

面向“十一五”无线电管理重点图书

WUXIANDIAN PINPU GUANLI YU JIANCE XILIE CONGSHU

无线电频谱管理与监测系列丛书

# 无线电监测与 通信侦察

朱庆厚 编著

 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

无线电频谱管理与监测系列丛书

# 无线电监测与通信侦察

朱庆厚 编著

人民邮电出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

无线电监测与通信侦察/朱庆厚编著. —北京: 人民邮电出版社, 2005. 10

(无线电频谱管理与监测系列丛书)

ISBN 7-115-13782-X

I. 无... II. 朱... III. ①无线电通信—信号—监测—教材②无线电通信侦察—教材  
IV. TN975

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 101122 号

### 内 容 提 要

本书的主要内容是无线电监测和通信侦察。共分 9 章, 第一章介绍了一些相关的基本概念和无线电通信侦察和信号监测的用途; 第二章介绍了与无线电通信侦察和信号监测直接相关的噪声, 它的产生、来源、影响、表示方法和计算; 第三章介绍了通信侦察和信号监测的对象; 第四章讨论了电磁波的传播特性和接收点的电平估测方法; 第五章介绍了现代侦察接收机的基本体制——超外差式接收机, 包括它的基本构成和主要技术指标; 第六章介绍了各种侦察和监测接收机, 以及接收机的数字化、软件化和虚拟化问题; 第七章对接收机的几个重要指标进行了深入地讨论; 第八章讨论了侦察和监测的各种功能和通常的实现方法; 第九章对侦察和监测功能中的测向和定位进行了较深入系统地讨论。

本书的主要读者对象为从事无线电通信的管理人员, 从事无线电监测、通信侦察和通信电子战的工程技术人员, 也可作为无线电通信专业及相关专业的大学本科生和研究生的教学参考书。

无线电频谱管理与监测系列丛书

### 无线电监测与通信侦察

- ◆ 编 著 朱庆厚  
责任编辑 梁 凝
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn  
网址 http://www.ptpress.com.cn  
北京密云春雷印刷厂印刷  
新华书店总店北京发行所经销
- ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 22.75  
字数: 540 千字 2005 年 10 月第 1 版  
印数: 1.5 000 册 2005 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-13782-X/TN · 2539

定价: 46.00 元

读者服务热线: (010) 67129258 印装质量热线: (010) 67129223

# 《无线电频谱管理与监测系列丛书》编委会

主任委员：奚国华

副主任委员：刘利华 张胜利 江晓海 刘 岩

编 委：（按姓氏笔画排名）

王 健 尹纪新 田效宁 朱三保 刘九一 刘丽君  
李 明 李 建 李海清 李景春 宋大勇 陈进星  
陈秋林 邵起树 周 青 周鸿顺 郑维强 侯瑞庭  
姜 华 顾小澄 黄 颖 谢飞波 谢远生 阚润田  
薛永刚 霍 刚

丛书主编：李景春 刘丽君

## 序 言

信息产业部无线电管理局、国家无线电监测中心和国家无线电频谱管理中心组织编写的《无线电频谱管理与监测系列丛书》正式出版了。这是推动无线电管理系统广大干部职工深入学习、提高技术水平和业务素质的一项基础性工作，非常及时，很有意义。

无线电技术是信息产业发展的重要先导技术和推动力量，随着当前国民经济和社会的快速发展、人民物质生活水平的不断提高，各类无线电业务已经渗透到社会经济生活的各个领域，广泛应用于通信、广播、电视、国防、交通、航空、航天等行业和部门。无线电技术的飞速发展，特别是以蜂窝数字移动通信、数字集群通信、宽带无线接入、卫星数字多媒体广播等技术为代表的新技术新业务层出不穷，极大地推动了经济社会发展，丰富了人民群众的物质文化生活。此外，在满足农村和偏远地区通信普遍服务需求，帮助边远贫困地区跨越数字鸿沟、实现公平的信息共享方面，无线电通信技术也在发挥其特殊的作用。

