

无线电



ARRL

业余无线电丛书

经典线天线设计

【美】美国业余无线电转播联盟 编
匡磊 刘燕北(BD2BH) 译

Wire Antenna Classics

收录线天线的经典之作

为天线设计提供灵感



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

无线电

经典线天线设计

Wire Antenna Classics

本书从最基本的偶极天线开始，选择性地介绍了多波段的偶极天线、环形天线、共线天线，以及各种宽频带导线天线等。书中给出了很多线天线的设计和制作实例，提供了大量的天线结构图和具体数据，从天线的具体制作方法，到如何利用计算机建模设计天线使其性能达到最优，都有涉及，并附有相关天线的各种性能曲线，还介绍了天线小型化的设计。

与现有的天线著作和教科书相比，本书侧重介绍各种线天线的应用信息，可为我国从事天线技术的工程人员、无线电爱好者及相关专业院校师生提供很好的参考。

线天线的研究很有趣并很有实用价值。当我们浏览了美国业余无线电转播联盟的出版物，希望将有关线天线的好文章编辑成册时，发现要编入的文章太多。本书中，你会发现很多经典之作，可能会为你在设计天线方面提供灵感，帮助你动手制作和使用线天线。

—— David Summer (K1ZZ)



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 978-7-115-24499-4



9 787115 244994 >

ISBN 978-7-115-24499-4

定价：55.00 元

⊕ 业余无线电丛书 ⊕

经典线天线设计

Wire Antenna Classics

【美】美国业余无线电转播联盟 编
匡磊 刘燕北(BD2BH) 译

人民邮电出版社
北 京

资源分享
PDF

图书在版编目(CIP)数据

经典线天线设计 / 美国业余无线电转播联盟编 ; 匡磊, 刘燕北译. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2011.2
(业余无线电丛书)
ISBN 978-7-115-24499-4

I. ①经… II. ①美… ②匡… ③刘… III. ①天线—设计 IV. ①TN82

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第238560号

版 权 声 明

The American Radio Relay League: ARRL'Wire Antenna Classics (ISBN: 0-87259-707-5)
Copyright © 1999-2009 by The American Radio Relay League, Inc.
The American Radio Relay League: More Wire Antenna Classics (ISBN: 0-87259-770-9)
Copyright © 2008 by The American Radio Relay League, Inc.
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, 不得以任何方式复制本书的任何部分。

版权所有, 侵权必究。

业余无线电丛书

经典线天线设计

-
- ◆ 编 [美] 美国业余无线电转播联盟
 - 译 匡 磊 刘燕北 (BD2BH)
 - 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: 16.5
 - 字数: 360千字 2011年2月第1版
 - 印张: 1-4000册 2011年2月北京第1次印刷

著作权合同登记号 图字: 01-2010-2142号

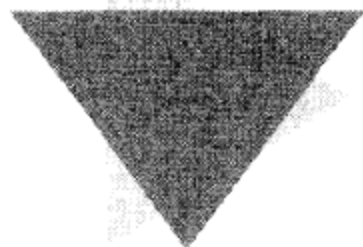
ISBN 978-7-115-24499-4

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

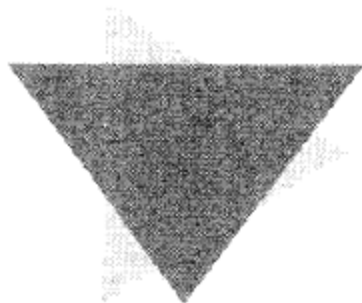


内 容 提 要

本书介绍了多种线天线制作和构思的方法，包括偶极子天线、环形天线、菱形天线、共线天线、波束天线、垂直极化天线、接收天线、波段天线等。还介绍了利用计算机建模设计天线以及如何使天线性能达到最优的方法。读者可以从书中发现非常有创意的天线制作思路，学会如何构建和使用线天线并使其性能达到最优化。

本书非常适合业余无线电爱好者、从事天线设计的工程师和技术人员以及相关专业的师生阅读。

资源分享
PDG



译者序

无线通信是信息社会最热门的技术之一，天线作为无线通信中不可或缺的关键部分，一直受到该领域的工程师、学者以及无线电爱好者的关注。最近十几年，我国在天线领域取得了长足进步，天线的研发领域一直相当活跃。为适应现代通信设备体积越来越小的需求，我们对天线的要求也越来越高，比如，需要天线在不影响天线增益和效率的同时减小自身尺寸，发展多频带及宽频带天线，使天线在两个或两个以上特定的窄频带上提供较好的阻抗匹配和性能，并能在一定频率范围内性能保持不变。在实际工作中，无论是天线系统的研究人员，还是无线电爱好者，都希望在学习天线理论基本知识的同时，能更多了解天线的具体设计与制作。人民邮电出版社优选出 ARRL 经典线天线文章，编成这本 ARRL《经典线天线设计》，可以满足读者的这种需求。

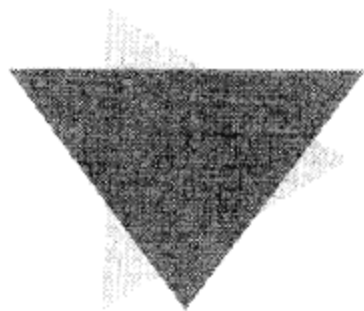
本书从介绍最基本的偶极天线开始，选择性地介绍了多波段的偶极天线、环形天线、共线天线，以及各种宽频带导线天线等。书中给出了很多线天线的设计和制作实例，提供看大量天线结构图和具体数据，从天线的具体制作方法，到如何利用计算机建模设计天线，使天线性能达到最优，都有涉及，并附有相关天线的各种性能曲线，最后还介绍了天线小型化的设计。

与现有的天线著作和教科书相比，本书侧重介绍各种线天线的应用信息，包括线天线的设计思路、制作方法以及优化方式等，可为我国从事天线技术的工程人员，无线电爱好者及相关大专院校师生提供很好的参考。

译者承编辑部之约，更受本书内容特色之吸引，欣然执笔，译成中文版，虽然有天线技术领域一线的教学和研究经验，但鉴于本书包含天线种类繁多，涵盖知识面广，以及经验和时间的约束，我们对于原著内容的理解难免会有偏差，书中译词失当、疏误之处，敬请各位同行和专家批评指正。

华东师范大学电子系 匡磊

2010 月 11 月



前言

线天线的研究很有趣并极有实用价值。当我们浏览了美国业余无线电转播联盟的出版物，希望将有关线天线的好文章编辑成册时，发现要编入的文章太多。

在本书中，你会发现很多关于线天线的经典之作，大家将在本书中接触到线天线及其概念。本书以偶极子天线、偏馈偶极子天线、多波段偶极子天线、环形天线、共线天线、线波束天线、垂直极化天线为特色。也许你想立刻动手制作和使用其中一些天线，丰富的天线资料可能对你在设计天线方面提供灵感。

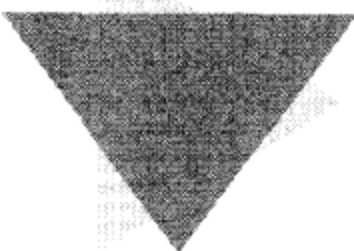
当然，要想了解射频安全信息和基本天线理论，可以参阅美国业余无线电转播联盟的《天线手册》一书。

David Sumner(K1ZZ)

美国业余无线电转播联盟 (ARRL) 执行副总裁

美国康涅狄格州纽因顿





目 录

1. 偶极天线	1
2. 偶极天线的馈送	9
3. 倒 V 形偶极天线	16
4. 四波段偏馈偶极天线	20
5. G5RV 多波段天线最新更新	23
6. 容易调试的电感加载双波段天线	32
7. 低廉线天线的陷波器	34
8. 12m 拓展型双齐柏天线 (EZD)	41
9. “拓展型 Lazy H” 天线	45
10. 160m A 字形两单元定向天线	47
11. 波长 75m、40mE-Z-UP 天线	50
12. 双芯电缆天线——可以工作么?	54
13. RFD-1 和 RFD-2: 谐振馈电线偶极子天线	59
14. 简单的 80m 宽频带偶极子天线	68
15. 再次探讨 80m 宽频带偶极子天线	80
16. 陷波共线天线	82
17. 建造可以在 40m、80m 和 160m 波段使用的节省空间的 偶极子天线	86
18. 两种新型多波段天线	90
19. 使用退耦短截线的多频段天线	100
20. 40m 对称天线的三频段匹配系统	105
21. 10 ~ 160m 波段 Z 字形天线	107
22. 不使用陷波器的紧凑型多频段天线	108
23. 5 个波段, 没有调谐器	114

24. NRY: 简单有效的 80 ~ 10m 波段线天线	117
25. 10m 波段“简易方框天线”	126
26. 低海拔的全波三角环形天线	128
27. 一副可用于 75/40/30m 的三波段三角环形天线	135
28. 一副用于 30m 和 40m 的双波段环形天线	139
29. 延长双泽普天线	141
30. 共轴阵列天线	155
31. 建造 80m 或 40m 波段用对数周期偶极子阵列天线	162
32. WA1AKR 40m 和 75m 波段倾斜天线	171
33. 便宜的 30m 波段定向天线	173
34. 建造 160m 波段的 4X 阵列天线	175
35. BRD Zapper 天线: 快速、便宜、简单的“ZL Special” 天线	185
36. 联合驱动阵列天线	189
37. “半波倾斜”天线更多的信息	194
38. 双频段半波倾斜单元天线	197
39. KI6O 160m 波段线性负载倾斜天线	206
40. 超级倾斜天线	209
41. 160m 波段天线	219
42. 80/75m 波段完全宽频带天线	224
43. K9AY 终端环路——一种紧密的定向接收天线	230
44. 可变频天线	240
45. 亲爱的, 我缩小了天线!	247
附录: 英制 - 公制转换说明	255
美国业余无线电转播联盟 (ARRL) 简介	256





偶极天线

有关偶极天线（Dipole）的话题，你也许经常会在 QSO 中听到。那么什么是偶极天线，为什么它能流行至今呢？

自从无线电发明以来，偶极天线就逐渐获得广泛的应用。在广袤的通信领域需求中，简洁、高效的特征是偶极天线得以普遍应用的主要原因之一。因此，这种天线一直受到众人的推崇，值得我们去思考并动手制作。在此你将会了解许多远比选择导线振子或绝缘子更有意义的有关制作、安装高效率偶极天线系统的文章。下一篇，我们将讨论如何正确选择偶极天线的馈线以及相关的问题。

什么是偶极天线？

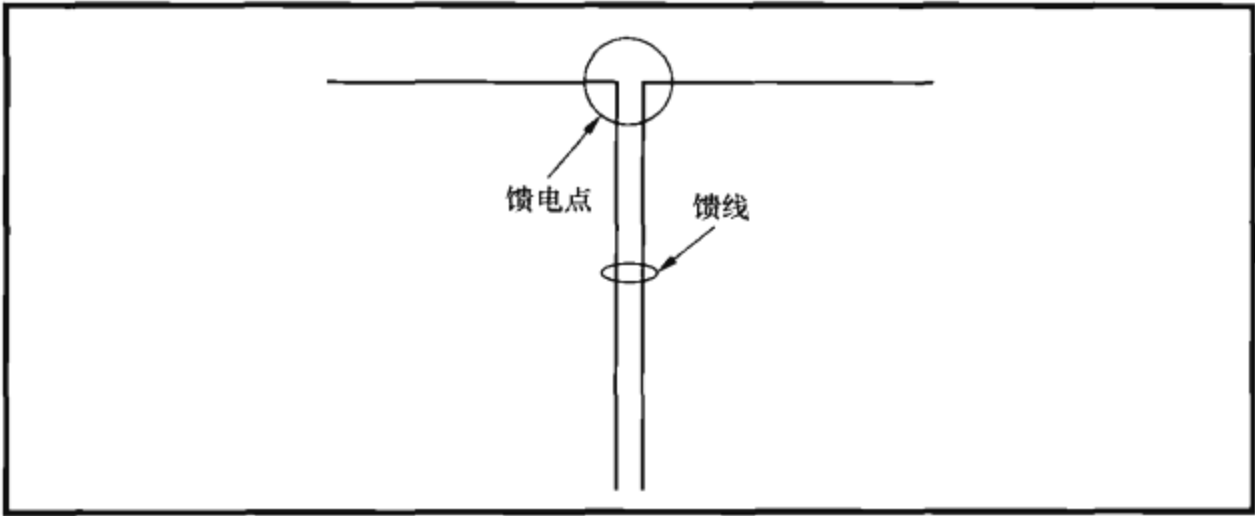
偶极天线的得名来自于对称的两个振子——天线由馈电点中心平分天线两臂，见图 1-1（单极天线比较明显的特征是单一的振子，一根天线单元。垂直天线馈电点通常由地面起馈送）。

偶极天线为平衡天线，这就意味着天线两极对称：每边具有相同的长度，并由馈电点向两个相反的方向延展。最简单的偶极天线由导线组成，中心馈电，见图 1-1（这种天线看起来非常熟悉：你或许用图 1-1 这种形式制作过偶极天线，并收到了 QSL 卡片，也许在你的通联过程中，有很多爱好者正在使用着类似的偶极天线）。偶极天线可以有多种安装方法，并不一定都是典型的顶部馈电、平面组合形式。

为了能让天线谐振，偶极天线电气长度必须是工作频率的半波长。在给定的频率上，偶极天线的阻抗、谐振长度只有在此时没有反射回波形成。

图 1-1 业余无线电爱好者常用的一种最简单的天线形式，也是效率最高的天线之一。天线所需的空

间相对较小。这是最简单的偶极天线形式，天线由导线组成，中部馈电。



经过实际计算，偶极天线的谐振阻抗范围非常适合常见的同轴电缆馈线。然而，对于偶极天线的效率，在有限的长度内，馈线的长度对天线谐振并不是十分重要。我过后将进行解释。对 10m 波段（28 ~ 29.7MHz）到 160m 波段（1.8 ~ 2MHz）谐振半波长偶极天线，其长度为 16 ~ 260 英尺（4.88 ~ 79.24m），见表 1-1。

表 1-1 MF/HF 业余波段半波长偶极天线近似长度

频率	长度
28.4MHz	16 英尺, 6 英寸 (4.88m, 0.15m)
24.9MHz	18 英尺, 10 英寸 (5.49m, 10.254m)
21.1MHz	22 英尺, 2 英寸 (6.71m, 0.05m)
18.1MHz	25 英尺, 10 英寸 (7.62m, 0.254m)
14.1MHz	33 英尺, 2 英寸 (10.06m, 0.05m)
10.1MHz	46 英尺, 4 英寸 (14.02m, 0.10m)
7.1MHz	65 英尺, 11 英寸 (19.81m, 0.28m)
3.6MHz	130 英尺 (39.62m)
1.8MHz	260 英尺 (79.24m)

最低谐振频率是偶极天线的最基本要求。偶极天线在半波长谐振频率上工作效率最高。但是如果天线总长度有一定界限或者空间限制，即使天线达不到半波长的要求，我们仍可通过调整支撑杆的高度，使得天线尽可能的长些。需要强调的是天线的阻抗问题，对于半波长偶极天线，其奇次倍频也可以获得最基本的谐振频率。例如，一个谐振在 2.5MHz 的偶极天线，同样可以谐振在 7.5MHz、12.5MHz 等。这些较高的谐振频率同样适合著名的奇次谐振原理。

半波长偶极天线基本长度公式： $L=468/F$

这里 L 为天线的长度，单位为英尺； F 为工作频率，单位为赫兹 (Hz)。这个公式给我们架设天线带来了良好的开端。但有时你可能不得不增加或者缩减天线的长度，以接近谐振频率。详见偶极天线的架设和调整章节。

前面曾经提到，一个谐振的偶极天线工作效率最好。实际上，更加重要的还有从发射机到天线高效率的功率传输和良好的天线结构。当天线的长度比实际谐振频率短些或长些时，可以使用天调使天线得到匹配，达到谐振长度效果。另外，传输馈线在天馈系统中也扮演着重要角色，后一篇再进行讨论。如果你对操作单波段感兴趣，那么谐振偶极天线将是你最好的选择。如果你喜欢用单根天线进行多波段工作，天线的设计则有些不同。在这种情况下，一个比较好的方法是，选用最低谐振频率天线的长度（此时天线最大长度可以达到较高频段的几个波长）。

为什么偶极天线如此流行？

对几乎所有的 MF/ HF 频段操作，偶极天线是最容易制作和架设的，当架设高度比较合适时，天线总能取得较好的通联效果。适当的天线高度，其含义通常是根据使用的波段，天线架设高度可在数英尺以上。一般情况下，天线要取得较好的效果，架设高度为半波长或者更高一些，但从实用角度来说，尤其是 40m、80m 和 160m 波段，要达到半波长的基本要求则比较困难。为了取得较好的效果，至少偶极天线要尽可能架得高些，要有一定的净空度，远离周围的建筑物和大型的物体。

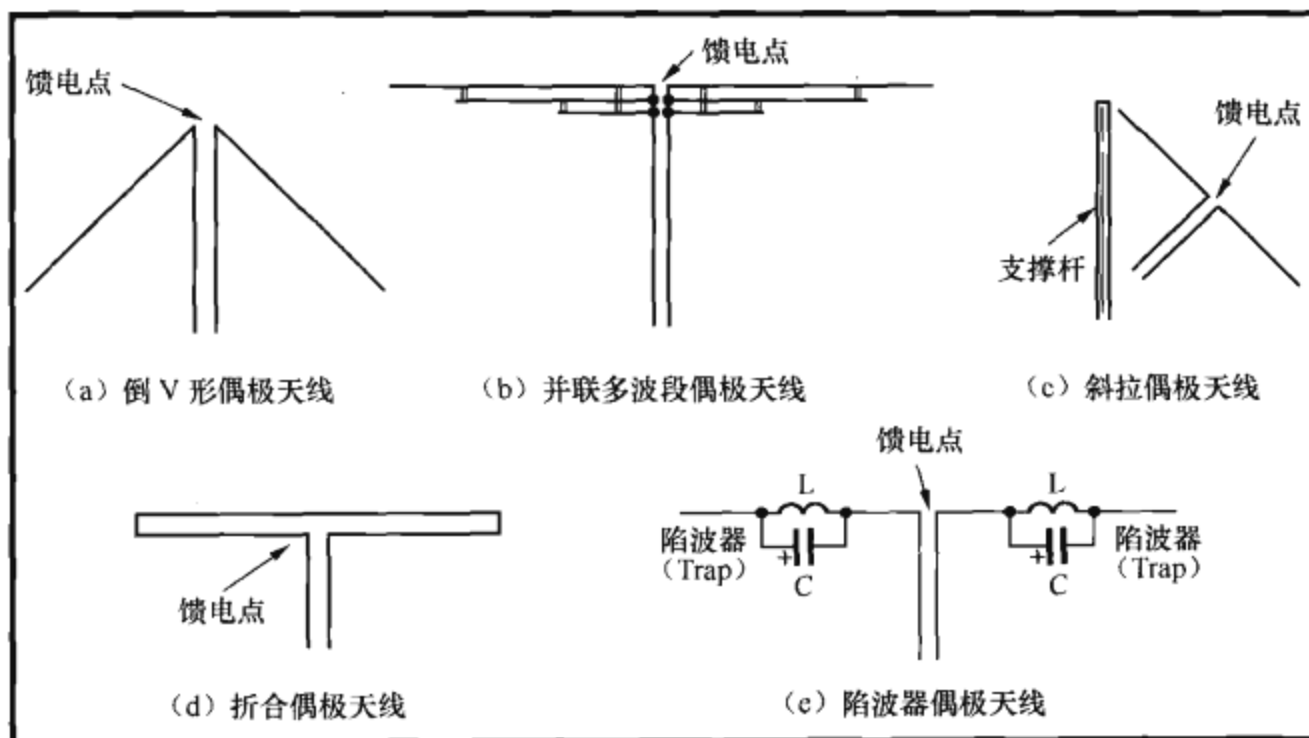
在天线电气高度较低的情况下，很多无线电爱好者做了有益的尝试。例如，80m 偶极天线悬挂在两个 50 英尺（15.24m）的大树上（尽管天线的高度还不到 1/4 波长）。但是我们用 100W 的功率，莫尔斯电码工作模式，同样通联上了欧洲的一些国家。令人高兴的是，此天线在高频段可以工作得更好，因为天线的电气高度距离地面更高些，这些将在随后章节讨论。

偶极天线的多样性

一些精美的偶极天线，如同其他简洁的事物一样有它的可塑性。许多偶极天线较基本的顶端中部馈电或水平安装的偶极天线（图 1-1）具

有各种各样的变化形式。其中最基本的变化形式包括倒 V 形偶极天线，如图 1-2(a) 所示；并联多波段偶极天线，如图 1-2(b) 所示；斜拉偶极天线，如图 1-2(c) 所示；折合偶极天线，如图 1-2(d) 所示；陷波器偶极天线，如图 1-2(e) 所示。

图 1-2 偶极天线的多样性



倒 V 形偶极天线或许比常见的顶端中部馈电、水平偶极天线具有更多的版本。如你理解的一样，倒 V 形天线由其形状而得名。倒 V 形天线形式的主要优点是天线只需要一个支撑立杆，在一个平面内可以拉多根天线振子单元，这个特点对低波段尤其重要，更适合架设全尺寸的偶极天线。通常，当倒 V 形天线馈电点的高度与水平偶极天线的相同时，倒 V 形天线基本上可以获得与水平偶极天线相同的效果。为了保证安全，倒 V 形天线的端部距离地面要保持一定的高度，让人和牲畜碰触不到，这点十分重要，可避免人畜触电的危险。

另外一种常见的天线形式就是并联多波段偶极天线。在这个版本中，多波段偶极天线单元馈电点并联在一起，用一根馈线、一根支撑杆和天线立杆由比较长的振子（拉绳）固定，见图 1-2(b)。并联偶极天线的主要特征是多波段覆盖，每对天线单独谐振，用户可以一根馈线伺候所有的波段，且不需要天调。并联偶极天线的缺点是，与单波段偶极天线相比带宽变窄、调整复杂。当我们以适当高度架设时，偶极天线具有制作安装容易、成功率高等特点。

其他两种常见的偶极天线是陷波器偶极天线和折合偶极天线。陷波器由绕制的电感（包括电感和电容）构成，陷波器内、外体结构谐

振在某个频率，成为该频率的“绝缘体”，从而可以在一根天线振子上分离出多个谐振频率。在陷波器谐振频点上，产生非常高的阻抗，阻碍一个频率的电流通过，从而形成一个独立偶极天线。同时，使天线的电气长度相比其物理长度有所缩短。在比陷波器谐振频率较低的频率上，则具有一个较低的阻抗，由此产生另外一个频率辐射（但陷波器并不能使天线的任何部分产生“绝缘”效果）。陷波器不仅可以用在偶极天线上，而且可以用于八木定向天线和垂直等多种流行天线中。折合偶极天线在业余无线电中使用不多，它由全长的在端部短路的并联导线构成，适合平衡馈线进行匹配。FM 广播接收通常使用电视机平衡馈线折合的偶极天线形式。ARRL《天线手册》和 ARRL《业余无线电手册》两本书中都有更详尽的陷波器偶极天线和并联偶极天线的介绍。

双波段偶极天线

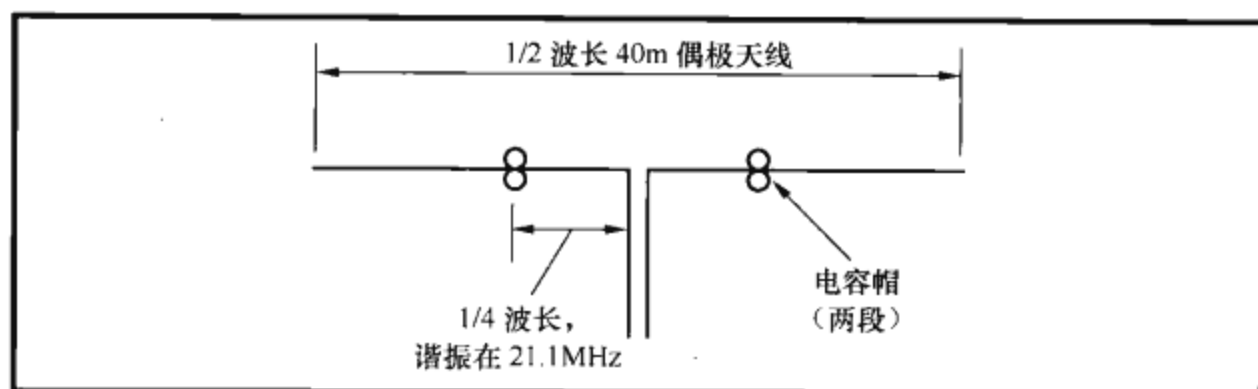
7MHz 和 21MHz 两个业余频段，对初学者和技术等级较低的爱好者尤为适用。前文提到，偶极天线奇次倍频可以形成多波段谐振。因为 21MHz 是 7MHz 的三次倍频，因此 7MHz 偶极天线可以谐振在 21MHz 工作频率上。比较吸引人的是因为我们架设了 40m 天线，可以用同轴电缆馈电，不用天调就可以工作在 40m 和 15m 两个波段。

需要注意：40m 波段（7.100 ~ 7.150MHz）为初学者允许使用频段，三次倍频谐振频率约为 21.300MHz，而初学者 21MHz 频段可使用频率为 21.100 ~ 21.200MHz，由此结果和其他因素所致，若不用天调，40m 天线并不能在 15m 所有频段提供较低的 SWR。

解决这个问题的简单方法如图 3 所示，从天线馈电点起 1/4 波长处（21.1MHz），两边同时增加容性线段。这就是著名的电容帽加载法，这个简单的加载线段可以在不影响 40m 工作的情况下，使天线在 15m 波段较好地谐振。

如图 3 所示，首先修剪好 40m 波段谐振频率。可参见偶极天线的架设和调整章节。然后取 2 英尺（0.61m）长线段两根（例如 12 ~ 14 号导线），并焊接到 40m 天线上。最后根据 15m 波段谐振的需要，对两个电容帽同时进行修剪，直至 SWR 最小为止。你可以在距地面几英尺的高度对偶极进行修剪，升起天线后 SWR 不应出现较大的误差，在天线升起之前，再次检查 40m 波段谐振频点，保证天线两个波段都能全部谐振。

图 1-3 8 字形电容帽的使用。按照文中设计截取并连接好所有导线。可以使 15m 波段像 40m 一样，使其谐振在自己喜欢的频点上。



有关馈线的考虑

天线振子和绝缘子如何连接在一起，如何将天线升起，是天线系统正常工作必须考虑的问题。下一篇，我们将讲到偶极天线选择和使用馈线的问题。

偶极天线的架设和调试

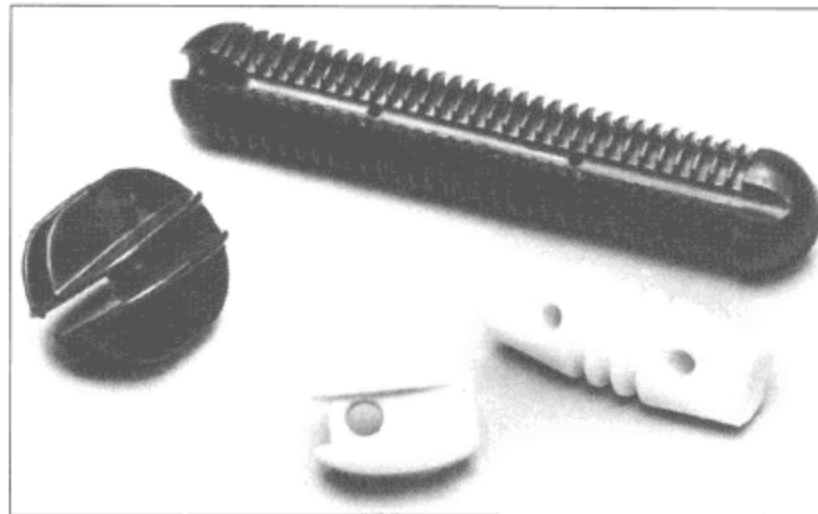
偶极天线几乎可以用任何金属导线和管材制作，但是天线如何工作、如何根据质量进行选材和制作等都是我们事先需要考虑的，下面我们将带你制作、调试偶极天线。

导线：标准铜质导线、硬铜线和铜包钢线等都是比较适合的天线制作材料。不要使用软铜线和房屋装修用硬铜线，在没有较好支撑的情况下，此类导线不适合长期做室外天线。房屋装修用硬铜线安装后可能被拉长，使天线失谐。因此，天线振子要选用 16 号或者更粗的导线，18 号线或者直径较细的线通常只适合做 14MHz 以上的天线振子。有绝缘皮的导线和裸线还是有一定区别的，有绝缘外皮的导线的谐振频率通常比指定的要低一些。同时，有绝缘外皮的导线更重、更粗一些。这些取决于其自身的颜色，还有导线质量成分的高低。戴维斯 14 号射频裸导线，由 168 支标准铜线构成，因此非常适合制作偶极天线。这种导线非常柔韧，没有延展性，具有抗腐蚀、强度高等特点。

绝缘子材料：偶极天线应当具有中间绝缘子和两端绝缘子，见图 1-4(a)。端部绝缘子用于绳索的牵引，中间绝缘子用于支撑天线。塑料、陶瓷、电木等绝缘材料都是家庭制作天线绝缘子的好材料，有时

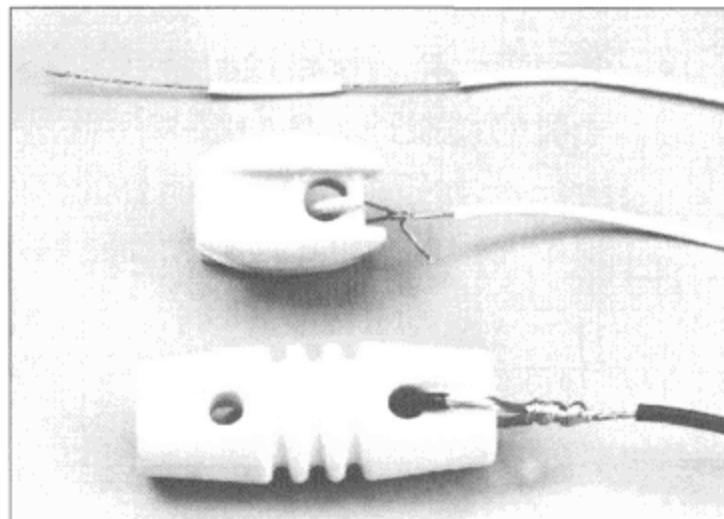
硬木头也可作绝缘材料。因为偶极天线馈电点射频电压最低，不必使用特别的绝缘材料，这就使制作中间绝缘子相对容易。

图 1-4 (a) 几种无线电爱好者常用的绝缘子。下面中部的为陶瓷结构的，左侧的为塑料结构的绝缘子。这些均为现行的无线电绝缘产品。其他的，以及相近的绝缘材料都可以进行邮购。



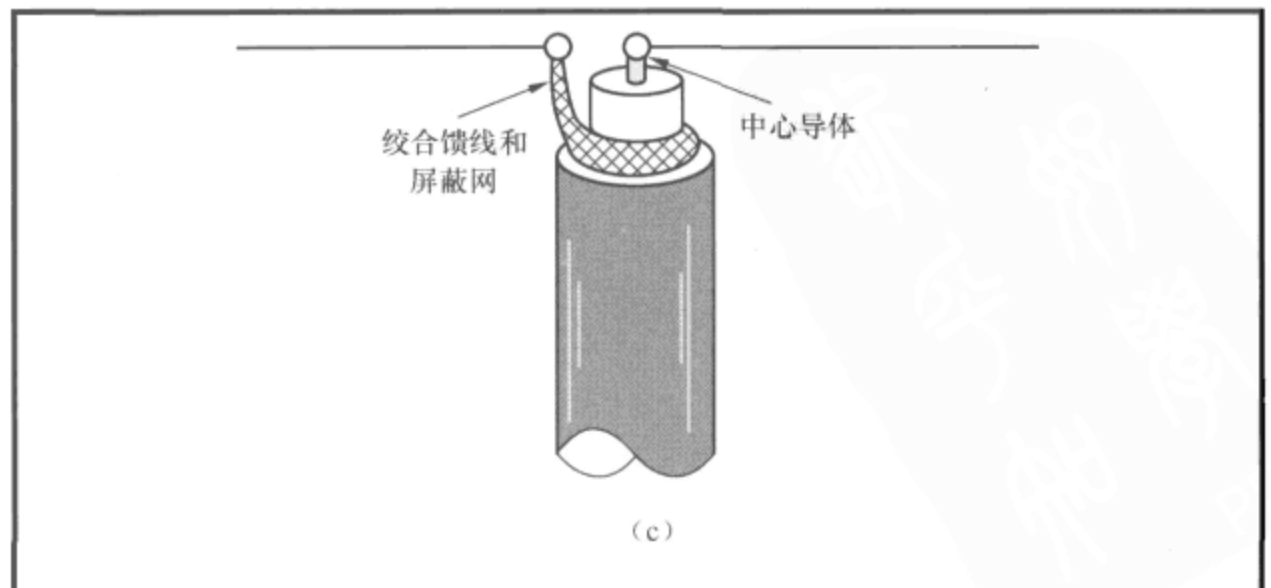
(a)

图 1-4 (b) 天线端部绝缘材料的强度决定了天线的使用寿命。自上而下：为了不损伤导线，在绝缘子上留出一部分，从线的一端穿过绝缘子安装孔。为了增加导线的强度，可以在绝缘安装孔上多绕几圈，然后再进行焊接；焊接后要对局部进行清理，防止腐蚀。



(b)

图 1-4 (c) 同轴电缆至偶极天线的馈电（此图中心绝缘子略）。当我们完成偶极天线的测试和调整之后，记住同轴电缆馈线一定要在中心绝缘子上绕一圈进行固定，同时中心导体和屏蔽网也加长的偶极天线的电气长度，有必要重新测试。



(c)

绳索：尼龙、涤纶等相同材料做成的绳索是天线拉索的最好选择。避免使用聚丙烯等材料做成的绳索，否则在阳光的照射下，这种绳索会很快老化。同时也不能使用麻绳和其他的自然材料，它们经不起风吹雨打，很容易腐蚀烂掉。如果选用尼龙绳索，注意选用不同外径的绳索，切割的两端要用专用夹具，或用打火机进行熔接，防止散开。这类绳索强度非常高，但丙纶也有百分之几的延展性。

为了保证天线能顺利升起，工作可靠，选用适当的绳结是非常重要的。如使用华人结（一种单套死结）、双套结（一种系在立杆、铁塔等的绳结方法）、接绳结（一种可滑动绳索张紧绳结法）、十字结（一种用于两个绳索相连接的绳结）等。这些绳结简单易用，在每期的童子军户外应用手册中都有详细介绍，还有就是我们在铁塔上工作，或者吊装大型天线时，这些绳结可以救你的命，它和金属紧固构件有着同等重要性。

焊接工作：为了保证接点的可靠性，抵御风和天线的影响，我们需要使用快热的电烙铁对导线等进行焊接。30W 的可能不适合 16 号以上导线的需要，大件的焊接至少需要 100W 的“武器”。如使用相对较重的金属导线和陶瓷绝缘子等材料，你可能需要气焊设备（如果使用这些设备进行焊接工作，首先加热焊点，然后移开火焰，用 40 ~ 60W 电烙铁进行金属导线的焊接）。需要注意的是，在焊接位置靠近塑料等绝缘材料时，过高的温度会损坏绝缘材料。也不要试图用吹气的方式给电烙铁降温或者吹灭绝缘子上的火焰。

——James W. (“Rus”) Healy (NJ2L)

2

偶极天线的馈送

上一篇，我们讲解了偶极天线的基础知识，本篇我们将展示如何将收发信机的射频电流馈送至偶极天线，以及如何尽可能地提高天线的辐射效率。

无线电通信依赖于电磁波如何传导至你的天线系统，以及使天线的辐射效率最高。听起来可能比较简单，但是真能做到却是一种挑战。上一篇，我叙述了偶极天线的工作原理以及如何制作，这次我将介绍射频电流是如何在电台和天线间流动的。这里面包括两个常用的问题：一是选择正确的馈电电缆，二是如何让馈线不辐射电磁波。

馈线

两种基本型号的发射馈线经常用于偶极天线系统。一个是同轴电缆，大家比较熟悉，它们常用于电视机和录像机的相互连接，以及有线电视系统。

同轴电缆在业余无线电领域应用也十分普通，其中包括 RG-8、RG-58 等相同类型的馈线（两者与有线电视用电缆有所不同），并可应用于谐振偶极天线系统。这类馈线具有和天线、发射机相同的匹配阻抗，且不是很昂贵。如果你使用同轴电缆为偶极天线馈送（或者连接电台），可参照 Dave Newkirk (WJ1Z) 的指导意见，分几个步骤进行。详见“天馈系统可能发生的问题”一文，1991 年 4 月 QST。



用同轴电缆进行馈电有一个缺点：给不谐振的天线馈电时，大多数的同轴电缆都有一定的损耗（ARRL《业余无线电手册》和《天线手册》中都有相关介绍）。使用天调，你可以使电台的阻抗与室内一端的同轴电缆相匹配，即使馈送一个根本不谐振的天线也是如此——但是良好的匹配并不意味着天线系统的高效率。其中一点，在发信机一端，高损耗馈线引起的 SWR 变化比较低，而天线馈电点相对高些。因此，如果是使用简单的偶极天线在多波段工作，同轴电缆并不是最好的选择。

正如上篇提到的，偶极天线为平衡天线系统。因此，最好用平衡馈线与之相连。在平衡馈线导体中电流大小相等，相位相反（呈 180° ），使馈线能输送射频功率而不辐射能量。如果不能满足这些条件，那么馈线将产生辐射，引起射频干扰和其他相关问题。值得庆幸的是，我们可以按照下列方式避免馈线产生辐射。

平衡馈线系统

业余爱好者使用空气介质的平衡馈线比较常见，例如梯形平衡馈线、并联双导线等。我比较喜欢空气介质的平衡馈线（即使导线需要每隔一段距离用绝缘子做支撑）。用平衡馈线馈送的偶极天线，可以省略

巴伦的使用（系统输入也必须是平衡的）。平衡馈线还有其他的特点，特别是当我们馈送不谐振偶极天线时尤为明显。当我们用来馈送高阻抗、不谐振天线时，与同轴电缆相比损耗非常低。即便是失谐很严重的天线和馈线，我们一样可以让其工作得很好。如用同等功率以平衡馈线馈送，让一个 14MHz 的偶极天线工作在 21MHz，其损耗远远小于 RG-8、RG-58 等同轴电缆。如果进行远距离发射、通联其差异会更大。因此平衡馈线不仅适合远距离馈送，而且具有损耗更低的优势，因而在业余无线电领域应用较广。

平衡馈线的特征之一是其阻抗高于同轴电缆，如梯形馈线阻抗为 $400 \sim 450\Omega$ ，使用平衡双导线阻抗为 300Ω 。如果用这类馈线匹配偶极天线，需要使用天调，因为现在收发信机都是用了 50Ω 不平衡输出模式。当我们计划用一个偶极天线工作在多个波段时，你必须使用天调，因为偶极天线的阻抗仅能适用一两个 HF 业余波段。

来自 QST 的各种具体应用很能说明问题，平衡馈线通常较同轴电缆价格更低，而同轴电缆需要特殊的导电结构。如果你喜欢，你甚至可以自己用电线、绝缘材料来制作平衡馈线。

在一些地区，平衡馈线实际运用相对较少。因为同轴电缆的广泛应用，使其几乎囊括了整个射频领域，它可以穿越墙壁、并且可以靠近金属物体安装，不会引起额外的问题。平衡馈线在 RF 领域也有自己的一席之地，需要注意的是，使用平衡馈线一定要远离金属物体，并联馈送两个天线时，馈线要相距 1 英尺（无线电商行有在铁塔、屋顶和墙壁安装使用平衡馈线的专用绝缘材料，这些物件在爱好者中也应用较多）。

下面是平衡馈线穿越墙壁、窗户的一些方法：

当穿越物体时尽量保持平衡馈线的形状。

- 使用高质量、高耐压的绝缘导线（如 RG-8 的中心绝缘导线和中心绝缘子），或者墙壁、窗户用陶瓷绝缘材料。
- 避免金属导体靠近平衡馈线。
- 密封穿越墙壁和窗户留下的空洞，减少天气的影响，避免牲畜靠近。

一些忠告：电视机用的平衡馈线只是一种可供业余无线电爱好者选用的兼容性平衡馈线，若这种馈线淋湿，其损耗可能比同轴电缆还要大。

自制的天线能辐射出去吗

前面曾提到，天线工作的效率取决于传输的能量能否在天线端最大地转化出去。如果馈线辐射电波或者信号损失，天线就不可能获得最大的辐射功率。阻止馈线辐射能量，让天线尽可能地完善自己的工作，是一项巨大的挑战，并不像我们想象的那样简单。但实际上，有时却会十分简单。

如果我们已经选用了同轴电缆给偶极天线馈电，这就可能给馈线产生额外辐射创造机会，将对室内的电器带来射频干扰。多数情况下，只要一个简单的巴伦就能解决上述问题。

巴伦是一种将不平衡电流（同轴电缆馈电）转化为平衡电流（偶极天线）的装置系统。巴伦提供天线、馈线所需的相互转换，同时可防止馈线辐射能量。Walt Maxwell(W2DU)简洁地归纳了巴伦的功效：巴伦的基本作用是在不平衡—平衡间提供一个合适的路径。在这种情况下，巴伦迫使射频电流沿着馈线流向天线。避免射频电流在馈线上产生辐射或者回流。

三种可以自制的巴伦

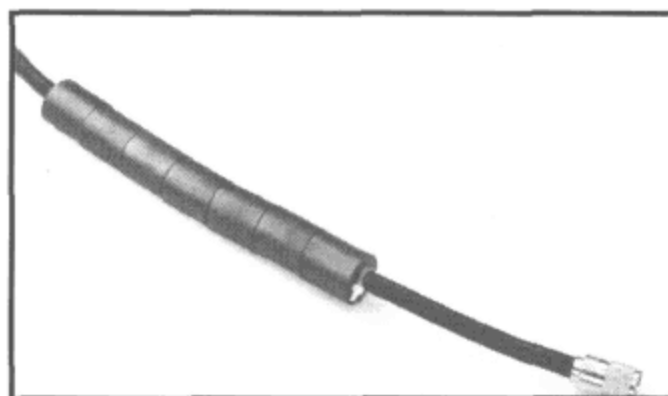
常见的 50Ω 同轴电缆（如 RG-8, RG-213, RG-58 和小型 RG-8 等），其阻抗都比较接近谐振偶极天线，容易匹配。但是你所选用的巴伦不一定都适合所有的天线系统。这也催生了不同阻抗平衡—不平衡巴伦的制作。三种高效率、简单的巴伦如今应用十分广泛。例如限波器型巴伦，由于其在一定频率下的高阻抗作用，有效地遏制了射频电流回流。每种制作形式都基于同轴电缆。用同轴电缆链接偶极天线，其中一个缺点是大多数的同轴电缆在天线不谐振时相对损耗过大。

最基本的巴伦

一种简单、高效的巴伦，可以用多个磁环套在一节馈线上制作而成。如图 2-1 所示，这些磁芯不会影响同轴电缆内部导体和电缆屏蔽

网内侧的电流流动，但是可以阻止屏蔽网外侧电流的回流。由于磁珠型巴伦的磁环，其内径刚刚足以通过 RG-8/RG-213 电缆，可以任意滑动，因此，为了提高天线的效率，巴伦距离天线馈电点越近越好。

图 2-1 磁珠巴伦。用几个磁环串联在一起，套在 RG-8 馈线上。磁环易碎，最好用胶带捆扎在一起（为节省版面磁环型号略）。

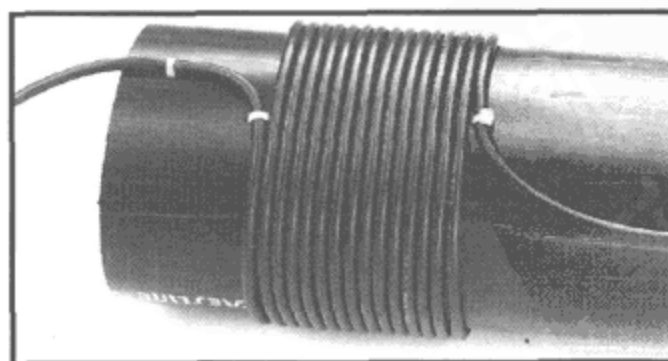


将磁芯在电缆上安放完毕后，一定要用胶带等捆住，以防磁珠破损或向下滑落。

陷波型同轴电缆巴伦制作

1990 年 2 月 QST 文章，介绍了 Rich Mesures(AG6K) 撰写有关用同轴电缆制作陷波型巴伦的文章。你也可以用长度 15 英尺左右的电缆在一节 ABS 管上绕制这种巴伦。ABS 管直径在 3 ~ 5 英寸，长度约 1 英尺（见图 2-2）。要避免使用 RG-8X 和 RG-8M 一类同轴电缆来制作巴伦。因为这种电缆弯折得太厉害时，电缆的芯线和屏蔽网间有可能产生放电，所以坚固的 RG-8，RG-213 一类电缆是首选。

图 2-2 用 RG-58 同轴电缆，在 ABS 塑料管上绕制的陷波型巴伦。陷波型巴伦可以有效阻止射频电流沿同轴电缆外导体回流，但是不能阻止其电缆在内导体的流动。

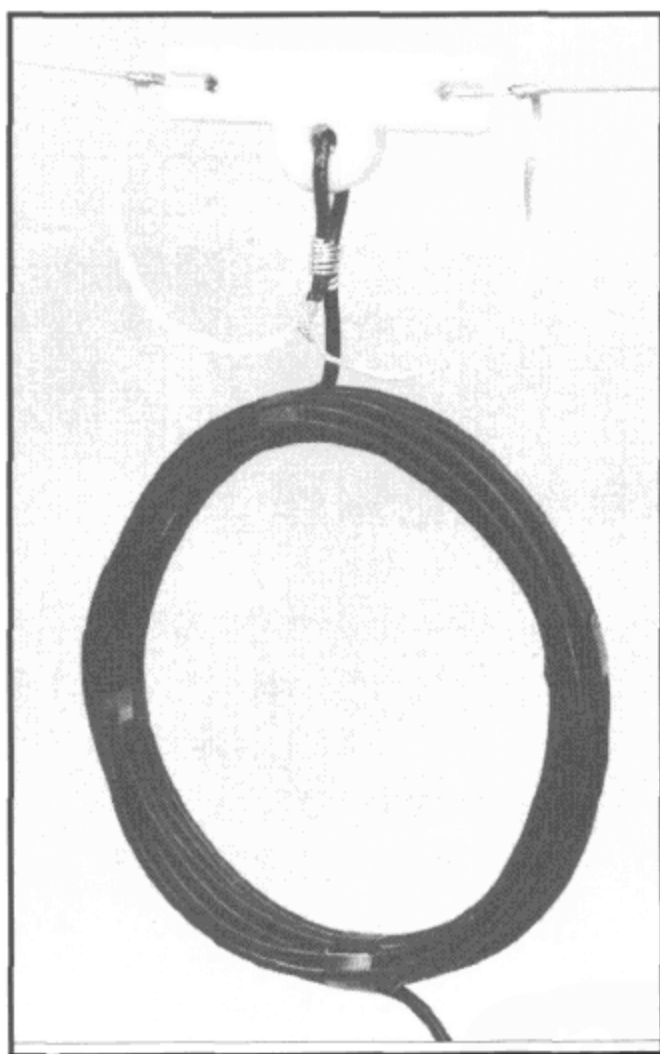


这种巴伦在体积上还是有些过大，因此在室内并不适合，仅适用于户外使用（如要使用，可放置于电台和天调之间）。

同轴电缆制作的无形巴伦

Roy Lewallen(W7EL) 在 1991 年 ARRL《业余无线电手册》上描述了这种同轴电缆绕制的陷波型巴伦的制作方法。这种高效的巴伦其结构只是一个电缆绕成的线圈(见图 2-3)。ARRL《业余无线电手册》给出了制作该巴伦的电缆型号、绕制圈数、所需电缆的长度和适用频率等数据。

图 2-3 用同轴电缆绕制的空心陷波型巴伦。这种巴伦效率高、重量轻,偶极天线就可以承受巴伦的重量。



同轴电缆陷波型巴伦连同磁珠型巴伦或者同轴电缆无形巴伦,无论室内外应用基本涵盖了两方面的基础。实际上,同轴电缆陷波型巴伦和磁珠型巴伦应用更为广泛;无论何种情形都能满足我们的需要。同样,我们也应当知道,三种形式的巴伦虽然都能阻碍射频电流顺着馈线外导体回流,但放在馈电点处效率要远远高于将它放在室内。如果巴伦放在天线根部不方便,也可以将其搁置在馈线的其他地方,只要能保证效率较高、安装方便即可。陷波型同轴电缆巴伦非常适用于偶极天线,也比

较适合低阻抗、同轴电缆馈电类天线，如八木、方框和垂直天线等。

在偶极天线上固定同轴电缆的方法

无论你为偶极天线选用哪种馈线，你必须使馈线与天线馈电点连接可靠。图 2-4 标明了两种将馈线悬挂于偶极天线中部绝缘子上的方法。平衡馈线给偶极天线馈电比较简单，只需将振子单元和馈线分开。同轴电缆馈电则需要保证电缆槽的强度和长期使用的可靠性。上一篇已经解释了天线馈电方式、偶极天线的构架和调整。

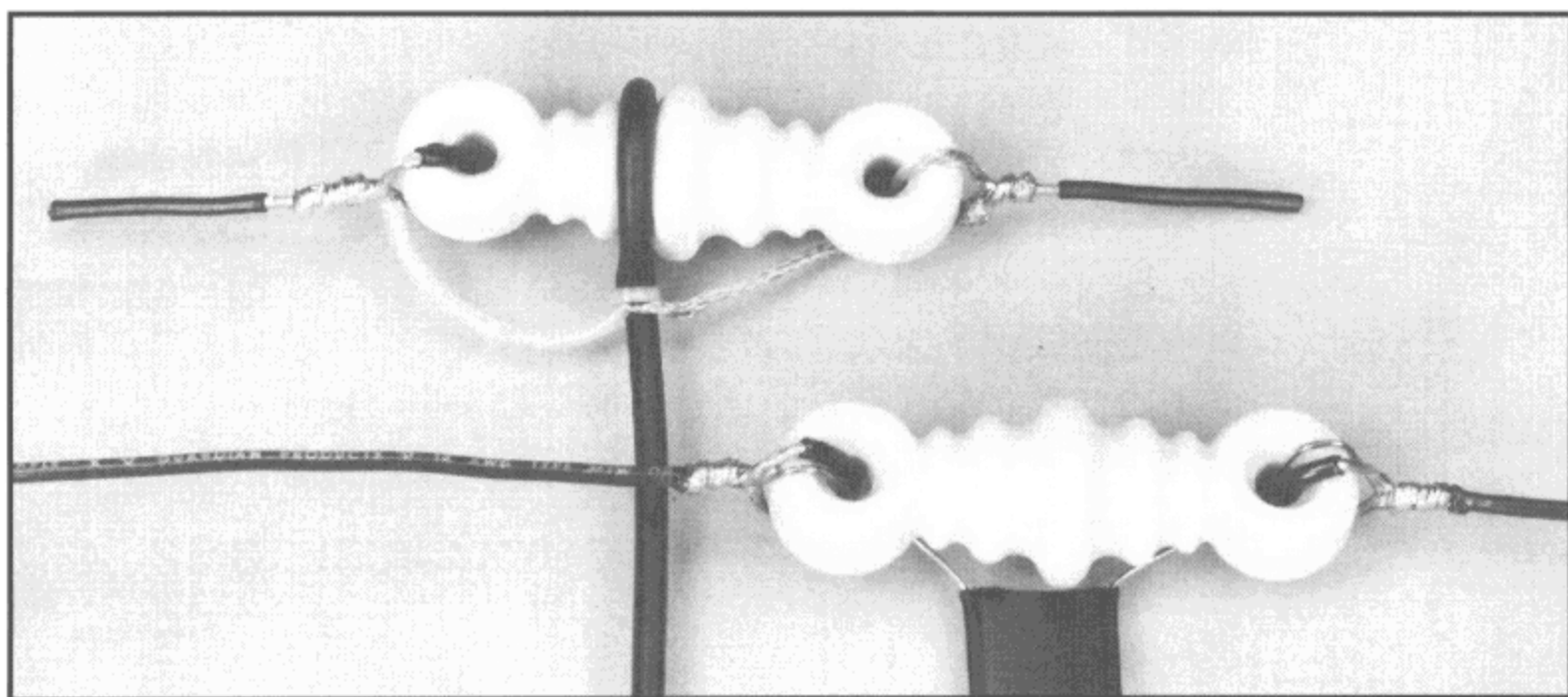


图 2-4 图中左边，一根同轴馈线缠绕在绝缘器上，与陶瓷中心绝缘器相连进行馈电。通过塑料丝绳绑住同轴电缆使电缆上的张力减到最小。尽管图中没有显示，但防雨材料是这样一条用于外露连接的同轴电缆的必需品。图中右边，一条架空传输线给偶极天线馈电。架空线比同轴电缆更易于使用，因为它们不需要防雨保护材料，只需在焊接头处喷点漆就能防腐蚀。

总结

无论你用何种方式给偶极天线馈电，重要的是必须记住：偶极天线本身只是天线系统的一部分。整个系统组成还包括馈线、绝缘子、导线、天线插头座等。如果我们忽略系统的某个部分，与其他电台沟通时就会出现问題。

——James W. (“Rus”) Healy (NJ2L)

3

倒 V 形偶极天线

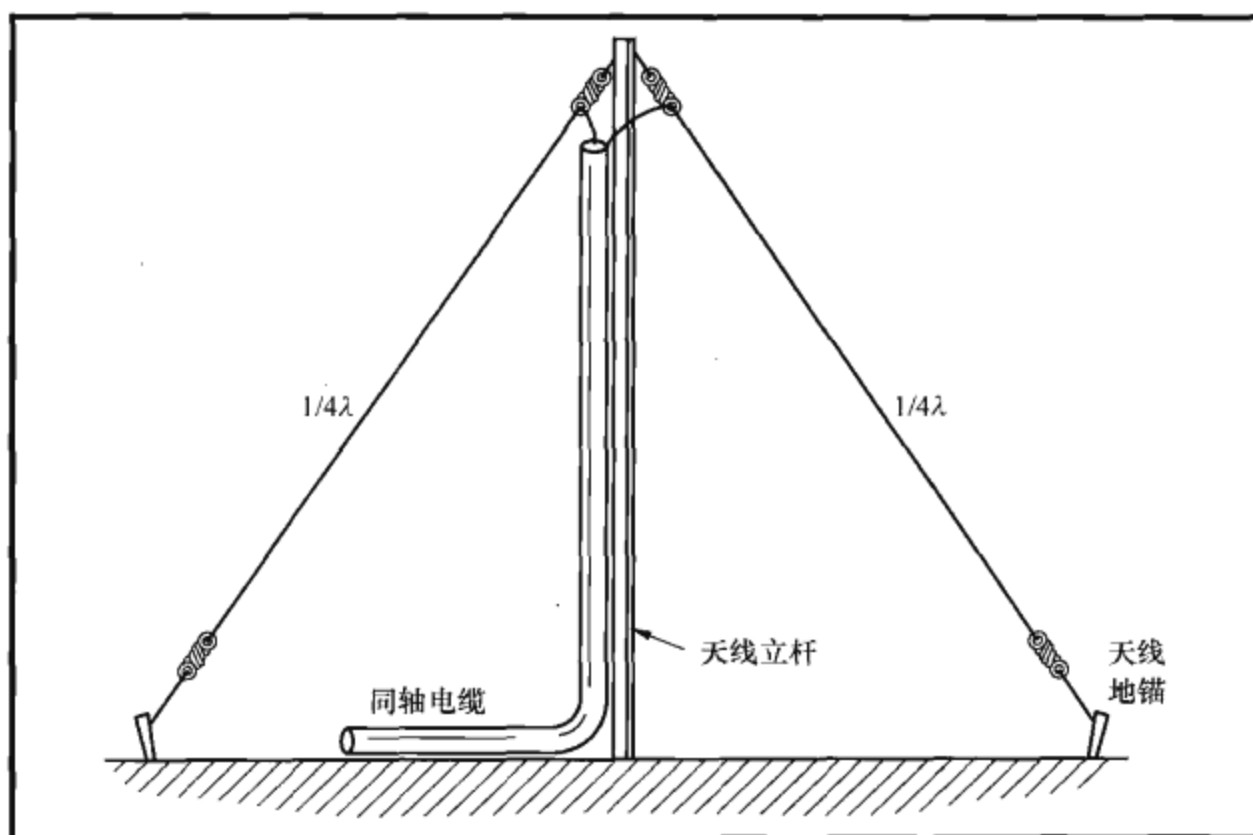
随着太阳黑子活跃程度逐渐走下坡路，40m 和 80m 波段变得越来越重要，使未来几年 DX 通信成为可能。这里介绍的天线虽然简单，由于其自身的结构和安装特点，无论简繁与否已经给出了很好的答案，那就是通过简单的天线形式，为我们提供倒 V 形天线架设、使用的正确方法和理念。

过去的 8 年间，编辑和其他几个爱好者，已经开始在 40m 和 80m 尝试类似的天线。与常规垂直地网天线、水平和垂直偶极等天线对比实验，同样获得了比较好的信号报告。更难得的是，此天线比很多其他型号的天线，具有造价低廉和架设容易的特点，非常适合低波段使用。其他优点还有：与水平偶极天线相比，占用空间比较小，天线本身不用承受馈线的重量，因此很合适用同轴电缆进行馈电。

天线的谐振长度

如图 3-1 所示，一种非常简洁的倒 V 形状的偶极天线。它由中间支撑的半波长偶极天线组成，天线的两臂由原来的水平形式，变成以一定的角度向下倾斜。在这种情况下，斜拉的振子可能造成谐振频率的升高，因此同样工作频率的天线，其长度应适当延长（约 5%）。同时，天线的谐振长度还受到一些材质振子单元缩短率的影响，因此天线的实际长度要根据需要，两端进行适当的调整。这些可以在馈线一端用 SWR 电桥等辅助进行修剪，直至设计工作频率 SWR 值最小。

图 3-1 倒 V 形偶极天线。天线的长度应当按照图中标注的进行调整。



倒 V 形天线的阻抗和带宽

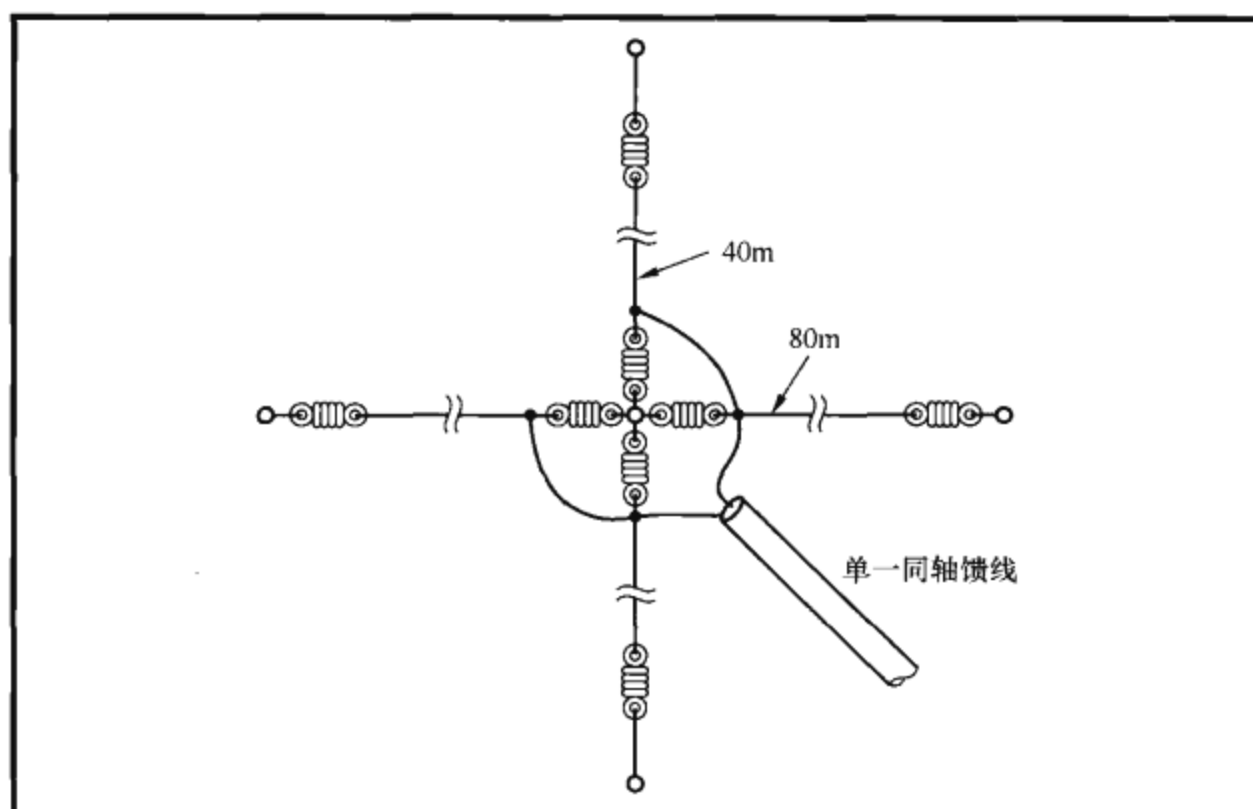
两端斜拉的天线振子也带来了阻抗的减小。 50Ω 的天线振子通常会接近 70Ω 。当天线斜拉角度没有校正时，可以发现随着天线两臂夹角逐渐变小，天线的 Q 值显著增高，带宽则变得越来越窄。天线带宽变窄的问题，我们可以运用具有 3 ~ 5 根以上的龙形天线振子加以改善，大大提高单根振子单元架设天线的局限性。

尽管天线夹角（大于 90° 以上）比天线的方向更重要一些，但这种方向性并不十分明显。

倒 V 形天线的双波段使用

对于 40m 波段操作，一根独立的偶极天线就基本够用了。如果希望增加 80m 波段，可以再并联一根 80m 频率的天线振子，用一根馈线馈电。40m 波段偶极天线相对 80m 段可以是任何方向，但是最好的形式为两个波段振子相互垂直，如图 3-2 所示。材料没有怎么增加，两段天线振子即可以成为固定立杆的拉线。

图 3-2 双波段倒 V 形偶极天线顶视图。80m、40m 相并联，用一根同轴电缆馈电。



倒 V 形天线支撑

像许多其他类型天线一样，倒 V 形天线应当尽可能架设得高一些。例如，用大树来做天线的支撑也是切实可行的，因为大树所属的枝干都可以适应需要的高度。尼龙绳是固定天线和地锚可选的适当材料，如果用大树作为天线的立杆，那么滑轮、配重物等是经常需要用的物品。

铁塔、立杆等在较高频段的定向天线中，作为中间支撑物应用比较多，而地波段倒 V 形天线的加入，不仅对提高指向性天线性能没有任何妨碍，且起到了立杆固定作用。将倒 V 形天线置于定向天线之下 5 ~ 6 英尺是一个不错的选择。

天线馈电

像其他天线一样，倒 V 形天线的馈电线也是必须考虑的一个问题。虽然同轴电缆已经广泛应用，但是如果较高的 SWR 和天线加载等问题没有得到解决，那么天线的可用带宽将会受到极大限制。该天线原作者比较喜欢用自制的平衡馈线，这不仅仅是因为馈线损耗极小、带宽可以得到有效地利用（甚至可以工作在所有频段），而是因为倒 V 形偶极天线本身即为平衡系统。

最后结果

在各项测试中，我们不断地切换天线进行对比，在同等高度的情况下，倒V形偶极天线比水平偶极天线、垂直偶极天线、垂直地网天线都显示出相对优异的性能。总之，较小夹角的倒V形，其效果也有所减弱。K7GCO，用600W输入功率，40m波段，单边带工作方式，得到了来自W7地区DX电台的最高信号报告。在75m等DX频段与EL4A通联，得到了包括S8的信号报告——一个来自利比里亚，远离华盛顿地区，其中还进行了其他所有频段的测试。其他爱好者也尝试了这种天线，均取得了几乎相同的测试结果。同时，一些人还发现，此天线可以覆盖100～1000英里的地域，这些地方垂直和水平天线先前也都进行过沟通。

一些爱好者还通联上了K7GCO，他们使用两个单元的倒V形定向天线。作为定向天线，其中一个架设在距铁塔15英尺高的地方。结果如此之好，极大地鼓舞了人们对低波段40m和80m工作的信心，虽然40m和80m距离较近。

图3-3(a)所示为K7GCO在大树上架设的天线。为增加波段，采取了多振子并联技术。图3-3(b)所示为多振子并联时所使用的分离绝缘棒。绝缘子可以使用木质或者PVC管材等，绝缘拉绳可用粗尼龙鱼线等。

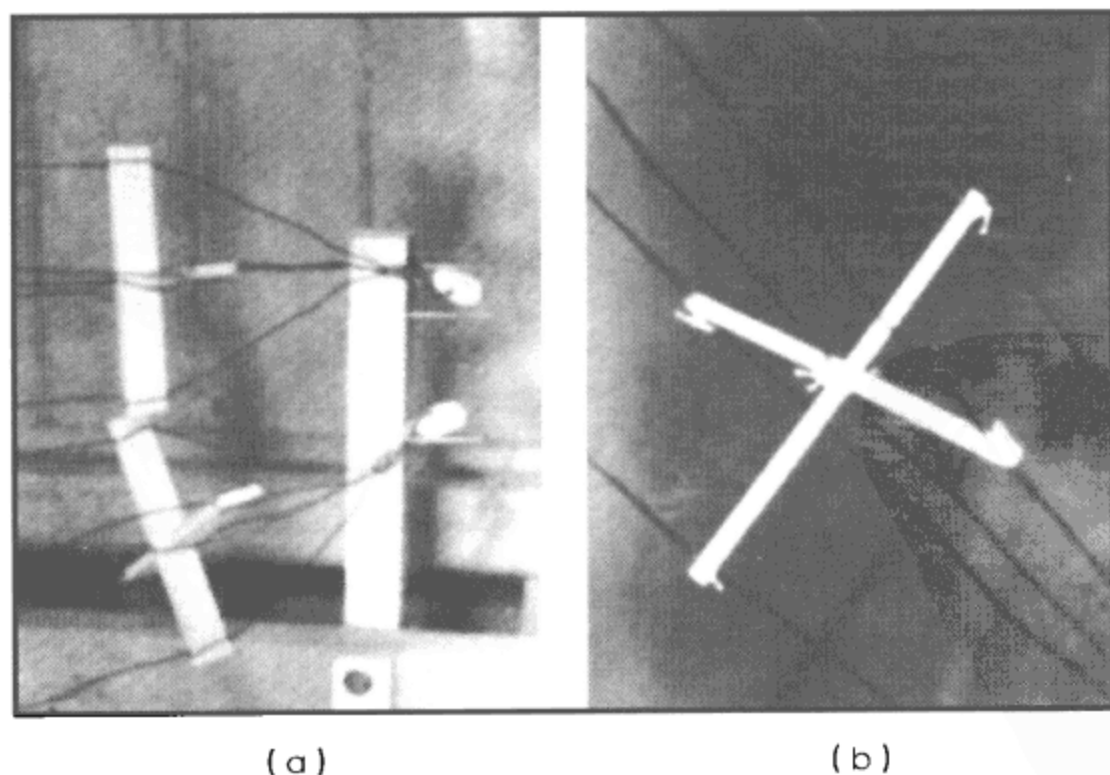


图 3-3 多振子并联技术

——Ken Glanzer (K7GCO)

四波段偏馈偶极天线

是不是每种偶极天线都需要中部馈电呢？也不一定。这款偏馈偶极天线可以工作在 4 个波段，且不需要天调。

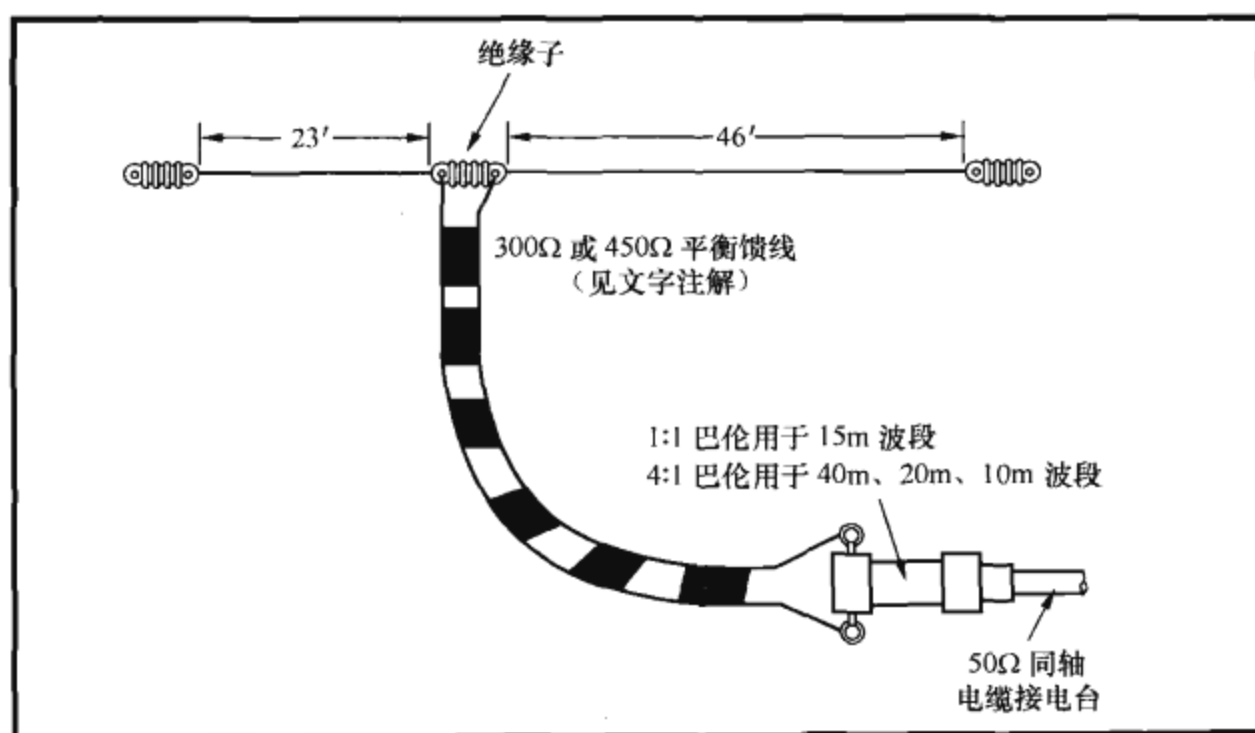
你是否曾有过疑问，为什么偶极天线需要在中部馈电和匹配？中部馈电是 $1/2$ 波长的偶极天线最佳的选择，因为当天线被修剪为谐振状态长度时，馈电点一般接近 50Ω ，这就为使用同轴电缆提供了可能，同时也能很好地与发射机进行阻抗匹配。但是我们是否通过移动距中心馈电点的位置来获得较好的匹配呢？

像许多业余无线电爱好者一样，我也经常询问 HAM 们同样的问题，即大家在用什么样的天线。多数情况下，我得到的答案都是经典的半波长偶极天线。偶尔，欧洲的一些爱好者会告诉我，他们在用 FD3 天线。可能与我们设计的多少有些相似，于是我鼓起勇气四处寻找结果。

几经查询，我获得了单一线天线——FD3 的信息：天线馈电点不在中心位置，而是距离天线一端 $1/3$ 处的地方。天线在馈电点用 6:1 巴伦通过同轴电缆馈电，其实就是 1930 年十分流行的单导线馈电温顿天线。

学习研究了 FD3 天线，给了我一个启发，如图 4-1 所示。此偏中心馈电偶极天线可以工作在 4 个常用的业余波段：40m、20m、15m 和 10m。令人意外的是天线不用天调！这种天线跟 1950 年版本的温顿天线极为相似，但用的是 300Ω 平衡馈线。

图 4-1 偏中心馈电偶极天线在没有天调的情况下可满意地工作在 4 个波段。我们需要做的只是将导线和平衡馈线切割为适当的长度。如果需要工作在 15m 波段，或许需要巴伦相配合。



天线结构

可以想象，69 英尺的 12 号铜导线，如果把他们切成相等的两段导线，用 50Ω 电缆馈电，你可能发现天线基本上谐振在 40m 波段的低端（这个结果当然还要看天线距离地面的高度等）。

但超乎我们的想象，此天线用 69 英尺的裸铜线，并不把它切为相等的两端，而是切割为一段 23 英尺，另外一段 46 英尺。两段天线中间再用一个绝缘子相连接。当提供 40m 信号源测试时，这种偏馈天线馈电点阻抗接近 300Ω。同一个馈电，天线距地面 40 英尺左右时，天线在 20m、10m 也可以获得近 300Ω 的阻抗。

用梯形平衡馈线，300Ω 或者 450Ω 在馈电点都可以基本匹配。在 1/3 馈电点处，15m 波段阻抗很高。但是我们用 15m 波段的 1/4 的梯形平衡馈线，天线馈电点的高阻抗会下降很多，几乎接近电台的输出阻抗。

21MHz 1/4 波长 300Ω 梯形平衡馈线长度约为 10 英尺，但这个长度到达电台的距离还是短了些。当然我们可以根据情况增加长度，方法是馈线的总长度必须是 21MHz 1/4 波长整数倍。为使所有 4 个波段均有较好的 SWR，建议用 55 英尺或者 111 英尺的 450Ω 平衡馈线（或 50 英尺或者 110 英尺 300Ω 平衡馈线）。其中总有一个长度可以穿越房间到达你的电台。

现在，我们总算在馈电点获得了较低的阻抗，这样我们就可以方便地使用 4:1 或者 1:1 的巴伦，然后传入 50Ω 馈线工作了。使用 4:1 的巴伦天线可以工作在 40m、20m 和 10m 波段；使用 1:1 巴伦则工作在 15m 波段。我的电台使用 4:1 和 1:1 的巴伦，根据需要切换不同的波段插头。你可从 QST 认可的商家购买到 1:1 或者 4:1 的巴伦。

总结

到底偏馈天线工作如何呢？我在没有增加天调的情况下，一个一个波段进行了试验。发现当巴伦切换到 15m 波段时并不是十分麻烦。通过选择正确的馈线长度，巴伦可以正确地与电台相匹配。至少，所有的波段 SWR 都在 2:1 之内。

此天线不仅容易操控，而且给了我很多通联的机会。偏馈偶极天线的确不错，你可随时检验其功效。

注：300Ω 梯形馈线是专门制造的，在大西洋周边不是任何地方都有。可以寻求 QST 认可的几家商铺，或许你能得到你需要的。如果没有，450Ω 馈线也是不错的选择。

——Bill Wright (GØFAH)

5

G5RV 多波段天线最新更新

G5RV 天线，经过特殊的馈线安排方式，使得这款古老的天线可以高效地应用在 3.5 ~ 28MHz 整个 HF 频段。此天线尺寸经过特殊的设计，可在较小空间内安装，并能适应新形势，以 102 英尺的长度，水平架设谐振于多个业余频率。因为绝大多数实用天线其辐射振子均为水平或者倒 V 形式的谐振天线，有的天线谐振为整个天线中心长度的 2/3，直至 1/6。有的天线两端向下变为垂直或者半垂直，或以一定角度向内弯曲，而辐射振子没有产生较大的损耗。对于空间十分有限的地区，两边水平振子的尺寸和匹配部分，甚至可以缩减为原尺寸 G5RV 天线的一半。天线的效率当然也只能适合 7 ~ 28MHz。如果电台馈线（可以是平衡馈线，也可以是同轴电缆）以适当的形式绕制，或者以天线调谐器，或配以适当的地网系统，天线可以工作在 1.8MHz。同样，半尺寸版的天线也能工作在 1.8 ~ 3.5MHz 波段。G5RV 天线，通过特殊的馈线安排，中间馈电，可兼容效率和 3.8 ~ 28MHz 整个 HF 波段。

通常构建多波段、全尺寸的 G5RV 天线，跟一般的偶极天线不同，频率不是设计为最低频率的 1/2，而是 14MHz 波长的 2/3，中部馈电。馈电点端 34 英尺的平衡馈线，其功效相当于 1:1 阻抗匹配线。天线可用 75Ω 的平行双导线，或者以 50/80Ω 转换后接同轴电缆。天线馈线阻抗可近似在全波段匹配获得较低的 SWR。然而，在整个 HF 波段，这部分馈线扮演着弥补、提供阻抗转换的角色。在一定的工作频率，并不能完全使这种水平或者倒 V 形天线产生辐射的作用。此天线的中心设计频率为 14.150MHz，尺寸为 102 英尺，其计算公式为：

$$\begin{aligned}Length(\text{ft}) &= 492(n-0.05)/f(\text{MHz}) \\&= 492 \times 2.95 / 14.150 \\&= 102.57\text{ft}(31.27\text{m})\end{aligned}$$

n 为半波长导线的数量（水平，中部馈电）

因为整个系统都以一定的方式参与匹配天线的谐振，因此天线需要长度为 102 英尺。

同样，因为天线并没有使用陷波器或者磁珠型巴伦，偶极天线部分将随着频率的提高，其电气尺寸也相应的增长。此天线在一定程度上平均效率高于陷波器型或用磁珠型巴伦的加载偶极天线。其主要原因是，随着操作频率的增加，天线电气长度逐渐增加，垂直复合部分辐射角度也有所减小。因此从 14MHz 以上，天线的辐射能量主要以垂直极化为主，比较适合 DX 通信。令人高兴的是，伴随着频率的攀升，天线极化波形的转变，天线在 3.5MHz 变为 1/2 波长偶极天线。7、10MHz 成为 2 个 1/2 波长的相位阵线天线，14MHz、18MHz、21MHz、24MHz 和 28MHz 则成为了长线天线模式。

虽然 75Ω 平衡双导线或 80Ω 同轴电缆在基本的频率 14MHz 上阻抗匹配良好，且用 50Ω 同轴电缆时同样在此波段获得约 1.8:1 的 SWR，但是在其他整个 HF 波段阻抗网络匹配还是十分必要的。这是因为天线和匹配部分会在这些波段产生一种反应性负载连接。所以选用正确的天线调谐器，最大限度地将功率经 50Ω 同轴电缆输送至天线是极为重要的。这也意味着如果用同轴电缆、用双导线馈线或者不平衡到不平衡馈线，电缆已经完成了不平衡输入到平衡输出转换的过程。匹配网络应付此天线奇异的负载情况还是完全胜任的，特别是现代自动天调的应用，让我们可以降低 SWR，保护发射机末级不至于受损。同时通过重新加载也能将驻波比控制在 2:1 以下。

由于上述种种原因，全尺寸的 G5RV 天线还不能满意地工作在 1.8MHz 频段。在这种情况下，发射机端输出部分可以串入相应的电感和电容等匹配网络，同时设备需要良好的接地或者增设人工地网，T 形或者 L 形天线调谐器可以担当此任。在此情形下，水平或者倒 V 形 G5RV 天线，加上调谐部分和馈线，天线系统变成了马可尼或者 T 形天线。在众多的地网帮助下，天线此时已经成为垂直天线或者近似垂直天线，天线的水平部分成为容性加载的一部分。然而，根据上述馈电系统的描述，当天线水平部分距地面低于 25 英尺时，天线的辐射在两个波段效率会更高。

天线工作原理

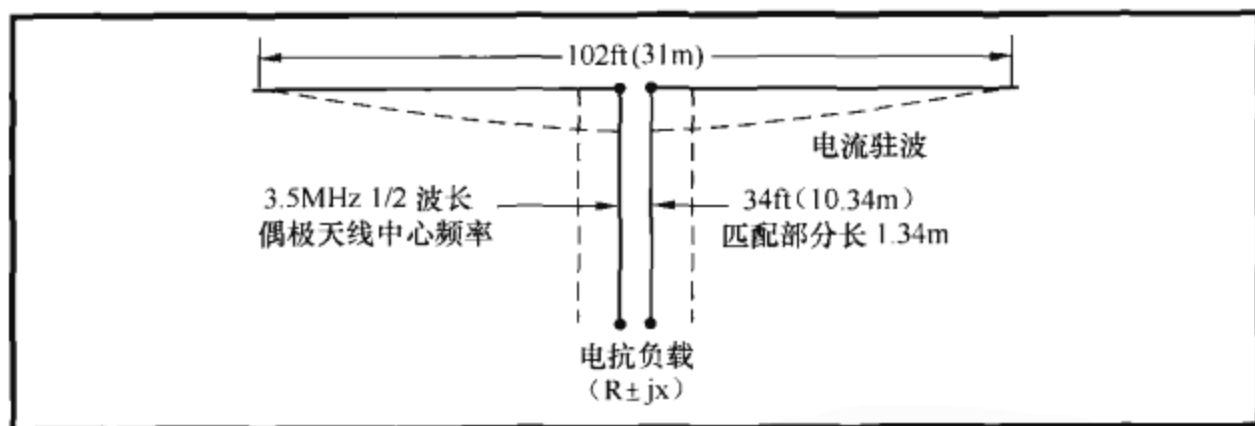
天线工作的基本原理上面已经介绍完了。下面是 3.5 ~ 28MHz 每个波段工作原理的细节，其中包括电流波形，以及天线水平部分和匹配

部分波形，我们将随图逐一解释。

有关每个波段水平天线极化、工作原理可以在相关天线手册等书籍中找到。但是我们必须清醒地认识到：(a) 极化图通常只表示两个方位，但实质上围绕天线电波会产生三维图形；(b) 所有的天线极化、方位理论图形都是由反射波和附近的物体的影响而产生的，如房子、金属物体，电线，甚至大树等。同样，大地的导电率也在很大程度上影响天线波瓣的形成。天线极化方位图理论主要是基于“自由空间”——一种近乎完美的导电地域情况下模拟而成的。这种情况下表述各种类型安装的天线方位图显然是不现实的。真实地环境下描述天线的辐射波形情况，读者也没有感到吃惊。如一特定的天线，在特定的业余环境下，特定的通联方位，理论上和实际上都是差异极大的。或许根本就不可能产生理论所指出的辐射方向和效率。

3.5MHz：本波段，天线的水平部分的每边，加上匹配部分的 17 英尺的每一侧，形成了图 5-1 所示的曲线或者有些轻微折起的 1/2 波长偶极天线。馈线匹配剩余部分在偶极天线电气中心和匹配网络到馈电点间起到了意想不到但又不可避免的电抗作用。方位极化图标明了天线为 1/2 波长偶极高效模式，见图 5-1。

图 5-1 GR5V 天线在 3.5MHz 电压驻波天线主体和匹配部分谐振示意图。天线描述为中心折合的 1/2 波长偶极天线。



7MHz：天线上端水平部分，加上 16 英尺馈线匹配部分，天线形成了向上折合的两个相同的半波天线。由于其相同直线上的特征，形成了比半波长偶极天线更为尖锐的波瓣方位图。同样，匹配以 75Ω 平衡双导线或 $50/80\Omega$ 同轴电缆在根部馈电，匹配部分的下半部分的电抗被衰减。尽管如此，通过选用适当的匹配网络，系统加载得很好，辐射效率在次波段也很高，见图 5-2。

10MHz：本波段天线为一条直线上的同相双半波长天线所产生的方位极化，形式跟 7MHz 相同。电抗负载出现在匹配部分的端部。跟 7MHz 一样，天线效率非常高，见图 5-3。

图 5-2 在 7MHz 天线主体和匹配部分电流情况。天线描述为同相位馈电，两个半波长的直线天线阵列。

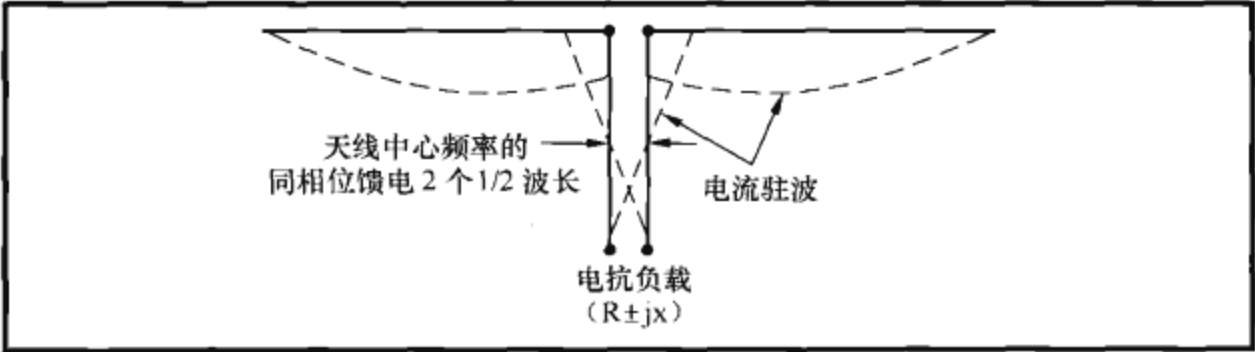
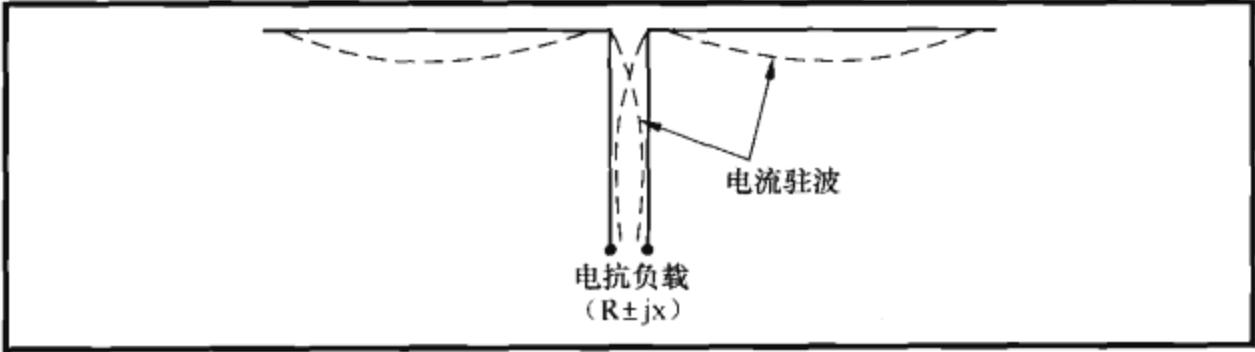
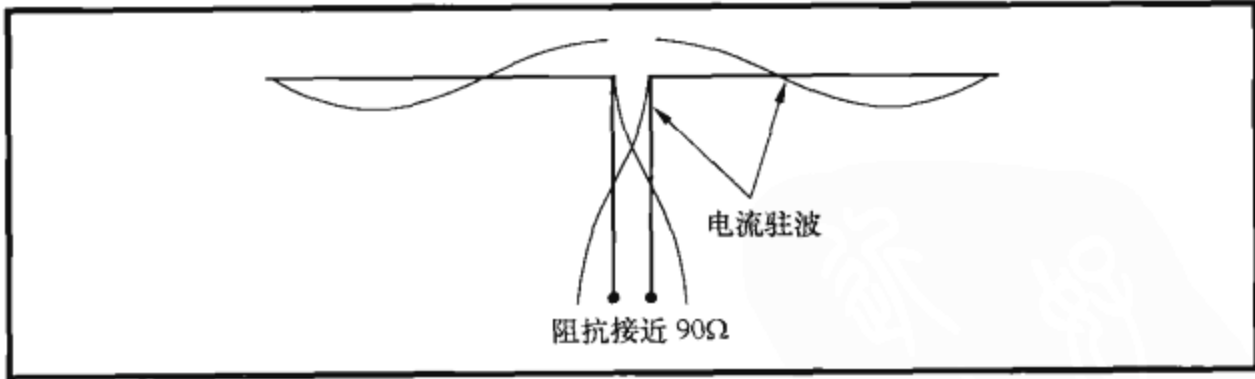


图 5-3 10MHz 天线电流分布示意图。天线作用为同相位馈电，同一直线上的两个半波天线阵列。



14MHz: 在本频率工作条件十分理想。天线顶端水平部分形成了一个 3/2 波长中部馈电的天线，其方位图形成多波瓣的形式，大部分辐射能量为 14° 角，垂直极化形式，因此十分适合做 DX 通联。由于天线高度距离平均电阻率的地面在 1/2 波长之上，天线又为 3/2 波长长线天线，所以辐射电阻约为 90Ω。34 英尺的匹配部分现在成为了 1:1 的阻抗转换装置。馈线可用任何形式的 75 ~ 80Ω 馈线。阻抗特征在匹配部分底部可以认为是无电抗行加载，因此 SWR 在馈电点接近 1:1。即便是使用 50Ω 的同轴电缆，天线的驻波比也仅仅为 1.8:1。这里假定天线的平均高度在 34 英尺以上，见图 5-4。

图 5-4 G5RV 天线在 14MHz 工作情况示意图，在此天线工作在不同相位的 3/2 波长长线天线状态。天线匹配部分成为 1:1 转换装置，在端部呈现近 90Ω 的阻抗特征。



18MHz: 表现为两个同相位馈电的全波长天线；波形增益呈现为两个单元的直线阵列。但由于长线天线的特征所限，其辐射仰角和增益要低于 1/2 波长偶极天线，见图 5-5。

21MHz: 表现为一个 5 个波长的长线天线，波瓣呈现多向、低仰角辐射特征。尽管在端部馈电部分出现高阻抗，但连接了适合天线调谐装置后，天线加载良好，也比较适合 DX 通联，见图 5-6。

图 5-5 18MHz 天线和匹配部分电流驻波情况。天线同相位馈电，中心略微折起，工作在两个全波长状态下。

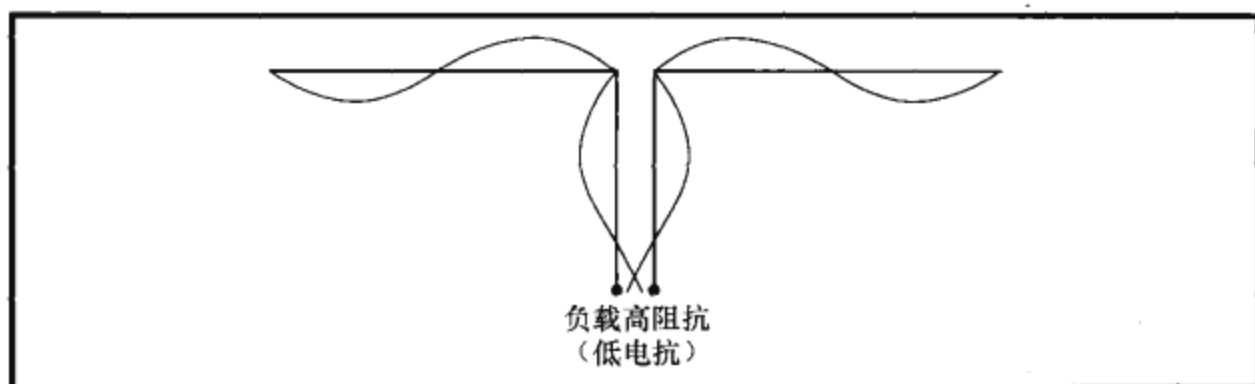
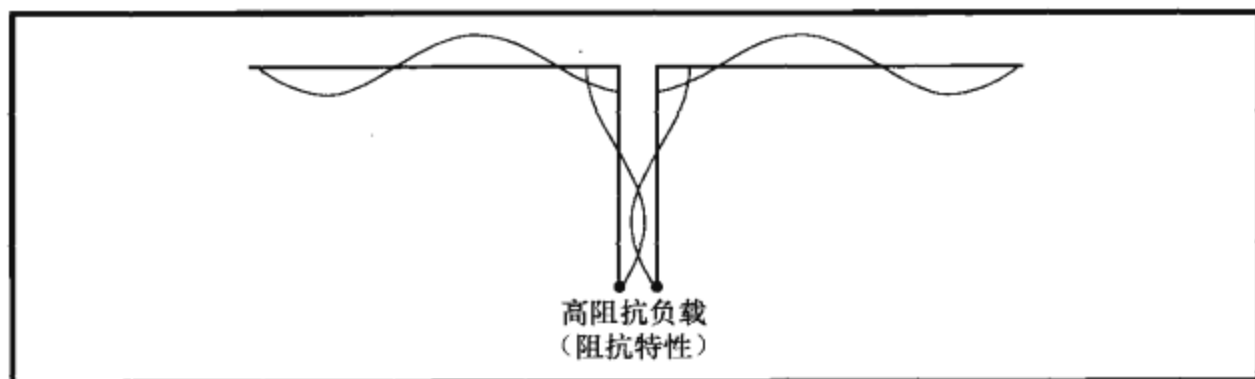
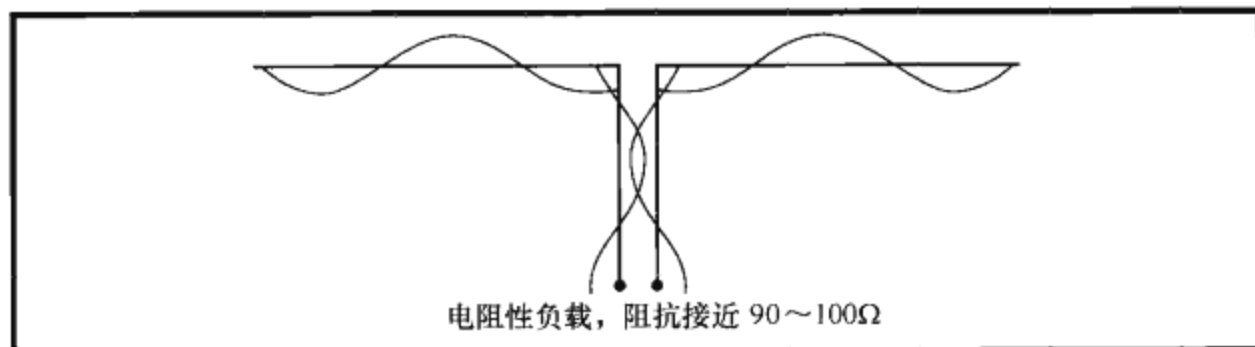


图 5-6 天线在 21MHz 工作情况描述。此波段，天线工作在 $5/2$ 波长的长线天线情况下。匹配部分在馈电点产生了相当高的阻抗特征。



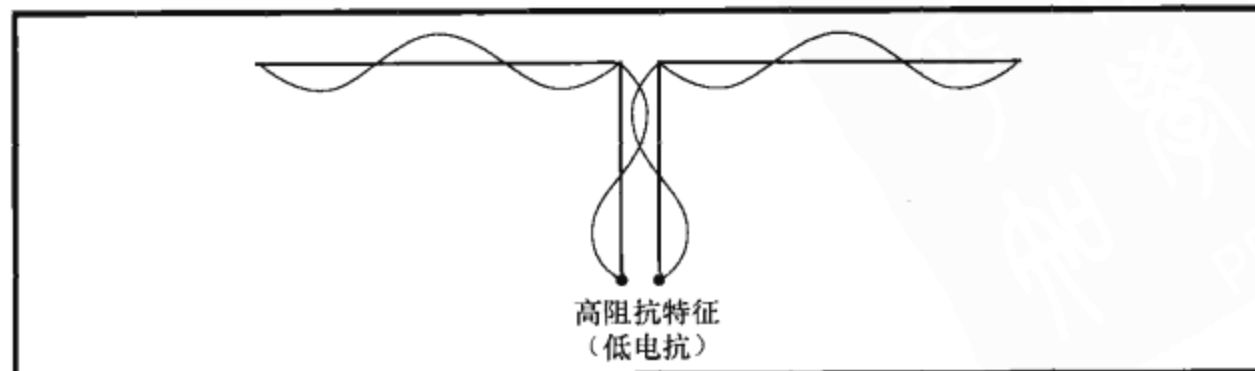
24MHz: 天线表现为效率较高的 $5/2$ 波长长线形式，但是由于天线顶端电流和匹配部分的介入，天线阻抗比较低，端部馈电比 21MHz 还要低些，辐射波形也呈现低仰角，多极化形式，见图 5-7。

图 5-7 24MHz 天线和匹配部分电流驻波情况。天线工作方位为 $5/2$ 波长的长线天线。



28MHz: 在这个波段，天线为两个波长的长线形式，每臂为同相输入的 3 个半波长。辐射方位图跟 $3/2$ 波长长线天线极为类似。但由馈送形式为两个 $3/2$ 波长同线天线形的作用，其增益要高于 $1/2$ 波长偶极天线，见图 5-8。

图 5-8 28MHz 天线主体和匹配部分电流驻波情况。天线工作状况表述为 2 个长线天线，天线每臂长度为 $3/2$ 波长，同相位馈电。天线产生了多向辐射，但仰角较低，天线效率非常高。



天线的构建

天线的外形尺寸和天线的匹配部分见图 5-9。如果可能，天线顶端部分应尽量保持水平，形成一条直线。匹配部分也应当尽量垂直，高于地面。在其原理描述部分已经阐明，天线应保持垂直，架设高度要大于 34 英尺。这个高度非常适合 14MHz。虽然这个高度对 1.8MHz、3.5MHz、7MHz 的水平天线来说还是太低了，但从实用化的角度，很少有几个爱好者能将其天线架设到 3.5MHz、7MHz 的 1/2 波长的高度，1.8MHz 就更不可能了。

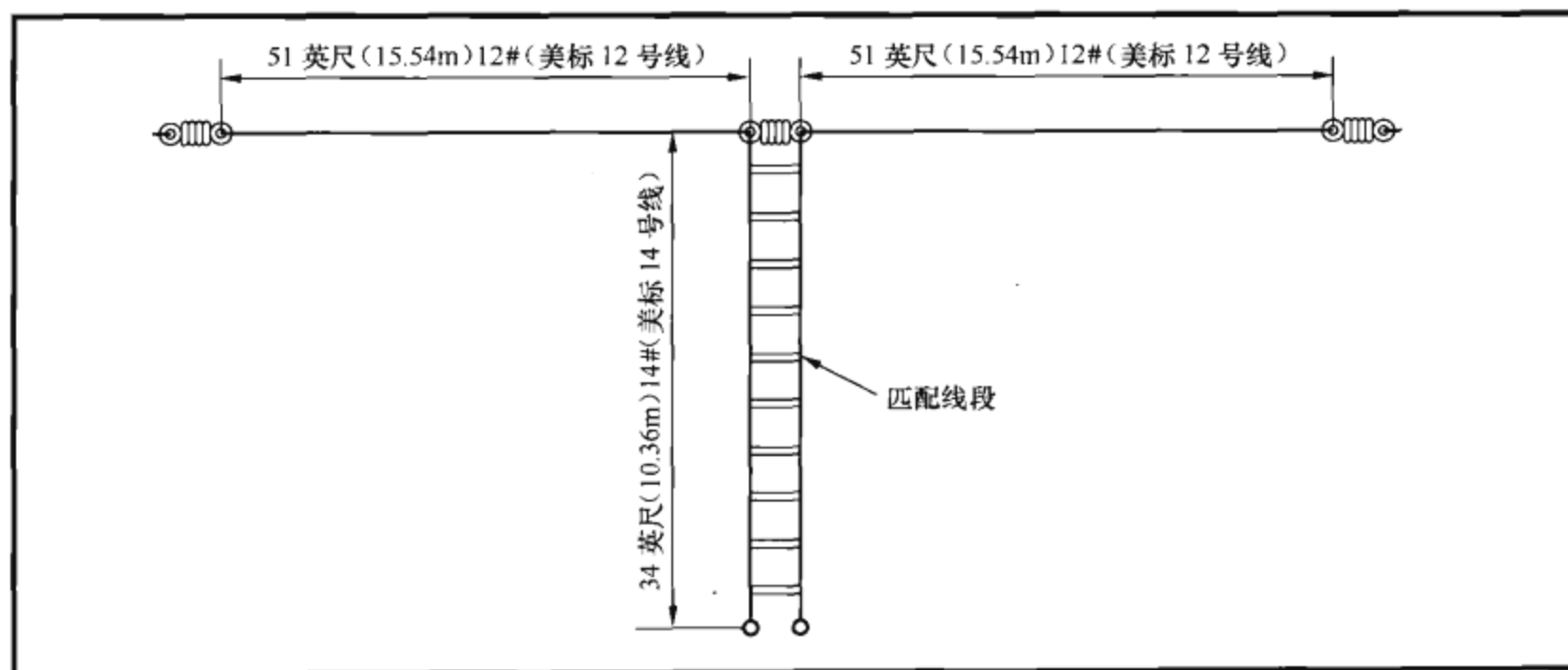


图 5-9 G5RV 天线主体结构和天线匹配部分示意图

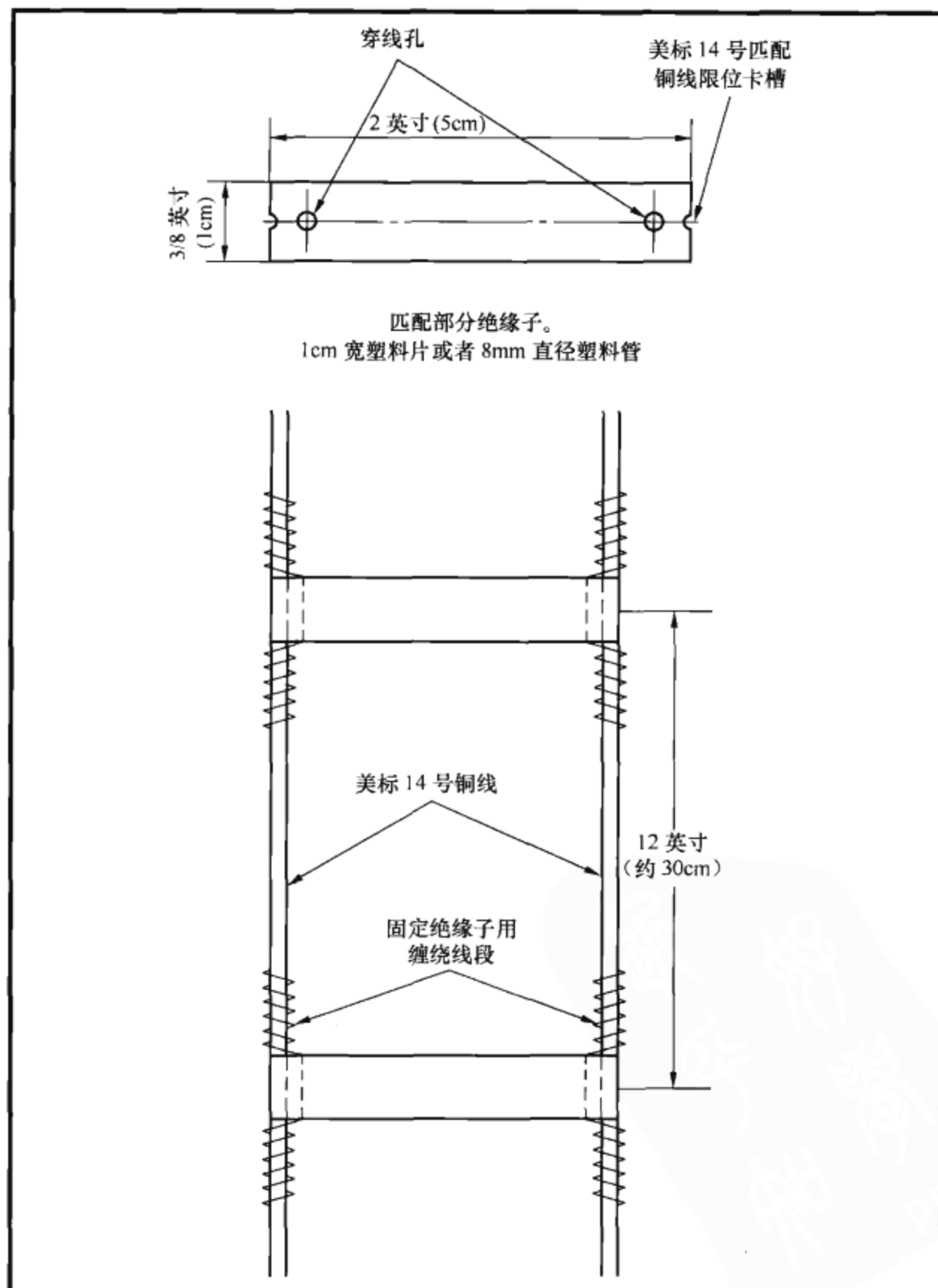
如果因为空间的关系，不可能将顶端 102 英尺线段拉成一条直线，可以将天线两端各向下弯曲 10 英尺，将天线调整一定的角度，或端部呈水平弯折，当然这种做法性能还是会受到一定影响的。这是因为，对于任何谐振天线，主要的辐射能量部分发生在距天线中心 2/3 处，在此电流位于高点，与电压正好相反。越接近此天线的终点，电流的振幅下降得越快，甚至接近零，因此天线这部分的有效辐射最小。

天线当然也可以安装成倒 V 形。但是我们应当记住，为了最大限度提高天线的辐射效率，V 形天线两臂的夹角最好大于 120°。水平或倒 V 形安装一般推荐使用 16 ~ 18 号铜导线。

天线匹配部分

为了尽可能降低损耗，最好的方式是使用空气介质平衡馈线。因为这部分同样参与了电流、电压辐射，实质上阻抗并不是非常重要的。比较满意的型号，其结构如图 5-10 所示。馈线间的绝缘棒可以选用任何高质量的塑料片、管，或者透明塑料管。

图 5-10 匹配部分制作细节同样适合做空气介质的平衡馈线。



如果你决定用 300Ω 的带状馈线作为此部分, 强烈推荐选用开有“窗口”的梯形馈线。在同样的长度下, 却比实心的带状馈线具有更小的损耗, 同时受雨雪的影响也更小。如果把这部分馈线作为匹配部分, 一定要注意馈线的缩短率 (VF), 要根据 14.15MHz 的 $1/2$ 波长的要求加以修正。 300Ω 带状馈线的缩短率为 0.82 , 长度应为 28 英尺。若选用具有“开有天窗”的带状馈线, 那么它的缩短率在 0.90 , 其物理长度应当是 30.6 英尺。

如果可能, 这部分应当从天线的中心馈电点起, 垂直悬挂高度至少 20 英尺左右, 这部分馈线可以弯曲、打结以适应不同高度的需要, 然后用尼龙或涤纶绳加以固定, 并用支撑杆将其挑起, 与馈电点的末端相连接。

馈电

天线可以用效率较高的任何类型的天线调谐器。1966 年 11 月出版的 G5RV 天线, 原本建议使用同轴电缆馈送, 在其根部使用不平衡—平衡转换器。这是因为, 天线本身和匹配部分均为平衡系统, 而同轴电缆为不平衡馈线型号。然而, 随着人们经验的不断积累和对巴伦理论和应用认知的提高, 认为这种建议并不合适。因为高电抗负载被认为根部调谐或看重整个 HF 波段组成部分。

如果巴伦被连接到高电抗负载的系统中, 驻波比超过 $2:1$ 就意味着损耗的剧增。其结果是导致线圈的发热和磁芯磁饱和现象的发生。在极特殊的场合, 使用高功率可能引起燃烧事故。G5RV 天线的主体部分并不需要巴伦, 与其他调谐器工作原理不同, 天线要靠电路的谐振。在 HF 波段的大部分频率中, 巴伦并不能改善电抗性负载阻抗。相反适当地匹配网络才能使天线获得最高的效率。

实验的结果确定了这种重要性, 否则不平衡状态将被直接连接的同轴电缆和端部的匹配部分所破坏。还有惊人的发现, 通过研究表明, 用一段平衡的匹配部分连接的同轴电缆内部导体, 同时将同轴电缆的外导体与平衡馈线另外一部分相连接进行电流测量, 在整个 HF 段直至 28MHz 其结果都是相同的, 有时可能有的结果稍微不同, 但是很显然, 电流状况截然不同, 都很不符合逻辑。因此, 当使用同轴电缆连接匹配部分时, 其末端不要使用不平衡—平衡转接装置。

下面说说调谐网络部分与现代发射机同轴电缆输出之间不平衡—平

衡转换器的使用问题，因为在电台馈电端，14MHz 波段阻抗极高，会产生很高的 SWR，这个结果即便使用质量很好的具有谐振长度的同轴电缆，损耗也非常大，因此可以使用 70 英尺长，50Ω 或 80Ω 的同轴电缆。因为驻波的存在，电缆的阻抗特征并不重要。

另外一种比较方便的电缆型号是 75Ω 平衡双导线馈线，但在 7MHz 处，当阻抗极高时损耗也非常大。建议在匹配部分和调谐网络间，这种电缆的长度不要超过 50 ~ 60 英尺。75Ω 平衡双导线在英国主要用于接收系统，在美国低损耗的类似电缆也是可以找到的。更好的馈线型号还是空气介质平衡馈线，比较合适的长度参见此天线匹配部分。如果使用这种平衡馈线，并使用天线调谐网络，几乎任何长度都是可以的。这种情况下，匹配部分变成了馈线的一部分，其长度为 54 英尺。可以试验平衡调谐器，工作频率覆盖 3.5 ~ 28MHz。为了方便起见，天调中的线圈可以为每个波段设定一个抽头，可变电容使用每个 500pF 的三联，当然电感的抽头也不是固定的模式，因为馈线长度不同。同时，不同型号的平衡馈线，驻波也不尽相同，但效率不会打折多少。匹配部分馈线尽量不要打直角弯，以免影响效率的传输。当这类馈线的型号正确，电阻负载等于它的电抗特征时，馈线的这种弯曲必须避免。

HF 波段同轴电缆陷波器

在一定的情况下电流可能沿着电缆外导体（屏蔽线）外流，这是由同轴电缆馈线到匹配部分不平衡—平衡所引起的，或是由天线拾取辐射能量引起的，这是我们不愿看到的，如此一来可能产生 TIV，干扰电视信号。下面的方法可以减少或者消除这种影响：用同轴电缆绕制直径 6 英寸的 8 ~ 10 圈的一个陷波器，放置在同轴电缆和匹配平衡馈线之间，这些线圈可以缠在一起，也可以用尼龙带捆扎好。

同轴电缆和匹配平衡馈线的连接可靠性和防水问题十分重要。方法是用绝缘胶带多层缠绕在接点处，然后涂聚氨酯 2 ~ 3 层，或者简单地用树脂将接点密封起来。

——Louis Varney (G5RV)

容易调试的电感加载双波段天线

1961年4月QST文章(“线圈加载多波段天线”)William J.Lattin(W4JRW)描述了如何通过增加加载线圈,在一个水平偶极上形成HF双波段调试的基本方法(见图6-1、图6-2和图6-3)。天线内侧部分的长度用于校正双波段中较高频率的天线谐振状态,这种天线仅仅比普通单一频率的天线稍微长了一点。加载线圈外侧的单元则谐振于双波段天线的低频段。例如在40/80m天线,他发现负载线圈电感量在100~200 μ H工作最好。Lattin在其报告中表述了如何使用52 Ω 同轴电缆在两个波段都取得较好SWR的方法:线圈内侧的为34英尺6英寸~36英尺,线圈外侧的长度可以在4~5英尺间变化。

对于同长度的所有天线,可以叙述为:在线圈外侧具有同样长度的情况下,线圈加载型天线低频率波段天线效率要高于用40m陷波器型天线。当然我们假定两种天线都具有相同的 Q 值(加载天线的效率取决于线圈的 Q 值)。同样,Lattin在文章中写道:“这种天线并没有像陷波器型中的电容,120 μ H线圈使用1000W没有任何问题”。

我的空间有限,但是我想在现有的40m半波天线上增加80m波段,因为天线波瓣辐射仰角比较高,只能做简短的QSO。结合过去调试天线的经验,修剪线圈内侧的天线的长度十分烦琐。我也不想增加线圈内侧的长度。所以我对天线进行了重新安排,见图6-4。此天线仅需要在原有的40m波段基础上,对加载线圈、悬垂线段和绝缘子以及拉线进行重新组合。

通过对这些线圈、线段的组合,我发现这款天线的调试、修剪相当简单。因为天线距离地面有一定的高度,还有周围物体和其他感应的影响,图6-4给出的天线尺寸对于调试宽容度还是很大的。如图6-1~图6-3标明的,天线80m带宽很窄,这还包括了天线两端等长度修剪等,因此调试工作很有挑战性。

——Charles J. Michaels(W7XC)

