

电力工程设计手册



上海电力设计院编

电子工业技术词典

电波传播与天线

《电子工业技术词典》编辑委员会 编

国防工业出版社

内 容 简 介

《电子工业技术词典》是在一九六四年出版的《无线电工业技术词典》(试用本)的基础上作了较大修改和增补而编写的。本《词典》是一本为广大工农兵和干部提供的深入浅出、简明实用的工具书。它也可供从事某个具体专业的科技人员在了解电子工业整个领域的全貌、扩大知识面时参考。

本《词典》共有三十四章。正文中各词汇后附有英文对照,书末附有英文索引,合订本中还附有汉字笔画索引。在出版合订本之前,先将分册出版。各分册所包括的章节内容和出版先后次序,将视具体情况而定。

本分册是《词典》第四章电波传播与天线的内容,电波传播部分包括:电波传播基础,对流层电波传播,电离层电波传播,地波传播与地-电离层波导电波传播,折射修正、衰落与噪声等五节;天线部分包括:天线基础,天线基本分类,极长波、超长波、长波与中波天线,短波天线,超短波与微波天线,天线测量及其它等六节。

电子工业技术词典

电波传播与天线

《电子工业技术词典》编辑委员会 编

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张 8¹/₄ 172千字

1977年3月第一版 1977年3月第一次印刷 印数:00,001—26,000册

统一书号:17034·29-29 定价:0.89元

前 言

《电子工业技术词典》是在无产阶级文化大革命伟大胜利的鼓舞下，在学习无产阶级专政理论的热潮中，在电子工业发展的新形势下出版的。它是在一九六四年出版的《无线电工业技术词典》（试用本）的基础上编写的。

原《词典》自发行以来，曾受到广大读者的欢迎，为宣传、普及、推广电子技术知识起了一定的作用。十多年来，在毛主席革命路线的指引下，我国电子工业已有很大的发展，生产规模不断扩大，技术水平迅速提高，技术队伍日益壮大，电子技术的推广应用已引起国民经济各部门的重视，并在社会主义革命和社会主义建设中发挥出作用。目前，电子工业已成为国民经济的一个组成部分，电子工业战线的广大职工正在为实现第四届全国人民代表大会提出的宏伟目标而努力奋斗。为适应这一大好形势，更好地为无产阶级政治服务，为工农兵服务，为社会主义服务，我们对原《词典》进行了一次较大的修改和增补。内容力求反映七十年代电子技术的水平，释文尽量做到简明、通俗。目的是为了向要求对电子工业技术有一般常识的广大工农兵和干部提供一本实用的工具书；同时也可供从事某个具体专业的科技人员在了解电子工业整个领域的全貌和扩大知识面时参考。

本《词典》共分三十四章。其目录如下：

- | | |
|-----------------|-------------|
| 一、电工基础； | 二、基本电子线路； |
| 三、网络分析与综合； | 四、电波传播与天线； |
| 五、信息论； | 六、电阻、电容与电感； |
| 七、厚薄膜电路； | 八、磁性材料与器件； |
| 九、电子陶瓷与压电、铁电晶体； | 十、机电组件； |
| 十一、电线与电缆； | 十二、电子管； |
| 十三、半导体； | 十四、电源； |
| 十五、其它元器件； | 十六、通信； |

- | | |
|----------------|------------------|
| 十七、广播与电视； | 十八、雷达； |
| 十九、导航； | 二十、自动控制与遥控、遥测； |
| 二十一、电子对抗； | 二十二、电子计算机； |
| 二十三、系统工程； | 二十四、电子技术的其它应用； |
| 二十五、微波技术； | 二十六、显示技术； |
| 二十七、红外技术； | 二十八、激光技术； |
| 二十九、电声； | 三十、超声； |
| 三十一、声纳； | 三十二、专用工艺设备与净化技术； |
| 三十三、电子测量技术与设备； | 三十四、可靠性。 |

各章互有联系，并尽量避免章节间词汇的重复，故每章只有一定的系统性。正文前有章节和词汇目录，正文中各词汇后附有英文对照，最后附有汉字笔画索引与英文索引。本《词典》将先分册出版，各分册所包含的章节内容和出版先后次序将视具体情况而定。各分册无汉字笔画索引。

