

张 斌 安 编 著



# 天线线务员手册

人 民 邮 电 出 版 社

## 内 容 提 要

本书是根据实际工作经验，针对着大、中型短波无线电台天线线务员工作需要，以简明扼要的手册型式编写而成。全书共十章，包括天线、传输线和电波传播方面的基本知识，天线塔杆的结构及其施工方法，天线的维护、测试，天线的常用材料、工具，天线操作的技术安全等内容，着重讲现场实际操作程序、方法及应注意事项，通俗易懂，附有较多的实用图表，可供初中文化水平的天线线务员自学之用，也可作为培训天线线务员的参考书。

## 天 线 线 务 员 手 册

編者者： 张 斌 安

出版者： 人 民 邮 电 出 版 社

北京东四六条13号

(北京市书刊出版业营业许可证出字第〇四八号)

印刷者： 北 京 市 印 刷 一 厂

发行者： 新 华 书 店

开本 787×1092 1/32

1964年5月北京第一版

印张 6 24/32 页数 106 插页 3

1964年5月北京第一次印刷

印刷字数 153,000 字

印数 1-5,300 册

統一书号： 15045·总1377-无379

定价：(科4) 0.80 元

# 前 言

天綫綫务員的主要工作包括天綫、傳輸綫和塔杆的架設、拆除、維護、測試等等。這些工作的質量如何，對無線電路的通信質量有直接影響。鑑於天綫綫务工作十分重要，而目前可供綫务員閱讀、對做好實際工作有幫助的書籍還較少，為此作者感到有必要把多年來培訓天綫綫务員的部分資料和講義加以整理，以簡明扼要的手冊形式寫成此書，供從事天綫綫务工作的同志參考。

全書共十章，分為三個部分。第一部分講天綫綫务員必須了解的一些基本知識，介紹常用短波天綫和傳輸綫的工作原理及其主要質量指標和無線電波傳播方面的一般知識；第二部分講幾種常用短波天綫和傳輸綫及塔杆的結構和施工，是天綫綫务員工作的主要部分，對結構上電的和機械的要求、施工方法與步驟等，作了比較詳細的敘述；第三部分講天綫常用的材料、工具、技術安全、測試方法等，都是天綫綫务員應知應會的專業知識。

天綫綫务工作，涉及到地理、天文、氣象、大地測量、土木建築等多方面的問題。這些問題，都比較專門，在這本小冊子里不可能全部講解，只能做簡略的敘述。作者寫作經驗不足，內容安排欠妥、重復、遺漏甚至錯誤之處在所難免，希讀者予以指正。

本書在編寫過程中，得到劉書同、張斌敏兩位同志的熱心幫助，謹于此表示感謝。

張 斌 安

1964年3月



D + 6 1/1

# 目 录

## 前言

### 第一章 短波天线的概念

§ 1 电波传播	1
§ 2 天线的作用和常用短波天线的类型	6
§ 3 天线的主要电指标	9
§ 4 常用短波天线的主要特性	15
§ 5 传输线的功用和短波天线常用传输线的类型	27
§ 6 传输线和天线的阻抗匹配	30

### 第二章 天线的结构

§ 1 结构上电的要求	32
§ 2 水平和角形对称振子的结构	34
§ 3 同相天线的结构	36
§ 4 倍波天线和宽波段振子	40
§ 5 栅网反射器	44
§ 6 菱形天线的结构	47
§ 7 鱼骨形天线的结构	50

### 第三章 短波天线常用传输线的结构

§ 1 概述	53
§ 2 传输线加工和安装的基本工艺	54
§ 3 架空二线式传输线	57
§ 4 角联架空四线传输线	59

### 第四章 天线塔杆的结构

§ 1 概述	63
§ 2 天线塔杆跨距的选择	63
§ 3 对天线塔杆的机械要求和电的要求	64
§ 4 圆木杆身的结构	65
§ 5 箍结合木杆的杆身结构	73

