

● 高等学校教学用书 ●

测量仪器与实验

王运昌等 编

GAODENG
XUEXIAO
JIAOXUE
YONGSHU

冶金工业出版社

高等学校教学用书

测量仪器与实验

王运昌 主 编

薛泮成 李秀海 副主编

北 京
冶金工业出版社
1998

图书在版编目(CIP)数据

测量仪器与实验/王运昌等编. —北京:冶金工业出版社, 1998.3

高等学校教学用书

ISBN 7-5024-2201-3

I. 测… II. 王… III. ①测量仪器-高等学校-教材 ②测量仪器-实验-高等学校-教材 IV. P204

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 04927 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

北京昌平百善印刷厂印刷; 冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销
1998 年 4 月第 1 版, 1998 年 4 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 16 印张; 382 千字; 246 页; 1-1000 册

22.50 元

前 言

本书是根据高等学校工程测量专业教学改革的需要,适应当前测绘工程的实际和发展,为开设“测量仪器与实验”课程而编写的。

书中详细阐述了常规测量仪器的构造、使用和检验校正方法,同时对先进的电子测量仪器如数字水准仪、智能型全站速测仪和 GPS 测量用户系统的功能及使用方法也做了比较详尽的介绍。为使学生能较好地掌握各类仪器的使用方法,第二篇介绍了各项实习实验的内容。

本书由王运昌任主编,薛泮成、李秀海任副主编。参加编写工作的有王运昌、薛泮成、李秀海、李金平、冯守良、王春成、崔成义和徐琦。本书由李金平、冯守良任主审。

由于编者水平有限,书中难免存在缺点和不足,敬请读者批评指正。

编 者

1997 年 11 月

目 录

第一篇 测量仪器	1
测量仪器概论	1
第一章 水准仪	4
第一节 概述	4
第二节 普通水准仪及水准尺	6
第三节 普通水准仪的检验及校正	14
第四节 精密水准仪与水准尺	19
第五节 精密水准仪的检验	25
第六节 水准标尺的检验	30
第七节 自动安平水准仪	33
第八节 数字水准仪使用简介	37
第二章 光学经纬仪	50
第一节 概述	50
第二节 普通光学经纬仪	51
第三节 经纬仪的使用	56
第四节 角度测量	58
第五节 经纬仪的三轴误差	65
第六节 普通光学经纬仪的检验与校正	72
第七节 精密光学经纬仪	78
第八节 精密光学经纬仪的检验	101
第九节 电子经纬仪测角系统	113
第三章 电磁波测距仪及全站仪	116
第一节 概述	116
第二节 电磁波测距基本原理	117
第三节 中、短程相位式电磁波测距仪	119
第四节 中、短程电磁波测距仪的检验	130
第五节 电子速测仪	136
第六节 索佳智能型全站速测仪 SET2C	145
第四章 平板仪及其使用	163
第一节 平板仪测量原理	163
第二节 平板仪及其附件	163
第三节 平板仪的安置	166
第四节 平板仪的检验与校正	168
第五章 GPS 测量用户系统	172

第一节 概述	172
第二节 GPS 定位的基本原理及测量用户系统	172
第三节 WILD200S GPS 测量用户系统	175
第四节 索佳公司 GSS1A 型 GPS 接收机	200
第二篇 测量实验	222
第六章 测量实验的基本要求	222
第七章 实验	225
实验一 S_0 水准仪的认识及使用	225
实验二 S_0 水准仪的检验与校正	226
实验三 S_1 水准仪的认识及使用	227
实验四 水准标尺的检验	228
实验五 J_6 级经纬仪的认识及使用	229
实验六 方向法观测水平角和竖直角	230
实验七 J_6 级经纬仪的检验与校正	231
实验八 J_2 级经纬仪的使用	232
实验九 J_2 级经纬仪的检验	233
实验十 J_1 级经纬仪的使用	235
实验十一 电磁波测距仪的使用	236
实验十二 平板仪的认识及使用	236
实验十三 平板仪的检验与校正	237
实验十四 数字水准仪 NA3003 的使用	239
实验十五 设置 SET2C 气象改正因子(ppm)的实验报告	240
实验十六 新设备的参数设置实验报告	241
实验十七 复制任务实验报告	241
实验十八 编辑新复制的任务实验报告	242
实验十九 设置开机时的启动模式实验报告	243
实验二十 手工方式测量操作	243
实验二十一 测量中调阅工作状态实验报告	244
实验二十二 初始化模式操作的实验报告	244
实验二十三 执行静态测量模式操作的实验报告	245
主要参考文献	246

