

TD-SCDMA技术丛书

■ 中兴通讯股份有限公司 主编

■ 段玉宏 夏国忠 胡剑 黄萍 等 编著

TD-SCDMA

无线网络设计与规划

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

533

TD-SCDMA 技术丛书

TD-SCDMA 无线网络设计与规划

中兴通讯股份有限公司 主编

段玉宏 夏国忠 胡 剑 黄 萍 等 编著

人 民 邮 电 出 版 社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

TD-SCDMA 无线网络设计与规划 / 中兴通讯股份有限公司主编; 段玉宏等编著.

—北京: 人民邮电出版社, 2007.7

(TD-SCDMA 技术丛书)

ISBN 978-7-115-16003-4

I. T... II. ①中...②段... III. 码分多址—移动通信—通信网 IV. TN929.533

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 040771 号

内 容 提 要

第三代移动通信网已经逐步迈入了商用状态, 第三代移动通信网络主要有 3 大主流技术标准: TD-SCDMA、WCDMA、cdma2000。其中 TD-SCDMA 通信标准是我国具有自主知识产权的第三代移动通信系统技术。

本书从移动通信的基本知识入手, 在介绍 TD-SCDMA 系统的关键技术和网络特性基础上, 重点阐述了如何对 TD-SCDMA 系统进行无线网络规划。本书详细介绍了 TD-SCDMA 无线网络的规划流程和步骤, 对目前所关心的无线参数规划、频点规划、扰码规划的思路和方法, 以及室内覆盖规划和异系统之间的互干扰等问题均有针对性论述, 对 TD-SCDMA 无线网络设计和规划人员极具实际参考价值。

本书主要面向无线网络运营商技术人员、网络设计单位工程技术人员和对无线网络规划感兴趣的其他专业人士。本书可供从事 TD-SCDMA 无线网络规划研究与设计工作的工程技术人员和科研人员阅读, 同时也可供高等院校通信类专业的高年级本科生和研究生参考学习。

TD-SCDMA 技术丛书

TD-SCDMA 无线网络设计与规划

-
- ◆ 主 编 中兴通讯股份有限公司
编 著 段玉宏 夏国忠 胡 剑 黄 萍 等
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 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
人民邮电出版社河北印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 17
字数: 402 千字
印数: 1—4 300 册
 - 2007 年 7 月第 1 版
2007 年 7 月河北第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-16003-4/TN

定价: 46.00 元

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

本书编写组

主 编：段玉宏

编 委（按姓氏拼音排列）

陈林江 种卫东 顾巨峰

胡 剑 黄 萍 马矿生

马志锋 夏国忠 张明镜

张银林

前 言

TD-SCDMA 是我国提出的一个具有自主知识产权的第三代移动通信标准。在第一代模拟和第二代数字通信系统中,由于我国起步晚,没有完整的产业链,在技术上受限、在经济上受损,未能获得应有的发展。随着我国移动用户逐步增长,尤其是国有通信企业的飞速发展和进步,在 2000 年,中国企业把握住了机会,提出了自己的通信标准 TD-SCDMA,并推动其成为世界 3G 三大标准之一。

随着 TD-SCDMA 网络技术的日益成熟,终端和芯片性能的改善,测试工具和主设备能力的稳步提高,实验室测试和试验局的验证完成并取得良好效果,TD-SCDMA 网络建设形势变得更加明朗。怎样规划一个高质量的 TD-SCDMA 网络,做到既能满足未来移动通信对于数据和话音业务的需求又能节约成本,是后期所有从事和关心 TD-SCDMA 网络规划和网络维护人员所关注的课题。

本书对 TD-SCDMA 无线网络规划进行了全面详细的描述。在考虑了 TD-SCDMA 特有的智能天线、上行同步、联合检测、接力切换等关键技术在无线网络规划中的特殊性,给出了规划实现方法。同时,根据其固有的上、下行不对称数据传送特点,给出了 TD-SCDMA 在不同话务场景下的应用示例。

