中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

水 利 工 程 测 量

（农业水利技术专业）

主　　编　肖国城
责任主审　张勇传
审　　稿　徐学军
　　袁艳斌

中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书共15章，主要内容为：第一章至第六章介绍测量的基本工作和常用仪器；第七章至第十章介绍大比例尺地形图的测绘；第十一章介绍地形图的阅读和应用；第十二章至第十五章介绍水利工程规划、设计、施工和管理阶段的主要测量工作。

本书为中等专业（职业）学校、技工学校教学用书，可供农业水利技术专业教学使用，也可供水利水电工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

水利工程测量/肖国城主编．－北京：中国水利水电出版社，2002
中等职业教育国家规划教材
ISBN 7－5084－1344－X

Ⅰ．**水…** Ⅱ．**肖…** Ⅲ．**水利工程测量-专业学校-教材** Ⅳ．TV221

中国版本图书馆 CIP **数据核字（**2002**）第** 099817 **号**

书　　名	**中等职业教育国家规划教材** **水利工程测量（农业水利技术专业）**
作　　者	**主编　肖国城**
出版、发行	**中国水利水电出版社（北京市三里河路** 6 **号　**100044**）** **网址：**www.waterpub.com.cn E－mail：sale@waterpub.com.cn **电话：（**010**）**63202266**（总机）、**68331835**（发行部）**
经　　售	**全国各地新华书店**
排　　版	**中国水利水电出版社微机排版中心**
印　　刷	**北京市兴怀印刷厂**
规　　格	787×1092 **毫米　**16 **开本　**10.75 **印张　**255 **千字**
版　　次	2003 **年** 1 **月第一版　**2003 **年** 1 **月第一次印刷**
印　　数	0001—3100 **册**
定　　价	**13.90 元**

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换
版权所有·侵权必究

中等职业教育国家规划教材
出 版 说 明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向21世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成[2001]1号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从2001年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2002年10月

前　言

本书根据教育部颁布的中等职业学校水利工程类相关专业通用的水利工程测量教学大纲（试行）和2002年3月水利水电专业中等职业教育国家规划教材编写工作会议确定而编写的。

本书力求科学性、实用性和先进性。有关术语、技术要求以GB／T50228—96《工程测量基本术语标准》（中国计划出版社，1996）和SL 197—97《水利水电工程测量规范》（中国水利水电出版社，1997）为依据。本书文字叙述力求精练、顺畅和准确，适合中等专业学校农业水利技术专业教学的需要。

本书由沈阳农业大学高等职业技术学院黄文义编写第十一章；黄河水利职业技术学院纪勇编写第六、八、九、十、十五章；安徽水利水电职业技术学院王国玖编写第二、三、四、五章；福建水利电力学校肖国城担任主编并编写其余各章节。

带“＊”号的章节为选修内容。

本书经全国中等职业教育教材审定委员会审定，由华中科技大学张勇传院士担任责任主审，华中科技大学副教授徐学军、袁艳斌审稿，中国水利水电出版社另聘沈阳农业大学高等职业技术学院黄文义和郑州水利学校周海滨主审了全稿，提出了许多宝贵的修改意见，在此一并表示感谢。

限于编者水平，书中难免存在不妥之处，恳请广大读者赐教指正。

编　者

2002年11月

目　录

出版说明
前 言
第一章　绪论 …… 1
　第一节　测量学的任务和作用 …… 1
　第二节　地面点位置的确定方法 …… 2
　习题与思考题 …… 5
第二章　水准测量 …… 6
　第一节　水准测量的原理 …… 6
　第二节　水准测量的仪器和工具 …… 7
　第三节　水准测量的施测方法 …… 11
＊第四节　水准仪的检验和校正 …… 13
＊第五节　水准测量的误差来源及消减方法 …… 16
＊第六节　精密水准仪和自动安平水准仪简介 …… 16
　习题与思考题 …… 19
第三章　角度测量 …… 20
　第一节　水平角测量的原理 …… 20
　第二节　光学经纬仪 …… 20
　第三节　光学经纬仪的操作方法 …… 24
　第四节　水平角测量 …… 26
　第五节　垂直角测量 …… 30
＊第六节　光学经纬仪的检验和校正 …… 33
＊第七节　角度测量的误差来源及消减方法 …… 35
　习题与思考题 …… 36
第四章　距离测量 …… 38
　第一节　视距测量 …… 38
　第二节　钢尺量距 …… 40
　第三节　电磁波测距 …… 44
　习题与思考题 …… 47
第五章　方位角测量 …… 49
　第一节　方位角的概念 …… 49

第二节　磁方位角测量 …… 51
习题与思考题 …… 52
* 第六章　三维坐标测量 …… 53
第一节　全站型电子速测仪 …… 53
第二节　GPS 测量 …… 56
习题与思考题 …… 59
第七章　地形测量概述 …… 60
第一节　地形图的基本知识 …… 60
第二节　地形测量作业原则 …… 61
第三节　控制测量概述 …… 63
习题与思考题 …… 64
第八章　平面控制测量 …… 65
第一节　导线测量的外业工作 …… 65
第二节　导线测量的坐标计算 …… 68
* 第三节　小三角测量 …… 78
* 第四节　交会法测量 …… 81
习题与思考题 …… 83
第九章　高程控制测量 …… 85
第一节　三、四、五等水准测量 …… 85
第二节　三角高程测量 …… 89
第三节　高程计算 …… 92
习题与思考题 …… 95
第十章　地形测图 …… 97
第一节　地形测图前的准备工作 …… 97
第二节　地物的测绘 …… 98
第三节　地貌的测绘 …… 102
第四节　经纬仪和全站仪测图 …… 107
第五节　地形图的绘制 …… 109
* 第六节　数字化测图简介 …… 113
习题与思考题 …… 116
第十一章　地形图在水利工程建设中的应用 …… 117
第一节　地形图的分幅和编号 …… 117
第二节　地形图的基本应用 …… 119
第三节　地形图在水利工程规划设计中的应用 …… 121
习题与思考题 …… 126
* 第十二章　水利工程规划阶段的测量工作 …… 128
第一节　河道水位和水深测量 …… 128
第二节　河道纵横断面的测绘 …… 129

第三节　水下地形测量 …… 132
习题与思考题 …… 133
第十三章　水利工程设计阶段的测量工作 …… 134
第一节　水库测量 …… 134
第二节　渠道测量 …… 135
习题与思考题 …… 141
第十四章　水利工程施工阶段的测量工作 …… 143
第一节　水利工程的施工控制网 …… 143
第二节　施工放样概述 …… 144
第三节　施工放样的基本工作 …… 144
* 第四节　混凝土重力坝的施工测量 …… 150
习题与思考题 …… 153
* 第十五章　水利工程管理阶段的测量工作 …… 154
第一节　概述 …… 154
第二节　垂直位移测量 …… 154
第三节　水平位移测量 …… 156
第四节　变形测量资料的整理 …… 159
习题与思考题 …… 159
参考文献 …… 160

第一章　绪　　论

第一节　测量学的任务和作用

一、测量学的研究对象

测量学是研究如何测定地面点的平面位置和高程，将地球表面的地形及其他信息测绘成图，以及确定地球的形状和大小等的科学。

工程测量学是研究工程建设和自然资源开发中各个阶段进行的控制测量、地形测绘、施工放样、变形监测及建立相应信息系统的理论和技术的学科。

测量科学和其他科学一样，是在实际生产的需要和人类创造性的劳动中发展起来的。

随着近代科学技术的发展，测绘科学进入了一个崭新的发展时期，使测量工作和仪器发生了根本性的变化，电磁波测距仪、电子水准仪、电子经纬仪和全站仪等，这些仪器集光、机、电于一体，利用微电子技术，从而实现测量数据自动采集、自动处理、贮存与输出。

数字化自动成图系统，其中包括航测数字化成图与全站仪数字化成图，它与传统方法相比，具有成图周期短、劳动强度小、图纸精度高等无可比拟的优点。

“3S”(地理信息系统 GIS——Geographical Information System、全球定位系统 GPS——Global Positioning System 和遥感 RS——Remote Sensing)的崛起，使测绘科学走向更高层次的电子化与自动化。

二、测量学的主要任务

(1) 地形测量。测绘地形图的工作。

(2) 施工测量。工程施工阶段进行的测量工作。

(3) 变形测量。对建筑物、构筑物及其地基或一定范围内岩体及土体的位移、沉降、倾斜、挠度、裂缝等所进行的测量工作，亦称变形观测或变形监测。

三、测量的基本工作

测量工作主要是测定和测设地面点的平面位置与高程，因此，它的基本工作包括以下内容。

(1) 高程测量。确定地面点高程的测量工作。

(2) 角度测量。确定水平角和垂直角的测量工作。

(3) 距离测量。确定两点间长度的测量工作。

(4) 方位角测量。确定直线方位角的测量工作。

(5) 三维坐标测量。同时确定地面点的平面位置和高程（三维坐标）的测量工作。

四、测量常用仪器

不同的测量工作，使用的仪器不同。常用仪器有如下几种。

(1) 水准仪。测定和测设高程的仪器。

（2）经纬仪。主要用于测定和测设角度的仪器。

（3）测距仪。测定和测设距离的仪器。

（4）罗盘仪。测定和测设方位角的仪器。

（5）全站仪。主要用于测定和测设三维坐标的仪器。

五、测量在水利工程建设中的作用

水利工程规划阶段，按照综合利用水利资源的原则，根据勘测资料，首先应对某一流域进行各种开发方案的综合研究，对全流域提出规划报告，确定河流的梯级开发方案，拟定其开发方式。

水利工程设计阶段，设计工作应严格按照基本建设的程序进行，我国水利工程的设计步骤一般分为：可行性研究、初步设计、技术设计和施工详图。

在水利工程规划设计阶段，测量工作的主要任务是为水利工程设计提供必要的地形资料（如地形图等）和其他测绘资料（如河道纵断面图等）。

为水利工程设计提供的地形图是一种专业性用图，它在测量精度、地形图所表示的内容等方面都有一定的特殊要求。

水利工程施工阶段，必须采用相应的施工程序和方法。对河川水利枢纽工程而言，其施工程序一般包括：施工导流、基坑排水和开挖、基础处理、主体工程的施工等，在土建工程完工后进行金属结构（如发电机组、闸门等）的安装。

在水利工程施工阶段，测量工作的主要任务是按照设计的意图，将设计图纸上的建筑物按一定的精度要求，把它的平面位置和高程测设于实地，以指示施工。

水利工程管理阶段，其主要任务是随时掌握工程运营中各种建筑物的工作状况，及时发现并消除隐患，通过养护和检修使建筑物和机电设备经常处于良好的工作状态，确保工程的安全运营；延长工程的使用年限，充分发挥工程的综合效力。根据国民经济发展的需要，对工程进行扩建和改建，使之发挥更大的效益。通过运营管理，还可以进一步验证设计的正确性，提高水利工程建设的科学技术水平。

在水利工程管理阶段，测量工作的主要任务是用精密的测量方法，观测建筑物的几何形状的空间变化（外部变形观测），以确保工程安全运行，为工程设计和施工提供可靠的资料。

水利工程测量是水利工程在规划、勘察设计、施工、运营管理各阶段中的测量工作。

水利工程测量是水利工程建设中不可缺少的一个组成部分，无论是在水利工程的规划、设计阶段，还是在施工和管理阶段，都要进行相应内容的测量工作。

水利工程测量是直接为水利工程建设服务的。因此，从事水利工程建设的工程技术人员，应当努力学好测量的基本知识和基本理论，练好测量的基本技能，为水利工程建设做出贡献。

第二节　地面点位置的确定方法

一、地球的三个表面

测量工作是在地球表面上进行的，许多基本理论和数据都涉及地球的形体问题，因

此，对于地球的形状和大小应有所了解。而它的形状和大小可用地球的三个表面（自然表面、物理表面和数学表面）来表述（图 1－1）。

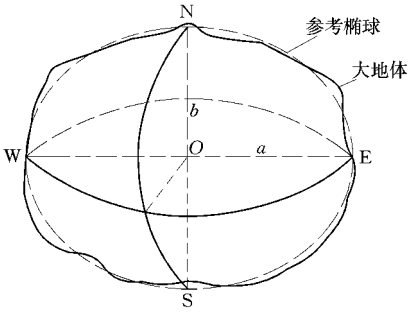


图 1－1　大地体和参考椭球

地球的自然表面有高山、平原、丘陵、海洋等的起伏变化，最高的珠穆朗玛峰海拔为 8848.13m；最低的是太平洋西部的马里亚纳海沟，低于海平面 11022m。这种起伏对于地球球体而言，还是很微小的，由于地球上的海洋占整个地球表面的 71%，因此，地球的形状可认为是被静止海水面所包围的扁球体，其平均半径为 6371km。

地球的物理表面是大地水准面。水自然静止时的表面称为水准面。由于海水位时高时低，所以，水准面有无数个，其中通过平均海水面的水准面称为大地水准面。我国规定以山东青岛黄海平均海水面作为大地水准面。黄海平均海水面的位置，是青岛验潮站对潮汐观测井的水位进行长期观测确定的。水准面的特性是处处与铅垂线垂直。由大地水准面穿过大陆和岛屿包围而成的形体称为大地体（图 1－1）。

地球的数学表面是参考椭球面。由于地球内部质量分布不均匀，引起铅垂线方向不规则的变化，以致大地水准面是一个不规则的曲面，即大地体不是一个规则的椭球体。为了测量计算和投影制图的方便，于是选用一个与大地体非常接近，可用数学式表达的旋转椭球体代替大地体，这个旋转椭球体称为参考椭球，如图 1－1 所示，它是由椭圆 $NESW$ 绕轴 NS 旋转而得到的。它的表面即为参考椭球面。参考椭球的元素有长半径 a，短半径 b 和扁率 e。目前，我国采用西安 80 坐标系基准的参考椭球数据是：

$$a = 6378140\ \text{m}$$

$$b = 6356755\ \text{m}$$

$$e = (a - b)/a = 1 : 298.257$$

二、测量工作的基准线和基准面

在立体几何中，空间一点 P 的位置，是用 X_p、Y_p、Z_p 三个坐标表示的（图 1－2），垂线 PP' 及 XOY 平面是确定空间点位置的基准线和基准面。

地面点也是一个位于三维空间的点，应用三个独立的量表示其位置，同样定义了基准线和基准面。

测量工作的基准线是地面的铅垂线（悬挂着物体自然下垂的直线）。

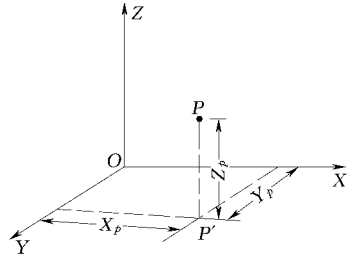


图 1－2　空间直角坐标系

测量工作的基准面是大地水准面，大区域测量工作是以参考椭球面作为基准面的，而小范围（半径为 10km 的圆面积内）的测量工作则是以水平面（与水准面相切的平面）作为基准面的。

三、地面点位的确定方法

在测量工作中，地面点的位置是用地面点在大地水准面（或参考椭球面、水平面）上的投影位置和该点到大地水准面的垂直距离来确定的。

（一）地面点的高程

高程是地面点至高程基准面的垂直距离。高程基准面有大地水准面和水准面，所以，高程有绝对高程和相对高程。

1. 绝对高程

地面点到大地水准面的垂直距离称为绝对高程，亦称海拔。一般用 H 表示。

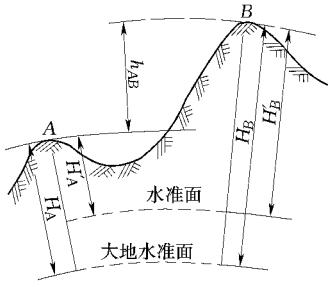


图 1－3　地面点的高程

图 1－3 中，H_A、H_B 分别表示地面点 A、B 的绝对高程。由于大地水准面（平均海水面）不便于随时联测使用，故我国在青岛观象山建立了“中华人民共和国水准原点”作为推算全国高程的依据。1956 年，验潮站根据连续 7 年（1950～1956 年）的潮汐水位观测资料，第一次确定了黄海平均海水面的位置，测得水准原点绝对高程为 72.289m，按这个原点推算全国的高程，称为“1956 年黄海高程系”。后来，验潮站又根据连续 28 年（1952～1979 年）的潮汐水位观测资料，测得水准原点的绝对高程为 72.260m。1987 年国家确定采用这个高程系统，命名为“1985 国家高程基准”。新系统比旧系统高程小 0.029m。

2. 相对高程

地面点至任意水准面的垂直距离称为相对高程，亦称假设高程。一般用 H' 表示。

图 1－3 中，H'_A、H'_B 分别表示地面点 A、B 的相对高程。

3. 高差

高差是同一高程系统中两点间的高程之差。一般用 h 表示。

图 1－3 中，A、B 两点的高差 $h_{AB}=H_B-H_A=H'_B-H'_A$。

应当指出：地面点沿铅垂线到大地水准面的距离称为正常高，而地面点沿法线到参考椭球面的距离称为大地高，两者是有区别的。

相对于水平距离的测量，在高程测量中，地球曲率的影响显著。如距离为 100m 时，所造成的高程测量误差接近 1mm。

（二）地面点的平面位置

地面点的平面位置是指地面点投影至基准面上的位置。通常用坐标表示。

1. 地理坐标

地理坐标有天文地理坐标和大地地理坐标。点在大地水准面上的位置是用天文经度 λ 和天文纬度 ϕ 表示的。点在参考椭球面上的位置则用大地经度 L 和大地纬度 B 表示的。图 1－4 中，O 为参考椭球的球心，NS 为椭球旋转轴，通过该轴的平面称为子午面（如图中 $NPMS$）。子午面与椭球面的交线称为子午线（经线），其中通过英国格林威治天文台的子午面和子午线分别称为起始子午面和起始子午线。通过球心且垂直于旋转轴 NS 的平面称为赤道面，赤道面与参考椭球面的交线称

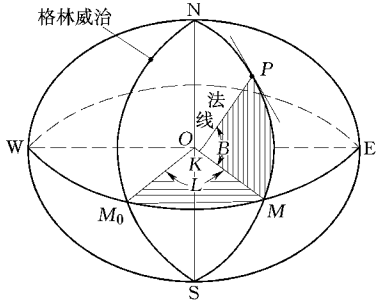


图 1－4　大地坐标

为赤道。通过椭球面上任一点 P 且与该点切平面垂直的直线 PK，称为法线。

大地经度 L 是参考椭球面上某点的子午面与起始子午面的夹角；大地纬度是参考椭球面上某点的法线与赤道面的夹角。

2. 平面直角坐标

前已述及，小范围内进行测量工作时，是用水平面作为基准面，这样可以直接将地面点沿铅垂线投影到水平面上，用平面直角坐标来表示地面点的平面位置。

平面直角坐标系的原点以 O 表示（图 1－5），通过 O 点的南北方向线为 X（纵）轴，向北为正；通过 O 点而垂直于 X 轴的东西方向线为 Y（横）轴，向东为正。象限次序按顺时针方向排列（数学上按逆时针排列）。为了避免测区地面点的坐标出现负值，通常将原点 O 选在测区西南角上，使地面点都投影于第Ⅰ象限内，坐标均为正值。

应当指出：测量工作中的平面直角坐标系是把数学上的平面直角坐标系中的 X 轴和 Y 轴作了互换，这是由于坐标系中的角度，在测量工作中，通常是指从北方向按顺时针方向到某条边的夹角。数学中的全部三角函数公式和符号规则可以直接应用到测量计算中。

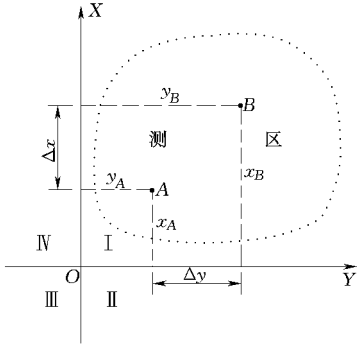


图 1－5　平面直角坐标

3. 高斯平面直角坐标

在广大区域进行测量工作时，需以参考椭球面作为基准面，采用高斯平面直角坐标系（根据高斯—克吕格投影所建立的平面直角坐标系），亦称高斯—克吕格平面坐标系。

我国的地形图原来采用 1954 年北京坐标系（大地原点在北京附近），作为临时过渡性的坐标系，现采用“1980 年国家大地坐标系”（大地原点在陕西省泾阳县永乐镇）。

应当指出：因地面点的坐标需通过测量角度和距离进行计算求得，故角度、距离和高程是确定地面点位置的三个基本要素。

习题与思考题

1. 测量学的研究对象和任务是什么？
2. 测量的基本工作有哪些？
3. 何谓地球的三个表面？
4. 何谓测量工作的基准线和基准面？
5. 何谓水准面、大地水准面、绝对高程和相对高程、高差？
6. 何谓平面直角坐标系？
7. 测量在水利工程建设中有何作用？

第二章　水　准　测　量

高程测量是确定地面点高程的测量工作。主要方法有：水准测量、电磁波测距三角高程测量（EDM）和经纬仪三角高程测量。水准测量是高程测量中精密的一种方法。本章主要介绍水准仪及普通（等外）水准测量。

第一节　水准测量的原理

水准测量是用水准仪和水准尺测定两固定点间高差的工作。

一、水准测量的原理

水准测量的原理是：根据已知点高程，利用水准仪提供的水平视线，测量地面高程已知点和未知点间的高差，从而推算出未知点的高程。

如图 2－1 所示，已知地面点 A 的高程为 H_A，求地面点 B 的高程 H_B。为此，在 A、B 两点上分别竖立水准尺，中间安置水准仪，利用水平视线先后截取 A 点尺上读数 a 和 B 点尺上读数 b。兹规定测量由 A 向 B 进行，A 称为后视点，a 称为后视读数；B 称为前视点，b 称为前视读数。由图 2－1 看出，B 点对 A 点的高差为

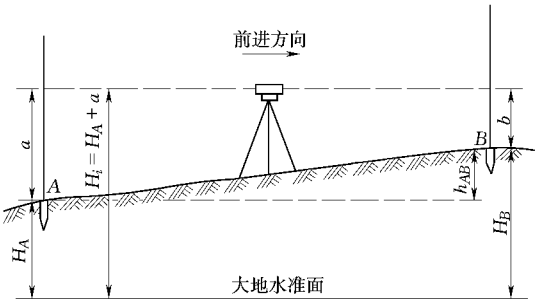


图 2－1　水准测量原理

$$h_{AB} = a - b \tag{2-1}$$

即高差等于后视读数减去前视读数。

应当指出：任何情况下，高差都不得用前视读数减后视读数，即 $h_{AB} \neq b - a$。

于是，B 点的高程为

$$H_B = H_A + h_{AB} \tag{2-2}$$

用式（2－2）计算高程的方法称为高差法。

根据式（2－1）算得的高差，可能为正，亦可能为负，因此高差值前须注上相应的“＋”、“－”符号。高差为正，说明前视点比后视点高；高差为负，说明前视点比后视点低。在计算高程时，高差应连同符号一并运算。

式（2－2）亦可写成

$$H_B = H_A + (a - b) = (H_A + a) - b$$

令 $H_i = H_A + a$，即水准仪的视线高程，称为视线高。根据视线高计算前视点的高程，在工程测量（如渠道测量）中经常遇到。此时

$$H_B = H_i - b \tag{2-3}$$

用式（2－3）计算高程的方法称为视线高法。

二、连续水准测量

当 A、B 两地面点间的高差较大或距离较远，安置一次仪器不能测得其间的高差时，必须分成若干站，逐站安置仪器连续进行观测，如图 2－2 所示，各站间高差为

$$\left.\begin{aligned} h_1 &= a_1 - b_1 \\ h_2 &= a_2 - b_2 \\ &\cdots \\ h_n &= a_n - b_n \end{aligned}\right\}$$

$$h_{AB} = \sum h_i = \sum a - \sum b$$

$$H_B = H_A + h_{AB}$$

写成一般式为

$$H_{终} = H_{始} + \sum h \tag{2-4}$$

图 2－2 中，1、2、3、…、n 各立尺点只起传递高程的作用，本身不需求得高程，这些点称为转点，通常在编号前注以“TP”表示。转点应选择在坚实稳固的突出地面点上，以免水准尺下沉。

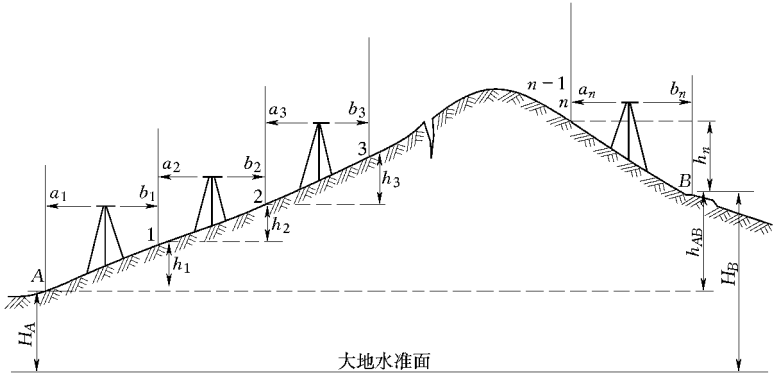


图 2－2　连续水准测量

第二节　水准测量的仪器和工具

水准测量所用的仪器和工具有：水准仪、水准尺和尺垫三种。

一、微倾水准仪

目前工程测量中常用的水准仪有两种：微倾水准仪和自动安平水准仪。下面介绍微倾水准仪。

图 2－3 为我国生产的 DS3 型微倾水准仪。D 和 S 分别为“大地测量”中的大和“水准仪”中的水字汉语拼音的第一个字母；数字 3 表示用这种仪器进行水准测量时，每公里往、返测高差中数的偶然中误差为 ±3mm。这种微倾水准仪由望远镜、水准器和基座三

个主要部分组成。

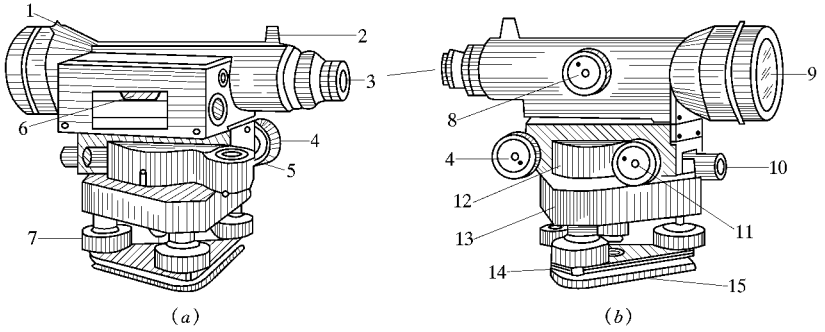


图 2－3　DS3 型微倾水准仪

1—准星；2—缺口；3—目镜；4—微倾螺旋；5—圆水准器；6—水准管；7—脚螺旋；8—物镜调焦螺旋；9—物镜；10—水平制动螺旋；11—水平微动螺旋；12—旋转轴平台；13—轴座；14—三角压板；15—底板

（一）望远镜

望远镜是用以照准目标和对水准尺进行读数的部件。它由物镜、调焦（对光）透镜、十字丝分划板及目镜组成（图 2－4）。镜筒外面装有准星，用来初步照准目标。目标通过物镜在望远镜内形成倒立的小物像（实像）；转动物镜调焦螺旋，调焦透镜则随之前后移动，可使物像落到十字丝平面上。再经过目镜的放大作用，使物像和十字丝同时放大成虚像（图 2－5）。放大后的虚像与眼睛直接看到的目标大小之比值，称为望远镜放大率，通常以 V 表示。放大率是鉴别望远镜质量的主要指标。DS3 型水准仪的望远镜放大率为 30 倍。

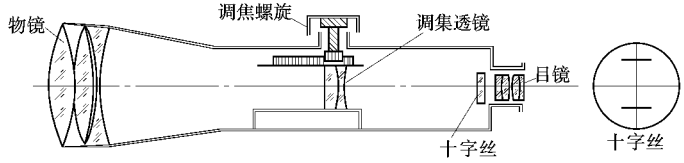


图 2－4　望远镜的构造

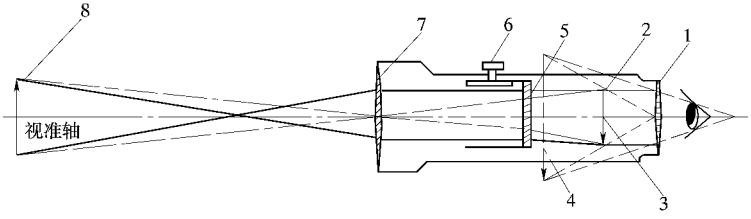


图 2－5　望远镜的成像原理

1—目镜；2—十字丝；3—倒立小实像；4—放大虚像；5—调焦凹透镜；6—调焦螺旋；7—物镜；8—目标

十字丝分划板是一块圆形平板玻璃，上面刻有相互正交的十字丝，装在金属的十字丝

环内。竖丝和中间横丝用来照准水准尺和读取读数，其交点称为十字丝中心。十字丝中心与物镜光心的连线称为视准轴（简称视线）。上下两根横丝用来测量距离，称为视距丝。

（二）水准器

水准器是仪器上的整平部件，有管状水准器（简称水准管）和圆水准器两种。水准仪上的水准管安装在望远镜的左侧，供读数时精确整平视准轴之用；圆水准器安装在旋转轴平台上，供概略整平仪器之用。

1．水准管

水准管是一个两端封闭的玻璃管，其纵向内壁研磨成一定的曲率半径的圆弧，管内充以酒精或乙醚之类的液体，加热融封，冷却后留出空间形成气泡（图 2－6）。水准管圆弧的中点称为水准管的零点；通过零点的切线 LL 称为水准管轴，如图 2－6（a）所示。当气泡的中点与零点重合，即气泡两端与零点成对称时，称为气泡居中，如图 2－6（b）所示，此时水准管轴处于水平位置。

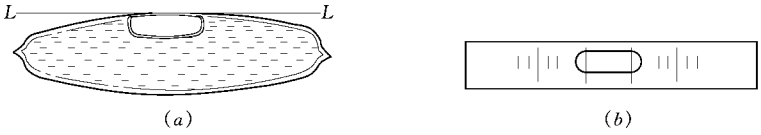


图 2－6　水准管

为了便于判断气泡是否居中，一般在与零点对称的两端刻有间隔为 2mm 的分划线。管上每 2mm 弧长所对的圆心角称为水准管分划值，它是反映水准管性能的重要指标。水准管分划值有 20″、30″和 60″等几种。分划值越小水准管越灵敏，整平精度越高。DS3 型水准仪的水准管分划值为 20″。

为了提高水准管气泡居中的精度，目前生产的水准仪都在水准管上方安装一组棱镜，通过棱镜的反射作用，将气泡两端的像反映到望远镜旁的观察窗内，如图 2－7（a）所示。当两个半边气泡的影像错开，如图 2－7（b）所示，则表明气泡未居中；当两个半边气泡的影像吻合，如图 2－7（c）所示，则表明气泡居中。这种具有棱镜装置的水准管，称为符合水准器。

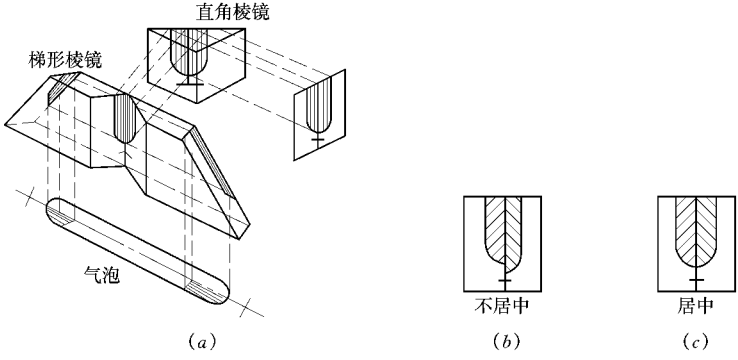


图 2－7　符合水准器

2. **圆水准器**

圆水准器是一个顶面内壁磨成球面的玻璃圆盒，盒内亦装有酒精或乙醚之类的液体，并留出空间形成气泡。玻璃圆盒装嵌在金属框内（图 2－8）。球面中央刻有小圆圈，圆圈中心称为圆水准器的零点。零点与球心的连线称为圆水准器轴。当气泡中心与圆圈中心重合时，表示气泡居中；此时圆水准器轴处于铅垂位置。在圆水准器表面通过零点的各个方向上，每 2mm 弧长所对应的圆心角，称为圆水准器分划值。国产 DS3 型水准仪采用的圆水准器，其分划值一般为 10″。

（三）基座

基座的作用是支承仪器上部，并通过连接螺旋与三脚架连接。它主要由轴座、脚螺旋、底板和三角压板组成（图 2－8）。

二、水准尺

水准尺亦称标尺，采用优质木料或玻璃钢精制而成。以尺底为零或某一数开始，往上漆成黑白（或红白）相间的厘米分划，通常将每分米中的前五个厘米分划连成“E”字型，如图 2－9 所示；“E”字底边有明显标志表示分米（包括整米）的位置，为了便于扶尺和保证竖直，水准尺侧面大都装有扶手和圆水准器。

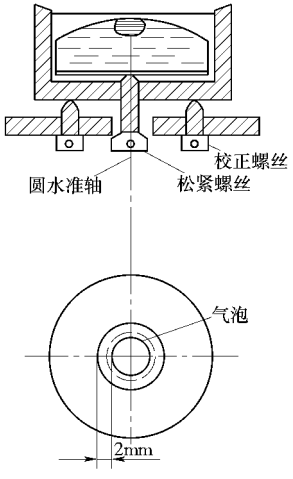


图 2－8　圆水准器

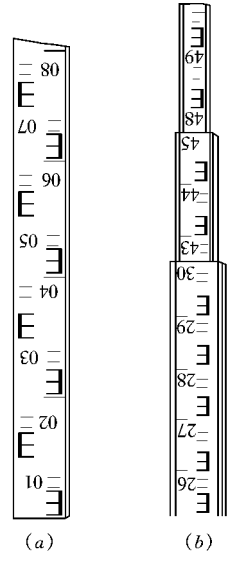


图 2－9　水准尺

常用的水准尺有双面尺和塔尺两种。

双面尺长 3m，即分红、黑两面：黑面分划为黑白相间，是主尺；红面分划为红白相间，是辅尺。双面水准尺总是成对使用。一对双面尺的黑面底部都是从零起算，而红面底部则分别从 4.687m（A 尺）和 4.787m（B 尺）起算。在仪器视线高度不变的情况下，读取同一水准尺的黑、红两面读数，其差值应是常数 4.687 或 4.787，据此可以检核读数是否有误。

塔尺全长 3～5m，由 3 节套装而成，可以伸缩；尺面分划值为 1cm 或 5mm，尺底从

零起算。塔尺各节接合处容易松动，稳定性较差，只适用于精度要求不高的水准测量。

三、尺垫

尺垫一般用生铁铸成或钢板压制而成，状如三角形或圆形，上面有一个突起的圆顶，下面有 3 个支脚（图 2－10）。尺垫是在连续水准测量测定高差时，在转点上支承水准尺所用的工具。使用时将支脚踩入土中，水准尺立在圆顶上。

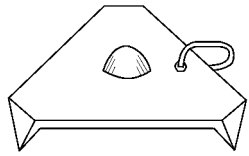


图 2－10　尺垫

第三节　水准测量的施测方法

水准仪的操作方法包括：安置、粗平、照准、精平和读数。

一、水准仪的操作方法

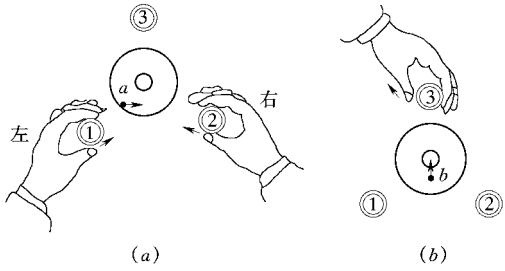
（一）安置

先支起三脚架，使高度适中，拧紧架腿固定螺旋，架头大致水平。从箱中取出水准仪，装到架头上，用中心连接螺旋固紧。

（二）粗平

松开制动螺旋，转动仪器，使圆水准器置于 1、2 两脚螺旋一侧的中部（图 2－11），双手同时向内（或向外）转动这两个脚螺旋，使圆气泡从所偏位置移到这两个脚螺旋联线的中垂线上（如图 2－11 中从 a 移到 b），然后再转动第三个脚螺旋，使气泡移至居中。

操作时应当注意：气泡所在位置偏高，顺时针转动脚螺旋抬高仪器，气泡移动的方向与左手大拇指运动的方向一致。



（a）　　（b）

图 2－11　粗平方法

（三）照准

（1）松开制动螺旋，将望远镜转对明亮的背景，调节目镜，使十字丝清晰。

（2）利用望远镜筒上面的准星和缺口，照准水准尺，然后拧紧制动螺旋。

（3）转动物镜对光螺旋，使水准尺成像清晰。

（4）转动微动螺旋，用十字丝的纵丝照准水准尺中央。

（5）消除视差。经过物镜对光后，尺像应落在十字丝平面上；否则，当眼睛微微上下左右移动时，将看到十字丝的横丝所对水准尺读数也随之变化，这种现象称为十字丝视差（简称视差），如图 2－12 所示。视差的存在严重影响读数的正确性，必须予以消除。为此，应反复调节目镜和物镜对光螺旋，直至眼睛无论在哪个位置观察，横丝所照准的读数始终清晰不变为止。

（四）精平

转动微倾螺旋，同时由气泡观察窗进行观察，至两半气泡吻合为止，如图 2－13 所示。精确整平时应注意：若需右半气泡往下，应按顺时针方向转动微倾螺旋；若需右半气

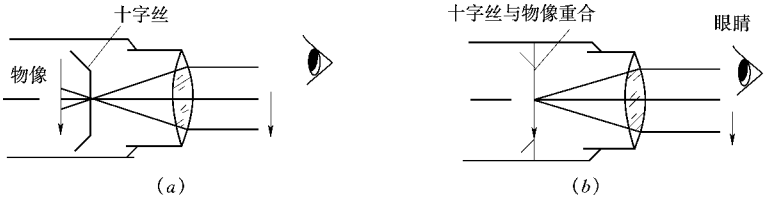


图 2－12　十字丝视差

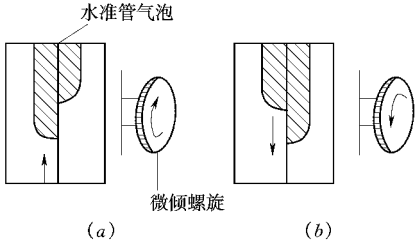


图 2－13　微倾螺旋旋转方向

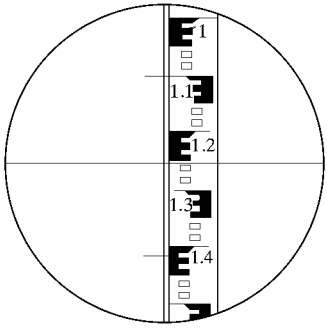


图 2－14　照准水准尺读数

泡往上，应按逆时针方向转动微倾螺旋。

（五）读数

精确整平后，用中丝读取水准尺读数，如图 2－14 所示，读数为 1.258m。先看清所注米数、分米数和厘米数，然后精确估读毫米，读出全部读数。读后再检查气泡是否吻合，若不吻合应当精确整平，重新读数。

二、水准测量的施测

水准测量是按一定的水准路线进行的，现以图 2－15 为例，说明进行水准测量的施测方法。

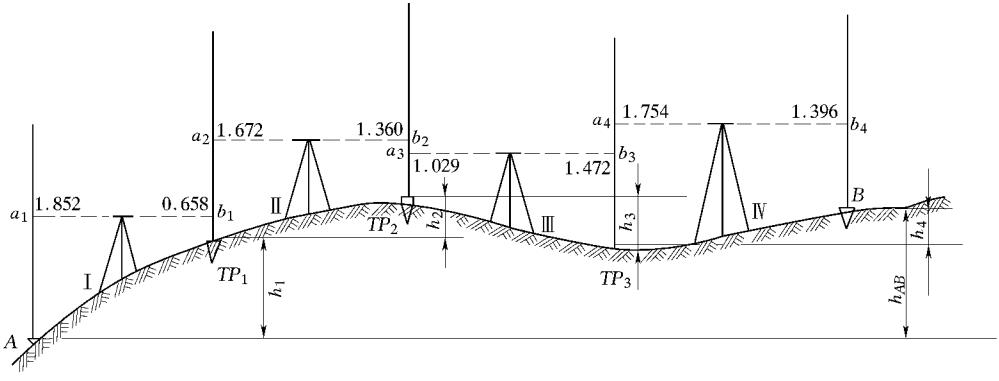


图 2－15　等外水准测量

（1）在起始水准点上竖立水准尺，作为后视。

（2）在路线上适当高度的地方安置水准仪（离水准尺最远不应超过150m），粗平，照准后视尺，消除视差，精平，用中丝读数（1.852m）并记入手簿（表2－1）。

表2－1　　水准测量手簿

名称：××测区　　观测者：王刚　　记录者：李平

1989年10月20日　　天气：晴，微风　　仪器型号：DS3 1841

测站	测点（立尺点）		中丝读数（m）	高差（m）（后视－前视）	高程（m）	备注
1	后视	A	1.852	1.194	71.632	
	前视	TP_1	0.658			
2	后视	TP_1	1.672	0.312		
	前视	TP_2	1.360			
3	后视	TP_2	1.029	－0.443		
	前视	TP_3	1.472			
4	后视	TP_3	1.754	0.358		
	前视	B	1.396		73.053	
校核计算	$\sum a=6.307$　$\sum b=4.886$　$\sum h=+1.421$ $\sum a-\sum b=6.307-4.886=+1.421$ $H_{终}-H_{始}=+1.421$					

（3）在适当高度和距离的地方选定一个转点将尺垫踩紧，在尺垫上竖立水准尺，作为前视。

（4）转动水准仪，照准前视尺，消除视差、精平，用中丝读数（0.658m）并记入手簿。

（5）前视尺位置不动，变作后视；将原来的后视尺移到前面去。

（6）将水准仪移到前面适当高度和距离的地方安置好后，仿（2）、（3）、（4）步的方法进行操作。

记录、计算字迹要工整清晰，读错或记错的数据应当划掉，将正确数据记在它的上方，不能就字改字，不能连环涂改。记录应复诵。

应当指出：当由后视转向前视后，不得重新粗平。

＊第四节　水准仪的检验和校正

水准仪出厂前，虽然进行了严格的检验和校正，但经过长期使用与运输，仪器各轴线的几何关系会逐渐发生变化的，因此，要定期对仪器进行检验和校正，检验是检查仪器是否满足几何条件，校正是调整仪器使之满足几何条件。另外，在仪器检验校正前还必须进行一系列的检查，包括对仪器转动部分、光学部分、水准器部分和三脚架部分做全面检

查，发现问题及时检修。

一、水准仪应满足的几何条件

见图 2－16，它应满足的几何条件是：圆水准器轴 $L'L'$ 应平行于仪器竖轴 VV，十字丝横丝应垂直于竖轴，水准管轴 LL 应平行于视准轴 CC。

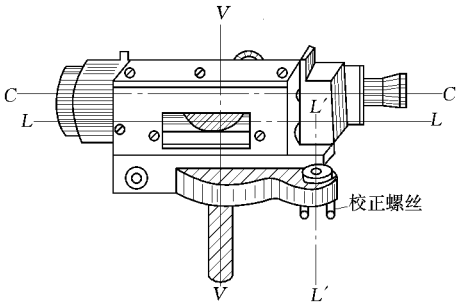


图 2－16　水准仪主要轴线

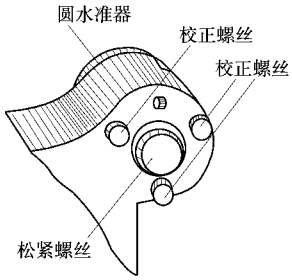


图 2－17　圆水准器校正螺丝

二、水准仪的检验和校正

（一）圆水准器轴的检验和校正

（1）检校目的。使圆水准器轴平行于竖轴。

（2）检验方法。安置仪器，粗平，转动望远镜 180°，若气泡仍居中，说明条件满足，否则应校正。

（3）校正方法。见图 2－17，用校正针拨动圆水准器校正螺丝，使气泡退回偏离值的一半。

（二）十字丝横丝的检验和校正

（1）检校目的。使十字丝横丝垂直于竖轴。

（2）检验方法。安置仪器，粗平，用横丝一端对准远处一明显标志点，如图 2－18 所示，固定制动螺旋，缓缓转动微动螺旋，若标志点始终在横丝上移动，说明条件满足，否则应校正。

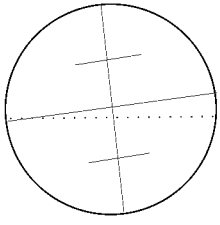


图 2－18　十字丝横丝检验

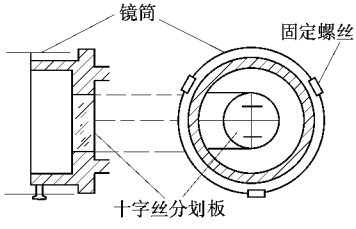


图 2－19　十字丝分划板固定螺丝

（3）校正方法。见图 2－19，松开露在目镜前面的三个十字丝环固定埋头螺丝，转动十字丝环，使横丝末端点与标志点重合，然后旋紧固定螺丝。

应当指出：水准仪读数时应利用横丝中间部分读数，这样，可消减由于横丝不垂直竖轴的误差影响。

（三）水准管轴的检验和校正

1. **检校目的**

使水准管轴平行于视准轴。

2. **检验方法**

（1）在较平坦地面上选择 A、B、C **三点（图** 2－20**），** A、B、C **大致成直线，并使** AC **与** CB **都等于** 40～50m**，用木桩或尺垫做好标志。**

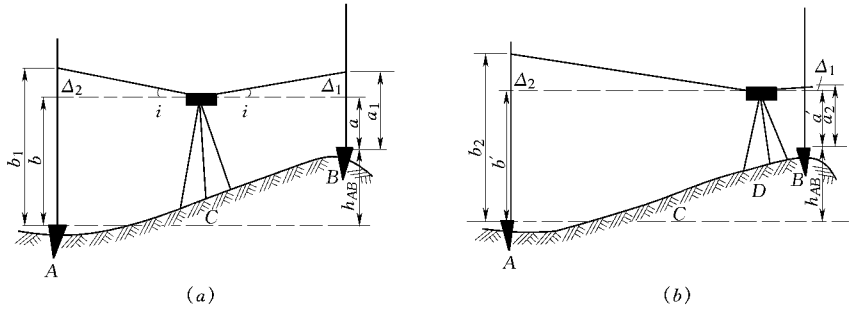


图 2－20　**水准管轴的检验**

仪器安置在 C **点，用变动仪高法连续两次测定** A、B **两点高差，若这两个高差之差不大于** 3mm**，取其平均值作为最后高差。该高差中已消除水准管轴不平行视准轴（简称** i **角误差）的影响。证明如下：**

$$h_{AB} = a_1 - b_1 = (a + \Delta_1) - (b + \Delta_2) = a - b + (\Delta_1 - \Delta_2)$$

$\because$　$\Delta_1 = \Delta_2$

$\therefore$　$h_{AB} = a - b$　**即为正确高差。**

（2）仪器搬至 D **点，距** B **点约** 2～3m**。再测出** A、B **两点高差**

$$h'_{AB} = a_2 - b_2 = (a' + \Delta_1) - (b' + \Delta_2) = a' - b' + (\Delta_1 - \Delta_2)$$

$\because$　Δ_2 **大于** Δ_1

$\therefore$　$\Delta_1 - \Delta_2 \neq 0$

即　$h'_{AB} \neq h_{AB}$**，这是** i **角误差影响的结果。**

若 $|h_{AB} - h'_{AB}| \geqslant 4$ mm**，一般应校正。**

3. **校正方法**

（1）计算正确的 b'**读数。由于** $h_{AB} = a' - b'$**，故** $b' = a' - h_{AB}$**，又因为** a_2 **与** a'**相差很小，所以，可用** a_2 **代替** a'**，即**

$$b' = a_2 - h_{AB}$$

（2）转动微倾螺旋，使横丝对准正确读数 b'**。此时视准轴水平，但气泡不居中，用校正针拨动上下两个校正螺丝（先松后紧），如图** 2－21 **所示。使偏离的气泡居中。**

应当指出：以上各项校正顺序不可颠倒，校正均须反复进行，直到满足要求为止。

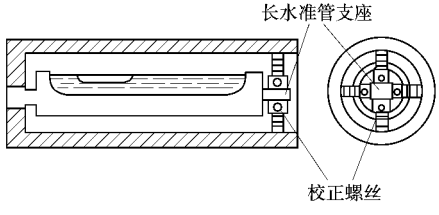


图 2－21　**水准管的校正**

* 第五节　水准测量的误差来源及消减方法

误差就是观测值对其真值（理论值）之差。误差产生的原因是仪器误差、观测误差和外界条件影响。

（一）仪器误差

（1）仪器校正不完善的误差。仪器虽经校正，但不可能绝对完善，还会存在一些残余误差，其中主要是水准管轴不平行视准轴的误差。消减办法是做好仪器校正工作。

（2）调焦误差。对光透镜产生非直线移动而改变视线位置，产生调焦误差。消减办法是仪器安置于距前、后视尺等距离处。

（3）水准尺误差。包括刻划误差和尺底零点不准确等误差。观测前应对水准尺进行检验，消减零点误差的办法是使测段测站数为偶数。

（二）观测误差

（1）精平误差。符合水准器的气泡居中（吻合）误差是与长水准管分划值和视线长度 D 成正比，当 $\tau = 20''$，$D = 100\text{m}$ 时，气泡居中误差约为 0.75mm。因此，在观测时必须严格使符合水准器气泡居中，在晴天观测时，必须打伞保护仪器，特别是保护符合水准器。

（2）读数误差。在水准尺上估读毫米的误差与十字丝的粗细、望远镜放大倍率和视线长度有关。在一般水准测量中，当视线长度为 100m 时，估读误差约为 $\pm 1.5\text{mm}$。

（3）水准尺倾斜误差。水准尺倾斜将使读数增大，当水准尺倾斜 $3°30'$ 时，在尺上 1m 处读数将产生 2mm 的误差。因此，水准尺上圆水准器应检校，扶尺时注意圆水准器气泡居中。

（三）外界条件的影响

（1）仪器升降的误差。由于土壤的弹性及仪器的自重，可能引起仪器上升或下降，从而产生误差。可采取适当的观测程序（如三等水准测量中后—前—前—后顺序观测）加以消减。

（2）尺垫升降的误差。立尺点的尺垫下沉，使测得高差增大；尺垫上升使高差减少。消减办法是一条水准路线采用往返观测，取平均值。

（3）地球曲率。地球曲率对高程的影响是不能忽略的。消减办法是将仪器安置于距后尺、前尺等距离处，这时在高差 $h = a - b$ 时消除了该项误差。

（4）大气折光的影响。地面上空气存在密度梯度，光线通过不同密度的媒质时，将会发生折射。视线通过大气层时成一向下弯折的曲线，使尺上读数减少。消减办法是尽量缩短视线长度，提高视线高度。

* 第六节　精密水准仪和自动安平水准仪简介

一、精密水准仪

精密水准仪是能够提供水平视线和进行精确照准、读数的水准仪。精密水准仪主要用

于国家二等水准测量和高精度的工程测量中，如水工建筑物的变形测量、大型建筑物的施工及发电机组设备的安装等测量工作。

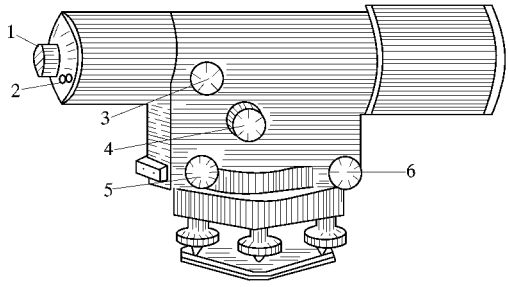


图 2－22　DS1 精密水准仪

1—目镜；2—测微尺读数目镜；3—物镜调焦螺旋；4—测微轮；5—微倾螺旋；6—微动螺旋

图 2－22 所示为国产 DS1 型精密水准仪，其基本构造与一般微倾水准仪相同，也是由望远镜、水准器和基座三个主要部件组成。精密水准仪主要特征有：①是望远镜光学性能好，即望远镜的照准精度高、亮度大，望远镜的放大率不小于 40 倍；②符合水准器的灵敏度高，水准管分划值不大于 10″／2mm；③装有能直读 0.1mm 的光学测微器及配有一副温度膨胀系数很小的精密水准尺。此外，为了使脚架坚固稳定，三脚架不采用伸缩式的。

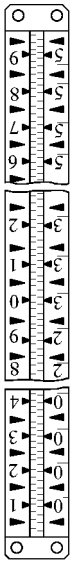


图 2－23　精密水准尺

图 2－23 为与 DS1 型精密水准仪配套用的精密水准尺。该尺全长 3m，在木质尺身中间的槽内，装有膨胀系数极小的因瓦合金带，带的下端固定，上端用弹簧拉紧，以保证带的平直和不受尺身长度变化的影响。因瓦合金带分左、右两排分划，每排的最小分划值均为 10mm，彼此错开 5mm，于是把两排的分划合在一起便成为左、右交替形式的分划，其分划值为 5mm。合金带的右边从 0～5 注记米数，左边注记分米数，大三角形标志对准分米分划线，小三角形标志对准 5cm 分划线。注记的数值为实际长度的 2 倍，即水准尺上的实际长度等于尺面读数的 1／2。所以，用此水准尺进行测量作业时，须将观测高差除以 2 才是实际高差。

精密水准仪的光学测微器是由平行玻璃板、测微尺、传动机构和测微读数系统组成。测微器上最小分划值为 0.05mm。为了读数方便，测微器上从 0～100 格每 10 格注一数字，最后一格注记是 10mm。注记的数值比实际格值大了一倍，这样就和专用的精密水准尺的注记 形式一致，使读数、计算方便。

精密水准仪的使用方法与一般微倾水准仪基本相同，不同之处是精密水准仪是采用光学测微器读数。作业时，先转动微倾螺旋，使在望远镜视场左侧的符合水准管气泡两端的影像精确吻合（图 2－24），这时视线水平，再转动测微轮，使十字丝上楔形丝精确地夹住整分划，读取该分划线读数，图 2－24 为 1.97m，再从目镜右下方的测微尺读数窗内读取测微尺读数，图中为 1.50mm。水准尺的全读数等于楔形丝所夹分划线的读数与测微尺读数之和，即 1.97150m。实际读数为全读数的一半，即 0.98575m。

二、自动安平水准仪

用普通水准仪进行水准测量使水准气泡严格居中，才能读数，这样费时较多。为了提高工效，人们研制了一种自动安平水准仪。使用这种仪器只需将圆水准器气泡居中，就可

利用十字丝进行读数，从而加快了测量速度。图 2－25（a）是我国 DSZ3 型自动安平水准仪的外形，图 2－25（b）是它的剖面图。现以这种仪器为例介绍其构造原理和使用方法。

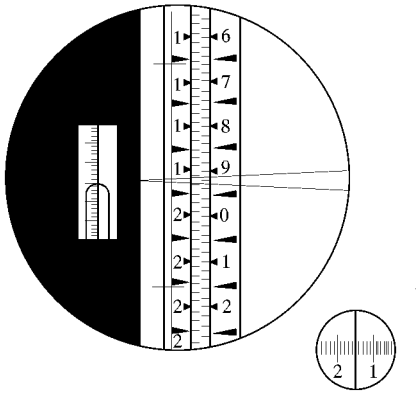


图 2－24　读数方法

（一）自动安平原理

如图 2－26 所示，当视线水平时，水平光线恰好与十字丝交点所在位置 K' 重合，读数正确无误，如视线倾斜一个 α 角，十字丝交点移动一段距离 d 到达 K 处，这时按十字丝交点 K 读数，显然有偏差。如果我们在望远镜内的适当位置装置一个“补偿器”，使进入望远镜的水平光线经过补偿器后偏转一个 β 角，恰好通过十字丝交点 K，这样按十字丝交点 K 读出的数仍然是正确的。由此可知，补偿器的作用是使水平光线发生偏转，而偏转角的大小正好能够补偿视线倾斜所引起的读数偏差。