第一篇 测量仪器

测量仪器概论

测量仪器是用来测定地面点、线间相关元素的一种仪器。它们大量地应用于各种工、农业建设和国防建设中。它们的主要用途是测定各种等级控制点的平面位置和高程位置、测绘各种比例尺地形图以及工程点位的放样。

一、测量仪器的种类

测量仪器是以野外测量对仪器提出的功能方面的要求为出发点,应用光学的精密机械与电子的各种技术和工艺手段设计制造而成。尽管测量仪器具有许多种类,但根据其使用目的可以分为以下几类:

- 1) 用来测定水平角和垂直角的经纬仪;
- 2) 用来测定地面点间高差的水准仪;
- 3) 用来测定两点间水平距离的电磁波测距仪;
- 4) 用来直接在野外测绘地形图的大平板仪。

以上分类不是绝对的。例如,经纬仪主要用来测角,当前也可以用来定向和放样;配合视距尺还可以从视距丝上读取视距间隔,若同时测定了垂直角,就可算出测站点至立尺点的水平距离和高差;配合其它工具又可以在野外测绘地形图。有些水准仪带有水平度盘,可用来进行高程放样。

根据测量仪器精度的不同,测量仪器可以大致分为四等:

- 1) 高精度仪器——一般指用来进行国家一、二等控制测量以及相应精度的工程测量的仪器;
- 2) 中等精度仪器——指用于国家三、四等控制测量及一般工程控制测量方面的仪器;
- 3) 一般精度仪器——指用于等外控制测量、测图及一般工程测量方面的仪器;
- 4) 低精度仪器——主要用于野外踏勘、概略测量以及精度要求不高的工程测量等方面的仪器。

我国测量仪器在全国范围内实行了标准化与系列化。测量仪器系列化方案中规定,测量仪器的总代号为“D”,经纬仪的代号为“J”,水准仪的代号为“S”,平板仪的代号为“P”,它们分别是经纬仪、水准仪、平板仪汉语拼音的头一个字母。若连起来写就成为“DJ”、“DS”、“DP”。每一类仪器按精度又划分为不同等级。经纬仪的精度指标在方案中规定为仪器在野外观测时“一测回方向中误差”。例如,野外测量“一测回方向中误差为 $6''$ (或稍小于 $6''$)的经纬仪用代号“DJ₆”表示,有时简称为“J₆”。水准仪的精度指标规定为“每公里往返测高差平均值中误差”。平板仪的精度指标规定为用仪器进行视距测量归算到一百米处的测距全中误差(dm/100m)。除了主系列的基本型号外,还有一些派生型号的变型仪器,如矿山经纬仪的代号为

“DJK”,自动安平水准仪的代号为“DSZ”等。

二、测量仪器发展概况

到 80 年代初,中国已具备成批生产中、高精度光学测量仪器的能力,有的已经形成了种类齐全的产品系列。目前电子经纬仪、电子速测仪已研制成功。

1943 年,我国生产出第一台国产水准仪,1945 至 1946 年间,试制成功了金属度盘的经纬仪,那时生产的测量仪器只有普通水准仪、手水准仪、小平板仪、罗盘仪等简单的测量器具。精密的测量仪器靠进口。解放后,由于党和政府的重视,我国的光学仪器制造业有了很大的发展。

1957 年至 1958 年,长春仪器馆(后为长春光机研究所)研制成光学经纬仪以前,我国只能小批量地生产低精度的金属度盘经纬仪。1958 年,西北光学仪器厂成批生产了 6 秒级的地形 1 号经纬仪。1965 年,西安航光仪器厂试制成功 2 秒级经纬仪。70 年代初,北京光学仪器厂和苏州第一光学仪器厂也试制成 2 秒级经纬仪。1975 年,南京测绘仪器厂试制成功 0.5 秒级和 0.7 秒级高精度经纬仪。同期北京光学仪器厂也试制成功了 0.7 秒级高精度经纬仪。1974 年至 1976 年,第一机械工业部组织全国统一设计 2 秒级和 6 秒级经纬仪。1979 年,北京光学仪器厂批量生产了这种仪器。我国生产的经纬仪已采用了一些新的技术:①有的采用部分数字化形式,简化读数手续,避免读数误差;②2 秒和 6 秒级光学经纬仪有的采用悬丝式竖盘指标自动归零补偿器,取代了原来的竖盘指标水准器;③正像望远镜在几个大厂已试制成功,这种望远镜具有微调功能,为精确调焦提供了条件;④有的经纬仪上增加了陀螺定向、激光指向装置、光学对中器、罗针和照明设备等附件以扩大仪器的功能和使用范围。

