

W

Wireless Instruments
Basics and Applications

Second Edition

经典畅销书

★ 修订版 ★

无线通信仪表 与测试应用

第2版

■ 张睿 周峰 郭隆庆 编著

- ▶ **实用性** 本书根据作者在测试工作中的实际经验编写，没有过多的理论推导，配合图形和操作实例来介绍仪表的使用方法和使用技巧，具有很强的实用性。
- ▶ **先进性** 本书作者多年来参与我国无线通信测试标准的研究、制定和执行，深刻把握技术前沿，本书精选了3G、LTE等方面的典型测试实例。
- ▶ **普遍适用性** 本书体系完整，内容突出目前广泛使用的仪表和广泛应用的无线通信技术，以满足大多数读者的学习需要。
- ▶ **易学易用性** 本书语言平实简明，采用模块化的编排方式，以尽量满足读者快速学习的要求。读者不必逐章阅读，可以挑选感兴趣的章节直接阅读而基本不影响理解。

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

W

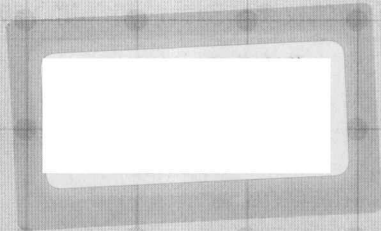
ireless Instruments
Basics and Applications

Second Edition

无线通信仪表 与测试应用

第2版

■ 张睿 周峰 郭隆庆 编著



-300/

SL

7092/107-2

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

无线通信仪表与测试应用 / 张睿, 周峰, 郭隆庆编
著. — 2版. — 北京: 人民邮电出版社, 2012.11
ISBN 978-7-115-29201-8

I. ①无… II. ①张… ②周… ③郭… III. ①无线电
通信—测试仪表 IV. ①TN92

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第185590号

内 容 提 要

仪表是无线通信工程测试的基础。本书介绍了当前无线通信测试中常用仪表(如示波器、信号发生器、频谱分析仪、网络分析仪、综合测试仪等)的基础理论和使用技巧,并结合目前主流无线通信技术标准,对这些仪表在LTE、TD-SCDMA、cdma2000、WCDMA、GSM、MIMO、蓝牙、RFID等系统中的测试应用进行了介绍。本书根据作者在测试工作中的实际经验编写,没有过多的理论推导,配合图形和操作实例来介绍仪表的使用方法和使用技巧,具有很强的实用性。

本书适合从事通信和电子工程领域工作,特别是研发、测试、测量和计量校准人员,以及大专院校无线电工程、通信工程、电子测量与仪器等专业的师生阅读参考。

无线通信仪表与测试应用 (第2版)

- ◆ 编 著 张 睿 周 峰 郭隆庆
责任编辑 刘 洋
- ◆ 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 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京隆昌伟业印刷有限公司印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 38
字数: 948 千字
印数: 4 901-7 900 册
- 2012年11月第2版
2012年11月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-29201-8

定价: 99.00 元

读者服务热线: (010)67132692 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

本书编委会（第2版）

（按姓氏笔画排序）

马志刚 王 南 王洪博 丛姗姗 兰 涛 冉志强

卢民牛 刘 畅 孙景禄 牟 丹 米洪波 张文魁

张媛媛 李 伟 李 凯 李耀华 杨毅锋 苏水金

陆冰松 陈 锋 金海良 姜 军 宫 剑 高 琛

阚先胜

本书编委会（第1版）

（按姓氏笔画排序）

王 南 王洪博 丛姗姗 兰 涛 冉志强 卢民牛
刘 畅 孙景禄 牟 丹 米洪波 许红宇 吴雪松
张文魁 张媛媛 李 伟 李 凯 李耀华 杨毅锋
苏水金 陆冰松 陈 锋 林雪聪 金海良 姜 军
宫 剑 赵晓昕 高 琛 褚文华 阚先胜

前言 (第2版)