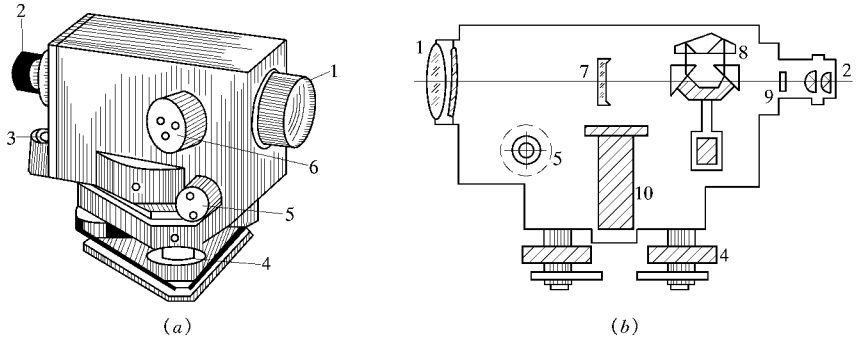


图 2－25　自动安平水准仪

1—物镜；2—目镜；3—圆水准器；4—脚螺旋；5—微动螺旋；6—对光螺旋；7—调焦透镜；8—补偿器；9—十字丝分划板；10—竖轴

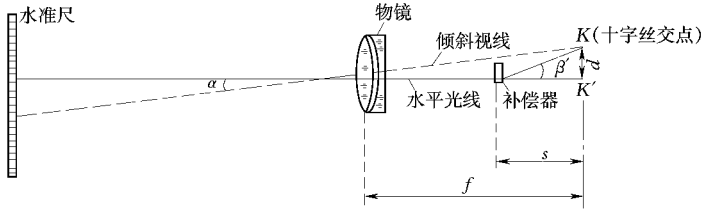


图 2－26　自动安平水准仪原理

（二）自动安平水准仪的使用

在测站上安置水准仪，用脚螺旋将圆水准器气泡整置居中，即可照准水准尺进行读数。

为保证补偿器正常发挥作用，仪器上一般设有补偿控制按钮，读数时先揿动按钮，如果先后两次揿动按钮读数相同，说明补偿性能良好。如果无此按钮，可先读取一个尺上读

数，然后稍许微动目镜或物镜下面的脚螺旋，再读取读数，如果读数不变，则仪器正常，否则须进行修理。

习题与思考题

1. 绘图说明水准测量的原理。

2. 计算待定点高程有哪两种方法？各在什么情况下应用？

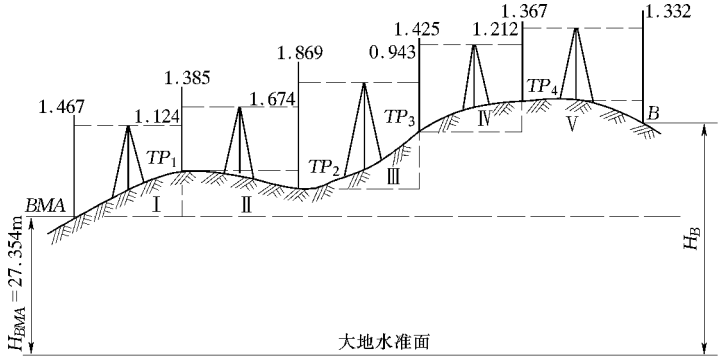
3. 微倾水准仪有哪三个部分组成的？

4. 什么叫视准轴、水准管轴、圆水准器轴、竖轴？它们之间应满足什么样的几何关系？

5. 何谓视差？产生的原因是什么？如何消除？

6. 水准测量有哪些误差？如何消减？

7. 将题图 2－1 中数据填入表 2－1 中，求出 TP_2 和 B 点高程，并进行计算校核。



题图 2－1　普通水准测量（单位：m）

第三章　角　度　测　量

角度测量是测量的基本工作之一。它包括水平角测量和垂直角测量。水平角用以测定地面点的平面位置，垂直角用以间接测定地面点的高程。经纬仪是测量角度的主要仪器，它既能测量水平角又能测量垂直角。常用的有 DJ6 型和 DJ2 型光学经纬仪。本章着重介绍角度测量原理、DJ6 型光学经纬仪的构造和使用、水平角和垂直角测量方法。

第一节　水平角测量的原理

水平角是测站点至两个观测目标方向线垂直投影在水平面上的夹角，用 β 表示。如图 3－1 所示，A、O、B 是三个位于地面上不同高程的点，OA 和 OB 两个方向线所夹的水平角，就是通过 OA 和 OB 沿两个竖直面投影在水平面 P 上的两条水平线 oa 和 ob 的夹角 $\beta = \angle aob$。由此可见，地面上一点到两目标的方向线之间的夹角，就是通过该两方向线所作竖直面间的二面角。因此，在二面角的交线 oo_1 上任一点均可测出水平角。

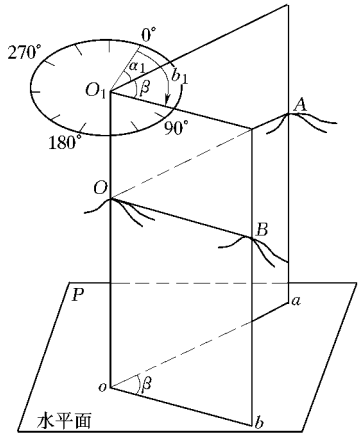


图 3－1　水平角测量原理

为了量出水平角的大小，现设想在两竖直面的交线上一点 o_1，水平地放置一个顺时针方向刻划的圆形度盘（水平度盘），过 OA 方向线沿竖直面投影在水平度盘上，得一读数 a_1，过 OB 方向线沿竖直面投影在水平度盘上，得另一读数 b_1，由图 3－1 可得水平角

$$\beta = b_1 - a_1 \qquad (3-1)$$

这就是水平角测量原理。

根据上述原理可知，用于测量水平角的仪器，必须具备一个水平度盘及用于照准目标的望远镜。测量水平角时，要求水平度盘能放置水平，且水平度盘中心要位于水平角顶点的铅垂线上，望远镜不仅能在水平方向左右转动，而且能在竖直方向上下转动，构成一个竖直面。经纬仪就是根据上述基本要求设计制造的。

第二节　光学经纬仪

经纬仪的种类较多，测量工作中用于测角的经纬仪主要有光学经纬仪和电子经纬仪两大类。光学经纬仪是采用光学玻璃度盘和光学测微器读数设备，电子经纬仪则采用光电扫描度盘和自动显示系统。本节主要介绍光学经纬仪的基本构造、读数装置和读数方法。

一、DJ6 型光学经纬仪

图 3－2 是南京华东光学仪器厂生产的分微尺装置的 DJ6 型光学经纬仪，各部件名称如图 3－2 所注。图 3－3 是这种仪器 3 个主要部分的分装图和光路系统示意图。

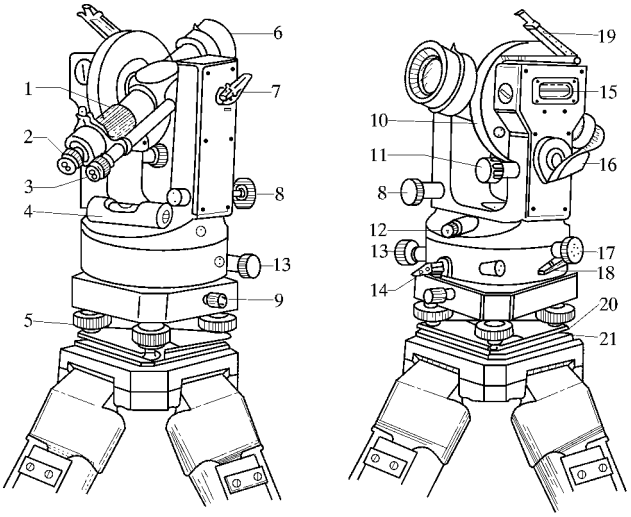


图 3－2　华光 DJ6 型光学经纬仪

1—对光螺旋；2—目镜；3—读数显微镜；4—照准部水准管；5—脚螺旋；6—望远镜物镜；7—望远镜制动螺旋；8—望远镜微动螺旋；9—中心锁紧螺旋；10—竖直度盘；11—竖盘指标水准管微动螺旋；12—光学对中器目镜；13—水平微动螺旋；14—水平制动螺旋；15—竖盘指标水准管；16—反光镜；17—度盘变换手轮；18—保险手柄；19—竖盘指标水准管反光镜；20—托板；21—压板

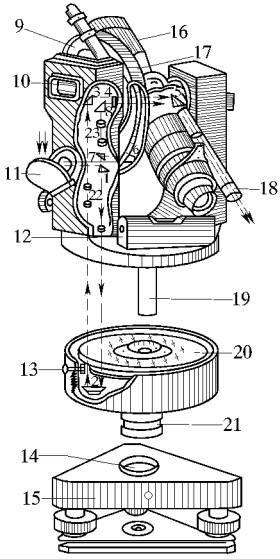


图 3－3　DJ6 型光学经纬仪部件及分微尺读数光路图

1、2、3、4、5、6、7、8—读数光路系统棱镜；9—竖直度盘；10—竖盘指标水准管；11—反光镜；12—照准部水准管；13—度盘变换手轮；14—套轴；15—基座；16—望远镜；17—竖直度盘护盖；18—读数显微镜；19—内轴；20—水平度盘；21—外轴

（一）基本构造

1. 照准部

照准部是指水平度盘以上能绕竖轴旋转的部分，包括望远镜、竖直度盘（简称竖盘）、光学对中器、水准管、光路系统、读数显微镜等，都安装在底部带竖轴（内轴）的 U 形支架上。其中望远镜、竖盘和水平轴（横轴）固连一体，组装于支架上。望远镜绕横轴上、下旋转时，竖盘随着转动，并由望远镜制动螺旋和微动螺旋控制。竖盘是一个圆周上刻有度数分划线的光学玻璃圆盘，用于量度垂直角。紧挨竖盘有一个竖盘指标水准管和指标水准管微动螺旋，在观测垂直角时用来保证读数指标的正确位置。望远镜旁有一个读数显微镜，用来读取竖盘和水平度盘读数。望远镜绕竖轴左、右转动时，由水平制动螺旋和水平微动螺旋控制。照准部的光学对中器和水准管用来安置仪器，以使水平度盘中心位于测站铅垂线上，并使度盘平面处于水平位置。

2. 水平度盘

水平度盘是由光学玻璃制成的刻有度数分划线的圆盘，按顺时针方向由 0°注记至 360°，用以量度水平角。水平度盘有一个空心轴，容纳照准部的内轴；空心轴插入度盘的

外轴中，外轴再插入基座的套轴内。在空心轴容纳内轴的插口上有许多细小滚珠，以保证照准部能灵活转动而不致影响水平度盘。水平度盘本身可以根据测角需要，用度盘变换手轮或复测扳手改变读数位置。采用变换手轮的仪器，水平度盘是和照准部分离的，不能随照准部一道转动；采用复测扳手（又称离合器）的仪器，水平度盘与照准部的关系可离可合；将复测扳手朝上扳到位，水平度盘便与照准部离开，照准部转动时水平度盘不动，读数则随照准部转动而变化；将复测扳手朝下扳到位，水平度盘则与照准部扣合，随照准部一道转动，读数保持不变。

3. 基座

基座起支承仪器上部以及使仪器与三脚架连接的作用，主要由轴座、脚螺旋和连接板组成。仪器的照准部连同水平度盘一起插入轴座后，用轴座固定螺旋（又称中心锁紧螺旋）固紧；轴座固定螺旋切勿松动，以免仪器上部与基座脱离而摔坏。

仪器装到三脚架上时，需将三脚架头上的中心连接螺旋旋入基座连接板，使之固紧。采用光学对中器的经纬仪，其连接螺旋是空心的；连接螺旋下端大都具有挂钩或像灯头一样的插口，以备悬挂垂球之用。

脚螺旋用来整平仪器。但对于采用光学对中器的经纬仪来说，脚螺旋整平作用的范围很小，主要用它将基座平面调整成与三脚架的架头平面大致平行。

（二）测微装置与读数方法

DJ6 型经纬仪水平度盘的直径一般只有 93.4mm，周长 293.4mm；竖盘更小。度盘分划值（即相邻两分划线间所对应的圆心角）一般只刻至 1°或 30′，但测角精度要求达到 6″，于是必须借助光学测微装置。DJ6 型光学经纬仪目前最常用的测微装置是分微尺；如图 3－4 所示，度盘上相差 1°的两条分划线之间的影像宽度恰好等于分微尺上 60 小格的宽度，所以分微尺上一小格就代表 1′，估读至 0.1 格即为 6″。分微尺的注记由 0～60，每 10 格标注一下，简略地注成由 0～6。分微尺零线所指的度盘影像位置，就是应该读数的位置；实际读数时，只需注意哪根度盘分划线位于 0 与 6 之间，读取这根分划线的度数和它所指的分微尺上的读数即得应有的读数。如图 3－4 所示，水平度盘读数为 180°06′.4 = 180° 06′ 24″；竖盘读数为 75° 52′ .2 = 75°52′12″。

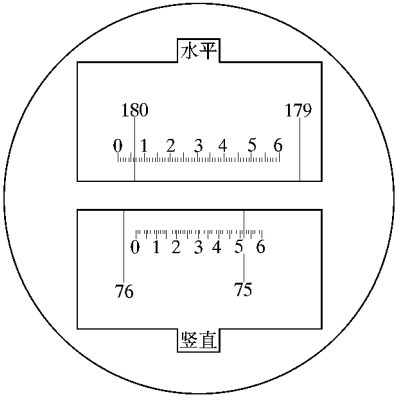


图 3－4　分微尺读数方法

在读数显微镜内看到的水平度盘和竖盘影像一般注有汉字加以区别，也有的以注“AZ”或“—”符号表示水平度盘，注“V”或“⊥”符号表示竖盘。

二、DJ2 型光学经纬仪

DJ2 型光学经纬仪的基本组成部分和 DJ6 型光学经纬仪相同，所不同的主要是读数装置和读数方法。

（一）读数装置

图 3－5 是我国苏州光学仪器厂制造的 DJ2 型光学经纬仪，各部分名称如图 3－5 中所

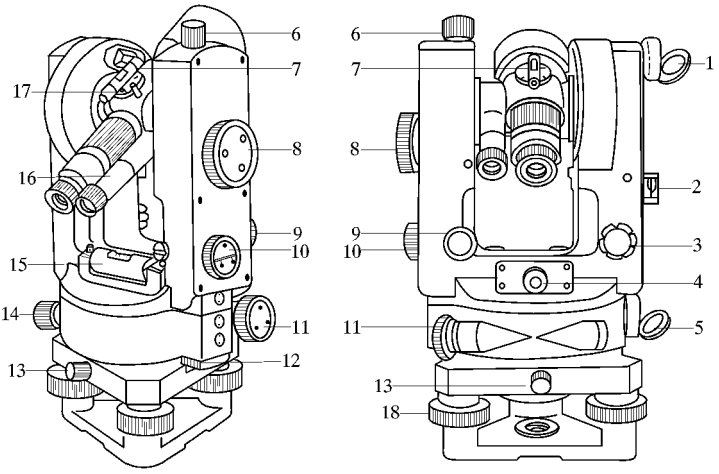


图 3－5　苏光 DJ2 型经纬仪

1—竖盘反光镜；2—竖盘指标水准管观察镜；3—竖盘指标水准管微动螺旋；4—光学对中器目镜；5—水平度盘反光镜；6—望远镜制动螺旋；7—光学照准器；8—测微手轮；9—望远镜微动螺旋；10—换像手轮；11—水平微动螺旋；12—水平度盘变换手轮；13—中心锁日紧螺旋；14—水平制动螺旋；15—照准部水准管；16—读数显微镜；17—望远镜反光板手轮；18—脚螺旋

注。这种仪器采取对径分划线符合读数装置，即外部光线进入仪器后，经过一系列棱镜和透镜的作用，将度盘直径两端相差 180°的分划线同时反映到读数显微镜内，并分别位于一条横线的上、下方，成为正像和倒像，如图 3－6 所示。正像和倒像可以相对运动，由测微手轮控制，而测微轮又与分微尺连接；当转动测微轮使正像与倒像的分划线重合（即符合）时，两分划线相对移动的角值就反映到分微尺上。在读数显微镜内不能同时显示水平度盘和竖盘，而在支架右侧安有一个换像手轮；当手轮上的直线转置水平时，在镜内看到的是水平度盘；当手轮上的直线转置竖直位置时，在镜内看到的是竖盘。水平度盘和竖盘的分划值均为 20′，但按符合法读数只能计作 10′（即度盘实际分划值的一半）。度盘左边的小光窗是分微尺，尺上每小格代表 1″；尺上右边的注记是秒数，左边的注记是分数。横贯分微尺的直线是读取分秒的指标线。

（二）读数方法

转动测微轮，使正、倒像的分划线符合，如图 3－6（b）所示。读出正像左边的度数（图 3－6 中为 48°）；再在倒像右边找到所读数相差 180°的分划线（图 3－6 中为 228°），数出此二线间所夹的格数（图 3－6 中为 4 格），乘上按符合法计算的格值即得整分数（图 3－6 中为 40′）；然后在分微尺上读取分秒（图 3－6 中为 7′13″.5）；总加起来即得应有的读数：48°47′13″.5。

新型的苏州光学仪器厂 DJ2 型光学经纬仪，读数原理与上述相同。所不同者是采用了数字化的读数，如图 3－7 所示。左下侧的小窗为度盘对径分划线重合后的影像，没有

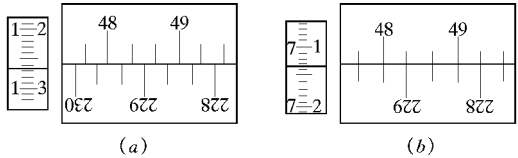


图 3－6　符合法读数

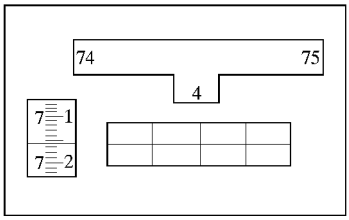


图 3－7　数字化读数

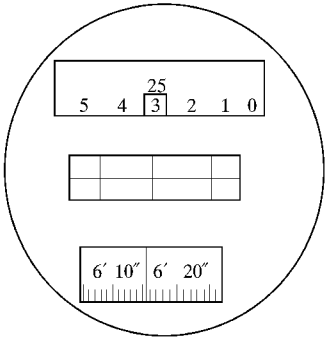


图 3－8　重合读数

注记，上面的小窗为度盘读数和整 10′的注记（图 3－7 中为 74°40′），左下侧的小窗为分和秒数（图中为 7′16″.0）。度盘的整个读数为 74°47′16″.0。我国统一设计的 DJ2 型光学经纬仪度盘对径分划线重合后读数为 25°36′15″.4（图 3－8）。

（三）置数方法

为说明问题简便起见，以给定水平度盘读数为 90°45′32″去照准目标为例。操作方法如下：

先照准目标，拧紧水平制动螺旋，将换像手轮上的直线转置水平；转动测微轮，使分微尺读数为 5′32″；再拨动水平度盘变换手轮，使正像右边离 90°刻划为 4 格处的刻线与倒像 270°的刻线符合即可。

符合法读数可自动消除度盘偏心差，因此在计算的 $2c$ 中不包含水平度盘偏心差的影响。这时计算 $2c$ 和检查 $2c$ 变动范围，就可作为检验视准轴与横轴关系以及检验照准和读数质量的一个重要指标。

第三节　光学经纬仪的操作方法

光学经纬仪的操作方法包括：安置、对中、整平、照准和读数。

一、安置

把光学经纬仪安放在三脚架上。具体操作是：先松开三脚架腿固紧螺旋，按观测者身高调整架腿长度，再将螺旋拧紧，把三脚架张开，目估使三脚架高度适中，架头大致水平；连接螺旋放在架头中心位置挂上垂球，平移三脚架，使垂球尖端大致对准测站点标志中心，再将三脚架的脚尖踩入土中，注意架头仍应基本保持水平（可升降架腿）。将经纬仪从仪器箱中取出（记住安放的位置），一手握住支架，一手托住基座连接板，用连接螺旋将经纬仪固紧在三脚架上。

二、对中

对中的目的是使经纬仪水平度盘中心与测站点标志中心位于同一铅垂线上。对中的方法有垂球对中和光学对中器两种。

垂球对中：略松连接螺旋，在架头上平移仪器，使垂球尖端精确对准标志中心，最后

一定要记住再把连接螺旋旋紧。

三、整平

整平的目的是使经纬仪水平度盘处于水平位置和使竖轴垂直。

松开水平制动螺旋，转动照准部，使水准管轴大致平行于两个脚螺旋的连线，如图 3－9（a）所示，两手同时向内或向外转动脚螺旋（记住气泡移动方向与左手大拇指方向一致），使气泡居中；然后，将照准部大致转 90°，如图 3－9（b）所示，使水准管处于与前一位置大致垂直的方向，只转动第三个脚螺旋，使气泡居中。如此反复操作，直至照准部转到任何位置都居中为止。

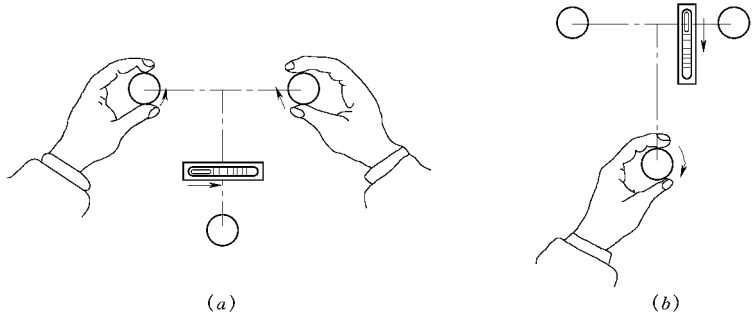


图 3－9　整平方法

四、照准

先松开制动螺旋，调节目镜使十字丝清晰，利用准星和缺口照准目标后拧紧水平制动螺旋，进行物镜对光使目标清晰，消除视差。利用微动螺旋精确照准目标：即水平角测量时必须用纵丝尽量照准目标的底部（图 3－10），垂直角测量必须用中丝（横丝）照准目标顶部或某一点（图 3－11）。

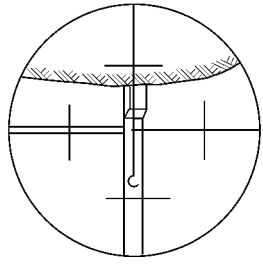


图 3－10　水平角照准目标

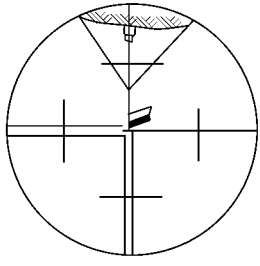


图 3－11　垂直角照准目标

五、读数

读数方法如前所述，在读数时，应先打开反光镜，转动读数显微镜使度盘影像清晰。

六、光学对中器对中整平步骤

（1）安置经纬仪，具体操作同一款。

（2）调脚螺旋对中：先调节（旋转和抽动）光学对中器的目镜，使分划板上小圆圈清晰并能看清测站点标志中心，再调节脚螺旋，使标志中心位于小圆圈圆心上。

（3）检查水准管在两个大约垂直方向上气泡偏离值：

1）若均小于 1.5 格，则按三款整平仪器，平移仪器对中，反复整平和对中数次，直至对中、整平均满足要求为止。

2）若气泡偏离大于 1.5 格，则应先调两个架腿，使气泡偏离小于 1.5 格为止，再按三款整平仪器，平移仪器对中，反复整平和对中数次，直到满足要求为止。

第四节　水 平 角 测 量

水平角测量的方法，一般根据施测时所使用的仪器、测角的精度要求和目标的多少而定。现将常用的测回法和方向观测法的测角方法介绍如下。

一、测回法

这种测角方法只适用于观测两个方向之间的单个角度。如图 3－12 所示，设要观测 $\angle AOB$ 的角值，先将经纬仪安置在角的顶点 O 上，进行对中、整平，并在 A、B 两点树立花杆或测钎、或吊挂垂球（应视目标的远近来选择），作为照准标志，然后即可进行测角。

（一）盘左

盘左位置是指照准目标时，经纬仪的竖盘位于望远镜的左侧，又称正镜。其观测步骤如下。

（1）顺时针方向旋转照准部，照准左边目标 A，水平度盘置数（0°00′～0°05′），读取水平度盘读数 L_A，设为 0°02′30″，记入手簿表 3－1 中。

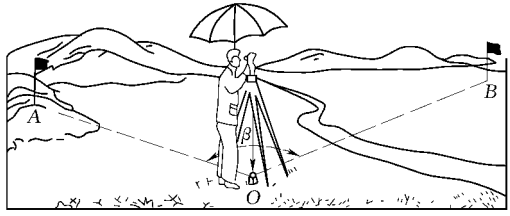


图 3－12　测回法

（2）松开水平制动螺旋，顺时针旋转照准部，照准右边目标 B，读取读数 L_B，设为 95°20′48″，记入手簿，并计算盘左位置的水平角 $\beta_{左}$ 为

$$\beta_{左} = L_B - L_A = 95°20′48″ - 0°02′30″ = 95°18′18″$$

以上完成了上半测回的观测工作。

（二）盘右

盘右位置是指照准目标时，经纬仪的竖盘位于望远镜的右侧，又称倒镜。其观测步骤如下。

（1）松开制动螺旋，倒转望远镜，先照准右边目标 B，读取水平度盘读数 R_B，设为 275°21′12″，记入手簿。

（2）逆时针方向转动照准部，照准左边目标 A，读取水平度盘读数 R_A，设为 180°02′42″，记入手簿，计算盘右位置的水平角 $\beta_{右}$ 为

$$\beta_{右} = R_B - R_A = 275°21′12″ - 180°02′42″ = 95°18′30″$$

以上完成了下半测回的工作。

盘左和盘右两个半测回合称一测回。对于 DJ6 级经纬仪，当上、下半测回测得角值之差 $\Delta\beta = \beta_{左} - \beta_{右} \leqslant \pm 40″$ 时，取其平均值作为一测回角值，即

$$\beta = \frac{1}{2}(\beta_{左} + \beta_{右}) = 95°18'24''$$

将结果记入手簿表 3－1 中。

表 3－1　　测回法观测手簿

测站	竖盘位置	目标	水平度盘读数 ° ′ ″	半测回角值 ° ′ ″	一测回角值 ° ′ ″	各测回平均值 ° ′ ″	备注
第一测回 O	左	A	0 02 30	95 18 18	95 18 24	95 18 20	
		B	95 20 48				
	右	A	180 02 42	95 18 30			
		B	275 21 12				
第二测回 O	左	A	90 03 06	95 18 32	95 18 16		
		B	185 21 38				
	右	A	270 02 54	95 18 00			
		B	5 20 54				

水平度盘置数方法随经纬仪构造不同而不同，对有复测机构的经纬仪，转动照准部找到度盘所需读数后扳下复测扳手，再去照准左边目标；对有度盘变换手轮的经纬仪，可先直接照准目标，再拨动手轮，将度盘调整到所需读数位置上。

有时为了提高测角精度，对角度需要观测几个测回，各测回应根据测回数 n，按 $\frac{180°}{n}$ 改变（增加）初始方向水平度盘位置。各测回角值互差若不超过 40″（对于 DJ6 级），取各测回平均值作为最后结果，记入表 3－1。

应当指出：当右边目标的水平度盘读数小于左边目标时，应把右边目标读数加上 360°再减去左边目标的读数。如表 3－1 中，第二测回盘右观测时，B 目标的读数 5°20′54″ 应加上 360°，再减去 A 目标的读数 270°2′54″，得 95°18′00″。

二、方向观测法

在一个测站上，当观测方向超过两个时，可将这些方向合为一组一并观测，称为方向观测法。主要有方向法和全圆方向法观测。

（一）方向法

当观测方向数等于 3 个时，用方向观测法观测水平角时可以不归零。在表 3－2 的简图中，O 为测站点，现要观测 A、B、C 三个方向的方向值，然后计算相邻方向的方向值之差而获得水平角。其方法为安置经纬仪于测站点 O，经对中、整平后，选定一初始方向，如目标 A。

1. 盘左

顺时针方向转动照准部依次照准初始方向 A 和其他两方向 B 和 C，分别读数，设为 0°02′12″、70°53′24″、120°12′06″，并记入手簿表 3－2，以上为上半测回。

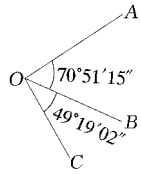
2. 盘右

先照准右边目标 C，再逆时针方向转动照准部，依次照准 B 和 A，分别读数，设为 300°12′18″、250°53′06″、180°01′48″，并记入手簿，此为下半测回。

上、下半测回合称一测回。

方向法测角的记录、计算如表 3－2 所示。表中“归零后读数”是将初始方向读数换算为 0°00′00″，即从各方向读数中减去初始方向的读数，即得各方向的归零后读数，填入表 3－2 中相应的位置。例如第一测回中盘左栏内，OA 归零后方向 $= 0°02′12″ - 0°02′12″ = 0°00′00″$；$OB$ 归零后方向 $= 70°53′24″ - 0°02′12″ = 70°51′12″$，其余类推。

表 3－2　　方向法观测手簿

测站	测回数	目标	水平度盘读数		归零后读数		一测回方向平均值	各测回方向平均值	简图及角值
			盘左	盘右	盘左	盘右			
			° ′ ″	° ′ ″	° ′ ″	° ′ ″	(° ′ ″)	(° ′ ″)	
O	1	A	0 02 12	180 01 48	0 00 00	0 00 00	0 00 00	0 00 00	
		B	70 53 24	250 53 06	70 51 12	70 51 18	70 51 15	70 51 16	
		C	120 12 06	300 12 18	120 09 54	120 10 30	120 10 12	120 10 18	
	2	A	90 04 06	270 04 00	0 00 00	0 00 00	0 00 00		
		B	160 55 30	340 55 12	70 51 24	70 51 12	70 51 18		
		C	210 14 24	30 14 30	120 10 18	120 10 30	120 10 24		

一测回方向平均值 $= \frac{1}{2}$（归零后盘左读数 + 归零后盘右读数）。例如，第一测回 OB 方向平均值 $= \frac{1}{2}(70°51′18″ + 70°51′12″) = 70°51′15″$。

在方向法中，各测回同一方向归零后方向值较差限差：DJ6 级经纬仪为 24″；DJ2 级经纬仪为 9″。当观测结果在规定的限差范围内时，取各测回方向的平均值作为该方向的最后值，据此再计算各水平角的角值并注于简图上。

（二）全圆方向法（全圆测回法）

全圆方向法是把三个以上的方向合为一组，从初始方向开始依次进行水平方向观测，最后再次照准初始方向的观测方法。

如图 3－13 所示，假设要在 O 点上，用全圆方向法观测从 A 到 B、C、D 各方向之间的水平角，其操作步骤如下。

1. 盘左

将度盘置数在稍大于 0°的读数处，先观测所选定的初始方向（又称为零方向）A，再按顺时针方向依次观测 B、C、D 各方向，每观测一方向均读取水平度盘读数，并记入手簿表 3－3 中。为了检查水平度盘位置在观测过程中是否发生变动，最后再次照准初始方向 A（称为归零），将读数记入手簿表 3－3 中。

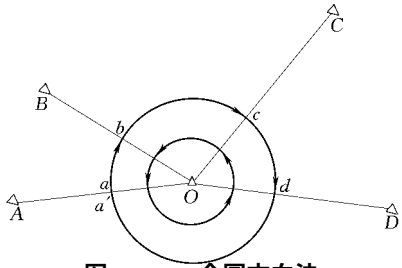


图 3－13　全圆方向法

以上的观测工作称为上半测回。

2. 盘右

倒转望远镜，成盘右位置，按逆时针方向依次照准 A、D、C、B、A 各方向，读数并记入手簿表 3－3 中，此为下半测回。

上、下半测回合称为一测回。如果需要观测 n 个

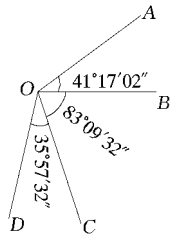
测回，则各测回应按$\frac{180^\circ}{n}$变动水平度盘初始位置。表 3－3 为两个测回的全圆方向法观测手簿的记录与计算示例。

现就表 3－3 说明观测值的检核与计算方法。

（1）半测回归零差：初始方向两次读数之差，称为半测回归零差。对于 DJ6 光学经纬仪的归零差不得超过 18″，DJ2 型光学经纬仪的归零差不应超过 8″。

表 3－3　　全圆方向法观测手簿

测站	测回数	目标	水平度盘读数		$2c=$左－（右±180°）	方向值 $=\frac{1}{2}$［左+（右±180°）］	归零后方向值	各测回归零后方向平均值	备注
			盘左 L	盘右 R					
			° ′ ″	° ′ ″	″	° ′ ″	° ′ ″	° ′ ″	
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
O	1					（0 01 03）			
		A	0 01 12	180 01 00	+12	0 01 06	0 00 00	0 00 00	
		B	41 18 18	221 18 00	+18	41 18 09	41 17 06	41 17 02	
		C	124 27 36	304 27 30	+6	124 27 33	124 26 30	124 26 34	
		D	160 25 18	340 25 00	+18	160 25 09	160 24 06	160 24 06	
		A	0 01 06	180 00 54	+12	0 01 00			
	2					（90 03 09）			
		A	90 03 18	270 03 12	+6	90 03 15	0 00 00		
		B	131 20 12	311 20 00	+12	131 20 06	41 16 57		
		C	214 29 54	34 29 42	+12	214 29 48	124 26 39		
		D	250 27 24	70 27 06	+18	250 27 15	160 24 06		
		A	90 03 06	270 03 00	+6	90 03 03			



（2）计算照准差 $2c$ 值：$2c=$盘左读数 $L-$（盘右读数 $R\pm180^\circ$），当 $L>R$ 时，用“＋”；$L<R$ 时，用“－”，以下同。如表 3－3 中目标 A 的 $2c=0^\circ01'12''-(180^\circ01'00''-180^\circ)=+12''$。将各方向 $2c$ 记入表 3－3 的第⑥栏中。

同一测回各方向 $2c$ 互差（最大值减最小值），对于 DJ2 型经纬仪不应超过 13″。DJ6 型经纬仪一般没有 $2c$ 互差的规定。

（3）计算方向值：如 $2c$ 互差在规定范围内，取同一方向盘左、盘右读数的平均值，就是该方向的方向值。

方向值$=\frac{1}{2}$［$L+(R\pm180^\circ)$］。如初始目标 A 的方向值为

$$\frac{1}{2}[0^\circ01'12''+(180^\circ01'00''-180^\circ)]=0^\circ01'06''$$

由于归零，目标 A 另有一个方向值为

$$\frac{1}{2}[0^\circ01'06''+(180^\circ00'54''-180^\circ)]=0^\circ01'00''$$

因此，再取两个方向值的平均值，作为初始方向 A 的方向值，即$\frac{1}{2}$（$0^\circ01'06''+0^\circ01'00''$）$=0^\circ01'03''$记入表 3－3 中第⑦栏中第一行目标 A 方向值上面的括号内。

（4）计算归零后的方向值：将初始目标方向值换算为 0°00′00″，即从各方向值减去初始目标方向值，即得各方向的“归零后方向值”。记入表 3－3 中的第⑧栏。

（5）计算各测回归零后方向平均值：各测回中同一方向归零后的方向值较差限差：DJ6 级经纬仪为 24″；DJ2 级经纬仪为 9″。当观测结果在规定的限差范围内时，取各测回同方向归零后的方向值作为该方向的最后结果，记入表 3－3 中的第⑨栏。

最后根据各测回归零后方向平均值计算各水平角的角值（相邻两方向平均值之差），并注于备注栏简图上。

第五节　垂 直 角 测 量

一、垂直角测量原理

垂直角是观测目标的方向线与水平面间在同一竖直面内的夹角（亦称竖直角、高度角），用 α 表示。如图 3－14 所示，方向线在水平线上方，垂直角为仰角，其角值为正；方向线在水平线下方，垂直角为俯角，其角值为负。垂直角的角值从 0°～±90°。

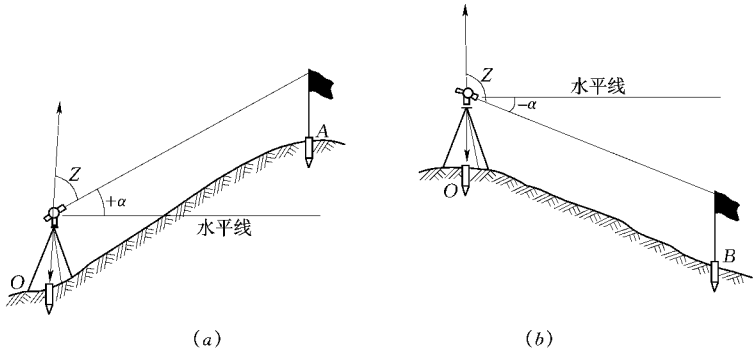


图 3－14　垂直角和天顶距

垂直角是用经纬仪的竖直度盘来量度的。垂直角测量是利用望远镜照准目标的方向线与水平线分别在竖直度盘上的读数，计算出垂直角的。两读数之差即为垂直角的角值。这就是垂直角测量的原理。

天顶距（Z）是测站点铅垂线的天顶方向到观测方向线间的夹角（图 3－14），$Z=90°-\alpha$。

二、竖直度盘的构造

如图 3－15 所示，光学经纬仪竖直度盘的装置包括竖直度盘、竖直度盘指标水准管和读数指标等。竖直度盘固定在望远镜横轴的一端，与横轴垂直，且二者中心重合。当仪器整平后，竖直度盘随望远镜在竖直面内转动；用于读取竖直度盘读数的指标与竖盘指标水准管固连在一起，通过竖盘指标水准管的微动螺旋，使水准管气泡居中，指标处于正确位置（垂直）。光学经纬仪的竖直度盘也是由玻璃制成，其度盘刻划按 0°～360°注记，形式有顺时针和逆时针方向注记两种。图 3－16 所示为顺时针方向注记，竖盘指标水准管与竖盘指标应满足的条件：当视准轴水平、竖盘指标水准管气泡居中时，盘左时的竖盘读数

（称为始读数，用 $L_{始}$ 表示）为 90°或 90°的整倍数，图 3－16（a）所示，$L_{始}=90°$，盘右始读数用 $R_{始}$ 表示，即 $R_{始}=L_{始}+180°$。

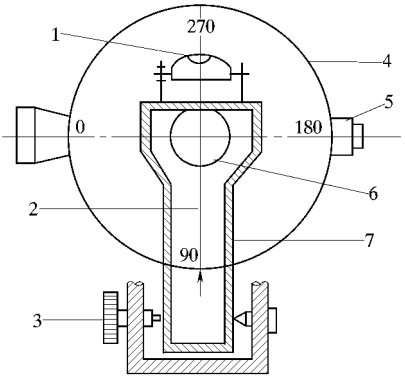


图 3－15　竖盘读数系统

1—指示水准管；2—读数指标；3—指标水准管微动螺旋；4—竖直度盘；5—望远镜；6—水平轴；7—框架

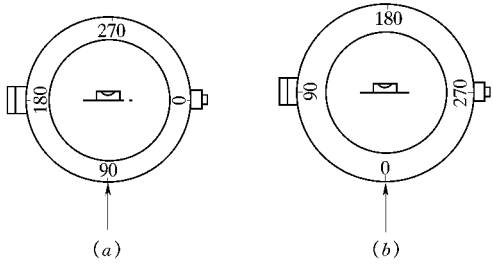


图 3－16　竖盘刻划形式

三、垂直角计算公式

根据垂直角测量原理，垂直角是在垂直面内目标方向线与水平线的夹角，测定垂直角也就是测出这两个方向线在竖直度盘上的读数差。尽管竖直度盘的注记形式不同，但是，当视准轴水平时，不论是盘左还是盘右，竖盘的读数都有个定值（竖盘始读数），所以测定垂直角，实际上只对视线照准目标进行读数。在计算垂直角时，究竟是哪一个读数减哪一个读数，视线水平时的读数是多少，应按竖盘的注记形式来确定。在观测垂直角之前，将望远镜放在大致水平的位置，观察一个读数，以确定竖盘始读数，然后逐渐仰起望远镜，观察竖盘读数是增加还是减少。若读数增加，则垂直角的计算公式为

$$\alpha = \text{照准目标时的读数} - \text{竖盘始读数}$$

若读数减少，则

$$\alpha = \text{竖盘始读数} - \text{照准目标时的读数}$$

图 3－17 为常用的 DJ6 型光学经纬仪的竖盘注记形式。设盘左时视线照准目标的读数为 L，盘右时视线照准目标的读数为 R。

由图 3－17 可知，盘左位置，竖盘始读数为 90°，当望远镜仰起，读数减少；盘右位置，竖盘始读数为 270°，当望远镜仰起，读数增加。根据上列垂直角计算公式为

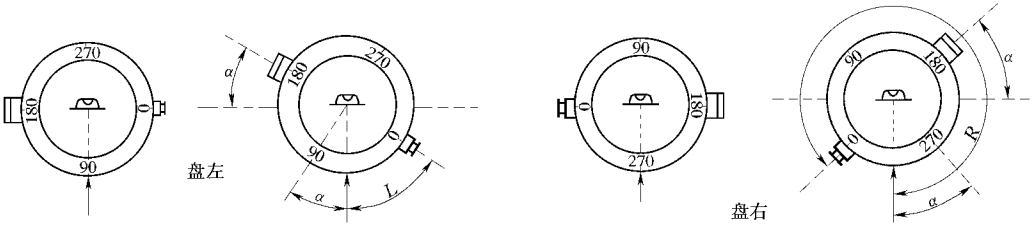


图 3－17　垂直角计算

盘左　　$\alpha_L = 90° - L$

盘右　　$\alpha_R = R - 270°$　　（3－2）

平均垂角值为　　$\alpha = \frac{1}{2}(\alpha_L + \alpha_R) = \frac{1}{2}(R - L - 180°)$　　（3－3）

四、垂直角观测

（一）中丝观测法

垂直角观测是用十字丝横丝相切于目标确定的高度，调节竖盘指标水准管气泡居中后，读取竖盘读数，按计算公式算出垂直角。其观测步骤举例说明如下。

（1）见图 3－14。安置仪器于测站 O 上。确定仪器垂直角计算公式。设盘左位置，望远镜放平竖盘读数为 90°；望远镜仰起，读数减少，则垂直角计算公式为式（3－2）。

（2）盘左位置，转动望远镜照准目标 B，使十字丝横丝相切于目标（标杆）顶端。

（3）转动竖盘指标水准管微动螺旋，使水准管气泡居中，读取竖盘读数 L，设为 94°33′24″，记入垂直角观测手簿表 3－4。

表 3－4　　垂直角观测手簿

测站	目标	竖盘位置	竖盘读数（° ′ ″）	半测回垂直角（° ′ ″）	指标差（″）	一测回垂直角（° ′ ″）	备　注
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
O	B	左	94　33　24	－4　33　24	－18	－4　33　42	
		右	265　26　00	－4　34　00			
O	A	左	81　34　00	＋8　26　00	－6	＋8　25　54	
		右	278　25　48	＋8　25　48			

（4）倒转望远镜成盘右位置，再照准目标同一位置，并使竖盘指标水准气泡居中，读取竖盘读数 R，设为 265°26′00″，并记入手簿表 3－4。

（5）根据垂直角计算公式（3－2）计算，得

盘左　　$\alpha_L = 90° - 94°33′24″ = -4°33′24″$

盘右　　$\alpha_R = 265°26′00″ - 270° = -4°34′00″$

平均垂直角（一测回垂直角）为

$$\alpha = \frac{1}{2}(-4°33′24″ - 4°34′00″) = -4°33′42″$$

若用上述同一仪器观测高处一目标 A，其观测方法和计算公式，与观测低处目标点完全一样，而且正、负号与实际的仰角、俯角是一致的。

（二）三丝观测法

（1）盘左用十字丝的上、中、下三丝分别相切于目标的确定高度，竖盘指标水准管气泡居中，读竖盘读数，计算三个垂直角。

（2）盘右，仍用上、中、下三丝分别相切于目标同一高度，竖盘指标水准管气泡居中，读竖盘读数，计算三个垂直角。

（3）取 6 个垂直角平均值为最后结果。

在上述垂直角观测中，每次读数之前都必须转动竖盘指标水准管微动螺旋，使水准管气泡居中，使竖盘指标处于正确位置，才能读数。否则读数就不正确。这样，操作费事，影响工效，有时甚至因遗忘了这步骤而发生错误。为了克服这个缺点，近年来有些工厂生产的经纬仪，其竖盘指标采用自动补偿装置代替水准管，即使仪器稍有倾斜，竖盘指标也自动居于正确位置，可以随时读数，从而提高了垂直角观测的速度和精度。这种自动补偿装置的原理与自动安平水准仪补偿器基本相同。

五、竖盘指标差

在垂直角的计算中，认为当视准轴水平、竖盘指标水准管气泡居中时，竖盘读数应是90°的整倍数。但实际上这个条件往往不能满足，如图 3－18 所示，竖盘指标不是指在 90°或 270°上，它与 90°或 270°的差值 x 角，称为竖盘指标差。图 3－18（a）为盘左位置，由于存在指标差，当望远镜照准目标时，读数大了一个 x 值，正确的垂直角为

$$\alpha = 90^\circ - (L - x) = \alpha_L + x \tag{3-4}$$

同样，在盘右位置用望远镜照准同一目标时，可得其正确的垂直角为

$$\alpha = (R - x) - 270^\circ = \alpha_R - x \tag{3-5}$$

式（3－4）和式（3－5）相加，并除以 2，得 $\alpha = \frac{1}{2}(R - L - 180^\circ) = \frac{1}{2}(\alpha_L + \alpha_R)$。

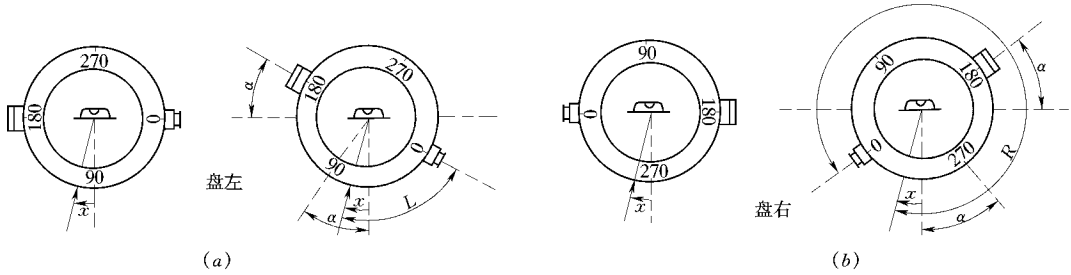


图 3－18　竖盘指标差

由此可知，在测量垂直角时，用盘左、盘右测得垂直角的平均值可以消除竖盘指标差的影响。

将式（3－4）与式（3－5）相减，得

$$2x = (L + R) - 360^\circ$$

则

$$x = \frac{1}{2}[(L + R) - 360^\circ] \tag{3-6}$$

式（3－6）为竖盘指标差的计算式。规范规定，垂直角观测时，指标差互差的限差：DJ2 型经纬仪不得超过 ±15″；DJ6 型经纬仪不得超过 ±24″。

* 第六节　光学经纬仪的检验和校正

一、光学经纬仪应满足的主要几何条件

见图 3－19，光学经纬仪应满足的主要几何条件是：水准管轴 LL 应垂直竖轴 VV，

十字丝竖丝应垂直横轴 HH，视准轴 CC 应垂直横轴 HH，横轴 HH 应垂直竖轴 VV，光学对中器的视准轴应与仪器竖轴重合。

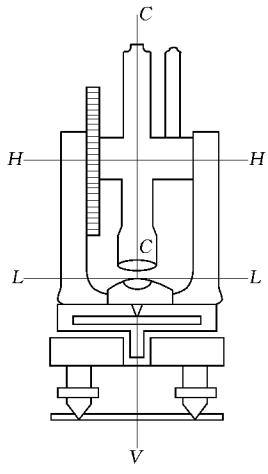


图 3－19　经纬仪的主要轴线

二、光学经纬仪的检验和校正

（一）水准管轴的检验和校正

（1）检校目的：使水准管轴垂直仪器竖轴。

（2）检验方法：经纬仪整平后，旋转照准部使水准管平行于某两个脚螺旋，调节这两个使气泡精确居中，再旋转照准部 180°。若气泡仍居中，说明条件满足；若气泡偏离超过 1 格，应校正。

（3）校正方法：用校正针拨动水准管一端的校正螺丝，使气泡退回偏离值的一半。反复进行，直到满足条件为止。

（二）十字丝竖丝的检验和校正

（1）检校目的：使十字丝竖丝垂直横轴。

（2）检验方法：整平仪器后，用十字丝竖丝一端照准远处一标志点，旋紧水平和竖直制动螺旋，慢慢转动望远镜竖直微动螺旋，若标志点始终在竖丝上移动，说明条件满足，否则需校正。

（3）校正方法：旋下十字丝分划板护罩，松开目镜座与镜筒连接的四个固定螺丝（图 3－20）。转动目镜座使竖丝一端与标志点重合，反复进行，直至满足要求，再旋紧固定螺丝并装上护罩。

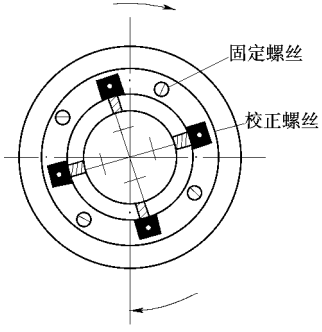


图 3－20　目镜座固定螺丝和十字丝校正螺丝

应当指出：尽量用十字丝交点附近的横、竖丝照准目标，以消减由于竖丝不垂直横轴误差的影响。

（三）视准轴的检验和校正

（1）检校目的：使视准轴垂直横轴。

（2）检验方法：整平仪器后，使望远镜大致水平，用盘左照准远处（80～100m）一明显标志点 A，读水平度盘读数 L，再用盘右照准 A，读水平度盘读数 R，如果 L 与 R 相差 180°，说明条件满足。否则应校正。

（3）校正方法 在上述盘右位置，按公式 $R_{正}=\frac{1}{2}[R+(L\pm180°)]$ 计算盘右的正确读数。然后转动水平微动螺旋，使水平度盘置于正确读数 $R_{正}$，此时十字丝交点已离开标志点 A，拨动十字丝环的左右两个螺丝，一松一紧（先松后紧），使交点对准标志点 A，此时条件满足。该项检校应反复进行。

造成视准轴不垂直于横轴的原因是十字丝交点的位置偏于一侧，其偏离垂直位置的夹角 c 叫照准差（视准差），两倍照准差 $2c=L-$ （$R\pm180°$）。

应当指出 采用盘左、盘右观测并取其平均值计算角值时，可以消除该项误差的影响。

（四）横轴的检验和校正

现代光学经纬仪的横轴是密封的，仪器制造时该项条件都能满足。一般不作检校。

（五）竖盘指标差的检验和校正

（1）检校目的：消除指标差。

（2）检验方法：整平仪器后，照准一个明显标志点，分别用盘左、盘右观测目标，并读竖盘读数 L' 和 R'，用 $x=\frac{1}{2}(L'+R'-360°)$ 计算指标差，若 $x>1'$ 则应校正。

（3）校正方法：计算盘右的正确读数 $R'_{正}=R'-x$。校正时，望远镜照准目标，调节竖盘指标水准管微动螺旋，使竖盘读数置于正确读数 $R'_{正}$ 上，此时，竖盘指标水准管气泡偏离，然后校正气泡居中。反复进行，直至条件满足。

（六）光学对中器的检验和校正

（1）检校目的：使光学对中器视准轴与仪器竖轴重合。

（2）检验方法 在室内安置经纬仪，整平后挂上垂球，在地面上仔细标出垂球尖端点 O，取下垂球，从对中器目镜中观察，若 O 点位于刻划圈中心，说明条件满足，否则应校正。

（3）校正方法：光学对中器的校正方法随仪器类型的不同而不同，有的校正转向棱镜，有的校正分划板，有的则两者都要校正。校正时应视具体仪器进行，直至分划板刻划圈中心与 O 点重合为止。

* 第七节　角度测量的误差来源及消减方法

一、水平角测量误差来源及消减方法

（一）仪器误差

仪器误差主要是由于制造和加工不完善产生的误差，如度盘偏心误差，可用盘左、盘右读数取平均值来消除；度盘刻划误差，可用度盘不同部位进行观测以减弱其影响。

仪器校正不完善所产生的误差，如视准轴不垂直于横轴、横轴不垂直于竖轴等残余误差，也可用盘左、盘右观测，取其平均值来消除。

（二）观测误差

（1）对中误差。仪器对中误差与对中偏差（偏心距）成正比，与测站至目标的距离成反比。当测站至目标的距离较短时，应仔细进行对中。有装配光学对中器时，应用光学对中器精确对中。

（2）整平误差。整平误差引起竖轴倾斜误差，对水平角观测的影响与观测目标的倾斜角有关，倾角大，影响大，不能通过盘左、盘右观测方法消除，所以，当目标高差大时，应特别注意整平。

（3）目标偏心误差。当目标点上所竖立的目标倾斜时，照准目标顶部，将产生目标偏心差。所以观测时应尽量照准目标的底部。

（4）照准误差。人眼正常时分辨两个点的最小视角为 60″，通过放大倍数为 30 的望远镜照准目标，照准误差约为 60″／30 ＝2″。

（5）读数误差。一般可用最小估读为读数误差，故 DJ6 经纬仪估读误差约为 ±6″。

（三）外界条件影响

外界条件的影响诸多，如大风或土质的松软会影响仪器的稳定，地面的辐射热会引起物像的跳动，光线不足会影响照准精度，温度变化会影响仪器的整平等。所以，观测时，应选择目标成像清晰稳定的有利时间段观测，避开大风、雾天、烈日等不利天气，观测时应撑伞等。

二、垂直角测量误差来源及消减方法

（一）仪器误差

仪器误差主要有垂直度盘刻划误差、度盘偏心差和竖盘指标差。其中度盘刻划误差不能采用改变度盘位置加以消除。而度盘偏心差和竖盘指标差可采用盘左、盘右观测取平均值加以消减。

（二）观测误差

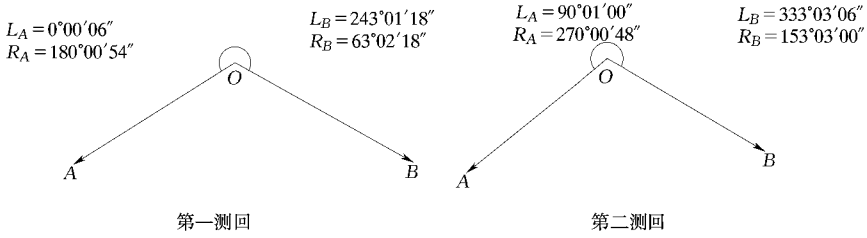
观测误差主要有照准误差、读数误差和竖盘指标水准管整平误差。其中前两项误差已在水平角测量误差中叙述过。竖盘指标水准管整平误差在观测时应认真整平，并注意打伞保护仪器。

（三）外界条件的影响

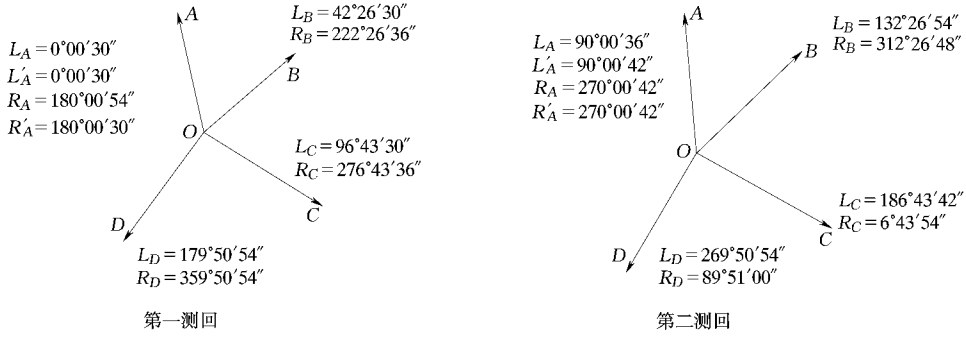
外界条件的影响与水平角测量时基本相同。

习题与思考题

1. 何谓水平角、垂直角和天顶距？
2. 光学经纬仪由哪三个部分组成？
3. 光学经纬仪的操作方法有哪五个步骤？
4. 何谓对中、整平？为什么要对中、整平？
5. 水平角测量方法主要有哪三种？应用条件有何不同？
6. 何谓竖盘始读数和指标差？它们是如何确定或计算的？
7. 完成题图 3－1 测回法观测计算（用表 3－1）。（L：盘左；R：盘右）



题图 3－1



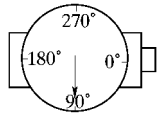
题图 3－2

8. **完成题图 3－2 全圆方向法观测计算（用表 3－3）。（*A* 为初始方向）**

9. **完成题表 3－1 垂直角观测计算。**

10. **角度测量有哪些误差？如何消减？**

题表 3－1　　垂直角观测计算表

测站	目标	竖盘位置	竖盘读数 (° ′ ″)	半测回垂直角 (° ′ ″)	指标差 (″)	一测回垂直角 (° ′ ″)	备　注
O	1	左	72 18 18				
		右	287 42 00				
	2	左	96 32 48				
		右	263 27 30				

第四章　距　离　测　量

测量工作中，地面点位的确定，除了需测定水平角和高程外，还要测量地面上两点间的水平距离和直线的定向。水平距离的测量方法主要有视距测量、钢尺量距和电磁波测距等，本章主要介绍水平距离的测量方法。

