

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

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

图书在版编目 (C I P) 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: 1-4 000 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

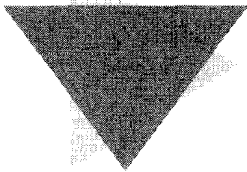
ISBN 978-7-115-24499-4

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

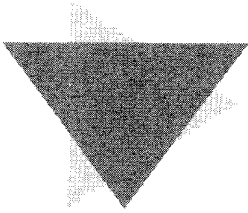
广告经营许可证: 京崇工商广字第 0021 号。



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。



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。

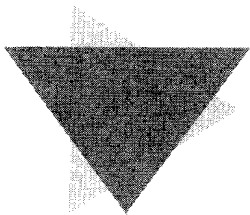
本书从介绍最基本的偶极天线开始，选择性地介绍了多波段的偶极天线、环形天线、共线天线，以及各种宽频带导线天线等。书中给出了很多线天线的设计和制作实例，提供看大量天线结构图和具体数据，从天线的具体制作方法，到如何利用计算机建模设计天线，使天线性能达到最优，都有涉及，并附有相关天线的各种性能曲线，最后还介绍了天线小型化的设计。

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。

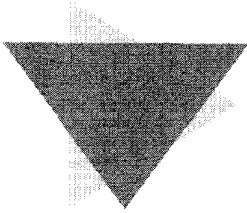
在本书中，你会发现很多关于线天线的经典之作，大家将在本书中接触到线天线及其概念。本书以偶极子天线、偏馈偶极子天线、多波段偶极子天线、环形天线、共线天线、线波束天线、垂直极化天线为特色。也许你想立刻动手制作和使用其中一些天线，丰富的天线资料可能对你在设计天线方面提供灵感。

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

1

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。

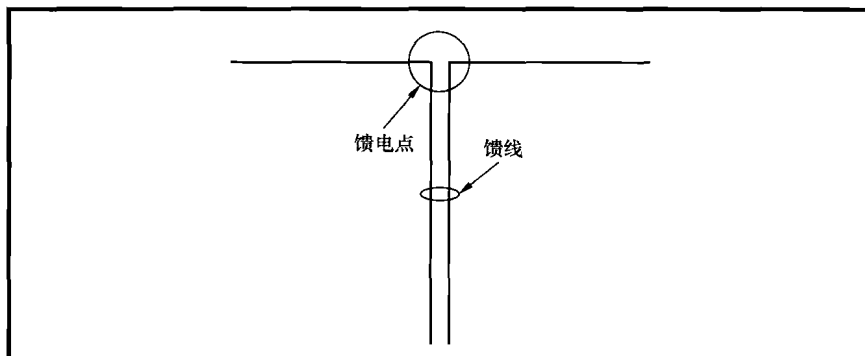
什么是偶极天线？

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的理论要求。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。

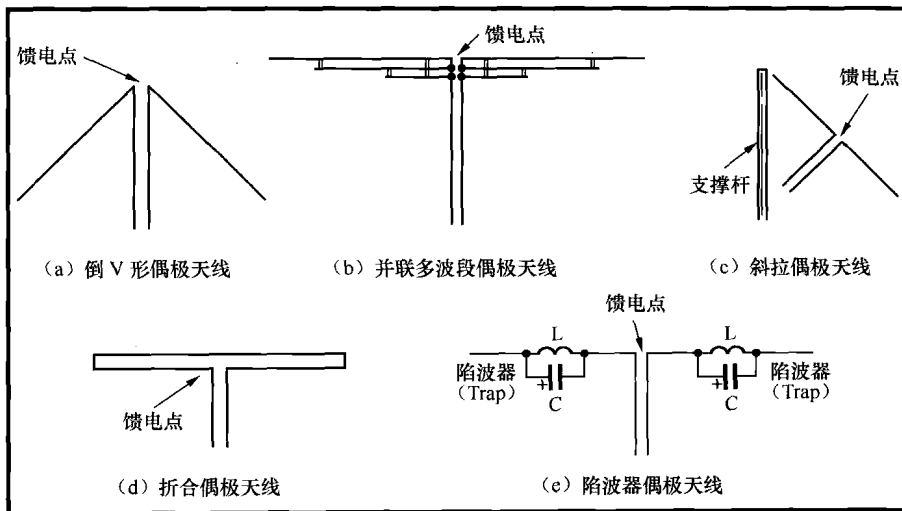
在天线电气高度较低的情况下，很多无线电爱好者做了有益的尝试。例如，80m 偶极天线悬挂在两个 50 英尺（15.24m）的大树上（尽管天线的高度还不到 1/4 波长）。但是我们用 100W 的功率，莫尔斯电码工作模式，同样通联上了欧洲的一些国家。令人高兴的是，此天线在高频段可以工作得更好，因为天线的电气高度距离地面更高些，这些将在随后章节讨论。

