

应用型本科 电子及通信工程专业“十三五”规划教材

移动通信信号室内 覆盖原理及工程设计

李国华 编著

- 内容新颖：新知识、新技术、新工艺
- 特色鲜明：突出“应用、实践、创新”
- 定位准确：面向工程技术型人才培养
- 质量上乘：应用型本科专家全力打造



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

应用型本科 电子及通信工程专业“十三五”规划教材

移动通信信号室内覆盖原理及 工程设计

李国华 编著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书主要阐述移动通信信号室内覆盖的原理和工程设计,内容包含无线电技术基础、移动通信网络基础、信号室内覆盖的基本原理、室内覆盖系统工程勘察与设计、多系统共存设计、MIMO技术及室内实现、中继技术、工程安装设计、典型场景的覆盖解决方案。

书中每章都配有思考题,适用性强,有助于学生巩固学习内容,提升应用能力,同时也有助于教师开展教学。本书内容贴近工程实践,内容完整全面,实用性强,有助于应用型人才的能力培养。

本书可作为应用型本科通信工程及相关专业的教材使用,也可作为从事移动通信信号室内覆盖工程建设的相关技术人员的学习培训教材或参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

移动通信信号室内覆盖原理及工程设计/李国华编著. —西安:

西安电子科技大学出版社, 2016. 8

应用型本科 电子及通信工程专业“十三五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 4104 - 1

I. ① 移… II. ① 李… III. ① 移动通信—通信网—高等学校—教材

IV. ① TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 169381 号

策 划 马乐惠

责任编辑 马乐惠 王文秀

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 13.5

字 数 313 千字

印 数 1~3000 册

定 价 28.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 4104 - 1/TN

XDUP 4396001 - 1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

西安电子科技大学出版社
应用型本科 信息工程专业“十三五”规划教材
编审专家委员名单

主 任：沈卫康（南京工程学院通信工程学院 院长/教授）

副主任：张士兵（南通大学 电子信息学院 副院长/教授）

陈 岚（上海应用技术学院 电气与电子工程学院 副院长/教授）

宋依青（常州工学院 计算机科学与工程学院 副院长/教授）

张明新（常熟理工学院计算机科学与工程学院 副院长/教授）

成 员：（按姓氏拼音排列）

鲍 蓉（徐州工程学院 信电工程学院 院长/教授）

陈美君（金陵科技学院 网络与通信工程学院 副院长/副教授）

段先华（江苏科技大学 计算机科学与工程学院 副院长/教授）

李文举（上海应用技术学院 计算机科学学院 副院长/教授）

梁 军（三江学院 电子信息工程学院 副院长/副教授）

潘启勇（常熟理工学院 物理与电子工程学院 副院长/副教授）

任建平（苏州科技学院 电子与信息工程学院 副院长/教授）

孙霓刚（常州大学 信息科学与工程学院 副院长/副教授）

谭 敏（合肥学院 电子信息与电气工程系 系主任/教授）

吴薛红（南京师范大学 电气与自动化工程学院 副院长/副教授）

王杰华（南通大学 计算机科学与技术学院 副院长/副教授）

王章权（浙江树人大学 信息科技学院 副院长/副教授）

郁汉琪（南京工程学院 创新学院 院长/教授）

严云洋（淮阴工学院 计算机工程学院 院长/教授）

杨俊杰（上海电力学院 电子与信息工程学院 副院长/教授）

杨会成（安徽工程大学 电气工程学院 副院长/教授）

于继明（金陵科技学院 智能科学与控制工程学院 副院长/副教授）

前 言

在过去的 20 多年中,中国的移动运营商建成了世界上规模最大、用户数量最多、覆盖面最广阔、技术制式最丰富的移动通信网络。随着移动互联网的快速发展,移动数据业务量飞速增长,研究与实践均表明,大量的移动数据业务在室内产生,因此移动通信网络的室内覆盖质量是移动运营商提高服务质量、改善用户体验的关键指标。同时随着我国经济社会的现代化和城镇化发展,大量的高层建筑、大型建筑、大型居民小区、大型地下空间和地铁等不断涌现,采用室外宏基站粗放型网络覆盖的建设模式已经越来越不能适应城市发展的需要,逐渐取而代之的是采用室内覆盖技术的精细化网络覆盖的建设模式。移动数据业务呈现的热点和热区现象,促使移动网络出现了高吞吐率并促进了宽带化发展,LTE 和 4G 网络的建设很好地满足了移动数据业务发展的需要。但 LTE 和 4G 网络所采用的无线新技术对室内信号覆盖提出了许多新的要求,如室内分布系统 2×2 MIMO 的实现、多运营商多技术室内信号共建的问题等,本书就是在这样的发展背景下完成的。

