

KONGZHONG JIAOTONG GUANLI XITONG DAOLUN

空中交通管理系统导论

KONGZHONG JIAOTONG GUANLI XITONG DAOLUN

刘慧英 周 勇 编著

国防工业出版社

V355.1
L628:2

空中交通管理系统导论

刘慧英 周勇 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

空中交通管理系统导论/刘慧英,周勇编著. —北京:
国防工业出版社, 2002. 10
ISBN 7-118-02904-1

I. 空… II. ①刘…②周… III. 空中交通管制 -
概论 IV. V355.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 048581 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

新艺印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 14 $\frac{3}{4}$ 355 千字

2002 年 10 月第 1 版 2002 年 10 月北京第 1 次印刷

印数: 1—2000 册 定价: 30.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

前 言

空中交通管制,萌芽于早期的飞行活动。由于早期的飞行器数量和种类都较少,飞机功能简单,飞行持续时间短,飞行活动并不需要过多的管制。随着科学技术的不断进步,航空运输业得到了迅速的发展。快速发展的民航事业,对民航空管工作和建设提出了更高的要求。然而,目前我国大部分地区实行的空中交通管理体制,仍然是在 20 世纪五六十年代我国民航事业不发达的情况下形成的。在新型飞行器不断呈现,飞机的航程、航速和飞行量迅速增加的今天,仍延续过去的空管体制,显然是不合适的,必须将民航空管系统建设成为体制顺畅、技术先进、设备配套、反应灵敏、管制高效的系统。国务院、中央军委对我国的空中交通管制情况非常重视,自 1990 年以来,中国民用航空总局先后三次发布并修订了《中国民用航空空中交通管理规则》,为建立和完善我国的空中交通管理系统起到了积极的推动作用。但目前,国内外论述空中交通管制方面的书籍较少,因此,根据我国的国情,学习和吸收国外发达国家在空中交通管制方面的先进经验,编写一本适合我国学生和相关专业技术人员学习的教科书是非常必要而迫切的。《空中交通管理系统导论》一书正是基于这种考虑而编写的。本书在撰写过程中参考并吸收了国内外有关书籍和文献资料。作者根据发达国家空中交通管制系统的模式,参照国际民航组织和中国民航总局发布的《中国民用航空空中交通管理规则》的有关规定,选择近几年来出版发行的有关方面书籍而编写。

本书系统地阐述了空中交通管理系统的基本原理、组成和实施方法,从空中交通管理系统所采用的设备开始,对空中交通管制、空域的管理、空中交通流量管理等进行了系统的论述。从适应 21 世纪全球民用航空运输量的增长和新航行系统的发展目标和基本要求出发,作者还将当前国内和国际上所采用的先进技术编入书中,例如:卫星导航技术、数据链路的开发和利用技术、计算机网络化和自动化技术等。本书的特点是:全面、系统、深入浅出,做到理论联系实际,是一本较为全面的专业概论书。作为一门专业的导论课,其涉及范围广泛,内容通俗易懂,便于自学。可作为民航学院、航空院校中交通运输规划与管理、交通信息工程与控制类专业的研究生和本科生教材,也可作为相关专业技术人员的参考书。

本书分两部分共九章。第一部分是空中交通管制常用设备,分三章,第一章无线电导航设备与系统,第二章通信系统,第三章雷达系统;第二部分是空中交通管制部分,分七章,第四章空域管理,第五章空中交通管制,第六章飞行管理系统,第七章空中交通自动化管制,第八章近地警告与防撞系统,第九章空中交通流量管理。各章内容互相联系形成一个整体,同时也注意到它们之间的相对独立性,以便于不同教学要求的选用。

