

无 綫 电 技 术

成 电

北 京 科 学 教 育 編 輯 室

1962年 5 月

无綫电技术

*

出版者：北京科学教育編輯室

印刷者：中国人民解放军535工厂

787×1092毫米 1/16 印張 32 $\frac{1}{4}$

1962年5月第二版

定价：3.78元

說 明

本书系供高等工业院校非无线电专业一学年——192学时作为课本之用，亦可供一般无线电从业人员的参考。

全书系统地叙述了长、中、短波无线电设备的基本原理，线路和计算方法，使学生通过学习本课程，能够深入地了解其本专业与无线电设备的密切关系，并能初步掌握与其专业有关的无线电设备和电子仪器。

全书共分十章，为能适应各个专业故涉及面较广，采用本教材时，可以根据具体情况适当地予以增减。

每章附有复习提纲及习题，供学生巩固学习之用，学习本课程的预修课程为高等数学及电工基础。

本书系根据教学讲义改编而成，编写时间仓促，遗漏在所不免，如有批评指正意见，请速投函成都电讯工程学院，无任欢迎。

目 录

第一章 绪 论

§ 1. 无线电通讯的基本原理	9
§ 2. 无线电技术的发展简史	11
§ 3. 我国无线电事业的飞跃发展	12
§ 4. 无线电波的传播	13

第二章 电子管及离子管

§ 1. 緒論	16
§ 2. 电子的物理性质	17
§ 3. 电子的发射	19
§ 4. 电子管的阴极	23
§ 5. 二极管中的物理现象	27
§ 6. 二极管的特性曲线和参量	29
§ 7. 三极管中的物理现象——栅极的控制作用	31
§ 8. 将三极管当作等效二极管	34
§ 9. 三极管的特性曲线和静态参量	35
§ 10. 三极管的动态特性和动态参量	40
§ 11. 三极管的极间电容和输入导纳	43
§ 12. 四极管的特性和参量	44
§ 13. 五极管的特性和参量	48
§ 14. 电子注功率管	51
§ 15. 变跨导管	53
§ 16. 五极管的双重控制作用	54
§ 17. 气体放电的基本知识	55
§ 18. 热阴极充气二极管	59
§ 19. 闸流管	60
§ 20. 稳压管	62
第二章 复习提纲	64
第二章 习题	66

第三章 低频放大器

§ 1. 概論	68
§ 2. 低频放大器的工作指标	70

§ 3. 电子管工作状态的分类	74
§ 4. 电阻耦合放大器	76
§ 5. 电阻級的頻率及相位特性方程式	77
§ 6. 电子管放大器的图解法	81
§ 7. 电阻級的計算	84
§ 8. 变压器耦合放大器	88
§ 9. 变压器的頻率及相位特性方程式	89
§ 10. 电阻变压器耦合放大級和扼流圈耦合放大級	95
§ 11. 功率放大器概論	95
§ 12. 功率放大級的畸变	96
§ 13. 甲类单边三极管功率放大器	101
§ 14. 甲类状态左三极管功率放大級的計算	104
§ 15. 甲类状态的五极管功率放大器	107
§ 16. 推挽电路的工作原理和特性	110
§ 17. 工作在甲类状态的推挽功率放大器	111
§ 18. 乙类工作状态	113
§ 19. 甲乙类工作状态	119
§ 20. 倒相电路	120
§ 21. 負反饋的原理和作用	122
§ 22. 負反饋电路	127
第三章 复习提綱	132
第三章 习题	134

第四章 整 流 设 备

§ 1. 概論	137
§ 2. 整流器的指标	137
§ 3. 純电阻負載的单相整流器	138
§ 4. 容性負載的单相整流器	142
§ 5. 感性負載的单相整流器	152
§ 6. 离子管整流器	154
§ 7. 多相整流器	155
§ 8. 平滑滤波器	160
§ 9. 半导体整流器	165
§ 10. 倍压整流器	168
§ 11. 电子穩压器	169
§ 12. 电子穩流器	172
第四章 复习提綱	175
第四章 习题	177

