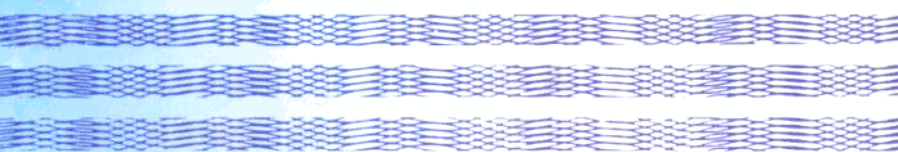


# 微波传输工程设计

顾金根 编著 刘沈 审校



人民邮电出版社

# 序 言

《微波传输工程设计》一书为作者多年在微波设计、建设和维护工作中积累的经验总结,全书集技术原理和实际运用于一体。

作者在工程技术工作上勤于钻研,善于总结。特别要指出的是作者运用高级 BASIC 语言逐章编出了程序,给出了算例,便于读者理解和运用,有利于读者在设计或复核中迅速得出有价值的结论。

本书可供从事微波工程设计、建设及维护工作的工程技术人员学习和参考。

为

一九九二年十二月于北京

# 前 言

随着国内通信现代化步伐的加速,数字微波通信技术得到广泛应用,现有的管理、维护人员,工程设计、施工人员以及大量的新增人员亟需了解和提高微波通信传输方面的基本知识,本书就是为了适应这种需要而撰写的。

本书着重介绍数字微波通信系统的设计原理和计算方法。鉴于模拟微波网的数字化需要一个过渡过程,书中对模拟微波通信工程设计也作了一定篇幅的介绍。

全书约 14 万字,分十一章。第一至第六章,从微波传播的基本理论出发,分析了微波天线高度的设计原理、计算步骤和方法,介绍了通信距离、通信方位、电波反射点位置的计算原理和方法;第七章至第九章,介绍了数字微波、模拟微波线路系统性能指标的估算方法;第十章从理论上分析了对抗多径衰落的措施后,着重介绍了空间分集接收天线高差的计算原理和方法;第十一章介绍了卫星地球站在对抗电磁干扰中几个参数的计算原理和方法。

为了便于读者理解、掌握并正确应用设计原理和方法,在各章列举了经过挑选的工程计算实例。这些例子经过了实践的检验,设计原理正确,计算结果符合实际,能够指导施工实践达到预期目的。

本书各章列出了使用高级 BASIC 语言编制的计算程序、流程图和算例。这些程序可以单独选用,也可以根据需要任意组合运用;可以用于工程设计,也可供管理人员用于核算设计。这些计算程序为读者提供了方便、正确、高效的计算手段。为便于读者使用计算程序,已编制成《微波传输工程设计计算软件》,经多家单位验算试用,确认运算正确,能大大提高计算效率。此软件已由南京邮电学院编辑出版部发行。