本书完稿后由南京航空航天大学民航学院顾怡教授审阅,并提出了许多宝贵意见,在此深表感谢。本书在编写过程中得到了西北工业大学教务处,特别是李辉老师的大力支

IV

持和帮助,作者在此表示衷心的感谢。

感谢硕士生马卫华、阎代维、周贵伟、陈刚和朱晓婷同学对本书提出的改进意见。

作者还要感谢本书“参考文献”中所列出的国内外专著和论文的作者,正是由于他们的出色工作,才极大地丰富了本书的内容。

由于作者水平有限,书中难有疏漏和不妥之处,敬请读者指正

作 者

内 容 简 介

本书系统地阐述了空中交通管理系统的基本原理、方法和实施空中交通管制的目的。全书共分两部分九章,第一部分从第一章至第三章,主要介绍空中交通管制的设备,是本书的基础;第二部分从第四章至第九章,主要介绍空中交通管制过程,是本书的重点。本书可作为民航学院、航空院校中交通运输规划与管理、交通信息工程与控制类专业的研究生和本科生教材,也可作为相关专业技术人员的参考书。

目 录

第一部分 空管系统常用设备

第一章 无线电导航设备与系统	1
1.1 无线电导航的基本知识	1
1.1.1 无线电导航的基本原理	1
1.1.2 无线电导航系统的分类	3
1.1.3 常用航空无线电导航系统的分类	4
1.2 自动测向器(ADF)	5
1.2.1 环状天线的方向性及测角原理	5
1.2.2 机载无线电定向仪(ADF)	7
1.3 全向信标系统(VOR)	10
1.3.1 概述	10
1.3.2 全向信标(VOR)测定方位的基本原理	11
1.3.3 VOR 机载设备的构成	12
1.4 仪表着陆系统	14
1.4.1 仪表着陆系统的基本原理	14
1.4.2 航向信标系统	17
1.4.3 下滑信标系统	21
1.4.4 指点信标系统	22
1.4.5 仪表着陆系统的机载设备	23
1.5 微波着陆系统(MLS)	24
1.5.1 MLS 的测角原理	24
1.5.2 拉平台的测高原理	25
1.5.3 微波着陆系统的覆盖区域	26
1.5.4 微波着陆系统的机上设备	26
1.5.5 利用 MLS 地面设备的着陆过程	26
1.6 卫星导航系统	27
1.6.1 GPS 的组成	28
1.6.2 GPS 的定位原理	31
1.6.3 差分 GPS(DGPS)定位	32
1.6.4 GPS 在空中交通管理中的应用	33

本章小节	39
第二章 雷达系统	41
2.1 雷达的基本原理	41
2.1.1 概述	41
2.1.2 雷达方程	42
2.1.3 雷达信息	43
2.1.4 目标信息处理	45
2.1.5 雷达频率	52
2.2 脉冲一次雷达	53
2.2.1 航路(道)监视雷达	53
2.2.2 机场监视雷达	56
2.2.3 精密着陆雷达	57
2.2.4 机场地面探测装置(ASDE)	58
2.3 二次监视雷达(SSR)	58
2.3.1 二次监视雷达的优点	58
2.3.2 传统二次监视雷达	59
2.3.3 S模式二次监视雷达	64
本章小节	66
第三章 通信系统	68
3.1 航空通信网络	68
3.1.1 航空固定业务	68
3.1.2 航空移动业务	69
3.2 机载通信系统	70
3.2.1 概述	70
3.2.2 甚高频通信系统	72
3.2.3 高频通信系统	73
3.2.4 选择呼叫系统	78
3.3 数据链路	80
3.3.1 数据链的类型	80
3.3.2 数据链路规约	86
本章小节	93

