

电视发射天线系统

王定华 赵家陞

48.52

国防工业出版社

内 容 简 介

本书对电视发射天线系统有关天线、部件和环节，作了比较系统、深入的分析。全书共分九章：电视发射天线系统综述；VHF 电视发射天线；多面组合天线技术及场形计算机辅助设计；UHF 发射天线；馈线与同轴部件；平衡变换与阻抗匹配技术；多工共用装置系统；发射天线参数的测量和 VHF·UHF 电波传播。书中收集了国内外许多有实用价值的曲线和图表。

本书可作为高等院校电子类高年级学生教材或教学参考书。由于本书内容紧密联系工程实际，所以对从事广播电视的有关工程技术人员也是一本较好的参考书。

电视发射天线系统

王定华 赵家陞

责任编辑 耿新暖

*

国防工业出版社出版

(北京市海淀区紫竹院南路23号)

(邮政编码 100044)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 1/16 印张11¹/₂ 264千字

1991年4月第一版 1991年4月北京第一次印刷 印数：0001—1,400册

ISBN 7-118-00793-5/TN·140 定价：3.05元



出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校、中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力，有关出版社的紧密配合，从1978年至1985年，已编审、出版了两轮教材，正在陆续供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要，贯彻“努力提高教材质量，逐步实现教材多样化，增加不同品种、不同层次、不同学术观点、不同风格、不同改革试验的教材”的精神，我部所属的七个高等学校教材编审委员会和两个中等专业学校教材编审委员会，在总结前两轮教材工作的基础上，结合教育形势的发展和教学改革的需要，制订了1986~1990年的“七五”（第三轮）教材编审出版规划。列入规划的教材、实验教材、教学参考书等近400种选题。这批教材的评选推荐和编写工作由各编委会直接组织进行。

这批教材的书稿，是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐，由编审委员会（小组）评选择优产生出来的。广大编审者、各编审委员会和有关出版社为保证教材的出版和提高教材的质量，作出了不懈的努力。

限于水平和经验，这批教材的编审、出版工作还会有缺点和不足之处，希望使用教材的单位，广大教师和同学积极提出批评建议，共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

前 言

本书是高校统编教材之一，是由电磁场与微波技术教材编审委员会天线与电波小组评选审定并推荐出版的。

本书由电子科技大学王定华、赵家陞编著，北京广播学院毛志伋副教授主审。

本书是作者多年从事电视天线研究和在电子科技大学（原成都电讯工程学院）为高年级学生开设选修课的基础上编写而成的。迄今国内尚无一本电视发射天线系统的专著，因此作者有意使这本书不仅适合电子类高年级学生学习需要，而且满足广播电视工程技术人员阅读需要。在取材和编排上尽可能结合我国的实际，对电视发射天线系统的有关部件和环节作了比较系统、深入的分析。

本书收集了有关部、厂、所、台等单位许多有实际意义的图表、曲线，以及国内工程技术人员所作的理论工作和实验研究，这些都为本书增添了丰富的内容。

从学生学习角度出发，本书对一些理论方法和技术作了必要的介绍。如矩量法、阻抗匹配技术、天线多面组合技术、场形计算机优化设计、场强预测和场强崎岖度法等，以便为学生继续进行深入研究打下基础。

本书在编写过程中，得到以谢处方教授为组长的天线与电波教材编审小组所有专家、教授的热情支持和帮助，得到电子科技大学教材科的支持和协助。全书脱稿后，又承北京广播学院毛志伋副教授和哈尔滨工业大学单秋山副教授仔细审阅全稿，并提出不少宝贵意见。在此一并表示感谢。

本书第一章至第七章和第九章由王定华编写，第八章和§2.7、§4.10由赵家陞编写，全书最后由赵家陞统校。

由于作者水平有限，加上时间仓促，错误和不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

作者

1989年12月于成都

目 录

| | |
|----------------------------------|----|
| 第一章 电视发射天线系统综述 | |
| § 1.1 发展概述 | 1 |
| § 1.2 电视发射天线系统的组成 | 2 |
| 1.2.1 绕杆式天馈系统 | 2 |
| 1.2.2 多面组合单元板天馈系统 | 4 |
| 1.2.3 其它天馈系统 | 4 |
| § 1.3 电视发射天线系统的技术要求 | 4 |
| 1.3.1 电性能要求 | 4 |
| 1.3.2 机械性能要求 | 5 |
| § 1.4 服务区及发射天线台址的综合考虑 | 6 |
| § 1.5 垂直方向性的波束倾斜 | 9 |
| § 1.6 垂直方向性的零点与零点填充 | 10 |
| § 1.7 功率增益的计算 | 14 |
| § 1.8 服务区内场强计算 | 14 |
| 第二章 VHF电视发射天线 | |
| § 2.1 电视发射天线种类 | 15 |
| § 2.2 蝙蝠翼天线 | 16 |
| 2.2.1 旋转场天线原理 | 16 |
| 2.2.2 蝙蝠翼天线形式和馈电方法 | 17 |
| § 2.3 蝙蝠翼天线的电流分布和水平方向性 | 18 |
| 2.3.1 单面翼片天线 | 18 |
| 2.3.2 单面翼片天线水平方向性 | 19 |
| 2.3.3 正交翼形天线组成的绕杆天线水平方向性 | 21 |
| § 2.4 蝙蝠翼天线的垂直方向性 | 23 |
| 2.4.1 单面翼片天线垂直方向性 | 23 |
| 2.4.2 绕杆天线垂直方向性 | 25 |
| 2.4.3 蝙蝠翼绕杆天线的功率增益 | 26 |
| § 2.5 蝙蝠翼天线阻抗特性 | 26 |
| § 2.6 带反射板偶极天线 | 28 |
| 2.6.1 圆柱天线的积分方程 | 28 |
| 2.6.2 矩量法解 | 31 |
| 2.6.3 基函数 | 32 |
| 2.6.4 权(检验)函数 | 34 |
| 2.6.5 电流分布和输入阻抗 | 35 |
| 2.6.6 分支电缆端阻抗 | 46 |
| 2.6.7 方向性 | 41 |
| § 2.7 调频发射天线 | 42 |
| 第三章 多面组合天线技术及场形计算机辅助设计 | |
| § 3.1 概述 | 45 |
| § 3.2 水平极化正置情况下的水平方向性 | 45 |
| § 3.3 水平极化偏置情况下的水平方向性 | 47 |
| § 3.4 非全向水平方向性 | 50 |
| § 3.5 水平极化斜置时的水平方向性 | 51 |
| § 3.6 垂直极化天线多面组合的水平方向性 | 52 |
| § 3.7 多层组合带反射板偶极天线的垂直方向性 | 53 |
| § 3.8 多面组合天线的功率增益 | 53 |
| § 3.9 铁塔旁侧正交振子间的互耦 | 55 |
| § 3.10 场形计算机辅助设计 | 55 |
| § 3.11 分米波服务区场强分布预测计算机辅助设计 | 61 |
| 第四章 UHF发射天线 | |
| § 4.1 概述 | 64 |
| § 4.2 带反射板四偶极天线 | 64 |
| § 4.3 四偶极倾斜粗振子天线 | 67 |
| § 4.4 四偶极菱形板状天线 | 76 |
| § 4.5 一波长环形天线 | 81 |

