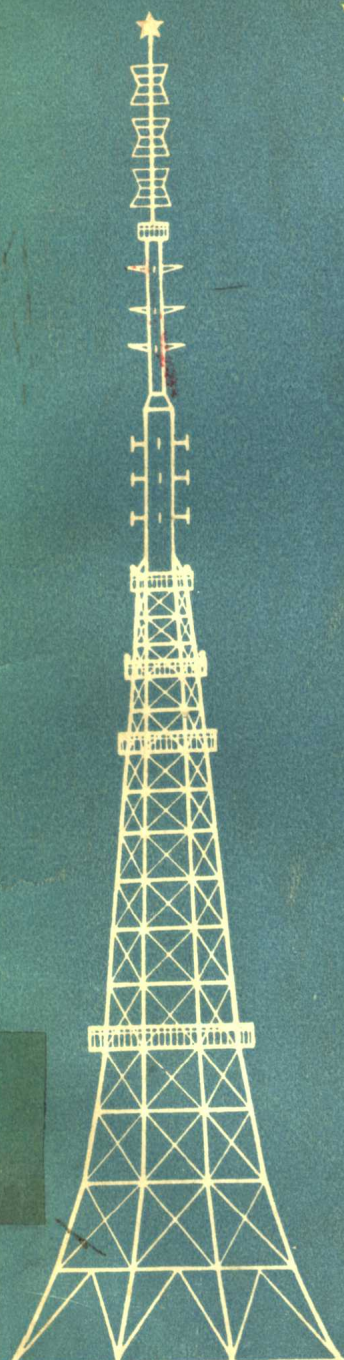


塔桅钢结构设计



中国建筑工程出版社

塔 桅 鋼 結 構 設 計

原北京工业建筑设计院金属结构室

中国 建筑工业出版社

本书系统地介绍了塔桅钢结构的设计理论和计算方法。全书分荷载、材料、构造、计算、制图、基础地锚和计算实例等章，还介绍了塔桅钢结构的一般制造和架设方法。

本书可供土建工程技术人员和大专院校土建专业师生参考。

本书系根据原中国工业出版社一九六六年的版型付印，未作增删。

塔桅钢结构设计

原北京工业建筑设计院金属结构室

*

中国建筑工业出版社出版（北京西外向东路19号）

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京印刷六厂印刷

*

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：22 $\frac{1}{2}$ 字数：505千字

1972年7月第一版 1972年7月第一次印刷

印数：5,500册 定价：2.10元

统一书号：15040·3026

毛主席語录

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。

前 言

在我国的社会主义建設事业中，随着工业、交通和广播邮电事业的发展，作为支承各种天綫和工业輸电等用途的塔桅鋼結構，得到了广泛的应用和发展。这种結構，解放前，国内設計和建造的极少。解放后，在伟大領袖毛主席和中国共产党的正确领导下，广大建筑工人和技术人員，发揚了独立自主，自力更生，艰苦奋斗，奋发图強的革命精神，設計和建造了許多塔桅鋼結構，成功地解决了高耸塔架和桅杆的設計、制造和安裝的問題。

本书主要介紹我室多年来对塔桅鋼結構的設計經驗和研究成果。全书各章的安排，基本上以設計的需要和要求为依据。第一～三章，概述了塔桅鋼結構的用途、分类、設計所需的原始資料、荷載的計算和組合等。第四章，全面地介紹了鋼材、鋼絲繩和絕緣子等材料的規格、性能及其选择原則。第五章介紹了結構形式的选择方法。第六章介紹了結構构件承載能力的計算及其构造要求。第七章，系統地介紹了桅杆的計算理論和計算方法。第八章詳尽地介紹了塔架的計算，包括平面桁架法、空間桁架法和网架法，并通过电视塔模型試驗，証明这几种方法是目前塔架設計中較为实用和合理的。第九～十二章分別介紹了具有不同特点 and 要求的塔桅結構的設計。第十三章介紹了基础及地錨的設計。第十四章敘述了施工詳图設計的方法、程序和內容。此外，为了便于設計人員参考，还概述了塔桅鋼結構常用的圓鋼結構的加工特点、过程和工艺要求等，以及塔桅鋼結構一般架設方法和維護要求，并列出了几个計算实例。在附录中，列有九种塔桅鋼結構設計中常用的数字和图表。

