

无线电

业余无线电丛书

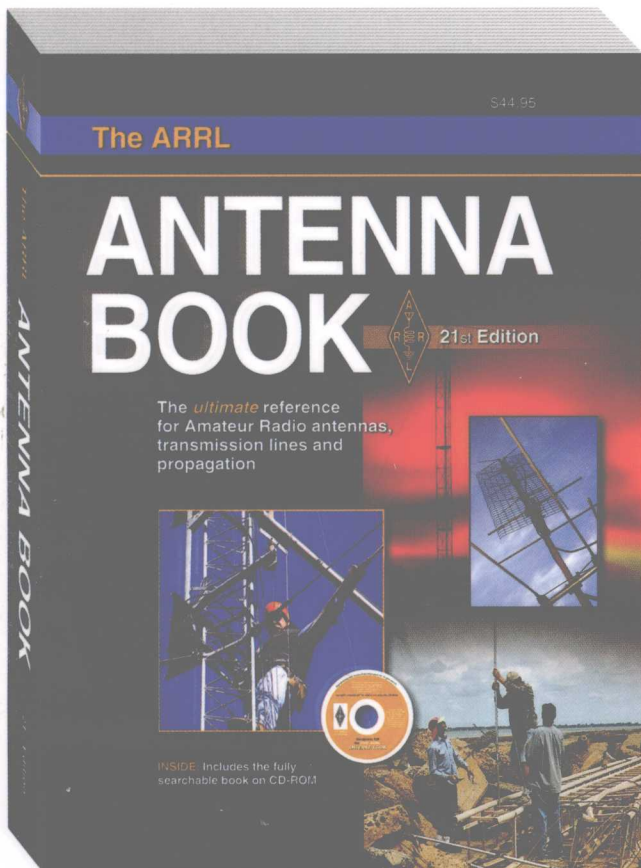


ARRL

The national association for
AMATEUR RADIO

天线手册

The ARRL ANTENNA BOOK



【美】美国业余无线电转播联盟 著
匡磊 陈荣标 (BG7IGG) 等 译 朱守正 审

- 全球业余无线电爱好者公认的ARRL品牌
- 业余无线电爱好者的技术圣典
- 天线专业领域权威著作

中国无线电运动协会推荐

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

无线电 业余无线电丛书



ARRL The national association for
AMATEUR RADIO

天线手册

**The ARRL
ANTENNA BOOK**

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

天线手册 / 美国业余无线电转播联盟著; 匡磊等译.
北京: 人民邮电出版社, 2009.7
(业余无线电丛书)
ISBN 978-7-115-20831-6

I. 天… II. ①美…②匡… III. 天线—技术手册 IV.
TN82-62

中国版本图书馆CIP数据核字 (2009) 第066024号

版 权 声 明

ANTENNA BOOK, 21st Edition by ARRL, ISBN 0-87259-987-6

Copyright ©2006 by The American Radio Relay League, Inc.

This work is publication No. 15 of the Radio Amateur's Library, published by ARRL.

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

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

本书简体中文版由美国业余无线电转播联盟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或抄袭本书的任何部分。

版权所有, 侵权必究。

业余无线电丛书 天线手册

-
- ◆ 著 [美] 美国业余无线电转播联盟
 - 译 匡磊 陈荣标 (BG7IGG) 等
 - 审 朱守正
 - 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: 880×1230 1/16
 - 印张: 53
 - 字数: 1 772 千字 2009 年 7 月第 1 版
 - 印数: 1-4 000 册 2009 年 7 月北京第 1 次印刷
 - 著作权合同登记号 图字: 01-2008-1362 号

ISBN 978-7-115-20831-6/TN

定价: 150.00 元

读者服务热线: (010)67132837 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

内容提要

本书包含设计完整的天线系统所需的所有信息。

本书中既有现代天线理论，也含有大量实用的、教您如何实现工程的实例。通过使用这本书，读者可以获得一些最基本的天线设计知识，如：线天线、环形天线、垂直极化天线、八木天线等，并且以这些知识为基础，对高等天线的理论和应用加以阐释。本版中许多天线的设计直接得益于尖端计算机建模技术的进步。

本书译自英文原版第 21 版，该版经过广泛修订，在原来版本的基础上补充了大量的信息。这本书包含了一些最新的内容，例如：高仰角入射天波（NVIS）技术、相控阵技术、最新的矢量网络分析仪（VNA）的 S 参数，贝弗瑞接收天线，带电机驱动的移动天线，电离层的空间分布图等。您可以通过使用这本书来设计非常专业的天线，并使其最优化。

本书适合业余无线电爱好者，天线技术和射频技术等相关专业的工程师、技术人员及大专院校师生阅读，本书的内容将为他们的学习与实践提供非常有益的帮助。

业余无线电丛书编委会

主任：谢飞波 (BA1XIE)

副主任：蒋伟 (BG1ANA) 陈平 (BA1HAM)

委员：(按姓氏笔画排序)

马惠敏 (BG1RAR) 刘涛 (BD1DO) 陈方 (BA4RC)

陈新宇 (BA1RF) 周海婴 (BA1CY) 范斌 (BA1RB)

钱皋韵 (BA1KY) 龚万骢 (BA1DU) 黄彤 (BG1WXD)

童效勇 (BA1AA) 樊绍民 (BA1EO)

业余无线电丛书序

100 多年以来, 业余无线电活动把数以百万计的男女老少引入了奇妙的无线电技术世界, 使他们变成了能够亲手驾驭无线电波的业余专家, 为人类的发展和文化的进步做出了毋庸置疑的贡献, 得到了社会的赞许, 业余无线电爱好者也因此被赋予合法使用业余无线电频谱的特别权利。

近年来, 随着我国社会的开放和经济的持续发展, 受到朋友启发而加入业余电台操作行列的人群越来越壮大。然而其中不少朋友还刚刚步入门槛, 离成为一名值得称道的业余无线电爱好者还有距离, 因为业余无线电爱好者是需要认真学习无线电技术的, 国家有关法规和国际法规明确规定, 业余无线电爱好者必须是对无线电技术有兴趣的人, 空中活动的内容离不开自我训练和技术交流, 要获准使用业余无线电也必须具备一定的无线电技术知识。要学习, 无线电技术书籍是必不可少的。

