

铁 路 测 量

西南交通大学 张延寿 主编
上海铁道学院 胡 杰 主审

西南交通大学出版社

前 言

新中国成立 45 年来,铁路高等教育得到了飞速发展,但至今尚没有一本专门用于大专的测量教材。根据 1991 年 4 月在成都举行的“全路测量教学指导小组会议纪要”,决定编写“铁路测量”,主要作为土建交通类专业的大专教材。本书按 85 学时编写。

本书的特点是着重介绍测量基本理论、基础知识和实践操作,力求使科学性、先进性和可操作性相结合。本书删除了一些类似教材中较陈旧的内容,增补了一些较新、较先进的内容,如对自动安平水准仪、竖盘自动补偿、电子经纬仪、陀螺经纬仪、光电测距仪及 GPS 全球定位系统等测绘新技术和应用,作了较详细的介绍。并系统地介绍了光电测距仪在曲线测设和控制测量中的应用及平差方法。

为了帮助读者理解和便于自学,每章后均附有思考题和习题。

本书由西南交通大学张延寿主编,上海铁道学院胡杰主审。编写者有:张延寿(第一、四、五、七、八、十一、十二章),费人雄(第六、九、十章),孟秉珍、费人雄(第二章),孟秉珍、张延寿(第三章)。西南交通大学工程测量教研室全体老师对编写大纲进行了认真讨论,傅晓村教授对本书提出了许多宝贵意见,在此一并致谢。

由于我们水平有限,书中难免有缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

编 者

1995 年 1 月

(川)新登字 018 号

内 容 提 要

本书共分十二章,分别详细介绍了基本测量工作:水准仪、经纬仪、光电测距仪、钢尺等常用仪器的构造和使用;高程、角度、距离、方向等基本测量的各种方法,测量误差基本知识;大比例尺地形图的测绘及其应用;铁路新线定线测量;曲线测设;铁路线路、桥梁、隧道等工程测量以及既有铁路测量。本书对近年发展起来的测绘新技术及应用,作了适当的介绍。

本书主要为高等学校土建交通类大专编写,也可作为工程地质、铁道运输等少学时本科专业教材,同时亦可兼作相应专业的函授自学教材。

铁 路 测 量

张延寿 主编

胡 杰 主审

*

西南交通大学出版社出版发行

(成都 二环路北一段)

新华书店经销

郫县印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 15.375

字数: 370 千字 印数: 1—3500 册

1995 年 4 月第 1 版 1995 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 7-81022-793-9/U·040

定价: 11.50 元

目 录

第一章 绪 论	1
§ 1—1 测量学的任务和发展	1
§ 1—2 测量学在铁路建设中的应用	2
§ 1—3 地面上点位的确定	2
§ 1—4 测量工作概述	4
习 题	5
第二章 水准测量	6
§ 2—1 高程测量概述	6
§ 2—2 水准测量的原理	7
§ 2—3 水准仪和水准尺	8
§ 2—4 水准仪的使用	11
§ 2—5 水准测量的实施	13
§ 2—6 自动安平水准仪简介	17
§ 2—7 水准仪的检验与校正	18
§ 2—8 水准测量误差及注意事项	21
习 题	23
第三章 角度测量	26
§ 3—1 水平角测量原理	26
§ 3—2 经纬仪的构造	26
§ 3—3 水平角的观测	29
§ 3—4 竖直角测量	33
§ 3—5 竖盘自动补偿经纬仪	36
§ 3—6 经纬仪的检验和校正	37
§ 3—7 角度测量误差及其消减	42
§ 3—8 电子经纬仪简介	45
习 题	48

第四章 距离测量	52
§ 4—1 概述	52
§ 4—2 钢尺量距	52
§ 4—3 钢尺检定及丈量结果的处理	54
§ 4—4 钢尺量距注意事项	57
§ 4—5 光电测距的基本原理	57
§ 4—6 测距仪的构造及使用	60
§ 4—7 光电测距仪的检测	63
§ 4—8 光电测距成果计算及精度评定	65
习 题	67
第五章 直线定向和方位角测量	68
§ 5—1 直线定向	68
§ 5—2 用罗盘仪测定磁方位角	71
§ 5—3 太阳高度法测量真方位角	72
§ 5—4 陀螺经纬仪定向测量	78
习 题	81
第六章 测量误差理论的基本知识	83
§ 6—1 测量误差概述	83
§ 6—2 评定精度的标准	85
§ 6—3 误差传播定律	86
§ 6—4 算术平均值及其中误差	91
§ 6—5 用最或然误差求观测值的中误差	92
§ 6—6 误差理论的应用	93
习 题	95
第七章 控制测量	97
§ 7—1 控制测量概述	97
§ 7—2 导线测量	98
§ 7—3 导线测量的内业工作	101
§ 7—4 小三角测量	107
* § 7—5 交会定点	115
§ 7—6 三、四等水准测量	118
§ 7—7 跨河水准测量	120
§ 7—8 三角高程测量	121
习 题	122

