

GONGLU SHIGONG CELIANG SHOUCHE

公路施工测量手册

聂 让 许金良 邓云潮 主编

人民交通出版社

公路施工测量手册

聂 让 许金良 邓云潮 主编

正文设计:王秋红 责任校对:戴瑞萍 责任印制:

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010-64216602)

各地新华书店经销

印刷厂印刷

开本:787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张: 字数: 千

2000 年 9 月 第 1 版

2000 年 9 月第 1 版 第 1 次印刷 总第 1 次印刷

印数:0001—5000 册 定价:43.00 元

ISBN 7-114-03673-6

U·02658

前 言

近年来,我国的公路建设事业飞速发展,在今后一段时期仍将持续稳定发展。编写本手册的目的,是为公路工程施工人员提供一本施工测量较为系统、全面的参考书。

全书共分十八章,其中第一章至第七章主要介绍水准仪、经纬仪、平板仪、光电测距仪、全站仪、罗盘仪和陀螺经纬仪等测量仪器的构造、操作与使用,以及检验校正等;第八章至第十二章主要介绍距离、角度、方位角和高程测量的方法、精度,以及与其相关的内容;第十三章阐述测量误差方面的一些基本知识;第十四章主要介绍施工放样中所采用的基本方法;第十五章主要介绍公路路线测量平、纵、横的测设方法以及路基、路面的施工放样;第十六章主要介绍桥涵测量,其中包括桥轴线长度测量、桥梁三角网测量、桥梁施工高程控制测量、桥梁墩台定位,以及桥梁基础、桥台锥坡等的施工放样等;第十七章介绍隧道测量,其中包括隧道贯通误差、地面、洞内控制测量、竖井联系测量,以及隧道施工放样测量等;第十八章简要介绍 GPS 卫星定位测量,其中包括 GPS 定位原理、GPS 系统的组成、卫星信号的类型、所采用的坐标系统与坐标之间的转换、GPS 测量的实施方法,以及误差来源等。

从实用考虑,本书备有路线测量方面的计算程序(适用于夏普 PC - E500 袖珍计算机),以供读者选用。

本手册第一章至第七章由许娅娅编写;第八章至第十二章由初东编写;第十三章和第十七章由聂让编写;第十四章、第十五章由许金良编写;第十六章由邓云潮编写;第十八章由聂让、张文卿合写。由聂让、许金良、邓云潮统稿全书。

由于编者水平所限,书中错误、疏漏与不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者
2000 年 1 月

目 录

第一章 水准仪.....	1
第一节 DS ₃ 水准仪和水准尺	1
第二节 DS ₁ 精密水准仪	8
第三节 自动安平水准仪	12
第四节 电子数字水准仪	15
第二章 经纬仪	19
第一节 J ₆ 级光学经纬仪	19
第二节 J ₂ 光学经纬仪	26
第三节 电子经纬仪	28
第三章 平板仪	32
第一节 大平板仪	32
第二节 小平板仪	34
第四章 光电测距仪	36
第一节 概述	36
第二节 红外测距仪的基本原理	37
第三节 红外测距仪与棱镜反射镜	38
第四节 红外测距仪的使用	40
第五节 红外测距仪的检验	42
第六节 红外测距仪的测距误差	45
第五章 全站仪	47
第一节 全站仪的结构原理	47
第二节 全站仪的主要特点和技术指标	48
第三节 全站仪的构造和键盘设置	49
第四节 全站仪的操作与使用	51
第五节 全站仪的检验、使用注意事项和维护	59
第六章 罗盘仪	62
第一节 罗盘仪的构造	62
第二节 罗盘仪的使用	62
第七章 陀螺经纬仪	64
第一节 陀螺经纬仪的构造	64
第二节 陀螺经纬仪的使用	65
第八章 距离测量	68
第一节 钢尺量距	68
第二节 红外测距仪测距	76