本书共分为 18 章,各章内容如下:第 1 章,介绍了与无线网络规划相关的移动通信传播特性的知识,主要包括了无线信道特征和无线传播模型理论;第 2 章,详细介绍了 TD-SCDMA 的主要技术特点和关键技术,作为全书的理论铺垫;第 3 章,给出了与 TD-SCDMA 无线网络规划相关的网络特性,并介绍了 TD-SCDMA 无线网络规划的整体思路和流程;第 4~14 章,根据 TD-SCDMA 无线网络规划的步骤,详细介绍了 TD-SCDMA 无线网络规划的技术理论和实践应用。其中第 4 章指导读者如何做好规划前的网络建设需求分析;第 5 章介绍了用于 3G 的话务模型和预测分析方法;第 6 章对无线环境分析给出了详细的讨论,特别给出了无线传播模型的测试与校正中的注意事项;第 7 章针对 TD-SCDMA 使用的智能天线这一关键技术,阐述了如何在无线网络规划中进行天线选型;第 8 章详细分析了做无线网络规划的核心问题——规模估算,结合示例给出了具体的链路预算和容量估算的方法;第 9 章介绍了如何进行网络拓扑结构设计,包括基站布点和预规划仿真,重点介绍了预规划仿真中如何进行参数的调整;第 10 章结合 TD-SCDMA 的特殊性,介绍了无线网络勘察过程中要注意的事项;第 11 章详细介绍了和 TD-SCDMA 系统设备相关的无线参数知识,对网络规划甚至网络优化阶段都有很强的指导意义;第 12 章讨论了 TD-SCDMA 频率资源规划的内容;第 13 章讨论了 TD-SCDMA 码资源规划的内容;第 14 章介绍了如何进行 TD-SCDMA 无线网络的小区规划,包括电子地图的相关知识,以及网络仿真的分析方法。至此,本书对 TD-SCDMA 室外宏蜂窝的无线网络规划各个环节都做了详细介绍;第 15 章,给出了无线网络规划的案例分析,是对前面章节理论的实例应用;第 16 章,介绍了 TD-SCDMA 无线解决方案——BBU+RRU 方式;第 17 章,对 TD-SCDMA 无线网络规划中不可忽视的室内覆盖问题进行了探讨,并给出了各种场景的室内解决方案;第 18 章,从干扰抑制和干扰预防的角度,分析了

TD-SCDMA 和其他异系统之间的干扰共存问题，为工程设计提供理论指导。

本书可作为 TD-SCDMA 无线网络规划的初、中级教材，适合于有一定基础的无线网络运营商技术人员、网络和终端设备制造商技术人员、院校学生、网规网优工程师以及其他对 TD-SCDMA 技术感兴趣的相关人员。

本书的创作完成是集体智慧的结晶，全书内容经编写组人员反复讨论确定后，分头执笔完成。全书成稿后，编写组人员又进行了反复的讨论和修改。

由于作者水平有限，加之时间仓促，且 TD-SCDMA 技术本身处于高速发展阶段，书中内容有不足和缺陷之处，敬请各位读者多提宝贵意见和建议。本书责任编辑邮箱：liuyang@ptpress.com.cn。

作 者

2007 年 2 月

目 录

第 1 章 移动通信的传播特性	1
1.1 无线通信中的信道特性	1
1.1.1 无线传播特性	1
1.1.2 无线信道的特性	4
1.1.3 移动无线信道统计分析	9
1.1.4 无线信道抗衰落技术	10
1.1.5 移动通信系统中信号传播的效应	15
1.2 无线传播模型	16
1.2.1 传播模型研究的意义	16
1.2.2 Okumura-Hata 模型	16
1.2.3 COST 231-Hata 模型	20
1.2.4 COST 231-Walfish Ikegami 模型	20
1.2.5 3GPP 推荐的传播模型	22
第 2 章 TD-SCDMA 技术特点	23
2.1 TD-SCDMA 网络结构	23
2.1.1 UTRAN 的基本结构	23
2.1.2 UTRAN 的主要功能	24
2.1.3 物理层结构	24
2.2 TD-SCDMA 关键技术	30
2.2.1 多址接入技术	30
2.2.2 智能天线技术	31
2.2.3 联合检测技术	34
2.2.4 同步技术	37
2.2.5 功率控制技术	38
2.2.6 接力切换技术	41
2.2.7 动态信道分配技术	45
第 3 章 TD-SCDMA 无线网络规划原则与流程	47
3.1 TD-SCDMA 网络特性	47
3.1.1 工作频段穿透能力差	47
3.1.2 定时提前对覆盖半径的影响	48
3.1.3 多业务并发	49
3.1.4 业务同径覆盖	49