本书主要介绍移动通信网络信号室内覆盖实现的基本原理和系统组成、相关室内覆盖的工程设计流程方法和要点要素、室内 MIMO 实现的技术方法和多系统共存共建的方式方法及其干扰协调,并给出了多种典型场景的网络覆盖解决方案。本书侧重工程方法,内容全面而深入浅出,适合从事室内分布系统工程建设的专业技术人员和大专院校通信信息相关专业的学生阅读使用。

全书共有 9 章。第 1 章介绍移动通信室内分布系统工程建设常用的无线电技术的基本概念。第 2 章介绍当前室内分布系统建设中常见的移动通信网络技术及其基站的无线射频性能指标。第 3 章介绍信号室内覆盖的基本原理,主要包括室内分布系统的组成及其各种信号源、信号分布方式和相关功率分配等器件的特点。第 4 章全面介绍室内覆盖系统的工程设计流程方法和要点要素,主要包括工程选点、勘测、网络设计指标、系统设计及其容量预测、切换设计、天线布放、功率分配等相关问题,以及系统原理图及其标识方法。第 5 章介绍多系统共存设计,主要包括多系统共分布系统的建设方式、干扰分析和隔离措施。第 6 章介绍 MIMO 技术及其室内实现。第 7 章介绍了中继技术,主要分析了 2G/3G 网络使用的各种直放站技术及其引起的干扰问题;同时重点介绍了已成为 4G 网络关键技术之一的中继技术,讨论了它的应用模式以及由此引起的干扰和资源复用问题。第 8 章介绍了工程安装设计,包含主机、天线、器件、各种线缆等布放的技术要求和注意事项,以及密封和标识的技术要求。第 9 章介绍典型场景室内覆盖解决方案。

本书的撰写得到了金陵科技学院的经费支持和相关领导、同事的热情帮助，在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限，加之技术发展日新月异，书中或有不足之处，敬请广大读者指正。

编著者

2016年7月

目 录

第 1 章 无线电技术基础	1
1.1 电磁波基础	1
1.1.1 无线电波的基本概念	1
1.1.2 移动通信电磁波的工作频段	1
1.1.3 室内电磁波传播模型	3
1.2 天线技术基础	5
1.2.1 天线的作用	5
1.2.2 半波振子天线	5
1.2.3 天线方向图	6
1.2.4 天线增益	8
1.2.5 天线阻抗匹配	9
1.2.6 极化方式	9
1.2.7 工作频带和功率容限	10
1.3 传输线基础	11
1.3.1 传输线的特性	11
1.3.2 传输线阻抗匹配	12
1.3.3 射频同轴电缆	12
1.3.4 泄漏同轴电缆	13
1.4 射频常用术语	14
1.5 接收机射频指标	18
1.6 发射机射频指标	20
1.7 电磁安全	23
1.7.1 电磁安全防护国家标准	23
1.7.2 电磁辐射的计算方法	25
思考题	26
第 2 章 移动通信网络基础	27
2.1 GSM 网络的基本原理	27
2.1.1 GSM 网络概述	27
2.1.2 DCS1800 技术	29
2.1.3 GSM 基站的关键射频性能指标	29
2.1.4 GPRS 技术	33
2.1.5 EDGE 技术	34

