

四川省示范性高职院校建设项目成果

主编◎王长江 主审◎何 军

通信电子线路分析与实践

TONGXIN DIANZI XIANLU FENXI YU SHIJIAN



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

四川省示范性高职院校建设项目成果

通信电子线路分析与实践

主 编 王长江

主 审 何 军

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内容提要

本书是在高等职业教育多年教学改革与实践的基础上,结合高职高专的办学定位、区域电子信息行业的岗位需求、校企合作共育人才要求,为高职高专电子信息类专业编写的通信电子线路分析与实践教材。该教材践行现代职教理论,凝练了四川职业技术学院电子信息类专业多年办学经验。

全书共设置了4个学习情境:高频小信号选频放大器的制作、小功率等幅波发射机的制作、调频无线话筒的制作、袖珍收音机的制作。每个学习情境以“情境载体”为核心,按“资讯—决策—实施—评价”流程规划学习情境,强调知识、技能、职业素养的有机融合。此外,还特别增设了“拓展学习”“练一练”“试一试”等环节,一方面便于完善课程的知识体系和满足因材施教的需要,另一方面有利于创造工作型学习氛围,培养学生自主学习的热情和能力。

本书可作为高职高专应用电子技术、通信技术、电子信息工程技术等专业的教材或参考书,也可供相关专业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

通信电子线路分析与实践 / 王长江主编. —成都:
西南交通大学出版社, 2013.3
四川省示范性高职院校建设项目成果
ISBN 978-7-5643-2239-7

I. ①通… II. ①王… III. ①通信系统—电子电路—
高等职业教育—教材 IV. ①TN91

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第045118号

通信电子线路分析与实践

主编 王长江

*

责任编辑 李芳芳

特邀编辑 宋彦博

封面设计 墨创文化

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段111号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 11.25

字数: 278千字

2013年3月第1版 2013年3月第1次印刷

ISBN 978-7-5643-2239-7

定价: 22.00元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

序

在大力发展职业教育、创新人才培养模式的新形势下，加强高职院校教材建设，是深化教育教学改革、推进教学质量工程、全面培养高素质技能型专门人才的前提和基础。

近年来，四川职业技术学院在省级示范性高等职业院校建设过程中，立足于“以人为本，创新发展”的教育思想，组织编写了涉及汽车制造与装配技术、物流管理、应用电子技术、数控技术等四个省级示范性专业，以及体制机制改革、学生综合素质训育体系、质量监测体系、社会服务能力建设等四个综合项目相关内容的系列教材。在编撰过程中，编著者立足于“理实一体”、“校企结合”的现实要求，秉承实用性和操作性原则，注重编写模式创新、格式体例创新、手段方式创新，在重视传授知识、增长技艺的同时，更多地关注对学习者的专业素质、职业操守的培养。本套教材有别于以往重专业、轻素质，重理论、轻实践，重体例、轻实用的编写方式，更多地关注教学方式、教学手段、教学质量、教学效果，以及学校和用人单位“校企双方”的需求，具有较强的指导作用和较高的现实价值。其特点主要表现在：

一是突出了校企融合性。全套教材的编写素材大多取自行业企业，不仅引进了行业企业的生产加工工序、技术参数，还渗透了企业文化和管理模式，并结合高职院校教育教学实际，有针对性地加以调整优化，使之更适合高职学生的学习与实践，具有较强的融合性和操作性。

二是体现了目标导向性。教材以国家行业标准为指南，融入了“双证书”制和专业技术指标体系，使教学内容要求与职业标准、行业核心标准相一致，学生通过学习和实践，在一定程度上，可以通过考级达到相关行业或专业标准，使学生成为合格人才，具有明确的目标导向性。

三是突显了体例示范性。教材以实用为基准，以能力培养为目标，着力在结构体例、内容形式、质量效果等方面进行了有益的探索，实现了创新突破，形成了系统体系，为同级同类教材的编写，提供了可借鉴的范样和蓝本，具有很强的示范性。

与此同时，这是一套实用性教材，是四川职业技术学院在示范院校建设过程中的理论研究和实践探索成果。教材编写者既有高职院校长期从事课程建设和实践实训指导的一线教师 and 教学管理者，也聘请了一批企业界的行家里手、技术骨干和中高层管理人员参与到教材的编写过程中。他们既熟悉形势与政策，又了解社会 and 行业需求；既懂得教育教学规律，又深