随着无线电技术的广泛应用和无线电业务的逐渐普及，对无线电频率资源的需求与日俱增。无线电频率和卫星轨道是人类共享的有限自然资源，它与水、土地、矿藏等资源一样，是关系国民经济和社会可持续发展的重要战略资源，具有稀缺性，归国家所有。无线电频谱管理与监测的主要任务就是合理规划和分配无线电频率和卫星轨道资源，科学管理各类无线电台站，为各类无线电业务的正常开展保驾护航。做好无线电频谱的管理工作，对于保障国家安全和人民生命财产安全，以及推动科学研究、开发和探索，促进社会与经济进步，都具有重大的意义。

为国家管好无线电频谱资源，是无线电管理工作责无旁贷的使命和职责。长期以来，各级无线电管理机构的广大干部职工认真履行职责，坚持加强管理、保护资源、保障安全健康发展的方针，科学地规划和分配无线电频率资源，合理地审批无线电台站，加强无线电频率台站管理、加大无线电监测和干扰查处力度，在维护空中电波秩序、维护国家主权和信息安全等方面作出了积极贡献，促进了无线电事业的持续协调发展。据不完全统计，截至2004年底，全国除移动电话外的各类无线电台站总数186万个（不包括军队），国内有关部门和单位设置卫星通信网络182个（双向、单向）、双向通信地球站1.1万个、在用静止卫星17颗、非静止卫星6颗、广播电台4万个，微波站4.3万个。

无线电频谱管理与监测工作是一项技术性、专业性很强的工作。无线电事业的繁荣发展，赋予了无线电频谱管理与监测工作更高的要求，在队伍建设、专业技术、管理能力等方面提出了新的挑战。加强广大干部职工的专业培训，培养高层次、实用型人才，已成为各级无线电管理机构面临的一项紧迫而重要的任务。近年来，信息产业部无线电管理局、国家无线电监测中心和国家无线电频谱管理中心投入大量人力、物力，组织了岗位练兵、业务培训等各类专项培训活动，有效提高了专业技术人员的技术水平和业务素质，对于推动无线电频谱和监测工作的开展起到了积极作用。

组织编写《无线电频谱管理与监测系列丛书》，也是他们开展专业培训的一项重要内容。

这套丛书立足于我国具体国情，定位于世界先进水平，注重技术应用，力求内容全面、结构合理、基础扎实、重点突出，努力为全面缩短我国无线电管理工作与世界领先水平的差距服务。丛书的出版填补了我国无线电频谱管理与监测方面长期没有适合中国国情培训教材的空白，将成为广大从事无线电管理工作的技术和行政人员不可或缺的学习教材和参考读物。这套丛书还适于各类无线电业务使用者、无线电设备生产、无线电测量、无线电监测与测向等专业的从业者阅读。

丛书的作用能否得到最大限度的发挥，关键在于应用。希望各级无线电管理机构适应新形势新任务的要求，组织干部职工认真学习、深入研究，把从丛书中学到的知识，运用到工作实践中，通过丛书提高大家的理论素养和业务能力，使丛书为提升无线电频谱管理和监测工作的技术水平，促进我国无线电事业的繁荣健康发展起到积极的作用。

是为序。



2005年9月19日

# 丛书前言

几千年来,从烽火报信、快马传书、驿站梨花,到发明电报、电话、互联网,人们追求时空通信自由的努力从未停止过。人们梦想有朝一日拥有在任何时间、任何地点与任何人的无束缚通信自由。要获得这种自由,利用无线电波进行通信必不可少。

随着电子技术的不断发展和进步,无线电业务的应用领域迅速扩大,各种移动通信、卫星通信、广播电视、雷达导航、遥测遥控、射电天文等应用遍及国防、公共安全、商用和工业等各个部门,其业务量在日益增大。

无线电业务的迅猛发展对无线电频谱的管理和监测提出了新的挑战,无线电频率和卫星轨位资源供需矛盾紧张和电磁环境日益复杂的矛盾日趋尖锐,这些都向无线电管理的技术手段提出了更高的要求。

全国无线电管理机构在各级政府的大力支持下,不断加强无线电管理,技术设施建设方面取得了巨大的成绩,同时也深刻认识到加强人才队伍的建设的的重要性。而对于无线电管理人才队伍的建设,各级无线电管理机构普遍反映迫切需要一套涉及各种无线电业务的基础理论与技术、覆盖应用指南和国际规则等内容上下衔接、相互协调的培训教材。但是由于无线电管理的独特性,即具有行政、法律、经济和技术等四种手段的综合性,现有理论书籍和教材都不能适合工作的需要,希望国家有关部门能够组织编写一套适用于无线电频谱管理与监测等方面的系统化丛书。