第五章 振荡迴路与耦合迴路

§ 1. 单迴路中的自由振荡	179
§ 2. 串联迴路中的强迫振荡	183
§ 3. 并联迴路中的强迫振荡	187
§ 4. 微离諧时并联迴路的等效阻抗	189
§ 5. 在非正弦电动势作用下迴路中的振荡	191
§ 6. 接到电源的并联迴路的傳輸系数和品质因数	195
§ 7. 耦合迴路的种类——耦合系数	196
§ 8. 双迴路互感耦合中的强迫振荡	198
§ 9. 耦合迴路的調諧	200
§ 10. 耦合迴路的諧振曲綫	203
§ 11. 耦合迴路的通頻带	206
§ 12. 耦合迴路的功率和效率	208
第五章 复习提綱	210
第五章 习题	211

第六章 无线电发送设备

第一节 概 論	213
第二节 他激发生器	215
§ 1. 緒論	215
§ 2. 电子管实际静态特性的理想化	217
§ 3. 他激发生器工作状态的分类	219
§ 4. 欠压状态下板流波形为尖頂脉冲的分析	221
§ 5. 栅极电路的計算	226
§ 6. 板流波形为平頂脉冲的分析	229
§ 7. 他激发生器的过压状态	229
§ 8. 他激发生器工作在各个工作状态时的比較	233
§ 9. 四极管和五极管用作他激发生器	234
§ 10. 倍頻	237
§ 11. 他激发生器的电路	239
§ 12. 中和电路	242
第六章 第二节 复习提綱	244
第六章 第二节 习题	245
第三节 自激振荡器	246
§ 1. 自激原理	246
§ 2. 自激振荡器的微分方程分析	247
§ 3. 自激振荡器的平衡条件	249
§ 4. 振幅的穩定	250

§ 5. 自激振蕩器的軟激勵和硬激勵·····	252
§ 6. 間歇振蕩·····	255
§ 7. 相位的穩定·····	256
§ 8. 自激振蕩器的綫路·····	258
§ 9. 自激振蕩器計算的一般考慮·····	259
§ 10. 穩定頻率的自激振蕩器·····	260
第六章 第三節 复习提綱·····	265
第六章 第三節 习题·····	266
第四節 調 制·····	267
§ 1. 調制概論·····	267
§ 2. 調幅·····	268
§ 3. 柵偏压調幅·····	270
§ 4. 柵偏压調幅的綫路·····	274
§ 5. 已調波的放大·····	275
§ 6. 板极調幅·····	276
§ 7. 板极調幅的綫路·····	280
§ 8. 調幅时对于振蕩迴路的要求·····	280
§ 9. 多极管調幅·····	281
§ 10. 調頻和調相的原理·····	283
§ 11. 調頻和調相的方法·····	285
§ 12. 調幅和調頻的比較·····	289
第六章 第四節 复习提綱·····	290
第六章 第四節 习题·····	291
第五節 无綫电发送机的綫路·····	292
第七章 天 綫	
§ 1. 緒論·····	297
§ 2. 天綫的質量指标·····	299
§ 3. 无綫电波发射过程的物理本質·····	301
§ 4. 基本振子·····	305
§ 5. 对称振子和接地振子·····	311
§ 6. 振子的有效高度和輸入阻抗·····	318
§ 7. 无綫电波的接收·····	322
§ 8. 长波和中波天綫·····	325
§ 9. 短波天綫·····	330
§ 10. 天綫的饋电·····	336
第七章 复习提綱·····	342
第七章 习题·····	343