由于我們經驗和水平有限，加之成稿仓促，书中謬誤之处，在所难免，請讀者提出批評意見，以便不断改进和提高。

本书初稿，曾蒙清华大学鋼結構教研室的老师們詳細审閱并提出不少宝贵意見，在此表示謝意。

北京工业建筑設計院金属結構室

1964年11月

目 录

第一章 概論	1
第一节 塔桅結構的主要用途	1
第二节 关于无线电波的一般概念	1
第三节 中波及短波广播	3
第四节 微波通訊	5
第五节 电视广播	7
第六节 天线建筑及其分类	9
結 語	13
第二章 原始資料	14
第一节 工艺設計資料	14
第二节 自然資料	16
第三节 建筑設計資料	16
第三章 荷 載	18
第一节 荷载的分类	18
第二节 結構自重及設備重	18
第三节 活荷载	19
第四节 风荷载	19
第五节 裹冰和积雪荷载	21
第六节 温度荷载	22
第七节 地震荷载	22
第八节 天线线网张力	22
第九节 其他荷载	23
第十节 荷载組合	23
第四章 材料及材料选择	25
第一节 概述	25
第二节 絕緣材料	25
第三节 鋼絲繩	28
第四节 鋼材的种类	29
第五节 鋼材的截面型式	31
第六节 焊条和螺栓	33
第五章 結構形式选择	35
第一节 概述	35
第二节 小型桅杆和小型塔架	35
第三节 輕型桅杆	39
第四节 重型桅杆	40

第五节	撑杆式和榑杆式桅杆	42
第六节	塔架的平截面形式	43
第七节	塔架的立面形式	44
第八节	塔架的腹杆体系	47
第九节	圆钢组成的塔架	50
第十节	塔架变截面处的连接形式	51
第十一节	多边形塔架的横膈及电梯井道的结构形式	53
第十二节	塔上的游览平台	56
第六章	结构构件承载能力的计算	57
第一节	中心受拉构件和中心受压构件	57
第二节	受弯构件	58
第三节	偏心受拉和偏心受压构件	60
第四节	格构式构件的局部强度及局部稳定	62
第五节	构造上的要求	63
第六节	连接计算	64
第七章	桅杆计算	66
第一节	桅杆计算原理概述	66
纤 绳 计 算		
第二节	柔索原理及桅杆纤绳计算基础	68
第三节	计算风向及纤绳结点水平荷载	74
第四节	三方纤绳的纤绳计算	76
第五节	四方纤绳的纤绳计算	79
杆 身 计 算		
第六节	按弹性支座连续梁计算桅杆	81
第七节	桅杆计算的近似法——简支梁法	90
第八节	按给定位移法计算桅杆	92
第九节	桅杆杆身内力的计算	95
第十节	桅杆的扭力及扭转变形的计算	97
稳 定 计 算		
第十一节	桅杆的整体稳定问题	100
第十二节	桅杆的局部稳定验算	101
第十三节	桅杆整体稳定计算的精确法	102
第十四节	计算桅杆整体稳定的铰链法	103
第十五节	计算桅杆整体稳定的平均参数法	106
第十六节	桅杆的自振周期计算	109
第八章	塔架计算	114
第一节	概述	114

DAL 75/13

第二节 平面桁架法	115
(一) 平面桁架法的基本原理及其适用范围	115
(二) 塔架杆件内力的计算	116
(三) 塔架的位移计算	118
第三节 空间桁架法	119
(一) 空间桁架法的基本假定	119
(二) 交叉刚性斜杆塔架在侧向荷载作用下的杆件内力	119
(三) 交叉柔性斜杆塔架在侧向荷载作用下的杆件内力	127
(四) K形斜杆塔架在侧向荷载作用下的杆件内力	129
(五) 在扭力及垂直荷载作用下塔架的杆件内力	130
(六) 横膈的计算	131
(七) 塔架的变位计算	132
第四节 网架法	135
(一) 网架法的基本假定及其计算基础	135
(二) 侧向荷载作用下的塔架计算	137
第五节 塔架的自振周期计算	140
第九章 无线电桅杆设计	141
第一节 无线电桅杆的主要组成部分及其构造	141
第二节 杆身的腹杆布置	145
第三节 纤绳布置	146
第四节 结构计算	147
第十章 无线电塔架设计	149
第一节 无线电塔架及其特点	149
第二节 天线荷载	150
第三节 材料及结构形式	151
第四节 主要组成部分及其构造	152
第五节 结构尺寸及构件的标准化问题	156
第六节 结构计算	157
第十一章 微波塔设计	162
第一节 微波塔的特点	162
第二节 材料及结构形式	162
第三节 微波塔的构造	165
第四节 结构计算	168
第十二章 电视塔设计	170
第一节 电视塔概述	170
第二节 材料及结构形式的选择	170
第三节 平台及横膈布置	172
第四节 电梯井道、馈管、电缆及管道的布置	173
第五节 爬梯布置	174
第六节 节点设计	175

