

无线电



ARRL

业余无线电丛书

小功率的力量

QRP制作

「美」美国业余无线电转播联盟 编
赵辉 (BD6RA) 译

More QRP Power

享受QRP制作的过程

体验QRP制作的快乐



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

无线电

小功率的力量

QRP制作 More QRP Power

美国业余无线电转播联盟著名的刊物QST杂志和QEX杂志经常出现各类QRP（使用5W或低于5W的输出功率）主题的文章，不断展示着QRP活动深受欢迎、热力不减。这项活动富于挑战性、成就感，是一种符合当今低碳、环保潮流的通信操作方式。

对于广大热衷于自制设备的无线电爱好者来说，本书无疑是一本必备书籍。它可以指导读者简便地构建无线电设备。书中为每个制作项目提供了零件列表、电路原理图和制作建议，并提供了详细的操作理论，它还展示了每个项目的实物图片。这是美国业余无线电转播联盟出版的又一杰作。

—— Charles M. Seay Sr. (KN4HL)

许多爱好者喜欢自制收发信设备，用自己的DIY作品通联全球。本书收录了美国业余无线电转播联盟（ARRL）两本著名的刊物QST和QEX中刊登的关于多波段收发信机、电台辅助设备及小型天线的经典制作文章。相信这些文章能够让喜欢动手的爱好者感到满意，帮助他们把自己的小功率通信设备改造得更完美。

—— David Summer (K1ZZ)

提到设计结构简单、接收信号质量高的收发信机时，人们都会不由地想到晶控式收发信机。RockMite因为采用晶控和体积小而得名，Rock在美国是“晶体”的别称，Mite是一种小得几乎不可见的昆虫，RockMite是一个晶体控制的微型CW收发信机。自从数年前被K1SWL设计出来后，这个小机器一直是全球QRP爱好者关注的热点。

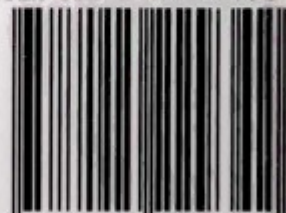


封面设计：胡萍丽

分类建议：电子技术 / 无线电通信

人民邮电出版社网址：www.ptpress.com.cn

ISBN 978-7-115-22934-2



9 787115 229342 >

ISBN 978-7-115-22934-2

定价：55.00 元

⊖ 业余无线电丛书 ⊖

小功率的力量

QRP制作 More QRP Power

[美] 美国业余无线电转播联盟 编
赵辉 (BD6RA) 译

人民邮电出版社
北京



图书在版编目 (C I P) 数据

小功率的力量 : QRP制作 / 美国业余无线电转播联盟编 ; 赵辉译. — 北京 : 人民邮电出版社, 2010. 9
(业余无线电丛书)
ISBN 978-7-115-22934-2

I. ①小… II. ①美… ②赵… III. ①无线电台—制作 IV. ①TN924

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第106437号

版权声明

Shelly Bloom (WB1ENT) and Jodi Morin (KA1JPA) : More QRP Power (ISBN:0-87259-965-5)
Copyright © 2006 by The American Radio Relay League, Inc.

This work is publication No.315 of the Radio Amateur's Library, published by ARRL.

All rights reserved. No part of this work may be reproduced in any form except by written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition jointly published by The American Radio Relay League, Inc. and POSTS & TELECOM PRESS.

本书简体中文版由美国业余无线电转播联盟 (ARRL) 授权人民邮电出版社出版。未经出版者书面许可, 不得以任何形式复制或抄袭本书的任何部分。

版权所有, 侵权必究。

业余无线电丛书

小功率的力量——QRP 制作

- ◆ 编 [美] 美国业余无线电转播联盟
- 译 赵 辉 (BD6RA)
- 责任编辑 房 桦
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京艺辉印刷有限公司印刷
- ◆ 开本: 800×1000 1/16
印张: 17.75
字数: 388 千字 2010 年 9 月第 1 版
印数: 1—5 000 册 2010 年 9 月北京第 1 次印刷

著作权合同登记号 图字: 01-2010-2143 号

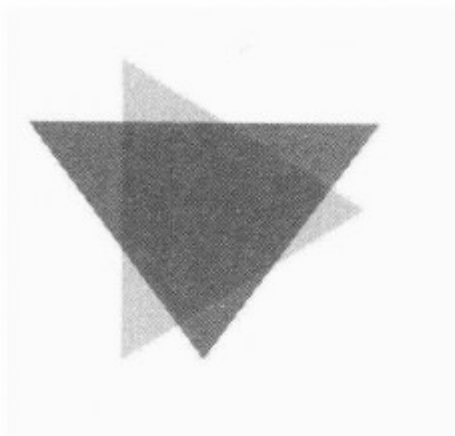
ISBN 978-7-115-22934-2

定价: 55.00 元

读者服务热线: (010)67132837 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第 0021 号



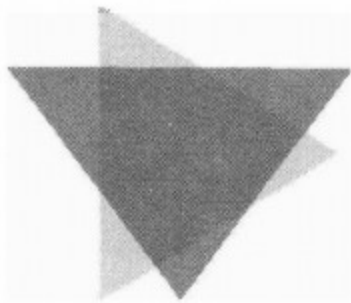
内容提要

在业余无线电领域，通常把使用最高不超过 5W 的射频功率来进行的通信称为小功率通信，Q 简语中用 QRP 来表示降低发信机功率，因此小功率通信又称 QRP 通信，它是业余无线电通信的一个重要分支。

很多 QRP 通信爱好者热衷于自制 QRP 设备，用自己的 DIY 作品通联全球。本书收录了美国业余无线电转播联盟（ARRL）两本著名的杂志 *QST* 和 *QEX* 中刊登的关于多波段 QRP 收发信机、电台辅助设备及小型天线的经典制作文章。相信这些文章将能够帮助 QRP 爱好者们把自己的小功率通信设备打造得更完美。

本书介绍的案例的作者都是 QRP 领域的资深专家，内容指导性强，非常适合业余无线电爱好者、从事电子设计的技术人员以及相关专业的师生学习和参考。





前言

QST 杂志和 *QEX* 杂志经常出现各类 QRP (使用 5 W 或低于 5 W 的输出功率) 主题的文章, 再次显示了 QRP 活动深受欢迎, 热力不减。与 *QRP Power* 和更早出版的 *QRP Classics* 一样, 本书收集了最近发表的关于 QRP 设备制作、辅助设备以及天线制作的最佳文章。这些文章自 1996 年原版 *QRP Power* 一书编写以来就发表了, 丰富了前两版的内容。

许多爱好者喜欢自制收发信机、发射机、收信机, 为此, 本书收录了一些多波段的制作文章: 有的制作简单, 有的制作复杂。所有这些文章将能够让喜欢动手的爱好者感到满意。

对那些喜欢购买套件和购买成品设备的爱好者, 本书也收录了各种电台辅助设备以及小型天线的制作文章。无论是自制设备还是购买设备, 这些制作项目将帮助读者把自己的设备改造成可以在室内使用或者便携使用的设备。

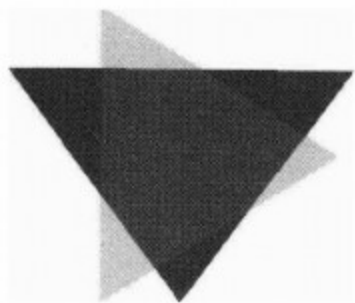
这些文章的作者花费了大量宝贵的时间撰写制作过程, 并发表在 *QST* 杂志和 *QEX* 杂志上。没有他们的辛勤劳动, 本书是无法编写的。

希望读者喜欢本书收录的文章。读者不妨试试 QRP 活动, 这个活动富于挑战性和成就感, 可以给自己的业余无线电经验增加一点魔力。

ARRL 总执行官 大卫·沙默尔 (K1ZZ)

2006 年 2 月





译者的话

Mark Wilson 编的 *More QRP Power* (《小功率的力量》) 收集了 *QST* 杂志和 *QEX* 杂志的一些业余无线电制作的经典文章, 覆盖面广, 包括了表面安装元件的使用技巧、自制印制电路板的简单方法、收发信机的制作、电台辅助设备的制作、多波段天线的制作等。文章内容非常精彩, 介绍了国外爱好者近年来在 QRP 活动方面的新动态、新思路, 我几乎是一口气读完了这本书。

全书共分 6 章。第 1 章介绍的是如何在业余无线电制作中应用贴片元件, 如何在业余情况下利用手头的工具自制印制电路板, 以及如何自制机壳和绘制机壳面板。第 2 章介绍自制收发信机以及 5 个 QRP 收发信机的制作实例, 其中包括一款简易 PSK31 收发信机。第 3 章介绍了 QRP 发射机的制作和电子管发射机的制作。第 4 章介绍的是适合 QRP 活动的简易小型收信机的制作。第 5 章介绍了天调、功率表、驻波表、升压器等辅助设备的制作。第 6 章介绍的是天线的制作和 12 款便携式天线的制作实例。

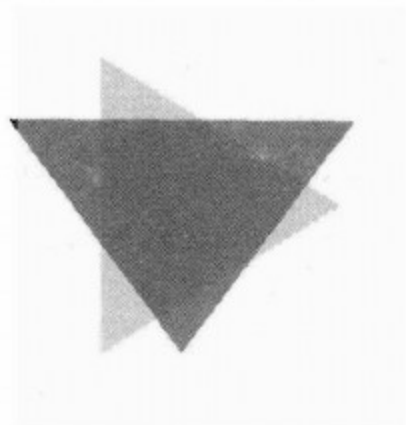
我非常喜欢在教学之余自制收发信机。翻译这部书的过程对我来说是一个学习的过程, 边翻译、边学习, 开拓了眼界, 受益匪浅。由于中美文化的差异, 我在翻译中略去了个别与制作无关的内容。

《小功率的力量》一书涉及的技术内容较广, 译文未必能尽如人意, 不当之处, 恳请读者惠予批评指正。

赵辉 (BD6RA)

2010 年于杭州 浙江科技学院





目 录

第 1 章 制作前的实践	1
1.1 表面贴装技术 (一)	2
1.2 表面贴装技术 (二)	12
1.3 表面贴装技术 (三)	17
1.4 表面贴装技术 (四)	21
1.5 表面贴装的风格	29
1.6 简易贴片元件工作台	33
1.7 使用微软的 PPT 软件绘制面板	37
1.8 用勒克森材料制作面板	41
1.9 利用敷铜板制作机壳的简单方法	42
1.10 绕制小型磁环线圈工具	46
第 2 章 收发信机的制作	50
2.1 RockMite——简单的 40m(20m) 收发信机	51
2.2 HiMite——高频率波段 RockMite 收发信机	57
2.3 “Micro Mountaineer” 收发信机	61
2.4 40m QRP 收发信机	71
2.5 简单的“鸟鸣” 80m PSK31 收发信机	82
第 3 章 发射机的制作	89
3.1 新版金枪鱼罐头盒 2 号发射机	90
3.2 T5——两只电子管的金枪鱼罐头盒发射机	94
3.3 电子管金枪鱼罐头盒发射机 (T5) 元件的替换	98
3.4 改进 W1FB 原创的 80m 沙丁鱼罐头盒发射机	99
3.5 简单的 10m QRP 发射机	103
3.6 用于 40m 和 80m 的简单 CW 发射机	108

第 4 章 收信机的制作	113
4.1 MRX-40 收信机	114
4.2 把 MRX-40 改造成 80m 的收信机	117
4.3 级联再生式收信机	119
4.4 简单的 6m 收信机	124
4.5 惠斯通电桥再生式收信机	129
4.6 OCR II 再生式收信机	134
第 5 章 辅助设备的制作	141
5.1 小型 100W Z 匹配天调	142
5.2 小型 50:200 Ω 巴伦	147
5.3 QPR 多功能测试仪	152
5.4 “钳式带宽” Gyrator 音频滤波器	156
5.5 FREQ-Mite——可编程莫尔斯电码频率计	159
5.6 高频功率表	164
5.7 简易 LED 显示驻波 / 功率表	174
5.8 NB6M QRP 自动键	178
5.9 FT-817 电台稳电器	181
5.10 FT-817 电台小型充电器	186
5.11 多用途升压器	188
5.12 12V 电池升压器	193
第 6 章 天线的制作	200
6.1 带陷波线圈的双极天线	201
6.2 FARA 便携式多波段天线	206
6.3 Squirt 缩短型 80m 天线	212
6.4 飞蝇杆垂直天线	218
6.5 倒 U 型天线	228
6.6 便携式两单元三波段八木天线	236
6.7 便携式 HF 垂直天线	242
6.8 简单的便携式 HF 天线	251
6.9 扁平馈线 20m 天线	254
6.10 便携式地耦天线	257
6.11 可收卷的双极天线	267
6.12 小型多波段鞭状天线	270



制作前的实践

- 表面贴装技术（一）
- 表面贴装技术（二）
- 表面贴装技术（三）
- 表面贴装技术（四）
- 表面贴装的风格
- 简易贴片元件工作台
- 使用微软的 PPT 软件绘制面板
- 用勒克森材料制作面板
- 利用敷铜板制作机壳的简单方法
- 绕制小型磁环线圈工具



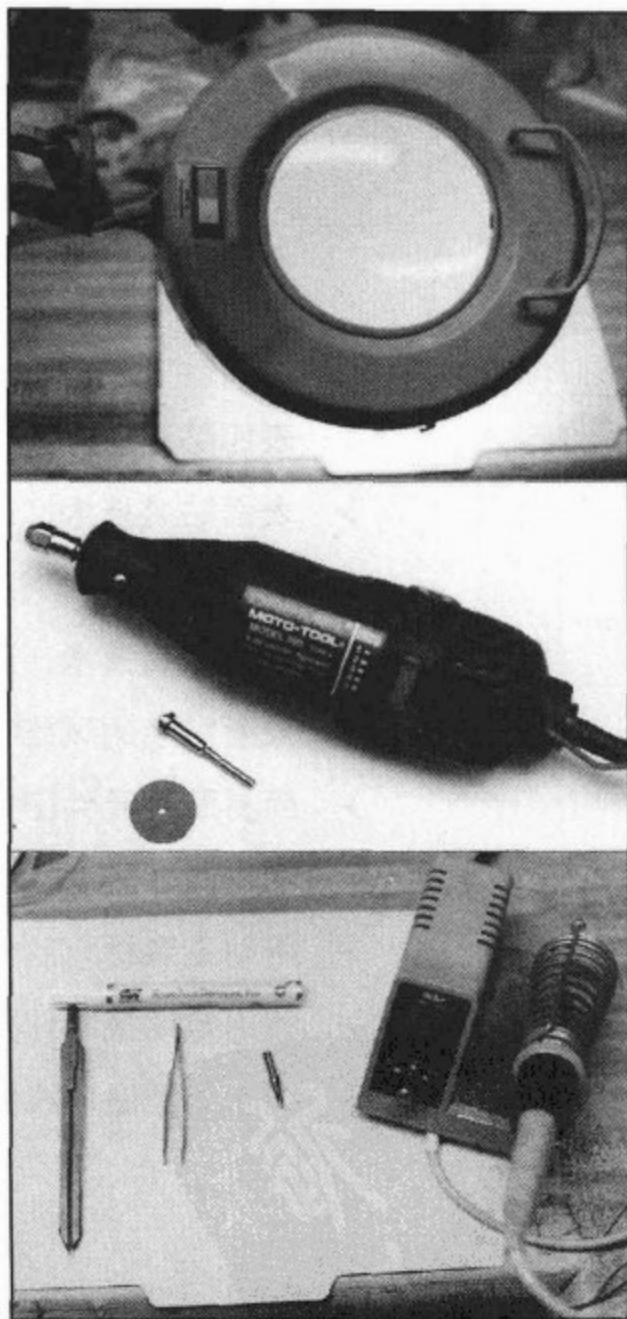
1.1 表面贴装技术 (一)

笔者看了多家电子元件生产厂商的产品参数资料,有三件事情让人吃惊:第一,现在不少芯片的功能很多,一片的功能就能顶原来的几片芯片;第二,发展趋势是功耗低、体积小、频率高;第三,很多新器件只有表面贴装封装。概括一下就是:当代的产品体积小,能源效率高。看看现在的手机、GPS 设备、笔记本电脑、微波炉、智能化电烤箱、电视遥控器、袖珍计算器,它们的共同特点就是使用了表面贴装集成电路。

笔者也看了 ARRL 的一些制作项目,还在用分立元件和体积较大的双列直插集成电路,而且这些芯片功能有限。最近又看到了一个电压控制的制作,使用的是晶体管和继电器!坦率地说,在笔者看来,工业技术和业余无线电技术之间出现了很大的差别。举例来说,美信 (MAXIM) 工程学报 29 期介绍了一些新的芯片,例如:抑制镜像干扰的收发信机芯片,可以取代 VCO 模块的低相性噪声高频振荡芯片,工作电压为 3V,能够输出 1W 的 900MHz 高频发射管,能够取代中频混频器的直接变频 (向下变频) 芯片、本振滤波器、声表面滤波器、收发信机的中频单元芯片 (集成了 FM 限幅及 RSSI 功能)。这些芯片只有表面贴装封装。笔者认为,业余无线电爱好者正在落伍,因为他们觉得无法应付表面贴装技术。

两年前,笔者开始在中制作中使用表面贴装器件,到目前为止,又做了好几个其他这样的电子制作。随着不断地实践,技术有很大提高。笔者现在动手的制作都是一年前想都不敢想的制作。

实际上,业余爱好者是能够使用表面贴装技术的。一旦大家展示出自己这方面的能力,业余无线电刊物上就会出现越来越多的技术性制作文章。是否能自制小型的 2m 机,或者 900MHz 的个人通信设备? 芯片是现成的,只需要改动一下外围电路,让这些芯片适合业余无线电制作。首先要做的是学习、掌握一些基本的安装技术。这个系列文章将帮助爱好者学习这方面的技术,一旦学会了这些技术,就可以安装大多数表面贴装芯片了。



表面贴装并不是新技术

表面贴装器件的概念对于业余无线电来说，并不是新东西。1979 年的 *QST* 杂志，D·德茅 (W1FB) 发表了一篇文章，讨论电路板简易快捷设计法，基本使用的就是表面贴装元件。多格也提出了适合这种元件的万能板设计方法。大家可能在想，生产厂商生产的各种表面贴装芯片，都会有双列直插的版本供工程师实验。但是现在，很多芯片生产厂商都生产评估板供设计师使用，便于他们实验表面贴装元件部分。当生产表面贴装器件成为主流时，销售评估板比贴装一条生产数量不大的双列直插芯片生产线经济得多。

表面贴装器件有以下优点：

- 电路小型化。笔者用表面贴装元件自制的定时开关电路的印制板和邮票差不多大小，可以放在万用表的电池盒里。安装这个电路的目的是让万用表自动断电。
- 能源消耗低。许多表面贴装器件的性能比其双列直插版本的性能高。工作电压低，静态电流小，在 μA 级别，更加节能。
- 高频性能好。很多高频电路制作要求信号连接线短，表面贴装电容经常用于旁路电路，因为可以安装在芯片周围，而且引线电感很小。几乎所有的 VHF 设备都因采用了表面贴装器件提高了性能。
- 体现新技术。一旦使用过表面贴装器件，下次修理自己的新设备心里就有信心了。
- 易于制作。表面贴装器件的印制板制作容易，无须钻孔。
- 功能强大。许多新型的表面贴装芯片内建了许多模块，与老式的双列直插版本相比，可以较容易地完成更复杂的电路设计。

需要的设备

许多爱好者认为，使用表面贴装元件需要许多昂贵的设备。实际上并非如此，而且也不要非常好的视力。只需以下工具：

- 带照明的放大镜，这是基本的工具，笔者用的是 5 英寸直径的，这类放大镜是三倍的，边框带灯。
- 小功率电烙铁，能调温的烙铁（例如 Weller WCC100 型）可以防止给元件施加的温度过高。要使用有接地接头的电烙铁，因为大多数表面贴装元件是 CMOS 器件，对静电敏感。
- 带松香助焊剂的细焊锡丝，最好是用直径 0.02 英寸的焊丝，由于元件小，0.03 英寸的焊丝容易造成焊盘粘连。
- 湿海绵块，用于擦烙铁头。
- 助焊剂笔，用于给小的焊点加助焊剂。
- 沾焊锡用编织线，用于去除过多的焊锡。
- 防静电装置，例如防静电腕带。
- 镊子，用于夹起、摆放元件。不带磁性的不锈钢圆规也可以代替镊子。圆规的尖钢

针可以夹起很小的元件，而且不会因为用力过大把元件夹飞。圆规尖还可以用来划敷铜板（后面还会介绍使用方法），划出印子之后，再用刀刻。用非磁性的圆规，是为了防止元件被吸在圆规尖上。

- 如果自己做印制电路板，还需要准备电动打磨机和超细砂轮。

表面贴装器件

图 1-1 是一些常用的表面贴装元件（也称之为贴片元件——译者注）。电阻、电容有各种大小规格，要知道元件的大小有两个原因：1）大一点的元件手工焊接容易；2）印制电路板上的焊盘要做的比元件大一点。钽电解在表面贴装元件中是体积大的元件。它们封装上的代码，一般是一个字母，因为厚度不一样，不同的生产厂商使用不同字母。如图 1-1 所示，瓷介电容和电阻的 EIA 代码标注的是元件的长和宽，单位是英寸。但是对于钽电解，标注的尺寸单位是 $\text{mm} \times 10$ 。务必记住，钽电解是有极性的，封装上一般用符号或色条标出正极。几乎所有的直插器件都有表面贴装的封装。

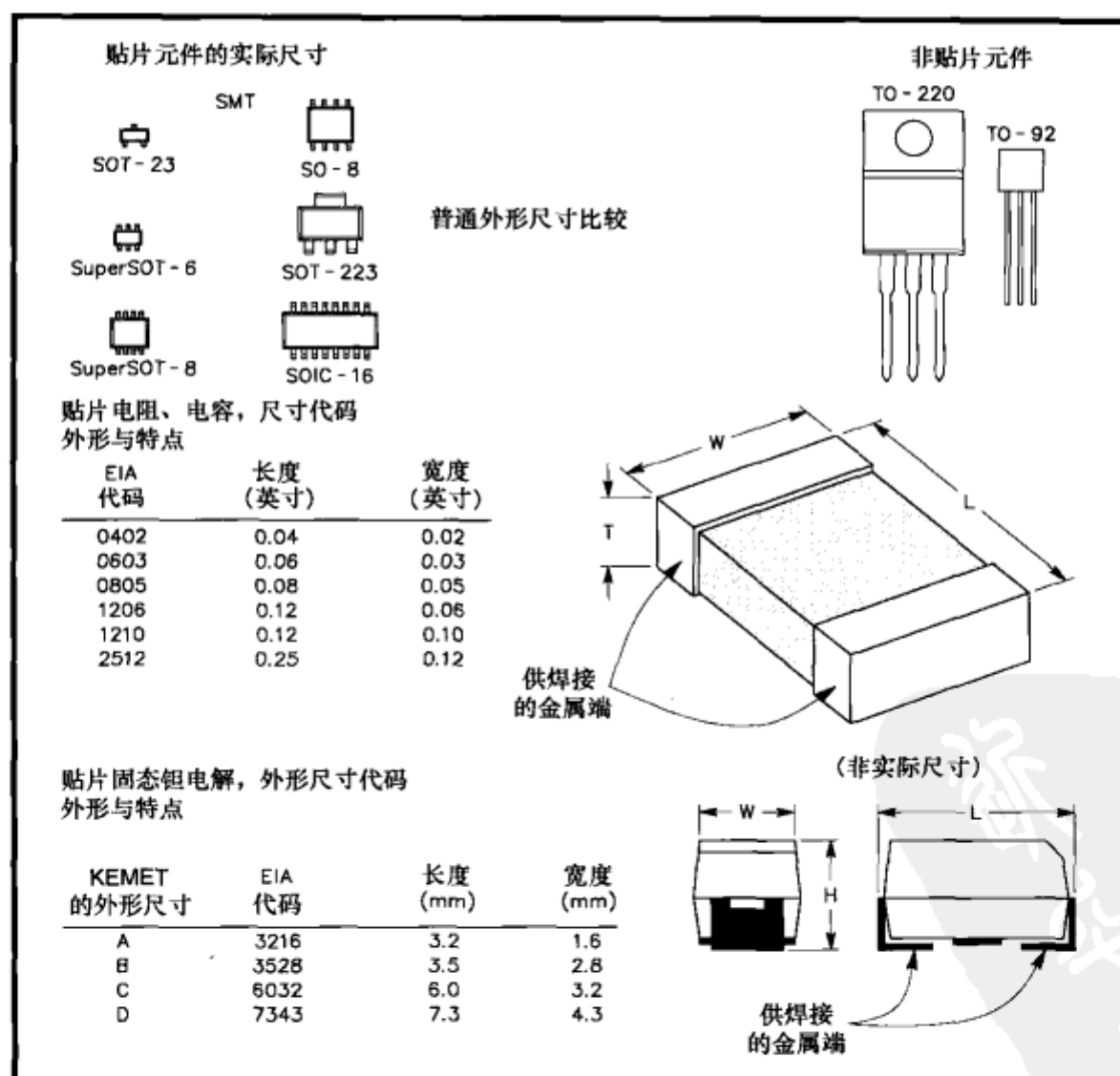


图 1-1 贴片元件的外形比较与尺寸

表面贴装焊接基础

先把电路板镀上少量焊锡。要点就是焊锡刚好够，再次加热时，焊锡就会流向芯片的引脚。过量的焊锡会引起搭焊，造成短路。在电路板、芯片引脚上加一点助焊剂，有助于焊锡流动，使焊接光滑。烙铁的温度是否合适可从焊锡熔化时间判断，1.5 ~ 3s 内焊锡能够熔化，温度为正常。笔者用圆规的尖（或手指）把元件推到安装位置。由于芯片很小而且轻，很容易被烙铁头粘走。为防止这个现象，用圆规尖压住芯片，先把芯片两个对角的引脚焊好。检查芯片的位置是否对准。这时，把烙铁头擦干净，在芯片的引脚附近加热，焊锡就会自动流向芯片的引脚。芯片的引脚一定要平放在电路板上。引脚很容易弯折，压按芯片时不要过于用力。焊接完毕后，用万用表的通断挡检查焊接情况。一个表笔接电路板，另一个表笔接芯片的引脚，同时也要检查相邻引脚间是否有搭焊。有问题要早发现，早解决。建议经常检查焊接情况。如果电路板上的镀焊锡不足，无法正常流向芯片的引脚，就需要再加一点焊锡。最好的方法是在元件周围的焊盘上滴一滴焊锡，然后用烙铁对焊盘加热，同时把烙铁尖向元件引脚拖动，让熔化的焊锡流向引脚，这样一般不会出现搭焊。焊接电阻和电容的方法同焊接芯片的方法，所不同的是，电阻和电容的引脚不是伸出来的，但是上面介绍的焊接方法仍然很好用。

把连接线从印制板引出连接到其他点有一定的难度。与贴片元件相比，24 号多股线也显得粗了。首先，把每股线拧在一起，镀锡，再把镀好锡的电线接头放在事先镀过锡的焊盘上，用烙铁对焊盘加热，直至焊锡熔化。

表面贴装印制板的制作

可以像制作普通印制电路板那样采用腐蚀方法制作表面贴装电路板。D·德茅（W1FB）曾对腐蚀方法有过这样的评论：“如果不怕衣服到处是斑斑点点的棕色色斑，那就用腐蚀的方法做印制电路板。”他用钢锯在敷铜板上割出小方块的方法制作电路板。但是，钢锯的锯口对于贴片元件太宽了，笔者使用电动打磨机和薄的切割轮。使用这样的工具，可以刻出 0.005 英寸宽的线条，适合大多数贴片的芯片。

制作这样的“印制板”，先要画出布局图。不要考虑比例，尽可能画大一些，便于观察整个布局情况。一般来说，大家都考虑的是元件之间的连接，因为电路图画的是点到点的连接线。笔者觉得考虑的应该是线与线之间的间隔，因为需要刻掉一些敷铜材料才能形成一条条电路线条，并非是增加敷铜材料形成电路线条。因为用于连接的电线较粗，与电线的连接点尽可能用大面积敷铜。刻电路线条时，最好先不要把敷铜板锯成实际要求的尺寸，应该先在大敷铜板上刻电路，因为大的板子容易用手拿住，电路刻好后再锯成实际的大小。

电路的布局画好后把芯片放在敷铜板上，用一个细尖的（0.5mm）铅笔或者圆规在敷铜板上画出需要刻掉的部分，然后把芯片拿开，用电动打磨机沿着刚才画的标记切割敷铜面，芯片的引脚比较密，先切割一个印字，把芯片放上去，然后检查是否能够与芯片对准。用超薄的切割轮画直线容易一些。一开始笔者用了一个薄的刀片（108号），但是画出的切口比较宽，而且很难画出一条直线，Dedeco公司是一家为珠宝商和牙科制造工具的厂商，生产两种超薄的磨轮，一种是0.009英寸，另一种是0.005英寸。对于非常小的芯片，如：SOT23-5和SOT-8封装的芯片，使用0.005英寸的磨轮，对于其他芯片0.009英寸的磨轮就可以了。在使用这些磨轮的时候务必小心，以免弄碎。此外，切割的刀口不要太深，在线路的交叉点处不要切割过头。遇到交叉点时，可先用磨轮，然后再用刀片，刻到交叉点处。然后再用砂纸磨去刀口的毛边，用一个小改锥或者一把刀，沿着刀口划过，确保应该刻开的敷铜部分已经分开，并且没有毛刺粘连，最后用万用表的欧姆挡检查。

几个制作项目

这里介绍的几个电子制作都非常容易，然而与采用老式技术（双列直插）做同一个制作相比，这几个制作都有很大的优越性。在动手制作的同时，能够学会一些表面贴装技术，同时也做出一些有用的小设备。这几个小制作的顺序是按先易后难来安排的。

制作 0A——感觉表面贴装技术

这是一个音频放大器，非常适合学习使用表面贴装器件。因为电路与采用直插元件的电路是一样的，只是直插元件的体积要大一些。笔者先画出布局，刻电路板，然后安装，总共用了一个多小时，不妨试试用腐蚀的方法来做印制电路板，或者使用万能板来做电路。大家一定会同意，在刻出来的电路板上安装，更像用成品印制电路板做出来的电路（见图1-2）。

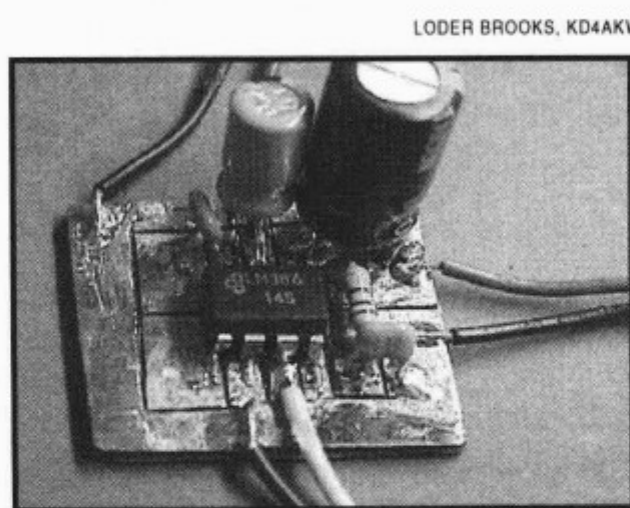


图 1-2 在自制的印制电路板上安装的 LM386 音频放大器。电路板上的焊盘是用小型电动工具和磨轮在敷铜面上刻出来的。

这个电路在 *The 1996 ARRL Handbook* (ARRL 《业余无线电手册》1996 年版) 介绍过, 当时采用的是“死昆虫”安装法, 所有的元件都安装在一个敷铜面为地的敷铜板上, 没有钻一个元件安装孔。这个电路很容易使用表面贴装技术做出来。图 1-3A 和 B 分别为这个制作的电路图和布局图。把 LM386 的引脚弯折了一下, 这样芯片看上去就像一个大的 SO-8 封装的芯片。刻电路板时可以使用 0.015 英寸的磨轮。刻到引脚 1 和引脚 3 焊盘的末端时, 要务必小心, 不要刻过头。

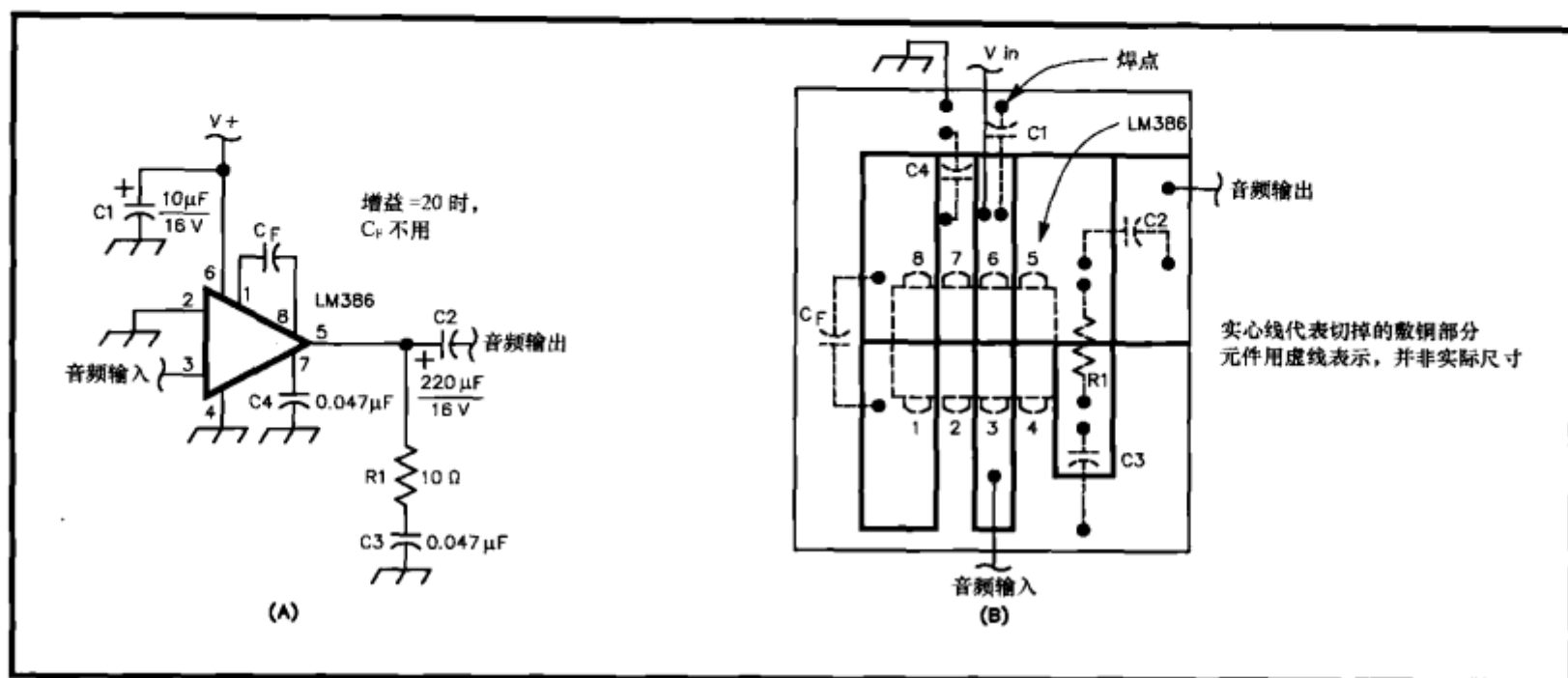


图 1-3 图 A 是 LM386 的音频放大器的电路图。图 B 是元件的布局以及印制电路板, 粗的实心线指的是从敷铜面上刻掉的部分, 这个图不是 1:1 的。板子长 1 英寸, 宽 3/4 英寸。在这个制作中没有使用贴片元件, 但是介绍了制作印制板的方法, 能够在接触小型的贴片元件前感受一下制作的过程。

LM386 并不是先进的技术, 如果想知道 LM386 与一个高级的放大器之间的差别, 那么还是去装一个“SMALL”放大器 (见 *QST* 1996 年第 7 期), 该放大器采用了一片 LM4861。这种芯片只有 SO-8 封装, “SMALL”放大器除体积小之外, 输出功率也要大一些, 保真度高, 工作电压低。

制作 OB——最容易的表面贴装器件电路制作

可能大家很想比较表面贴装技术和普通技术, 但是并不想焊接这些小芯片, 如果这样的话, 这个小制作再适合不过了。这个小制作采用了 LM2825, 这是一片体积比较大的双列直插 5V 稳压器, 见图 1-4A, 然后再装一个使用 TO-220 封装的 LM7805 的普通 5V 电源, 见图 1-4B。这两个电路都可以安装在一块万能板上。使用 LM2825 的小制作的照片见图 1-5。尽管两个电路看上去几乎一样, 但是给这两个电路加上 12V 电源, 给每个电路接上一个 0.5A 左右的负载, LM7805 会变的很烫, 而 LM2825 却是凉的, 这是因为 LM2825 是一款电路复杂的开关稳压器, 所有的元件为表面贴装元件, 封装在双列直插的壳子里。

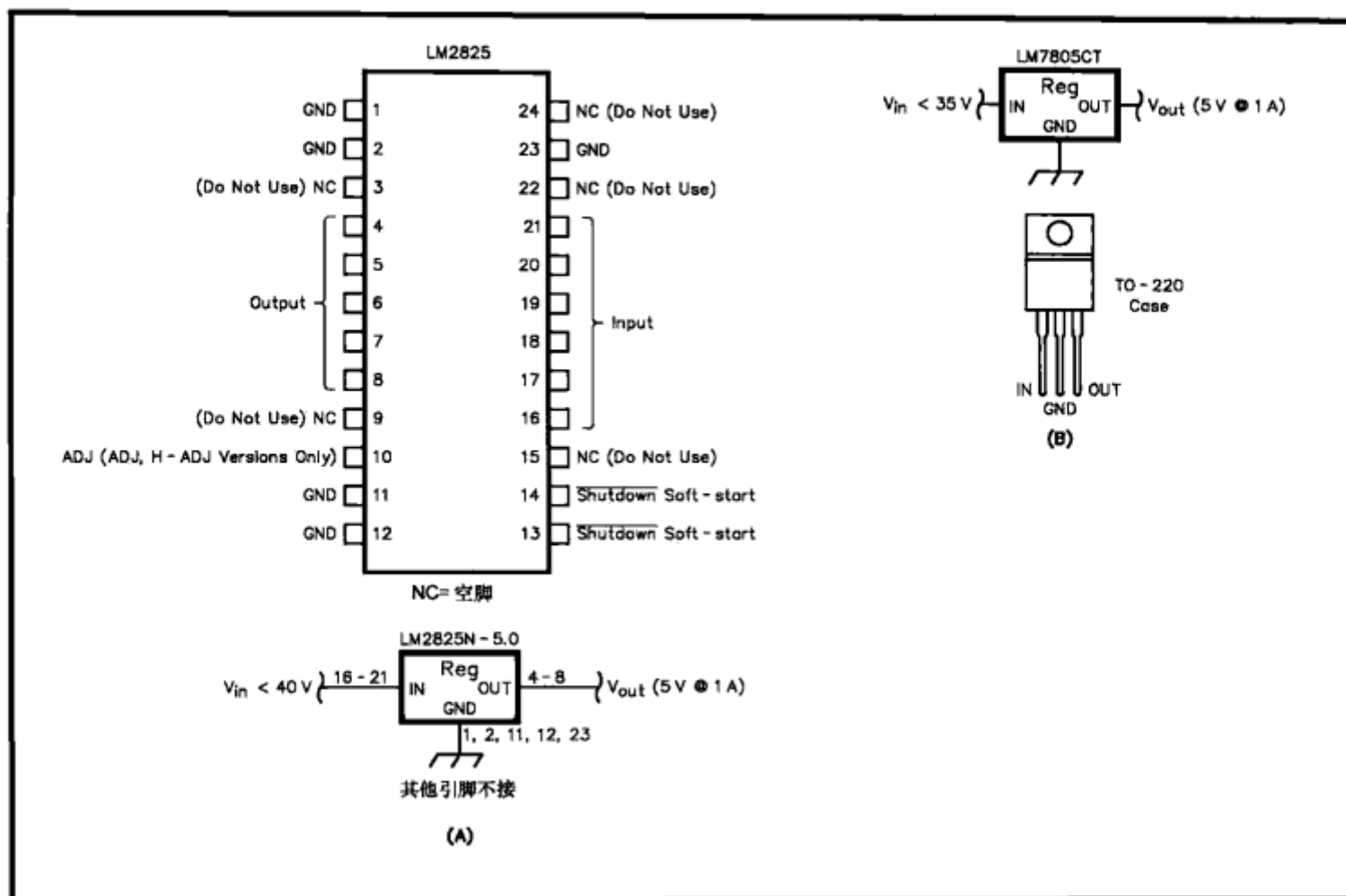


图 1-4 这两种稳压电路非常相似，但是图 A 的 LM2825 是一个 24 脚双列直插封装，性能优于 TO-220 封装的 LM7805。

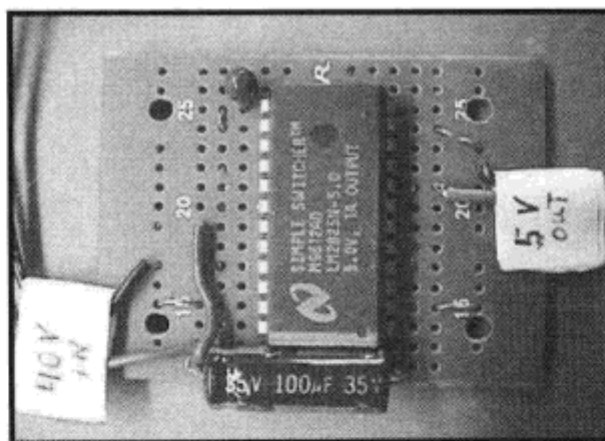


图 1-5 LM2825 装在万能板上。图中可以看到选装的输入滤波电容和选装的软启动电容。选装电容的参数参见国家半导体网页的相关说明。

改进老电路

The 1996 ARRL Handbook 介绍的限流电路（见图 1-6A）采用了 1 只电阻（R1）和 1 只三极管（Q1）与负载串联。R1 检测电流，Q1 在过流时限流。这个电路随负载变化，输入、输出的压降为 600 ~ 1 200mV（过载前）。稳压性能差，效率低。

8 小功率的力量

使用新电路

相比之下, 美信的 MAX890(图 1-6B), 工作电压为 $2.7 \sim 5.5\text{V}$ (最大 6V), 电流仅为 $15\mu\text{A}$ 。这个小芯片上集成了 1 只 1A 的 P 沟场效应管开关、1 个比较器、1 个电压参考电路、1 个电流检测电路、控制电路及故障指示电路。开关的最大压降仅为 90mV , 除非出现过流状况。MAX890 没有采用串联电阻检测电流, 而是用电流复制电路控制场效应管开关。出现短路或者启动时出现大浪涌电流时, 控制电路仅用 5ms 就关闭开关电路, 然后慢慢启动, 同时电流限制到最大电流的 1.5 倍。如果出现长时间过流, 大量的能量会耗散在场效应管上。为此, 该芯片有热关闭电路, 控制信号不断打开、关闭开关管, 使温度保持在安全范围内。

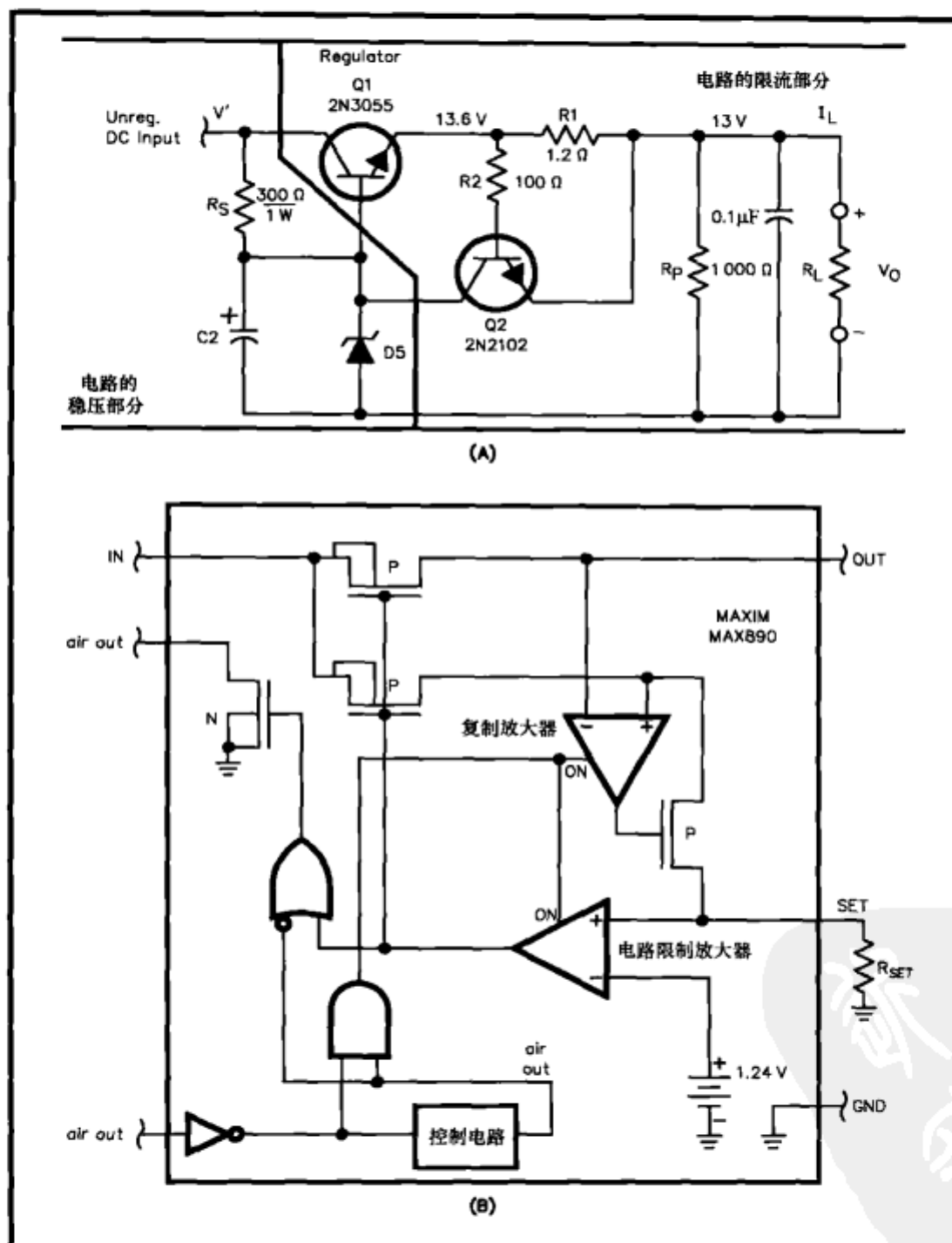


图 1-6 图 A 是使用老技术的限流电路; 图 B 是小型 MAX890 的内部电路, 采用较新的技术, 集成了工作电流为 1A 的 P 沟场效应管开关、一个比较器、一个电压参考电路、一个电流检测电路、控制电路以及故障指示电路。

制作 1——智能开关电路

这个电路采用了 MAX890，可以买到个头较大的 SO-8 表面贴装封装，安装起来容易一些。这个开关电路是智能型的，因为可以按照设置的允许电流进行限流。该器件不但能防止短路损坏设备，而且还能限制大浪涌电流，从而延长设备使用寿命。大的浪涌电流是损坏电子器件的主要原因。该芯片有一个输出端，能够触发故障指示器，如发光二极管、电铃等。打开/关闭功能引脚为高阻状态，能够用计算机或低输出的光电池控制。制作这个智能开关电路很容易，从图 1-7 可以看出，这个芯片体积很小。图 1-8A 是这个智能开关的电路图，图 1-8B 是电路板布局图。电路很简单。1 脚和 2 脚连接电源，开关的高电平输出引脚和开关输出引脚分别为 6 脚和 7 脚。RESET 引脚可以限制启控电流：

$$\text{限制电流} = 1.38 / 10^3 / R_{\text{SET}}$$

笔者的 R_{SET} 使用的是 $2.2\text{k}\Omega$ 电阻，限制电流为 625mA （启控电流可在 $200\text{mA} \sim 1\text{A}$ 设置）。C1 是输入电容，防止输入电压随浪涌电流跌落。一般来说，C1 可以省去不装。输出电容 C2 防止电路受到感性脉冲的影响。当电流过载或芯片过热而启动开关时，故障指示引脚 8 为低电平。笔者在电路板上装了 1 个贴片发光二极管，出现故障时发光。8 脚吸收电流不会太大，所以用了 1 只 $5.6\text{k}\Omega$ 电阻，发光二极管电流限制在 1mA 。也可采用 1 只 $100\text{k}\Omega$ 上拉电阻和高阻指示器。

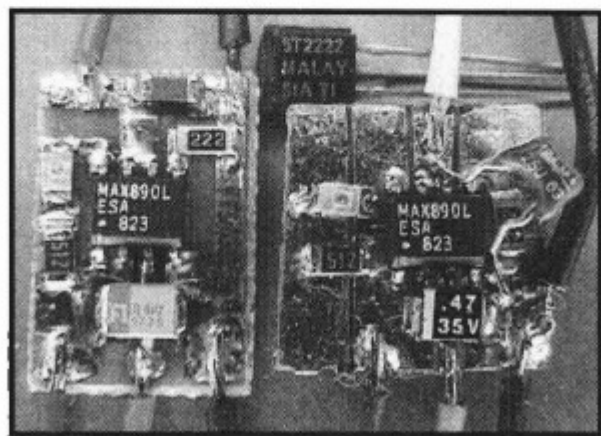


图 1-7 两款智能开关电路，边上是一只 TO-92 封装的三极管

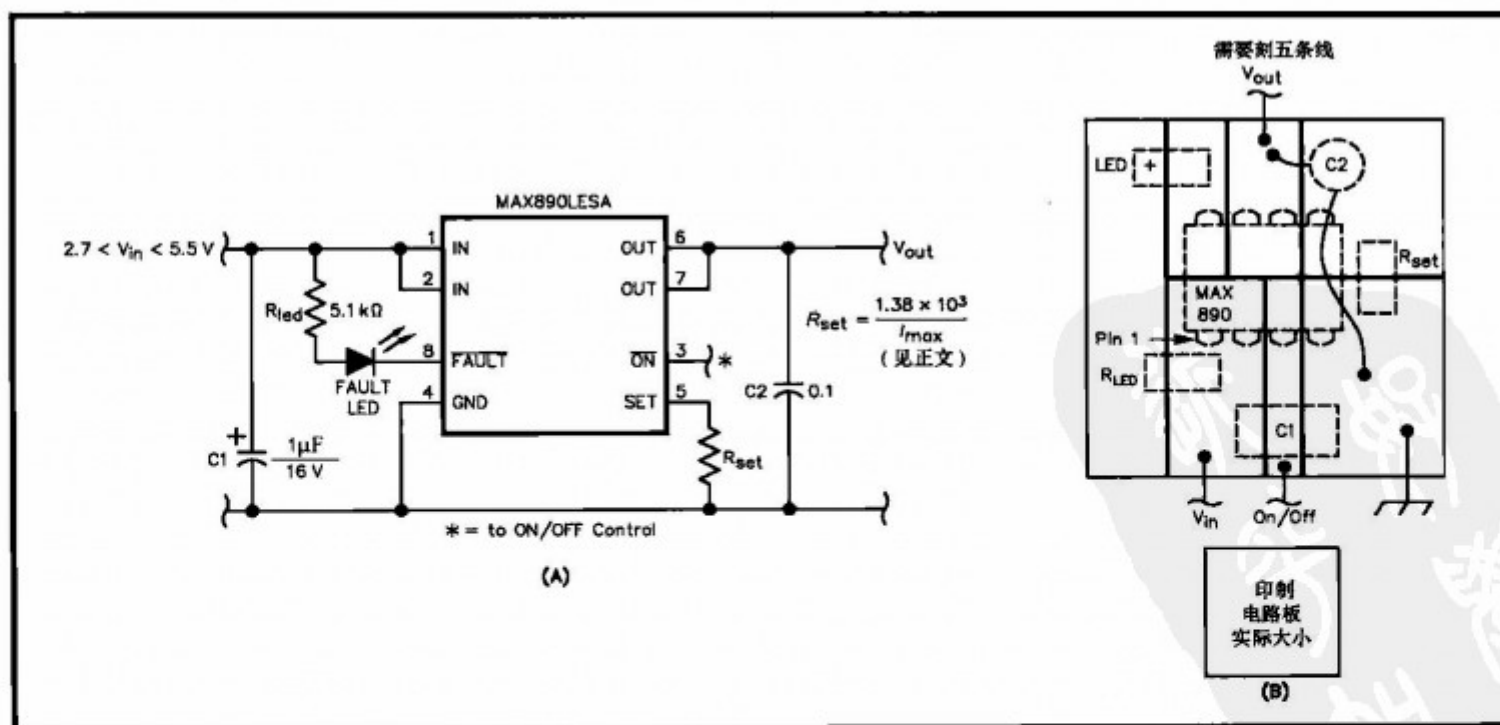


图 1-8 图 A 是智能开关电路，图 B 是布局。

制作补充说明

制作电路板时，笔者使用的是电动打磨机，0.009 英寸的磨轮。制作样机时，发现 C2 采用直插独石电容好安装，正好横跨在芯片顶部（没有任何规定不让贴片元件与直插元件混用，有时混用使安装更容易一些）。注意看图片，与芯片相比，电容显得多么大。使用贴片元件制作时，元件的布局很重要。引线短，电感就小，出现过流时，开关速度就能得到改善；出现短路时，由于采用大面积敷铜接地，大面积的敷铜能够帮助散热。

1.2 表面贴装技术 (二)

制作 2A 和 2B——5V 极性转换器

一般来说，工作台上都有一个小电流 -5V 电压。许多放大电路为了简化设计，采用正负电源。有时，LCD 的对比度引脚需要负电压才能工作。简单做法是使用一片 ICL7660 电压极性转换器，这种芯片已经应用多年。技术的发展改进了 7660，有两种芯片能够提供更高的性能。但是这两种芯片只有贴片封装，国家半导体生产的 LM2662 是 SO-8 封装，美信的 MAX871 只有 SOT-23 封装，当然生产厂商完全可以把这两种芯片生产出双列直插的封装，但国家半导体和美信都没有这么做，这似乎意味着电子行业正朝向只生产表面贴装器件方向发展。

新型芯片的技术

这两种电压极性转换电路的芯片工作原理见图 1-9。每个芯片里都有 4 个 CMOS 开关 (S1 ~ S4)，它们受内部振荡器控制，按顺序工作。在第一轮中，S1 和 S3 闭合，S2 和 S4 打开。+5V 输入电压给 C1 充电，这时 C1 的正极是正的，负端接地。在第二轮时，S1 和 S3 打开，S2 和 S4 闭合，C1 两端仍有 5V，这时，接 S2 那端为正，接 S4 那端不再接地，C1 两端的 5V 就被转到了 C2——因为 C2 的正极是接地——那么另一端必定比地低 5V，换句话说就是 -5V。表面贴装元件的开关电路之所以能够流过较大的电流而且体积比较小，是因为它们的电阻小。这两种芯片工作频率都较高，可以采用小容量电容，对于一定的电流的输出来说，可以使用小容量电容。为了获得最高的效率，应该采用等效串联电阻小的电容。输入的旁路电容（该电容的容量取决于芯片的型号和用途）在高阻电源的情况下能够改善性能。随着芯片体积越来越小，引脚越来越少的发展趋势，往往有一系列几乎相同的芯片。LM2662 就是同样一个产品参数说明中介绍的两种相同的极性转换芯片中的一种，另外一种就是 LM2663，这个芯片的 1 脚是关闭控制脚，而不是频率控制脚，这就是新技术的共同特点。因为电池被越来越多地用做电源，当极性转换电路使用计算机控制时，这个引脚就尤其有用。关闭时，芯片的电流减少到 10 μ A。MAX871 和 LM2662 一样，也有一个兄弟

芯片。MAX870 和 MAX871 一样，不同的是，它的频率是 125kHz，尽管使用的电容大一些，但电流也才 0.7mA。

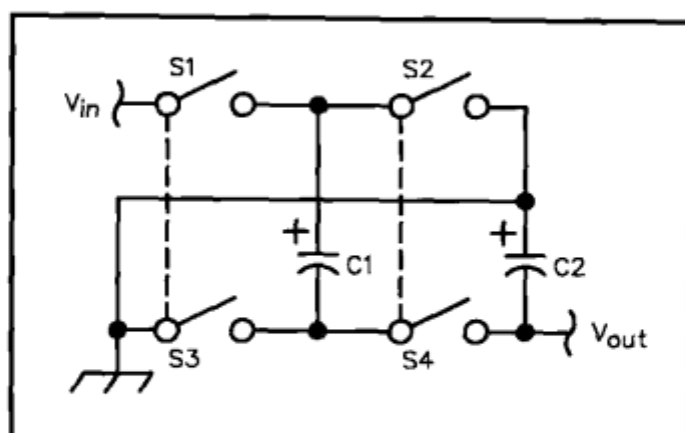


图 1-9 3 种电压极性转换器内部工作原理电路图。工作原理见正文。

因为容量大的电容会增加电路的外形尺寸，因此一定要了解能够使用的最小电容容量。这取决于工作频率以及电容的等效串联电阻。对于无极性电容，通常建议使用 SPRAGME 系列 593D 或者 595D、AVX 系列 TPS 以及陶瓷 X7R 系列，但是在元件的目录当中，电容的等效串联电阻一般是不标出的，必须查阅厂家的参数说明，如果想使用其他的电容容量，使用下列公式计算输出电阻和波纹，注意 C1 的电阻对于减少电阻的作用是 C2 的 4 倍，但 C1 对波纹没有影响。

$$R_{out} = 2R_{sw} + 1/f \times C1 + 4ESR1 + ESR2$$

(方程 2)

$$V_{ripple} = I_{load}/f \times C2 + 2I_{load} \times ESR2$$

(方程 3)

式中

R_{out} = 电路的输出阻抗

R_{sw} = 内部开关导通电阻的和

f = 驱动转换电路的振荡频率

$ESR1$ = C1 的等效串联电阻

$ESR2$ = C2 的等效串联电阻

V_{ripple} = 输出端的峰 - 峰值波纹电压

I_{load} = 转换电路的负载电流

这 3 种芯片能够用于其他的工作模式，例如：倍压。把它们按照联级的接法连接，就可增加输出电压；采用并联的接法，就可以增加输出电流。更多用法及参数详见器件的参数说明。

SOT-23 封装是一种比较常用的芯片封装形式，因此，如果想充分利用新技术，掌握这种芯片安装十分重要。

表 1-1 概述了上面提到的芯片特点，安装完毕的电路见图 1-10。从图中可以看出，LM2662 的外形尺寸比 ICL7660 小，但是输出电流却大 10 倍。MAX871 体积更小，性能比 ICL7660 好。

表 1-1

	ICL7660	LM2662	MAX871
封装	双列直插，SO-8， 金属管帽封装	SO-8	SOT-23
电路电阻 (Ω)	55	3.5	25
振荡频率 (kHz)	10	20	500
推荐电容参数 (μF)	10	100	0.2
$V_{\text{out}}@I=0$	10.0	10.0	10.0
$I=14\text{mA}$	9.41	9.97	9.71
$R=100\Omega$	6.30	9.66	8.04
供电电流 (mA)	0.17	0.30	2.7

* 表示这些数据是在正负极带有负载的情况下实际测得。

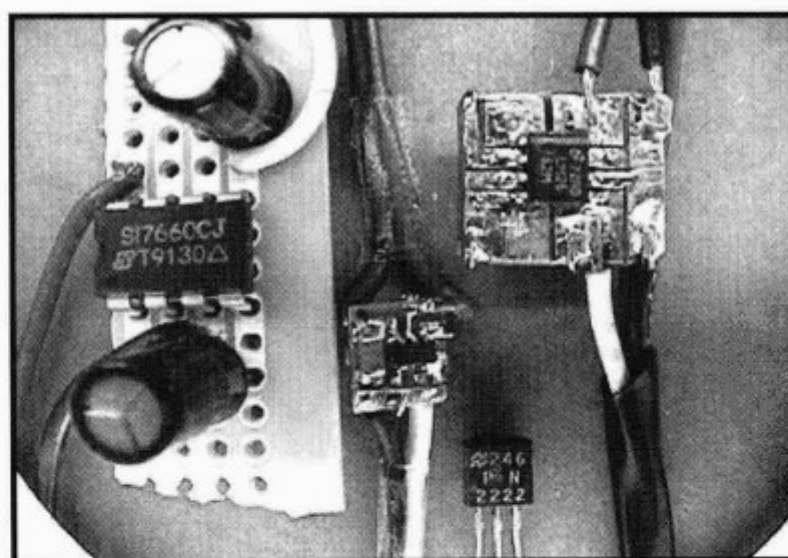


图 1-10 3 种电压极性转换器与一只 PN2222 晶体管放在一起比较体积。

图 1-11A、1-11B 分别是电路图、布局图。电路很简单，只需要两个电容和一片芯片。

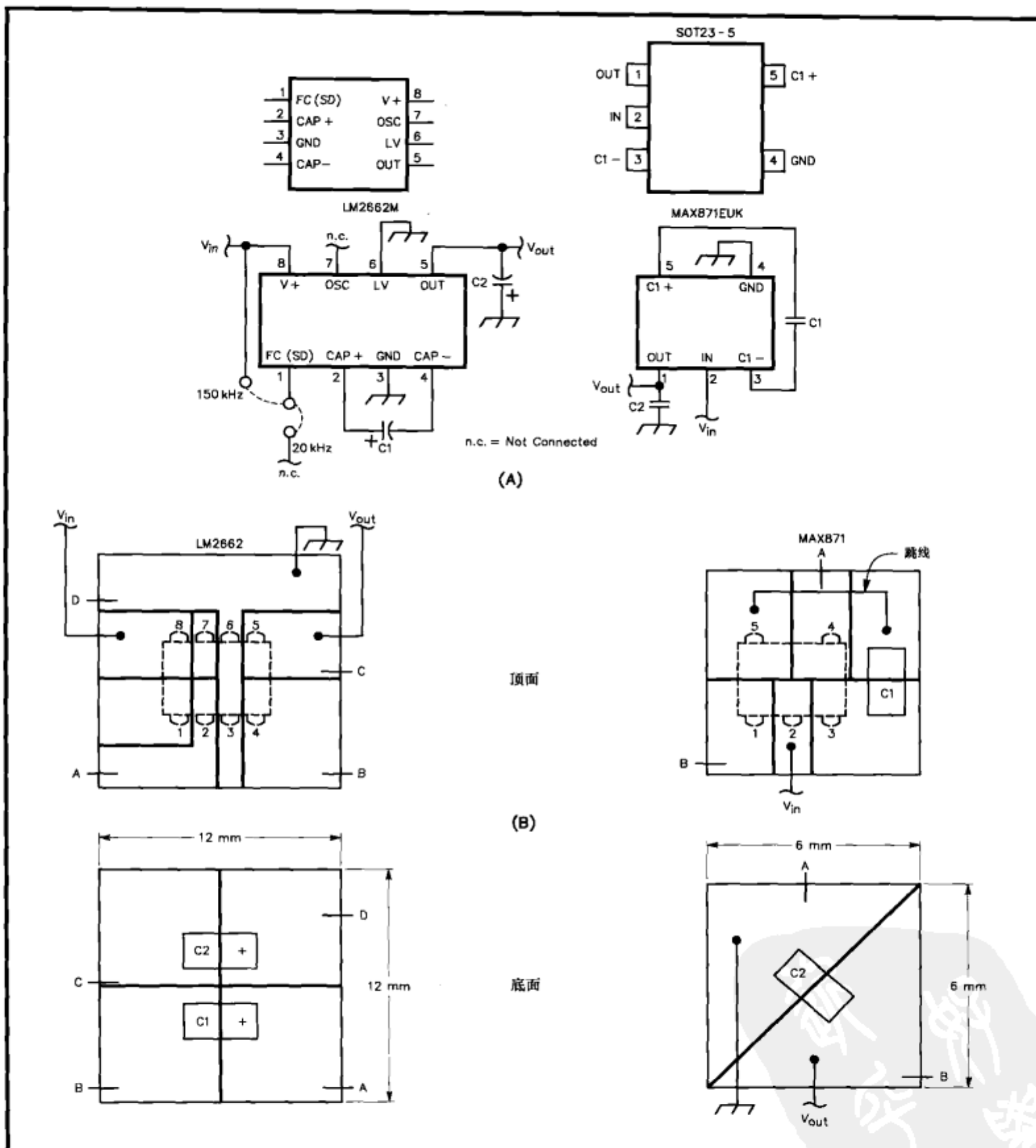


图 1-11 图 A 是 LM2662 和 MAX871 电压极性转换电路。MAX871 电路采用了无极性瓷片电容。电容的参数见表 1-1。图 B 介绍了电路板的布局，画出了焊盘以及需要刻去的敷铜部分，也介绍了如何在电路板的反面安装元件。跳线（标有 A、B、C、D）是 26 号漆包线，连接电路板顶面与底面的连接点。

制作使用 LM2662 的电路

为了节省空间，使用了双面板。芯片装在一面，电容装在另一面，用 26 号漆包线连接两面的元件。漆包线（在图 1-11B 中标为 A、B、C、D）在电路板的边上弯折。注意电容的极性。虽然 LM2662 体积比 ICL7660 小，但是功能却多一些。1 脚（ICL7660 的 1 脚为空脚）是控制 LM2662 内部振荡器的，该脚悬空时，转换电路工作频率为 20kHz；该脚接 V_{CC} 时，转换电路工作频率为 150kHz。如果想让电路工作在 150kHz，就用跳线连接在 1 脚和 8 脚，这样，可以使用容量小一些的电容，代价是芯片的工作电流增加了。

制作使用 MAX871 的电路

第一次接触这个制作时，大家可能会觉得芯片太小了，没有办法用手工焊接。笔者做了 4 个小制作都是用这种芯片，而且为每个电路都做了电路板。SOT-23 封装比 SO-8 小，在敷铜板刻电路线条时，笔者使用的是 0.005 英寸的磨轮。尽管芯片引脚细而密，但是电路板只需要刻两刀：1 脚和 2 脚之间，2 脚和 3 脚之间。4 脚和 5 脚之间的间距就很宽了，和 SO-8 封装引脚间隔差不多。C2 装在电路板的反面使安装更加容易。

由于 SOT-23 体积太小，生产厂商无法在封装上印上型号，例如：MAX890EUK 无法印在封装上，因此，厂商会印上 ABZO，而不是 MAX890EUK。一旦芯片放混了，要通过查阅元件技术的说明来区分。



1.3 表面贴装技术 (三)

1998 年飓风乔治来临时, 笔者的朋友大卫 (N0LSK) 把他的小艇停靠在吉斯的一个小艇港地。船系得很紧, 可是他忘记了, 冰箱在没有交流电的情况下就会自动切换到电池供电。风暴过后, 大卫返回小艇时发现, 小艇一切都好, 可是电池却因耗尽而损坏。如果当时大卫有本节介绍的电子开关, 电池就不会用坏了。

电子制作 3——电池欠压保护开关

这个开关采用了 MAX835 (只有 SOT-23 封装), 是闩锁式电压监测器, 非常适合控制开关。1998 年第 10 期、1999 年第 5 期 QST 杂志介绍的欠压保护电路是采用双列直插的 MAX8211, 但由于不是闩锁式的, 所以芯片控制开关效果不理想。原因是这样的: 每当电压跌落到触发监测器的幅度时, 负载断开, 这时电压可能会上升, 监测器重新恢复。这种循环会损害设备。

图 1-12 是保护开关的电路。当 V_{CC} 低于 12V 时, U1 的 4 脚电压低于 1.2V, 这使 5 脚的输出电压从大约 5V 降为 0V。U2 (MIC5014) 的 2 脚接受逻辑电平信号, 并使用这个信号控制内部的电荷泵。Q1 和 Q2 是 N 沟场效应管, 用作高端 (high-side) 10A 开关。栅极电压必须高于源极电压 10V 才能打开开关 (逻辑电平场效应管需要高于源极 5V)。这就意味着需要 22V 才能打开开关。这个电压由 U2 内部的电荷泵提供。U2 也是 U1 的缓冲器。U1 不能够工作在 12V。R1 ~ R4 为 U1 提供 5V 电源, 同时为 U1 的 4 脚提供电压输入信号。下拉电阻 R5 防止意外复位。芯片的参数说明没有要求这个电阻, 但是由于这个引脚的阻抗很高 (电流为 1nA), 安装一个下拉电阻还是明智的, 尤其是在高频场合。

根据电路的需要, R1 ~ R4 的参数是不同的。参数的选择是这样的: U1 的工作电压范围是 2.5 ~ 11V。 V_{CC} 变化时, R1 ~ R4 组成的分压电路必须使 U1 的 3 脚电压保持在这个范围, V_{CC} 一般最高为 15V, 最低 11V。U1 电流为 2 μ A, 为了保持稳定的供电, 流过分压电阻的电流至少要 200 μ A, 这就要求总电阻不能超过 50k Ω 。笔者采用的总电阻约为 20k Ω 。采用图中所示的参数, V_{CC} 为 15V 时, 3 脚的电压为 5.3V; V_{CC} 为 11V 时, 3 脚的电压为 3.8V。笔者采用了 4 个固定电阻, 在 R3 上并联 1 个贴片电位器 (R3B), 便于调节 12V 的启控点。U1 的工作电压还可以低, 但是需要注意的是, U2 需要至少 2V 才能触发。

板上, 体积比采用 MAX8211 的电路板小。由于 U1 的静态电流只有 $2\mu\text{A}$, 而且工作电压范围宽 ($2.7 \sim 11\text{V}$), 因此可以采用电阻分压的方法供电, 而不必使用 5V 稳压电路。U2 是单片电荷泵电路, 无需外部元件。和 U1 一样, U2 工作电压范围也很宽 ($2.7 \sim 30\text{V}$), 电流只有几微安。U2 被设计成用低电平信号, 通过低电阻 N 沟场效应管以高端工作方式控制高电压、大电流的电路。这种电路结构有两个重要意义: 第一, 业余无线电应用中经常需要高端开关, 因为接地通道有几个, 例如: 天线、电键、计算机等。低端开关会使电流流过这些接点中的一点, 而不是断开设备。第二, N 沟场效应管的导通电阻比同等功率的 P 沟场效应管小 (一般小于 2.5 倍), 这样在给定的电流情况下, 就可以用功率小一些的管子。

场效应管的技术有了很大的进展。笔者采用了 2 只 SO-8 封装的场效应管并联, 控制建伍 TM-241, 这个设备大功率时电流达 11A , 2 只并联的场效应管导通电阻仅为 $15\text{m}\Omega$ 。电源接头、保险管两端的压降都比管子两端的压降大! 场效应管与大功率晶体管不同, 并联使用时, 无需均衡电阻, 这是因为场效应管的导通电阻会随着温度的升高而增加, 起到自身均衡的作用。场效应管可以比保险管或继电器起到更好的断开效果, 因为没有运动部件、可重新复位、没有电弧、没有弹跳、EMI 辐射也小, 速度比继电器或保险管快。在过流情况下, 断开速度尤为重要。场效应管的典型关断时间为 $1\mu\text{s}$ (不包括电路延迟时间), 快速保险管的熔断速度大于 $1000\mu\text{s}$ 。

U1 和 U2 都有系列芯片。U1 有一个推挽输出端, 内部接 0 或 V_{CC} 。其他的版本 (MAX834) 输出为开路, 需要上拉电阻来提供逻辑高电平输出。开路输出的一个优点是: 可以用来控制与芯片供电电压不同的电路。U2 的兄弟芯片是 MIC5015, 与 MIC5014 不同的是, 当输入端为 0 时, 芯片导通; 输入端为高电平时, 芯片关闭。

印制电路板的制作

图 1-13A 和 B 是元件在电路板正面、反面的布局。在制作 1-14B 所示的贴片版本之前, 笔者先装了 1 个试验板, 用了 2 块敷铜板, 除芯片外, 其他元件是直插引脚的, 图 1-14A 是其中一个试验版的一面, 只是芯片周围在刻焊盘时要仔细, 其他焊盘都是按照电子制作 0A 介绍的方法加工的。如果只是用贴片封装的芯片, 对电路体积不要求很小, 这种方法很省力。

4 个跳线 (A、B、C、D) 把电路板的两个面的电路连接起来。因为电路板两面都有元件, 所以焊接时比单面的难度要大一些。一旦一面焊好, 翻过来再焊另一面, 电路板就放不平了, 这时最好有个小台钳, 夹住电路板。可以先焊元件多的一面。SO-8 的场效应管不难焊接, SOT-23 的元件就有难度了。

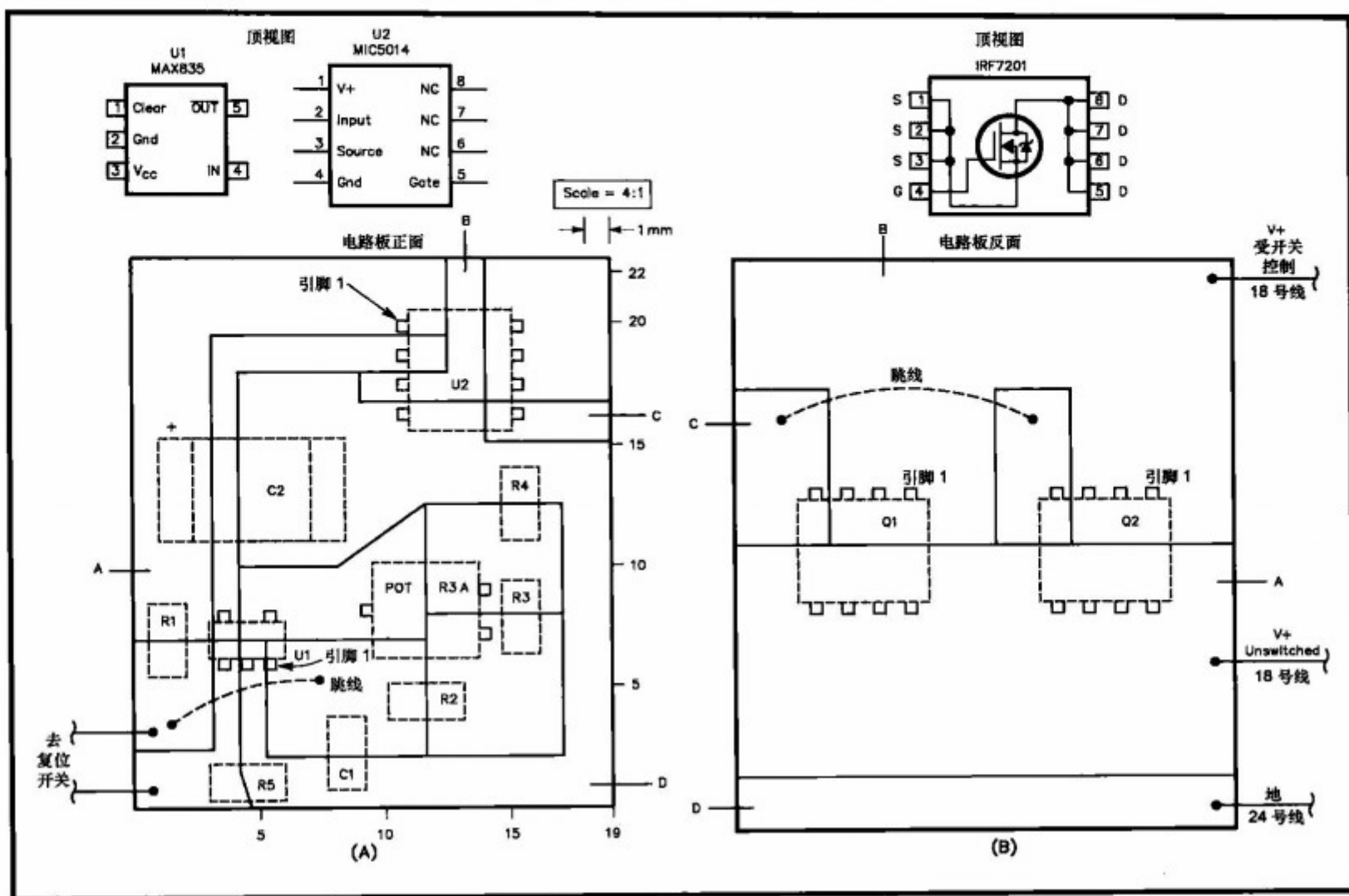


图 1-13 印制电路板顶面元件布局 (A) 和底面布局 (B)

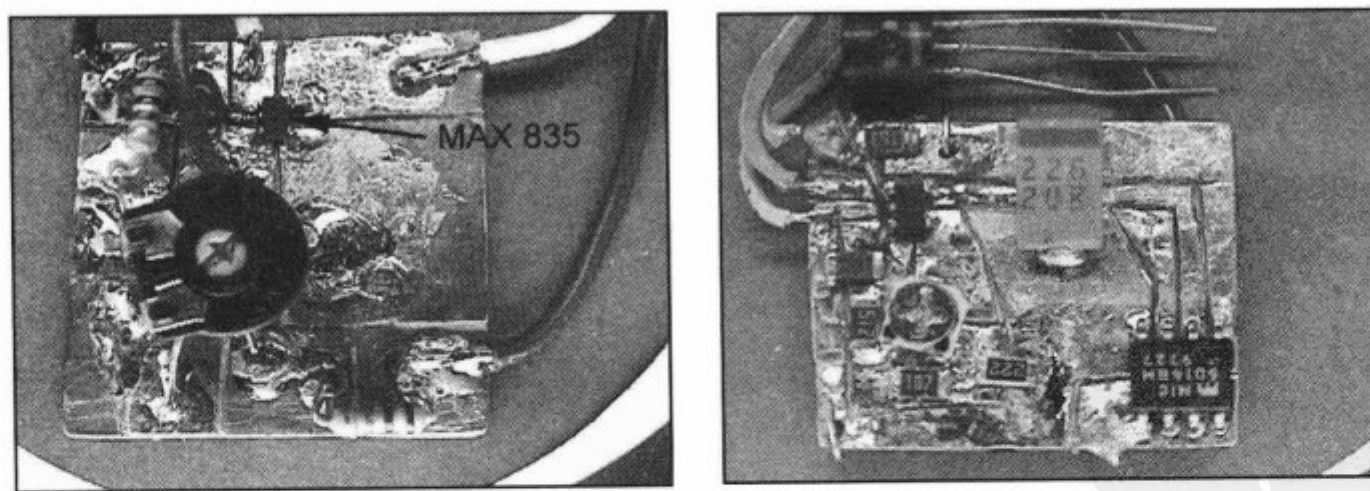


图 1-14 采用 MAX835 电池欠压开关电路局部照片。图 A (左) 是试验版, 采用 MAX835 和直插元件。MAX835 在电位器上方, 1/4W 电阻的左边的位置。图 B (右) 是印制电路板的顶面, 采用贴片元件, 刻电路板使用了电动打磨机。MAX935 在贴片电位器的上方, 钽电解的左边。电路板的大小可与上方的 TO-92 封装的三极管做个比较。MIC5104 在电路板的右下方。场效应管安装在电路板的反面。

1.4 表面贴装技术 (四)

前面介绍的几个小制作相对简单，这篇文章介绍的制作难度要大一些。

电子制作 4——沙漏型 10min 定时器

这个定时器是根据 *The ARRL Handbook* (ARRL 《业余无线电手册》) 中“简单 10min 定时器”电路改进的。这个电子沙漏可用于煮鸡蛋定时、移开喷水器提醒、洗衣甩干定时，或者用于提醒孩子打电话时间不要过久。把定时器反过来开始计时，很像沙漏。这个电路与老的电路相似，但也有不同之处。

老电路的定时器

The ARRL Handbook 介绍的电路 (见图 1-15) 工作电压为 12V，这样就限制了携带及用途。

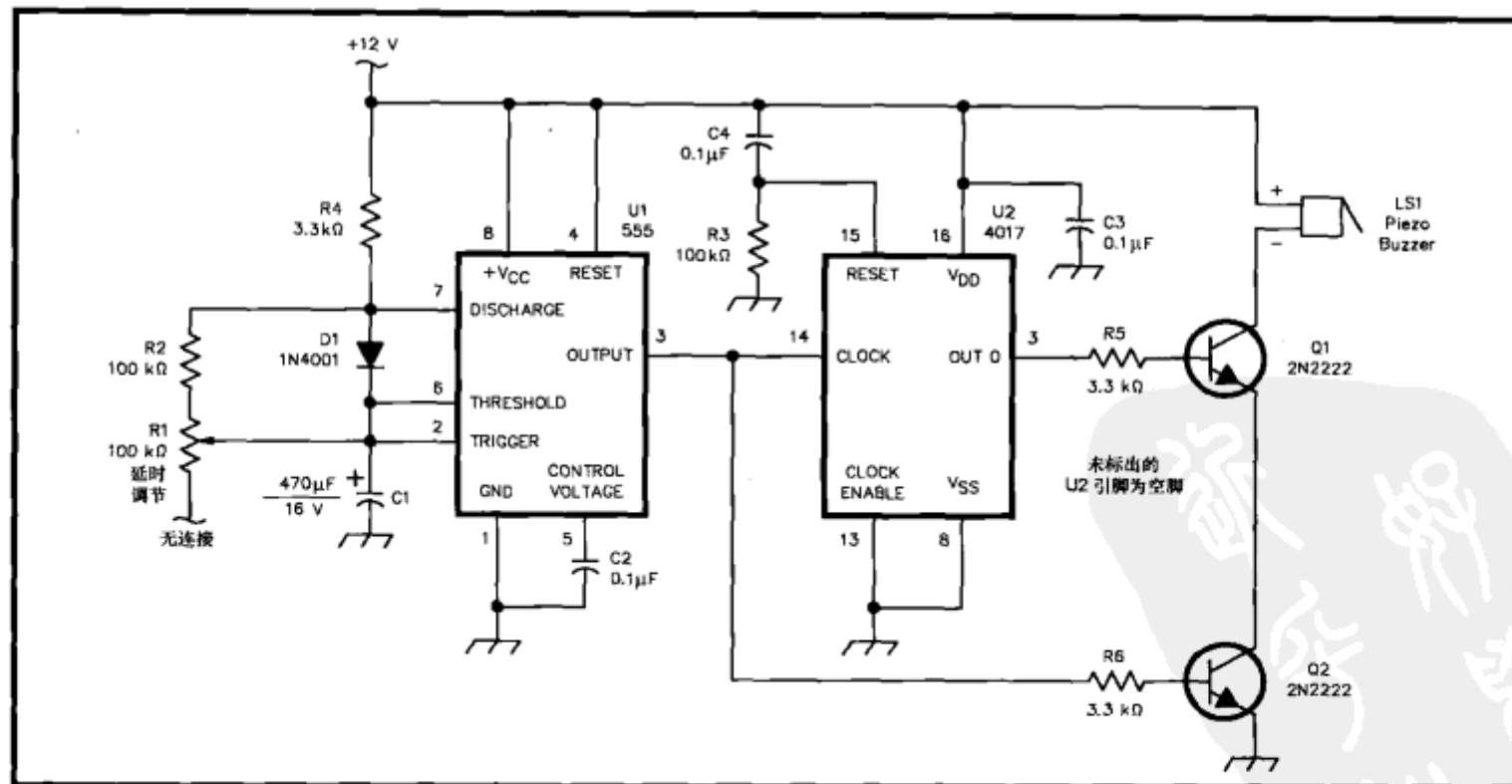


图 1-15 老式的 10min 定时器电路图。除注明之外，电阻均为误差 5% 的 1/4W 碳实心或碳膜电阻。元件可用等同的器件替代。

U1 是 LM555 定时电路，设置成短周期：1s 通，59s 断。U2 是计数器，采用 4017。该芯片的 3 脚 10s 后产生触发，把时间延长到 600s。这时，警报器工作，电路复位，计数重新开始。这个电路的最长延时为 10min。

新电路的定时器

表面贴装技术使这个定时器连同电池一道装进 35mm 胶片盒里（图 1-16），便于携带。芯片的工作电压低、电流小，可以采用 3V 的锂电池供电。

PHOTO BY LODER BROOKS, KD4AKW

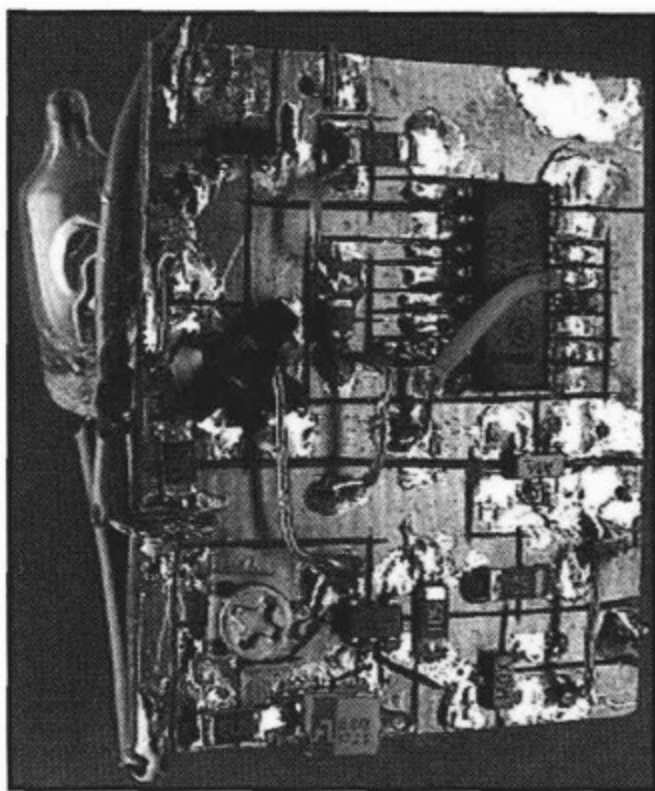


图 1-16 本节介绍的采用贴片元件的定时器电路顶视图。
3V 电池装在电路板的反面。

具体电路见图 1-17。U1 组成了 RC 控制的定时电路，后面接的是计数器 U2，把时间延长到 10min。达到 10min 时，U2 的相关引脚输出高电平，打开开关管 Q1，使报警器工作。

图 1-17 中的 U1 是 MIC1557，为小型 RC 定时器，是 SOT-23 封装的 555。R1 和 C1 决定周期时间（R1 由电位器 R1A 和固定电阻 R1B 组成）。笔者用的是 50% 循环周期的定时电路，因为这样比不对称 50% 循环周期的电路元件少。周期时间为 1s，因为根据 MIC1557 和 LM555 参数说明，定时时间超过 10s，电容的漏电会影响定时精度。如果采用 1s 的周期，U2 就要提供长一点的延时。所以 U2 采用了 1 片 MC14020，这是 14 位二进制计数器，分频系数可达 16 384。笔者使用 1 024 次分频，通过调整 R1 和 C1 的参数，就达到准确的 10min 延时。

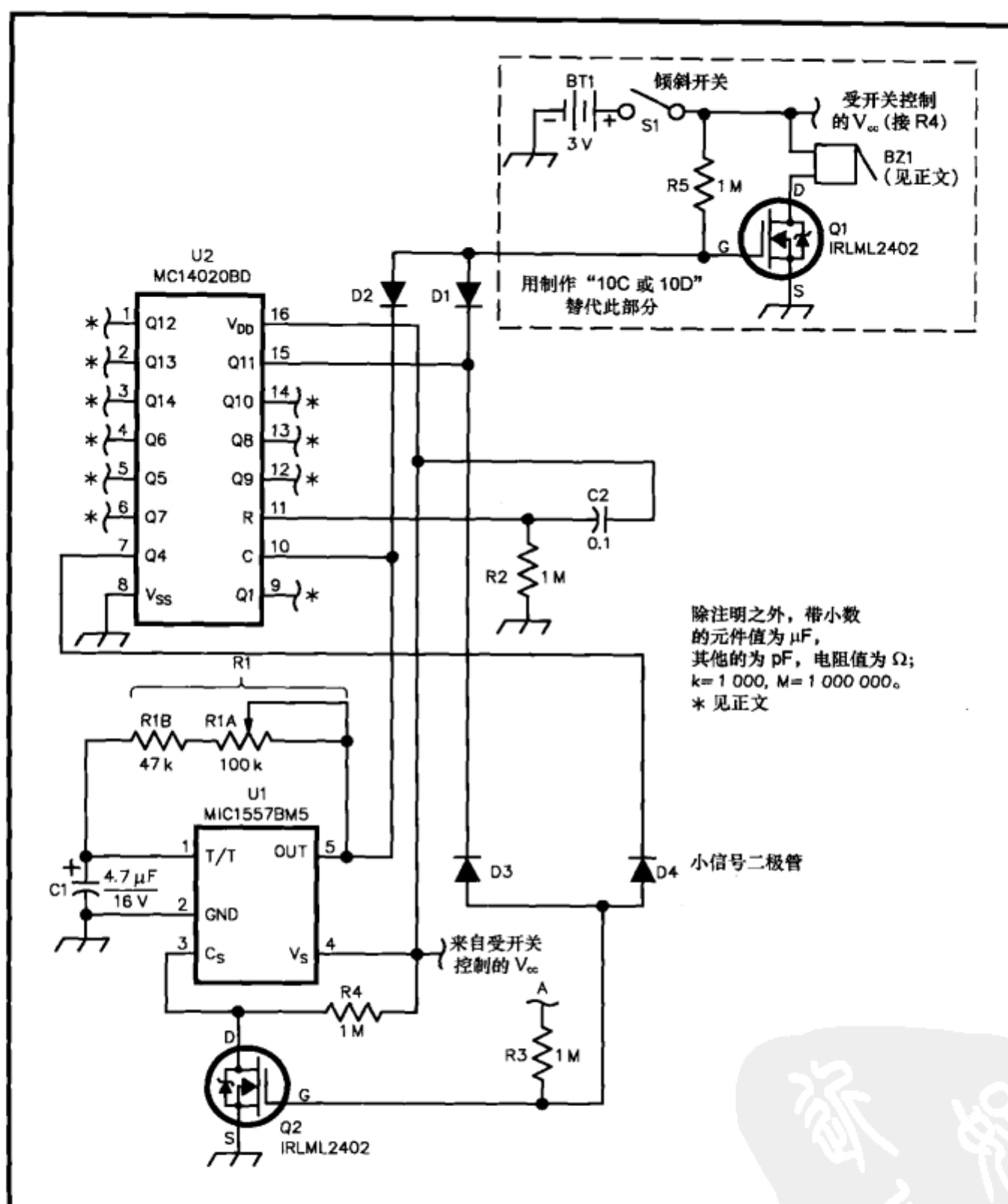


图 1-17 10min 沙漏式定时器电路图。电路采用一个 3V 锂电池供电。虚线内的电路可用图 1-18A 的电路或 1-18B 的电路替换。除注明外，电阻均为误差 5% 的贴片电阻。笔者采用的是 1206 封装的电阻。元件可用等同元件替代。

这个电路比较灵活，经过改动，延时可变长或变短，最短可几秒，最长可达 24h。表面

贴装封装的计数器芯片很难找，照片上可以看出，选用的芯片体积仍“很大”。

U2 的 15 脚是输出脚，通过 D1 触发 Q1。Q1 采用 IRLML2402，不是一般的场效应管，是新型的管子，栅极导通电压仅为 1.5V，3V 时管子就完全导通了（前几年场效应管的导通电压还需要 10V 或 12V。目前用于逻辑电路的场效应管导通电压也要 5V，无法用于工作电压为 3V 的电路）。虽然 IRLML2402 是 Micro3 封装（比 SOT-23 还要小），导通电阻仅为 0.25Ω ，开关电流达 1A。

大家可能会问：“为什么不用双极性三极管而用场效应管？”原因有几个：晶体管需要偏流，而场效应管不用。小功率三极管负载电流为 30mA 时，压降为 300mV，而场效应管只有 4mV 压降，这对于工作电压为 3V 时很重要。此外，场效应管可用作比较器。当电压低于 1V 时（对于这管子而言），管子关闭；电压高于 1.5V 时，管子导通。

笔者想利用与门的条件使蜂鸣器(BZ1)发声。D2 把 Q1 的栅极连接到 U1 的输出脚，这样，只有当 U1 的 15 脚和 5 脚为正时蜂鸣器才能工作。因为 U1 的 5 脚电平每秒有一个周期变化，所以蜂鸣器的声音是脉动的，更能引起注意，而且比连续发声更省电。Q1 不采用晶体管的另一个原因是 D1、D2 会使 Q1 的基极电压最低为 0.6V，无法关断 Q1。

由于使用电池供电，所以不想让定时器连续工作，万一忘记关闭开关，会耗尽电池。这个计时器会自动关闭。蜂鸣器响大约 3s，这时如果不重启，电路进入睡眠状态。原理是这样的：D3、D4 组成与门，控制 Q2。当 U1 的 15 脚为高电平，蜂鸣器发声时，定时电路继续计数，直至 U2 的 7 脚也为高电平。然后 Q2 导通，U1 的 3 脚变为低电平。U1 的 3 脚为片选脚，变为低电平时，U1 停止工作，此时电流降为 $1\mu\text{A}$ 。U1 进入睡眠状态，其输出脚为低电平，由于 D2 的作用，蜂鸣器停止工作。在睡眠状态，整个电路耗电为 $5\mu\text{A}$ 。在这个状态下，一个 2032 型锂电池可工作好几年。

重启定时器（从睡眠状态或蜂鸣器正在工作的状态重启），把定时器反过来，然后再正过来，倾斜开关，关闭电源，然后又接通电源。C2 和 R2 组成上电复位电路，通过 C2 把正脉冲送到 U2 的 11 脚，重启 U2。

定时器的实验

使用正确的电声转换器可以使音质有很大区别。大多数电声转换器需要 3V 以上的电压。笔者采用了 RadioShack273-074 电声转换器，但是音量低。增加音量的方法之一就是提高蜂鸣器的电压。在“制作 2B”采用了这个方法，参见图 1-18A。有些元件目录列出了压电蜂鸣器，外部驱动，1.5V 或 3V 就能够工作。前边提到的蜂鸣器是内部驱动，其内部有方波产生电路，笔者采用的压电蜂鸣器是 MIC1557 驱动的，如图 1-18B 所示，它的声音很响，但是设置最大型号需要的正确频率需要一些技巧。笔者把 TMB-5 型蜂鸣器放到了一个谐振腔里，用 MAX871 驱动，音量很大。

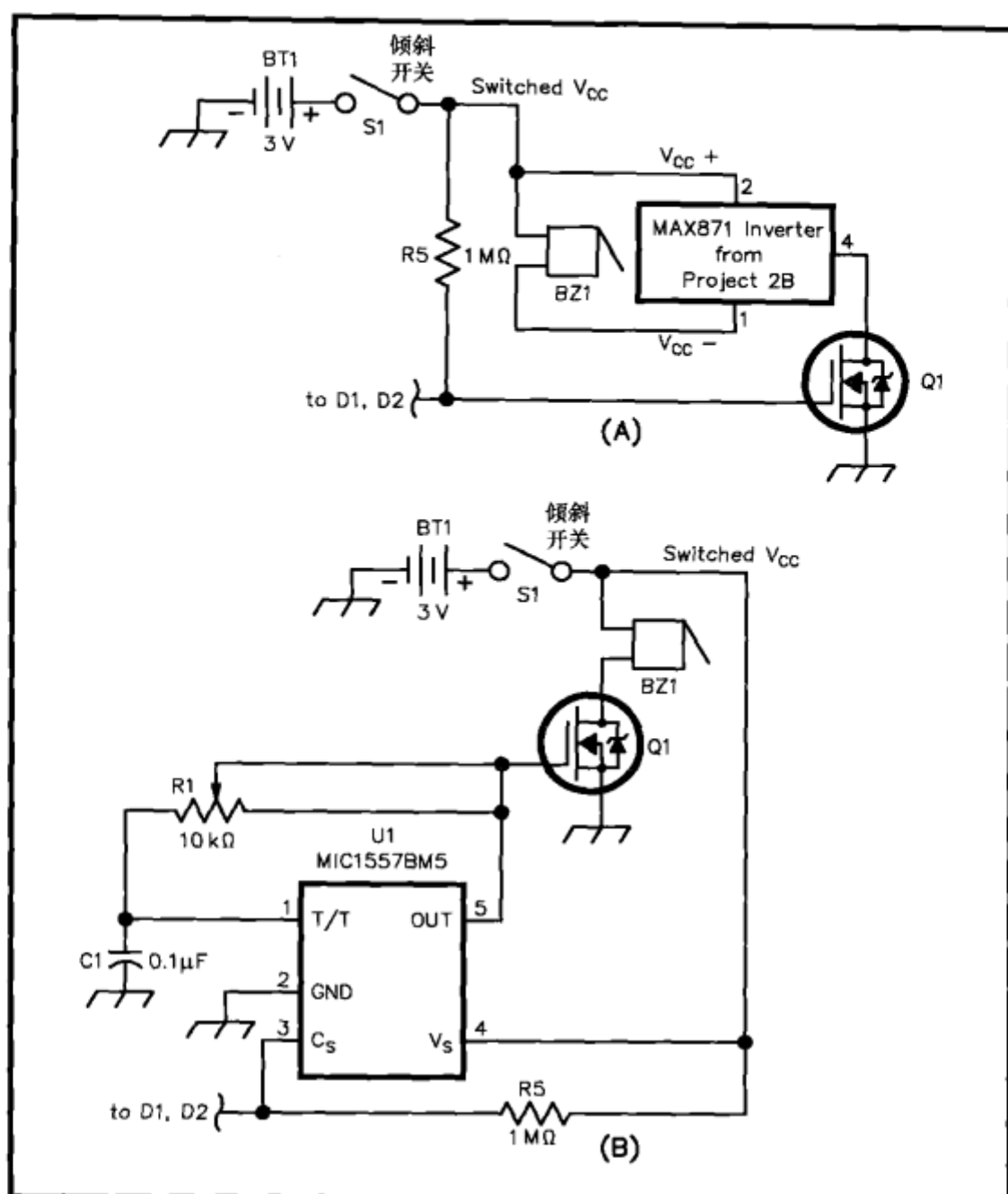


图 1-18 可对图 1-17 沙漏定时器进行改进。如图 A 所示，采用高电压（6V）的压电蜂鸣器可利用“制作 2B”介绍的 MAX871 进行电压转换。R5 为 1MΩ，1206 封装贴片电阻。外部驱动的蜂鸣器可用图 B 的电路，使用 MIC1557。注意：R1 的参数不同。
R1—10kΩ 电位器

谐振腔的制作

要改善蜂鸣器的音调和响度就把蜂鸣器放到 Helmholtz 谐振腔内（有些压电蜂鸣器的谐振腔产生的音调不纯）。这种谐振腔是桶状或者管状的。笔者采用的每个谐振腔都能够使蜂鸣器的声音很响而且清脆，图 1-19 介绍了设计谐振腔的方法，如果觉得数学公式感觉太难，那就换个简单的谐振腔。用一个半英寸的 PVC 水管的管接头，在一端钻一个 3mm 的孔，效果也不错。笔者把孔周围的材料磨薄（这等于缩小了 L），调整距离（A）使声音最大。当管状谐振腔的频率是压电蜂鸣器频率的 2 倍时，效果最好。

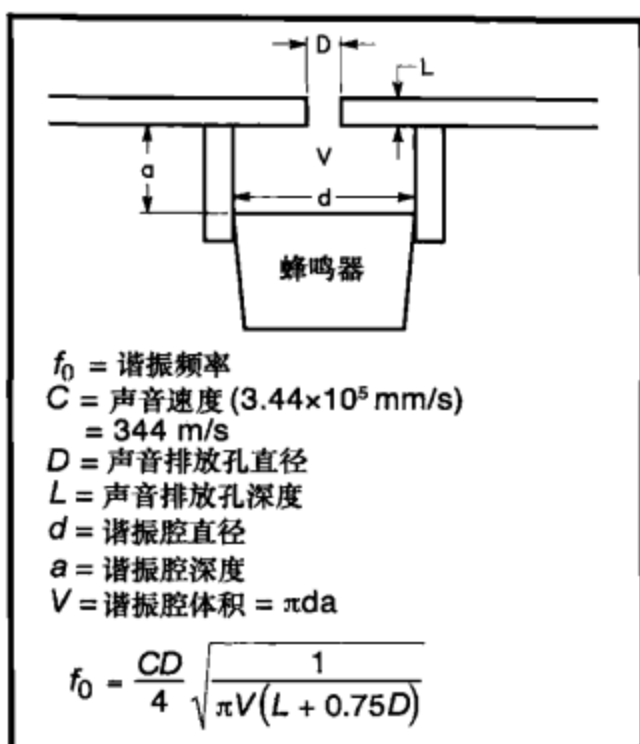


图 1-19 制作增加响度、改善音质的共振腔的基本方法。谐振频率 (f_0) 应该为压电蜂鸣器频率的两倍才能增加声音压力。不要把尺寸 D 做得太小, 否则会增加声音阻力。公式为起始点。反复试验才能获得最佳效果 (见正文)。除注明之外, 单位为 mm。

改变延时的方法

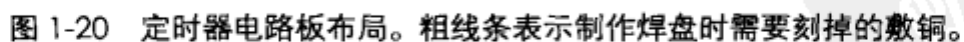
在图 1-17 中, $D1$ 不连接到 $U2$ 的 15 脚, 而是连接到其他的引脚, 可以获得不同的时间延时。表 1-2 列出了 $U1$ 的周期为 1s 时, 不同的延时。通过调整 $R1$ 和 $C1$ 的参数, 可获得任意的延时。为了能让电路正确的工作, 用于触发 $Q1$ 的 $U2$ 引脚的输出脉冲数量必须比用于关闭电路引脚的脉冲数量多, 这就是为什么表 1-2 当中的相关数据是从 16 开始的。

表 1-2 $U1$ 周期为 1s 的延时参数

引 脚	计 数	时 间
5	16	16s
4	32	32s
6	64	1min4s
13	128	2min8s
12	265	4min16s
14	512	8min32s
15	1 024	17min4s
1	2 048	34min8s
2	4 096	1h8min16s
3	8 192	2h16min32s

时间单位: h, min, s

笔者用的是 0.005 英寸的磨轮来刻 U1, Q1 和 Q2 部分的电路 (见图 1-20)。刻其他电路部分时换用 0.009 英寸的磨轮。0.005 英寸的磨轮刻出的部分很窄, 焊接时可能会在刻去的线条之间产生搭焊, 采用 0.009 英寸的磨轮刻出的线条宽一些, 不易产生搭焊。电路部分装在板子的上面, 电池和支架装在板子的地面, 见图 1-20。倾斜开关连接图 1-20 的 B1 和图 1-21 的 B2。



这些项目做完之后，再进行表面贴装时就不难了。也许大家会翻开 *QST* 杂志找一些采用表面贴装元件的无线电制作，例如：小型的 VHF 收发信机、袖珍 HF 收信机。除了前面

提到的美信公司的器件，飞利浦半导体公司也生产单片表面贴装的 AM 接收芯片。微芯科技公司（MicroChip）生产表面贴装的微处理器，德克萨斯仪器公司（TI）生产高效率的表面贴装 D 类立体声放大器芯片，这些芯片都能买得到，希望爱好者们开始着手利用这些芯片。

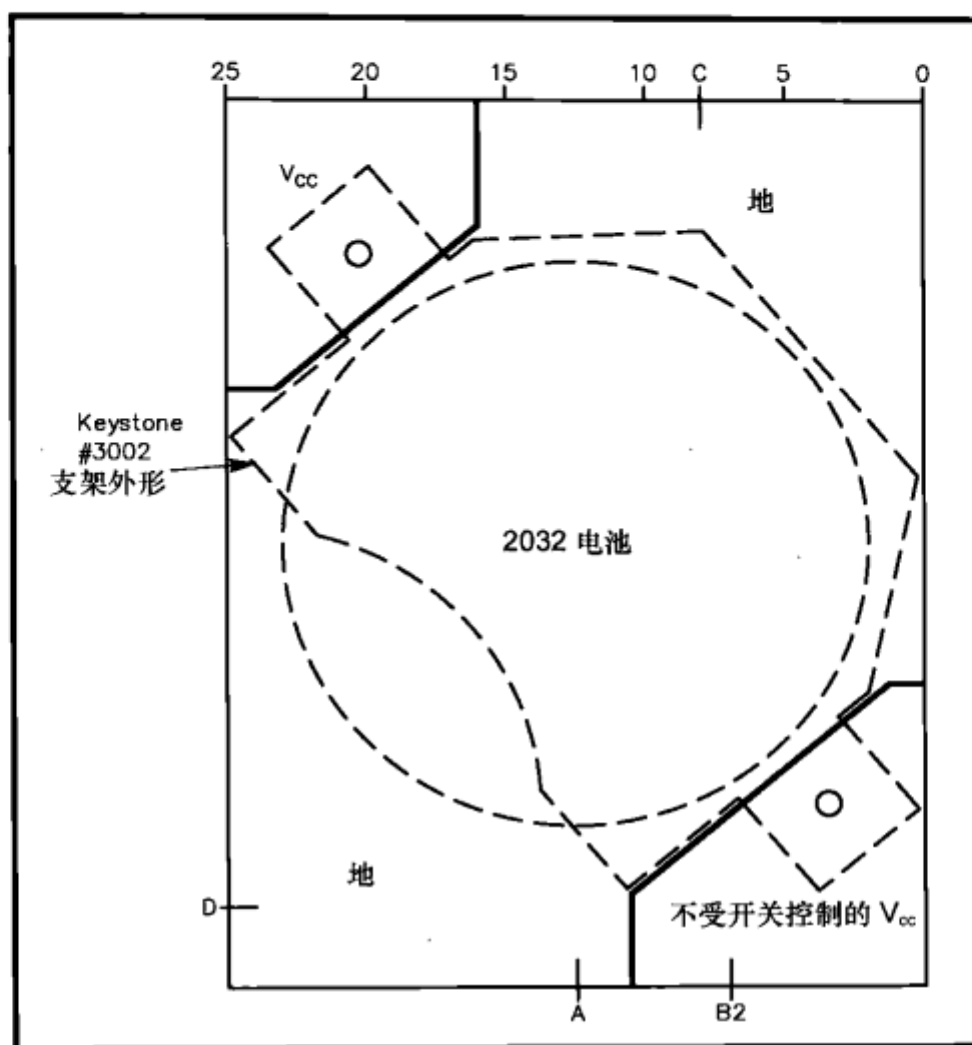


图 1-21 3V 电池占据电路板反面的位置。粗线条表示需要刻掉的敷铜。

1.5 表面贴装的风格

自制电台和辅助设备是业余无线电爱好者感到有成就的一部分，但目前的表面贴装技术使广大的爱好者望而却步。但是如果说有耐心有经验，就可以满怀信心地使用表面贴装元件，表面贴装元件要装在印制电路板上。

因为这些元件比较小，动手制作之前需要好好实践一下，无论使用“丑陋”贴装法、把小块敷铜板粘在大块敷铜板上（也叫作曼哈顿贴装法）、或者是采用腐蚀电路板的方法，都需要花大量的时间研究电路，让布局合理。

使用电动打磨工具制作表面贴装元件电路板

制作采用表面贴装元件的电路，其中一个方法就是使用电动打磨工具，在敷铜板上刻出电路，这种方法事实上就是从上述方法演变而来的，制作电路板的过程相当费时，板子的布局及准备工作比实际安装元件的时间还要多，下边将要介绍一些采用这个技术制作电路板的建议，目的是让大家少走弯路。

电动打磨器的刀片形状有多种，笔者第一次在刻电路时曾使用了 3/32 和 1/8 英寸硬质合金刀片，这些刀片都成功的刻出了一些焊盘，但是硬质合金刀片有几个缺点。当切割的边需要精密些，间距比较小的时候，这种刀尖部就无法胜任了，如果用刀片的侧面切，效果就比较好些，在切割时还要略微用力。当刀片的“齿”最终切到铜材料时，其结果更像凿，而不是雕刻一条线。

电动打磨工具也有含金刚砂的刀片，非常好用。切割时不要施加很大的力量，1.8mm 的圆形金刚砂刀片切割长的宽线条时非常好用；1mm 的金刚砂刀片切出的线条甚至能安装 0603 封装的元件（106mm×0.8mm）。例如：刻开的电路一边作为焊盘，另一边可作为地，贴片电容或贴片电阻可直接横跨在切开的线条上。即便如此，金刚砂刀片也是用侧面好切。

无论使用哪种刀片，都是需要用电动打磨工具来做工作的。力度适中，不要求快，多点耐心就能够刻出合格的线条。笔者发现过于用力，刀片的顶部就会粘在敷铜面上，刻出的线条深度、宽度都会不均匀，如果用力过大，甚至可能刻穿电路板。

敷铜板的敷铜材料厚度不同，薄一些、软一些的敷铜容易刻掉，如果敷铜材料硬一些，使用金刚砂刀片会容易一些。

使用电动打磨工具的几点建议

下面介绍电路板制作过程。画电路图时用尺子和笔尖很尖的钢笔在敷铜板上画出焊盘，

多余的线条使用能够擦墨水的橡皮擦去，手边准备几个元件，作为画焊盘时的模板，尤其是像 SOT-23 三极管或二极管、SOT-89 的三极管和集成电路（把这些元件放在一个小袋子里边并写上“布局用”，表明是用来画电路板的元件）。另外一种制作方法是使用双面板，把底面当作额外的接地。需要连接时，可在焊盘上钻一个孔，插入一根电线，把两端焊上。如果布局只是利用顶面作为地，就不必这样做了。对于一些小制作可直接在敷铜板上布局，如果电路比较复杂庞大，就要采用其他方法。

比较大的制作需要采用不同的技术。先找一张方格纸，纸上的格子正好适合焊盘的尺寸（0.25 英寸的格子就可以），用铅笔画出焊盘，画错可用橡皮擦去。当对焊盘布局感到满意时，用角尺和铅笔把方格纸的格子画在敷铜板上，再用比较尖的笔把焊盘画到敷铜板上。笔者就是用这种方法制作收音机和发信机的。采用小电路板，每块板上只装一级或两级电路，然后把每块板子连接起来，效果要比采用整块板制作好。三晶体 80m CW 收发信机（接收为超外差式）就采用了这种方法。

使用电动打磨工具时，刻电路板一次只刻一部分，仔细检查焊盘的拐角，因为这些地方很容易出现对地短路的毛刺。每个部分刻完之后使用质地较硬的墨水橡皮，擦一下电路板的表面，擦完后一定要把细铜末清理干净，因为助焊剂容易吸引铜末，使其残留在电路板上。如果敷铜板还有足够的空间，当需要改动电路时，可随时添加焊盘。按照上述方法去做，就不会出现短路现象。但是在焊好元件的板子上添加焊盘时，需要格外小心。经常使用万用表检查焊盘对地和对旁边焊盘是否有短路。用放大镜检查焊盘和安装好的元件。

把敷铜板放到比工作台略高的表面上。前边提到过，电动打磨器刀片的侧面好用，敷铜板下面要垫上一块 3/4 英寸的松木板，拿打磨工具的手就靠在工作台面上。

0.02 的细焊锡丝就很好用，因为 0.02 焊丝是含助焊剂的，所以给焊盘表面镀锡就很方便。镀完锡后，用粘锡编制带，粘去多余的焊锡。焊接时可以用尖的镊子把元件固定在电路板上，有时候助焊剂会粘在镊子上，这时要用布及时擦去。如果使用的是金属镊子，要定时消磁，如果镊子带磁性，会吸起小元件，妨碍操作。实际上可以使用陶瓷镊子或塑料镊子。

把连接线和跳线装在板子的反面，会使整个电路板看上去整洁，此外，这也使布局简单些。在需要连接的焊盘上钻孔，不要忘记在电路板底面的孔的周围用打磨工具磨掉一圈敷铜材料（给孔倒个角），以免穿过的导线对地短路。笔者制作 40m 超外差收音机时，晶体滤波器的晶体就装在单面板的反面，表面贴装元件是装在板子的顶面的，在实际操作中，由于空间不够，一只晶体不得不装在顶面了。

常用元件用自封小袋子分类装，这样可以提高安装效率。最初，笔者把贴片电阻整条放在一个大盒子里，找一个电阻花了差不多 15min。最后，先把常用的电阻按阻值分类，装进小袋子。元件也可以装在用于保管硬币、钥匙这类物品的小信封里。这种信封能够买到各种规格的。

安装贴片元件，使用电动打磨工具刻印制电路板，非常费神。当感到疲劳、眼睛不适时，就应该出去走走，呼吸一下新鲜空气，或上床休息。

不要害怕使用有引脚的元件。如果这个元件非常适合电路的布局，或者找不到合适参数

的贴片元件时，仍可使用有引脚元件，这不会影响电路的制作，除非你是纯粹主义者。笔者开始的电子制作大约使用了 50% 的贴片元件，后来的制作，除 9V 稳压集成电路没有找到贴片、几个磁环还有 7/125pF 的微调电容之外，全部使用了贴片元件。

电路的体积究竟能做多小？

细输出引脚集成电路（SOIC），引脚间距为 0.05 英寸，对用电动打磨工具刻电路板是一个挑战。但是，只要细心，还是能够成功的。但是，把双列直插集成电路的引脚搬直，模仿贴片集成电路的引脚形式容易得多，因为双列直插集成电路的引脚间距是 0.1 英寸。双列直插的集成电路的体积也不是很大，引脚的间距刚好是贴片电阻、电容的宽度。另外一种方法是把细输出引脚集成电路单独装在一块电路板上，然后再把这块电路板装在主电路板上。把最小的贴片元件用于自制设备肯定是不实际的，因为受到安装以及使用电动打磨工具刻电路板的限制。微型细输出引脚封装（MSOP）元件的引脚间距为 0.025 英寸，电路板最好通过腐蚀的方法制作。但是不要害怕“小”这个字。笔者第一次尝试用贴片元件自制 VFO 时，发现电路板上“浪费了”很多空间：实际上一半的尺寸足够用，而且还会留有空间。

尽管如此，刚开始接触贴片元件时不要过于追求小体积。随着自己的经验、技术的提高，电路的体积会自然缩小。布局时最好从板子的中心开始，用电动打磨工具先刻焊盘，然后再刻其他部分。安装 0603 封装的电容时千万不要打喷嚏。

X-Y 工作台

笔者的一个同事（W7ZOI）为制作贴片元件的电路板制作了专门的工作台。电动打磨器根据台钻的原理，垂直固定在工作台上，当向下压时，可以给电路板钻孔。他还用木块给打磨器做了水平位置固定装置，给打磨器装上切割刀片，就可以刻电路板。

简易的 X-Y 工作台在刻印制电路板的过程中起到辅助作用，工作台是用木板和铝板制作的。把待刻的一小块敷铜板固定在工作台上，向下压打磨器，直至刀片接触到敷铜板，这时，保持打磨器的高度不变，移动工作台，线条就刻出来了，非常适合刻长的线条。

表面贴装元件的优点

根据前面介绍的贴片元件的使用、印制电路板的制作，可以看出贴片技术的优越性。电子器件生产商目前把焦点放在无引脚元件上。这种元件在目前市场上可以买到，而且价格比有引脚元件低。由于元件体积小，重量轻，电路的体积可以做得更小。笔者自制的 40m 超外差收发信机重量只有 6 盎司，体积也只是一本硬皮记事本那么大（包含了贴片元件的自动键）。图 1-22、图 1-23 所示的 MicroR1 收信机及其配套的发射机重量也只有 5 盎司。另一台 80m

收发信机体积虽然大一点，但是重量还不到 1 磅。

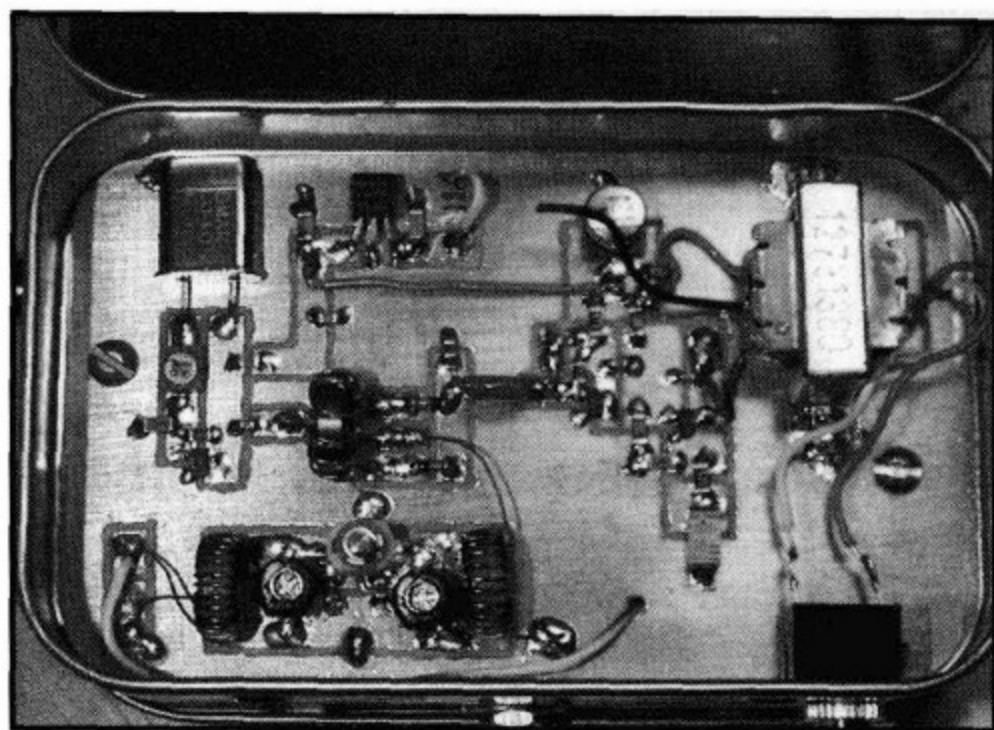


图 1-22 直接变频收信机

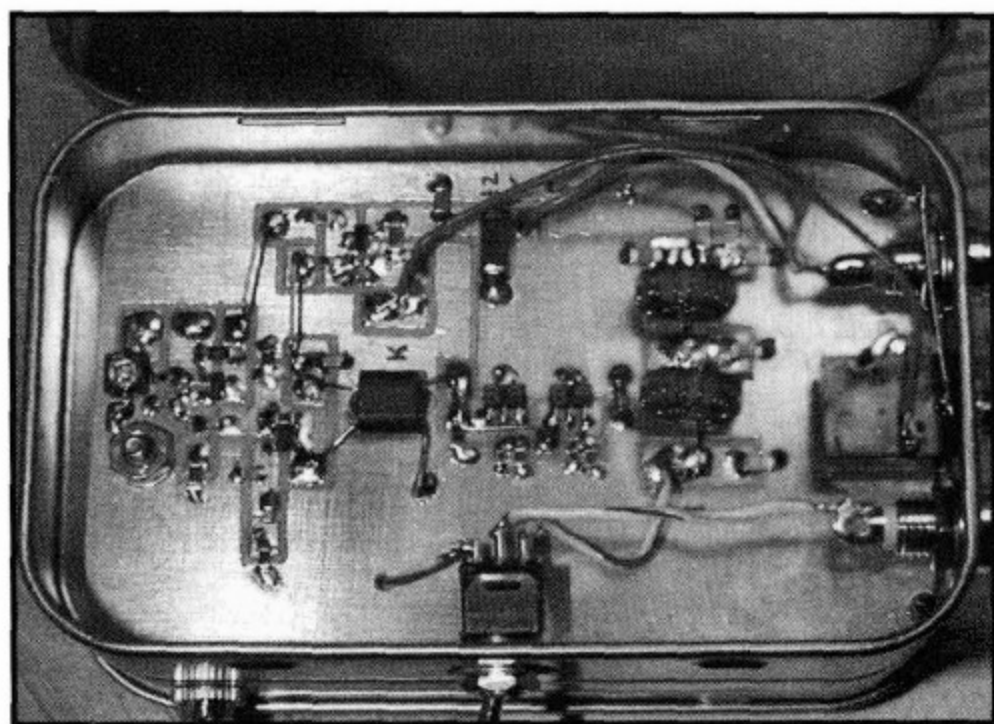
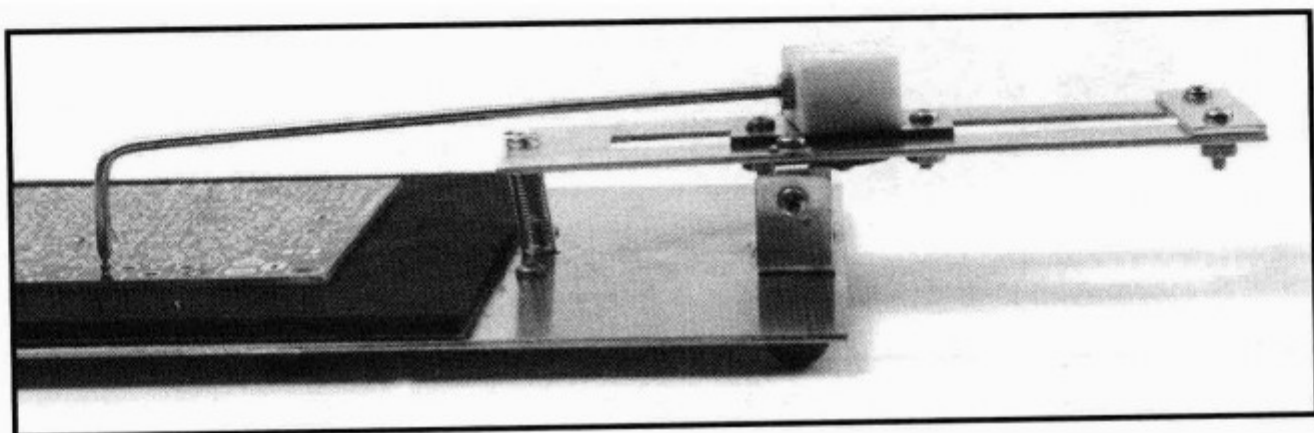


图 1-23 采用贴片元件的小功率发射机

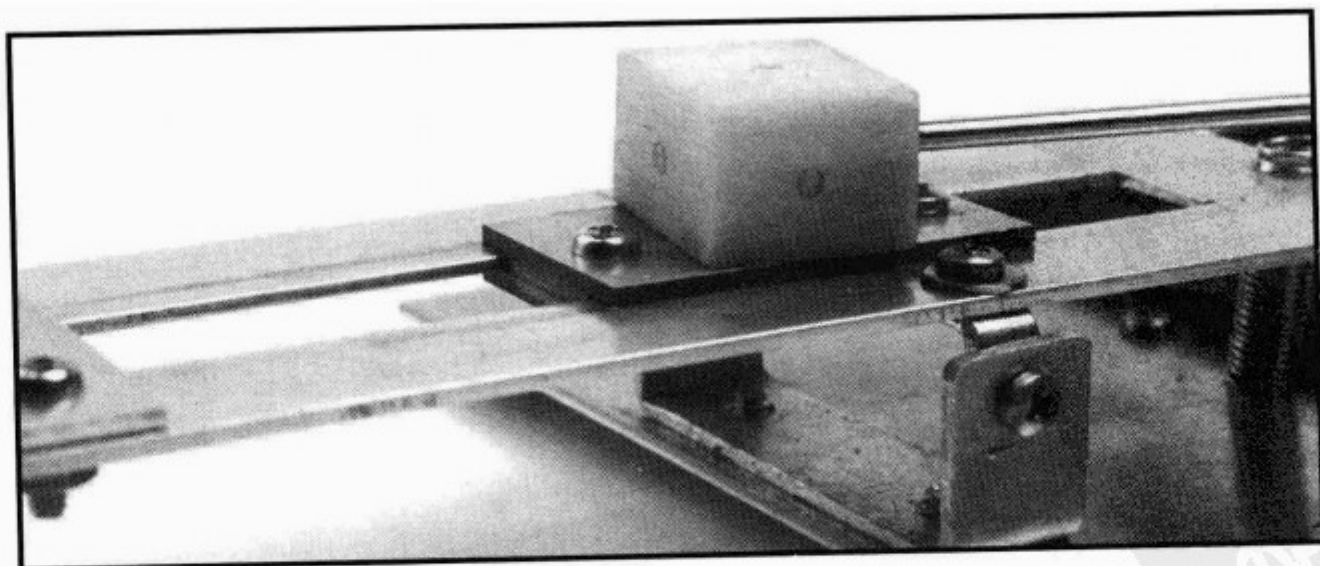
所有这些制作都是利用家里有的工具和无害腐蚀剂制作的。所有的电路都采用了大面积敷铜接地的方法，提高了电路的性能。对自己现有的设备进行改进，或者增加自动键电路，或者增加滤波电路，都非常容易，因为电路板的体积很小，可以很容易地装入机壳。电动打磨器制作电路板适合大多数普通封装的贴片元件。笔者很少考虑电阻或电容是采用 0603、0805 还是 1206 封装的，任何大一点封装的都能用，这样也便于采购。