4.5.1 圆形环天线82

4.5.2 多角形环天线87

§ 4.6 双环天线90

§ 4.7 槽形天线95

§ 4.8 螺线天线99

§ 4.9 锯齿天线101

§ 4.10 圆极化发射天线102

第五章 馈线与同轴部件

§ 5.1 主馈线与分馈线109

§ 5.2 硬同轴线112

§ 5.3 同轴线不连续连接113

第六章 平衡变换与阻抗匹配技术

§ 6.1 概述116

§ 6.2 平衡系与不平衡系116

§ 6.3 同轴线与平衡双线的连接118

§ 6.4 套管平衡变换器119

§ 6.5 分支导体平衡变换器120

§ 6.6 半波长U形弯管平衡变换器120

§ 6.7 单节与双节阻抗变换器121

§ 6.8 功率分配器122

§ 6.9 n 节最大平坦型阻抗变换器123

§ 6.10 切比雪夫 n 节 $\lambda/4$ 阶梯阻抗变换器125

附录6.1130

附录6.2130

第七章 多工共用装置系统

§ 7.1 概述137

§ 7.2 双工器主要技术指标137

§ 7.3 3dB 平板耦合双工器139

§ 7.4 定阻抗双工器142

§ 7.5 同轴反射器143

§ 7.6 多工器148

第八章 发射天线参数的测量

§ 8.1 天线测试场地的选择152

§ 8.2 天线输入阻抗测量154

§ 8.3 增益测量160

§ 8.4 方向图测量162

第九章 VHF · UHF 电波传播

§ 9.1 超短波传播特性164

§ 9.2 视线距离164

§ 9.3 覆盖标准: 或然率 · 保护率 · 边界服务场强166

§ 9.4 自由空间电波传播167

§ 9.5 场强计算方法简述167

§ 9.6 平原地区视距内电波传播场强计算168

§ 9.7 一个脊形山峰背后的场强计算171

§ 9.8 n 个脊形山峰背后的场强计算172

§ 9.9 视距内分米波场强预测 CCIR-370号建议书方法172

§ 9.10 市区电波传播 · 场强计算177

参考文献178

第一章 电视发射天线系统综述

§1.1 发展概述

随着电视事业的发展，对电视质量要求越来越高。而天线系统的好坏、台址的选择、波段的合理利用等，都将直接影响图像的质量。目前，与电视发射天线有关的发展趋势，归纳起来，大致有如下几方面：

一、从低塔天线向高塔天线方向发展

国外典型的情况是：东京电视塔高330m（1958年建），莫斯科电视塔高533m（1967年建），加拿大多伦多电视塔高533m（1976年建）。

国内情况：北京中央电视塔高185m（1965年建），广州电视塔高200m（1965年建），上海电视塔高205m（1972年建）。目前国内已新建或拟新建的电视塔高大多也是200m到300m。如沈阳辽宁电视塔高305.5m（80年代建）；武汉湖北电视塔高222m（80年代建）。准备新建的中央电视塔高385m；天津电视塔高405m；上海电视塔高达450m，将是亚洲第一高塔。

从低塔向高塔方向发展的主要原因是：（1）为了扩大覆盖面积；（2）频道数目日益增加，一般省台都在4~6个以上；（3）减少电磁辐射污染和危害。

二、由VHF波段向UHF波段发展

原因是：（1）VHF波段频道拥挤，容纳不下频道数目的增加；（2）从电视传播质量而言，UHF波段比VHF波段受工业干扰小，图像质量更好。例如日本从1963年建UHF电视台，到1973年止，UHF电视台已占全部广播电视台的67%，西欧各国到70年代，UHF电视台服务区占总服务区的90%，我国80年代初开始建立UHF电视台，正在迅速发展之中。

三、向卫星直播电视发展，向SHF波段发展

1977年世界无线电行政管理大会（WARC），推荐直播卫星业务采用12GHz；日本直播卫星业务已于1984年5月开始试播，由于波段向SHF方向发展，家用卫星接收天线可做得小，因而使家用卫星直播接收成为可能。

四、理论分析方法上，由经典的解析法向数值法方向发展

随着计算机技术的发展，复杂形状的电视天线，如蝙蝠翼天线、平板振子天线和多角形天线等，可用数值法进行求解，使理论计算更精确。

五、电性能指标上，主要是改善和提高质量指标

电视发射天线从形式上而言进展较少，但技术上的改进仍在不断探索。一方面是由于对电视图像质量要求更高；另一方面也由于上述前三点的发展趋势，因而表现在天线形式或技术上也有所前进。主要集中于：（1）发展宽频带技术，例如宽带天线（470MHz~830MHz）；（2）多面组合天线技术；（3）宽带匹配技术；（4）消重影技术（包括圆极化波发射技术）；（5）多工技术；（6）共塔技术；（7）电磁兼容性等。