3.1.5 系统容量大	50
3.1.6 智能天线对网络规划的影响	50
3.1.7 小区呼吸现象弱	51
3.2 TD-SCDMA 规划原则	51
3.2.1 无线网络规划思想	51
3.2.2 TD-SCDMA 网规原则	52
3.2.3 TD-SCDMA 网规要点	53
3.3 TD-SCDMA 规划流程	54
第4章 网络建设需求分析	56
4.1 需求分析概述	56
4.2 区域划分	56
4.2.1 按无线传播环境分类	56
4.2.2 按业务分类	59
4.2.3 综合无线传播环境和业务分布进行分类	60
4.3 用户预测	61
4.4 话务分布	61
4.5 无线环境	61
4.6 客户的网络建设策略	62
4.7 网络指标要求	62
4.7.1 覆盖要求	62
4.7.2 拥塞率	62
第5章 TD-SCDMA 业务分析与预测	64
5.1 3GPP 中的业务分类	64
5.2 话务模型介绍	65
5.2.1 CS 业务	65
5.2.2 PS 业务	66
5.3 业务渗透率和用户密度	68
5.4 业务建模举例	69
5.4.1 CS 域业务建模	69
5.4.2 PS 域业务建模	69
第6章 无线环境分析	70
6.1 清频测试	70
6.1.1 清频测试的目的	70
6.1.2 清频测试范围	70
6.1.3 清频测试方式	70
6.2 无线传播模型测试	71

6.2.1 传播模型测试的意义	71
6.2.2 传播模型测试站点的选择	71
6.2.3 传播模型测试路线的选择	73
6.2.4 传播模型测试对车速的要求	75
6.2.5 传播模型测试环境的搭建	76
6.3 无线传播模型校正	76
6.3.1 传播模型校正的意义	76
6.3.2 传播模型校正的原则	76
6.3.3 TD-SCDMA 传播模型的选择	77
6.3.4 传播模型校正的方法和流程	78
6.3.5 传播模型的校正输入	79
6.3.6 传播模型的校正输出	82
6.3.7 传播模型校正示例	83
第7章 天线选型	85
7.1 智能天线概述	85
7.2 智能天线的种类	85
7.2.1 天线阵列类型的选择	85
7.2.2 天线系统类型的选择	86
7.3 智能天线性能参数的选择	86
7.3.1 智能天线性能参数介绍	86
7.3.2 智能天线性能参数的选取原则	90
7.4 典型场景下的参数选择	91
7.4.1 密集城区	91
7.4.2 中低密度城区	91
7.4.3 农村和城镇	91
7.4.4 开阔区域	91
7.4.5 公路和铁路	92
7.5 天线选型案例	92
第8章 TD-SCDMA 网络规模估算	93
8.1 无线网络预规划流程	93
8.2 网络规模估算的定义	94
8.2.1 覆盖受限的定义	94
8.2.2 容量受限的定义	94
8.2.3 网络规模估算的主要工作	94
8.3 网络规模估算的流程	95
8.3.1 单小区覆盖估算阶段	95
8.3.2 单小区容量估算阶段	95

8.3.3 规模估算结果调整阶段	95
8.4 站型和覆盖面积的关系	96
8.5 覆盖估算方法	96
8.5.1 覆盖估算的流程	96
8.5.2 TD-SCDMA 链路预算	97
8.6 容量估算方法	109
8.6.1 Erlang 基本知识	109
8.6.2 Equivalent Erlang 方法	113
8.6.3 Post Erlang-B 方法	114
8.6.4 基于 Campbell 理论的估算方法	116
8.6.5 KR 迭代容量估算方法	118
8.7 覆盖与容量的关系	122
8.8 基站规模确定	122
第 9 章 网络拓扑结构设计	124
9.1 拓扑结构设计概念	124
9.2 基站布点和预规划仿真	124
9.3 拓扑结构设计工具	125
9.4 MapInfo 软件在网规布点中的应用	125
9.4.1 MapInfo 电子地图简介	126
9.4.2 MapInfo 的常规操作	127
9.4.3 MapInfo 中文件格式转换	128
9.4.4 网规相关的 MapInfo 操作	130
9.5 Google Earth 在网规布站中的应用	140
9.6 使用规划软件进行预规划	141
9.6.1 预规划仿真目的	141
9.6.2 预规划仿真过程	142
9.6.3 仿真调整的方法	142
第 10 章 TD-SCDMA 无线网络勘察	143
10.1 无线网络勘察的目的	143
10.2 无线网络勘察流程	143
10.3 勘察仪表和工具	144
10.4 站点选择规范	144
10.4.1 总体要求	144
10.4.2 天线安装位置选择要求	145
第 11 章 TD-SCDMA 无线参数规划	149
11.1 网络识别类参数	149