第二部分 空中交通管制

第四章 空域管理	95
4.1 空域的划分	95
4.1.1 空中规则	95
4.1.2 空域划分	96
4.2 高度分层	100

4.2.1 高度分层理论	100
4.2.2 高度分层	104
4.3 空域管理中的军、民航协商机制	107
4.4 空域三级管理	110
本章小节	112
第五章 空中交通管制	113
5.1 概述	113
5.1.1 空中交通管制的任务	113
5.1.2 空中交通管制的机构	113
5.2 程序管制	114
5.2.1 管制空域的划分	114
5.2.2 仪表飞行管制间隔	115
5.2.3 目视飞行管制间隔	118
5.2.4 进场管制	120
5.2.5 离场管制	123
5.2.6 航路管制	126
5.2.7 管制工作的程序	127
5.3 雷达管制	130
5.3.1 一般规则	130
5.3.2 雷达识别	131
5.3.3 雷达引导	132
5.3.4 雷达管制最低间隔	133
5.3.5 雷达管制移交	134
本章小节	136
第六章 飞行管理系统	137
6.1 飞行管理系统简介	137
6.1.1 概述	137
6.1.2 三维与四维系统	137
6.1.3 横向与垂直导航	139
6.2 飞行管理系统的组成及功能	139
6.2.1 飞行管理系统的组成	139
6.2.2 飞行管理系统的功能	141
6.3 飞行管理计算机的三种功能	143
6.3.1 导航功能	143
6.3.2 性能计算功能	145
6.3.3 制导功能	145
6.4 飞行管理系统的传感设备与执行部位	147
6.4.1 飞行管理系统的传感设备	147
6.4.2 飞行管理系统的执行部件	149

6.5 飞行管理系统的一般操作规则	152
本章小结	153
第七章 空中交通自动化管制	154
7.1 空中交通自动化管制	154
7.1.1 发展概况	154
7.1.2 自动化空中交通管制系统总体概述	155
7.1.3 未来的空中交通管制系统	159
7.2 空中交通管制环境	160
7.3 新航行系统	161
7.3.1 新航行系统的组成	161
7.3.2 新航行系统在空中交通管理中的应用	165
7.3.3 新航行系统对空管体系的影响	169
7.3.4 新航行系统在我国的发展	170
本章小结	172
第八章 近地警告和防撞系统	173
8.1 近地警告系统	173
8.1.1 概述	173
8.1.2 近地警告系统的简单工作原理	174
8.1.3 近地警告系统与其它机载系统的关系	175
8.1.4 近地警告系统的几种工作方式	176
8.1.5 近地警告系统示例	187
8.2 交通警告防撞系统(TCAS)	200
8.2.1 TCAS的概念	200
8.2.2 TCAS如何分析碰撞	203
8.2.3 TCAS如何提出咨询	205
8.2.4 TCAS系统的发展	207
本章小结	207
第九章 空中交通流量管理	209
9.1 概述	209
9.1.1 流量管理的意义	209
9.1.2 流量管理的依据和原则	210
9.1.3 流量管理的方法和实施流量管理的程序	210
9.1.4 我国飞行流量管理的机构及职责	211
9.2 空中交通流量控制	211
9.2.1 流量控制的必要性	211
9.2.2 流量控制的方法和基础	212
9.2.3 流量控制中的排序和制表	215
9.2.4 实施流量控制的保障措施	217
9.3 空中流量管理的制约因素	219

本章小结.....	221
附录 1:空管词汇缩写	222
附录 2:参考文献	225

第一部分 空管系统常用设备

第一章 无线电导航设备与系统

机载无线电导航设备是航空导航的主要技术手段之一,它在当代电子学及电子工程中也得到广泛的发展与应用。本章主要介绍目前在航空导航中所应用的无线电导航设备及其工作原理。

1.1 无线电导航的基本知识

1.1.1 无线电导航的基本原理

1. 无线电导航

根据几个世纪以来人类的知识和能力的增长顺序,把导航分成如下四类:观测导航、推算导航、天体导航和无线电导航。

无线电导航是借助于运动体上的电子设备接收和处理无线电波来获得导航参量的一种导航方法。

无线电导航的特殊优点是:不受时间和天气的限制,精度高,可达到几米的定位精度;定位时间短、甚至可以连续地、适时地定位;设备简单、可靠;可以在复杂气象条件下或夜间引导飞机着陆。正是因为无线电导航有着其它类导航所无可比拟的优点,几十年来,特别是近 30 年来,无线电导航得到惊人的发展。

但是无线电导航存在着一个机理性的缺陷,即它必须要辐射和接收无线电波,因而易被发现和受到干扰,其地面设施也易遭破坏。

2. 采用无线电导航的可能性

无线电导航的过程,就是通过无线电波的发射和接收,测量飞机相对于导航台的方向、距离等导航参量,而测量和运用这些导航参量的可能性则基于电波在以下传播的特性:

- ① 无线电波在理想均匀媒质上,按直线(或最短路径)传播;
- ② 无线电波经电离层反射后,若遇到不连续媒质时产生反射;
- ③ 无线电波在传播路径中,若遇到不连续媒质时产生反射;
- ④ 在理想均匀媒质中,无线电波传播的速度为常数。

根据①、②两个特性,可以测定无线电波的传播方向,从而确定飞机对于导航台的方向,实现角坐标测量。根据①、④两个特性,可以测定无线电波在导航台与飞机之间的传

播时间,从而确定飞机到导航台的斜距。如果测定电波由两个导航台到飞机的时间差,则可确定飞机到这两个导航台的距离差。

特性③是雷达导航的基础,正是由于这个特性,才能通过无线电波发现飞机并确定飞机相对于雷达所在的位置和角坐标以及距离。

3. 位置线、位置面和定位

无线电导航,尽管千差万别,但都是通过接收和处理无线电信号来实现的。在导航台位置精确的情况下,接收并测量出无线电信号的电参量(振幅、频率、相位或延迟时间等),根据有关的电波传播特性,转换成为导航需要的接收点相对于该导航台坐标的导航参量——位置、方向、距离、距离差等,这就是无线电导航的实质所在。

处在某一特定位置上的接收机,在某一时刻接收并测得的无线电信号的电参量是确定值,由它转换而来的导航参量也将是个确定量,根据一个导航参量,是不能唯一确定接收点位置的,由一个导航参量只能确定接收点的可能位置是在与该导航参量相对应的轨迹线上(如果发射台和接收机都在平面上的话),或是一个轨迹面上(如果发射台和接收机中一个在地面另一个在空中的话),前者称为位置线,后者称为位置面。

由此可知,要单值地定位,测得一个导航参量,即获得一条位置线(或一个位置面)是不够的,至少需两个(平面定位)或两个以上(空间定位)。这种用几何线(或几何面)相交来完成定位的方法是普遍采用的,它是无线电导航原理的一个重要部分,通常称为“几何原理”。

就平面坐标来说,经常采用的位置线及其相交法定位如图 1-1 所示。

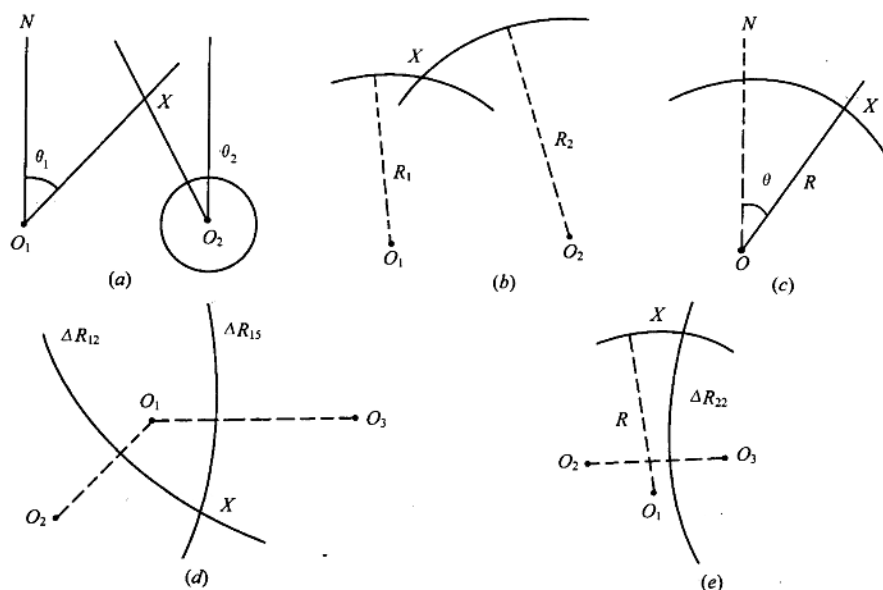


图 1-1 位置线及其相交定位

(a) 测向定位系统(直线位置线定位或“0-0”定位); (b) 测距定位系统(圆位置线定位,或“ $\rho-\rho$ ”定位);