本书深入浅出,通俗易懂,图文并茂,实用性强,可作为培训微波通信专业人员的教材,也可供从事卫星通信、移动通信或其他专业的通信人员参考。

在本书撰写过程中,邮电部电信总局主任高工刘沈同志给予了热忱指导,并为本书写了序言。在此表示由衷的感谢。

限于水平,书中难免存在错误和不当之处,恳请读者批评指正。

作 者

一九九二年十一月 于南京

# 目 录

|                              |      |
|------------------------------|------|
| <b>第一章 站距和方位角计算</b> .....    | (1)  |
| 1.1 设计方法和步骤 .....            | (1)  |
| 1.1.1 站距和方位角的计算意义 .....      | (1)  |
| 1.1.2 设计方法 .....             | (2)  |
| 1. 设计用的地图简介.....             | (2)  |
| 2. 子午线和坐标线间的关系.....          | (3)  |
| 3. 站距和方位角的计算方法.....          | (3)  |
| 4. 发信站到收信站通信方位的确定.....       | (4)  |
| 1.1.3 设计步骤 .....             | (4)  |
| 1.1.4 运用地图中要注意的事项 .....      | (5)  |
| 1.2 工程计算的流程图和程序 .....        | (6)  |
| 1.2.1 程序编号及名称 .....          | (6)  |
| 1.2.2 工程计算的流程图 .....         | (6)  |
| 1.2.3 工程计算程序和说明 .....        | (6)  |
| 1. 工程计算程序.....               | (6)  |
| 2. 计算程序功能和使用说明.....          | (8)  |
| 1.3 工程计算实例 .....             | (9)  |
| 1.3.1 运用计算器进行工程计算 .....      | (9)  |
| 1.3.2 运用程序 WB—1 进行工程计算 ..... | (11) |
| <b>第二章 中继段反射点位置的计算</b> ..... | (13) |
| 2.1 地面反射的影响.....             | (13) |
| 2.2 地面反射点的计算.....            | (14) |
| 2.2.1 用图解法计算反射点.....         | (14) |
| 2.2.2 用解析法计算反射点.....         | (15) |

|       |                     |      |
|-------|---------------------|------|
| 2.3   | 工程计算的流程图及程序         | (17) |
| 2.3.1 | 程序编号及名称             | (17) |
| 2.3.2 | 工程计算的流程图            | (17) |
| 2.3.3 | 工程计算程序和说明           | (17) |
| 1.    | 工程计算程序              | (17) |
| 2.    | 计算程序功能和使用说明         | (19) |
| 2.4   | 工程计算实例              | (19) |
| 2.4.1 | 用图解法计算反射点           | (20) |
| 2.4.2 | 用解析法计算反射点           | (20) |
| 2.4.3 | 运用程序 WB-2 进行工程计算    | (21) |
| 2.4.4 | 归纳三种方法求解的结果         | (21) |
| 第三章   | 最佳天线高度 $H_2$ 的计算    | (22) |
| 3.1   | 最佳天线高度 $H_2$ 的含义    | (22) |
| 3.2   | 微波传播的特点             | (22) |
| 3.3   | 天线高度计算中涉及的一些问题      | (23) |
| 3.4   | 天线高度的设计原理           | (23) |
| 3.4.1 | 直视距离                | (23) |
| 3.4.2 | 计算第一费涅耳区半径 $F_1$    | (24) |
| 3.4.3 | 计算反射点处的地球凸起高度 $H_b$ | (26) |
| 3.4.4 | 计算路径余隙 $H_c$        | (27) |
| 3.4.5 | $P-V$ 曲线在工程中的应用     | (28) |
| 3.4.6 | $K$ 值变化对路径余隙的影响     | (30) |
| 1.    | 等效地球半径系数 $K$        | (30) |
| 2.    | $K$ 值在工程设计中的意义      | (31) |
| 3.4.7 | 雨、雾、雪引起的电波衰减        | (33) |
| 3.4.8 | 反射损耗和绕射损耗           | (34) |
| 3.5   | 天线高度的计算步骤           | (34) |
| 3.6   | 工程计算流程图和程序          | (35) |
| 3.6.1 | 程序编号及名称             | (35) |

|            |                                       |             |
|------------|---------------------------------------|-------------|
| 3.6.2      | 工程计算的流程图                              | (35)        |
| 3.6.3      | 工程计算程序及说明                             | (35)        |
| 1.         | 工程计算程序                                | (35)        |
| 2.         | 程序功能和使用说明                             | (36)        |
| 3.7        | 工程计算实例                                | (38)        |
| 3.7.1      | 使用计算器进行工程计算                           | (38)        |
| 3.7.2      | 运用程序 WB—3 进行工程计算                      | (40)        |
| <b>第四章</b> | <b>刃障时最佳天线高度 <math>H_2</math> 的计算</b> | <b>(42)</b> |
| 4.1        | 刃形障碍物在传输路径上显示的特点                      | (42)        |
| 4.2        | 刃形障碍物在确定天线高度 $H_2$ 中显示的特点             | (43)        |
| 4.2.1      | 利用刃障,可以降低天线高度,提高传输质量                  | (44)        |
| 4.2.2      | 利用刃障地形简化了确定最佳天线高度 $H_2$ 的过程           | (44)        |
| 4.3        | 工程计算的流程图和程序                           | (44)        |
| 4.3.1      | 程序编号及名称                               | (44)        |
| 4.3.2      | 工程计算的流程图                              | (44)        |
| 4.3.3      | 工程计算程序和说明                             | (44)        |
| 1.         | 工程计算程序                                | (44)        |
| 2.         | 计算程序功能和使用说明                           | (46)        |
| 4.4        | 工程计算实例                                | (47)        |
| 4.4.1      | 使用计算器进行工程计算                           | (47)        |
| 4.4.2      | 运用程序 WB—4 进行工程计算                      | (48)        |
| <b>第五章</b> | <b>电路几何参数的核算</b>                      | <b>(50)</b> |
| 5.1        | 核算工程设计中选择的电路工作点                       | (50)        |
| 5.2        | 工程计算的流程图和程序                           | (51)        |
| 5.2.1      | 程序编号及名称                               | (51)        |
| 5.2.2      | 工程计算的流程图                              | (51)        |
| 5.2.3      | 工程计算程序和说明                             | (51)        |
| 1.         | 工程计算程序                                | (51)        |