第七节 安装方案的考虑	183
第八节 结构计算	183
第九节 延长天线支持物及降低变位的几个方法	184
第十三章 基础与地锚	186
第一节 基础地锚概述	186
第二节 基础地锚的构造	186
第三节 基础及地锚的荷载	189
第四节 塔架基础的設計	191
第五节 桅杆中央基础的設計	192
第六节 板状地锚的設計	192
第七节 重力式地锚的設計	195
第十四章 設計程序及施工詳图設計	196
第一节 設計程序	196
第二节 施工詳图的内容及其設計步驟	197
第三节 塔桅鋼結構施工詳图的特点	198
第四节 几何尺寸	198
第五节 构造設計	201
第六节 构件編号	202
第七节 安装节点图	203
第八节 构件施工詳图	204
第九节 施工詳图設計說明书	211
第十五章 圓鋼結構的制造	212
第一节 圓鋼結構制造工艺的特点	212
第二节 施工准备工作	213
第三节 零件加工	214
第四节 构件組装	216
第五节 焊接	218
第六节 厂内外运输	220
第七节 設計中如何考虑制造、运输和安装的問題	221
第十六章 塔桅結構的架設及維護	223
第一节 概述	223
第二节 起重机械及設備	223
第三节 施工組織設計	230
第四节 桅杆杆身的分段架設	232
第五节 輕型桅杆的架設	235
第六节 塔架的分件架設	236
第七节 塔桅結構的整体架設	237
第八节 电视塔的架設	238
第九节 保安技术措施	239
第十节 塔桅結構的維護	240

X

第十七章 計算举例	241
第一节 无线电桅杆計算	241
第二节 拉线式微波塔計算	257
第三节 四边形塔架計算	271
第四节 八边形塔架計算	300
附录	318
附录 I 三角系数 a, b, c	318
附录 II 受压构件折减系数表	319
附录 III 型钢鋼材规格表	321
附录 IV 型钢螺栓排列线距表	342
附录 V 螺栓承载能力表	343
附录 VI 几种常用断面的力学性能表	344
附录 VII 型钢复合断面回轉半径的近似值	345
附录 VIII 梯形形心位置計算图表	346
附录 IX 載重車輛运输尺寸限制	346
后記	349

第一章 概 論

第一节 塔桅結構的主要用途

塔桅結構，是指高聳的自立于地面的塔形結構，和高聳的靠纜繩維持穩定的桅形結構。最早的塔形結構多系磚石砌體，最早的桅形結構即船桅結構。由於近代工業和無線電技術的發展，塔形結構和桅形結構的使用範圍日益擴大，而且在結構上也得到了相當大的發展。塔形結構和桅形結構不僅在結構上有很多共同之點，而且在應用上也有共同之處。自從塔形結構和桅形結構隨著使用範圍的擴大，由磚石砌體、木結構逐步發展為鋼筋混凝土結構或鋼結構，成為應用相當廣泛的特种結構之一，而通稱為塔桅結構。

在航海和航空設施上、在大型體育場和大的公共場所中，安裝指示燈或照明燈用的燈塔；體育運動用的跳傘塔等，都屬於塔桅結構。

工業上用的煙囪、鑽井架、架空索道纜索支架、風動機架、冷卻水塔、排氣筒塔，以及工業或民用的給水塔也是常見的塔桅結構。

在建築業中，塔桅結構也常被用來作垂直運輸和起重用的支架，如井式升降機、桅杆起重機、塔式起重機和纜索起重機等。大型的塔式起重機和纜索起重機，往往有重達數十噸以至千噸的塔架構成的。