在水准仪方面,建国初期,南京水工仪器厂已经可以生产“水工丙式”低精度的水准仪,后经多次改进,到 1960 年,已达到 DS3 级精度。80 年代以后,有些厂已能生产自动安平水准仪,南京测绘仪器厂于 1984 年也试制了 DS05 水准仪和 DSZ3 自动安平水准仪。

平板仪最早由南京水工仪器厂开始制造,为 P24 型。随后又有西安光学测量仪器厂、杭州测绘仪器厂、陕西测绘仪器厂等八个单位生产这种产品。其型号按国家统一系列定为 DP3 型平板仪。

电磁波测距仪,早在 50 年代末和 60 年代初,我国就开始试制。70 年代初又试制出 DGS-1 型、GD-5 型、GD-25 型激光测距仪。70 年代末到 80 年代初,相继出现了相位式红外测距仪 DCH05、DCH2、DCH5 和 DCH500 等型号,相位式激光测距仪 DCX5、DCX10、DCX15 和 DCX30 等型号;还有脉冲式激光测距仪 DCM10-3 型。

国外测量仪器在近十几年来发展迅速,实现了从机械与光学相结合的普通测量仪器向电子化方向的转变。许多厂家凭借先进的科学技术和工艺,竞相研制生产了许多先进的现代化的电子测量仪器。如徕卡公司生产的 WILD NA2002/NA3003 电子水准仪, T1000 和 T2000 电子经纬仪,电子经纬仪与光波测距仪相结合的 T1000+D11000 全站仪。日本索佳公司生产的智能型全站速测仪 SET2C 等。这些仪器自动化程度高,功能丰富,不用人工读数,能够储存、传输、处理测量数据,代替了手工的数据记录和计算,减轻了测量人员的作业强度,大大提高了工作效率。

当前,全球定位系统(简称 GPS)广泛地应用到大地测量和工程测量。GPS 测量创立了全新的控制网点的建立方法。与常规的控制测量相比,它具有许多优越性,因此,有人称 GPS 测量引发了测绘领域的技术革命。GPS 测量的主要设备是 GPS 接收机,目前,世界上有许多厂家生产 GPS 接收机。如徕卡公司生产的 WILD200S 和 WILD200GPS 接收机,日本索佳公司

生产的 GSS1 和 GSS1A 接收机。我国的许多测量单位相继引进了这些公司的接收机并应用于测量生产,取得了较好的经济效益和社会效益。

目前,测量仪器正向结构小型化、功能多样化、电子化及自动化方向发展。可以预期,随着科学技术的进步,会有更多的更为先进的测量仪器出现。

三、测量仪器在测绘工作中的作用

测绘工作是各项工程建设、资源开发的超前性工作,提供各种测绘数据和地形图资料,以便进行规划、设计和施工建设。测绘数据和地形图资料的获得离不开测量仪器。我国幅员辽阔,应用精密仪器进行陆地和海洋的大地测量可为各项建设事业、科学研究、地震预报、航天技术和国防建设提供各种定位、重力及地球动力等数据,是一切测绘工作的基础。精密工程测量更是离不开精密的测量仪器,特别是象宝山钢铁基地这样特大工程、北京正负离子对撞机工程、大亚湾核电站工程都是应用精密仪器进行精密工程测量才能保证工程建设按设计要求,保证质量地建设起来;武汉、南京长江大桥工程,要沿江利用测量仪器进行测量,研究地质构造,测绘各种比例尺地形图进行桥址的选择,还要进行桥墩测设和桥梁安装测量工作,同时还要进行变形监测;铁路、公路建设,从选线、定线到路基施工、桥涵建设及隧道开通、铺轨和路面铺设都需要测量仪器进行测量工作。各种水利工程建设,都要用测量仪器进行各个阶段的测量工作,以确保工程质量和安全运转。所有进行建设的部门和地方都需要测量工作,当然也要使用各种测量仪器。

四、本课程的学习方法和基本要求

测量仪器与实验是一门操作技能水平较高、实践性很强的基础技术,又是进一步学习测量学和控制测量的基础。因此,学习测量仪器与实验必须坚持理论联系实际,通过各项实验环节,牢固地掌握测量仪器的使用、检验、校正技能,才能成为合格的测绘技术人才。