|                                    |      |
|------------------------------------|------|
| 2. 计算程序功能和使用说明 .....               | (52) |
| 5.3 工程计算实例 .....                   | (54) |
| 5.3.1 例一 .....                     | (54) |
| 5.3.2 例二 .....                     | (55) |
| <b>第六章 线路垂直角的计算</b> .....          | (57) |
| 6.1 线路垂直角的含义 .....                 | (57) |
| 6.2 线路垂直角的计算公式 .....               | (58) |
| 6.3 工程设计的流程图和程序 .....              | (58) |
| 6.3.1 程序编号及名称 .....                | (58) |
| 6.3.2 工程计算的流程图 .....               | (58) |
| 6.3.3 工程计算程序和说明 .....              | (58) |
| 1. 工程计算程序 .....                    | (58) |
| 2. 计算程序功能和使用说明 .....               | (60) |
| 6.4 工程计算实例 .....                   | (61) |
| 6.4.1 使用计算器进行工程计算 .....            | (61) |
| 6.4.2 运用程序 WB—6 进行工程计算 .....       | (61) |
| <b>第七章 大中容量数字微波通道性能指标的计算</b> ..... | (63) |
| 7.1 讨论系统性能指标的意义 .....              | (63) |
| 7.2 数字微波线路指标的规定 .....              | (64) |
| 7.2.1 数字微波系统由三个质量等级的通道组成 .....     | (64) |
| 7.2.2 高级数字微波通道的性能指标 .....          | (65) |
| 7.2.3 中级数字微波通道的性能指标 .....          | (65) |
| 7.2.4 用户级数字微波通道的性能指标 .....         | (66) |
| 7.3 系统性能指标的估算方法 .....              | (67) |
| 7.3.1 平衰落对传播的影响 .....              | (68) |
| 7.3.2 选择性衰落对传播的影响 .....            | (68) |
| 7.3.3 计算频率选择性衰落中断概率的方法 .....       | (71) |
| 7.3.4 干扰噪声产生的影响 .....              | (72) |
| 7.3.5 衰落时综合瞬断率的计算 .....            | (73) |

