

# 移动通信 设计基础

〔美〕William C. Y. Lee 著

贾玉涛 等译

人民交通出版社

# 移动通信设计基础

Yidong Tongxin Sheji Jichu

William C.Y.Lee 著

贾 玉 涛 等 译

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书共分为九章,其主要内容包括:移动通信中特有的传播环境,传播损耗预测,衰落的计算和减小衰落的方法,移动无线电干扰,频率方案及有关方式,基地台设计参量,移动台设计参量,信令与信道接入,以及与陆地移动通信有关的其它系统。本书取材新颖,理论阐述简明扼要,重点突出,计算方法简洁,并有大量设计计算公式、数据和图表曲线。本书是一本很有实用价值的专业书。

本书可供交通运输部门(汽车、船舶和飞机)、邮电部门、电子工业部门、公安消防部门、军事通信部门等广大工程技术人员、研究人员、规划、设计、管理人员以及高等院校师生阅读,也可作为移动通信专业和无线电通信专业的教学参考书。

**Mobile Communications Design Fundamentals**

William C.Y.Lee

Howard W. Sams & Co. 1986

---

**移动通信设计基础**

William C.Y.Lee著

贾玉涛等译

插图设计:刘小方 正文设计:崔凤莲 责任校对:高琳

人民交通出版社出版发行

(北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

人民交通出版社印刷厂印刷

开本:850×1168 1/32 印张:9.125 字数:224千

1990年9月 第1版

1990年9月 第1版 第1次印刷

印数:0001-3,000册 定价:8.00元

ISBN7-114-00909-7

---

U·00578

## 译者序

移动通信已在工业发达国家获得迅速发展和广泛应用，已普及到公路、航海、航空、铁路、公安、消防、工矿、机关、医务、文教等广大部门，个人和家庭使用移动通信工具也很普遍。我国已迈开国民经济现代化建设的新步伐，交通运输、公安消防、工矿企业、文教卫生等部门均有较大发展。为了适应这一新的形势，我国已开始积极稳步发展移动通信技术，开始了研制、生产和应用工作。无疑，发展移动通信，对加速我国社会主义建设，加速科学技术现代化和国防现代化建设都是十分必要的，发展的前景是十分可观的。

为了进一步促进我国移动通信科学技术、生产研制和专业技术人才培训工作的进行，进一步提高移动通信专业技术水平，我们翻译了威廉·C.Y.李博士的著作《移动通信设计基础》一书，供广大读者阅读和参考。

全书共九章。前四章介绍移动通信中特有的传播环境、传播损耗预测、衰落的计算和减小衰落的方法以及移动无线电干扰等；有两章介绍移动通信制式和频率方案；有两章介绍基地台参量设计和移动台参量设计；最后一章介绍与陆地移动通信有关的其它系统。

本书的特点是：取材新颖，理论阐述简明扼要，重点突出，计算方法简洁，有大量设计计算公式、数据和图表曲线，具有实用性和方向性，是一册很有实用价值的专业书。

本书可供交通运输部门（汽车、船舶和飞机）、邮电部门、电子工业部门、公安消防部门、军事通信部门等广大工程技术人员、研究人员、规划、设计、管理人员以及高等院校师生阅读，也可作为移动通信专业和无线电通信专业的教学参考书。

参加本书翻译的有：贾玉涛、欧阳源、李梅、傅滨等。由于我们水平所限，译文中一定有一些缺点和错误，恳请广大读者批评指正。

译 者

## 前 言

建设一个移动无线电系统较建设一个固定陆地无线电系统更为难办。无线电路本身有其脆弱的一面,因为它受地形的影响。当车辆运动时,信号可能是衰落的,欲想保持无线电路接通甚至更为困难。

由于上述这些问题,任一设计者开始规划移动无线电系统时,都必须回答:

1.我如何做到使系统有良好的覆盖区?

2.我可能碰到哪些问题?

- 衰落问题

- 干扰问题

- 系统容量

3.我应当考虑哪些资源?