第一节　视　距　测　量

视距测量是利用光学测量仪器内的分划装置（十字丝的视距丝）和目标点上的标尺测定距离的测量方法。视距测量的精度较低（其测距精度为 $1/200 \sim 1/300$），但其操作简便，少受地形起伏的限制，因此常用于精度要求不高的地形测图中。

一、视距测量的计算公式

（一）视线水平时水平距离与高差的计算公式

如图 4－1 所示，在 A 点安置仪器并使视线水平（垂直角 $\alpha = 0°00'00''$），在 B 点竖直立一标尺，图中 d 为物镜焦点 F 到标尺的水平距离，f 为物镜焦距，p 为上下两根视距丝的间距，l 为下、上视距丝在标尺上读数的差（尺间隔），δ 为物镜到仪器中心的距离。根据相似三角形可推导出 A、B 两点间水平距离，即由

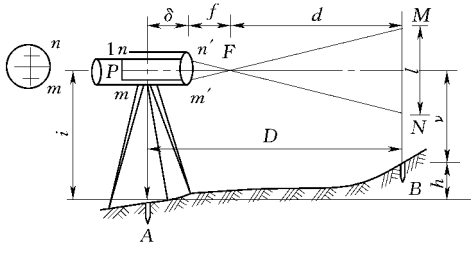


图 4－1　视线水平时的视距测量

$$\frac{d}{l} = \frac{f}{p}$$

可知

$$d = \frac{f}{p}l$$

故

$$D = d + f + \delta = \frac{f}{p}l + f + \delta$$

可令 K 为视距乘常数，c 为视距加常数，则有

$$D = Kl + c$$

现代设计和制造的测量仪器都能保证 $K = 100$，c 约为 0，此时上式可写成

$$D = Kl + c = 100l \tag{4-1}$$

从图 4－1 可以看出，A、B 两点间的高差为

$$h = i - \nu \tag{4-2}$$

式中　i——仪器高（横轴中心至桩顶的高度）；

　　ν——十字丝中丝在标尺上的读数。

（二）视线倾斜时水平距离与高差的计算公式

如图 4－2 所示，当地面坡度较大时，由于视线倾斜不与标尺垂直，这时不能用视线水平时的公式计算水平距离和高差。假设仪器视准轴倾斜 α 角，若将标尺倾斜 α 角使其与视准轴垂直，此时就可用式（4－1）计算倾斜视距 L。由于仪器上下视距丝间的夹角较小（约为 34′），故可近似地将 $\angle NN'G$ 和 $\angle MM'G$ 看成直角，此时利用三角函数关系可求出水平距离 D 和高差 h 的计算公式为

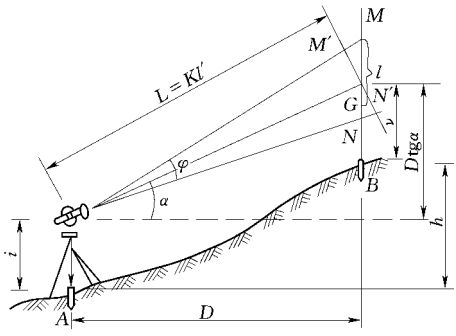


图 4－2　视线倾斜时的视距测量

$$D = L\cos\alpha = Kl\cos^2\alpha \qquad (4-3)$$

$$h = D\mathrm{tg}\alpha + i - \nu \qquad (4-4)$$

若 A 点高程为 H_A，则 B 点高程 $H_B = H_A + h$。

二、视距测量的观测方法

如图 4－2 所示，用视距测量法测定地面 A、B 两点间水平距离和高差的观测、记录及计算步骤如下：

（1）在 A 点安置经纬仪，对中、整平并量取仪器高 i，记入视距测量观测手簿表 4－1 中，同时在 B 点竖立标尺。

（2）转动望远镜照准标尺，分别读取下丝、上丝和中丝读数，并记入表 4－1 中，计算视距间隔 l。实际工作中为提高速度，可使上丝对准标尺某一整数处，可直接读出视距间隔 l；中丝读数时，常将中丝对准仪器高 i 处，使得 $i - \nu = 0$，以简化计算。

（3）调节竖盘指标水准管微动螺旋，使竖盘指标水准管气泡居中，读竖盘读数和计算垂直角 α 并记入表 4－1 中。

（4）根据测量和计算出的 i、ν、l、α，用式（4－3）和式（4－4）分别计算水平距离 D 和高差 h，并记入表 4－1 中。

表 4－1　　视 距 测 量 观 测 手 簿

测站点：A　　测站点高程：$H_A = 207.40\mathrm{m}$　　后视点：B　　仪器高：$i = 1.42\mathrm{m}$

点号	下丝读数 (m)	上丝读数 (m)	视距 Kl (m)	中丝读数 (m)	竖盘读数 (° ′)	竖直角 (° ′)	水平距离 (m)	高　差 (m)	高　程 (m)
1	2.806	2.046	76.0	2.42	93　28	－3　28	75.7	－5.59	201.81
2	1.675	1.161	51.4	1.42	91　45	－1　45	51.4	－1.57	205.83

三、视距测量注意事项

（1）水准尺要立直，并尽量使用带有水准器的水准尺。

（2）观测时，视线长度应控制在 300m 内，读数要认真仔细，并注意消除视差。

（3）要在成像稳定后进行观测。观测时，应使视线离地面 0.5m 以上。

（4）要定期检查仪器视距乘常数，K 值应在 100 ± 0.1 之内，否则要加以改正。

（5）在中丝不变的情况下，读取竖盘读数。

第二节　钢　尺　量　距

钢尺量距是采用宽度 10～20mm，厚度 0.1～0.4mm 薄钢带制成的带状尺测量距离的方法。如图 4－3 所示，常用钢尺长度有 20m、30m、50m 等几种，钢尺基本刻划为厘米（在起点 10cm 内刻有毫米分划），并在每分米、米处标记数字，也有基本分划为毫米的钢尺。钢尺量距还需测钎、标杆（也叫花杆）（图 4－4）和垂球等辅助工具，量距精度要求不高时，还可用皮尺或绳尺进行丈量。

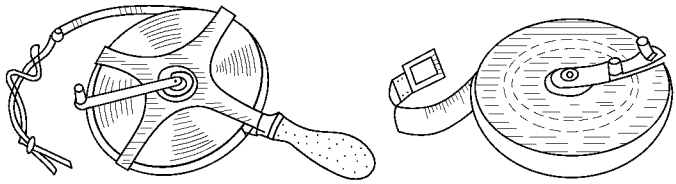


图 4－3　钢尺

一、直线定线

当地面上两点间的距离超过尺子的全长时，量距前必须在通过直线两端点的竖直面内定出若干中间点，并竖立标杆或测钎标明直线方向，以便分段丈量，这种工作称为直线定线。按要求的精度不同，可用目估定线和经纬仪定线两种。

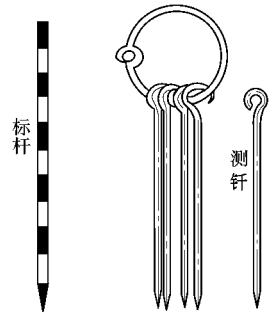


图 4－4　标杆和测钎

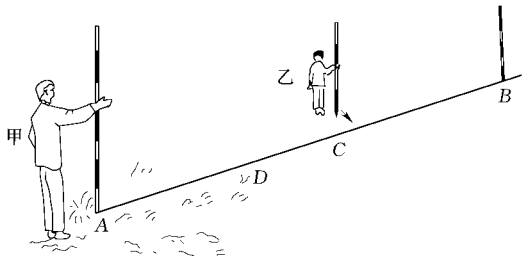


图 4－5　目估定线

（一）目估定线

图 4－5 中 A、B 为地面上互相通视的两点，今欲在过 AB 线的竖直面内定出 C、D 等点。定线工作可由甲、乙两人进行。定线时，先在 A、B 两点上竖立标杆，然后由甲立于 A 标杆后面约 1～2m 处，用眼睛自 A 点标杆照准 B 点标杆。乙持另一标杆沿 BA 方向走到离 B 点大约一尺段长的 C 点附近，按照甲指挥手势左右移动标杆，直到标杆位于 AB 直线上为止，插下标杆（或测钎），得 C 点。然后乙又带着标杆走到 D 点处，同法在 AB 直线上竖立标杆（或测钎）定出 D 点，依此类推。这种从直线远端 B 走向近端 A 的定线方法，称为走近定线。反之，由近端 A 走向远端 B 的定线方法称为走远定线。走近定线法比走远定线法较为准确。这是因为在定线的过程中，已设定标杆对新立标杆的影响，走近定线比走远定线为小。在平坦地区，直线定线工作常与距离丈量同时进行，即边

定线边丈量。

（二）经纬仪定线

当直线定线精度要求较高时，可用经纬仪定线。如图 4－6 所示，欲在 AB 线内精确定出 1、2 点的位置。可由甲将经纬仪安置于 A 点，用望远镜照准 B 点，固定照准部制动螺旋。然后将望远镜向下俯视，用手势指挥乙移动标杆至与十字丝竖丝重合时，便在标杆的位置打下木桩，在木桩顶定出十字丝竖丝位置钉上小钉，准确定出 1 点的位置。

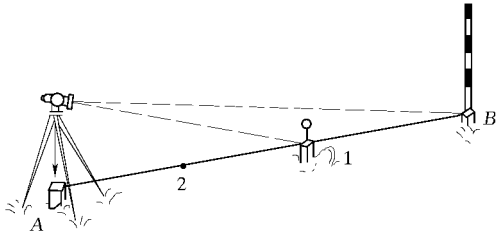


图 4－6　经纬仪定线

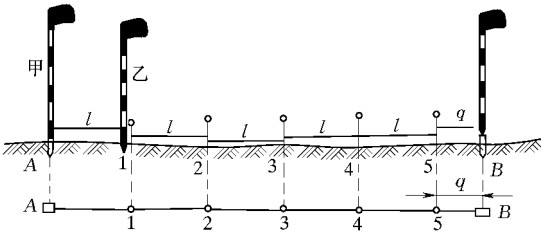


图 4－7　平坦地面的距离丈量

二、一般丈量方法

（一）平坦地面的丈量方法

如图 4－7 所示，要测量 A、B 两点间水平距离，先在两点上各立一标杆定直线方向，清除直线上的障碍后，测量方法如下。

（1）甲持钢尺零端站在 A 点后方，乙持钢尺末端并拿标杆一根及若干根测钎向 B 点前进至一整尺处止步。

（2）用目估定线的方法，乙根据甲的指挥用标杆把中间点 1 的位置标定在直线 AB 上（此即直线定线），拔去标杆并使钢尺通过标杆脚孔中心，两人同时用力（约 15kg）贴在地面上拉紧钢尺，此时甲将钢尺零点刻划线对准 A 点的地面标志，乙则在钢尺末端刻线处将第 1 根测钎标定在地面上，此为第一尺段的丈量工作。

（3）两人同时携尺前进，当甲到达第 1 根测钎处停下，同法丈量第二尺段，量完后甲收起测钎，以测钎根数作为整尺测段数 n。

（4）继续丈量至 B 点附近后，最后一段一般都是非整尺段，可用钢尺准确丈量出该段的余长 q。

（5）A、B 两点间的距离可用下式计算，即

$$D = nl + q \tag{4-5}$$

式中　l——尺长；

n——整尺测段数；

q——非整尺段的余长。

为防止出错并提高测量精度，钢尺量距应进行往、返丈量，取其平均值为最后测量结果，并用相对误差 K 来衡量量距精度，K 值通常化成分子为 1 的真分数。即

$$K = \frac{|D_{往} - D_{返}|}{D_{平均}} = \frac{1}{N} \tag{4-6}$$

平坦地区量距时，其相对误差一般应不大于 1／3000；困难地区量距的相对误差应不

大于 1/1000。

（二）倾斜地面的丈量方法

若地面倾斜程度不大时，可用平量法，如图 4－8 所示，从高向低分段测量，每段用目估法使钢尺水平，并用垂球将钢尺的某整数分划线投射到地面，同法丈量以后各段，将各分段距离累加得两点间的水平距离。返测时由低向高测较困难，故可仍从高向低再丈量一次，取两次丈量平均值作为最后结果。

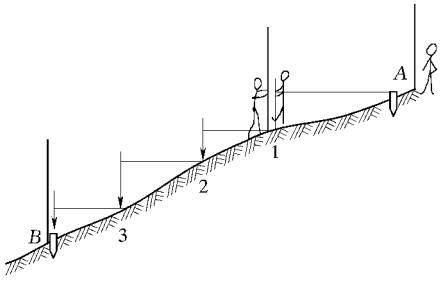


图 4－8　平量法

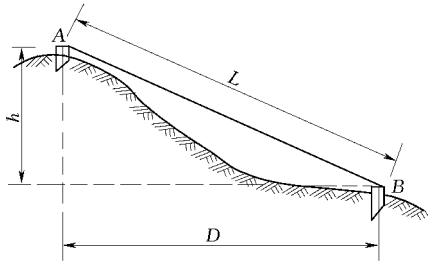


图 4－9　斜量法

当地面坡度较均匀时，可用斜量法，见图 4－9，直接用钢尺量出斜距 L，根据两端丈量点的高差 h（可用水准仪测出），利用数学公式计算水平距离。

$$D = \sqrt{L^2 - h^2} \tag{4-7}$$

三、钢尺量距的精密方法

用钢尺精密量距时，应选择检定过的优质钢尺，并有以检定时的拉力、温度为条件的尺长方程式。丈量时用弹簧秤施加检定时的拉力。

（一）准备工作

（1）定线与概量。量距前首先要清理场地，将影响量距的障碍物清理掉。然后用经纬仪定线。在直线方向线上，每隔一尺段（要小于所用钢尺的名义长度）打一木桩，木桩略高出地面以能使钢尺悬空为度，并保持木桩顶部水平。在木桩顶面上精确刻划出一个“＋”号（木桩顶部可钉一块白铁皮，在白铁皮上刻划十字线）。将直线分尺段丈量。

（2）测定两端丈量点的高差。因各桩顶不一定在同一水平线上，为求得水平距离，用水准仪测定其高差，往返测高差之差应小于 5mm，取其平均高差作为最后结果，以便进行倾斜改正。

（3）准备量距用的工具。首先选择一把检定过的优质钢尺。然后再准备拉力计、温度计、记录本，大测钎等工具。丈量前 10min，要拉出钢尺，使尺温接近于现场气温。

（二）量距

由 5 人组成量距小组。两人分头拉尺，两人分头读数，一人指挥并记录、测温度。量距方法如下。

（1）后尺手将拉力计与钢尺固连，然后将拉力计与大测钎连接。钢尺与大测钎的连接部位要能沿测钎杆滑动。

（2）前尺手沿直线方向将大测钎尖端固定在地面上，并按照检定钢尺时拉力将钢尺拉紧。待尺子和拉力稳定后，指挥者发出读数口令，前后尺读数人员同时根据十字线交点在

尺上读取读数，读至毫米并记入手簿，见表 4－2。每尺段要丈量 3 次，每次都要变换钢尺读数的位置（2～3cm）。3 次丈量的长度互差，一般不超过 3mm。在量距的同时读记现场温度，以便进行温度改正。

（3）移动尺子，进行下一尺段的丈量。一般直线要求往返测，以便于检核。在实际工作时，往往采取两把尺子或交换钢尺两端的人员再测一次作为返测，以提高工作效率。

（三）成果整理

每测一尺段后，都要进行尺长、温度和倾斜改正，以求得该段的水平距离。最后将各尺段的水平距离相加，求出直线（基线）全长。

（1）尺长改正。钢尺尺面上注记的长度称为名义长度。由于钢尺本身的误差使钢尺的长度与实际长度不相等。为了消除此项误差，钢尺使用前要进行检定，求出尺长方程式为

$$L = L_0 + \Delta L + \alpha(t - t_0)L_0 \tag{4-8}$$

式中 L——温度等于 t 时的实际长度；

L_0——钢尺的名义长度；

α——钢尺的线膨胀系数（一般为 0.0000125/℃）；

t——量距时的实际温度；

t_0——标准温度（一般 $t_0=20$℃）；

ΔL——整尺的尺长改正数。

根据一整尺尺长改正数 ΔL，就可以算出某尺段的改正数。若某尺段实测距离为 l，其尺长改正数用 Δl_d 表示，则有

$$\Delta l_d = \frac{\Delta L}{L_0} l \tag{4-9}$$

（2）温度改正。钢尺受温度影响其长度会发生变化。当野外量距时的温度与标准温度不一致时，就要加温度改正。若用 Δl_t 表示某段距离的温度改正数，则

$$\Delta l_t = \alpha(t - t_0)l \tag{4-10}$$

（3）倾斜改正。用水准仪测得尺段两丈量点的高差为 h，倾斜改正数为 Δl_h，则

$$\Delta l_h = D - l = -\frac{h^2}{2l} \tag{4-11}$$

综上所述，经各项改正后的水平距离 D 为

$$D = l + \Delta l_d + \Delta l_t + \Delta l_h \tag{4-12}$$

（4）精度评定。用式（4－6）得出该段距离的相对误差。如果在限差之内，取平均值作为最后结果。若超过限差，应重测。算例见表 4－2。

四、钢尺量距注意事项

影响钢尺量距精度的因素主要有：仪器误差，如钢尺刻划误差和尺长误差；观测误差，如对点不准，读数误差及直线定线误差；外界条件影响，如量距时的温度和拉力误差等。因此，量距时应该注意以下几点。

（1）钢尺要拉平，用力要均匀，定线要准确，读数要仔细，要注意尺子的零点位置。

（2）精度要求不高时，可用目估定线；当直线较长或精度要求较高时，要用经纬仪定线。

表 4-2　　钢尺量距记录手簿

线段	尺段号	读数 (m) 前后	第一次	第二次	第三次	中数 (m)	高差 (m)	温度 (℃)	尺长改正数 (m)	倾斜改正数 (m)	温度改正数 (m)	改正后的尺段长 (m)
$A\sim B$	A	前	29.435	29.451	29.402	29.390	+0.86	10	0.0049	−0.0126	−0.0037	29.3786
		后	0.048	0.060	0.010							
	1	前−后	29.387	29.391	29.391							
	1	前	23.403	23.912	23.846	23.390	+1.28	11	0.0039	−0.0350	−0.0026	23.3563
		后	0.014	0.520	0.456							
	2	前−后	23.389	23.392	23.390							
	2	前	28.054	27.933	28.214	27.682	−0.14	11	0.0046	−0.0004	−0.0031	27.6831
		后	0.372	0.253	0.530							
	B	前−后	27.682	27.680	27.684							

注　30/7841 号钢尺的尺长方程式为：$L=30+0.005+1.25\times10^{-5}\times30\ (t-20)$；$D_{往}=80.418$m。

(3) 钢尺性脆易断，丈量时要严防钢尺扭曲打结，不得在地面和水中拖拉钢尺，以防磨损和锈蚀。在城镇道路上丈量时，要有专人招呼来往车辆行人，防止钢尺被压折断。

第三节　电磁波测距

电磁波测距是近代采用的一种较先进的测距方法，它具有测程远、精度高、受地形限制少、作业效率高等优点。

电磁波测距仪按其测程不同，可分为远程（20km 以上）、中程（5～20km）和短程（5km 以内）三类；按仪器使用光源不同，可分为普通光源、红外光源和激光光源等几种。红外光电测距仪是采用半导体砷化镓（GaAs）发光二极管作为光源的一种短程测距仪，它具有重量轻、体积小、功耗低等特点，从而被广泛应用于工程测量中。

电磁波测距精度指标常采用下式表示

$$M_D=\pm(A+B\times10^{-6}D) \tag{4-13}$$

式中　A——固定误差；

$B\times10^{-6}D$——比例误差；

B——比例误差系数；

D——待测距离，m。

近年来，国内外制造的电磁波测距仪不仅能自动显示距离，而且能自动跟踪，自动进行有关参数改正。配备微型计算机后，能自动记录和存取数据，自动进行高差及坐标计算，使得测量工作大为简化。

一、测距原理

电磁波测距原理是利用测距仪发出光波，通过测量光波在待测距离上往返一次所需时间 t 来计算两点间的距离 D。如图 4-10 所示，在测站点 A 安置测距仪，在 B 点安置反射棱镜，光波

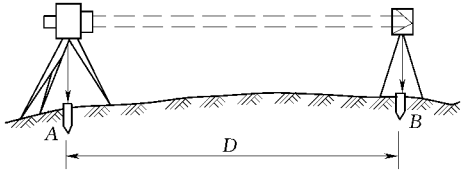


图 4-10　电磁波测距原理

从 A 点到达 B 点，经反射棱镜反射后返回 A 点，设光速 c 已知（约为 $3\times10^8\text{m}/\text{s}$），若能测出光波在 A、B 两点间往返传播的时间 t，则 AB 间的距离为

$$D = \frac{1}{2}ct \tag{4-14}$$

从式（4-14）可知，测距仪测量距离的精度取决于仪器测定时间的精度。根据时间测定方法的不同，测距仪可分为脉冲法（直接测定时间）和相位法（间接测定时间）两种。若要保证 1cm 的测距精度，通过对式（4-14）微分可知，测定时间的精度要达到 $6.7\times10^{-11}\text{s}$，这样高的测时精度脉冲法是很难达到的，因此，一般精密测距仪都采用相位法间接测定时间。

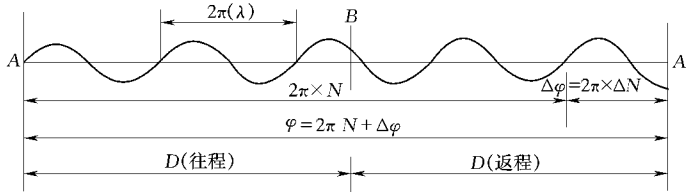


图 4-11　相位式电磁波测距原理

相位法测距原理是通过测量调制光波在待测距离上往返传播所产生的相位移 ϕ 代替测定时间 t，来计算距离 D 的。图 4-11 为调制光波在 A、B 两点间往返传播并将返程光波沿测线方向展开后的形状。从图 4-11 可以看出，往返程总相位移为

$$\phi = N\times2\pi + \Delta\phi = 2\pi(N+\Delta N) \tag{4-15}$$

式中　N——整周期数；

$\Delta\phi$——不足一个整周期（2π）的相位移尾数；

ΔN——不足整周期的比例系数，$\Delta N=\dfrac{\Delta\phi}{2\pi}<1$。

设仪器发射的调制光波波长为 λ，频率为 f，从物理学可知 $c=\lambda f$ 及 $t=\phi/(2\pi f)$，将其代入式（4-14），结合式（4-15）得

$$D = \frac{1}{2}ct = \frac{1}{2}\lambda f\times\frac{\phi}{2\pi f} = \frac{\lambda}{2}(N+\Delta N) \tag{4-16}$$

式（4-16）就是相位法测距的基本公式。如果把式（4-16）中的 $\lambda/2$ 看成一把光“测尺”，尺子的刻度用相位表示，将式（4-16）与钢尺量距计算公式相比，可以看出，距离 D 等于 N 个整测尺长度与余尺段长度之和。

仪器上的测相装置，只能分辨 $0\sim2\pi$ 的相位变化，故只能测出不足 2π 的相位差 $\Delta\phi$，相当于余尺段的长度。例如 10m 的“测尺”只能测出小于 10m 距离，超过 10m 的距离必须用更长的“测尺”测定。由于目前的测相精度一般为 1/1000，因此，选用较长的“测尺”，其测距误差又会增大，例如 10m 测尺的测距误差为 1cm，而 1000m 测尺的测距误差将达到 1m。为保证测距精度，又扩大仪器测程，测距仪上一般选用几把测尺配合测量，借助仪器内部的逻辑电路，自动完成测距的计算，并一次显示结果。

短程电磁波测距仪一般都采用精、粗两把测尺配合，例如用 10m 作为精测尺，显示米及米以下各单位的距离值，用 1000m 作为粗测尺，显示百米及十米位的距离值。设实

测距离为 385.785m，则

精确显示 5.785m

粗测显示 38（米位不显示）

仪器显示的距离为 385.785m

二、D2020 型测距仪简介

测距仪包括主机、反射棱镜和电池三部分。图 4－12 为常州大地测距仪厂生产的 D2000 系列之一——D2020 型红外测距仪。



图 4－12　D2020 型红外测距仪外观图

（一）D2020 型测距仪主要技术指标

最大测程：单棱镜 1.8km ；三棱镜 2.5km。

测距精度：± （5mm＋3ppm×D）。

最大显示距离：9999.999m。

工作温度：－20～＋50℃。

测量时间：跟踪测量 0.8s；连续测量 3s。

功耗：3.6W。

（二）D2020 型测距仪结构及功能

如图 4－12 所示，D2020 型测距仪主机由三合一光路（照准、发射及接收物镜）相位计、单片机、显示器、键盘和连接器组成，主机安装在 DJ2 经纬仪上，可同时完成测角及测距任务。仪器键盘共有 12 个键，如图 4－13 所示。

仪器具有单次测量、连续测量（“MSR”键）、跟踪测量（“TRK”键）、预置测量（“SO”键）和平均测量（“AVE”键）五种距离测量方法。

能进行气象参数和棱镜参数的自动保存及换算（“T.P.C”键），可进行坐标测量（“X.Y.Z”键，用“X.Y.Z”键输入测站点坐标）和定线放样（“SO”键）。

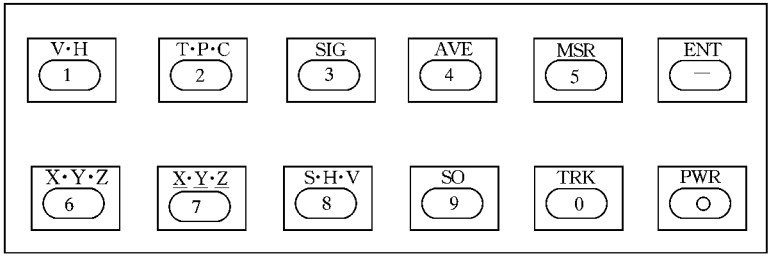


图 4－13　主机键盘

能进行斜距、平距和高差的换算（“S.H.V”键）。

仪器还具有电池电压、光强显示（“SIG”键）、天顶距及水平角输入（“V.H”键）以及设置数据输入状态、清除数据（“ENT”键）等功能。上述各功能键的结果都能在显示器中直接显示。

D2020 型测距仪气象改正值公式为

$$\Delta D_n = \left(278.96 - \frac{0.3872P}{1 + 0.00366t}\right)D \qquad (4-17)$$

式中 ΔD_n——每公里距离的气象改正数，mm；

t——测站温度，℃；

P——测站气压，Pa。

三、D2020 型测距仪的使用

（一）安置仪器

（1）在测站点安置经纬仪，严格对中、整平后，将主机连接在经纬仪上，将电池插入主机底部并扣紧。

（2）在目标点上安置反光棱镜及镜架（图 4－14），对中、整平后概略照准测距仪。

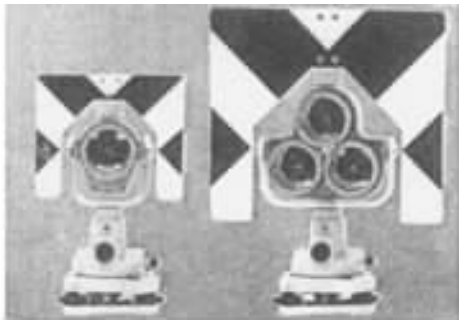


图 4－14 棱镜组

（二）距离测量

（1）用经纬仪照准反光镜的觇板中心，读取竖盘读数（即天顶距 Z），记录观测时的温度计度数 t 和气压表数值 P，按“T.P.C”键并用“ENT”键重置后，分别输入 t 及 p 值。

（2）按电源开机键“PWR”校对机内各常数，自检正常（Good）后，按“V.H”键并用“ENT”键重置后输入 Z 值。

（3）按“MSR”键显示斜距，连续按“S.H.V”键即显示改正后的平距 D 及高差 h。

四、测距仪使用注意事项

（1）严禁将照准头对准太阳或其它强光源，以免损坏仪器光电器件。阳光下作业应打伞。

（2）仪器应在通视良好、大气较稳定的条件下使用，应避开发热体、烟雾和灰尘等。

（3）仪器视线两侧及反光镜后面不能有其它强光源或反光镜等背景干扰。并尽量避免逆光观测。

（4）注意电源接线，观测时要经常检查电源电压是否稳定，电压不足应及时充电，观测完毕要注意关机，不可带电迁站。

（5）要经常保持仪器清洁和干燥，使用和运输过程中要注意防潮防震。

习题与思考题

1. 完成题表 4－1 各项计算。（钢尺检定长度为 29.992m）
2. 何谓视距测量？如何求得水平距离和高差？
3. 经纬仪望远镜视线水平和倾斜的条件是什么？如何操作？
4. 何谓钢尺量距？量距精度是如何衡量的？
5. 简述电磁波测距的原理。
6. 完成题表 4－2 各项计算。（测站高程 200.135m，仪器高 1.42m，$\alpha = 90° - L$）

题表 4－1　　钢尺量距计算

线段	尺段号	读数 (m) 前/后	第一次	第二次	第三次	中数 (m)	高差 (m)	温度 (℃)	尺长改正数 (m)	倾斜改正数 (m)	温度改正数 (m)	改正后的尺段长 (m)
$A\sim B$	A	前	29.931	29.950	29.939		+0.83	25.9				
	1	后	0.065	0.085	0.076							
		前－后										
	1	前	29.930	29.923	29.940		+0.23	27.6				
	2	后	0.025	0.016	0.033							
		前－后										
	2	前	11.881	11.871	11.861		−0.31	27.5				
	B	后	0.076	0.064	0.055							
		前－后										

题表 4－2　　视距测量计算

测点	下丝读数 / 上丝读数	视距 Kl (m)	竖盘读数 (° ′)	垂直角 (° ′)	中丝读数 (m)	水平距离 (m)	高差 (m)	高程 (m)
1	1.519 / 1.000		90 00		1.26			
2	1.090 / 0.500		90 06		0.78			
3	2.313 / 0.500		85 12		1.42			
4	2.356 / 2.000		39 36		2.17			
5	4.980 / 1.500		79 40		3.24			
6	1.873 / 1.801		97 24		1.84			

第五章　方 位 角 测 量

第一节　方 位 角 的 概 念

确定地面两点间平面位置的相对关系，仅仅量得两点间的水平距离是不够的，还需要知道这两点连线的方向，才能把它的相对位置确定下来。测量工作中，一条直线的方向是根据某一标准方向来确定的。确定一条直线与标准方向的关系，称为直线定向。

一、标准方向的种类

测量工作中常用的标准方向有以下三种。

1. 真子午线方向

通过地面上一点，指向地球南北极的方向线，就是该点的真子午线方向。真子午线方向是用天文测量的方法确定的。

2. 磁子午线方向

磁针在某点上自由静止时所指的方向线，就是该点的磁子午线方向。

如图 5－1 所示，由于地球的两磁极与地球的南北极不重合（磁北极约在北纬 74°、西经 110°附近；磁南极约在南纬 69°、东经 114°附近）。因此，地面上任一点的真子午线方向与磁子午线方向是不一致的，两者的夹角 δ 称为磁偏角。磁子午线北端在真子午线以东为东偏，δ 为“＋”；以西为西偏，δ 为“－”。

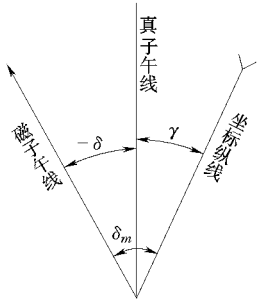


图 5－1　磁偏角和收敛角

3. 坐标纵线（轴）方向

测量中常以通过测区坐标原点的坐标纵线为准、测区内通过任一点与坐标纵轴平行的方向线，称为该点的坐标纵线方向。

如图 5－1 所示，真子午线与坐标纵线间的夹角 γ 称为子午线收敛角。坐标纵线北端在真子午线以东为东偏，γ 为“＋”；以西为西偏，γ 为“－”。

以上三个标准方向常称为三北方向。

二、方位角

测量工作中，常采用方位角表示直线的方向。由标准方向的北端起，顺时针方向量到某直线的夹角，称为该直线的方位角，角值为 0°～360°范围。由于采用的标准方向不同，直线方位角有如下三种。

1. 真方位角

从真子午线方向的北端起，顺时针至直线间的夹角，称为该直线的真方位角，用 A 表示。

2. 磁方位角

从磁子午线方向的北端起，顺时针至直线间的夹角，称为磁方位角，用 A_m 表示。

3. 坐标方位角

从平行于坐标纵轴的方向线的北端起，顺时针至直线间的夹角，称为坐标方位角，以 α 表示。

测量工作中的直线都具有一定的方向，如图 5－2 所示，以 A 点为起点，B 点为终点的直线 AB 的坐标方位角 α_{AB}（下标表示直线方向），称为直线 AB 的坐标方位角。而直线 BA 的坐标方位角为 α_{BA}，称为直线 AB 的反坐标方位角。由图 5－2 中可以看出正、反坐标方位角间的关系为

$$\alpha_{BA} = \alpha_{AB} \pm 180^\circ$$

其中 $\alpha_{AB} < 180^\circ$，用“＋”；$\alpha_{AB} > 180^\circ$，用“－”。

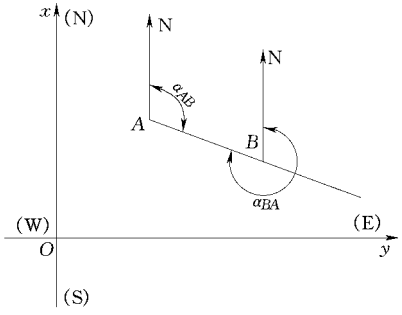


图 5－2　正反方位角

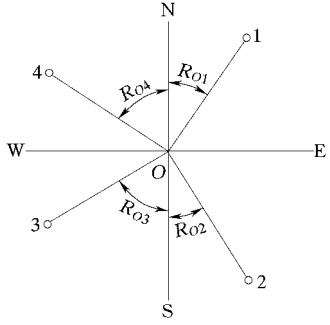


图 5－3　象限角

三、象限角

由坐标纵线的北端或南端起，顺时针或逆时针至直线间所夹的锐角，并注出象限名称，称为该直线的象限角，以 R 表示之，角值为 $0^\circ \sim 90^\circ$ 范围。如图 5－3 所示，直线 $O1$、$O2$、$O3$、$O4$ 的象限分别为北东 R_{O1}、南东 R_{O2}、南西 R_{O3} 和北西 R_{O4}。

四、坐标方位角和象限角的换算关系

由图 5－4 可以看出，坐标方位角与象限角的换算关系，如表 5－1 所示。

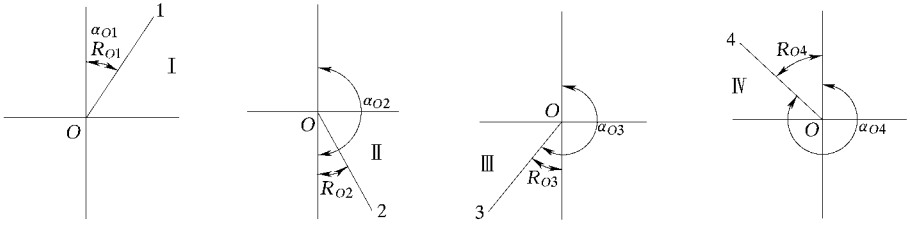


图 5－4　坐标方位角与象限角关系

表 5－1　　坐标方位角与象限角的换算关系表

直 线 方 向	由坐标方位角推算象限角	由象限角推算坐标方位角
北东，第Ⅰ象限	$R = \alpha$	$\alpha = R$
南东，第Ⅱ象限	$R = 180^\circ - \alpha$	$\alpha = 180^\circ - R$
南西，第Ⅲ象限	$R = \alpha - 180^\circ$	$\alpha = 180^\circ + R$
北西，第Ⅳ象限	$R = 360^\circ - \alpha$	$\alpha = 360^\circ - R$

第二节　磁 方 位 角 测 量

在小测区建立独立的平面控制网时，可用罗盘仪测定直线的磁方位角，作为该控制网起始边的坐标方位角，将过起始点的磁子午线当作坐标纵线（轴）。以下介绍罗盘仪的构造和使用方法。

一、罗盘仪的构造

罗盘仪是测定磁方位角的仪器，如图 5－5 所示，它主要由望远镜、刻度盘和磁针三部分组成。

1. 望远镜

望远镜是照准目标用的照准设备，望远镜为外对光式，对光时转动对光螺旋，望远镜物镜即前、后移动，使物象与十字丝网平面重合，目标清晰。望远镜一侧装有竖直度盘，用以测量垂直角。

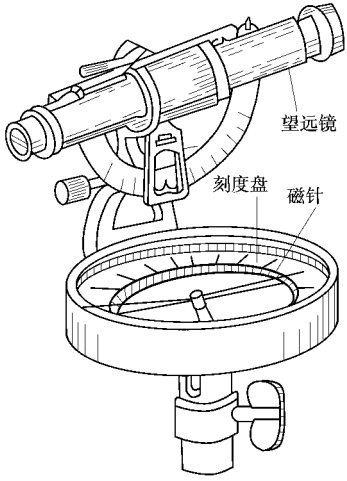


图 5－5　罗盘仪

2. 刻度盘

刻度盘是铜或铝制的圆盘，最小分划为 1°或 30′，每 10°作一注记。注记形式有两种：一种是按逆时针方向从 0°～360°，如图 5－6 所示，称为方位罗盘；一种是南、北两端为 0°，向两个方向注记到 90°，并注有北（N）、东（E）、南（S）、西（W）字样，如图 5－7 所示，称为象限罗盘。由于使用罗盘仪测定直线方向时，刻度盘随着望远镜转动，而磁针始终指向南北不动，为了在度盘上读出象限角，所以东、西注记与实际情况相反。同样，方位角是按顺时针从北端起算的，而方位罗盘的注记是自北端按逆时针方向注记的。

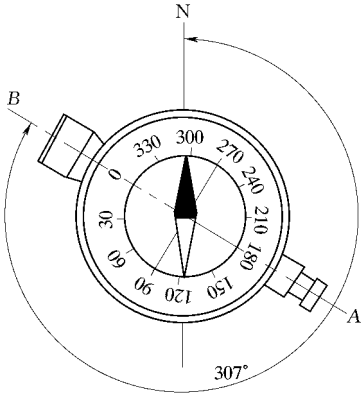


图 5－6　方位罗盘

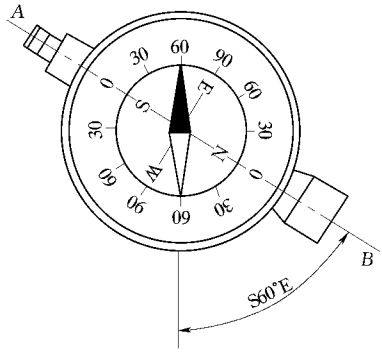


图 5－7　象限罗盘

3. 磁针

磁针是用人造磁铁制成，其中心装有镶着玛瑙的圆形球窝，在刻度盘的中心装有顶

针，磁针球窝支在顶针上，可以自由转动。为了减少顶针的磨损和防止磁针脱落，不使用时应用固定螺旋将磁针固定。我国处于北半球，磁针北端因受磁力影响而下倾，故在磁针南端绕有铜丝，使磁针水平，并借以分辨磁针的南北端。

罗盘盒内装有水准器，用来定平罗盘仪。

二、罗盘仪的使用

用罗盘仪测定直线的磁方位角（或磁象限角）时，先将罗盘仪安装在直线的起点，对中、整平。松开磁针固定螺旋放下磁针，再松开水平制动螺旋，转动仪器，用望远镜照准直线的另一端点上所立的标杆，待磁针静止后，如刻度盘的 0°对向目标时，则读出磁针北端所指的度盘读数，即为该直线的磁方位角（或磁象限角）。

三、地质罗盘仪

图 5－8 为地质测量常用的一种盒式罗盘仪，主要由磁针、刻度盘、水准器和照准器等部件组成；此外，还有供测坡度用的测斜度盘及其指标水准管。当揭开盒盖后，磁针制动钉自动弹起，磁针即自动指向南北磁极方向。照准器（即准星 4）通过绞栓和刻度盘固连一起，随度盘一道转动。照准器的轴线（视准轴）通过度盘分划中心，度盘分划线自照准器接物端起按逆时针方向注记。当照准地面某目标时（应使罗盘圆水准器气泡居中），等磁针稳定后，其北端所指度盘读数即为测站至该目标方向的磁方位角。

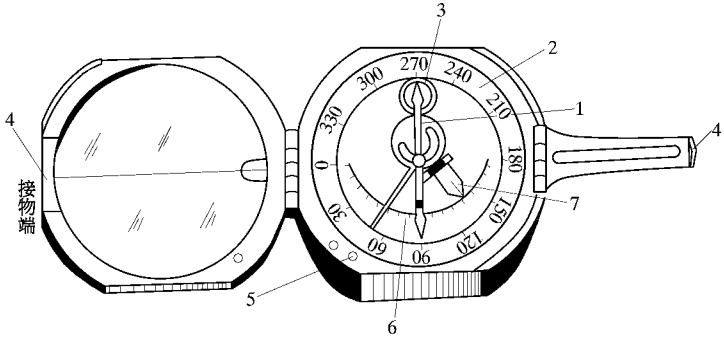


图 5－8　地质罗盘仪

1—磁针；2—度盘；3—圆水准器；4—准星；5—磁针制动钉；6—测斜度盘；7—测斜指标

罗盘仪使用时，应注意避免任何铁器接近仪器，选择测站点应避开高压线、车间、铁栅栏等，以免产生局部吸引，影响磁针偏转，造成读数的误差。使用完毕，应立即固定磁针，以防顶针磨损和磁针脱落。

习题与思考题

1. 何谓直线定向？什么叫方位角和象限角？
2. 写出方位角和象限角的关系式。
3. 已知直线 AB 的方位角 $\alpha_{AB}=190°30'24''$，则它的反方位角 α_{BA} 为多少？
4. 罗盘仪由哪三个部分组成？
5. 地质罗盘仪如何测定磁方位角？

＊第六章　三 维 坐 标 测 量

前已述及，地面点位置是由平面位置（X、Y）和高程（H）确定的。现代测量仪器已可以同时进行测距和测角，如全站型电子速测仪（全站仪），可以同时获得地面点的平面位置（X、Y）和高程（H），通常称为地面点的三维坐标（X，Y，Z）。本章对全站仪三维坐标测量和 GPS 测量作一简介。

第一节　全 站 型 电 子 速 测 仪

电子速测仪是集红外测距仪、电子经纬仪、数据终端机和数据记录兼数据处理器于一体的测量仪器，简称全站仪。全站型电子速测仪是同时进行测角、测距的测量仪器。例如，将红外电测距仪通过连接器安装在经纬仪上，就构成了电子速测仪，再配一个存储器和一台微型计算机，就能在野外获得点的坐标。通过传输设备，把野外观测数据输入计算机，由计算机控制绘图机绘图，便将地形图测绘的外业和内业有机地连接起来，实现真正的数据流。从野外采集的观测值，经过处理和转换后，形成图和成果表，这种获得测量成果的过程，构成了一种全新的测绘方法——综合自动测绘系统。利用这一系统能够高效率、高质量地完成数据处理、计算、制图等工作。

用全站仪观测时必要的观测数据（斜距、天顶距、水平角等）能自动显示，并且几乎同时能得到平距、高差和点的坐标。此外全站仪还可以完成对边测量、悬高测量、施工放样和变形测量等测量工作。

一、DTM－410 全站仪的使用

图 6－1（a）、（b）是日本尼康公司生产的一种操作简单、精度高的全站仪。DTM—410 全站仪的望远镜照准轴与测距光轴共轴，操作方法与经纬仪完全相同，一次照准同时能测量角度和距离。另外仪器具有双向倾斜自动补偿功能；仪器的正、反两面分别有 15 个按键，通过按键能在正、反两面的液晶显示窗中显示水平角、天顶距、斜距、平距、高差，以及 X、Y 坐标。仪器所测的距离、角度数据，通过 RS—232C 标准接口被电子手簿自动记录和处理。屏幕及键盘见图 6－2，键盘各按键功能见表 6－1。

1. 测量前的准备

（1）电池的安装与检查。安装电池扣上电池解锁钮，使电池的定位导块与仪器安装电池的凹处吻合。当电源接通时，自检功能将确保仪器正常工作。若电池的电量不足，此时应更换电池。

（2）垂直度盘和水平度盘指标的设置。松开垂直度盘制动钮将望远镜纵转一周，松开水平制动钮旋转照准部 360°后，显示垂直方向读数（V_A）和水平方向读数（H_A），此时垂直和水平指标设置完毕。

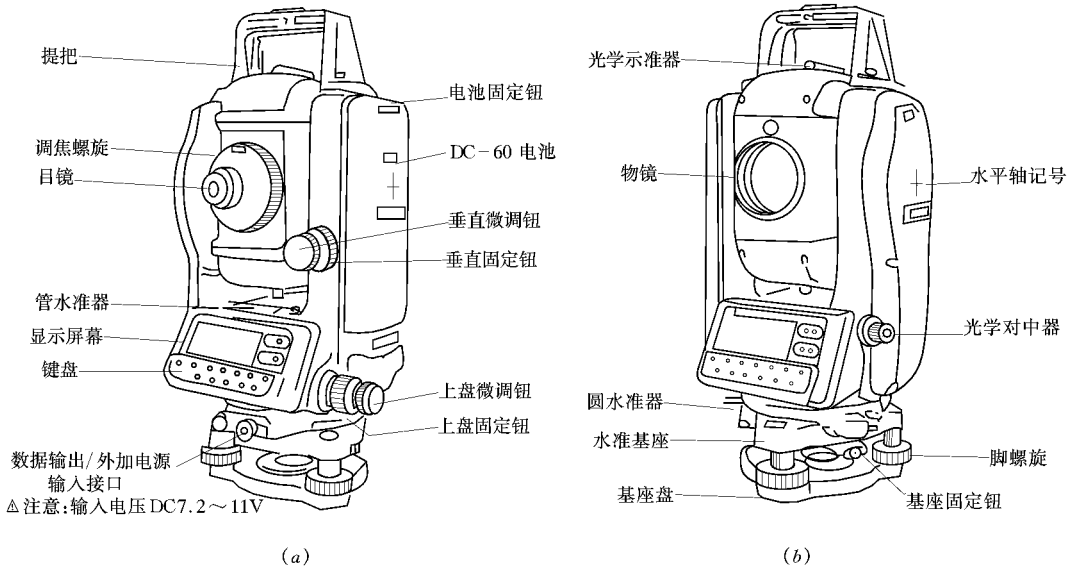


图 6－1　DTM—410 全站仪

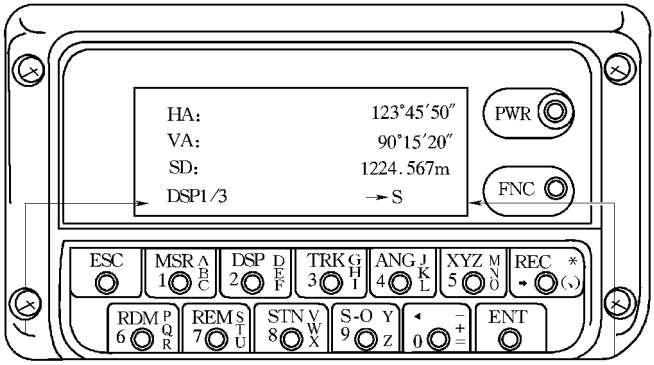


图 6－2　屏幕及键盘

表 6－1　　键盘各按键功能

键盘	主要功能	键盘	主要功能
PWR	电源开关	1	执行测量及显示结果 输入 1 及 A、B、C
FNC	功能键，在测量模式选择不同测量功能。 在数字输入模式输入负号。 在输入模式可选择输入数字、英文字母及显示	2	执行测量及显示结果 输入 2 及 D、E、F
REC	记录测量数据在数字输入模式输入小数点位 在字母输入模式输入 *、(、)	3	执行追踪测量输入 3 及 G、H、I
ESC	停止现行功能，恢复上一屏幕 清除输入的数据	4	显示测角输入 4 及 J、K、L

续表

键盘	主 要 功 能	键盘	主 要 功 能
5	测量坐标输入 5 及 M、N、O	9	放样功能 输入 9 及 Y、Z
6	对边测量 输入 6 及 P、Q、R	0	红光导向，屏幕背光照明， 十字丝照明开关输入 0 及 -、+、=
7	悬高测量输入 7 及 S、T、U	ENT	输入执行键
8	设测站功能输入 8 及 V、W、X		

(3) 照准目标调焦及显示窗和分划照明。

(4) 仪器参数的设置。根据测量的要求，通过功能键（FNC）来选择并设置仪器参数。

按功能键（FNC）显示功能菜单，如图 6-3 所示，用数字键选择相应内容。

菜单中各英文字符的含义如下：

T-P	温度	Prism	棱镜常数	HT	目标高
Cogo	坐标计算	Set	参数设置	Data	数据
Comm	通信				

2. 角度测量

在角度开始测量前，务必做三项准备工作：①全站仪应安置在测站点上；②VA 和 HA 度盘指标的设置；③仪器参数的设置。

(1) 测量两方向间的水平角。照准第一目标点 A，按 ANG(4) K(J,L) 键可显示角度，测量模式见图 6-4，依需要按数字键选择。

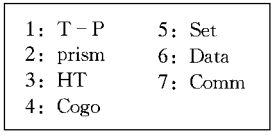


图 6-3 功能菜单显示

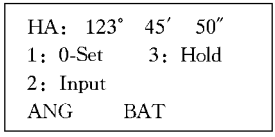


图 6-4 测量模式显示

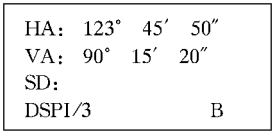


图 6-5 测量显示

选择 0-Set 后，则水平角值显示为 0；照准第二目标点 B，显示窗即显示 A、B 两点与测站间的水平角。

(2) 设置给定水平角。照准目标，选择 Input 由键盘输入设定的角度，如 60.0020（即 60°00′20″），按 ENT 键完成输入。

3. 距离测量

(1) 输入棱镜常数（见 Set 参数设置部分）。

(2) 在功能键（FNC）中选择测距最小显示单位和粗测/精测方式。

(3) 气象改正。选择 T-P 按提示输入测得的气温、气压。

(4) 斜距/水平距/高差的测量。

斜距、水平距和高差都是与角度同时进行测量的。完成测距准备后，在全站仪基本模

式下，按 MSR 1 A E 0 C 键或按 TRK G H 3 O 1 键显示如图 6－5 所示，即开始距离测量，约 4.5s（精测）后，显示距离值、垂直角和水平角。假如反射信号不足，会显示“Signal slow”，需要重新照准目标。

二、三维坐标测量

全站仪的常用的测量包括后方交会、坐标测量、悬高测量、对边测量、放样测量等方面。

大比例尺地形测图中，首级控制和图根控制一般采用导线测量。如果采用全站仪三维坐标测量（X、Y、Z），则可一次施测而同时获得各控制点的平面坐标 X、Y 和高程 H。具体方法如图 6－6 所示。

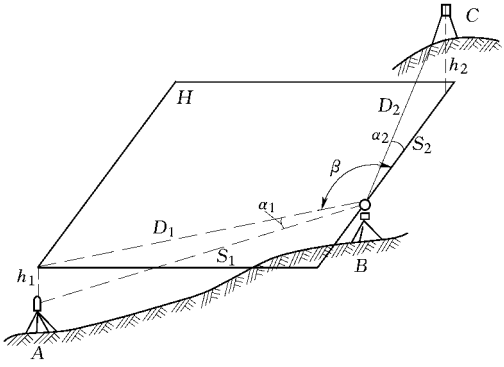


图 6－6　三维坐标测量

（1）全站仪于测站点 B，小钢尺或对中杆精确量取（量至 1mm）仪器高、棱镜高，输入仪器中。

（2）全站仪和棱镜按三联脚架法逐点布设，按键 SIN 8 设站，输入本站点号、坐标等。

（3）照准后视点 A 输入后视点已知坐标或方位角，选择高程检校。

（4）启动全站仪坐标（xyz 5）测量功能，照准被测点 C 进行测距（MSR），经过全站仪内部计算屏幕显示 XYZ 坐标，按 REC 键输入点号代码存储显示数据。全站仪也可以设置显示距离、水平和垂直度盘的读数，通过电子手簿计算检校成果，最后输出测量数据。

第二节　GPS　测　量

一、GPS 定位系统概述

GPS 定位系统（Global Positioning System）是美国第二代无线电导航系统，它是利用人造卫星进行导航、定位测量和授时。具有速度快、精度高、全天候的特点，不需点间通视，不用建造觇标，同时获取三维地心坐标等优点。GPS 定位系统由三大部分组成：卫星星座（空间部分）；地面监控系统（地面部分）；GPS 接收机（用户设备部分）。

1.GPS 卫星星座

GPS 的空间部分由 24 颗卫星组成，其中 21 颗工作星，3 颗备用卫星。大致均匀分布在 6 个轨道面上，每颗星可覆盖全球 38％的面积，如图 6－7 所示。

2. 地面监控系统

该系统由 1 个主控站、3 个注入站和若干个监控站组成。监控系统的主要功能是由监控站对 GPS 卫星信号进行实时监测（还包括卫星上设备是否正常工作、卫星是否沿轨道运行等）；由主控站对观测资料进行数据处理，由注入站向卫星注入一系列描述卫星运动

及其轨道参数的数据包括导航电文、卫星星历、卫星钟差、控制参数和指令等。

3.GPS 接收机

GPS 接收机是能够接收、跟踪、变换和量测 GPS 信号的接收设备。GPS 卫星发送的导航定位信号，是一种全球共享的信息资源。用户在任何地点、任何时刻、任何气候条件下均可用 GPS 接收机接收信号，进行导航、定位测量。

从 1981 年第一台 GPS 接收机问世以来，目前已有 200 多种型号的接收机，按用途可分为导航型接收机、测量型接收机和时频接收机。

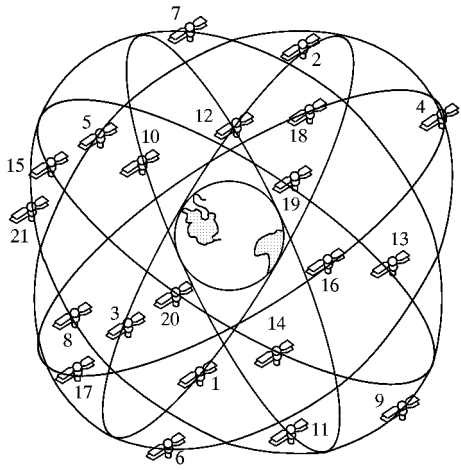


图 6-7　GPS 星座

（1）导航型：定位精度较低、价格便宜。用于人员、船舶、飞机、车辆等实时定位导航。

（2）测量型（大地型）：定位精度高、价格昂贵、结构复杂。用于精密大地测量、地形测量、工程测量、变形观测等。为了削弱电离层误差的影响，大地型 GPS 接收机又分为单频机和双频机，前者测程一般为 20km，后者测量距离长，可达几百公里以上。为了满足石油物探测量、工程放样等领域的需要，1996 年又出现了实时动态（RTK）接收机。借助无线电台将基线站的差分改正发给移动站，使之能够实时定位，从而大大提高生产率。目前，10km 以内，单频 RTK 的精度为厘米级，双频 RTK 的精度为 ±（1～3）cm。静态精度可达 5mm + 1ppm·D，动态可达 10mm + 1ppm·D，目前 GPS 接收机正向着多功能、广用途、全跟踪、微型化、功耗小、精度高等方面发展。

二、GPS 测量的实施

GPS 测量与常规测量相类似，在实际工作中也可划分为方案技术设计、外业实施及内业数据处理等三个阶段。

（一）方案技术设计

GPS 测量方案的技术设计是依据国家有关规范（规程）及 GPS 网的用途、用户的要求对测量工作的网形、精度及基准等内容的具体设计。

1.GPS 网的基准设计

由于 GPS 测量获得的是 GPS 基线向量，它属于 WGS－84 坐标系的三维坐标，而实际我们需要的是国家坐标系或地方独立坐标系的坐标。所以在 GPS 网的技术设计时，必须明确 GPS 成果所采用的坐标系统和起算数据，即明确 GPS 网所采用的基准。

GPS 网的基准包括位置基准、方位基准和尺度基准。方位基准一般以给定的起算方位角值确定，也可以由 GPS 基线向量的方位作为方位基准。尺度基准一般由地面的电磁波测距边确定，也可由两个以上的起算点间的距离确定。GPS 网的位置基准一般都是由给定的起算点坐标确定。为求定 GPS 点在地面坐标系的坐标，应在地面坐标系中选定起算数据和联测原有地方若干个控制点，用以坐标转换。

2.GPS 网的图形设计

常规测量中对控制网的图形设计是一项非常重要的工作。而在 GPS 图形设计时，因 GPS 同步观测不要求通视，所以其图形设计具有较大的灵活性。根据不同的用途，GPS 网的图形布设通常有点连式、边连式、网连式及边点混合连接四种基本方式。也有布设成星形连接、附合导线连接、三角锁形连接等。选择什么样的组网，取决于工程所要求的精度、野外条件及 GPS 接收机台数因素。

