

高等学校教材

铁道工程测量学

上册

西南交通大学 王兆祥 主编

兰州铁道学院 宋卓民 主审

中国铁道出版社

1992年·北京

前 言

本教材是根据1985年5月铁道部高等学校铁道工程、桥梁、隧道专业教材编审委员会第五次会议的决定，在1979年出版的《铁道工程测量学》原试用教材的基础上，按照近几年来教学的实践和学科的发展情况修订而成。修订后，《铁道工程测量学》分上、下两册出版。

本书为上册部分，需80学时。与原试用教材比较，删除了原教材中较陈旧的部分，充实了较先进的内容，例如把对数计算的方法一律改用真数计算，便于计算机（器）的使用，并删除了视距计算表、计算盘等；对于自动安平水准仪、电子经纬仪、陀螺经纬仪及光电测距仪等的构造原理和使用方法都作了比较详细的介绍。在编排体系方面突出了基本测量工作，并把解决同一问题的各种方法集中编排，使读者对全书能有较系统而又完整的了解。为了便于教学，每章后均编有习题。

本书由西南交通大学王兆祥主编，兰州铁道学院宋卓民主审。参加本书修编的有：西南交通大学王兆祥修编第一、二、六、七、八、九章；西南交通大学傅晓村修编第三、四、五章。另外，于1987年2月在北京召开了审稿会议。参加审稿会议的除本书上、下册的修编者外，还有兰州铁道学院周天恒，上海铁道学院胡杰、夏文坤，长沙铁道学院肖修敢，石家庄铁道学院章维杰及西南交通大学费人雄等同志。在本书修编过程中，西南交通大学张延寿和费人雄两位同志曾对初稿提出了许多宝贵意见，在此一并致谢。

编 者

1987年5月

(京)新登字063号

内 容 简 介

《铁道工程测量学》修订后分上、下两册出版。上册包括第一篇基本的测量工作和第二篇地形测量,共九章。详细介绍了水准仪、经纬仪等常用仪器及其最新型号仪器的构造和使用;高程、角度、距离和直线方向等基本测量工作的各种方法;测量误差的基本知识;大比例尺地形测量的控制和地形图的测绘及其应用。下册为第三篇铁道工程测量,共七章。介绍铁路曲线的测设;铁路新线和既有线的测量;桥隧的施工控制测量;线路、桥梁及隧道的施工测量以及房屋和管道的施工测量。

本书是根据铁道工程专业的培养目标和要求编写的,同时也兼顾了桥梁、隧道、运输、工民建和给排水等专业的需要,可作为以上各专业的测量教材使用。

高等学校教材

铁道工程测量学

(上册)

王兆祥 主编

*

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条14号)

责任编辑 刘桂华 封面设计 王毓平

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092mm 1/16 印张: 12.25 字数: 298千

1989年7月第1版

1992年10月 第1版 第8次印刷

印数: 12001—15000 册

ISBN7-113-00487-3/TU·120 定价: 5.20元

目 录

第一章 绪 论

1—1	测量学的任务及其在铁路建设中的作用	1
1—2	测量学发展简史	2
1—3	地面上点位的表示方法	3
1—4	测图的原理和程序 基本的测量工作	5
1—5	测量工作的特点和要求	6
习 题		6

第一篇 基本的测量工作

第二章 高程测量

2—1	高程测量概述	7
2—2	水准测量的原理	7
2—3	水准仪和水准尺	9
2—4	水准仪的使用	13
2—5	水准测量的方法	14
2—6	水准仪的检验和校正	18
2—7	水准测量的误差及其消减方法	22
2—8	自动安平水准仪	24
2—9	精密水准仪和精密水准尺	26
习 题		27

第三章 角度测量

3—1	测量水平角的原理	29
3—2	经纬仪的构造	29
3—3	光学经纬仪的测微原理和读数方法	32
3—4	经纬仪的使用和养护	37
3—5	水平角的观测方法	39
3—6	竖直角测量原理和观测方法	41
3—7	竖盘自动补偿装置的原理和构造	44
3—8	经纬仪的检验和校正	46
3—9	测量水平角的误差及其消减的方法	50
3—10	测量竖直角的误差及其消减方法	54
习 题		54

第四章 距离丈量

4—1	钢尺及其检验	56
4—2	用钢尺丈量距离	58
4—3	钢尺量距的误差来源及注意事项	61
4—4	其他测距方法概述	63
习 题		64

第五章 光电测距

5—1	光电测距的基本原理	65
5—2	光电测距仪的构造	68
5—3	光电测距仪的使用和养护	71
5—4	光电测距的气象改正	73
5—5	光电测距的误差来源	74
5—6	光电测距仪的检测	76
5—7	光电测距的成果计算及精度评定	79
5—8	光电三角高程测量	80
习 题		81

第六章 直线定向和方位角测量

6—1	直线定向	83
6—2	用罗盘仪测量直线的磁方向	86
6—3	用太阳高度法测量真方位角	87
6—4	用陀螺经纬仪测量真方位角	94
习 题		101

第七章 测量误差理论的基本知识

7—1	测量误差	103
7—2	评定精度的标准	105
7—3	误差传播定律	107
7—4	算术平均值及其中误差	110
7—5	按最或然误差求观测值的中误差	112
7—6	按双观测值之差求观测值的中误差	114
7—7	不同精度观测值的权	115
7—8	不同精度观测的最或然值及其中误差	117
7—9	误差理论的应用	120
习 题		125

