

甚低频无线电工程

超远程无线电通讯与导航

国防工业出版社

73.45
242
C.2

甚低频无线电工程

(超远程无线电通讯与导航)

[美] A.D. 沃 特

《甚低频无线电工程》翻译组 译

国防工业出版社
1973

内 容 简 介

本书是根据国际电磁波专题丛书第十四卷翻译的。它是目前有关甚低频无线电工程方面比较全面、比较详细的一本书，它是由许多科研人员在实验的基础上总结而成的。书中详细论述了有关甚低频无线电技术的各个方面，并提供了大量的数据和图表。本书共七章。第一章是基本说明；其余各章分别是：（2）发射天线；（3）传播；（4）接收天线；（5）大气无线电噪声场；（6）调制、频谱和接收系统性能；（7）系统总体设计；最后的附录部分，则着重对各章节中所涉及的有关专题，比如：电离层的电气特性、太阳辐射、太阳黑子周期等进行了阐述。

本书可供从事超远程无线电通讯与导航等方面的工人、革命干部、科学研究人员、工程技术人员和大专院校师生参考。

本书系根据1967年美国出版的《V. L. F. Radio Engineering》(ARTHUR D. WATT)一书译出。

甚 低 频 无 线 电 工 程

(超远程无线电通讯与导航)

《甚低频无线电工程》翻译组 译

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 28 649千字

1973年1月第一版 1973年1月第一次印刷

统一书号：15034·1274 定价：2.30元

毛主席语录

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，
赶上和超过世界先进水平。

外国有的，我们要有，外国没有的，我们也要有。

对于外国文化，排外主义的方针是错误的，应当
尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借
镜；盲目搬用的方针也是错误的，应当以中国人民的
实际需要为基础，批判地吸收外国文化。

译者序

无线电甚低频技术，已有十几年研究与应用的历史。随着超远程无线电通讯和导航技术的发展，对甚低频这一频段的深入研究和广泛应用，越来越引起人们的重视。

我们在毛主席无产阶级革命路线的指引下，遵照毛主席关于“洋为中用”的指示，为了配合我国广大工人、革命干部和科学技术人员，发掘和探索新的科学技术领域，特翻译此书，仅供参考。

《甚低频无线电工程》一书，是根据国际电磁波专题丛书第十四卷翻译的。该书是目前有关甚低频无线电工程方面比较全面、比较详细的一本书。它是由许多科研人员在实验的基础上总结而成的。书中详细论述了有关甚低频无线电技术的各个方面，并提供了大量的数据和图表。这对于在超远程无线电通讯和导航等方面从事甚低频无线电工程的有关人员，具有一定的实用参考价值。

对于一切外国的东西，我们应该遵照毛主席关于“排泄其糟粕，吸收其精华”的教导，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。原书是由美国资产阶级学者所著，不可避免会反映出许多资产阶级观点。尽管我们对原书作了某些必要的删节，对于个别技术上的错误做了某些改正，但是，由于我们的马列主义、毛泽东思想水平不高，外文和业务水平有限，对于原书中的资产阶级观点批判不够，译书中之缺点和错误在所难免。希望同志们以马列主义、毛泽东思想为武器，继续加以批判。对于技术上的问题，望根据实践第一的观点，在实践中不断检验、修改和发展。如发现问题，恳请及时批评指正。