在业余无线电的发展历程中, 美国业余无线电协会 (ARRL) 在促进业余无线电活动和技术进步中一直处于领先地位, 所出版的大量业余无线电技术书刊成为世界业余无线电爱好者的启蒙读物和进阶参考, 也经常领导着业余无线电活动的新潮。人民邮电出版社从美国业余无线电协会引进了业余无线电丛书, 首批有 6 本:《ARRL 业余无线电手册》、《天线手册》、《射频电路实战宝典》、《业余无线电入门》、《业余无线电移动应用指南》、《从零起步学电子》。这套丛书是长期风行世界的经典技术图书, 其中凝集了几代业余无线电爱好者的宝贵实践经验, 可以成为我国业余无线电爱好者很好的借鉴, 业余无线电新手尤其可以从中了解国际业余无线电活动传统的丰富内涵, 对于帮助自己认准发展方向具有引导意义。其中的《ARRL 业余无线电手册》和《天线手册》经过不断修订、再版, 它们在我国业余无线电界, 从最早的业余无线电家起, 已经流行了好几代, 但还没有过完整的中文译本。这次出版的丛书除了这两本经典手册外, 其他丛书中的内容包括了业余电台的设置、操作和电路技术初阶, 以及业余电台移动运用等。

我们首先可以通过泛读这些书, 看看国外业余无线电爱好者在学习什么, 从而体会到业余无线电丰富的传统技术内涵, 了解要做一个火腿高手至少还应该掌握哪些方面的知识, 以便修正自己的努力方向和发展目标。这些书籍中还包含了大量实践举例, 可以根据自己不同阶段的需要, 选择相应的内容深入阅读, 在作者的引导下动手解决自己的具体问题。

无疑, 人民邮电出版社对这套丛书的引进、翻译、出版为我国的业余无线电界提供了一个了解世界的窗口, 给大家的学习提供了一个参考平台, 为提高我国业余无线电活动的水平做了一件好事。

业余和专业的区别在于使用电波的目的, 无线电技术本身并没有业余和专业的区别。因此这套书所涉及的原理和方法也可作为专业无线电工作者的参考。

当前无线电是世界迈向信息社会最热门的技术之一, 无线电技术正在经历着空前快速的进步, 作为追逐时代前沿的业余无线电爱好者, 也正在不断瞄准新的目标, 开发新的课题, 有些还没有成书。我国业余无线电活动全面恢复得比较晚, 而我国无线电产业的地位提升得很快。希望我国的新一代火腿朋友能够在认真学习国外经典书刊的基础上, 善于从各种信息来源了解无线电的最新技术动态, 潜心钻研、勇于创新, 把它们移植到自己的活动中来, 使我们的业余无线电活动紧跟时代步伐, 取得持久的活力, 为国家和社会造就更多的优秀的民间业余无线电专家。

中国业余无线电运动协会秘书长
陈平 (BA1HAM)

编前语

美国业余无线电转播联盟的《天线手册》是一本经历了 70 年不断积累和更新的技术手册，在全球范围的业余无线电领域及天线专业领域享有盛誉。从 2007 年年底我们出版社开始组织《天线手册》的翻译和编校工作到正式出版，历时 1 年半。虽然离读者期盼的出版时间延迟了不少，但对这样一本有着 70 年发展历程的权威书籍，出版社和翻译团队一直坚持以严谨的态度来对待版权引进、翻译、出版的每一个环节。

我们组织了由 12 位译者组成的翻译团队来完成全书的翻译。为了保证全书的业余无线电特色和天线领域的技术专业性和，翻译团队中不仅有天线专业领域的高校老师，还有业余无线电爱好者。下面，我们为大家介绍一下这支翻译团队和他们的工作。

华东师范大学匡磊老师完成了本书第 1、3、14、20、23、25、26、27、28 章的翻译工作；

华为技术有限公司陈荣标 (BG7IGG) 老师完成了本书第 5、6、7、9、13、17、19、21 章和附录的翻译工作；

其余的章节由中国科学技术大学集体电台成员完成翻译，分别是：李哲 (BD6ABP) (第 2 章)、钱峰 (第 4 章)、吴建荣 (第 8 章)、蒋永磊 (第 10 章)、朱荣华 (BG6AHS) (第 10 章)、姚海涛 (BG6AGT) (第 12 章)、江晓 (BG6AGH) (第 15 章)、刘杰 (BG6ATS) (第 16、18 章)、薛林林 (第 22 章)、金恬 (BG6ALP) (第 24 章)。

我们还邀请了华东师范大学电子系教授、博士生导师朱守正老师担任本书的技术审查专家。

翻译团队和技术审查专家为本书的出版付出了辛勤的劳动。在本书的出版过程中，我们还得到了刘和平 (BD1HP)、刘燕北 (BD2BH) 等老师在语言习惯调整、图表翻译等方面的帮助。在此，向他们表示衷心的感谢。

本书中的部分内容会涉及原版书的附加光盘资料，读者可以到《无线电》杂志网站 (www.radio.com.cn) 上了解相关资料的获取方式。

由于翻译团队人员较多，在译文风格方面，各章节之间存在差异，而且难免有翻译、排版错漏之处，请读者批评指正。

《无线电》杂志编辑部

2009 年 6 月

专家意见

由人民邮电出版社《无线电》杂志社组织翻译的第 21 版的美国业余无线电转播联盟《天线手册》即将面世了。作为本书的审稿者，通过对本书翻译过程中一年多时间的审稿，我对本书有了一个比较深的了解，结合审稿者 20 多年对天线理论和技术的教学与研发的经验，谈谈对本书的一些看法，或许对读者选择与使用这本手册有所帮助。

天线作为无线系统的不可或缺的关键部件之一，一直受到从事该领域的工程师、学者和有关大专院校的师生的关注。多年来已出版了不少天线技术方面的书籍，其中大致可以分为两类。一类是天线教科书，其注重于天线本身的知识体系结构，适于本科生或研究生的教学应用，如近年来人民邮电出版社出版的本人与安同一教授翻译的 W.L.Stutzman & G.A.Thiele 的《天线理论与设计》、电子工业出版社出版的章文勋教授译的 J.D.Kraus 和 R.J.Marhefka 的《天线》，以及国内同行写的一些天线教材；另一类是天线专著与天线手册。天线专著主要介绍有关天线方面的研究成果，专业性较强，而天线手册注重于介绍各种具体天线技术、设计方法、制作以及应用等，覆盖面较广。美国业余无线电转播联盟的《天线手册》是属于后一类的。

这本手册的内容非常丰富，总计 28 章的内容涉及了天线基础、天线建模与系统规划、多种应用天线、天线阵列、天线材料与附件、天线的接地系统与地面对天线和电波传播的影响、传输线、无线电波传播，以及天线与传输线的测量等，甚至包括了主要天线产品的供应商的概况。