§ 1.2 电视发射天线系统的组成

电视发射天线系统从构成原理上说，大致可有三种类型：

1. 绕杆式天线系统；
2. 多面组合单元板天线系统；
3. 其它天线系统。

图 1.1 示出了电视发射塔整个系统的示意图

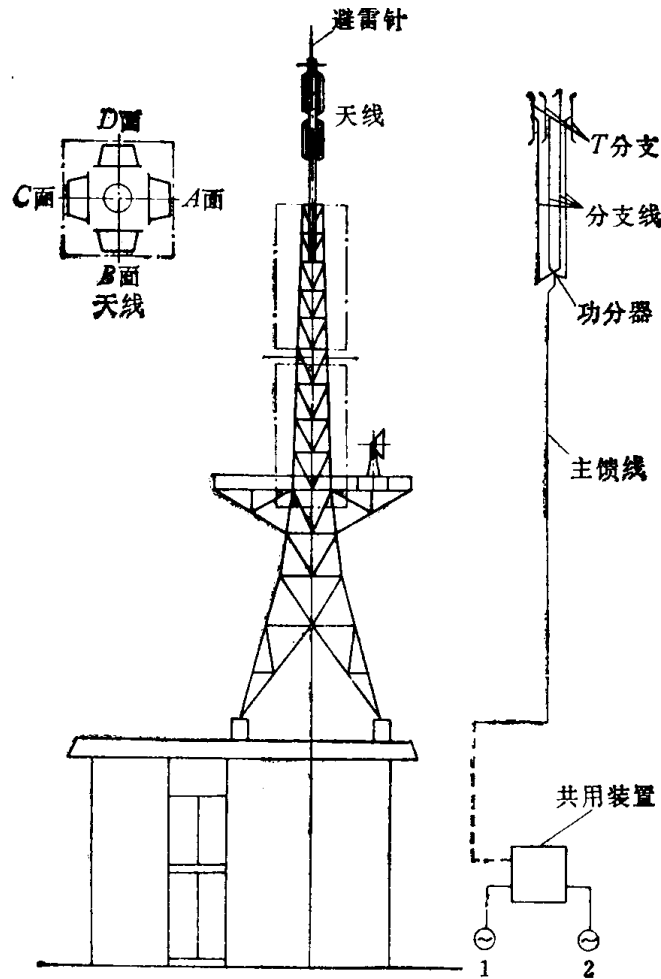


图1.1 电视塔发射天线系统

1.2.1 绕杆式天馈系统

绕杆天线又称为旋转场天线，是用 90° 相位差馈电的正交振子或正交蝙蝠翼天线组成。常用于VHF波段。它的馈线系统，分单馈和双馈两种。图1.2示出了典型的单馈天线系统，主馈线用单根大功率电缆与定阻抗双工器联接。优点是采用定输入阻抗双工器可提高串扰抑制度（隔离度），伴音载频图像载频的串扰抑制度可以做到大于 $35\sim 40$ dB，图像载频对伴音载频的串扰抑制度可以做到大于 30 dB。它常用于大功率电视台。

图1.3是典型的双馈天线系统，通常用于小功率电视发射台。它的双工器是用一个 3 dB定向耦合器组成，双端输出，与两根主馈线连接，串扰抑制度指标较低，只能作到在 $26\sim 30$ dB范围内。其优点是结构简单，调整方便。

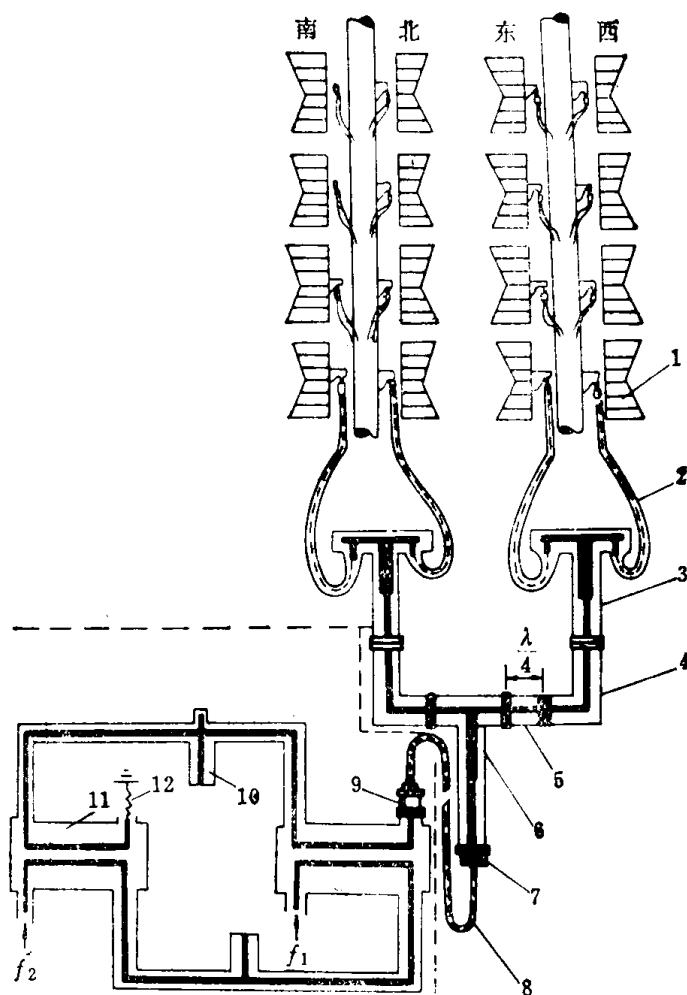


图1.2 典型单馈天线系统

1—天线；2—分支馈线；3—分支功率分配器；4—直角弯头；5—90°相移器；6—主功率分配器；7—变径；8—主馈线；9—充气装置；10—高Q谐振腔；11—3dB耦合器；12—吸收负载。