30443

目 录

第一章 引言	9	磁场损耗的电阻分量	52
1.1 基本说明	9	电场损耗的电阻分量	59
1.2 单位	9	垂直电场	61
1.3 座标系统	11	电场损耗的电阻分量和功率损耗	63
1.3.1 矢量	12	导线界面损耗	64
1.3.2 场	12	当表面阻抗为一定值或单有径向变化 时磁场地电阻分量的计算	65
1.3.3 矢量乘法	12	2.5 导体和调谐线圈特性	68
1.3.4 信息矢量	13	趋肤效应	69
第二章 发射天线	15	临近效应	71
2.0 符号表	15	螺线管线圈的损耗	72
2.1 基本概念	18	2.5.1 电感	72
辐射效率	22	单根直导线	72
天线带宽的计算	23	两根长直导线或地面反射	73
底部或馈线旁路电容的影响	24	单层圆线圈	74
功率带宽积	24	线圈的Q值与损耗	74
2.2 垂直支撑	25	2.6 电晕	75
2.2.1 风和风负载	25	电量形成与火花击穿	75
风负载	27	频率影响	79
导体的机械振动	28	几种典型几何形体的电场	79
2.2.2 塔和天线杆钢材需要量 及费用估计	29	电量起始电压和功率损耗计算	82
2.3 顶负载	32	有效电容量的变化	83
2.3.1 各种导线段的电容	34	功率损耗	83
单根水平导线	34	2.7 模的激励系数	84
同轴电缆(空气介质)	34	天线的方向性	86
单根垂直导线	35	2.8 实际的甚低频天线特性	87
平行的水平导线(平顶天线)	35	2.8.1 历史的回顾	87
单导线倒L形天线	36	(1)第一次世界大战以前	87
单导线T形天线	37	(2)第一次和第二次世界大战期间	88
垂直面上等距平行导线	37	(3)第二次世界大战以后	88
远离地面的两根平行导线之间的电容	37	2.8.2 电气参数	91
不平行导线	38	2.8.3 早期甚低频天线的简单介绍	93
加载垂直天线(伞形天线)	38	2.8.4 现有某些主要天线的特性	95
2.3.2 拉线和架空导线的物理特性	41	马里兰(Maryland)州的安 纳波利斯(Annapolis)台	95
2.3.3 电线和绞线	41	巴布(Balboa)运河区萨米特(Summit)天线	98
2.3.4 绝缘子	46	缅茵(Maine)州的卡特勒(Cutler)天线	102
抗压锥形绝缘子	47	德国的哥利阿斯(Goliath)台	105
管形绝缘子	47	夏威夷瓦胡(Oahu)岛的海库(Haiku)台	105
串联绝缘子	49	华盛顿州奥索(Oso)的吉姆峡 (Jim Creek)台	110
2.4 接地系统	51	夏威夷瓦胡(Oahu)岛的罗罗里 (Lua lua lei)台	114
		英国的鲁比(Rugby)台	117

2.9 最佳尺寸和多单元的考虑	122	季节变化	227
第三章 传播	126	纬度变化	227
3.0 符号表	126	太阳周期变化	228
3.1 基本原理	132	平均的白天和夜间衰减率	229
3.2 地波传播	133	3.5.4 相速	232
3.2.1 表面阻抗的概念	135	实验程序	233
3.2.2 混合路径	140	混合路径的组合	236
3.3 射线理论及天波场计算	143	地磁场和方向效应	240
3.3.1 射线路径几何图	144	地球表面电导率的影响	242
3.3.2 等效天线方向性图 和射线激励因子	148	昼夜变化	242
3.3.3 电离层的反射系数	152	季节变化	245
指数的电导率剖面	153	纬度变化	246
磁场和非指数剖面的效应	155	太阳周期变化	247
实验和理论的比较	161	太阳天顶角变化	248
3.3.4 电离层会聚系数	161	平均昼夜相速	248
3.3.5 多次跳跃的研究	163	3.5.5 振幅和相位的短期变化	249
3.3.6 高度增益系数	164	太阳闪光效应	252
3.3.7 地波和天波总场强的计算	165	3.5.6 场强和相位与距离的关系	252
3.4 波导模式	169	3.5.7 群速	258
3.4.1 平面地面理论介绍	170	3.6 磁-电离模式(啸声)	261
零阶模式	170	3.7 高空核爆炸的影响	264
3.4.2 平面地面高阶模式理论	172	第四章 接收天线	267
相速	173	4.0 符号表	267
衰减率	174	4.1 基本概念	269
模式激励	176	4.2 反向激励或耦合效率	269
3.4.3 球形地面理论(J.R.Wait)	182	4.3 电场天线的特性	270
3.4.4 球形地面模式的近似法	190	4.3.1 垂直鞭状天线	270
相速近似法	195	校准	272
衰减率近似法	196	有用功率	273
地面分离模近似法	198	4.3.2 地面水平线状天线	274
模式激励近似法	200	有用功率	275
高度增益函数近似法	201	贝弗里兹天线	276
模式电场近似法	203	4.4 磁场天线的特性	278
对极场	204	4.4.1 环形天线	278
3.5 模场的计算并与观测场比较	208	场强电压关系	278
3.5.1 模场方程	209	磁芯	279
3.5.2 激励系数和高度增益	211	有效高度	280
天线前景缩短因数	218	屏蔽	280
高度增益因子	220	校准	282
3.5.3 衰减率	220	有用输出功率	283
实验程序	221	环形天线电感	284
混合路径上衰减率的综合	221	4.5 热噪声电平和等效噪声场	285
地磁场及其方向的影响	222	4.5.1 直接耦合天线	285
地表面电导率的影响	223	等效噪声场	286
昼夜变化	224	铁磁芯	287
		4.5.2 变压器耦合天线	287
		调谐电容器两端所产生的载波电压	288