（二）外业实施

外业实施包括踏勘、选点、埋石、拟定观测计划（星历预报、编制作业调度表外业观测等）。

近几年，随着 GPS 定位后处理软件的发展，已有多种测量作业模式供选择，常见的有静态相对定位、快速静态定位、准动态相对定位和动态相对定位等。其中静态定位模式作业方法，采用两台或两台以上接收设备，分别安置在一条或数条基线的两个端点，同步观测 4 颗以上卫星，每时段长 45min 至 2h 或更多。静态定位作业布置如图 6－8 所示。基线的相对定位精度可达 5mm＋1ppm·D（D 为基线长度）。适用建立全球性或国家级大地控制网，建立长距离检校基线、建立精型工程控制网等。要求所有已观测基线应组成一系列封闭图形，以利于外业检核，提高成果可靠度。

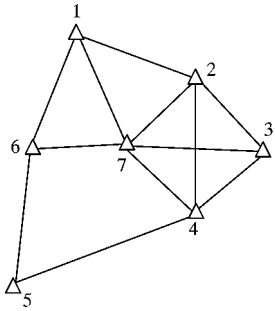


图 6－8　静态定位作业布置

近些年迅速发展的实时动态（RTK）测量技术，是以载波相位观测量为根据的实时差分 GPS（RTD GPS）测量技术。只要不与数据传输系统相结合，利用前面几种测量模式，其定位结果均需通过观测数据的测后处理而获得。这样无法实时给出观测站的定位结果，而且也无法对基准站和用户站观测数据的质量进行实时地检核，因而难以避免在数据后处理中发现不合格的测量成果。以往解决这一问题的措施，主要是通过延长观测时间获得大量的多余观测，来保障测量结果的可靠性。但是这样便降低了 GPS 测量工作的效率。

实时动态测量通过在基准站上安置一台 GPS 接收机，对所有可见 GPS 卫星进行连续地观测，并将其观测数据通过无线电传输设备，实时地发送给用户观测站。在用户站上，GPS 接收机在接收 GPS 卫星信号的同时，通过无线电接收设备，接收基准站传输的观测数据，然后根据相对定位的原理，实时地计算并显示用户站的三维坐标及其精度。利用 RTK 技术，通过实时计算的定位结果，便可监测基准站与用户站观测成果的质量和解算结果，从而可实时地判定解算结果是否成功，缩短观测时间。实时动态测量大致有以下几种测量作业模式。

（1）快速静态测量。要求 GPS 接收机在每一用户站上，静止地进行观测。在观测过程中，连同接收到的基准站的同步观测数据，实时地解算整周未知数和用户站的三维坐标。用户站的接收机在流动过程中，可以不必保持对 GPS 卫星的连续跟踪，其定位精度可达 1～2cm。这种方法可应用于城市、矿山等区域性的控制测量、工程测量和地籍测量等。

（2）准动态测量。同一般的准动态测量一样，首先在某一起始点进行初始化工作。流动的接收机在每一观测站上，只需静止观测数历元，并连同基准站的同步观测数据，实时

地解算流动站的三维坐标。通常应用于地籍测量、碎部测量、路线测量和工程放样等。

（3）动态测量。一般先在某一起始点上进行初始化工作，然后运动的接收机按预定的采样时间间隔自动地进行观测，并连同基准站的同步观测数据，实时地确定采样点的空间位置。主要应用于航空摄影测量、实时定位、航道测量、中线测量，以及运动目标的精密导航等。

（三）测量数据处理

GPS 接收机采集记录的是 GPS 接收机天线至卫星伪距、载波相位和卫星星历等数据。如果采样间隔为 20s，则每 20s 记录一组观测值，一台接收机连续观测 1h 将有 180 组观测值。观测值中有对 4 颗以上卫星的观测数据以及地面气象观测数据等。GPS 数据处理从原始的观测值出发得到最终的测量定位成果。其数据处理过程大致分为 GPS 测量数据的基线向量解算、GPS 基线向量网平差以及 GPS 网平差或与地面网联合平差等几个阶段。数据处理的基本流程如图 6－9 所示。

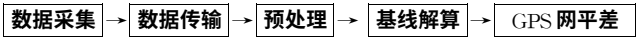


图 6－9　GPS 数据处理基本流程图

图中数据采集是 GPS 接收机野外观测记录的原始数据，同时可以用随机软件解算出测站点的位置和运动速度，提供导航服务。数据传输至基线解算一般是采用随机软件（后处理软件），将接收机记录的数据传输到计算机上进行处理和基线解算。GPS 网平差部分包括 GPS 基线向量网平差、GPS 网与地面网联合平差等内容。整个数据处理过程可以建立数据库管理系统。

习题与思考题

1. 何谓三维坐标？
2. 什么是全站仪？
3. 何谓 GPS 定位系统？

第七章　地 形 测 量 概 述

第一节　地 形 图 的 基 本 知 识

一、地形图和平面图

1. 地形图

地形图是按一定程序和方法，用符号、注记及等高线表示地物、地貌及其它地理要素平面位置和高程的正射投影图（图 7－1）。

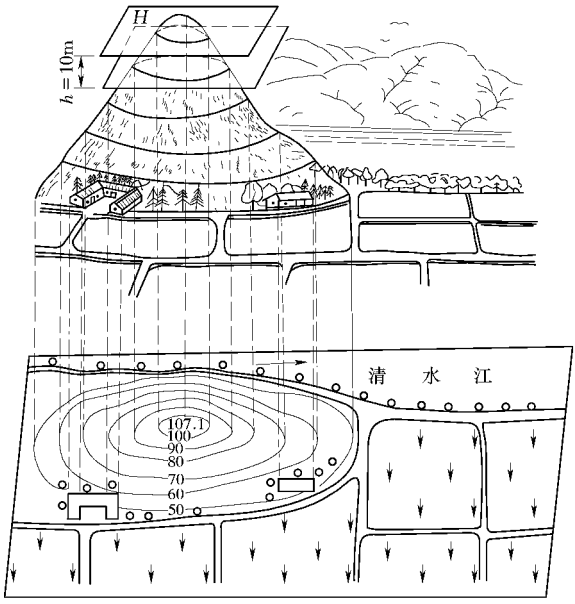


图 7－1　地形图成图原理

地形图是普通地图的一种，可分为线划图、影像图和数字化图等。

正射投影就是投影线与投影面垂直相交的正投影。地表的高低起伏只用正射投影不能清楚地表现出来，必须采用正射投影加注高程的方法来表示。如图 7－1 中的山丘，假想用一个水平面 H 去切割它，可以在山坡上得到一条形状不规则的曲线（切痕），这条曲线上各点高程都相等，把这条曲线正射投影到地形图上，就称为等高线。

如果用一组高差相等的水平面去切割它，就可以得到一组高程不同的等高线。

地物是地面上固定性物体的总称，包括建筑物、构筑物、道路、江河湖海等。

地貌是地面上各种起伏形态的总称。

地形是地面上地物、地貌的总称。

地形图所标识的地物和地貌，都是根据它们在水平面上的投影按一定比例缩小绘制的。

2. 平面图

在较小区域内，以水平面代替水准面，将地面上的各类固定地物，如房屋、道路、河渠、森林等的轮廓线，沿铅垂线方向投影到水平面上，再按一定的比例缩绘成相似的图形，这种图称为平面图。所以，平面图是只表示地形要素的平面位置，不表示起伏形态的

地图。

二、比例尺和比例尺精度

1. 比例尺

比例尺是指地形图上某一线段的长度与实地相应线段水平长度之比，通常用 $1:M$ 表示。

【例】 图上两点间距离 1m，实地水平长度（平距）为 500m，则比例尺为 1m/500m $=1:500$。

基本比例尺地形图是指用规定的测图比例尺系统测绘或编绘的地形图，是个广义的概念，其定义概括了大比例尺地形图及中、小比例尺地形图的内涵。

1:500、1:1000、1:2000、1:5000 的地形图称为大比例尺地形图。

2. 比例尺精度

由于正常人的眼睛只能分辨图上 0.1mm 的长度，因此地形图上 0.1mm 长度所表示的实地水平长度称为比例尺精度，它是在图上量算距离所能达到的精度，如在 1:500 地形图上量得距离的精度为 ± 0.05m，而 1:1000 地形图上量得距离的精度为 ± 0.1m。因此，比例尺愈大，精度也愈高。

比例尺精度也可用来确定测绘地形图时距离丈量的精度，如测绘 1:500 地形图时，地面丈量距离的精度只需 $0.1\text{mm}\times 500=0.05$m。

比例尺精度还可用来确定测图比例尺，如要求在图上能表示出 0.1m 的距离精度，则所用测图比例尺应为 0.1mm/0.1m $=1:1000$。

应当指出：地形图的精度与比例尺有关，比例尺愈大，图上反映的地物、地貌愈详细、准确。但比例尺愈大，测图工作量和费用将增加，因此，工程设计时应根据需要合理选择测图比例尺，以免比例尺选用过大而造成浪费。在有的水利工程设计中，为了能将尺寸较小的设计物在地形图上清晰地表示出来，需用较大的图面，而不是需要地形图相应的比例尺精度，此时可考虑施测较小比例尺的地形图，然后放大使用；或直接施测较大比例尺的地形图，但适当降低测图的精度要求。各种比例尺地形图除直接施测外，还可利用较大比例尺的地形图缩编而成。

三、地形图的基本内容

地形图的基本内容包括 数学要素、自然地理要素、社会经济要素和整饰要素四个部分。

数学要素是地图的基础，有经纬线、坐标网、测量控制点和比例尺等。

自然地理要素有水系、地貌和土质植被等。

社会经济要素包括居民地、独立地物、道路、管线、垣栅和境界等。

整饰要素包括图名、分幅、图号、图例、图廓内外注记和图廓间注记等。

第二节 地形测量作业原则

地形测量是按一定程序和方法，将地物、地貌及其它地理要素记录在载体上的测量工作。包括图根控制测量和地形测图（使用测绘仪器测绘地形图的工作）。地形测图亦称碎部测量。

为深入理解地形测量作业原则，我们先看一个绘制照片的实例（图 7－2）。

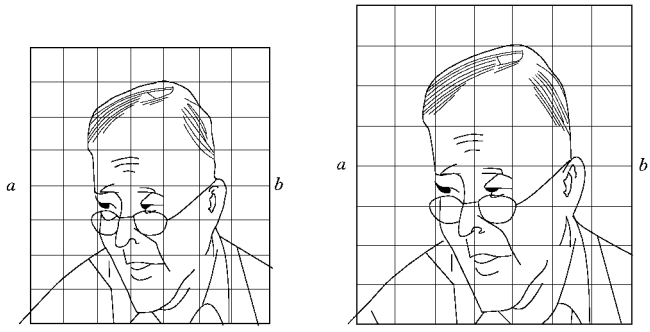


图 7－2　用格网绘制照片

为使绘出的照片不至于变形太大，可在照片上打方格，然后，按对应的方格进行绘制，这样可使照片变形控制在一定范围内。如果按方格线割开（如图 7－2 中的 ab 线），就可以分成两幅绘制。绘好再把方格对齐拼接成整幅照片。显然这些方格起到控制变形和分幅绘制的作用。

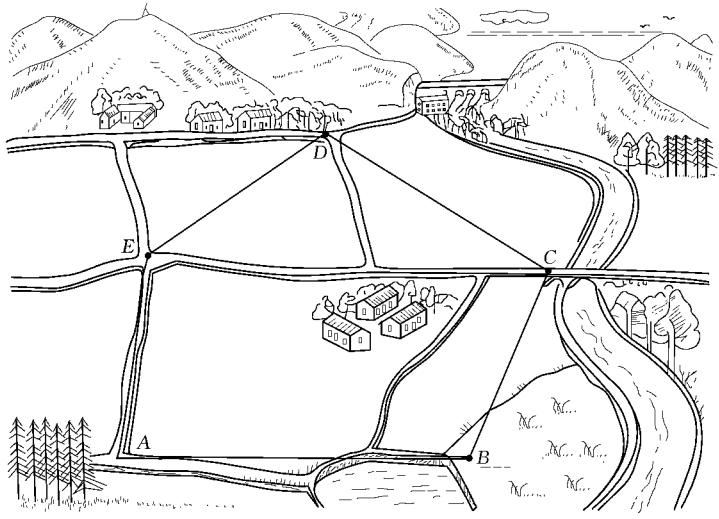


图 7－3　测图控制点的布设

同样，如图 7－3 所示，要将地物、地貌测绘到图纸上，如果我们从某一点开始一点接一点连续测量下去，由于测量结果总含误差，所测点子越多，误差累积越大。为使变形小，也应先在地面上打“方格”，就是在测区范围内，均匀地布设一些地面点（如图中 A、B、C、D、E）作为骨架，再把这些点组成三角形、多边形等（相当于打“方格”）形状，用较高精度测定这些点的平面位置和高程，然后根据这些点各自测量附近的地物和地貌，再拼接成为一幅完整的地形图，这项工作称为地形测量。这正是“先控制后碎部”的涵义。显而易见，这些“方格”同样起到防止误差积累和分幅测图的作用。

由此可知，测量工作（地形测量）必须遵循的基本原则是：布局上“先整体后局部”，

精度上“先高级后低级”，程序上“先控制后碎部”。

值得注意：测量工作有外业和内业之分。使用测量仪器和工具在实地进行的测量工作称为外业；在室内进行观测数据的整理、校核、计算和绘图等工作称为内业。测量成果的质量取决于外业，但外业又要通过内业才能出成果。因此，不论外业或内业，都必须坚持“边工作边校核”的原则，这样才能确保测量成果的质量。

应当指出：各种测量工作都应严格按测绘标准（为适应测绘学科发展，合理组织生产以及统一产品规格和质量管理等需要，由主管机构颁发的关于测绘技术方法、产品质量、各种规格等的技术文件）和测量规范（对测量产品的质量、规格以及测量作业中的技术事项所作的统一规定）进行作业。如《水利水电工程测量规范》等。

第三节　控 制 测 量 概 述

为了防止误差累积和便于分幅测图，必须先进行控制测量。

控制测量是为建立测量控制网而进行的测量工作。包括平面控制测量、高程控制测量和三维控制测量。

测量控制网是指由相互联系的控制点以一定几何图形所构成的网，简称控制网。

控制点是指以一定精度测定其几何、天文和重力数据，为进一步测量及其他科学技术工作（如地壳形变等）提供依据，具有控制精度的固定点。包括平面控制点（具有平面坐标的控制点）和高程控制点（具有高程值的控制点）。

依据控制测量的目的不同，可分为平面控制测量（确定控制点平面坐标的测量工作）和高程控制测量（确定控制点高程值的测量工作）。

依据控制网的作用不同，控制网可分为平面控制网（在某一参考面上，有相互联系的平面控制点所构成的测量控制网）和高程控制网（有相互联系的高程控制点所构成的测量控制网）。

依据控制网的测量精度不同，又可分为国家基本控制网、城市控制网、小区域控制网和图根控制网，现分述于下。

一、国家基本控制网

国家测绘部门在全国范围内建立的测量控制网，称为国家基本控制网。是全国地形测量和施工测量的依据。

（一）平面控制网

国家平面控制网的建立通常采用三角测量（图 7－4）和精密导线测量（图 7－5）。

图 7－4 中，不测角，只测各条边，称为三边测量；如在测角的同时，加测部分或全部边长，称为边角测量。

在通视比较困难的森林隐蔽地区和城镇区，通常采用导线测量。在电磁波测距迅速发展的今天，导线测量已成为常用的平面控制测量

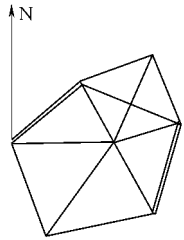


图 7－4　三角网

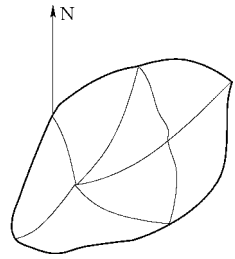


图 7－5　导线网

方法。

国家把平面控制网依据其精度不同分为一、二、三、四等。

（二）高程控制网

全国高程控制网主要采用水准测量。依其精度不同，也分为一、二、三、四等。

二、城市控制网

城市控制网是在国家基本控制网的基础上建立起来的，目的在于为城市规划、市政建设、工业与民用建筑设计和施工放样服务。城市控制网建立的方法与国家基本控制网相同，只是控制网精度有所不同。为了满足不同的目的要求，城市控制网也是分级建立的。

三、小区域控制网

小区域控制网是指在面积小于 $15km^2$ 范围内建立的控制网。小区域控制网原则上应与国家或城市控制网相连，形成统一的坐标系和高程系。但当关联有困难时，为了建设的需要，也可以建立独立控制网。小区域控制网也要根据面积大小分级建立。

四、图根控制网

在等级控制点基础上测定图根控制点（直接用于测绘地形图的控制点）的工作称为图根控制测量。

图根控制测量也分为图根平面控制测量和图根高程控制测量。

（一）平面控制测量

图根平面控制测量通常采用导线测量（图根导线测量）、小三角测量（图根三角测量）和交会法。

（二）高程控制测量

图根高程控制测量一般采用三、四、五等水准测量和三角高程测量。

习题与思考题

1. 何谓地形图和平面图？
2. 何谓地形图的比例尺和比例尺精度？
3. 地形测量的作业原则是什么？
4. 何谓控制测量？其目的是什么？
5. 按控制测量的目的分类有几种？

第八章　平 面 控 制 测 量

SL 197—97《水利水电工程测量规范》（勘测设计阶段）规定水利工程测量中的平面控制测量分为以下三种。

（1）基本平面控制测量：国家二、三、四等三角测量和导线测量，还有五等三角测量和导线测量。

（2）图根平面控制测量：测角图根（线形锁、单三角形、交会法）、测边图根（二边、三边交会）、测边测角图根（二边二角交会等）和图根导线。

（3）测站点平面控制测量：根据基本平面控制点和图根平面控制点，用解析法或图解法测定。

第一节　导线测量的外业工作

导线测量是在地面上按一定要求选定一系列的点（导线点）依相邻次序连成折线（导线），并测量各线段的边长（导线边）和转折角，再根据起始数据确定各点平面位置的测量方法。它适用于地物复杂的建筑区、视线障碍物较多的隐蔽区和带状地区。本节介绍经纬仪和全站仪导线测量。

一、导线布设形式

单一导线布设有以下三种形式。

1. 闭合导线

起止于同一已知点间的封闭导线，如图 8－1（a）所示。

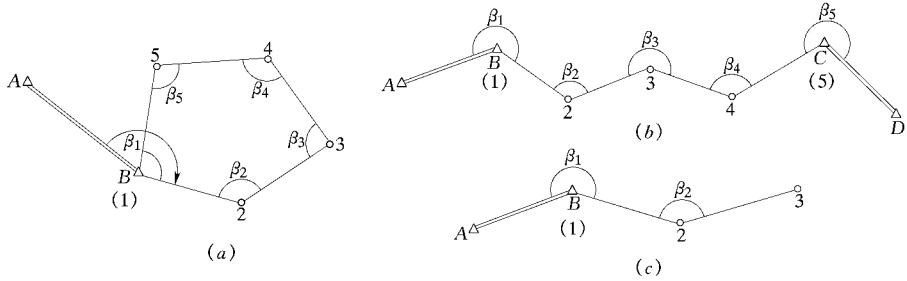


图 8－1　经纬仪导线布设形式

2. 附合导线

起止于两个已知点间的单一导线，如图 8－1（b）所示。A、B、C、D 为高一级的控制点，从控制点 B（作为附合导线的第 1 点）出发，经 2、3、4 等点附合到另一控制点 C（作为附合导线的最后一点 5），布设成附合导线。

3. 支导线

仅有一端连接在高级控制点上的自由伸展导线，如图 8－1（c）所示。支导线在测量中若发生差错，则不便校核。故一般只允许从高一级控制点引测一点，对 1∶2000、1∶5000 比例尺测图，可连续引测两点。

边长用视距测量、钢尺量距和电磁波测距的导线，分别称为视距导线、钢尺量距导线和电磁波测距导线。三者之间仅测距方式不同，其余工作完全相同。

二、经纬仪导线测量的外业工作

经纬仪导线测量的外业包括：踏勘选点、边长测量、水平角测量和导线的定向。

1. 踏勘选点

踏勘选点的任务就是根据测图的要求和测区的具体情况，拟定导线的布设形式，实地选定导线点位和建立标志。选点时应注意以下几点。

（1）导线点应均匀分布在测区内，边长视测图比例尺而定，对 1∶500～1∶2000 比例尺的测图，一般在 40～300m 之间（表 8－1），相邻导线边的长度应大致相等，以避免测角时带来较大的误差。

（2）相邻导线点间通视良好，便于测角量距。

（3）选择的导线点应视野开阔，便于地形测图。

（4）导线点应选在土质坚实、便于安置仪器和保存标志的地方。

（5）导线点应有足够的密度（表 8－1）。

表 8－1　　图根控制点点数和图根导线边长规定

测图比例尺	点数（点/km^2）	边长（m）	平均边长（m）
1∶500	120	40～150	75
1∶1000	40	80～250	110
1∶2000	15	100～300	180

选好导线点后，一般打入木桩或埋设水泥桩（水泥路面打入水泥钉），桩顶做出标记（打入小铁钉或刻“＋”），表示点位。每一桩上应按前进方向顺序编号。为了便于寻找，每一导线点还应量出与附近明显固定地物的距离，绘出点位草图。

2. 边长测量

（1）钢尺量距。用经过检定的钢尺直接丈量各相邻导线点之间的水平距离，图根导线采用钢尺量距时可用单尺双拉（往返）或双尺单拉，一般应加尺长、温度和倾斜改正。两次丈量值较差的相对误差一般不得超过 1/2000，在特殊困难地区也不得超过 1/1000。

（2）电磁波测距仪测距。用经过检定的电磁波测距仪测距采用单向二组观测，每组读数 2 次，各组互差不得超过 3cm。观测时应将温度计悬挂伞下与仪器大致同高处，每测定一组数据，通知反射镜站同时读温度、气压一次。还要观测垂直角，以便将观测所得斜距进行气象改正和倾斜改正，求出水平距离。

3. 水平角测量

导线的转折角一般采用测回法观测，附合导线一般测量导线的左角（位于导线测量前进方向左侧的角）；闭合导线测量其导线的内角，导线点按逆时针方向顺序编号；对于支

导线分别观测左、右角，以资检核。对于图根量距导线和电磁波测距导线所用仪器、测回数和限差列于表 8－2。

表 8－2　　图根导线转折角观测和限差

比例尺	仪器	最多转折角数	测回数	测角中误差	半测回差	测回差	角度闭合差（方位角闭合差）
1:500～1:2000	DJ2	1	两个“半测回”	±30″	±18″		±60″$\sqrt{n}$
	DJ6	5	2			±24″	
1:5000～1:10000	DJ2	30	两个“半测回”	±20″	±18″		±40″$\sqrt{n}$
	DJ6		2			±24″	

注　1. n 为转折角数。

2. 两个“半测回”测角在下半测回开始时，将水平度盘读数略加改变。

4. 导线的定向

定向的目的是确定整个导线的方向，也就是导线必须与高级控制点连接，以获取坐标和方位角的起始数据。附合导线的两端点均为已知点，只要在已知点 B 及 C（图 8－1）上测出 β_1 及 β_5，就能获得起始数据，β_1 与 β_5 称为连接角。

闭合导线的连接测量分两种情况：对于独立测区需要在第 1 点上测出第一条边的磁方位角，并假定第 1 点的坐标，就具有了起始数据，如图 8－2（a）所示。另外如图 8－2（b）所示，A、B 为高一级控制点，1、2、3、4、5 等点组成闭合导线，则需要测出连接角 β' 及 β''，还要测出连接边长 D_0，才具有起始数据。

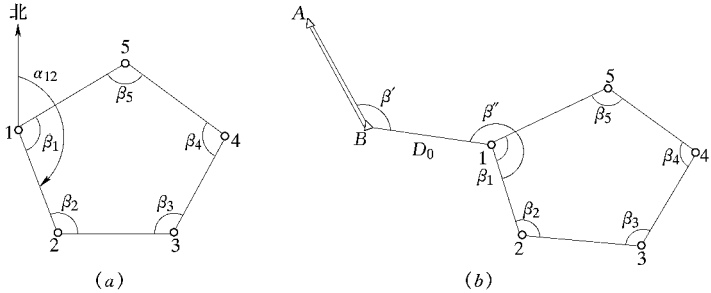


图 8－2　闭合导线连接测量

三、全站仪导线测量

全站仪导线测量是一种自动化程度高的测量方式，它是数据自动记录、计算的一种无纸化测量方式。由全站仪本身采集数据、记录在内存里，处理后传入计算机；还有电子手簿配合专业测量软件一体化作业方式（如清华三维 EPSW 软件）。可以一次解算出某点的 X，Y，H 坐标。

测量仪器工具有：全站仪、RS—232C 电缆、棱镜、电子手簿（HP—200、笔记本电脑等）和专业测量软件。

（一）计算公式

用全站仪测得导线的斜距 S 和垂直角 α 后，导线边的水平距离 D 为

$$D = S\cos\alpha = S\sin Z \tag{8-1}$$

其中，天顶距 $Z=90^\circ-\alpha$，则导线点高程的计算公式为

$$\left.\begin{aligned} H_B &= H_A + S\sin\alpha + i - v + f \\ H_B &= H_A + S\cos Z + i - v + f \end{aligned}\right\} \tag{8-2}$$

或

（二）观测方法

全站仪导线测量宜采用三联脚架法（图 8-3）的测量方式。如图 8-3 中 A、B、1 点分别安放棱镜、全站仪、棱镜。全站仪通过 RS—232C 通信电缆与笔记本电脑相连接，量取仪器高和觇标高。一般仪器高和觇标高应各量取 3 次，当较差不超过 3mm 时取平均数。测量顺序如下。

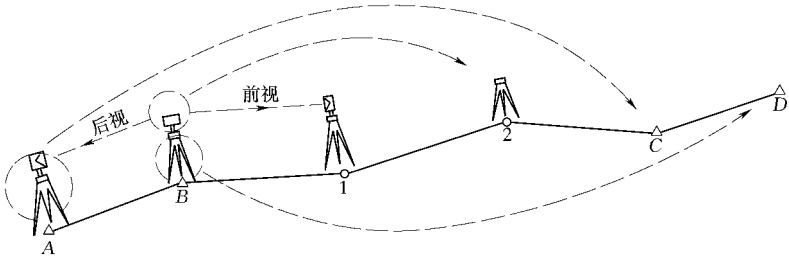


图 8-3　三联脚架法

（1）正镜照准 A 点棱镜，打开笔记本电脑上的清华三维 EPSW 软件的导线测量对话框，按提示依次测距及测角，软件自动记录水平度盘、竖直度盘和距离的显示读数。

（2）照准 1 点棱镜，依次测定各项数据，完成上半个测回的观测。

（3）倒镜依次照准 1、A，重复（1）～（2）项测量操作。完成一个测回的观测。根据需要一般可测 1～2 个测回。计算合格后迁站。

（4）迁站时将棱镜与基座分开，按 B、1、2 点分别安放棱镜、全站仪、棱镜顺序排放，固定好后继续观测。

应当指出：在棱镜、全站仪照准部从基座里抽出并相互对调时，三脚架连同基座不能动，并注意严格对中，尽量保证一测回里两次照准目标的一致。

（5）采用三联脚架法依次测量其余各点，直到测完 C 点。

（6）调出清华三维平差计算软件，解算 1、2 点坐标后，传回测图软件作为地形测图的控制点。

（7）测量过程中，分别记录各站温度和气压（地形控制可不测定）。

（三）记录内容

全站仪导线测量的记录有测站、仪器高、觇标高、盘位以及气象情况等。

第二节　导线测量的坐标计算

导线测量外业工作完成之后，应仔细检查所有外业记录、计算是否齐全正确，各项误差是否在限差之内，以保证原始数据的正确性。同时绘制导线略图，标明点号和相应的角

度和边长，以及已知点坐标和起始方位角等，以便进行导线点的坐标计算。

导线测量的内业计算，就是根据起始点的坐标和起始边的坐标方位角，以及所测得的导线边长和转折角，计算各导线点的坐标。

一、坐标计算的基本公式

1. 坐标正算

根据已知坐标、已知边长及该边的坐标方位角，计算未知点的坐标，称为坐标的正算。如图 8－4 所示，已知 A 点的坐标 X_A、Y_A 和 AB 边的边长 D_{AB} 及坐标方位角 α_{AB}，则未知点 B 的坐标为

$$\left.\begin{aligned} X_B &= X_A + \Delta X_{AB} \\ Y_B &= Y_A + \Delta Y_{AB} \end{aligned}\right\} \tag{8-3}$$

式（8－3）中的 ΔX_{AB}、ΔY_{AB} 称为坐标增量，也就是直线两端点 A、B 的坐标值之差。根据图 8－4 中三角学原理，可写出坐标增量的计算公式为

$$\left.\begin{aligned} \Delta X_{AB} &= X_B - X_A = D_{AB}\cos\alpha_{AB} \\ \Delta Y_{AB} &= Y_B - Y_A = D_{AB}\sin\alpha_{AB} \end{aligned}\right\} \tag{8-4}$$

应当指出：式（8－4）中方位角方向应由已知坐标点朝向未知坐标点。

2. 坐标反算

根据两个已知点的坐标，求算两点间的边长及其方位角，称为坐标反算。当导线与已知高级控制点连测时，一般应利用高级控制点的坐标，反算出高级控制点间的坐标方位角或边长，作为导线的起算数据与校核数据。此外，施工放样中经常也要利用坐标反算求出放样数据。

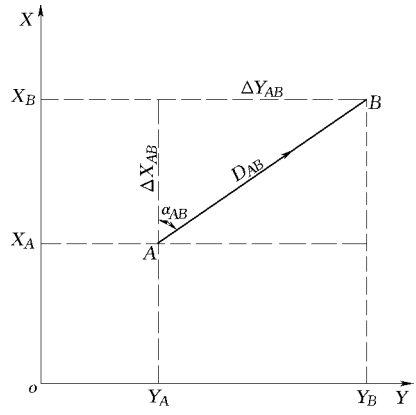


图 8－4　坐标计算

如图 8－4 所示，若 A、B 为两已知点，其坐标分别为 X_A、Y_A 和 X_B、Y_B。根据三角学原理有

$$D_{AB} = \sqrt{\Delta X_{AB}^2 + \Delta Y_{AB}^2} \tag{8-5}$$

$$\alpha_{AB} = \mathrm{tg}^{-1}\frac{\Delta Y_{AB}}{\Delta X_{AB}} = \mathrm{tg}^{-1}\frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} \tag{8-6}$$

应当指出：式（8－6）中计算直线 AB 方向的方位角时，应由方位角箭头指向点（B）的坐标减去起始点（A）的坐标。

计算 α_{AB} 的步骤如下：

（1）先计算 α_{AB} 相应的象限角 $R_{AB} = \mathrm{tg}^{-1}\left|\dfrac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}\right|$。

（2）根据 ΔX（$X_B - X_A$）和 ΔY（$Y_B - Y_A$）的符号判定 α_{AB} 所在象限，然后由 R_{AB} 求算 α_{AB}。

也可根据计算器上直角坐标求算极坐标的有关功能键进行。

【例】　图 8－4 中，已知 $X_A = 287.36\mathrm{m}$，$Y_A = 364.25\mathrm{m}$，$X_B = 303.62\mathrm{m}$，$Y_B = 338.29\mathrm{m}$，试计算 D_{AB} 和 α_{AB}。

解：

$$D_{AB} = \sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2} = 30.63\ \text{m}$$

$$R_{AB} = \text{tg}^{-1}\left|\frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}\right| = 57°56'21''$$

∵ $\Delta X > 0$ 和 $\Delta Y < 0$

∴ α_{AB} 在第四象限，即 $\alpha_{AB} = 360° - R_{AB} = 302°03'39''$

二、闭合导线坐标计算

现以图 8－5 为例，结合表 8－3 的使用，说明闭合导线坐标计算的步骤。

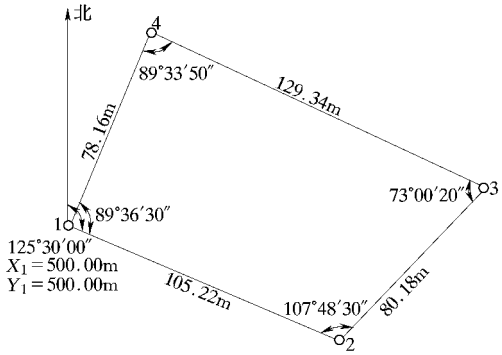


图 8－5　闭合导线坐标计算

闭合导线坐标计算必须满足两个条件：一个是多边形内角和的条件；一个是坐标条件，即由起始点出发，经过各边、角推算出起始点坐标应与起始点已知坐标一致。

（一）角度闭合差的计算、调整与校核

1．计算

根据几何定理，具有 n 条边的闭合导线，内角和的理论值应为

$$\sum\beta_{理} = (n-2)\times 180° \qquad (8-7)$$

设观测值的内角和为 $\sum\beta_{测}$，由于观测角不可避免地含有误差，使实测的内角和 $\sum\beta_{测}$ 不等于理论值 $\sum\beta_{理}$，其二者的差值，称为闭合导线角度闭合差，以 f_β 表示，其计算公式为

$$f_\beta = \sum\beta_{测} - \sum\beta_{理} = \sum\beta_{测} - (n-2)\times 180° \qquad (8-8)$$

角度闭合差 f_β 的大小标志着测角的精度，不同等级的导线，规定有相应的容许值 $f_{\beta容}$（表 8－2）。

2．调整

当 $f_\beta \leqslant f_{\beta容}$ 时，可将闭合差反号平均分配到各观测角中，每个角度的改正值 $\Delta\beta$ 为

$$\Delta\beta = -f_\beta / n \qquad (8-9)$$

应当指出：如果 f_β 的数值，不能被导线角度数整除而有余数时，可将其分配在短边所夹的角上，这是因对中和照准误差与边长成反比例的缘故。如果角度闭合差超过容许值，应及时分析原因，局部或全部重测。算例载于表 8－3 中的③栏。

改正后角值 $\beta'_i = \beta_i + \Delta\beta$（表 8－3 中的④栏）。

3．校核

调整后的内角总和应等于 $\sum\beta_{理}$，即 $\sum\beta' = (n-2)\times 180°$

（二）导线边方位角的推算与校核

1．推算

根据起始边的方位角和角度闭合差改正后的各内角，推算其它各边的方位角。

（1）观测导线左角时的方位角计算公式，如图 8－6 所示，A、B、C 为导线点。左边箭头表示导线测量前进方向，图 8－7 为观测导线右角时的计算图。图 8－6（a）中，

表 8-3　　闭合导线坐标计算表

点号	观测角（左角）（° ′ ″）	改正数（″）	改正角（° ′ ″）	坐标方位角 α（° ′ ″）	边长 D（m）	增量计算值 ΔX（m）	增量计算值 ΔY（m）	改正后增量 $\Delta X'$（m）	改正后增量 $\Delta Y'$（m）	坐标值 X（m）	坐标值 Y（m）
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
1				125 30 00	105.22	−2 −61.10	+2 +85.66	−61.12	+85.68	500.00	500.00
2	107 48 30	+12	107 48 42							438.88	585.68
				53 18 42	80.18	−2 +47.90	+2 +64.30	+47.88	+64.32		
3	73 00 20	+12	73 00 32							486.76	650.00
				306 19 14	129.34	−3 +76.61	+2 −104.21	+76.58	−104.19		
4	89 33 50	+13	89 34 03							563.34	545.81
				215 53 17	78.16	−2 −63.32	+1 −45.82	−63.34	−45.81		
1	89 36 30	+13	89 36 43							500.00	500.00
				125 30 00							
2										导线示意图	
总和	359 59 10	+50	360 00 00		392.90	+0.09	−0.07	0.00	0.00		

辅助计算

$f_\beta = -50''$

$f_{\beta容} = \pm 60''\sqrt{n} = \pm 120''$

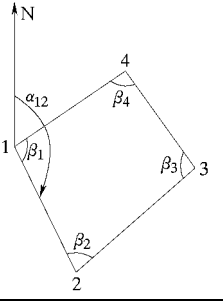
$f_\beta < f_{\beta容}$（合格）

$f_x = +0.09\text{m}$，　$f_y = -0.07\text{ m}$

导线全长闭合差　$f_D = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \pm 0.11\text{m}$

相对闭合差　$K = \dfrac{f_D}{\sum D} = \dfrac{0.11}{392.90} = \dfrac{1}{3500}$

容许的相对闭合差　$K_{容} = \dfrac{1}{2000}$，$K < K_{容}$



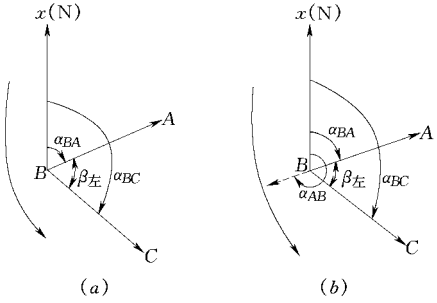


图 8－6　方位角计算图（左角）

已知：α_{BA}、$\beta_{左}$，求 α_{BC}。由该图可得

$$\alpha_{BC} = \alpha_{BA} + \beta_{左}$$

图 8－6（b）中，已知：α_{AB}、$\beta_{左}$，求 α_{BC}。

$\because \quad \alpha_{BA} = \alpha_{AB} + 180^\circ$

$\therefore \quad \alpha_{BC} = \alpha_{AB} + 180^\circ + \beta_{左}$

由此可得一般计算公式为

$$\alpha_{前} = \alpha_{后} + 180^\circ + \beta_{左} \qquad (8-10)$$

即导线前一边的方位角等于后一边的方位角加上 180°，再加上前后两条边所夹的左角；当后一条边方位角不朝向导线测量前进方向时，则不加 180°。

（2）观测导线右角时的方位角计算公式，如图 8－7 所示，A、B、C 为导线点。

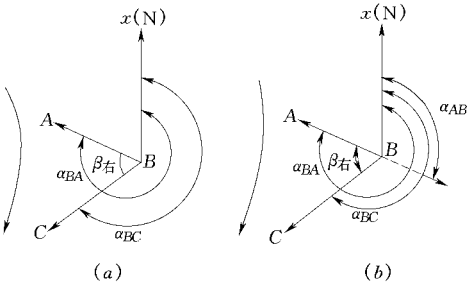


图 8－7　方位角计算图（右角）

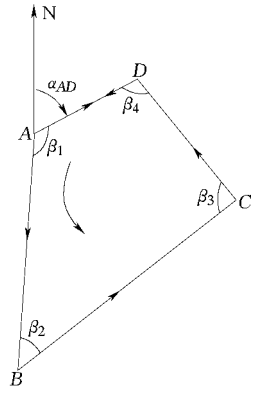


图 8－8　导线方位角计算

图 8－7（a）中，已知：α_{BA}、$\beta_{右}$，求 α_{BC}，由该图可得

$$\alpha_{BC} = \alpha_{BA} - \beta_{右}$$

图 8－7（b）中，已知：α_{AB}、$\beta_{右}$，求 α_{BC}。

$\because \quad \alpha_{BA} = \alpha_{AB} + 180^\circ$

$\therefore \quad \alpha_{BC} = \alpha_{AB} + 180^\circ - \beta_{右}$

由此可得一般计算公式为

$$\alpha_{前} = \alpha_{后} + 180^\circ - \beta_{右} \qquad (8-11)$$

即导线前一边的方位角等于后一边的方位角加上 180°，再减去前后两条边所夹的右角；当后一条边方位角不朝向导线测量前进方向时，则不加 180°。

应当指出：由式（8－10）和式（8－11）计算的结果，如果大于 360°，则应减去 360°；如果小于 0°，则应加上 360°。

2．校核

为了检核方位角计算有无错误，方位角应推算至起始边，且数值应与原来起始边方位角一致，否则应查明原因。方位角算例列入表 8－3 中的⑤栏。

【例】　如图 8－8 所示，已知：$\alpha_{AD} = 129^\circ30'36''$，$\beta_1 = 135^\circ00'24''$，$\beta_2 = 36^\circ15'45''$，

$\beta_3 = 89°54'36''$，$\beta_4 = 98°49'15''$，试求：α_{AB}、α_{BC}、α_{CD}、α_{DA}。

解：画出导线测量前进方向和所求方位角方向，如图 8－8 中箭头所示：

$$\alpha_{AB(前)} = \alpha_{AD(后)} + \beta_1(左) = 264°31'00''$$

$$\alpha_{BC(前)} = \alpha_{AB(后)} + 180° + \beta_2(左) = 120°46'45''$$

$$\alpha_{CD(前)} = \alpha_{BC(后)} + 180° + \beta_3(左) = 30°41'21''$$

$$\alpha_{DA(前)} = \alpha_{CD(后)} + 180° + \beta_4(左) = 309°30'36''$$

α_{DA}与α_{AD}相差 180°（正、反方位角），计算正确。

（三）坐标增量的计算

$$\left.\begin{aligned}\Delta X &= D\cos\alpha \\ \Delta Y &= D\sin\alpha\end{aligned}\right\} \tag{8-12}$$

计算实例见表 8－3 的⑦、⑧栏（用计算器计算）。计算取位一般与边长位数相同。图根导线计算位数取到厘米。

应当指出；坐标增量计算无校核，应多算一次，确保计算正确性。

（四）坐标增量闭合差的计算、调整与校核

1. 计算

图 8－9（a）是由 A、B、C、D、E 五个点组成的闭合导线，从该图中可以看出，闭合导线各边纵、横坐标增量的代数和在理论上应等于零，即

$$\left.\begin{aligned}\sum\Delta X_{理} &= 0 \\ \sum\Delta Y_{理} &= 0\end{aligned}\right\}$$

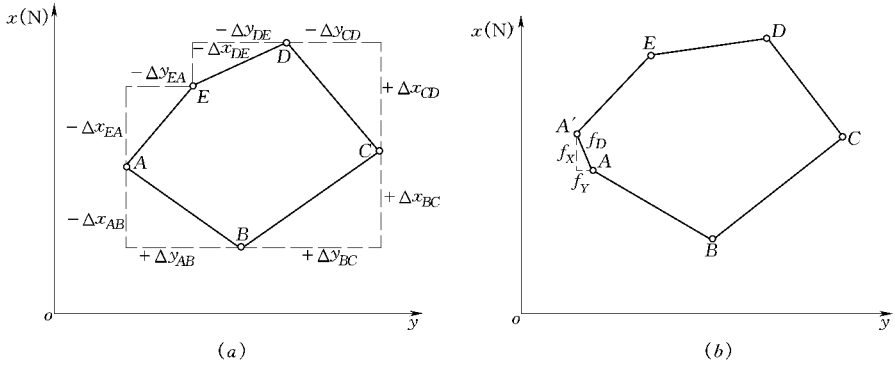


图 8－9　闭合导线的坐标闭合差

实际上由于量边存在有误差，尽管角度经过调整，但改正后的角值还会有误差，因此计算出来的纵、横坐标增量，其代数和$\sum\Delta X_{测}$、$\sum\Delta Y_{测}$往往不等于零，而等于某一个数值，此数值称为闭合导线纵、横坐标增量闭合差，用 f_X、f_Y 表示。

$$\left.\begin{aligned}f_X &= \sum\Delta X_{测} \\ f_Y &= \sum\Delta Y_{测}\end{aligned}\right\} \tag{8-13}$$

由于 f_X、f_Y 的存在，使由导线的起点推算至终点的位置与原有已知点位置产生差值

（f_D），如图 8－9（b）所示，f_D 称为导线全长闭合差，其计算式为

$$f_D = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \tag{8-14}$$

一般要求图根导线全长闭合差，不得超过地形图上 0.4mm。但只根据 f_D 的大小还不能正确评定导线的精度，通常采用 f_D 与导线全长 $\sum D$ 之比值 K，表示导线全长相对闭合差来衡量导线的精度，即

$$K = \frac{f_D}{\sum D} = \frac{1}{\sum D / f_D} = \frac{1}{N} \tag{8-15}$$

一般要求，K 值不应超过 1/2000，困难地区不应超过 1/1000。

2. 调整

若 K 值不超差，可将坐标增量闭合差以相反的符号，按与边长成正比例分配于各坐标增量中，使改正后的 $\sum \Delta X'$、$\sum \Delta Y'$ 都等于零。设第 i 边边长为 D_i，其纵、横坐标增量改正值分别以 $V_{\Delta X_i}$、$V_{\Delta Y_i}$ 表示，则

$$\left.\begin{aligned} V_{\Delta X_i} &= -\frac{f_x}{\sum D} D_i \\ V_{\Delta Y_i} &= -\frac{f_y}{\sum D} D_i \end{aligned}\right\} \tag{8-16}$$

改正值位数与坐标增量取位相同。

$\sum V_{\Delta X_i} = -f_x$、$\sum V_{\Delta Y_i} = -f_Y$，若不等，应再进行调整，余数给长边。改正后坐标增量为

$$\left.\begin{aligned} \Delta X'_i &= \Delta X_i + V_{\Delta X_i} \\ \Delta Y'_i &= \Delta Y_i + V_{\Delta Y_i} \end{aligned}\right\} \tag{8-17}$$

坐标增量改正值见表 8－3 中的⑨、⑩栏。

3. 校核

$$\left.\begin{aligned} \sum \Delta X' &= 0 \\ \sum \Delta Y' &= 0 \end{aligned}\right\}$$

（五）坐标的计算与校核

1. 计算

根据起始点的已知坐标（独立测区是假设坐标）和调整后的坐标增量，计算各导线点的坐标，计算公式为

$$\left.\begin{aligned} X_{前i} &= X_{后i} + \Delta X'_i \\ Y_{前i} &= Y_{后i} + \Delta Y'_i \end{aligned}\right\} \tag{8-18}$$

式（8－18）中的 $X_{前i}$、$Y_{前i}$ 为第 i 边前一点的坐标；$X_{后i}$、$Y_{后i}$ 为第 i 边后一点的坐标；$\Delta X'_i$、$\Delta Y'_i$ 为第 i 边改正后的坐标增量。

2. 校核

按式（8－18），由起始点依次计算各点坐标，最后还应再推算出起始点的坐标，其值

应该与已知坐标相符，以检查计算是否正确。各导线点的坐标计算见表 8－3 中的⑪、⑫栏。

三、附合导线坐标计算

图 8－10 中，1－2－3－…－n 为一附合导线，已知：α_{AB}、α_{CD}，β_1、β_2、…、β_n，D_1、D_2、…、D_{n-1}，B、C 两点坐标。求导线点 2、3、…、$n-1$ 的坐标。为此，它必须满足两个条件；一个是方位角条件，即根据起始边的方位角和观测角，推算出终边的方位角，应与已知终边方位角相等；另一个是坐标条件，即由起始点的已知坐标，经过各边、角推算出终点的坐标，应与已知终点的坐标一致。附合导线与闭合导线的计算步骤基本相同。但由于几何条件不同，角度闭合差和坐标增量闭合差的计算方法有所不同，现叙述如下。

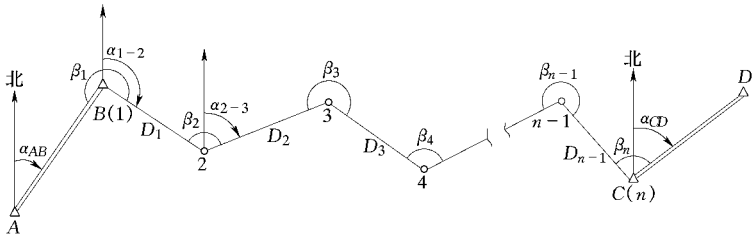


图 8－10　附合导线坐标计算

1. 角度闭合差的计算

根据已知两端方位角的条件，可由导线起始边的方位角 α_{AB} 和 β_i，推算出终边的方位角 α_{CD}，即

$$\alpha_{12} = \alpha_{AB} + 180^\circ + \beta_1$$

$$\alpha_{23} = \alpha_{12} + 180^\circ + \beta_2$$

$$\cdots$$

$$\alpha'_{CD} = \alpha_{(n-1)n} + 180^\circ + \beta_n$$

将以上各式相加，则得

$$\alpha'_{CD} = \alpha_{AB} + n \times 180^\circ + \sum \beta_{测}$$

写成一般公式为

$$\alpha'_{终} = \alpha_{始} + n \times 180^\circ + \sum \beta_{测} \tag{8-19}$$

由于测角误差的存在，推算出的终边方位角 $\alpha'_{终}$，往往不等于终边已知方位角 $\alpha_{终}$，其差值称为附合导线角度（或方位角）闭合差，其计算公式为

$$f_\beta = \alpha'_{终} - \alpha_{终} = \sum \beta_{测} - (\alpha_{终} - \alpha_{始}) + n \times 180^\circ \tag{8-20}$$

应当指出：用式（8－20）计算 f_β，应减去若干个 360°。观测左角时，改正值与 f_β 反号；观测右角时，改正值与 f_β 同号。

2. 坐标增量闭合差的计算

附合导线的两个端点，起始点 B 及终点 C 都是精度较高的高级控制点，误差可忽略

不计，故

$$\left.\begin{aligned}\sum \Delta X_{理} &= X_C - X_B \\ \sum \Delta Y_{理} &= Y_C - Y_B\end{aligned}\right\} \tag{8-21}$$

写成一般公式为

$$\left.\begin{aligned}\sum \Delta X_{理} &= X_{终} - X_{始} \\ \sum \Delta Y_{理} &= Y_{终} - Y_{始}\end{aligned}\right\} \tag{8-22}$$

由于测角和量边误差的存在，故坐标增量代数和$\sum \Delta X_{测}$、$\sum \Delta Y_{测}$不能满足理论上的要求，其差值称为附合导线坐标增量闭合差，计算公式为

$$\left.\begin{aligned}f_x &= \sum \Delta X_{测} - (X_{终} - X_{始}) \\ f_y &= \sum \Delta Y_{测} - (Y_{终} - Y_{始})\end{aligned}\right\} \tag{8-23}$$

附合导线坐标增量闭合差的调整方法和其他计算均与闭合导线相同，表 8-4 为附合导线坐标计算的算例。

应当指出：闭合导线所需已知控制点少，甚至没有已知控制点也可布设，在水利工程测量中广泛应用。但其检核条件少，可能出现假闭合现象，即角度和坐标增量闭合差均较小，而所算得坐标不一定正确，产生的原因是连接角误差大或粗差，见图 8-11（a）；或测边存在系统误差等，见图 8-11（b）。图 8-11 中实线为正确位置，虚线为不正确位置。

附合导线所需已知控制点多，条件较难满足，但不会出现假附合现象，所算得坐标较可靠。

四、全站仪坐标导线计算

1. 坐标增量改正值

对于全站仪坐标导线，如果不测算方位角闭合差，则可将纵横坐标增量闭合差分别按纵横坐标增量的绝对值成正比例进行分配，即坐标增量改正值为

$$\left.\begin{aligned}V_{\Delta X_i} &= -\frac{f_X}{\sum |\Delta X|} |\Delta X_i| \\ V_{\Delta Y_i} &= -\frac{f_Y}{\sum |\Delta Y|} |\Delta Y_i|\end{aligned}\right\} \tag{8-24}$$

改正后坐标增量为

$$\left.\begin{aligned}\Delta X'_i &= \Delta X_i + V_{\Delta X_i} \\ \Delta Y'_i &= \Delta Y_i + V_{\Delta Y_i}\end{aligned}\right\} \tag{8-25}$$

2. 坐标计算

$$\left.\begin{aligned}X_{前i} &= X_{后i} + \Delta X'_i \\ Y_{前i} &= Y_{后i} + \Delta Y'_i\end{aligned}\right\} \tag{8-26}$$

式中符号意义同式（8-18）。

表 8-4

附合导线坐标计算表

点号	观测角（左角）（° ′ ″）	改正数（″）	改正后角值（° ′ ″）	坐标方位角 α（° ′ ″）	距离 D（m）	增量计算值 ΔX（m）	增量计算值 ΔY（m）	改正后增量 $\Delta X'$（m）	改正后增量 $\Delta Y'$（m）	坐标值 X（m）	坐标值 Y（m）
①	②	③	④=②+③	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
A				237 59 30							
B	99 01 00	+6	99 01 06							2507.69	1215.63
				157 00 36	225.85	+5 −207.91	−4 +88.21	−207.86	+88.17		
1	167 45 36	+6	167 45 42							2299.83	1303.80
				144 46 18	139.03	+3 −113.57	−3 +80.20	−113.54	+80.17		
2	123 11 24	+6	123 11 30							2186.29	1383.97
				87 57 48	172.57	+3 +6.13	−3 +172.46	+6.16	+172.43		
3	189 20 36	+6	189 20 42							2192.45	1556.40
				97 18 30	100.07	+2 −12.73	−2 +99.26	−12.71	+99.24		
4	179 59 18	+6	179 59 24							2179.74	1665.64
				97 17 54	102.48	+2 −13.02	−2 +101.65	−13.00	+101.63		
C	129 27 24	+6	129 27 30							2166.74	1757.27
				46 45 24							
D										导线示意图	
总和	888 45 18	+36	888 45 54		740.00	−341.10	+541.78	−340.95	+541.64		

辅助计算

$f_\beta = -36''$

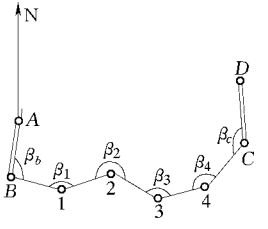
$f_{\beta容} = \pm 40''\sqrt{6} = \pm 97''$

导线全长闭合差 $f_D = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \pm 0.20\text{m}$

$f_x = -0.15\text{m}$，　$f_y = +0.14\text{ m}$

相对闭合差 $K = \dfrac{0.20}{740.00} = \dfrac{1}{3700}$

容许相对闭合差 $K = \dfrac{1}{2000}$



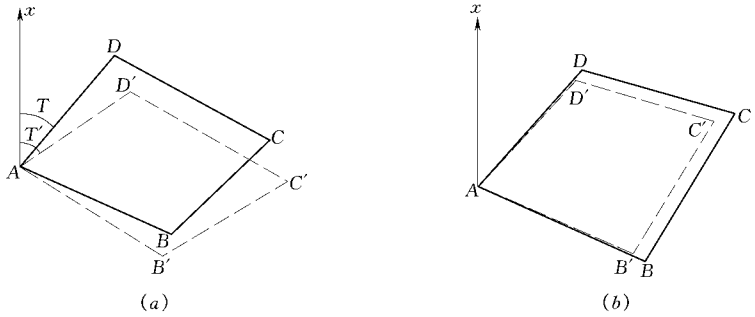


图 8－11　闭合导线假闭合示意图

＊第三节　小 三 角 测 量

在地面上选定一系列点，构成连续三角形，测定三角形各顶点水平角，并根据起始边长、方位角和起始点坐标，经过数据处理确定各顶点平面位置的测量方法称为三角测量。三角测量根据观测的内容的不同，有测角网、测边网和边角网三种。

小三角测量是在面积小于 $15km^2$ 的测区内布设边长较短的三角测量。它适用于没有测距仪时量距困难的山丘区和通视良好的开阔地区。

图 8－12 为一条基线边的单三角锁。下面介绍其外业工作和坐标计算。

一、小三角锁测量的外业工作

小三角测量的外业工作包括：踏勘选点、基线边测量、水平角测量及基线边方位角的测定。

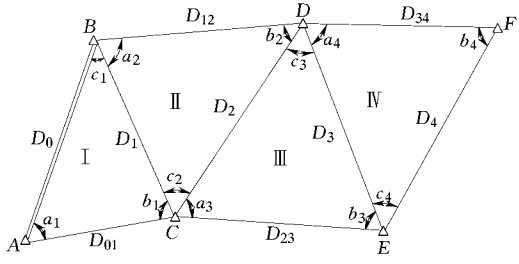


图 8－12　单三角锁

1. 踏勘选点

踏勘选点的任务是根据测区的地形及测区附近高级控制点的情况，确定三角锁、网的布置形式，并选定基线位置及小三角点的位置。选点时应注意以下几点。

（1）小三角点应均匀分布在测区内。

（2）小三角点应选在视野开阔的高处，便于地形测图。相邻小三角点应通视，便于测角。三角形边长按测图比例尺而定，一般为图上的 100～200mm。

（3）基线边应选在地势比较平坦而便于测量距离的地方。当布设小三角锁时，三角形的个数超过 5 个（不得超过 12 个），一般应在锁的两端各选一条基线边。

（4）为了保证推算边长的精度，三角形内角一般应不小于 30°，不大于 120°。

小三角点选好后，应埋设标志并编号，为便于寻找需绘制点位图。

2. 基线边测量

基线长度是推算小三角锁其它各边长的起始数据，要求相对误差不超过 1/10000。可用所述的钢尺量距的精密方法进行丈量。也可用测距仪，按 SL197—97《水利水电工程测