11.1.1 移动国家码 (MCC, Mobile Country Code)	149
11.1.2 移动网号 (MNC, Mobile Network Code)	149
11.1.3 位置区码 (LAC) 和位置区标识 (LAI)	149
11.1.4 路由区码 (RAC) 和路由区标识 (RAI)	150
11.1.5 RNC 标识 (RNCID, Radio Network Controller Identity Data)	150
11.1.6 小区标识码 (CID, Cell Identity Data)	151
11.1.7 小区码 (CI, Cell Identifier)	151
11.1.8 小区全球识别码 (CGI, Cell Global Identity)	151
11.1.9 服务区码 (SAC) 和服务区标识 (SAI)	152
11.2 小区类基本参数	152
11.2.1 频点 (UARFCN)	152
11.2.2 小区参数标识 (CellParaID, Cell Parameter Identity Data)	152
11.2.3 小区载频优先级	152
11.2.4 小区时隙优先级	153
11.3 覆盖功率类参数	153
11.3.1 小区最大下行发射功率	153
11.3.2 PCCPCH 发射功率	153
11.3.3 DwPCH 发射功率	153
11.3.4 SCCPCH 发射功率	153
11.3.5 PICH 发射功率	154
11.3.6 上行最大允许发射功率	154
11.3.7 下行专用信道 DPCH 发射功率参数	154
11.3.8 PRACH 的期望发射功率	154
11.4 小区接入参数	154
11.4.1 小区接收端要求的 UpPCH 接收功率	154
11.4.2 下行 FPACH 最大发射功率	155
11.5 小区选择/重选参数	155
11.5.1 下行最小接入门限 $Q_{RxLevMin}$	155
11.5.2 同频小区重选的测量触发门限	155
11.5.3 异频小区重选的测量触发门限	155
11.5.4 服务小区重选迟滞	156
11.5.5 小区重选时延	156
11.5.6 判断 UE 快速移动的测量时间段	156
11.5.7 在测量时间段内发生的小区重选次数最大值	156
11.5.8 HCS 小区优先级	157
11.5.9 HCS 服务小区信息广播指示	157
11.5.10 HCS 小区重选的测量触发门限	157
11.5.11 有高优先级的 HCS 小区计算服务小区选择/重选顺序的信号质量	157
11.5.12 RAT 间 HCS 小区的重选测量门限	158

11.5.13 进行高 HCS 优先级小区测量的门限	158
11.5.14 要测量的其他无线接入技术种类数	158
11.5.15 异 RAT 小区的测量触发门限	158
11.6 小区切换参数	158
11.6.1 切换允许的下行功率门限	158
11.6.2 使用载频的门限值	159
11.6.3 非使用载频的门限值	160
11.6.4 切换时间延迟	160
11.6.5 PCCPCH RSCP 切换迟滞量	160
11.6.6 测量报告上报准则	161
11.6.7 周期性测量报告的最大上报次数	161
11.6.8 周期性测量报告的上报周期	161
11.6.9 小区个体偏移	161
11.6.10 极限用户数	162
第 12 章 频点规划	163
12.1 干扰对移动网络的影响	163
12.1.1 同频干扰	163
12.1.2 邻频干扰	163
12.2 频率复用	163
12.2.1 簇和频率复用因子	164
12.2.2 频率复用距离	165
12.2.3 同频复用比	166
12.3 频率规划的定义和方法	166
12.4 单载波异频组网条件下的频率规划方案	167
12.4.1 基于 Graph Coloring 的全向站频点规划	167
12.4.2 分扇区的频点规划	168
12.4.3 全向、定向混合组网的频点规划	169
12.5 N 频点同频组网条件下的频点规划方案	169
12.5.1 何谓 N 频点	169
12.5.2 频点规划输入	170
12.5.3 频点规划流程	170
第 13 章 码资源规划	173
13.1 TD-SCDMA 码资源	173
13.1.1 上/下行同步码	173
13.1.2 中间训练码	173
13.1.3 扩频码	174
13.1.4 扰码	174