本书为《无线通信仪表与测试应用》一书的第2版,其第1版自2010年5月出版发行后受到广大读者好评,多次重印。依据两年来读者的意见反馈和最新技术发展动态,我们对第1版图书进行了修订,使图书内容更充实、更实用。其中修订的内容包括:

(1) 在各个章节充实了无线测试实例。包括 TD-LTE、DTMB 数字地面电视、通用公共无线电接口(CPRI)、物联网、GSM/VAMOS、无线电信号监测、卫星导航信号等方面的实例。

(2) 增加了新的仪表种类和仪表型号的介绍,比如增加了无源互调测量仪表的介绍。

(3) 频谱仪、示波器、矢量网络分析仪等章节细化了测量原理的介绍,突出了新的测试方法和测试原理。

第2版修订后,全书篇幅增加了约20%,内容更加丰富全面。

在修订中,作者充分考虑了近两年读者来信和读者网络评论留言中提出的意见建议。可以说,没有热心读者的建言献策,就没有第2版的付梓印刷。为此,我们要向广大读者致以深深的感谢。让本书贴近读者需要、紧跟技术发展,是我们一直以来的愿望。第2版出版后,我们会更用心地聆听来自读者的声音。

由于作者学识有限,书中错误之处在所难免,恳请广大读者批评指正。在较大的购书网站的留言评论,我们都会注意到。此外读者可通过本书编辑的电子邮箱(liuyang@ptpress.com.cn)与我们联系。

作者
2012年9月

序 (第1版)

这是几位长期在无线通信计量测量领域工作的工程师实践经验的总结。本书包括无线参数测量的基本概念、方法和环境的建立,也包括通用测量仪表和综合测量仪表的使用方法。本书非常适合在企业和实验室工作的测试测量工程师学习,也适合从事科研开发工作的工程师参考。

本书不但有传统测量仪表使用技术,还有测量领域的一些新技术,例如虚拟仪表技术、自动化测量技术等,这些都是仪表测量技术和计算机技术的融合。它类似于软件无线电技术,尽可能多地利用软件去实现硬件的功能,使复杂的测量简单化、综合化,同时又可以实现数据处理和存储的便捷化,大大提高了测量效率。

本书还包括当前移动通信领域最新技术的测试和测量方法,如第三代移动通信(3G)和长期演进(LTE)技术。这是通信技术标准 and 测量经验相结合的结晶。



工业和信息化部电信研究院副院长 谢毅博士

2010年2月5日

前言（第1版）

近年来我国无线通信快速发展，从 2G 到 3G 蜂窝网络，再到当前 LTE 的研发稳步开展，无线通信在我国已经成为一个技术先进、产值巨大、从业人员众多的行业。

硬件测试是无线通信研发、制造和建设中全程相伴、不可或缺的组成部分。测试是验证性能、保证质量的必要条件。无线通信硬件相关的研发、制造、测试和工程建设人员，以及相关领域的学习者，都有必要掌握一些无线通信测试方面的知识技能。仪表是无线通信测试的物质基础，鉴于此，工业和信息化部通信计量中心组织编写了本书。

本书介绍了当前无线通信测试中常用仪表（如示波器、信号发生器、频谱分析仪、网络分析仪、综合测试仪等）的基础理论和使用技巧，并结合目前广泛使用的仪表和主流无线通信技术标准，对这些仪表在 LTE、TD-SCDMA、cdma2000、WCDMA、GSM、MIMO、蓝牙、RFID 等系统中的测试应用进行了介绍。本书的特点如下。

（1）实用性。本书根据作者在测试工作中的实际经验编写，没有过多的理论推导，配合图形和操作实例来介绍仪表的使用方法和使用技巧，具有很强的实用性。

（2）普遍适用性。本书体系完整，内容突出目前广泛使用的仪表和广泛应用的无线通信技术，以满足大多数读者的学习需要。

（3）先进性。本书作者多年来参与我国无线通信测试标准的研究、制定和执行，深刻把握技术前沿，本书挑选了 3G、LTE 等方面的典型测试实例。同时本书介绍了作者近年来在无线通信测试测量方面的研究成果和专利技术。