1.6 简易贴片元件工作台

安装贴片元件没有想象的那么难，尤其是使用了合适的工具。本文介绍的工作台可以帮助安装难度大的元件——在焊接时夹住只有跳蚤那么大的元件。这个工具很像弹簧控制的小手指，在 3 个轴的控制下，在电路上方运动。想装元件吗？先用镊子把元件固定，然后把这个工具的指尖压在元件上，这样就可以焊元件了。



活动臂指尖总成侧视图



活动臂指尖的转动块局部

特点

和第一版安装贴片元件的工作台相比，第二代工作台做了一些改进^[1]。从图 1-24 就可以看出这个工作台是如何工作的。带指尖的活动臂可以两边摆动或前后滑动，可覆盖 12.5 平方英寸的工作区域。活动臂还可以垂直倾斜，利用弹簧的力量把元件固定住。活动臂的机械结构可以保证在弹簧的压力下仍可滑动自如，这对工具的指尖的精确运动尤为重要。这个工作台体积小，可以放在抽屉或工具箱里，对维修使用贴片元件的设备、自制使用贴片元件的电路非常有用。

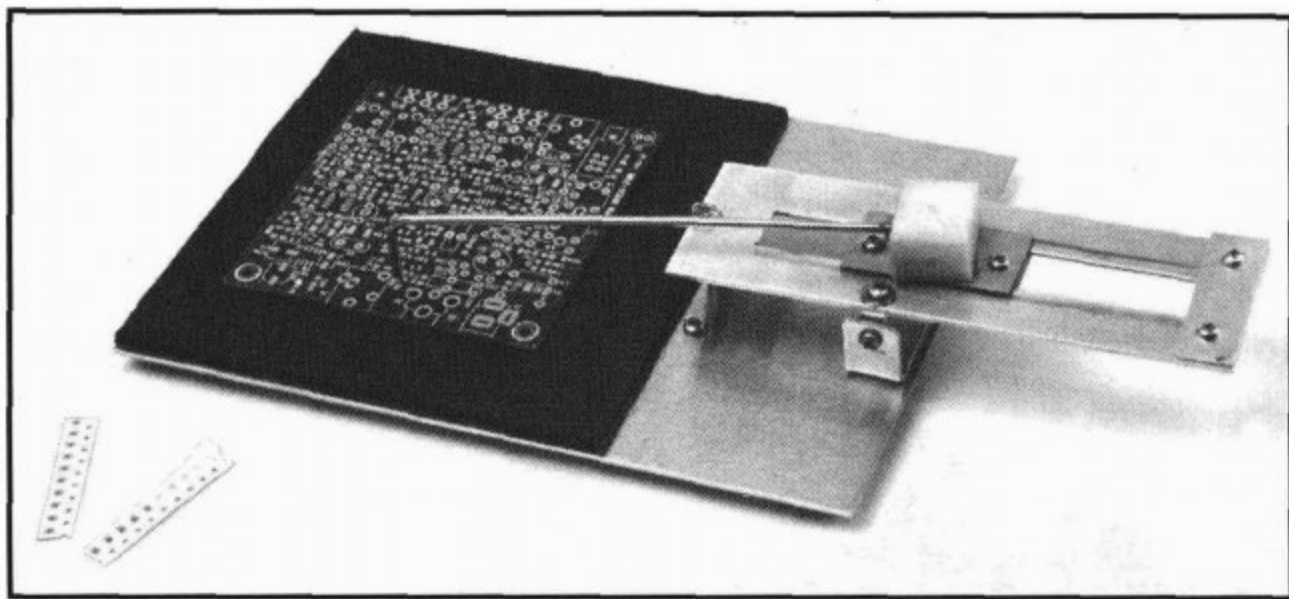


图 1-24 简易贴片元件工作台。带指尖的活动臂可以左右移动、前后移动，活动范围为 12.5 平方英寸。活动臂可以倾斜，依靠弹簧的拉力压住贴片元件。

制作

这个工作台的材料全部都是从废料箱找的，尺寸并不重要，可根据个人情况按比例缩放。大部分零件是用 1/16 英寸的铝板边角料，或 G-10 敷铜板边角料。基座是一块 5 英寸×7 英寸的边角料，防滑工作台表面是用一块旧鼠标垫修剪而成。活动臂的指尖是用一节不锈钢天线制作的。4-40 的带有螺纹孔的直角支架也是从废料箱里找到的。

组装非常简单，看图比看文字更容易解释，见图 1-25。滑动机构是这个工作台的关键部分，由 3 块敷铜板叠在一起组成，可沿着槽子滑动，就像滑动尺一样。

装配前，先让滑动装置中间的那片用敷铜板做成的衬片在滑轨的内槽上试着滑动一下，看是否能够平滑地来回滑动。如果在滑动过程中有阻碍的地方，应该适当修正滑轨的内槽。然后再把上、下两片敷铜板与中间的这个衬片用螺钉固定紧，下面那片敷铜板的玻璃纤维面朝上，上面的敷铜板玻璃纤维面朝下。

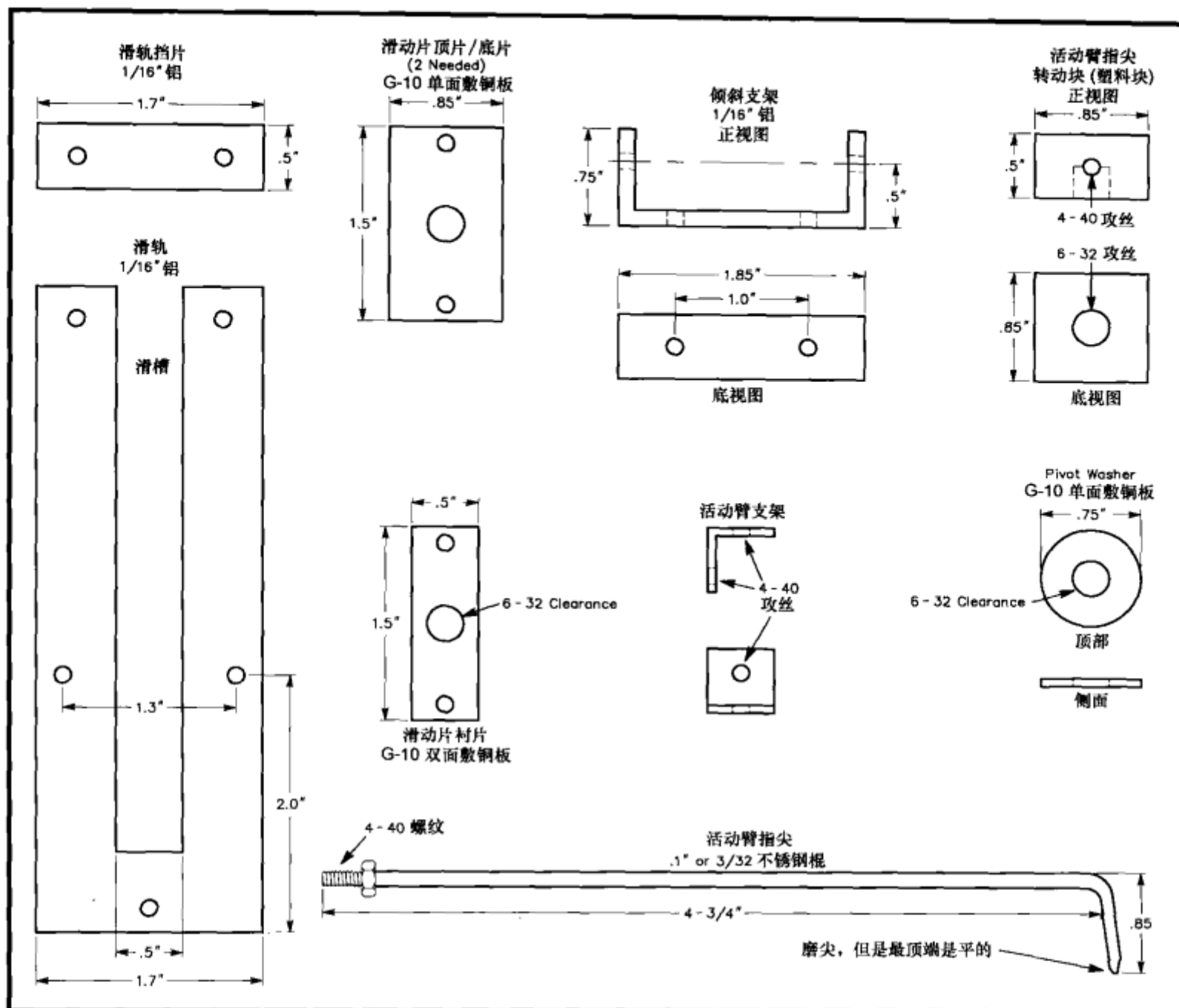


图 1-25 带指尖的活动臂的零部件。除注明之外，所有的孔为 4-40；6-30 的孔为清楚起见被放大了，不是按照比例画的。

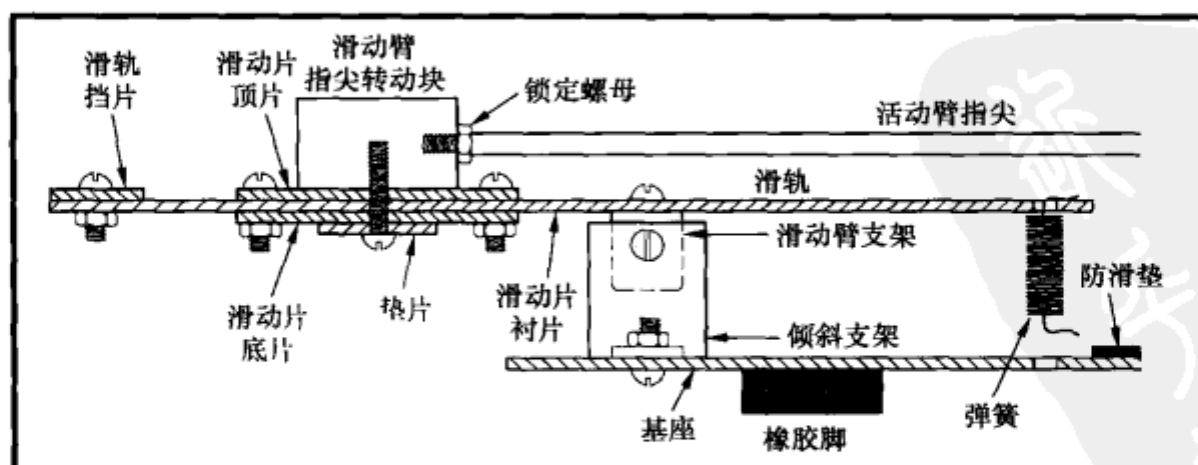


图 1-26 活动臂安装图

滑动机构安装完毕后，试着来回滑动一下，如果很涩，可以在中间衬片上衬纸片，增加其厚度，以加大滑片与轨道之间的间隙。

在滑动机构上安装转动块时，6-32 的螺钉不要拧得太紧，因为这个螺钉的作用是让活动臂指尖左右转动。同样道理，把活动臂用螺钉固定到直角支架上时，螺钉也不要拧得太紧，以免影响活动臂上下运动。调整完毕后，如有必要，可用锁紧螺帽或胶水，防止螺钉松动。

选择弹簧时，应选用细钢丝制成的多圈弹簧，这样便于操作。调整活动臂指尖压力时需要反复试验。弹力太大会使滑轨弯曲，还有可能让活动臂指尖弹飞元件；弹力太小压不住元件，焊接时元件会跑。调整合适后，把多余的弹簧剪去。

防滑垫用胶水粘在工作台上，防滑面朝上。基座底部装上橡胶脚，可使基座更稳定。

使用

这个工作台使用很简单。先用镊子把贴片元件放在印制电路板的焊盘上。然后小心地把活动臂指尖压在元件的中央部位。用烙铁对焊盘加热。焊盘被加热后，慢慢施加焊丝，让焊锡自然流淌到焊盘上和元件的焊接面。当元件的一端（对于芯片要固定两个引脚）已经固定，就可以移开指尖，用烙铁焊接另一端了。

结论

大多数有经验的人会告诉你，用手工焊接贴片元件并不比焊接直插元件难。如果想成功地焊接贴片元件，那么，把无引脚的元件固定在焊盘上的同时，还能腾出两只手焊接元件。这个小小工作台就能够帮助大家办到这一点。

注释

^[1] R.Littlefield. "ALow-costMini-workstation for SMD Construction." *Communications Quarterly*, Spring 1996, pp56-58

1.7 使用微软的 PPT 软件绘制面板

是否曾为如何为自制的设备绘制漂亮的面板而苦恼？

不用苦恼了。有了双面地毯胶带、透明不干胶标签贴纸、计算机、微软的 PPT 软件，就可以做出专业水平的面板。以下就是需要准备的东西：

胶带：有些双面胶带非常适合加固画好的面板贴纸。地毯双面胶带在五金店都能买到，其他双面胶带也能用。

透明不干胶标签贴纸：磨砂面的透明不干胶标签贴纸在工艺品店能够买到。另一种较厚的透明材料在绘图用品店能买到，这是一种亮光面的透明胶片，背面有胶。这两种纸都能用。在纸的表面喷上一层透明塑料的做法不建议采用，因为墨水会渗开，而且纸也会变皱。

纸张：白色的或彩色的纸都可以增强绘制面板效果（如果不想使用双面胶纸，艾利生产的各种喷墨打印和激光打印的标签纸都可以用来绘制面板——编者注）。

程序设置

打开 PPT，选择新建演示文稿。当窗口打开，让你“选择自动版式”时，选择一个空白版，单击“确定”，这时出现空白的幻灯片。可以根据自己的需要更改尺寸，更改尺寸时，单击“文档”，然后单击“页面设置”进行更改。应该使用 PPT 带的尺子，以便画出正确的尺寸、布局、文字。如果尺子显示不出来，单击“视图”，下拉窗口出现时，单击“标尺”。

最后的步骤是显示绘图工具栏。把鼠标移动到窗口右上方浅灰色的区域（标准工具栏的右边），单击鼠标右键，就会出现下拉窗口，单击“绘图”，绘图工具栏就出现在窗口里了。

规划

现在可以规划面板了。我们以 CW 自动键的面板为例，这个自动键是装在一个铝外壳里的。

外壳高度 1.25 英寸，深度 3 英寸，宽度 5.5 英寸。笔者想把外壳的高度作为前、后面板，

顶部（深度）印上自动键的说明。整个标签的尺寸是前、后面板尺寸以及顶部尺寸相加。需要设置一个 5.5 英寸 × 5.5 英寸的方框，见图 1-27。

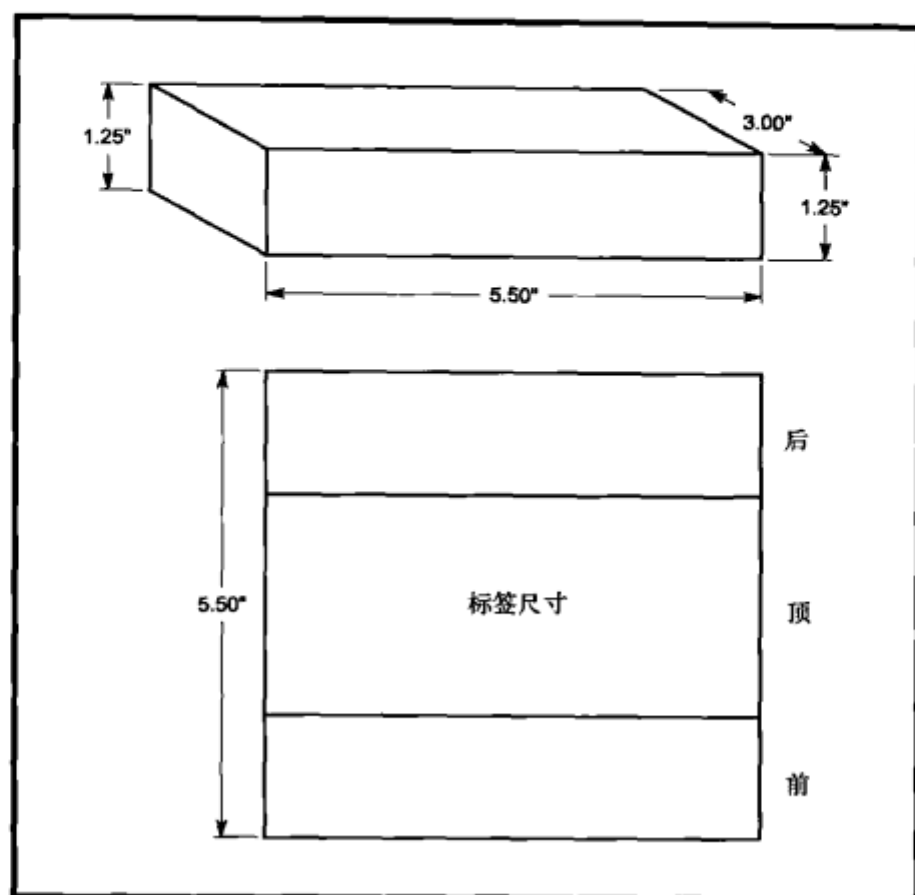


图 1-27 CW 自动键机壳面板标签。这个标签覆盖机壳的 3 个面。

制作面板标签

1. 制作标签时，使用“矩形”、“椭圆”图标，框出需要的尺寸。这些图标在绘图工具栏里。单击相应的图标，把鼠标移到屏幕中的某个位置，在这个例子里，需要框出 5.5 英寸 × 5.5 英寸的方框。

方框设好后，框内会填充默认的颜色。单击绘画工具“填充颜色”按钮的箭头，单击“无填充颜色”，把填充的颜色去掉。

2. 测量好每个孔的位置，标出孔的中心。可使用画线工具，或者直接用小的方块标出孔的中心位置，保存。

3. 在需要印文字的地方添加文字（先产生文本框，然后在框内打字），保存。

4. 把打印好的标签按照面板剪裁好，看看是否与面板上的固定孔位置一致，如果有误差，就修改，直至满意。图 1-28 是绘制的一个面板截图。

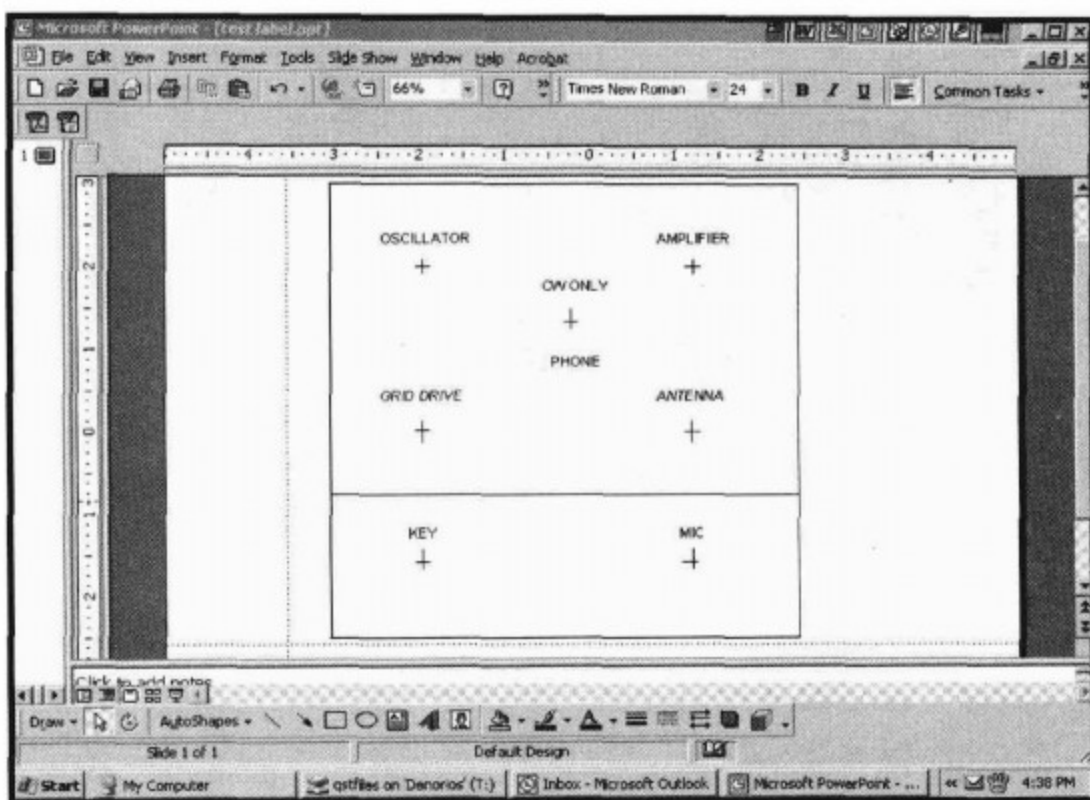


图 1-28 面板标签屏幕截图。可以看到需要开孔的位置。

给面板标签贴双面胶及透明纸

1. 如果孔中心标记不是很大，就留着，便于贴标签时定位；如果很大，超过孔的尺寸，那就去掉。打印终稿，按照面板尺寸裁好。
2. 标签裁好之后，把地毯双面胶带贴在标签的反面，需要贴几条。并排贴胶带时要十分仔细，超出的部分小心切去。
3. 标签背面贴完胶带，再贴透明纸。透明纸要比标签纸大一些。贴的时候要细心，不要有气泡，然后把多余的边裁掉。现在就可以把这个标签贴在机壳上了。

把标签贴在机外壳上

1. 把标签前面板底部的不干胶带保护纸折起大约半英寸，将标签面板的底边与机壳面板的底边对齐。最好把面板放在一个平面上，这样容易对准。手指略微施压，使胶带面粘在面板上。现在慢慢揭不干胶的保护纸，并用手慢慢地按压标签，直至标签贴在面板上。贴好的机壳见图 1-29。



图 1-29 完成的面板标签贴在机壳上。

2. 贴好面板后，用刀把孔刻出来。用工艺刀小心地把孔上的纸刻掉。

这样，面板就做好了。需要多练习几次，使用这个软件才能得心应手。而硬件部分，例如面板布局、孔定位、面板尺寸、款式，就比较容易设计了。大家可以试试。

1.8 用勒克森材料制作面板

本文介绍的制作机壳面板方法是利用计算机打印，然后再贴一层勒克森材料（这是一种聚碳酸酯塑料，耐磨、不怕碰撞；其他的亚克力塑料，例如：树脂玻璃，也能用，但是强度差一些——编者注）。电位器、开关以及插座的螺帽把面板标签纸与勒克森材料板固定在一起，无需胶水。

面板布局好之后，再利用计算机绘制，笔者使用的是 Lotus Freelance Graphics 简报编辑软件，其他类似功能的软件也可以用。

用计算机画布局图是为了让面板纸能够对准面板上的孔位以及文字。激光打印并修剪尺寸后就可以进行这项工作了。字体可根据个人喜好选择。笔者在需要钻孔的位置画小圆圈（或十字叉）。面板布局可打印在任何颜色或厚度的纸上，最终的定稿应该多打印几份。

下一步就是按照面板的尺寸裁一块勒克森塑料，笔者使用的是 1/16 英寸的材料。把 1 张打印好的面板纸作为模板，夹在勒克森塑料和面板之间，在需要钻孔的位置对勒克森塑料和面板同时钻孔。

最后，换 1 张新的面板纸（因为钻孔时可能会损坏第 1 张面板纸），面板纸在勒克森塑料和面板之间夹紧后，按照孔的大小，小心刻去多余的纸。这项工作需要耐心，不要把纸的孔边撕破，影响美观。大的旋钮会遮盖孔边的瑕疵，可是，加工像 LED 指示这类孔的时候要格外仔细。面板做好后，把电位器、插座等装上，拧紧螺帽。

图 1-30 所示的两个笔者自制的设备就是采用这个方法做的面板。这个方法最适合做那种带侧面和顶的机壳面板。外壳的边刚好盖住勒克森塑料板的边。

采用这个方法制作的面板看上去十分专业，而且面板上的字也不会磨掉。



图 1-30 使用 VE3OSZ 介绍的方法制作面板的 2 个实例

1.9 利用敷铜板制作机壳的简单方法

自制设备的爱好者经常使用单面或双面敷铜板制作外壳。这种材料很容易买到，价格也不贵，而且易于加工。敷铜板的常用板基材料有酚醛树脂，或者强度较大的 G-10 玻璃环氧树脂。敷铜板制作机壳适合高频电路，尤其是机壳里有隔离要求时。经典的实例就是 *The ARRL Handbook* (ARRL 《业余无线电手册》) (1992 年版，25 ~ 38 页) 介绍的多级衰减器制作。

尽管这种材料容易制作机壳，但还是有难加工的地方。例如，敷铜板材可用金属剪板机剪裁，可是，爱好者一般没有这样的设备。用钢锯可以切割敷铜板，但是很难保证切割的边笔直、美观。此外，如果想使机壳的同样大小的侧面板保持尺寸一致，需要在测量上下一番功夫。笔者找到了一种较好的办法。

简易的木头夹具和几件工具

笔者经过反复试验，发现只需要几个简单的工具就可以把机壳做得很漂亮，见图 1-31。需要两个木块作为夹具，几片直边的金属条，一把美工刀。还需要几张砂纸，照片里没有体现出来，砂纸用来最后打磨敷铜板的边。

第一个木头夹具是一个“切割夹具”。笔者利用的是一块 4.5 英寸宽、1 英尺长的白松木。木块的尺寸并不严格，但是不能有弯曲。在木块的一边用胶粘了一条 1/4 英寸 × 3/4 英寸的松木条，作为一个长的挡块，在切割敷铜板时起到止推作用，材料必须直。图 1-32 就是这个夹具的照片。图 1-33 展示的是使用时的样子。

第二个木头夹具是“折断夹具”。是两块 1 英寸 × 2 英寸 × 12 英寸的枫树木块做成的，两块木块的两端用 1/16 英寸厚的双面泡沫胶固定。笔者的材料是在五金店购买的现成的 1 英寸 × 2 英寸 × 12 英寸枫树木条，还不到 2 美元，然后锯成两半，见图 1-34。

“折断夹具”要用硬木料（不能用松木），桦木、橡木应该也可以。把这两块木条固定在一起时，要注意，木条的边要对齐，泡沫胶带选用 3m 的，一般的五金店都能买到，胶带的厚度为 1/16 英寸，正好适合 1/16 英寸的敷铜板。

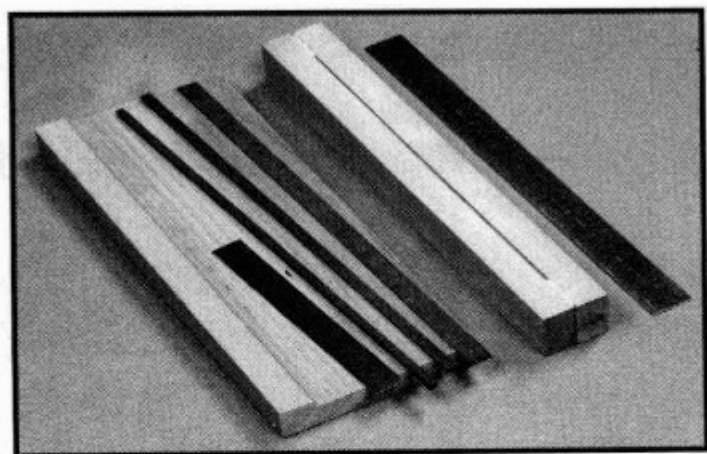


图 1-31 制作机壳用的工具，只需要几美元。

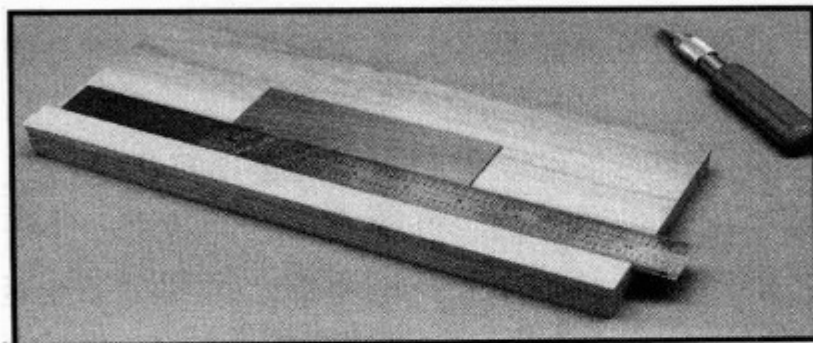


图 1-32 准备切下一块 $7/8$ 英寸宽的敷铜板，金属比例尺正好是这个宽度。简单的夹具可以保证每块板子的尺寸一致。

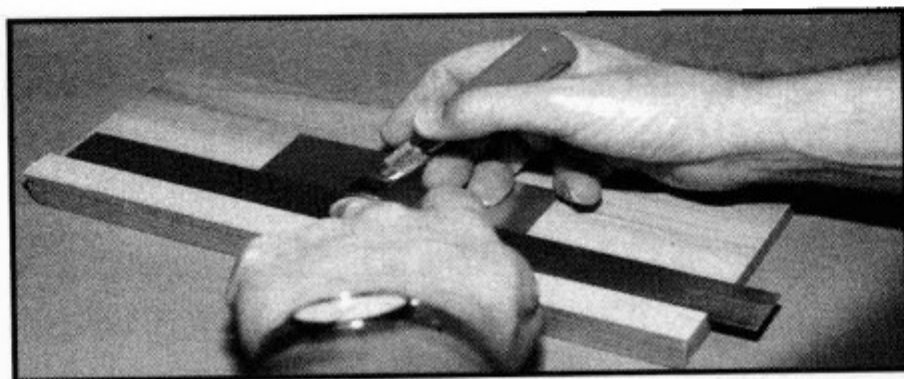


图 1-33 用力适当，敷铜板、尺子靠紧夹具的挡块，手指尖不要超出尺子的边，用美工刀在敷铜板上反复划。

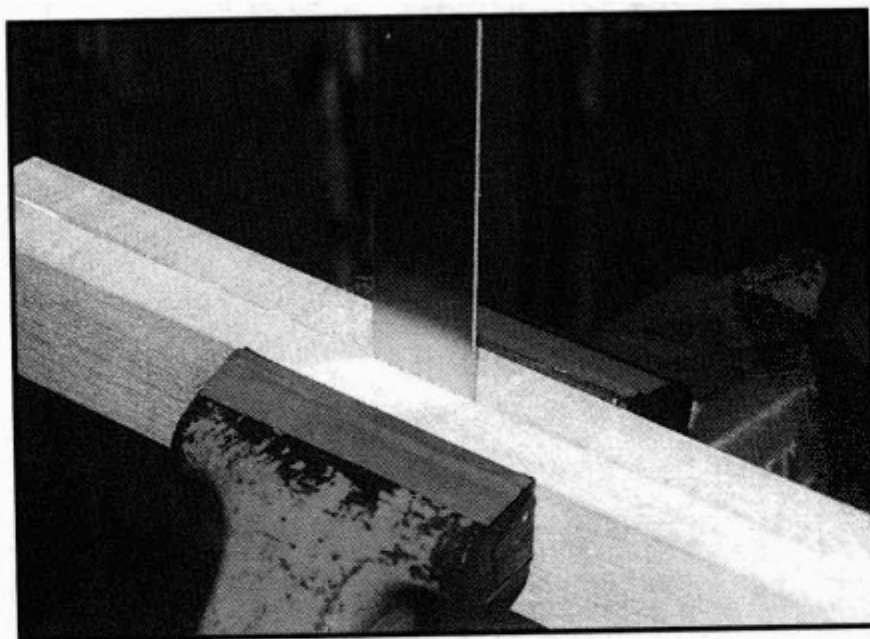


图 1-34 划好的敷铜板插在折断夹具的 $1/16$ 英寸槽子里。酚醛树脂板基的敷铜板略微用力就折断了，G-10 板基的敷铜板需要朝两面反复推几次才能折断。

切削规

应该先了解需要多大的敷铜板材料，需要切割的长度最好在自己有的直边金属条的长度范围内。

直边金属条可以用制图用的金属尺，这种尺子各种长度和宽度的都能买到。在手工艺品商店里还能买到更长、更宽的直边金属片。这些商店都有金属制品的货架，上面有条形和直角形的黄铜材料。如果宽度不够，可用窄条拼起来，达到需要的宽度。例如：1个1/8英寸的方形管材加上1条1/2英寸宽的金属条，宽度就是5/8英寸。这些金属条就当做“切削规”。具体使用方法在后面介绍。

切割方法

笔者试了各种美工刀切割敷铜板，觉得图1-32和图1-33里的那种结实一些的工艺刀好用。无论用哪种，手边都要准备几片刀片备用，那种能够折断刀刃的美工刀也应该好用，但是笔者没有试过。

下面介绍切割过程。因为大多数机壳的边的宽度都是一样的，如果机壳中间需要隔板，宽度也是一样的，因此，要先切割这个宽度的材料。把敷铜板放在切割夹具上，令边靠紧挡块，再把规格合适的切削规放在敷铜板上，也要靠紧挡块。用美工刀沿切削规的金属直边反复划几次，然后把敷铜板翻过来，在敷铜板另一面按上述方法用美工刀划几次。

敷铜板一定要划开，至少两面的板基都要有划过的印子。对于质地较硬的G-10材料，最好划得深一点。使用切削规的好处是，能够保证敷铜板两面划的印子准确地一条线上。

把划好印子的敷铜板放到折断夹具上，应该能正好放入两块木头形成的槽子里。敷铜板划好的印子要与木块的边对齐，然后用台钳夹紧，见图1-34。

用手推露在夹具外的敷铜板，敷铜板就沿着划过的印子折断了。有时因为敷铜板大小的原因，还需要准备一块木头帮助推敷铜板，使要折断的边受力均匀。这种方法尤其适合酚醛树脂敷铜板。G-10材料的敷铜板比较结实，不会一下子折断，往往需要朝两面反复推几次才能折断。这两种板基的敷铜板折断后的边都很直，只需要用砂纸砂去毛刺就可以了。笔者喜欢把砂纸包在平整的木块上，然后再用来砂敷铜板的边，因为这样处理过的边更整齐。这种切割方法可以保证每次切割相同宽度的敷铜板时尺寸精度一致。

按照同样的方法把切割好的敷铜板条按照需要的尺寸再次切割。把刚割断的敷铜板条的一端靠紧挡块，放上宽度尺寸合适的切削规，按照前面介绍的方法，用美工刀在敷铜板的两面划出印子，有时还需要借助三角板来保证直角。把三角板的一边靠在挡块上，再把敷铜板条靠紧在挡块上，同时要与三角板的另一个边对齐，再放上切削规，用美工刀划敷

铜板。这样方法切割的敷铜板尺寸精确，做出的机壳非常美观。机壳的顶、底也采用同样的方法加工。

以下几点务必注意：用刀划敷铜板时，手的力度要合适，防止刀片划歪。手指尖千万不要超出切削规的边，以免指尖被刀划伤。

图 1-35 介绍了一种保证组装机壳精度的方法。组装时，利用切割夹具和一个方木块。把机壳的底板放在夹具上，靠紧挡块。然后把小方木块放在底板上，也靠紧挡块。把切割好的边板靠紧木块和挡块，细心调整位置，然后扶紧。用镊子沿着要焊接的地方放几块事先切好的 1/4 英寸上的焊锡段，然后用烙铁“点焊”。冷却后，就可以把这部分机壳从夹具上拿下来了，这时，拼接处就焊好了（温度合适时，使用拖焊方法最好，就是在焊接处边拖动烙铁头边施加焊锡。给焊接处加热的时间要足够，但不要过长。焊好后，最好用助焊剂清洗液清洗焊接的部位。做好任何事情都离不开实践，这个方法不难掌握，编辑本人也用这个方法做机壳，效果不错——编者注）。

整个制作过程似乎很简单，而且成本不高，练习几次就能达到满意的效果。笔者建议先用一些敷铜板的边角余料练习一下，再做“真的”机壳。笔者喜欢先钻孔，然后组装。敷铜面闪亮而且干净的敷铜板焊接起来容易，而且焊点美观。烙铁头干净并镀有焊锡、温度合适的烙铁焊接的焊点非常专业。图 1-36 是用敷铜板制作的两个机壳。祝大家制作愉快！

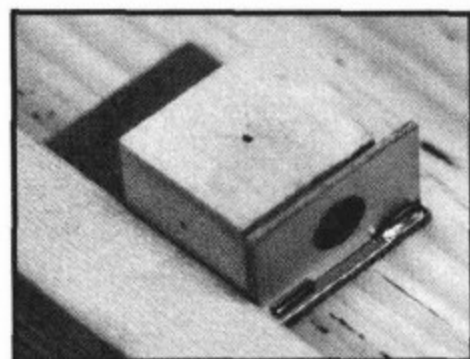


图 1-35 用一只手扶住放在夹具上的敷铜板和小木块，在侧板与底板接口处的重要位置放上两段 1/4 英寸长的焊锡丝；另一只手拿烙铁，进行焊接。

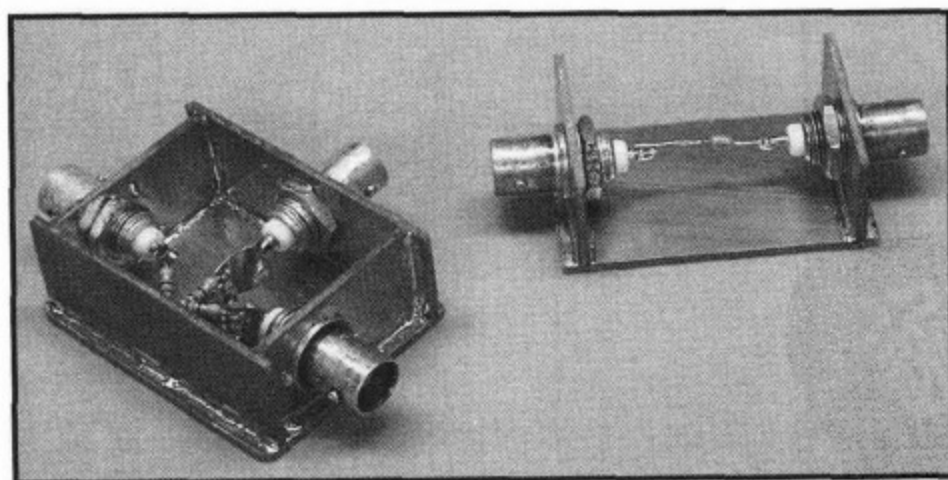


图 1-36 敷铜板制作的两个机壳。没有盖上盖的盒子装的是 50Ω 分配器。

U 型的盒子是一个元件测试台架。

（所有的照片都是作者拍摄的。）

1.10 绕制小型磁环线圈工具

有没有试过用很细的漆包线在小磁环上绕线圈？绕起来既枯燥又费时。最近，笔者要用 FT-37-43 的磁环绕几个电感量比较大的高频扼流圈。这种扼流圈的绕制难度可想而知。绕的时候需要放大镜、台灯。笔者用的是头发丝粗细的 34 号漆包线，在磁环上整齐并排密绕，而且匝数尽可能多（并排密绕的目的是，线圈绕好后，漆包线的头和尾能保持有 30° 夹角，以减小分布电容）。借助一根回形针，笔者试绕了几匝，发现很难绕，只好再想个效率高的方法。

老式的梭子

笔者刚开始想到了图 1-37 所示的那种梭子。可是，FT-37-43 的孔很小，那么就需要一个很细的塑料或硬纸等材料的梭子才能穿过磁环的孔。这种梭子用了几次，但是最终没有成功，磁环几次都从手指脱落，掉在地上。于是，笔者决定试验其他方法。经过反复试验，终于有了办法。下面具体介绍制作方法。

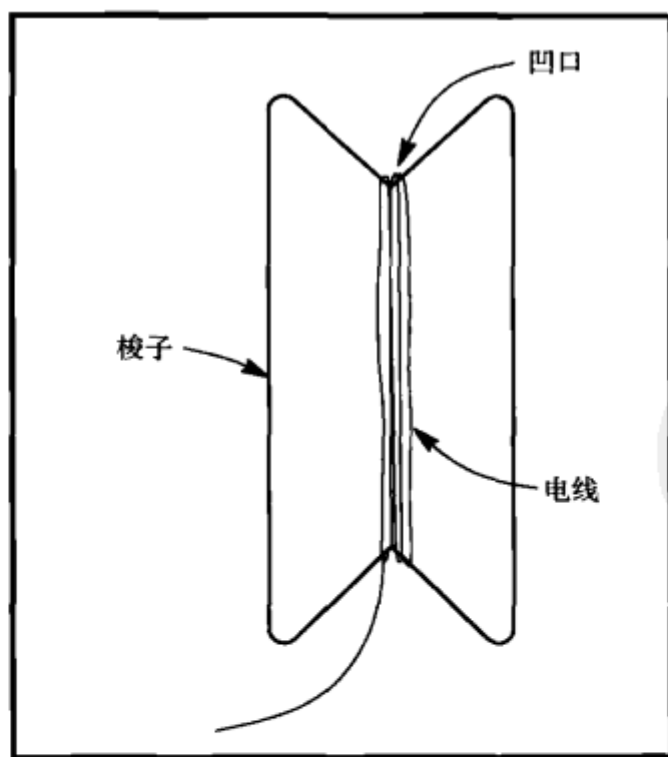


图 1-37 用于在磁环上绕线圈的经典梭子。这种梭子是用硬卡纸或塑料片制作的，在 QST 杂志、The ARRL Handbook (ARRL《业余无线电手册》) 都介绍过。

新型梭子

新型梭子如图 1-38 所示。制作时不需要什么特殊的工具。梭子由两段细铜管组成，这种铜管手工用品商店、五金店都可以买到。需要一段长度为 $2\frac{3}{4}$ 英寸、直径 $1/16$ 英寸的铜管，还需要一段长度 $1\frac{1}{4}$ 英寸、直径 $3/32$ 英寸的铜管。两段铜管正好可以像单筒望远镜一样套在一起，可以滑动。剩下的材料在自己的杂物箱例就能找到了：一小段塑料绝缘管和一段长度为 $1\frac{5}{8}$ 英寸的热缩管，用来套在直径 $1/16$ 英寸的铜管上。

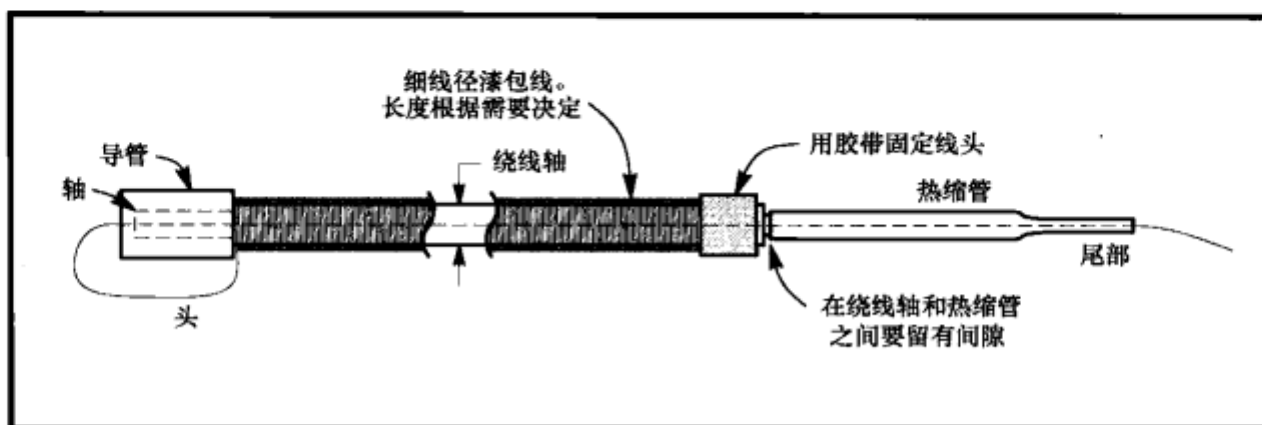


图 1-38 用于小直径磁环的新型梭子结构图。轴是一段长度为 $2\frac{3}{4}$ 英寸、直径 $1/16$ 英寸的铜管；绕线轴是一段长度 $1\frac{1}{4}$ 英寸、直径 $3/32$ 英寸的铜管。在图中，漆包线的一头用胶带固定在绕线轴的一端（线轴右侧靠近热缩管的一端）。然后漆包线绕在线轴上，漆包线的另一端穿过导管和铜管，从热缩管的尾端伸出（右侧）。

截断铜管

截铜管时，需要把铜管固定在台钳上。台钳的口要衬上东西，防止把铜管夹坏。要截断的部分尽量靠近台钳口。用一把角很锋利的三角锉，在需要截断的位置锉出一道槽子，折一下铜管就断了。断口会有毛刺，用锉刀把断口的毛刺修平，然后用细砂纸把边修光滑（可以用细齿钢锯来截断铜管，但是，如果锯齿卡住，铜管会被弯的）。

毛刺必须打磨掉，以免在绕线时把漆包线的漆皮划破。直径粗一点的那段铜管（绕线轴）必须能够在细的铜管（轴）上自由转动。为了去掉细铜管内径的小毛刺，笔者把一个别针用榔头砸扁，做成一把小铰刀。去除粗铜管内径的毛刺，笔者用细钻头当做铰刀。去毛刺时，这两个铰刀用手就可以拧动。

漆包线导管

从一段厚塑料绝缘皮电线上剥下来一段绝缘皮（大约 16 号线），套在细铜管的一头作为导管（见图 1-38），从细铜管的端部算起，绝缘管大约套进去 $1/16$ 英寸长。如果用剪线钳来剪短塑料绝缘管，断口处不一定是直的，这不要紧，这样能够卡住漆包线，防止漆包线从绕线轴拽出时缠绕在导管上。导管有一定的摩擦力，在给磁环绕线时可以让线绷紧。一般来说，漆包线是不会在导管边形成一个整圈的，漆包线从粗铜管，穿过细铜管，再从热缩管尾部出来。

笔者最初做的梭子用 16 号电线绝缘皮做导管，足以用于比 33 号漆包线还要细的漆包线。对于粗一点的漆包线，笔者用的是较厚的特氟龙线外皮。这种塑料套筒较硬，会损坏漆皮。如有必要，可以多加几层套管，增加导管壁厚。管壁厚一些的导管比薄的好用，因为能够为漆包线提供大一些的转弯弧度。注意：如果漆包线刻穿绝缘管，直接接触到铜管，漆包线的漆皮就可能被划破了。

把绕线轴（也就是粗铜管）套在轴（也就是细铜管）上，把热缩管套在轴的另一端，使绕线轴定位。热缩管的长度应该比露出的轴长出 $3/8$ 英寸，作为出线导口，同时也能对漆包线起到保护作用。线轴和热缩管之间留一点距离，这样线轴才能自由转动。笔者在绕线轴和轴之间没有使用润滑油，但是大家不妨加一滴机油帮助润滑。千万不要滴太多的机油，因为会溢出，使胶带失去粘性（下一步就要用到胶带了）。

准备漆包线

把漆包线绕在绕线轴上之前，先准备几条 $1/8$ 英寸宽的胶带。用胶带把漆包线的一头粘在热缩管那端，然后把漆包线密绕在线管上。绕线管绕满后，把漆包线的另一头穿过导管，穿过细铜管，从热缩管伸出。头发丝粗细的漆包线（40 号线）很难穿过铜管，笔者利用一段 30 号漆包线，弯个钩子，把细漆包线从铜管里拽过去。

这个线轴可以绕下很多漆包线，一层就绕下了 40 多英寸的 34 号漆包线。表 1-3 列出了不同线径的漆包线在绕线轴上单层能绕下的长度。这个长度可以让绕线轴上有 $1/4$ 英寸宽的位置贴胶带。绕线轴可以大一些，但是也有一定的尺寸限制。为了能够在线轴上多绕一些线，或者绕直径大一些的磁环，可以采用直径大一些的铜管。笔者曾经用过 26 号漆包线。直径粗的漆包线绕起来有点困难，因为导线管边的拐弯半径较小，所以使用较粗线径的漆包线时，要用手帮助从导线管送线。随着漆包线不断地使用，固定漆包线另一端的胶带就可以摘掉了，让剩余的漆包线更加靠近导管。

表 1-3

线轴上 1 英寸宽的位置采用密绕, 大致容纳的漆包线长度

线号 (#)	长度 (英寸)
26	17
28	22
30	27
32	34
34	42
36	53
38	65
40	84

梭子的使用

用手拿着小磁环, 同时还要在磁环上绕线, 是有一定难度的。可用一个钳口不带齿的小台钳夹住磁环, 台钳口要衬上一层胶带, 只夹住磁环侧面的一小块。胶带可以防止磁环被夹碎, 而且胶带的摩擦力可以使磁环更稳当地夹在台钳上。用台钳口的角夹住磁环, 让大部分磁环露在台钳口外, 这样便于往磁环孔里穿绕漆包线。拧紧台钳的力量不要太大, 能够刚好夹住磁环为宜。绕到大致一半时, 要松开台钳, 把磁环转动一下, 再夹住, 继续绕, 但千万不要夹磁环绕好了线的部位。

梭子是这样使用的: 把梭子的尾部穿过磁环, 拽出 1½ 英寸长的漆包线。漆包线的头用胶带固定到台钳的钳口上。这样, 线头不会妨碍绕线, 而且使开始几匝能够绕得紧一些。再拽出大约 4 英寸长的漆包线, 用梭子穿过磁环的孔, 开始穿绕。当磁环上绕了两匝漆包线的时候, 可根据需要, 再从梭子上拽出一些漆包线。

在磁环上密绕线圈时 (尤其是使用很细的漆包线时), 笔者先采用间绕绕几匝, 略微把漆包线拉紧, 然后再把间绕的几匝线圈靠紧, 这样做是为了防止叠绕的现象。因为漆包线有一定的弹性, 线圈会变松, 笔者在线圈的头和尾滴了一滴胶水。胶水滴在磁环上线头的边上, 利用张力, 使胶水流到线圈上, 几秒钟就干了。笔者也用过胶带代替胶水。用一条窄的胶带绕在线圈上。

这个用于绕磁环的梭子造价不高, 可使在小磁环上绕线圈变得容易, 而且快。大家不妨做一个。

2

收发信机的制作

- RockMite——简单的 40m(20m) 收发信机
- HiMite——高频率波段 RockMite 收发信机
- “Micro Mountaineer” 收发信机
- 40m QRP 收发信机
- 简单的“鸟鸣” 80m PSK31 收发信机

蘇平 解覺
PDG

2.1 RockMite——简单的 40m (20m) 收发信机

当设计结构最简单、接收信号质量高的收发信机时，人们都会不由地想到晶控式收发信机。RockMite 因为采用晶控和体积小而得名。这个机器的印制电路板尺寸为 2.0 英寸 × 2.5 英寸，正好能装在 ALtoids 的金属糖盒里，QRP 的爱好者很喜欢用这种糖盒做机壳。RockMite 采用 DC 的电路结构。

图 2-1 是这个直接变频收发信机的简化框图。电路并不复杂，一个振荡器、一个混频器，把收到的信号直接转换成音频信号，然后由音频放大器把音频信号放大到足够的幅度。发射时，同一个振荡器用作发射信号源，只需要放大电路、键控电路把信号放大到足够 CW 联络所需的幅度即可。

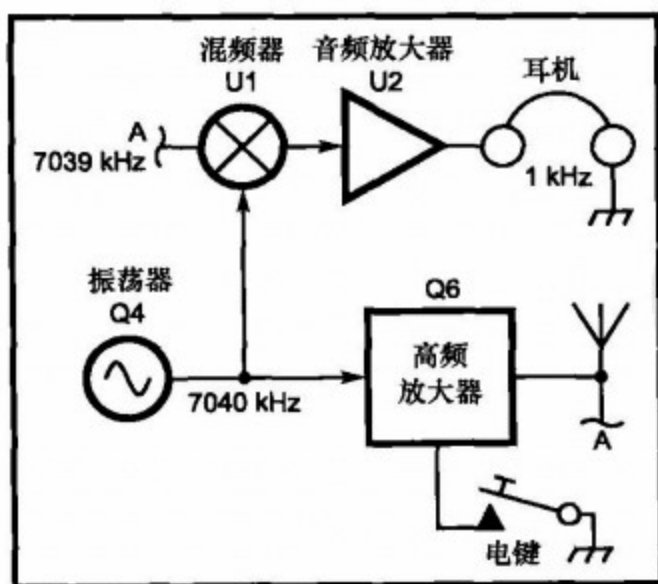
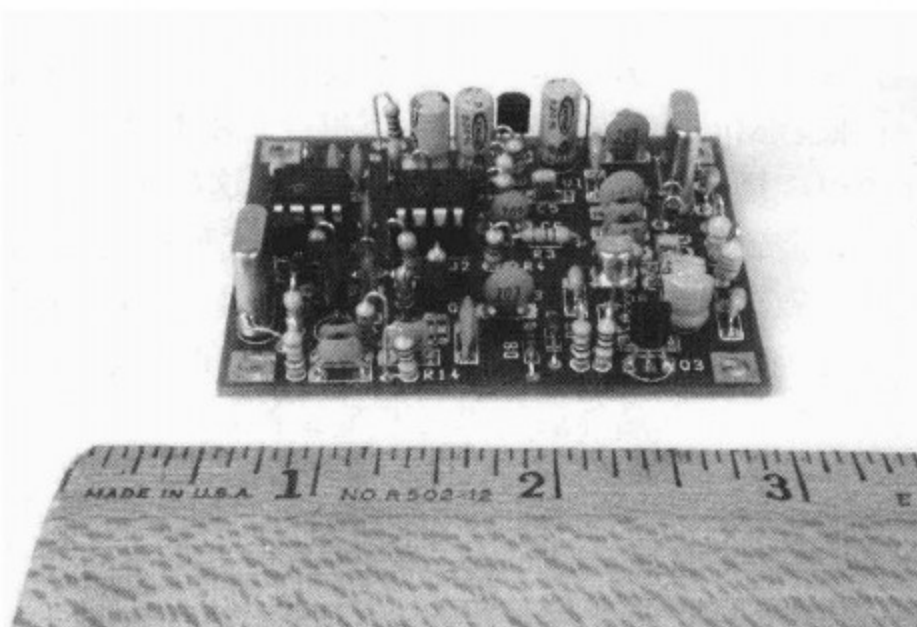


图 2-1 40m RockMite 收发信机简略方框图

这个简化图省略了几个电路细节。使用晶控式直接变频设备的爱好者在呼叫“CQ”

时，几乎都是在零差拍位置得到应答的。接收和发射如果没有频率偏移补偿手段，只能收到低频率的电报敲击声。此外，由于没有侧音监听自己发出的电码，CW 的乐趣更增强了。

笔者并不反对给这个最基本的机器添加点功能。使用一个 8 脚的 PIC 单片机，就可以增加自动键和一些其他的功能。添加这部分电路成本不高，而且电路板也不大。如果决定使用单片机芯片，可空出一个引脚在按下电键时输出 700Hz 侧音信号。单片机芯片还可输出收发控制信号和收发频率偏移信号。偏移信号就是给变容二极管提供一个直流电压，使晶体振荡器的频率在发射和接收转换时按要求偏移。“我可不需要计算机做这个事情！”可是，文章的后面会介绍，收发频率的补偿是可以反过来的，RockMite 可以提供两种工作频率。这种功能一直都是用开关完成的，但是用固件完成这个动作更容易、更省钱。

RockMite 还采用了另一种值得注意的技术。制作过简单 40m 收音机的人都经历过短波无线电广播信号与 CW 信号混在一起的这种快乐。对于大多数简单的机器，强的广播信号产生了互调失真(IMD)。这种现象可以通过使用性能强的(大电流、电路复杂的)接收前端减轻。另一种做法是衰减进入混频器的广播信号，避免互调失真。如果只对窄段的业余频段感兴趣，可以使用窄带的调谐式带通滤波器达到好的效果。RockMite 采用的方法是在前端串入工作频率的晶体，串入晶体后效果是非常显著的。

工作原理

RockMite 的电路图如图 2-2 所示。Q4 等组成的考比次晶体振荡器作为本振是连续工作的，振荡器的工作频率由晶体 Y2 及周边元件决定。D6 是变容二极管，容量变化由控制电压控制，这样就可以在收发转换时使振荡器的频率偏移 700Hz，提供差拍频率补偿。Q2 导通时，经 R10 加到 Q6 的电压为 0V，Q2 截止时，加在 D6 上的电压就是稳压管 D5 的电压。本振信号耦合到 Q5 的基极。Q5 不提供电压增益，在电键抬起时，起到本振与天线之间的隔离作用。这样就能够保证电键抬起时，泄漏到天线的本振信号最小。此外，同样重要的是，减小本振泄漏到天线端的幅度，可以避免降低接收机的灵敏度。缓冲器通过 C13 把信号送入功率放大器 Q6。D8 起到钳位作用，使驱动 Q6 的基极容易一点。Q6 工作在 C 类，驱动很大，从理论上来说，只有在导通与非导通状态，效率高。Q6 的集电极输出波形是方波。在实际应用中，这一点的输出波形是有相当大失真的，这并不要紧。

信号通过 C14 进入输出谐波滤波器，滤波器由 L2、L3、C15、C16、C17 组成。为了节省空间、简化制作，没有使用磁环，而是用小型环氧模塑封的 RF 扼流圈。对于 RockMite 的工作频率、输出功率来说，这种线圈的性能可以满足要求，损耗和发热量都不大。天线端的最大谐波成分为 -34dBc(20m 时为 -33dBc)，符合 FCC 关于频谱纯度的要求。供电电压 13V 时，输出功率为 500mW。这个机器也可以工作在低电压。无畏的实验人报告说，曾经使用 6.8V 供电，输出 30mW 进行过联络。

接收部分通过耦合 C1 一直与天线相连。二极管 D1 和 D2 在电键按下时，把出现在接收

前端的高频电压限制在安全幅度。接在接收前端的晶体 Y1 有些让人感到吃惊, 这个晶体起到窄带滤波器的作用, 把远离工作频率的高频能量减小到最低限度。把高频信号转换成音频信号的混频器 SA612 需要这片晶体的帮助。

读者可能注意到了, 这个电路中有根据罗伊·勒瓦伦 (W7EL) 的电路改动的电路——被广泛应用的串联式 LC 天线收发开关电路。电路里的电感器由晶体 Y1 提供, 频率略偏于串联谐振点, C2 与晶体的电感组成 L 网络。这是阻抗提升电路, 在混频器输入端 (U1 的 2 脚) 前有 10dB 的电压增益。C1 和 C1 的参数使 6dB 的带宽为 2kHz, 两个频点都对称。接收滤波器的频响在 7 100kHz 以上为 -35dB, 尽管这个抑制值对于典型的晶体滤波器来说相当差, 但是对于改善互调失真的作用已经很大。

混频器 U1 把收到的信号转换成音频信号, 从 4 脚、5 脚输出。C4 可以起到低通滤波器的作用, 滤除音频信号中的“丝丝”声。U2 是一个普通型的运放 (只用了一半), 增益设计成 200 倍 (46dB), 足够把来自 U1 的信号放大到耳机能听到的幅度了。C6 形成了音频低通滤波器额外的一阶。

晶体管 Q1 是简单的静音电路, 减小按键工作时产生的噪声。电键按下时, Q1 把耳机从放大电路断开。电键按下时在接收端出现的大信号在混频器的输出端产生一个直流分量, 这个信号会被音频放大电路放大。Q1 组成的静音电路虽然并不完美, 但是比没有静音要好。电键抬起时静音恢复时间由 C9 的参数决定。如果使用快速的 QSK, 这个电容参数要减小。

U3 是 12C508A 单片机, 根据用户需要编程, 提供自动键功能 (B 型) 以及频率偏移功能。U3 的 6 脚和 7 脚连在电键的两个输入端, 构成自动键。如果喜欢普通电键, 那么在通电时, 把这两个脚其中的一个对地短接, RockMite 就可以通过另一个脚使用普通电键了 (这样就可以使用功能强大的外接电键)。

RockMite 有两个可以操作的控制钮。控制是通过按钮开关的关闭实现的, 使单片机芯片的 4 脚接地。两个功能是通过关闭的时间长度来辨别的。

开关的短时关闭 ($< 250\text{ms}$) 是偏移反过来, 提供第二工作频率。当想和另一个电台联络时, 利用这个功能, 选择接收信号的两个音调中高一点的音调。注意, 在转换位置的音高是测量据差拍还差多少, 理想的声音应该是频率很低的电报声。如果两个位置的音调一个高, 另一个更高, 就不可能和另一个电台通联上。

开关关闭的时间长一点, 使电键处于速度调整模式。RockMite 会发出“S”的莫尔斯电码声音, 表明进入这个状态。按下“点”的按键, 自动键的速度就会调快; 按下“划”的按键, 自动键的速度就会调慢。默认速度是 16word/min , 速度可调范围是 $5 \sim 40\text{word/min}$ 。如果 1s 后没有点/划输入, RockMite 会发出一个频率较低的音频声, 进入正常操作。前面介绍的“S”的莫尔斯电码声音和这个频率较低的音频声不会发射出去。

只有两个按钮控制的收发信机公然违背了目前收发信机的设计。如果想“管理”这台收发信机, 可用一只 $1\text{M}\Omega$ 的电位器取代 R5, 当作音量电位器 (电位器只接中心接头和一端)。图 2-3 是 RockMite 装在成品机壳里的样子。

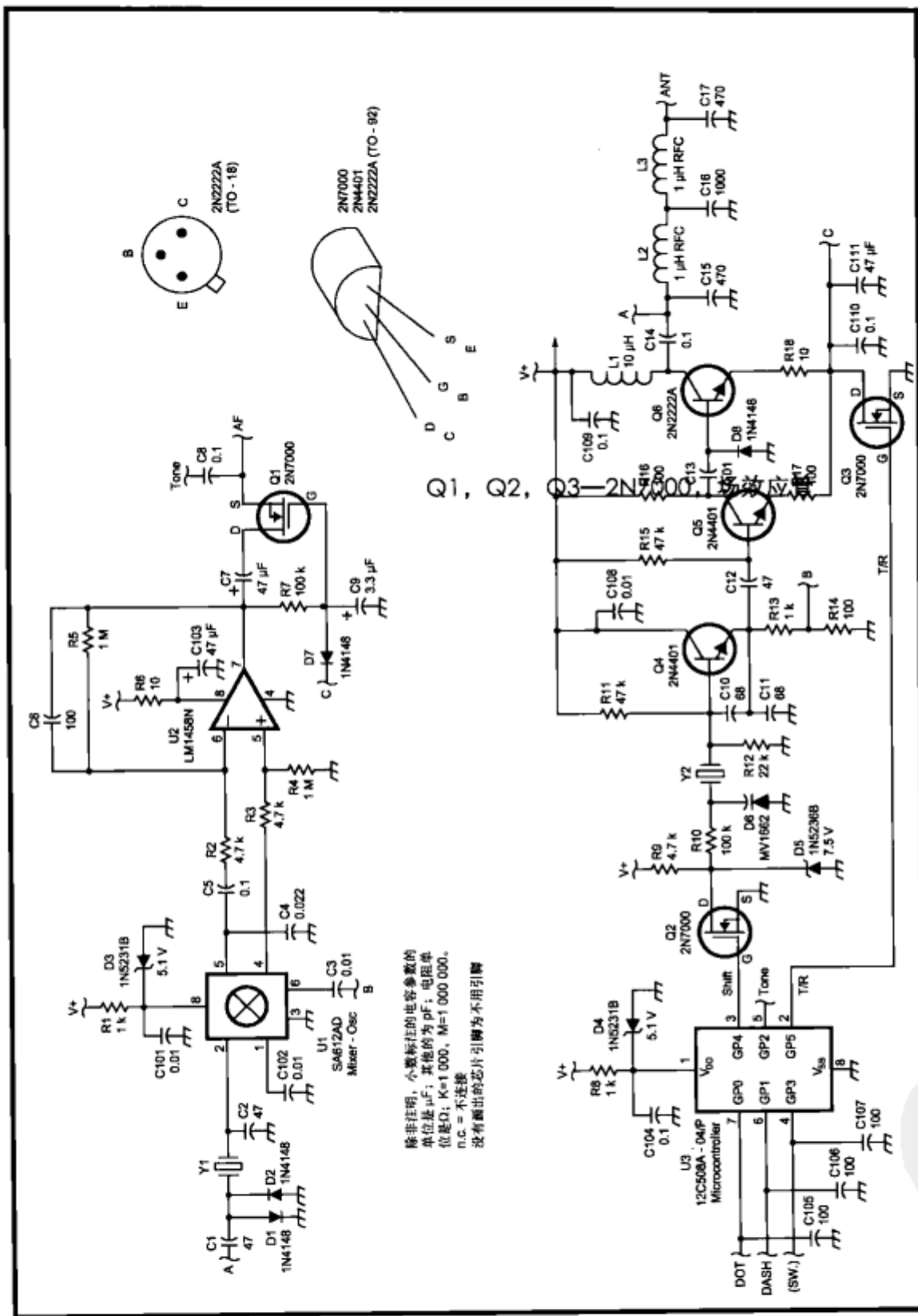


图 2-2 40m RockMite 收发信机电路图。所有电阻为 5% 误差、1/4W 碳复合电阻。

- C1, C2, C12—47pFNP0 瓷片电容, 误差 5% C17—470pF 瓷片电容, 误差 5%
 C3, C13, C101, C102, C108—0.01 μF 瓷片电容 D1, D2, D7, D8—1N4148
 C4—0.022 μF 独石电容 D3, D4—1N5231 (5.1V, 0.5W) 稳压二极管
 C8, C5, C14, C104, C109, C110—0.1 μF 独石电容 D5—1N5236 (7.5V, 0.5W) 稳压二极管
 C6, C105—107—100pF 瓷片电容 D6—MV1662 变容二极管
 C7, C103, C111—47 $\mu\text{F}/25\text{V}$ 电解电容 L1—10 μH 高频扼流圈, 误差 10%
 C9—3.3 $\mu\text{F}/50\text{V}$ 电解电容 L2, L3—1 μH 高频扼流圈, 误差 10%
 C10, C11—68pFNP0 瓷片电容, 误差 5% C15
 C16—0.001 μF COG 独石电容, 误差 5% Q4, Q5—2N4401Q6—2N2222A
- Q1, Q2, Q3—2N2222A
 Q4, Q5—2N4401
 Q6—2N2222A
 Q7—2N2222A
 Q8—2N2222A
 Q9—2N2222A
 Q10—2N2222A
 Q11—2N2222A
 Q12—2N2222A
 Q13—2N2222A
 Q14—2N2222A
 Q15—2N2222A
 Q16—2N2222A
 Q17—2N2222A
 Q18—2N2222A
 Q19—2N2222A
 Q20—2N2222A
 Q21—2N2222A
 Q22—2N2222A
 Q23—2N2222A
 Q24—2N2222A
 Q25—2N2222A
 Q26—2N2222A
 Q27—2N2222A
 Q28—2N2222A
 Q29—2N2222A
 Q30—2N2222A
 Q31—2N2222A
 Q32—2N2222A
 Q33—2N2222A
 Q34—2N2222A
 Q35—2N2222A
 Q36—2N2222A
 Q37—2N2222A
 Q38—2N2222A
 Q39—2N2222A
 Q40—2N2222A
 Q41—2N2222A
 Q42—2N2222A
 Q43—2N2222A
 Q44—2N2222A
 Q45—2N2222A
 Q46—2N2222A
 Q47—2N2222A
 Q48—2N2222A
 Q49—2N2222A
 Q50—2N2222A
 Q51—2N2222A
 Q52—2N2222A
 Q53—2N2222A
 Q54—2N2222A
 Q55—2N2222A
 Q56—2N2222A
 Q57—2N2222A
 Q58—2N2222A
 Q59—2N2222A
 Q60—2N2222A
 Q61—2N2222A
 Q62—2N2222A
 Q63—2N2222A
 Q64—2N2222A
 Q65—2N2222A
 Q66—2N2222A
 Q67—2N2222A
 Q68—2N2222A
 Q69—2N2222A
 Q70—2N2222A
 Q71—2N2222A
 Q72—2N2222A
 Q73—2N2222A
 Q74—2N2222A
 Q75—2N2222A
 Q76—2N2222A
 Q77—2N2222A
 Q78—2N2222A
 Q79—2N2222A
 Q80—2N2222A
 Q81—2N2222A
 Q82—2N2222A
 Q83—2N2222A
 Q84—2N2222A
 Q85—2N2222A
 Q86—2N2222A
 Q87—2N2222A
 Q88—2N2222A
 Q89—2N2222A
 Q90—2N2222A
 Q91—2N2222A
 Q92—2N2222A
 Q93—2N2222A
 Q94—2N2222A
 Q95—2N2222A
 Q96—2N2222A
 Q97—2N2222A
 Q98—2N2222A
 Q99—2N2222A
 Q100—2N2222A
- R1, R8, R13—1k Ω
 R2, R3, R9—4.7k Ω R4, R5—1M Ω
 R6, R18—10k Ω R7, R10—100k Ω
 R11, R15—47k Ω R12—22k Ω ,
 R14, R16, R17—100 Ω
 U1—SA612AD 混频器 / 振荡器芯片
 U2—LM1458N 双运放
 U3—12C508A-04/P 单片机芯片
 Y1, Y2—HC49/U 晶体 (用于 20m 段的 14.060MHz 晶体)

电路中元件参数为 40m 段参数。20m 段元件参数可与作者联系 (dave@smallwonderlabs.com)。

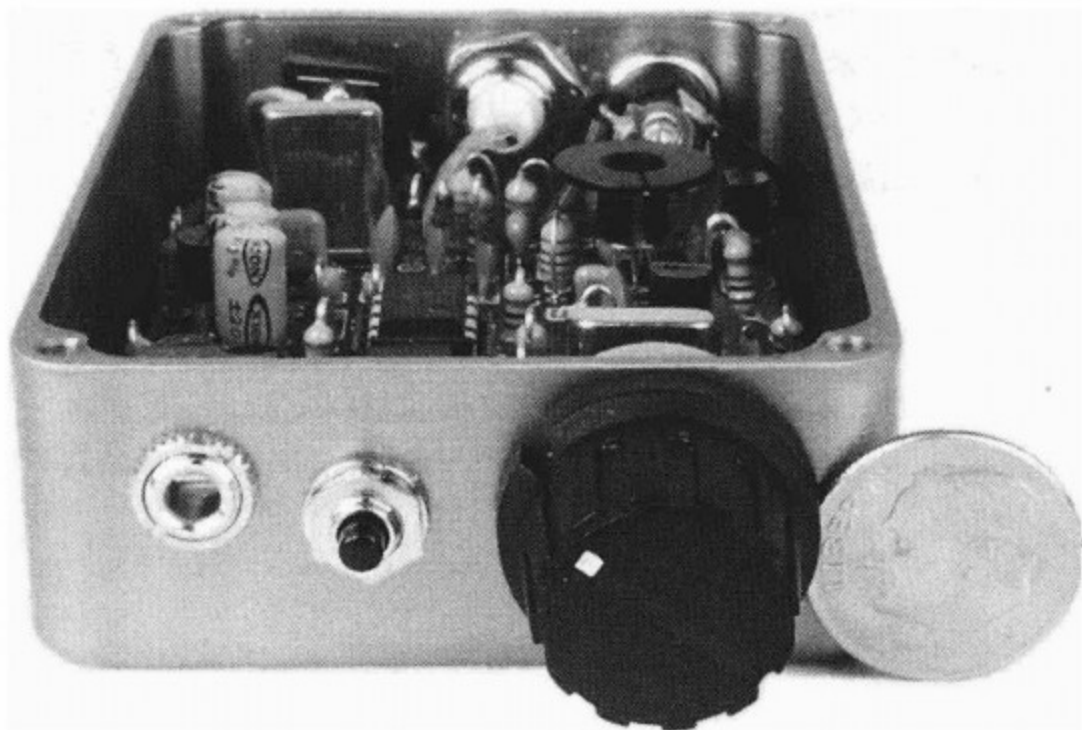


图 2-3 RockMite 装在铝制的机壳里。机壳可从 www.americanmorese.com 购得。

这个小机器能工作吗？

这个机器接收部分是直接变频，所以收到的音频信号比大一些的机器要显得多一些。虽说有低频滤波器，但还是没有使用晶体滤波器那种陡峭的感觉。因为直接变频收音机可以很好地收到两个边带的信号，因此收到的信号比性能好的收音机多一倍。一旦懂得了如何从两个信号中选一个信号去呼叫的诀窍，用起来还是很方便的。

工作在其他频率

改变 RockMite 的工作频率需要同时更换两块一样的晶体。如果工作频段改变了，输出的低通滤波器、C10/C11 都要相应改变。稳压管 D5 的参数也需要调整，以适应新频率的补偿。改动参数见 www.qrpproject.de。

实际通联

目前，20m 段 RockMite 通联距离的报告来自住在田纳西州哥伦比亚的杰瑞·布朗 (N4EO)，他与新西兰达尼丁的爱好者做过通联，两地距离 8 485 英里。

他的成功通联归功于喜欢 QRP 的爱好者经常聚集的频率 7 040kHz (20m 段 14 060kHz)。

QRP 的爱好者经常监听这些频率，呼叫“CQ”，成功的机会是出乎意料的。40m 段的 7 040kHz 是北美 QRP 爱好者用的（欧洲是 7 030kHz），20m 段统一使用 14 060kHz。毫无疑问，RockMite 犹如野火般蔓延开来，截止到写稿时，在不同年龄段的爱好者当中已经装了 1 000 台了。罗德·瑟考尼（N0RC）甚至还办了一个大网站，提供了大量的安装的照片、改进资料、相关链接以及有关的话题，详见 www.qsl.net/n0rc/rm/。

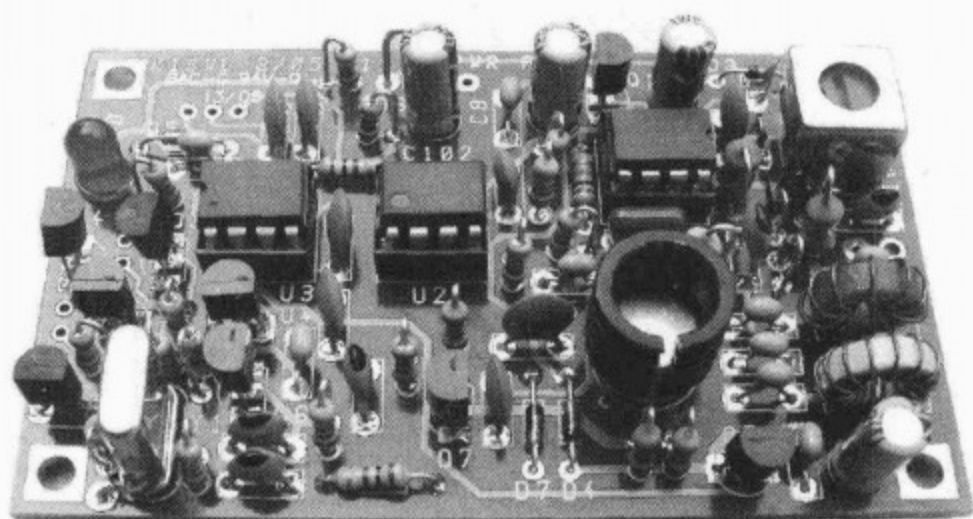
致谢

感谢多格·亨德里克斯（KI6DS）对这个制作提供的材料支持，感谢罗德·瑟考尼（N0RC）热情提供网站支持，感谢史蒂夫·韦伯（KD1JV）在这个制作的开发阶段提出设计建议。



2.2 HiMite——高频率波段 RockMite 收发信机

ARRL 刊出了 RockMite 制作文章后,笔者也不了解这个机器今后能够受到什么样的关注程度。笔者偶尔会收到一些制作者的问题和评论,都是关于扩展 RockMite 的频率范围、能够工作在频率高一些的 HF 频段。笔者不鼓励用 VFO (可变频率振荡器) 取代现有的晶体振荡器。这两项改动会引起两个复杂的问题:一是保持要求的收发频率补偿,二是收信前段的窄带晶体滤波器。



HiMite 这个名字体现出了采用直接变频接收的 RockMite 的简单结构风格。这次设计中的大变动包括在高频率的频段有足够的功率输出,用 VXO (可变频率晶体振荡器) 取代原来的固定频点晶体振荡器。本文仅介绍 15m 段的 HiMite。20m、17m、12m、10m 的元件参数在带通滤波器、低通滤波器电路中不同,详见笔者网站。

变动有哪些?

最大的变动是变容二极管 (D6) 的控制电路。RockMite 利用两个不同的电压实现两个相隔 700Hz 的频点。这次,这个固定的电路换成了电位器,控制调谐电压。三端稳压 (U4) 给调谐电路提供稳定的 8V。这样就能保证电池电压跌落后,不会产生“啾啾”的报声以及频飘。

如电路图 (图 2-4) 所示,调谐电路有些复杂。调谐由调谐电位器控制,使报声电位器旋转控制电压可在 0 ~ 8V 变化。Q3、Q4 是增加的元件,为 HiMite 提供了接收频率微调 (RIT) 功能,实际上同 RockMite 的频率偏移作用,在电键抬起和电键按下之间使频率偏移。笔者评估了几个 RIT 电路,曾考虑给 RockMite 加上这个电路。但是感到失望的是在调节范围不同的位置 RIT 偏移量不一致,所以 RockMite 没有设置 RIT 功能。由于 VXO 的覆盖范围有限,笔者想避免由于增加 RIT 而进一步使 VXO 的覆盖范围受到影响。RIT 功能是通过



图 2-4 15m HiMite 收发信机电路图及元件参数。电阻是误差为 5% 的碳复合电阻。除非注明, 电容的单位是 pF, 误差为 5%。

C17—120pF C0G 电容

15—0.41 μH , 在 T37—2 (红色) 磁环上用 26 号漆包线绕 10 匝

Y1, Y2—21.060MHz HC49/U 晶体

使 Q3 和 Q4 在电键按下时截止实现的,因此在发射时不影响调谐电压。在接收状态下, RIT 可以工作,的确能够影响调谐电压。R12、R13 起到对调谐功能提供初始调谐控制的作用,限制 RIT 范围。R12 的值如果小, RIT 的范围就增大,整个调谐控制电压范围限制在 0 ~ 8V,使电位器动点在两端时调谐范围最小。在调谐范围的其他位置时, RIT 可以设置在“零差拍”任意一边。在实际应用中,笔者观察到 RIT 向上最大极限范围 0.8kHz,向下最大极限范围 2.5kHz。RIT 两个方向都可以调节。

RIT 指示

照片里可以看见, HiMite 电路板的左上角有个发光二极管,在电键按下时,发光二极管随发射信号点亮。开关输入端(U3 的 4 脚)对地短时间闭合,切换 RIT 接通(接收)和 RIT 断开(发射)。对地闭合时间长一点,激活自动键的速度设置模式。这个功能完全与 RockMite 相同。电键按下时才有高频信号发射。发光二极管的位置并无特殊要求。在照片上,发光二极管装在电路板上,也可以用导线引出,装在其他位置。

发射电路的改动

由于 HiMite 的工作频率高,所以晶体管必须要换。本振和缓冲电路用的普通开关三极管换成了高速的管子, MPSH10。这种晶体管的宽频增益乘积比要大一些。功率管可用频率高一些的 2N5109 代替,宽频增益乘积达 1 200MHz。

笔者还采取了其他方法提高高频段的输出功率。RockMite 采用的是双向低通滤波器,对于 1/2W 输出的放大器来说,功率管的集电极有明显的不匹配,使效率降低。笔者对 HiMite 的滤波器做了改进,集电极阻抗为 200 Ω ,输出几乎为 500mW。随着效率提高,HiMite 的功率管温度也比 RockMite 要低。

低通滤波器的电感 L4、L5 采用磁环绕制。磁环具有自身屏蔽的优点,此外,在高频段,没有合适的成品电感和电容。滤波单元还增加了 L6 和 C18。自介绍 RockMite 的文章发表以来, FCC 对发射频谱纯度要求更为严格,新的要求是杂散谐波成分在载波 43dB 以下,这就需要额外的滤波。

因为接收前端取消了晶体,提高选择性需要带通滤波电路。滤波器的参数完全符合 FCC 要求,杂散谐波成分在 -52dBc 或更小。

L16 和 C18 谐振在需要的频率,在这里是 21MHz。选择这个电路元件的参数需要注意。元件的电抗值高(Q 值高),元件的参数误差要求就高,两个元件的电抗可能无法抵消。此外, Q 值高时,流过电感的电流会很大。笔者在带通特性和损耗折中选择, Q 值为定为 5。这个参数没有影响输出功率。

接收电路的改动

首先改动是接收前端的滤波电路。前面介绍过了，由于 RockMite 接收采用窄带带通，限制了在低频段使用 VFO。这个问题在高频段也没有得到多少改善。试验了多次前端带宽也没有超过 3 ~ 4kHz，这对于 VXO 的覆盖范围来说，都太窄了。笔者采用了普通的 LC 调谐回路，采用几个串联谐振的 LC 回路增加选择性。

HiMite 的低放增益是 RockMite 的一半。RockMite 的低放增益过大。电池电压变低或控制部分连线离得过近时，会出现啸叫。减小增益都会有益的，放大量足够推动耳机就可以了。

我收到一些用户对侧音音量的反馈，有的人觉得声音太大了。这次增加了 R8，可以减小一些音量。这个电阻的参数可以根据个人情况选择。电路里增加了防电源接反二极管 D8，不慎接反电源可以起到保护作用。

HiMite 的样机在 15m 段的频率可调节 14kHz。按照电路图的参数，可覆盖 21.026 ~ 21.040kHz，覆盖范围可通过 L2 调整。减少 L2 的电感量，或者短接 L2，或者用一个电容代替 L2，频率覆盖的上限就高一些，HiMite 曾工作在 21.060kHz（小功率呼叫频率范围）以上。实验频率覆盖范围时，需要注意。当 L2 减到很小，或者代替 L2 的电容的容量很小时，本振会出现不稳定现象。频率调谐范围可能不连续，出现跳跃，或者输出幅度低。这个现象表明电感或电容偏小了。调整 C10 和 C11 也能改变频率覆盖范围。

使用 HiMite

接收信号很容易，但是如何调整零差拍想呼叫的电台，可能会有点难度。按下输入开关，发光二极管点亮，调节发射频率，使用频率调节旋钮，零差拍想联络的电台，再次按下输入开关，使 RIT 接入，调节 RIT，使收到的来自这个台的信号音调听起来很自然、悦耳。这个台的零差拍两边都能差拍出电报声，这对于直接变频接收来说是正常的，可用 RIT 选择干扰小的一边收听。

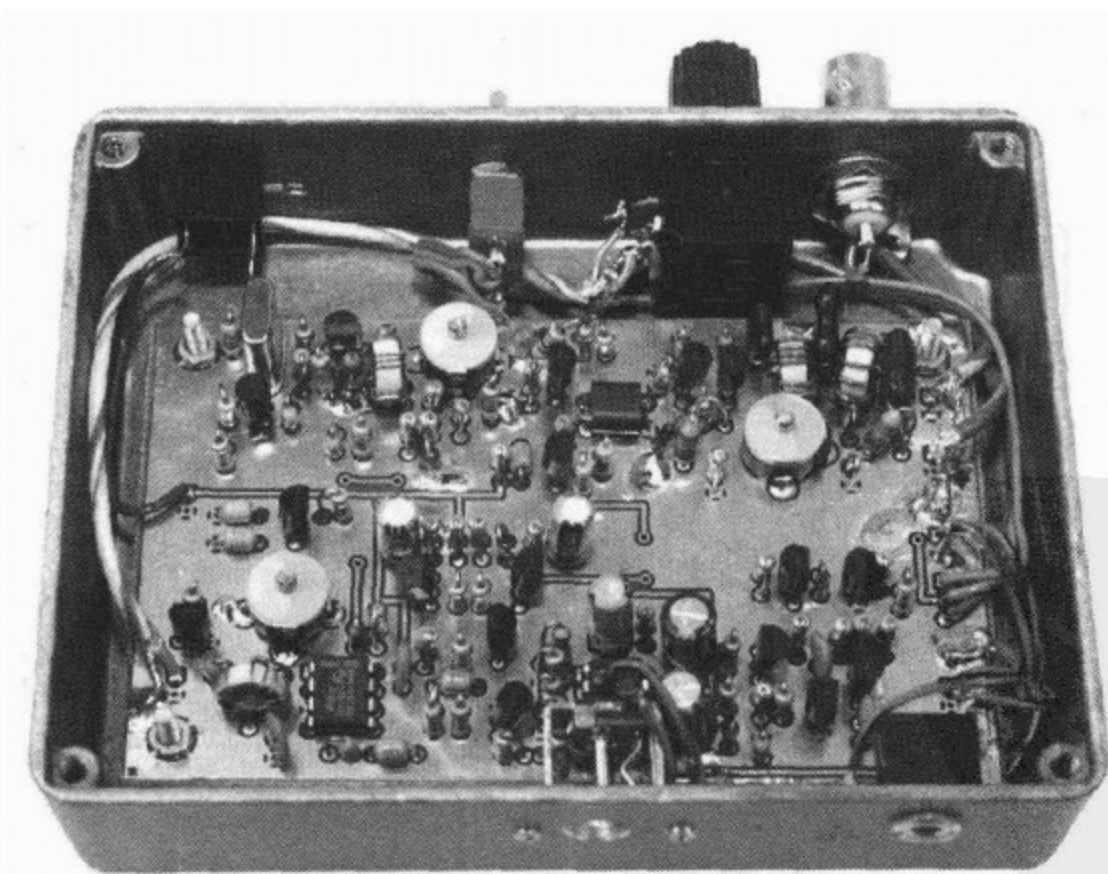
在目前太阳黑子少的情况下，频率高的频段打开的时间短，而且不是经常有，需要耐心等待。



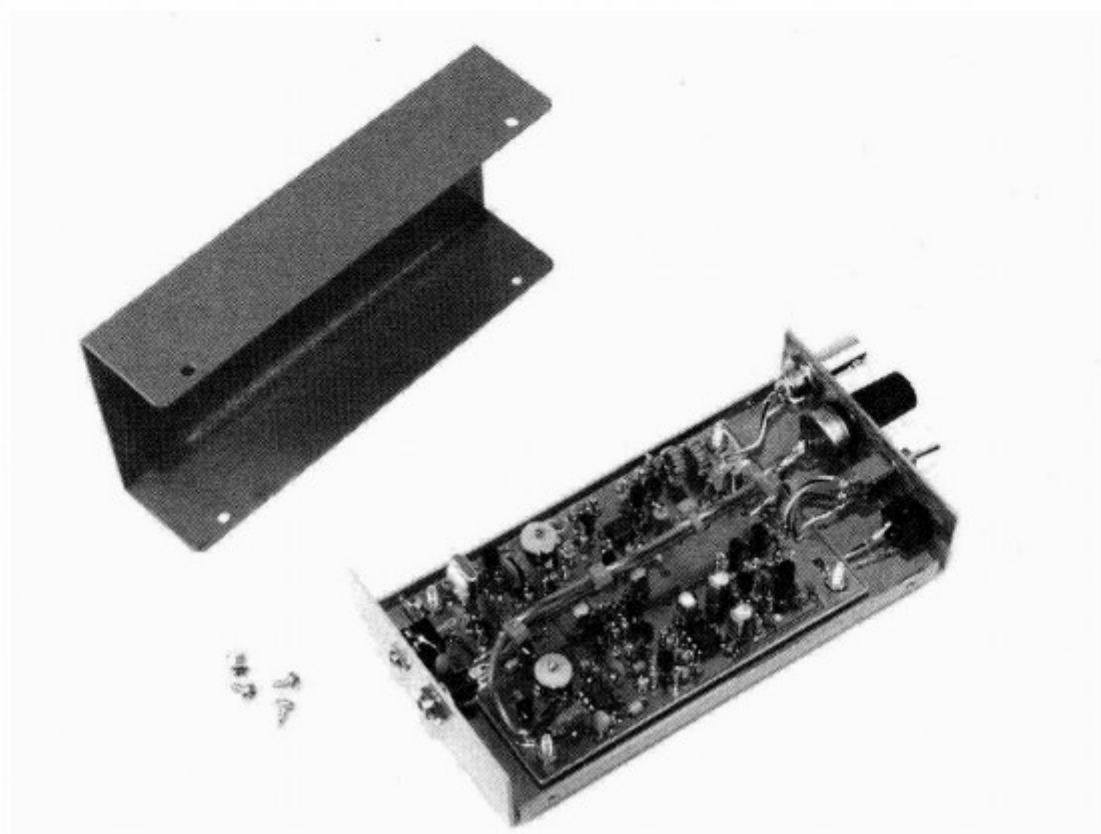
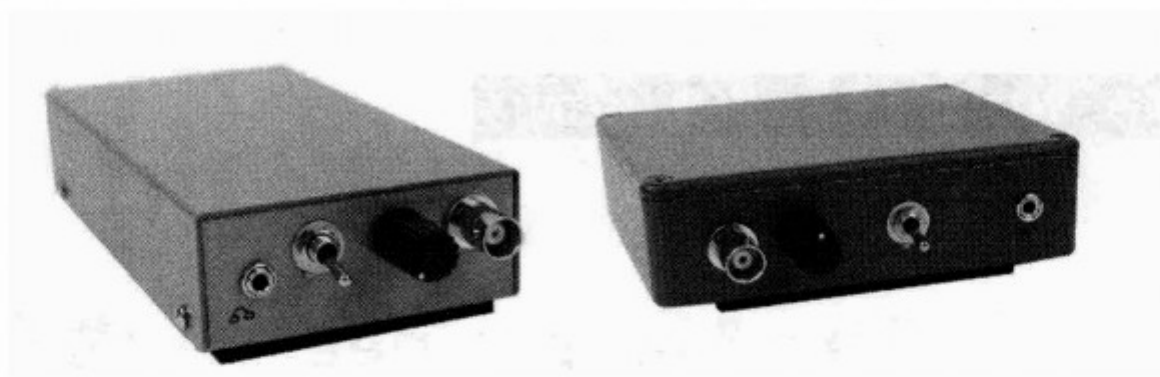
2.3 “Micro Mountaineer” 收发信机

笔者在 20 世纪 70 年代曾介绍过两个小型晶控式收发信机^{[1][2]}。这两个机器的接收都是直接变频，工作在 40m 段，发射输出 0.5W。第一个机器^[1] 的接收频率是可调节的，而第二个机器^[2] 利用发射晶体的振荡信号作为本振。

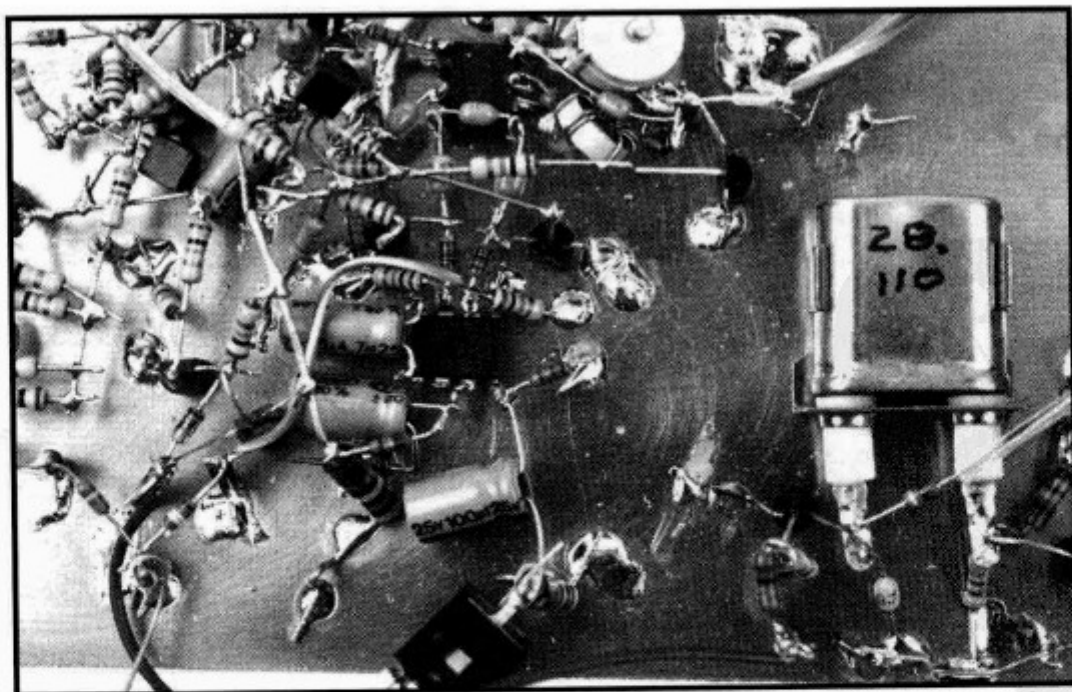
尽管 QRP 活动已经成为业余无线电的一个次文化，但是 QRP 的活动频率仍然局限在商业电台主导的频段里。只有高端的商业 QRP 机器、100W 的收发信机把功率调小，能工作在 10m 段。这个改进版的“Micro Mountaineer”就是瞄准了 10m 段。这个波段的传播可以用小功率、简单的天线进行国际通联。“微型登山者”也可以通过改动元件参数，工作在其他波段。“微型登山者”的原设计主题不变：0.5W 输出功率，接收采用直接变频，本振与发射晶体共用振荡信号。电路采用了电子收发转换开关、准频率微调电路 (AIT)，以增强性能，但仍保持电路的简单结构。



装在铸铝外壳里的“Micro Mountaineer”



“Micro Mountaineer” 装在 LMB 机壳里。注意刮去机壳内壁相关部位的油漆，保证接地。



“Mountaineer” 样机局部照片



双量程功率表面板布局

电路介绍

1. 发射部分

这个收发信机的核心是 Q2 组成的晶体振荡器（见图 2-5）。电路采用三次泛音 28MHz 晶体，通过 C2 和 T1 谐振在工作频率上（T1 的参数见图 2-6）。Q1 是电子开关，可以使晶体的振荡频率偏移约 1kHz（采用基频晶体可以获得较大的偏移，但是泛音晶体的偏移量很小）。没有这个频率偏移电路，可以呼叫 CQ，但是得到的回答是同频，不是差拍出的报声。

振荡器的输出约 10mW，从 T1 输出，送入由 3 只 51Ω 电阻组成的分配器，振荡信号一路作为接收部分的本振信号，另一路送到发射驱动管 Q3。Q3 受键控管 Q4 的控制。Q4 是 PNP 管，起到开关盒整形作用，避免按键的咔哒声。驱动信号从变压器 T2 输出（T2 的绕法见图 2-6）。T2 采用双孔磁芯，初级从一端引出，次级从另一端引出。

功率放大器（Q5 和 Q6 并联）由两只价格不贵的 2N3904 组成。发射极的负反馈电路使两只管子的电流相同，提高热稳定性。稳压二极管 D5 的作用是防止空载时的瞬间发射对发射管的冲击。喜欢实验的人可能会在功放级实验其他晶体管。笔者试用过一只 2N4427，效果很好，4 只 2N2222 并联效果也不错，这两种方法都有 1W 的输出。两只 2N3904 并联，能够输出 0.5W，而且在没有散热器的状态下，管子也没有过热。L3、L4 和 C13、C14、C15 一道形成了低通滤波器，同时起到阻抗匹配作用。功放的效率为 50%，而且管子不热。二次谐波低于载波 58dB，符合 2002 年 FCC 的频谱纯度要求。为了获得最大输出，L3 的线圈匝与匝之间的间距要根据需要拉开或压紧。如果用其他类型的功放，输出滤波器的元件参数也要重新调整，以获得最大输出和较高的效率。

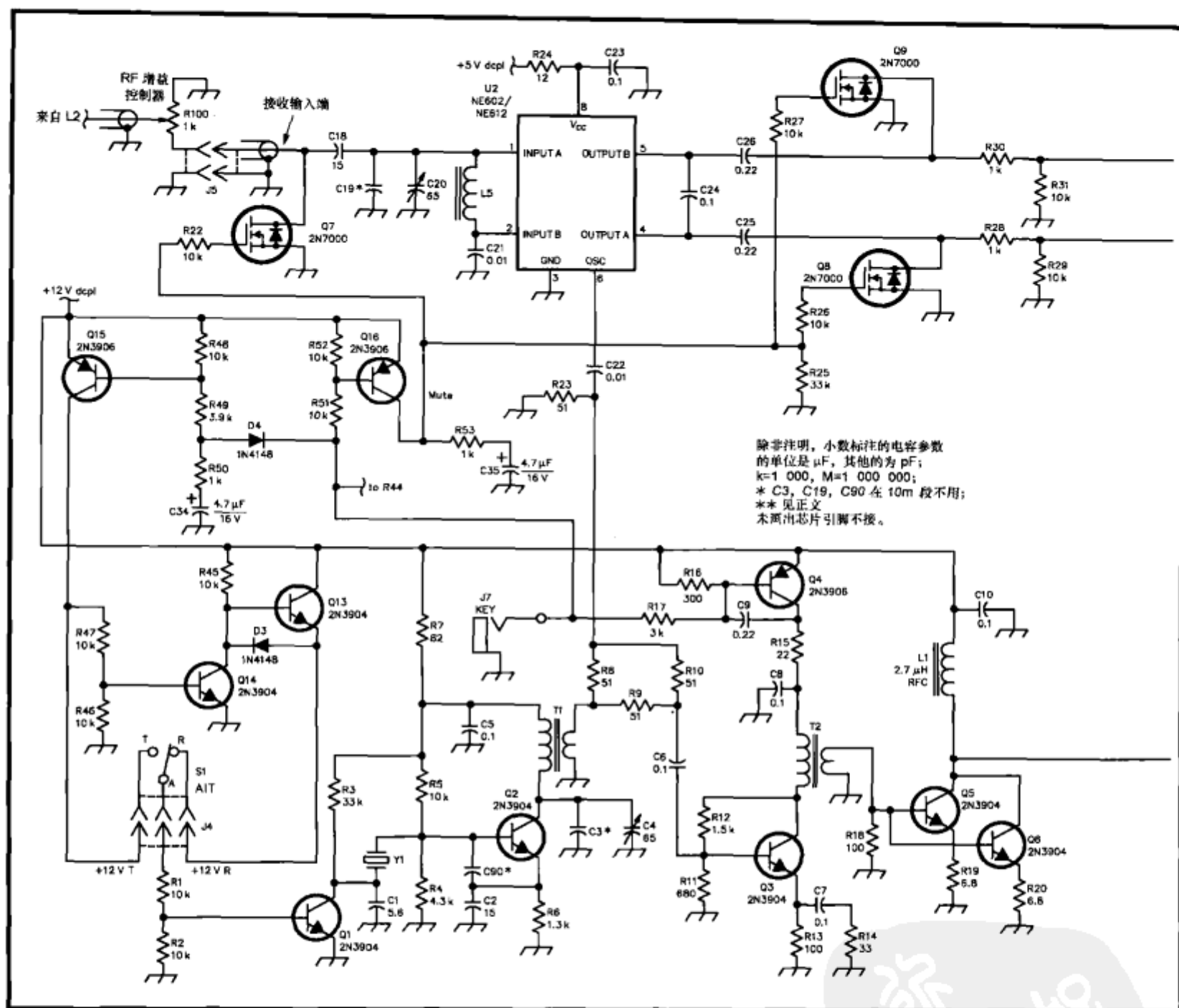
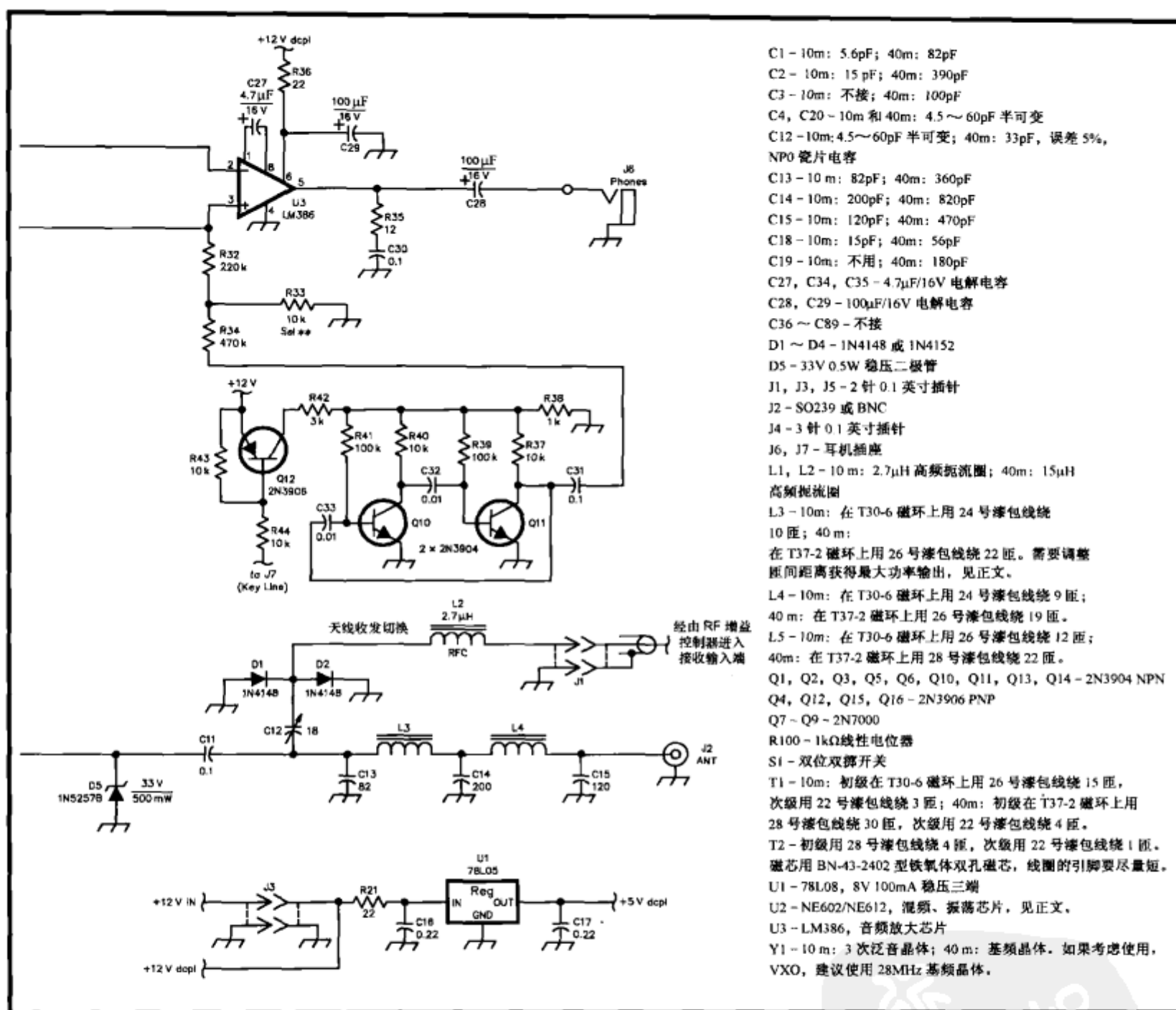


图 2-5 10m 和 40m “Micro Mountaineer” 电路图。除非注明，电阻是误差为 5% 的碳复合电阻或碳膜电阻，固定电容误差为 5%，瓷片（NP0/C0G）或者云母电容都可以使用。
 n.c. 表示无连接。元件表列出了不同波段的元件参数。



2. 接收部分

接收部分是根据约翰·狄龙 (WA3RNC) 的 Neophyte 收音机改动而成的^[3]。混频器 U2 是一片 NE602 或 NE612 乘积检波器，后面接 LM385D 音频放大器。乘积检波器由 U1 (78L05) 提供 5V 工作电压。接收部分在原电路基础上略做改动，增加了静音、简单的侧音。MOS 场效应管 Q8 和 Q9 在发射时导通，把来自检波器的信号对地短接 (MOS 场效应管的导通电阻很小，这是基极偏流不大的双极性晶体管办不到的)。U2 的输入采用调谐电路，但是采用不平衡式输入，这样在发射时产生一个大的直流分量，后来增加 Q7 来增强接收静音。用平衡式变压器来代替 L5 也能减小直流分量。

U2 耗电很小，这对于便携机来说是个优点，但是电流小大大减小了动态范围。善于探索的爱好者使用二极管环形混频器，大信号获得了 20 dB 的改善^[4]。

侧音振荡器 (Q10 和 Q11) 由 PNP 管 Q12 控制，侧音信号经 R32 送入 U3。侧音幅度可以通过 R33 调整。侧音音调的高低可通过 R39 和 R41 调整。

两只 PNP 三极管在按下电键时产生定时电压。接收静音管 Q16 的静音时间由 C35 和 R25 的参数确定。Q15 使 +12R 电压变低，同时使 +12T 电压升高。这两个控制信号会出现在开关 S1 上。操作 S1 就可以在发射状态或接收状态下让晶体的振荡频率偏移，这样可以躲避 QRM。这个功能更像有些高级电台具备的 RIT 功能，因此取名为 AIT。笔者把这个电路用在几个简单的 VFO 控制的收发信机上。频率切换时间由 R49 和 C34 的参数决定。加大 C1 可以减小频率的偏移量 (本收发信机为 1kHz)。

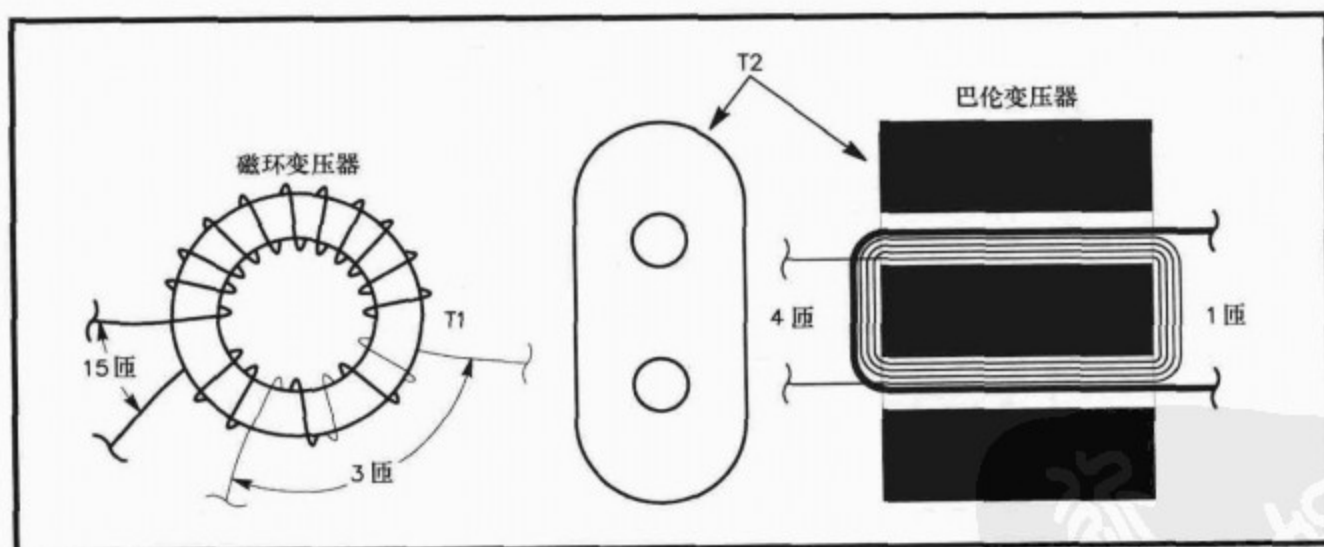
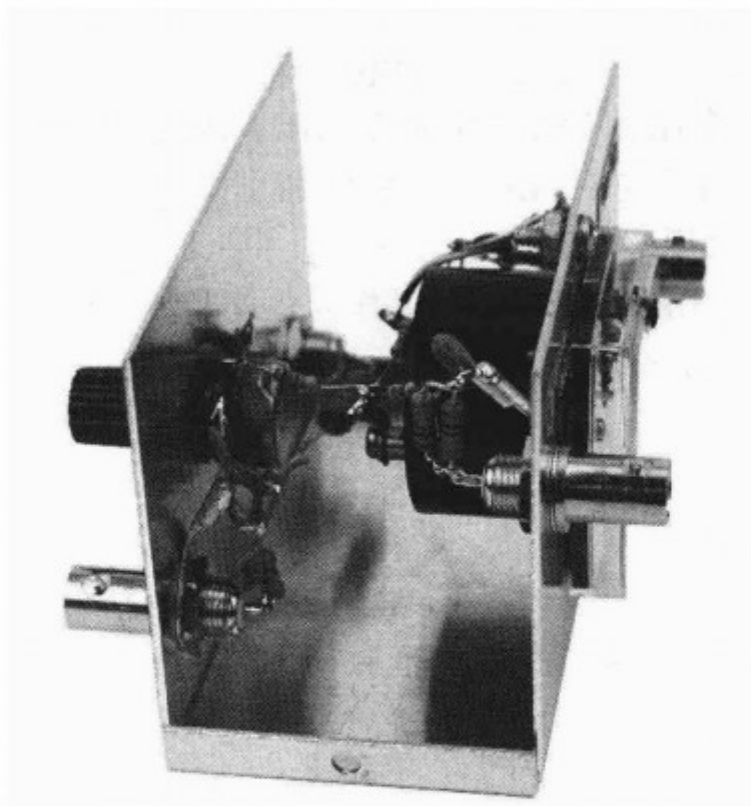


图 2-6 两个变压器的绕制方法。对于磁环，漆包线穿过孔一次为一匝。
对于双孔磁芯，漆包线穿过两个孔一次为一匝。

天线收发开关由 D1 和 D2 完成。C12 和 L2 组成 28MHz 的串联谐振电路，把来自天线的信号送到接收部分的增益电位器 (GAIN)。当电键按下时 (会产生强信号)，二极管导通，使信号幅度不至太高，损坏混频芯片 U2。收信增益由 R100 控制，这个电位器固定在面板上。在这个 10m 的版本里，C12 采用的是半可变电容，但是在 40m 的版本，C12 是个固定电容。



功率表内部

简单的功率表

图 2-7 是简单双量程功率表的电路图，可用于测量这个机器的功率（也可用于测量其他机器的功率）。先介绍 1W 量程部分。D200 把出现在 50Ω 负载电阻上 (R200 和 R201 并联组成) 的峰值 RF 电压整流，整流后的电压送到电压表 (R202 和表头)，表头的满度量程为 10V。

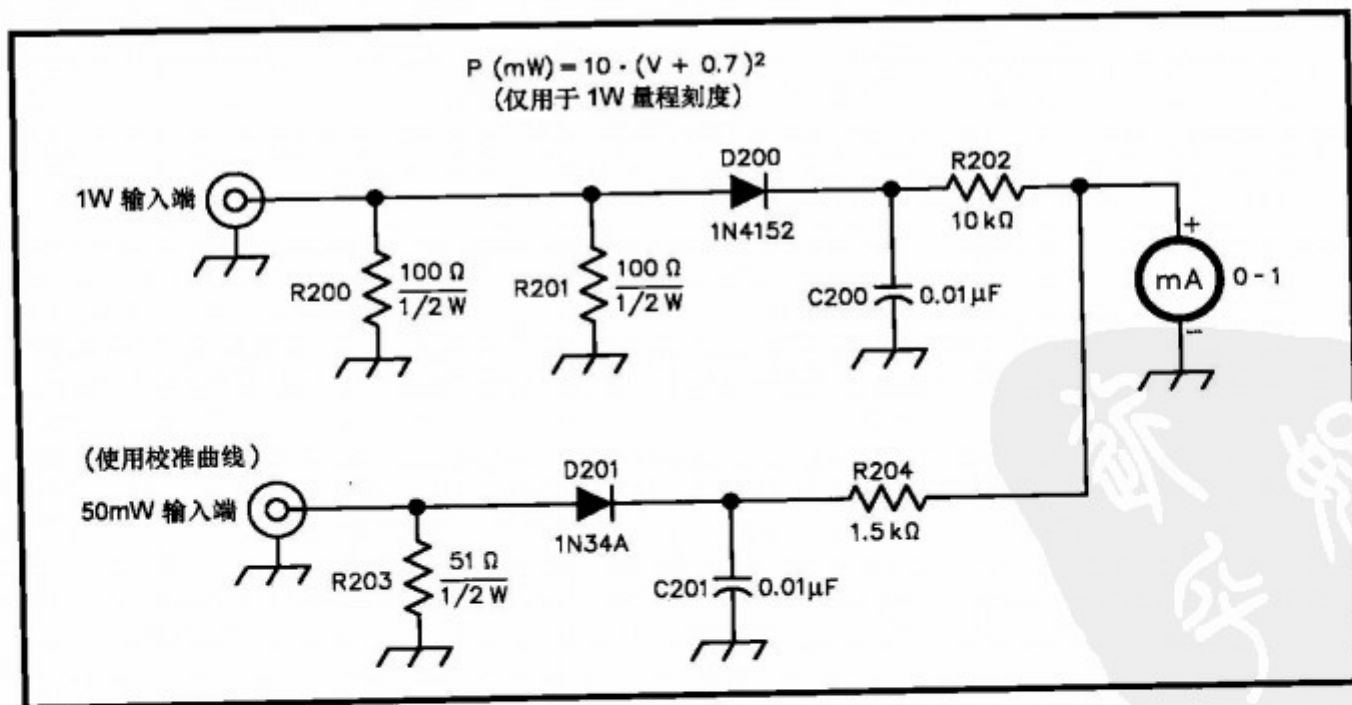


图 2-7 “微型登山者”可用这个功率计测试。当使用 1W 量程，表头读数为 0.5mA 时，指示的 RF 峰值电压为 5V，通过计算公式计算，功率为 325mW。D200 是 1N4152、1N4148 或 1N914。

D201 是灵敏度更高一点的 1N34A 锗二极管。

笔者把单量程功率表装好后，发现很小的电压就能让表头满度运动。仔细研究发现，表头内阻仅为 100Ω ，这是普通 1mA 满度表的典型内阻。因此引发笔者又加了一个整流管和负载电阻，组成了灵敏度更高的量程 (50mW)。笔者利用 1W 发射机和多级衰减器校准了刻度，见图 2-8。图中的曲线可直接用来估测所测功率。

这个功率表的输入、输出阻抗为 50Ω ，可作为任何被测信号源的负载，无需外接负载，与 QRP 爱好者常使用的功率表不一样。

制作

这个收发信机的制作方法可能有多种。笔者第一台采用的是“丑陋安装法”。但是一定有不少爱好者想用印制电路板装这个机器。但无论用什么方法，笔者建议要分块安装，一次装一部分。

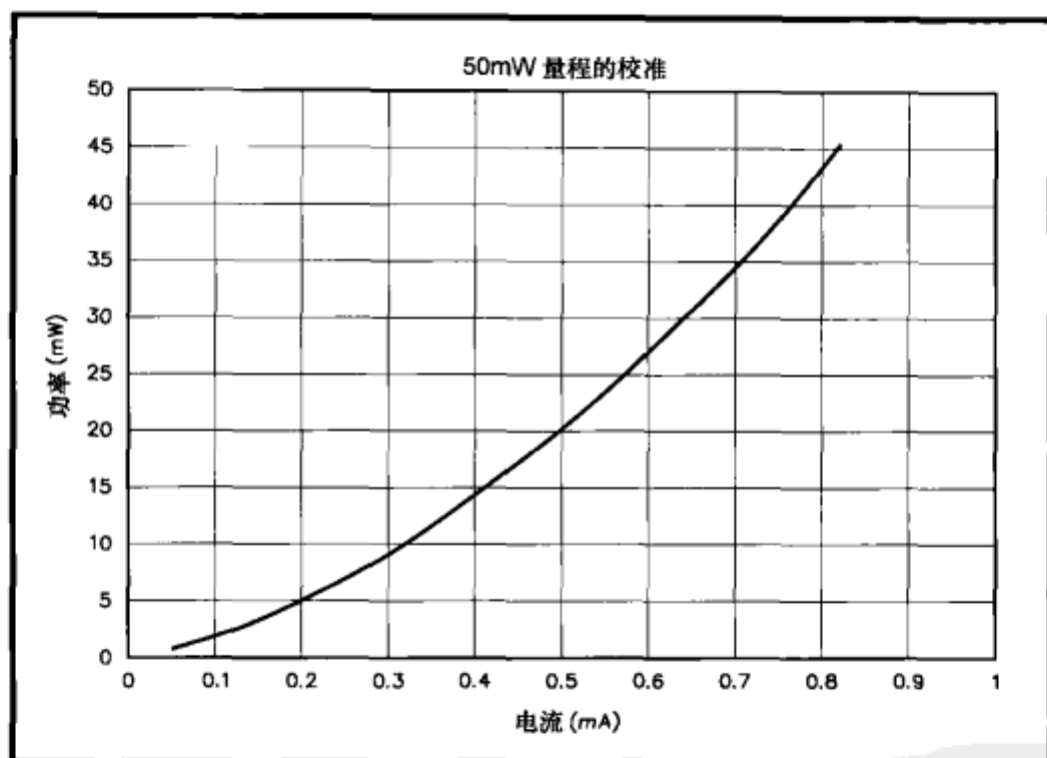


图 2-8 用于 50mW 量程的校准曲线

1. 发射部分

先从晶体振荡器入手，这部分包括开关管 $Q1$ 。装好后通电。用一台收音机调到晶体振荡器的工作频率，用听的方法检查振荡器是否工作。用一段 50Ω 同轴电缆把 $T1$ 的次级与功率表连接在一起，调节 $C4$ 使读数最大。使用 50mW 量程， $T1$ 的输出应该有 10mW 。这一步完成后，确认振荡器正常，再装下一部分。

接下来安装驱动级 (Q3), 包括键控管 Q4。装好后检查这部分是否工作正常。先用 15Ω 电阻代替 R14。用一段 50Ω 同轴电缆把 T2 的次级与功率表连接在一起, 读数应该是 35mW。

现在安装功放与低通滤波器。把输出接到功率表, 量程用 1W。接通电源, 按下电键, 挤压或拉开 L3 上的线圈, 使功率指示最大。有条件的话, 最好是先测量电感量, 然后再安装。

2. 接收部分

先装音频放大器 (U3)。装好后, 在 J6 插上耳机, 应能听见轻微的“丝丝”声。用手指或改锥碰任一个输入端, 应该有哼声, 甚至 AM 广播声。稳压块 U1 检查完毕后, 安装检波器 U2。然后接上天线。即使是在晚上, 波段没有打开, 也应该能听见背景噪声。调节 C2 使听到的噪声最大。如果手边有信号发生器, 可以用来帮助调整。这个机器应该能够轻松接收 $0.1\mu\text{V}$ 的信号。

如果是用印制电路板装的机器, 而且摊放在桌面上, 耳机里会听见明显的交流声。不必担心。一旦把装好的机器装入金属机壳, 交流声就会消失。采用“丑陋安装法”装的机器, 几乎听不见交流声。用印制电路板装的, 在测试时, 交流声是大一些。

3. 其他电路部分

当这个收发信机的主要部分都工作正常后, 就可以安装辅助功能部分了。安装静音管 (Q8、Q9), 还有开关管 Q16。注意, 机器的天线输出端一定要接一个 50Ω 的负载 (没有负载的情况下, 切勿发射)。接通电源, 按下电键, 这时, 扬声器 (或耳机) 里应该几乎听不见任何声音了。安装、测试 AIT 部分, 然后安装侧音部分。最后安装保护二极管 D1 和 D2, L2, C12。用同轴电缆把天线接收输出与接收输入端连接起来, 调节 C12, 使收到的信号最响。

现在就可以把装好的机器装进机壳了。不要使用太小的机壳, 免得安装困难。装进机壳, 就可以调整 R14 (前面提到过), 使功率输出在 $500 \sim 650\text{mW}$ 。对于 10m, R14 约为 33Ω ; 对于 40m, R14 为 47Ω 。调整 R33 可以调整侧音的音量。

发射

现在该看看这个机器的效果了。和其他机器一样, 天线很关键。笔者使用的是 30 英尺高的双极天线。当时 10m 刚好是开通的, 但是比较安静。呼叫了几次 CQ, 一个 2 000 英里以外的电台回答了。第二天, 成果更多, 联络的有佛蒙特和阿拉斯加的电台。

发射前应先听, 确认频率上无人使用再呼叫。如果有台在同频率回答呼叫, 抬起电键就应该能听见对方的呼叫信号。接通 AIT, 就可以找到回答对方呼叫的最佳频率位置。

结论

任何 QRP 活动都是很有意思的，这个 10m 机也不例外。使用普通天线，功率 1W 左右，就可以和世界各地的电台通联。当然，好的传播条件并不是时时都有，所以要抓住机会。

喜欢做实验的爱好者可能会动脑筋改进这个收发信机的性能。当然，这个机器可以改成 10m、40m 以及其他波段的。可以改进频率控制部分，可能最简单的方法是使用 VFO。但是在 28MHz，VFO 的稳定性很难保证。因此可以考虑用混频的方法，但是要考虑频率输出的纯度。

使用原来版本“Micro Mountaineer”的爱好者，大都使用了 VXO。但是，也有难度，泛音晶体的频率调整范围比基频晶体小。此外，设置一致的频率偏移量也存在一定的难度。大家不妨动手实验。

注释

[1] Wes Hayward, W7ZOI and Terry White, K7TAU. “The Micro Mountaineer – An Ultraportable CW Station.” *QST*, Aug, 1972, pp23–26

[2] Wes Hayward W7ZOI. “The Micro Mountaineer.” *QST*, Aug, 1973, pp11–13 and 45

[3] John Dillon WA3RNC. “The Neophyte Receiver.” *QST*, Feb, 1988, pp14–18

[4] Rick Campbell KK7B. “High-Performance Direct-Conversion Receivers.” *QST*, Aug, 1992, pp19–28



2.4 40m QRP 收发信机

这个 QRP 收发信机没有使用特别元器件，也没有使用磁环。采用的 12 只晶体管也是普通 350mW 的管子，唯一的一片芯片是再普通不过的音频放大芯片 LM386。

特点

- 发射部分、接收部分是完全分开的。因此可以一个一个地分开装，不必一次完成。可先从发射部分入手，这部分较容易。
- 发射功率输出 2.5 ~ 3W，比 QRP 满功率 5W 约低半个 S。
- 发射部分采用 VXO，频率稳定，可有几 kHz 的调节范围。
- 接收部分是超外差结构，采用晶体滤波器，真正单信号接收（大部分“简单的”自制机采用再生式或直接变频式电路，使段内干扰多了一倍，因为零差拍两边都能产生信号）。
- 接收部分有音频 AGC，避免大信号来时震耳朵。
- 可接驳频率计，显示发射和接收频率。笔者采用的是 UniCounter^[1] 显示频率，和机壳刚好配套。
- 所有电路可以装在没有腐蚀的敷铜板上，采用大面积敷铜接地的方法。当然可以制作印制电路板。

图 2-9 是笔者做的两个版本：左边这台是直接焊在未腐蚀的敷铜板上的，右边那台是装在印制电路板上的。

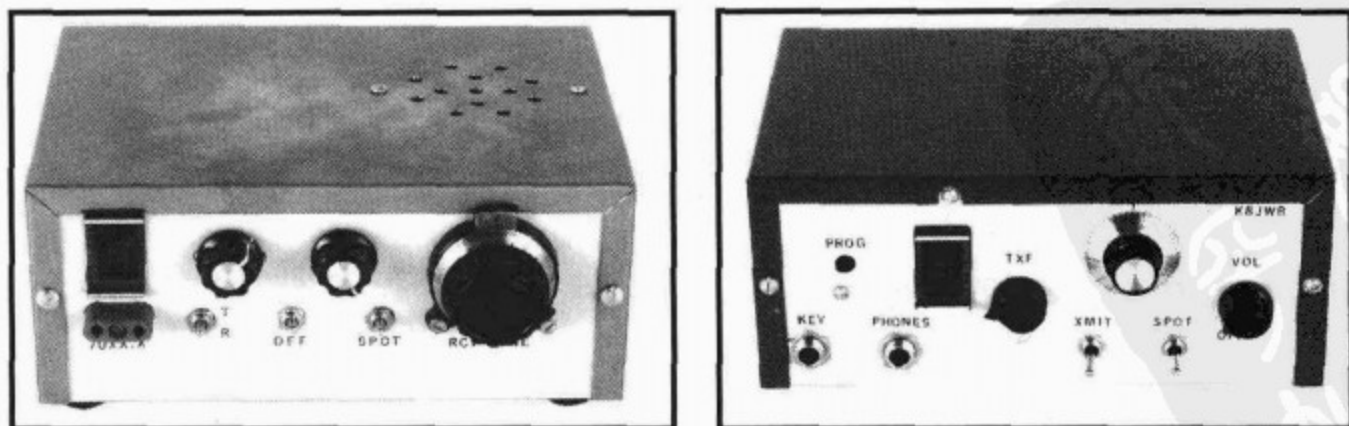


图 2-9 简单的 40m QRP 收发信机。左边这台是直接焊在未腐蚀的敷铜板上的，右边那台是装在印制电路板上的。

发射机电路

电路图见图 2-10。Q1 是晶体振荡器，振荡信号进入缓冲放大管 Q2，驱动 Q3 和 Q4。Q2、Q3、Q4 是开关三极管，采用非调谐式，使处于 C 类放大状态的 Q5 和 Q6 迅速从饱和转换成截止状态。这两个功率管可以输出 3W，在连续按下电键的情况下，每个管子耗散仅为 0.5W，这样，把 1/2 英寸 × 3/4 英寸的金属板粘在功率管的顶部散热也足够了。天线不匹配或没有接天线，功率管可以承受短时间发射。