本《词典》的编写工作，自始至终是在毛主席革命路线的指引下，在党的领导下进行的。贯彻了“独立自主，自力更生”的伟大方针，坚持了群众路线，实行了工人、干部、科技人员和生产、科研、教学两个三结合，以及理论联系实际的原则。《电子工业技术词典》本身就是广大群众集体智慧的结晶。它的编写过程也反映了无产阶级文化大革命后我国出版战线上的新气象。

由于我们水平有限，加上时间仓促，虽然作了很大努力，但《词典》中还可能存在不少错误和不妥之处，恳请广大读者及时批评指正。

《电子工业技术词典》编辑委员会

一九七五年十月一日

目 录

电 波 传 播

一、电波传播基础

无线电波传播	4-1
地波传播	4-1
对流层电波传播	4-1
电离层电波传播	4-2
地-电离层波导电波传播	4-2
极低频与音频电波传播	4-3
甚低频电波传播	4-3
低频电波传播	4-4
中频电波传播	4-4
高频电波传播	4-4
甚高频电波传播	4-5
微波传播	4-5
大气层	4-5
对流层	4-5
平流层	4-5
电离层	4-6
磁球层	4-6
辐射带	4-6
球面分层大气层	4-7
水平均匀大气层	4-7
水平不均匀大气层	4-7
折射指数	4-7
大气剖面	4-8
大气模式	4-8
自由空间	4-8
色散介质	4-8
相速度	4-9
群速度	4-9
几何光学近似	4-9
射线	4-9

射线曲率	4-10
射线曲率半径	4-10
费马原理	4-10
斯涅耳定律	4-10
射线描述	4-11
菲涅耳区	4-11
菲涅耳区半径	4-11
传输损耗	4-12
基本传输损耗	4-12
路径损耗	4-12
衰减因子	4-12

二、对流层电波传播

折射率	4-13
N 单位	4-13
折射模数	4-13
M 单位	4-13
修改折射指数	4-13
M 指数	4-13
标准大气层	4-13
指数模式	4-14
逆温层	4-14
湍流	4-14
湍流尺度	4-14
折射指数起伏强度	4-14
折射指数起伏相关函数	4-15
折射指数结构函数	4-15
折射指数起伏空间谱	4-15
大气窗口	4-15
大气衰减	4-16
无线电探空仪	4-16
压高公式	4-16

折射率仪·····4-17
 积分折射率仪·····4-17
 无源探测·····4-17
 声波探测·····4-17
 无线电气象学·····4-18
 无线电气候学·····4-18
 无线电天气学·····4-18
 对流层折射·····4-18
 正折射·····4-19
 负折射·····4-19
 标准折射·····4-19
 超折射·····4-19
 大气波导·····4-19
 陷获·····4-19
 反常传播·····4-20
 无线电地平线·····4-20
 视线传播·····4-20
 直接波·····4-20
 反射波·····4-20
 空间波·····4-20
 等效地球半径·····4-20
 K 因数·····4-21
 瑞利准则·····4-21
 光滑地面·····4-21
 粗糙地面·····4-21
 地面突起·····4-21
 路径空隙·····4-22
 发散因数·····4-22
 干涉损耗·····4-22
 高低法·····4-22
 超地平传播·····4-22
 超短波球面绕射·····4-23
 障碍绕射·····4-23
 刃形绕射·····4-23
 球面绕射损耗·····4-23
 障碍绕射损耗·····4-23
 障碍增益·····4-23
 绕射体·····4-24

对流层散射·····4-24
 湍流散射·····4-24
 不相干反射·····4-24
 相干反射·····4-24
 散射截面·····4-24
 信号电平中值·····4-24
 对流层散射传输损耗中值·····4-25
 对流层散射基本传输损耗中值·····4-25
 频率增益函数·····4-25
 天线介质耦合损耗·····4-25
 波束偏移损耗·····4-25
 波束展宽·····4-25
 传播可靠度·····4-26

三、电离层电波传播

日地关系·····4-26
 宁静太阳·····4-26
 活动太阳·····4-26
 太阳耀斑·····4-27
 太阳黑子·····4-27
 太阳黑子周期·····4-27
 太阳风·····4-28
 地磁要素·····4-28
 K 指数及 K_p 指数·····4-28
 磁暴·····4-29
 极光·····4-29
 流星余迹·····4-29
 电子浓度·····4-29
 电子浓度剖面·····4-29
 查普曼层·····4-30
 抛物层·····4-30
 电子含量·····4-30
 E_s 层·····4-30
 电离层不均匀体·····4-30
 扩展 F 回波·····4-31
 等离子体频率·····4-31
 电离层折射·····4-31
 电离层反射·····4-31