第二篇 地形测量

第八章 大比例尺测图的控制测量

8—1	控制测量概述	127
8—2	导线测量	129
8—3	导线测量的内业计算	131
8—4	导线的展绘	137
8—5	小三角测量	138
8—6	小三角测量的内业计算	140
8—7	测角交会定点	145
8—8	高程控制测量	149
习 题		153

第九章 地形测量

9—1	地形图	155
9—2	地物的表示方法	157
9—3	地貌的表示方法	160
9—4	地形测图的控制	163
9—5	视距测量	164
9—6	地形测绘的方法	167
9—7	地形图的分幅和编号	173
9—8	地形图的阅读	175
9—9	地形图的应用	176
9—10	摄影测量简介	180
习 题		186

第一章 绪 论

1—1 测量学的任务及其在铁路建设中的作用

测量学 是研究如何测量和描绘地面形状的科学。“测量”一词是泛指对各种量的量测，而测量学中所要量测的对象是地球局部的表面或整个的地球，因此也称为“测地学”。由于测量学一般都包含测和绘两个内容，所以这门科学又称为“测绘科学”。

测量学是一门既古老而又在不断发展的科学。按照所研究的内容不同，它可以分为以下几门学科：

1. 大地测量学 是研究广大区域的测量工作，如在广大区域内建立大地控制网或研究整个地球的形状和大小。目前大地测量还发展应用到海洋测量和宇宙测量中。在大地测量中必须考虑地球的曲率。
2. 地形测量学 是研究小区域内地球表面形状的测绘工作，如测绘各种比例尺的地形图。地形测量中不考虑地球的曲率，在小区域内球面可用平面来代替。
3. 摄影测量学 是研究利用摄影所得到的地面像片绘制成地形图的方法。它可用航空摄影测量或地面摄影测量的方法，也可用遥感的方法。
4. 工程测量学 是研究各种工程在勘测设计、施工及养护中的测量工作。

此外，“地图编制”和“测绘仪器制造”也是测绘科学中的两个重要分支。

测量学有着十分广泛的用途，无论在政治、经济、军事、科技和文化教育方面都有重要的用途。例如，在资源的调查和开发中；工业、农业和交通运输业的建设中；军事上战略、战役的部署，在作战的行动和指挥中以及行政区域或国界的划定中，都要应用地形图。任何工程项目的建设，自始至终都要有测量的配合才能完成。在科研方面，如地壳的升降、海陆的变迁、地震预报和空间技术等领域中，都要用测量作为研究手段。随着社会生产和科学技术的发展，测量学的应用将会更加广泛。

在国民经济和国防建设中，工程测量占有重要地位。工程测量的应用涉及各个方面。例如城市、工厂、矿山和水利等建设，铁路、公路、水运等交通线的建设，以及农业、林业的开发和建设中，都要用到工程测量。任何建设项目都需要测绘工作先行，所以测绘工作者常被称为建设的尖兵。从事工程测量的人员在整个测绘人员中占有很大的比重。

工程测量的主要工作是测绘和测设两类工作。前者是把地面的形状通过测量转化成图或数字，是认识自然的过程；后者则是按设计图纸或数字，通过测量方法把建筑物的位置标定到地面上，它是改造自然的过程。所以测量学是一门既用于认识自然也用于改造自然的科学。

铁路测量是工程测量中一个重要组成部分，测量在铁路建设中起着重要作用。在铁路勘测阶段，为了选择最经济合理的线路，要进行地形测量等大量的测量工作。在施工阶段，为了把线路和各种建筑物正确地按设计位置建立起来，要进行各种测设和检测工作。工程竣工

后,对各项工程要进行竣工测量。而在铁路建成运营后,为了管理、改建或扩建的需要,仍要进行各种测量。铁路是一项综合工程,各种建筑物如线路、桥梁、隧道和站场等既有总的联系,在设计、施工和养护中对测量又各有特殊的要求和工作方法,因此铁路测量的内容十分丰富,涉及的面也很广。铁路工程技术人员不但要掌握工程测量和地形测量的基本理论和技能,熟悉铁路测量的主要内容,还需要有一定的大地测量和摄影测量知识。铁路测量课程不仅在本专业的实际工作中占有重要地位,而且对本专业的后续课程中也起着重要作用。

1—2 测量学发展简史

测量学的发展与社会生产及其他科学的发展紧密相关。测量学的起源可远溯到上古时代,在人类与自然的斗争中,如我国古代禹治理洪水时,以及古埃及尼罗河泛滥后在整理土地的边界时,都已运用了测量。