第八章 无线电接收设备

第一节 概 論	344
§ 1. 无綫电接收設備的任务和分类	344
§ 2. 无綫电接收机的質量指标	345
§ 3. 无綫电接收机的方框图	347
第二节 輸入电路	348
§ 1. 概論	348
§ 2. 电容耦合的輸入电路	349
§ 3. 电感耦合輸入电路	352
第三节 高频放大器	355
§ 1. 概論	355
§ 2. 高频放大器的电路	355
§ 3. 直接耦合式电路的分析	357
§ 4. 变压器耦合式电路的分析	360
§ 5. 自耦变压器耦合式电路的分析	361
§ 6. 高频放大器的穩定性問題	362
第四节 变频器	365
§ 1. 概論	365
§ 2. 变频器的原理	365
§ 3. 变频器电路	367
§ 4. 統一調諧	368
第五节 頻带放大器	371
§ 1. 概論	371
§ 2. 頻带放大器的分类和电路	372
§ 3. 頻带放大器的电路分析	374
§ 4. 頻带放大器元件的选择	379
第六节 檢波	382
§ 1. 概論	382
§ 2. 小电压檢波理論	384
§ 3. 直綫性檢波	386
§ 4. 二极管檢波电路	389
§ 5. 板极檢波	391
§ 6. 阴极檢波	392
§ 7. 栅极檢波	392
§ 8. 再生檢波	394
§ 9. 超再生檢波	395
§ 10. 調頻信号的檢波	398
第八章 复习提綱	401

第八章 习题	403
第九章 脉冲技术	
第一节 概 論	405
第二节 脉冲过程的数学分析	407
§ 1. 諧波分析法	408
§ 2. 运算法	414
§ 3. 綫性系統的計算	419
第三节 脉冲形成电路	426
§ 1. 削波器	426
§ 2. 定位器	429
§ 3. 微分电路	431
§ 4. 积分电路	432
§ 5. 振鈴电路	435
第四节 脉冲发生器	437
§ 1. 多諧振荡器	438
§ 2. 触发电路	448
§ 3. 阻塞振荡器	453
§ 4. 离子管脉冲发生器	456
第五节 脉冲的分頻与放大	458
§ 1. 脉冲的同步和分頻	458
§ 2. 脉冲的放大(脉冲放大器)	460
第九章 复习提綱	469
第九章 习题	471
第十章 无线电测量	

概 論

第一节 音頻及射頻电压的測量——电子管伏特計	474
§ 1. 輸入阻抗对測量精确度的影响	474
§ 2. 电子管伏特計的方框图	476
§ 3. 电子管伏特計的工作原理	477
§ 4. 小电压的測量	481
§ 5. 大电压的測量	481
第二节 电子管示波器及其应用	482
§ 1. 概述	482
§ 2. 电子管示波器的扫描	486
§ 3. 电子管示波器的典型方框图	492
§ 4. 电子管示波器的应用	494

第三节	頻率的測量	497
§ 1.	音頻的測量	498
§ 2.	射頻的測量	500
第四节	电路参数的測量	503
§ 1.	伏特——安培計法	503
§ 2.	电桥法	504
§ 3.	諧振法	507
第五节	訊号发生器	511
§ 1.	概論	511
§ 2.	音頻訊号发生器	511
§ 3.	射頻訊号发生器	515

第一章 緒 論

§ 1. 无线电通讯的基本原理

近代无线电技术的应用范围是极其广阔的，几乎涉及自然科学和工程技术的每一个部门，但它所研究的中心问题仍然是无线电通讯，通讯的目的在于传递消息，无线电通讯则是利用在自由空间中传播的无线电波来传递消息，因此无线电技术是以各种频率无线电波——频率范围约 10^4 赫兹— 10^{12} 赫兹 的电磁波——的产生，传播和接收作为其主要研究对象的。