天波·····	4-32	服务概率·····	4-41
垂直探测·····	4-32	电路可靠度·····	4-42
虚高·····	4-32	斜向探测·····	4-42
垂直探测电离图·····	4-33	变频脉冲斜向探测·····	4-42
临界频率·····	4-33	斜向探测电离图·····	4-42
磁旋频率·····	4-33	聚合频率·····	4-43
碰撞频率·····	4-33	最高观测频率·····	4-43
各向异性电离层·····	4-34	最低观测频率·····	4-43
磁离子分裂·····	4-34	返回斜向探测·····	4-43
寻常波·····	4-34	天波后向散射·····	4-43
非常波·····	4-34	高频返回散射·····	4-43
磁离子介质中的折射指数公式·····	4-34	电离层散射·····	4-43
阿普尔顿-哈特里公式·····	4-35	人造扩展F层·····	4-44
跳越距离·····	4-35	电离层骚扰·····	4-44
寂静区·····	4-35	电离层暴·····	4-44
正割定律·····	4-35	极冠吸收·····	4-44
等效定理·····	4-35	极光带吸收·····	4-44
传输曲线·····	4-36	电离层突然骚扰·····	4-45
三千公里最高可用频率因子·····	4-36	短波消逝·····	4-45
短波传播模式·····	4-36	大气干扰突然升高·····	4-45
最高可用频率·····	4-37	相位突然异常·····	4-45
最低可用频率·····	4-37	宇宙噪声突然吸收·····	4-45
量佳工作频率·····	4-38	法拉第旋转·····	4-45
最佳传输频率·····	4-38	顶外探测·····	4-45
工作频率·····	4-38	部分反射·····	4-46
E层截止频率·····	4-38	非相干散射探测·····	4-46
多径效应·····	4-38	电离层交叉调制·····	4-46
多径缩减因子·····	4-39	电离层探针·····	4-46
短波频率预测·····	4-39	闪烁指数·····	4-47
电离层吸收·····	4-39	电离层相对透明度仪·····	4-47
非偏移吸收·····	4-39	火箭喷焰·····	4-47
偏移吸收·····	4-40	火箭羽流·····	4-47
电离层聚焦和散焦·····	4-40	羽流尺度·····	4-47
高频天波场强·····	4-40	偏离角·····	4-48
天波路径损耗·····	4-41	喷焰衰减·····	4-48
额外系统损耗·····	4-41	喷焰相移·····	4-48
业务等级·····	4-41	喷焰调幅噪声·····	4-48
时间利用率·····	4-41	喷焰调相噪声·····	4-48

喷焰调频噪声	4-48
喷焰相干带宽	4-48
喷焰回波多卜勒谱	4-49
再入等离子体鞘套	4-49
再入无线电信号中断	4-49
核爆炸电磁脉冲	4-49
火球等离子体	4-49
核爆炸产生的异常电离	4-49
核爆炸对无线电波传播的影响	4-50

四、地波传播与地-电离层波导电波传播

表面波	4-50
表面阻抗	4-50
地波相位修正因子	4-50
海岸线效应	4-50
海岸折射	4-51
侧波	4-51
地-电离层波导	4-51
地球波导	4-51
波导模	4-51
横磁波模	4-52
横电波模	4-52
横电磁波模	4-52
地-电离层空腔谐振	4-52
舒曼谐振	4-53
多模干涉	4-53
模转换干涉	4-53
长短大圆路径信号的干涉	4-53
相位梯形	4-54
相位阶梯	4-54
幅度衰落	4-55
日出与日落过渡期	4-55
纬度效应	4-55
方向效应	4-55
哨声	4-55
地壳波导	4-56