为此,信息产业部无线电管理局、国家无线电监测中心和国家无线电频谱管理中心组织国内相关领域的知名专家、学者启动了《无线电频谱管理与监测系列丛书》的编写工作。内容涉及无线电频谱管理与监测的各个方面基础理论和专业知识,主要有:电磁场基础理论、天馈线理论与应用、无线电监测与测向、无线电频谱工程和共用原理、无线电设备检测方法标准、计算机网络与技术等。

这一系列丛书不同于其他专著或一般高校教材,它不仅介绍有关物理概念和基本原理,而且更着重于引导读者把概念和原理应用于实际,且论证简明扼要,避免了繁琐的数学推导。

对于支持编辑出版《无线电频谱管理与监测系列丛书》的各级领导和专家学者,我们表示衷心感谢。同时,殷切希望广大读者和各专业领域的专家、学者对今后系列丛书的建设和编写等方面提出宝贵意见和建议,使系列丛书日臻完善。

《无线电频谱管理与监测系列丛书》

编委会

2005年8月

## 前 言

不久前，国家无线电监测中心准备编辑出版无线电管理培训方面的系列丛书，内容涉及无线电管理、电磁兼容分析、无线电监测、设备检测和计算机等多方面内容，他们邀我写一本关于无线电监测方面的书，要求和工程应用结合紧密，具有较强的实用性。出于两方面原因：一方面我一直想写点东西，谈谈自己在实际工作中的一些心得体会和观点，作为我的工作总结，同时也希望这个总结能为踏入这个领域的新人有所帮助。为此，我已着手撰写《通信侦察》一书。另一方面由于我以前所从事的主要是通信对抗侦察和干扰方面的工作，而通信侦察与无线电监测既有关联又有区别，关联程度大于区别，因为它们的技术大体上是相通的，许多设备是可以互用的。因此，我答应写这本书，为了有效的利用我在四十多年的工作中积累的知识、经验和体会，我就把这本书写成为与通信侦察和无线电监测皆相关的技术书，定名为《无线电监测与通信侦察》。并且力图把这两个技术上很相近的专业就所涉及的相关技术问题，按照我个人的理解和能力进行较全面地、系统地阐述。

本书的主要内容是通信侦察和信号监测，重点是电子战支援侦察，而非情报侦察。由于通信侦察与信号监测的共用性很大，因此，可以说在技术上没有很大区别。如果说有差别，那就是通信侦察主要是针对敌人的，具有保密性，是秘密进行的，其中电子战支援侦察又特别强调实时性。信号监测的对象是敌我双方的电磁信号，这种监测是公开的，通常实时性要求不高。总之，侦察和监测都可以用于军事目的，也可以用于民用无线电频谱管理。

本书共分9章，第一章是绪论，这部分介绍了一些相关的基本概念和无线电通信侦察和信号监测的用途；第二章介绍了与无线电通信侦察和信号监测直接相关的噪声，它的产生、来源、影响、表示方法和计算；第三章介绍了通信侦察和信号监测的对象——无线电信号的特性，以及复杂环境下多信号的分割理论与方法；第四章讨论了电磁波的传播特性和接收点的电平估测方法；第五章介绍了现代侦察接收机的基本体制——超外差式接收机，包括它的基本构成和主要技术指标；第六章介绍了各种侦察和监测接收机，以及接收机的数字化、软件化和虚拟化问题；第七章对接收机的几个重要指标进行了深入地讨论；第八章讨论了侦察和监测的各种功能和通常的实现方法；第九章对侦察和监测功能中的测向和定位进行了较深入地系统地讨论。

书中引用了一些其他作者论文中的内容和研究成果，在此对他们表示衷心感谢。

作者希望本书能对从事无线电监测、通信侦察和通信电子战的工程技术人员，特别是对那些缺少实践经验的专业的工程技术人员和科研人员有所帮助，对无线电监测、通信侦察专业、无线电通信专业及相关专业的大学本科生和研究生有所启迪。