消息有各种不同的形式，例如符号、文字、语言、图片、音乐和活动景象等。按照所传递的消息的不同，无线电通讯有以下几种主要方式：

- (1) 电报
- (2) 电话
- (3) 传真
- (4) 广播
- (5) 电视

如果从广义的角度来看，则无线电定位，遥测等也可以列入通讯的范畴。

为了实现利用无线电波来传递消息，无线电通讯系统应当包括图 1.1 所示的那些组成部分，在这里为了明确起见，我们用无线电电话作为例子。

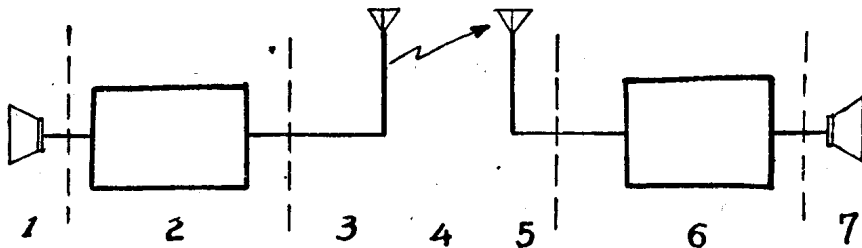


图 1.1

1. 声电转换装置：如送话器，麦克风等 2. 无线电发送设备 3. 发送天线 4. 在自由空间中传播的无线电波 5. 接收天线 6. 无线电接收设备 7. 电声转换设备如受话器扬声器等

现在我们来看各个组成部分的功用。无线电电话所传递的消息是语言，语言是一种声音，是频率自数十赫至数千赫的机械振动。因此，首先必须把这种机械振动转换为相应的低频电振荡——低频电压或电流。声电转换设备 1，正是起着这一作用。但是，不能把这种低频电振荡，直接输送到发送天线上，产生电磁波辐射出去。天线只有当它的尺寸和所辐射电磁波波长可以相比较时，才可能产生有效的辐射。因此，必须对代表消息的低频电振荡实行加工。这种加工是在发送设备中完成的。发送设备的主要任务是产生高频电振荡。这种高频电振荡

称为載波。它的頻率称为載頻。并且要把低頻电振蕩附加在載波之上。这种把低頻附加到高频之上的过程称为調制。通过发送設備就产生了已調制的高頻电振蕩——訊号。把訊号电压輸送至发送天綫，产生电磁波向自由空間輻射出去。无綫电波在向远处傳播时，其强度将减弱，但是它所包含的訊号特征却保持不变。在接收地点，接收天綫截获无綫电波将其还原为訊号电动势。接收設備最重要的任务，在于从天綫上許許多多电动势中选择出所需要的訊号，这种选择是利用調諧振蕩回路来实现的，并且要从訊号——已調高频电振蕩中还原出消息。这种从已調波中取出附加于其上的低頻电振蕩的过程称为檢波。可以看出来，檢波是一种反調制的过程。通过接收設備还原出低頻电振蕩，而这种低頻电振蕩通过一种电声設備可以还原为原始的消息——語言，这种通訊就全部完成。

有一种通訊方式，我們称之为双工的无綫电通訊，其通訊系統如图 1.2 所示。

在这里自 A 至 B 用波长 λ_1 (或頻率 $f_1 = \frac{C}{\lambda_1}$ ，C 为自由空間中光的傳播速度) 而自 B 至 A 用波长 λ_2 (或頻率 $f_2 = \frac{C}{\lambda_2}$)。无綫电报，电话和傳真都属于这种类型的通訊方式。

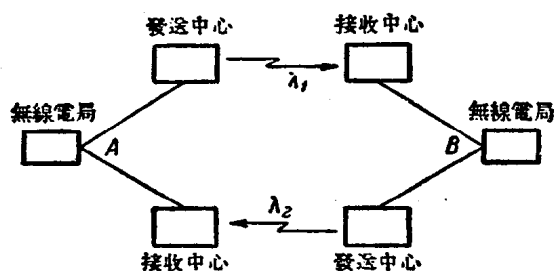


图 1.2

无綫电广播或电视則属于另一种通訊方式，由广播或电视发送設備所播发的节目（在这里消息的原始形式是語言、音乐和活动景象），将被許許多多接收机所接收，在这里通訊是单向的，图 1.3 說明了这种通訊的特点。