大型的水電站和火力發電站都要有高壓遠距離輸電線路。這種輸電線路上的電線支架，多半是用金屬或鋼筋混凝土作成的塔形或桅形結構，即所謂輸電線路塔。特別是在高壓線路跨過大河和山谷時，輸電線路塔往往是比较龐大的結構，其高度有達 100m 或更高的。

近代測量工作要求有高而輕便的測繪塔和測繪標志塔。現代的天文觀測和雷達設備，也都要應用到塔桅結構。

由於無線電通訊和無線電廣播技術的迅速發展，就給塔桅結構的應用和發展提出了新的要求，並开辟了更廣闊的道路。現在，無線電天線建築，已經成為塔桅結構最主要的用途之一。

本書主要介紹無線電塔桅鋼結構的設計，也可作為其他類似塔桅結構設計的參考。

第二节 关于無線電波的一般概念

無線電波是電磁波的一種，可以傳遞一定的能量。它在真空中的傳播速率與光波的傳播速率相等，即每秒鐘 30 萬公里，在介質中的傳播速率則稍低。

無線電波在傳播的過程中，也具有和光波一樣的反射、折射和繞射等現象。無線電波和光波不同的地方，在於無線電波是不可見的，光波是可以看見的。

反映無線電波性質的基本特征是它的頻率和波長。頻率、波長和傳播速率之間有一定

的关系。波长是无线电波每完成一次完全振动在空間所传播的距离。频率是无线电波每秒钟振动的次数。无线电波在空間的传播速率可用下式表达：

$$V = \lambda \times f$$

式中 V ——无线电波的传播速率 3×10^8 (m/sec)；

λ ——无线电波的波长 (m)；

f ——无线电波的频率 (周/sec)。

由于无线电波的传播速率在一定的介质中是个常数，因此，波长和频率互成反比，无线电波的频率愈高，它的波长愈短；频率愈低，波长愈长。

无线电波的另外一个特性，就是由于它的波长不同，它在空中的传播方式以及电能的损耗等均有所不同。

无线电波在广播和其他无线电通讯中的使用，是把声波或图象的光波，通过各种机械，使之转变为电磁波，再使这些电磁波从一定形式的导线（天线）上发射出去，在空中传播；然后，通过另一套接收设备，将空中的电磁波接收，并使之再转变为声波或图象的光波。这样就完成了整个无线电发射和接收的过程。

根据无线电波的特性和各种使用的要求，无线电波通常是按照其波长和频率，分成长波、中波、短波和超短波等波段。

按照使用上的界限和习惯，各种波段的分界大致如表1-1所示：

无 线 电 波 的 波 段

表 1-1

波 段 名 称		波 长 (米)	频 率 (千周)
长 波		20000~3000	15~100
中 波		3000~200	100~1500
短 波		200~10	1500~30000
超 短 波	米 波	10~1.00	30000~300000
	分 米 波	1.00~0.10	300000~3000000
	厘 米 波	0.10~0.01	3000000~30000000

无线电波在空中是沿着各方向传播的。其中顺地面传播的电波，我们称它为地波；经电离层反射的叫天波；直接传播的叫空间波；如图1-1所示。

地波在沿地面传播时，其能量强度随着传播距离的增大而减弱。同时，地波中有一部分能量被地面所吸收。这种吸收现象是由于地波促使地面产生电流而引起的。地波能量损失与很多因素有关，特别是与地球表面的特性有关。例如海面比陆地的电能损耗小，因为海水比陆地的传播性大，即海水的介质常数及导电率较大。显然，传播性大的物质，引起电能的损耗小。各种障碍物都会减小无线电波的传播距离。

地波能量损耗的大小，除与地球表面的特性有关外，尚与电波本身的波长有关，随着波长的增加，电能的损耗跟着减小，地波传播的距离也将随之增大。

地波在传播过程中，如遇山谷等障碍物，波长較长的电波比波长較短的电波容易繞射。因此，在各种波段中，长波的繞射性能較好，中波次之，短波較差，超短波几乎沒有这种繞射的特性。

为了更好地說明天波的传播，我們先介紹一下与无线电波传播有关的几个隔离层。

空中具有这样几个带游离电子的隔离层，即D层、E层和F₂层，如图1-1所示。D层离地面的距离約为60~80公里，D层至E层的距离約为110~130公里，E层至F₂层的距离約为200~400公里。这几个游离层对于各种波长的无线电波都起着不同的作用。