2.2	CDMA 网络的基本原理	35
2.2.1	CDMA 网络概述	35
2.2.2	CDMA 基站关键射频性能指标	37
2.2.3	EV-DO 技术	40
2.3	WCDMA 网络的基本原理	42
2.3.1	WCDMA 网络概述	42
2.3.2	WCDMA 基站的关键射频性能指标	43
2.3.3	HSPA 技术	48
2.3.4	HSPA+ 技术	48
2.4	TD-SCDMA 网络的基本原理	50
2.4.1	TD-SCDMA 网络概述	50
2.4.2	TD 基站关键射频性能指标	52
2.4.3	TD-HSPA 技术	55
2.5	LTE 网络的基本原理	56
2.5.1	LTE 的性能目标与网络架构	56
2.5.2	LTE 物理层技术与空中接口	58
2.5.3	TD-LTE 基站关键射频性能指标	60
2.6	WLAN 网络的基本原理	64
2.6.1	802.11 协议簇	64
2.6.2	WLAN 网络架构	66
2.6.3	WLAN 的频率划分	67
2.6.4	AP 关键射频性能指标	69
2.7	LTE-A 网络的基本原理	74
	思考题	75
第 3 章	信号室内覆盖的基本原理	76
3.1	信号室内覆盖技术简介	76
3.2	室内信号分布系统的组成	77
3.3	信号源	77
3.4	信号分布方式	80
3.5	室内信号覆盖常用器件	82
3.5.1	功分器	82
3.5.2	耦合器	84
3.5.3	天线	85
3.5.4	馈线及接头	89
3.5.5	干线放大器	95
3.5.6	其他器件	95
	思考题	97
第 4 章	室内覆盖系统工程勘察与设计	98
4.1	工程选点	98

4.2 现场勘测	98
4.2.1 勘测前准备	98
4.2.2 勘测内容	99
4.2.3 模拟测试	100
4.3 网络设计指标	103
4.4 室内覆盖系统设计	107
4.4.1 容量预测	107
4.4.2 覆盖设计	110
4.4.3 信号源和分布系统的选取	112
4.4.4 切换设计和信号外泄控制	112
4.4.5 关键设备安装位置的确定	115
4.4.6 电梯覆盖方案的确定	115
4.4.7 天线布放和走线	116
4.4.8 功率分配设计	119
4.4.9 功率分配设计举例	121
4.4.10 优化修正	130
4.5 系统原理图及其标识	130
4.6 影响室内覆盖效果的因素	132
4.7 设计输出文件	134
思考题	134
第5章 多系统共存设计	135
5.1 多系统共站独立分布系统	135
5.2 多系统共分布系统	135
5.2.1 合路器方式	136
5.2.2 POI 方式	137
5.2.3 混合方式	138
5.3 多系统共存干扰隔离要求	140
5.3.1 杂散干扰隔离度	141
5.3.2 互调干扰隔离度	142
5.3.3 阻塞干扰隔离度	143
5.4 系统间隔离措施	145
5.4.1 空间隔离度的计算	145
5.4.2 室内分布系统间隔离度的计算	146
思考题	147
第6章 MIMO 技术及室内实现	148
6.1 MIMO 技术概述	148
6.2 MIMO 技术原理	148
6.3 MIMO 信道容量	150

6.3.1 信道相关性	150
6.3.2 信道容量比较	150
6.3.3 MIMO 的应用模式	152
6.4 多天线技术	154
6.4.1 多天线特性对 MIMO 性能的影响	154
6.4.2 MIMO 多天线与传统天线的比较	155
6.4.3 基站 MIMO 多天线设置的基本方法	155
6.4.4 室内 2×2 MIMO 技术的实现	156
思考题	157
第 7 章 中继技术	158
7.1 2G 引入中继技术	158
7.2 2G 直放站的种类	158
7.3 直放站噪声引入分析	160
7.4 3G 系统的中断技术	163
7.5 LTE-A 的中继技术	163
思考题	171
第 8 章 工程安装设计	172
8.1 主机的安装要求	172
8.2 天线的安装要求	174
8.3 器件的安装要求	175
8.4 馈线布放的要求	175
8.5 GPS 天线的安装要求	177
8.6 电源与接地	178
8.7 五类线的安装要求	179
8.8 密封	180
8.9 标识	181
思考题	182
第 9 章 典型场景的覆盖解决方案	183
9.1 居民小区场景	183
9.2 商业办公场景	184
9.3 校园场景	188
9.3.1 校园用户及业务特点	188
9.3.2 校园建设方案	190
9.4 封闭道路场景	191
9.5 巨型场馆	197
思考题	201
附录 缩略语	202
参考文献	205