振荡管和缓冲管是一直工作的，而驱动管和功放管是键控的。Q5 和 Q6 的发射极电流有方波脉冲成分，有丰富的谐波。如果这个电流串入电键连线，会产生高频干扰。所以在电键插口上 (J1) 直接对地焊了一只 0.1μF 的旁路电容。在有的情况下，可能需要在电键连线串入一个高频扼流圈 (在 1MΩ/1W 的电阻上用 22 号漆包线绕 10 匝)。Q2 ~ Q6 是采用直接耦合。因此，分压电路 R5/R6 必须在振荡器无输出时使 Q2 导通，这样 Q5 和 Q6 才能截止，避免大电流流过。

C1 向容量最大的方向转动时，晶体的振荡频率会低于标称频率。频率的调节范围为 1 ~ 2kHz，甚至 10kHz，这取决于使用的晶体特性，以及是否采用 L1 和 R1。采用 Ocean State Electronics 生产的晶体，配合这个电路，频率调节范围可达 8kHz。

L1 (22μH) 要求严格。需要反复试验才能找到正确的参数。笔者发现，20μH 时，频率调节范围只能达到 1/2；24μH 时，晶体处于自由振荡状态，超出了业余波段的范围。此外，L1 采用磁螺杆调节的骨架，用 28 号漆包线绕制，效果也不好。如果不想反复试验，就不要装 L1 和 R1，用跳线直接短接。这样，QSY 的范围在 1kHz 或 2kHz，但是振荡稳定性提高了。

发射调试

除了前面提到的调整 L1 获得最大的频率覆盖范围，发射部分没有什么需要调整的。需要注意的是，L3 要用 20 号漆包线绕制 (或更粗一些的)，C11、C12 必须采用银云母电容。如果线径过细或采用瓷片电容，输出端会损失不少 RF 能量。Q1 ~ Q4 不妨试用其他型号的三极管。换用晶体管可能使输出功率提高 0.5W。如果有晶体管测试表 (现在的数字万用表都有这个功能)，Q5 和 Q6 尽量放大倍数配对，使流过两个功放管的电流保持一致。也可以选择输出功率最大的管子。

如果有 60MHz 的示波器，可观察天线端的波形，应该是干净、对称的正弦波。如果不对称，那么就有 2 次、3 次谐波成分。这时，可微调 L3、C11、C12。如果波形有毛刺，说明有高次谐波、射频干扰，应该改善接地，加强电源滤波，或者换用稳压性能好一些的电

接收电路

电路图见图 2-11。两个固定调谐电路使 RF 放大器 Q7 的带通限制在 7MHz 左右。RF 放大器的增益是 5 ~ 10。放大后的 7MHz 信号与来自本振的 3MHz 信号混频。本振由 Q10 组成，输出幅度为 2V_{p-p}。混频后在 Q8 的输出端得到 4MHz 的差频信号。4MHz 的中频信号经 Q9 放大，送入 Y4 ~ Y5 组成的晶体滤波器，晶体滤波器把带宽限制在 400Hz，然后由 Q12 进一步放大。

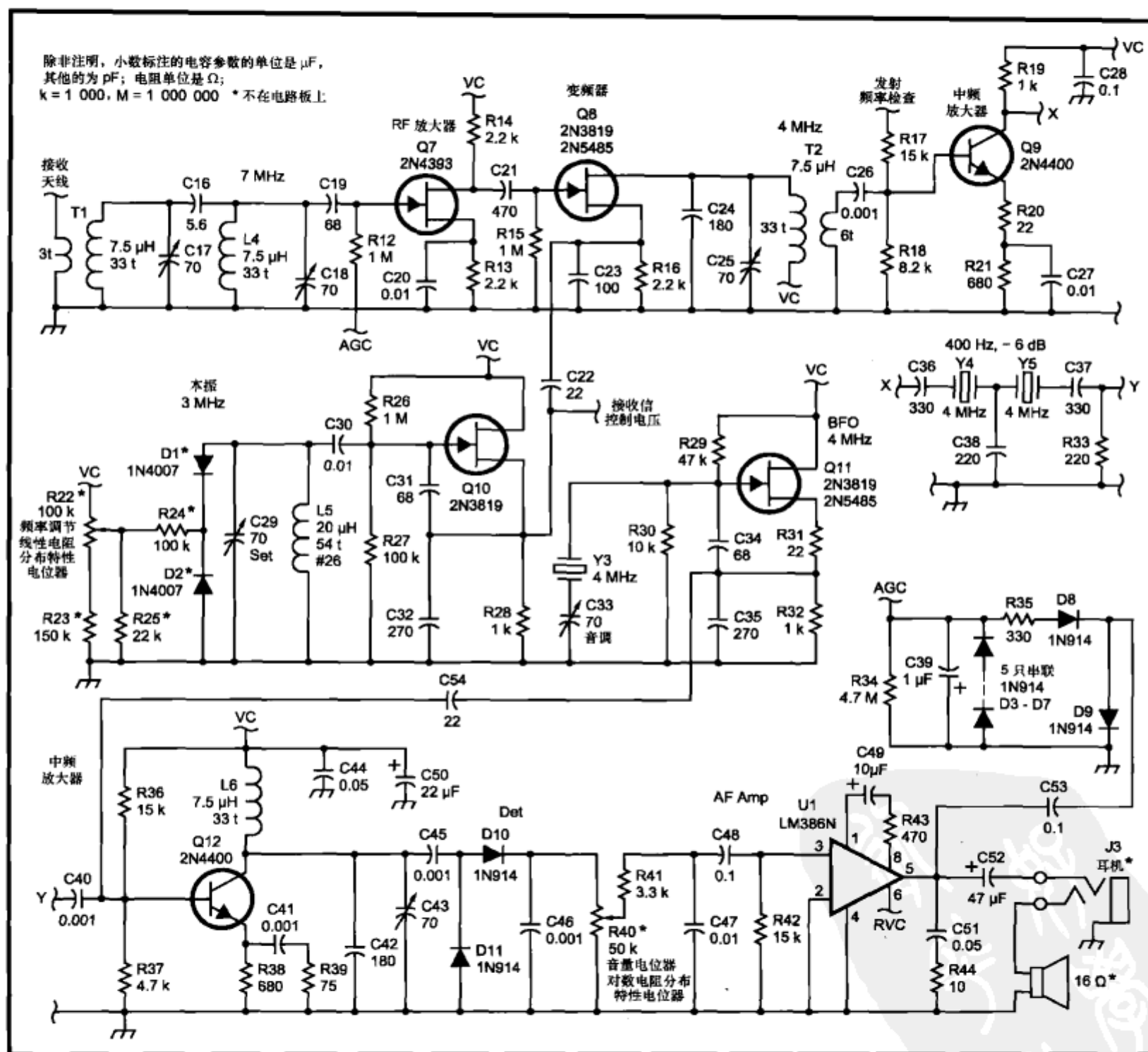


图 2-11 收信部分电路图。除非注明，电阻是误差为 5% 的碳复合电阻或碳膜电阻。除 L5 以外，线圈用 22 号漆包线。

Q11 是差拍振荡器 (BFO)，振荡频率比 4MHz 高 1kHz，差拍信号与中频信号在 Q12 混频，检波二极管 D10 ~ D11 的非线性在音量电位器 R40 产生约 1kHz 的音频信号。LM386 把音频信号放大后送到耳机或小型扬声器。一部分音频信号经 D8 和 D9 整流，产生负电压，这个电压给 Q7 的栅极提供偏置。音频信号幅度超过几倍 V_{p-p} ，耳朵就难以忍受了，这个音频电压产生的负电压足以使 Q7 截止，将增益减小到 1，甚至更低，使音量限制在正常的范围内。除音频放大器之外，所有电路都是持续工作的，以减少频率漂移。

接收部分的元件选择

Q7、Q8、Q11 可选用任何 N 沟结型场效应管，只要栅极在 -2V 或更低时漏极电流为零就可以。如果想让 AGC 环路把音频信号保持在舒适的幅度，Q7 要选用栅极电压接近 -1V 时管子截止的结型场效应管。

图 2-12 是一个测试场效应管截止电压的简单电路。标有 2N3819 的场效应管就有多种，有的 -5V 时才能截止，有的却适合这个接收机，因此这个测试电路很有用。如果用 2N4393，就不必用这个测试电路了，因为这种管子的截止电压低，能够满足要求，不用测试。

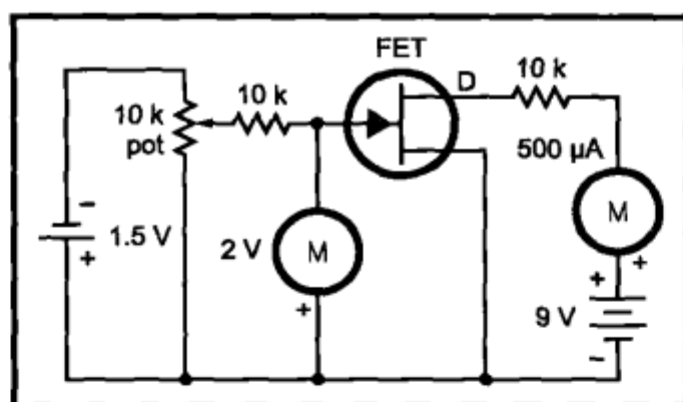


图 2-12 挑选场效应管电路（也可能不需要，见正文）。调节电位器，使漏极电流为 $10\mu A$ ，此时电压表读数为管子截止时的栅极电压。

接收用的 3 只晶体应该采用同样型号的，来自同一个厂家、同一个批次。特性不同的晶体，尽管标称频率是 4.000MHz，用在一起效果不好。

接收部分的调谐是通过改变一对普通二极管的反向电压实现的，改变反向电压能够改变结电容。1N4004 就能用，但是耐压 1 000V 的 1N4007 温度稳定性更好（当时也用了变容二极管，效果和 1N4007 差不多）。为了达到需要的频率覆盖范围，还是需要经过试验挑选一对二极管。调谐用的电位器 R22 很重要，阻值变化应该平滑，免得调节频率时出现频率

跳跃现象。可用数字万用表来挑选电位器。旋转电位器，任意选几个阻值点，看看是否能够容易重复调到这几个点。如果不采用二极管调谐方法，可以把 D1 的正极引脚与电路断开，或者不装 R22 ~ R25、D1 和 D2。这时，在 C23 两端接上 1 只 50pF 的空气可变电容，实现频率调谐。

线圈的绕制

所有的线圈都是绕在“New Home”牌缝纫机底线用的塑料线轱辘上。这种线轱辘在缝纫机店有售，大约 50 美分 1 个。线轱辘的侧面有孔，漆包线的头、尾可穿过侧面的孔，防止线圈散开。这个电路的线圈没有抽头，也没有需要双线并绕的，十分简单。

接收部分有 2 个线圈需要在初级线圈上绕几匝，形成变压器。这就需要另外钻 2 个孔，让漆包线穿过。线圈可以用手工绕制，但是如果有个简单的绕线机，那就更加容易了。绕线机是用 3/16 英寸 × 4 英寸的螺栓和一个铁丝衣架做成的，衣架弯成曲轴的样子，一端与螺栓焊在一起。一个螺帽压住线轱辘，另一个螺帽（夹在台钳里）固定螺钉，可以让绕线机旋转。图 2-13 可以看见绕线机的样子。图 2-14 的数据可用于绕制最大电感量为 35 μ H 的线圈，对试验 L1 和其他线圈非常有用。

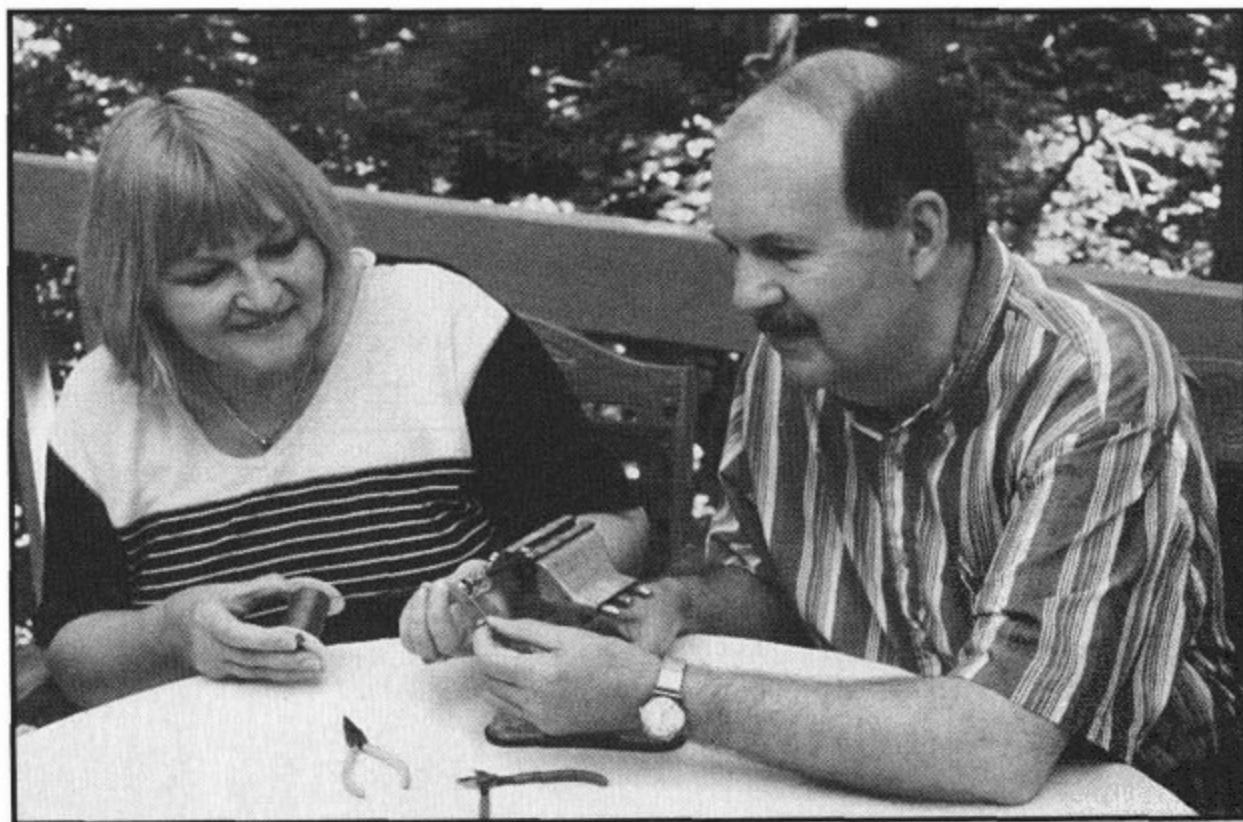


图 2-13 使用绕线机绕线圈（见正文）

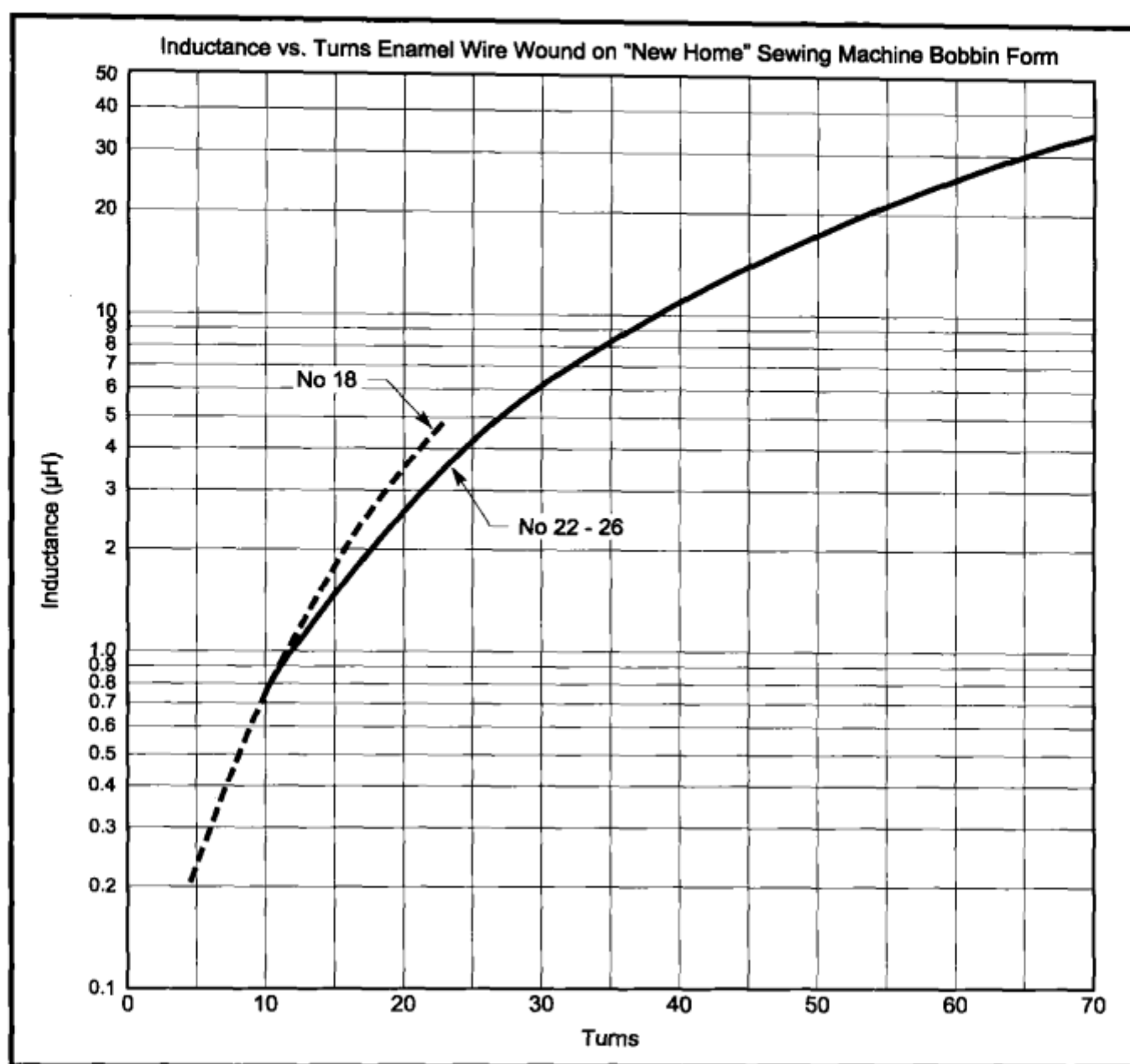


图 2-14 匝数与电感量的关系

接收部分的统调

把频率计接在 Q10 的源极，调节 C29，使本振振荡在 3MHz。也可利用全波段收音机，把频率调到 3MHz，来检查本振频率。然后用同样的办法从 Q11 检查 BFO 的频率。现在，调整 C17、C18、C25、C43，应该能收到信号，或者段内噪声。调整这几个微调电容，使收到的信号声音最大。进行这个调整时，需要接上天线。

如果出现自激（较大的尖叫声），可把 R20 增加到 33Ω 或 47Ω，减小 Q9 的增益。接收一个 CW 信号，不管音调怎样，把音量开到最大，调整 C33 使音调最佳。如果调整正确，零差拍另一侧的信号应该几乎听不见。

到了夜晚，背景可能会出现短波 AM 广播。当两个强台相隔 4MHz 时会出现这个问题，

这两个信号混频后进入中频通道。细心调节 C17 和 C18 可减小这个干扰。

可以使用标有 0 ~ 100 刻度的旋钮来显示 7010 ~ 7055 范围的接收频率。具体方法如下：

1) 时用 200k Ω 电位器代替 R23 和 R25，电位器调整到中间位置。

2) 调整 R22 使电压最高（频率最高），电压最高出现在顺时针方向到头前 30° ~ 50° 时。把旋钮刻度设置到这个频率最高的位置（7 070kHz）。

3) 整 R22 使电压最低（不必逆时针拧到头），调节 R23，使最低接收频率为 7 000kHz。

4) 把 R22 拧到中间位置（7 035kHz），调整 R25，使收音机能够收到这个频率的信号。

5) 重复调整 3 ~ 4 次，直至刻度显示结果满意。拆下 R23、R25，用万用表测量出阻值，换上相应的固定电阻。

检查发射频率

当把 SPOT 开关置于 SPOT 位置时，发射部分的振荡器、驱动器开始工作，接收部分的灵敏度因为中放管栅极失去偏置而降低，这样，接收到的发射信号就不会太响而感到不舒服。学会利用零差拍来对准想联络的电台并不难。不必使用频率计，当然，用频率计会方便一些。

接收 7 040kHz 的信号时，频率计会显示 3 040kHz，这不是问题。接收部分本振信号是通过在 Q10 的源极引脚绕了一根电线，靠近频率计的输入端的电线耦合给频率计的，如有必要，也可以把这两根线绞合一匝，拧在一起，这样就形成了一个 1 ~ 2pF 的“绞合”电容。发射时，Q2 基极的 22pF 电容把信号耦合到频率计，这个信号比接收部分本振信号强，频率计显示发射频率。

安装笔记

这个收发信机第一个版本是装在不用焊接的面包板上的。第二个版本采用大面积敷铜接地的方法装在没有腐蚀的敷铜板上，板子尺寸是 4½ 英寸 × 6½ 英寸，装在 3 英寸 × 7 英寸 × 5 英寸的铝壳里，见图 2-15。这个尺寸的铝壳刚好装下，大一点更好。

照片中可以看见，3/16 英寸的小块敷铜板用万能胶贴在大块的敷铜板的铜面上，形成连接点，大块的敷铜板形成“地”，也能对每个电路部分起到去耦作用。这个版本的接收、发射采用的是空气可变电容调节频率。面板上还装有晶体插座，UniCounter 频率计装在背板上，一匝电线连接到面板的显示板上。这个版本效果很好，但是有的元件难买，而且连线脚困难。第三个版本采用腐蚀好的印制电路板，可装在 7 英寸 × 5 英寸 × 3 英寸的机壳里（图 2-16）。发射部分采用容易找到的微调电容调节频率，把一根直径 1/8 英寸的轴焊接在微调电容的调节螺钉上，便于固定旋钮。接收部分采用电位器和普通二极管（1N4007）当作变容管调节频率，省去了行星齿轮的减速旋钮和空气电容。电路板上晶体管引脚的顺序（底视，顺时针方向）是 E-B-C（对于场效应管是 S-D-G）。

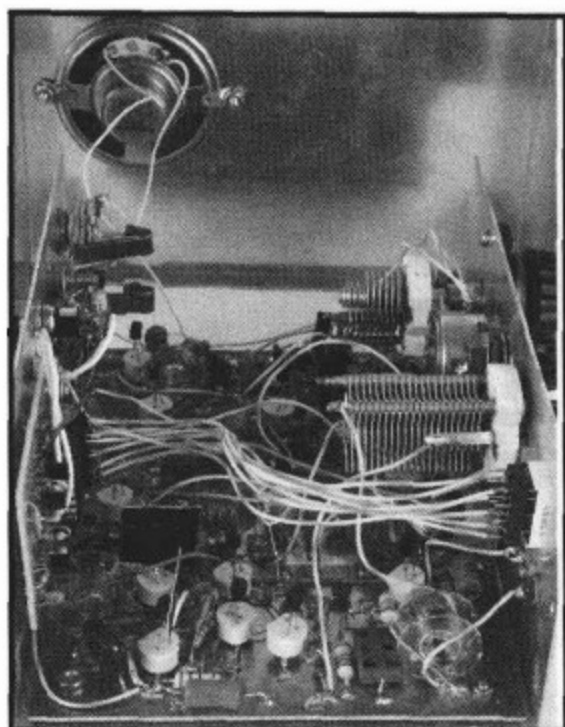


图 2-15 采用大面积敷铜接地方法制作。扬声器固定在盖子上，频率显示采用 UniCounter 频率计（见正文），频率调节采用空气可变电容。

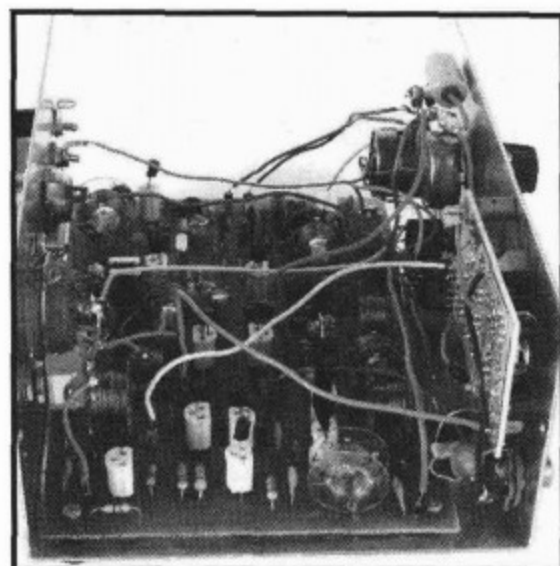


图 2-16 采用印制电路板制作。8 脚电子管座当作晶体插座，利用开关切换晶体。UniCounter 频率显示固定在前面板上。

气流流过二极管的时候，接收频率会有 100Hz 的漂移，所以要盖住机壳的盖子。如果有小型的空气电容，不妨考虑取代二极管来调节接收频率。最后一个版本采用 8 脚电子管座当作老式的 FT-243 晶体插座，利用开关达到迅速切换晶体的目的。HC6/U 晶体如果有合适的插座，也可以用。新式的 HC-18 晶体引脚细，可以不用插座，直接焊在电路板上。

笔者的天线、电键是配合电子管设备的，所以采用的是体积大的 SO-239 天线插头，电键、耳机插座用的是 1/4 英寸的，便于与其他设备兼容。读者可以使用 BNC 或 RCA 型音频插座作为天线插座，电键、耳机也可用 3.5mm 的插座，具体见表 2-1。

表 2-1

元件表

C1, C17, C18, C25, C29, C33, C43—7 ~ 70 pF 瓷介半可变电容	L1—22 μ H (22 号漆包线在“New Home”牌缝纫机线轱辘上绕 55 匝)
C2, C5, C6, C32, C35—270 pF 瓷片电容	L2, L4, L6—7.5 μ H (22 号漆包线在缝纫机线轱辘上绕 32 匝)
C3, C4, C23—100 pF 瓷片电容	L3—1.5 μ H (20 号漆包线在缝纫机线轱辘上绕 14 匝)
C7, C8, C9, C13, C28, C48, C53—0.1 μ F 独石电容	L5—20 μ H (22 号漆包线在缝纫机线轱辘上绕 54 匝)
C10, C44, C51—0.05 μ F 独石电容	Q1, Q2, Q3, Q5, Q6, Q9, Q12—2N4400 或 2N4124, 或类似的 NPN 三极管 (见正文)
C11, C12—470 pF 银云母电容	Q4—2N4402 或 2N4126, 或类似的 PNP 三极管
C14—绞合电容，两段电线绞合在一起	Q7—2N4393, 或其他栅极电压为 1V 时管子截止的 N 沟结型场效应管
C15—100 μ F/25V 电解电容	

C16—5.6 pF 瓷片电容	Q8, Q11—2N5485, 或经挑选的 2N3819, 或其他栅极电压为 -2V 管子截止的 N 沟结型场效应管 (见正文)
C19, C31, C34—68 pF 瓷片电容	Q10—2N3818 或 MPF105
C20, C27, C30, C47—0.01 μ F 瓷片电容	R7—470 Ω , 1/2W 碳膜电阻
C21—470 pF 瓷片电容	R22—100k Ω 线性电位器
C22, C54, C55—22 pF 瓷片电容	R40—50k Ω 对数电位器
C24, C42—180 pF 瓷片电容	S1, S3—小型单刀双掷开关
C26, C40, C41, C45, C46—0.001 μ F 瓷片电容	S2—小型双刀双掷开关
C36, C37—330 pF 瓷片电容	S4—单刀单掷开关 (R40 自带)
C38—220 pF 瓷片电容	T1—7.5 μ H (22 号漆包线在缝纫机线轱辘上绕 32 匝, 次级 6 匝)
C39—1 μ F/50V 电解电容 (轴向)	T2—7.5 μ H (22 号漆包线在缝纫机线轱辘上绕 32 匝, 次级 6 匝)
C49—10 μ F/25V 电解电容 (轴向)	Y1—7.040MHz 晶体
C50—22 μ F/25V 电解电容 (径向)	Y2—7.030MHz 晶体
C52—47 μ F/25V 电解电容 (轴向)	Y3 ~ Y5—4.000MHz 晶体
D1, D2—1N4007	
D3 ~ D11—1N914	
J1, J3—1/4 英寸电键、耳机插座。也可采用 3.5mm 规格的。	
J2—天线插座。SO-239 型, 或 BNC 插座, 也可采用 RCA 音频插座。	
J4—连接 12V 电源的接线柱	

几点改进

因为这个收发信机使用稳定性很好的 13.5V 的稳压电源, 接收频率调节电位器 R22 的电源端无需稳压。如果采用移动电源、电池或者稳压不好的电源供电, 应该使用 10V 稳压管或 78L08 稳定调谐电压。

许多爱好者建议使用容易购得的 3.58MHz 晶体代替 4MHz 晶体, 这不会有任何问题, 但是频率计显示的接收频率看起来就没有那么直观了。UniCounter 频率计具备频率补偿功能, 可以解决这个问题, 但是发射时显示频率又会不正常了。

40m 段可被称为“7/24 波段”。除了极少见的太阳黑子风暴期间, 这个频段在太阳 11 年周期里, 白天、夜晚、夏季、冬季都是打开的, 能够进行联络, 然而其他业余 HF 波段未必能够这样。有一些爱好者问这个收发信机是否能工作在其他波段。

工作在 80m 时, 高频线圈需要增加几匝, 使调谐回路工作在 3.5MHz。L5 需要减几匝, 使振荡器工作在 7.5MHz。工作在 30m 时, 本振需要工作在 6.1MHz, 高频线圈要减掉几匝, 以谐振在 10.1MHz。文中表 A 提供了 30m 段的参数。

表 A

工作在 30m 段时的数据

C2—180pF 瓷片电容
C3—68 pF 瓷片电容
C5, C6—100pF 瓷片电容
C11, C12—330 pF 银云母电容
C16—3pF 瓷片电容
L3—1.0 μ H, 18 号漆包线在缝纫机线轱辘上绕 11 匝
L4—5.2 μ H, 22 号漆包线在缝纫机线轱辘上绕 28 匝
L5—5.2 μ H, 22 号漆包线在缝纫机线轱辘上绕 28 匝 (此时本振频率为 6.1MHz)
R1, L1—用 1 只 100 Ω 电阻代替, 此时频率偏移为 +4 ~ +5kHz
T1—5.2 μ H, 22 号漆包线在缝纫机线轱辘上绕 28 匝, 次级 2 匝
Y1, Y2—10.1MHz 晶体

根据笔者的经验, 工作在 7MHz 以外的波段时, 尽量采用空气可变电容, 不要用变容二极管。工作在 14MHz 或更高频率时, 不要采用这个电路, 因为发射部分要涉及倍频电路, 需要采用完全不同的电路。这也会使普通的晶体管工作在极限。

使用

这个机器的效果如何? 如果有合适的天线, 接收灵敏度很高, 现代的晶体管收发信机能够收到的信号, 这个机器大都能够收到。使用短的任意长度的天线或不谐振天线, 这个机器接收效果就不好了, 所以必须使用谐振天线。

这个机器的接收频率调节要求较严格, 此外 QRM 的滤除不如现代的成品机好。发射信号的报告很好, 一直赞扬信号干净、键控波形好。

如果你是使用小功率联络的新手, 那么会遇到灰心丧气的情景: 对方似乎只是回答强信号。要学会掌握呼叫时机, 或在 40m 段 QRP 频率 7 040kHz 附近呼叫。

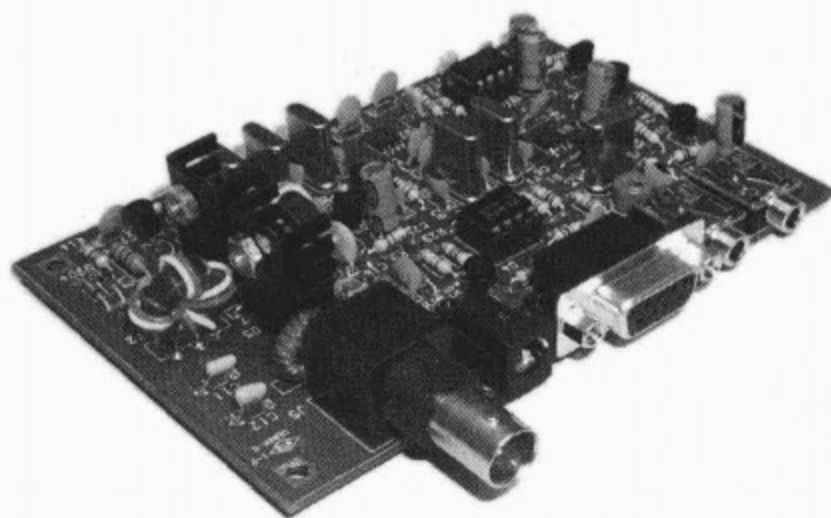
笔者使用高度为 25 英尺的双极天线, 与 500 英里半径范围内的业余电台进行过长时间的通联, 信号报告是 599。与西海岸的通联 (从底特律附近) 能够持续 10 分钟, 信号报告 459, 这样的联络经常有。在一个寒冷冬季的深夜, 笔者在 40m 段的低段联络到了西欧的电台。

注释

^[1] R. Stone KA3J. “The UniCounter—A Multi-purpose Frequency Counter/Electronic Dial.” *QST*, Dec, 2000, pp33–37

2.5 简单的“鸟鸣” 80m PSK31 收发信机

PSK31 在业余无线电圈内引起了一场风暴,可能用“巨浪”这个词更加贴切。在这个因特网时代,利用计算机和 HF 收发信机使用这个可靠的低带宽数字模式通信的快乐是难以形容的。PSK31 重新点燃了各年龄段业余无线电爱好者的兴趣,其电路简单以及采用的新技术,正吸引更多的爱好者加入行列。当配合使用 PC 软件,例如 DigiPan, 业余无线电爱好者可以在任何 HF 端进行可靠联络。



DigiPan 可从 members.home.com/hteller/digipan/ 免费下载,目前的版本是 1.5。其他软件的链接可在 psk31.com 找到。

对于业余无线电爱好者,PSK31 使老的通信方式获得了新生。这里谈的不是 SSB 的调制/解调方式,也不是这个模式能把十几个正在联络 SSB 的 QSO 同时在同一个频带里打包,变成一个 SSB 的 QSO。这里谈的是真正利用频谱。SPK31 能够给各年龄段的业余无线电爱好者提供一个新的交流方法,在经常活动的频率范围内,进行朋友与朋友或会员与会员之间的联络。

“鸟鸣”为 PSK31 打开了 80m 段

PSK-80 是本森 (NN1G) 设计的最新版本 SPK 收发信机。新泽西 QRP 俱乐部给它起名为“鸟鸣”。这个造价低廉的 80m 收发信机让居住在半径 200 英里范围内的朋友、俱乐部成员、同学、火腿亲友进行联络可靠的 QSO。80m 段的自然传播特性为 PSK 的使用者在夜晚进行圆桌式 QSO 或者俱乐部成员空中聚会提供了机会。大家可能听到过 CW 或 SSB 网络指挥交通、气象报道、旧设备拍卖等。目前正在出现使用 PSK31 的网络。80m 段 PSK31 的活动范围正在不断扩大,这大都是因为使用 PSK31 的人越来越多。在罗德·瑟可尼 (N0RC) 的率领下,丹佛的火腿已经开始了落基山集体组装“鸟鸣”夜校,帮助其他爱好者使用这个模式联络。在比尔·琼斯 (KD7S)

和多格·亨德里克斯 (KI6DS) 的率领下, 加利福尼亚北部的 QRP 爱好者开始了周日晚上的西部鸟鸣“嚼烂布”夜校。新泽西的 QRP 爱好者每晚都用“鸟鸣”QSO, 每个周日的晚上都用“鸟鸣”进行俱乐部聚会。亚特兰大的 QRP 爱好者正在展开集体安装 80m 的套件活动。芝加哥的 PSK 老兵肯·霍普 (N9VV) 是最大的 PSK31 空中鼓动者。笔者几乎每晚都在 3 580.5kHz 附近出现。

“鸟鸣”活动

图 2-17 的地图描述了目前 80m 段“鸟鸣”PSK31 在美国的活动区域。红圈标出的是可靠的半径 200 英里联络范围。可以看出, PSK31 活跃区是加利福尼亚北部、东北地区、芝加哥、亚特兰大。加拿大使用 80mPSK31 的人数正在增加。严重重叠区域是 PSK31 活动密度最大的区域, 对于使用这个模式的新用户来说, 联络成功的机会最大。笔者了解到有成功地吸引新鲜血液到 HF 段的例子: 加利福尼亚洛斯加托斯的爱好者马克·泽格勒 (W6ZZZ) 说自己的第一次 HF 段通联使用的就是“鸟鸣”!

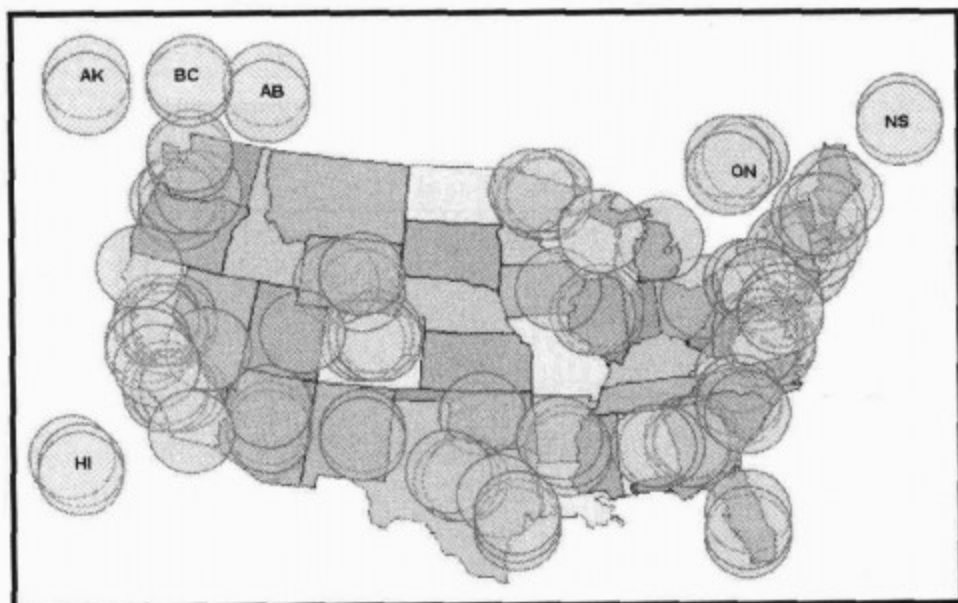


图 2-17 PSK80 “鸟鸣”在美国、加拿大的地理分布。每个红圈表示 3 个在 200 英里范围内的“鸟鸣”, 每个“鸟鸣”都能可靠通联。到写稿时, 大约有 500 台“鸟鸣”, 数量还在增长。

200 英里半径可靠传播范围在冬季会变大。加利福尼亚北部的 KD7S 报告说, 与加拿大不列颠哥伦比亚省的德利 VE7QK 的通联效果不断变好。加利福尼亚的菲尔·威乐 (W7OX) 与犹他州的一个电台经常联络。加利福尼亚多斯巴罗斯的多格·亨德里克斯 (KI6DS), 北加利福尼亚 QRP 俱乐部负责人, 报告说: “我曾经与桑格的比尔 (KD7S)、佛赖斯弄的大卫 (AB5PC)、西雅图附近的本 (NW7DX)、犹他州百翰市的隆 (K7UV) 都通联过。” 洛杉矶的菲尔 (W7OX) 报告说部分抄收了 (包含完整呼号) 来自康涅狄格州 NN1G 的信号。

尽管地图只是显示了使用“鸟鸣”的 80m 段 PSK 活动, 但是使用其他设备的 PSK31 活

动正在不断增加。似乎许多使用其他硬件和软件 PSK31 的爱好者正在从频段的高端向低端移动，与在 80m 段使用“鸟鸣”的爱好者联络。

什么是“鸟鸣”

去年冬天，大卫一边准备 PSK31 的谈话，一边考虑如何用很少元件处理 PSK31 信号。他发现，PSK31 在 80m 经常出现的频率是 3 580.15kHz，很接近色同步用的晶体频率 3 579.545kHz。大约 30 分钟，图纸出来了。简单的滤波器由色同步用的晶体组成。图 2-18 是 3 只晶体滤波器以及带通频响。

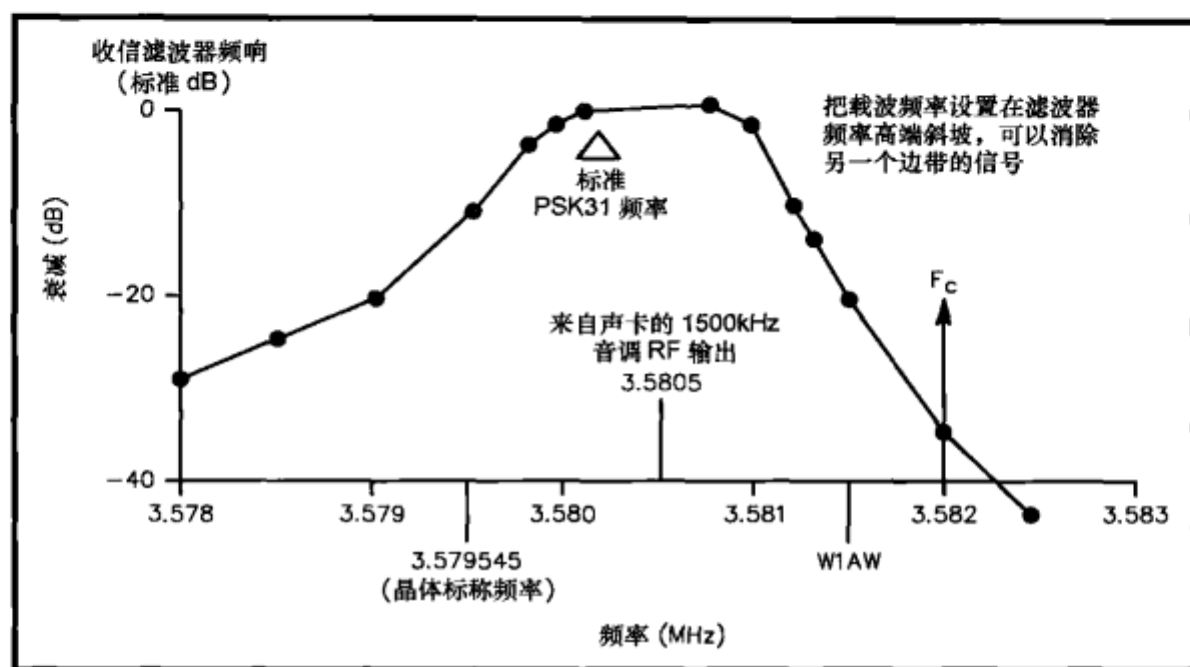


图 2-18 晶体滤波器带通频响

不对称的裙状频响是典型梯形晶体滤波器的特点——频率上端陡峭一些。笔者充分利用这一特点，把载波 / 差拍频率放在带通频率的上端。这样能够阻止 W1AW 的信号，并使机器工作在 LSB。滤波器采用串联谐振晶体，因此，带通频率往往会高于晶体的标称频率。通过给 BFO 晶体串联小容量电容，把 BFO 的频率拉高到带通的高端频率。

滤波器频率与工作频率相同，下一步怎么处理？大家不妨想想 Neophyte 直接变频 (D-C) 收信机^[1]，电路极其简单，只有一个乘积检波器、振荡器和音频放大器。在接收前端加一只晶体，其结构还是直接变频，但是选择性和抵抗 IMD 的能力大为改善。发射时，在平衡式调制器的输出端接同样的滤波器，DSB 信号就成了 SSB 信号了——刚好是工作频率。框图如图 2-19 所示。

电路介绍

图 2-20 是“鸟鸣”的电路图。先讨论发射部分。计算机声卡输出 (LINE OUT) 接 J2。

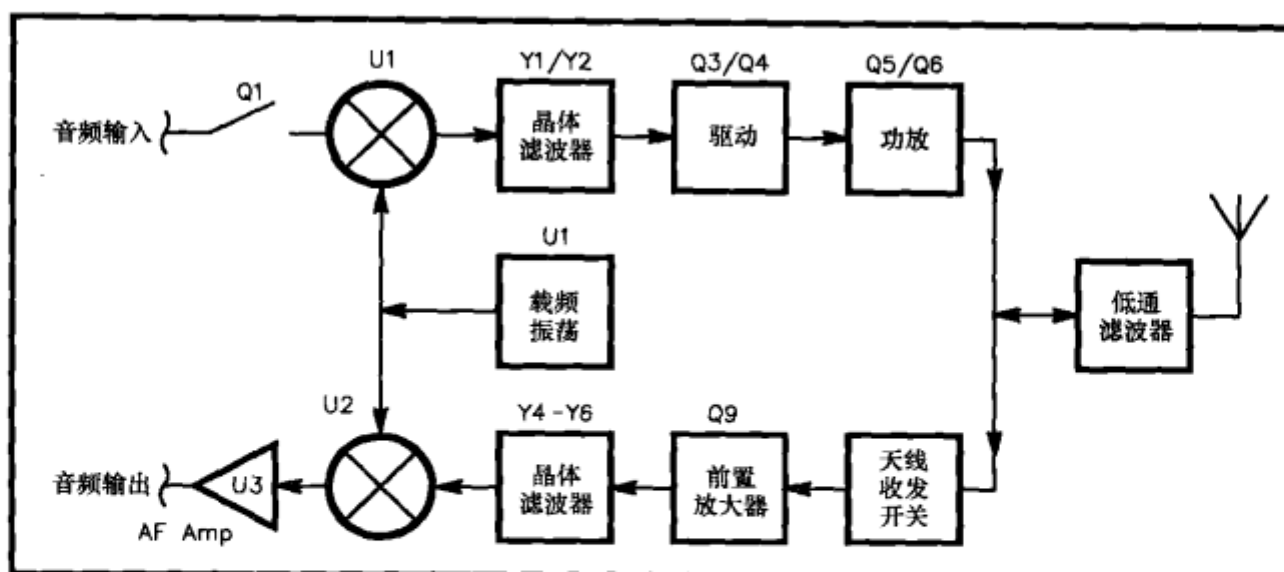


图 2-19 “鸟鸣”直接变频 (D-C) 收发信机框图

发射时 Q1 导通，让音频信号通过，并给 Q2 提供偏流。幅度为几百 mV 的音频信号送入混频芯片 U1，产生（抑制）载波频率为 3 582kHz 的 DSB 信号。Y1、Y2、C6 ~ C8 不要边带信号，Q3 和 Q4 把 SSB 信号放大。Q4 的输出端由一个 L 型滤波电路（L1 和 C10 组成），使驱动级的阻抗与功放（Q5 和 Q6）的阻抗相匹配。

功放电路有些不同，是推挽电路。功放的两管子在各自的导通周期表现同样的增益，这种平衡去除了二次谐波信号。T1 采用三线并绕，把信号分成两路不同相信号，送至 Q5 和 Q6。另外一个多线并绕的变压器 T2 把 Q5 和 Q6 的输出信号混在一起。T2 的第三个绕组是单独绕的，匝数不同，是根据集电极阻抗为 12 Ω 而定的。根据理论，这个功放输出功率可达 6W。但是在实际情况下，由于 R13R/13A 的电阻压降，Q5 和 Q6 的饱和影响，输出功率限制在了 4 ~ 5W PEP。

由于推挽输出的平衡特性以及二次谐波的改善，输出低通滤波器可以大为简化。电路中只用了一节滤波电路。由于推挽电路能够抑制 15 ~ 20dB 的二次谐波，这个电路的二次谐波抑制最小为 33dB，符合 FCC 管理规定。

C13、D3、D4、L3 是天线收发开关，并为接收前端提供选择性。Q9 是前级放大，提供 10dB 的增益。除提供增益外，Q9 还能为晶体滤波器提供 1.5k Ω 的匹配阻抗。一开始，“鸟鸣”没有这一级，滤波器波形很差。Y4 ~ Y6 以及相关电容提供的选择性如图 2-18 所示。混频器 U2 把滤波器的输出信号转换成音频信号，经低通滤波器滤波后送入 U3 放大。R23、R24、Q7 组成静音电路，防止发射时产生回授。

比较器 U4A、U4B 以及相关元件提供收发转换时序。计算机串口的 RTS 信号在接收时为负电压，发射时为正电压。R32 和 C24 产生的接通延时使 Q2 周围的直流电压在发射部分接通前稳定，这样能减小发射过渡时发射瞬时能量。二极管 D5 在返回接收时迅速切断发射部分的偏置电路，起到了同样作用。

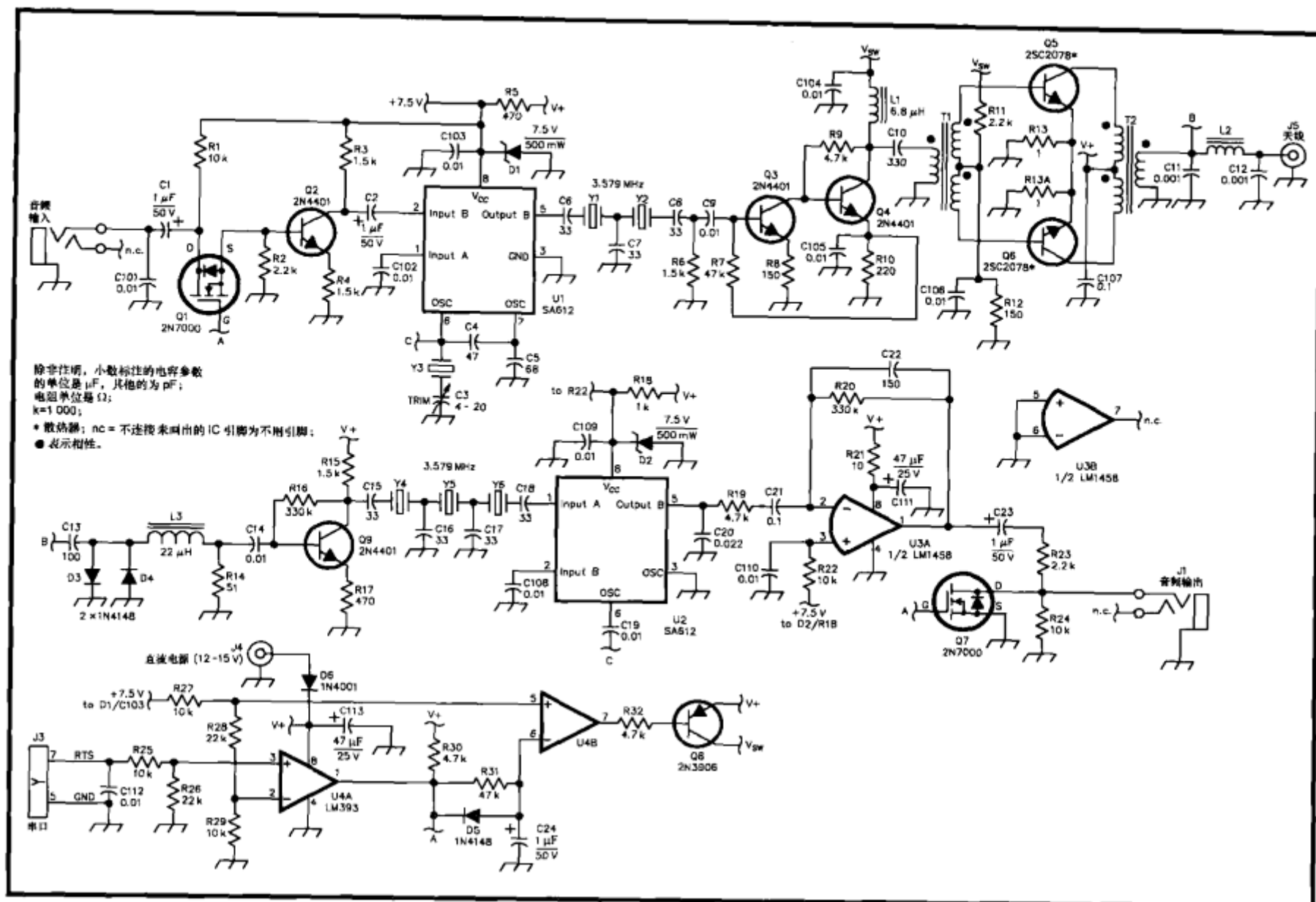


图 2-20 80m “鸟鸣”直接变频 (D-C) 收发信机电路图。除非注明, 电阻是误差为 5% 的碳复合电阻或碳膜电阻。

- | | |
|---|---|
| C1, C2, C23, C24—1μF/50V 电解电容, 径向引线 | J3—DB9, 电路板安装 |
| C3—4 ~ 20 pF 微调电容 | J4—DC 电源插座, 2.1mm×5.5mm, 电路板安装 |
| C4—47 pF 瓷片电容, 误差 5%, NP0/COG | J5—BNC 母插头, 电路板安装 |
| C5—68 pF 瓷片电容, 误差 5%, NP0/COG | L1—6.8μH 高频扼流圈 |
| C6~C8, C18~C18—33 pF 瓷片电容, 误差 5%, NP0/COG | L2—24 号单股绝缘线在 T37—2 磁环上绕 23 匝 |
| C9, C14, C101 ~ C106, C108 ~ C110, C112—0.01μF 瓷片电容 | L3—22μH 高频扼流圈 |
| C10—330 pF 瓷片电容 | Q1, Q7—2N7000, 增强型 N 沟结型场效应管 |
| C11, C12—0.001μF NP0/COG 独石电容 | Q2~Q4—2N4401 NPN Q8—2N3906 PNP |
| C13—100 pF 瓷片电容, 误差 5% | Q5, Q6—2SC2166 或 2SC2078 高频功率管 |
| C20—0.022μF 独石电容 | T1—3 根 24 号单股绝缘线在 T37-43 磁环上并绕 4 匝 |
| C21, C102—0.1 μF 独石电容 | T2—初级用 2 根 24 号单股绝缘线在 T37—43 磁环上并绕 4 匝, 次级 24 号漆包线绕 8 匝 |
| C22—150 pF 瓷片电容, 误差 5% | U1, U2—SA612 双平衡混频 / 振荡芯片 |
| C111, C113—47μF/25V 电解电容 | U3—LM1458N 或 MC4558N 双运放 |
| D1, D2—7.5V, 500mW 稳压二极管 1N5236B | U4—LM393N 双差分比较器 |
| D3~D5—1N4148 | Y1 ~ Y6—3.579MHz 晶体, 串联谐振, HC—49/U 封装 |
| D6—1N4001 | 其他: 电源插座, 散热片 |
| J1, J2—3.5mm 耳机插座, 电路板安装 | |

与计算机连接

“鸟鸣”与计算机的连接方法见图 2-21，采用电缆连接。电缆在电子市场或商店能够买到。

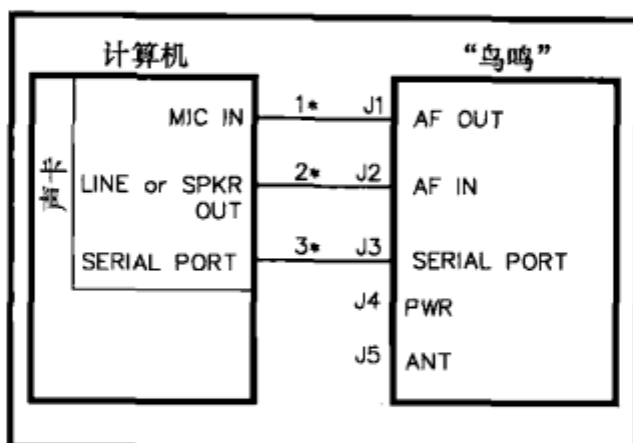


图 2-21 “鸟鸣”与计算机接驳图解。使用适合设备要求的连接电缆连接。如图所示，1 和 2 使用了三芯电缆，两端接有立体声耳机插头。串口电缆 3 两端连有 DB9 母插头。

软件设置

这个收发信机需要软件才能工作。如果没有软件，可以下载 1.5 版本的 DigiPan，这是最新的版本。DigiPan 开始运行后，把频率显示设置成 3 582kHz，选择 LSB，这就把 3 582kHz 显示在右角了。分别把天线、直流电源（12 ~ 15V）连接在 J5 和 J4。调整声卡的 MIC 音量滑块（在 DigiPan1.5 版本里是 CONFIGURE 1 WATERFAL DRIVE），调整这个控制器在屏幕上产生蓝黄斑点。调整正确时，会出现一条约占屏幕宽度 1/3 的色带。

调试

发射部分需要调整微调电容 C3。可借助 ARRL 提供的频标校准仪调整。在大多数下午、晚上，W1AW 在 3 581.5kHz 发射信号。使用小改锥，细心调整 C3，直至 W1AW 的信号与软件显示的 3 581.5kHz 标记对准。如果收不到 W1AW 的信号，调整 C3，使显示屏最亮的部分对准 3 580.0 ~ 3 581.0kHz 的中央部分。

如果居住地离 W1AW 很近，这个台发出的信号会在显示屏上产生杂散信号痕迹，调整声卡 MIC 音量控制器设置消除这个现象时 PSK31 信号消失在噪声里时，请试用这个方法：把 DigiPan 的启动频率设置在 3 581.5kHz，调整 C3，使 W1AW 的信号在频率显示最右端变成零差拍。这是利用音频放大器的低频滚边特性把这个信号降低到可控制的程度。大

卫 NN1G 住在离 W1AW 约 2 英里的地方，这个台的信号很强。通过上述方法调整后，抄收 PSK31 的信号就没有问题了。

发射调试

在 DigiPan 界面里选择“MODE”，点击“TUNE”，这样把收发信机设置在 100% 周期的发射模式了。在 WINDOW 的托盘里，点击扬声器图标，拖动音量滑块，直至发射功率设置在 3W。虽然可以通过加大驱动提高“鸟鸣”的输出功率，但这是牺牲 IMD 的性能为代价的。如果没有功率计，可用 50Ω 的假负载和峰值电压表完成这个工作。

操作

用鼠标点击典型的“火车轨道”，PSK31 信号会使文本出现在 DigiPan 的上文本窗口里。点击 DigiPan 菜单里的 T/R，可以使收发信机转换到发射模式，在下窗口输入的文字就发射出去了。

致谢

感谢新泽西 QRP 俱乐部、西部“鸟鸣”协会以及其他所有爱好者对这个活动的热心支持和帮助。

注释

- [1] John Dillon WA3RNC. “The Neophyte Receiver.” *QST*, Feb, 1988, p14 ~ 18





发射机的制作

- 新版金枪鱼罐头盒 2 号发射机
- T5——两只电子管的金枪鱼罐头盒发射机
- 电子管金枪鱼罐头盒发射机 (T5) 元件的替换
- 改进 W1FB 原创的 80m 沙丁鱼罐头盒发射机
- 简单的 10m QRP 发射机
- 用于 40m 和 80m 的简单 CW 发射机



3.1 新版金枪鱼罐头盒 2 号发射机

20 世纪 70 年代, ARRL 技术编辑——已故的 D·德茅 (W1CER/W1FB), 是发表自制设备文章的总部人员之一, 其中不少文章涉及 QRP 制作。其中一篇就是介绍简单的 40m 段发射机, 用沙丁鱼罐头作为底板, 因此得名“金枪鱼 2 号”, 深受爱好者欢迎, 吸引不少爱好者自制这个发射机。ARRL 实验室制作的那台“金枪鱼 2 号”目前还在空中活跃, 相关的文章、网页、“金枪鱼 2 号”的套件仍然还有。有的爱好者把重新制作的“金枪鱼 2 号”称作“狂热金枪鱼 2 号”。“狂热”一词恰如其分地表现了大家仍然对这个简单发射机的喜爱之情。

本文是根据 D·德茅发表在 1976 年 5 月号 QST 的文章编辑的。有些老元件已经买不到了, 所以使用了一些新元件, 元件参数采用了 W6TOY 提供的数据。相信德茅一定会很高兴看到自从他 25 年前在 ARRL 实验室制作了第一台“金枪鱼 2 号”之后, 今天这个小机器仍然受到大家的喜爱。



原版“金枪鱼 2 号”

——ARRL 实验室总监爱德华·哈尔 (W1RFI)

喜欢周末动手制作的爱好者, 鼓起勇气, 并非所有的制作电路都复杂、费时、费钱。“金枪鱼 2 号”就不费时, 安装容易, 适合有“动手瘾”的人安装。

金枪鱼罐头盒能做发射机的底板吗? 为什么不能? 几个小时后, 350mW 就从天线发射出来了, 而且做了不少 QSO。

需要的材料

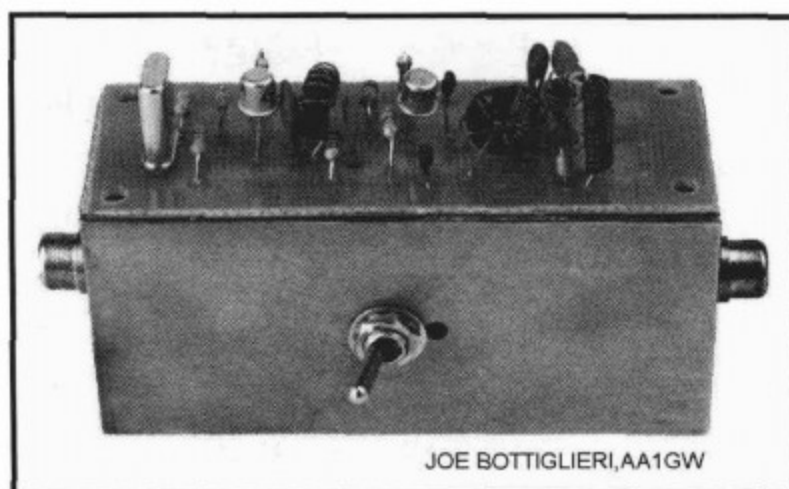
做这个 QRP 机器不一定非要金枪鱼罐头盒不可。任何 6½ 盎司的食品罐头盒都能用。

喜欢长方形盒子的人可以用沙丁鱼罐头盒。有人做“沙丁鱼 2 号”吗？“菠萝梨”如何？6½ 盎司的罐头盒外径都是 3¼ 英寸，就按照这个标准。当然，制作前先要把罐头吃掉或把罐头里的东西倒出来。

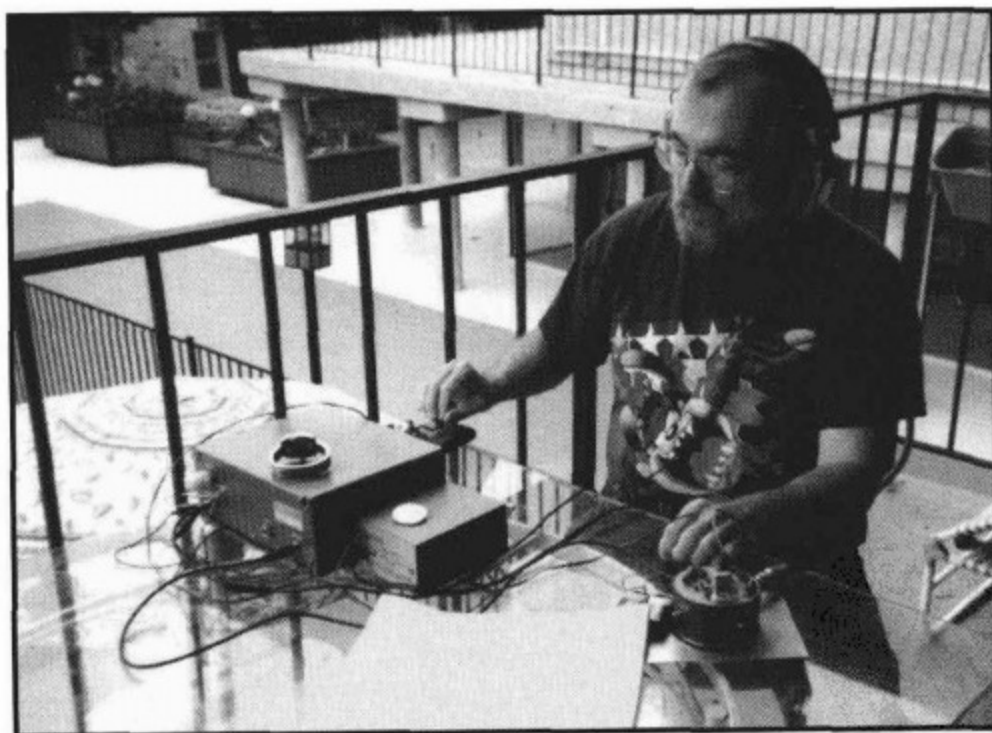
原来的“金枪鱼 2 号”采用的是 Radio Shack 的元件，但是现在已经买不到了。2N2222A 晶体管现在到处都能买到。原来的线圈磁芯已经换成磁环了。现在印制电路板也能买到，而且新泽西 QRP 俱乐部还提供套件。

小型的收发开关价格很高，可用滑动式开关代用。由于功率小，音频用的莲花插座就可以满足 RF 插座要求。

虽说晶体厂商生产晶体插座，但晶体插座现在很难买到了。这里使用的是负载电容 30pF 的基频晶体。若能够找到合适的插座，FT-243 晶体也可以用。只要一个发射频率，晶体可以直接焊在电路板上。这个制作的成本，不包括晶体、电源、罐头盒，还不到 20 美元。这是采用全新元件的价格，去跳蚤市场采购，估计几美元就够了。



W6TOY 的“金枪鱼 2 号”，没有使用金枪鱼罐头盒

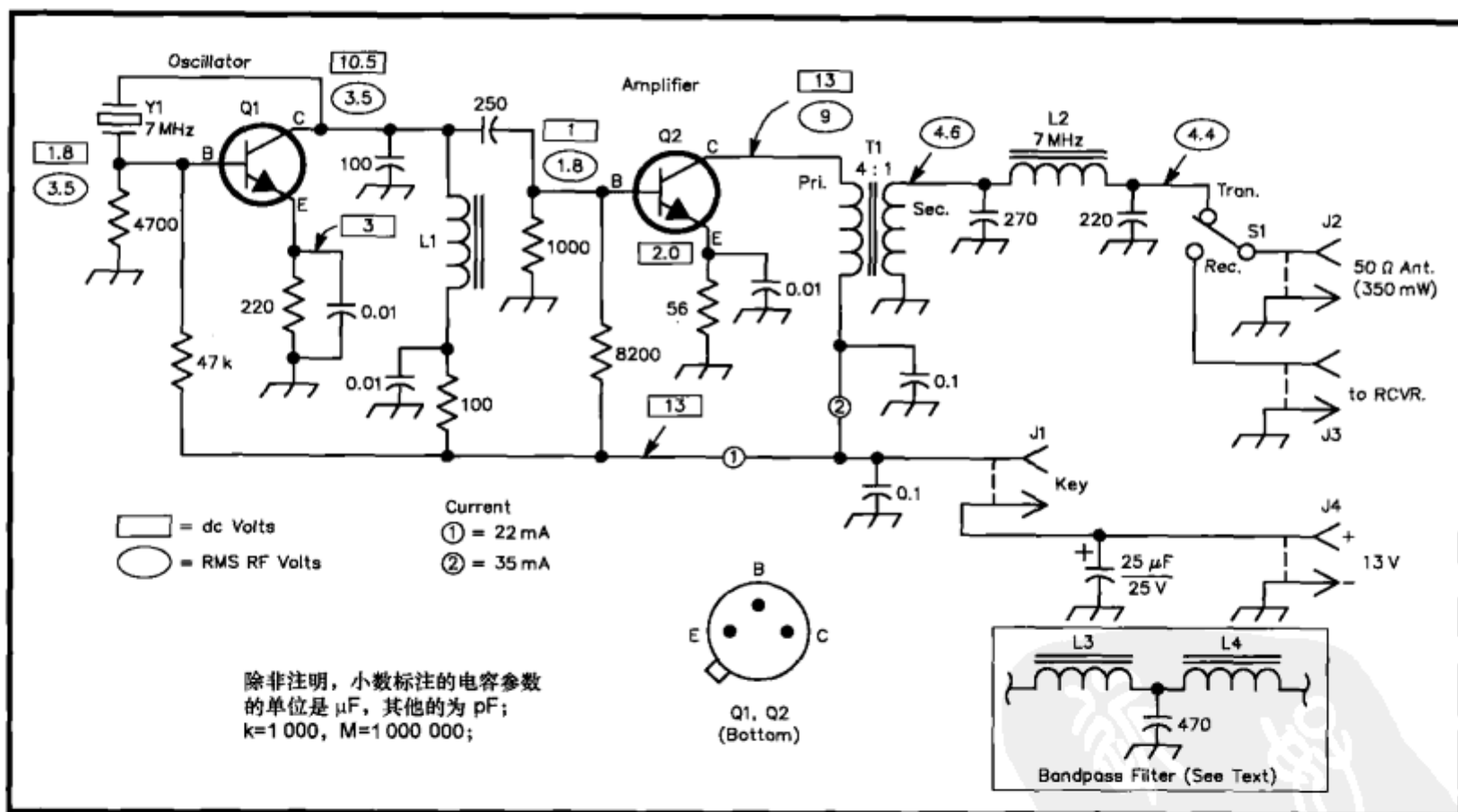


爱德华·哈尔 W1RFI 在洛杉矶的姐姐家使用“金枪鱼 2 号”

电路介绍

如图 3-1 所示，Q1 采用的是皮尔兹晶体振荡电路，给 Q2 提供几毫瓦的驱动，使 Q2 产生 450mW 的直流输入功率，该管工作在 C 类。测得输出功率为 350mW，放大器的效率为 70%。

如果想增加功率，可减小 Q2 的发射极电阻。该电阻减小后，集电极电流会增加。如果电流太大，会造成晶体管永久性损坏。增加到 50mA 不会有问题。这时，输出功率可增加到 400mW。



J1—单孔莲花插座，必须与地绝缘，安装在印制电路板上	L2—26 号漆包线在 T-37-2 磁环上绕 19 匝	T1—4:1 宽带变压器。26 号漆包线在 FT-37-43 磁环上绕制，初级 16 匝，次级 8 匝
J2, J3, J4—单孔莲花插座，固定在罐头盒上	L3, L4—24 号漆包线在 T-37-6 磁环上绕 21 匝	Y1—7MHz 基频晶体
L1—22μH 铸模电感	Q1, Q2—2N2222A NPN 三极管	
	S1—天线转换开关。微型钮子开关	

安装笔记

电路板可以用专用的切割工具或锯切成圆形。罐头盒要在底部开口，留出 1/8 英寸的边，作为支架，支撑电路板。电路检查无误后，用焊锡固定在罐头盒留出的支架上，只焊接 4 个点就可以。罐头盒的另一端（顶面）不用盖上。

总结与评论

持怀疑态度的人可能觉得热衷于 QRP 的爱好者的神色好笑。这种轻视态度是因为他们不了解小功率。只有使用过毫瓦功率的爱好者才知道，在 40m 段与整个美国通联是可能的，只要不到 1W 的功率就能办到。从笔者在康涅狄格州的居住地，用 1/4W 的功率联络到了美国所有的分区。天线是用电缆馈入的双极天线，一头固定在铁塔上，与地面成 45° 角。信号报告从 RST449 到 RST589 不等，取决于传播条件。当然也有许多 RST599 的报告，但是属于例外，而不是规律性的。笔者用这个机器做的第一个 QSO 是和迈阿密的阿尔（K4DAS），在 7 014kHz，23:20UTC。对方给的信号报告是 RST569，嚼了 20min “烂布”，K4DAS 能够可靠地抄收“金枪鱼”的信号。

3.2 T5——两只电子管的金枪鱼罐头盒发射机

“金枪鱼”发射机以电子管的模式再次出现了。这个两管发射机制作容易，可爱的“小喷灯”能够输出 8W，而且发出柔和的闪光，这是晶体管无法比的。

电路设计

笔者翻看了参考资料以及笔记后，设计出了图 3-2 所示的电路。

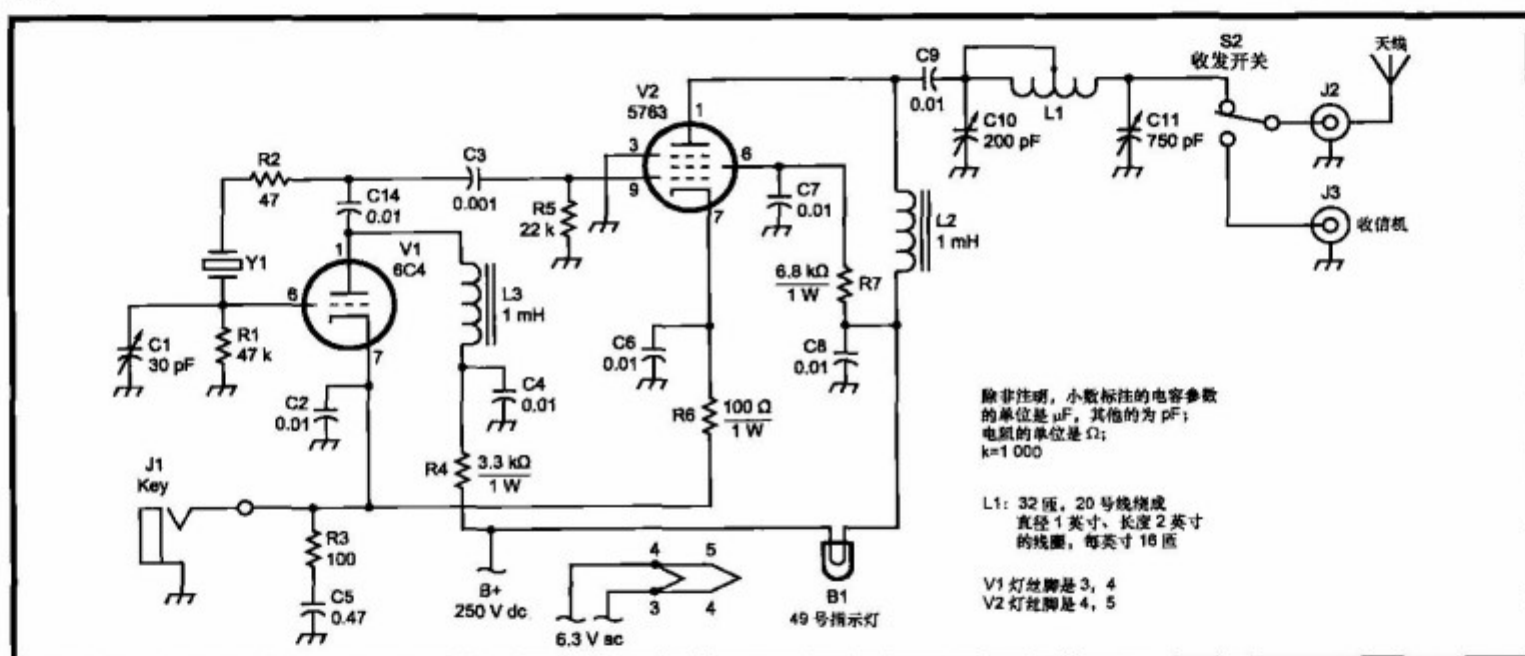
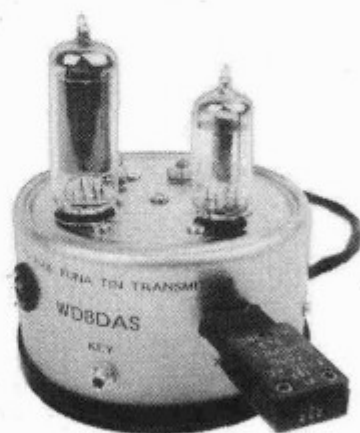


图 3-2 T5 电路图。C10 是 200pF 空气可变电容。C11 是 750pF 压缩式微调电容，其他电容为 500V 瓷片电容，最小工作电压为 500V。L1 在直径 1 英寸的骨架上绕制（见元件表）。除注明外，所有电阻为 1/4W。

- | | | |
|--|--------------------------|-------------------------|
| B1—49 号面板指示灯，用橡胶环固定 | J2, J3—SO-239，或者 BNC，或者 | R8—470k Ω ，1/2W |
| B2—氖灯，加限流电阻（47k Ω 或 68k Ω ）， | RCA 同轴电缆天线插座 | S1—小型双刀单掷开关 |
| 或交流 120V 自带限流电阻氖灯 | L1—32 匝，20 号线绕成直径 1 英寸、 | S2—小型双刀双掷开关 |
| C1—30pF 压缩式微调电容 | 长度 2 英寸的线圈，每英寸 16 匝 | T1, T2—初级 120V；次级 12.6V |
| C2, C4, C6, C7, C8, C9, C14—0.01 μF | （如果能买到 3015 型 AB&W 小型电感， | 带中心抽头 |
| C3—0.001 μF | 完全可以代用） | V1—6C4，电子管 |
| C5—0.47 μF | L2, L3—1mH 高频扼流圈 | V2—5763，电子管 |
| C10—100pF 空气可变电容 | R1—47k Ω | Y1—基频晶体（见正文） |
| C11—30pF 压缩式微调电容 | R2—47 Ω | 其他零件： |
| C12, C13—22 μF ，耐压至少 250VDC | R3—100 Ω | 7 脚管座、8 脚管座、晶体插座、 |
| D1, D2—1N4007 | R4—3.3k Ω ，1W | 橡胶环、4 芯直流电缆、保险管 |
| F1—保险管，0.4A/250V DC | R5—22k Ω | 支架（面板固定）4 芯插头和 |
| F2—保险管，1.5A/120V AC | R6—100 Ω ，1W | 插座、金枪鱼罐头盒和小型烤盘 |
| J1—1/4 英寸或 1/8 英寸插座 | R7—6.8k Ω ，1W | （见正文） |

底板的选择是这个制作的转折点。这个发射机用的元件很少，只有一个振荡器和功放管，整个机器的体积可以很小，而且电压、电流相对来说也不大，这就意味着元件的个头也不大，很多元件的大小完全和固态元件的 QRP 机器用的一样。当笔者的眼光落在自己装的“金枪鱼 2 号”上时，突然有了一个想法：把这个电子管发射机也装在金枪鱼罐头盒上多好！这样就可以和 D.·德茅 W1FB 的“金枪鱼”放在一起了^[1]。图 3-3 是两个机器放在一起的照片。



图 3-3 两个“金枪鱼”并排放在一起。左边是 T5，右边是 W1FB 设计的经典“金枪鱼 2 号”

经过反复布局，发现最小的标准尺码金枪鱼罐头盒可以轻松装下这个发射机，但是，体积再大一号的 12 盎司装罐头盒最好。这个发射机相当紧凑，体积只有 4 英寸×4 英寸，相当可爱。

安全事项

这个发射机虽然比笔者以前用面包板做的机器安全，但是，还有几个注意事项需要牢记。只接触过固态器件的爱好者可能没有养成“电子管安全习惯”，但是不能因为这个原因不碰电子管了。只要注意到有哪些危险就行了：

1. 务必记住，这个发射机使用的中压也有危险性；
2. 带电的连接导线应该装在底板下面；
3. 使用带绝缘皮的导线和塑料套管，减少裸露接头；
4. 疲劳时不要使用本机；
5. 需要对电路改造时，务必先关闭电源，泄放电源滤波器电容的余电；
6. 无人使用时，关闭电源，拔掉电源插头；
7. 不要让孩子、宠物、来访的客人接触这个发射机；
8. 测试、调整发射机时，总是把一只手放在衣兜里。

最后这条规则能够起到一定的防护。万一碰到电源，能够减少致命电流穿过胸腔的可能性。记住，电子管用的电压都是危险的，一定要注意安全。此外，这个发射机电键接头处有

高压，务必注意。

安装

安装时只需要几件普通工具。金枪鱼罐头盒的铁皮很容易加工。安装插座、晶体插座、管座的孔很容易钻。笔者采用的是手边现有的老式 FT-243 晶体，可以使用其他封装的晶体。装好后的发射机底部照片可以看见元件的布局（见图 3-4），顶视图见图 3-4B。

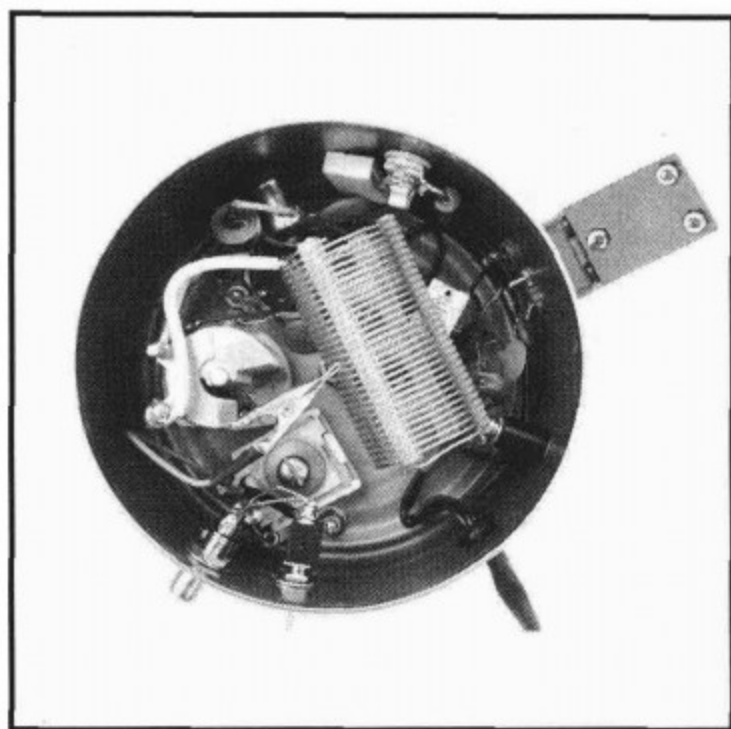


图 3-4A（左图）T5 的底部，可以看见元件的安装位置及布局

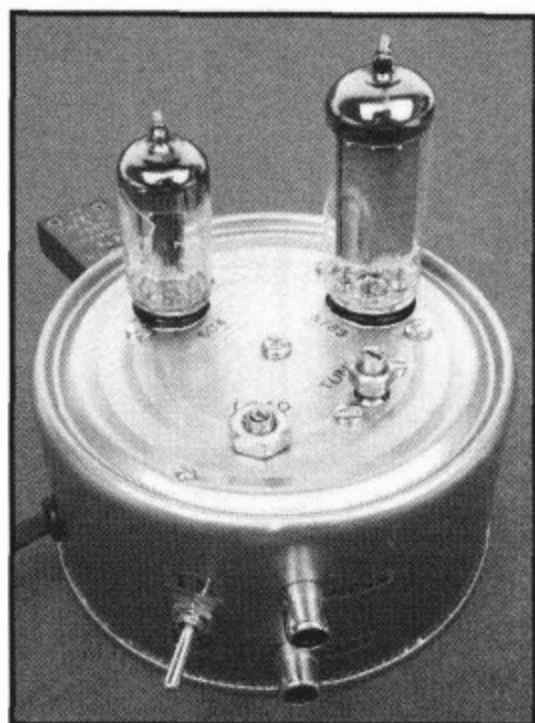


图 3-4B T5 的顶部，可以看见管座以及阳极调谐电容旋钮和负载电容调节螺钉

笔者开始使用的是一台老式的 EICO 可调电源给样机的阳极和灯丝供电的，后来做了配套的电源，电路图见图 3-5。笔者用一个小面包烤盘作为电源的底板，这仍然保持用食品盒作为底板的主题，见图 3-6。发射机边上的就是电源。

发射

笔者给天线端接上 50Ω 电阻和功率计进行测试。这个机器的功率放大管工作稳定，没有会自激振荡的迹象。振荡器输出强劲、干净，在整个工作范围没有停顿现象。用旁边的收音机监听，也没有听到电键的咔哒声。调整振荡管栅极的微调电容后，报声就更加完美了。

天线端连接的负载电阻非常热，这表明输出功率足够。天线端改接功率表和 50Ω 负载，5763 型的“ π ”滤波电路（线圈和电容）调整到最佳时，功率表显示 8W。用示波器观察，波形很好，谐波输出很低。

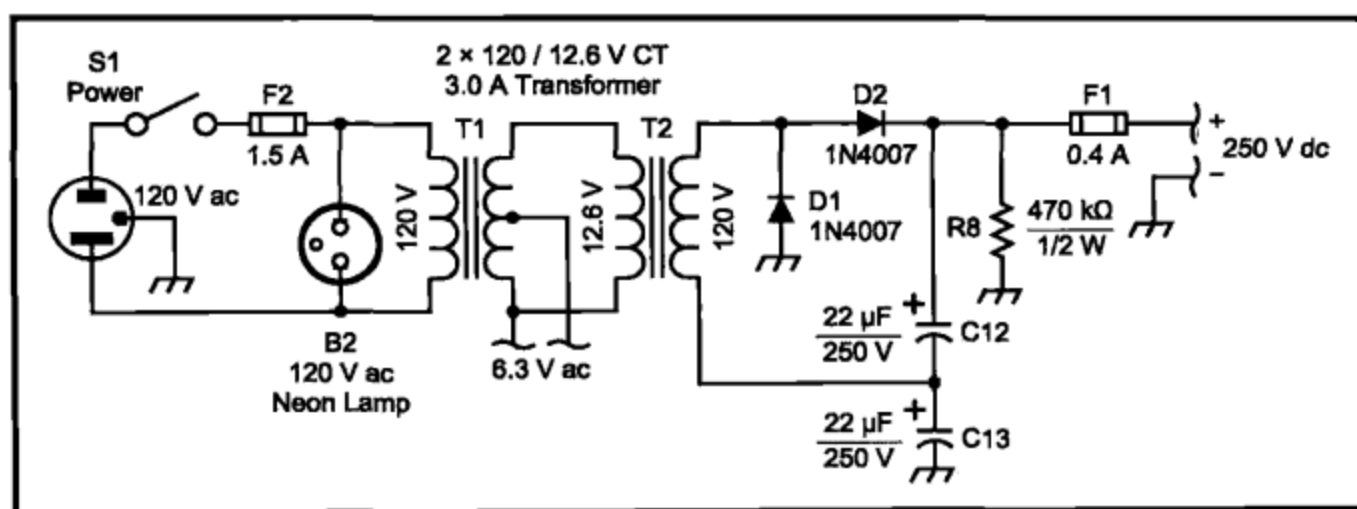


图 3-5 T5 的电源是典型的倍压电路。图中所示的变压器次级是 3A 12.6V，带中心抽头，也可采用 6.3V 的变压器。氖灯（B2）内部必须有限流电阻。普通的 NE2 氖灯不带限流电阻。务必注意 C12 和 C13 的极性，不要忘记装泄放电阻 R8（470kΩ，1/2W），这是个安全防护元件。

这个发射机能在 80m、40m、30m、20m 工作。采用基频晶体，谐振电路各频段都能很好地调谐，输出功率在 5 ~ 10W，波段不同功率略有差异。千万不能利用低频率晶体的谐波工作在高频率波段，这种情况下，这个发射机不能工作。如果再增加一级谐振回路，谐振在谐波频率上，可以利用谐波工作。这个谐振回路可不是这个电路里用的那种简单的 RF 扼流圈。这个发射机的“π”型电路工作在 80m 时不是很完美，发射机的 RF 电压输出电平对五级管的负荷并不是很大。

第一次发射试验很有力度。笔者调到 40m 段的低端，没有听到特别让人兴奋的信号。插上晶体，开始呼叫 CQ。以前做的固态元件发射机，例如，“金枪鱼 2 号”，功率很小。这台两灯“金枪鱼”则不同，功率很大。鲍勃 N6WG 回答了我的第一次 CQ 呼叫，我们进行了信号可靠的通联。用新装好的自制机进行的第一次联络总是令人满意的。

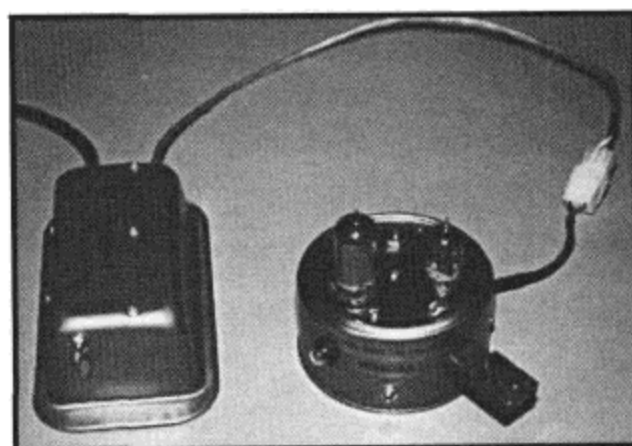


图 3-6 完成的 T5，电源在左边。

结论

笔者为这台两管金枪鱼发射机感到自豪。电子管的金枪鱼是对 D. 德茅的原创“金枪鱼 2 号”的怀念，而且输出功率要大一些，这对于 25 美分的电子管和几个晚上的劳动是值得的。

注释

[1] D. DeMaw W1CER. “Build a Tuna-Tin 2.” *QST*, May, 1976, p 14

3.3 电子管金枪鱼罐头盒发射机 (T5) 元件的替换

史蒂夫·约翰斯顿 (WD8DAS) 很幸运以合适的价格买到了电子管 5763。对这个发射机感兴趣的其他爱好者也有 5763 的替代管。20 世纪 60 年代中期, QST 杂志和 ARRL《业余无线电手册》介绍的发射机制作开始采用 6GK6 作为推动管, 推动一对 6146 放大管。表 3-1 比较了 5763 和 6GK6 的特性。

其他能够代换的管子是 12BY7A 和 6CL6。这两个管子的最大阳极耗散要小一点, 输出功率比 5763 和 6GK6 要小。不要忘记, 替换管的引脚排列不同。

如果 T5 工作在 80m 段以上, 那么电子管阳极的两个 RF 扼流圈 (L2 和 L3) 的电感量需要减小。1mH 的电感自身谐振频率在 6MHz 左右, 这对于 80m 段是合适的, 但是对于频率高一些的业余波段, 可能会产生串联谐振。工作在 20 ~ 80m, 电感量为 120 μ H 的扼流圈自身谐振频率在 14MHz 以上。需要做的改动就是略增加“ π ”型电路线圈的电感量, 以补充阳极扼流圈的并联电感。如果只计划工作在一个波段, 两个阳极扼流圈应该按照工作波段频率的要求选择。40m 选用 220 ~ 270 μ H, 30m 选用 150 ~ 220 μ H, 20m 选用 100 ~ 120 μ H 能够避免电感自己谐振问题。

表 3-1 电子管特性

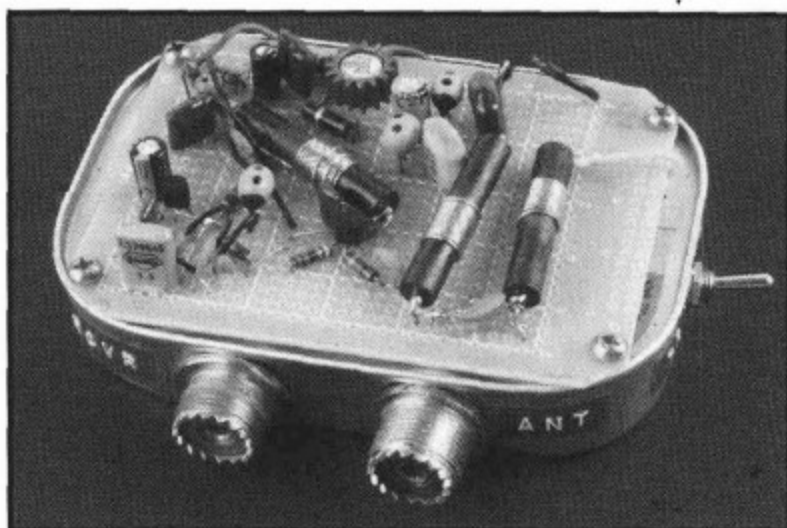
电子管	5763	6GK6	12BY7A	6CL6
最大阳极电压 (V)	350	330	330	300
最大栅极电压 (V)	250	330	190	300
灯丝电流 (A)	0.76	0.76	0.60	0.65
栅极电容 (pF)	9.5	10.0	10.2	11.0
阳极电容 (pF)	4.5	7.0	3.5	5.5
栅屏电容 (pF)	0.3	0.14	0.063	0.12
阳极耗散功率 (W)	13.5	13.2	6.5	7.5
跨导 (mS)	—	11.3	11.0	11.0

表 3-2 引脚连接

电子管	5763	6GK6	12BY7A	6CL6
EIA 管座代码	9K	9GK	98F	98V
阴极	7	1	1	1
控制栅	8.9	2	2	2.9
帘栅	6	8	8	3.8
抑制栅	3	3.9	3.9	7
阳极	1	7	7	6
灯丝 1	4	4	4	4
灯丝 2	5	5	5	5
灯丝中心抽头	—	—	6	—

3.4 改进 W1FB 原创的 80m 沙丁鱼罐头盒发射机

笔者从旧电视机、录像机里拆得一些高频电子元件。接着就在想，是否能利用这些元件制作一台 QRP 机器呢？拆开电视机、录像机，都能得到一些晶体管、电容、高频扼流圈、色同步用的晶体，晶体正好是 80m 段 CW 频率。用这种晶体和一只普通的 2N2222 三极管就可以装一个振荡器。困难的是如何给这个小发射机加一个放大器，使其能够在 80m 联络。mW 级在 80m 很难。



在许多出版的晶体管 RF 放大器设计的图书中，都介绍要注意振荡器输出与放大器输入的不匹配问题。在 QRP 手册里，有很多采用宽带变压器匹配的发射机电路图。根据波段需要，选用合适的磁环，确定合适的初级匝数，然后根据匝数的平方计算出次级匝数。

磁环是否可以用别的磁芯代替？

不用磁环是否也能做到阻抗匹配（笔者的宗旨是尽量简单，不要专门邮购元件）？笔者回想起 D·德茅(W1FB)设计的 40m“金枪鱼 2 号”发射机是用 $10\mu\text{H}$ 扼流圈实现阻抗匹配的。笔者很快发现 Radio Shack 没有 $10\mu\text{H}$ 的扼流圈了。从电视机、录像机里拆的零件里也没有这样的扼流圈。改进 W1FB 的 80m 沙丁鱼还是有难度。

笔者翻阅了相关文章，看了 W1FB 的 80m 沙丁鱼的电路图（见图 3-7）。所有元件都是从 Radio Shack 购得， $10\mu\text{H}$ 的扼流圈除外。 $10\mu\text{H}$ 扼流圈起到的是宽带变压器的作用。如何把目前能从 Radio Shack 买到的 $100\mu\text{H}$ 扼流圈（273-102 型）改造成宽带变压器？

ARRL 出版的 W1FB 的书籍介绍了很多内容。在 1986 年出版的 *QRP Notebook*（《QRP 笔记》）里，曾经讨论过宽带变压器问题以及如何利用“ A_L 因数”绕制磁环变压器。借助这个

数据和导磁率，就可计算出给定电感量的正确匝数了。但没有介绍如何计算磁棒的匝数以及不知道 A_L 因数怎么办。

Radio Shack 的电子邮件解答了 $100\mu\text{H}$ 扼流圈磁芯的导磁率 (220)，但没有提供 A_L 因数。笔者从另一本 D·德茅的 *Ferromagnetic Core Design and Application Handbook* (《铁氧体磁芯设计与应用手册》) 一书 42 页中找到了一条信息：“很难定出磁棒的 A_L 因数”。这是因为线圈在磁棒上的位置、线圈的疏密对电感量影响很大。同等的匝数在磁棒的不同位置都会改变电感量。

德茅的提示让大家走出了这个困境。在 1974 年 11 月号的 *QST* 杂志“制作 160m 发射机”

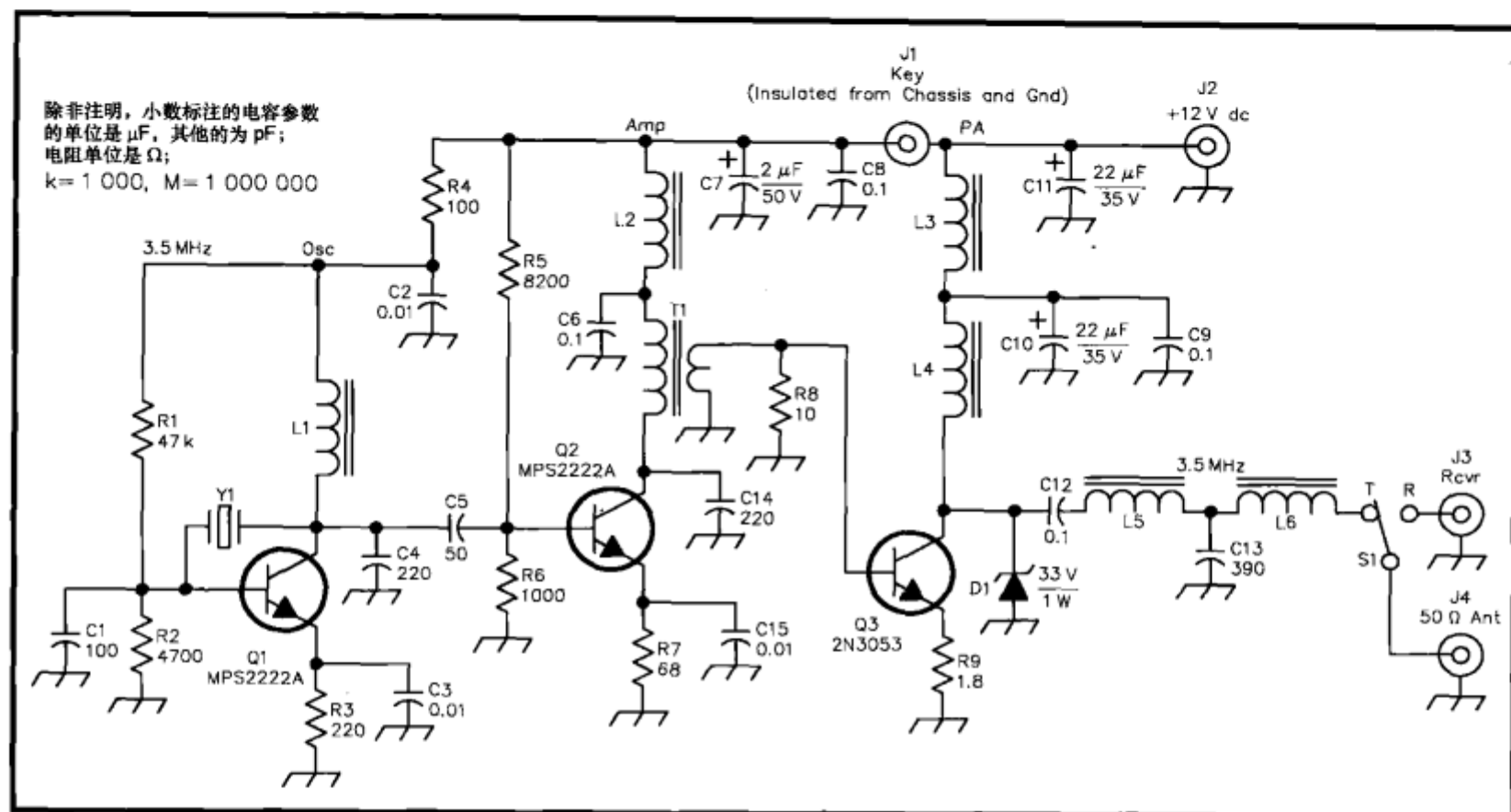


图 3-7 改进的 W1FB 80m 沙丁鱼罐头盒发射机电路图。

- | | | |
|---|--------------------------------------|------------------------|
| C1—100pF 瓷片电容 | 15 匝，这时电感量大约 $10.6\mu\text{H}$ 。 | R3—220 Ω |
| C2, C3, C15—0.01 μF 瓷片电容 | 也可采用电视机、录像机里 | R4—100 Ω |
| C4—220pF 瓷片电容 | 拆的 $10\mu\text{H}$ 扼流圈) | R5—8.2k Ω |
| C5—50pF 瓷片电容 | L5—12 μH ，把 Radio Shack 的 | R6—1k Ω |
| C6, C8, C9, C12—0.01 μF 瓷片电容 | 273-102 扼流圈拆去一些线圈，剩下 | R7—68 Ω |
| C7—2 $\mu\text{F}/50\text{V}$ 电解电容 | 16 匝，这时电感量大约 $11.8\mu\text{H}$ | R8—10 Ω |
| C10, C11—22 $\mu\text{F}/35\text{V}$ 电解电容 | L6—8.9 μH ，把 Radio Shack | R9—1.8 Ω |
| C13—390pF 瓷片电容 | 的 273-102 扼流圈拆去 | S1—单刀双掷开关 |
| C14—220pF 瓷片电容 | 一些线圈，剩下 14 匝， | T1—宽带阻抗匹配变压器，见图 3-8。 |
| D1—33V, 1W, 稳压二极管 | 这时电感量大约 $8.9\mu\text{H}$ | Y1—色同步用晶体，3.579 545MHz |
| J1 ~ J4—单孔音频莲花插座 | Q1, Q2—mPS2222A | 或其他能工作在 80m 的晶体 |
| L1—100 μH 扼流圈 | Q3—2N3053，加散热片 | |
| L2 ~ L4—10 μH 扼流圈 (把 Radio Shack 的 | R1—47k Ω | |
| 273-102 扼流圈拆去一些线圈，剩下中段 | R2—4.7k Ω | |

一文中说,可以采用试验的方法解决数学公式无法解决的问题。但测量电感量仍是难题。

笔者开始以为手头的旧 Heathkit IB5281 电桥可以测出电感,把 Radio Shack 的 $100\mu\text{H}$ 扼流圈拆了几匝,测了一下,但只能测出大致的电感量。笔者试着计算需要多少匝,最后还是放弃了。最后还是使用 DMM 240 LCR 表,这个表的电感可以测量到 μH 范围。读者也可使用带有电感挡的数字万用表,但一定要能测量到 μH 范围才行。

德茅做得非常周到,在沙丁鱼发射机文章中列出了大多数线圈的电感量。笔者拿出一些 Radio Shack 的 $100\mu\text{H}$ 扼流圈,边拆边测,达到要求的电感量就剪断漆包线,刮去漆皮,焊在扼流圈引脚上。改造好的扼流圈见图 3-8。

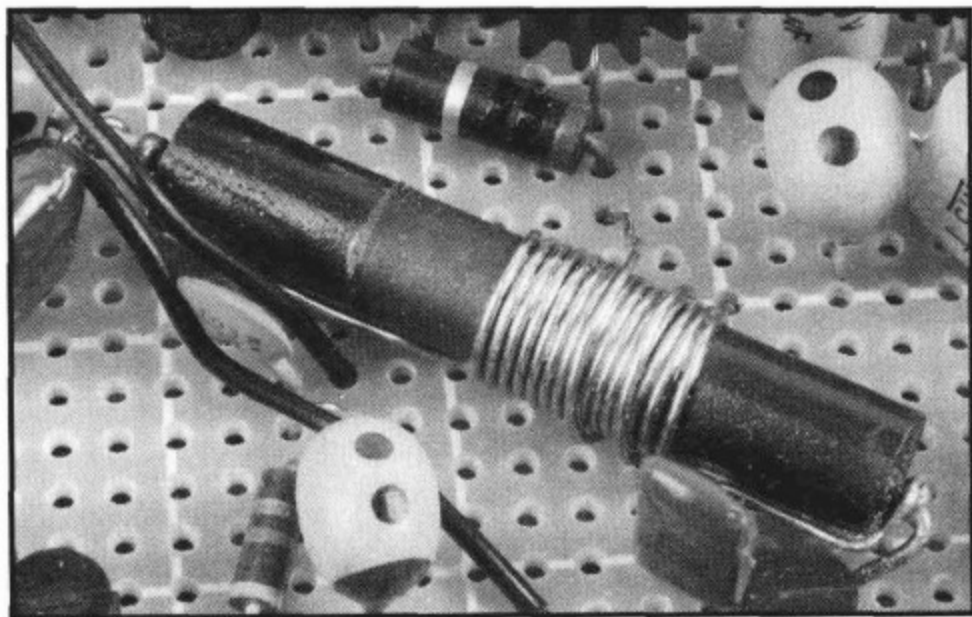


图 3-8 宽带变压器 T1 的局部照片。笔者采用 Radio Shack 的 273-102 扼流圈制作。拆去一些线圈,剩下 15 匝(约 $10.6\mu\text{H}$)作为初级。拆下的漆包线不要扔,可用来绕次级,次级 2 匝。

沙丁鱼又活了

剩下的工作就容易了。笔者使用 Radio Shack 的万能板,体积比沙丁鱼罐头盒大了一点。为了节省空间,笔者用了几只录像机里拆出的 $10\mu\text{H}$ 、 $100\mu\text{H}$ 扼流圈。使用这种扼流圈时要非常小心,个头太小了,而且漆包线也细。

根据套件里经常提到的忠告,笔者先装振荡器,装好后工作正常。最大的测试工作是变压器、输出级和滤波线圈。经测试,一切正常。但是用收音机监听发出的信号时,感到有些不干净。输出功率正常,1W 多一点。笔者缩短了几处连接线,没有改善。后来灵机一动,换用了大一些的电源,问题解决了。

有的元件参数不是标准的,采用并联、串联的方法可以达到要求。例如: 390pF 的电容器可以用 39pF 的电容器和 330pF 的电容器并联代用; 1.8Ω 的电阻可用两只 1Ω 的电阻串

联解决。整机全部采用 1/4W 的电阻。但是不要用线绕电阻代用，因为线绕电阻是有感抗的。

结论

机器就这样做好了，是经典版的改进版，许多元件都能从 Radio Shack 买到。需要注意的是电视机里的色同步用晶体，有的质量不好。实际上，最好定做 80m 段 CW 常用频率的晶体，在 3.579 545MHz 工作的台不多。

参考书目

DeMaw, Doug. *QRP Notebook*. ARRL, First Edition, 1986

DeMaw, Doug. "Build This Sardine Sender." *QST*, Oct, 1978

DeMaw, Doug. *Ferromagnetic Core Design and Application Handbook*. MFJ Publishing, Starkville, MS

DeMaw, Doug. "More Basics on Solid-State Transmitter Design." *QST*, Nov, 1974

DeMaw, Doug. *W1FB's QRP Notebook*. ARRL, Second Edition, 1999

Ramsey Electronics, 793 Canning Parkway, Victor, NY 14564; 716-924-4560; www.ramseyelectronics.com/.