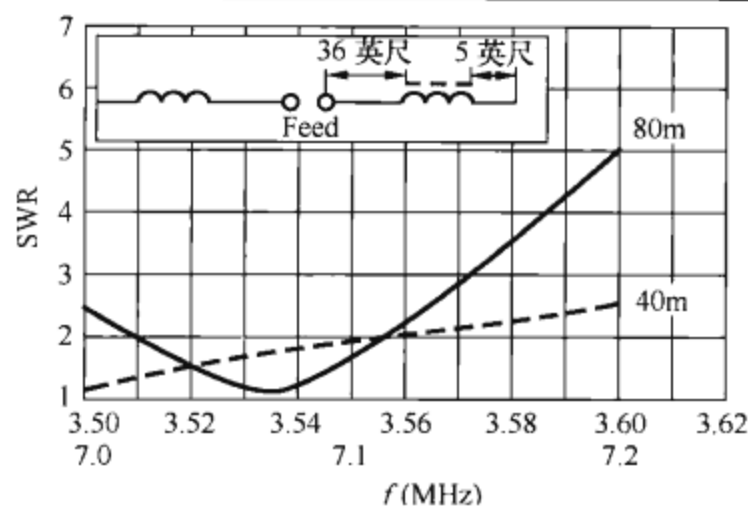


图 6-1

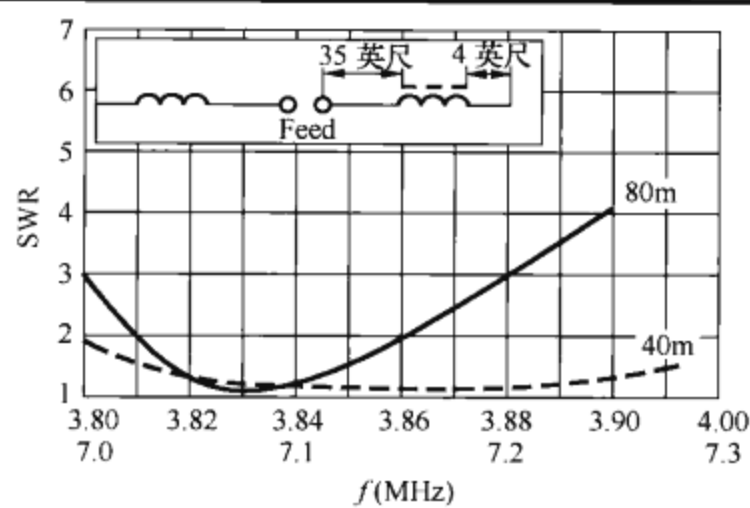


图 6-2

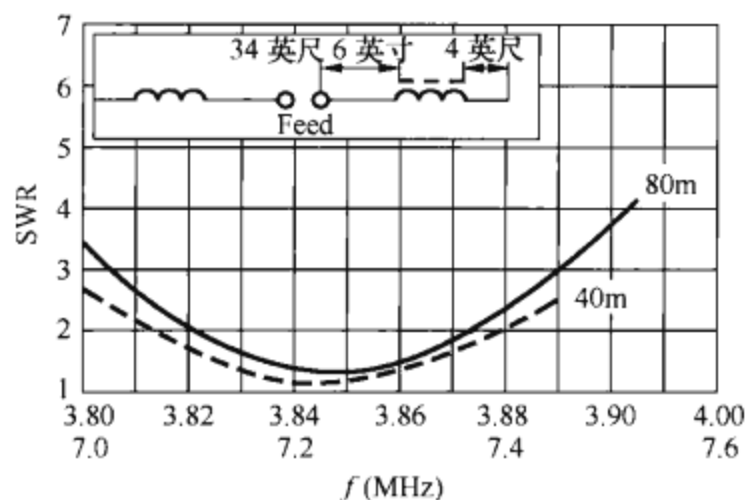
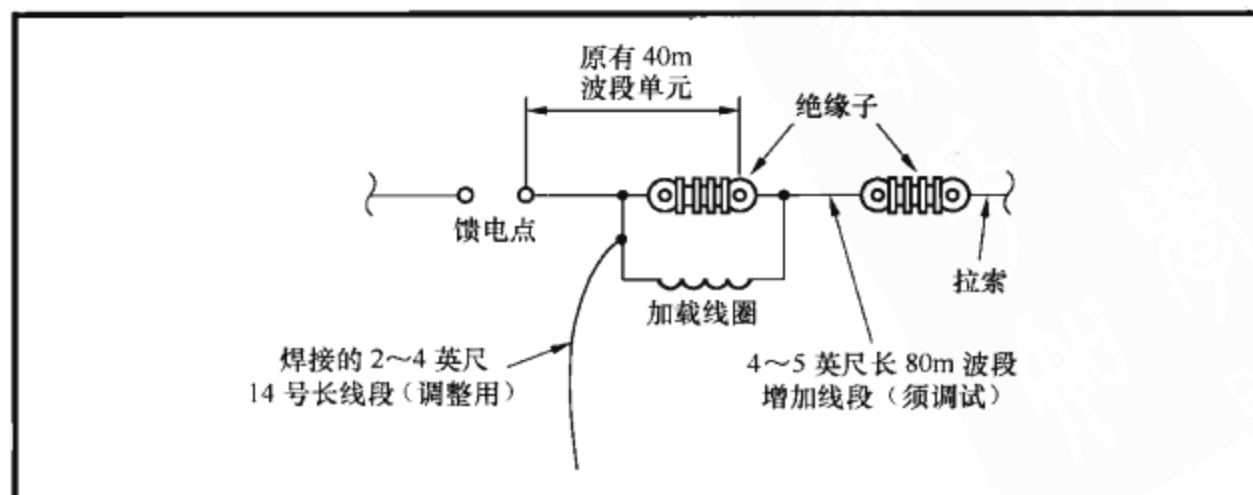


图 6-3

图 6-1 ~ 图 6-3 三种版本 2 波段天线示意图。线圈电感量均为 $120\mu\text{H}$ ，标明了天线水平部分线段的左右移动轻微变化与天线谐振点的关系。天线驻波是以 RG-8/U 馈线为基础测量的。线圈用 18 号漆包线在 $7/8$ 英寸直径，长 14 英寸的人造胶木上密绕。线圈导线长度为 12 英尺。此线圈测量结果接近 $120\mu\text{H}$ 。其他容量的线圈也要进行过测试，如 $80\mu\text{H}$ 的，天线也可以谐振在两个波段，但是线圈外端的导线需要的更长些。如果线圈的电感量太低，尽管 80m 波段两端谐振长度增加很多，40m 波段的频率也会变高。运用各种容量的线圈，天线可以进行各种组合。如 80m 与 20m；80m 与 15m；80m 与 10m；40m 与 20m 等。图 6-3 中为了适应加载线圈，40m 波段长度稍微增加了一点，这样在馈电点测量可以使 40m 全段都有较好的 SWR。天线的特点是两端天线的长度仅需要 77 英尺，而不需要陷波器。图 6-4 是相似的天线和调整方法。

图 6-4 焊接一段下垂的线段到线圈一侧，另外一侧焊接增加的 80m 线段。连接好两端及 40m 绝缘子和拉线。最后通过修剪下垂线段调整谐振频率（下垂的线段没有按比例画出）。





低廉线天线的陷波器

作为一个业余无线电爱好者，不一定拥有任何东西，但是他可以享受动手制作的快乐。本文介绍的是制作线天线陷波器的一种方法。

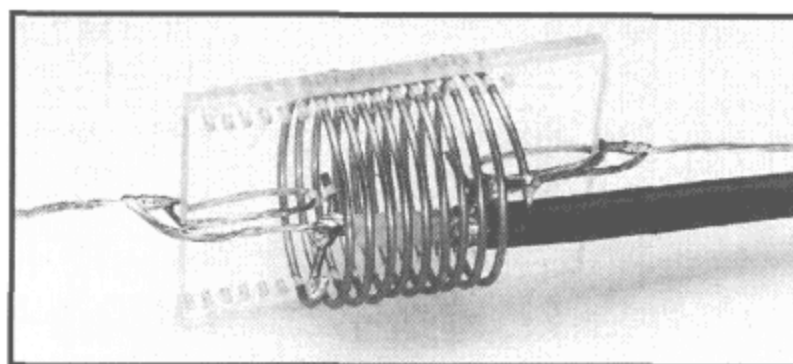
并不是所有人都享有宽大的空间可以安装多波段天线的。即便是高波段，诸如铁塔、定向天线等都远远超出了一般家庭的承受能力。最好的选择，就是使用具有陷波器的线天线，业余无线电爱好者的花费最低。

我们现在所需要的仅仅是一小块 1/4 英尺厚的有机玻璃，12 号裸铜线和一对 RG-8/U 或 RG-11/U 的同轴电缆。有机玻璃作为张力绝缘子和线圈的固定支架。在这里陶瓷绝缘子对陷波器来说并不适用。另外，一节同轴电缆作为高压电容，省略了制作陷波器对商用昂贵的电容的需求。

准备

选择适合天线的陷波器设计方案，建议参照 1977 年版的 ARRL《业余无线电手册》中 5 波段偶极天线的制作。我们可能注意到了，这款天线需要使用 2 个 $10\mu\text{H}$ 的陷波器，包括 12 号导线在 2.5 英寸直径的绝缘管上每英寸绕 6 圈，共绕 15 匝线圈，每个线圈电容量约为 50pF 。开始制作陷波器前，我们先将有机玻璃按 2 英寸 $\times$ 3 英寸的尺寸切成两块。陷波器示意图见图 7-1。从图中可以看出，为了调节并固定线圈，有机玻璃上面钻了很多孔。这些开孔距离有机玻璃边缘 1/4 英寸处，孔的直径应比使用的导线稍微大一些，同样也是为了型材穿越和调整更方便一些。这些孔都开在有机玻璃对面一边一半的方向上。

图 7-1 陷波器结构，用一节同轴电缆作为电容，其芯线连接线圈的一端，屏蔽网连接线圈的另外一端。



事先将导线拉伸平整，然后将导线绕制在一个同直径的圆柱上，以便线圈能够成型。其形状和尺寸应当符合要求，线圈松开的时候其直径应当比实际需要的线圈稍微小一些。随后将成型的线圈旋进有机玻璃支撑片中。

同轴电缆电容和线圈制作

在有机玻璃开孔最后的位置再钻两个孔。一个孔用于连接天线，另外一个孔用于连接（焊接）线圈两端和有机玻璃。这些线圈每匝都可以调整，末端可以调整同轴电缆的电容量。

在制作陷波器前，我们应当测量同轴电缆每英尺的电容量，电缆的电容量在用户手册上一般都有标注。

在《业余无线电手册》上我们看到，制作陷波器所需要的电容为 50pF。然后根据电容量需要计算好所需电缆的长度。RG-8/U 在本案例中需要的长度接近 $20\frac{5}{16}$ 英寸，RG-11、U 需要大约 $29\frac{1}{8}$ 英寸。记住电缆每端需要留出额外的一点，注意电缆外皮的长度也将影响电容的精确性。

最后的组装

修剪电缆的一端，以便电缆芯线和外皮能够穿过线圈，顺利地焊接在接线片上，屏蔽网焊接在线圈另外一个接线片上。注意电烙铁的温度，避免融化塑料。电缆的切割比需要的一端长 1/2 英寸。使用管

刀修剪外侧的绝缘部分和电缆的外导体，要多保留半英尺。这样一来，较长的绝缘体和中心导体以及电缆外导体在绝缘材料上开出一个方孔。其他的电气故障可能是线圈受损，但高温却不是个问题，在此这种方式就更合适一些。

通过移动线圈或者调整电缆的电容，天线的谐振点可以调整到需要的频率上。同轴电缆电容可以绕在天线上，不仅可以支撑自身的重量，同时可以防止连接点的松动。

160、75 和 40m 倒 V 三角形环形天线

这里推荐一款高效的全尺寸 160m 天线，它既是占同样空间的 75m 倒 V 形偶极天线，又是全尺寸的 75m 或 80m 的环形天线和两个波长的 40m 天线。

现在太阳黑子循环周期已经下降到最低值，在 10m、15m 和 20m 夜间活动相对减弱，白天 10m 活动情况也仅仅是偶尔发生，如果没有选择，许多爱好者只好回到低波段工作。由于 40m 波段夜间的糟糕状况，以及距离广播电台仅有几千千赫的窘境，所能忍受的并能承担重任的只有 75m 了。还有另外一个业余波段也在渐渐变得活跃起来，但是它的应用并不广泛，这就是 160m 波段。几个因素促成了如下方案：

1. 大多数爱好者的通信设备仅仅覆盖 10 ~ 80m 波段。
2. 天线的尺寸和效率问题成为一个巨大的障碍。
3. 热带地区大气噪声电平十分盛行。

因素 1 比较好解决。人们可以改造现有的通信设备或者求助于自制等手段。因素 3 对大多数的美国爱好者来说也不是主要问题。因素 2 变成了一个主要症结。因为许多住宅区没条件架设常见的 160m 全尺寸天线。一般来说，全尺寸 75m 对称振子天线或倒 V 型也是不太可能。本文提出并解决了使用全尺寸 160m 天线的方法，但其占地尺寸却不超过 75m 的偶极天线，且不需要错综复杂的地网系统以及天调或平衡梯形馈线等烦恼。令人欣喜的是，让我们高效率地工作在 75/80 和 40m 波段成为可能。而所有这些只需要用一根 50 或 75 Ω 的电缆。

天线的发展

多年来作者一直用羡慕和惊异的目光关注着 160m，留意在并不拥挤的情况下相对较窄分配频率波段的工作情况。在最好的冬季夜晚，收听东海岸和中东间毫无疑意 QSO 与以往并没有什么不同，而他们使用的功率也仅有 25 ~ 50W。这些电台具有一个共同的特点，就是他们都拥有一个好的天线系统。

1800kHz 的全尺寸对称振子天线，差不多有 260 英尺长，甚至多数郊区典型住宅都不能容纳（除非你在老旧的铁路沿线建房！）。一个 80m 折合偶极天线共有 260 英尺长的导线，然而安装就需要 130 英尺的空间。即便是图 7-2(a) 所示的倒 V 形天线也较少公布于众。如果将倒 V 冗长的第二根线折合成偶极天线，而放弃水平形式，天线的两端和顶部就构成了图 7-2(b) 的形式。

天线的高度经过调整和地面尺寸安排为图 7-2(a) 的形式；但是图示却需要 80 英尺的立杆。在表 7-1 所示中，三角形天线的阻抗最低，达到约 50 ~ 100 Ω 的范围。如果不断升高三角形的顶部，拉近两端，其结果可能是一个 80m 的半波长环形天线，两传输线在端部馈电点短路，如图 7-2(c)。半波输送线的馈电点阻抗可能为 0 Ω 。这个结果我们应当牢记，因为图中我们有足够的高度，通过调整天线来改变 80m 的阻抗。

图 7-2(b) 举例说明了全波长 80m 波段三角形天线的工作情况。然而在 160m，天线只是一个半波长的三角形天线（天线的全长），此时在馈电点天线相当的高。通过简单的改变底部中心的导线，两端向中心立杆折合，此时天线变成了 160m 半波长倒 V 形偶极天线。天线谐振频率

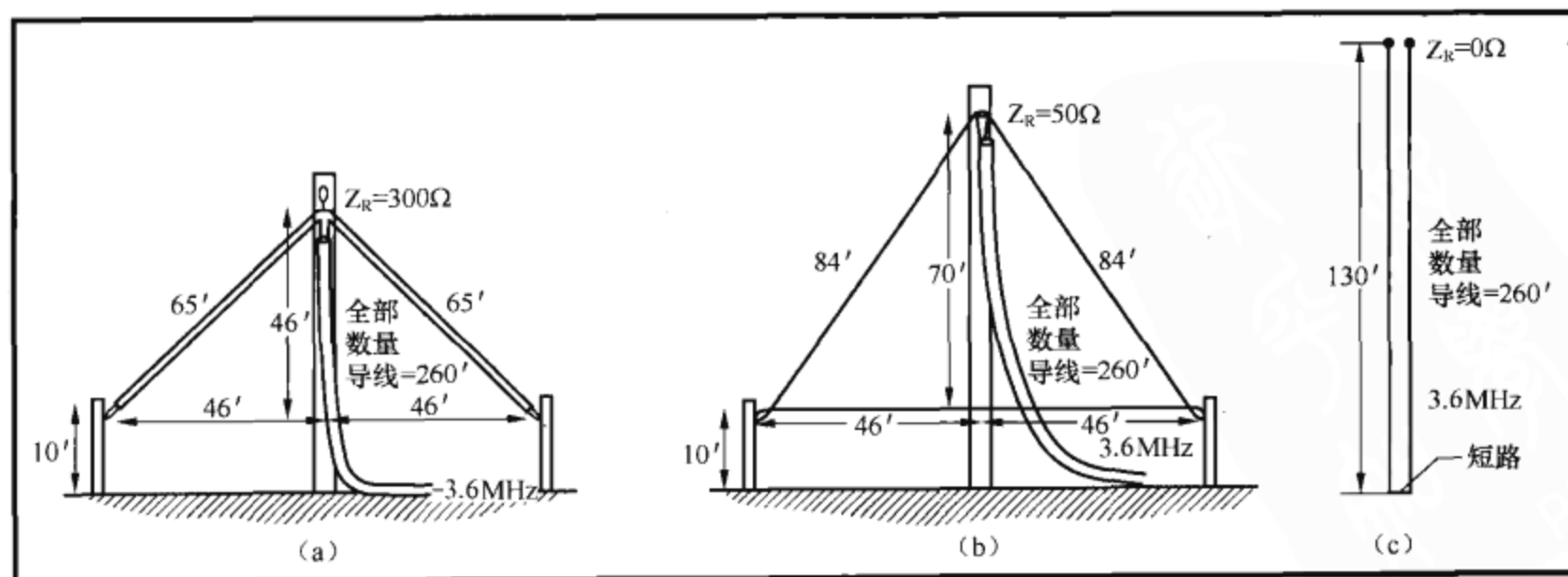


图 7-2 全波长 80m 波段三角形天线的工作情况

可能高于计算出的半波长谐振天线。操作 160m 或 80m 波段，我们可以通过关闭和打开三角形底部中心开关来实现。

因为作者没有 80 英尺的立杆，三角形的底部不得不多出部分线段。如图 7-3 所示，天线实际尺寸接近常见的安装形式。降低天线高度和底部长出的部分的问题是，天线在 75m 波段阻抗有所增加，多数情况下，由于几何形状的关系，增益接近折合偶极天线，见图 7-3，80m 波段阻抗接近 150Ω 。另外，两段额外增加的，中部馈电的线段则形成了 75m 的倒 V 形天线。偶极振子插图见图 7-3，谐振频率为 3900kHz。意想不到的是三角形环形天线可以 2 个波长谐振于 7400kHz，并可用 50Ω 馈线输送。通过在底部中心增加一个负载线圈，天线可以工作于 40m 的中心频率。通过调整切换开关，所有三个波段都可以在一根立杆上实现。当开关打开时，天线成为 160m 倒 V 形；开关切换至 75m 位置时，天线为全尺寸三角形和 75m 偶极天线；当开关接通 40m 时，负载天线工作。40m 电感应当用 12 号线在 2 英寸半的管上绕 20 圈，即每英寸 7 圈，并同时调整导线长度。如天线谐振在 40m 高端，线圈可绕制 10 匝。

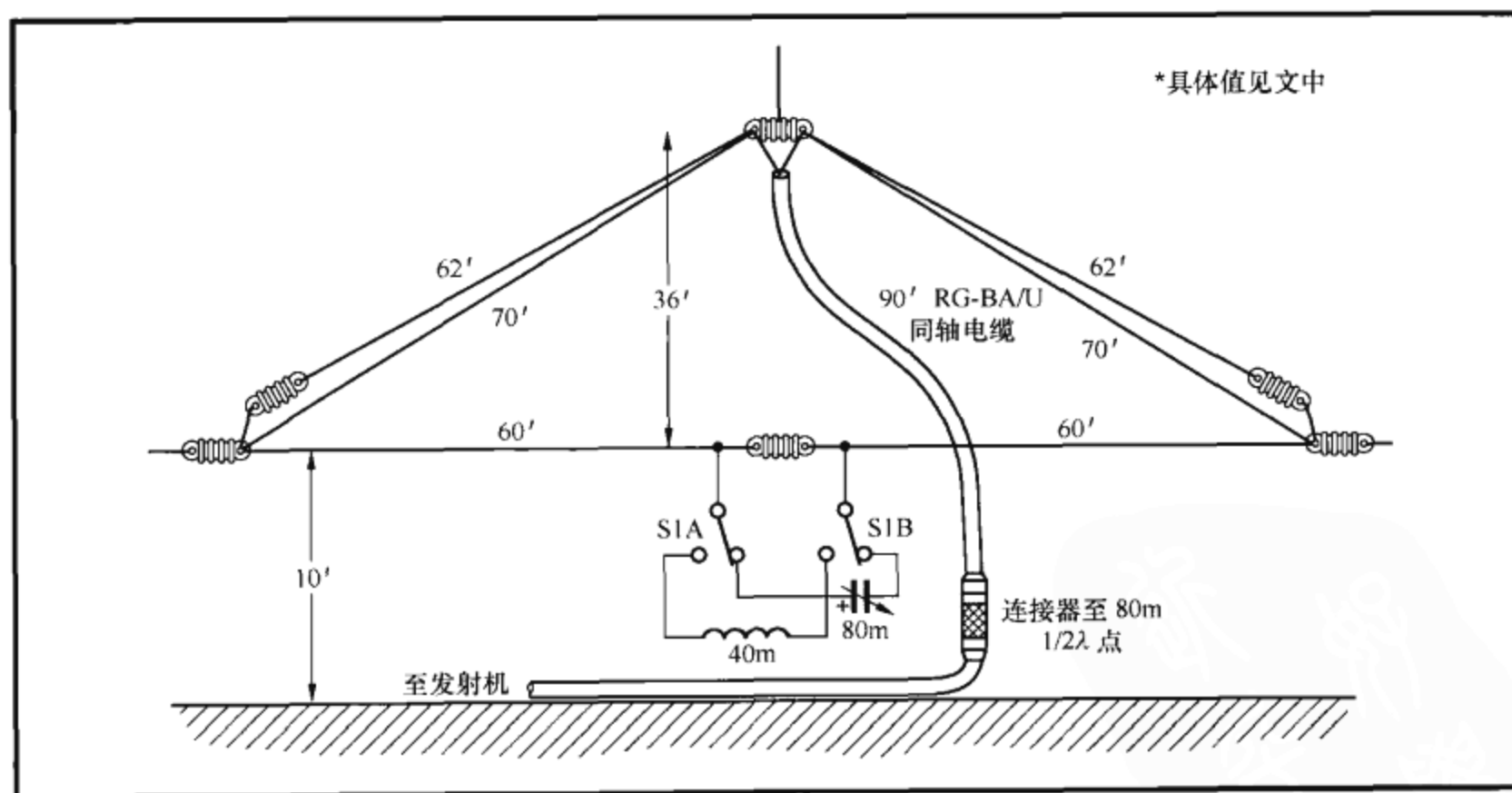


图 7-3 三波段天线的适当的尺寸和转换装置。S1 为双刀双掷转换开关。如果要在 160m 使用，需要将转换开关处于开的位置。

表 7-1 提供了图 7-3 中 260 英尺三角形天线的测量数据。因为天线在顶端馈电，天线测试是在 RG-8A/U 远端 90 英尺处进行的，并且重新

修正了 3.6MHz 和 7.2MHz 两个半波长电线的长度。随着这些调整，天线的阻抗在电缆远端阻抗将会有所增加。160m 波段谐振频率比较平滑，容易调整。如果增加偶极振子不在设计的 75m，天线可能需要用 75Ω 的同轴电缆。

表 7-1

转换位置	计算得到的频率	测量得到的频率	阻抗	50 欧姆馈电线的驻波比	70 欧姆馈电线的驻波比
开	1800	1825	50	1:1	1.4:1
80m 没有增加的偶极子天线	3600	3700	100	1:1	1.4:1
80m 增加偶极子天线	3600 3900	3700 3900	50	1:1	1.4:1
40m 增加负载线圈		7250 或者其他合理的值	50	1:1	1.4:1

天线底部馈线问题

图 7-3 这种形式的最大优点是三角形底部馈电、调整方便。如果设计是在三角形底部中心馈电，我们就不得不接近三角形，在顶部根据需要进行开关。三角形天线从 1/2 波长到 1/4 波长变换，在其顶部增加自动转换开关比较流行。90 英尺的同轴电缆（160m 的 1/4）在远端馈送还是比较短的，两个单元在顶部馈电阻抗也非常高。但三角形在 160m 将被看成一个偶极天线。80m 波段同样长度的馈线为半波长度，较短的馈线不得不在三角形顶部进行切换。同时，80m 三角形天线可看成一个连续的环形天线。缩短的两个半波长其功效与 40m 三角形比较相似。同样的开关设置可以放在三角形的底部，并在此进行电感电容的切换。

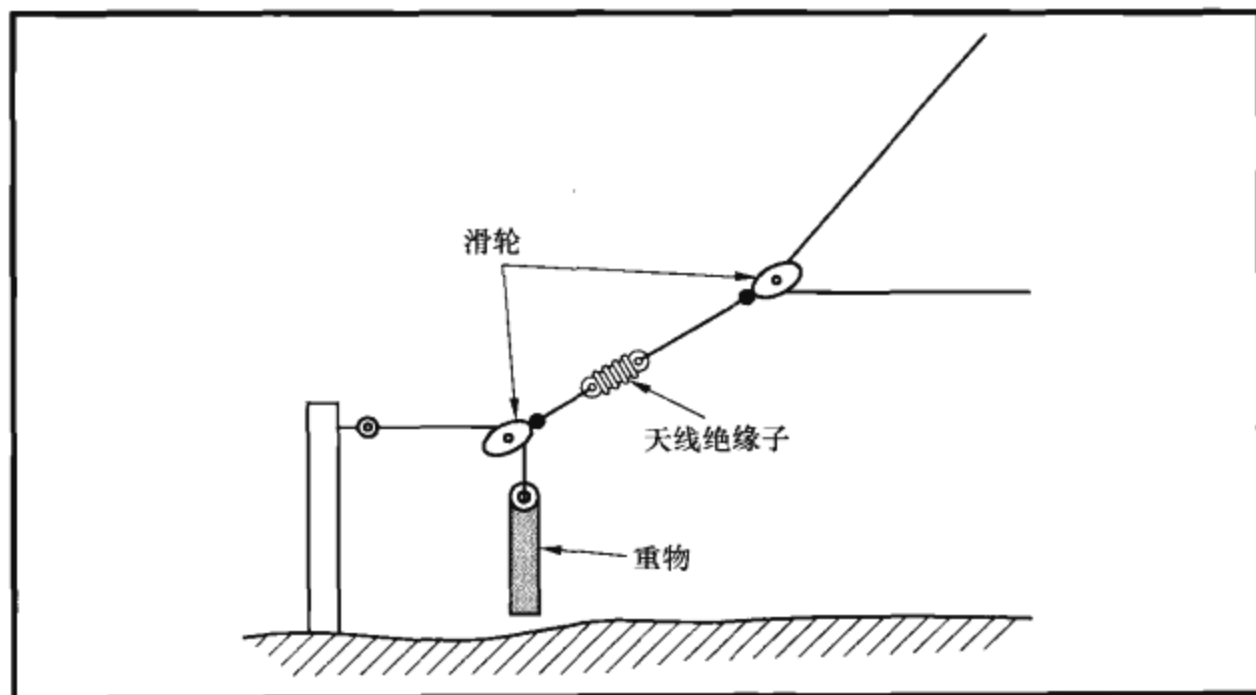
天线方向性的设置

通过两个三角形组合，天线具有一定的方向性是可能的。天线间保持一定距离和彼此并联等形式，都曾经考虑过。调整使用其中一个三角形的高低、大小，天线有可能形成反射器、引向器作用，因而产生指向性波瓣。

天线的基本结构

为了能够调整天线高低比例、阻抗等，天线建设者应当考虑两个三角形天线顶端和底部及拉绳的走向安排。平衡重物悬挂形式见图 7-4，以保证天线上下各个方向的张力。

图 7-4 滑轮和平衡物装置可以允许对三角形区域进行简单的调节。



推荐使用 12 号~16 号软拔钢丝，多股绞合钢丝及铜包钢丝都可使用，但铜包钢线比较硬。笔者使用 16 号多股绞合钢缆，绝缘子是从经销商那里买来的。天线的立杆最好是中部支撑的形式；当然大树等也可以利用。玻璃丝、尼龙钓鱼线等可用作穿越大树的引线。

天线操作

天线最终的结果是可喜的。CW 模式，5W 的功率，通联到了 400 英里以外的地方。AM 模式，同样以 5W 功率在 1825 ~ 1850kHz 通联上了 300 英里的电台。75m 的表现几乎等于使用了 20m 的偶极天线。40m 夜间的操作令人吃惊。2 个波长的三角形环形天线，由于具有较低的辐射仰角，在通信方向看起来比偶极天线有更高的增益。我通联许多来自美国新泽西州 W6、W7 的电台。作为辅助和高波段天线试验天线，三个波段倒 V 形和三角形环形天线，似乎较好地解决了地波段天线占用空间和效率的问题。

——J. R. Mathison (WB9OQM)

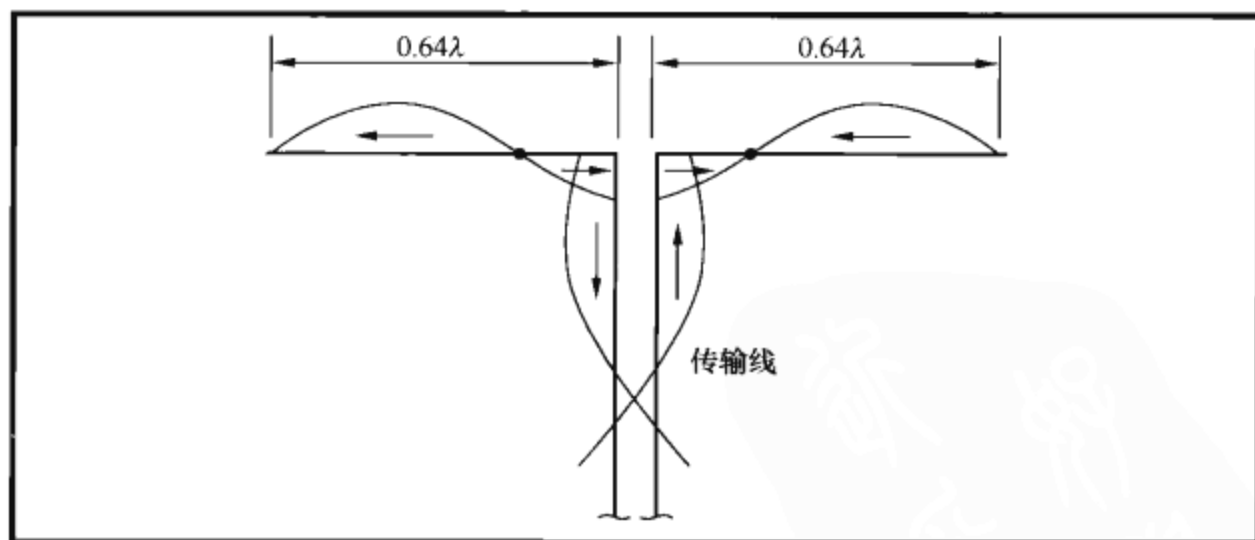
8

12m 拓展型双齐柏天线 (EZD)

有一个 50 英尺的水平空间，制作 24MHz 天线还能剩下地方么？这个简单的天线比半波长偶极天线增益要高出 3dB——你甚至可以用两条这样的天线组合成相位天线，获得更高的增益。

依据美国业余无线电转播联盟《天线手册》的解释：Zepp（齐柏天线）是一种缩短型齐柏林天线（Zeppelin），是一种端部双导线馈电的谐振天线形式。《天线手册》上有更多的有关此天线（EZD）的讨论。这引起了我的注意，我总是对过去曾流行的线天线感兴趣，特别是具有比偶极天线高 3dB 增益的良好表现，让它更能适合当今的使用！EZD 天线由两边均为 0.64 波长直线振子，同相位馈电导线组成。图 8-1 显示了此天线的辐射电流情况，图 8-2 说明了此天线在自由空间下水平方位图情况。

图 8-1 EZD 天线由两个 0.64 波长的单元振子组成，同相位馈电。



延长型双齐柏天线的理论和良好表现使我很感兴趣，所以我决定制作一个 12m 波段的 EZD 天线。图 8-3 为天线的基本形式，我将天线谐振频率设计为 24.59MHz，天线两臂每边 25 英尺 3 英寸长，天线振子用 14 号铜线组成。天线振子单元由作为匹配部分的平衡馈线馈电，其长度为 5 英尺 5 英寸，阻抗 450Ω。平衡馈线下端接 1:1 巴伦，然后接

52 Ω 同轴电缆。我设计的 EZD 天线悬挂在两棵距地面 35 英尺的大树间。

图 8-2 自由空间下，EZD 天线水平辐射方位图。与半波长偶极天线相比，具有接近 3dB 的增益。天线振子单元夹角在 90° ~ 270°。

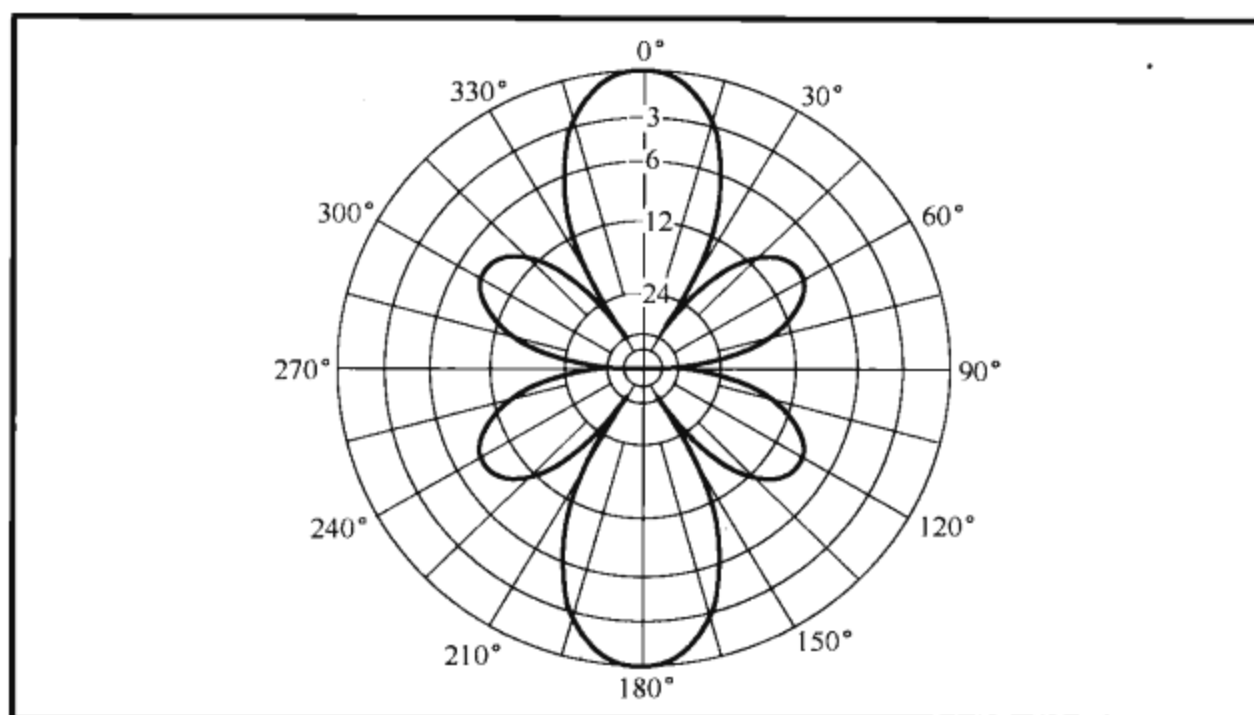
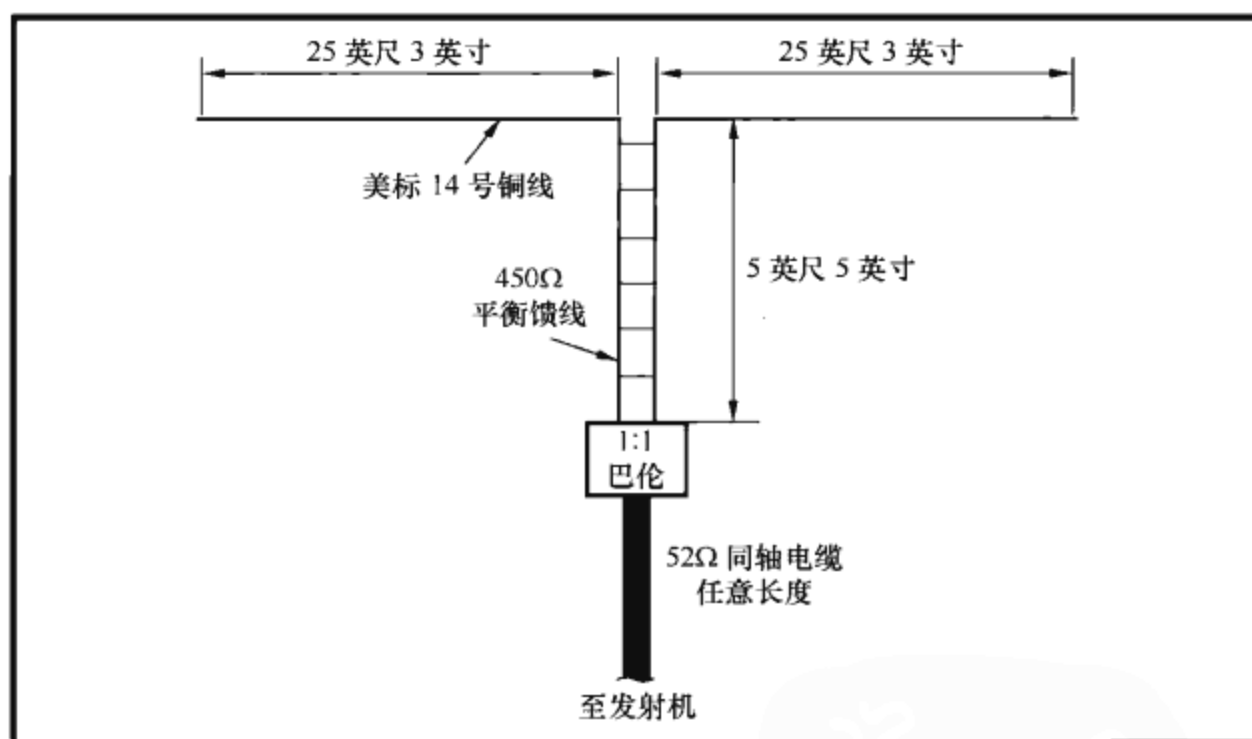


图 8-3 K7KGP 设计的 EDZ 天线，谐振点为 24.950MHz。450 Ω 匹配馈线输入阻抗 (142-j555 Ω) 到 55 Ω 。1:1 巴伦后接 52 Ω 同轴电缆。匹配部分电气长度约为 52 英尺，450 Ω 平衡馈线的缩短率为 0.95。



天线匹配部分

也许我是在发明什么，但是我从来没有看到过别的匹配形式。平衡馈线作为匹配部分电气长度 52 英尺 (0.145 波长)。EZD 天线经过匹配，噪声电桥测试输入阻抗约为 55 Ω 。匹配部分 450 Ω 平衡馈线的缩短率为 0.95。

EDZ 天线匹配部分的修剪只需根据需要调整即可完成。开始时可以

取馈线稍微长些，调整天线谐振频率时可以 1 ~ 2 英寸的缩短，直至完成调试（可以用噪声电桥检测 SWR 的情况）。请不要改变天线振子单元的长度，因为天线的增益主要是依靠两个 0.64 波长的天线振子来实现的。

改变两个 EZDs 天线的相位，让天线获得更高的增益

适当地改变天线的相位，两个 EDZ 天线可以获得比单个天线更高的增益。图 8-4 展示了双 EDZ 天线与单个 EZD 天线的对比情况，以及天线的水平方位图。图 8-5 显示了单个 EZD 天线的垂直方位图和相位双 EDZ 天线的工作图。

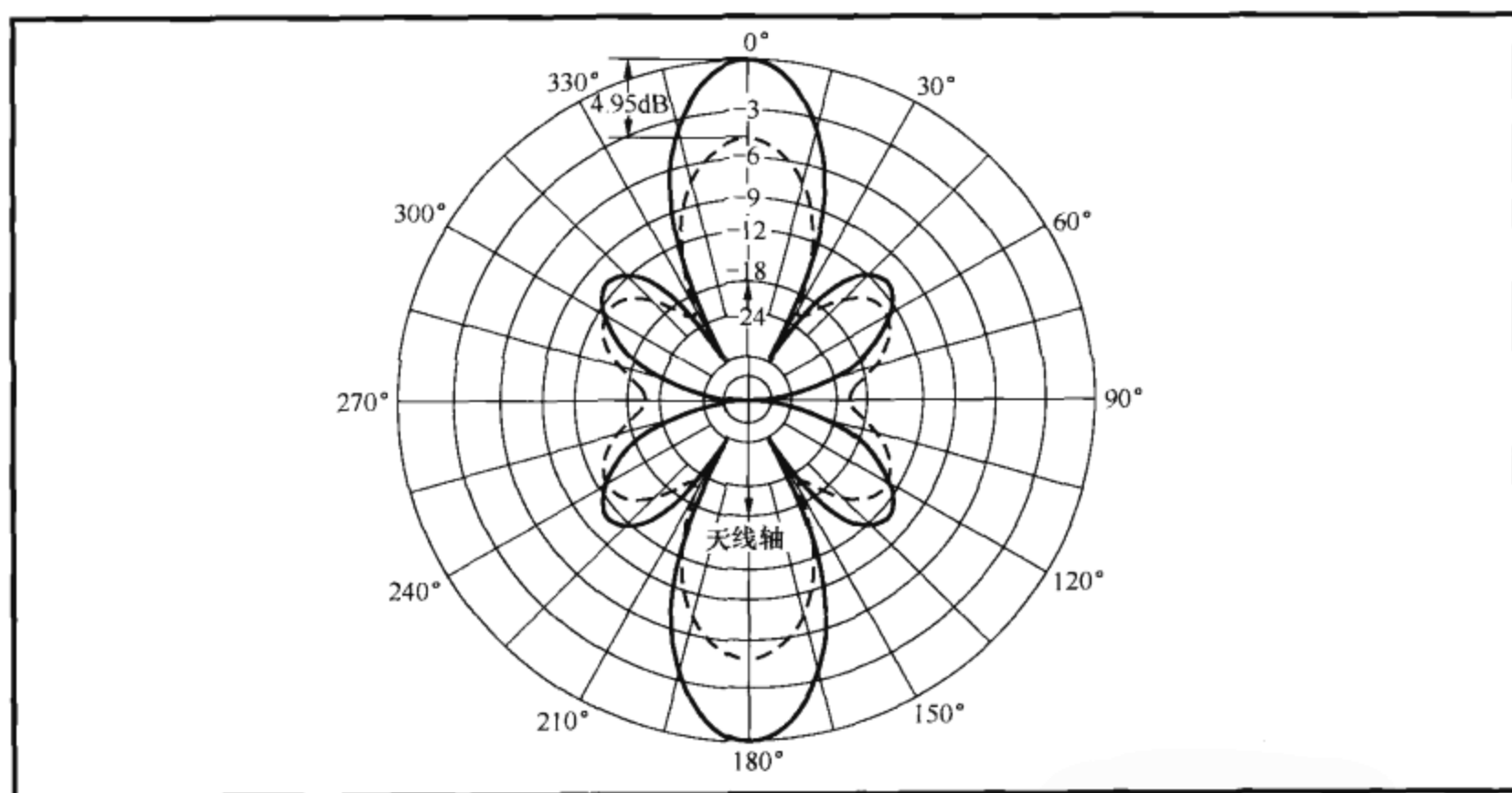
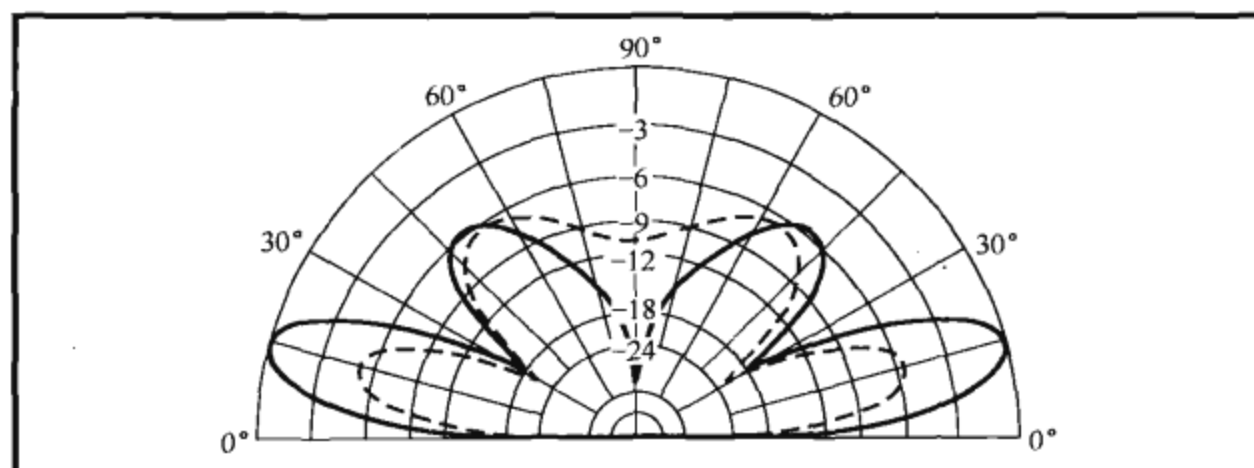


图 8-6 显示了实际尺寸的双 EDZ 天线。通过适当调整，天线在整个 24MHz 波段阻抗为 1.3:1。我做的这款定向天线，采用轻重量横梁作为两个振子的分离器；中间的横梁采用了木质结构。我用尼龙绳将天线拉升至两棵树间。此天线系统工作非常良好，但是天公不作美，传播

还比较差，但我所通联的电台效果还是令人满意的。

图 8-5 计算得到的一个延长双泽普天线垂直方向辐射方向图（虚线）和间隔 $1/8$ 波长和以 180° 异相进行馈电的双 EDZ 天线垂直方向辐射方向图（实线）的比较。天线轴沿着 0° 线。



天线匹配方法如图 8-6 所示，还是比较繁琐的。因为组合相位线长度花费了大量的时间，远比安装两个 EDZ 天线困难。我还没有进行这种匹配的尝试。因为我相信自己计算的尺寸十分接近实际情况。

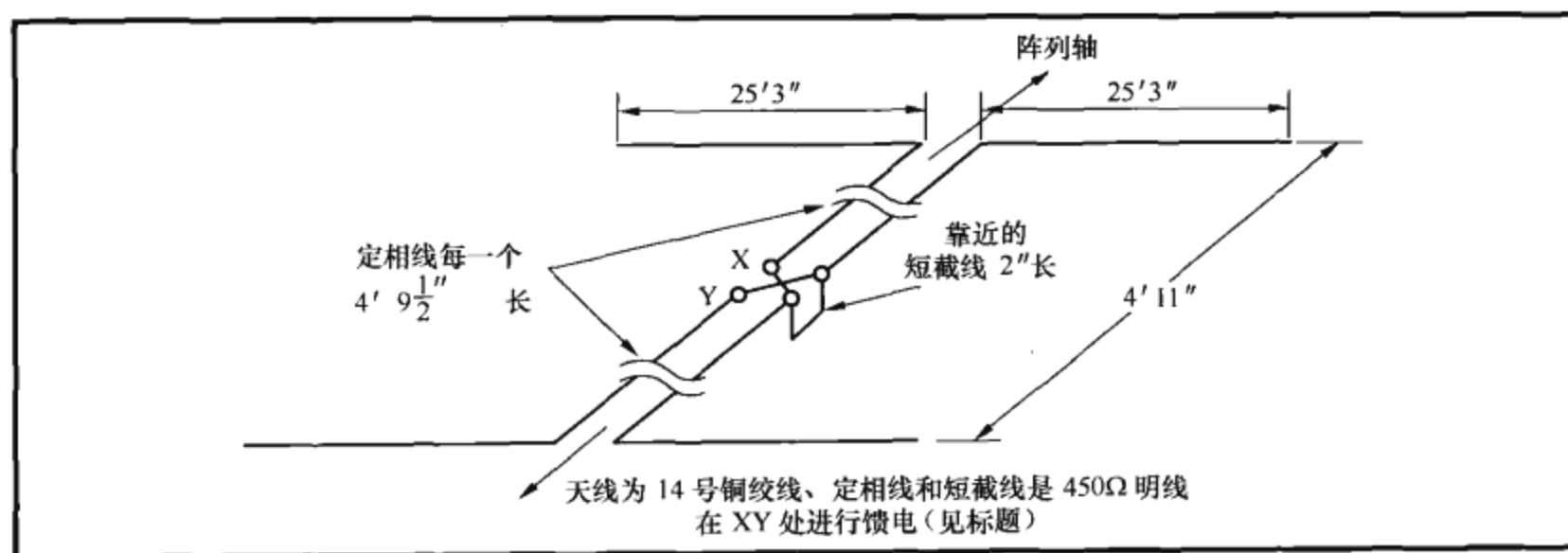


图 8-6 使定向双 EDZ 天线具有更大的增益和更好的方向性的一种方法。天线阵列具有双向性，最大的辐射发生在沿着阵列轴的方向上。从 X 点到 Y 点的阻抗为平衡 50Ω 。在 XY 使用 1:1 巴伦，天线阵列可以使用 52Ω 同轴电缆进行馈电。 1.5° 长短截线可以消除在馈电点位置处大约 13.5Ω 的电容性阻抗。天线阵列可以很好地工作，但是它的匹配系统太过粗糙，这是由于定相线的连接长度大于双 EDZ 天线之间的间隔。图 7 给出了一种需要更少空间间隔的馈电方法。

总结

如果这种 EZD 天线已经引起了你的注意，而 12m 波段你并不需要，你可以按照给出的公式计算出其他感兴趣的波段。一旦你的 EZD 天线升起来投入使用，我想你会同意我的观点，曾经流行的古老的 EZE 天线并不过时！

——John J. Reh (K7KGP)

“拓展型 Lazy H” 天线

在早期的美国业余无线电界，可旋转的指向性天线并不是人所周知，很多爱好者满足于自己的水平或者垂直天线，在这些天线的基础上，经过不断的艰苦探索，不同程度地改善了天线的效率。随着 2、3 单元和 4 单元等八木天线的发展，有增益的定向天线已经很普遍了。尤其在那些人口稠密地区、此类天线增长较快。不予置评，这其中也包括了很多人 V 型和菱形等指向性天线。撰写本文的目的是为那些对多波段操作有兴趣，又不准备架设昂贵立杆，搭架支撑几个指向性天线，且并不具备相对宽裕空间，却时时做着“天线农场”梦的无线电爱好者。

天线的叙述完全是原创，由于作者知识所限，文章并没有在当地和海外杂志上刊登过。我们有“ZL Specials”和 G8P0 天线，以及希望的天线名称，这款天线可能称之为“拓展型 Lazy H”天线。几年以前，普通的 14MHz Lazy H 由 VK2SA 建造出来。此天线由两根水平的直线单元重叠组成，上下间隔半波长。此定向天线由两根 41 英尺的立杆支撑，天线的底部距离地面只有 9 英尺。天线的有效高度是从上下单元中间到地面算起，此天线的高度为 25 英尺。很显然，天线的效率仅仅相当于 41 英尺高的齐柏天线。

这让我们注意到 1938 年 6 月号刊出的“拓展型双齐柏”天线的改良的可能性。为了补偿大地斜坡的影响，天线其中的一个立杆被升高到 45 英尺，天线工作在 14MHz，呈东北—西南走向。为了改进天线的效率，同全波段天线进行了比较，14MHz 与 W 字头电台联络，其效果是显而易见的。同样地在 7MHz 也同 W 字头电台进行了非常好的 SSB 话通联。由于 21MHz 天线的主波段指向性，结果 DX 通联效果非常优异。测试结果显示，此型天线在多个业余波段都有非常好的效率特性。拓展型双齐柏天线在很多教科书上都给出了 3dB 的增益。

Lazy H 理论增益一般地认为接近 6dB，且只有假设天线高度在 70

英尺时才能到达此效果，目的是天线下部单元振子距离地面高度至少达到半个波长。用现有的天线立杆，这个高度显然是不可能的，所以又设想了在下面增加两个半波长拓展型齐柏天线的可能性。增加的单元馈线连接如图 9-1 所示，21 英尺下引馈线上，同相位馈电。

天线的模拟测试效果非常令人欣喜，因为用一副天线可以轻易地实现三个波段的操作。尽管 21MHz 的方向特征尚不能完全被人所知，但临场信号报告显示主辐射波瓣覆盖很好。在 7、14 和 21MHz 天线使用了天调装置，平衡馈线间隔 4 英寸，两端连接天调和天线。

在 14MHz，天线无论长短距离，都胜过了先前与 W 字头通联的所有天线。底部的两个单元的 EZD 天线是 1954 年 12 月 19 日安装的，自那天开始我们用 SSB，通联了无数的 W 字头的电台。几乎所有的信号报告都在 S8 到 S9 以上，东非国家的信号也没有低于 S6，而馈线输入功率只有 75W。

据分析统计，与可旋转指向性天线相比，信号报告几乎都是相同的，天线表现非常好，增益超过 6dB。我们还进一步做了对比试验。将天线底部的两个单元去掉，此时变成了纯粹 EDZ 天线，信号报告也因此下降了 2 ~ 3S。

图 9-1 所示为 VK2SA 特殊的 7、14 和 21MHz 指向性天线。天调采用串联或并联型，主要依据馈线的长度和使用的波段。VK2SA 天线上部线段距离地面 40 英尺。

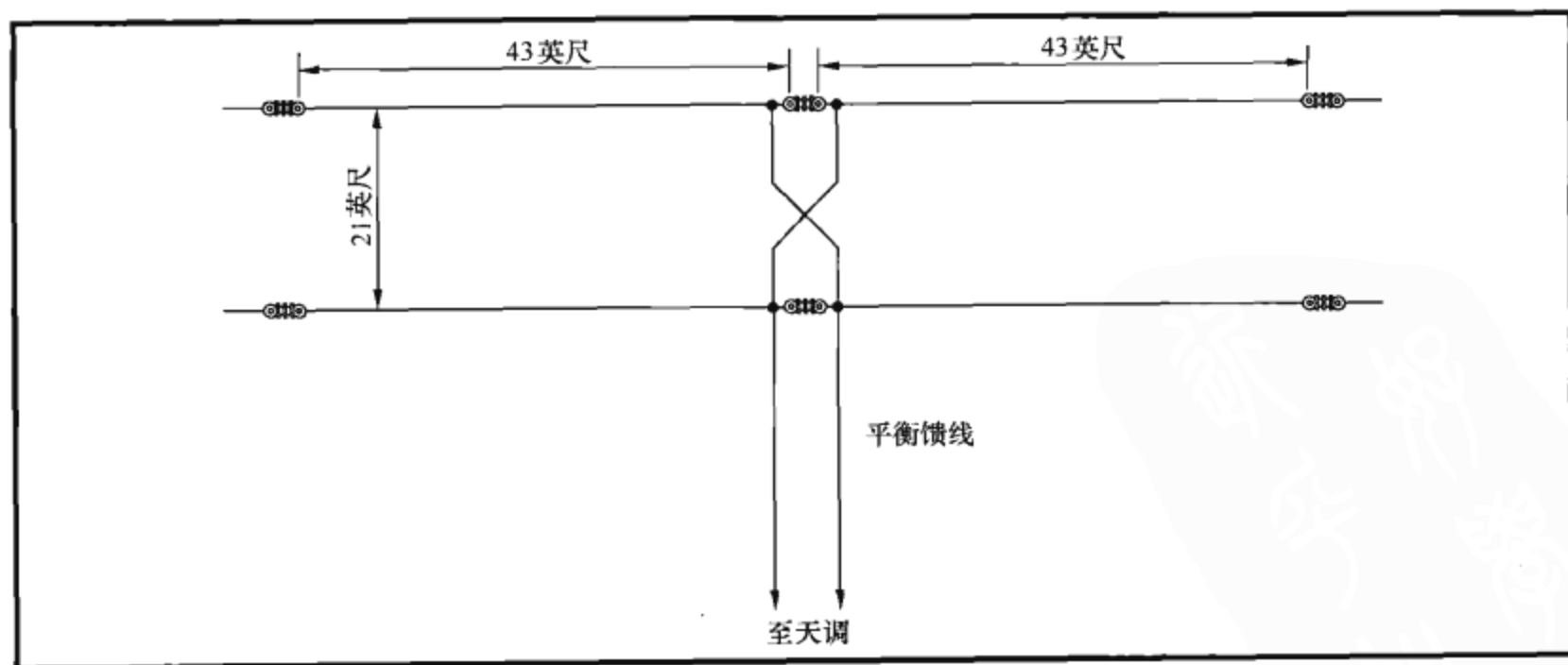


图 9-1 增加的馈线连接

——Walter E. Salmon (VK2SA)

160m A 字形两单元定向天线

超越渴望和想象，引领我们成为“高频段”高产的 DX 家，OK1ATP 给人印象深刻的是经过他的艰苦工作和奉献，终于登上了 160m 约 60 个 DXCC 国家的殿堂。双倍的丰硕成果无一不是来自 OK1ATP 的天线系统——顶部悬挂定向天线，所有的细节均在这篇文章之中。

OK1ATP 尝试了许多 160m 波段 DX 天线，但最终结果还是在此介绍的两单元多变驱动型倒 V 形天线。天线用图 10-1 所示的电视带状馈线，发射机到馈线间用简单的调谐网络进行匹配。此天线最大辐射朝向西方，另外一个独立的天线——单个倒 V 形天线用于东部方向的覆盖。来自英国信号报告显示，定向天线比单一的倒 V 形天线要好 2S。来自美国的信号报告显示，定向天线同样比倒 V 形天线好 1S。倒 V 形天线与东方通联时比定向天线的背面好 2S。这也表明这种定向线天线具有较好的前后比。

尼龙绳索用于支撑定向天线系统。绳索固定在两个支撑杆上，驱动单元和反射单元从绳子上垂下来。绳索在适当的地方打了结，用于支撑天线振子单元，并保持 T 型部分两个振子间有一定的设计距离。见图 10-1。平衡馈线用于连接驱动单元和反射器，如图 10-1 所示。家庭制作的塑料（平衡馈线用）绝缘子，用于分离 T 型部分的导线和相位线，要注意相位线的翻转。欧洲国家把此绳索和绝缘子命名为“Silon”聚酰胺纤维。

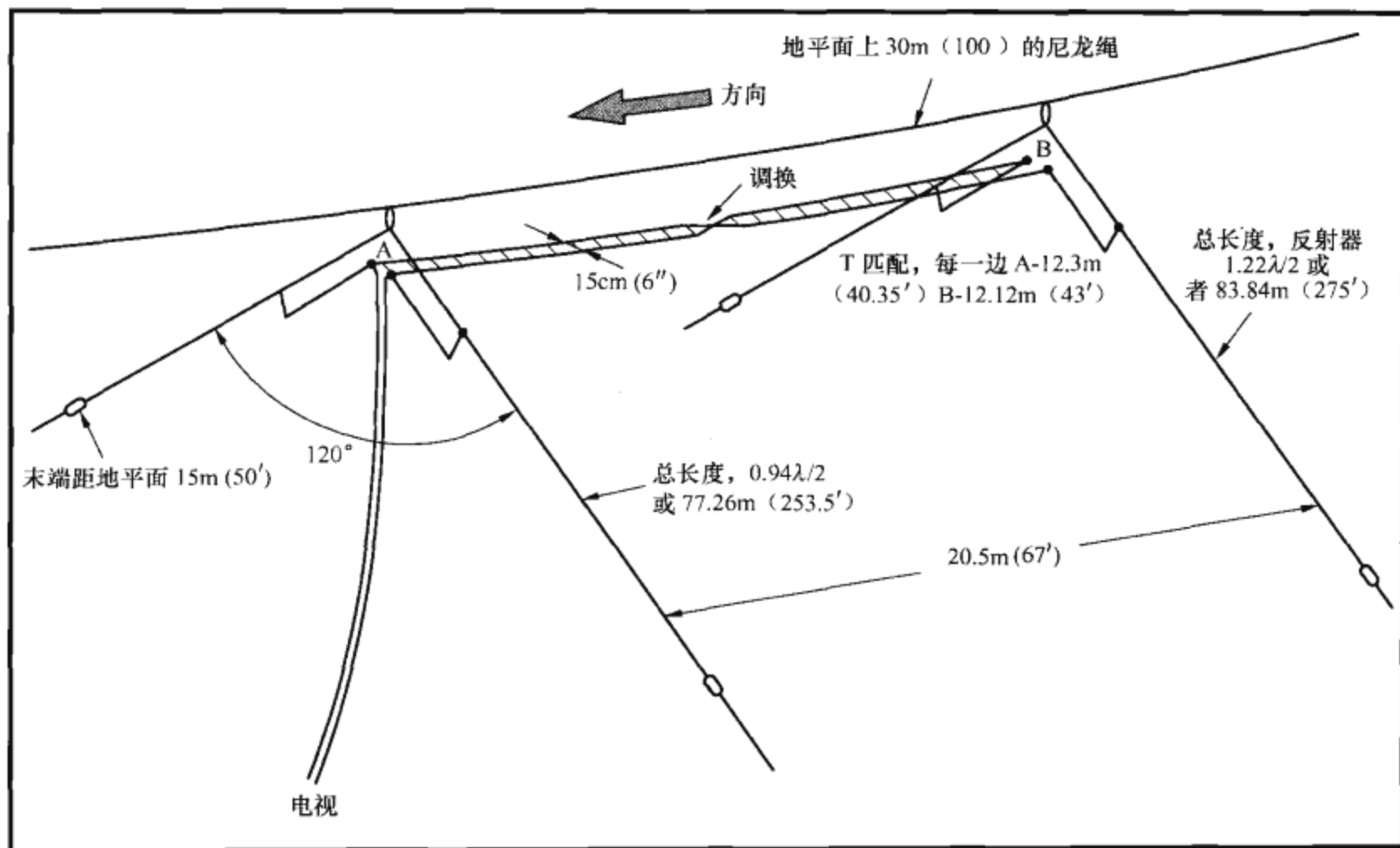
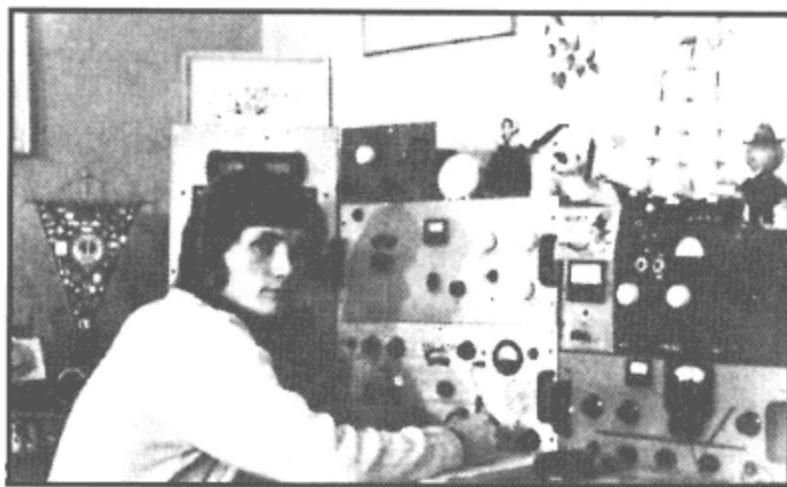


图 10-1 OK1ATP160m 波段两单元定向天线主要技术细节。天线单元由高强度尼龙绳悬挂, 绳索上打有绳结, 用于固定两振子间的距离。如图所示, 两个驱动单元由反相的平衡馈线相连接。天线主馈线由电视机用带状馈线担任。天线尺寸为 1825kHz。

定向天线试验结果

自 1968 年开始, 我就一直试图赢得 160m 波段 DXCC 奖状, 到目前为止我的工作日志中已经有 60 个 DXCC 国家了。所有的电台设备都是自制的, 如图 10-2 所示, 那是我 1972 年拍摄的。自从树立起定向天线系统以来, 我已经取得了非常好的通联效果。但是我花费大量的时间守听和操作, 以便波段开通传播良好时, 自己能准时出现。因为此波段是最具有挑战力的一个, 我的兴致一直很高涨。平均每个月我有 20 个晚上在工作——时间是 20:00 到 01:00GMT, 这时正好是太阳升起的时候。我所有的呼叫都是在 1825 ~ 1827kHz 的 DX 窗口。

图 10-2 OK1ATP 全部自制电台设备。Jarda 以其响亮的信号为众人所知



我已经通联了 207 个美国电台，其他的则是 W7、KL7 和 KH6。我还通联过 VO1、VE3 和 VE7 等电台。同 W1HGT，我们沟通过 60 多次，同 W1BB 的通联达到了 54 次之多。当然我还听到了许多我没工作过的国家。

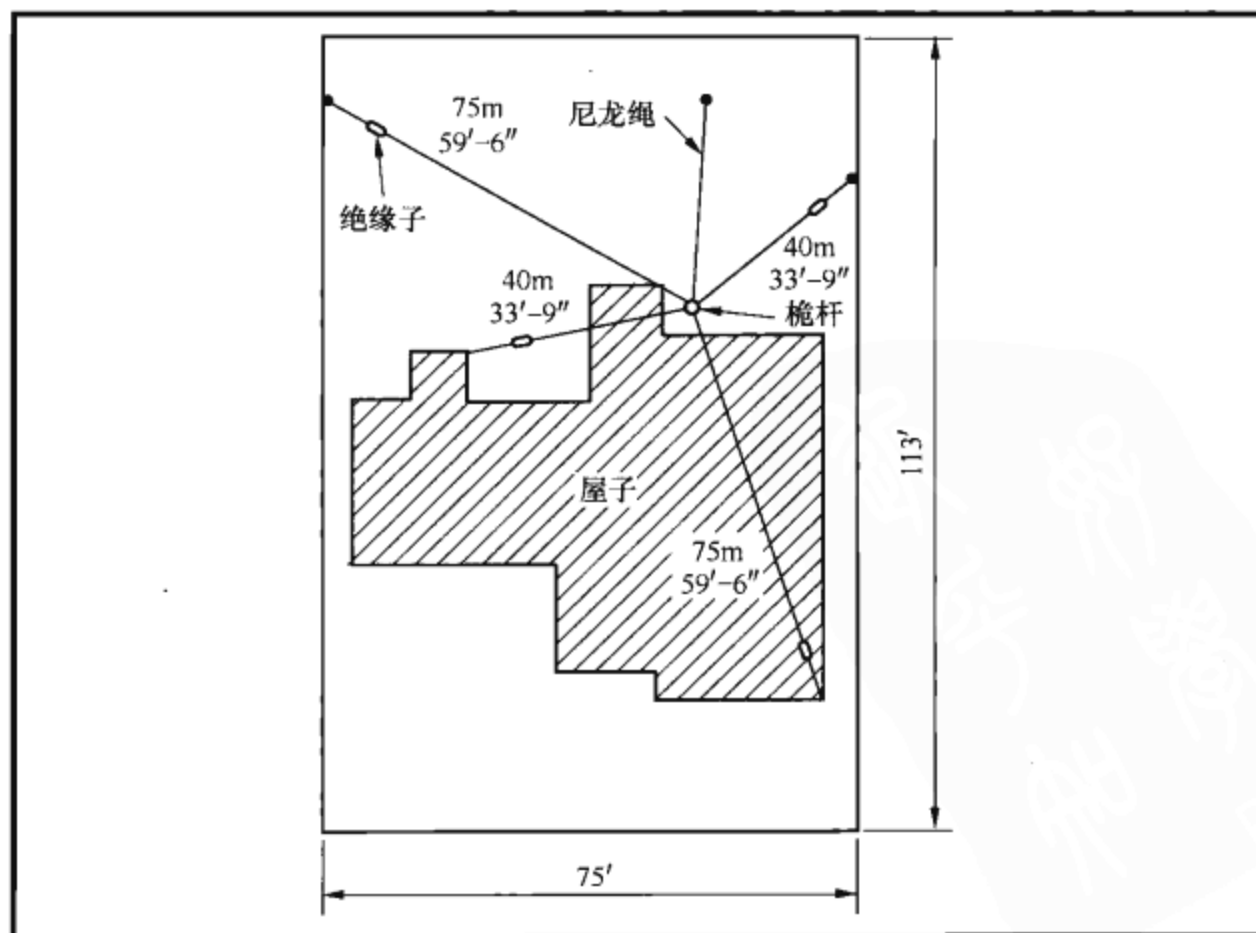
从最后的结果看，简直有点不可思议。除了 1974 年飓风来临时支撑的尼龙绳断掉外，我的两单元定向天线一直工作得非常完美！后来天线又被修复了，工作仍旧令人满意。最后，我希望我的这些信息能为世界上所有喜欢 160m 波段工作的爱好者所看到。

——Jarda Dvoracek (OK1ATP)

波长 75m、40mE-Z-UP 天线

在一块 75 英尺 × 113 英尺的地皮上，W5LST 基站使用的工作波长为 75m、40m 的全尺寸偶极子天线比普通的更易得到的天线占用更大的空间。随着“下垂的”或者说倒 V 字形的偶极子天线在业余无线电爱好者群中日益普及，使得我们有兴趣来研究一下这种现象，因为我们周围的空间现在看起来还是有点拥挤的。基于 Glanzer 所发表的电子设计原理，这套系统在 W5LST 基站的表现非常值得称赞。仅仅需要一端的支撑，它就可以令人惊讶地很容易地竖立起来，并且在移动电话频段内有着令人满意的驻波比，重要的是，全套装备绝对不会超过 30 美元。图 11-1 中是整个安装计划的草图。

图 11-1 W5LST 小场地上建造有效 40m 波长和 80m 波长天线规划图。两副“下垂的”偶极子天线使用单根同轴电缆线并列馈电。尼龙绳的延展性可以用来达到合适的设锚地点。

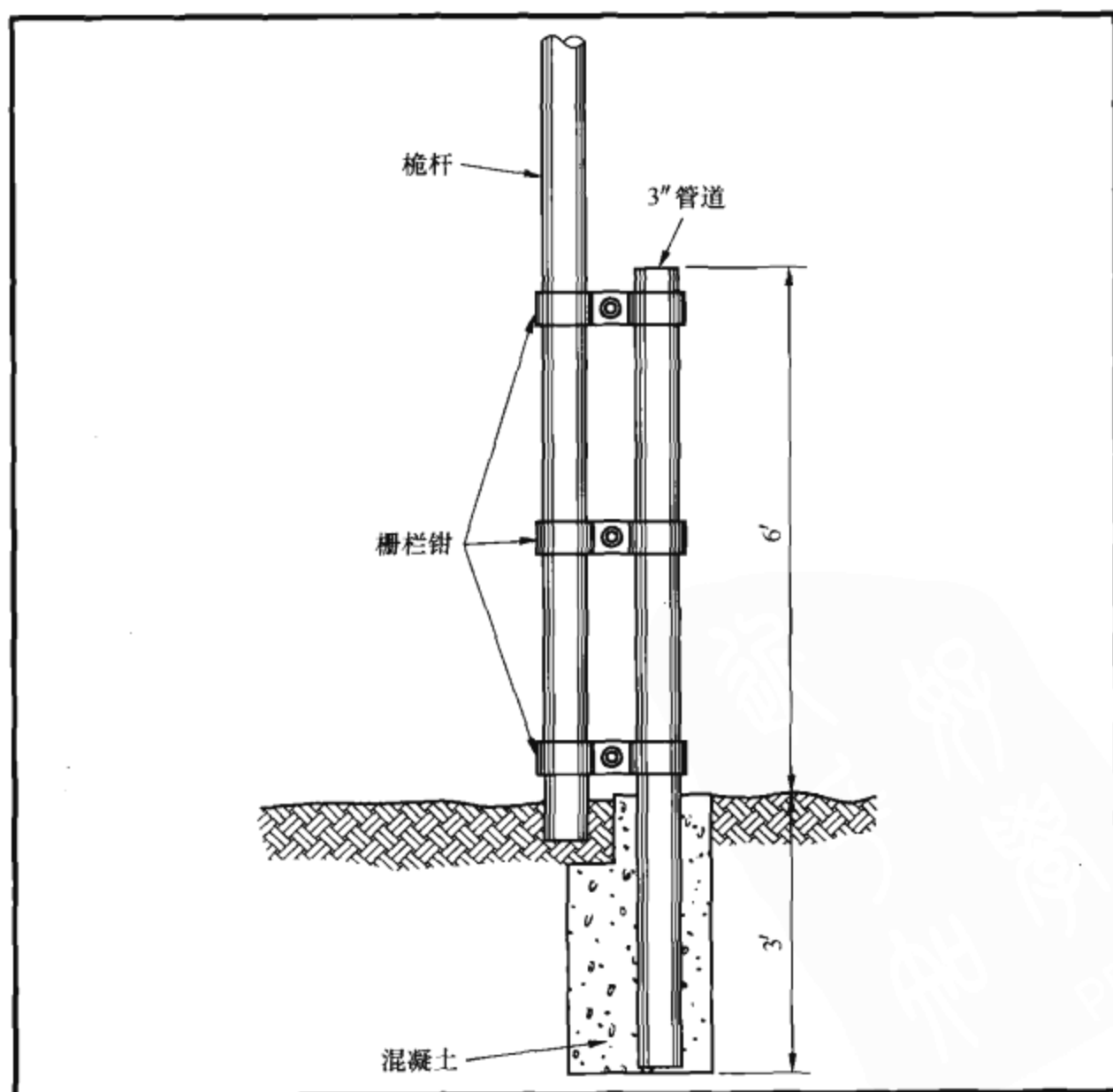


天线杆

天线杆是可伸缩的，工作频段是可调的，高度可以达到 50 英尺，但是通常只延长 35 英尺。天线杆顶端部件的延长之所以小于所能延长的最大尺寸，是因为必须保持天线杆有足够的硬度，并且已经可以显著地满足消除设备生产商建议的硬度需要了。尽管天线杆上已经标注了可以经受住每小时 50 英里的狂风而不振动，但在实际应用中，仍然要对天线杆在大风中的表现进行测试。

如图 11-2 所示，天线杆是一根 9 英尺长直径 3 英寸的金属管，用混凝土将它浇筑好，使天线杆有 6 英尺露出地面。使用 3 对夹钳，可以是连接链条栅栏时所用的夹钳，将天线杆固定在垂直的基准台上。在竖立天线杆的过程中，这些夹钳都要松开放置在基准台上，这样天线杆只需要升高大约 6 英尺就可以安放到有效的位置处。天线杆安装好后，就可以将夹钳升起，然后拧紧。

图 11-2 天线杆的安装。在浇筑混凝土时 9 英尺的管子要用绳子固定好。

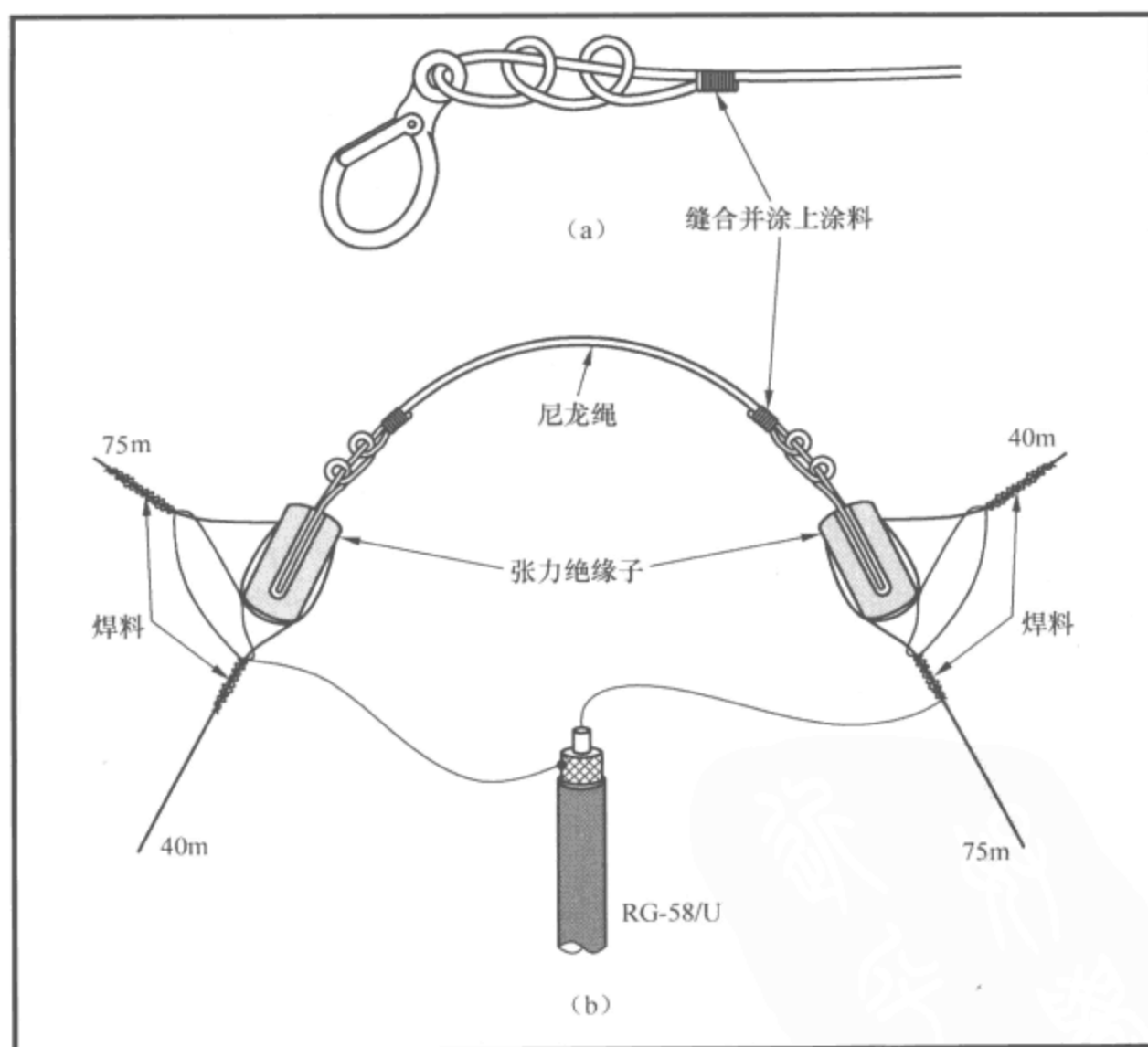


索具

除了天线导线外，所有的索具都必须是经过 500 磅张力测试的尼龙绳。升降索需要穿过尺寸大小合适的滑轮，滑轮必须安全牢固地固定在天线杆的顶端。升降索的两端必须牢固地固定在保险带的揷钮上，这些揷钮依次支撑着天线。采用升降索的措施已经被证明在评估天线连接处损伤情况和调整电缆张力而不需要降低天线杆高度时是很方便的。

尼龙绳的末端很容易杂乱无章，但这个问题很容易解决。通常情况下，使用两个半结来使尼龙绳拴紧，紧接着用细线将尼龙绳的末端缝在尼龙绳上，如图 11-3 所示，然后再使用航模快干粘合剂涂在缝合处。

图 11-3 升降索和馈电线的布置。同轴电缆线在完成连接之后被聚乙烯胶带安全牢固地密封。在图 (b) 中的两个绝缘体之间升降索的起重端的安全带揷钮和绳索相互耦合。



经过最初的安装，过了几个星期后，可以很明显地发现天线杆在对抗偶然出现的来自北方的强风时有着更高的稳定性，这一点正是我们所需要的，也是值得的。因此尼龙绳从天线杆顶端的保险带揷钮穿到后院

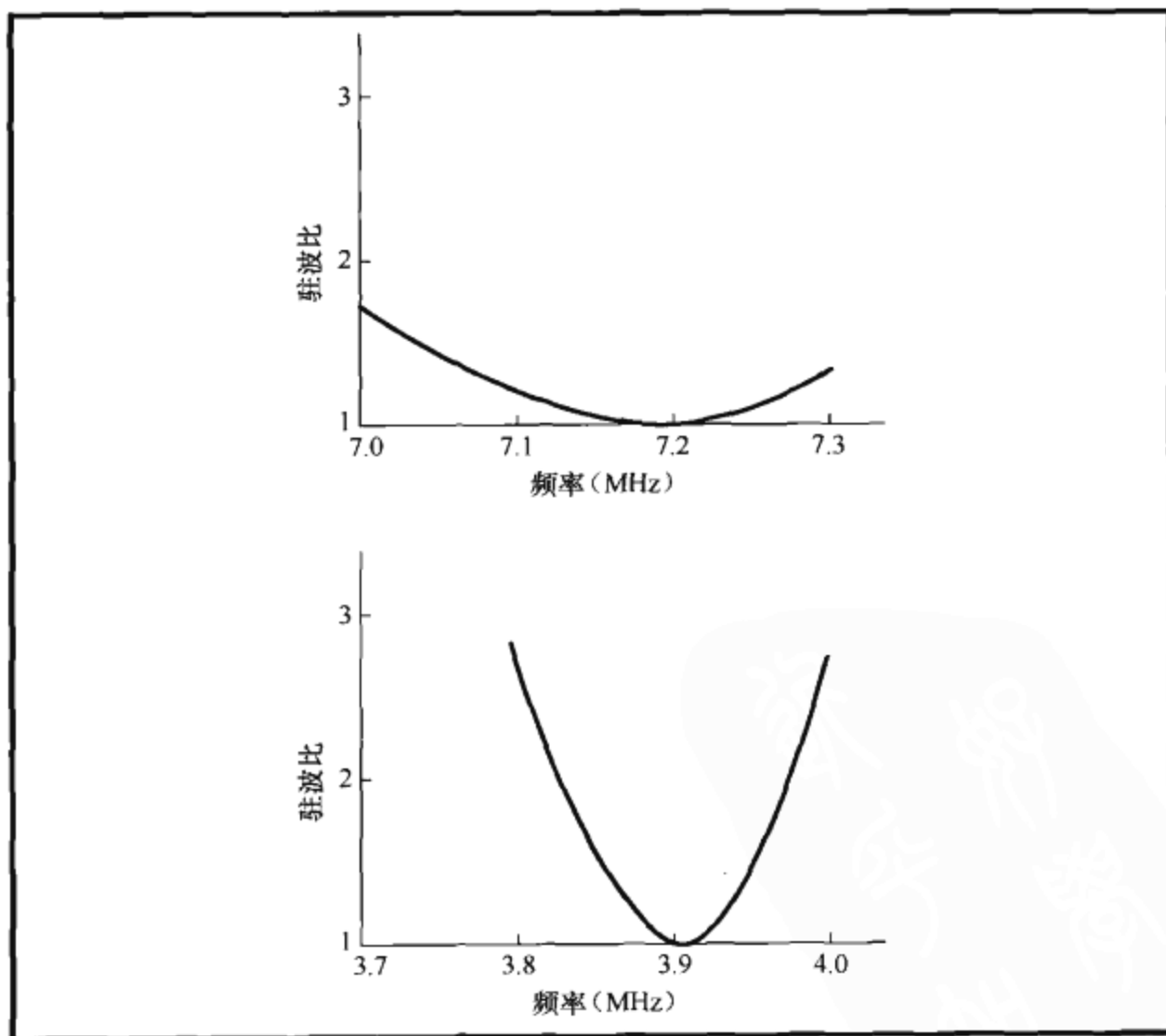
合适位置处的锚上，也许这个地方恰巧就是孩子玩的秋千的基座。从经验上来看，天线的金属线再加上附加的尼龙绳，可以稳定地抵御由于空气动力学所激发的振动，从而在天线上不会感觉到过分的张力。

天线

如图 11-3 所示，两架天线并列地连接在天线杆的顶部。较低的一段连接在一个便利的结点上，这样已知的天线的两条臂或多或少地在一条直线上。不管是水平还是垂直移动天线的末端，影响都很小。它们之间显然存在可以忽略不计的相互作用，就像驻波比桥所揭示的那样。

在我们讨论的例子中，天线臂理想的长度应该是：40m 波长的为 33 英尺 9 英寸，75m 波长的为 59 英尺 6 英寸。图 11-4 给出了 Heath 驻波比桥测量得到的 40m 波长和 75m 波长天线的性能。

图 11-4 “Monimatch” 型的驻波比指示器所显示的驻波比曲线。



——John C. Allred (W5LST)

双芯电缆天线——可以工作么？

双芯电缆在五金工具商店和百货商店的货架上等待着人们的挑选，价格也不昂贵。Zip cord 这个昵称意指并行的金属导线被棕色或者白色的绝缘体所包裹，通常作为灯泡照明或者其他的一些小用途。在美国的大部分地区它每卷大概是 100 英尺，价格是每英尺 6 美分。它里面使用的导体材料通常是 18 号裸铜绞线，当然尺寸稍大的也有。双芯电缆在重量上比较轻，并且操作简单。

由于三个原因，双芯电缆被频繁地用作传输线和紧急作为偶极子天线系统的辐射源部件。辐射源部件可以通过剥开或者抽出的方法将两根导体分开，截取所需要的长度，以便产生工作频率波段的谐振。初始偶极子天线的长度可以由公式 $L=468/f$ 得到，其中 L 是以英尺为单位的天线长度， f 是以兆赫兹为单位的频率（从公式中可以发现仅仅剥去所需长度的一半，因为双芯导线中的两根都可以分别作为偶极子天线的辐射源的一半）。剩下下来的绝缘外层可以起到填充的作用。如果需要在所希望的频率点进行精确地谐振，还需要对偶极子天线的长度进行一点精确的修正。

为了安装，许多业余无线电爱好者喜欢在偶极子天线的馈电点处使用如图 12-1 中所示的电工结，以此来阻止在偶极子天线悬空张力下，天线系统的传输线部件散开。这样，双芯电缆无论是作为辐射源还是馈电线具有足够的长度，就可以在传输线输入端安装的过程中避免使用焊接工序。在末端可以使用棉线打个 Granny 结（或者任何其他种类的结）来悬吊整个天线系统。最后你再安装上一架价格便宜重量又轻的天线系统，就可以便携使用或者在紧急情况下使用了。

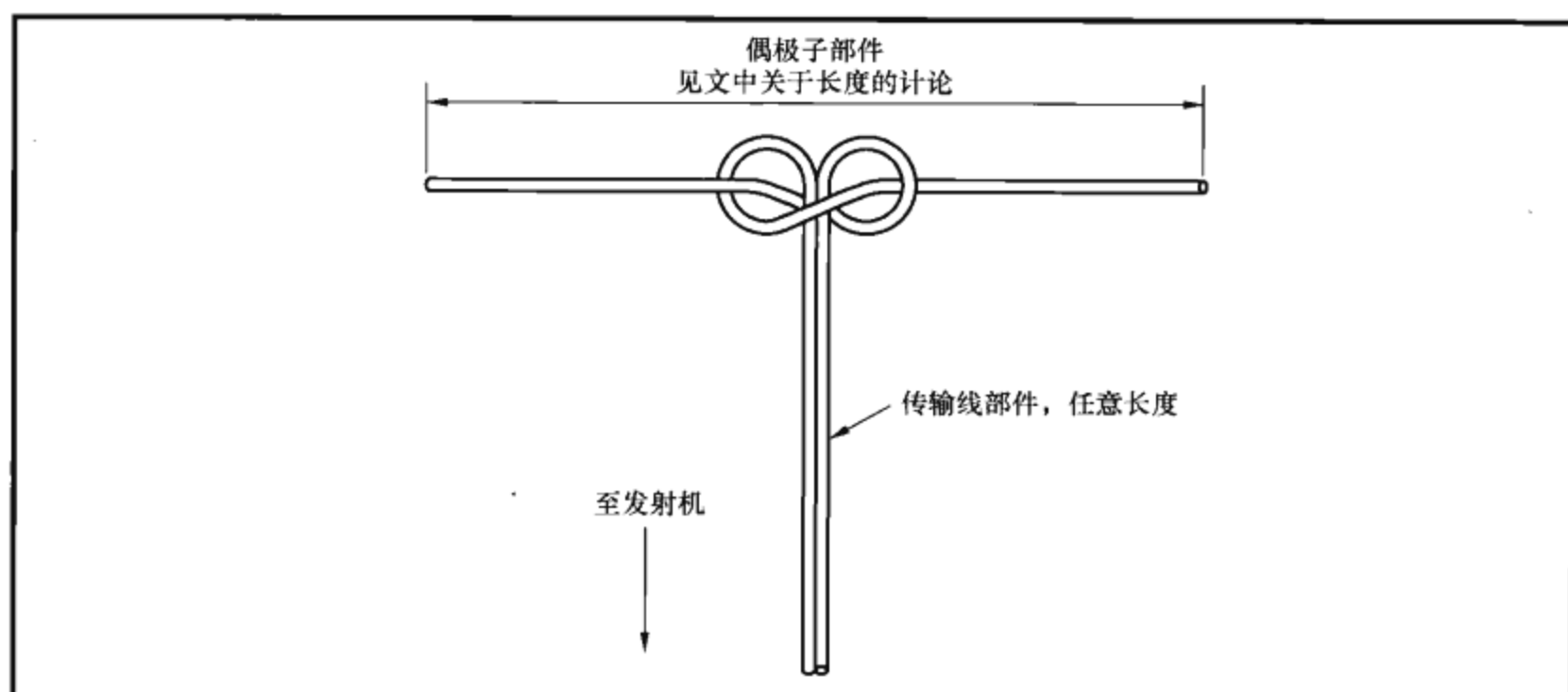


图 12-1 电工结通常用于电灯底座或者应用于代替塑胶夹钳，这里它也可以在双芯电缆天线系统中用来防止传输线部分在偶极子天线悬挂张力下松散开。系这个结，首先用右边的导线固定出一个圈，将金属线从未分离的双芯电缆背后穿过，达到左边。然后将左边导线从已经出现的导线的后边绕一下，再从上面穿过未分离的双芯电缆，然后穿过之前利用右边导线固定好的圈，这样一个电工结就打好了。然后拉一拉偶极子天线的两端，将电工结调整得位置大小均匀。

但是双芯电缆天线的效率究竟如何呢？由于这种材料非常容易找到，并且安装也很方便，如果利用它作为一个使用周期更长的天线装置又如何呢？在非严格的检测条件下，双芯电缆看起来非常像是高质量的阻值为 72Ω 的平衡馈电线。但是它的工作性能是否也一样呢？如果你问许多的业余无线电爱好者这个问题，你可能会得到各种各样有好有坏的答案，有人会说“是的，它是一个非常好的天线系统”，也有人会说“不要浪费你的时间跟金钱了，它不值得”。虚构的说法和道听途说看上去很多，但是确有极少数人可以拿出真实的数据来证实他们的说法。这篇文章的意图就是为了改变这一状况，而寻找真实的数据。

双芯电缆用作传输线

为了测定双芯电缆用作射频传输线时的电特性，我们买了一卷 100 英尺长的双芯电缆，并且将它连同射频阻抗电桥提交到 ARRL 的专门实验室进行测试。双芯电缆严格来说应该称为并行电源线。我们所购买的双芯电缆是由 GC 电子公司（洛克福德，伊力诺依州）

制造的，18号规格，棕色，塑胶绝缘类型 SPT-1，GC cat. no.14-118-2G42。毫无疑问，对于不同生产商所生产的类似的电缆，在电特性上将会出现一些细微的差别，但是这里测量得到的结果应该具有一定的代表性。

首先第一步，我们检查线缆的长度，GC 公司非常大方地给我们标定 100 英尺长的电缆线多加了 4 英尺，多余的部分被立刻剪切掉。

我们想要避免在卷轴上卷线时引进的误差（线圈之间会产生电感），或者是把它放置在乙烯基陶瓷粘合板平面上产生的误差（电缆和大平面之间会产生电容），所以第二步就是要把电缆线悬挂在长走廊里，并且距离天花板顶大约 1 英尺。这里使用棉绳作为支撑材料。

通过使用通用无线电 1606A 射频电阻测量电桥，我们对输入端进行了在 10MHz、15MHz 和 29MHz 频率下的测量，同时在电缆的远端首先组成闭合回路，然后再处于开路状态。在整个测量过程中，我们确实注意到有人在走廊里走动时我们的读数会有些许改变，尤其是在工作频率为 29MHz 的测试中。我们最终得到了一组我们认为令我们满意的达到了我们预先目标的读数。在这里，通过计算器进行少量的计算，史密斯圆图告诉了那些我们想要知道的事情——双芯电缆在射频频段内的电特性。

结论是什么呢？好吧，正如俗语所说的，既有好消息也有坏消息。

首先，好消息

如果你曾经需要一根 105Ω 的平衡传输线，那么这根电缆正是你要找的。根据我们的测量，双芯电缆在 10MHz 时，特征阻抗为 107Ω ；在 15MHz 时，回落到 105Ω ；然后在 29MHz 时，特征阻抗值会再有些许降低。因此双芯电缆在射频频段的标称特征阻抗应该为 105Ω 。而速度因子根据我们的测量为 69.5%。

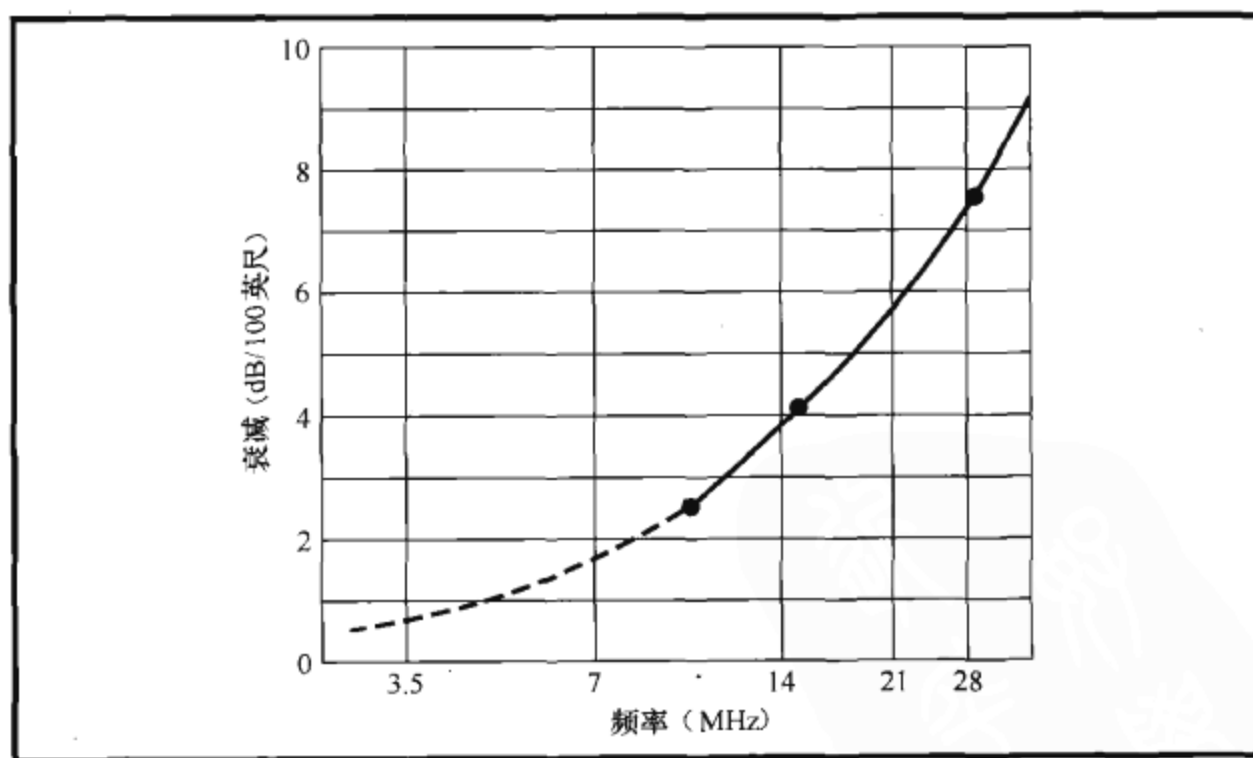
随着频率的改变，特征阻抗的变化很小，但是事实上绝对大多数电缆在一个频带范围内都不能保证具有恒定的特征阻抗。尽管如此，笔者仍然不事先推荐任何那些在频率范围从 3 ~ 50MHz 范围内特征阻抗曲线不够“平坦”的线材。基于这个判断标准，双芯电缆可能是个例外，尤其考虑到它表面覆盖的绝缘材料并不是为射频频段专门设计的。

现在是坏消息

谁需要一根 105Ω 的传输线？尤其是这根传输线还是用来给偶极子天线进行馈电的。大部分人都知道偶极子天线在自由空间中馈电点阻抗为 73Ω ，同时当偶极子天线距离地面的高度小于 $1/4$ 波长时，阻抗更小。举个例子，一架波长 80m 的偶极子天线在 35 英尺的高空中，表现出的馈电点阻抗大约为 40Ω ，因此对于谐振天线，在双芯电缆传输线中的驻波比大约为 $105/40$ ，也就是 $2.6:1$ ，在某些安装条件下，这个值或许会更高。根据使用的发射机类型，这些设备也许并不喜欢进入由双芯电缆天线系统所表现出来的负载。

但是真正的坏消息可能还是来自于传输线损耗。如图 12-2 所示，这幅图表示了以分贝每百英尺为单位的传输线损耗值随频率的变化。图中的值是基于完全匹配（将 105Ω 视为传输线的终端阻抗）情况的假设而得到的。若传输线的长度不等于 100 英尺，可以将图中的值乘上传输线的实际长度比上 100 。

图 12-2 当双芯电缆在射频频段用作传输线时，每百英尺的损耗的分贝数。图中所画出来的损耗仅仅基于 3 个频率点的测量结果，但是这个曲线也可以推广至更高的业余无线电爱好者使用的射频频段。



在馈电线中，当损耗增加到大约 1dB 时，还是可以接受的，这是因为在接收机端信号强度和发射端相差 1dB 时，几乎是感觉不到的。但是当传输线的损耗大于 1dB 时，就要小心了。记住，当你的传输线总损耗达到 3dB 时，就意味着你的信号所携带的能量有一半被用来加

热传输线了。¹

基于以上这些信息，我们可以看到大约 100 英尺长的双芯电缆用于波长 80m 偶极子天线系统还是可以接受的，当然 50 英尺长的双芯电缆用于波长 40m 偶极子天线系统也是可以接受的。但是当使用的双芯电缆的长度超过 100 英尺或者频率更高时，要小心。因为此时传输线的损耗已经对信号产生影响了。

双芯电缆作为辐射源如何？

多年以来，业余无线电爱好者都在使用普通的家用铜芯线作为天线的辐射源部件，为了避免麻烦，在没有剥去铜芯线外部绝缘体的情况下直接将其竖立起来。不同于前面提到的绝缘体的负载效应，在辐射源端所使用线材的绝缘材料部分并不会显著改变辐射源的性能。并且辐射源端的绝缘材料还可以帮助辐射源抵御天气所带来的麻烦，而这一点是不能通过简单的测量表现出来的。相同的结论也可以用于单导线电缆的情况。

但是对于平行双导线辐射源覆盖绝缘体的情况，就不完全是一回事了。因为此时在两条导线之间存在漏电介质路径。在平行传输线中，实际上就是漏电流，这会产生传输线损耗。而对于单辐射导线，电流通过覆盖在导线外面的绝缘体流动的部分很小，所以它作为天线辐射源时的效率很高。

现在回到最开始的问题：双芯电缆天线系统的性能如何？好吧，这个取决于你所使用的作为天线的馈电线的双芯电缆的长度，还取决于天线的工作频率。必要时，波长 160m、80m、40m 甚至是 20m 的天线通信系统也可以基于双芯电缆而建造。但是对于工作频率更高的天线系统，尤其是还需要较长的馈电线时，就只有自求多福了。

——Jerry Hall (K1T1)

RFD-1 和 RFD-2: 谐振馈电线偶极子天线

在 80m 波段天线正常使用的几十年里,我曾给许多希望自己的天线系统具有更高的效率,简单易造,甚至是可以不同的地方能够轻易展开的业余无线电爱好者推荐过这款天线。这里我所介绍的谐振馈电线偶极子天线可以完美地匹配无线电收发机,而不需要使用其他的天线调谐器。它们可以很简单地被缠绕在塑胶卷线轴上运输。这种基础的天线设计方式也可以推广到其他波段,而这些推广并不需要你在这许多的馈电线之中做出艰难的抉择。

如下的一些实际情况是许多无线电发烧友们在发展 80m 波段天线时曾经遇到的:

情形一:你居住在郊外的一小块地方,周围还有树木,这里基本上不太可能展开一架 120 英尺长的馈电线偶极子天线。

情形二:你的小后院位于陡峭的斜坡边缘。辐射源导线可以迂回于树丛之间,但是运行分离式的馈电线天线却是不可能的。

情形三:你居住在一栋很高的楼上,这里可以隐蔽地向下或者向上伸展开导线,但是想要安装馈电线装置却是不可能的。

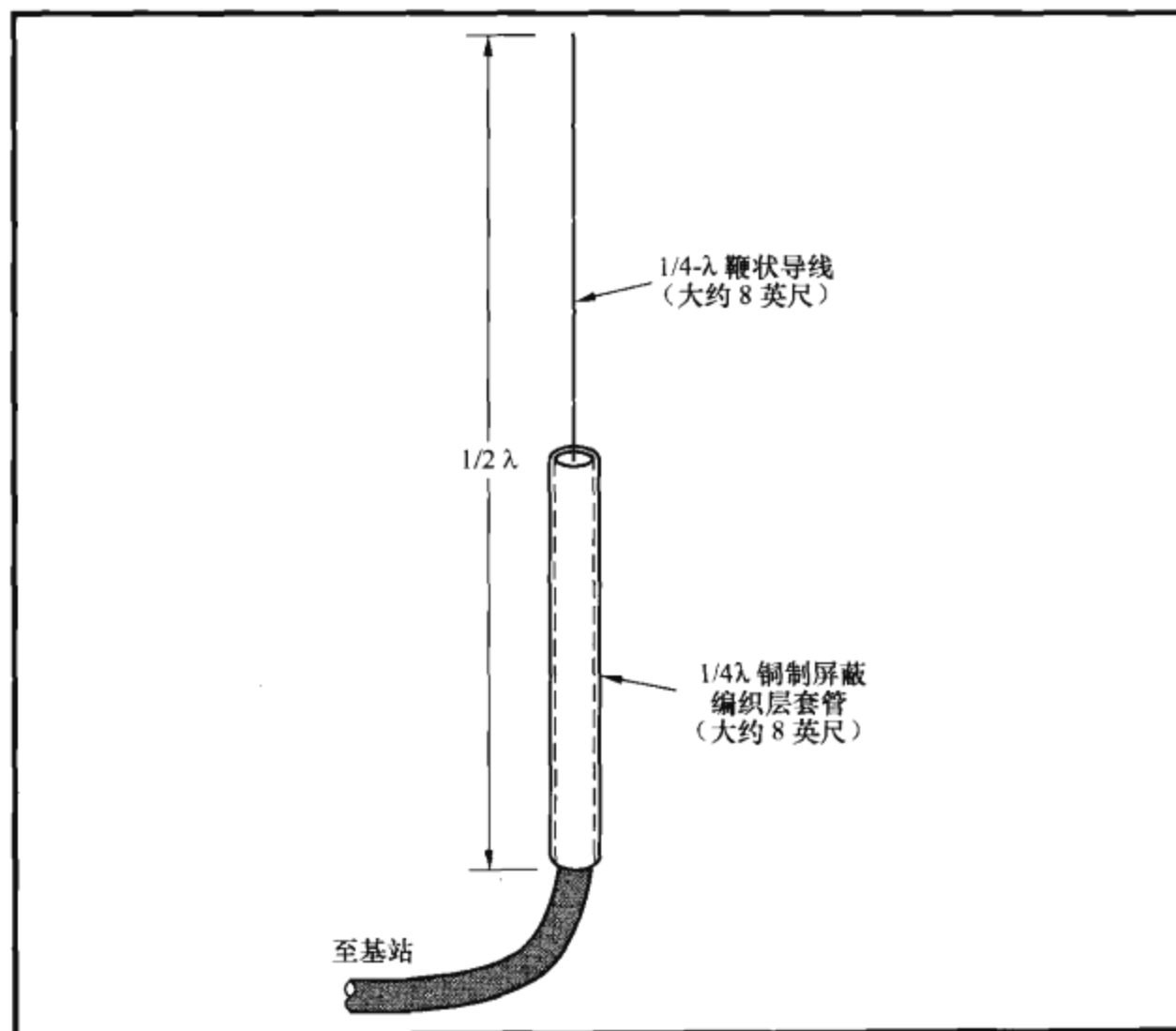
情形四:你现在打算去某座山上休假,并且你也知道你的小别墅坐落于几百英尺高的松树林中,你可以随身携带弓、箭还有绳索,但是然后怎么办呢?