第八章 地形测量	125
§ 8—1 地形图概述.....	125
§ 8—2 地形的表示方法.....	126
§ 8—3 测图的准备工作.....	130
§ 8—4 视距测量.....	131
§ 8—5 地形测绘的方法.....	134
§ 8—6 地形图的应用.....	138
习 题	142
第九章 铁路新线定线测量	144
§ 9—1 新线勘测概述.....	144
§ 9—2 线路平面组成和平面位置的标志.....	145
§ 9—3 中线测量.....	145
§ 9—4 线路高程测量.....	151
§ 9—5 线路横断面测量.....	156
习 题	158
第十章 铁路曲线测设	161
§ 10—1 圆曲线要素的计算及主点测设	161
§ 10—2 用偏角法详细测设圆曲线	162
§ 10—3 用切线支距法测设圆曲线	167
§ 10—4 带缓和曲线的圆曲线综合要素计算及主点测设	168
§ 10—5 用偏角法详细测设带缓和曲线的圆曲线	173
§ 10—6 用切线支距法测设带缓和曲线的圆曲线	176
§ 10—7 偏角法遇障碍时的测设方法	177
§ 10—8 控制点遇障碍时的曲线测设	180
§ 10—9 光电测距仪任意点置镜测设曲线	183
§ 10—10 曲线测设误差.....	184
习 题	185
第十一章 铁路施工测量	187
§ 11—1 施工控制测量	187
§ 11—2 测设的基本工作	194
§ 11—3 线路施工测量	197
§ 11—4 桥梁施工测量	199
§ 11—5 隧道施工测量	206
§ 11—6 竣工测量	217

* § 11—7 全球定位系统(GPS)简介	218
* § 11—8 施工测量新技术简介	221
习 题	221
第十二章 既有铁路线路测量	225
§ 12—1 既有线的纵向丈量	225
§ 12—2 既有线中线平面测量	227
§ 12—3 线路高程测量	230
§ 12—4 线路横断面测量	231
§ 12—5 既有线路站场测绘	232
习 题	237
参考文献	238

第一章 绪 论

§ 1—1 测量学的任务和发展

测量学是研究地球形状和大小,以及地面点的几何位置并绘制不同比例尺的地形图,为科学研究、国民经济建设和国防安全服务的科学。它的任务包括测绘和测设两方面,其目的是为人类认识、了解自然以及为改造自然服务的,因此又称为测绘科学。

测量学发展至今,按其研究的对象及特点,可以分为几种专门学科。

只是研究小区域内地球表面形状,可以认为在小区域范围内地球表面是个平面,而不考虑地球曲率影响的测绘工作,称为普通测量学。它的任务是测绘各种不同比例尺的地形图。

假若研究的是广大地区,甚至是整个地球时,就必须考虑地球曲率对测量工作的影响,这称为大地测量学。它的任务是建立国家大地控制网,为大范围的地形测图、工程建设和地球形状的研究以及其它科学研究,提供基本控制资料。近年来由于人造地球卫星的发射及遥感技术的应用,大地测量又分为常规大地测量与卫星大地测量。

利用飞机对地面所拍摄的像片,或人卫像片及地面摄影所得像片或数据信息,来研究地表形状及应用于地形图测绘、工程设计的测绘学科称摄影测量学。

研究各种工程(如港口、道路、城建、水利、厂矿建设等)在勘测设计、施工、运营养护中的测量工作,称为工程测量学。

测量学最早是人类为生存与自然进行斗争而发展起来的一门古老的科学。近几十年来由于科学技术的发展,如数学、微电子学、半导体、计算机、激光和人造卫星的发射等,大大促进了测量学的发展,使测量学的理论、方法和技术都有了长足的进步。

