

交通行政执法人员岗位培训系列教材

JIAOTONG TONGXIN JISHU

交 通 通 信 技 术

交通部教育司组织编写

交通行政执法人员岗位培训教材编审委员会审定

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书为交通通信行政执法人员岗位培训教材之一。本书阐述了交通通信中普遍使用的中波、短波、甚高频、卫星通信、数字微波通信、光纤通信与程控交换系统的基本工作原理及相关技术。全书选材合适,文字表达流畅,通俗易懂。本书可供交通通信行政执法人员岗位培训使用,也可供交通通信技术及管理人员学习参考。

交通行政执法人员岗位培训系列教材

交通 通信 技术

交通部教育司组织编写

交通行政执法人员岗位培训教材编审委员会审定

责任印制:张 凯

插图设计:高静芳 版式设计:刘晓方 责任校对:张 莹

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

人民交通出版社印刷厂印刷

开本:787×1092  $\frac{1}{32}$  印张:8 字数:186千

1998年11月 第1版

1998年11月 第1版 第1次印刷

印数:001—700册 定价:12.00元

ISBN 7-114-03194-7

U · 02267

# 交通行政执法人员岗位培训教材

## 编审委员会名单

主任：洪善祥 交通部副部长

副主任：张忠晔 交通部体改法规司副司长

沈以华 交通部教育司副司长

委员：（以下按姓氏笔画排列）

凤懋润 交通部公路管理司副司长

许如清 交通部财务会计司副司长

关瑞华 交通部水运管理司副司长

刘德洪 交通部船舶检验局副局长

陈建成 交通部通信中心主任

宋家慧 交通部安全监督局副局长

何捷 交通部人事劳动司司长助理

徐光 交通部基建管理司司长助理

# 交通通信行政执法人员岗位 培训教材编审组名单

组 长：陈建成

副组长：李来兴

成 员：徐家庆 黄明辉 朱德铭

# 前 言

交通通信行政执法人员岗位培训系列教材,即《交通通信法规》、《交通通信业务知识》(水上)、《交通通信业务知识》(公路)、《交通通信技术》和《交通通信行政执法人员职业道德》是根据交通部交体法发[1996]36号文和交通部交教发[1996]1079号《关于印发 交通行政执法人员岗位培训教学计划与教学大纲 的通知》要求编写的。这是交通通信管理干部队伍建设中的一件前所未有的大事。我们相信,通过培训,将会进一步提高交通通信行政执法队伍的整体素质,对造就培养一支具有文明服务意识,又有专业知识和法律知识的交通通信行政执法队伍,具有十分重要的现实意义。

交通通信行政执法人员岗位培训系列教材编写工作得到了有关省、自治区、直辖市交通厅(局、委、办)和航管部门的大力支持。中国交通通信中心陈建成主任、通信导航管理处李来兴处长以及部教育司曹淑俭同志对教材编写工作给予了及时指导,付出了很大精力。

本书由大连海事大学张来保副教授任主编。大连海事大学房少军副教授、刘柏森副教授、单宝印副教授、何荣希讲师以及中国交通通信中心朱金发副处长任参编。其中前言及第一、二章由张来保撰写,第三章由房少军撰写,第四章由刘柏森撰写,第五章由单宝印撰写,第六章由何荣希撰写,中国交通通信中心朱金发副处长参加了第一章部分内容的撰写。本书由大连海事大学裘富祥教授主审。在教材即将出版发行之际,我们谨向本书的主编、主审和参加审定教材的有关专家

陈良志、侯福行、徐家庆、王积勤、刘经美、唐信源、吴国池、苏本征、卜启鸿、朱德铭等同志以及给予教材编写工作支持的所有专家表示衷心的感谢和敬意!