- 频谱

- 现有设备

本书向移动无线电系统设计者提供许多必需的工具,例如:

1.预测无线电覆盖区域至区域路径损耗的工具;

2.预测每一特定线路路径损耗的工具;

3.为更好接收信号的天线设计建议;

4.减小衰落的分集方式;

5.频谱利用;

6.蜂房式移动系统的采用;

7.基地台设计参量;

8.移动台设计参量;

9.系统信令和信道接入信息;

10.移动系统的采用(不是地面移动系统)。

本书避免烦难的数学公式，而以易懂的物理概念介绍。若读者对较多的数学推导有兴趣，可查阅麦格劳·希尔公司出版的《移动通信工程》一书。

William C.Y. Lee

# 目 录

译者序

前 言

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| 第一章 移动无线电环境                               | 1  |
| 1.1 移动无线电信号的表示法                           | 1  |
| 1.1.1 移动无线电环境的描述                          | 1  |
| 1.1.2 场强表示法                               | 3  |
| 1.1.3 移动无线电信号的表示法                         | 5  |
| 1.2 传播路径损耗的形成原因                           | 5  |
| 1.3 衰落的原因                                 | 6  |
| 1.3.1 长期衰落 ( $m(t)$ 或 $m(x)$ )            | 7  |
| 1.3.2 短期衰落 ( $r_0(t)$ 或 $r_0(x)$ )        | 9  |
| 1.3.3 信道分类                                | 15 |
| 1.3.4 气候影响                                | 18 |
| 1.4 互易原理                                  | 19 |
| 1.5 必要术语定义及其应用                            | 20 |
| 1.5.1 平均值                                 | 20 |
| 1.5.2 概率密度函数 ( $pdf$ )                    | 23 |
| 1.5.3 累加概率分布 ( $CPD$ )                    | 28 |
| 1.5.4 衰落的电平交叉率 ( $lcr$ )和平均持续时间 ( $adf$ ) | 33 |
| 1.5.5 相关性和功率谱                             | 34 |
| 1.5.6 延迟展宽、相干带宽和符号间干扰                     | 39 |
| 1.5.7 置信区间                                | 42 |
| 1.5.8 虚警率和字差错率                            | 43 |
| 第二章 传播损耗预测                                | 47 |
| 2.1 传播损耗预测的基本原理                           | 47 |
| 2.2 通过测量获得有价值的传播损耗数据                      | 47 |