光电测距仪的出现,不仅大大提高了工作效率、减轻了劳动强度,更重要的是由于电子经纬仪、电子速测仪和电子记录器的使用,实现了数据采集、数据处理、绘图的整体自动化;而且建立数字地面模型后,一套资料可以绘出不同比例尺的地形图;光电测距仪的出现,改变了控制方式,提高了控制网的精度。以导线网代替了经典的三角网控制。常规的经纬仪、水准仪也逐渐向自动观测、自动记录的方向发展;陀螺经纬仪的定向精度提高和微机控制下自动、连续地观测陀螺摆动以及自动地数据处理,使其应用的范围愈来愈广。而全球卫星定位系统(GPS)的发射成功,使距离测量、控制网的布设发生了根本性的变化。摄影测量由于高质量摄影机和精密量测仪器的出现,加上软件的不断改进和发展,其量测精度显著提高,它与遥感技术一样,正在向信息科学的方向发展。在测量数据的处理中,正在建立不同的测量数据库系统,更好地管理大量的测量数据,为各个部门及时提供良好的服务。

本书仅介绍普通测量学(亦称地形测量学)和铁路工程测量学方面的基本理论、方法、仪器及应用技术。

§ 1—2 测量学在铁路建设中的应用

铁路建设不仅是人们认识自然、改造自然的过程，而且是一项投资巨大的国家基本建设项目，它的运营对国民经济发展和国防建设都起着重大作用。

在线路方案研究阶段，首先要在小比例尺地形图上拟定线路走向和不同的方案；然后进行大比例尺地形图的测绘，经过初步设计确定线路中心线的位置，这称为初测和初步设计阶段；把地形图上选定的线路中线放样到地面上去，则称为定测；将线路和各种建筑物，按设计的位置和形状正确地修建起来所进行的测量工作，称为施工测量。

铁路交付运营后，为了保持线路的良好状态，还要进行日常的维护与保养，以及局部的改线测量工作，这些称为既有线测量。

铁路工程测量涉及的面很广，如线路、桥梁、隧道、站场等，内容相当丰富，学好测量课对今后从事设计、施工、运营管理都是十分有用的。

§ 1—3 地面上点位的确定

无论是进行测绘工作，还是进行测设工作，其实质都是确定特征点在地面上的位置。而如何确定点位，首先应了解地球的形状和大小，这是确定点位的基础。

一、地球的形状和大小

地球从表面上来看，有高山、丘陵、平原、深谷、江河、海洋等，形状极不规则。珠穆朗玛峰高达 8848.13 m，而最深的、位于西太平洋的马里亚纳海沟深达 11022 m，但这种起伏与地球的半径 6371 km 相比较还是微不足道的。就整个地球而言，海洋面积约占 71%，陆地面积约占 29%。为此我们可以设想：在某一瞬间海洋面处于静止平衡状态，将其向陆地内部延伸形成一个封闭的曲面，这个曲面称为大地水准面（图 1—1）。任一静止的水面均称作水准面，故水准面有无限多个；而大地水准面只有一个，它所包围的形体称为大地体。大地体可以代表地球总的形状。

水准面的特性是处处与铅垂线相垂直。铅垂线即为重力方向线；与铅垂线相垂直的面叫水平面；与铅垂线相垂直的线叫水平线；包含铅垂线的面，称作铅垂面或竖直面。

铅垂线、水平线、水平面、大地水准面、水准面、铅垂面都是我们在测量中获取外业资料的重要参照依据，应当弄清楚它们之间的区别和相互联系。

由于地球内部各处物质密度不同，导致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。另外，根据不同轨道上卫星长期观测结果证明，大地体近似梨形，是一个两极稍扁、但并不对称的球体。为了便于对大地测量成果进行处理，需要选择一个与大地体非常接近，而又能用数学表达的面作为基准面，这个面是用一个椭圆绕其短轴旋转而成，称为旋转椭球面（图 1—2）。由图 1—1 看出，大地水准面有些地方在椭球体表面之上，有些地方则在椭球体表面之下。为了测量工作的需要，把适合一个国家领土或地区的旋转椭球面称为参考椭球面。我国目前采用 1995 年国际大地测量协会推荐的地球椭圆球，其元素为：

长半轴 $a \approx 6378140 \text{ m}$

短半轴 $b \approx 6356755 \text{ m}$

扁率
$$\alpha = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{298.257}$$

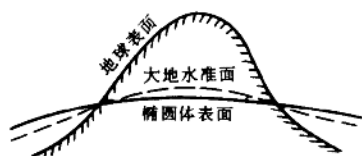
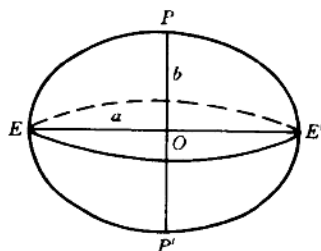