第1章 无线电技术基础

1.1 电磁波基础

1.1.1 无线电波的基本概念

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(wireless communication)。

无线电波是一种能量传输形式,在传播过程中,电场和磁场在空间中是相互垂直的,同时也都垂直于传播方向。无线电波和光波一样,它的传播速度与传播媒质有关。无线电波在真空中的传播速度等于光速($c=3\times 10^8$ m/s),在媒质中的传播速度为

$$v=\frac{c}{\sqrt{\epsilon}} \quad (1.1)$$

其中, ϵ 为传播媒质的相对介电常数。

无线电波的波长、频率和传播速度的关系为

$$\lambda=\frac{v}{f} \quad (1.2)$$

其中, v 为速度,单位为 m/s(米/秒); f 为频率,单位为 Hz(赫兹); λ 为波长,单位为 m(米)。

由上述关系式不难看出,同一频率的无线电波在不同的媒质中传播时速度是不同的,因此波长也不一样。

1.1.2 移动通信电磁波的工作频段

无线电频谱可分为14个频带(见表1.1),无线电频率以Hz(赫兹)为单位,其表达方式:3000 kHz以下(包括3000 kHz),以kHz表示;3 MHz以上至3000 MHz(包括3000 MHz),以MHz(兆赫兹)表示;3 GHz以上至3000 GHz(包括3000 GHz),以GHz(吉赫兹)表示。

欧美各国、日本等一些西方国家常常把部分微波波段分为L、S、C、X、Ku、K、Ka等波段(或称子波段),具体如表1.2所示。

国际电信联盟(ITU)以及各国无线电主管部门为移动业务划分和分配了多个频段,考虑到无线电波传播的特点,移动业务使用的频段主要在3 GHz以下。确定移动通信工作频段可从以下几方面来考虑:①电磁波的传播特性;②环境噪声及干扰的影响;③服务区范围、地形和障碍物的影响以及建筑物的穿透性能;④设备小型化;⑤与已经开发的频段的干扰、协调和兼容性。

表 1.1 无线电频带和波段命名

带号	频带名称	频率范围	波段名称	波长范围
—1	至低频(TLF)	0.03~0.3 Hz	至长波或千兆米波	10 000~1000 Mm
0	至低频(TLF)	0.3~3 Hz	至长波或百兆米波	1000~100 Mm
1	极低频(ELF)	3~30 Hz	极长波	100~10 Mm
2	超低频(SLF)	30~300 Hz	超长波	10~1 Mm
3	特低频(ULF)	300~3000 Hz	特长波	1000~100 km
4	甚低频(VLF)	3~30 kHz	甚长波	100~10 km
5	低频(LF)	30~300 kHz	长波	10~1 km
6	中频(MF)	300~3000 kHz	中波	1000~100 m
7	高频(HF)	3~30 MHz	短波	100~10 m
8	甚高频(VHF)	30~300 MHz	米波	10~1 m
9	特高频(UHF)	300~3000 MHz	分米波	10~1 dm
10	超高频(SHF)	3~30 GHz	厘米波	10~1 cm
11	极高频(EHF)	30~300 GHz	毫米波	10~1 mm
12	至高频(THF)	300~3000 GHz	丝米波或亚毫米波	10~1 dmm

注：频率范围均含上限，不含下限；相应名词不是正式标准名称，仅作简化称呼参考之用(波长范围亦类似)。

表 1.2 无线通信中部分微波波段的名称

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

我国移动通信的使用频段原则上参照国际的划分来规划，同时兼顾我国无线电电磁波的使用现状。我国蜂窝移动通信使用的频段具体安排如表 1.3 所示。

表 1.3 我国移动通信系统使用的无线电频段

类型	网络	上行频段	下行频段
2G	移动 GSM	890~909 MHz、1710~1725 MHz	935~954 MHz、1805~1820 MHz
	联通 GSM	909~915 MHz、1745~1755 MHz	954~960 MHz、1840~1850 MHz
	电信 CDMA	825~835 MHz	870~880 MHz
3G	移动 TD-SCDMA	F: 1880~1900 MHz, A: 2010~2025 MHz, E: 2320~2370 MHz	
	联通 WCDMA	1940~1955 MHz	2130~2145 MHz
	电信 EV-DO	825~835 MHz、1920~1935 MHz	870~880 MHz、2110~2125 MHz
LTE	移动 TD-LTE	1880~1900 MHz、2320~2370 MHz、2575~2635 MHz	
	联通 TD-LTE	2300~2320 MHz、2555~2575 MHz	
	电信 TD-LTE	2370~2390 MHz、2635~2655 MHz	
WLAN	共用	2.4~2.4853 GHz、5.725~5.850 GHz	