|                                |                                    |           |
|--------------------------------|------------------------------------|-----------|
| 2.2.1                          | 确定 $L$ 的长度 .....                   | 48        |
| 2.2.2                          | $40\lambda$ 上所需样本点数的确定 .....       | 49        |
| 2.2.3                          | 移动路径和无线电电波路径 .....                 | 51        |
| 2.3                            | 平坦地形上的预测 .....                     | 53        |
| 2.3.1                          | 找出地形上的反射点 .....                    | 53        |
| 2.3.2                          | 地形粗糙度分类 .....                      | 54        |
| 2.3.3                          | 地波反射系数 .....                       | 58        |
| 2.3.4                          | 预测传播路径损耗的模型 .....                  | 59        |
| 2.3.5                          | 路径损耗的理论模型 .....                    | 59        |
| 2.3.6                          | 区域-区域的路径损耗预测模型 .....               | 62        |
| 2.3.7                          | Okumura 等人提出的模型 .....              | 67        |
| 2.3.8                          | 不同环境的路径损耗一般公式 .....                | 70        |
| 2.4                            | 点-点预测 (丘陵地形上路径损耗预测) .....          | 71        |
| 2.4.1                          | 无障碍条件下的点-点预测 .....                 | 71        |
| 2.4.2                          | 有障碍条件下的点-点预测——阴影损耗 .....           | 80        |
| 2.5                            | 其它因素 .....                         | 83        |
| 2.5.1                          | 叶簇效应 .....                         | 83        |
| 2.5.2                          | 街道取向的通道效应 .....                    | 84        |
| 2.5.3                          | 隧道和地道效应 .....                      | 85        |
| 2.6                            | 点-点预测的优点 .....                     | 86        |
| <b>第三章 衰落的计算与减小衰落的方法 .....</b> |                                    | <b>94</b> |
| 3.1                            | 幅度衰落 .....                         | 94        |
| 3.1.1                          | 电平交叉率 .....                        | 94        |
| 3.1.2                          | 衰落平均持续时间 .....                     | 98        |
| 3.1.3                          | 衰落持续时间分布 .....                     | 100       |
| 3.1.4                          | 移动台两副间隔靠近天线的包络相关性 .....            | 101       |
| 3.1.5                          | 功率谱 .....                          | 103       |
| 3.2                            | 随机调相 ( $PM$ ) 和随机调频 ( $FM$ ) ..... | 105       |
| 3.2.1                          | 随机相位 $\psi_r(t)$ .....             | 105       |
| 3.2.2                          | 随机调频 ( $FM$ ) $\psi_r(t)$ .....    | 106       |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 3.3 选择性衰落和选择性随机调频 .....         | 107        |
| 3.3.1 选择性衰落 .....               | 107        |
| 3.3.2 选择性随机调频 .....             | 108        |
| 3.4 分集方式 .....                  | 109        |
| 3.4.1 宏观分集 .....                | 109        |
| 3.4.2 微观分集 .....                | 110        |
| 3.5 组合技术 .....                  | 112        |
| 3.5.1 分集方式的组合技术 .....           | 112        |
| 3.5.2 减小随机相位的组合技术 .....         | 116        |
| 3.6 衰落环境内的比特差错率和字差错率 .....      | 118        |
| 3.6.1 高斯噪声环境 .....              | 118        |
| 3.6.2 瑞利衰落环境 .....              | 120        |
| 3.6.3 减小差错的分集传输 .....           | 122        |
| 3.6.4 不可约比特差错率 .....            | 123        |
| 3.6.5 总比特差错率 .....              | 125        |
| 3.7 高于蜂房内电平的信号强度计算(移动台暂驻) ..... | 127        |
| 3.8 单边带(SSB)调制 .....            | 129        |
| <b>第四章 移动无线电干扰</b> .....        | <b>134</b> |
| 4.1 有限噪声环境和有限干扰环境 .....         | 134        |
| 4.1.1 有限噪声环境 .....              | 134        |
| 4.1.2 有限干扰环境 .....              | 134        |
| 4.2 同信道干扰和邻近信道干扰 .....          | 134        |
| 4.2.1 同信道干扰 .....               | 134        |
| 4.2.2 邻近信道干扰 .....              | 137        |
| 4.3 互调(IM)干扰 .....              | 140        |
| 4.3.1 通过功率放大器 .....             | 141        |
| 4.3.2 通过硬限幅器 .....              | 143        |
| 4.4 近端-远端比干扰 .....              | 146        |
| 4.5 符号间干扰 .....                 | 148        |
| 4.6 无线电同播干扰 .....               | 149        |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 4.7 当地散射体半径 .....           | 151 |
| <b>第五章 频率方案及其有关方式</b> ..... | 154 |
| 5.1 信道方式与频率复用 .....         | 154 |
| 5.1.1 信道方式 .....            | 154 |
| 5.1.2 频率复用 .....            | 155 |
| 5.2 频分多路 (FDM) .....        | 157 |
| 5.2.1 频分多路信号抑制 .....        | 157 |
| 5.2.2 频分多路信号失真 .....        | 159 |
| 5.3 时分多路 (TDM) .....        | 163 |
| 5.3.1 时分多路缓冲器 .....         | 163 |
| 5.3.2 时分多路保护时间 .....        | 164 |
| 5.3.3 比特率和帧速率 .....         | 165 |
| 5.3.4 时分多路系统效率 .....        | 165 |
| 5.4 扩展频谱和频率跳变 .....         | 167 |
| 5.4.1 扩展频谱 .....            | 167 |
| 5.4.2 跳频 (FH) 系统 .....      | 169 |
| 5.5 蜂房概念 .....              | 174 |
| 5.5.1 引言 .....              | 174 |
| 5.5.2 频率复用和蜂房间隔 .....       | 174 |
| 5.5.3 切换 (HO) .....         | 176 |
| 5.5.4 蜂房分裂和功率降低 .....       | 177 |
| 5.5.5 近端-远端比干扰的减小 .....     | 177 |
| <b>第六章 基地台设计参数</b> .....    | 180 |
| 6.1 天线位置 .....              | 180 |
| 6.2 天线间隔及天线高度 .....         | 182 |
| 6.2.1 天线的方向性 .....          | 183 |
| 6.2.2 天线高度/间隔依从关系 .....     | 183 |
| 6.2.3 频率依从关系 .....          | 187 |
| 6.3 天线构成 .....              | 188 |
| 6.3.1 定向天线 .....            | 188 |