由于教材编写工作任务重、时间紧,教材的不足之处在所难免。希请广大读者不吝指正,以臻完善。

交通通信行政执法人员  
岗位培训教材编审组

1997年11月

# 目 录

第一章 高频通信系统与设备.....	1
第一节 高频通信系统电波传播的特点.....	1
第二节 高频通信系统单边带制式基本原理.....	7
第三节 海上高频通信系统的功能及配备 .....	17
第四节 高频系统发送设备的组成与工作原理 .....	25
第五节 高频系统接收设备的组成与工作原理 .....	33
第六节 高频通信系统中的终端设备 DSC、NBDP ...	44
第七节 高频通信系统中的天线 .....	51
第八节 高频通信系统的主要技术性能 .....	56
第九节 高频通信系统的维护 .....	60
第二章 VHF 和 UHF 通信系统与设备 .....	62
第一节 VHF、UHF 通信系统的特点 .....	62
第二节 VHF、UHF 收发设备组成与原理 .....	72
第三节 收发设备的性能及测试 .....	81
第四节 VHF、UHF 系统中的天线设备 .....	88
第五节 VHF、UHF 通信系统的组网 .....	98
第六节 海上 VHF 无线电话系统与设备 .....	107
第七节 集群移动通信系统介绍.....	113
第三章 数字中继微波通信系统与设备.....	127
第一节 微波中继通信的概念.....	127
第二节 数字中继微波通信网的组成.....	132
第三节 微波线路的频率设置.....	136
第四节 微波接力通信设备.....	138

第五节	微波站设备的配置.....	146
第六节	数字微波传输系统的主要技术性能.....	152
第四章	卫星通信系统.....	155
第一节	国际移动卫星通信系统.....	155
第二节	Inmarsat-A 系统及船站 .....	164
第三节	Inmarsat-C 系统及船站 .....	174
第四节	VSAT 系统 .....	184
第五章	光纤通信系统.....	189
第一节	光通信概述.....	189
第二节	光纤与光缆.....	194
第三节	光源与光发送机.....	205
第四节	光检测器件与光接收机.....	211
第五节	线路码型.....	213
第六章	程控数字交换系统.....	217
第一节	程控数字交换机的基本构成.....	217
第二节	数字交换网络(DSN) .....	224
第三节	程控数字交换机软件概况.....	230
第四节	呼叫处理基本原理.....	233
第五节	电话通信网.....	236
第六节	数据通信网概述.....	242

# 第一章 高频通信系统与设备

## 第一节 高频通信系统电波传播的特点

我们常说的高频通信系统一般是指使用 1.6MHz 到 30MHz 频率范围内的短波通信系统。当通信距离在几百千米以内时它利用了 4MHz 以下频率的地波进行传播,当远距离通信时则利用了电波在电离层的一次或多次反射,从而实现几千千米甚至全球的通信。因此电波在电离层的传播特性决定了高频通信系统的传输质量。

### 一、地波传播方式

高频通信系统由于发端天线的高度受到限制,在 4MHz 以下工作时地波影响不可忽略。图 1-1 给出了在理想情况下不同频率时通信距离与强场的关系。从图中看出,随着工作频率的提高,在同样功率辐射时地波传播的场强急剧减少,说明地波不适宜较高频率的传播。此外地波传播还与传播路径上媒介的电参数密切相关。其中导电系数  $\sigma$  和相对介电常数  $\epsilon_r$  越大,传播衰耗就越小。在海上  $\sigma$  平均值为 4,  $\epsilon_r$  为 80,比河道湖沼、湿土、干土大得多,因此地波传播距离较远。表 1-1 给出了上述几种地面的特性参数。

### 二、天波(电离层波)传播方式

对于高频通信系统来说,天波传播具有更重要的意义,它

可以超越丘陵地带进行远距离通信,还可以在地波传播无法

图 1-1 在地波传播时,不同频率的场强——距离曲线

几种形式地面的特性参数 表 1-1

地面形式	变化的范围			平均值
	r	$\frac{1}{\cdot m}$	r	$\frac{1}{\cdot m}$
海水	80	1 ~ 4.3	80	4
河道和湖沼的淡水	80	$10^{-3} \sim 2.4 \times 10^{-2}$	80	$10^{-3}$
湿土	10 ~ 30	$3 \times 10^{-3} \sim 3 \times 10^{-2}$	10	$10^{-2}$
干土	3 ~ 4	$1.1 \times 10^{-5} \sim 2 \times 10^{-3}$	4	$10^{-3}$

到达的短距离内建立无线电通信线路。

### 1. 电离层的形成

从地面到 15km 的高空为对流层,气象变化均在这一层。在对流层以上,大气压急剧下降,在距地面 60km 处的气压已低到可以使气体分子间距比地面时大许多。这时质量较大的气体在大气层的下面,质量较小的气体在大气层的上面。由于太阳表面具有 6 000 的温度,它所辐射出来的电磁波有很宽的频带,其波长短于 1 000A 的部分,使大气中气体游离而形

成较为稳定的电离状态, 即电离为带正电荷的正离子和带负电荷的自由电子。电离结果使大气成分复杂起来, 氮分子  $N_2$ , 氧分子  $O_2$ , 氮原子  $N$ , 氧原子  $O$  以及它们的离子和自由电子等成分将同时存在, 它们较集中地聚在一起形成层状, 致使天空中的电子浓度也相对地分层集中, 这就是电离层。