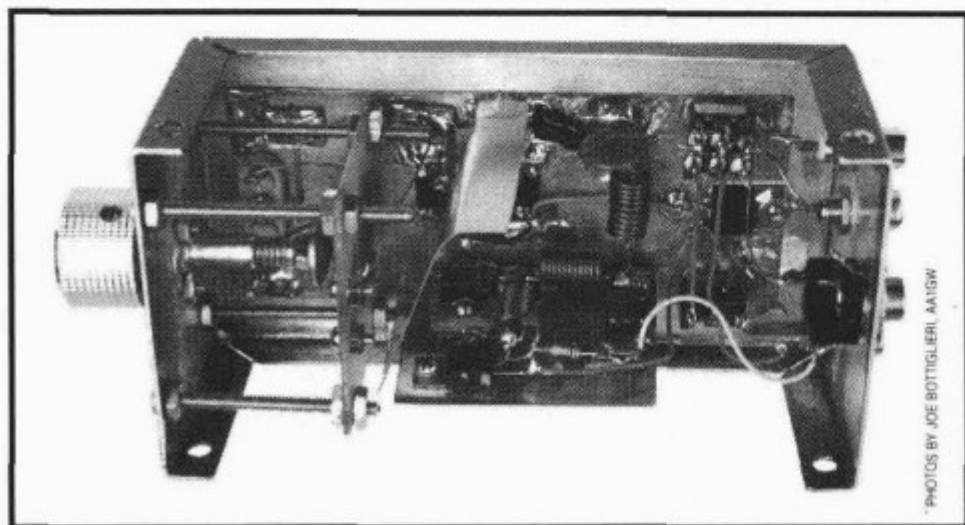
3.5 简单的 10m QRP 发射机

太阳黑子回来了。10m 又成了 QRP 的天堂。这台自制的 10m 发射机和一副简单的天线能够很容易进行国外 DX 联络。这个发射机共用了 23 个电子元件，但却能输出 4W 的功率，发出的 CW 信号也很漂亮。

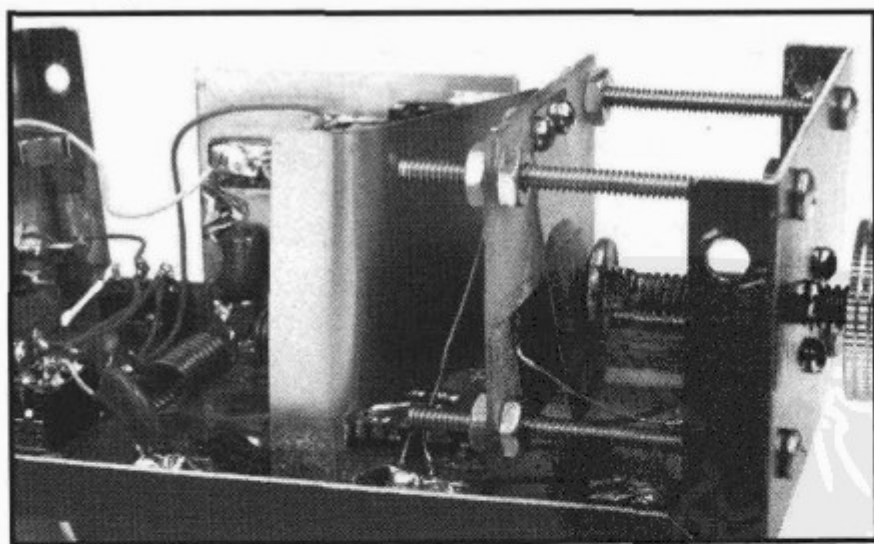
电路介绍

电路采用了一片 74AC240 (8 反相器) 作为振荡器和驱动电路^[1]。一个反相器接成经典的皮尔兹振荡器。R1 可以改善振荡的启动，C3 能使晶体频率在一定的范围内调整。为了防止像鸟叫的报声，振荡器在发射时是连续工作的。4 个反相器接成并联型式，组成简单的驱动电路。

功率放大采用 VN88AF 大功率场效应管，受电键控制。在 10m 段，这个管子比 IRF510 更容易驱动，IRF510 常用于低频率的发射机。电路里还有键控管 TIP115 和 7805 稳压块^[2]。



10 m QRP 发射机内部。左边是图 3-9 介绍的自制可变电容 C3。铜皮屏蔽板横跨 U1，芯片引脚朝天安装在接地铜皮上。与接地铜皮垂直的铜皮上装有 Q1 (顶面) 和 Q2 (底面)。L1、L2、L3 相互成直角安装。稳压芯片 U2 安装在 S1 与 S2 之间，靠近机壳的后部。小块的敷铜板粘在接地铜皮上，当做元件焊盘。



自制电容 C3 局部照片。1/4-20 螺栓穿过前面板上的 T 型螺帽，装上旋钮。螺栓的头部紧靠一块玻璃纤维材料的敷铜板材料 (无敷铜)，这块敷铜板用环氧树脂粘在 C3 的动片上 (动片是一片黄铜皮)。这块黄铜皮背面是一小块玻璃纤维材料的敷铜板材料，敷铜作为定片 (见图 3-10)。C3 定片上的一小段电线直接连接到晶体插座上。

为了简化电路，笔者采用一只开关完成天线切换、收音静音。笔者把自制收音机的音频放大器电源断开达到静音目的。其他的收音机可能需要采用别的方法。SPOT(对频)开关S2用来对准频率而不产生干扰。

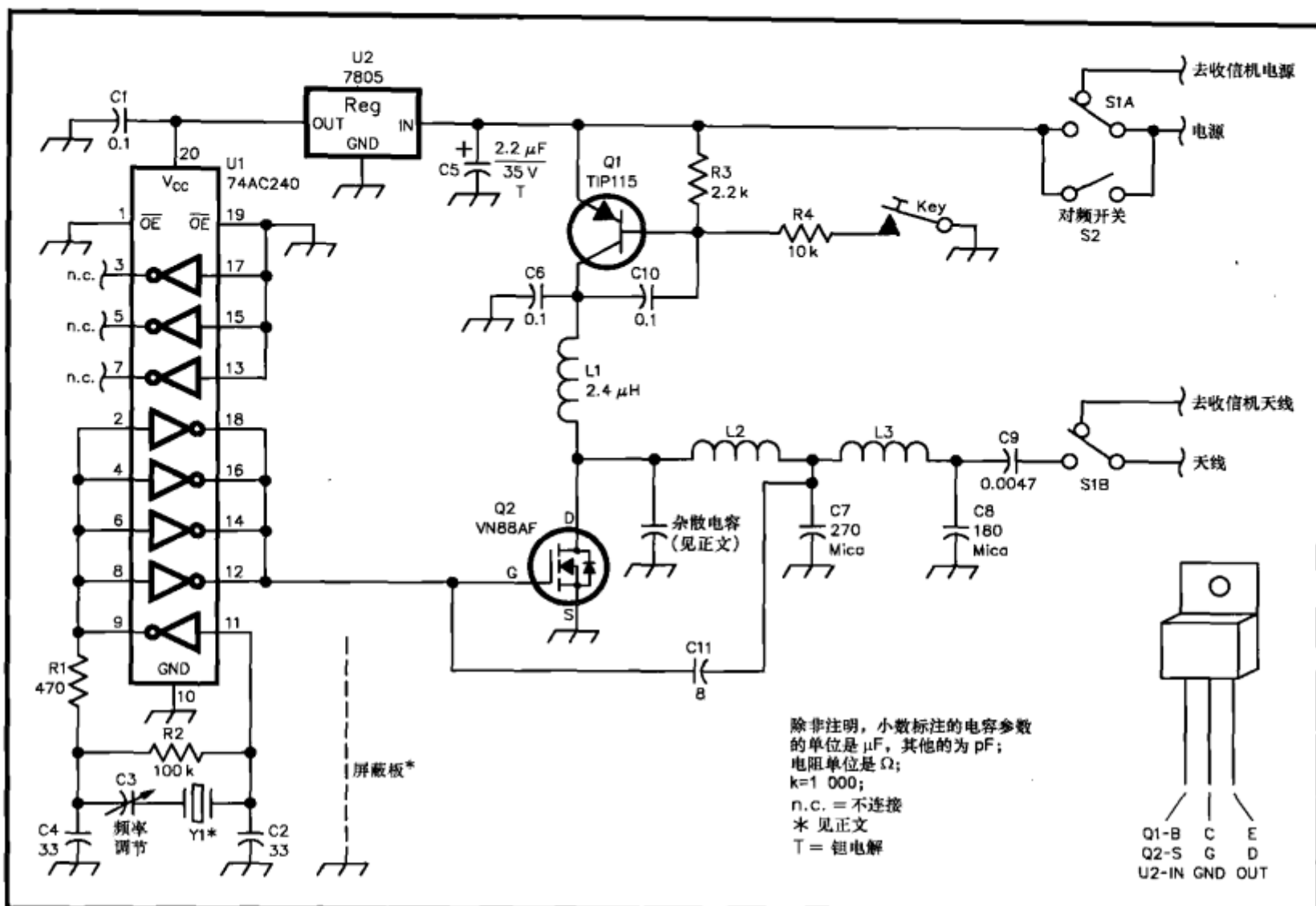


图3-9 简单的10m QRP发射机电路图。除非注明，电阻是1/8W、误差为5%的碳复合电阻或碳膜电阻。n.c.表示无连接。

- | | | |
|---|---------------------------------------|-------------------------------------|
| C1, C6, C10—0.1 μF /50V 独石瓷片电容 | L1—2.4 μH 扼流圈，1.5A | S2—单刀单掷开关 |
| C2, C4—33pF/50V 瓷片电容 | L2—11匝，用18号漆包线绕成直径1/4英寸、长度9/16英寸的空芯线圈 | U1—74AC240N |
| C3—自制2~60pF空气介质可变电容，制作方法见图3-10 | L3—10匝，用18号漆包线绕成直径1/4英寸、长度9/16英寸的空芯线圈 | U2—7805三端稳压芯片，TO-220封装 |
| C5—2.2 μF /35V 电解电容 | Q1—TIP115PNP 达林顿管 | Y1—28.010kHz 基频晶体，NC-6/U封装，负载电容20pF |
| C7—270pF/300V 云母电容 | Q2—VN88AFD 大功率场效应管 | 其他零件： |
| C8—180pF/300V 云母电容 | S1—双刀双掷开关 | 2 1/8英寸×3英寸×5 1/4英寸铝机壳 |
| C9—0.0047 μF /2 000V 瓷片电容 | | 五金件 |
| C11—8pF/50V 瓷片电容，可用两只4.7pF/50V 瓷片电容并联 | | 晶体插座 |

特殊元件

这个发射机的振荡器不能采用泛音晶体，必须使用负载电容为20pF的基频晶体。采

用这个参数的晶体，发射机的最低发射频率就与晶体外壳上的标称频率一致。晶体的最高振荡频率大约会高于标称频率 17kHz。一片 28.010kHz 的晶体能够覆盖 10m 段 DX 频段 75%。

C3 是自制的压缩式可变电容，见图 3-10 和照片。这个自制电容的调谐范围比普通空气介质可变电容合适。一片弯曲的 0.016 英寸厚的黄铜皮当做电容的动片，敷铜板上的一小块敷铜是定片（敷铜板的敷铜可用锋利的刀片刻透，用烙铁对不要的敷铜部分加热，然后就可以将敷铜皮揭下）。电容的定片接晶体。

输出耦合 C9 采用耐压 100V 的 0.0047 μ F 瓷片电容。天线电流相当大，会损坏小个头的电容（尤其是独石瓷片电容）。C7 和 C8 采用云母电容。

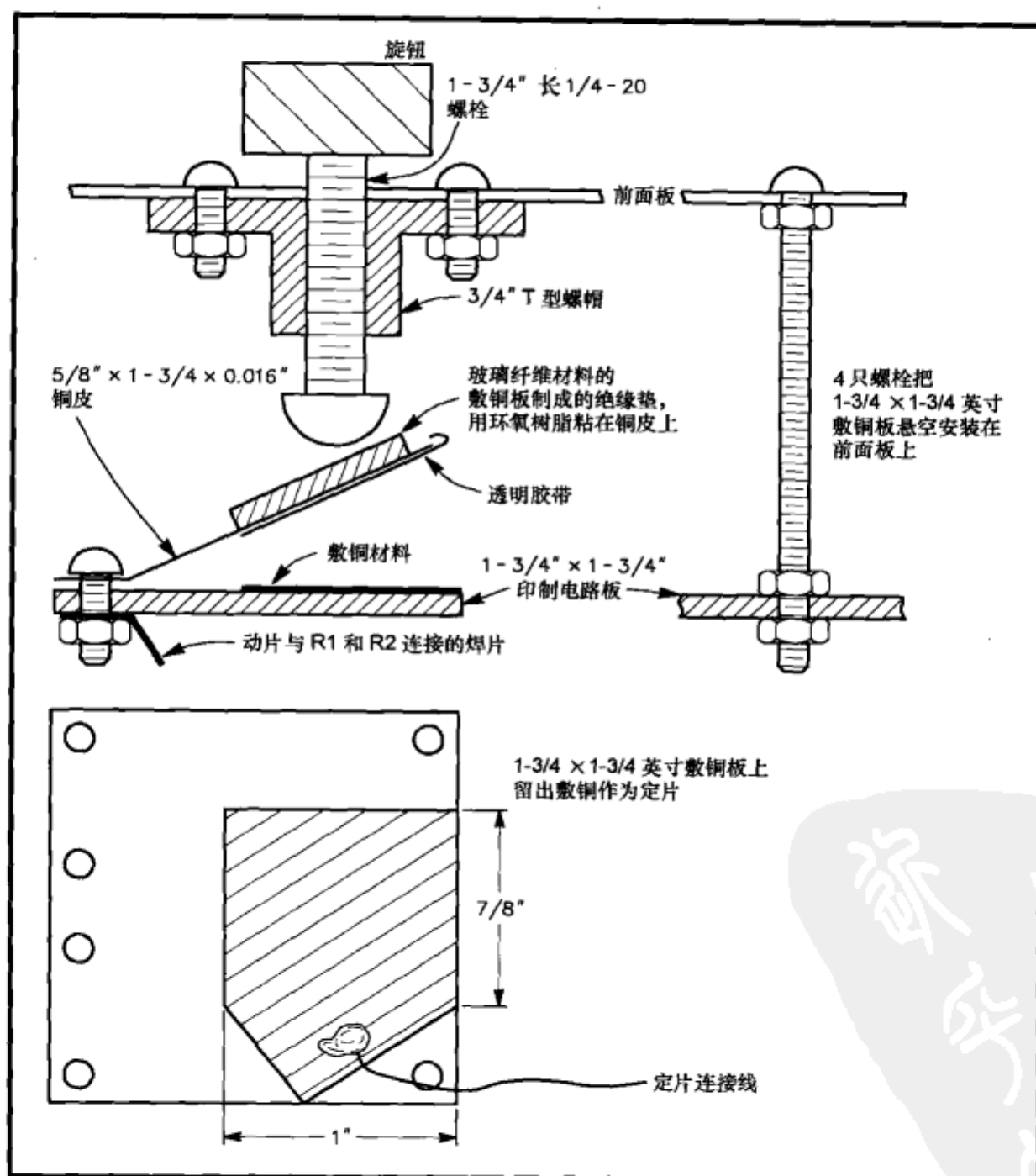


图 3-10 C3 的机械装配图。参见正文和照片。

安装

一条 2 英寸宽、0.016 英寸厚的黄铜皮作为这个电路的地。用环氧树脂把几小块敷铜板粘在这块铜皮上作为焊盘，供焊接元件用。这种电路板结构杂散电感小，散热好，省时，可能比标准的印制电路板安装的还要好看。

74AC240、7805、开关、晶体插座都装在这块黄铜皮上。功放管和键控管装在另一块 2 英寸 × 2 英寸，厚 0.016 英寸的黄铜皮上，这块铜皮与作为电路地的铜皮呈直角安装，用焊锡焊接。笔者采用的铝机壳尺寸为 2 1/8 英寸 × 3 英寸 × 5 1/4 英寸，这种安装结构能够有效利用空间。

铝机壳的顶部钻孔，孔的位置要对准作为电路地铜皮的孔，让铜皮与机壳有良好的接触，也有利于散热。自制的可变电容安装在机壳前面板上，输入、输出插座安装在后面板上。

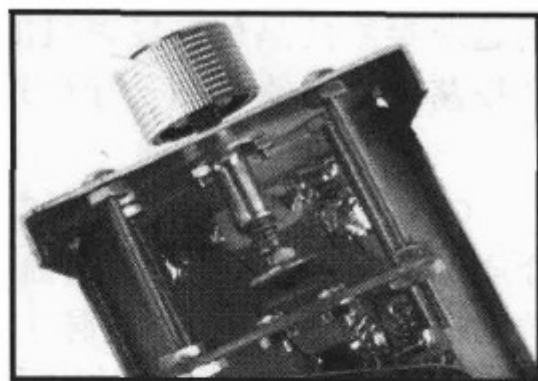
U1(74AC240) 采用“死昆虫”法安装（也就是把芯片翻过来，引脚朝天），这样能够缩短几处关键的引脚连线。接地脚（10 脚）、连接到 20 脚的旁路电容脚引线要尽可能短。不用的引脚（3、5、7）弯折到芯片的肚子上。接地引脚（1、10、13、15、17）朝下弯折，焊在接地铜皮上。引脚 2、4、6、8、9 焊在一起，12、14、16、18 焊在一起。

Q1、Q2、U2 固定在接地铜皮上，以帮助散热。因为 Q1 和 Q2 的散热片内部链接不是接地，需要衬云母片，固定孔要加尼龙垫圈。云母片形成的电容作为输出滤波器电容的一部分。如果采用其他散热方法，滤波器的元件参数还要修改（MOS 场效应管的漏极电容约为 90pF，取决于绝缘片与输出电容）。U2(7805) 不需要衬云母片。

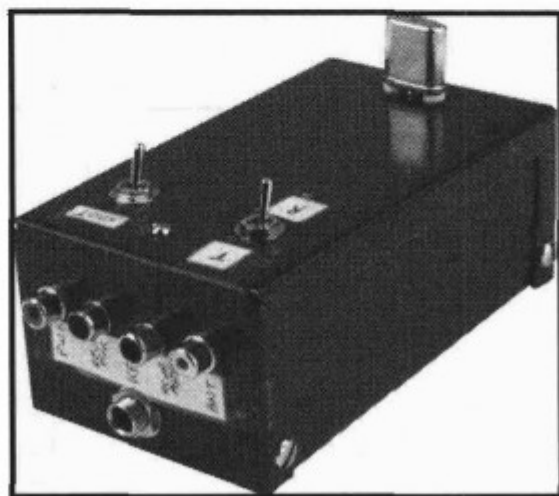
大部分元件都是点对点直接连接。需要把 5 块 3/8 英寸 × 3/8 英寸的敷铜板用环氧树脂粘在接地铜皮上，作为焊盘，以便焊接线圈、R4 的一端，还有 R1、R2、C2、C3 的连接。线圈与线圈必须成直角安装，减小相互耦合。

电源

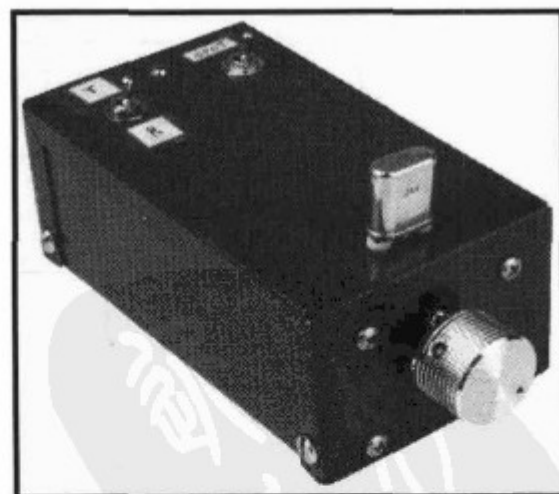
这个发射机可用标准的 13.8V 电源供电，但是 24V 供电效果最好。图 3-11 所示的简单电源（无稳压电路），就可以使用。电源要装在另一个机壳里，以免 U1 的 11 脚拾取 60Hz 交流哼声。



C3 的顶视图



10m 发射机后面板。4 个莲花插座分别是电源、收信电源、收信天线、天线接口。1/4 英寸的电键插座固定在莲花插座的下方。收发开关、对频开关安装在机壳顶部的后部，晶体插座靠近前部。



随时可以在 10m 进行 QRP 联络。

调试

调试很容易。电键没有按下时，整机电流约 60mA(取决于电源电压)；电键按下时，电流在 200 ~ 300mA。检查 7805 的输出是否为 5V，Q1 的集电极电压在电键按下时是否会升至比供电电压低 1V。供电电压 24V 时，输出功率为 3.7W；供电电压 13.8V 时，输出功率为 1.5W。

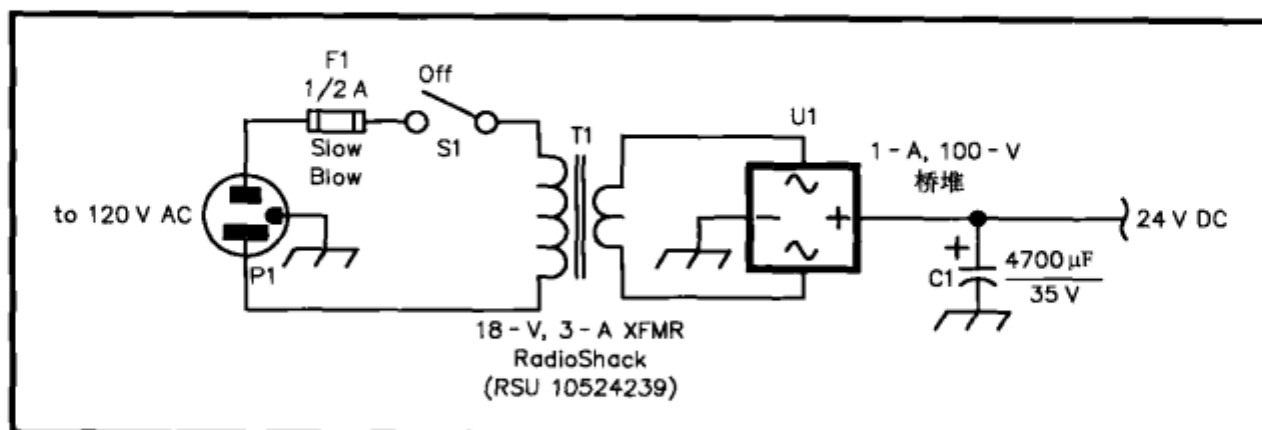


图 3-11 简单的 24V 电源

C1—4 700 μ F/35V 电解电容

F1—0.5A 慢速保险管

S1—单刀单掷开关

T1—电源变压器。初级 120V；次级 18V，3A

U1—1A 100V 桥堆

其他零件：机壳、五金件、保险管支架、桥堆

一开始，笔者发现在高频段报声有轻微电键啁啾现象。这是输出电路（Q2、线圈、滤波器电容、收发开关）与调谐电容和晶体的连接点之间的杂散电容耦合造成的。在输出电路与调谐电容之间安装一块 2 英寸×2 英寸的黄铜屏蔽板，电键啁啾的问题解决了。

C11 能够明显帮助减少反向波。没有 C11，电键抬起时，反向波大约在 40dB 以下。在场效应管栅极和 C7 的非接地端之间装上一只 8pF 的电容（C11），反向波又被抑制了 13dB，达到 53dB 以下。

场效应管功放相当于一个对称方波电流源，偶次谐波很低。24V 供电时，2 次谐波为 -58dBc。

结论

这台发射机安装起来很有趣，玩起来更有趣。笔者前 10 次联络使用的是放在屋顶的地网天线，联络到以下前缀的电台：3 个 LU、2 个 W，还有 ZL、T22(图瓦卢)、VK、VE、FG。

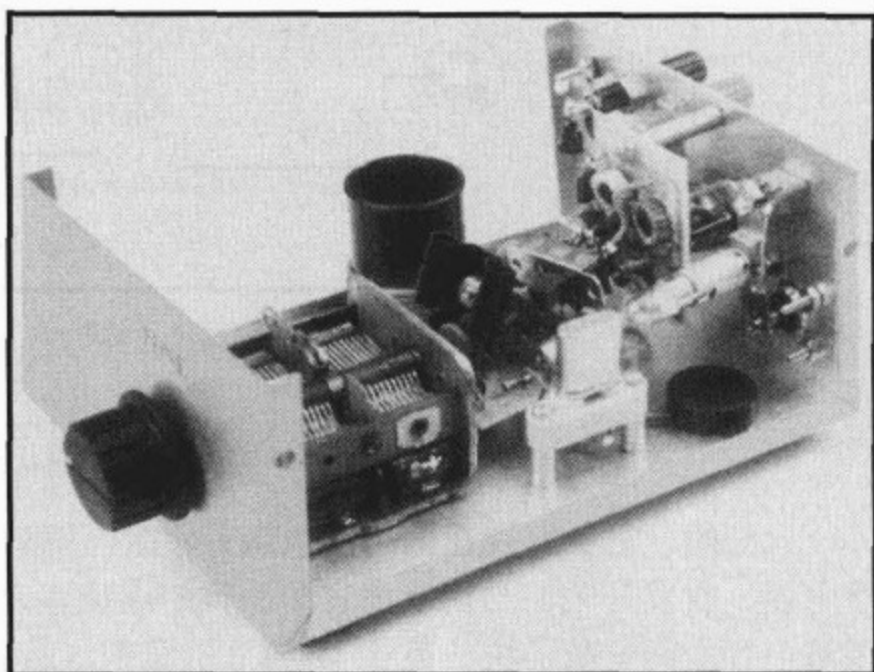
注释

^[1] Lew Smith N7KSB. "An Experimental 1/2-W CW Transmitter." *QST*, 1994 (11): 84

^[2] Lew Smith N7KSB. "An Easy-to-Build 15-Watt Transmitter." *HomebrewMagazine*, 1994 (spring): 9 - 13

3.6 用于 40m 和 80m 的简单 CW 发射机

本文介绍一个用于 40m 和 80m 的简单 CW 发射机，相当于经典的两只电子管 (MOPA) 发射机，这种两管机许多爱好者用了几十年——往往是他们的第一台发射机，而且是自制的。这个发射机做起来不难，而且造价不高。发射机由两级组成：高速运放构成晶体振荡器，HEXFET（一种 N 沟增强型大功率场效应管）作为功放。这台发射机用的元件不多，一两个晚上就可以装好。工作在 80m 时，输出功率 5 ~ 9W (50Ω 负载)，这与 Q1 的漏极电压有关（发射机的输入功率大约是输出功率的两倍）。



ARRL 实验室测得的数据是：80m 时，供电电压 30V，输出功率 6W；40m 时，供电电压 25V，输出功率 1W。

使用 HEXFET 作为输出功率管（不采用双极性三极管）能够给振荡器提供较高的负载阻抗。这样就不需要像双极性三极管那样用阻抗转换变压器，可以采用简单的 RC 耦合。RC 耦合能大大改善电路的稳定性。HEXFET 典型的击穿电压为 500V，而且内部过压保护有稳压二极管，输出端空载时，或者驻波很大时，管子也不会损坏。这个电路的另一个优点是，采用微处理器用的晶体，这种晶体刚好可以工作在 80m 初级执照工作频段。

振荡器

振荡电路采用 AD 公司生产的 AD811AN 运放 (U1)。这种运放输出电流 100mA，能驱动栅极输入电容为 350pF 的 Q1。R1 和 R2 为 U1 提供 1/2 电源电压的偏置。正反馈从 U1 的输出端，通过晶体 (Y1)、R2 和 R3 送到运放的正输入端，产生振荡。正反馈不是直接送到运放的正输入端，而是通过 R3，正反馈幅度减小（晶体电流也减小），因此可以采用价格便

宜的微处理器用的晶体,也不会出现明显电键啁啾现象(工作在 40m 时,务必采用 40m 晶体;Y1 采用 80m 晶体,在功放倍频,效率很低)。

R4 和 C2 组成的负反馈电路保持了直流稳定性。C2 对于高频率的频响呈衰减状态,同时使运放的直流增益为 1。注意,发射机电源是直接受到键控的。C1 (33 μ F 电源退偶电容) 装在电键以前;如果 C1 装在电键之后——也就是电键与电路连接的那边——振荡器启动就慢了,会产生电键啁啾。电容 C3 直接安装在 U1 的 7 脚可以使电路稳定,有利于减小电键咔哒声。

U1 的输出阻抗在 3.6MHz 时大约为 30 Ω 。R5 的作用仅是为 Q1 的栅极提供直流回路。U1 的低阻抗输出为 Q1 在 3.5 ~ 7MHz 提供了足够的驱动。

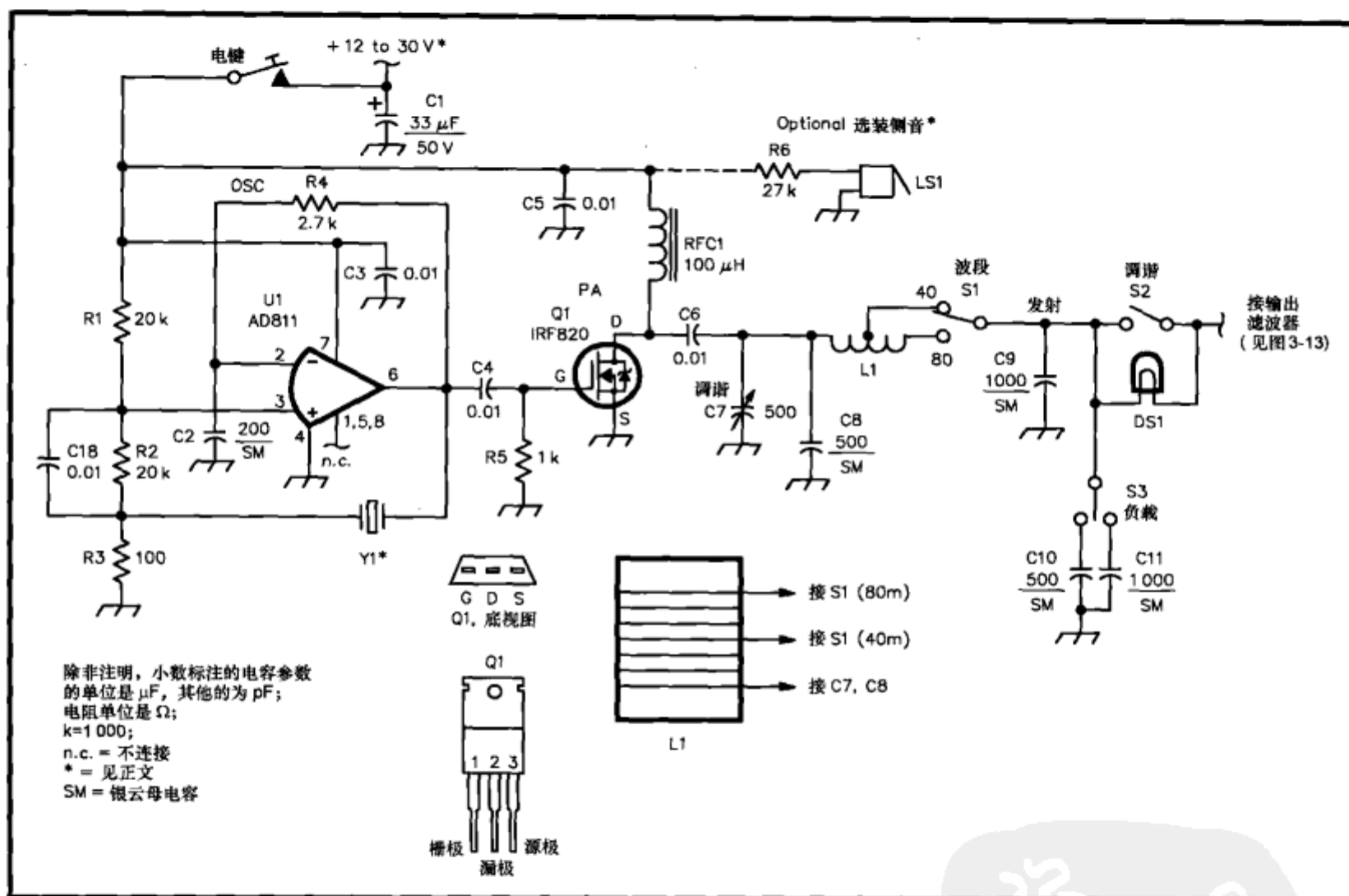


图 3-12 场效应管发射机电路图。除非注明,电阻是误差为 5% 的碳复合电阻或碳膜电阻。

C1—33 μ F/55V 电解电容

C2—220pF 云母电容

C3 ~ C6, C18—0.01 μ F 瓷片电容

C7—500pF 空气介质可变电容,可把多联调幅收音机用的空气电容并联达到 500pF

C8, C10—500pF 银云母电容

C9, C11—1 000pF 银云母电容

DS1—44 号指示灯

L1—见正文

LS1—压电陶瓷蜂鸣器

Q1—IRF820

RFC1—100 μ H 扼流圈

S1—单刀双掷开关

S2—单刀单掷开关

S3—单刀双掷开关,带有中间空位

U1—AD811AN 运放

Y1—3.686 4MHz 微处理器用晶体
其他零件:

晶体插座、电源连接头、
电线、五金件、散热片、
旋钮、机壳、电路板。

功率放大器

Q1 的特性使设计大为简化, 而且使用电池也能输出很大的功率。Q1 的输入阻抗高, 比驱动双极性三极管容易。此外, HEXFET 管的输出阻抗比双极性三极管的输出阻抗高, 所以, 使用“ π ”型滤波器元件参数比较合理。

Q1 的漏极通过 $100\mu\text{H}$ 的高频扼流圈与电源连接, 输出信号通过电容耦合到由 L1、C7、C8、C9 组成的“ π ”型电路。L1 用胶片盒作为骨架, 用 20 号绝缘电线密绕。

输出电路由 500pF 的可变电容 C7 (调谐电容) 调谐。波段开关 S1 为 40m 和 80m 切换电感。S3 是负载电容切换开关, 可以选择不接电容 (中间位置) 或两个电容中的任一只 (C10 或 C11) 达到与天线匹配最佳。

发射 / 调谐开关 S2 能够接入一只 22 号指示灯, 为调谐器件提供输出电流到天线的情况指示。

这个简单的输出滤波电路无法把谐波抑制到足够的幅度, 很难达到 FCC 的有关要求。在发射机的输出端接低通滤波器就可以解决这个问题 (见图 3-13)。

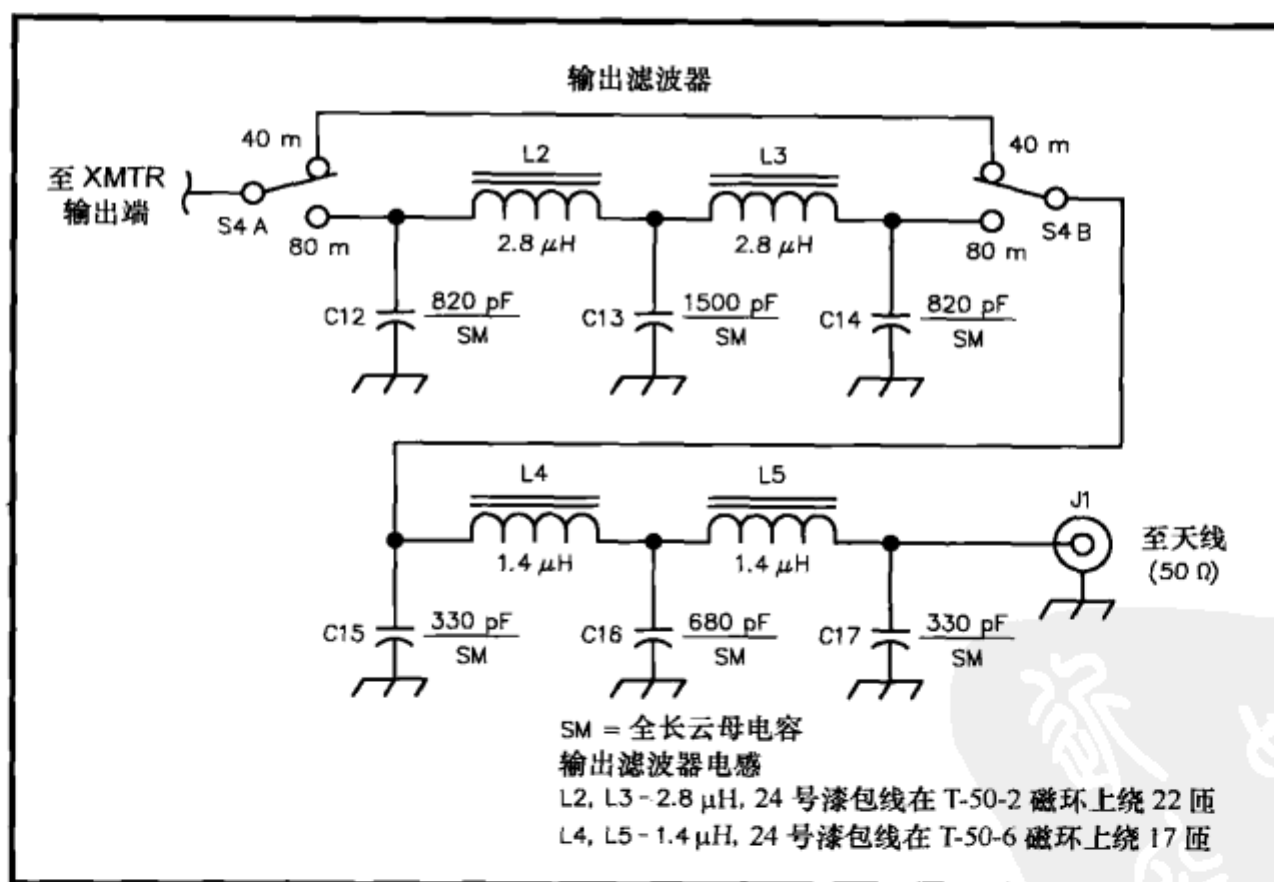


图 3-13 这两个输出滤波电路可以使发射机的输出频谱纯度达到 FCC 要求。80m 时, 两个滤波器同时使用, 40m 时, 第一个滤波器被旁路。所有电容都是银云母。

J1—SO-239 插座

L2, L3— $2.8\mu\text{H}$, 24 号漆包线在 T-50-2 磁环上绕 22 匝

L4, L5— $1.4\mu\text{H}$, 24 号漆包线在 T-50-6 磁环上绕 17 匝

S4—双刀双掷开关

安装

要采取静电防护措施（例如：手腕接地环）。Q1 在安装前尽量放在泡沫保护包装里。无论使用“死昆虫法”、万能板或印制电路板制作这个发射机，首先要安装、测试的是振荡器，然后再安装、测试输出级。所有元件安装完毕，最后装 Q1。

元件布局、元件引脚事先镀锡对于 HF 电路来说十分重要。所有元件引脚，尤其是接地的引线，尽可能短。电源滤波电容 C3 尽可能靠近 U1 的 7 脚安装，这个电容的接地引脚要短。高频电路要使用无感碳复合电阻（不能使用线绕电阻）。发射机装在小金属机壳里，机壳也起到了接地的作用。实际上可以把一块铜板用螺钉或胶水固定在一块 5½ 英寸 × 8 英寸 × 3/4 英寸的木板上（白杨木或松木质地软）作为接地的底板。U1 和 Q1 装在一小块面包板上，用垫片支撑，固定在底板上。所有的接地引线要尽量短，焊接在铜底板上。

L1 绕在直径为 1¼ 英寸的标准胶片盒上，也可以用药盒或者线圈骨架。用 20 号绝缘电线绕 8 匝，中心抽头。绕线圈之前，先在线圈的始端部位钻两个孔，把线从第一个孔穿入，再从第二个孔穿出。在进入骨架的位置打个结，把线固定住。然后开始把线紧紧地绕在骨架上，匝与匝之间不留间隙。可能需要边绕边推，达到密绕的效果。

绕完 4 匝后，要抽头。抽头的方法是，刮掉一小块绝缘皮，焊上一小段导线。全部绕好后，用手把线尾固定住，在线圈的尾部位置钻两个孔，采用前面介绍的方法，把线穿过去。在尾部打个结，固定线尾，防止线圈散开。

用螺钉把一片 TO-220 散热片固定在 Q1 上。J1 可以采用标准的 SO-239 插座。电键接口可用耳机插座。S1、S2、S3 是小型搬钮开关。开关与相连的元件之间的连线要尽可能短。如果需要多频率工作，还要安装晶体插座。

调试与使用

把 6V 的手电电池串联起来完全可以给这个发射机供电。这种电池价格低，容量大。4 个电池组成的 24V 电池组可提供这台发射机工作 10 ~ 20 人。用胶带把电池绑在一起。

调试发射机时，接上电池（也可采用其他电源—24V 或低一些的电源），插上晶体，把 S2 置于“调谐”位置。把一个 50Ω 电阻或假负载接在 J1 上（可用 4 只 1W 200Ω 并联）。把 S3 置于中间位置，按下电键，调整 C7，使输出最大，可通过 DS1 的亮度判断输出大小；然后分别把 S3 置于左边位置和右边位置，每个位置都要调节 C7。指示灯最亮的位置就是正确的位置。使用 24V 电源，在 3.6MHz，指示灯可达到全亮度；在 7.1MHz，指示灯可达到全亮度的一半。

为了防止运放或者 Q1 过热，在调谐期间电键按下时间不要过长。找到最佳匹配点时，把 S2 置于“发射”位置（指示灯被短路，全功率输出）。调试结束后，摘下假负载，换上 50Ω 天线，重复上述调试步骤。

图 3-12 所示的压电陶瓷蜂鸣器可以提供侧音。最好在附近用一台收音机监听一下这台发射机的信号音质，此时，这台收音机的天线应该摘掉。

总结

供电电压不要超过 30V，这样会损坏 AD811。使用电池供电，电压范围可以适当放宽，因为电池的内阻会降低电压。使用过大容量的电池会使 AD811 过热，产生电键“啁啾声”（按下电键时产生的频率偏移现象）。如果想增加功率，应该提高 Q1 漏极电压，方法是把 Q1 的漏极与电源连接断开，串入增加的电池（或电源），只增加 Q1 的供电电压。这时，要加大散热片帮助散热。输出电路的元件参数也要通过试验做相应改动。



4

收信机的制作

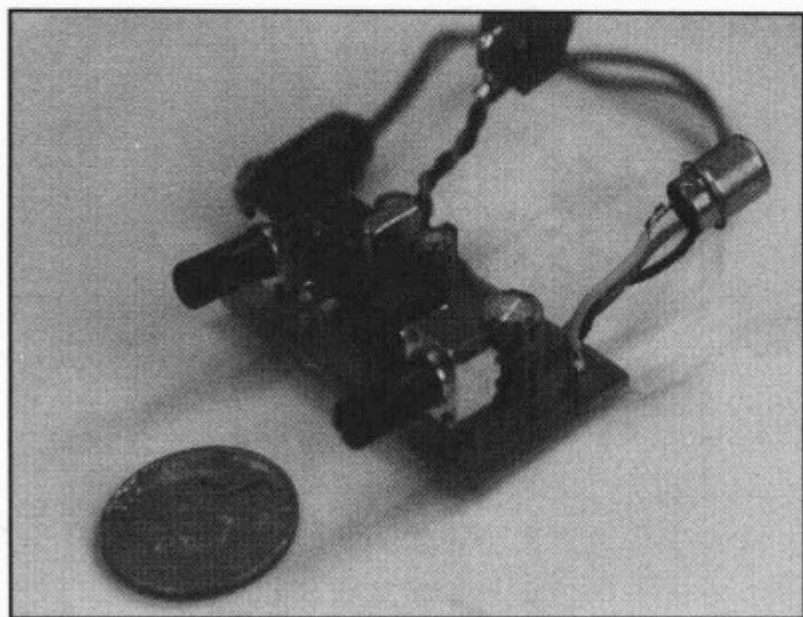
- MRX-40 收信机
- 把 MRX-40 改造成 80m 的收信机
- 级联再生式收信机
- 简单的 6m 收信机
- 惠斯通电桥再生式收信机
- OCR II 再生式收信机

蘇平知覺
PDG

4.1 MRX-40 收信机

在制作了 40m Micronaut CW 发射机并体验了小小功率 (QRPp) 之后, 笔者开始安装小型的配套接收机。这个小接收机既可以和 Micronaut CW 发射机配合使用, 也可以作为 CQRP 俄亥俄州哥伦比亚 QRP (CQRP) 俱乐部的套件。

这台 MRX-40 40m CW 接收机比半美元大一点, 不一定非要和 Micronaut CW 发射机一起用, 可以和任何 40m 发射机一起使用。



设计思想

MRX-40 的主要设计目标是体积小、电路简单。笔者随意将电路板尺寸限制在 1 英寸×2 英寸。为了达到这个目标, 采用了铸模扼流圈和其他小型元件。

电路非常简单 (见图 4-1)。MRX-40 是晶控式直接变频收信机。NE612 担任振荡 / 混频, LM380N 担任音频放大。

1N4007 用作变容二极管, 接收频率在晶体频率上下变化约 1.5kHz。这种调谐方法省去了笨重的空气可变电容。俄亥俄州哥伦比亚 QRP 俱乐部的套件包含一片 7 040kHz 的晶体, 刚好是 40m QRP 的频率。但是如果持有初级执照, 晶体应该换成 7 122kHz 的。

78L06 为 NE602 和调谐电路提供电压, NE612 的最高工作电压是 8V。LM386N 无需任何稳压, 直接从电池供电。音频输出足够驱动 Walkman 用的耳机。MRX-40 没有音量电位器, 而是在天线输入端使用了“增益控制”, 能够同样起到音量控制的作用。

腐蚀印制电路板

MRX-40 可以装在一小块万能板上, 也可以自己腐蚀印制电路板, 样子更加好看、整洁。为俄亥俄州哥伦比亚 QRP 俱乐部提供的套件印制电路板是使用 Easytrax 和 Easyplot 软件绘

制的。电路板画好后，打印在纸上，然后使用复印机把图样转印到 TEC-200 胶片上。用电熨斗就可以把胶片上的电路线条转印到敷铜板上了。这样，就可以用常用的方法腐蚀印制电路板了。

Easyplot 软件也能在 GerbertPlotter 上生成多层板文件。这个制作只有 4 个文件：底层、阻焊层、覆盖层、钻孔层。有了这些文件，印制电路板生产厂就可以制作印制电路板了。

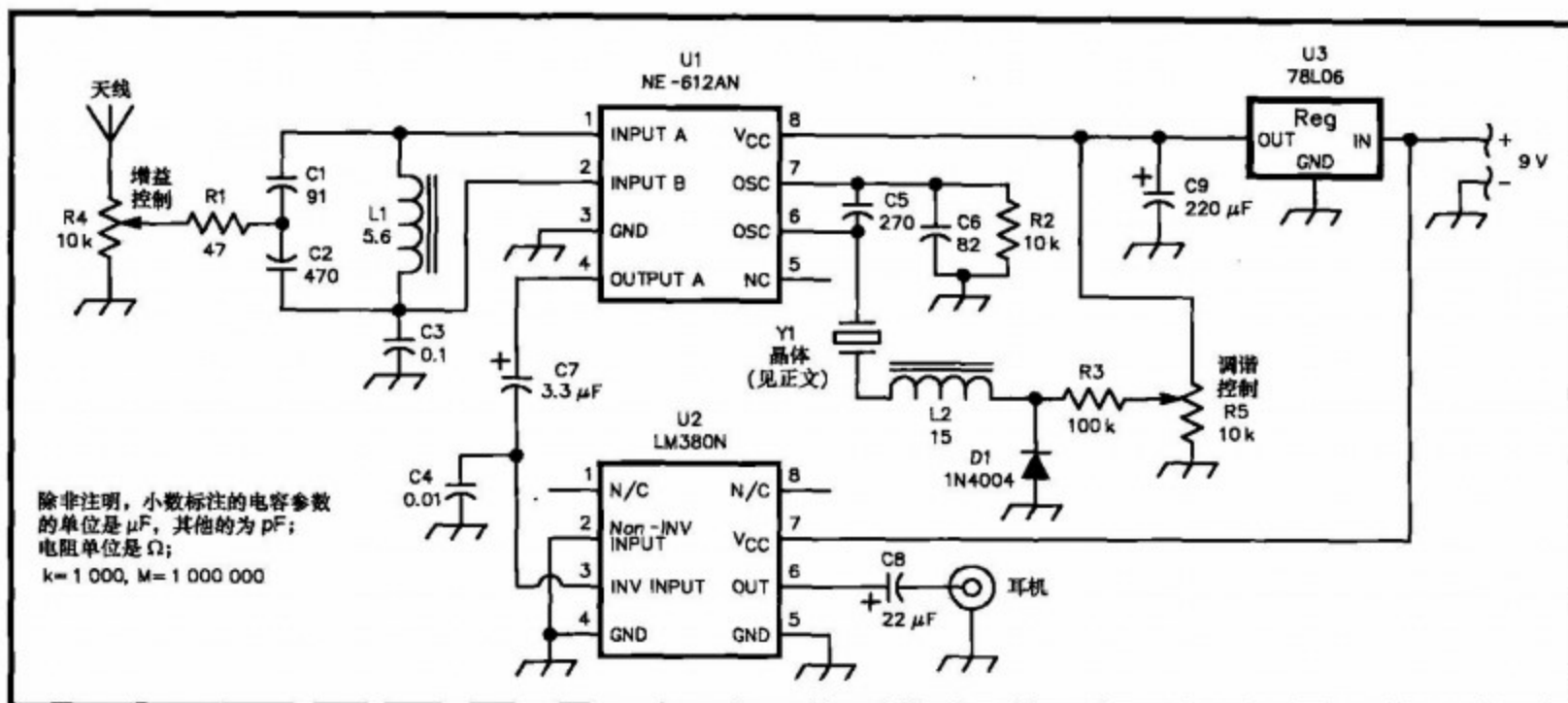


图 4-1 MRX-40 收音机电路图。

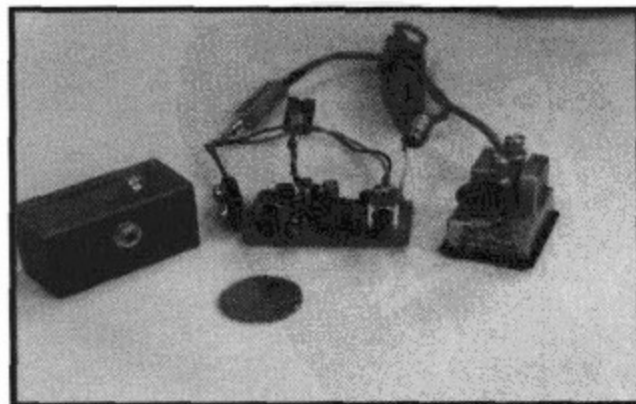
C1—91pF 瓷片电容
C2—470pF 瓷片电容
C3—0.1 μF 独石电容
C4—0.01 μF 独石电容
C5—270pF 独石电容
C6—82pF 独石电容
C7—3.3 μF 电解电容

C8—22 μF 电解电容
C9—220 μF 电解电容
D1—1N4004
L1—5.6 μH 铸模扼流圈
L2—15 μH 铸模扼流圈
R1—47 Ω ，1/4W

R2—10k Ω ，1/4W
R3—100k Ω ，1/4W
U1—NE-612
U2—LM-380N
U3—78L06AC 三端稳压
Y1—HC49U 封装晶体，7 040kHz 或 7 122kHz

安装

安装 MRX-40 收音机没有什么特别的地方。由于电路板体积小，所以最好有一个小台钳，夹住电路板，方便焊接元件。眼睛视力好焊接起来容易得多。60W 的电烙铁就可以使用，烙铁头一定要尖。应该先装小型元件。芯片可以使用插座。MRX-40 的机壳可以采用小块 的敷铜板或其他材料制作。



从左到右，分别是：Micronaut 发射机，MRX-40 收音机，小电键（DK7UD 制作）。

使用

给 MRX-40 收音机接上 9V 电池，检查 U3 的 8 脚电压，应该为 6V，整机电流应该在 16 ~ 17mA。

如果电压、电流正常，那就省事了，电路无需任何调整。本振的振荡情况可借助一台收音机检查。现在，收音机可以投入使用了。



4.2 把 MRX-40 改造成 80m 的收信机

麦克·波特莱特 (KO4WX) 改造了史蒂文·伯恩斯坦 (K8IDN) 设计的 MRX-40。改造后的收信机可以工作在 80m 段。

元件的代换

图 4-2 是改造后的 MRX-40——MRX-80 的电路图，工作频率设在北佐治亚 QRP 俱乐部 (NoGA) 网络频率 3 686.4kHz。麦克把 NE612 换成 NE602，因为 NE602 的混频增益比 NE612 高 4dB。LM380(U2) 也换成 LM386，这种芯片更容易买到。虽然输出功率略小，但是推动耳机足够了。在音频放大电路里增加了 C10，把 LM386 的增益提高到大约 200(46dB)。最后，6V 稳压三端换成了 78L08(8V)。78L08 的输出基本是 NE602 的电压极限了，但是可以增加大约 1dB 的混频增益。

为了让 MRX-40 工作在 80m，LC 的参数需要相应改动。C1 应改为 172pF，把 150pF 电容和 22pF 电容并联就可以了，麦克认为 180pF 也能工作。C2 应改为 890pF。把 820pF 电容和 68pF 电容并联就接近 890pF 了。C5 和 C6 分别改为 512pF 和 155pF。实际上 C5 用 470pF，C6 用 150pF 就可以。L1 和 L2 分别改为 10.6 μ H 和 27 μ H，可以采用标准值的 10 μ H 和 27 μ H 铸模电感。

麦克采用的电路板是“丑曼哈顿”安装方法。元件都焊在敷铜板上留出的敷铜方块上，省去了钻孔的麻烦。标准的“曼哈顿”安装方法就是用胶水把小块的敷铜板粘在大块的覆铜板上作为焊盘，这块大敷铜板作为电路的地，元件焊接在贴好的焊盘上。笔者以前没有试过这个方法，现在试了一下，果然容易、简单，用了 1 个小时安装了一套。连上 9V 电池，插上耳机，接上天线，立刻听见了 3 686.4kHz 附近的 CW 信号。整个电路无需任何调整，接上元件就可以听 80m 的信号了。

MRX-80 的魅力

这个小接收机的接收效果如何？就电路的简单性、元件数量而言，笔者已经吃惊不小。即使频率调节只有 500 ~ 600Hz，大大限制了接收范围，但是与 NoGANaut 发射机或 KnightLite SMiTe 发射机（工作频率也是 3 686.4kHz）一起使用，MRX-80 就够用了。电路

里没有音频滤波器，所以在工作频率周围还能听见别的声音。在这个接收机的输出端加上一个有源音频滤波器来限制音频带宽并不难。图 4-3 是笔者自制的 MRX-80。

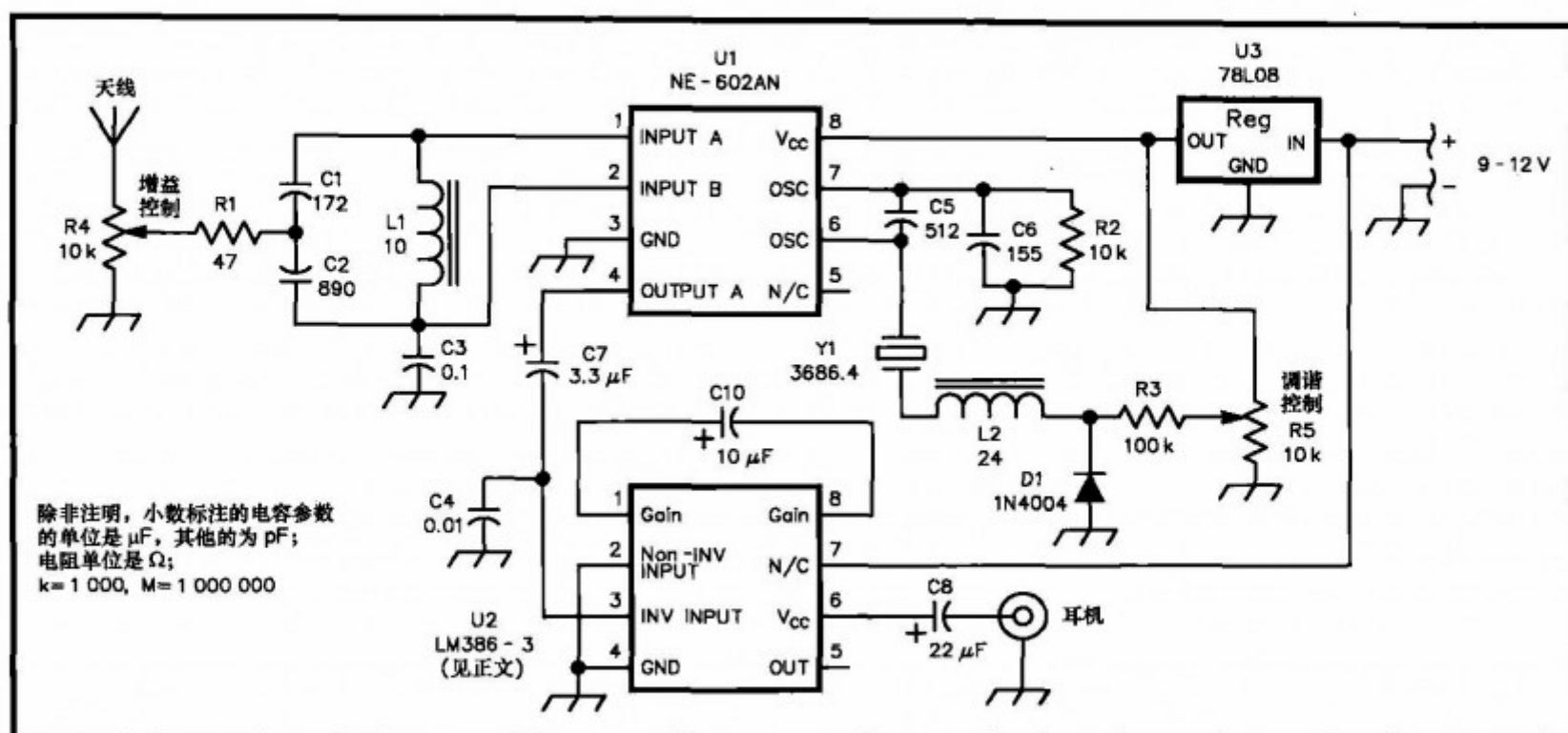


图 4-2 MRX-80 收音机电路图 (把 MRX-40 改造到 80m)

U1—NE612 代替了 NE602。在这个电路里，两个芯片都能用，但 NE602 的混频增益比 NE612 高 4dB。
U2—LM386 代替了 LM380。LM386 更容易买到，虽然输出功率略小，但是推动耳机足够了。在音频放大电路里增加了 C10，把 LM386 的增益提高到大约 46dB (200)。
U3—78L08 代替了 70L05。在这个电路里，两种稳压芯片都能用。NE602 工作在 8V 可以增加大约 1dB 的混频增益。
C1—改为 172p ($X_c = 250\Omega$)，非标准值，可用 150pF 电容和 22pF (或 20pF) 电容并联。180pF 也能工作。
C2—改为 890pF ($X_c = 48\Omega$)，非标准值，可用 820pF 电容和 68pF (或 82pF) 电容并联。
C5—改为 512pF ($X_c = 84\Omega$)，非标准值，可用 470pF 代替。
C6—改为 155pF ($X_c = 277\Omega$)，非标准值，可用 150pF 代替。
L1—10.6 μH ($X_c = 246\Omega$)，可用标准值 10 μH 铸模电感代替。
L2—28 μH ($X_c = 660\Omega$)，可用标准值 27 μH 或 33 μH 铸模电感代替。

麦克把 MRX-40 改成 80m 的想法非常妙。整个设计简单，用的也是普通器件，做起来花费不大。MRX-80 无法与超外差机比，但是达到了当时设想的目的——用于 80m 网络。MRX-80 可以与任何 80m 发射机搭档使用。改造的 80m“金枪鱼 2 号”有搭档了。

这个小制作很有趣。在这里感谢麦克·波特莱特 (KO4WX) 与读者共享 MRX-40 的改造电路。MRX-80 电路简单，用“曼哈顿”方法就能装起来，而且元件好买，实际安装中也不容易出错。如果想做个一个晚上就能做好的机器，为什么不试试装一台 MRX-80？

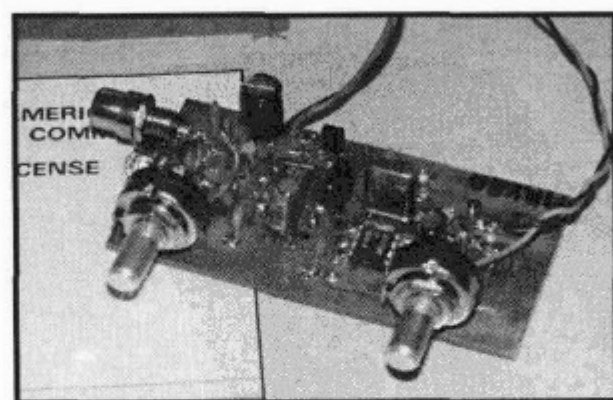


图 4-3 笔者自制的 MRX-80

4.3 级联再生式收信机

1918年版的 *Vacuum Tubes in Wireless Communication* (《无线电通信电子管电路》)^[1] 在 78 页介绍了级联再生式 (cascade regenerative) 收信机。1918 年版介绍的电路里, 反馈线圈安装在电路的地或地附近, 这和笔者的级联再生式收信机以及最近在 *QEX* 杂志介绍再生式超外差接收机的结构一样^[2]。笔者把用于其他收信机中的两个电路以级联 (cascade) 形式接在一起。笔者的目的是, 在再生式收信机里采用两个调谐线圈, 提高增益和选择性, 但电路不要像超外差收信机那样复杂。这个收信机的接收频率范围是 3 ~ 5MHz。选择性就再生式而言, 令人满意, 多增加的一级电路是值得的。使用者必须学会使用方法: 一个旋钮要旋到通常一半的位置, 然后把第二个旋钮也调到这个位置, 避免错过了台。制作级联再生式收信机应该准备高质量的微调旋钮。

有的读者不免要问, 2003 年许多爱好者都在实验软件收信机和其他先进的概念, 为什么在这个时候介绍再生式收信机? 实际上, 再生式收信机的热度还没有完全减退。笔者写这篇文章是因为还有不少爱好者可能会喜欢这个简单的机器。

在再生式收信机中, 除了可变电容的动片、电位器的动触头、开关触点之外, 其他的元件都不能松动。信号线也不能有松动或震动。所有的元件、线路都要固定牢靠。可能活动的元件要用热熔胶粘住。使用的导线的线径尽可能粗, 固定用的捆扎带不能少。如果两根线或多根线需要并排在一起走线, 一定要把它们捆扎在一起。样子不一定要漂亮, 但关键是不能有松动。笔者自制的这台收信机在机械强度、电器性能方面都很稳定。这个收信机先用来接收 AM 信号, 尽管高放的增益很大, 但电路非常稳定, 没有颤噪声。

在天线与第一级再生电路之间有一级非调谐共源极 RF 电路, 这是为了把再生电路与天线隔离开, 这种电路已经用了 80 多年了, 能够对短线天线呈现高阻抗。天线所看到的高阻抗使收信机的性能不受到天线长度的影响。“绞合线”耦合电容可以应付强信号, 能够消除附近强信号台的干扰。

在桥式检波器之前, 有两级再生式 RF 放大器。第一级与第二级、第二级与第三级之间的耦合采用的是 1.8 ~ 10pF 的微调电容。耦合电容需要调整到两级再生控制效果最好。

第一级再生电路是用面包板试验出来的。560 Ω 漏极负载电阻是利用电阻箱确定的。调节负载电阻的阻值, 直到再生出现。

两级由结型场效应管组成的再生电路都有反馈线圈, 与漏极负载的底端或“冷”端串联。

这个电路是利用面包板搭接的收音机，通过试验，找到最佳再生控制点。笔者的“再生 RF 放大器数学模型”^[3] 简单扼要地讨论了再生控制与漏极负载的关系。

每个反馈线圈都直接固定在调谐线圈上方。这样，再生控制效果较好。笔者试着把反馈线圈与谐振线圈分开一小段距离，再生控制就很难调整了。也许这个现象仅限于这个电路。此外，反馈线圈与调谐线圈的匝数比当时是在面包板上通过试验确定的，但是在再生控制电阻一致的情况下，似乎适合 2MHz 以下或 5MHz 以上的频率范围。

每个 140pF 的调谐电容都是通过后面的固定脚固定在铝底板上，这样调谐就很平滑。第一个再生电路（第二级）使用了一个微调电容，动片是悬浮的，这个电容把一个铝动片固定在一根尼龙螺钉上，通过微调旋钮转动（见图 4-4）。动片可在两片定片间转动；两片定片的其中一片固定在底板上，另一片是绝缘的，通过尼龙螺钉和垫片与接地的定片固定在一起，两片定片之间留有空隙。动片加工成圆周大，但面积较小的形状。这个悬浮式动片电容的容量似乎更加依赖极片边缘的“边缘效应”，不太依赖极片的面积。容量变化比通常方法计算出的空气可变电容极片并联容量变化小得多。有待进一步实验，但是悬浮式动片可变电容与再生电路的调谐电容并联使用时，非常有用，能准确调准接收 AM 信号。这种准确性和精确的再生控制（粗调、细调、微调）电位器共同使用时，使灵敏度和选择性大为提高。细调谐旋钮稍微调整，信号的输出幅度就有明显变化，所以细调谐旋钮非常有用。

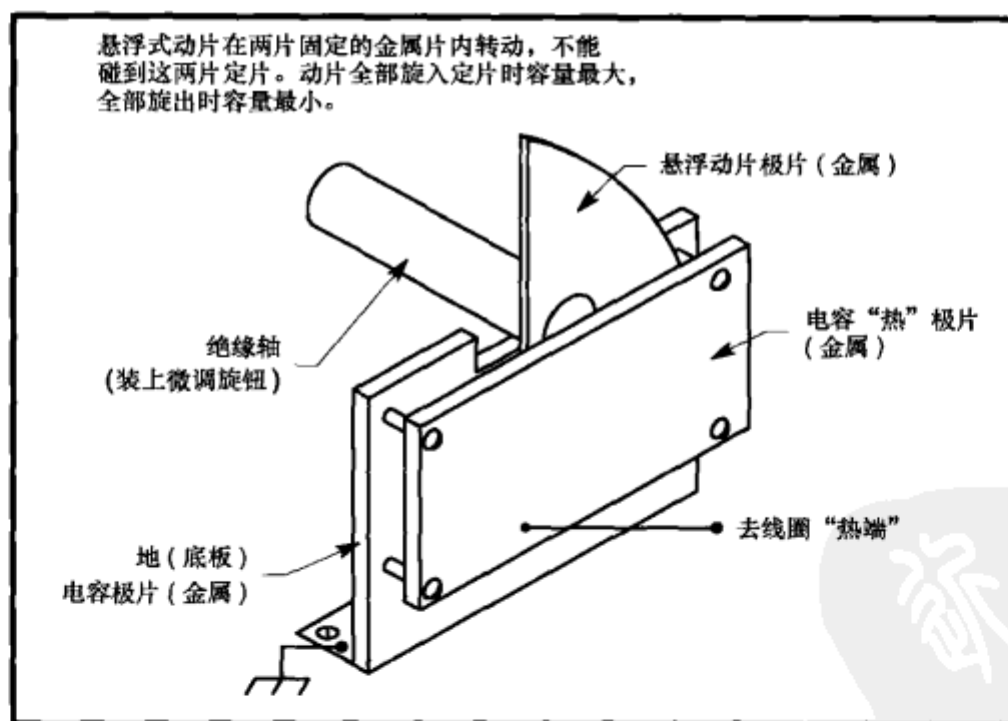


图 4-4 悬浮式动片可变电容

有些安装再生机的爱好者强调一点接地。这个收音机的电路板在板子的四周有一条粗地线，但是没有形成一个闭合环路。所有需要接地的连接点都连接在这条粗地线上，这条地线有一个接头，通过螺钉，与铝底板一点连接。离电路板较远的地方，还有几个接地点，也采

用这个方法与底板一点连接。这个收音机性能很好，可能是接地好的缘故。

笔者把一个 RF 线圈接到一个振荡的 RF 再生电路上，对各种线圈骨架材料进行过评测，例如：卡纸、玻璃、木头、PVC、亚克力、PEX，最终的结果是装胶片的塑料盒或者塑料药瓶最好。

最近有人提醒笔者说，普通的再生式检波器会出现俘获效应 (capture effect)，这时，接近弱信号频率的强信号会把弱信号从收音机挤走。这个现象没有出现在这个收音机上。强信号会出现在弱信号背后或在弱信号下方，不会将弱信号挤走。

每个再生放大电路中的场效应管 (2N3819) 源极都采用了一只 1N4148 硅二极管。这个想法是查尔斯·基钦 (NITEV) 在给笔者的信中建议的，对提高性能有明显的效果。这个措施使收音机在反馈低于起振点时接收 AM 信号的能力提高，但是在反馈超过起振点时接收 CW 信号能力变差。二极管似乎拖延了振荡启动，使反馈量低于起振点时增益更高。

这个级联再生式收音机原来是装在一个电路板上的。所有的三极管、二极管、芯片都装在一块万能板上。电路板装在一块底板上。电路板与底板垫有尼龙垫圈，使电路板与底板间隔 1 英寸。笔者参考 1992 年版 ARRL《业余无线电手册》在 28-5 页介绍的电路，增加了一个 MPS2222A 组成的音频前置放大。前置放大器装在一小块电路板上，固定在主板边上。笔者拆除了变压器耦合的 2N3819 音频放大器电路。这个电路原来是放在桥式检波和 LM386 之间的。拆除的原因是，放大增益小，而且引起“熄灭”频率的声音。采用 MPS2222A 的放大电路性能很好，笔者相信，这个放大电路应该可以合并到主板上，主板上足够的位置。

LM386 组成的音频放大是很经典的，唯一不同的是跨接在 9V 电源上的 220 μ F 电解电容，这个电容对防止汽船声和工作不稳定是必要的。

这个收音机操作方法是这样的：开始时，先把主调谐电容的旋钮调到刻度 80 的位置，把再生控制细调旋钮和微调旋钮顺时针调到底，这时调节再生控制粗调旋钮，让再生电路起振。进行这个步骤时，音量要调小。然后逆时针调节微调旋钮，使振荡刚好停止，这时再顺时针调节细调旋钮，直至电路刚好起振。现在，逆时针方向调节微调旋钮，直至电路停振。利用微调旋钮使电路增益不足以起振。顺时针调整音量电位器，加大音频增益。两级再生电路都要按照这个方法调整。有的调整可能需要反复几次，直到收音机数分钟后稳定为止。一旦稳定，就可以长时间收听了。

现在，转动两个主调谐旋钮，看看哪个旋钮往你想转动的方向调节时使电路停振。向相同方向调节另一个主调谐旋钮能够让电路再次起振。就用这种方法调节（转动一个主调谐旋钮，然后转动另一个），直到听到一个有趣的信号。

收到一个信号时，调整再生细调旋钮，这要根据需要接收什么信号 (AM、CW、RTTY 等) 来调整。接收 AM 信号时，向后调整细调旋钮，直到信号清晰，然后调整微调旋钮，使信号最大。调整细调、微调这两个旋钮，调节到 AM 信号中心频率时增益最大。调整微调旋钮增加反馈量到一定程度时，会出现失真和叫声。这台收音机也可以在调台时不听到声音。

大家可能会说，使用起来工作量太大。没错，的确如此。这就是为什么超外差收音机占

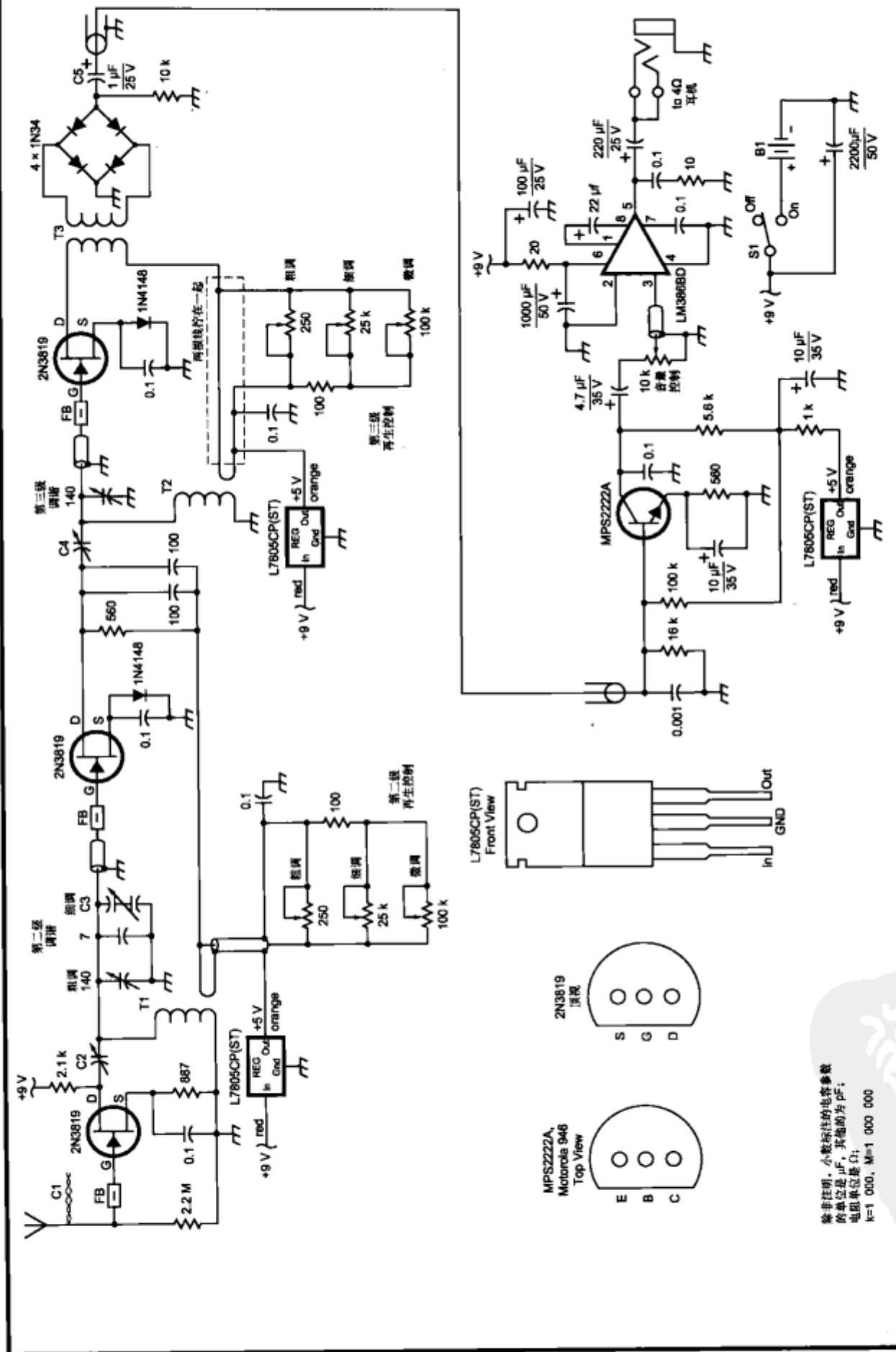


图 4-5 级联再生式收音机电路图。除非注明, 电阻是误差为 5% 的碳复合电阻或碳膜电阻。

B1—NM1604 可充电, 8.4V, 150mAh

C1—绞合电容用绝缘皮电线绞合 4 匝

C2, C5—1.8 ~ 10pF 瓷微调电容

C3—140pF 瓷片电容

C4—悬浮式动片可变电容 (见正文和图 4-4)

C5—1 μF 漏电小的电容 FB—Fair-Rite EMI 屏蔽磁珠

S1—单刀单掷开关, 与第三级的再生细调电位器联动
T1—变压器。初级 22 匝, 线圈长度 3/4 英寸, 绕在 7/8 英寸 PEX 骨架上; 次级 4 匝, 绕在初级冷端。连接到电位器的两根连线要拧在一起。线圈用罐头盒屏蔽。

T2—变压器。初级 22 匝, 线圈长度 3/4 英寸, 绕在 7/8 英寸 PEX 骨架上; 次级 4 匝, 绕在初级冷端。连接到电位器的两根连线要拧在一起。线圈用罐头盒屏蔽。

T3—双线圈并绕变压器。24 号漆包线双线圈拧在一起, 在直径 3/8 英寸 PEX 骨架上绕 90 匝, 线圈宽度 2 英寸。T3 固定在铝底座里。

据了主导地位。如果需要快速、重复切换频率，这个高选择性的再生收音机无法完成。这是晶控式超外差收音机能够完成的任务。

此外，用这个机器接收弱信号时很有意思：把两级再生电路都调谐到想接收的那个弱信号，然后利用两个再生微调旋钮把这个信号从“泥潭中”拉出来，此时，两级再生电路都没有振荡。这个收音机的缺点是有大功率广播信号偏离载波中心频率数十千赫兹时产生的“裙边效应”。但是，在调

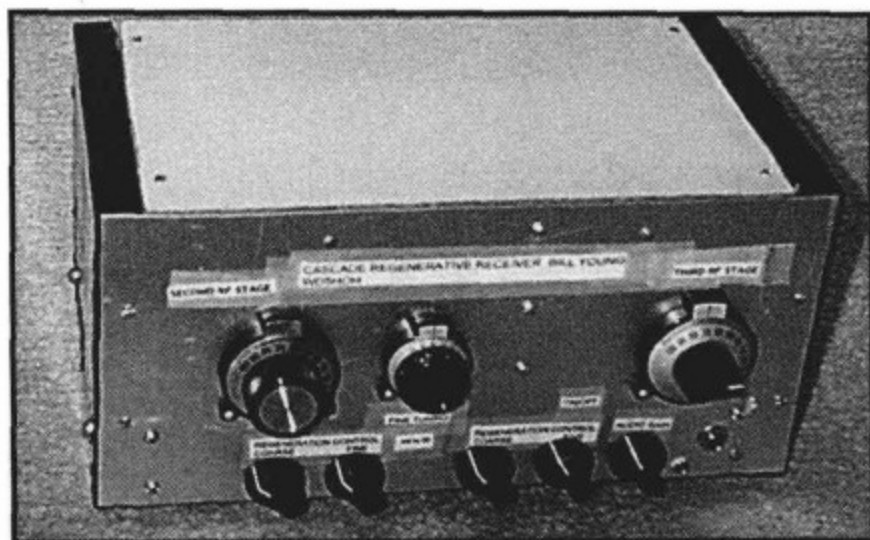


图 4-6 收音机的正面

准频率后，且再生足够克服这种干扰的情况下，大多数弱信号的强度都会增加。在笔者的位置，只是 5MHz 附近有问题。

这个收音机在性能方面有几个问题让人疑惑不解：

1. 即使两级再生电路都起振了，没有调到相同的位置，也听不到差出的音频信号；
2. 线圈是屏蔽的，电源也采取了稳压措施，但是两级再生电路之间在高增益时还有干扰现象。

最初笔者采用 9V 碱性电池供电，现在改用 NM1604 镍氢可充电电池。用这种电池可工作 3h 才需要充电。可充电电池内阻低，所以效果好，可一直工作到电压低于“平坦区”。从平坦区过渡到弱电压非常快，会出现突然需要增加再生维持增益的现象，但是增益减小的速度大于再生增加的速度。

读者可能留意到了，开关是装在其中一个再生细调控制电位器上的，而不是在音量电位器上，这是因为没有买到合适的元件。如果有带开关的 10k Ω 电位器，完全可以用。

注释

^[1] E. Bucher. *Vacuum Tubes in Wireless Communication*. New York: WirelessPress, 1918

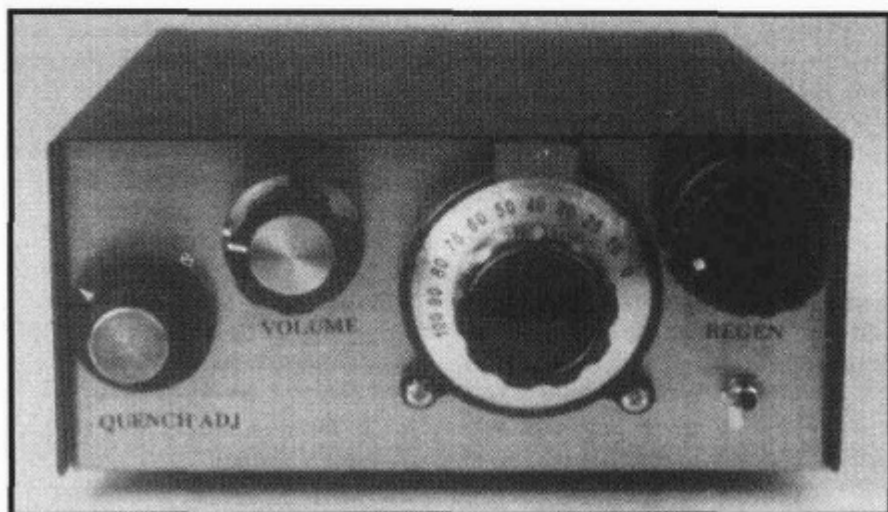
^[2] B. Young, WD5HOH. "A Homebrew Regenerative Superheterodyne Receiver." *QEX*, May/Jun 2002, pp 25-35

^[3] B. Young, WD5HOH. "A Mathematical Model for Regenerative Receiver." *QEX*, Jul/Aug 2002, pp 53-54

4.4 简单的 6m 收音机

这个收音机采用了超再生电路，灵敏度高，使用的元件少，可用来接收 AM 和 FM 信号。这个电路与其他的超再生电路不同，采用“熄灭波形”控制，便于接收窄带 FM。收音机的灵敏度约 $1\mu\text{V}$ ，可以通过改造，接收更宽范围的 VHF 段频率。电源可用 9V 或 12V。

这个机器的性能不能与现代的成品收发信机比，但是可以自制，用来收听各类本地的通信联络。接收频率包括 6m 段以及相邻频率。和使用其他再生机一样，需要练习和耐心，学会调整控制旋钮，使效果最佳。



再生式收音机

再生式收音机使用了特殊类型的检波器，实际上就是使用人控制的振荡器。在直接再生电路里，输入信号耦合到检波器，部分输出信号反馈到输入端。这样反复放大输入信号，一级电路就可以有很高的增益。如果让反馈超过了振荡点，电路的增益停止增加，开始下降。因此需要某种再生控制方法，使反馈保持在刚好不足以振荡。使用这个方法，一个晶体管或结型场效应管的增益就能达到 20 000。

超再生电路使用的振荡再生检波器能够自动间歇地停止或“熄灭”振荡。这就可以使输入信号反复累加到振荡点，单级增益可达一百万，即使在 UHF 段。检波器可以用两个方法达到熄灭：用另一个频率低一点的振荡器提供熄灭信号（单独熄灭电路）；或者用一只结型场效应管产生两个振荡信号（自熄灭电路），本文介绍的就是这个方法。

用超再生收音机接收 49 ~ 55MHz 信号

图 4-7 是电路图。电路包括 RF 放大电路、超再生检波电路、音频放大电路。Q1 采用共

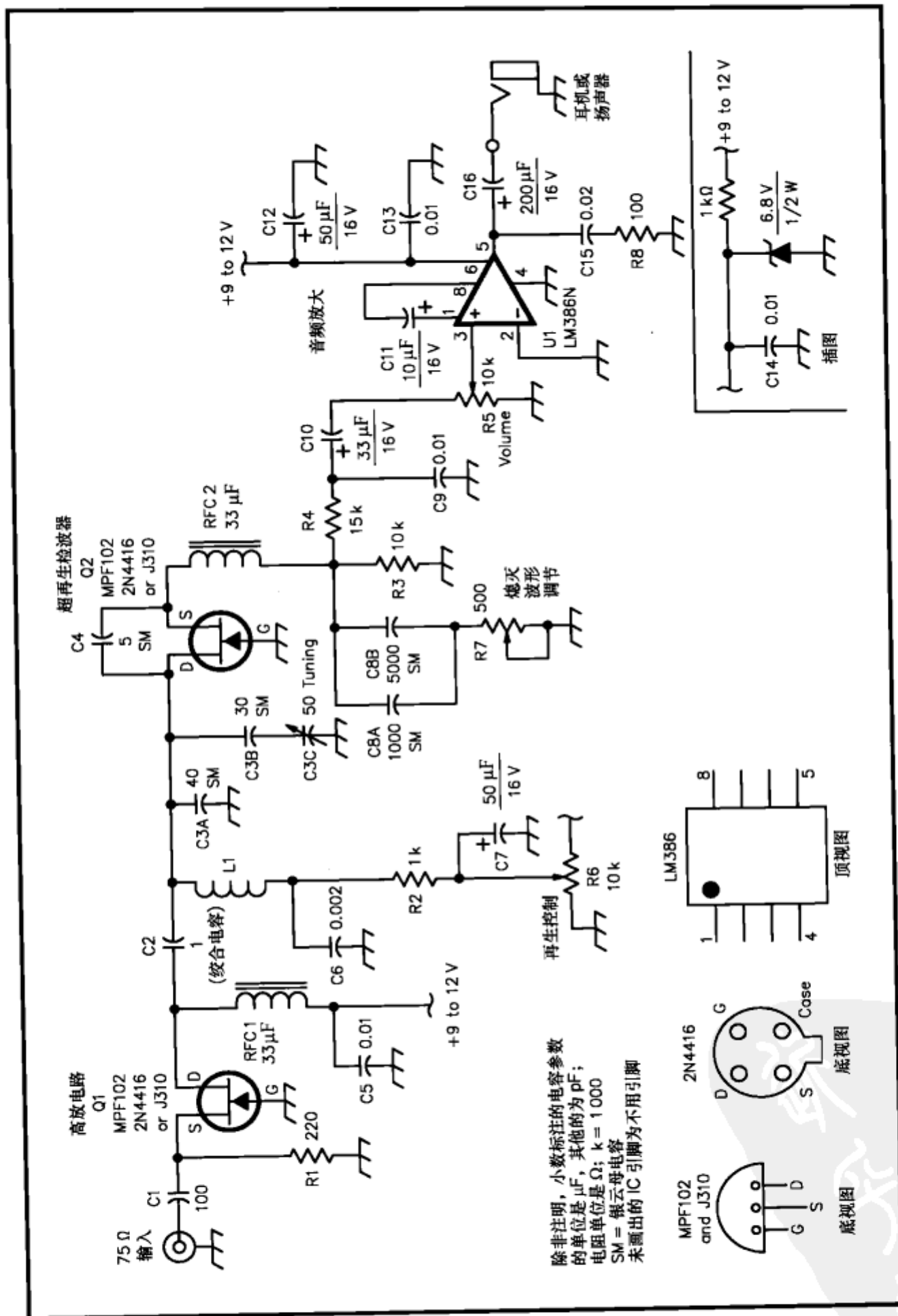


图 4-7 VHF 收音机电路图。除非注明, 电阻是误差为 5% 的碳复合电阻或碳膜电阻。

- C2—绞合电容 (见正文)
C3C—50pF 可变电容
C7, C12—50 μF /16V 电解电容
C10—33 μF /16V 电解电容
C11—10 μF /16V 电解电容
C16—220 μF /16V 电解电容
L1—空芯线圈。用 14 号铜线在 0.25 英寸胎具上 (铅笔) 间绕 7 匝, 然后脱胎。线圈长度 3/4 英寸
R6—10k Ω , 10 圈电位器 RFC1, RFC2—33 μH

栅极电路形式，给电路提供增益，防止收音机通过天线向外辐射自己的信号。

Q2 是检波器，用作共栅极振荡电路。C4 提供场效应管源极和漏极之间的同相反馈。RFC2 的作用是把 Q2 的源极垫高，产生振荡。

R3 为场效应管提供偏置，与 RC 电路一起提供必要的熄灭振荡条件。C8A、C8B、R7、R3 设定了时间常数。这个时间常数的长度足以使 R3 两端的直流偏置增加，直至阻止检波器振荡。偏置电压通过相关电路泄放，直至偏流降低，振荡重新开始。这就是产生超再生效果的熄灭动作。

来自 RF 放大器的信号通过一个绞合电容耦合到检波器。绞合电容用两段 1 英寸长的 30 号绝缘皮电线绞合而成，也可用一只 2pF 的云母电容代替。

检波器的工作电压由 10k Ω 再生电位器控制。这个控制器既影响灵敏度，也影响选择性。因为检波器是调制振荡器，所以产生双边带信号。增加再生（升高检波器电压）就能增加灵敏度，但是也产生了更大的边带信号，降低了选择性（边带信号与窄带信号互调）。

熄灭波形调整电位器 R7 与 C8 串联，能够把熄灭波形从正常的锯齿波变成正弦波。正弦波比锯齿波压干净（正弦波几乎没有谐波），因此边带信号也小，选择性要好得多。图 4-8 是接 R7 与不接 R7 的波形照片。

R4 和 C9 组成简单的低通滤波器，滤除检波器音频输出端的熄灭电压。检波器的输出信号驱动音频放大芯片 LM386。

接收机可以通过电缆连接到盘锥天线或其他 75 Ω 天线。也可使用电视机扁平电缆连接到缩短型双极天线。对于 6m 段的双极天线，可以使用 9 英尺长的 300 Ω 扁平电缆连接。把扁平电缆两头对焊，然后在电缆长度一半的位置切断其中一根线。把传输线，也就是另一根扁平电缆，焊到切断的位置上。好天线能够大大增加窄带电台信号的数量。

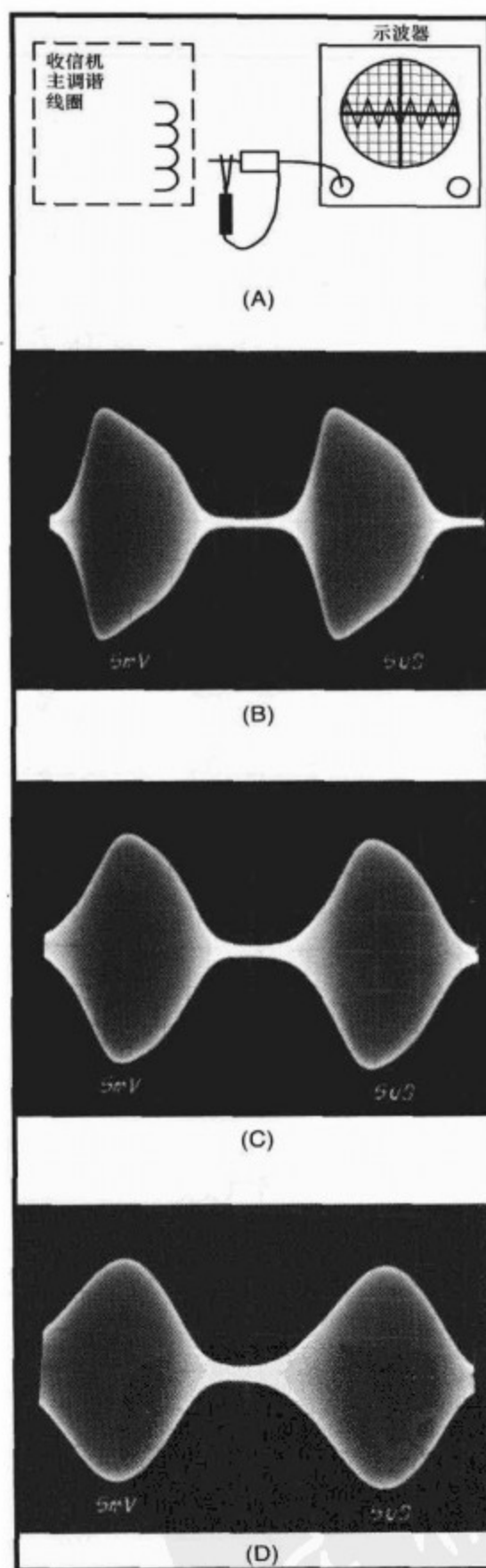


图 4-8 熄灭波形调节对检波器振荡波形的影响。图 A 介绍的是测试仪器连接方法。示波器的探头接地夹夹在探头的探针上，把探头的探针靠近主振荡器调谐线圈。图 B、图 C、图 D 分别是 R7 为 0 Ω 、250 Ω 、500 Ω 时的波形。

安装

杂散电容和多接地通路能够阻止检波器振荡。检波器的调谐线圈(L1)要远离其他导体,尤其是底板、外壳以及其他金属物体。

避免把调谐线圈安装在印制电路板上,这样会增加电感,导致振荡器无法正常起振。使用面包板安装这个电路时,必须把调谐线圈架高才行。这个电路也可以利用支架直接在敷铜板上安装,元件靠支架悬空安装在电路板上,也可以利用一条引脚接地的元件当做其他元件的支架(“死昆虫”安装法或“丑电路”安装法)。

装好的电路装在小机壳里,或者用一块木板和一片金属板作为前面板。如果打算把整个机器装在一个封闭的金属机壳里,那么先在机壳外把电路装好,确定起振后再装进去。

调谐电容 C3C 要直接装在电路板上,电容的轴穿过前面板,面板的孔要开大一些。避免把这个电容直接固定在金属面板上。如果电容的支架接触到了面板和电路的地,就会产生多接地通路(接地环路),影响检波振荡器起振。其他的控制器可以直接固定到面板上,连接到电路板的连线尽可能短。连接音量电位器、熄灭波形电位器的连线要采用屏蔽线。连接再生控制电位器的两根线要绞合在一起。C13 应直接连接在 U1 的 8 脚。

建议再生控制采用 10 圈电位器,调谐电容要采用减速装置,便于使用。

安装应该从后到前。先安装音频放大部分。测试这部分电路时,先把音量放到中间位置,用手指摸电位器中间脚,应能听见交流声(你的身体相当于天线,拾取周围交流导线的信号。如果周围没有交流电,这个测试方法就不起作用,需要使用音频信号发生器——编者注)。如果没有声音,检查是否有接错的地方。检查电源是否加到 LM386,芯片的 5 脚电压为电源电压的一半。

音频放大电路工作之后,安装检波器,但先不要装 C7。在检波器无负载的情况下,把 R7 调到中间位置,调整再生控制电位器 R6,直至电路起振(应该能听到很大的噪声,表明检波器出现超再生了)。

RFC2 在电路里要求也很严。因为个人电路布局不通(扼流圈也不同),因此需要试验几次才能使振荡器正常工作。C4 用 5pF 的电容,扼流圈 33 μ H,电路应该起振,振荡信号很强。如果不起振,而且接线无误,那么就要换用其他电感量的扼流圈。

其他说明

为了保证收音机最佳的灵敏度,使用新电池。晶体管收音机用的 9V 电池很适合外出使用。两个 6V 电池串联起来的手电电池可供这个机器使用几个月。改变 C3A 和 C3B 的参数可以减小或扩大收音机的接收频率范围。C3B 决定总的调谐范围,因此,不一定非要使用 50pF 的电容。加大 C3A 会减小调谐范围。也可以通过增减主调谐线圈的匝数达到同样的目的。

使用

为了获得最佳效果，每次改变接收频率都需要重新调整再生幅度。再生控制能改变检波器的工作电压。检波器的电压越高，灵敏度越高，但是选择频带变宽了。

在自熄灭电路中，再生控制也能改变熄灭频率。对于 AM 和宽带 FM 接收，把 R7(熄灭波形控制)调到阻值最小的位置，调整再生控制电位器使再生幅度超过检波器振荡阈值，此时背景噪声突然加大。然后略减小再生幅度。

对于窄带 FM 接收，把 R7(熄灭波形控制)调到中间位置，调整再生控制电位器使振荡器出现强振荡(灵敏度高)，调节频率，对准想接收电台的载波中心频率，减小再生幅度，直至音频信号猛然增大(如果再生幅度减小过多，检波器会有尖叫声)。调整 R7，在检波器开始振荡和音频开始迅速下跌之间能产生再生控制窄带窗口。增加 R7 的阻值，能加宽这个区域，但是会减弱检波器的灵敏度。因为相互影响，接收窄带 FM 时，再生控制和熄灭波形调节需要反复调整。

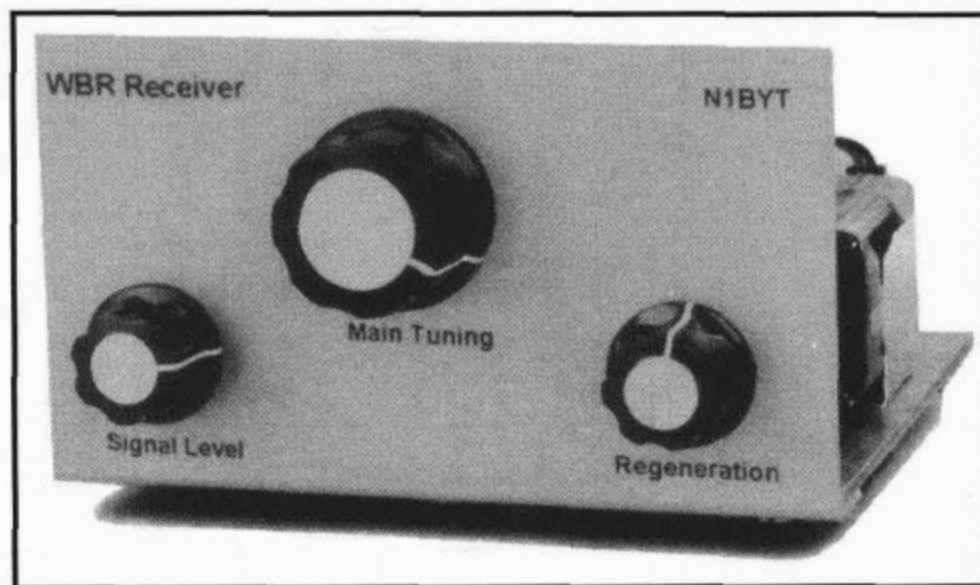
这个收音机也可以接收 CW 和 SSB 信号。把再生控制放到最低点，使检波器不处于超再生，但仍然振荡。这时，收音机就是直接再生机。

改变元件参数可以让收音机工作在其他波段。工作在 2m 时，需要以下改动：省去 C8A 和 C3A。把 C3B 改成 15pF 左右的电容，C3C 改成 25pF 的可变电容，C4 改为 2pF，RFC1 和 RFC2 改成 15 μ H。L1 改为 3 匝，线圈长度为 1 英寸。在再生控制电位器之前增加 1 只 1k Ω 电阻和 6.8V 稳压管(见图 4-7 插图)，提高工作在高频段的稳定性，但是 6m 波段不需要这部分。



4.5 惠斯通电桥再生式收信机

尽管再生式收信机有缺点，但是再生式检波器的典雅简洁仍具有诱惑力。笔者一直在寻找更好的方法改进阿姆斯特朗的伟大设计。随着光耦合再生式收信机(OCR)的推出^[1]，再生式检波器的主要问题就解决了。光耦合再生式收信机展示了这个 90 年历史的电路，作为简单的全模式接收机，仍然具有自身的潜力。但是这种设计相当复杂，依赖较难买到的光电器件，带宽也受到限制。



简单再生式收信机设计的关键是天线与振荡的检波器之间的耦合。把天线直接耦合到再生式检波器上，整个频率范围内就会充满各种信号。克服这种问题电路结构就比简单的直接变频式接收机的电路结构复杂了。因此，再生式检波器在很大程度上不得不让位于其他简单的电路。

现在找到了一种简单有效的解决耦合问题方法。本文介绍的天线与槽路线圈的耦合方法是采用了惠斯通电桥电路，收信机的名字就是根据这个电路命名的。

这个惠斯通电桥再生式收信机(WBR)可能是电路最简单、性能最高的再生式收信机。此外，电路能够消除再生式收信机的一些缺点，例如：天线辐射、频率牵引、颤噪声以及手感应电容影响。

电路介绍

电路图如图 4-9 所示。基本电路同光耦合再生式收信机，两者最大的区别就是去掉了振荡器和振荡槽路部分的光耦合元件。

电路仍然保留高稳定度考比次振荡电路和阻抗无穷大的检波器。不同的是，振荡通过改变 Q1 基极电流控制(R5 及相关元件)，而不是利用光耦合器件里 LED 的光电子控制。

槽路由 L1、C7、C8 和调谐二极管组成，见图 4-10。为了清晰起见，图 4-10 中省略了

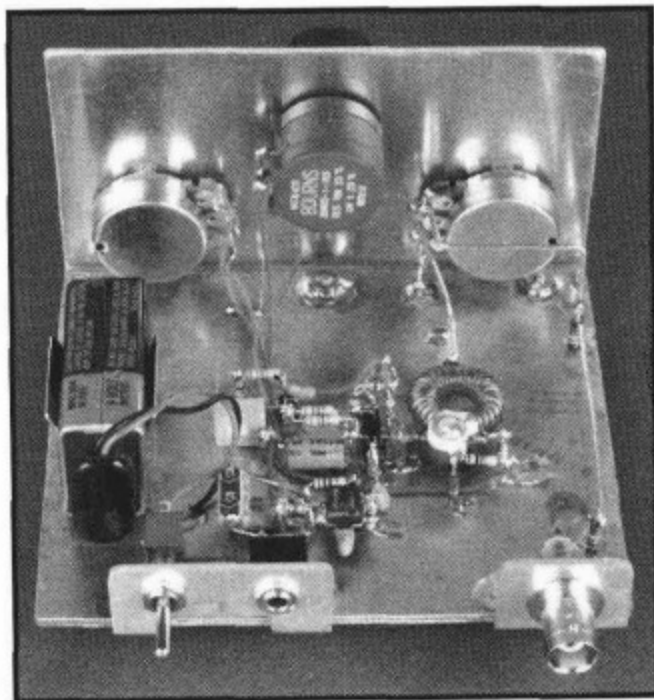
C7、C8、D1。从图4-10可以看出，电路是经典的惠斯通电桥电路。L1有中心抽头，抽头两端电感量相等。C1是振荡器、检波器的负载电容，平衡电容C2经调整与C1的容量匹配。在理想状态下，电桥是平衡的，中心抽头没有电压。振荡电压出现在V1、V2节点。因为中心抽头没有电压，因此可以接地——也就是说可以把天线直接接在这里而不会影响振荡信号。

在这个电路里，天线通过Z1表示的阻抗耦合到L1中心抽头。Z1实际上是一段一英寸长与地连接的电线，天线连接在Z1的中间位置，这就为天线提供了低阻抗连接点，也为检波器Q2和调谐二极管D1提供了接地直流回路。

在实际应用中，这个电桥不可能完全平衡，因为振荡器负载电容会因再生幅度变化而变化。此外，这个电路仍会在L1的抽头位置对振荡电压产生很大衰减。在7MHz时，抽头处测量的电压比V1、V2节点测得的电压低大约46dB。优点是天线的隔离性提高了。把惠斯通电桥再生式收信机的天线摘掉、接上，用一台收音机监听惠斯通电桥再生式收信机的振荡信号，没有听出明显差别。如果振荡器耦合电容和平衡电容（图4-9的C5和C6）匹配，就能达到很好的平衡。如果改动振荡电路，平衡电容还需要调整。

D1用来调节振荡器的频率。主调谐电位器（R11）采用塑料10圈电位器。R12把D1的最低电压限制在0.9V。低于这个电压，D1的容量变化就很小了。三端稳压U1为D1、Q1、Q2提供稳定的电压。R5是再生控制，采用单圈电位器，固定在前面板上。R6是对R5起到“预设”的作用，使再生控制平滑。

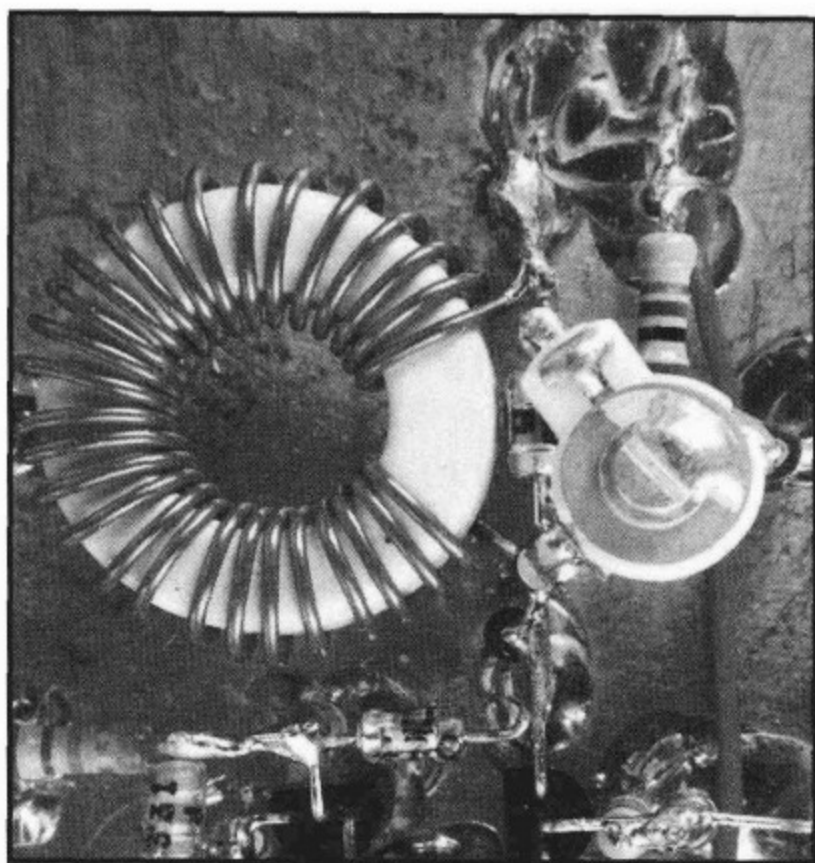
为了保持电路整体简单，音频只用了一级放大电路（U2）。在使用简单的40m双极天线的情况下，音量已足够带动耳机。耳机音量是通过R3减少送入检波器的信号幅度控制的。这个收信机采用9V电池供电。可以使用滤波良好的8~13.8V稳压电源。D2在电源接反时起到保护作用。天线可以使用双极天线或有地线的任意长度天线。



收信机背面

安装

图 4-9 列出了 40m 段的元件清单。采用给出的元件参数, 收信机可以工作在整个 40m 段。电路可以装在印制电路板上。因为元件少, 所以完全可以采用“死昆虫”法装在一块敷铜板上。



笔者使用“死昆虫”方法安装的收信机局部照片

唯一要求严格的部分就是振荡电路。注意, 使用NP0电容增加振荡频率的稳定性。这部分电路的连线要直、短。改善机械强度也能增加频率的稳定性。可以使用高阻值的电阻作为信号元件的支架。在电源电路部分, 可以采用 $0.01\sim 0.1\mu\text{F}$ 的瓷片电容作为元件支架, 这样也增加了电源的滤波性能。

L1 用 22 号漆包线绕制, 抽头也不难。截好 2 段 15 英寸长的漆包线。绕好第一个 14 匝 (记住, 在磁环上绕一周是 1 匝), 留出 1 英寸长的头, 整个线圈应占磁环的 40%; 再绕第二个 14 匝, 方向与第一个 14 匝方向一致。第二个线圈应该从第一个线圈的尾部开始绕, 绕好后留出 1 英寸长的头。把第一个线圈的尾与第二个线圈的头连接起来作为抽头。

前面介绍过, Z1 是一段 20 号铜线, 把 L1 的抽头连接到地。天线的连接点大约在 Z1 的中间位置。

再生预调控制电位器 (R6) 可以采用小型电位器, 或者能够固定在面板上的标准型电位

器。因为只起到预调作用，所以可以安排在任何位置。

如果想使用扬声器，或者增加灵敏度，建议参考 OCR II 收信机^[2]，增加前置音频放大和音量电位器。摘掉 D1 和 C7，振荡器可以工作到 18MHz，频率的上限受到 C5 和 C6 的限制。如果需要，可以把 C7 和 C8 做相应的改动，使振荡器工作在 HF 段低一些的频段。加到 D1 的调谐电压也需要做相应调整以达到所需的频率覆盖范围。

调试与使用

通电之前要仔细检查装好的电路。检查完毕之后插上耳机、接通电源。调节再生控制电位器（R5）到最大刻度 75% 的位置。调整再生预设电位器（R6），直至背景噪声明显加大。这表明 Q1 起振了，音频放大部分工作正常。调整再生控制，起振与停振的过渡应该很平滑。现在，把振荡器调整到正确的频率，把再生控制调到起振点，调节 C8，同时用另一台设置在 CW 模式的收信机在 7.00MHz 监听。监听的收信机需要接一根短天线，靠近这台正在调整的机器。一旦频率校准，把天线接到 J1，工作就完成了！如果手边没有收信机，那么可以借助 40mCW 段的信号来调整振荡器的频率。调整 C8，直至能够收到 CW 信号。继续调整 C8，找到 CW 段的低端。这项调整最好在晚上进行，晚上 CW 信号最活跃。

如果以前没有使用过再生式收信机，那么使用这个收信机还需要练习一下。最大的灵敏度是在起振前（接收 AM）和刚好起振（接收 CW）。接收 SSB 时，再生最佳点是刚刚超过接收 CW 时的那个设置点。再生、增益、选择性的控制会相互影响的。

结语

惠斯通电桥再生式收信机的接收效果和其上一代光耦合式再生式收信机一样好，而且有带宽更宽、电路更简单、造价更低等优点，实际上克服了再生式收信机以前的缺点。这个收信机非常适合想安装简单的全模式短波收信机的初学者。QRP 爱好者、喜欢自制机器的爱好者也会对这个收信机感兴趣。由于天线与振荡器的隔离性好，这个收信机可以与收发信机配合使用，也可以和简单的晶控式发射机配套使用，组成便携式“收发信机”。

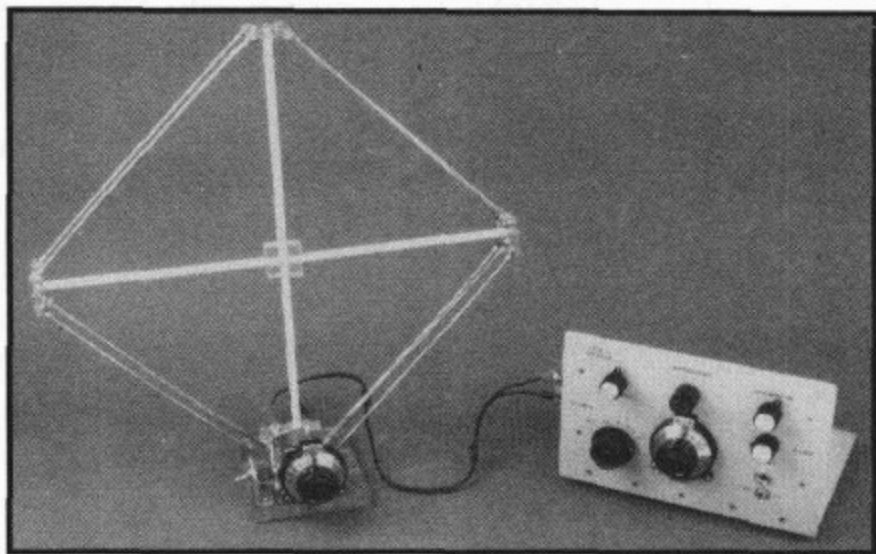
注释

^[1] Daniel Wissell, N1BYT. “The OCR Receiver.” *QST*, Jun 1998, pp 35-38

^[2] Daniel Wissell, N1BYT. “The OCR II Receiver.” *QST*, Sep 2000, pp 35-38

4.6 OCR II 再生式收信机

笔者在 QST 杂志介绍了屏蔽式环型天线收信机 (SLR)^[1] 和光耦合再生式收信机 (OCR)^[2] 之后, 在爱好者当中引起了不少反响。有的爱好者问: “如何把这个收信机改造一下, 让接收频率范围更宽?” 屏蔽式环型天线收信机是一种简单的直接变频机, 使工作频率变宽容易, 但这个收信机不适合短波 AM 接收。光耦合再生式收信机是全模式的, 但是覆盖较宽频率范围有难度。笔者把这两种机器结合起来, 设计成了多波段 (3.5 ~ 8.5MHz)、全模式收信机。



电路介绍

电路图见图 4-11。OCR II 实际上是一次变频的收信机, 中频是 455kHz。收到的 3.5 ~ 8.5MHz 的信号被转换成中频信号, 放大后送入检波器。检波器电路是在固定的 455kHz 工作的光耦合器件。光耦合器件后面是音频前置放大电路和耳机放大电路。这个方法很像 20 世纪 50 和 60 年代使用的固定中频的再生式检波器, 但是效果是无法比的。

和屏蔽式环型天线收信机一样, 这个收信机混频也采用了 NE602 (U1), L1 和波段设定电容 C9 控制 U1 内部振荡器的频率。变容二极管 D1 起到波段展宽作用, 可覆盖 3.5 ~ 8.5MHz, 无需波段开关。这个频率范围包括了 80m、40m 以及一些常用的短波频率。振荡器可以工作到更高的频率, 但是需要更加复杂的振荡电路来保证频率的稳定性。变频电路前面是 Q1 及相关元件组成的前端选择电路。这个前端选择电路可以使用一根电线作为天线。T1 和 C1 组成调谐电路, 提供接收机前端的选择性, 减小镜像干扰。Q1 栅极的 R2 能够减小 T1/C1 的 Q 值, 展宽频带, 这样 C1 就不用微调旋钮了。

R1 是 $1\text{k}\Omega$ 电位器，用来衰减输入信号。使用 NE602 混频，输入衰减电路很重要。混频器如果过载，会产生许多无用混频产物，出现叫声。屏蔽式环型天线收音机采用的环型天线使混频器很难出现过载，这就是屏蔽环收音机灵敏度高、选择性好的原因之一。

T2 是宽带变压器，把 Q1 的单端低阻输出转换成混频器要求的平衡式 $3\text{k}\Omega$ 输入阻抗。NE602 采用平衡输入和平衡输出的接法性能高一些。前端选择电路是起到阻抗匹配的缓冲电路，不提供增益，避免自激振荡。

这个收音机也可以像屏蔽式环型天线收音机一样，拿掉前端选择电路，装上环型天线，通过 C4 和 C5 把信号耦合给混频器。经比较，采用环型天线和在前端选择电路上使用一根电线作为天线，效果无明显差别。但是，通过调整环型天线的位置，可以抵消本地噪声和强信号广播电台的干扰，而采用一根电线是无法滤除这些干扰的。

U1 的输出端连接到 T3 的初级，T3 是 455kHz 中频变压器。R7 为 T3 的次级提供了合适的端阻抗，这样就给 U1 的输出端提供了 $3\text{k}\Omega$ 的阻抗。Q2 和 T4 组成调谐式 455kHz 放大器。Q3 在 T4 和 T5 之间起到阻抗匹配的作用。这是很有必要的，因为 T5 的次级连接在阻抗相对低（可变）的 R13 和 R14 组成的再生控制电路上，如果没有 Q3 的缓冲，中放就会受到影响，可能引起无用振荡。

455kHz 中频信号通过 T5 的次级耦合到线性光耦合器件（U2）。HCPL4562 线性光耦合器件是这个机器的心脏。中频信号耦合到 U2 的 LED 阴极，对流过 LED 的电流进行调制，LED 的光电子为管耦合器的三极管提供偏流。U2 内部的三极管和 L2 及其相关器件组成 455kHz 考比次振荡电路。这个电路的特点是，通过 LED、RF 能量和再生控制，与振荡器的敏感部位（例如，槽路线圈）完全隔离了。这个方法使再生式检波器的性能有很大提高，而且没有了以往的缺陷。阻抗无穷大的检波器 Q4 还原音频信号，而没有采用再生式电路中常用的变压器和扼流圈。

检波后的信号经 C22、C25、C28、R20、R22、Q5 组成的滤波电路滤波、放大，送入 LM386 放大，推动耳机或扬声器。

三端稳压 U3(78L05) 为 U1、U2、D1 提供稳定的电压。

安装

为了省去波段开关，笔者采用了 365pF 空气可变电容作为波段设定电容，并安装了带刻度的微调旋钮。频率调谐部分笔者采用了变容二极管和 10 圈电位器。

U1 振荡电路的振荡频率可以通过更改相关元件参数，工作在频率低一些的 HF 段。但是，如果工作频率超过 10MHz ，应该考虑使用另外的 VFO。VFO 应该采取屏蔽措施，提高稳定性。

电路可以采用万能版安装，也可以采用“死昆虫”法安装。唯一关键部位是 SA602 振荡电路。这部分应该采用 NP0(C0G) 电容，增加频率的稳定性。这部分的连线要短，元件、连接的机械强度要大，减少震动。天线插座 J1、开关 S1 可根据个人情况选择。机壳可用敷铜板、铝板自制。

光耦合再生收音机最有用、最有趣的特点之一就是再生控制器。这个控制器不仅控制检波器振荡幅度，也控制检波器的 Q 值，确定带宽。经过仔细调整，在检波器刚开始振荡前，可以达到几十赫兹的带宽。为了更好地利用这个控制器，采用的电位器的分辨率一定要高。虽然可以使用多圈电位器，但是笔者还是考虑了价格因素。20k Ω 的电位器(R13)用做 R14(再生控制)的预调电位器。调节再生控制电位器(R14)到最大刻度 75% 的位置，调整再生预设电位器(R13)，使再生出现。采用这种结构，再生调节非常平滑。这个电路效果好，因为振荡频率是固定的，在再生点也相当恒定。因为 U2 的 LED 电流只有 400 μ A，电池用旧时电压变化很慢，R13 不用经常调整。

调试

安装完毕后要检查是否有连线错误和忘记焊的焊点。通电前要确定所有的元件安装无误。注意：用于再生电路的 BT1 应该采用 9V 电池，这样能够减小检波器噪声。如果使用耳机，BT2 采用 9V 电池；如果使用扬声器，BT2 应该使用 12V 电池。

检查完毕后，插入耳机(16 Ω 或更高阻抗)，接通电源。音量电位器(R24)调到中间位置。调节再生控制电位器(R14)到最大刻度 75% 的位置。调整再生预设电位器(R13)，直至背景噪声明显加大。这表明 U2 起振了，检波器部分工作正常。

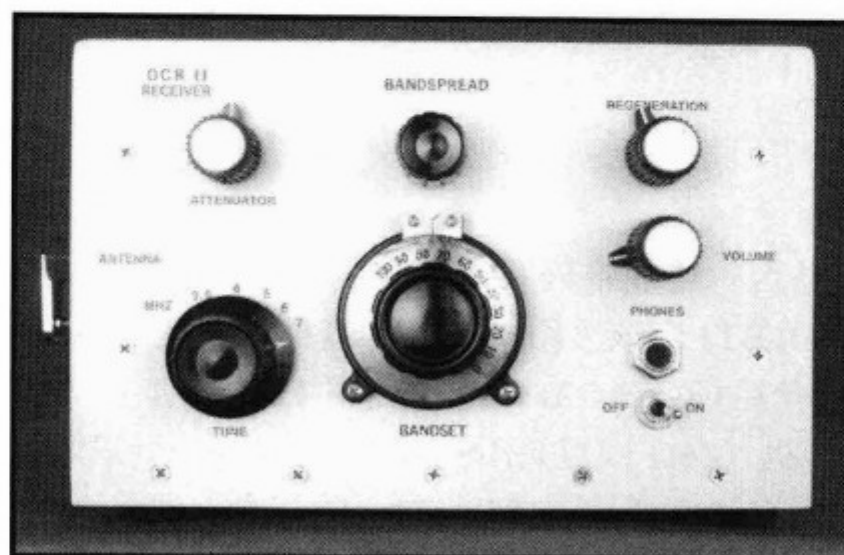
可以借助全波段收音机来校准 U2 的 455kHz 振荡频率。U2 的振荡频率是通过 L2 调整的，也可以使用频率计来校准 U2 的频率。测量频率时，把频率计连接到 U2 的 5 脚。尽管 5 脚的振荡信号幅度比 L2 低，但是可以避免探头对槽路的影响。同样，测量变频器频率时，应该测量 U1 的 7 脚。在调整检波器频率时，可能需要调节再生旋钮保持 U2 振荡。U2 的振荡频率是否正好是 455kHz 并不重要，因为这个收音机没有窄带滤波器。但是所有的中频变压器必须保持频率一致。

可以借助全波段收音机或频率计检查变频器振荡频率是否在正确的范围内。L1 可能需要拆掉或增加 1 匝才能达到要求。记住，变频器的频率应该减去中频的频率。例如：如果想接收 3.5MHz 的信号，那么变频器频率应该是 3.045MHz。调好后，在 J1 的 A1 端子连接一根 15 或 20 英尺长的临时天线，把 J1 的 A2 端子连接到接地端子。如果有地线，把接地端子接地线。在检波器振荡时，使用波段设置旋钮找到一个信号，调整天线调谐电容 C1 使收到的信号最大。接下来调整 T3、T4、T5 的磁芯，使声音最大。调节这几个磁芯时，相互有点影响。调整 T5 时，峰点不明显，磁芯放在中间位置就可以了。最后，确认天线幅度控制电位器工作正常，波段展宽功能正常。这样，调试就结束了。

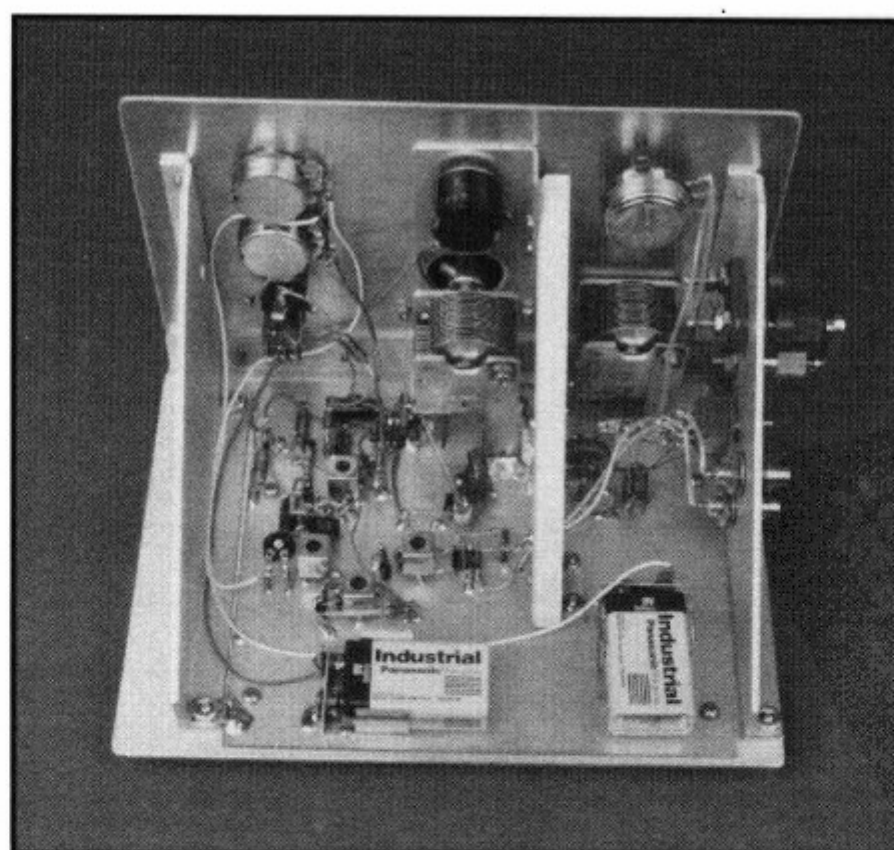
使用

如果以前没有使用过再生式收音机，那么使用这个收音机还需要练习一下。对于接收

AM 信号，检波器最大的灵敏度位置是在起振前；对于接收 CW 信号，最佳点是刚好起振；接收 SSB 时，再生最佳点是刚刚超过接收 CW 时的那个设置点。再生、增益、选择性的控制会相互影响的。使用这个收信机会发现，在 40m，可以从 AM 的信号里“挖掘出”一些 CW 和 SSB 信号——这些信号是用其他简单的收信机从未听见过的。使用过其他再生机的爱好者会发现，收到的信号强度与再生调整之间没有牵制。因为检波器工作在固定的频率，所以再生幅度在收信机的整个频率范围能够保持一致。



OCR II 收信机前面板



OCR II 收信机的内部和外观一样吸引人

在 80m, 波段展宽电容调节受到了限制, 只能调节 20kHz 左右。笔者用波段设置电容调节频率, 波段展宽当作频率微调使用。覆盖 3.5 ~ 4MHz 大约使用了全部调谐范围的 25%, 所以使用把装有微调旋钮的波段设置电容当作主调谐电容来用完全可以。在 40m, 波段展宽电容能够覆盖整个频段。在 40m 工作时, 应该让前端选择电路调谐在 7MHz。前端选择电路在 6MHz 的镜像频率也会出现峰点, 这会增加 40m QRM !