我国历史悠久,文化灿烂,测量在我国很早已得到发展。公元前七世纪春秋时期,管仲著《管子》一书中已有关于地图的论著和早期的地图。公元前四世纪战国时期,我国就有用磁石制成的世界上最早的定向工具“司南”。公元前二世纪西汉初期的地图从长沙马王堆汉墓中出土,这是目前所发现的我国最早的地图。二世纪初东汉张衡创造了“浑天仪”和“地动仪”,这是世界上最早的天球仪和地震仪。公元三世纪三国时期的刘徽著有《海岛算经》一书,论述了有关测量海岛距离和高度的方法。西晋裴秀编绘了《禹贡地域图》和《地形方丈图》,并总结了前人的制图经验,提出了绘制地图的六条原则称《制图六体》,即分率(比例尺)、准望(方位)、道里(距离)、高下(高程)、方邪(形状)、迂直(曲直),这是世界上最早的编制地图的规范。公元400年中国发明了测量距离的记里鼓车。公元724年唐张遂、南宫说等人自河南滑县到上蔡丈量了300km的子午线弧长,并用日圭测定纬度,得出纬距每度长351里80步,这是世界上最早子午线弧度测量。十一世纪北宋沈括在他的《梦溪笔谈》中记载了磁偏角现象,他曾绘制了《天下州县图》,是当时最好的地图,并用罗盘和水平尺测量地形。十三世纪元代郭守敬在全国进行了大规模的纬度测量,共测了二十七个点。十七世纪末清康熙二十三年开始了全国性的测图工作,到1718年完成了《皇舆全览图》,在此基础上于1761年清乾隆二十六年又编成了《大清一统舆图》。

在国外,十七世纪初测量学在欧洲得到较大发展。1617年荷兰人斯纳留斯首次进行了三角测量。1608年荷兰的汉斯发明了望远镜,随后被应用到测量仪器上,使测绘科学产生了巨大变革。随着第一次产业革命的兴起,测量的理论和方法不断得到发展。1687年牛顿发表了万有引力,提出了地球是一个旋转椭球体。1794年高斯提出的最小二乘法理论,以及随后提出的横圆柱投影,对测绘科学的理论基础起了重要作用。在十九世纪中许多国家都进行了精确的全国地形测量。二十世纪初随着飞机的出现和摄影测量理论的发展,产生了航空摄影测量,给测绘科学又一次带来巨大的变革。

二十世纪五十年代起,电子学、计算机、激光技术和空间技术的兴起,使测绘科学又得到新的发展。如自动安平水准仪、光电测距仪、电子数字经纬仪和陀螺经纬仪等新型测绘仪器的不断出现,以及电子计算机、遥感技术、惯性测量、卫星大地测量和近景摄影测量等新技术的应用,使测绘科学发展到一个新的阶段,并正向着自动化、数字化的方向继续前进。

新中国成立后,我国的测绘事业得到迅猛发展。在全国范围内建立了天文大地网,为一切测绘工作奠定了基础。完成了国家基本地图的测绘工作。统一了全国大地坐标和高程系

统。在经济建设和国防建设中进行了大量测绘工作，许多规模巨大的工程都是在测绘工作的配合下建立起来的。我们还自己研制和生产了各种测绘仪器，改变了测绘仪器依赖进口的局面。此外，我们建立了各级测绘管理机构和研究单位，设立了各种测绘院校，培养了大批测绘人才。随着四化建设的发展，我国的测绘事业还将得到更大的发展。

1—3 地面上点位的表示方法

测量工作实际上都是测定地面上点位的工作。由于测量工作都是在地球表面上进行的，所以在讨论如何确定地面点位之前，应该先了解地球的形状和大小。

一、地球的形状和大小

地球的表面极不规则，有高山、峡谷、湖泊和海洋。地球上最高的山峰珠穆朗玛峰高8848.13m，最深的海沟位于西太平洋的马里亚纳沟深11022m。虽然地球表面的起伏是如此之大，但与半径为6371km的整个地球相比还是微不足道的。由于地球表面上陆地只占29%，而海洋却占71%，所以我们可以设想：由静止的海水面所包围并延伸进大陆和岛屿后可形成一个封闭的曲面，这个曲面称为大地水准面，由大地水准面所包围的形体称为大地体，大地体可以代表地球总的形状。

任何静止的水面在测量学中称为水准面。水准面的特点是它处处与铅垂线相垂直，同一水准面上势能处处相等。水准面可以位于不同的高度，所以水准面可以有无数个。

由于潮汐波浪关系，完全处于静止平衡状态的海水面是难以求得的。为此人们在海岸边设立验潮站，用验潮站所测得的平均海水面来代替静止的海水面。所以就取平均海水面作为大地水准面，它是无数水准面中的一个。



图 1—1

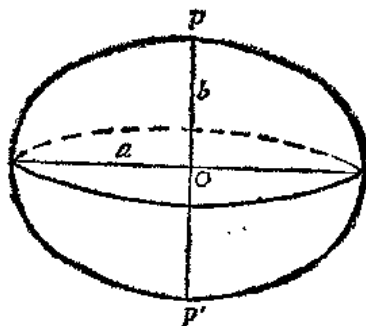


图 1—2

由于地球外层物质分布的不均匀，引起各处铅垂线方向的不规则变化，因而大地水准面也是一个不规则的曲面。为了便于处理大地测量成果，需要用一个简单的几何形体来代替大地体。从力学理论和实测结果证明地球是一个两极稍扁的球体，所以可以用一个椭圆绕其短轴旋转而成的椭圆体（或称椭球）来代替大地体。大地水准面有些地方在椭圆体表面之上，有些地方则在椭圆体表面之下（图1—1）。椭圆体的大小用长半轴 a 和短半轴 b 或扁率 α （ $\alpha = \frac{a-b}{a}$ ）来表示，一般用 a 和 α 表示， a 和 α 称为椭圆体的元素（图1—2）。为了测量工作的需要，在一个国家或一个地区需要推算或选用一个最接近于该地区大地水准面的椭圆体，这样的椭圆体称参考椭圆体，我国目前采用1975年国际大地测量协会推荐的地球椭圆