图 1-1



我国选择陕西省泾阳县永乐镇某点作为大地原点，称西安原点，建立了“1980 年国家大地坐标系”。

由于地球的扁率很小，所以在小范围内进行测量时，可以把地球当作一个圆球对待，其半径通常采用：

$$R = 6371 \text{ km}$$

二、地面点位的确定

测量工作中所谓确定地面点的几何位置，在大地测量中是将地面点沿法线方向投影到椭球面上，用投影点在椭球面上的大地经纬度表示该点的水平位置，用地面点到投影点间的法线距离表示该点的大地高程；而在普通测量（即本课程）中是将地面点沿铅垂线投影到水平面上，用投影点在平面直角坐标系中的坐标表示该点的平面位置，用地面点到大地水准面间的铅垂距离表示该点的高程。

（一）大地坐标

用大地经度和大地纬度表示地面点位置的球面坐标，称为大地坐标。如图 1-3 所示，O 为地心，NS 为椭球的旋转轴，N 为北极、S 为南极。过地心 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赤道。包含旋转轴的平面叫子午面；它与椭球面的交线称子午线或经线；一般把通过英国格林尼治天文台的子午面称为首子午面或起始子午面。

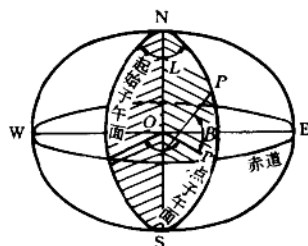


图 1-3

过地面上任意一点 P 的子午面与起始子午面之间的夹角，称为 P 点的大地经度，通常用 L 表示。大地经度从起始子午面开始：向东 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称东经；向西 $0^\circ \sim 180^\circ$ 称西经。过 P 点的法线与赤道面的夹角，称为 P 点的大地纬度，通常用 B 表示。大地纬度由赤道开始：向北 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称北纬；向南 $0^\circ \sim 90^\circ$ 称南纬。例如某点的经纬度是：东经 $116^\circ 28' 13''$ ，北纬 $39^\circ 54' 23''$ 。

（二）平面直角坐标

用大地坐标来表示地面点的平面位置，在测图中使用是很不方便的，因此，在小区域范围内进行测量工作时，可以把地球表面看成平面，用平面直角坐标 (X, Y) 来表示地面点的平面位置。

测量中所使用的平面直角坐标系与数学中使用的直角坐标系是有区别的。如图 1-4，测

量中是以南、北方向和纵轴作为 X 轴, 以 O 为坐标原点, 向北为正、向南为负; 以东、西方向为横轴 Y 轴, 自 O 点向东为正、向西为负。测量平面直角坐标系之所以如此规定, 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的北端起按顺时针方向计量的; 而数学中三角函数的角度都是从横轴按逆时针方向计量。这样数学中的全部三角函数公式, 在测量坐标系中同样可以适用, 勿需再作变动。

如图 1—4 中, 任一点 P 的平面位置, 可以用 (x_p, y_p) 表示。

(三) 高程

用大地坐标或平面直角坐标, 只能确定地面点在球面或平面上投影点的位置。而要确定点的空间位置, 还需要知道点的高程。

任意点沿铅垂线方向至高程起算面的距离称为该点的高程, 见图 1—5。由于在测量工作中作为高程基准的起算面不同, 我们称任意点到大地水准面的铅垂距离称为该点的绝对高程, 又称海拔, 如图中 A 、 B 点的绝对高程为 H_A 、 H_B ; 而该点到任意一个水准面的铅垂距离则称为该点的假定高程, 如 H'_A 、 H'_B 就是 A 、 B 点的假定高程。

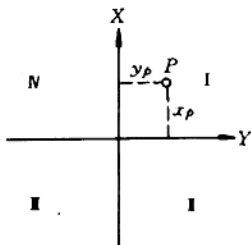


图 1—4

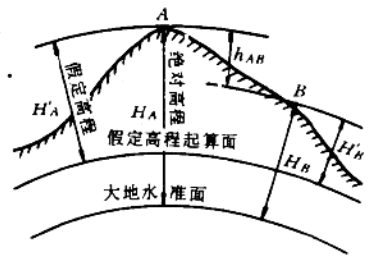


图 1—5

地面上两点高程之差称为高差, 通常以 h 表示。如图 1—5 中得:

$$h_{AB} = H_B - H_A = H'_B - H'_A \quad (1-1)$$

从上式可以看出, 两点之间的高差 h_{AB} 无论用绝对高程还是用假定高程, 其计算出的高差结果都是一样的。但应注意的是, 高差和高程是两个截然不同的概念。高差大小表示了地面的相对起伏情况, 而高程则表示了地面到水准面的绝对距离。