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）。陷波器不仅可以用于偶极天线上，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

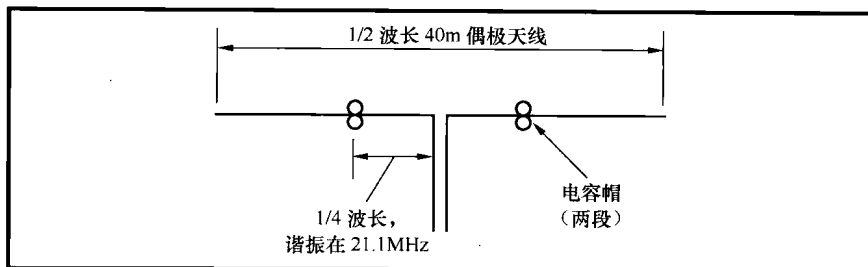
7MHz 和 21MHz 两个业余频段，对初学者和技术等级较低的爱好者尤为适用。前文提到，偶极天线奇次倍频可以形成多波段谐振。因为 21MHz 是 7MHz 的三次倍频，因此 7MHz 偶极天线可以谐振在 21MHz 工作频率上。比较吸引人的是因为我们架设了 40m 天线，可以用同轴电缆馈电，不用天调就可以工作在 40m 和 15m 两个波段。

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

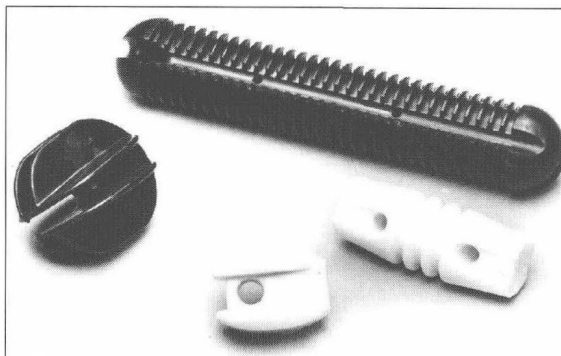
偶极天线几乎可以用任何金属导线和管材制作，但是天线如何工作、如何根据质量进行选材和制作等都是我们事先需要考虑的，下面我们将带你制作、调试偶极天线。

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

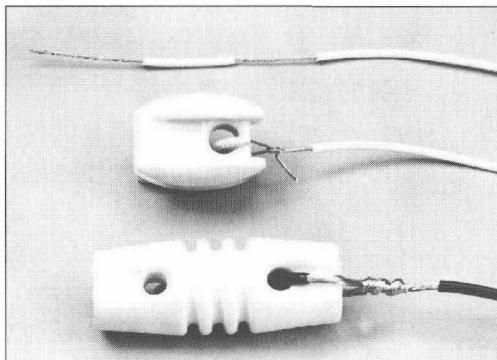
硬木头也可作绝缘材料。因为偶极天线馈电点射频电压最低，不必使用特别的绝缘材料，这就使制作中间绝缘子相对容易。

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，右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。



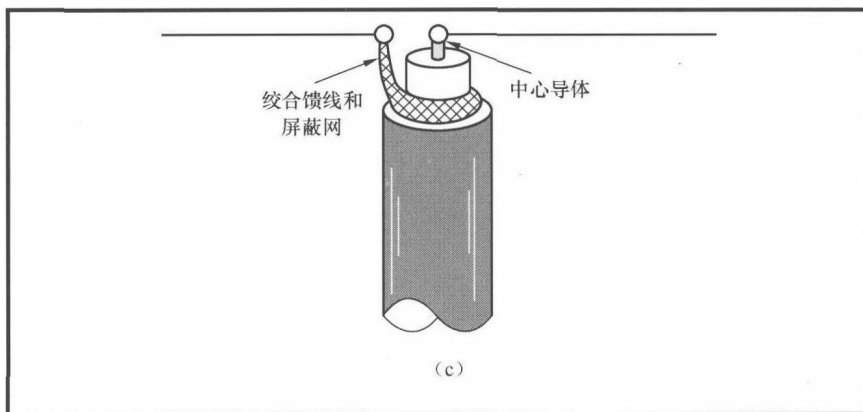
(a)

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) 的指导意义，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。