量规范》规定进行测距，观测时应测定温度、气压，并观测垂直角，进行气象改正和倾斜改正，求得水平距离。

3. 水平角测量

小三角锁的水平角观测，因测站上观测的方向往往多于两个，一般采用方向观测法观测。测角图根的主要技术要求见表 8－5。

表 8－5　　测角图根的主要技术要求

测图比例尺	测角中误差	测回数		三角形闭合差
		DJ2	DJ6	
1:500～1:2000	20″	2个“半测回”	2	60″
1:5000～1:10000	15″	2个“半测回”	2	45″

4. 基线边方位角的测定

独立小三角锁采用罗盘仪测定起始边的磁方位角。与高级控制点连接的小三角锁，只需测定连接角，就有起始方位角。

二、小三角锁的坐标计算

小三角测量内业计算的目的是求算各小三角点的坐标。其内容包括外业观测成果的整理和检查、角度调整、边长和坐标的计算。本节介绍一条基线边的小三角锁计算。

见图 8－12，AB 为基线边，其边长为 D_0，用罗盘仪测出 AB 的方位角为 α_{AB}，观测了所有三角形的内角。

计算时，将三角形内角的编号作如下规定：在每个三角形内，已知边所对的角为 b_i，前进边（在下一个三角形中为已知边，也称传距边）所对的角为 a_i，由于这两个角用来推算边长，故称为传距角；第三角为 c_i，称为间隔角，它不作推算边长之用。

（一）三角形闭合差的计算、调整与校核

1. 计算

三角形闭合差计算式为

$$f_i = a_i + b_i + c_i - 180^\circ \quad (i = 1,2,\cdots,n) \tag{8-27}$$

2. 调整

设 v_a、v_b、v_c 为三内角的改正值，因角度为等精度观测，故角度改正值为

$$v_{a_i} = v_{b_i} = v_{c_i} = -\frac{f_i}{3} \quad (i = 1,2,\cdots,n) \tag{8-28}$$

应当指出：余数给短边所夹的角，根据三角形的几何性质，短边夹大角，故余数应给大角。

3. 校核

经过改正后的内角 a'_i、b'_i、c'_i 分别为

$$a'_i = a_i + v_{a_i}, \quad b'_i = b_i + v_{b_i}, \quad c'_i = c_i + v_{c_i}$$

各三角形改正角之和应为 180°，以此作为校核。

以图 8－12 单三角锁为算例，角度闭合差计算与调整见表 8－6 第④、⑤、⑥栏。

（二）三角形边长的计算

用改正后角值，利用正弦定律，由第一个三角形开始，逐次推求出所有边的边长，见表 8－6 的第⑦栏。

（三）小三角点的坐标计算

各小三角点的坐标，采用闭合导线的方法进行计算，如图 8－12 所示，组成闭合导线 $A-C-E-F-D-B-A$。根据起始边 AB 的坐标方位角，用改正后角值推算各边方位角，再用各边边长，计算坐标增量，然后根据 A 点的坐标推求出各点的坐标。

应当指出：坐标增量闭合差为零，不要进行坐标增量闭合差的计算与调整。

【例】　如图 8－12 中，基线边 $D_0=211.646$m，各三角形内角的观测值见表 8－6，求三角形各边长，计算结果见表 8－6。

表 8－6　　小三角锁近似平差及边长计算表

三角形			观测角度 (° ′ ″)	改正数 (″)	改正后角度 (° ′ ″)	边长 (m)
编号	点号	角号				
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
1	A	a_1	63 54 18	+4	63 54 22	201.624
	C	b_1	70 30 42	+4	70 30 45	211.646
	B	c_1	45 34 48	+4	45 34 52	160.352
		$\sum$	179 59 48	+12	180 00 00	
		f	−12			
2	B	a_2	59 40 24	+3	59 40 27	202.854
	D	b_2	59 05 05	+3	59 05 08	201.624
	C	c_2	61 14 22	+3	61 14 25	206.021
		$\sum$	179 59 51	+9	180 00 00	
		f	−9			
3	C	a_3	67 02 00	+4	67 02 04	241.235
	E	b_3	50 44 10	+3	50 44 13	202.854
	D	c_3	62 13 40	+3	62 13 43	231.822
		$\sum$	179 59 50	+10	180 00 00	
		f	−10			
4	D	a_4	65 18 20	−4	65 18 16	234.194
	F	b_4	69 22 03	−4	69 21 59	241.235
	E	c_4	45 19 48	−3	45 19 45	183.315
		$\sum$	180 00 11	−11	180 00 00	
		f	+11			

* 第四节　交 会 法 测 量

交会法是根据两个以上已知点，用方向或距离交会，确定待定点的坐标和高程的方法。

当已有控制点的数量不能满足测图或施工放样需要时，可采用前方交会法加密控制点。

一、测角前方交会

如图 8－13 用经纬仪在已知点 A、B 上测出 α 和 β 角，计算待定点 P 的坐标。计算公式推导如下。

$$\left.\begin{aligned} x_p - x_A &= D_{AP}\cos\alpha_{AP} \\ y_p - y_A &= D_{AP}\sin\alpha_{AP} \end{aligned}\right\} \tag{8-29}$$

$$\alpha_{AP} = \alpha_{AB} - \alpha \tag{8-30}$$

式中 α_{AB} 由已知坐标反算而得。

将式（8－30）代入式（8－29），得

$$\left.\begin{aligned} x_p - x_A &= D_{AP}(\cos\alpha_{AB}\cos\alpha + \sin\alpha_{AB}\sin\alpha) \\ y_p - y_A &= D_{AP}(\sin\alpha_{AB}\cos\alpha - \cos\alpha_{AB}\sin\alpha) \end{aligned}\right\} \tag{8-31}$$

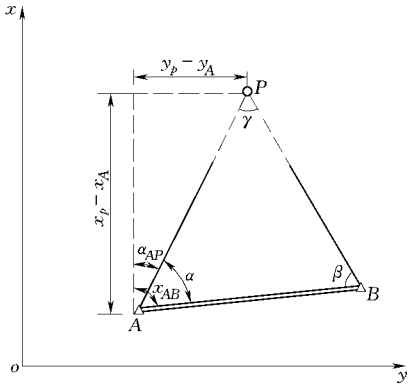


图 8－13　测角前方交会

因为

$$\cos\alpha_{AB} = \frac{x_B - x_A}{D_{AB}}$$

$$\sin\alpha_{AB} = \frac{y_B - y_A}{D_{AB}}$$

则

$$\left.\begin{aligned} x_p - x_A &= \frac{D_{AP}}{D_{AB}}\sin\alpha[(x_B - x_A)\operatorname{ctg}\alpha + (y_B - y_A)] \\ y_p - y_A &= \frac{D_{AP}}{D_{AB}}\sin\alpha[(y_B - y_A)\operatorname{ctg}\alpha + (x_A - x_B)] \end{aligned}\right\} \tag{8-32}$$

由 $\triangle ABP$ 可得

$$\frac{D_{AP}}{D_{AB}} = \frac{\sin\beta}{\sin(\alpha + \beta)}$$

上式等号两边乘以 $\sin\alpha$，得

$$\frac{D_{AP}}{D_{AB}}\sin\alpha = \frac{\sin\beta\sin\alpha}{\sin\alpha\cos\beta + \cos\alpha\sin\beta} = \frac{1}{\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta} \tag{8-33}$$

将式（8－33）代入式（8－32），经整理后得

$$\left.\begin{aligned} x_p &= \frac{x_A\operatorname{ctg}\beta + x_B\operatorname{ctg}\alpha - (y_A - y_B)}{\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta} \\ y_p &= \frac{y_A\operatorname{ctg}\beta + y_B\operatorname{ctg}\alpha + (x_A - x_B)}{\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta} \end{aligned}\right\} \tag{8-34}$$

为了提高精度，交会角 γ 最好在 90°左右，一般不应小于 30°或大于 120°。同时为了

校核所定点位的正确性要求由三个已知点进行交会，其校核方法有以下两种。

（1）分别在已知点 A、B、C 上观测角 α_1、β_1 及 α_2、β_2，见表 8－7 算例中图，由两组图形算得待定点 P 的坐标（x_{p1}，y_{p1}）及（x_{p2}，y_{p2}）。如两组坐标的较差 $f\left[\pm\sqrt{(x_{p1}-x_{p2})^2+(y_{p1}-y_{p2})^2}\right]\leqslant 0.2M$（mm）或 $0.3M$（mm），则取平均值。式中 M 为比例尺的分母（下同），前者用于 1∶5000～1∶10000 的测图；后者用于 1∶500～1∶2000 的测图。

（2）观测一组角度 α_1、β_1，计算坐标，而以另一方向检查，即在 B 点观测检查角 $\varepsilon_{测}=\angle PBC$，见表 8－7 中图。由坐标反算检查角 $\varepsilon_{算}$，与实测检查角 $\varepsilon_{算}$ 之差 $\Delta\varepsilon''$ 进行检查，$\Delta\varepsilon''\leqslant\pm\dfrac{0.15M\rho''}{s}$ 或 $\Delta\varepsilon''\leqslant\pm\dfrac{0.2M\rho''}{s}$，式中 s 为检查方向的边长。上式前者用于 1∶5000～1∶10000 的测图，后者用于 1∶500～1∶2000 的测图。算例见表 8－7。

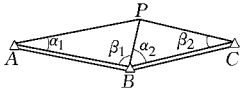
如果按第二种方法进行交会，在上例中除观测 α_1 及 β_1 外，在测站 B 同时观测检查角 $\varepsilon_{测}$（即 α_2），不必再到 C 点观测 β_2。计算时，由 α_1 及 β_1 算出 x_p（1869.200m）及 y_p（2735.228m），而后由坐标反算计算检查角 $\varepsilon_{算}$ 为

$$\varepsilon_{算}=\alpha_{BC}-\alpha_{BP}=51°15'21''$$

$$\Delta\varepsilon=\varepsilon_{测}-\varepsilon_{算}=+1''$$

测图比例尺为 1∶500 时，$\Delta\varepsilon_{容}=\dfrac{0.2\times500\times206265}{380.262\times1000}=54''$，$\Delta\varepsilon<\Delta\varepsilon_{容}$，因此，$P$ 点坐标为 $x_p=1869.200\text{m}$，$y_p=2735.228\text{m}$ 是正确的。

表 8－7　　前方交会计算表

略图与公式	$X_{P1}=\dfrac{X_A\text{ctg}\beta_1+X_B\text{ctg}\alpha_1-(Y_A-Y_B)}{\text{ctg}\alpha_1+\text{ctg}\beta_1}$，　$X_{P2}=\dfrac{X_B\text{ctg}\beta_2+X_C\text{ctg}\alpha_2-(Y_B-Y_C)}{\text{ctg}\alpha_2+\text{ctg}\beta_2}$ $Y_{P1}=\dfrac{Y_A\text{ctg}\beta_1+Y_B\text{ctg}\alpha_1-(X_A-X_B)}{\text{ctg}\alpha_1+\text{ctg}\beta_1}$，　$Y_{P2}=\dfrac{Y_B\text{ctg}\beta_2+Y_C\text{ctg}\alpha_2+(X_B-X_C)}{\text{ctg}\alpha_2+\text{ctg}\beta_2}$  $X_P=\dfrac{1}{2}(X_{P1}+X_{P2})$，$Y_P=\dfrac{1}{2}(Y_{P1}+Y_{P2})$							
已知数据	X_A	1659.232m	Y_A	2355.537m	X_B	1406.593m	Y_B	2654.051m
	X_B	1406.593m	Y_B	2654.051m	X_C	1589.736m	Y_C	2987.304m
观测值	α_1	69°11′04″	β_1	59°42′39″	α_2	51°15′22″	β_2	76°44′30″
计算与校核	X_{P1}	1869.200m	Y_{P1}	2735.228m	X_{P2}	1869.208m	Y_{P2}	2735.226m
	测图比例尺 1∶500 $f_{容}=\pm0.3\times500=\pm150\text{mm}$　　$f=\sqrt{8^2+2^2}=\pm8\text{mm}<\pm150\text{mm}$ $X_P=1869.204\text{ m}$　　$Y_P=2735.227\text{ m}$							

二、全站仪交会测量

全站仪交会测量一般有两种方式：一种是应用全站仪本身具有的自由设站功能（常用的有 2—p 和 3—p 方法）；另一种是全站仪配合交会测量软件一起完成的交会测量（如清

华三维 EPSW 地形测量软件)。

1. 全站仪 2—p 自由设站方法

只要观测自由设站以外的两已知坐标点的边长和角度，就可以获得自由设站的坐标。全站仪 2—p 测量操作如下。

(1) 全站仪任意设站，棱镜立于已知点 A，输入已知点 A 的坐标值和标杆高 H_T。照准棱镜测距。

(2) 照准第二个已知点 B，输入其坐标值和标杆高 H_T。照准棱镜测距，仪器比较显示已知点的可靠性，有时还需要进行高程测量。

(3) 依照提示输入设站点点号，屏幕显示所需的测点三维坐标。

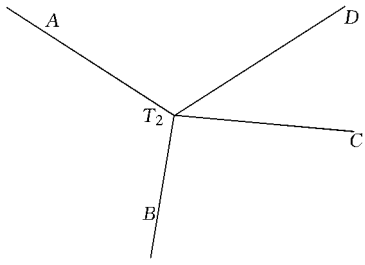


图 8-14　自由设站

2. 测量软件自由设站方法

自由设站即后方交会，其原理如图 8-14 所示，A、B、C、D 为已知点，在未知点 T_2 上架设仪器，在相应的对话框输入测站点号、仪器高、编码，通过测量 T_2 到 A、B、C、D 各点的方向值、垂直角，并输入各点标杆高 H_T，软件自动计算出 T_2 点的三维坐标。

习题与思考题

1. 水利工程测量中的平面控制测量可分为哪三种控制测量？

2. 何谓导线测量？适用于怎样的地区？

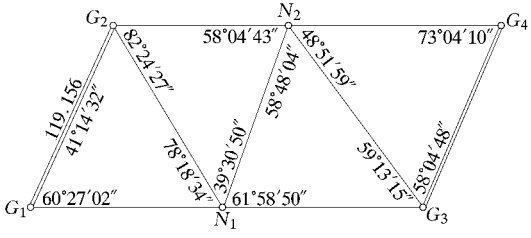
3. 经纬仪导线测量的外业工作有哪些？

4. 如何进行全站仪导线测量？

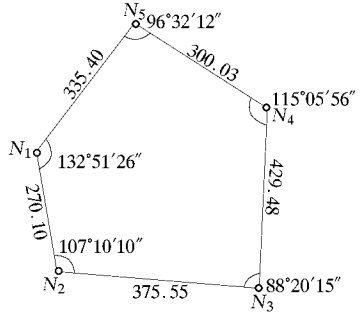
5. 何谓坐标正算、反算？写出它们的计算公式。

6. 完成题图 8-1 小三角锁的坐标计算。(已知：$x_1=2000.00$；$y_1=53000.00$；$\alpha_{12}=151°30'00''$)

7. 完成题图 8-2 闭合导线坐标计算。(已知：$x_A=2005.10$；$x_B=2100.74$；$x_C=2102.94$；$x_D=2153.43$，$y_A=7701.45$；$y_B=7575.30$；$y_C=8087.99$；$y_D=7884.63$)



题图 8-1



题图 8-2

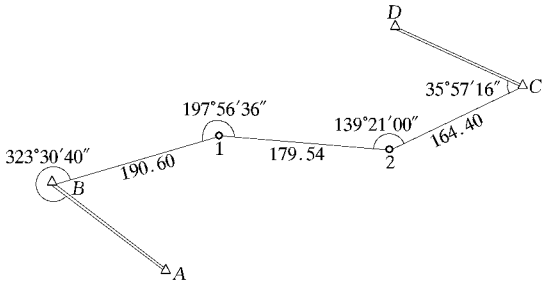
8. **完成题图 8－3 附合导线坐标计算？**

9. **何谓小三角测量？应用于怎样的地区？**

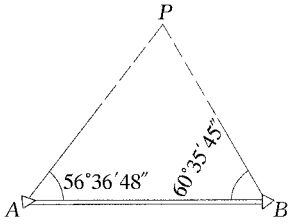
10. **小三角测量的外业工作有哪些？**

11. **何谓交会法测量？适用于什么样的场合？**

12. **完成题图 8－4 测角前方交会法坐标计算。**



题图 8－3



题图 8－4

第九章　高 程 控 制 测 量

SL197—97《水利水电工程测量规范》（勘测设计阶段）规定，水利工程测量中的高程控制测量分为以下三种。

（1）基本高程控制测量：一、二、三、四、五等水准测量和三、四、五等电磁波测距三角高程测量。

（2）图根高程控制测量：图根水准测量、图根电磁波测距三角高程测量和图根经纬仪三角高程测量。

（3）测站点高程控制测量：测图水准、电磁波测距交会法和支距法、经纬仪交会法、经纬仪视距支导线法和视距高程。

第一节　三、四、五等水准测量

三、四等水准测量除了用于国家高程控制网的加密外，还用于建立基本高程控制测量。三、四等水准点的高程一般应从附近的一、二等水准点引测，若测区内或附近没有国家一、二等水准点，可建立测区独立基本高程控制网。五等水准测量所用的仪器、工具、操作程序和计算方法都与三、四等水准测量比较接近，主要是限差不同。现将这三个等级水准测量的主要技术要求列于表 9－1。

表 9－1　　三、四、五等水准测量技术要求

项目 / 等级	水准仪型号	视线高度	视线长度（m）	前后视距差（m）	前后视距累积差（m）	红黑面高差之差（mm）	红黑面读数差（mm）	附合环线闭合差（mm）	
								平原	山区
三	DS3	三丝读数	≤75	≤2	≤5	≤3	≤2	$12\sqrt{L}$	$4\sqrt{n}$
四	DS3	三丝读数	≤100	≤3	≤10	≤5	≤3	$20\sqrt{L}$	$6\sqrt{n}$
五	DS3 或 DS10	三丝读数	≤100	≤20	≤100	≤6	≤4	$30\sqrt{L}$	$10\sqrt{n}$

一、四等水准路线的选择和水准点设置

水准点是用水准测量方法，测定的高程达到一定精度的高程控制点。水准点应选在土质坚实、观测方便和便于长期保存的地点。凡需长期保存的永久性水准点，应采用图 9－1 所示的混凝土标石，埋冻土层以下，掩土护盖，并绘制水准点之记。只需短期保存的水准点，可在固定建筑物或岩石上刻注标记。

水准路线是水准测量所经过的地面路线。进行水准测量的路线有以下几种。

（1）闭合水准路线。起止于同一已知水准点的封闭水准路线。

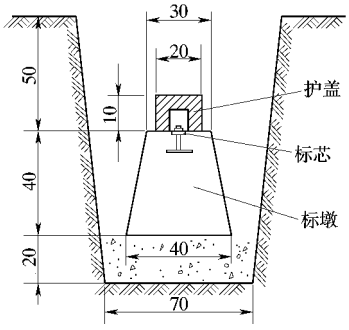


图 9－1　混凝土标石（单位：cm）

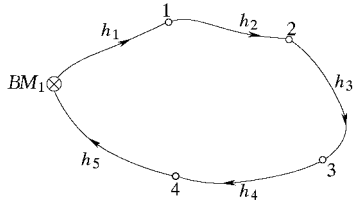


图 9－2　闭合水准路线

如图 9－2 所示，设水准点 BM_1（Bench Mark）的高程为已知，由该点开始依次测定 1、2、3、4 点高程后，再回到 BM_1 点组成闭合水准路线。

（2）附合水准路线。起止于两个已知水准点间的水准路线。

如图 9－3 所示，设 BM_1 点的高程 $H_{始}$、BM_2 点的高程 $H_{终}$ 均为已知，现从 BM_1 点开始，依次测定 1、2、3、4 点的高程，最后附合到 BM_2 点上，组成附合水准路线。

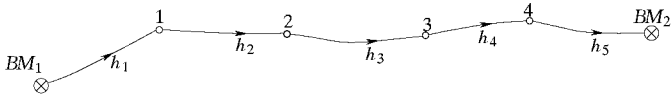


图 9－3　附合水准路线

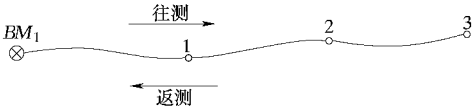


图 9－4　支水准路线

（3）支水准路线。从一已知水准点出发，终点不附合或不闭合于另一已知水准点的水准路线。

如图 9－4 所示，从已知水准点 BM_1 开始，依次测 1、2、3 点的高程后，既不附合到另一水准点，也不闭合到原水准点。

四等水准路线可采用附合、闭合和支水准路线。附合水准路线总长应不超过 80km；闭合水准路线总长应不超过 100km；支水准路线长度不能超过 20km，还要进行往返测，但当采用 0.5m 基本等高距测图时，四等水准路线不得长于 20km。水准路线应充分利用现有道路网并选择坡度较小和便于施测的路线（如公路、大路）。在水准路线上应每隔 4km 左右埋设一个水准点。

二、四等水准测量的观测程序和记录方法

四等水准测量常用仪器为 DS3 型水准仪和带红、黑双面的水准标尺。作业之前，要对水准仪和水准尺进行检验，在作业中为抵消因水准尺磨损而造成的标尺零点差，要求每一水准测段的测站数目应为偶数站。四等水准观测应在标尺分划线成像清晰稳定时进行，若成像不好，应酌情缩短视线长度。

在每一测站上按以下观测顺序进行，读数填入记录表 9－2 中相应位置。

表 9-2　　四等水准测量记录

测站编号	点号	后尺 下丝 上丝	前尺 下丝 上丝	方向及尺号	水准尺读数(m)		K+黑−红	高差中(m)
		后距	前距		黑面	红面		
		视距差 d（m）	$\sum d$（m）					
		①	⑤	后 1	③	④	⑬	
		②	⑥	前 2	⑦	⑧	⑭	
		⑨	⑩	后－前	⑮	⑯	⑰	⑱
		⑪	⑫					
1	BM_1	1.954	1.276	后 2	1.664	6.350	+1	
		1.373	0.693	前 1	0.985	5.773	−1	
		58.1	58.3	后－前	+0.679	+0.577	+2	+0.6780
		−0.2	−0.2					
2	TP_1-TP_2	1.146	1.744	后 1	1.024	5.811	0	
		0.903	1.499	前 2	1.622	6.308	+1	
		24.3	24.5	后－前	−0.598	−0.497	−1	−0.5975
		−0.2	−0.4					
3	TP_2-TP_3	1.479	0.982	后 2	1.171	5.859	−1	
		0.864	0.373	前 1	0.678	5.465	0	
		61.5	60.9	后－前	+0.493	+0.394	−1	+0.4935
		+0.6	+0.2					
4	TP_3-BM_A	1.536	1.030	后 1	1.242	6.030	−1	
		0.947	0.442	前 2	0.736	5.422	+1	
		58.9	58.8	后－前	+0.506	+0.608	−2	−0.5070
		+0.1	+0.3					
每页校核		$\sum⑨=202.8$ $-)\ \sum⑩=202.5$ $=+0.3$ $=4$（站）12 $\sum⑨+\sum⑩=405.3$ m			$\sum(⑮+⑯)=1.081$ $2\sum⑱=+2.162$ 计算正确			

注　$K_1=4.787$；$K_2=4.687$。

（1）后视水准点上的黑面尺，读取下、上、中丝读数①、②、③。

（2）后视红面尺，读取中丝读数④。

（3）前视黑面尺，读取下、上、中丝读数⑤、⑥、⑦。

（4）前视红面尺，读取中丝读数⑧。

以上①、②、…、⑧表示观测与记录的顺序。因此四等水准观测程序可简称为“后、后、前、前”或“黑、红、黑、红”。观测结束后，就可进行测站上的计算。如果所有计

算满足表 9－1 中的技术要求，可迁站前进，否则应重新观测。

三等水准测量观测程序为“后、前、前、后”或“黑、黑、红、红”。

三、测站计算与检核

1. 视距计算

后距：⑨＝100×［①－②］。

前距：⑩＝100×［⑤－⑥］。

后、前距差：⑪＝⑨－10≤±3m。

后、前距累积差：⑫＝上站之⑫＋本站⑪≤±10m。

2. 同一水准尺黑、红面中丝读数的检核

同一水准尺红、黑面中丝读数之差，应等于该尺的尺常数 K（红面的起始读数，一般为 4.687 和 4.787），其差值为：

后视尺　⑬＝③＋K－④≤±3mm。

前视尺　⑭＝⑦＋K－⑧≤±3mm。

3. 高差计算及检核

黑面所测高差：⑮＝③－⑦。

红面所测高差：⑯＝④－⑧。

黑、红面所测高差之差：⑰＝⑮－（⑯±0.100）＝⑬－⑭≤±5mm。其中 0.100 为单、双号两根水准尺尺常数之差，以 m 为单位。

高差中数：⑱＝$\frac{1}{2}$（⑮＋⑯±0.100）。

若⑮＞⑯，则用“＋”；若⑮＜⑯，则用“－”。

四、每页计算的检核

1. 视距计算检核

$$\sum⑨ - \sum⑩ = \text{末站}⑫$$

2. 高差计算检核

$$\sum⑮ + \sum⑯ \pm 0.100 = 2 \times \sum⑱$$

其中，$\sum⑮ > \sum⑯$时用“＋”；$\sum⑮ < \sum⑯$时用“－”。

检核无误后，算出水准路线总长为

$$\text{水准路线总长为} = \sum⑨ + \sum⑩$$

五、水准测量的校核方法

在水准测量中，测得的高差总是不可避免地含有误差，有时也会发生粗差，为确保测量成果的质量，必须采取相应的措施进行校核。

（一）测站校核

1. 改变仪器高法（仪高法）

即在每个测站上，测出两点间高差后，重新安置仪器（升高或降低仪器 10cm 以上）再测一次，两次测得高差其不符值应在允许范围内。这个允许值按水准测量等级不同而异，等外水准测量（普通水准测量），其测量的两次高差不符值的绝对值应小于 5mm，否

则应重测。

2. 双面尺法

在一个测站上对每个测点既读取黑面读数，又读取红面读数，据此校核红、黑面读数之差以及由红、黑面测得高差之差是否在允许范围内。采用双面尺法不必重新安置仪器，从而节约了时间，提高了工效。

（二）路线校核

测站校核可以校核本测站的测量成果是否符合要求，但整个路线测量成果是否符合要求或者是否有错，则不能判定。例如，假设迁站后，转点位置发生移动，尺倒立未发觉等，这时测站成果虽符合要求，但整个路线测量成果都存在差错，因此，还需要进行路线校核。

闭合水准路线的测量高差总代数和在理论上应等于零，即$\sum h_{理}=0$，以此作为校核条件。

附合水准路线测量高差总代数和等于两水准点的已知高差（$H_{终}-H_{始}$），以此作为校核条件。

支水准路线的往测和返测高差的总代数和应等于零，即$\sum h_{往}+\sum h_{返}=0$，以此作为校核条件。

第二节　三 角 高 程 测 量

当地面起伏变化较大，而进行水准测量有困难时，可采用三角高程测量的方法，加密高程点。

一、经纬仪三角高程测量

用经纬仪测定两点间的垂直角，并根据已知距离确定点的高程的测量工作。

（一）测量原理

如图 9－5 所示，在已知高程点 A 上安置经纬仪，在 B 点竖立觇标，照准觇标顶端，测出垂直角 α。设 A、B 之间的水平距离 D 为已知，则 A、B 之间的高差可用下面公式计算，即

$$h_{AB}=D\mathrm{tg}\alpha+i-v \tag{9-1}$$

式中　i——经纬仪的仪器高；

v——照准觇标的高度（觇标高）。

当已知 A 点的高程为 H_A，则 B 点的高程为

$$H_B=H_A+h_{AB}=H_A+D\mathrm{tg}\alpha+i-v \tag{9-2}$$

如果两点间的距离大于 300m，就要考虑地球曲率及大气垂直折光的影响。前者为地球曲率差，简称球差；后者为大气垂直折光差，简称气差。

在图 9－6 中，$GE=f_1$ 是以水平面代替水准面产生的地球曲率差。A 点安置经纬仪的视线应按直线照准尺上的 M 点，由于大气垂直折光的影响成为一上凸的弧线而照准在尺上的 M' 点，$MM'=f_2$ 为大气垂直折光差。由图 9－6 可知，A、B 两点高差应为

$$\begin{aligned} h_{AB}&=i+f_1+D\mathrm{tg}\alpha-f_2-v\\ &=D\mathrm{tg}\alpha+i-v+(f_1-f_2) \end{aligned} \tag{9-3}$$

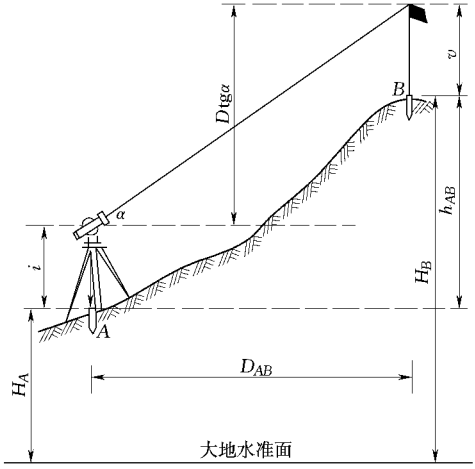


图 9－5　三角高程测量

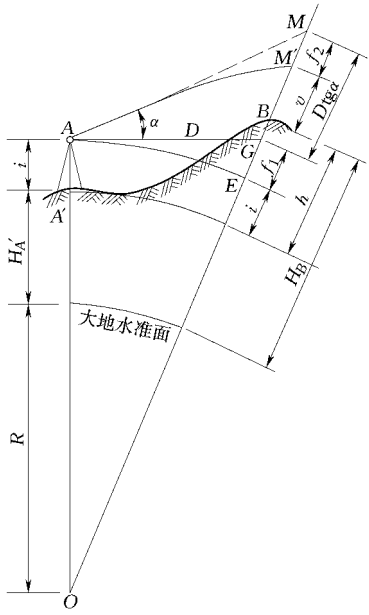


图 9－6　地球曲率及大气垂直折光差

式中　f_1 与 f_2——球差与气差的改正数。

根据地球曲率对高程的影响，可得

$$f_1 = \frac{D^2}{2R}$$

研究统计表明，大气垂直折光差约为球差的$\frac{1}{7}$，即

$$f_2 = \frac{D^2}{14R}$$

于是两差改正数 f（球气差的联合影响）为

$$f = f_1 - f_2 = \frac{D^2}{2R} - \frac{D^2}{14R} = 0.43\frac{D^2}{R} \tag{9-4}$$

式中　D——两点的水平距离；

R——地球半径，其值取 6371km。

用不同的 D 值为引数，计算出改正值列于表 9－3。

表 9－3　　球 气 差 查 取 表

D（hm）	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
f（cm）	0.1	0.3	0.6	1.1	1.7	2.5	3.4	4.5	5.7	7.0

由表 9－3 可知，当两点水平距离 $D<300$m 时，其影响不足 1cm，故一般规定当 $D>300$m 时，才考虑球气差的影响。

（二）直反觇高程计算公式

在已知高程点 A 安置经纬仪，观测待定高程点 B，计算待定点 B 的高程 H_B，称为直觇。在待定高程点 B 安置经纬仪，观测已知高程点 A，计算待定点 B 的高程 H_B，称为反觇。直反觇计算待定点 B 的高程公式分别为

$$\left.\begin{aligned} H_B &= H_A + h_{AB} = H_A + (D\mathrm{tg}\alpha_{AB} + i_A - v_B + f) \\ H_B &= H_A - h_{BA} = H_A - (D\mathrm{tg}\alpha_{BA} + i_B - v_A + f) \end{aligned}\right\} \tag{9-5}$$

在一条边上只进行直觇或反觇观测，称为单向观测（单觇）；在同一条边上，既进行直觇又进行反觇观测，则称为对向观测（复觇）。因为两次观测值取平均可以消减球气差的影响，所以一般三角高程测量采用对向观测。另外为减少大气垂直折光影响，观测视线应高出地面或障碍物 1m 以上。

图根经纬仪三角高程对向观测高差互差小于 $0.1D$（m），D 为边长，以 km 为单位。

（三）施测方法

以图 9-5 为例说明施测方法。

（1）安置经纬仪于测站 A 上，量仪器高 i 和觇标高 v，读数至 0.5cm，量取两次的结果之差不超过 1cm，取其平均值记入表 9-4。

表 9-4　　三角高程测量计算

所求点	B	
起算点	A	
觇法	直	反
平距 D（m）	286.36	286.36
垂直角 α	+10°32′26″	−9°58′41″
$D\mathrm{tg}\alpha$（m）	+53.28	−50.38
仪器高 i（m）	+1.52	+1.48
觇标高 v（m）	−2.76	−3.20
两差改正数 f（m）		
高差 h（m）	+52.04	−52.10
平均高差（m）	+52.07	
起算点高程（m）	105.72	
所求点高程（m）	157.79	

（2）用经纬仪照准 B 点觇标顶端，观测垂直角。

图根经纬仪三角高程测量垂直角观测限差见表 9-5。

表 9-5　　垂直角观测的技术要求和记录计算取位规定

仪器型号	中丝法测回数	指标差	测回差	记录计算取位			
				读数（″）	垂直角（″）	高差（mm）	高程（mm）
DJ2	2	15	15	1	1	1	10
DJ6	4	24	24	6	1	1	10

（3）将经纬仪搬至 B 点，同法对 A 点进行观测。

（4）高差及高程的计算，见表 9－4。

二、电磁波测距三角高程测量

电磁波测距三角高程测量（EDM）是采用电磁波测距仪直接测定两点间距离的三角高程测量。其测量原理如下：

见图 9－7，仪器安置在 A 点，观测 B 点，测得垂直角 α_A 及斜距 D'_{AB}，量得仪器高 i_A 及镜站镜高 v_B，则高差为

$$h_{AB} = D'_{AB}\sin\alpha_A + i_A - v_B + f_A \qquad (9-6)$$

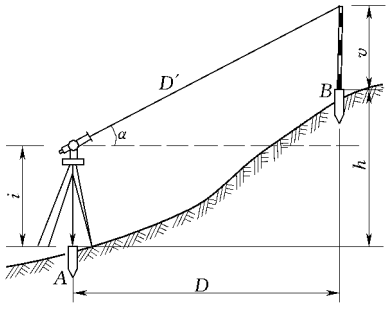


图 9－7　电磁波测距三角高程测量

式中　f_A——地球曲率及大气垂直折光改正。

仪器搬至 B 点，返测 A 点，高差为 h_{BA}。由于往返测时大气折光情况大致相似，故 f 可忽略不计，则高差中数为

$$h = \frac{1}{2}(h_{AB} - h_{BA}) = \frac{1}{2}[(D'_{AB}\sin\alpha_A - D'_{BA}\sin\alpha_B) + (i_A - i_B) + (v_A - v_B)] \qquad (9-7)$$

三、测距三角高程的施测方法

（1）红外测距仪设站测边，并且现场测量温度及大气压。

（2）对向观测垂直角 $\alpha_{往}$、$\alpha_{返}$，一般以中丝两测回施测。图根电磁波测距三角高程测量主要技术要求见表 9－6。

表 9－6　　主 要 技 术 要 求

边长测量		垂直角测量		对向观测高差较差 (mm)	高程路线闭合差 (mm)
一测回读数间较差 (mm)	测回间较差 (mm)	指标差较差 (″)	测回间较差 (″)		
30	30	15	15	$70D$	$\pm 40\sqrt{D}$

（3）量取仪器高、棱镜或觇牌高，精确地量至 1mm。

（4）依照公式 $h = D'\sin\alpha + i - v + f$ 计算相邻点间的往、返高差 $h_{往}$、$h_{返}$，以往测符号为准，取平均数作为两点间高差，$h_{平} = \frac{1}{2}(h_{往} - h_{返})$。

第三节　高　程　计　算

一、单一水准路线

（一）高差闭合差和容许值的计算

测量总含有误差，致使测得高差不等于理论（或已知）高差，两者差值就是高差闭合差，即

$$f_h = \text{测量高差} - \text{理论(或已知)高差}$$

闭合水准路线　　$f_h = \sum h_{测}$

附合水准路线　　$f_h = \sum h_{测} - (H_{终} - H_{始})$

支水准路线　　$f_h = \sum h_{往} + \sum h_{返}$

高差闭合差容许值 $f_{h容}$ 见表 9－1。等外水准测量的高差闭合差容许值为

平地　　$$f_{h容} = \pm 40\sqrt{L} \quad (\text{mm}) \tag{9-8}$$

山地　　$$f_{h容} = \pm 12\sqrt{n} \quad (\text{mm}) \tag{9-9}$$

式中　L——水准路线长度，以 km 计，对支水准路线指单程长度。

n——测站总数。

在山地每公里超过 16 站时用式（9－9）。

（二）闭合和附合水准路线高差闭合差的调整

当测量成果满足 $f_h \leqslant f_{h容}$ 时，应对高差闭合差进行调整。

一般来说，水准路线测段（相邻两水准点间的路线）越长或测段测站数越多，则误差越大，即误差与测段长度或测站数成正比，根据这个原则，将高差闭合差 f_h 反其符号，按测段长或测站数成正比分配到各测段高差观测值上，则高差改正值为

$$\left.\begin{aligned} \Delta h_i &= -\frac{f_h}{\sum L} L_i \\ \Delta h_i &= -\frac{f_h}{\sum n} n_i \end{aligned}\right\} \tag{9-10}$$

或

改正后高差　　$h_{i改} = h_{i测} + \Delta h_i$

（三）高程计算

闭合和附合水准路线各待定点高程计算，从起始水准点已知高程开始，逐一加各测段改正后高差，即得各待定点的高程。

（四）支水准路线高程计算

1. 计算测段平均高差

$$h_{i平} = \frac{1}{2}(h_{i往} - h_{i返})$$

2. 待定点高程计算

从起始水准点已知高程开始，逐一加各测段平均高差，即得各待定点的高程。

【例】　图 9－8 为四等附合水准路线，已知数据和观测数据见图上，计算格式见表 9－7。

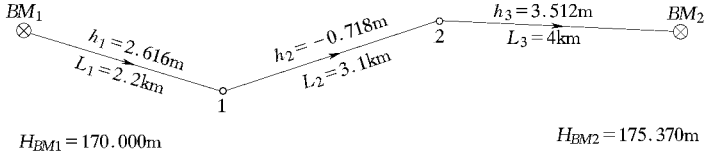


图 9－8　四等附合水准路线

表 9－7　　四等水准路线高程计算表

点名	距离（km）	观测高差（m）	改正数（m）	改正后高差（m）	高程（m）
BM_1	2.2	+2.616	−0.009	+2.607	170.000
1	3.1	−0.718	−0.013	−0.731	172.607
2	4.0	+3.512	−0.018	+3.494	171.876
BM_2	9.3	+5.410	−0.040	+5.370	175.370
$\sum$					
计算及检核	$f_h = \sum h - (H_{BM_2} - H_{BM_1}) = +0.040$ m $f_{h容} = \pm 20\sqrt{L} = \pm 61.0$ mm				

注　$H_{BM_1} = 170.000$ mm；$H_{BM_2} = 175.370$ mm。

二、三角高程导线测量

三角高程导线测量是从已知高程点出发，沿各导线边进行三角高程测量，最后附合或闭合到已知高程点上，确定高程的方法。

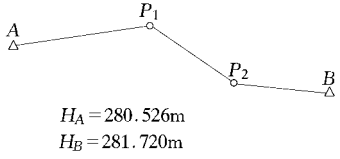


图 9－9　附合三角高程导线测

图根三角高程导线测量宜在平面控制的基础上，沿图根三角锁、网中边长较短、垂直角较小的边或图根导线边进行。一般在观测该路线各边的水平角的同时观测垂直角（天顶距），并量取仪器高 i 和目标高 v，用钢尺量测 2 次，读至 5mm，其较差不得大于 1mm，取用平均值。高差闭合差小于 $\frac{h}{7}$（h 为基本等高距）。若高差闭合差在容许值之内，采用单一水准路线高差闭合差整调方法进行分配，然后求算出各点的高程。如图 9－9 所示的附合三角高程导线测量，计算待定点的高程，观测数据列于表 9－8，计算见表 9－9。至于闭合三角高程导线测量的计算，与附合三角高程导线测量的计算方法相同。

表 9－8　　三角高程路线高差计算表

测站点	A	P_1	P_1	P_2	P_2	B
觇　点	P_1	A	P_2	P_1	B	P_2
觇　法	直	反	直	反	直	反
D（m）	974.27	974.27	564.40	564.40	842.20	842.20
α	1°06′35″	−1°03′20″	+2°26′50″	−2°21′06″	−2°50′15″	+2°48′20″
i（m）	1.49	1.52	1.50	1.52	1.58	1.50
v（m）	2.00	2.00	2.00	2.00	0.50	2.00
f（m）	0.06	0.06	0.02	0.02	0.05	0.05
h（m）	18.42	−18.37	23.64	−23.64	−40.61	40.82
$h_{中}$（m）	18.40		23.64		−40.72	

表 9－9　　三角高程导线测量高程计算表

点 名	距离（m）	高差中数（m）	改正数（m）	改正后高差（m）	高程（m）
A	974.27	＋18.40	－0.067	＋18.333	280.562
P_1					298.90
	564.40	＋23.64	－0.038	＋23.602	
P_2					322.50
	842.20	－40.72	－0.057	－40.777	
B					281.72
$\sum$	2380.87	＋1.32	－0.162	＋1.158	

注　$f_h = +0.162$ m；$f_{h容} = h/7 = \pm 0.714$m。

三、独立高程点

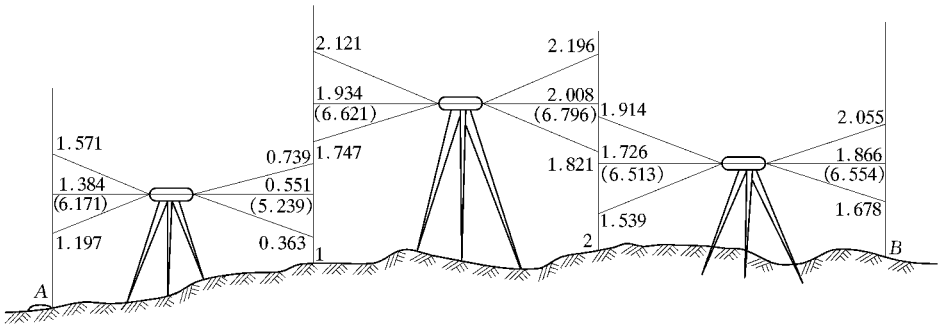
由 2～3 个已知高程点用三角高程测量的方法求一个未知点的高程，该点称为独立高程点。由于已知高程各点至未知高程点间的水平距离，一般已在平面控制测量时求得。因此对于各种交会点，其高程可用独立高程点的方法测定。例如用测角交会法求得 P 点的平面位置后，因已知 P 点至三个高级点的距离，采用三角高程测量的方法求算出已知点与待定点间的高差，即能确定待定点 P 的高程。独立交会点高程计算见表 9－10。

表 9－10　　独立交会点高程计算表

所求点	P		
起始点	A	A	B
觇　法	直	反	直
D（m）	2150.40	2150.40	2451.40
α	＋1°58′02″	－1°51′10″	＋2°58′00″
i（m）	1.60	1.48	1.60
v（m）	4.20	3.80	4.20
f（m）	0.32	0.32	0.42
H（m）	71.58	－71.56	124.86
$H_{起}$（m）	164.75	＋307.87	111.50
H_P（m）	236.33	236.31	236.36
中数 H_P（m）	236.33		

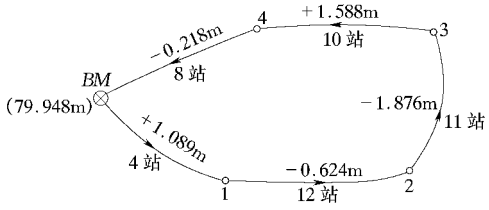
习题与思考题

1. 三等与四等水准测量的一个测站观测程序有何不同？为什么？
2. 何谓经纬仪三角高程测量？它与视距测量中高差测量有何不同？
3. 何谓直反觇观测？它们计算高程的公式有何不同？
4. 何谓电磁波测距三角高程测量？它与经纬仪三角高程测量有何不同？
5. 完成题图 9－1 四等水准测量计算。



题图 9－1

6．**完成题图** 9－2 **闭合水准路线高程计算。**



题图 9－2

7．**在** A **点设站，仪器高** $i_A=1.22\text{m}$，**对** B **点观测，所测得垂直角** $\alpha_A=-3°37'59''$，B **点目标高** $v_B=3.36\text{m}$；**在** B **点设站，** $i_B=1.33\text{m}$，$\alpha_B=4°08'30''$，A **点目标高** $v_A=2.33\text{m}$。**已知：** $H_A=300.00\text{m}$，$D_{AB}=349.129\text{m}$。**试求：高差中数** $h_{中}$ **及** B **点高程** H_B。

第十章　地　形　测　图

第一节　地形测图前的准备工作

地形测图就是使用仪器测绘地形图的工作，亦称碎部测量。图根控制测量完成后就可进行地形测图了。地形测图前，抄录测区内所有控制点的成果（坐标和高程），在野外首先应对仪器和工具进行检校，接着还需做好以下准备工作。

一、划分图幅

地形图的图幅一般有 40cm×40cm、40cm×50cm、50cm×50cm 三种。每个图幅所能测绘的实地范围等于图幅面积乘上测图比例尺分母的平方。当测区面积或某个方向的长度大于一个图幅所能容纳的范围时，必须进行分幅测绘。

为了划分区幅，可先在毫米方格纸上按较小比例尺展绘出所有控制点，并根据控制点标绘出测区的大致边线（图 10－1），然后顾及测区比例尺和选用的图幅大小进行划分图幅。图 10－1，图幅为 50cm×50cm，测图比例尺为 1∶500，划分为 6 个图幅，按流水编号法依次编上图号。图中：1、2、…、8 为三角点。

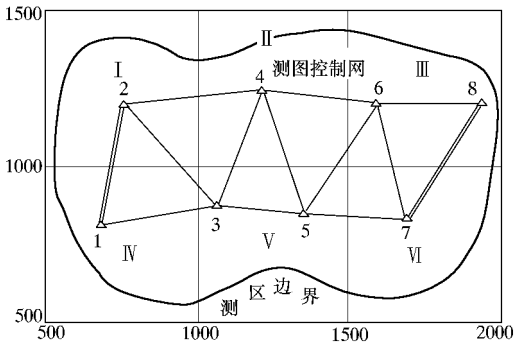


图 10－1　独立测区大比例尺图幅的划分（单位：m）

二、准备图纸

根据图幅数量准备图纸。测绘原图的图纸宜采用厚度为 0.07～0.1mm，经过热定型处理的聚酯薄膜。它具有透明度好、伸缩性小、不怕潮湿、经久耐用、便于携带和保存等优点，清绘的原图可直接印晒成图。但它有易燃、易折等缺点，故使用和保管中应注意防火、防折。

聚酯薄膜裱糊在测图板上的工作较简单，在测图板上垫衬一张硬胶板或白色厚纸，铺上薄膜后用胶带或夹子使其固定在图板上即可测图。

三、绘制坐标方格网

测图前，要把控制点展绘在图纸上，为了保证展点的精度，应先在图纸上精确地绘制 10cm×10cm 的直角坐标格网。坐标格网的绘制方法常用的有对角线法和坐标格网尺法。

对角线法：如图 10－2 所示，将绘图纸铺平在图板上，按图纸的四角，用直尺先绘出两条对角线，设交点为 O，精确截取线段 $OA=OB=OC=OD$，得 A、B、C、D 四点，连接 A、B、C、D 即成一个矩形。以 A 为起点，沿 AB、AC 方向每隔 10cm 截取一点，分别得 1、2、3、4、5 和 1′、2′、3′、4′、5′。同样，以 B 为起点沿 BD 方向截取 1′、2′、

3′、4′、5′，以 C 为起点沿 CD 方向截取 1、2、3、4、5。连接各对应点，就得 50cm×50cm 直角坐标方格网。

坐标格网尺的使用，可按其说明书进行。

坐标方格网画好后，不用的线条应擦干净，并进行检查：坐标网线粗≤0.1mm，坐标格网实际长度与名义长度 10cm 之差≤0.2mm，图廓边长与理论长度之差≤0.2mm，图廓对角线长度与理论长度之差≤0.3mm，纵横坐标线应严格正交，对角线上各点应在同一直线上。

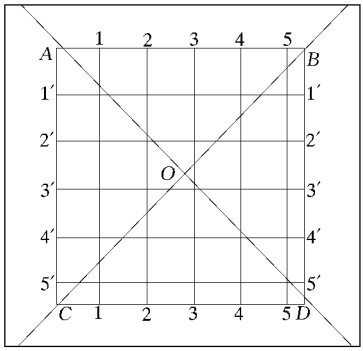


图 10－2　用直尺绘制直角坐标网格

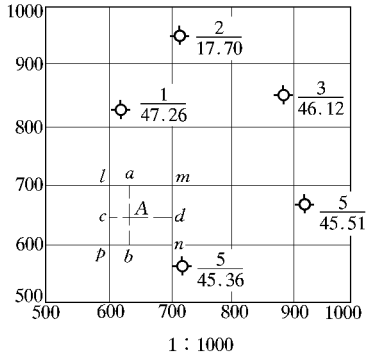


图 10－3　展绘控制点

四、展绘控制点

首先，根据图幅分幅和比例尺，将坐标格网线的坐标值注在相应格网线的外侧（图 10－3）。

展绘时，根据控制点的坐标，确定所在的方格，如控制点 A 的坐标 $X_A=647.4$m、$Y_A=634.9$m，由其坐标值可知 A 点的位置在 $plmn$ 方格内。用 1∶1000 比例尺从 p 和 n 点各沿 pl、nm 线向上量取 47.4m，得 c、d 两点。从 p、l 两点沿 pn、lm 量取 34.9m，得 b、a 两点。连接 ab 和 cd，其交点即为 A 点在图纸上的位置。以 A 点为中心，画上相应控制点的符号，并在点的右侧画一横线，横线上方注点名，下方注高程。

展绘控制点时，应逐点进行检核，即用比例尺量出相邻控制点之间的长度与坐标计算长度之差在图上应≤0.3mm。

第二节　地 物 的 测 绘

地形图上的符号主要有地物符号、地貌符号和注记符号三种。

水利工程专业测图的地物测绘，应包括：测量控制点、居民地、水系及附属建筑物、道路及管道、送电线路及通信线路、独立地物、地质勘探点、水文与气象设施、境界、地类界及垣栅等。现把地物符号和地物测绘分述如下。

一、地物符号

地物有人工地物（房屋、道路等）和自然地物（江、河、湖、海等）。表 10－1 为中华人民共和国国家标准 GB/T7929－1995 中 1∶500、1∶1000、1∶2000 地形图图式中的部分地物符号。地物符号有以下几种。

表 10－1　　地　物　符　号

编号	符号名称	1:500　1:1000	1:2000
1	三角点 凤凰山——点名 396.486——高程	凤凰山 394.468 3.0	
2	小三角点 横山——点名 95.93——高程	3.0 横山 95.93	
3	导线点 I16——等线点号 84.46——高程	2.0　I16 84.46	
4	图根点 a. 埋石的 N16——等级点号 84.46——高程 b. 不埋石的 25——点号 62.74——高程	a　1.6　N16 84.46 2.6 b　1.6　25 62.74	
5	水准点 Ⅱ京石 5——等级点号 32.804——高程	2.0　Ⅱ京石5 32.804	
6	一般房屋 砖——建筑材料 3——房屋层数	砖 3	1.6 2
7	简单房屋		
8	建筑中的房屋	建	
9	破坏房屋	破	
10	廊　房	砖 3　1.0	1.0
11	台　阶	0.6 1.0 1.0	
12	钻　孔	3.0　1.0	
13	燃料库	2.0　煤气	
14	加油站	1.6　3.6 1.0	

编号	符号名称	1:500　1:1000	1:2000
15	气象站	3.0 3.6 1.0	
16	烟　囱	3.6 1.0	
17	变电室（所） a. 依比例尺的 b. 不依比例尺的	2.6　60° 0.6 1.0　3.6 1.6	
18	路　灯	2.0 1.6　4.0 1.0	
19	纪念碑		1.6 1.6　4.0 3.0
20	碑、柱、墩		3.0 2.0
21	旗　杆	1.6 4.0　1.0 1.0	
22	宣传橱窗 广告牌	1.0　2.0	
23	亭		3.0 1.6　3.0 1.6
24	岗亭、岗楼、 岗墩	90° 3.0 1.6	
25	庙　宇		2.6 1.2
26	独立坟		2.0 2.6
27	坟地 a. 坟群 b. 散坟 5——坟个数	a　5	b　2.0 2.0
28	水　塔		2.0 1.0　3.6 1.0
29	挡土墙	1.0 0.3 6.0	

续表

编号	符号名称	1:500 1:1000	1:2000
30	等级公路	0.15 0.3 沥 砾	
31	简易公路	0.15 0.15 碎石	
32	小　路	4.0 1.0 0.3	
33	高压线	4.0	
34	低压线	4.0	
35	电　杆	1.0	
36	电线架		
37	电线塔（铁塔）		
38	通信线	4.0	
39	杆上变压器		
40	铁路围墙	0.8 10.0 10.0	
41	铁丝网	10.0	
42	栅栏、栏杆	10.0 1.0	
43	篱　笆	1.0 10.0	
44	花　圃	1.6 1.6 10.0 10.0	
45	草　地	2.0 1.0 10.0 10.0	
46	茶　园	1.6 3.0 10.0 10.0	
47	水生经济作物地	3.0 10.0 10.0 2.0	
48	水稻田	2.0 3.0 1.0 10.0 10.0	
49	旱　地	1.0 2.0 10.0 10.0	
50	菜　地	2.0 2.0 10.0 10.0	

注　本表摘自 GB/T7929—1995《1:500、1:1000、1:2000 地形图图式》。

1. **面状符号（比例符号）**

地物按地形图比例尺缩小后仍有一定面积，在地形图上可绘出其轮廓的符号，称为面状符号，如房屋、公路、运动场等。

2. 点状符号（非比例符号）

地物按地形图比例尺缩小后面积小，而不能依比例尺表示的符号，称为点状符号，如小三角点、水准点、电杆等。它只表示地物的中心或中线的位置，不表示地物的形状和大小。

3. 线状符号（线性符号）

长度按比例表示，而宽度不按比例表示的狭长地物的符号，称为线状符号，如管线、围墙、通信线路和铁路等。它只能表示地物的实地位置和长度，不能表示宽度。

4. 注记符号

注记符号是地形图上的符号、颜色、影像相配合，表示地物的名称、意义、数量和质量属性的文字注记和数字注记的统称。如地名、控制点名称、高程、房屋结构、河水流向等。

二、地物的测绘要领

地面上的地物虽千差万别，归纳起来都是由点、线、面组成的，其中点是基本的元素，决定地物图形的主要是地物形状的转折点、交叉点、曲线上的变换点和独立地物的中心点等，这些点称为地物特征点，确定地物形状的特征点称为地物点。因此，各种地物的测绘要领，实质上就是如何测定地物点的平面位置和高程。现把常见地物的测绘要领分述于下。

1. 居民地和独立地物的测绘

居民地内的独立房屋和排列杂乱的房屋一般需测三个房角点，才能准确地测出其位置。对于外廓凹凸转折多的房屋，在图上大于 0.4mm 时，要表示出来，简易建筑物凹凸小于图上 0.6mm 时可以用直线连接起来。也可将主要的凹凸点测绘出来，其它角点可用皮尺量取尺寸，如实测出。房屋的外轮廓以墙基为准。

对于底部立尺不通视或不能到达的独立地物，如水塔、烟囱等，可在圆周上测定三个点，画出这三点的外接圆，即可绘出它的形状。如条件允许时，也可在实地先测出圆心位置，量出半径，然后在图上绘出形状。

2. 道路的测绘

道路包括铁路、公路、大车路、乡村路及小路等。各种道路均属线状地物，除交叉路口外，都是直线和曲线组成。所以，曲线与直线的连接点和曲线的变换点均为特征点。测绘时，对于规则（大约等宽）路面，可把尺子立在路的一侧，再量出路宽，绘出路的另一侧。若不能在图上表示路宽（如小路），就把尺子立在路的中心线上，然后用规定的符号绘出。小路弯曲较多时，应根据情况进行取舍，原则上取舍后的小路位置与实际位置的距离不应大于图上 0.4mm。应当注意：从平面上看形状是直线的道路，但在竖向上坡度有变化时，也应在坡度变换点立尺。

3. 水系的测绘

水系包括河流、湖泊、水库、池塘、沟渠等。测绘时要正确反映水系类型、形态分布等情况。要测出河岸线和水涯线（水面与陆地接触的界线）。对水深大于 1m 或水面宽度大于 5m 的河流，图上相距 10～15m 应测注水位点一个，并注明施测日期。