第三节	距离的改化	78
第九章	水平角测量	81
第一节	水平角测量方法	81
第二节	测站平差与方向改化计算	83
第三节	水平角测量误差	86
第十章	方位角的测定	91
第一节	真方位角的测定	91
第二节	磁方位角测量	97
第三节	用联测的方法获取起始方位角	98
第四节	子午线收敛角的计算方法	99
第十一章	水准测量	101
第一节	普通水准测量的方法	101
第二节	三、四等水准测量的方法	103
第三节	跨河水准测量	108
第四节	水准测量的误差	110
第十二章	三角高程测量	112
第一节	竖直角与天顶距	112
第二节	三角高程测量的方法	113
第三节	三角高程测量的精度估算	117
第四节	三角高程测量误差	119
第十三章	测量误差的基本知识	120
第一节	测量误差的来源及其分类	120
第二节	评定精度的标准	121
第三节	误差传播定律	123
第四节	直接观测平差	126
第十四章	施工放样方法和精度	133
第一节	直线放样(放直线)	133
第二节	水平角放样	135
第三节	距离放样	136
第四节	极坐标法与直角坐标法放样	137
第五节	交会法放样点位	139
第六节	高程放样的方法	142
第十五章	公路路线施工测量	145
第一节	测量准备工作	145
第二节	导线复测	146
第三节	路线交点和转点的测设	151
第四节	路线转角的测定和里程桩设置	154
第五节	单圆曲线测设元素的计算和主点的测设	155
第六节	中线测量的基本要求	157
第七节	单圆曲线测设方法	157

第八节	缓和曲线.....	162
第九节	圆曲线带有缓和曲线的曲线测设元素的计算和主点测设.....	164
第十节	圆曲线带有缓和曲线的曲线测设方法.....	165
第十一节	困难条件下的曲线测设方法.....	168
第十二节	虚交单圆曲线的测设.....	171
第十三节	复曲线的测设.....	173
第十四节	回头曲线的测设.....	178
第十五节	公路中线逐桩坐标的计算.....	179
第十六节	用全站仪测设公路中线.....	180
第十七节	路线纵断面测量.....	182
第十八节	路线横断面测量.....	188
第十九节	施工前路线中线的恢复.....	193
第二十节	路基施工放样.....	195
第二十一节	挡墙的放样.....	197
第二十二节	路线竣工测量.....	198
第十六章	桥涵测量.....	199
第一节	桥轴线长度的测量方法.....	199
第二节	桥梁三角网的布设形式.....	201
第三节	桥梁三角网的外业.....	202
第四节	桥梁三角网平差与坐标计算.....	204
第五节	桥梁施工的高程控制.....	209
第六节	施工前桥梁控制网的复测、检查和施工控制点的加密.....	210
第七节	桥梁墩、台定位.....	213
第八节	桥梁墩、台纵、横轴线的测设.....	231
第九节	桥梁基础的施工放样.....	232
第十节	涵洞的施工放样.....	243
第十一节	桥(涵)台锥坡放样.....	244
第十二节	桥梁架设施工测量.....	247
第十三节	桥梁的竣工测量.....	249
第十七章	隧道测量.....	250
第一节	隧道贯通误差.....	250
第二节	地面控制测量误差对贯通误差的影响.....	251
第三节	地面控制测量.....	259
第四节	隧道三角锁的平差与坐标计算.....	263
第五节	测量坐标与施工坐标的变换.....	274
第六节	路线进洞测量和进洞关系数据的计算.....	277
第七节	竖井联系测量.....	284
第八节	竖井传递高程的方法.....	290
第九节	洞内控制测量.....	291
第十节	隧道贯通误差的测定与调整.....	295

第十一节	隧道洞内中线的测设.....	299
第十二节	隧道施工放样.....	300
第十三节	隧道竣工测量.....	303
第十八章	GPS 卫星定位测量	305
第一节	概述.....	305
第二节	GPS 系统的组成	306
第三节	GPS 定位的坐标系统	307
第四节	GPS 卫星信号	310
第五节	GPS 定位原理	311
第六节	GPS 接收机	314
第七节	GPS 测量的作业模式	320
第八节	GPS 测量的实施	322
第九节	GPS 测量误差	326
第十节	实时 GPS 测量在公路工程中的应用	329
参考文献	333

第一章 水准仪

水准仪是进行高程测量的主要仪器,按其精度分为 $DS_{0.5}$ 、 DS_1 、 DS_3 、 DS_{10} 、 DS_{20} 五个等级。“D”和“S”是“大地测量”和“水准仪”的汉语拼音的第一个字母,其下标 0.5、1、3、10、20 表示该类仪器的精度,即每公里往、返测高差中数的中误差,以毫米为单位。