现在使用的无綫电波，頻譜范围极其宽广。按照无綫电波的傳播特征和产生的方法，可以将整个无綫电波頻譜按照表 1.1 所示的方法划分为几个頻段。

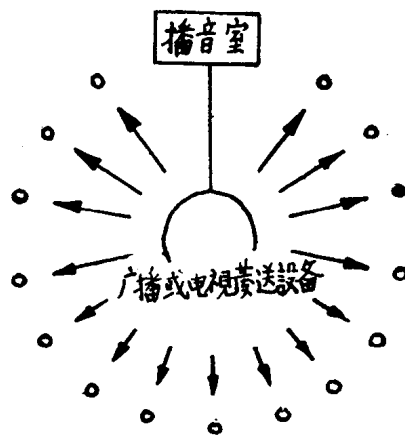


图 1.3

表 1.1

名	称	波 长 (m)	頻 率
长	波	长于 3000	低于 $10^5 \text{HZ} = 100 \text{K. HZ}$
中	波	3000—200	100—1500 K. HZ
中	短	200—50	1500—6000 K. HZ
短	波	50—10	6—30 M. HZ
米	波	10—1	30—300 M. HZ
分	米	1—0.1	300—3000 M. HZ
厘	米	0.1—0.01	3000—30000 M. HZ

米波，分米波和厘米波可以統称之为超短波。有些作者把米波，分米波合称为超短波而把厘米波以及更短的波称为微波。現代无綫电技术正向毫米波，亚毫米波发展。

无綫电頻譜又可以按照十进位作另一种頻段划分，如表 1.2 所示。

表 1.2

名 称	簡 写	頻 率	波 长 (m)
甚 低 頻	V. L. F.	10—30 K. HZ.	30000—10000
低 頻	L. F.	30—300 K. HZ.	10000—1000
中 頻	M. F.	300—3000 K. HZ.	1000—100
高 頻	H. F.	3—30 M. HZ.	100—10
甚 高 頻	V. H. F.	30—300 M. HZ.	10—1
超 高 頻	U. H. F.	300—3000 M. HZ.	1—0.1
	S. H. F.	3000—30000 M. HZ.	0.1—0.01

有关各个波段无綫电波的傳播特性及其应用范围，将在下面予以扼要介紹。

§ 2. 无线电技术的发展简史

无綫电技术是应用电学的一个分支。它的理論基础建立于十九世紀中叶。由于生产力发展的需要，在十九世紀中叶以前，经过許多科学家的研究，已經积累了有关电学和磁学的，相当丰富的理論和实验知識。应当特別指出是：法拉第在电磁学領域中所作出的贡献。在前人研究的基础上，麦克斯韦进行了总结和創造性的发展工作。他在 (1864—1873) 年間，建立了电磁場理論，說明了光的电磁本质，并預言了在介质中产生电磁波的可能性。1887 年，赫芝获得了波长約自数米至数十厘米的电磁波，并作了詳細的研究，証实了麦克斯韦理論的正确性。首先把无綫电波应用到通訊方面的是，偉大的俄罗斯科学家 A. C. 波波夫的功迹。他于 1895 年 5 月 7 日，在俄国物理化学学会的会议上，表演了世界上第一架无綫电接收机——雷电指示器。

最初使用的无綫电发送设备是火花式的。如前节中所述，发送设备的首要任务是产生高频电振荡。火花式发送设备是利用振荡回路，以产生衰减振荡的。这种设备的原理电路，如图 1.4 所示。

其中，A 是天綫，P 是火花式放电器，H 是感应綫圈。当电鍵 K 闭合时，有断续电流通过原綫圈，在副綫圈中感应出一个高电压，天綫就被充电。直到 P

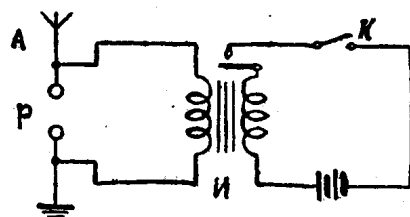


图 1.4

上的电压升高到击穿电压后，放电器被击穿，天綫电路通过比較微小的火花隙电阻形成閉路。在天綫回路中，就产生衰减振荡，同时有电磁能的辐射。在经过改进之后，曾經建立过功率达数百千瓦的火花式电台。与利用衰减振荡火花式发送设备的同时，也进行了利用等幅波无綫电通訊的实验。为了产生等幅振荡，曾經采用伏特电弧（保尔遜电弧）和高频发电机。它們都只能工作在长波波段。在接收机方面，波波夫所采用的粉末式檢波器，以后被晶体檢波器所代替。这大大地提高了接收设备的灵敏度。但在电子管发明之前，不論发送设备或接收设备，都存在着十分严重的缺点。