D层只有在白天存在。F₂层的高度，随季节、白天、黑夜和太阳的黑子而变化。

长波的天波靠D层反射至地面。因为D层仅在白天存在，而且长波的地波有損耗小、繞射性能好等特点，所以长波主要是依靠地波来传播的。

中波除靠地波传播以外，还靠天波传播。天波依靠E层反射。在白天，天波穿过D层时，有相当一部分被D层所吸收（損耗），因此，中波广播的效果，夜間比白天好。另外，在离发射台近的地方，靠地波收听，在离发射台远的地方，靠天波收听；这样，中間就可能有一段地区的地波和天波都比较弱或者沒有。这一地区叫作衰落区。这个衰落区的衰落現象在日出和日落时最为显著。

由于短波的地波損耗很大，所以，短波主要是依靠天波来传播的。短波的天波主要是靠F₂层来反射。

超短波在很多方面都和其它波段不同。如超短波不靠电离层反射，也几乎沒有繞射現象。因此，用超短波通訊，只能在直接可見的、中間沒有障碍物的两点間进行。长距离的超短波通訊，中間要設許多接力站。

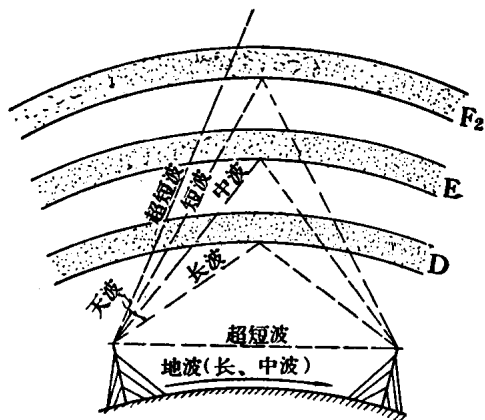


图 1-1 无线电波的传播

第三节 中波及短波广播

长波由于受雷电的影响大，以及所需要的发射机功率大等缺点，現在已經很少用了。目前在各种通訊和广播中，最常見的是中波和短波。中波适用于中距离广播；短波适用于长距离通訊。

作为无线电通訊的发射台或广播站，其主要設備是发射机和发射天线。作为无线电波的接收站，其主要設備是接收机和接收天线。

天线在发射和接收的过程中，起着很重要的作用。如前所述，无线电天线的作用，就是把无线电波发射到空中去，或者把空中的无线电波接收进来，天线对发射和接收來說，是具有可逆性的，它既能发射无线电波，也能接收无线电波。

根据无线电波的传播方式以及广播的服务范围，天线的形式也有所不同。主要依靠地波传播的天线，往往是作成垂直方向的。主要依靠天波传播的天线，往往是作成水平方向的。

中波广播主要是依靠地波来传播，其天线多半都是垂直天线。垂直天线的具体形式有T形天线，有以塔身作为发射体的单根垂直天线，也有多个垂直天线联合使用的定向天线。

“T形天线”由两个桅杆架起的一条水平导线，和在水平导线的中央悬挂的一根垂直天线构成。在水平导线的两端，用绝缘子将导线与桅杆隔开；在垂直天线的下端，用绝缘子将天线与地面隔开。如图1-2所示。这种天线的垂直天线部分是发射无线电波的天线；水平部分没有发射作用，但当水平导线很长时，垂直部分的发射强度会显著提高。虽然如此，“T形天线”的发射效果还是较差的，并且天线本身常因强风，积雪和裹冰的作用容易断落，使得维护工作相当麻烦。基于这些缺点，“T形天线”现在已很少采用。

图1-2的桅杆是仅作为T形天线的支持物。

目前在中波广播中使用较多的，是用桅杆本身作为发射体的“桅杆天线”，如图1-3所示。它是用一个桅杆构成的，桅杆底座与地面绝缘；桅杆杆身与桅杆纤绳绝缘，而且按照电气要求，在纤绳上每隔一定距离设有绝缘子。