|            |                         |             |
|------------|-------------------------|-------------|
| 7.4        | 分集接收在对抗频率选择性衰落中的作用      | (73)        |
| 7.4.1      | 分集接收及其应用范围              | (74)        |
| 7.4.2      | 分集接收改善系数的讨论             | (74)        |
| 7.4.3      | 空间分集的正确选用               | (75)        |
| 7.5        | 电路指标的分配                 | (76)        |
| 7.6        | 瑞利衰落概率预测公式的选用           | (77)        |
| 7.6.1      | 瑞利衰落概率算法一               | (78)        |
| 7.6.2      | 瑞利衰落概率算法二               | (79)        |
| 7.6.3      | 其它算法                    | (79)        |
| 7.7        | 通道性能指标的计算步骤             | (79)        |
| 7.8        | 通道性能指标计算的流程图和程序         | (80)        |
| 7.8.1      | 程序编号和名称                 | (80)        |
| 7.8.2      | 工程计算流程图                 | (80)        |
| 7.8.3      | 工程计算程序和说明               | (82)        |
| 1.         | 工程计算程序                  | (82)        |
| 2.         | 计算程序说明                  | (83)        |
| 7.9        | 工程计算实例                  | (84)        |
| 7.9.1      | 程序操作说明                  | (84)        |
| 7.9.2      | 计算实例                    | (85)        |
| 1.         | 实例一                     | (85)        |
| 2.         | 实例二                     | (85)        |
| 3.         | 实例三                     | (86)        |
| <b>第八章</b> | <b>小容量数字微波通道性能指标的计算</b> | <b>(88)</b> |
| 8.1        | 用户级数字微波通道的性能指标          | (88)        |
| 8.2        | 小容量数字微波通道性能指标的计算步骤      | (89)        |
| 8.3        | 工程计算的流程图和程序             | (89)        |
| 8.3.1      | 程序编号及名称                 | (89)        |
| 8.3.2      | 工程计算的流程图                | (90)        |
| 8.3.3      | 工程计算程序和说明               | (90)        |

|                                  |             |
|----------------------------------|-------------|
| 1. 工程计算程序 .....                  | (90)        |
| 2. 计算程序功能和使用说明 .....             | (91)        |
| 8.4 工程计算实例 .....                 | (92)        |
| 8.4.1 实例 .....                   | (92)        |
| 8.4.2 用计算器计算 .....               | (92)        |
| 8.4.3 用程序 WB—8 进行计算 .....        | (93)        |
| <b>第九章 大中容量模拟微波线路质量的计算 .....</b> | <b>(94)</b> |
| 9.1 模拟假设参考电路的组成 .....            | (94)        |
| 9.2 视距微波通信系统中的噪声 .....           | (95)        |
| 9.2.1 热噪声的产生 .....               | (96)        |
| 9.2.2 热噪声的计算 .....               | (96)        |
| 9.3 基带内热噪声的均衡 .....              | (99)        |
| 9.3.1 基带中信噪比的均衡原理 .....          | (99)        |
| 9.3.2 预加重、去加重特性曲线 .....          | (101)       |
| 9.4 模拟微波线路的质量要求 .....            | (103)       |
| 9.4.1 假设参考电路的要求 .....            | (103)       |
| 9.4.2 在实际线路上建立电路的要求 .....        | (103)       |
| 9.5 系统性能指标的估算方法 .....            | (104)       |
| 9.6 线路质量指标的计算步骤 .....            | (106)       |
| 9.7 模拟微波线路质量计算的流程图和程序 .....      | (107)       |
| 9.7.1 程序编号和名称 .....              | (107)       |
| 9.7.2 工程计算流程图 .....              | (107)       |
| 9.7.3 工程计算程序和说明 .....            | (107)       |
| 1. 工程计算程序 .....                  | (107)       |
| 2. 计算程序说明 .....                  | (109)       |
| 9.8 工程计算实例 .....                 | (110)       |
| 9.8.1 计算程序操作说明 .....             | (110)       |
| 9.8.2 工程计算实例 .....               | (110)       |
| 1. 使用计算器进行工程计算 .....             | (110)       |