农田的排灌渠网，测绘时应注意排灌渠网的系统性和连贯性。井、泉等独立水源，应

测出其中心位置，并适当地测注高程点。

4. 植被的测绘

植被包括各种树林、苗圃、稻田、旱地、菜地、经济作物、草地和竹林等。测绘时要先测出外轮廓点，然后用地类界符号绘出其范围，界内描绘植被符号和注记植被种类。若地类界与道路、河流、田坎、垣栅等线状地物重合时，则省略不绘。

应当指出：凡面积在图上大于 $1cm^2$，且有经济价值的土质植被，需用地类界绘出范围。农作物或经济作物地以及水生植物地等，只有比较固定的才用作物符号表示。对经常轮换种植作物的地块可只按水田或旱地区分表示。

5. 线路的测绘

线路包括高、低压送电线路和通信线路等。要测出各线路上的电杆或杆塔的位置，同一线路上的电杆之间要连线，并根据高、低压线路和通信线路的种类，按图式规定的符号绘制。当同一杆上架有多种线路时，应表示其主要线路。线路与道路、河流相交时不能中断。沿铁路、公路并行的送电、通信线路和城区内的送电、通信线路，在图上可不连线，但应在杆架处绘出连线的方向。

应当指出：地形图上的地物，应随测随绘。当测区地物过于繁杂时，测绘过程中可进行适当取舍。但要注意保留与水利工程建设有关的地物和方位物，并能反映出该地区的地理特征。重要地物的名称都应调查注记。

第三节　地 貌 的 测 绘

地貌有平地（地面倾斜角 $\alpha<2°$）、丘陵地（$\alpha=2°\sim6°$）、山地（$\alpha=6°\sim25°$）和高山地（$\alpha>25°$）。地貌主要用等高线表示。

一、等高线

（一）等高线、等高距和等高线平距

1. 等高线

等高线是指地形图上地面高程相等的各相邻点连成的闭合曲线。

如图 10－4 所示，设想水库中有一小山，开始时水面高程为 100m，则水面与小山交线的高程即为 100m，将这条交线各点沿铅垂线方向投影到水平面上，再按比例尺缩小绘制在地形图上，就得高程为 100m 的等高线。依此类推，可得出高程不同的等高线。

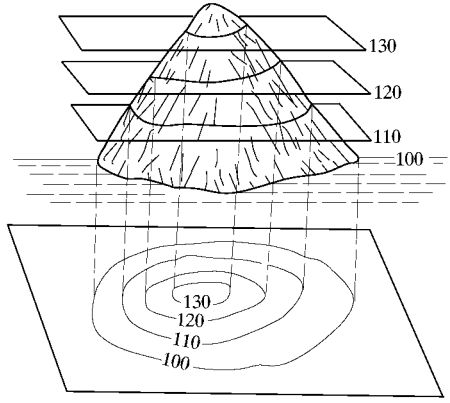


图 10－4　用等高线表示地貌

2. 等高距（基本等高距）

等高距是指地形图上两相邻首曲线间的高差。图 10－4 中的等高距 h 为 10m。在同一幅地形图上，等高距应该是相同的。测图时，所采用的等高距愈小表示的地貌愈详细，但测图工作量大，有时造成图面不清晰。等高距愈大，测图工作量愈小，但地貌有时表示不出来。因此，测图时选择等高距应依据测图比

例尺的大小和测区地貌情况综合考虑而定。几种常用比例尺地形图的等高距如表 10－2 所示。

表 10－2　　常用比例尺地形图的等高距　　单位：m

比例尺 / 地形类别	1:500	1:1000	1:2000	1:5000
平地	0.5	0.5	0.5 或 1.0	0.5 或 1.0
丘陵地	0.5	0.5 或 1.0	1.0	1.0 或 2.0
山地	0.5 或 1.0	1.0	1.0 或 2.0	2.0 或 5.0
高山地	1.0	1.0	2.0	5.0

3. 等高线平距（简称平距）

等高线平距是指地形图上相邻两条首曲线间的水平距离。平距愈小，等高线愈密，地面愈陡；平距大，等高线稀疏，地面平缓。

（二）等高线的种类

等高线常用的有：首曲线、计曲线和间曲线三种，如图 10－5 所示。

1. 首曲线

首曲线是按基本等高距绘出的等高线，亦称基本等高线，如图 10－5（a）所示。其高程必须是等高距的整倍数。

2. 计曲线

为便于阅读和计算，从高程为 0m 起算，每隔 4 条首曲线加粗一条等高线，称为计曲线，亦称加粗等高线，见图 10－5（b）。计曲线的高程一定会被 5h（等高距）整除。如：h＝1m，则计曲线的高程分别为 0m、5m、10m、15m、…。

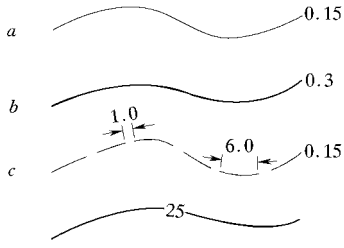


图 10－5　等高线种类

3. 间曲线

当用基本等高线不能显示出微地貌特征时，用 1/2 基本等高距描绘的等高线，见图 10－5（c）。

（三）典型地貌的等高线

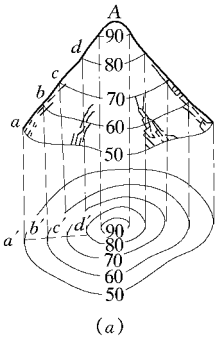
地貌虽然变化繁杂，但都是由山丘、洼地、山脊、山谷、鞍部和悬崖等几种典型地貌组成的。

1. 山丘和洼地

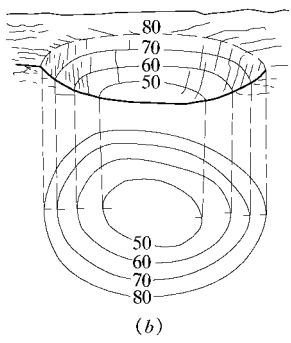
四周低下而中部隆起的地貌称为山，高而大的称为山峰，矮而小的称为山丘。山的最高部分称为山顶，山的侧面称为山坡，山坡与平地相连之处称为山脚。四周高而中间低的地貌称为盆地，面积小者称为洼地。图 10－6 为山丘和洼地的等高线。

2. 山脊与山谷

山脊是山体延伸的最高棱线，山脊上最高点的连线称山脊线（分水线）。山谷是山体延伸的最低棱线，山谷内最低点的连线称山谷线（集水线）。图 10－7 为山脊和山谷的等高线。山脊的等高线为一组凸向低处的曲线。山谷的等高线为一组凸向高处的曲线。

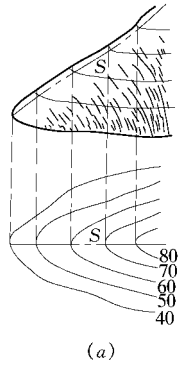


(a)

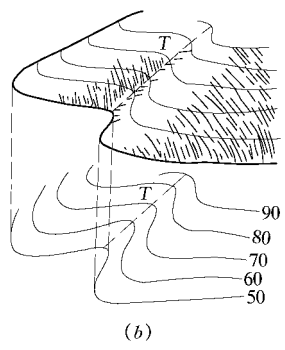


(b)

图 10－6　山丘和洼地的等高线



(a)



(b)

图 10－7　山脊与山谷的等高线

3．**鞍部**

山脊上相邻两山顶间形如马鞍状的低凹部位称为鞍部。

图 10－8 为一组鞍部的等高线，两侧拱凸相对，形如两组双曲线簇。

4．**悬崖**

峭壁的上部向前突出，中间凹进去的地貌称为悬崖。如图 10－9 所示，悬崖突出部位的等高线与凹进部位的等高线彼此相交，而凹进部位用虚线勾绘。

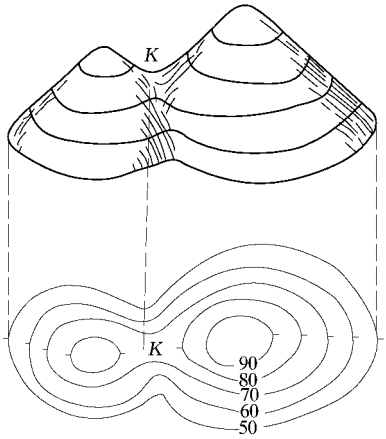


图 10－8　鞍部的等高线

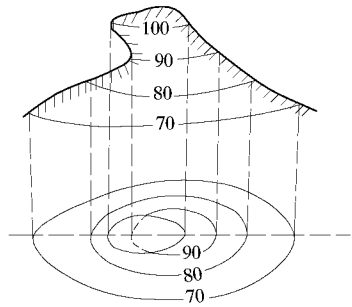


图 10－9　悬崖的等高线

（四）等高线的特性

（1）同一条等高线上各点的高程相等。

（2）等高线是一条闭合曲线，不在图幅内闭合必在图幅外闭合。在崩崖、滑坡和陡崖处，为了图面清晰，需要将等高线断开，如图 10－10 所示。

（3）除陡崖、悬崖外，不同高程的等高线在图上不能重合或相交。

（4）等高线与山脊线、山谷线成正交。

（5）等高线的疏密（即平距的大小）表示地面坡度的缓陡。等高线的平距相等，表示地面坡度相同，斜平面上的等高线是一组等距的平行直线。

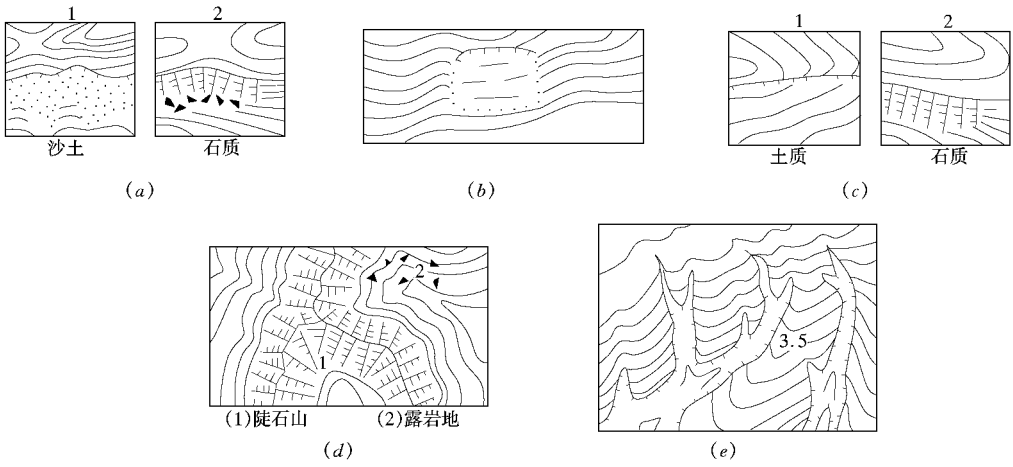


图 10－10　特殊地貌表示法

（五）不用等高线表示的几种特殊地貌

1. **崩崖**

崩崖是指沙土或石质的山坡受风化作用，碎屑向山坡崩落的地段，见图 10－10（a）。

2. **滑坡**

滑坡指斜坡表层受雨水或地下水的影响，在重力作用下，沿山坡下滑的地段，见图 10－10（b）。

3. **陡崖**

陡崖指形态壁立，有明显上棱线，坡度大于 70°，**难于攀登的陡峭崖壁，见图** 10－10(c)。

4. **陡石山、露岩地**

陡石山是岩石裸露，很少有土壤覆盖的陡峻山体。露岩地是指岩石露出地面的地段，用等高线配合石块符号表示，见图 10－10（d）。

5. **冲沟**

冲沟指地面长期被雨水急流冲蚀逐渐深化而形成的大小沟壑，见图 10－10（e）。

6. **坡**

坡是指各种天然和人工修筑的坡度在 70°**以下的坡面地段，见图** 10－11（a）。**斜坡在图上投影宽度小于** 2mm **时，以陡坎符号表示。**

7. **坎**

坎是指各种天然形成或人工修筑的坡度在 70°**以上的陡峻地段，见图** 10－11（b）。

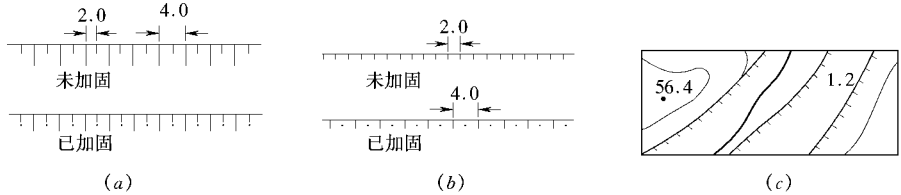


图 10－11　坡、坎、梯田表示法

8. **梯田坎**

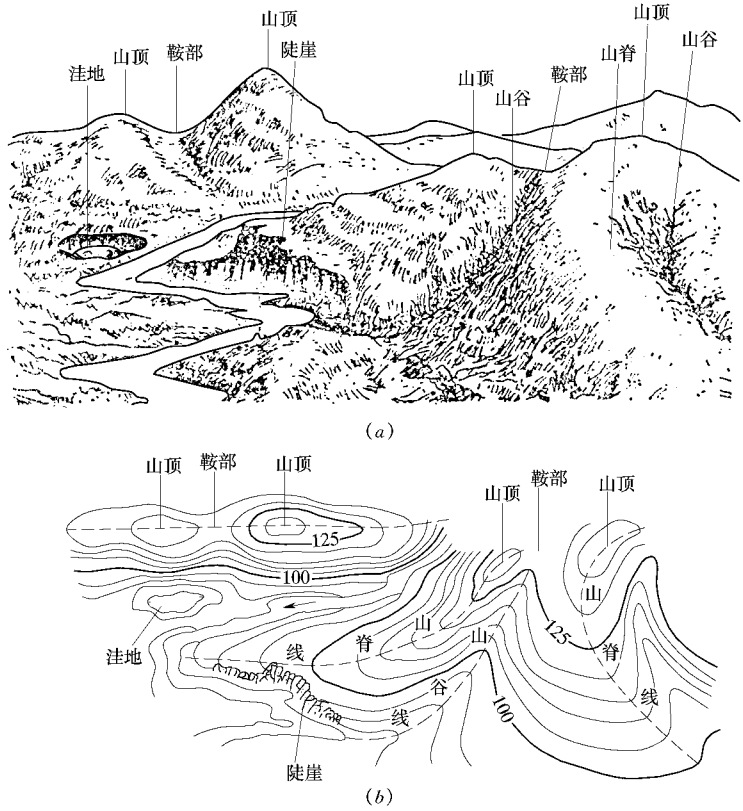
梯田坎是指依山坡、谷地和平丘地由人工修成的阶梯式农田的陡坎，符号表示见图 10－11（*c*）。

应当指出：山洞、溶洞、独立石、石堆、石垄、土堆、坑穴和乱掘地等都是不用等高线表示的特殊地貌。

二、地貌的测绘要领

地貌是用等高线配合地貌符号和高程注记点表示。

山区和丘陵区的实际地表，绝大部分为各种典型地貌组合而成的综合性地貌，见图 10－12。



（*a*）

（*b*）

图 10－12　**综合地貌及等高线**

测绘综合性地貌时，就要认真仔细分析各地性线（表示地形坡面变化的特征线，如山脊线、山谷线、山脚线等）间的相互关系，综合取舍，选择和测定合理的地貌特征点（山顶点、盆底点、鞍部最低点、坡度变换点、山谷的起始点、山谷交点及谷口点、山脊线的分岔点与转折点、陡崖与陡坎的上下边缘转折点和山脚线转折点等），然后连接地性线，再按等高线的特性，对照实地地貌，勾绘等高线。

测绘地貌时立尺可采用：沿地性线立尺、沿等高线立尺和双尺分层立尺等。

前已述及，对于不用等高线表示的特殊地貌按图式规定绘制，对于测图比例尺为 1：

500～1∶2000 的比高（指由所在地面起算的地貌与地物的高度）在 0.5m 以上的应测注。

第四节　经纬仪和全站仪测图

一、经纬仪测图

经纬仪测图就是采用经纬仪测角和视距或测距仪测距，在图板上展点以测绘地形图的工作（图 10－13）。现把施测方法和注意事项分述如下。

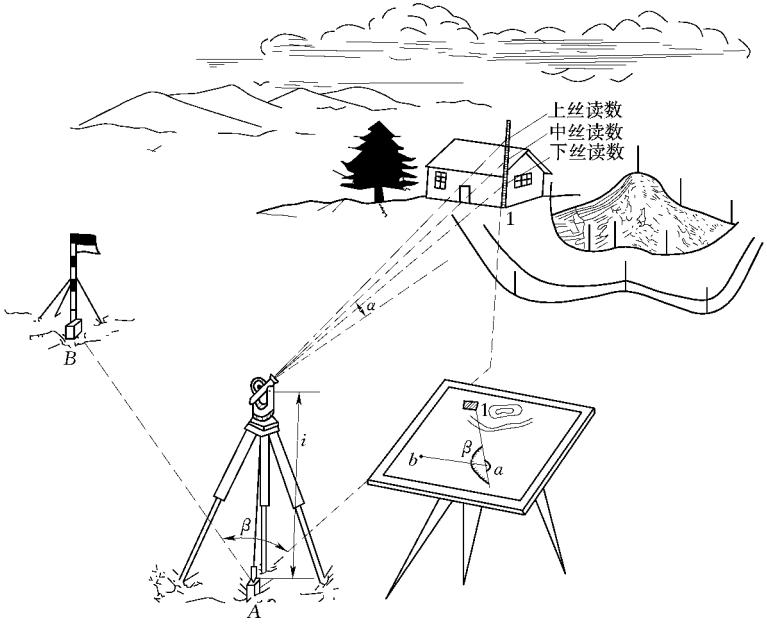


图 10－13　经纬仪测图

（一）施测方法

（1）将经纬仪安置在测站 A 点，对中整平，量仪器高 i（量至 cm）。

（2）盘左，照准（后视）另一控制点 B，把水平度盘置 0°00′00″。

（3）转动照准部照准房角点（地形点）1 上的水准尺，读出视距、中丝（读至 cm）、水平度盘和竖盘（均读至 01′）的读数，并记入地形测图手簿中（表 10－3）。

表 10－3　　地形测图记录手簿

日期　　测站 A　　高程 245.21m　　仪器高 1.45m　　后视方向 B

观测者　　记录者　　检查者

点号	地物名称	水平角（° ′）	视距（m）	中丝读数（m）	竖盘读数（° ′）	垂直角（° ′）	平距（m）	高程（m）	备　注
1	房角	150　25	38.0	1.45	93　28	－3　28	37.9	242.92	办公楼
2	挡墙	135　50	51.4	1.45	78　26	12　34	49.0	256.13	
3	电杆	204　30	37.5	2.45	93　00	－3　00	37.4	242.25	

（4）利用计算器计算测站至地形点（被测定高程和位置的点）的平距 $D = Kl\cos^2\alpha$（取至 0.1m）和高差 $h = D\mathrm{tg}\alpha + i - v$（取至 0.01m），并计算地形点的高程 $H_i = H_{测站} + h_i$（取至 0.01m）。

（5）用量角器（半圆仪）和三棱尺将地形点的位置展绘在图纸上，并注以高程，一般注在点的右方或左方，数字一般注 0.1m，如·162.2；也可用地形点的点位兼作高程数字的小数点，如 162·2。对 1∶500、1∶1000 地形图可根据需要注至 0.01m。

应当指出：高程注记点应选在地形特征点或明显地物点上，并注意分布均匀。图上每 $100cm^2$ 高程注记点的数量在平地、丘陵地宜为 10～20 点；山地、高山地宜为 8～15 点。

展点用的量角器如图 10－14 所示。直径长约 25cm，圆心有一小孔，半圆直径上有 mm 刻划，每 1cm 一个注字，圆心为零。半圆两边的直尺注字分别为红黑两种颜色。在量角器的圆周长上，以每隔 20′或 30′的圆心角所对应的弧长为一个刻划，其注记有两排都为反时针注字，外圈为 0°～180°，内圈为 180°～360°，内外两排注字也分别为红黑两种颜色。展点时，绘图员在每个测站上应面向北方，使图纸的方位与实地相对应，便于绘图对照。将小针穿过量角器的小孔后，再垂直插在测站（图 10－13 中的 a）上。

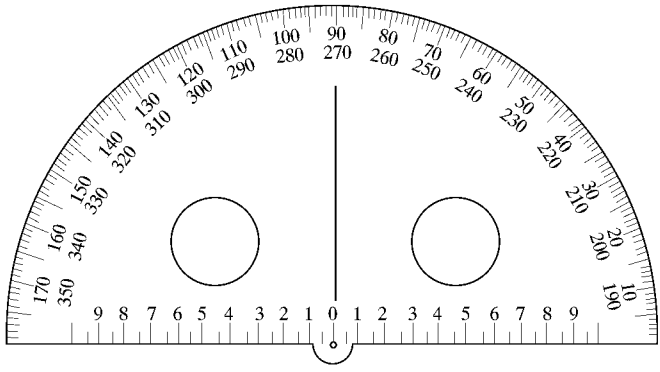


图 10－14　量角器

量角器可以转动，将量角器上等于水平角的分划线对准后视方向线（图 10－13 的 ab），这时量角器上的零分划线便是所测地形点 1 的方向。在此方向上，从量角器圆心零刻划开始，按比例尺截取水平距离，即得地形点 1 在图上的点位。在截取水平距离时要注意方向，如果对准后视方向的水平角度数系黑色数字注记，则应在直尺边黑色数字注记部分截取平距；水平角度数系红色数字，则应在直尺边红色数字注记部分截取平距。

（6）参照现场地形实际情况，在图上勾绘地物轮廓线与等高线。

（二）注意事项

（1）在地形测图施测现场，观测员与立尺员应先在测站上研究需要立尺的位置和跑尺方案，密切配合。

（2）仪器对中偏差不大于图上 0.05mm。

（3）每个测站应测定 2～3 个地形点或地物重合点进行检查。

（4）每测 20～30 个地形点后，应重新照准后视点，检查水平度盘是否为0°00′00″，不得超过 4′。

（5）地形点最大视距、间距规定如表 10－4 所示。

表 10－4　　地形点最大视距、间距规定

测图比例 R	最大视距（m）	地形点间距（图上 cm）
1∶500	60	1～3
1∶1000	120	1～2
1∶2000	200	1～2
1∶5000	300	1～1.5

二、全站仪测图

目前全站仪测图采集数据的方式有全站仪坐标法和全站仪配合电子平板（或电子手簿）采集数据。

（一）坐标法采集数据

全站仪坐标法采集数据是用带有内存数据功能的全站仪现场直接储存观测数据，测量人员绘制草图并记录下与观测顺序一致的测量点号，回到室内通过计算机完成属性、连接关系、线型等编辑处理。这里全站仪存储的数据可以是水平角 β、天顶距 Z（垂直角）和斜距 S 等原始数据，也可以是经过全站仪内部处理的 X、Y、Z 坐标值。根据需要可以分别采用极坐标法或直角坐标法展点。

（二）电子平板采集数据

全站仪通过电子平板（便携式计算机）配合相应的测图软件现场可以直接计算出点位的坐标，通过电子平板展点绘图。

（三）全站仪碎部测量的操作举例（以电子手簿为例）

（1）在测站上安置仪器，对中、整平，量取仪器高，将电池分别装入主机和电子手簿内。

（2）用电缆将仪器与电子手簿连接起来，并将软件设置为地形测量工作状态。

（3）照准起始方向，由仪器的键盘将水平度盘读数配置为起始方向的方位角数据，并将测站的三维坐标由键盘上输入。

（4）电子手簿初始化。

（5）将棱镜立于待测点上，根据软件菜单提示，输入地形点的相应信息，包括点号、点的属性、连接关系等。

（6）照准棱镜，按测距键。

（7）电子手簿测满后，就可将其带回室内与专用计算机及自动绘图机连接，实现自动绘图。

第五节　地 形 图 的 绘 制

地形图的绘制包括：地物描绘、地貌描绘（等高线勾绘）、地形图的拼接、检查与整饰，现分述于下。

一、地物描绘

地物要按地形图图式规定的符号表示，如房屋，按其轮廓用直线连接；而河流、道路的弯曲部分，则用圆滑的曲线连接；对于不能按比例描绘的地物，应按相应的点状、线状符号表示，其符号中心位置与实际地物的位置关系如下。

（1）规则几何图形符号，如小三角点、不埋石图根点、水准点、钻孔等，以符号的几何中心为地物的中心位置。

（2）宽底符号，基部轮廓在图上不超过符号尺寸的，以符号底线中点为地物的中心位置。若超过符号尺寸的，实测基部轮廓，并在轮廓线内绘上相应图式符号，如表 10－1 中的烟囱、水塔等。

（3）底部为直角的符号，如加油站等，以符号底部直角顶点为地物的中心位置。

（4）几何图形组合符号，如路灯、旗杆等。以符号下方图形的几何中心为地物的中心位置。

（5）线状地物的符号，如铁路，以符号的中心线为地物的中心位置。

应当指出：所有地物符号均应垂直南图廓，地物名称应注在明显的适当位置，字头朝北。

二、地貌描绘——等高线勾绘

在地形图上测得一定数量的地貌特征点，并连接地性线后确定等高线通过位置，对照实地地貌，进行等高线的勾绘。现将在地形图上确定两碎部点间等高线通过位置的方法介绍如下。

1. 解析法

地貌特征点是地表坡度的变化点，这样相邻两地貌点间的坡度可视为均匀的，可用内插法确定同一坡度的两相邻地貌点间等高线通过的位置。

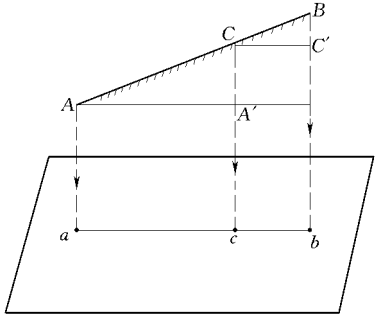


图 10－15　解析法勾绘等高线

图 10－15 中，A、B 为一斜坡，其高程分别为 100.0m、101.5m。设基本等高距为 1m。根据基本等高线的高程为等高距的整倍数的规定，在 A、B 两地貌点间必有一条高程为 101m 的等高线通过。设它的地面位置为 C 点，从该图中可得出

$$\frac{AA'}{CC'} = \frac{H_C - H_A}{H_B - H_C} = \frac{h_{AC}}{h_{CB}}$$

由此可以说明：平距与高差是成正比例的。

为在地形图上求出 c 点的位置，应先求出地形图上 1m（101m－100m＝1m）的高差所对应的平距 $d = \dfrac{ab}{H_B - H_A}$，设用直尺量得 $ab = 30\text{mm}$，则

$$d = \frac{30}{101.5 - 100.0} = 20\ \text{mm}$$

自 a 沿 ab 直线量取 20mm，即得高程为 101m 等高线的通过点 c。

解析法求等高线的位置比较精确，但比较麻烦。

2. 目估法

目估法是依据上述内插原理，用目估确定图上两地貌点间等高线通过的位置。其要领是“取头、定尾、等分中间”。

如图 10－16 所示，C、D 的高程分别为 92.8m 和 98.6m，设等高距为 1m，则 C、D

两地貌点间共有 93m、94m、95m、96m、97m 和 98m 的等高线通过。为了用目估法确定等高线通过的位置，首先算出两地貌特征点间的高差为 5.8m，再按比例将 CD 线目估分成 5.8 份，每份高差为 1m。在 C、D 两端各画出一份的长度，用虚线表示。然后，由 C 点目估出 0.2 份，定出 93m 的等高线的通过点，称为“取头”；再由 D 点目估出 0.6 份，定出 98m 的等高线的通过点，称为“定尾”。最后在 93m 和 98m 两等高线间取 5 等份（等分中间），即得出 94m、95m、96m 和 97m 等中间等高线的通过点。

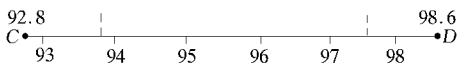


图 10－16　目估法

把高程相等的通过点用光滑的曲线连接起来，即绘出等高线（图 10－17）。

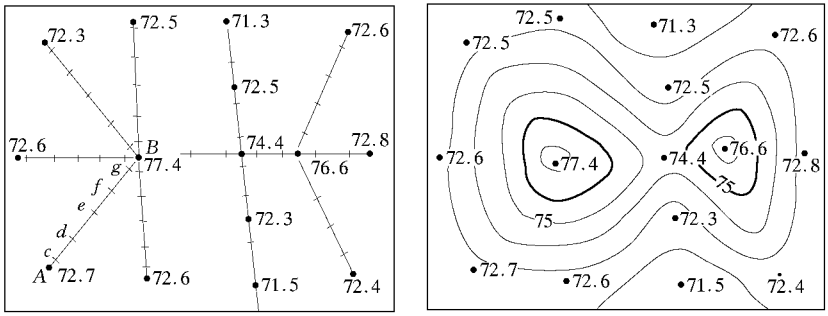


图 10－17　等高线的勾绘

应当指出：白纸测图时，一般不允许在室内勾绘等高线。等高线不能通过注记和地物，只有计曲线才加高程注记，注记处等高线应断开，字头朝向高处。独立地物的高程即为定位点的高程。

三、地形图的拼接

在相邻图幅的连接处，由于测量误差和绘图误差，无论是地物轮廓线还是等高线，一般都不会完全吻合，图 10－18 表示上下图幅在边界处的衔接情况，对于相接图边要注意检查相应的地物和等高线的错位大小，注记名称是否相同，地物有无遗漏，取舍是否相同，地形总貌是否吻合等。地物地貌接边误差，应不大于表 10－5 中规定的中误差的 $2\sqrt{2}$ 倍。如平地地物点的位置中误差为图上 ± 0.6mm，则其接边误差就不能大于 1.7mm。若等高距为 1m，则平地等高线的接连误差就不能大于 0.94m。如果在拼接误差容许范围内，则可以取平均位置加以修正。

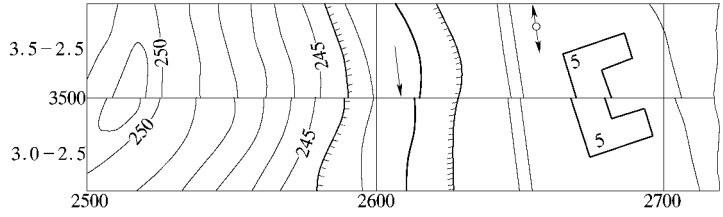


图 10－18　地形图拼接

表 10－5　　地形图地物点平面位置和等高线中误差

地形类别	地物点平面位置中误差（图上 mm）		等高线高程中误差（h 为等高距，m）	地形类别	地物点平面位置中误差（图上 mm）		等高线高程中误差（h 为等高距，m）
	1∶500～1∶2000	1∶5000～1∶10000			1∶500～1∶2000	1∶5000～1∶10000	
平　地	±0.6	±0.5	$\pm\frac{1}{3}h$	山　地	±0.8	±0.75	$\pm\frac{2}{3}h$
丘陵地	±0.6	±0.5	$\pm\frac{1}{2}h$	高山地	±0.8	±0.75	$\pm 1h$

为保证相邻图幅的拼接，每幅图的接边处一般应测出图廓外 5mm 左右。

四、地形图的检查

在地形测图中，测量人员应做到随测随检查。为了确保成图的质量，在测图完成后，作业人员和作业小组必须对完成的成图资料进行严格的自检和互验，确认无误后方可上交。图的检查分为室内检查和外业检查。

1. 室内检查

室内检查包括：手簿中各项目填写是否齐全，有无错误，控制点数量是否合乎要求；控制测量和地形测图的误差是否在限差之内，地物地貌是否清晰易读；等高线与地貌特征点的高程是否相符；各种注记符号是否正确；图边拼接有无问题等。如发现问题应做出记号，以便到实地检查修正。

2. 外业检查

（1）巡视检查。根据室内检查发现的问题应将图纸与实地对照，巡视地物、地貌有无遗漏，用等高线表示的地貌是否真实，各种符号和注记是否完全正确等，如有错误，应现场修正。

（2）仪器检查。根据室内检查及巡视检查中发现的问题，在测区现场选择测站设站检查，并加以修正。同时，为确保成图质量，对每幅图还要随机抽取一部分（约 1/10）的测站设站检查，对已有图根点及主要地物点和地貌进行重测，如发现错误，应当场修正。

五、地形图的整饰

原图经过拼接和检查后，还需进行整饰和清绘。首先应擦掉图上不必要的线条、数字和符号。严格按 GB/T7929－1995 从 1∶500，1∶1000，1∶2000 地形图图式的规定进行整饰，见图 10－19。

绘制内图廓（是图幅面积和坐标的实际控制线）和外图廓（仅起图幅外框的作用），外图廓线粗 0.5mm，距内图廓线 12mm。

描绘坐标网线，图上每隔 10cm 展绘一坐标网线交叉点（1cm×1cm 交叉），内图廓线上坐标网线在图廓内侧绘 5mm 的短线，根据需要也可连通描绘。

在北图廓线中间标注图名；在图廓西北角绘出图幅结合表（可采用图名或图号任取一种注出）；在南图廓线中间标注比例尺；在图廓西南角上标注测图日期和方法、坐标系统、高程系统和图式；在图廓东南角标注测量员、绘图员和检查员。

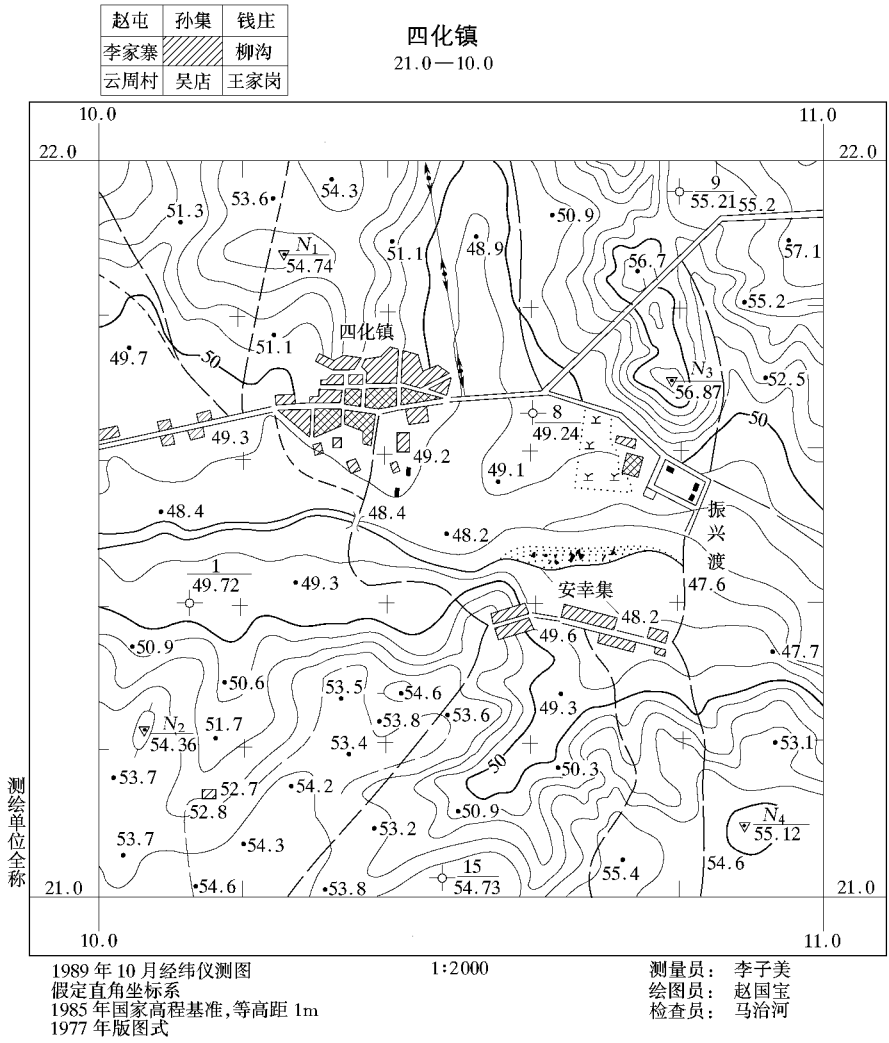


图 10－19　地形图整饰示例

* 第六节　数字化测图简介

数字化测图是近几年随着电子计算机、地面测量仪器、数字测图软件和 GIS 技术的应用而迅速发展起来的全新内容，广泛用于测绘生产、土地管理、城市规划等部门。数字化测图技术出现，促进了测绘行业的自动化、现代化，使测量的成果不仅有绘在纸上的地形图，还有方便传输、处理、共享的数字信息，即数字地形图。

一、数字测图的概念和特点

数字化测图是以计算机为核心，在外连输入输出设备硬件、软件的条件下，通过计算机对地理空间数据进行数字化处理，得到数字地图。

1. 数字化测图的基本原理

传统的地形测图（白纸测图）是将测得的观测值用图解的方法转化为图形，另外白纸测图一纸难载诸多图形信息，变更修改也极不方便，实在难以适应当前经济建设的需要。数字化测图可将大量的手工操作转化为计算机控制下的机械操作，将采集的各种有关的地物和地貌信息转化为数字形式，通过数据接口传输给计算机进行处理，得到内容丰富的电子地图，不仅减轻了劳动强度，而且不会损失应有的观测精度，需要时由计算机的图形输出设备（如显示器、绘图仪）绘出地形图或各种专题图。

2. 数字化测图的特点

数字化测图的主要特点是实时性和动态性，此外还有以下特点。

（1）点位精度高。数字化测图若距离在 300m 以内时测定地物点误差约为 ±15mm，测定地形点高程误差约为 ±18mm。全站仪的测量数据作为电子信息可以自动传输、记录、存储、处理和成图。在这全过程中原始测量数据的精度毫无损失，从而获得高精度（与仪器测量同精度）的测量成果。

（2）改进了作业方式。数字测图使野外测量达到自动记录、自动解算处理、自动成图，并且提供了方便使用的数字地图软盘。具有自动化的程度高，出错（读错、记错、展错）的概率小，自动提取坐标、距离、方位和面积等。

（3）便于图件的更新。采用地面数字测图能克服大比例尺白纸测图连续更新的困难，只需输入有关的信息，经过数据处理就能方便地做到更新和修改，保持图面整体的可靠性和现势性。

（4）增加了地图的表现力。计算机与显示器、绘图机联机时，可以绘制各种比例尺的地形图，也可以分层输出各类专题地图，满足不同用户的需要。

（5）方便成果的深加工利用。测量成果是分层存放，不受图面负载量的限制，从而便于成果的加工利用。通过图层的管理得到所需的各类专题图，如管线图、水系图、道路图和房屋图等。还能综合相关的内容补充加工成城市规划图、城市建设图、房地产图和进行 CAD 工程设计。

（6）可作为 GIS 的重要信息源。要建立起地理信息系统，数据采集的工作是重要的一环。数字化测图作为 GIS 的信息源，能及时准确地提供各类基础数据更新 GIS 的数据库，保证地理信息的可靠性和现势性，为 GIS 的辅助决策和空间分析发挥作用。

二、数字化测图的作业过程

数字化测图由于数据的来源不同，采集的仪器和方法也不同，主要有以下几类作业过程，见图 10－20 数字化测图框图。这里重点介绍大比例尺地面数字测图。

大比例尺地面数字测图一般经过数据采集、数据编码、数据处理和数控绘图几个阶段。数据采集和数据编码是计算机绘图的基础，其主要在外业期间完成。内业进行数据的图形处理，在人机交互方式下进行图形编辑，生成绘图文件，由数控绘图仪绘制大比例尺地图。

1. 外业数据采集编码

经纬仪测图的地形原图基本在外业完成，而地面数字测图的外业采用全站仪或半站仪进行实地测量，将采集的数据传输到电子手簿（磁卡）或便携机内记录，每一个点的记录

通常有点号、观测值或坐标，除此以外还有与地图符号有关的符号码以及点之间的连接关系码。这些信息以数字代码表示，通过计算机识别信息自动绘制符号。

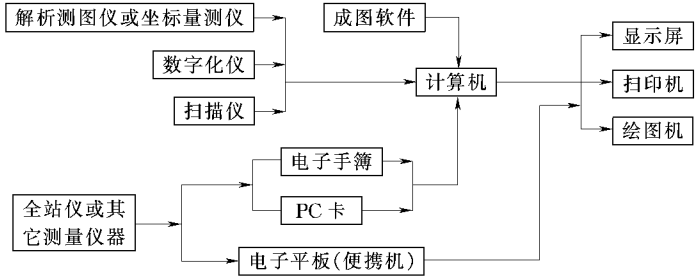


图 10-20　数字化测图框图

地面数字测图一般不必按常规的测量方法逐级发展控制点，对于图根测量还可以采用地形测图与图根加密同时进行，即在记录观测点坐标的情况下，也可在未知坐标的测站点上设站，利用电子手簿测站点的坐标计算功能，观测计算测站点的坐标后，即可进行碎部测量。例如采用自由设站的方法，通过对几个已知点进行方向和距离的观测，就可计算测站点的精确坐标。

2. 数据处理

数据处理分为数据的预处理、地物点的图形处理和地貌点的等高线处理。删除已作废标记的记录和删除与图形生成无关的记录，补充碎部点的坐标计算和修改有错误的信息码。数据的预处理后生成点文件。点文件以点为单元，记录内容是点号、符号码、点之间的连接关系码和点的坐标。

根据点文件形成图块文件，将与地物有关的点记录生成地物图块文件，与等高线有关的点记录生成等高线图块文件。地物图块文件的每一条记录以绘制地物符号为单元，其记录内容是地物符号代码，按连接顺序排列的地物点点号或者是点的 x、y 坐标值，以及点之间的连接线型（直线、圆弧和曲线）码。等高线处理是将表示地貌的离散点在考虑地性线、断裂线的条件下自动连接成三角形网，三角形的顶点是通过测量的地形点。在三角形边上用线性内插法计算等高线通过点的平面位置。然后搜索同一条等高线上的点，用曲线顺序连接起来形成每一条等高线的图块记录。

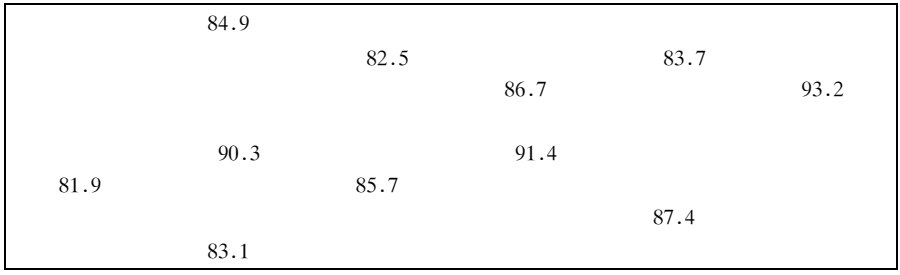
图块文件生成后可进行人机交互方式下的地图编辑。由于计算机屏幕上显示的一幅完整的地图图形受到屏幕幅面大小的限制，因此需要将编辑的图形放大，显示在屏幕上，分块进行编辑。编辑过程中，删除错误的图形和不需要表示的图形，修正不合理的符号，增添植被、土壤等填充符号以及进行文字注记图廓整饰。必要时要通过外业复查修改发现的问题。

3. 测量成果的输出

人机交互编辑形成的图形文件，可以用磁盘储存和通过自动绘图仪绘制各类地图。绘图过程中，计算机的数据处理和图形的屏幕处理基本相同。但由于绘图仪有它本身的坐标系和绘图单位，因此需将图形文件中的测量坐标转换成绘图仪的坐标。打印机是测量成果报表的输出设备，可以打印精度低的工作图，用于核对检查。

习题与思考题

1. 地形图的准备工作有哪些？
2. 地物符号有几种？
3. 何谓等高线、等高距和等高线平距？
4. 等高线有哪些特性？
5. 简述经纬仪测图的作业程序？
6. 地形图的绘制包括哪些工作？
7. 根据题图 10－1 已测绘的地形点用目估法勾绘等高线（等高距 1m）。
8. 数字化测图的特点是什么？



题图 10－1

第十一章　地形图在水利工程建设中的应用

测绘资料通常是指大地测量、地形测量、工程测量的数据和图件；各种地形图、地籍图、海图、专题地图及数字化的成果；地理信息系统中有关的测绘数据和软件等。

地形图是水利工程规划设计和施工管理的重要资料，是确定点位和计算工程量的主要依据。各种比例尺的地形图是必备的重要资料，用图时，必须掌握地形图的图式、比例尺、等高距、坐标系统、高程系统、图的分幅和图的编号等，才能充分利用地形图及有关测绘资料，进行水利工程合理的规划设计与施工。

本章介绍地形图的有关数学要素，重点介绍大比例尺地形图的应用。

第一节　地形图的分幅和编号

一、高斯投影的概念

我们知道：在广大地区进行测图时，须以参考椭球面作为基准面。但参考椭球面是一个曲面，不可能直接展成平面，必须采用适当的方法将椭球面上的图形投影到平面上。投影的方法很多，我国的基本地形图采用高斯—克吕格投影。

高斯投影需先分带，即自 0°子午线起每隔经差 6°或 3°将参考椭球面划分成一些瓜瓣形地带，各带分别投影。投影时，设想将截面为椭圆的一个圆柱面横套在参考椭球体的外面，使横圆柱面与投影带的中央子午线相切，如图 11－1（a）所示；再按一定的数学法则将该带形状投影到横圆柱面上，然后沿过南北极横圆柱面的母线剪开展平，即得该带高斯投影的平面图形，如图 11－1（b）、（c）所示。

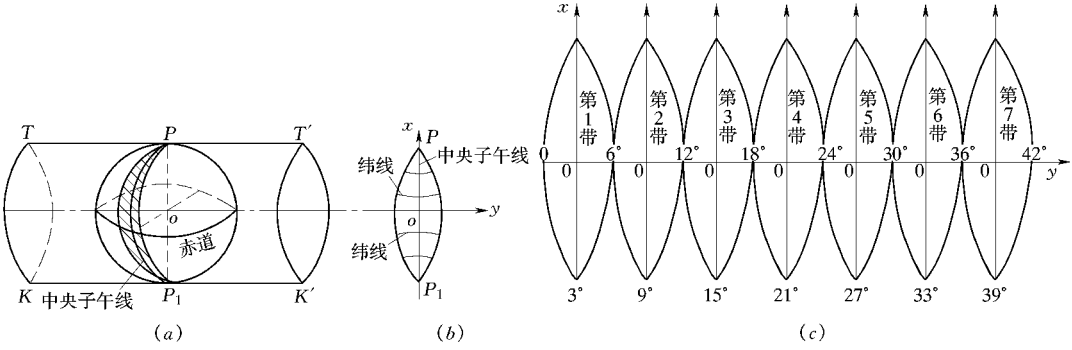


图 11－1　高斯分带投影方法及分带投影后邻接的情况

二、高斯平面直角坐标

以分带投影后的中央子午线为 x 轴，指向北；赤道为 y 轴，指向东；两轴交点为坐

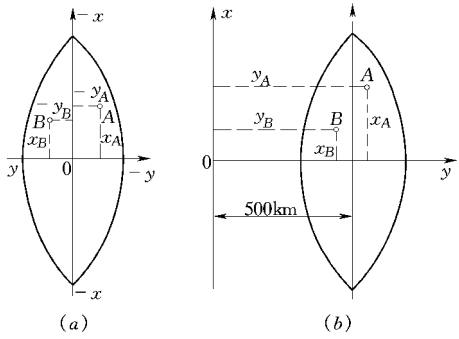


图 11－2　高斯平面直角坐标

标原点，即组成了高斯平面直角坐标系，如图 11－2（a）所示。

因为我国位于北半球，x 均为正值，y 则有正有负（在 6°带内 y 值不超过 ±340km，在 3°带内 y 值不超过 ±170km）。为使 y 均为正值以利计算，故将每带的坐标原点向西移 500km，即移至带外，如图 11－2（b）所示。同时，为了表明某点位于哪一带内，还规定在 y 值的前面冠上带号。

例如：设 A、B 两点位于中央子午线为 123° 的 6°带内，该带带号为 21，其横坐标值为 y_A = +12137.69m，y_B = －14257.38m；原点西移 500km 后，则 y_A = 512137.69m，y_B = 500000 +（－14257.38）= 485742.62m，再在前面冠上带号，变成 y_A = 21512137.69m，y_B = 21485742.62m。通常称未加 500km 和带号的横坐标值为自然值，加上 500km 和带号的横坐标值为通用值。

高斯投影各带都有自己独立的平面直角坐标系；相邻两带的坐标可以互相换算，但不能直接应用。

三、地形图的分幅和编号

为了便于测绘、存贮、检索和使用，地形图需要进行分幅（将测区的地形图划分成规定尺寸的图幅）和编号。我国基本比例尺地形图采用国际分幅法，工程部门自测自用的大比例尺地形图通常采用正方（矩）形分幅法。

（一）国际分幅法

这种分幅法是以 1∶100 万地形图为基础，按一定经差和纬差来划分图幅，每幅图都是梯形图幅。

1．1∶100 万地形图的分幅及编号

1∶100 万地形图的分幅，是从赤道分别向两极以纬差 4°为一列，每列依次用拉丁字母 A、B、C、…、V 表示，而纬度 88°为界的圆则用 Z 表示。经行是从 180°子午线起，从西向东以经差 6°为一行，依次以数字 1、2、3、…、60 表示，如图 11－3 所示。

每幅 1∶100 万地形图的编号，由该图幅所在的纬列和经行组成。如北京所在 1∶100 万地形图的图号为 J—50。

为了区别南、北半球对应图幅的图号，规定在南半球图号前加一个 S，如 J—50 是北半球的图幅编号，SJ—50 是南半球对应图幅的编号。

2．各种比例尺地形图分幅与编号

不同时期，国家基本地形图的分幅和编号方法有所不同，现将最新国家各种比例尺基本地形图的分幅和编号列于表 11－1 中。

（二）正方（矩）形分幅和编号

大比例尺地形图，是按纵横坐标线划分图幅的。常采用 40cm×40cm、40cm×50cm 和 50cm×50cm 的正方形或矩形分幅。而编号方法有以下几种。

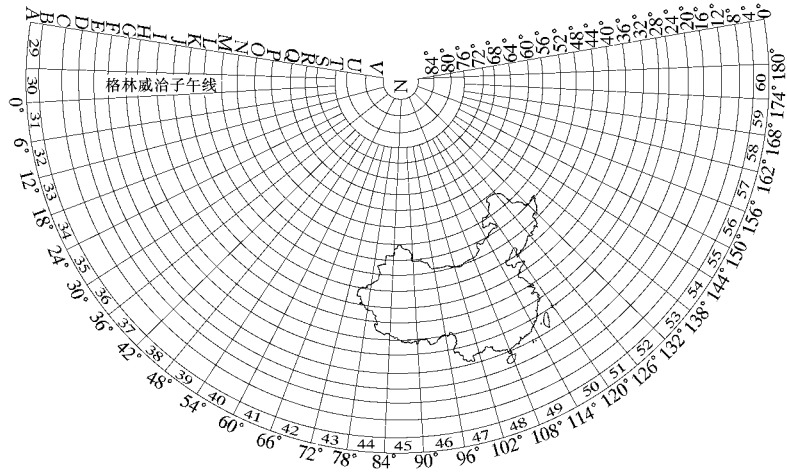


图 11－3　1:100 万地形图的分幅与编号

表 11－1　　各种比例尺地形图分幅与编号表

比例尺	图幅大小		分幅方法		编　号　方　法	
	经差	纬 差	分幅基础	分幅数	分 幅 代 号	举例 $\begin{cases}\varphi=30°54'23''\\ \lambda=116°28'15''\end{cases}$
1:100 万	6°	4°			纬列 $A\sim V$；经行 1～60	J－50
1:50 万	3°	2°	1:100 万	4	A、B、C、D	J－50－A
1:25 万	1°30′	1°		16	[1] ～ [16]	J－50－ [2]
1:10 万	30′	20′		144	1～144	K－50－5
1:5 万	15′	10′	1:10 万	4	A、B、C、D	J－50－5－B
1:2.5 万	7′30″	5′	1:5 万	4	1、2、3、4	J－50－5－B－4
1:1 万	3′45″	2′30″	1:10 万	64	(1) ～ (64)	J－50－5－ (24)
1:5000	1′52.5″	1′15″	1:1 万	4	a、b、c、d	J－50－5－ (24) －b
1:2000	37.5″	25″	1：5000	9	1～9	J－50－5－ (24) －b－4

(1) 图廓西南角坐标公里数编号法。在图名下方标注 $x-y$(图 10－19)。1:500 地形图取至 0.01km(如 10.40—21.75),1:1000、1:2000 地形图取至 0.1km(如 10.0—21.0)。

(2) 流水编号法。当测区面积小或带状测区，可按测区统一顺序进行编号，一般从左到右，从上到下用阿拉伯数字 1、2、3、…编定。

(3) 行列编号法。一般以 A、B、C、…的横行，由上到下排列，以阿拉伯数字为代号的纵列，从左到右排列编定，先行后列。如图号为 $B-3$，即第二行第三列。

为便于管理和方便使用，也可采用其它编号方法。

第二节　地形图的基本应用

一、在图上确定一点的坐标

在地形图的图框边线上，注有坐标格网的坐标值，它们是量取坐标的依据。

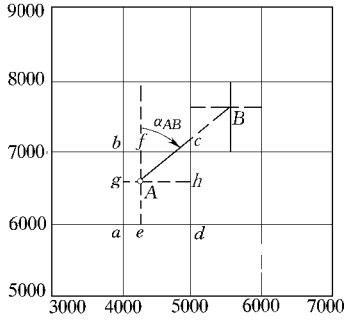


图 11－4　在地形图上确定一点的坐标

如图 11－4 所示，欲求 AB 直线两端点的坐标 x_A、y_A 及 x_B、y_B。先求 x_A、y_A。为此，过 A 点做坐标格网的平行线 ef 和 gh，然后用比例尺分别量取 $ag = 739\text{m}$，$ae = 370\text{m}$，再加上 A 点所在方格西南角 a 点的坐标值（$x_a = 6000\text{m}$，$y_a = 4000\text{m}$），即得 $x_A = 6739\text{m}$，$y_A = 4370\text{m}$。为了校核起见，同时应量取 gb 和 ed，$ag + gb$ 及 $ae + ed$ 应等于方格网的边长。

同理可求得 B 点的坐标。

由于图纸伸缩影响，从图上实际量出的方格边长往往不等于规定长度（10cm）。为了提高量测结果的精度，消减伸缩影响造成的误差，假设在图纸上量得方格 ab 边的实际长度为 $\overline{ab}$，ad 的实际长度为 $\overline{ad}$，A 点的坐标应为

$$\left.\begin{aligned} x_A &= x_a + \frac{10}{\overline{ab}}\,ag \\ y_A &= y_a + \frac{10}{\overline{ad}}\,ae \end{aligned}\right\} \qquad (11-1)$$

应当指出：在地形图上量取点的坐标，其精度只相当于该图的比例尺精度，即 $0.0001M$（m），M 为比例尺分母。

二、在图上确定直线的长度和方向

如图 11－4 所示，求直线 AB 的长度 D 和方位角 α_{AB}，有以下两种方法。

1. 直接量取法

当所量直线较短且精度要求不高时，可用直尺或两脚规量得图上长度乘以比例尺的分母确定直线的实地长度。而方位角可用量角器量取，量测前，先过直线起点作一条纵轴的平行线，当坐标方位角小于 180°时，从纵轴的北端开始用量角器沿顺时针方向量到该直线，所量得的角值即是该直线的坐标方位角；当坐标方位角大于 180°时，则从纵轴的南端开始，用量角器沿顺时针量到该直线，所量得的角加上 180°，即为该直线的坐标方位角。

2. 坐标反算法

当所量线段很长，甚至跨越图幅；或者要求量测结果的精度较高时，可以先分别量出直线两端点的坐标，再按坐标反算公式算出边长和方位角。

三、在图上确定点的高程

地形图上某点的高程可以根据等高线来确定。凡是位于等高线上的点，其高程等于等高线所注的高程；不在等高线上的点，其高程须根据等高线按内插法来确定。如图 11－5 所示，某点 B 位于 60m 与 61m 两等高线之间，欲求 B 点高程，过 B 点作这相邻两条等高线的垂直（最短）线段 mn，量得 mn 和 mB 线段，则 B 点高程为

$$H_B = H_m + \frac{h}{mn}mB \qquad (11-2)$$

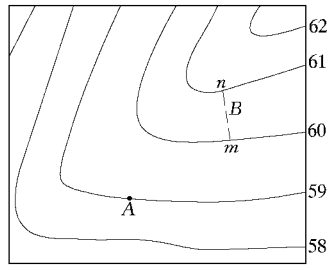


图 11－5　在图上确定点的高程

式中 h——基本等高距。

四、在图上确定直线的坡度

先用图解法分别求出直线两端点的坐标和高程，计算出直线两端点间的平距 D 和高差 h，再按 $i = h/D$ 计算坡度，通常以百分数表示。也可以地面倾角 α 表示，则 $\alpha = \text{arctg}\dfrac{h}{D}$，查正切反函数求取 α 角值。