五、折射修正、衰落与噪声

折射误差	4-56
折射修正	4-56
视在仰角	4-56
视在距离	4-57
视在高度	4-57
视在方位角	4-57
视在多卜勒频移	4-57
视在距离变化率	4-57
射线弯曲	4-58
仰角误差	4-58
距离误差	4-58
高度误差	4-58
方位角误差	4-58
多卜勒频移误差	4-59
距离变化率误差	4-59
速度误差	4-59
折射修正残差	4-60
折射预报	4-60
天文折射	4-60
蒙气差	4-60
衰落	4-60
快衰落	4-61
慢衰落	4-61
选择性衰落	4-61
时间选择性衰落	4-61
频率选择性衰落	4-61
平匀衰落	4-61
急剧衰落	4-61
极化衰落	4-61
视线电路衰落	4-61
障碍绕射电路衰落	4-62
对流层散射电路衰落	4-62
信号幅度分布	4-62
信号相位起伏	4-62
衰落幅度	4-63
衰落深度	4-63

衰落率·····	4-63	多径散布·····	4-67
衰落持续期间·····	4-63	多卜勒散布·····	4-67
衰落速度·····	4-63	扩散函数·····	4-67
衰落频谱·····	4-64	信道相关时间·····	4-68
衰落带宽·····	4-64	信道相关带宽·····	4-68
对数正态分布·····	4-64	信道散布因子·····	4-68
克服衰落的方法·····	4-64	弱散布信道与强散布信道·····	4-68
相关函数·····	4-64	宇宙噪声·····	4-68
容许传输带宽·····	4-65	雷电辐射·····	4-69
衰落信道·····	4-65	天电·····	4-69
时变时延散布信道·····	4-65	大气噪声·····	4-69
高斯信道·····	4-66	天电干扰·····	4-69
广义平稳不相关散射信道·····	4-66	射电天文学·····	4-69
信道散射函数·····	4-66	射电源·····	4-69
多卜勒散射函数·····	4-66	太阳射电中心·····	4-70
多径散布谱·····	4-66	射电望远镜·····	4-70

天 线

一、天线基础

天线·····	4-71	天线波束宽度·····	4-73
天线互易定理·····	4-71	旁瓣电平·····	4-73
巴比伦原理·····	4-71	方向性系数·····	4-73
天线方向图·····	4-72	超方向性系数·····	4-73
天线辐射方向图·····	4-72	天线效率·····	4-73
天线波瓣方向图·····	4-72	口径照射效率·····	4-73
场强方向图·····	4-72	口径阻挡·····	4-74
功率方向图·····	4-72	漏失·····	4-74
归一化方向图·····	4-72	天线增益·····	4-74
主 E 面方向图·····	4-72	天线反射器表面精度·····	4-74
主 H 面方向图·····	4-72	天线特性阻抗·····	4-75
垂直面方向图·····	4-72	输入阻抗·····	4-75
水平面方向图·····	4-72	辐射电阻·····	4-75
天线波束·····	4-72	天线阻抗匹配·····	4-76
天线主瓣·····	4-72	天线的极化·····	4-76
天线旁瓣·····	4-72	极化平面·····	4-76
天线副瓣·····	4-72	极化椭圆·····	4-76
天线后瓣·····	4-73	椭圆极化·····	4-76
		圆极化·····	4-76
		线极化·····	4-76

极化轴比	4-76
水平极化	4-76
垂直极化	4-77
交叉极化	4-77
极化匹配	4-77
去极化	4-77
天线的Q值	4-77
天线谐振频率	4-77
天线频带宽度	4-77
天线有效长度	4-77
天线有效高度	4-78
天线噪声温度	4-78
天线增益噪声温度比	4-78
天线口径照射	4-78
天线实际口径	4-79
天线口径幅度分布	4-79
天线口径相位分布	4-79
天线有效面积	4-79
有效面积	4-79
有效口径	4-79
天线馈源	4-79
天线相位中心	4-80
单元因子	4-80
阵因子	4-80
天线间的隔离度	4-80
远场区	4-80
辐射近场区	4-80
无功近场区	4-81
天线效应	4-81
天线加载	4-81
天线综合	4-81
波束转换	4-81
同时波束定向	4-81
顺序波束定向	4-81
辐射单元	4-81
辐射器	4-81
激励单元	4-81
寄生单元	4-81

反射器	4-81
有源反射器	4-82
无源反射器	4-82
引向器	4-82
赫芝偶极子	4-82
电偶极子	4-82
磁偶极子	4-82
偶极天线	4-83
单极天线	4-83