作为对这些实际情形的回应,我开始搜寻在如下的基本条件下实用的解决方法:(1)不需要分离式天线调谐器;(2)展开天线不会比拉长一卷同轴电缆更难;(3)天线可以很容易地储藏和从绕线轴上松开,而不是所有的电缆和电线都一团糟地混在一起。

许多年前,我曾经使用过 10m 波段的垂直直线型同轴空心天线,如图 13-1 所示。可以利用一段 $1/4$ 波长长度的短截线和同样长度的编织物覆盖层管组成一个简易的垂直偶极子天线。天线的馈电线穿过编织物层,

呈一个简单的几何形状。当然这种方法也可以应用于 80m 波段的天线设计，但是谁愿意和一个 60 英尺长的金属编织物管打交道？最重要的是我知道，在射频频段射频电流可以很轻松地向上进入同轴电缆的内部，然后来个 180° 的大转弯，再返回同轴电缆编制层的外部。

图 13-1 10m 波长垂直直线型同轴电缆天线



因为这样一个事实，也许我们并不需要分离外部的编制层。为什么不直接使用同轴电缆外部本身？然而，如果我们这样做，我们怎么才能够让射频电流知道什么时候它应该停止流动然后返回到辐射源的中心位置，即使它做到了这点，那么它又应该在什么时候来到 10m 波段垂直天线附加的编织层的末端呢？同轴电缆屏蔽层外部的电流称为“共模电流”，没有等量的相反方向的中和电流在同轴电缆内部出现。一种设计方式是巴伦变压器的主要功能：将非平衡电抗放置于这种共模电流的路径中，不会影响到我们想要得到的平衡传输线电流。我将会在附录中讨论这个较为先进的概念。

同轴电缆屏蔽层中的共态电流被 $1/4$ 波长的短截线转换成接近无线电收发机的最大值。如果实验上观察到放置在馈电端的一卷少部分线圈引起偶极子天线系统本身谐振频率的降低，这也不足为奇（这是由于附加产生的感应电抗）。然而，由于这个原因会产生我们所意想不到的额

外的收获,当处于谐振频率时,对于 50Ω 源几乎完美的阻抗匹配实现了。现在我们已经设计好简易天线系统了。我们可以通过移动电缆上的线圈远离最大电流处同时重新调节阻抗匹配以增大谐振频率。同时我们也可以减小传输线上这一部分的共态电流,这是由于线圈感应电抗的缘故。对于值的选择,线圈接近于由线圈缠绕的分布电容形成的自谐振。等效的并行谐振电路适合于增加天线上这一点的电阻,这样可以确保射频电流到达偶极子天线实际末端时有反射产生。据我所知,这种天线配置方式和方法是非常独特而新颖的,我称之为 T 扼流圈。

建造、安装及调节

谐振同轴直线型偶极子天线的组装配置如图 13-2 所示。尺寸和测试结果都是基于标称的 3.95MHz 频率。为了更好地体现天线的简易性,在表 13-1 中列出了装配天线所需要的所有部件。

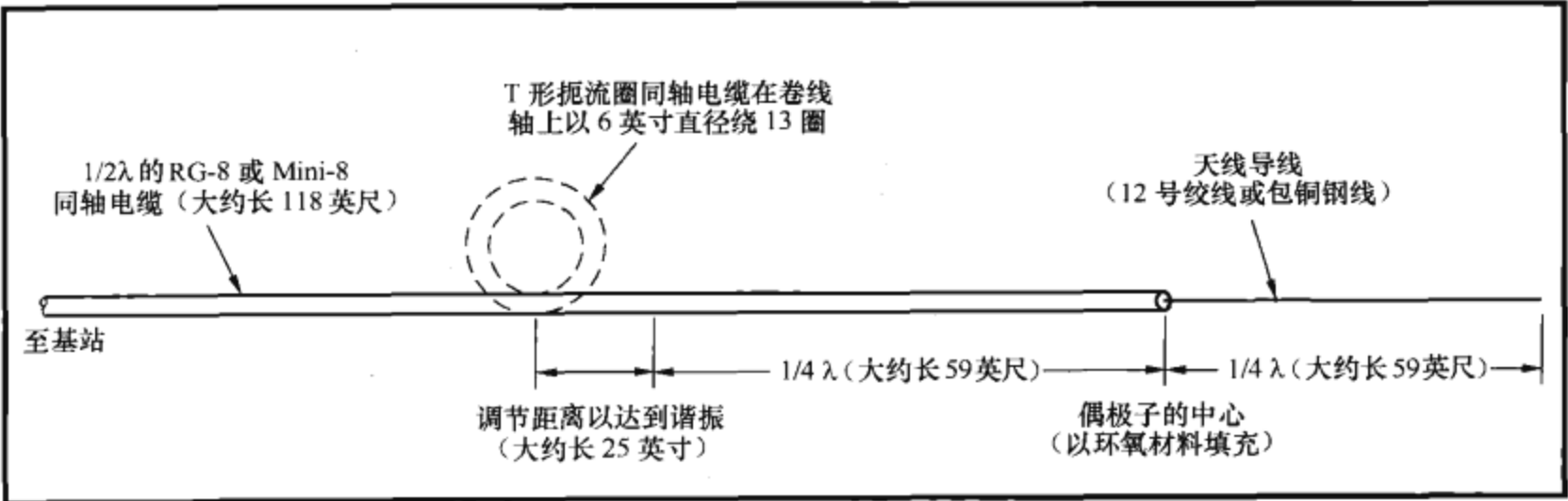


图 13-2 80m 波长 RFD-1 天线

表 13-1

118 英尺长 RG-8X 同轴电缆
59 英尺长 12 号钢绞线或者包铜线
PL-259 同轴电缆公连接器
10 英尺直径的卷线盘 (Donscocoil 型 32500 号或者相似的)
3 英寸长 1/2 英寸 OD PVC 管
环氧陶瓷化合物 (足够填充管道)

在同轴电缆的输入端和无线电收发机的连接处要装配同轴电缆连接器。电缆远端的中央控制器通过钩子和眼连接到天线导线处,并且为了

安全起见要用焊料焊好。这个连接处应该用一根长度较短的 PVC 管套好，并置于管子的中间位置，这样这个装置会非常结实耐用且绝缘。在开端，13 匝电缆可以缠绕在卷线轴上，这个位置大约距离偶极子天线中心位置处 59 英尺 25 英寸。然后将这 13 匝电缆用宽胶带或者其他类似的东西固定在卷轴上合适的位置。余下来的电缆和导线可以缠绕在卷轴上，以方便运输。为了避免在放开时电缆和导线打结，保护好导线的末端，旋转卷轴，使得电线缠绕得比较紧实。

地表损耗是射频天线最大的敌人，尤其在工作频率较低的时候。因此要将 80m 波段偶极子天线放置在离地面尽可能高的位置。安装好之后，使用噪声电桥或者驻波比测量仪来核对天线的谐振频率。如果严格遵守了建造天线的这些细则，谐振频率大约应该为 3.95MHz。如果谐振表现是不确定的或者阻抗不接近 50Ω ，通过在卷轴上轻微地移动线圈的位置来调整线圈的自谐振。这样可以改变线圈内部的电容，允许的射频反射的最大调节范围为线圈移动至偶极子天线的末端。在这个调节过程中，记住最大的作用是输入线圈和输出线圈之间的相互作用，因为它们之间的电压差是最大的。如果你希望减小天线的谐振频率，除去胶带，旋转卷轴，以增加“25 英寸”的距离，依次增大偶极子天线的长度。这种做法从某种意义上来说是对 13 匝线圈的再调整——你在缠绕或者放开电缆的长度。当我们所希望的谐振频率出现时，你就可以开始操作天线了。这是一架宽频带天线，并不需要做太多的调节。

上面提到的 13 匝线圈只是按照标称的线圈尺寸。11 匝线圈和 13 匝线圈我都使用了。自谐振可以按照上面所说的方法来调节。线圈的匝数增加，刚开始所提到的“25 英寸”的距离就会减小，例如，我所试验的线圈匝数从 11 匝调整到 13 匝，谐振的距离就从 68 英寸减小到 25 英寸。在这一点需要更大的阻抗来改进偶极子天线与地表之间的绝缘性能。

RFD-2 双波段工作

前面所讲述的天线的建造是专门为单一业余无线电波段 RFD-1 而设计的。对上述的结构配置进行些细微的改变，也就变成了上面所说的 RFD-2，这样 RFD-1 所覆盖的频率范围就可以覆盖 40m 波段，而不需要对线圈进行剪切。工作波长从 80m 转变成 40m 再转变回来，仅仅需要几分钟。RFD-2 的设计可以允许你使用 40m 波长的频段好几天而不需要对天线 80m 工作波段的设计做出永久性地改变。换句话说，80m

波段的同轴馈电线偶极子天线的尺寸保持不变，但是工作的波长却转换到了 40m。而这仅仅是通过缠绕卷轴上的同轴电缆线圈来实现的。这可以通过简单地改变同轴电缆线圈的绕法，在原始线圈的基础上，在偶极子天线的远端再增加第二个工作线圈来实现。这样组装好之后，对于工作波段的改变就变得非常简单了。

RFD-2 已经在 W2OZH 基站中得到了发展和应用，如图 13-3 所示。总尺寸也在图 13-3(a) 中标示出来。馈电线的长度从 RFD-1 的长度增大到 143 英尺，以便同轴电缆可以使用 13 匝线圈。这样可以确保绝缘套管的长度在 80m 波长的 $1/4$ ，同时也可以允许绝缘套管的长度在 40m 波长的 $1/4$ 波长。因此我们所希望的高绝缘阻抗在两个波段便可以同时实现了。同时 12 号终端天线也被一定长度的同轴电缆所代替，外面的套管可以提高绝缘性能，所以同轴电缆可以用来缠绕在卷轴上，以得到我们所需要的 40m 工作波长的偶极子天线。

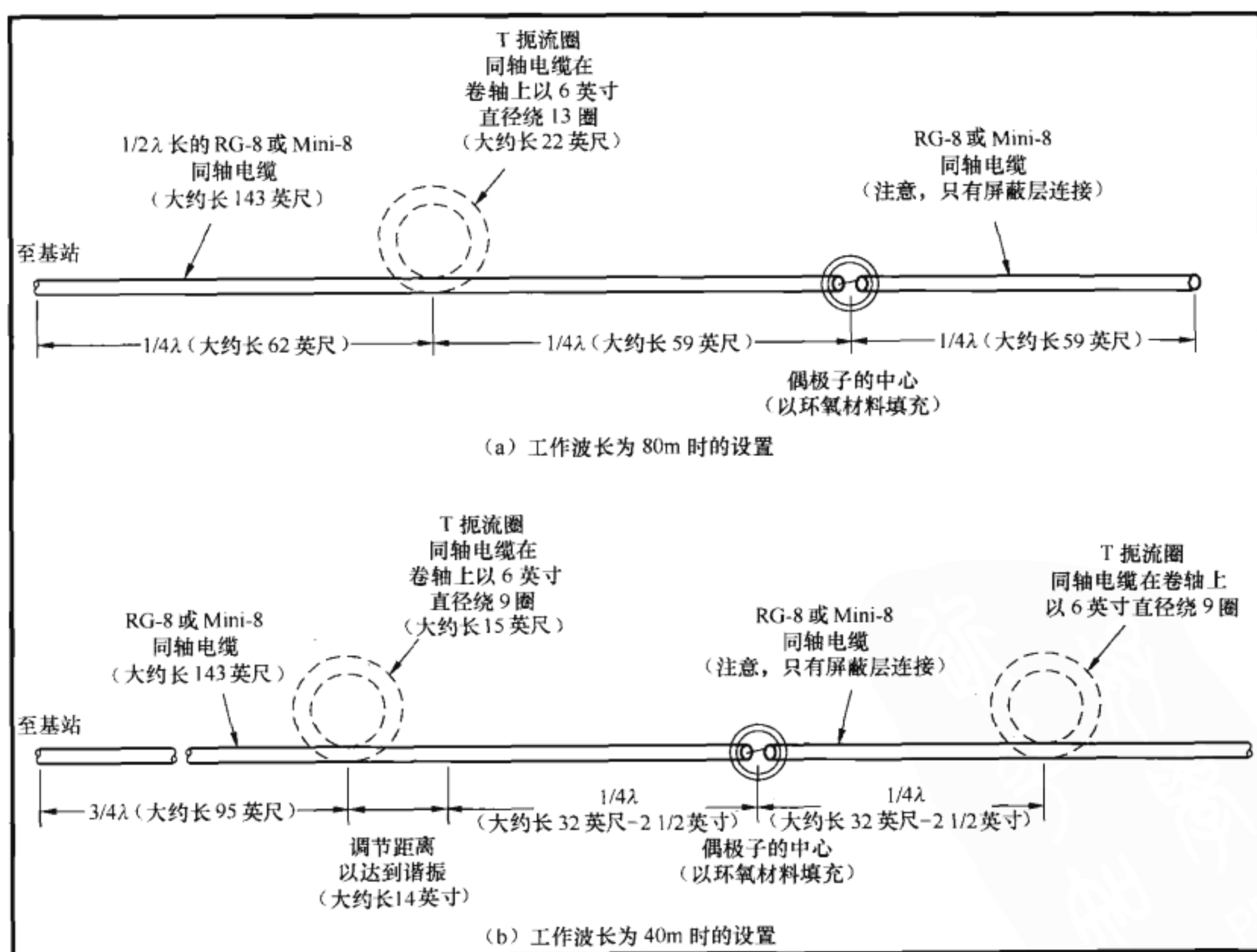


图 13-3 RFD-2 天线可以配置为在两个不同波段使用

正如我们之前所指出的，这里使用了自谐振线圈来确保 80m 波段偶极子天线馈电端的高反射效率。对于其他波段，计算接近自谐振时所需要的线圈的大概匝数也是非常必要的。80m 波长天线的线圈有一种合适的绕法，将 13 匝线圈绕在 6 英寸直径的卷轴上，这样其他波段的所需要的线圈尺寸就可以通过比较进行放大或者缩小而得到。详细的说明在附录中给出。为了将这种天线设计方法应用于其他射频频段，表 13-2 中给出了终端线圈大概的匝数。

表 13-2 RFD-1 调整为其他工作频率时线圈匝数的配置

波段	频率	匝数
160m	1.90	19
80m	3.95	13
40m	7.26	9
30m	10.12	8
20m	14.29	7
17m	18.14	6
15m	21.38	6
12m	24.96	5
10m	28.65	5

对于工作波长小于 40m，可能需要使用到辐射部件的长度大于 1/2 的波长，这个长度应为中心两端的长度均加上奇数倍个 1/4 波长的长度。例如，对于 20m 波长天线，辐射源的长度应为 3/2 个波长（天线的两端都为 3 个 1/4 波长）。根据天线的指向，多余的辐射旁瓣可能是有利的。同样，在末端，未使用的连接器长度也会或多或少地引起一些麻烦，这是由于主辐射源产生的寄生感应造成的。

配置和建造

从表 13-2 中可知，对于 40m 波段的偶极子天线，在其输入端我们需要将谐振线圈的匝数减少为 9 匝。我们需要将线圈沿着同轴电缆移动 32 英尺，再多 2.75 英寸，这个是利用偶极子长度近似计算公式 $L=468/f(\text{MHz})$ ，计算得到的 7.26MHz 的偶极子天线长度的一半，这样可以进行一定的调节。正如 RFD-1，我们所制造的这个线圈在偶极子

天线的馈电端应该具有我们所希望的高绝缘阻抗。

此外，在偶极子天线的远端我们也应该建造一个高绝缘阻抗体，因为在这种情况下，我们所希望的 40m 波长偶极子天线的末端并不和连接器的末端吻合。这是因为我们想保留为 80m 波长偶极子天线所设计的连接器的全部长度，而不是切掉它。通过使用第二组 9 匝自谐振同轴电缆线圈的方法，可以得到我们想要的高阻抗反射终端。

图 13-3(b) 所示为 40m 波长偶极子天线的 RFD-2 构造。同样可以使用卷线轴来做第二线圈，当然任何绝缘的 6 英寸直径的装置都可以使用。我使用 1 加仑挡风玻璃清洗液的瓶子把线圈绕成两层。在将线圈调整到合适位置后，我使用宽胶带将线圈进行固定。然后将线圈从瓶子上滑下来，线圈就可以不需要外力进行支撑了。

正像 RFD-1 那样，对于 RFD-2，我们也希望能够将天线放置到距离地面尽可能高的位置，以减小地表损耗，帮助达到低角度辐射的目的。偶极子天线最好不要安装到一根直线上，如果你可以通过弯曲这根直线从而让你的天线安装到更高的位置处而获益，那么这也不失为一种解决问题的方法。

当天线上竖立好两个线圈之后，使用噪声电桥或者驻波比测量仪来测量天线的谐振频率。如果天线建造的过程严格遵守标准细则，实际测量得到的天线谐振频率应该比标称的 7.28MHz 不会相差多远。谐振点和输入阻抗可以通过改变 14 英寸的偏移距离并改变线圈之间内部距离而改变。改变输入线圈和输出线圈之间的距离会产生最大的影响（在线圈 1 和 9 匝之间）。这是由于此时线圈之间存在电压差，因此电容影响改变最大，从而导致了这种现象。

结果

RFD-1 作为输入阻抗在谐振频率时，通过噪声电桥测量得到的读数是 49Ω ，从实际的观点来说，驻波比为 1:1。我们使用一台磁场天线探测仪来评估在偶极子中间位置的辐射功率，并和接近馈电点的电流环位置处的值相比较。电流的比率为 5.5:1，相应的功率比率为 30:1，或者 15dB。这意味着线圈在衰减共态电流返回到达馈电点方面的效率非常高。

对于 40m 波长天线 RFD-2 的尺寸如图 13-3(b) 所示，初始谐振点

在 40m 的电话波段内，驻波比本质上为 1:1。轻微的调节就可以达到我们所想要的工作频率值，输入阻抗也非常接近于 50Ω 。RFD 天线有一个显著的特性，就是非常容易达到阻抗匹配，它总是可以很简单地就得到反射功率几乎为零。这大概是同轴电缆屏蔽层中的共态电流和我们所需要的辐射电流不能够区分开。换句话说，共态电流更多的是被使用而不是避免了。

附录

当如图 1 中所示的天线外部被分离开来的编织层被去除之后，必须采取一些措施让射频电流知道它什么时候应该停止在同轴电缆屏蔽层中流动，然后返回到达辐射源的中心位置。我自己制作的一个用于其他目的的巴伦盒也可以达到这个要求：30 匝双股导线缠绕在一个 Amidon T-200-2 铁磁环上。对于这样一个巴伦变压器，线圈匝数的计算方法为：

$$T = \sqrt{\frac{\text{desired } L(\mu\text{H})}{A_L}}$$

其中 T 为线圈的匝数， A_L 为感应系数（微亨每 100 匝）。由上式，非平衡电流的感性电抗为：

$$X_L = 2\pi fL = \frac{2\pi fT^2 A_L}{10^4}$$

当频率为 4MHz 时，30 匝线圈的非平衡电抗仅仅为 270Ω 。我们需要大概 10 倍的值串联到偶极子天线的末端来产生射频电磁场。

另外一个替代方法是在直线性偶极子天线的同轴电缆馈电端使用环形隔离变压器。实际上我曾经制作过这样一个变压器，使用两组 T-200-2 芯，具有提供 1kW 电量的能力。这样一个装置可以勉强工作，但是它的阻抗匹配效果确实离我们所希望的相差甚远，可能是在次级绕线组和初级绕线组之间的电容过大。无论如何，在我做这个之前，更简单的方法我还是想到过的。

我们需要将无线电收发机和偶极子天线的馈电端隔离开，既然如此我们为何不剪切同轴电缆，使它的长度为工作波长的 $1/4$ 呢？（这个长度是在自由空间中测量的而不是在线上）这种方法适用于将偶极子天线的馈电端很高的阻抗变换为地面无线电接收机较低的阻抗。这根大概 60 英尺长的同轴电缆上没有用的部分可以绕成线圈，可以在不用的时候提供更多的隔离性能同时还可以用来调谐系统到谐振状态。

缩放到第二工作波段

为了使天线能够覆盖第二工作波段，我们希望能够有为 80m 波段天线制造的线圈相同的感性阻抗。

从手册上可以查到，对于假定了长度的线圈的电感计算公式为： $L = AN^2$ ，其中 A 是由线圈的几何结构所得的一个常数， N 为线圈的匝数。因此我们可以通过公式 $X_L = 2\pi fL = 2\pi fAN^2$ 来计算感性阻抗。对于阻抗相同的情况，我们可以通过频率为 f_1 时，线圈的匝数为 N_1 ，来计算频率为 f_2 时，新线圈的匝数 N_2 ， N_2 可以通过公式 $N_2 = N_1\sqrt{f_1/f_2}$ 来计算。

——James E. Taylor (W2OZH)

简单的 80m 宽频带偶极子天线

传统的同轴电缆馈电，半波长偶极子天线在整个 80m 波段并不会表现出较低的驻波比，对于我们来说，困难程度就好比是使电话或者 CW 工作在这个频段上。如果基站里面缺乏天线调谐器，许多文章中给出好几种方法可以克服这一局限。这里所描述的天线系统比它的前任简单，且具有如下的特征：

1. 在全部或者绝大多数的 80m 波段达到 2:1 或者更好的驻波比。
2. 天线的长度和表现与传统的半波长偶极子天线相同。因此，它的重量轻，具有更小的风阻，不易挂冰。
3. 天线的构造允许在多波段工作时使用相同的馈电电缆。
4. 由于宽频带所产生的损耗是可以接受的。
5. 花费和普通的半波长偶极子天线差不多。

这篇文章中所给出的所有驻波比数据都是在馈电线的发射机端测量得到的。基准阻抗为 50Ω ，绝大多数的仪器都是按照这个阻抗设计的。这篇文章中所使用的术语“天线系统”并不仅仅包括辐射导线，同时也包含馈电线、巴伦（如果使用得到）、闪电保护措施、天线调谐器等。

偶极子天线本身并不是宽频带天线。天线系统使用的是宽频带匹配的方法。这样的一副天线系统中最关键的增宽频带的部件是传输线谐振器：传输线的一部分用来补偿偶极子天线距离谐振频率表现出来所需要的阻抗。这段传输线部分的长度为电气半波长的倍数。传输线的另一部分表现为与传输线谐振器（TLR）相适应的源阻抗。

首先我会连同一些实际的结果来描述一种类型的宽频带天线系统。然后我会延伸地讲一些天线系统损耗相关的重要问题。在这之后是为了适应一些特殊需求时天线系统所对应的变化和将天线工作在多个波段的方法。同时我也会将传输线谐振器展宽频带的方法和其他展宽频带的方法做一些比较。

80m 波长宽频带天线系统

图 14-1 所示是一架在我的基站内所使用的天线系统。这架天线严格意义上来说是一架中心馈电的半波长偶极子天线。传输线系统是由一根长度为一个电波长的 50Ω 同轴电缆和一根长度为 $1/4$ 波长的 75Ω 同轴电缆所组成。计算得到的和实际所需要的同轴电缆线长度在表 14-1 中列出。同轴电缆长度的计算将使用在本文后面给出的公式，这个计算所采用的中心频率为 $3.75\text{MHz}(F_0)$ ， VF (速度因子) 为 0.66 。在对天线进行后面所描述的调谐过程后，将可以得到实际的同轴电缆长度。从公布的电缆速度因子所需要做出的制造方面的变化，以及同轴电缆物理上的一些延伸，都是造成同轴电缆的实际长度和计算得到的长度之间差异的原因（实际的电缆长度是在电缆松弛的状态下测得的）。天线以倒 V 字形来安装，天线两端之间的夹角为 140° ，天线顶点的高度为 60 英尺，天线选用 14 号导线，当然这个并不是十分严格的。

图 14-1 简单宽频带天线系统的一种形式。这种天线系统类似于普通的偶极子天线，当然除了 $1/4$ 波长 75Ω 部件。点 A 和 B 在文中进行了讨论。

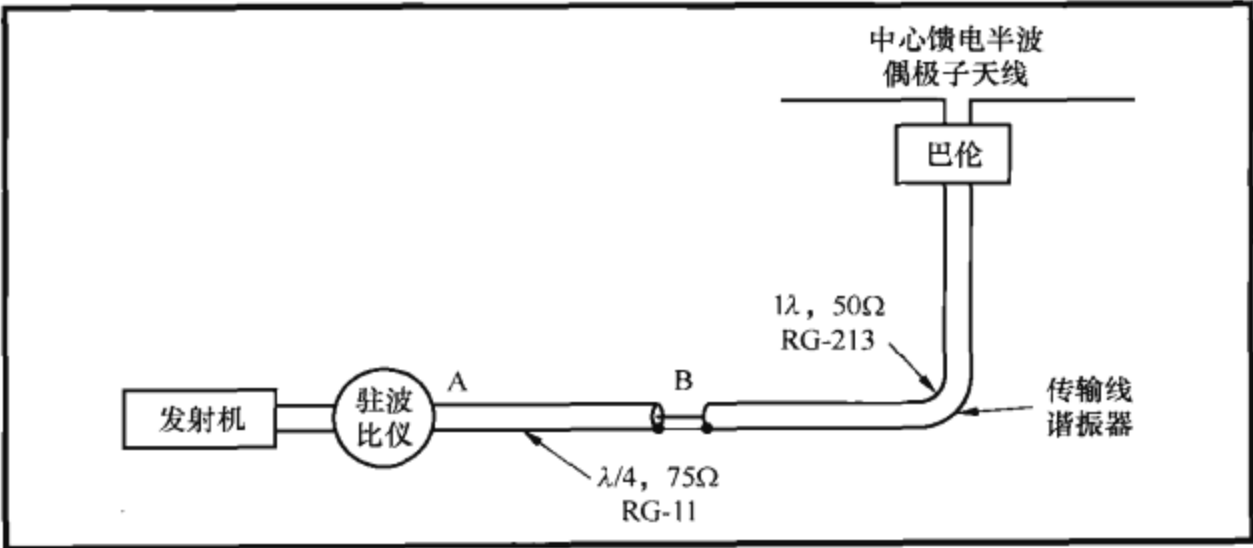


表 14-1 ALIH 的宽频带偶极子天线的计算和实际长度

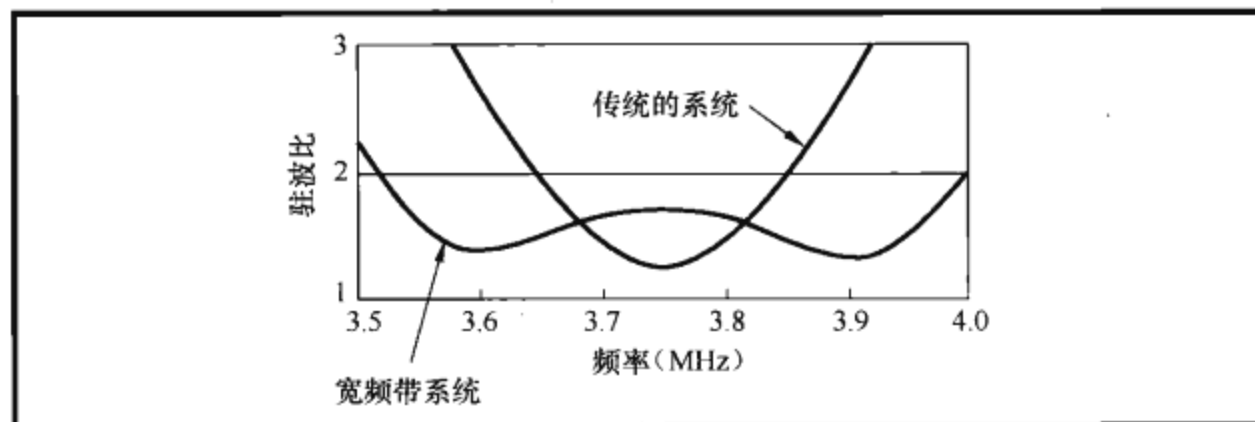
	计算值	实际值
$1/4$ 波长同轴电缆	43.3 英尺	43.3 英尺
1 波长同轴电缆	173.1 英尺	170.5 英尺 *
偶极	124.5 英尺	122.7 英尺

* 包括 11 英寸的巴伦

天线系统的驻波比（在发射机端）随频率的变化是一个函数，如图 14-2 所示。为了进行对比，使用 $5/4$ 个波长（214 英尺）的 RG-213 同轴电缆作为馈电线，对同样的一架偶极子天线进行馈电，此时的驻波比也给了出来（这种情况下的总长度和宽频带天线系统中使用的 RG-213

及 RG-11 片段一样)。宽频带天线系统的 2:1 驻波比的带宽是传统偶极子天线系统的 2.2 倍——它们之间的不同仅仅是馈电线的构造。宽频带天线系统在整个 80m 波段的辐射特性和在这个波段内工作的任意频率的偶极子天线都是一样的。同样，由于天线系统都是设计为使用 50Ω 的发射机，所以馈电线的长度可以通过在发射机和 $1/4$ 个波长部件（如图 14-1 中所示的点 A）之间使用你所需要增加长度的 50Ω 馈电线来延长。

图 14-2 宽频带天线和普通天线系统的测量驻波比随频率的变化



应当在天线的馈电点处安装 1:1 的电流巴伦。我根据一般原理来使用它。通常，在实际工作中它不会带来比较明显的影响，但是巴伦确实可以减小传输线的辐射。你可以通过测量有巴伦和没有巴伦时候的驻波比随频率变化的情况来决定是否为你的天线系统安装巴伦。如果不需要巴伦，这两个数据集合应该是一样的。

天线系统损耗

对于任何一副天线系统，知道其损耗是非常重要的，对于宽频带天线更是如此。因为单单是损耗就可以展宽一副天线系统的频带了。正如下一节所示，本文中所出现的天线构造不会产生明显的损耗。尽管其他一些会产生损耗的关键部件会出现在天线系统中，我们仍然把注意力集中在最主要的传输线损耗和失配损耗。其他的一些损耗，例如天线导线上的欧姆损耗，对于传统偶极子天线和这里所描述的宽频带天线来说都是一样的。

馈电线损耗是最容易理解的。当馈电线“平坦”的时候（当馈电线的驻波比接近 1:1 时），馈电线损耗是不可避免的，同时也是最小的。在高频时，馈电线损耗主要是由于铜芯导线的欧姆损耗引起的。

失配损耗主要发生在发射机端的阻抗并不和发射机本身的阻抗互为共轭（当发射机端的传输线驻波比不为 1:1 时）。对于一根 50Ω 的传输

线，当负载阻抗为 50Ω 时，失配损耗为 0dB。当负载的阻抗不是 50Ω 时，如果使用发射机和可调谐输出级（例如传统的电子管型线性放大器）进行调谐以达到共轭匹配，那么失配损耗就可以变成 0dB。天线调谐器同样也可以用来达到失配损耗为 0。然而在这种情况下，天线调谐器损耗（也许差不多为 1dB）可能会取代失配损耗在总损耗方程中的位置。这个话题在这里并没有讨论。

如果你没有使用天线调谐器，同时发射机具有固定调谐 50Ω 输出，负载可以使发射机表现出小于 2:1 驻波比，这些是非常需要的。高驻波比对于失配损耗的影响将会在下一节中变得更加明显。

损耗必须正确地保持。这里所阐述的所有宽频带天线系统都是最坏的总损耗可以达到小于 3dB——并没有大到在许多 80mQSO 中足以被注意到（如果损耗是 3dB，发射机输出功率的一半被辐射出去，而另外一半则在别处损耗光）。损耗的主要作用被强调是在天线的零件上：由于负载失配，在发射机端的损耗；由于热效应，在传输线上的损耗。

调节天线系统

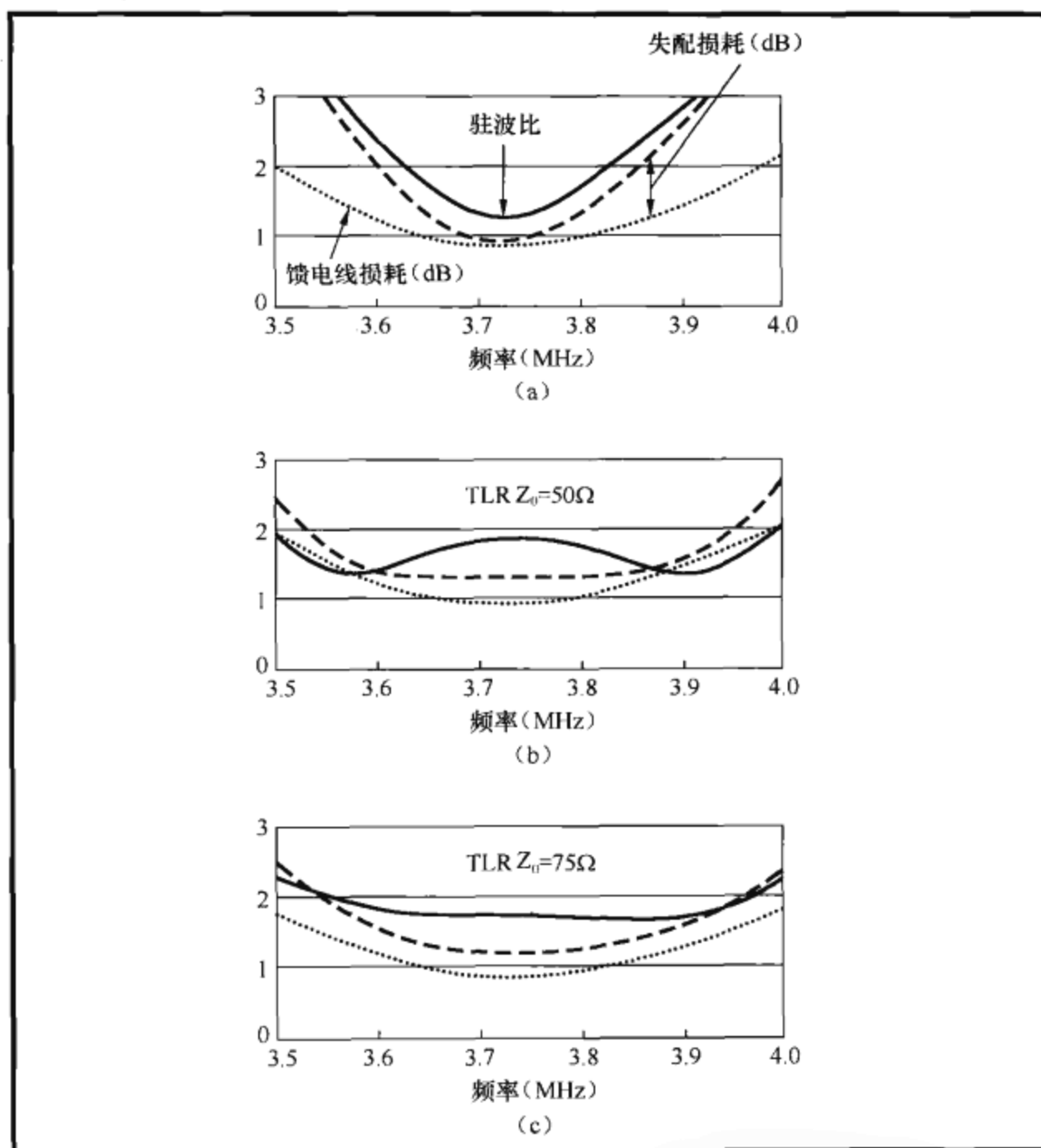
上面所描述的宽频带天线系统都很适合在我的基站内安装，屋子和天线之间的距离相对较长（大于 200 英尺），这是因为我使用的是 1kW 放大器。其他的一些馈电线连接可以使用于其他天线系统的安装。其中的一些连同计算得到的驻波比和损耗数据如图 14-3 到图 14-5 所示。从这些信息中你可以根据你的需要选择一个合适的馈电线连接。

图中同时也显现了传统偶极子天线系统的特性。如果对它们进行比较，你可以发现传输线谐振器不会给宽频带天线系统带来明显的损耗损失。我并没有对所有的连接都进行过尝试，但是根据我的经验，它们的表现现在绝大多数情况下都跟预期的没有太大差别，只要辐射源并没有明显地偏离我计算时所使用的模型：125 英尺长的偶极子天线，40 英尺高，使用 14 号导线制造。这个模型是基于 Walt Maxwell (W2DU) 在他的书《reflections》中提到的数据而建立的。由于他的数据代表了绝大多数 80m 波长天线的安装情况，因此我选择了这些数据。

所有的宽频带天线系统都使用 $1/4$ 波长传输线片段或者 $1/2$ 波长传输线片段或者 1 个波长的传输线片段。图 14-3 显示了长馈电线工作的基本情况。它使用了 RG-11 和 RG-213 同轴电缆，对于所有功率级别来说都是比较理想的。图 14-3(b) 中包含了图 14-1 中所显示的我的基

站的例子。图 14-3(c) 中的馈电线是连续长度的 $5/4$ 波长长度的 RG-11 同轴电缆。传输线谐振器是距离天线最近的电缆的 1 个波长长度片段。

图 14-3 使用长馈电线时天线系统的构造。实线是驻波比，点线是馈电线损耗，虚线是馈电线损耗加上失配损耗。在图 14-3(a) 中，普通天线系统使用 RG-213 馈电线；在图 14-3(b) 中，馈电线是 RG-11 (75Ω) 的 $1/4$ 波长部件后面加上 1 个波长的 RG-213 馈电线；在图 14-3(c) 中，馈电线是 RG-11 (75Ω) 的 $1/4$ 波长部件后面加上 1 个波长的 RG-11 馈电线 (一个 $5/4$ 波长的 RG-11 部件)。每一个例子中的总馈电线长度都为 216.4 英尺。

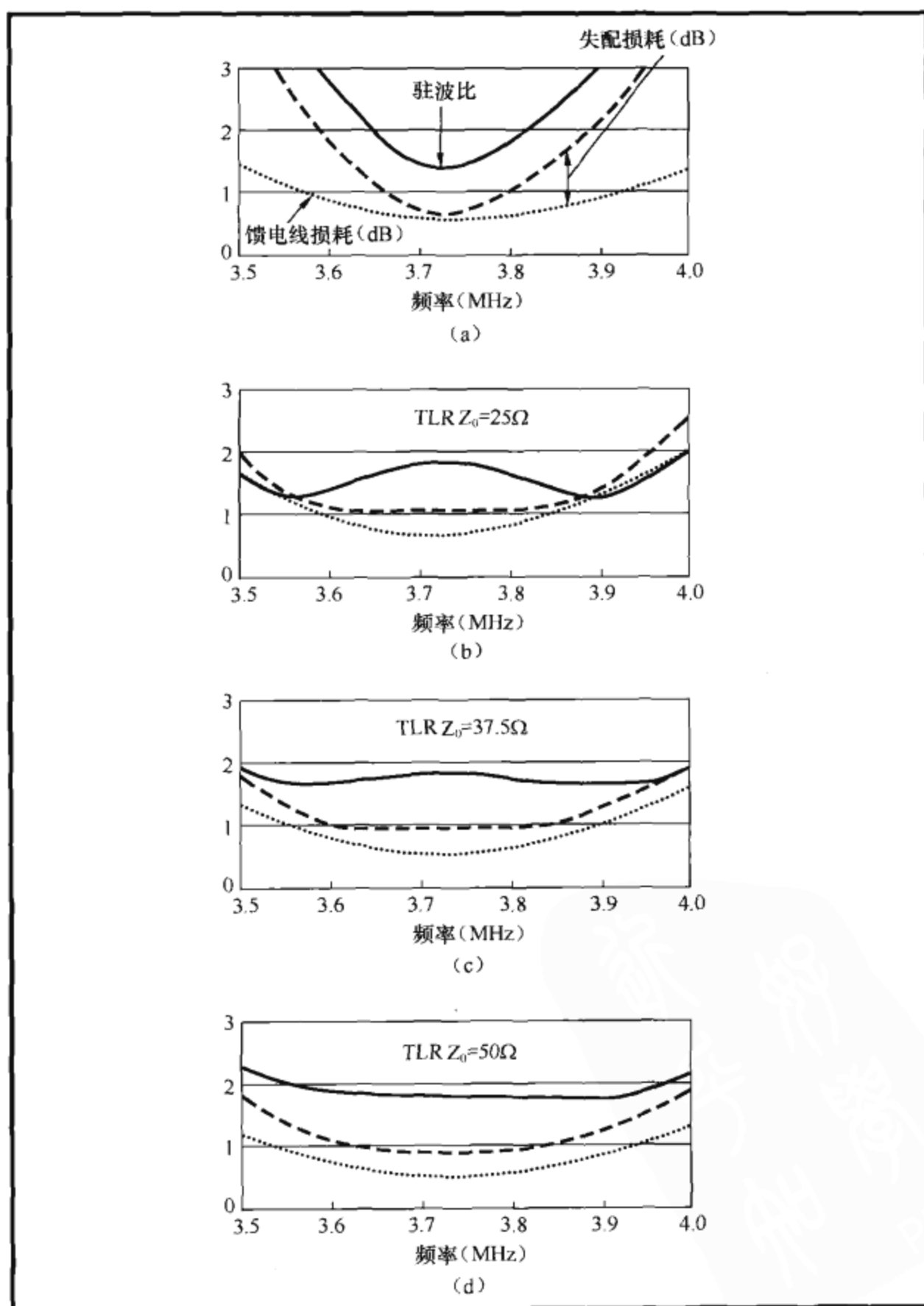


这个方法同样也可以在剩下的 75Ω 有线电视硬线中使用。 $3/4$ 波长或者 $5/4$ 波长或者 $7/4$ 波长的直径 $1/2$ 英寸的硬线会在整个频段产生小于 2dB 的馈电线损耗加失配损耗。同时在这个波段的任何 300kHz 上的总损耗都低于 1dB。这个装置尤其吸引那些参加竞赛的无线电爱好者和 DXer，因为即使是相当长的 $7/4$ 个波长的 $1/2$ 英寸直径的有线电视硬线，它的长度达到 372 英尺，但是它的传输损耗仍然非常小，同时在 3.5 ~ 3.8MHz 的频率范围内有非常好的匹配性能。

图 14-4 中所示为 3 波段宽频带天线系统。所有的这些都是为了应用更短传输线长度的需求。图 14-4(b) 和图 14-4(c) 给出了当同轴电缆

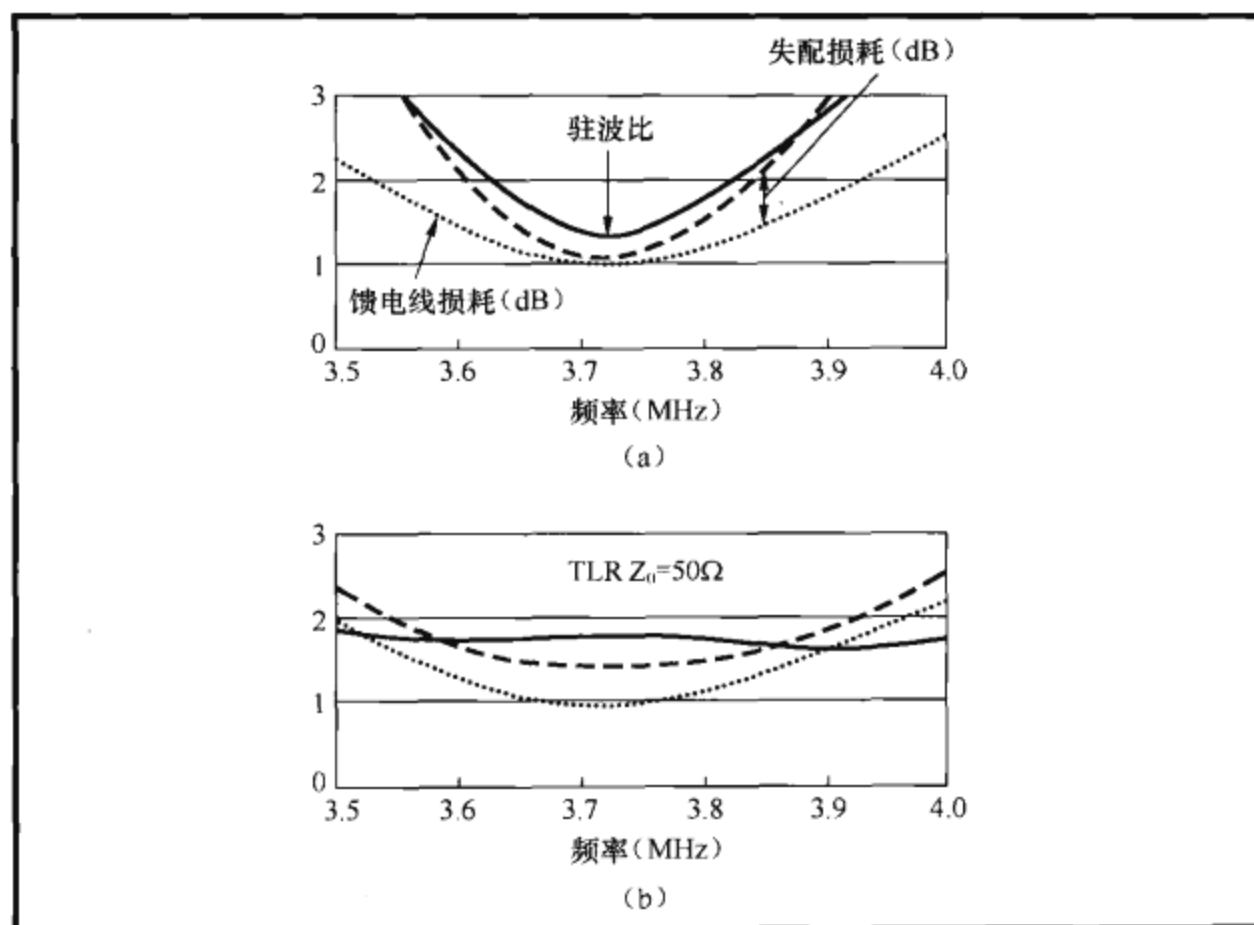
并行以达到更低的等效特征阻抗时，天线系统的性能情况。图 14-3(b) 是在使用一个波长的 RG-213 同轴电缆作为传输线谐振器时的情况，和图 14-4(b) 非常类似。后面的系统使用的是相同数量的同轴电缆，但是它是把同轴电缆剪成相同长度的两段并联时的情况。这个在工具栏中非常清晰“它如何工作”。图 14-4(d) 中的装置由于很简单所以很吸引人。

图 14-4 高功率短馈电线天线系统。实线是驻波比，点线是出现的馈电线损耗，虚线是馈电线损耗加上失配损耗。在图 14-4(a) 中，馈电线是 RG-213；在图 14-4(b) 中，是 1/4 波长的 RG-11 部件后面跟上并行的 1/2 波长 RG-213 馈电线；在图 14-4(c) 中，是 1/4 波长的 RG-11 部件后面跟上并行的 1/2 波长 RG-11 馈电线；在图 14-4(d) 中，是 1/4 波长的 RG-11 部件后面跟上 1/2 波长 RG-213 馈电线。每一个例子中的总馈电线长度为 129.8 英尺。



不使用长馈电线工作的低功率应用可以使用 RG-58 和 RG-59 同轴电缆。图 14-5(b) 中给出了使用这样一个简单显著的馈电线所达到的完美的频段展宽性能。需要再次强调的是, 在展宽频带的过程中并没有损耗损失出现。

图 14-5 低功率短馈电线天线系统。实线是驻波比; 点线是出现的馈电线损耗; 虚线是馈电线损耗加上失配损耗。在 (a) 中, 馈电线为 RG-58; 在 (b) 中, 是 1/4 波长 RG-59 后面加上 1/2 波长 RG-58。每一个例子中的总馈电线长度为 129.8 英尺。



调节宽频带天线系统

宽频带天线系统是很容易建造和调节的。首先以英尺为单位计算所需要的传输线片段的长度:

$$L_{quarter} = \frac{245.9VF}{F_0} \quad (\text{方程 1})$$

$$L_{half} = \frac{491.8VF}{F_0} \quad (\text{方程 2})$$

$$L_{full} = \frac{983.6VF}{F_0} \quad (\text{方程 3})$$

其中, $L_{quarter}$ 是 1/4 波长传输线片段的长度, L_{half} 是半波长传输线片段的长度, L_{full} 是全波长传输线片段的长度, VF 是速度因子, F_0 是以 MHz 为中心频率。

一个较好的偶极子天线导线的起始长度为

$$L_{dipole} = \frac{467}{F_0} \quad (\text{方程 4})$$

当宽频带天线系统应用于 80m 波长时，我建议使用 3.75MHz 作为天线系统的中心频率。剪切天线导线是个不错的主意，这样天线的全长就可以为 4 英尺了，这个长度比实际需要的稍大，以防你在调节天线的过程中需要加长天线的长度。将 2 英尺长的实际导线从每个末端的绝缘子中穿过，然后再将它重新缠绕回天线导线上。

为了调节天线系统，只可以调节偶极子天线和传输线谐振器的长度。最好的方法是建立一个已经描述过的天线系统，然后测量天线系统的发射机端的驻波比。可以增加或者减少偶极子天线或者传输线调谐器的长度，以调节天线中心谐振频率的偏差或者其他方面在驻波比性能上的偏差。首先从改变偶极子天线长度开始。为了改进在频率最大端的驻波比性能，偶极子天线的长度必须变短；为了改善在频率最低端时的驻波比性能，偶极子天线长度必须变长。从偶极子天线的两臂同时慢慢增加或者减去 6 英寸的长度，以便使驻波比曲线图中的中心频率对称。

为了使 80m 波长频段的驻波比性能对于频率对称，需要进行频率偏移。你可以沿频率轴平移整个驻波比曲线而不是通过改变偶极子天线或者传输线谐振器长度引起不对称，计算如下：

$$L_{New} = L_{Old} \left(\frac{3750 - \Delta F}{3750} \right) \quad (\text{方程 5})$$

式中 ΔF 是以 kHz 为单位的需要偏移的频率值。减小偶极子天线和传输线谐振器的长度，将曲线的中心在频率轴上移动，延长它们将中心下移。1/4 波长传输线片段的长度不需要做出改变，因为驻波比的性质不会对它的长度很敏感。

闪电防护

每一副天线系统都应当在设计时尽可能地减小受到闪电雷击的可能性。其中一个方法是使天线所有的部分都具有正确的地势。室外天线必须通过质量可靠的接地棒对天线系统进行接地防护。

我建议读者安装同轴电缆闪电防护器，这个仪器可以释放任何由图 14-1 中 B 点处中心导体产生的静电负荷。保护器（也可以对馈电线进

行屏蔽)应当连接到高质量的埋到地下 8 英尺深的接地棒上(电工使用的接地棒)。

现有 80m 波长天线的改装

图 14-3(b)、14-4(d) 和图 14-5(b) 中例子的研究表明,可以简单地将现有的 80m 波长偶极子半波长天线系统改装成宽频带天线系统。由于 80m 波长偶极子天线最流行的馈电方式是使用 50Ω 同轴电缆进行馈电,因此改装成宽频带天线系统的过程很简单。首先,对天线进行修剪,使天线可以在 3.75MHz 时产生谐振。然后将 50Ω 传输线从靠近天线端,剪掉电气半波长(3.75MHz 对应的波长)的整数倍,可以使用方程 2 和方程 3 来计算这个需要剪掉的长度。加入 75Ω 传输线片段,再使用 50Ω 传输线完成整个天线在工作室中的安装(如果需要的话)。然后使用前面所描述的调谐过程来优化整个天线系统。

多波段工作

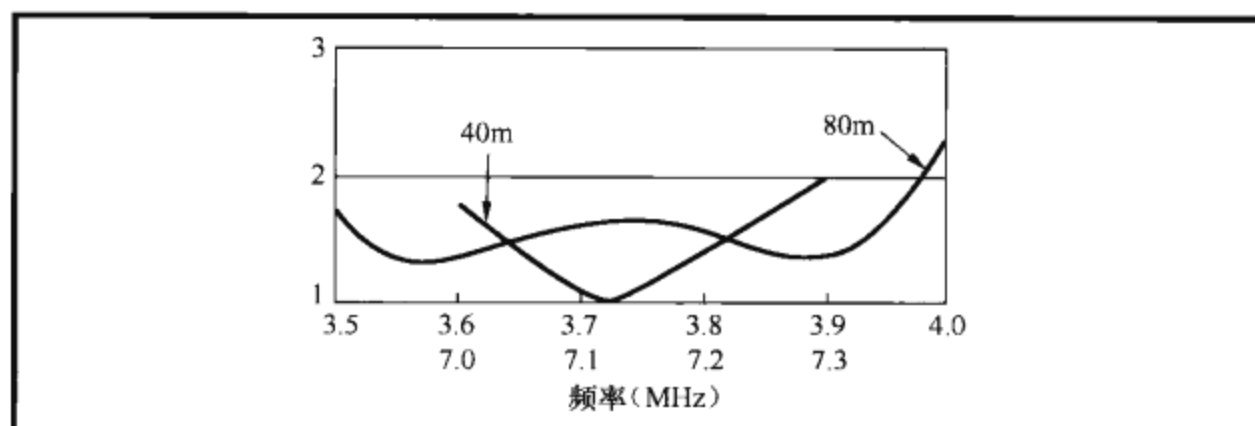
绝大多数 80m 波长多波段天线系统仅仅可以在 80m 波长频段内使用,这是因为展宽频带的元器件并不允许有效功率在其他的频段内传输。但是这种情况并不适用于这里所描述的方法,因为这样的构造仅仅由一架中心馈电的偶极子天线和传输线构成。而且,传输线部分的长度接近于天线半波长,也就是 40m 或其他波段的整数倍。这就有可能将 80m 波长的偶极子天线和其他频率的半波长偶极子天线进行并联以共享传输线。

为了减小它们之间的相互作用,不同的偶极子天线应当使用其他的方式在天线馈电点处隔开。当然,肯定会产生一些相互干扰,并且你必须对天线系统进行调谐以使天线系统的性能达到你的需求。我建议首先对 80m 波长天线系统进行调谐,然后是次高频率的偶极子等。只有 80m 波段会被展宽,但是这样的展宽在其他的某些频段上并不需要。图 14-6 中给出了将 40m 偶极子天线增加到图 14-1 中所示的天线系统后的结果。偶极子天线的两臂长度都是 34.4 英尺。注意到和图 14-2 进行比较,在 80m 波长时的驻波比有轻微改变。对于 80m 偶极子和传输线则没有改变。

上面所描述的整数倍偶极子天线可以达到在多个波段形成谐振的目的,并且不需要在其他的频段使用天线调谐器。当然如果你使用天线调

谐器，在所有的高频上都能使天线工作成为可能。但是这样的装置并不像这里所描述的多倍谐振天线系统那样高效，这是因为如果使用天线调谐器，馈电线的损耗便会更大。

图 14-6 80m 和 40m
多频段天线系统的测
量驻波比



和同轴电缆谐振器匹配比较

这样一个简单的多波段偶极子天线系统是如何击败其他的方法，达到在整个 80m 波段上都完美匹配的呢？同轴电缆谐振器匹配多波段天线系统是一种迄今为止更为高效的设计。它通过集成 $1/4$ 波长同轴电缆传输线作为天线的一部分，可以在天线端多个频段达到阻抗匹配。

由于同轴电缆谐振器可以在天线端达到很好的匹配水平，馈电线的驻波比很低，同时馈电线的损耗也和完全匹配时几乎一致。然而同轴电缆在自身匹配时会增加天线系统的损耗。最后的结果是总损耗和传输线谐振器匹配的损耗几乎一样，但是在发射机端的驻波比较低，在 $3.5 \sim 4\text{MHz}$ 的频带间驻波比不会超过 $1.6:1$ 。然而一旦驻波比小于 $2:1$ 时，驻波比再低也没有很大的意义了，除非你所使用的发射机在这样的一个驻波比之下有效功率会明显减小。

注意到在这篇文章中所描述的方法是为天线能使用一根较细的导线。绝大多数其他的展宽频带的方法都是使用同轴电缆的一部分额外增加导线或者辐射源，这种方法使天线容易遭受到风和冰挂的破坏。同时它们所增加的重量和复杂度也是受到限制的。

从上面的比较来看，由于结构简单，简单的宽频带天线系统相对于传输线谐振器匹配有一个优势，至少在现实应用中，更简单的方法会更切实可行。由于可以使用的同轴电缆的限制，令人满意的设计是受到限制的。另一方面，同轴电缆谐振器匹配也有更多需要调节的参数，这对于更宽频带展宽的应用是非常有益的，同时在这些频带上可以保持最低的驻波比。

结论

这里所描述的简单的展宽频带的技术只需要普通的适合实际应用的同轴电缆，它可以克服 80m 波长天线较窄波段的限制。半波长偶极子天线并没有明显的优势。即使是其他频段的并联偶极子天线也可以使用同样的馈电线进行馈电。

易得的同轴电缆参数有一些限制，但是可以使用传输线谐振器作为谐振变压器来克服这些限制。关于如何使用这项技术，在后面出版的《ARRL 天线纲要》中的文章《使用传输线谐振器进行宽频带匹配》将会详细描述。

这项工作同样受益于我的妻子 Barbara(N1DIS)的支持和鼓励。同样也要感谢 Andrew Griffith(W4ULD)的帮助，正是他的指导才使我把注意力放在前面所描述的方法上。在了解了我在 QST 上发表的关于谐振天线系统带宽匹配方面的工作后，Andy 注意到天线系统应当和 50Ω 发射机匹配才算是真正匹配，即使馈电线的特征阻抗不是 50Ω 。他给出了一个窄化匹配带宽的例子来证明他的观点。在我发表在 QST 杂志上并附带了 Andy 来信的回应中，我指出了对于一副天线系统的匹配带宽有可能会在选择正确的电缆长度和特征阻抗时增大。作为一个例子，我在图 14-3 中给出了偶极子天线使用 $5/4$ 波长长度的 75Ω RG-11 电缆的宽匹配波段，和这一结论一致。可以看到图 14-3(c) 中是同样的例子。谢谢你，Andy！

它如何工作

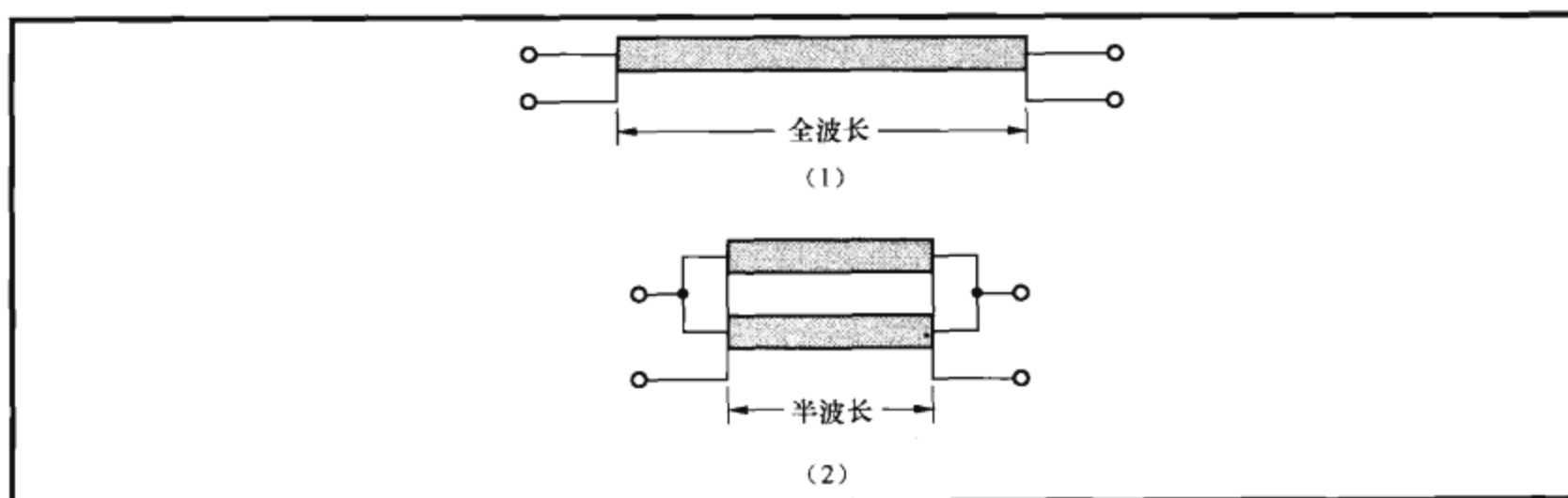
通过一个并行调谐的 LC 网络与合适的源电阻，能使谐振偶极子天线满足宽频带匹配。我在一篇射频设计的文章中，介绍了设计这种网络的方法，即使用有损耗的谐振器效果也很好。图 14-7(a) 的顶部显示了天线和匹配网络的等效电路。图 14-7(a) 的底部显示了天线系统中相应的单元。

谐振器的任务就是供距离天线最近的传输线部件使用。它应当是电气半波长的整数倍。 $1/4$ 波长“Q”部件，使用 75Ω 同轴电缆制作而成，可以将 50Ω 的发射机电抗转换为 112.5Ω 。 $(75^2/50=112.5)$ 我这里不对设计的详细过程进行阐述，这是在另外一篇文章中所讨论的主题，文章为“使用同轴电缆谐振器的宽频带匹配”，准备发表在《ARRL 天线纲要》第四卷。

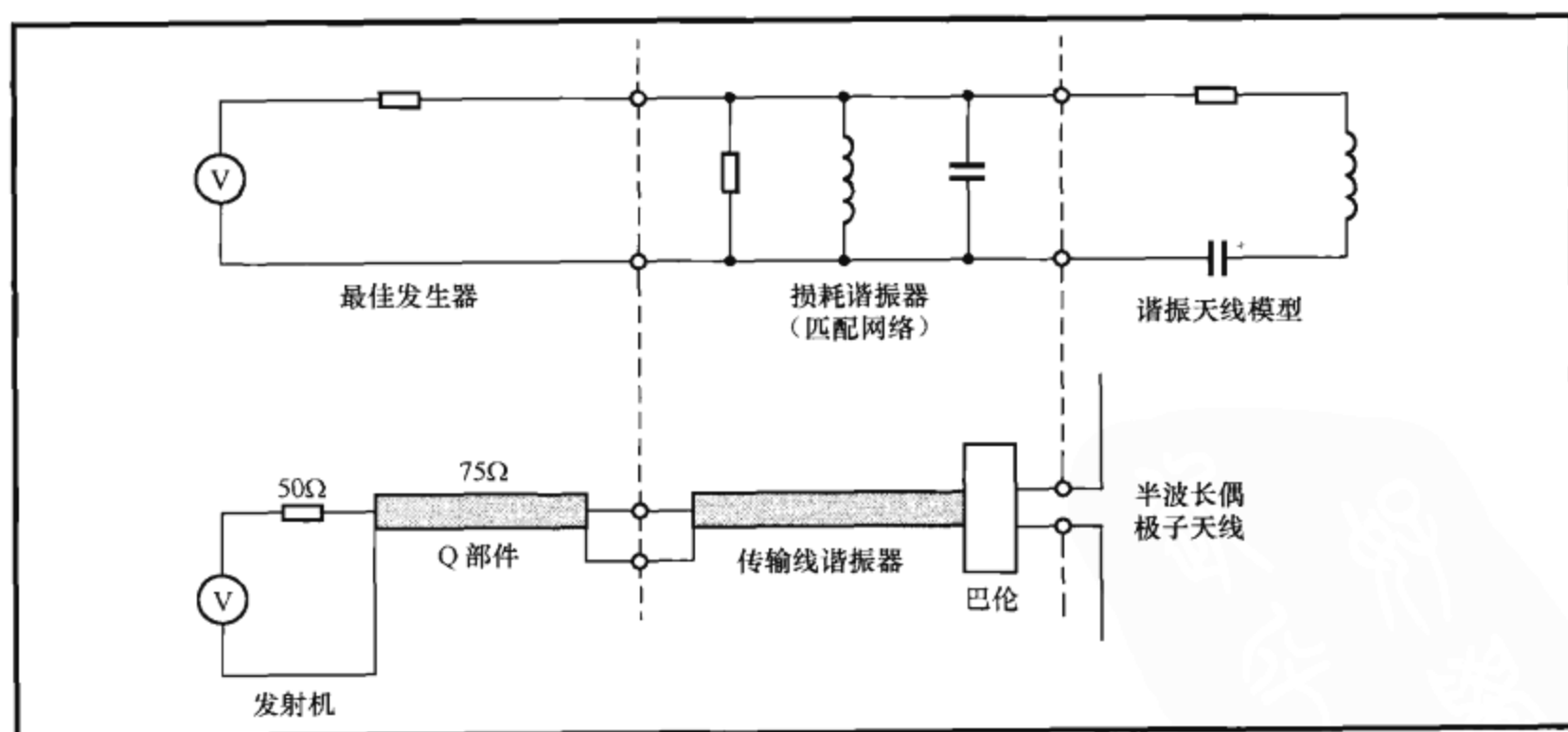
由于图 14-7(a) 中的结构可以产生宽频带匹配，传输线谐振器的阻抗特征和发射机电阻必须在一定的数值范围内。幸运的是，通常我们所使

用的特征阻抗为 50Ω 或者 75Ω 的传输线在这项应用中都可以很好地工作。图 14-3、图 14-4 和图 14-5 中的宽频带天线系统显示了这种方法的可用性。

图 14-7(b) 显示了另外一个重要的方面。对于这项应用，1 个波长传输线谐振器（顶部）的网络参数类似于具有上面谐振器一半特征阻抗的半波长传输线谐振器（底部）。并行连接两个一样的电缆是一种方便的得到更低的特征阻抗的方法。这解释了图 14-3(b) 和图 14-4(b) 的类似之处，以及图 14-3(c) 和图 14-4(c) 的类似之处—— $A/1H$ 。



(a) 损耗宽频带匹配网络等效电路（顶部），以及对应的简单宽频带天线系统单元（底部）。



(b) 这些双传输线谐振器本质来说在这些应用中具有相同的表现。每一个同轴电缆部件的特征阻抗也一样，可以使得较低的谐振器的特征阻抗是上面的一半。

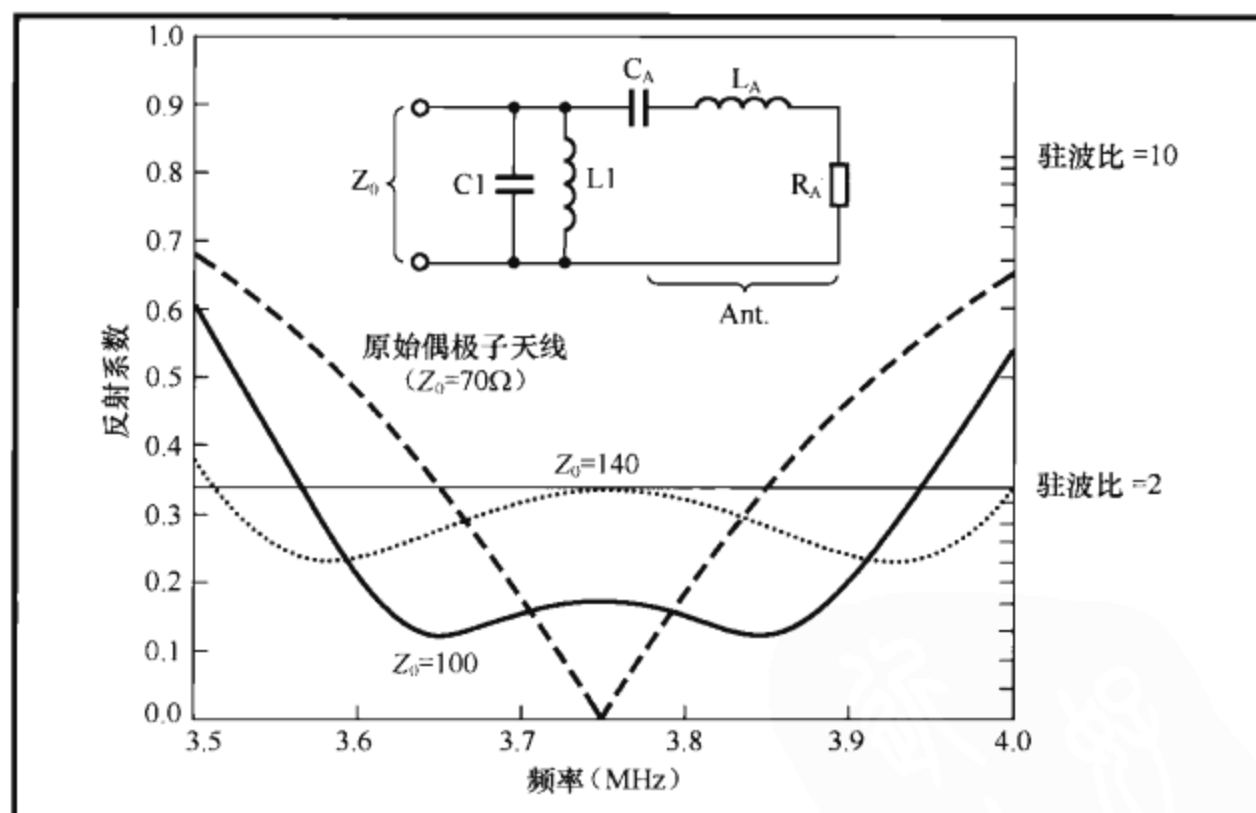
图 14-7 通过一个并行的 LC 网络与合适的源电阻，能使谐振偶极子天线满足宽频带匹配。

——Frank Witt (AllH)

再次探讨 80m 宽频带偶极子天线

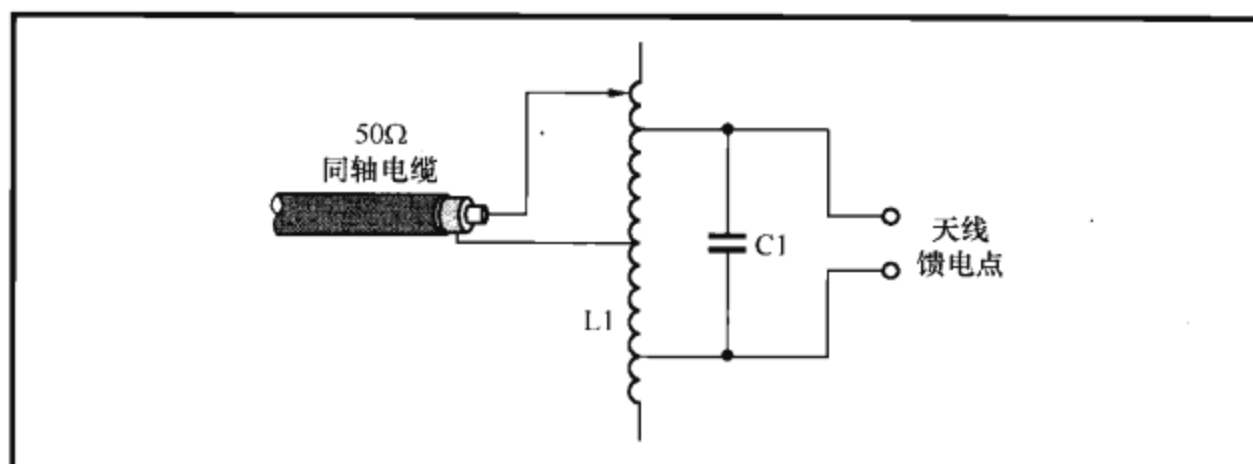
考虑到 K1TD 和 W7ZOI 在 QST 杂志上较早发表的参考文献，设计一架简单的不需要调节的可以使 80m 波长偶极子天线在整个频段上都有合理的驻波比的匹配网络是可能的。当使用 Hayward 的偶极子 RLC 模型时，横跨天线馈电点的简单的并联调谐电路可以在整个频段中（除了频带最小处的 10 ~ 20kHz 部分外），得到小于 2:1 的驻波比，如图 15-1 所示。

图 15-1 单导线偶极子天线和集总参数 (C_1 和 L_1) 偶极子天线的馈电点处计算的反射系数和驻波比随频率的变化。对于 Z_0 为 140Ω 的曲线： $C_1=2000\text{pF}$ ， $L_1=0.9006\mu\text{H}$ ；对于 Z_0 为 100Ω 的曲线： $C_1=3500\text{pF}$ ， $L_1=0.5146\mu\text{H}$ 。



这种方法需要 140Ω 阻抗的源，因此在输入端需要宽频带匹配变压器。我看不出有任何理由不在 L_1 上抽头降压，同时使用 L_1 作为自耦变压器来达到阻抗匹配的功能。事实上，尽管我没有尝试过这种方法，但是在相同的线圈中加入平衡到非平衡的转换仍然是可能的，如图 15-2 所示。为了调谐这样一个网络，在天线没有连接好的时候使用下陷表，然后将网络安装到天线上，再调节输入，在整个频段上得到最优的驻波比。

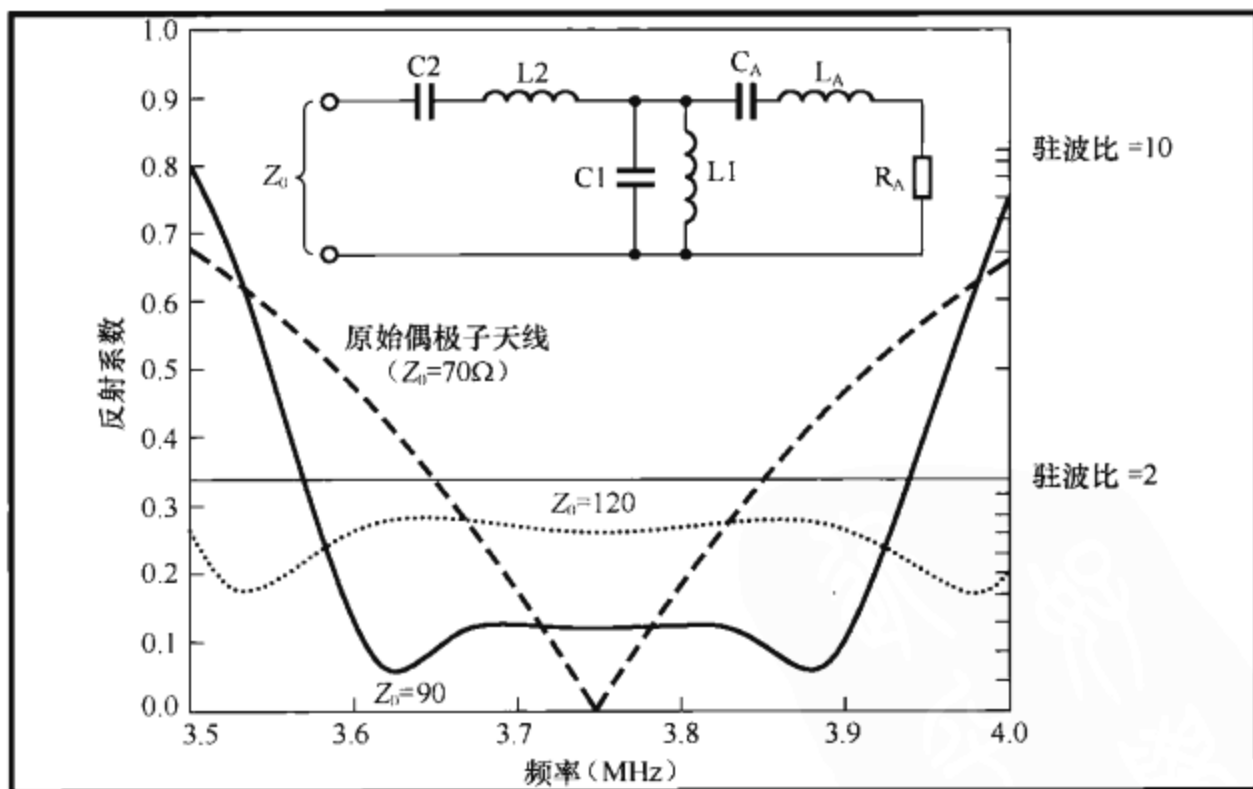
图 15-2 使用非平衡传输线对平衡天线进行馈电的建议方法。同轴电缆的屏蔽导体应当连接到电感线圈的精确中心位置，此电感线圈是天线系统中的电气中枢点。



通过选择较低的特征阻抗，你可以在更窄的频段上得到更低的驻波比（见图 15-1）。重新调节天线和网络将反射中心调整到频段上电话或者 CW 的位置处。

你可以通过在输入端（见图 15-3）加入串联调谐电路，在全波段或窄波段都能得到更好的驻波比。然而这项改进只能说是勉强合格，并会使阻抗增加装置更加复杂，所以可能并不值得这么去做。采用 Hayward 的建议使得天线本身就具有多波段工作的性质可能会更好。其中一个方法就是使用导线笼或者类似的装置使元器件变“大”。当然这同时也会改变 Z_0 、 $L1$ 和 $C1$ 的值。

图 15-3 分路和串联集中参数 ($C1$ - $L1$ 和 $C2$ - $L2$) 天线在馈电点处计算的反射系数和驻波比随频率的变化。对于 Z_0 为 120Ω 的曲线： $C1=3500\text{pF}$ ， $C2=60\text{pF}$ ， $L1=0.5146\mu\text{H}$ ， $L2=30.0211\mu\text{H}$ ；对于 Z_0 为 90Ω 的曲线： $C1=7000\text{pF}$ ， $C2=60\text{pF}$ ， $L1=0.2573\mu\text{H}$ ， $L2=30.0211\mu\text{H}$ 。



——Alan Bloom (N1AL)

陷波共线天线

使用同相部件的简单 3 波段辐射源

这架天线可以在 15m、20m 和 80m 波段使用。在较高的两个工作频率时，天线增加两个用于延长天线长度的半波长导线同相运行，因此可以实现从传统陷波天线的偶极子方式运行中获得增益。

正如 ARRL《业余无线电手册》告诉你的那样，偶极子天线上的宽边增益大约等于将发射机的功率增大一倍，可以通过使用 $1/4$ 波长（延长的双 Zepp）的中心馈电天线来实现。这样做的优点在图 16-1 所示的三波段陷波天线上已经体现出来了。基础天线是一架 80m 波长的偶极子天线。陷波隔离大约 $1/4$ 个波长部件 20m 到 15m。由于 $1/4$ 波长导线的中心并不在电流回路中，导线以短开路馈电线的形式加入到天线上，使天线的总长度达到 $1/2$ 波长，从而在同轴电缆馈电线向天线馈电的馈电点处产生电流回路。使用巴伦将非平衡电缆耦合到平衡天线系统上。

陷波部件的制作

在图 16-1 中所给出的电感线圈和电容器的规格应当满足发射机的输入功率在 100W 或者稍微小点的要求。对于更高的输入功率，电感值和电容值应当一样，但是电感线圈应当使用更重的导线绕制，电容则应当使用像 Centralab 850SL 型一样的发射电容器。我使用蜡纸卷制一个 2.25 英寸形式的线圈圆柱，然后将 18 号导线拧成两股，在线圈圆柱上缠绕，松掉其中一股，用航空模型胶带粘接剩下的线圈匝，制成了我自己的电感线圈。当胶带上的胶水干了的时候，将完成好的电感线圈从线圈圆柱上取下来。至少应该比计算的线圈匝数多出一个完整的线圈匝

来，这样可以方便后续对线圈的剪切。

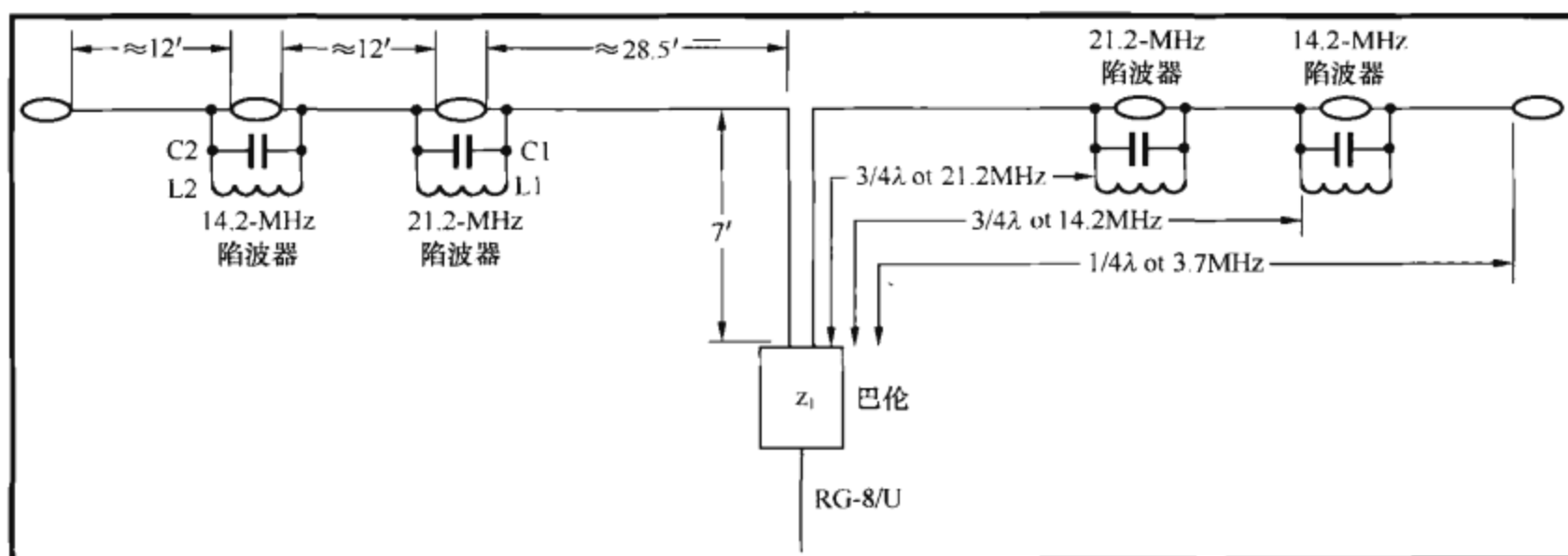
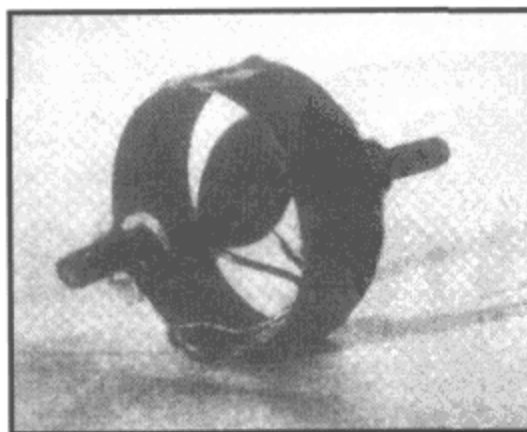


图 16-1 草图显示了陷波共轴天线的大致尺寸。在左边所显示的导线的长度是以 1 英尺为单位的，同时，近似的波长等效值（电气长度）在右手边给出。频率和近似的导线长度是三频段天线中间部分的，是全波段覆盖情况的折中尺寸。增加频率以达到只有电话能够工作的频率或者更低的只能用于连续波通信的频率都是需要的。C1 C2 为 25pF，600V 圆盘陶瓷电容器。L1 大约为 $2\mu\text{H}$ （4.75 匝 18 号直径 2.25 英寸、3/8 英寸长导线）。L2 大约为 $5\mu\text{H}$ （8 匝 18 号直径 2.25 英寸、5/8 英寸长导线）。

如图 16-2 中所示，电容器被放置在电感线圈里面，电容器和电感线圈的两个接线端都焊接到黄铜机械螺丝的顶部。这些螺丝是用来固定如图 16-3 所示装配在正中央的塑胶防水容器的。容器的大小约为 1 品脱，很容易找到，通常用来装洋芋片沾酱、冰淇淋、番茄酱、牡蛎和杂货店里放小玩意。螺丝穿过顶部的涂层到达容器的底部，用螺母拧紧。这个容器在天线上一个合适的点通过绝缘子上垂到底座螺丝的短导线，自绝缘子悬挂下来，在底座螺母上使用第二个螺母进行固定。

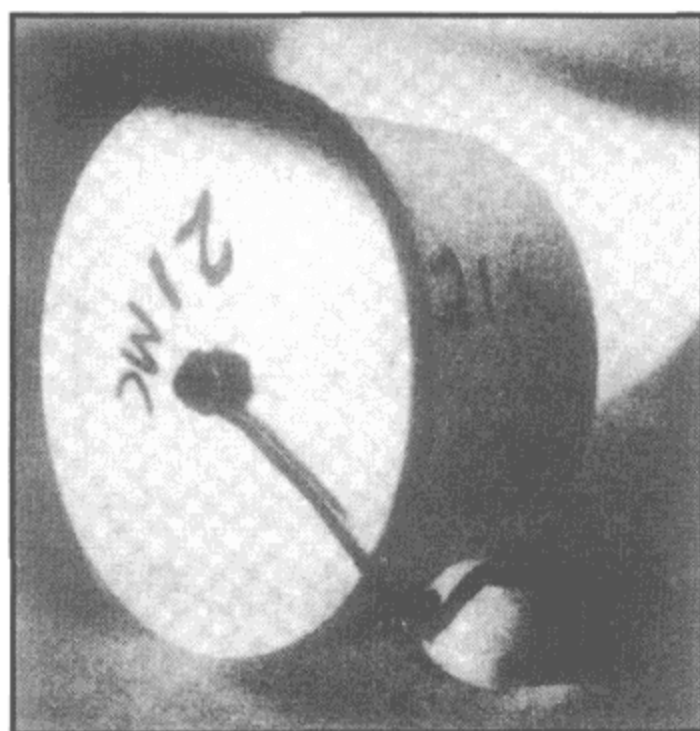
图 16-2 陷波单元已经准备好安装到具有防护恶劣天气能力的容器中。



将陷波器安装进容器之后，还需要对它们进行调节，通过小心剪切线圈的同时检查栅流陷落式振荡器，以使天线可以在指定的频率上谐

振。张力绝缘子和缠绕在上面的导线都应当包含在内，如图 16-3 所示，因为绝缘子电容和陷波电容器是并联的（参见 ARRL《业余无线电手册》）。由于谐振是可以接近的，因此可以通过将最后一匝线圈剩下的部分做成一个发夹形状，然后弯曲或者扭曲这个发夹状的导线来调节它和线圈主体之间的电感关系，这样最终就可以完成对于谐振的调节。

图 16-3 完成好的 21MHz 陷波器和它的支撑绝缘子，已经准备好用栅陷式振荡器进行检查了。



天线调节

天线谐振可以通过缩短 7 英尺开路导线传输线的末端并和栅流陷落式振荡器耦合来检查。最初，导线的长度应当设计为 1 英尺或者比图 16-1 中所示的长度略长。刚开始仅仅可以使用 21MHz 部件，将每一个导线部件的外端与 21MHz 陷波绝缘子的一边锚定，同时将它连接到陷波器的一边。增加的绝缘子应当临时系在陷波绝缘子和天线支撑索之间，然后逐渐地缩短导线，直到栅流陷落式振荡器显示我们所需要的谐振频率。

然后增加第二个部件和陷波器，在 14MHz 的波段同样调节天线至我们所需要的谐振频率。导线的末端部件再增加，然后再进行调节，在 3.5MHz 波段达到我们想要的谐振频率。

进行天线调节时，不要在陷波器已经被使用栅流陷落式振荡器调整好之后再调节它；只能够改变导线片段的长度来调节天线。投入大量的时间和忍耐力来做这项调节工作。这项工作不可能在很短的时间内正确

地完成。

我使用了一个中心支撑杆，巴伦装入到安装在支撑杆顶部的防水盒子里。

使用这样一副天线所得到的结果是很好的。将它作为流行的倒 V 形天线使用，将支撑杆放置在天线的中间处，末端系上绝缘管套、护栅、晾衣绳或者任何其他手边的东西，可以简单地使天线的末端旋转到不同的位置而改变天线的方向。在没有进行一半尝试的情况下，我带着 DX-60 在 44 个乡村工作过。我现在正在搬往乡村，我将在这里提供许多这样的天线。我也希望能把反射器加入进去（好吧，一个人可以梦想，不是么？）。

——Wesley M. Bell (W7QB)

建造可以在 40m、80m 和 160m 波段使用的节省空间的偶极子天线

一种仅仅使用 RG-58 同轴电缆和 PVC 管的新型陷波器设计，相比于传统的同轴电缆陷波器可以产生更好的空间利用率。

目前比以往更多的火腿族想要使他们的天线工作在低频段，他们需要更加节省空间的天线以便适合于安装在空间较小的地方。在这里我将介绍如何利用我所谓的超级陷波器，也就是改进的同轴电缆陷波器，建造更短的可以适用于 40m、80m 和 160m 波段的天线。这架天线覆盖了低于 7.3MHz 的三个业余无线电频段，它的长度和全尺寸的 80m 波长偶极子天线的一样。如果天线的两端夹角为 90° ，呈倒 V 形安装，基线长度为 88 英尺。天线使用的陷波器很好制造且很结实，可以防范恶劣天气。在天线上并没有使用暴露在空气中的电容器和电感线圈。

你可以使用平衡的 75Ω 传输线直接对天线进行馈电，或者通过一个 1:1 的巴伦接上 50Ω 或者 75Ω 的同轴电缆。馈电线的长度并不严格。天线在 1.865MHz、3.825MHz 和 7.225MHz 频率处产生谐振。我在我的院子里就安装了一架这样的倒 V 形，顶点高度为 38 英尺，末端距天线中心 15 英尺的天线。

作为这项计划的一部分，我编写了一些 BASIC 语言的计算机程序来辅助陷波器的设计；清单可以从 ARRL 处获得。你可以使用这条程序来设计符合你要求的谐振频率的陷波器，但是并不需要使用计算机来设计这里所描述的天线。

图 17-1 给出了天线的设计图。使用 14 号双绞导线和两对同轴电缆陷波器来制造天线。在大多数情况下，天线的建造是传统的方式，除了由于独一无二的陷波器产生的高电感电容比率 (L/C) 的情况。

陷波器使用 RG-58 同轴电缆核心（介质和中心导体）的两层线圈。同轴电缆具有灵活的粗糙的双绞线中心导体，相比于尖利的单股导线中心导体而言更为适合。图 17-2 给出了陷波器。3.8MHz 的陷波器去除掉

了电气胶带的天气防护保护层，以显示它的实际制作细节情况。

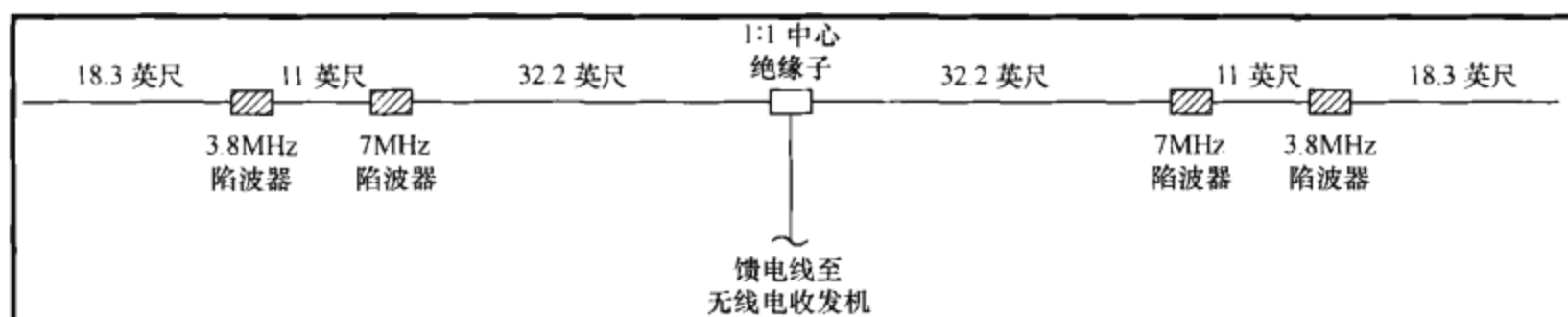
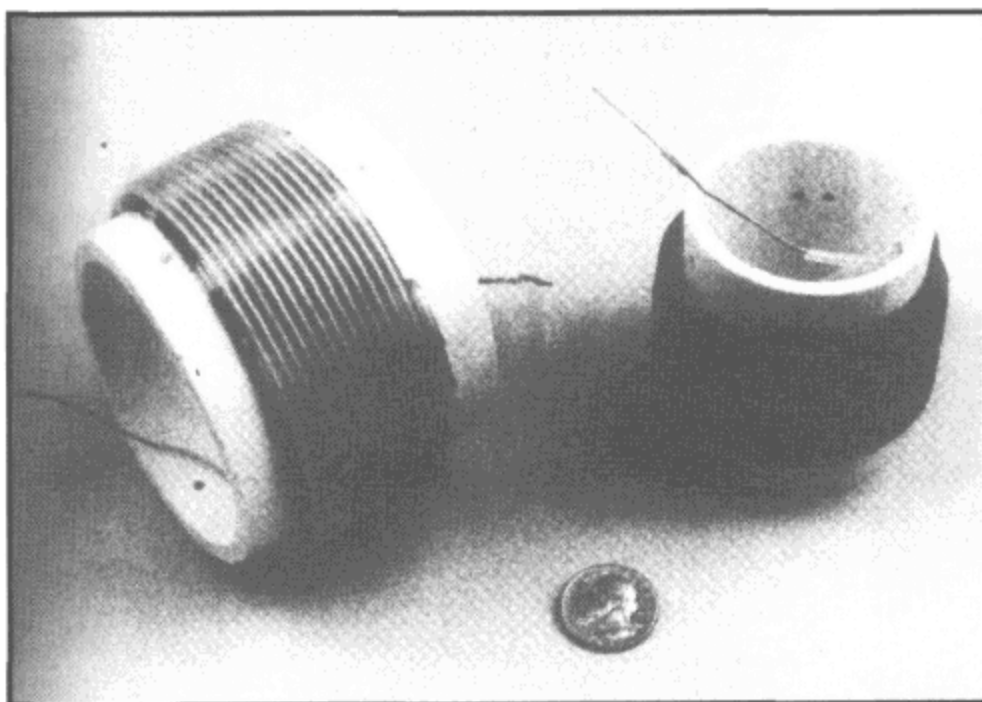


图 17-1 缩短的偶极子天线谐振在 40m、80m、160m 波段的单边带部分。天线的长度为 124 英尺。

图 17-2 改进的同轴电缆陷波器使用双层绕线组来提供非同寻常的高电感值电容值比，更高的 Q 值，并且使击穿电压上升为单层陷波器的两倍。这里所看到的 3.8MHz 陷波器并没有它的起保护作用的电气绝缘胶带，以便可以看清楚陷波器的内部构造。这种制作陷波器的方法可以使制造出来的陷波器简单，重量轻，结实同时还可以抵御恶劣天气的影响。



预防和陷波器规范

使用这样一个陷波器一线圈的构造，在临近的两个线圈之间有两个厚度的核心介质材料，这就可以将陷波器的击穿电压增大一倍。两个线圈之间的变压器作用可以将势阱电压率增加一倍。因此势阱电压率为 5.6kV (是 RG-58 同轴电缆势阱电压 1.4kV 的 4 倍)。传统的使用 RG-58 同轴电缆制作的陷波器具有 2.8kV 的势阱电压。

7MHz 的陷波器具有 33 μ H 的电感值和 15pF 的电容值，3.8MHz 的陷波器具有 74 μ H 的电感值和 24pF 的电容值。陷波器的 Q 值在它们的设计频率处可以超过 170，与使用 Boonton Q 值计测量得到的值几乎相同。

这些陷波器都适合于在 1kW 的功率水平下工作。在制作陷波器时，

不要使用 RG-8X 或者任何其他泡沫绝缘的电缆。在很小直径的模具上缠绕这样的一种电缆线将会使中心导体向模具一侧移动，降低击穿电压，同时还会影响陷波器的性能。核心的直径同样也和使用 RG-58 的不同。

制作

尽管这些陷波器在许多方面和使用其他类型的同轴电缆制作的陷波器差不多。正常同轴电缆陷波器的屏蔽线圈可以使用平坦的和由内层引起的凹槽吻合的线圈所代替。电容相比于传统的 RG-58 电缆制作而成的同轴电缆陷波器的 28.5pF 每英尺，可以降低到 7.1pF 每英尺。陷波器阻抗相当于传统同轴电缆陷波器所能够提供的阻抗的 4 倍。

电感线圈模具是使用水管商店里可以买到的 PVC 管剪切得到。利用外直径为 2.375 英寸的 2 英寸的 PVC 管可以制造 7MHz 陷波器；利用外直径为 3.5 英寸的 3 英寸的 PVC 管可以制造 3.8MHz 陷波器。7MHz 陷波器使用 12.3 匝内圈线圈，11.4 匝外圈线圈；3.8MHz 陷波器使用 14.3 匝内圈线圈，13.4 匝外圈线圈。内圈陷波器的频率为 7.17MHz，外圈陷波器频率为 3.85MHz。

如果你没有和上面所提到的管径完全一致的 PVC 管，可以利用线圈匝数和管道直径成反比的原理，通过调整线圈的匝数，使你的陷波器达到要求。比如你的管道直径比我们所要求的大 5%，那么就将线圈的匝数减小 5%。如果需要，可以在外部线圈的末端增加或者减小线圈片段。如果你有一台计算机，你可以使用 BASIC 语言编写程序来计算对应于其他管道直径所需要的真实线圈匝数。尽可能地使用规定尺寸的管道，因为管径不同将会改变陷波器的负载作用。陷波器负载很小的变化就需要末端片段远离陷波器一段距离。

使用 30 号（直径为 0.128 英寸）的钻孔机在 PVC 形式的线圈匝上来钻馈电孔。对于 7MHz 的陷波器所钻的孔在起始和末端都应该距离管道中心 1.44 英寸的距离，并且所钻的孔是平行于陷波器中心线的管道中心处，对于 3.8MHz 的陷波器这个距离为 1.66 英寸。使用单根同轴芯线将陷波器缠绕紧。对于 7MHz 陷波器和 3.8MHz 陷波器，未拼接的长度分别为 17.55 英尺和 28.45 英尺。这些长度包含了陷波器引线 and 用于调谐的一小段部分。

将同轴电缆的外壳剥掉，可以使用木工老虎钳很容易地完成。首先

用宽叉钳夹住电缆，同时使用锋利的刀或者剃刀纵向地切开外壳。同轴电缆的外导体（屏蔽层）最好是向外推开而不是拉掉。

在制作线圈的过程中，使用绝缘胶带来保持内层线圈的线圈匝非常紧密地分布。这样可以抵消掉外部线圈慢慢松开并且和内部线圈分离的趋势。在绕线圈之前，将胶带条直接粘在线圈结构上，然后在缠绕外部线圈之前，先紧紧地将内部线圈缠绕在内部线圈结构上。每一个陷波器都要使用 6 卷胶带。

如果可能，建议使用栅陷测试振荡器来测量你所制作的陷波器的谐振频率。试着将误差保持在 50kHz 或者更好的范围之内。

对于低噪声的接收，可以将天线尽可能的水平竖立。如果你将天线的末端垂到了地面上，按照我所说的安装倒 V 形天线的做法，你可能会接收到稍微有点高的噪声，这样是为了方便建造和减小基线长度。有些人认为在相同高度的情况下，与水平偶极子天线相比，倒 V 形天线更加适合于远距离传输。因为对于一架具有 90° 夹角（天线臂向下倾斜 45°）的倒 V 形天线，你将会需要最小的顶点高度，大约为 55 英尺，同时基线长度为 88 英尺。为安全起见，尽可能将你的天线放置在更好的位置，并且使天线的末端距离地面至少 10 英尺的距离。

结构和性能的折中

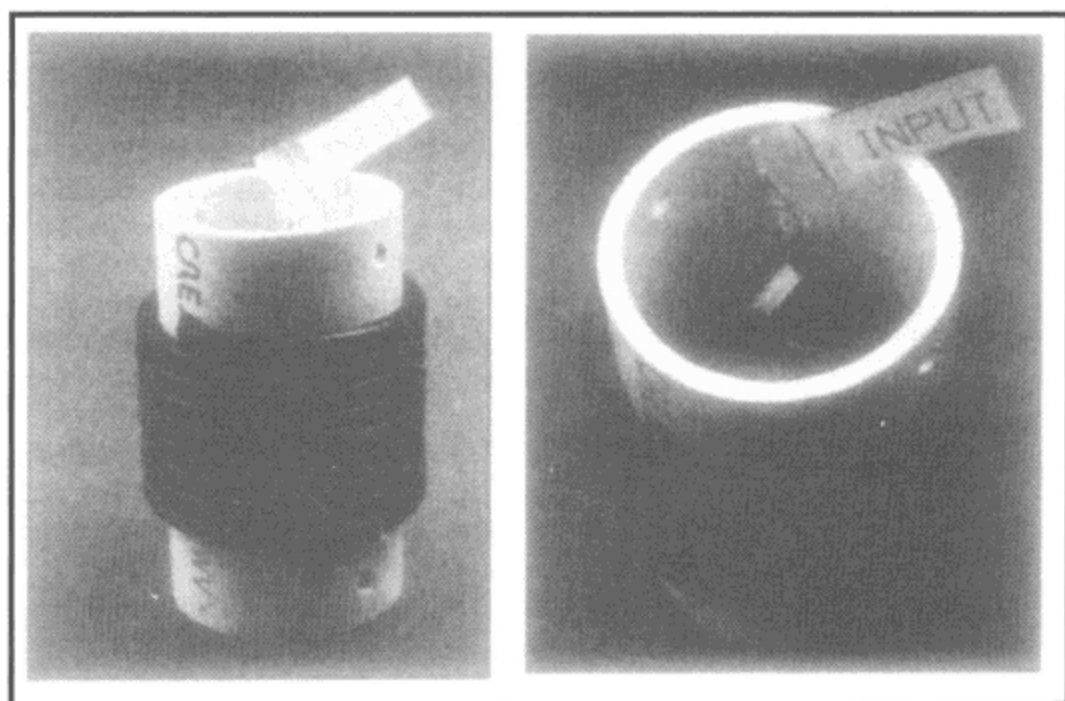
很少有人在不付出任何代价的情况下得到什么，对于这架天线来说也不例外。对于所有的陷波偶极子天线，这架天线具有比理想带宽更小的带宽，这是由于陷波器负载的影响。这个也是为天线可以覆盖多个波段和拥有更小的尺寸而付出的代价。在要求系统的驻波比小于 2:1 的前提下，这架天线覆盖了 160m 波段的 65kHz 带宽，80m 波段的 75kHz 带宽，以及整个 40m 波段。而使用天线调谐器可以将天线在 160m 波段和 80m 波段的带宽限制大大减小。

同时必须意识到陷波器最好在天线上电流较小的位置处使用，这样可以减小 I^2R 的陷波器损耗，这一点非常重要。因此相对较高的辐射电阻也可以得到保留。

祝你的低频段天线好运。

——A. C. Buxton (W8NX)

两种新型多波段天线



W8NX 详细描述了一种新型的用于多波段天线的同轴电缆陷波器设计：一种覆盖了 80m、40m、20m、15m 和 10m 波段，另外一种覆盖 80m、40m、17m 和 12m 波段。

在过去的 60 到 70 年里，业余无线电爱好者使用过很多种多波段天线来覆盖传统的高频波段。30m、17m 和 12m 波段的实用性扩展了我们使用的多波段天线所需要覆盖的频段。少数幸运的人有空间和资源来安装这样一架菱形天线或者长的 V 形天线，但是众多的火腿族都使用倒 L 形的长线天线或者并行偶极子天线。老资格的无线电爱好者会重提 20 世纪 30 年代，第一种版本这样的天线使用的是单导线传输线，后来的设计慢慢变为双导线馈电线的偏离中心馈电的温顿天线。这些年来，随机长度的偶极子天线利用开路导线馈电线的辅助调谐器成功地作为多波段天线广为人用。G5RV 多波段天线是这种方法制作出来的一架

专业天线。

在过去的几十年里，有两个因素影响了多波段天线的发展——低阻抗（通常为 50Ω ）同轴电缆馈电线和非调谐 50Ω 固态放大器。只有当一副天线工作在基准频率或者是奇次谐波频率时，它才会表现出低阻抗的性质。尽管天线系统在指定的频率谐振时使用天线调谐器是必需的，但是对于在简单的天线上如何实现展宽工作频带覆盖范围的寻求仍然在继续。

在 20 世纪 30 年代末，一种不同的技术方法出现了，这就是在天线上出现的谐振陷波器。“Mims Signal Squirter”是现代三波段天线的祖先。这篇文章详细讨论了应用于两架多波段偶极子天线的创新的陷波器设计。

W8NX 陷波器设计——两副多波段天线

这里描述了两架不同的多波段天线。第一副天线的频带覆盖了 80m、40m、20m、15m 和 10m 波段；第二副天线覆盖了 80m、40m、17m 和 12m 波段。两架天线都使用了相同的 W8NX 陷波器设计，但却使用不同的工作模式，同时使用一对电容性短截线来增大天线覆盖的频率范围。新的 W8NX 同轴电缆陷波器有两个不同的工作模式：高阻抗模式和低阻抗模式。陷波器的内导体线圈和屏蔽线圈在两种模式下都是以常规的方法串行连接。但是，低阻抗和高阻抗模式都可以作为陷波器的输出终端使用。对于低阻抗工作模式，只使用陷波器线圈的中心导体匝。对于高阻抗模式，所有的线圈都是以常规的方式作为一个陷波器使用。两副天线上的短截线都可以改变长度和在天线上的位置，这是为了给调节天线的谐振频率留有更多的回旋余地。

图 18-1 给出了 80m、40m、20m、15m 和 10m 波段天线的构造。辐射元件是用 14 号铜绞线制作而成的。元件的长度是以英寸为单位的线跨长度。这些长度并不包含巴伦、陷波器和绝缘子上的引线长度。32.3 英尺长内部 44m 片段是从输入巴伦的金属眼处到陷波器线圈结构上张力缓冲孔的距离。4.9 英尺长度是从陷波器上张力缓冲孔到 6 英尺短截线的距离。16.1 英尺外部片段跨度是从短截线到末端绝缘子上孔的距离。同轴电缆陷波器缠绕在 PVC 管线圈结构上，并且使用低阻抗的输出连接。短截线是 6 英尺长的 1.8 英寸硬铝制或者铜制棒，悬挂成与天线辐射元件正交的位置。短截线长度的第 1 个 1 英寸的位置处弯曲成

90°，以便允许采用铜制卷曲连接器和辐射元件相联接。可以使用普通的 14 号导线作为短截线，但是长期使用 14 号线会有卷曲的趋势，并会变得杂乱，除非你在天线的末端负上重。我建议大家使用 75Ω 同轴电缆传输线通过高质量的 1:1 巴伦，对天线进行馈电。

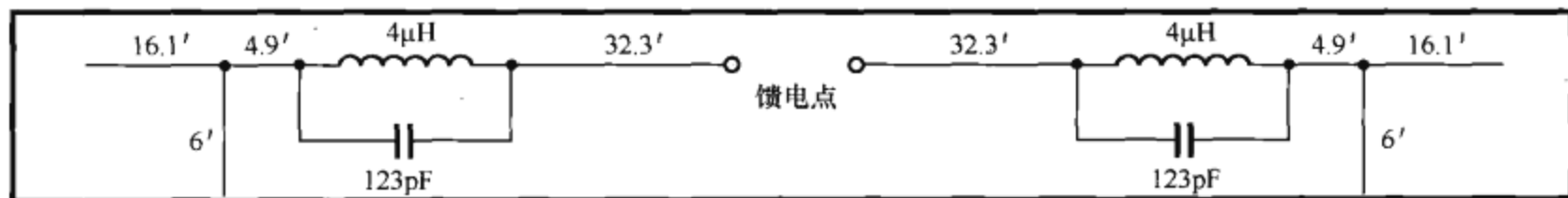


图 18-1 W8NX 的 80m、40m、20m、15m 和 10m 频段使用的多频段偶极子天线。这里所看到的同轴电缆陷波器的值 (123pF 和 4μH) 是为在 7.15MHz 并行谐振而设计的。每一个陷波器的低阻抗输出都利用到了。

这副天线可以被认为是 W3DZZ 天线（这种天线已经在各种 ARRL 出版物上出现了很多年）增加了电容性短截线的改良版。短截线的长度和位置给了天线设计者额外的自由度，可以将天线的谐振频率调谐至业余无线电频段内。这样的一个频带弹性对于将 10m 或者 15m 波段天线的谐振频率移到这些波段的其他位置处尤其有所帮助。W3DZZ 天线的实际 10m 波长谐振频率稍微有点高于 30MHz，很恰当地远离了其他所需要的低频段，10m 波段为低频的上限。

图 18-2 给出了 80m、40m、17m 和 12m 波长天线的构造。注意到电容性短截线是直接连接到紧跟陷波器的外部，并且是 6.5 英尺长，这个长度比短截线应用于其他天线时长了 0.5 英尺。陷波器和适用于其他天线上的一样，这是为了高阻抗输出模式连接。由于这副天线只要覆盖 4 个波段，将天线很好地调谐到所有 4 个所需要的谐振频率更加容易些。12.4 英尺长的天线末端可以剪切掉以适合于 17m 波长的工作频率，同时对 12m 波长的谐振频率不会有太大影响。同样，短截线的长度也可以剪切到适合于 12m 波长的谐振频率而不会对 17m 波长的谐振频率产生太大的影响。所有这两种剪切都只会些微地改变 80m 波长谐振频率。由于这架天线在 17m 和 12m 波长频段内的带宽是如此的宽，以至于很少会出现这样的剪切。40m 波长的工作频率几乎独立于电容性短截线的调节和外部辐射末端元件的调节。正如前面所描述的第一副天线那样，偶极子天线使用 75Ω 的巴伦和馈电线进行馈电。

图 18-3 给出了陷波器的示意图。它解释了陷波器工作于高阻抗模式和低阻抗模式下的不同之处。注意到高阻抗终端作为输出结构是大多数传统的对陷波器的应用。低阻抗的模式是电流仅仅只穿过内部导体线圈匝，对应于整个陷波器总线圈匝数的一半。这个模式可以将陷波器的

阻抗降低到高阻抗模式时的 $1/4$ 水平。这个就是为什么一个简单的陷波器设计就可以适用于两架不同的多波段天线。

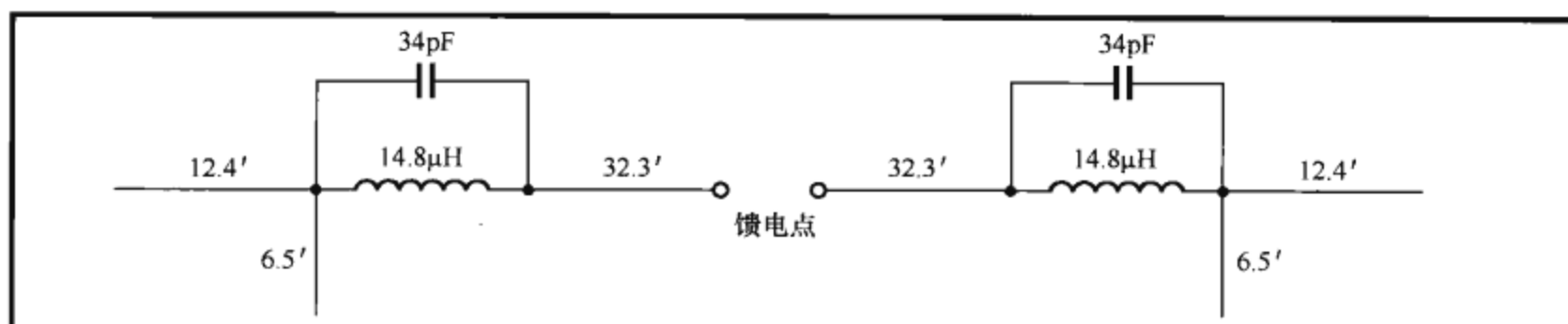


图 18-2 W8NX 的 80m、40m、17m 和 12m 频段使用的多频段偶极子天线。对于这副天线，每一个陷波器的高阻抗输出都利用到了。陷波器的谐振频率为 7.15MHz。

图 18-3 W8NX 同轴电缆陷波器示意图。RG-59 同轴电缆缠绕在 2.375 英寸的 OD PVC 管上。

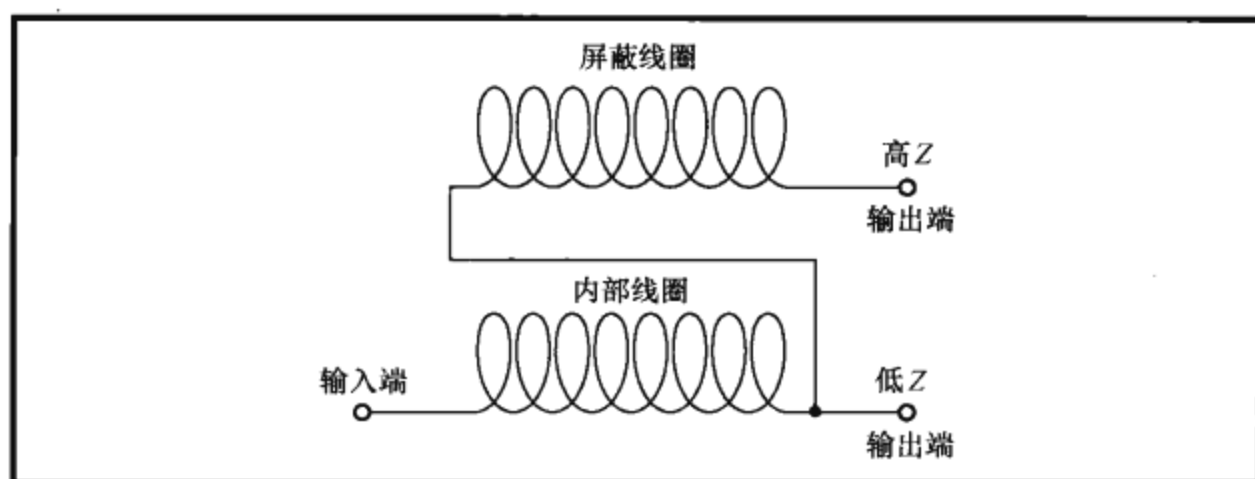
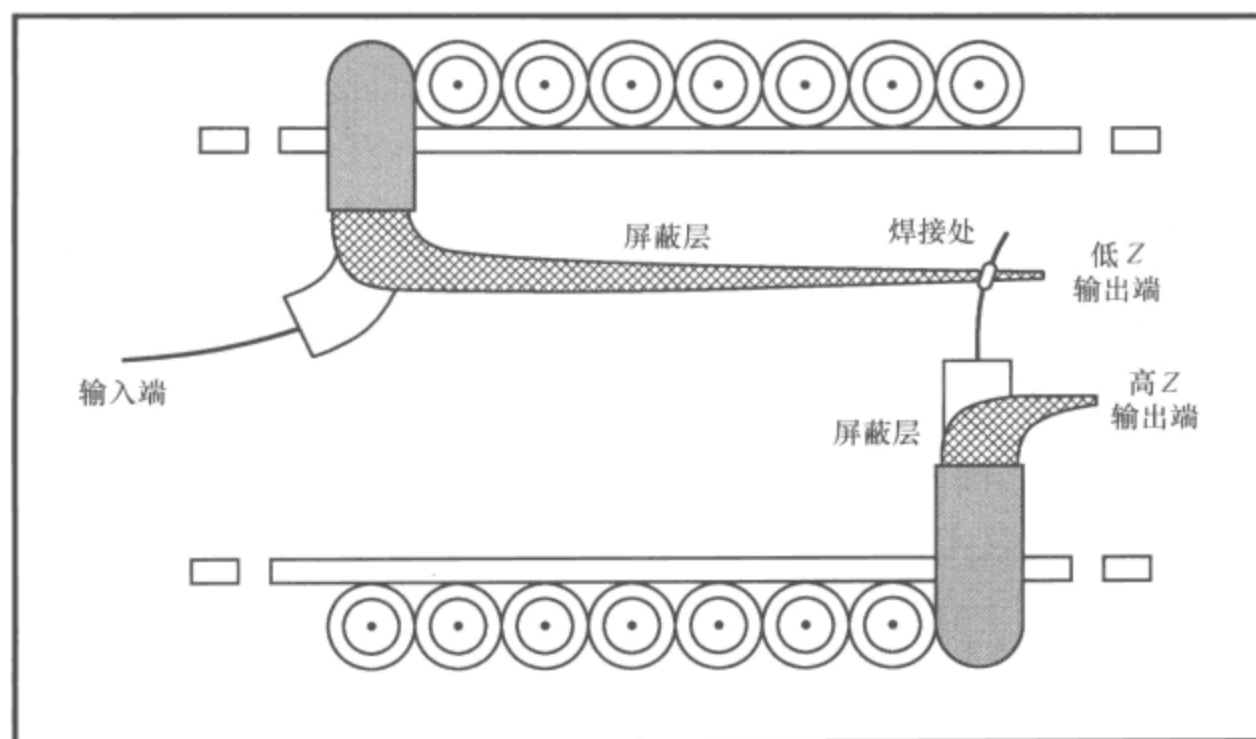


图 18-4 为同轴电缆陷波器交叉部分的示意图，这个交叉部分看上去是穿过长的同轴电缆陷波器的中轴线的。注意到这里所描述的陷波器就是传统的同轴电缆陷波器，当然这个陷波器没有增加低阻抗输出终端。该陷波器是 8.73 圈紧限位 RG-59(Belden 8241) 线圈匝绕在 2.375 英寸直径的 PVC 管（把 40 根管子标上 2 英寸的记号）线圈结构上。这个线圈结构是 4.125 英寸长。陷波器的谐振频率对线圈结构的外部直径非常敏感，所以要仔细地检查。不幸的是，并不是所有的 PVC 管在制造的时候管壁的厚度都是一样的。在安装之前，应当使用栅陷测试振荡器和通用覆盖的接收机，调谐到和 7.150kHz 误差在 50kHz 之内的谐振频率，来对陷波器的谐振频率进行细致地检查。线圈结构的每一端都应该留下 1 英寸的空白距离，以便可以让同轴电缆穿过孔，这个孔是用来减小天线辐射元件连接到陷波器上时所产生的张力的。使用 RTV 密封剂确保同轴电缆陷波器的两端是密封的，以防止水汽进入同轴电缆内。

图 18-4 W8NX 同轴电缆陷波器制作的详细图示



同样，要确定已将 32.3 英尺长的导线元件连接到陷波器线圈内部导体的起始端上。这样可以避免同轴电缆屏蔽层所产生的寄生电容造成的天线的失谐。陷波器的输出终端（这里有屏蔽层寄生电容）应当位于陷波器的外侧边。颠倒陷波器的输入和输出终端会将 40m 波段的谐振频率降低大约 50kHz，但它对其他波段的影响可以忽略不计。

本文的题图给出了一个同轴电缆陷波器。陷波器的详细安装过程如图 18-5 所示。这幅图专门应用于 80m、40m、20m、15m 和 10m 波段的多波段天线，此时连接的是陷波器的低阻抗输出端。如果你使用不同的布局方式，你就必须相应地改变天线跨径的长度。所有的连接都使用卷曲连接器而不是使用焊接的方式。使用卷边工具比使用焊锡工具更加容易达到进入陷波器内部的目的。

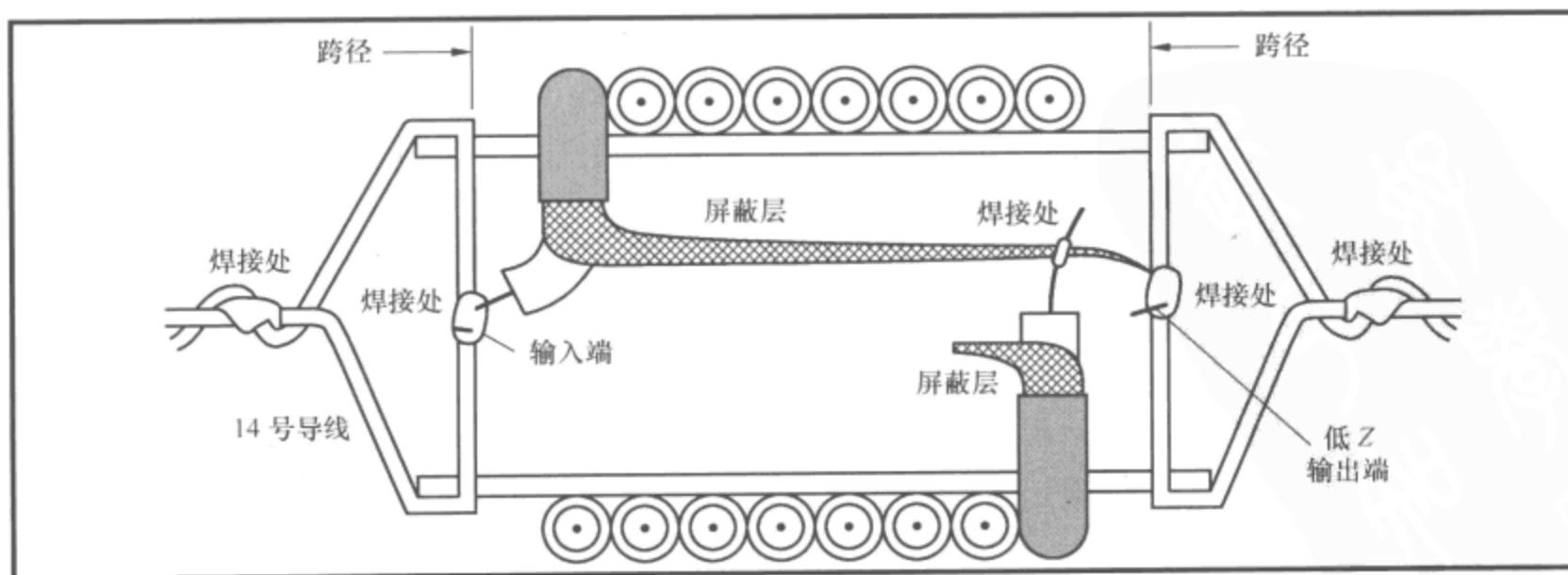


图 18-5 W8NX 同轴电缆陷波器制作的附加说明

天线辐射方向图

上述两副天线的性能都是非常令人满意的。我现在正在使用的是 80m、40m、17m 和 12m 波段的多波段天线，因为它覆盖了 17m 和 12m 的波段（我有一副 20m、15m 和 10m 波段的三频段天线）。当天线工作于 17m 波段时，天线的辐射方向图跟 $3/2$ 波长偶极子的一样。在我所在的位置也就是俄亥俄州的 Akron，天线主要是运行在东西方向。天线一般以倒 V 形安装，中心的高度为 40 英尺，天线两臂之间的夹角为 120° 。由于短截线非常短，因此只能辐射出很小的能量，对天线辐射方向图的贡献也很小。对于 17m 波长的天线，主辐射波瓣有 4 个，最高值分别在东北方向、东南方向、西南方向和西北方向。这些可以提供低小角度辐射至欧洲、非洲、南太平洋、日本和阿拉斯加。一对较窄的小的侧边旁瓣可以提供向北方和南方的辐射，涵盖了中美洲、南美洲和极地地区。

在工作于 12m 波长时，天线仍然有四个主波瓣，可以提供几乎是延轴向的辐射，并且具有好的小角度的面向东方和西方的覆盖。同样天线工作于 12m 波长时，这里还有三对非常窄的较小的旁瓣，辐射值的大小大概比主轴向辐射波瓣小 6dB。当天线工作于 80m 和 40m 波长时的辐射方向图，一般情况下为半波长偶极子天线的辐射方向图。由于我的屋子使用了铝制材料，因此天线在实际应用时会出现辐射方向图失真扭曲和输入阻抗影响。然而，远距离交换传输可以很容易地使用这些天线和一个 100W 的无线电收发机进行工作，当然前提是在高频波段开放的时候。

这两副天线的功能都相当于电尺寸为半个波长的偶极子天线，分别工作在 80m 和 40m 波段，并且具有较低的驻波比。而在工作于其他频率时，它们的功能都相当于奇次谐波电流馈电的偶极子天线，同时具有更高的但是可以接收的驻波比。短截线的存在可以提高或者降低天线作为常用的三次或者五次谐波偶极子天线工作时的阻抗。同样，我再次建议使用 75Ω 的同轴电缆而不是 50Ω 的同轴电缆作为馈电线，这是由于当天线工作在谐波频率时，输入阻抗往往比其工作在基准谐振频率时更高。