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| 2. 运用程序 WB—9 进行工程计算 .....      | (114) |
| <b>第十章 空间分集接收天线高差的计算</b> ..... | (116) |
| 10.1 应用分集接收技术,提高系统可靠性 .....    | (116) |
| 10.1.1 分集接收及其应用范围 .....        | (116) |
| 10.1.2 分集接收是提高系统可靠性的有效措施 ..... | (117) |
| 10.1.3 分集接收可以大大提高电路的信噪比 .....  | (118) |
| 10.2 分集接收中的相关系数 .....          | (118) |
| 10.2.1 相关系数及其变化范围 .....        | (118) |
| 10.2.2 两衰落信号之间的相关性 .....       | (119) |
| 10.3 空间分集接收天线高差的设计原理 .....     | (120) |
| 10.3.1 有地面反射时,接收天线的干涉场 .....   | (120) |
| 10.3.2 有地面反射时,天线高差的计算 .....    | (122) |
| 10.3.3 无地面反射时,天线高差的计算 .....    | (124) |
| 10.3.4 空间分集接收天线高差的确定原则 .....   | (125) |
| 10.4 空间分集接收天线高差的计算步骤 .....     | (126) |
| 10.5 分集接收天线高差计算的流程图和程序 .....   | (127) |
| 10.5.1 程序编号及名称 .....           | (127) |
| 10.5.2 工程计算流程图 .....           | (127) |
| 10.5.3 工程计算程序和说明 .....         | (127) |
| 1. 工程计算程序 .....                | (127) |
| 2. 计算程序功能和使用说明 .....           | (129) |
| 10.6 工程计算实例 .....              | (130) |
| 10.6.1 计算实例 .....              | (130) |
| 10.6.2 使用计算器进行工程计算 .....       | (131) |
| 1. 以克服 K 型衰落为主时 .....          | (131) |
| 2. 以克服波道型衰落为主时 .....           | (131) |
| 10.6.3 运用程序 WB—10 进行工程计算 ..... | (132) |
| <b>第十一章 卫星地球站三参数的计算</b> .....  | (133) |
| 11.1 目前地球站常用的工作频段 .....        | (133) |

|        |                                |       |
|--------|--------------------------------|-------|
| 11.2   | 地球站允许微波通信系统电磁干扰的标准.....        | (134) |
| 11.3   | 卫星广播电视系统的相关参数.....             | (136) |
| 1.     | 等效全向辐射功率( $EIRP$ ) .....       | (136) |
| 2.     | 自由空间传播损耗( $L_F$ ) .....        | (136) |
| 3.     | 天线的旁瓣特性.....                   | (137) |
| 4.     | 地球站对卫星的通信方位角.....              | (137) |
| 5.     | 地球站对卫星的仰角.....                 | (138) |
| 6.     | 地球站对卫星的通信距离.....               | (139) |
| 11.4   | 微波通信线路工程设计中要避免与地球站的同频干扰 ...    | (140) |
| 11.5   | 三参数的计算和电磁干扰的判断步骤.....          | (140) |
| 11.6   | 计算地球站三参数的流程图和程序.....           | (141) |
| 11.6.1 | 程序编号和名称.....                   | (141) |
| 11.6.2 | 工程计算的流程图.....                  | (141) |
| 11.6.3 | 工程计算程序和说明.....                 | (141) |
| 1.     | 工程计算程序.....                    | (141) |
| 2.     | 计算程序功能和使用说明.....               | (142) |
| 11.7   | 工程计算实例.....                    | (142) |
| 11.7.1 | 使用计算器进行工程计算.....               | (143) |
| 11.7.2 | 运用程序 WB—11 计算地球站三参数 .....      | (145) |
| 附图一    | $K_{\min}$ 值与站距 $d$ 关系曲线 ..... | (146) |
| 附图二    | 1%衰落深度与站距 $d$ 关系曲线 .....       | (147) |
|        | 主要参考资料.....                    | (148) |

# 第一章 站距和方位角计算

在微波接力通信中,为了保证一定的通信质量,首先碰到的一个问题是收、发两站的距离(下称站距)是多少?通信方向是怎样的?为回答这些问题,本章作如下讨论。

## 1.1 设计方法和步骤

### 1.1.1 站距和方位角的计算意义

微波通信需要的各种设备,要遵守经过国家批准的技术体制。由技术体制又提出了诸多的技术指标(例如,发信机就有发信功率是多少这一指标,接收机在标准段距的收信功率是多少等等),由此决定了通信距离不能过长或过短。一般说,站距不大于70km,不小于25km,否则会影响通信质量或增加工程投资。同样,由于设备技术体制方面的原因(例如,抛物面天线的定向性),决定了微波通信的方向不能是任意的,在发信站确定基准方向以后,发信站到收信站的通信角度也就决定了。这个角度就叫通信方位角。习惯上是以真北方向为基准来定义通信方位角的。