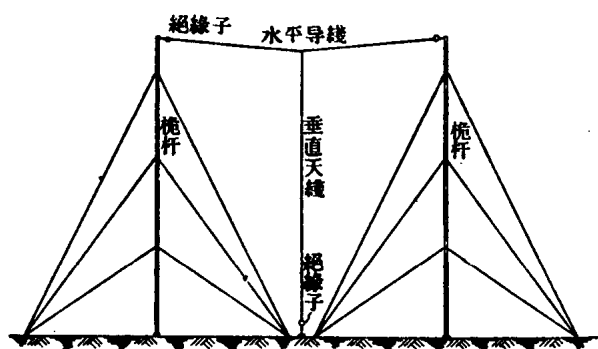


图 1-2 T形天线

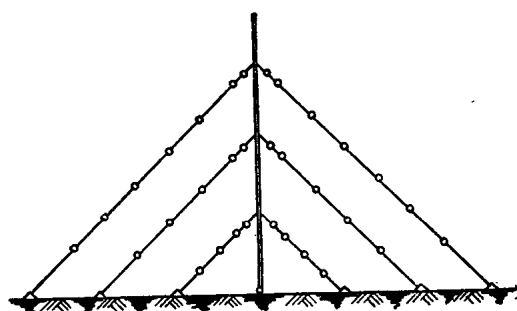


图 1-3 桅杆天线

这种桅杆既以杆身作为发射体，就必需用金属作成。

如前所述，中波广播往往会形成衰落区。在离开发射台100~150公里范围内，地波的场强还是相当大的，在这个范围内，可以靠地波收到稳定的广播效果。在离开发射台约600公里以外，夜间可以靠天波收听。在离开发射台400~600公里的范围内，地波大为衰减，而天波的能量又不大。天波和地波的传播方式和传播途径不同，它们的相位也不同，并且时有变化。这样的天波和地波共同存在的地区，叫作不稳定接收区。不稳定接收区的电波时强时弱，有时甚至不能收听，这种现象叫作衰落现象。有衰落现象的地区叫作衰落区。

防止严重衰落现象的天线，叫作反衰落天线。“桅杆天线”的桅杆高度，如取半波长时 ($H=0.53\lambda$)，它将具有一定的反衰落性能。在波长很长而结构上不容易作到半波长时，可仿照T形天线采用带电容帽的桅杆天线。带电容帽的桅杆天线，就是在桅杆顶部加

一部分和纤绳相似的导线，来增强衰落区的场强。

无线电广播向各方向发射强度的图形，称为场形图。广播所需要服务的区域，不一定是接近圆形的，可能有长方形或其他形状；发射天线的位置，也不一定都有条件设在服务区域的中心。这样，为了节省

电力，就要求有定向广播，有大致符合实际服务范围的场形图。为达到这一目的，可以采取定向天线。

在中波中常用的定向天线形式，是将两个“桅杆天线”联用；其中一个为发射天线，另一个是反射天线。如图1-4所示。

为了扩大服务范围，加强场强，提高服务效果，还可以采用多个“桅杆天线”联合使用，如图1-5所示。

中波广播的垂直天线也有采用塔架形式的。这种天线由于其截面大而且是变截面的，在发射效果上往往不很好。

短波广播或通讯都是远距离的，因而，多半都是定向广播。短波定向广播，是依靠悬挂在两个支持物间的多层多列的偶极子来实现的。

较高的短波天线的支持物，一般都采用金属作成的塔架。

第四节 微波通讯

前面所说的超短波，在使用上一般称为微波。

由于超短波波段几乎完全没有因太空电波拥挤的影响；无线

电设备所通过的频带也可以很宽；同时，超短波广播采用调频广播，可以限制外界的干扰；并且，有可能架设高效的天线。这就使得在超短波波段中进行高质量传播时，能够保证可靠的通讯，并能进一步解决多路通讯问题。