我对这两副天线的驻波比曲线都进行了仔细的测量。使用的是 Palomar Engineers 的 $75\text{-}50\Omega$ 转换器，将这个转换器嵌入到 75Ω 同轴馈电线到我的 50Ω 驻波比电桥之间。这个转换器可以防止在 75Ω 到 50Ω 连接时出现的阻抗不连续和额外的我们所不希望出现的传输线反射。使

用 50Ω 驻波比电桥来测量 75Ω 传输线时，需要使用这样的阻抗转换器，以保证精确地测量驻波比。然而即使没有使用阻抗转换器，对于仪器设备也是没有伤害的。绝大多数的 50Ω 设备都可以令人满意地和 75Ω 传输线一同工作，尽管这需要在最终的设备或者天线调谐器的输出级使用不同的调谐和负载设置。我只是在低功率水平的情况下测量驻波比时才使用 $75\text{-}50\Omega$ 阻抗转换器。转换器的额定工作功率大概为 100W ，当我使用我的 1kW 峰值功率线性放大器时，我会把阻抗转换器从传输线中取出（我希望我忽略阻抗转换器的想法不会在将来的某一天惩罚到我）。

图 18-6 中给出了 80m 、 40m 、 20m 、 15m 和 10m 工作波长天线的驻波比曲线。当天线工作于 80m 波长时，最小的驻波比几乎为 $1:1$ ，当天线工作于 40m 波长时，最小的驻波比几乎为 $1.5:1$ ，当天线工作于 20m 波长时，最小的驻波比几乎为 $1.6:1$ ，当天线工作于 10m 波长时，最小的驻波比几乎为 $1.5:1$ 。当天线工作于 15m 波长时，最小的驻波比 $3:1$ 略小。当天线工作在 15m 波长时，短截线的电容性电抗连同天线外部片段的电感性电抗产生了阻抗谐振上升，可以将天线的输入阻抗升高至 220Ω ，高于通常的 $3/2$ 波长偶极子天线的输入阻抗。因此在这个工作波段需要使用天线调谐器，在这些负载条件下保持固态的最终输出级。

图 18-6 以倒 V 形安装的顶点高度为 40 英尺，天线两臂之间的夹角为 120° 的 80m 、 40m 、 20m 、 15m 和 10m 波段天线测量得到的驻波比。

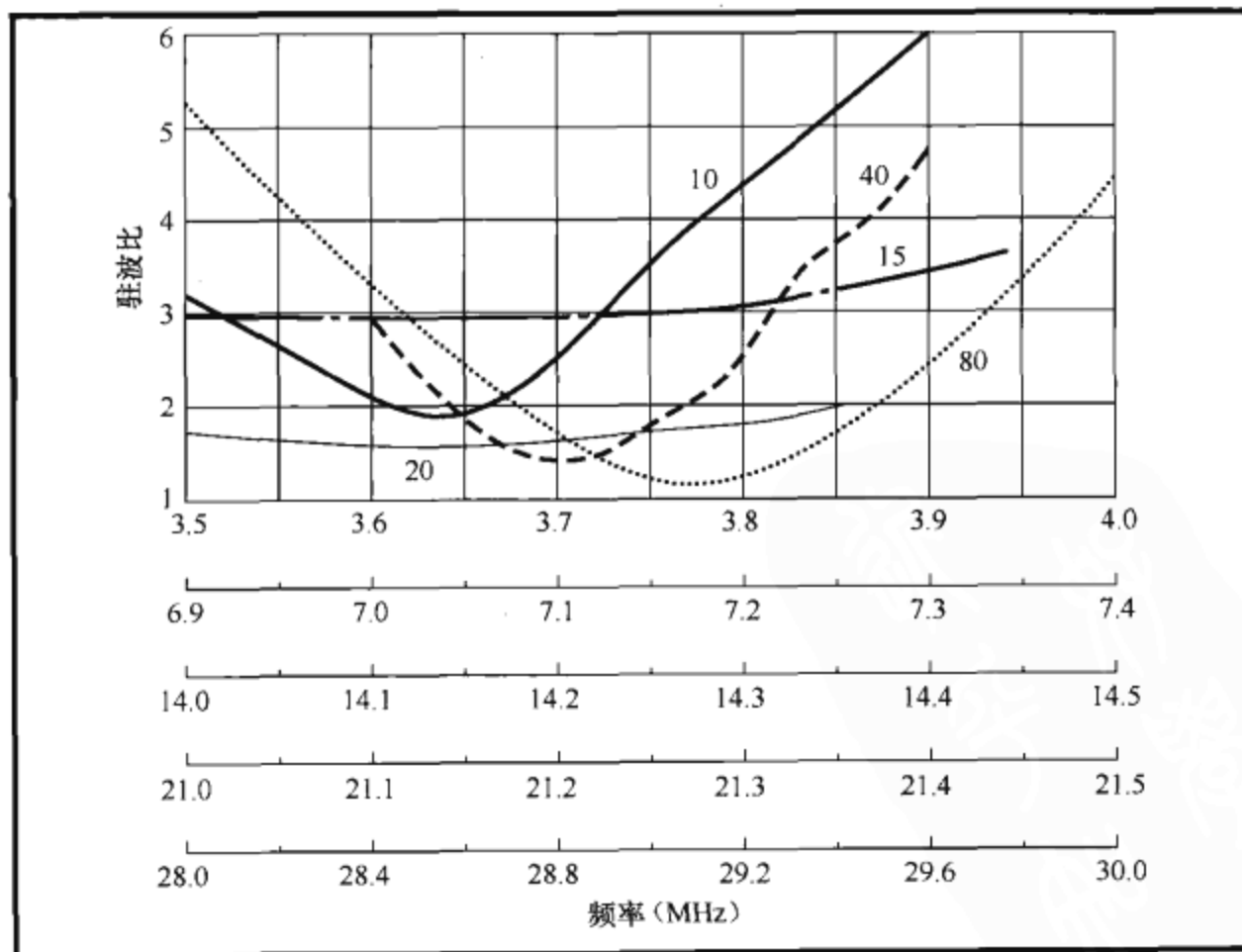


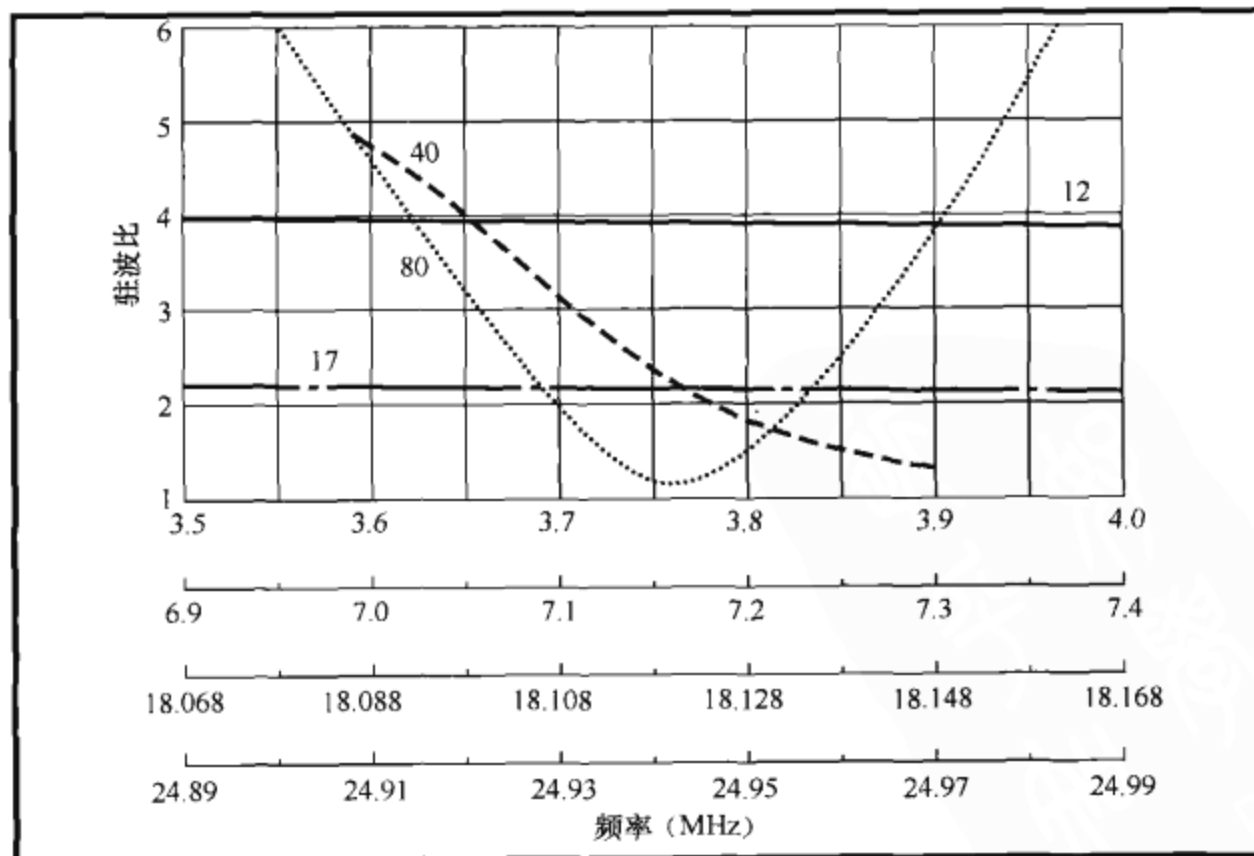
图 18-6 中给出了 80m 、 40m 、 17m 和 12m 工作波长天线的驻波比

曲线。我们注意到，天线工作在 80m 波段具有完美的表现，并且在频段的中部具有一致的最小驻波比。这个表现接近于一架全尺寸的 80m 导线偶极子天线。短截线和具有很低电感值的陷波器使天线在 80m 波段有些微地缩短。同样，当天线工作于 17m 波段时，也具有很好的表现，在整个 17m 波段，天线的驻波比都只比 2:1 稍微高出一点点。

需要注意到这架天线工作于 12m 波长时的驻波比曲线，在这个 12m 波段内驻波比为 4:1。这个频段天线的输入电阻接近 300Ω ，这是由于，短截线的电容性电抗连同天线外部片段的电感性电抗产生了阻抗谐振上升，被反射回输入端。这些短截线引起的谐振阻抗上升非常类似于另外一副天线工作于 15m 波长时出现的现象，但这架天线的表现却更加明显。

不应当给予传输线上的驻波比过多的关注。即使驻波比高达 9:1，也不会有破坏性的高电压出现在传输线上。记住传输线电压随着驻波比升高比率的平方根速度上升。因此，在 75Ω 传输线上的 1kW 射频功率在驻波比为 1:1 的条件下，产生传输线的电压为 274V。当传输线的驻波比上升几乎 3 倍时，传输线应当能够承受 822V 的电压。这个电压低于 RG-11 的 370V 额定承受电压和 RG-59 的 1700V 额定承受电压，这两种传输线是现在最流行的两种传输线。在陷波器中出现电压击穿同样也不太可能。正如后面将要指出的，天线的工作功率水平受在陷波器上耗散掉的功率影响，而不是陷波器击穿电压或者传输线的驻波比。

图 18-7 以倒 V 形安装的顶点高度为 40 英尺，天线两臂之间的夹角为 120° 的 80m、40m、17m 和 12m 波段天线测量得到的驻波比。



陷波器损耗和额定功率

表 18-1 中给出了陷波器 Q 值的测量结果和通过双频率法推断出的高于谐振频率的更高的频率所对应的值。我使用了一个老的但是最近刚刚校准过的 Boonton Q 值计来进行这项测量。更高频率的波段的推导是假设陷波器的电阻损耗根据频率的平方根随表面作用而上升。系统的测量误差不随频率的推断改变。但是, 随着频率的上升随机的测量误差会呈数量级的上升。测量的结果在 80m 和 40m 波段内被认为是具有 4% 的精确度, 但是在 10m 波段内只有 10% ~ 15% 的精确度。陷波器的 Q 值在高阻抗和低阻抗终端都进行了测量。低阻抗陷波器的输出终端 Q 值大约低于高阻抗陷波器输出终端 Q 值 15% ~ 20%。

表 18-1

陷波器 Q 值

频率 (MHz)	3.8	7.15	14.18	18.1	21.3	24.9	28.6
高 Z 输出 (Ω)	101	124	139	165	73	179	186
低 Z 输出 (Ω)	83	103	125	137	44	149	155

我使用计算机分析了这两副天线在自由空间中的陷波器损耗。在谐振频率时, 假定损耗和无限大 Q 值的陷波器, 天线的输入电阻首先被计算出来。使用表 18-1 中所示的 Q 值, 重新计算了天线的输入电阻。辐射效率同样也被转换到和陷波器损耗一样的单位使用分贝。表 18-2(A) 总结了 80m、40m、20m、15m 和 10m 工作波长天线和 80m、40m、17m 和 12m 工作波长天线的陷波器损耗分析。

表 18-2 (A) 陷波器损耗分析: 80m、40m、20m、15m 和 10m 波段天线

频率 (MHz)	3.8	7.15	14.18	21.3	28.6
发射效率 (%)	96.4	70.8	99.4	99.9	100.0
线圈损耗 (dB)	-0.16	-1.5	-0.02	-0.01	-0.003

表 18-2 (B) 陷波器损耗分析: 80m、40m、17m 和 12m 波段天线

频率 (MHz)	3.8	7.15	18.1	24.9
发射效率 (%)	89.5	90.5	99.3	99.8
线圈损耗 (dB)	-0.5	-0.4	-0.03	-0.006

损耗分析显示除了 80m、40m、20m、15m 和 10m 工作波长天线工作在 40m 波段时, 天线的辐射效率下降到 70.8% 外, 两副天线在所有

频段的效率均高于或者等于 90%。当天线的辐射效率为 90% 时, 1kW 功率水平对应于每个陷波器损耗 50W。根据我的经验, 这是将陷波器作为触发功能的工作极限。1kW 峰值功率的单边带功率水平将会在陷波器上耗散 25W 或者更小的功率, 这个数值在陷波器的耗散能力之内。

当 80m、40m、20m、15m 和 10m 工作波长天线工作在 40m 波段时, 天线的辐射效率为 70.8%, 对应于 1kW 的功率传送至天线处时, 每个陷波器上耗散 146W 的功率。很显然这将烧毁陷波器, 哪怕这样的功率水平只维持很短的时间。因此, 当天线工作在 40m 波长处于延长触发条件下时, 功率应当被限制在 300W 以内。对于正常的 40m 波长连续波, 50% 的连续波占空比对应于 600W 的功率限制。同样地, 对于 40m 波长的单边带波, 对应于天线上 600W 的峰值功率限制。

我虽然没有分析作出严格地确定陷波器烧毁的额定功率, 然而正常工作中所积累的经验看上去是最好的确定陷波器额定功率的方法。根据我对于这些天线的经验, 即使是我在操作 80m、40m、20m、15m 和 10m 工作波长天线工作在苛刻的 40m 波段, 在 600W 的峰值功率输出功率水平时, 可以使用我的 AL-80A 线性放大器。然而, 我没有在全功率的情况下进行连续的、触发式的连续波工作测试, 以故意尝试损坏陷波器。

总结

一些火腿族可能会建议使用其他不同类型的同轴电缆来制作陷波器。每 1 000 英尺直流电阻为 40.7Ω 的 RG-59 同轴电缆看起来更加可靠。然而, 我也没有发现不同于 RG-59 的同轴电缆, 这样的电缆具有我们所需要的电感电容比率, 以便产生工作在 80m、40m、20m、15m 和 10m 波段的的天线所需要的陷波器的特征电抗。传统的陷波器使用分得很开的外露的电感线圈和适当的定值的电容器, 这样的陷波器可以代替同轴电缆陷波器, 但是同轴电缆陷波器所具有的方便、不受天气影响的结构和制作的简单都是传统陷波器难以击败的优点。

——Al Buxton (W8NX)

使用退耦短截线的多频段天线

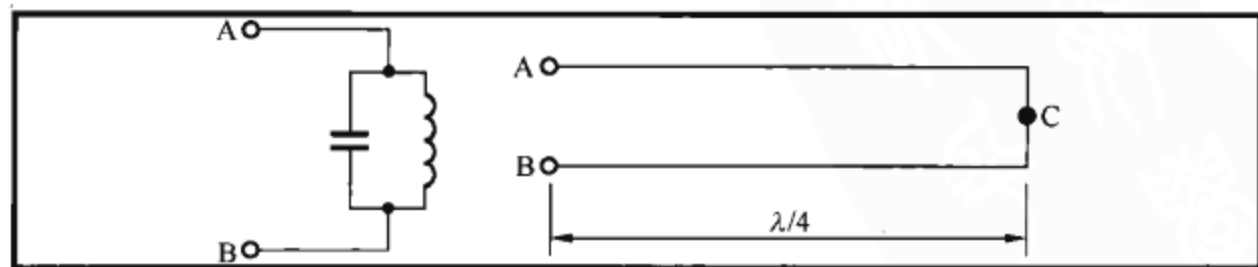
使用传输线片段代替集总常数陷波器

自从 W4JRW 10 年前获得了这架多频段天线系统的专利，我们就不能再把它称作“新”技术了，但对那些想寻找一个简单的方法在多个频段达到较好的辐射效果的人来说却是个好消息。1/4 波长的短截线可以提供射频绝缘性能，同时也作为天线的一部分参与天线的工作。

由于无线电爱好者一般都希望他们的天线可以工作在不止一个频段上，为此有许多种方法被开发出来，只需使用一副简单的天线即可工作在数个频段上。最早的装置是使用各种不同长度的馈电线、天线与并联或者串联的耦合电路相连接。再晚些的时候，作为特定频率使用的绝缘子，集总参数并联调谐的“陷波器”纷纷被开发了出来，并且被广泛使用。

我们都知道如图 19-1 中所示的并联调谐电路和 1/4 波长短截线在电气上非常相似。这两个装置在 A 点和 B 点之间都表现出高阻抗的性质。然而如果将短截线以这样的方式连接到天线上，它不会表现出其绝缘子的特性而更像是一个相位转换器。纵列天线使用这样的短截线会使一些列的半波长部件同相运行。

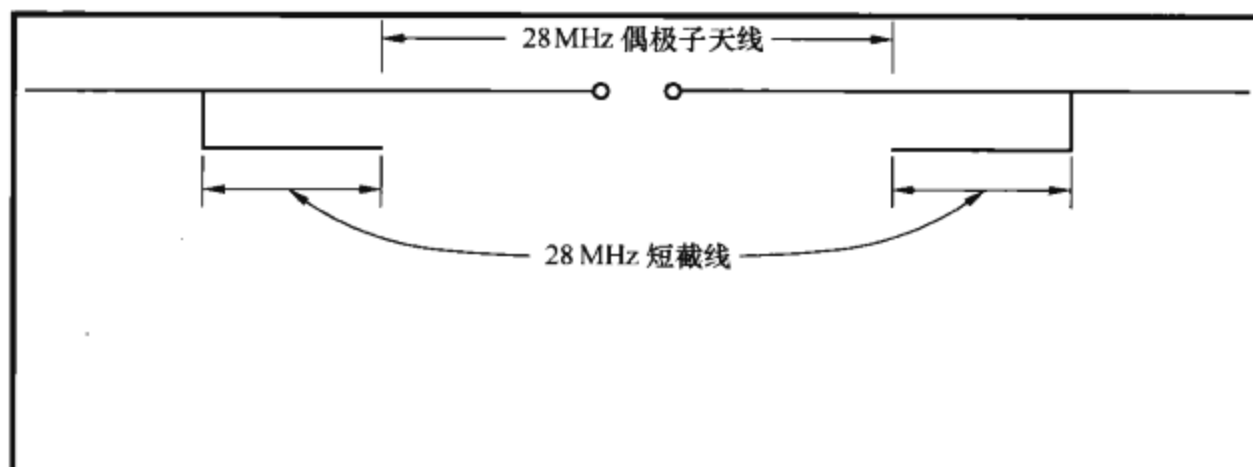
图 19-1 并联调谐电路在它的谐振频率处具有高阻抗，同时 1/4 波长短传输线也具有类似的性质。



对于短截线还有一个不同的连接方式，就是从 A 到 C，这时短截线将会对天线起到绝缘子的作用或者退耦作用。例如，28MHz 的 1/4 波长短截线可以连接到 28MHz 半波长偶极子天线的末端上，如图 19-2 所

示。28MHz 偶极子可以非常有效地与天线的平衡处隔离开或者隔绝开。这样天线就可以被制造成足够长，以满足在 14MHz、7MHz、3.5MHz 时谐振的要求。如果另外有一对短截线连接到 14MHz 天线上，就必须在 28MHz 和 14MHz 两个频段同时采取隔离措施，这样 10m、20m、40m 或者 10m、20m、80m 多频段天线就可以制造出来了。

图 19-2 28MHz 和更低频段的双频段天线。天线的中心部分是普通的 10m 偶极子天线。当连接到如图所示的偶极子天线时，较短的短截线在 28MHz 的频率下长度为 1/4 波长，并且此时看上去像是开路电路。



短截线可以用开路的普通导线、双芯导线或者同轴电缆制作。它们的长度可以从以下公式中计算出来

$$L = \frac{246 \times V}{F(\text{MHz})}$$

L : 长度

V : 速度因子

F : 频率

天线包含退耦短截线的总长度将会比通过半波长偶极子天线计算公式“长度(英尺)=468/频率(MHz)”得到的结果稍微短些。例如，对于 10m 和 20m 的天线长度必须为 29 英尺和 10 英寸，以便能在较低的频率下产生谐振，但是通过公式计算出来的长度却为 33 英尺。

如果具有统一的速度因子的开路导线作为短截线，双频段天线的总长度将会接近于较高频率的在自由空间的全波长，整个天线系统也将会在较高频率一半的频率处产生不是特别严格的谐振。非常幸运的是，300Ω 双芯管状导线的速度因子(0.8)可以为短截线提供这样的长度。在绝大多数情况下，通过增加短截线的方法可以使天线在原始谐振频率一半处产生谐振。

图 19-3 中显示了双芯管状导线自身作为短截线如何被应用于天线上，以满足 10 ~ 20m 天线的运行。我们建议使用泡沫填充的双芯导线，可以防止水汽的侵蚀。三频段或者四频段天线使用同样装置的长度在图 19-4 中给出。图 19-5 显示了使用 50Ω 同轴电缆进行馈电时，天线在不同频段所测量到的驻波比。

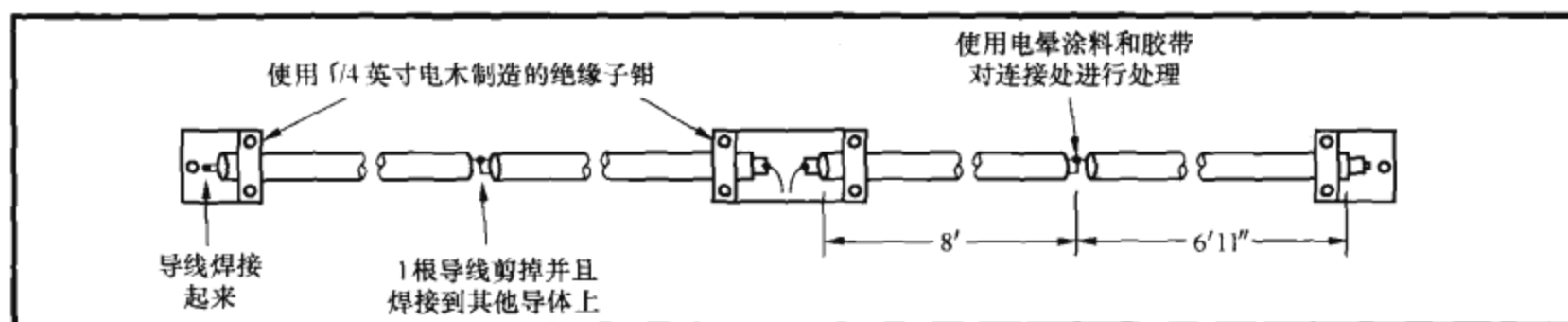


图 19-3 使用 300 Ω 管状双芯导线制作偶极子和短截线在供 10m 和 20m 工作波长使用的天线的构造和尺寸。不论是 50 Ω 还是 75 Ω 传输线都可以连接到偶极子的中心。

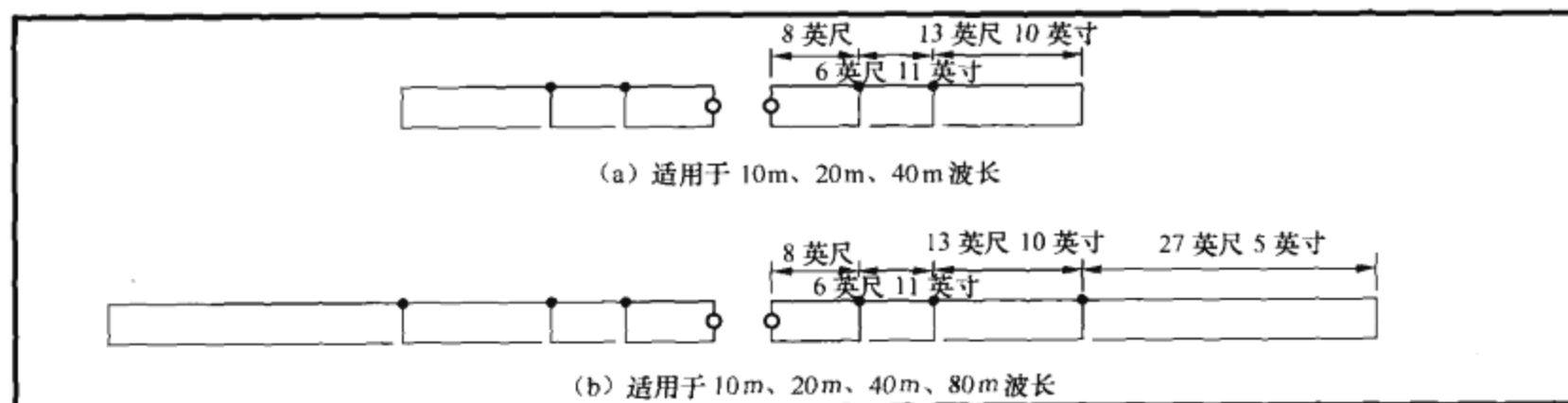


图 19-4 用于 10m、20m 和 40m 频段以及 10m、20m、40m 和 80m 频段的管状双芯导线制作的短截线退耦天线。当 40m 部件是 3/4 波长的时候，天线同样也可以用于 15m 频段。

图 19-5 从顶部到底部，为图 19-3、图 19-4(a)、图 19-4(b) 中天线的驻波比。这里使用 50 Ω 同轴电缆传输线，使用 Micromatch 进行测量。

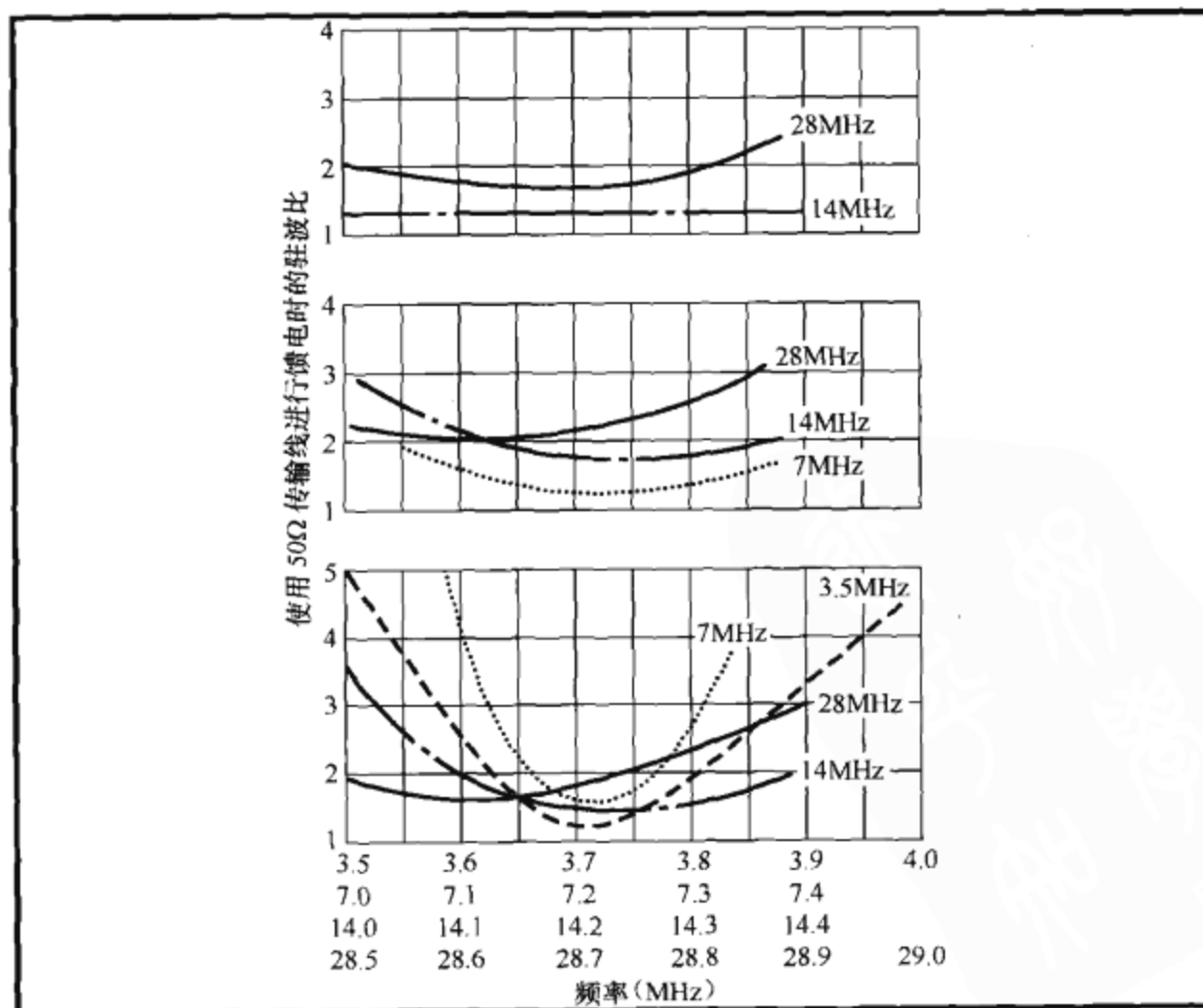


图 19-6 中的天线可以使用于仅仅需要 40m 和 80m 工作波长的天线。由于 40m 波长部分并不是使用短截线制作出来的，它应当比图 19-4(a) 中的天线更加长些。然而，起隔离作用的短截线的长度仍然应该为 $1/4$ 波长（考虑到速度因子），如果短截线只是以简单的方式连接到 7MHz 偶极子天线的末端，则整副天线的谐振频率应当小于 3.5MHz。为了避免这样的情况，偶极子天线的长度应该再短一些，直到整副天线可以在 80m 波长处谐振。在 40m 波长时的谐振可以通过在短截线连接处增加额外长度的导线来恢复。这些导线很短，以便能够以图中的方式悬挂下来。

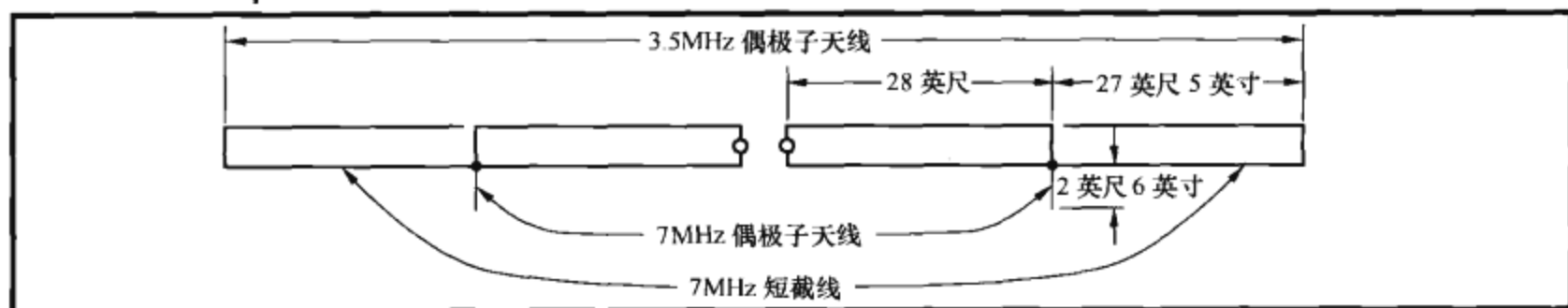


图 19-6 40m 和 80m 频段短截线退耦天线。在这个例子中，天线导线必须从 40m 偶极子的一段悬挂，以便天线在这个波段谐振。

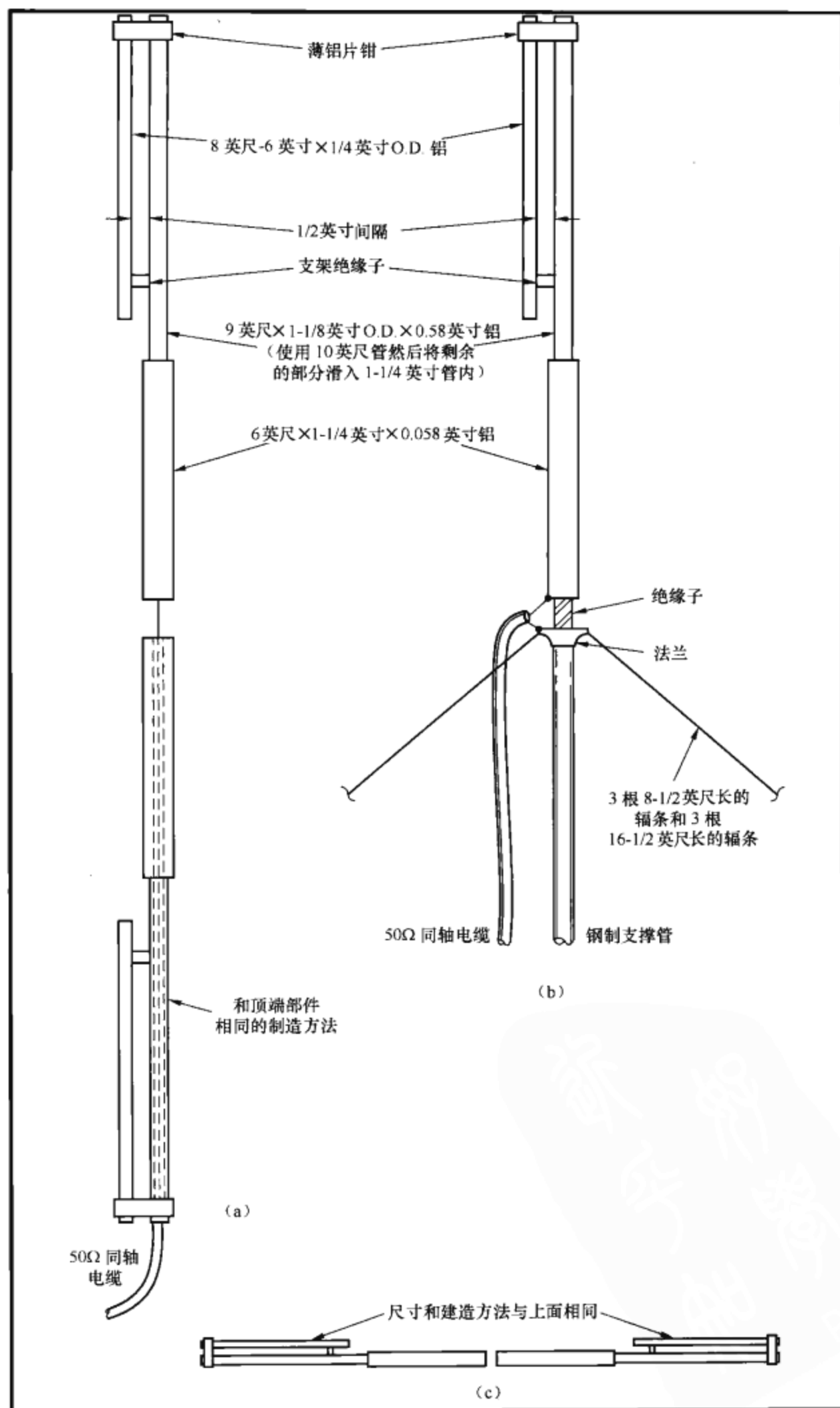
任何一副可以在 40m 波段工作的天线都可以用作 15m 波长天线的 40m 短截线，它的长度大约是 $3/4$ 波长，可以提供退耦功能。这个结果就相当于使 7MHz 的天线工作于在其基准频率 3 倍的频段上，并且我们发现当 40m 天线以任何形式用于 15m 天线时，天线的驻波比通常不会低于 3 ~ 6。

天线的额定功率取决于短截线连接处的隔离性能。可以使用防腐涂料涂在这些连接处，然后使用乙烯胶带覆盖好。天线的隔离性能在使用 1kW 输入发射机，百分之百调制好，除了非常湿润或潮湿的条件外，都不会降低，这是我们这些年来积累的经验。既然这样，输入功率应当减小到大约 500W，除非有任何特殊的防护措施把短截线开路端的连接处封闭起来。当然，在最低的频段，对于任何一副天线设计用作短截线，并且没有电压加载在上面的时候，天线不会受制于信号衰落或者闪络。高电压加载在短截线的开路端的情况只会在短截线的谐振频率处出现。

图 19-7 所示是一些工作在 10m、20m 的天线制作，它们被用来在这些波段提供人们所需要的谐振。组成短路短截线的棒之间的间隔并不严格——使用 1 英寸的短截线取代 $1/2$ 英寸长的短截线时，这个距离可以是一样的。绝缘子应该使用低损耗材料制作。多波束天线的反射器和引向器同样也应该使用低损耗材料制作。

理论上，工作在三次谐波的中心馈电天线它的阻抗不应该比天线工作的基准频率高出 50%。也许某些人会希望能有类似于 2 到 1 的驻波比，而不是这么高的比值。

图 19-7 10m 和 20m 频段同轴电缆地平管状偶极子天线的尺寸和建议建造方式。图 (a) 中的结构布置应当使用连接到靠近天线中心的 1.25 英寸部件的有支撑架的绝缘子进行安装。图 (c) 中的偶极子天线在中心应当闭合并且使用伽马或者“T”匹配系统进行馈电。类似建造的寄生单元应当增加以确保多频段波束。



—William J. Lattin (W4JRW)

40m 对称天线的三频段匹配系统

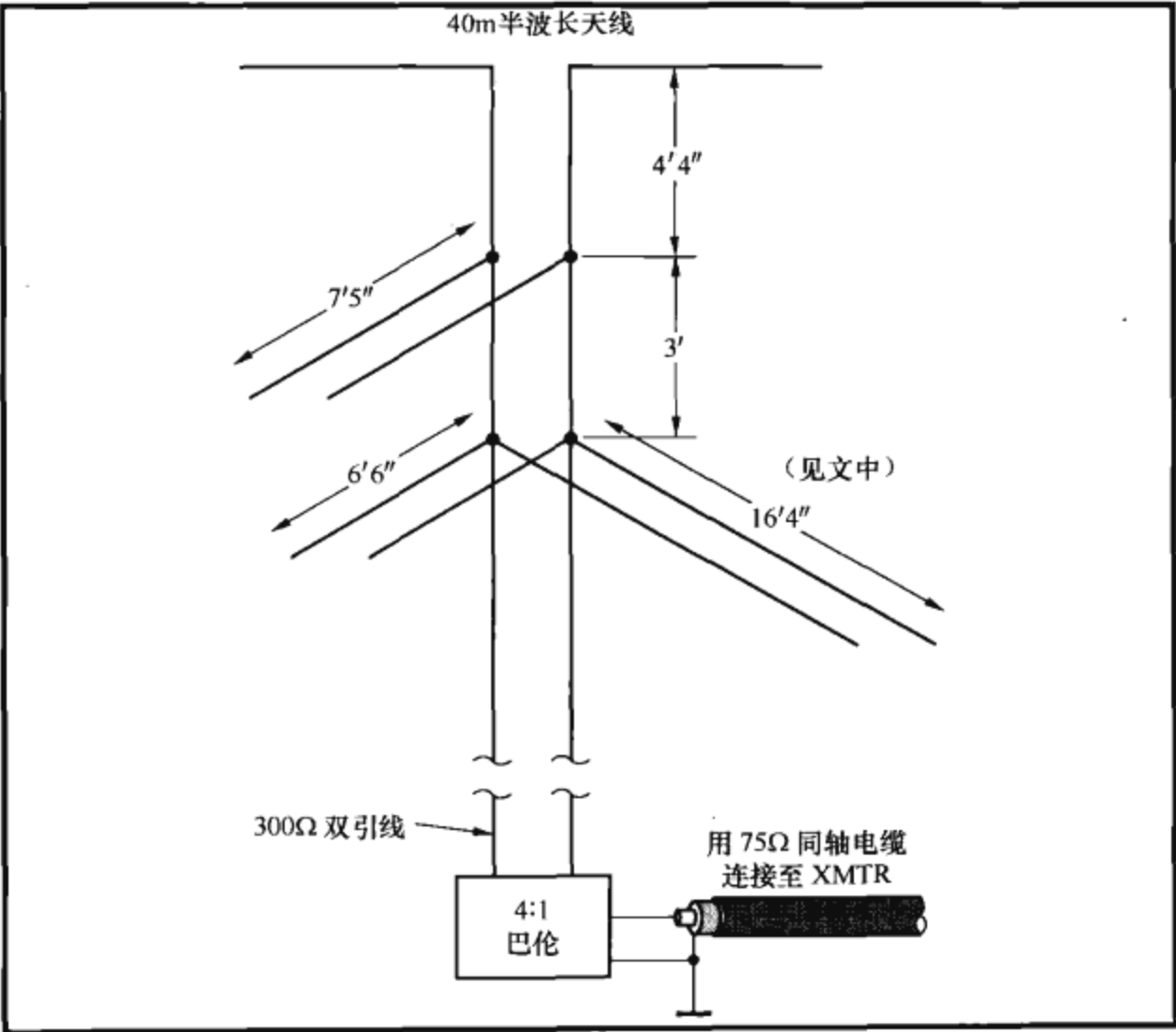
一种最普通的激励半波天线的方法就是使用并行导体的电视信号引入线（通常称为双引线）的馈电线在天线的中心位置处进行馈电，然后使用开路的短截线将 50Ω 或者 70Ω 的天线电阻匹配到 300Ω 阻抗的传输线上。然而，正如最新版的 ARRL《天线手册》上所阐述的，这种技术一般只能在唯一的频段上对天线和传输线之间进行很好的匹配。

经过一系列在史密斯圆图上进行实验和反复计算，连同一系列的剪切尝试试验，我设计了一种三频段匹配方案，可以使我的 40m 对称天线工作在 20m 和 15m 波段上。图 20-1 给出了这种方法，同时也给出了所使用的短截线的长度以及它们在馈电线上的位置。这里所显示的度量是对于标准的速度因子为 0.82 的双引线而言的。所有这里所使用的短截线在末端都是开路状态，并且使用和馈电线属于同一类型的线材制作而成。注意两个较短的短截线都是连接在馈电线上的同一位置处。

最长的那个短截线的长度相当严格。首先应当剪切成 17 英尺，然后每次修剪都不超过 2 英寸。直到驻波比在 20m 频段的中心位置处或者是其他需要的部分最小。然后馈电线可以使用 4:1 宽频带巴伦从发射机连接到 75Ω 同轴电缆上进行匹配。对于我的天线，描述的匹配天线系统应该可以在整个 3 个频带处得到不大于 2.5:1 的驻波比，其中 40m 和 15m 波段最小的驻波比值为 1.3:1，在 20m 波段为 1.7:1。对于任何一副多频带天线，都必须小心防止谐波辐射。

——Frank Stuart (K7UUC)

图 20-1 40m 对称天线工作在 20m 和 25m 波段。



10 ~ 160m 波段 Z 字形天线

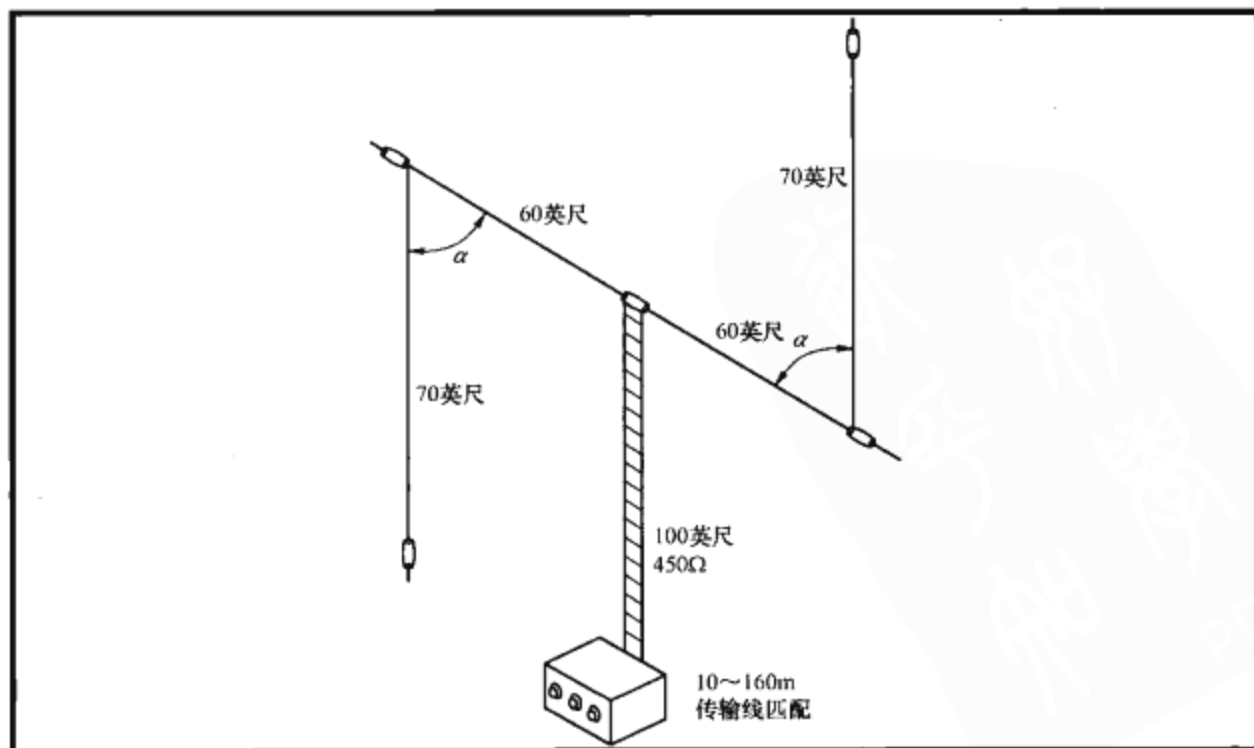
我在业余无线电领域内的主要兴趣就是为大多数无线电爱好者和军方的 MARS 系统设计和制作天线。对那些空间有限的火腿族，我设计了一种 Z 字形的天线，这架天线覆盖了从 10 ~ 160m 的频段，它可以很简单地使用导线制作。传输线的延展器使用 Lucite 带或者 Plexigla 棒制作而成。对于 2 根 14 号导线，2 英寸（51mm）的空间足够了。

尽管这副天线所需要的真正的高度为 100 英尺（30m），但是无线电爱好者如果满足于将这副天线安装在高度为 30 ~ 50 英尺（9 ~ 15m）的位置，也会得到一个不错的结果。导线片段之间的夹角 α 取决于个别情况，例如树的位置，或者其他一些支撑物。总而言之，这个角度越大，天线的性能越好。

新罕布什尔州的 SCM(W1NH) 在天线方面非常精通，他说我的天线“FB”。我对这副天线的评价是这架“天线”很好。

——John N. MacInnes III (WB1FPD)

图 21-1 一副 10 ~ 160m 水平 Z 字形天线，它可以使用并不昂贵的 14 号包铜（电围篱）导线制作。如果想要知道完整的开路导线传输线信息，可以参见任意最近一版的 ARRL《天线手册》。

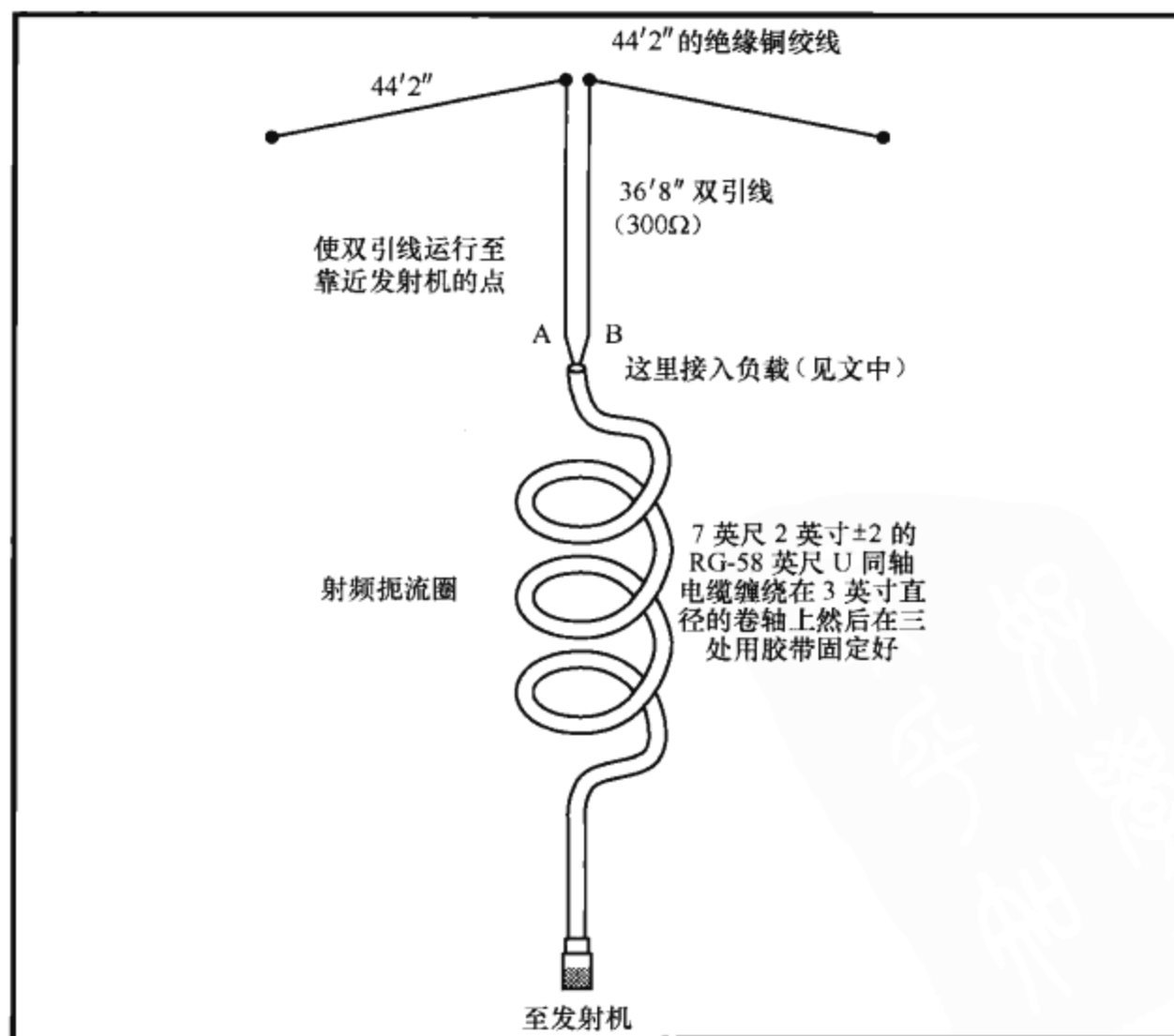


不使用陷波器的紧凑型多频段天线

你还在寻找一副不昂贵、容易制作、使用管式发射机的便携式天线么？这架 G5RV 的近亲制作而成的天线便是你的梦想。

你需要一副便携式天线么？是的。我的偏好是尽可能简单地制作东西。我并不喜欢陷波器和匹配单元。如图 22-1 中所示的天线就没有陷波器，也不需要匹配单元可以使天线工作在 10m、20m 和 40m 频段（当我们使用真空管 PA 时），它的重量非常轻并且易于安装。你还能有什么更多的奢望呢？

图 22-1 紧凑型多频段天线图。对于工作在 80m 频段，负载线圈在 A 点和 B 点嵌入。香蕉插头和插孔可以在这里对负载线圈的插入和拔出都有帮助。



建造

天线的建造很简单。截取两段软铜线（例如 Radio Shack 278-1292），长度均为 44 英尺 2 英寸 ($1\text{m} = \text{ft} \times 0.3048$)。连接如图 22-1 中所示的 36 英尺 8 英寸长的 300Ω 平行双芯导线。同轴电缆连接到双芯导线的另一端，连接在图中的 A 和 B 点处。我将 7 英尺 2 英寸长的 RG-58/U 同轴电缆缠绕成一个射频扼流圈，用以将同轴电缆外部电流的问题最小化。扼流圈上电缆的长度是通过将天线与发射机进行匹配，使天线工作在 15m 波段得到的。

作为另外一个选择，你也可以使用开路导线馈电线来代替双芯导线。选择这种方法，你需要的同轴电缆的长度为 42 英尺 6 英寸。或者你也可以将双芯导线或者开路导线连接到匹配单元上。当你使用匹配单元时，由图可见，也并没有什么特别的优点。

驻波比

这副 10m、20m、40m 天线的驻波比小于 3:1。在使用管状 PA（例如 Galaxy V, Swan 350, Drake T4X）装载发射机时，我并没有遇到什么困难。这副天线将使用一些 15m 波长的发射机，但调谐却是非常严格的。

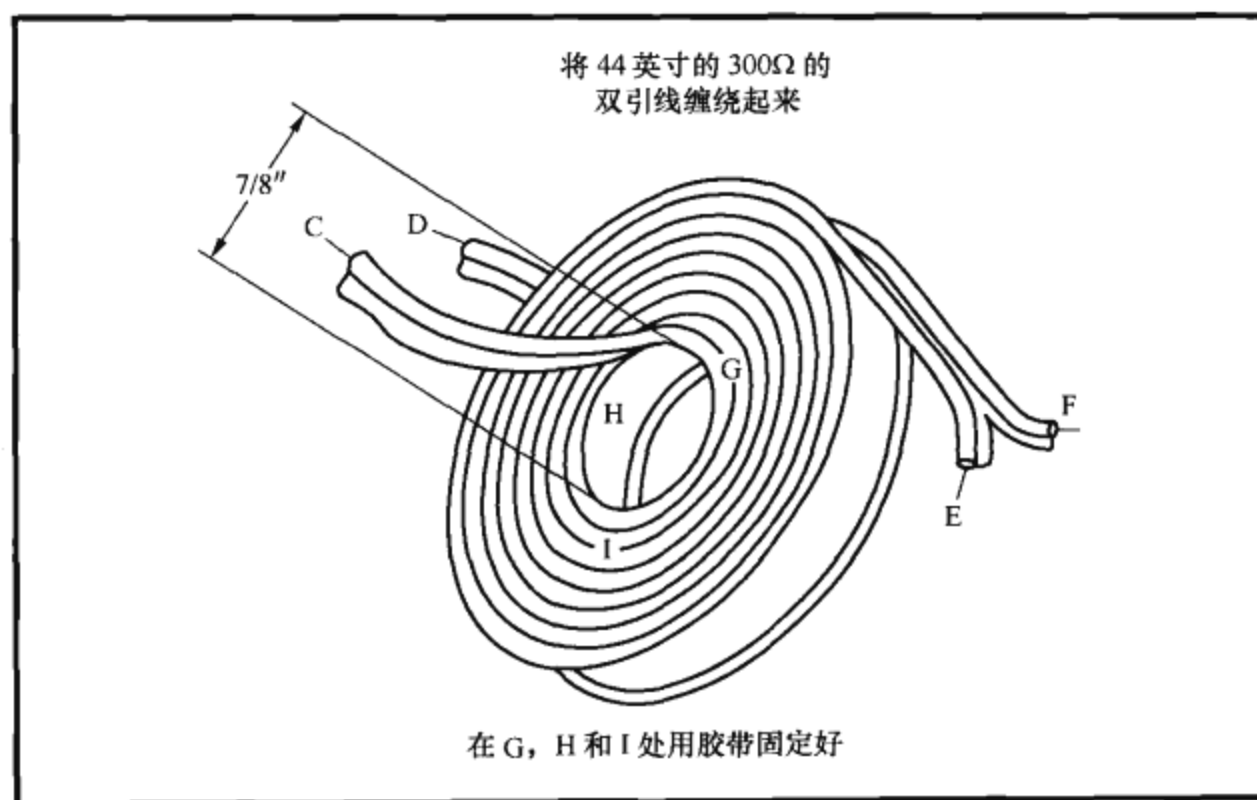
然而，使天线工作在 80m 波段非常困难。到目前为止我还没有使用这些发射机在频率低于 3.75MHz 时获得全输出功率。对于频段更低的部分测量到的驻波比在 5:1 到 8:1。我制作了一个负载线圈，放在扼流圈和双芯导线之间（如图 22-2 所示）。线圈是由 44 英寸长的双芯导线绕在一个 7/8 英寸直径的线圈架构（我的左大拇指）上面做成。一旦线圈绕制成功后，我从我的拇指上取下线圈，使用电气胶带将线圈固定好。若天线工作在 80m 波段，将 C 端和 D 端连接到扼流圈上，E 端和 F 端连接到双芯导线的末端。当天线工作在其他波段上时应当将线圈移开。使用香蕉插头和插座，更利于线圈的插入与拔出。

安装

天线在实际可能的条件下应当安装得尽可能的高。我曾经在天线的中心距离地面仅仅 25 英尺、天线的末端系在篱笆或者其他方便的支撑

物的条件下，得到过令人满意的结果。如果没有其他的支撑物，伸缩式电视桅杆部件也可以提供很好的支撑。天线的两臂可以作为两根张索。一个或者两个额外的绳索支撑也是必要的（非传导材料，例如尼龙绳，是最好的）。

图 22-2 3 500 ~ 3 750kHz 频段使用的负载线圈。线圈上的点 E 和点 F 连接到同轴电缆。点 C 和点 D 连接至平行双芯导线



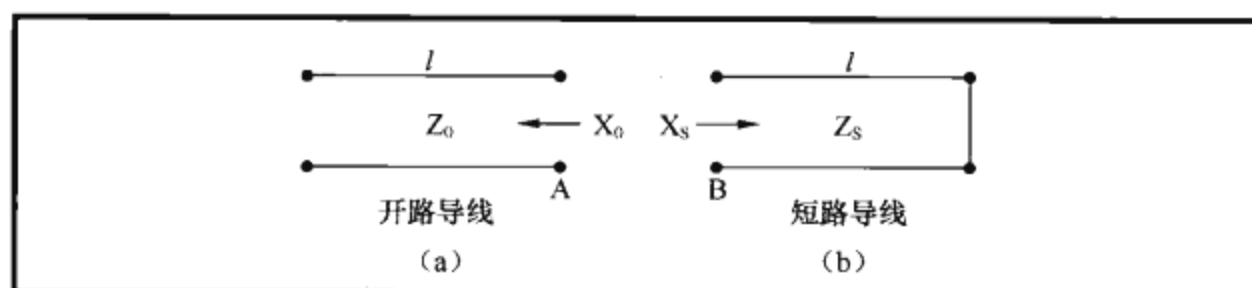
这副紧凑型多频段天线可以在整个 20 ~ 80m，以及 10m 波段工作得十分令人满意。这副天线上没有陷波器，同时在使用管型设备时也不需要匹配单元。我已经在使用这样的天线便携工作了，它可以在野外或者乡村使用，可以很容易地打包、携带和展开。也许你想尝试一下使用这副天线，我相信你会喜欢上它。在接下来的附录中有一些关于这副天线工作简要的讨论。

附录

这副多频段天线是从具有严格的长度和波阻抗比率的两根相互连接着的传输线发展而来。这副天线系统可以在基准频率和大多数的偶次谐波和一些奇次谐波频率处都可以产生自谐振。最好的 5 个频段是二、四、五、七、八次谐波。

仔细考虑图 22-3 中的传输线。

图 22-3 两根同样长度的传输线。向线里面看，在 A 和 B 处相反端分别是开路和短路。



这两根传输线的长度“ l ”相等，波阻抗 Z_0 和 Z_s 不同。从传输线的一段看进去：

$$X_0 = \frac{Z_0}{\tan(2\pi l/\lambda)}, \quad X_s = Z_s \tan(2\pi l/\lambda)$$

其中 λ 是波长， X_0 是传输线开路时的输入电抗， X_s 是传输线短路时的输入电抗。

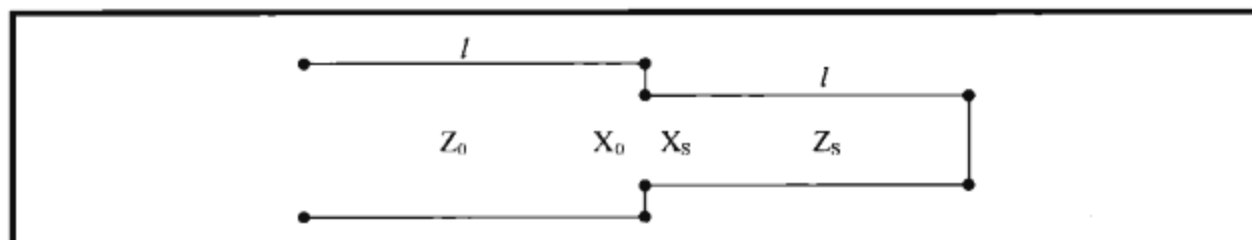
根据谐振电路的理论，连接这样一对传输线，如果 $X_0 = X_s$ 这两个值相等，但是符号相反，天线系统可以在所有的频率下产生谐振。开路和短路传输线可以提供这样的条件尤其是在一些谐波频段。

在连接图 22-4 描述的传输线时我们可以发现

$$\frac{Z_0}{\tan(2\pi l/\lambda)} = Z_s \tan(2\pi l/\lambda)$$

$$\frac{Z_0}{Z_s} = \tan^2(2\pi l/\lambda) = \tan^2(360^\circ l/\lambda)$$

图 22-4 图 22-3 中的两段传输线联合起来，形成一根线。



如果角度 $2\pi l/\lambda$ 是 60° ，然后相切 120° 时或者是二次谐波时幅度也是一样的。这对于 240° （四次谐波）和 300° （五次谐波）时同样成立。类似地，这些谐波响应会在 360° 以上以离散的角度持续出现，例如七次、八次、十次、十一次、十三次、十四次谐波等。相切在进行平方后它的符号就去掉了。

角度 $2\pi l/\lambda$ 在 $l = \lambda/6$ （ $1/6$ 个波长）时在基准频率处为 60° 。

$$\frac{Z_0}{Z_s} = \tan^2(360^\circ \times 1/6)$$

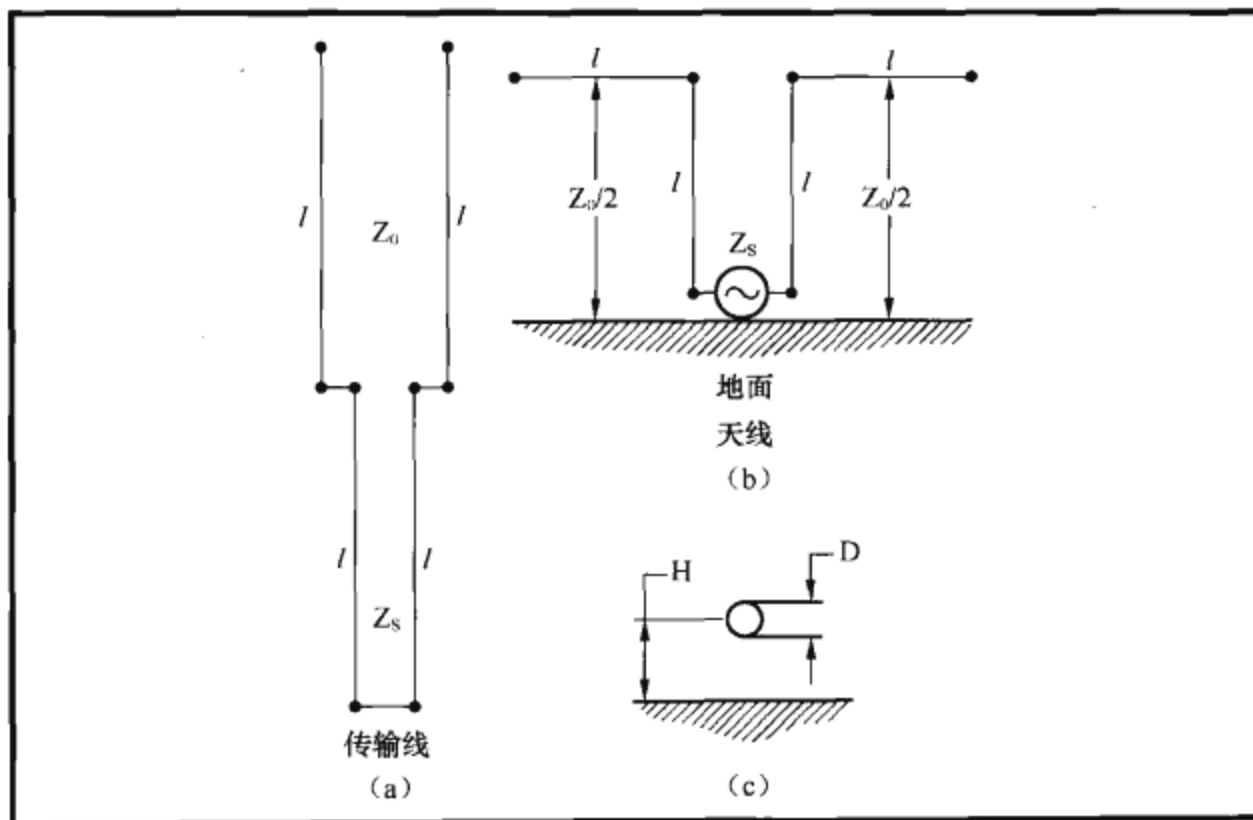
$$= \tan^2 60^\circ = (1.73)^2 = 3$$

因此 $Z_0 = 3Z_s$ 。这个方程在制作多波段天线时非常有实际意义，因为 Z_0 可以代表天线的固有阻抗， Z_s 可以代表谐振传输线的阻抗。天线

的 Z_0 可以通过无线电工程手册或者教科书上的公式计算的来。地表之上并且平行于地表的一段传输线，如图 22-5(c) 所示。

$$\frac{Z_0}{2} = 138 \log \frac{4h}{d}$$

图 22-5 在图 (a) 和图 (b) 中，传输线的开路部分发展成天线的平顶部分。在图 (c) 中，图显示了计算天线 Z_0 的公式。



对于 12 号导线， $d=0.08081$ 英寸。

当 $h=20$ 英尺或者 240 英寸

$$\begin{aligned} \frac{Z_0}{2} &= 138 \times \log \frac{960}{0.08081} \\ &= 138 \log(11879) = 562\Omega \end{aligned}$$

这个值并不严格。你可以使用 300Ω 双芯导线或者 400Ω 明线。

如果导线变为 18 号导线的尺寸，

$$\frac{Z_0}{2} = 605\Omega$$

如果我们使用 12 号导线，我们在一边就有 562Ω ，另一边为 $+562\Omega$ 。

$$Z_0 = \frac{Z}{2} + \frac{Z}{2} = 1124\Omega$$

从公式 $\frac{Z_0}{Z_s} = 3$

$$Z_s = \frac{Z_0}{3} = \frac{1124}{3} = 374.6 \text{ 英寸}$$

谐波会有些微转移，但是调谐一下天线的参数，系统便可以恢复到

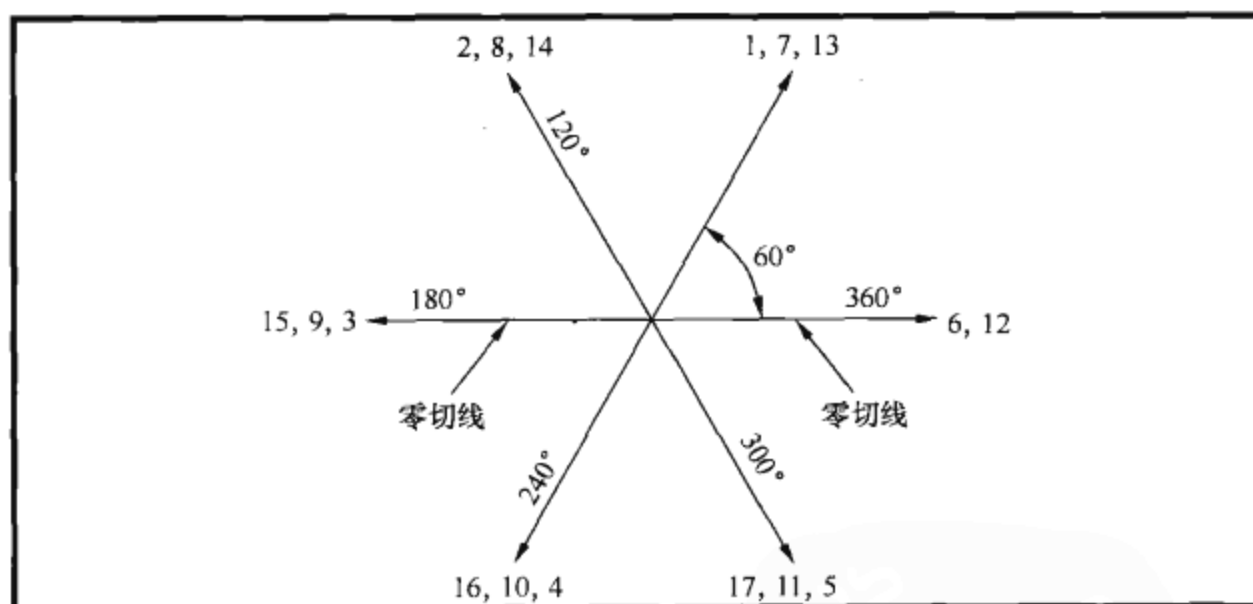
原先的谐振频率。

上面提到的 $Z_0/2$ 随着天线高度、导线的尺寸、设计的方式的变化而变化。这个函数是对数形式的，在 Z_0 没有做很大改变之前可以对天线做许多调整。倒 V 字形天线的性能很好，对于水平导线只需要使用 $Z_0/2$ 公式， h 为倒 V 字形天线的平均高度。波阻抗的公式可以适用于绝大多数的天线构造，包括垂直天线。如果读者对垂直天线进行馈电有兴趣，可以参见 LaPort，他的书提供了寻找波阻抗或者天线的特征阻抗的基础信息。

这个系统同样适用于使用平衡传输线并且传输线两端都用巴伦连接进行馈电的单端天线。对于垂直天线还有一种方法，可以使用 LaPort 书中所讨论的双导线接地的开路传输线。这个接地系统非常严格。

当对这些多频段天线进行实验时，将一些“储存”的数字用于传输线上是非常方便的（如图 22-6 所示）。1/6 波长是 1/3 波长的 1/2。对于 80m 工作波长来说，方便的半波长尺寸为 135 英尺。这个长度的 1/3 是 45 英尺或者说是 80m 工作波长天线的 1/6 波长。40m 工作波长天线的 1/6 波长为 22.5 英尺。当你设计一副天线的时候，这些长度应该乘上传输线的传播长度。建造完天线并进行测试之后，长度可以被剪切，以减小末端效应。

图 22-6 在确定“存储数量”应用到图中时有用的角位置图。



作为传输线工作时，这里所描述的系统可以应用于末端馈电的半波长天线，尤其是同相的等于两个波长。这个系统可以将高阻抗转换为低阻抗，就像 1/4 波长传输线起到的作用那样；然而，和 1/4 波长传输线只对奇数个 1/4 波长的传输线有响应正好相反，这个系统可以工作在多个偶次谐波上。

作者想要感谢 Walt Maxwell (W2DU)，因为他对于这篇文章中的理论部分作了详细的分析。

——Taft Nicholson (W5ANB/AAR6AG)

5 个波段，没有调谐器

不使用天线调谐器的多频段阶梯导线馈电天线的一些优势

我希望寻找一些简单的可以在后院使用的天线。使用 450Ω 阶梯导线中间馈电的导线偶极子天线是个不错的选择。阶梯导线可以使你的损耗降低——甚至是在适当高一点的驻波比情况下。你需要的所有就是一副天线调谐器，线圈和陷波器并不是必需的。

但是你能离开天线调谐器仍然使用阶梯导线吗？为了达到这样的目的，你的无线电收发机需要“看到”阻抗，这个阻抗在尽可能多的频段看起来是比较合理地接近于 50Ω 的。没有调谐器能够在 450Ω 的阶梯导线和你的 50Ω 无线电收发机之间充当中间人的角色，传输线和收发机的耦合会是一个问题。

这个可以实现么？

几年前，我尝试过设计一副天线可以工作在 $10 \sim 80\text{m}$ 的多个射频频段上。全部的详细描述发表在 1992 年版 G-QRP 协会的杂志《SPRAT》上。我的灵感是古老的 G5RV。我使用一副 94 英尺长的偶极子天线，并且使用阶梯导线对它进行馈电（见图 23-1）。通过剪切阶梯导线使导线到达一个特殊的长度，并使用一个 1:1 的巴伦进行阶梯导线和同轴电缆之间的转换。我发现可以在至少 5 个频段（40m、20m、17m、12m、10m 波段）得到一个尽量接近 50Ω 的阻抗（因为得到一个合理的低驻波比）。见表 23-1。

图 23-1 导线偶极子天线的总长度为 94 英尺。如果你没有 94 英尺的开阔空间，就要毫不犹豫地将天线的末端折弯，让它适应你的小院子。使用 41 英尺长的 450Ω 阶梯导线连接上 1:1 巴伦对你的天线进行馈电。从巴伦到你的收发机处使用 50Ω 同轴电缆连接。

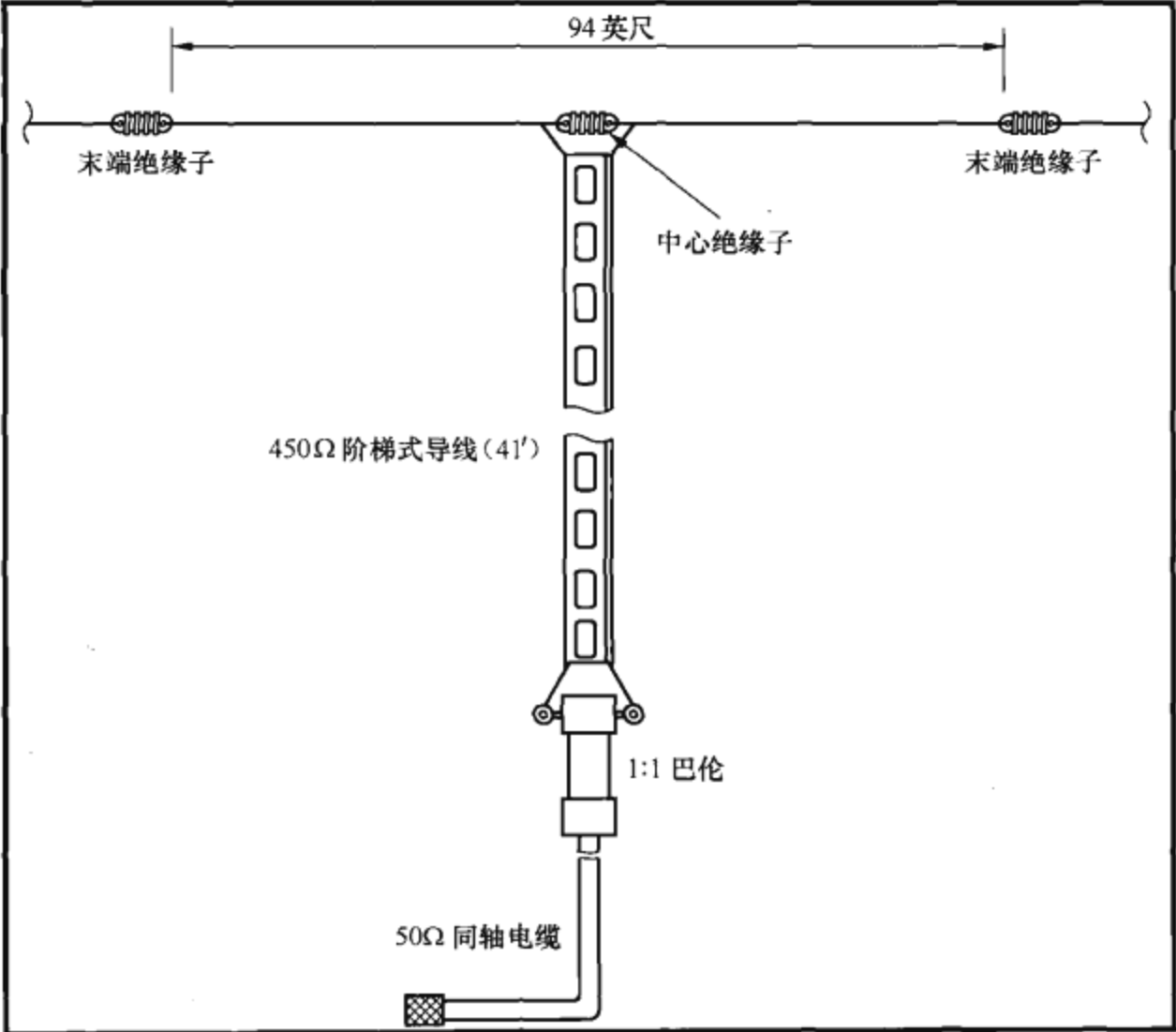


表 23-1 给出了计算使用 41 英尺 450Ω 阶梯导线对 94 英尺偶极子天线进行馈电的驻波比。

注意：尽管天线进行了剪切以使用频段上的连续波，在其他的频率也有所期望的类似的结果。

表 23-1

频率	驻波比
3.56	7.6:1
7.1	2.4:1
14.2	1.5:1
18.1	2:1
24.9	1.5:1
29	2.4:1

这个梦幻般的结果超出了我的想象。我的无线电设备很好用，我也不需要持续地使用天线调谐器管闲事了。

当然，如果你的天线在某个波段上的驻波比超过 3:1，你还是应该使用天线调谐器。

尽管一个简单的天线调谐器就可以解决这个问题，但由于你在巴伦之前已使用了非平衡的同轴电缆，所以你不需要使用为平衡馈电线而设计的更加昂贵的调谐器。

为了得到最好的结果，将你的天线放置在尽可能高的位置。如果天线的末端必须向下弯曲以适应你的小院子，不用担心，将你的阶梯导线接入到巴伦里，然后再用同轴电缆从巴伦处连接到收发机。尽量保持同轴电缆部分的长度。

结论

由于完全消除了天线调谐器，你失去了将你的阶梯导线馈电天线装载在任意真实波段的灵活性。然而，作为报答，你却收获了自己的天线可以在数个波段内切换而不需要使用天线调谐器进行调节就可以工作的便利。天线的损耗也被控制在最小值，也就是说你的发射机所产生的绝大部分功率都被你的天线辐射出去了，并不吃亏的妥协。当然，我的天线所能达到的性能可能会随着地方的改变而改变。尽管如此，在业余无线电的实验领域，它仍然是一个简单有趣的方案。

——Bill Wright (GØFAH)

NRV: 简单有效的 80 ~ 10m 波段线天线

作为一副垂直共轴帘幕形阵列天线，这副天线的制作非常简单，可以迅速搜索到远距离交换信号，在它所覆盖的所有频段都比偶极子天线效果更好。

火腿族的想法就是从根本上调谐天线，所以我也有这样的想法。我刚刚搬到翠绿色的西北太平洋，开始思考我后院中那棵 160 英尺高的道格拉斯杉木树。我正考虑把一架曲柄升降塔放上去，但是考虑到邻居，建筑委员会和曲柄升降装置不能和平相处，然后我又想放在树顶上。不——所以我搬到了现在的这个地方，因为我爱那些树。

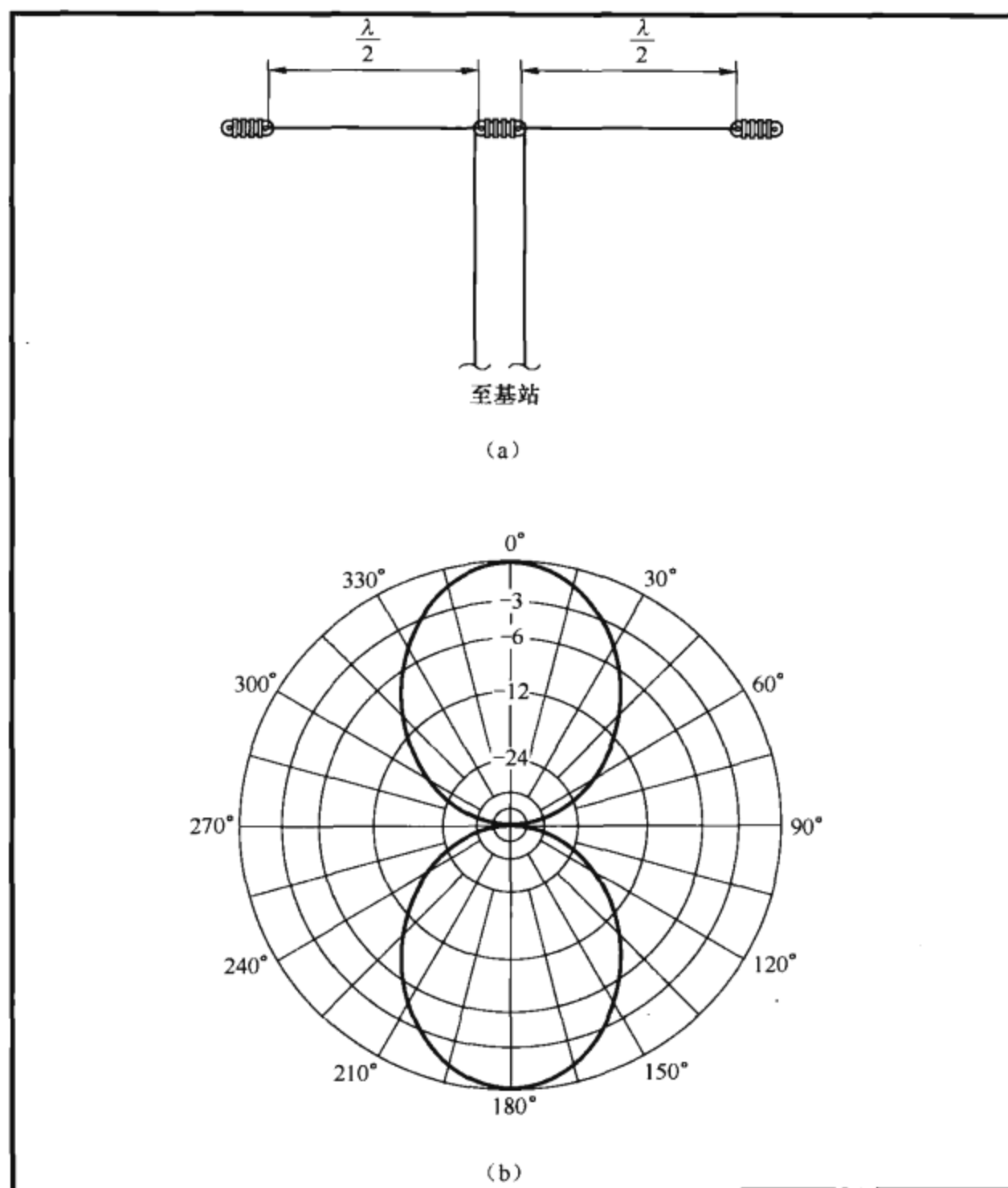
我开始到处寻找替代物。我得到一份 ARRL 技术顾问 Roy(W7EL) Lewallen 的天线建模计划 ELENAC，以及一份 ARRL《天线手册》的副本。于是自从我在 1974 年制作了一副四单元方形后向天线后，我开始酝酿什么是我乐意从事的天线项目。

将绳索悬挂在树上不是什么新的主意。我开始在我的院子里用步子计算院子的尺寸，了解我有多大的空间可以使用，我应该如何以最好的方式将我的信号传送到欧洲、非洲和加勒比地区。

下一步我需要做的是选择一个合适的天线构造。由于树的高度大约为 120 英尺，因此我的首选是多单元共轴天线阵列。但是我的一个好朋友 Terry Conboy(N6RY)（在 NRV，我是 NR，他是 RY）建议可以堆叠一对延长的双泽普天线。我暂且将他的建议从记忆中删除，开始了我的分析。

在 ARRL《天线手册》中描述了共轴天线阵的基本功能。总而言之，它可以将能量集中垂直于导线，因此得名“垂直天线阵”。在图 24-1 中给出了这副天线的物理结构和天线辐射方向图。这副天线的增益可以通过改变天线单元末端与末端的距离而增加。

图 24-1 双单元共轴阵列 (a) 也就是我们通常所熟知的同相双半波长天线, 几乎是两根半波长导线单元末端对末端的连接。



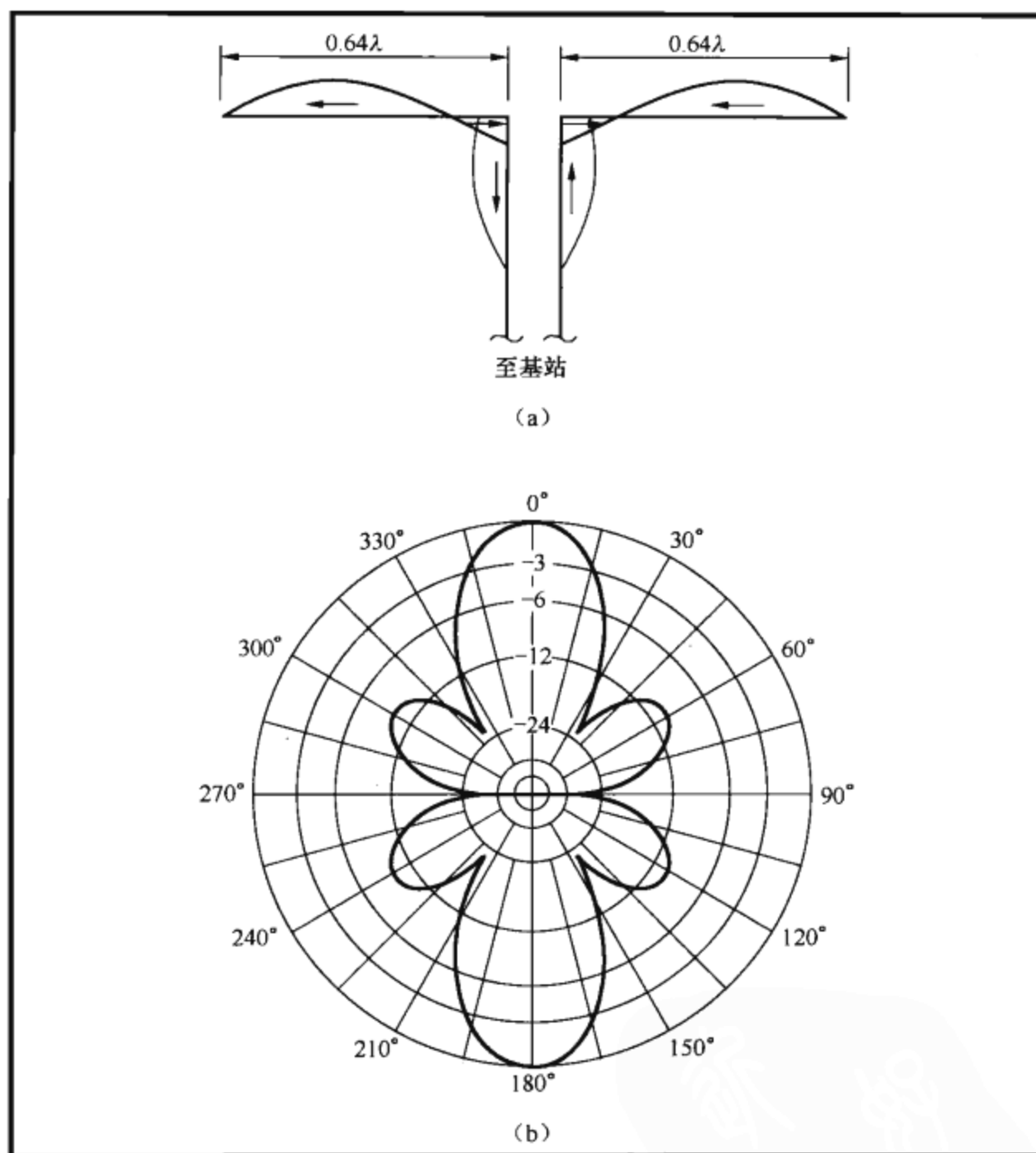
后面将会继续介绍三单元和四单元天线阵列。当我在有损耗的地面上调整 4 个单元内嵌式阵列的尺寸时, 一些令我失望的东西出现了, 天线的增益大约为 12dB。不是太坏。唯一的问题是天线的 20m 馈电点阻抗非常高。

这个时候我重新考虑 N6RY 和延长的双泽普天线。仔细看看图 24-2(a)。延长的双泽普天线的长度很简单, 大概为 1.25 个波长, 使用中间馈电的导线(两个末端距离为 5/8 个波长的单元)。这里有一个隐藏着的信息, 你发现了吗?

好的, 首先, 我也不知道应选择哪个。Terry 给我解释, 延长的双泽普天线实际上是两个半波长共轴单元, 两个单元之间的距离为 1/4 波长。延长的泽普天线在两个半波单元上增加同相增益是通过增加最远的一对

半波单元末端与末端之间的距离，而不是两个单元之间额外的 0.28 个波长的导线的方式实现的（内部的 0.28 波长导线上的辐射实际上对外部半波长单元的辐射是不利的，但是由于新的单元之间的距离获得的增益掩盖了这一缺点）。图 24-1(b) 和图 24-2(b) 很相似。EDZ 具有更宽的波瓣和有用的更小的波瓣，这两个特点对于固定阵列天线都是非常有利的。

图 24-2 延长的双泽普天线在图 24-2(a) 中，延长双泽普天线的物理布局图和电流分布，是一个特殊如图 24-1(a) 所示的双单元共轴阵列的例子。这里的天线相比于图 24-1(a) 中的天线显示出更多的增益，这是由于单元的长度为 $5/8$ 波长，这与两个共轴半波长单元的单元末端分隔开 0.28 波长具有相同的作用。24-2(b) 为天线在自由空间中方位向平面内的方向图。这副天线相比于偶极子天线，在周围环境一致时，增益要高出大约 3dB。



毫无疑问，在我面前的《天线手册》上所写的总是正确的。事实上，手册中所讲到的全部的天线阵列都是正确的。我只需要一些帮助，将这些天线阵列连接组装起来。我通过各种我所能想到的方法对这样的天线阵列进行建模，以寻找我所能得到的最好的性能。我的妻子曾经有两个星期的晚上都没有见到我。图 24-3 所示的是最终的天线构造方案。

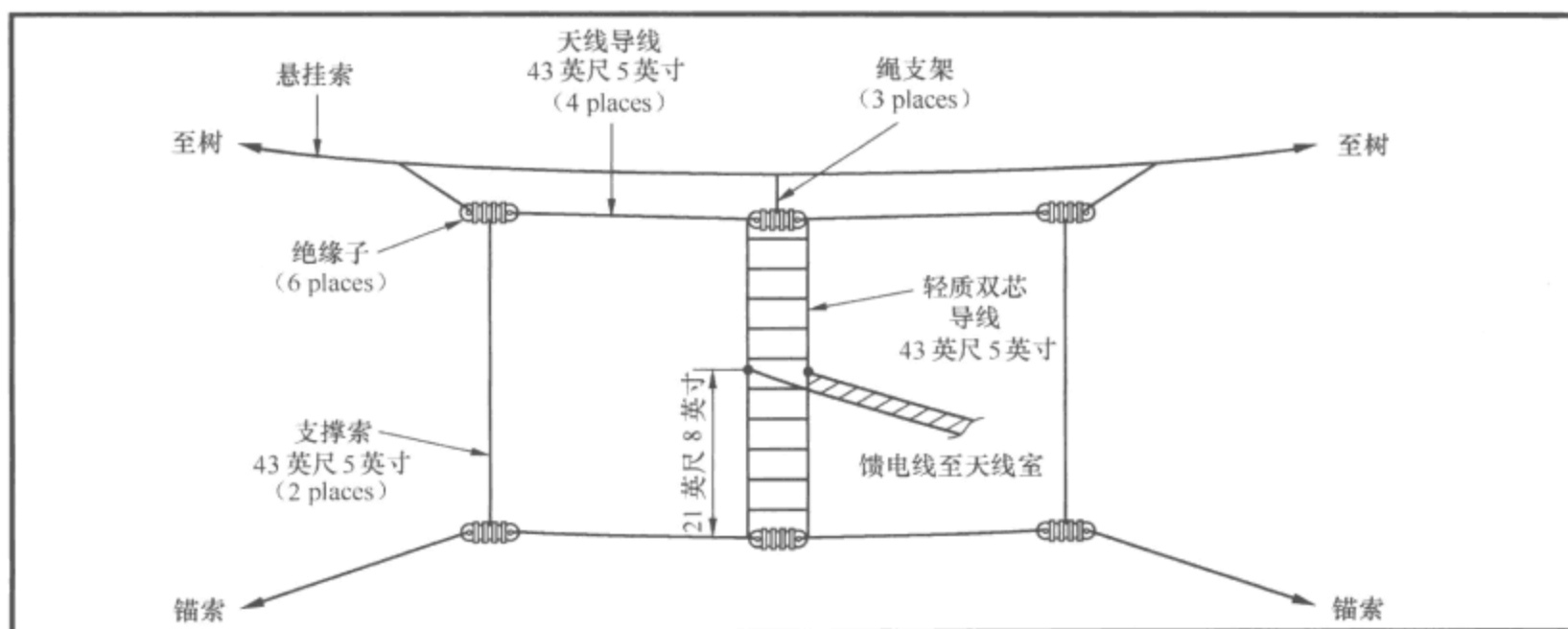


图 24-3 边射共轴帘阵列天线——NRY——在它的最终结构中。这架天线修剪以供 20m 波长使用，但是它在所有的高频火腿族波段都可以很好地工作。天线阵列通过三段长度较短的细绳悬挂在悬挂索上。绝缘子的低端使用绳索支撑在顶端导线使用的绳索上，中心绝缘子连接上定相线，定相线为 40 英尺长 5 英寸并行导线的传输线。到无线电收发机的馈电线使用与从中途点连接到定相线相同类型的传输线制作。

图 24-4、图 24-5 和图 24-6 给出了我对阵列天线进行建模的一些结果。我所设计的天线谐振频率为 14.2MHz，天线的高度为距离地面 100 英尺（从导线的最高处算起），天线单元使用 14 号铜芯导线制作，地表参数为典型的西北太平洋的类型。这架阵列天线中所有单元的馈电方式都为我稍后将要描述的同相馈电。

图 24-4 NRY 的 14MHz 底部导线为 56.5 英尺高、顶部导线 100 英尺高的天线的方位向平面辐射方向图。为了进行对比，阴影部分显示了 78 英尺高（和 NRY 馈电点的高度相同）、半波长 14MHz 偶极子天线的辐射方向图。

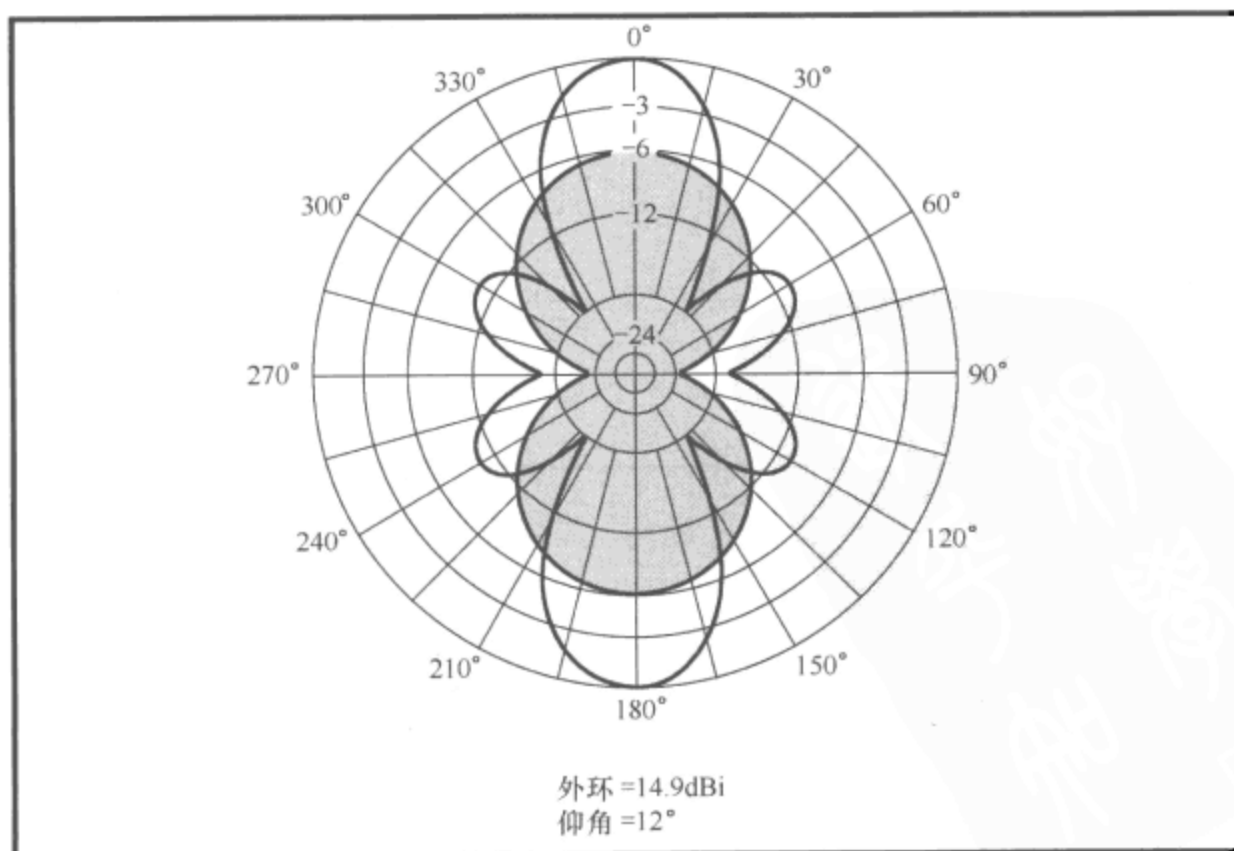


图 24-5 NRY 的 10.1MHz 底部导线为 56.5 英尺高、顶部导线 100 英尺高的天线的方位向平面辐射方向图。为了进行对比，阴影部分显示了 78 英尺高（和 NRY 馈电点的高度相同）半波长 10.1MHz 偶极子天线的辐射方向图。

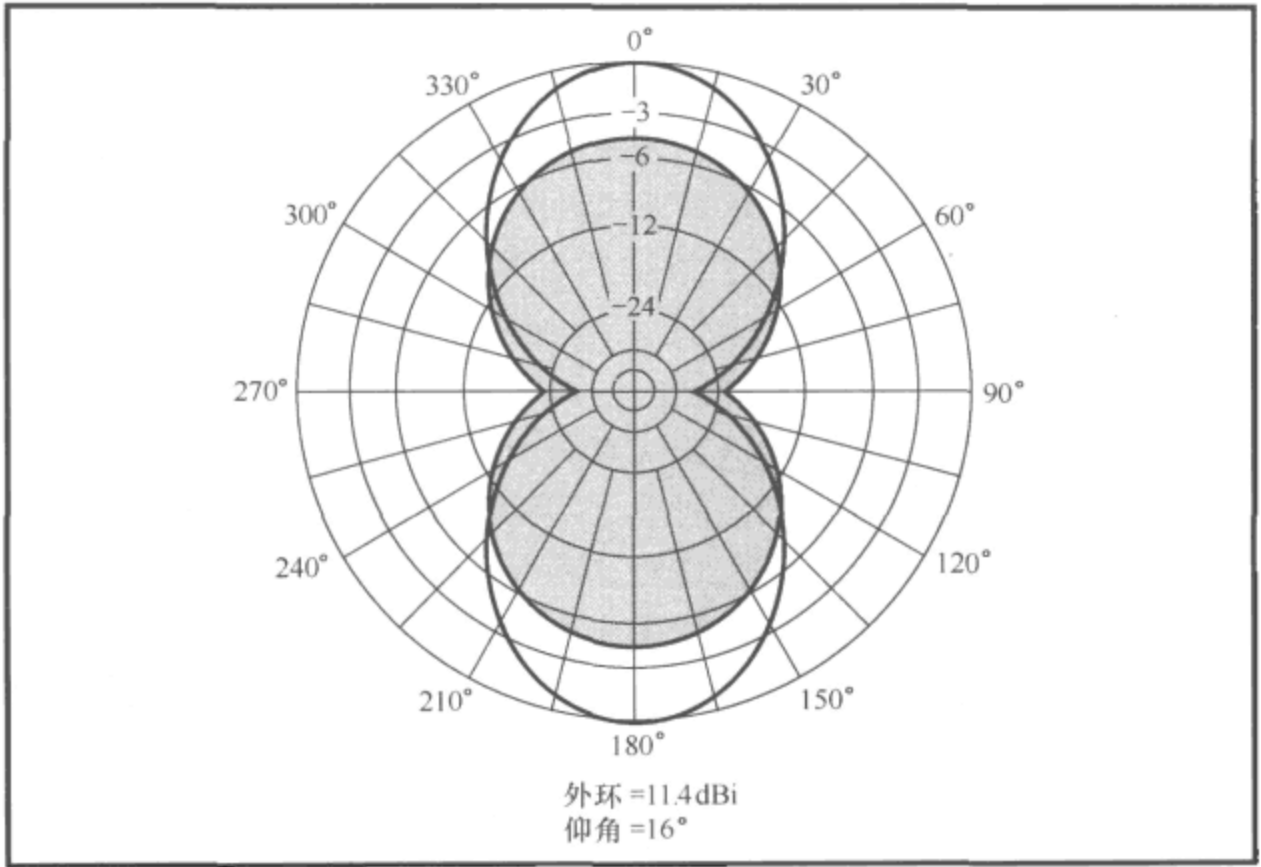
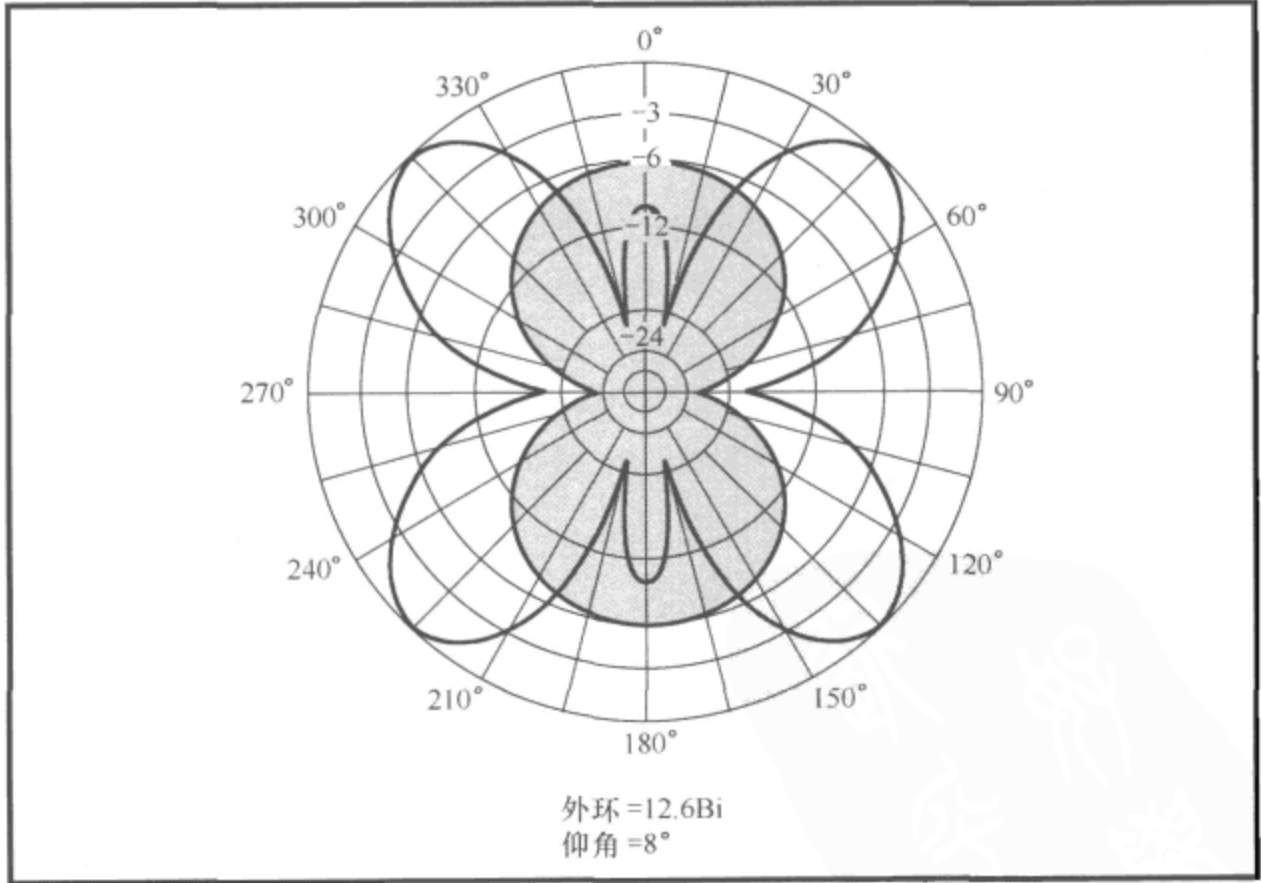


图 24-6 NRY 的 18.1MHz 底部导线为 56.5 英尺高、顶部导线 100 英尺高的天线的方位向平面辐射方向图。为了进行对比，阴影部分显示了 78 英尺高（和 NRY 馈电点的高度相同）半波长 18.1MHz 偶极子天线的辐射方向图。



正如图 24-4 ~ 图 24-6 中所看到的，天线的增益和方向图非常令人难忘。在 80m 和 40m 的工作频段，天线具有非常显著的类似于偶极子天线的增益和辐射方向图，并且看上去工作的效率至少都相当于在同一高度范围的偶极子天线，甚至更好。在更高的频段，它的工作表现比偶

极子天线要好得多。它的预测增益在 7MHz、10.1MHz 和 14MHz 时，分别为 9dBi、11dBi 和 14dBi。在 18.1MHz（如图 24-6 所示）和更高的频率时，天线表现为长线天线的特性。天线在靠近导线轴的方向上具有好几个主波瓣，这是天线工作在较低频率时的辐射方向图上所看不到的。

为了帮助你估算 NRY 的辐射方向图，图 24-1 至图 24-6 在 NRY 辐射方向图上添加了半波长偶极子天线工作在 10.1MHz、14MHz 和 18.1MHz 时，分别对应的辐射方向图。这些比较都是基于假设半波长偶极子天线的高度和 NRY 的馈电点（单元的中间位置或者是大约距离导线最高点向下 22 英尺）的高度相同，同时两者的地面情况也一样。

你也许对这副天线的效率会随着天线高度的变化而变化感到惊奇。根据《天线手册》，对于这样的一副阵列天线，当天线上较低的单元距离地面至少 $1/2$ 波长（对于 14MHz 而言这个距离为 33 英尺）时，天线上会获得最大的增益。当然，正如对所有的水平极化天线，这副阵列天线的辐射角会随着你升高天线而降低，此时天线的远距离交换性能会更好。归根结底就是远距离交换，你不需要将天线安置在 100 英尺高的位置以使它的工作性能更好——你只需要将天线安装在你所能够达到的最大的高度即可。为了使天线靠近所覆盖的区域，它同样也可以很好地工作在稍微矮一点的高度。

这副阵列天线的另外一个优点就是它的馈电点阻抗是可以控制的。为了维持我的宽频带使用的目的，我决定使用如图 24-3 所示的方式对天线进行馈电。这样一个“松散的”H 形天线构造在 ARRL《天线手册》里进行了描述。这样的天线构造吸引人之处在于它并不是依赖于特定的定向线长度才能很好地工作。对于天线单元与地面之间不同的互阻抗所形成的关系，可以使天线单元之间的相位关系保持常数关系，并不随频率的变化而改变。

最终的尺寸

天线的物理尺寸（86 英尺 10 英寸长，43 英尺 5 英寸高，不计算绝缘子的尺寸）非常容易记住，因为高度是长度的一半。由于天线基本上是 $1.25(5/4)$ 个波长的长度，中间馈电，垂直距离地面 $5/8$ 波长，你可以很容易地依比例决定任何你所希望它工作的波长。例如，将它的尺寸依比例调整至 10m，那么就将所有的尺寸都除以 $2(28\text{MHz}/14\text{MHz} = 2)$ 。

建造

现在进入了真正有趣的步骤：将这个东西放到空气中。制作天线只不过是小意思。它花费了我大概 1 个小时的时间，剪切导线，焊接导线，连接绳索。更难的问题是准备大树。

如果你有一个像 Bernie Olshausen (N6RUX) 这样的朋友，你可以很容易完成这项任务。他是一个神枪手，他使用的弹弓就像 Wade Calvert (WA9EZY) 在几年前的《QST》所描述的那样。

一旦 Bernie 将钓鱼线弹射到了树枝上正确的位置，接下来的工作就是将一些重量较轻的细绳（我们使用围网捕鱼的人所使用的细绳——织渔网所使用的原料）通过钓鱼线拉上去。这非常重要，绳索有时候在树枝上穿过时会遇到障碍，你最好不要试图通过只能承受 6 磅力量的钓鱼线将绳索拉出来。我们通过在细绳的一端使用滑轮，然后使用另一段尼龙绳穿过滑轮作为阵列天线的悬挂线，将可以承受 800 磅重量的尼龙绳吊起。

使用一根结实的可以抵抗恶劣天气的悬挂绳来悬挂阵列天线，因为当天线呈现 V 字形时，它会很快地失去你所想要的特性。当天线工作在 20m 波长，从平坦的天线构造顶部向下有 20° 的形变，你可以预计到天线的增益将会降低 2dB。因此，绳索必须非常结实，以减小天线的下垂，并且在烈日和狂风中保持天线的形状不会发生变化。我们在稍后会继续谈到绳索。

我使用低阻抗 300Ω 双芯引线作为定相线束。任何平行导线馈电线都可以工作得很好。在馈电系统中不要使用同轴电缆。它太重了并且是非平衡的。当天线工作在高失配的条件下时，阵列天线将具有非常高的损耗。

为了组装馈电系统，我使用陶瓷绝缘子和相同长度的 300Ω 传输线。然后我将 14 号天线导线剪切到适当的长度，将它焊接到馈电系统上，以便形成一个标准的偶极子天线构造。

我们再次讨论绳索的问题。对于一架 87 英尺宽 43 英尺高的天线，你需要提供一些措施来保持天线单元之间合适的空间。我使用等长度的捕鱼人使用的细绳（尼龙绳或者涤纶绳都可以很好地工作）来保持垂直方向上天线单元末端的空间距离。我还连接了很多线到天线较低端的绝缘子，所以一旦天线被安放到空中时，我可以将它们系到合适的栅栏柱

上，见图 24-3。

悬挂绳是最棘手的部分。如果你不把天线最顶端的 3 个绝缘子连接到合适的位置，天线就不会悬挂好。我知道——我第一次就做错了。

我剪切了一段 95 ~ 100 英尺长的悬挂绳，并且小心地标好绳索的中心位置。接下来，我测量了从绳索中心位置到阵列天线每一末端的距离（阵列天线本身就是一个便利的测量线）。然后我额外增加了大约 10 英寸或者稍微长点的线，并且标记好线的位置。将在稍后告诉你原因。

然后我剪切了三段细绳，每一段大概都是 24 英寸。在悬挂绳的中心位置处，我小心地打开绳索编织物，然后从它中间穿过 6 英寸细绳，然后让悬挂绳回复它原来的形状。将细绳在连接处的每一端围着绳索缠绕几圈，以缓解在绳索上通过将细绳穿过它而产生的张力。接着我将细绳的另一端系到绝缘子上部的中心，这样在绳索和绝缘子之间的距离就可以保持在 12 英寸了。

做完这一切之后，我以同样的方法把细绳系到悬挂绳上标记的末端位置。到末端绝缘子的距离为 18 ~ 20 英寸。这会引来末端以一个角度悬挂绳索并且提供张力的缓解。

如果你使用编织绳（你不能将编织物打开，让细绳从这个编织物中间穿过），一个很好的替代方法就是在悬挂绳上使用绝缘子（在我连接细绳的位置处）作为阵列天线系在悬挂绳上的位置。

现在已经准备好用绳索将天线拖到空中去。参考你的美国海军《船用索结工艺》手册（当然了，这个只是个玩笑），将悬挂绳的末端连接到绳索上，到如今，利用滑轮将天线拉到树上去是非常有希望的了。这里使用一个坚固的结来防止天线滑动。

在将阵列天线升到空中之前，确保在顶部和底部的馈电安全连接是一样的（例如，左边的单元都连接到双芯引线中的同一根导线上）。如果顶部和底部以异相地相差 180° 的方式馈电，天线工作就不会好了。

现在你可以将天线升到空中并且将馈电线连接到天线调谐器上。好好检查，确保对称和顶部到底部导线空间在合理的限制之内，然后将底部绳索打上结，这样底部导线就会尽可能地平整了。