§ 6 拉纜的繫結和固定 .....	77
§ 7 基礎 .....	82
§ 8 地錨 .....	83
§ 9 小型鐵塔的結構 .....	88

## 第五章 天綫的場地施工

§ 1 概述 .....	93
§ 2 用固定撐杆豎立塔杆 .....	95
§ 3 用倒落撐杆豎立塔杆 .....	101
§ 4 杆上接杆 .....	106
§ 5 倒杆或倒塔 .....	110
§ 6 天綫的場地施工 .....	111
§ 7 塔杆的方位測量 .....	113
§ 8 天綫場地平面圖 .....	121

## 第六章 天綫的常用材料

§ 1 木材 .....	121
§ 2 木材的分等与缺陷及材積計算 .....	124
§ 3 導綫 .....	127
§ 4 鋼綫、鐵綫和鋼絞綫 .....	132
§ 5 絕緣子 .....	134
§ 6 混凝土 .....	138
§ 7 金屬零件 .....	142
§ 8 塔杆的防腐材料 .....	142
§ 9 焊接及潤滑材料 .....	145

## 第七章 天綫施工的主要工具

§ 1 手搖絞車 .....	146
§ 2 手推絞車 .....	147
§ 3 滑車 .....	149
§ 4 麻繩和棕繩 .....	152
§ 5 鋼索 (鋼絲繩) .....	153

§ 6 千斤繩 .....158  
§ 7 緊綫鉗 .....159  
§ 8 一般工具 .....160

### 第八章 天綫的技术安全

§ 1 概述 .....161  
§ 2 风速和风級 .....161  
§ 3 天綫設備的防雷和接地 .....163  
§ 4 塔杆的警戒灯 .....164  
§ 5 施工安全 .....165

### 第九章 天綫設備的維護

§ 1 維護目的 .....169  
§ 2 維護質量要求 .....169  
§ 3 維護項目与周期 .....172  
§ 4 四分之一波长短路回綫及其使用方法 .....174  
§ 5 天綫的方向图和单向系数的測量 .....177  
§ 6 絕緣和导綫的直流电阻等測量 .....179

### 第十章 維護中的一般問題

§ 1 拉綫张力的調整 .....179  
§ 2 塔杆的校直 .....180  
§ 3 木杆的检查 .....181  
§ 4 測量短波收信天綫用的相对电場强度仪 .....182  
§ 5 測量短波发信天綫用的相对电場强度仪 .....187  
§ 6 測量不平衡饋电时的駐波比电桥 .....189  
§ 7 經緯仪 .....191  
§ 8 方位角和大圓距离計算图 .....195  
§ 9 計算射綫仰角的曲綫 .....200

附表 1 粘土及砂质土容許承受的压力

附表 2 我国主要城市經緯度及磁偏角参考表

附表 3 常用对数表

附表 4 三角函数表

# 第一章 短波天綫的一般概念

## § 1 电波传播

在无綫电通信里，必須把被传送的消息变为电信号，寄托于发信机的高頻振蕩之上，由发信天綫以已調电磁波(以下簡称电波)的形式发射出去；已調电磁波传播到接收点时，由接收天綫将它接收下来，在接收机內从高頻振蕩中取出电信号，然后轉换为消息，达到通信的目的。其工作情况如 1.1 图所示。图中在发送端的一切設備，簡称为发信設備；在接收端的一切設備，簡称为接收設備。