（4）易学易用性。本书语言平实简明，采用模块化的编排方式，以尽量满足读者快速学习的要求。读者不必逐章阅读，可以挑选感兴趣的章节直接阅读而基本不影响理解。

本书适合从事通信和电子工程领域工作，特别是研发、测试、测量和计量校准人员，以及大专院校电子工程、通信工程、电子测量与仪器等专业的师生阅读参考。

工程师可以从本书得到直接的测量原理、操作方法、使用技巧和搭建测试系统的成熟方案。对于电子工程、通信工程和仪器仪表领域的学习者、求职者，本书是将原理和实践有效结合的一本书，可以帮助读者快速地将理论知识转化为实际能力。

本书在写作过程中，得到了工业和信息化部电信研究院、工业和信息化部通信计量中心各级领导的关怀指导，同时还得到了安捷伦公司、罗德与施瓦茨公司、安立公司、泰克公司、星河亮点有限公司等仪表企业的帮助，在此一并致谢。

由于作者学识有限，书中错误之处在所难免，恳请广大读者批评指正。读者可通过本书编辑的电子邮箱（liuyang@ptpress.com.cn）与我们联系。

作 者

2010年2月

目 录

第 1 章 无线通信系统的测试基础··· 1

1.1 无线通信系统····· 1

1.1.1 无线通信的基本概念····· 1

1.1.2 信号与通信系统概述····· 2

1.1.3 无线通信系统组成与 电波传播····· 5

1.2 无线通信中的测量量值····· 8

1.2.1 概述····· 8

1.2.2 相关量纲单位基础····· 8

1.2.3 电压 dB 与功率 dB 的 区别····· 9

1.2.4 功率与电平····· 10

1.2.5 衰减和增益的计算····· 11

1.2.6 分贝与百分比之间的 相互转化····· 12

1.2.7 dB 值的计算方法····· 14

1.2.8 dB μ V、dB μ V_{eff}与 dBm··· 17

1.2.9 一些参考值····· 18

1.3 无线通信系统中的测量参数和 相关测试仪表····· 20

1.3.1 信噪比····· 20

1.3.2 噪声····· 21

1.3.3 噪声因子和噪声系数····· 22

1.3.4 相位噪声····· 22

1.3.5 S 参数····· 24

1.3.6 场强····· 25

1.3.7 天线增益····· 26

1.3.8 峰值因子····· 26

1.3.9 信道功率和邻道功率····· 27

1.3.10 误差矢量幅度····· 28

1.3.11 A/D 和 D/A 转换器的 动态范围····· 28

1.3.12 dB (FS)····· 29

参考文献····· 30

第 2 章 信号发生器····· 31

2.1 信号和信号发生器····· 31

2.1.1 基带信号发生器和任意波 发生器····· 31

2.1.2 模拟信号发生器和连续波 信号····· 34

2.1.3 矢量调制信号发生器····· 38

2.1.4 信号发生器使用技巧和 注意事项····· 42

2.1.5 典型信号发生器介绍····· 48

2.2 有关信号发生器的测试实例····· 51

2.2.1 产生功率精准、稳定的 连续波信号····· 51

2.2.2 UWB 信号的产生····· 53

2.2.3 生成卫星导航信号····· 57

2.2.4 建立用于一致性测试的 TD-SCDMA 信号····· 62

2.2.5 数字信号的误比特率 测量····· 70

参考文献····· 72

第3章 频谱分析仪	74
3.1 频谱分析仪原理	74
3.1.1 概述	74