§ 1—4 测量工作概述

测量工作最根本的任务是确定地面点的位置。它对于经济建设、国防建设和科学研究都具有重要的作用, 因此要求确定的地面点位置要正确, 为此就要按照一定的程序、采取一定的措施, 才能满足测绘及测设的要求。

一、测量工作的基本原则

在测量工作中, 无论是进行地形测量, 还是进行施工放样, 都要测定大量的地面点位。为了保证这些点位的可靠性, 就要采取措施防止地面点位测定中的误差积累。

首先要根据测量的目的和要求, 在测区范围内选择少数关键位置的特征点, 高精度地测出这些点的几何位置 (平面位置或高程)。以这些点作为骨架, 然后再进行测区的细部测量工

作。作为骨架的点称控制点，如图 1—6 中的 A 、 B 、 C 、 D ；测定控制点位的工作称控制测量，它是测量工作质量好坏的基础，故必须认真对待。以控制点为基准，来测定其周围地形特征点的工作称为碎部测量。根据各控制点间已确定的位置关系，就能把整个测区各控制点上所进行的局部碎部测量连成一个整体，从而达到完整的地形测量。

由以上看出，测量工作是按照“先控制后碎部”的程序进行，这也就是无论进行何种测量工作，都需要遵循的“从整体到局部”的原则。

二、测量的基本工作

无论是进行控制测量工作，还是进行碎部测量工作，其基本任务都是为了确定地面点之间的相对空间位置，通常用点的水平位置和高程来表示。

在图 1—6 中， A 、 B 、 C 、 D 是地面上四个高低不同的点，构成 $ABCD$ 空间四边形，图下方为水平面 P 。在水平面上的 $abcd$ 四边形则是由地面点的投影所构成。我们所需要的距离是水平距离 ab 、 bc 、……，而不是斜距 AB 、 BC 、……；而要测量的水平角为 β_A 、 β_B 、……，而不是倾斜面上的平面角。知道了水平距离和水平角，就可以确定地面点在水平面上投影的相对位置；若要确定各点的坐标，在已知 A 点坐标的情况下，尚需测量出直线 AB 的方向，它通常用过 A 点的子午线与 AB 间的夹角 α 来表示， α 称为直线 AB 的方位角。水平距离、水平角和方位角，仅能确定点位之间的平面位置；而要确定点在空间的位置，还要测量出点的高程。

确定点位所要进行的水平距离、水平角、方位角和高程的测量工作，称为测量的基本工作。

测量中的基本工作，都需要用测量仪器设备在野外观测取得，故称为外业工作；而对观测资料进行整理、核对、计算、绘图（清绘）的工作，一般均在室内进行，故称为内业工作。

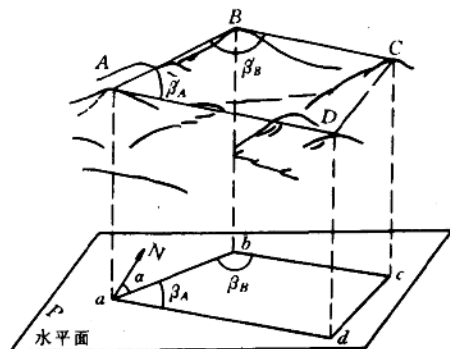


图 1—6

习 题

- 1 测量学的任务是什么？它与铁路建设有什么关系？
- 2 什么叫大地水准面？绝对高程与假定高程有何区别？
- 3 测量工作应遵循的原则是什么？测量的基本工作包括哪些内容？
- 4 如何确定地面点的位置？

第二章 水准测量

§ 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。无论是在地形图测绘或建筑物放样中都必须测定点的高程。

要确定地面点的高程，通常是通过测定两点间的高差，然后由其中一点的已知高程推算出另一点的高程。按使用仪器和施测方法不同，高程测量主要有水准测量、三角高程测量以及其它物理高程测量（如无线电测高、气压高程测量等）。水准测量是利用水平视线求得两点间的高差，由于水准测量的精度较高，它是高程测量中应用最广的方法。三角高程测量是通过测量两点间的水平距离或斜距以及竖直角，从而求得两点间的高差，三角高程测量的精度一般较低，只在适当条件下才被使用。物理高程测量在工程测量中很少应用。