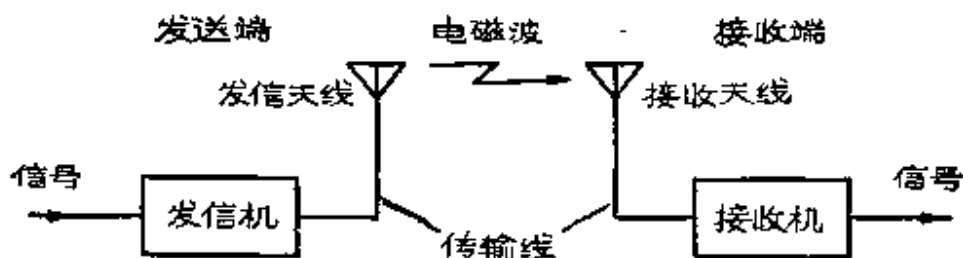


图 1.1 无綫电通信工作情况示意图

这样由无綫电收、发信設備建立起来的通信电路，通常就叫做“无綫电路”。

可見开通一条无綫电路，少不了电磁波。电磁波由发信天綫到接收天綫的传播过程到底怎样，如果要讲清楚，所需要的理論知識是很多的。但天綫是电磁波的发射者和接收者，电磁波与天綫的关系十分密切。为了說明天綫的作用原理，为从事天綫綫务工作的人員打下良好的基础，我們必須在这里談一些有关电磁波传播(或簡称电波传播)的基本知識。

### [I] 电波的频率、波长和速度的关系

电波的特点可用它的频率、波长和速度来表示，但这三个物理量不是完全孤立的，它们之间有着一定的关系。我们介绍这些物理量，对于以后说明天线的尺寸和悬挂高度等都有关系。

所谓“频率”就是电波每秒钟振动的次数，一般用符号  $f$  来表示，常用单位为赫、千赫和兆赫；所谓“波长”是指电波在每振动一周的时间内所走的距离，一般用  $\lambda$  来表示，常用单位为米、厘米和毫米；所谓“速度”是指电波每秒钟所走的距离，一般用  $v$  表示，常用单位为公里/秒、米/秒等。

频率、波长和速度之间的关系可用公式表示如下：

$$v = \lambda \times f \quad (1.1)$$

电波在空中传播的速度近似于光在真空中传播的速度，其值为

$$v = 3 \times 10^8 \text{ 米/秒}$$

所以 
$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{\lambda} \text{ 赫} \quad (1.2)$$

或 
$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3 \times 10^8}{f} \text{ 米} \quad (1.3)$$

在短波通信中常用兆赫为单位，1兆赫 = 1,000,000赫，所以波长  $\lambda$  又可写成：

$$\lambda (\text{米}) = \frac{300}{f (\text{兆赫})} \quad (1.4)$$

### [II] 无线电波波段的划分

无线电波的频率范围很宽，人们常根据无线电波传播的特性，按工作波长的不同，又划分为长波、中波、短波、超短波、微波等波段，其波长范围如表 1.1 所示。

### [III] 电波的传播方式

电波由发信天线发出后，可能走不同的途径到达接收点。



表 1.1 无线电波波段划分的范围

波段及频段名称		频率范围	波长范围
长 波	特 低 频	10—30 千赫	30000—10000 米
	低 频	30—300 千赫	10000—1000 米
中 波	中 频	300—3000 千赫	1000—100 米
短 波	高 频	3—30 兆赫	100—10 米
超短波	特 高 频	30—300 兆赫	10—1.0 米
	超 高 频	300—3000 兆赫	100—10 厘米
微 波	极 高 频	3000—30000 兆赫	10—1.0 厘米
	甚 高 频	30000 兆赫以上	1.0 厘米以下

走什么途径与波长有关。实用的传播途径一般有下列几种：

**表面波传播：**指电波沿地球表面的传播（又称地波传播），如图1.2(a)所示。

地面对表面波有吸收作用，使表面波的强度随距离的增加而逐渐降低，而且降低多少与表面波的频率以及地面是海洋或陆地等有关。海洋的吸收要比陆地的吸收小得多；频率高时吸收大，频率低时吸收小。长波和中波的频率较低，因此可以利用表面波传播的方式来建立无线电电路。