天线完成了

这是一副相当有效率的天线。我安装了两架：一副的主波束是瞄准中东地区和欧洲地区；另一副是朝向加勒比海和大部分美国地区的。在

我安装好这两副天线的前 3 个月内，我以连续波的形式和 100W 的收发机使天线向 105 个国家发射信号，包括一些稀罕的国家。我很惊讶我能多么容易地突破一些频段——尤其是在 30m 和 20m 波段。

我希望你能够有机会试一试这副我在这里描述的阵列天线。不要将你仅仅局限在自己后院中，或者退一步说，它是一副完美的野外演习天线。在紧急的情况下你需要使用一副增益天线时，它同样也是非常方便的。

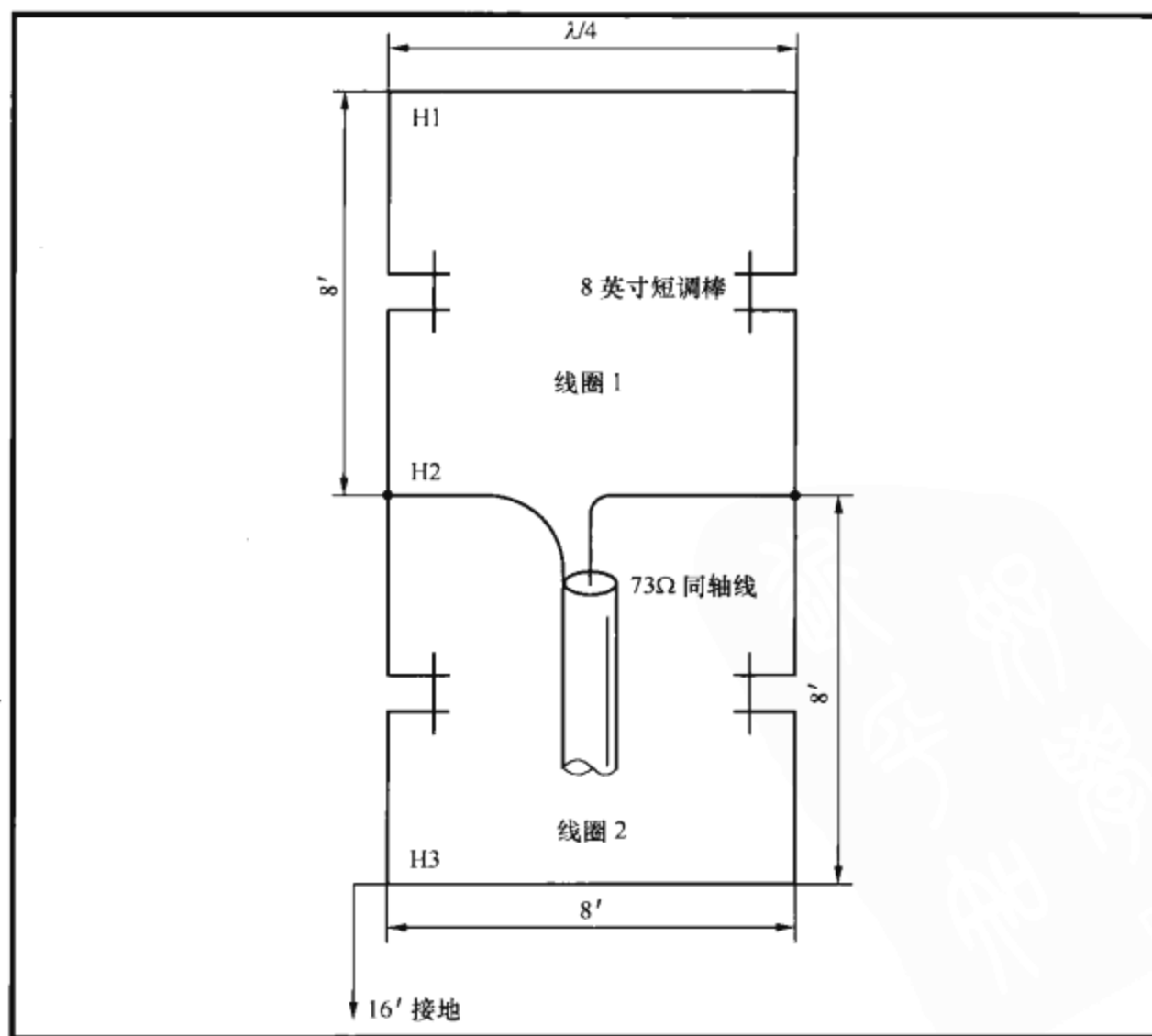
你不需要成为一名火箭专家，你可以很好地设计高效率的天线。你的老朋友就是 ARRL《天线手册》和 ARRL 的其他出版物，例如 WaltMaxwell(W2DU) 的《Reflections》，《业余无线电手册》，《天线纲要》系列和 Wilfred Caron 的《天线阻抗匹配》都是很好的参考指南和资源，它们可以提供一些指导意见，同时它也不会伤害装在你 PC 机里的心爱的天线建模软件。

——Rick Olsen (N6NR)

10m 波段“简易方框天线”

不少杂志的读者喜欢对天线进行一些修改，可能有些朋友会希望去尝试图 25-1 中所描述的天线。此天线的基本思路来源于一个电台的天线，它采用的是一副有点类似 15m 波段天线的结构，所以我也不会声称这是我的原创思想了。但是据我所知，还没有人将这种结构形式应用于 10m 波段上。由于它现在还暂无名称，而且它同时具有类似简易 H 形天线以及方框天线的特性，我们就暂且称其为“简易方框天线”吧。

图 25-1 W6PIZ 设计的 10m 波段“简易方框天线”。线圈用了规格 14 号的电线，水平部分安装在了长为 8 英尺的 1 英尺 × 2 英尺（横截面）的木杆上。可调短棒使用了同种规格的电线，由于其长度只有 6 英寸，故可以独立支撑。W6PIZ 的这款天线安装在一根无拉索的木质天线杆上，有 32 英尺高。



这副天线的主要优点是：

- (1) 结构极其简单；
- (2) 可以安装在轻质的无拉索天线杆上；
- (3) 水平空间尺寸要求较小（与水平振子天线相比）；
- (4) 接收时的自然噪声干扰很低（与垂直振子天线相比）；
- (5) 风载荷承受能力较强；
- (6) 可以进行宽带应用。

且先看线圈 1，我们发现一只水平极化的全波线圈由侧面宽边辐射能量，而顶部和底部的电线 H1 及 H2 中的电流值达到最大。再看线圈 2，类似地，我们也发现水平极化的线圈；且在电线 H2 以及 H3 中电流值达到最大。当看到电线 H1 和 H3 时，我们注意到这两个同相的水平电线相隔了半个波长，两者都载有最大电流值。而电流最小值出现在线圈的纵向部分，即短调棒插入的位置。

我主要在 10m 波段上进行实验，且使天线在 28.050MHz 上达到峰值。对于这个频率，在我的这个特殊例子中，每个短调棒的长度都为 6 英寸。加载在 28 ~ 30MHz 范围内几乎是不变的。

同轴馈电线经由木质天线杆一直往下直到地面，而馈电器上面的天线效应可忽略不计。

相比于垂直振子或水平振子天线所得的结果，仍在与先前相同的安装地点和有效架设高度下。有迹象表明，与波束天线相比，在大致相同的高度，其性能甚至可以超过其中一些波束天线，这也许是由于其较宽的垂直方向图的缘故（在临界跳频情形下，这可以让直接无线通信的时间更长些）。

也许有些读者急切地想将这种基本结构应用到反射器天线中以作为一个激励单元。实验显示，似乎这样的“双个简易方框天线”除了在通信操作中表现迟缓以外，没什么其他的好处。

——Dave Hardacker (W6PIZ)

低海拔的全波三角环形天线

高度虽低的全波环形天线的性能也许会让你大吃一惊！

天线尺寸和架设高度是市区无线电爱好者目前为止最为关心的问题。许多优秀的天线形式未被采用就是因为无线电爱好者们忧虑自己那块小地方怎么可能塞下这么大的一副线天线。当然，这个情况在全波环天线中是较为典型的。但没有规定必须使用对称环形结构，它在极度扭曲的情况下性能也不会受到什么破坏。至于离地高度以及天线的架设平面，同样也没有具体规定。在多数情况中，从波长角度看，一个并未最优处理的全波环天线也会比靠近地面的振子或倒 V 形天线具有更佳的性能。这种形式的天线，相对于（对地面）倾角小于 90° 或地网不合格的直立天线来说，可以有相当的或者更好的性能表现。

我们希望讨论的是在小型低矮处架设环形天线所需考虑的实际问题。我们所得到的有关美国国内外全方位固态通信的结果是非常值得注意的。你也许会从中汲取灵感，在你自己的电台站点中解开一些电线并尝试形成一个线圈环。

一些环天线的历史

环天线起初被用作接收天线。虽然单圈及多圈的小环天线在接收时工作良好，但它们在发射时却不尽如人意：从增益角度来说它们效率低并且其馈电阻抗一般只有零点几欧姆，以致匹配困难，损耗也相当可观。但是，在接收时我们可以只使用一个紧凑的小环天线（不到半个波长）来代替全尺寸规模的天线，后者将需要数千英尺的导线来制作。20 世

纪 30 年代有人设计了便携式广播波段接收台。存放在橱柜中的环天线在接收信号时需安装在电台的顶部，电台很沉，连同多节干电池一起重达 91 磅。

接收式环天线在商业领域中被继续应用了许多年，尤其是在低频及甚低频应用中。业余爱好者们也在使用（并在继续使用）它们以期在 160m 及 80m 波段得到更佳接收效果。接收式环天线的信噪比之直立天线要有显著提升，并且它们是定向的。许多成功的 160m 波段远程无线电通信者都将他们的成功归功于使用了附带低噪前置放大器的接收式环天线。从实用角度来说，这些环天线是除了 Beverage 天线以外最好的天线了。

环天线的特性

那么一个闭环的全波式环天线有哪些优点呢？第一点需要指出的是它不再需要地网了。在地面以上的有效高度仍是一个值得考虑的因素，但我们不必像在直立天线中一样再放置一块辐射地网了。第二点就是一副全波环形天线（具体要看何种形状）比振子天线的增益略高。第三点是关于噪声因子的。一个闭合的环天线较之大多数直立天线以及部分水平天线拥有更小的接收噪声系数（更安静）。

这点具体来说就是，W1FB 站台的 160m 波段天线是一副带有 20 个 $3/8$ 波长辐射条的 $3/8$ 波长倒 L 形天线。因为这实质上是一个垂直极化天线，它的噪声系数很大（包括人工的及环境背景噪声）。有时候由于 S9 信号被噪声包围或其强度还不及噪声电平以致无法读取 S9 信号。换用 75m 波段三角环天线时，同样的信号电平将会比噪声高出 1 至 2 个 S 单位，而在 S9 向下，噪声与信号会合理地下降。比如说，环上的接收信号也许降至 S6 了，但噪声会下降至 S4 级别。

选择不同的馈电形式将决定着采用垂直还是水平的极化方式。不同配置的馈电选择也将导致多种不同的辐射角度。当我们希望发挥短距或远程通信的最佳性能时（对应高仰角和低仰角），天线系统具有很强的灵活性。图 26-1 就以图表来列举了多种可供使用的构造形式。W1SE 处的天线就采用了图（c）中的构造形式，而 W1FB 则采用了图（d）中的形式。这两者的天线都工作在 80m 波段。谐振时的带宽与振子天线相当。在这些（75m 及 80m）波段中，驻波比太高的部分使用了一副天线调谐器以使系统与发射机相匹配。

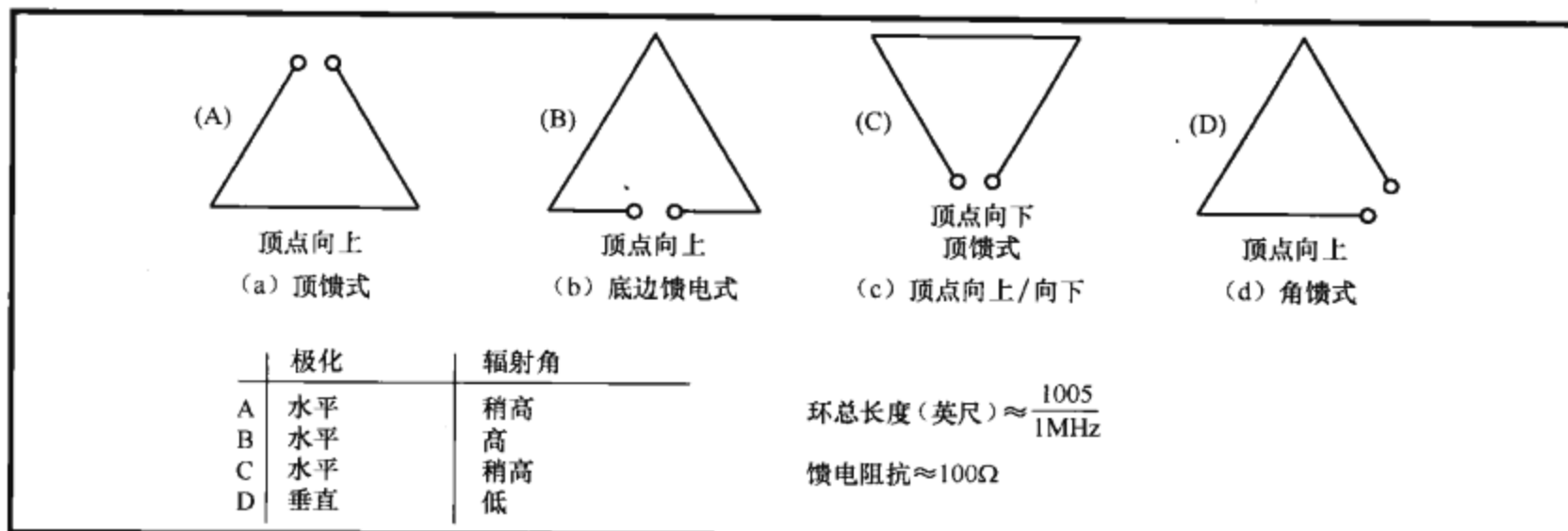
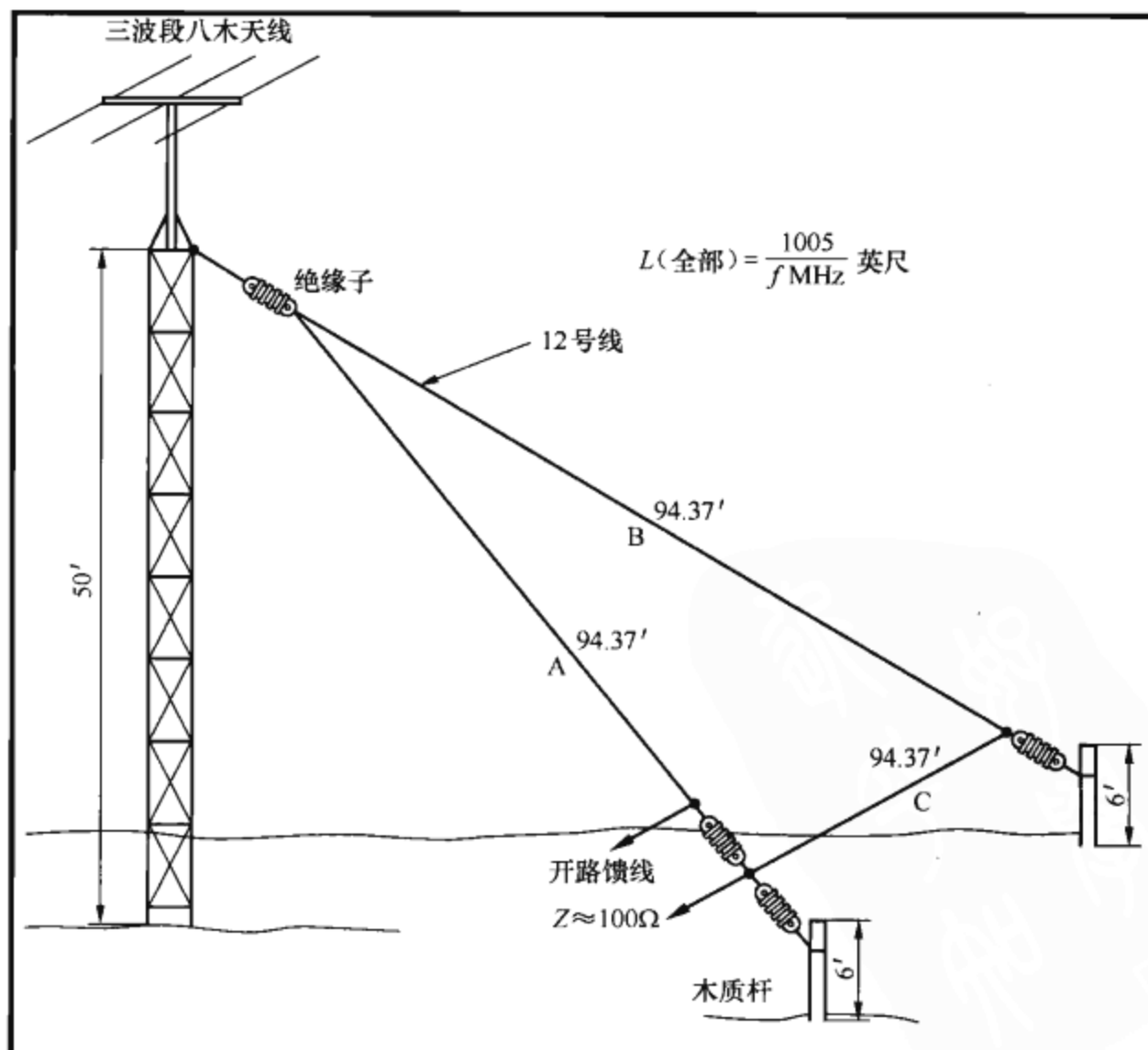


图 26-1 全波式三角环天线的多种构造形式。辐射角以及极化方式受馈点放置及顶端方位的影响。

由于没有足够高的天线塔，我们的环天线没有布置在垂直平面上。60 英尺高的天线塔和 50 英尺的树木用来支撑 W1SE 天线。而 W1FB 中只用了单个的 50 英尺的天线塔。这两副环天线都与支撑物大致成 45° 倾斜角（如图 26-2 所示）。这里显示的是现有 W1FB 天线系统的情况。天线

图 26-2 在 W1FB 使用的 80m 波段倾斜式三角环天线。塔高仅为 50 英尺。自制的开路线被用作馈电线以达到多波段应用且垂直极化并拥有较低的辐射角。



环的宽侧朝向东北与西南方向，为的是在这些方向上 80m 波段达到最大辐射。后文还将有更多论述。

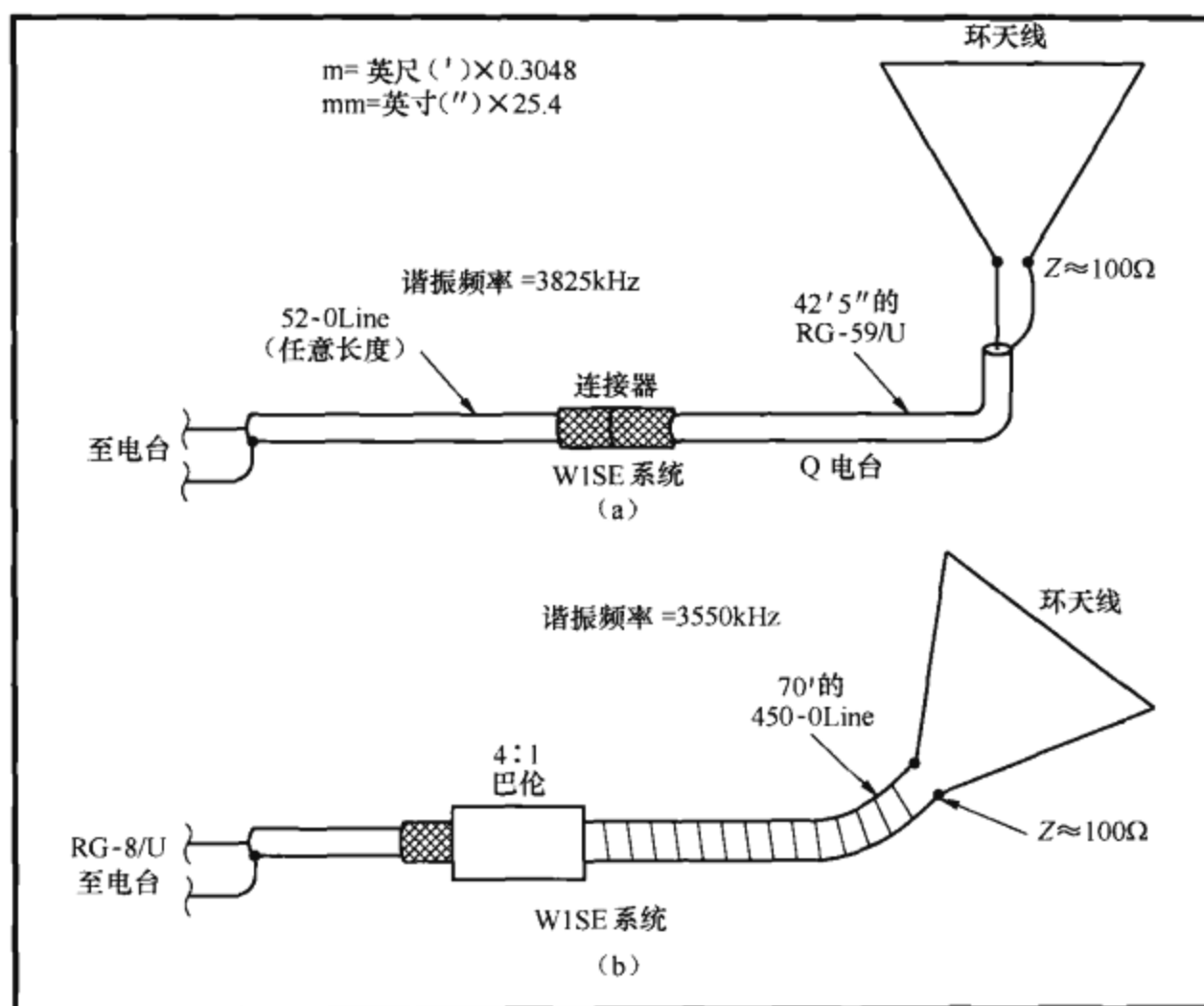
1983 年夏天，我们开始这些低至接近地面的天线实验时，来自 Traverse City 附近 Michigan 的 Bill Martinek (W8JUY) 加入我们。Bill 对多种环天线结构进行了实验，使他在 W1FB 能对局部以及远端的信号进行比对。他最终采用了 W1SE 中的结构并取了顶端向下方式 [图 26-1(c) 中，将平顶端系到两棵 50 英尺树干之间]。为了使环天线保持完全的直立（不倾斜），他选择了非等边三角形的形式。它用的三角形上边实际上比下面两边要更长。相应地，在 75m 波段的信号电平也比他的倒 V 形天线的高出 10 ~ 20dB。这里讨论的要点是，如果不适合你的具体情况，那么你并不需要使用等边三角形。不妨随便架设一种形式，多进行尝试！

馈电方法

为了给 W1SE 环天线馈电，我们使用了 Q 支节。Q 支节是一段阻抗介于天线馈电阻抗与馈线阻抗之间的 1/4 波长传输线。计算非常简单： $Z(Q \text{ 支节}) = \sqrt{Z_1 Z_2} \Omega$ (公式 1)。其中， Z_1 是天线阻抗， Z_2 是馈线阻抗，单位 Ω 。在这个例子中，假定天线馈电阻抗为 100Ω ，那么 Q 支节阻抗应该是 $\sqrt{100 \times 50} = 70.7\Omega$ 。这代表了与 52Ω 同轴电缆接近匹配的情况。Q 支节的长度（由 RG—59/U 制作而来）可以由公式 $L(\text{英尺}) = 246V/f(\text{MHz})$ 来确定，其中 V 是匹配支节中同轴线的速度因子（长度值应该使用 dip 计来进行验证）。在 W1SE 中所选择的 3.825MHz 频率上的应用中，据计算所要求的 Q 支节长度为 42 英尺 5 英寸（如图 26-3 所示）。

W1FB 中采用的是开路线馈电形式，见图 26-3(b)，以在 10m 波段内达到多波段应用的效果。遗憾的是，需要使用一段很短的 RG—8/U 电缆来将馈电线接到火腿的电台上，中途要经过车道。因为这个原因，同轴电缆被埋入地下。一个自制的 4:1 环形巴伦变压器（两个堆叠式 T200—2 阿米顿内核和特氟龙绝缘的 14 号电线）被封装入一个防雨盒中并被安装在其中一根用于固定 450Ω 开路传输线的支撑杆上。理想情况中，开路线电缆应该被引入室内并通过天线调谐器与电台设备相匹配。幸运的是，若未用天线调谐器，环谐振时的驻波比也有 1.3:1。

图 26-3 图 (a) 是在 WISE 电台中使用的馈电方法。利用一个同轴 Q 支节将 100Ω 的馈电阻抗近似匹配到 52Ω 的同轴线上。图 (b) 显示的是 W1FB 中馈电的方案。开路线、巴伦变压器和 RG-8/U 电缆短线的使用使其可以配合天线调谐器进行多波段应用。理想情况下, 开路线将一直延伸至天线调谐器, 而巴伦变压器就安装在那里。



性能表现

这部分是许多读者最盼望读到的。W1FB 天线的效果非常令人满意。环天线代替了倒 V 形天线, 顶部高度为 50 英尺。这导致了在 75m 及 80m 波段的全方位通联的显著改进, 范围延伸至 500 ~ 600 英里。然而, 环天线在 80m 波段与欧洲的远程通联中也被证实具有很高的效率。第一种形式是如图 26-1(b) 中所示。虽然天线在 75m 及 80m 波段短距通联中表现突出, 但它的远程通信表现却很糟糕。图 26-1(d) 中的构造形式似乎在本地及远距通信通信中提供了一个很好的折中。在环天线基本频率上, 关于地平面的理论辐射角度为 10° , 这在 VE2CV 写给 W1FB 的一封书信中有所论述。从中可以设想出环天线是垂直架设的, 并处于地面上方一个合理的高度处。

图 26-1(d) 中描述的环天线的调谐通联应用性能极好。有时候, 在与欧洲和非洲的远程通联中, 它比塔顶的三波段陷波天线性能还要好。由于环天线的增益以及低辐射角的缘故, 环天线在 20m 及 15m 波

段的常用方向上呈现出平均 6dB 的信号电平提升值。谐振时的辐射在环的平面上而不是侧面宽边方向。这使其成为与非洲通联的理想天线。这也许是在 W1FB 站点从西北方向 Michigan 低处使用过的效率最高的 40m 波段远程通信天线了。在所有调谐频率上都要使用天线调谐器，除了在 18.111MHz 上，在这里 W1FB 将与 Bill Orr(W6SAI)、Prose Walker(W4BW)、Bob Haviland(W4MB) 以及 Stu Cowan(W2LX) 一起进行电波传播的研究工作，这个特殊的实验研究项目编号为 KM2XQV。在这些测试中，环天线在 24.9MHz 上工作良好。在 18.111MHz 上，驻波比为 1.4:1。

在 W1SE 站台的实验结果同时也指出一个倾斜的环天线，若是靠近地面，工作性能也会很好。当环谐振在 3825kHz 时，分别在 3734kHz 以及 3934kHz 这两处产生了 2:1 的驻波比点。这个 200kHz 的带宽频谱可以由加长或缩短环导线和 Q 支节相应地上移或下移。从位于 Newington 的 W1SE 电台站点来看，环天线无论是在本地通信还有远程通信中，其性能表现都令人印象深刻。

当注意到 80m 波段系统的优秀性能时，我们将一个 40m 的三角环形天线应用到 W1SE 站台中。它被设定谐振在 7016kHz 上。这个模型以完全垂直的形式被竖立起来，用掉了 143 英尺 3 英寸的电线。Q 支节为 23 英尺 2 英寸长。顶端（即馈电点）位于地面上方 4 英尺高处。在 40m 的整个波段上驻波比都不到 2:1。80m 及 40m 波段的 W1SE 环天线的谐振频率与设计值显现出些许差异，这也许是天线与地面接近的缘故。40m 波段的谐振检测为 7050kHz。这两副环形天线在本地以及远程通信中都较 W1SE 中其他试验的天线形式的性能结果要更好。如果我们抬高三角环形天线以使其底部距地面达半个波长或更高距离，那么其性能还会更让我们惊讶。

总结

没有规则来指示全波环天线的具体形状。用三角形结构便于安装辐射器。如果顶端位于上方，那么只需一个高的支撑结构。你也许会用一棵或多棵高树作为支撑物。圆形、方形以及矩形形状都已被广大业余爱好者们使用过且结果很好。当然，就降噪方面而言，环天线是非常好的接收天线。在一些城市站点中，这点会显得更加重要。有句老话说得很好：“如果你收听不到，你就无法工作！”

80m 波段的三角环天线采用图 26-4 中的两种简单方法中的一种改用于 160m 波段通信中。但是，当一个闭合环天线总长度为半个波长时，并不能提供很好的性能结果。其中图 26-4 中的任一种方法都不再适用，但图 26-4(a) 中的方法需要一个辐射地网以达到最好效果。

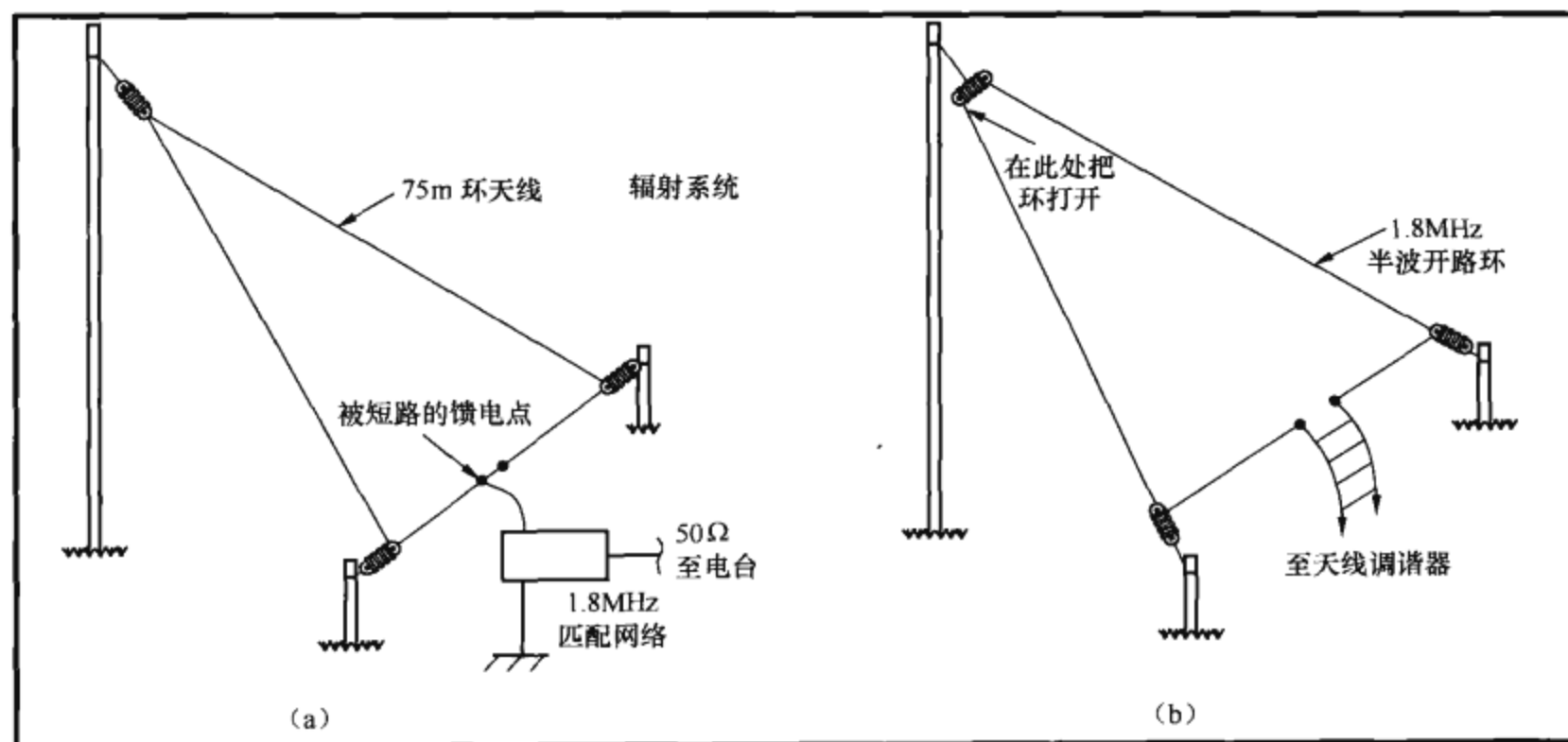


图 26-4 在半频条件下使用全波环天线的两种方法。可以在馈电点用一种转换方案将闭合、全波的环天线转变为所示的第一种结构。图 (a) 中的方法作为 1/4 波长辐射器使用，但需要一个地网。方法 (b) 在半频使用时作为半波长开口环工作良好。它需要在与馈电点相对的电接触点处对环进行开路。为达到这个目的可以使用一个继电器。

——Doug DeMaw (W1FB) 和 Lee Aurick (W1SE)

一副可用于 75/40/30m 的三波段三角环形天线

WB4DFW 希望在 75m 以外的其他波段也使用他的三角环形天线，于是他安装了一些同轴陷波器。他还描述了一种有效的技术方法来防止天线随着树在风中摇摆而产生断裂。

我使用水平安装、同轴馈电的 75m 波段三角环形天线已有许多年了。我发现它们比振子天线更优秀——接收时它们受噪声影响更小（即更安静，这也许是直流接地的缘故），拥有更宽的带宽（典型地，使用同轴匹配节时在超过 200kHz 范围内驻波比都小于 2:1），并且可以很容易地支撑在附近的树木上。如果安装得当，很难滑落下来。

除了使用天线调谐器外，一个 265 英尺长的 75m 波段环形天线无法在其他波段工作，而我手头正好没有天线调谐器！有一天正当我无聊地收听着 75m 话务波段信号并幻想着能收听到 30m 波段信号时（已经很长时间没有使用民用波段了），我突发奇想，为何不使用陷波器呢？以前我根据 Sommer 的文献多次自制过同轴陷波器，知道它们制作容易、调试简单。

关于我的 75m 波段环天线的最近一次快速实验发现合理的载体形式应该是等边三角形（每边略长于 85 英尺）。我计算过，一个 30m 波段的振子天线总长度应该在 46 英尺之上（频率为 465MHz）。看来在馈点两侧各 23 英尺处安置一些自制的同轴陷波器非常简单。再稍微多做点计算可以发现，甚至再插入一对 40m 波段的陷波器也是可行的。

Sommer 给出了一系列有用的计算图表，以计算在 PVC 管模上的陷波器尺寸，使用的是 RG-58 或 RG-174 电缆（前者电缆在千瓦级应用中几乎没有问题）。我选择了较大号的电缆。每个 30m 波段的陷波器都需要在 1.62 英寸外径的 PVC 部件上使用 46.8 英寸的电缆线（绕 6.75 圈）。40m 波段的每个陷波器在 2.25 英寸外径的 PVC 部件上用到了 61 英寸的电缆线（绕了 6 圈）。上述两种情况中，PVC 管子长度可根据方便任意选择，我使用了 4 英寸的长度。

我花了不到一小时就绕制成了 30m 波段的陷波器，并在馈点的每边 23

英尺处将其安插到环形天线中。通过简便的驻波比测试，发现它们在 30m 波段底端以下谐振良好，若稍微拉开线圈的间距并用电工胶布固定好，可以非常容易地将谐振频率拉高，其中驻波比在 10.125MHz 达到最低的 1.2:1。

40m 波段的陷波器操作也同样简便。但较之第一组线圈，它在现有天线中的安放位置具有一定难度。由 30m 波段陷波器所引起的加载效应使得对 40m 波段陷波器物理位置的确定变得不可预测。Grebekemper 指出半波长天线中的圈套倾向于将天线“牵引”至谐振状态，即便它们并没有精确地放在最佳位置上。于是，我只是完全采用了 40m 波段谐振的公式长度，而后再大致减去每个 30m 波段陷波器中的电缆物理长度值，最后按此安装上了 40m 波段的陷波器。

这个方法并不科学，但第一次试验时驻波比在 7.1MHz 处只有 1.3:1。估计是我运气好吧，并且我选择不再进行进一步调整了。最终的天线布局如图 27-1 所示，图 27-2 中则是关于陷波器的特写近照。

图 27-1 75/40/30m 三波段三角环形天线的俯视图，WB4DFW 将其安装在距离地面 40 英尺的高度上。陷波器是由 RG-58 同轴电缆制造而成。线圈绕制细节详见文中。

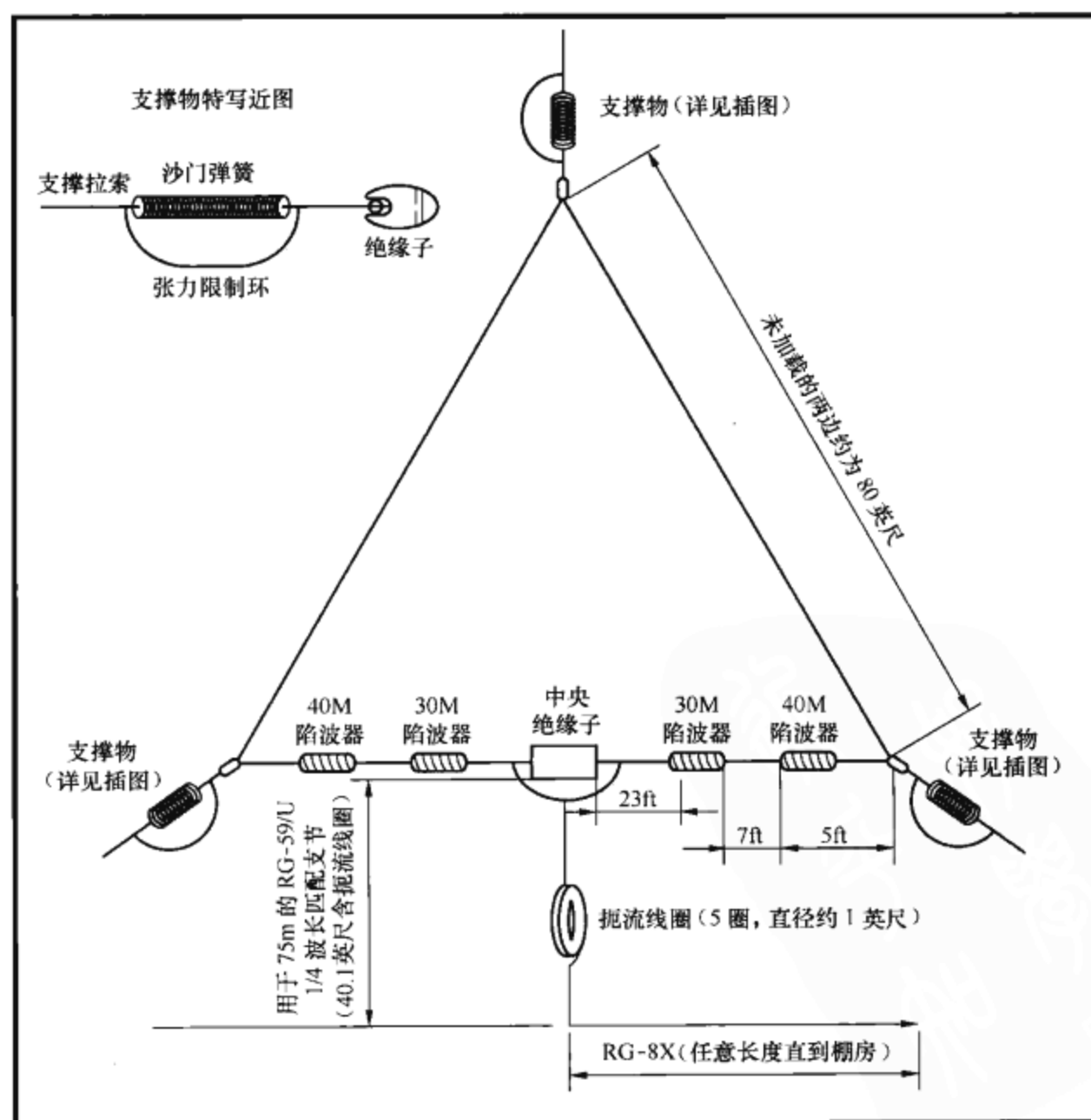
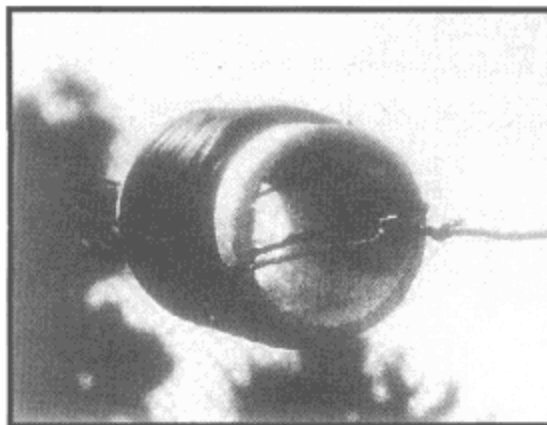


图 27-2 40m 长的线圈特写照片。
每一个线圈末端的同轴电缆采用硅胶
密封来防潮湿。



ARRL《业余无线电手册》指出一副全波环形天线的典型阻抗值在 100Ω 级别上，或者说是 在谐振时对于 50Ω 馈线驻波比值呈 2:1 时的情况。原始的 WB4DFW 75m 波段三角环形天线使用了一个 $1/4$ 波长同轴匹配支节（这在手册中也有论述），位于馈电点和进入棚屋的电缆线之间。匹配支节不过是 40.1 英尺长的 75Ω RG-59 电缆 $[(465/3.85)/2 \times 0.66]$ ，速度因子] 从而将天线的负载转换到了非常接近我所使用的 RG-8X 馈线的 50Ω 特性阻抗值。

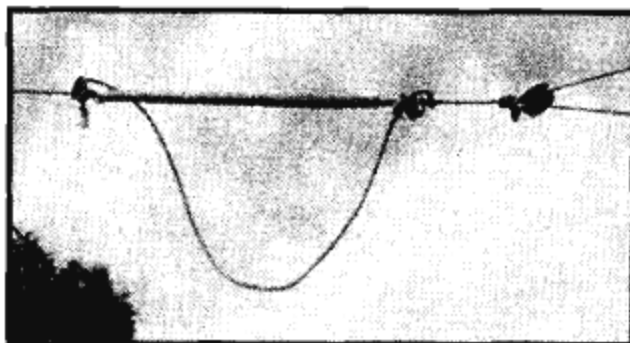
我还使用了匹配支节电缆的一个五圈的环线圈来形成一个射频扼流圈，以在天线馈电点处使馈线的辐射达到最小。匹配支节对于新的 40m 及 30m 波段天线驻波比值没有明显的影响（主要以经验的方法来检验的，即临时地撤去匹配支节并直接使用 50Ω 电缆对天线进行馈电），所以就可以正常使用匹配支节了。

这些操作对于我的原始 75m 波段环天线有什么影响呢？你也许可以预料到，谐振频率会因为陷波器的加载效应而产生下降（接近 200kHz）。通过拉开远离环天线的远端顶点处 8 英尺的调整，我常用的 3.842MHz 的谐振驻波比又回到正常的 1.2:1 了。

在我们南卡罗莱纳州，松树是用作天线支撑物的一大资源，但它们在夏季雷阵雨中的摇摆会对未作保护的较长的线天线产生严重的破坏损伤。这些年来，我发现了一个简便的减震器系统，使用一根普通的沙门弹簧放置在支撑绳索及每个天线绝缘子之间，这样可以避免许多破坏。如图 27-3 所示，请参考近照的具体细节。

我这个系统的一个特殊方面就是引入了一根“张力限制绳”与每根弹簧相平行放置。这根绳索，长度大约为未伸展弹簧长度的两倍，可以防止摇摆的松树过度地拉开弹簧，也让我们一眼看去就可以估算出天线正在受的张力大小。在多年不可避免的高空侵蚀所导致的弹簧断裂情形中，它也可以提供一个安全的坠落保障，这里也是小鸟爱栖息的地方。

图 27-3 一个弹簧支撑系统的照片，用一根绳子来限制弹簧的拉伸。其中绳子的长度是弹簧原长的 2 倍。



天线在所有三个波段上的性能表现都令人非常满意。在 30m 波段的 2:1 驻波比带宽远远超过了波段边缘。类似地，40m 波段带宽约为 100kHz(明显比我用过的振子天线的带宽要窄许多，我猜想这要部分归因于我在 40m 波段陷波器位置摆放上的主观臆断)，75m 波段带宽现在大致为 150kHz(与嵌入陷波器之前相比略微变窄了些)。与其他任一种我用过的非定向高频天线相比，此天线在所有三个频段上的双向信号结果都具有很好的可比性。

——David J. Crockett(WB4DFW)

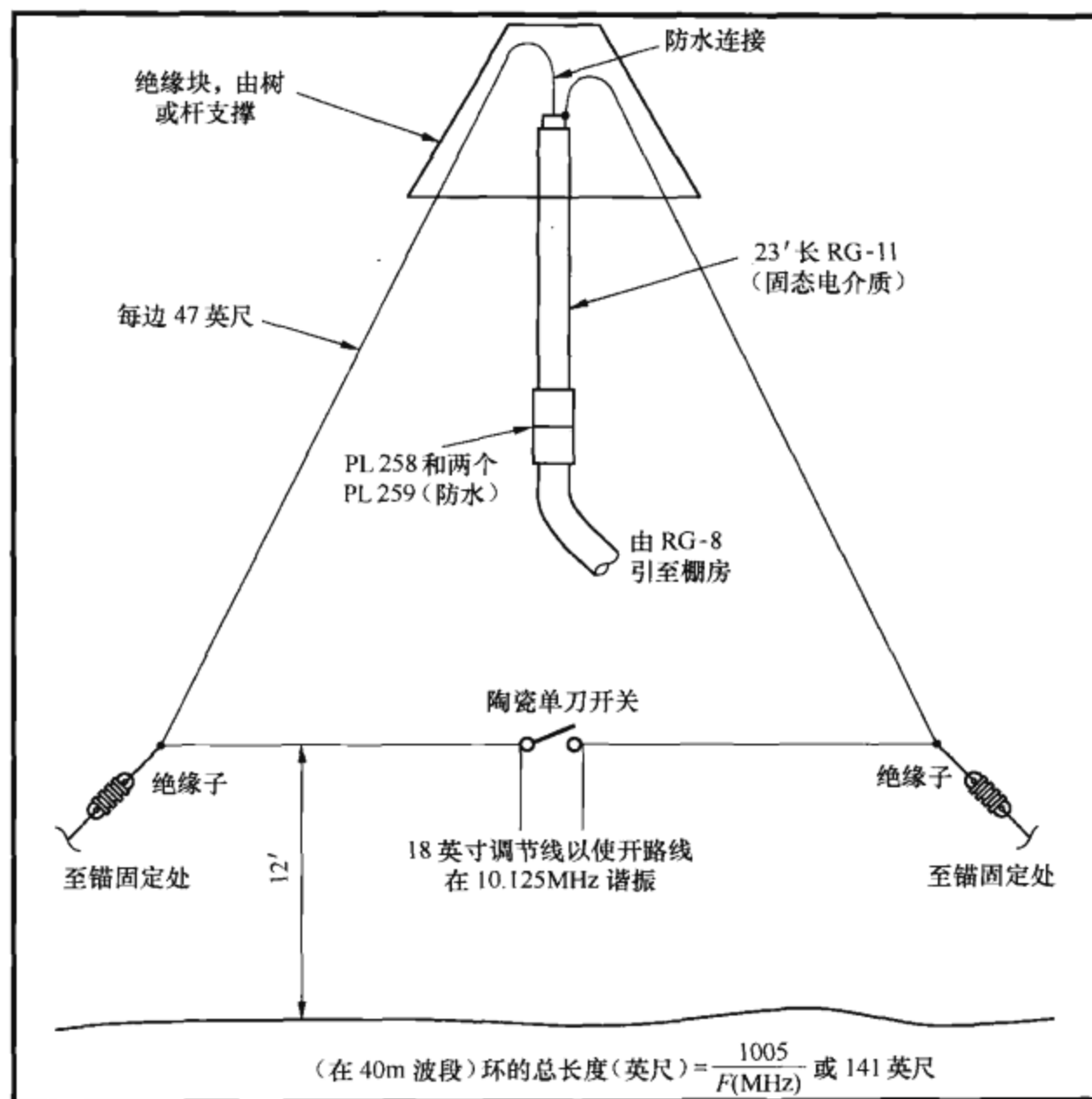
一副用于 30m 和 40m 的双波段环形天线

在尝试找到一种将 30m 波段的三角形线圈环放入已有的 40m 波段线圈环的方法后，我想到一篇叫“All about Cubical Quad Antennas (详谈正方框形天线)”的文献，这其中描述了一种 $1\frac{1}{2}\lambda$ 或“小型 X-Q”环形天线。据描述，在圈长多于 1λ 时这种天线的增益约为 1dB。我在三角线圈环的底边中央（见图 28-1）安装了一个大型的陶瓷单刀单掷开关。当开关开路时，全波式 40m 波段环天线就可以变为一副 $1\frac{1}{2}\lambda$ 、30m 波段的环天线了！这种结构的谐振频率原为 10.5MHz。我在开关的两端都对环天线加上了 18 英寸长的调节线，从而在 10.125MHz 达到谐振。

由于环的底部离地面只有 12 英尺，因此很容易从地面接触到波段开关（注意：当天线用于 30m 波段发射工作时，开关上会出现很高的射频电压！）顺便提一下，虽然是为 40m 波段所设计，这个环天线在 15m 波段也工作良好（整个波段驻波比在 2:1 以下），而且我在天线调谐器的帮助下成功地将 30m 波段的的天线结构应用到 80m 波段上。

——James Brenner (NT4B)

图 28-1 Jim Brenner's 所设计的 30m 及 40m 波段环天线。注意到，用 18 英寸的调节线可以将天线在 30m 波段上的谐振频率从 10.5MHz 降到 10.125MHz。天线采用顶部馈电方式，通过一段 $1/4\lambda$ 的 40m 波段匹配节来实现，详见文中。



简单的天线结构具有改进的增益和水平差异性

天线方向性和天线增益的问题在业余无线电爱好者关于天线系统的讨论中，正变得日益流行。因此，为定向天线阵列的使用提供建言或者提示，写篇文章是很合适的。这样可以解决天线爱好者的天线不能在获得高增益的同时在各个方向上产生辐射的问题。对于绝大多数的业余无线电爱好者，这是显而易见的事实，但是也许他们并不知道这个准则对于天线垂直平面的性质同样重要。我们很幸运地拥有很大的一块地方，可以悬挂线天线，可以建造长线天线，例如 V 字形天线和水平菱形天线，这是最简单的使天线获得高增益的方法。但是从这样一副天线上辐射出来的能量在垂直平面内完全受到限制，正如其在水平平面内受到的限制那样。它所导致的结果可能是，在特殊的角度这副天线被认为会工作得最好，简单的水平对称天线在一个确定的距离会辐射好得多的信号。

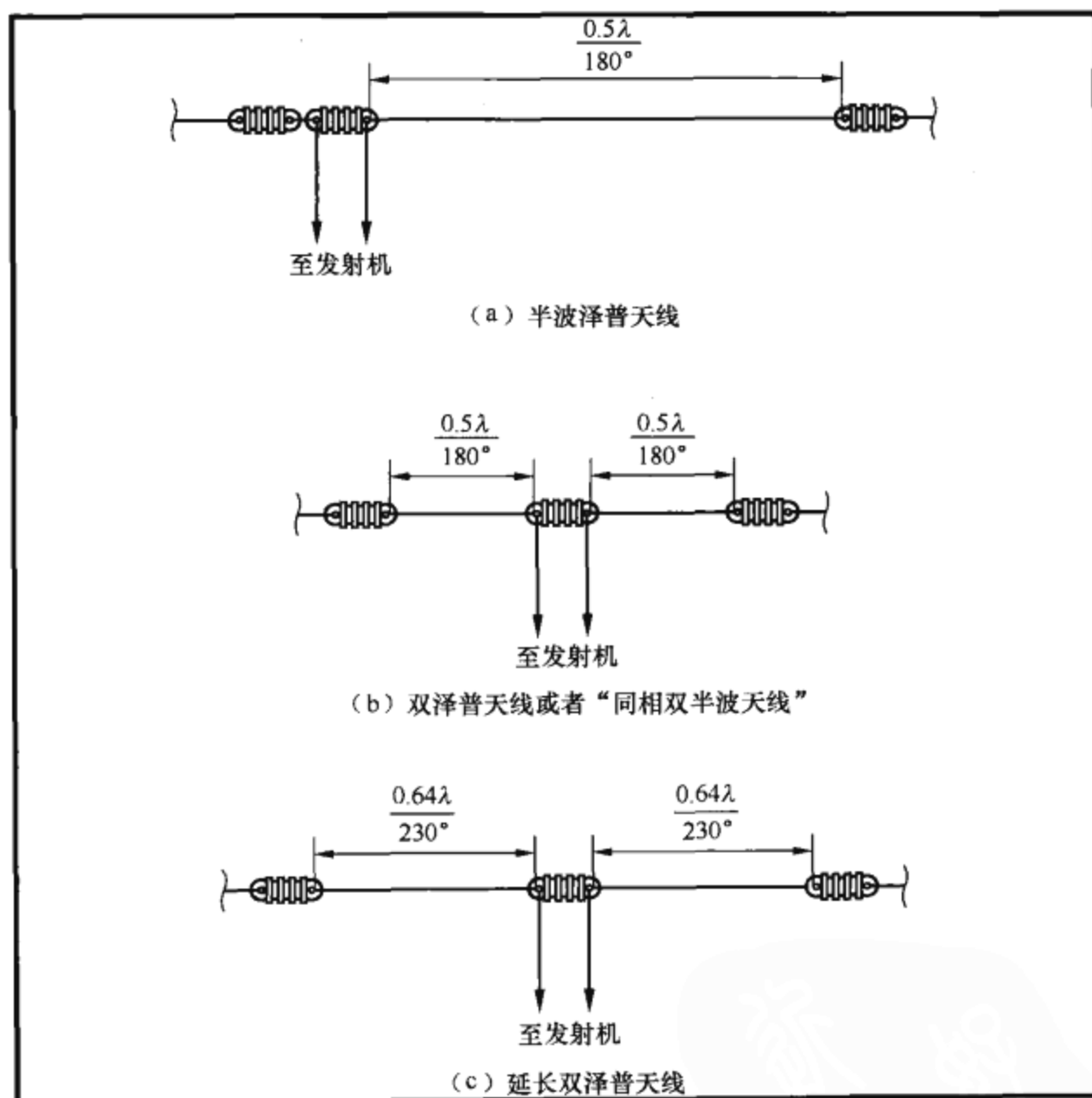
因此，绝大多数适用于各种不同距离的实际天线在垂直平面上都具有相当宽阔的辐射方向图。当使用距离在 1000 英里以内时，并不推荐使用天线单元的“堆积”和长导线，除非通过地波可以正常达到的非常短的距离。绝大多数的通用高增益天线必须限制其在水平平面内的辐射，同时在垂直平面内天线高出地面的高度得到最佳的折中。这也是本文讨论一副简单的集合了我们所想拥有的优质特征的天线阵列的意图。

对称天线

首先，让我们来讨论简单的对称天线，因为它相对于我们参考与比较的基准是工作得很完美的。说得更具体点，将这副对称天线认为是水

平悬挂的，同时在天线的一端是以如图 29-1(a) 所示的历史悠久的泽普馈电线进行馈电的。暂时先忽视这样一个事实：末端开路的馈电导线比其他的馈电线有更高的电压，所以辐射性能更好，如果你足够幸运，这样一副对称天线的水平辐射方向图会像图 29-2 中所显示的那样。当然，这个是基于天线距离输电线和房屋管道的距离是足够远，不会受这些线性导体的影响，由于问题很复杂，所以我们没有考虑到我们的对称天线和邻居家的 b.c.l. 天线的互阻抗。

图 29-1 基本天线构造。(a) 为半波泽普天线；(b) 为双泽普天线或者“同相双半波天线”；(c) 为延长双泽普天线。



毫无疑问，这样一副对称天线的辐射方向图是很多无线电爱好者都熟悉的。也许，他们对于如图 29-3 所示的垂直辐射方向图（在最大水平辐射方向上）并不是很熟悉。这里假设对称天线距离地面的高度为 0.5 个波长，同时地球是完全导体。幸运的是，即使是在长岛上，具有较低相对电导率的土壤和沙石都可以反射较高比例的以小于 50° 入射角入射到地球表面的水平极化电磁波。这样的一个反射波，加上从我们最感兴

趣的垂直入射角范围内直接辐射的电磁波，这就会使天线的最大增益超过相同的对称天线在自由空间中的增益大约为 6dB。换句话说，在没有地表存在的情况下，天线的增益要小 6dB。

图 29-2 偶极子半波长天线水平方向辐射方向图（相对场强）

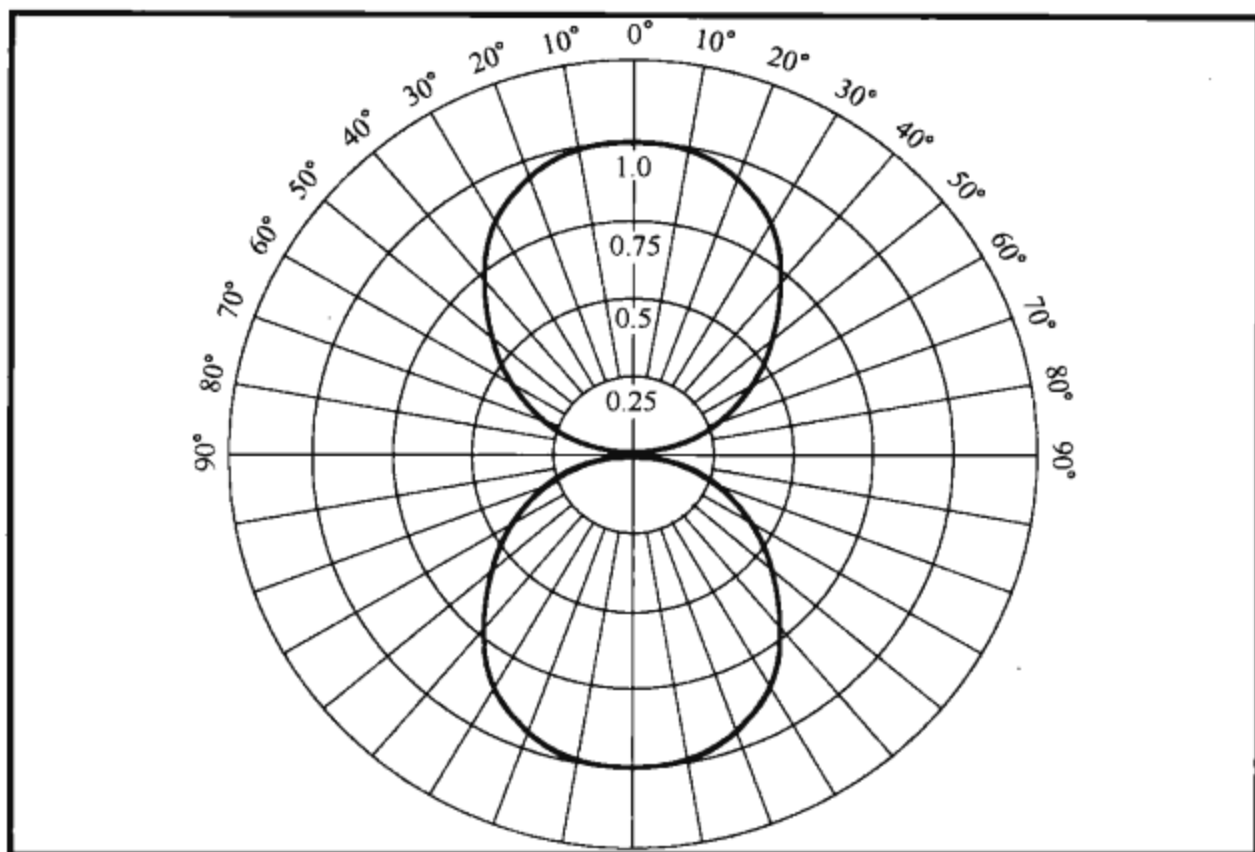
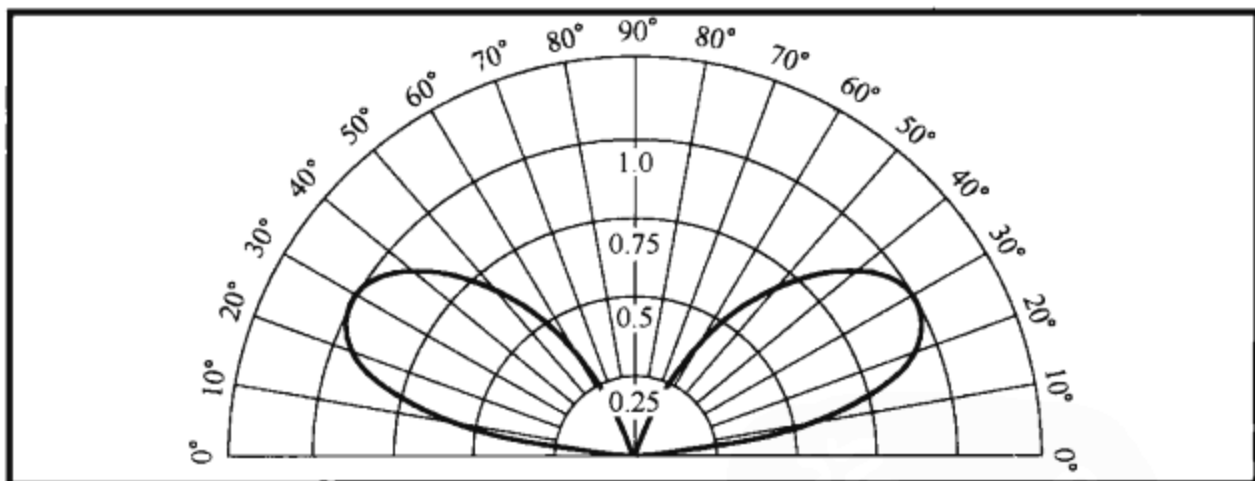


图 29-3 水平天线在最大辐射方向上高于完美地表 1/2 波长时垂直方向上的辐射方向图

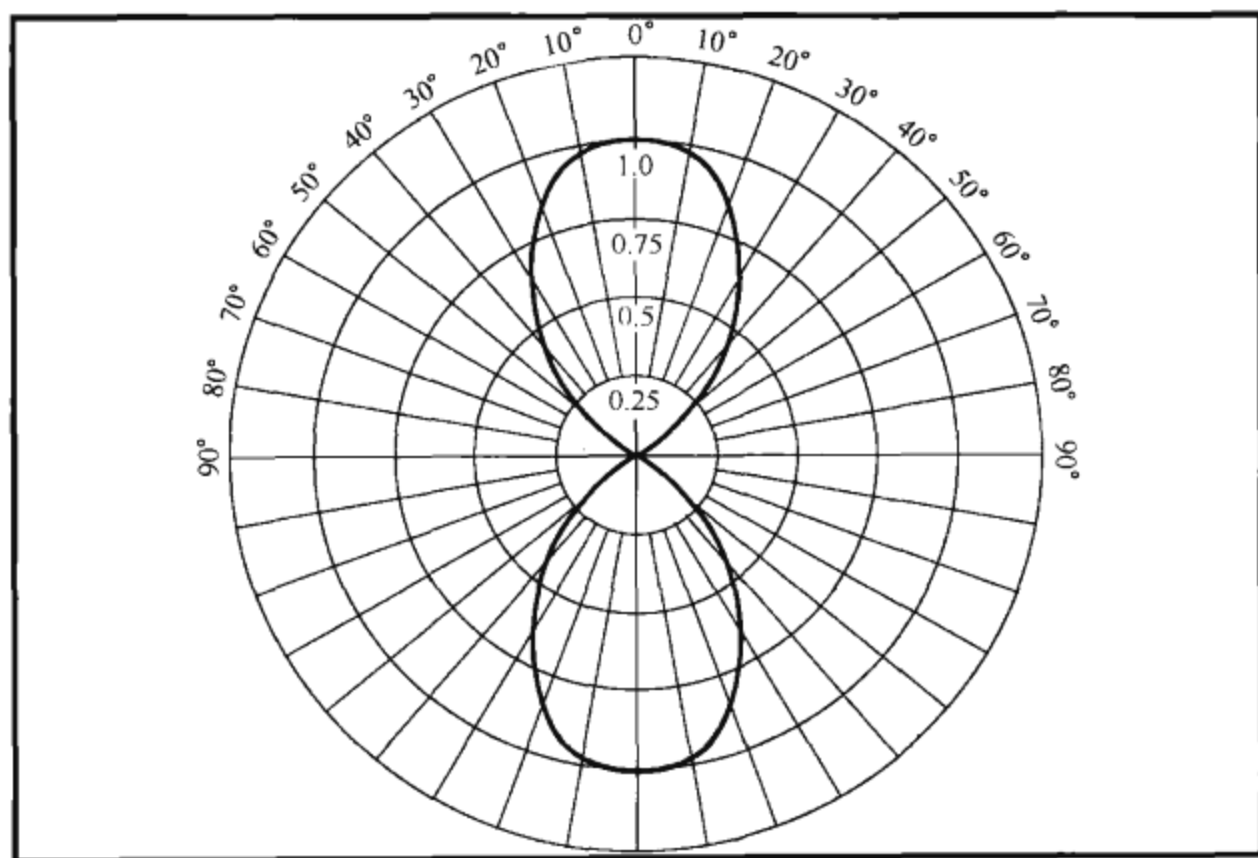


然而，我们对这个 6dB 的礼物也不能过于自信。考虑到这样一个因素，绝大多数的无线电爱好者所使用的频率都为高频，都使用垂直极化天线，天线的入射角为 $10^\circ \sim 50^\circ$ 。因此，这个 6dB 肯定是来自于离对称天线一段距离的地球表面反射的辐射以及传输线上我们所想要的方向。事实上，如果地球表面向上突起得很剧烈，或者有房子或者导线在这个范围内，这将使 6dB 的任何主要成分是否能实现变得不够确定。这个问题在低辐射角的情况下尤其值得注意，但是通常对此我们无能为力，所以让我们看看能不能补偿由于增加水平方向性所引起地表反射损耗。

双泽普天线

通过简单的权宜，将另一副对称天线连接到末端开路的泽普馈电器终端，如图 29-1(b) 所示，将这副对称天线悬挂起来，与原来的天线平行且共轴，这样就可以得到可观的增益。水平方向的辐射方向图如图 29-4 所示。测量得到的增益大约为 1.9dB，对应在功率上将增加 55%。这副天线在无线电爱好者中得到了广泛使用，并且以“双泽普天线”或者“双同相半波天线”的名称流行于无线电爱好者中。一定量的增益和末端朝前方向的交叉信号的减小非常容易实现，但是当加倍辐射元件的数量时，增益却非常令人失望，看起来功率和原先没有什么区别，几乎是百分之百。

图 29-4 双泽普或者同相双半波长天线的水平辐射方向图

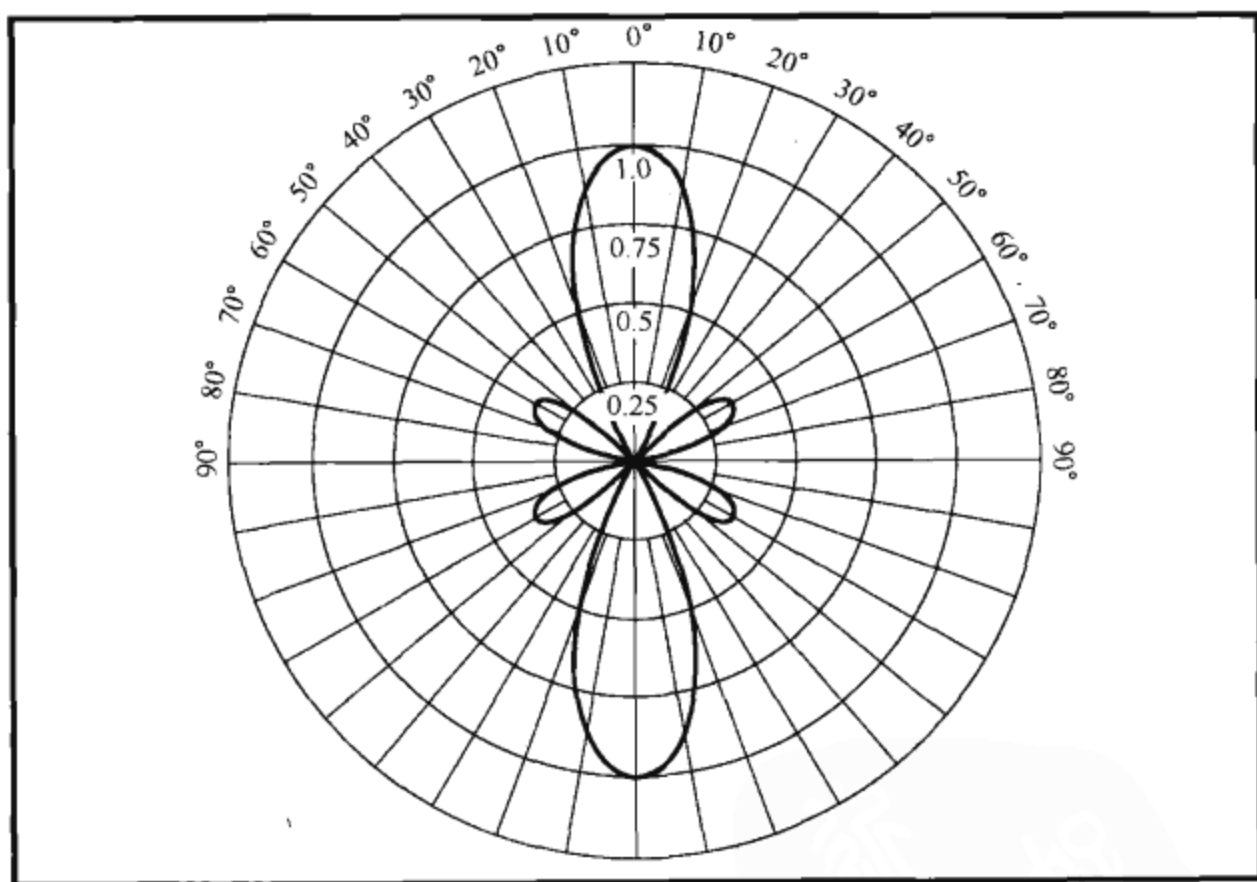


双泽普天线只有 1.9dB 的增益，原因只有在经过对这种情况进行数学计算之后才能解释清楚。简要地说，两架对称天线的接近会使它们之间产生互耦，这种互耦（互阻抗）对于辐射阻抗具有相反的作用，正如在宽边带方向上的增益一样，受人关注。很显然，需要做的事就是将对称天线之间的距离移开一点，但这会使馈电方式更加复杂。有一种更加简单的途径可以增加增益，这种方法是由 Mackay 无线电和电报公司的 A. A. Alford 先生从 G. H. Brown 先生在 1936 年 1 月的 I.R.E. 会议文章中关于广播天线原理的讨论发展而来的。Alford 先生将这样的想法写成一篇文章，并投送至在华盛顿召开的 I.R.E 会议。

加长的双泽普天线

双泽普天线的增益可以从 1.9dB 增加到 3.0dB，这需要使用权宜之计，那就是增加泽普天线每一副对称天线单元的长度，达到 0.64 个电气波长，用来取代 0.5 个电气波长。从电气角度来说，泽普天线由两个 180° 单元组成。为了得到最大增益，加长泽普天线应当包含两个 230° 单元，如图 29-1(c) 所示。通过这种途径，功率增益将提高 55% ~ 100%。当角度的范围超过 230° 时，增益则下降非常迅速，因此，当天线工作在某个频率点所在的频段，在最高的频率值时两个单元的电气角度的最大值不应该超过 240° 。双 230° 加长泽普天线在水平方向的辐射方向图如图 29-5 所示。垂直辐射方向图在垂直于天线的平面，它和简单的对称天线的辐射方向图一样。

图 29-5 双 230° 泽普天线的水平方向辐射方向图



天线阻抗

这副天线在传输线终端的阻抗是让人感兴趣的，这是由于驻波比与传输线上的电流和电压具有重要的关系，我们将它和普通的双泽普天线进行对比。双 180° 天线在传输线的终端表现出大约 4400Ω 的纯电阻特

性。这个值将会受天线制造使用导线尺寸的影响，同时也或多或少地受天线高于地表的高度和附近导体的影响，用 14 号导线制作成的天线在“自由空间”中的值也可以计算出来。使用这样一副天线和 600Ω 浪涌阻抗线，传输线上的最大电流和最小电流的比值为 $4400 : 600$ ，为 7.3。顺便要说的是，简单泽普馈电对称天线的终端阻抗大约为 $12\,000\Omega$ ，在我们 600Ω 的传输线上会产生大约 20 的驻波比。对于需要计算传输线的浪涌阻抗的读者，可以参考 ARRL《业余无线电手册》。

双 230° 天线中心部分的阻抗不是纯电阻，所以它对传输线的影响就是电压的最大值或最小值，并且沿传输线的电流不同于距离天线（例如普通泽普天线或双泽普天线）奇数倍 $1/4$ 波长处的值。正如我们所预料的，电压或者电流的最大值朝着天线偏移了，由于双对称天线比普通的天线要长，大概偏移了 0.13 个波长。无论如何，天线的阻抗在任何电压最大值处都应该是相当于纯电阻，大约为 6000Ω 。换句话说，在 600Ω 传输线上的驻波比大约为 10。

知道了驻波比，计算传输线的输入阻抗就非常简单了。比方说，传输线在任何电流最大处被剪切后，其输入阻抗都可以简单地进行计算。因此，对于简单的泽普馈电对称天线，这个阻抗可以通过 600 除以 20 来得到，也就是 30Ω 。对于普通的泽普天线，这个阻抗可以通过 600 除以 7.3 来计算，也就是 92Ω 。对于双 230° 天线，这个阻抗可以通过 600 除以 10 来计算，也就是 60Ω 。那些不需要使用修正短截线或者其他的方法得到“平坦”的驻波比曲线（驻波比为 1）的天线，经过“调谐馈电”的方式处理后，在最大电流点处剪掉传输线，将会发现这些图在计算他们的发射机的输出功率时非常有用。

馈电线

然而，在无线电爱好者的圈中使用通常称为非调谐传输线的正变得越来越流行，因为它们的优点正越来越被无线电爱好者所熟知。在计算长度和位置时，例如新近出现的可以用来减小驻波比最简单的一种装置之一——修正短截线的长度和位置，给出的图也是非常精确的。短截线和“环路”将会越来越普遍地应用于实际中，一些关于尺寸的设计理念可以从实际中得到，当使用双 230° 泽普天线工作在 $14\,200\text{kHz}$ 时，短截线应当为 3.5 英尺长。换句话说，短截线应当是由与制作传输线相同的导线制成，这根导线为 7 英尺长，并且被弯曲成 U 形和传输线组成

长方形形状，其宽度等于传输线的宽度。当所有的对称天线都是 43 英尺长，在前面提到过的频率位置处，修正短截线的位置大约距离天线 8 英尺。

通常，最好的将功率引入天线的位置是对称地在关于天线系统的相反的一端，但这并不总是符合实际的，这是由于空间的限制，因此在真实的泽普模式中，对加长的双泽普天线的一端进行馈电就很有必要了。对于绝大部分的情况，两个对称天线单元之间电流的非平衡分布和馈电线的辐射会导致在增益方面有一定的损失，因为天线具有非平衡负载。馈电线、加长对称天线和定向短截线的物理尺寸见图 29-6。注意，到定向短截线的长度比 $1/4$ 波长要短，但是这个量并不是精确地等于每一个超过半波长的对称天线的延长量。这个差异是由于对称天线导线和定向短截线导线之间的互相作用造成的。再次给定一个基准频率，通过反比例关系来简化长度的计算。给出的图应该被认为是近似值，需要独立地进行测试，以确定重要元器件的尺寸和位置。

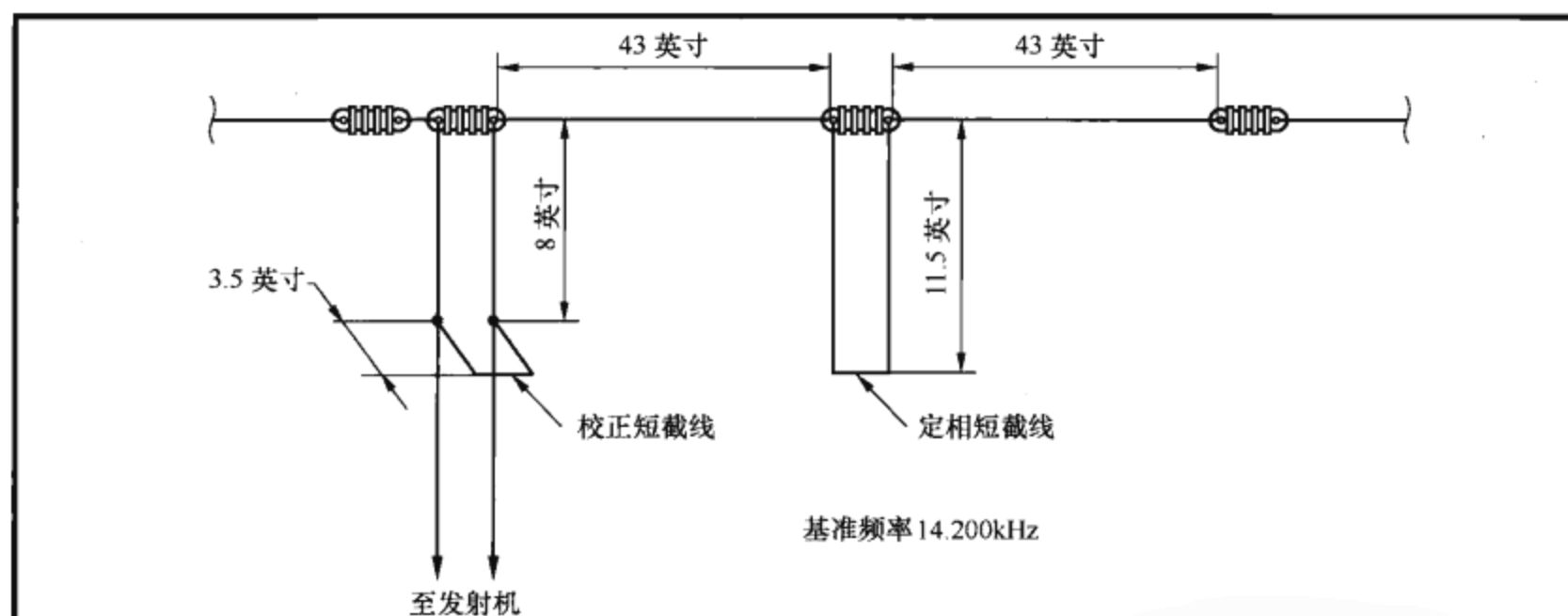


图 29-6 使用 600Ω 非谐振传输线的末端馈电双 230° 泽普天线

天线调节

最有效的调节天线系统的方法之一，就是使用发射机在我们所需要的频率处激励远离地面（也许是暂时地远离地面）至少 8 ~ 10 英尺的另外一副天线。这副主动激励的天线应当距离需要调节的天线至少半个

波长。如果这两副天线互相平行更好。我们以末端馈电的延长双泽普天线作为例子，首先需要考虑的就是对称天线的长度，以及由此将会带来的末端效应。通过将我们的天线在理论上得到的长度减去 5% 的方法，大体上可以解决这个问题。事实上这个通常只出现在天线上的末端效应，取决于制作天线的导线尺寸和绝缘子的零件（使用金属帽），当然还有天线的工作频率。此外，末端效应也不会完全地与波长的函数有直接关系，发生迅速的变化，所以末端效应在 14 200kHz 处需要 1 英尺校正，那么在 7 100kHz 时，需要的校正要比 2 英尺多出大约 1.5 英尺。

在 14 200kHz 时，延长双泽普天线每一半的理论上未校正长度，都是 44.3 英尺。末端效应也许不会超过 1 英尺，由于天线宁可短一点也比长一点好，我们将校正值设置为 1.3 英尺，这样延长双泽普天线的每一半的尺寸就为 43 英尺。如果天线系统是在末端进行馈电，在隔离天线一半的中心绝缘子处，必须连接一根“短截线”。短截线所起的作用就是使天线相反端的传输线短路，对于我们所考虑的频率，它的最短长度应该为 12 英尺。由于我们的意图是使传输线的长度相比于预期的适当的短路位置稍微长些，以便允许通过上下滑动短路点来确定正确的短路位置，此外由于 12 英尺长的短截线通常不会在距离地面方便的位置具有合适的校正短路点，因此我们可以在传输线上增加半波长（34 英尺）的任意倍，并且从接地点开始沿传输线在人为可以达到的位置做短路实验。

我们在做所有这些的时候，泽普馈电线都没有连接在主天线上（为什么不使用它来直接对激励天线进行馈电？），功率通过使用一个敏感的射频仪器在短路处连接到“短截线”上，对激励天线进行馈电，短路的位置可以在电流变为最大值的时候轻易地得到。这是基于主天线被安装到正常工作位置的假设。注意在选择短路点的最大电流位置处，并且从此点往天线方向，距此点为精确的半波长整数倍位置处进行测量。这可以得到距离天线最近的点，该处可以设置短路点。这会给出最短的可能的中心短截线。当然，中心短截线不是必须位于短路处，这是由于如果它被设置在偏离半个波长或者甚至是一个波长，会有少量的损耗带进来。泽普馈电线现在可以连接到天线的任意一端上了，现在它已经准备好开始工作了。

当使用非调谐传输线对上面所讨论的任何天线形式进行馈电时，已经描述过的调节中心短截线的方法同样是有用的——换句话说，传输线的终端是它的浪涌阻抗。使用前面几章中引用过的例子，我们假设通过短路方式得到的电流最大点已经找到，在这一点焊接一小段导线，使之与传输线呈十字交叉，传输线的实际长度相当于被剪短了。现在可以将用于发射机的双芯传输线的抽头接到这个末端短路的短截线上了。这里

还有一个问题，就是选择短路端上馈电线抽头点的位置，以便使传输线以合适的方式终结，见图 29-7。对于 600Ω 传输线，这个点距离短路处大约 3.3 英尺。当然，当所有这些都做好之后，我们便会得到和早前文章中所讨论的相同的传输线和校正短截线了。

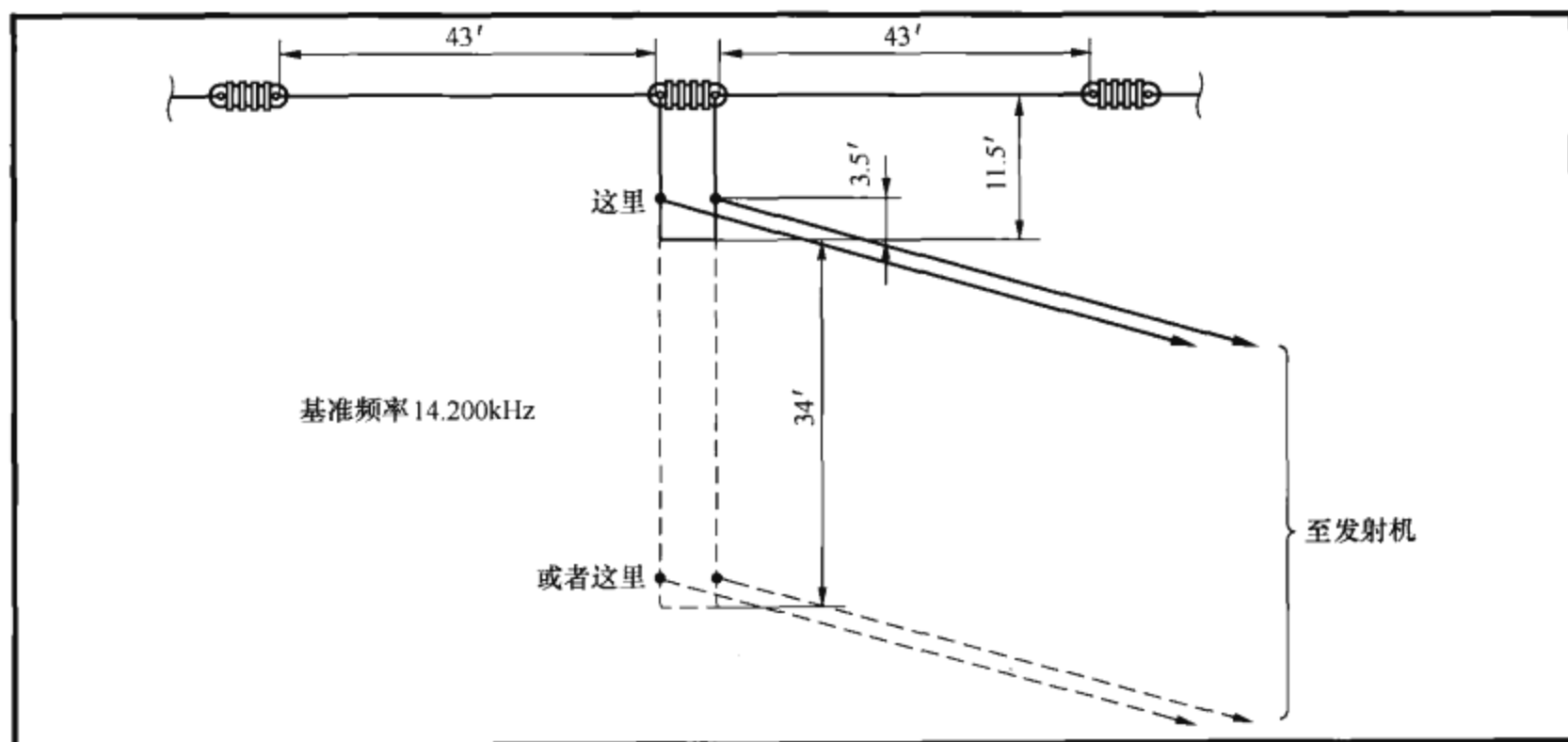


图 29-7 中心馈电的双 230° 泽普天线

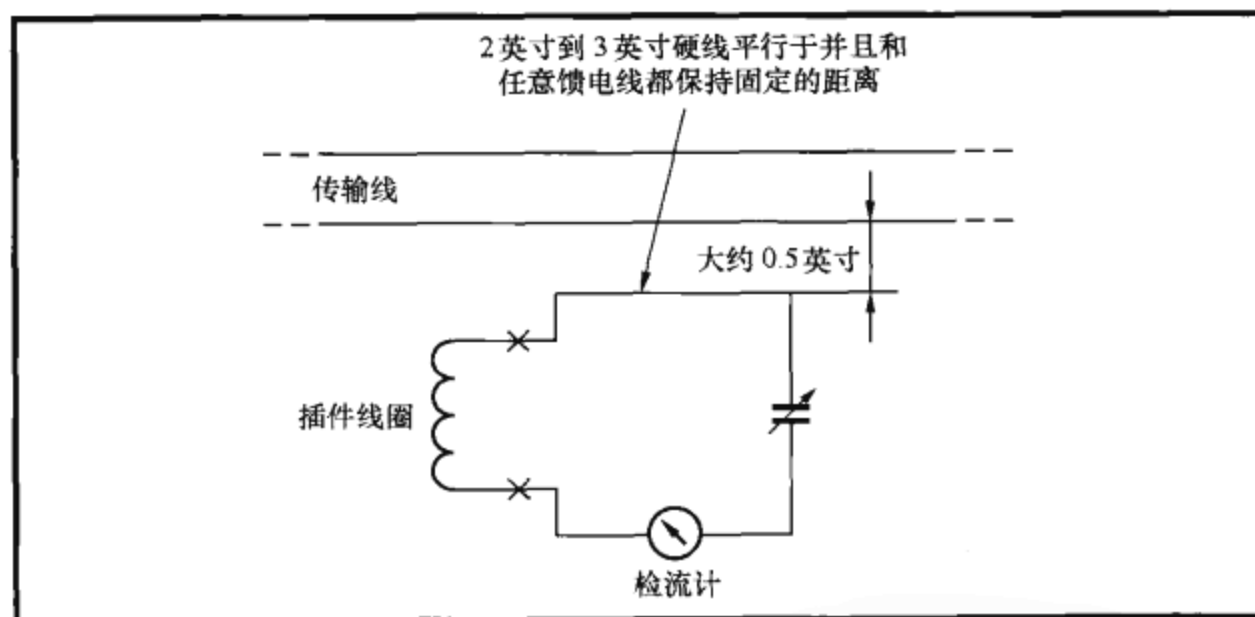
传输线电流测量装置

同样的原理对于双泽普天线和中心馈电的简单对称天线也都是正确的，唯一不明确的就是什么时候发射机的传输线以正确的距离连接到短截线的近端。当传输线上没有可感知的电流和电压时，传输线将会被完全终结，因此必须使用一些方法探测任何出现在传输线上的电流和电压。这些方法中最简单的就是旧时流行的木壳石墨铅笔，因为使用它可以在任何导线上画出清晰的弧线，通过与另外一点电压的比较，可以判断任意一点的电压。这种方法的缺点就是很粗糙，并且容易忽略由于传输线输出端的二次或者更高次的谐波的出现而导致的误差。稍微好点的就是氖灯，但是氖灯仍然是受电压控制的，容易遭受谐波失真。使用电流平方检流计并用一些小的导线线圈连接到它的终端上也可以完成同样的事情，这些线圈可以和任意传输线耦合。如果小心地使导线恒定耦合于线圈，这种方法还是很

好的，但是它的缺点是从检流计到传输线之间的耦合既是电容性的也是电感性的，这样会导致检流计的读数因它接到传输线上的方式不同而不同，这样的—个检流计也会受到谐波的影响。

最令人满意的设备看来就是灵敏检流计，并使用微型电路与传输线相耦合。这样的—个设备使得确保灵敏度和避免谐波失真可以结合起来，但是电容性的影响同样还是会存在。调谐电路因此会沿着传输线连接，但是它相对于两根导线所在平面的位置保持不变，见图 29-8。检查两根导线中的一根通常就足够了，如果怀疑有不平衡出现，另外—根导线也应进行检查。如果天线系统是合理对称的，非平衡电流很可能是由于和发射机之间不适当的耦合引起的，但这又是另外—个话题了。无论如何，如果电流的最大值（电压的最大值）出现在传输线和短截线的连接处时，那么短截线的连接就太靠近短路端了，如果电流是最小的，则相反的道理同样成立。如果电流的最大值或者最小值（假设的确存在驻波比）不会出现在靠近短截线的地方，那么在程序上应该是有什么被忽略了，这同时也为短截线本身并不能将天线调谐至谐振状态提供了证据。

图 29-8 便携式线电流指示器



寄生元件

使用几英尺长的支撑线来支撑“平顶”天线，每一端均由两根导线组成，这种装置由于性能较好，再次变得流行。通过这样的方法可以使双向阵列天线的增益大约为 5.5dB，全向阵列天线的增益大约为 7dB。目前最有前景的一种装置就是两副双 230° 天线并行支撑，并且两副天线之间的距离仅仅为 0.2 波长，如图 29-9 所示。激励天线 A 的发射机和激励单副

双 230° 天线的发射机使用相同的技术。天线 B 可以通过在短截线上合适的位置处短路进行调谐，既可以作为引向器，也可以作为反射器。事实上，这根短截线的长度可以延长半波长的整数倍，这样短截线就可以接入控制室。在这个控制室里，依靠单个开关，短路位置，从对应于天线作为引向器使用的位置到天线对应作为反射器使用的位置，都可以转换，因此可以倒转天线系统的指向。当一副天线作为引向器使用时，这架天线系统的增益信息就利用不起来了，但是当它作为反射器使用并且被调节到能够得到最小的向后传递的信号时，前向信号大约为 7dB，这比简单的对称天线要好，而后向信号为 7dB，要比简单对称天线更小，这样就会产生一个 14dB 的前后向比。反射器短路棒的调节应当基于从天线返回发射机的信号最小原则，或者是当使用天线作为接收信号源时，收到的那个方向的基站信号最小，这是因为相比于可以产生最大前向信号的情况，产生最小反射信号时的调节更为精确。这将会使得发射和接收的 QRM 最小化。同样的原理在调节作为引向器使用的辅助天线时也是成立的。

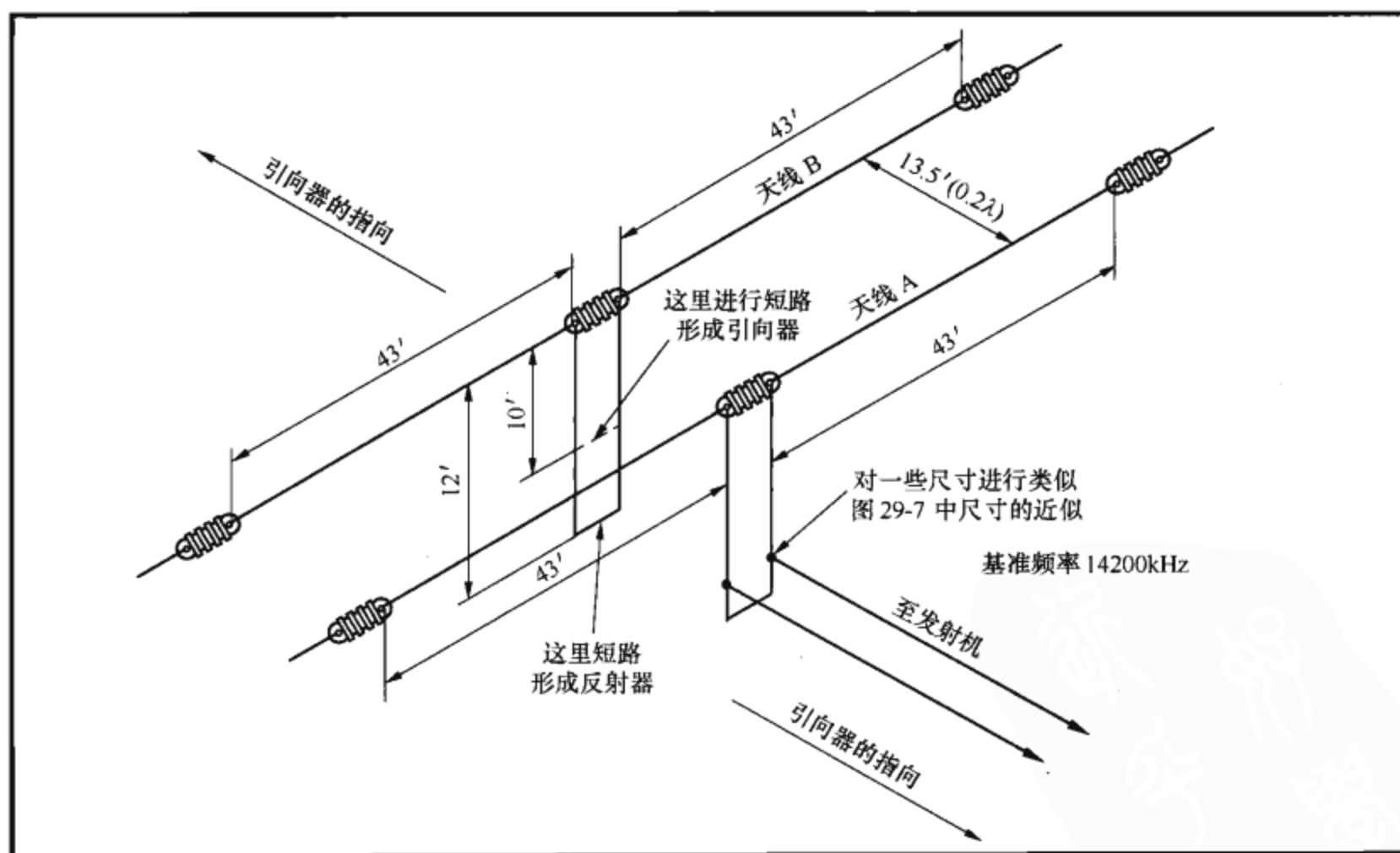


图 29-9 使用寄生引向器和反射器的双 230° 泽普天线

如果辅助天线的调节是在天线正在发射中同时使用电表插入到短路棒中进行的，当短路点距天线的距离比通过短路方式得到的最大电流值

位置稍微远点时，反射器的最小后向信号将会出现。对于引向器，当短路点距天线的距离比通过短路方式得到的最大短路电流值位置稍微近些时，其工作状态最佳。从这一点可以看出，对辅助天线进行合适的调节是非常严格的，同样也是非常重要的。由于场强仪器通常是找不到的，座落在距离天线很短的距离内，装配了信号强度检测仪的，且工作在我们所需要方向上的接收机，被证明是第二好的选择。将你的接收机连接到天线和其他类似的发射装置上，这样在搜寻最小信号的调节过程中也许更加实际。

如果辅助天线仅仅距离工作天线大约 0.2λ ，为了得到最大的前向或者后向辐射，可以对天线进行合理的调节，它将会明显地影响工作天线的辐射电阻和阻抗。因此，如果辅助天线处于开路状态，工作天线上的短截线按照前面所描述的方法进行调节，辅助天线的调节已经依次进行。完之后，再进行天线的调节会得到不正确的结果。而且，工作天线的阻抗将会根据辅助天线是否已经作为引向器或者反射器进行过调谐而稍有不同。如果计划进行引向器到反射器的快速转换，有一些拖累效应会在工作天线上的短截线调节中出现。然而，从实际应用的立场来看，无论辅助天线是作为引向器还是反射器，首先使用不含校正短截线的双线传输线激励驱动天线，对辅助天线进行调节。这可能需要对传输线的长度进行临时调整，不管是对其物理长度进行调整还是使用串联线圈或者电容器进行调节，最终使得耦合线圈和传输线的连接处为低阻抗点，这样就可以令人满意地负载后面的元器件了。事实上，从天线到发射机的传输线长度大约不会超过一个波长，使用校正短截线引起的传输线损耗的减小和它的安装困难程度相比起来，我们几乎不值得采用前者。关键是，如果希望得到“平坦”的驻波比曲线，工作天线上的短截线调节应当在辅助天线已经完成调谐，并且已经得到了我们所想要的天线辐射方向图之后再进行。

更大的共轴阵列天线

现在设想我们的后院足够大，可以用末端连接末端的方式悬挂下两副对称天线。有一种有趣的可能，那就是由 230° 天线为单元组成的四单元的阵列天线可以使用。但是在这里延长双泽普天线的原则，在设计每一副天线单元的长度和分离它们的定向短截线的长度时，要小心地考虑。实际操作的装置如图 29-10 所示。这里使用了角度和尺寸名称来显

示天线上每一个单元的电气尺寸和物理尺寸。你所看到的短截线的长度只能而且必须是被调节成最佳的结果。然而，如图 29-10 所示，每一副天线单元的长度可以假设是正确的。传输线可以分流至每一个短截线，但是连接到中间的那部分会给出最大的增益。

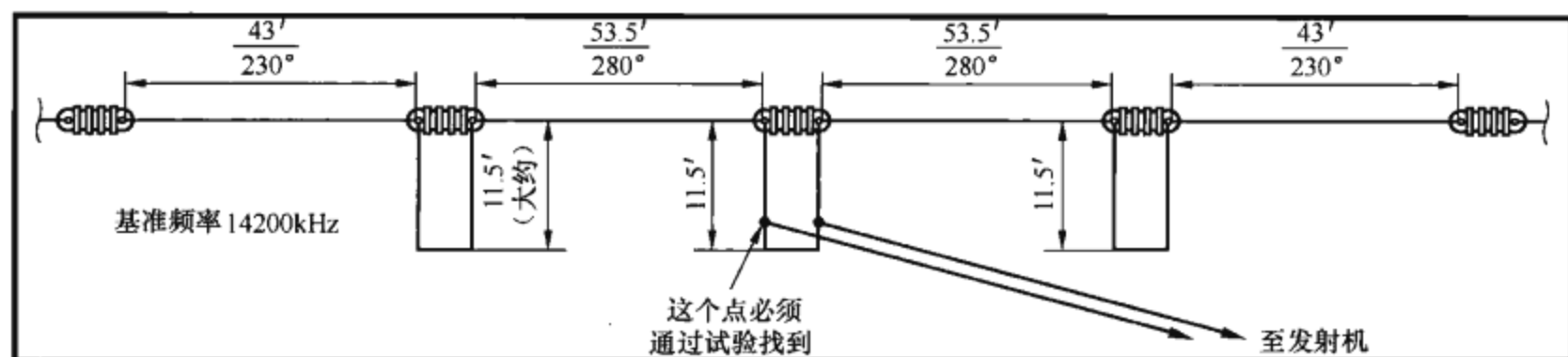


图 29-10 使用 230° 单元的四单元阵列天线

这里四单元天线设计的原则就是可以使任意对称天线单元中心之间的空间间隔相同，这个间隔与双 230° 天线的两个对称天线单元中心一致。当然，每一根定向短截线应当短于 $1/4$ 波长，并且当调节它们的长度满足整个天线系统谐振时，所有三根短截线的长度都应当相同。换句话说，如果一根短截线的长度减小了 2 英寸，另外两根短截线的长度也应当减小相同的 2 英寸，当然这是基于它们原来的长度是一样的。

这也许是个非常笨拙而且令人乏味的调节方法，但是通过调节中间短截线的长度作为近似值，调节的步骤被大大简化了。这里假设了在需要测量天线的附近使用了激励天线。例如，如果发现中间短截线的长度短于其他两根短截线的长度 3 英尺，为了使得在它的短路棒处的拥有最大电流值，另外两根短截线的长度必须减小 1 英尺，同时穿过中心短截线的最大电流有了新的位置。这个新的位置应当很接近符合所有三根短截线的长度相同的条件。即使中间短截线没有使用，调谐四单元阵列天线的这个过程也必须遵守上述步骤，最终，中间短截线的位置是由传输线本身所决定的。这样的连接会导致在传输线上出现驻波，这个驻波同样会被调谐，以使得整个天线系统能够与发射机或者接收机相耦合。

刚刚描述的四单元阵列天线的水平辐射方向图具有两个与天线成直角的主波瓣，同时还有一些幅度较小的旁瓣。在实际操作中，天线的增益证明比我们预想的要高，大概会高于 7dB。四单元阵列天线的主波瓣相比于双 230° 天线的主波瓣要窄很多，这就使得在竖立天线阵列的时候要更加小心地对准目标，或者预留可以对天线的主辐射方向进行调节的余量。正如其他人所描述的，假设这副阵列天线是水平悬挂的，但是

它也可以垂直悬挂，对由于阵列天线在垂直平面内较强的指向性而导致的可能限制还需要进行考虑。总之，水平阵列天线被证明是应用得最为广泛的，主要是由于地表的反射通常会遭遇到垂直极化方向的辐射并且占次要成分，而且较高的桅杆并不是随便就可以找到的。

文章中所描述的天线调节可能看上去有一部分是包括了与简单的对称天线或者是双泽普天线的对比，但是因此得到的额外增益使得文中天线的使用是有价值的。就这一点而言，双 230° 天线完全不需要调谐，它的建造和前面给出的尺寸及调谐传输线适合发射机的目的是一致的。在这方面，所有指向天线中最简单的就是延长双泽普天线，这考虑了包括尺寸和增益等方面的因素。

尽管这个观点表现出与 N.C. Stavrou 发表在《QST》杂志上的“使用半波长单元的简单指向阵列天线”里面的观点相反，但是也没有实质上的冲突。正如现在的作者所指出的，天线在短或者长的距离都可以给出最优化的结果，宽垂直特性是更好的；前面的文章关注的是长距离传输，这个时候最低的可能角度几乎可以在各种条件下得到最好的结果。这种类型的工作可以很自然地继续展开，并且是一种判决因子。无论如何，更简单的结构在任何平面都可以满足一般工作，并且方向图看上去也不会更加尖锐。

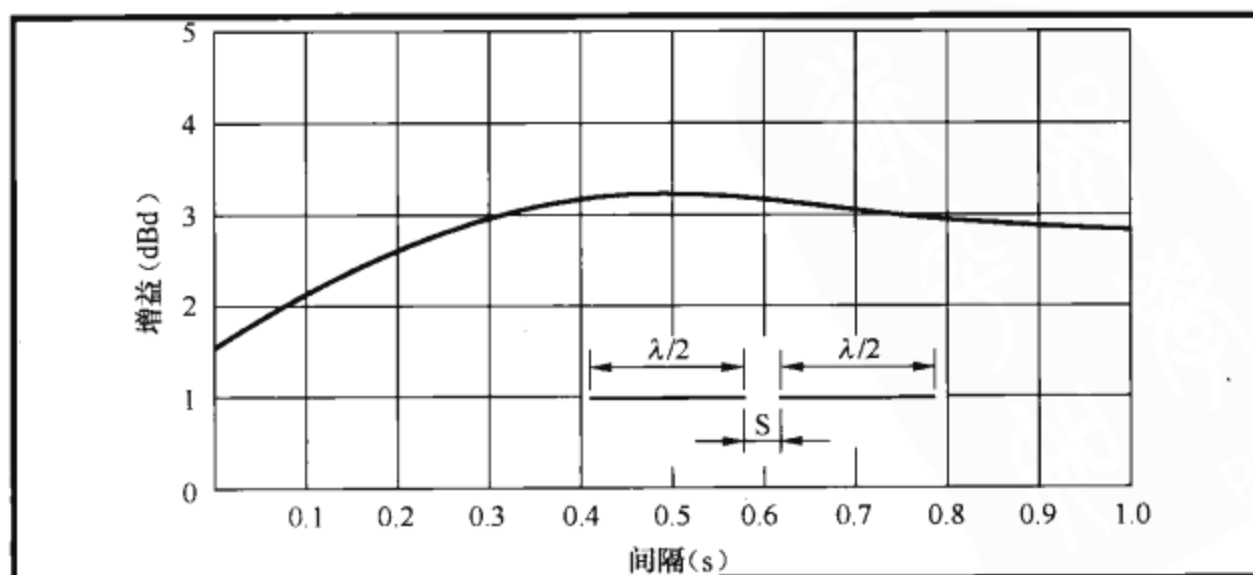
——Hugo Romander (W2NB)

共轴阵列天线的单元通常都是同相工作的（如果阵列天线中某些单元异相工作，天线会很简单地就变为谐波型天线）。共轴阵列天线为宽波瓣辐射器，最大辐射方向和天线的轴线成直角。

功率增益

由于共轴单元之间互阻抗的特性，馈电点的阻抗会升高，如图 29-9 所示。由于这个原因，功率的增益和阵列天线的单元数目并没有直接的比例关系。使用两个单元组成阵列天线，并且这两个单元之间的距离改变，这时天线的增益如图 30-1 所示。尽管当单元末端与末端的距离在 0.4 波长到 0.6 波长范围内时，天线的增益最大，但是这种顺序的空间布局在建造时很不方便，并且在对两个单元进行馈电时引入一些问题。结果，共轴单元在工作的时候，通常它们的末端非常接近，在线天线中，通常只在单元与单元的末端之间使用张力绝缘器。

图 30-1 双共轴 1/2 波长单元的增益是相邻单元末端距离的函数



由于相邻单元的末端之间空间距离很小，理论上共轴阵列天线的功率增益如下：

2 单元共轴——1.6dB

3 单元共轴——3.1dB

4 单元共轴——4.2dB

单元多于 4 个的阵列天线很少使用。

天线方向性

在包含了天线轴的平面内，共轴阵列天线的方向性随着天线长度的增加而增加。当阵列天线所使用的单元数目大于 2 个时，会有小的次级旁瓣出现在天线的方向图上，但是这些旁瓣的幅度非常低，因此它们的作用并不重要。在和天线成直角的平面内方向图是一个圆，而且不论天线使用的单元数目是多少。因此，共轴工作的方式只影响电场平面的方向性，天线就在这个平面内。

当共轴天线使用垂直的单元进行组装，天线的辐射在各个地理方向上都具有相等的很好的性质。使用这样“堆叠”的共轴单元组成的阵列天线会使得天线的辐射趋向于较低的垂直角度。

如果共轴阵列天线是水平安装的，在和天线阵列成 90° 角的垂直平面内的辐射方向图和简单的 $1/2$ 波长天线在同一高度上的垂直平面内的辐射方向图是一样的。

双单元阵列天线

最简单也是最流行的共轴阵列天线就是使用两个单元的如图 30-2 所示的阵列天线。这个天线系统通常称之为“双半波长同相天线”。在包含天线轴的平面内的方向图如图 30-3 所示。

线天线的馈电点阻抗的预期值为 $4 \sim 6k\Omega$ ，具体的值取决于导体的尺寸、高度和相似因子。如果制作天线使用的是管道，而且金属管道的波长 / 直径比率较低，典型的馈电点阻抗可以低至 $1k\Omega$ 。天线可以使用开路导线调谐的传输线进行馈电，这样可以在普通传输线长度上产生几乎可以忽略不计的损耗，如果需要也可以使用匹配部件。

图 30-2 双单元共轴阵列 (同相双半波长天线)。图中显示的传输线可以作为调谐线来工作。匹配部件可以代替并且如果需要还可以使用非谐振传输线。

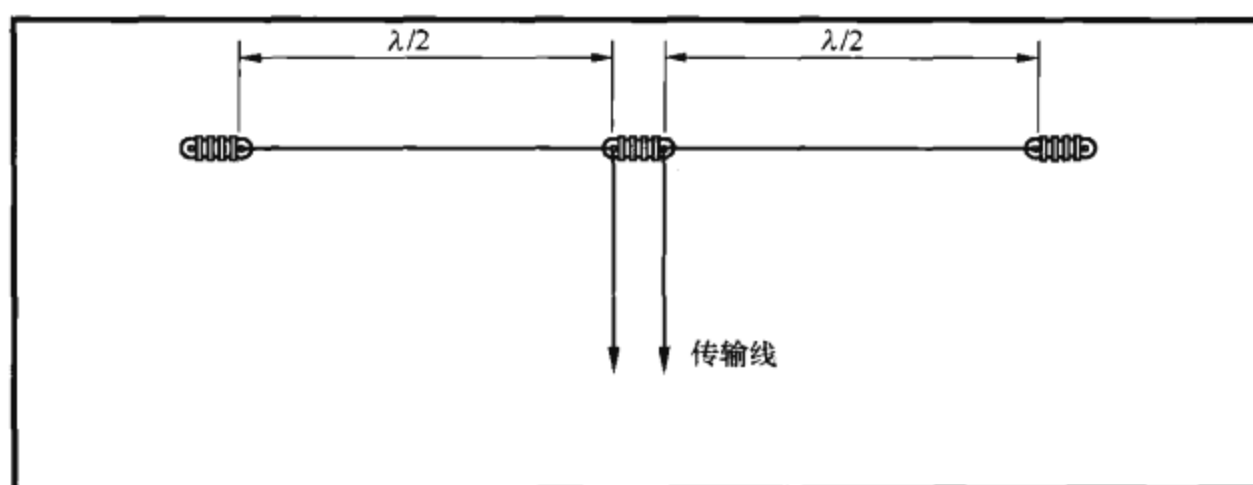
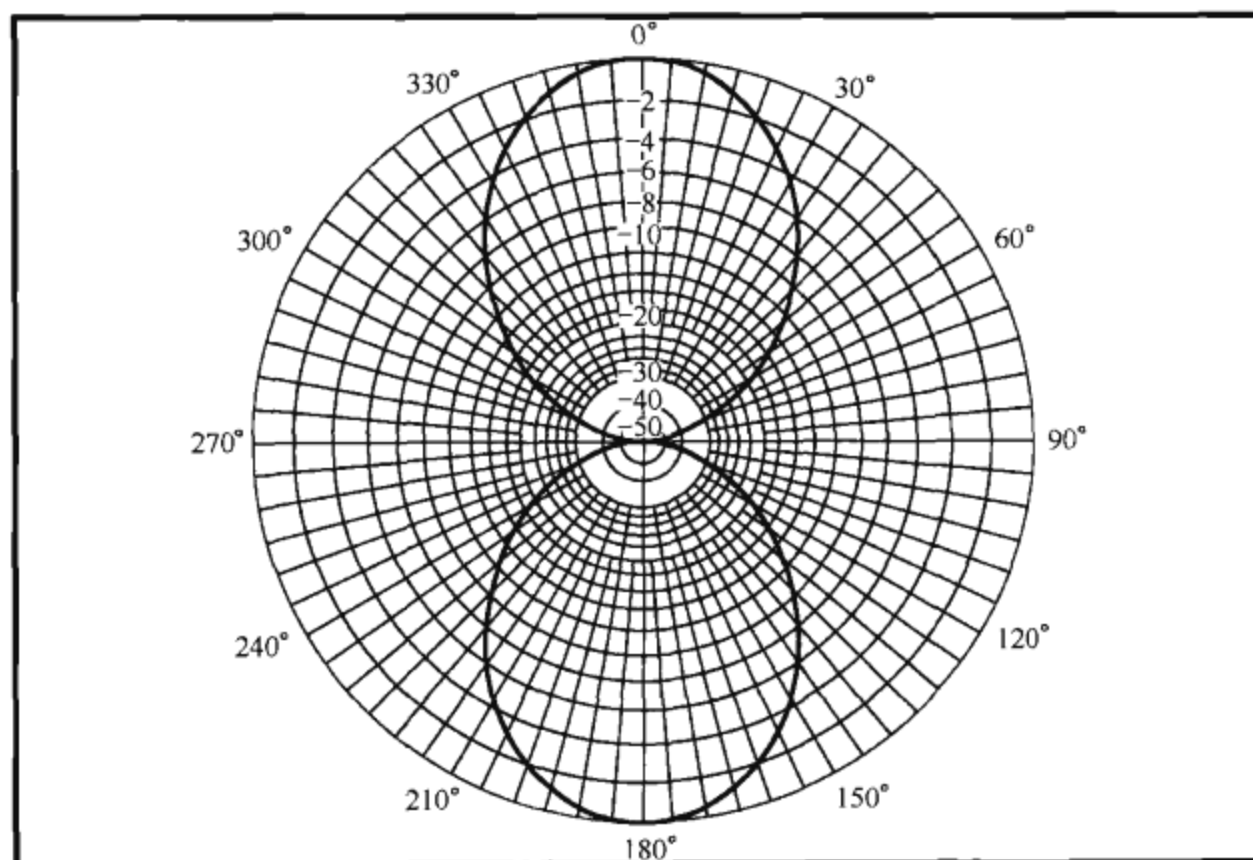