注意：坡度 i 有“ $\pm$ ”号，上坡为正，下坡为负。

第三节　地形图在水利工程规划设计中的应用

一、在图上量算图形面积

在地形图上量测和确定面积的方法很多，常用的有透明方格法、解析法和求积仪法。

（一）透明方格法

如图 11－6 所示，将一张透明方格纸覆盖在欲测的图形上，先数出图形内完整的方格数，再用目估法将图形边缘不完整的方格折合成完整的方格数，求得整个图形的方格总数 n；再根据地形图比例尺确定每方格所代表的实地面积，设为 S（单位为 m^2），则图形的实地面积为 nS。

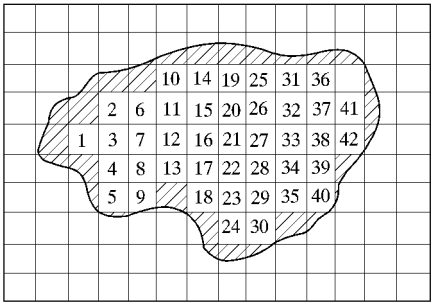


图 11－6　透明方格法量测面积

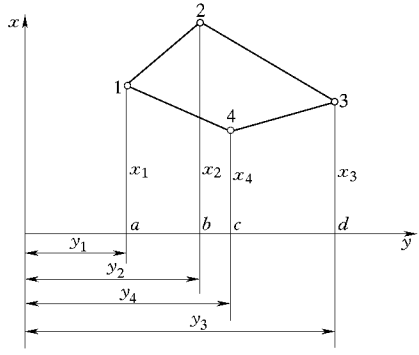


图 11－7　解析法计算面积

（二）解析法

当所需量测的图形为多边形，而且要求面积量测结果有较高的精度时，可以采用多边形各顶点的坐标计算面积。

见图 11－7，设四边形各顶点的坐标分别为（x_1，y_1）、（x_2，y_2）、（x_3，y_3）、（x_4，y_4），由图 11－7 可知，其面积为

$$\begin{aligned} A &= A_{a12b} + A_{b23d} - A_{a14c} - A_{c43d} \\ &= \frac{1}{2}[(x_1 + x_2)(y_2 - y_1) + (x_2 + x_3)(y_3 - y_2) \\ &\quad - (x_1 + x_4)(y_4 - y_1) - (x_3 + x_4)(y_3 - y_4)] \end{aligned}$$

经整理得

$$A = \frac{1}{2}[x_1(y_2 - y_4) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_4 - y_2) + x_4(y_1 - y_3)]$$

或
$$A = \frac{1}{2}[y_1(x_4 - x_2) + y_2(x_1 - x_3) + y_3(x_2 - x_4) + y_4(x_3 - x_1)]$$

对于 n 边形面积，可以得出一般公式为

$$\left.\begin{aligned} A &= \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} x_i(y_{i+1} - y_{i-1}) \\ \text{或}\quad A &= \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} y_i(x_{i-1} - x_{i+1}) \end{aligned}\right\} \qquad (11-3)$$

应当指出：当 $i=1$ 时，$i-1=n$；当 $i=n$ 时，$i+1=1$。

式（11－3）表明，多边形的面积等于所有纵坐标 x 顺次与它前后两点横坐标之差的乘积，再取其总和的一半；或者等于所有横坐标 y 顺次与它后前两点纵坐标之差的乘积，再取其总和的一半。

（三）求积仪法

求积仪有两大类，即机械求积仪和电子求积仪。下面介绍电子求积仪的使用。

电子求积仪或称数字求积仪，有定极式和无极滚动式两种。图 11－8 为日本 KP—90N 滚动式求积仪，由动极轴和滚轮、计算器和显示窗以及描迹放大镜等三个主要部分组成。使用方法如下。

将欲测图形铺平，并固定在图板上，放上求积仪，使描迹放大镜置于图形中央，并使动极轴（滚筒）与跟踪臂互成垂直状态（如图 11－9 中的虚线所示）。然后用描迹放大镜沿着图形边界线试描 2～3 周，以检查跟踪运行（即描迹）是否平滑；若不平滑时，应移动极轴的位置，直至跟踪能平滑运行为止。具体操作方法按说明书进行。

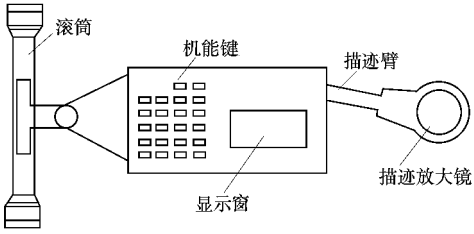


图 11－8　日本 KP—90N 无极滚动式求积仪

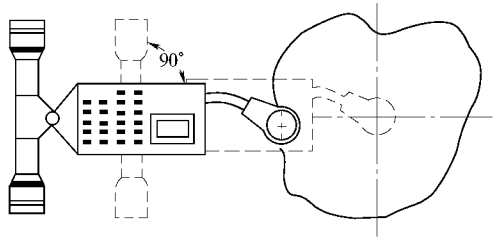


图 11－9　量测面积的方法

二、依据等高线绘制已知方向的断面图

绘制断面图的目的，是为了了解某条路线或某个方向上的地面起伏状况。断面图在道路、渠道等工程规划设计中有重要的作用。

如图 11－10（a）所示，绘制 AB 方向的断面图，其方法如下。

（1）在图纸上先画一条直线 AQ 作为横轴，表示平距，再在 A 点向上作 AQ 的垂线 AH 作为纵轴，表示高程。断面图的平距采用与地形图相同的比例尺；高程比例尺一般比平距大 10～20 倍，以便明显地反映地面起伏变化情况。比例尺确定后，在起点 A 注出 AB 方向最低等高线的高程，再依比例尺在纵轴上截取等高距，并依次注至最大高程。

（2）在地形图上量取 AB 方向线与等高线的各交点至起点 A 的距离（可用两脚规截取），然后从横轴 AQ 上的 A 点开始，根据所量距离依次定出各交点在横轴上的位置。

（3）通过横轴上所定各交点作横轴的垂线，按其交点高程分别在各垂线上定出相应交点的高度位置。

（4）将垂线上各高度位置的交点用光滑曲线连接起来，即为断面图，如图 11－10（b）所示。

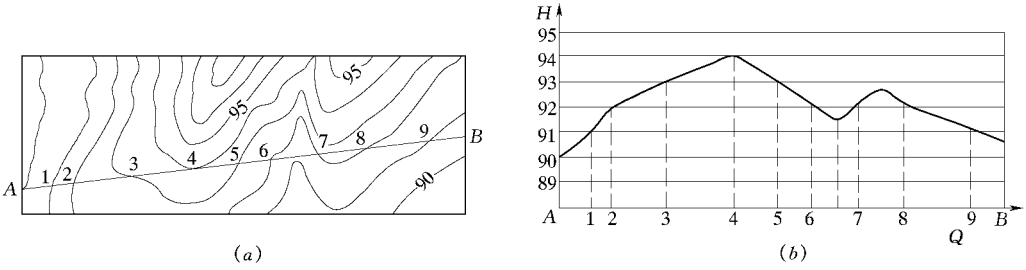


图 11－10　根据等高线绘制断面图

三、在图上确定汇水面积

河流或沟谷某横断面（如拦水坝）以上分水线所围成的面积，称为汇水面积或集水面积。确定汇水面积的目的是为了计算来水量的大小，是水利工程设计中一个重要的数据。

汇水面积的边界线是由一系列分水线（山脊线）连接而成的，在地形图上勾绘汇水面积边界线的要领如下。

（1）边界线应通过山顶和鞍部的最高点，与山脊线一致。

（2）边界线多在山顶处拐弯，应与等高线垂直。

（3）边界线包括断面线（即坝轴线）本身，应从断面线一端开始经过一系列山顶、山脊和鞍部再回到另一端，形成闭合环线。量测出这条闭合环线的面积即为汇水面积。在图 11－11 中，虚线所包围的部分即为某坝址上游的汇水面积。

应当指出：当大坝端点在斜坡上时，则边界线应先沿最大坡度线上升到分水线，再按上述顺序勾绘。

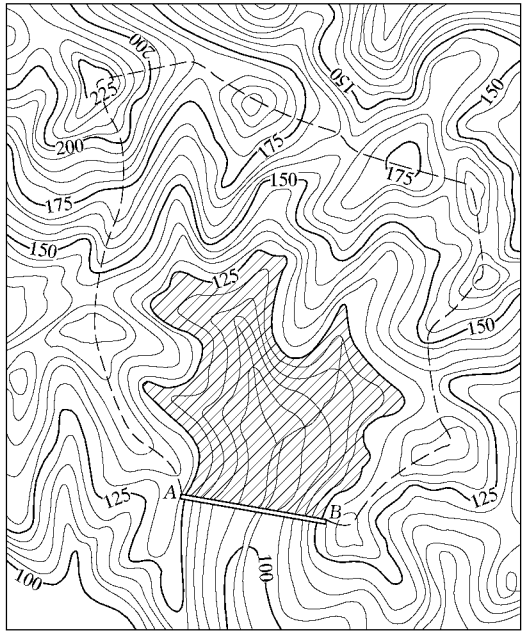


图 11－11　确定汇水面积和水库库容

四、水库库容的计算

水库库容即水库在一定水位（通常指溢洪道的高程）时所蓄积的水量，以立方米（m^3）为单位。通常称 $1m^3$ 为 1 方。如图 11－11中的晕线部分，表示水库淹没区，淹没界线以下所蓄积水量即为水库库容。

库容计算一般采用等高线分层法，即先求出淹没范围内每条等高线与坝轴线所围成的面积 A_i，取相邻两等高线所围面积的平均值乘等高距 h，即得一层体积，然后取各层体积的总和即得库容 V。

应当指出：

(1) 当淹没界线的高程（即设计水位）不等于图上某条等高线的高程时，应先用内插法画出淹没界线（此处将淹没界线当成等高线看待），并求出它围成的面积 A_i 及其与下面相邻等高线间的高差 h'，再计算这两者之间的体积。

(2) 底层的体积应根据最低等高线所围的面积 A_{n+1} 及其与库底最低点（没有等高线）间的高差 h''，按锥体进行计算。

上述方法归纳为一个公式，即为

$$V = \frac{1}{2}(A_1 + A_2)h' + \left(\frac{A_2}{2} + A_3 + A_4 + \cdots + \frac{A_{n+1}}{2}\right)h + \frac{1}{3}A_{n+1}h'' \quad (11-4)$$

五、在图上确定土坝坡脚线

土坝坡脚线即土坝坡面与地面的交线。根据有关设计数据，可以在地形图上标出坡脚线，确定清基范围。具体方法如下。

(1) 在地形图上标出坝轴线，根据坝顶设计高程和坝顶宽度，找出坝轴端点，绘出坝顶边线。

(2) 根据上、下游坡面的设计坡度，算出与地形图等高距相同的坝面等高线至坝顶边线的平距 $d=\frac{h}{iM}$，h、M 分别为地形图的等高距和比例尺的分母，i 为坝坡面的设计坡度。再据此绘出坝面等高线（它们是与坝顶边线平行的一组直线）。

(3) 将坝面等高线与同高程的地面等高线的交点连绘成光滑的曲线，即为土坝坡脚线（图 11-12）。

六、在图上选定渠道线路

在进行渠道、道路或管线的规划设计时，往往先在图上进行初步选线。如在山丘区修建盘山渠道时，为了避免填方和过大的挖方，可根据渠道设计坡度要求，先在地形图上初步选定渠线，为以后实地探测渠线位置提供大致走向。如图 11-13 所示，若规划从 A 点处向 B 方向修一段引水渠，渠道的设计坡度为 i，地形图比例尺分母为 M，等高距为 h，则线路通过相邻等高线的平距 $d=\frac{h}{iM}$。这样，先以 A 为圆心，以 d 为半径，用两脚规画圆弧，与下一条等高线相交得 1 点；再以 1 点为圆心，依法交出 2 点；依此直至 B 点。但遇等高线弯曲较大时，可随弯就弯，以曲线 d 交出下一点，如图 11-13 中 2～3 点。将各点相连，就得出渠线大致方向。

应当指出：若所作圆弧不能与相邻等高线相交，则以最小等高线平距直接相连。

七、根据等高线将自然地面平整成水平场地

按照工程要求，将施工场地的自然地表整理成符合一定高程的水平地面或一定坡度的匀坡地面，称为平整场地。在平整场地时，为了使场地内的土石挖方量和填方量基本平衡，以免盲目挖填，浪费劳力和时间，往往需要利用地形图设计挖填方案，进行挖填方量的计算。

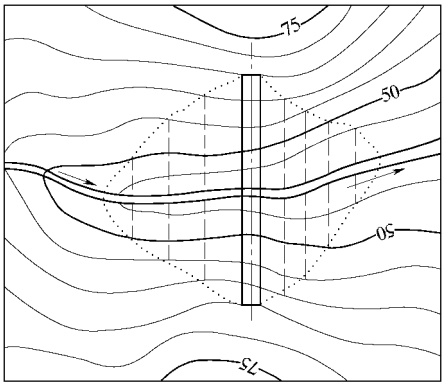


图 11－12　确定土坝坡脚线

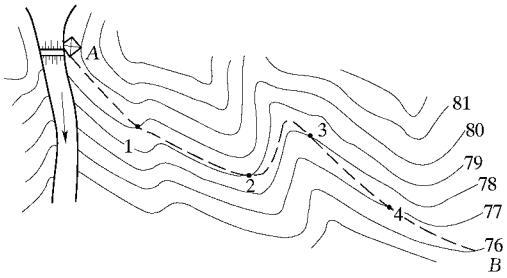


图 11－13　渠道选线

为了在挖填方量基本平衡的条件下将自然地面平整成水平场地，必须先求得合理的水平场地设计高程，再以此高程为基准，计算地面各点的挖、填深度和挖、填方量。利用地形图进行这项工作的方法如下。

（1）在地形图上施工场地范围内绘制方格网。格网边长依地形情况和挖、填方量计算的精度要求而定，一般为 10m 或 20m。

（2）根据等高线按内插法求出各方格角顶的地面高程，标注在相应角顶的右上方（图 11－14）。

（3）根据各方格角顶的地面高程计算场地平面的设计高程。为此，须先将每一小格的 4 个角顶高程相加除以 4，求得每一小格的平均高程；再将每一小格的平均高程相加除以方格总数 n，即得设计高程。但分析这一计算过程可以发现，不同位置上的角顶高程分别使用了不同次数：场地四角不与其它方格关联的公共角顶（角点）只用了一次；场地周边关联两个方格的公共角顶（边点）用了两次，关联 3 个方格的公共角顶（拐点）用了 3 次；场地中间关联 4 个方格的公共角顶（中点）用了 4 次。分别令角点、边点、拐点和中点的高程为 $H_{角}$、$H_{边}$、$H_{拐}$、$H_{中}$，于是上述计算设计高程的方法可以用一个简单公式表示，即

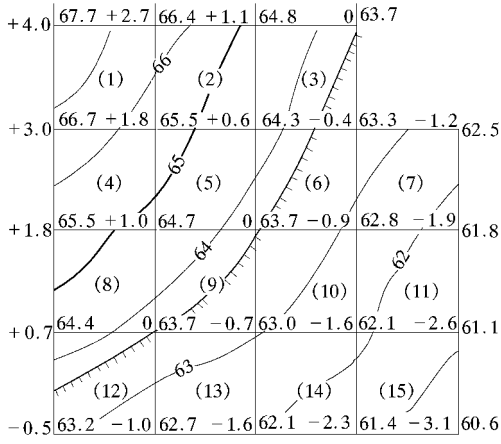


图 11－14　水平场地高程设计和挖填方量计算图

$$H_{设} = \frac{\sum H_{角} + 2\sum H_{边} + 3\sum H_{拐} + 4\sum H_{中}}{4n} \qquad (11-5)$$

式中　n——方格数。

根据式（11－5）算得图 11－14 中的设计高程为 63.7m。

（4）在地形图上按内插法绘出高程为 $H_{设}$的等高线，即得挖、填分界线，图中用梯田

符号表示，符号的短线指向填方区，另一部分则为挖方区。

（5）计算各方格角顶的挖、填深度 h

$$h = H_{地} - H_{设}$$

h 为“ + ”表示挖方，为“ - ”表示填方。将 h 值标注在各方格相应角顶的左上方。在挖、填分界线上，$h=0$。

（6）分别计算挖、填方量。对于所有整格都是挖方或填方的部分，可按下式计算方量 V 为

$$V = \frac{b^2}{4}(\sum h_{角} + 2\sum h_{边} + 3\sum h_{拐} + 4\sum h_{中}) \qquad (11-6)$$

式中 b——方格网边长；

$h_{角}$、$h_{边}$、$h_{拐}$、$h_{中}$——纯挖区或纯填区的角点、边点、拐点和中点的挖或填深度。

对于那些有挖有填的方格，应分别计算每一格中的挖方量和填方量。因为这些非整格的挖方或填方面积形状是由挖填分界线和格网线围成的近似三角形（包括弓形）或近似四边形，虽然其中有两点挖填深度为零，但平均挖深或填高米数仍应按三点（三角形和弓形）或四点（四边形）取值（包括零）计算；将算得的平均挖深或填高米数乘以相应的非整格面积，即得非整格的挖方或填方量。

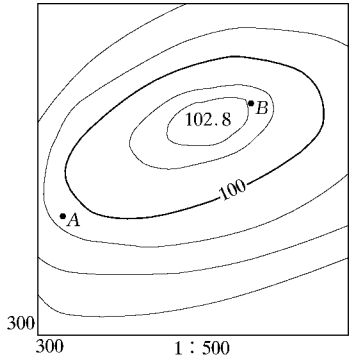
最后，分别求出总挖方量和总填方量，二者应基本平衡。

习题与思考题

1. 使用地形图时，应注意了解哪些有关问题？

2. 什么叫高斯平面直角坐标系？

3. 根据题图 11-1 确定 A、B 两点坐标、高程、AB 的长度和方位角 α_{AB} 及 AB 的坡度 i_{AB}。



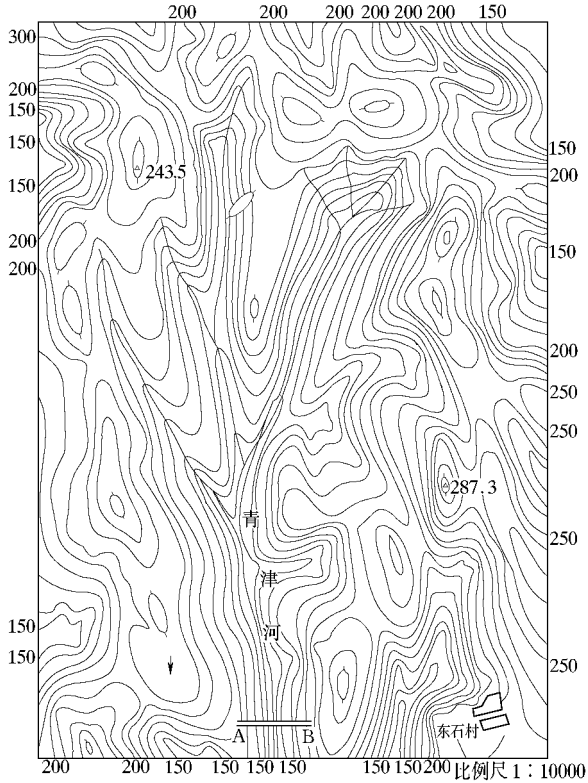
题图 11-1

4. 在地形图上（题图 11-2）完成下述作业：

（1）用虚线勾出 AB 断面以上的汇水边界线。

（2）设溢洪道高程为 175m，勾绘出淹没范围。

（3）计算汇水面积和水库库容。



题图 11－2

※ 第十二章　水利工程规划阶段的测量工作

水利工程规划阶段的测量工作有河道测量、地质勘察测量等，本章主要介绍河道测量。

为了开发河流水利资源，进行防洪、灌溉、航运和水力发电等工程规划与设计，必须知道河流水面坡降和过水断面的大小，了解水下地形情况。为此需要进行河道测量。它的主要任务和目的，就是进行河道纵横断面测绘和水下地形测量，为制定河流的梯级开发方案、合理选择枢纽位置和分布，拟定河流的梯级布置方式，提供必要的河道纵、横断面图和水下地形图。

河道测量的主要内容包括水位、水深测量，河道纵横断面测绘和水下地形测量。

第一节　河道水位和水深测量

水位即水面高程。在河道测量中，水下地形点的高程是根据测深时的水位减去水深求得的。

一、工作水位的测定

水面在某一基准面上的高度称为水位。

测深时的水位称为工作水位或测时水位。

在进行河道横断面或水下地形测量时，如果作业时间很短，河流水位又比较稳定，可以直接测定水边线的高程作为计算水下地形点高程的起算依据。如果作业时间较长，河流水位变化不定时，则应设置水尺（测定水面涨落变化的标尺）随时进行观测，以保证提供测深时的准确水面高程。

如图 12－1 所示，水尺零点的高程 H_0 从邻近水准点用四等水准测量引测。

水位观测时，将水面所截的水尺读数加上水尺零点高程即为水位。

二、同时水位的测定

河道上各处同一时刻的水位称为同时水位或瞬时水位。

对于较短河段，在其上、中、下游各处的同时水位，可由几个人约定按同一时刻分别在这些地方打下与水面齐平的木桩，再用四等水准测量引测确定各桩顶的高程，即得各处的同时水位。

三、洪水调查测量

河水超过滩地或漫出两岸地面时的水位称为洪水位。

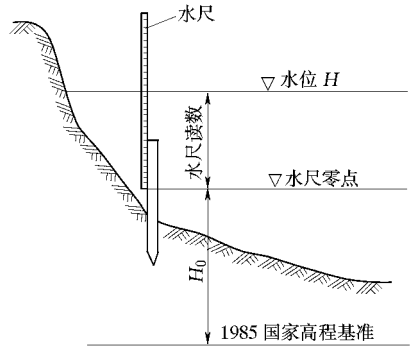


图 12－1　水尺

实地进行洪水调查时，应请当地年长居民指点亲身目睹的最大洪水淹没痕迹，回忆发水的具体日期。洪水痕迹高程用五等水准测量引测。

四、水深测量

为了求得水下地形点的高程，必须进行水深测量。水深测量就是使用测深杆（图 12－2）、测深铊（图 12－3）和回声测深仪（图 12－4）等测定水域中瞬时水面至水底各点的竖直距离。



图 12－2　测深杆

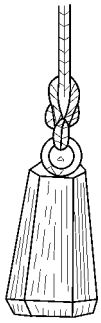


图 12－3　测深铊

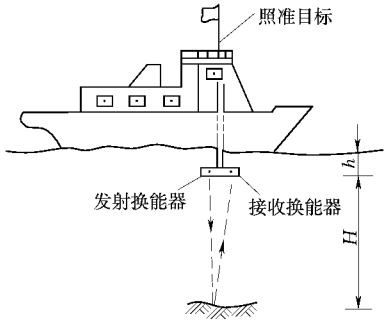


图 12－4　测深仪原理

测深杆是用长 4～6m 的竹杆、木杆或铝杆制成的；测深铊是由一根标有长度标记的测绳和重铊组成；回声测深仪是目前应用较广的一种水深测量仪器。其工作原理是，由发射换能器将超声波发射到河底，再由河底将超声波反射到接收换能器，由超声波往返的时间和声波在水中的传播速度来计算水深。

第二节　河道纵横断面的测绘

为掌握河道的演变规律，以及在水利工程建设中，为计算回水曲线等，都需要沿河流布设一定数量的横断面（垂直河道主流的方向），在这些断面线上进行水深测量，绘制纵横断面图。

一、横断面测绘

横断面测量就是测定垂直于主流方向断面上各点的深度和距离的工作。测绘方法如下。

（一）断面基点的测定

代表河道横断面位置并用作测定断面点平距和高程的测站点称为断面基点（图 12－5）。断面基点的平面位置通常利用已有地形图上的明显地物点作断面点，对照实地打桩标定，并按顺序编号，不再另行测定它们的平面位置。

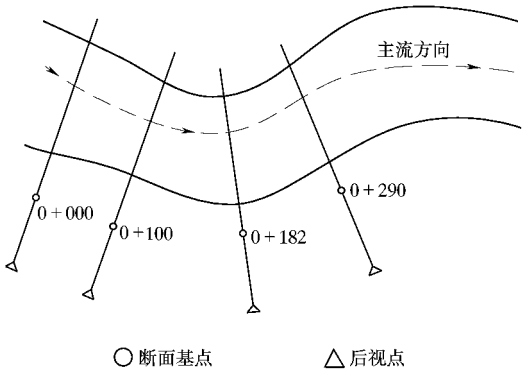


图 12－5　河道断面基点的布设

在无地形图可资利用的河流上，沿

河的一岸须隔 50～100m 布设一个断面基点，这些基点的排列应尽量与河流主流方向平行。在河道弯曲、地形变化、有桥梁等水工建筑物处，都应加设断面基点。应尽量避开冲沟、险滩、浪区、漩涡等河段，在河道转弯处，应避免发生断面相互交叉的现象，一般可布设成扇形。断面基点编号按“×（km）+×××（m）”的方式编号，断面起点编号为 0+000。断面基点的平面位置可采用导线测量方法测定，各基点间的距离视具体要求采用视距测量或电磁波测距。断面基点的高程一般用五等水准测量测定。

断面基点的平面和高程系统应与采用的地形图一致。

（二）横断面方向的确定

在断面基点上安置经纬仪，照准与河道主流垂直的方向，倒转望远镜在本岸标定一点作为横断面后视点（图 12-5）。

（三）陆地横断面测量

在断面基点上安置经纬仪，照准断面方向，用视距法依次测定水边点、地形突变点和地物点到断面基点的平距及高程，每个断面都要测至最高洪水位以上。

（四）水下横断面测量

横断面的水下部分，需要进行水深测量，根据水深和水面高程计算断面点的高程。测深点的间距，应以能正确地反映形状和面积为原则，一般要求图上 0.5～1.5cm 有一点，不要漏测深泓点（河床最深点）。这些点的平面位置（即对断面基点的距离）可用下述方法测定。

1. 视距法

当测船沿断面方向驶到一定位置需测水深时，即将船稳住，竖立水准尺，用视距测量方法测定其距离。

2. 角度交会法

由于河面宽或水流较急时，不便进行视距测量时，可采用角度交会法测定断面基点到水深点的距离（图 12-6）。

经纬仪先在 A 点安置，测出基线 AB 与断面方向的夹角 β_1，再把经纬仪安置在基线 AB 的另一端点 B 上，当测船行驶到 P 点时，发出观测信号，经纬仪照准 P 点，读取水平度盘读数，算出 β_2，然后利用正弦定理计算 $D_{AP}=\dfrac{D\sin\beta_2}{\sin(\beta_1+\beta_2)}$。

3. 测距仪法

测距仪安置在断面基点上，棱镜安置在测船上进行测距。

河道横断面测量记录见表 12-1。记录时要分清断面点的左右位置：以面向下游为准，位于断面基点左侧的断面点按左 1、左 2、…编号；位于右侧的断面点按右 1、右 2、…编号。

（五）横断面图的绘制

河道横断面图应在毫米方格纸上绘制（图 12-7）。纵向表示高程（1∶100 或 1∶200）；横向表示平距（1∶1000 或 1∶2000）。绘制时应注意：左岸必须绘在左边，右岸必须绘在右边。因此，绘图时通常以左岸最末端的一个断面点作为平距的起算点，标绘在最左边，将其它各点对断面基点的平距换算成对左岸断面端点的平距，再去展绘各点，并应标出工作

水位（即实测水位）线和洪水位线。

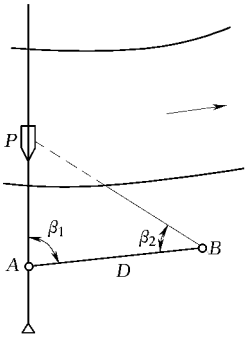


图 12－6　角度交会法

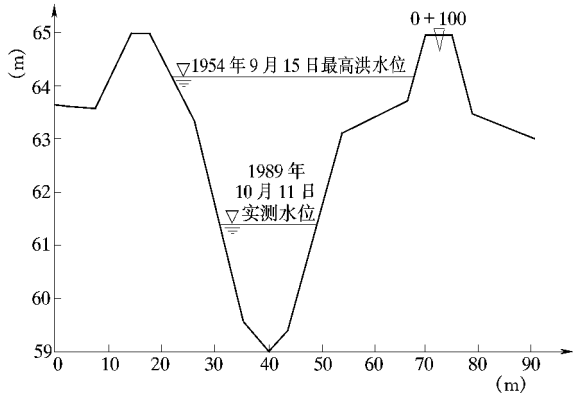


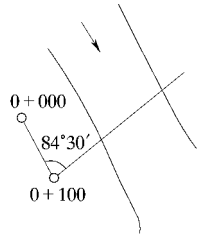
图 12－7　河道横断面图

表 12－1　　**河道横断面测量记录**

测站桩号：0＋100　　**测站高程：**65.05m　　**观测者：王知平**

日期：1990 **年** 3 **月** 15 **日**　　**仪器高：**1.40m　　**记录者：赖一新**

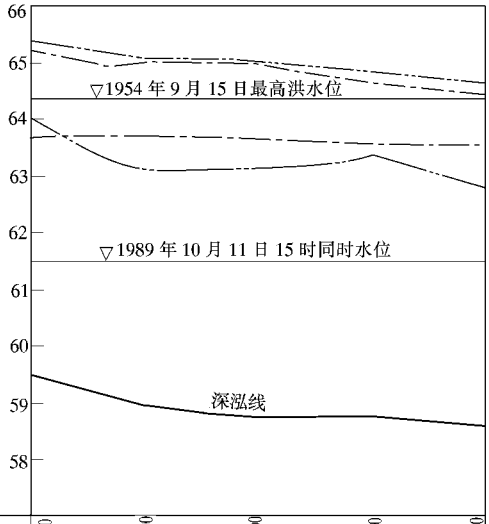
测点	视距 (m)	天顶距 (° ′)	平距 (起点距) (m)	截尺 (m)	水深 (m)	高 程 (m)	备注	略　图
右 1	20.2	95 08	20.0	1.40		63.25		
2	5.1	105 10	4.8	1.40		63.76	堤脚	
3	2.1	90 15	2.1	1.40		65.04	右堤外肩	
0＋000						65.05	堤顶	
左 1	2.0	90 16	2.0	1.40		65.04	右堤内肩	
2	5.2	105 08	4.8	1.40		63.74	右 堤 脚	
3	18.1	96 18	17.9	1.40		63.07	右 岸 边	
水边 4			23.0			61.48	水准高程	
5			25.0		1.17	60.31	水 深 点	
6			27.0		1.41	60.07		
7			29.0		1.86	59.62		
8			31.0		2.48	59.00		
9			33.0		2.19	59.29		
10			35.0		2.02	59.46		
11			37.0		1.80	59.68		
12			39.0		1.51	59.97		
水边 13			41.5			61.48		
14	46.0	91 49	45.9	1.40		63.59	左 岸 边	
15	54.0	90 04	54.0	1.40		64.98	左堤内肩	
16	59.0	90 04	59.0	1.40		64.98	左堤外肩	
17	62.5	90 20	62.5	2.40		63.68	左 堤 脚	
18	71.3	90 15	71.3	2.40		63.74		



二、纵断面图的编绘

河道纵断面图是根据各个横断面的里程桩号及河道深泓点、岸边点、堤顶（肩）点等的高程编制而成，实际是河道深泓点的连线所剖开的断面，如图 12－8 所示。纵向表示高程，横向表示平距。需绘出左右岸边线或堤岸线、同时水位线和最高洪水位线。

河道纵断面图也是绘在毫米方格纸上的。



里程桩号	0+000	0+100	0+200	0+300	0+400
深泓点高程	59.52	59.00	58.90	58.87	58.75
左提顶高程	65.27	64.98	64.95	64.81	64.60
右提顶高程	65.48	65.14	65.00	64.89	64.70
左地面高程	63.69	63.74	63.71	63.59	63.50
右地面高程	64.15	63.25	63.20	63.20	62.90

图 12－8　河道纵断面图

第三节　水 下 地 形 测 量

水下地形测量是指测绘水体覆盖下的地形测量工作。包括测深、定位、判别底质和绘制地形图等。

水下地形测量是在陆地控制测量基础上进行的，但应注意把平面和高程控制网布设在靠近或平行于河流、岸边，固定标石应埋在常年洪水位线上。水下地形点平面位置和高程的测定方法与河道横断面水下部分的测量方法基本相同。

水下地形点的密度一般要求图上 1～3cm 有一个点，横向和近岸应当密些。必须探测到深泓点。

一、水下地形点的布设方法

1. **断面法**

按水下地形点的密度要求，沿河布设横断面，测量方法同河道横断面测量。

2. **散点法**

水面流速较大时，一般采用散点法（图 12－9）。此时，测船不断往返斜向航行，每隔一定距离测定一点。先由 1 顺水斜航到 2，再由 2 顺水斜航到 7，然后自 7 沿岸逆航至

3，再由 3 顺水斜航到 4，依此类推。

二、水下地形点的施测

当测区水浅且流速平缓时，测深点的高程可直接用水准尺立于水底，用视距测量方法测出测深点的高程。而对于水域面积大而且较深时，测深点的高程可以通过测量水深和水面高程的方法求得。

测深点的平面位置可采用测距仪测其距离、经纬仪测定角度（水平角和垂直角）的方法，再计算出测深点的平面位置。

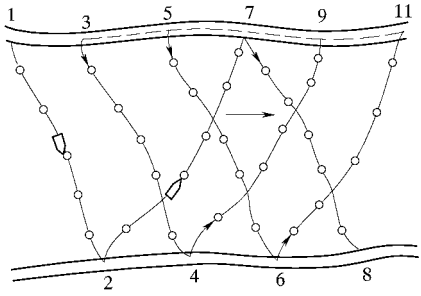


图 12－9　散点法船行路线

三、水下地形图的绘制

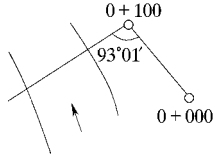
根据各测深点的平面位置和高程，用量角器展出其位置，注上高程。勾绘水下等高线的方法完全同陆上测图，只是有时要求用虚线勾绘。水下地形宜与陆上地形绘于同一幅图内。

习题与思考题

1. 河道测量有哪些工作？
2. 何谓工作水位、同时水位、洪水位和水深？
3. 完成题表 12－1 河道横断面测量计算并用毫米方格纸绘出该横断面图。

题表 12－1　　河道横断面测量计算

测点	视距 (m)	垂直角 (° ′)	平 距 (m)	中丝读数 (m)	水深 (m)	高 程 (m)	备　注	图　示
1	3.3	－19 22		1.32			堤脚	
2	3.4	4 34		1.42			右堤外肩	
3	4.8	3 15		1.42			右堤内肩	
4	6.2	－15 58		1.33			堤脚	
5	8.5	－12 20		1.42			右岸边	
6	10.7	－13 56		1.42			水位	
7	14.8	－22 10			1.17		水深点	
8	16.7	－23 14			1.52			
9	18.9	－24 58			2.54			
10	21.8	－25 06			1.43			
11	22.7	－7 11		1.52			左岸边	
12	24.4	－6 20		1.53			堤脚	
13	26.3	1 26		1.42			左堤内肩	
14	29.8	1 15		1.42			左堤外肩	
15	31.6	－7 28		1.42			左堤脚	



测站高程：73.68m
仪器高：1.42m

第十三章　水利工程设计阶段的测量工作

第一节　水　库　测　量

水库一般指在河流上因建筑拦河坝（或闸）所造成的人工湖。它能蓄水和调节水量。为兴修水库而进行的测量工作，称为水库测量。

在设计水库时，需要确定水库蓄水后淹没的范围，计算水库的汇水面积和水库库容，在实地测定水库淹没界线、设计库岸加固和防护工程等。

一、水库地形测量

先进行控制测量，方能进行测图工作，为满足水库设计要求，地形测图应满足以下几点要求。

（1）应详细测绘水系及有关建筑物。对河流、湖泊等水域，除测绘陆上地形图外，还应测绘水下地形图。大坝、水库、堤防和水工隧洞等建筑物，除测绘其平面位置外，还应测注坝、堤的顶部高程；隧洞和渠道则应测量底部高程；过水建筑物如桥、闸、坝等，当孔口面积大于 $1m^2$ 时，需要注明孔口尺寸。根据规划要求，为了泄洪或施工导流需要，对于干涸河床和可能利用的小溪、冲沟等，均应仔细测绘。

（2）应详细测绘居民地、工矿企业等。在水库蓄水前必须进行库底清理工作。如果漏测居民地的水井，就不能在库底清理时把井填塞住，水库蓄水后，就可能发生严重的漏水，影响工程的质量和效益。又如在测图时漏测了有价值的古坟、古迹等，则在库底清理工作中，有可能把这些文物漏掉，对研究祖国文化遗产将会造成损失。对工矿企业应该认真测绘，以便根据平面位置与高程确定拆迁项目，估算经济损失等。

（3）正确表现地貌元素的特征。在描绘各种地貌元素时，不仅用等高线反映地面起伏，还应尽量表现地貌发育阶段，如冲沟横断面是“V”字形，还有“U”字形。鞍部不仅要表现长度和宽度，而且应测定鞍部最低点的高程，供规划设计时考虑工程布局。对于喀斯特地貌，尤应详细测绘，以防止溶洞漏水或塌陷。

二、水库淹没调查测量

水库淹没调查测量，应在可行性研究阶段或初步设计阶段进行，个别情况下，规划阶段也应在某种特殊地区进行淹没调查测量。

淹没调查测量之前，首先应详细了解测量范围、对象、使用仪器和工作的起讫日期；研究确定测量淹没线的种类（移民线、土地征用线、土地利用线和水库清理线等）、条数及每种淹没线测设的高程、范围和水库末端的位置；确定水库中平水段与回水线的分界线。将回水段、平水段各种界线的高程，逐段分别注绘在水库地形图上，见图 13－1。根据分段高程，在库区内选择几个有代表性的横断面，各段以本段上游横断面高程作为测设高程。从坝轴线至回水曲线末端，将库区分为 *AB*、*BC*、*CD* 三段，各段的起点与终点，

各段间距离及各段高程作为测设时的基本数据。

重要调查对象的高程和对水库正常蓄水位的选定起决定作用的测点，其高程误差不得大于 ± 0.1m。平地或坡度不大地区的调查对象，用水准仪施测。山地的调查对象可用经纬仪视距高程测量。

三、水库淹没线测量

水库正常蓄水所淹没范围的边界线，称为淹没线。

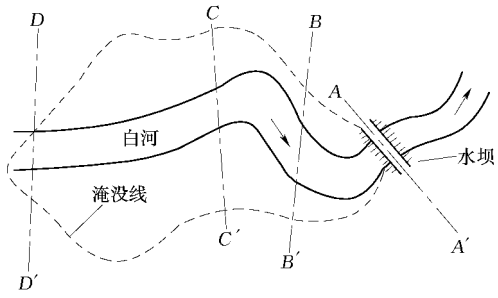


图 13－1　白河水库淹没线示意图

水库淹没线测量的目的在于测定水库淹没、浸润和坍岸范围，由此确定居民地和建筑物的迁移、库底清理、调查与计算由于修建水库而引起的各种赔偿；规划新的居民地，确定防护界线等。

淹没线的测量工作是用一系列的高程标志点（常称界桩）将水库的设计边界线在实地标定下来。

同种同类淹没线通过平水段时，其界桩应布设在同一高程线上；在回水曲线段，各处界桩高程不同，可用距离内插法求出中间各分段点的高程。淹没界桩的密度应根据库区的情况而定，临时性界桩一般每隔 50m 设一个，永久性界桩每隔 100～200m 设一个。

界桩高程的测定用水准仪观测时，应读黑、红面中丝读数，黑、红面高差之差不得大于 2cm；用经纬仪观测时，应用正、倒镜观测垂直角，正、倒镜高差较差不大于 10cm；用电磁波测距仪观测时，正、倒镜高差较差也不大于 10cm。

应当指出：小型水库一般可将库中水面当成平面，只用一个高程去标定淹没界桩。

第二节　渠　道　测　量

渠道是开挖或填筑的人工河槽，用于输送水流，达到灌溉、排水或引水发电的目的。

渠道测量就是在渠道勘测、设计和施工中所进行的测量工作。

本节将主要介绍中小型渠道的测量方法。其内容包括：踏勘选线、中线测量、纵横断面测量、土方计算和施工断面放样。

一、踏勘选线

踏勘选线的任务是根据水利工程规划所定的渠道方向、引水高程和设计的坡降，在实地确定一条既经济又合理的渠道位置。

平原区渠道位置是标定中线桩(图 13－2)，山丘区渠道位置是标定外平台桩(图 13－3)。

(一) 选线的基本要求

(1) 渠线应尽量短而直，转折角（图 13－2 中 β 角）应尽量小。

(2) 应尽量少占农田和居民地。

(3) 渠系建筑物（如渡槽、倒虹吸管和排水闸等）要尽量少。

(4) 沿线应有较好的地质条件，无严重渗漏和塌方现象。

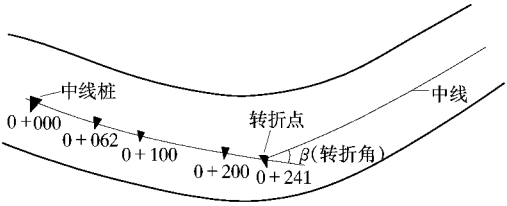


图 13-2　中线桩

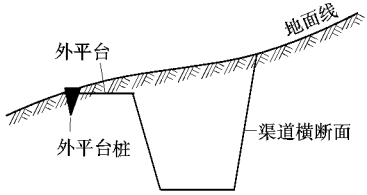


图 13-3　外平台桩

(5) 山丘区渠道应尽量避免填方，以保证渠道边坡的稳定性。

(二) 选线的基本方法

如果渠道较长、规模较大，应先在地形图上进行初步选线，然后到现场踏勘，最后确定渠道起点、转折点和终点，并用大木桩标定这些点的位置，绘制点位略图，以便日后寻找。

如果渠道较短，规模小，可以直接在实地选线。

二、中线测量

中线测量的任务是要测出渠线的长度和转折角，并在渠线转折处设置圆曲线。

1. 平原区

平原区渠道中线测量就是在渠道起、终点间进行定线，测定渠道中心线的长度，并用一系列里程桩和加桩标定渠道中心线的实地位置，测定转折角（图 13-2）。

从渠道起点开始，朝着转折点或终点方向，用花杆和皮尺进行定线和量距（大型渠道需用经纬仪定线，用钢尺量距）。按规定间距（50m 或 100m）打桩标定中线位置。以该桩对起点的平距作为桩号，注在桩侧，称为里程桩。里程桩号仍按“×（km）+×××（m）”的方式编号。起点桩号为 0+000，其余分别为 0+100、0+200、…。

在相邻两里程桩之间的重要地物或渠系建筑物和地面坡度突变点的位置，应加设木桩，称为加桩。加桩仍按对起点的平距进行编号，如图 13-2 中的 0+062、…。

用经纬仪在转折点上采用测回法测定计算转折角 β。

2. 山丘区

山丘区渠道选线、中线测量一般与纵断面测量同时进行的（该内容在纵断面测量中详细介绍）。山丘区中、小型渠道一般不测定转折角，而是沿着山坡自然弯曲的方向前进。

三、纵横断面测量

沿渠线方向的断面称为纵断面，垂直渠线方向的断面称为横断面。

为了设计渠道高程和土方计算，必须进行纵横断面测量。

(一) 纵断面测量

1. 平原区

纵断面测量是用五等水准测量，采用视线高法测定渠道中线上各里程桩及加桩的地面高程。地面高程用来绘制纵、横断面图。

如果渠道较长，应先沿渠道中线布设一条四等水准路线，每隔 1～2km 埋设一个临时水准点，作为纵断面水准测量的校核之用。

见图 13－4，利用渠道沿线布设的水准点，将渠线分成许多段，每段分别与相邻两端的水准点组成附合水准路线，然后从首段开始，逐段进行施测。记录格式见表 13－1。

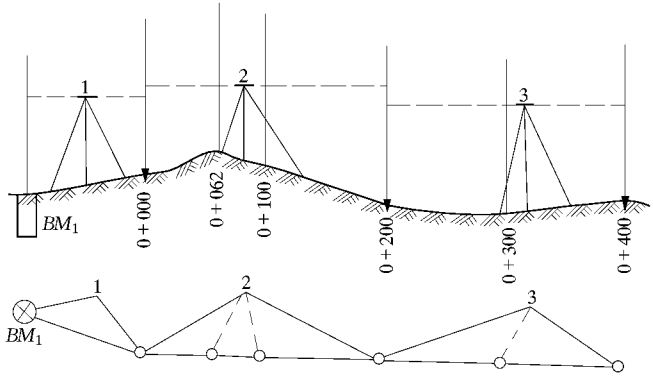


图 13－4　纵断面水准测量

表 13－1　　纵断面水准测量记录

日期：2000 年 1 月 20 日　　仪器：DS3　　观测者：吴山　　记录者：李敏

测站	桩号	水准尺读数（m）			视线高程（m）	高程（桩顶）（m）	桩　高（m）
		后视	前视	间视			
1	BM_1 0＋000	1.764	1.471		141.180	139.416 139.709	（水准点）
2	0＋000 0＋062 0＋100 0＋200	1.642	1.577	1.08 1.33	141.351	139.709 140.27 140.02 139.774	0.02 0.02
3	0＋200 0＋300 0＋400	1.434	1.267	1.03	141.208	139.774 140.18 139.941	0.03 0.03
校核	$\sum a=4.840$m　$\sum b=4.315$m　$\sum a-\sum b=0.525$m　$H_{终}-H_{始}=0.525$m						

施测要求如下：

（1）后、前视应把水准尺立在桩顶上，读黑面中丝读数（读至 mm），并读取红面中丝读数作检核。量取桩高，以计算其地面高程。

（2）间视（不传递高程的点）应把水准尺立在桩号近旁的地面上，只读黑面中丝读数（读至 cm）。不量桩高。

（3）各测段附合水准路线高差闭合差 $f_h \leqslant \pm 10\sqrt{n}$（mm），$n$ 为测站数。

2．山丘区

山丘区渠道选线、中线测量和纵断面水准测量同时进行的具体做法如下。

如图 13－5 所示，为一条山丘区渠道。从渠道起点开始，用皮尺大致沿山坡等高线向前量距，按规定间距（20m 或 30m）量取外平台桩的距离，并在山坡上作记号。根据渠道引水高程、渠底坡降 i，可由上个外平台桩（如 0＋030）的平台设计高程计算下个外平

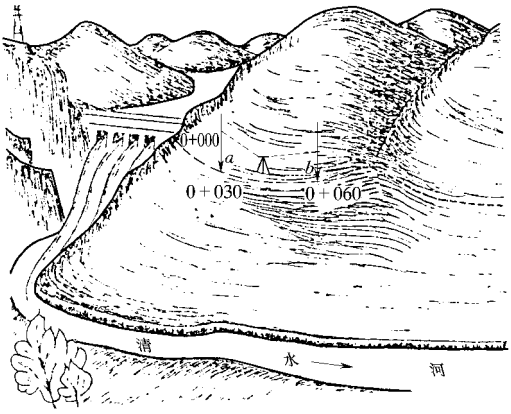


图 13－5　山丘区渠道

台桩（如 0 ＋060）的平台设计高程，即

$$H_{0+060} = H_{0+030} - iD \qquad (13-1)$$

D 为两里程桩间距。

在适当地方安置水准仪，后视里程桩 0＋030，读取后视 a，计算前视读数 b 为

$$b = H_{0+030} + a - H_{0+060} \qquad (13-2)$$

观测者指挥立尺者在记号处的山坡上、下移动水准尺，直至中丝读数等于 b，打桩，即为 0＋060 处外平台桩（里程桩）的平台地面位置。依此类推，探测各外平台桩的平台地面位置，并打桩。若该桩作为后、前视时，则应把水准尺重新立在该平台桩顶上，读数要求与平原区相同。因为，外平台桩的地面高程为设计值，可不量其桩高。

同样，在相邻两里程桩（外平台桩）之间的重要地物和地面坡度突变点处应钉立加桩，并实测其地面高程。记录格式同表 13－1。

（二）横断面测量

横断面测量的任务是在里程桩和加桩位置上，测定垂直于渠线方向的地面坡度变化点的相对位置（间距）和高程。

横断面测量的宽度（平距）取决于渠道设计横断面的宽度和边坡。

1. 平原区

一般用花杆和皮尺，采用“逐点高差比较法”进行（图 13－6），具体做法如下。

如以里程桩 0＋100 为中心，目估横断面方向。把花杆立在尺段地面坡度变化点的底处（如 1 点）上，用皮尺放平量出 0＋100 到立杆处的平距（如 2.0m），量出 11′即为高差。因为 1 点比 0＋100 桩地面低，用负高差表示（如－0.5m）。如果 1 点比 0＋100 桩地面高，则高差用正值表示。依此类推。记录格式见表 13－2。

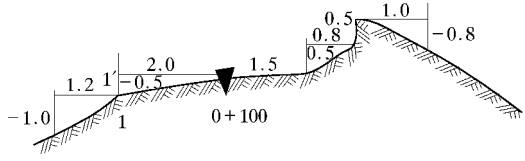


图 13－6　平原区横断面测量

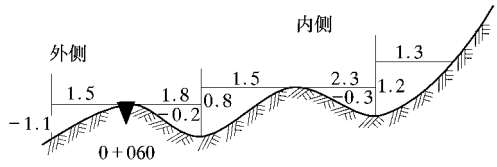


图 13－7　山丘区横断面测量

2. 山丘区

测量方法与平原区相同，只是要以外平台桩为中心，向内、外侧测量。平台桩外侧只要测量一尺段即可。见图 13－7 和表 13－3。

横断面测量还可采用水准仪法和经纬仪视距法。

四、纵横断面图的绘制

平原区和山丘区渠道纵横断面图的绘制方法相同。

表 13－2　　平原区横断面测量记录

日期：2000 年 1 月 20 日　　观测者：黄忠　　记录者：陈让

左侧	高差 平距		里程桩号 地面高程	右侧	高差 平距				
同坡	$\frac{-1.0}{1.2}$	$\frac{-0.5}{2.0}$	$\frac{0+100}{200.18}$	$\frac{0.0}{1.5}$	$\frac{0.5}{0.8}$	$\frac{0.5}{0.0}$	$\frac{-0.8}{1.0}$	同坡	

注　$\frac{0.0}{2.0}$表示水平地面；$\frac{0.5}{0.0}$表示垂直地面；同坡表示地面坡度与前尺段相同。

表 13－3　　山丘区横断面测量记录

日期：2000 年 1 月 20 日　　观测者：肖妤　　记录者：林晓

外侧	高差 平距	里程桩号 地面高程	内侧	高差 平距				
$\frac{-1.1}{1.5}$		$\frac{0+060}{231.11}$	$\frac{-0.2}{1.8}$	$\frac{0.8}{1.5}$	$\frac{-0.3}{2.3}$	$\frac{1.2}{1.3}$	同坡	

（一）纵断面图的绘制

纵断面图是反映渠道水流方向所经地面起伏的剖面图。依据里程桩和加桩的地面高程绘制在毫米方格纸上。

见图 13－8，纵向表示高程（纵比为 1∶100、1∶200、1∶500），横向表示里程（横比一般为 1∶1000、1∶2000、1∶5000）。

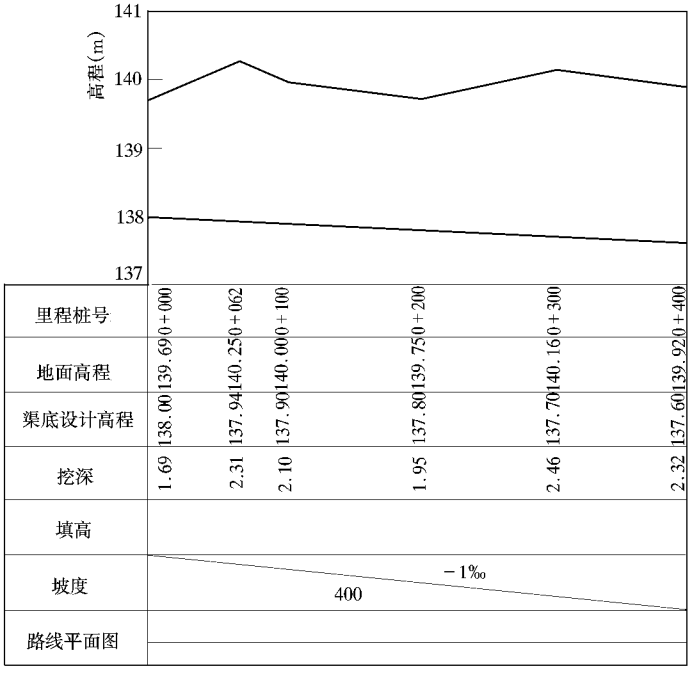


图 13－8　渠道纵断面图

（二）横断面图的绘制

横断面图是表示各桩处垂直于渠道水流方向的地面起伏的剖面图。

横断面图也用毫米方格纸绘制。为了计算面积方便，图上平距和高程通常采用同一比例尺（1∶100、1∶200）。但是，如果地面起伏较大，为了节省图纸，也可采用不同的比例尺。

图 13－9，平距和高程比例尺均为 1∶100。绘制时是先设定桩的位置（可用“▽”符号标出），再逐点标定各坡度变化点，然后用直线连接起来。

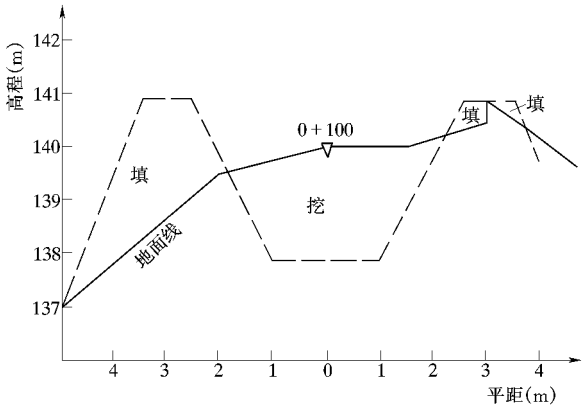


图 13－9　平原区渠道横断面图

五、土方计算

为了确定工程投资和安排劳力，在渠道施工之前，必须计算土方量，以 m^3 为单位，称为方，习惯上又叫几方土。平原区和山丘区渠道土方计算方法相同。

土方量计算通常采用平均断面法。假设相邻两桩的挖方（或填方）横断面的面积分别为 A_1、A_2，两桩间距为 D，则土方量 V 为

$$V = \frac{1}{2}(A_1 + A_2)D \qquad (13-3)$$

面积 A_1、A_2 则需通过横断面图套绘渠道设计横断面（图 13－10）来确定。

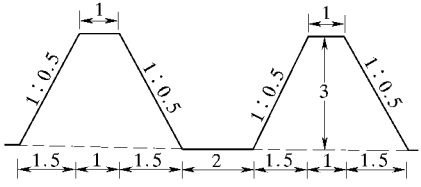


图 13－10　渠道设计横断面图（单位：m）

为了套绘渠道设计横断面简便起见，可先用硬塑料片或硬纸片按渠道横断面设计尺寸和横断面图的比例尺制作一块渠道断面模片。套绘时，如果是平原区，先左右移动渠道断面模片，使其中心轴线与横断面图上桩位线对齐，再上、下移动断面模片，使渠底高程为设计高程（本例为 137.90m），然后，用铅笔沿模片边缘，绘出设计横断面的轮廓，如图 14－9 中虚线所示。而山丘区则是把两者外平台桩位置重合并把模片放置水平即可。

应当指出：山丘区渠道一般不设内平台。

土方计算采用表 13－4 的方式，按桩号顺序进行。

六、施工断面放样

渠道施工前，首先要在现场进行边坡桩的放样，即标定渠道设计横断面边坡与地面的交点，并设立施工坡架，为施工提供依据。渠道横断面有纯挖、纯填和半挖半填三种情况。图 13－11 为半挖半填断面，需要标定的边坡桩有渠道左右两边的开口桩（A、B）、堤内、外肩桩（F、G、E、H）和外边脚桩（C、D）。从土方计算时所绘的横断面图上，可以分别量出这些桩位至中线里程桩的距离，作为放样数据，根据里程桩即可在现场将这些桩位标定出来。然后，在内、外堤肩上按填方高度竖立竹杆，竹杆顶部分别系绳，绳的另一端分别扎紧在相应的外坡脚桩和开口桩上，即形成一个渠道边坡断面，称为施工坡架。