当传播条件好的时候, 使用天线幅度电位器减小信号幅度。笔者发现, 如果在天线幅度电位器调到最小的位置时, 信号无法减小到听不见的幅度, 这意味着天线太大, 使变频器过载了。

接收 AM 信号时, 笔者采用以下步骤: 把再生控制调到接收 CW 时的位置, 调节接收频率, “零差拍” AM 电台。接着, 减小再生, 直至振荡刚好停止。尽可能地保持最大再生, 让检波器灵敏度最高, 音频带宽最窄。再生幅度可根据电台信号强度和 QRM 的情况调小, 改善信号的保真度, 因为这样加宽了检波器的带宽。这种使用方法对于这台收音机是可行的, 原因有两个: 第一, 接收频率与再生调节无相互牵连; 第二, 强台不会牵引振荡频率。因此, 强台边上的弱信号也可以接收。

借助信号发生器测试, 接收 CW 时的灵敏度小于 $1\mu\text{V}$ (主观判断)。AM 的灵敏度测试有难度, 大约在 $2\mu\text{A}$ 或 $3\mu\text{V}$ 。

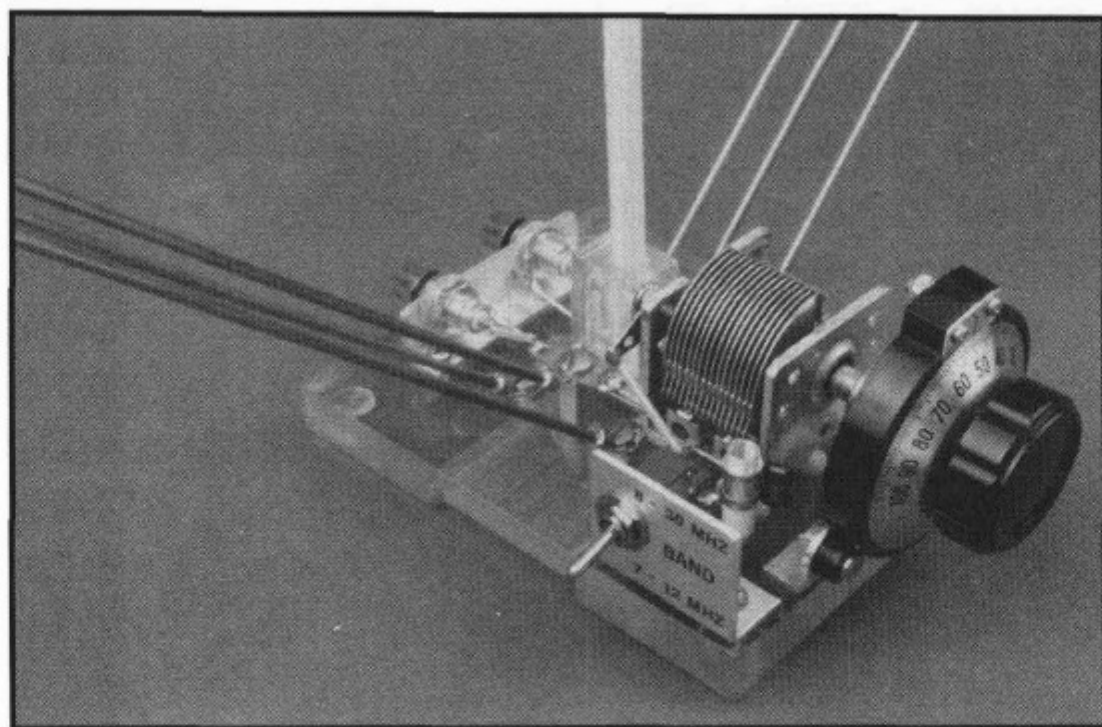
天线

前面提到过, 这台收音机可以使用一根电线作为天线, 也可以使用调谐式环形天线。实际上可以利用开关, 切换这两种天线。

前端预选电路由两个天线端子 (A1 和 A2), 还有一个接地端子。这为使用简易天线提供了灵活性。使用一根任意长度电线做天线时, 把天线连接到 A1, A2 连接到接地端子。如果有地线, 把接地端子接地线。天线长度有 20m 或 25m 就可以有很好的效果。笔者发现, 如果有地线, 几英尺长的天线就可以了。

如果使用平衡式天线, 把天线的一个引线接 A1, 另一根接 A2。如果有地线, 把接地端子接地线。务必牢记: 这个收音机混频器过载时, 整机的性能就下降了。使用庞大的天线时, 或者遇到很强的广播信号时, 使用天线幅度电位器减少过载。把天线幅度电位器和再生控制结合使用, 能够改善短波接收效果。

调谐式环形天线可以提高前端选择性^[1]。一般来说, 环形天线应该按照最低的工作频率来设计。例如, 3.5MHz 的环形天线, 方形环边长为 18 英寸, 这是最低的限度。可以采用屏蔽式的, 也可以采用不屏蔽式的。小型天线环的电感量按照经验, 大约是每英寸 26nH, 因此边长为 18 英寸的天线环, 电感量约为 $1.87\mu\text{H}$ 。把这个天线调谐到 3.5MHz, 需要 1100pF 的电容。在 8.5MHz, 需要 187pF 。可以采用固定电容加可变电容的方法使天线调谐到需要的频率 (最好有三联 365pF 空气电容)。当然, 也可以把天线环做大一点, 或者采用多环, 这样就不用使用很大的电容了。



OCR II 可以使用一根电线作为天线，也可以使用调谐式环形天线。可采用双刀双掷开关切换天线。

屏蔽式环线见图照片。较早版本的环形天线照片出现在 1997 年 10 月号 *QST* 杂志封面上，天线环是用 22 号电线做的。后来采用了 3/32 英寸直径的管材。有源环采用紫铜管，屏蔽环采用了价格低一点的黄铜管。

这个天线环不大，边长为 9 英寸，因此用于 6.5MHz 以上。天线环的电感约 $0.95\mu\text{H}$ ，调谐到 7MHz 需要 550pF 的电容。把一只 220pF 的固定电容和一只 365pF 的空气可变电容并联就可满足要求。固定电容更可以通过开关接入或断开，这样就可以有两个频率调谐范围了。低一点的频率范围是 7 ~ 12MHz，高一点的频率范围是 8 ~ 30MHz。天线通过一小段音频屏蔽线和莲花插头与收音机连接。

结语

OCR II 收音机是一台电路简单，全模式多波段收音机。保持留了屏蔽式环型天线收音机和 OCR 收音机的优点，具有和屏蔽式环型天线收音机一样的灵敏度，和 OCR 收音机一样的良好选择性，性能超过了上述两种收音机性能总和。装过屏蔽式环型天线收音机和 OCR 收音机的爱好者给笔者发过电子邮件，对本设计予以支持，在此表示感谢。

注释

[1] Daniel Wissell, N1BYT. "The 40M SLR – a Shielded-Loop Receiver." *QST*, Oct 1997, pp 33–38

[2] Daniel Wissell, N1BYT. "The OCR Receiver." *QST*, Jun 1998, pp 35–38



辅助设备的制作

- 小型 100W Z 匹配天调
- 小型 50:200Ω 巴伦
- QPR 多功能测试仪
- “钳式带宽” Gyrator 音频滤波器
- FREQ-Mite——可编程莫尔斯电码频率计
- 高频功率表
- 简易 LED 显示驻波 / 功率表
- NB6M QRP 自动键
- FT-817 电台稳电器
- FT-817 电台小型充电器
- 多用途升压器
- 12V 电池升压器



5.1 小型 100W Z 匹配天调

阅读了 Z 匹配天调的文章后，笔者最终买了一个 Emtech ZM2 QRP Z 天调套件。装好后与自己的 FT-817 使用，笔者开始真正相信 Z 匹配天调了。如果想用于大功率 (100W)，空芯线圈、空气可变电容成了难题。此外空芯线圈体积也大，需要较大的机壳。

笔者后来发现了查尔斯·洛夫格兰 (W6JJZ) 撰写的 Z 匹配天调的文章^[1]，文章中作者建议使用磁环线圈。这就解决了限选问题。笔者后来找到了 440pF 的空气可变电容。

制作

天调电路图见图 5-1，是根据 W6JJZ 的文章制作的。输出变压器的输出改为一个 8 匝的次级线圈。C1 和 C2 改为每联 440pF 的空气可变电容。在 10 ~ 80m 没有出现不匹配现象。

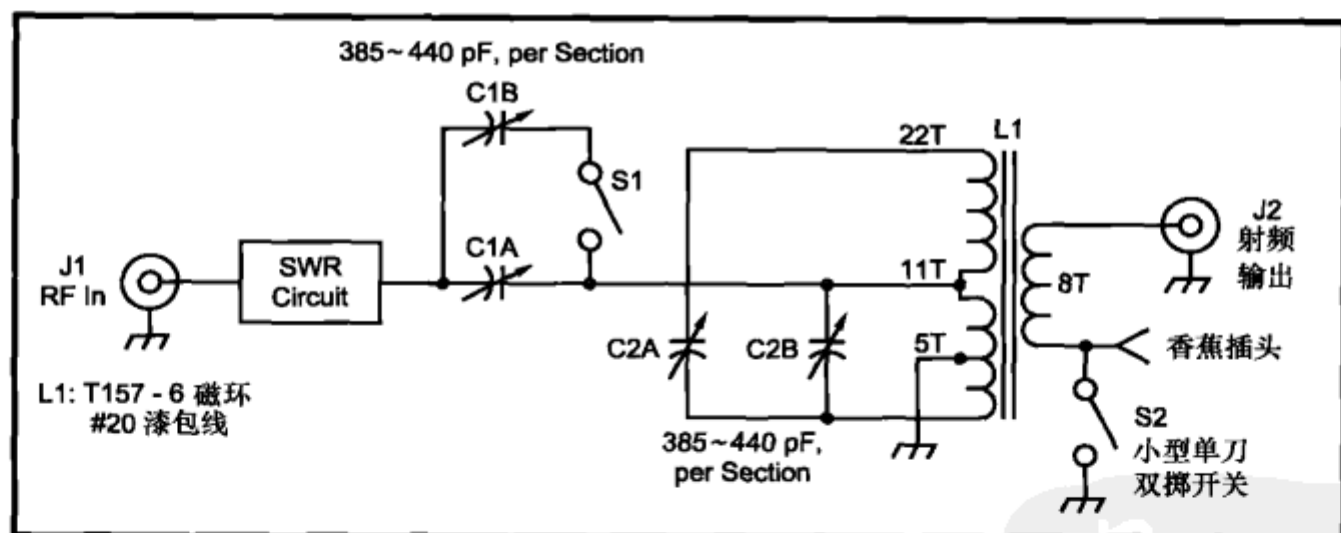


图 5-1 100W Z 匹配天调电路图

C1, C2—385 ~ 440pF 双联空气可变电容	D2—高亮度绿色 LED	R3—2k Ω , 1/4W	U1—显示驱动芯片 LM3914
C3—2/20pF 可变电容	D3, D4—1N4148	R4—4.7k Ω , 1/4W	U2—10-LED 条形显示
C4—100pF 电容	L1—T157-6 磁环	R5—100k Ω , 1/4W	其他零件:
C5 ~ C8—0.01 μ F 电容	L2—FT37-43 磁环	R6—2.2k Ω , 1/4W	SO-239 插座、外壳、万能板、
D1—高亮度红色 LED	R1—150 Ω , 1/4W	R7—1.5k Ω , 1/4W	20 号漆包线、26 号漆包线
	R2—3.3k Ω , 1/4W	S1, S2—小型单刀双掷开关	

天调装在 5 $\frac{1}{4}$ 英寸 $\times$ 3 英寸 $\times$ 4 英寸的铝机壳里。磁环线圈 L1 靠线圈的引脚支撑，见图 5-2。在 C2 的支架和线圈之间用了一点热熔胶，线圈和机壳侧面也用了热熔胶。

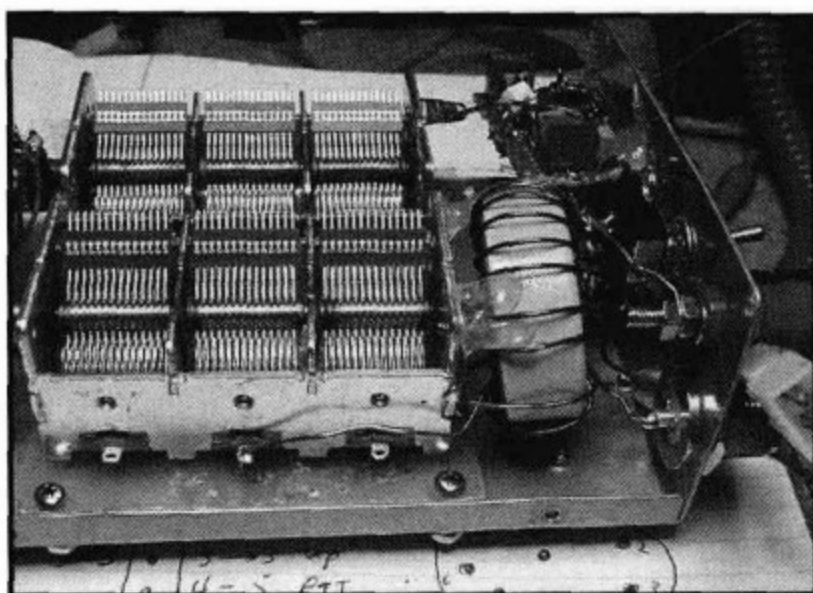


图 5-2 L1 用热熔胶固定在 C2 的支架上，线圈的引脚也起到支撑作用。

因为可变电容，包括电容的轴，需要与地绝缘，笔者把电容固定在万能板上，然后再把这个电容总成用螺钉固定在机壳里，见图 5-3。笔者用 1/8 美国标准锥螺纹铜管接头制作了电容轴的连接头。这种管接头内径为 1/4 英寸，把一个 1 英寸长的接头一分为二，可以做 2 个电容轴的连接头。每个连接头都钻 2 个孔，并攻丝。做好的接头见图 5-3。笔者用 1/4 英寸的尼龙棒作为绝缘轴。

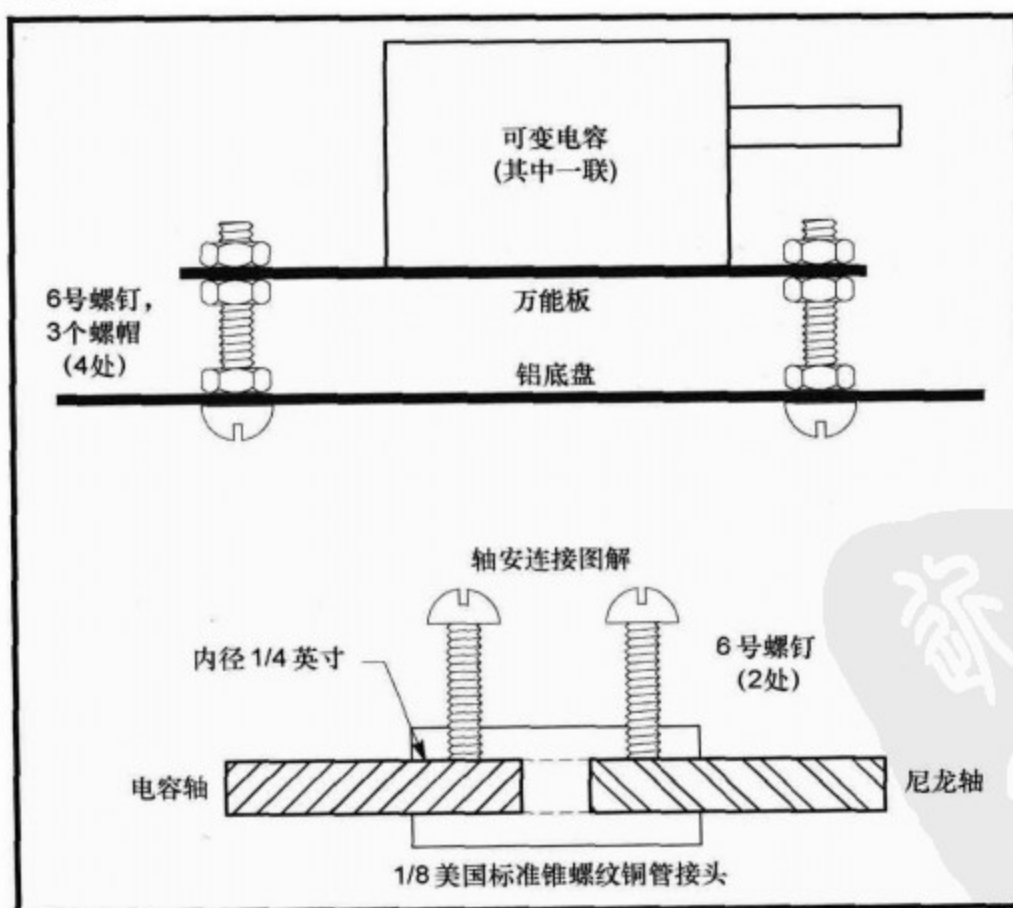


图 5-3 可变电容要固定在一块万能板上，与底板绝缘。用一个 1/8 美国标准锥螺纹铜管接头做成电容轴连接头，把绝缘轴与电容轴连接在一起。

操作

调整 Z 天调很容易。首先，调节谐振电容 C2 使收音机的噪声最大，然后输入一定功率的 RF 信号，调整 C1 和 C2 使 SWR 最小。如果需要更大的电容才能匹配，使用 S1，接入 C2 另外一联。平衡式馈线用的是香蕉插头，可直接插入 S0-239 和边上的香蕉插座。如果使用电缆，通过 S2 把输出的次级一头接地。

发光二极管显示 HF 段 SWR 表

Z 匹配天调可以使用外接 SWR 表。笔者自制了一个 LED 指示的 SWR 表，和天调装在一个盒子里。可以采用高亮度的 LED。电路图见图 5-4A。元件可以装在一小块万能板上，见图 5-5。利用热熔胶把万能板固定在机壳底座上。

这个宽带电路在 100W 工作良好，至少可以覆盖到 10m。如果把元件连线缩短，工作到 6m 也不成问题。变压器是用 26 号漆包线在 FT37-43 磁环绕制的，双线并绕 10 匝。初级是一根电线穿过磁环中心。校准 SWR 表时，在输出端接一个 50Ω 负载。输入 HF 段的 RF 信号，调节 20pF 的电容，直至二极管熄灭。

调整 Z 匹配天调使反射功率指示 LED 亮度最小，这时，SWR 应该小于 1.5:1。正向功率指示 LED 的亮度是指示发射机的正向输出功率。如果绿色 LED 太亮，增加正向指示电路的限流电阻的阻值。也可以不要这个 LED，只保留反射功率 LED。

反射功率可以采用条形 LED 显示，电路见图 5-4B，实物见图 5-6。LM3914 用来驱动 LED 显示条，芯片的输入接反射功率的采样输出。采用条形 LED 时，摘掉 LED1，把 LM3914 的输入端接 R3 的输出端。条形 LED 显示的优点是调整反射功率时容易调，因为显示接近指针表的感觉，但是需要增加电源。

结论

图 5-7 是把这个天调放在 IC-706 的顶上。制作 100W 的天调可以不用体积庞大的空芯线圈。这个天调调整起来非常容易，成本低，体积小，频率覆盖宽，适合便携或在室内使用。

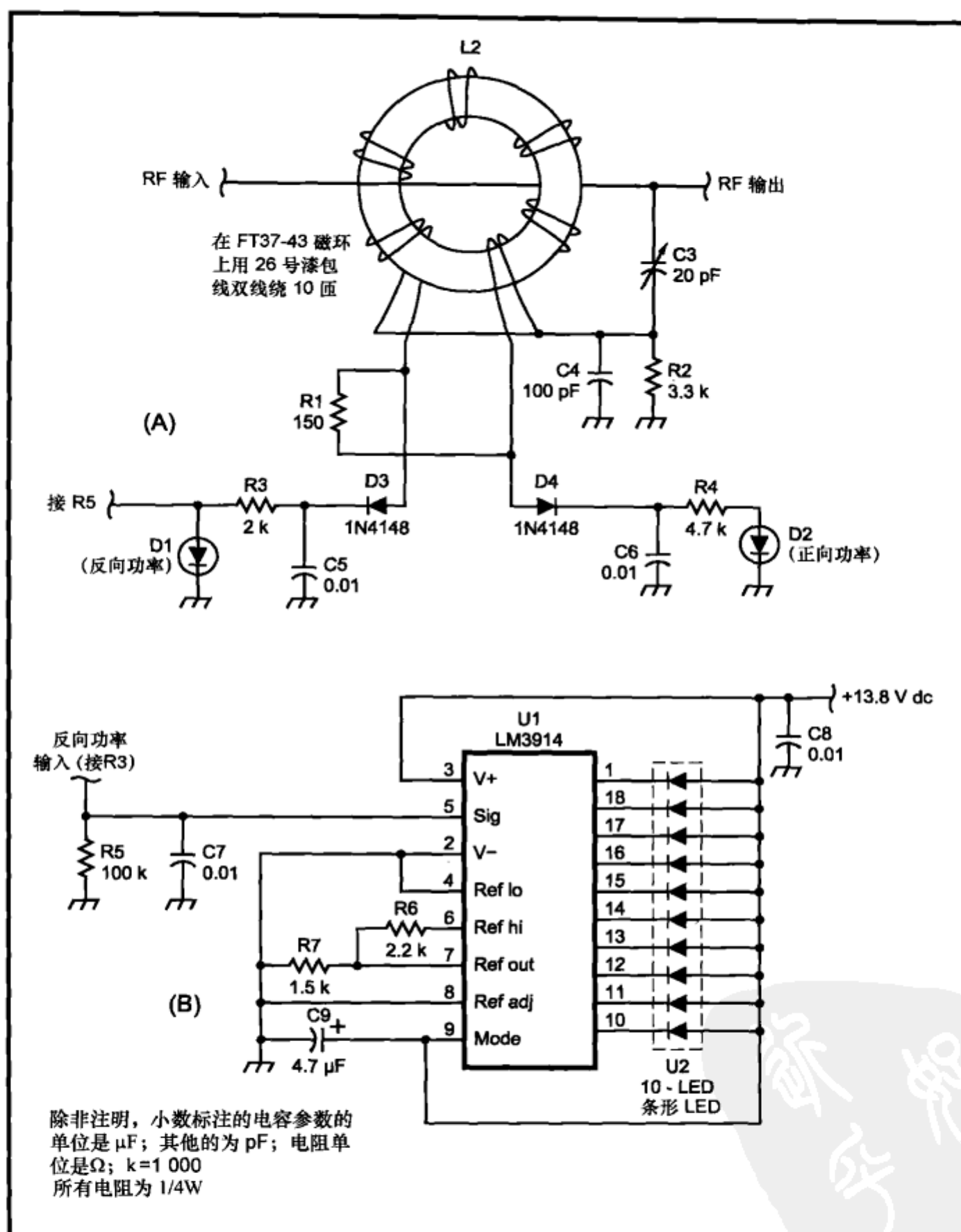


图 5-4 采用 LED 显示 SWR 的电路图。图 A 为 LED 显示, 图 B 为条形 LED 显示。

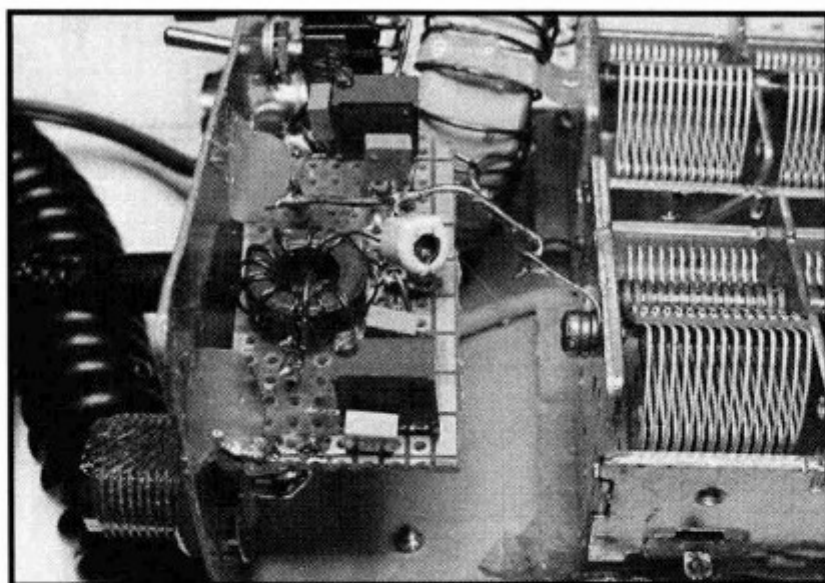


图 5-5 SWR 表电路直接焊在 RF 输入插座上，并用热熔胶固定。



图 5-6 条形 LED 显示更加直观。



图 5-7 Z 匹配天调和 IC-706 一起组成了便携套装。

注释

[1] C. Lofgren, W6JJZ. "An Improved Single-Coil Z-Match." *The ARRL Antenna Compendium*, Vol.5, p194

5.2 小型 50:200Ω 巴伦

这个 50:200Ω 巴伦是为喜欢小型 HF 段巴伦的 QRP 爱好者设计的。在 20m 可承受 3W，对于“毫瓦”类型的爱好者来说足够了，因为他们使用的功率从不超过 1W。这个巴伦用的元件很好找，采用 FT-37-43 磁环，再常见不过了。

巴伦的电路图见图 5-8。首先，4:1 不平衡变压器把阻抗升至 200Ω。然后，1:1 变压器进行不平衡-平衡转换。为了简单起见，两个变压器用 28 号漆包线并绕 10 匝。如果找到方法，双线并绕不难。后面会具体介绍绕制方法。

先用两根漆包线并绕，不要有交叉（见图 5-9），把线圈绕好。然后，把中心的漆包线线头漆皮刮掉，用欧姆表确认这两根线来自不同的线圈，最后把它们焊在一起。

巴伦部分更加简单。两根线同时进同时出。在大多数情况下，输出端交换也不要紧。但是如果输入是相控阵天线，就要注意相性问题了。两条线交换会导致 180° 相移。

绕制变压器较好的方法是用一根 12 英寸长的线和两根 6 英寸长的线，而不是四根 6 英寸长的线。这样，第一个双线并绕完成后，那根长的线还够绕第二个磁环的。笔者建议先用两根 6 英寸长的 28 号漆包线分别在两个磁环上并绕，然后在两个磁环上用 12 英寸长的漆包线绕，见图 5-9。12 英寸长的漆包线是黑色的。6 英寸长的是红色的，在黑白照片中颜色应该浅一点。与另一个绕组焊接之前，漆包线最好套一段特氟龙管，焊接后推到焊接处。如果碰巧，特氟龙管套在接头上会刚好卡住，不会滑动。

1/2 英寸的 CPVC 管正好可以装下这个巴伦。8-32×1/2 螺钉就差一点能装进 CPVC 管的盖子里，其中的一个孔修了一下第二个螺钉才能装进去。孔修好了，10-32×1/2 螺钉也能装进去，见图 5-10。

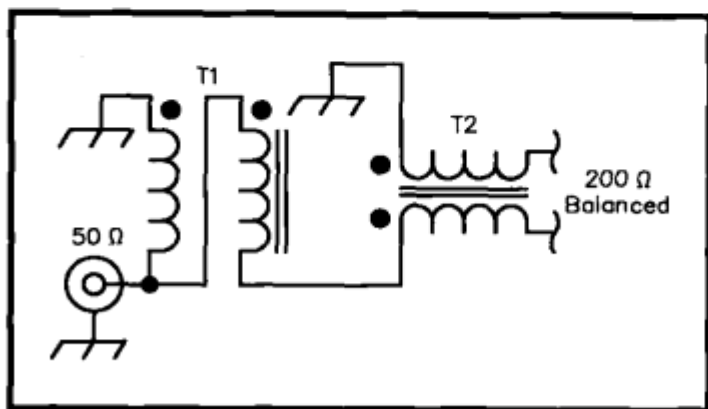


图 5-8 小功率 50:200Ω 巴伦电路图
T1, T2—在 FT-37-43 磁环上用 28 号漆包线双线并绕 10 匝

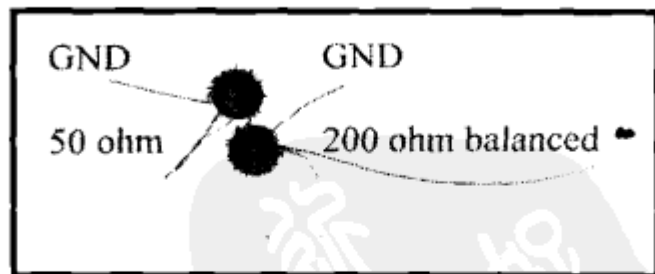


图 5-9 FT-37-43 磁环线圈连接方法

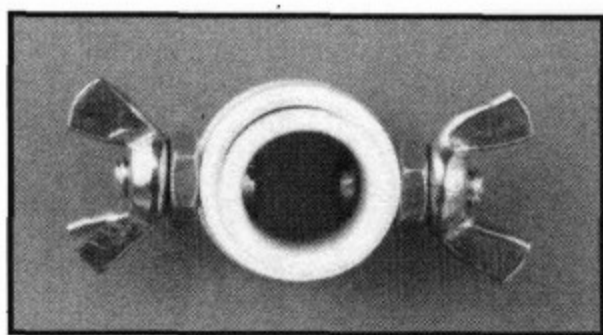


图 5-10 号螺钉安装在 1/2 英寸的 CPVC 管上。

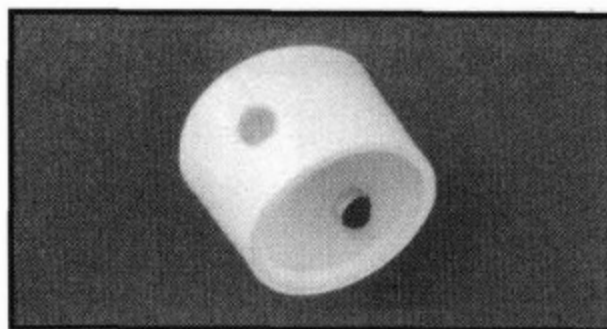


图 5-11 加工好的 CPVC 管的盖子。下面的孔修用刀改了。

UG-1094/U 插座安装在 CPVC 管的盖子上。盖子太小，无法使用插座的螺帽。笔者在盖子上先钻了 0.332 0 英寸的孔，然后攻了 3/8×32 的螺纹，拧入 BNC 插座。

螺丝钉上安装了焊片，用于连接巴伦线圈。因为盖子短，所以焊片要弯成 U 字形，见图 5-12。建议先弯好再装。把巴伦焊在焊片上，然后再把 CPVC 管套在巴伦上，把盖子盖紧。

接下来焊插座上的连线。先镀锡，然后再焊。笔者选用了比较长的插座，容易焊接。短的 UG-1094/U 比较难焊。最后把中心头的连线焊好。

图 5-13 所示的 CPVC 部件很难制作。使用 3/4 英寸或 1 英寸的塑料管可能就容易多了。但是体积和重量就增加了。

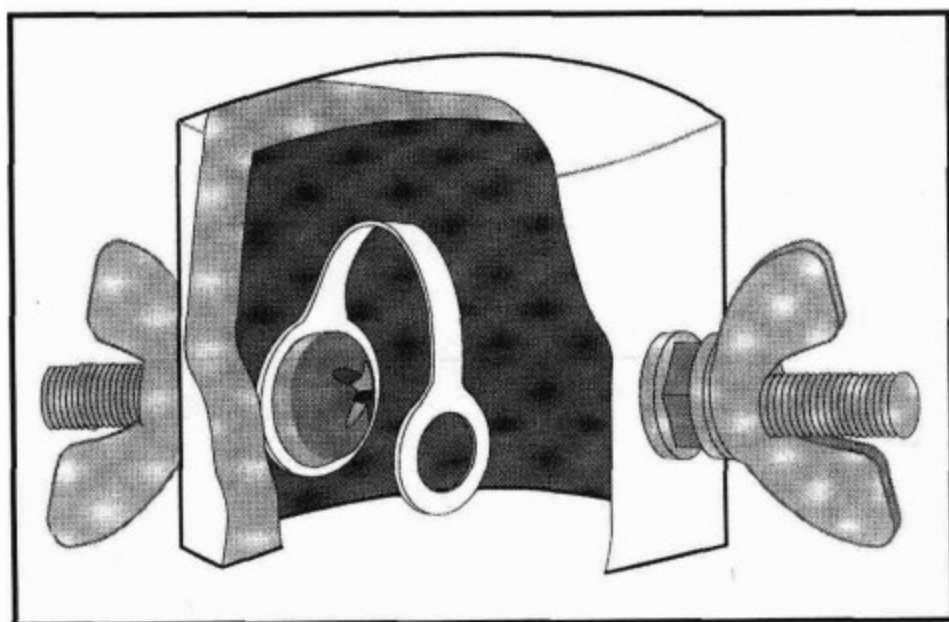


图 5-12 螺钉与焊片的连接

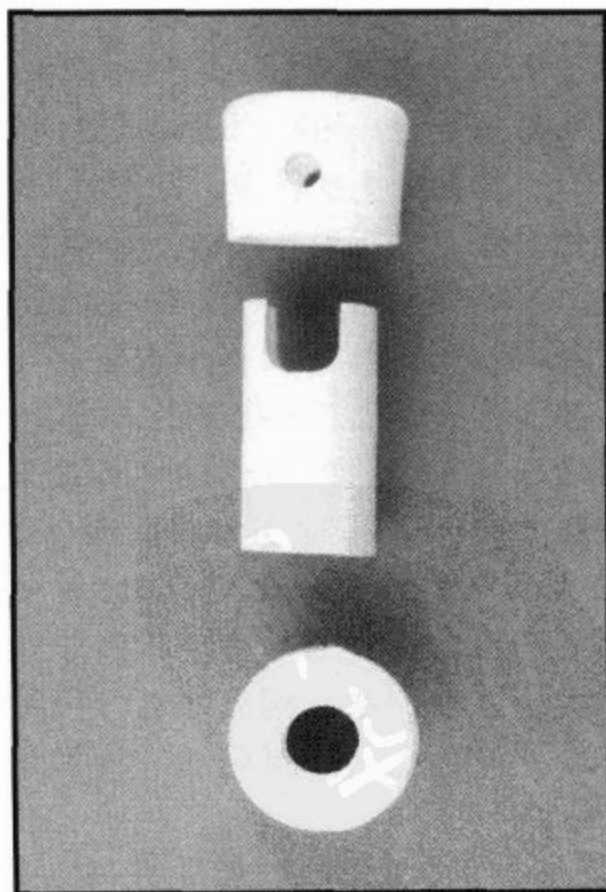


图 5-13 CPCV 管与盖子

这个巴伦成本低、重量轻。如果阻抗匹配，性能相当好。不算 CPVC，巴伦的重量才 0.07 盎司。使用一支 1/4W 的 200 Ω 碳复合电阻作为负载，3.5 ~ 60MHz 的损耗小于 0.43dB。表 5-1 的数据就是从图 5-14 所示巴伦测得。连接螺钉的那段连线稍微影响了 6m 的性能。因为，负载为 200 Ω 时，这个巴伦在整个 HF 段都能很好地工作，在 6m 也能使用。

表 5-1 巴伦的性能

频率 (MHz)	变压器损耗 (dB)	巴伦损耗 (dB)	不平衡式 图 3A (dB)	不平衡式 图 3B (dB)	低阻抗 (dB)	高阻抗 (dB)	巴伦回波损 耗 (dB)
1.8	0.29	0.66	1.06	1.06	0.18	1.31	22
3.5	0.21	0.43	0.68	0.67	0.17	0.75	27
7	0.16	0.32	0.47	0.47	0.24	0.53	33
10	0.15	0.29	0.42	0.42	0.38	0.51	34
14	0.15	0.27	0.38	0.39	0.67	0.54	31
28	0.15	0.29	0.38	0.39	1.34	1.31	24
50	0.18	0.39	0.41	0.43	2.32	2.76	18
60	0.19	0.39	0.46	0.48	2.38	3.38	17

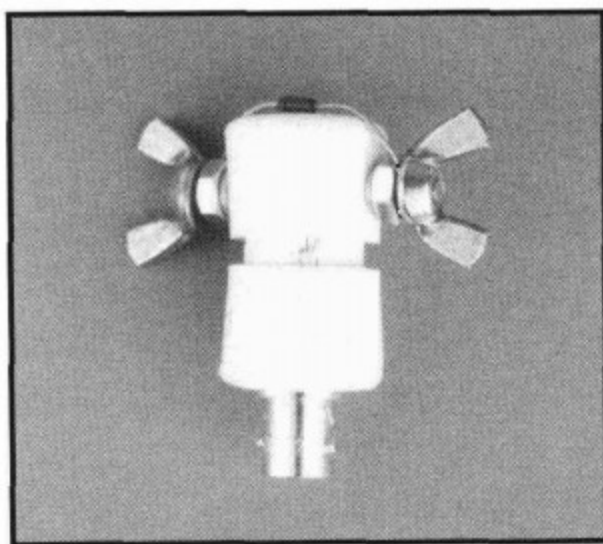


图 5-14 做好的巴伦。连接了 200 Ω 电阻测量回波损耗。
这是巴伦的典型安装位置，负载电阻在顶部。

插入损耗是利用一对背对背的巴伦测的，见图 5-15。A 点和 B 点分别接地时的损耗也测试了。理想的情况下，损耗不会变，使用的信号发生器是 Marconi 2041 型。功率表是 HP 437B，传感器使用的是 8482A 型。回波损耗用 Marconi 信号发生器、ZFDC-20-5 方向耦合器和 HP8563E 频谱仪测得，见图 5-16，测得的数据见表 5-1。所列出的数字表示总损耗的 1/2，因为大多数人想知道一只巴伦或变压器的损耗。HP 功率计的精度是 $\pm 0.02\text{dB}$ ，足以证实表

内数据的精确性。

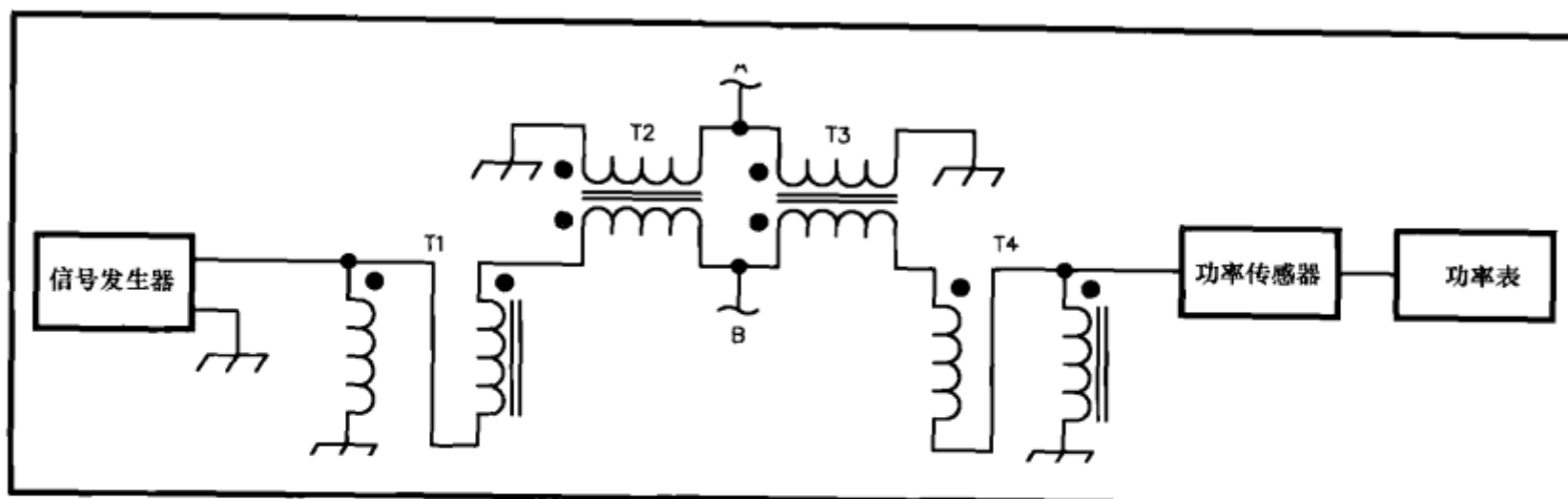


图 5-15 用信号发生器和功率计测量功率损耗的连接方法

最后两栏说明了不平衡输入阻抗在 12.5Ω 或 200Ω 时巴伦的性能特性。阻抗的降低是通过交叉输入、输出的连线实现的。阻抗提高较难，笔者为此另外用了一只 4:1 双线并绕的变压器（在 T-37-43 磁环上用 28 号漆包线绕 10 匝）。表中数据已经减去了变压器的损耗。巴伦在 7~14MHz 性能很好，没有额外的损耗，但是频率高时，无论低阻抗还是高阻抗，性能都下降了。阻抗降低实际增强了低频率的性能。这时因为变压器的效率高，巴伦的导线长度缩短，避免了阻抗不匹配。

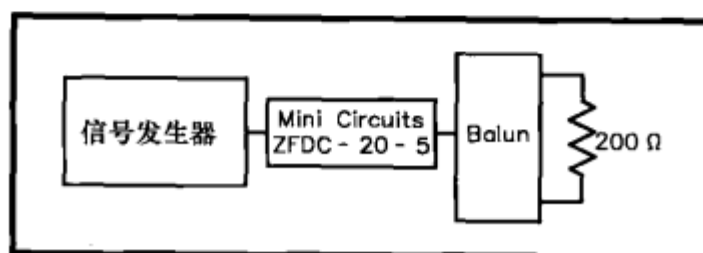


图 5-16 连接 200Ω 电阻测量回波损耗的连接方法

损耗数据可用来估算功率承受能力。升高磁环温度所需功率损耗是：

$$P_{\text{loss}} (\text{mW}) = (\text{表面积 } \text{cm}^2) (\Delta T)^{1.2} \quad (5-1)$$

一只 FT-37 磁环的表面积是 5.7cm^2 ，这就是说，需要 0.27W 才能把磁环温度升高到 27°C 。如果磁环损耗是 0.4dB，9% 以热的形式损耗了。这样，功率的承受能力实际 0.27W/0.09 或 3W。

业余无线电发射是间歇性的，而不是 100% 周期，但是，如果磁环封闭在塑料管里，散热不良的情况下，过大增加额定功率也是不安全的。实际上，微风也能大大增加功率承受能力。刮风时在室外使用电烙铁就能体会到这一点。

在 6m 时的功率承受能力有待进一步研究。插入损耗接近 3dB，大部分是因为阻抗不匹配造成的（2.76dB）。天调有可能让巴伦承受大于 0.5W 的功率，但是确切的功率并不知道。

巴伦用于相控阵天线时，需要格外小心。设计合理的巴伦的输出端都是一样的，但输入和输出端有相对相性。这会导致很大的问题， 180° 的相移可以使高增益的天线阵变为低增益天线阵。为什么会这样？巴伦或天线的相性不对，这是最常见的答案。因此，使用相控阵天

线时，识别并标出巴伦的输出端非常重要。天线也有相性，如果把八木天线反过来，差别会很大。

从理论上讲，可以使用有颜色的线绕制巴伦。在实际制作中，大多数人会通过测量识别巴伦的输出端。如果有相性电缆（phasing harness）测量并不难。同相的相性电缆工作正常时，任何输出端或者是同相，或者相移 180° 。因此，可以在任两个输出端跨接功率合适的电阻，观察电阻是否会发热。如果发热，输出端就不同相。如果电阻是凉的，那么输出端同相。笔者用的电阻的阻值与巴伦的输出阻抗一样。在 RF 功率没有断开时，不要触摸电阻。

使用这个简单的测试方法有两个注意事项。第一，电阻应该是低感的。如果使用线绕电阻，这个电阻就相当于 RF 扼流圈，无论怎么接在巴伦的输出端，都是凉的。因此要确认，当电阻接错相性时会发热。第二是 SWR 返送电路的影响。理论上讲，返送电路能够减少功率，足以使热反应太小，造成无法正确判断。好在这种发射机通常使用 SWR 或者功率表指示 SWR 变化。这样，SWR 增加，或者功率下降都与不同相有关。同相连接时不会改变功率或 SWR。

注释

[1] J. Kleinman, N1BKE, and Z. Lau, W1VT, Eds. *QRP Power*. Connecticut: ARRL, 1996.

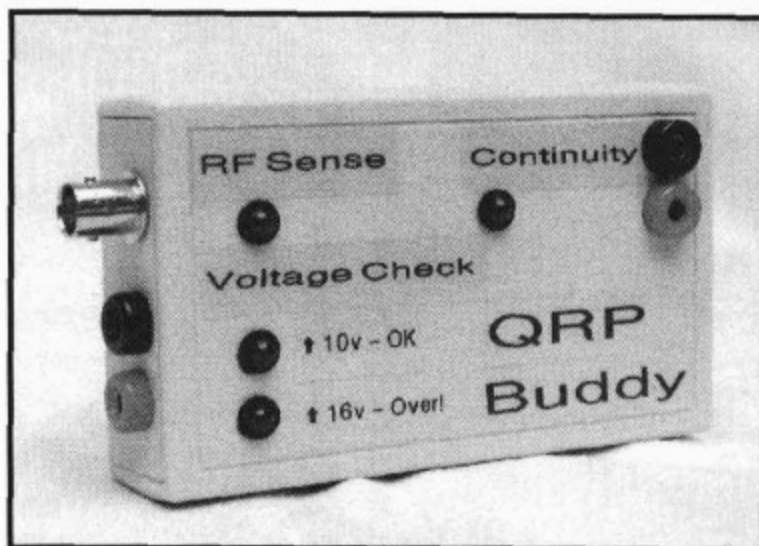
5.3 QRP 多功能测试仪

本文介绍的 QRP 多功能检测工具重量轻、体积小，具有电压检测、RF 指示以及通断检测功能。

电压检测

笔者的 QRP 电台在 10 ~ 16V 都能工作，因此希望电压在这个范围时仪器能够指示。笔者的计划是使用两只 LED：一只 LED 在低电压限制时点亮，另一只 LED 在电压过高时点亮。

一开始笔者打算用两个电压比较器。电压比较器是差分式放大器，当检测电压超过参考电压时电路输出一个电压信号。笔者放弃了这个计划，因为觉得需要较高的工作电压，需要两个 9V 电池串联才行。后来才发现，采用比较器才是正确的路子，但是笔者在实验稳压二极管电路上花了太多时间。



稳压二极管实验

稳压二极管加上反向电压时不导通，只有当反向电压达到规定的电压时，才开始导通。这时，二极管变成了低阻的电流通道。为什么不能用稳压二极管当电压开关？笔者用了一只 10V 稳压二极管、一只 LED 和限流电阻进行实验。

实验结果表明，稳压二极管的电流特性是这样的：当击穿电压达到时，二极管并不立即导通。电路里的 LED 在电压很低时有微弱亮光，随着电压升高，开始变亮，到达二极管击穿电压时突然很亮，这不符合笔者的意图。

笔者尝试利用三极管当开关，希望稳压二极管为三极管提供偏流，三极管导通时点亮 LED，这样 LED 的点亮会干脆些。这个电路效果稍好，但是在 16V 上限时，三极管导通太快。稳压二极管在 12V 时的击穿电压就足够导通三极管点亮 LED 了。

在朋友的帮助下，笔者重新开始使用电压比较器，而且工作电压也不用 18V，具体电路见图 5-17。

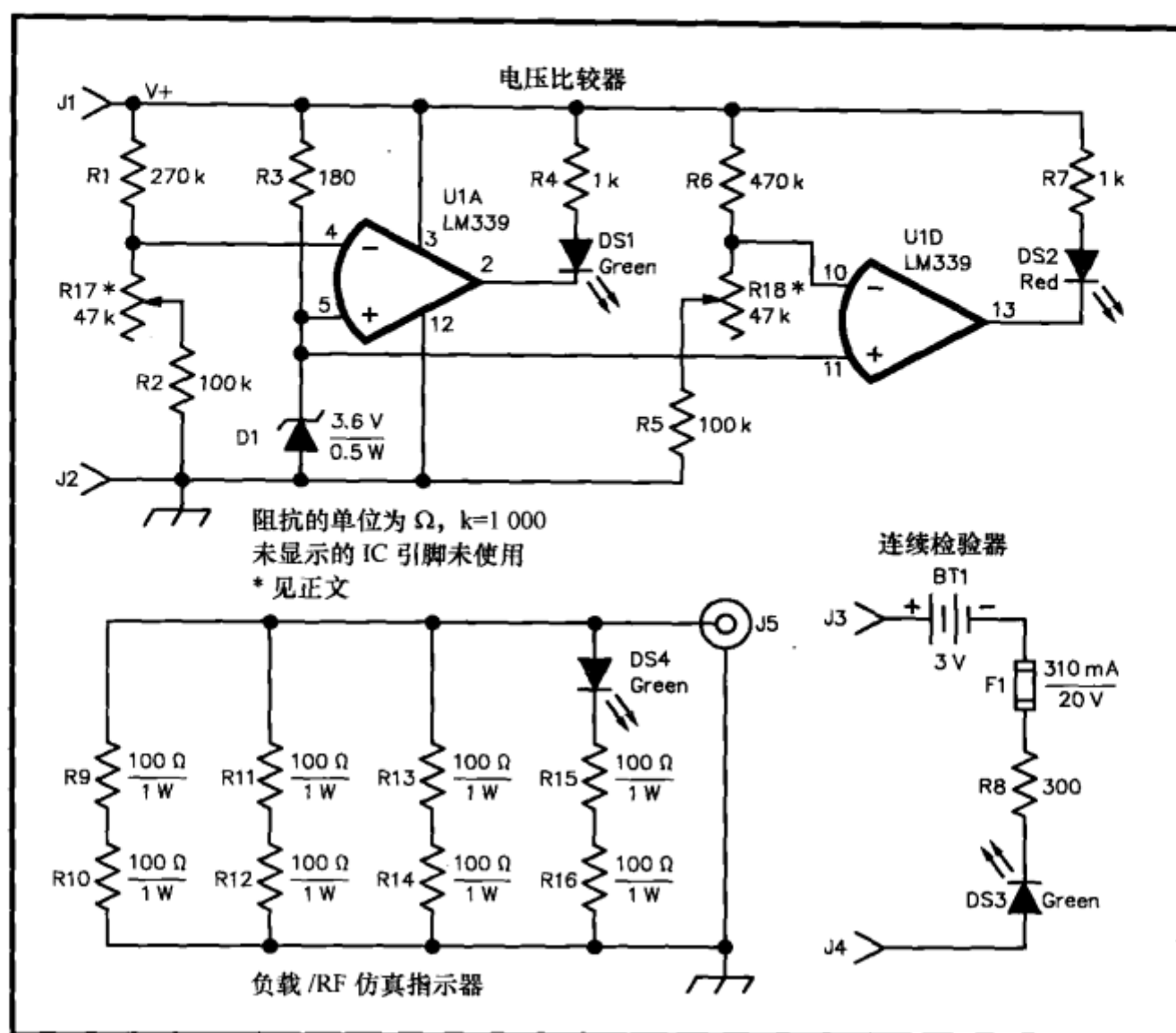


图 5-17 QRP 多功能测试仪电路图。除非特别注明，电阻是误差为 5% 的碳复合电阻或碳膜电阻。

朋友建议使用很低电压的稳压二极管作为电压参考，不要直接与输入电压比较，而是与经过分压的输入电压比较。

分压器由两组连接在输入端和地之间的电阻组成 ($R1/R17$ 、 $R6/R18$)，电阻的比值和笔者实验的限制电压与稳压二极管的电压比值一样。笔者用的是 3.6V 稳压二极管，所以分压电阻电路的比值是： $10V/3.6V=2.78$ ，这是用于低电压 10V 的；电压上限 16V 的电阻比值是： $16V/3.6V=4.55$ 。

$R17$ 和 $R18$ 采用可变电阻，为了使电压达到极限时点亮 LED。分压电路的绝对阻值要大，接近了 $1M\Omega$ ，这样可以减小流过分压电阻的电流，此外能够采用小功率电阻。

LM339 很容易买到，芯片有 4 个独立的比较器，笔者使用了其中的两个。为了方便连接，选用了比较器 A 和 D。

LM339 是集电极开路形式，输出脚为高电平，有电流流过 LED。如果把稳压二极管的参考电压连接到比较器的 V- 输入端，把检测电压连接到 V+ 输入端，电压低于限制时，LED 就会点亮；电压高于限制时，LED 就会熄灭。换位思考，把稳压二极管的参考电压连接到比较器的 V+ 输入

端，把检测电压连接到 V- 输入端。注意，电路利用检测输入电压给 U1 提供电源，无需电池。

稳压二极管是非常好的噪声源。所以一定要断开监测器再打开 QRP 收信机，否则会听到稳压二极管发出噪声。

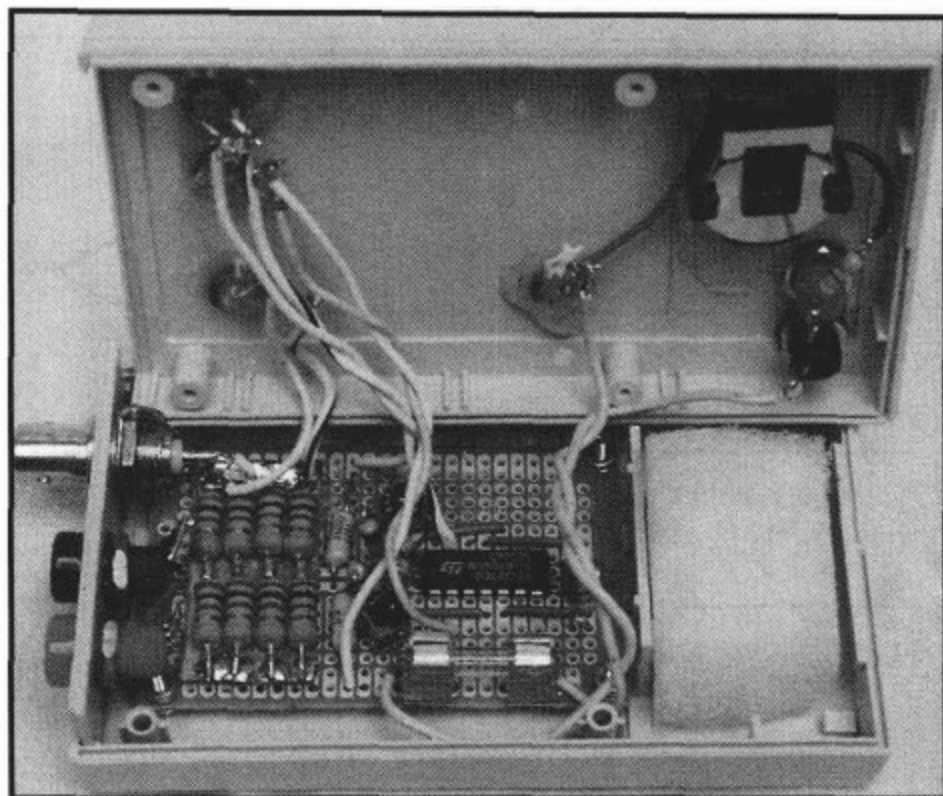


图 5-18 QRP 多功能测试仪的内部实物电路

RF 指示器

这个指示器实际是个会发光的假负载。假负载对发射机呈现 50Ω 的纯电阻。小功率 (1W) 金属氧化物电阻价格不贵，也很容易买到，在 HF 段表现为纯电阻。把几只阻值大一些的电阻并联就可以当做能够承受几瓦的 50Ω 负载电阻。需要 n 个电阻并联达到耗散 nW ，每个电阻的阻值为 r ，公式为：

$$r = n \times 50 \quad (5-2)$$

笔者需要连续耗散功率 4W 的负载，因此需要 4 只功率为 1W 的 200Ω 电阻。笔者把两只 100Ω 串联起来组成 200Ω 电阻，把 4 对这样的电阻并联起来。

笔者把 LED 与其中的一组电阻串联，这组 200Ω 电阻起到两个作用：一是 50Ω 假负载中的一部分，二是 LED 的限流电阻。这样，有 RF 功率输入时，LED 就点亮了。这个假负载是纯固态，比使用灯泡体积小、耐用。因为插入了 LED，SWR 略偏离 1:1，但没有什么影响。

通断检测

这部分很简单，只需要电源 (BT1)，LED (DS3) 和限流电阻 (R8)。为了减轻重量，笔

者原打算采用 6V 照相机用电池，但是没有合适的电池盒。最后采用了 3V 纽扣锂电池。这种电池存放时间长，适合通断检测这种间断使用的场合。

为了防止通断检测器与电源意外连接出现危险，笔者安装了保险管(F1)。LED 耗电很小，只有几毫安，因此选用了最小容量的保险管(0.31A)。

安装

QRP 测试仪分为两个部分，假负载和电压与通断检测。电压与通断检测对电路布局无特殊要求，笔者采用的是万能板。

假负载(R9 ~ R16、DS4)则不同了。这部分要安装在敷铜板上，安装方法要考虑把引线电感、电容减小到最低限度。引线要尽可能短，电阻要尽可能靠近敷铜地(敷铜面)安装。笔者把电阻安装在一块 1 英寸见方的双面敷铜板上，然后用胶粘在装有电压与通断检测元件的万能板上。首先把电阻的引脚修剪到合适的长度，把电阻粘在敷铜板上，然后焊接。Krazy Glue 粘合剂(氰基丙烯酸盐粘合剂)很适合，因为这种粘合剂固化速度快(注意：这种粘合剂会迅速粘合在皮肤上，使用时要带防护眼镜，要随身准备粘合剂清洗剂)。把每对 100Ω 电阻的一头焊接在敷铜面上，然后把 3 个没有焊接的头焊在一起与 J5 连接。把 LED 焊接在 RF 输入与最后一对 100Ω 电阻未连接的一头之间。接地连线直接焊在敷铜面上。安装完毕后测试一下，如果没有问题，就用粘合剂粘在主电路板上。

笔者采用的是 RadioShack 出售的成品机壳。电压与通断检测(J1/J2、J3/J4)采用香蕉插座，检测线共用。J5 采用 BNC 插座，这种插座比 SO-239 占的位置小。

校准

电压比较电路必须校准后才能使用。可借助能够调压的稳压电源校准。把稳压电源的电压调到电压检测器的最低限制电压，调整 R17，直至低压限制指示 LED(DS1)刚好点亮。调整 R17 时，如果无法让 LED 熄灭(或点亮)，那么就需要调整分压电阻的阻值。低压限制部分调好后，把稳压电源调到电压检测器的最高限制电压，按照刚才的方法调整高压限制 LED(R18 和 DS2)。

如果没有可调的稳压电源，可借助电池和电压表完成校准。可以将普通家用电池(AA 电池、9V 电池)串联起来获得需要的电压。

结语

这个 QRP 检测仪可以在野外检修设备时提供基本信息。仪器体积小，可以和 QRP 设备仪器携带。自从有了这个小仪器，笔者在野外工作遇到的问题都解决了。

5.4 “钳式带宽” Gyrator 音频滤波器

本文介绍的可变带宽滤波器采用了 Gyrator 电路。Gyrator 电路大家可能不太熟悉，因此先解释一下这个电路再详细介绍音频滤波器。

Gyrator 电路

Gyrator 是一种特殊的电路，采用了几个运放、电阻、电容来模仿电感的特性。基本的 Gyrator 电路见图 5-19。这种电路体积小、成本低，有效电感可以很大，并且可也在很大范围内变化，只需调整可变电阻的参数。因此，一个 Gyrator 电感与一个电容并联就可模仿可调音频电路，无需庞大的铁芯电感。

图 5-19 所示的 Gyrator 电路电感范围是 $600\text{mH} \sim 27\text{H}$ ，只需调节 500Ω 电位器 (R1)。并联 $0.01\mu\text{F}$ 的电容，电路的谐振频率可在 $300 \sim 2\,000\text{Hz}$ 调节。

电路介绍

图 5-20 是音频处理器的电路图。Gyrator 电感由运放 U1C、D、C4、R1、R3、R4、R6、R12 组成。C6 ($0.01\mu\text{F}$) 与 Gyrator 电感谐振，等同于调谐的 LC 回路。R1 在可变范围变化时，中心频率可在 $300 \sim 2\,060\text{Hz}$ 变化。R7 和 R10 与调谐回路串联，控制带宽，在 R7 的调整范围内，变化范围是 $30 \sim 420\text{Hz}$ 。

注意，在这个电路里，电路的 Q 值随谐振频率变化，因此带宽一旦被 R7 设定，无论中心频率设在哪里，带宽持续不变。

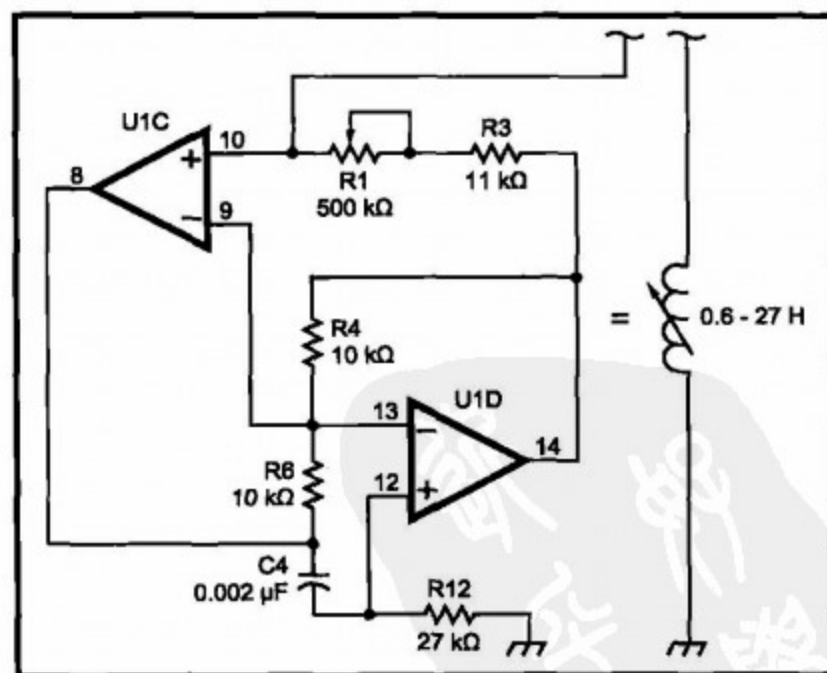


图 5-19 Gyrator 电路图。这个电路看上去像电感，但是没有笨重的铁芯。调节 500Ω 电位器时，可模仿 $0.6 \sim 27\text{H}$ 的可调电感。

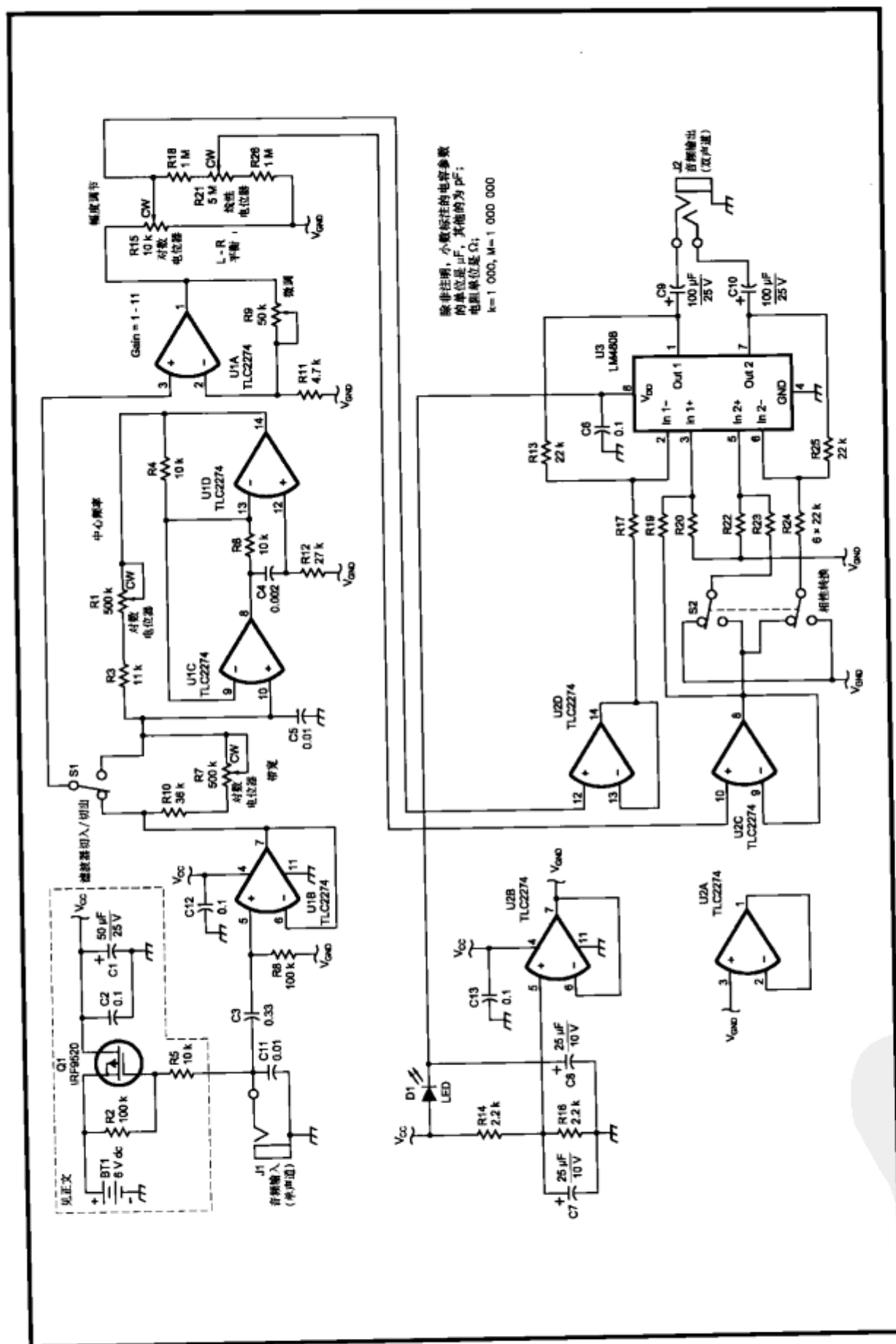


图 5-20 可变带通滤波器电路与元件表

- BT11—4 节 AA 电池
C1—50 μ F/25V 电解电容
C2, C6, C12, C13—0.1 μ F 瓷片电容
C3—0.33 μ F 瓷片电容
C4—0.002 μ F 瓷片电容
C5, C11—0.01 μ F 瓷片电容
C7, C8—25 μ F/10V 电解电容
C9, C10—100 μ F/25V 电解电容
D1—LED, 红色
J1—1/4 英寸单声道耳机插座
J2—1/4 英寸双声道耳机插座
Q1—IRF520
R1, R7—500 Ω 对数电位器
R2—100k Ω , 1/4W, 5%
R3—11k Ω , 1/4W, 5%
R4, R5, R6—10k Ω , 1/4W, 5%
R8—100k Ω , 1/4W, 5%
R9—50k Ω 电位器
R10—36k Ω , 1/4W, 5%
R11—4.7k Ω , 1/4W, 5%
R13, R17, R19, R20, R22, R23, R24,
R25—22k Ω , 1/4W, 5%
R15—10k Ω 对数电位器
R18, R26—1M Ω , 1/4W, 5%
R21—5M Ω 线性电位器
S1—单刀双掷开关
S2—双刀双掷开关
S3—单刀单掷开关
U1, U2—74C2274CN
U3—LM4808

运放 U1A 是缓冲器，防止幅度控制器 R15 给滤波器增加负载，改变特性。在这里，笔者还增加了增益微调 R9，以便在必要时用来提高收音机音频幅度。R9 也可采用固定电阻。

音频输出部分

缓冲放大随后幅度与平衡控制器。控制器的输出信号送入随后的运放电压跟随器，然后送入 LM4808 双音频放大器(U3)。开关 S2 可以转换其中一个耳机通道的相性。在 S2 的位置，通过耳机可以听到类似来自两个声源的声音。转换相性后，声音好像来自脑袋中间。

音频输入与电源控制

音频信号从输入端耦合到缓冲器 U1B，这个缓冲器把滤波器带宽控制器与外部隔离开来。输入端并联的 $0.01\mu\text{F}$ 电容是为了防止本地大功率 AM 电台信号串入电路。

整个电路耗电还不到 11mA，4 节 AA 碱性电池就够了。为了不浪费电能，笔者采用了 P 沟场效应管 Q1 控制电路的电源。当输入电缆连接到收音机的音频输出插座，R5 就接地了，Q1 导通给电路供电（采用这种结构，收音机的输出插座必须能提供直流通路。如果没有，必须在收音机的音频输出插座对地接一个 $10\text{k}\Omega$ 电阻）。也可在 Q1 的位置加装电源开关。

LED(D1) 有两个作用，它能够使 U3 的电源电压不超过 5.5V，还能当做电源指示。U3 的电流随音频幅度变化，因此接收 CW 信号时 LED 会随信号闪烁。

安装

电路对布局无特殊要求，可采用任何安装方法。4 节 AA 电池装在盒子里，也可采用外接 6V 稳压电。

所有元件都是直插的，只有 LM4808 除外。这个芯片只有贴片封装的。

结论

这个小盒子不能把一个三流的收音机变成一流的，但是可以帮助你从堆砌的信号中挖掘出来。带宽调窄时，QRM 也随即消失了。

5.5 FREQ-Mite——可编程莫尔斯电码频率计

概述

对于经常动手或偶尔自制设备的爱好者来说，非常需要一个简单小型的频率计。FREQ-Mite 的外形尺寸为 0.4 英寸×1.75 英寸×1.25 英寸，完全可以装到衬衫口袋里。

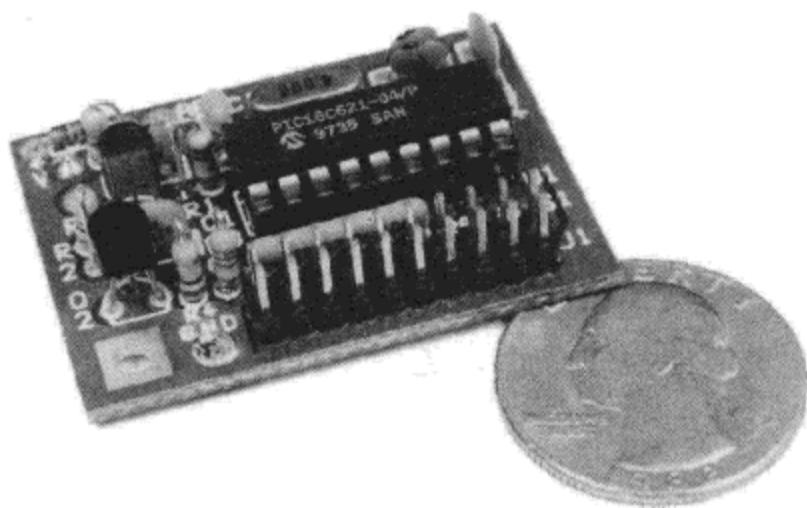
莫尔斯电码因为需要的硬件简单，所以是打不败的。这个频率计把频率计的输出转换成 800Hz 的莫尔斯电码音频信号。这个音频信号可直接注入收音机、收发信机等设备的音频电路，通过压电陶瓷或扬声器发声。

在照片中，可以看见两排连接针。如果把这个频率计接在超外差式收发信机里使用，通过跳接连接针，可以实现频率补偿。在超外差电路中，本振 (LO) 和混频器把输入信号转换成中频信号 (IF)。在发射模式时，同一个本振信号与中频信号混频产生发射信号。

自制设备的中频频率都不一样。那么就需要一种可以设置中频补偿的频率计。在早期的版本中，频率补偿是通过模拟电位器、程序预置 (预先编入常用中频、甚至通过电键输入实现)。在这个设计中，采用了 10 个连接针输入频率补偿参数 (0~999)，便于和超外差机器连接。在收发信机模式，这个频率计只输出频率的百位、十位。例如：7.112MHz，输出的莫尔斯电码是 112。

这些插针也可用来选择普通模式：把最左的 7 根针跳接，变成无效频率补偿，读数是 4 位或 5 位。

这个频率计最高输入频率达 32.767MHz，灵敏度也不错。图 5-21 标出了需要的最小输入信号幅度。准确度作为一般用途也足够了，通过其他频率计比对，误差不超过 2kHz。



输入超过 10Vp-p 也没有出现问题, 再高一些也不会损坏电路。由于寄生影响, 频率高于 25MHz 时, 可用信号幅度就下降了, 把输入幅度减小到适当的幅度就可以正常使用。

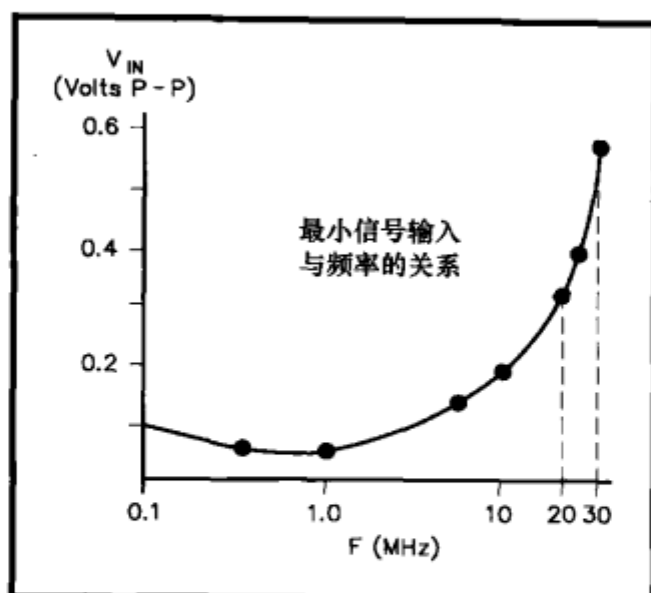


图 5-21 输入灵敏度与频率的关系

电路介绍

图 5-22 是电路图, 元件很少。Microchip 生产的 PIC 16C621(U1) 是 8 位单片机。R5 和 D1 组成 U1 的供电电路。Q1 是射随器, 对 RF 源呈现高阻抗。把频率计直接连到 VFO 时, 这个电路很重要, 以免频率计牵引 VFO 的频率。Q2 是高增益放大器, 把 RF 信号转换至 PIC 的 I/O 口兼容的信号幅度, 大约 5Vp-p。音频输出从芯片的 18 脚引出, 是 800Hz 的方波信号。这个输出引脚只有在上电时以及需要读出频率时闭合 S1(SPOT) 才被激活。其他情况下, 这个引脚是关闭的, 以减少噪声。

接通电源时, U1 需要初始化。首先检查 J1 的跳线, 计算频率补偿参数; 然后检查读码速度、读频率的顺序。做完这些工作, U1 进入睡眠状态。

按下 SPOT 开关, U1 被唤醒, 以 1ms 的周期读取 LO 的频率, LO 的频率是以 kHz 读出的。如果设置了频率补偿, 芯片会自动调整。如果频率补偿设置的是无效的数字 (大于 1008), 频率计输出为 4 位或 5 位, 这时无任何频率补偿。U1 的内部把频率转换成莫尔斯电码, 频率为 800Hz, 从 18 脚输出, 送入收发信机的音频电路。输出电码的速度可在 12 ~ 26word/min 范围调节。

安装、设置与使用

可以买到带印制电路板、烧好程序的芯片的 FREQ-Mite 套件 (bensondj@aol.com)。安装时注意: 使用 9V 电源, R5 为 330Ω; 电源为 12 ~ 15V 时, R5 为 470Ω。一定要断开电源再插 U1。这个芯片是静电敏感元件, 务必注意。

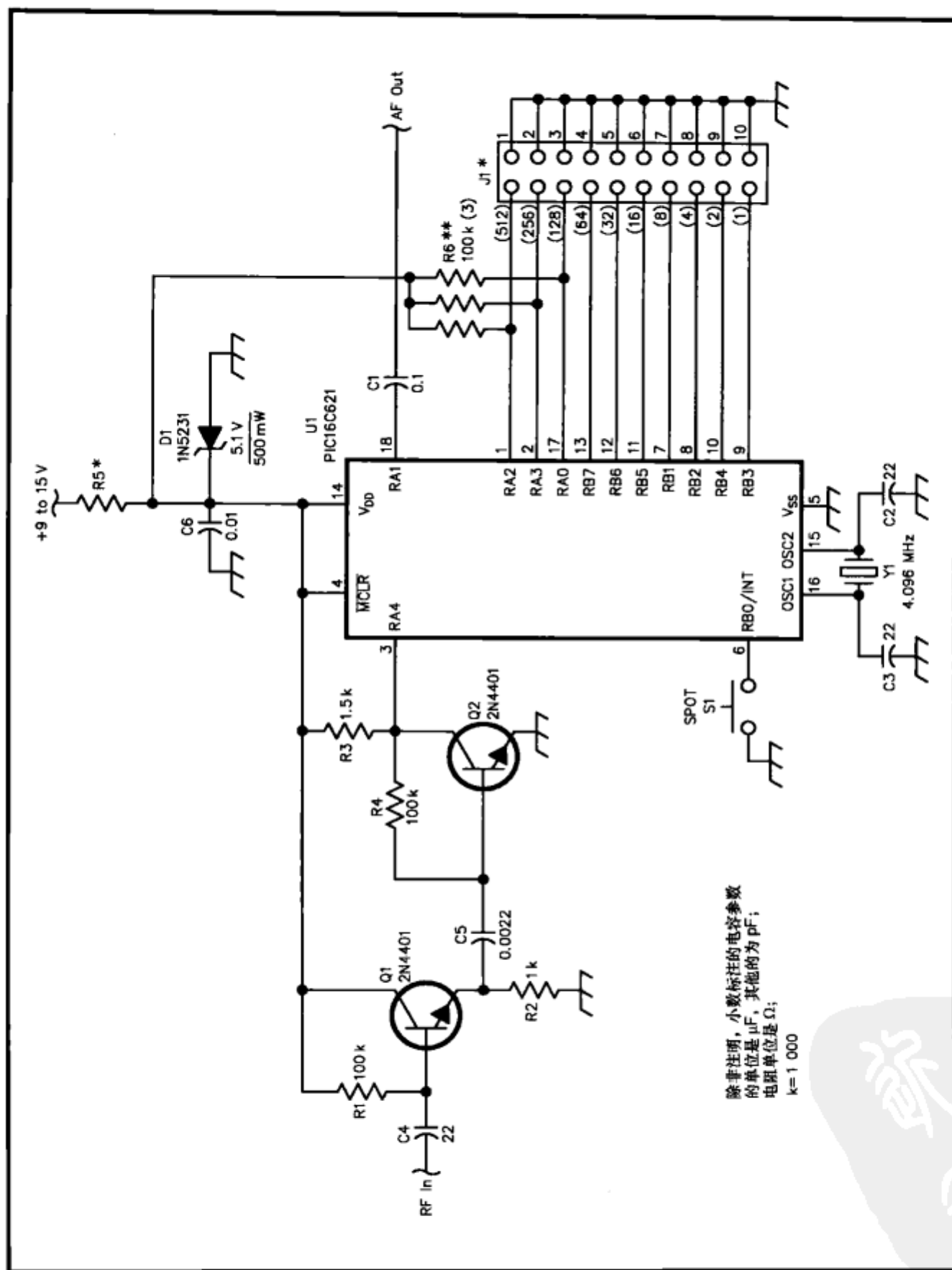


图 5-22 FREQ-Mite 电路图。除非注明, 电阻是误差为 5% 的碳复合电阻或碳膜电阻。

- C1—0.1 μF 独石电容
C2—0.1 μF 独石电容
C3—0.0022 μF 瓷片电容
C4—0.01 μF 瓷片电容
C5—0.0022 μF 瓷片电容
C6—0.01 μF 瓷片电容
D1—5.1V, 500mW 稳压管 (1N5231)
Q1, Q2—2N4401NPN
R1, R4—100k Ω
R2—1k Ω R3—1.5k Ω
R5—330 Ω R6—100k Ω 排阻
U1—PIC16C621
Y1—4.096MHz, 负载电容 20pF

FREQ-Mite 的输出与收音机或收发信机连接点是音频放大器之前。芯片的输出需串联一只 $100\text{k}\Omega \sim 10\text{M}\Omega$ 的电阻，使输出幅度合适，阻值需要试验确定。

跳线设置

通过设置跳线，FREQ-Mite 可以配合大多数收发信机使用。通过 J1 的跳线，频率补偿可设置任何三位数 ($0 \sim 999$)。排针是二进制的。最右的针是 1，边上的是 2，然后是 4，等等。最左边的是 512。

与收发信机接驳

频率补偿的值必须与中频的值 (kHz) 相等。但还是需要微调以达到最佳效果。

例如：如果中频是 8.192MHz ， $8.192 = 192$ 。192 的二进制代码 = $128 + 64$ ，跳线代码（从左到右）是 0011000000。只需跳接为 1 的位，0 处为空。

设置反转读数

White Mountain-75 SSB 收发信机的中频为 $9\,830\text{kHz}$ 。补偿码是 830。在听到 I? 电码时按下按钮。例如：本振为 $6\,005\text{kHz}$ 时，FREQ-Mite 经计算 ($9\,830 - 6\,005$) 得出 3825，表示工作频率为 3.825MHz 。

但是也有例外：如果机器是 455kHz 中频，本振高于工作频率，那么程序必须反过来。例如：如果中频是 455kHz ，本振是 $4\,055\text{kHz}$ ，工作频率是 $3\,600\text{kHz}$ 。正常的频率补偿值应该是 ($1000 - 455$) 或 545。

电路检测

安装完毕，检查无误后，跳接 J1 的 3 针和 4 针。连接 FREQ-Mite 的音频输出端到收音机。不要给 FREQ-Mite 输入任何 RF 信号，接通电源。这时会听到 S? 电码。等到 U1 发出 AR 字符时，表示初始化完成。按下 S1，听到的电码是 192。如果想检测其他二进制码，需要重新接通电源。因为只有在上电时才读取频率补偿参数。

用于普通用途

在自制振荡器或检查发射机输出时，需要能够显兆赫兹的频率计。需要进入这个模式，把 J1 最左边的 7 根针短接，接通电源。这样，补偿超过 1008，属于无效值，这时输出四位

或五位。例如：输入频率是 455kHz，U1 就发出 0455 的电码。如果输入频率是 7.110MHz，U1 输出 7110。如果输入频率是 21.106MHz，U1 输出 21106。

初始化

1. 读码速度

上电时，FREQ-Mite 发出 S ? 电码。如果在两秒内按下 S1，U1 就转换成快速读码 (26word/min)。U1 发出 R 的电码表示确认这个设置。如果在此期间不按任何按钮，U1 使用默认速度 (13word/min)。

2. 正常 / 反转频率读数

如果为收发信机设置了频率补偿模式 (三位)，FREQ-Mite 会发出 I ? 询问是否需要反转频率读数。如果在两秒内按下 S1，U1 将反过来计算频率。U1 发出 R 的电码表示确认这个设置。如果不进行任何操作，U1 将按相加的方法计算频率。这时，U1 发出 AR 电码，表示初始化结束。

致谢

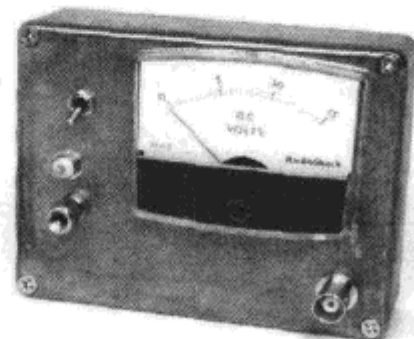
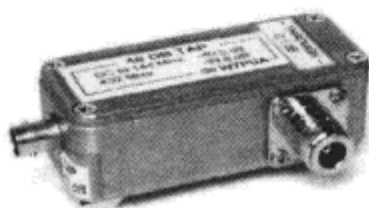
韦恩·波迪克 (N6KR) 提出用莫尔斯电码指示频率的想法，托尼·富士普尔 (G4WIF) 和吉姆·赫沙克 (W7LS) 在这个频率计开发期间提出了建设性意见，在此表示感谢。

5.6 高频功率表

本文介绍的功率测量系统采用的是 AD 公司最近推出的 AD8307。这个系统的核心靠电池提供电源, 能够直接测量大于 20mW ($+13\text{dBm}$) 以上到小于 0.1nW (-70dBm) 的信号。抽头电路把功率表量程上限扩大了 40dB , 可以测量 100W 的功率 ($+50\text{dBm}$)。

功率表

功率表电路图见图 5-23。电路的核心是 AD8307AN, 对数放大器。这个芯片动态大, 准确性高。



U1 的工作电压范围是 $2.7 \sim 5.5\text{V}$ 。

5V 的三端, U2 为 U1 提供稳定的电压。U3 是运放, 是表头驱动电路。U1 的 4 脚是直流输出脚, 输入端每变化 1dB , 输出脚变化 25mV 。输出由 $0.1\mu\text{F}$ 电容滤波, 送入 U3 的同相输入端, 电压增益为 2.4。输出的 60mV/dB 斜率信号通过 $6.8\text{k}\Omega$ 分压电阻推动表头。当有 10mW 的驱动时, U3 的输出约为 6V 。U3 的增益设置电阻的参数是经过计算的, 能够防止表头过驱动而损坏。

U1 的低频输入阻抗为 $1.1\text{k}\Omega$, 与 R1 和 R2 并联后, 电路的输入阻抗为 50Ω 。R2 与 C2 并联, 形成高通滤波器, 有 200MHz 的平坦频响。L1 是 C1 引线的一部分改善了芯片输入电容的低通滤波特性, 把频响扩展到 500MHz 以上。

M1 是 RadioShack 的直流电压表, 实际上就是一个 $0 \sim 1\text{mA}$ 的表头, 内接一个 $15\text{k}\Omega$ 的分压电阻。配合仪器背面贴曲线表, $0 \sim 15\text{V}$ 的刻度提供的读数是 dBm 。 dBm 可以通过公式换算成 mW , 但是 dBm 读数更有用、更方便。

辅助输出从穿心电容 C10 引出, 便于外接数字电压表或示波器。分辨率重要时, 使用 DVM。模拟表头可现实到 1dB , 调整电路时十分有用。有的爱好者可能会利用单片机驱动数字显示, 直接显示 dBm 。

最初的功率表没有 R2、C2、L1, 在 HF 段测量的功率是准确的, 高的频段也可以使用。增加着几个补偿元件后, 平坦带宽超过 500MHz , 误差仅 0.5dB 。补偿电路在 HF 段灵敏度降低了约 3dB , 但是在 UHF 段提升了。如果只对 HF 段和 VHF 低段到 50MHz 感兴趣, 可以省去 R2、C2、L1。补偿前与补偿后的频响见图 5-24。

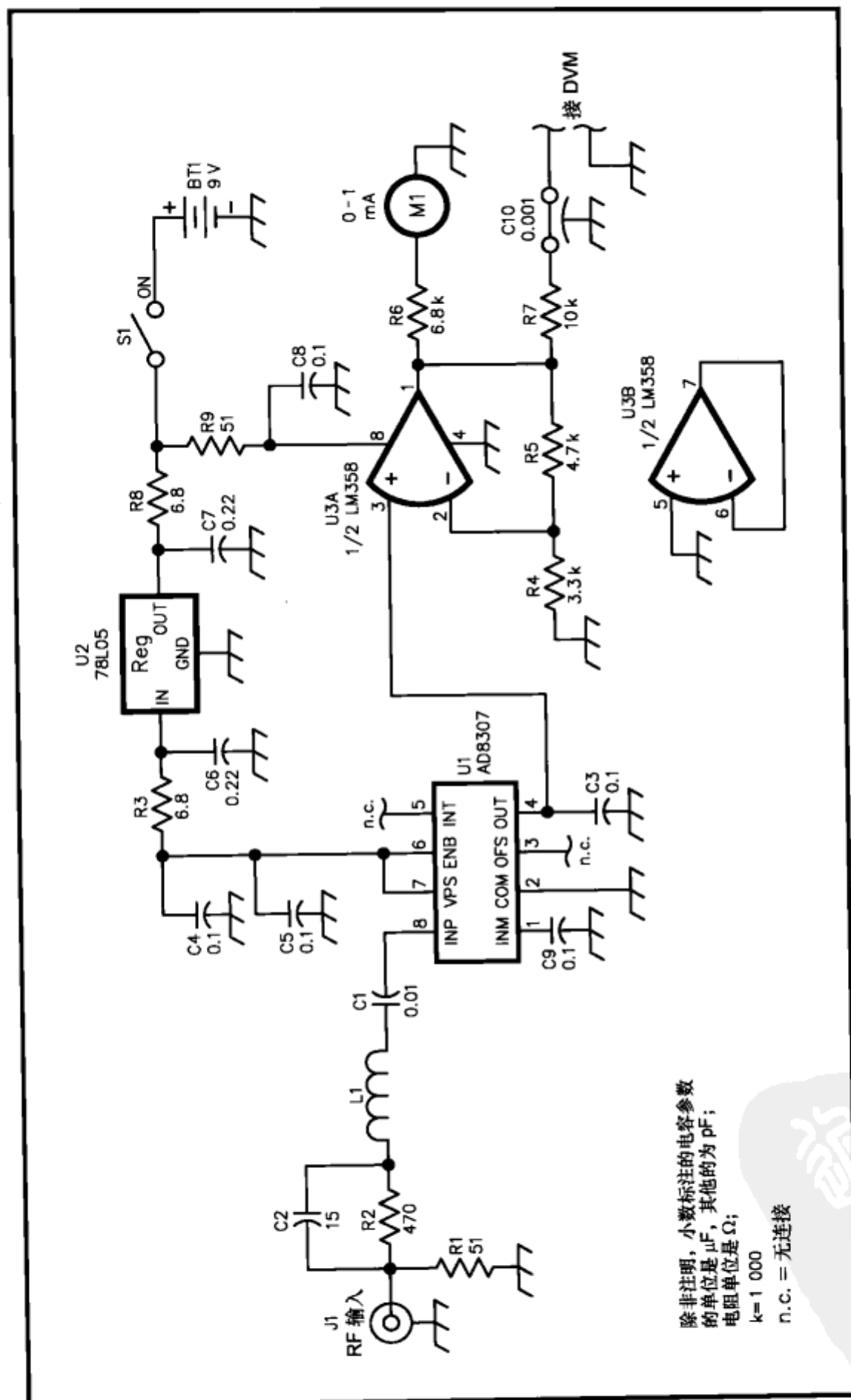


图 5-23 1 ~ 500MHz 功率表电路图。除非注明, 电阻是 1/4W 误差为 5% 的碳复合电阻或金属膜电阻。

U1—AD8307; 见正文

U2—78L05

U3—LM358

J1—N 或 BNC 插座

L1—利用 C1 的引线在 3/16 的胎具上绕 1 匝; 见正文

M1—0 ~ 15V 直流电压表; 见正文

S1—单刀单掷开关

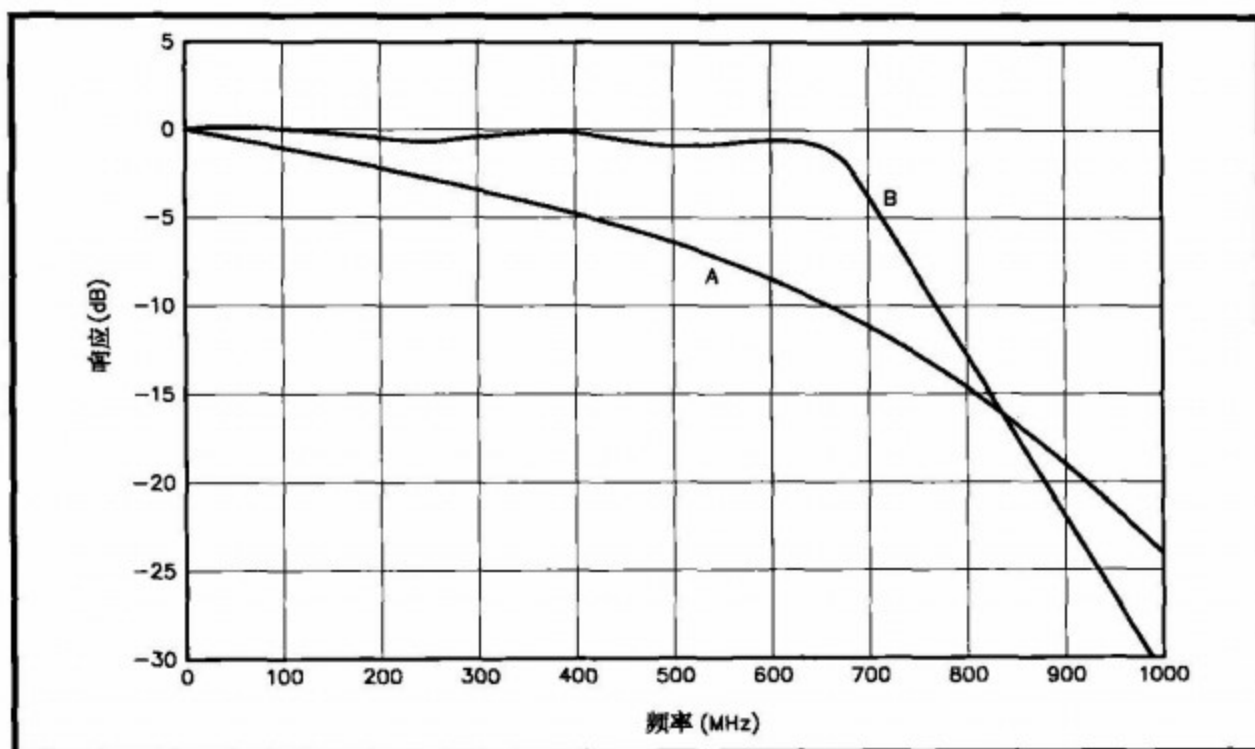


图 5-24 功率表在安装 R2、C2、L1 之前的响应曲线 (A); 安装 R2、C2、L1 之后的响应曲线 (B)

功率表采用“死昆虫”法安装, 无需制作印制电路板。元件装在同一条敷铜板上, BNC 插座的中心接头把电路板固定住了。R1 焊在插座的中心头与地之间, 引脚要短。U1 安装在离输入端 3/4 英寸的地方, 采用“死昆虫”法焊接 (引脚朝上), 1 脚、8 脚朝 J1。芯片的接地脚 2 和旁路电容 C3、C4、C5 把芯片固定在敷铜地上。R2、C2 连接在插座的中心头上, 引脚要短。L1 是把 C1 的引脚弯成一个环形成的, 用 3/16 英寸的钻头作为胎具。其余的部分要求就不严了。功率表要装在屏蔽盒内。这类高灵敏度测量仪器切勿使用塑料机壳。

大功率测量

发射机的发射功率很少低于这个功率表能测量的功率。可以有几种方法扩大量程, 这包括使用衰减器的方法。最简单的方法就是电阻抽头的方法, 见图 5-25。这个电路由一条平整的金属条 L1 组成, 金属条焊接在 J1 和 J2 之间, 让发射机驱动 50Ω 的端子。电阻 R1 把抽头采样信号送到 J3。功率表连接在 J3 上。跨接在 J3 的电阻 R1 保证电路的阻抗为 50Ω。选择

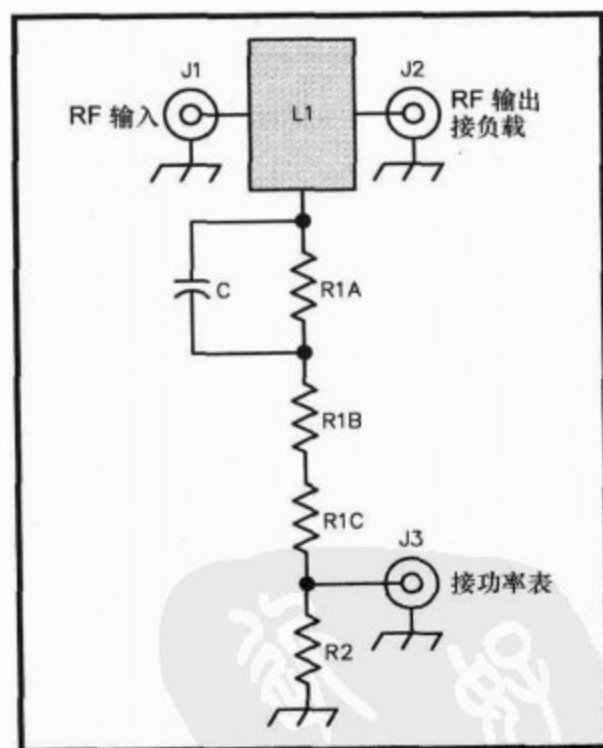


图 5-25 抽衰减头电路, 使功率表可以测量大功率。电容 C 的说明见正文及图 5-26。
J1, J2—N 型插座; 见正文 J3—BNC 插座
L1—1 × 1 1/2 英寸铜皮; 见正文
R1A ~ R1C—3 只 1/2W 820Ω 碳膜电阻串联
R2—1/4W 51Ω 碳膜电阻

R1 的参数达到合适衰减量。

抽头电路把普通 +10dBm 的功率表最大量程扩大到 50dBm，也就是 100W。这时，功率耗散就成问题了。所以 R1 由 3 只 0.5W 的碳膜电阻串联组成。

抽头电路的结构见图 5-26 及照片。J1 和 J2 构成了 50 Ω 传输线。调整时借助 HP-8714B 网络分析仪进行。分析仪用来调整 C 的参数，使到 J3 的通路衰减在 500MHz 带宽平坦度在 0.1dB 以内。这个抽头就可以使用频谱仪或实验室用分级功率计了。

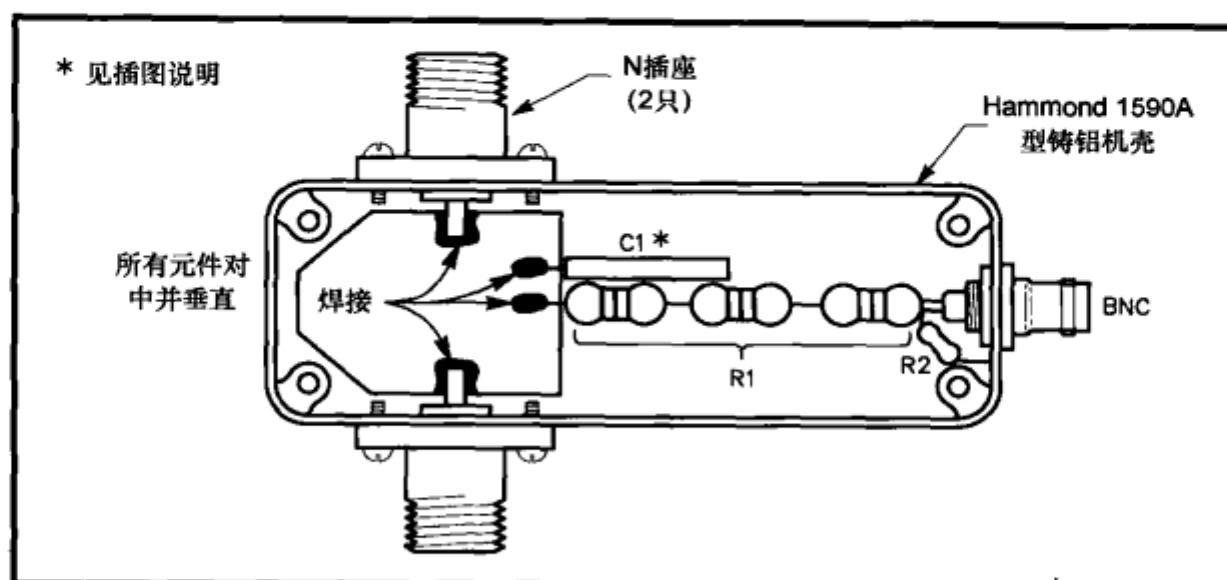


图 5-26 图 5-25 介绍的 40dB 抽头电路安装图。两个 N 头的中心连接头（RF 输入和 RF 输出）用过一片 1×1 1/2 英寸铜皮连接起来。因为 1590 机壳的角上有螺钉孔，因此压剪去铜皮的两个角。C1 是一根 22 号绝缘电线做的，需从焊接处延伸 0.6 英寸，紧贴两个电阻。

如果没有网络分析仪，在 UHF 段很难调整到 0.1dB 的准确度。但是，如果抽头电路是仿造图 5-26 的机械结构，在 500MHz 以内抽头的平坦度可达 1dB。低频率的衰减仅由电阻决定，所以使用 DVM 就可以保证。如果首要的兴趣是 150MHz 以下，那么可用 BNC 头替换 N 头。抽头电路装在一只 Hammond 1590A 机壳内。

校准

读取读数有两种方法，可任选一种。把 DVM 输出记录下来，用公式换算成 dBm。或者从功率表表头读取读数，然后对照贴在功率表背面的图表。但无论采取哪种方法，都需要一个已知的信号源来校准这个仪器。

校准的简单方法就是借助校准的信号发生器。让信号发生器输出一个有明确定义的信号并送入功率表。笔者是在 10MHz，幅度为 -20dBm 和 -30dBm 时校准功率表的。两个电平提供了 10dB 的差，建立了用分贝表达的每 DVM 毫伏的斜率。两个参数之一提供了方程的常数。信号发生器可以以 5dB 或 10dB 的步长提高输出幅度，以便绘出功率表曲线。图 5-27 是 DVM 输出的曲线与功率表读数的关系。功率表的曲线是一样的。

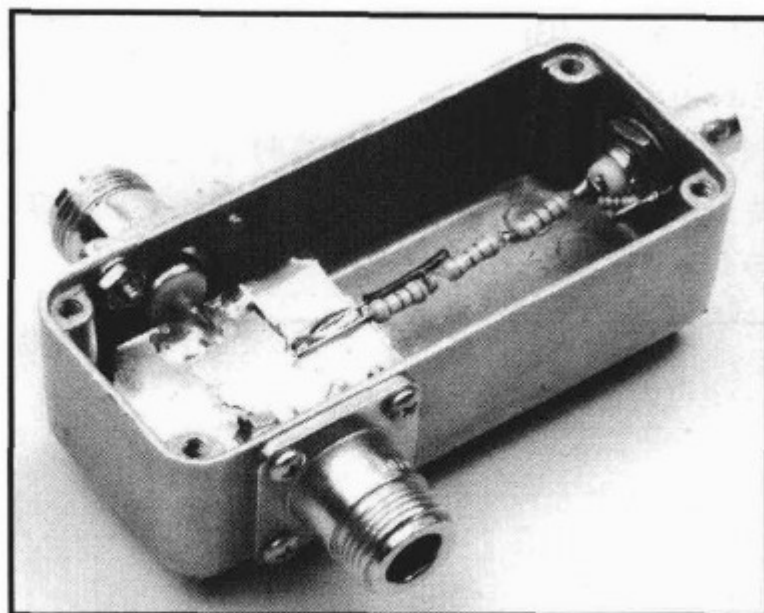
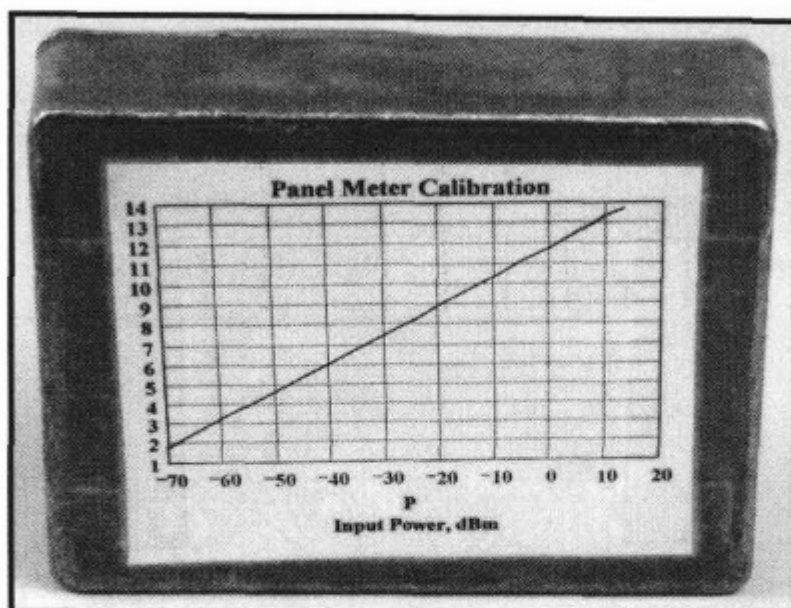


图 5-25 所示的衰减电路内部



粘在功率表背部的曲线图，用于把 0 ~ 15V 刻度换算成 dBm。

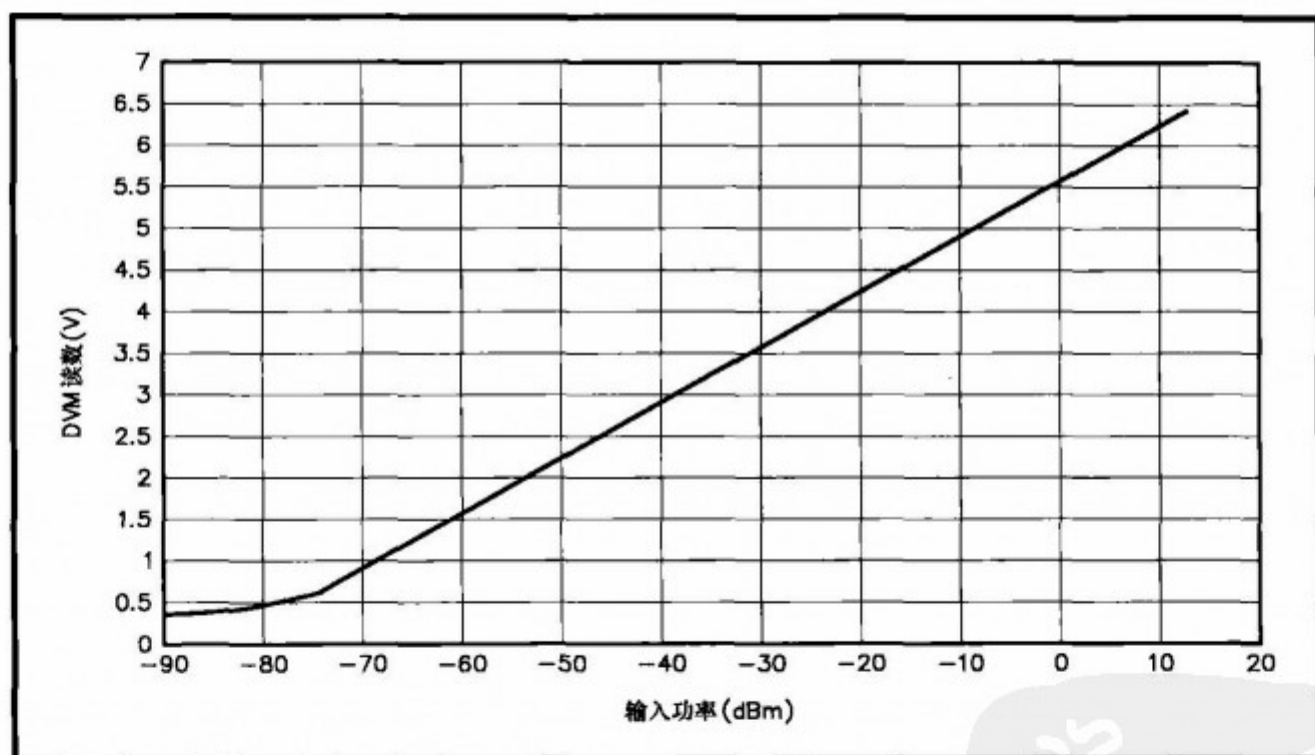


图 5-27 DVM 输出曲线与输入功率的关系

如果手边没有高质量的信号发生器，可以利用小功率发射机校准功率表。输出频率为 7MHz，功率在 1 ~ 2W 就可以用。把发射机通过抽头电路连接在假负载上。抽头电路的输出电压可以使用二极管检波器和 DVM 直接读出，具体方法见图 5-28。如果输出功率是 1W，峰值 RF 电压为 10V。检波器输出为 9.5V，送到功率表的信号为 -10dBm。按照图 5-28，在功率表的输入端增加一个 10dB 的衰减电路，信号为 -20dBm，可作为第二个刻度。

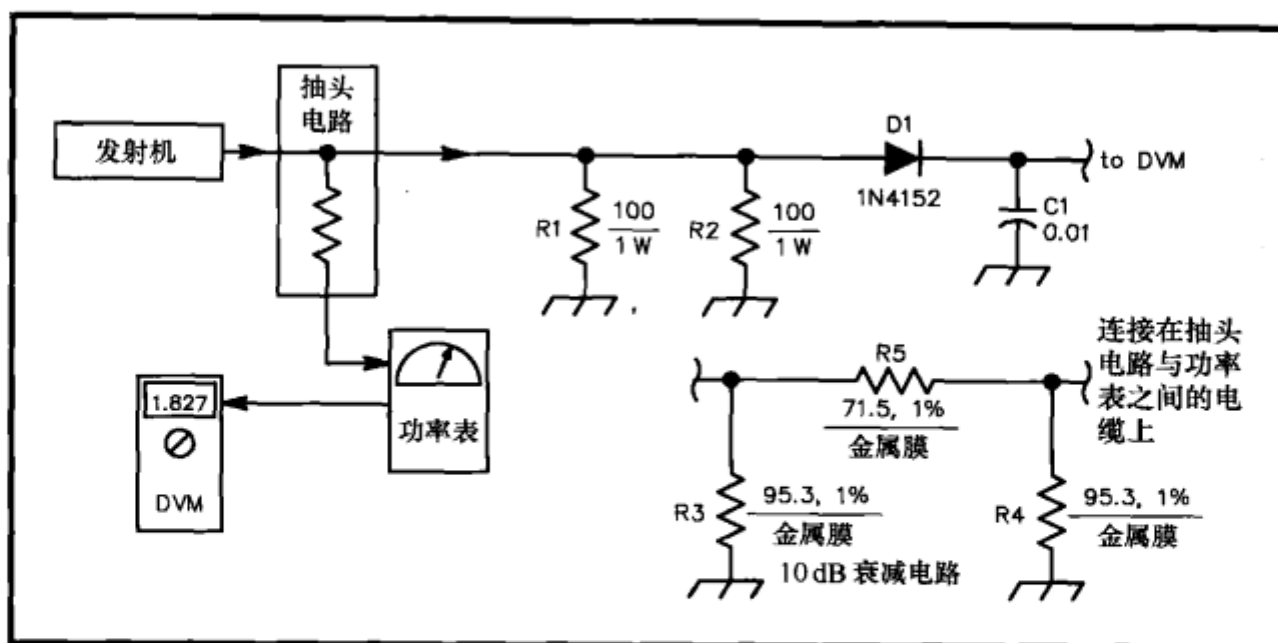


图 5-28 如果没有信号发生器，可以利用小功率发射机校准功率表。图内提供了 10 dB 衰减器的电阻参数。

C1—0.01 μ F 瓷片电容

D1—1N4152

R1, R2—100 Ω , 1W

R3, R4—95.3 Ω , 误差 1%, 金属膜

R5—71.5 Ω , 误差 1%, 金属膜

使用

这个功率表有多种用法，插图例举了几个用法。有的用法简明、实用，有的用法比较复杂，是教学性的。大多数测量都是替换性的，功率表代替的是电路负载。而使用示波器极性的大多数测量是在电路上测量，在电路工作时进行现场测量。

图 5-29 介绍了用功率表测量发射机的前级、小功率发射机或者其他信号源。最常用的还是测量驱动二极管环混的本振输出功率。这个功率表常规的最大测量功率是 +13 ~ +16 dBm。在 HF 段，最大可测 +18dBm，但是在 VHF 段就不行了。这个功率表 HF 段的校准是借助 HP435A 进行的。

图 5-25 所示的抽头电路按照图 5-29B 的方法可扩大发射机测试的量程。在抽头电路的输出连接一个假负载，把发射机连接到输入端。单位是 dBm 的功率在功率表上以 dBm 读出，加上抽头衰减分贝数。

有时希望在发射时测量功率，可按照替换 7C 进行。典型的应用是测量 QRP 电台，在这种情况下，使用的功率被大幅度减小。

这个功率表还可以和桥电路一起用于多种用途。图 5-30 介绍的是用信号发生器驱动，功率表用做回波损耗桥 (RLB) 检波器。这个系统是用来调试天调的。这个功率表的灵敏度很高，因此信号发生器不需要有很大的输出。例如，笔者经常使用输出为 +3 ~ +10dBm 的自制信号发生器。

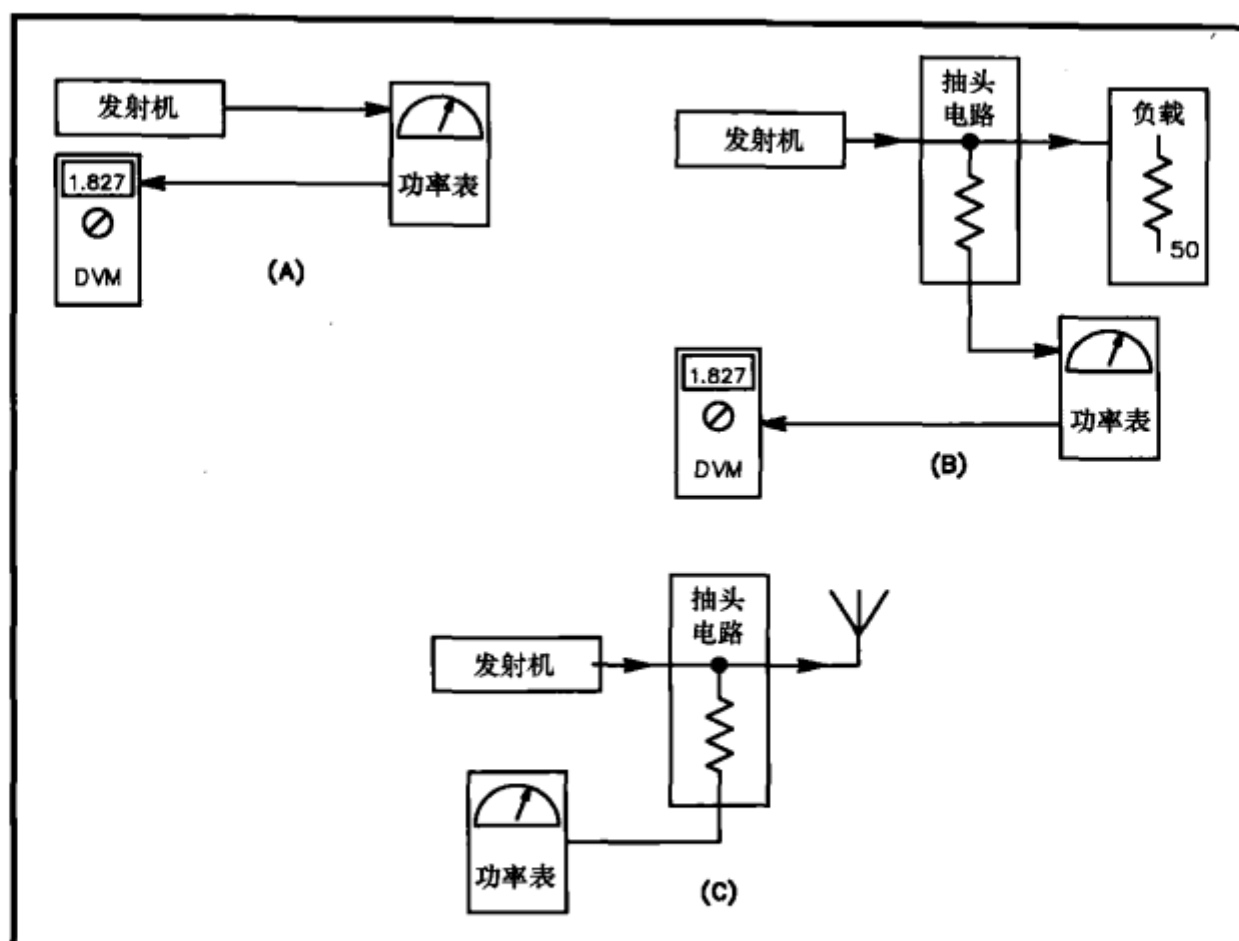


图 5-29 功率表的使用方法，详见正文

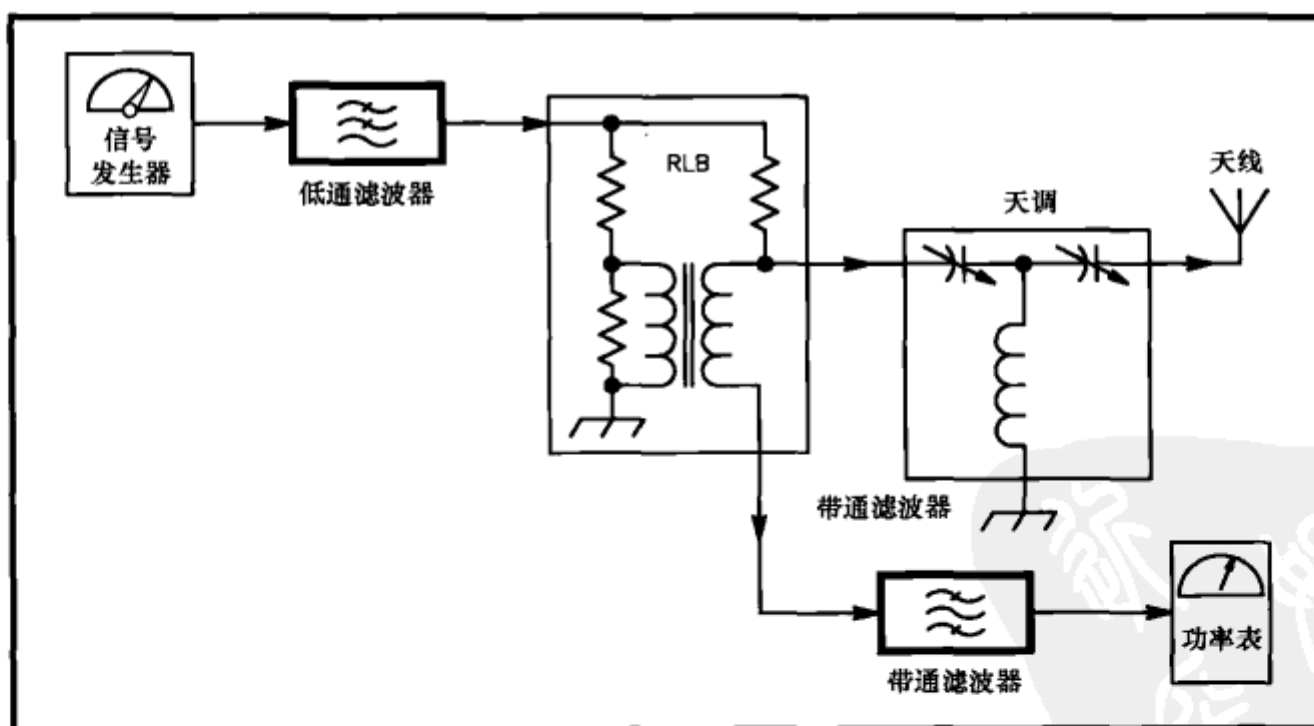


图 5-30 功率表用于电桥测量

使用小功率会使测量变得复杂，这是在进行图 5-30 所示的实验时发现的。实验开始时没有使用图中的滤波器。接通信号发生器电源时，接在回波损耗桥的读数是 -4dBm 。

调整了匹配回路，也只能达到 -25dBm ，表明有 -21dB 的回波损耗，再也无法改进。这是由于当地的 VHF、电视和 FM 广播造成的干扰。在功率表输入端加了一个带通或低通滤波器，消除了残留频响，进一步调整后，回波损耗为 45dB ，但是也无法进一步改善。在信号发生器的输出端接一个低通滤波器，减少了谐波成分，结果又有改善。最后把系统调整到不合理的 60dB 回波损耗 ($SWR = 1.002$)，这是普通桥电路使用二极管检波无法测量的。

这个功率表还可用来试验 RF 滤波器，见图 5-31。把信号发生器连接在滤波器的输入端，功率表连接在滤波器输出端。然后，可对滤波器调谐或扫频。可以临时用电线代替滤波器，评价滤波器的插入损耗。功率表和信号发生器的阻抗都是 50Ω 。如果滤波器不是 50Ω 的，要使用匹配电路。

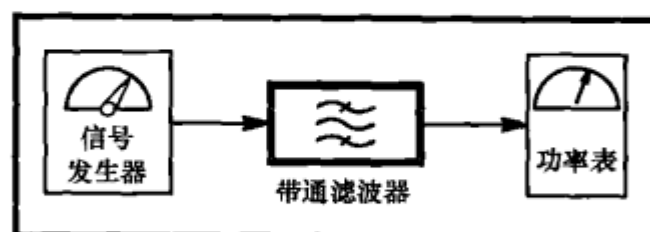


图 5-31 使用功率表测量滤波器

图 5-32 介绍的是使用功率表和信号发生器研究放大电路。信号发生器使用了分级衰减器，以便在 50Ω 环境下衰减功率。一般情况下，对于典型的电路， -30dBm 的驱动幅度就够低了。首先将电路直接连接起来，如虚线所示。然后插入放大器，测量输出功率。两次结果的差 (dBm) 就是增益 (dB)，有趣的是可以测到放大器的反增益。交叉放大器的连线，把信号发生器连接到输出，把功率表接到输入，测得的增益就是负的百分倍数。

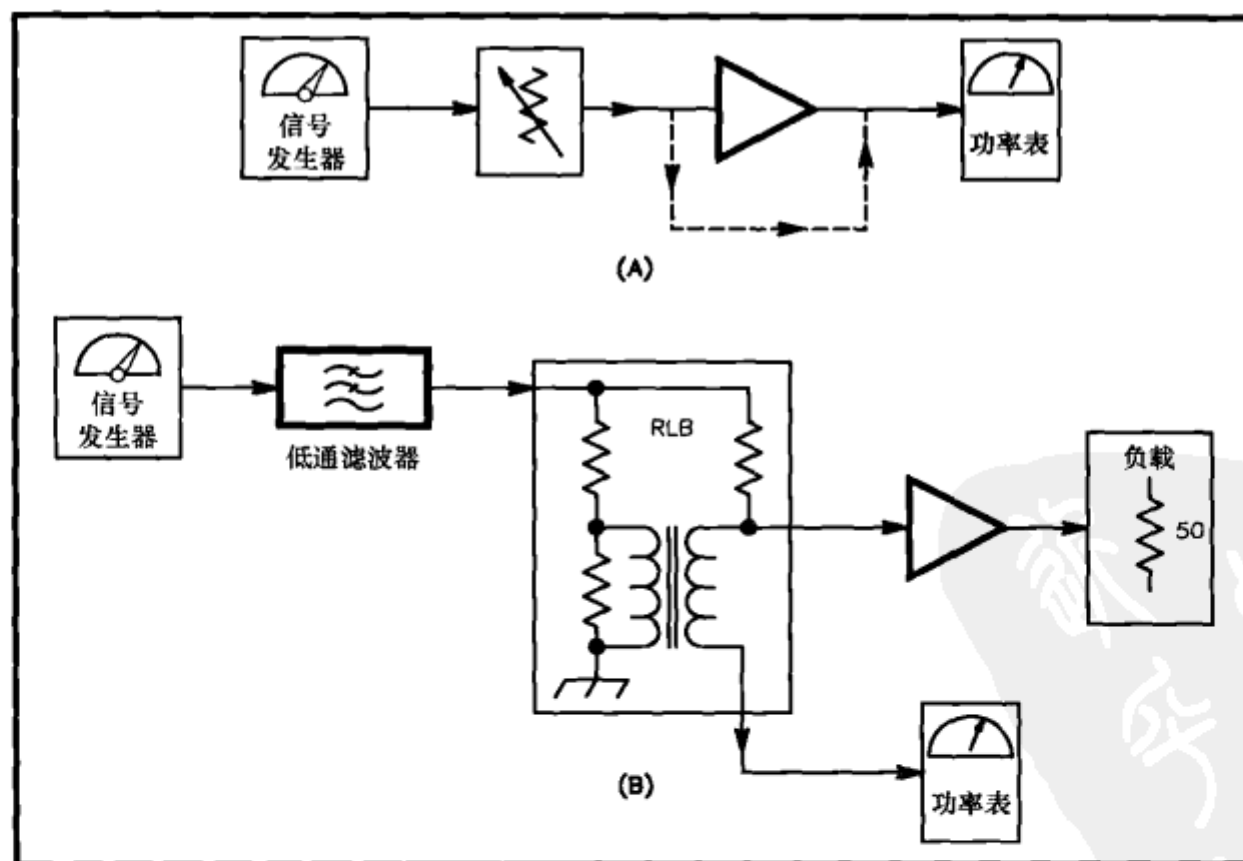


图 5-32 使用功率表测量放大器。图 A 是测量增益；图 B 介绍的是输入阻抗匹配。将放大器反过来可测量反向增益和输出阻抗匹配。

图 5-32B 介绍的也是研究放大电路的例子，采用回波损耗桥测量输入阻抗匹配。尽管简单的桥电路无法提供实际的输入阻抗，但是可以显示还差多少接近完美匹配。图 5-32 方法提供的数据与标量网络分析仪提供的一样。

这个功率表可用作简单仪器的检波器。图 5-33 介绍的是一个简单的 RF 采样探头，用于检查电路。探头是一个小电感连接在一段电缆（RG-58，RG-174）的尾端。电缆外部靠紧线圈的部位套上几只磁珠。探头靠近正在工作的电路就可以检测 RF 信号。耦合线圈的直径越小，空间分辨率就越高。这个电路可以帮助看出放大器的自激振荡，不用推测“电路可能有自激”了。

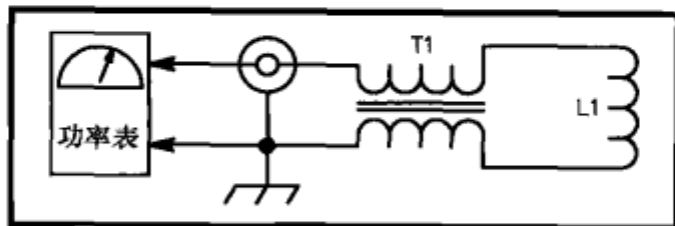


图 5-33 RF 采样探头，可检测相对 RF 电平。这个探头可以检测出放大器的自激振荡，或者收信机和收发信机的等幅响应。
L1—绝缘皮导线绕两匝，在直径 1/4 英寸的胎具上绕制。
T1—套在同轴电缆上的小磁珠，见正文。

这个功率表还可以和其他探针一起使用。简单的探针就是一根简易天线，用来测量场强。另外一种是指振指示探针，类似传统的陷波表，但是精确度和灵敏度有了很大的改善。

图 5-34 介绍的是把功率表作为基本仪器。信号发生器作为混频器的本振，例如常见的二极管环混，混频器后面是放大器、衰减器和带通滤波器。功率表测量滤波器输出。这是收信机的常规检测。

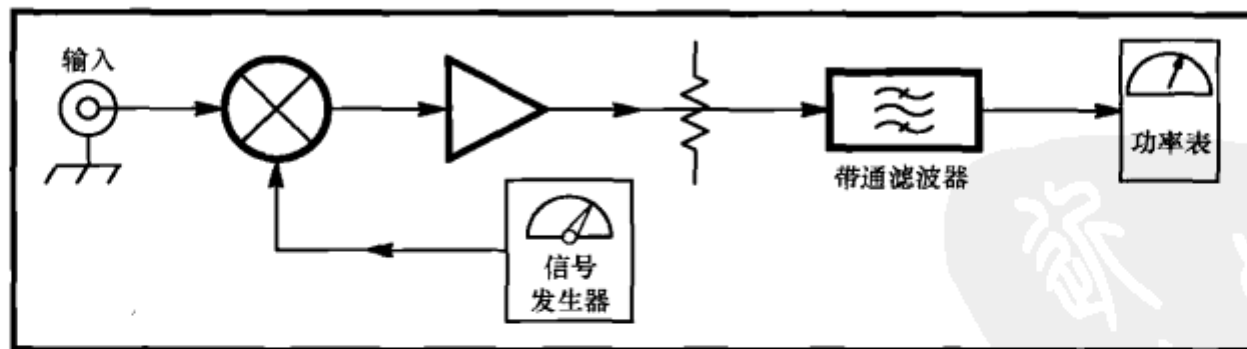
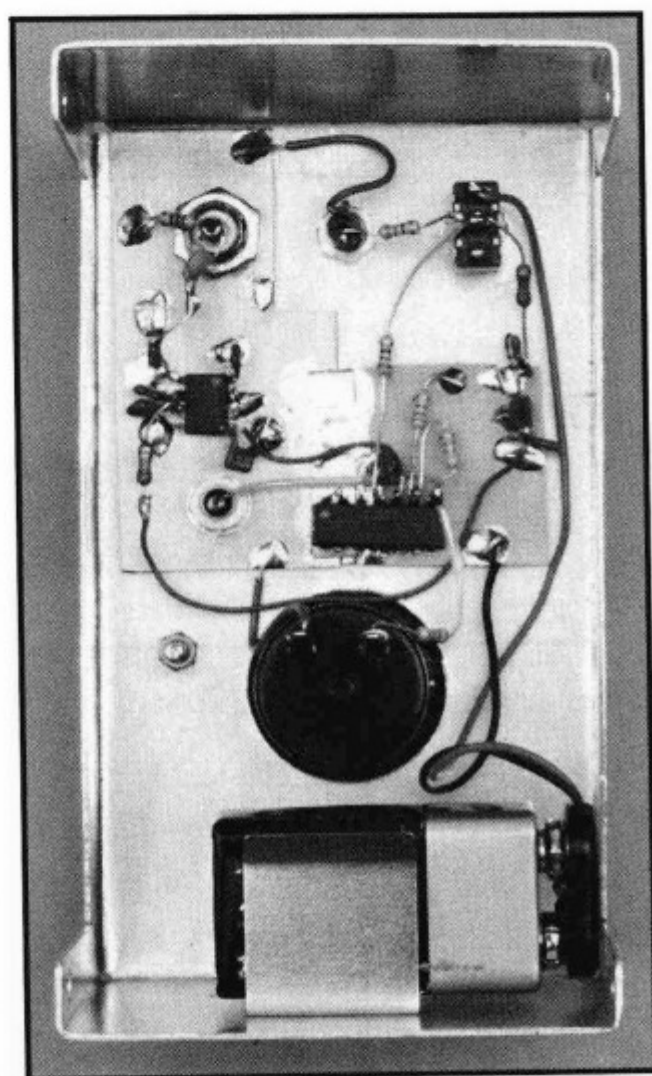


图 5-34 给信号发生器和功率表增加几个元件组成测试用收信机。
滤波器的种类决定了测试的类别，详见正文。

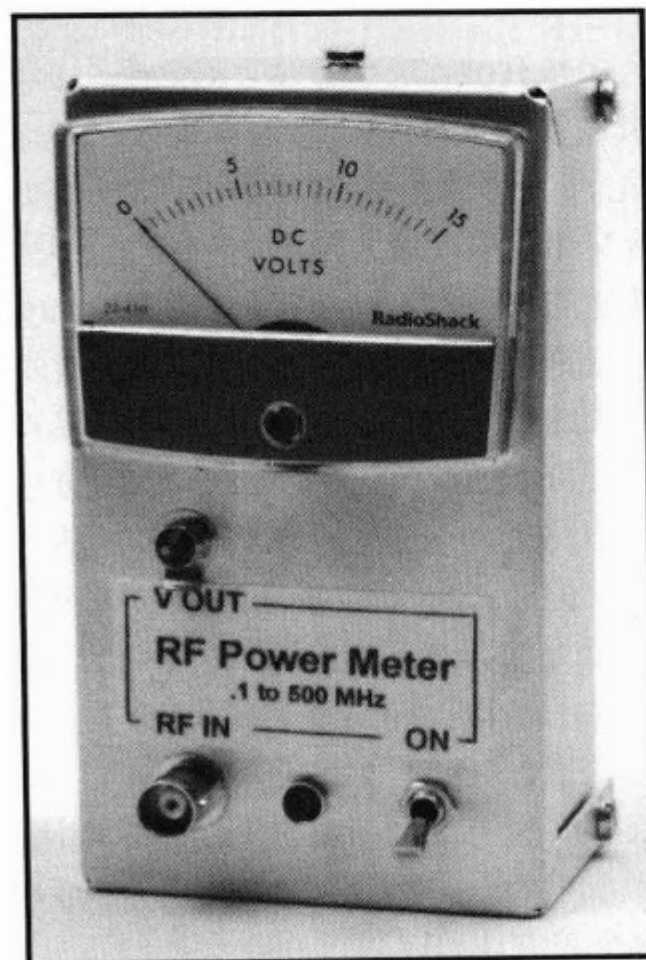
笔者做了 2 种这样的电路。第一个使用了 3 个 LC 带通滤波器，调谐在 110MHz，信号发生器的频率可在 50 ~ 250MHz 调节。Mini-Circuits 生产的 MAV-11 当做放大器。这样搭起

来的收音机可用来测量最高到 360MHz 的整个频谱的信号，分辨率足够检查发射机的假信号响应。

第二个测量用收音机采用了自制的 5MHz 晶体滤波器，带宽为 250Hz。信号发生器是自制的，频率调节分辨率很高。整个收音机用于测量 SSB 发射载波及边带抑制、IMD，还可检测实验型频率合成器的假信号输出。



功率表内部照片。采用“死昆虫”方法。



这个版本的功率表采用了 RadioShack 的机壳。

结论

在传统观念里，功率表是用来测量输出功率的，但实际上功率表的用途远不止这一个。采用 AD8307 的功率表可以使普通的业余无线电工作间变成初级 RF 测量实验室。

感谢 AD 公司西北实验室的巴利·吉尔伯特提供的 AD8307 样片。

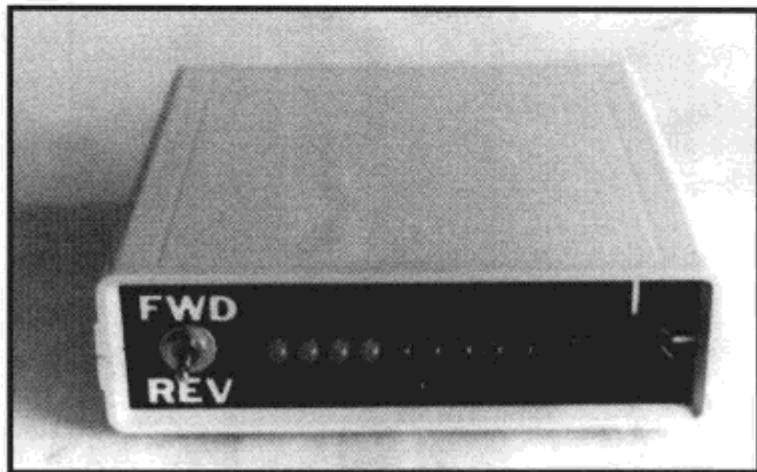
5.7 简易 LED 显示驻波 / 功率表

大多数驻波 / 功率表显示的是平均功率，使用的机械表头无法对很短时间内发生的功率波动做出反应。例如：当对话筒说话时，输出功率随话音变化跳动。最大输出功率发生在瞬间幅波峰，普通的驻波 / 功率表是看不到的。如果想了解发射机的真实输出情况，需要使用峰值读数表。

这里介绍的 LED 显示可以取代模拟式的表头，显示峰值。如果把 LED 显示直接连接在表头电路上与表头同时使用，其精确性会受到影响。但是，如果模拟式的驻波 / 功率表有 FWD/REF (正向 / 反向功率) 开关，可以实现组合显示方法。可以让模拟表头显示平均反向功率，而 LED 显示峰值正向功率，或者让模拟表头显示平均正向功率，而 LED 显示峰值反向功率。这样这两种显示就不会相互影响了。

笔者把 LED 显示用在了 Drake L-4B 型线性放大器上。这个放大器的表头通过开关可测量栅流，阳极电压或者驻波 / 功率。笔者就是用表头看栅流，用能够读取峰值数据的 LED 显示驻波 / 功率。

这个表在 100W 或 1 000W 都能很好地工作，最低 15W，而且成本也很低，不到 20 美元。



安装

电路图见图 5-35。电路的核心 U1 是点 / 划显示驱动芯片 LM3914。笔者把 U1、C1、R3 安装在 RadioShack 的万能板上，其他部件安装在面板边或面板上。10 只 LED 在面板上安装成一排。从左到右的顺序是：前 4 只是绿的，后 5 只是黄的，最后 1 只是红的。如果安装无误，LED 应该按照从左到右的顺序点亮。如果用来测量反射功率，超过 4 只绿色 LED 的显示表明驻波大于 3:1。

笔者建议钻孔前要画线，或用一张纸作为模板，这样才能把孔钻在一条直线上。在这一排孔的下面还需要钻一个孔，安装电源指示 (DS1)。限流电阻装在边上。装入 LED 后，在 LED 的背面涂胶水或环氧树脂固定。

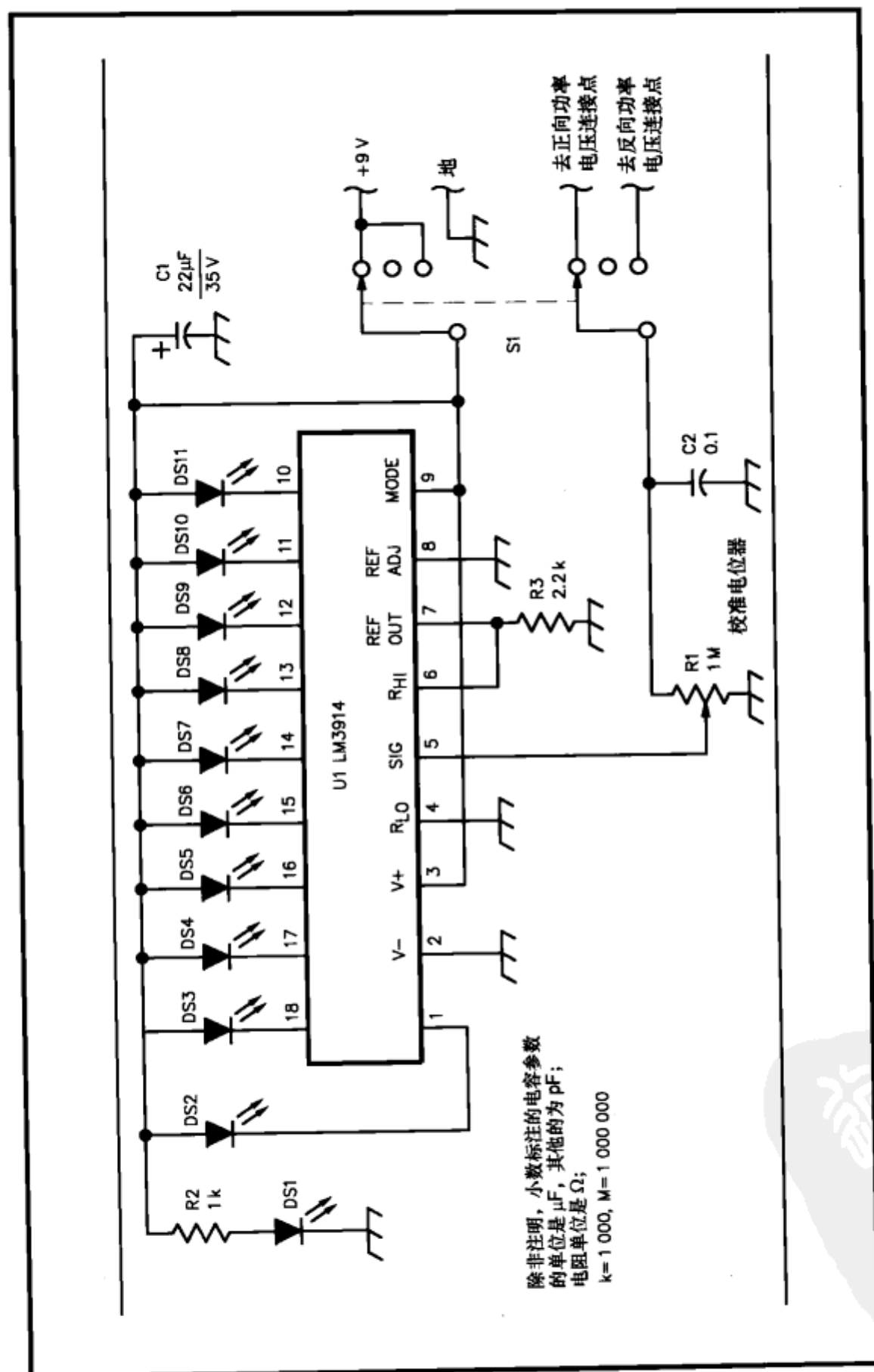


图 5-35 峰值显示 LED 驻波表电路图。除非注明, 电阻是误差为 5% 的碳复合电阻或碳膜电阻。

C1—22 μF /35V 电解电容

C2—0.1 μF 瓷片电容

DS1, DS11—红色 LED

DS2, DS3, DS4, DS5—绿色 LED

S1—双刀双掷开关

DS6, DS7, DS8, DS9, DS10—黄色 LED

R1—1M Ω 电位器

R2—1k Ω

R3—2.2k Ω

U1—LM3914

校准电位器 (R1)、正向 / 反向功率开关 (S1) 要固定在面板上。S1 是双刀双掷开关，中间位置为断开，这个开关除了切换正向 / 反向功率以外，还兼做电源开关。C2 就焊在 R1 上。

笔者把电路板安放在机壳的中央，但可以根据实际情况来定。电路板与 LED、开关、电位器、插座之间的连线要求不严。

与驻波表的连接可以使用 1/8 英寸的立体声插座。9V 电源插座式音频用的莲花插座。

与驻波表的连接方法

打开模拟表头驻波表的外壳，找到里面的 2 只二极管。这 2 只二极管能够把从电缆采样来的 RF 信号变成表头可以使用的直流电压。找到这 2 只二极管后，仔细观察。每只二极管有一根线连接到 RF 旁路电容。与旁路电容连接的点就是引出正向、反向电压信号的点。

LED 显示和驻波表之间的连接建议使用屏蔽电缆。笔者采用的是两芯电缆，一头接了 1/8 英寸的立体声插头，另一头焊到正向、反向电压信号引出点，屏蔽网与外壳或电路的地连接。