电子管的发明是无綫电技术发展史中的一个划时代的事件。1904年制成了二极管，而在1906—1907年制成了三极管。二极管用作檢波和整流。三极管用作放大和产生高频振蕩，使无綫电接收的质量大为改善。1913年，利用三极管作成再生式电路。在第二次世界大战期間，又出现了超外差式电路。由于三极管可以产生各种频率的等幅振蕩，以及大型功率管的制成，火花式、电弧式、发电机式发送设备，就完全被电子管发送设备所代替。而无綫电技术，则从长中波向短波以及更短的波长迅速发展。

1920年以后，无綫电话、无綫电广播事业蓬勃发展起来。在1935年以后，无綫电电视开始出现。与无綫电技术发展的同时，电子管也不断改进而日臻完善。例如，在1924年，制成了具有两个栅极的帘栅四极管。1930—1931年，制成了有三个栅极的五极管。1934—1935年，制成了多栅变频管。无綫电技术和电子学的发展，是密切联系而不可分割的。现在，一般都采用了无綫电电子学，这样一个名词表达它所包含的内容。

第二次世界大战期間，无綫电电子学有了极大的发展。特别应当指出的是，无綫电定位——雷达。这种无綫电设备，以及与它相应地超高频电子管和新型电路的出现。

第二次世界大战之后，无綫电电子学仍在飞跃发展。例如，产生了研究一般通信理论的信息论，制成了晶体管，制成了各种新型的无綫电元件和材料，发展了电子计算、定位、导航、遥测、遥控等技术。无綫电技术向微波波段的发展，不仅在微波电子器件、毫米波、亚毫米波产生的方法，微波传播和传输等方面有新的进展，而且建立了许多新的科学分支。例如，微波波谱学，无綫电天文学和无綫电气象学等。无綫电电子学日益广泛地在自然科学、工程技术、国民经济，文化教育等各个部门中获得广泛应用。

应当指出，在无綫电电子学的发展过程中，俄罗斯和苏联科学家作出了极为杰出的贡献。特别是在十月革命以后，在苏联共产党和苏联政府，在伟大的革命导师列宁和斯大林的领导与关怀下，苏联无綫电事业有了飞跃地发展，而在世界上，占有最先进的地位。最近，一系列人造地球卫星、宇宙火箭和卫星式飞船的发射成功。特别是在1961年4月12日，第一个载人的卫星式飞船的成功地发射和返回地球，这标志着苏联在无綫电电子学的成就方面达到了新的高峰。

§ 3. 我国无线电事业的飞跃发展

解放之前我国无綫电工业是极其薄弱的，而且有着浓厚的殖民地色彩。只有一个电话机厂，四个无綫电厂，一个有线电厂和一些作坊式的小工厂。规模极小，设备简陋，生产技术水平很低，只能依赖从外国进口的电子管、主要零件和材料，进行装配和修理。仅有的一套从外国进口的电子管生产设备，则被閑搁在仓库里。和其他事业一样，在反动统治之下，无綫电事业是不可能获得发展的。

解放之后，党和政府极其关心无綫电技术和无綫电工业的发展。在国民经济的恢复时期，国家就为无綫电工业的恢复和发展，提供了有利条件，使生产水平和技术水平大大提高，突破了原来只是装配和修理的界限。第一个五年计划期内，无綫电工业进行了巨大规模的建設，建立了初步的技术基础，扩大了技术领域，进行了一次全面性的技术改造。1956年討論十二年科学技术发展规划时，进一步明确了无綫电电子学技术的重要性，规划了无綫电电子学发展的远景，大大推动了无綫电工业的发展。