在微波接力通信工程设计中,为保证站距和方位角有一定精度,需要通过数学方法来求得。这是在室内选线意向初定的状况下,即路由走向已经初定,站址选择已经初定的状况下,依据地图上投影坐标的数值,运用三角函数的算式,进行计算的。

## 1.1.2 设计方法

在进行站距和方位角的多种计算中,本章仅介绍一种常用的直角坐标算法。这个方法需要对地图有一定的了解。

### 1. 设计用的地图简介

带有投影坐标的地图,是微波接力通信工程设计中必定使用的

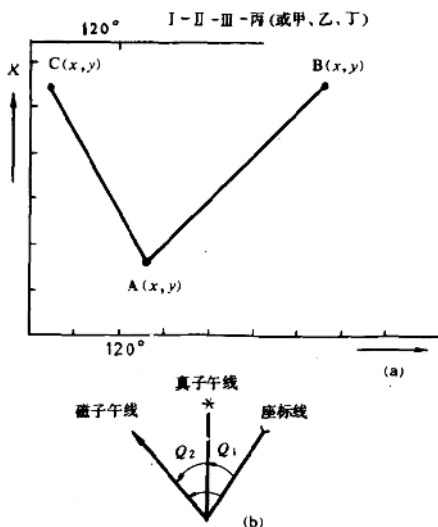


图 1.1 设计用地图的示意图

资料。图 1.1 是这类地图中 5 万分之一地图的示意图。图上有详细的地物及其高程可供查阅。图中纵线表示地球经度,横线表示地球纬度,纵线、横线顶端均有数值可供摘用。图的顶端标有“I-II-III-丙”的字样,这是图号,其中“I”是一位数字,“II”是两位数字,“III”是三位数字,在“丙”这位置上还可以是“甲”,“乙”,或是“丁”。地图的下方标有坐标线、真子午线、磁子午线三者间的关系。这种图的垂直边框

线为真子午线,也称真北线。此图上、下、左、右均有可供拼接的标志,使用十分方便。

图 1.1 中,为引起注意,特地标了“120°”这根经线,它是经度  $6^\circ$  的整数倍,同样可以标成  $108^\circ$ ,  $114^\circ$  等。在所使用的地图上,称其为换“带”线,“带”线两侧用了不同的坐标系。

## 2. 子午线和坐标线间的关系

图 1.2 摘录了设计用地图上坐标线、真子午线、磁子午线三者之间的关系,在设计用地图的下方均标有此关系图。为工程计算方便计,可以设真子午线与坐标线的夹角为  $Q_1$ ,如图 1.2 中  $Q_1$  所示。在

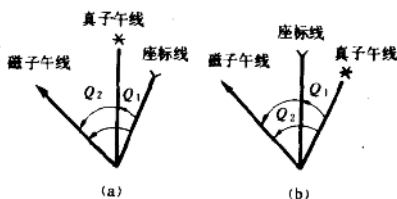


图 1.2 子午线和坐标线间的关系

实际工作中会遇到两种情况,即  $Q_1$  的取值可“+”,可“-”。我们规定:以坐标线为准,逆时针、小于  $180^\circ$  转向真子午线的  $Q_1$  取“+”,如图 1.2(a)所示,这是第一种情况;顺时针、小于  $180^\circ$  转向真子午线的  $Q_1$  取“-”,如图 1.2(b)所示,这是第二种情况。

图 1.2 中,可以设磁子午线与真子午线的夹角为  $Q_2$ ,这个角习惯上称为磁偏角,它不参加运算,但在组织施工中,有较大的实用价值,应注意运用。

## 3. 站距和方位角的计算方法

在图 1.1 中标有 A、B、C 三点,表示了三个通信微波站的代号,需要计算的站距是指发信站 A 到收信站 B(或站 C)的距离。需要计算的通信方位角是指发信站 A 的真北方向基准线与 AB 联线顺时针方向的夹角,如图 1.3 中  $\alpha_1$  所示。同样,发信站 A 到收信站 C 的方