(c) 测距测向定位系统(圆——直线位置线定位,或“ $\rho-0$ ”定位);

(d) 测距差定位系统(双曲线圆位置定位); (e) 测距测距差定位系统(圆——双曲线位置定位)。

航空导航,飞机高度较低而又远离导航台,因而可以近似地看作平面导航,但严格的讲是空间导航的问题。因此,要用位置面相交来定位,再进行换算来得到飞机的地平面位置。

空间坐标的几个主要位置面如图 1-2 所示。

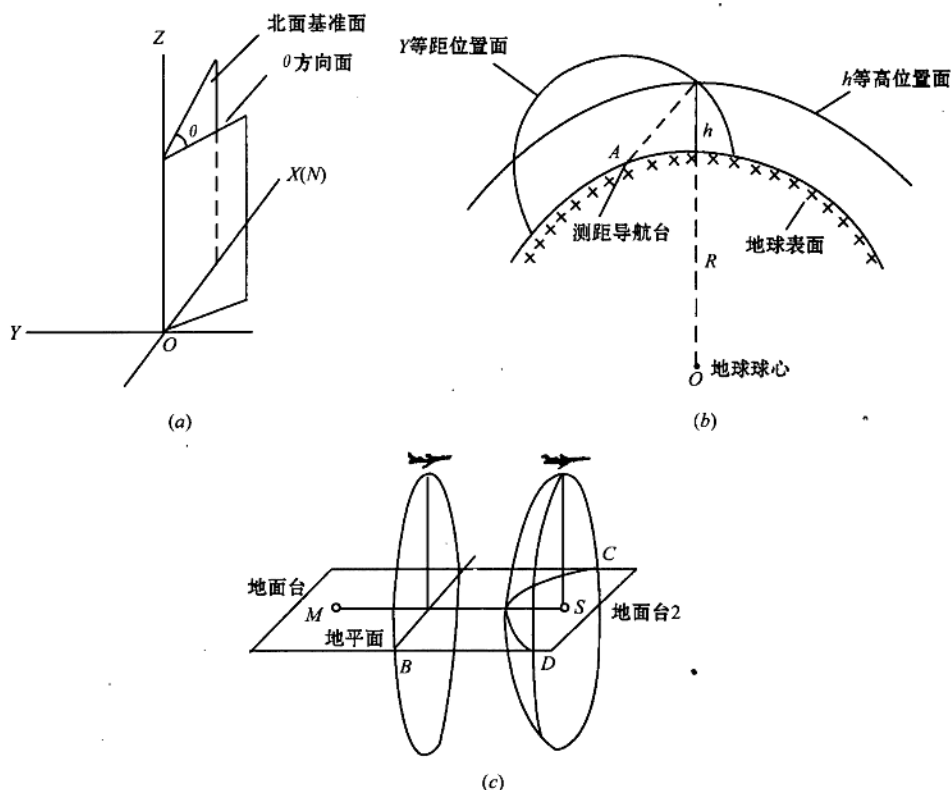


图 1-2 位置面示意图

(a)测向位置面(XOY 为地面坐标,X 指北向); (b)测高和测距位置面(剖视图); (c)测距差位置面。

1.1.2 无线电导航系统分类

无线电导航设备和无线电导航系统并没有很严格的定义。通常将用来产生或确定一条位置线的无线电导航仪器称为无线电导航设备;用来完成飞机导航任务的地面和机上整套无线电导航设备及其辅助设备称为无线电导航系统。为了对无线电导航系统有一个全面而概括的了解,下面将介绍无线电导航系统的分类。

1. 按测量电信号的不同参量分类

- ① 振幅无线电导航系统;
- ② 频率无线电导航系统;
- ③ 脉冲无线电导航系统;
- ④ 相位无线电导航系统;