我国采用统一的高程系统，它是以黄海的平均海水面作为我国的大地水准面。1987 年以前采用“1956 年黄海高程系”，它是根据青岛验潮站 1950~1956 年的观测成果推算出的平均海水面。为了进行高程测量，在青岛验潮站附近设置了一个极为稳固的国家水准原点。精确测量它与平均海水面间的高差，推算得水准原点的高程为 72.289 m，它是我国高程测量的起始点。自 1987 年起，我国开始启用“1985 国家高程基准”。它是根据 1953~1979 年的验潮资料重新推算的黄海平均海水面。据此资料推算，水准原点的新高程为 72.260 m。全国新布设的高程控制点都应采用 1985 国家高程基准，在使用旧的高程（水准点）资料时，应注意高程基准的统一和换算。

为了向全国提供高程资料，国家测绘部门在全国范围内分级布设高程控制点（水准点），并精确地测定它们的高程。各地区和部门根据需要又可增设水准点，并与国家水准点联测，以获得高程。这些标志高程的点称水准点，通常以 BM 来标记。永久性的水准点，一般以混凝土标石制成，标石顶部中央镶嵌有半球形的金属或瓷质标志，如图 2—1 所示。标石应埋在地下，埋设地点应选在地质稳定、便于保存和使用之处。埋设后应绘制点位草图并编号，以便找寻。工程上使用的水准点可以用较简便的方法设置。例如在稳固的建筑物墙上嵌入一水准点标志，或在坚硬的基岩表面、稳固的房基、桥梁墩台平整处凿刻或用红油漆做标记等。

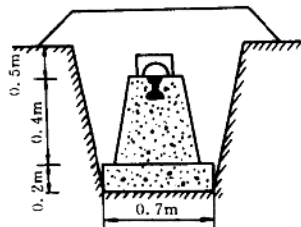


图 2—1

§ 2—2 水准测量的原理

如图 2—2 中, A 为已知高程点, B 为待求高程点, 为了求得 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

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

为了求取高差 h_{AB} , 可在 A 、 B 两点上分别竖立带有分划的标尺 (水准尺), 并在 A 、 B 间安置一台能提供水平视线的仪器 (水准仪), 该水平视线分别在 A 点、 B 点标尺上截取读数 a 和 b , 则

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

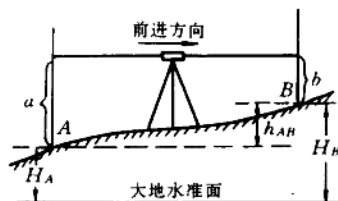


图 2—2

由于 A 为已知高程点, B 为待求高程点; 又从 A 到 B 为水准测量的前进方向, 因而称 A 点为后视点, A 点上的尺读数 a 称为后视读数; B 点为前视点, B 点上的尺读数 b 称为前视读数。由 (2—2) 式知, 当 $a > b$ 时, h_{AB} 为正, 表示 B 点比 A 点高; 若 $a < b$, 则 h_{AB} 为负。此外, 在表示高差时必须注意 h 的下角标, h_{AB} 表示由 A 向 B 测量的高差; 而 h_{BA} 则为 B 点向 A 点测量的高差。在理论上, 两者绝对值相等, 正负号相反。

如果两点间相距较远或高差较大时, 就要分段连续进行测量, 如图 2—3 所示。这时

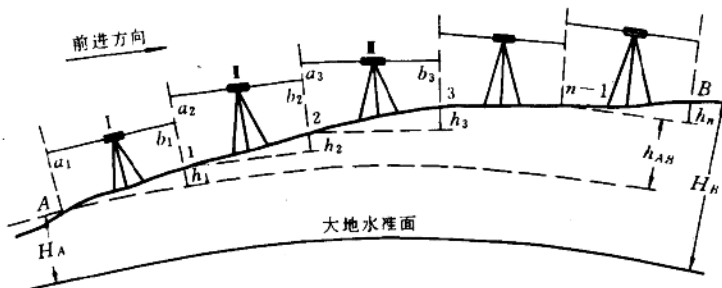


图 2—3

$$h_1 = a_1 - b_1$$

$$h_2 = a_2 - b_2$$

$$\dots\dots$$

$$h_n = a_n - b_n$$

则

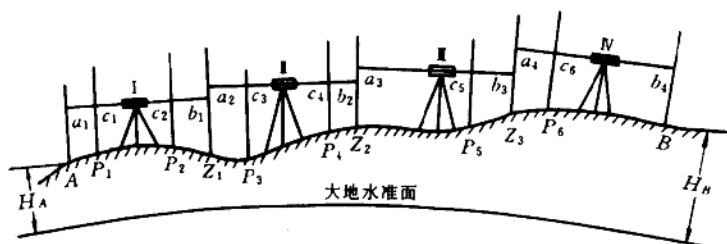
$$h_{AB} = \sum h = \sum a - \sum b \quad (2-3)$$