二、天线基本分类

发射天线	4-83
接收天线	4-83
长波天线	4-83
超长波天线	4-83
极长波天线	4-83
中波天线	4-83
短波天线	4-84
超短波天线	4-84
微波天线	4-84
驻波天线	4-84
谐振天线	4-84
行波天线	4-84
非谐振天线	4-84
宽波段天线	4-84
非频变天线	4-84
超增益天线	4-84
各向同性辐射器	4-85
各向同性天线	4-85
定向天线	4-85
全向天线	4-85
多波束天线	4-85
反射器天线	4-85
多元天线	4-85
天线阵	4-85
阵天线	4-85
直线阵天线	4-86
道尔夫-切比雪夫阵天线	4-86

平面阵天线	4-86
边射阵天线	4-86
端射阵天线	4-86
共形天线	4-86

三、极长波、超长波、长波与中波天线

垂直天线	4-86
加感天线	4-86
加容天线	4-87
伞形天线	4-87
T型天线	4-87
倒L型天线	4-87
Γ型天线	4-87
多路调谐天线	4-87
铁塔天线	4-87
桅杆天线	4-88
抗衰落天线	4-88
并馈垂直天线	4-88
埋地天线	4-88
长线行波天线	4-89
别维列兹天线	4-89
地下天线	4-89
环形天线	4-89
铁氧体磁心环形天线	4-89
爱德考克天线	4-90

四、短波天线

鞭状天线	4-90
对称天线	4-90
半波振子	4-91
对称振子	4-91
折叠偶极天线	4-91
扇形天线	4-91
笼形天线	4-91
分枝笼形天线	4-91
角形天线	4-91
同相水平天线	4-92
同相垂直天线	4-92

宽带同相天线阵	4-92
V形天线	4-93
菱形天线	4-93
双菱形天线	4-94
回授式菱形天线	4-94
折式菱形天线	4-94
鱼骨形天线	4-94
多元方向图可控天线	4-95
对数周期天线	4-95

五、超短波与微波天线

旋转场天线	4-95
绕杆天线	4-95
套筒天线	4-96
中馈天线	4-96
盘锥形天线	4-97
双锥形天线	4-97
八木天线	4-97
波渠天线	4-98
背射天线	4-98
螺旋天线	4-98
介质棒天线	4-98
表面波天线	4-99
漏波天线	4-99
隙缝天线	4-99
角形反射器天线	4-99
抛物面反射器天线	4-100
偏置抛物面反射器天线	4-100
抛物柱面反射器天线	4-101
抛物盒天线	4-101
抛物环面天线	4-101
喇叭天线	4-101
波纹喇叭	4-101
标量喇叭	4-102
对角线极化喇叭	4-102
变张角喇叭	4-102
介质导馈电器	4-102
喇叭-抛物面天线	4-103

折叠喇叭反射器天线·····	4-103
无线电反射器·····	4-103
无线电镜·····	4-104
卡塞格伦天线·····	4-104
整形卡塞格伦天线·····	4-104
近场卡塞格伦天线·····	4-104
偏置卡塞格伦天线·····	4-105
格雷戈伦天线·····	4-105
透镜天线·····	4-105
介质透镜天线·····	4-105
金属延迟透镜天线·····	4-106
金属板透镜天线·····	4-106
约束金属透镜天线·····	4-106
分区透镜天线·····	4-107
有源天线·····	4-107
消旋天线·····	4-107
全息天线·····	4-108
信号处理天线·····	4-108
相乘阵·····	4-108
米尔斯十字天线·····	4-109

脉冲激励天线·····	4-109
-------------	-------

六、天线测量及其它

仿真天线·····	4-109
假天线·····	4-109
天线馈电线·····	4-109
天线罩·····	4-110
天线罩噪声·····	4-110
地网·····	4-110
架空地网·····	4-110
缩尺模型·····	4-110
现场测量·····	4-110
接地平面·····	4-110
测量场测量·····	4-111
扫描场探针法·····	4-111
测试场反射器法·····	4-111
测试天线聚焦法·····	4-111
天线指示器·····	4-112
波瓣测定器·····	4-112
天线交换器·····	4-112

电 波 传 播

一、电波传播基础

无线电波传播

radio wave propagation

频率从几十赫（甚至更低）到 30000 千兆赫左右（波长从几万千米到 0.1 毫米左右）整个频谱范围内的电磁波，称为无线电波。发射天线或自然源辐射的无线电波，通过介质或受到介质分界面的影响，而到达接收天线的过程，称为无线电波传播。无线电波在介质或介质分界面的影响下，有被折射、反射、散射、绕射和吸收等现象。接收点的无线电信号，也有衰减和干扰出现。为了确定无线电系统的频率、功率、增益、灵敏度、信号噪声比和工作方式等，都需要对无线电波传播特性有所了解。