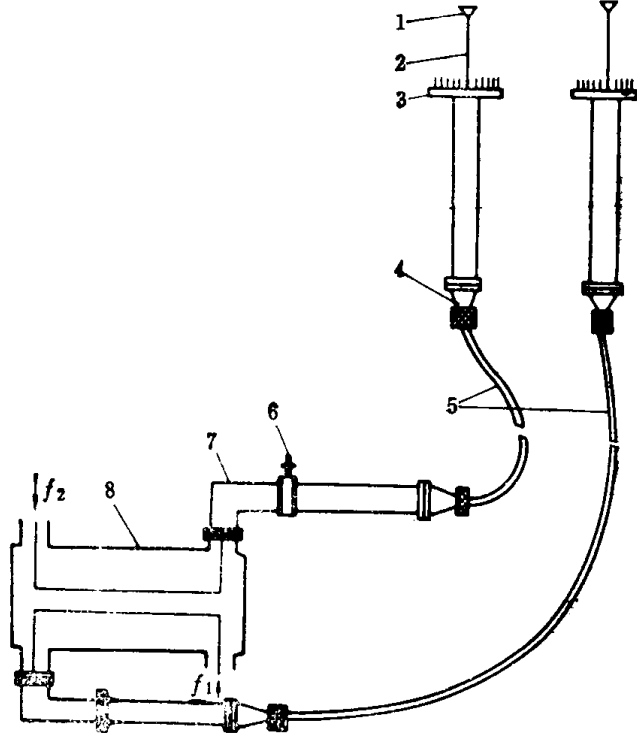


图1.3 典型双馈天线系统

1—天线；2—分支馈线；3—分支功率分配器；4—变径过渡；5—主馈线；6—充气转换头；7—直角弯头；8—3dB定向耦合器（双工器）。

1.2.2 多面组合单元板天馈系统

图 1.4 示出了典型的四面组合单元板天馈系统。它是由许多带反射板的单元振子组成。一个单元板上可以是一对偶极子，也可以是二对或四对偶极子。将单元板安装于铁塔的三面或四面，以适当的相位馈电，使之获得水平全方向性。也可以安装于铁塔的一面或二面，以获得定向辐射。常用于UHF波段，也可以用于VHF波段。

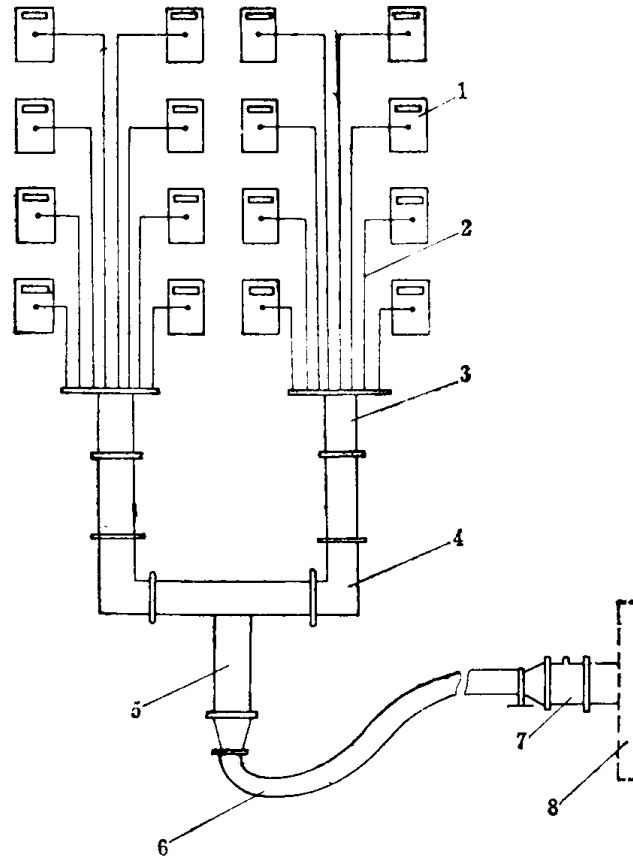


图1.4 四层四面组合天馈系统

1—天线单元板；2—分馈线；3—分支功率分配器；4—直角弯头；
5—主功率分配器；6—主馈线；7—充气装置；8—双工器。

1.2.3 其它天馈系统

常用的如螺旋线天线，同轴槽形天线等，它们的特点是：馈电点少；自支持式迎风面小（详见第四章）。

§ 1.3 电视发射天线系统的技术要求

1.3.1 电性能要求

1. 天线应有足够的带宽

一般要求天线相对带宽 $\Delta f / \Delta f_0 \geq 20\%$ 以上，在 UHF 波段，由于要求两个频道共用，因而要求带宽最少应能跨越六个频道以上，即 48MHz 以上。

2. 频带内应有小的电压驻波比 (VSWR)

在8MHz带宽内,从发射天线输入端看进去的反射系数应为2.5%,即驻波比为1.05。而当主馈线连接上天线时,从主馈线输入端看进去的驻波比 $VSWR \leq 1.1$,即反射系数应为5%以下。这个值是从天线系统因反射引起重影而影响图像的质量来决定的^①。

考虑到实际情况,在8MHz带宽内,对天线输入端允许放宽到 $VSWR \leq 1.1$ 。而在图像载频点上应满足 $VSWR \leq 1.05$ 。

3. 直流电阻

天馈系统各部件接触点很多,要求接触良好。根据不同的馈线系统,直流电阻阻值应在标准计算值 $\pm 25\%$ 以内。标准计算值是以电缆内外导体横截面单位长度(m)计算的值。