**天波传播：**指发射的电波，被高空“电离层”反射回来而达到接收点的传播方式，如图1.2(b)所示。

所谓电离层，系指在离地面70—80公里以上高空、带有电荷的大气层。在这里空气已经非常稀薄，受太阳光中所含紫外线照射，就会产生电离层。紫外线所含的能量很强，它可以使自由电子与气体分子分离，这就叫“电离作用”。电离的结果，一方面得到自由电子，一方面得到带正电的气体分子。如

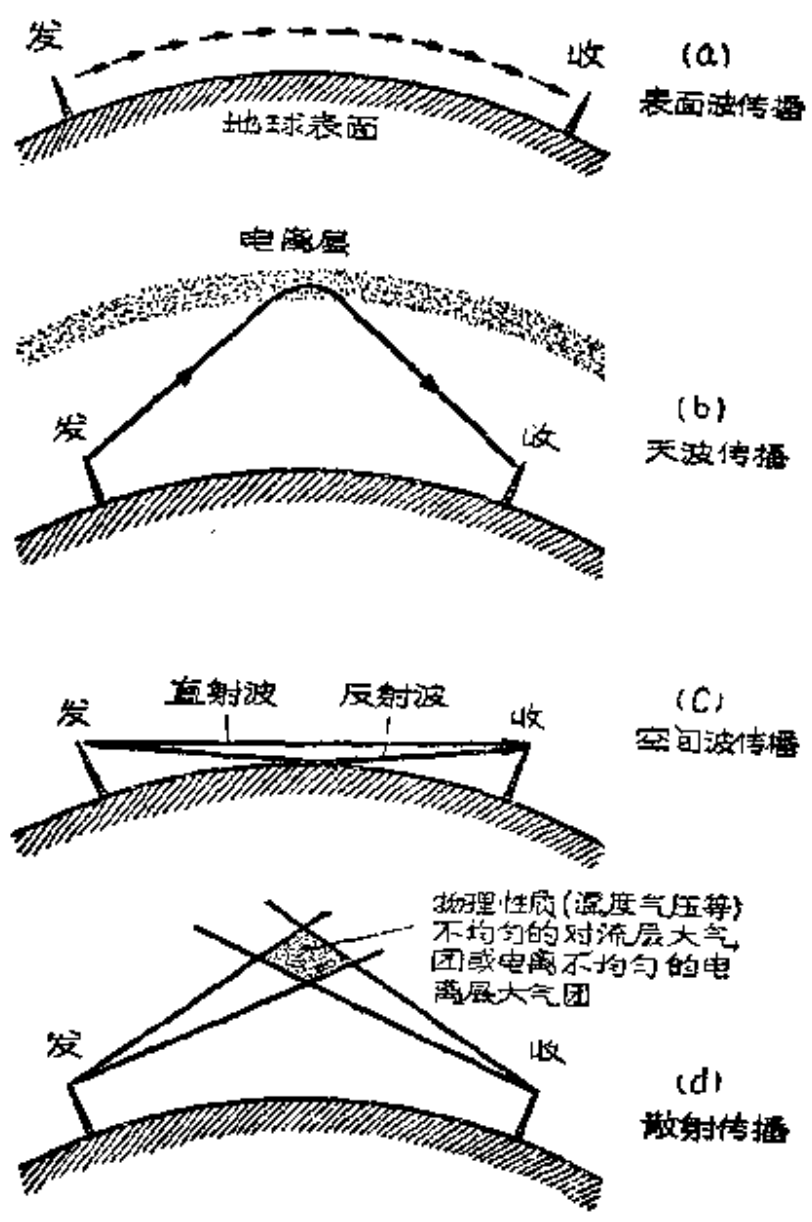


图 1.2 电波传播的几种方式

果这些自由电子很容易地又碰到带正电的气体分子，那末正负电相遇就一定中和，大气仍不带电；可是在高空区域空气稀薄，自由电子和带正电的气体分子碰撞的机会很少，因此电离的结果就使大气带电，形成了电离层。