⑤ 混合(如脉冲/相位)无线电导航系统。

2. 按提供位置线的几何形状(或导航参量)分类

① 直线位置线系统(测向系统,或测角系统);

② 圆位置线系统(测距系统);

③ 双曲线位置线系统(测距差系统);

④ 混合位置线系统(圆/直线位置线系统,圆/双曲线位置线系统)。

3. 按作用距离分类

① 近程导航系统(约为 100km ~ 500km);

② 中程导航系统(约为 500km ~ 1000km);

③ 远程导航系统(约为 2000km ~ 3000km);

④ 超远程导航系统(于 10000km)。

4. 按系统机上设备独立程度分类

① 它备式导航系统(系统有机上以外的设备);

② 自备式导航系统(系统无机上以外的设备)。

5. 根据飞机的飞行阶段分类

① 航路导航系统(保证飞机在预定航线上安全航行的导航系统);

② 终端区域导航系统(保证飞机进近引导和着陆的导航系统)。

1.1.3 常用航空无线电导航系统的分类

目前,有着许多航空无线电导航系统,它们具有不同的性能和精度以适应不同飞机的要求。

1. 航空无线电导航系统

当前,国内外正在使用和发展的航空无线电导航系统有:

① 台卡(Decca)导航系统;

② 罗兰(Loran)导航系统;

③ 奥米加(Omega)导航系统;

④ 自动定向系统(ADF);

⑤ 地面定向机;

⑥ 多普勒导航系统(DOP);

⑦ 甚高频全向信标系统(VOR);

⑧ 测距机系统(DME);

⑨ 卫星导航系统(GPS);

⑩ 塔康(TACAN)系统;

⑪ 空中交通管制系统(ATC):由一次雷达、二次雷达、通信及计算机组成。

⑫ 引导着陆系统:其中有精密进近雷达(PAR)、仪表着陆系统(ILS)、全球卫星导航系统(GNSS)。

2. 无线电导航系统占用的频率范围

无线电导航所占用的频率范围是很宽的,如果包括用于导航的雷达系统,它几乎占用了所有的无线电频段。无线电导航系统占用的频率范围如图 1-3 所示。

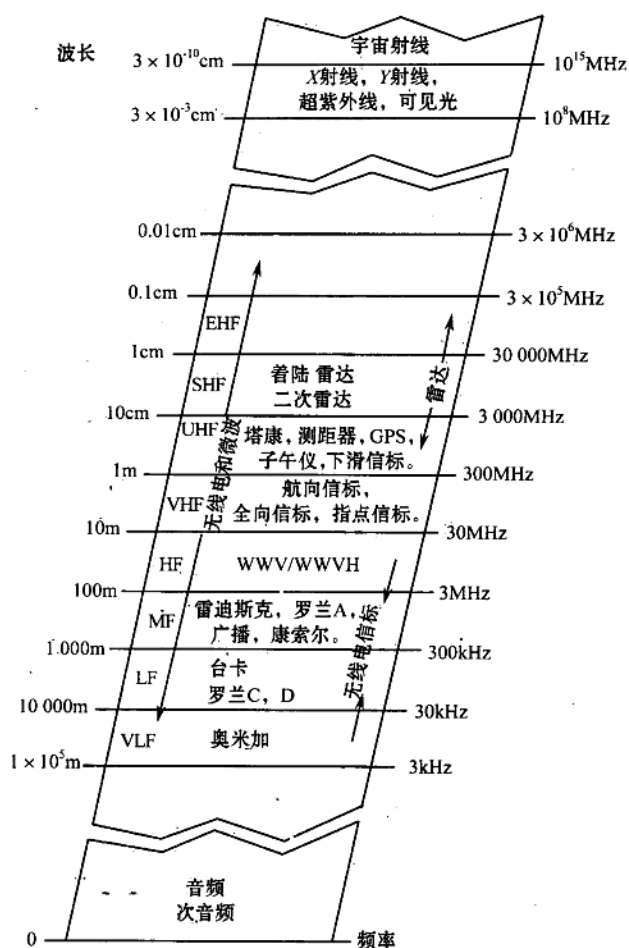


图 1-3 无线电导航系统占用的频率范围

1.2 自动测向器(ADF)