|            |                              |            |
|------------|------------------------------|------------|
| 6.3.2      | 斜置天线构成 .....                 | 188        |
| 6.3.3      | 分集天线构成 .....                 | 190        |
| 6.3.4      | 垂直间隔 .....                   | 192        |
| 6.3.5      | 水平间隔实体考虑 .....               | 195        |
| 6.4        | 环境噪声 .....                   | 197        |
| 6.4.1      | 汽车噪声 .....                   | 197        |
| 6.4.2      | 电力线噪声和工业噪声 .....             | 199        |
| 6.5        | 载波噪声比 .....                  | 200        |
| 6.5.1      | 电场强度 dB $\mu$ 和 dBm 转换 ..... | 201        |
| 6.5.2      | 场强和接收功率关系 .....              | 203        |
| 6.5.3      | 一个简单计算公式 .....               | 203        |
| <b>第七章</b> | <b>移动台设计参数 .....</b>         | <b>205</b> |
| 7.1        | 天线间距和天线高度 .....              | 205        |
| 7.2        | 暂驻和行驶的移动台 .....              | 207        |
| 7.3        | 独立样本和采样率 .....               | 209        |
| 7.4        | 定向天线与分集方式的关系 .....           | 209        |
| 7.4.1      | 定向天线 .....                   | 209        |
| 7.4.2      | 移动台的分集方式 .....               | 212        |
| 7.4.3      | 定向天线阵和空间分集方式间的差别 .....       | 213        |
| 7.5        | 频率的依从关系和独立性 .....            | 214        |
| 7.5.1      | 工作频率与空间分集的关系 .....           | 214        |
| 7.5.2      | 频率分集的工作频率的独立性 .....          | 214        |
| 7.6        | 环境噪声 .....                   | 216        |
| 7.7        | 移动台天线连接及位置 .....             | 219        |
| 7.7.1      | 天线连接的阻抗匹配 .....              | 220        |
| 7.7.2      | 车体上的天线位置 .....               | 222        |
| 7.7.3      | 垂直安装 .....                   | 222        |
| <b>第八章</b> | <b>信令与信道接入 .....</b>         | <b>225</b> |
| 8.1        | 信令设计准则 .....                 | 225        |
| 8.2        | 虚警率 .....                    | 225        |

PA(73/01)

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 8.3 字差错率 .....               | 226 |
| 8.3.1 在高斯环境内 .....           | 226 |
| 8.3.2 在瑞利环境内 .....           | 229 |
| 8.3.3 瑞利衰落环境内的快衰落 .....      | 230 |
| 8.3.4 瑞利衰落环境内的慢衰落 .....      | 235 |
| 8.3.5 慢衰落和快衰落的比较 .....       | 236 |
| 8.4 信道指配 .....               | 236 |
| 8.4.1 同信道指配 .....            | 237 |
| 8.4.2 蜂房内的信道指配 .....         | 239 |
| 8.4.3 信道共享 .....             | 239 |
| 8.4.4 信道借用 .....             | 251 |
| 8.5 交换容量考虑 .....             | 252 |
| <b>第九章 有关系统</b> .....        | 254 |
| 9.1 宽带信号传播 .....             | 254 |
| 9.1.1 移动环境内连续波(窄带)信号传播 ..... | 254 |
| 9.1.2 移动环境内宽带传播路径损耗 .....    | 255 |
| 9.2 便携式电话系统 .....            | 259 |
| 9.2.1 传播路径损耗 .....           | 260 |
| 9.2.2 人体影响 .....             | 262 |
| 9.2.3 系统控制特点 .....           | 263 |
| 9.3 空对地通信 .....              | 264 |
| 9.3.1 传播路径损耗 .....           | 264 |
| 9.3.2 同信道间隔 .....            | 266 |
| 9.3.3 高度分区考虑 .....           | 267 |
| 9.3.4 频率分配方案和功率控制 .....      | 268 |
| 9.4 陆地-移动/卫星通信系统 .....       | 270 |
| 9.4.1 传播路径损耗 .....           | 270 |
| 9.4.2 噪声 .....               | 273 |
| 9.4.3 衰落 .....               | 274 |
| 9.4.4 应用 .....               | 277 |

# 第一章 移动无线电环境

## 1.1 移动无线电信号的表示法

本书介绍的无线电信号主要是地面移动无线电信号。因为地面移动无线电媒质很独特，并且比较复杂，因此，许多研究工作都致力于这一领域。为了描述移动无线电信号的理论模式，首先让我们来认识移动无线电信号环境。