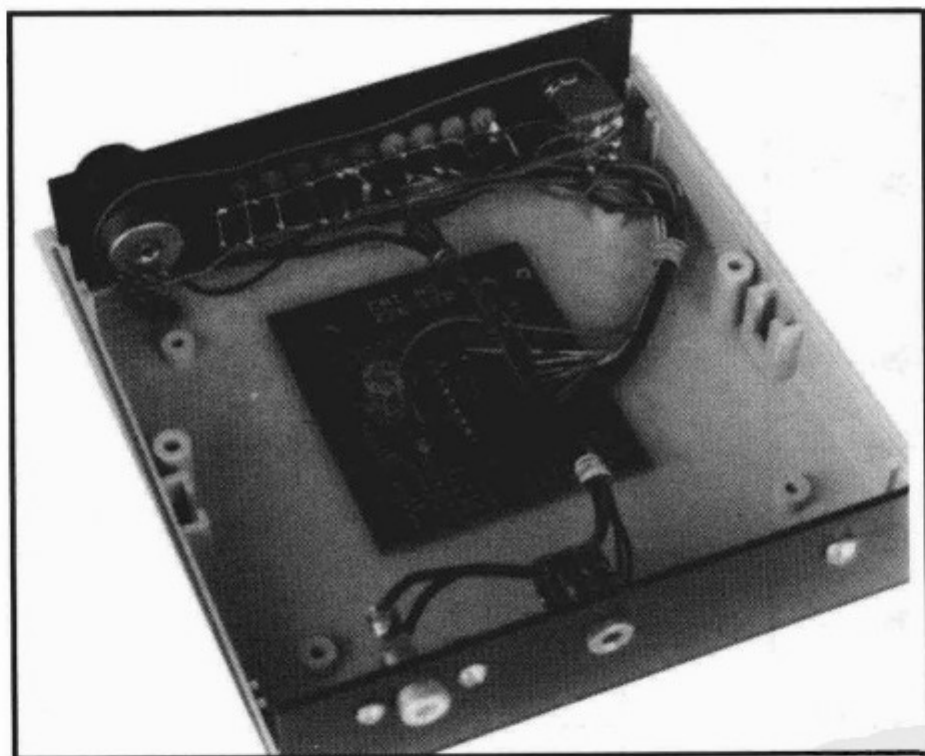


图 5-36 LED 显示器内部

校准与使用

校准过程不难。把模拟驻波表与 LED 显示连接好之后，先关掉 LED 的电源 (S1 置于中心位置)。把发射机模式置于 CW、TUNE 或任何可以输出最大连续输出的模式。在这个例子里是 100W。调整发射机的输出功率旋钮，使迷你表头指示 100W，现在把 LED 表的开关 S1 打到正向功率挡位，调节校准电位器 (R1)，直至最右边的 LED 点亮，这指示的是 100W。

把 S1 打到反向功率挡位，LED 显示的是反向功率。

如果模拟表显示 100W，而 LED 表只是闪烁，那就把 S1 打到相反的位置再试试。因为完全有可能把引出信号线接反，把正向功率错接到反向功率上了。

驻波的读取很快。在正向功率的挡位，调整发射机的发射功率，使显示到满度，然后把开关打到反向功率的挡位测量反向功率。4 个绿色 LED 点亮表示驻波为 3:1，三个表示 2:1，等等。

这个显示器不会主动校准。记住，每次改变了发射机的输出功率设置，都要重新校准。

电路的改进

这个 LED 显示器能改成同时显示正向功率和反向功率。可把 S1 省去，把两个电压信号引到 R1 上，这时要采用双联电位器。电路里需要两个驱动芯片、两排 LED。电路里还需要一个开关，在 LED 显示使用时，把模拟表完全断开。

笔者制作的 LED 驻波表把两排 LED 垂直排列（见图 5-37）。左边指示正向功率，除了最上边的 LED 是红色外，其余都是绿色的。右边的 LED 指示反向功率。头两个 LED 是绿色的，接着是两个黄色的，其余的是红色的。电源指示 LED 在中间。

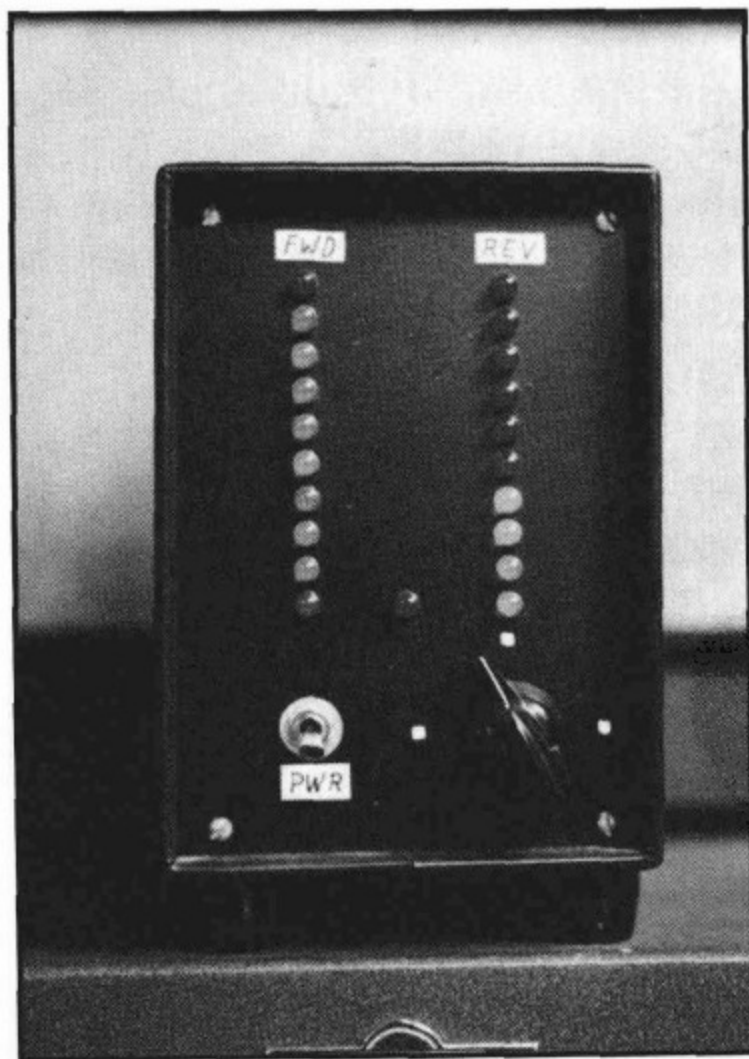


图 5-37 同时显示正向功率和反向功率的双 LED 显示器

5.8 NB6M QRP 自动键

这个 CW 自动键只要几个小时就可以做好，制作材料也都是随手能找到的。

需要准备的材料是几小块双面敷铜板、一小块单面敷铜板（做底座用，尺寸为 $1\frac{7}{16}$ 英寸 × 2 英寸）、2 个莲花插座、2 小段电线、4 只 4-40 铜螺帽、2 只 4-40×1/2 英寸的钢螺钉。另外还要一只 1 英寸长的 4-40 钢螺钉，用于固定调整螺钉以便焊接，焊好后这个就不用了。

底座也可以用双面敷铜板。莲花插座是选装的，因为可以直接把电线连接到键浆。笔者做的第一个电键就是这样的连接的。

制作方法

需要准备一把钢锯（只要锯条就够了）、锉刀、手电钻、钻头、小功率电烙铁和焊丝。加工键浆的压力调节孔需要一把铰刀或细圆锉。

按照图 5-38 和其他插图，先用敷铜板加工 5 个零件。应该先把莲花插座、键浆孔孔钻出来，再锯。先在敷铜板上划好零件的形状，把孔钻好后用锯把零件从敷铜板锯下来。然后用锉刀把零件的边修平整。

把 4-40 螺帽焊在调整螺钉支架上，这样支架孔就有螺纹了。当然，也可以在支架上攻丝，只需要锁紧螺帽。但是，这样不耐用，笔者建议在每个支架上焊上螺帽。

注意：键浆两面的敷铜有两处需要割开，可用锉刀或钢锯来刻。刻开敷铜的目的是做出点和划的接触点。键浆每面需要刻两处，需要刻的位置见图纸，这样皮肤带来的静电或其他杂散电流才不会引起错误操作。

键浆的压力调整孔需要扩大，以提供需要的弹簧张力。扩孔要在莲花插座和连接线装好之前进行。把键浆装好，装上调节螺钉，然后调节电键间隙，调到自己感到合适的位置。一般来说，先钻 1/8 英寸的孔。

键浆的安装

先把后框放在距底座边 1/4 英寸处，在靠外的接口处采用点焊定位。注意后框要与底座垂直。然后在另一面接口点焊。用烙铁对靠外的接口采用拖焊。

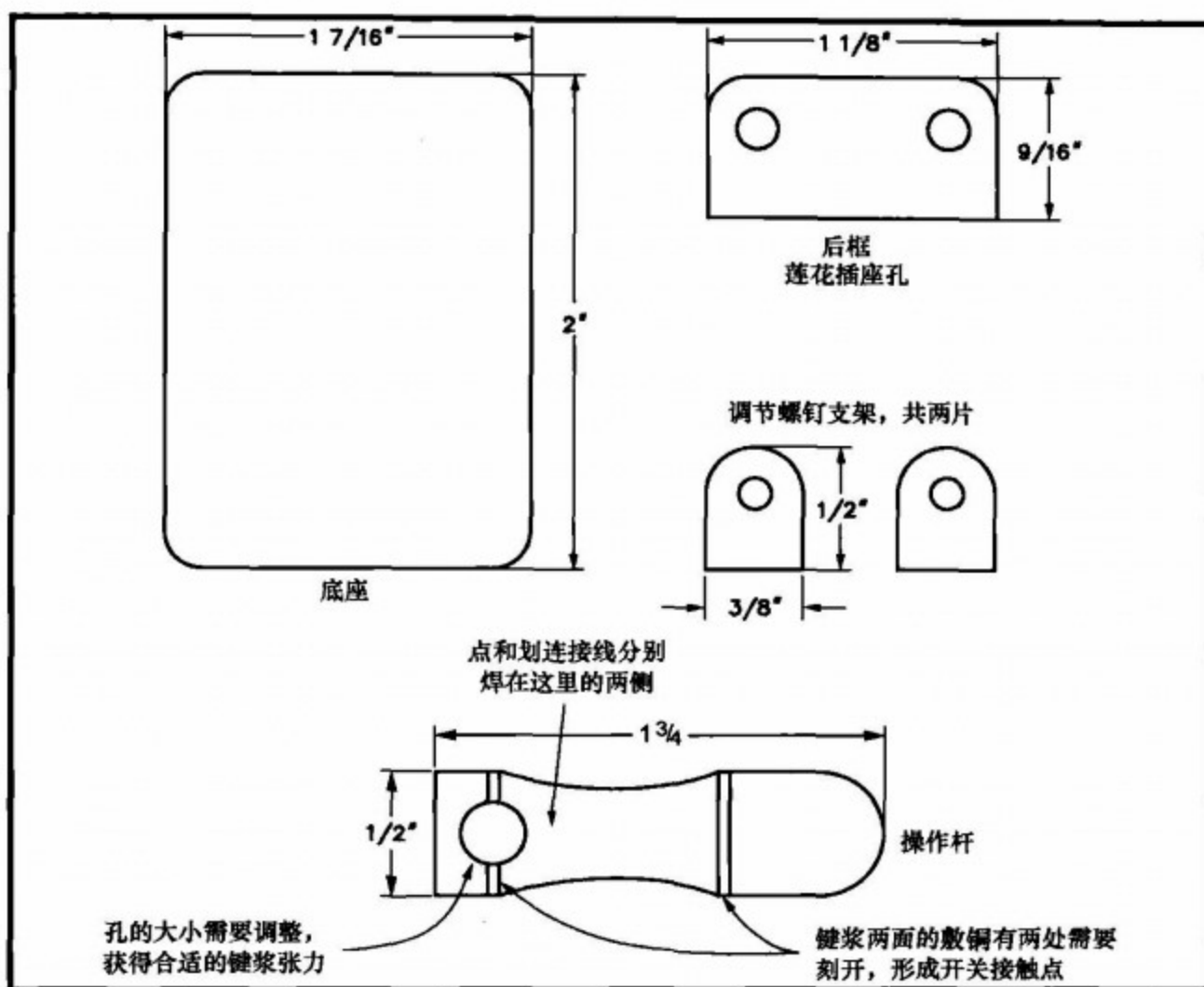


图 5-38 电键零件模板。可以复印下来，贴在敷铜板上，然后加工成型。

焊接 90°接口时，应该把要焊的部件架起来，使两个焊接面形成 V 字形，两侧与平面呈 45°，这样，焊锡熔化时，就会沿两个焊接面流动，形成结实、美观的焊缝。

在支架上焊上 4-40 螺帽。先把一个螺钉拧进螺帽，让螺钉穿过支架的孔，把支架放平，用烙铁对螺帽和旁边敷铜加热，让焊锡流进螺帽底部。焊好螺帽，等焊锡冷却后，把螺钉拧出来。用同样的方法把螺帽焊到另一个支架上。

把两个支架焊到底座上，螺帽朝内。定位的方法是先一根 1 英寸长的螺钉穿过这两个支架，两个螺帽之间的距离为 3/8 英寸，利用键浆定出支架距后框的距离。支架的前边缘应该与键浆的敷铜切口处基本平齐。键浆的另一端（带张力孔的那端）顶在后框上。支架焊好后，螺钉就可以取下了。



照片 1 电键顶视图和侧视图

支架的焊接方法同焊接后框，要先点焊定位，然后拖焊。

取出临时拧入支架的螺钉。把锁紧螺帽装到调节螺钉上，螺帽一直拧到螺钉头的位置，然后把螺钉拧入支架上的螺帽，两个螺钉之间要留有足够的间隙，便于装入键浆。

把键浆装在两个螺钉之间，后部顶在后框上。键浆底部离底座至少要有 1/16 英寸的距离。

用手指把支架调节螺钉拧紧，把键浆固定到位，然后把键浆后部焊到后框上，键浆与后框接触的两侧都要焊接。

把调节螺钉放松，把间隙调整到自己觉得合适的位置，把锁紧螺帽拧紧。

安装插座、连线前，要扩大一点键浆张力孔。边扩孔，边操作键浆。直至觉得张力合适。务必注意，孔可以不断地扩，但是，一旦扩过了就无法还原。

键浆张力调整好了，就可以把插座装上，连线焊在键浆相应的位置上了。连线要留有一定的长度，这样键浆才能运动自如。

连接

这个自动键与发射机连接需要三芯电缆（或者 2 根音频屏蔽线，一头接上 2 个莲花插头，另一头接一个立体声插头）。笔者采用了 2 根带莲花插头的屏蔽电缆，把一头的莲花插头剪掉，换上立体声插头。屏蔽网接插头的地焊片，2 根芯线分别连接在立体声插头的另外 2 个焊片上。

安装立体声插头之前，准备几段（3/16 英寸长）RG-58 或 RG-59 电缆外皮，用于把 2 根电缆套在一起，每隔 3 英寸套一段。

使用

笔者用一只手的手掌握住键体，另一只手的拇指和食指操作键浆。也可以用一只手的中指压在键浆与后框的结合处，把电键压在桌子上，中指见压在支架调节螺钉处，用另一只手的拇指和食指操作键浆。

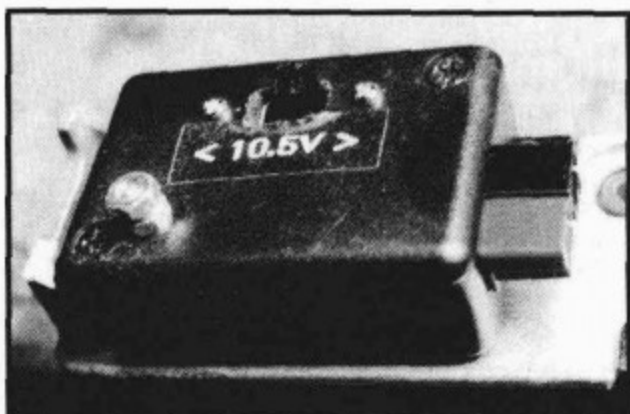


5.9 FT-817 电台稳电器

Yaesu FT-817 是小型全模式的电台、工作频率是 $1.8 \sim 450\text{MHz}$ (除 222MHz)，非常适合旅行、度假、背负使用。

笔者最担心的是该机没有电源保险和防电源接反保护。此外，有报告说，一些开关电源第一次接通时，瞬间电压高达 18V 。因为 FT-817 断开电源时末级并没有断开，超过 15V 的瞬时电压会损伤机器。

笔者的目标是对输入电压整形稳压，使之不会损伤电台，此外改进 $4\text{mm} \times 1.7\text{mm}$ 的电源连接头。



FT-817 电源电路的特点

FT-817 的电流在给定的输出功率下，在整个工作电压范围内，电流是一样的。这就是说，输出 5W ，FT-817 的电流为 1.9A ，无论电压是 9.6V 还是 13.8V 。所以电压高时，电台内部就要有更大的功率耗散 (9.6V 和 13.8V 相差 8W)。

了解到这个情况，笔者决定把外接电源限制到 9.6V 。此外，还想增加高频、低频滤波、电源极性接反保护、 15V 过压保护、电源保险。

电路设计

图 5-39 是稳压电源电路图。电路的核心是 STM LD1085V 低压差稳压器。这种稳压器是 TO-220 封装，输出电流 3A 。在满 3A 电流时，该器件只需要输入/输出有 1.2V 的电压差，因此可以使用 12V 的外接电源。FT-817 输出 5W 时电流为 2A ，这时的压降接近 1V 。调整稳压器的各电阻参数，还可以调整输出电压。实际上可以用 $1\text{k}\Omega$ 电位器代替电路里的两个电阻。电位器的中心头接稳压器的电压调整脚。

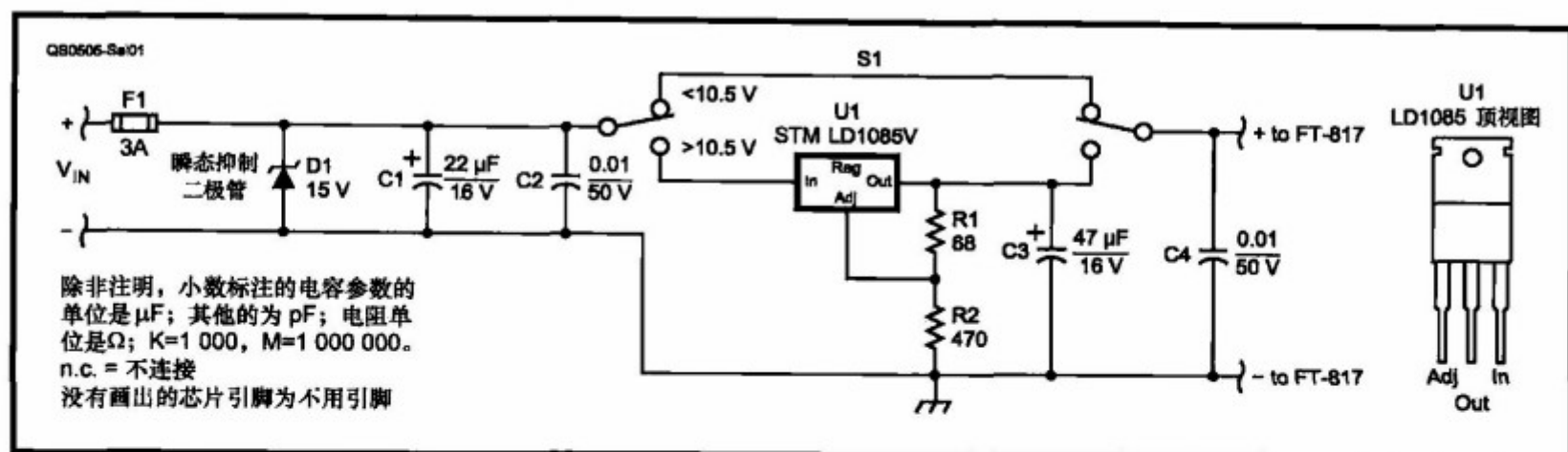


图 5-39 稳压器电路图, 采用了一片 STM LD1085

过压保护、电源极性接反保护是一只 15V/600W 瞬态抑制二极管实现的。除了起到过压保护作用之外, 这个二极管的接法看上去像在反向电压状态下正向偏置的二极管。电源接反会烧断保险。保险是小型引线保险, 焊在电路上。笔者还增加了一个短路开关, 当使用低于 10.5V 的外接电源时 (例如 9.6V 镍氢电 R/C 池), 或者使用电压高一些电源 (13.8V) 给内部镍氢电池充电时, 可以利用这个开关旁路稳压器。

机械部分的设计

笔者在前面提到过想改动 $4\text{mm} \times 1.7\text{mm}$ 的电源连接插头。另外, 也想把电路装进合适的小盒子里。笔者找到了一个大小合适的塑料盒, 正好放在 FT-817 的背后。

如图 5-40 所示, 在塑料盒底部钻两个孔。大一点的孔 ($5/16$ 英寸) 可套在 FT-817 的接

元件表

数	量	品 名
1		STM 稳压器
1		3A 保险
1		15V/600W 瞬态抑制二极管
1		47 μF /16V 电解电容
1		22 μF /16V 电解电容
2		0.01 μF /50V 电容
1		4 × 1.7mm 直流插头
1		1/4W 470 Ω 电阻
1		1/4W 68 Ω 电阻
1		1.97 × 1.38 × 0.67 外壳
1		双刀双掷滑动开关
1		TO-220 云母片套装
1		散热硅脂
1		Anderson 电源接头

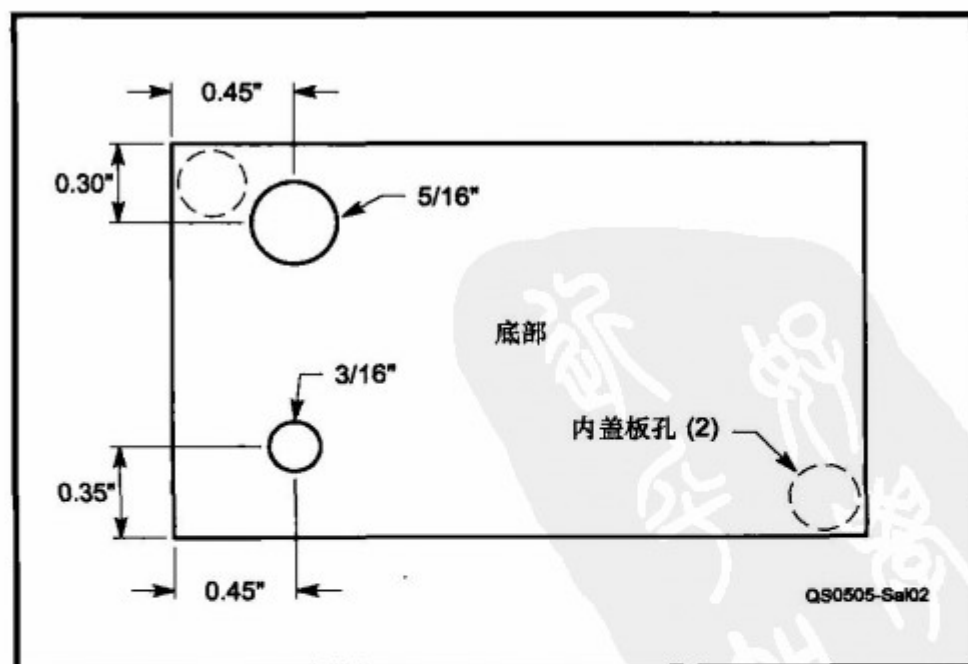


图 5-40 开孔尺寸

地接线柱上。小一点的孔 (3/16 英寸) 应该正好和 4mm × 1.7mm 的电源连接插头的螺纹轴是紧配合。这个孔可能需要修整一下才行。取下塑料套管, 把插头拧进 3/16 英寸的孔里, 要尽量直。把这个带插头的塑料盒总成插到 FT-817 的电源插口上。调整插头的长度(在塑料盒里拧进、拧出), 直至合适。长度确定后, 把 4mm × 1.7mm 的电源连接插头用环氧树脂和塑料盒粘牢。

把滑动开关、电源线接头装到塑料盒上。塑料盒很软, 用美工刀就可以开孔。开孔的位置见图 5-41。图 5-42 是电源接线开孔的位置。



4mm × 1.7mm 电源头用环氧树脂固定在壳子上

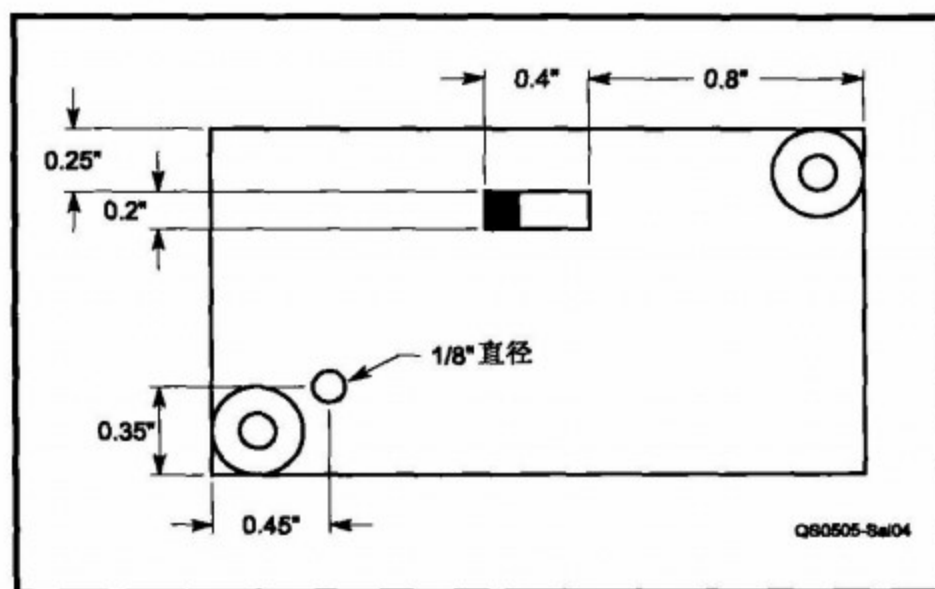


图 5-41 开关孔与固定孔

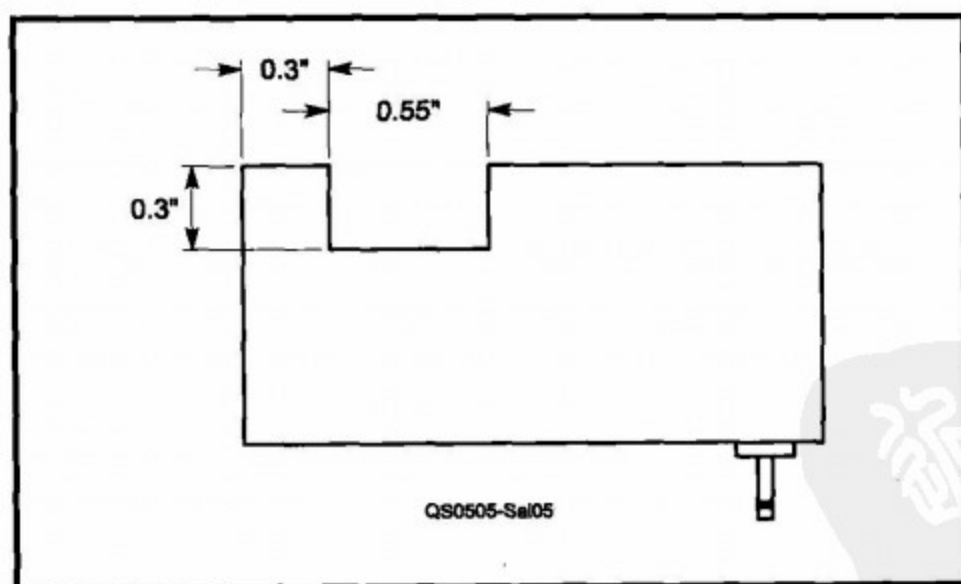


图 5-42 电源接头开孔

内部连接与总装

先测量好稳压器散热片的高度。用电线把元件连接起来。其中一只 0.01μF 的电容式直

接焊在 $4\text{mm} \times 1.7\text{mm}$ 的电源连接端子上的。笔者发现，这样的话，在使用外接电源、配用外接 440MHz 鞭状天线时就无需外接磁珠了。主要元件的安装位置见图 5-43。

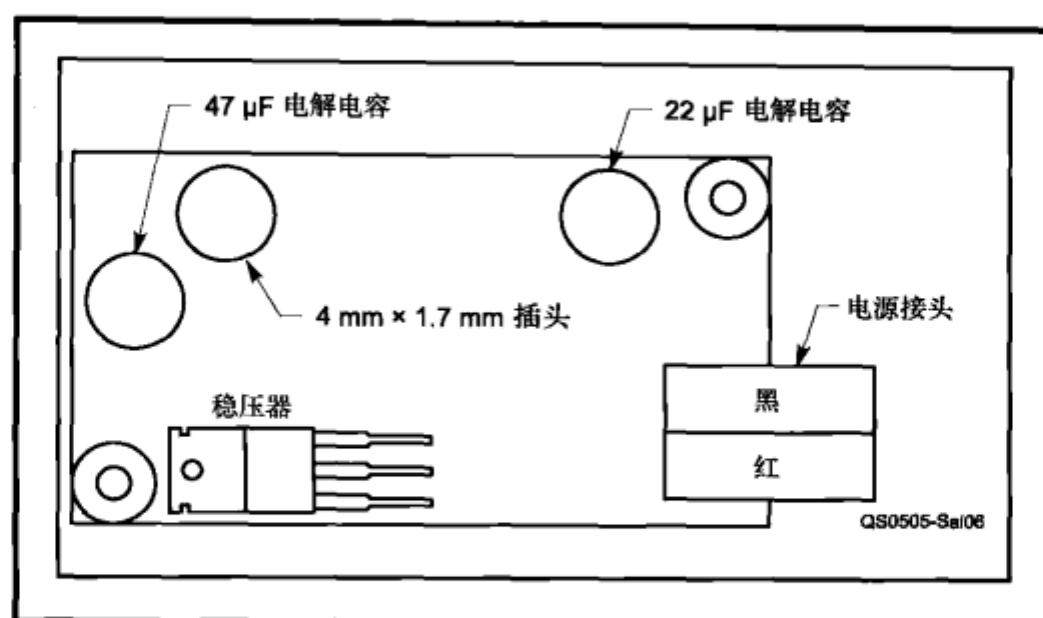


图 5-43 顶视图。可以看到主要元件的位置。

图 5-44、图 5-45 介绍了稳压电路与 FT-817 安装在一起的方法。稳压器的散热片必须与接地接线柱绝缘，所以要采用 TO-220 云母片和绝缘垫，还要使用散热硅脂，见图 5-44。装好后务必用欧姆表检查。注意：笔者采用了一个去掉头的 $3\text{mm} \times 25\text{mm}$ 螺钉固定稳压器。这个螺钉把整个总成固定到 FT-817 的底板上。此外，还长出足够的长度，可以装上另一个螺帽和弹簧垫圈，可供接地使用。

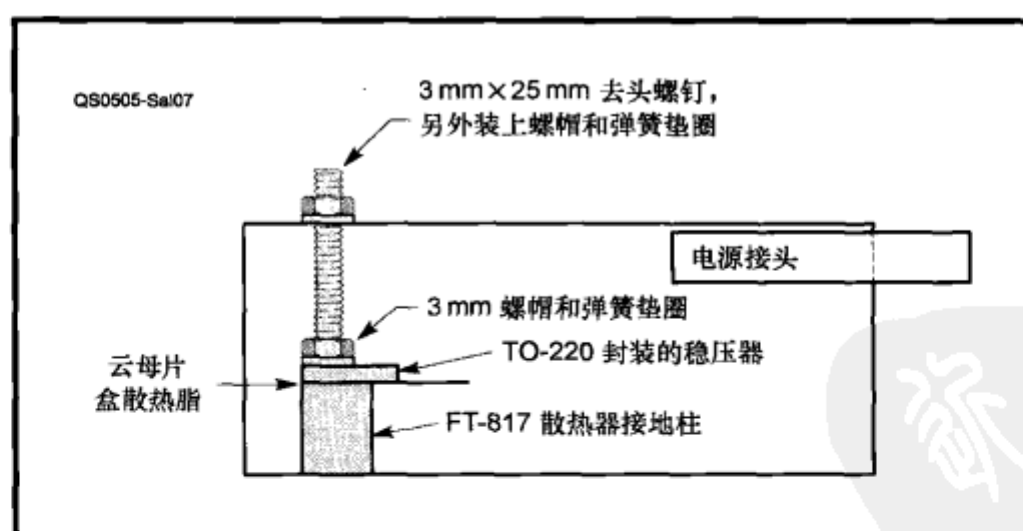


图 5-44 侧视图。稳压器的固定方法。

稳压器直接固定到 FT-817 的散热器上，在电压高的情况下，原来功率在内部耗散，现在直接耗散在散热器上了。安装在 FT-817 背面的电源总成见图 5-46。标签采用的是 Casio 的标签纸。

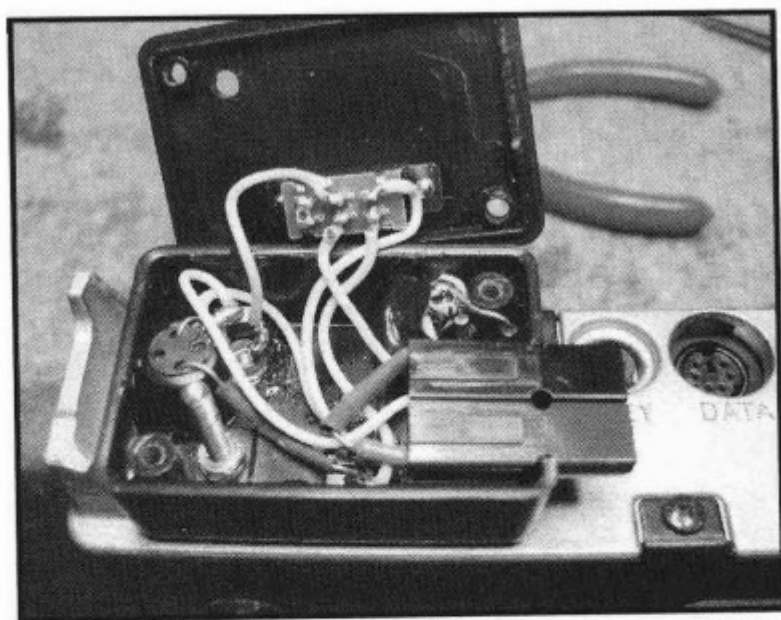


图 5-45 内部接线和元件的位置

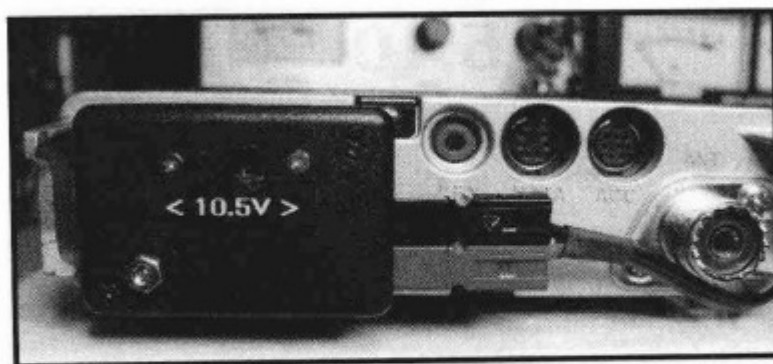


图 5-46 装好的稳压器安装在笔者的 FT-817 的背部

使用

把直流电源接线接到稳压器的电源接线。如果输入电压低于 10.5V，把开关拨到“< 10.5V”位置，旁路稳压器。使用 FT-817 内部充电器给内部电池充电时也要把开关拨到这个位置（充电需要 13.8V 才有足够的充电电流）。如果输入电压大于 10.5V，把开关拨到“> 10.5V”的位置。在两种情况下，过压保护、电源极性接反保护、电源保险都能起到保护作用。

记住，FT-817 在输入电压低于 11V 时会自动把输出调整到 2.5W。但是，可以通过菜单设置把功率调整到 5W。值得注意的是，当使用外接电源时，在稳压器接入的情况下，仍在使用内部电池，除非电池的电压低于稳压器输出的 9.6V。使用电池外出之前，不要忘记充电。

结语

笔者介绍了可以直接卡在 FT-817 背部的稳压器总成。这个电路总成体积小、具有过压、电源极性接反保护、电源保险功能。改善了电源电压超过 10.5V 时的功率耗散条件。此外，电源接线头采用了标准的 Anderson 电源接头。

5.10 FT-817 电台小型充电器

笔者非常喜欢使用小功率 Yaesu FT-817 电台，这个机器适合携带外出使用。使用内部镍氢电池，输出 5W 的情况下，可以工作数小时，但是使用 FT-817 内部充电器，充电时间却要 20 小时。W4RT 的单插头电源 (OPP) 提供 1 800mA 时的镍氢电池组和 FT-817 的电池盖，并配有 2.1mm × 5.5mm 的充电插座。只要有外接快速充电器就可以直接给电池充电，而且不必把电池拆出来。如果有个外接快速充电器就可以解决问题了。

电路设计

这个小型充电器采用美信 MAX712/713 快速充电控制器芯片。MAX712 或 MAX713 都可以用于镍氢电池。这种芯片可以给不同类型（镍镉或镍氢电池）、不同电压的电池组快速充电。笔者主要是想给 FT-817 的 9.6V 镍氢电池组充电，所以电路很简单。

图 5-47 是充电器完工的照片。快速充电电流是 600mA，给用尽的电池组充电需要 3 ~ 4 小时，而且设计成 4.4 小时充电结束。这个控制器可以检测到电池充满，并转换成涓流充电。绿色的 LED 是电源指示。快速充电时，红色的 LED 点亮，涓流充电模式时熄灭。

整个充电器装在一个塑料盒子里，盖子是金属的。元件装在万能板上。TIP32 晶体管必须装在金属盒盖上，便于在大电流快速充电时散热。笔者采用了 2.1mm 的直流插座作为 13.8V 输入口。用一段接有 2.1mm 的直流插头的电缆作为输出，能够插在 W4RT 的单插头电源的插座里。从图 5-48 可以看出，万能板元件面朝下安装。完整的电路图和元件表见图 5-49。这个充电器也可用于其他品牌的电池组。

结语

这个小型的 FT-817 内部电池快速充电器几个小时就装完了，成本还不到 20 美元。携带 FT-817 外出时带上这个充电器，不仅体积小，而且重量轻。

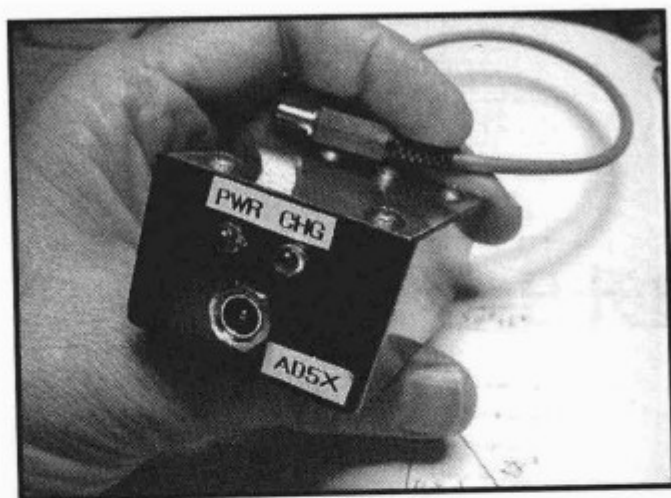


图 5-47 装好的充电器。注意电源输入、输出指示 LED。充电指示 LED 在转入涓流充电模式时熄灭。

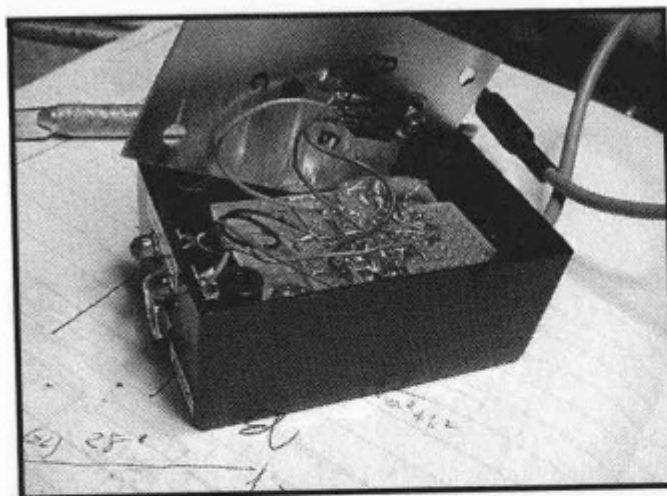


图 5-48 充电器内部。晶体管 Q1 必须有散热措施。这个管子用螺钉固定在金属盖子上。

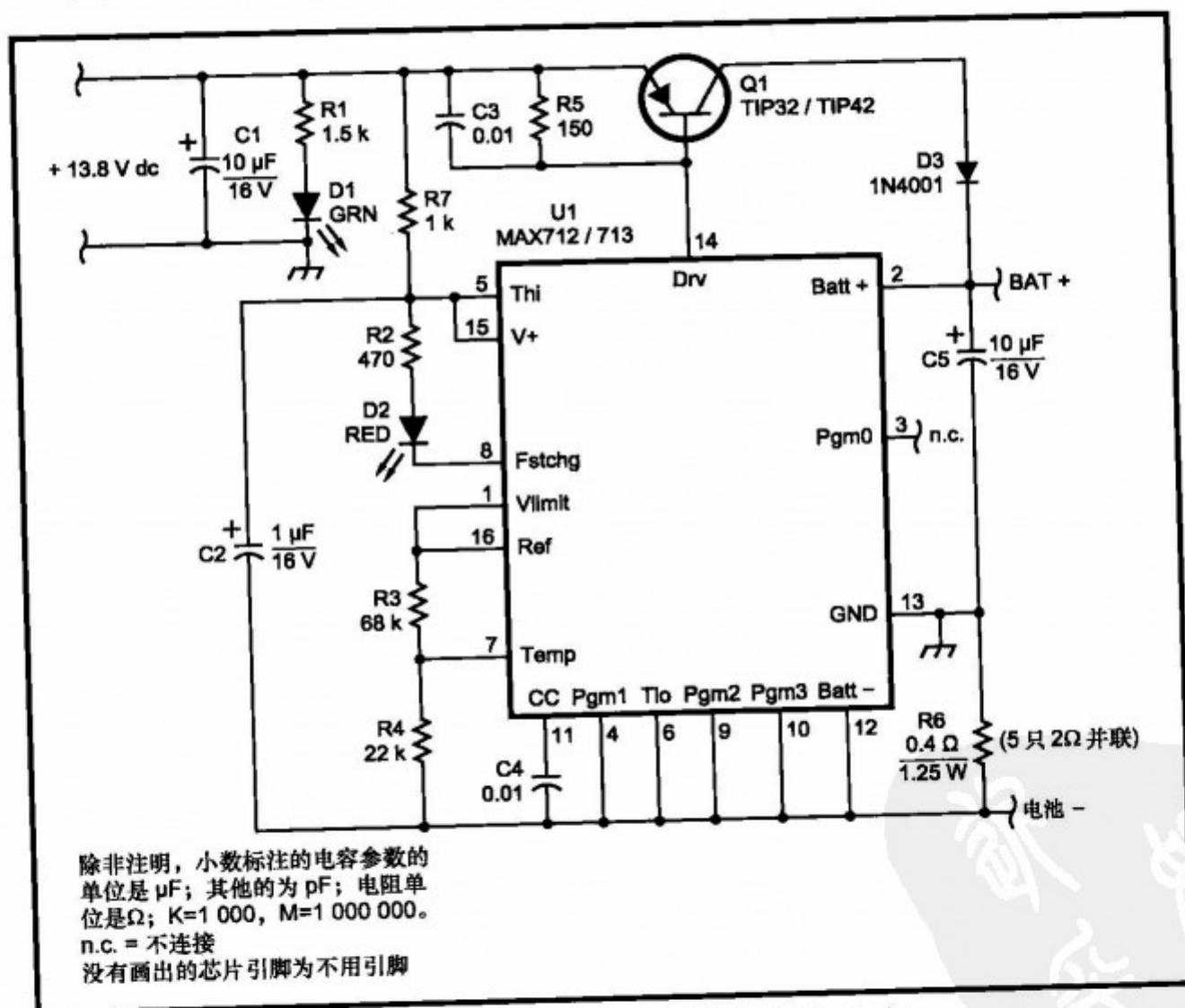


图 5-49 完整的 FT-817 充电器电路图和元件表

C1, C5— $10\mu\text{F}/16\text{V}$ 电解电容
C2— $1\mu\text{F}/16\text{V}$ 电解电容
C3, C4— $0.05\mu\text{F}/16\text{V}$
D1—LED, 绿色
D2—LED, 红色

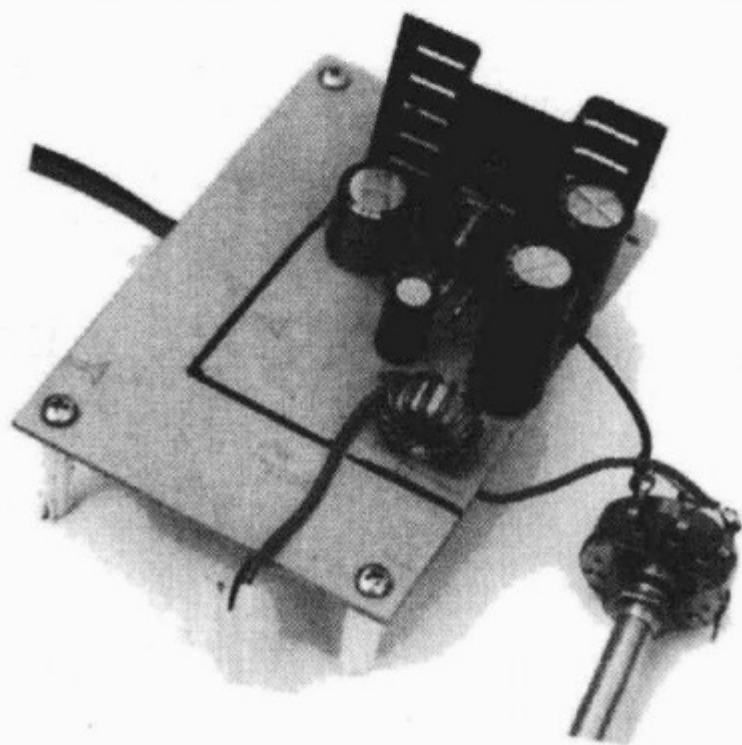
D3—1N4001
R1— $1/4\text{W } 1.5\text{k}\Omega$
R2— $1/4\text{W } 470\Omega$
R3— $1/4\text{W } 68\text{k}\Omega$
R4— $1/4\text{W } 22\text{k}\Omega$

R5— $1/4\text{W } 150\Omega$
R6— $1.25\text{W } 0.4\Omega$ (5 只 $1/4\text{W } 2\Omega$ 并联)
U1—MAX712/713
其他零件：带有金属盖的塑料外壳、万能板、电源接头

5.11 多用途升压器

是否想过让 QRP 电台使用 4 节镍镉电池而不是笨重的 12V 电池？喜欢划船的火腿，是否想过利用船上的系统，在不使用发动机的情况下能够有 13.5V 给笔记本或手持机电池充电？是否需要 24V 来驱动火腿节买到的继电器？是否想用 6V 电池得到 12V？使用本文介绍的升压器就可以办到这一切。

这个升压器可以把输入电压升高，使用灵活、效率高、制作容易。DC-DC 转换器通常用于特殊的输出电压场合，而且输出电流有一定的限制。这个升压器却不同。输出电压可调（最高 65V），输出负载电流可从低于 20mA 到 3A 以上。



为什么使用开关式稳压器？

开关式稳压器在电子业正在掌握主导地位，根据预测，销量也将猛增，因为开关稳压器的优点比线性稳压器多。首先，效率高。如果用线性稳压器从汽车 12V 电池获得 0.5A 5V 电源（例如使用 7805），7805 会很烫，因为耗散功率达 3.5W，效率还不到 42%，另外的 52% 作为热量损耗了。开关稳压器效率往往达到 80% ~ 90%。此外，开关稳压器能够办到线性稳压器办不到的事情，例如：把 4 节镍镉电池组 5V 输出升到 12V。

开关稳压器也不是完美的，这种稳压器噪声比线性稳压器大，但是只要设计合理，噪声也可以减小到最低限度。

电路

图 5-50 是升压器电路图，题图是升压器原型。芯片工作在开关状态。4 脚与内部开关连接。这是一个高速场效应管，开关速度大约 100kHz。当开关接通时，电流通过开关盒电感建

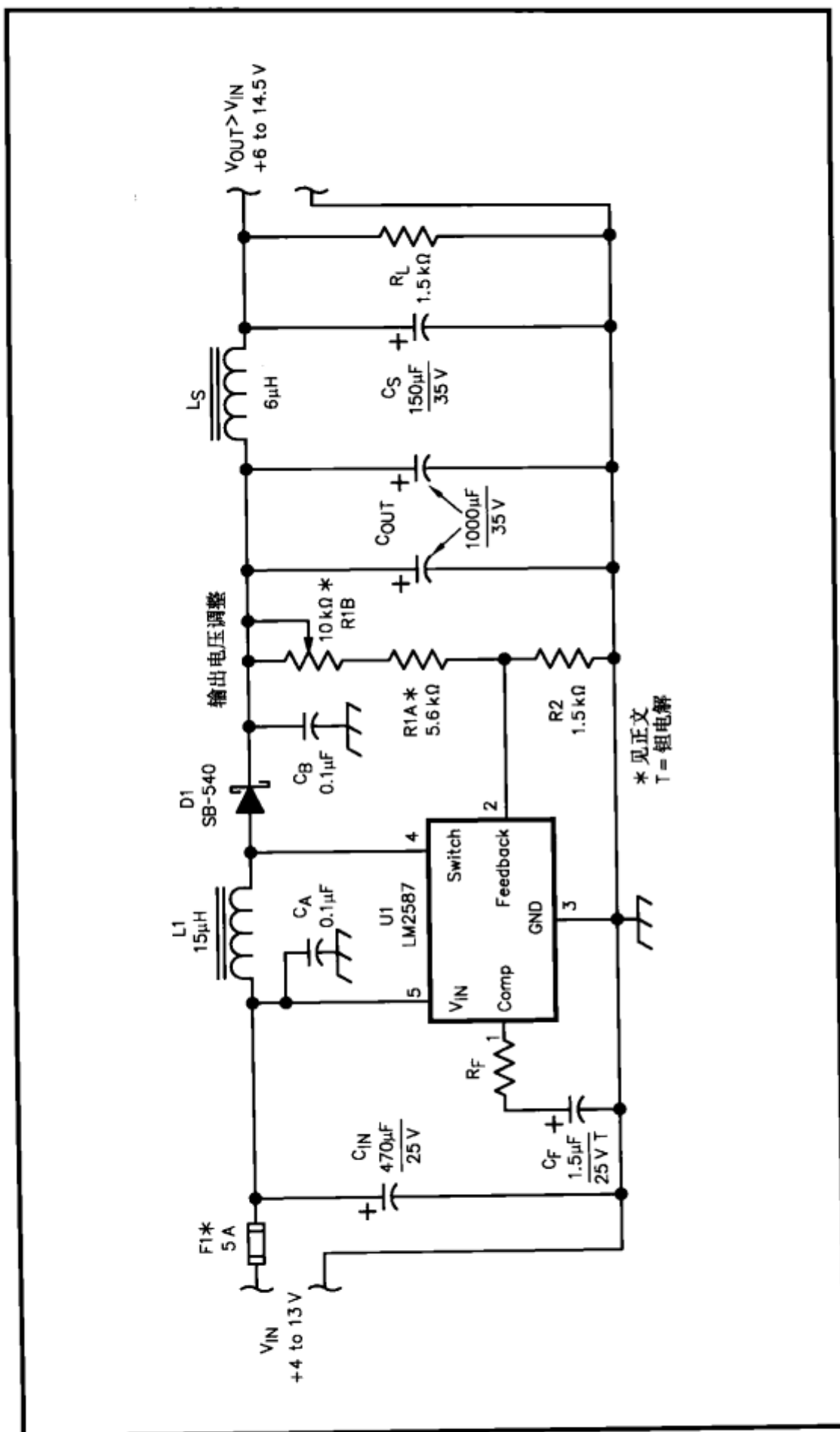


图 5-50 升压器电路图。除非注明，电阻是误差为 1/4W 误差 5% 的碳复合电阻或碳膜电阻。选用低 ESR 电容。

C_S —150μF/35V 电解电容。松下 ECA-1VQ151

或者 Nichicon UPL1V151MPH

$D1$ —5A 肖特基二极管 SB-540 $F1$ —5A 快速保险管

$L1$ —15μH，在 T-68-52A 磁环上用 10 号线绕 17 匝

L_S —6μH，在 T-50-18B 磁环上用 10 号线绕 14 匝。 $R1B$ —10kΩ 微调电阻

R_F —2kΩ

$U1$ —LM2587，美国国家半导体公司生产的 5 A 快速开关稳压芯片

C_A , C_B —0.1μF/35V 独石电容

C_F —1.5μF/25V 钽电容

C_{IN} —470μF/25V 电解电容。松下 ECA-1EFQ471

或者 Nichicon UPL1E471MPH

C_{OUT} —2 只 1 200μF/35V 或 1 000μF/35V 电解

电容并联。松下 ECA-1VFQ122 或者 Nichicon

UPL1V102MHH

立。管关断时，电感两端的电压升高到高于输入电压（当连接断开时，电感会产生反电动势维持电流流动），迫使电流流过二极管 D1，到达电容 C_{OUT} 。电能从电感传递到电容，但是电压高于输入电压。

输出电压由开关的导通时间控制： $V_{OUT} = V_{IN} \times [T \div (T - T_{ON})]$ 。 T 是一个循环的时间（对于 100kHz 的开关来说是 0.00 001s）， T_{ON} 是导通时间。 T_{ON} 由内部误差信号放大器和 R1、R2 组成的反馈环路决定。只要输入电压低于输出电压，电路的输出电压是以 $V_{OUT} = 1.23 \times (R1 + R2) \div R2$ 调整的。用 10k Ω 电位器串联一只 5.6k Ω 电阻代替 R1，输出电压可在 6 ~ 14.5V 范围内调节。

C_{OUT} 滤除关脉冲击，并存储电感的电能。输入电容 C_{IN} 能够减少对输入电源的突然电流需求。 C_F 和 R_F 能够防止稳压器工作不稳定。 C_S 和 L_S 构成了额外的滤波器，减少电路产生的高频干扰。

大家可能会和笔者当初一样感到奇怪，开关电路把电流对地短路了，怎么能提高效率呢？效率取决于开关的电阻。如果开关电阻为 0（理想开关），开关两端就没有功率损耗（ $P = I^2 R$ ），因此，所有的功率一定存储在电感里（ $I^2 L / 2$ ）。稳压器内部的场效应管被设计成接通时低电阻。工作时关键的部分是开关从完全导通变为完全关断。开关关断时，电阻从很低变成很大。当开关完全关断时，流过的电流为 0，因此没有功率损耗。但是在开关过渡期，由于减少电流和增加电阻，有功率损耗。为了使过渡损耗减小到最低，有必要使用快速开关。快速变化的电流流过开关时产生高频干扰，这就是为什么开关电源比线性电源噪声大的原因。

尽管这个电源具有较大的灵活性，但使用上也存在一定的限制。电路的最大输出电压约 17V（选用不同参数的 R1），但是通过改动元件参数，输出电压可以达到 65V。芯片最低输入电压为 4V。流过芯片的开关电流必须限制在 5A，但是输出电流不一定能够达到 5A。把 5V 升高到 12V 时，在不超出 5A 的开关电流限制的情况下，最大输出电流为 1.5A。把 12V 升高到 13.5V 时，在不超出开关电流限制的情况下，最大输出电流为 3.5A。芯片内部有限电流和热保护电路。

尽管得到的输出电压比输入电压高，但是得到的功率不可能比输入功率大。实际上要损失 10% ~ 20%。要记住这一点，尤其是计划用镍镉电池作为电源时。输出电压为 13.5V，电流 1.5A，这时功率为 20W，效率为 80% 的情况下，需要 25W 的输入功率，换句话说，如果输入电压 5V，输入电流需要 5A。如果需要把 12V 的铅酸电池转换成 13.5V/3A（40W），输入电流需要 4.2A，这对铅酸电池来说没有问题。

制作

为了获得高效率、防止电源损坏，应该精心挑选元器件。用优质元件，不要随使用废弃的元件。电容器的 ESR（有效串联电感）、额定波纹电流、额定电压参数很重要。电感线圈要

注意饱和电流参数。二极管必须采用肖特基快速恢复型二极管。美国国家半导体公司的技术资料建议：“元件的引线、电路线条要尽可能短。采用单点接地或者大面积敷铜接地，以获得最佳效果。信号地和电源地要分开。程控电阻要尽可能靠近芯片安装。”最好在输入端装个保险(5A)。尽管芯片有许多保护措施，但是输出短路时，直流电流会直接从电源通过电感、二极管到达输出端。如果需要接大负载，芯片需要散热器。笔者最初把这个电路装在金属盒里，金属盒可以起到屏蔽作用(见图 5-51)。后来装到塑料盒里，并加了一个 DVM 显示输出电压。

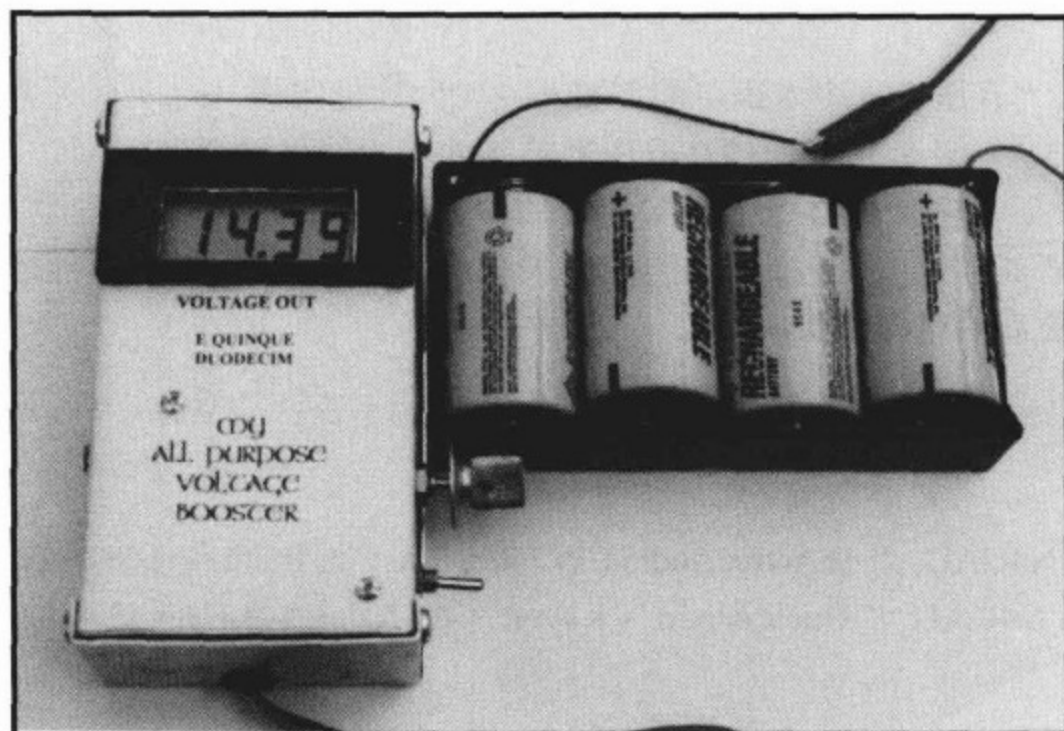


图 5-51 把 4 节 D 型镍镉电池升到 14V

使用

笔者在多个环境下使用这个升压器，效果都达到了设计要求。使用镍镉电池给笔者的 NorCal 40A QRP 电台供电时，这个升压器离电台只有 3 英寸的距离，没有听到干扰噪声。对方给出的信号报告说信号音质很好，天调也指示输出时满功率。把升压器的输出从 12V 升高到 13.5V，可以看见输出功率变大了(不要忘了，笔者使用的是 4 节镍镉电池！)。升压器还给笔者的开关电容音频滤波器^[1]、UncleAlbert 自动键^[2]供电，一切正常，没有噪声。

笔者通过实验发现，在频率高的波段有一些明显的噪声，但是这个噪声并没有很大影响，因为笔者采用了良好的接地。负载轻的时候，噪声基本听不见。电流较长时间为 2.5A 时，散热器虽然不大，但升压器还是凉的。这个芯片的一个优点是“软启动”，限制了初始大电流。

老式稳压器通常初始电流很大。

元件的选用

这个电路的元件都很容易买到。最大的困难是买合适的电感。电感厂家一般都是批量销售。这就是为什么笔者选用 LM2587。软件数据表明，可以用磁环绕制电感。

结语

和降压相比，“升压”这个术语可能需要一点时间才能习惯。这个开关电源有许多用途。在家里，把输出 5V 的计算机电源接在升压器的输入端，就可以得到 17V 可调电源（可能还高一点）。设想一下，把升压器用做 12V 电灯的调光器，或者电动机调速器。在野外，可以使用镍镉电池或者其他低电压电池作为电源。开关稳压技术发展很快，可能还会有速度更快、体积更小、效率更高的电源模块。

注释

^[1] Sam Ulbing, N4UAU. “AnActiveAudio CW Filter You Can Build.” *QST*, Oct 1992, pp 27 – 29

^[2] Sam Ulbing, N4UAU. “UncleAlbert’s Keyer.” *QST*, Jan 1994, pp 42 – 44

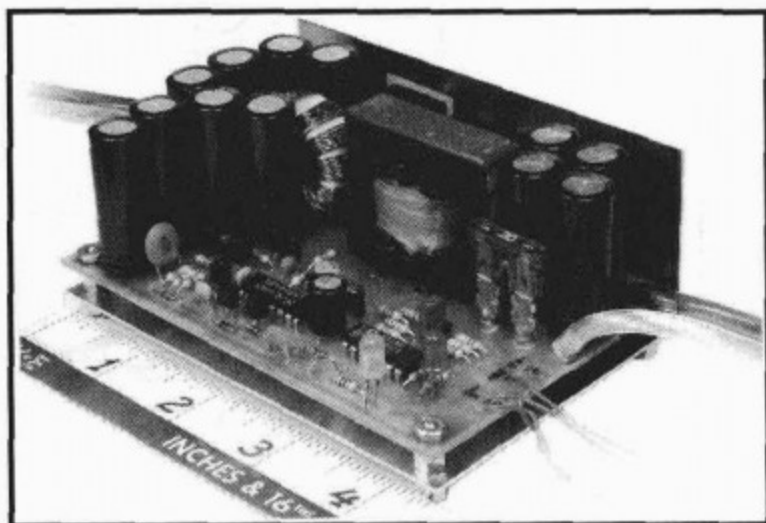


5.12 12V 电池升压器

电池在低电量时，加上连线的压降，会降低发射机的输出功率，使发射信号失真，甚至会使很多机器停止工作。解决这个问题的办法就是制作一个开关电源 (SMPS)，维持输出电压。开关电源可以提高输出电压，可以使用电池长时间供电。

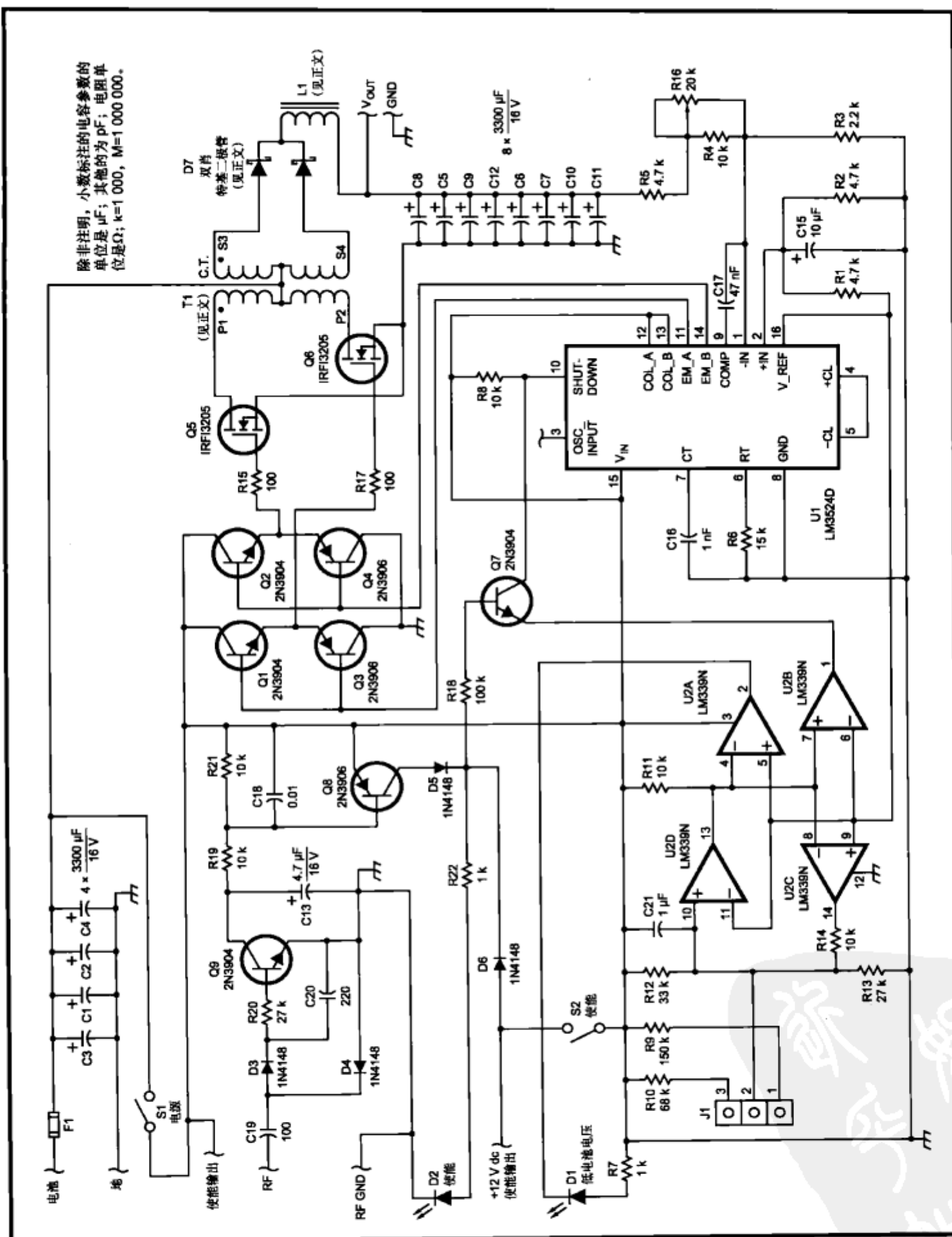
特点

这里介绍的开关电源升压器能弥补电池与用电设备工作电压之间的压差，代价就是另外耗费一点电池的电流。原设计输出电流为 25A。开关电源关闭时，电池电压从电源输出端输出 (压降不足一只二极管的压降)，无需电源转换继电器或开关。这个电源可根据需要连续工作。电源的开关控制采用继电器或开关，不用时切断电源。这样，在不用时或电压过低时能够减少电源消耗。这个升压开关电源有两个输入端。其中一个输入端是遥控电缆输入，只需要电池电压控制信号。这个端口可使用来自收发信机的控制信号控制电源，也可利用开关手动控制电源。另外一个输入端是 RF 检测器。这个检测器可用来检测与之相连的发射机发射信号，可以让开关电源在发射时工作。RF 检测器通过 T 型电缆接头或耦合变压器与电台的天线连接。发射功率从几瓦到 100 瓦都进行过实验。如果需要用于更大功率，电路需要改动。



电路介绍

这个开关电源采用推挽电路，电路图见图 5-52。电池的正极连接在开关变压器 T1 初级的中心抽头上。T1 的次级也有中心抽头，也与电池连接。T1 次级的电压是电池电压加变压器绕组电压。这种电路结构使变压器仅提供输出电压和电池电压差，此外还减少了变压器和开关晶体管的功率要求，而且还能在开关电源关闭时从电源输出端输出电池电压。场效应管



Q5 和 Q6 交替开关 T1 初级绕组的对地脚，在变压器里产生磁通波形。T1 次级绕组接有双肖特基二极管 D7 进行整流，电感 L1 和 8 只 3 300 μ F 的电容器组成低通滤波电路，对整流后的波形进行平滑滤波。

开关模式电源控制芯片 U1 负责电压调整。这个电路中 U1 采用 LM3524D。这个芯片采用脉宽调制控制 Q5 和 Q6 的导通时间。改变脉宽，就能改变变压器的交流电压，达到保持输出电压的目的。

电路中采用了一个简单的电池电压监测电路，监测电池电压。低压保护电路在电池电压低于最低值时关断 LM3524D。保护电压可通过跳线选择 9V、10V、11V。电路使用了一片 LM399，由 LM3524D 提供 5V 参考电压。当保护电路启动时，升压功能停止，输出端输出的是电池电压。重新启动电源开关可以使保护电路复位。

寻找元件

电感、变压器需要自制。所需材料可以从旧计算机电源里找到。笔者找到一个计算机 AT 电源，拆出磁芯、变压器。绕制之前，把原来的线圈拆掉。双肖特基二极管（D7）也能在电源中找到。C1 ~ C12 参数特殊，需要购买新品。其余的元件可以使用参数接近的替代品。

拆卸变压器、变压器线圈计算、变压器与电感的绕制方法见 ARRL 网站（www.arrl.org/files/qst-binaries/boost_reg.zip）。

铁氧体磁芯的应用与设计可参考 *Ferrite Core Design Manual*（《铁氧体磁芯设计手册》）。

L1 的制作

电路中唯一的电感线圈是 L1。这个电感与 8 只 3 300 μ F 的高频电解电容一道组成输出低通滤波器。L1 的大致电感量是 9 μ H，必须能够承受 25A 的电流。在从电源里拆下的磁环上绕 9 匝就是 9 μ H。用两根 24 号铜线并绕 10 匝就可以。每根铜线长度约为 18 英寸。准备 15 英尺的铜线。电感绕好后，刮掉线头的绝缘皮，两根头拧在一起，镀锡后在插到电路板上。

升压电路

升压电路的作用是在需要时提高输出电压。电路的两个输入端可以启动这个功能。第一个输入端需要 12V 的电压；第二个是 RF 检测输入端。使能输入端把电流送到 D6，通过 R18 为 Q7 的基极提供电流，通过 R22 为使能指示 LED 提供电流。也可以通闭合使能开关 S2，手动实现使能功能。流入 Q7 基极的电流使比较器 U2B 把关断脚的电压降低，启动 LM3524D。

RF 输入端有 RF 信号输入时，会启动开关电源。RF 输入端通过 D3 把电流送入 Q9 的基极，使 C13 放电，二分之一的电源电压出现在 Q8 的基极。Q8 把电流送入 D5，启动开关电源。

C13(4.7 μ F)的充电时间可以产生短时间延时,在RF信号消失时保持电源工作。

测试使能功能时,给电源通电,接通电源开关,把12V电压送到使能输入端,或者闭合使能开关。使能指示LED点亮。断开使能输入端的12V,使能指示LED应该熄灭。

测试RF输入端时,给RF输入端输入RF信号。至少需要2V_{p-p}才能启动电源。使能指示LED应该点亮,在断开RF信号后约1/4s后熄灭。由于RF信号源的强度不同,所以熄灭时间也会略有差别。

电池低电压保护电路

电池低电压保护电路是用来防止电池过放电。通过把电池采样电压与参考电压进行比较,实现这个功能。LM399的比较电路把电池电压与LM3524D提供的参考电压进行比较。当检测到低电压时,控制电路关闭。电阻R12和R13组成电池电压采样分压器。R9、R10、跳线J1与R12并联,用来改变分压比。U2D将电池采样电源与参考电压比较。当电压低于参考电压时,U2D的输出对地短路。U2C关闭电路,使送到U2D的电压进一步降低。U2A起到开关的作用,点亮低压指示LED。U2B使Q7的发射极电位升高,R8上拉LM3524D的关断脚的电压,开关电源关闭。

测试低电池电压保护电路时,接通电源,闭合电源开关。不要关闭电源开关,断开给开关电源供电的12V电源,几秒后低电池电压指示LED应该点亮,一直保持发光状态。趁C1~C4存储的电能还没有放完,再次接通12V,低电池电压指示LED应该还是亮的。关闭电源开关,几秒后再打开开关,这样低电压保护电路复位,低电压指示LED熄灭。

接下来测试低电池电压保护电路阈值。把电压表或示波器接在电池给开关电源供电的端子上。摘除跳线J1,使电池保护电压设置在11V,把电池也开关电源连接起来,把电源开关打到“关”,然后在打到“开”。断开电池与开关电源的连接,观察低电压指示LED。记录下LED点亮时的电压。这个电压应该接近11V。再次接通电池,开关电源开关。重复上述测试过程,检查10V(跳线朝保险管那边)、9V(跳线朝向保险管另一边)保护阈值设置情况。

开关电源稳压芯片

开关电源稳压芯片是电路的心脏。芯片采用脉宽调制改变Q5和Q6在每个开关循环里的导通时间。调整开关管的脉冲宽度,输出电压就能保持在一个恒定值。开关稳压芯片通过分压的2.5V直流电压器监测输出。R3、R4、R5、R16组成分压电路,提供反馈电压。R16是可调的,用于调整输出电压。参考信号取自LM3524D内部的5V参考电压,由R1和R2分压。

下一步就是要验证开关频率是否正确,反馈电路是否工作,栅极驱动三极管是否正常。把D7、Q5、Q6从电路上摘下后,把电源的正极输入与电源的正极输出连接起来,把R16顺时针调到底,这样就能够保证输出电压设置高于输入电压。给电源连接电源,接通电源开

关, 检查输入电压在 12 ~ 13V。

使用示波器或频率计, 检查 R15 与 Q5 节点、R16 与 Q6 的结点的频率, 应该在 35kHz 左右, 每个晶体管工作周期循环应该在 50%。如果测得的频率误差超过了几千赫兹, 定时电容或电阻 (C16 或 R16) 就需要调整。波形应该有快速升降沿。图 5-53 是在没有连接 Q5 和 Q6 时的栅极驱动波形。

示波器或频率计仍然连接在 R15 与 Q5 节点、R16 与 Q6 的结点, 把电压调整电位器调到左边, 这样最低电压设置在 9V 左右, 远低于输入电压。开关驱动应该是稳定的 0V 信号, 说明输出电压高于目前的电压设定。测试结束后, 把电位器调到中间位置, 在这个位置, 电源设定在大约 13.3V。

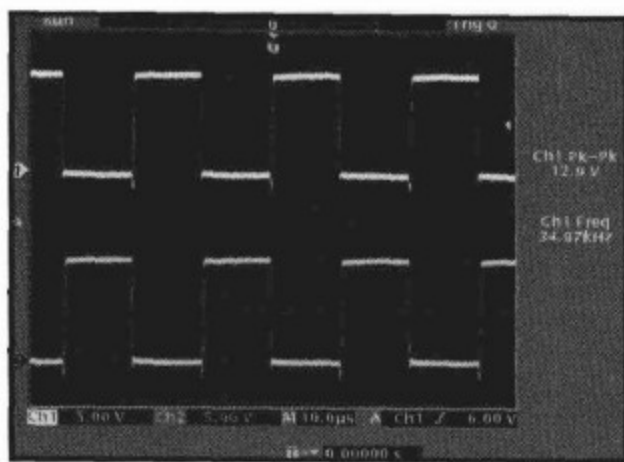


图 5-53 场效应管没有接入时的栅极驱动波形。注意相性之间 180° 相移。

最后的安装

开关芯片、RF 检测、使能输入、电池电压保护电路测试完毕后, 把 Q6、D7 装上。开关三极管 (Q5 和 Q6)、整流二极管 (D7) 应该装散热片。晶体管的外壳是电器隔离的, 只需要在晶体管和散热器之间涂散热硅脂。二极管的外壳不是电器隔离的, 需要在二极管和散热器之间衬绝缘片。

第一次测试开关管和整流管时, 要在电池与电源之间串联 5A 保险或者两只 100W 12V 的灯泡。如果使用灯泡, 把电池保护电压设置到 9V。在电源的输出端连接电压表和一只电压为 12V 汽车尾灯, 或者其他类似的负载。把电池与 12V 电源接通。在没有打开电源开关的情况下, 负载上应该有电, 电压表应该显示电池电压, 但这个电压应该有一个二极管的压降 (比电池电压低 0.5 ~ 0.6V)。

打开电源开关, 任何 LED 都不应该点亮。如果电池低电压保护指示 LED 点亮, 检查输入电压, 关闭、打开电源开关一次。使用 RF 检测输入或使能端启动电源, 观察电源的输出电压。当使能指示 LED 点亮时, 电压应该升高。如果电压无变化, 顺时针调整 R16, 直至电压升高。只要电池电压保护指示 LED 是熄灭的, 使能指示 LED 是点亮的, 输出电压设置比输入电压高, 电源就应该正常工作。调整 R16, 使输出电压达到要求。这样, 这个电源就可以正常工作了。

电源还需要最后的检查。开关管的过渡电压需要检测, 这个步骤不能跳过。这个检测可能需要几次, 每次负载都要增加。能观察到的最小峰值电压是供电电压的两倍。这是因为每只开关管导通时开关变压器起到自动变压器的作用。这个电压不要紧, 要紧的是开关管关断时产生的过渡电压。这个电压在晶体管两端的电压从 0V 开始上升时出现 (见图 5-54), 变压器里的变化电流和漏电感一道引起过渡电压。峰值电压应该低于开关管的额定电压 (55V)。

在地与 Q5 和 Q6 的漏极 (中间脚) 之间连接示波器或者测量峰值的电压表, 给电源接上 1A

的负载。启动电源，观察每个管子漏极上的峰值电压。如果在轻负载情况下，峰值电压接近管子的击穿电压（55V），立即停止检测。开关变压器需要重绕，线圈匝与匝之间的距离需要小一点。

使用大一些的负载重复上述测试。拆下电池串联的限流装置，装上 30A 的保险。给电源接上 100W 左右的负载。汽车上的 100W 灯泡就可以当做这个负载。使用 100W 灯泡负载时，电池电压保护电路可能会出现问题。如果出现问题，不要断开使能端的电源，接通、断开电源开关一次。电路里有软启动电路，在关闭电源开关之前，使能端还有控制电压时，可以使电源输出电压慢慢升高。使用大功率灯泡作为负载时，使用这个功能是有必要的。接上 100W 灯泡负载后，检查过渡电压，不要超过 55V。如果过渡电压低，把负载加大到 200 ~ 300W 测试。如果测试中发现过渡电压接近 55V，开关变压器就要重新绕，缩紧线圈匝与匝之间的距离。

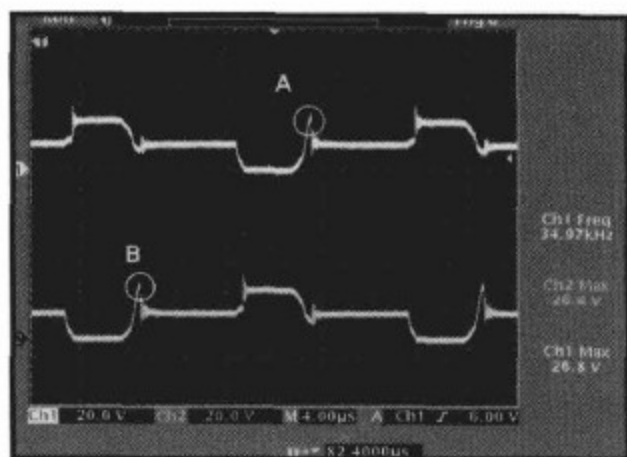


图 5-54 负载为 300W 时 Q5 和 Q6 漏极对源极电压。输入电压为 10 ~ 11V，输出电压设置在 14V。A 点和 B 点显示的是场效应管在关断期间产生的过渡电压。

最后的注意事项

电源可装在散热良好的机壳里。功率和电池的状态决定了散热器的大小。如果散热器或者管壳很烫手，需要加大散热面积或改善通风。

开关变压器和开关三极管可以加高频吸收电路。吸收电路通常是串联的 RC 电路，用来减少开关转换时的高频振铃。变压器的每个脚到中心抽头，以及开关管漏极对地可以接吸收电路。可先从一只 220pF 瓷片电容串联一只 220Ω 电阻试起。确切的元件参数要实验确定。找出能够减小振铃、电阻不过热时的参数。

建议在电源的输出端接一个撬棍电路（过压保护装置）。如果电源的反馈电路出了问题，输出电压就会升高，损坏接在输出端的设备。撬棍电路可以监测输出电压，如果电压升得过高，就短路输出，熔断保险 F1。图 5-55 介绍了简单的撬棍电路。稳压二极管接在晶闸管（SCR）的控制端。电路里接有限流电阻和 RF 滤波器。限流电阻防止损坏晶闸管的控制极，滤波器防止 12V 电源线里的 RF 信号启动消弧电路。电容、电感、电阻、稳压二极管的参数取决于晶闸管的型号以及撬棍电路的电压。尽管可以使用图中给出的参数，但是确切的参数最好还是通过试验确定。测试撬棍电路时，用一个大的 12V 灯泡与电池或电源串联，这样可以节省保险管熔断带来的浪费。

电源还可以增加滤波电路。这个电源没有经过 EMI 测试。所产生的 EMI 不会很大，但足以让与之连接的电台收到。这当然也取决于所使用的天线、模式。因此，建议尽量使用 RF 控制端。许多电台在输入电压低时出现问题，而问题只出现在发射时，不是接收时。RF

检测电路被设计成在发射时提供满电压，而在接收时，电池穿过开关电源给电台供电，这样就减少了电源的 EMI 对接收时的干扰。

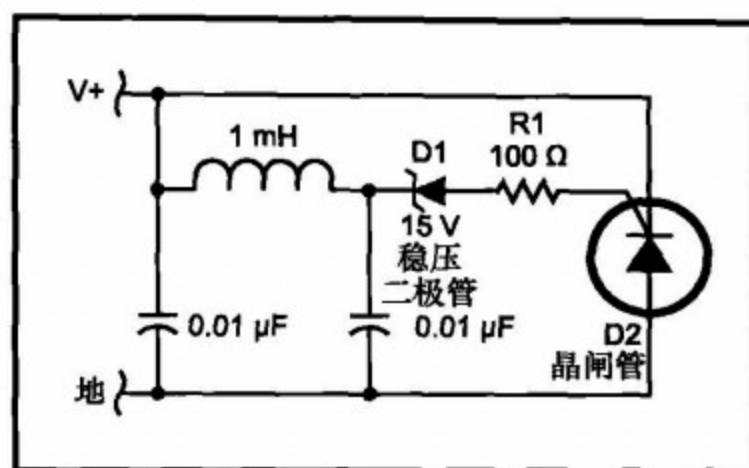


图 5-55 简单的撬棍电路。图中标出的元件参数可以用来试验，但是确切的参数最好还是通过试验确定，取决于晶闸管型号和限制电压。

图 5-56 是电源工作时的电压波形。当时电源正在给发射 SSB 语音的电台供电，采用的是 RF 检测输入。波形 1 是输出电压。波形 2 是相应的 RF 包络波形。电池端电压大约是 11V，升压后的输出设定为 13.8V。电源调整动作在波形 1 里能够看到，在 RF 信号出现时，会出现幅度高一点的电压。测试时使用的电池电量不是很足，接近典型的工作情形。

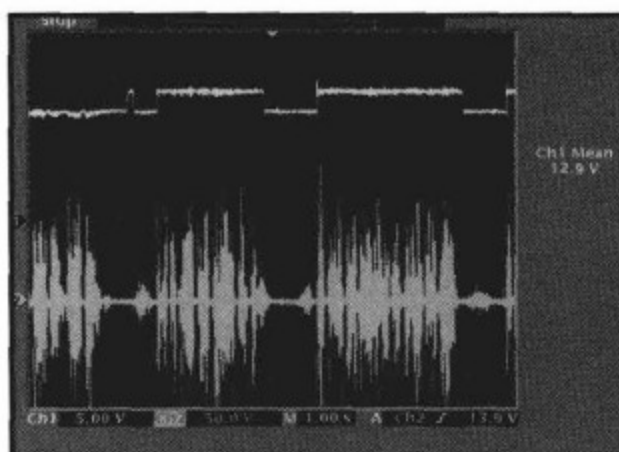


图 5-56 正在工作的电源。波形 1 是输出电压，波形 2 是 RF 检测输入端测得的 RF 电压。时基为 1s/cm。波形 1 的零参考基线在肩头 1 的位置。电池电压为 11V (电池电力不足)，升压设置在 13.8V。开始两秒电源是关闭的，当 RF 信号出现时，电源开始启动，见低一点的波形。电源也可以通过使能输入端或者使能开关启动。

这个简单的电源大家都可以动手制作，无需开关模式电源转换背景知识。为了减少元件采购数量，难找的磁性元件是从旧电源里拆的，其余元件都很容易买到。最难的任务（绕开关变压器）也不用一个小时就可以完成。有焊接经验、绕过线圈的人都可以做这个电源。

特别感谢约翰·凯姆帕依 (N8BFL)、吉姆卡·斯滕 (W8LTL) 对测试、拍照所做的帮助。

6

天线的制作

- 带陷波线圈的双极天线
- FARA 便携式多波段天线
- Squirt 缩短型 80m 天线
- 飞蝇竿垂直天线
- 倒 U 型天线
- 便携式两单元三波段八木天线
- 便携式 HF 垂直天线
- 简单的便携式 HF 天线
- 扁平馈线 20m 天线
- 便携式地耦天线
- 可收卷的双极天线
- 小型多波段鞭状天线

资源分享网
PDG

6.1 带陷波线圈的双极天线

本文介绍的是自支撑式 10/15/17m 带陷波线圈的双极天线。笔者在当地的家居装饰市场发现一种 3/8 英寸的 C 型铝材，适合制作天线。这种材料的优点是所有的面都是平的，便于加工。每段振子之间的连接还需要绝缘材料。理想的绝缘材料是 3/8 英寸的方形黑色的聚甲醛树脂（塑料）板，这种材料强度大。

天线的尺寸见图 6-1。最靠里的天线振子（10m 段）通过两个陷波线圈（调谐在 28.1MHz）与其他米段振子隔离。与 10m 振子相邻的天线振子用两个调谐在 21.1MHz 的线圈与最外边天线振子隔离开。尽管提供的尺寸是用于 10/15/17m 段，实际上也可以设计成其他波段。

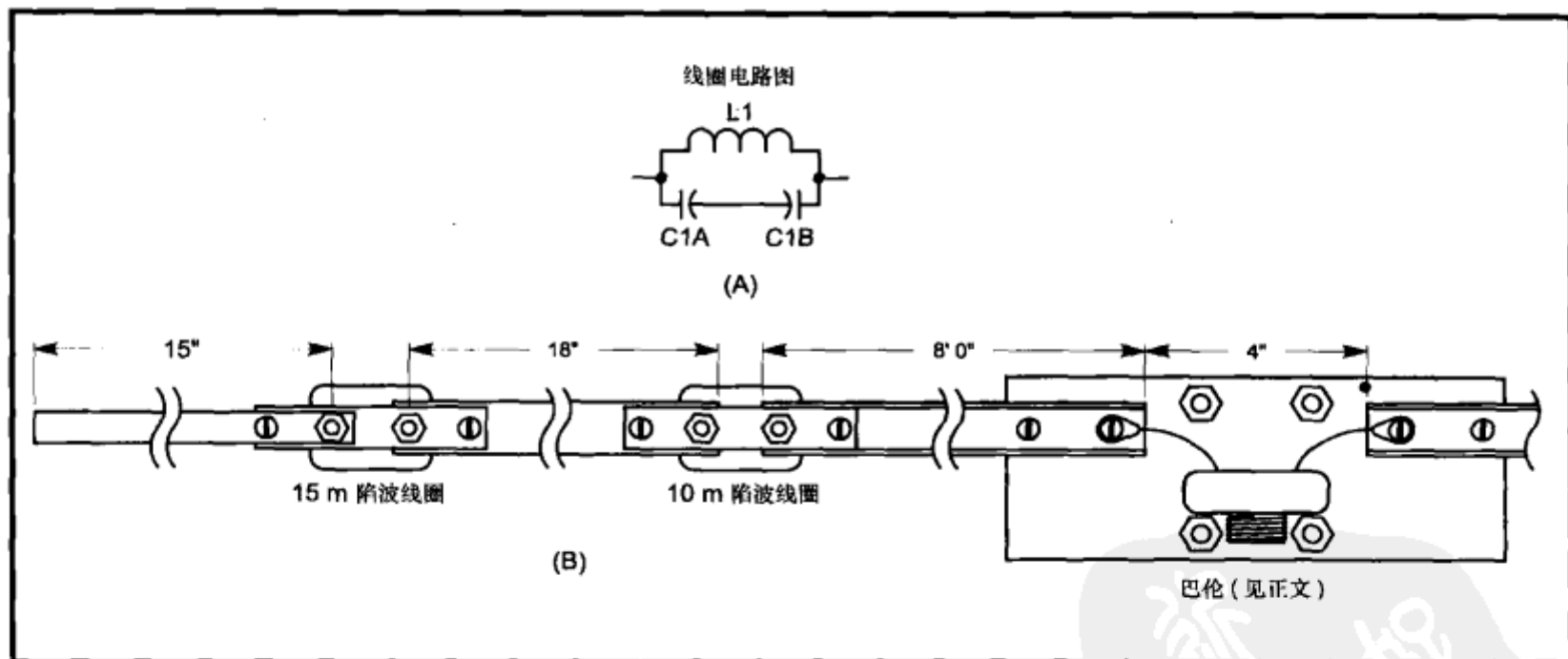


图 6-1 陷波线圈天线的尺寸。可以计算出其他波段的尺寸。图 A 是线圈电路图；图 B 是双极天线一侧的尺寸。

C1A, C1B—100pF, 1 000V 银云母电容

L1—10m: 9 匝, 在 T94-10 磁环上绕制。15m: 11 匝, 在 T94-6 磁环上绕制。线圈必须谐振。

陷波线圈很简单，是并联谐振的调谐线圈，谐振在自己感兴趣的业余频段的频段中心。笔者采用了铁粉磁环和云母电容。每个线圈使用两只 1 000V 的电容串联，磁环是 T94 型的，这是按照线圈盒的大小选的最大磁环。笔者采用的是 Serpack 的 C 系列盒子。线圈的安装方

法见图 6-2。两只螺钉穿过线圈盒的后壁，并穿过绝缘板和 C 型铝材。

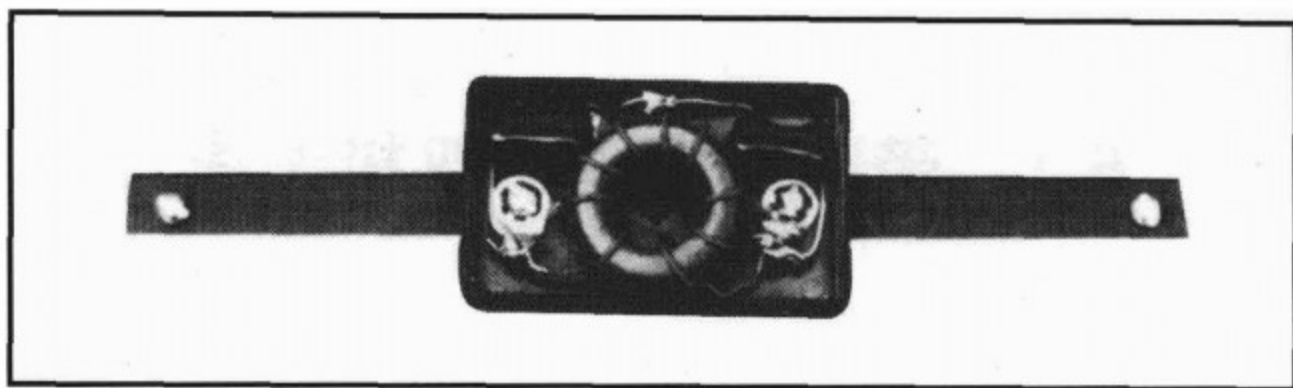


图 6-2 线圈的安装（见正文）

调整陷波线圈的传统工具是陷波表，近年来被天线分析仪所取代。如果这两种工具都没有，也不要担心。如果手头有全波段收发信机，也可以帮助调试。

另外需要准备的仪器是噪声桥。这个仪器名字听起来神秘，但是电路很简单，很容易自制。文章后面附了噪声桥的电路图，摘自 *The ARRL Antenna Book* (ARRL 《天线手册》)，没有改动。

天线的调整

制作这个天线是先从最里面这节（10m 段）振子开始的，然后向外延伸，一次安装一个波段的振子。两个 8 英尺长的振子是 10m 段振子，两个振子之间的间隔为 4 英寸。这部分双极天线谐振在 28.1MHz，由于材料厚度不同，所以驻波特性不一。

调整 10m 段的线圈时，线圈加在振子的端部，15m 段的振子也要装上。笔者发现，开始调试时，外侧的振子先不要用 C 型铝材，可先用 1/4 英寸的铝棒。铝棒的长度容易修剪，用断线钳就可以修剪。调试是在天线高度为 20 英尺时进行的。使用驻波表、发射机确定驻波最小时的频率，调整振子长度。温馨提醒：材料长度要富裕，然后根据需要修剪，而不是加长。

制作时会发现，频段低的外侧振子的长度与双极天线公式计算出来的尺寸不一样。陷波线圈在设计频率呈现出很高的阻抗，但是低于这个频率时呈感性。这样就缩短了天线的谐振长度（这略降低了馈点电阻，但是在这个应用中影响不大）。采用陷波线圈后，每个外侧振子长度比实际双极天线振子缩短了 30% ~ 35%。对于敢于探索的人来说，可以通过计算波段低端线圈的阻抗并应用于几种工具中的任一种来估算长度。数据可从 ARRL 《天线手册》的图表中查到，或者使用 EZNEC（天线软件）（可从 www.eznec.com 下载）。

15m 段振子长度确定后，把铝棒换下来，装上 C 型铝材，把 15m 线圈装上。调整好最外侧的 17m 段振子之后，天线就完工了。笔者选择采用 1/4 英寸铝棒作为最外侧的振子，以减轻重量，减小天线的轮廓。

中央绝缘块是一块 3/8 英寸 × 3 英寸 × 12 英寸的聚甲醛树酯（塑料）板，对于这个天线来说，

强度足够了。馈线点的小盒子里是一只巴伦。这个巴伦是在一组 FT37-43 磁环上用 RG-174 同轴电缆绕了 3 匝。其他方法制作的巴伦也可以用。

安装

天线使用的螺钉应该使用不锈钢的，还需要准备带齿的弹簧垫圈。一旦陷波线圈调整好，就要用航空胶把盒子封起来，然后再次检查谐振情况。最后检查确认盖上盖子后谐振没有受到影响。体积小的盒子可能会出现这个问题。

使用结果

这个天线的驻波特性见图 6-3。笔者主要使用 CW 和数据模式，所以都是在每个波段的低端。这里介绍的长度也是考虑了这个因素。无论选择了什么频率，如果增加线圈和其他波段的振子没有影响最里边振子的谐振频率，就证明线圈经过了细心的调整。增加线圈后，如果偏离谐振频率，会使有效驻波带宽变窄——带陷波线圈的天线的带宽比普通双极天线带宽要窄。

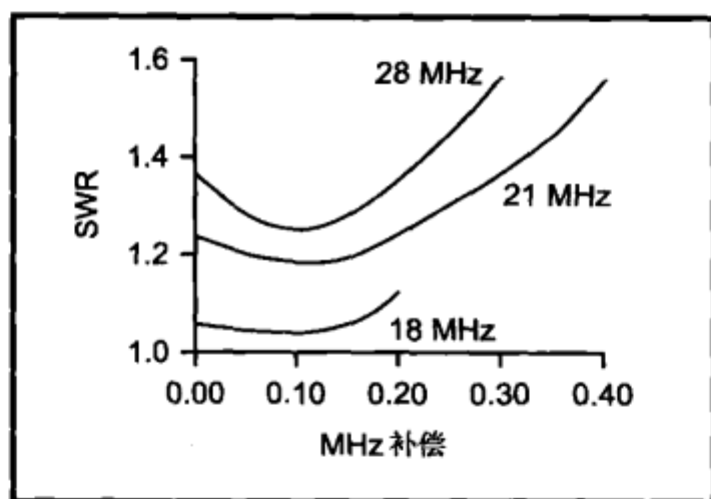


图 6-3 这个双极天线的驻波特性。由于笔者主要使用 CW 和数据通信，所以天线长度经优化后适合各个波段的低端。

线圈的损耗

笔者一般使用 5W 左右，其他爱好者不一定都喜欢这么大的功率。笔者用 100W 测试过这个天线，没有出现问题。使用 EZNEC 软件，输入天线线圈使用的磁环 Q 值，得出天线在 28MHz 时的增益比预期的自由空间值低 0.8dB，在 21MHz 时低 0.9dB。18.1MHz 时损耗约 0.25dB。如果使用高 Q 值的电感，上述参数会有改善。这个天线在“小型”和“增益”之间做出了让步，证实了“没有免费的午餐”这句话。

笔者计算了 1000W 时线圈两端的峰值电压。废物箱里的旧零件可不能用在这里。要使

用高品质的 NP0 电容——电子市场里的那种电容在高频率场合可能损耗很大，损耗转换成热量，性能下降。大供应商销售的 500V 银云母电容用于 QRP 足够了。

笔者把这个天线架设在房顶上，天线距屋顶 35 英尺，效果相当不错。在很大程度上，“天线要高，周围要空旷”这个老准则适合笔者的情况。如果发散思考，采用陷波线圈的方法也可以用于多波段垂直天线和地网天线。

致谢

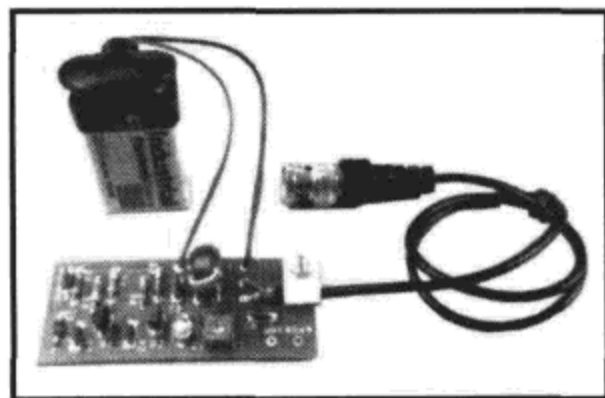
感谢西勃利·立昂 (AA1MY) 在噪声桥制作方面的协助。

附：噪声桥

二极管 D1 是宽带噪声源。Q1 和 Q2 等组成的放大电路把噪声放大到有用的幅度。虽然这个噪声源没有频率补偿，但是用于测试天线已经足够——输出幅度为 1.8MHz S9+20dB ~ 30 MHz S7。在实际应用中，当连接到 B 点和 U 点的阻抗相等时，这个“桥”处于平衡状态，接收信机的输出为 0。电路里比较难做的是 T1，需要三线并绕。

调试

在“未知端”接一个 1/4W 的 100Ω 电阻，用一段同轴电缆把收音机连上。给噪声桥接上电源（8 ~ 15V），收音机应该能听到噪声。调整 R1 使噪声最小，然后调 C1，使噪声进一步变小。一旦调好，收音机里应该只剩下自己的背景噪声。噪声桥已调整到平衡状态了——100Ω 电阻呈现的阻抗和杂散电容已经被桥电路的 R1 和 C1 平衡掉了。



使用

如果在 100Ω 电阻上并联一个陷波线圈，即一个谐振的 L-C 并联槽路，不会影响平衡，因为谐振时阻抗无穷大。偏离谐振频率，收音机里的噪声就会变大。找谐振频率就等于调节收音机的接收频率，直到噪声没有（出现“零”点）。这个“零”点的位置很宽，应该先用 1MHz 调谐步进定位，然后换用 100kHz 调谐步进。

一旦找到“零”点的位置，就把磁环上的线圈捏紧一些，降低频率，或者把线圈分开，升高频率。不减少线圈的匝数也能在一定的范围内调整电感量，例如：21MHz 的加感线圈用这种方法调整可以覆盖 1 ~ 22MHz。

注意事项

笔者最初进行可重复性谐振测量时，结果不一致。原因是随意使用了鳄鱼夹连线，在 25MHz 的谐振频率有 1MHz 的变化。未知端到线圈的连接线要尽可能硬。笔者使用了 2 英寸长的 20 号漆包线连接 100Ω 电阻。电阻上还焊接了焊片。这样，接上线圈或取下线圈时对杂散电容的影响就减小到最低限度了。杂散电容对谐振测量影响很大。注意到这些细节，测量结果就是可重复的了。注意：搭好测试台架，在接上线圈前，一定要调整 C1 使噪声消失，这样能够抵消测试台架的杂散电容。

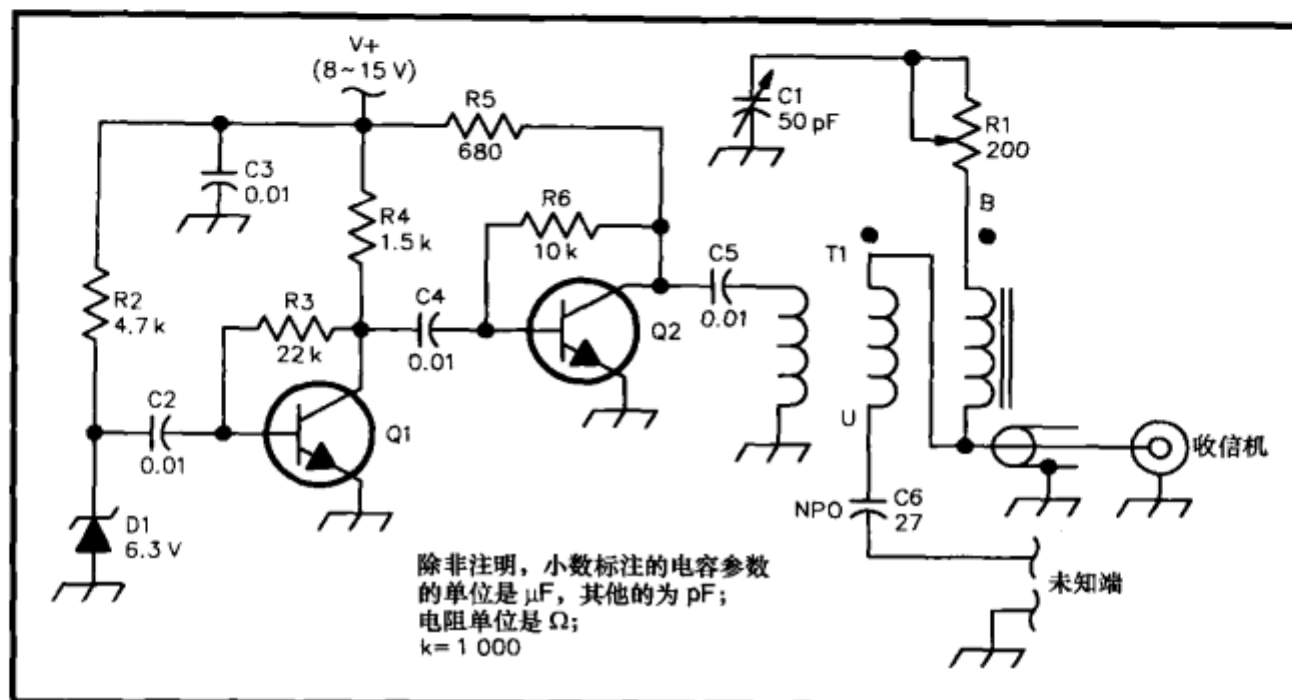


图 A 噪声桥电路图，选自 ARRL《天线手册》。所有电阻是误差为 5%、1/4W 的碳复合电阻。

D1—6.3V, 0.5W 稳压二极管, 1N753A

Q1, Q2—PN2222 或 N4401

T4—在 FT37-43 磁环上 3 线并绕 4 匝，注意相性

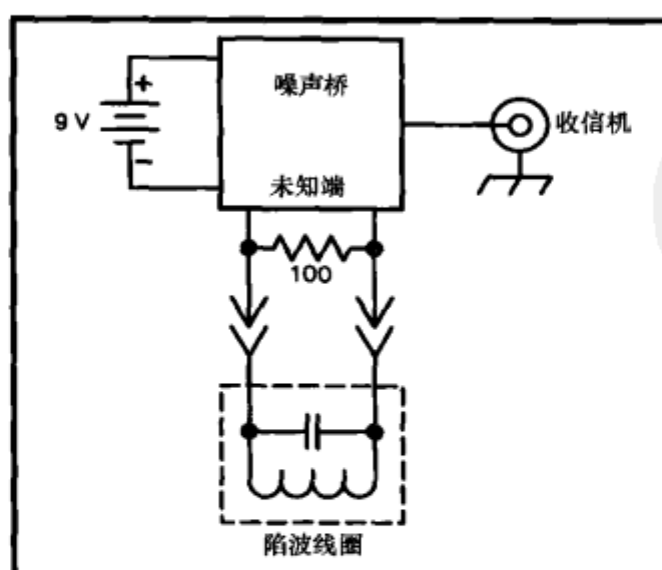


图 B 连接噪声桥的方法

6.2 FARA 便携式多波段天线

费尔茅斯业余无线电协会 (FARA) 是麻省鳄鱼岬最大、最活跃的业余无线电团体之一。这个团体有很多爱好者喜爱动手制作。许多费尔茅斯业余无线电协会的电子制作都发表在杂志上和协会网站上 (www.falara.org)。协会最近的一个制作是便携天线——FARA 便携式多波段天线，是小功率多波段收发信机的理想天线。

这个天线很小巧，能装在一个手提箱里，可以配用 UHF 段天线的磁性底座，供度假时使用。设计初衷是用于 QRP，但是用做双极天线或移动使用时，可以承受 100W，但是电台要与天线有足够的距离，这对于安全、减小 RF 反馈是必要的。操作人要遵守推荐的 RF 辐射安全距离限制。

这个天线的材料容易找，制作容易，只需要简单的工具。天线是一根拉杆天线，下端装有线圈，通过换抽头改变波段。全长为 7 英尺。如果材料齐全，不用 15 分钟就能做好。

安装

天线结构见图 6-4，表 6-1 是零件清单。完整的天线见图 6-5，旁边是 FT-817。

表 6-1 FARA 便携式多波段天线零件清单

名 称	数 量	说 明
7/16-14 英寸 PVC 棒	1	10 英寸 (带螺纹)
4-40 平头螺钉	1	
4-40 平垫圈	1	
4-40 锁紧螺帽	1	
18 号铜线	1	15 英尺
PL-259 插头	3	UHF 同轴插头
PL-258 接头	1	UHF 母-母接头
UG-175/U 转接头	1	PL-259 的 RG-58 接头
拉杆天线	1	72 英寸
热缩管	1	1/2 英寸 × 2 英寸
密勒公司的鳄鱼夹	2	大嘴式鳄鱼夹
电线		10 英寸长的抽头连接线

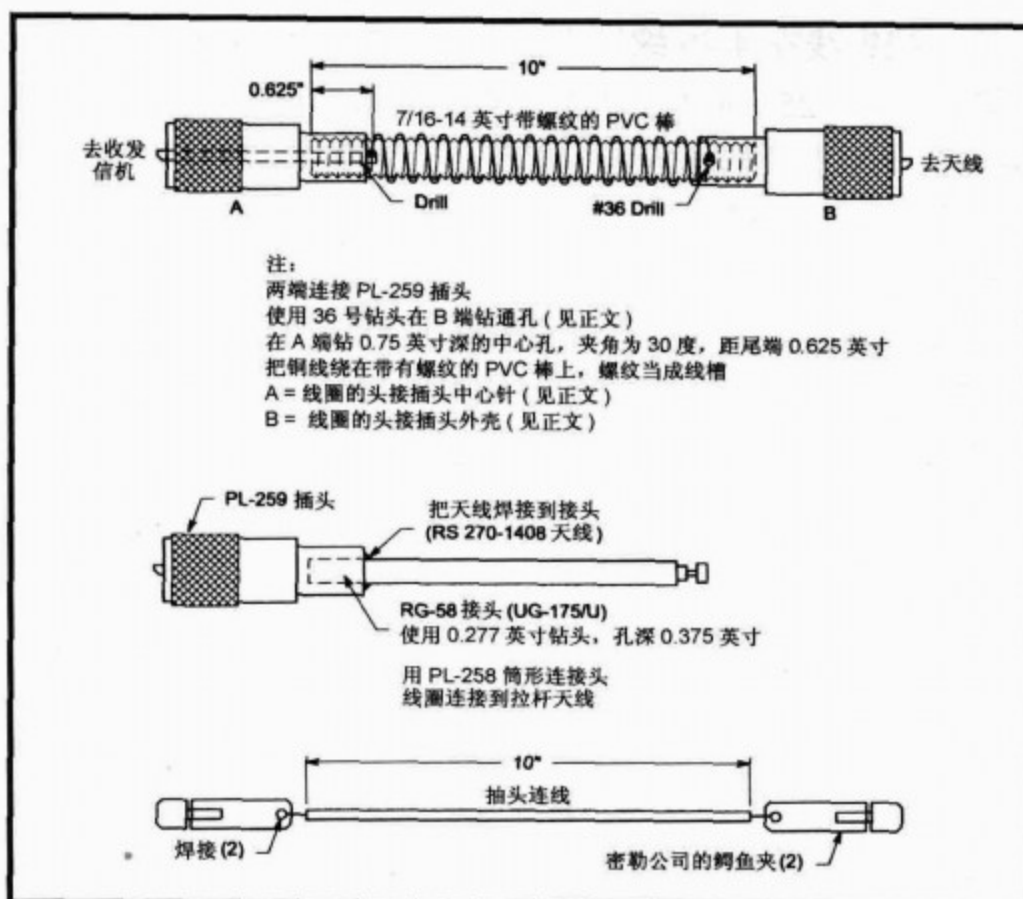


图 6-4 FARA 便携式多波段天线的结构，注意：线圈在一端连接到 PL-259 插头的中心针，另一头连接到插头的外壳。组成双极天线，一个振子两端需要按照“B”方法连接 (见正文)。

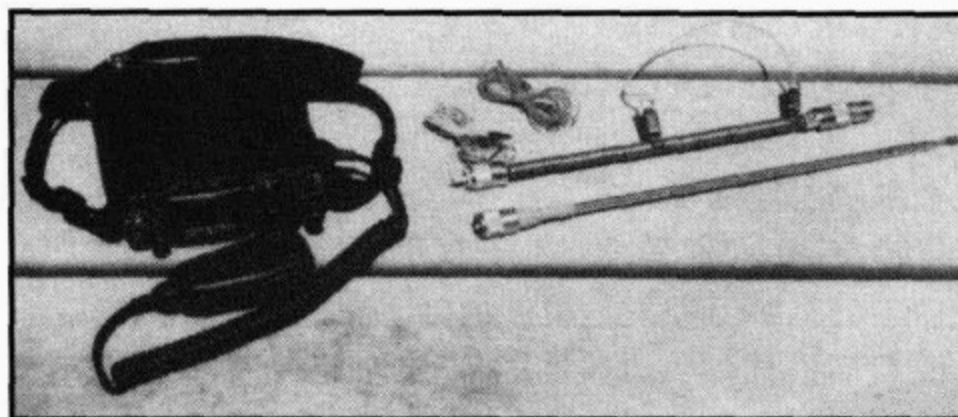


图 6-5 做好的 FARA 便携式多波段天线，已经拆散，但是可随时组装。那一束电线是地网辐射线，连接在收发信机的接地端。注意：收发信机背部的直角 UHF 连接头是用于连接垂直天线的。

负载 / 匹配线圈用 18 号镀锡铜线绕制。临时将 PL-259 插头装上，在有螺纹的 7/16 英寸 PVC 棒上钻孔。把靠近 30° 孔的插头摘下，把铜线的一头弯成“J”形，穿过 30° 的孔，从端部引出。把铜线拉直后再把 PL-259 插头装上。

把 4-40 螺钉装在另一头的 PL-259 插头上，先不要拧紧。把铜线绕在带有螺纹的 PVC 棒上，螺纹当成线槽。铜线尽可能绕紧。

在线圈的另一头，把铜线在 4-40 螺钉上绕个环，把螺钉拧紧。安装时参考图 6-4。把铜线头修剪一下，把第一个 PL-259 插头的中心针焊好，天线的制作就基本完工了。

把 RG-58 接头夹在台钳上，把孔扩大，以便装入拉杆天线。钻的时候不要太快，因为铜材料容易卡住钻头。使用 0.277 英尺的钻头，见图 6-4。如果有小型车床就更加方便了。注意，钻孔时千万当心手指。

用金刚砂纸把拉杆天线的底端部磨一下再安装。焊接拉杆天线时使用松香助焊剂（切勿使用酸性助焊剂）。把改造好的接头再次夹在台钳上，插入拉杆天线（把天线拉长，免得焊接时过热），用丁烷灯加热焊锡焊接拉杆天线。把接头装入 PL-259，涂上 Loctite242 螺纹胶。可套上一小段热缩管，看起来美观一些。

最后，把鳄鱼夹子焊在 10 英寸长的抽头引线上，抽头用来选择合适的电感，让天线谐振在不同的波段上。这样，天线就做好了。

使用

所有带负载线圈的天线都要做出一些让步。对于这个天线，让步就是容易制作。采用空气线圈的中部加感天线效率高一些，但是制作难而且成本高。实际上，这个天线是底部加感 1/4 波长垂直天线。因此，需要地网（对于这个天线是径向辐射地网线）组成双极天线的另一个极。

图 6-6（加感 1/4 波长垂直天线使用径向辐射地网线）、图 6-7（改进型 1/2 波长双极天线）介绍了两种天线的实例。驻波对加感线圈抽头很敏感，对地网同样敏感。用 22 号护套线制作 1/4 波长的径向辐射地网线既简单又省钱。在任何情况下，线圈的抽头的位置都要通过试验确定，因为抽头位置取决于地网（径向辐射地网线的位置）或者另外的振子（形成双极天线的另一个极）。把径向辐射地网线悬挂在架子上或桌子上，线圈抽头的位置就与把径向辐射地网线直接放在地面上不同。

调整并不难，把 FT-817（或其他发射机）调到小功率模式，把表置于驻波位置（或者串入驻波表）。在 FM 或 CW 模式，一边按电键，一边调整抽头，直到驻波最小。在发射时，不要用手摸天线或连接线。图 6-8 介绍了抽头的位置。工作在 6m 时，用鳄鱼夹子短路线圈，调整天线长度到 55 英寸左右。

线圈的端连接有两种，见图 6-4 中的 A 和 B。接成双极天线时，第二个振子做成有两个 B 型连接端（加感线圈两端各一个）。两个振子与 UHF 的 T 型连接头连接。

可以采用混用方法进行匹配——用 B-B 型的线圈与 A-B 型线圈串联，延伸低端频率覆盖范围。注意：“B”端的接头外壳是 RF 热端。线圈长度加长了对同轴电缆接头的压力也加大了。“A”端永远连接电台或同轴电缆，在这个天线里，线圈连接到 PL-259 插头的中心针。

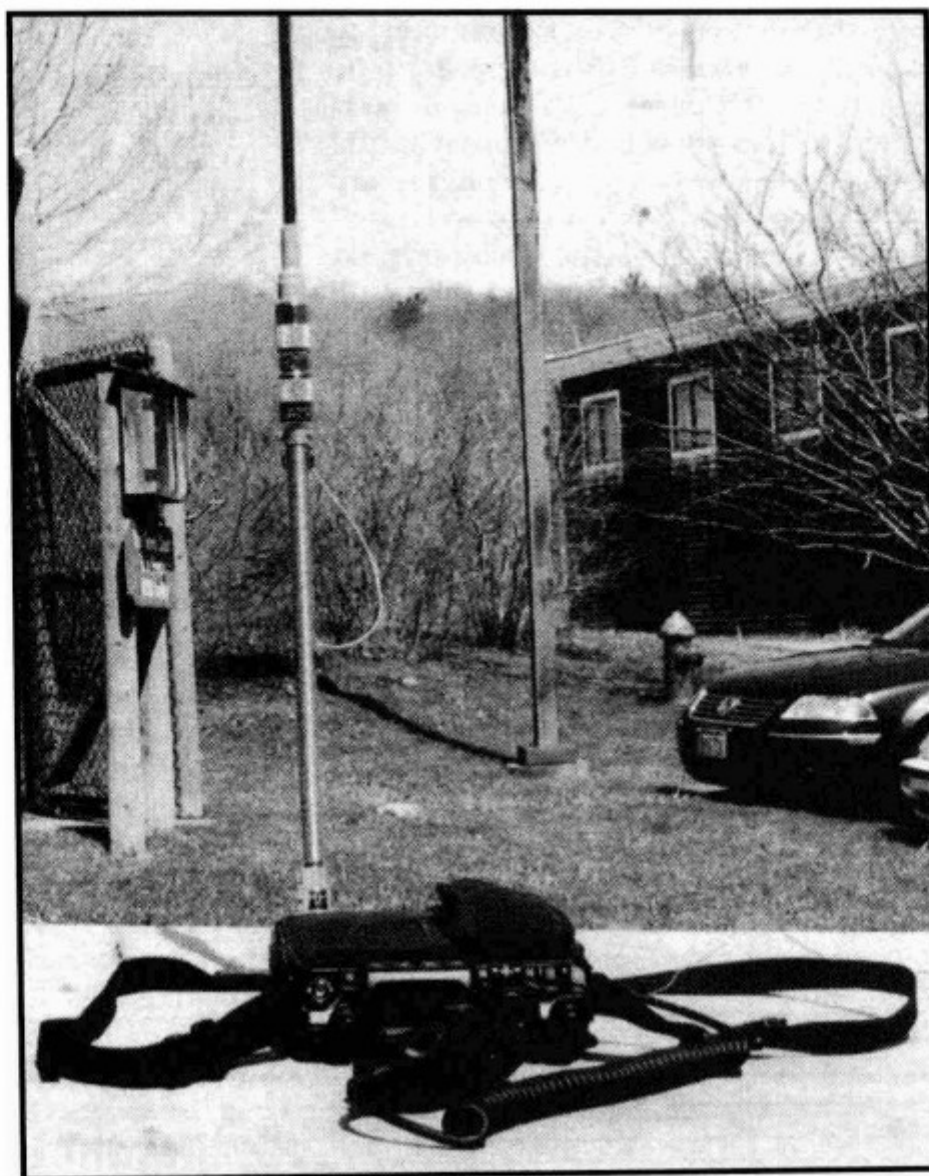


图 6-6 组装好的天线连接在收发信机上。可以看见地网伸向收发信机的左侧和右侧。

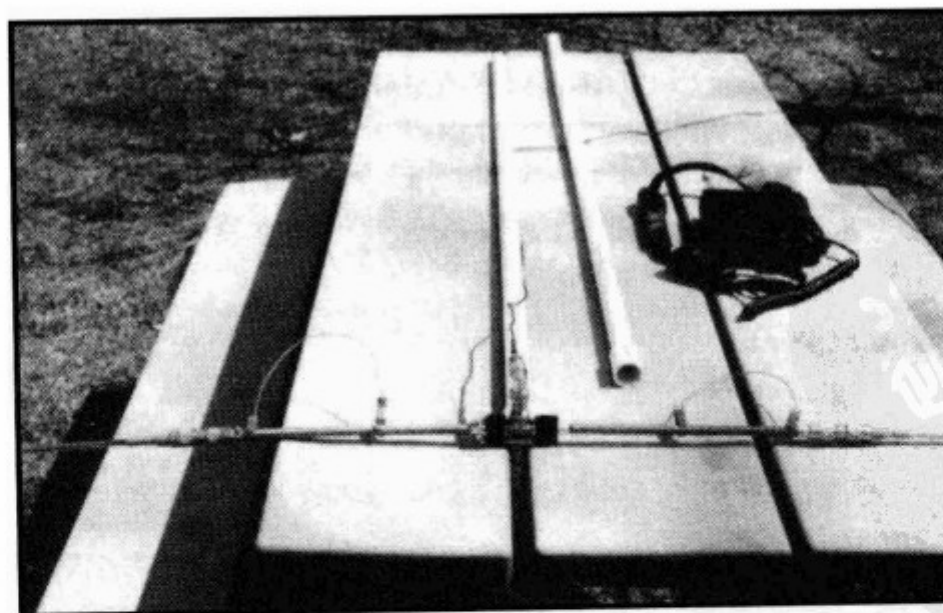


图 6-7 这个天线的双极天线版本（见正文）。便携式的桅杆是用 PVC 管做的，用 PVC 管接头连接。振子用 UHF 的 T 型接头连接起来，由切成两半的 T 型 PVC 的 T 型接头支撑并用胶带固定。其中有一个振子需要两个 B 连接端，见正文和图 6-4 说明。

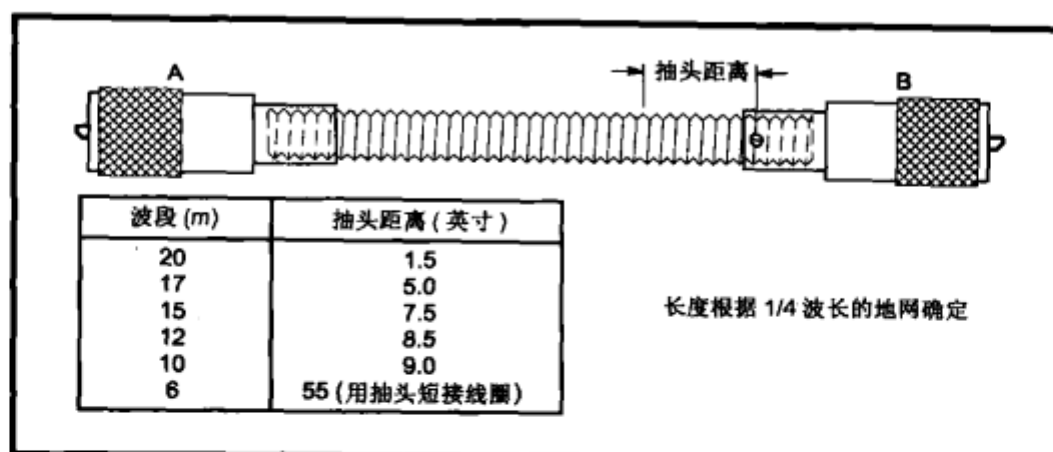


图 6-8 负载线圈大致的抽头位置。工作在 6m 时，用鳄鱼夹子短路线圈，调整天线长度到 55 英寸左右。

便携式桅杆

采用双极天线的形式时，需要一根便携桅杆，见图 6-7。桅杆用 1 英寸的 PVC 管和管接头制作。桅杆的装配见图 6-9。T 型管接头切成两半，把一个管接头装到一根桅杆上，把改造好的 T 型接头装到另一根桅杆上。使用 UHF 的 T 型同轴接头作为连接双极天线的振子的接头，用胶带把这个接头固定在柱子上。T 型管接头可以用锉刀锉出一个缺口，便于引出电缆。

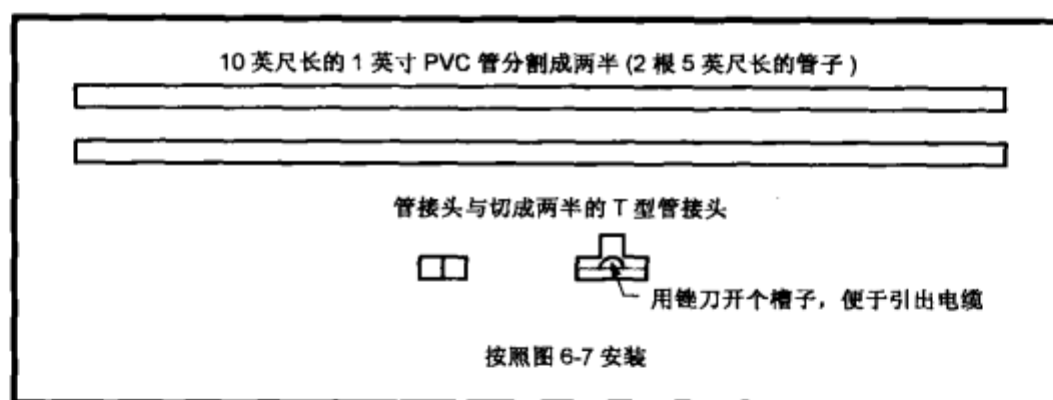


图 6-9 便携式桅杆的制作方法。桅杆由两根 5 英尺长的 PVC 管组成。两根管子用管接头连接。切成两半的 T 型 PVC 的 T 型接头支撑双极天线（须用胶带固定）。T 型接头锉的凹槽是引出电缆用的。