书中的许多论述包含了个人的看法和思考。由于作者水平所限，这些论述难免有错误和失之偏颇之处，恳请各位读者批评指正。



最后，对国家无线电监测中心的各位领导和相关人员对我的信任和支持表示衷心感谢！借此机会也向电子科技集团 36 和 54 所的同事们以及我的家人赵瑞萍多年来对我工作的支持表示感谢！

朱庆厚 2005. 6

# 目 录

第一章 绪论	1
1.1 信息、消息和信号	1
1.2 通信、电信及无线电通信	3
1.3 通信系统	3
1.4 通信侦察系统与监测网	7
1.5 无线电监测和通信侦察的主要任务	12
1.5.1 对信号实施搜索截获	13
1.5.2 对信号进行测量	13
1.5.3 对信号的监听与监视	13
1.5.4 对信号的分析处理	14
1.5.5 对信号进行识别	14
1.5.6 对信号辐射源的测向定位	14
1.5.7 实时数据记录	14
1.5.8 其他功能	15
1.6 本书研究内容	15
参考文献	16
第二章 噪声	17
2.1 噪声的一般描述	17
2.2 噪声的表示方法	18
2.2.1 电阻的噪声表示	18
2.2.2 等效噪声带宽	20
2.2.3 等效噪声温度	21
2.2.4 级联网络的等效噪声温度	22
2.3 噪声系数	23
2.3.1 概念	23
2.3.2 噪声系数与噪声温度的关系	25
2.3.3 级联网络的噪声系数	25
2.3.4 特殊网络的噪声系数	26
2.4 系统的噪声温度	30

2.4.1	外部噪声源和它们的亮度温度 .....	30
2.4.2	天线噪声温度 .....	33
2.4.3	接收系统的噪声温度 .....	35
2.5	载噪比与信噪比 .....	37
2.6	噪声的一些特性 .....	38
	参考文献 .....	39
<b>第三章</b>	<b>信号 .....</b>	<b>40</b>
3.1	概述 .....	40
3.2	电信号特性 .....	41
3.2.1	电信号的时域特性 .....	42
3.2.2	电信号的频率域特性 .....	44
3.2.3	电信号的能量域特性(能量信号和功率信号) .....	48
3.2.4	电信号的信息特性 .....	49
3.2.5	电信号的特征域特性 .....	54
3.2.6	小结 .....	55
3.3	空间电磁波信号的特性 .....	56
3.3.1	电磁波的极化特性 .....	58
3.3.2	电磁波的传播特性 .....	60
3.3.3	电磁波的空间特性 .....	61
3.4	信号的周期平稳特性、运算和网络响应 .....	61
3.4.1	信号的周期平稳特性 .....	61
3.4.2	信号的运算 .....	64
3.4.3	网络的信号响应 .....	65
3.5	信号的分割与应用 .....	66
3.5.1	信号分割原理 .....	66
3.5.2	信号的分割 .....	68
	参考文献 .....	70
<b>第四章</b>	<b>信号电平预测 .....</b>	<b>71</b>
4.1	接收天线的等效电路和接收功率 .....	71
4.2	接收天线特性 .....	72
4.2.1	天线方向图 .....	72
4.2.2	接收天线的效率 .....	74
4.2.3	接收天线的方向系数 .....	74
4.2.4	接收天线增益 .....	76
4.2.5	接收天线的有效接收面积和等效长度 .....	76
4.2.6	频带宽度 .....	78
4.2.7	极化特性 .....	78