4. 额定功率容量

在VHF和UHF频段,同轴馈线的额定功率采用其平均传输功率来确定,同轴馈线的平均传输功率大小取决于内外导体的温升,特别是绝缘物的热损耗。通常把导体温度上升到23°C作为温升允许值,当外导体温升为23°C时,平均传输功率可按下式求得:

$$P_{ave} = \frac{2116KD}{\alpha \text{ [dB]}} \quad (\text{W}) \quad (1.1)$$

式中 D 为外导体的外径(mm);

K 为散热系数。其取值范围当 $D=40\text{mm}$ 时, $K=0.12$; $D=80\text{mm}$ 时, $K=0.11$ 。

α [dB] 为馈线长为100m时,用dB表示的衰减量。

5. 方向性

对水平全向性天线,希望水平方向性是一个理想的圆形。但实际不可能,因而允许一定的水平方向性偏差,方向性偏差(E_{max}/E_{min})应小于 $\pm 3\text{dB}$ 。对垂直方向性,一般要求是几度到十几度。

天线增益视要求而定,一般是6~13dB。对于定向增益当然可以大些,主要视覆盖区而定。

6. 天线系相互间的耦合量

一个天线系与另一个天线系的相互耦合量应越小越好,其耦合量从馈线输入端看去应为-26dB以上。

若是电视和调频共塔,则从电视天线到调频天线,其间耦合量应是-40dB以上;从调频天线到电视天线其耦合量应是-33dB以上。

7. 极化

天线极化形式,在城市为减少工业干扰,多采用水平极化。对山区除采用水平极化外,也可采用垂直极化。近来为降低重影障碍,也有用圆极化的。

1.3.2 机械性能要求

1. 耐风压

天线系统应能经受强大的风压,通常规定耐风压 q 最低应为 $350\text{kg}/\text{m}^2$,最高应为

● 藤井:“カラーエ”-スト画質の評価試験, NHK技研月報3.(1975)

600kg/m²，可用下式计算：

$$q = 120^4 \sqrt{H_T} \quad (\text{kg/m}^2) \quad (1.2)$$

式中的 h 为天线离地面高度。

2. 天线铁塔的摆动

安装天线的铁塔，由于风的原因而产生摆动，当风速达30m/s时（相当于10~11级），塔顶端天线的摆动应小于0.5°以下。

3. 气密

室外馈电系统，必须注入干燥空气，密封注入时，以1.4kg/cm²的压力注入。

4. 防雪和防冰裹

天线馈电线以及匹配装置等部分都必须采取防雪和防冰裹措施。

5. 防锈处理

一种办法是进行热浸处理，另一种办法是定时防锈涂覆。

§1.4 服务区及发射天线台址的综合考虑

发射天线台址选定，是建台的重大事项。考虑时应从效果、综合利用、经济造价、方便维护等几方面综合而定。一般来说，必须考虑发射天线和服务区的关系，天线高度和等效辐射功率的最佳组合，以及电视台附近电磁辐射的污染及防止办法。

一、天线高度和视线距离

天线高度主要根据服务区大小的需要决定，服务区通常又以视线距为限。视距与收发天线的关系为：

$$D_m(\text{km}) = 4.12(\sqrt{H_T(\text{m})} + \sqrt{H_R(\text{m})}) \quad (1.3)$$

式中 H_T 为发射天线离地高度 (m)；

H_R 为接收天线离地高度 (m)。

图 1.5 示出视距和发射天线高度的关系。由图可见，发射天线越高，可视距离越大，但电视覆盖良好与否，除了决定于视距外，服务区边缘地区的场强还必须达到下列标准：

大城市：VHF $E \geq 70\text{dB}$ UHF $\geq 70\text{dB}$

农村：VHF $E \geq 54\text{dB}$ UHF $\geq 64\text{dB}$

对彩色电视则需相应提高 3dB，所以服务区一般以视距为限。

二、天线台址选择原则

(1) 有利于服务区的覆盖。在台址附近应无高大建筑物或高山阻挡，尽可能使服务区的边缘场强满足所需最低场强。由于客观原因，在发射天线附近存在障碍时，将影响水平面方向性，其最大值与最小值的方向性偏差由图 1.6 确定，从图可知，当 Ka 一定时，即障碍物直径一定时，障碍物离天线越远，方向性偏差越小。例如：当障碍物的等效直径 $2a \approx 3\lambda$ 时（相当于 $\beta a = 10$ ），障碍物离开天线的距离 b 是 30λ 时，方向性偏差可能达到 10dB；当离开 300λ 时，方向性偏差在 3dB 以下。图中 A 代表天线； B 代表障碍