1.1.3 室内电磁波传播模型

无线电磁波的基本传播方式有三种：直射、反射和绕射，如图 1.1 所示。无线电波在室内传播时受到的影响因素很多，如墙体、天花板、地面、人和室内物体等都会引起电磁波的直射、反射、绕射及它们的组合，电磁场分布十分复杂。

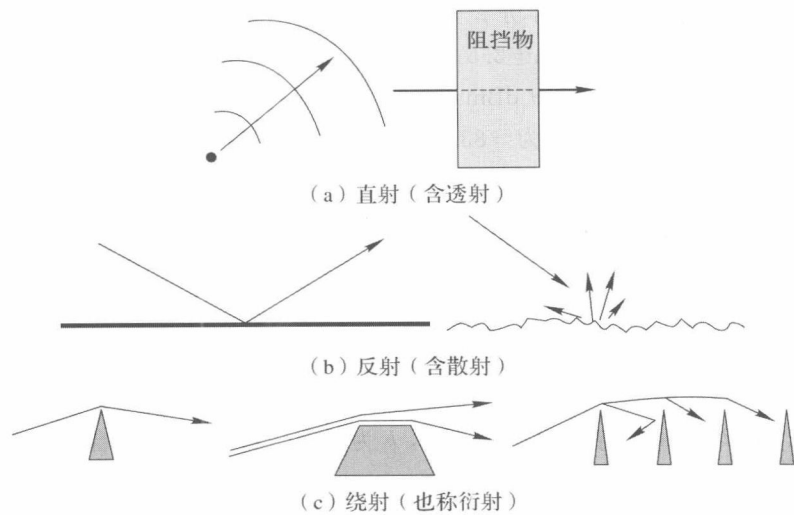


图 1.1 电磁波的三种基本传播方式

描述电磁波室内传播的模型有许多种，但都大同小异，下面着重介绍三种室内传播模型，供移动通信室内覆盖预测参考使用。

1. ITU - R P.1238 室内传播模型

该模型把室内传播场景分为无线信号的非视线传输(NLOS)和视线传输(LOS)。对于 NLOS，模型所用的公式为

$$PL(d)=20\lg f+n\lg d+L_F-28\text{ dB}+X_0 \tag{1.3}$$

其中， $PL(d)$ 为路径损耗，单位为 dB； n 为距离损耗系数，一般住宅取 28，办公室取 30，商场取 22； f 为频率，单位为 MHz； d 为移动台与发射机天线之间的距离，单位为 m； L_F 为楼层穿透损耗(由于室内覆盖通常为平层覆盖，很少穿透楼层覆盖，因此，该值被修正为墙壁穿透损耗)，单位为 dB； X_0 为阴影衰落余量，单位为 dB，取值与覆盖概率要求和室内阴影衰落标准差有关。

不同材质的墙体，其墙体穿透损耗差别很大。表 1.4 所示为几种常见材质墙体的穿透损耗参考值。

表 1.4 常见墙体的穿透损耗值

墙体的类型	混凝土墙体	砖墙	玻璃	钢筋混凝土	混凝土地板
穿透损耗/dB	13~20	8~15	6~12	20~40	8~12

对于 LOS，模型所用的公式为

$$PL(d)=20\lg f+20\lg d-28\text{ dB}+X_0 \tag{1.4}$$

例 1.1 对某一建筑物做信号室内覆盖,电磁波频率为 2100 MHz,穿一面砖墙(穿透损耗取 10 dB),天线口信号功率为 0 dBm(天线增益为 2.5 dB),距离损耗系数取 30,阴影衰落余量取 8 dB,分析距离天线 10 m 处的边缘场强。