调谐电容器上的载波热噪声比	288	6.2 通讯理论与调制原理	345
变压器引起的载波噪声比的降低	288	6.2.1 信息传输理论	345
4.5.3 特定接收机的有效噪声场	290	6.2.2 调制方法和理论	347
4.6 导电媒质中的环形天线	292	振幅调制	348
4.7 机上天线	293	相位调制	348
4.7.1 天线型式	293	频率调制	348
嵌入式天线	294	6.3 频谱和带宽要求	349
4.7.2 校准方法	294	6.3.1 周期函数和傅里叶级数	349
机身对天线有效高度或有效面积的影响	294	6.3.2 非周期函数和傅里叶积分	350
飞行中的校准	295	6.3.3 线性低通滤波器的脉冲和阶跃函数响应	351
4.8 飞机上的静电积累	296	6.3.4 通-断键控发射机的频谱	353
4.8.1 电荷产生的机理	296	6.3.5 移频键控发射机的频谱	354
4.8.2 电晕放电和噪声场	296	6.4 载波噪声比和误差计算	357
等效噪声场的计算	297	6.4.1 载波加之热噪声和甚低频大气噪声的统计计算	358
4.8.3 机上放电器和噪声抑制	298	瞬时幅度分布	359
第五章 大气无线电噪声场	300	热噪声的瞬时频率分布	361
5.0 符号表	300	热噪声调频噪声输出的计算	
5.1 基本概念	301	($C/N \gg 1$)	364
5.2 噪声源	302	大气噪声的瞬时频率分布	364
5.2.1 闪电特性	302	6.4.2 精确频率测量对载波噪声比的要求	368
返回击穿电流矩的特性	303	6.4.3 计算与测量误差的比较	369
雷闪放电的统计数据	305	6.5 典型的通讯系统	373
随时间变化的垂直电流所产生		6.5.1 数据率、键控率和带宽	373
的电场和磁场	306	幅度调制系统	373
单个返回击穿的频谱	308	移频键控系统	373
单个预放电的频谱	309	6.5.2 系统性能因数	374
云对云和云对地放电在频谱		理想性能和高斯噪声	375
和极性上的差别	310	甚低频大气噪声下的系统性能	378
5.2.2 雷雨区分布	310	噪声分布对性能因数的影响	378
世界范围雷雨活动性的大小	313	第七章 系统总体设计	381
5.2.3 地球以外的噪声源	314	7.0 符号表	381
5.3 中心电平	316	7.1 基本概念	383
5.3.1 电平变化与频率的关系	316	7.2 功率要求和性能	
5.3.2 噪声电平随地理位置		可靠性的计算	384
和时间的变化	317	7.2.1 特定路径上的功率要求	385
长期变化	318	7.2.2 给定功率的性能可靠性	387
平均噪声场的随机变化	332	载波中值场强的计算	390
5.4 短期统计	334	载波噪声比和通讯可靠性	392
5.4.1 幅度概率分布	334	7.2.3 可靠性预测	396
5.4.2 脉冲间隔统计	337	7.3 带宽要求的计算	397
第六章 调制、频谱和接收	343	发射天线带宽	397
系统性能	343		
6.0 符号表	343		
6.1 基本概念	345		

有限的发射机系统带宽引起的 系统性能下降	399
7.4 设计中的经济因数	399
7.4.1 发射系统的成本因数	400
发射机成本	400
调谐设备	401
辐射系统	401
地网系统	401
7.4.2 最佳效率的选择	404
电阻与效率的关系	405
投资成本与效率的关系	406
年度工作成本的确定与天线 系统效率之关系	407
整个发射系统的年度成本	407
附录	410
A. 缩写	410
B. 换算系数	412
C. 随时间变化的垂直电流 所产生的电磁场	414
D. 天线电流电压关系和接近自谐 振时的功率辐射能力	416
电压和电流分布(等阻抗)	418
电压和电流分布(变阻抗)	419
E. 电离层的电气特性	421
E.1 电离媒质的有效介电常数 (无磁场与碰撞)	421
E.2 碰撞效应(无磁场)	422
碰撞频率对能量的影响	423
E.3 磁场的影响	423
E.4 电子密度与碰撞频率	425
月球的影响	429
F. 太阳辐射和太阳黑子周期	431
太阳活动的长周期变化	432
太阳辐射的非周期和短周期变化	432
宇宙射线的强度变化	433
G. 太阳天顶角和日出日落时间	436
H. 地磁场	443
思考题答案	444