体, 其元素值为:

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

$$\alpha = 1:298.257$$

由于地球的扁率很小, 所以在一般测量工作中可把地球看作一个圆球来处理, 其半径为
 $R = 6371\text{km}$

二、地面上点位的表示方法

测量工作中地面上点的位置是用它的水平投影位置 (简称水平位置或平面位置) 和它的高程来表示。水平投影位置是指地面点投影到椭球面上或水平面上的位置, 分别用大地坐标或平面直角坐标来表示。高程是指地面点到大地水准面的垂直距离。

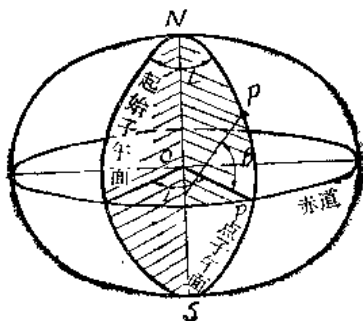


图 1—3

(一) 大地坐标

地面上点的大地坐标用大地经度和大地纬度来表示。图 1—3 中 $N-S$ 为椭圆体的旋转轴, N 和 S 分别为北极和南极。通过球心 O 并垂直于旋转轴的平面称赤道平面, 它与椭球面的交线称为赤道。包含椭圆体旋转轴的平面称子午面, 确定一个起始子午面作为大地经度的起算面^{*}。过地面上任意点 P 的子午面与起始子午面之间的夹角就是 P 点的大地经度, 通常用 L 表示。大地经度自起始子午面起向东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称东经, 向西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称西经。过 P 点作椭圆体的法线, 法线与赤道平面所成的角就是 P 点的大地纬度, 用 B 表示。大地纬度由赤道起向北自 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称北纬, 向南自 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称南纬。

(二) 平面直角坐标

在小区域内进行测量, 局部的球面可以看作平面, 点的水平位置用直角坐标来表示较为方便。测量中所用的平面直角坐标与数学中的直角坐标稍有不同, 测量中是以 x 轴作为纵轴, 表示南北方向, y 轴为横轴, 表示东西方向, 象限的顺序按顺时针方向计 (图 1—4)。这是因为在测量中南北方向是最容易确定的基本方向, 而且确定直线方向的角度都是从纵轴北端开始按顺时针方向计量的。这样的改变并不影响三角公式的应用。

(三) 高程

点的空间位置除了用大地坐标或直角坐标确定外, 还需要有点的高程。任意点沿铅垂线方向到高程起算面的距离称为该点的高程。测量工作中一般都取大地水准面作为高程起算面, 这样得出的高程称绝对高程, 通称为海拔。如果取任意水准面为高程起算面, 则得出的高程称为假定高程。

两点高程之差称为高差。从图 1—5 可得:

$$h_{AB} = H_A - H_B = H'_A - H'_B$$

可以看出, 无论用绝对高程还是用假定高程, 计算高差的结果是一致的。

^{*}过去以通过格林威治天文台的子午面作为起始子午面, 目前在大地测量中起始子午面另有新的定义。

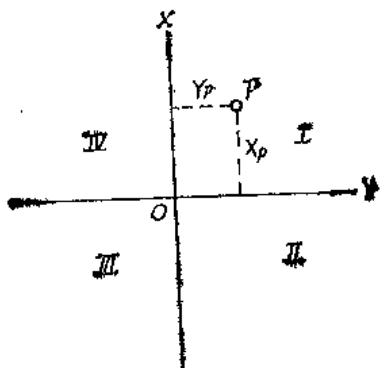


图 1-4

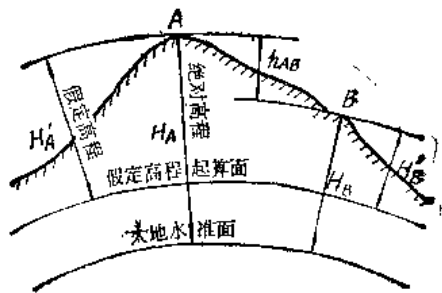


图 1-5

1-4 测图的原理和程序 基本的测量工作

测绘地形图是测量工作主要目的之一。把地面的形状描绘成图是通过投影的方法来实现的。在小区域内，局部的球面可以看作平面，所以地面点都是沿铅垂线方向投影到水平面上，地面的形状用它投影在水平面上的图形来表示（图 1-6）。这些图形都是由那些能反映地面物体形状的特征点的投影所构成。测量工作的任务就是测量这些特征点的水平位置（坐标）和高程。

一幅地形图是由为数众多的地形特征点所组成，那么怎样来测量这些点呢？一般是先精确地测量出少数点的位置，如图 1-7 中的 A、B、C……等点。由这些点组成的图形在测区中构成一个骨架，起着控制的作用，所以这些点称为控制点。测量控制点的工作称为控制测量。然后以控制点为基础，测量它周围的地形，也就是测量每一控制点周围各地形特征点的位置。利用各控制点间已测定的位置关系，就能把各个局部测得的地形连成一个整体。从控制点测量地形特征点的工作称为碎部测量（图 1-7）。测量工作都是按照先控制后碎部的程序进行，这也就是测量工作中普遍遵循的“从整体到局部”的原则。