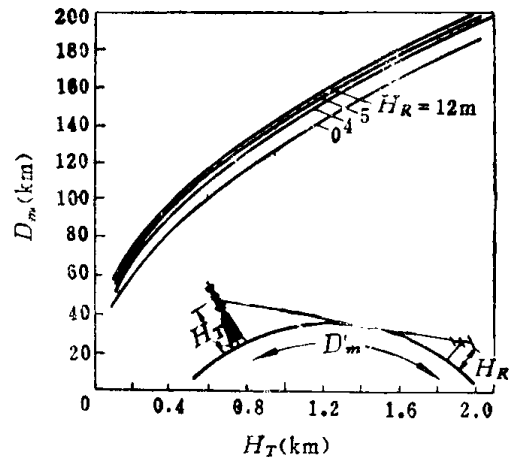


图 1.5 视线距离与发射天线高度的关系

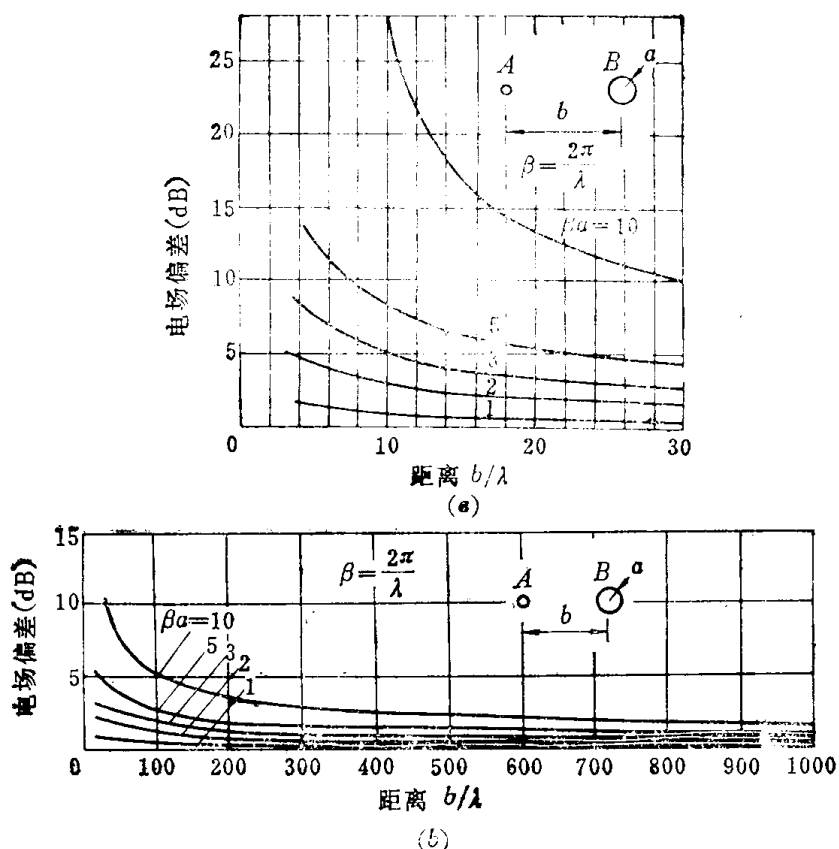


图1.6 天线近旁障碍物影响电场偏差 (水平极化)

物； a 是障碍物的等效半径； b 是天线与障碍物之间的距离。当 βa 越大，水平面电场偏差 (E_{\max}/E_{\min}) 越大。

(2) 减少台址附近强电场生物有害区,使电磁辐射污染控制在允许的场强以下。目前各国对电磁辐射的安全尚无统一标准。表 1 列出了各国微波辐射对职业和居民的安全限值。

(3) 由于天线比较高,为防止与飞机相撞事件,天线台址应避免航空通道。

(4) 考虑维护方便。

表1.1 世界各国微波辐射对职业与居民的安全限值

| 国家 | 公布时间 | 频率 (GHz) | 职业限值 (mW/cm ²) | 居民限值 (mW/cm ²) | 暴露时间 (h) |
|-----------------------|------|----------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|
| 苏联 | 1977 | 0.3~300 | 0.01 | 0.001 | 24 |
| | 1984 | 0.3~300 | 0.025 | 0.01 | 24 |
| 捷克 | 1970 | 0.3~300 | 0.025 | 0.0025 | 24 |
| 加拿大 | 1972 | 0.01~300 | 5.0 | 1.0 | 24 |
| 波兰 | 1972 | 0.3~300 | 0.01~0.2 | 0.01 | 24 |
| 美国 | 1982 | 0.01~100 | 1~5 | 1~5 | 无限制 |
| 英国 | 1971 | 0.03~30 | 10 | 1 | 无限制 |
| 德国 | 1984 | 0.03~300 | 2.5 | 2.5 | 无限制 |
| 澳大利亚 | 1985 | 0.03~300 | 1 | 0.2 | 无限制 |
| 国际辐射防护协会/ 非电离辐射委员会 | 1983 | 0.4~300 | 1~5.0 | 0.2~1 | 无限制 |
| 中国 GB9175-88 | | 微波段超短波 | 0.05~0.025 | | 暂行 |

三、有效辐射功率

根据服务区的要求，当台址、天线高度确定后，据边缘服务区场强要求，便可确定各个方向所需的有效辐射功率，或允许的有效辐射功率。从而有意识地选择各个方向的天线增益，或者考虑发射机功率的大小。

有效辐射功率可用下式表示

$$P_{er} = P_0 - L + G \quad (\text{dB}) \quad (1.4)$$

式中 P_0 为发射机功率 (以 1kW 为 0dB)；

G 为发射天线增益 (dB)；

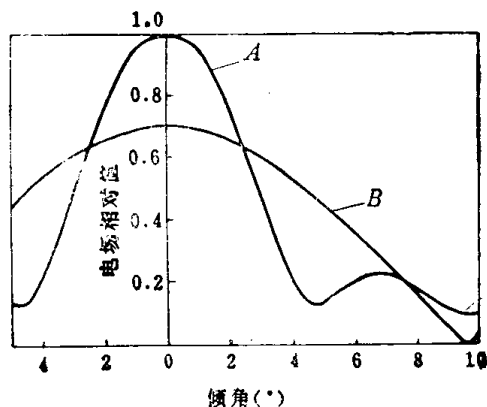
L 为馈线损耗 (dB)。

可见欲增大有效辐射功率，除增加发射机功率外，减少馈线损失，增加天线增益是行之有效的办法。但广播电视发射天线而言，既要获得很高的增益，又要有合适的垂直方向性是不大可能的。因而有必要在高增益和服务区电场强度均匀这两者之间，进行必要的合理平衡。

四、天线增益选择

天线增益随着天线层数增加而增加，但不可能无限增加。一方面受到结构上的限制，另一方面受到近距离服务区对象的限制。

例如 12 层蝙蝠翼天线 (A) 和 6 层蝙蝠翼天线 (B) 垂直面方向性图不一样。当馈入相同功率时，在水平方向 A 天线比 B 天线场强大，但在倾角 $2.5^\circ \sim 7^\circ$ 之间，B 天线场强却比 A 天线大，因而近区服务状况，高增益天线反而不佳。如图 1.7 所示，在天线系统总体考虑时，应根据服务区的要求，合理选天线增益。