作为一本业余无线电转播联盟的天线手册，其主要内容涵盖了业余无线电频段的几乎所有的主要天线形式，如各种振子天线、环天线、八木天线、多波段天线、宽带天线、对数周期阵列、方框阵列、测向天线、便携天线、移动天线和水上天线、中继台天线系统、VHF 和 UHF 天线，以及用于空间通信的螺旋天线和反射面天线等；同时对业余无线电频段（包括 HF、VHF 和 UHF 频段等）的各种电波传播特点与组织通信的方式等给出了详细的描述。虽然该天线手册历史悠久，但通过一次次再版的修改与补充，因此内容不乏新的天线和电波传播技术，如手册中有相当篇幅介绍了应用当代计算机建模软件分析、设计天线和进行电波传播预测的内容。

与其他天线手册不同的是，这本天线手册还对如何设计、制作所需要的天线，对架设和维护天线系统提供了相当丰富的信息。从如何应用先进的计算机建模技术，如何选择天线、天线杆的材料，如何注意安全性等各方面都有很详细的介绍。除了提供大量的加工图，给出加工数据之外，甚至还给出了业余条件下物美价廉的替代方法和建议。书中附有很多天线的实例，这不仅对业余无线电爱好者中的动手派是一种福音，也可为天线工程师和天线制造企业提供一种很好的参考。

除关注业余无线电频段的人员之外，这本天线手册以其对天线与无线电波传播技术的广泛的覆盖，以及其中一些很有特色内容，对其他天线工程师和从事天线研究与应用的人员也可作为一本很好的参考书。例如：手册中对天线阵列馈电系统的详细描述、对螺旋天线阻抗匹配技术的详细描述、对应用史密斯圆图进行有耗传输线参数计算技术的描述等，在其他天线书籍中是很少能见到的。

美国业余无线电转播联盟《天线手册》自从 1939 年 9 月出版第 1 版以来，到本书已是第 21 版了，这充分说明这本手册的生命力。相信它也可以成为我国从事天线技术工作的科技人员、射频工程师以及相关大专院校师生的一本很好的天线参考书，为我国的天线技术的发展和天线人才的培养作出贡献。

最后，作为这样一本内容浩瀚的巨著，有多名译者参与了本书的翻译，各人的翻译风格不同，本人的水平有限，审稿中难免有疏漏之处，敬请读者不吝指正。

华东师范大学电子系教授 朱守正

2009 年 2 月 5 日

前言

我们非常高兴能为您提供第 21 版的美国业余无线电转播联盟《天线手册》。自从本书的第 1 版在 1939 年 9 月出版以来，所有新版的《天线手册》都能够给您提供关于无线电天线这个吸引人的领域更好的信息。这些年我们已经卖出超过 100 万本的《天线手册》，这些书的用户有类似于无线电爱好者和专业工程师这类的人。这使得本书成为我们一系列种类繁多的出版物中最成功的书之一。

在一版又一版不断更新中，阐述天线基础的部分极少改动，但是这些基础知识的最新应用，可以产生更多更加优化的或者更加专业的天线。例如：本版中许多天线的设计直接得益于尖端计算机建模技术的进步。

我们在每一个新的版本中将会更新其中至少 20% 的内容，这本书也不例外。这里列出如下章节中一些主要修改的地方：

第 2 章：更新了关于“增益”这个概念的信息。

第 6 章：更深层地洞察了追求更低的频率情况下，低仰角的重要性。并且加入了一个全新的小节，用来介绍 NVIS（高仰角入射天波）的实际操作。

第 8 章：增加了一个全新的小节用来介绍 Roy Lewallen 的关于相控阵馈电系统的技术。

第 13 章：更新了贝弗瑞接收天线的相关知识。

第 14 章：在猎狐行动中，新出现的“卷尺”量级的便携式八木天线。

第 16 章：关于带电机驱动的移动天线的新的信息。

第 23 章：在一个小节中，详细详述了电离层的空间分布图。

第 27 章：其中增加了一个新的小节来阐述矢量网络分析仪（VNAs）中所用到的 S 参数。

我们非常荣幸地得到了许多知名的并且在天线方面有很深造诣专家的指导意见。他们中的一些还写了或者是评论了本书中的一些章节，以确保本书技术性问题上的准确性。这些专家有：

Rudy Severns, N6LF, and Roy Lewallen, W7EL——低频天线。

LB Cebik, W4RNL——天线建模。

Dick Jansson, WD4FAB——卫星天线。

Dave Hallidy, K2DH——EME arrays。

Bob Hunsucker, AB7VP, and Carl Luetzelschwab, K9LA——高频电波传播。

尽管我们尽我们最大的努力，但是对于目前这种大量的印刷出版活动，错误在整个出版的过程中仍然会不知不觉地出现，这几乎是不可避免的。如果能够从我们的读者那儿听到关于本书的错误，或者是一些对于本书在未来的版本中如何变得更加有用的建议，我们将非常感激。

ARRL 执行副主席
David Sumner, K1ZZ

目 录

第 1 章	安全第一	1
第 2 章	天线基本理论	25
第 3 章	地面效应	43
第 4 章	天线建模与系统规划	71
第 5 章	环天线	103
第 6 章	低频天线	129
第 7 章	多波段天线	179
第 8 章	多元阵列	213
第 9 章	宽带天线匹配	263
第 10 章	对数周期阵列	281
第 11 章	高频八木天线阵列	307
第 12 章	方框阵列	353
第 13 章	长线与行波天线	363
第 14 章	测向天线	385
第 15 章	便携天线	417
第 16 章	移动天线和水上天线	437
第 17 章	中继台天线系统	475
第 18 章	VHF 和 UHF 天线系统	493
第 19 章	空间通信天线系统	545
第 20 章	天线材料与附件	589
第 21 章	天线产品厂家	603
第 22 章	天线杆	611
第 23 章	无线电波传播	641
第 24 章	传输线	685
第 25 章	发射机与传输线的匹配	711
第 26 章	传输线与天线的匹配	729
第 27 章	天线与传输线的测量	755
第 28 章	史密斯圆图计算	811
附录		827

第 1 章

安全 第一

安全问题首先从你的个人态度开始。如果你把它当作一种习惯，在每次开始工作之前都对你的工作进行详细的计划，对安全方面的问题进行周全的考虑，你将会比“粗心的卡尔”安全得多，他对这方面一直持很随便的态度，没有养成好的习惯。要学会用一种积极的正面的态度去对待安全问题。在你开始工作之前，对你将要进行的工作将可能导致的危险进行详细的分析，千万不要抱着这样的侥幸心理：“我认为这件事不会发生在我身上”。

然而仅对安全问题有一个正确的看法仍然是不够的。你必须对处理常见的安全问题的原则有一定的了解，并且切实遵循它们。安全问题处理原则并不可能涵盖所有你可能遇到的问题，但是当你面对安全问题使用一些常识性的措施时，你就应该能够更加安全地从事你的工作了。