测量仪器和工具是测量工作的主要手段,又比较贵重,若有损坏,不但给国家造成损失,还将影响工作。因此,测绘工作者要特别爱护仪器、工具,并养成正确使用测量仪器、工具的良好习惯。正确使用测量仪器是快速、准确获得测量成果及满足测量精度要求的关键。

第一章 水准仪

第一节 概述

水准仪又称水平仪,是一种能给出一条水平视线的光学仪器。利用这条水平视线,可以解决生产中许多实际问题。测量上,主要用它与水准尺配合,求出两点之间的高差。也可放样出某点的高程。水准测量是利用水准仪测出地面点高程的一种方法。这些地面点称为水准点。

我国水准点的高程是从青岛水准原点起算的。全国范围内国家等级水准点的高程都属于这个统一高程系统。国家测绘局对全国的水准测量作了统一的规定,按不同的精度要求规定了四个等级。一等水准测量最高,四等水准测量最低。此外,还有等外水准测量。由于精度要求不同,使用的仪器及具体操作也不同。

一、高差测定的方法

测出高差 h_{AB} 的方法如下:如图 1-1 在 A、B 两点上竖立两根尺子,并在 A、B 两点之间安置一架可以得到水平视线的仪器。这种尺子称水准尺,所用的仪器称为水准仪。设水准仪的水平视线截在尺子的位置为 M、N,过 A 点作一水平线与过 B 点的铅垂线相交于 C。因为 BC 之长即是 A、B 两点间的高差,所以由矩形 MACN 中可以得到计算 h_{AB} 式子

$$h_{AB} = a - b$$

在实际工作时, a 、 b 值是用水准仪瞄准水准尺直接读出来的。当前进方向为 A 到 B 时,称 a 为后视读数, b 为前视读数。即

$$h_{AB} = \text{后视读数} - \text{前视读数}$$

高差 h_{AB} 本身可正可负,当 a 大于 b 时 h_{AB} 值为正,这种情况是 B 点高于 A 点;当 a 小于 b 时 h_{AB} 值为负,即 B 点低于 A 点。

二、我国水准仪的种类及系列标准

(一)我国水准仪的系列标准

原第一机械工业部于 1973 年 12 月召开了水准仪系列化、标准化会议,会议讨论并通过了我国水准仪系列标准。我国的水准仪分为五个等级,即 DS_{0.5}、DS₁、DS₃、DS₁₀、DS₂₀,其主要技术要求和基本参数如表 1-1 所示。

自动安平水准仪于 1950 年首次出现以来,由于它对气温变化不敏感,精度稳,工效高,因此各国仪器厂先后生产了各种不同结构的自动安平水准仪。我国生产制造的 DS₃ 型自动安平水准仪,其各项技术指标都达到这一等级所规定的要求。

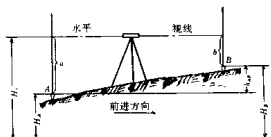


图 1-1 水准测量原理

表 1-1 水准仪技术要求及基本参数

项 目		等 级 及 型 号	DS ₃	DS ₃ -X	DS ₁	DS ₁ -X	DS ₃	DS ₃ -X	DS ₁₀	DS ₁₀ -X	DS ₃₀	DS ₃₀ -X
每公里往返测高差偶然中误差 mm/km			±0.5	±0.5	±1	±1	±3	±3	±10	±10	±20	±20
望远镜放大倍数不小于(倍)			45	45	38	38	28	28	20	20	15	
望远镜物镜有效孔径不小于/mm			55	55	47	47	38	38	28	28	20	
水准器角值 不大于	符合式	管状水准器 ' /2mm	10		10		20		45			
		普通式									15	
		十字型式	3		3							
		脚水泡 " /2mm					8	8	8	8	15	
测 微 器	测量范围	mm	5	5	5	5						
	最小分划值	mm	0.05	0.05	0.05	0.05						
用 途		国家一等水准测量 及地质水准测量	国家二等水准测量 及其它精密水准测量		国家三等、四等水准测量 及其它一般工程水准测量		一般工程水准测量		建筑及简易农田水利 工程水准测量			