解 代入式(1.3),得

$$PL(10\text{ m}) = 20 \times \lg 2100 + 30 \times \lg 10 + 10 - 28 + 8 = 86.4\text{ dB}$$

$$\text{边缘场强} = \text{天线口功率} + \text{天线增益} - PL(10\text{ m})$$

$$= 0\text{ dBm} + 2.5\text{ dB} - 86.4\text{ dB}$$

$$= -83.9\text{ dBm}$$

距离天线 10 米处的边缘场强为 -83.9 dBm 。

2. Keenan - Motley 室内传播模型

Keenan - Motley 室内传播模型的公式为

$$PL(d) = PL(d_0) + 10n_{\text{SF}} \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + kF(k) + qW(q) \quad (1.5)$$

其中, $PL(d_0)$ 为参考距离为 d_0 的自由空间的路径损耗,通常参考距离取 1 m; n_{SF} 为室内路径损耗衰减因子,取值在 2~5 之间,室内覆盖一般取 3 左右; d 为移动台离发射天线的距离,单位为 m; $F(k)$ 为楼层穿透损耗参考值, k 为楼层数目; $W(q)$ 为墙壁穿透损耗参考值, q 为墙壁数目。

所谓自由空间,是指相对介电常数和相对磁导率均恒为 1 的均匀介质所存在的空间,电磁波自由空间传播只有扩散损耗的直线传播,而没有反射、折射、绕射、色散等现象,其传播速度等于光速。自由空间的路径损耗公式为

$$PL(d) = 32.45 + 20 \lg d + 20 \lg f \quad (1.6)$$

其中, d 为收发天线间的距离,单位为 km; f 为工作频率,单位为 MHz。

需要注意的是,Keenan - Motley 室内传播模型中没有包含衰落余量,在进行链路预算时,需另行增加。

例 1.2 假设某工程为一宾馆的室内分布系统工程,天线输入功率 $P_t = 5\text{ dBm}$,吸顶天线增益为 $G = 2.1\text{ dBi}$, n_{SF} 为 2.8,工作频段为 $f = 900\text{ MHz}$,试预测同层视距可见距离 $d = 15\text{ m}$ 处的信号强度。

解 将已知条件代入式(1.6)得

$$PL(1\text{ m}) = 32.45 + 20 \lg 900 + 20 \lg 0.001 = 31.5\text{ dB}$$

因为没有穿墙损耗和穿楼层损耗,所以由式(1.5)可得

$$PL(15\text{ m}) = PL(1\text{ m}) + 10 \times 2.8 \lg\left(\frac{15}{1}\right) = 31.5 + 32.9 = 64.4\text{ dB}$$

预测出距离信号源 15 米处的场强(设衰减余量 R 为 10 dB)为

$$\begin{aligned} P_r &= P_t + G - PL(15\text{ m}) - R \\ &= 5\text{ dBm} + 2.1\text{ dB} - 64.4\text{ dB} - 10\text{ dB} \\ &= -67.3\text{ dBm} \end{aligned}$$

3. 自由空间附加衰减损耗模型

自由空间附加衰减损耗模型公式为

$$PL(d) = PL(d_0) + 20 \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + \beta d + CL \quad (1.7)$$

其中, $PL(d_0)$ 是指参考距离为 d_0 的自由空间的路径损耗, 通常参考距离取 1 m; β 为距离损耗因子, 由多种因素组成, 一般取值范围为 $0 \sim 2$ dB/m; d 为移动台与发射机天线之间的距离, 单位为 m; CL 为穿墙穿透损耗, 单位为 dB。

同样地, 自由空间附加衰减损耗模型中没有包含衰落余量, 在进行链路预算时, 需另行增加。

由于室内传播非常复杂, 预测出的场强和实际测量值存在一定偏差, 因此工程设计时需用实测值对传播模型进行修正。

1.2 天线技术基础

1.2.1 天线的作用

在无线电通信系统中, 有效地辐射和接收无线电波的装置称为天线。导线上有交变电流流动时, 可发生电磁波的辐射, 辐射的能力与导线的长度和形状有关。若导线间距离很近, 电场被束缚在两导线之间, 则辐射很微弱; 将两导线张开, 电场即散播在周围空间, 则辐射增强, 见图 1.2。