3.1.2 快速傅里叶变换分析仪 (FFT 分析仪)	75
3.1.3 超外差式分析仪	76
3.1.4 实时频谱分析仪	83
3.2 频谱分析仪的典型指标	84
3.2.1 中频滤波器特性	85
3.2.2 相位噪声	85
3.2.3 频谱分析仪的固有 噪声	85
3.2.4 频谱分析仪的非线性 特性	86
3.2.5 1dB 压缩点	87
3.2.6 动态范围	87
3.2.7 频谱测量精度	87
3.2.8 电平测量精度	88
3.3 典型频谱分析仪介绍	88
3.3.1 R&S 公司频谱分析仪	88
3.3.2 安捷伦公司频谱分析仪	90
3.3.3 安立 (Anritsu) 公司频谱 分析仪	91
3.3.4 泰克 (Tektronics) 公司实 时频谱分析仪	92
3.4 频谱分析仪使用注意事项及 使用技巧	93
3.4.1 选择合适的分辨力 带宽 (RBW)	93
3.4.2 提高测量精度	94
3.4.3 优化低电平测量的 灵敏度	96
3.4.4 为失真测量优化 动态范围	98
3.4.5 识别内部失真成分	100
3.4.6 优化瞬态测量的测量 速度	101
3.4.7 选择合适的检波/显示 模式	103

3.5 使用频谱分析仪的典型 测试实例	105
3.5.1 脉冲信号的测量	105
3.5.2 WCDMA 信号的邻道 功率测量	110
3.5.3 WCDMA 基站发射机的 杂散发射 (传导) 测量	112
参考文献	122

第4章 矢量信号分析方法和 仪表	123
4.1 矢量分析方法和矢量误差	123
4.1.1 矢量信号分析的技术 背景	123
4.1.2 矢量调制误差的测量 原理	124
4.2 矢量信号分析仪及使用	127
4.2.1 矢量信号分析仪的结构和 使用	127
4.2.2 通过矢量信号分析仪 判断调制误差原因	135
4.2.3 典型矢量信号分析仪 介绍	143
4.2.4 矢量信号分析仪的 计量	145
4.3 使用矢量信号分析仪的测试 实例	146
4.3.1 GSM 调制信号测试 实例	146
4.3.2 EDGE 调制信号的测量	149
4.3.3 WCDMA 调制信号的 测量	151
4.3.4 WiMAX 调制信号的 测量	155
4.3.5 ZigBee 调制信号的 测量	158
4.3.6 使用矢量信号分析仪 测量 AM 和 PM 信号 参量	160

4.3.7	DTMB 数字地面电视 信号的解调分析	164
4.3.8	LTE 系统的数字调制 测量	167
4.3.9	使用射频矢量分析仪表 测试 GSM/VAMOS	169
	参考文献	175

第 5 章 无线通信综合测试仪 177

5.1	综合测试仪原理	177
5.1.1	引言	177
5.1.2	原理和框图	177
5.2	综合测试仪主要指标介绍	180
5.3	综合测试仪典型仪表介绍	182
5.3.1	典型仪表概述	182
5.3.2	TD-SCDMA 终端综合 测试仪	184
5.4	典型使用案例	184
5.4.1	使用 TD-SCDMA 综测 仪进行终端射频一致性 测试	184
5.4.2	WCDMA 手机测试	197
5.4.3	使用综测仪进行 TD-LTE 手机测试	201
	参考文献	214

第 6 章 功率计 215

6.1	概述	215
6.2	功率测量基本概念	215
6.2.1	微波功率的几个不同 表达式	215
6.2.2	微波功率的几个不同 定义	217
6.3	功率计的基本原理	219
6.3.1	热敏式功率计	219
6.3.2	热偶式功率计	223
6.3.3	二极管式功率计	226
6.4	微波功率计的主要技术指标	229
6.4.1	频率范围	229