即两点间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。(2—3) 式也是高差计算的检核式。

图 2—3 中的立尺点 1, 2, 3, ..., $n-1$ 称为转点, 它们先作为待求高程点, 然后作为已知高程点, 起传递高程的作用。转点上产生任何差错, 都会影响以后各点的高程。

有时, 安置一次仪器不仅要获得两点间的高差, 而且要求取得一系列点的高程, 它可按

仪器视线高程（简称仪器高程）法求出各点的高程，如图 2—4 所示。



2-4

例如水准仪在图中测站 I 时,除了要读取 A 点的后视读数 a_1 和转点 Z_1 的前视读数 b_1 外,还要读取 P_1 、 P_2 点的读数 c_1 、 c_2 ,这时各点的高程计算如下:

测站 I 仪器视线高程 $H_{II}=H_A+a_1$, 则

$$\left. \begin{aligned} H_{z1} &= H_{il} - b_1 \\ H_{p1} &= H_{il} - c_1 \\ H_{p2} &= H_{il} - c_2 \end{aligned} \right\} \quad (2-4)$$

图中 P_1 、 P_2 等中间点只有一个前视读数 c_1 、 c_2 等，它们不能传递高程。为了与转点上的前视读数区别，称 c_1 、 c_2 等为中视读数。这种用仪器视线高程求取待求点高程的方法，在实际生产中常被应用。

§ 2—3 水准仪和水准尺

一、水准仪

水准仪是一种能提供水平视线，用于测定两点间高差的仪器。按仪器结构分有微倾式水准仪、自动安平水准仪及激光水准仪三大类。按精度分有DS₀₅、DS₁、DS₃、DS₁₀、DS₂₀五种型号。工程上常用的是DS₃微倾水准仪，本章着重介绍这类仪器。

水准仪主要由望远镜、水准器、基座三个部分组成。图 2—5 是微倾水准仪的外貌，仪器上各部件的名称注记在相应处。

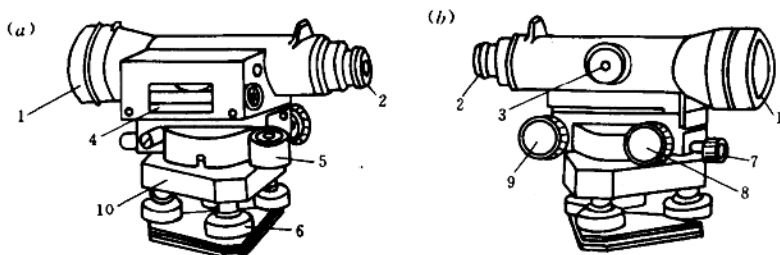


图 2-5

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

微倾式水准仪的基本结构与性能是:

望远镜和管水准器与仪器的竖轴联在一起，竖轴插入基座的轴套内，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是用以控制望远镜在水平方向上的转动。松开制动螺旋，望远镜可自由旋转；关闭制动螺旋并旋转微动螺旋，望远镜可作微小的转动。旋转微倾螺旋可使望远镜连同管水准器在竖直方向作微小的转动而使管水准气泡居中，以标志视线精确水平。基座上有三个脚螺旋，调节脚螺旋可使圆水准器气泡居中，使仪器得到整平。

下面介绍水准仪的主要部件——望远镜、水准器、基座的构造与性能。

(一) 望远镜

望远镜的作用是提供视线，并能在远处水准尺上读取读数。

望远镜主要由物镜、目镜、十字丝分划板、调焦透镜所组成，如图 2—6。物镜与目镜都

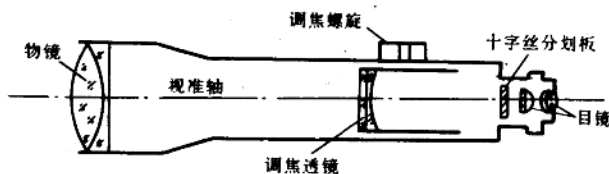


图 2—6

是由复合透镜组合而成。十字丝分划板上刻有两条互相垂直的细长线，如图 2—7 所示。中间横的一条称中横丝，用以瞄准目标和读数。十字丝交点与物镜光心连线称为视准轴（视线）。另外在中横丝的两侧各有一条互为对称的短线，称视距丝，用以测定距离。十字丝大多刻在玻璃片上，玻璃片安装在分划板座上。