诸学生心理。因此，全套系列教材切合实际，对接需要，目标明确，指导性强。

尽管本套教材在探索创新中存在有待进一步锤炼提升之处，但仍不失为一套针对高职学生的教材，值得推广使用。

此为序。

四川省高职高专院校
人才培养工作委员会主任

二〇一三年一月二十三日



前 言

本书是在高等职业教育多年教学改革与实践的基础上,为适应通信电子技术发展,培养通信电子行业生产、管理和一线的高素质技能型人才,结合高职高专的办学定位、区域电子信息行业的岗位需求、校企合作共育人才要求等,为高职高专电子信息类专业编写的通信电子线路分析与实践教材。

针对高等职业技术教育的特点与要求,本书编写组的同仁们践行现代职教理论,凝练我院电子信息类专业校企合作办学经验,坚持“以学生为中心,以能力培养为本位”的职教思想,倡导“做中学,学中做”的教学理念,编写出了这本独具特色的教材。

(1) 基于“情境载体”优化教材内容

以“情境载体”为核心,将通信电子线路的内容逐步融入到每个学习情境中,强调知识、技能、职业素养的有机融合,理论以够用为度,强化应用技能、专业素养的培养。

(2) 基于“行动导向”规划学习情境

按“资讯—决策—实施—评价”流程规划学习情境,还特别增设了有助于知识水平提高的“拓展学习”、有助于基础知识训练的“练一练”,以及有助于基础技能训练的“试一试”,等环节,一方面便于完善课程的知识体系和满足因材施教的需要,另一方面有利于创造工作型学习氛围,培养学生自主学习的热情和能力。

本书由四川职业技术学院副教授王长江担任主编,并负责全书的统稿工作。全书共有 4 个学习情境,学习情境 1 由四川职业技术学院副教授蒋从元编写,学习情境 2 由四川职业技术学院讲师黄世瑜编写,学习情境 3、学习情境 4 和导言由王长江编写。

四川职业技术学院副教授、高级工程师何军对全书进行了审读,并提出了许多高贵意见。

在本书编写过程中,得到了四川职业技术学院电子电气工程系同仁的大力帮助,在此向他们表示衷心的感谢。

本书可作为高职高专应用电子技术专业、通信技术专业、电子信息工程技术等专业的教材或参考书,也可供相关专业工程技术人员参考。由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

二〇一二年十二月十八日

本书常用符号

一、基本符号

I, i	电流	L	电感
U, u	电压	M	互感
P, p	功率	A	放大倍数
R, r	电阻	t	时间
G, g	电导	T	温度
X, x	电抗	f, F	频率
Z, z	阻抗	ω, Ω	角频率
Y, y	导纳	BW	带宽

二、常用下标符号

i	输入量, 例如, u_i 为输入电压
o	输出量, 例如, u_o 为输出电压
s	信号源量, 例如, u_s 为信号源电压
f	反馈量, 例如, u_f 为反馈电压
L	负载, 例如, R_L 为负载电阻

三、电压、电流

1. 原 则

大写 $U(I)$, 大写下标, 表示直流电压 (电流) 值, 例如, U_{BE} 表示基极与发射极之间的直流电压。

大写 $U(I)$, 小写下标, 表示交流电压 (电流) 的有效值, 例如, U_{be} 表示基极与发射极之间交流电压的有效值。

小写 $u(i)$, 大写下标, 表示含有直流电压 (电流) 的瞬时值, 例如, u_{BE} 表示基极与发射极之间含有直流电压的瞬时值。

小写 $u(i)$, 小写下标, 表示交流电压 (电流) 的瞬时值, 例如, u_{be} 表示基极与发射极之间交流电压的瞬时值。

大写 $U(I)$, 小写下标 m, 表示交流电压 (电流) 的最大值, 例如, I_{cm} 表示集电极交流电流的最大值。

$\dot{U}(\dot{I})$ 为正弦交流电压 (电流) 的相量表示。

大写 V , 大写双下标, 表示直流供电电源, 例如, V_{CC} 表示三极管的集电极电源电压。

2. 其 他

u_{Ω}	调制信号电压	u_{DSB}	双边带调幅信号电压
u_c	载波信号电压	u_{SSB}	单边带调幅信号电压
u_L	本振信号电压	u_{FM}	调频信号电压
u_l	中频信号电压	u_{PM}	调相信号电压
u_{AM}	调幅信号电压	u_X, u_Y	模拟相乘器输入端电压