第一节 DS_3 水准仪和水准尺

DS_3 水准仪是工程测量中常用的水准仪,使用该仪器进行水准测量,每公里往、返测高差中误差可达到 $\pm 3\text{mm}$ 的精度。

一、 DS_3 水准仪的构造

图 1-1 为 DS_3 (简称 S_3) 型水准仪,它主要由望远镜、水准器和基座三部分组成。

图 1-1 DS_3 型水准仪

1. 望远镜

望远镜是用来瞄准不同距离的水准尺并进行读数的。如图 1-2 所示,它由物镜、对光透镜、对光螺旋、十字丝分划板和目镜等组成。

图 1-2 望远镜

物镜是用两片以上的透镜组组成,其作用是目标成像在十字丝平面上,形成缩小的实像。旋转对光螺旋,可使不同距离目标的像清晰地位于十字丝分划板上,称为物镜对光。目镜也是

由一组复合透镜组成,其作用是将物镜所成的实像连同十字丝一起放大成虚像,如图 1-3 所示。转动目镜调焦螺旋,可使十字丝影像清晰,称为目镜调焦。

图 1-3 望远镜成像原理

从望远镜内所看到的目标放大虚像的视角 θ' 与眼睛直接观察该目标的视角 θ 的比值,称为望远镜的放大率,一般用 V 表示,即

$$V = \frac{\theta'}{\theta} \quad (1-1)$$

DS₃ 型水准仪望远镜的放大率一般为 25 ~ 30 倍。

十字丝分划板是安装在目镜筒内的一块光学玻璃板,上面刻有两条互相垂直的细线,称为十字丝。竖直的一条称为纵丝,水平的一条称为横丝或中丝,用以瞄准目标和读数用。与横丝平行的上、下两条对称的短线称为视距丝,用以测定距离。上视距丝简称为上丝,下视距丝简称为下丝。

物镜光心与十字丝交点的连线称为望远镜的视准轴,观测时的视线即为视准轴的延长线。目前使用的望远镜有正像与倒像两种。

2. 水准器

水准器有水准管和圆水准器两种。圆水准器的作用为粗平仪器,使仪器旋转轴处于铅垂位置;水准管用于获取水平视线。

(1)水准管。它是一个管状玻璃管,其内壁磨成一定半径的圆弧,管内装满酒精或乙醚,加热后封闭冷却,在管内形成一个气泡,如图 1-4 所示。水准管内壁圆弧的中心点(最高点)为水准管的零点,过零点与圆弧相切的切线 LL 称为水准管轴。当气泡中点位于零点位置时,称为气泡居中,此时水准管轴处于水平位置。安装水准管时,若使水准管轴平行于望远镜的视准轴,当气泡居中,视准轴即水平,就得到了水平视线。

图 1-4 管水准器

水准管上对称于零点,向两侧刻有数条间隔为 2mm 的分划线,相邻两分划线间的圆弧所对的圆心角,称为水准管分划值,用 α 表示,即

$$\alpha = \frac{2}{R} \quad (1-2)$$

式中: $\alpha = 206' 265''$;

R ——水准管的圆弧半径。

水准管的圆弧半径越大,分划值越小,则水准管的灵敏度就越高。DS₃ 型水准仪上的水准

管分划值通常为 $20 / 2\text{mm}$ 。

为了提高水准气泡的居中精度和便于观测,在水准管的上方装有符合棱镜系统,如图 1-5 所示,通过棱镜组的几次全反射,将气泡两端的影像同时呈现在望远镜旁的观测窗内。当气泡两端的影像符合时,表明气泡居中,如图 1-5a)所示;若两影像错开时,则表明气泡没有居中,如图 1-5b),此时可转动微倾螺旋使气泡居中。