6.4.2	功率测量范围	230
6.4.3	参考校准源	230
6.4.4	功率测量线性度	230
6.4.5	功率传感器的阻抗 特性	231
6.5	微波功率测量不确定度分析 模型	231
6.5.1	失配误差	231
6.5.2	功率灵敏度的 不稳定性	233
6.5.3	功率指示器的误差	233
6.6	微波功率计的选择	233
6.6.1	脉冲调制信号	234
6.6.2	AM/FM 信号	234
6.6.3	脉冲调制信号	234
6.6.4	互调测试	235
6.7	功率计典型应用	236
6.7.1	校准信号发生器输出 功率	236
6.7.2	用脉冲功率传感器和 功率计进行 WiMAX 信号测量	237
6.8	典型功率传感器介绍	239
	参考文献	243

第 7 章 示波器 244

7.1	示波器概述	244
7.1.1	示波器与信号测量	244
7.1.2	模拟示波器和数字 示波器	246
7.2	示波器的基本原理	249
7.2.1	数字示波器的采样	249
7.2.2	数字示波器的触发	251
7.2.3	示波器的抖动 测量能力	255
7.2.4	数字示波器的波形 平滑功能	258
7.2.5	数字示波器的直流 测量能力	260

7.2.6	示波器的测量速度	260
7.2.7	数字示波器的FFT和混合域分析	262
7.3	示波器的配套探头	265
7.3.1	探头和探头附件概述	265
7.3.2	探头使用的注意事项	269
7.4	示波器的指标和典型仪表	273
7.4.1	示波器的指标	273
7.4.2	示波器典型仪表介绍	279
7.5	示波器的操作和使用	280
7.5.1	示波器4个基本系统的设置	280
7.5.2	示波器的使用注意事项	285
7.6	测量实例	288
7.6.1	若干简单测量项目	288
7.6.2	高速信号互连测试系统	290
7.6.3	锁相环(PLL)的抖动测试	297
7.6.4	脉冲信号的瞬态参量测试	306
7.6.5	混合域示波器在物联网研发中的应用	309
	参考文献	314

第8章 矢量网络分析仪 315

8.1	概述	315
8.2	微波网络的散射参数	315
8.2.1	线性散射参数的概念	315
8.2.2	二端口网络的反射特性和传输特性	317
8.2.3	非线性散射参数的概念	322
8.3	网络分析仪基础	327
8.3.1	网络分析仪的基本原理	327
8.3.2	网络分析仪的基本结构	328
8.4	网络分析仪的校准技术	332
8.4.1	网络分析仪测量误差模型	332
8.4.2	网络分析仪的校准方法	336

8.5	网络分析仪典型应用	346
8.5.1	滤波器的测试	347
8.5.2	放大器的测试	348
8.5.3	混频器的测试	361
8.5.4	器件脉冲参数的测试	366
8.5.5	噪声系数的测试	370
8.6	网络分析仪使用技巧	378
8.6.1	灵活的扫描方式	378
8.6.2	灵活的测试开放接口	379
8.6.3	时域选通功能	381
8.6.4	测试点数对测试结果的影响	382
8.6.5	双源激励的新应用模式	383
8.6.6	接收机电平精度校准	386
8.7	矢量网络分析仪典型型号介绍	390
8.7.1	Agilent公司矢量网络分析仪典型型号	390
8.7.2	R&S公司矢量网络分析仪典型型号	393
8.7.3	Anritsu公司矢量网络分析仪典型型号	393
	参考文献	394

第9章 其他测量仪表介绍 396

9.1	噪声系数测量仪表	396
9.1.1	概述	396
9.1.2	噪声系数概念	396
9.1.3	噪声系数测量方法	398
9.1.4	如何提高噪声系数测量精度	401
9.1.5	噪声系数频率扩展测量	409
9.1.6	典型噪声源和噪声系数测试仪介绍	411
9.2	无线信道模拟仪表	413
9.2.1	无线信道模型概述	413
9.2.2	无线信道传播特性	414
9.2.3	无线信道模拟器的原理	417