图 30-3 如图 30-2 所示的双单元共轴阵列天线在自由空间电场平面的方向图。天线单元的轴线是沿着 $90^\circ \sim 270^\circ$ 的线。当天线阵列水平放置的时候, 这是低波角的水平辐射方向图。阵列天线的增益大约为 1.6dBd (3.8dBi)。



三单元和四单元阵列天线

当阵列天线使用的单元数目超过 2 个时, 在相邻天线之间使用定向短截线非常有必要, 这样可以使构成天线所有单元上的电流都保持相同的相位。在长导线中每一个 $1/2$ 波长部件中电流的方向将会反转。因此, 共轴单元不能简单地进行末端与末端连接; 必须采用一些方法使得所有单元中电流的方向保持一致。在图 30-4(a) 中, 左手边的两个单元中的电流方向是正确的, 因为传输线是连接着的。在第二和第三个单元之间的定向短截线可以使第三个单元中的瞬时电流方向是正确的。这个短截线可以简单地看作在长线天线上的 $1/2$ 波长部件, 并且向后折进去

以减小自身的辐射。在图 30-4(a) 中，传输线右边的部分的总长度为 3 个半波长，中间的半个波长被折叠起来，形成一个 $\lambda/4$ 波长倒相短截线。在这样的装置中没有一些关于馈电点阻抗的数据，但是不同的考虑显示这个阻抗应该超过 $1\text{k}\Omega$ 。

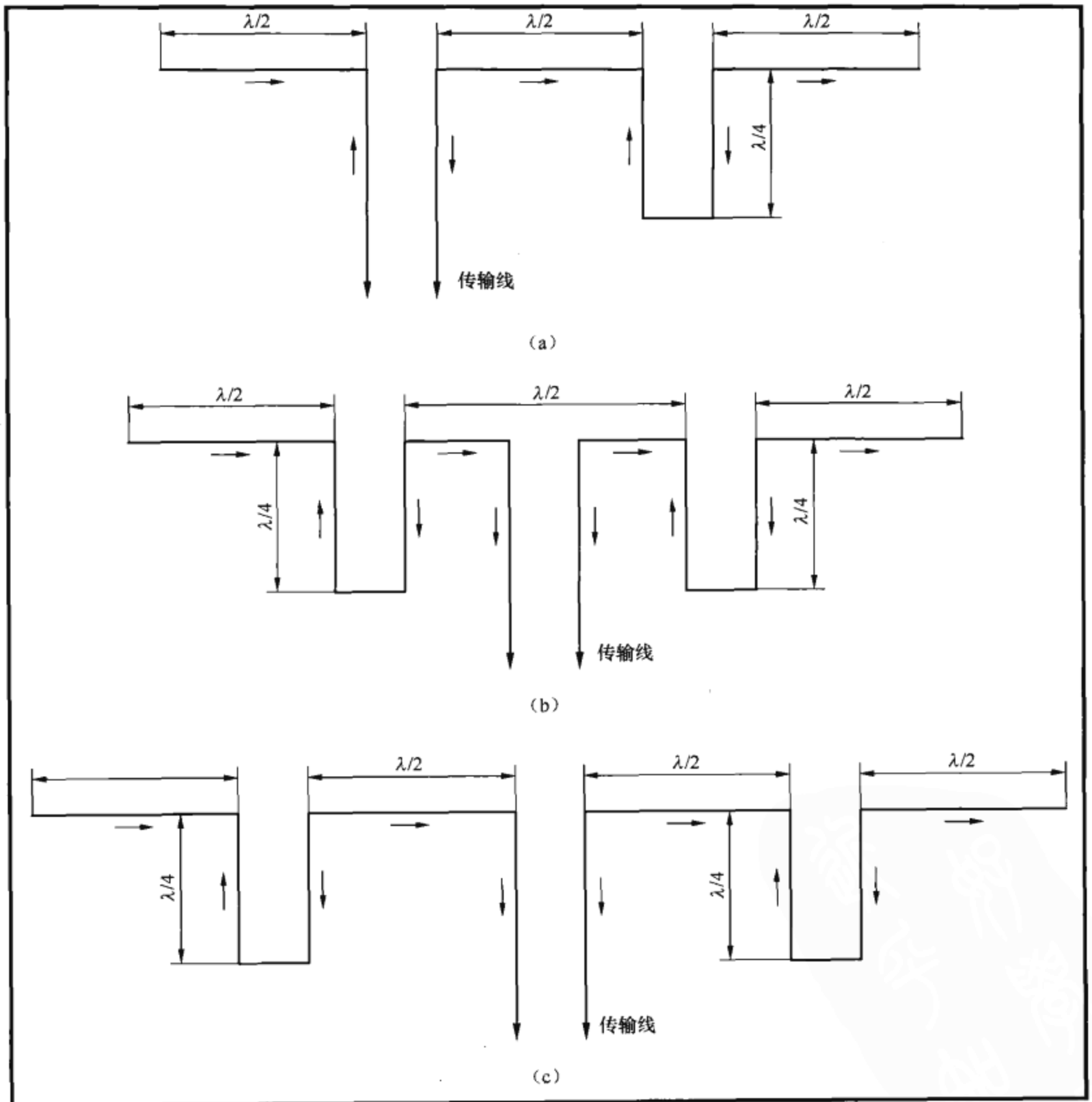


图 30-4 三单元和四单元共轴阵列天线。对三单元进行馈电的代替方法如图 (a) 和图 (b) 所示。这三张图同时也显示了天线单元和定向短截线上的电流分布。通过使用适当的匹配部件，匹配传输线可以代替调谐线。

另外一个对三单元阵列天线进行馈电的方法如图 30-4(b) 所示。在这个例子中, 功率从中间一个单元上馈入天线, 在中间单元和它两端的两个单元之间使用倒相短截线。在这个例子中, 馈电点的阻抗比 300Ω 稍微超过点, 因此可以跟 300Ω 的传输线进行大致上的匹配。如果使用 600Ω 的传输线, 驻波比将会小于 2:1。这种中间馈电的天线类型看上去要比图 30-4(a) 中的装置更好, 因为在这架天线中天线的单元是处于平衡状态的, 可以确保更多的单一频率的功率分布在天线的单元上。在图 30-4(a) 中, 右边的单元看起来所接收到的功率比其他两个单元要略少, 这是由于馈电功率在它达到天线的最右端的单元时, 已经有一部分通过中间单元辐射出去了。

图 30-4(c) 中给出了一种四单元阵列天线的构造。当馈电点位于中间两个单元的中间时, 这架天线是对称的。跟三单元阵列天线一样, 关于馈电点的阻抗没有数据。但是, 在使用 600Ω 的传输线时, 天线的驻波比超过 2:1 太多。图 30-5 给出了四单元阵列天线的方向图。三单元方向图的尖锐程度介于图 30-3 和图 30-5 之间, 同时还有 4 个小的旁瓣位于阵列轴的 30° 位置处。

共轴阵列天线还可以延伸到使用更多的天线单元。但是, 简单的双单元阵列天线是使用得最多的, 这是由于它能够适应于多频段工作。多于两个单元的阵列天线就比较少了, 这是由于可以通过其他类型的天线阵列结构使得天线的增益得到增加。

调节

在这里所描述的任何一架阵列天线中, 以英尺为单位的辐射单元长度可以通过公式 $468/f_{\text{MHz}}$ 进行计算。如果短截线是开路导线传输线 ($500 \sim 600\Omega$ 阻抗), 在计算 $1/4$ 波长传输线的公式中使用 0.975 的速度因子就可以达到令人满意的效果了。一般而言, 在地面上所进行的调节并不需要多精细。但是, 如果需要, 可以按照以下的步骤对使用超过两个单元的天线系统进行调节。

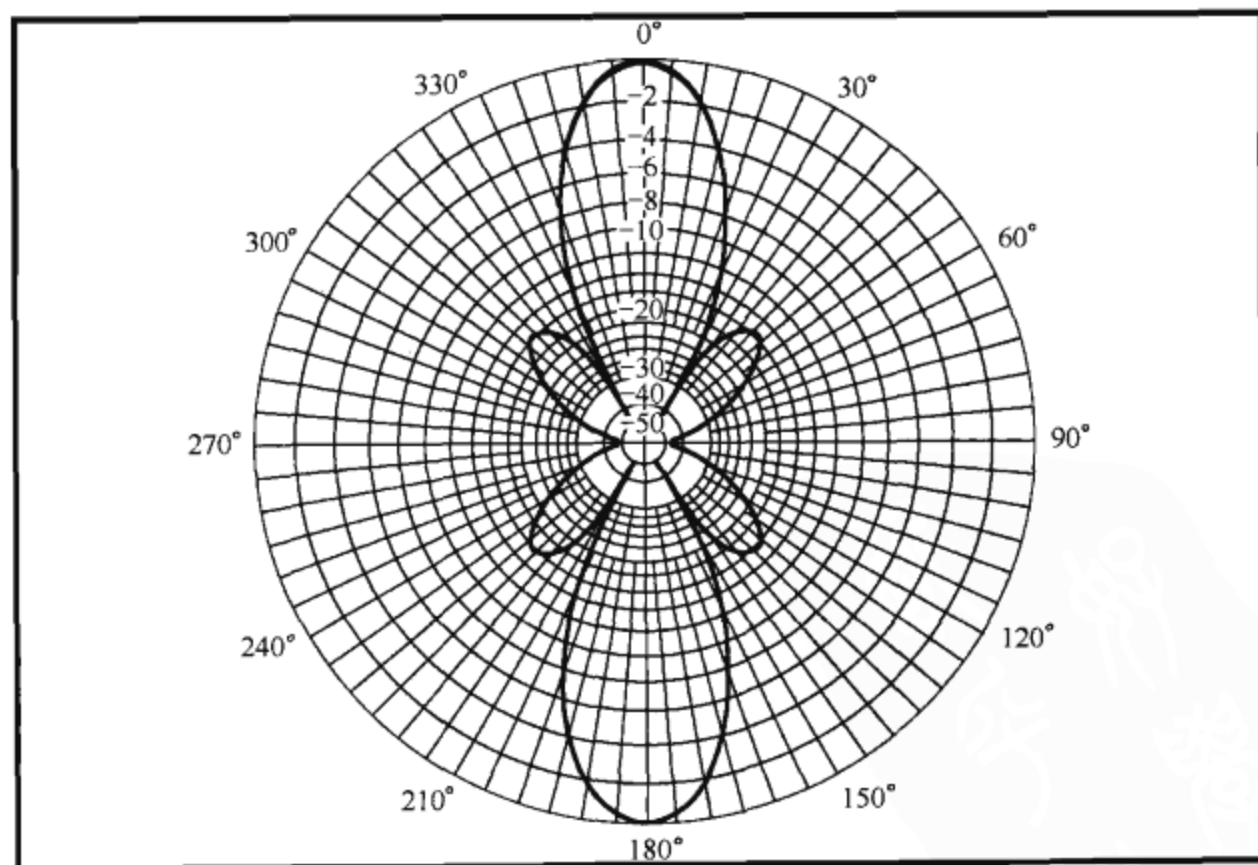
使所有的短截线和天线单元都处于连接状态, 除了那些直接和传输线的连接 (例如馈电的例子如图 30-4(b) 所示, 只保留中间的单元与传输线相连接)。使用处于连接状态的单元, 调节天线单元至谐振状态。当确定了天线单元合适的尺寸之后, 将其他几个单元的长度剪切得和这个单元一样。定向短截线的长度可以稍微长点, 使用短路棒对短截线的

长度进行调节。将天线单元连接上短截线，调节短截线，使得天线单元再次处于谐振状态，可以通过在短路棒处有最大电流或者传输线上的驻波比来判断。如果阵列天线所使用的单元数目超过 3 个或者 4 个，最好一次连接上 2 个单元进行调节（阵列天线的两端同时增加一个单元），在每新增加一对单元之前，调节已连接好的阵列天线部分至谐振状态。

延长双泽普天线

为使天线得到更高的增益，使双单元阵列天线系统具有更广的空间，可以让每一个单元的长度比 $1/2$ 波长稍长。如图 30-5 所示，在导线末端的两个定向短截线之间增加的空间，中间部分部件上的电流相位是相反的，但是如果这一部分的长度变小，那么这个电流也会变小；只有当外侧末端是 $1/2$ 波长天线部件时，才会出现。由于较小的电流和较短的长度，所以从中间部分辐射出来的能量就小了。每一个单元理想的尺寸为 0.64 波长。如果这个尺寸再长，天线的表现就接近于长线天线，天线的增益就会下降。

图 30-5 四单元共轴阵列天线的电场平面辐射方向图。这些单元的轴线沿着 $90^\circ \sim 270^\circ$ 线。阵列天线的增益大约为 4.2dBd (6.4dBi)。



这个天线系统称为“延长双泽普天线”。 $1/2$ 波长偶极子天线上的增益大约为 3dB ，而双共轴 $1/2$ 波长偶极子天线大约为 1.6dB 。在天线

轴所在的平面内，辐射方向图如图 30-6 所示。对于这个例子及所有其他的共轴阵列天线，在与天线单元垂直的平面内的天线辐射方向图都和 $1/2$ 波长天线一样——圆形。

图 30-6 延长双泽普天线。这架天线系统相对于双 $1/2$ 波长共轴单元天线可以给出更高的增益。

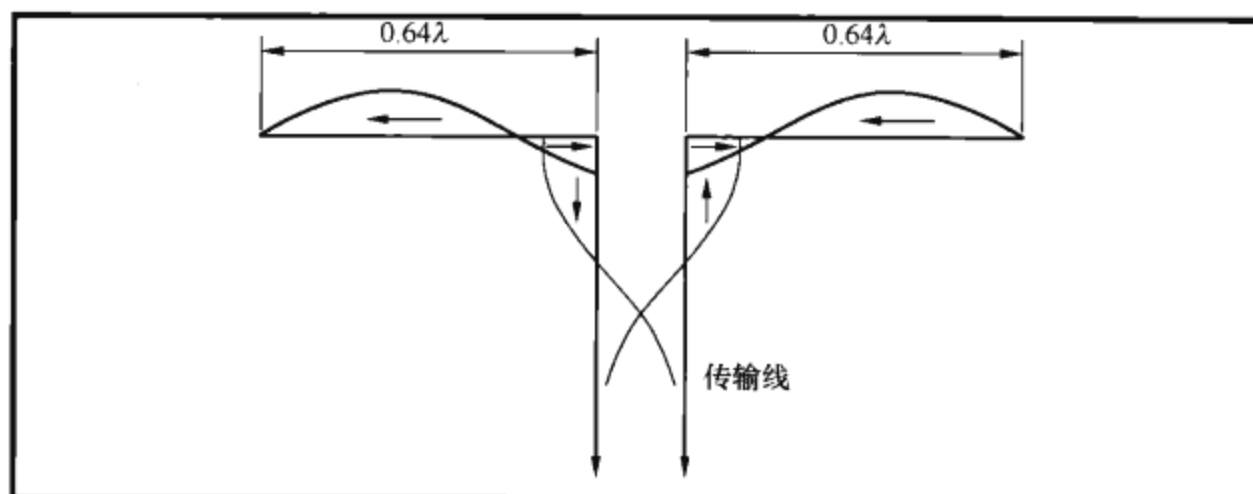
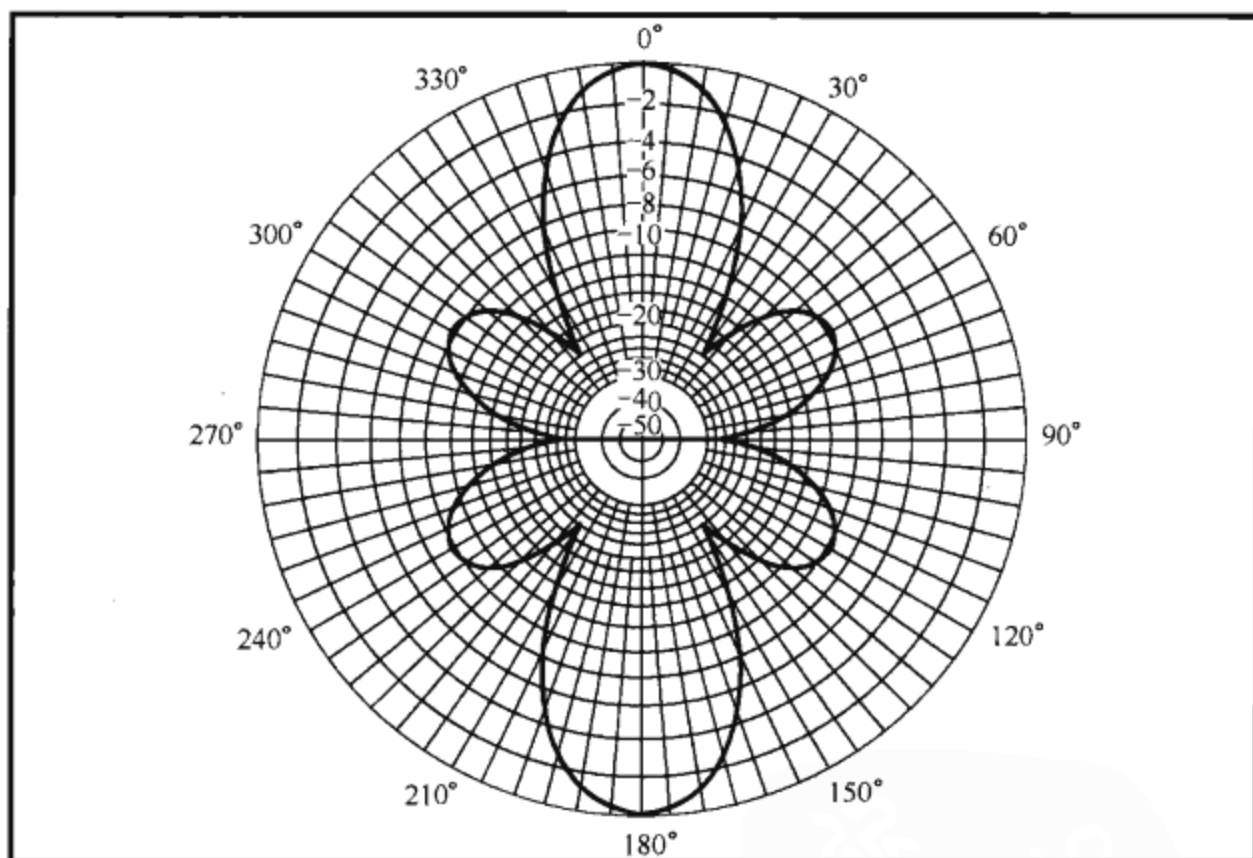


图 30-7 图 30-6 中给出的延长双泽普天线在电场平面内的辐射方向图。当天线阵列水平放置的时候，这个同时也是水平方向辐射方向图。这些单元的轴线沿着 $90^\circ \sim 270^\circ$ 线，阵列天线的增益大约为 3dBd。



——摘自 ARRL 《天线手册》（第 18 版）

建造 80m 或 40m 波段用对数周期偶极子阵列天线

对数周期偶极子阵列天线非常容易建造。它们的重量轻，结实，又不昂贵。设计这副天线的尺寸也可以用于设计其他业余无线电频段的

天线。

由于我需要进行远距离传输工作并得到 DXCC 认证，促使我早在 20 世纪 60 年代就建造了我的第一副天线。当时我需要一副定向天线，并且要具有合理的增益，不太贵，比较轻，可以旋转，可以用大型五金商店里买得到的东西来装配。方框天线非常好，但是我建造的地方在路易斯安那州，它缺乏足够的机械稳定性，所以当这副天线被飓风损坏之后我就重新学习了一些方框天线的架设知识。

几年之后，我的第四副方框天线被损坏，我购买了一副三频段的八木天线并且逐渐淡忘了建造天线……直到有一天我无线电联络到 Ansyl Eckols (YV5DLT)。自 20 世纪 70 年代末那次平常的无线电通信之后，我开始对导线制成的对数周期偶极子阵列天线进行了一次完备的试验，包括天线的设计、建造、竖立及使用。那时，YV5DLT 就使用 20m、15m、10m 三频段的对数周期偶极子阵列天线 (LPDA)。最让我感兴趣的是他用导线制作天线的横梁，信号强度很大并具有很高的质量。

在无线电联络期间，我询问了 Ansyl 关于这副天线的制造细节。他的回答非常温文尔雅。他给我邮寄了他称作“Telerana”的 LPDA 示意图、原理图和图片（后来在《QST》上发表了设计。）在阅读和学习了他给我的所有资料后，我确信他的设计的机械稳定性可以抵御飓风袭击，我的脑海里就开始构思如何建造一副“Telerana”的复制品了。

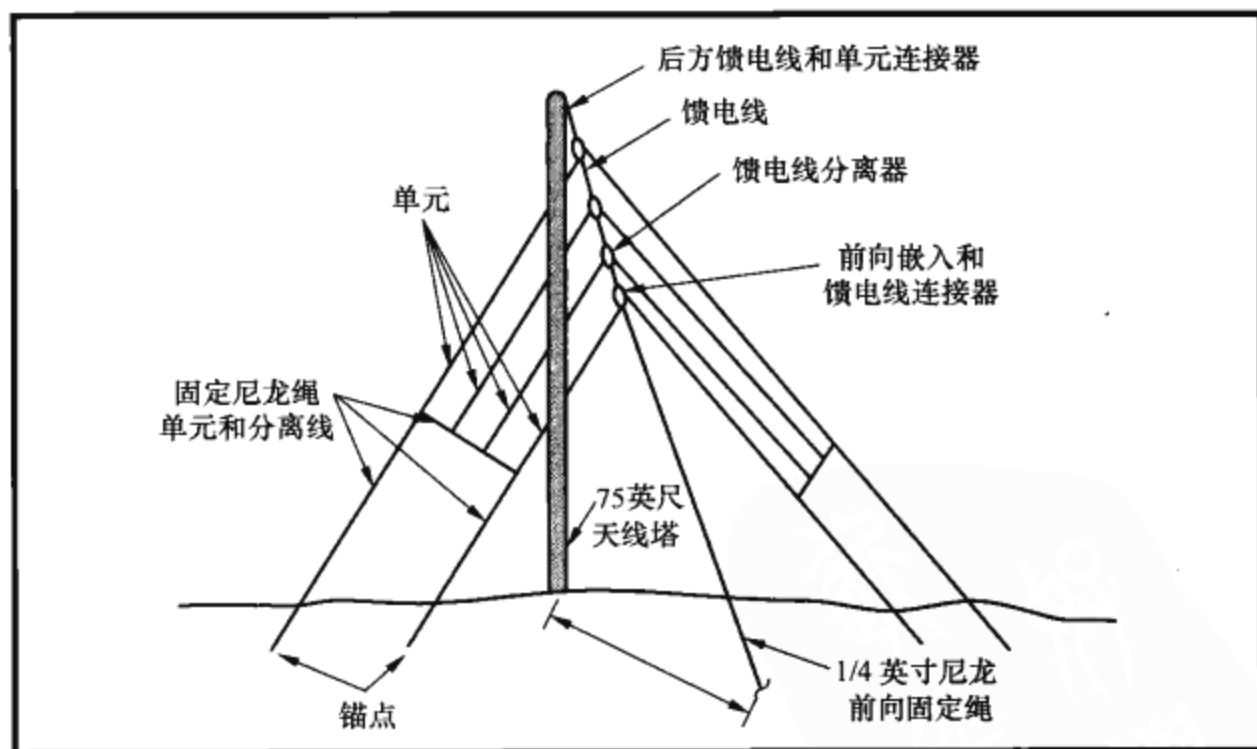
开始我搜索了所有我能够找到的关于 LPDA 的文献和读物。通过我搜集和阅读了过去三年以来的一些参考文献。太阳黑子活动的减弱和

频段条件并不怎么好。在 10m 和 15m 开放的频段很少，并且持续的周期短，未来的条件还会更差。我没有复制 Telerana 正是因为这些原因，但是我决定利用 LPDA 的原理应用到导线 LPDA 天线的设计上，并且制作一副适用于 160m、80m 和 40m 波段上的天线。通过进行一些基础的计算，我发现 160m 的 LPDA 的尺寸相对于我的院子来说太大了，对于 80m 和 40m 频段而言确实适合。但是，对于我来说旋转这些天线却是不可能的。

80m 和 40m 波段 LPDAs

我在 LPDAs 上使用了我在制作方框天线时相同的标准——天线必须具有合理的增益，不昂贵，重量较轻，可以使用在大型五金商店里买得到的材料进行组装。这篇文章将详细介绍为较低频段设计的导线 LPDAs 的详细设计、建造、竖立和使用的过程。图 31-1 中给出了安装的方法。你可以使用这里给出的方法作为建造类似 LPDAs 的指南和要点。

图 31-1 竖立在天线塔上的典型四单元对数周期偶极子阵列天线



如果空间允许，天线在安装完成之后，可以进行“旋转”或者在方位角的位置上进行重置。75 英尺高的天线塔和在天线塔底座周围半径 120 英尺的空旷的旋转空间是必要的。我们的目标简化为如果在前向单元上只有三个锚点，用来带如图 31-1 中所示的 5 个锚点。忽略在前向

上的另外两个锚点，同时延长始终保持不动的单元到前向固定线之间的尼龙绳的长度。

天线设计的过程，可以参考 ARRL 《天线手册》。通过使用文中所给出的公式和数据，设计天线所需要的所有尺寸都可以得到，并且可以在纸上画出天线的草图。设计的结果在这篇文章的结论部分进行了阐述。下一步就是制作零件，见图 31-2 中的详细说明。修剪导线单元和馈电线到合适的长度，并且做上标记以便识别。在你的导线经过剪切放到一边之后，除非你给它们做上了标记，否则你是很难辨认和区分的。当你制作完所有的连接器并且对导线完成修剪之后，天线就可以开始组装了。当你建造这些天线时，发挥你的聪明才智，并不需要精确地按照我的说法来复制我的 LPDAs。

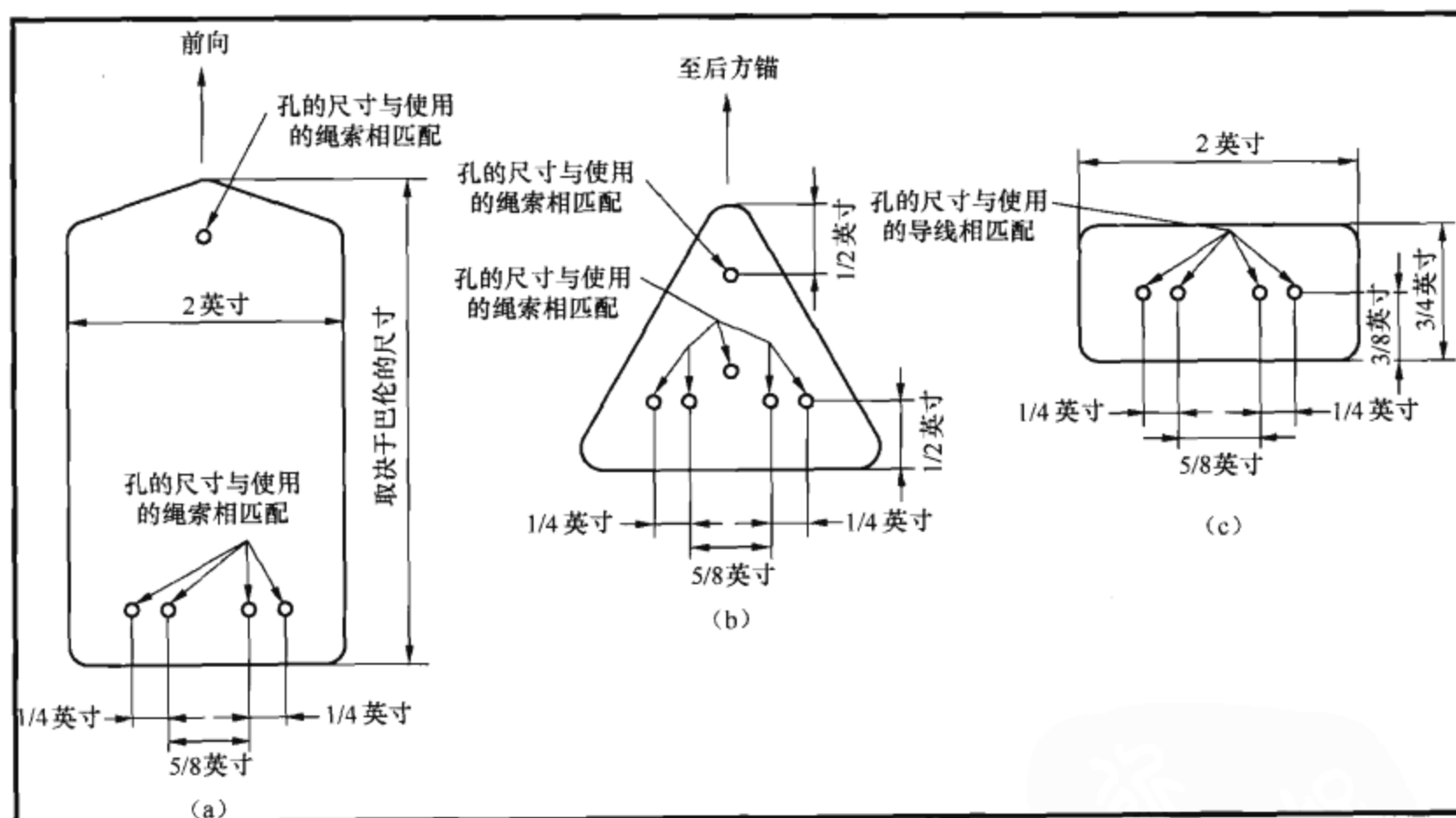


图 31-2 等待组装成 LPDA 的部件。图 (a) 中，前向连接器由 1/2 英寸 Lexan 制作而成。在图 (b) 中，后向连接器同样由 1/2 英寸 Lexan 制作而成。图 (c) 中是馈电线隔离器的构造图，由 1/4 英寸 Plexiglas 制作而成。整个天线需要两个这样的隔离器。

这些天线单元使用标准的 14 号软铜线制作。两根并行的馈电线是使用 12 号实心包铜钢线，例如用 Copperweld 制作而成。这种导线在张力作用的情况下不会被拉伸。前面和后面的连接器都使用 1/2 英寸厚的 Lexan 金属板剪切而来，馈电线隔板使用 1/4 英寸 Plexiglas 钢板制作。

认真学习设计图，熟悉通过前向后向和隔离器上的连接器对线天线单元与两根馈电线进行连接的方法。详细的信息如图 31-4 所示，这样的连接方式可以避免导线断裂。所有的绳索、细绳和连接器都应当使用金属材料制作，以抵御张力和恶劣天气的影响。可以使用尼龙绳和游艇上用的细绳。图 31-1 中给出了前向固定绳固定在距离 75 英尺高天线塔底座大约 120 英尺的地面上。当然了，在所有的场合都做到这一点是不太可能的。在我的安装中，我把一个滑轮放置到 40 英尺高的树上，然后将前向固定绳穿过滑轮达到树根所在的地面。前向固定绳可以通过木块或者其他固定装置在地面固定紧。

图 31-3 LPDA 的典型设计图。在指定的馈电点处使用 4:1 巴伦。尺寸见表 31-1。

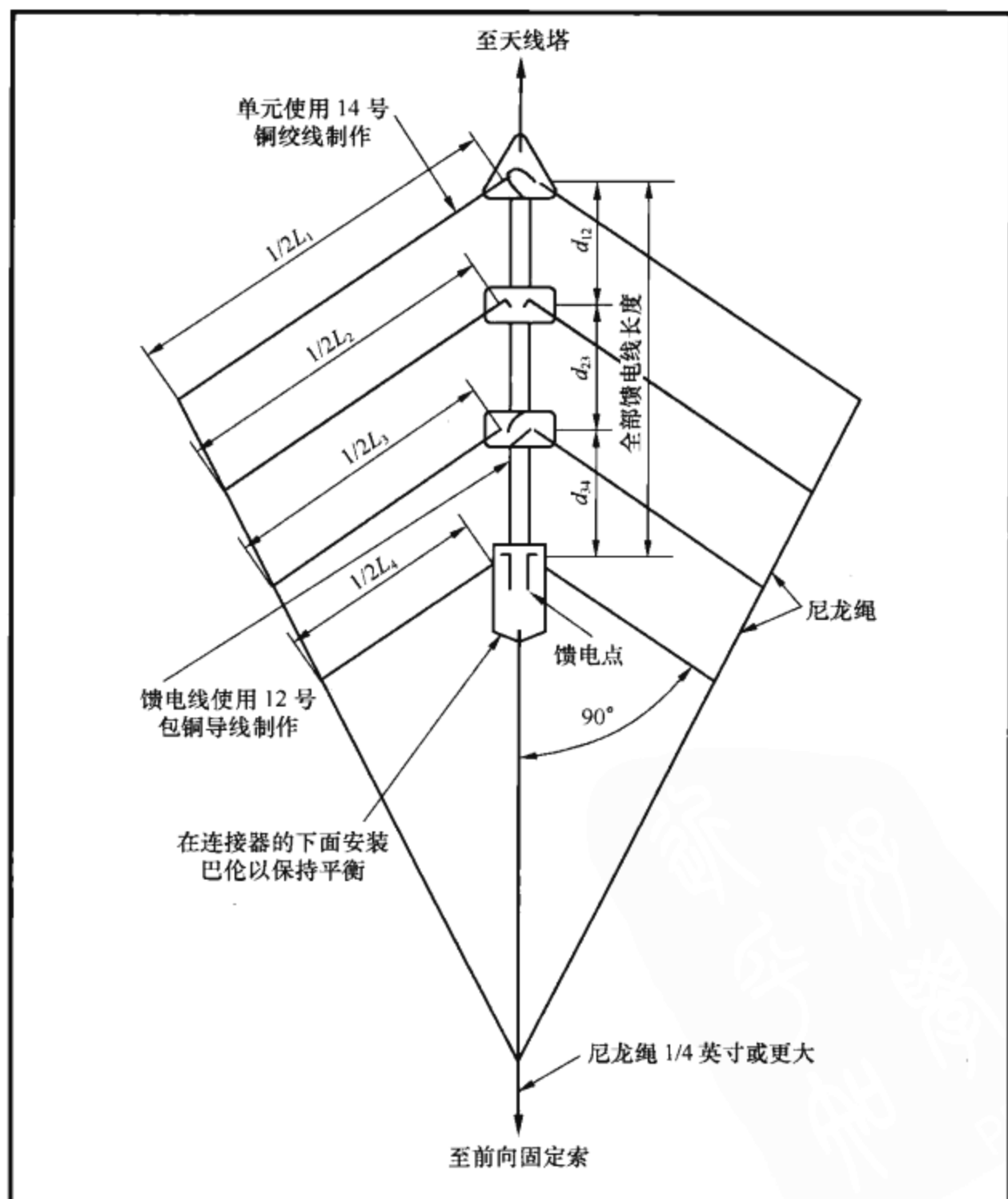
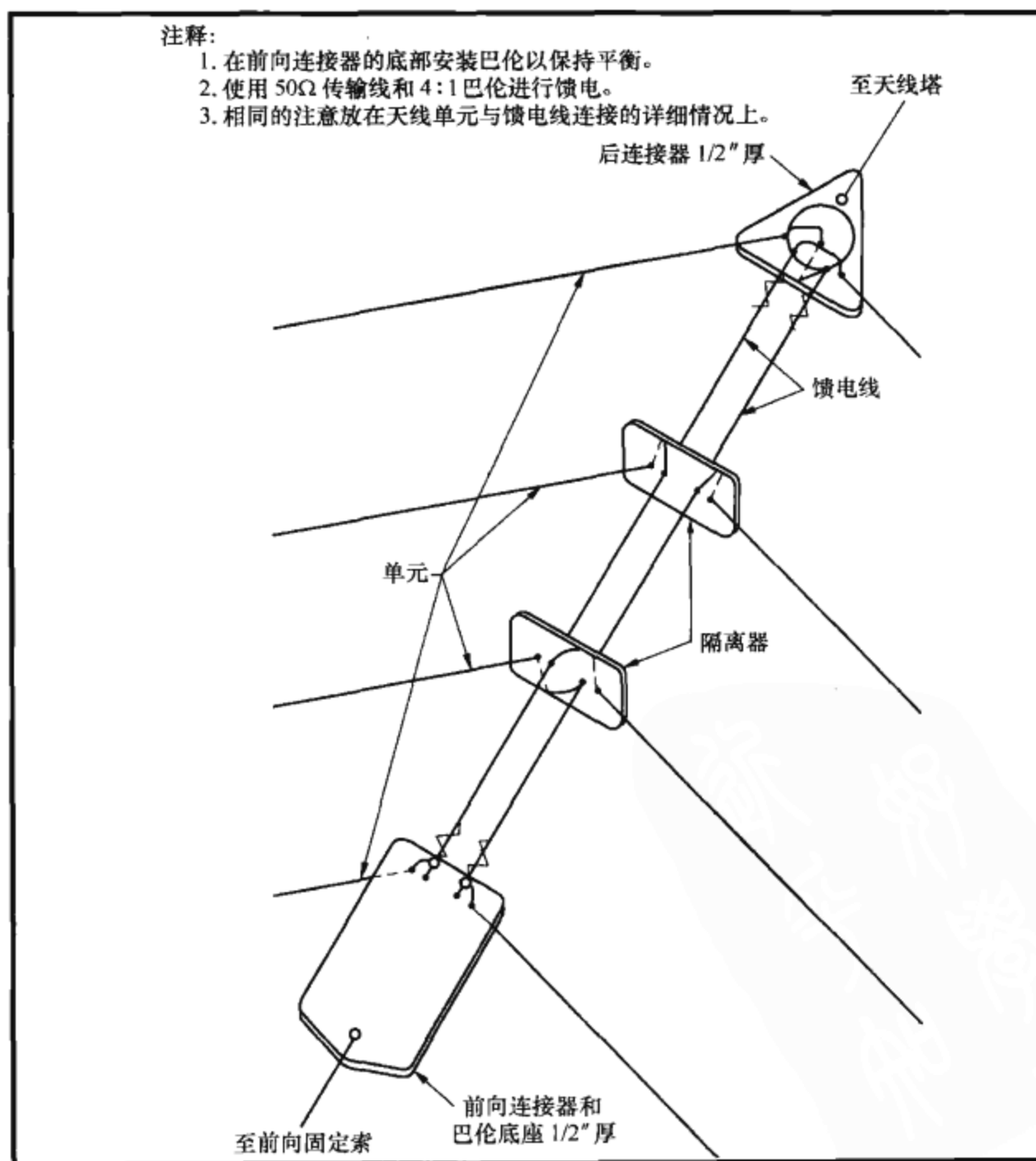


表 31-1

计算出的天线阵列尺寸

单元尺寸	半单元尺寸	单元间隔
80m 阵列		
$l_1=149.09\text{ft}$	$1/2 l_1=74.55\text{ft}$	$d_{12}=17.89\text{ft}$
$l_2=125.98\text{ft}$	$1/2 l_1=62.99\text{ft}$	$d_{23}=15.12\text{ft}$
$l_3=106.45\text{ft}$	$1/2 l_1=53.23\text{ft}$	$d_{34}=12.77\text{ft}$
$l_4=89.95\text{ft}$	$1/2 l_1=44.98\text{ft}$	
40m 阵列		
$l_1=71.30\text{ft}$	$1/2 l_1=35.65\text{ft}$	$d_{12}=8.56\text{ft}$
$l_2=60.25\text{ft}$	$1/2 l_1=30.13\text{ft}$	$d_{23}=7.23\text{ft}$
$l_3=50.91\text{ft}$	$1/2 l_1=25.46\text{ft}$	$d_{34}=6.11\text{ft}$
$l_4=48.02\text{ft}$	$1/2 l_1=21.51\text{ft}$	

图 31-4 天线单元到馈电线的电气和机械连接详述



如果按照一定秩序将 LPDA 组装在一起并不困难。当两点之间的馈电线组装完成并绷紧后，将天线单元与馈电线相连接也是很简单的。使用天线塔、阻滑装置，固定装置，将后向连接器连接到天线塔上，将 LPDA 在天线塔的基座处装配好，会使天线吊升到空中的目标变得更容易。将后向连接器和天线塔基座之间系紧，并将两根馈电线连接上去，然后小心地将两块馈电线隔板穿到馈电线上。这时隔板就可以不固定了，当天线单元连接好时，它应该处在合适的位置处。现在将前向连接器和馈电线进行连接。需要小心地、精确地测量。在你进行永久性连接之前重复所有的测量。

将天线单元通过各自的塑料连接器连接到馈电线上。从单元 1 开始，然后是单元 2，等等。确保所有单元的导线缠绕都是安全的。如果导线散开了，你的天线单元就会变得到处都是弯曲缠绕在一起的导线，混乱不堪。简单天线单元与馈电线之间连接器是否完全连接好了（见图 31-4）。一旦你完成了所有天线元件的连接，将 4:1 巴伦连接到前向连接器的下端。将馈电线和同轴电缆连接到巴伦上。

你需要使用另外一根绳索和一个滑轮，以将 LPDA 吊到空中合适的位置。首先，用尼龙绳将 8 个天线单元的末端保护好，参见图 31-1 和图 31-3。绳子必须足够长，以便达到束缚点。将前向固定绳连接到前向连接器，这样已经组装完毕的 LPDA 就准备好可以被吊升到空中合适的位置处了。吊升天线的时候，解开天线上的导线，以防止它们滑下来混成一团。将后向连接器吊升到空中合适的位置，安全地将其连接到天线塔上，然后将前向固定绳拉紧，固定好。移动天线单元以使得它们和馈电线之间在前向上成 60° 角，使它们之间的相对距离处于合适的状态。通过调节天线单元末端的位置就好像你向前走或者向后走，你可以对所有的天线单元的位置进行合适的排列。现在完全可以将你的装备连接到天线系统上，进行一些无线电联络了。

性能

我收到的 LPDAs 使用报告是和倒 V 形偶极子天线进行的对比测试。所有的天线都是固定的，LPDA 向东北方向辐射能量，偶极子天线向东北和西南方向辐射能量。倒 V 形偶极子天线的顶点为 70 英尺高，40m 和 80mLPDA 分别位于 60 英尺和 50 英尺高的位置。LPDAs 的增益超过偶极子天线在 7 ~ 9dB 范围内。这是从我所接收到的一些报告上看

到的：“对数周期偶极子天线上所接收到的音频的质量要优于倒 V 形偶极子天线”。“对数周期偶极子天线上的信号相比于倒 V 形偶极子天线要强大约 10dB 并且更加稳定”。“当倒 V 形偶极子天线上的信号开始衰减的时候，对数周期偶极子天线上的信号仍然未开始衰减”。在 pile-up 中，我只需要很少的尝试就可以使 LPDAs 进行工作了，但是对于普通偶极子天线要想做到这一点却不太可能。

在 CQ WW DX 比赛时，使用 LPDAs 进行很少的呼叫就可以进入一些大的 pile-up 工作。但是切换到使用偶极子天线，虽然有很多很多次地呼叫，但天线仍然不能正常工作。然后我再切换回 LPDA，可以很轻易地使天线进入相同的 pile-up 堆叠工作，进行无线电联络。

考虑到导线 LPDA 可以贡献给全世界无线电爱好者的可能性。这些天线非常易于设计和建造，特别在乡村地区，这些天线有着天然的优势，在这些地方商业制造的天线和零件并不能以合理的价格购买到，而制作天线的导线在全世界的任何地方都可以买得到，建造的费用也很低廉。如果 LPDA 损坏了，维修起来也非常简单，只需要老虎钳和电烙铁就可以了。对于那些为了 DXpedition 的无线电爱好者，天线所占空间和重量是个很重要的需要考虑的因素。LPDAs 的重量都很轻，但是却很结实，并且它们的性能都很好，甚至可以承受飓风的吹袭。

对数周期偶极子阵列天线的计算

设计的参数和设计的过程如下（术语在这一节的最后定义）：

$$\tau = 0.845$$

$$\sigma = 0.06$$

$$\sigma_{\text{opt}} = 0.152$$

$$\cot \alpha = 1.548$$

$$\alpha = 32.86^\circ$$

增益 = 7.5dBi (5.35dBd)（通过使天线单元向前倾，增益可以在这个基础上增加到 3 ~ 5dB）

$$\sigma' = 0.065$$

$$B_{\text{ar}} = 1.39$$

$$R_0 = 70$$

使用 50Ω 同轴电缆和 4:1 巴伦进行馈电。

对于 80m 工作频段的天线:

$$f_n = 4.1$$

$$f_1 = 3.3$$

$$B = 1.24$$

$$B_s = 1.72$$

$$\lambda_{\max} = 298.18 \text{ 英尺}$$

$$L = 48.42 \text{ 英尺}$$

$$N = 4.23 \text{ (近似为 4)}$$

$$l_1 = 140.09 \text{ 英尺}$$

$$R_0 = 70\Omega$$

$$h = 62.4$$

$$a = 2.667 \times 10^{-3}$$

$$h/a = 23400$$

$$Z_{av} = 937.26\Omega$$

$$Z_0 = 80.72\Omega$$

$$d_{12} = 17.89 \text{ 英尺}$$

阵列尺寸的计算见表 3-1。

对于 40m 工作频段的天线:

$$f_n = 7.5$$

$$f_1 = 6.9$$

$$B = 1.09$$

$$B_s = 1.51$$

$$\lambda_{\max} = 142.61 \text{ 英尺}$$

$$L = 18.57 \text{ 英尺}$$

$$N = 3.44 \text{ (近似为 4)}$$

$$l_1 = 71.30 \text{ 英尺}$$

$$R_0 = 70\Omega$$

$$h = 32.727$$

$$a = 2.667 \times 10^{-3}$$

$$h/a = 12273$$

$$Z_{av} = 859.82\Omega$$

$$Z_0 = 81.76\Omega$$

$$d_{12} = 8.56 \text{ 英尺}$$

阵列尺寸的计算见表 31-1。

术语的定义:

B = 工作带宽 $= f_n/f_l$

f_n = 最高频率, MHz

f_l = 最低频率, MHz

τ = 设计常数

σ = 相对空间常数

σ_{opt} = 最佳增益对应的 σ

σ' = 平均空间因子

α = 顶点半角

B_{ar} = 工作组的带宽

B_s = 结构 (阵列) 带宽

L = N 单元的吊杆长度

N = 天线单元数目

l = 最长单元的长度 $= 492/f_l$

λ_{max} = 最大自由空间波长 $= 984/f_l$

Z_0 = 馈电线的特征阻抗

R_0 = 工作范围所需要的输入阻抗的平均辐射阻抗级

Z_{av} = 偶极子天线的平均特征阻抗

h = 天线单元半长

a = 天线单元半径

l = 天线单元的长度

d = 单元之间的间距

——John J. Uhl (KV5E)

WA1AKR 40m 和 75m 波段倾斜天线

许多无线电爱好者建议我写一篇关于我的倾斜天线系统的描述并发表在“Hints and Kinks”，其他的业余无线电爱好者也许会对8JK定向天线的改装感兴趣。这里给出了40m和75m波长天线的建造方式。

在附带的图表中，天线阵列有两根半波长倾斜单元，使用1/8波长，300Ω定相线连接。移动定向线可以使得两根天线单元上的电流同相。我发现这架天线的工作频段被展宽了。天线的表现似乎不需要使用Transmatch进行匹配。

如果你想要从天线塔上悬挂下一个附加的倾斜天线单元，以改变天线的方向性，那么在天线塔的顶端安装遥控切换装置，就可以让你只使用一根传输线，否则需要使用单独的传输线。

天线的末端通过绳索在距离天线塔顶端大概1英尺的距离处进行悬挂。天线单元和地面之间的夹角为45°，这个角度必须保持。记住不要使这个角度超过50°。在如图32-1所示的天线尺寸下，75m波长天线的谐振频率为3.8MHz，而40m波长天线的谐振频率为7.150MHz。

我的天线工作得怎么样？在和一个炫耀自己有三单元和四单元横梁天线的大家伙比赛时，我可以跨越北大西洋联系到我的基站。当我的天线工作在VKs和ZLs时，我同样也很少体会到困难。

——Carl Bissonnette (WA1AKR)

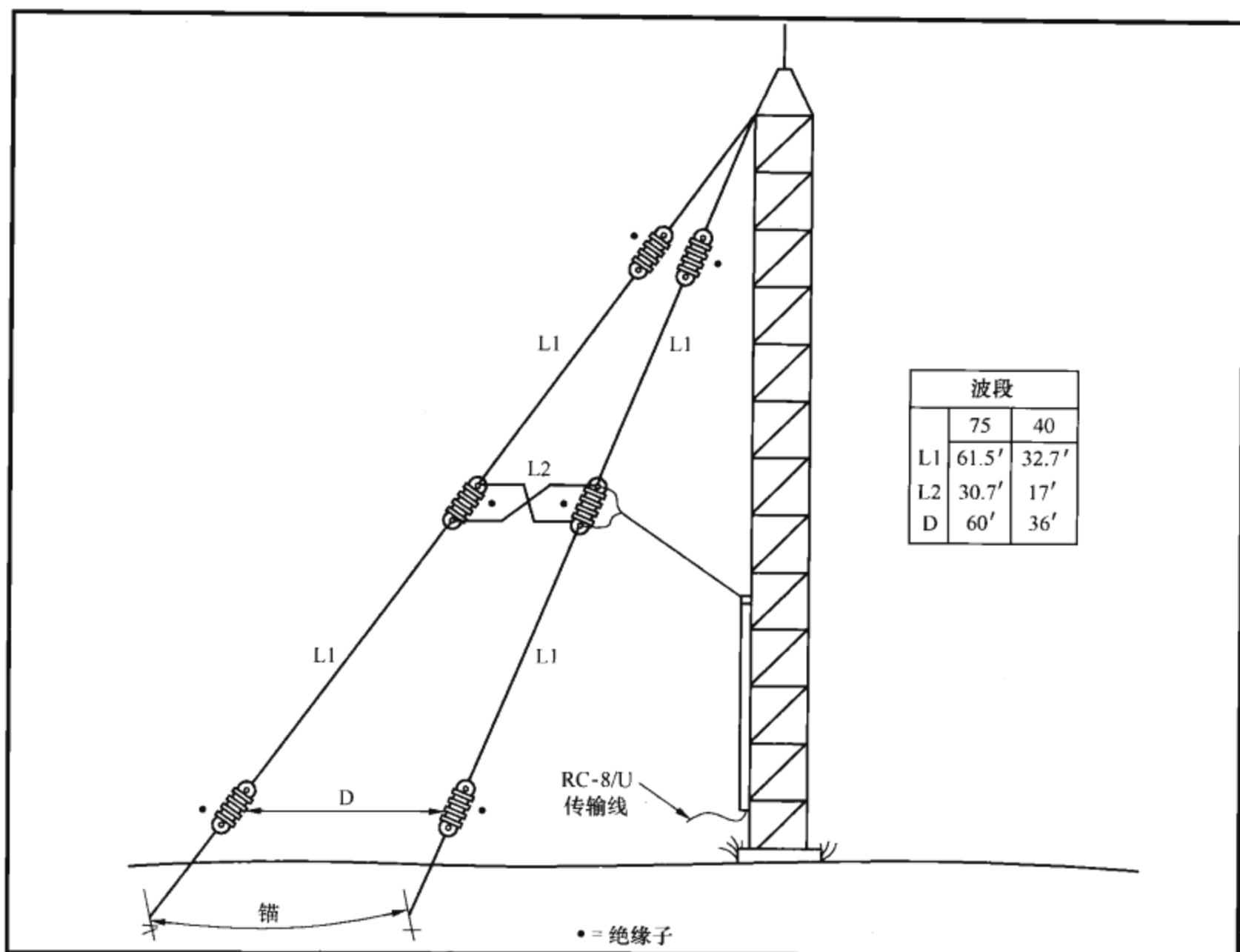


图 32-1 当 Carl Bissonnette (WA1AKR) 在挑战 DX 的时候, 他所使用的倾斜天线如图所示。Carl 的天线构造是属于著名的 8JK 定向天线那一类型的, 馈电系统类似于 ZL Special 的类型。

便宜的 30m 波段定向天线

在对新 30m 波长频段的天线进行测试的将近两个月里，我在所有 50 个州进行了测试，并且在超过 50 个国家里也进行了测试。我的天线很简单，效率却很高。这是一副可旋转的倒 V 形定向天线。图 33-1 中给出了建造的详细情况。天线吊杆从一棵树的树枝上悬挂下来吊在空中大约 50 英尺。天线通过移动地面上的两根桩，很简单地就可以进行 360° 的旋转。所有建造天线的材料加在一起花费了我不到 25 美元。

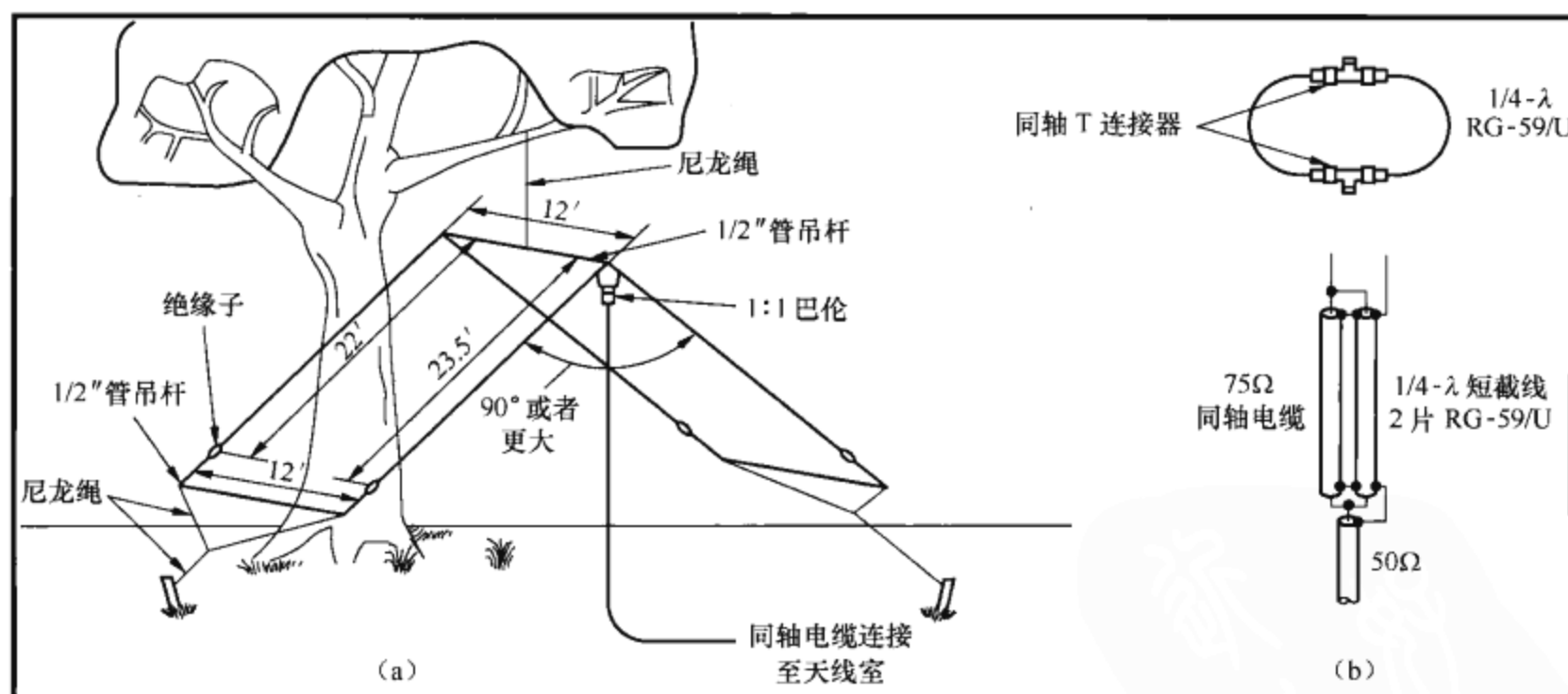


图 33-1 30m 倒 V 形定向天线的详细建造情况如图 (a) 所示。同轴电缆阻抗匹配转换器如图 (b) 所示。

方程 1 给出了驱动单元尺寸，方程 2 给出了控制器的尺寸，方程 3 给出了我所使用的单元间隔。

$$\text{驱动单元尺寸} = 476/f_{\text{MHZ}} \quad (\text{方程 1})$$

$$\text{控制器尺寸} = 450/f_{\text{MHZ}} \quad (\text{方程 2})$$

$$\text{单元间隔} = 120/f_{\text{MHZ}} \quad (\text{方程 3})$$

馈电点阻抗大约为 30Ω 。我使用将两根 RG-59/U 的 $1/4$ 波长部件进行并联制成了匹配转换器。转换器的一端连接到天线上，另一端连接到 50Ω 传输线上，然后接到无线电收发室里。图 33-1(b) 中给出了这个线是怎么制作的。也许连接两根 75Ω 同轴电缆片段最简单的方法就是同轴电缆 T 连接器。你应当在天线的馈电点处使用巴伦，以避免射频电流泄露到同轴电缆的屏蔽层中。

我同样也制作了一副这样类型的工作于 40m 波长的天线，它也工作得很好。关键是可以旋转。

——Jon Ferrara (N9DWR), Chattanooga, Tennessee

建造 160m 波段的 4X 阵列天线

低角度辐射和方向性的电旋转是这副垂直极化高频段天线的特点。如果你对 160m 波段的 DX 很感兴趣，这副天线可以成为你的秘密武器。

你是不是经常哀叹没有足够的地方来放置一副高效的 160m 波段 DX 天线？这个抱怨通常出自那些生活在城市区域的无线电爱好者或者是那些计划建造水平天线的无线电爱好者之口。但是，一些成功的高频段工作者已经接受了这样一个哲理：“如果你走不出去，那就走上去。”物理尺寸较短的垂直天线通常都比电气上靠近地面的水平天线具有更高的效率，这一点不是什么秘密，至少对于 DX 来说是如此。

我的 4X 阵列天线电气上是可旋转的。它很简洁，并且是一个很有效率的低角度辐射器。让我们来看看我的天线是如何由一些基本的设计发展而来的。同样我也会介绍天线建造的详情和天线系统的性能。

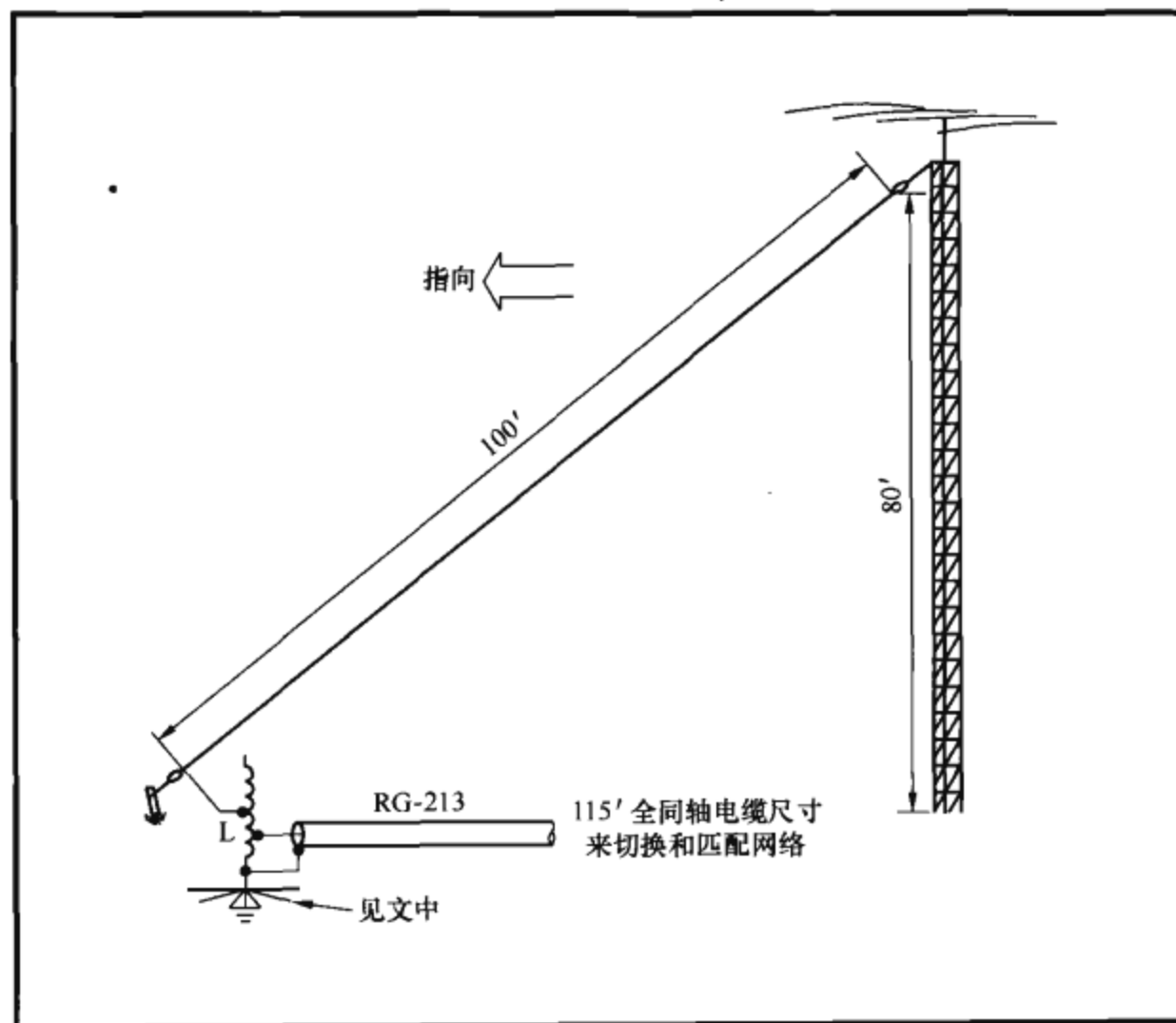
倾斜的接地平面投影

倾斜的接地平面和通常的垂直是一致的。这种天线的物理形式是四导体地平面。主要的不同就是辐射单元向上倾斜到支撑结构上。4X 阵列天线包含 4 个倾斜的接地平面。每一根倾斜导线的长度为 100 英尺。它们依靠 80 英尺高的天线塔的高端来支撑。在天线塔的顶部安装一架四单元 20m 波长的八木天线。

每一根倾斜导线都在地面进行单独的馈电，使用抽头电感线圈匹配

设备（见图 34-1）然后再返回辐射导线和接地棒。每一个辐射器都是接地平面垂直天线，并且比 0.25 波长稍微短点。匹配感应器可以提供谐振，并且作为到同轴电缆馈电线的阻抗匹配设施。

图 34-1 基本的倾斜地平面垂直天线。L 具有 25 匝重导线（见文中），长度为 5.5 英寸，直径为 3 英寸。辐射器在地表以上的 15.5 匝处抽头。



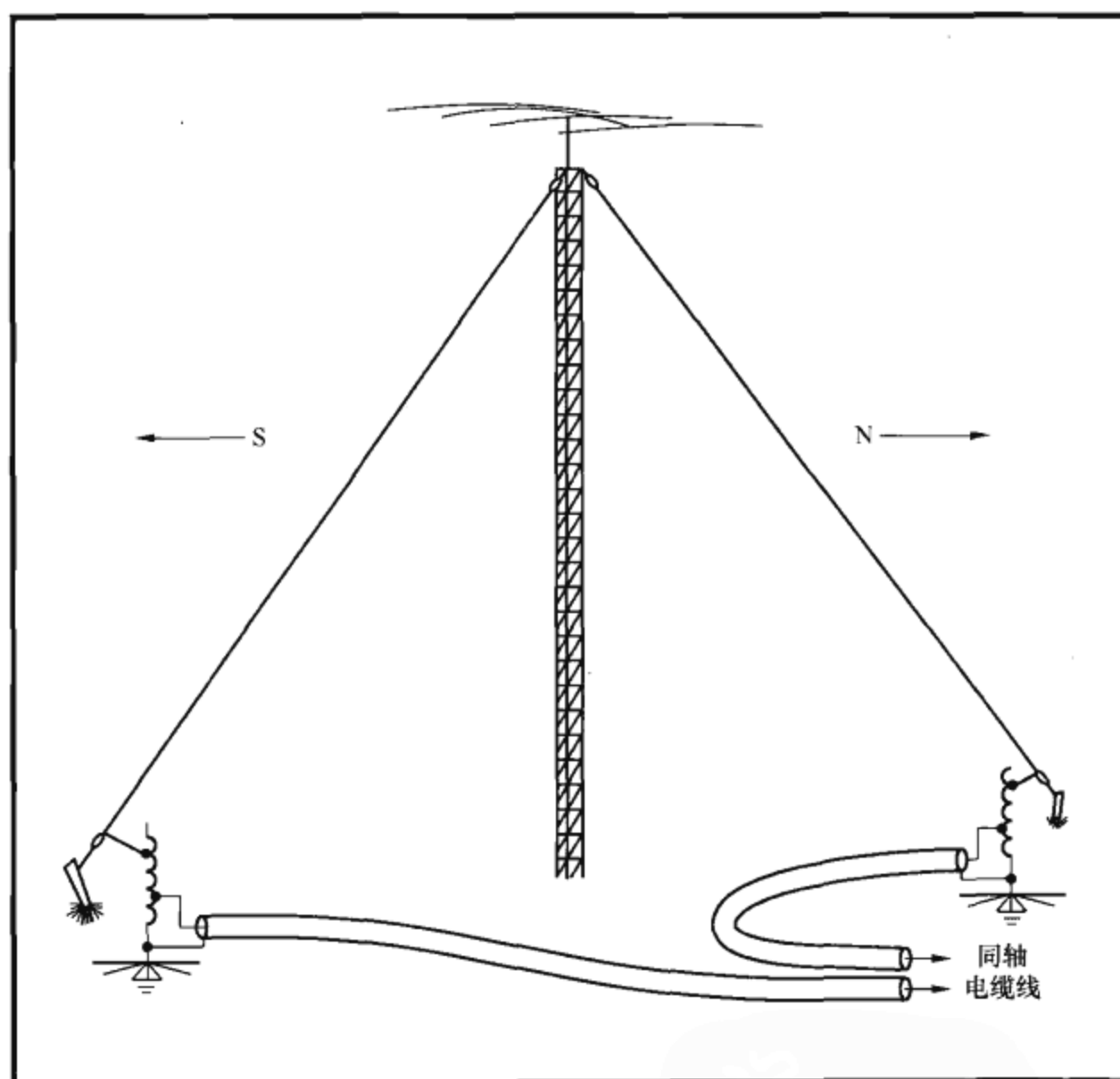
我相信金属塔和 20m 波长八木天线具有作为反射器的功能，这是由于八木天线和天线塔以及地面导线可以在稍微低于 1.8MHz 的频率时发生谐振。

两根同相倾斜接地平面垂直天线

使用一根倾斜垂直线天线我就可以得到很完美的结果了。下一步，我在相反的方向安装了第二根天线系统。通过在这两副天线（南北两副倾斜天线）之间的切换可以发现具有明显地前后相比（对应的读数为 15 ~ 20dB）。后来，我将这两副天线同相运行，这样产生了

一个双向的辐射方向图（西和东两个方向）。尽管我没有收集大量的有关天线性能方面的数据，却观察到了天线朝东方向上 700 英里以外的基站信号大约有 6dB 的改进。也许有些人要开始进一步探索这种改进的可能性了。图 34-2 给出了两单元同相馈电天线系统的详细结构。

图 34-2 可以进行单独馈电或者同相馈电的双倾斜地平面天线。馈电方法如图 34-1 中所示，使用图 34-7 中的方法可以进行同相馈电。



4X 天线阵列构造

两个或者更多的倾斜接地平面垂直天线被加入进来，因此在东和西两个方向上各增加了一副倾斜辐射器（如图 34-3 所示）。转换

和定向装置也添加到 4X 天线系统中。这可以使我对任何一副倾斜天线进行单独的馈电，相邻的两副天线同相工作，或者所有四副天线都进行同相工作。当使用相邻两副天线同相工作的模式时，最大的辐射是沿着这两副天线夹角的中切线（东北、东南、西北、西南方向）。当我对所有 4 副天线单元进行同相馈电的时候，天线本质上就变成全向的了。所有这些没有进行馈电的辐射器都谐振作为反射器。这个概念在 ARRL《天线手册》中描述了。我的切换网络如图 34-4 所示。

图 34-3 从天线塔顶部看 4X 阵列天线

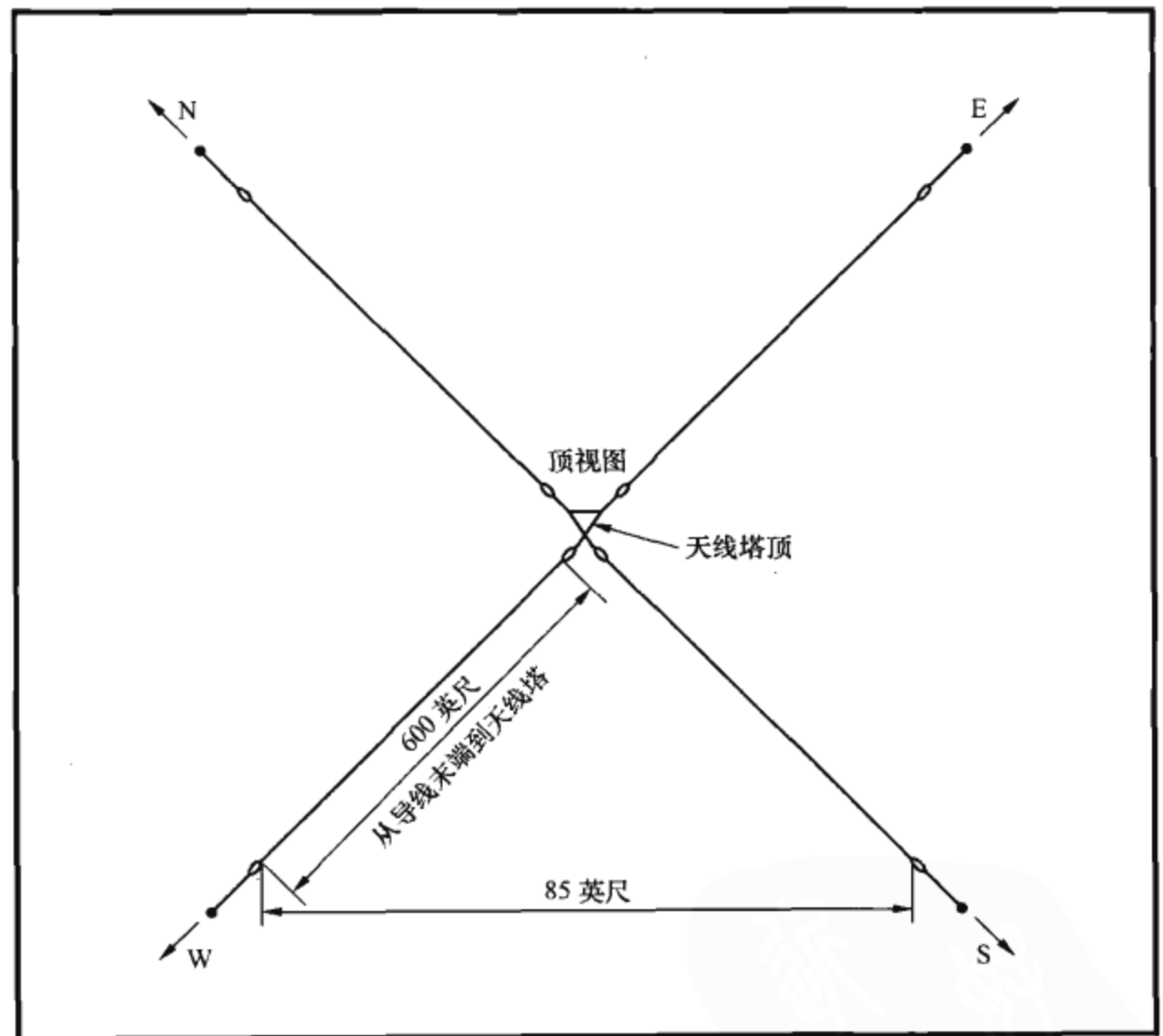
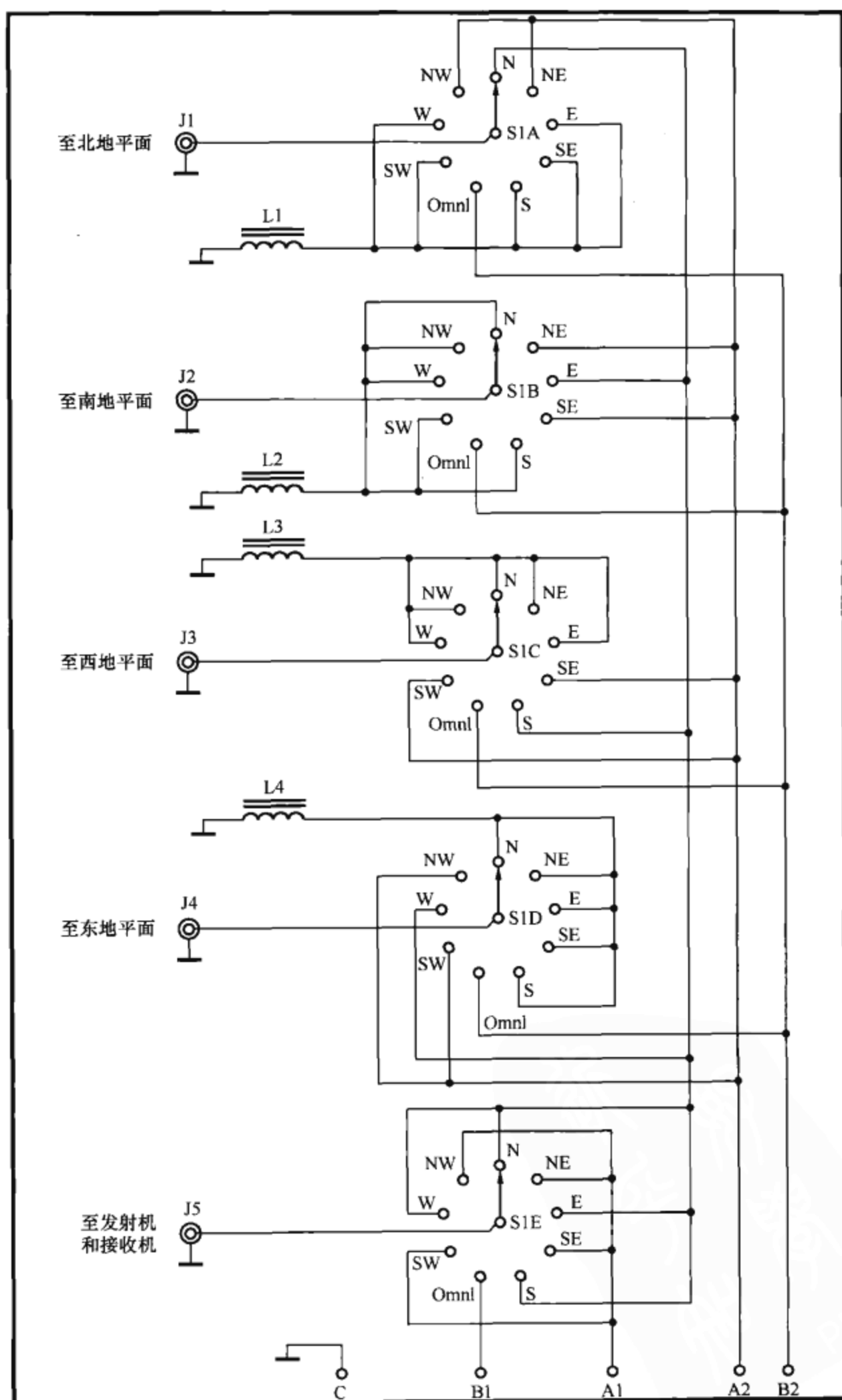


图 34-4 4X 阵列天线的转换系统。L1 到 L4 都在文中进行了描述。A1、A2 和 C 都连接到如图 34-7 中所示的匹配电路中。B1、B2 和 C 连接到如图 34-8 所示的匹配电路中。S1 是大功率陶瓷旋转转换器，有五极，九位置。J1 到 J5 都为建造天线者可以选择的同轴电缆连接器。



定向网络

大多数的定向方法需要较长的非 50Ω 同轴电缆。我发现这个方法在经济上容易令人望而却步，这个不利的因素激发我想出了我现在正在使用的方法。

图 34-5 显示驻波比随着以千赫为单位的频率变化的图

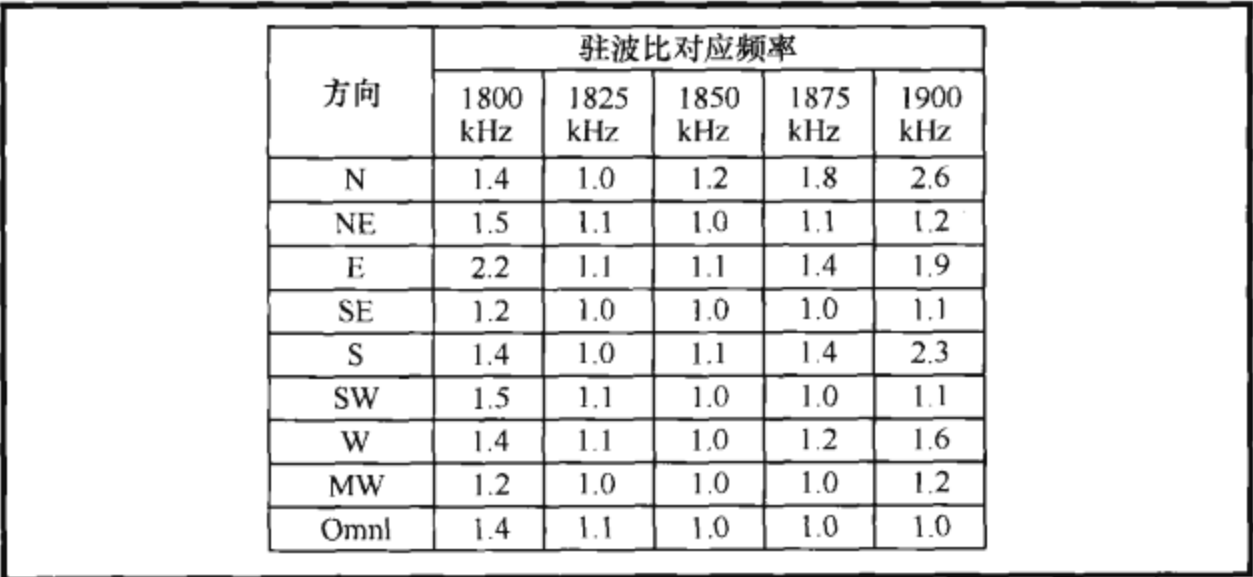
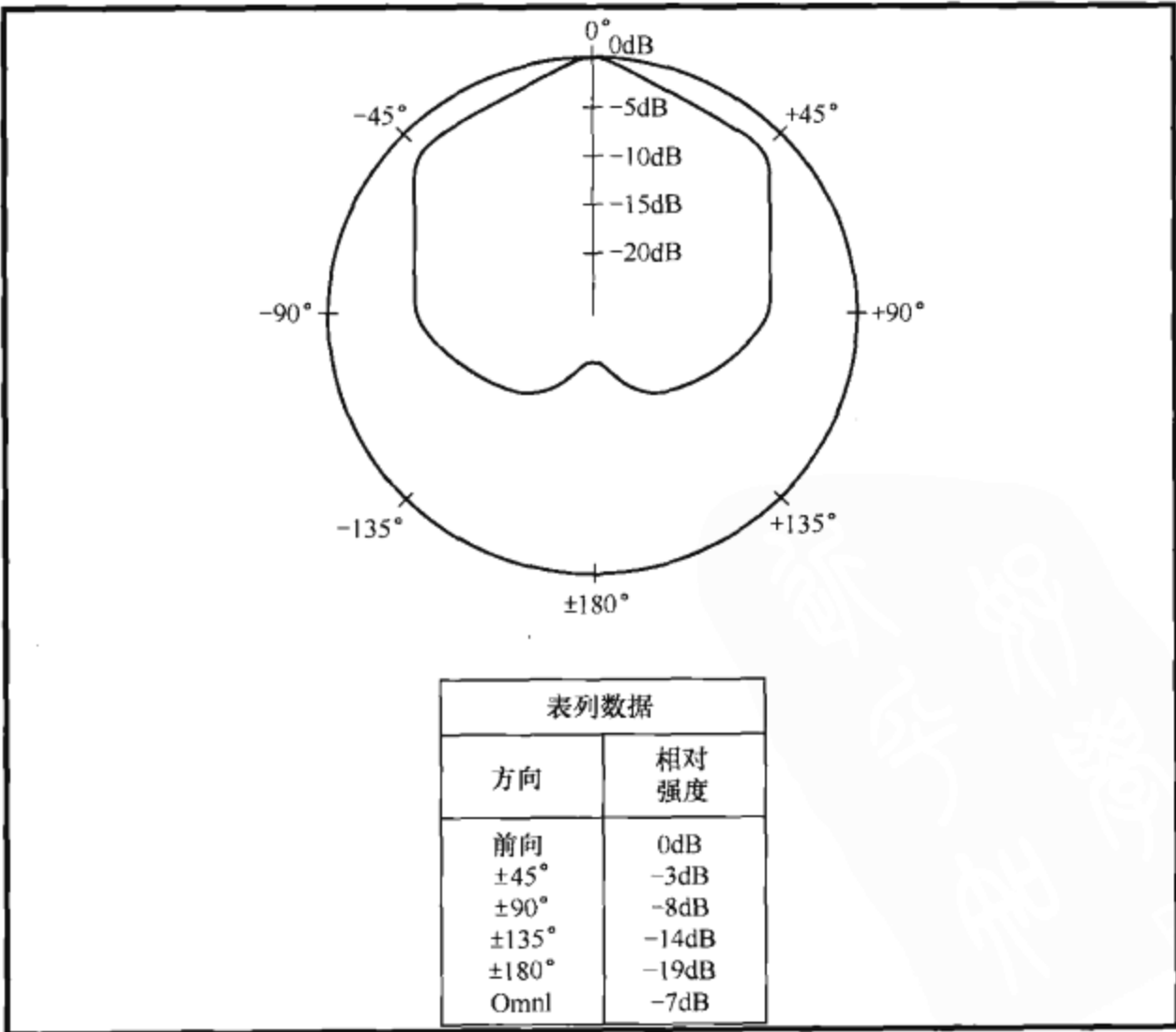


图 34-6 阵列天线的方向图。这个方向图是由在 10 个不同位置接收到的信号的合成的平均值。在两个方向模式单辐射器和定向辐射器对比时，没有明显的差异。



我所有的辐射器都使用 115 英尺长 RG-213 同轴电缆（以前是用 RG-8A/U 50 Ω 同轴电缆）进行馈电。每副天线导线的基部使用的电感线圈都被调节到和另外三个线圈在同一个频率产生谐振，并且所产生的驻波比也一致。进行同相馈电的垂直天线，它们的传输线都通过一个合适的改变到 50 Ω 传输线反射阻抗的网络，进行并联。我的网络如图 34-7 和图 34-8 所示。

图 34-7 定向对匹配网络。C 为 1000pF 可变电容器，额定电压为 1000V 或者更高。L 是 30 匝重导体（见文中）空心线圈，7 英寸长直径为 3.5 英寸。

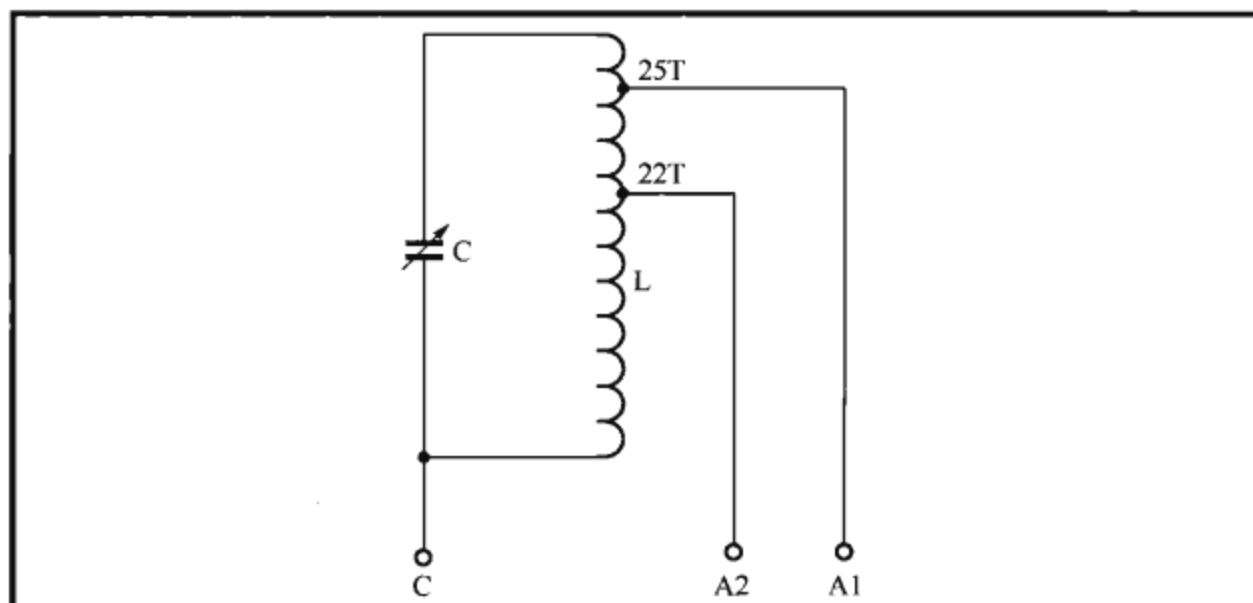
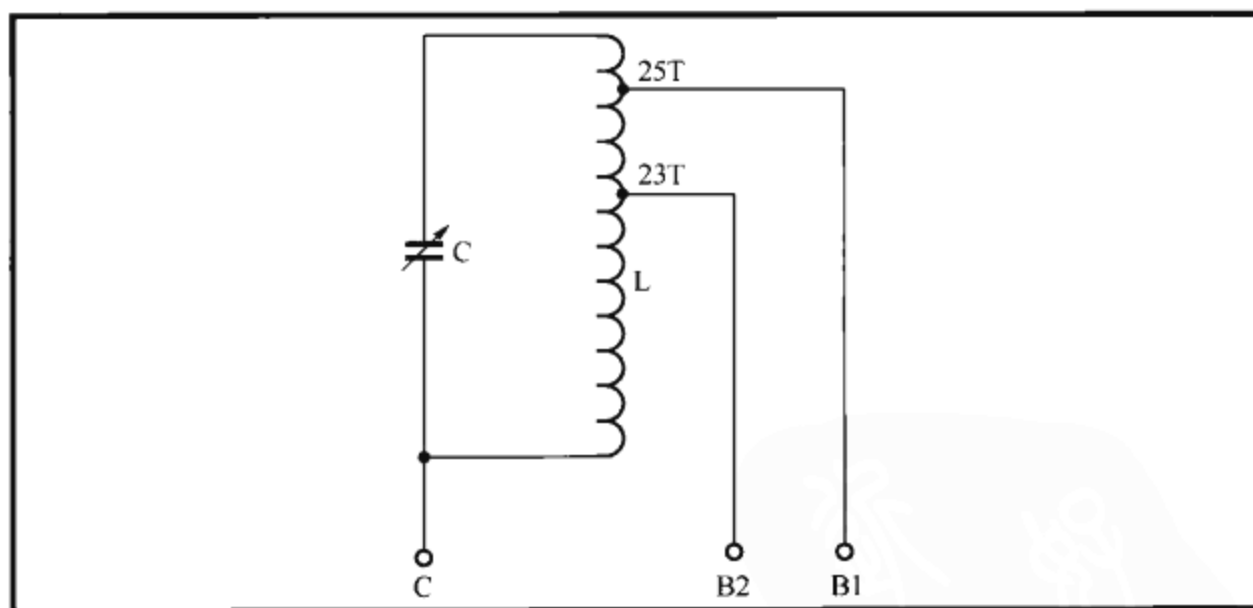


图 34-8 无方向性天线使用的网络。C 和 L 的值与图 7 中的一致。



接触式线圈匹配

通过我的匹配线圈的电感和没有故意产生的并联电容，我可以得到更有效率的天线带宽，这是因为 Q 减小了。但是，寄生电容和天线与

天线塔之间的电容以及天线和地面的电容却存在。所有的电气连接都进行焊接。每一个电感线圈都使用简单的防雨盖防止水汽和尘垢的影响。转换开关、不同的电容器、旋转电感器的出现，使得建造这样一副具有高可靠性匹配系统而不需要使用天气防护盒的天线成为可能。

将这个天线系统的所有天线分支调谐到几乎一样的性能是相对容易的。这在强制天线的分支以成对同相或全同相模式并行馈电时，是必须的。否则，功率的分布和相位就会混乱，会使得天线的辐射方向图失真。直径较大、较重的导体和空心电感线圈很适合这项工作。我的两个线圈都是使用镀银的 1/4 英寸直径铜管制作而成。两个维持线圈使用和旋转电感器同种材料的大平坦导体材料。

我使用栅陷测试振荡器来调节线圈以使线圈达到谐振状态（同轴电缆尚未连接时）。我的同轴电缆最初的抽头位置在线圈的接地段向上 1/3 的长度。最终抽头的位置在将功率馈送到天线并且观察驻波比显示器时做出决定。鳄鱼夹可以使这样工作轻松完成。当驻波比在所有的四个辐射器上的同一频率时的值都降到最低点，可以将鳄鱼夹取走，将线圈的抽头位置焊接好。四副天线之间的一些相互作用会出现，因此在焊接抽头位置之前先要确定好这些抽头处于他们应该在的位置。

反射器调谐

未进行馈电的天线当作反射器使用，可以通过转换小的电感器到与同轴电缆馈电线成并联状态来实现。我的电感器是由 3 ~ 4 圈用 16 号导线绕在 3/8 英寸直径铁氧体磁棒上制作而成，这个铁氧体磁棒可以从嵌入式 AM 广播接收天线得到。通过调节线圈，可以使反射器达到谐振，谐振的频率要比辐射器的谐振频率大约低 4%。

接地条件

天线的效率和性能取决于接地系统的品质。注释 3 为接地系统提供了一个好的参考。我的每一个辐射器都对工作在平衡状态不利，这包含了 2 或 3 个 1/4 波长导线，弯曲以适合我的系统的尺寸。另外，我使用 10 英尺长的导体棒作为接地棒。水管或者其他可以使用到的地下金属材料都是我的接地系统连接的目标。你应当尝试延长首选辐射方向上的辐射线。

绝缘子

辐射器的顶端包含有数值较大的射频电压。我使用 15 英寸长的 Plexiglas 带作为绝缘子，这是在我使用 8 英寸长的商业塑料绝缘器出现了问题之后的决定。水汽和空气污染物质都会引起这些问题。这些现有的绝缘子需要进行定期的清理。高质量的这种类型的用于船舶外的玻璃绝缘子最好，幸运的是，它还不需要进行清理。

接收

天线的方向性可以通过拒绝来自不想要的方向的信号以提高接收能力。当我将我的 4X 天线和 800 英尺长的未封闭的具有西北和东南两个辐射方向的 Beverage 天线进行比较时，我受到了鼓舞。在过去，Beverage 北向垂直独立天线在所有倾斜垂直单副天线中大概具有 8 ~ 10dB 的信噪比优势。到北美的远距离无线电通信中，使用成对同相工作模式的 4X 阵列天线相比于 Beverage 天线而言具有 3dB 以内的信噪比优势。

总结

许多欧洲的电台告诉我，我的信号跟他们当地的信号相比丝毫不弱。有时他们还注意到我的信号在对应的频段最强。

在高频段工作时有一副具有指向性的阵列天线是一件让人愉快的事情。我只需要简单地调整把手就可以旋转天线的辐射方向图——这个比使用电机来驱动典型的定向天线要快很多。4X 阵列天线很简洁，并且可以使用现在已有的射频天线塔来支撑。我希望你们当中有人可以来尝试一下这副天线，我期待来自你们的运行结果。

注释

1. $m = ft \times 0.3048$; $mm = in \times 25.4$; $km = mi \times 1.609$.

2. G. Hall, ed., ARRL 《天线手册》(Newington: ARRL, 1984), P8-12。

3. J. Devoldere, 80m Dx (Greenville, NH: 通信技术, 1978)。

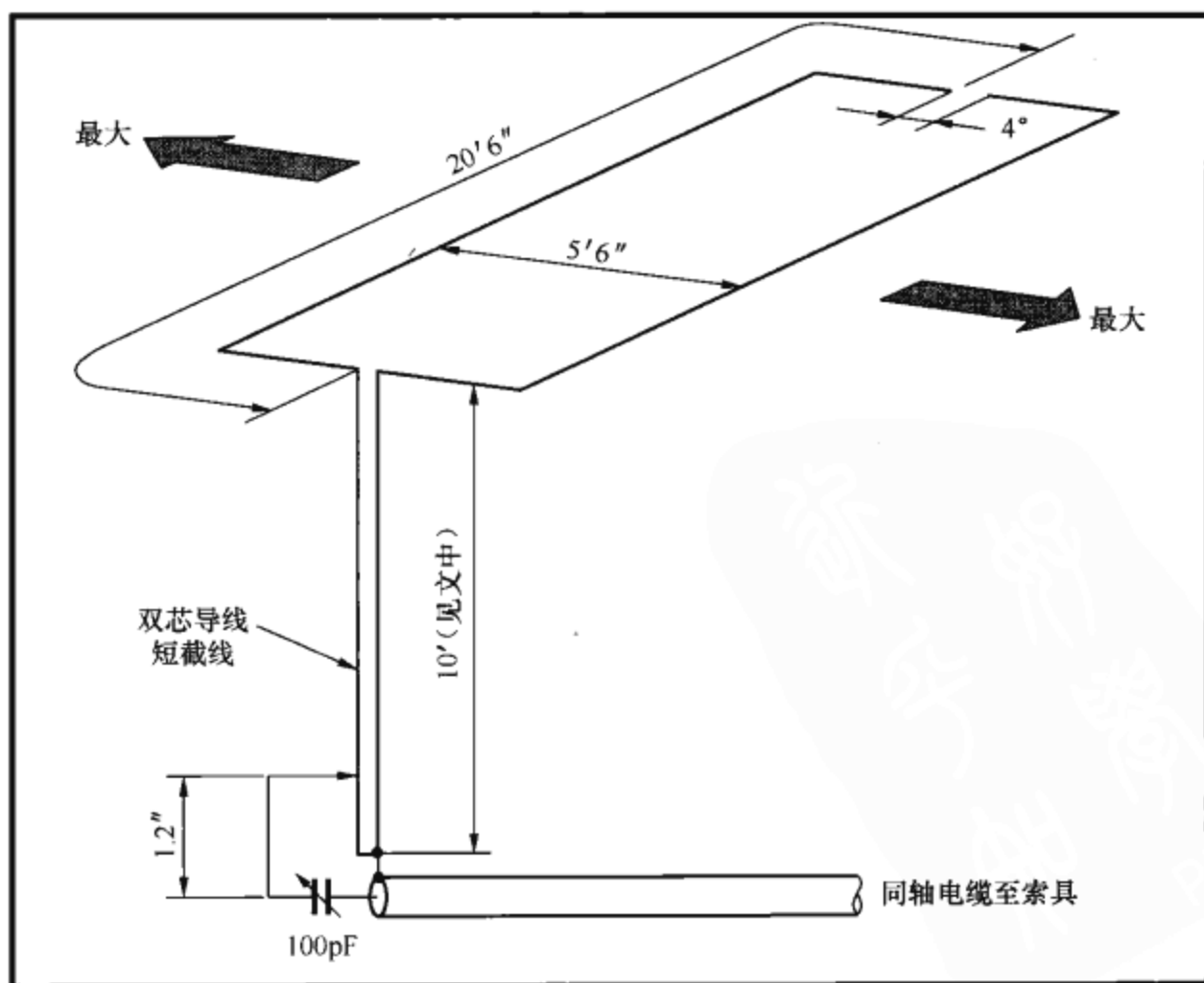
——Riki Kine (4X4NJ)

BRD Zapper 天线： 快速、便宜、简单的“ZL Special” 天线

这里有一副多用途的指向线天线，它起源于 Kraus、Windom、Newkirk。

从欧洲到芝加哥，工作在功率较小的 21MHz 频率，可以使用室内末端弯曲的 W8JK 双向指向定向天线（见图 35-1）¹，相当简单而充满乐趣。电压通过 1/4 波长短截线进行馈电，伽马匹配至同轴电缆是很难达到简易的目的的。不要担心平衡单元电流，不要对天线单元的长度吹毛求疵。只要使整个天线系统对称，通过调节短截线短路点使你的天线在

图 35-1 W9BRD 的 W8JK 工作频率为 21MHz 的定向天线。这副天线设计时考虑了安置天线的城市房屋的卧室尺寸。天线的尺寸并不严格，尽管单元的长度应当接近于 1/2 波长（总长度，每一个单元的长度），短截线的长度应当为 1/4 波长或者它的奇数倍，同时单元之间的间隔应当接近 1/8 波长。当天线系统如注释 2 中描述的那样谐振后，在短截线的底部，将短截线和同轴电缆编织层进行连接。12 英寸的抽头距离和 100pF 可变电容器组成了伽马匹配电路，可以将短截线阻抗变为 50Ω。



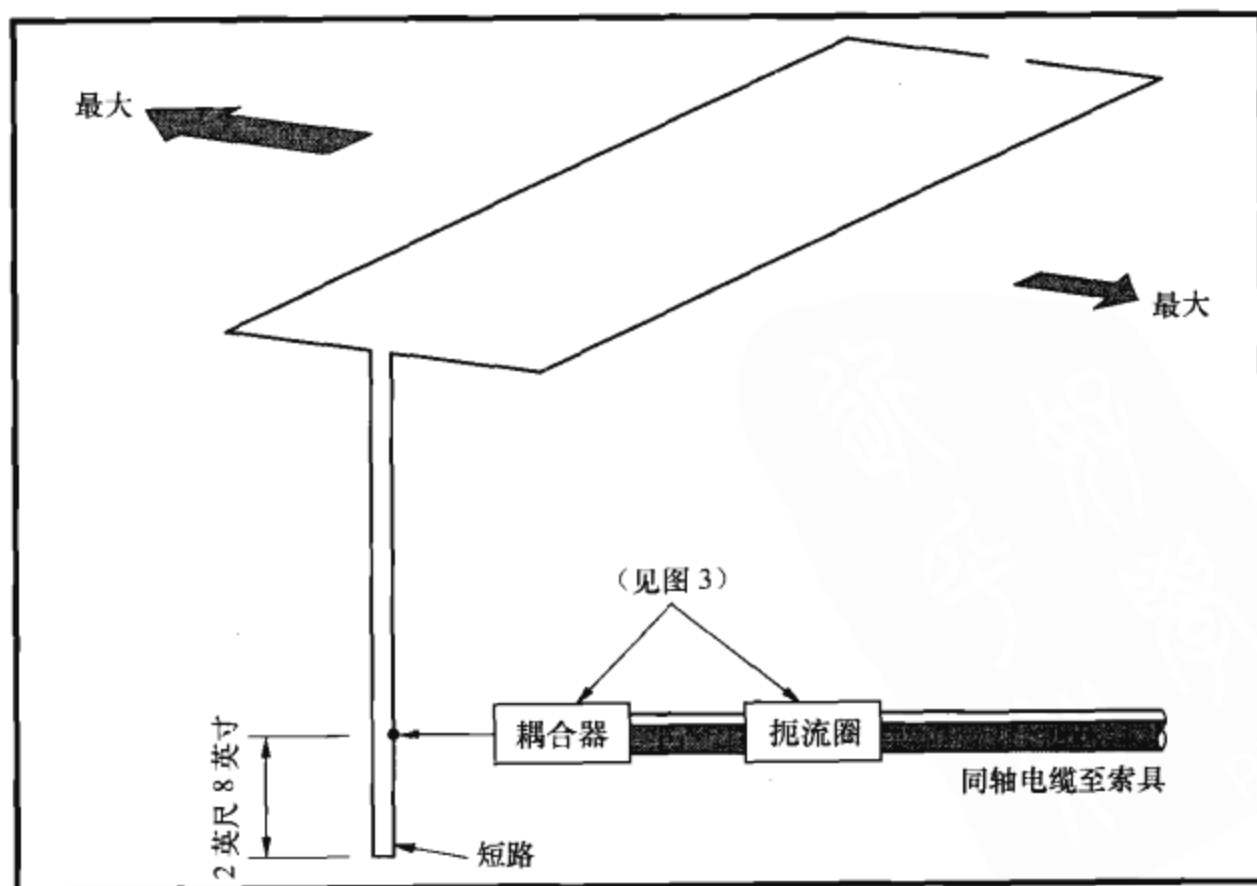
你所喜欢的频率谐振²。8JK 天线从基准频率到二次谐波频率始终都具有类似的辐射方向图和很好的增益，所以它是名副其实的多频段天线。当你不使用它的时候，你可以在 3 分钟内将它收起来。

一个难题：8JK 天线双向辐射特性常常使我的天线信号被来自相反方向的欧洲那些我所不想要的信号所淹没。除非你在三向 QSO 的地理中心，否则天线没有使用价值的旁瓣就是一件麻烦事。问题是在不求助于笨拙的中心馈电、多导线偶极子天线单元、平衡伽马等，就将简单的 180° 双向性转换为 135° 单向性是否可行？³

是的，这个是不可能的。因为在我们的小 8JK 天线中有单向 ZL Special 潜伏着。W8JK 和 ZL Special 之间主要的不同点看起来好像是相位：在 8JK 天线上，天线进行的是 180° 的异相馈电；在 ZL Special 上则为 135° 的异相馈电。因此，通过取代在短截线短路点附近对天线进行馈电，我们需要在距离短截线短路端 $1/16$ 个波长的位置处对天线进行馈电。这就是对于一副天线单元来说馈电路径比其他的经过 180° 相位反转，然后制造了我们看上去的在两副天线单元之间的 135° 相移的单元长或者短 $1/8$ 波长 (45°)。

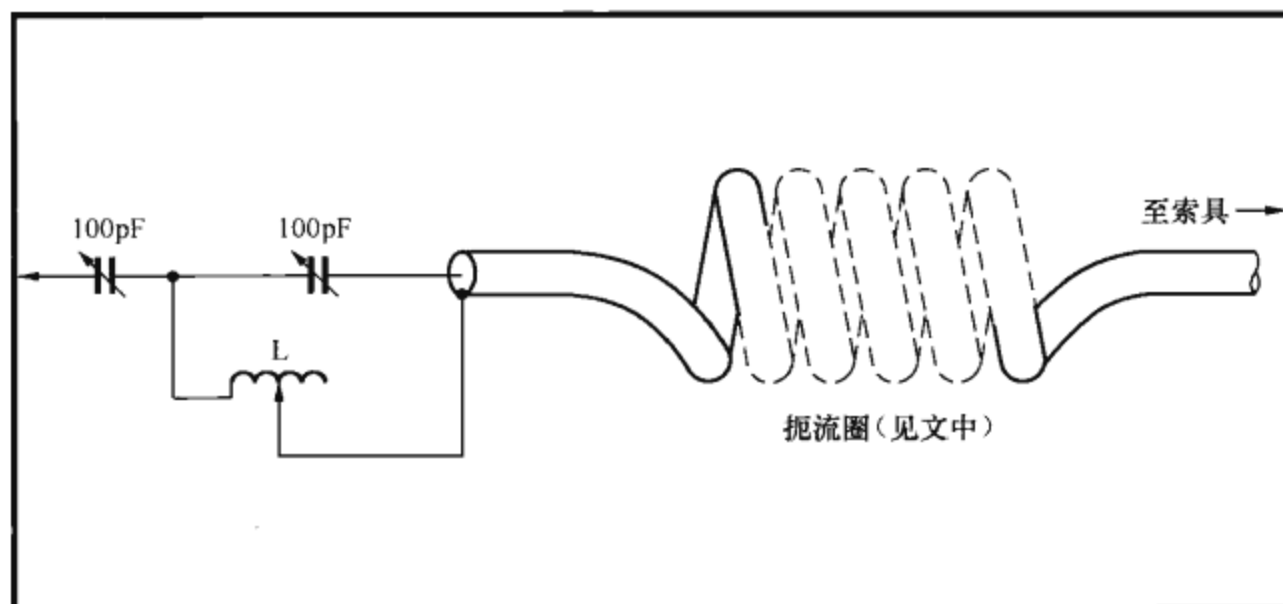
通过使用一些同轴电缆的绝缘中心导体连接到接收机上，沿着短截线的一边“探测”已知的信号，可以在短截线上找到合适的馈电点（从测量短截线底部向上 $1/16$ 波长处的点开始）。当绝大多数要命的后向信号仅仅移动一点后，天线便又重新收听到欧洲方向的信号了。在相反的短截线点处，方向性反转（如图 35-2 所示）。

图 35-2 使用 135° 单元进行定向的图 35-1 中所示的天线可以进行无方向性工作。如注释 2 中所描述的那样使天线系统谐振，将耦合器通过一根非常短的导线连接到短截线短路点上方约 $1/16$ 波长处一根臂上。同轴电缆陷波器需要使用，以便消除馈电线辐射，此辐射可以破坏原本天线系统可以提供的后向零位。



所以 ZL Special 确实是有作用的，但是在每天的实际工作中耐心使用这样的天线确实是一个挑战。当天线单元的定相正确时，ZL Special 有一个非常尖锐的零位，但是，通过使短截线不平衡，可以使我们利用这个零位。幸运的是，当天线系统谐振时， 135° 抽头点具有相对合适的高电抗，可以通过使用 T 网络（如图 35-3 所示）很简单地使天线和馈电线之间相匹配。

图 35-3 BRD Zapper 的匹配网络 and 同轴电缆扼流圈的细节。L 由 10 匝 16 号导线，1.5 英寸直径，空心绕组构成。对于 100W 或者更低的功率，使用收音机可变电容器就可以满足了。调节电感器抽头点以得到最小驻波比。同轴电缆扼流圈使用 30 匝 RG-58 电缆绕在铁氧体磁棒上构成。



由偶然性辐射和增益造成的辐射方向图失真应当最小化。过分的泄漏会导致天线的性能倒退，会从其他方向采集较大的信号。因此，耦合部分必须尽量简洁地建造，在短截线处进行合适的安装，并且需要进行隔离以防止馈电线对辐射方向图的影响而造成失真。这样的隔离在 W9BRD 已经进行了，通过将天线的 RG-58 馈电线缠绕在铁氧体磁棒上 30 圈，制作成同轴电缆扼流圈加在匹配网络之前可以达到这个目的。

由于馈电线的辐射可以导致短截线平衡混乱，因此使天线的后向零位混乱，从匹配网络到天线的单根导线最好不要超过 1~2 英寸。此时，我正通过 Windom 借鉴单根导线馈电课题方面的工作。任何扼流圈上的电路现在都更倾向于使用射频电路，所以大量的 meters-bells-whistles 匹配单元不能完成。最好是使用简洁的提炼的专用网络。如果有可能始终在平顶向下的部分使用短截线。顺便要说的，对应于最佳后向零位的短截线上的抽头点更高，因为天线单元之间的距离大于 $1/8$ 波长。同时系统的 Q 值在天线单元的间距变大时也会减小，但是增益却在间距为 $1/8$ 波长时最大。

对于短截线本身，电视信号平行双芯导线在室内使用是没有问题的，但是当天线单元之间的距离较近，端射式单元就意味着高电压和高电流。如果短截线的长度长于 $1/4$ 波长（仅仅为奇数倍），或者是在室外要经受

天气的考验，必须使用低损耗明线。你可以将用于室外类型的短截线直接用于信号收发室内，以便直接手动将天线的辐射方向图颠倒。

尽管我们一直讨论水平天线的情况，这个设置同样可以应用于垂直天线上。顺便要说的是，当天线单元水平放置，并且一个单元在另外一个单元的上面， 135° 定相更强调于辐射和高角度的接收。可以适用于交通网络、比赛、野外实习等。

注释

1. John D. Kraus 博士 (W8JK) 首先在 1938 年 1 月《QST》上 pp21-23、37，发表的题为“使用空间紧凑单元制作的定向天线”的文章中描述了这种天线。Kraus 同样也在三篇文章中讨论了这种天线，分别是在 1937 年和 1939 年的《Radio》杂志上，以及 1940 年 2 月的《Proceedings of the IRE》。

2. 最简单的方法就是使用栅陷测试振荡器。将一根直钉刺入短截线靠近底部的每一根臂里。将直钉的两端短路，并且将栅陷测试振荡器通过将 dipmotor 靠近较短的直钉耦合进天线系统。使用栅陷测试振荡器来对谐振状态进行定位，然后测量接收机上栅陷测试振荡器的频率。将直钉相对短截线上移或下移，然后重复这个步骤，直到天线在你所感兴趣的频率处或者附近处谐振。当你完成了这些之后，剪切短截线，剥去皮，然后短路焊接导线上直钉所在的天线谐振位置。

3. 当然，这架天线可以进行中心馈电，无论是它的双向辐射模式或者无方向性辐射模式。这样的一个平顶天线在 J.Hall, Ed., ARRL《天线手册》第 15 版，第 8 章和 J. Devoldere 的《低频段远距离交换》(Newington: ARRL, 1987)，第 2-101 页到第 2-102 页。

——Rod Newkirk (W9BRD)

联合驱动阵列天线

横向端射式共轴天线单元可以很容易地联合起来，以提高增益和方向性，当阵列天线的单元数目大于两个时常采用这种方法。在给定了使用空间时，这种天线的联合相比于这里所描述的普通阵列天线增益会更大。这种可以解决的联合几乎是无止境的，但是在这部分里面我们仅仅描述一些较为简单的类型。

对多单元阵列天线功率增益的精确计算需要了解前面几章里面讲过的天线单元之间互电阻的知识。对于类似的目的，可以假设每一个设置（共轴，横向，端射）都可以达到早先所给出的，就足够了，然后就会简单地增加了联合阵列天线的增益。这里忽略天线单元设置之间的交叉耦合的作用，但是天线上来自交叉耦合的互电阻应当相对小些，尤其是当天线单元之间的距离为 $1/4$ 波长或者更长的时候，因此预估的天线增益就可以相对合理地与真实的增益接近了。

四单元端射式共轴阵列天线

天线如图 36-1 所示，联合了共轴同相单元和并行异相单元来给出横向和射端的辐射强值。它通常被称为“双部件 W8JK”或者“双部件平顶定向天线”。用如上所说的方法计算出来的天线的增益为 6.2dB，此时天线单元之间的空间为 $1/8$ 波长，当这个空间为 $1/4$ 波长时，增益为 5.7dB。辐射方向图如图 36-2 和图 36-3 所示。

天线单元上定相线连接处之间的阻抗可以达到几千欧姆。使用非匹配传输线时的驻波比也非常高，这副天线系统要想能够产生谐振最好使用明线导线（ 500Ω 或者 600Ω ）来制作。当天线单元之间的空间为 $1/4$ 波长时，估算出来的在 600Ω 传输线上的驻波比大约在 3:1 或者 4:1 附近。

图 36-1 四单元阵列联合边射单元和并行端射单元，也就是我们所熟知的 W8JK 阵列天线。

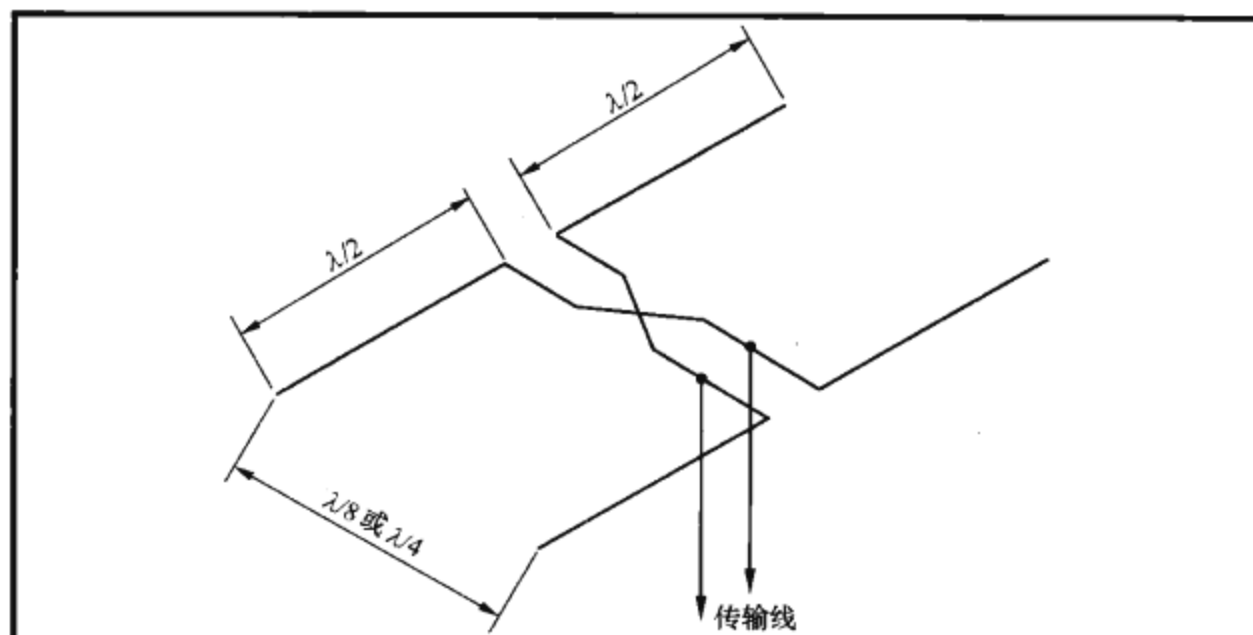


图 36-2 图 36-1 中所示天线电场平面的辐射方向图。单元平行于图中 $90^\circ \sim 270^\circ$ 线。当空间间隔从 $1/8$ 波长变为 $1/4$ 波长时，半功率波束宽度只会增大不超过 1° 。