(2)圆水准器。圆水准器外形如圆盒状,顶部玻璃的内表面为球面,内装有酒精或乙醚,密封后留有气泡。球面中心刻有圆圈,其圆心即为圆水准器零点,如图 1-6 所示。通过零点与球面球心的连线 LL ,称为圆水准轴。当气泡居中,轴线处于铅垂位置,气泡偏离零点,轴线呈倾斜状态。气泡中心偏离零点 2mm 所对的圆心角,称为圆水准器的分划值。 DS_3 型水准仪圆水准器分划值一般为 $8 / 2\text{mm}$ 。由于圆水准器精度低,只用于水准仪的粗略整平。

图 1-5 水准管的符合棱镜系统

图 1-6 圆水准器

3. 基座

基座呈三角形,是由轴座、三个脚螺旋和连接板组成。仪器上部通过竖轴插入轴座内,由基座承托。转动脚螺旋调节圆水准器使气泡居中。整个仪器通过连接螺旋与三脚架相连接。

此外,为了控制望远镜在水平方向转动,仪器还装有制动螺旋和微动螺旋。当旋紧制动螺旋时,仪器就固定不动,此时转动微动螺旋,可使望远镜在水平方向作微小的转动,用以精确瞄准目标。为使仪器精密水平,水准仪还装有微倾螺旋。当圆水准气泡居中后,转动微倾螺旋使水准管气泡影像符合,由于望远镜和水准管连成一个整体,且使水准管轴与视准平行,因此视线水平。

二、水准尺和尺垫

水准尺一般是用干燥优质木料制成。常用的水准尺有双面尺和塔尺两种,如图 1-7 所示。

双面水准尺尺长一般为 3m ,两根尺为一对。尺的一面为黑面,一面为红面,如图 1-7a)所示。黑面、红面分别为黑白、红白相间的厘米分格,在每分米处标有注记。两根尺黑面尺底分划均为零,而红面尺底分划一根尺为 4.687m ,另一根为 4.787m 。这样,在一个测站上,一根尺的红、黑面读数之差应为一常数(4.687 或 4.787),以此对观测的读数进行检核。同时通过红面、黑面求得的高差可进行测站的检核计算。双面水准尺一般用于国家三、四

图 1-7 水准尺

等水准测量。

塔尺如图 1-7b)所示,全长 3m~5m,由三节套接而成,尺底分划为零,一般为黑白相间的厘米分格,分米处标有注记。塔尺携带方便,但在接头处易产生误差,一般仅用于等外水准测量。

尺垫如图 1-8 所示,它由铸铁制成,三角形,中央有一个突起的半球状圆顶,下部有三个尖脚。使用时将尺垫放在地上踩实,然后将尺立于圆球顶部,以防止点位移动和水准尺下沉。

图 1-8 尺垫

三、DS₃ 水准仪的使用

首先在测站上张开三脚架,高度适合观测者观测,架头大致水平,然后将水准仪用连接螺旋安装在三脚架上。遇到松软的地面,应将三脚架踩实并注意观察圆水准气泡使其尽量靠近中心。

水准仪的操作程序为:粗平、瞄准、精平、读数。

1. 粗平

粗平就是调节仪器脚螺旋使圆水准气泡居中,以达到水准仪的竖轴近似垂直,视线大致水平的目的。具体做法是:如图 1-9a)所示,设气泡偏离中心于 a 处时,可先选择一对脚螺旋,用双手以相对方向转动两个脚螺旋,使气泡移至两脚螺旋连线的中间 b 处,如图 1-9b)所示;然后,再转动脚螺旋使气泡居中,如图 1-9b)。此项工作应反复进行,直至气泡严格居中。在整平中气泡移动方向始终与左手大拇指(或右手食指)转动脚螺旋的方向一致。

2. 瞄准

瞄准是使望远镜对准水准尺,进行目镜调焦和物镜对光,使尺子和十字丝成像清晰,以便进行正确地读数。具体做法如下:

(1) 目镜调焦 将望远镜对向明亮的背景,转动目镜进行调焦,使十字丝清晰。

(2) 初步瞄准 松开制动螺旋,转动望远镜利用镜筒上的准星、照门(有的仪器采用粗瞄器)瞄准水准尺,然后将制动螺旋旋紧。

(3) 物镜对光和精确瞄准 先转动物镜对光螺旋使尺像清晰,再转动微动螺旋使尺像位于视场中央。

(4) 消除视差 先转动物镜对光螺旋使尺像清晰,再转动微动螺旋使尺像位于视场中央。

(4) 消除视差 物镜对光后,眼睛在目镜端上、下微微地移动,如果十字丝和水准尺的像有相互移动的现象,这种现象称为视差。视差产生的原因是水准尺没有成像在十字丝平面上,如图 1-10 所示。视差的存在会影响观测读数的正确性,必须加以消除。消除视差的方法是先进进行目镜调焦,使十字丝清晰,然后转动对光螺旋进行物镜对光,使水准尺像清晰,再移动眼睛观察视差是否消除。如此反复,直至视差消除。