(二)水准仪的种类

按照仪器的精度可以分为普通水准仪和精密水准仪。

1. 普通水准仪

用于一般工程、地形、国家二、四等水准测量的水准仪,如 DS_3 型和 DS_{10} 型水准仪。这种类型水准仪结构比较简单、轻便、大多都有微倾螺旋。

2. 精密水准仪

用于国家一、二等水准测量及特种工程测量的仪器,如 DS_{05} 型和 DS_1 型水准仪。这种类型水准仪都有微倾螺旋,为了提高读数精度,都具有平板玻璃或其他测微器结构,并附有钢瓦标尺。

第二节 普通水准仪及水准尺

一、普通水准仪

普通水准仪主要由望远镜、水准器、基座和脚架组成。此外,还有制动螺旋、微动螺旋、微倾螺旋等部件。

图 1-2 所示为 DS_3 型普通水准仪。这种水准仪的望远镜和管水准器固连在一起,借助管水准器使望远镜视线处于水平位置。望远镜朝向目标的透镜称为物镜,靠近眼睛一端的透镜称为目镜。镜筒上部装有准星和照门,用于粗略瞄准目标。圆水准器装在望远镜的底盘上,用于粗略整平仪器。

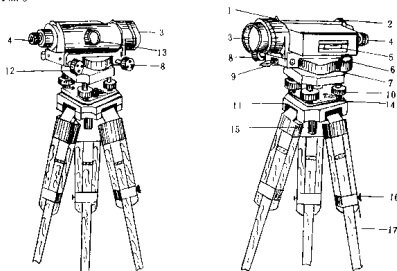


图 1-2 普通水准仪

1—准星;2—照门;3—物镜;4—目镜;5—管水准器;6—圆水准器;7—圆水准器校正螺钉;

8—微动螺旋;9—制动螺旋;10—脚螺旋;11—三角架;12—微倾螺旋;13—对光螺旋;

14—三角弹簧压板;15—中心螺旋;16—螺旋;17—架腿

制动螺旋和微动螺旋装在望远镜的底盘上,用于控制望远镜在水平方向上转动。松开制动螺旋,望远镜可绕竖轴转动,拧紧制动螺旋,望远镜固定,微动螺旋只有在制动螺旋拧紧后起作用,转动微动螺旋,可使望远镜在水平方向缓慢移动,以精确瞄准目标。

微倾螺旋用于调节望远镜和管水准器以其支点在竖直面内作微小的升降,从而使望远镜

的视线精确水平。

基座呈三角形,中心是一个空心轴套,仪器的竖轴就插在这个轴套内。望远镜作水平转动时,基座保持不动。为了使整个水准仪能稳固地置于三脚架上,基座下部装一块有弹性的三角弹簧压板。三个脚螺旋分别安置在三角弹簧压板的三个叉口内用来整平仪器,转动脚螺旋调节圆水准器可使仪器视线粗略水平。三角弹簧压板中央有一螺母,用中心连接螺旋将三脚架与水准仪连接在一起。

三脚架是木质的,其作用是安置水准仪。三脚架上的三条架腿可以伸缩,由装在架腿上的蝶形螺旋控制。

下面对水准仪的主要部件望远镜、水准器分述如下:

1. 望远镜

(1)望远镜的构造 望远镜是水准仪上的主要部件,它的作用是瞄准目标并提供水平视线。望远镜分外对光和内对光两种,其主要由物镜、目镜、十字丝分划板和对光装置组成,如图1-3所示。

1)物镜和目镜 物镜的作用是使被测目标在目镜前焦点与目镜之间构成一个倒立并缩小的实像。目镜的作用是将物镜所成的像放大为虚像。望远镜的物镜和目镜是由不同曲率 and 不同折射率的透镜组成的复合透镜,以消除球面像差和色像差。

2)十字丝环 十字丝环借助四个压环螺旋与望远镜筒固连,装在目镜与其前焦点之间且垂直于目镜的主光轴,环面上装有一块玻璃片,刻有相互垂直的十字形细线构成一块十字丝分划板,其形式较多,如图1-4所示为常见的几种形式。其中竖直的一根称为纵丝或竖丝,中间水平的一根称为横丝或中丝。横丝上、下两根对称的短丝称为视距丝,又称上、下丝,用它可测定距离。