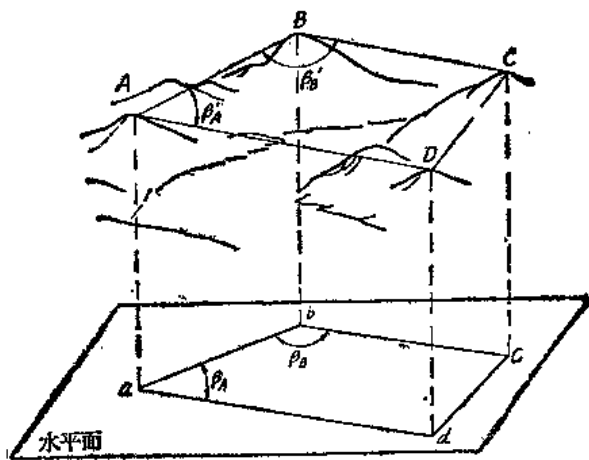


图 1-6

测量工作一般要经过野外观测、室内计算和绘图等步骤。野外的工作称外业，室内的工作作为内业。

从以上测图原理和测图程序中可以看出：任何测量工作实质上都是测量点位的工作，即测量点的水平位置和高程。

由于测量中所需要的是地面点水平投影的位置，所以在图 1-6 中要测量的距离是水平距离 ab 、 bc 、……而不是斜距 AB 、 BC 、……，要测量的角是水平角 β_A 、 β_B ……而不是斜面上的角 β'_A 、 β'_B ……。一般有了水平距离和水平角就可以确定地面点水平投影的相对位置，但是为了确定它的坐标，还需要测量直线的方向。因此水平距离、水平角和直线的方向是确定地面点水平投影位置的基本要素。为了确定点在空间的位置，还需要测量点的高程。所以无论进行什么性质的测量工作，要测量的基本要素都不外是：

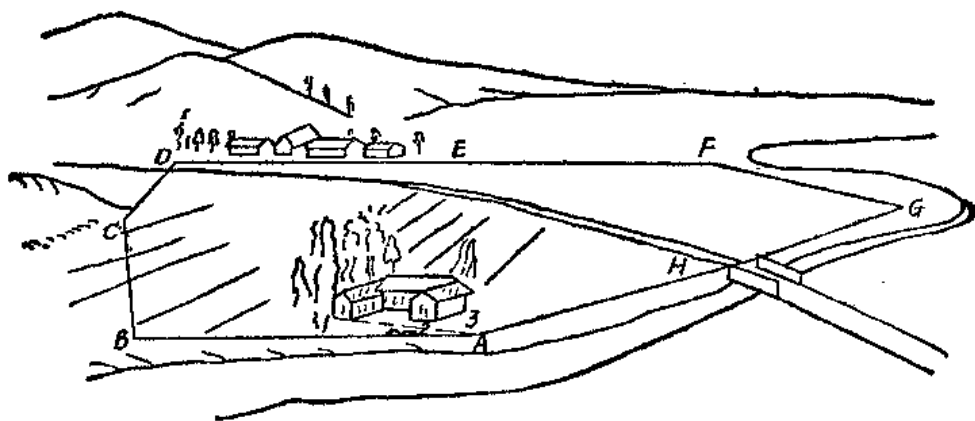


图 1-7

1. 测量水平距离；
2. 测量水平角；
3. 测量直线的方向；
4. 测量点的高程。

我们称这四种测量工作为基本的测量工作。每一种基本的测量工作可用不同的仪器和方法来进行，测量工作者应根据实际的需要和可能的条件选用最合理的工作方法。

本书首先介绍各种基本的测量工作，然后介绍几种实用的测量，如地形测量和铁路测量。

1-5 测量工作的特点和要求

测量工作是为政治、军事、经济等各个方面服务的，它的成果为各个方面所利用，影响面很广。工作中任何差错都可能导致资料的不正确，对后续工作造成重大损失，所以保证质量是测量工作者的首要职责。为此，对野外观测必须按规定的操作规程和精度要求来完成，不合格的一律重测；对手簿图纸等原始资料应保证正确、清楚、没有遗漏；对交出的成果必须经过复核检验，以确保质量。

测量工作多数是野外作业，工作和生活条件均较艰苦，所以测量工作者必须具有不辞艰苦克服困难的精神。测量工作又是一项集体的工作，所以工作中又必须团结一致、密切配合、协同作战，才能高效率高质量的完成各项任务。

学习测量必须理论联系实际，不但要掌握测量学的基本理论，而且对观测、计算和绘图等基本技能要有良好的训练。在学习中还应养成认真负责一丝不苟的工作作风和爱护仪器、工具的良好习惯。

习 题

1. 测量学研究的对象和任务是什么？
2. 测量工作要遵循的原则是什么？为什么要遵循这一原则？
3. 为什么说测量工作的实质都是测量点位的工作？
4. 如何确定地面点的位置？
5. 测量的基本工作有哪些？