3. 精平

精平就是在读数前转动微倾螺旋使符合气泡居中,从而得到精确的水平视线。微倾螺旋转动方向与符合气泡移动的关系如图 1-11 所示。转动微倾螺旋时速度应缓慢,直至气泡稳定

图 1-9 圆水准器整平方法

不动而又居中时为止。必须注意,当望远镜转到另一方向观测时,气泡不一定符合,应重新精平,符合气泡居中后才能读数。

4. 读数

当气泡符合后,立即用十字丝横丝在水准尺上读数。读数前要认清水准尺的注记特征。望远镜中看到的水准尺是倒像时,读数应自上而下,从小到大读取,直接读取 m、dm、cm、mm(为估读数)四位

数字,如图 1-12 的
读数分别为 1 .

图 1-11 符合水准器精平

274m、5 .960m、2 .

534m。读数后应立即检查气泡是否仍符合居中,否则,重新符合后读数。

精平与读数是两项不同的操作步骤,但在水准测量施测过程中,应把两项操作

图 1-12 水准尺读数

视为一个整体。即一边观察气泡,一边观察读数,当气泡符合稳定后立即读数。

四、DS₃ 水准仪的检验与校正

在水准仪检校之前,应先进行一般性的检查,包括望远镜的成像是否清晰,制、微动螺旋和调焦螺旋是否有效,脚螺旋转动是否灵活,气泡运动是否正常等等。如发现有故障,应及时修理。

1. 水准仪的主要轴线及应满足的条件

如图 1-13 所示,水准仪的主要轴线是视准轴 CC 、水准管轴 LL 、仪器竖轴 VV 及圆水准轴 LL 。各轴线间应满足的几何条件是:

1) 水准管轴平行于视准轴,即 $LL \parallel CC$ 。当此条件满足时,水准管气泡居中,水准管轴水平,视准轴处于水平位置。

2) 圆水准轴平行于仪器竖轴,即 $LL \parallel VV$ 。当条件满足,圆水准气泡居中,仪器的竖轴处于垂直位置,这样仪器转动到任意位置,圆水准气泡都应居中。

图 1-13 水准仪的轴线

3) 十字丝横丝垂直于竖轴,即当仪器竖轴铅垂时,十字丝横丝水平,这样在水准尺上进行读数时,可以用横丝的任何部位读数。

2. 水准仪的检验和校正

(1) 圆水准器的检验与校正

目的:使圆水准轴平行于竖轴,即 $LL \parallel VV$ 。

检验:转动脚螺旋使圆水准器气泡居中,如图 1-14a)所示,然后将仪器旋转 180° ,这时,如果气泡不再居中而偏到一边,如图 1-14b)所示,说明 LL 不平行于 VV ,需要校正。

图 1-10 视差产生原因

图 1-14 圆水准器校正原理

校正:旋转脚螺旋使气泡向中心移动偏距的一半,用校正针拨动圆水准器下面的三个校正螺旋使气泡居中,如图 1-15 所示。

检验和校正应反复进行,直至仪器转动到任何方向气泡都居中为止。

检验原理:假设圆水准轴 LL 不平行于竖轴 VV ,二者相交一个 α 角,如图 1-14a)所示,转动脚螺旋使圆水准气泡居中,此时圆水准轴处于铅垂方向,而仪器竖轴倾斜一个 α 角。将仪器绕竖轴旋转 180° ,这时圆水准器气泡不再居中,而与铅垂线之间的夹角为 2α 相对应的一段弧长。校正时,旋转脚螺旋使气泡向中心移动偏离量的一半,从而消除竖轴本身偏斜的一个 α 角,如图 1-14c)所示,使竖轴处于铅垂方向。然后再拨圆水准器上校正螺旋,使气泡居中,这样就消除了圆水准轴与竖轴间的交角,使两者互相平行,如图 1-14d)所示。