四、功 率

P_C	集电极耗散功率
-------	---------

P_{DC}	集电极直流电源提供功率
P_c	载波功率
P_{SB}	边频功率
P_{AV}	调幅波平均功率

五、频 率

f_c	载波频率
f_L	本振频率
f_I	中频频率
f_o	谐振频率, 振荡频率
Δf_m	最大频偏

六、阻 抗

R_i	输入电阻	R_e	回路有载等效谐振电阻
R_o	输出电阻	y_{ie}	晶体管的输入导纳
R_L	负载电阻	y_{oe}	晶体管的输出导纳
R_s	信号源内阻	y_{fe}	共发射极电路正向传输导纳
R_p	回路空载谐振电阻	y_{re}	共发射极电路反向传输导纳

七、其他符号

T	三极管	$\alpha_n(\theta)$	电流分解系数
D	二极管	$g_1(\theta)$	电流利用系数(波形系数)
Tr	变压器	ξ	电压利用系数, 一般失调
Q	空载品质因数, 静态工作点	F	反馈系数
Q_c	有载品质因数	m	调制指数(调制度)
$K_{0.1}$	矩形系数	m_a	调幅系数(调幅度)
$BW_{0.7}$	3 dB 带宽	m_f	调频指数
γ	变容二极管的变容指数	m_p	调相指数
τ	时间常数	k_f	调频灵敏度
η	效率, 耦合因数	k_p	调相灵敏度
p	接入系数	S_D	鉴频灵敏度
θ	电流通角		

目 录

导言 —— 跨入通信系统之门	1
一、通信系统的基本原理	1
(一) 通信系统的基本组成	1
(二) 通信系统中的发射与接收	2
二、通信系统中的信号	3
(一) 无线电波频段划分	3
(二) 无线电波传播方式	4
(三) 无线电信号表示方法	5
学习情境 1 高频小信号选频放大器的制作	6
情境资讯	6
一、选频网络	7
(一) 并联谐振回路	7
(二) 集中选频滤波器	16
二、小信号选频放大器	18
(一) 单调谐回路谐振放大器	19
(二) 多级单谐振回路谐振放大器	21
三、集中选频放大器	22
(一) 集中选频放大器的组成	23
(二) 集中选频放大器的应用电路	23
情境决策	24
一、工作任务电路分析	24
(一) 电路结构	24
(二) 电路分析	25
二、元器件参数及功能	25
情境实施	26
一、电路安装	26
(一) 电路安装准备	26
(二) 电路装配	26
二、电路测试	26
(一) 静态测试	26
(二) 动态测试	27

情境评价	28
一、展示评价	28
二、资料归档	29
总结提高	30
一、情景总结	30
二、拓展学习	30
(一) 放大器工作稳定性的提高	30
(二) 宽带放大器和扩展通频带的方法	31
(三) 放大电路的噪声	33
三、练一练	33
四、试一试	35
学习情境 2 小功率等幅波发射机的制作	36
情境资讯	36
一、LC 正弦波振荡器	37
(一) 反馈振荡器的工作原理	37
(二) LC 正弦波振荡器	40
(三) 石英晶体振荡器	45
二、丙类谐振功率放大器	48
(一) 功率放大器的分类	49
(二) 丙类谐振功率放大器的工作原理	50
(三) 丙类谐振功率放大器的特性	53
(四) 丙类谐振功率放大器电路	55
情境决策	60
一、工作任务电路分析	61
(一) 电路结构	61
(二) 电路参数计算	62
二、元器件参数及功能	65
情境实施	66
一、电路安装	66
(一) 电路装配准备	66
(二) 整机装配	67
二、电路调试与测试	68
三、故障分析与排除	69
情境评价	69
一、展示评价	69
二、资料归档	70
总结提高	70
一、情景总结	70

二、拓展学习	72
(一) 振荡器的平衡稳定条件	72
(二) 振荡频率的准确度和稳定度	74
(三) 传输线变压器	75
三、练一练	76
四、试一试	78
学习情境 3 调频无线话筒的制作	81
情境资讯	81
一、调幅波基本性质	82
(一) 普通调幅波基本性质	82
(二) 双边带调幅波基本性质	85
(三) 单边带调幅波基本性质	87
二、调幅电路	88
(一) 低电平调幅电路	88
(二) 高电平调幅电路	91
三、调角波基本性质	93
(一) 调频波的数学表达式和波形	94
(二) 调相波的数学表达式和波形	94
(三) 调频信号与调相信号的比较	95
(四) 调角信号的频谱与带宽	96
四、调频电路	99
(一) 直接调频电路	99
(二) 间接调频电路	103
(三) 扩大最大频偏的方法	104
情境决策	105
一、工作任务电路分析	105
(一) 电路结构	105
(二) 电路分析	106
二、元器件参数及功能	107
情境实施	108
一、电路安装	108
(一) 电路装配准备	108
(二) 整机装配	109
二、电路调试与测试	109
三、故障分析与排除	110
情境评价	110
一、展示评价	110
二、资料归档	111