第一篇 基本的测量工作

第二章 高程测量

2—1 高程测量概述

高程是确定地面点位置的基本要素之一。高程测量的目的是要获得点的高程，但一般都是先测得两点间的高差，然后根据其中一点的已知高程推算出另一点的高程。

进行高程测量的主要方法有水准测量和三角高程测量。水准测量是利用水平视线来测量两点间的高差，由于水准测量的精度较高，所以是高程测量中最主要的方法。三角高程测量是测量两点间的水平距离（或斜距）和竖直角（即倾斜角），然后利用三角公式计算出两点间的高差，三角高程测量一般精度较低，只是在适当的条件下才被采用。除了上述两种方法外，还有利用大气压力的变化测量高差的气压高程测量；利用液体的物理性质测量高差的液体静力高程测量；以及无线电测高和立体摄影测量测高等方法，但在工程测量中都很少使用。

高程测量的任务是求出点的绝对高程，即该点到大地水准面的距离。我国统一采用黄海平均海面作为绝对高程的起算面，由此面得出的高程系统称为黄海高程系统。黄海平均海面是根据青岛验潮站从1950年至1956年所观测的结果推算出的平均海面。为了进行高程测量，在青岛建立了一个与验潮站相联系的水准原点，经精密的测量得出该水准原点高出黄海平均海面72.289m。水准原点是全国高程测量的起始点。

高程测量也是按照“从整体到局部”的原则来进行，就是先在测区内设立一些高程控制点，并精确测出它们的高程，然后根据这些高程控制点测量附近其他点的高程。这些高程控制点称水准点，工程上常用BM来标记。水准点一般用混凝土标石制成，顶部嵌有金属或瓷质的标志（图2—1）。标石应埋在地下，埋设地点应选在地质稳定，便于使用和便于保存的地方。城镇居民区也可以采用把金属标志嵌在墙上的“墙脚水准点”。临时性的水准点则可用更简便的方法来设立，例如用刻凿在岩石上的或用油漆标记在建筑物上的简易标志。

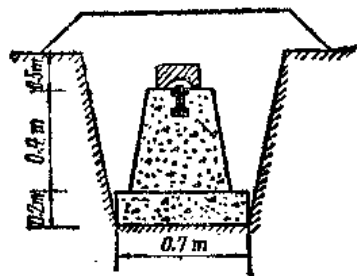


图 2—1

2—2 水准测量的原理

图2—2中，A为已知高程的点，如果要求出B点的高程，可先求出A、B两点间的高差 h_{AB} ，则B点的高程为：

$$H_B = H_A + h_{AB} \quad (2-1)$$

为了求高差 h_{AB} ，在 A 、 B 两点上竖立带有分划的标尺（水准尺），在 A 、 B 两点之间安置可提供水平视线的仪器（水准仪）。当视线水平时，在 A 、 B 两点的标尺上分别读得读数 a 和 b ，则 A 、 B 两点的高差等于两标尺读数之差，即：

$$h_{AB} = a - b \quad (2-2)$$

读数 a 因为在测量前进方向的后方，故称后视读数，而读数 b 是在前方，故称前视读数。但情况并非绝对如此，有时 A 、 B 两点可能同时位于仪器的一方，因此更确切地说：凡在已知高程点上的读数称后视读数；在待求高程点上的读数称前视读数。

高差 h_{AB} 的值可能是正也可能是负，正值表示待求点 B 高于已知点 A ，负值表示待求点 B 低于已知点 A 。此外，高差的正负又与测量进行的方向有关，例如如图2-2中测量由 A 向 B 进行， h_{AB} 为正，反之由 B 向 A 进行，则 h_{BA} 为负。所以说明高差时必须标明高差的正负号，同时要说明测量进行的方向。

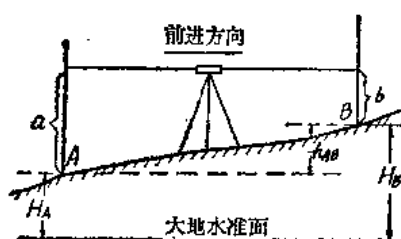


图 2-2

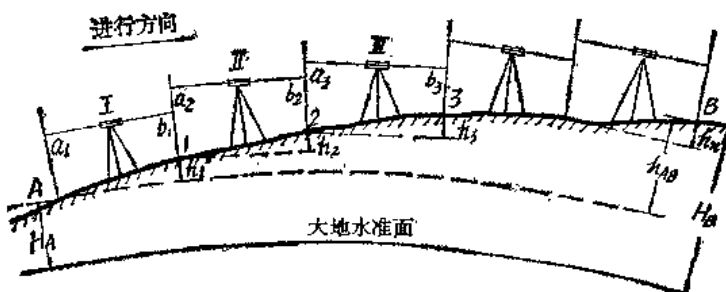


图 2-3

当两点相距太远或高差太大时，则可分段连续进行，从图2-3中可得：

$$\begin{aligned} h_1 &= a_1 - b_1 \\ h_2 &= a_2 - b_2 \\ &\dots\dots\dots \\ h_n &= a_n - b_n \\ \hline h_{AB} &= \sum h = \sum a - \sum b \end{aligned} \quad (2-3)$$

即两点的高差等于连续各段高差的代数和，也等于后视读数之和减去前视读数之和。通常是先用 $\sum h$ 计算出两点的高差，再用 $(\sum a - \sum b)$ 来检查。应该注意，这种检查只能检查计算工作有无错误，如果读数有错误，这种方法是无法检查出来的。