(2) 十字丝横丝的检验与校正

目的:当仪器整平后,十字丝的横丝呈水平。

检验:整平仪器后,用望远镜十字丝横丝的一端瞄准一明晰点 P ,如图 1-16a),旋紧制动螺旋,转动微动螺旋,如果 P 点偏离横丝,表明横丝不水平;如果 P 点始终在横丝上移动,则表明横丝水平。

图 1-15 圆水准器校正螺丝

图 1-16 十字丝的检验与校正

校正:松开三个十字丝环的固定螺丝如图 1-16b),按十字丝倾斜方向的反方向微微转动十字丝环,使横丝水平。校正后应重复检验,直到满足要求为止。最后将固定螺丝拧紧。

(3)水准管轴的检验与校正

目的:使水准管轴平行于望远镜的视准轴,即 $LL \parallel CC$ 。

检验:如图 1-17 所示,在平坦的地面上选定相距为 80m 左右的 A、B 两点,各打一木桩或放置尺垫,将水准仪置于 A、B 之中点 C 处,用变更仪器高法(或双面尺法)测定 A、B 两点间的高差 h_{AB} ,设其读数分别为 a_1 和 b_1 ,则 $h_{AB} = a_1 - b_1$,两次高差之差应小于 3mm,取其平均值作为正确的高差。

图 1-17 视准轴平行于水准管轴的检验

将仪器搬至 B 点(或 A 点)近处, B 点(或 A 点)立尺后,望远镜的目镜距尺面约 2cm。整平仪器后,目镜朝向尺面,从物镜中观察目镜在尺面上形成的小圆圈,用铅笔尖在尺面定出圆圈中心,直接在水准尺上读数 b_2 。 b_2 为正确读数, A 尺的正确读数应为 $a_2 = b_2 + h_{AB}$ 。然后调转望远镜瞄准 A 点上水准尺,精平仪器读取读数 a_2 。如果 $a_2 = a_2$,或者两者相差小于 5mm,说明 $LL \parallel CC$ 。否则需要校正。

校正:转动微倾螺旋,使中丝在 A 尺上的读数从 a_2 移到 a_2 ,此时视准轴已水平,但水准管气泡不居中,用校正针拨动水准管一端的上下两个校正螺丝,如图 1-18 所示,使符合气泡居中。具体操作时,应先将左(或右)面校正螺丝松开一点,然后再校正上、下两校正螺丝,一松一紧,先松后紧,校正结束后仍将松开的左(或右)面校正螺丝上紧。

校正以后,变动仪器高再进行一次高差检测,将测得高差与正确高差比较,其差值应小于 5mm,否则应再进行校正。

检验原理:从图 1-17 中可以看出,如果视准轴 CC 平行于水准管轴 LL ,当水准管气泡居中时,水准管轴 LL 和视准轴 CC 都呈水平。此时,不管仪器放在何处,所测得

图 1-18 水准管的校正

的高差都是正确的。如果 LL 不平行于 CC 而相交一个 i 角,当水准管气泡居中时, LL 呈水平而 CC 倾斜一个 i 角,由此而产生读数误差 x 。由于 i 角保持不变,所以,读数误差 x 与尺子到仪器的距离成正比,距离愈远,读数误差 x 愈大,距离相等 x 值相等,距离很近时 x 值就接近于零。为此仪器放在 A、B 两点等距离处以求得正确高差 h ,即 $h = (a_1 - x) - (b_1 - x) = a_1 - b_1$ 。将仪器置于 B 点(或 A 点)附近时, b_2 读数中几乎不含误差。而 A 点距仪器较远,其偏差值都集中反映在读数 a_2 上,其正确读数应满足 $a_2 = b_2 + h_{AB}$ 。由此可见,水准测量时前后视距相等,可以消除水准管轴不平行视准轴产生的影响(误差)。