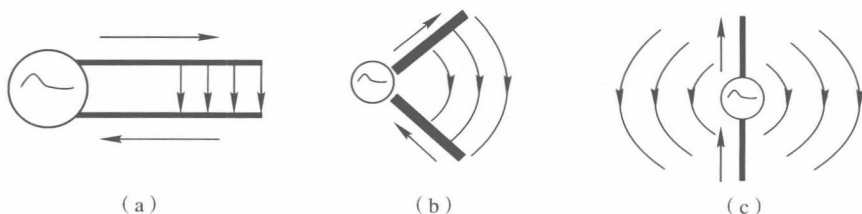


图 1.2 天线的电磁能量辐射

无线电发射机输出的射频信号功率, 通过馈线(电缆)输送到天线, 由天线以电磁波的形式辐射出去。电磁波到达接收地点后, 由天线接收, 并通过馈线送到无线电接收机。

发射天线是一种将高频已调电流的能量变换为电磁波的能量, 并将电磁波辐射到预定方向的装置。接收天线将无线电磁波的能量变换为高频电流能量, 输入到接收机。接收天线和发射天线的作用是可逆的。

1.2.2 半波振子天线

在移动通信频段, 天线的形式主要是线状天线。所谓线状天线, 就是天线的辐射体的长度远大于其直径。线状天线的基础单元是对称振子, 对称振子就是在中点断开并馈以高频电流的导线, 馈电点两边的导线长度相等。对称振子可以作为独立的天线或成为复杂天线的组成单元。每臂长度为四分之一波长的对称振子称为半波对称振子, 如图 1.3 所示。

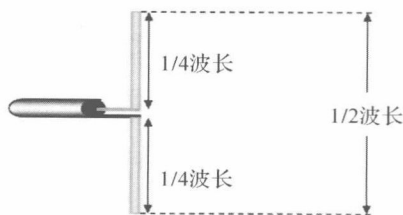


图 1.3 半波对称阵子

通常，天线在空间各个方向的辐射并不是均匀的，也就是说天线具有方向性。图 1.4 分别为一个半波振子天线和多个半波振子叠加组成天线的辐射方向示意图。

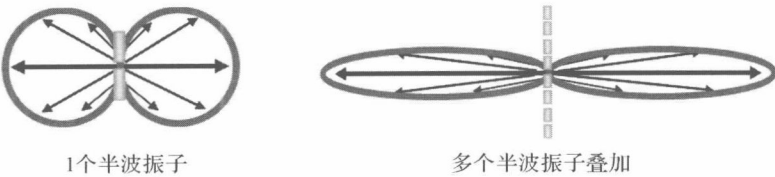


图 1.4 一个半波振子及多个半波阵子叠加后的辐射方向图

1.2.3 天线方向图

发射天线的基本功能之一是把从馈线取得的大部分能量向所需的方向辐射出去，天线的这种方向特性可以用天线方向图来描述。

天线的方向图是表征天线辐射特性(功率和场强)与空间角度关系的图形。完整的方向图是一个三维的空间图形，它是以天线相位中心为球心(坐标原点)，在远场半径 r 足够大的球面上，逐点测定其辐射特性绘制而成的。三维空间方向图的测绘十分麻烦，实际工作中，一般只需测得水平面和垂直面(即 XY 平面和 XZ 平面)的方向图。

常见的天线方向图为归一化方向图，采用无量纲的相对值或分贝表示。

天线方向图是衡量天线性能的重要图形，可以从天线方向图中观察到天线的各项参数，主要包括主瓣宽度、旁瓣电平和前后比等。

(1) 主瓣宽度。主瓣宽度是衡量天线的最大辐射区域的尖锐程度的物理量(见图 1.5)。方向图中辐射强度最大的瓣称为主瓣，其余的瓣称为副瓣或旁瓣。在主瓣最大辐射方向的两侧，把辐射强度降低 3 dB(功率密度降低一半)的两点间的夹角定义为主瓣宽度(又称波束宽度、波瓣宽度或半功率角)。主瓣宽度越窄，方向性越好，作用距离越远，抗干扰能力越强。