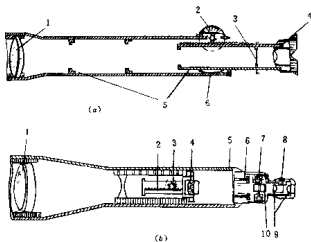


图 1-3

(a) - 外对光望远镜的构造;(b) - 内对光望远镜的构造

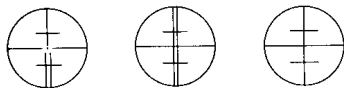


图 1-4 十字丝的形式

十字丝的交点与物镜光心的连线称为望远镜的视准轴。上面所说视线水平,就是指视准轴水平;望远镜照准了目标,就是视准轴对准了目标。

3)对光装置 望远镜观测目标,由于目标的远近不同,通过物镜成像的位置亦不同。物像在望远镜中要清晰可见,必须使像落在十字丝平面上,然后同十字丝一起被目镜放大。所以望远镜上都装有一个物镜对光装置,如图1-3所示的物镜对光螺旋。从前测量仪器望远镜都采

用改变十字丝平面位置与物镜的距离来适应物距的变化,使物像落在十字丝平面上,如图 1-3(a)所示。这种望远镜称为外光望远镜。目前测量仪器都采用内光望远镜,如图 1-3(b)所示。它的物镜和十字丝环都固定在物镜筒上,在其间装一块透镜,称为调焦镜。通过转动物镜对光螺旋(也称物镜调焦螺旋),带动调焦镜前后移动来改变物体成像的位置,使远近不同的物体的像都落在十字丝平面上,这种操作称为物镜对光或物镜调焦。

目镜安装在可以旋转的螺旋套筒上,转动目镜筒可使目镜沿主光轴移动,以调节目镜和十字丝平面之间的距离,使视力不同的人都能看清十字丝,这种操作称为目镜对光或目镜调焦。然后利用物镜对光螺旋使物体的像和十字丝平面重合,此时物像最清晰。

(2) 望远镜的成像原理及视差的概念

内对光望远镜的成像原理,如图 1-5 所示。 ab 为物体 AB 经物镜 L_1 和调焦镜 L_2 调焦后在十字丝平面所成的倒立的实像。由于十字丝是装在目镜与前焦点之间,所以物体 AB 在十字丝平面的像 ab 经目镜 L_3 放大成虚像 a_1b_1 这就是观测者看到的物体的像。物体像应位于人眼的明视距离上,正常人约为 250mm。

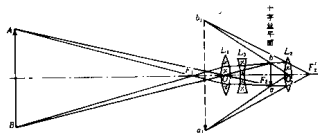


图 1-5 内调焦望远镜成像原理

当望远镜由近目标瞄向远目标时,为使物像成在十字丝平面上,应转动物镜对光螺旋使调焦镜向物镜端移动;反之,应转动物镜对光螺旋使调焦镜向目镜端移动。当调焦镜移到最靠近目镜端不能再移动时,所对应目标距离,称为望远镜的最短视距,更近的目标就看不清了。一般测量仪器的望远镜最短视距为 1~3m。

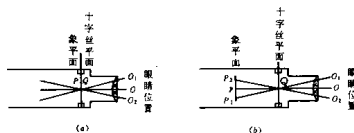


图 1-6 十字丝视差

(a) - 不存在视差; (b) - 存在视差

在观测中,由于人眼的分辨力的关系,虽然经物镜调焦后,往往物体的像与十字丝平面没能重合,当眼睛在目镜端上下或左右稍许移动时,会发现十字丝与目镜有相对移动的现象。这种现象称为十字丝视差,称简视差,如图 1-6 所示。视差的存在将使瞄准目标产生误差。其消除视差的方法是使眼睛处于放松状态,重新仔细地进行目镜对光使十字丝最清晰,然后再进行物镜对光使目标的像落在十字丝平面上。为了减少视差对准目标的影响,观测时,应尽量使眼睛位于目镜中心部位。

(3) 望远镜的性能

1) 放大率 人眼判别物体大小是根据物体对眼睛所张的角度来决定的。例如,人眼看远处的标尺无法看清,若将标尺移近到一定距离上就能看清,其原因就是扩大了物体对眼睛所张的角度。因此,物体能否被眼睛看清,关键在于物体对眼睛所张的角度大小,这个角称为视角。望远镜就是根据这个原理,把人眼看目标的视角扩大,从而可看清远近目标。如图 1-7 所示,由于望远镜筒的长度相对于望远镜与物体的距离而言是很短的,所以眼睛在目镜处看物体与在物镜处看物体的两处视角可以认为是相等,即物镜处的 α 为没有通过望远镜直接看物体的视角。经过望远镜后看到像的视角为 β ,只要 $\beta > \alpha$,通过望远镜就能比人眼看得更远。