73.45
242
C.2

甚低频无线电工程

(超远程无线电通讯与导航)

[美] A.D. 沃 特

《甚低频无线电工程》翻译组 译

ZK565/15
(JS565/33)



内 容 简 介

本书是根据国际电磁波专题丛书第十四卷翻译的。它是目前有关甚低频无线电工程方面比较全面、比较详细的一本书，它是由许多科研人员在实验的基础上总结而成的。书中详细论述了有关甚低频无线电技术的各个方面，并提供了大量的数据和图表。本书共七章。第一章是基本说明；其余各章分别是：（2）发射天线；（3）传播；（4）接收天线；（5）大气无线电噪声场；（6）调制、频谱和接收系统性能；（7）系统总体设计；最后的附录部分，则着重对各章节中所涉及的有关专题，比如：电离层的电气特性、太阳辐射、太阳黑子周期等进行了阐述。

本书可供从事超远程无线电通讯与导航等方面的工人、革命干部、科学研究人员、工程技术人员和大专院校师生参考。

本书系根据1967年美国出版的《V. L. F. Radio Engineering》(ARTHUR D. WATT)一书译出。

甚 低 频 无 线 电 工 程

(超远程无线电通讯与导航)

《甚低频无线电工程》翻译组 译

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 28 649千字

1973年1月第一版 1973年1月第一次印刷

统一书号：15034·1274 定价：2.30元

译者序

无线电甚低频技术，已有十几年研究与应用的历史。随着超远程无线电通讯和导航技术的发展，对甚低频这一频段的深入研究和广泛应用，越来越引起人们的重视。

我们在毛主席无产阶级革命路线的指引下，遵照毛主席关于“洋为中用”的指示，为了配合我国广大工人、革命干部和科学技术人员，发掘和探索新的科学技术领域，特翻译此书，仅供参考。

《甚低频无线电工程》一书，是根据国际电磁波专题丛书第十四卷翻译的。该书是目前有关甚低频无线电工程方面比较全面、比较详细的一本书。它是由许多科研人员在实验的基础上总结而成的。书中详细论述了有关甚低频无线电技术的各个方面，并提供了大量的数据和图表。这对于在超远程无线电通讯和导航等方面从事甚低频无线电工程的有关人员，具有一定的实用参考价值。

对于一切外国的东西，我们应该遵照毛主席关于“排泄其糟粕，吸收其精华”的教导，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。原书是由美国资产阶级学者所著，不可避免会反映出许多资产阶级观点。尽管我们对原书作了某些必要的删节，对于个别技术上的错误做了某些改正，但是，由于我们的马列主义、毛泽东思想水平不高，外文和业务水平有限，对于原书中的资产阶级观点批判不够，译书中之缺点和错误在所难免。希望同志们以马列主义、毛泽东思想为武器，继续加以批判。对于技术上的问题，望根据实践第一的观点，在实践中不断检验、修改和发展。如发现问题，恳请及时批评指正。