总结提高	111
一、情景总结	111
二、拓展学习	113
(一) 移相法单边带调幅电路	113
(二) 可变时延法调相电路	114
(三) 调频和调幅的比较	114
三、练一练	115
四、试一试	119
学习情境 4 袖珍收音机的制作	122
情境资讯	122
一、检波电路	123
(一) 二极管包络检波电路	123
(二) 同步检波电路	126
二、混频电路	129
(一) 混频电路的作用	129
(二) 混频电路的性能指标	130
(三) 模拟相乘器混频电路	130
(四) 三极管混频电路	131
(五) 混频干扰	132
三、鉴频电路	133
(一) 鉴频电路的主要要求	134
(二) 斜率鉴频器	134
(三) 相位鉴频器	136
情境决策	138
一、工作任务电路分析	139
(一) 电路结构	139
(二) 电路分析	139
二、元器件参数及功能	140
情境实施	140
一、电路安装	140
(一) 电路装配准备	140
(二) 整机装配	141
二、电路调试与测试	141
二、故障分析与排除	142
情境评价	142
一、展示评价	142
二、资料归档	144

总结提高 144

 一、情景总结 144

 二、拓展学习 145

 (一) 自动增益控制电路 145

 (二) 自动频率控制电路 146

 (三) 锁相环路 147

 三、练一练 154

 四、试一试 157

参考答案 161

参考文献 165

一、通信系统的基本原理

(一) 通信系统的基本组成

通信的主要任务是准确而迅速地传递信息。通信系统是传递、交换及处理信息的系统，是实现信息传递过程的全部技术设备和信道的总和。19 世纪末迅速发展起来的以电信号为信息载体的通信系统，称为现代通信系统。例如，广播与传统电话是实现声音传播的通信系统，可视电话与电视是实现声音、图像传播的通信系统，计算机通信是实现数据传输的通信系统。

一个完整的通信系统必须要有三大部分：一是发送端，二是接收端，三是信道。图 0.1.1 是无线电通信系统的基本组成框图，其中，发送端包括信源、输入变换器和发射设备，接收端包括接收设备、输出变换器和信宿。

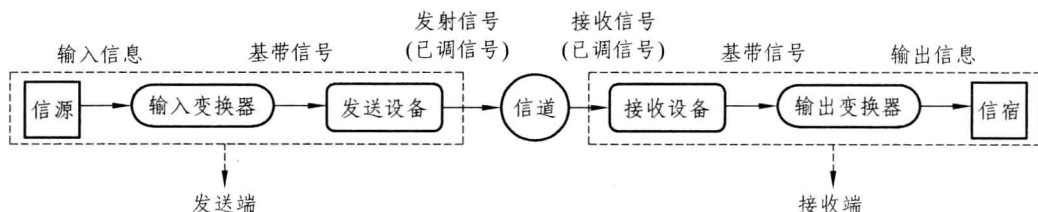


图 0.1.1 通信系统基本组成框图

信源就是信息的来源，又称发信者，能够发出需要传送的原始信息，如语言、音乐、文字、图像等，一般是非电量。

输入变换器的主要任务是将输入信息转换成电信号，该信号称为基带信号（或调制信号）。不同的信源需要不同的输入变换器，如话筒、摄像机、各种传感装置等。

发送设备的基本功能是将基带信号转换成适合在信道中有效传输的信号。变换中最主要的处理为调制，发送设备输出的信号称为已调信号。

信道是指信号传输的通道，可以是无线的，也可以是有线的。无线信道就是自由空间，信号的传输媒体是电磁波。有线信道有架空明线、同轴电缆、波导、光纤等。不同的信号适合在不同的信道中传输。