根据何种介质或何种界质分界面对电波传播产生主要的影响，可将常遇到的电波传播方式分为：（1）地波传播（电波传播主要受地球表面的影响）。（2）对流层电波传播（电波传播主要受对流层影响）。（3）电离层电波传播（电波传播主要受电离层影响）。（4）地-电离层波导电波传播（电波传播主要受电离层下缘和地面的影响，此外还有埋地天线、地壳中电波传播、火箭喷焰、再入等离子体鞘套和核爆炸等影响）。

各种频段的无线电波的传播方式和特点及其应用，可见各有关词汇。

地波传播

propagation of ground wave

沿地球表面的无线电波的传播，称为地波传播。其特点是信号比较稳定。在讨论地波传播问题时，一般是将对流层视为均匀介

质（有时认为对流层的折射指数垂直梯度为常数），电离层的影响不予考虑，而主要考虑地球表面对电波传播的影响。半导体性地球表面的影响，一方面使地波的垂直方向电场强度远大于水平方向电场强度，并因在地面上产生感应电流，使地波有较大的衰减；另一方面，由于地球是椭圆形，在视线距离以外，地波传播可认为是围绕弧形地球表面的绕射传播。垂直偶极子所产生的地波垂直电场 E 通常表示为

$$E = E_0 \nu$$

其中： E_0 为理想导电地面上的垂直电场； ν 称为衰减因子，它是频率、距离和地面电参数的复杂函数。一般说来，频率愈高，地面电导率愈低，地波随距离衰减就愈快。计算地波，有相应于高天线、低天线、近距离（视线传播）和远距离（超地平传播）的一般解答，但通常是查阅图表。

在视线传播的情况下，如果收发天线离地高度远大于波长，接收点处的地波，可归结为直射波与地面反射波相干涉的结果。因为这种情况下对流层的折射影响必须考虑，所以将它归入对流层传播。微波中继通信即是这种传播方式。在超地平传播的情况下到达接收点的地波为绕过弧形地面的表面波。中波和长波多利用地波传播，但在一定的条件下，也出现它们的电离层反射波。

对流层电波传播

tropospheric radio propagation

无线电波在对流层与平流层中的传播，简称为对流层电波传播。对流层的折射指数，在 20 千兆赫以下的频率以及其他大气

窗口,与频率无关,因而对流层通常是一种非色散介质。由于折射指数的空间变化,电波射线会因折射而弯曲。在对流层中,气体分子与水汽凝聚物(云、雾、雨、雪等)对电波有吸收与散射作用。波长长于3厘米的电波,所受的吸收十分微弱,计算场强时可不考虑。波长短于3厘米时,需要考虑水汽和氧的吸收。在毫米波与亚毫米波频段,对流层有许多吸收较小的频带,通常称为大气窗口。

按物理机制或传播情况的不同,对流层电波传播可以分为下列四种传播方式:(1)视线传播,应用于微波中继通信与卫星通信、超短波与微波的定位测速;(2)对流层散射传播,应用于米波与分米波的超地平通信;(3)障碍绕射传播,对于短波高端、超短波和微波无线电通信电路,当电路上存在山峰时,出现障碍绕射传播,在某些情况下还会有障碍增益;(4)大气波导传播,当对流层的折射指数梯度满足一定的条件时,对于米波至厘米波的无线电射线会出现大气波导传播。

电离层电波传播

ionospheric radio propagation

这是指无线电波在电离层中的传播。在这种情况下电波传播,往往要受地磁场的影响,将电波分裂成寻常波和非常波,此现象称为磁离子分裂。对应于它们二者的折射指数比较复杂,特别还依赖于地磁场强度和传播方向,故电离层是一种各向异性的色散介质。在一定条件下,可以忽略地磁场的影响,这时电离层的折射指数只依赖于电波频率、碰撞频率和电子浓度。在这种情况下电离层是一种各向同性的色散介质。