如前所述，由于超短波几乎不在电离层中反射，而且绕射性能也很低。因此，超短波

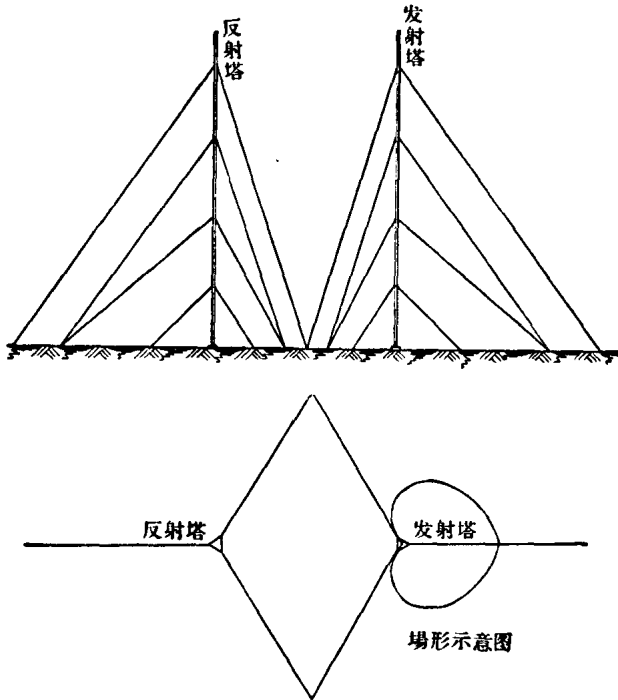


图 1-4 双桅杆定向天线

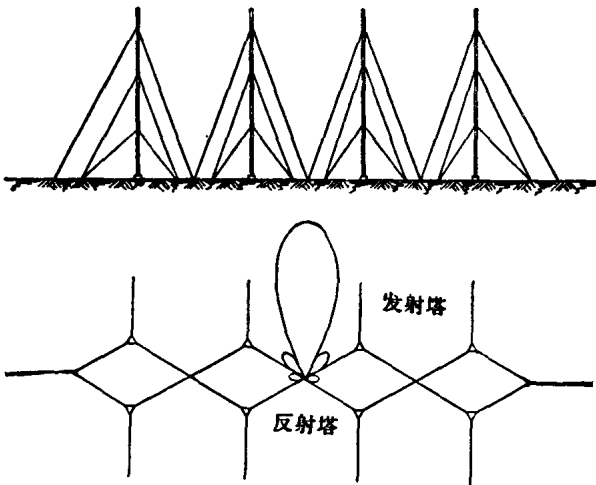


图 1-5 多桅杆定向天线

无线电通讯线路不能考虑电波的绕射及反射，而应有直視的线路，这就要求通讯的两点間不能有其他障碍物。在长距离的通讯中，为了避免线路上障碍物的阻碍，减少电能損耗，提高通讯的质量，微波通讯往往是采用接力形式实现的。

微波多路通讯线路是一条由彼此可以直視的一連串无线电收发站所組成。这种线路称为无线电接力线路。如图1-6所示。这种线路中的每一个站接收前一站的訊号，加以放大，再把它輸送到后一站去。

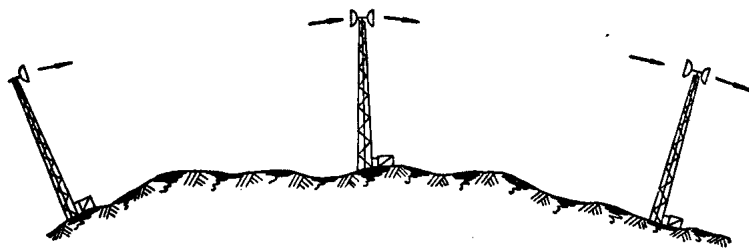


图 1-6 无线电接力通讯线路接力站

多路微波通讯线路，与电缆线路比較，它的优点是：1. 通讯质量高；2. 节约有色金属；3. 降低建設总投资；4. 占地面积小；5. 可以建立自动控制的无人管理站。

因此，多路微波通讯线路在长途通讯中将得到广泛的使用。

多路微波通讯线路是一个由許多复杂设备組成的整体。图1-7所示为A、B两地微波通讯线路的簡图，其中使用分离设备可以和C地建立通讯关系。往返通讯使用的是同一条接力线路。