13.2 扰码规划方法	175
13.2.1 复合码的自身差异	175
13.2.2 扰码规划的原则	176
13.2.3 扰码之间的相关评价分	176
13.2.4 扰码分配准则	177
13.2.5 扰码分配顺序	177
第 14 章 TD-SCDMA 无线网络小区规划	179
14.1 网络仿真目的	179
14.2 仿真的前期工作	179
14.3 仿真电子地图知识	179
14.3.1 Index 文件	180
14.3.2 Projection 文件	180
14.3.3 Menu 文件	181
14.3.4 Clutter 文件	181
14.4 网络仿真基本流程	182
14.5 仿真实例和图层	183
14.5.1 导入数据	183
14.5.2 覆盖预测过程	184
14.5.3 覆盖预测结果	184
14.5.4 话务模型建立	185
14.5.5 Monte Carlo 仿真	186
14.6 网络仿真结果分析	188
14.6.1 覆盖分析	188
14.6.2 容量分析	192
14.6.3 质量分析	192
第 15 章 TD-SCDMA 无线网络规划案例	193
15.1 规划前分析	193
15.1.1 需求收集	193
15.1.2 业务区域划分	193
15.1.3 无线环境分析	194
15.2 规模估算	195
15.2.1 按覆盖估算	195
15.2.2 按容量估算	195
15.2.3 规模估算结果	196
15.2.4 预规划仿真	196
15.3 无线网络勘察	197
15.4 网络仿真	200

15.5 参数规划	204
15.5.1 邻小区规划	205
15.5.2 频点规划	206
15.5.3 码资源规划	207
15.6 规划报告输出	208
第 16 章 TD-SCDMA 无线解决方案	209
16.1 创新的 BBU+RRU 建网方案	209
16.1.1 传统无线网络解决方案面临的问题	209
16.1.2 何谓 BBU+RRU 的组网方式	210
16.1.3 BBU+RRU 方案的优势	211
16.2 TD-SCDMA 覆盖解决方案	212
16.2.1 城市立体覆盖解决方案	212
16.2.2 候鸟区覆盖解决方案	217
16.2.3 多通道室内解决方案	217
第 17 章 TD-SCDMA 室内覆盖	218
17.1 室内场景分类	219
17.2 室内话务模型	220
17.2.1 人口密度和用户密度估算	220
17.2.2 室内分布的话务模型	220
17.3 室内传播模型	222
17.3.1 自由空间的电磁波传播	222
17.3.2 室内电磁波传播模型	223
17.3.3 覆盖区场强预测方法	224
17.4 多通道室内覆盖解决方案	224
17.4.1 TD-SCDMA 室内覆盖的特殊性	225
17.4.2 TD-SCDMA 多通道室内解决方案	226
17.4.3 TD-SCDMA 多通道室内覆盖优势	228
17.5 多通道方案室内场景应用	229
17.5.1 楼宇覆盖解决方案	229
17.5.2 大型场馆覆盖解决方案	232
17.6 室内覆盖频率规划	234
17.7 引入 TD-SCDMA 系统改造方案案例	234
第 18 章 系统间互干扰与隔离度	237
18.1 干扰的基本原理	237
18.1.1 干扰的定义	237
18.1.2 互干扰研究理论	238

18.1.3 干扰的分类	239
18.2 互干扰确定性计算举例	244
18.2.1 互干扰研究方法	244
18.2.2 互干扰计算举例	244
18.3 TD-SCDMA 和其他系统互干扰研究结果	248
18.3.1 TD-SCDMA 和 WCDMA	248
18.3.2 TD-SCDMA 和 CDMA	248
18.3.3 TD-SCDMA 和 GSM	249
18.3.4 TD-SCDMA 和 PHS	249
18.4 室外抗系统间干扰措施	249
18.4.1 加装滤波器方案	249
18.4.2 调整天线的工程隔离方案	250
18.5 室内分布系统中干扰解决方案	250
18.5.1 直接合路的方式	250
18.5.2 加滤波器直接合路的方式	251
18.5.3 以收发分缆方式合路	251
18.5.4 分天馈方案	252
18.6 空间隔离估算	252
18.6.1 水平隔离	253
18.6.2 垂直隔离	253
18.6.3 倾斜架设时的隔离	254
参考文献	255