电离层是由围绕地球, 处于不同高度的四个导电层组成, 这四个导电层我们分别称它们为 D 层、E 层、 $F_1$  层和  $F_2$  层, 如图 1-2 所示。

图 1-2 电离层的分布

D 层是最低层, 出现在地球上空  $60 \sim 90\text{km}$  处, 最大电子密度  $N_e$  为  $10^3$  个/ $\text{cm}^3$ 。D 层在太阳升起时出现, 太阳降落后消失。由于 D 层电子密度较小, 不能满足反射条件, 所以电波将穿透 D 层, 并遭受严重衰减, 频率越低, 衰减越大, 所以 D 层被称为吸收层, 它决定了短波传播的距离, 以及为了获得良好的传输所必须满足的发射机功率和天线增益。在夜间, 由于 D 层消失, 因此信号的传输衰耗大大减小。

E 层出现在地球上空 100 ~ 120km 处, 电子密度  $N_e$  在  $5 \times 10^3 \sim 5 \times 10^5$  个/cm<sup>3</sup>, E 层与 D 层一样, 在太阳升起时出现, 中午电离达到最大值, 然后逐渐减小。在太阳降落后, E 层实际上对短波传播已不起作用。

F<sub>1</sub> 层处在地球上空 170 ~ 220km 处, 电子密度  $N_e$  为  $4 \times 10^5$  个/cm<sup>3</sup> 夜间消失。

F<sub>2</sub> 层处在地球上空 225 ~ 450km 处, 电子密度  $N_e$  为  $10^5 \sim 2 \times 10^6$  个/cm<sup>3</sup>。F<sub>2</sub> 层与其他层不一样, 在日落以后并不完全消失, 仍保持有剩余的电离, 但电子密度比白天低了一个数量级, 但仍能反射某一频段的电波。

F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub> 层的高度在一年中不同季节和一天内不同时间是不同的, 对 F<sub>2</sub> 层来说, 其高度在冬天的白天最低, 夏天的白天最高。

## 2. 电离层对电波传播的影响

由于电离层的电子密度随高度而变, 其等效电参数也随之改变。因此, 进入电离层的无线电波将不沿直线传播而连续产生折射, 当电波逐渐深入电离层, 电子密度  $N_e$  增加, 折射系数  $n_e$  减小, 入射角逐渐增加。当入射角达到 90 时入射电波轨迹达到最大点, 开始出现全反射, 即电波开始从电离层反射, 如图 1-3 所示。

物质折射系数  $n = \frac{c}{v}$ , 电离层的折射系数  $n_e =$

$1 - 81 \frac{N_e}{f^2}$ , 图中  $n_{e_0} \dots n_{e_3}$  为各层的折射系数,  $\theta_0, \theta_1, \theta_2$  为各层

入射角,  $\theta_0, \theta_1, \theta_2$  为各层的折射角。根据折射定理:

$$n_{e_0} \sin \theta_0 = n_{e_1} \sin \theta_1 = \dots = n_{e_n} \sin \theta_n$$

式中  $n_{e_0} = 1$ , 当  $\theta_n$  达到 90 时开始出现全反射, 则全反射的条件为:

图 1-3 在电离层内电波的折射

$$\sin \theta_0 = n_{e_n} = \sqrt{1 - 81 \frac{N_{e_n}}{f^2}} \quad (1-1)$$

式中:  $N_{e_n}$  —— 电子密度, 电子数/cm<sup>3</sup>;

$f$  —— 频率, kHz。

从全反射的条件看出:

(1) 当频率为  $f$  的电波以一定的入射角  $\theta_0$  进入 D 层, 当电波深入到某层其  $N_{e_n}$  达到一定值后电波才能反射回来, 若这时的  $N_{e_{max}}$  达不到  $N_{e_n}$ , 则电波将穿透电离层, 不能反射回来。

(2) 对于频率一定的电波, 入射角  $\theta_0$  越大, 全反射需的  $N_{e_n}$  就越小, 电波就容易反射; 反之  $\theta_0$  越小, 全反射所需的  $N_{e_n}$  就越大, 电波越不容易反射。

(3) 当电波以一定的入射角  $\theta_0$  进入电离层,  $f$  越高  $N_{e_n}$  也要越大, 这时电波只有深入电离层才有可能反射。但当  $f$  高