短波段的电波,在电离层中受到折射和吸收,在一定条件下能在电离层反射,回到地面。中频段的电波,通常在电离层的D层(70~90公里)和E层(100~120公里)中受

到吸收,在F层中反射。甚高频段电波,基本能透过电离层,少数情况在一定条件下,也能在电离层反射,它在电离层中发生的散射现象能加以利用。微波段电波能透过电离层,它的折射很小。长波、超长波波段的电波,大部分在电离层低层的下缘被反射。

依据物理机制的不同,电离层电波传播可以分为下列三种传播方式:(1)短波经电离层反射的传播,这是应用很久而且很广的传播方式,用于通信、广播和超地平雷达等;(2)甚高频经电离层不均匀体散射传播;(3)甚高频经流星余迹反射的传播,后两种传播方式,已经用来建立通信电路。

此外电离层电波传播的各种效应,可作为探测电离层结构的各种手段,如脉冲反射、法拉第旋转、多卜勒频移、非相干散射、部分反射等。

还有一些实际问题,如核爆炸产生的附加电离区对电波的作用、火箭喷焰与再入等离子体鞘套对电波的影响等,都与电离层电波传播紧密相关。

地-电离层波导电波传播

radio propagation in the earth-ionosphere waveguide

以低电离层下缘和地面为两壁,构成的同心球壳形波导,称为地-电离层波导,在其中的电波传播称为地-电离层波导传播。长波以及波长更长的无线电波,当它们的辐射源处于地与低电离层之间时,辐射的电磁波能量,基本上限制在地-电离层波导中传播,能以较小的衰减绕过弯曲地面。它们的传播机理,可用“波跳”和“波导模”两种理论加以解释:“波跳”理论认为电波在地与低电离层之间是以地波和天波方式传播的,波的总场可表为地波与各跳天波的各场分量的级数和;“波导模”理论则认为电波在地-电离层波导之间的传播与微波在金属波导中的传播有些类似,波的总场可表为代表各阶波

导模的各场分量的级数和。在某些情况下,两种级数和可以等效。考虑到级数解只有当它具有快收敛特性时才具有实用意义,因此,波跳理论多用于长波,波导模理论多用于甚低频、音频以及极低频的电波传播。无线电波在地-电离层波导中传播时,其场强的扩散损耗与地面距离 d ,波长 λ 的关系为 $\sqrt{\lambda/\sin(d/a)}$ (其中 a 为地球半径),而地面与电离层的吸收,使场强随距离的增加按指数衰减。

地-电离层波导的传播方式,用于远距离可靠通信、远距离无线电导航、标准频率与时间信号的广播以及对电离层的研究等。

极低频与音频电波传播

propagation of extremely low frequency (ELF) and voice frequency (VF) radio wave

频率从30赫到300赫(波长从10000千米到1000千米)的无线电波称为极低频无线电波,频率从300赫到3000赫(波长从1000千米到100千米)的无线电波称为音频无线电波。

此两频段的无线电波以横电磁(TEM)波模方式在地-电离层波导中传播,无多模干涉现象,传播衰减随频率降低而减小,在100赫左右时,衰减率仅有1~2分贝/千公里;可以穿透电离层以哨声模方式沿地磁力线在地面上的两个磁共轭点间多次往返传播,或偏离地磁力线在外层空间传播;在低频端,因波长可与地球周长相比,将产生地-电离层空腔谐振(舒曼谐振)现象。

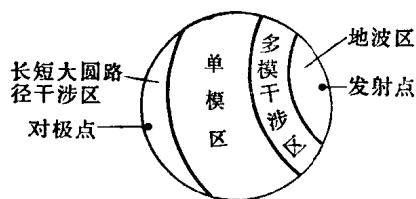
这两频段的主要特点是:由于频率低,在海水中的衰减比其他频段都小,故透入海水最深,但是天线很大,设备很昂贵。音频电波可用于水下核潜艇的指挥通信;利用雷电辐射的音频电波,可以研究电离层与外层空间的结构。

甚低频电波传播

propagation of very low frequency (VLF) radio wave

频率从3千赫到30千赫(波长从100千米到10千米)的无线电波称为甚低频无线电波或超长波。

在此频段内,辐射的电磁波能量,除了在低频端有一部分可穿透电离层以哨声模方式传播以外,基本上都限制在地面和低电离层下缘所构成的地-电离层波导之中,其传播机理多用波导模的概念来解释,但对高频端的近距离传播,用天、地波的概念有时也可得到有效解释。根据传播的不同特点,其全球性的作用区可分为四种传播区域(见图示):(1)地波区;(2)多模干涉区(在此