电离层对波长不同的波，其反射性质和吸收程度是不同的。概略地说，在 30 兆赫以下的波，将被电离层反射回来；

30兆赫以上的波，則將穿透电离层。电离层吸收的大小与地表面的吸收情况相反，波的频率越高，吸收越小；波的频率越低，吸收越大。短波的频率较高，因此利用电离层的这一特性，就可以建立短波无綫电路。

电离层的形成既与太阳光的照射有直接关系，而太阳对地球上某一地区的照射，有日夜、季节等等的变化，因而也引起该地区上空电离层作相应的变化。这不仅是使电离程度大小变化，而且使电离层的高低也有变化。所以电离层的电离情况是不稳定的。

在短波通信中为了适应这种电离层的变化情况，必須按日、夜及季节的不同分別使用不同的通信频率，而所用的天綫必須有适当的工作波段和悬挂高度。

**空間波传播：**指发射的电波，經空間直接到达接收点、以及为地表面反射后到达接收点的传播方式，如图1.2(c)所示。

这种空間波传播的距离不远，一般仅数十公里左右；并且传播距离的远近由天綫架設的高度来决定。天綫架得越高，通信距离越远。也就是通信的距离基本上由視綫范围的大小而定，这就要求从发信天綫可以望見接收天綫。显然发信天綫和接收天綫越高，通信距离就愈远。

在超短波和微波波段就是利用这种传播方式来建立电路的。超短波和微波的频率都很高，地面对它们的吸收都很大；超短波和微波又都穿透电离层，不会被电离层反射回到地面来，所以都不能用天波和地波来通信。空間波的传播过程，与电离层无关，因此不受电离层变化的影响，而只受地表面上大气状况变化的影响。当在視綫范围内传播时，后一影响并不大，所以通信情况很稳定。

**散射传播：**是近十年来才为人们所利用的一种电波传播方

式。它是利用大气对流层（即地球表面以上至高达12—13公里的大气层，在此层中，大气不断流动，因而引起种种气候变化）和电离层的不均匀性来散射电波而传到远处的。由于对流层的气体的流动，往往引起复杂的大气的旋涡运动，也叫做湍流运动，对流层的不均匀性，就是由这种大气湍流所产生的。这种不均匀的气团具有把由60兆赫到10000兆赫的电波折射到地面来的性质，通常就叫“对流层散射”。借对流层散射最远可以传到约900余公里。当太阳的辐射有特殊变化（有时从太阳中发射出带电的粒子）及有流星穿过时，电离层中也会有一种电离不均匀的气团出现，它能把30—60兆赫的电波折射到地面来，通常就叫“电离层散射”。借电离层散射至少可以传到约900多公里，至多可以传到约2000公里。

散射传播通信电路就是指利用这两种电波传播的方式来建立的电路，它们的工作波段属于超短波和微波波段范围，而通信的距离却不受视线范围的限制，如图1.2(c)所示。

## § 2 天线的作用和常用短波天线的类型

### 〔1〕 天线的作用

发信天线是一种将高频能量以电磁波的形式辐射到接收地点的装置；接收天线是一种受电磁波的激励、而从中吸取高频能量的装置。电磁波携带着高频能量向目的地传播，凡是有了电磁波的空间都有高频能量。因此天线实际是一种换能器。由不同直径的导线或金属面以及各式绝缘物与支持塔杆等，按不同尺寸和几何图形构成的各式天线，实际都是用来把高频能量转换为电磁波的能量或者把电磁波的能量转换为高频能量的装置。因此发信天线和接收天线是可以互易的，即同一付天线可以用来发信，也可以用来接收。对天线的这种性能，我们说它

們是符合互易原理的。

在無線電通信中，天綫是攜帶着消息的电磁波的发射者和接收者，在無線電路的組成中占极其重要的地位。天綫质量如何，对通信质量的好坏往往起着决定性的影响。因此設計和安裝天綫时，必須十分重視保證它有一定的质量。