接收设备的基本功能是处理信道传送过来的已调信号，从中还原出与信源相对应的基带信号。这种处理称为解调。

输出变换器负责将接收设备输出的基带信号还原成信息原始形式。如输出变换器中的喇叭用来还原声音，显像管用来恢复图像。

信宿就是信息的终点，又称收信者或收终端。信宿接收的信息和信源发出的信息，相同程度越高，通信系统性能越好。

通信系统的种类很多，按通信业务的不同可分为电话、电报、传真通信系统，广播电视通信系统，数据通信系统等。按所用信道的不同可分为有线通信系统和无线通信系统。按传输的基带信号的不同可分为模拟通信系统和数字通信系统。本课程的研究对象是模拟无线通信系统中的发送设备和接收设备的各种高频功能电路。

（二）通信系统中的发射与接收

1. 无线电信号发射

在无线电通信系统中，电信号是通过天线辐射到天空中的，经天空到达接收地点。基带信号不能直接由天线发射出去，要采用调制技术，将基带信号“装载”在高频信号上，然后经天线发送出去，从而实现电信号的有效传输。其原因如下：

（1）缩短天线尺寸

由天线理论可知，只有当天线的长度 L 与电信号的波长 λ 在同一数量级，即 $L \geq \lambda/10$ 时，天线才能将电信号有效地辐射到天空。基带信号一般是低频信号，例如音频信号频率范围为 $20\text{ Hz} \sim 20\text{ kHz}$ ，对应于 1 kHz 的音频信号，其波长 $\lambda = 300\text{ km}$ ，至少需 $L = 30\text{ km}$ 的天线，如此巨大的天线无论制造还是架设都是不现实的。因此必须通过调制将基带信号“装载”在高频信号上，由于高频信号的波长较短，所需的天线尺寸也就较小。

（2）实现信道复用

现实生活中，为了提高公路的利用率，采用多车道，车流在各自的车道上并行，互不影响。同样的道理，为了提高信道的利用率，可通过调制将多路信号分别“装载”在不同的高频信号上（相当于将多辆汽车放在同一公路的不同车道上），然后在同一信道中传输，这样，一条信道可同时传输多路信号，提高了信道利用率。

（3）提高信号抗干扰能力

基带信号直接辐射传播，会造成信号在空间混杂，接收者无法选择所要接收的信号。假如各广播电台都直接用音频频段传播信号，则各电台信号频率都在 $20\text{ Hz} \sim 20\text{ kHz}$ ，它们在空中混在一起，相互重叠、干扰，接收设备无法从中选出有用信号。

2. 无线电发射设备

图 0.1.2 为无线电调幅广播发送设备原理框图，图中还画出了各部分输出信号电压波形。话筒是输入变换器，将声音转换成微弱的音频信号。该音频信号又称基带信号或调制信号。

振荡器用来产生高频振荡信号。倍频器可将高频振荡信号频率整倍数增加到所需值，其输出信号是用来运载基带信号（音频信号）的，称为载波信号，其频率称为载频。载波的作用就像公共汽车一样，是运载工具，公共汽车运载乘客，而载波运载基带信号（有用信息）。一般我们收听广播所说的频率指的就是载波的频率。