这一章将会为你和你的业余无线电站，提供一些安全问题方面的处理原则和切实可行的保护措施。但是你不要认为我们所说的这些已经包含了对所有安全措施的讨论。对安全方面的考虑将会影响到你在架设一架天线时，对于天线的材料以及安装程序的选择。这本书的其他一些章节将会给你一些关于天线安全架设措施方面更深层次的意见。例如，在第 22 章我们将会给你一些关于架设天线塔方面的重要建议。

架设简易线天线

不管你选择架设什么类型的天线，你都必须记得一些安全方面的关键点。如果你使用弹弓或者是使用弓箭

箭越过一棵树，划过一道完美的弧线，请确保所有的人都离开了你的试验区域。用石头或者是钓鱼线的坠子偶尔击中你的助手并不是什么好事，甚至最终以一起严重的伤害事故结尾。

确保你所架设天线的末端有足够的高度，这样行人就触碰不到它们了。即使你的天线是用来发射一些低功率的信号，在天线的末端也会积累起足够的电压，给其他人造成严重的射频灼伤。如果你所架设的天线是垂直天线，它的底座在地平面上，那么你最好在它的周围至少 4 英尺远的地方，做一个木制的安全隔离栅栏。不要使用金属栅栏，它将会干扰天线系统的正常运行。尤其要确定你的天线没有靠近任何输电线，这是唯一可以确保你的天线不会和它们发生接触的途径。

跟天线有关的工作通常需要有人去爬一座天线塔，或者是爬上一棵树，或者是爬上屋顶，千万不要单独行动！工作的时候要小心缓慢，每次移动之前都要彻底地考虑清楚。在梯子上、天线塔上、树上、屋顶上等的工作人员必须要系上安全带，并且确定它已经安全地固定住了。用细绳或者是轻质的绳索把你的工具系在身上，对你的工作是非常有帮助的（同时也是安全的）。如果工具系在你的身上，当你不小心弄掉它们去捡的时候，就会节省时间，同时也大大降低了伤害地面上你的帮手的风险（在这一章的后面还会有更多的关于爬天线塔以及在天线塔上工作的安全贴士。只要你在地面之上工作，哪怕是架设最简单的天线，这些安全贴士也能起到重要的作用）。

1.1 天线塔安全

如果你对自己所从事的工作一无所知，那么在天线塔以及天线上进行操作是非常危险的，甚至是致命的。

如果你架设天线塔或者天线的过程中出现任何的错误，都将会导致天线和天线塔的严重损坏，或者是个人

的人身伤害。在你的无线电系统中永远使用质量最好的材料。遵守制造商给出的使用规范，多加注意底座以及使用绳索的详细说明。千万不要让天线塔超负荷运行。如果你对自己能安全地在天线塔以及天线上进行操作的能力有任何的怀疑，联系在这一领域内其他有丰富经验的无线电爱好者，或者向专业人员寻求帮助。

第22章，天线维护，提供了更多详细的规范指导，它将会让你知道如何架设一座天线塔的底座，进而架设出一个完整的天线塔。在这一章中还会说明如何在地面给天线塔配置合适的固定绳索以及固定锚。这些都是安装天线塔过程中非常重要的一部分，你最好不要指望走捷径或者是使用一些质量较差的材料。否则整个天线系统的性能以及安全性将会大打折扣。

任何手工操作的活在你使用正确的工具后都会变得更加简单。天线塔方面的操作也不例外。除了一些质量好的种类繁多的扳手、螺丝起子、钳子之外，你还需要一些专业的工具，以便能够更安全更有效地在天线塔上工作。你可能已经拥有这样一些工具，其他的一些工具也可以买到或者是借到。不要急于开始你的工作，直到你装备了所有的这些工具之后才可以开始你的工作。如果你在70英尺的高空拿你的性命打赌，采取了一些所谓的捷径或者是使用了一些临时准备的工具，并且最终你输了，那么这是非常致命的。下面的这些小节将会详细地描述你在天线塔上安全地进行操作时，所需要的一些工具。

1.1.1 衣着

当你在天线塔或者是天线上进行操作时，你所穿的衣服必须精心挑选，以确保最大限度地舒适和安全。穿着合适的衣服将会保持你的身体温暖，并且允许你的身体完全自由地活动。粗斜纹的棉布长裤和长袖的衬衫将会保护你免于被擦伤或者是受到其他诸如戳伤之类的伤害（像运动衫一样没有胸前开口，并且没有容易挂到天线塔上零件的纽扣，套头穿的衬衫是最好的）。你还需要一双鞋底较重的工作鞋，或者最好工作鞋是有钢制的鞋垫芯片（钢片插入鞋底）。当你需要站在狭小的天线塔梯的横挡上时，这样的鞋可以给你的脚以足够的支撑。

无论是对于攀爬天线塔的工作者还是对于地面上工作的地勤人员手套都是必须的。质量好的皮质手套不仅可以保护你的手免受伤害还可以保持手部温暖。在你手持绳索的时候手套也可以给手提供保护，并且还可以提供对绳索更好地控制。在寒冷的季节里，一双轻巧的具有隔热功能的手套，有利于保持你手部的

温暖。当然这副手套不能太过厚实，以至于制约你的手部活动能力。

地勤人员必须戴上坚硬的头盔对头部加以保护，防止天线塔上坠落的物体对自己造成伤害。从天线塔攀爬者身上掉下一些工具或者是一些五金器具并不是什么稀奇的事情。一只扳钳从100英尺的高空坠落下来，砸在松软的地面上，会陷进去好几英尺。你可以想象一下，如果它是砸在毫无防备的头骨上会发生什么事情。

1.1.2 安全带和攀爬附件

任何与天线塔打交道的业余无线电爱好者都必须有一副如图1-1所示那样的高质量的安全带。不要在没有安全带保护的情况下试图去攀爬天线塔，哪怕距离很短也不行。对于有经验的攀爬者来说，安全带不仅仅是安全保护装置，它还可以解放你的双手，以便你更好地进行操作。安全带可以使攀爬者的身体离开天线塔塔体一段距离，向后仰能够得到螺栓或者某些接头。同时还为将天线吊起到空中的时候，身体向相反的方向倾斜使更大的力，提供了一个坚实的平台。



图1-1：Bill Lowry，W1WV使用在天线塔上工作所必需的高质量安全带。安全带应当用大号的钢环作为皮带扣。安全带后部的皮带环应当可以很方便地携带工具。（图片由K1WA提供）