五、水平方向性的选择

一般，城市设台大多选择不定向天线。只有服务区是一个窄长地带，才选择定向天线，原因是从覆盖服务区面积而言，不定向天线更为有利。

根据电波传播知识，超短波传播远区场强

$$E \propto \sqrt{P_{er}} / r^2$$

式中 r 是距离；

P_{er} 是有效辐射功率。

在保持一定场强下 (保持服务区边缘场强值)。则有

$$r \propto \sqrt{P_{er}}$$

设 r 是服务区边界距离，则服务面积 $A = \pi r^2$ 正比于有效辐射功率的方根值，即

$$A \propto \sqrt{P_{er}}$$

如图 1.8(a) 所示，用一个 $P_{er} = 1$ 的不定向天线，放在半径为 r 的服务区中心，则服务区的面积 $A = \pi r^2$ 。

现若采用扇形定向天线，将发射天线移到如图 1.8(b) 所示服务区的顶端，则边界

图 1.7 12 层天线和 6 层天线垂直方向性例
(功率分配比 7:3; 蝙蝠翼天线间层间距 $s = 1\lambda$)

距离 r 用 $2r$ 代替。当距离增加一倍时, 欲保持边界场强一定, 而发射机功率又不变, 只有靠方向性来增加有效辐射功率。若使 $P_{er} = 4$, 则服务区半径变为 $\sqrt{2}r$, 服务区面积 $A = \frac{\pi (\sqrt{2}r)^2}{4} = \frac{\pi r^2}{2}$ 。和图 (a) 相比, 采用扇形服务区定向天线, 服务区面积变为 $1/2$, 即减少了一半, 故一般不采用定向方向性。

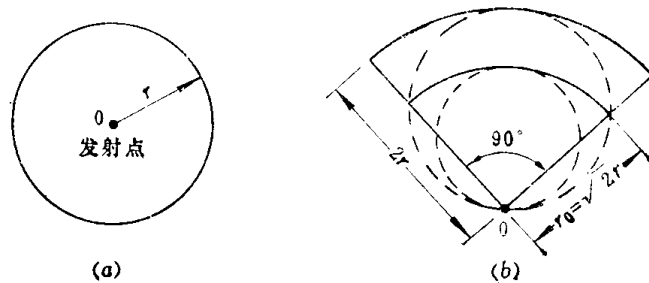


图1.8 发射台和服务区的关系

§ 1.5 垂直方向性的波束倾斜

为了使远区与台址附近区域有较均匀的场强和充分利用辐射能量, 并避免同频干扰, 应使发射天线电波波束的主辐射方向朝地平方向倾斜, 这种主辐射方向的倾斜称为波束倾斜。倾斜的角度称为倾角。

因为地球是圆球形的 (如图 1.9 所示), 等幅同相馈电的多层天线, 其主波束垂直于铁塔的中垂线, 由天线中心点 A 作与地球相切的线 ABC , 主波束轴与此线的夹角为 θ_H 。可见, 有相当一部分能量往上半空间辐射, 造成不应有的损失。为减少这种损失, 使主波束有利于照射服务区, 波束应倾斜, 下倾角度由下式算出:

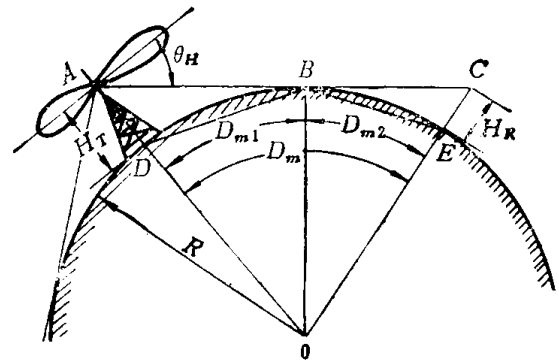


图1.9 从发射天线中心看去的水平方向倾角

$$\theta_H(^{\circ}) = \frac{360^{\circ}}{2\pi R} \cdot D_m \approx 0.0278 \sqrt{H_T(m)} \quad (1.5)$$

式中 H_T 为发射天线高度。

实际的下倾角 θ_i 按下式选取:

$$\theta_i \geq 2\theta_H$$

大功率台 $\theta_i \approx 1^{\circ}$; 小功率台 $\theta_i = 3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 。

实现主波束下倾的方法有两种: 一种是电气波束倾斜法; 另一种是机械波束倾斜法。

一、电气波束倾斜法

这种方法是电气上采用不同相馈电, 把天线分为上、下两组馈电, 并使下组振子群的激励电流的相位落后于上组振子群的相位, 其相位差设为 δ_0 。这样上、下两组天线发

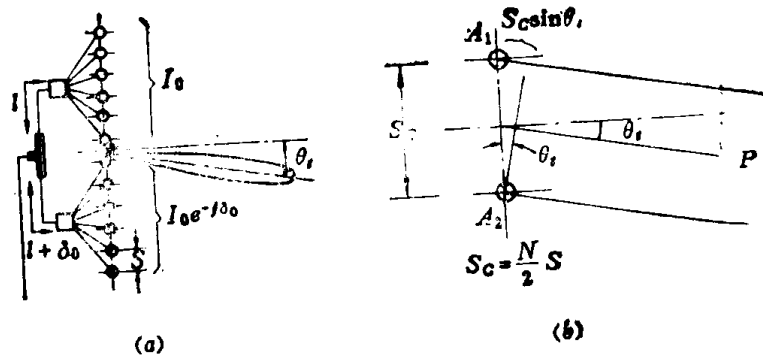


图1.10 N层发射天线的波束倾斜

出的电波将有波程差，如图 1.10 所示。相位差 δ_r 与倾角 θ_r 的关系满足下式：

$$\delta_r = \frac{2\pi s_c}{\lambda} \sin \theta_r \tag{1.6}$$

故下倾角 $\theta_r = \arcsin \frac{\delta_r \lambda}{2\pi s_c}$ ($^\circ$)