### 1.1.1 移动无线电环境的描述

传播频率的波长对电波传播机理有重大影响。在我们生活的环境中，郊区有18到30米宽和12到30米高（即60到100英尺和40到100英尺）的建筑物和房屋，市区甚至有较大型的建设物和摩天楼。如果这些建筑物和房屋的尺寸等效于传播频率的许多个波长，那么这些房屋就变成了自然散射体，在这一传播频率上产生反射波。因此，在本书中我们这样来处理无线电环境，只要移动设备的天线高度比周围房屋和建筑物低，那么就假设所有房屋和建筑物是自然散射体。给定这些条件，而传播频率在30MHz以上时，就形成一个多径传播环境。因此，移动无线电多径环境的频率范围等于或高于30MHz。基地台到移动台之间的线路长度通常小于24公里（15英里），这样就不需要考虑无线电水平线问题（即不存在地球曲率形成的无线电路径损耗）。当干扰信号来自24公里以外时，无线电地平线通常产生一个附加的无线电损耗，使有效干扰信号强度变弱。地球曲率有助于减小干扰，并且使涉及长距离干扰的系统设计变得比较容易。

在移动无线电环境中，郊区和小镇的基地台天线高度通常为30到91米（100到300英尺），在大城区则在91米以上。移动台天

线高度大约为3米(10英尺)。基地台天线通常避开周围环境影响,相反,移动台天线却始终处在这些环境的影响下。基地台和移动台位置之间的通信线路所处的地形结构和人为环境决定了全部传播路径损耗。

从对上述环境的描述,我们可以想象到,移动台接收到的是一些反射波和一个直射波。移动台接收到的反射波来自于周围360°等机会的不同角度,如图1-1所示。接收到的直射波常常是比较强的信号。但是,移动通信系统的设计不能根据最佳条件进行,而应根据在边缘地区正常出现的较弱直射波或非直射波的条件