目 录

第一章 引言	9	磁场损耗的电阻分量	52
1.1 基本说明	9	电场损耗的电阻分量	59
1.2 单位	9	垂直电场	61
1.3 座标系统	11	电场损耗的电阻分量和功率损耗	63
1.3.1 矢量	12	导线界面损耗	64
1.3.2 场	12	当表面阻抗为一定值或单有径向变化 时磁场地电阻分量的计算	65
1.3.3 矢量乘法	12	2.5 导体和调谐线圈特性	68
1.3.4 信息矢量	13	趋肤效应	69
第二章 发射天线	15	临近效应	71
2.0 符号表	15	螺线管线圈的损耗	72
2.1 基本概念	18	2.5.1 电感	72
辐射效率	22	单根直导线	72
天线带宽的计算	23	两根长直导线或地面反射	73
底部或馈线旁路电容的影响	24	单层圆线圈	74
功率带宽积	24	线圈的Q值与损耗	74
2.2 垂直支撑	25	2.6 电晕	75
2.2.1 风和风负载	25	电量形成与火花击穿	75
风负载	27	频率影响	79
导体的机械振动	28	几种典型几何形体的电场	79
2.2.2 塔和天线杆钢材需要量 及费用估计	29	电量起始电压和功率损耗计算	82
2.3 顶负载	32	有效电容量的变化	83
2.3.1 各种导线段的电容	34	功率损耗	83
单根水平导线	34	2.7 模的激励系数	84
同轴电缆(空气介质)	34	天线的方向性	86
单根垂直导线	35	2.8 实际的甚低频天线特性	87
平行的水平导线(平顶天线)	35	2.8.1 历史的回顾	87
单导线倒L形天线	36	(1)第一次世界大战以前	87
单导线T形天线	37	(2)第一次和第二次世界大战期间	88
垂直面上等距平行导线	37	(3)第二次世界大战以后	88
远离地面的两根平行导线之间的电容	37	2.8.2 电气参数	91
不平行导线	38	2.8.3 早期甚低频天线的简单介绍	93
加载垂直天线(伞形天线)	38	2.8.4 现有某些主要天线的特性	95
2.3.2 拉线和架空导线的物理特性	41	马里兰(Maryland)州的安 纳波利斯(Annapolis)台	95
2.3.3 电线和绞线	41	巴布(Balboa)运河区萨米特(Summit)天线	98
2.3.4 绝缘子	46	缅茵(Maine)州的卡特勒(Cutler)天线	102
抗压锥形绝缘子	47	德国的哥利阿斯(Goliath)台	105
管形绝缘子	47	夏威夷瓦胡(Oahu)岛的海崖(Haiku)台	105
串联绝缘子	49	华盛顿州奥索(Oso)的吉姆峡 (Jim Creek)台	110
2.4 接地系统	51	夏威夷瓦胡(Oahu)岛的罗罗里 (Lua lua lei)台	114
		英国的鲁比(Rugby)台	117

2.9 最佳尺寸和多单元的考虑	122	季节变化	227
第三章 传播	126	纬度变化	227
3.0 符号表	126	太阳周期变化	228
3.1 基本原理	132	平均的白天和夜间衰减率	229
3.2 地波传播	133	3.5.4 相速	232
3.2.1 表面阻抗的概念	135	实验程序	233
3.2.2 混合路径	140	混合路径的组合	236
3.3 射线理论及天波场计算	143	地磁场和方向效应	240
3.3.1 射线路径几何图	144	地球表面电导率的影响	242
3.3.2 等效天线方向性图 和射线激励因子	148	昼夜变化	242
3.3.3 电离层的反射系数	152	季节变化	245
指数的电导率剖面	153	纬度变化	246
磁场和非指数剖面的效应	155	太阳周期变化	247
实验和理论的比较	161	太阳天顶角变化	248
3.3.4 电离层会聚系数	161	平均昼夜相速	248
3.3.5 多次跳跃的研究	163	3.5.5 振幅和相位的短期变化	249
3.3.6 高度增益系数	164	太阳闪光效应	252
3.3.7 地波和天波总场强的计算	165	3.5.6 场强和相位与距离的关系	252
3.4 波导模式	169	3.5.7 群速	258
3.4.1 平面地面理论介绍	170	3.6 磁-电离模式(啸声)	261
零阶模式	170	3.7 高空核爆炸的影响	264
3.4.2 平面地面高阶模式理论	172	第四章 接收天线	267
相速	173	4.0 符号表	267
衰减率	174	4.1 基本概念	269
模式激励	176	4.2 反向激励或耦合效率	269
3.4.3 球形地面理论(J.R.Wait)	182	4.3 电场天线的特性	270
3.4.4 球形地面模式的近似法	190	4.3.1 垂直鞭状天线	270
相速近似法	195	校准	272
衰减率近似法	196	有用功率	273
地面分离模近似法	198	4.3.2 地面水平线状天线	274
模式激励近似法	200	有用功率	275
高度增益函数近似法	201	贝弗里兹天线	276
模式电场近似法	203	4.4 磁场天线的特性	278
对极场	204	4.4.1 环形天线	278
3.5 模场的计算并与观测场比较	208	场强电压关系	278
3.5.1 模场方程	209	磁芯	279
3.5.2 激励系数和高度增益	211	有效高度	280
天线前景缩短因数	218	屏蔽	280
高度增益因子	220	校准	282
3.5.3 衰减率	220	有用输出功率	283
实验程序	221	环形天线电感	284
混合路径上衰减率的综合	221	4.5 热噪声电平和等效噪声场	285
地磁场及其方向的影响	222	4.5.1 直接耦合天线	285
地表面电导率的影响	223	等效噪声场	286
昼夜变化	224	铁磁芯	287
		4.5.2 变压器耦合天线	287
		调谐电容器两端所产生的载波电压	288