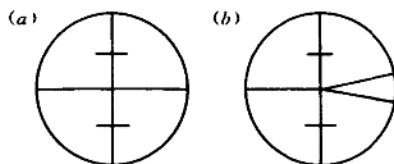


图 2—7

图 2—8 是望远镜成像的原理简图。目标经过物镜后形成一个缩小的倒立实像于十字丝分划板平面上，目镜的作用是把这一实像在目镜同侧形成一个放大的虚像。

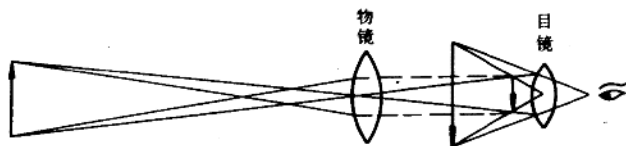


图 2—8

为了使离仪器不同距离的目标都能成像于十字丝平面上，望远镜内还装置一个物镜调焦透镜（对光透镜），旋转调焦（对光）螺旋，可使调焦透镜在视准轴方向移动，从而使目标的像能被清晰地看到。

从望远镜内所看到的目标影像的视角 β 与直接由肉眼看到的目标的视角 α 之比，称作望

望远镜的放大率，它近似地等于物镜焦距与目镜焦距之比，即放大率

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

望远镜放大率是衡量望远镜性能的主要指标，但它与视场角——望远镜所能看到的范围成反比；与亮度——望远镜所看到的目标的明亮程度平方成反比；因此测量望远镜的放大率有一定的限度，一般在 15~45 倍之间。

(二) 水准器

水准器是用来指示视准轴是否水平或仪器竖轴是否铅垂的一种装置，它有管水准器和圆水准器两种。

1. 管水准器

又称水准管，它是一个封闭形的玻璃管，放置在金属框内，固定于望远镜的一侧。管的内壁在纵向磨成圆弧形，圆弧半径通常为 10~40 m，管内装酒精和乙醚混合液，并留有一个气泡，如图 2-9。管内壁圆弧中心点称水准管的零点。过零点的水准管圆弧纵向切线称水准管轴。由于空气比液体轻，气泡恒处在管的最高处。当气泡中心与水准管零点重合时称气泡居中，这时水准管轴处于水平位置。

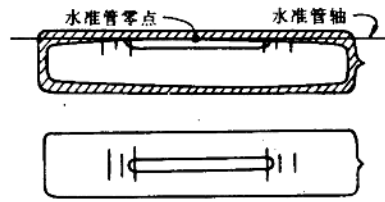


图 2-9

管面上通常以零点为对称向两侧刻出间隔为 2 mm 的分划线。每 2 mm 圆弧长所对应的圆心角称水准管分划值，以 τ 表示。从几何上看，分划值也是气泡移动 2 mm (1 格)，水准管轴所变动的角值，如图 2-10。普通水准仪的分划值为 $20'' \sim 30''$ 。水准管分划值越小，气泡灵敏度越高，置平精度也越高，但置平越困难。

为了提高水准管气泡的置平精度和便于观测，在微倾水准仪的水准管上方安装一组符合棱镜，如图 2-11。通过组合棱镜的多次反射，把水准管气泡两端的影像反映到望远镜旁的观测窗中。当气泡两端点的影像符合（对齐）时，则表示气泡居中，如图 2-11 (b)；当气泡两端影像错开时，则表示气泡不居中，这时应转动微倾螺旋，使气泡符合。

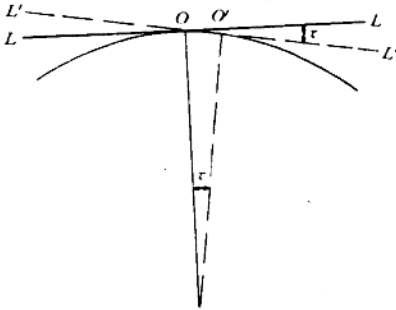


图 2-10

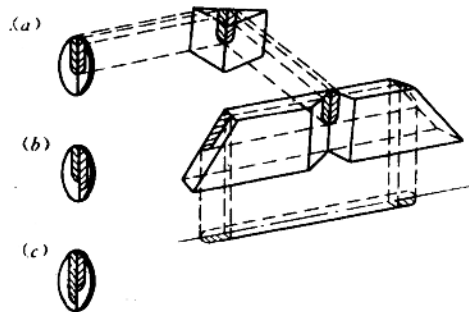


图 2-11

2. 圆水准器

如图 2-12，圆水准器是一个封闭的圆形玻璃容器，其顶盖的内表面为球面，半径为 0.8