表 13－4　　渠道土方计算表

计算者：　范任　检查者：伍渠

桩号	地面高程（m）	设计渠底高程（m）	中心桩		断面面积（m^2）		平均断面面积		距离（m）	体积（m^3）	
			填高（m）	挖深（m）	填	挖	填	挖		填	挖
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
0＋000	139.69	138.00		1.69	12.30	8.39	11.76	9.35	62	729.12	579.7
0＋062	140.25	137.94		2.31	11.22	10.31	10.62	9.12	38	403.56	346.56
0＋100	140.00	137.90		2.10	10.01	7.93	8.49	8.17	100	849.0	817.0
0＋200	139.75	137.80		1.95	6.97	8.41	9.64	9.32	100	964.0	932.0
0＋300	140.16	137.70		2.46	12.30	10.22	11.92	9.48	100	1192.0	948.0
0＋400	139.92	137.60		2.32	11.55	8.73	合　计		400.0	4137.68	3623.26

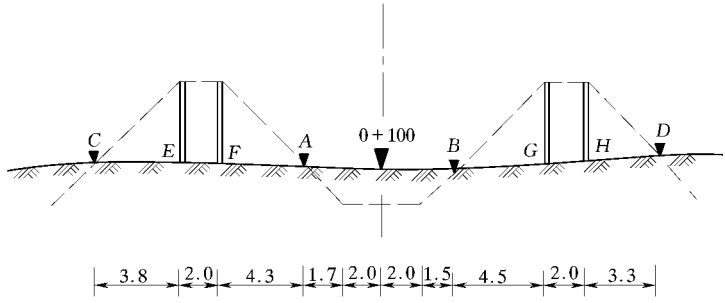


图 13－11　平原区渠道断面放样

施工坡架每隔一定距离设置一个，其它里程只需放出开口桩和外坡脚桩，并用灰线分别将各开口桩和坡脚桩连接起来，表明整个渠道的开挖或填筑范围。

图 13－12 为山丘区渠道断面放样。根据外平台桩在现场先放样上开口桩，按边坡设计向下开挖至平台桩高程；由平台桩向里水平开挖与边坡相连，再放样开口桩及断面大小。

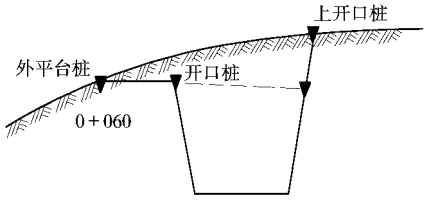
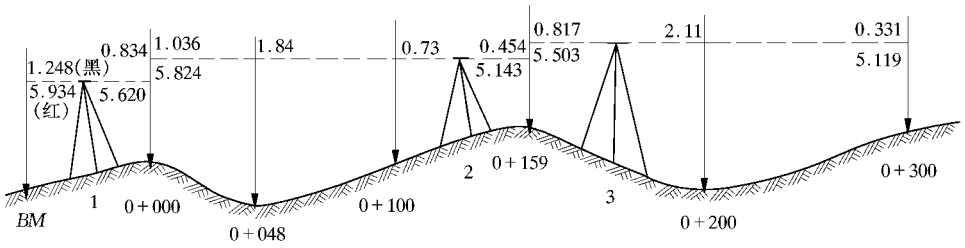


图 13－12　山丘区渠道断面放样

习题与思考题

1. 何谓水库测量？有哪些测量工作？
2. 渠道测量有哪些工作？
3. 平原区与山丘区的渠道测量有哪些不同？
4. 完成题图 13－1 和题表 13－1 纵断面水准测量计算，并用毫米方格纸绘制纵断面图。

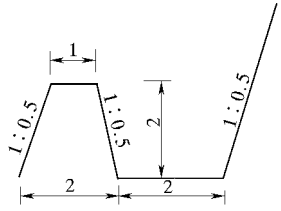


题图 13－1　渠道纵断面测量图

题表 13－1　　纵断面水准测量记录

测站	桩号	水准尺读数（m）			视线高程（m）	高程（m）
		后视	前视	间视		
计算校核	$\sum a=$　　$\sum a-\sum b=$ $\sum b=$　　$H_{终}-H_{始}=$					

5．**根据题图 13－2 和题表 13－2，用毫米方格纸绘制横断面图，并计算该两个断面间的填、挖土方量。**



题图 13－2　渠道设计横断面尺寸（单位：m）

题表 13－2　　横断面测量记录

高差 平距	外平台桩 地面高程	高差 平距	
$\frac{-0.8}{3.0}$	$\frac{0+300}{131.20}$	$\frac{-0.6}{3.0}$　$\frac{0.0}{3.5}$　$\frac{0.6}{0.0}$　$\frac{+0.7}{2.9}$	同坡
$\frac{-0.9}{2.5}$	$\frac{0+320}{131.18}$	$\frac{+0.3}{4.0}$　$\frac{-1.2}{3.2}$　$\frac{0.0}{0.5}$　$\frac{0.6}{1.2}$	同坡

第十四章　水利工程施工阶段的测量工作

第一节　水利工程的施工控制网

施工测量与地形测量一样，必须遵循“先控制后细部”、“先整体后局部”的测量作业原则。所以施工测量前必须先建立施工控制网（为工程建设的施工而布设的测量控制网）。

水利工程的技术设计批准后，即着手编制各项工程的施工详图。同时，进行水利工程建筑物施工放样的准备工作。如果测图控制网能满足施工放样精度要求，则可作为施工控制网。若测图时的控制网的精度和密度不能满足施工放样的需要，则测量人员应进行施工控制网的建立工作。

施工控制网与测图控制网比较，有以下特点。

（1）控制范围小，控制点的密度大，精度要求高。

（2）控制点使用频繁。

（3）施测时受施工干扰大。

施工控制网也分为平面控制网和高程控制网。

一、平面控制网的布设

根据分级布设原则，施工平面控制网常分成基本网和定线网。

1. 基本网

基本网点位分布在水利工程区施工影响范围之外、地质条件好的地方，作为整个水利工程放样的总体控制。布点时应注意图形结构，使之能达到较高的精度。

2. 定线网

定线网点位选在靠建筑物的地方，以便直接用于施工放样。定线网点的位置需根据基本网点来测定，因此，必须与基本网点通视，并能组成较好的测算图形。

应当指出：在施工范围较小、且建筑物结构简单及放样精度要求不高时，可以采用一条或两条直线（垂直）作为施工的平面控制，称为建筑基线。在大型建筑场地，建筑物比较有规则和密集时，为了便于放样，一般可敷设正方形或矩形格网，且与拟建的建筑物、构筑物轴线平行的施工控制网，称为建筑方格网。

二、高程控制网的布设

根据分级布设原则，施工高程控制网常分为水准基点和临时水准点。

1. 水准基点

水准基点布设在施工场地周围不受施工干扰、地质条件良好的地方。施测精度一般应在三等水准测量以上。最好一次布设成精密水准网。

2. 临时水准点（工作点）

临时水准点布设在靠近建筑物的位置处，专为建筑物高程放样时直接引测高程之用，

一般采用四等水准测量。

第二节　施 工 放 样 概 述

施工放样是在工程施工时，把设计的建筑物或构筑物的平面位置及高程测设到实地的测量工作，也称测设。

建筑物的施工放样是先定出它的主要轴线（即主轴线），然后根据主轴线来标定细部轮廓点。主轴线放样的精度主要取决于地形图的图解精度。

水利工程的放样精度，一种是绝对精度，主要对整体建筑物的位置放样而言，确定放样精度只需考虑建筑区的地形地质条件，一般精度要求不高。另一种是相对精度，这是对建筑物的细部或有相互关联的建筑物的放样而言，建筑物各部分之间由于连续生产过程需要，具有一定的几何联系，所以，精度要求较高。如水闸放样时其主轴线的精度要求为 ± 1cm，而闸门对主轴线的精度要求为 ± 3mm。

施工放样的精度与建筑物的大小、结构形式、建筑材料等因素有关。

施工放样的进度和精度，对保证施工进度和工程质量起着重要的作用。作为一名施工测量人员，不但需要掌握施工放样的一般原理和方法，还必须了解设计意图、现场情况、施工方案和进度安排。

在放样之前，首先应熟悉设计图上的尺寸和标高（或高程）数据，不符之处应向设计部门提出修正。在施测过程中，要随时进行必要的校核，以免发生错误。建筑物重要部位的放样，要经过专门检查以后才能施工。

施工放样所用的仪器，必须经过检验、校正完善后才能使用。

施工现场各工种之间的干扰很大，必须注意人身和仪器安全。为此，必须采取有效的防护安全措施。

应当指出：建设监理是指对建设领域有关建设活动所进行的监督和管理。它不同于一般性的监督管理，而是一个以严密的制度构成为显著特征的综合管理行为，是以国际咨询工程师联合会颁布的《土木工程施工合同条件》（简称 FIDIC 条款）为基础，形成建设单位（业主）、承建单位（承包商）和监理单位三方相互制约的且以监理单位为核心的管理模式。测量监理是工程建设监理的主要内容之一。测量监理工作是对工程建设实行全过程、全方位、全天候的质量监督和管理，它对水利工程建设的投资、进度、质量控制等关键问题起着极其重要的作用。

第三节　施工放样的基本工作

因为建（构）筑物的位置和形状都是由点、线和角度等几何要素决定的，所以，施工放样的基本工作有：测设点的平面位置和高程、测设角度和长度、测设直线坡度和曲线等。现分述于下。

一、测设高程点

见图 14－1，设 A 点的已知高程为 H_A，欲测设 B 桩，使桩顶高程等于设计高程 H_B。

为此在 A、B 之间安置水准仪，在 A 点立尺，读取后视 a，计算满足高程 H_B 应有的 B 点水准尺读数 b 为

$$b = H_A + a - H_B$$

此时，在 B 点设一木桩，将水准尺立在桩顶上，边观测边锤打木桩，直到读数等于 b 时，桩顶的高程就等于设计高程 H_B。

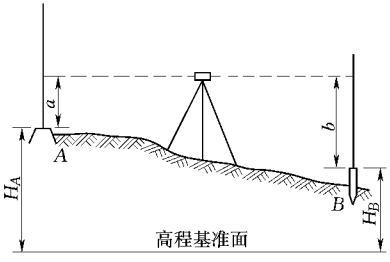


图 14－1　测设高程点

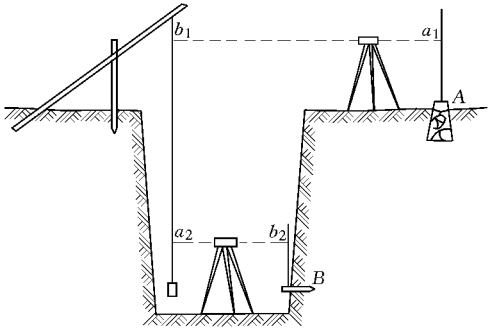


图 14－2　测设基坑高程点

也可把水准尺立于 B 桩侧面，上、下移动水准尺，直至读数等于 b，在木桩侧面上对准水准尺底部划上一条红线或钉一小钉作为放样高程的标志。

如图 14－2 所示，设已知水准点 A 的高程为 H_A，要在基坑内侧测设出高程为 H_B 的 B 点位置。先在基坑边埋一吊杆，上面悬挂一根带重锤的钢卷尺，零点在下端。在地面上安置水准仪，后视 A 点读数 a_1，前视钢尺读数 b_1；再在坑内安置水准仪，后视钢尺读数 a_2，当前视尺读数恰在 b_2 时，沿尺子底面在基坑侧面钉立木桩，则木桩顶面即为设计高程为 H_B 的 B 点位置。B 点应读的前视读数 b_2 为

$$b_2 = H_A + a_1 - b_1 + a_2 - H_B$$

二、测设水平角

见图 14－3，OA 为已知方向，欲在 O 点测设水平角等于 β（设计值）的另一角边的位置。

测设步骤如下：

（1）在 O 点安置经纬仪，盘左照准 A 点，水平度盘置 0° 00′00″。

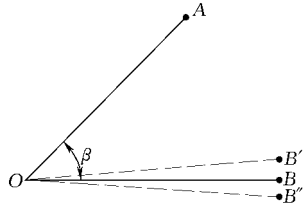


图 14－3　测设水平角

（2）顺转照准部，至水平度盘读数等于 β 时，拧紧水平制动螺旋，在视线方向标定一点 B'。

（3）盘右照准 A，读取水平度盘读数 R。

（4）顺转照准部，至水平度盘读数等于 $R+\beta$ 时，拧紧水平制动螺旋，在视线方向标定一点 B''。B' 与 B'' 一般不重合，是因为经纬仪的两倍照准差引起的。

（5）取 $B'B''$ 的中点 B，则 $\angle AOB = \beta$，即为测设的水平角。

（6）用测回法测定 $\angle AOB$ 进行校核。

三、测设直线长度

见图 14－4，A 为欲测设直线 AB 的一个端点，与已知方向 AM 的夹角为 β，欲测设

直线另一端点 B，使 AB 的平距等于设计值 D。

测设步骤如下：

（1）在 A 点安置经纬仪，照准 M，水平度盘置 $0°00'00''$，拨 β 角（逆转照准部，至水平度盘读数为 $360°-\beta$，拧紧水平制动螺旋）。

（2）在该视线方向上概量并钉立尺段桩（如 1 点）和终点桩（B'）。

（3）分段（$A1$ 和 $1B'$）用钢尺精确丈量，并加尺长、温度和倾斜三项改正，算得 AB' 的精确平距 D'。

（4）端点修正，即算出 $\Delta D=D-D'$，根据 ΔD 的正负号，用小钢尺向前或向后量取一段平距 ΔD，打桩，即可定出直线另一端点 B 的位置。

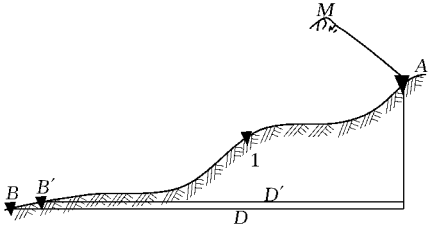


图 14-4　测设直线长度

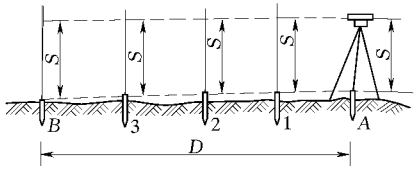


图 14-5　测设直线坡度线

四、测设直线坡度线

在场地平整、管道敷设和道路整修等工程中，有时需测设一定的坡度。

见图 14-5，A、B 为坡度线的两端点，其水平距离为 D，设 A 点的高程为 H_A，要沿 AB 方向测设一条坡度为 i 的坡度线，则先根据 A 点的高程、坡度 i 及 A、B 两点间的距离计算 B 点的设计高程 H_B，即

$$H_B = H_A - iD$$

再按测设高程点的方法测设 B 桩。

把水准仪安置在 A 点上，使基座上一个脚螺旋在 AB 方向上，其余两个脚螺旋的连线与 AB 方向垂直，量仪器高 S，再转动 AB 方向上的脚螺旋和微倾螺旋，使十字丝横丝对准 B 点水准尺上等于仪器高 S（视线高度）处，此时，仪器的视线与设计坡度线平行。随后在 AB 方向的中间各点 1、2、3 的木桩侧面立尺，上、下移动水准尺，直至尺上读数等于仪器高 S 时，沿尺子底面在木桩侧面上画一红线，则各桩红线的连线就是设计坡度线。

应当指出：坡度 i 有正（上坡）有负（下坡），计算设计高程时，坡度应连同其符号一并计算。该法只适用距离较短、坡度较小的地形条件。如果坡度大，可用经纬仪的倾斜视线测设。

五、测设点的平面位置

许多建筑物的平面位置都可以通过测设点的平面位置来确定。

测设点的平面位置方法较多，可根据现场情况选择。

（一）直角坐标法（支距法）

当现场已有矩形控制网或建筑基线时，用直角坐标法测设点位比较方便。

见图 14－6，A、B、C、D 为控制点，P 为欲测设点。先算出 P 点对控制网顶点的坐标增量 ΔX、ΔY，即

$$\Delta X = X_P - X_B$$

$$\Delta Y = Y_P - Y_B$$

测设时，在 B 点安置经纬仪，照准 A，沿此方向自 B 平量 ΔX 得 Q，再在 Q 点安置仪器，照准 A（或 B），测设直角并在此方向自 Q 平量 ΔY 得 P 点。

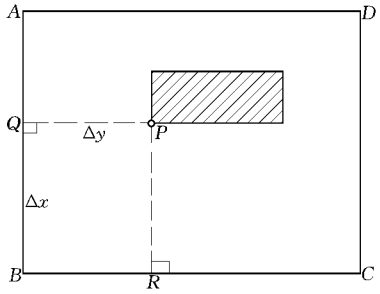


图 14－6　直角坐标法

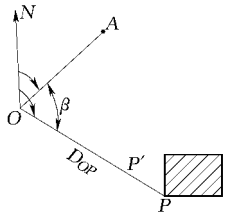


图 14－7　极坐标法

为了校核，可再先测设 R 点再测设 P 点。

（二）极坐标法

根据极坐标原理测设一点的平面位置，称为极坐标法。

见图 14－7，已知 O、A 坐标和 P 点设计坐标，测设 P 点的平面位置。

1. 测设数据计算

首先，根据 O、A、P 三点坐标，用坐标反算法算出测设数据 β 和 D_{OP}。

$$D_{OP} = \sqrt{(X_P - X_O)^2 + (Y_P - Y_O)^2}$$

$$\alpha_{OA} = \mathrm{tg}^{-1}\frac{Y_A - Y_O}{X_A - X_O}$$

$$\alpha_{OP} = \mathrm{tg}^{-1}\frac{Y_P - Y_O}{X_P - X_O}$$

$$\beta = \alpha_{OP} - \alpha_{OA}$$

2. 测设方法

（1）用测设水平角的方法，测设 P'。

（2）在 OP' 方向上用钢尺量取平距等于 D_{OP}，得 P 点，P 即为测设的点。

（三）角度交会法

在两个或多个已知点上安置经纬仪，标定方位角或测设水平角，交会出点的平面位置，称为角度交会法。

见图 14－8，A、B、C 为已知点，P 为欲测设点。

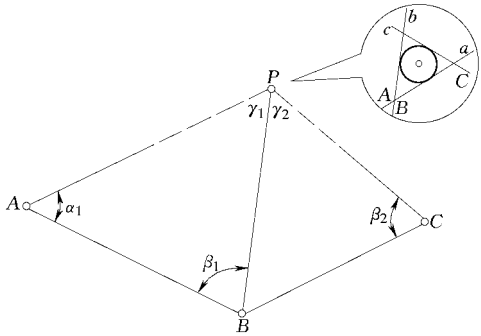


图 14－8　角度交会法

测设步骤如下：

（1）由 A、B、C、D 坐标求得 α_1、β_1、β_2。

（2）在 A 点安置经纬仪，后视 B，水平度盘置 0°00′00″，拨 α_1 角（逆转照准部，至水平度盘读数为 $360^\circ-\alpha_1$，拧紧水平制动螺旋）；在 B 点安置经纬仪，后视 A，水平度盘置 0 °00′00″，拨 β_1 角（顺转照准部，至水平度盘读数为 β_1，拧紧水平制动螺旋）。

（3）两台仪器同时指挥一持花杆者，直至移至两视线的交点上，打上大木桩。在桩顶面上标绘出两方向线及其交点 P 的位置。

（4）在 C 点安置经纬仪，后视 B，拨 β_2 角，在 P 桩上又可绘出一条方向线。如果交会没有误差，则此方向线应通过前两方向线的交点 P；如果有误差，则形成一个示误三角形，当示误三角形的最大边长不超过施工规范要求（一般为 3cm）时，可取内切圆圆心作为 P 点的最终位置。

为提高交会点的精度，交会角 α、β_1、β_2 应不小于 30°和不大于 120°。

（四）距离交会法

见图 14－9，P 点的位置可由控制点 A 和 B 的水平距离来确定。先根据 A、B 和 P 点坐标，计算 D_{AP} 和 D_{BP}。

测设时，以控制点 A 和 B 为圆心，分别以 D_{AP}、D_{BP} 为半径在地面上做圆弧，其交点即为 P 点的位置。

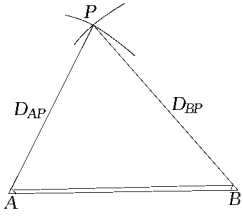


图 14－9　距离交会法

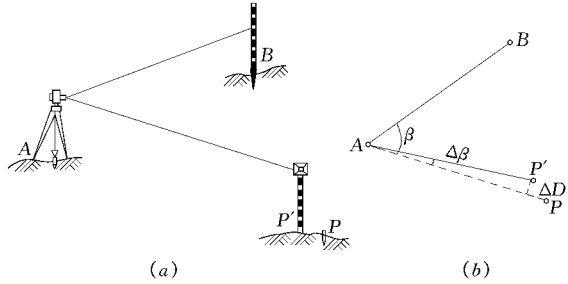


图 14－10　全站仪测设点位

（五）全站仪测设点的平面位置

一般采用极坐标法原理，如图 14－10 所示，将全站仪安置于测站 A，选定放样测量模式后，首先输入放样角 β 和距离 D，或测站点和放样点的坐标，并照准另一已知点 B 设定方位角；然后将反射棱镜竖立在待放样点 P 的概略位置 P' 处，按相应功能键即可自动显示水平角偏差 $\Delta\beta$ 和水平距离偏差 ΔD；最后依照所显示的偏差值，移动反射棱镜，当仪器显示为零时即为设计的位置。显然，利用全站仪提供的放样功能，进行点平面位置的测设十分便捷。

六、测设圆曲线

曲线分为平面曲线和竖曲线。平面曲线是指线路转向时所设置的曲线，包括圆曲线、缓和曲线等的平面曲线，简称平曲线；竖曲线是指在道路纵坡的变换处竖向设置的曲线。本节主要介绍平曲线中的圆曲线测设方法。

测设公路、铁路、渠道和隧洞等从一个直线方向转至另一直线方向时，常需采用圆曲

线进行过渡，使路线沿圆曲线缓慢变化。

圆曲线的测设一般分两步进行：首先测设圆曲线的主要点（主点），然后测设细部点。测设前，必须计算圆曲线元素、主点里程和细部点测设数据，编制圆曲线测设数据表。

（一）圆曲线元素和主点里程的计算

见图 14－11，A、B、M 为曲线起、终、中点，称为圆曲线三主点。圆曲线五元素为：

转折角 α、圆曲线半径 R、切线长 T、曲线全长 L 和外矢距 E。其中 α 为经纬仪实测，R 为设计时选定。其它三元素按下式计算，即

$$\left.\begin{aligned} T &= R\,\mathrm{tg}\,\frac{\alpha}{2} \\ L &= \frac{\alpha}{180}\pi R \\ E &= R\left(\sec\frac{\pi}{2}-1\right) \end{aligned}\right\} \qquad (14-1)$$

路线上的点号常用里程桩表示，编号方法与渠道里程桩相同。假设转角点 J 离起点为 2.836km，它的里程桩号便可写成 2＋836。

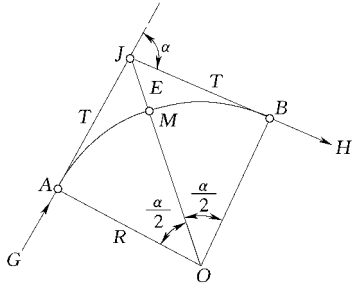


图 14－11　圆曲线主点及元素

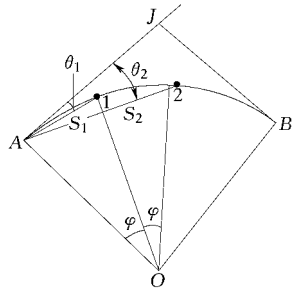


图 14－12　细部点测设

由图 14－11 可知：

$$A\text{ 点里程} = J\text{ 点里程} - T$$
$$B\text{ 点里程} = A\text{ 点里程} + L$$
$$M\text{ 点里程} = A\text{ 点里程} + \frac{L}{2}$$

（二）圆曲线主点的测设

（1）在 J 点安置经纬仪，以路线（切线）方向（JG、JH）定向，沿两切线方向分别平量出切线长 T，即定出起点 A 和终点 B。

（2）后视 H，拨水平角 $\beta=90^\circ-\frac{\alpha}{2}$，沿此方向线量出平距 E，即定出曲线中点 M 的位置。或直接照准圆心 O，沿 JO 方向量出平距 E，定出中点 M。

（三）圆曲线细部点的测设

圆曲线细部点的测设方法很多，常用偏角法测设。偏角法就是在圆曲线的测设中，用偏角和弦长确定曲线上各点在实地的位置的方法。

见图 14－12，欲测设圆曲线的细部点 1、2、…。具体测设步骤如下。

1. 测设数据的计算

所谓偏角，是从曲线起点 A 或终点 B 到曲线上任一点的弦线与路线直线方向（A 或 B 点处的切线）之间的夹角，以 θ_i 表示。显然

$$\left.\begin{aligned}\theta_1 &= \frac{\phi}{2}\\ \theta_2 &= \phi\\ &\cdots\end{aligned}\right\} \tag{14-2}$$

φ 一般选取 $2^\circ\sim4^\circ$。弦长 S_i 的计算式为

$$\left.\begin{aligned}S_1 &= 2R\sin\frac{\phi}{2}\\ S_2 &= 2R\sin\phi\\ &\cdots\end{aligned}\right\} \tag{14-3}$$

2. 测设方法

（1）在 A 点安置经纬仪，照准 J 点，水平度盘置 $0^\circ00'00''$。

（2）拨 θ_1 角，沿视线方向从 A 点量出平距 S_1，得曲线上 1 点。

（3）同法可测设其余各点。一直测设至中点 M，与 M 点校核其位置。

应当指出：当圆心角不等于 ϕ 的选取值时，其 θ_i 和 S_i 的计算仿照式（14-2）和式（14-3）进行。

* 第四节　混凝土重力坝的施工测量

筑坝是水利工程建设中的一项主要工程。对于不同结构形式、不同材料的坝，施工测量的方法和要求都有所不同。本节介绍混凝土重力坝的施工放样方法。

混凝土重力坝的施工放样工作包括：坝轴线的测设、坝体分块控制线的测设、基础开挖线的放样和坝体浇筑时立模的放样等。

一、坝轴线的测设

坝轴线的位置一般是在图纸上设计选定，再用图解方法量算出坝轴线两端点的坐标。选定测设点的平面位置的方法，计算测设数据，在现场测设出坝轴线的两端点。为防止施工时遭到破坏，必须将坝轴线延伸到两岸的山坡上，各埋设 1～2 个固定点，用来检查端点的位置。

二、坝体分块控制线的测设

混凝土坝的施工采取分层、分段、分块浇筑的方法。因此，在大坝施工前就要根据设计的要求把坝体分段、分块的控制线测设出来。分块控制线一般是平行于坝轴线的一组直线，分段控制线则是垂直于坝轴线的一组直线（图 14-13）。

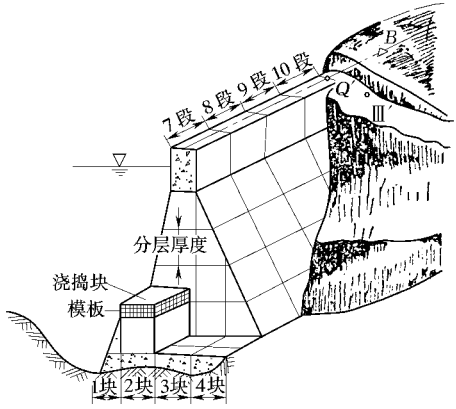


图 14-13　坝体分块法

见图 14-14，测设时，先在坝轴线端点 A 安

置经纬仪，照准 B，并在此方向线上根据坝顶高程，用水准仪找出坝顶与地面相交的坝端点 Z 和 Z'。再沿坝轴线方向按分段的长度量出坝基点 2、3、…、10，通过这些点用盘左盘右取中法分别测设与坝轴线垂直的方向线，将方向线延长到上、下游的围堰上，并埋桩标定。上游点为 $1'$、$2'$、…、$11'$，下游点为 $1''$、$2''$、…、$11''$。然后在两个便于量距的坝基点 3 和 9 安置经纬仪，按照分块的宽度分别在方向线 $3'3''$和 $9'9''$上量得 e、f、…、i 和 e_1、f_1、…、i_1。再在这些点上安置经纬仪，将方向线延长到两侧山坡上并埋桩标志 e'、e''、f'、f''、…、i'、i''。

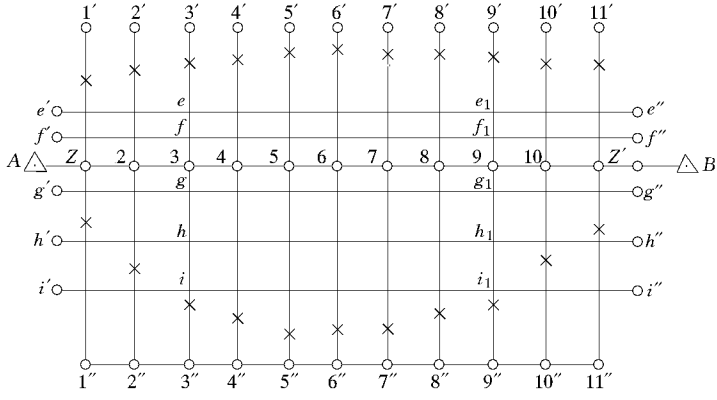


图 14－14　坝体分块控制线的测设

三、基础开挖线的放样

清基工作的任务是挖去覆盖的土层及彻底清除风化和半风化的岩石，露出新鲜的基岩。在修筑好围堰并将水排干以后，就可以放样清基开挖线。开挖点的位置是在图上求得的。

图 14－15 是坝基点 P 点的设计断面图。从该图上可查得坝轴线和上游坡脚点 A 的水平距离 PA 和 A 点高程 H_A，设基坑开挖边坡为 $1:M$。

放样方法如下。

1. 平坦地面

在地面上由坝基点 P 沿断面放样平距等于 $PA+M$（H_P-H_A）得 a 点，就是该断面上的开挖点。

2. 倾斜地面

（1）由坝基点 P 沿断面方向放样平距 PA 得 V 点，用水准仪测出 V 点高程 H_V，再由 V 点沿断面放样平距 $S_1=M$（H_V-H_A）得 a_1 点。

（2）实测 a_1 点高程 H_{a_1}，再自 V 点沿断面放样平距 $S_2=M$（$H_{a_1}-H_A$）得 a_2 点。

（3）实测 a_2 点高程 H_{a_2}，计算平距 $S_3=M$（$H_{a_2}-H_A$）。

（4）如果算得的 S_3 与量得的 S_2 大致相等，说明 a_2 就是开挖点 a。否则，应继续按上法进行，直至算得的 S_n 与量得的 S_{n-1} 大致相等为止。

开挖点定位后，可用木桩或红线标定，并沿断面方向在开挖范围以外设立两个以上的保护桩，丈量保护桩到 a 的距离，绘出草图以备查核之用。同法可定出所有断面上的开挖

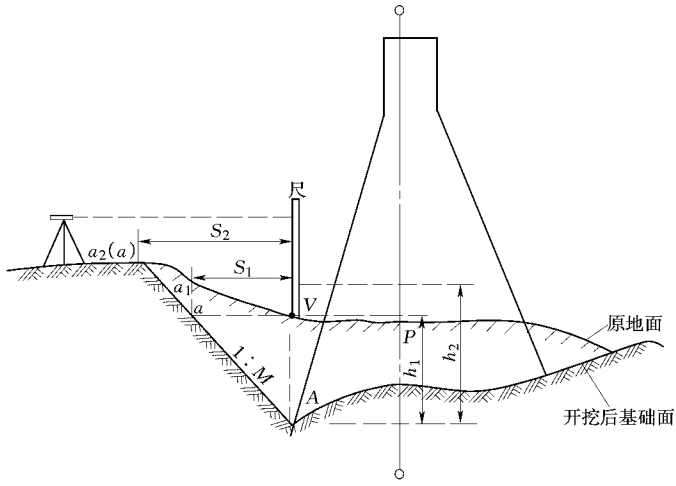


图 14－15　基础开挖线的放样

点（图 14－14 中的“×”），这些开挖点的连线称为开挖线。

四、坝体浇筑时立模的放样

混凝土重力坝一般是分段分块浇筑，其分段线一般即是温度缝，分块线称为施工缝。故在基坑开挖竣工验收后，应放出分段分块控制线，以便据以树立模板，浇筑混凝土。

（一）坝体分块的立模放样

在坝体中间部分的分块立模时，是根据大坝上、下游的分段控制桩及左、右岸的分块控制桩，直接在基础面或已浇好的坝块面上进行放样、弹线。由于模板是架在分块线上，立模后分块线将被覆盖，所以分块线弹好后，还要在分块线内侧弹出平行线称为立模线，用来检查与校正模板的位置。立模线与分块线距离一般是 0.2～0.5m。

（二）坡面板的立模放样

坝体坡面立模是从基础开始，首先要在横断面上找到坝坡线与基岩表面线的交点。图 14－16 是一个坝段的横断面图。假定要浇筑混凝土块 $ABEF$，先要放出坡脚点 A 的位置。从设计图上查得浇筑块顶 B 点高程为 H_B，它与坝轴线的距离为 b 以及上游坡度为 $1:M$。

放样方法如下。

1. 平坦坝基面

自坝轴线沿断面方向放样平距 $S=b+M(H_E-H_F)$ 即得坡脚点 A。H_E、H_F 可从设计图上查得。

2. 倾斜坝基面

（1）在断面方向的坝基面上找一点 C（尽量接近坡脚点），用水准仪测出 C 点高程 H_C，计算高程为 H_C 的坡脚点与坝轴线的平距 $S_1=b+M(H_B-H_C)$。

（2）在断面方向上由坝轴线放样距离 S_1 又得 D 点，测出 D 点高程 H_D，计算高程为 H_D 的坡脚点与坝轴线的平距 $S_2=b+M(H_B-H_D)$。

（3）如果实量 $DF=S_2$，则 D 点即为坡脚点。否则，应继续按上法进行，直至该点的实量距离等于计算平距为止。

连接各相邻坡脚点即为坡脚线。沿此线按 $1:M$ 的坡度架立坡面模板，再从坡面模板的上边用垂球向下投影，根据上下两边的平距和高差算出的坡度进行校核。

（三）模块垂直度的检查

直立的模板应检查它们的垂直度。检查方法是在模板顶部的两头，各垂直量取一段 0.2m 的长度，挂上垂球，待垂球稳定后，看它们的尖端是否通过立模线，如不通过则应校正模板，直至两端的垂球尖端都通过立模线为止。

（四）浇筑混凝土层标高线的放样

为了控制浇筑混凝土层的标高，一般是在模板内侧划出标高线。方法是先将高程传递到坝块面上，根据已知点的高程，分别在所立模板的两端放样混凝土层的标高，在两点之间弹出水平线，即为浇筑的标高线。待四周的模板都画好标高线之后，就可以据此浇筑这一块混凝土，依此法逐块浇筑直到浇筑完为止。

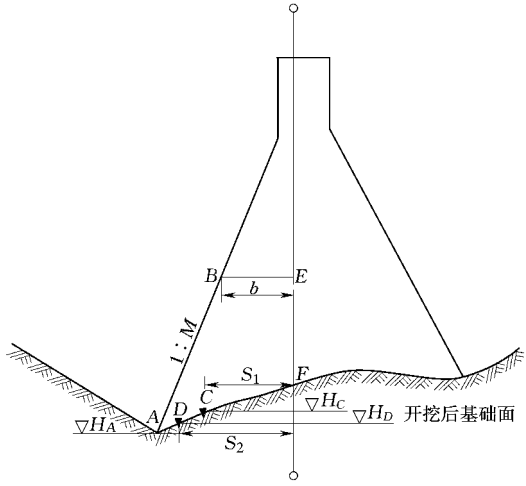


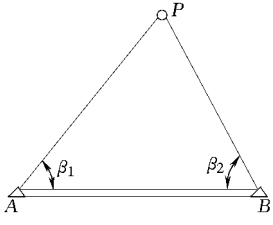
图 14－16　坝坡立模放样

习题与思考题

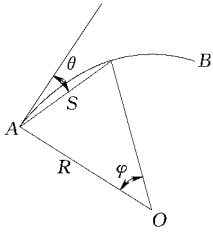
1. 施工控制网的特点是什么？

2. 何谓施工放样？它所遵循的作业原则是什么？

3. 施工放样的基本工作有哪些？



题图 14－1



题图 14－2

4. 如题图 14－1 所示，A、B 为小三角点，其坐标分别为 $X_A=103.23$m、$Y_A=297.07$m，$X_B=91.10$m、$Y_B=388.54$m。P 点设计坐标为 $X_P=211.64$m、$Y_P=395.77$m，试求：采用角度交会法测设 P 点的测设数据（β_1、β_2）。

5. 某线路两直线交点 JD_1（2＋543.50）位置确定，转折角 $\alpha=44°25'$，圆曲线半径 $R=240$m，求曲线的切线长 T、曲线长 L、外矢距 E 和三主点的桩号里程。

6. 混凝土重力坝的施工放样有哪些测量工作？

7. 如题图 14－2 所示，AB 为圆拱拱圈一部分，$R=120.23$m，$\phi=4°$，试求偏角法测设数据：偏角 θ 和弦长 S。

※ 第十五章　水利工程管理阶段的测量工作

第一节　概　　述

随着水工建筑物的施工建造，改变了建筑区域原有的自然面貌。当它们竣工运营之后，庞大体积的库水不仅给地表形成强大的压力，而且也使挡水建筑物及其基础承受了来自水库的水平推力和垂直作用力，将会使建筑物（如大坝）及其基础产生水平方向和垂直方向的变形。除了上述工程本身的特点之外，地基的工程地质、水文地质、土壤的物理性能，以及由于勘测设计和施工质量问题、运营管理不合理、自然条件的变化等都会引起建筑物产生变形。如果这种变形在规定的限度之内，应认为是正常的，否则，不仅会影响建筑物的正常运营，而且还会危及建筑物的安全，给生命财产造成严重的后患。因此，水利工程管理阶段的测量工作主要是对水工建筑物进行变形测量。

变形测量一般分内部观测和外部观测。外部观测是通过设在水工建筑物外部的观测点，测定建筑物的垂直位移、水平位移、裂缝和挠度等，采用的主要仪器和设备为精密水准仪、经纬仪和正垂线、倒垂线、引张线等。本章主要介绍水工建筑物的外部变形观测。

变形测量的任务是周期性地对布设在建筑物各部位的测点进行重复观测，通过比较观测结果，了解变形随时间发展的变化规律。观测的周期根据具体情况确定；竣工初期或变形较大时，观测周期宜短；变形量较小或建筑物趋向稳定时，观测周期则宜适当放长些。

变形测量的方法一般是根据建筑物的性质、使用情况、周围环境以及对观测精度的要求来选定的。垂直位移测量须采用精密水准测量或液体静力水准测量；水平位移测量可以根据建筑物的不同形式分别用基准线法或前方交会法；倾斜观测可以采用倾斜仪或通过测定高差和水平位移量来计算倾斜角；裂缝（或伸缩缝）观测可用测缝计或根据其它观测结果进行计算。

本章主要介绍垂直位移和水平位移测量。

第二节　垂 直 位 移 测 量

垂直位移测量就是测定变形体的高程随时间而产生的位移大小、位移方向，并提供变形趋势及稳定预报而进行的测量工作。

在一般情况下，建筑物及其基础在垂直方向上的位移包括上升和沉降。建筑物的上升出现的机会相对较少；建筑物的沉降是垂直位移中最常见的现象。因此垂直位移测量往往称为沉降观测。

为了测定建筑物的沉降，必须在最能反映建筑物沉降的位置埋设观测点，定期从附近的水准点联测观测点的高程。靠近建筑物的水准点称为工作基点。为了防止工作基点受建

筑物压力扩散的影响而产生变动，一般采用远离建筑物的水准基点经常检测工作基点。

一、观测点和水准点的布设

1. 观测点的布设

一般在施工期间埋设建筑物沉降观测点，所埋设的观测点应有足够的数量和代表性，并牢固地与建筑物结合在一起，使观测点的变化能真正反映建筑物的沉降情况。

大坝沉降观测点根据坝型不同，选择不同的布设方案。对于混凝土重力坝，坝体观测点一般布设在坝顶和坝的不同高度位置，每坝段的上、下游两侧都应有观测点，其标志的埋设如图 15－1 所示；坝基观测点应布设在基础廊道中心线上，每一坝段的横向廊道内都应有观测点，其标志的埋设如图 15－2 所示。土石坝的观测点布设在坝面上，一般与坝轴线平行，在坝顶以及迎水面和背水面的正常水位以上，在背水面相应于正常水位变化区的浸水区，各埋设一排观测点，并保证每一排都在合拢段、坝内泄水底孔处、坝基地质不良以及坝底地形变化较大的地方有观测点，点位的平均间距约 30～50m。土石坝的沉降观测点通常与水平位移观测点合二为一，应当埋设混凝土观测标墩，如图 15－3 所示，顶部标芯有“＋”字者为水平位移观测中心，另一半圆标芯为沉降观测点。

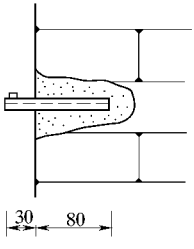


图 15－1　沉降观测点（单位：mm）

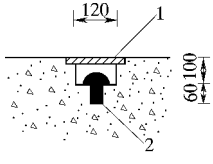


图 15－2　廊道沉降观测点

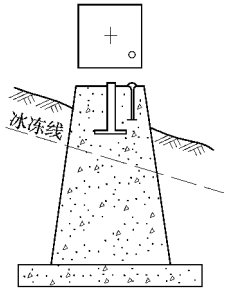


图 15－3　土石坝位移观测标墩

2. 水准点的布设

（1）水准基点。它是沉降观测的基准，因此它的构造与埋设必须保证稳定不变和长久保存。应布设在建筑物沉降影响范围之外。对于水利枢纽，水准基点应埋设在河流下游两岸离坝址较远的完整新鲜的基岩上。当覆盖层很厚时，应采用钻孔穿过土层和风化层达到基岩，埋设钢管标志，如图 15－4 所示。

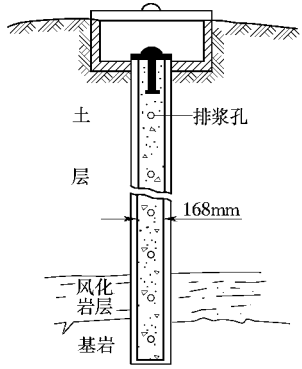


图 15－4　深埋钢管标志

（2）工作基点。它作为直接测定沉降观测点的依据，应靠近建筑物。一般采用地表岩石标志；当建筑物附近土层覆盖较深时，也可采用土中标志，但标石的基座应适当加大。

水准基点与工作基点之间采用精密水准联测，闭合差应不超过 $\pm 0.5\sqrt{n}$（单位为 mm，n 为测站数）。

二、观测时间、观测方法和精度要求

在建筑物施工期间，当增加较大荷载之后（如浇筑基础、安装柱子、屋架、吊车梁等之后）要进行沉降观测。

竣工后要根据沉降量的大小定期进行观测，最初可每隔 1～2 个月观测一次，每次沉降量超过 5mm 时，要增加观测次数。随着沉降量的减小，可逐渐延长观测周期，直至稳定为止。混凝土坝沉降点的观测，须采用精密水准测量。

对于一般沉降观测，应固定水准仪、水准尺，前视和后视最好用同一把水准尺；仪器离前、后视水准尺的距离差不大于 0.3m，视线长度应在 40m 以内，每次观测都要按固定测站位置和尺垫位置进行观测。读完各测点后要回测后视点，以检查观测过程中仪器是否发生变动；对同一后视点的始末两次读数之差不应大于 1mm。路线观测闭合差不得超过 $\pm 1.4\sqrt{n}$（单位为 mm，n 为测站数）。

布设在大坝廊道内的沉降观测点，如果各点大致同高时，可采用固定连通管进行液体静力水准测量。即用水管将每个测点下的水槽连通起来，并在各测点上安装一支水位测针，借助于齿轮，可使测针沿铅垂方向上下移动，如图 15－5 所示。水管充水后，任意两测针触及水面时的读数之差，就是两点间的高差。再根据工作基点的已知高程，即可求得各测点的高程。

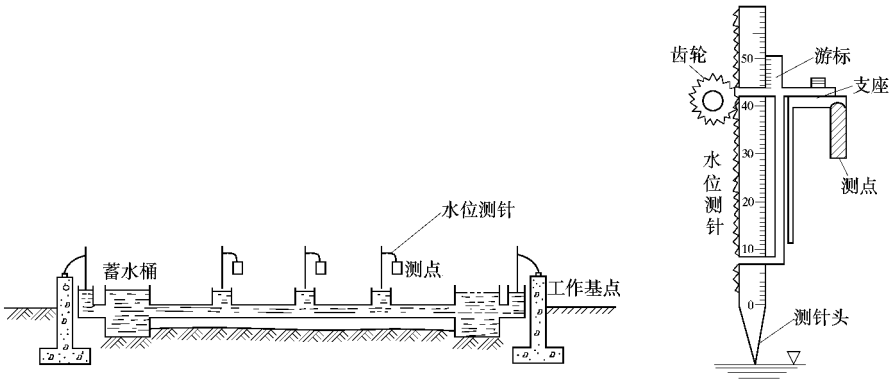


图 15－5　固定式连通管水准测量

工作基点高程的变化将直接影响沉降观测结果，通常应由专业测量人员采用精密二等以上水准测量定期进行检查。

第三节　水平位移测量

水平位移测量就是测定变形体的平面位置随时间而产生的位移大小、位移方向，并提供变形趋势及稳定预报而进行的测量工作。

根据建筑物的形式不同，水平位移测量可分别采用视准线法或前方交会法。

一、视准线法

视准线法适用于直线型建筑物，如混凝土重力坝和土石坝等。此法的原理是以坝轴线或平行于坝轴线的固定铅垂平面为基准面，并沿基准线布设一些位移观测点，周期性地观测这些点偏离基准面的情况，通过比较观测结果，以确定水平位移的大小。

如图 15－6，在坝轴两端山坡的基岩上设置基点 A、B，并建造具有经纬仪强制对中圆盘的钢筋混凝土观测墩（图 15－7）；沿 AB 方向的各坝段上埋设位移观测点 1、2、3、

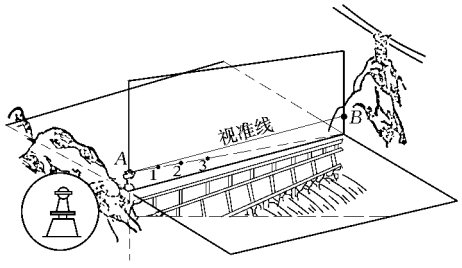


图 15－6　视准线法

…。在一个基点观测墩上安置经纬仪，照准另一个基点观测墩的中心标志，即可获得一条视准线。它的方向可认为是固定不变的；定期测量位移观测点偏离视准线的距离（简称偏距），即可求得大坝的水平位移值。

设基点第一次测得的偏距为 l_1，第 i 次测得的偏距为 l_i，则水平位移值 δ_{Y_i} 为

$$\delta_{Y_i} = l_i - l_1 \tag{15-1}$$

测点向下游位移时，δ_{Y_i} 为正；向上游位移时，δ_{Y_i} 为负。

视准线法按其测定偏距的方法不同，又分为“活动觇牌法”和“小角度法”。

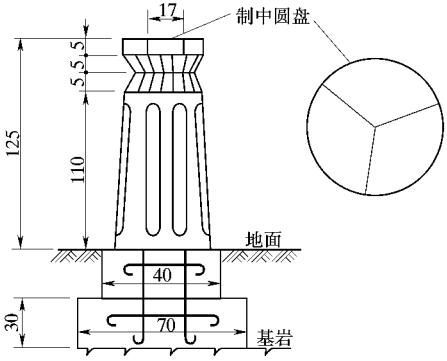


图 15－7　视准线观测墩（单位：cm）

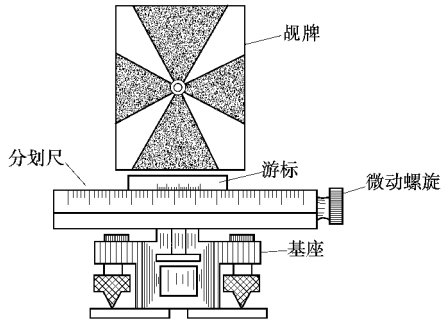


图 15－8　活动觇牌

1. 活动觇牌法

见图 15－8，一块刻有“＋”字形照准线的觇牌能够左右移动，其移动量可以在下面的标尺上根据指标线或游标来读取，估读至 0.1mm。观测时，在位移观测点上安置活动觇牌，使觇牌标尺的零刻线对准测点的中心标志，然后按照基点上的观测员指挥，转动觇牌的微动螺旋，使觇牌上的照准线与望远镜十字丝竖丝重合为止，读取觇牌标尺上的读数记入手簿；正、倒镜各观测一次合为一个测回。在 A 点和 B 点分别安置经纬仪各观测一个测回（称为往、返测），取往、返测的平均值作为一次观测的结果。

2. 小角度法

如图 15－9 所示，在基点 B 和位移观测点 P_i 分别安置固定觇标，由安置在固定点 A 的经纬仪测出视准线 AB 与位移观测点方向 AP_i 之间的小角度 α_i，则偏距 l_i 为

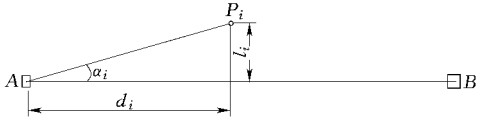


图 15－9　小角度法

$$l_i = \frac{\alpha_i}{\rho''} d_i \tag{15-2}$$

$$\rho'' = 206265''$$

式中　d_i——基点 A 至观测点 P_i 之间的距离。

小角度法须采用精密经纬仪（DJ2 型以上）观测 4 个测回，各测回之差不能超过 3″

（半测回差应小于 4″）；并应在 A 点和 B 点分别设站进行对向观测。

二、前方交会法

前方交会法不仅适用于直线型大坝，也适用于曲线型大坝。图 15－10 所示为拱坝。

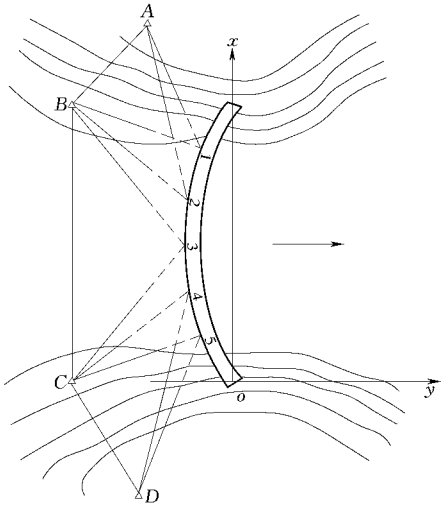


图 15－10　用前方交会法测定水平位移

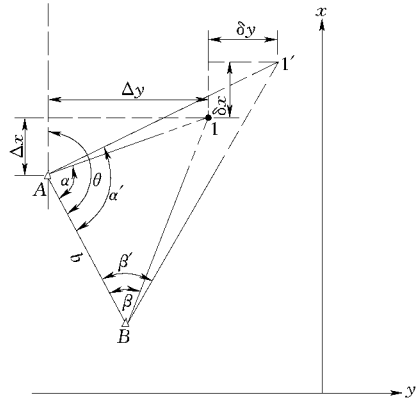


图 15－11　前方交会时纵横位移值的计算方法

为了观测和计算拱坝各观测点的纵横位移值，取拱坝两端点的连线为 x 轴，并以右岸端点为原点，x 值由原点向左岸递增为正，y 值由原点向下游递增为正。控制点（观测墩）布设好后，按逆时针方向编号，并且测出各控制边的长度 b 及对 x 轴的方位角 θ，但不必计算坐标。位移观测点可选择交会角较好的两个方向，用 DJ2 型以上的经纬仪定期进行交会测量，每次至少观测两个测回，测回差不应超过 3″。如图 15－11 所示，设在测站 A 和 B 交会 1 号位移观测点：最初一次所测角度为 α 和 β；第 n 次观测时，1 点位移到了 1′，测得的角度为 α' 和 β'。如果分别计算出 1 点和 1′点对 A 点的坐标增量 ΔX_{A1}、ΔY_{A1} 和 ΔX_{A1}、ΔY_{A1}，则相应的增量之差就是纵、横位移值。由图 15－11 可导出坐标增量计算公式为

$$\left.\begin{aligned}\Delta X &= \frac{b\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)}\cos(\theta-\alpha)\\ \Delta Y &= \frac{b\sin\beta}{\sin(\alpha+\beta)}\sin(\theta-\alpha)\end{aligned}\right\} \tag{15-3}$$

因为大坝的位移量很小，实际上不必每次都根据坐标增量去计算纵、横位移值。如果令 $\mathrm{d}\alpha=\alpha'-\alpha$，$\mathrm{d}\beta=\beta'-\beta$，将式（15－3）取全微分，即可得位移值计算公式为

$$\left.\begin{aligned}\delta x &= \mathrm{d}(\Delta x) = -\frac{b\sin\beta\cos(\theta+\beta)}{\rho\sin^2(\alpha+\beta)}\mathrm{d}\alpha + \frac{b\sin\alpha\cos(\theta-\alpha)}{\rho\sin^2(\alpha+\beta)}\mathrm{d}\beta\\ \delta y &= \mathrm{d}(\Delta y) = \frac{b\sin\beta\sin(\theta+\beta)}{\rho\sin^2(\alpha+\beta)}\mathrm{d}\alpha + \frac{b\sin\alpha\sin(\theta-\alpha)}{\rho\sin^2(\alpha+\beta)}\mathrm{d}\beta\end{aligned}\right\} \tag{15-4}$$

令

$$f'_x = -\frac{b\sin\beta\cos(\theta+\beta)}{\rho\sin^2(\alpha+\beta)},\quad f''_x = \frac{b\sin\alpha\cos(\theta-\alpha)}{\rho\sin^2(\alpha+\beta)} \tag{15-5}$$

$$f'_y = -\frac{b\sin\beta\sin(\theta+\beta)}{\rho\sin^2(\alpha+\beta)},\quad f''_y = \frac{b\sin\alpha\sin(\theta-\alpha)}{\rho\sin^2(\alpha+\beta)} \tag{15-6}$$

式（15－4）中的系数 f 根据第一次交会观测的角值，按式（15－5）和式（15－6）算出，是一常数。于是

$$\left.\begin{aligned}\delta x &= f'_x\mathrm{d}\alpha + f''_x\mathrm{d}\beta = f'_x(\alpha'-\alpha) + f''_x(\beta'-\beta)\\ \delta y &= f'_y\mathrm{d}\alpha + f''_y\mathrm{d}\beta = f'_y(\alpha'-\alpha) + f''_y(\beta'-\beta)\end{aligned}\right\} \tag{15-7}$$

第四节　变形测量资料的整理

有了现场变形测量成果，应当将测量资料进行全面检查、整理，按时间填写测量数值表，绘制变形过程线和变形分布图，找出变形与有关因素的关系及其发展的规律。

一、观测点的变形过程线

图 15－12 为某坝下游马道上两个观测点的水平位移过程线。该图中横坐标表示时间，纵坐标为观测点的累计位移值。

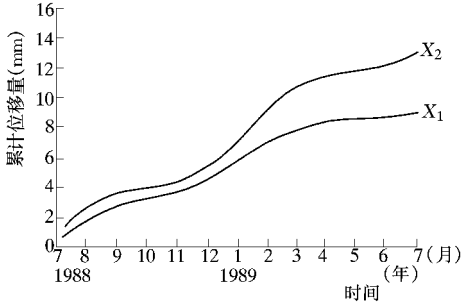


图 15－12　某坝水平位移过程线图

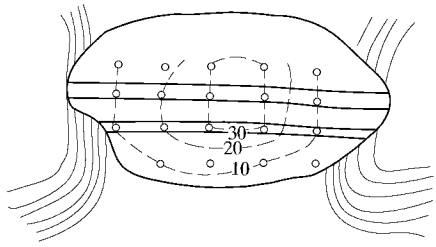


图 15－13　某土坝沉降等值线图

二、变形分布图

常用的变形分布图是建筑物沉降等值线图和变形值剖面分布图。图 15－13 是某土坝的沉降等值线图，在同一曲线上的各点具有相同的沉降量。对于建筑物的挠曲情况可以绘制水平位移值竖面分布图。

习题与思考题

1. 何谓变形测量？有何意义？

2. 什么叫垂直位移测量？

3. 什么叫水平位移测量？主要方法有哪两种？

4. 如图 15－11 所示，已知：$b = 138.227\mathrm{m}$，$\alpha = 43°00'21''$，$\beta = 53°24'36''$，$\alpha' = 43°02'06''$，$\beta' = 53°25'54''$，$\theta = 135°51'48''$。试求：观测点 1 的纵横位移值 δx、δy。

5. 何谓变形过程线和变形分布图？

参 考 文 献

1 丁云庆主编．水利水电工程测量．北京：水利电力出版社，1978
2 郑庄生编．建筑工程测量．北京：中国建筑工业出版社，1996
3 陈克钰主编．测量．北京：中国水利水电出版社，1998
4 张慕良，叶泽荣合编．水利工程测量．北京：水利电力出版社，1979
5 吴子安，吴栋材．水利工程测量．北京：测绘出版社，1990