第二节 DS₁ 精密水准仪

精密水准仪主要用于国家一、二等水准测量和精密工程测量,如大型建筑物(高层建筑)和构筑物(如大桥和大坝)的沉降观测,以及大型机械安装时的精密水平基准测量等方面。

一、精密水准仪的构造

如图 1-19 是我国生产的 DS₁ 型精密水准仪。

1. 构造特点

(1) 望远镜性能好,物镜孔径大于 40mm,放大率一般大于 40 倍。

(2) 望远镜筒和水准器套均用因瓦合金铸件构成,有的仪器还装有绝热层,具有结构坚固,水准管轴与视准轴关系稳定的特点。

(3) 采用符合水准器,水准管的分划值为 $(6 \sim 10) / 2\text{mm}$;对于自动安平水准仪,其安平精度一般不低于 0.2。

(4) 为了提高读数精度,在望远镜上装有平行玻璃测微器,最小读数为 0.1mm ~ 0.05mm。

图 1-19 DS₁ 型水准仪

2. 平行玻璃板测微器

如图 1-20 所示,平行玻璃板测微器主要由平行玻璃板、测微分划尺、传动杆、测微螺旋和测微读数系统组成。平行玻璃板装在物镜前面,它通过有齿条的传动杆与测微分划尺相连接,由测微读数显微镜读数。当转动测微螺旋时,传动杆带动平行玻璃板前后俯仰,而使视线上下平行移动,同时测微分划尺也随之移动。当平行玻璃板铅垂时,光线不产生平移;当平行玻璃板倾斜时,视线经平行玻璃板后则产生平行移动,移动的数值则由测微尺读数反映出来。测微尺的一个分格反映视线平移 0.05mm,100 个分格恰为 5mm,5mm 以下的小数可由分划尺读出,最小读数为 0.05mm。有的精密水准尺刻划为 5mm,而注记注为 1cm,此时测微分划尺的 100 个分格按注记相当于 1cm,故按注记读数后应除以 2,才得到实际读数。

图 1-20 平行玻璃板测微器

二、精密水准尺

精密水准尺,亦称因瓦水准尺。该尺的长度受外界温度、湿度影响很小,尺面平直,刻划精

密、最大误差每米不大于 $\pm 0.1\text{mm}$ ，并附有足够精度的圆水准器。精密水准尺一般都是线条式分划，在木制的尺身中间凹槽内，装有厚 1mm 、宽 26mm 的因瓦带尺，尺底一端固定，另一端用弹簧拉紧，以保持因瓦带尺的平直和不受木质尺身伸缩的影响。因瓦带尺上有左右两排分划，右边为基本分划，左边为辅助分划，彼此相差一个常数 K ，相当于双面尺以供测量校核之用。有的尺没有辅助分划，而是将基本分划按单双数各分占一边，以便读数。尺的分格值有 1cm 和 5mm 两种，但均注记为 1cm ，用时要注意区分。

三、精密水准仪的使用

精密水准仪的操作方法和普通水准仪基本相同，亦是粗平、瞄准、精平、读数四个步骤，但读数方法则不同。现以 DS_1 型水准仪(如图 1-19)观测分格值为 5mm 的因瓦水准尺为例，说明其读数方法。读数时，先转动微倾螺旋。从望远镜内观察使水准管气泡影像符合。再转动测微螺旋，使望远镜中的楔形丝夹住靠近的一条整分划线。其读数分为两部分：厘米以上的数由望远镜直接在尺上读取；厘米以下的数从测微读数显微镜 2 中读取，估读至 0.01mm 。如图 1-21 所示，水准尺读数为 1.97m ，测微器读数为 1.54mm ，而注记为 1cm ，故实际读数应为 $1.97154 \div 2 = 985.77\text{mm}$ 。

图 1-21 精密水准仪读数

四、精密水准仪的检验

在水准测量作业开始前必须按国家水准测量规范的规定，对水准仪进行必要的检验，具体的检验内容和方法可参阅规范中的有关条款。以下讨论几个主要的检验项目。

1. 视准轴与水准管轴相互关系的检验与校正

水准测量的基本原理是根据水平视线在水准尺上的读数，从而求得各点间的高差。而水平视线的建立是借助于水准器气泡居中来实现的，因此，水准仪的视准轴与水准管轴必须满足相互平行这一重要条件。但是，视准轴与水准管轴相平行的关系是难以绝对保持的，而且在仪器的使用过程中，这种相互平行的关系也还会发生变化，所以在每期作业前和作业期间都要进行此项检验校正。