甚低频电波的全局性作用区

区内同时存在几个模)。(3)单模区(仅存在一个最低衰减模)。(4)长短大圆路径干涉区(同时存在长、短大圆路径两种信号)。波导模的传播衰减率与相速取决于频率、地面电导率、太阳天顶角、传播方向与地磁场水平分量间的夹角、地磁纬度和太阳活动性等因素。

此频段的优点是:(1)传播衰减减小,作用距离远甚至达到全球;(2)传播相位较稳定,且有良好的可预测性;(3)受电离层扰动的影响小,传播情况稳定;(4)透入海水能力较强。此频段的缺点是:(1)因频率低,数据率比较低,通常约每分钟15~60个字;(2)大气噪声干扰大;(3)需要大的发射天线,设备较贵。

甚低频广泛应用于远距离的可靠通信

(这时数据率低不是主要的,而可靠性是主要的),还应用于远距甚至全球的无线电导航;标准频率和时间信号的广播;对水下潜艇的通信等。同时也可用于低电离层研究和雷暴定位等。

低频电波传播

propagation of low frequency (LF)
radio wave

频率从 30 千赫到 300 千赫(波长从 10 千米到 1 千米)的无线电波称为低频无线电波或长波。

长波以地波和天波两种方式进行传播,地波作用距离可达 2000~3000 公里,天波在白天经 *D* 层反射,而在夜间经 *E* 层反射,经一跳或多跳传播,作用距离可达几千公里以至上万公里。一般说,在 200~300 公里以内地波占优势,2000~3000 公里以上天波占优势,在两者之间,天地波同时存在。在某些应用中,天波通常被视为有害干扰,但在此波段,可根据天地波脉冲相对时延,采用区分天、地波技术以排除天波影响。从而使地波作用距离得到充分的利用。

长波主要用于远距离精密无线电导航、标准频率与时间信号的广播、可靠通信、低电离层的研究等。

中频电波传播

propagation of medium frequency
(MF) radio wave

频率从 300 千赫到 3 兆赫(波长从 1000 米到 100 米)的无线电波称为中频无线电波或中波。

中波可以用天波和地波的方式传播。使用地波传播时,因为波长较短,地面损耗较大,绕射能力较差,所以传播的有效距离比长波近,但比短波远,一般为几百公里。又因中波的频率在电离层临界频率以下,电离层能反射中频天波,但白天因 *D*、*E* 层的吸收作用大,故天波不能有效反射;在晚上,

D、*E* 层的吸收显著减小,天波显著增强,且作用距离可大大超过地波。由于天、地波或各跳天波间的干涉,在夜间远距离上产生明显的衰落现象。中波电离层传播还存在独特的交叉调制效应。

中波主要用于近距离广播与无线电导航,535~1605 千赫是国际规定的中波广播段。还可利用它的交叉调制效应研究低电离层。

高频电波传播

propagation of high frequency (HF)
radio wave

频率从 3 兆赫到 30 兆赫(波长从 100 米到 10 米)的无线电波,称为高频无线电波,又称短波。

通常短波是经电离层的反射而到达地面。所以短波广泛应用于各种距离的定点通信、国际通信及广播、船岸间的航海移动通信和飞机地面间的航空移动通信等。

车辆移动电台和军用战术小型电台,也有用短波的地波传播方式通信的。因为短波段的地波,随距离增大而衰减很快,故只用于近距。

短波波段的优点:相对长、中波段而言,得到相同传输效果,其发射功率较小,设备较简单,成本较低。电波经电离层反射或电离层地面间多次反射,可实现远距离(数千到万公里)的通信。但是短波也有严重的缺点:(1)通信不稳定。因为电离层传播有跳距现象,选择工作频率时有最高可用频率的限制。为了适应电离层的日变化、季变化和 11 年太阳黑子周期的变化,必需在不同的时间选用不同的频率。如果通信距离较近(数百公里),还应考虑射线仰角随电离层的变化。选频不适当和天线仰角不适当,常是通信中断的原因。电离层骚扰和核爆炸的影响,也可造成通信中断。(2)短波电台过分拥挤,互相干扰。这个由于历史造成的问题,