到一定程度,即使  $N_{\text{c}_n}$  达到了可能的最大值,也不会反射而穿透电离层。

### 三、短波系统电波传播的特点

根据电离层形成的特点和电波在电离层中全反射的条件,我们归纳出以下几点作为短波系统电波传播的特点。

(1)白天和夜间电离层的差别最大,短波通信系统白天使用的工作频率比夜间使用的频率要高。太阳出来和降落前后电离层变化最大,通信效果较差。由于夜间 D 层 E 层的消失,电波传播衰耗小,加上 F 层较高,所以夜间通信距离远。另外一年四季也要按季节来调整系统的工作频率。

(2)短波通信是依靠电离层的一次反射或多次反射来进行远距离通信。这样在一条通信线路中可能存在着多种传播模式。由于接收点存在从不同路径来的电波,相互干涉,使传输信号频带内的不同频率成分到达同一点的相位产生显著的差别,所以不同的频率到达接收点的幅度也不同,这会产生“选择性”衰落,不仅使信号的幅度不稳定,而且会产生波形失真。即使同一条路径的信号也会由于电离层不可能像一面完善的反射镜子而使无线电波束产生漫反射现象,再加上电离层的不稳定使接收点的幅度和相位也发生变化,这就会产生“一致性”衰落,但这种衰落很少引起波形失真,只影响幅度大小。这是由于它们间的传输时间差别不大,不足以使不同频率的相位产生明显差别。实质上我们很难把这两种不同的衰落分开来,唯一的办法是在接收点选择单一传输模式,这时虽然幅度可能不大,但传输质量相当不错,尤其在传送数字调制信号时会显著地降低误码率。关于衰落原因及接收点处信号电平与时间的关系如图 1-4 和图 1-5 所示。

由于电离层的存在,电波传播必存在衰落,其衰落的深度

图 1-4 引起衰落的原因

图 1-5 接收点处信号电平与时间的关系

最大可达 40dB 左右,衰落的速率约 10 ~ 20 次/min,衰落的持续时间通常在 4 ~ 20ms 范围内。实验证明,两个频率差值大于 400Hz 后,它们衰落特性相关性就很小了。

总之短波系统传播特性决定了短波系统应采用何种调制方式,何种调制速率才能获得较好的传输特性。一般来说短波系统采用窄带调制,低速率传输有较好的特性。例如采用 3kHz 带宽的 SSB 调制就能获得较好的话音输出质量,采用 100 波特的传输速率和  $1\ 700\text{Hz} \pm 85\text{Hz}$  的频移就能进行数据传输,获得较好的传输效果。

## 第二节 高频通信系统单边带制式基本原理

由于短波电离层的传输特性,该系统所用的通信设备基

本上都采用单边带制式即SSB(single side band)。在这一节中我们首先把SSB中的一些基本概念作一介绍。

## 一、调幅信号(AM)

单边带通信技术是在调幅基础上发展起来的一种通信制式,因此,我们先简要介绍一下调幅信号。

### 1. 单音频调制的调幅波

设载频信号为:

$$U_c(t) = U_c \cos(\omega_c t + \phi_c) \quad (1-2)$$

式中  $U_c$  为载频信号的振幅,  $\omega_c$  为载频的角频率,  $\phi_c$  为初相角。

设需要发送的信号(我们称为调制信号)为一个单一音频:

$$U(t) = U \cos(\omega_m t + \phi_m) \quad (1-3)$$

所谓调幅就是把调制信号的全部信息反映在载频的振幅变化规律上,载频的其他参数( $\omega_c, \phi_c$ )不变。

这样调制后调幅波的表达式为:

$$\begin{aligned} U(t) &= [U_c + U(t)] \cos(\omega_c t + \phi_c) \\ &= U_c [1 + m \cos(\omega_m t + \phi_m)] \cos(\omega_c t + \phi_c) \end{aligned} \quad (1-4)$$

式中  $m = \frac{U}{U_c}$  称为调幅系数或调幅度,在调幅制中  $m \leq 1$ 。

根据上述几式可分别画出三者的波形,如图 1-6 所示。

由已调波的波形看出,调幅信号的振幅变化规律与调制信号的瞬时波形完全一致。

我们再将式(1-4)展开,则:

$$\begin{aligned} U(t) &= U_c \cos(\omega_c t + \phi_c) + \frac{m}{2} U_c \cos[(\omega_c + \omega_m)t + (\phi_c + \phi_m)] \\ &\quad + \frac{m}{2} U_c \cos[(\omega_c - \omega_m)t + (\phi_c - \phi_m)] \end{aligned} \quad (1-5)$$