水准仪的水准管轴与视准轴一般既不在同一平面内，也不互相平行，而是两条交叉的空间直线。也就是说，它们在垂直面和水平面上的投影都是两条相交的直线。在垂直面上投影直线的交角，称为 i 角误差，在水平面上投影直线的交角，称为 α 角误差，或交叉误差。

1) i 角误差的检验与校正

测定 i 角的方法很多，但基本原理都是相同的，都是利用 i 角对水准尺上读数的影响与距离成比例这一性质，比较在不同距离的情况下水准尺上读数的差异，从而求出 i 角。

具体测定方法是：如图 1-22 所示，在一平坦地面上选择直线 $J_1 J_2$ ，并将其分为三等分，每分长为 S 。在两分点 A 、 B 上竖直水准尺，在两端点 J_1 、 J_2 上将先后架设仪器。

检验时先将仪器置于 J_1 ，分别照准水准尺 A 和 B ，精平后读数为 a_1 和 b_1 。由于 i 角的影响，读数误差分别为 Δa_1 和 Δb_1 。然后将仪器置于 J_2 ，分别照准水准尺 A 和 B ，精平后读数 a_2 和 b_2 ，读数误差分别为 Δa_2 和 Δb_2 。由图可知，视线水平的 a_1 、 b_1 、 a_2 、 b_2 的正确读数分别为：

图 1-22 i 角误差检验与校正

$$a_1 = a_1 - \quad , \quad b_1 = b_1 - 2 \quad , \quad a_2 = a_2 - 2 \quad , \quad b_2 = b_2 -$$

在测站 J_1 和 J_2 上观测得到 A 、 B 两点的正确高差分别为：

$$\begin{aligned} h_1 &= a_1 - b_1 = (a_1 - \quad) - (b_1 - 2 \quad) = a_1 - b_1 + \\ h_2 &= a_2 - b_2 = (a_2 - 2 \quad) - (b_2 - \quad) = a_2 - b_2 - \end{aligned} \quad (1-3)$$

如不顾及观测误差的影响, 则 $h_1 = h_2$, 所以由式(1-3)可得

$$2 \quad = (a_2 - b_2) - (a_1 - b_1)$$

式中 $(a_2 - b_2)$ 和 $(a_1 - b_1)$ 是仪器存在 i 角时, 分别在测站 J_2 和 J_1 上测得 A 、 B 两点间的观测高差, 以 h_2 和 h_1 表示, 则上式可写为

$$\begin{aligned} 2 \quad &= h_2 - h_1 \\ &= \frac{1}{2} (h_2 - h_1) \end{aligned}$$

即

由图 1-22 可知

$$= i S \frac{1}{2}$$

故

$$i = \frac{2 \quad}{S} \quad (1-4)$$

为了简化计算, 测定时使 $S = 20.6\text{m}$, 则

$$i = 10 \quad (1-5)$$

上式中 \quad 以 mm 为单位。

国家水准测量规范规定, 用于二等水准测量的仪器, 如果 i 角大于 $15''$; 用于三、四等水准测量的仪器, 如果 i 角大于 $20''$, 则需要校正。校正可以在 J_2 测站上进行, 先求出水准尺 A 上的正确读数 a_2

$$a_2 = a_2 - 2 \quad (1-6)$$

将 a_2 的后三位读数配置在测微器的分划尺上, 转动倾斜螺旋, 使楔形丝夹准水准尺上注记为 a_2 前三位数字的分划, 此时水准管气泡影像分离, 应校正水准管的上下校正螺丝, 使气泡两端影像符合为止, 然后检查另一水准尺 B 上的读数是否正确(其正确读数应为 $b_2 = b_2 - \quad$), 否则还应反复进行检查校正。在校正时应先松开一个校正螺丝, 再上紧另一个改正螺旋, 不可将上下校正螺丝同时上紧或同时松开。

最后应当指出的是, 为了减小观测误差的影响, 每次对两水准尺都应进行 4 次读数, 且在读数之前, 都要重新调整符合水准气泡, 最后取其中数。

2) 交叉误差的检验与校正