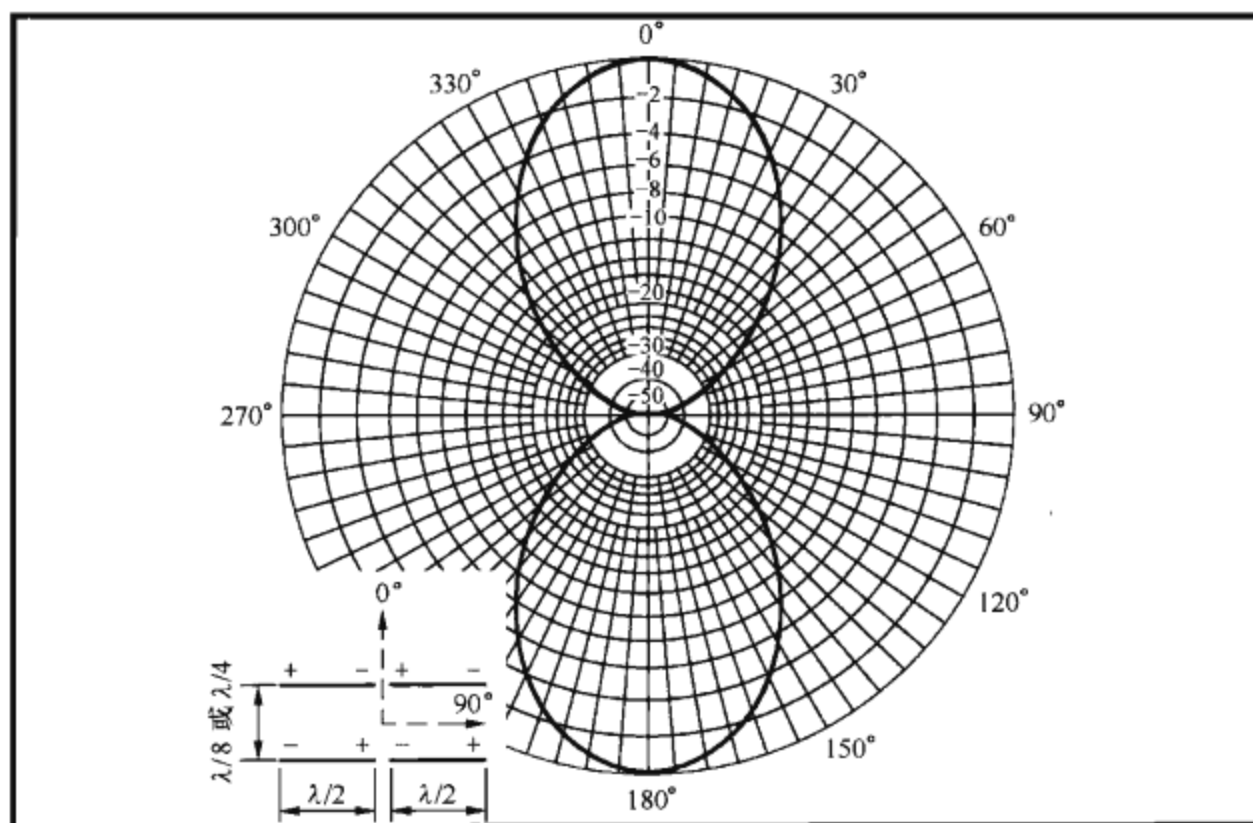
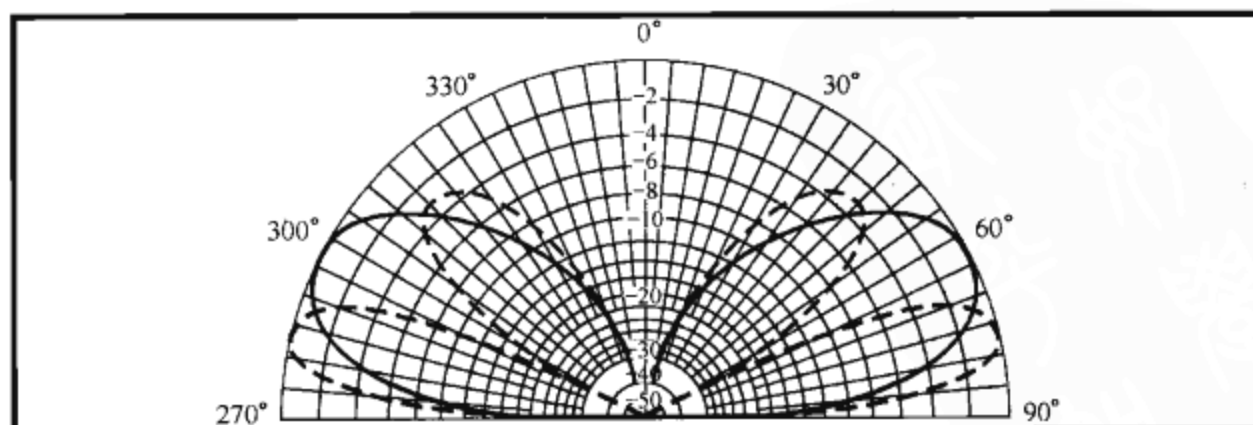


图 36-3 当图 36-1 中的四单元天线水平安装时的垂直方向辐射方向图。实线，高度为完全导体上方 $1/2$ 波长；虚线为完全导体上方 1 个波长。图 36-2 给出了水平辐射方向图。



如果使用匹配传输线， $3/16$ 波长的闭合短截线可以连接到如图 36-1 所示的传输线连接处，然后传输线本身可以从这个连接上去的短截线上

进行抽头，以便可以在传输线上得到最小的驻波比。这个抽头点的具体位置要通过试验决定。

这副天线可以工作在两个频段，并且这两个频段的频率值之比为 2:1，前提是使用谐振馈电线。例如，如果天线单元之间的空间为 $1/4$ 波长，可以在 28MHz 时达到谐振状态，那么射端阵列天线的单元之间的空间为 $1/8$ 波长时，天线就会在 14MHz 时产生谐振。

四单元横向阵列天线

图 36-4 所示的四单元阵列天线通常称之为“横向 H”天线。它是由一组双共轴天线单元和一组并行天线单元组成，并且都是同相工作以便达到横向的方向性。增益和方向取决于天线单元之间的空间，就像在简单并行单元横向阵列天线中所描述的那样。这个空间在图中所给出的限制范围内进行选择，但是这个空间小于 $3/8$ 波长时就不值得了，因为此时天线的增益很小。估算出来的天线增益如下：

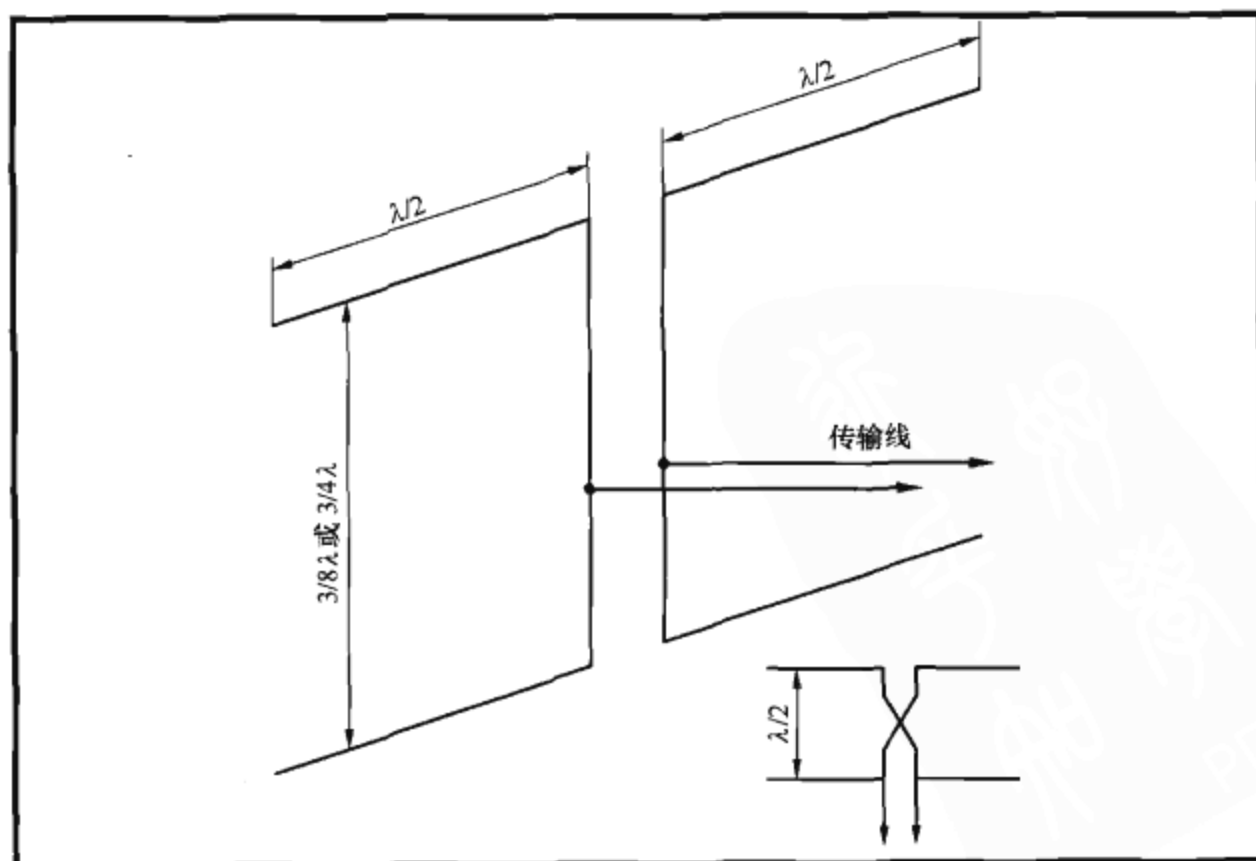
$3/8$ 波长——4.4dB

$1/2$ 波长——5.9dB

$5/8$ 波长——6.7dB

$3/4$ 波长——6.6dB

图 36-4 使用共轴和平行单元的四单元边射阵列天线（“横 H”天线）。



通常我们所使用的是半波长的空间间隔。在这个空间间隔的条件下，天线的方向图如图 36-5 和图 36-6 所示。

图 36-5 如图 36-4 所示的四单元阵列天线在自由空间的方向图。在图 (A) 中，是电场平面辐射方向图，当天线由单元水平安装时，在低波角的水平方向图。单元的轴沿着 $90^\circ \sim 270^\circ$ 线。在图 (B) 中为自由空间的磁场平面方向图，这就好像是从一组单元在另外单元的末端上面看过来。

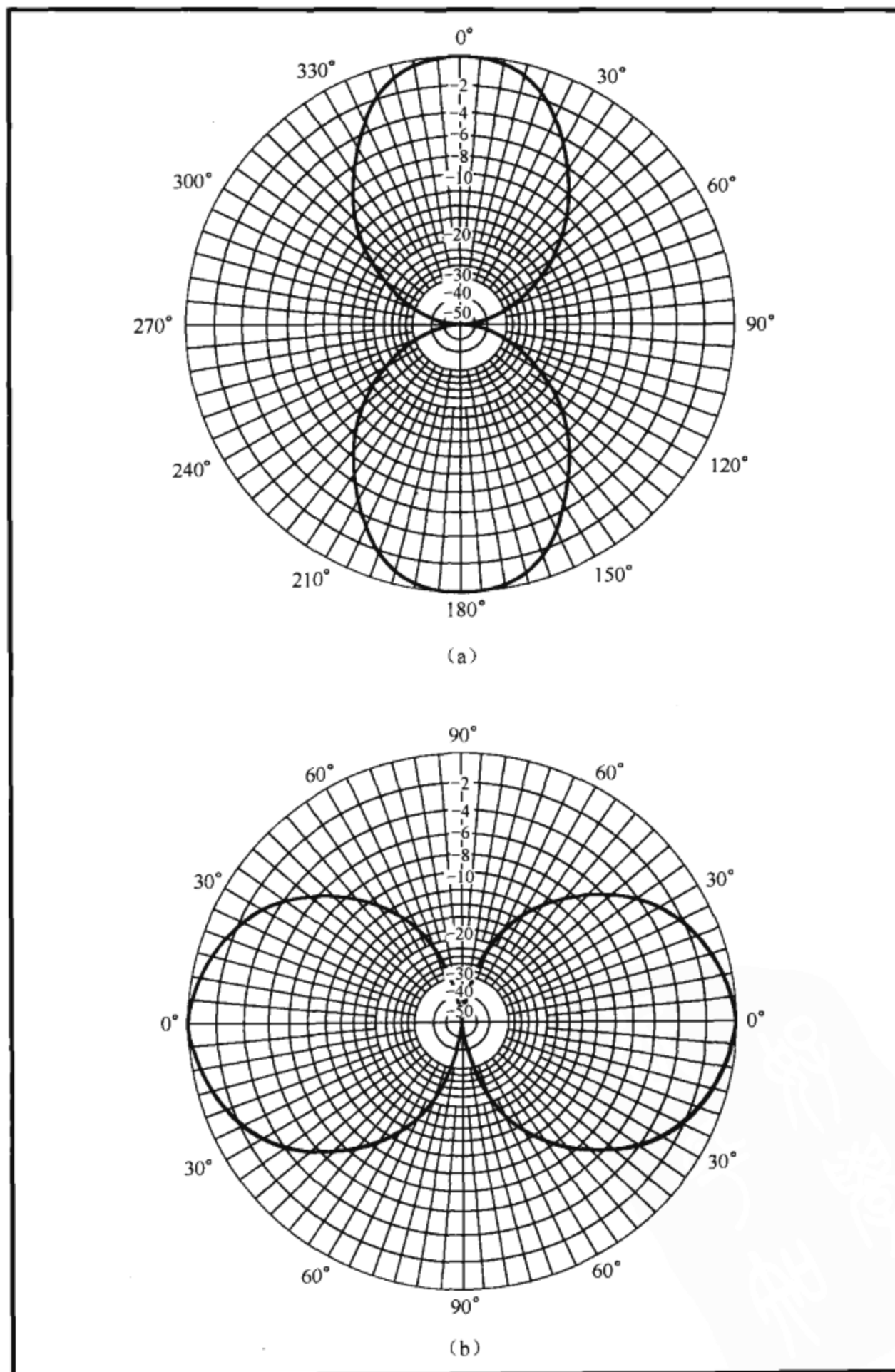
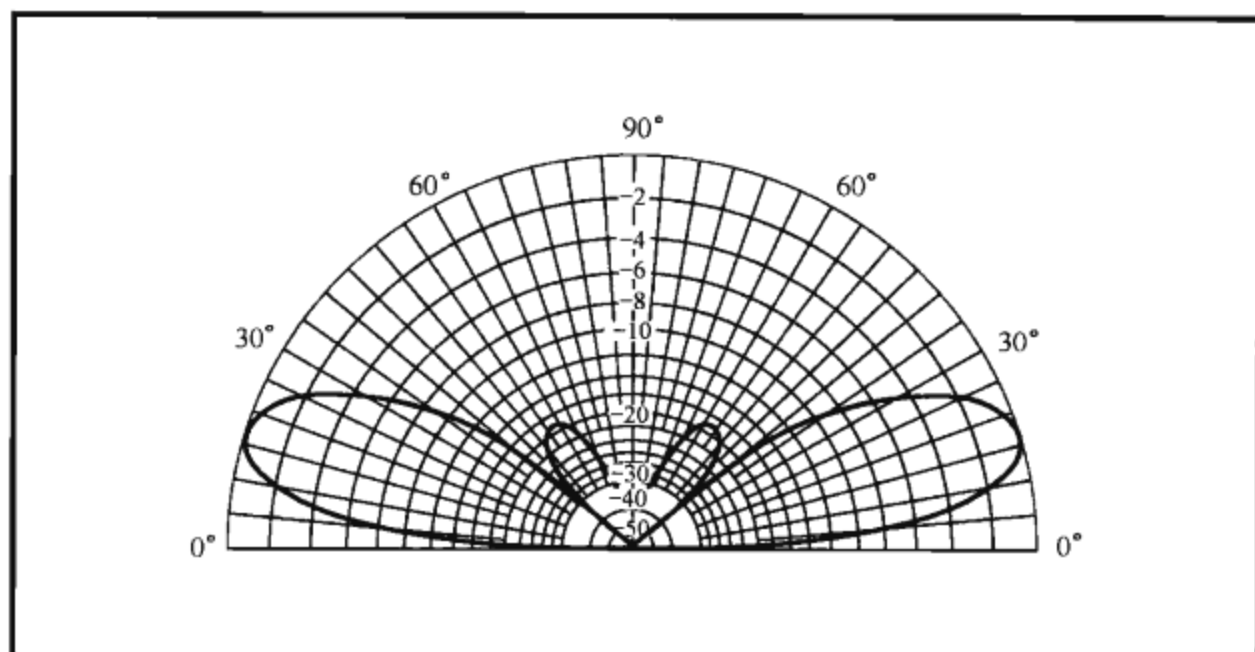


图 36-6 图 36-3 中所示的当天线单元水平安装, 并且高度更低, 位于完全导体上方 $1/2$ 波长处, 四单元边射天线的垂直方向图。当最低的天线单元的高度都要超过 $1/2$ 波长时, 这种类型的“多层”阵列天线可以得到最好的性能。当最低的天线单元慢慢靠近地面的时候, 增益减小并且波角增大。



当天线并行单元之间的空间为 $1/2$ 波长时, 在传输线上的定相线连接点处的阻抗为电阻性, 大约为 100Ω 。当并行单元之间的空间大于或者小于半个波长时, 定相线连接点之间的阻抗为电抗性同时也有电阻性。匹配短截线在使用非谐振传输线的情况下建议你选用。

图 36-3 中所示的天线系统可以用作双频段工作, 同时这两个频段之间满足 $2:1$ 的关系。当这两个频率更高的时候, 在天线并行单元之间的空间应该为 $3/4$ 波长。当天线作为简单的横向阵列天线工作在较低的频率时, 这个空间间隔应该为 $3/8$ 波长。

在图 36-3 中的小图中, 给出了一种替代的馈电方法。在这种情况下, 天线单元和定相线都应当精确地调节到电气半波长。馈电点之间的阻抗为电阻性, 阻值大约为 2000Ω 。

——摘自 ARRL《天线手册》(第 18 版)

“半波倾斜”天线更多的信息

1979年《QST》上面关于1/4波长倾斜天线的文章提示我写下了如题的文章给你。我已经有了相当多的利用它们工作在160m和80m波段的经验了，现在我尝试使用它们工作在40m波段。

我所知道的第一个使用这种类型天线的是W3AU。由于他使用这种天线系统成功的工作在160m波段，因此他推荐了我和W7RM使用。最初的设计结构使用了不止一个并行馈电的依靠在天线塔上的倾斜天线单元。它装配了一个顶端负载的垂直天线以及模拟接地系统。我积极支持这样一个观点，即使只使用一副倾斜天线单元，这也是一副全向的，垂直极化辐射系统。

所有这些我所尝试的天线类型都曾在我父亲的基站W6UA内安装在单天线塔上使用过。这个天线塔大约82英尺（25m）高，横截面为边长大约1.5英尺（0.45m）的等边三角形，并且在70英尺（21.3m）的高处，有一组定绳索。绳索的绝缘都通过每间隔20英尺的距离加入一个绝缘子来实现，并且每一根绳索的顶端都电气连接到天线塔的顶端。天线塔的基座具有混凝土所能提供的所有绝缘性能，并且在天线塔的顶端还有10m、15m和20m的八木天线（这是一副AB105天线塔，与W3AU和W7RM基站所使用的天线塔是一样的）。

首副这种类型的尝试应用于80m波段的天线正在讨论。它连接在60英尺的高度，所以固定绳索以及旋转器的顶端负载效应也许会产生影响。附加上的电线以与垂直方向成30°角的方式延伸下来，并且进行修整，以使VSWR最小化。谐振的长度和计算出来的长度相差2英尺以内，此时天线工作在3.5~4MHz时的VSWR小于1.5。它在作为发射天线时可以工作得很好，但是在作为接收天线时会附加上很多噪声。原始的导线是向东倾斜下来的，所以我建造了一个类似的系统，导线连接到相同天线塔上的相同高度，但是方向朝西。二者的电气特性也几乎

一致，并且无论是作为发射天线还是作为接收天线的，这两副天线系统在方向图上的差异都探测不到。

考虑到倾斜导线中不论多么小的天线电流都具有水平分量，因此 W6UA 基站使用其他 80m 天线系统，如偶极子、倒 V 形、三角形环，都是合理的。1/4 波长倾斜导线相对于其他的长度来说最适合发射信号，但是它在接收信号时表现很差。当使用工作频率为 40m 的共轴天线接收较弱的信号时，可以使用它同时作为发射天线和接收天线。

我同样也尝试将这样一副天线系统运用于 40m 波长，此时导线连接在天线塔上的高度为 30 英尺，倾斜下来的角度为 30° 。也有很多天线塔在电气尺寸方面要超过连接点，长度至少有半个波长，因此这时天线更加难以调谐。导线的长度是非常严格的，要比预计的长度稍微短点，在整个频段上的 VSWR 表现还算过得去。不要在这副特殊的天线上花费太多的时间，因为它们的性能看上去也不比半波长偶极子天线要好。这两副天线都可以工作得很好，但是两者都不等同于已有的共轴型天线。

最近我所使用的 1/4 波长倾斜天线系统工作在 160m 波段。我首先尝试在 75 英尺的高度使用单根倾斜天线单元。它寄希望于所有的贡献来自于连接点以下的顶端固定绳索部分。我不能通过调节倾斜导线的长度来使得天线谐振，甚至进行严格的调节也不行。但是这个天线系统看起来确实是可以实现这个功能的，所以下一季我使用了两个长度“正确的”倾斜的天线单元，并且在天线塔的底部使用匹配网络对整个天线架构进行馈电，传输线使用 300Ω 双芯导线连接到天线塔上（如图 37-1 所示）。这是我在 W6UA 所使用过的最好的 160m 波段天线。以前我曾经使用过一副倒 V 形中心馈电，80m 偶极子，高度为 90 英尺天线和半波长 L 字形天线，由于天线导线倾斜下来的角度必须与垂直线成 $40^\circ \sim 45^\circ$ ，使用两副天线单元取代一副天线单元的基本原理就是尝试消除掉水平电流分量。出于好奇心，我尝试又增加了第三根倾斜导线，然后可以发现在设置匹配部分的或者整个效率的时候没有改变。使用一些粗略估计值，如匹配、馈电线长度等。我计算天线本身的馈电阻抗大约为 $100 - j300\Omega$ 。

我对这副天线工作性能的评估取决于其所处的现实环境，在过去的两年中环境条件比以前更加恶劣。在 160m 波段天线比赛中，W1、W2 和 W3 的开放很少。我没有对这副我之前从未使用过的天线进行任何调节，但是印象中这副天线还是比我之前使用过的其他类型的天线要好。它对加勒比、SA、太平洋和日本以及整个美国都可以发挥几乎一样的性能。接收同样是一个问题，因为噪声的缘故。我已经拆卸了 160m 波段的这种类型的天线。如果我再次建造这样一副天线，我会很明确地再建造一些辅助接收天线。

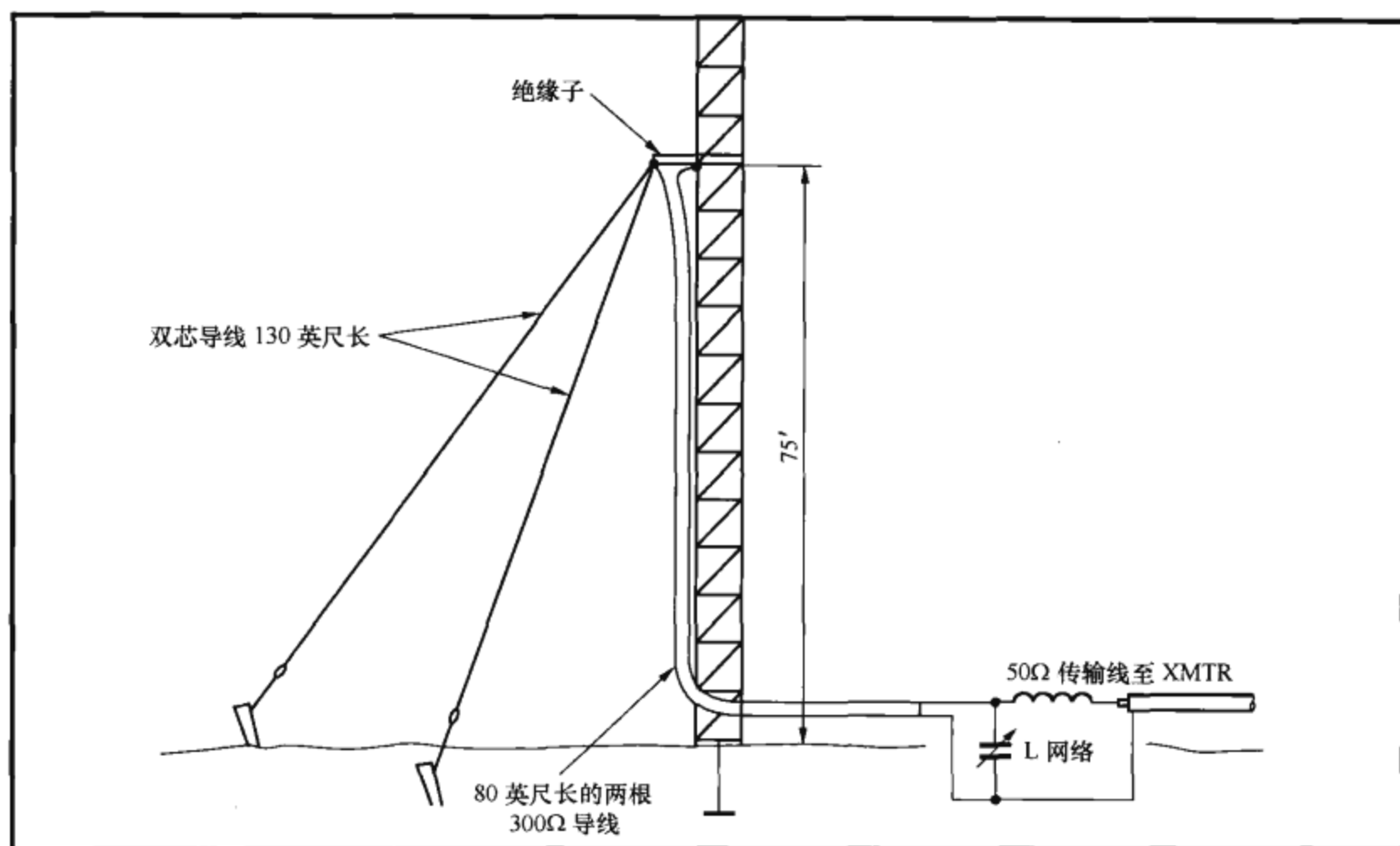


图 37-1 在 W6UM 使用的 160m 波段的半波倾斜天线的结构示意图

最终结果看来，这是一副很不错的天线。如果倾斜导线更加接近于垂直位置，同时在导线连接点位置上方没有太多的加载，那么更容易在天线和同轴电缆之间获得很好的匹配。在一定程度上，如果在馈电点上方有更多的垂直结构，那么天线系统会有更高的效率。没有强制的原因让我坚持要使用谐振结构。我对 160m 波段天线进行的下一个尝试就是使用已有的 80m 天线系统，在 60 英尺高处对 80m 倾斜天线单元进行馈电，但还是跟之前一样需要在天线塔底部使用传输线和匹配网络。

考虑到天线确实能够很好地工作，我觉得值得将来进一步研究的领域是更好的特性和描述它的不同类型的参数，例如对于不同的倾斜天线单元连接点，测量到的馈电阻抗和频率的函数关系，顶端负载的长度、角度和条件。同样我也希望看到所有结构上的电流可以通过探针制作出分布图。如果这些结果即将来临，我希望可以在最近的《QST》杂志上看到。

——Charles Weir Jr. (W6UM)

双频段半波倾斜单元天线

当经验性的墙外设计像文中提到的一样好用，猜疑和怀疑是可以允许的。也许你会同意这里所提到的倾斜天线是个例外。

半波倾斜单元天线看起来正在越来越流行，正如出现在《QST》杂志上的文章所证明的那样。这种类型的天线有很多有价值的优势，尤其是低频工作天线，这种适当高度、紧密性、建造简单的天线具有地角度辐射的特性。作为负面的影响，较窄的带宽和谐振天线系统的难度也已经发表出来了。

这里所描述的天线系统是尝试设计一副双频段半波倾斜单元天线，以使天线可以工作在 80m 和 40m 波段。选择了陷波类型的天线作为设计的基础，这是根据以往陷波天线的一些使用经验，以及由于在较低的频段电感性负载可以允许更短的天线长度。然后，电感性负载还被用来增大天线的 Q 值，从而进一步减小天线的带宽。由于这些原因我准备进行一些实验。

我准备得非常好，因为最终的天线形式和最初的概念只有很少的类似之处。但是绝大多数令人感兴趣和兴奋的是天线工作在 80m 时令人印象深刻的带宽。

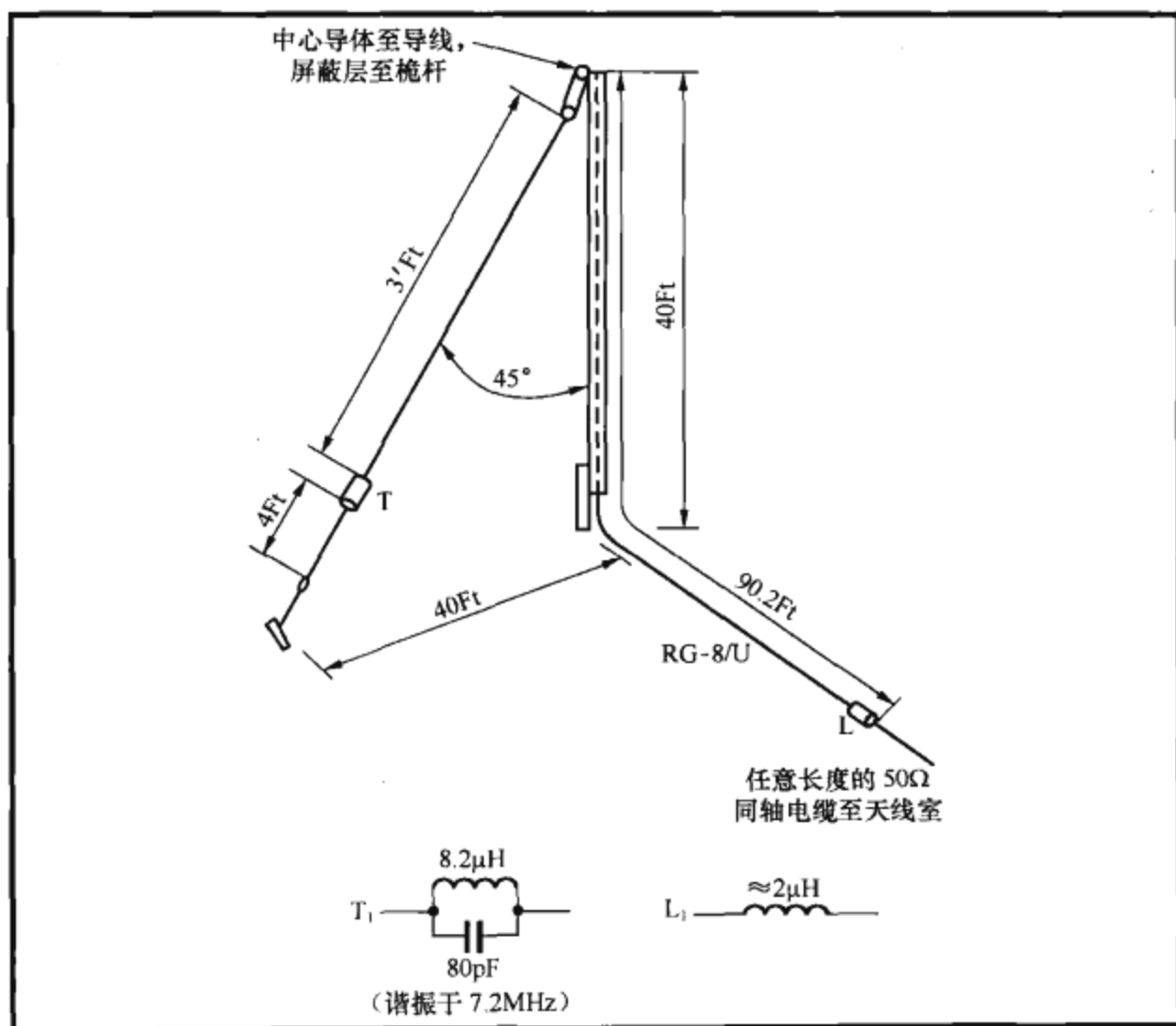
设计

双频段半波倾斜天线系统的示意图如图 38-1 所示。可以看出，在整个天线系统中这里没有明显的 $1/4$ 波长尺寸。事实上，辐射器本身是非谐振装置。

一开始我们尝试通过修剪天线导线来达到谐振的目的，结果只产生了一堆修剪下来的导线段还有失望的无线电爱好者。在经过许多小时的修剪尝试，再修剪再尝试的试验后，伴随着不断深入地全方位地了解那些明显发生的现象，这样便可以将导线长度和陷波分量值很好地结合起来。在

7.2MHz 时的阻抗 $40-j80\Omega$ 和 3.6MHz 时的阻抗可以通过电桥测量得到。然后通过一种很简单的方式即增加电感性阻抗来消除这些电容性阻抗。

图 38-1 双波段半波倾斜天线。为了将传输线从天线的电磁场中屏蔽开，传输线的布线从接地的支撑桅杆里面进行。需要电感器 L 使天线系统谐振。



为了方便，电感器被放置在传输线中而不是馈电点处，最终调整天线系统是在地面上进行的，总要比在 40 英尺（12.2m）的空中进行更加简单。史密斯圆图的经验显示当天线的工作频率为 7.2MHz 时，传输线上馈电点和电感器 L 之间的驻波比为 5:1，当天线的工作频率为 3.6MHz 时，这个驻波比为 2:1。当使用 RG-8/U 同轴电缆，天线工作在 7.2MHz 时，由于这些驻波比导致的额外的损耗小于 0.5dB，但是当天线工作在 3.6MHz 时，这些损耗就不会出现了。

性能

这副天线的性能非常好。在 K9CZB 的基站时天线主要是在 80m 波段采用 CW 方式工作，有时候也使用 40m 的单边带波，名义上的输出功率为 100W。根据报告显示，信号在 80m 波段时总体上还是很好的，

同时也有一些评论提出来，如“U R LOUDEST 9 ON BAND AND VY FB SIG, VY STRONG”。在 40m 波段工作时，信号的报告同样也很好。尽管这些赞美之词并不过分。这是我唯一的一副 80/40m 天线，所以直接对二者进行比较不太可能。但是，它的表现仍然要胜过之前我所使用的两副天线，160 英尺端馈式天线导线和陷波偶极子天线都排列在距离地面 30 英尺高处。总而言之，这就是我所期待的半波倾斜天线。

这副天线的真实性能可以概括为一个词：带宽。看一下图 38-2 中的驻波比曲线就可以了解任何 80m 工作天线了。据我所知，对于这样一副简单紧凑的天线从未听说过的带宽。这个可以用改换频率 400kHz

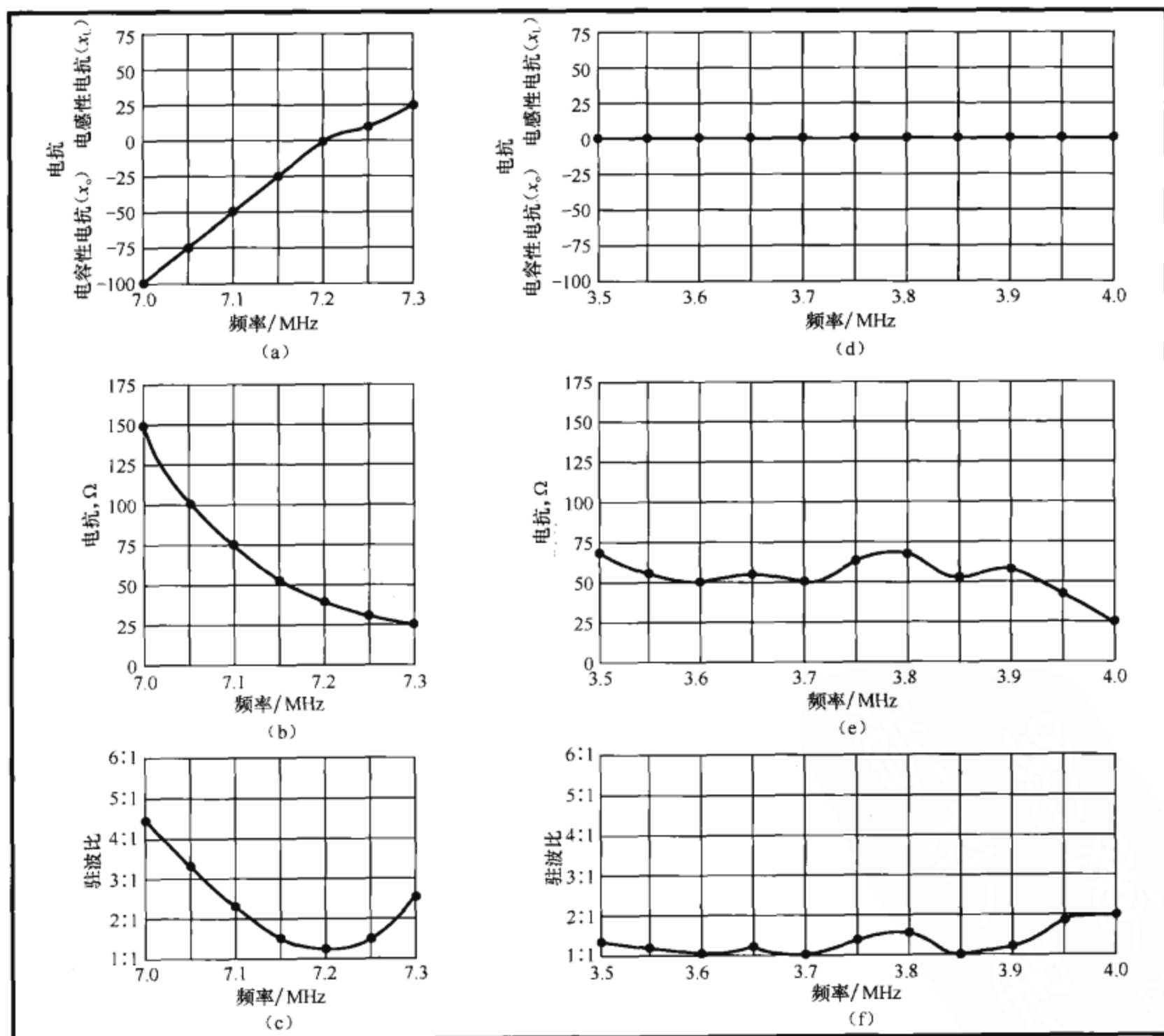


图 38-2 天线的负载特征。驻波比曲线是从史密斯圆图上得到的，阻抗值使用噪声电桥进行测量。

的方法来处理，可以发现驻波比表的指针几乎未动。这不是一副低 Q 值天线——这是一副无 Q 值天线。事实上，在 40m 波段的带宽给人印象并不深刻，和先前所报告的半波倾斜天线类似。

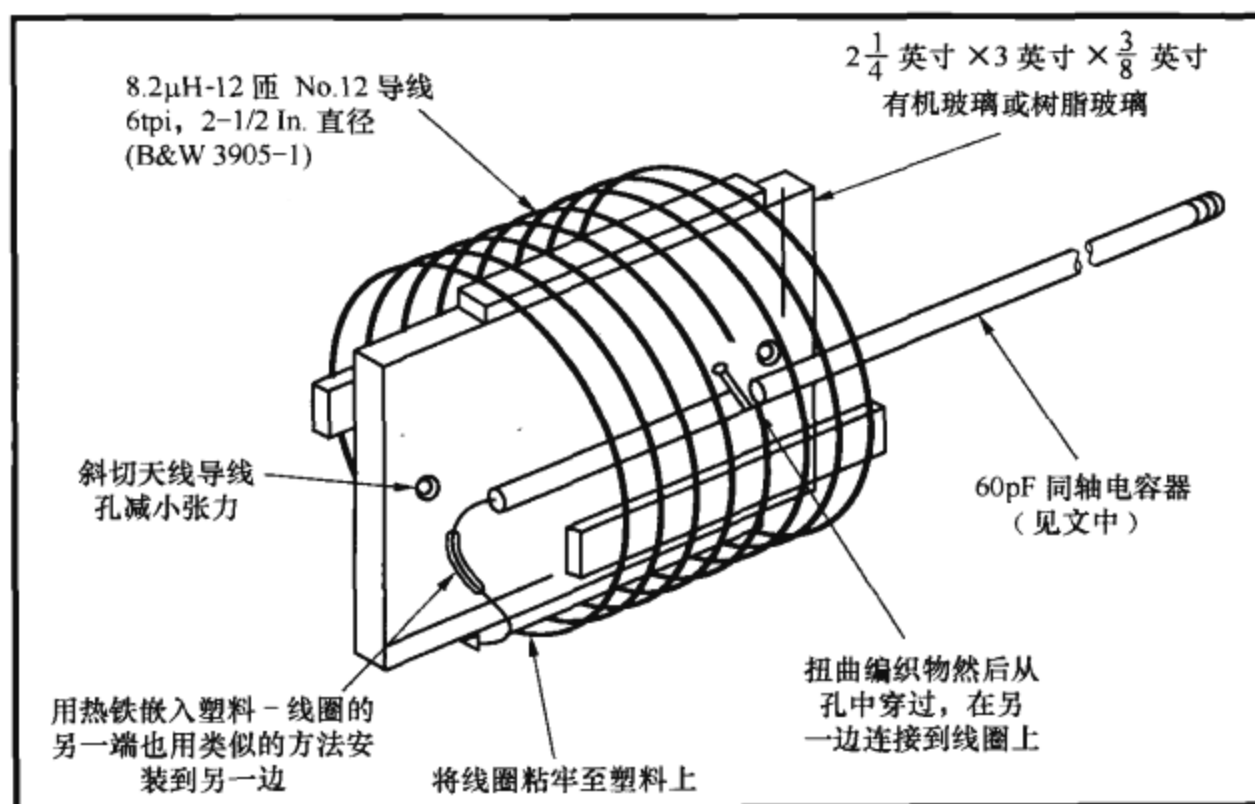
建造

在对这副天线的原型进行试验的过程中，我注意到一些对馈电线位置和长度的敏感性。因此，在后面的改进型天线中，我使馈电线向上进入到支撑桅杆的里面，将馈电线从天线的电磁场中屏蔽开来。这个预防措施看上去很有效果，因为没有从前那么多的敏感性被观察到了（我不禁纳闷起来，是否这样可以改变任何难以处理的半波倾斜天线）。如果使用非金属材料作为支撑，或者说不可能将馈电线放入支撑杆内部，双屏蔽层同轴电缆也可以起到相同的作用，如果外部编织层在天线塔的顶部连接到内部编织层，并且接地也在天线塔底部连接到外部编织层。

我使用标准 10 英尺电视天线桅杆部件作为我的天线支撑塔，这很简单，因为我手头上正好有。尽管这会导致 40 英尺长的桅杆易坏和易变形。如果要竖立桅杆，前 20 英尺必须对折再使用长 U 螺钉固定。6 个 10 英尺电视天线桅杆部件的价格大约和 36 英尺长伸缩上推式桅杆差不多，但是后者更加坚固，更加容易竖立。如果支撑材料在手头上并没有现成的，伸缩式桅杆就是更好的选择。必须指出，我不怕麻烦地电气粘结桅杆所有的部件，以确保良好的导电性并且防止不可避免的侵蚀出现时连接处的 TVI 校正。桅杆的基座应当接地。拉索导线的影响可以通过使用位于桅杆上的每隔 19 英尺安放一个的张力绝缘子将它们分隔为非谐振长度。

图 39-1 中所示的电感值和电容值必须在陷波器中使用。陷波器的建造技术可参见 ARRL《天线手册》。一个新颖的便宜的陷波器建造方法 WB9OQM 已经描述过了。我使用如图 38-3 所示的方法来建造陷波器。使用这种方法制作出来的陷波器要更加结实。我在使用过程中从来没有发现有断过的，哪怕是在造成了很大的财产损失的强风中，也没有发生过。但是，在这副天线中辐射器同时也是顶端拉索的一部分，因此陷波器得到了加固。两片 3/16 英寸厚的塑料和三层玻璃纤维织物和环氧树脂像三明治那样夹好。旋转导线刷用来使塑料的内表层起毛来确保好的粘附，也可以使用粗糙的砂纸来达到同样的目的。玻璃纤维织物和环氧树脂作为修补工具包在许多的五金商店都可以买到。

图 38-3 一个简单结实的陷波器。同轴电容器应当在安装好之后进行抽头连接到天线导线上，并不需要对陷波器进行封装。



在天线导线连接之前，陷波器必须调谐到谐振状态。栅陷测试振荡器或噪声电桥都可以用来测量谐振频率。使用大约 30 英寸 RG-8/U 同轴电缆制作同轴电缆电容器并将它连接至电感线圈之后，如图所示，26 英寸或者 27 英寸的编织层仍然保留。在这一点，谐振频率应当是低于 7.0MHz 的。修整远端的编织层，每次都少许修剪，剪掉中心导体，量入为出。每一次都要重新检查谐振频率。当谐振频率接近 7.2MHz 时，继续修剪编织层，但是停止剪掉中心导体。为了增加漏泄路径，当陷波器的谐振频率为 7.2MHz 时，聚乙烯电介质应当延长至超过编织物 $1/8 \sim 3/16$ 英寸 (3.2 ~ 4.8mm) 长。在完成的时候非常接近 24 英寸长的编织层应当保留。用许多层的塑料电气胶带紧紧地捆好末端。

这个陷波器的成分值严密地和 W3DZZ 陷波偶极子天线中使用的一样，所以有许多商业制造的陷波器可以用于这副天线。5 波段双陷波器偶极子 108 英尺长的天线所使用的陷波器应当具有合适的电容值和电感值。

在任何天线系统中，辐射器馈电点的阻抗每当传输线的长度增加半个波长，其本身的数值会重复。电感器 L 必须嵌入传输线上半波长位置处，这样可以精确地消除这架天线系统的电容性电抗。当然，将 L 尽可能地靠近馈电点放置，更加有利于最小化损耗。当然对于更低的频率，你只需要将电感器 L 尽可能靠近距离馈电点半波长的位置即可，而不需要靠近馈电点本身。图 39-1 中所示的 90.2 英尺长 RG-8/U 同轴电缆仅仅对于实心聚乙烯电介质同轴电缆是 3.6MHz 时的半波长。如果使用

速度因子不同于 0.66 (例如, 泡沫电介质同轴电缆) 的同轴电缆, 这个长度会通过下面的等式重新进行计算:

$$L=492V/3.6(\text{英尺})$$

在这个等式中, V 是你所使用的同轴电缆的速率因子。只有 RG-8/U 或者想类似类型例如 RG-213/U 电缆可以作为传输线的部分使用从而保持较低的损耗。如果对于 40m 波段天线你不介意大约 1dB 的损耗, RG-58/U 就可以接受。80m 波段天线的损耗可以在任何情况下被忽视。

电感器 L 的值应当为 $1.75\mu\text{H}$, 但是我建议使用的电感器应当具有 $3\mu\text{H}$, 这样可以留有一些自由度以便最后能将天线系统调谐好。我安装了 12 匝的 3018 号迷你导体 (直径为 1.25 英寸, 每一英寸绕 8 匝) 在小的迷你盒中, 同时使用 SO-239 同轴电缆连接器安置在每一端。在将线圈进行抽头以便达到在 40m 工作频段最佳的驻波比曲线后, 整个的装配进行密封, 并且用浴缸堵缝的方式进行防水处理。

调谐

正如看上去像是半波倾斜天线的特性, 这副天线在调谐时很难处理。如果在辐射器和 L 之间的传输线的长度并不是精确地为 3.6MHz 半波长的整数倍, 那么调谐天线确实是非常麻烦的问题。由于经常引用标准 RG-8/U 同轴电缆的速度因子的值为 0.66, 这是一个名义标称值, 并且各个品牌的 RG-8/U 同轴电缆之间还有略微的差异 (在便宜的电缆中差异还会大点), 这个长度应当由噪声电桥来决定。

如果没有噪声电桥, 也可以按照以下的步骤来进行尝试: 将同轴电缆片段的长度剪切到比计算出来的长度短 6 英尺。准备一个 12 英尺长, 两端都有无焊料连接器的 RG-58/U 传输线片段。使用 PL-258 双母接头连接器将它连接到剪短的馈电线和 L 上。对 L 进行抽头, 以便在 7.2MHz 和 3.6MHz 时都能够达到一个较好的驻波比值。记录下驻波比图和抽头位置。

现在将 RG-58/U 以 6 英寸的长度重复进行剪短, 再剪短, 直到你确定已经通过了那个使驻波比的值在两个频率处同时见底回升的点。准备一根 RG-58/U 电缆 (从相同的类型中) 使其长度精确地与试验值相吻合, 同时使用永久同轴连接器, 将所有的连接器进行密封和防水处理。RG-58/U 是我们所建议使用的同轴电缆, 因为它相对其他同轴电缆来说

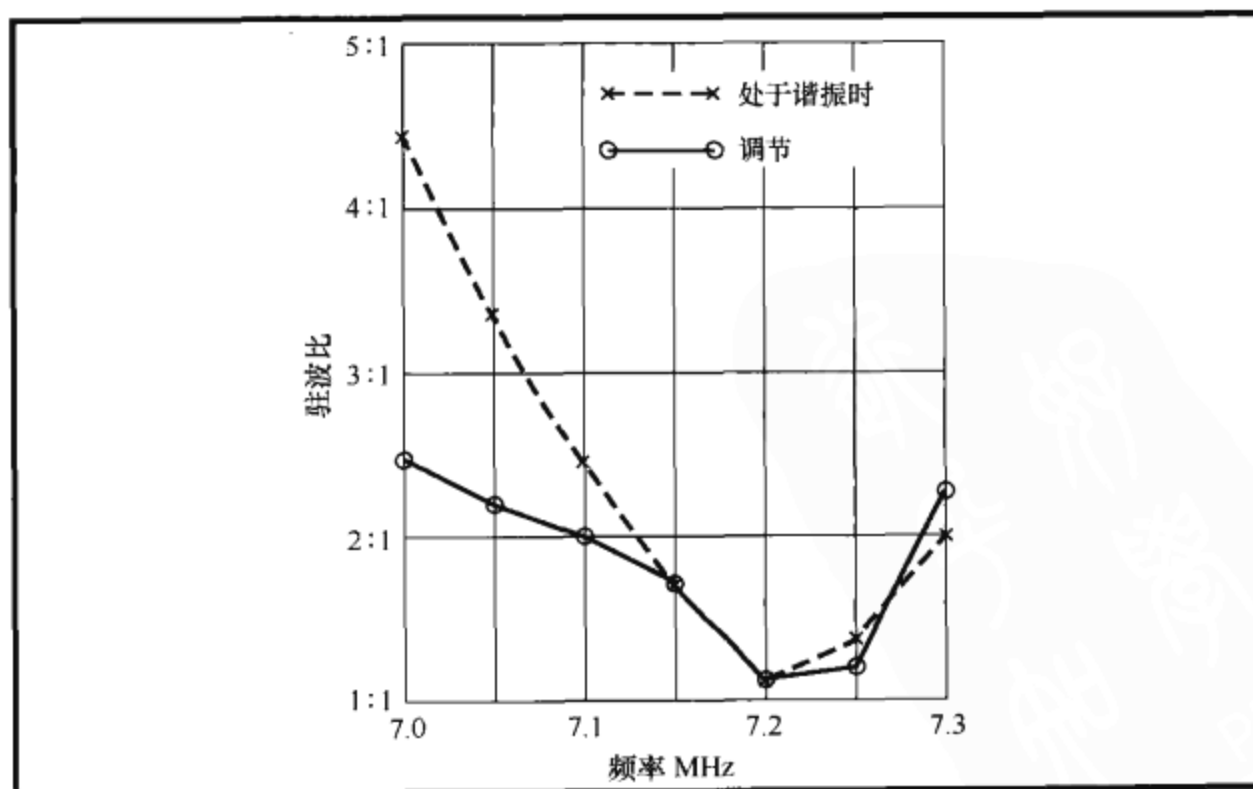
易于剪切。如果你不介意每次都要将 PL-259 拆焊, RG-8 同样可以使用。但是, 由这样的 RG-58/U 短部件带来的额外损耗在这些频率上却是非常小的。

这个过程显然很乏味, 但是在没有噪声电桥的情况下, 要想在 40m 工作频段得到较好的天线性能却是必须的。事实上, 即使是在使用噪声电桥测量电气长度以得到最佳双频段性能, 传输线这个部件的一些调节也是必要的。在任何情况下, 精确的半波长度应该作为基准点使用。

最奇怪的是, 上述的过程只有在得到 40m 工作频段的最佳性能时才需要。我的经验是, 仅仅对半波长传输线部件进行剪切来计算其长度, 然后对 L 进行抽头以便得到在 3.6MHz 频率下天线的最佳驻波比, 这样在整个 80/75m 频段就可以得到 2:1 甚至更小的驻波比。所以调谐 40m 和 80m 频段的的天线必须十分小心。

一旦天线系统调谐到谐振, 就应当对 L 值和发射机与 L 之间的传输线长度进行试验。改变这些值将会在一定程度上改变 40m 波段天线的驻波比曲线的形状。通过一些试验, 你也许能够改变 40m 波段驻波比曲线的形状以达到你所要求的工作状态。不要期望有奇迹发生, 尽管调节的范围看起来非常小。图 38-4 中显示了这样的努力尝试的结果。这些调节在 40m 波长天线系统的可接受驻波比范围内, 对于 80m 波长的天线系统的带宽来说只有非常小的影响。

图 38-4 40m 波段天线的驻波比曲线, 图中显示了抽头 L 和调节 L 和传输线之间的馈电线的长度得到最佳的驻波比的影响。这样的调节对于 80m 波段的特征而言只有很小的作用。



进一步思考

第一架这种天线的原型就建造在我的屋子附近。因此我关注到这个性能能够再复制。下一代的天线原型被竖立在我院子里较远的角落，距离我的屋子大概 100 英尺，同样天线距离其他建筑物和导体的距离也很远。最终的型号也被安装在类似的位置。除了最终调节的一些参数外，所有三副天线表现总是一致的，即使每一次都会有一系列物理参数的改变。作为天线设计最终稳定性的测试，我按照比例原则，制造了 40/20m 和 20/10m 波段天线。它们表现出非常相近的特征，尽管当设计频率增加时，天线系统的所有参数看起来都会变得挑剔。

第一副双 80/40m 频段天线系统使用 30 英尺长的桅杆建造，但是它们的性能和最终版本的 40 英尺桅杆建造的天线并没有明显不同。这是由于桅杆也是天线的电气部件的一部分，同时由于接近地表肯定会对天线的性能产生一定的影响，其他的高度和具有横梁的支撑架可能会产生不同的结果。

陷波器在 3.6MHz 时的电抗为 245Ω 。因此，使用 $10.8\mu\text{H}$ 的电感器代替陷波器建造这副只工作在 80m 频段的天线就成为了可能。但是，还没有人尝试过。

将天线按照比例放大到 160/80m 频段使用是非常吸引人的。令人信服的是，可以使用最低为 50 英尺的桅杆。基准点将会使所有的导线长度加倍，并且为陷波器使用了 $16.4\mu\text{H}$ 线圈和 120pF 电容器，以在 1.8MHz 频率下保持 245Ω 电抗。

同样，将陷波器电容器的值稍微地增加，以使陷波器在 7.1MHz 或者 7.15MHz 频率谐振，也许会允许在 40cw 频段，但是这很有可能是以牺牲该频段上电话所使用部分为前提的。这样的陷波器电容值改变也许对于 80m 波段的工作几乎没有影响，但是再次使用剪切尝试的方法被证明还是必要的。

结论

此时，这仍然是一个试验性的设计。更多的改进也许最终会允许剪切公式化类型的建造。但是直到这一点实现之前，仍然要进行试验。图 38-1

中给出的尺寸将会让你如身临棒球场，并且会产生对应于 80m 波段的直接结果。

传输线失配操作在整个 80/75m 波段和部分 40m 波段使用便利，且能完美地耦合辐射信号，即使需要经过几个小时不断地剪切尝试，这都是充分的回报。一旦完成调谐，这副天线的性能会非常好可以尽情地使用。我很乐意听到其他人以这种设计为基础建造了天线。

——Gary E. Myers (K9C2B)

KI6O 160m 波段线性负载 倾斜天线

在 1984 ~ 1985 年冬天, 我使用线性负载倒 L 形 160m 天线取得了成功之后, 决定在不同类型的 160m 线天线上进行类似的线性负载尝试。在 80m 波长的 1/4 波长倾斜天线上我已经取得了相当大的成功, 但是由于我的院子里的地方跟城市里差不多, 并没有足够的纵深来安装容纳一副全尺寸的 160m 波段倾斜天线。倾斜单元的尺寸大约为 120 英尺, 并且单元的最低端在地面以上 10 英尺; 我使用这个距离的一半进行工作。线性负载可以解决这个问题。

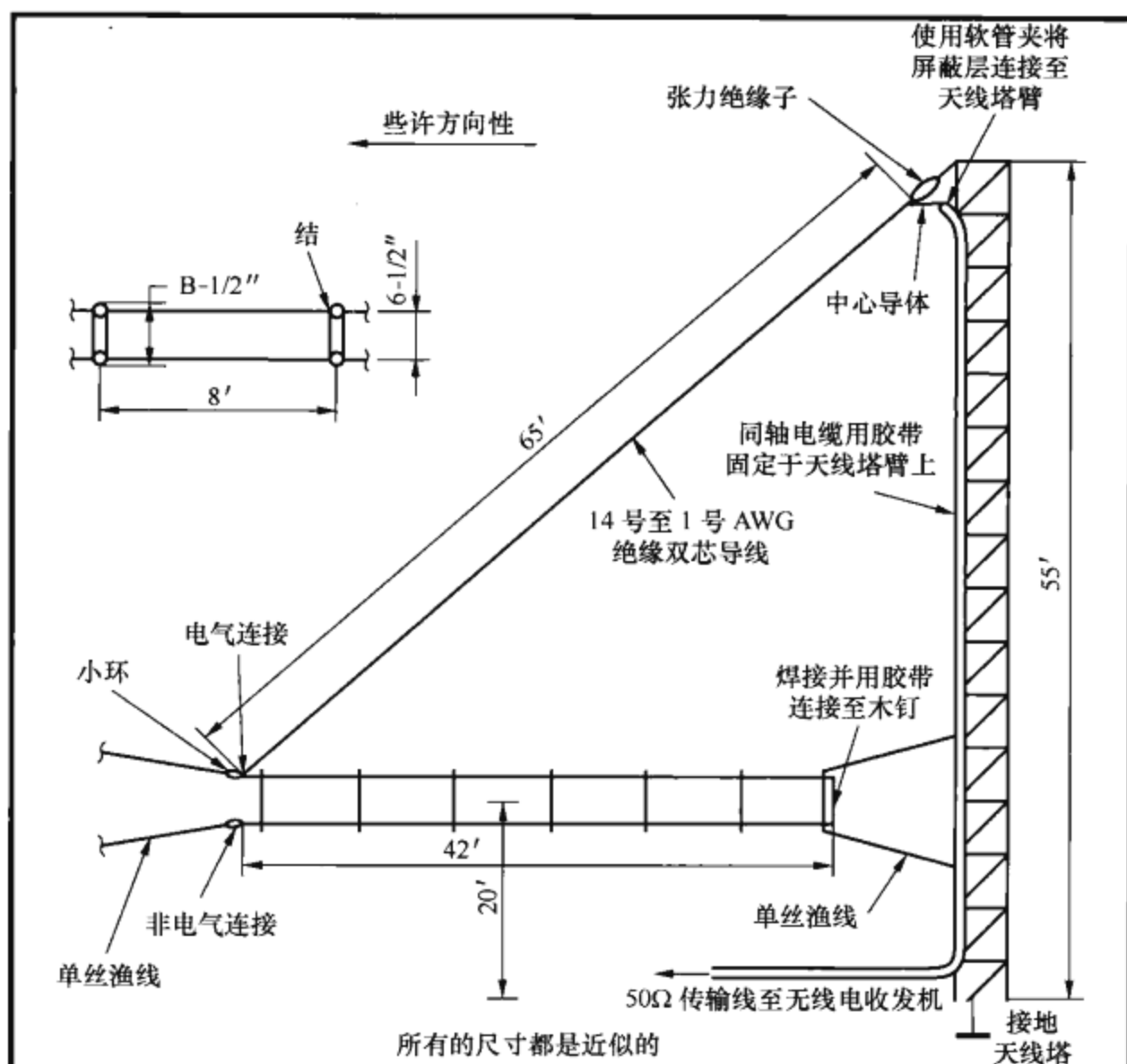
这副天线可以有效地提供大约 70kHz 的带宽, 同时驻波比为 2:1 或者更小。在设计频率 1.840MHz, 使用 50 Ω 传输线并且没有使用匹配网络或者调谐器的情况下, 驻波比为 1.1:1。

尽管个别的尺寸并不严格, 但是倾斜导线和阶梯式导线必须在我们所希望的频率处谐振。如果倾斜导线的尺寸小于 65 英尺, 阶梯导线就必须更长一些, 反之亦然, 如果你的倾斜导线使用不同的长度, 你就需要进行大量的尝试以决定你的阶梯导线的长度需要增加还是减少。

建造

我的倾斜导线使用张力绝缘子挂在天线塔上大约 55 英尺高的位置 (如图 39-1 所示)。同轴电缆传输线安全地抽头连接到天线塔臂上, 并且屏蔽层使用辐射器软管夹连接到天线塔臂上。天线塔在底部使用几个接地棒进行接地。同轴电缆的中心导体在倾斜导线的张力绝缘子位置处焊接好, 并且在中心导体和屏蔽层相分离的地方进行抽头以进行天气的防护。

图 39-1 KI6O 160m
线性负载天线的详细
建造过程



天线的阶梯式部分与制作天线倾斜导线部分的导线材料相同。阶梯式隔离器设有距离每一个末端 1 英寸的小洞，以便使用对导线进行固定的 3/8 英寸硬木钉。木钉应当在组装之前，浸泡或者喷上木头防腐剂以便进行天气的防护。如果需要，塑料隔离器也可以使用。导线使用浸蜡的绞绳或者相似的材料牢固地连接到木钉上，将导线穿过木钉上的孔。木钉的间隔虽然可以调节，但在木钉安装牢固后调节起来还是有些困难的。

阶梯式导线的一端使用大的单丝钓鱼线系到天线塔上，它的另一端可以系到树上或者其他手边可以有的东西上。打结的线可以在垂直方向上下抖动，以防止导线打结，并需拉紧，以消除阶梯式导线上的任何下垂。如果支撑树倾斜了或者风很大，单丝钓鱼线可以提供缓冲。

调节

最初，阶梯式导线应当比图中所显示出来的长一些，以便进行后续

调节。天线的谐振频率应当进行检测，每次从阶梯式天线塔末端移除掉几英寸，直到达到我们想要的谐振频率。此时，导线应当进行焊接，然后抽头到末端木钉。这时天线表现出要使任何 $1/4$ 波长倾斜天线合适地工作，在天线塔上一定要有横梁，或者类似的。倾斜天线在这方面并没有什么不同。最终，天线尤其是倾斜部分应当确保尽量远离周围的拉索或者其他物体。

这副天线在它的工作带宽内并不需要接地系统、巴伦或者匹配网络。线性负载倾斜天线建造起来很简单，调节起来也很方便，性能也比我的线性负载倒 L 形天线更好。

——Deane J. Yungling (KI6O)

业余无线电
PDF

引人注目地改进倾斜天线的前后向

当 ELNEC 展现出寄生元件可以使用长导线进行连接从而构成整个定向天线的集合，你可以想象出我是多么地惊喜。在我的印象中，我想在天线的圣经 ARRL《天线手册》中找到关于连接的一些方法却没有如愿。我也寻找过使用导线阵列连接的全波长寄生元件的方法。我可以将寄生元件滑动至距离中心很远的距离，我很好奇。“非常多”是来自 ELNEC 的答案（并且由 ELNEC-Ed. 确认）。当我偏移接近隔离（0.015 ~ 0.046 波长）的寄生元件 $1/8 \sim 5/8$ 波长，整个的天线集合就出现了（如图 40-1 所示）。

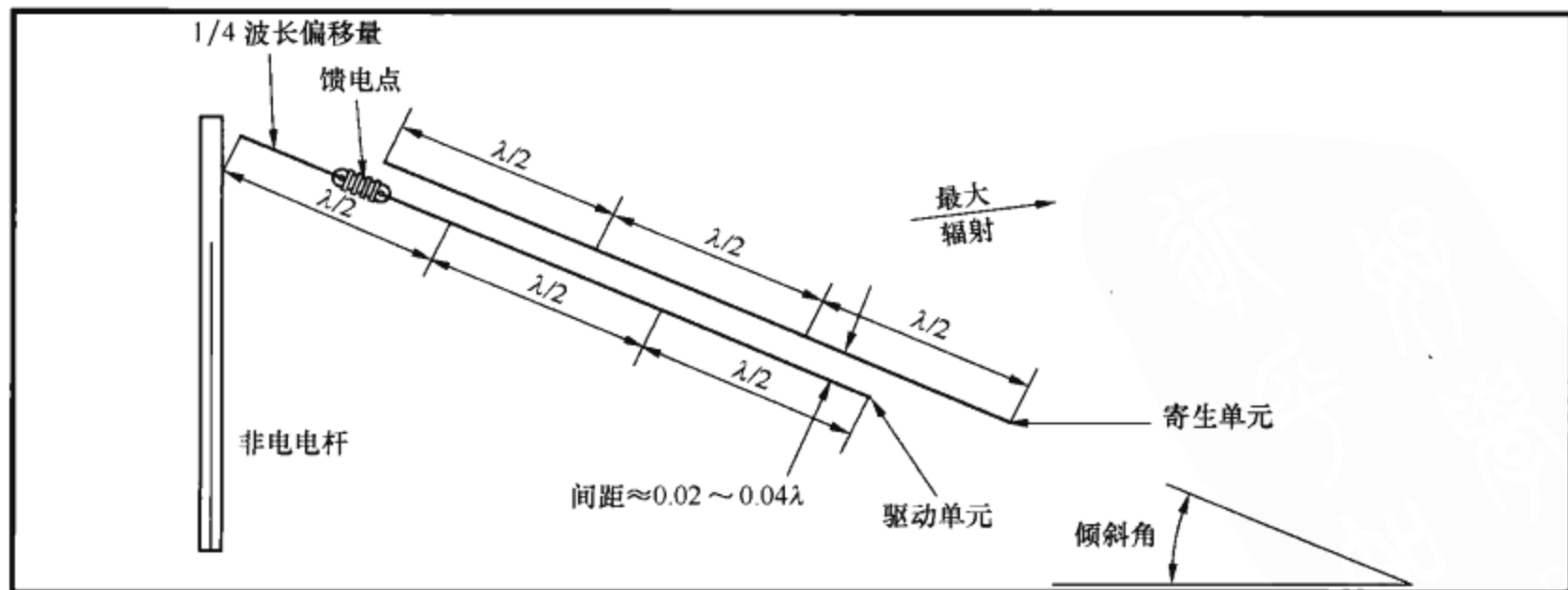
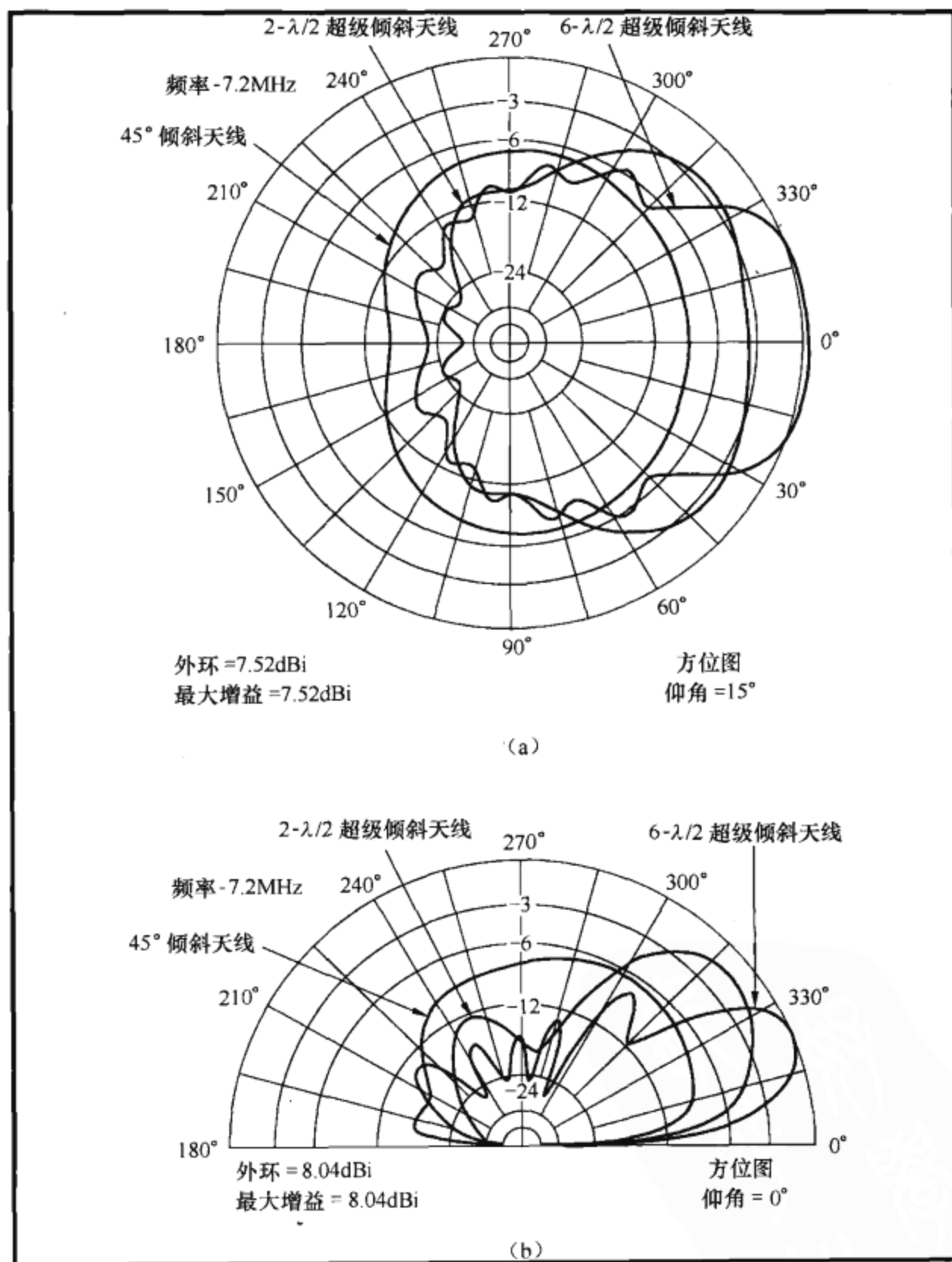


图 40-1 超级倾斜天线图显示了一些术语。这是一个 3 个半波长的模型。在图 40-7 中可以看到建造天线的详细描述。

我把这个构造称之为超级倾斜天线，因为这个模式类似于我们都知道的倾斜天线，但是它经过了极大地增强（如图 40-2 所示）。超级倾斜天线可以提供从高到短棒方向上的增益。增益的量取决于天线的长度或者更精确地说是每一副天线单元上半波长长度的数目。

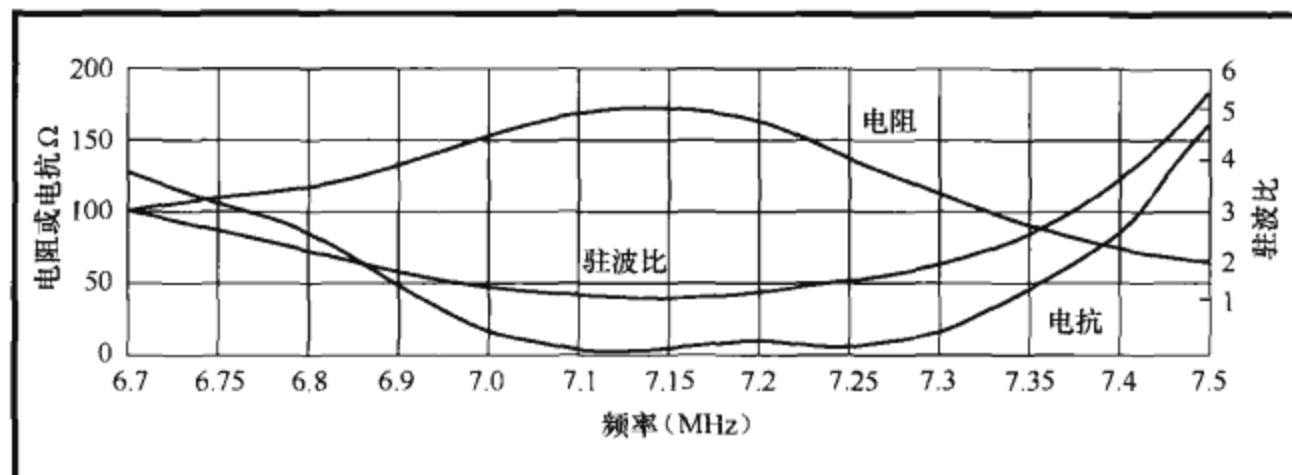
图 40-2 45° 倾斜的 2 个半波长（0.25 波长偏移，空间间隔为 0.04 波长，低端高于地面 0.119 波长）和 6 个半波长（0.25 波长偏移，空间间隔为 0.015 波长，低端高于地面 0.066 波长）的超级倾斜天线的方位角（A）和海拔（B）图。每一副天线的高端都为 1/2 波长高。



不同于普通的倾斜单元，超级倾斜天线具有高馈电点阻抗。当使用 50 Ω 传输线对超级倾斜天线进行馈电时，需要使用匹配网络。这

样的结果就是一副宽频带低 Q 值的天线（如图 40-3 所示）。不要认为这个仅仅就是一副天线，它更是天线的集合，是附加长度的每一个半波长。

图 40-3 表 40-6 中所描述的 2 个半波长的天线的阻抗和驻波比随频率变化的图。数据源为 NEC/WIRES1.5。



技术概念

如果你刚好想建造一副天线，首先跳入脑海的应该是实用天线的讨论。这些讨论加上技术爱好可以在这里延伸，我们也可以看一看 ARRL《天线手册》里面长线天线的讨论。

当一副天线的长度为 1 个波长甚至更长，就可以称为长线天线。它的辐射方向图可以描述为两个相反的圆锥的表面，两个圆锥和导线共轴，并且两个圆锥的顶点在馈电点处重合。当天线的长度增加时，顶点角越小，波瓣越强。随方位角度变化的辐射方向图显示出地面上的单根长线天线在低辐射角度上存在 4 个主波瓣。当天线与一个匹配负载端接时，辐射方向图显示在同一个方位角上存在两个主波瓣。

ELNEC 显示寄生单元增加到单根长线天线会产生无方向性的辐射方向图，有点类似于电阻性终端所产生的辐射方向图。消除来自后向的能量可以有益于增强有用的前向增益。寄生元件可以通过调谐作为引向器或者反射器发挥作用。

根据八木天线的经验（以及寄生元件其他的应用），所有的寄生元件必须接近半个波长的长度，并且位于驱动单元的范围内。这个概念是完全不正确的。寄生元件可以是任何谐振长度并且偏离驱动单元，只要那时在元件之间有足够的耦合。

这就是超级倾斜天线如何制造前后向比 (F/B) 和增益。最好的前

后向比是由驱动单元和寄生单元上的电流之间的 180° 相位差所造成的，正如我们从较远的位置看方向图上有一个我们所想要的零位。 180° 的相位差意味着如果没有一个元件传递相同强度的信号，那么它们之间的信号就完全抵消了。 90° 的相位偏移可能是 $1/4$ 波长偏移，剩余的 90° 偏移可能是来自于寄生元件的调谐（长度）。如果一个方向上的场消除了，它们将会在另外的方向上加强，产生增益。

通过增加寄生元件上电流的相位角，最大取消角就可以移动。这对于超级倾斜天线尤其有用，因为长线天线的主波瓣位于和导线方向成一些小角度的角度上。从表 40-1 中，可以注意到谐振寄生元件上的电流相位为 $-144^\circ \sim -156^\circ$ ，这将有利于正确的反向波瓣消除。

表 40-1 不同天线长度的间隔与相位角

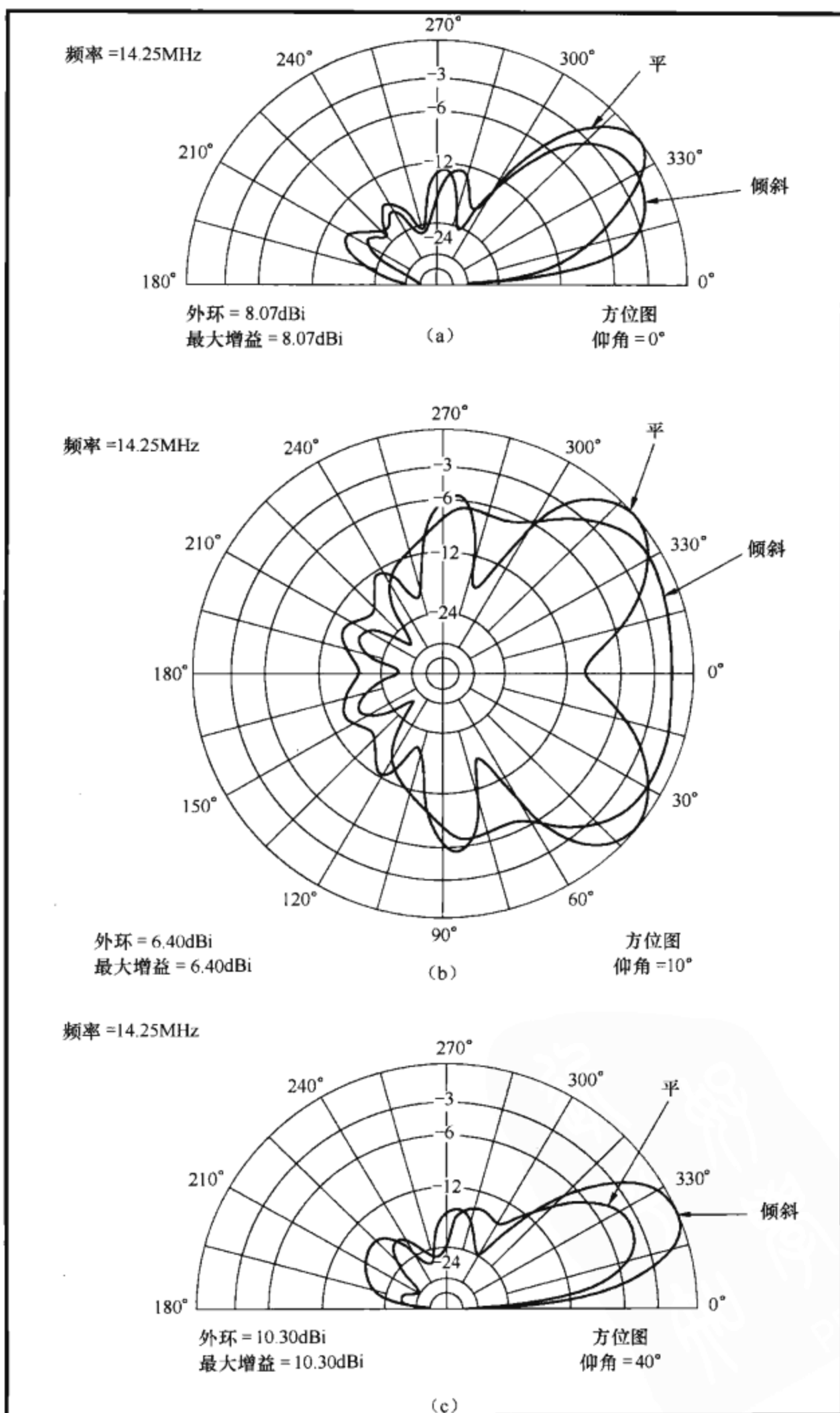
在列出来的间隔中，谐振寄生元件上的电流等于驱动元件的电流 $\pm 10\%$ 。（由 ELNEC 得到，在自由空间的条件下，0.25 波长的偏移量，频率为 7.1MHz）		
天线长度 (λ)	间隔 (λ)	相位角 ($^\circ$)
0.5	0.046	-156
1.0	0.030	-147
1.5	0.023	-144
2.0	0.018	-142
2.5	0.015	-142
3.0	0.015	-144

如果我们想要每一个元件都传递相同强度的信号到较远的位置，在驱动单元和寄生元件上流动的电流必须近似相等：元件之间的耦合必须非常接近。表 40-1 建议电流之间相差在 $\pm 10\%$ 之内（天线在更近的单元距离内仍然有增益，这是因为增益受非相等电流的影响要比受前后向比的影响要小）。

设计超级倾斜天线

当天线放置在靠近地面（并且平行于地面）的位置，超级倾斜天线表现出双波瓣方位向辐射方向图，并且还有零位，双主波瓣位于导线的轴上并且通常为 10dB 甚至更高。中间零位可以通过倾斜导线低端在零位的方向上来填充。图 40-4 中显示了倾斜的影响。

图 40-4 3 个半波长天线, 偏移量为 0.36 波长, 空间间隔为 0.04 波长, 导向平面在 1/2 波长与从 1/2 波长倾斜至 0.045 波长的方向图。



当天线倾斜时，寄生元件的末端比驱动单元的末端距离地面更近。当考虑到作为两架在不同高度的分离的天线，驱动单元和寄生元件将会具有不同的辐射方向图。这将会影响天线的性能，但是通过安放寄生元件使它的末端高度等于驱动单元的高度就可以解决这个问题。换句话说，增加间距将寄生单元的末端放到驱动单元之上。模型显示这种设计相对于更近间距的天线具有 1 ~ 2dB 的增益优势，但是建造它是一个更大的机械的挑战。

驱动单元在电流的波腹点处馈电，此处距离末端 1/4 波长。天线可以制造成展现较宽的馈电阻抗范围：20 ~ 300 Ω ，或者更多（如图 40-2、图 40-3、图 40-4 所示）。高阻抗和宽偏移量联合起来可以在通常的大带宽内产生较低的驻波比和有用的增益（表 40-2）。我使用了 1/4 波长匹配传输线（使用 93 Ω 的 RG-62 同轴电缆制作的传输线），4:1 巴伦和阶梯式导线成功地使天线在较高的阻抗下进行匹配。

表 40-2 阻抗和驻波比随频率的变化

频率 (MHz)	驻波比 (200- Ω)	阻抗
14.0	1.54	293+j48
14.1	1.25	248+j13
14.2	1.16	172+j0
14.3	1.75	127+j54
14.4	2.61	107+j113

你可以根据需要改变天线的长度（增益会随长度的增大而增加）、高度、偏移量、相位和间隔。如果每一个参数的调节都要求非常严格，那么跟这些参数打交道是非常困难的，幸运的是，这些参数的确定并不严格。表 40-1、表 40-3、表 40-4、表 40-5 显示了这些天线所容许的设计特征。从这些表中我们可以观察到以下几点趋势：

表 40-3 单元间距随相位角、相对电流、阻抗、增益和波瓣角的变化

由 ELNEC 在自由空间条件下，0.25 波长的偏移量，频率为 14.2MHz 时 2 个半波长的天线得到					
间隔	相位角 (°)	相对电流	驱动单元的阻抗	增益 (dBi)	旁瓣角 (°)
0.01	-136	1.62	205-j230	4.98	48
0.02	-141	1.29	128-j138	5.54	48
0.03	-144	1.11	103-j94	5.78	48
0.04	-149	0.97	80-j59	6.1	48

表 40-4 偏移量随相位角、相对电流、阻抗、增益和波瓣角的变化

由 ELNEC 的自由空间模型, 14.2MHz 工作频率, 2 个 1/2 波长单元, 0.25 波长间隔计算得到。
注意不同的偏移量可以导致多大程度的增益改变

偏移量 (λ)	相位角 ($^{\circ}$)	相对电流	驱动单元的阻抗	增益 (dBi)	旁瓣角 ($^{\circ}$)
0.1	-167	1.08	19-j54	5.7	48
0.15	-157	1.18	48-j101	5.67	48
0.2	-148	1.26	88-j135	5.6	48
0.25	-141	1.29	128-j138	5.57	48
0.3	-139	1.16	134-j111	5.6	48
0.35	-138	0.963	123-j70	5.58	48
0.4	-134	0.71	108-j14	5.4	48
方向图反转起始					
0.5	-26	0.25	63+j46	3.0	54
0.6	39	1.31	126-j57	5.2	61
0.7	43	1.71	192-j180	4.0	64

表 40-5 寄生单元长度随相位角、相对电流、增益和波瓣角的变化

由 ELNEC 在自由空间条件下, 频率为 14.2MHz 时间间隔为 0.02 波长的 2 个半波长的天线得到

百分比短 (λ)	相位角 ($^{\circ}$)	相对电流	增益 (dBi)	旁瓣角 ($^{\circ}$)
0	-140	1.30	5.54	48
1	-125	1.47	5.33	49
2	-107	1.53	5.02	51
3	-89	1.43	4.70	52
4	-75	1.23	4.44	53
5	-65	1.05	4.19	53

- (1) 电流的平衡在很大程度上会影响前后向比, 但是对增益的影响并不大;
- (2) 相位角的改变随天线长度的变化非常缓慢;
- (3) 电流和相位的改变对增益的改变影响非常小;
- (4) 当间隔从 0.01 波长增加到 0.04 波长时, 增益的改变超过 1dB 很少;
- (5) 当偏移量从 0.1 波长增加到 0.4 波长时增益几乎保持恒定不变。即使天线是为最好的增益或建造简单而设计的, 好的前后向比仍然

较容易达到。在特定的频率下进行最优化设计，改进前后向比和反方向的辐射方向图是可能的。计算机模式是优化反向辐射方向图的最好的途径。图 40-5 和图 40-6 给出了一些可能的辐射方向图以及辐射方向图是如何随着频率变化的。表 40-2 和图 40-3 给出了预测的驻波比。

图 40-5 从 14.0 ~ 14.4MHz 频率范围的辐射方向图。这个方向图是 3 个半波长的天线得到的，偏移量为 0.36 波长，末端在 $1/2$ 波长和 0.045 波长。见表 40-2 中的驻波比表格。

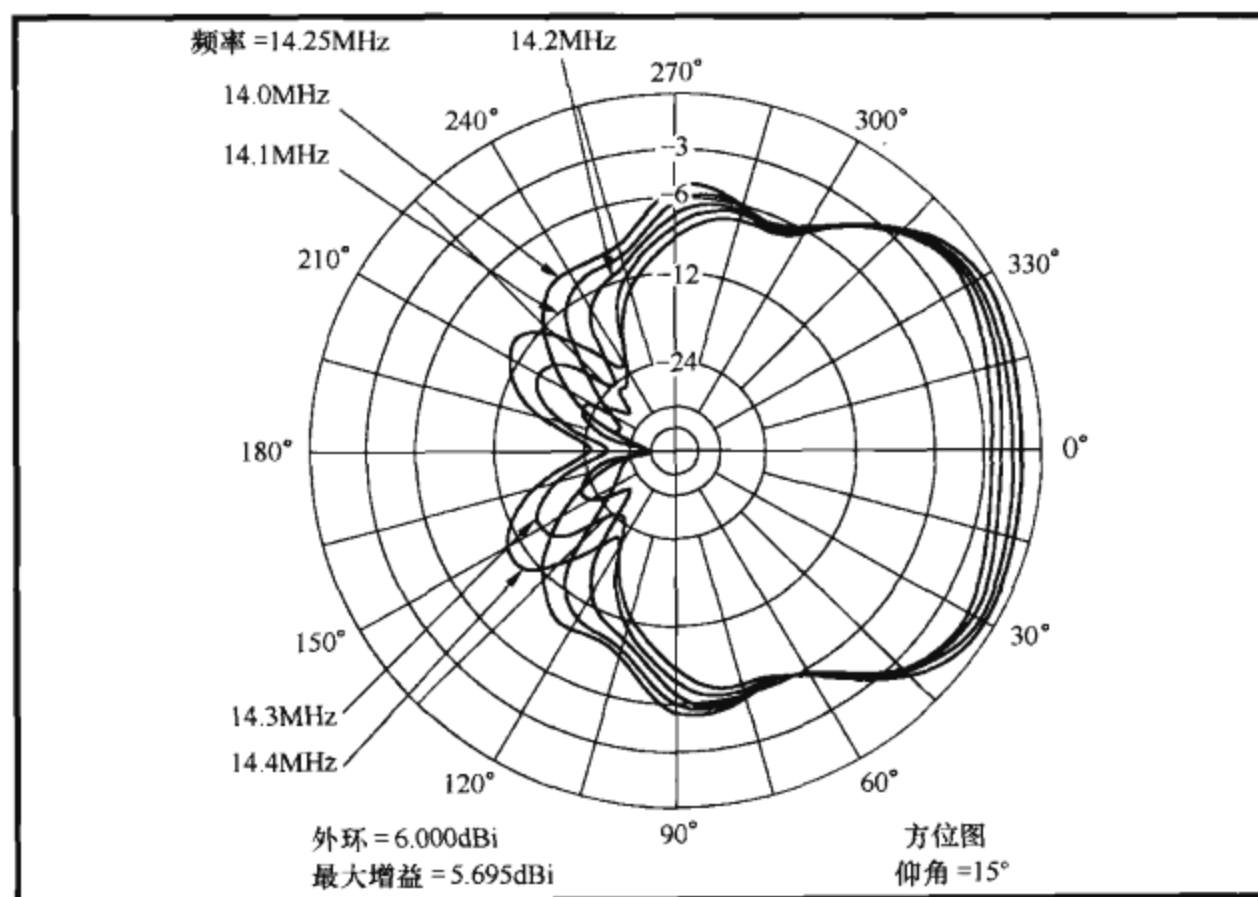
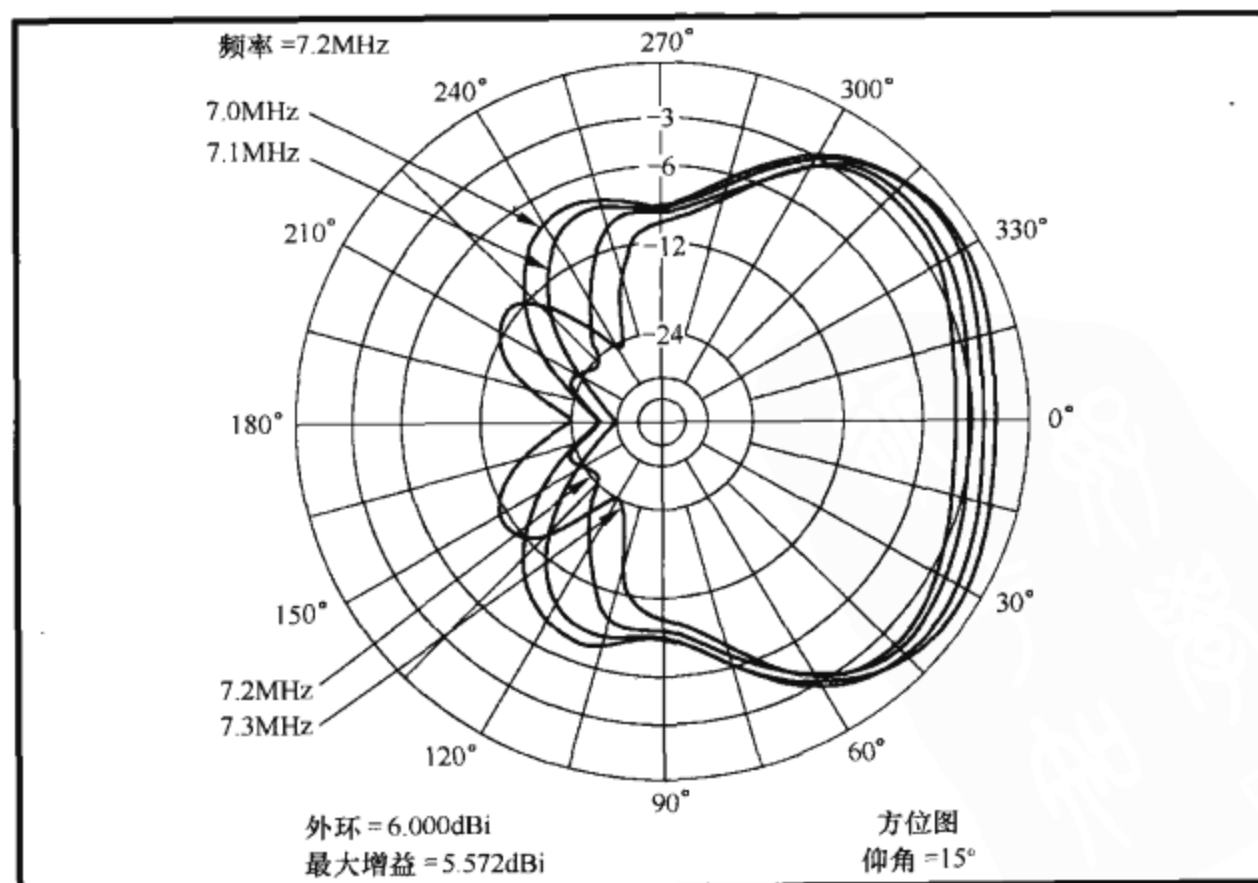


图 40-6 从 7.0 ~ 7.3MHz 频率范围的辐射方向图。这个方向图是 2 个半波长的天线得到的，偏移量为 0.25 波长，空间间隔为 0.04 波长。驱动单元 1.02 波长；引向器 0.98 波长。驻波比曲线如图 40-3 所示。



实际的天线

表 40-6 描述了我的基站里建造的超级倾斜天线（术语参见图 40-1）。表 40-6 中两架 3 个半波长、20m 波段天线主要的不同是偏移量从 17.5 英尺增加到 22 英尺。这会改变相位，导致前后向比具有稍微的改进，同时增益也有少许改进。两者的权衡是一个具有更窄辐射方向图、长度更长的天线。

表 40-6 工作天线的尺寸

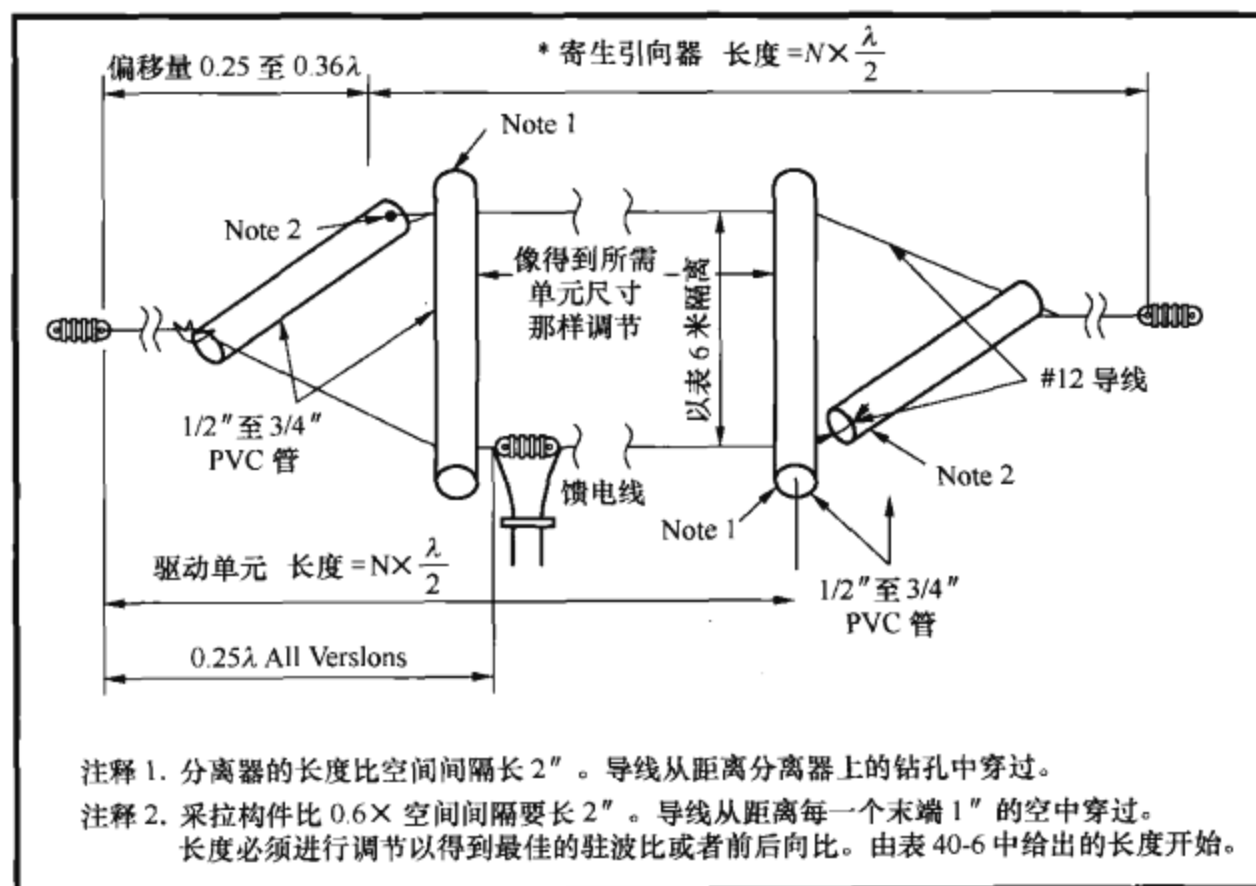
使用 4:1 逐步转换来匹配 50Ω 传输线						
天线数	1	2	3	4	5	6
波段	40m	20m	20m	20m	15m	10m
长度 *	2	3	3	2	2	2
驱动 (英尺)	139.3	106.5	105.6	70	46	34.5
引向器 (英尺)	134.3	104.0	102.2	68	45	32.8
偏移量 (英尺) †‡	34.3	17.5	22	17.5	11.5	8.6
间隔 (英尺)	6	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0
馈电点 (英尺) ‡	34.3	17.5	17.25	17.5	11.5	8.6
* 长度用 1/2 波长的倍数来表示						
† 偏移量为 1/4 波长，除了天线 3 的偏移量为 0.31 波长						
‡ 馈电点和偏移量都是从驱动单元的高端测量						

使用 60 英尺的桅杆来支撑 3 半波长和 2 半波长 20m 波段天线类型。它们背靠背的安装，并且倾斜以填充中心零位。另外一架 3 半波长，20m 单元安装到 38 英尺桅杆上。40m 的型号倾斜距离 60 英尺下降至 6 英尺。所有天线的表现都与预期的一致。在任意末端增加高度很明显地会增加低角度辐射，但却会减弱高角度辐射。

图 40-7 显示了我如何组装和分离导线。从直线处的分离（如图 40-1 所示）对天线并没有实际的影响。当竖立天线时，要确保将引向器放置在驱动单元的上面。如果引向器放在侧边，那么天线的辐射方向图会发生歪斜，天线的主辐射方向会向引向器的方向倾斜。需保持超级倾斜天线的支撑线处于紧绷状态，避免发生松弛。严重的松弛会导致不合适的相位和不符合预期的结果。我在我的 40m 波长超级倾斜天线跨径的中部放置了支撑物，但是对于 20m 波长天线仅仅是把它的支撑线拉紧。在

大风中这两个单元有扭曲缠绕在一起的趋势。你可以通过在单元的低端使用两个支撑索或者使用同轴电缆上使用的定位架来避免这一情况的发生。这两种方法的效果都很好。当单元的低端位于地面时，超级倾斜天线的性能将会受到额外的接地损耗的影响。我努力使我的天线的斜面倾斜角为 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ ，最小高度为 6 英尺。当然这个高度更高会更好。

图 40-7 建造长导线寄生天线的方法。增加的中间隔离器可以减小两根导线扭曲缠绕在一起的趋势。



使用 4:1 巴伦可以很简单地将 200Ω 馈电点阻抗转换为 50Ω 。阶梯导线和调谐器是另外一种选择。参考 ARRL《天线手册》还可以找到其他的将高馈电点阻抗转换为比较流行的接收机可以接受的电阻值的方法。不要直接使用同轴电缆对超级倾斜导线进行馈电，除非同轴电缆是阻抗匹配部件的一部分。

结果和结论

我已经成功建造并且使用了 6 副超级倾斜天线。它们的前后向比都很惹人注目。当在两副主辐射方向相反建造的天线之间进行切换时，6 副超级倾斜天线单元之间并没有不正常的差异。

到目前这个天线家族还没有完全研究和学习透彻。在建造和设计天线与表 40-6 中所描述的参数完全不同的超级倾斜天线之前，先使用天线建模程序模拟。

——Roger Sparks (W7WKB)

160m 波段天线

最近在《QST》上的一篇文章描述了两副 160m 波段使用的倒 L 形天线。这两副天线中的一副总长度(垂直单元和水平臂)大约为 $1/4$ 波长, 另外一副的总长度为 $1/2$ 波长。电流驱动的 $1/4$ 波长天线需要一个相当开阔的地表, 以获得好的天线辐射效率。另一方面, 电压驱动的 $1/2$ 波长天线仅仅需要接地桩或者完全没有接地也可。这里我就给出了一些额外的信息以帮助你在这些天线中进行选择。

由于这两副天线上的电流分布完全不同, 因此辐射特征也完全不同。这就解释了为什么一些信号如此之强或者如此之弱, 这都取决于基站的距离、传播条件和你使用的是哪一副天线。在举例说明两副天线的标题中, 表明了支撑杆可以是金属或者木头。这是由于倒 L 形天线的垂直单元在运行时是平行并且也是相当靠近于支撑杆的, 如果支撑杆是金属的, 你也许感到好奇, 这个靠近会不会影响天线的性能。

这里我所讨论的三种类型的天线如图 41-1 所示, 其中图 (a) 为

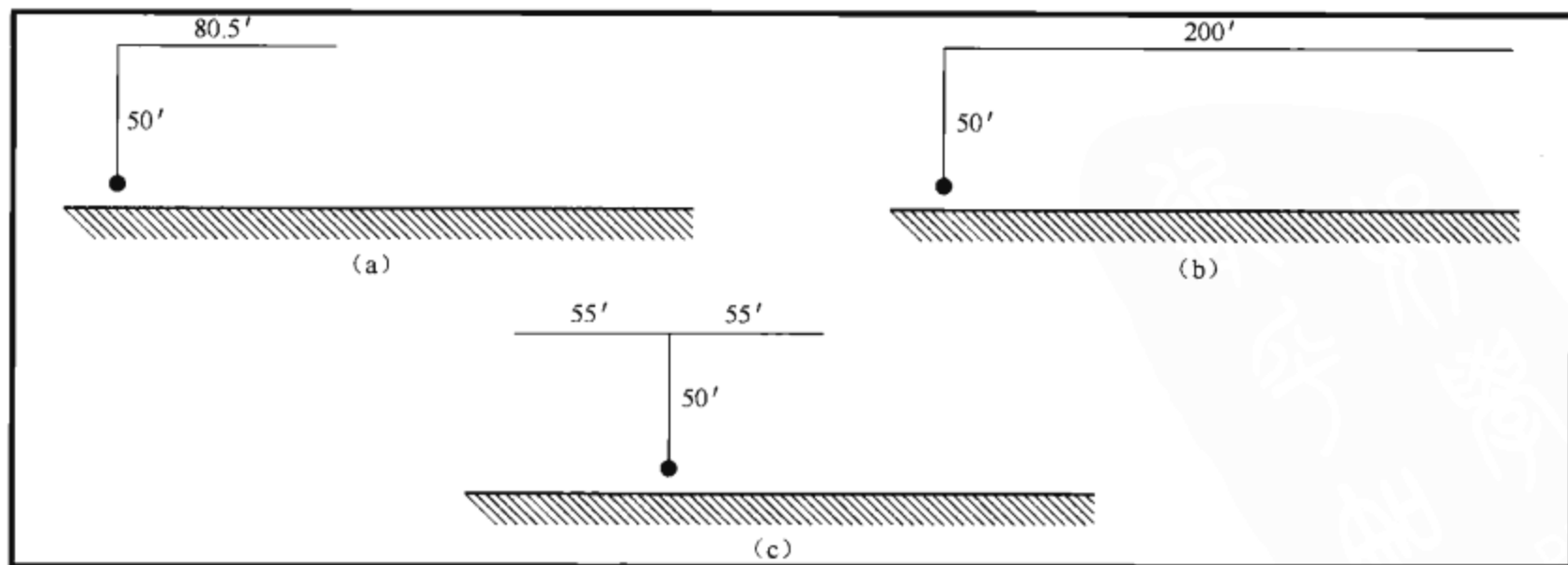
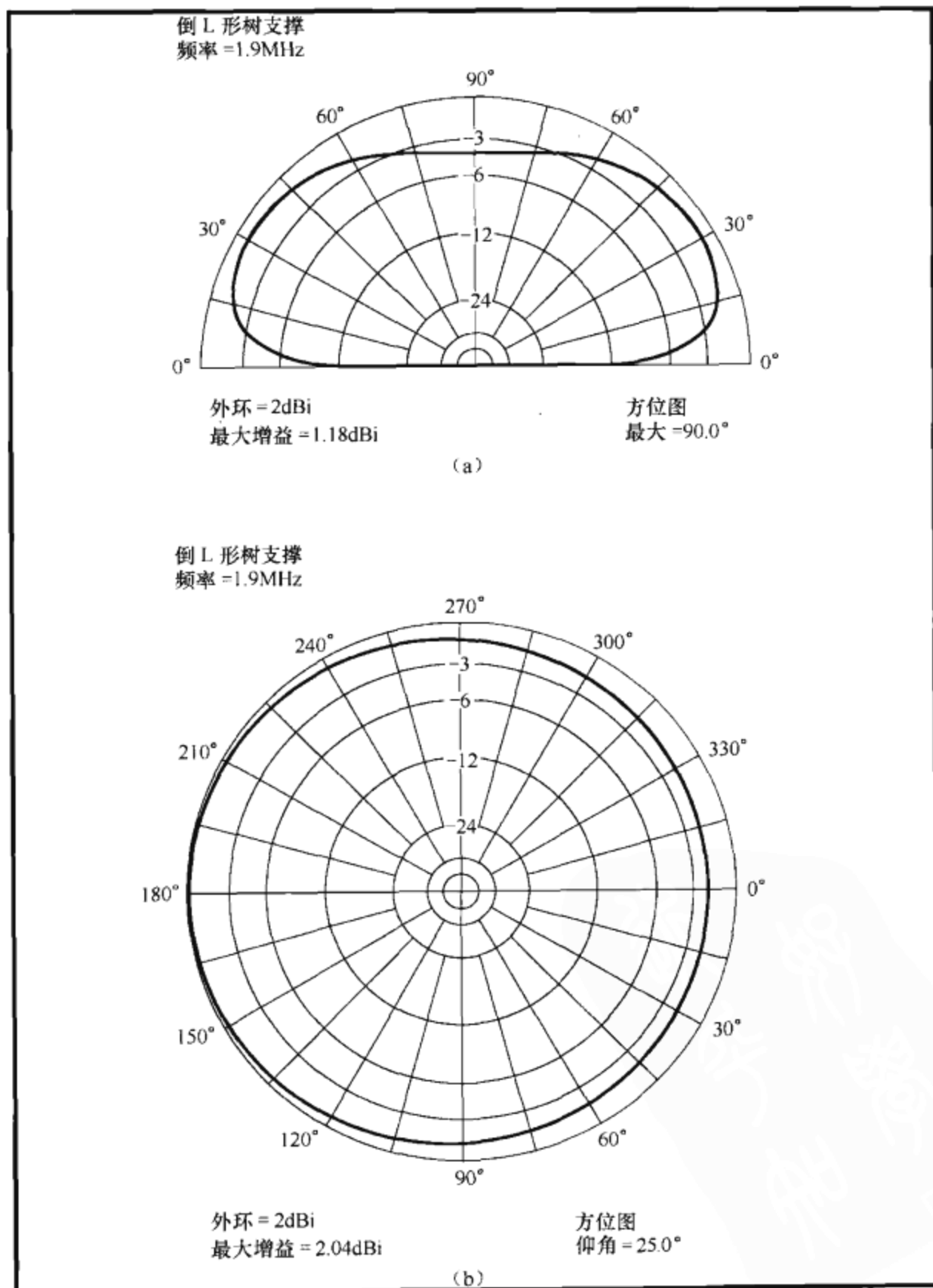


图 41-1 160m 波长 (1.9MHz) 简单线天线的草图; 图 (a) 是 $1/4$ 波长倒 L 形天线; 图 (b) 是 $1/2$ 波长倒 L 形天线; 图 (c) 为 $1/4$ 波长 T 形天线。

1/4 波长倒 L 形天线；图 (b) 为 1/2 波长倒 L 形天线；图 (c) T 形天线。假设平均地面为 $\sigma=3\text{mS/m}$, $\epsilon=13$, 图 41-2 和图 41-3 为根据计算得到的两副倒 L 形天线的辐射方向图。支撑杆为 50 英尺高的树 (或者其他木制支撑部件)。注意到天线的水平臂很接近于地面, 根据在这个例子中距离地面的波长(0.1 波长), ELNEC 过高地估计了水平极化天线的增益, 在高度为 0.1 波长的增益大约为 3dB。

图 41-2 图 41-1 (a) 中的天线位于平均地表面上的辐射方向图。辐射场中占主导地位的是垂直极化——类似于单极子的方向图。在垂直平面方向图 [相比于图 41-2 (a) 和图 41-4 (a)] 上过顶零位的缺失是由于通过天线的水平臂上的辐射电流产生的电磁场的水平极化成分的存在。



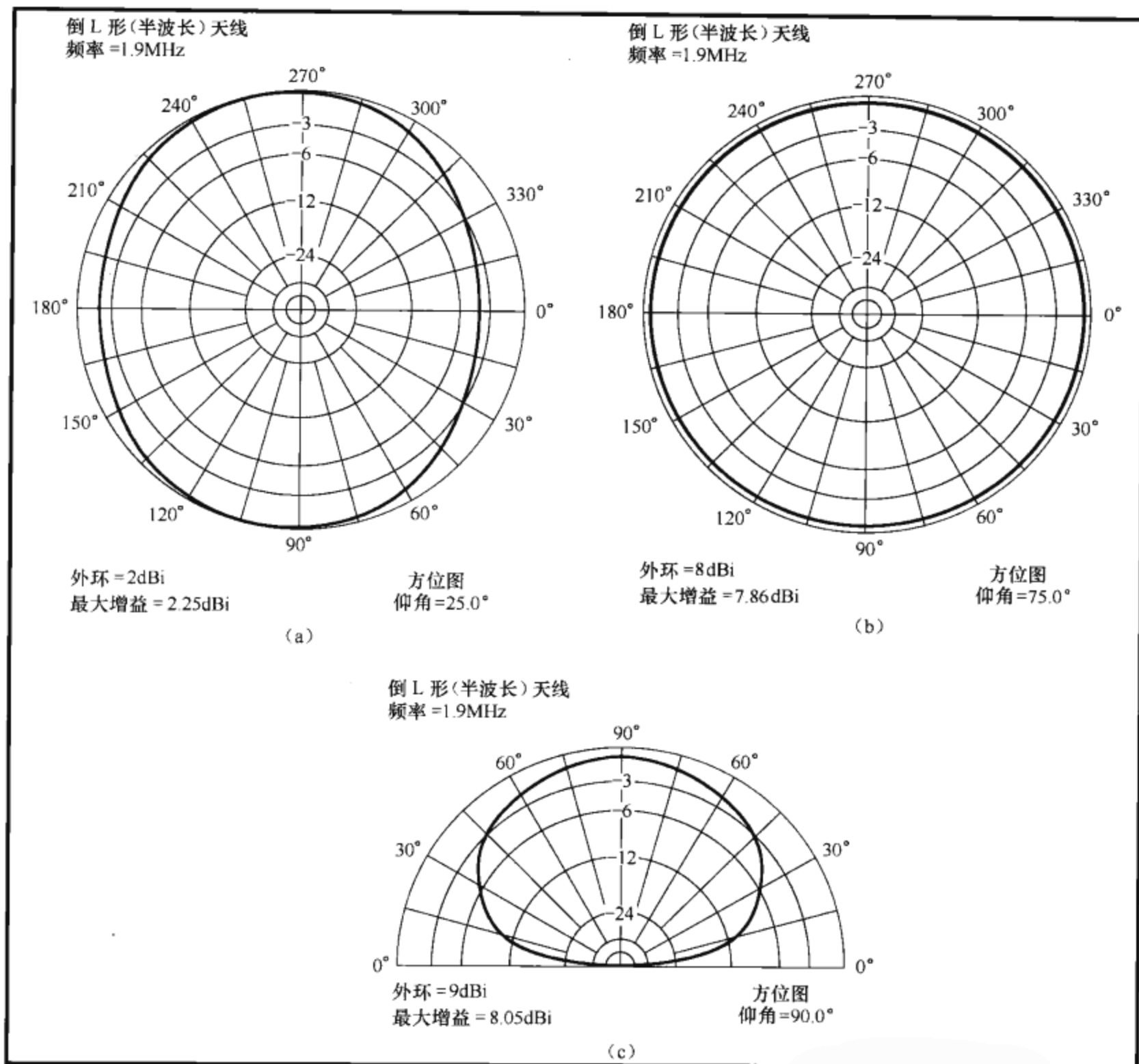


图 41-3 图 41-1 (b) 中的天线位于平均地表面上的辐射方向图。辐射场中占主导地位的是在天线的边射平面中的水平极化, 垂直极化在天线的平面内, 方向图类似于偶极子天线。因此, 在高仰角 (75°) 时, 天线的辐射方向图几乎为圆形; 同时也给出了低仰角 (25°) 时边射的方向性。