## 〔II〕常用短波天綫的类型

从天綫的互易原理可知，一付发信天綫也是一付接收天綫。所以有关天綫的問題，照理只要討論发信天綫就可以了。

短波天綫的类型很多，但按天綫的工作状态可划分为两类，即：行波天綫和駐波天綫。茲分別說明如下：

### 1. 行波天綫

沿着用导綫組成的綫路上以某一速度傳輸高頻能量，通常在工程上就称傳輸高頻功率，而对这种綫路就叫做“傳輸綫”。当傳輸綫傳輸着高頻能量时，綫上各点的电压或电流会按高頻振蕩的节拍而变化。这种情形，就象是在綫路上激起了一种看不見的波浪一样。当高頻功率由傳輸綫的始端传到傳輸綫的終端时，如果終端不能将传来的高頻功率全部吸取，势必有一部分高頻功率由終端再經傳輸綫返回始端。前者称为入射波，后者称为反射波。也有高頻功率完全被終端所吸收的情形，这时就只有入射波而沒有反射波。当綫路上沒有反射波时，我們称綫路的工作状态为“行波状态”，这时終端的阻抗和傳輸綫的特性阻抗是“匹配”的；当有反射波时，綫路上将发生入射波和反射波相遇而迭加的情形，这种綫路的工作状态称为“駐波状态”。这时終端的阻抗和傳輸綫的特性阻抗是不匹配的。阻抗是电阻与电抗的总称。我們知道，一切电阻器、电感綫圈和电容器都有抗拒电流通过的性质，对于这种性质，我們就分別用“电阻”、“感抗”和“容抗”来表示，而“感抗”和“容抗”又統称为“电抗”。

綫路上某两点間（例如傳輸綫終端的两点間）如既有电阻又有电抗，我們就說这两点間有阻抗。一对傳輸綫或天綫上的电阻、电感和电容是沿綫到处都有的，因此傳輸綫也有抗拒电流通过的性质。为了說明傳輸綫的这种性质，我們就用傳輸綫的“特性阻抗”来表示。对于傳輸綫特性阻抗的含义的最簡單的解釋，就是与傳輸綫匹配的阻抗一定等于傳輸綫的特性阻抗。对高频傳輸綫的大量計算表明，它們的特性阻抗实际上可以认为都是实数数值，就和一个电阻器的电阻值一样。因此傳輸綫終端的匹配阻抗往往就是一个“終端匹配电阻”。

行波天綫事实上都可以认为是特殊式样的傳輸綫。所謂行波天綫，就是指其終端接有匹配电阻而其上沒有駐波的天綫。在理想的、沒有損耗和完全匹配的情况下，天綫上各点的电流（或电压）的振幅值（即交流电流或电压的峰值）是处处相等的。所以行波天綫的特点是其終端接有一个与天綫的特性阻抗相等的吸收电阻（或电阻綫）。常用的行波天綫有V形天綫、菱形天綫、魚骨形天綫（仅用于接收）、折合式天綫等，代表这几种天綫的电路图，分別示于图1.3。