中国共产党第八次全国代表大会，关于发展国民经济的第二个五年计划（1958—1962）

的建議中，曾提出了要加强无綫电工业的建設。而自 1958 年以来，在党的总路綫、大跃进、人民公社三面紅旗照耀之下，我国无綫电技术和无綫电工业有了飞跃发展。在这里我們不准备一一列举，新成就的每一个具体項目，但可以概括地說，在新型电子管、晶体管、零件、材料以及复杂的現代无綫电設備等的制造方面，我們都达到了更高的水平，并且在微波、多路通訊、自动控制、无綫电定位、电子計算、水声技术等新的尖端領域中，向前迈进。因此，完全可以預期，在党的正确領導之下，在工人、科学技术人員和广大群众的共同努力之下，我国的无綫电事业将在不久的将来跃入世界上最先进国家的行列。

§ 4. 无綫电波的传播

在这一节中，我們准备簡要的介绍一下，各个波段无綫电波傳播的基本特征和它們应用的範圍。

无綫电发送台所产生的电磁波，可以由两条路徑到达接收点。一条是繞地球的表面行进，而成为所謂地面波的形式(或簡称地波)；另一条是靠电离层中的反射与折射而成为空間波的形式(或簡称天波)。

大气中的气体密度以及大气压力，随着离地面距离的增加而降低。同时，由于从太阳和从星群发出来的放射性輻射綫射进大气，大气的上层就很强烈地被游离，出現了自由电子，其数目在每一立方厘米中以数百万計。强热游离的区域称为电离层。

电离层一般可分为二：一为 E 层，位于高度 100—150 千米处；一为 F 层，位于高度 200—500 千米处(图 1.5)。

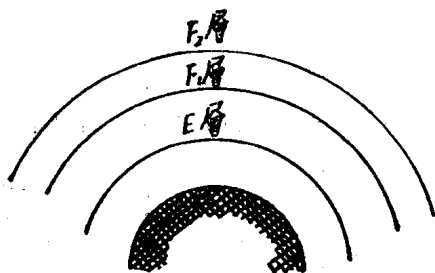


图 1.5

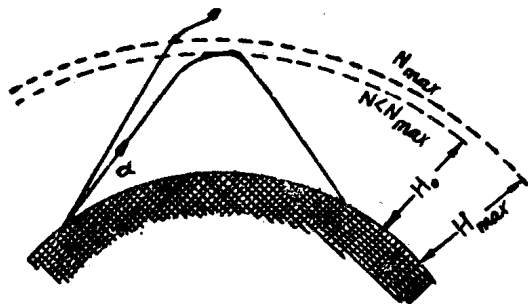


图 1.6

在白天， F 层分裂为两层，即 F_1 及 F_2 层。而对无綫电波傳播，有主要影响的是 F_2 层。它的位置在高度 250—500 千米处。晚上，由于游离减弱， E 层差不多完全消失。 F 层在晚上虽仍存在，但它的游离密度却减小了。各层中最稳定的是 F_2 层，它具有最大的平均游离密度。

由于电子密度随着高度不断改变，因此，无綫电波在电离层中，是成曲綫傳播的。造成电磁波进入到电离层的折射和反射，形成空間波(图 1.6)。

电磁波射綫能重返地面的条件，与电磁波振荡頻率有关。为反射无綫电波所必需的电子密度随着波长的增加而减小，同时无綫电波在电离层中傳播时有能量消耗。因为电离层中究竟是具有介质性質或者是导体性質是与电离层的电子密度有关，但也与电磁波的頻率有关。

隨着頻率的減低，傳導電流增加，損耗也增加。因此，長波在通過電離層時，具有較大的損耗，而在短波範圍以及更高的超短波時，這項損失是極微小的。

現代的研究證明，各種波長的無線電波，亦具有繞射的特性。但繞射的能力，隨波長的變短而急劇降低。

地面波傳播的情況，視地面電的性質和地形而定。假如，地是理想導體，則它對電磁波形成全反射。但實際上，地是半導體，因此，一部分電磁能就要被消耗掉。半導體地面消耗的能量，隨頻率的升高而急劇增加。由於這個緣故，長波沿地面傳播的路徑要比短波遠得多。同時，地面電的性質是不隨時間而改變的，所以，地面波傳播的情況是穩定的。因而，波長愈短，地面波的衰減就愈快，傳播距離也就愈短。