振幅调制器可将基带信号“装载”在高频载波信号上，这一过程称为调制。调制后输出

的高频信号称为已调信号，由天线以电磁波形式辐射到空间。

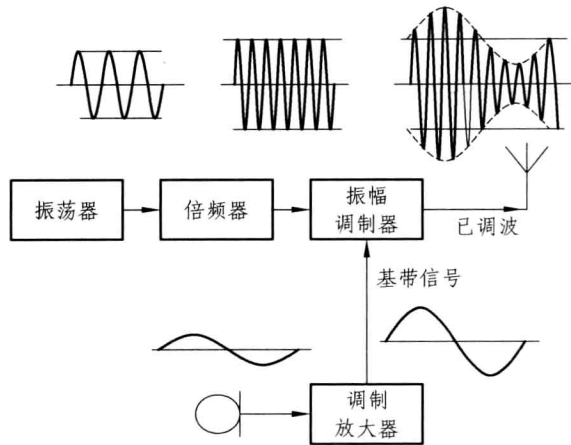


图 0.1.2 无线电调幅广播发送设备原理框图

3. 无线电接收设备

图 0.1.3 为超外差式调幅接收机原理框图，图中还画出了各部分输出信号电压波形。

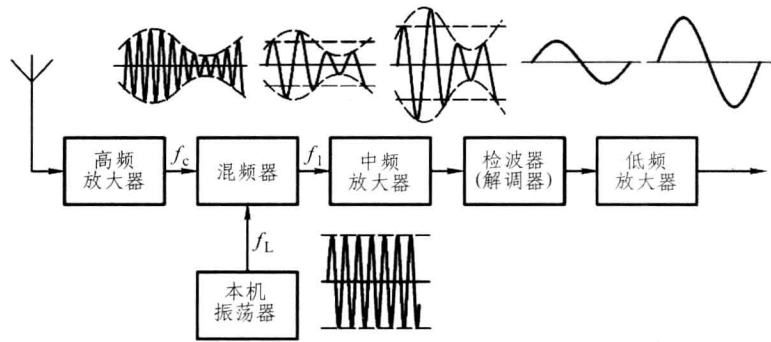


图 0.1.3 超外差式调幅接收机原理框图

本机振荡器产生频率为 f_L 的高频振荡信号。高频放大器用来对天线所收到的有用信号进行选频和放大，输出载频为 f_c 的已调信号。混频器的作用是将载频为 f_c 的已调信号变换成载频为 f_i 的中频已调信号。对于调幅收音机，中频 $f_i = f_L - f_c = 465 \text{ kHz}$ 。中频放大器对中频信号进行放大。检波器的功能是从中频信号中取出原音频信号（基带信号）。提取出的信号经低频放大器放大后送到扬声器中转换成声音。

二、通信系统中的信号

（一）无线电波频段划分

无线电通信系统使用的频率范围很宽，不同频率的无线电波传播特性也不完全一样。通

常，通信分为长波通信、中波通信、短波通信、微波通信等。这样，有必要对无线电波频率或波长进行分段，分别称为频段或波段。表 0.2.1 给出了无线电波频（波）段的划分。

表 0.2.1 无线电波频（波）段的划分

频段名称	频率范围	波段名称	波长范围	主要用途
甚低频 (VLF)	3 ~ 30 kHz	超长波	100 ~ 10 km	音频、电话、数据终端长距离导航、声纳
低频 (LF)	30 ~ 300 kHz	长 波	10 ~ 1 km	导航、时标、越洋通信、地下岩层通信
中频 (MF)	0.3 ~ 3 MHz	中 波	1 000 ~ 100 m	调幅广播、海事通信、遇险求救、海岸警卫
高频 (HF)	3 ~ 30 MHz	短 波	100 ~ 10 m	移动电话、短波广播、军事通信、移动通信
甚高频 (VHF)	30 ~ 300 MHz	超短波 (米波)	10 ~ 1 m	电视、调频广播、雷达、导航、空中管制
特高频 (UHF)	0.3 ~ 3 GHz	分米波	微波	电视、雷达、导航、移动通信
超高频 (SHF)	3 ~ 30 GHz	厘米波		中继、卫星通信、雷达、无线电天文
极高频 (EHF)	30 ~ 300 GHz	毫米波		微波通信、射电天文、雷达
至高频	300 ~ 3 000 GHz	压毫米波		光通信

(二) 无线电波传播方式

无线电波传播方式主要有直射（视距）传播、绕射传播、电离层传播和对流层传播，如图 0.2.1 所示。

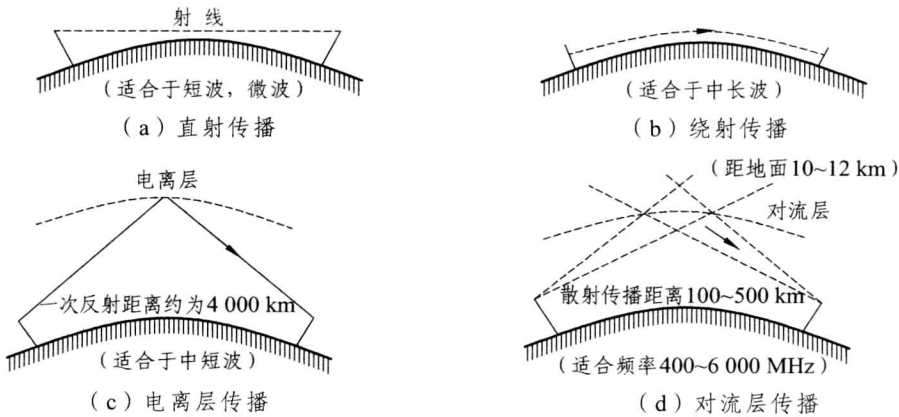


图 0.2.1 无线电波传播方式

直射传播（直射波）：沿空间直线传播，其特点是收、发信高架（高度比波长大得多）。主要用于超短波、微波波段通信和电视广播，例如微波中继、卫星通信采用视距传播。

绕射传播（地波）：沿地面直线传播，其特点是波长越长，传播损耗越小。主要用于中、