几点建议

在摆弄各种便携式天线时，笔者注意到，有时有 RF 反馈现象（停止对话筒说话，但是表上仍有 RF 指示）。把同轴电缆绕成直径 4 英寸的环型，绕 5 ~ 6 匝，作为电台天线连接端的共模扼流圈，能够消除这个现象。笔者发现 Yaesu 的 MH-36 话筒比收发信机自带的标准 MH-31 话筒更容易出现这个问题。

在使用直角接头（UG-646/U）把天线连接在 FT-817 电台后面板同轴电缆插座上时，

FT-817 插座位置方向不允许天线真正垂直安装。这是插座上的定位锁突起造成的，笔者用电动打磨工具磨掉了定位锁突起，问题得到解决。

采用磁性底座的移动天线工作在频率高一些的波段效果很好（见图 6-10），但是工作在 20m 段时，需要一个接地夹，夹在车体上，作为地网。

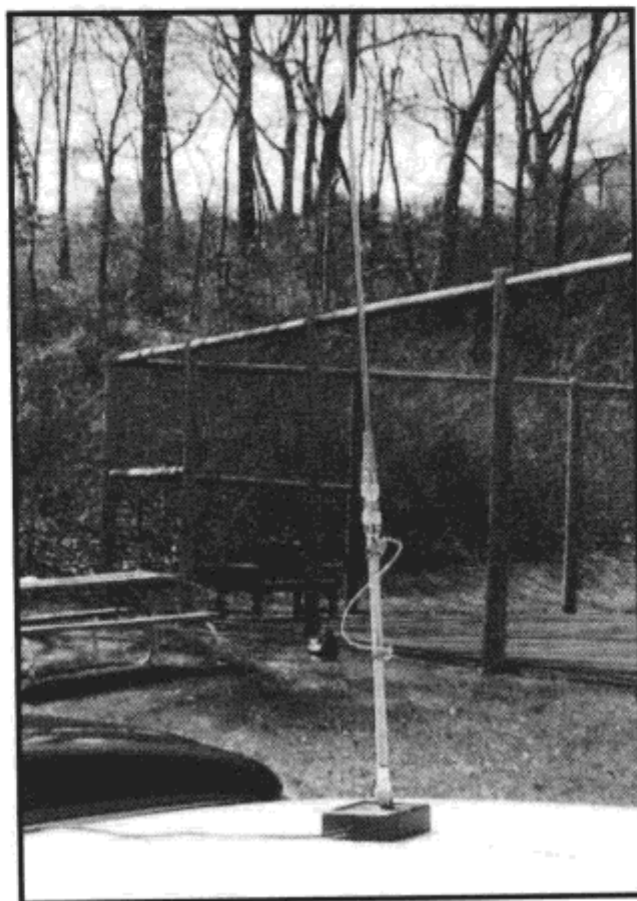


图 6-10 FARA 便携式多波段天线用做固定使用的移动天线，采用磁性底座。

6.3 Squirt 缩短型 80m 天线

曾经有一个时期，80m 是最热闹的业余频段之一。近来，80m 的人越来越少，因为很多 DX 联络都转移到高一些的频率上去了，而且市区的场地无法容纳 130 英尺 $\lambda/2$ 的天线。实际上 80m 对于本地联络都有很大潜力，即使是使用 QRP 设备。最近刊出的鸟鸣 PSK31 收发信机一文促进了近距离 QRP 联络^[1]。需要的就是一副能够架设在小场地的天线。因为 PSK31 弱信号时也能够使用，因此，可以牺牲一些天线的效率。

Squirt 天线是倒 V 天线，让 40m 段 $\lambda/2$ 倒 V 天线工作在 80m 段。图 6-11 是天线图纸，图 6-12 是架设前的 Squirt 天线。天线的两个振子约 34 英尺长，振子夹角为 90° ，馈线从中间馈入。架设时，天线的中间高度至少 20 英尺，振子两端离地面距离不能小于 7 英尺。这个天线高度低，侧重于高角 NVIS（接近垂直入射天线）传播，对于 80m 段的近距离到 150 英里或 200 英里的联络很理想，这也是 80m 段闪光之处。Squirt 天线中心高度为 30 英尺，两端离地面 7 英尺，天线两脚宽度约为 50 英尺。

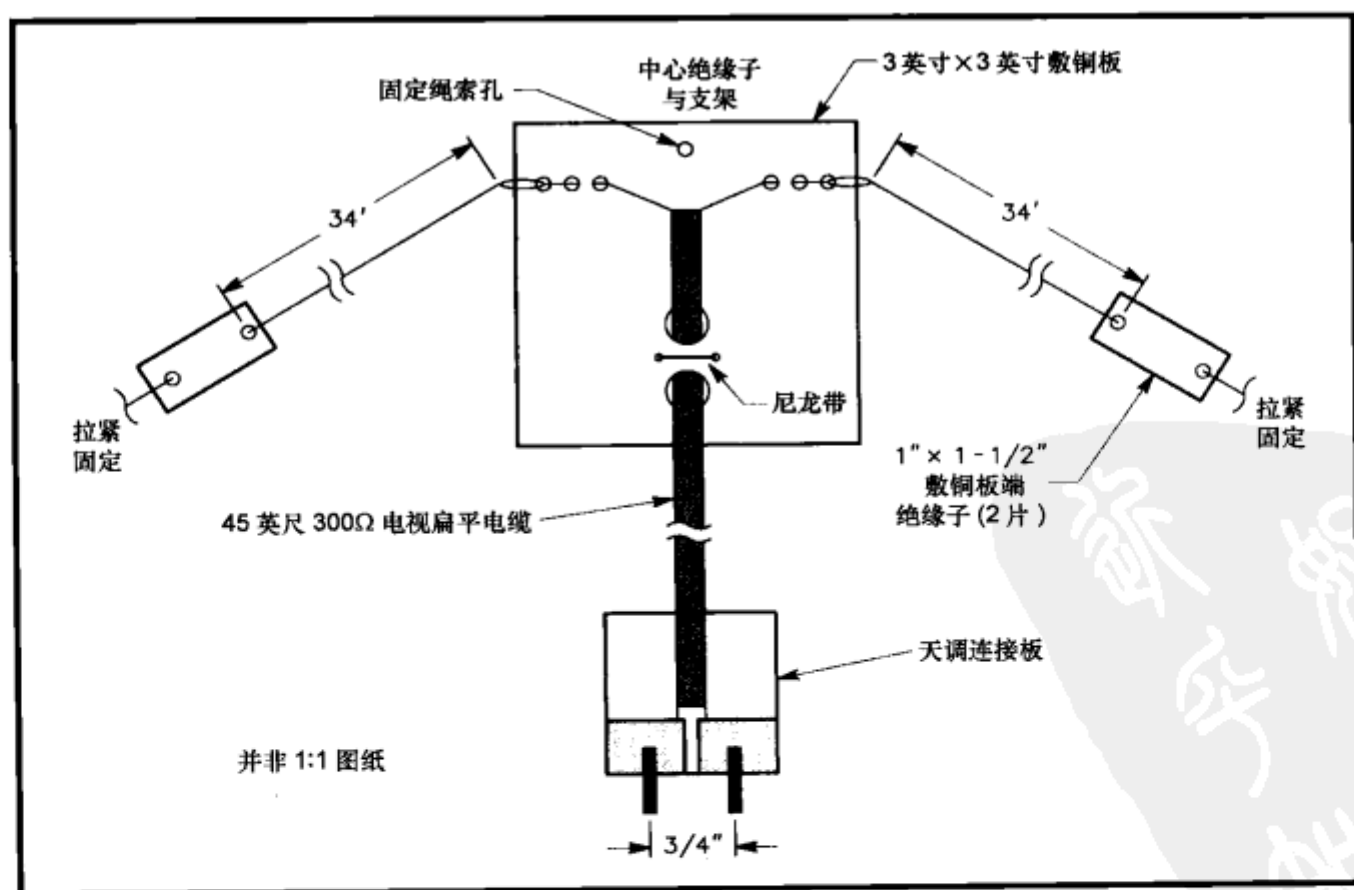


图 6-11 80m Squirt 天线结构示意图

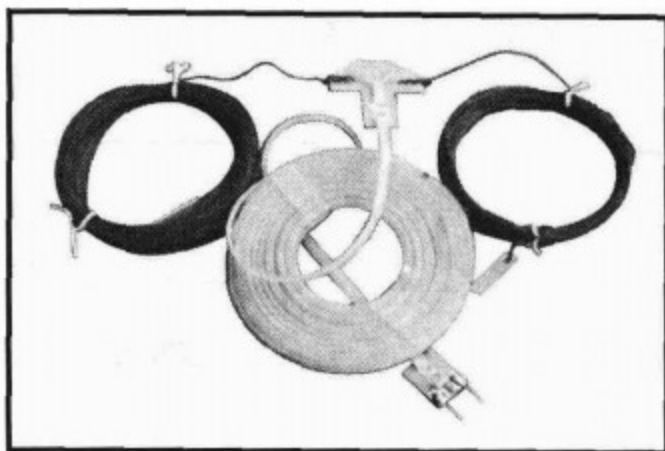


图 6-12 Squirt 天线总成

$\lambda/2$ 中心馈入式天线的一个优点是 与 50Ω 或 75Ω 电缆匹配很好（很讲究的爱好者使用巴伦）。但是 Squirt 天线在 80m 段只有 $\lambda/4$ 长，因此不谐振。馈入点阻抗电阻低、感抗高，这就意味着馈线电缆会产生很高的驻波，引起馈线损耗。针对这个问题，可以采用低损耗电缆，用天调把阻抗转换到 50Ω 。

笔者采用 300Ω 电视扁平作为馈线。虽然用空架线损耗更低，但是不如扁平电视馈线号引入方便。扁平电视馈线虽然损失一点发射信号，但是安装方便而且取材容易。

就地取材

天线的很多材料都可以在废料箱里解决。例如，中央绝缘子和振子两端的绝缘子（见图 6-11）都是用 $1/16$ 英寸厚的环氧基敷铜板边角料做的。天线的振子用的是 20 号或 22 号电线。尽管作为固定使用天线时，不建议采用这种线规的电线，但对于 Squirt 天线足够了。因为采用倒 V 形式安装，所以中间的绝缘子承受了天线的大部分重量，细一些的线很合适。笔者的天线选用较细的线，用了多年也没有损坏。但并不是说室内那种结实一些的 14 号或 12 号电线不能用。

振子两端的绝缘子

笔者采用 $1/2$ 英寸 $\times 1\frac{1}{2}$ 英寸，厚度为 $1/16$ 英寸的敷铜板当做振子两端的绝缘子。绝缘子的尺寸无严格要求，可根据实际的情况修改。敷铜板的敷铜要除去，最简单的方法是用尖嘴钳撕去铜箔。绝缘子的两端要 $1/8$ 英寸钻孔，供拴导线和固定绳用。

天调馈线连接板

天调末端的馈线连接在一个特殊的连接装板。因为电视扁平线的芯强度不大，因此很容易断。这个连接板可以增加机械强度，也使馈线与天调连接容易一些。除了需要几小块敷铜

板外，还需准备 4 ~ 5 英寸 18 ~ 12 号裸线，具体见图 6-13、图 6-14。

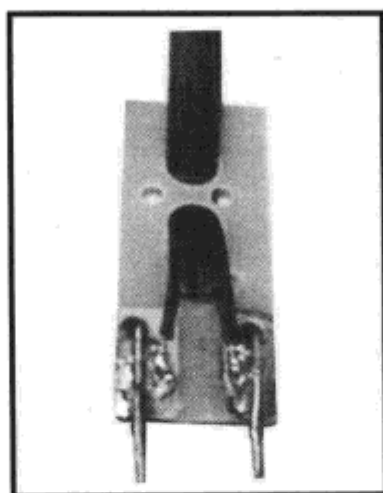


图 6-13 馈线—天调连接板焊盘面

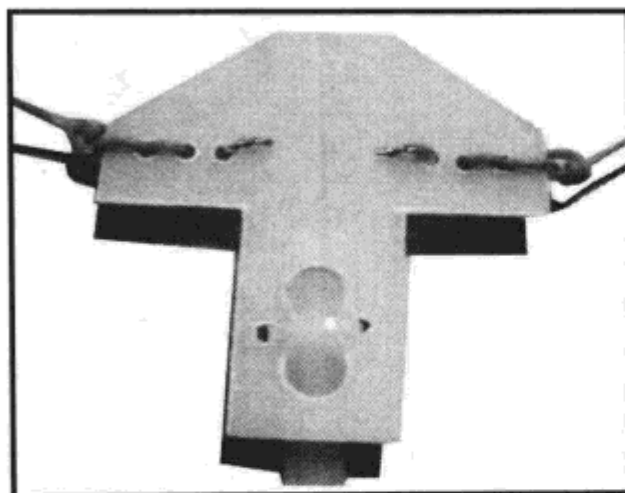


图 6-14 中心绝缘子的连接

取一块 $1\frac{1}{8} \times 1\frac{3}{4}$ 英寸的单面敷铜板，在距敷铜板一端 $\frac{1}{2}$ 英寸处用刀划开敷铜，撕去 $\frac{1}{4}$ 的铜箔，用刀在剩余敷铜上按照一定的尺寸划开铜箔，撕掉中间 $\frac{1}{8}$ 英寸的铜箔，留下两块独立的焊盘，见图 6-13B 和图 6-13。在焊盘上钻两个 $\frac{1}{12}$ 英寸的孔，孔距 $\frac{3}{4}$ 英寸。在连接板中间钻两个 $\frac{3}{8}$ 英寸的孔，两孔中心距离 $\frac{5}{8}$ 英寸，这两个孔是用来固定电缆的。

剪两段 3 英寸长的 18 ~ 12 号电线，把一根穿过 $\frac{1}{16}$ 英寸的孔，在无数铜面弯折大约 4 英寸，用焊锡焊接焊盘面的电线，剪去多余部分，伸出的线头有 1 英寸就够了。用同样方法焊另一根电线。把馈线两根芯线中间的绝缘部分剥去 2 英寸，让馈线穿过那两个 $\frac{3}{8}$ 英寸的孔，让两个芯线刚好碰到焊盘，剥去一点绝缘皮，用焊锡把芯线焊在焊盘上。带连接板的馈线就做好了。图 6-15 是连接板连接在 Squirt 天线天调的样子。

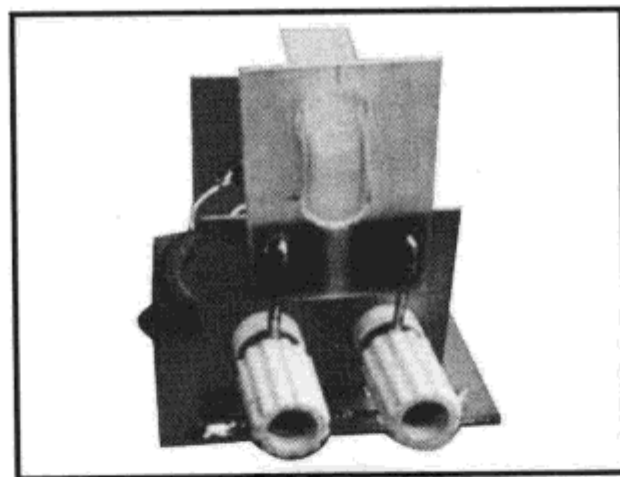


图 6-15 馈线—天调连接板连接在接线柱上

中间绝缘子

把一块 3 英寸见方敷铜板上的铜箔撕去，把图 6-16 当做模板，标出钻孔位置。6 个固定振子两孔和上固定孔的孔径为 $\frac{1}{8}$ 英寸。馈线孔直径为 $\frac{3}{8}$ 英寸，两孔中心距离 $\frac{1}{4}$ 英寸。馈线孔边的两个孔直径为 $\frac{1}{16}$ 英寸。这两个孔用来捆扎馈线。绝缘子最终的样子见图 6-16。也可根据个人喜好做成别的样子。

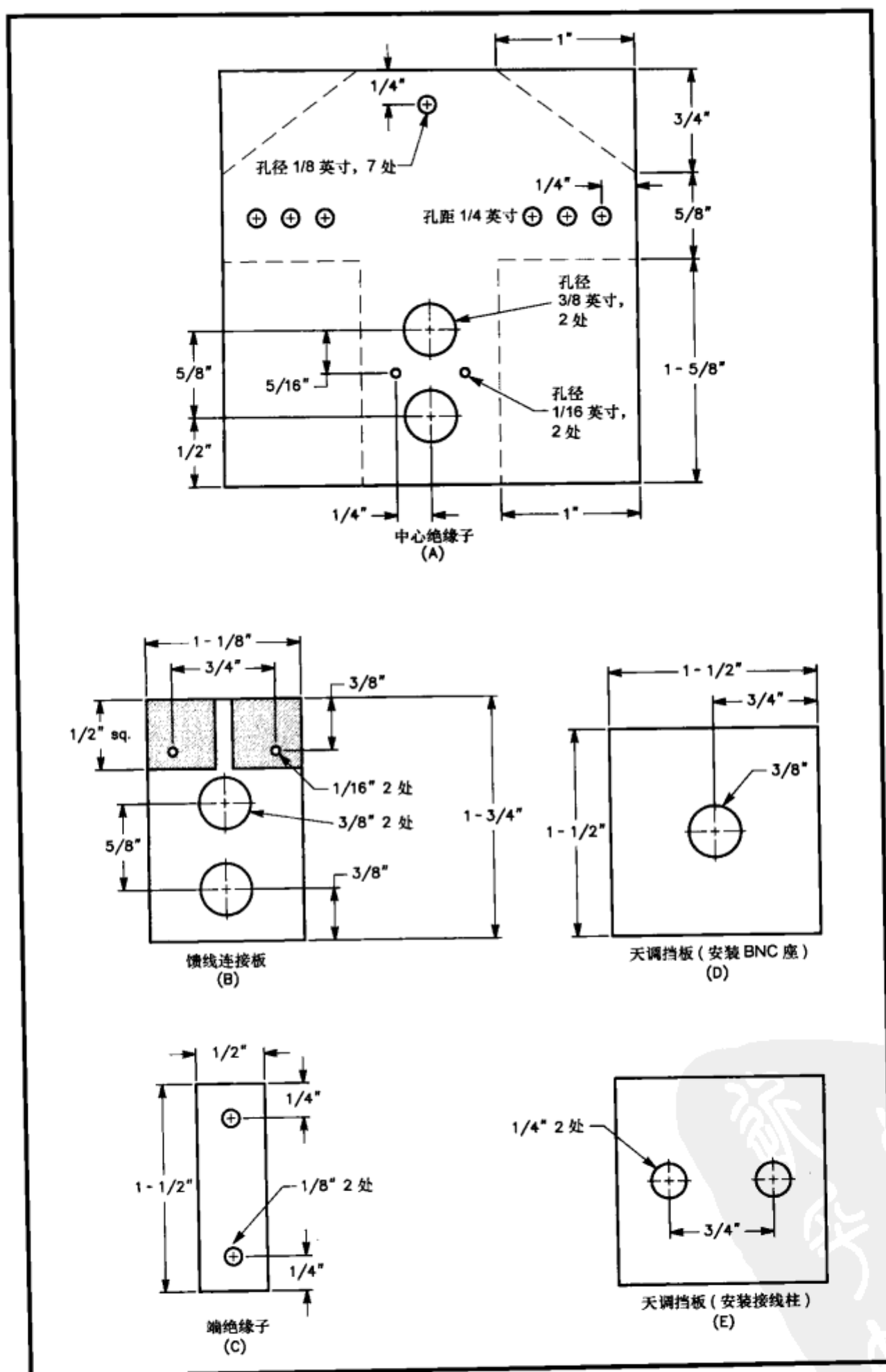


图 6-16 敷铜板零部件的钻孔位置与孔径

可用刀片切去孔的棱角，免得磨损电线和馈线外皮。

装配

组装先从中间绝缘子开始。把做振子的两根电线剪成约 34 英尺长。把振子的一端穿过最靠外的振子固定孔，然后折回，拧几圈固定线头。然后再把线头穿过另两个孔，这样线头就固定了。按照同样方法固定另一个振子。把扁平馈线两端的两个芯线分开几英寸，剥去 1/2 英寸长的绝缘皮。把扁平馈线穿过两个 3/8 英寸的孔。把振子线头的绝缘皮剥去 2 英寸，与馈线芯线拧在一起，接点用焊锡焊接。可在焊好的接头处施加 RTV 胶或其他密封胶，起到保护作用。最后用尼龙捆扎带穿过馈线两边的孔，把馈线捆紧，图 6-15 是中间绝缘子局部照片。

为了让天线 / 馈线系统能够使用 Squirt 天调，300 Ω 的扁平馈线长度约要 45 英尺长。如果需要使用其他天调，可能需要加长或缩短馈线，以适合天调的阻抗调整范围。

天调

这个天调十分简单，见图 6-17 和图 6-18。采用串联调谐谐振的电路，通过耦合线圈连接到同轴电缆。对 C1 笔者采用的是 20 ~ 200pF 压缩云母微调，也可采用同样容量的其他可变电容。电感 L1 是在 T68-2 磁环上绕 50 匝。也可采用空芯线圈，但是体积就大了。图 6-18 是把天调装在敷铜板做的底座上。原型天调笔者使用了几块敷铜板：一块 2 英寸 × 3 英寸的敷铜板当做底板，两块 1 1/2 英寸 × 1 1/2 英寸的敷铜板作为挡板。（见图 6-16），一块方形的敷铜板粘在底板上作为 L1 和 C1 的连接焊盘（见图 6-18 中 C1 的底下）。天调的一块挡板装有 2 只接线柱，在另一块挡板上装有 1 只 BNC 插座。L1 和 C1 悬空安装，连接在扁平馈线上。L1 次级的一端接地，焊接在底板和同轴电缆的屏蔽网上，次级的热端焊接在同轴插座的中心针上。

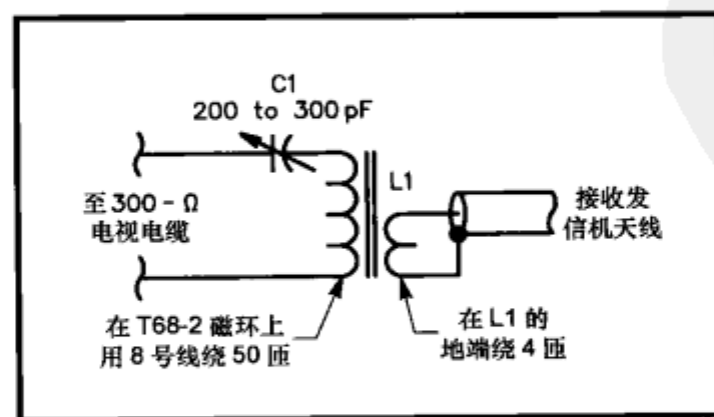


图 6-17 Squirt 天调电路图

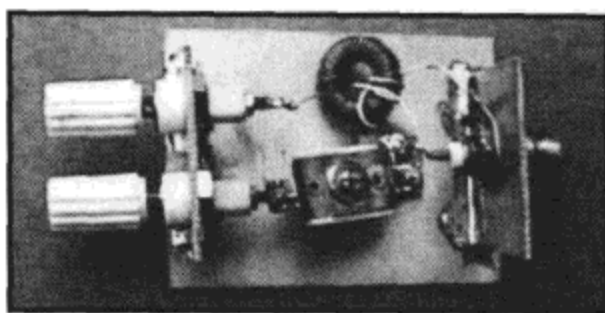


图 6-18 一块 2 英寸 × 3 英寸的敷铜板当做底板，两块 1 ½ 英寸 × 1 ½ 英寸的敷铜板作为挡板，一块方形的敷铜板粘在底板上作为 L1 和 C1 的连接焊盘。

天调测试

C1 的调谐很陡峭，所以在天调连接到天线之前应该检查 C1 的调谐情况。在接线柱上跨接 1 只 10Ω 电阻，模拟天线。如果使用天线分析仪作为信号源，最好使用 1 只 1/4W 的 Radio Shack 271 ~ 1301 电阻。如果使用 QRP 发射机作为信号源，需要总阻值为 8 ~ 10Ω 的电阻，电阻的功率要能够耗散所用 QRP 发射机的发射功率。4 只 Radio Shack 271 ~ 1301 电阻（2 只串联后再并联）就是很好的负载电阻，但是发射时间不要过长。也可使用其他电阻组成合用的负载。用绝缘改锥调节 C1，使驻波比低于 1.5:1。

天调经使用负载证实工作正常后，就可以连接到 Squirt 天线了。此时 C1 的调谐同样很陡峭，驻波比为 2:1 的带宽为 40kHz 为正常。

多波段操作

尽管 Squirt 天线是 80m 天线，但是也可以多波段工作。简易 Squirt 天调设计成 80m 匹配用。但是，如果使用通用型平衡天调，例如老式的 Johnson 匹配盒或者近来流行的 Z 匹配天调（例如 Emtech ZM-2），就可以让 Squirt 天线工作在任何 HF 波段。原型 Squirt 天线曾在 80m、40m、30m、20m、15m 工作过数月，效果很好，效果很像使用梯形馈线（ladder line）的天线。尽管没有进行比较性的试验，但是 Squirt 天线使用 QRP 在 40m、20m、15m 进行了海岸与海岸之间的 CW 联络，晚间在 80m 能够覆盖东海岸。

注释

[1] Dave Benson, NN1G, and George Heron, N2APB. “The Warbler—A Simple PSK31 Transceiver for 80 Meters.” *QST*, Mar 2001, pp 25-35

6.4 飞蝇杆垂直天线

在野外架设双极天线经常会遇到一些困难。假设步行来到目的地，器材都随身带来了，就是无法带铁塔。大多数人依靠大自然提供的支架，但是如果目的地是一个山峰，面前是一片开阔地，这就意味着找不到合适的树木作为支架，无法架设双极天线。

地点好，但没有树

图 6-19 所示就是无法架设双极天线的地形，周围没有高过 6 英尺的树木。大家觉得平均高度超过 1 000 英尺了，但是，馈线馈入点离地面很低。高度低的双极天线的辐射电阻可能偏离 50Ω 。

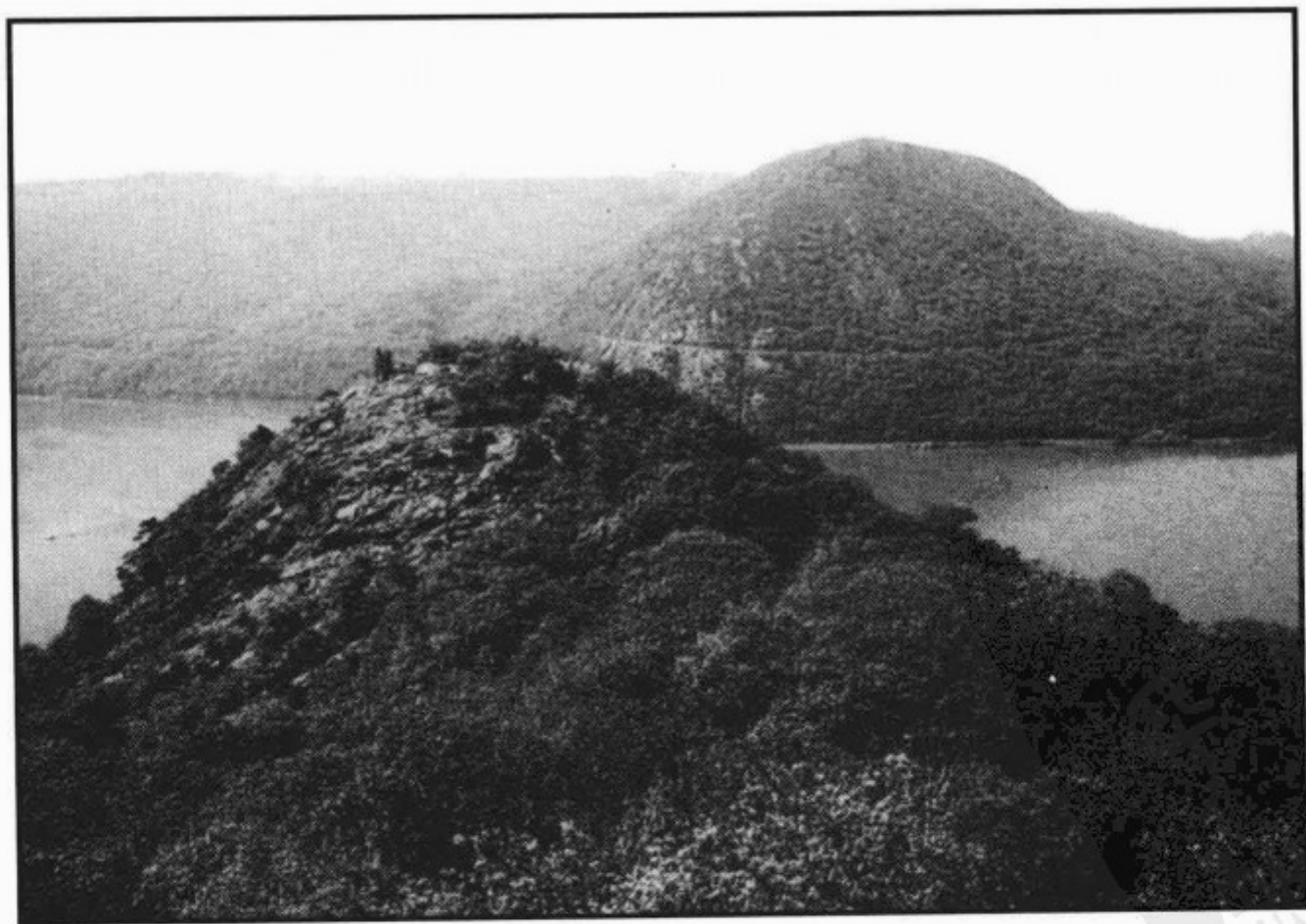


图 6-19 无法架设双极天线的地形，周围没有高过 6 英尺的树木。

使用一根33英尺长可伸缩的玻璃钢杆作为支架效果不错，但是杆子的自身重量就有3磅，而且一个人很难立起来。

1/4 波长垂直天线如果有足够的地线系统，性能很好。尽管垂直天线向四周辐射都不是很好，但是在有些环境下还是有很好的效果，例如，在咸水附近。地损耗往往使垂直天线性能低于双极天线，哪怕是架设高度不高的双极天线。但是垂直天线性能还算不错的，此外，在周围都是岩石的山峰上架设容易。

模拟数据

经验告诉我们，在山坡上，垂直天线的性能要超过架设高度低的双极天线。笔者利用EZNEC 软件系统得到了同样的答案。图 6-20 比较了 3 种天线：一个架设高度 33 英尺的平顶 20m 半波水平双极天线、同样高度的半波倒 V 天线、一个架设在平地上高度 8 英尺的半波双极天线，笔者认为 33 英尺高的半波天线是金标准。倒 V 天线虽没有平顶的好，但也达到目的。在光秃秃的山顶架设 8 英尺高的双极天线也很难。如图 6-20 所示，高度为 8 英尺的天线辐射情况也不好。

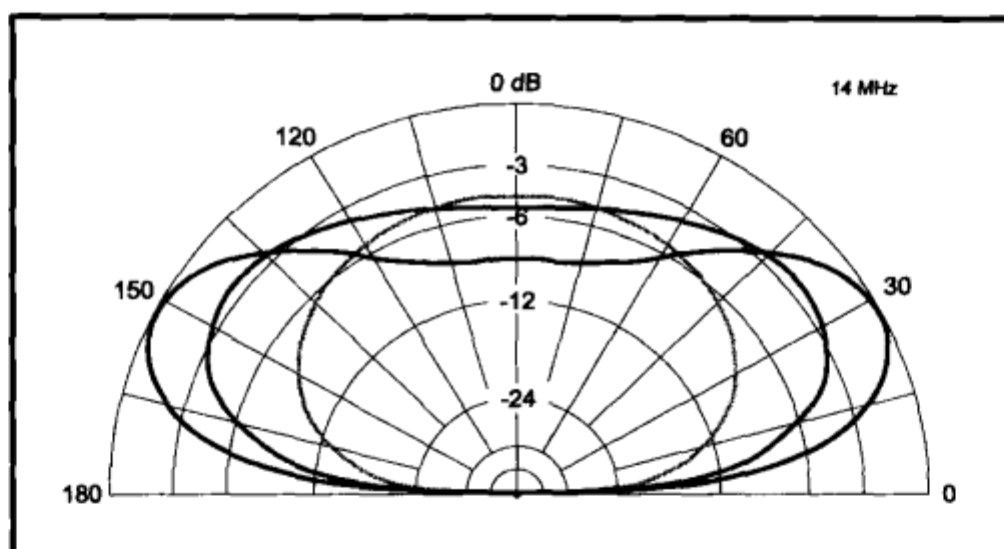


图 6-20 20m 双极天线比较。架设高度 33 英尺平顶水平双极天线半波天线用黑色表示；架设高度 33 英尺半波平顶水平双极天线用黑色表示；高度 33 英尺倒 V 天线用蓝色表示；高度 8 英尺半波平顶水平双极天线用绿色表示。模拟式是在导电性差的土壤进行的。

图 6-21 比较了在山地架设的 20m 1/4 波长垂直天线、倒 V 天线、高度低的双极天线。垂直天线比高度低的天线在仰角低于 30° 时高 2dB。这 2dB 的差别很难察觉到，但是经验表明，垂直天线要超过倒 V 天线 1 个 S 左右。

接地情况

前面模拟中最明显的问题就是对地的定义。波瓣仰角由地远离天线的辐射来确定。垂直

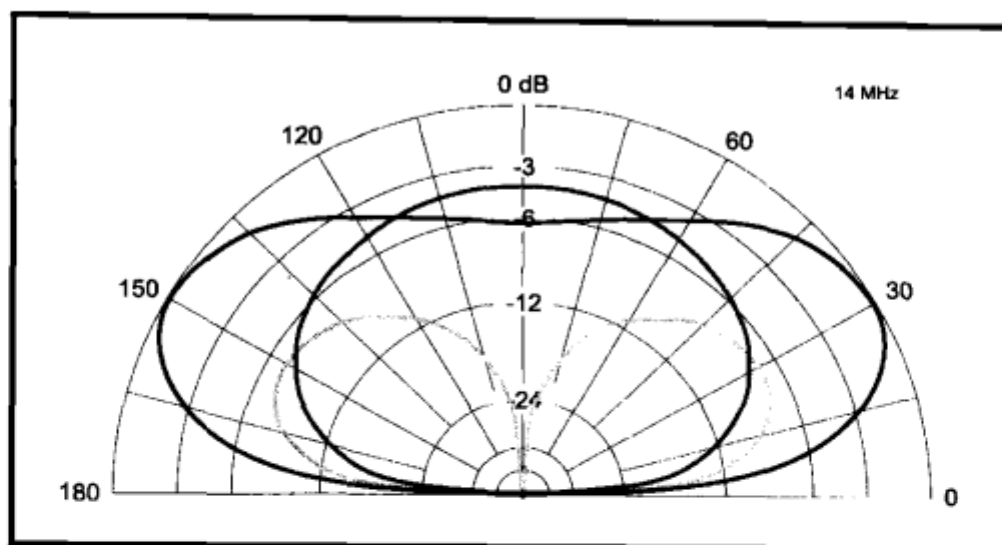


图 6-21 架设高度 33 英尺倒 V 天线、架设高度 8 英尺水平双极天线、20m 1/4 波长垂直天线（绿色）的比较。使用导电性差、平地模型。

天线在低角度情况下，直到 100m，都对地很敏感。

使用 EZNEC 软件系统很难模拟山坡情况，但是一根线作为地可能会解释为什么垂直天线比模拟情况好一些。

图 6-23 的天线同图 6-24，但是带有坡度（30°坡，高度 83 英尺，这是 EZNEC 软件系统的限制）。垂直天线低角度辐射有很大增加。高度低的双极天线低角度辐射更大一些，在 32°时天线辐射图很好。模拟是否准确？当然不准，但的确表明山顶上天线低角度辐射有明显改善。

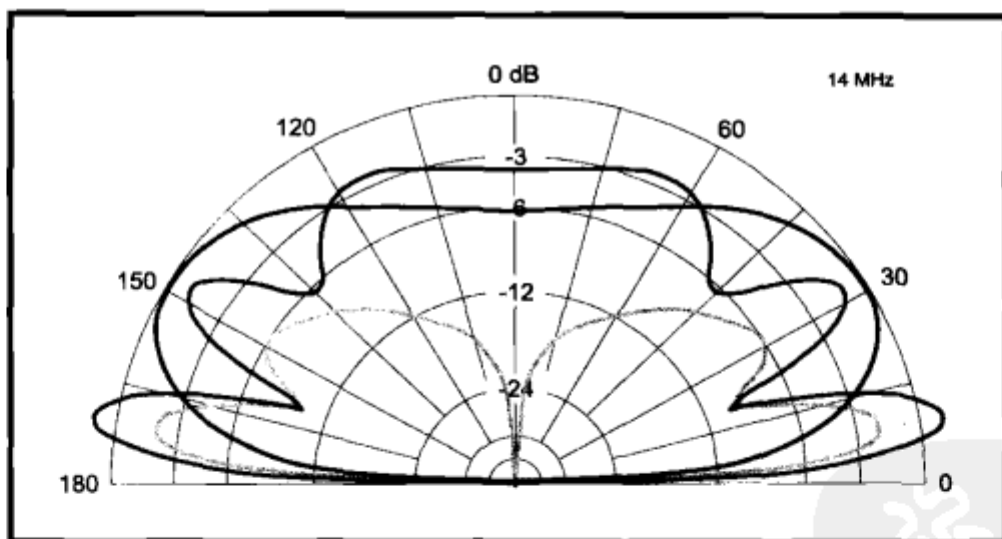


图 6-22 架设高度 33 英尺倒 V 天线（黑色）、架设高度 8 英尺水平双极天线（蓝色）、20m 1/4 波长垂直天线（绿色）的比较。倒 V 天线架设在平地作为参考，高度低的双极天线和垂直天线使用导电性差山峰地面模型。

方位角图形

垂直天线在地面的模拟性能不如架设高度低的双极天线，但是向四周辐射是相等的。如

果接收的信号是在双极天线的轴向（或轴向附近），垂直天线效果就要好一些。图 6-23 介绍了 3 种天线的方位角图形。

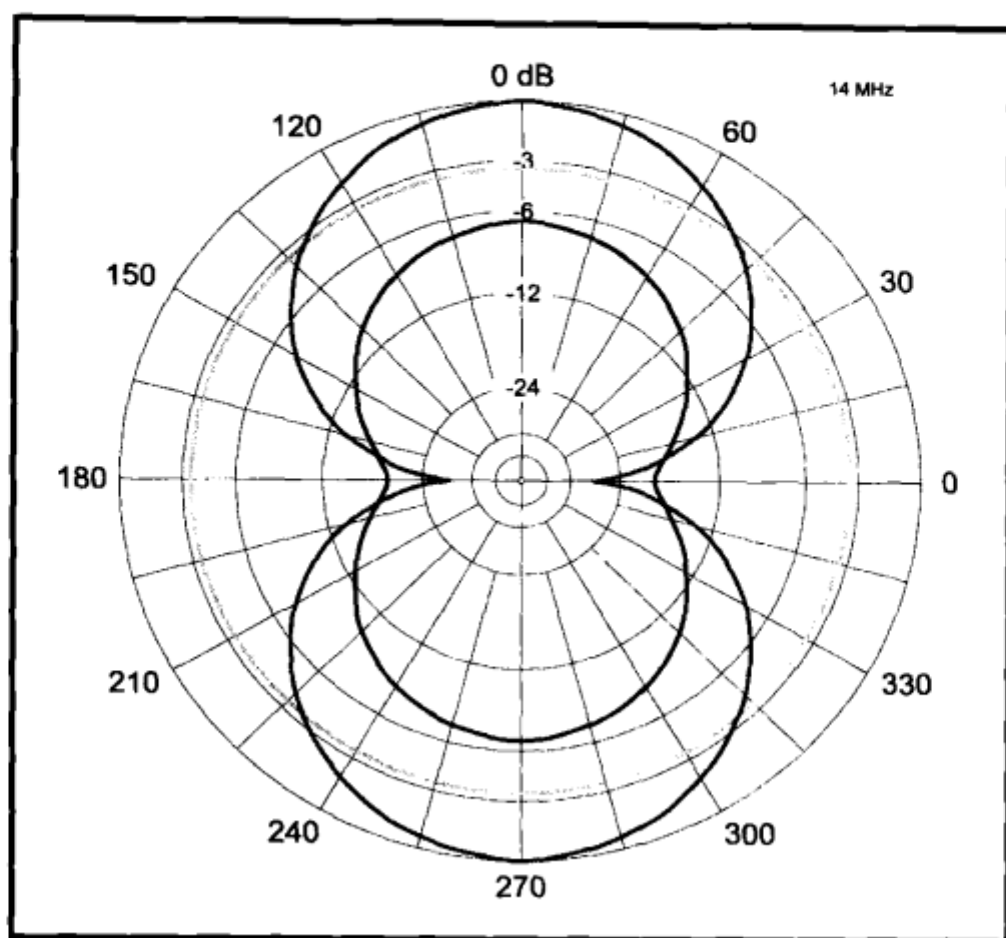


图 6-23 在平地架设的倒 V 天线（黑色）、低高度双极天线（蓝色）、垂直天线（绿色）的方位角图形（10°仰角）——采用低导电山坡模型

极性

垂直天线野外效果好的唯一合理解释就是极性。一般认为，天波信号极性是随意的。理论上讲完美穿过极化信号不会把能量感应到线性极化的天线。

与双极天线并排试验时，双极天线往往在短跳信号（高角度天波）胜出，DX 信号（低角度天波）就不一定了。但是当垂直天线效果好于双极天线时，效果就要好很多。可能天波信号是任意极化的，笔者猜测信号大多数时间是向垂直极性倾斜的。

飞蝇杆垂直天线

笔者的不少火腿朋友都喜欢钓鱼，所以飞杆管很多。飞蝇杆管既当包装盒、又当辐射振子。笔者现在使用的是第三版的飞蝇杆天线了，见图 6-24 和图 6-25。每个版本都有一个长桅杆，一个比较粗但短的管子。每个版本都尝试在便携、强度、性能方面进行改进。第三版

应该是最佳的。桅杆分 4 节，每节都是长度 2.5 英尺、外径 1/2 英寸、壁厚 0.038 英寸的铝管。这种管材还用来制作 10 英尺长的三角架。所有管子都是用 3/8 英寸 24 TPI 螺栓接起来，见图 6-26。

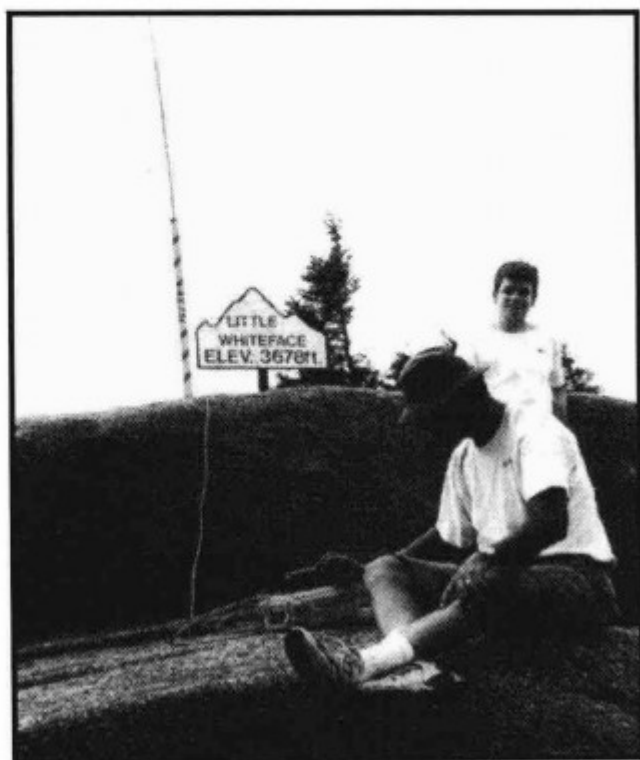


图 6-24 在纽约普拉希德湖边利特而·怀特费斯山使用飞杆天线，N2XE 正在操作 K1。

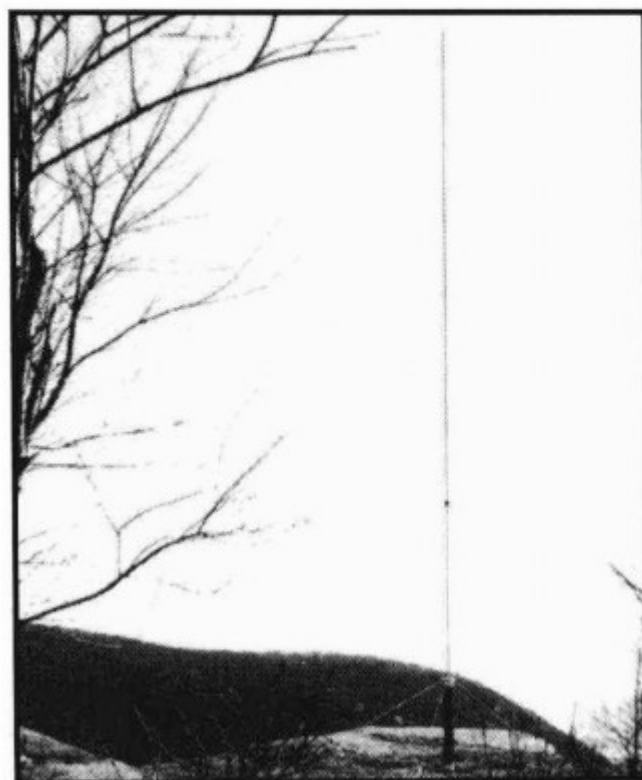


图 6-25 飞蝇杆天线架设在图 6-19 照片的山上。天线高度 17 英尺，工作在 40m。

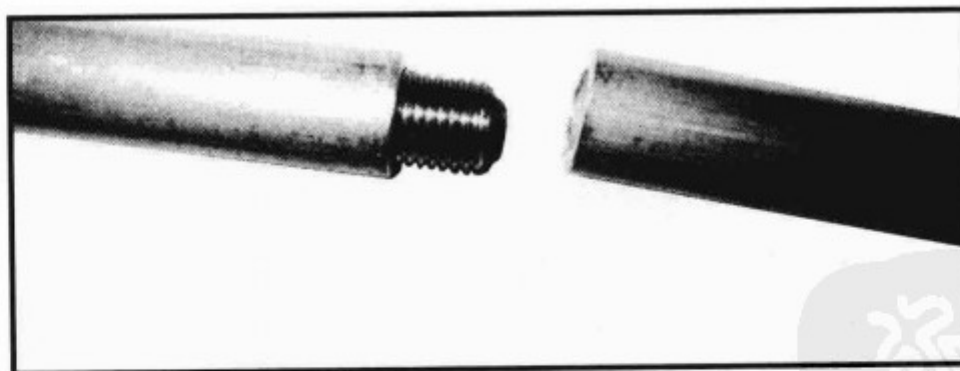


图 6-26 桅杆的连接。一只 1 英寸长 3/8×24 TPI 螺栓装在一端，使用锁紧螺钉或压紧。另一端需要攻螺纹，然后拧在一起。

除了桅杆之外，另外需要费点功夫的部分就是三脚架。三脚架的底座就是 HustlerVP-1 多波段转接头，中心孔要扩大到 1/2 英寸，以便容纳尼龙垫圈（图 6-27、图 6-28）。SO-239 天线螺栓固定在 VP-1 上，这样 VP-1 就在同轴电缆的屏蔽侧了（接地），螺纹管帽是热端。

三脚架的腿也是用 3/8 螺栓连接，用螺帽那三角架的腿与 VP-1 拧在一起，用手指拧螺帽就可以。



图 6-27 飞蝇杆天线底部。尼龙垫片把地线和三角架与振子隔离开。三角架上的三角形板是一只 HustlerVP-1 三波段转接器。

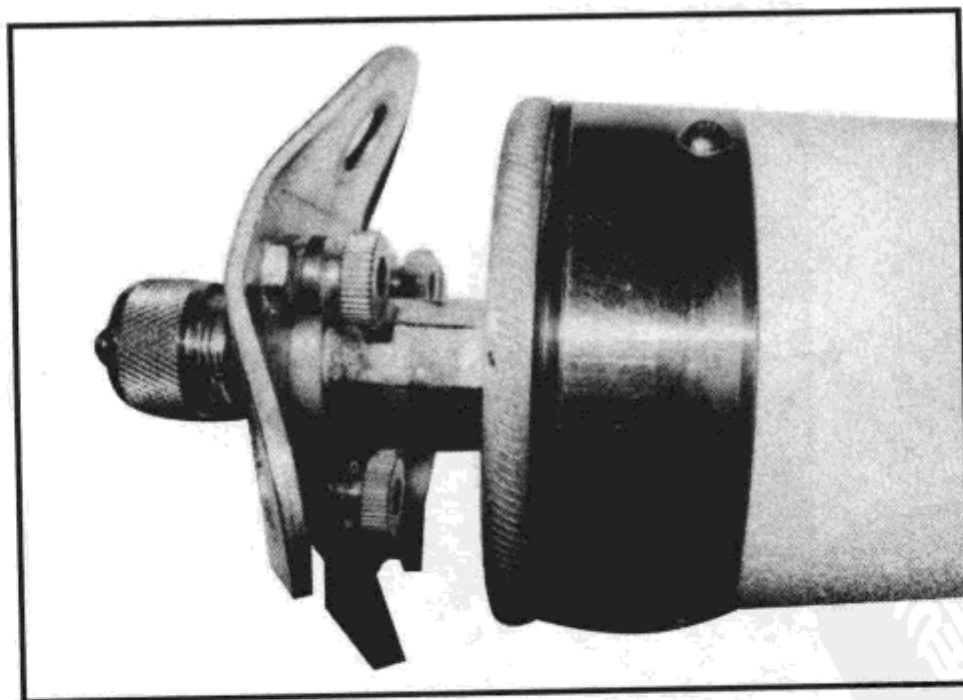


图 6-28 飞蝇杆天线 RF 盖子总成与凸边。凸边的螺钉提供了凸边与管子之间的电气接触。

飞蝇杆管

如果对钓鱼管不熟悉，就买新杆。REC 公司生产的鱼杆就非常好。笔者把管子加工成两

端有螺丝盖和凸边的样子。

因为凸边是用胶粘在铝管上的，所以要保证电气接触。凸边上要拧入 3 个螺钉，见图 6-28。

桅杆长度（包含携带管）为 12.5 英尺，因此需要 Hustler 的 17m 谐振器把垂直天线调谐到 20m。使用这种结构，配用低损耗电缆，笔者的 K1 收发信机使用内部天调就可以覆盖 30m、20m、25m。这可能不是效率最高的办法，但是可以工作。此外，换波段时不必更换谐振器，节省时间。

在 40m，飞蝇杆垂直天线或许需要更多的金属或电感来谐振。图 6-25 介绍的是飞蝇杆天线使用了 PVC 管制作的谐振器。

径向辐射地网

垂直天线最让人迷惑的问题就是接地问题。模拟结果表明，接地方法很重要。但在实际操作中，也没有那么重要。如果可以接受 60% ~ 70% 的天线效率，接地方法就很多。笔者使用了 6 条 20 英尺长的电线。笔者试验了几种长度，但区别不大。接地线用鳄鱼夹夹在 VP-1 上，与地称扇状散开，见图 6-27 和图 6-29。

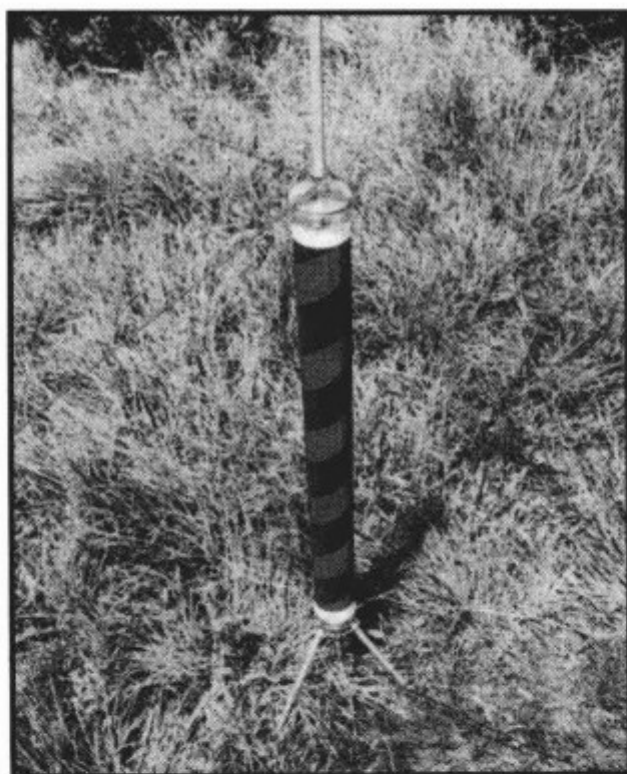


图 6-29 飞蝇杆天线的固定牵索和接地线。使用了 6 条 20 英尺长的电线。
接地线用鳄鱼夹夹在 VP-1 上（每两根地线用一个鳄鱼夹子）。

架设在地面上的垂直天线，如果接地很好，馈入点阻抗为 36Ω 。笔者测量的总是 50Ω ，差别是 $14 \sim 11\Omega$ 接地电阻和负载线圈的损耗。这对驻波比来说已经很好，但是意味着效率

只有 75%，QRP 满功率工作，有 1.4W 给线圈和蚯蚓保暖用了。

笔者能接受馈入点阻抗为 36Ω ，驻波比为 1.5:1，但是在电缆匹配良好的情况下，可以使用 20 英尺长的 RG-178 电缆，此外 RC-178 电缆很容易串入铝管。

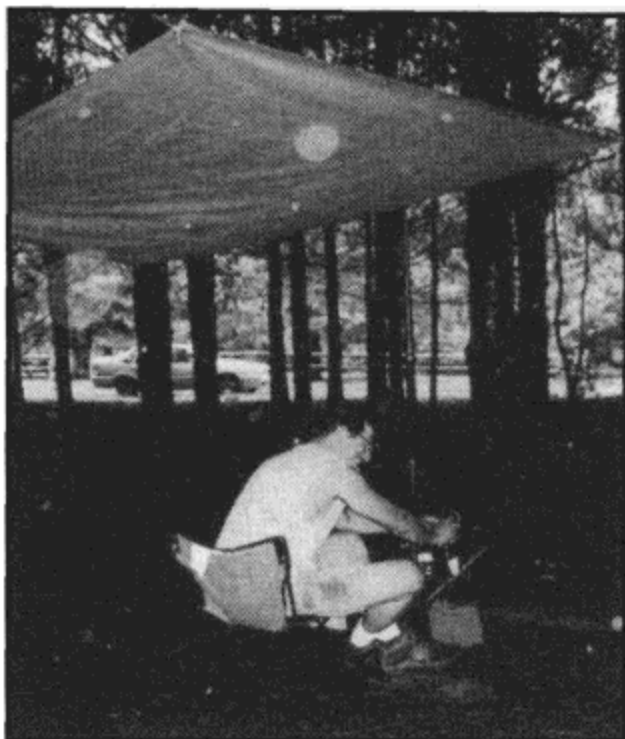


图 6-30 在大雨倾盆的福尔吉尼亚仙纳度山谷。N2XE 在 80m 段与 Empire Slow Speed 网络联络。对方使用 Ten-Tec Argonaut 5，输出 20W，信号 579。

苛刻的测试

野外使用飞蝇杆垂直天线效果很好。模拟结果表明，这种天线尤其适合在山坡上使用。当然，用灯泡当天线联络到稀有的 DX 电台这类故事也不是不常见。既然如此，笔者必须对天线进行挑战性的测试。

2003 年 7 月 12 日，笔者来到图 6-19 照片的地点，进携带了 Rock Mite 收发信机和飞蝇杆垂直天线。测试条件是输出功率 400mW，没有 VFO，72% 的天线效率（在 40m 情况就更加不利了），RG-178 馈线。

笔者爬上了 1 000 英尺垂直高的的山峰，把设备安顿好。因为输出功率还不到 1W，最好的办法就是先听。频率上没有这个信号。两个电台在 Rock Mite 的频率上呼叫 CQ，笔者联系上了丹尼斯（K1LGO，使用 K1）和布莱恩（N1BQ），两个电台都是缅因州的，距离笔者的位置约 250 英里。

笔者做了几个飞蝇杆天线，80 ~ 10m 各波段都取得了良好的效果。图 6-31 ~ 图 6-34 提供了制作数据。飞杆天线重量约 3 磅，但是有潜力减少重量。

飞蝇杆天线架设容易，可以在背包里携带。虽然没有完全解决无法架设双极天线的问题，但是的确使开始容易了。

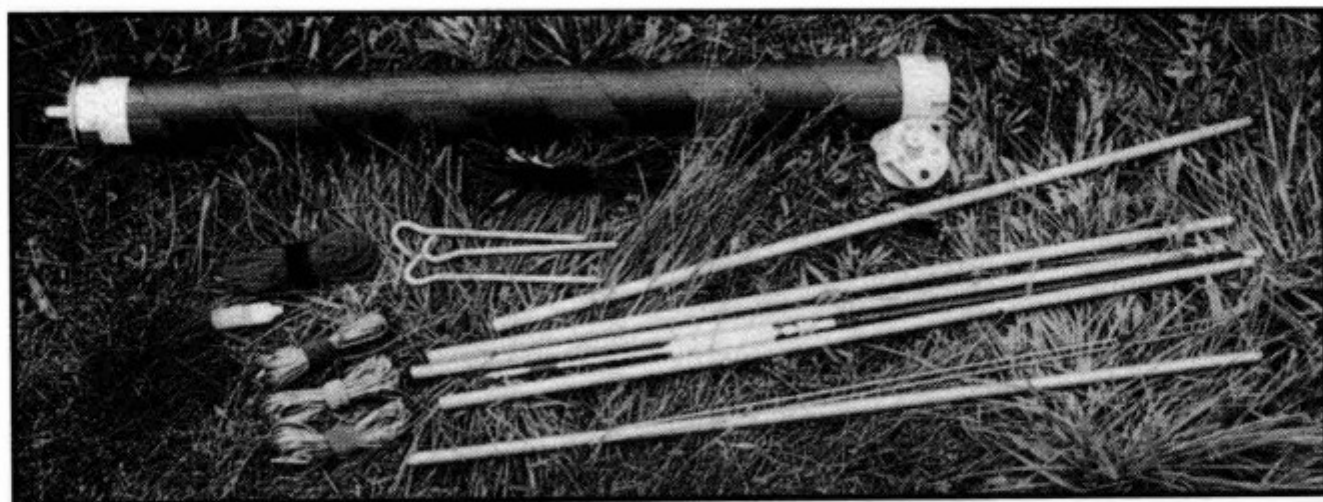


图 6-31 分解的飞蝇杆垂直天线

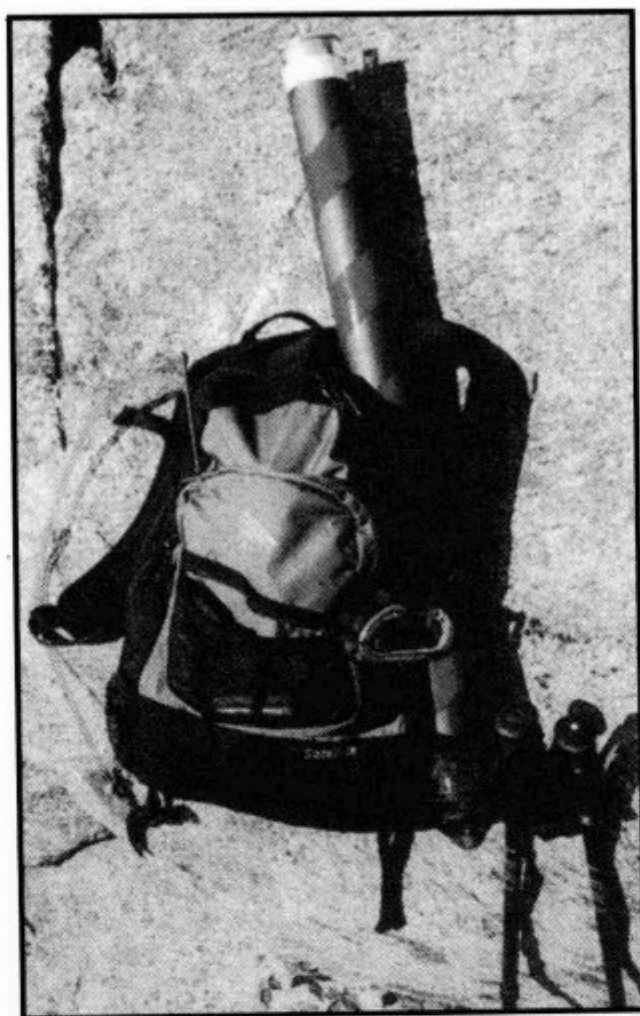


图 6-32 装进背包，准备回家。

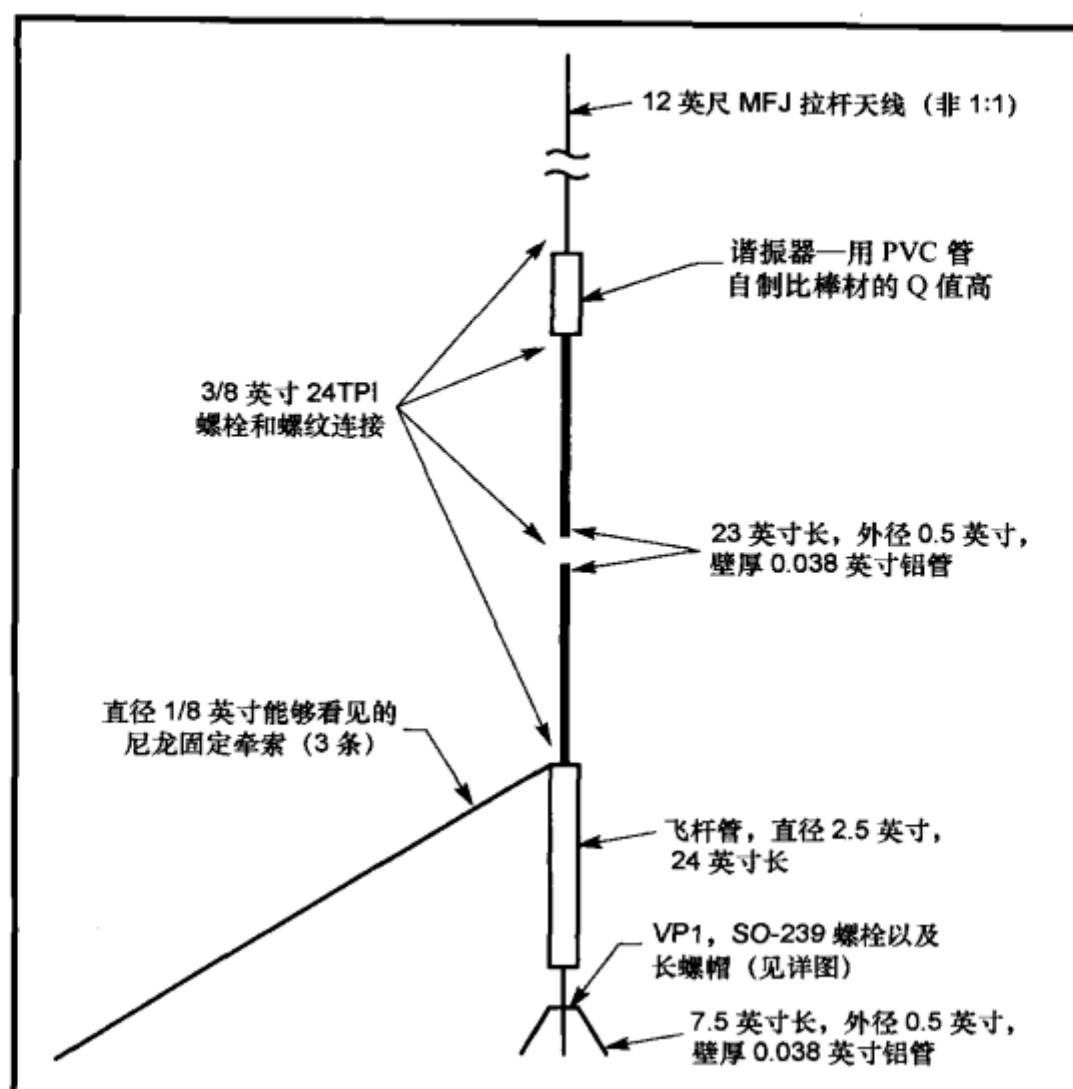


图 6-33 飞蝇杆垂直天线安装图

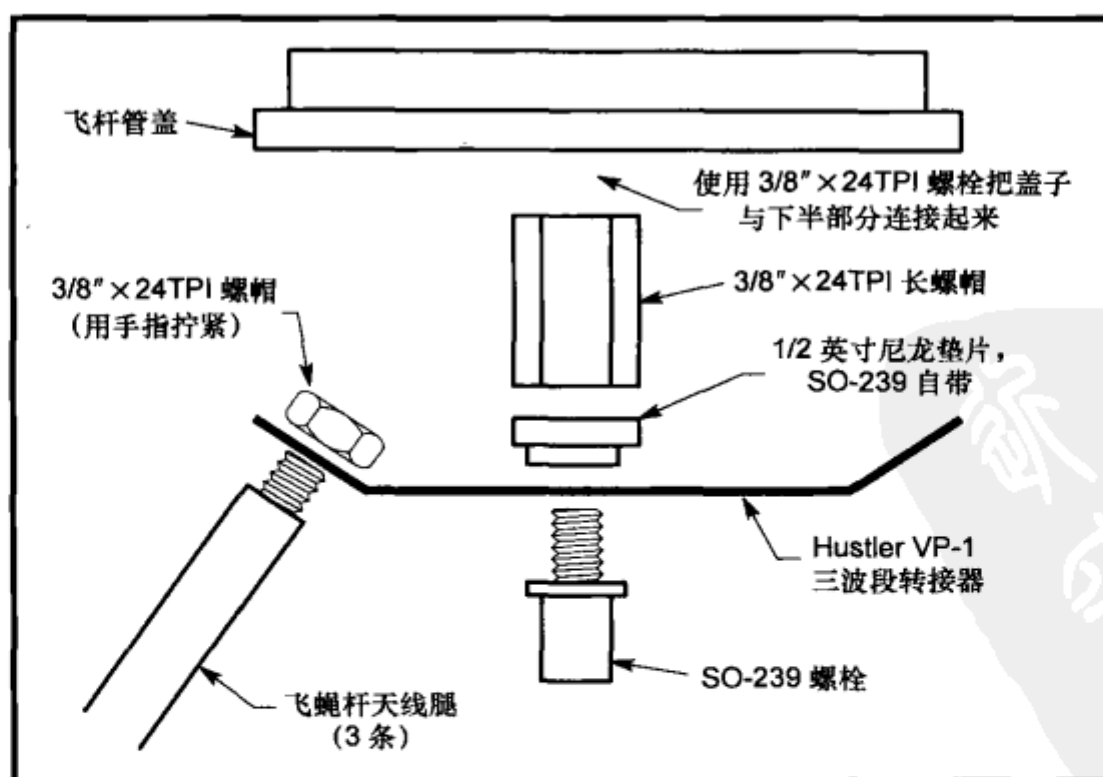
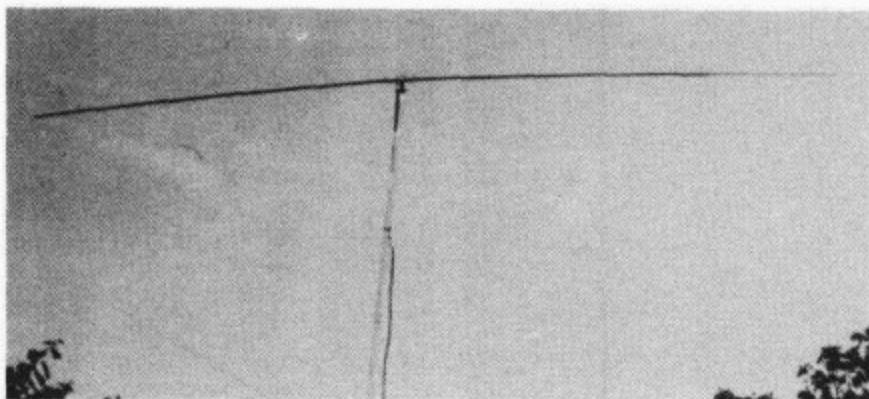


图 6-34 飞蝇杆天线底部和三角架结构图

6.5 倒 U 型天线

ARRL 野外活动倾向于三种天线准则：简单、体积小、重量轻。复杂的天线会增加出错的几率，庞大的天线很难运输，有时没有足够的空间架设。重型天线需要粗大的支架，因此总体重量就增加了。

近年来，一些轻型可折叠的桅杆出现了，将其用绳索拉紧，可承受 5 ~ 10 磅重的天线。这种桅杆大都适合 10m



段管状天线或支撑线材的天线。此外，还可以用手旋转，对准目标。如果能把天线覆盖范围扩大到 20 ~ 10m，那么这些 20 ~ 30 英尺长的桅杆就更有使用价值了。倒 U 型天线可能是解决方案。

基本概念

双极天线的最大电流出现在从馈入点到外端端部之间的开始 1/2 处。如果空间有限，弯折振子外端部分不会影响天线性能。如果从 10m 段管状天线开始（总长度约为 200 英寸），就可以延长天线，工作在 12m、15m、17m 或 20m，把这部分弯折，以适应架设场地的空间。

如果能找到架设 10m 可旋转双极天线的地点，离地面高度不低于 20 英尺，而且在空间上允许转动天线，那么就可以让延长的部分垂下来。图 6-35 就是 10 ~ 20m 各波段天线的相关部分。20m 段的延长部分是 10m 双极天线长度的一半。安全性强制要求天线高度至少 20 英尺，天线端部离地面 10 英尺。无论功率多大，在发射时，双极天线的端部都有很高的 RF 电压，不能触碰到人体。

振子总长度的二分之一笔直垂下也不会损失很多信号强度。随着下垂部分长度的增加，在减少的侧哑带（side-nulls）里出现双向增益损耗。图 6-36 是用 10m 水平振子的倒 U 型天线自由空间 E 平面（方位角）图形。10m 和 15m 之间几乎察觉不到有增益下降。20m 段宽面增益下降 0.5dB，在天线端部信号有增强。在 20m，振子垂直部分的电流变大，使图形变圆。

倒 U 型天线的真正局限性是天线离地面高度的作用。馈入点离地面 20 英尺时，可以得

到图 6-37 的图形。10m 的图形是典型的离地面高度 $5\lambda/8$ 双极天线图形。在 15m，天线高度仅为 0.45λ ，导致信号仰角整体增加，增益下降。在 20m，角度更大，天线高度低于 0.3λ 时信号强度减小。但是信号还是可用的。原尺寸双极天线在 20m 时在同样高度增益也只能略有增加，仰角与倒 U 型天线的仰角基本相同，尽管天线的形状不同。

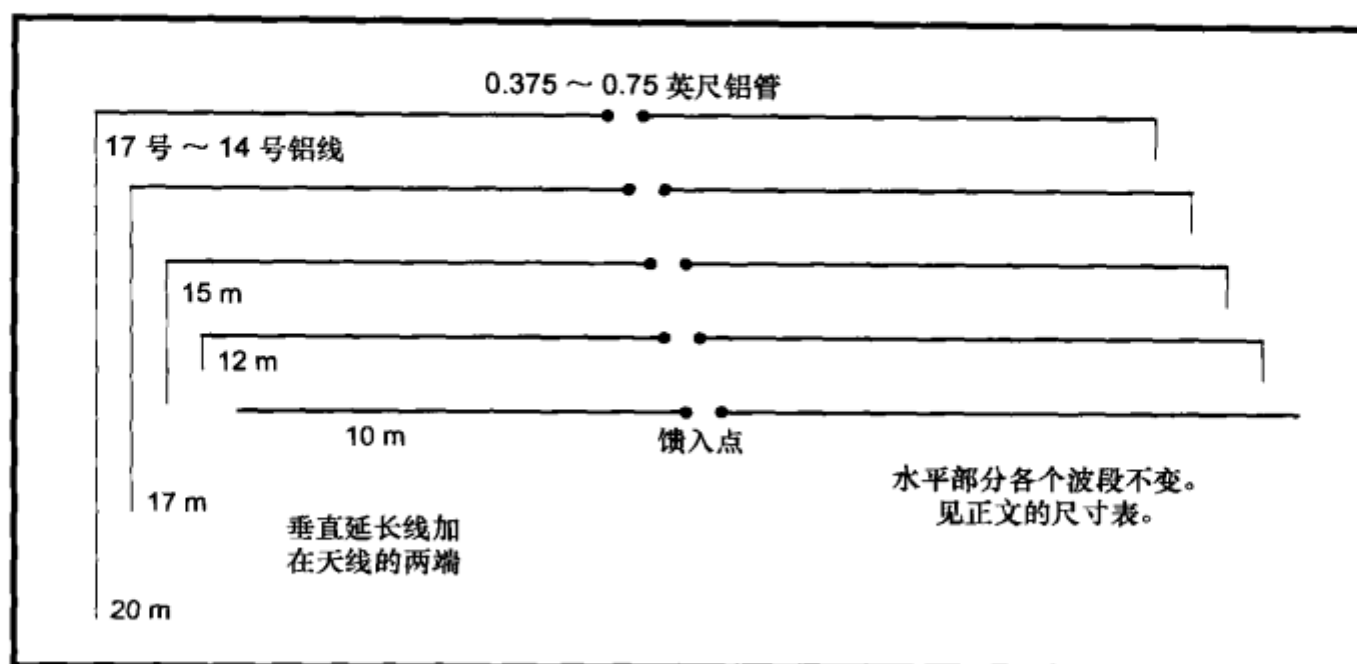


图 6-35 20 ~ 10m 倒 U 型天线示意图。垂直的延长线加在 10m 段振子的两端。

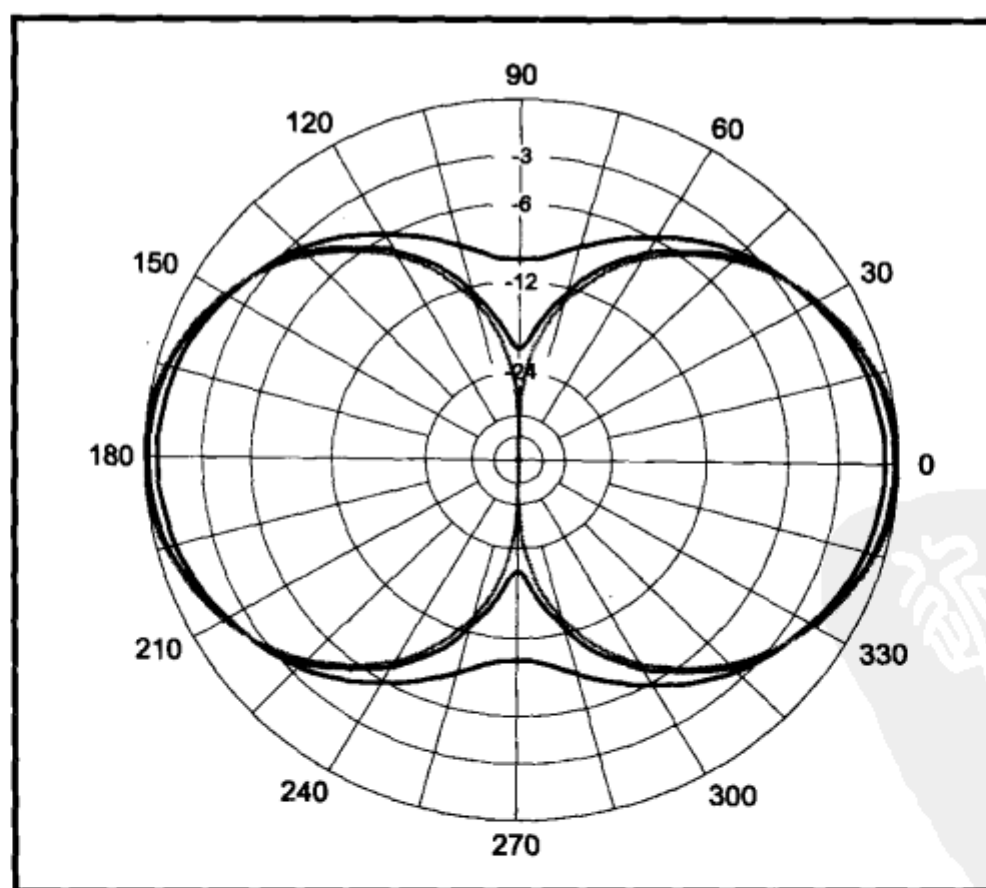


图 6-36 倒 U 型天线自由空间 E 平面（方位角）图形，10m（绿色）、15m（红褐色）、20m（黑色），展示了垂直部分加长图形的变化。

随着频率的下降，天线高度别无选择。任何高度低于 $5\lambda/8$ 的水平天线，相对高于这个高度的天线而言，低角性能都会下降。如果把倒 U 型天线升高到 40 英尺，20m 的性能会非常接近图 6-37 所示的 10m 仰角图形。表 6-2 总结了倒 U 型天线自由空间、高度 20 英尺的特性。值得注意的是，倒 U 型天线的馈入点阻抗一直都保持在所有设备的可以接受的范围内，即使高度为 20 英尺。驻波比没有超出限制的曲线范围也很宽。即使在特殊的野外条件，求出合适的尺寸也不是很难的工作了。

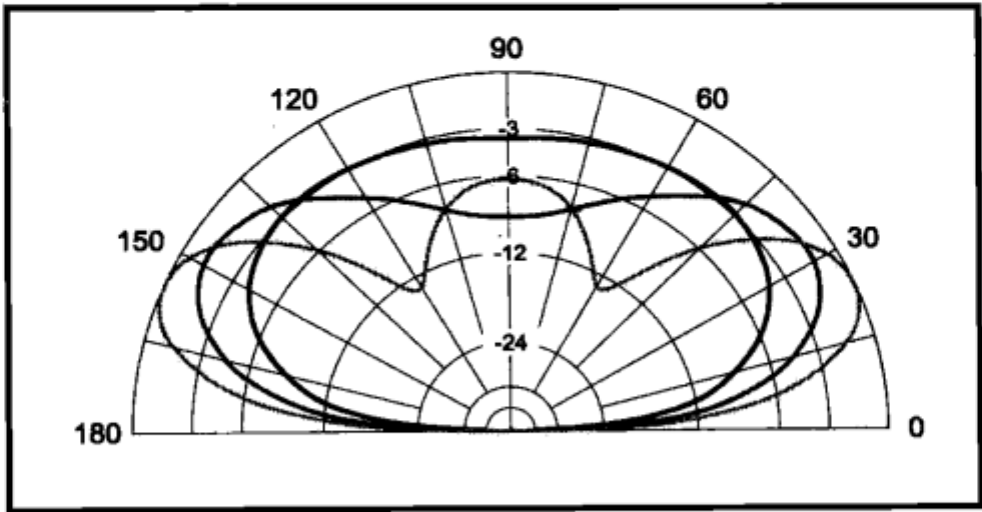


图 6-37 倒 U 型天线 10m (绿色)、15m (红褐色)、20m (黑色) 是的仰角图，天线馈入点距地面高度 20 英尺。在最低频率时，增益减小、图形仰角变高，这是因为，相对波长，高度低了。

表 6-2 倒 U 型天线工作在 20 ~ 10m 时的性能
采用文中介绍的铝管 10m 双极天线，延长的下垂部分采用 17 号 ~ 14 号铝线

波段	自由空间			架设平均高度 20 英尺		
	增益 (dBi)	谐振阻抗 (Ω)	铝线长度 (英寸)	增益 (dBi)	仰角 (度)	阻抗
10	2.1	73	—	7.6	24	65-j2
12	2.0	71	16	7.2	27	67-j6
15	1.9	64	38	6.4	32	69-j8
17	1.7	55	62	5.7	38	65-j4
20	1.4	41	108	4.8	50	52+j4

注意：铝线长度是从 202 英寸管型双极天线末端到 17 号铝线末端的距离。与有线径不同，长度可能会有差异。由于野外使用等因素，铝线应该长出几英寸。

如果能够接受利用现有桅杆架设的 20 ~ 10m 双极天线的性能，那么倒 U 型天线就是能够提供这种性能的小型天线了。

野外倒 U 型天线

这个天线的制作分 3 个部分：第一，铝管振子；第二，中心连接板与馈入总成；第三，弯折的延长振子。零件列表见表 6-3。

表 6-3

零件表

如果天线总重量不增加，可以采用其他方法。

数 量	品 名	说 明
6 英尺	外径 0.375 英寸铝管	2 段，每段 3 英尺
6 英尺	外径 0.5 英寸铝管	2 段，每段 3 英尺
6 英尺	外径 0.625 英寸铝管	2 段，每段 3 英尺
10 英寸	外径 0.75 英寸铝管	2 段，每段 5 英尺
4 英寸	外径 5/8 英寸 CPVC 管	
50 英尺	17 号导线	各波段长度见表 6-2。建议铝线，但也可用铜线
8 个	卡子	刚好能卡住管子接头
1 块	4 英寸 × 4 英寸 × 1/4 英寸的聚碳酸酯板	可用其他材料
2 个	不锈钢 U 型螺栓	适合桅杆直径
2 套	8 号或 10 号 1.5 英寸不锈钢螺栓	
2 套	8 号或 10 号 0.5 英寸不锈钢螺栓	
1 件	同轴电缆插座支架，1/18 英寸铝板	具体见正文
1 件	同轴电缆插座	
2 只	焊片，8 号孔	
2 段	铜线	用于同轴电缆插座和焊片的连接

10m 部分的铝管双极天线

这个铝管双极天线的每一半都由三节长一些的可拆卸管材和一短段连接在馈入点的铝管组成，见图 6-38。为了清楚起见，两个振子分开介绍。从馈入板中央（馈入点）数起，3/4 英寸的铝管延伸了 5 英寸，接着是两段 33 英寸长的铝管，连接时连接点有 3 英寸的重叠。这两段铝管的直径分别是 5/8 英寸、1/2 英寸。最外一节铝管长度 30 英寸（连接处至少有 3 英寸重叠），直径 3/8 英寸。

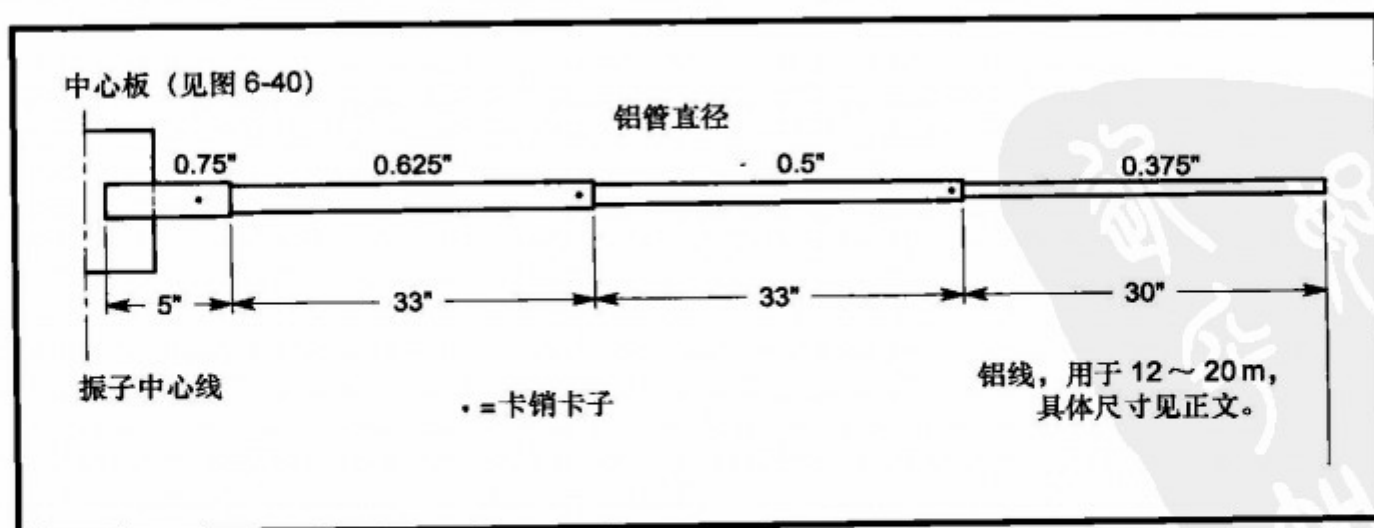


图 6-38 倒 U 型天线振子铝管尺寸。两个振子完全一样。

因为直径 5/8 英寸和 1/2 英寸的管材长度为 36 英寸，最外一节 3/8 英寸铝管也可采用同样长度，在连接时多重叠一点。上述的重叠尺寸足以保证强度，增重也不多。不用时，这三节铝管可以套在一起保管。

铝管唯一需要加工的就是在结合处中央部位钻孔，这个孔是用来穿固定卡销的。钻孔前临时用胶带固定管子的接头处，钻好后小心去除孔边毛刺。

如图 6-39 所示，天线的振子连接靠卡子固定。管子的重叠部位提供了每个部分的电气连接。由于气候原因，这种连接方法不适合用于永久的架设使用，但是对于短期野外使用已经足够。清洁、干燥的表面才能保证良好的电器接触，因此，收藏时，对铝管不要施加任何种类的润滑油。每次使用前最好用布擦拭铝管接头部位。

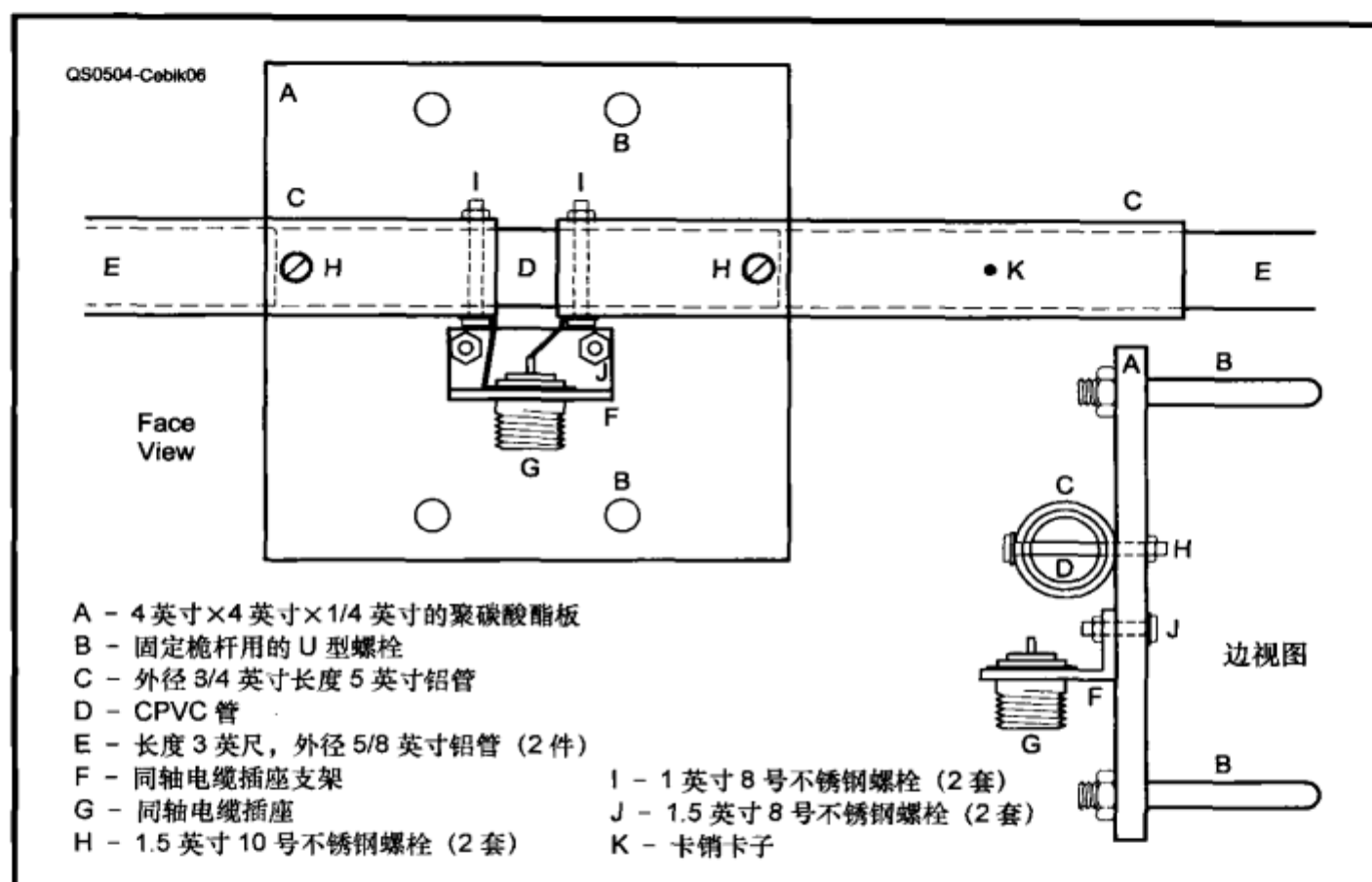


图 6-39 振子与馈入点固定中心板

每边的振子长度大约为 101 英寸，10m 段的振子总长度为 202 英寸。长度误差范围在 ± 1 英寸范围内就没有问题。但是如果希望有更加精确的谐振振子，那就用胶带把最外一节振子固定，把天线架设到野外实际使用的高度，同时调整两个振子的长度，使低于 10m 1MHz 时的驻波曲线最佳。尽管在整个波段天线阻抗高于 50Ω ，但是天线覆盖范围的驻波比曲线很容易调整到低于 2:1。只有把振子装在馈入板上才能进行这个测试。

中心连接板与馈入总成

固定桅杆和振子的中心板采用 4 英寸 × 4 英寸 × 1/4 英寸的聚碳酸酯板，见图 6-39。也可

采用其他合适的材料。中心板的顶部和底部都钻有 U 型螺栓孔, 便于固定桅杆。根据桅杆的尺寸选用 U 型螺栓。振子的中心部分是两节直径 3/4 英寸长度 5 英寸的铝管, 固定位置高于中心板的中心线 (给同轴电缆接头让出位置)。1/2 英寸 CPVC 管的外径为 5/8 英寸, 可以插入 3/4 英寸的管材。CPVC 管可以让两段铝管对直, 管子与管子之间的距离很窄 (约 1/2 英寸)。当刚好在两节管子中心时, 这节 PCVC 管刚好和中心板一样长。用两只 1 1/2 英寸的 8 号或 10 号不锈钢螺栓把振子固定到中心板上。

笔者把单孔 UHF 母接头安装在支架上。支架是采用厚度为 1/16 英寸、宽度 1 英寸的 L 型材料制成。支架上钻两个孔, 孔距 1 英寸, 用于螺钉固定。

振子中心部分和支架固定好后, 在接近两个管子接口处, 与固定螺栓成直角钻孔, 供装入 8 号不锈钢螺栓用。螺栓上装焊片, 与电缆接头连接。焊片不是不锈钢材料, 所以每次使用前后都要检查是否有腐蚀现象, 及时更换。

中心板装好后, 外形尺寸为 4 英寸 × 4 英寸 × 1/4 英寸, 这就是一个单独的总成。野外使用时, 只需安装延长部分。现在就可以进行 10m 谐振情况测试了。

12 ~ 20m 段弯折的振子部分

弯折振子部分是铝线, 也可采用铜线, 但是铝材重量轻, 可以满足使用要求。表 6-2 提供了弯折延长振子的大致长度。可给表中列出的长度增加 3 ~ 5 英寸 (12m 段少加, 20m 段多加)。

保管时, 12m、15m 的延长线不用卷盘, 直着放就可以。但是 17m、20m 的延长部分线很长, 需要折或盘起来。卷盘时, 做卷轴的材料直径不要小于 2 英寸, 免得卷绕时铝线折断。野外使用时应该备用一些铝线, 万一折断铝线时替换。延长部分一共需要大约 50 英尺铝线。

笔者采用 17 号电网用铝线。这种铝线直径小, 但是有较大的硬度。硬度很重要, 因为在使用时不希望在微风中铝线就有很大的摆动, 这样可能会改变馈入点的特性。

延长部分的安装见图 6-40。让铝线穿过铝管的两个孔, 铝线与地面垂直, 然后把铝线顶端轻轻弯折。在与地面平行的孔内穿入固定销。这样铝线就固定了, 但是换波段时, 还可以拉动铝线。

开始时, 把表 6-2 每个波段的铝线尺寸加长几英寸, 修剪铝线直到每个波段的低端的驻波比小于 2:1。因为倒 U 型天线是原尺寸天线, 驻波比曲线应该很宽, 不会像加感天线那样出现带宽窄的现象。图 6-41 是模拟的每个波段驻波比曲线, 供调试参考。除非馈线长度恰好是半个波长的倍数, 天线分析仪记录的阻抗可能与馈入点阻抗不一样。

表 6-2 所示架设高度为 20 英尺时的阻抗数据表明, 一旦各个波段的长度合适, 无需调整。但是还是要留出余量, 供野外操作时调整, 尤其是操作环境与试验环境改变时, 例如树木、建筑物距天线的距离与试验时不同。笔者第一次试验时铝线的长度与模拟时的长度有很大的出入。第二轮试验才发现桅杆是金属的, 没有接地, 长度为 22 英尺。需要加长铝线的原因可能是铝线与桅杆的耦合引起的, 但是接收测试似乎没有问题。图形显然是双向的。

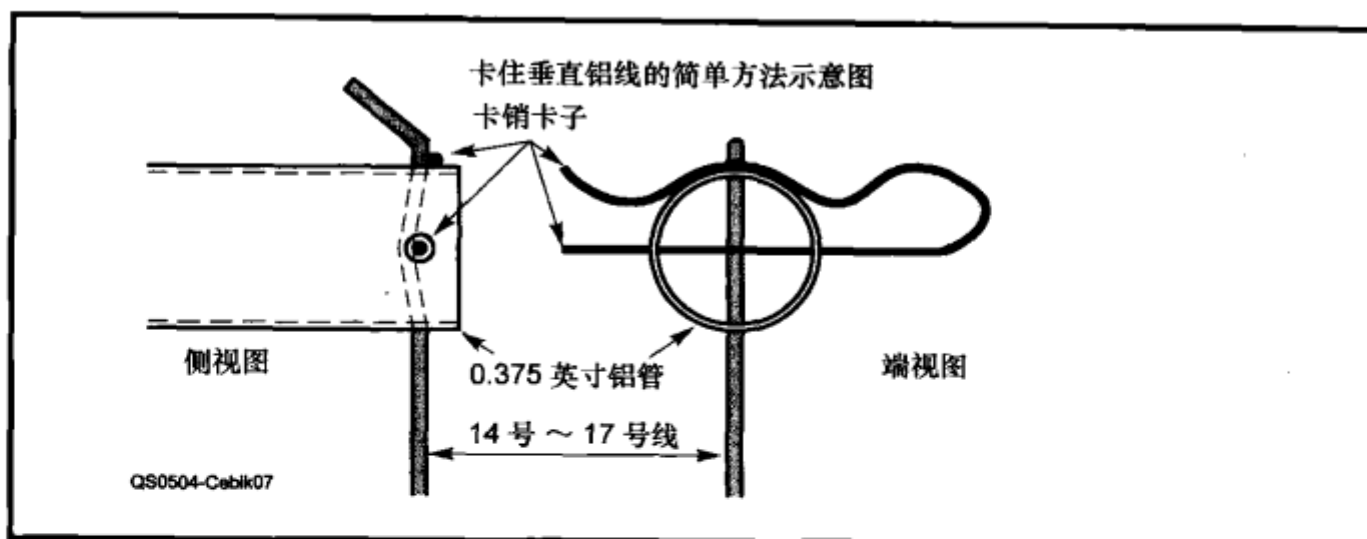


图 6-40 利用卡子卡住铝线

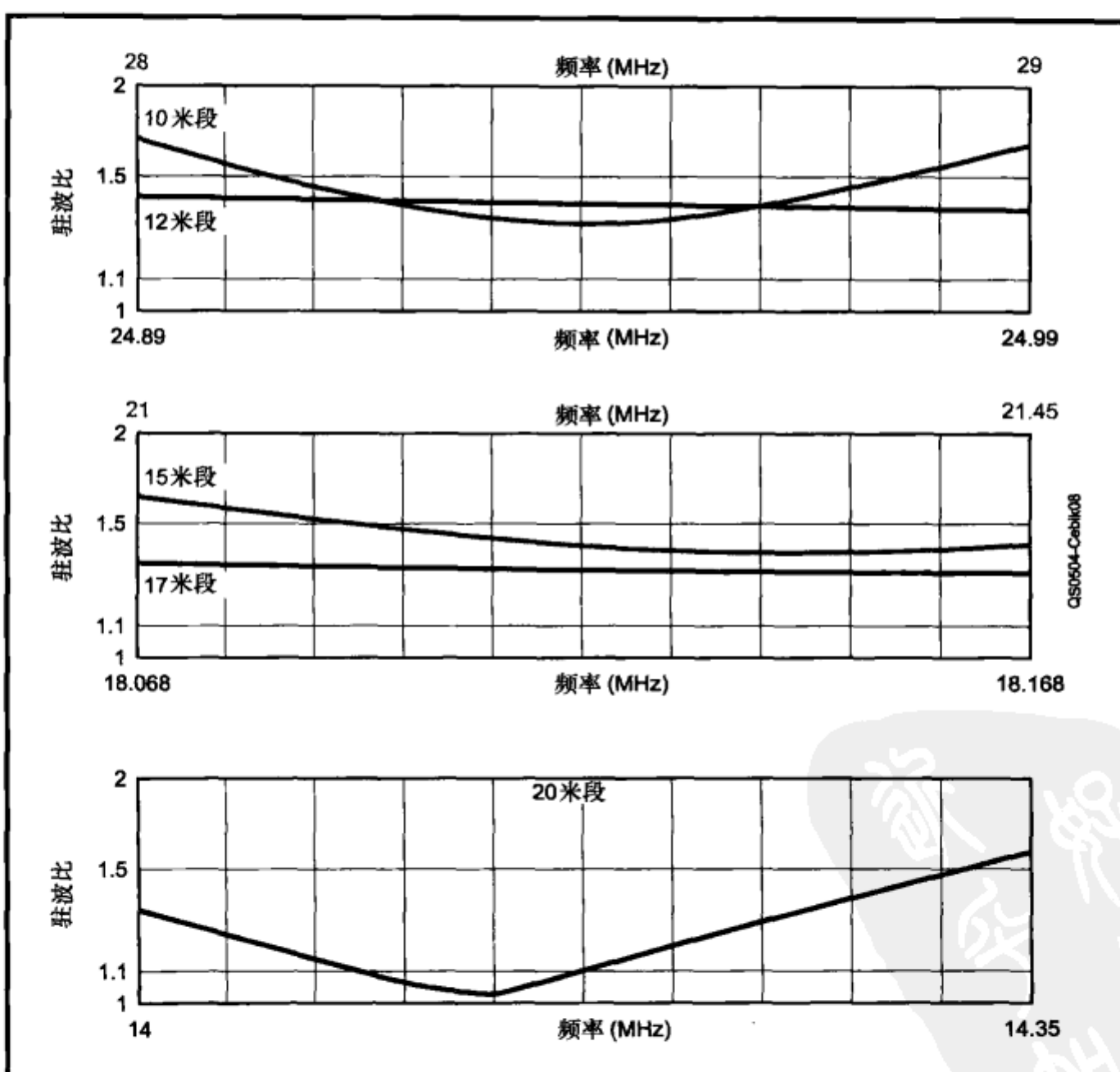


图 6-41 馈入点距地面 20 英尺，倒 U 型天线负载为 50Ω 的驻波比曲线

野外使用时，不要对驻波比曲线过于讲究。初步调试一下，略微调整可能就能达到适合自己设备的驻波比。花费大半时间把驻波比调到 1:1 会浪费掉宝贵的联络机会，而且也不会让对方感到信号强度号变化。

换波段很容易：摘下正在使用的天线末端铝线，换上新的波段铝线，波段就换好了。检查驻波比，可能需要略微调整一下铝线的长度，天线又可以使用了。

最后的笔记

倒 U 型天线采用了活动的端部振子，体积缩小，适合野外使用。图 6-42 是包装好准备外出活动的天线。当架设高度在 20 英尺以上时（高度再改一些效果更好），效果可与同样架设高度的双极天线媲美。但是，倒 U 型天线比大多数 10m 段以下的双极天线重量轻。而且可以用手旋转方向。因为可以调整天线方向，对准目标电台，倒 U 型天线比固定线拉的双极天线有优越性。

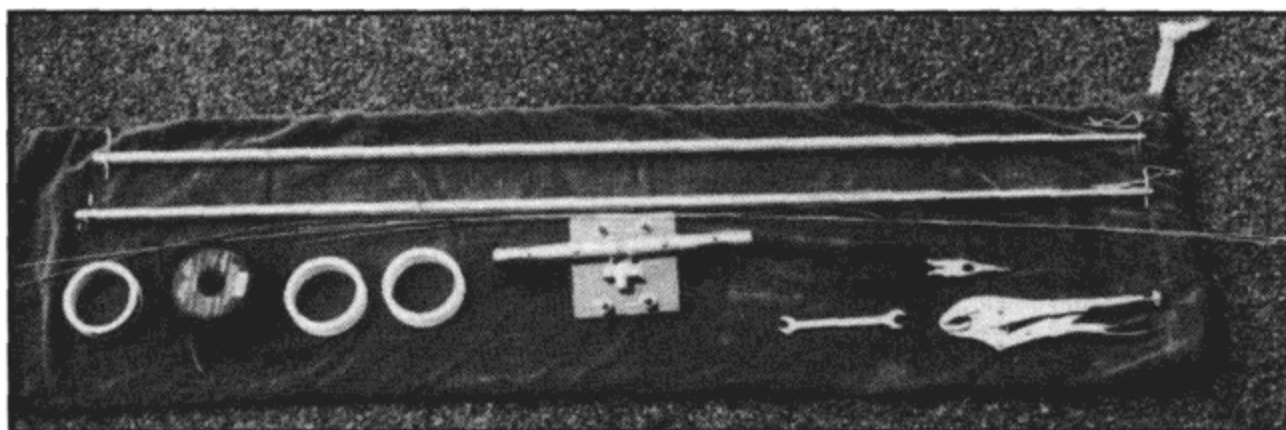


图 6-42 拆卸开的倒 U 型天线、包装袋、常用工具

读者可以使用手头的材料试验其他结构的天线。如果能找到连接短段竹子的方法，可以把导线用胶带粘在柱子上作为振子。尽量不要使用铝导管或很重的材料。下垂在 10m 振子末端的导线既要有机机械强度也要有良好的电器接触。

因为天线的末端是下垂的，因此要注意安全。工作在 20m 时，下垂部分的末端一定要高于人能接触的高度方能使用。即使是 QRP，天线末端出现的 RF 电压也是危险的。天线的中心馈入点距地面 20 英尺高，下垂的末端也至少要离地面 10 英尺。正是因为这个原因，笔者才没有试验延长倒 U 型天线，使其工作在 30m 和 40m。

倒 U 型天线虽然没有完全解决野外天线的问题，但是如果经调整和使用的电台匹配，就能得到很好的效果。由于采用固定卡子，在野外装配天线或换波段都很容易。架设高度为 20m 时，天线就有很好的性能。

6.6 便携式两单元三波段八木天线

本文介绍的天线有 3 个独立的振子，分别是 10m、15m、20m 振子，连接到一个共同的馈入点，天线还包括 3 个独立的反射器。振子拉在 2 根长度 2.13m (7 英尺)、2 英寸 × 2 英寸的木杆上，木杆刚好可以放在汽车的滑雪板架上。尽量使用最轻的木料以减轻天线重量，例如雪松木、松木、云杉木。用玻璃钢，或者用碱木杆加强的 PVC 管也可以用。

在靠近辐射器 (driven element) 位置安装反射器可以降低辐射器的馈入点阻抗，所以采用了发卡匹配器，使辐射器可与 50Ω 馈线匹配。天线的结构与尺寸见图 6-43。

发卡匹配器

这个匹配系统非常简单，几乎是傻瓜型。按照图 6-44 的尺寸，无需重新调整发卡匹配器，除非打算把天线用在各波段高端的话音联络频段。图 6-44 尺寸的天线驻波比很低，3 个波段的 CW 频段驻波比低于 1.3:1。但是在 SSB 频段的低段，驻波比也没有超过 2:1。驻波比是在 25m (82 英尺) 长 RG-58 同轴电缆端部测量的。

有人可能会问为什么用这么长的馈线。使用便携天线时，长馈线比短的好。架设天线时，没有什么事情比发现携带的电缆不够长更急人了。此外，改变发射方向时，笔者是围绕天线支架移动天线，也需要长一点的电缆。

如果觉得担心电缆损耗，可以不用 RG-58 电缆，换用 RG-8 或者 RG-213。也许有的环境短的电缆就够用了。18m (59 英尺) 长的 RG-58 电缆在 14MHz 损耗约 1dB，对于使用电缆来说，这是可以接受的。

调整发卡匹配器

如果天线架设起来之后发现驻波比不对，首先检查所有振子的尺寸是否正确，辐射器和反射器之间的距离尺寸是否正确。接下来才能调整发卡匹配器。在馈线端部接上天线驻波分析仪，或者发射机和驻波表，把天线拉到正常工作的高度。找出 15m 段驻波比最低的位置。向上或向下移动发卡匹配器上的短路棒，可在 15m 段的中段把驻波比调到最低。如果喜欢使用 15m 段接近最高端的频段，可能需要略微缩短辐射器。调整好 15m 段辐射器和发卡匹配器之后，在分别调整 10m 和 20m 辐射器，不用调整发卡匹配器的短路棒。

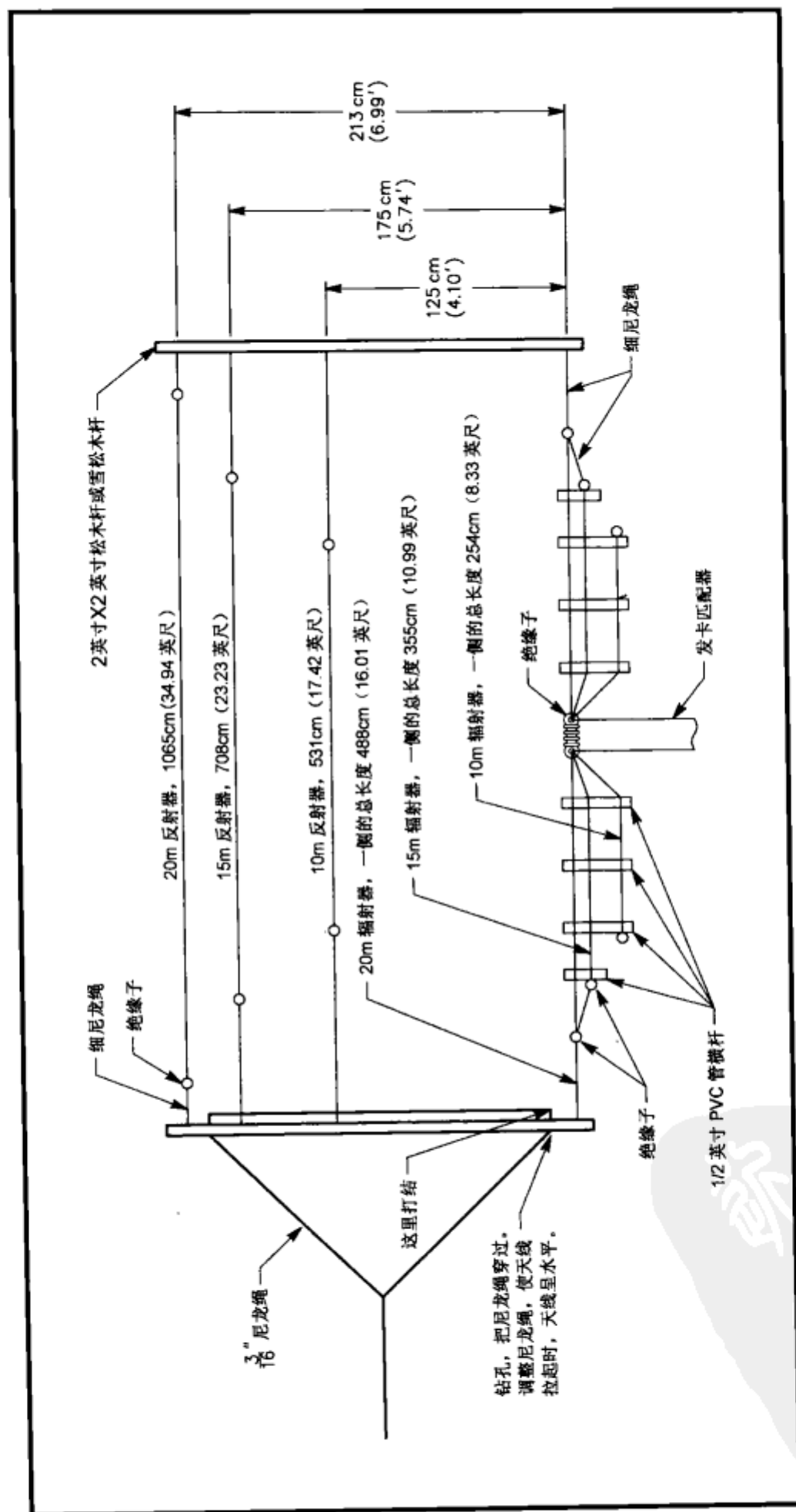


图 6-43 VE7CA 的两单元导线振子 3 波段八木天线

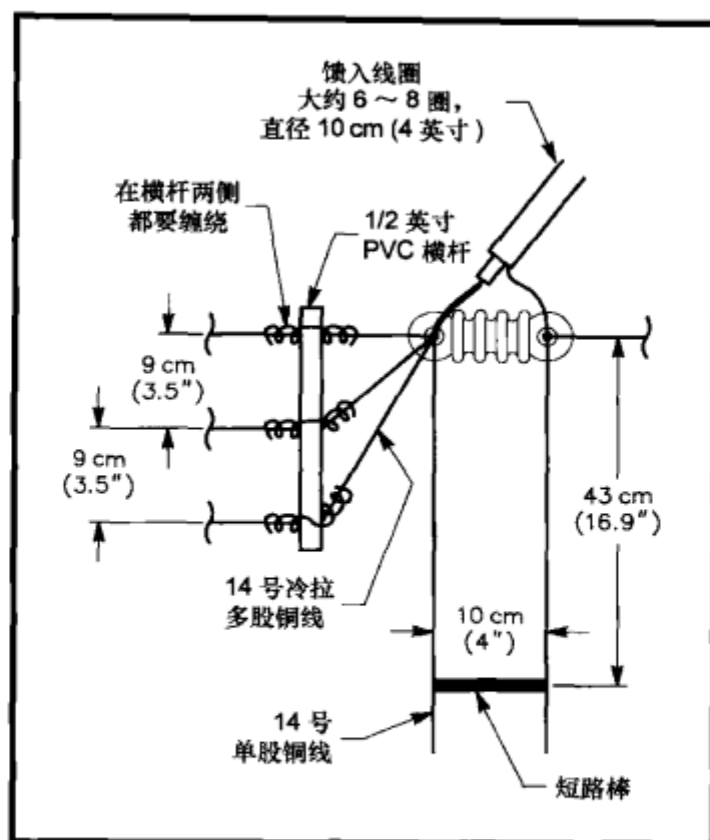


图 6-44 馈入点局部

发卡匹配器不娇气。可以用胶带把馈线与发卡匹配器固定在一起，卷起来，和天线装在一起。匹配线变形了也照样能够工作。

天线支撑架

笔者喜欢简单，因此，只使用一个支架，一般情况下利用树木。天线升高到可以工作的高度时，是斜拉的三波段八木天线。因此，要在 2×2 的木杆上用绳索形成一个“V”字形，见图 6-43。在一个 V 字形绳索上系一根绳索，把天线拉到一个树杈、塔或其他垂直支撑物上。在天线底端木杆“V”字上系一根绳索，把绳索拴在地面的桩子上。在地面上围绕天线支架钉上 2~3 个桩子，就可以移动天线，改变发射方向了。如果需要转换方向 180°，拽一下馈线，天线就会翻过来。方法简单，但是很有效。

本地联络还是 DX 联络

斜拉天线的特点之一就是可以调整起飞角（仰角）。例如，如果对北美联络感兴趣，那么把天线沿支撑物成 45° 向侧面斜拉，馈入点离地面 8m(26 尺)，就可产生图 6-45A 所示 20m 辐射图形。在图中，最大的图形是在仰角 10° 到 60° 之间。图中也绘出了按照平顶水平天线方式架设，架设高度为 9.1m(30 英尺)时的图形，供比较。可以看出，倾斜的天线束低角度性能好一些，但是高角度增益不如水平天线。图 6-45B 是这两种架设方式起飞角为 10° 时

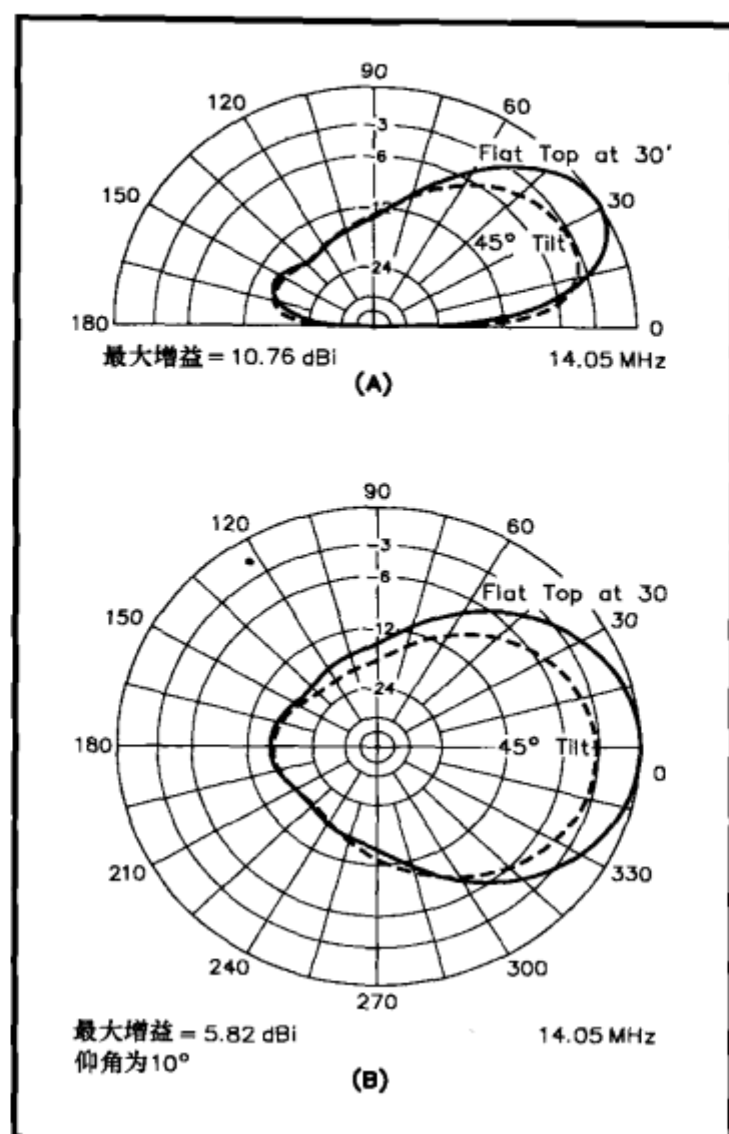


图 6-45 图 A: VE7CA 的八木天线平顶水平架设 (实线) 和与垂直成 45° 角架设 (虚段线) 的仰角比较。图 B: 仰角为 10° 时方位角图形比较。

的方位角图形。

如果 DX 联络是主要兴趣, 那么天线就要尽可能接近垂直架设, 着重低一些的仰角。图 6-46 是天线向侧面斜拉, 与垂直夹角为 10° 时的 20m 段图形, 同时也与图 6-45A 的图形做了比较。馈入点离地面 6m, 模型假设有淡水的远区, 这也恰好符合笔者的工作地点。

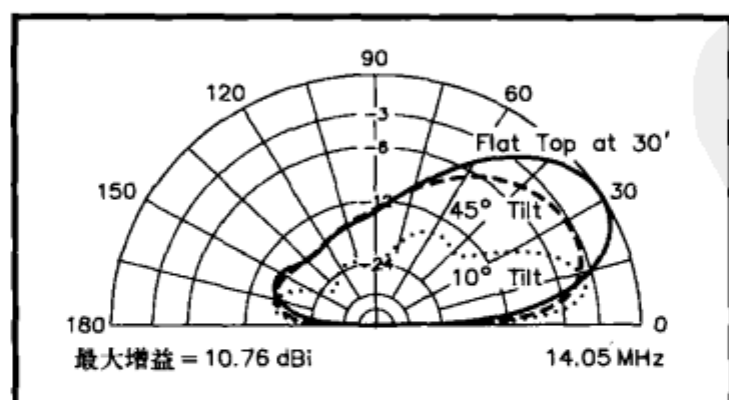


图 6-46 VE7CA 的八木天线平顶水平架设 (实线)、与垂直成 45° 角架设 (虚段线)、与垂直成 10° 架设 (虚点线) 的仰角图形比较

需要牢记的是，对于垂直极性天线，辐射图形取决于地传导性和介电常数。距盐水近的地点增益最高，辐射角最低。在近区或远区土壤很差的情况下，峰辐射角就会高一些，增益就会小一些。

笔者在天线使用地点进行了测试。利用两棵树作支撑物，把天线架设成几乎水平，馈入点离地面约 7m。在 20m 段可欧洲开通的情况下，笔者发现用 CW 模式、3W 输出很难进行 DX 联络。但是当笔者改变天线倾斜角度、接近垂直时，不仅听见更多的 DX 电台信号，而且更加容易叫到 DX 电台。

笔者已经这样试验多次，因为操作简单，只需降低天线的一端改变倾斜度，就可改变辐射起飞角。斜拉天线的在 DX 联络时性能总是比高度低的水平天线好。最近笔者在两个晚上随意就联络到了 9 个欧洲国家的电台，天线的最高端仅 10m 高，角度也在 45° 以内。

图 6-47 是 28.05MHz 的仰角图形：天线束与垂直的夹角成 10° 、 45° ，馈入点高度 8m；同样也与高度为 9.1m(30 英尺)的水平天线进行了比较。坡度陡，接近垂直，10m 段的波瓣被分成了两个，高角度的波瓣比低角度波瓣要大一些。

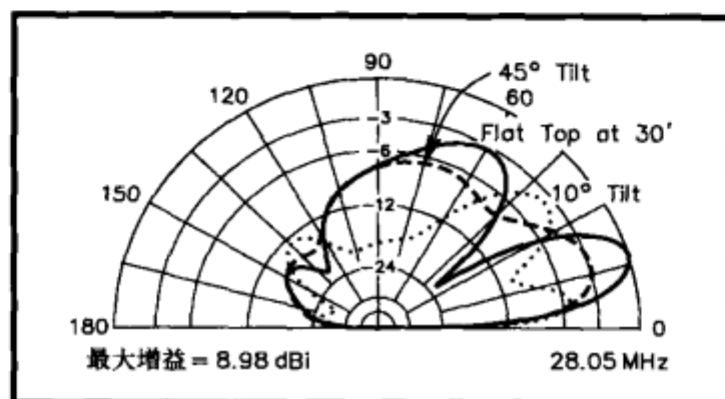


图 6-47 与图 6-46 是同样的架设形式，但是工作在 28.05MHz。
在 10m 段，平顶架设最好，但是 45° 角架设也落后不多。

这表明有可能让垂直极性的天线离地面很高。把天线降低，让天线底部离地面 2.5m(8 英尺)，可以保持 10m 仰角图覆盖范围，不会出现过于折中的 20m 的范围。

便于携带

这个天线的特点是容易架设、拆卸、携带、保管。用完天线后，把天线放下来，振子圈在天线的 2×2 木杆上。木杆两端套上塑料袋。收起来的天线可以放在汽车的滑雪架上，也可以放进家用厢式车的后面。放在家里也不占地方。

使用效果

这个天线效果很好。在工作地点，笔者用弓箭把一根线射到一棵大树上，然后把天线

6.7 便携式 HF 垂直天线

笔者在 2002 年 7 月号的 *QST* 杂志发表了便携式天线制作的文章后，收到了不少的反馈。不少爱好者反映材料难找。此外文章介绍的天线需要在铜接头上钻孔、攻丝等。笔者想省略攻丝，简化制作。

这里介绍的便携式天线的出发点是便于携带，可以拆卸成主杆部分、拉杆部分、中心加载空气线圈部分、小型底座。任何部分都没有超过 20 英寸长，可以装进手提箱。文章开始的图片就是一个拆散的天线，包括固定绳和地网线。天线安装起来的长度为 16 英尺，见图 6-49。图 6-50 是笔者站在天线边，天线架设在自家的前草坪上。

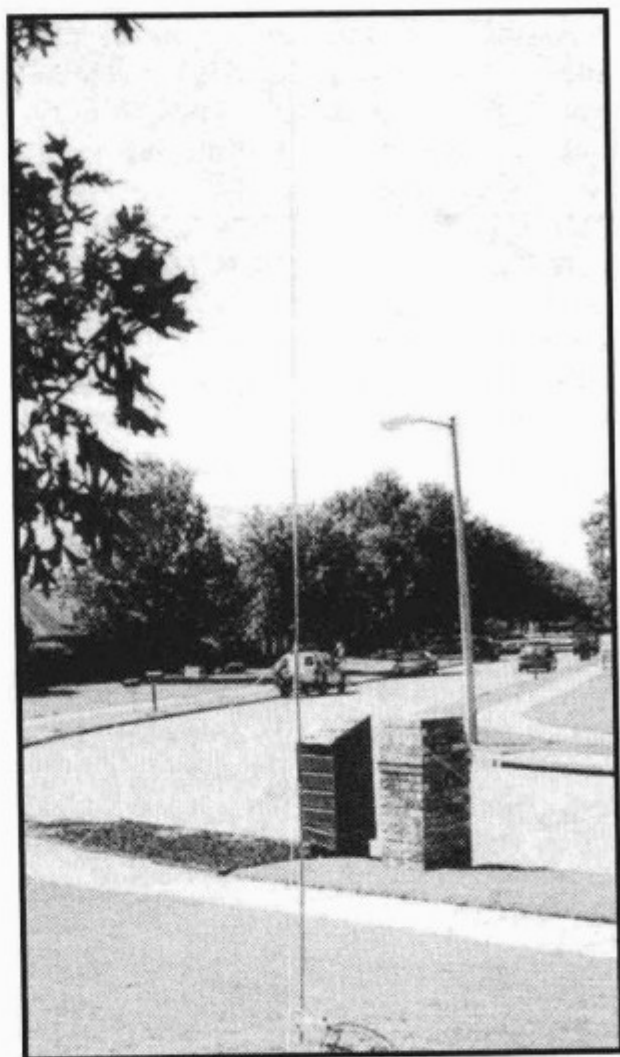


图 6-49 天线架设在笔者的前院

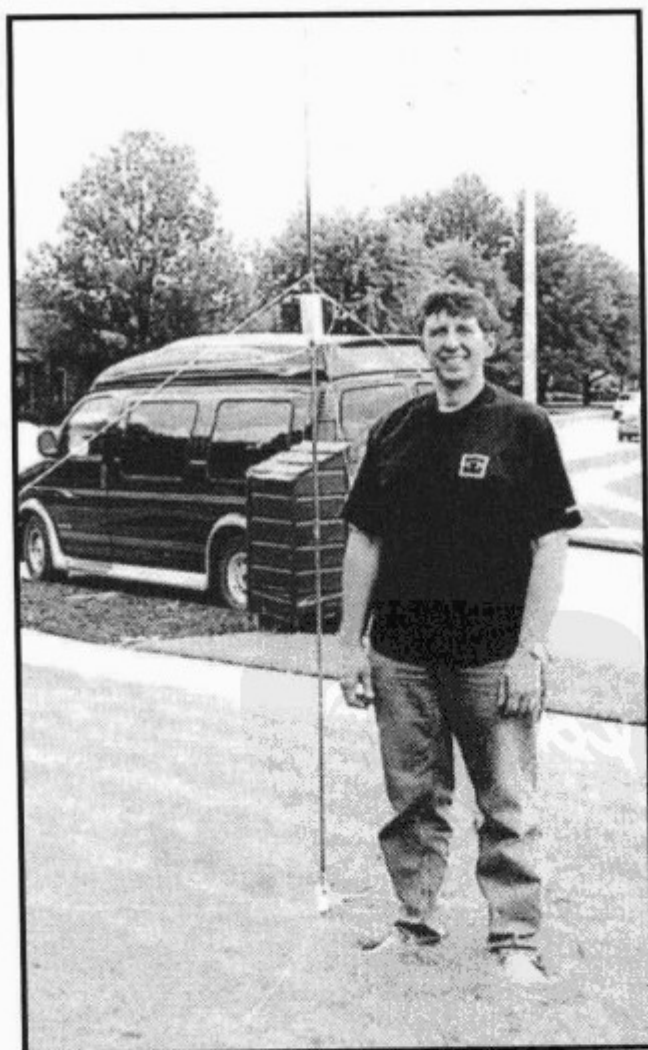


图 6-50 铜管部分与负载线圈的高度



完全拆散的天线

缩短型的天线（例如长度不到四分之一波长的加感垂直天线）效率的关键是长度。天线越长，辐射电阻就越大，地和负载线圈损耗对效率引起的影响就越小。这个天线在 20m 时，长度几乎是 $\lambda/4$ 。在 17 ~ 10m 范围内，要把天线缩短到 $\lambda/4$ 。整个天线的长度减小了 60m、40m、30m 的负载线圈尺寸。