9.2.4	典型应用	418
9.2.5	无线信道模拟器典型 仪表介绍	429
9.3	路测类仪表	434
9.3.1	路测仪的结构和功能	434
9.3.2	典型的路测仪表介绍	436
9.3.3	路测仪在 TD-SCDMA 网络优化中应用举例	440
9.4	天馈线测量仪表	441
9.4.1	典型测试实例	441
9.4.2	典型天馈线测试仪介绍	446
9.5	无源互调测量仪表	447
9.5.1	无源互调基本概念和 原理	447
9.5.2	无源互调测试系统的 基本结构	450
9.5.3	无源互调测试应用	452
9.5.4	无源互调测试仪典型 仪表介绍	455
9.6	相位噪声测量仪表	457
9.6.1	相位噪声基本概念	457
9.6.2	相位噪声测量方法	460
9.6.3	相位噪声测量典型 仪表介绍	465
	参考文献	468

第 10 章 无线通信系统测试中

仪表的典型应用

10.1	LTE 系统的测试	470
10.1.1	LTE 概述	470
10.1.2	LTE 的技术特点和 测试方案	471
10.2	单信道和多信道 TD-SCDMA 基站功率放大器测试	487
10.2.1	概述	487
10.2.2	TD-SCDMA 信号概述	488
10.2.3	测试系统	489
10.2.4	生成测试信号	490
10.2.5	测试项目、测试方法和仪表	

设置技巧	490
------	-----

10.3	使用矢量信号发生器和 频谱分析仪进行 cdma2000 基站测试	501
10.3.1	概述	501
10.3.2	测试系统使用的 仪表及其作用	502
10.3.3	测试连接和测试模式	502
10.3.4	测试方法	504
10.4	WCDMA 终端测试	522
10.4.1	WCDMA 终端 测试概述	523
10.4.2	WCDMA 终端测试 标准和测试方法	524
10.5	RFID 信号的测量	532
10.5.1	RFID 技术概述	533
10.5.2	RFID 技术原理	533
10.5.3	RFID 信号的产生与 分析	536
10.5.4	RFID 测试方案介绍	538
10.6	MIMO 信号模拟和测试系统	541
10.6.1	MIMO 技术简介	542
10.6.2	MIMO 信号模拟和 测试系统实现方案	543
10.7	CPRI 原理及测试解决方案	547
10.7.1	CPRI 测试概述	547
10.7.2	CPRI 原理	547
10.7.3	CPRI 测试解决方案	549
10.8	无线电信号监测	552
10.8.1	无线电信号监测概述	552
10.8.2	无线电信号监测技术	554
10.8.3	使用便携式频谱分析仪 进行无线电信号监测的 应用实例	557
	参考文献	561

第 11 章 测试自动化

11.1	自动测试系统的概念与组成	562
11.2	虚拟仪器	563

11.2.1	虚拟仪器的概念	563	11.4.4	LXI 总线技术	585
11.2.2	虚拟仪器的特点	564	11.5	应用及编程实例	588
11.3	自动测试系统软件开发环境	566	11.5.1	实例 1——基于模块化 仪器的 RFID 测试系统	588
11.3.1	LabView	567	11.5.2	实例 2——使用矢量 信号发生器产生 GSM 脉冲调制信号	590
11.3.2	LabWindows/CVI	570	参考文献		592
11.3.3	VEE	573	附录	安全使用仪表注意事项	594
11.4	自动测试系统总线技术	575			
11.4.1	GPIB 总线技术	576			
11.4.2	VXI 总线技术	579			
11.4.3	PXI 总线技术	582			

第 1 章

无线通信系统的测试基础

1.1 无线通信系统

1.1.1 无线通信的基本概念

1. 概述

利用电磁波的辐射和传播, 经过空间传送信息的通信方式称为无线电通信 (Radio Communication), 也称为无线通信。利用无线通信可以传送电报、电话、传真、数据、图像以及广播和电视节目等通信业务。