一个攀爬者必须信任他的安全带可以保护他的生命。正是由于这个原因，一根完全符合专业安全标准的、商业制造的、经过测试和认可的安全带才是可以被接受使用的。你可以核对第21章的供应商名单和天线产品供应商，同时也可以查看QST杂志上的攀爬安全带和附件供应商的广告。在每次使用你的安全带之前都要检查其是否有故障。如果安全带或者系索（缚

住天线塔用) 不管是由于什么原因破损了、磨损了或者是折旧了, 销毁已经破损的那根, 并且用一根新的代替。你千万不要想试试看, 你的那根损坏的安全带是不是还能够使用。

在你购买安全带的同时, 你最好还要认真地考虑你是不是还要购买其他的一些攀爬附件。帆布工具套可以更好地帮助你专业工具和五金器具带上天线塔。双层袋, 包含有除了放一些工具的大帆布袋以外, 还有一个小的袋子, 可以和放一些小的五金器具, 使你在找一些你需要的东西时更加容易。还有一些特别的弹簧钩, 它和系于天线塔上的系索末端有点相似。这些弹簧钩可以有利于你将工具包以及其他装备系在天线塔上方便使用的地方。这些弹簧钩要比那些使用绳索在天线塔上打个结捆住的工具包要好。因为在将弹簧钩钩上去以及取下来的时候, 你可以只用一只手就可以完成了。

许多的“火腿族”使用在图 1-1 中所示的攀爬带。但是全套集成的有防摔落配置的以及有安全套装的安全带更好。图 1-2 是型号为 ASL-301 的安全带。在安全带的背后有一个 D 形的扣环, 安全系索就是扣在这个上面的。这些安全带可以通过 Champion Radio Products, Box 572, Woodinville, WA.98 072, www.championradio.com 获得。

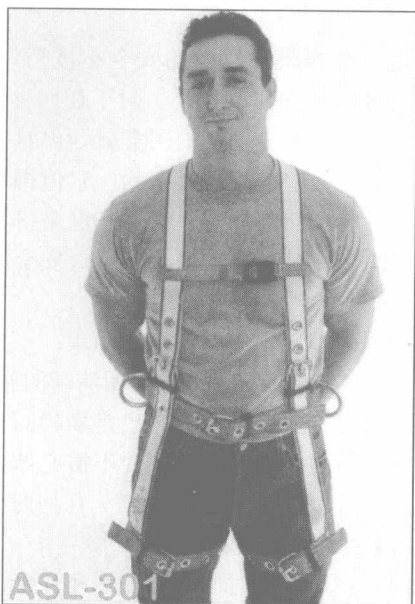


图1-2 垂直保护安全带与攀塔的定位安全带相结合。(图片由Champion Radio Products提供)

绳索和滑轮

所有拥有一座属于自己的天线塔的无线电爱好者, 也应该拥有一个属于自己的高质量的绳索, 这根绳索的长度最起码应该有天线塔高度的两倍。绳索对于安全地架设天线塔、安装天线和电缆是非常必要的。尽管更粗

的绳索将会更加结实, 并且更加易于操纵, 但是对于绝大多数的安装工作来讲, 一根高质量的 1/2 英寸直径的马尼拉麻绳就足够了。当然某些型号的聚丙烯绳索也可以使用, 这个可以查看制造商的质量等级。尼龙绳在这里并不推荐, 因为在使用过一段时间后, 它的长度会变长, 而且不能够安全简单地打结。

每次使用之前都要仔细检查你的绳索, 看看它有没有撕破或者擦破。不要试图继续使用那些已经破损的绳索。如果它从塔架上断开或者是从半空中的天线断开的话, 那么财产损失和人身伤害就是不可避免的结果了。如果你的绳索必须弄湿, 那么在你把它收起来存放时, 务必将它完全彻底地风干。

另一样非常值得购买的是图 1-3 所示的滑轮。为了给您的绳索选择尺寸合适的滑轮, 必须确保您购买的滑轮在绳索绕过它时, 不会阻塞或者束缚住您的绳索。

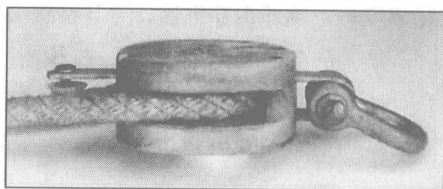


图1-3 高质量的绳索和滑轮是任何天线塔和天线上的工作所不可或缺的。滑轮外部用木材包裹, 所以绳索不会从滑轮里脱落造成阻塞。

1.1.3 起重吊杆

如图 1-4 所示的便是起重吊杆, 它是您在天线塔的零件或者是天线竿上工作时, 一个简易的装置。起重吊杆是被设计用来夹住 Rohn No.25 型天线塔或者 Rohn No.45 型天线塔的一根塔支撑架。那个大约有 12 英尺长的钢管的末端有一个滑轮。绳索就被设计为沿着钢管穿过然后从滑轮上绕过。当起重吊杆被连接在天线塔上, 钢管伸向空中时, 这时绳索可用来将天线塔的零件或者是天线竿拉到空中。图 1-5 显示了这一基本流程。购买一根起重吊杆对于个人来说是比较昂贵的, 尤其是那些只架设一次天线塔的个人。一些无线电爱好者的俱乐部会提供起重吊杆给他们的会员使用。一些经常卖天线塔零件给业余无线电爱好者或者是卖给一些商业用户的商店也会提供起重吊杆出租, 以帮助别人架设天线塔。如果你自己打算做一个属于自己的起重吊杆, 请使用足够重量的材料来制作。为安全地将把杆夹紧在塔上提供一种手段。因为使用的自制起重吊杆失灵, 在地勤人员吊装天线塔零部件时坠落, 这样的案例有许多。

当你在使用起重吊杆时, 尽可能地将负载垂直于地面。尽管起重吊杆是非常结实的, 但是如果你仍然过多地使用侧力, 无疑是自找麻烦。

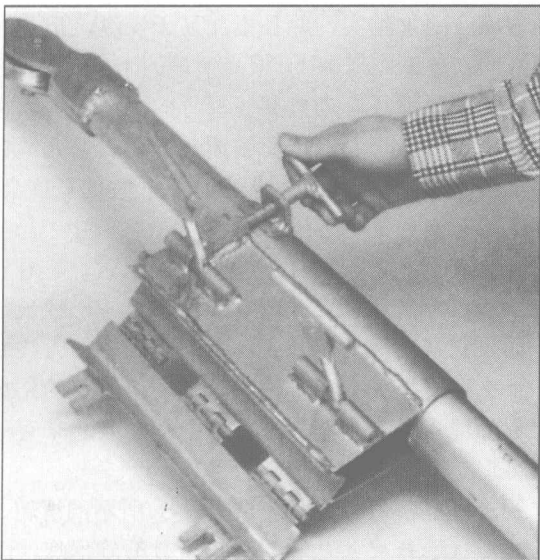


图1-4 起重吊杆可以被夹在天线塔的支架上，可以像桅杆一样帮助组装零件。铝管贯穿夹钳，并且在管夹夹紧之前，塞入到合适的位置。绳索应当穿过管道并且从顶端的滑轮上绕过。