以 $s_c = \frac{N s}{2}$ 代入，得

$$\theta_r = \arcsin \frac{\delta_r \lambda}{N \pi s} \tag{1.7}$$

式中 N 为振子数（层数）；

s 为层间距；

s_c 为上、下两振子群中心距。

二、机械倾斜法

机械的波束倾斜，就是把天线本身人为地倾斜一个角度。对一般高增益天线，若用电气倾斜法，倾角较大时，副瓣就变得很大，增益降低，如图 1.11 所示。用机械倾斜法情况要好得多，并可任意选定倾角，因而在 UHF 波段的多面组合单元板天线中多采用此法。

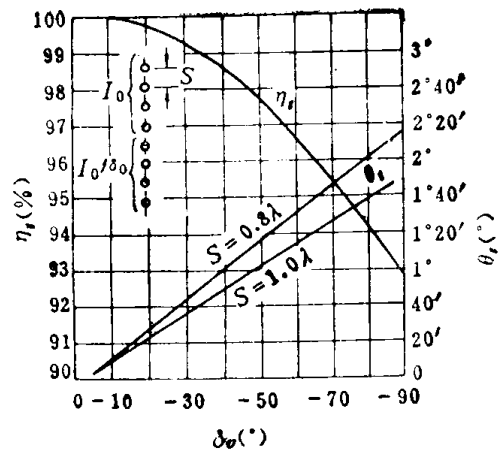


图1.11 激励电流相差 δ_0 以及波束倾角 θ_r 同功率增益下降的关系
 η_r 为功率下降率； θ_r 为下倾角， δ_r 为电流相位差。

§ 1.6 垂直方向性的零点与零点填充

多层天线排列时，垂直方向性总是要产生零点，如图 1.12 所示。零点的出现，是因为等幅同相馈电的结果。多层等幅同相天线垂直方向性由下式给出：

$$D(\theta) = \frac{\sin\left(\frac{N\pi s}{\lambda} \sin \theta\right)}{N \sin\left(\frac{\pi s}{\lambda} \sin \theta\right)} \cdot F(\theta) \tag{1.8}$$

上式中 $F(\theta)$ 是天线单元本身的方向性。方向性出现零点的条件，是阵因子的分子部分为零，即令

$$\sin\left(\frac{N\pi s}{\lambda} \sin\theta\right) = 0$$

要使上式为零，只有 $\frac{N\pi s}{\lambda} \sin\theta = n\pi$ ，零点的倾角为

$$\theta_N = \arcsin\left(\frac{n\lambda}{Ns}\right) \quad (n = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1.9)$$

在零点地带，场强很弱，电视收看不好。为补偿零点场强，可采用不等幅电流激励。这种零点场强的补偿，称为零点填充，如图 1.13 所示。具体作法是，上下两组功率分配比 k_p 不一样，零点填充值也不一样，为照顾不因零点填充而使增益下降得太多，一般采用 $k_p = 7/3$ 或 $3/7$ ，此时的增益大概下降 4%

， $k_p = 8/2$ ，增益下降 10%， $k_p = 9/1$ 则下降 15%（以上均是以 $k_p = 5/5$ 时，下降为 0% 作参考）。

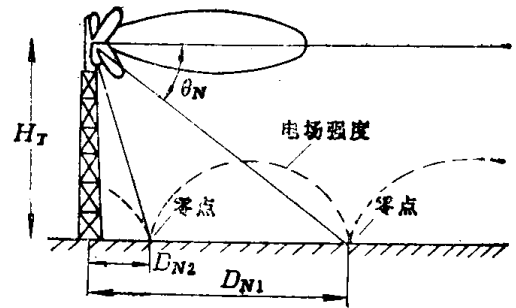


图 1.12 垂直方向性的零点

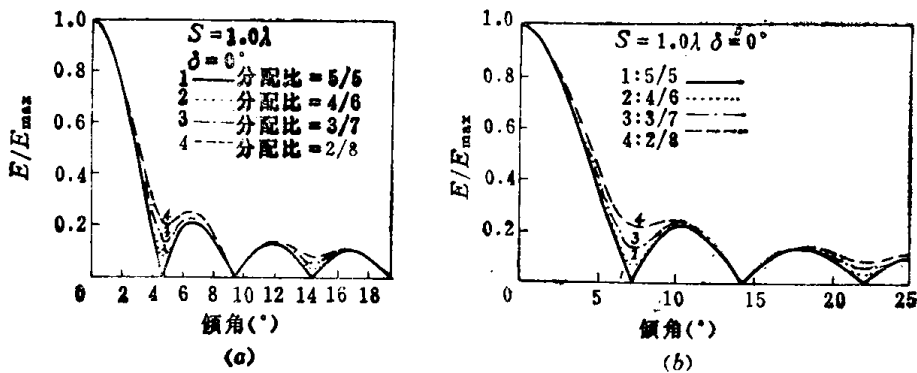


图 1.13 不同功率分配比的零点填充

(a) 12层；(b) 8层。

天线发射点到零点间的距离，由图 1.12 所示的几何关系得出

$$D_N(\text{km}) = (H_T - H_R) \cot\theta_N = (H_T - H_R) \frac{Ns}{n\lambda} \sqrt{1 - \left(\frac{n}{N - \frac{s}{\lambda}}\right)^2} \quad (1.10)$$

式中 n 为整数；

N 为层数；

s 为层间距。

除用上述方法进行垂直面波束倾斜和零点填充外，还可用方向性综合法来达到任意形状的方向性。文献[32]用特征函数展开阵因子的天线阵综合方法，对等距直线阵方向图进行了赋形综合；文献[21]则用零点梯度法对垂直面方向图进行了综合。我们着重介绍零点梯度法，所谓零点梯度法，就是根据待综合的方向图的要求，设置一些零点，由零点法计算出所需的电流分布，但实现这些电流分布有困难，进而用改进的梯度法综合