4.2.8	输入阻抗	79
4.2.9	接收天线的噪声	80
4.2.10	接收特性的 $G/T$ 值	80
4.2.11	互调问题	80
4.3	传输线与连接器	81
4.3.1	传输线	81
4.3.2	连接器	81
4.4	电平预测	82
4.4.1	电波自由空间传播	82
4.4.2	电波的地表面传播	84
4.4.3	直射波与反射波共同作用下的场强估算	86
4.4.4	用空间波传播的短波场强估算	88
4.4.5	电波的对流层散射传播的路径损耗	90
4.4.6	移动通信电波传播损耗	92
4.4.7	衰落对信号电平预测的影响	97
4.5	小结	99
	参考文献	100
<b>第五章</b>	<b>超外差接收机</b>	<b>102</b>
5.1	超外差接收机的基本构成	102
5.1.1	基本构成	102
5.1.2	零中频接收机	105
5.2	前端电路	106
5.2.1	前端电路的组成	106
5.2.2	前端电路各部件性能要求	108
5.3	超外差接收机其他部件的基本功能	112
5.3.1	混频器	112
5.3.2	本地振荡器	116
5.3.3	中频放大器与滤波器	118
5.3.4	衰减器与增益控制	120
5.3.5	终端部分	121
5.3.6	测量分析处理	122
5.3.7	控制部分	123
5.4	接收机制与电平图	123
5.4.1	接收机制的选择原则	123
5.4.2	典型接收机的电平图	125
5.5	接收机的技术指标	125
5.5.1	接收机指标的一般描述	126
5.5.2	典型接收机指标介绍	130

参考文献	136
<b>第六章 侦察与监测接收机</b>	<b>137</b>
6.1 分析接收机	138
6.1.1 通用分析接收机	138
6.1.2 频谱分析仪	139
6.2 搜索截获接收机	140
6.2.1 窄带频率扫描搜索截获接收机	140
6.2.2 压缩接收机	142
6.2.3 声光搜索截获接收机	145
6.2.4 信道化搜索截获接收机	146
6.2.5 组合式搜索截获接收机	148
6.2.6 其他无线电接收机	149
6.3 接收机的数字化	150
6.3.1 概述	150
6.3.2 直接数字化接收机	151
6.3.3 数字化零中频和准零中频接收机	152
6.3.4 窄带(单信道)中频数字化接收机	154
6.3.5 数字宽开搜索截获接收机	159
6.3.6 综合中频数字化超外差接收机	160
6.3.7 模拟和数字接收技术的比较	161
6.4 中频数字化中的几个问题	161
6.4.1 中频数字抽样	161
6.4.2 正交变换	164
6.4.3 镜像干扰与邻近干扰的抑制	168
6.4.4 通过软件来定义硬件平台的功能	169
6.4.5 短波中频接收机数字化设计中的几个问题	170
6.5 软件侦察接收机	174
6.5.1 概述	174
6.5.2 软件侦察接收机的基本构成	175
6.6 虚拟侦察接收机	177
6.6.1 概述	177
6.6.2 虚拟侦察接收机的功能与结构	178
参考文献	181
<b>第七章 接收机的几个指标讨论</b>	<b>183</b>
7.1 灵敏度	183
7.1.1 定义与表示	183
7.1.2 确定灵敏度的诸要素	184

7.1.3	接收机的降敏效应	186
7.1.4	短波频段灵敏度的确定	187
7.2	器件动态的讨论	190
7.2.1	单信号动态范围	190
7.2.2	多信号动态范围	193
7.2.3	互调抑制比和互调截点值	196
7.2.4	混频器的动态	199
7.2.5	开关的互调特性	201
7.3	级联网络截点值	201
7.3.1	基本公式	201
7.3.2	级联网络输入截点值	202
7.3.3	两级网络截点值计算与举例	203
7.4	接收机的动态范围	206
7.4.1	概念与各种动态范围	206
7.4.2	其他的动态范围	212
7.4.3	关于动态范围下限的讨论	215
7.4.4	关于动态范围上限的讨论	216
7.5	接收机对信号的响应时间	217
7.5.1	影响响应时间的诸要素	217
7.5.2	影响响应时间诸要素的讨论	218
7.6	接收机的带宽	220
7.6.1	接收机整机带宽的确定	220
7.6.2	带宽对接收机性能的影响	222
7.6.3	宽开接收机概念	224
7.7	接收机的虚假响应	224
7.7.1	概述	224
7.7.2	虚假响应产生的原因	225
7.7.3	虚假响应的克服方法	225
7.7.4	小结	227
	参考文献	227
<b>第八章</b>	<b>通信侦察与信号监测功能</b>	<b>229</b>
8.1	基本概念	229
8.1.1	搜索、检测与截获	229
8.1.2	测量与分选	230
8.1.3	信号分类与识别	231
8.2	信号的检测	231
8.3	信号的搜索截获	233
8.3.1	信号的多维搜索	233