图1-5 当使用起重吊杆将每一个组件吊装至合适的位置时，天线塔零件的组装就变得非常简单了。注意到两个攀塔者的安全带都在电杆的下面扣牢，因此可以防止皮带从顶端的部件上滑落。（图片由K1WA提供）

1.1.4 将天线安装到天线塔

各种不同天线的安装在许多方面也都是不同的。因此事先进行详细地计划安排是安装任何天线过程中重要的第一步。当你开始工作的时候，在你攀爬任何天线塔之前，操作的全部过程都要先在脑海中进行全面地思考。整个天线安装的过程都要事先进行讨论，以确保工作团队中的每一个人都知道将要做什么。对

如何排除所有可能出现的故障，事先做好详尽的计划。事先考虑好哪些工具和零件需要安装，以及在天线塔上哪些原则需要遵循。在爬上天线塔以及从天线塔上下来时，你可能会遇到被拌到的情况，也可以通过事先周密的计划避免。

准备吊起一根桅杆，需要事先进行周密的计划。如果一切准备妥当的话，把一副天线安放到合适的位置上，这样一件实际的工作只需要一个人在天线塔顶端进行操作，便可以很轻松地完成。这里的窍门就是所有的体力活全部由地面上的工作人员来完成，这样可以使在天线塔上的工作人员不需要做这些活，而只需要专心地指挥地面上的人员如何将天线吊装到合适的位置即可。

在天线被吊起安放到它所需要放到的位置之前，天线塔和它周围的空间都必须准备好。地面上的工作人员必须事先将天线塔底座周围的地方打扫干净，否则当工作人员爬上天线塔取下零天线或者是其他一些零部件的时候，会妨碍他们的工作。第一个爬上天线塔的工作人员还需要装配绳索和滑轮，以便吊装天线。对天线塔进行准备的时间是在天线离开地面之前，而不是在你的3.5MHz偶极子天线和它纠缠在一起的时候。

1.1.5 一些爬塔技巧

以下是一些攀爬天线塔的安全小技巧，是由 Tom Willeford, N8ETU 负责搜集的。对于任何喜爱冒险的工作狂来说，安全问题最重要的因素就是你对它要持有正确的态度。安全问题是相当重要的，它值得你仔细地考虑和执行。对安全问题持有正确的态度是每一个爬塔者所必须具有的。但是不要空口说白话，安全问题必须在实际中得到重视。

可靠的“火腿族”安全观点很简单：不要碰不需要碰的运气。没有任何情况是这条简明清晰的原则的例外。这是安全问题的首要原则，当然也是攀爬的首要原则。第二条原则也是同样地简明：不要不情愿结束一项不得不停止的工作。（例如，攀爬天线塔）任何时候只要事情的情况看起来不太妙，就得当机立断。

从容地花费一定的时间对你的攀爬计划进行周密地考虑（或设计），这个时间是不会被浪费掉的。这是安全问题这幢大楼的第一块“基石”。在你攀爬天线塔之前，和将要帮助你完成任务的朋友讨论一下相关的攀爬技巧。选择一定的时间然后再调整至最合适的时间来进行相关的操作。选择一些有经验的人作为整个安装活动的地面总指挥，负责和天线塔上的工作人员进行联络和协调。学习一些关于你将要攀爬的天线塔结构方面的知识，并给自己规划一条合理的最佳攀爬路线。对你在向上攀

爬天线塔以及从天线塔上下来的时候可能会遇到的紧急情况进行推测，并想好解决的办法。

在你的电话机旁边准备好处理有关紧急事件的电话号码，即使它们可能用不到，也以防万一。为援救塔上的工作人员做一个详细的计划是非常有必要的。

对完成你的工程所需要花费的时间进行详细的思考。为爬上天线塔，干活，再从天线塔上下来，这一过程留好足够多的白天的时间。在这当中，休息的时间也是要考虑到进去的，因为这决定了你的工程是否会高质量地完成。记住当太阳落山以后气温会变化得很快。当你的手和脚是冰冷的时候，去爬天线塔或者从天线塔上下来是很困难的，同时也是非常危险的。

对于气候的影响要进行详细的考虑。攀爬天线塔最好只安排在气候条件较好的时间。对风向条件、当地的气温，以及天气预报进行详细地调查和研究。天气的变化可以是非常快的。所以如果你所要攀爬的是一座非常高的天线塔，那么在你攀爬的过程中，实时收听相关的天气灾害警报的广播是个不错的主意。切记绝不要攀爬潮湿的天线塔。

在您打算攀爬天线塔之前，必须切断并且标记天线塔上所有的电源装置或者其他的动力装置。所有的开关或者是断路器都必须贴上清晰的指示标签：“严禁合闸！”。所有在设计的时候允许上锁的开关，都必须用锁锁上（如图 1-6 所示）。只有攀爬者才可以再次连接电源系统。

在攀爬计划中很重要的一部分是认真地查看记录，弄清楚已经安装在天线塔上的装置以及所有以前已经在这座塔上进行过的操作。随身携带笔记本是个好主意，你可以记录下你在天线塔的架设过程或者是天线的安装过程中，所涉及的每一只螺栓和螺母的尺寸。然后，当你需要爬上天线塔进行维修时，你便可以根据你所要进行的操作，携带最少的工具上去。如果你携带了太多的工具和零部件上天线塔的话，你从上面掉东西下来，砸伤地面工作人员，损坏工具的机会就大大增加了。

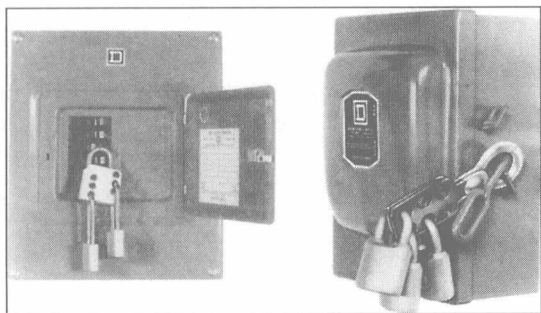


图 1-6 在爬天线塔之前，应把天线开关及电源开关切断，并在盒上加锁并加挂警示牌“严禁合闸”。

另外在你攀爬天线塔之前，认真检查说明图表并且随身携带它也是个很不错的主意。换句话说，在你即将开始工作之前，认真地计划你所要做的事情，高效地安全地完成你所需要做的事情。