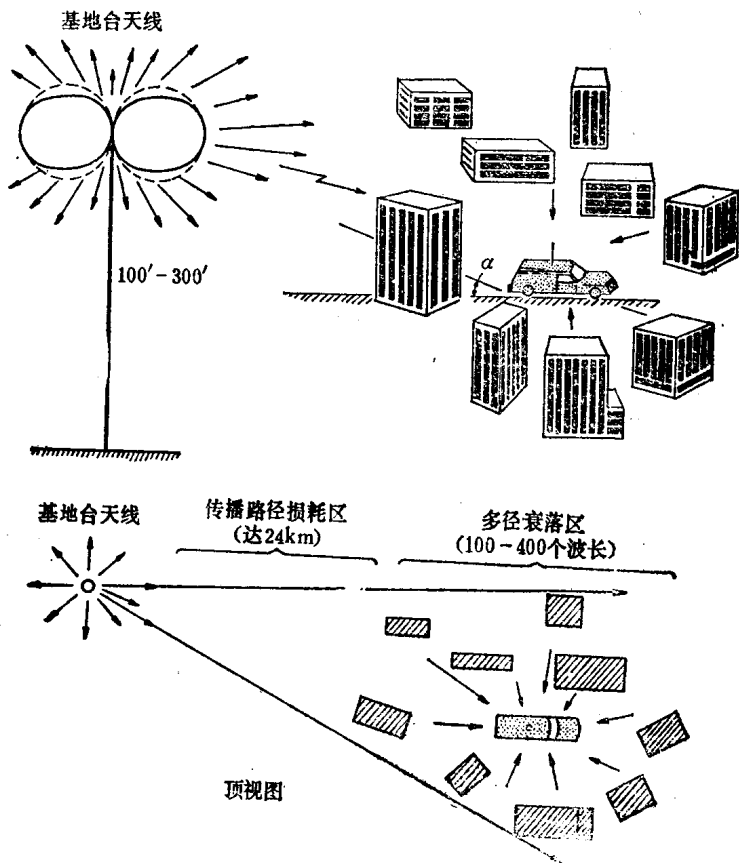


图1-1 移动无线电环境示意图

件进行设计。因此，移动台接收到的所有反射波形成多径衰落信号。

### 1.1.2 场强表示法<sup>[1]</sup>

信号场强可以用距离（空间域单位）函数表示，或用时间（时间域单位）函数表示。一旦基地台发射天线的高度固定（如图1-2A所示），则场强<sup>①</sup>（即：在空间沿 $x$ 轴变化的接收信号 $s(x)$ 的包络 $r(x)$ ）如图1-2B所示。在 $x$ 轴的每一点上用移动台接收机对场强进行测量，其天线高度离地约3米左右。当移动台逐渐远离基地台时，沿 $x$ 轴的接收场强呈现剧烈的起伏。在每一个相对应的点上，通过与地理位置（区域）有联系的场强以及平均场强数据的长度，得到一种所谓的当地均值（参阅1.3.1节），就可以对场强 $r(x)$ 进行研究。在进行数据测量时，移动台的运动速度 $V$ 必须保持恒定。当速度一定时，时间轴（ $t = x/V$ ）可以变换成空间轴（ $x$ 轴），当车速为48公里/小时和24公里/小时（30英里/小时和15英里/小时）时，分别从图1-2C和1-2D可以看出场强 $r_1(t)$ 和 $r_2(t)$ 的变化。从图中可以清楚地看出，图1-2C的 $r_1(t)$ 比图1-2D的 $r_2(t)$ 的起伏快，但二者可在同一空间轴上进行刻度，如图所示。如果移动台在接收信号时不能保持恒定的车速，那么必须记录下速度变化与时间的关系这一信息。场强与车速的关系如图1-2E所示。在处理数据以前，图1-2E中的场强 $r(t)$ 必须转换成图1-2B中所示的场强，这一处理过程叫做速度-加权变换。这一方法由图1-3说明。在时间域内以相等区间把数据数字化，因此由图1-3A所示的速度曲线，就可以把所有的数据点从时间域转换到空间域（如图1-3B所示）。

另外一种把场强从时间域变到空间域的方法就是使车轮转速和场强记录仪的记录速度同步。这种方法不需要“速度-加权”过程。场强的这两种表示方法都是有用的，在时间域内表示的 $r$

① 场强(dB)，系已知场强(V/m)，通常以 $1\mu\text{V/m}$ 为参考。



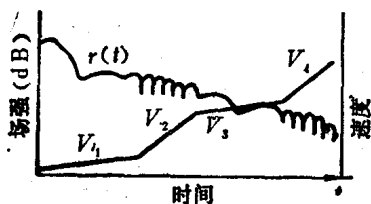
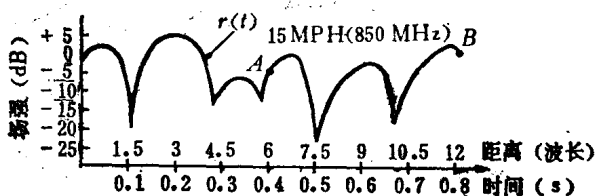
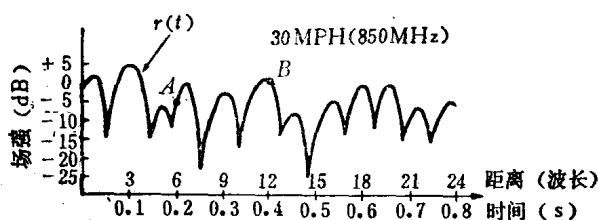
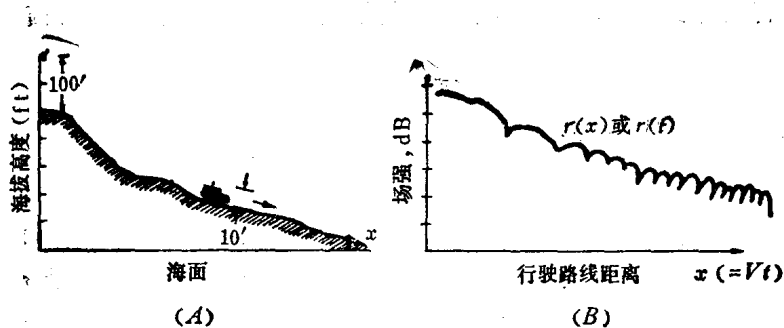


图1-2 场强的特性

(A)基地台天线场址地形图; (B)空间内沿 $x$ 轴的 $s(x)$ ; (C) $V$ 大; (D) $V$ 小;  
(E) $V$ 变化