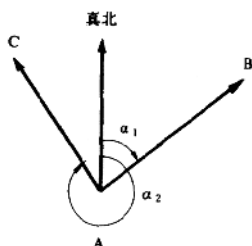


图 1.3 计算方位角示意图

位角是指 A 站的真北线与 AC 联线顺时针方向的夹角,如图 1.3 中  $\alpha_2$  所示。

通信方位角正确地反映了通信方向。

站距和方位角的计算,都需要引用地图上经纬线的数值,运用平面几何和三角函数的知识来求得。

#### 4. 发信站到受信站通信方位的确定

在使用计算器进行工程计算时,会遇到正确确定通信方位(方向)的问题。这关系着正确计算通信方位角的问题。方向定错了,方位角必然会算错,就不能实现通信的目的。这是手工计算中要注意的一个问题。

那末,通信方位怎么确定呢?这与阅图习惯相同,例如:

在图 1.1 中,以 A 为发信站, B 为受信站,对 A 站来说,通信方向是西南至东北,通信方位角(以真北线为基准,顺时针转向 AB 的)  $\alpha_1 < 90^\circ$ ,这是第一种情况。为计算方便计,可以令  $SO=1$ ,通信方位是西南至东北。

反之,以 B 为发信站, A 为受信站,对 B 站来说,通信方向是东北至西南,这时的通信方位角介于  $180^\circ \sim 270^\circ$  之间,这是第二种情况。为计算方便计,可以令  $SO=2$ ,通信方位是东北至西南。

第三种情况是通信方位角介于  $90^\circ \sim 180^\circ$  之间,令  $SO=3$ ,通信方位为西北至东南(如图 1.1 中, C 站到 A 站)。

第四种情况是通信方位角介于  $270^\circ \sim 360^\circ$  之间,令  $SO=4$ ,通信方位为东南至西北(如图 1.1 中, A 站到 C 站)。

### 1.1.3 设计步骤

1. 搜集、整理通信沿线的带有投影坐标的 5 万分一地图。在这

地图上查到(或设定)发信、收信站的站址,作好记录,并记下图号。

2. 记录发信站纬度坐标  $X_1$  (在图 1.1 中是横线顶端数值) 和经度坐标  $Y_1$  (在图 1.1 中是纵线顶端数值, 纵线在图 1.2 中是坐标线), 收信站纬度坐标  $X_2$  和经度坐标  $Y_2$ 。

3. 记录发信站所对应的地图下方标出的子午线和坐标线间的关系图例和数值。

4. 记录发信站到收信站的通信方向。

5. 计算站距  $d_0$ :

$$d_0 = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (1.1)$$

式中:  $\Delta X = |X_1 - X_2|$

$$\Delta Y = |Y_1 - Y_2|$$

计算精度要求达到 1/10km。

6. 计算发信站到收信站的通信方位角  $AQ$ :

$$AQ = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\Delta Y}{\Delta X} + Q_1$$

式中,  $\Delta X$ 、 $\Delta Y$  含义同(1.1)式。

根据 1.1.2 节设计方法所设, 当

$$SO=1 \text{ 时}, AQ = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\Delta Y}{\Delta X} + Q_1 \quad (1.2)$$

$$SO=2 \text{ 时}, AQ = 180^\circ + \operatorname{tg}^{-1} \frac{\Delta Y}{\Delta X} + Q_1 \quad (1.3)$$

$$SO=3 \text{ 时}, AQ = 180^\circ - \operatorname{tg}^{-1} \frac{\Delta Y}{\Delta X} + Q_1 \quad (1.4)$$

$$SO=4 \text{ 时}, AQ = 360^\circ - \operatorname{tg}^{-1} \frac{\Delta Y}{\Delta X} + Q_1 \quad (1.5)$$

计算精度要求达到 1/10 度。

算式中  $Q_1$  的取值, 不论是“+”或“-”, 可以直接代入算式, 进行运算。

#### 1.1.4 运用地图中要注意的事项

1. 要注意所使用地图的出版年月, 如果出版年月太早, 图上所