从望远镜内看物体像的视角 β 与眼睛直接看该物体的视角 α 之比,称为望远镜的放大率。放大率也可近似地看成为物镜焦距 f_1 与目镜焦距 f_2 之比,一般以 ν 表示,即

$$\nu = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{f_1}{f_2}$$

由此可见,为了要得到较大的望远镜放大率,必须尽可能选用长焦距的物镜与短焦距的目镜。

2) 视场角 当望远镜固定不动时,人眼从望远镜中所看到的空间范围称为望远镜的视场。这个空间范围的边缘对物镜中心 O 所构成的角 ω 称为视场角,如图 1-8 所示。通常用 ω 表示望远镜视场角,而 ω 的大小决定十字丝分划板光阑 MN 的直径 a 及其到物镜中心的距离,物镜到十字丝的距离可近似地取其等于物镜焦距 f_1 ,则有

$$\omega = \frac{a}{f_1} \rho'$$

一般仪器构造上取 $a = \frac{2}{3} f_2$, 而 $\rho = 3438'$, 则

$$\omega = \frac{2}{3} \cdot \frac{f_2}{f_1} \cdot 3438' \approx \frac{2000'}{\nu}$$

即望远镜的视场角与放大率成反比,而与物镜口径的大小无关。

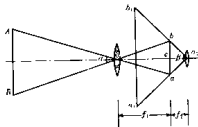


图 1-7 望远镜的放大率

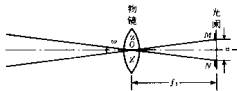


图 1-8 望远镜的视场角

望远镜放大率愈大,愈能看清目标。但放大率愈大,视场愈小,寻找目标就愈困难。所以测量仪器的望远镜上都装有准星和照门的瞄准器,以便先大致对准目标,然后从望远镜视场内就很容易找到目标。

3) 分辨率 望远镜分辨出相邻两点最小间距的能力称为分辨率。它是以两个物点对物镜中心的张角 β'' 表示, β'' 又称为物镜的最小分辨角。因此,所谓望远镜的分辨率实际就是物镜的最小分辨角。望远镜的分辨能力就是指光束通过物镜后其最小分辨角有多大。由光学理论知

$$\beta'' = 140''/D$$

式中 D ——物镜的有效通光孔径。

因此,物镜的有效通光孔径越大,分辨角就越小,其望远镜的分辨能力就越高。

4)亮度 人眼通过望远镜所看到目标的明亮程度,称为望远镜的亮度。由于光线通过望远镜后有一部分光线被光学零件吸收,另一部分光线被光学零件表面所反射。因此,用望远镜观测目标的亮度,总不如直接看目标的亮度大。一般把这两种亮度的比值称为相对亮度,它是衡量望远镜质量的指标之一。一般在眼睛瞳孔直径一定时,望远镜的有效孔径愈大,相对亮度就愈大,观测目标就愈明亮。但望远镜放大率 ν 愈大,则相对亮度就愈小。

为了尽量减小光线在透镜表面的反射损失,测量仪器上望远镜的物镜及其它透镜表面均涂有一层增透膜。如果仪器受潮长霉,将会使亮度显著下降,严重的可导致瞄准和读数困难,所以作业人员要注意保护仪器。

(4)望远镜的使用

1)目镜对光 将望远镜对向天空,转动目镜对光螺旋,使十字丝最清晰。

2)物镜对光 先用瞄准器将望远镜照准目标,转动物镜对光螺旋,从目镜中同时看清十字丝和目标,再用望远镜的微动螺旋使十字丝精确对准目标。

3)消除视差 望远镜照准目标后,眼睛在目镜处上下或左右微小移动,看物像与十字丝是否有相对移动现象,如果有相对移动现象即有视差。此时,应使眼睛处于自然放松状态,重新仔细地进行目镜及物镜对光,直至消除视差。

2. 水准器

水准器是测量仪器上用以判断仪器某部分平面或轴线是否处于水平或竖直位置。水准仪上的水准器则是用来判断望远镜视准轴是否水平及仪器竖轴是否竖直的装置。水准器有管水准器和圆水准器两种形式,如图 1-9 所示。