图2-3中置仪器的点I、II…称为测站。立标尺的点1、2、3…称为转点，它们是先作为待求高程的点，然后再作为已知高程的点，它们起传递高程的作用。转点非常重要，转点上产生的任何差错，都会影响到以后所有点的高程。

从以上可见：水准测量的基本原理是利用水平视线来比较两点的高低，求出两点的高差。

当水准测量的目的不是仅仅为了获得两点的高差，而是要求得一系列点的高程时，例如测量一条线路的地面起伏情况，水准测量可按图2-4进行。

此时，水准仪在每一测站上，除了要读出后视和前视读数外，同时要对这一段内需要测量高程的点立尺读取读数，如图中在 P_1P_2 等点上立尺读出 c_1c_2 等读数，则各点的高程可以计算如下：

仪器在测站I： $H_I = H_A + a_1$ ，

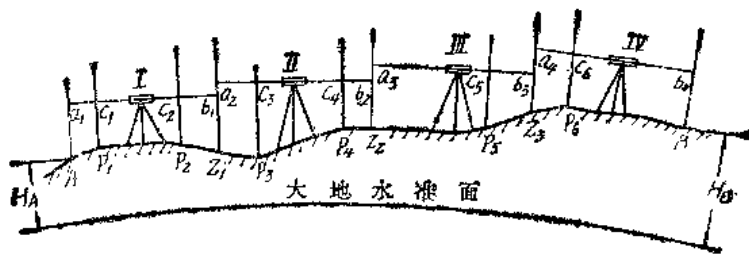


图 2-4

$$\left. \begin{aligned} H_{\mu 1} &= H_I - c_1 \\ H_{\mu 2} &= H_I - c_2 \\ H_{Z1} &= H_I - b_1 \end{aligned} \right\} \quad (2-4)$$

仪器在测站 II: $H_{II} = H_{Z1} + a_2$,

$$H_{\mu 3} = H_{II} - c_3$$

$$H_{\mu 4} = H_{II} - c_4$$

$$H_{Z2} = H_{II} - b_2$$

式中 H_I 、 H_{II} 为仪器视线的高程，简称仪器高。图中 Z_1 、 Z_2 ... 为传递高程的转点，在转点上既有前视读数又有后视读数。图中 P_1 、 P_2 ... 等点称中间点，它只有一个前视读数，也有称它为中视读数。计算的检核仍用公式：

$$h_{AB} = H_B - H_A = \sum a - \sum b$$

2-3 水准仪和水准尺

水准仪是进行水准测量的主要仪器，目前最通用的型式如图 2-5 所示，它是由下列三个主要部分组成：

1. 望远镜 它可以提供视线，并可以读出远处水准尺上的读数；
2. 水准器 用于指示仪器或视线是否处于水平位置；
3. 基座 用于置平仪器并使望远镜能在水平方向旋转。

水准仪各部分的名称见图 2-5。

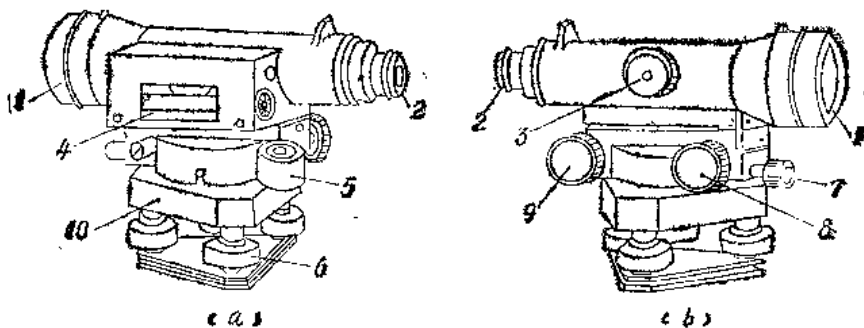


图 2-5

- 1 — 物镜；2 — 目镜；3 — 调焦螺旋；4 — 管水准器；5 — 圆水准器；6 — 脚螺旋；7 — 制动螺旋；8 — 微动螺旋；9 — 微倾螺旋；10 — 基座。

基座上有三个脚螺旋，调节脚螺旋可使圆水准器的气泡移至中央，使仪器整平。望远镜

和管水准器与仪器的竖轴联结在一起，竖轴插入基座上的轴套内，可使望远镜和管水准器在基座上自由旋转。制动螺旋和微动螺旋用来控制望远镜在水平方向的转动。制动螺旋松开时望远镜能自由旋转，旋紧时望远镜则固定不动。在制动螺旋旋紧时旋转微动螺旋，可使望远镜绕竖轴作缓慢的转动。微倾螺旋可使望远镜连同管水准器作微小的倾斜，从而可使视线精确整平。因此这种水准仪又称微倾水准仪，是水准仪中最通用的型式。

我国国家标准把水准仪分为DS05、DS1、DS3和DS20四个等级，DS表示大地测量用水准仪，后面的数字表示仪器的精度。工程测量中用得最多的是DS3级水准仪。

下面说明水准仪上主要的部件——望远镜和水准器的构造与性能。

一、望 远 镜

最简单的望远镜是由物镜和目镜组成。物镜的作用是使物体在物镜的另一侧构成一个倒立的实像，目镜的作用是使这一实像在同一侧形成一个放大的虚像（图2-6）。为了使物像清晰，消除单透镜的一些缺陷，物镜和目镜都是用两种不同材料的透镜组合而成（图2-7）。