鑑於長波繞射的能力，在它傳播時所及的距離不超過 2500—3000 千米。要使傳播距離更遠，就要靠電離層的反射。長波從電離層反射回來，主要是在晚上。因為，這時電子密度較小和損耗也不很大。因此，長波的傳播距離，白天比晚上小，夏天比冬天小。

長波的傳播特性決定它的应用範圍。現在長波主要用作發射準確時間信號，一部分用作電極通訊。

從更高的電離層（ E 層的最高處或 F_1 層）反射的中波波段，按其特性來說，很相近於長波波段。白天電子密度很大，空間波有很大的損耗，以致實際上不能夠被接收。地面波由於在地面上損失的緣故，也衰減很快，這就決定了中波在白天的傳播距離是不會遠的。

晚上，當 E 層的電子密度急劇降低時，中波的傳播距離就急劇的增加了。中波波段主要供無線電廣播之用，也用來作為海上通信（600 米）、無線電導航，以及與飛機的通信。

中短波波段只能供近距離通訊之用。在這個波段內，無論是地面波或空間波，都有很大的損耗。

短波的傳播特性是空間波損耗極小，而地面波則損耗大、衰減快。短波的傳播比較複雜因為它的傳播條件與工作的頻率，路徑的日照度，太陽的活動性等都有關係。在短波波段工作時，還要考慮到其他的許多特性，其中之一就是存在着越區。所謂越區，就是一個空間，在這裡既接收不到空間波也接收不到地面波（圖 1.3B）。

地面波的区域半徑，主要由發送機的功率和地面的構造決定。空間波区域的大小，則主要以電離層的狀況而定。因而越區所包含的面積和電離層的狀態及波長有關。對時間講也不是一個常數，在冬天比夏天大，晚上比白天大。

波長愈短越區愈大，因為這時空間波折射較弱，因而返回地面就離發射機愈遠，而地面波的衰落亦愈快。

短波的另一個特點，就是存在着衰落現象，就是接收的強度不斷地隨時間改變，甚至有時接收完全停止。

在中波波段內就已經可以覺察到衰落了。這種現象是由地面波和空間波兩者的干涉作用而引起的。在短波波段的衰落，則是由於好幾條空間波射線的干涉作用而引起的。這些空間波經由不同的路徑到達接收地點，因而，就具有不同的相位。由這些衰落所生的電場變化比中波波段時快得多，而且遠為劇烈，這是由於在電離層中所發生的不斷變化所決定的。

為了補救衰落，在收音機里就利用了自動音量控制（A. P. V. 或 A. V. C.）。

由於短波的傳播條件與頻率有極密切的關係，因此，我們不得不再將短波波段分成好幾個小波段。而無線電廣播所用的波段則如表 1.3 所示。

短波无线电广播的波段

表 1.3

米	兆赫
50.42—48.39	5.950—6.200
42.25—41.096	7.100—7.300
31.58—30.80	9.500—9.775
25.64—25.052	11.700—11.975
19.37—19.741	15.100—15.450
16.82—16.64	17.700—17.900
13.99—13.79	21.450—21.750

短波波段除用作无线电广播外，亦用于远距离无线电报话通讯、传真、航海与航空通信等。

最近无线电通讯及广播在朝超短波范围中发展。

由于电离层不反射超短波，故超短波只能由直射波传播。在一般情况下，超短波波段的电波传播，仅以视线所及的范围为限。

但超短波却有着一些十分重要的优点，如这波段很宽，在其中可以分布大量的无线电台而不致在工作时相互干扰。在超短波波段里，几乎没有天波的干扰。随着波长的变短，机器的体积也跟着减小，所有这些就决定了超短波波段应用的可能性。

超短波波段（特别是分米波和厘米波）的电波，被位于其传播路径的物体所反射。这一特性已开辟了一个新的技术部门——无线电定位（雷达）。近年来，无线电定位已得到极大的发展。