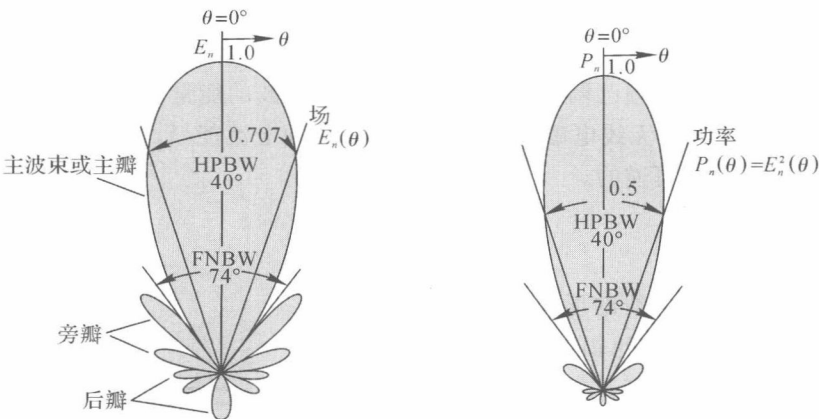


图 1.5 主瓣宽度

(2) 旁瓣电平。旁瓣电平通常是指离主瓣最近且电平最高的第一旁瓣的电平，一般以分贝表示。

(3) 前后比。前后比是指最大辐射方向(前向)电平与其相反方向(后向)功率之比,记为 F/B (见图 1.6),通常以分贝为单位。 F/B 的计算方法如下:

$$F/B=10\lg\frac{P_F}{P_B}\tag{1.8}$$

其中, P_F 为前向功率密度, P_B 为后向功率密度。

前后比越大,天线的后向辐射越小。

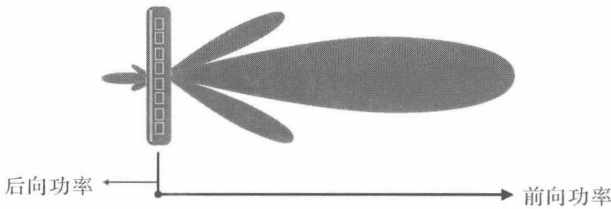


图 1.6 天线的辐射前后比

在移动通信中常用两类天线:全向天线和定向天线。全向天线在同一水平面内各方向的辐射强度是相等的(或基本相等的),适用于全向小区的覆盖,如图 1.7 所示;定向天线在同一水平面的辐射具有方向性,能量辐射比较集中,适用于扇形小区的覆盖,如图 1.8 所示。

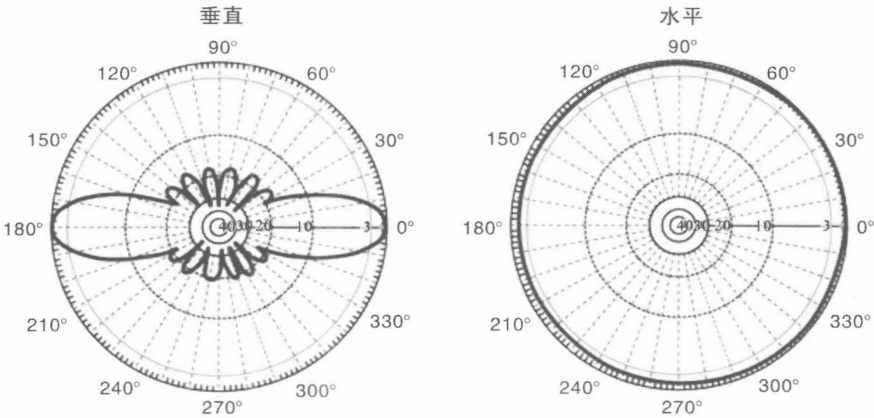


图 1.7 全向天线方向图

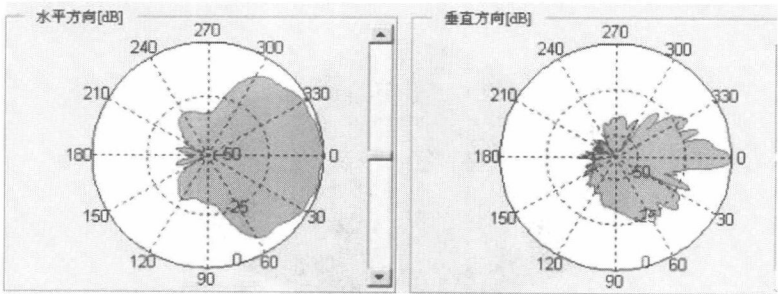


图 1.8 定向天线方向图