调谐电容器上的载波热噪声比	288	6.2 通讯理论与调制原理	345
变压器引起的载波噪声比的降低	288	6.2.1 信息传输理论	345
4.5.3 特定接收机的有效噪声场	290	6.2.2 调制方法和理论	347
4.6 导电媒质中的环形天线	292	振幅调制	348
4.7 机上天线	293	相位调制	348
4.7.1 天线型式	293	频率调制	348
嵌入式天线	294	6.3 频谱和带宽要求	349
4.7.2 校准方法	294	6.3.1 周期函数和傅里叶级数	349
机身对天线有效高度或有效面积的影响	294	6.3.2 非周期函数和傅里叶积分	350
飞行中的校准	295	6.3.3 线性低通滤波器的脉冲和阶跃函数响应	351
4.8 飞机上的静电积累	296	6.3.4 通-断键控发射机的频谱	353
4.8.1 电荷产生的机理	296	6.3.5 移频键控发射机的频谱	354
4.8.2 电晕放电和噪声场	296	6.4 载波噪声比和误差计算	357
等效噪声场的计算	297	6.4.1 载波加之热噪声和甚低频大气噪声的统计计算	358
4.8.3 机上放电器和噪声抑制	298	瞬时幅度分布	359
第五章 大气无线电噪声场	300	热噪声的瞬时频率分布	361
5.0 符号表	300	热噪声调频噪声输出的计算	
5.1 基本概念	301	($C/N \gg 1$)	364
5.2 噪声源	302	大气噪声的瞬时频率分布	364
5.2.1 闪电特性	302	6.4.2 精确频率测量对载波噪声比的要求	368
返回击穿电流矩的特性	303	6.4.3 计算与测量误差的比较	369
雷闪电放电的统计数据	305	6.5 典型的通讯系统	373
随时间变化的垂直电流所产生		6.5.1 数据率、键控率和带宽	373
的电场和磁场	306	幅度调制系统	373
单个返回击穿的频谱	308	移频键控系统	373
单个预放电的频谱	309	6.5.2 系统性能因数	374
云对云和云对地放电在频谱		理想性能和高斯噪声	375
和极性上的差别	310	甚低频大气噪声下的系统性能	378
5.2.2 雷雨区分布	310	噪声分布对性能因数的影响	378
世界范围雷雨活动性的大小	313	第七章 系统总体设计	381
5.2.3 地球以外的噪声源	314	7.0 符号表	381
5.3 中心电平	316	7.1 基本概念	383
5.3.1 电平变化与频率的关系	316	7.2 功率要求和性能	
5.3.2 噪声电平随地理位置		可靠性的计算	384
和时间的变化	317	7.2.1 特定路径上的功率要求	385
长期变化	318	7.2.2 给定功率的性能可靠性	387
平均噪声场的随机变化	332	载波中值场强的计算	390
5.4 短期统计	334	载波噪声比和通讯可靠性	392
5.4.1 幅度概率分布	334	7.2.3 可靠性预测	396
5.4.2 脉冲间隔统计	337	7.3 带宽要求的计算	397
第六章 调制、频谱和接收	343	发射天线带宽	397
系统性能	343		
6.0 符号表	343		
6.1 基本概念	345		

有限的发射机系统带宽引起的 系统性能下降	399
7.4 设计中的经济因数	399
7.4.1 发射系统的成本因数	400
发射机成本	400
调谐设备	401
辐射系统	401
地网系统	401
7.4.2 最佳效率的选择	404
电阻与效率的关系	405
投资成本与效率的关系	406
年度工作成本的确定与天线 系统效率之关系	407
整个发射系统的年度成本	407
附录	410
A. 缩写	410
B. 换算系数	412
C. 随时间变化的垂直电流 所产生的电磁场	414
D. 天线电流电压关系和接近自谐 振时的功率辐射能力	416
电压和电流分布(等阻抗)	418
电压和电流分布(变阻抗)	419
E. 电离层的电气特性	421
E.1 电离媒质的有效介电常数 (无磁场与碰撞)	421
E.2 碰撞效应(无磁场)	422
碰撞频率对能量的影响	423
E.3 磁场的影响	423
E.4 电子密度与碰撞频率	425
月球的影响	429
F. 太阳辐射和太阳黑子周期	431
太阳活动的长周期变化	432
太阳辐射的非周期和短周期变化	432
宇宙射线的强度变化	433
G. 太阳天顶角和日出日落时间	436
H. 地磁场	443
思考题答案	444