第 1 章 移动通信的传播特性

1.1 无线通信中的信道特性

信道(Channel)是通信网中输送信息的通道。抽象地看,信道是一段频带,它能让某些频率的信号畅通无阻,又能阻挡或限制某些频率的信号^[2]。具体地看,信道是一种看得见又摸得着的传输媒介。信道是任何一个通信系统所必不可少的组成部分。陆地数字移动通信网(PLMN)的信道和固定通信信道(无线本地环路例外)是完全不同的。在固定通信中,信号的传输媒介是人工制作的,如双绞线、电缆、光纤等。这些媒质的传输特性在相当长的时间内是十分稳定的。可以认为,这种信道为“恒参信道”。而在陆地移动通信信道中,信号在空间中自由传播,受外界信道条件的影响很大,如天气的变化、建筑物和移动物体的遮挡、反射和散射作用以及移动台的运动造成多普勒频移等,使无线信道的传输特性受到影响。可以认为,无线信道为随参信道。

本节对移动通信中的无线信道特性做相关的分析和讨论。

1.1.1 无线传播特性

移动通信系统的性能主要是受到移动无线信道的制约,而移动无线信道主要是受到无线传播环境的影响。移动通信传播环境的特点大致有以下 3 点^[2]。

(1) 传播的开放性

一切无线信道都是基于电磁波在空间传播来实现信息传播的。

(2) 接收点地理环境的复杂性与多样性

一般可将地理环境划分为下列 4 类典型区域:

- 高楼林立的城市中心繁华区,也称密集城区;
- 一般楼宇的城市区域,也称一般城区;
- 以一般性建筑物为主的近郊小城镇区,也称郊区;
- 以山丘、湖泊、平原为主的农村及远郊区。

(3) 通信用户的随机移动性

通信用户的随机移动性体现为慢速步行时的通信和高速车载时的不间断通信等。

由于无线传播的特性,使得终端用户接收到的无线电波主要有直射波、反射波、绕射波、透射波和散射波。

1. 直射波

直射波是指在视距覆盖区内无遮挡的传播,直射波传播的信号最强。

在实际环境中, 很难找到直射波传播的理想自由空间, 但在研究移动通信环境电波传播问题时, 它又往往是作为各种传播环境的参考标准。

自由空间中距发射机 d 处辐射功率密度为:

$$\rho = \frac{P_t G_t}{4\pi d^2} W / m^2$$

式中, P_t 为发射功率, G_t 为发射天线增益。

假设接收天线增益为 G_r , 则有效面积 A 为:

$$A = G_r \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

因此, 接收天线的接收功率为:

$$P_r = \rho A = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

通常研究路径损耗, 可以根据上式推导出自由空间的传播损耗公式为:

$$PathLoss = 32.44 + 20 \lg f + 20 \lg d$$

式中, f 为频率 (单位: MHz), d 为距离 (单位: km)。PathLoss 与距离 d 的对数成正比。当 d 增加一倍, 自由空间路径损耗就增加 6dB; 当减小波长 (提高频率 f), 路径损耗也增大。这可以通过增大辐射和接收天线增益来补偿这些损耗。

2. 反射波

反射是在电波遇到比波长大得多的物体时发生的, 如地面、建筑物墙体表面的反射等。反射波是指从不同建筑物或其他物体反射后到达接收点的传播信号, 其信号强度较直射波次之。

自由空间传播中的有关公式只能用于非常严格的条件下, 实际的移动无线传播总是受到阻挡或地面的反射。在此种情况下, 主要考虑两种情况: 球形地面的反射 (在收发天线之间距离足够远时, 地面表面曲率的影响必须考虑) 和平坦地面的反射 (在收发天线之间距离足够小时, 地球表面曲率的影响可以忽略)。

3. 绕射波

绕射现象是指电波绕过障碍物继续传播, 也称衍射。当障碍物的线度接近光的波长时, 绕射现象尤其显著。在无线传播环境中, 当阻挡面产生的二次波出现在整个空间中, 甚至当发射机和接收机之间不存在视距路径时, 在阻挡物的阴影区内会绕过阻挡物产生弯曲波, 其强度与反射波相当。

惠更斯原理可定性地说明绕射现象。波在空间的传播是振动的传播。波在空间各处引起振动, 波场中任一点即波前中任一点都可视为新的振动中心, 这些振动中心发出的波称为次波, 如图 1-1 所示。次波又可以产生新的振动中心, 继续发出次波, 由此使得波不断向前传播。新的波面即是这些振动中心发出的各个次波波面的包络面。

绕射波是由次级波的传播进入阴影区形成的。阴影区绕射波场强就是围绕障碍物所有次级波的矢量和, 如图 1-2 所示。