使用绳索和滑轮来起吊你所需要的工具更好。攀爬天线塔是一项困难的工作，因此再带上一大包的工具不是非常明智的做法。一般都是由地面上的工作人员操纵绳索和滑轮，将工具和设备起吊或者是取下来。

攀爬使用的安全设备

设备是安全问题需要重点考虑的另一个方面。这里的设备不是说的普通工具，而是安全设备。因为你的生命就决定于安全设备——事实也是如此，所以安全设备必须进行严格挑选和仔细关注。

安全地攀爬天线塔以及在天线塔上安全地工作，所必须的安全设备列表应该包括：

- (1) 一根高质量的安全带
- (2) 安全目镜
- (3) 安全帽
- (4) 长袖的，没有纽扣或开口形成阻碍的套衫（长袖衬衫在攀爬木制杆时尤为重要）
- (5) 没有翻边的长裤
- (6) 牢固的，舒适的，有钢制鞋垫芯片和防滑鞋底，同时还有明显后跟的鞋子
- (7) 不会限制手指活动的手套（如果你必须在寒冷的气候下工作，选择隔热的）

你的安全带必须被认证过可以在你所攀爬的建筑物上使用。不同类型的建筑物可能会需要不同类型的安全钩或者是安全皮带。安全带最好质量较轻，但是不能因为节约重量而牺牲对它在工作强度方面的要求。同时它穿在您的身上时还必须要舒适。所有活动的部件，诸如安全钩之类，都可以灵活地工作。在每次攀爬之前，你最好仔细地，彻底地检查你的安全带以及连接在身上的带子，铆钉、缝纫连接处以及承重轴承的机械部件，你尤其需要注意这些地方。

支撑安全钩最好一直都是钩在朝外结构的 D 形环上。当安全钩和 D 形环相扣的时候，安全钩开口的部分必须避开并且远离天线塔（如图 1-7 所示）。安全钩这样和 D 形环相扣的时候，如果你想把它取下来就会容易很多了。但是当你在爬上天线塔的时候，记住千万不要使塔的一部分压到安全钩上导致它打开，也不要让塔上的一些部件不小心和安全钩扣上了。经常试一试这些安全钩是不是真的可以自如地扣上去和取下来。安全钩不管有没有扣上都会发出相同的声音。所以不要只通过声音

来判断安全钩有没有扣上，在你确信安全钩真的扣上之前，一定要亲眼看一下它是不是真的完全扣上了。

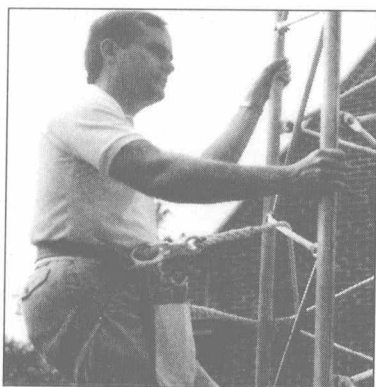


图1-7 Mark Wilson, K1RO示范了系上安全钩的正确方式，将安全钩打开并且正面远离天线塔。通过这种方式连接安全钩就不会因为压在天线塔支架上面而造成意外打开的情况了。

记住，安全带上的D形环是专门为了支撑安全钩而设计的。没有其他的什么工具或者是绳索需要系到D形环上面。其他的一些工具或者绳索应该避免和支撑安全带的钩扣上，否则他们会缠在安全钩上。最多，它们可以保证钩子不至于在紧急情况下松下来。没有人必须要解开安全钩然后才能拿工具，然后在再次工作之前再把安全钩扣上去。这种做法不是聪明的做法。

你所购买的安全设备最好是全新的。自制的安全带或者是自己加固的绳索是非常危险的。已经使用过的安全带可能已经很旧了，或者是缝纫的连接处不牢靠了，或者是可能有其他的一些故障。对一些所谓的“便宜货”一定要多加小心，因为选择这种安全带很有可能会让你付出生命的代价。

皮带、系索还有绳索应当尽可能地短。记住，通常一个普通的结会使绳索负载强度减少大概50%。

在你开始攀爬之前，一定要实地去考察一下你要工作的建筑物。再检查一下你的攀爬线路。检查看看有没有障碍物，天然的障碍物（如黄蜂窝）和人为的障碍物都要看一看。检查建筑物的支撑是否是牢靠的，看看是不是还需要再加固。长绳可能会成为你攀爬的一个障碍，但是多一点支撑总比支撑不足要好。在你上塔之前，在塔下面就检查你的安全带，支撑带以及安全钩是否完好。在你需要使用他们之前先进行实实在在地测试。不要在没安全带的情况下离开地面，哪怕只有5英尺或者是10英尺高。在你做好所有的这些准备之后，如果你有足够的细心，那么后面的攀爬就是小意思了。

攀爬的时候要慢一点稳一点，不要爬过了头。如果你的手和脚都可以很好地控制住身体，那么你的耐性和

警觉性也会越来越强。我们可以从攀岩者身上学到不少东西。在攀爬天线塔的过程中，要定时地进行休息。不要试图通过把手臂或者是腿插到天线塔的一些连接处来休息，同时也不要试图在休息的时候将安全钩打开。休息可以给你提供一个机会，你可以趁此机会来检查一下剩余还要继续攀爬的路线，看看你的安全设备是否感觉良好并且工作正常。同时休息还可以帮助你贮存备用体能，以便应对接下来可能出现的困难。

最后，一定要记住，绝大多数在天线上进行操作时发生的危险，都是发生在你真正地去攀爬天线塔之后，而同时你的安全钩又没有扣上。所以你在上去以及下来的时候都要额外地小心。

你必须爬到天线塔上去安装天线或者在天线上进行操作。然而，一些工作原本是可以在地面上完成的，结果却需要到空中去完成了。如果一些组装过程或者是调节过程你可以在地面上完成，那么就在地面上完成吧。你在天线塔上面花费的时间越少，那么你就会变得越来越优秀。

当你到达工作区域之后，将安全钩扣到天线塔上，并且在脑海中回顾一下你需要做的每一件事情。决定好在哪个位置开展工作是最佳的。解开（释放）你的安全皮带，然后移到那个位置。再重新将你的安全皮带连接到附近安全的地方，记住要远离天线塔的连接处以及其他一些有障碍的地方。如果你必须在一个障碍物周围移动，那就在安全钩钩住的时候试着这样去做，找到一个舒适的位置，然后开始工作。不要移动过头了，因为之后你还需要再移回来工作。