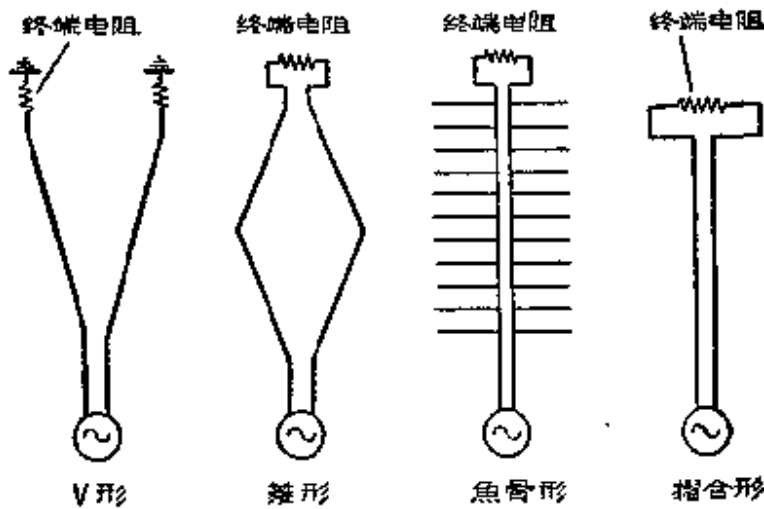


图 1.3 行波天綫电路图

## 2. 駐波天綫

所謂駐波天綫就是指工作在駐波状态的天綫。沿这种天綫上各点的电流（或电压）的振幅值并不处处相等，而是有些地方永远是最小值，有些地方永远是最最大值，并有規律地由最小到最大、由最大到最小、再由最小到最大依次交替变换。最大值与相邻最小值之間相隔四分之一波长。常用的駐波天綫有对称振子（包括籠形天綫）、同相水平天綫、倍波天綫等，代表这几种天綫的电路图分別示于图 1.4。

关于各类天綫的性能和結構特点，将在以下各节分別介紹。

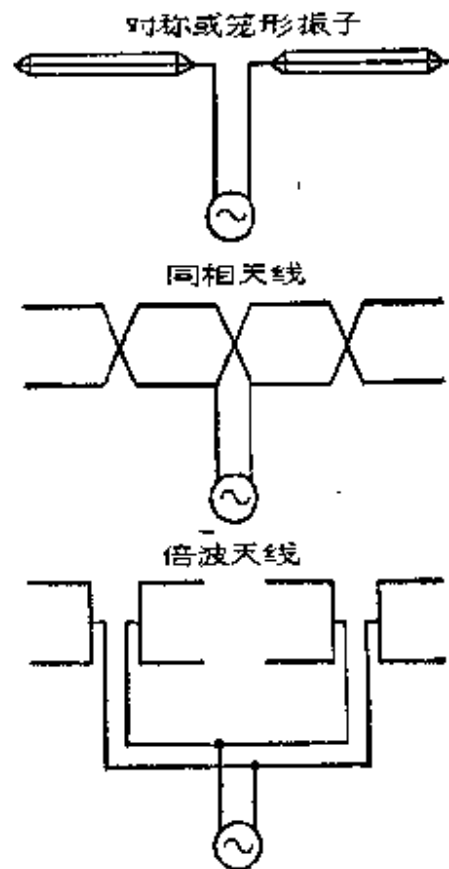


图 1.4 駐波天綫电路图

### § 3 天綫的主要电指标

广义地說，所謂天綫应包括发射（或接收）电波的导电体結構、支持导电体結構用的塔杆結構以及联接发信（或接收）天綫和发信机（或接收机）的傳輸綫等部分。

天綫性能的好坏，和其他无綫电設備一样，是用一定的质量指标来衡量的。天綫的质量指标不仅要有电的指标还必須包括机械的指标。

这里先討論天綫的主要电指标，它們的定义如下：

#### 〔I〕方向系数

天綫在各不同方向上发射（或接收）电磁波的强弱是不同

的，因此我們常說天綫具有方向性。通常我們習慣用“電場”或“磁場”的大小來代表電磁波的強弱，因為凡是有電磁波出現的場所都會有電和磁效应的表現。為了表示天綫的方向性，我們取一平面通過天綫的中心，並以天綫的中心為中心、對在這平面內與天綫等距離處各方向上的發射強度，用該處電場強度的大小來表示。當把這些位置的電場強度在極坐標紙上對不同的方位角繪成曲線時，所得圖形就是代表天綫方向性的天綫方向圖。天綫的方向圖應該說是立體的，不能只繪出平面上的圖形。但在工程上為了簡便，常用兩個特定的平面內的方向圖來表明一付天綫的方向性，這就是與地面平行的水平面內的方向圖形和與地面垂直的垂直面內的方向圖形。對這兩個圖形，常簡稱為“水平方向圖”和“垂直方向圖”，分別如圖 1.5 所示，面總稱為天綫的方向圖。