8.3.2	频率搜索 .....	236
8.4	信号的监测与参数测量 .....	238
8.4.1	频率测量 .....	238
8.4.2	符号速率的估计 .....	241
8.4.3	信号电平的测量 .....	241
8.4.4	FSK 频移间隔的测量 .....	241
8.4.5	调幅信号调制度的测量 .....	241
8.4.6	其他参数的提取 .....	241
8.5	信号调制方式分类与个体识别 .....	241
8.5.1	模式分类法 .....	242
8.5.2	判决理论分类法 .....	243
8.5.3	信号处理与特征参数提取 .....	244
8.5.4	通信信号个体识别 .....	250
8.6	其他侦察功能 .....	251
8.6.1	信号解调 .....	251
8.6.2	信号存储 .....	253
8.6.3	信号输出与显示 .....	253
8.6.4	测向和定位 .....	253
8.6.5	信号分析和综合处理 .....	254
8.7	卫星通信信号的侦察 .....	254
8.8	扩频信号的侦察 .....	256
8.8.1	有先验知识条件下的扩频信号侦察 .....	257
8.8.2	没有先验知识的情况下扩频信号的侦察 .....	260
8.9	跳频信号的侦察 .....	265
8.9.1	跳频信号的搜索截获 .....	265
8.9.2	跳频信号分选 .....	266
8.9.3	跳频信号的同步 .....	269
8.10	通信网的识别 .....	272
8.10.1	通信网的组成与工作特点 .....	272
8.10.2	通信网络识别 .....	273
	参考文献 .....	275
<b>第九章</b>	<b>测向与定位 .....</b>	<b>277</b>
9.1	无线电测向的用途与基本概念 .....	277
9.1.1	无线电测向的用途 .....	277
9.1.2	测向机的组成 .....	279
9.1.3	测向和定位的一些基本概念 .....	279
9.1.4	电磁波的性质 .....	280
9.2	无线电测向分类 .....	282

9.2.1	一般的分类方法	282
9.2.2	按测向原理的分类	283
9.3	幅度测向法	286
9.3.1	比幅法	286
9.3.2	沃特森-瓦特(含角度计和交叉环)测向法	292
9.4	相位测向法	295
9.4.1	多普勒测向法	295
9.4.2	干涉仪测向法	298
9.4.3	相关干涉仪测向法	302
9.4.4	时差测向法	304
9.5	阵列处理与空间谱测向	306
9.5.1	概述	306
9.5.2	空间谱估计测向原理和方法	307
9.5.3	空间谱估计测向系统的一般组成	311
9.5.4	空间谱估计测向的优点	311
9.6	测向的若干问题讨论	312
9.6.1	双信道测向机采用阴极射线管显示器的抗干扰性问题	312
9.6.2	波前扭曲时宽孔径和窄孔径引起不同的测向误差	313
9.6.3	双信道接收技术	315
9.6.4	多信道一致性的影响与测向中的校准问题	315
9.6.5	提高测向精度的方法	317
9.6.6	测向机示向度的判定和输出形式	317
9.6.7	多信号同时测向	318
9.6.8	确定单向的问题	318
9.6.9	对低截获概率通信信号的测向	318
9.6.10	测向机主要技术指标	318
9.6.11	测向体制的比较	322
9.7	测向误差的产生与克服	324
9.7.1	电波传播引起的测向误差	325
9.7.2	噪声造成的测向误差	325
9.7.3	设备误差	326
9.7.4	干扰信号(包括多径信号)引起的误差	326
9.7.5	观察或处理误差	326
9.7.6	信号特性造成的误差	327
9.7.7	测向机周围的二次辐射体形成的测向误差	327
9.7.8	测向机周围地形形成的测向误差	328
9.7.9	海岸效应产生的测向误差	328
9.7.10	测向机天线系统架设引入的误差	328
9.7.11	测向机安装场地的选择	329



9.8 定位 .....	330
9.8.1 一点定位原理 .....	330
9.8.2 交叉定位原理 .....	331
9.8.3 动态定位原理 .....	336
9.8.4 时差(TDOA)无源定位技术 .....	337
9.8.5 各种无源定位方法简介 .....	342
参考文献 .....	343