2. 无线通信使用的频率和波段

1895 年意大利的马克尼 (Guglielmo Marconi) 利用电火花产生的电磁波, 先后在 9m、975m 和 3 000m 的地方收到电报信号 (差不多同时, 俄国的波波夫也进行了电磁波传送电报信号的实验), 从此开辟了无线通信的先河。无线通信初创时期使用的频率较低, 频率范围较窄, 波段主要限于长波和中波。随着科学技术的不断进步, 使用的频率范围逐步扩大。目前无线通信使用的频率从超长波波段到亚毫米波波段 (包括亚毫米波以下), 以至光波。无线通信使用的电磁波的频率范围和波段见表 1-1。

表 1-1 无线通信使用的电磁波的频率范围和波段

频段名称	频率范围	波段名称	波长范围
极低频 (ELF)	3~30Hz	极长波	10~100Mm ($10^7\sim10^8\text{m}$)
超低频 (SLF)	30~300Hz	超长波	1~10Mm ($10^6\sim10^7\text{m}$)
特低频 (ULF)	300~3 000Hz	特长波	100~1 000km ($10^5\sim10^6\text{m}$)
甚低频 (VLF)	3~30kHz	甚长波	10~100km ($10^4\sim10^5\text{m}$)
低频 (LF)	30~300kHz	长波	1~10km ($10^3\sim10^4\text{m}$)
中频 (MF)	300~3 000kHz	中波	100~1 000m ($10^2\sim10^3\text{m}$)
高频 (HF)	3~30MHz	短波	10~100m ($10\sim10^2\text{m}$)
甚高频 (VHF)	30~300MHz	超短波 (米波)	1~10m
特高频 (UHF)	300~3 000MHz	微波	分米波 0.1~1m ($10^{-1}\sim1\text{m}$)
超高频 (SHF)	3~30GHz		厘米波 1~10cm ($10^{-2}\sim10^{-1}\text{m}$)

续表

频段名称	频率范围	波段名称		波长范围
极高频（EHF）	30~300GHz	微波	毫米波	1~10mm（ 10^{-3} ~ 10^{-2} m）
至高频（THF）	300~3 000GHz		亚毫米波	0.1~1mm（ 10^{-4} ~ 10^{-3} m）
		光波		3×10^{-5} ~ 3×10^{-3} mm （ 3×10^{-8} ~ 3×10^{-6} m）

微波波段分为 L、S、C、X、Ku、K、Ka 等波段（或称子波段），具体见表 1-2。

表 1-2 无线通信中所使用的部分微波波段

波段代号	频率和波长	频率范围	波长范围
L		1~2GHz	15~30cm
S		2~4GHz	7.5~15cm
C		4~8GHz	3.75~7.5cm
X		8~13GHz	2.31~3.75cm
Ku		13~18GHz	1.67~2.31cm
K		18~28GHz	1.07~1.67cm
Ka		28~40GHz	0.75~1.07cm

1.1.2 信号与通信系统概述

1. 信号

(1) 信号传递方式

通信的目的是传递信息。人类社会中需要传递的信息可以是声音、文字、符号、音乐、图像和数据等。

在现代通信技术中，主要运用的传输方式是电通信技术，即以电信号的形式来传递信息。在实际通信中，首先是在发送端采用传感器将一般的信息转换成电信号，然后再在接收端将收到的电信号还原。

(2) 信号的分类

电信号通常分为模拟信号和数字信号两大类。

① 模拟信号

模拟信号是指电信号的某一参量的取值范围是连续的，因此可有无限多个取值，如话筒产生的话音电压信号、摄像机所产生的图像电流信号等。

模拟信号通常是连续时间函数，也有离散时间函数的情况，但无论时间是否连续，其取值一定是连续的。最简单的模拟信号如图 1-1 所示，图 1-2 所示为时间离散的模拟信号。

② 数字信号

数字信号是指电信号的某一参量携带着离散信息，其取值是有限个数值，如电报信号、数据信号、遥测指令等，如图 1-3 所示。