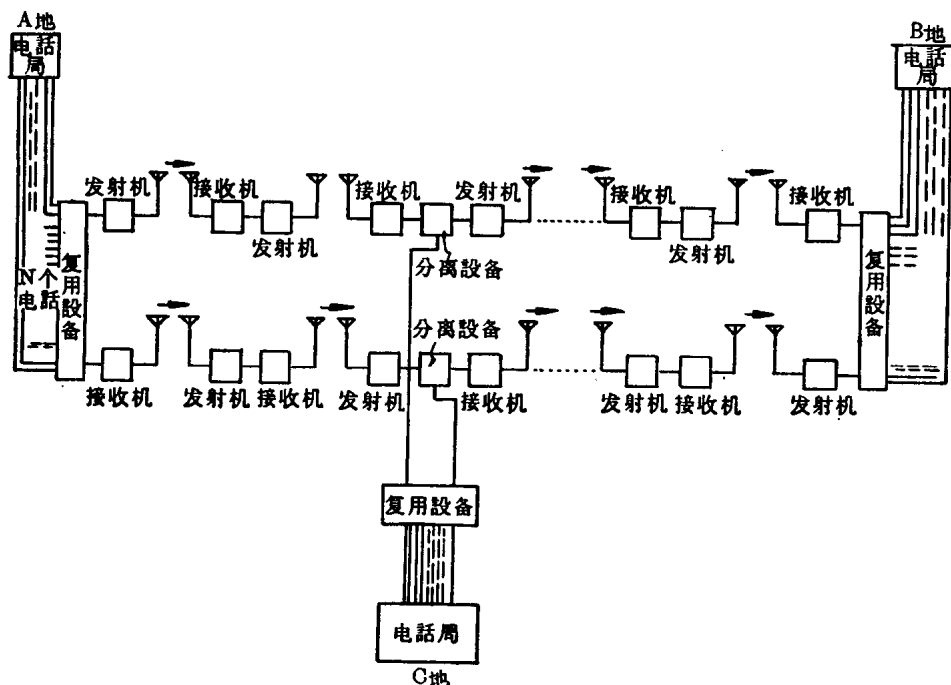


图 1-7 无线电接力通讯线路簡图

无线电接力线路不仅能够有效地应用在远距离多路通讯上，而且能够有成效地应用在远距离电视传播上。这时，调变高频振荡的电视信号就代替了多路讯号而在线路上传播，因为这种线路是一个宽带双向电路，所以，电视可以同时两个方向上传播，也就是可以在线路的终点之间交换电视节目。

第五节 电视广播

电视广播所用的波段是超短波。如前所述，超短波的传播，不靠地波也不靠天波，而是靠能够直视两点间的空间波传播。

电视广播的原理是将银幕上的图象，或者是现场的实况所发出的光波，借助于一套机械设备使之转变为电磁波。接收时是将空中传来的电磁波通过电视机的作用，再使之转化为光波而反映在荧光屏上形成图形。

和其他的无线电广播和无线电通讯一样，电视广播的电磁波也需要用天线把它发射出去。但电视天线的形式和其它天线的形式是有很大差别的。

下面介绍现在常用的几种天线。

在介绍天线以前，先介绍几个名词：

振子——即专门供发射无线电波用的某种形式的天线设备。

增益——即通过不加大发射机的功率，只从增加天线的数量或改进天线的形式方面而获得的电磁波场强的增加和传播范围的扩大，叫作增益。

频道——即图象信号所占的波段。

1. 蝙蝠翼天线

这种天线是用在钢管四周的四片面式振子所组成。它的主要构造如图1-8所示。

这种天线的主要优点是频带宽，馈电比较简单。但是，当增益要求高时，馈线系统也比较复杂。蝙蝠翼天线要求支持物为圆柱形，而且对其直径也有一定的限制。这种限制在电气和结构中所产生的问题，将在本节最后略加说明。

2. 全波隙缝天线

这种天线的构造是在一根粗管上开许多轴向缝而构成的，它的主要优点就是天线辐射元件、馈线和天线支持物合而为一，便于作到高增益，铅直方向的场形也好，另外它的迎风面积也比较小。

3. 网板式隙缝天线

这种天线等于方形截面的全波隙缝天线。其优点是频带宽、受冰冻的影响小，但迎风面积较大。

4. 超增益天线

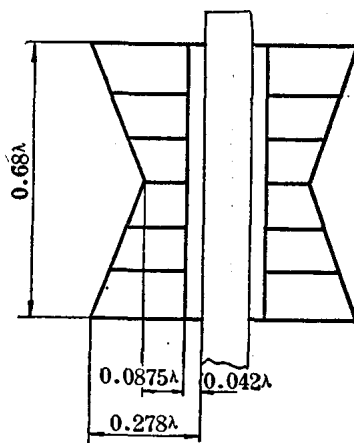


图 1-8 蝙蝠翼天线的构造