图 2-6

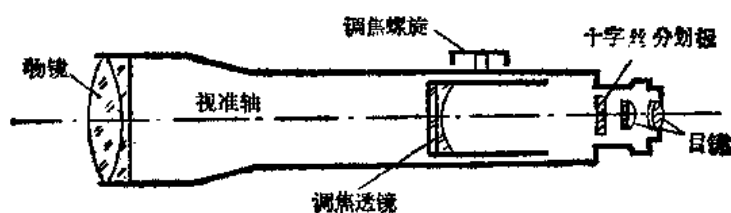


图 2-7

测量仪器上的望远镜还必须有一个十字丝分划板，它是刻在玻璃片上的一组十字丝，被安装在望远镜筒内靠近目镜的一端。水准仪上十字丝的图形如图2-8所示，水准测量中用它中间的横丝或楔形丝读取水准尺上的读数。十字丝交点和物镜光心的连线称为视准轴，也就是视线。视准轴是水准仪的主要轴线之一。

为了能准确地照准目标，望远镜内必须同时能看到清晰的物像和十字丝，为此必须使物像落在十字丝分划板平面上。为了使离仪器不同距离的目标能成像于十字丝分划板上，望远镜内还必须安装一个调焦透镜（图2-7）。旋转调焦螺旋可以改变调焦透镜的位置，从而能在望远镜内清晰地看到所要观测的目标。

望远镜的性能由以下几个方面来衡量：

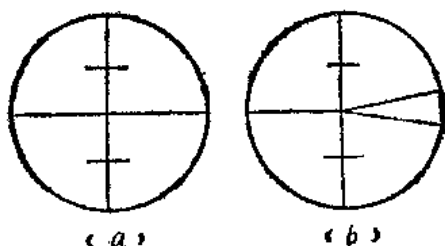


图 2-8

(一) 放大率 是通过望远镜所看到物像的视角 β 与肉眼直接看物体的视角 α 之比, 它近似地等于物镜焦距与目镜焦距之比。即放大率

$$v = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{f_{\text{物}}}{f_{\text{目}}} \quad (2-5)$$

(二) 分辨力 就是能分辨出两个相邻物体的能力, 用望远镜能分辨的最小视角表示。肉眼的分辨力约为 $60''$, 故望远镜的分辨力为:

$$\varphi'' = \frac{60''}{v} \quad (2-6)$$

v 为望远镜的放大率。

(三) 视场角 是表示望远镜能看到的范围, 这个范围是一个圆锥体, 故用圆锥的顶角表示, 它与放大率成反比。

(四) 亮度 指通过望远镜看到物体的明亮程度。它与物镜有效孔径的平方成正比, 与放大率的平方成反比。

由此可以看出, 望远镜的各项性能是相互制约的。例如增大放大率也增强了分辨力, 可提高观测精度, 但视场角和亮度都减小了, 不利于观测。所以测量仪器上望远镜的放大率有一定的限度, 一般在15倍至45倍之间。

二、水准器

水准器是用以置平仪器的一种设备, 是测量仪器上的重要部件。水准器分管水准器和圆水准器两种:

(一) 管水准器 又称水准管, 是一个封闭的玻璃管。管的内壁在纵向磨成圆弧形, 其半径可自 0.2m 至 100m 。管内盛酒精或乙醚或两者混合的液体, 并留有一气泡 (图2-9)。管面上刻有间隔为 2mm 的分划线, 分划的中点称水准管的零点。过零点与管内壁在纵向相切的直线称水准管轴。当气泡的中心点与零点重合时称气泡居中, 气泡居中时水准管轴位于水平位置。

水准管上一分划 (2mm) 所对应的圆心角称水准管的分划值。从几何上看, 分划值也是气泡移动一格, 水准管轴所变动的角值 (图2-10)。普通水准仪上水准管的分划值为 $20'' \sim 30''$, 水准管的分划值愈小, 置平的精度愈高。但水准管的置平精度还与水准管的研磨质量、液体的性质和气泡的长度有关。在这些因素的综合影响下, 使气泡移动 0.1 格时, 水准管轴所变动的角值称水准管的灵敏度。能被气泡所反映的水准管轴变动的角值愈小, 水准管的灵敏度就愈高。

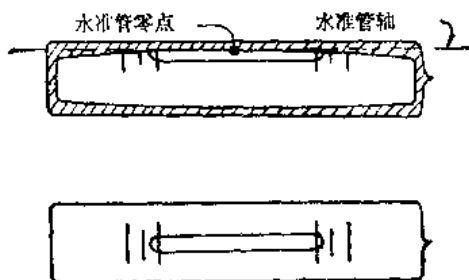


图 2-9

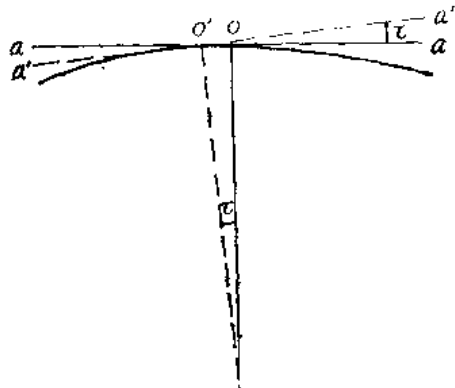


图 2-10