在你的工作任务中要使用正确的工具。如果你的身边没有携带，那么让地勤人员把它吊上来。要有耐心。哪怕是很轻的工具，在你用完它们之后都不要直接扔上去，因为扔下去的工具还会从地面上反弹起来，可能造成人员受伤，工具损坏或者是丢了工具。在工具上系上一段细绳或者是较轻的绳索，然后另一端扣在天线塔上或者是其他的一些地方，这样如果你的工具掉下去的话，它们就不会一直掉到地上去了。无论如何都不要把工具系在你的安全带或者D形环上。

对于天线可能会失去平衡这一情况一定要小心。当你握住哪怕是很小的一根桅杆时，只要你手握住的地方离它的平衡点很远，那么想获得额外的杠杆作用来维持它的平衡都是很困难的。杠杆作用在设备被升起的时候，对于攀爬者来说是有用的。许多滑倒事故以及手指关节的皮擦伤都是由于这种情况引起的。一只严重受伤的手或者是一根严重受伤的手指对于攀爬者来说确实是一个很大的问题。

在你从天线塔上下来之前，检查之前工作中所涉及的所有接线是否接好，以及螺栓和螺母是否拧紧。让地勤人员使用绳索和滑轮将你使用的工具取下来。尽可能地减轻你身上所携带的负载。记住，你下来的时候比你刚刚上去的时候要累得多。在你的安全钩仍然钩在天线塔上的时候，在鞋子里活动活动你的脚趾，轻轻地移动一下你的身体，让你的注意力重新集中。检查一下你下来的路线，然后开始慢慢地下来，要比之前爬上去的时候更加稳重一点。休息对于你从天线塔上下来更加重要。

地面上的总指挥负责管理所有地面上的工作，而且应该是唯一和在天线塔上的工作人员随时保持通信联络的人。手持无线电收发机对于这种通信是非常有用的，但是不应该还有其他人给塔上的工作人员发号施令。因为哪怕是微小的混乱或者是关于在天线塔上移动的误解都是非常危险的。

“天线党”有很多的乐趣，但是这些玩笑以及吊儿郎当的作风都应该等到工作全部完成，所有的人都下来之后再开始。先别忙庆祝，直到所有的工作，包括地勤人员的工作，全部完成的时候，再一起庆祝。

这些仅仅是很少的关于攀爬天线塔安全问题的想法。没有一个完整的清单可以包含所有你必须注意的事项。你还可以在第 22 章中看到一些其他的建议。记住：你在攀爬的时候，多小心。当你在做关于天线方面工作的时候，脑袋里时刻要记着安全问题。同时还要确保在你爱上业余无线电之后，千万不要从上面摔下来。

1.1.6 天线塔防护罩

天线塔可以被合法地认为是可以引起伤害的“吸引人的麻烦事”。你最好给你的塔做好防护措施，以确保一些“未经授权的攀爬者”不能伤害到你的天线塔。这种天线塔防护罩最初是由 Baker Springfield, W4HYU 和 Richard Ely, WA4VHM 在 1976 年的 QST 杂志上首先描述的，以此来消除人们对于天线塔安全的一些顾虑。

通常“吸引人的麻烦事”一说是对你面对入侵者时对你的财产有保护责任（关于你对一个入侵者的责任，法律的规定更加严格）。不管小孩子们是不是技术层面上的入侵，或者也不管是不是你的天线塔自身引诱他们去爬你的塔，你最好还是希望你的天线塔可以不吸引小孩子们。天线塔对于小孩子们来说是很危险的，尤其是因为他们没有鉴别危险的能力。有什么东西可以让小孩子们在他们的第一眼看到天线塔之后，可以忍住不去攀爬它的呢？因为这份危险，所以你有法律职责去采取一些合理的保护措施来消除危险，或者另一方面也可以使小孩子们在面对天线塔诱惑时，免受危险。

天线塔防护罩是由围在天线塔周围的一圈镶板简单地组成的。这使得攀爬天线塔几乎不可能。这些镶板大约有 5 英尺高，并且足够地宽，可以很好地贴合在天线塔的支架和横挡的平面处。5 英尺的高度几乎可以应对所有的紧急情况了。镶板是由厚度规格为 18 的白铁皮金属片做成的。这种金属片可以在本地的金属片商店中获得，然后切成合适的尺寸。当然规格较小的白铁皮也可以使用，但是如果对用白铁皮保护天线塔的横挡，没有采用其他的额外保护措施，那么额外使用物理重量更重规格的白铁皮可更加有用。镶板是由镀锌钢板制成的，支架是铝制的，螺丝钉和螺母则是黄铜制成的。这三种类型的金属都是理想的不易生锈并且不易氧化的材料。对于一个三角形的天线塔来说，防护罩由三块镶板组成，三块镶板中的每一个面都是由两个支架支撑的。这些支架是用 6 英寸的薄铝皮角形支架制作而成。把其中的两只角形支架用螺丝钉和螺母栓成 Z 形的支架。（如图 1-8、图 1-9 和图 1-10 所示）这里的 Z 形支架是由头部镶有黄铜的机械螺钉拧在一起的。

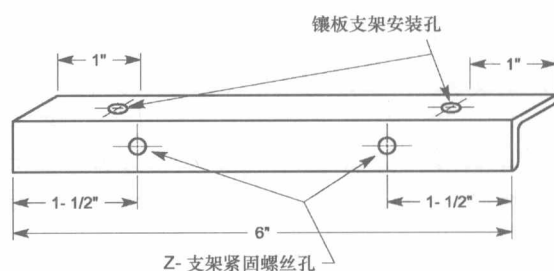


图 1-8 Z-支架元件片。

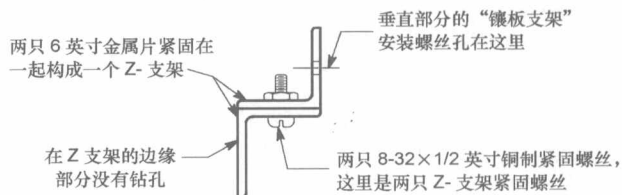


图 1-9 装配 Z-支架。

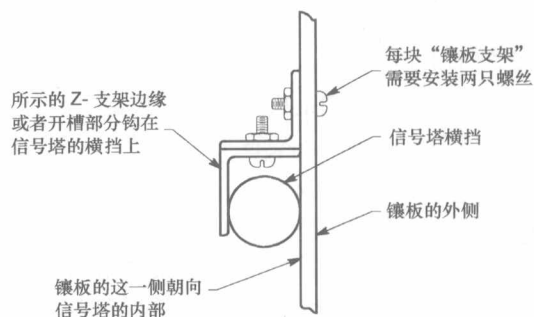


图 1-10 天线塔梯的横挡上安装屏蔽装置。