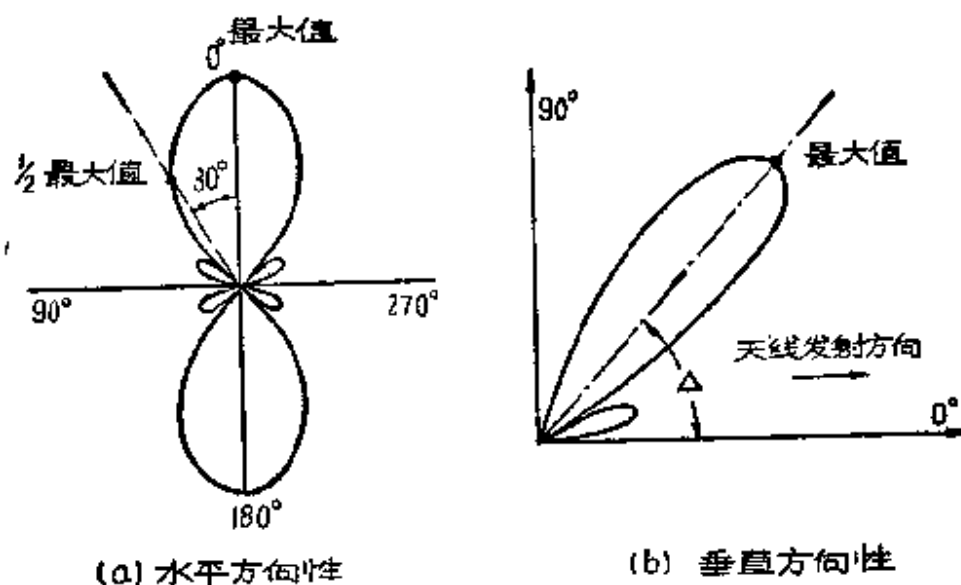


圖 1.5 天綫的方向圖

從這種方向圖中就可以看出天綫在各個方向上發射強度不同的情況，例如图 1.5(a) 所示的某天綫的方向圖，表明該天



綫在选定为 0 度的方位上发射（或接收）电磁波的能力最强，而在 30 度的方位上天綫发射（或接收）电磁波的能力只有 0 度方位上最大值的 50%。同理，图 1.5(b) 还表明，該天綫在向上空以仰角  $\Delta$  发射（或接收）电磁場的能力最强，在其他仰角的方向，发射（或接收）的能力都較弱。

一付天綫的方向性除用方向图表示外，还可以用所謂“方向系数”来表示，通常方向系数的代表符号为“ $D$ ”。其定义如下：

某一天綫，其在某方向上发射的功率为  $P$ ；另外有一完全没有方向性的理想天綫，其在各方向上的发射功率的平均值为  $P_{av}$ ；假定两天綫的总发射功率相等，則此天綫在該方向上的方向系数为两者功率之比，即：

$$D = \frac{P}{P_{av}} \quad (1.5)$$

这不仅是发射天綫的方向系数的定义，根据互易定理，只要把定义中的“发射”改为“接收”，則式 (1.5) 同样可代表一接收天綫的方向系数，同一付天綫用于发射及用于接收，方向系数是相等的。

由上述定义可知，天綫方向系数的大小可以說明一付天綫在各不同方向上发射或接收能力的大小。显然方向系数越大，方向图的主瓣将越細而长；方向系数越小，方向图的主瓣将越寬而短。

### 〔II〕增益系数

求增益系数与求方向系数稍有不同，是将一給定天綫的功率与自由空間中一半波天綫的功率对比来确定的。因此在討論增益系数之前，我們先来介紹一下所謂“自由空間的半波天綫”。自由空間是指地面不存在以及周围环境完全不发生影响的假想