ADF 是英文 Automatic Direction Finding 的缩写。它是利用设置在地面的无方向无线电信标 NDB(Non - Direction Beacon)发射的无线电波,在机上用环状方向性天线接收和处理,以确定 NDB 所在方向测角的无线电导航设备,位置线为直线。

1.2.1 环状天线的方向性及测角原理

环状天线的外形可以是各种形状,一般机载 ADF 的接收天线由矩形铁淦氧上缠绕多匝如图 1-4 所示矩形导体组成。

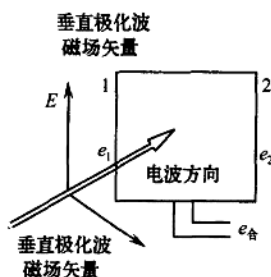


图 1-4 环状天线示意图

图中假设环状天线平面垂直于地平面，并假定接收的无线电波为垂直极化波（电场强度矢量垂直于地面），则只有图中与电场矢量平行的导体 1 和 2 才能产生感应电动势 e_1 和 e_2 。而与电场矢量垂直的水平边不能感应出电动势。每匝天线的合成电动势为

$$e_{\text{合}} = e_1 - e_2$$

从图 1-5 可以看出，当天线平面垂直于电波来向的时候（见图 1-5(a)）， e_1 和 e_2 的相位和振幅都相同，因此合成电动势等于零，信号幅度达到最小值。在其它几种情况中，电波到达导体 1 和 2 的时间不同，感生电动势 e_1 和 e_2 的相位不同，显然相位差越大，合成电动势 $e_{\text{合}}$ 的振幅也越大。当天线平面与电波来向平行时（见图 1-5(c)）， $e_{\text{合}}$ 的振幅达到最大值。比较图 1-5(b) 和图 1-5(d) 可以看出，由于导体 1 和 2 相对于电波的位置互易，合成电动势 $e_{\text{合}}$ 的相位也改变了 180° 。

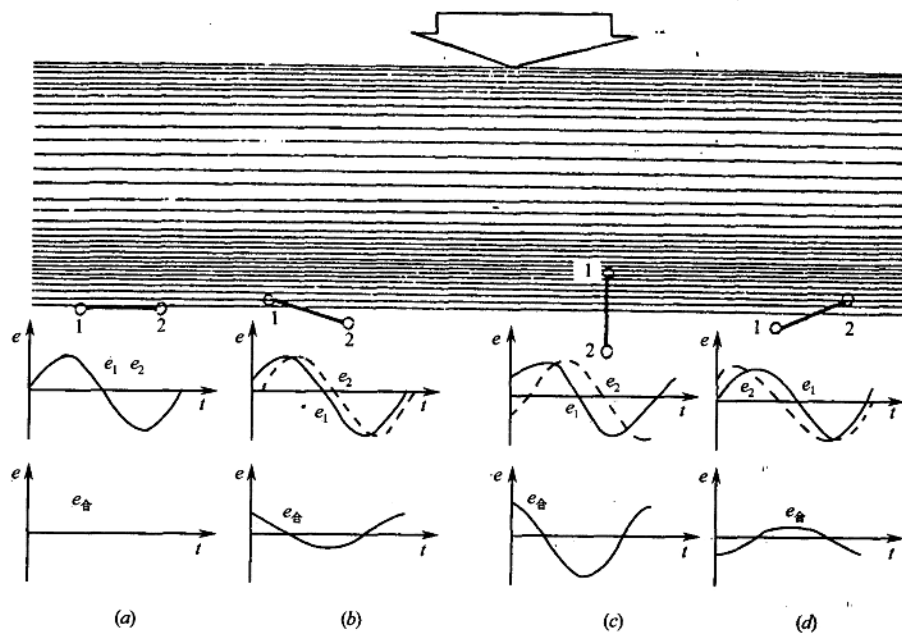


图 1-5 环状天线的定向原理