准备零件

在五金店就能买到天线需要的三大部分零件。到五金店购买 1/8 英寸接头时，不要指望买到尺寸为 1.8 英寸的接头。1/8 英寸水管的外径为 0.405 英寸，约 13/32 英寸。标准螺纹式每英寸 27 个丝扣。NPT 规格是指美国水管螺纹标准，还有其他的螺纹标准，但是 NPT 是最常见的。

笔者采用 1/8 英寸 NPT 管堵头作为天线连接头。接头长度为 0.7 英寸，整个接头都有螺纹。PVC 管接头要采用 40 PVC 的，不要采用薄壁的 CPVC。

铜材零件的加工与安装

装配图见图 6-51。先用锯或管钳把 3/8 英寸的铜管切成三段，每段 18 英寸长，并去掉管口毛刺。作为接头的铜管需要用 3/8 英寸的钻头把孔铰一下，这样才能把铜管插入。铰孔的步骤是这样的：先在 1/8 英寸 NPT 堵头的两头各拧上一个管接头，用扳手拧紧。用夹具夹住其中一个接头，用 3/8 英寸钻头对接头扩孔（如有可能，使用钻床），然后反过来，对另一头扩孔（图 6-52 介绍了使用木工夹具和台钻的方法——编者注）。现在，拧开管接头。带螺纹的堵

头的一端会从管接头中拧出，而另一端会留在另一个管接头里，这样就有了一个母接头端和一个公接头端，用于连接铜管，见图 6-53。这样的公 / 母铜接头需要 4 对，其中 3 对用于连接铜管，1 对用于负载线圈总成。也可以把堵头 / 接头总成焊接起来。实际上，不用焊接也很紧了。

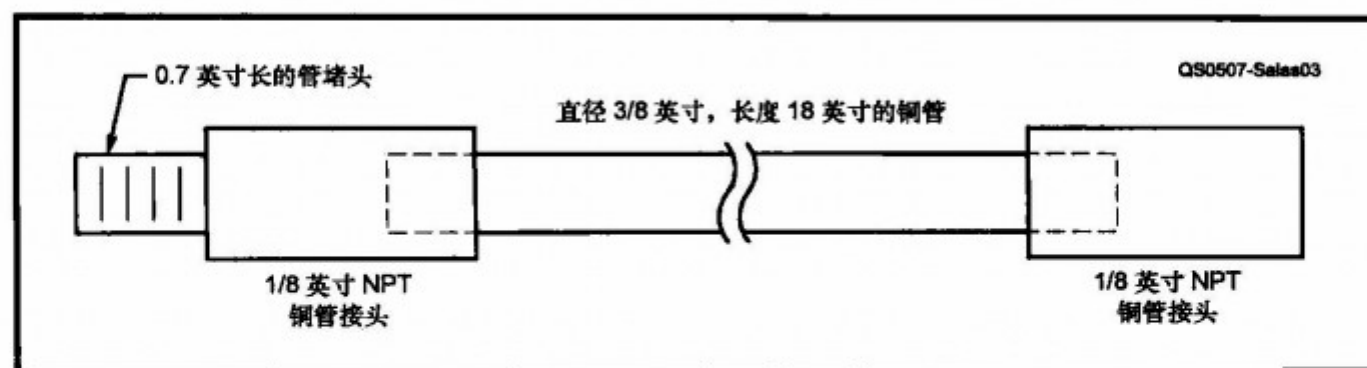


图 6-51 铜管总成

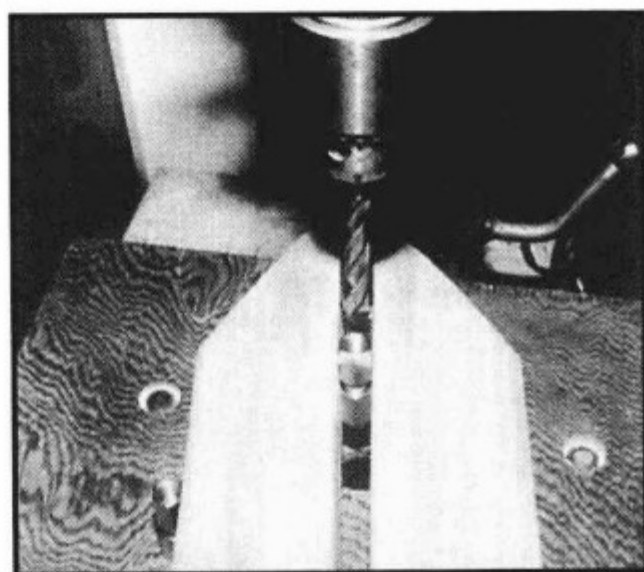


图 6-52 管接头与堵头夹在木工夹具上，准备用台钻扩孔。

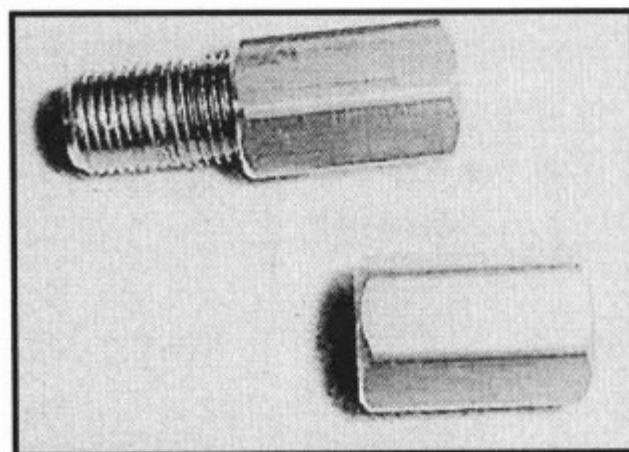


图 6-53 扩孔之后，把一个管接头拧下来，这一对接头就可以安装在 1 根 18 英寸长的铜管两端了。

现在，把 3 对做好的接头与 3 段 18 英寸长的铜管插在一起，把接头与铜管焊在一起。使用瓦数大的烙铁很容易焊接，或者用喷灯和银焊。

负载线圈总成

在一根长 3½ 英寸，直径 3/8 英寸的木棒两头套上 1/8 英寸 NPT 公 / 母接头。两端需要各钻一个 1/8 英寸的孔，孔要穿过接头与木棒，见图 6-54。然后截取两段 3 英寸长，直径为 1/8 英寸的铜棍。先把一根铜棍插入刚钻好的孔内，安装时注意铜棍两头长度相等，用烙铁或喷灯把铜棍与接头焊好（用喷灯时务必当心，不要烤坏木棒）。

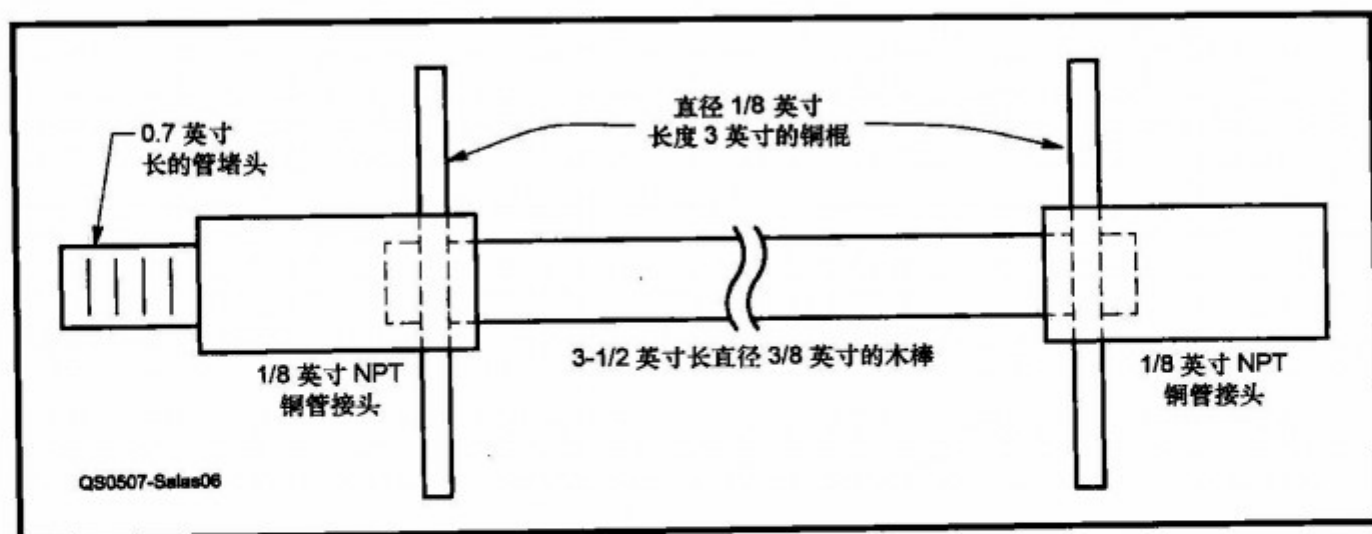


图 6-54 铜接头装在一根 3/8 英寸的木棒上。两个接头上装有 1/8 英寸的铜棍，供安装线圈之用。

现在，把一只 3 英寸长的 MFJ-404-008 线圈放在刚才装好的铜棍上，让铜棍刚好穿过最后两匝，见图 6-55。把线圈与铜棍焊好。在线圈的另一端，把另外一根铜棍从最后两匝的空隙处插入，穿过铜接头。把线圈与铜管焊好，再把铜棍与铜接头焊好。

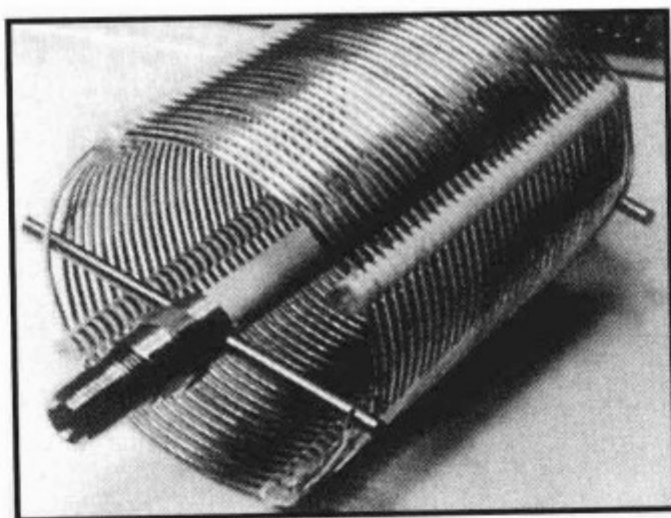


图 6-55 负载线圈总成

接下来，用小的平口螺丝刀整理线圈。

在线圈的端部（带有公接头那端）焊接一根 6 英寸长的带绝缘皮的电线。电线的另一头焊一个鳄鱼夹。如果长时间户外使用，木棒上要刷漆。

顶端的拉杆天线

MFJ-1954 型 10 英尺拉杆天线带有标准的 3/8-24 安装螺纹。拉杆的固定螺钉的螺纹与 1/8 英寸的 NPT 接头螺纹不配，但是还是拧进去了。

底座总成

天线座杆式 $3/8-16 \times 12$ 英寸镀锌六角螺栓。螺栓只有 $1\frac{1}{2}$ 长度带有螺纹，所以笔者把不带螺纹的部分作为插在地面的一端，螺栓头用钢锯锯掉。用完后，可用湿布把螺栓擦干净。笔者还在底部的 PVC 总成用了一个 $3/8-16 \times 1\frac{1}{4}$ 英寸的镀锌螺栓，一个 $3/8-16$ 镀锌接头把 $1\frac{1}{4}$ 英寸螺栓与 12 英寸螺栓连接起来，见图 6-56。这样，可以把底座总成固定在金属板上或连接长螺钉，插到地上。

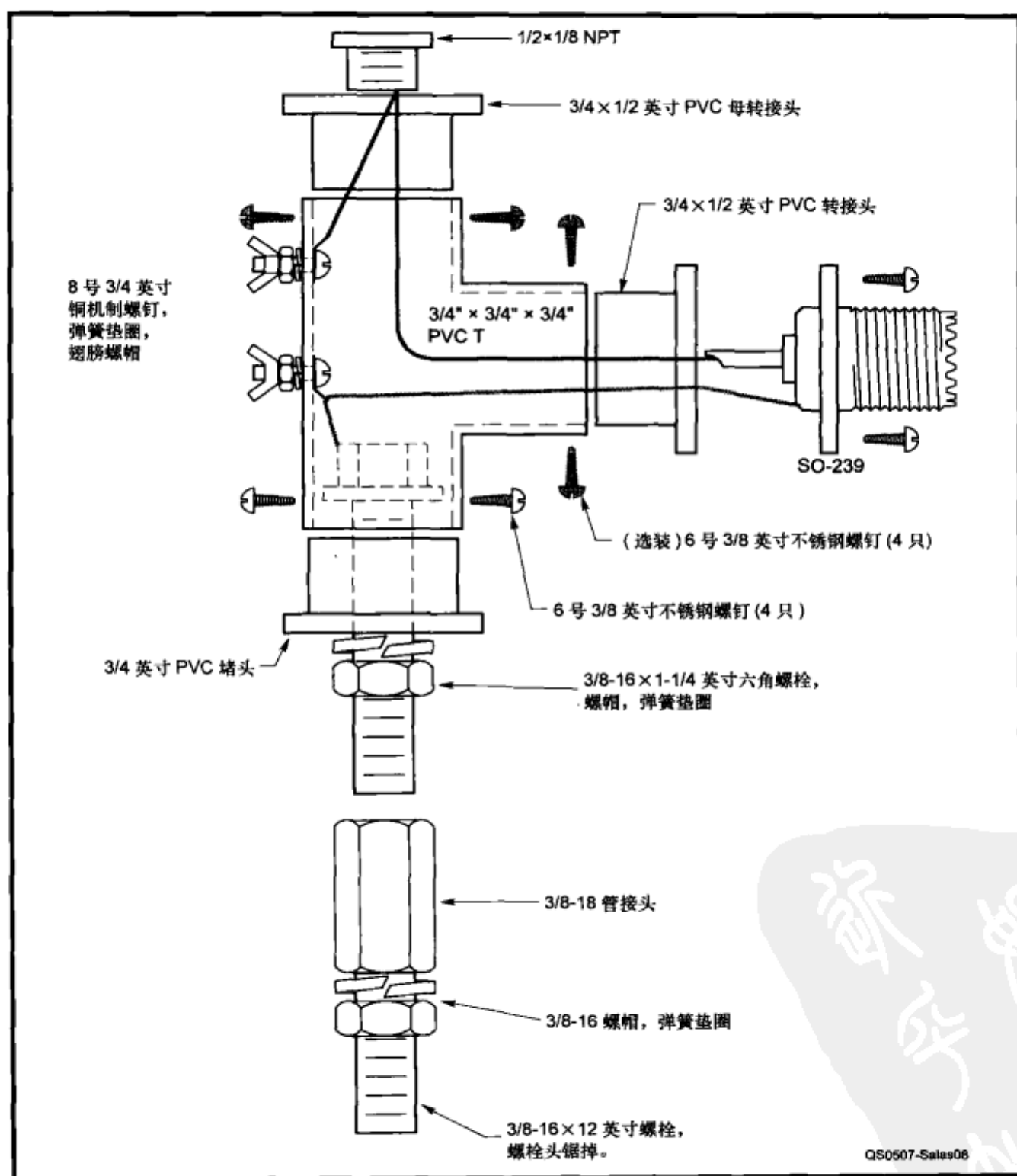


图 6-56 电线的底座与同轴电缆插座的安装

如图 6-56 所示, 在 $3/4$ 英寸的 PVC 堵头上要钻 $3/8$ 英寸的孔, 插入 $1\frac{1}{4}$ 英寸螺栓。 $3/4$ 英寸的 PVC 堵头要切掉一半的长度, 给 T 型管内部留出足够的空间供接线之用。按照图 6-56, 先把地线焊在 $3/8-16\times1\frac{1}{4}$ 英寸螺栓头部, 或者使用 $3/8$ 焊片。把带有螺纹的一端插入堵头, 拧上 $3/8-16$ 螺帽和垫圈。使用不锈钢螺钉固定堵头, 也可使用胶水。使用螺钉固定, 便于更换支撑总成, 灵活一些。

12 英寸的螺栓把螺栓头锯掉之后, 用锉刀把刀口修圆。在有螺纹的一头拧入螺帽, 然后加上弹簧垫圈, 把 $3/8-16$ 管接头拧上, 螺栓拧入大于一半的深度, 这时, 把螺帽拧紧。这样这个 12 英寸螺栓总成就可以容易地拧入底座总成的 $1\frac{1}{4}$ 英寸螺栓上了。

把 SO-239 插座装在 $3/4-1/2$ 英寸转接头的 $1/2$ 英寸的孔上, 用螺钉固定。

下一步加工底座与天线的接口。先把 $3/4\times1/2$ 英寸的 PVC 母转接头截去一部分, 给 T 型管接头内部留出足够的空间供接线用。然后在 $1/2\times1/8$ 英寸的 NPT 铜转换头上焊接一段 14 号铜线, 把这个铜转换头拧入 PVC 母转接头。

在 SO-239 的中心针上焊接一根电线, 这根电线要焊接在 $1/2\times1/8$ 英寸的 NPT 铜转换头上的焊点上 (见图 6-56)。现在 $3/4\times1/2$ 英寸的 PVC 母转接头可以用胶水固定了。在 SO-239 插座的地端 (直接焊在外壳上) 焊一段编织线 (可使用 RG-58 电缆的屏蔽网), 连接在接地铜螺钉上, 最后连接在 $1\frac{1}{4}$ 英寸的螺栓头上 (最好用 8 号焊片)。现在可以把这个总成组装起来了。上部的翅膀螺帽螺钉是为了改善低波段驻波比增加容性或感性匹配时使用的, 见图 6-57。

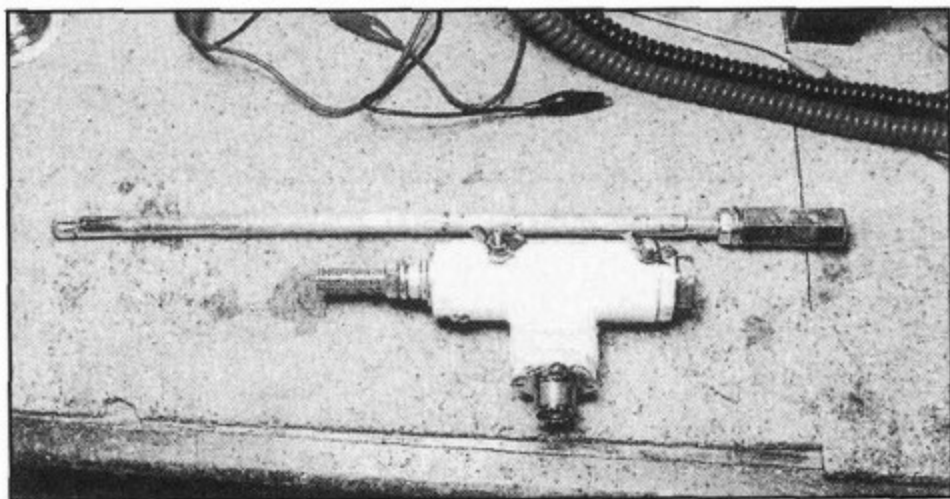


图 6-57 装好的天线底座

径向地网

径向地网是 6 根 15 英尺长的径向线组成, 可用 22 号带绝缘皮的电线, 也可采用其他线规的电线或裸线。笔者发现, 把两根地网线的一端连接在 8 号平接线片上, 架设容易, 而且收天线时地网线也好卷。3 个 8 号平接线片接在天线底座总成的接地螺钉上。在地网线的另一端焊上 $1\frac{1}{2}$ 英寸铜质木螺钉, 架设时, 把螺钉插进地里, 地网线就固定了。在螺钉和地网

线的焊接处滴上热熔胶，增加耐拉强度。

固定牵索

风力不大时，这个天线可以自己支撑。但是，天线高度达 16 英尺，在大多数情况下还是需要固定牵索的。笔者在 10 英尺 MJF 拉杆天线基部上端牵了 3 根 9 英尺长的尼龙绳。插在地上的桩子可用剩余的铜管，3 根 6 英寸长的铜管就够了。也可使用其他的杆子或螺栓。收起时，把绳索绕在铜管桩子上。可参考图 6-58。图 6-59 是牵索固定在拉杆部分的位置。

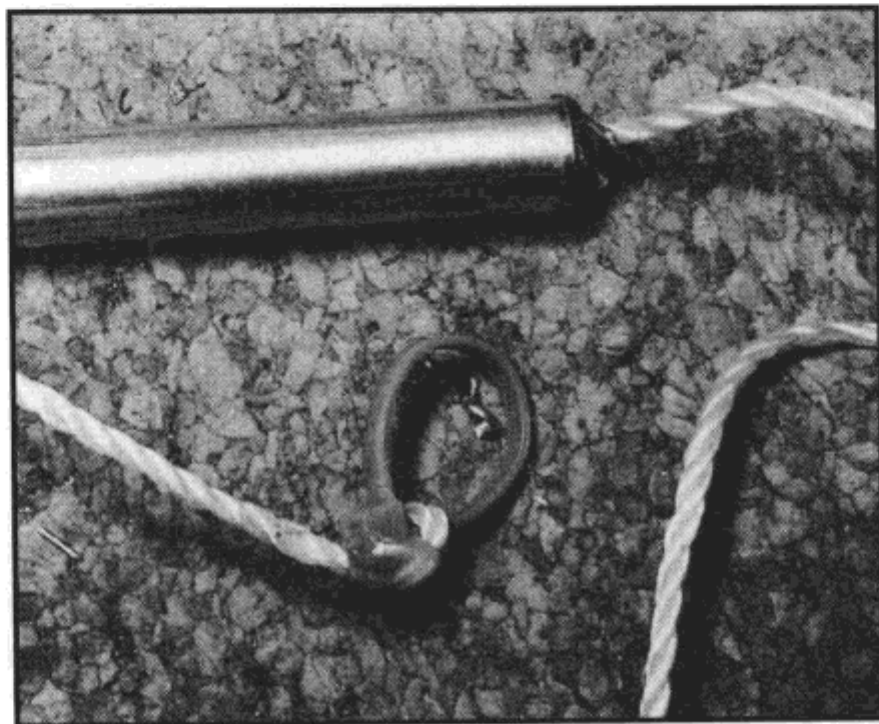


图 6-58 3 根固定牵索（绳扣套在拉赶上，不要套在拉杆的基部）。牵索固定在用剩余铜管做的桩子上，使用了热熔胶。

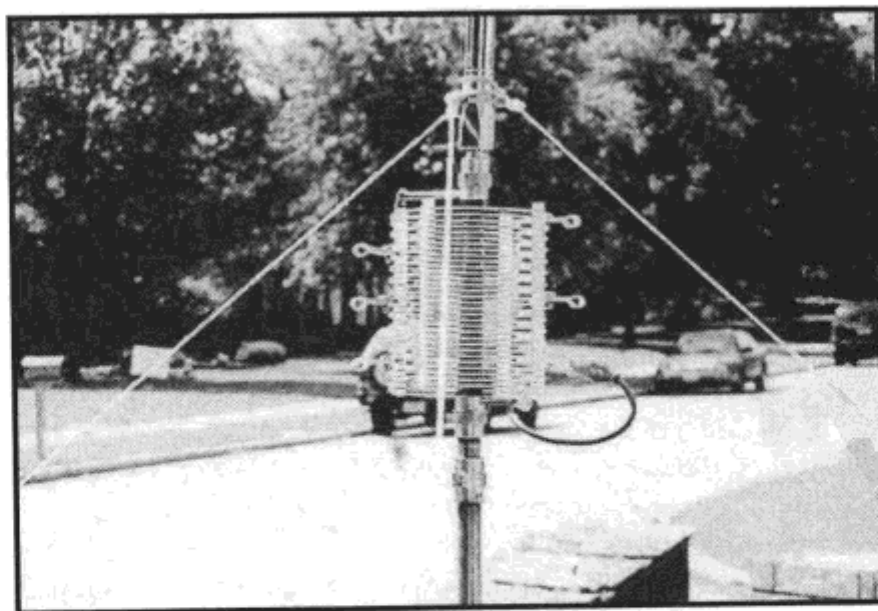


图 6-59 套在拉杆部位的牵索局部照片，从中可以看到线圈及抽头。

组装天线

组装天线时，先把3节铜管部分接起来。然后把这3节铜管拧在底座总成上。把安装好的整个总成插到地上，尽量保持垂直。接下来把负载线圈总成和拉杆天线总成组装在一起。把3根尼龙套在拉杆天线上，把拉杆天线拉长。把整个总成拧入铜管总成顶部的母接头。最后把牵索的固定桩插到地上，把6条径向地网线展开，公共端连接在天线底座总成的接地螺钉上。插入同轴电缆，可以随时调整天线了。

调谐天线

先从60m开始，确定线圈的抽头。如果设备无法承受2:1的驻波比，可在两个翅膀螺帽上跨接1只330pF耐压300V的云母电容，见图6-60。这个电容对于60m和40m足够了。30m的驻波比接近1.7:1。如果需要改善驻波比，使用1只220pF的电容。20~10m不需要加任何电容。

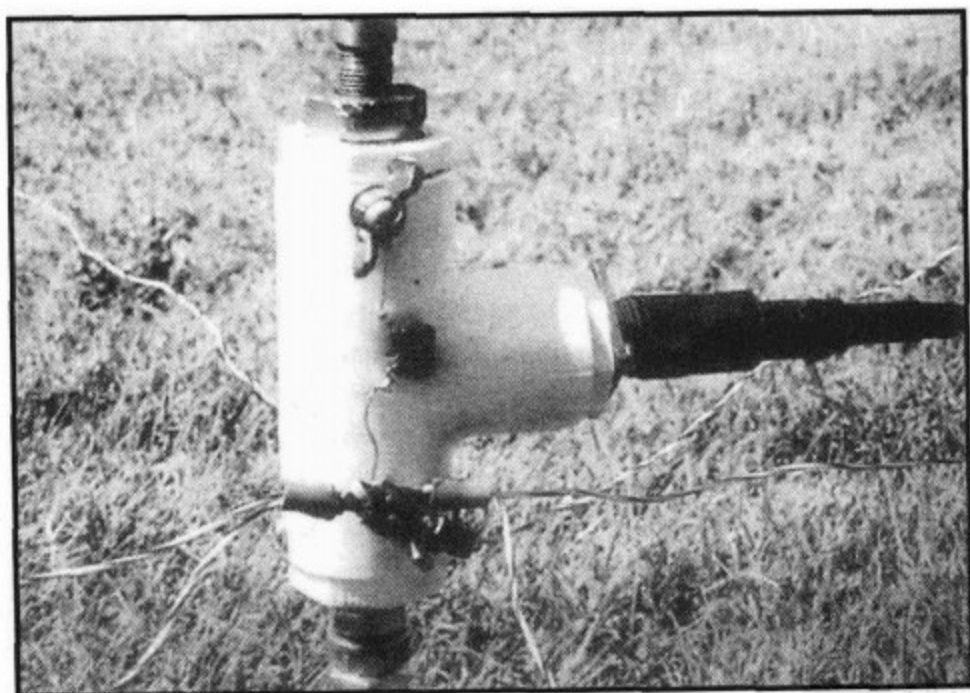


图 6-60 天线的底座，连有地网。T型管的铜螺钉上接有匹配电容。

把天线分析仪设定到5340kHz，找到驻波比最小的抽头位置。记下这个抽头位置。在5380kHz重复上述步骤。切换到40m，找出两个抽头，覆盖自己需要的频段。然后切换到30m，这个米段1个抽头就够了。在20m波段谐振只需要线圈最上面的一匝。在这个波段，天线接近四分之一波长。

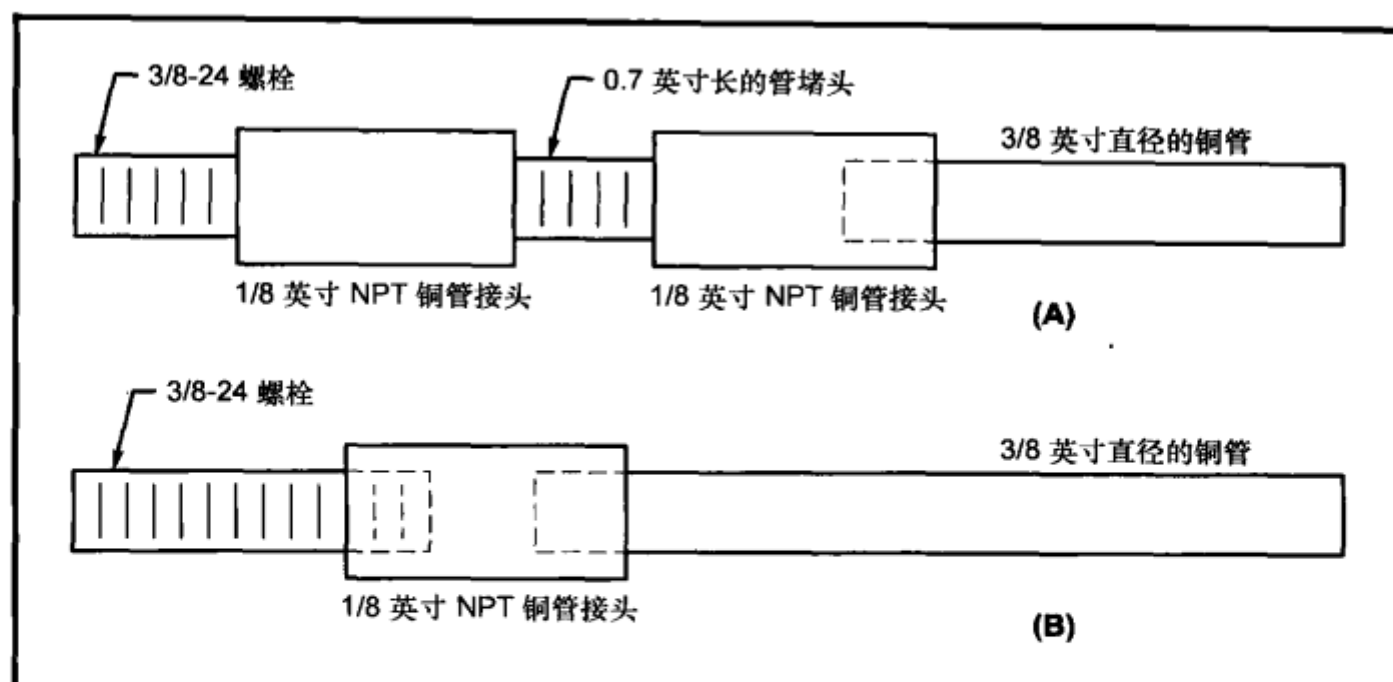


图 6-61 图 A: 3/8-24 标准天线螺钉拧入 1/8 英寸 NPT 铜管接头。图 B: 另一种连接方法。
只把天线与标准螺钉连接, 不用 PVC 底座, 把天线固定在地上。

在 17m、15m、12m、10m, 只需要短路线圈, 卸下铜管部分, 调整拉杆部分, 达到谐振。在这几个波段, 天线长度为 $\lambda/4$ 。15m 和 17m 时要拆掉两节铜管。12m 和 10m 时, 拆掉 3 节铜管。可在拉杆部分用记号笔标出各个波段的拉出位置。

最后, 把 MFJ-605-4001 线圈卡子卡在测好的抽头位置上。可以把卡子焊在线圈上, 这样更加结实。

结论

读者还可以对天线的长度进行试验。例如, 可以减少 1~2 节铜管, 增加或缩短铜管长度、改变负载线圈的位置。但是, 如果想有最高的效率, 天线长度还是尽量长, 线圈的位置越高越好。

最后对马丁·F·朱 (K5FLU)、理查德·斯达波兹 (KC5NSZ) 表示感谢。

6.8 简单的便携式 HF 天线

这个简单便携式 HF 天线覆盖 20 ~ 10m 段。如果架设场地不受限制，还可以扩大覆盖范围。笔者在 20m 段全尺寸双极天线加上绝缘子，使其能够工作在多波段，见图 6-62。

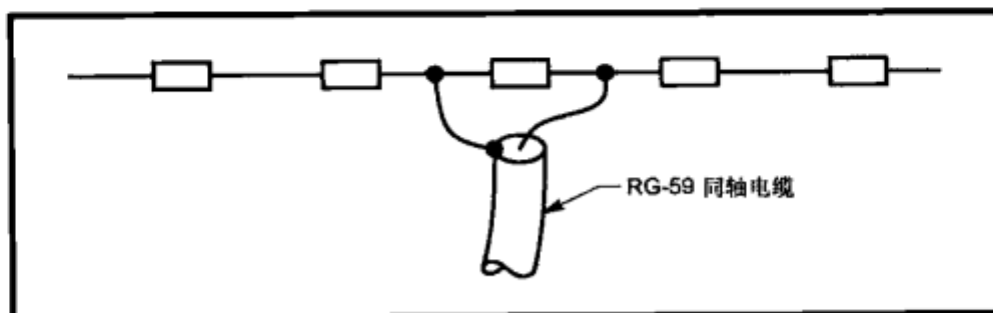


图 6-62 用小型绝缘子把全尺寸的双极天线“分段”。

绝缘子是直径 3/8 英寸的尼龙垫圈，垫圈在五金店可以买到。每个垫圈就是“波段开关”。在垫圈的两端钻一个小孔，穿入一短段 14 号裸线，连接在一端接有鳄鱼夹子的电线上，见图 6-63。

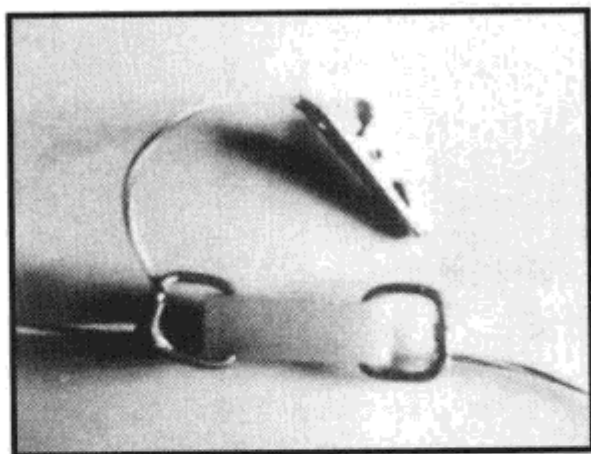
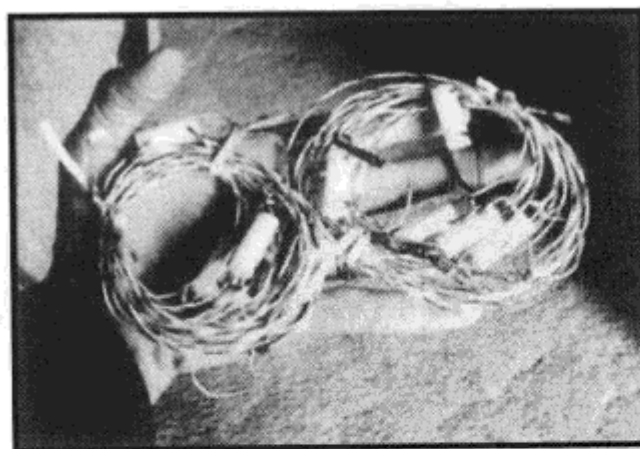


图 6-63 尼龙垫圈、短电线、鳄鱼夹子构成了波段开关

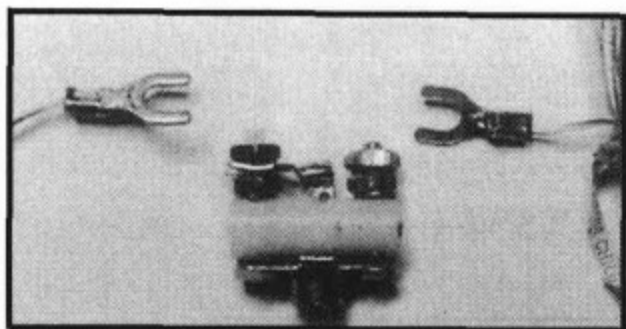


整个天线卷起来可以放在手掌里

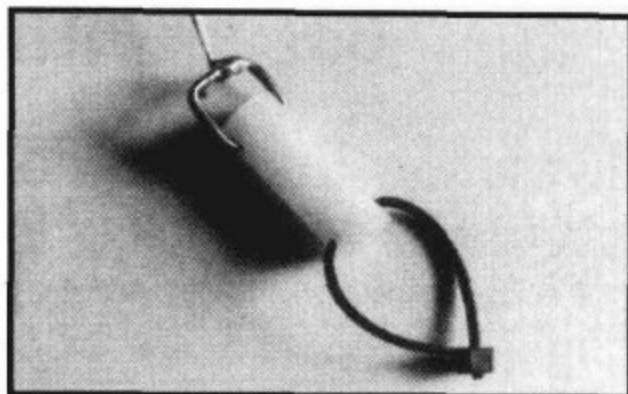
双极天线的振子采用 24 号绝缘线，质量轻，而且柔软，也可以采用其他型号的电线。可用以下公式计算各振子的长度：

$$L = 468 / \text{频率 (MHz)}$$

把振子焊接在绝缘子上, 连接馈线 (RG-58 电缆就可以), 把天线架设到容易调整的场地。尽管可以使用驻波表, 但是调整多波段的双极天线最好有天线分析仪。



笔者的中心绝缘子的照片



笔者的端绝缘子照片

首先, 把所有的鳄鱼夹子松开, 调整内侧的振子, 使 10m 段经常工作的频段驻波比最小。振子可能会长了。焊下一端, 按照下面的方法修剪:

$$\text{新长度} = \text{原长度} \times \text{最小驻波的频率} / \text{想要的最小驻波频率}$$

下一步, 夹上鳄鱼夹子, 调整下一段振子, 按照上述方法, 使其谐振在 12m 段。用同样的方法, 调整 15m、17m、20m。

因为调整时, 天线架设高度不高, 与实际工作场地可能不同, 但是影响不大。如果驻波比很高, 可能是有其他问题, 比如鳄鱼夹夹错了位置。这个天线也可以使用巴伦。

天线振子长度如下:

10m: 每边 8 英尺 3 英寸

12 ~ 10m: 每边 10 英寸

15 ~ 12m: 每边 1 英尺 4 英寸

17 ~ 15m: 每边 1 英尺 8 英寸

20 ~ 17m: 每边 3 英尺 9 英寸

每边总长度 15 英尺 10 英寸; 天线的总长度为 31 英尺 8 英寸。

如果想“缩短”天线, 可以把鳄鱼夹子的连线加长一点, 多余的线绕在绝缘子上, 形成负载线圈。

天线的中央使用了一个尼龙绝缘子, 绝缘子上用螺钉固定了一个莲花插座, 见图 6-64。为了防止插座的中心接头与地短路, 使用了一个尼龙螺钉。笔者在 10m 振子的内侧端焊接了 4 号平接线片, 这样在中心绝缘子上装卸就容易了。中心绝缘子可以采用自己手头的材料按要求制作。

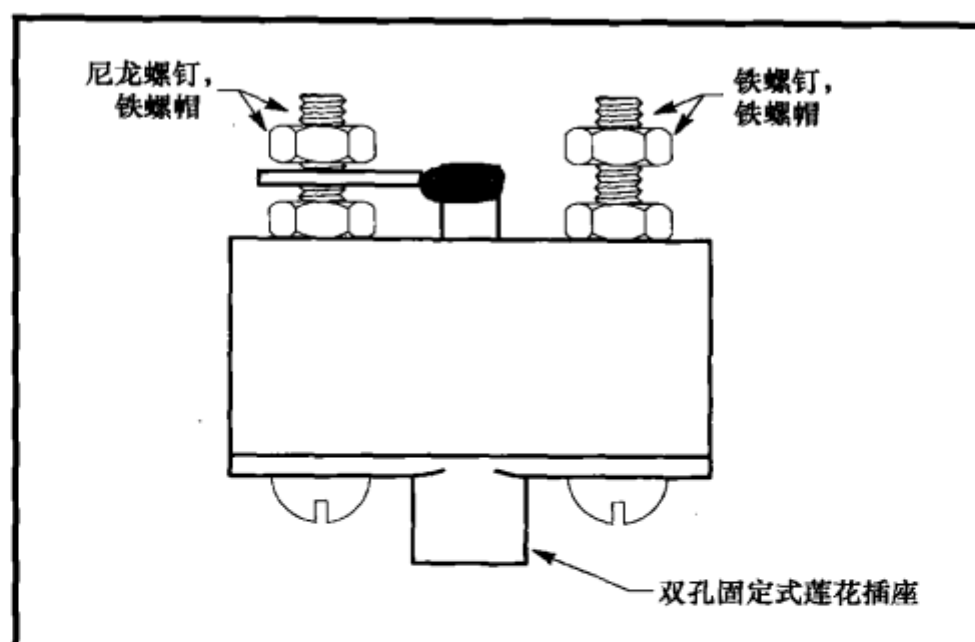


图 6-64 天线的中央使用了一个尼龙绝缘子，绝缘子上用螺钉固定了一个莲花插座。
为了防止插座的中心接头与地短路，使用了一个尼龙螺钉。笔者在 10m 振子的
内侧端焊接了 4 号平接线片，这样在中心绝缘子上装卸就容易了。
中心绝缘子可以采用自己手头的材料按要求制作。

结论

如果需要简单的便携天线，不妨试试这个天线，一个小时左右就能做好。这个天线制作简单、成本低、性能好。调整鳄鱼夹子的位置就可以换波段，不需要天调。

6.9 扁平馈线 20m 天线

笔者最初的便携式双极天线时利用 20 号扬声器电缆，把线拉到 $1/2$ 波长的长度，其余的线做馈线。无连接、无天调、体积小。笔者用这个天线联络过。

如果馈线选择不当，馈线中的损耗很大，尤其是频率高的情况下。双极天线的标准高度时半个波长，笔者计算了 14MHz 时 33 英尺长的电缆馈线的损耗。RG-174 损耗约为 1.5dB，RG-58 约为 0.5dB，RG-8X 约为 0.4dB。RG-8 太粗，不方便携带，但是算好约为 0.25dB。ARRL《天线手册》介绍，18 号双线光缆 (zip cord) 在 14MHz 每一百米的损耗约为 3.8dB (这种电缆很像扬声器电缆)，33 英尺长的损耗约 1.3dB。这种小型电缆的损耗比 RG-58 电缆多 1dB。笔者决定把天线损耗限制在半个分贝。

电视扁平电缆

300 Ω 扁平电缆的损耗比 RG-58 电缆小。有的人说，电视扁平电缆的损耗和 RG-58 电缆几乎一样。一卷扁平电缆比同样长度的 RG-58 电缆要轻，体积要小。问题是 300 Ω 阻抗需要天调或 4:1 巴伦。

任何馈线都要在在馈线上的半波长的倍数的位置反映出负载阻抗。双极天线无论是平顶的还是倒 V 的，阻抗都是 50 ~ 70 Ω ，半波长的馈线在收发信机端的阻抗也是 50 ~ 70 Ω ，省去了天调或者巴伦。

为了确定导线的电气长度，必须调整速度因数 (V_f)，即导线的信号速度与自由空间的光速相比的比率。对于扁平电缆来说，因数是 0.82。这就意味着信号以 0.82 倍的光速前进。在 49 英尺长的扁平电缆的一端连接 50 Ω 负载，使用 MJF259B 天线分析仪测量谐振频率，得出 8.10MHz。2:1 驻波的带宽是 7.76 ~ 8.47MHz，大致是 8.10MHz 的 4.4%。

理论上的 $1/2$ 波长是 $492/8.1\text{MHz}$ ，也就是 60.7 英尺，所以 V_f 是 $49/60.7=0.81$ ，接近 0.82。14.06MHz 的 $1/2$ 波长因此是 $492\times 0.81/14.06$ ，也就是 28.6 英尺。笔者截取了这个长度的电缆，在一端焊上 51 Ω 的电阻，并升到空中。然后把 259B 调到 14.060MHz，测量驻波比，结果是 1:1。用上面测量的 2:1 带宽的 4.4% 变量计算馈线长度在 27.1 ~ 29.5 英尺变化时最大驻波比为 2:1。

笔者截取另外一段扁平电缆，把中间切开，分成两段 17 英尺长的分叉，剩余 28.3 英尺作为馈线。架设到 30 英尺高后进行测试，修剪分叉部分的长度，直至 259B 测得驻波比为 1:1。

最后分叉部分长度为 16.75 英尺（注意，上述方法确定的 V_F 仅适合天线的馈线部分）。天线的馈入点没有焊接，也没有特殊的连接装置。分叉处多留了 1 英寸，便于绑绳索悬挂。没有切开的电缆部分用尼龙捆扎带固定，为了能够和收发信机连接，使用了带接线柱的 BNC 接头。后来笔者又准备了一段带有 BNC 头的 RG-58 电缆，与扁平电缆连接。RG-58 电缆与扁平电缆之间是直接连接，没有使用巴伦。

经过一年多的使用和现场试验，包括高度、V 形角度，笔者把分叉长度进一步修剪到 16.65 英尺。笔者发现，V 字形接近 90° 时驻波比最小。笔者还发现，如果天线接近地面，谐振频率就降低，反之升高。例如：如果 V 字的顶端高度为 22 英尺，在 13.9MHz 时驻波比最小；V 字顶端高度为 31 英尺时，在 14.1MHz 驻波比最小。两种情况下，在 14.060MHz 的驻波比都没有超过 13:1。

笔者使用的是 Radio Shack 的 22 号扁平电缆，每卷 50 英尺。如果不想有接头，长度至少要 45 英尺。切开电缆中间分叉时，不必除去两线中间的绝缘材料，只需用刀划开一条口子。这样电缆容易卷起来，而且分开的电缆部分不会绞在一起。整个天线的重量比一卷 25 英尺的 RG-58 电缆要轻。天线还可以按照比例做成其他波段的。还有一种中间部分是“窗口”的 20 号 300 Ω 扁平电缆，损耗更小，但是 V_F 不同，使用前要重新测量。

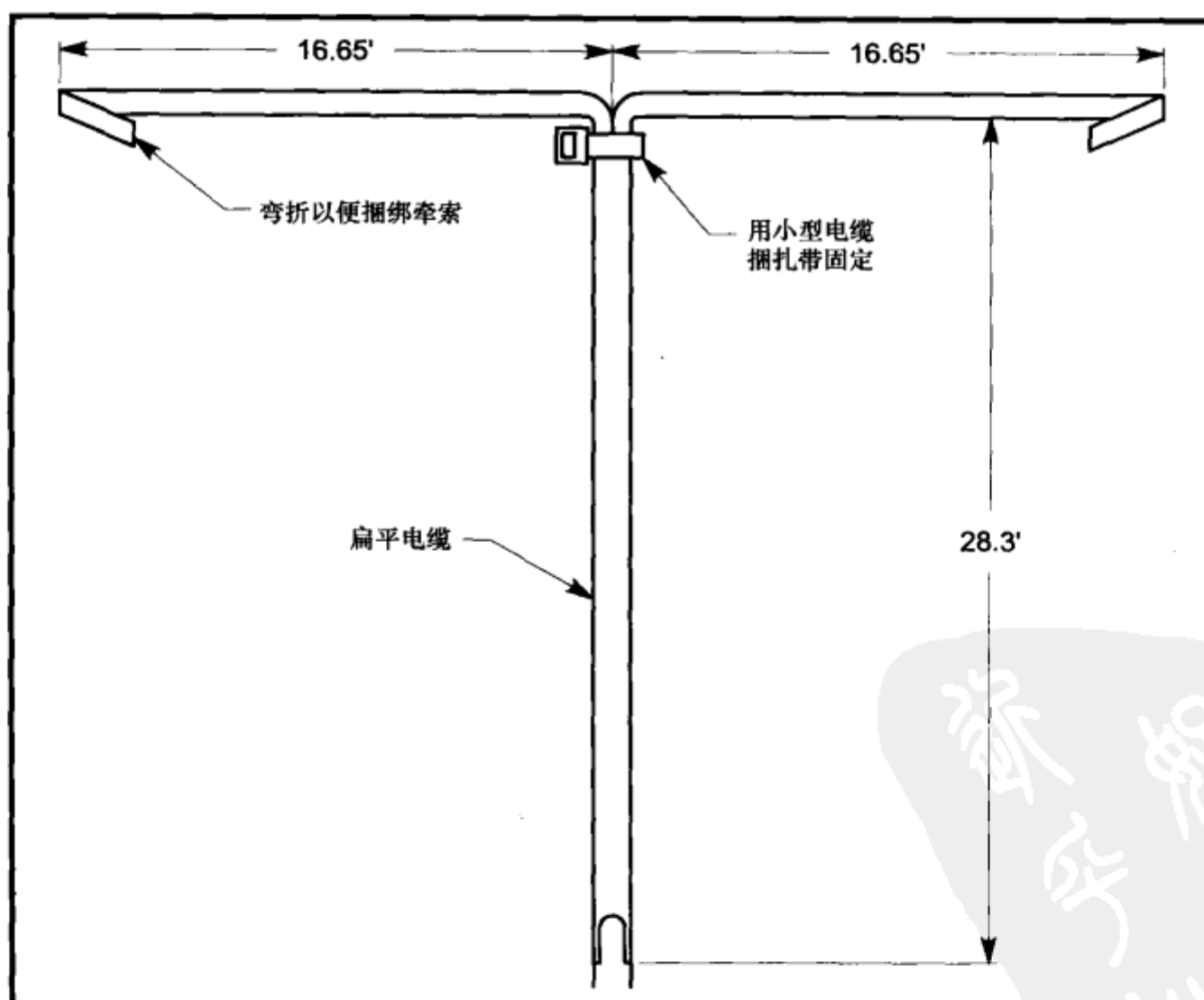


图 6-65 便携式双极天线，用于 16.060MHz。增加几个零件就可以变成和好的 QRP 天线。
配合天调使用，可以工作在几个波段，见正文。

能架设多高？

大家可能会说，长度是波长的一半，只能架设 28 英尺高。使用一段 6 英尺或 12 英尺的 RG-58 连接电缆，就可以把天线架设的更高了。因为馈入点阻抗是 $50 \sim 70\Omega$ ，因此可以使用 50Ω 的电缆延长馈线。笔者在野外采用倒 V 形式，不同的高度，不同的分叉角度用驻波表反复检查不同情况下的一致性。驻波比从未超过 1.5:1，因此可以不用天调，甚至可以不带驻波表。

这个天线还有额外的好处。因为是平衡式馈线，所以可以利用天调工作在多波段，范围是 10 ~ 40m，几乎无损耗。约翰·海斯(G3BDQ)在 *Practical Wire Antenna* (《实用线状天线》) 一书的 18 页写到：“即使偶极天线的顶部长度只有四分之一波长，这个天线仍是有效的辐射器。”海斯使用了一个顶部长度为 30 英尺的天线，离地面 25 英尺，在 40m 与整个欧洲联络的信号报告一直很好，甚至和美国联络效果也很好（从英格兰）。40m 的效果不如 20m，但是 10 ~ 20m 效果应该非常好。

反复试验

为了证实这个理论，笔者最近从加利福尼亚中部，在 15m 和 20m 联络了华盛顿州参加 Salmon Run 竞赛的电台，许多华盛顿的电台，一个俄亥俄州的电台，一个得克萨斯的电台，天线高度 22 英尺架在带三脚架的 SD20 鱼竿上，机器是 K2，输出功率 10W。利用 K2 自带的天调把天线调谐到 15m，信号报告为 549 ~ 599 不等。

通过试验，笔者认为，谐振的倒 V 天线，当架设高度接近或超过二分之一波长时，效果最佳，继续增加长度或高度也不会有更好的效果了。

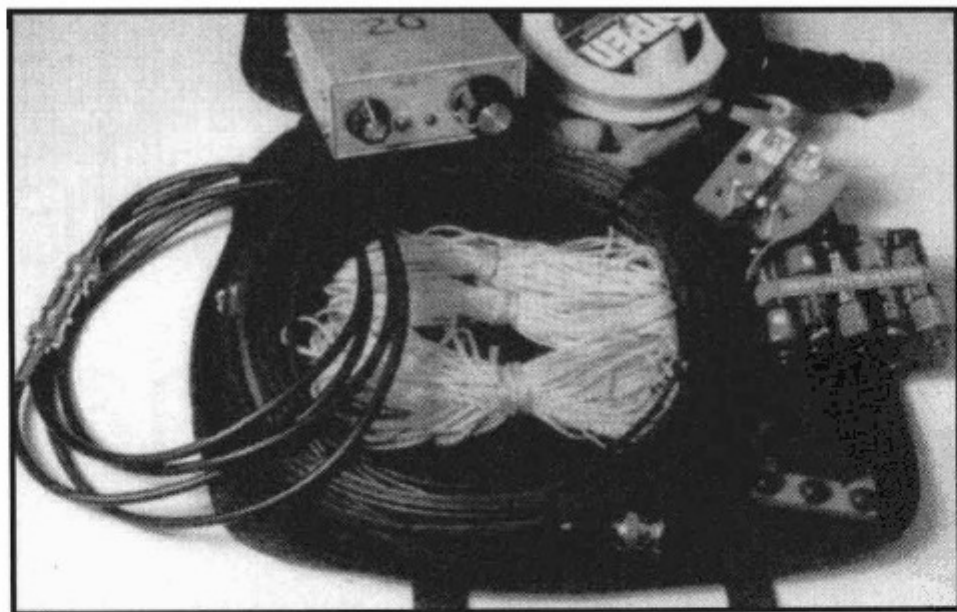


图 6-66 作者的便携电台设备，包括扁平电缆双极天线、20m Wilderness Radio 生产的 SST 收发信机、电线。全部可以装进 8 英寸 × 10½ 英寸 × 2 英寸的康柏笔记本背包里。

6.10 便携式地耦天线

这个自制的便携式天线可工作在 6 ~ 40m, 是仿造 Alfa Delta 通信有限公司的地耦天线^[1]制作的。天线没有采用径向地网线, 而是采用了很小的接地系统, 不需要调谐。

这个天线是 $\lambda/4$ 的垂直天线, 立在三脚支架上。桅杆和三脚架采用 2 英尺的 3/4 和 5/8 英寸的可伸缩铝管。桅杆谐振在 10m。在桅杆的顶部接上重量轻的铝管, 把天线调谐到 12m、15m、17m。这几节增加的铝管可以垂直安装, 也可以水平安装。天线的馈入点在三脚架的顶部, 底部就成为辐射系统。从三脚架顶部伸出的蹦极橡皮筋固定在地面的桩子上, 使整个天线结构稳定。

三脚架的每个脚底有一个铝条, 2 1/2 英寸宽, 3 1/2 英寸长, 用铝胶带制作。这 3 个铝条贴在地面上, 形成电容的一个极板, 把天线的 RF 信号耦合到大地, 这就是接地系统。这种结构很像移动天线系统, 车身就是电容的一个极板, 把天线的 RF 信号耦合到路面和大地。这种接地系统可以工作, 天线辐射性能好, 所有波段的驻波比也低。在铝桅杆和平的顶部之间安装的负载线圈可以使天线工作在 20m、30m、40m。线圈位置高, 10 英尺高的整个桅杆和三脚架就是不加感的全 HF 段辐射器。

制作三脚架

三脚架的结构见图 6-67 和图 6-68。3 根 5/8 英寸 (直径) × 0.058 英寸的薄壁铝管固定在 1 1/2 英寸的 PVC 盖子。PVC 盖子的顶部有一个孔, 一根 3 英寸长的 3/8 螺钉穿过这个孔, 把 4 英寸长的铝管卡在 PVC 盖子里, 形成了三脚架的三条腿, 见图 6-68。

50Ω 的电缆通过 SO-239 插座连接到天线。插座固定在 PVC 盖子上面的一个直角铝支架上 (见图 6-67)。铝直角支架上钻一个 5/8 英寸的孔, 安装插座。此外还需要钻 4 个插座的固定螺钉孔。穿过 PVC 盖子的 3/8 英寸的螺钉固定铝支架。

把螺钉从 PVC 顶部的孔穿过, 穿过铝支架的孔, 然后放上弹簧垫圈, 拧上螺帽。一开始螺帽先拧到螺钉 1 英寸的位置, 让螺钉头露在盖子的外边。沿盖子缺口把 3 根铝管插到盖子里, 要顶到螺钉。拧紧螺帽, 使螺钉头把铝管挤住。继续拧螺帽, 直到 PVC 盖子略微变形, 有点三角形的形状。

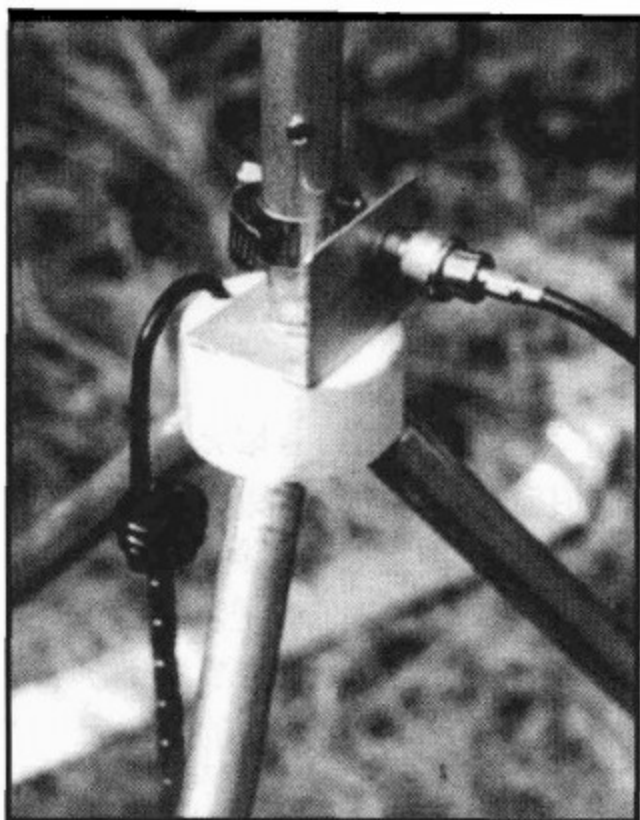


图 6-67 三脚架顶部。三脚架的 3 条腿被螺钉卡在 PVC 盖子的 3 个槽子里。这个螺钉同时固定了安装 SO-239 的铝直角支架。PVC 盖子顶部的 1/4 英寸的孔刚好可以穿过一个蹦极皮筋的钩子。

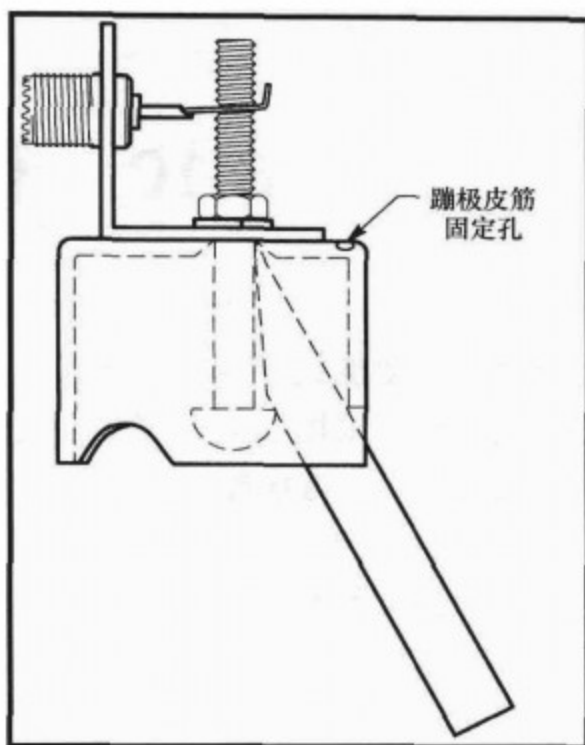


图 6-68 三脚架的盖子。3 根直径 5/8 英寸的铝管长度 4 英寸，放到盖子里达一端切成 30° 角。在 PVC 盖子内，钻一个 3/8 英寸的埋头孔，刚好可以卡住铝管的端部。图中只画出了一个铝管。在 PVC 盖子上要铣出 3 个半圆的槽子，以便卡住铝管。螺钉拧紧后，3 个铝管就被紧挤在盖子里了。盖子上的槽子深度为 3/8 英寸，能够容纳铝管为宜。槽子的位置要对称。

三脚架的每条腿都是两根铝管组成。一根是壁厚 0.058 英寸，直径 3/4 英寸的铝管，另一根壁厚 0.058 英寸，直径 5/8 英寸，装在 3/4 英寸的铝管的里面。每根管子 2 英尺长，在 3/4 英寸铝管距端部 1 英寸的位置冲个坑，起到止动块的作用，防止套在里面的管子进一步滑动。可用榔头和中心冲给铝管冲这个小坑。插入细铝管时刻略微用力，让里面的小坑卡住细铝管。

接地铝条

如图 6-69 所示，截取 7 英尺铝胶带，放在地板或桌子上，有胶面朝上。这个工作可能需要两个人。让另一个人把一段粗电线（12 号）或者木棍横放在胶带的二分之一处（一半的位置），按住。拿起胶带的一端，让胶带对折，贴在一起。对折时注意对准胶带的边。剪去带电线（木棍）的那部分胶带，接地铝条就做好了。如果胶带的边对的不是很完美也不要紧。

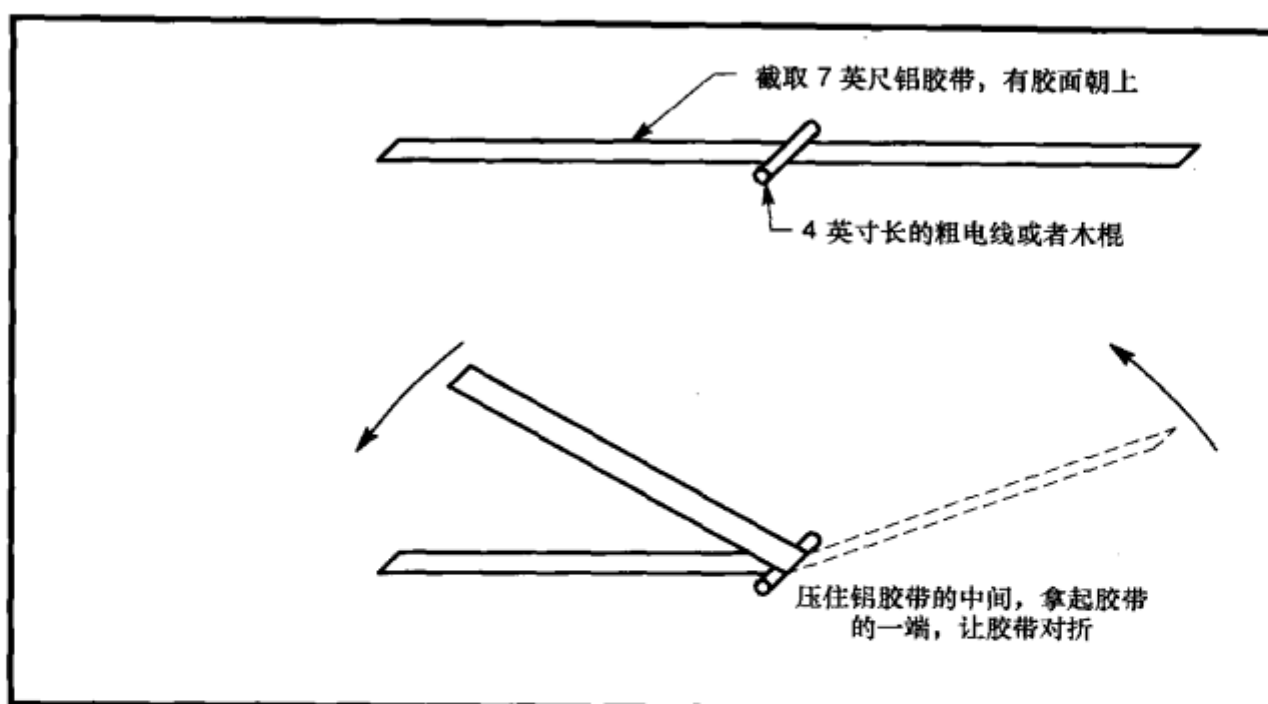


图 6-69 制作接地铝条，见正文。

桅杆

8 英尺长的桅杆由两节可伸缩的直径 $3/4$ 英寸、 $5/8$ 英尺的铝管组成，铝管壁厚 0.058 英寸。在 $3/4$ 英寸的铝管端部开槽，这样可以用软管卡子夹紧套在里面的细铝管。为了让 $3/4$ 英寸铝管底部与三脚架上的 $3/8$ 英寸螺钉绝缘，需要采取绝缘措施。如图 6-70 所示，在底部装入一段 2 英寸长的亚克力管。亚克力管底部要露出铝管大约 $1/4$ 英寸，也要开槽。在绝缘管上部钻个 $5/32$ 英寸的孔，插入一个 6-32 螺钉，上紧螺帽，使亚克力绝缘管定位。

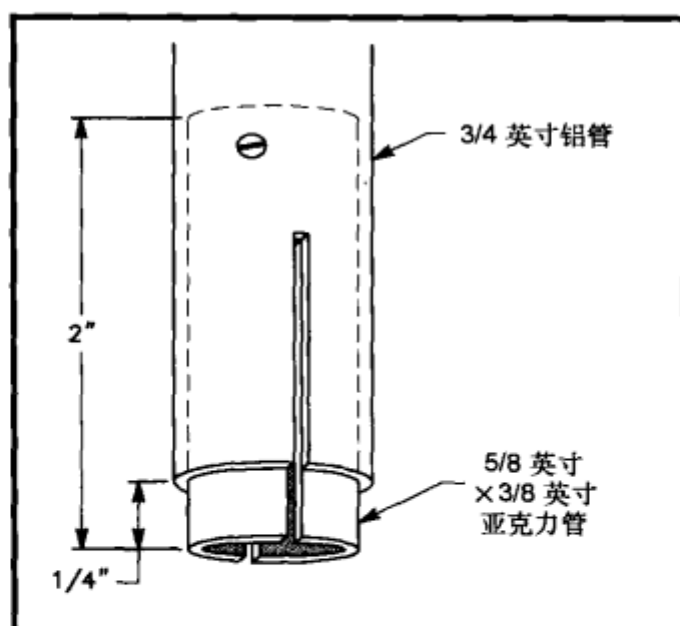


图 6-70 一段亚克力绝缘管使桅杆与三脚架的螺钉绝缘。亚克力管的内径 $3/8$ 英寸，外径 $5/8$ 英寸，可以插进桅杆，套在螺钉上。桅杆和绝缘管都需要用钢锯开槽，便于使用软管卡子卡紧。

安装好 SO-239 插座后,把一段 2 英寸长的 14 号裸铜线焊在插座的中心针上,弯折一下,使其靠紧三脚架 3/8 英寸螺钉。然后朝上弯折,让铜线与螺钉平行,铜线和螺钉保持 1/4 英寸距离。当桅杆底部套在三脚架螺钉上时,把铜线放在在铝管和软管卡之间。卡紧软管卡时,同轴电缆的芯线与桅杆就有电气接触了,同时也使开了槽的铝管和绝缘管底部紧紧夹在螺钉上。

天线的顶部振子采用了直径 5/8 英寸的晾衣杆薄壁铝管。这种材料质量轻、强度大、价格便宜。短的管子可用直径 3/4 英寸,壁厚 0.058 英寸的铝管做接头套管,接起来。套管长度 2 英寸就够了。需要 2 根 2 英尺长的、2 根 1½ 英尺长的、2 根 1 英尺长的。还需要 3 个接头套管、1 个 T 型管,把顶部振子与桅杆或线圈部分连接起来,见图 6-71。

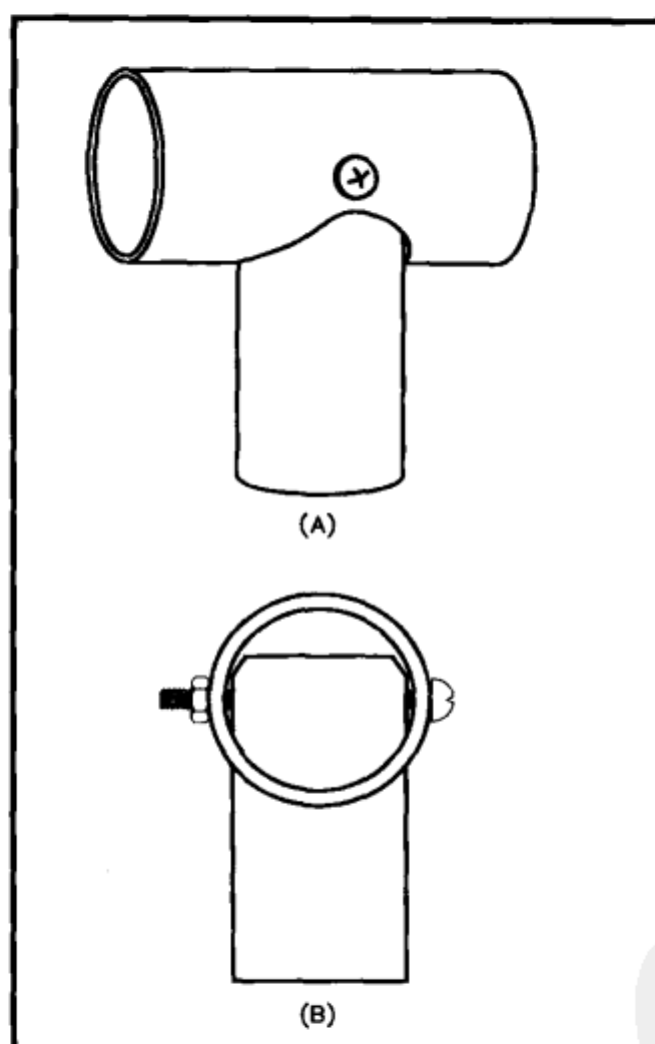


图 6-71 平顶振子需要 T 型管。外径 3/4 英寸的水平振子铝管壁厚 0.058 英寸,可以插入 5/8 英寸薄壁铝管。5/8 英寸的垂直振子壁厚 0.058 英寸,可以插在线圈顶部的 3/4 英寸衬套管里。在 3/4 英寸的管子上钻 5/8 英寸的孔,需要先钻一个孔,然后把孔扩大到 5/8 英寸,或者钻成大一些的埋头孔(钻埋头孔需加一点润滑油)。在 T 型管钻 7/64 英寸孔之前(这个孔是装 6-32 螺钉用的),把两节管子装好,用台钳夹紧,两个管子要相互垂直。平顶振子如果直接安装在桅杆上,需要先在桅杆上套一个 3/4 英寸的衬套,然后把 T 型管装在这个衬套上。

蹦极橡皮筋

天线质量轻，即使有三脚架，也需要固定绳拉紧，以免被风刮倒。蹦极橡皮筋和一根桩子就可以起到稳定天线三脚架的作用。三脚架高度大约 3 英尺，一条 24 英寸长，直径 1/2 ~ 3/8 英寸的蹦极橡皮筋就够用了。固定桩可以采用帐篷用的固定桩，使用时倾斜钉到地里。一种样子像螺钉的桩子最合用。可以拧入地里，露出地面的部分很小。但是这种桩子无法拧入很硬、很干的地面。在这种地面很硬的位置，可以在皮筋上挂块转头，或者一罐水，保持三脚架稳定。

天线工作在 10 ~ 17m

工作在 10m 时，立起三脚架，把接地铝条的一端放在三脚架的脚下，铝条的方向随意。把桅杆高度调整到 7.4 英尺。这个长度略小于 $\lambda/4$ ，笔者估计是离地面过近和三脚架的厚度引起。在 10m 时，无需安装顶部单元。调整桅杆长度，使其谐振在 10m 的工作频段。

工作在 12m、15m、17m 时，按照表 6-4 添加薄壁铝管，或者是垂直添加，或者是水平添加。改变波段时，接地系统无需改动。

表 6-4 天线工作在 10 ~ 17m 时铝管长度

波段 (m)	顶部水平振子长度 (英尺) 与节数	顶部垂直振子长度 (英尺)
10	0	0
12	1×2	1.5
15	2.5×3	3.5
17	3.5×2	5.5

天线工作在 6m

工作在 6m 时，三脚架必须与地绝缘，桅杆长度要缩短到 52 英寸（从三脚架顶部算起的长度），见图 6-72。三脚架不需要接地铝条了。可用 1/2 英寸的 CPVC 管或管接头做绝缘子。锯 3 段 4 ~ 6 英寸长的 CPVC 管，套在三脚架的铝引脚上。三脚架装上绝缘子后，天线谐振在 6m 时驻波比很小。改变工作频率时只需调整桅杆长度，不必调整三脚架。

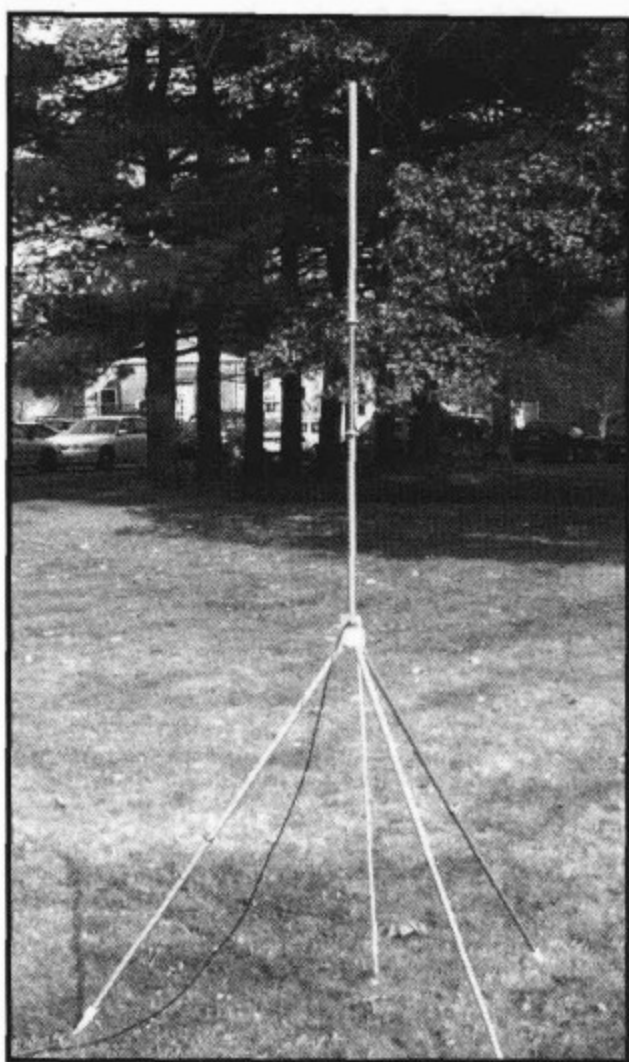


图 6-72 天线工作在 6m。三脚架结构是一样的，三脚架的腿 4 英尺高。但是桅杆缩短了。无需接地铝条。三脚架的脚套上 1/2 英寸的 CPVC 管与大地绝缘。

制作负载线圈

工作在 20m、30m、40m 时，天线需要安装一个负载线圈。线圈带抽头，见图 6-73。这个线圈可以把天线调谐到 20m、30m、40m，还可以在不改变顶部振子长度的情况下调谐到高一些的频率上。线圈用 8 号铝丝在 4 英寸苯乙烯管接头上绕 13 匝。这个线圈骨架用 1 1/4 英寸的 6-32 铜螺钉或不锈钢螺钉固定在 7 英寸长，直径 1/2 英寸的 CPVC 管上，CPVC 管子两头最好钉入 2 英寸长的木棍，起到加强作用，拧螺帽时不会把管子压扁。螺钉同时也固定了线圈铝线的两个头。用记号笔标出地 5 匝和第 10 匝的位置，这样找抽头位置时不必每次数匝数了。

苯乙烯管线圈骨架内有突起的边，用凿子把这个边铲去 1 英寸，使 CPVC 管能够贴紧线圈骨架的内壁。在线圈骨架两端钻 7/64 英寸的孔，空要穿过 1/2 英寸的管子，按照图 6-73，用螺钉固定。截取一段 16 英寸长的铝线，把一段绕个环，套在一个螺钉上，在骨架上间绕 13 匝，铝线在另一个螺钉上收头。剪去多余的铝线。

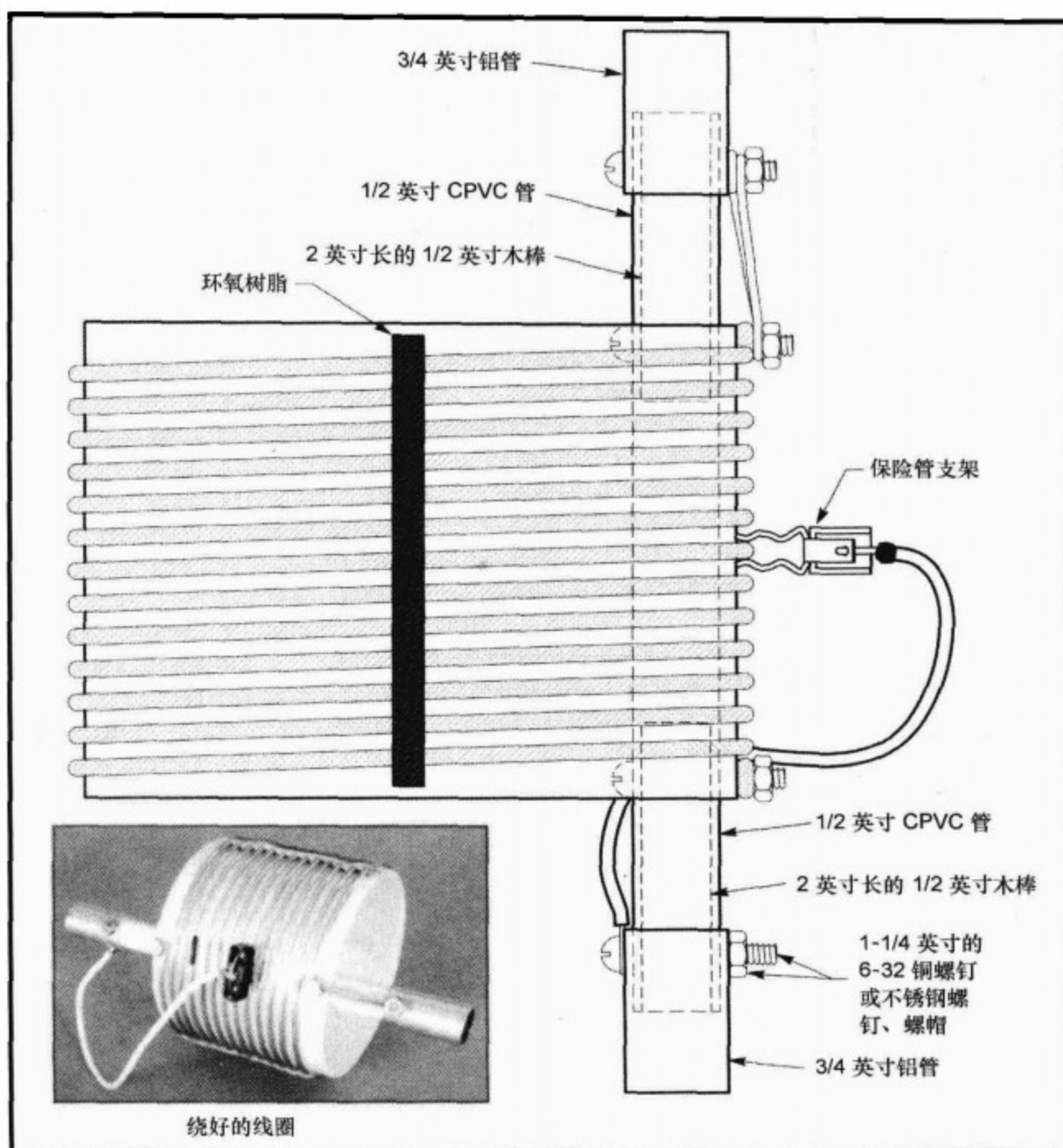


图 6-73 负载线圈。在骨架上用粗铝线绕 13 匝。利用固定骨架的螺钉固定铝线的头。线圈通过塑料管底部的 3/4 英寸的铝衬套管连接在桅杆上。抽头电线也连接在线圈下方的衬套上。线圈的顶部采用同样的铝衬套，用于连接顶部的垂直振子或水平振子。

铝线要紧紧地绕在骨架上。为了防止松动，可以在线圈上涂三条环氧树脂，作为肋筋，图 6-73 画出了一条环氧树脂肋筋。为了把环氧树脂肋筋涂直，看起来美观，现在要涂环氧树脂肋筋的地方贴两条胶带，在两条胶带之间的缝上施加环氧树脂，环氧树脂干透后揭去胶带。

抽头连接可以使用鳄鱼夹，但是笔者还是喜欢用保险管支架做的抽头卡子，见图 6-74。这种卡子装、卸都容易。用一段 9 英寸长的 14 号多股绝缘铜线和焊片，把抽头卡子与线圈底部的铝管衬套连接起来。用同样的电线把线圈的上端接头与线圈骨架顶部的铝管衬套连接起来。

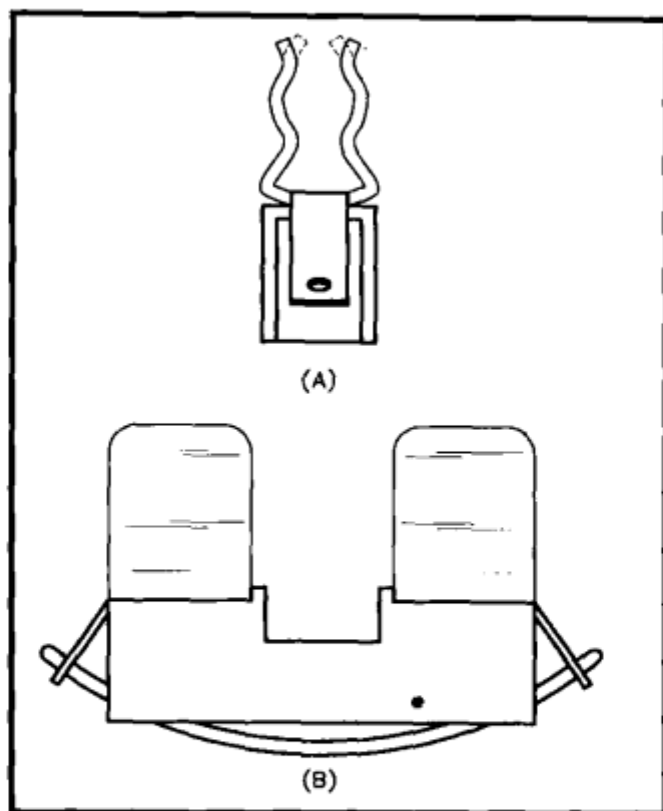


图 6-74 制作抽头卡子。图 A：把 5mm 的保险管支架的口往里弯折（虚线部分），便于夹住线圈。图 B 是支架的侧视图。为了能够穿过电线，弯折支架的焊片。穿进电线后，继续向上弯折焊片，用焊锡焊牢。把抽头连接线的一端剥去 1/4 英寸的绝缘皮，焊接在刚才焊接在支架焊片上的连线上。用锉刀把锋利的边、角修整光滑。

线圈底部的铝管衬套把线圈与桅杆连接起来。衬套是一段 1½ 英寸长、直径 3/4 英寸、壁厚 0.058 英寸的铝管。把 1/2 英寸的 CPVC 管插入衬套一半的位置，钻一个 7/64 英寸的孔，用 1 英寸长的 6-32 铜螺钉或不锈钢螺钉固定。

天线使用负载线圈

工作在 10 ~ 40m 时，桅杆要缩短到 6 尺 2 英寸，把线圈装到桅杆上。在线圈上端安装一个顶部振子，这个振子是 2 根水平的 3½ 英寸长的铝管（直径 5/8 英寸），或者一根 7 英尺长的垂直铝管。负载线圈 13 匝全部用上，加上抽头线形成的 1 匝，天线有可能谐振在 40m 段的中间频段。如果想工作在 40m 段的低端频段，在顶部水平的振子的一端或垂直振子部分增加一段 1 英尺长的铝管。天线的安装尺寸见图 6-75。

表 6-5 看起来似乎有错误，因为列出的工作在 15m、12m、10m 的线圈匝数比工作在 17m 时还要多。这是个奇怪的现象。这是因为，线圈的每个抽头的位置都有两个谐振频率。图 6-76 画出了 RF 信号在天线里能够通行的两个通道。线圈的上半部和顶部振子产生较低的频率，线圈的下半部产生较高的频率。这个线圈的体积对自由空间有相当大的电容，所以在较高的频率时，这个线圈不只是一个端负载电感。天线的带宽很好，驻波比低，各个波段性能都很好。这个负载线圈系统的魅力在于改变抽头就可以换波段，无需调整桅杆长度或者顶部振子长度。还有一个优点：线圈为 13 匝时，天线可以同时工作在 40m 和 10m。

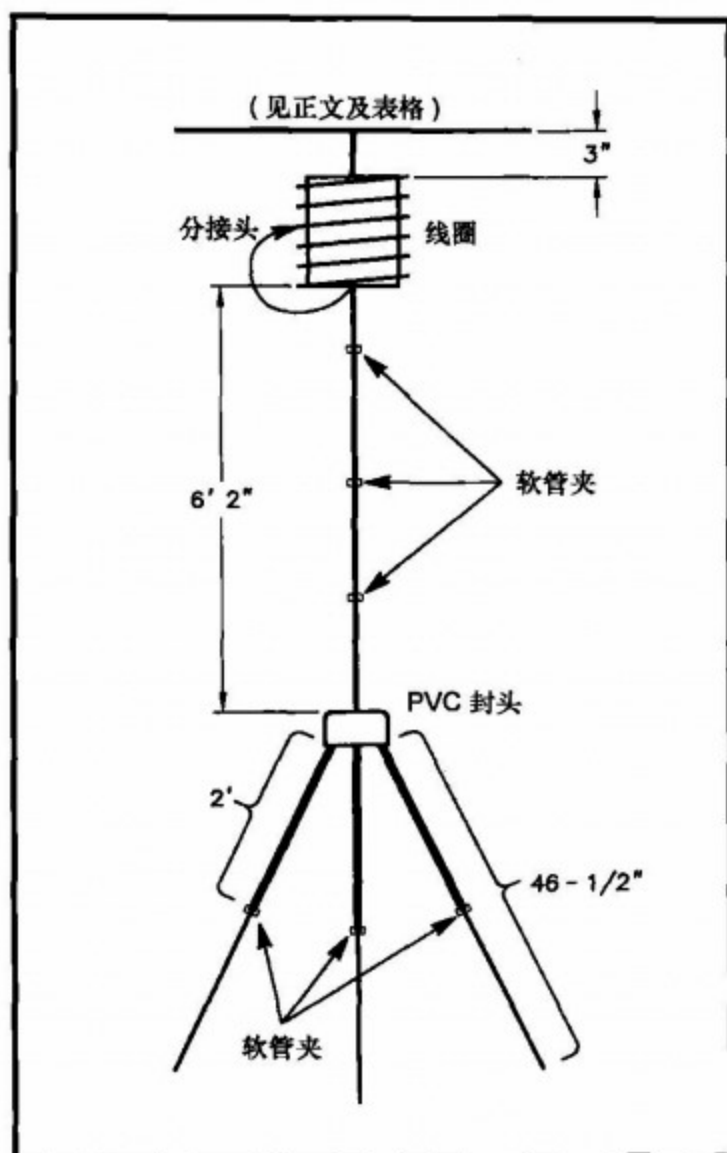


图 6-75 装有三脚架、桅杆、线圈、顶部振子的天线大致尺寸

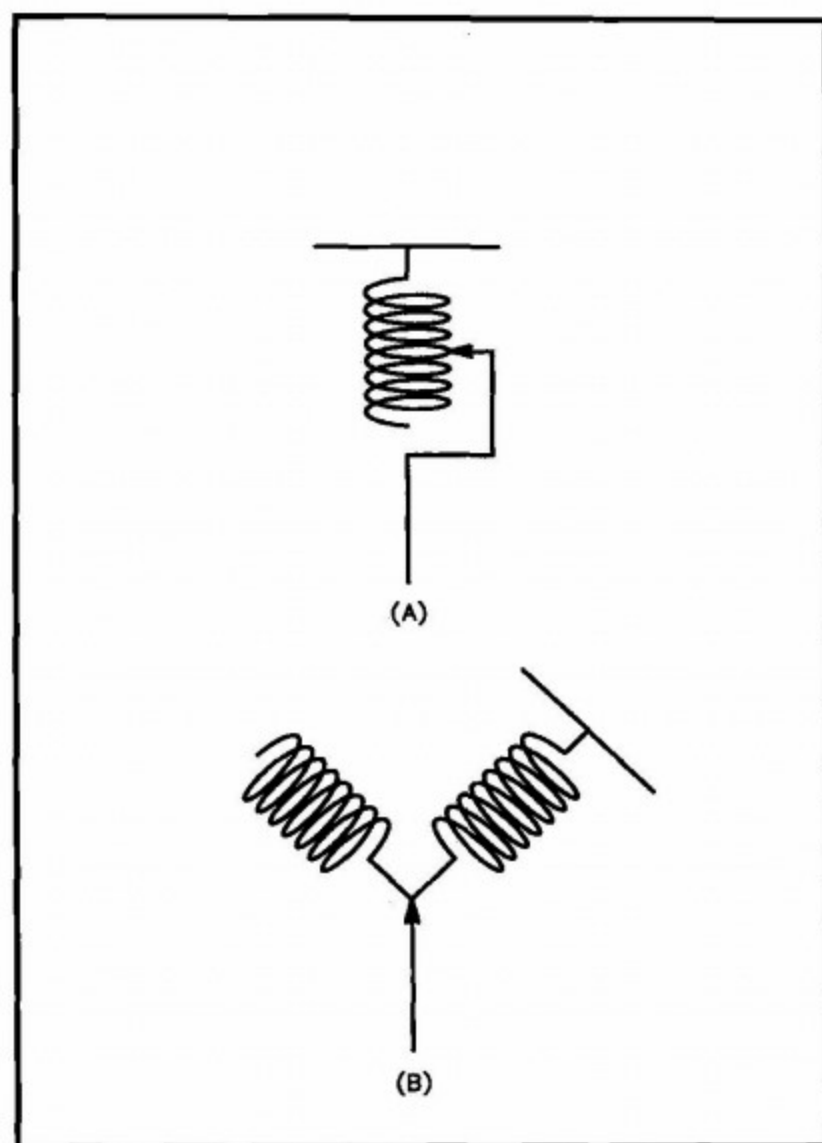


图 6-76 图 A: 天线上半部包括线圈、抽头、顶部振子, 线圈的底部是自由的, 没有连接任何地方。图 B: 出现了两个谐振频率的两个天线电路。因为顶部振子的长度, 线圈的上半部分的谐振频率低一些。

顶部振子如果使用垂直振子, 而不是水平振子, 那么表 6-5 的线圈数据就需要略微调整。总的来说, 顶部采用水平振子时驻波比低, 而且调整容易一些。

表 6-5 本表给出的是工作在 10 ~ 40m 段的线圈匝数 (从线圈的底部数起)。由于安装条件的差异, 抽头的数据仅供参考。减少匝数可以提高频率; 增加匝数可以降低频率。

波段 (m)	线圈匝数
40	13
30	7.1
20	3.1
17	2
15	5
12	7
10	13

天线的功率承受能力与安全

因为线圈和铝管的直径都比较大，所以大家可能会把天线用在大功率。笔者建议不要这样。天线可以承受大功率，但是人承受不了。在大功率工作时，天线上的危险 RF 电压是在人体可以接触到的范围内。笔者在这个天线上用过 100W，但是格外小心和注意。

天线的其他性能

使用负载线圈，三脚架采用地耦合，这个天线可工作在 7 ~ 40MHz；三脚架与地绝缘，可工作到 110MHz。

这个天线可以使用长一些的桅杆，以获得更高的效率。如果空间有限，可以采用短一些的桅杆。尽管缩短的天线只有 6 英尺高，也不能在户内使用，因为天线必须与大地耦合。天线越高，效果越好，但是换波段就复杂一点。如果必须包括 75m/80m，可以在 40m 线圈下在加一个线圈，用 40m 线圈的抽头换频率。增加的线圈采用图 6-73 所示的骨架，用 12 号漆包线密绕 20 匝，把顶部振子减少到 1 节 3.5 英尺铝管和 1 节 2 英尺铝管，可以使天线工作在 3.5 ~ 3.8MHz 和 3.8 ~ 4.1MHz。在 80m，6 条接地铝条可以使驻波比较低。但是这么小的垂直天线的短跳效率不是很高。把一根 $\lambda/4$ 的导线垂到灌木上方、花圃上方，或小树枝上会有较高角度辐射。

注释

^[1]Rick Lindquist, N1RL and Steve Ford, WB8IMY. “Compact and Portable Antennas Roundup.” ‘Alfa Delta Outreach/Outpost System.’ Product Review, *QST*, Mar 1998, pp 72-73.



6.11 可收卷的双极天线

尽管一些火腿说把双极天线或者倒 V 天线两端多余的导线部分卷起来是不允许的，但是把多余导线圈在线轴上是一种缩短、调整天线尺寸的方便、有效的方法。

为了让双极天线加长、缩短，实际上可以把振子不用的导线部分圈在线轴上。如果振子是绝缘电线，卷起来的部分相当于高阻的扼流圈，对天线无影响。如果采用的是不带绝缘的铜线，那么卷起来的部分就是个“导电饼”，也就相当于是振子两端的电容帽。

图 6-77 就是一付便携式双极天线。一个中间绝缘子，两卷电线，每卷有约 65 英尺长的多股绝缘铜线。伸缩电线的长度，可以使天线工作在 6 ~ 80m 任何一个波段。架设成倒 V 型，改变波段就更容易了。两端的线轴使调整馈入点、非中心馈入也变得容易。

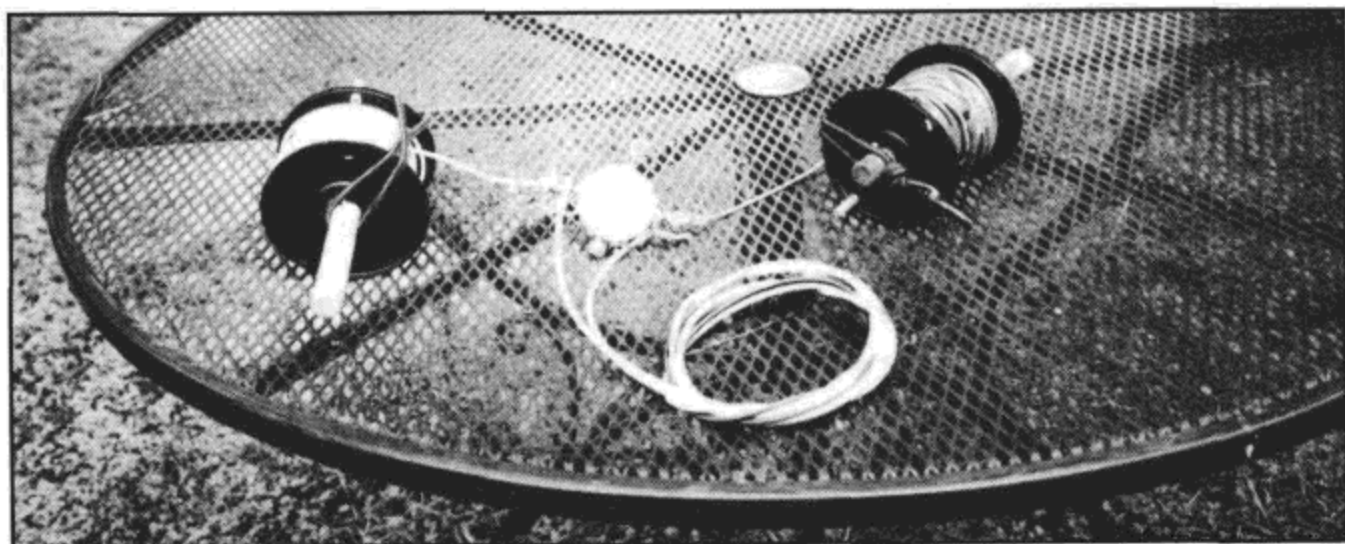


图 6-77 便携式双极天线或倒 V 天线。根据需从线轴放线，多余部分圈在两端。一节短的传输线匹配器连接在中间的绝缘子上。

制作

便携式天线最好采用绝缘线。除了安全性好以外，绝缘皮还能够减少潮湿的灌木丛或树枝对天线的影。线轴的尺寸并不关键。笔者喜欢用更大一些线轴，因为卷线容易。还可以用 3/4 英寸的木棒穿进线轴当把手或转轴，线轴的外沿还可以加上短螺帽螺栓当摇柄。按

照图 6-77 的方法给线轴的外边套上蹦极皮筋可以防止电线散开。

最好能够用记号笔在线轴的电线上做上标记，便于了解拉出了多少线。笔者每英尺做了一个标记。每 5 英尺贴一段黑色胶布，每 10 英尺贴一段黄色胶带。

中间的绝缘子可以采用任何材料制作。照片中的绝缘子采用的是 PVC 管帽。

倒 V 架设时，中间的绝缘子用绳索挂起。笔者使用 1/8 英寸的尼龙绳（两端的牵索也用同样的尼龙绳）。架设时，把尼龙绳甩到树枝上，或其他支撑物上。架设之前要计算好场地位置，也要避开电力线。

振子两端的牵索要有几英尺长，这样才方便调整振子的长度。打结的方法参见图 6-78。图 6-79 介绍的是如何处理多余的线。可以沿牵索伸出，可以折回来挂在天线上，也可以放到周围的灌木上或树上，总之是容易拿到的位置。

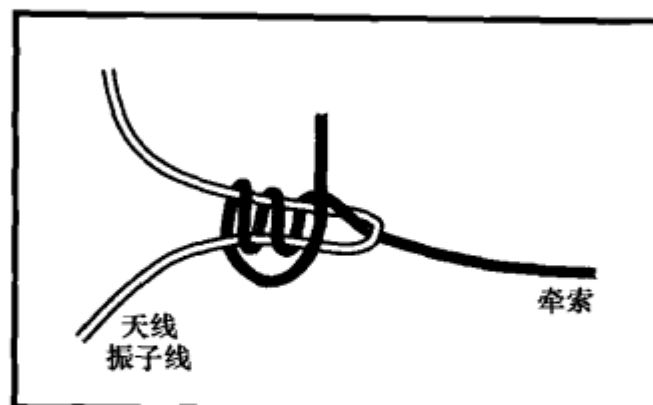


图 6-78 牵索与振子线的打结方法。

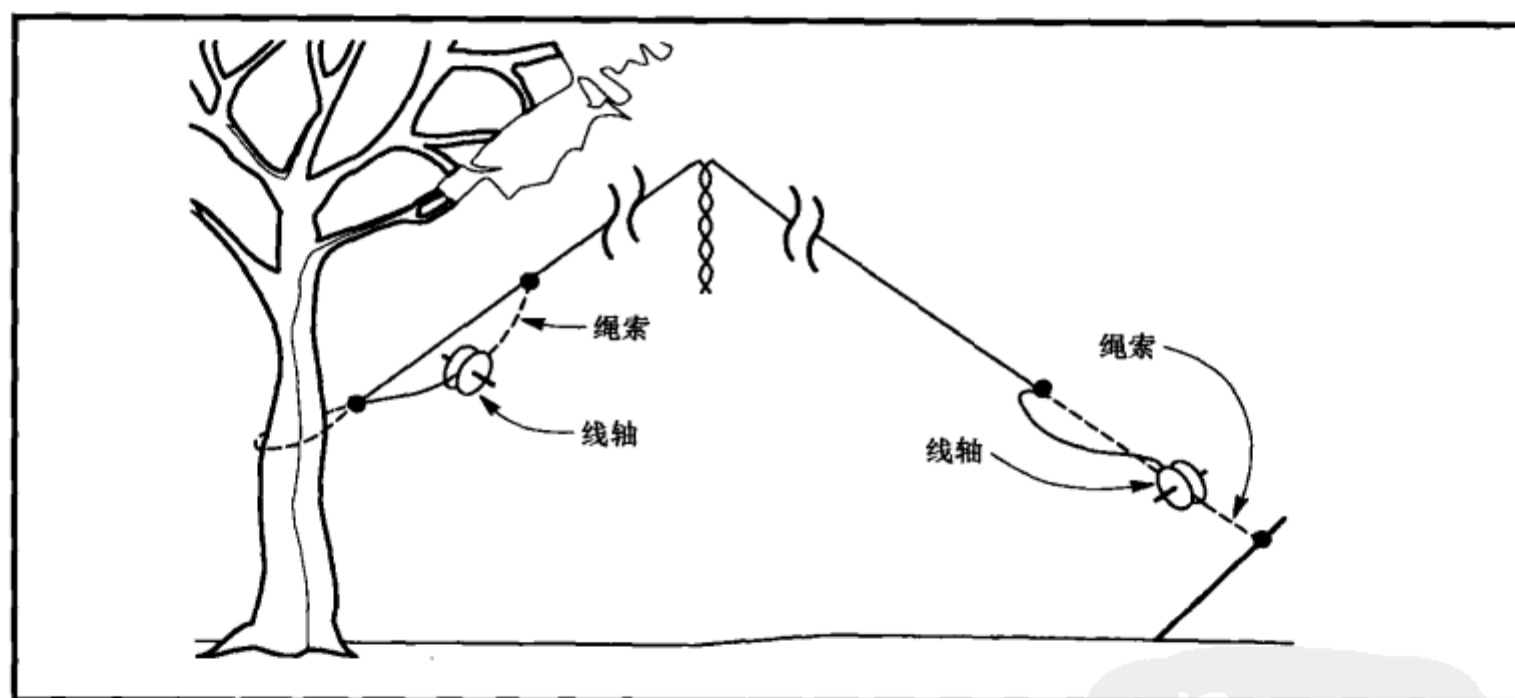


图 6-79 固定天线两端有几种方法。图中介绍了两种。

谐波

对于野外操作来说，希望有一付频率低的天线，但是可以工作在高频率上。由于天线固有的谐波特性以及业余波段的特点，就可以实现 40m 段和 15m 段工作、75m 段和 10m 段工作。因为 1/2 波长的双极天线可以谐振在基频的奇次谐波上。

但是，使用 40m 双极天线工作在 15m 有两个困难。15m 的谐振频率略高于这个波段，驻波比约为 2:1。可收卷的双极天线可以解决这个问题。40m 段转换到 15m 段时，只要略微放长振子就可以了。

可以解决驻波比高的问题。可以在天线与 50Ω 馈线之间增加一段（约 6 英尺）的传输线。其阻抗大约介于电缆的阻抗与 15m 段 3/2 波长天线的阻抗之间。传输线的样子见图 1。把两根 14 号或 12 号多股绝缘铜线绞合在一起，在下端接上 SO-239 接头，顶端两个头分别连接双极天线中间绝缘子的振子接头。

传输线部分笔者使用了多种电线，绝缘材料要求不严格。这个简单的附加部分能够减小 HF 段双极天线和 V 型天线工作在奇次谐波时的驻波比，见表 6-6。

表 6-6 倒 V 天线振子两端离地高度约 6 英尺时振子的长度与谐振频率。括号内的数字是所指频率的驻波比。

振子长度		频率 MHz (驻波比)			
(英尺)	基频	3 次谐波	5 次谐波	7 次谐波	
21	10.1 (1.2)	33.0 (1.3)			
23	9.3 (1.6)	28.7 (1.6)			
30	7.2 (1.2)	2.2 (1.7)			
31	7.0 (1.3)	21.5 (1.4)			
48	4.5 (1.1)	14.0 (1.2)	23.6 (1.0)		24.3 (1.2)
53	4.0 (1.0)	12.6 (1.2)	21.4 (1.0)		31.1 (1.2)
56	3.8 (1.1)	12.0 (1.4)	20.5 (1.2)		28.4 (1.1)
64	3.4 (1.1)	10.9 (1.3)	18.3 (1.2)		26.4 (1.2)

使用

表 6-6 给出了 3 种基频倒 V 天线在（或接近）30m、40m、80m 时电线的长度。表中也给出了奇次谐波频率，括号内的驻波比数据用 MFJ 249 型天线分析仪测得。这个表对基频和倍频之间转换波段时确定电线长度很有用。

例如：如果正在使用 40m 段的话音联络频率，那么换用 15m 段时，每端需要增加 1 英尺。表 6-6 给的数据是参考起点，天线架设高度及环境会有一定的影响。

80m 段的倒 V 天线除了具有在 75/80 段频段任意频率工作的能力外，只要略微调整振子长度，还可以工作在 5 个波段。谐波波段的带宽也很宽。

下次外出或参加 Field Day 竞赛时，大家不要剪切、测试双极天线了，不妨试试这个可以收卷的万能天线。

6.12 小型多波段鞭状天线

笔者设计的多波段天线是一个带有负载天线的 48 英寸拉杆天线。体积小，配在 YAESU 设备上也显得酷，有特工般的神秘色彩。笔者在一次周末竞赛时做好了这个天线，试用了一下。

尽管笔者的 QRP 信号没有烧掉谁的收信机，但是还是对天线的表现感到满意。在竞赛中，笔者在 HF 段工作了 4 个小时，在 10m、15m、20m 都联络到了很多电台，在 17m 也联络到了一些，基本都是海外的电台。在 40m 也联络到了 4 个电台（400 英里范围内），而且成功地与本地的一个电台在 80m 联络上了。笔者的电台就放在桌子上，在室内，鞭状天线插在电台的背后，而且没有接地。这种工作条件应该很差了。

理论

这个天线的核心部分是负载线圈系统，采用现成的零件成本不过 30 美元。如果自己手头材料多，还能节省一些。

有三种方法可以使一根导线工作在某一个频率。第一种，把导线长度剪切到四分之一波长，使其谐振在需要的频率上。这样就可以使用了，因为四分之一波长导线（假设有地网）的馈入点阻抗大约 50Ω ，与大多数电台的同轴电缆输出端匹配。不幸的是，笔者要用的最短的波长是 10m，四分之一波长也有 8 英尺，这个方法不能用。第二种方法，是给一根短于所需频率四分之一波长的导体装上负载线圈。线圈可以装在底部（底部加载）、中部（中间加载）、顶部（顶部加载）。负载线圈充当了“缺失”的那部分导体，形成了所需频率的谐振电路。第三种方法是使用变压器，而不是线圈。变压器是可以匹配不同阻抗的器件。与线圈不同的是，变压器不是串联器件，是并联使用的，往往是与天线地并联的。因为这个因素，变压器必须安装在馈入点。



考虑到负载线圈更换波段比较麻烦，笔者选择了第三种方法，采用变压器。

自动变压器

大多数读者一定对宽带传输线变压器用做巴伦很熟悉。这种变压器可用开关进行调整，但是受到整数平方根率限制，例如：1:1、4:1、9:1、16:1 等。这种限制可能会影响调整的范围。

好在还有一种宽带 RF 变压器有较高的灵活性，那就是自动变压器，这种变压器不受自然平方根率的限制。尽管理论上效率不如传输线变压器，但是实际使用效果相当好。增加功率时，效率会下降（磁芯损耗增加），但是对于 QRP 的功率（5W 左右），这个损耗就小了。笔者自制了一个几乎是连续可调的自动变压器，配合鞭状天线在较宽的频率范围使用。

自动变压器的电路见图 6-80。与输入连接的底部代表初级，整个线圈和天线的端部代表次级。阻抗转换是这两组绕组的匝数的平方根比。动触头滑动时，就改变了初级和次级的比率，提供正确的匹配。

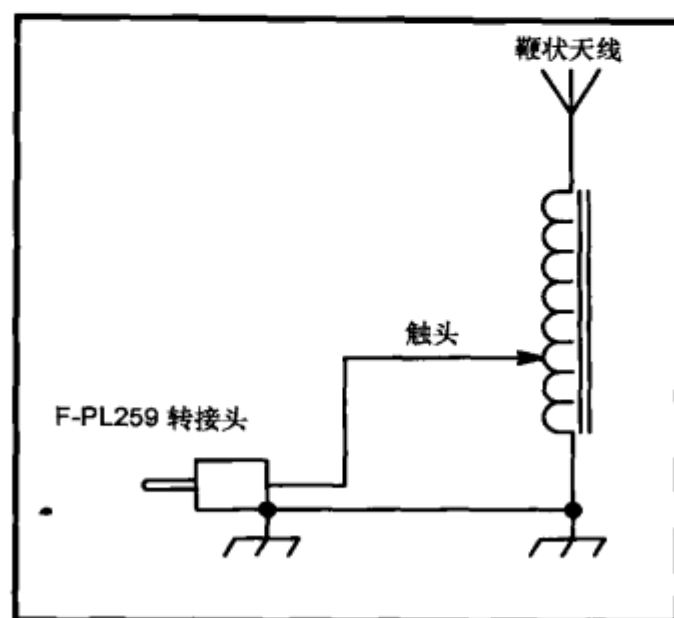


图 6-80 鞭状天线电路图

这个结构很像带有抽头的串联线圈，但是仔细观察，可以看出，信号是并联在线圈上的，线圈与信号源和地连接。线圈横跨在输出（鞭状天线）和地之间。变压器可以调整输入阻抗与天线阻抗。

变压器骨架

笔者找到了一只线绕可变电阻，上面有电刷机构，可用来改造成自动变压器。先拆掉可变电阻，机械机构可以利用，要保留。把电阻丝拆掉。

绕制变压器

图 6-81 所示的变压器是用 26 号漆包线在磁环上大约绕 60 匝绕制的。匝数要求并不严格。负载线圈要求正确的匝数和正确的磁芯，但是这里是宽带变压器，重要的是初级与次级之间的合适比率。

绕线时，要采用间绕，匝与匝之间的距离要均匀，线要绕紧。线头和线尾之间的没有绕线的空间要呈 30° 角。

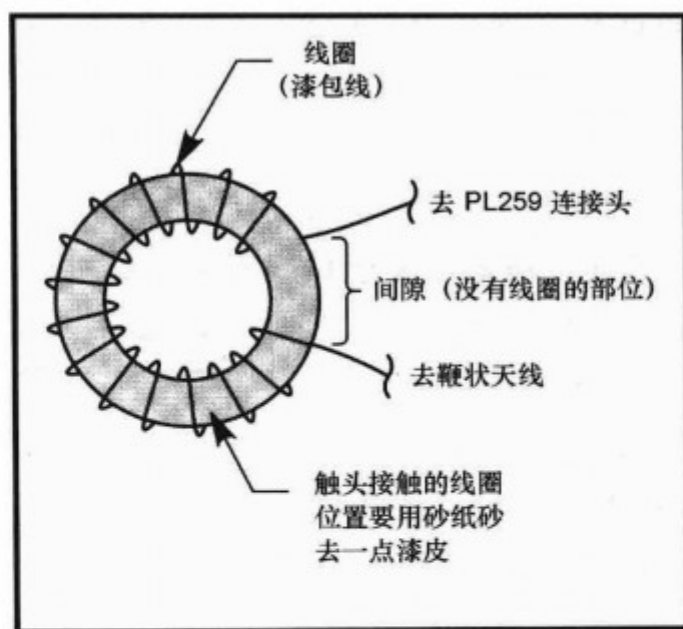


图 6-81 用 26 号漆包线在磁环上绕大约 60 匝。触头接触的线圈位置要用砂纸砂去一点漆皮。

为什么要留空间？因为可变电阻在制造时，电阻丝两端都有挡块，可是拆卸电阻丝时，挡块也随之拆掉了。留有间隙，可以在调整变压器时能够感觉到触头是处于开始还是结尾的位置。

绕好后在磁环底部涂上胶水，固定线圈。用砂纸把触头接触面部位的漆包线的漆小心砂去。

安装

具体安装方法见图 6-82。触头的压力要合适。如果过松，触头会碰不到线圈；如果过紧，调节困难，此外还会磨坏触头，甚至线圈。

元件表

线绕电阻—Ohmite # res100, res250, res500, res1000 等
 磁环—Palomar F82-61 等
 鞭状天线、电线
 外壳—Hammond 1551HBK 外壳
 F-PL-259 转接头

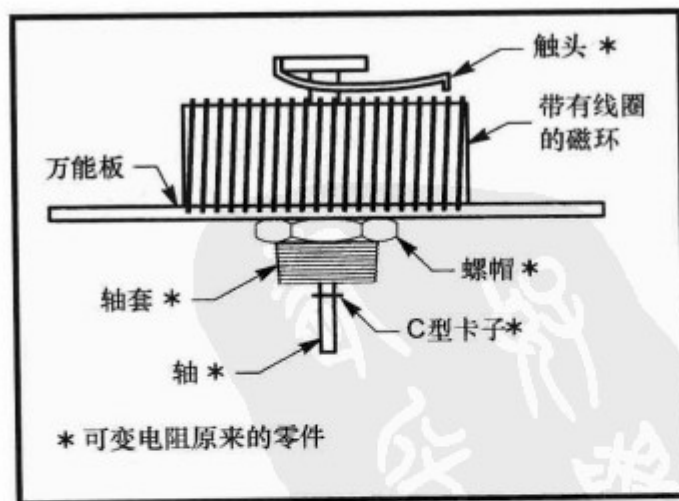


图 6-82 改造好的可变电阻侧视图。触头电刷与磁环线圈接触，转动调整轴时，触头从各一个线圈跳到另一个线圈。

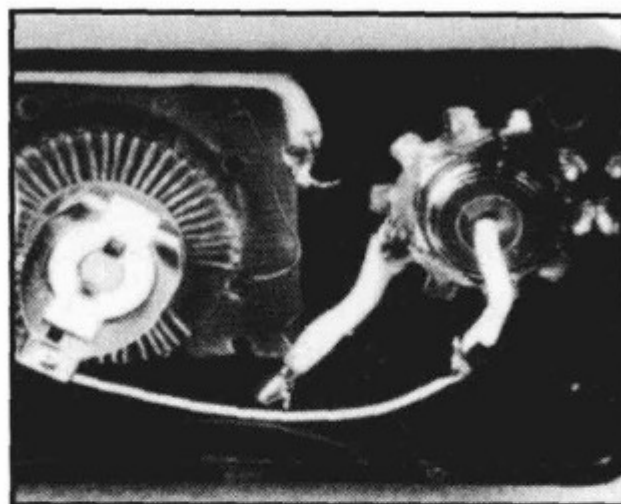
锯下一块 1½ 英寸见方的万能板，中间钻个孔，磁环的孔对准这个孔。把电阻轴插入轴套，

卡上 C 型卡子。然后把整个机械总成穿过磁环中心，装到万能板上，触头压在磁环上。从万能板另外一面拉电阻轴和轴套，拧上螺帽。

注意调整触头与磁环的接触压力。如果过紧，可以在轴套的法兰边垫垫圈，增加触头高度。

如果磁环过低，触头碰不到磁环，那么就需要垫高磁环，让触头能够接触到磁环。可在磁环与万能板之间垫非金属材料，抬高磁环。

调整好以后，可用胶水将磁环固定在万能板上。胶水干透后，拆下电阻轴上的 C 型卡子，把轴取出，进行下一步。



磁环与触头局部

触头电刷

原来的电刷太宽，需要用锉刀锉掉一些，让触头一次只能接触到一个线圈，见图 6-83。

要使用细锉，慢慢地修。电刷材料很软，不要锉多了。锉好后，在触头的中间部位用锉刀锉出一条浅槽，这样触头就可以可靠地卡在线圈上了。

现在，可以把轴装回去了，卡上 C 型卡子。

总装

现在，可以把变压器总成、PL-259 同轴电缆连接头、鞭状天线装在一个合适的壳子里了。变压器和同轴电缆连接头的安装位置不要相互影响，天线装在外壳的顶部。

按照图纸连接各个部分。记住，连接触头部位与 PL-259 连接头之间的连线要细而软，要留有余地，这样才能转动自如。

使用

选择一个波段，转动调整轴，同时听这个波段的噪声或信号。调整到合适的位置会出现峰点。如果调整无效果，需要检查是否有接错的地方。天线水平放置时效果比垂直放置好。

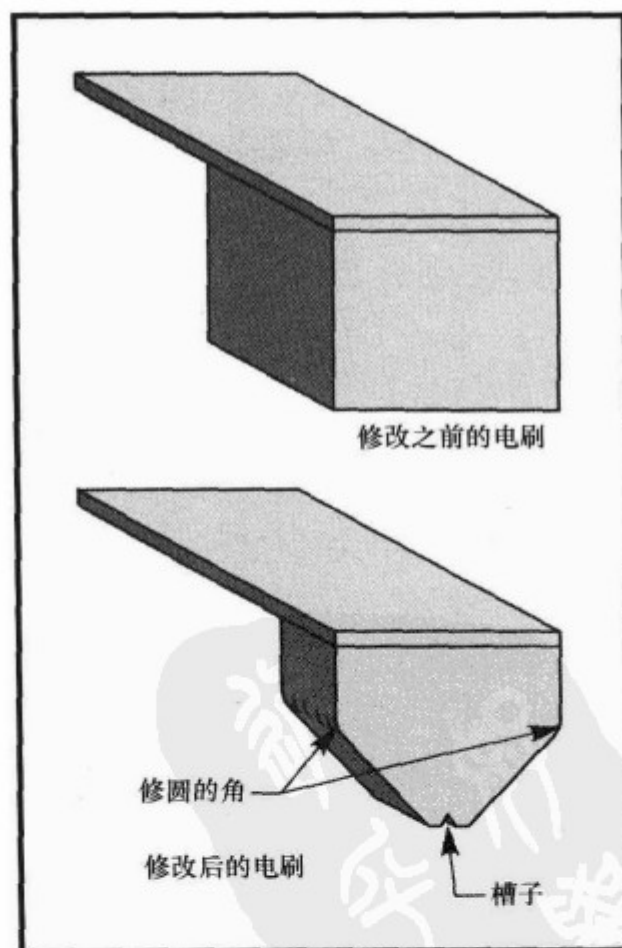


图 6-83 平边的电刷要用锉刀把角修圆（还要修出一条槽子）。

一旦接收信号调整到峰值，就可以小功率发射，同时观察驻波表。如果驻波比很大，略微左右拧动变压器调节轴。拧动时，可以明显感到触头越过线圈的“咯噔”感觉。低端的波段驻波比可能不是很完美，因为在变压器的底部，阻抗变换比变化很快，但是不影响使用。在 20m、15m、10m，驻波比为 1:1；40m 和 80m 驻波比为 2:1。传输线的长度为 2 英寸，不必考虑换用驻波比带来的线路损耗，主要考虑的是合适的负载。



鞭状天线外观

注意事项：调试时要使用最小的功率。调整匹配后才可使用大功率。如果接收时跳不到峰点，检查故障。排除故障后方可发射。

一旦调好就可以使用大一点的功率呼叫了。但是需要记住的是：使用的是 QRP，而且天线很小。需要像滑翔机飞行员或垂钓者一样，耐心等待合适的时机才能取胜。

性能

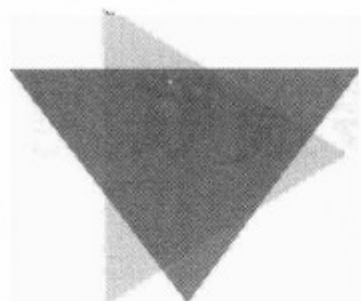
这个天线在高一些的频率有较好的效果。在 10m 段，大约是 $1/8$ 波长。随着频率的降低，天线尺寸也就变短了，效率随之下降。但是直到 80m，这个天线还是能够提供负载辐射信号，达到了设计目标。如果条件合适，也能够联络。

6m 段与 2m 段

尽管这个天线没有考虑其他波段，但是在 6m、2m 也能很好地工作，甚至 440MHz。方法是把线圈调到最后一匝，也就是直接到鞭状天线上，变压器这时只是一个接地的扼流圈。可以伸缩鞭状天线，达到所需频率的四分之一波长。这种情况下，天线是全尺寸的。

这个天线可以配合任何 QRP 设备，无论是自制的还是成品的。尽管发射机的输出端都是 50Ω 的，但是收信机的输入阻抗不一定是 50Ω 。收信机对输入阻抗的要求要求要低一些，所以不影响使用。

由于用牺牲了一部分效率换取体积与便携性，所以不要期望太多的奇迹。但是如果想在餐桌上进行 DX 联络，在山顶观望大海景色，这个天线是不错的选择。

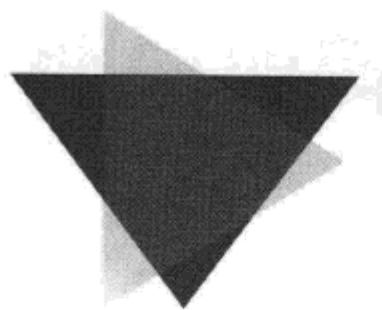


附录：英制 - 公制转换说明

本书在翻译过程中遵照了原版英文书中的数据和英制单位，为了方便读者对单位的理解，特将英制单位与我国使用的公制单位的换算表列出，请读者参考。

英制—公制转换表

长度	
1 英寸 (in)	=25.4 毫米 (mm)
1 英尺 (ft)	=30.5 厘米 (cm)
1 英里	=1.61 千米 (km)
面积	
1 平方英寸 (in ²)	=6.45 平方厘米 (cm ²)
1 平方英尺 (ft ²)	=929 平方厘米 (cm ²)
1 平方英里	=2.59 平方千米 (km ²)
体积	
1 立方英寸 (in ³)	=16.4 立方厘米 (cm ³)
1 立方英尺 (ft ³)	=0.0283 立方米 (m ³)
重量	
1 磅 (pound)	= 0.45362 千克 (kg)



美国业余无线电转播联盟 (ARRL)

马可尼在 19 世纪 80 年代开始了无线电报试验，播下了业余无线电的种子。很快就有几十人、几百人加入了马可尼的试验，这些人都是热衷于在空中传送、接收信号的人，有的出于商业目的，有的仅是出自热爱实验新的传播媒介。美国政府于 1912 年开始给无线电操作者颁发操作证书。

到了 1914 年，在美国就有几千名无线电操作者（也被称之为火腿）。发明家、工业家席拉姆·皮尔兹·马克西姆认为，急需有一个组织召集这个新兴的无线电实验团体。1914 年 5 月，他创立了美国业余无线电转播联盟（ARRL）。

ARRL 目前拥有大约 15 万会员，是美国最大的业余无线电组织，具有非营利性质，宗旨是：

- 提高对业余无线电通信和实验的兴趣；
- 维护美国业余无线电爱好者的合法权益；
- 倡导业余无线电爱好者之间的友爱及高标准的品行。

ARRL 的总部位于美国康涅狄格州哈特福德纽因顿市郊，工作人员为会员提供必要的服务。ARRL 也是国际业余无线电联盟的一个机构。国际业余无线电联盟由世界各地 150 个国家的业余无线电协会组成。

ARRL 出版 *QST* 等杂志，并出版通信类以及许多其他相关出版物，涵盖了业余无线电的方方面面。总部的电台 W1AW 经常给业余无线电爱好者发送一些有益的公告及消息，为业余无线电爱好者提供莫尔斯电码培训课程。ARRL 有广泛的现场组织机构，这些机构由一些志愿者组成，他们能够为业余无线电爱好者提供技术资料以及技术支持，并能为公益事业提供通信服务。此外，ARRL 和美国联邦通信委员会以及其他政府机构一同维护美国业余无线电爱好者在美国及海外的利益。