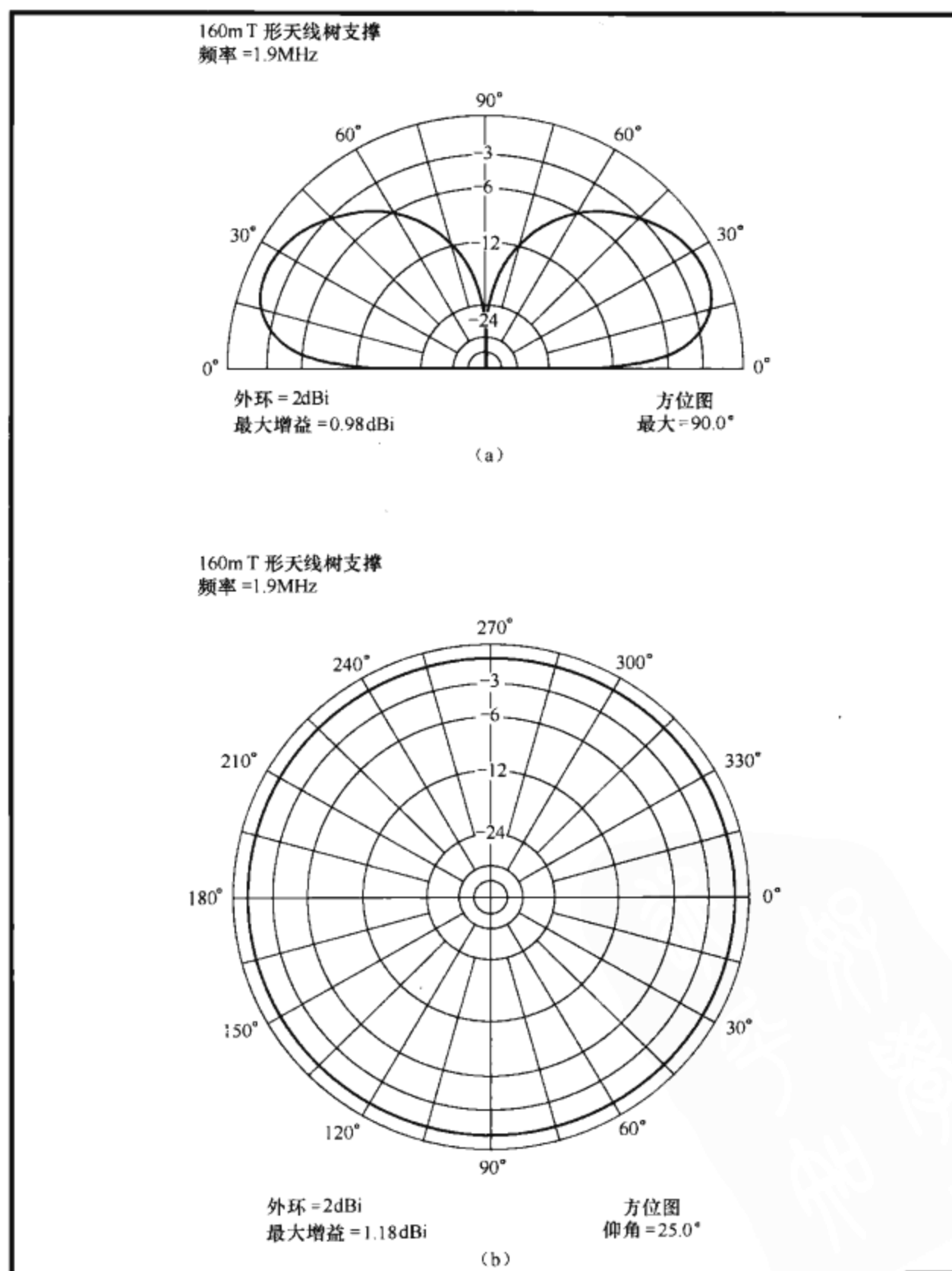
天线方向图如此不同的原因是由于当天线长度为 $1/4$ 波长时, 垂直天线单元上承载着很大的电流, 而当天线长度为 $1/2$ 波长时, 垂直天线单元上的电流则很小。因此对于这两架倒 L 形天线辐射场的垂直和水平极化分量之间具有很大的不同。之前的天线具有类似于单极天线的辐射方向图, 后来的天线则具有类似于偶极子天线的辐射方向图。

图 41-1 中所给出的长度是建立在天线谐振于 1.9MHz 的前提下。

DeMaw 尺寸给出了导线距离谐振所需要的长度（根据 ELNEC）要短很多（事实上，要使天线谐振需要对天线的导线长度进行一定的剪切）。

如果你想要进行远距离传输工作，那么一架辐射方向图具有很深的顶部零位的天线是最好的。这将会减小高角度天波信号、噪声和干扰，并且改进远距离弱信号的信噪比。T 形天线就具有这样的特性。图 41-1(c) 中给出了当 T 形天线谐振在 1.9MHz 时所需要的尺寸，它的辐射方向图如图 41-4 所示，这副天线的辐射场几乎完全垂直极化。

图 41-4 图 41-1 (b) 中的天线位于平均地表面上的辐射方向图。辐射场几乎完全垂直极化。在 T 形天线的水平臂上的电流产生的电磁场的水平极化分量可以被另外一根水平臂产生的电磁场抵消掉。



对这些图，天线位于 X - Z 平面 (Z 为垂直轴，并且 0° 方位角位于 $+X$ 方向)。对于倒 L 形天线 0° 方位角就是水平天线臂点 (离开馈电处) 的方向。这些天线方位角方向图有一些轻微的不对称，这是由于天线的结构没有关于馈电点对称。

具有良好接地的金属天线塔对天线的影晌我们也进行了研究。让我感到惊喜的是，这个影响很小，尤其是对于 $1/4$ 波长倒 L 形天线和 $1/4$ 波长 T 形天线。而金属天线塔对 $1/2$ 波长倒 L 形天线阻抗的影响一开始也比较明显，这仅仅是因为天线的谐振频率很小的改变 (金属天线塔将电抗耦合进天线系统，因此改变了天线的谐振频率) 会导致在反谐振频率处附近明显的阻抗变化。只需要对匹配电路进行微调，辐射方向图所受的影响相对较小。建议使用 6.5 英尺长的绝缘绳索连接到水平臂的顶端以支撑天线塔。对于 50 英尺的支撑杆 (用于 160m 波长天线) 使用金属杆还是木制杆则问题不大。

但是如果支撑塔也用于 20m 波长八木天线，那就是另外一回事了，这是由于当八木天线和天线塔同时存在时，则只有天线塔更接近于谐振状态。在这种情况下，天线塔上承载着大量的电流 (相比于 $1/4$ 波长倒 L 形天线的基准 1A 电流为 0.8A)。由于天线塔上电流的相位相比于 $1/4$ 波长倒 L 形天线上的电流为 $+145^\circ$ 。天线的垂直极化场几乎被消除。同样，倒 L 形天线也不再谐振：事实上，它已经远离谐振状态了，它的阻抗为 $1547-j2635\Omega$ ，而倒 L 形天线使用树做支撑时其阻抗为 14Ω 。

——John S. Belrose (VE2CV)

注释

1. D. DeMaW. “160m 波段天线”，QST, 1990. 11: 30—32
2. ELNEC 可以适用于所有计算。这个程序可以从 Roy Lewallen (W7EL) 处获得。
3. ELNEC 是 MININEC 的一个版本。MININEC 假设天线处于完美地表面上，然后以计算天线的阻抗和电流分布为目的。这样的—个近似的结果就是，对于水平极化天线，MININEC 过量计算了天线的增益，因为当偶极子的高度低于大约 0.2 波长时，计算增益量会增加。实际地表面对于辐射方向图的作用被正确地预测了。但是，为了计算远场方向图，程序应用了菲涅耳反射系数，而这个反射系数是对应于特定地表类型的。

80/75m 波段完全宽频带天线

你曾经期盼过拥有一副天线能够利用你未调谐的固态收发机在整个 3.5 ~ 4.0MHz 频带上都可以工作么？这副天线可能就是你想要的。

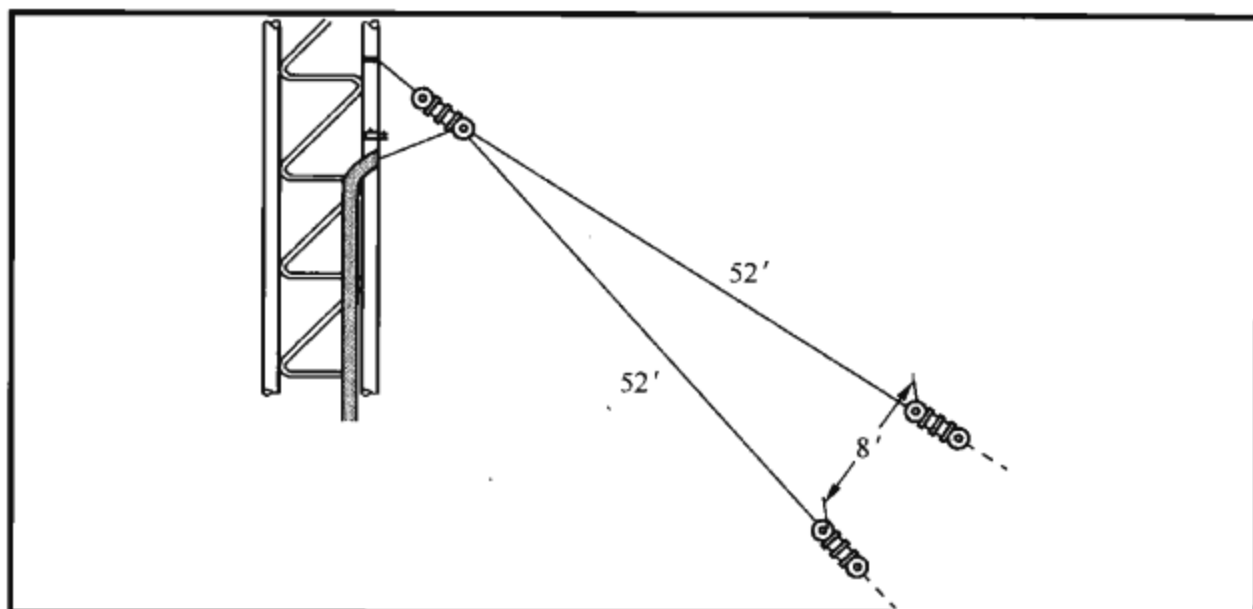
由于衰弱的太阳黑子和更高的射频频段恶劣的条件，80m 波段天线突然变得很流行，但不幸的是，许多的火腿族并没有完全发挥这个频段的潜力。从 CW 到 SSB，从网络 ragchewing 到大型的远距离传播，这个频段可以进行许多的火腿族活动，但是他们由于受到天线频率范围的限制，并不能完全使用整个频段。

天线匹配网络是一种解决问题的方法，但是它会限制流行的收发机不需要调谐的优点。匹配网络通常要比火腿族们想象的低效，它们还会引入损耗，而这个损耗在某些提供匹配的设置下变得很明显。基于这些因素的考虑，我决定尝试一些想法以便制作工作频带更宽的天线。最基本的要求是使用通常的 50Ω 馈电线，并不使用陷波器、电感线圈或电容器。

首先，我尝试使用 1/4 波长倾斜天线。这副天线在驻波比小于 2:1 时，带宽为 300kHz，可以很好地工作，但是在频段的最小处它仍然会限制我进行 CW 远距离传输，而在频段的最大处又会限制电话网络。因此必须拥有一副更好的天线。

天线可以通过使用大直径的单元来展宽其频带。由于脑海中的这个想法，我开始试验连接正常馈电点的双导线倾斜天线，但是导线的末端互相散开（如图 42-1 所示）。这看起来是有帮助的，但是没有我预想中的效果。不过，它确实缩短了倾斜天线所需要的导线长度。由于这些因素可以使用矮一点的天线塔，这个思路可以在单根导线倾斜天线过长时，建造 80m 或者 160m 波段的天线成为可能。

图 42-1 原始 KOEQU 实验装置。同轴电缆屏蔽层连接到天线塔上，双导线元件的两根导线都连接到中心导体上。双导线单元的末端分开大约 8 英尺，每一根导线长度大约为 52 英尺。



命运捉弄的冲击

当我正尝试在我的天线塔较低的高度使用这些双线天线中的一个，驻波比在频率为 3.5 ~ 4.0MHz 时，均低于 2:1。在经过多次尝试使天线在天线塔的顶端仍然可以这样工作之后，我发现只有在我的旧 1/4 波长倾斜天线在天线塔的顶端且接地连接到天线塔（如图 42-2 所示）时，这些结果才可以获得。双天线单元明显会产生交互作用，可以极大地展宽天线的带宽。通过进一步剪切倾斜天线和双导线单元的导线长度，可以得到如图 42-3 所示的令人惊异的驻波比曲线。

图 42-2 KOEQU 建造的天线。天线塔的高度为 70 英尺。馈电点如图 1 中所描述，在天线塔上高于地平面 15 英尺的位置处。倾斜单元的长度为 74 英尺，连接到天线塔的顶端，并且末端向下倾斜至高于地平面 11 英尺的位置。

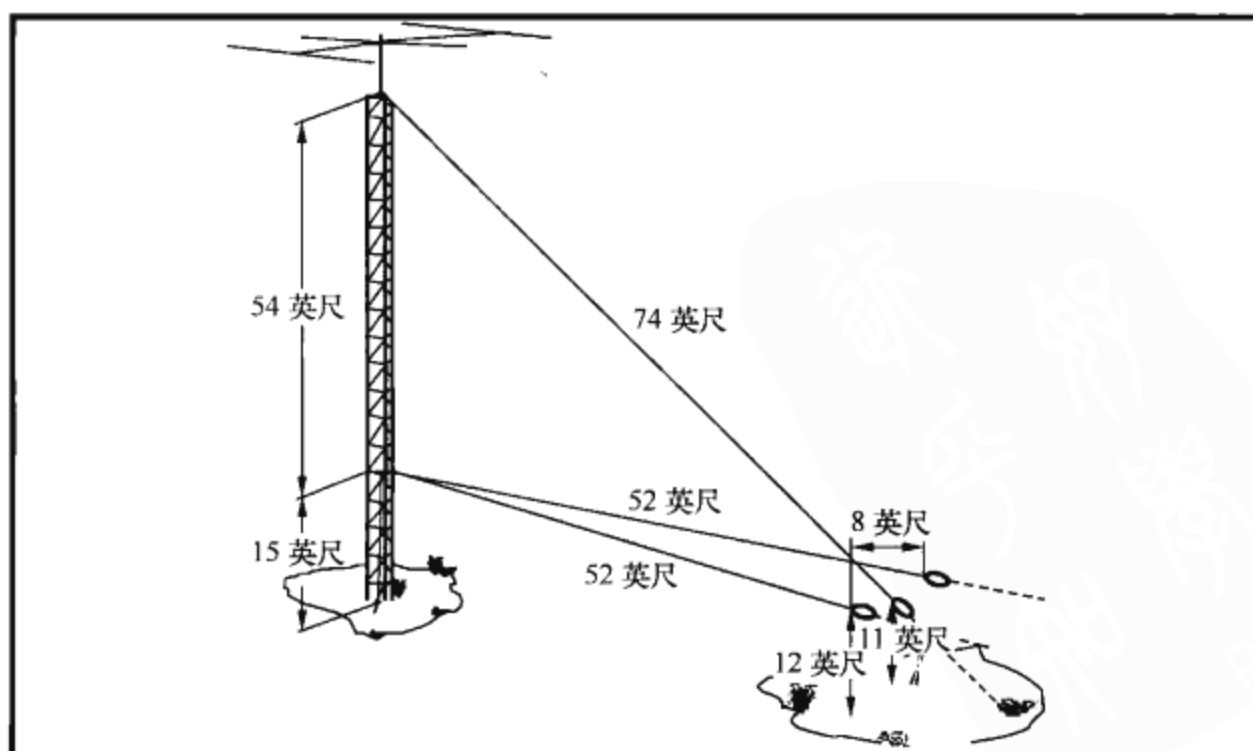
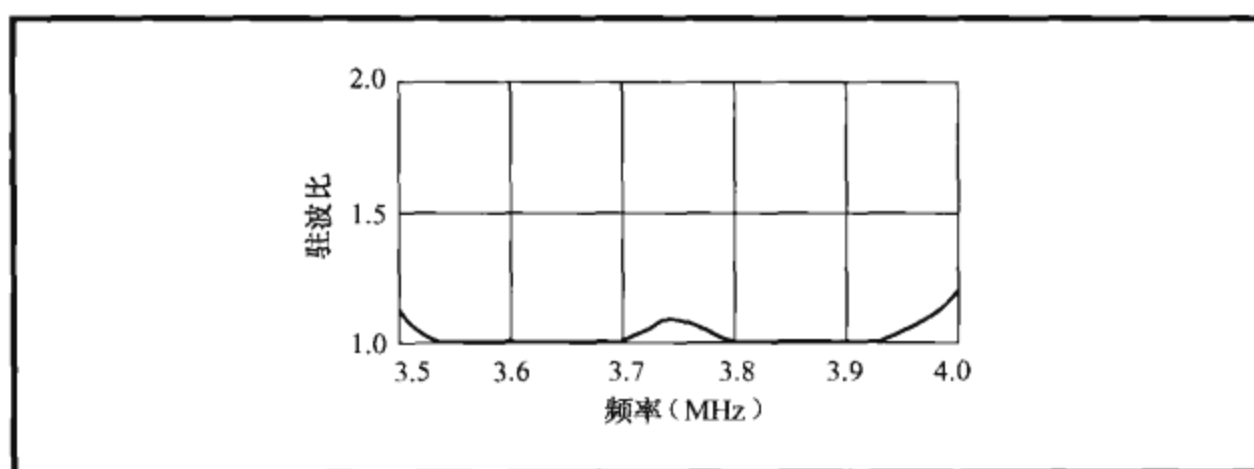


图 42-3 KOEOU 的天线驻波比测量值。在 3.5 ~ 4.0MHz 频带处，最高的驻波比测量值为 1.2:1。



下一步怎么办？

正如忠实的火腿族，我同意一种老说法：如果它可以工作，就让它上去，并且不要打扰它。然而我的猜测是它像是双单元对数周期的 1/2，在接地天线塔上寻找到它的镜像。顶端单元的调谐是为了频段的低频部分，双导线单元的调谐是为了频段的高频部分。事实上，在频段的中部有一些驻波比“跳动”，从而提供了更进一步的证据。

它工作得怎么样？

尽管我没能科学地画出天线的辐射方向图，这副天线看上去应该是垂直极化的。天线所具有的良好远距离交换性能看上去也验证了这一点。由于在许多方向上都可以联系到天线，所以这副天线的方向图也许相当无方向性。在空中和 1/4 波长倾斜天线的对比，显示天线的性能至少和倾斜天线一样好。同样，作为接收天线的这架天线相比于倾斜天线似乎具有更少的噪声。

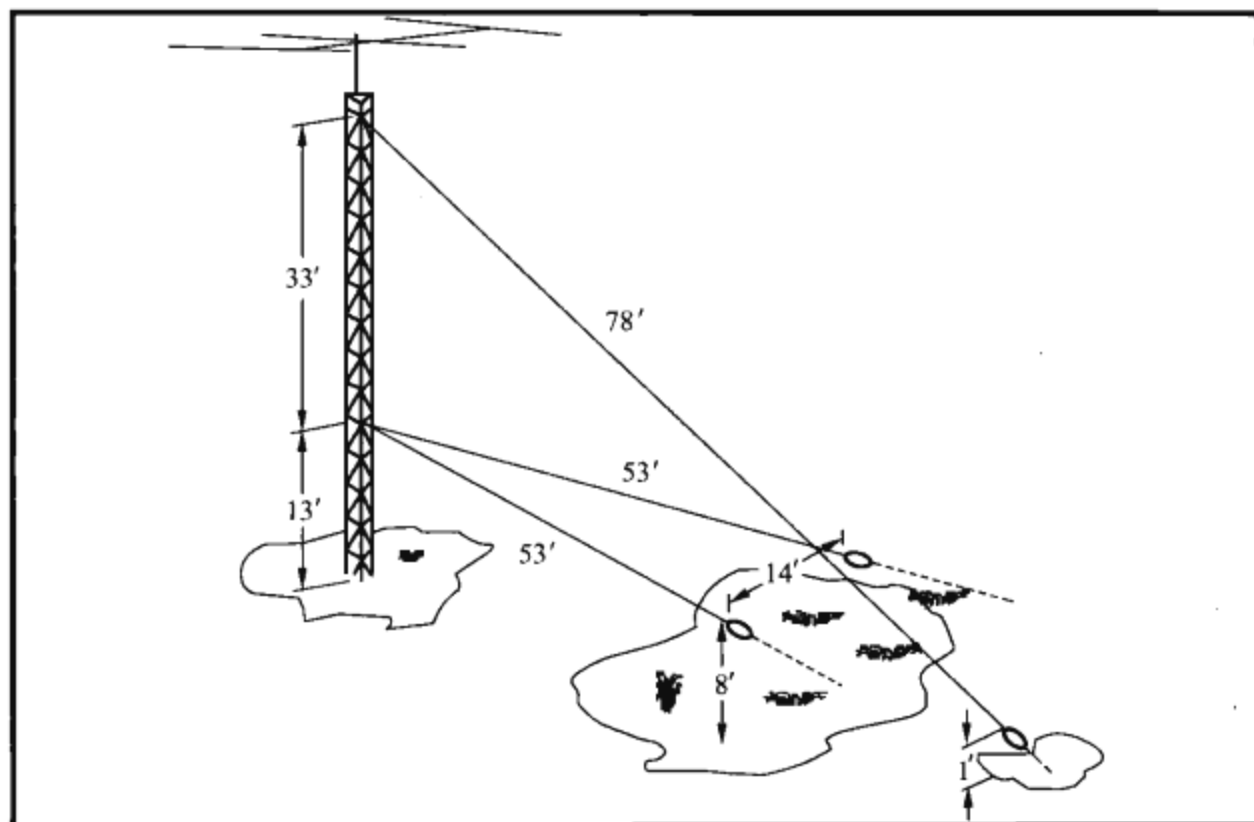
自己制作一个这样的天线

如果你有一副超过 40 英尺高的天线塔，你就可以使用它了。单元的尺寸取决于你的天线塔的高度。我的朋友 Kelly Davis (KD7XY) 在他 50 英尺高的天线塔上建造了一副这样的天线，所以我们可以看看他是

如何根据天线塔的高度确定单元尺寸的。

测量如图 42-4 所示的他的这架天线。

图 42-4 KD7XY 的天线安装。天线塔的高度为 50 英尺。倾斜单元连接至天线塔的 46 英尺高处，长度为 78 英尺，其末端仅仅高于地平面 1 英尺。双导线单元为 53 英尺长，并且连接至天线塔上高于地平面 13 英尺处。类似于 K0EOU 的天线，实际上在整个波段天线的表现都比较平坦；测量到的最大的驻波比为 1.4:1。



可以发现有一件很有趣的事情就是他的天线塔上馈电点的高度很不严格。双导线单元导线间的角度同样看起来也不严格。但是，倾斜单元应当在较低单元的两根导线之间垂下来。倾斜单元的角度为 45° 。当你试图得到天线上最低的可能的驻波比时，记住倾斜单元与天线塔之间的角度和天线塔到倾斜单元末端的距离都会影响带宽。由于这些天线在地面上就可以进行修剪，尝试再修正误差的方法就变得很容易操作了。当修剪天线时，记住这两个不同的单元是对应于不同的频率的。改变上面单元的长度可以改变频带低频部分的性能；改变下面双导线单元的长度可以改变频带的高频部分的性能。不要放弃，直到你的天线的驻波比从频带的一个边缘到另一个边缘充其量不超过 1.5:1。

在三根导线的末端都使用好的绝缘子。我起初使用的是尼龙钓鱼线，但是在一个雾很大且很潮湿的夜晚，顶端单元的导线在三个地方烧毁了。让我奇怪的是在没有对天线进行馈电的情况下天线上某一部分居然能够有这么大的电流。但是我最好还是搞清楚。记得在天线周围还有其他一些物体，例如其他的天线、拉索等，同样也可以对天线的性能起到相反的作用。一定要尽量保持天线周围空间里的空旷。

一些未尝试的想法

我希望其他一些人能够尝试对这副天线进行一些改进。例如，为什么底部单元使用单根导线而不是双导线，天线就不可以工作？这个原因现在还不清楚。我的院子位于小城市里，没有足够的空间来尝试一副单线天线，因为使用单根导线时导线的长度肯定要比使用双导线要长。同样我也希望看到有人尝试修剪顶端单元以改变频段的高频部分，修剪底部单元以

K0E0U 三单元半倾斜天线的 MININEC 分析

小型数值电子学代码 (MININEC) 分析细线天线，使用矩量法技术来求解表示电场分布的积分方程。MININEC 可以解得电流、阻抗和位于完全导体平面上在自由空间中任意取向的导线组成的天线的辐射方向图。

经过计算馈电点的阻抗为 $79.4 + j1859.8\Omega$ 。这是基于假设天线结构下方为完美平面，并且天线塔在连接上部导线的位置处向上仍然具有简单的 3 英尺的延伸。实际上，阻抗会同时受到地表传导率和天线塔顶端的定向天线的顶端负载效应的影响。

电流的大部分都在上部导线连接点之上的顶端部件上流动。顶端负载会影响到这个电流的相位，这个电流将会反射进而改变馈电点的阻抗。换句话说，计算出来的数据并不是完美的。只能仅仅将它作为一个近似值。

相比于天线系统的其他部分，相对较高的电流在天线塔基座到接地平面流动。这显示较好的接地特性，哪怕天线系统是辐射状系统，也会提供最高的效率。

天线的辐射方向图，图 a、图 b 和图 c 同样也是近似的。极化的主要成分为垂直极化——在低角度的时候也可以认为是几乎完全垂直极化。侧边到导线的方向，在高辐射角的情况下，例如大于 75° ，极化方式变为水平极化。在 60° 仰角时，垂直极化的成分比水平极化要大 16dB。在低仰角的情况下时，垂直极化的分量明显增加，当仰角为 5° 时，垂直极化的分量大于水平极化分量超过 30dB。这三

改变频段的低频部分。这对于一些天线塔的高度较低的情况可以缩短倾斜单元导线的长度，甚至还可以增强天线在双导线单元方向上的增益。同样还可以在这副天线里面建造一架用于另外一个频段的的天线（例如，40m波段）。可以使用相同的馈电点，但是使用另外的一根倾斜单元用于第二个频段。另外的一个可能性就是使用两个双极子单元来建造天线。我猜测（这仅仅是一个猜测）单元末端的合并可以使得天线的阻抗为 50Ω 。

冬天可以给予 80/75m 波段天线最好的工作条件。你可以使用这架建造简单并且具有非常宽频带的天线在整个工作频带上工作。

——Brian L. Wermager (KØEOU)

幅图都将定向侧边技术应用到线天线。在导线的方向上，无论是前向还是后向，天线的辐射都是完全垂直极化的。——Gerald L. Hall (K1TD)

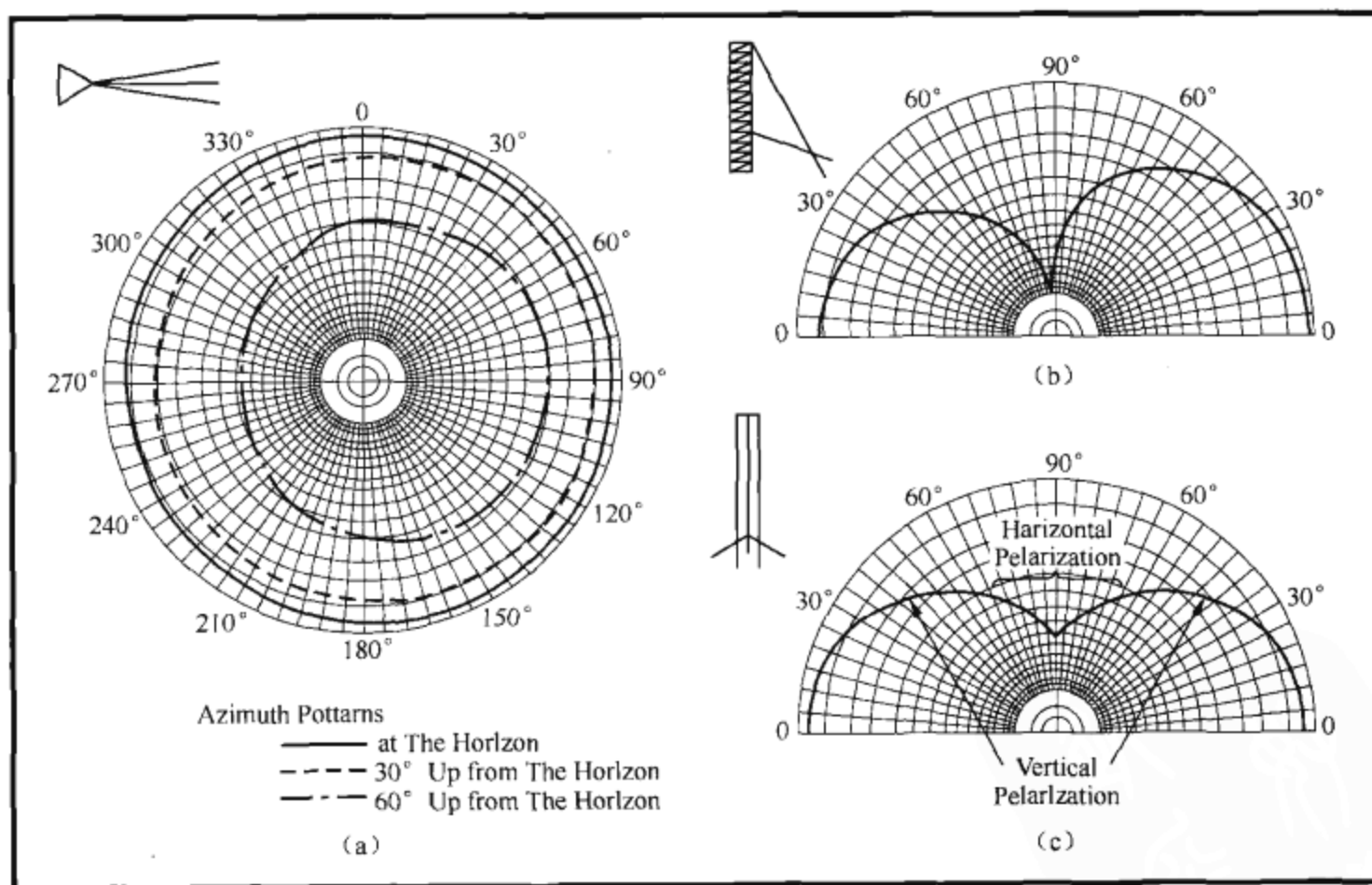


图 a KØEOU 三单元半倾斜天线的方位向辐射方向图。单位为 dBi。将图中显示的值加上 6dB。

图 b KØEOU 天线延导线方向的立面辐射方向图。单位为 dBi。将图中显示的值加上 6dB。

图 c KØEOU 天线延导线侧边方向的立面辐射方向图。单位为 dBi。将图中显示的值加上 6dB。

K9AY 终端环路——一种紧密的定向接收天线

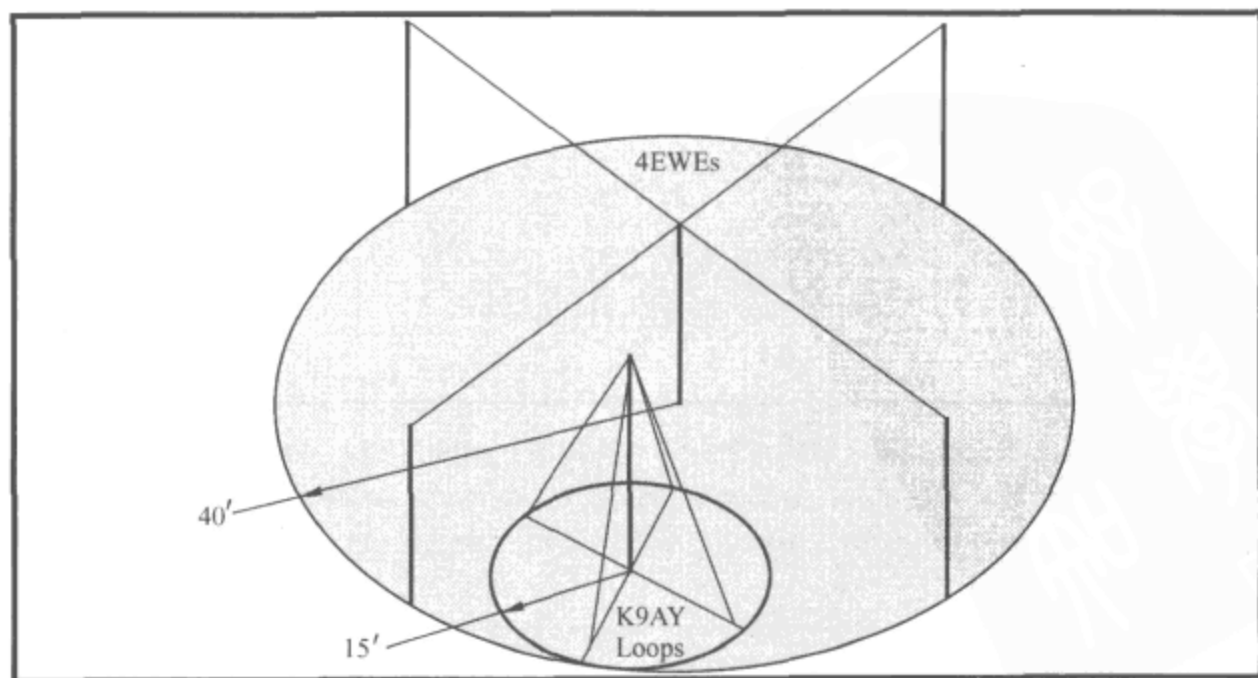
您是否希望拥有足够的空间放置一副高效的低频接收天线呢？答案是肯定的。本文介绍的四向定位天线系统可以架设在 30 英尺范围内。

低频天线一直致力于寻找提高其接收能力的方法。作为一个低频爱好者，我对 Floyd Koontz (WA2WVL) 研制的 EWE 天线印象深刻。Koontz 向我们展示了如何构建一副结构紧密的定向天线——该设计很快就大受欢迎。但是当我坐在计算机前计算如何安装 EWEs 天线时，在我的建模实验中产生了一个令人惊喜的设计。

女生们，先生们：

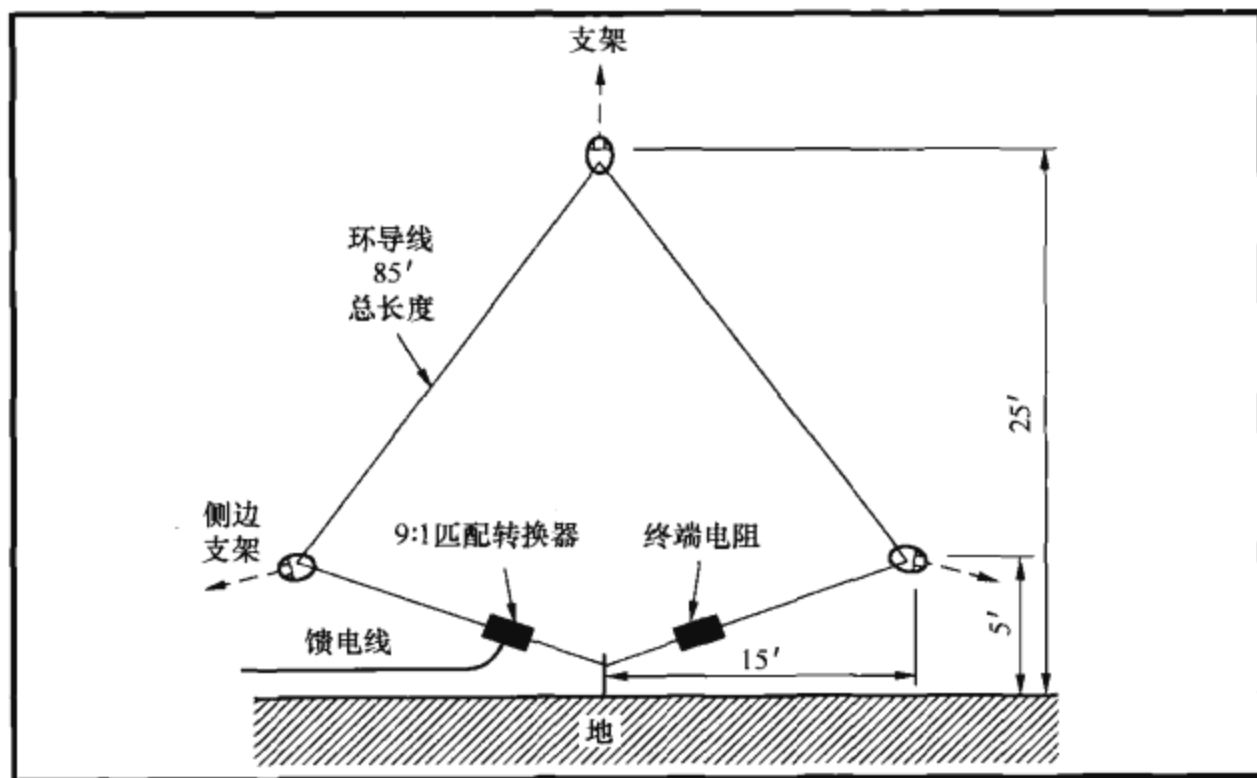
请允许我向您介绍这款环形天线，它在不牺牲天线性能的前提下，可以进一步缩小一副出色的接收天线所需的面积。图 43-1 将四向环路系统实际要求的占地面积和相当的 EWE 天线阵列的占地面积进行了对比。这个全新的系统不仅占地面积更小，而且更易安装，它仅仅需要一个支撑点，而 EWE 天线阵列却需要 5 个支撑点。

图 43-1 EWEs 和 K9AY 环路系统实际占地面积的比较可见，K9AY 环路系统仅需 EWEs 所需面积的 1/7，然而它们所提供的方向性图是相同的。



该终端环路（见图 43-2）无论是在物理上还是电力上实现起来都非常简易。它可以由任意简单形状（菱形，三角形等）的线环组成，线环悬挂在一个支架上，底部安装一个接地棒。9:1 匹配变压器连接环路一端到地，终端负载连接环路的另一端到地。K9AY 天线是定向天线，有用信号从馈电端输入，若干 S 单元反射由连接负载 R_{TERM} 端输入的任何信号。

图 43-2 简易类三角回路结构中单个回路的基础设计。交换馈电端和终端改变模式。四向定位系统由两个互相垂直（如图 43-1 所示）的环路以及交换系统控制的中继器组成。



当环路尺寸变小时，有用信号的强度也随之减弱。这里描述的天线尺寸很小，甚至可以放在后院的任何一角。环路尺寸可以做得更小，但是我们若想得到足够大的信号，可以使用一个合适的前置放大器（比如大部分射频系统中包含的放大器）。我们可以从工具条“终端环路是如何工作的？”以及“天线特性概要”中了解更多天线的操作指南。

为了覆盖所有的方向，我们将使用同一个支撑杆的两个环路互相垂直架设。当馈电端和终端反向时，每个环路接收两个方向的信号，总共四种不同的模式。这里有您架设 K9AY 环路天线系统所需的所有详细资料，包括继电器控制模式转换系统，该系统使用同轴馈线来支撑转换系统，控制电压。

我们开始架设吧！

首先，收集以下的材料来构建这个环路：

- 两根大约 85 英尺的电缆。尽管任意型号的电缆都能适用，14 号铜线可能是作为持续长距离传输设备的最好选择。

- 10 个简单的绝缘体——旧牙刷手柄，别致的瓷绝缘子等任何绝缘体都可以。

- 一根 3 英尺或 4 英尺长的铜管——接地端不需要插入很深——3 ~ 4 英尺的深度就足够了。因为裹铜钢管最后总是会生锈，我更倾向于选用 1/2 或者 3/4 英寸直径的铜水管。

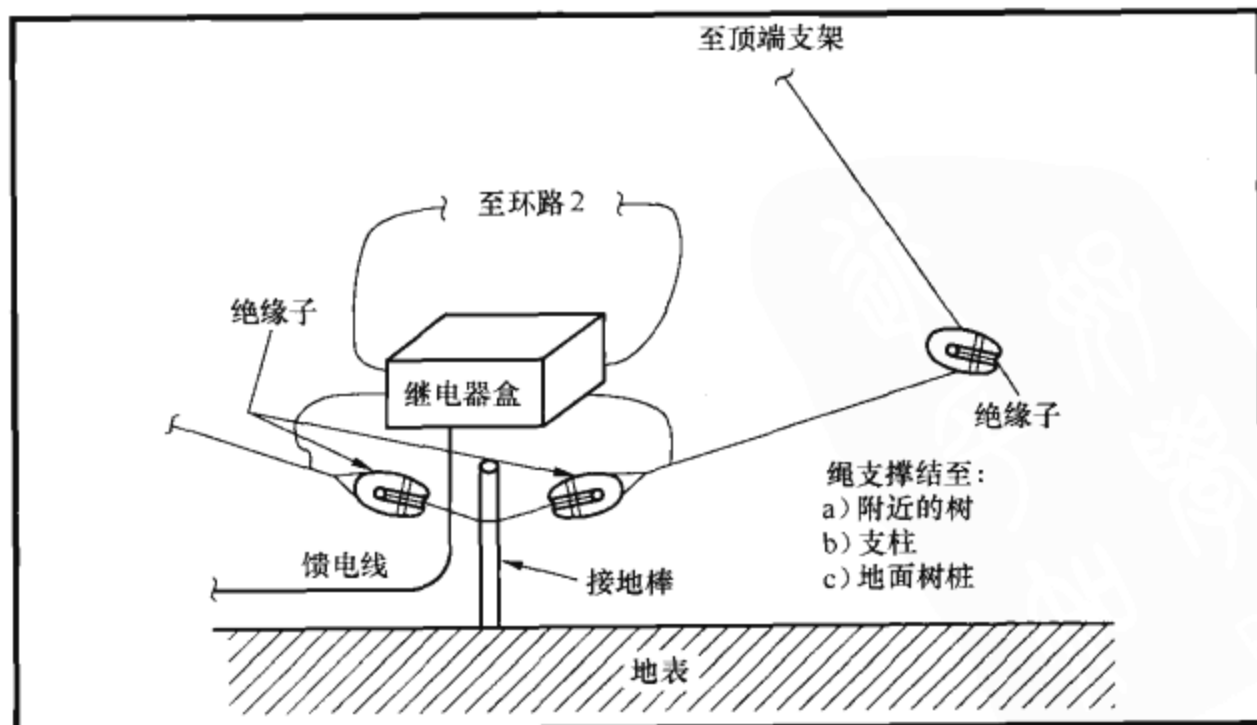
- 一个地面上有 25 英尺长的支架——我将天线从乔治亚州松木的大树枝上悬挂下来，其实任何物体都可以，只要它可以将环路的上端提高到离地面 25 英尺的距离。ARRL《业余无线电手册》和《天线手册》中所描述的木质的 A 构架是比较好的选择。金属杆也是适用的，但是必须保证必要的长度，并与地面隔绝。大的金属物体会影响天线的性能，因此我们要将天线安装在没有阻碍物的地方。

- 您还需要一些绳索——不需要太精致，只要它足够结实，可以固定住东西。

现在，带上您的工具，朝后院进发。将每根电缆的中点系在一个绝缘体上，这个绝缘体安装在环路的顶端。这两个环路之间必须互相不会接触到，因此我们可以在两个环路的绝缘体之间留有一些空间。我使用的是 1 英尺的绳索来隔离这两个绝缘体。

接地棒直接放置在环路的顶端下面排成一线，敲接地棒入地，剩下大约 1 英尺在地面上作为一个附着点。用短绳或者电线链接四个绝缘体，使它们距离杆几英寸来接受环路的低端。将环路电线的终端绕到绝缘体上后，留一英尺的电线作为连接线。图 43-3 示意了重要的安装步骤，图 43-4 的照片显示了我的系统是如何安装的。

图 43-3 终端环路的施工详图，显示了一个环路的基础连接和拐角支撑。继电器内部包藏了 9:1 匹配变压器。



绝缘体和打结系在附近的树、栅栏柱或者插进地面桩上的粗绳支撑环路的低端拐角。用足够的拉力拔出拐角维持环路形状。到这里，主要的机械装置工作已经完成，外形有点类似于打蛋器，如图 43-1 所示。

图 43-4 照片显示了 K9AY 安装过程中两环路系统底座的中心连接点



继电器和控制器

图 43-5 显示了继电器转换环路电线馈电端和终端的电路。继电器

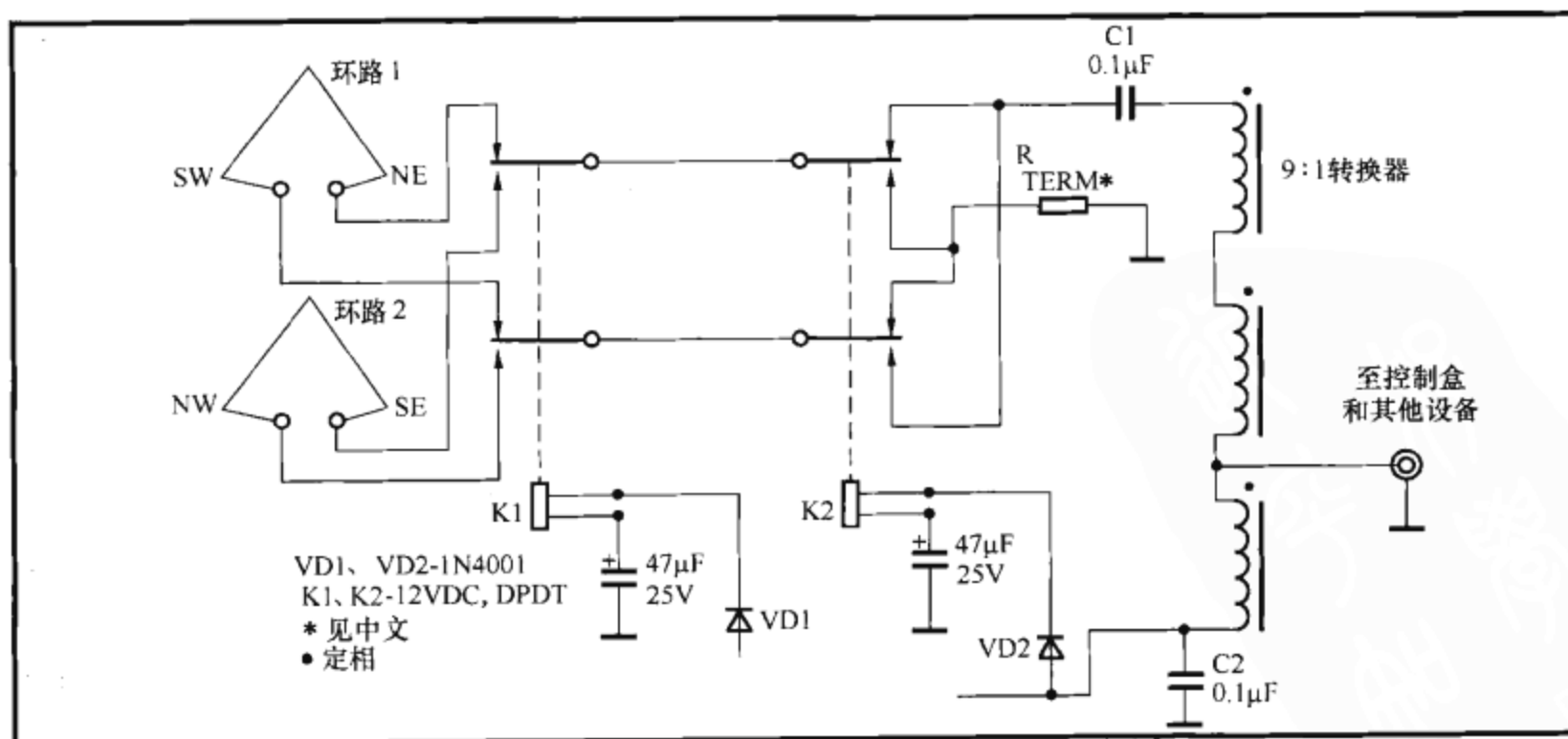


图 43-5 位于系统底座继电器的电路原理图。继电器通过交换馈电端和终端连接点在两个环路间转换。

包藏在一个防风防雨的盒子里。这个盒子有和环路四个端相连的外接点，以及和馈线、接地线相连的连接点。

K1 是一个双刀双掷继电器，它在两个环路间转换。另外一个双刀双掷继电器 K2，通过交换终端负载和匹配变压器的连接点，从而转换模式。继电器电源通过同轴馈线来提供。C1 阻止控制电压泄露到天线端，C2 为变压器提供射频接地。

大部分人喜欢选择环路朝向东北 / 西南和西北 / 东南。继电器有四种转换模式，每个方向一种模式：（1）东北，此时任何继电器都不加电；（2）东南，此时只有 K1 加电；（3）西南，此时只有 K2 加电；（4）西北，此时 K1 和 K2 继电器都要加电。模式转换通过控向二极管 VD1 和 VD2，使用单个电源连接完成。当提供 +12V 电压时，VD1 允许 K1 工作，同时 VD2 阻止电压到达 K2。当提供 -12V 电压时，K2 工作，而不是 K1。当提供 12V 交流电压时，二极管改变电压后同时驱动两个继电器。

匹配变压器是 9:1 阻抗，3:1 匝数比，这种类型读者应该非常熟悉。普通连接线的 5 个 3 股转折点在一个直径为 3/4 英寸（0.825 英寸）的 43 材料环形室上割开。终端负载（ R_{TERM} ）的电阻值由频带决定，取值在 $390 \sim 560\Omega$ 。在平均地面传导率条件下， 390Ω 电阻在 160m 处使 F/B 最优化，而 560Ω 电阻使环路系统在 80m 处最优化。折中取值 470Ω 使两个频带的性能都相对良好。我选择优化 160m 处天线性能，因此使用的是 390Ω 电阻。使用额定功率至少为 1W 的 R_{TERM} ，以防部分发射功率最终用来连接环路系统。我使用的是 2W 碳电阻，然而 2 个 1/2W 或者 4 个 1/4W 的适当电阻值的电阻都是适用的。

图 43-6 显示的是箱子内部控制器的电路原理图。12V 交流变压器提供交流电源并且通过两个半波整流器和滤波电容器产生 $\pm 12\text{V}$ 的直流电压。SP4T 开关选择合适的电压供给同轴电缆。在箱子尾部的射频扼流圈和 $0.1\mu\text{F}$ 的电容器保持射频和控制电压相互隔离。

一旦控制器和继电器箱构建完成并能正常工作了，将继电器箱放置在接地棒上，并将环路的 4 个端和它们相应的终端相连接。箱子内部的一段 50Ω 同轴线负责在天线和转换器之间传送信号和功率。我强烈建议大家将同轴线敷在地面上（掩埋在地下更好），以尽可能减小来自发射天线的噪声或接收功率。系统中接收放大器显然是需要的，不是系统内部放大器就是外部放大器。

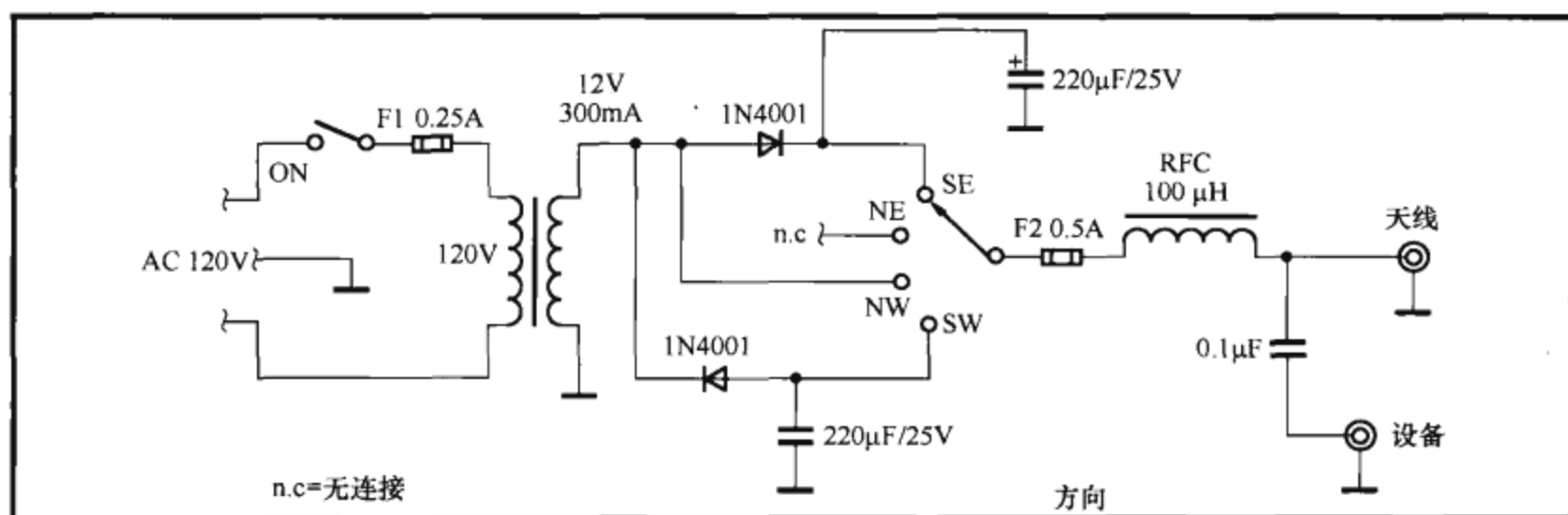


图 43-6 箱子内部控制器的电路原理图。驱动继电器的控制电压通过同轴电缆传送。

评估和调整

下一步，验证天线是否正常工作。也许您首先会做的是收听一下无线电广播，信号衰减使得我们确定天线的实际性能非常难办。充其量，您能确定的只是天线有合理的指向性。

我们可以用几种方法来做更为精确的收听测试。最好的方法是借助临近的小镇，小镇的广播站和两个环路中的一个非常接近排成一直线。如果没有这个条件，我们也可以用本地的高频 AM 无线电广播 (1400 ~ 1600kHz) 作为测试信号。改变环路到各种不同的方向。如果测试站和其中一个环路直接排成一直线，我们可以发现当天线选择前向并远离测试站时 F/B 比值大约为 2 或者 3S。 F/B 的值不会非常大因为最深的零点上升到了 $30^\circ \sim 40^\circ$ 。

地面电导率会影响天线的性能。如果在您所选择的特定的位置依然使用“标准值”的终端负载，是无法得到最适宜的工作模式的。假使天线没有获得预期的性能，在终端负载处用 $1k\Omega$ 电位器代替，并且一边听测试台一边调整电位器直至得到最好的 F/B 值。然后，测试这个点的电阻，安装一个同样阻值的固定值电阻。

天线性能

图 43-7 显示了天线的垂直极化模式和环路在一直线上。图 43-8 是 30° 方位角模式的正视图。模型的建造使用 W7EL' s EZNEC 程序，这

个程序用 NEC-2 在真实地面上仿真天线。测听测试台确认这些模式是否和建构天线的性能非常接近。大部分现场直播的模式评估是通过听 AM 无线广播台和在 2.5MHz 频率上的 WWV 来完成的，因为天线的模式在这些频率范围内几乎没有什么变化。合适的距离和方位上的测试站证实了深零点偏离后向。例如，纽约市的地方广播台恰好和我所设置的东北 / 西南环路在一条直线上，当信号到达角度恰好合适时显示 F/B 为 40dB。

图 43-7 环路平面的垂直辐射图

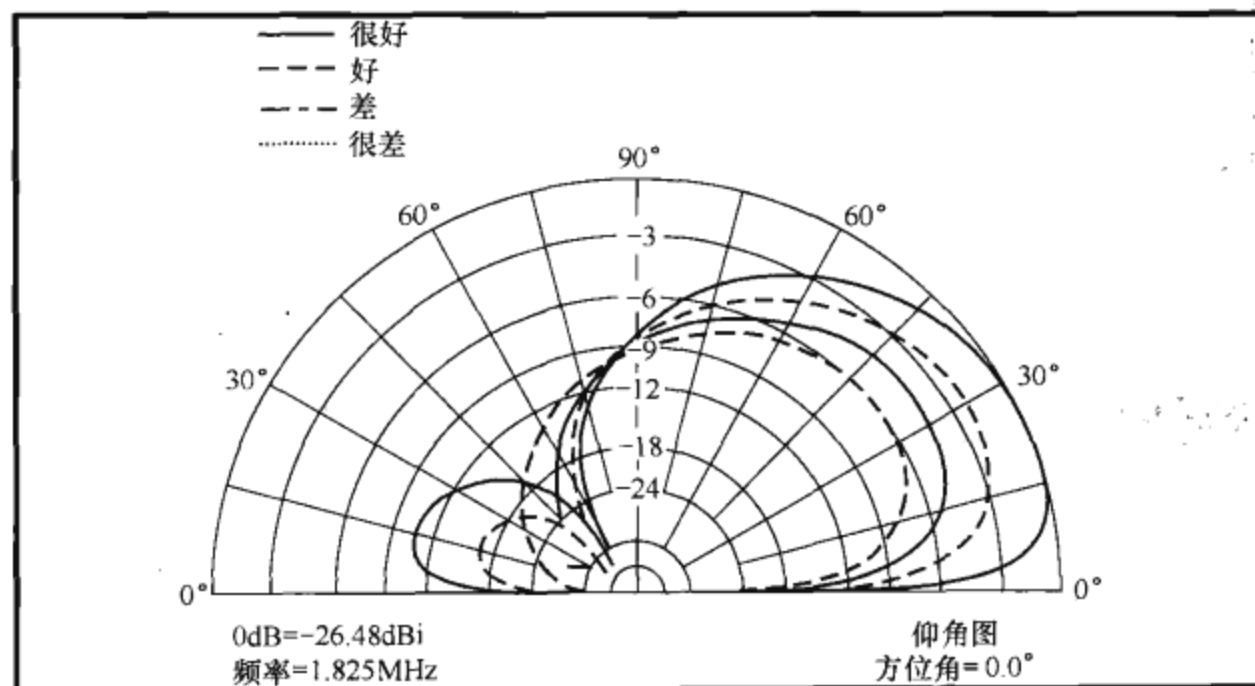
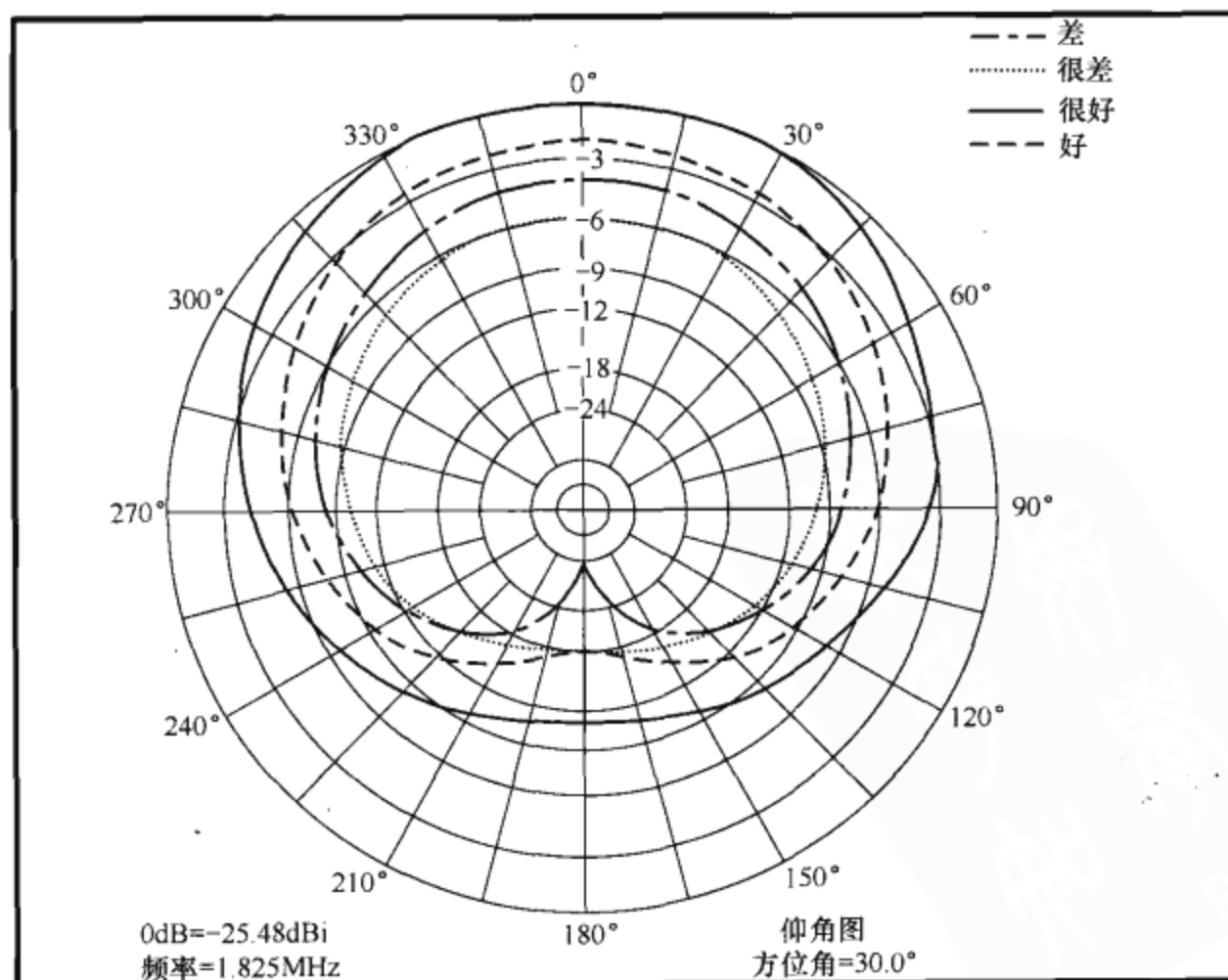


图 43-8 环路在 30° 的水平辐射图



辐射图的正视图非常明显，大概一个 S 单元 F/S。这款天线的优势在于它向后方的零值，不仅减小了本地噪声而且减小了远端的 QRM。我在 1996 年 ARRL 160m 竞赛前两周安装了整个系统，因此在很短的时间内就得到了彻底的估价。在竞赛期间，改变辐射方向图的指向通常可以决定你是能够成功收到 5W 功率的 QRP 信号复制还仅仅是一次失效的连接。例如，通过二单元或者三单元减小美国本土的 QRM，显示东南方向收听加勒比海台。

高性能的方案

K9AY 环路结构紧凑，这使得构建多个多元件阵列很简易。一种方案是在较宽的一侧组合中安装两个环路，但是最好的方式是安装成一个正方形。这种阵列除了有比单个的环路更窄的前叶外，将会在很大范围的角度内具有一个稳定的 F/B 值。这种高性能阵列所需要的空间远小于行波天线。如果尝试这种方案，谨记当您变化反馈系统时，同时也要调节单个环路，直至指向期望的方向。

概要

如果您想在低频段上提高天线的接收性能，又没有很大的空间，这款终端环路系统将是很好的选择。它尺寸小，安装简易，并且它的方向性图使得 DX 更易接收。

终端环路是如何工作的？

EWE 是终端半环路，在对 EWE 的性能考核之后，研发了这款终端环路。高频定向耦合器构成都是相似的，比如在众所周知的鸟牌功率计（瓦特计）中使用的高频耦合器，只是尺寸更小些。我的分析说明，一个终端完整环路指向底部中心处，反馈并且终端连接到单个地，终端完整环路和半环路的工作方式是相同的。

单个环路如何获得方向性图？顺便指出，它对到达的电磁波的电场（E 场）和磁场（H 场）的成分做出相应的响应。我们通过一个终端只

有一个信号到达环路。当电磁波传输经过时，环路的电缆类似一个短的垂直天线截 E 场，在馈电点产生电压。如从垂直方向期望的响应那样，垂直 E 场的响应是各个方向的。

磁场的工作方式是不同的。磁场垂直于电场，当电磁波通过环路时会产生电流。通过电流流过终端负载产生的电压和 E 场电压相结合。如果电磁波从馈电点端输入，电压同相相加；如果电磁波从相反的方向输入，电压和 E 场电压相位相差 180° （从中扣除）。为了使前后向比值达到最大，终端负载的取值必须平衡通过两个场产生的电压，这样它们的和才能接近于零。

最终的图形是带单个零点的心脏线。在最优的终端负载条件下，零点在深度上能达到 40dB 或者更高——多于 6 个单元。零点不是在地平面上，而是在 $20^\circ \sim 50^\circ$ 的海拔高度，这由环路形状以及当地的地面条件决定。除非搭建一个短而宽的环路或者又高又细的环路，零点才能在 $30^\circ \sim 40^\circ$ 海拔高度，这非常便于减小来自境内台的 QRM。

地面是天线必不可少的部分，它的阻抗是电路的一部分。如果您所在位置的地面电导率是已知的，可以在电脑模型参数中包含地面电导率。然而，地面电导率在很短的距离范围内就会发生变化，而且它会随着季节变换以及湿度的变化而发生改变。如果您发现天线工作状态和模型不同，可以按照文中所述方法通过改变终端负载的阻值进行调节。

地不需要具有损耗，行波天线也是同样的情况。这个环路甚至在理想地面上都有指向性。也就是说您可以在任意形式的地面上安装天线，包括埋在地面下的径向系统（尽可能远，只要不和另一个系统靠得太近）。

特性概要

当选择一个特殊的形状或者位置安装 K9AY 环路系统时，请考虑以下特性：

- 如所有的天线一样，它的性能会受附近的金属物体或者建筑物的影响。尽可能保持天线在比较空旷的范围内，远离高楼，房屋和电线。
- 天线的噪声减小主要是通过方向性图来完成，虽然接地在一定程度上减小了风、雨及雪对噪声的影响。和典型的全方向垂直或者低

的倒 V 形天线相比较，K9AY 对总体的噪声和干扰的减小性能是非常卓越的。

- 在工作的最高频率处，环路的最大圆周略大于 $1/4\lambda$ 。如果环路圆周更大，天线的电场和磁场响应就不再平衡了。尺寸小些的环路（或者在更低频率上同样尺寸的环路）能保持方向性图，对于接收 AM 广播信号这是相当卓越的天线。遗憾的是，接收的信号电压和环路所覆盖的面积是成正比的，所以当天线变小时接收敏感度将迅速地降低。除非有一个高性能的前置放大器，否则请保持环路的尺寸接近最大值。

- T 形环路不仅仅是一副低频天线！它也可以用来接收高频段的短波信号，或者在全方向天线上提供更优越的接收性能，比如垂直天线。根据文中所述的指导方法调整天线的尺寸直至适合所需的频率。

——Gray Breed (K9AY)

1 ~ 10m 单天线系统

多频发射机和变频接收机使得我们从一个频带到另一个频带的转换变得十分简单，但是天线不能保持移动。因为传统的多频带工作状态需要天线具有多样性，在这种情况下我们不能同时在多个频带上工作。伴随着 VFO，这是 VFA——工作状态可以调整到共鸣状态。它覆盖了 11m、10m、6m 和 2m 频段，以及所有的电视和调频频段以及在这之间的频段，在各频段都具有非常出色的接收性能。低频解决方案也包含在其中。

笔者作为一名业余无线电爱好者，一直奢望拥有一副全方位的天线，它不仅可以在多个频带上工作，而且可以在同一个频带内进行调整，在任意频率上都能有很好的工作状态。在屋顶出现的没有尽头的麻烦，到室外的天线杆去降低天线，切断或者接合几英尺的电线以到达频带内的某个特殊点，这些记忆在脑海中仍然清晰。老式的泽普天线相当好，但是它需要隔离馈电线，并且需要在发射机终端进行调整。半波天线在中心处分开作为 72Ω 传输线，它在基站端不需要调谐，但是每个频带都需要一副不同的天线。通常这些天线的共振频率从公式中标示的值开始变化很大，因为环境因素并不总是清晰可见的。在某些条件下，在整个频带上获得适当的输入是困难的。几年后，我引入了匹配系统，匹配系统通常也是单频带装置。追溯到晶体控制时代，天线系统虽然有很多不足，但并不至于太坏。现有的 VFO，通常可以工作在工作频带内的任意频率上。这并不是说伴随 VFO 需要的是一个高性能的 VFA。

不同于无线电爱好者，通常绝大多数需要 VFA 的是工作组，巨

大的用户量决定了需要在单一天线上尝试接收多种多样的电视和调频信号。一副良好的半波偶极天线将比大部分现有的复杂接收天线提供的性能更为优越，当然，准确地调谐天线至每一个信道是可以实现的。

多年来，我一直在考虑如何设计反馈输出和接收电线的途径和方法，用它做一副可调整的中心馈电半波天线。VFO 用途的日益广泛以及电视和调频广播的出现，使得这种天线的出现十分必要。折叠的偶极子使它的实现成为可能，它的传动装置不比广播收音机里的传动盘更复杂。这里讨论的目的是描述远程控制中心馈电天线，它能够使用一种独特的传输线，从一个频带到另一个频带以及在某个频带内持续进行调整。

折叠偶极天线（比如 VFA）

折叠的偶极子用绳和滑轮进行装配，因此平顶长度的变化可以简单地通过降低馈电线的高度实现（见图 44-1），这是其他天线所不能及的。如果对中间滑轮之间的空间进行适当的调节，那么两条平行导线的特征阻抗可以是 300Ω ，忽略馈电线的长度以及天线的长度，馈电线将和 300Ω 微带匹配。这样，我们就拥有了一款任意频率上都具有平整的驻波比曲线的可调天线了，它的实现并没有采取在天线系统上设置可滑动接触点的方式。图 44-2 显示了一个实际的手动传动装置，它使实验人员可以进行一些设置，并观测天线的特性。这种类型的天线可能被制作得很大或者很小，但是建议新手先组装 2m 和 6m 的小模型，或者简单的调频和电视信号频带模型，以此来检验天线的优点。

图 44-1 可调折叠偶极天线的基本原理。偶极子和馈电线部分是由一段可弯曲的电线构成的。在馈电线的 X 点处拉伸可以改变天线的长度。中心处的滑轮间的空间是如图所示，那么馈电线部分的特征阻抗是 300Ω 。双引线在 A 点和 B 点连接。

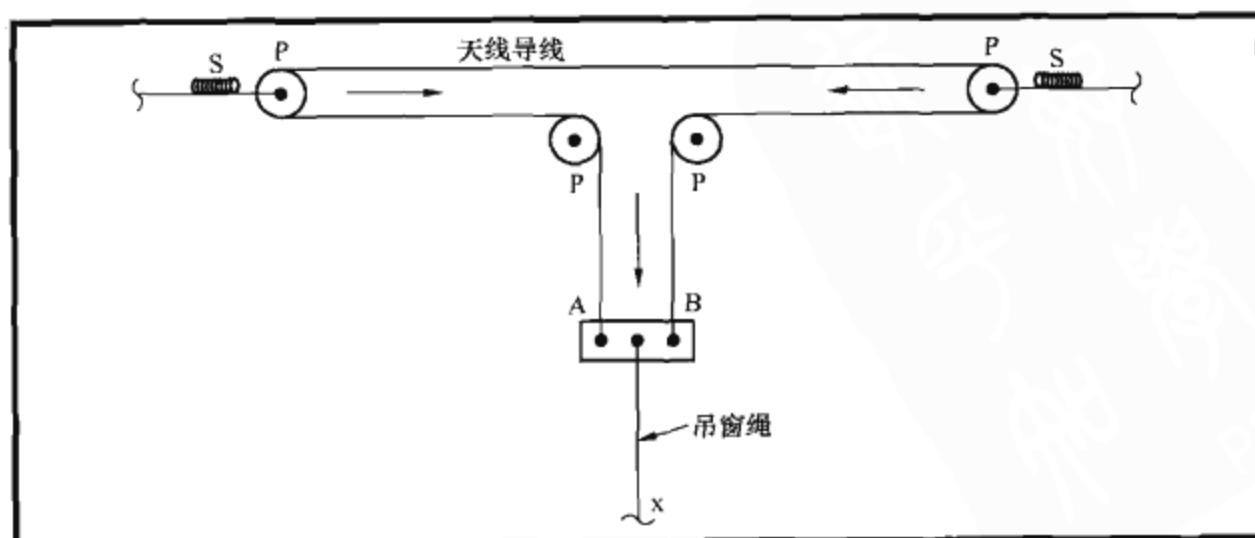


图 44-2 可变频天线手动控制型架在一个木质的架子上。为了减小架设空间，馈电线在比率滑轮 F 上对折起来，300 Ω 线在 A 点和 B 点连接。这种布局，滑轮 F 的垂直运动和天线滑轮的终端运动是一致的。支撑的钓线或者曳绳必须拉紧。

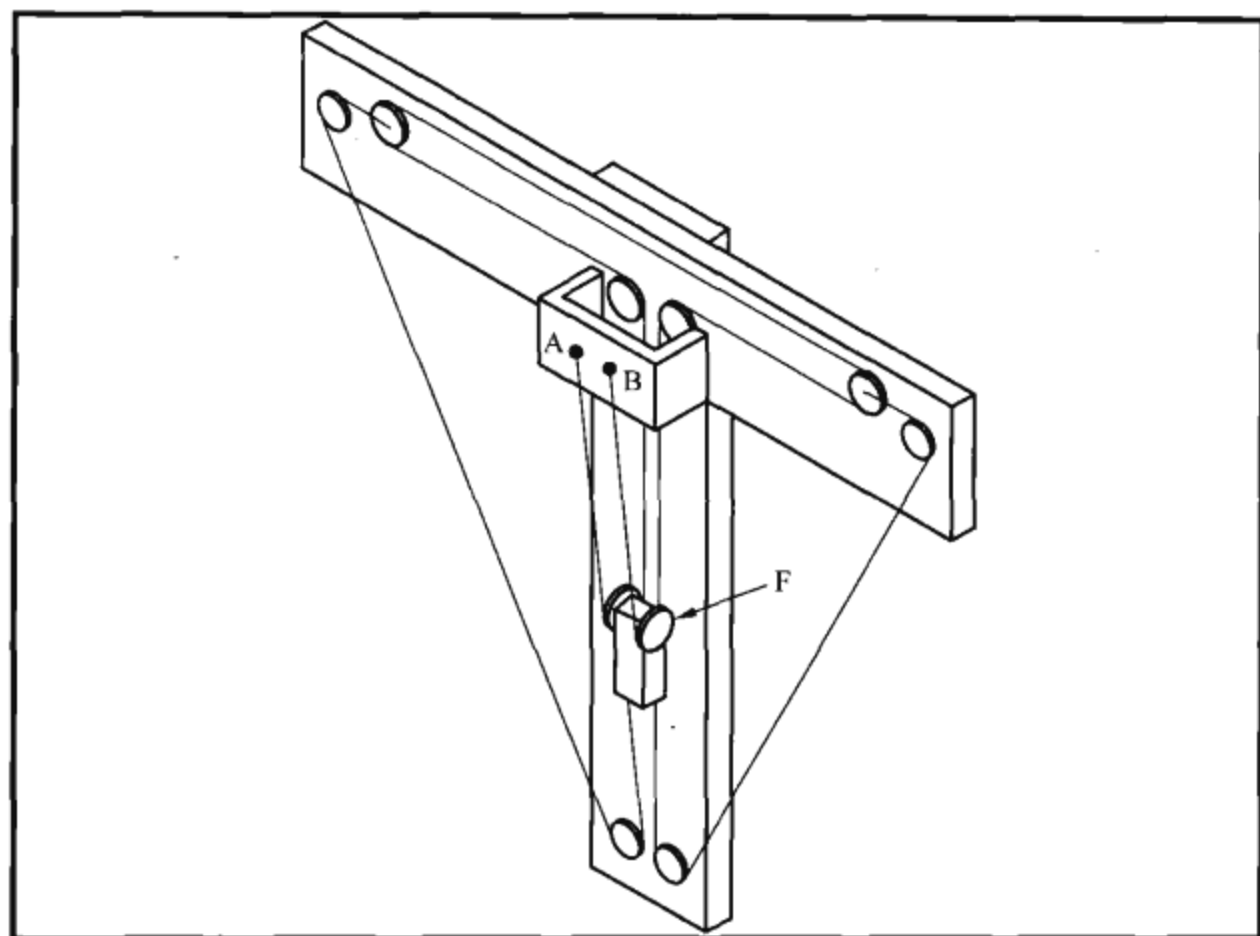
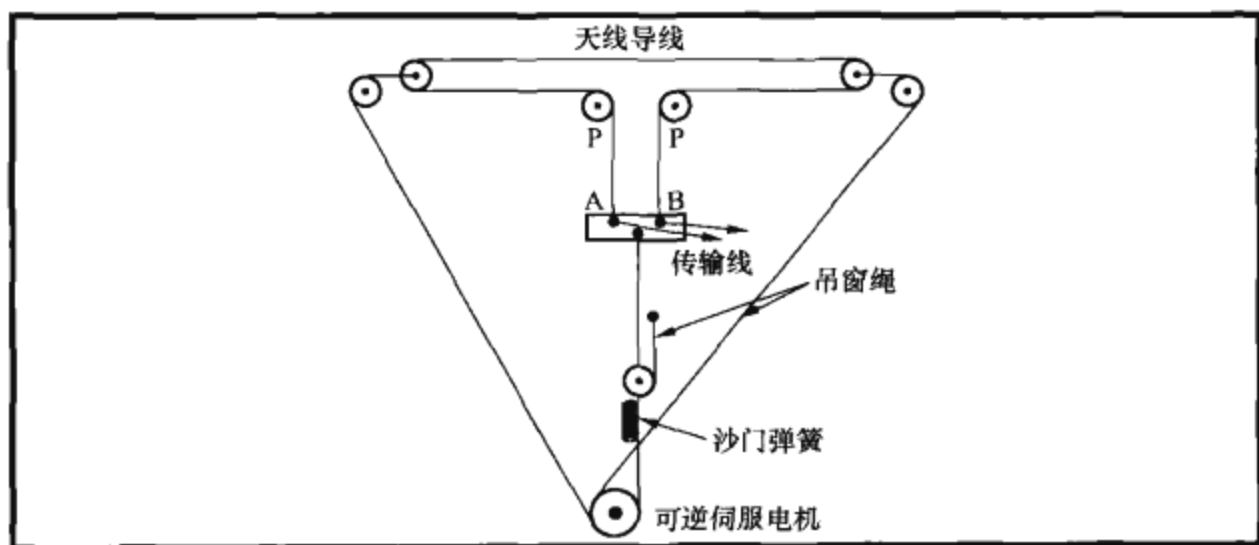


图 44-3 显示了实验工作模型的细节，这个模型足够长，以至于能调整到工作在 10m 波长，但是我把它设计成了能拉低的，以便得到一个仅仅几英寸的平顶长度。调谐相当的明显，在传统天线上接收调频广播的结果非常令人满意。当接收机调整到不同的位置，同时天线调整至最大响应时，甚至在 88 ~ 108MHz 调频频带内，我们可以观察到天线的性能具有相当显著的提高。连接馈电线到 10m 发射机，当天线进入谐振状态时毫安表读数上升，然后回到最大值，这都是非常值得高兴的。然后不改变天线，切换至调频广播接收机上，移动天线降至大约 4.5 英尺的高度，可以接收底特律电台。当接收机调整至 98.5MHz 的电台，调整天线从 10m 共振处缩短到适合调频频带的长度时，可以观察到它对接收信号强度的影响，这是非常有意思的。长天线接收信号也是很有可能的，当平顶达到 14 英尺（3 个半波长）时，信号变得很好，在 56.25 英寸恢复至满信号强度后，突然降低到 121.5 英寸（临界点）处一个非常明显的零值，大约是接收信号的半波长处。这种天线可以调整到一个临界极值零点，这很有用，在特定的接收条件下，能消除不想要的临近的高强度信号。

持续可变天线的用途仅受天线操作者想象力的限制。一旦技巧上的细节能解决，天线就可以单独使用或者以复合的方式使用，比如由普通的或单个伺服电动机驱动的天线或者反射器，天线和反射器

在不同的相位。这样的组合可以用于发射或接收，或特殊的用途，比如覆盖很宽频率范围的室外操作、信号强度测量、定位发射机，以便使旋转波束排列好，还可用于天线研究。它们最大的商业用途毫无疑问是调频和电视领域，在这些领域天线简化形式，从接收机调整，广为认同。

图 44-3 这个系统目前应用与 W8AJC 中 28MHz 以及以上的频率。它有可能减小到大约几英寸的平顶的高度。



其他类型的可调天线

虽然折叠成对的天线更容易持续调整，但是我们仍然期望可变的中馈半波天线，它适合用同轴线或者其他低阻抗的馈线。这可以通过使用滑轮、绝缘体和电线实现，但是在卷线筒所处的中心位置则需要滑动触点。除非经常操作，否则它会出现外露的滑动环的所有问题。这种类型的天线如图 44-4 所示，虽然目前，它们在 W8AJC 上未曾使用，但在低频上将会证实这种天线是值得使用的，从长远看来，用于 80m 的可调天线也将可以在 40m 和 20m 上正常工作。

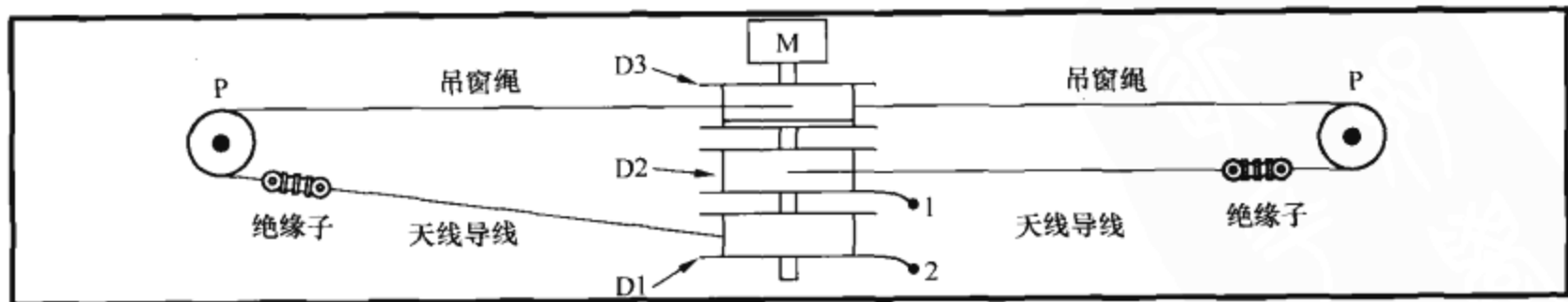


图 44-4 适合更低的业余爱好者频段使用的可调电动机驱动偶极子天线的推荐解决方案。卷轴 D1 和 D2 卷绕在天线电缆上，同时 D3 逐渐松开编织绳。这个装配由信号传输电缆，装配三个卷轴的 RL-42-B, M-235 构成，这些都可以在剩余市场找到。天线卷轴牢系在绳卷轴上，用固定间距的轴衬固定到中间的绝缘体上。接线柱 1 和 2 连接到 72Ω 馈线上传导至发射机。这个系统的成功取决于接线柱的良好连接的平衡。

折叠偶极子的设计

在 1948 年的 ARRL《业余无线电手册》中,美国陆军部的《TM11-466》, RCA 的小书《A Practical Analysis of U.H.F》以及在 1947 年 6 月的《RCA Review》中出现的 W.Van B.Roberts 的文章中我们可以找到涉及折叠偶极子设计的有用信息。在 Roberts 的文章中,他向我们阐述了在政府缩减折叠偶极子研究力度的情况下,他们的工作小组在普林斯顿大学所做的工作给读者提供了一种非常有用的天线分析方法。这个资料指出,构成平顶的导体之间的距离必须很近,大约 $1/100$ 波长长度。因为天线使用了可弯曲的导线,我们更期望一种电线,它的直径很大,但是射频阻抗很小,同时拥有很高的弹性度。接下来设计的部分以可用的材料为基础,以可以实现改变平顶长度和处理馈电线功能的途径和机械装置为重点,持续的研究发展将会使得电力和机械两方面都得到改良。

建造

当我们考虑可调折叠偶极子天线的结构时,很多解决方法所使用的弹簧或者绳和滑轮将会浮现在我们脑海中,这取决于个人,选择一种方法最适合他所要的特殊用途。刚开始,我试了很多种弹簧、减震绳和砝码来维持可弯曲的天线馈电线的末端,但是这些方法中每一个都有各自的缺点,并且它们的共同问题就是需要反向移动弹簧来缩短天线,再次依靠弹簧拉回。金属弹簧在特定的频率下进入谐振状态。我试着用金属弹簧带支撑,它可以拉伸到 40 英寸,但是在他们的延伸位置进入共振状态,并且操作也不是很顺利。

最后决定用绳和滑轮,这么安排是为了实现机械平衡,使用伺服发动机或者其他方法仅仅是为了达到调整天线的目的。伺服发动机几乎不需要什么能量,然而它需要很多滑轮,结果是更容易调整天线。我发现,在木质或者其他不导电结构上放置绝缘滑轮对天线的末端进行支撑,这种方法非常方便。如果在垂直位置的方向上操作偶极子天线,那么同时使用垂直金属支撑管是不会冲突的,但是水平金属杆或者金属管却是不能使用的。对于长天线来说,必须对馈电线滑轮和结尾结构的中心提供支撑。尾端由杆、树或者建筑物支撑。

伺服电动机

照片中显示的伺服电动机是从多余的 Azon 炸弹尾部中获取的。它有很多的能量，并且可以在需要的时候反转。伺服电动机需要 4 股电缆连接电池或者其他直流源。它消耗的电流非常小，因为工作时间很短，一些干电池就能作为工作电源提供很长时间的电力。伺服电动机中包含有两个整流器，整流器用来减小线路反转电流以防产生火星。它们可以移动并插入 30V 交流电线，连接到伺服电动机单元，这样就可以提供足够的直流电压以供电机工作。电机反转可以通过双刀双掷拨动开关的方法在基站端获得。很多其他相似的慢速伺服电动机大部分都是可以反转的，并且在尺寸和功率要求上都是不同的。在某种情况下，直流电源不能方便获得，这就需要用齿轮传动连接万用连接器到电动机终端，用可反转的万用扇或者工作在交流电 115V 的真空吸尘器驱动电动机。

材料来源

天线的电线必须质量很轻，经久耐用，易弯曲，直径很大，并且是很好的导体。为了便于调整，1 英寸的滑轮必须能够很容易地拖来拖去。钢铁制绞股大直径的铜线是很重的，但是对于绝缘绞股线，如果尺寸大约是 20 号，并且覆盖的屏蔽层是镀锡铜编织层，那么线的重量很轻，并且足够柔韧，有足够大的直径。覆盖网格线的 8885 号电缆外径为 0.1 英寸，它是合适的。使用太硬的电缆，系统会很难操作。

为了顺利工作，滑轮必须能自由转动，摩擦力要尽可能小。许多五金器具商店平常可以买到的不同种类的滑轮我都试用了，所有的滑轮都具有机械缺点。通常，虽然在商店中试用时滑轮看起来似乎是自由转动的，然而装载在系统中使用时，滑轮表现出有抑制转动的摩擦力。因为系统中需要的滑轮数量相当大，累积的摩擦力可能会很大，所以推荐大家使用滚珠轴承滑轮。这里使用的滑轮都是自制的，要剔除干净木头纤维，并且在中心处使用滚球轴承。滚球轴承有 1/4 英寸的孔，外径为 5/8 英寸，这个轴承从剩余的齿轮传动链、投弹瞄准器、计算机和其他设备中获得，它在旧货市场中的存量是相当多的。后来，我发现了带有滚球轴承的 1 英寸航空器滑轮（AN-210-1A）的来源。航空公司以每

个 1.25 美元的价格出售，但是旧货市场以更低的价格出售它们。在所有的旧飞行器控制设备中我们都可以找到滑轮，有时购买包含几个滑轮的一个组件比买单个的滑轮更便宜。自制的硬木材滑轮由橡树制成，在石蜡中煮沸，使用 1/4 英寸轴瓦黄铜的结果是比较令人满意的，重要的是有很好的低摩擦力轴承。

绞绳将会导致滑轮翻转，绞在一起，因此推荐大家使用编织绳或者晾衣绳。这样，当滑轮上有合适的负载时，就不会导致绞在一起。适合现有滑轮使用的比较好的绳是轻便的直径为 1/8 英寸的编织晾衣绳。当然，任何可弯曲的绝缘绳都可以使用，比如圆盘软线、钓丝或者家具商的细绳。我们建议，在某些情况下，为防止由于拉伸使负载滑落，把负载放下来是明智的。

限位开关：如果在操作点看不到天线。微开关需要进行设置。当天线被安放到它需要安放的位置后，确保电路处于开路状态，电机是关闭的。这样当另一个开关将要提供超程保护时，可以倒转开关，使其运行时受到另一个开关的限制。开关不能以普通方式连接到电动机，但是在控制电路中，一般只采用普通方式连接（为了不干扰天线的电力操作，开关和连接线路系统必须固定）。

结束

这些例子显示了许多建立远程控制变频天线系统可行的方法。希望本文可以为业余爱好者和商业使用者在可调天线的进一步研究中提供一些根据。

——Ralph O. Williams (W8AJC)

梦想天线变小！和多触点微型环路天线实现通信

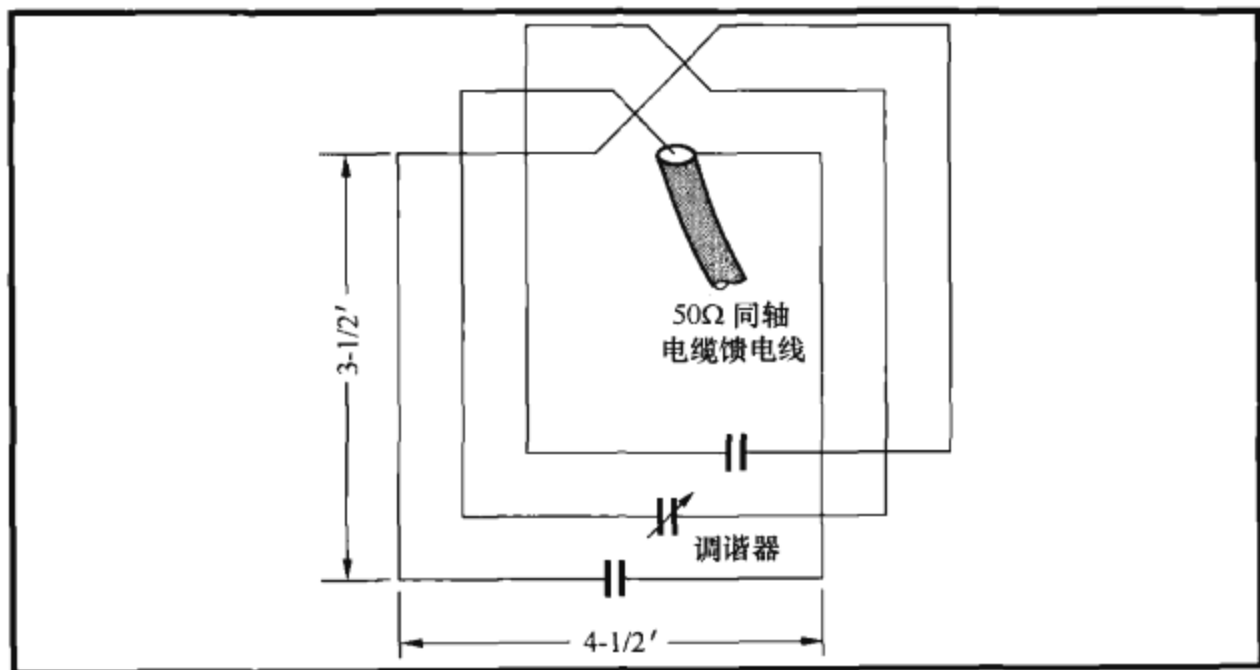
紧凑型发射天线所具有的强大的功能和灵巧的结构使其效力得到了提高——紧凑型意味着 $1/8$ 波长或者更小的圆周结构。根据这个定义，40m 波长的设计可以在 4 平方英尺的范围内完成。在下面的讨论中，我将会稍微偏离此尺寸。我更喜欢 3.5 英尺高、4.5 英尺宽的天线悬挂在垂直平面上，这样对于本设计的天线定位非常便利。

传统的小环路方法是将电容器串联插入，成一匝环路，然后对其进行调谐以达到所想要的谐振频率，然后尝试将功率尽可能高效地反馈到天线上——这不是一个简单的问题。天线的 Q 值是非常庞大的数值，电流和电压也很大，带宽则非常窄，同时它的辐射电阻也非常的低。这种损耗的情况可以通过使用管状薄片状等材料以减小环路材料的电阻来改进，但是由此会导致的管子问题是得不偿失的。

更有前途的方法以构建实用而简单的紧凑型天线为目标，它将出现在不同的结构中。目标是使用更合适的功率分配来“冷冻”天线系统，同时还可以使天线的馈电更加简单。例如，在关键参数的大量改进上通过应用古老的“焊接偶极子”技术还是可能的。这可以通过增加一个额外已经进行了相同的调谐的线圈，串联连接这两个线圈，然后再调谐天线来实现。现在来观察双电流节点中的一个，输入阻抗大概为 4 倍。1 匝线圈环路大概提升 5Ω 或者 6Ω 为 25Ω 。但是增加另外一个这样的线圈，使线圈加倍，这时电阻为 50Ω ——可以非常便利地和同轴电缆进行匹配。如图 45-1 所示，由于使用焊接偶极子，比四匝更多的线圈是没有用的；减小回波可以提高输入阻抗，比欧姆电阻的升高稍微快点。注意到每 1 只大约都为 40pF 的调谐电容器，必须保持它们的电容值几乎

相等，这样可以保持整个天线系统的平衡。

图 45-1 40m 频段的 3 匝环路天线。每一个电容器大约 40pF 来使天线谐振和匹配于 50Ω 传输线。



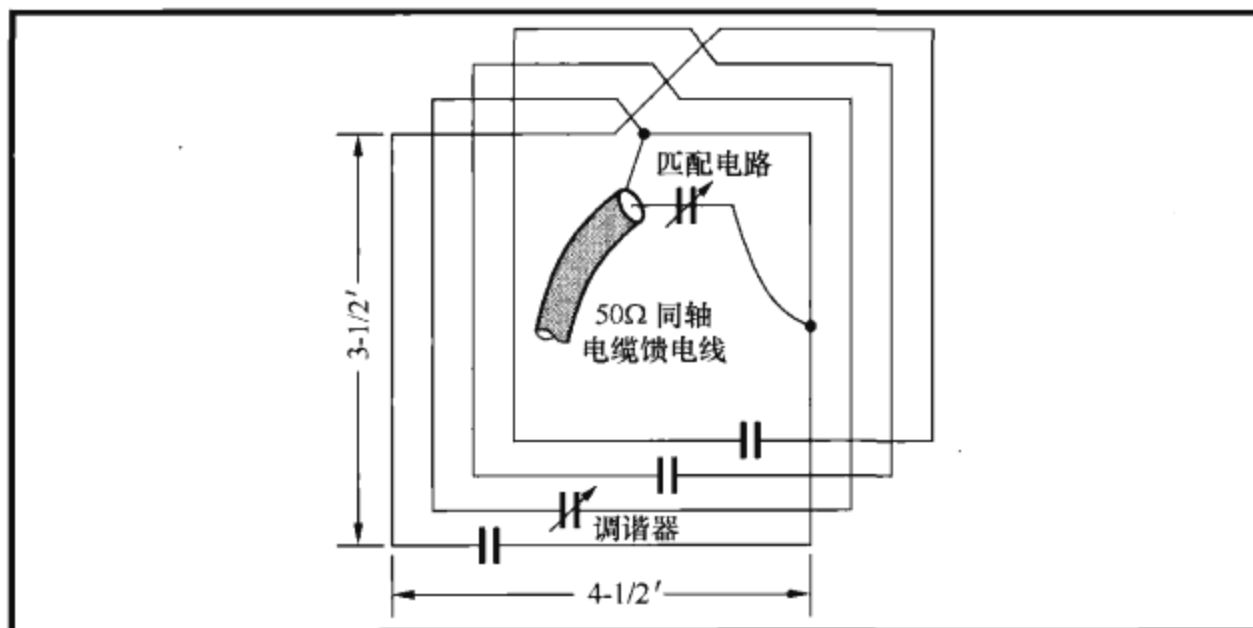
因为电压峰值和电流节点分布贯穿在整个天线系统中，结构技术、导体材料、绝缘性和零件等相对地变得不是非常严格。我使用普通的双芯电缆，2 根电缆缠绕，可以提供 4 个可用的线圈。为了适当的连续性，电线环的每一边上的 4 根导线明显地连接到鳄鱼夹连接器上，还有顶部和底部的中心。对于 7MHz 的工作频率，一个线圈处于开路状态（在顶部和底部），但是正如后面将会讨论到的，这对于更低的频率是非常有用的。更为主流的结构是将编织层连接导线用对比色标注特征。在夹子处使用小纸板隔离器来保持相邻电容器的隔离度。

小型接收机类型的电容器适用于 CW 功率输出，最大可达 100W。这些电容器中的一些，尤其是双轴或者分裂定片型的电容器，应当可以方便地改变调节天线系统至想要的如 1:1 驻波比所显示的中心频率。当天线工作在 7MHz 频率，我的天线上所有的电容器的电容值都为 40pF，所以旧的剩余的 Hammarlund APC 小型电容器可以很精确地完成这个任务。如果稍微高一点的中心频率驻波比可以被交错调谐接受，带宽可以接近正常的线性偶极子的带宽。

完美的 40m 波长天线显示同样的电路环，不需改变尺寸也可以在 80m 频段尝试使用一下。当天线工作在 3.5MHz 频率，它就变成了真正的迷你电路环，周长只有波长的 1/16。增加第 4 个线圈（如图 45-2 所示）来提高馈电点阻抗，并且升高的速率稍微大于欧姆阻抗升高的速度，所以我把它考虑在内。使用小 1kV 陶瓷电容器的便宜的包装来武装，我达到了 3.6MHz 谐振频率，同时 4 个电容器的电容值均为 100pF。其中的一个电容器被旧的广播用的双轴 300-300pF 可变电容器代替以进行调

节。我在 4 匝线圈中的一匝的中央测量了馈电阻抗大约为 18Ω ，很好地在简单的伽马匹配范围之内。所以另外一个 junk-box 类型的广播用可调 350pF 三并行轴电容器支撑在电路环的顶部中央。在 30 英寸伽马引线被悬挂到馈电线圈一边的中央的抽头，以 1:1 的方式匹配于同轴电缆只需要大约 650pF 。然后天线系统在整个 80m 波段 CW 范围内就可以变成可调节的。剩余的陶瓷电容器在 80W 的功率下会稍微发热，表明有明显的功率损耗。如果想要拥有好的性能，应使用低损耗单元来取代这些电容器。但是在我的实验里没有考虑到这些因素。在接下来的几个夜晚里，我可以很简单地联系到东海岸以及最远到达西边的亚利桑那州。

图 45-2 延展图 45-1 中的概念到 80m 和 160m 频段需要在天线上增加另外一匝线圈，同时增加电容值。



如您所想，我下一步想做的就是想办法尝试把这种天线应用于 160m 波段。4 平方英尺的发射天线环路应用于 1.8MHz 是否可行呢？我觉得不是很乐观。在 W9BRD 基站多年的修修打打也未能制造出合适的室内用紧凑型天线，甚至是尺寸大一点的可以适用于高频波段使用的也没有制造出来。但是我对已有的陶瓷电容器进行了深入的研究，并且进行了尝试。拥有 4 匝线圈的电路环现在的周长仅仅为 $1/32$ 波长，使用 4 只 350pF 的电容器，谐振在 1.8MHz。这些电容器中的一种电容被传统的广播用 500pF 可调电容器所取代，以便对天线的中心谐振频率进行调节，调节范围为从 1.8 ~ 1.85MHz。我反复地检查核实，所测得的馈电阻抗均为 16Ω 。现在这副环天线可以正常工作了。在电容值大约为 800pF ，并且使用与 80m 波长天线同样的引线、抽头和广播电容器时，伽马匹配驻波比下降至 1:1。这样，与 WN9W、KC4WWV、WK0B 和 W4VZB 之间进行的即时可靠的 40W 连续波直接通信效果非常令人满意。

变化和更高的频段

如果这样的一个 $1/16$ 波长电路环可以在 80m 波长工作，那么同样也可以在 20m 波长工作。所以我在硬纸盒上缠绕了 1 个三匝线圈的模型，将它悬挂在木制隔板上，使用三只 50pF 陶瓷电容器使它谐振在频率为 14.050MHz。这一次，我没有使用普通的粗制滥造的电容器，我将线圈之间的距离隔开 1.5 英寸。中心频率的调节可以通过统一地缓缓移动线圈使它们之间分离或者靠近来实现。这种空间分离的方法对于使用硬纸盒制作的线圈是很好用的，但是对于更低的频段，我更推荐使用紧密缠绕的双芯电缆。由此产生的输入阻抗为 11Ω ，我应当使用第 4 个线圈，伽马匹配也如在 80m 波段和 160m 波段一样。1:1 馈电线衰减发生在使用 120pF 串联电容器和 13 英寸长的伽马引线时。在整个安装过程中，确实这架天线是非低角度远距离传输辐射器，但是在很多美国的直接通信中我收到了 S9 报告。是否有能够用于 3 平方英寸 2m 波长频段的的天线呢？

天线尺寸小于实际需要的尺寸，这对于证明设计的有效性是非常有帮助的。但是，对于最低的高频频段，我建议使用最大的可以实行的圆周。

对于受到室内安装限制的天线行家，地板到天花板的高度通常是限制尺寸的关键因素。因而，需要更小的谐振电容，更酷的 7 英尺乘以 9 英尺的电路环可以很自然地为 80m 或者 160m 波段使用。

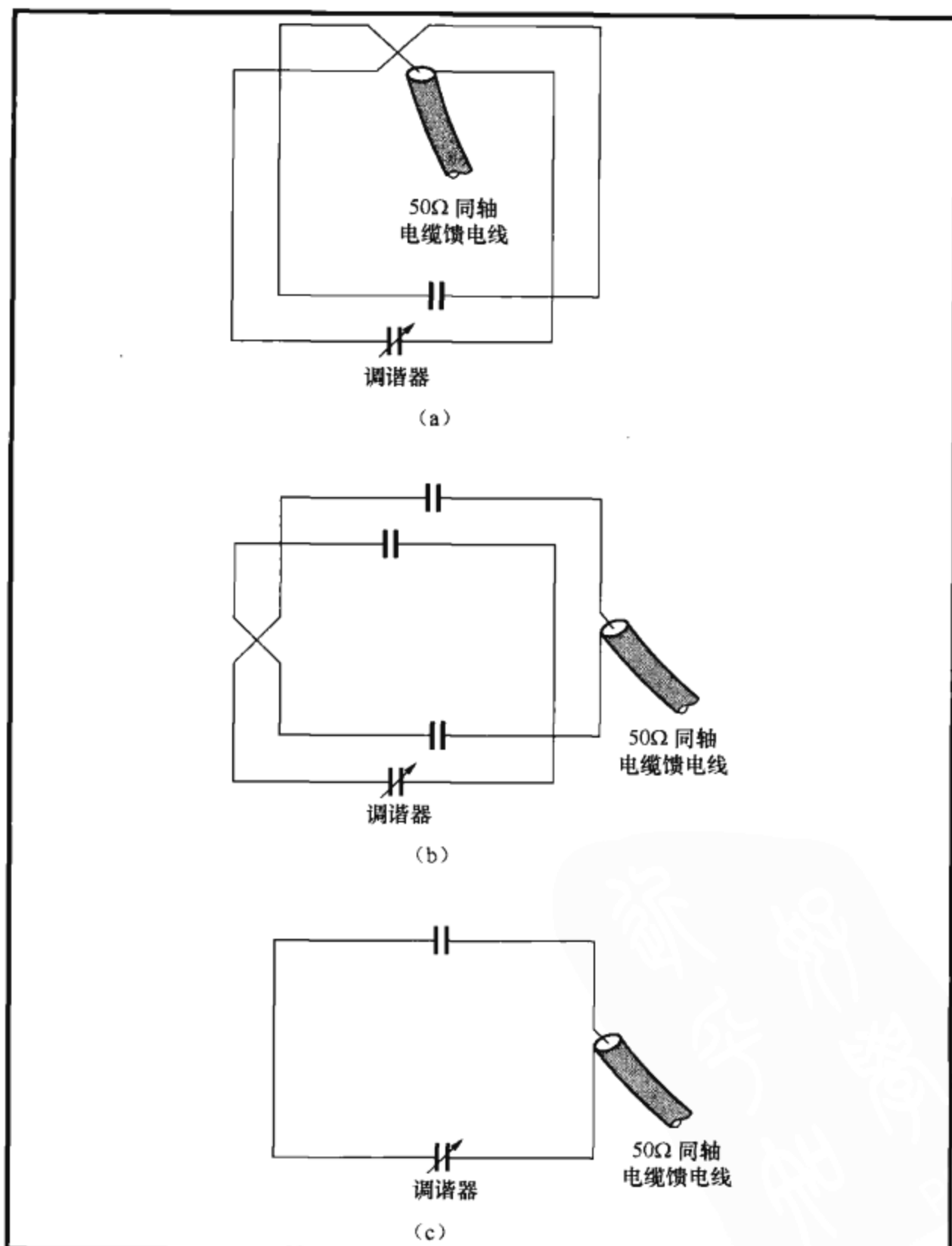
顺便要说的，这里所描述的天线结构的平衡性都非常好。尽管在我的测试中，天线放置在控制器的可调节的距离内，在 80W 的功率水平，没有收发室射频干扰出现在任何频段。仔细的对称是有帮助的，尽管悬空伽马引线在 80m 和 160m 波段使用。同轴电缆馈电器应当从距离垂直边等距的顶端中央馈电点向下向外工作。巴伦或者同轴射频扼流圈也许看上去可以使用，但我却发现这样的隔离是不必要的。然而，当你在放置你的天线时要考虑这样的因素，垂直于电路环平面处会有尖锐的零位出现。

这里我的主要目的就是使得电路环的周长为 $1/8$ 波长或者更小，但是也许在更高的高频频段你也希望使用相同的 3.5 英尺乘以 4.5 英尺的尺寸，我也是这么想的。图 45-3 中的连接方式在 30m 到 10m 波长频段的性能都很好。在每一个频段都可以和 50Ω 同轴电缆进行直接匹配。

实际上，几乎任何旧导线都可以进行 10.1MHz 或者频率更高的直接通信，但是平衡的环辐射器很难在室内无线电通信上占优势。这里有以下线索和观点：

在频率为 10.1MHz 和 14MHz (如图 45-3(a) 所示) 时，只需要两匝线圈就足以达到大约 50Ω 的馈电阻抗了。两只电容器的电容值大约为 20pF，这比天线应用于 30m 频段时要高。

图 45-3 在 (a) 中为 30/20m 环形电路，在 (b) 中为 15/17m 型号，在 (c) 中为 10m 的类型。



对于 17m 和 15m 波长频段（如图 45-3(b) 所示），天线环路构造时必须通过在对称处即中心线处将其分开，使得电气尺寸变得更小。2 个劈开的线圈和 4 个等值电容可以达到 50Ω 的匹配。请注意将馈电点移动到 4 条垂直边中一条的中央位置。电容值在 15pF 左右的范围内均可。

对于 12m 和 10m 波长频段（如图 45-3(c) 所示），一只劈开的线圈和两只 12pF 的电容器就可以满足接近 50Ω 的匹配。这里，分瓣定子微型电容器可以通过减小手电容效应很容易进行调节，但是它包含着手电容，是个别致的废料箱。传统的 APC 微型电容器转子比定子的质量稍微大一点，它可以保持足够的系统平衡。

注意事项和结论

就像任何室内天线一样，我这里所描述的环路在实际运行时可以产生真实的电磁场。因而，它们具有相当可观的潜力来产生 RFI。由于这个原因，并且为了谨慎地避免自己或者其他入位于强大的射频电磁场中，你应当确保所有的天线尽可能地远离用户的电气设备和人群，并且使用所需要的最小的射频功率来进行我们所想要的通信。当前版本的 ARRL《业余无线电手册》和 ARRL《天线手册》都包含了这个话题，并且进行了更加详细的讨论。

最终的评论：对于紧凑型天线的结果，如同所有的架空吊运车一样，距离地面越高越好。在本案例中，辐射和接收都强烈地倾向于更高的天波传播角度。我这里所描述的所有天线构造都经过了在地下无线电收发室中的测试和运行，本天线系统的一半都是在地平面以下。

增长的多环路效率

许多火腿族们在不能竖立更大的天线的情况下，使用小环路天线。和这些天线进行联系很大程度上取决于高辐射效率。这里可以采取一些有效措施来提高一副天线的辐射效率和效力：

使用大尺寸的铜导线，保持铜导线表面的清洁。镀锡导线在这项应用中很明显是不如铜导线的，这是因为表面效应，绝大多数的射频能量都是沿着导线的表面传播的，因而都在锡中传播，而在高频的条件下，

铜的损耗要小于锡。

使用低损耗电容器。这里的关键是减小非传导性损耗，而这对于真空或者空气电介质电容器来说是最有利的。同时你也可以将几个电容并联连接以减小损耗。

在这些环路中增加导线的长度可以增加天线的 Q 值，使带宽变窄，增加电压和电流。由于这个原因，当你增加导线长度时，你也许要使用高质量的电容器而不是实验型号的。

记住当功率水平为几十瓦特或者稍高的时候，高电压会出现在多匝环路天线的导线上，因此，最好使天线保持远离其他物体。

——Roy Lewallen (W7EL)

成功的因素叫做信心

即使我繁忙的家庭生活使得我进行业余火腿族工作的时间越来越少，然而我花在无线电上的时间仍然很恰当。这种想法不仅仅是发展到空中然后联系到任何地方的任何人——这个太简单了。这个想法是做一些野外的小事情，然后看看有没有谁有相同的成长轨迹。所以我就是称为 CQ 的一群人中的一个，花上 10 分钟进行 QRP 在 10149.5kHz，正好是游戏阻碍频段的最低端——有一些人想要在中午寻找或者说期待一些观点。当广播员权威的坦诚地思考 NovTechs 应该有更安全的地形，所以我很自然地就成为去年秋天一个晚上 10 点左右的 7138kHz 频率的 5W, 3×2×1CQ。所以我很自然地得到了 W9BRD 的回答。

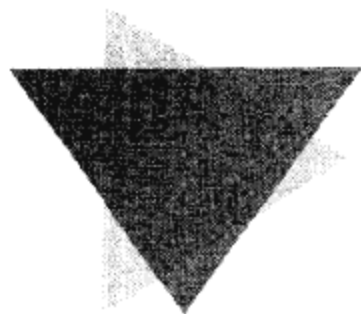
合理的是，在这之前我们已经按时工作了许多次，但是他和我——他是爸爸，我是儿子——从来都没有在改变电台设置或者位置后预先安排每一个新的“首次联系”。对于这个来说机会太容易了，但是然后我也没有极力寻找更好的词语，我也不需要。我们只是在做各自的诡异的事情敲敲电报。

这一次，我们都有了新设置：我正好重新设置我的天线，将收发室挪进卧室，并且通过超过 100 英尺长的混合同轴电缆来使用低偶极子天线；他也尝试了室内的大尺寸的地下环路天线——在这篇文章里微缩的一种天线类型——仅仅只有几十瓦特的功率，管道穿过压路机，广播信号可以就像在其他来自中等尺寸天线的信号一样。

享受另外一次第一次联系的不可思议，我很难对他的设置有第二种想法。但是你会惊讶，如果这样一副天线真的可以工作的话。因此

Gooch' s Paradox 解释它：射频信号必须去一些地方。寻找安慰那些没有线材的没有天线塔的火腿族们，他们辛辛苦苦地使用只有 100W 功率的天线，Newkirk 的 Tiresome Chant 提出：成功的 MF/HF 无线电通信可以在令人惊骇的低接收功率的情况下继续工作。变为普通的要点来说，就是对于成功来说，最重要的单一因素就是，不管你使用什么都是在克服你自己的怀疑。

——David Newkirk (WJ1Z)



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 平方公里 (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) 简介

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，在美国就有了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。