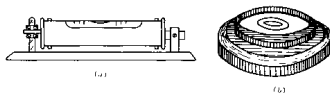


图 1-9 水准器外貌

(a)——管水准器;(b)——圆水准器

(1)管水准器 管水准器通常称为水准管,它是用玻璃管制成的,其纵剖面方向的内壁研磨成一定半径的圆弧,如图 1-10(a)所示。按用途的不同,圆弧的半径一般为 3~100m,最大可达 200m。玻璃管研磨后,一端先封闭,从另一端注满粘滞小而易流动的液体,如酒精或乙醚,加热膨胀后封口,液体冷却后在管内形成一水准气泡。由于气体比液体轻,因此,无论水准管处于水平还是倾斜位置,气泡总处于管内最高处,这时过气泡中点作圆弧的切线则总是水平的。

水准管圆弧的中点,称为水准管零点,如图 1-10(a)之 O' 点,零点一般不刻出,为了表示水准气泡的位置,在水准管的外表面,从圆弧中心点 O' 由对称位置开始每隔 2mm 向两端刻一定数目的分划线,如图 1-10(b)所示。通过零点 O' 与水准管圆弧相切的直线 LL 称为水准管轴,当水准气泡两端所指分划对称,即气泡中点与水准管零点重合时,称为气泡居中。此时,水

准管轴 LL 就一定处于水平位置。利用水准器判断仪器某部分是否水平或竖直,就是看气泡是否居中。为了保护水准管不受损坏,一般将水准管安装在一个长圆形的金属管内,并用石膏固定后利用螺丝装在仪器相应部位,在金属管的一端装有校正螺旋,如图 1-9(a)所示。利用校正螺丝可使水准管一端升高或降低,以改变水准管轴的位置。

利用水准器安置仪器的准确度与水准器的灵敏度有关。由图 1-11 所示,当水准管轴 LL 对于水平线 H_0H_0 倾斜 α 角时,气泡便由零点 O' 偏离 n 个分划移到 O'' ,若 O 为水准管内壁圆弧的圆心, R 为半径,则由图可知

$$O'O'' = \frac{R\alpha''}{\rho}$$

即气泡移动的弧长 $O'O''$ 与水准管轴 LL 倾斜角 α 成正比,因此,一般把水准气泡移动一格(2mm)时,水准管轴倾斜的角值称为水准管分划值或格值,一般用 τ 表示。实际上就是一个分划间隔的弧长 2mm 所对的圆心角,即

$$\tau'' = \frac{2}{R} \cdot \rho''$$

可见水准管分划值 τ 与水准管内壁圆弧半径 R 成反比,圆弧半径愈大,格值就愈小,置平的精度愈高,气泡移动也愈灵活。所以一般把水准气泡移动至最高点的能力,称为水准器的灵敏度。当然灵敏度还与水准管内壁面的研磨质量、气泡长度、液体性质和温度等因素有关。灵敏度愈高,使气泡居中也愈费时间。因此,仪器上的水准管灵敏度要与仪器的精度相匹配。

(2)圆水准器 圆水准器是一个密封的圆柱形玻璃圆盒,如图 1-12 所示。圆盒顶部玻璃内表面是磨成一定半径的球面,其半径一般在 0.1~1m 之间。盒内装满酒精或乙醚后加热封闭,装在金属盒内组成。

圆水准器顶面外表刻有一小圆,称为分划圈。分划圈的圆心称为圆水准器的零点,零点与球面的球心的连线 $L'L'$,称为圆水准器的水准轴,简称圆水准轴。当气泡位于圆圈内且气泡中心与零点重合时,称气泡居中。圆水准轴处于竖直位置,切于零点的平面也就水平了。

圆水准器的分划值就是指由圆圈中心向任意方向偏移 2mm 时,圆水准轴所倾斜的角度值。圆水准器由于半径短,分划值较大,一般在 $8' \sim 60'$,因而灵敏度较低,所以一般只用于粗略置平仪器。圆水准器装在仪器上后,在底部装有呈等边三角形的三颗校正螺丝,用以校正水准轴。

(3)符合水准器 水准管的气泡是否居中,可以直接观察。但在仪器上直接观察既不方便也不精确,为了提高目估水准气泡居中的精度,多数水准仪在水准管上方装一套符合棱镜系

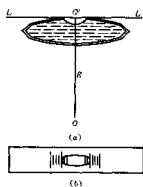


图 1-10 水准管轴

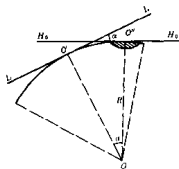


图 1-11 水准管分划值

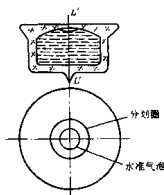


图 1-12 圆水准器