

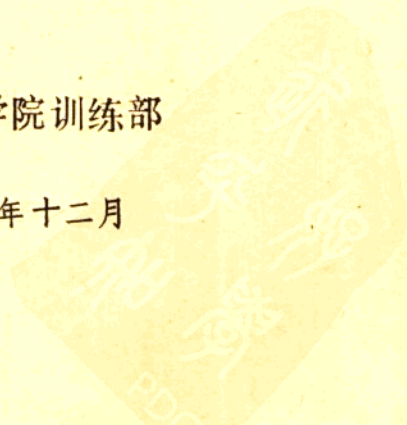
工 程 测 量

(上)



海军勤务学院训练部

一九八八年十二月



9600067

TB 22

目 录

上 册

第一章 绪论	1
第一节 测量学的沿革和发展	1
第二节 测量学的分类与任务	1
第三节 测量工作中的基本要求	2
第二章 水准测量	4
第一节 高程测量的概念	4
第二节 水准测量的原理	5
第三节 水准测量所使用的仪器及工具	7
第四节 水准测量的实施方法	13
第五节 等级水准测量	18
第六节 微倾式水准仪的检验和校正	27
第七节 水准测量中应注意的事项	29
第三章 经纬仪及其使用	32
第一节 角度测量的概念	32
第二节 游标经纬仪	33
第三节 光学经纬仪的构造	36
第四节 6"级 光学经纬仪的读数装置和读数方法	38
第五节 水平角观测的方法和记录	41
第六节 水平角观测的注意事项	48
	49
	53
	56
	57
	57
	60
	64
	67
	68
	69
	72

第八节 罗盘仪·····	74
第五章 经纬仪导线测量·····	76
第一节 平面控制测量概述·····	76
第二节 导线测量·····	76
第三节 经纬仪导线的外业工作·····	79
第四节 经纬仪导线的内业计算·····	81
第五节 导线测量检查错误的方法·····	94
第六节 视差法测距·····	95
第七节 结点导线·····	97
第六章 地形测量·····	101
第一节 地形图的分幅和编号·····	101
第二节 加密控制点的测量工作·····	112
第三节 地形测图的方法·····	115
第四节 地物测绘·····	136
第五节 地貌测绘·····	145
第六节 地形点的分布和选择·····	165
第七节 地形测图的几种简捷测高法·····	166
第八节 几种立尺法的介绍·····	170
第九节 等高线的插绘·····	173
第十节 等高线测绘的精度要求和注意事项·····	176
第十一节 地形图的拼接、检查和清绘·····	177

TB22

目 录

下 册

第七章 误差理论.....	182
第一节 测量误差及分类.....	182
第二节 判断成果精度的方法.....	184
第三节 观测值函数的中误差 (误差传播定律)	186
第四节 算术平均值的中误差.....	192
第五节 同精度观测值的中误差.....	193
第六节 观测结果的权.....	196
第七节 凑整误差.....	199
第八章 水深测量.....	205
第一节 概述.....	205
第二节 水深测量的主要技术要求.....	206
第三节 水深测量前的准备工作.....	209
第四节 水位观测.....	213
第五节 测深仪具及使用.....	215
第六节 水深测量的定位方法.....	222
第七节 导标的设置.....	227
第八节 水深测量的外业实施 (前方交会法)	228
	230
	240
	240
	242
	248
	260
	262
	268
	273
	277
	280
	295

第十章 施工测量	304
第一节 施工测量的概述	304
第二节 已知长度和角度的放样	304
第三节 点的平面位置的测设方法	305
第四节 点的高程位置的测设方法	309
第五节 圆曲线的放样	310
第六节 港口施工测量	315
第七节 港口建筑物的变形观测	347
第十一章 真北测量	361
第一节 天体和天球上的基本圈点	361
第二节 天球上的坐标系	363
第三节 时	364
第四节 定位三角形	369
第五节 天体高度的改正	371
第六节 真方位角的测法	372
第七节 纬度的简易测法	381
第八节 子午线收敛角	384
第九节 坐标方位角验算	385

第一章 绪 论

第一节 测量学的沿革和发展

测量学是应用测量工具研究地球表面的形态和大小的科学。在古老年代,为了生产和战争的需要,就产生了原始的测量工具和方法。如我国四千年前的夏禹治水,就已应用了“准、绳、规、矩”等四种简单测量工具。战国时期就制出了世界最早的恒星表。到了秦朝统一了中国,制定一年为365.25日,天文测量已相当准确。及至近代,由于科学技术的发展,人类对地球的形态、大小愈来愈要求详实准确,如测量地球长半径和扁率有:

华别克	在1819年	6376896米	$e = \frac{1}{302.8}$
白塞尔	在1841年	6356079米	$e = \frac{1}{293.2}$
克拉克	在1866年	6378206米	$e = \frac{1}{295}$
克拉克	在1880年	6378243米	$e = \frac{1}{293.5}$
海福特	在1910年	6378388米	$e = \frac{1}{297}$
克拉索夫斯基	在1940年	6378245米	$e = \frac{1}{298.3}$
卫星大地测量	在1971年	6378135 ± 5米	$e = \frac{1}{298.26} \pm 0.5 \cdot 10^{-7}$

由于地球广大,复杂,一个国家、一个地区的人力、技术条件,很难完成众多的科学技术。因此需要成立国际性的测量组织,

1862年成立了第一个国际测量组织

1886年改为国际地球测量协会

1919年第一次世界大战后改为国际测量和地球物理协会

1945年罗马大会后在国际测量协会中成立了三角测量、精密水准测量、天文大地测量、重力测量、和大地球体等五个组。

1964年成立了工程测量委员会,每三年举行一次会议,1974年在华盛顿举行14届年会,1977年在瑞典斯德哥尔摩举行15届年会,1981年在瑞士蒙德勒举行16届年会。

第二节 测量学的分类与任务

测量工作包括测定与测设两部分。测定是使用各种仪器和工具,通过实地量测和计算,

把地面的地物、地形缩绘在图上，供科学研究、采矿、工业民用建筑和国防规划设计应用。测设是将图上设计好的建筑，结构物的位置，在地面上标定出来，作为施工的依据。

随着生产的发展，科学技术的进步，对测量学的要求也愈来愈复杂和丰富。除了研究地球的形状和大小的大地测量，不必顾及地球曲率影响的普通测量外。有利用航空摄影的遥感技术，有利用电子计算机、陀螺仪和传感器的惯性测量，它按置在汽车或直升飞机上，可以随时定出点的纬度、经度和高度。在200公里长的不闭合导线测量，经过多次试验证明精度为 ± 10 米。有利用陆地摄影测量来研究建筑物的沉陷和变形测量，它是在一条垂直建筑物的基线两端，摄影建筑物各个部位点，计算出它的坐标来确定变形值。有为军用和民用尖端工程服务的工程测量，如回旋加速器的直径为2公里，每块磁铁重几十吨，它的按装误差为 ± 5 毫米等等。这就要求测绘工作人员，除能准确掌握仪器工具，还必须学习数学、光学、物理学、电学、化学、天文学、水文学和美术学等方面知识。

根据目前测量科学的发展和应用，基本上可分为四类：

1、大地测量学

大地测量学的主要任务是：研究地球整体的形状、大小和解决在大面积内建立控制网的问题。

2、地形测量学

地形测量学的任务是：在大地控制测量的基础上，根据实际需要，测绘各种比例尺的地形图。

3、航空摄影测量学

航空摄影测量学的任务是：利用航空摄影或地面立体摄影所获得的像片，经过室内纠正，绘制成地形图。

4、工程测量学

工程测量学的任务是：为城镇建设、矿山建设、交通运输、农田水利等工程建设服务的测量科学。

第三节 测量工作中的基本要求

测量工作是有野外工作和室内工作两部分组成的。由于测量工作是走在各项建设工作的前面，一切工程建设的资料，首先要有测量工作来提供，同时测量工作流动性较大，因此，测量工作素有社会主义建设的“尖兵”，和平建设时期的“游击队”的称誉。

为了把测量工作搞好，提供正确的资料，测量工作者必须做到：

为了保证测量成果的质量，应坚持做到测、算步步有校核，对不符合技术规定的成果，一定要查清原因，必要时进行返工重测、以保证足够的精度。

测量工作是以队、组为单位，集体共同协作来进行工作的。因此，一定要搞好团结，各自搞好本身的工作。

要爱护和保养好仪器和各种测量器材。

测量记录和测绘的图纸是野外工作的原始成果，是评定观测质量，使用观测成果的基本依据。因此，必须认真做好记录工作，要做到内容真实（记录不准涂改、擦拭），完善、正

4. 书写清楚、整洁。工作完成后，应及时上交给有关部门保存。

测量标志是测量工作的重要依据。因此，要做好标志的设置和保护工作。

第二章 水准测量

第一节 高程测量的概念

地球表面是高低不平的,高的有山岭、高原,低的有山谷、海峡、洼地。在各项工程规划和设计阶段,为了合理地利用地形,需要测定很多地面点的高度来反映地球表面高低不平的情况;在工程施工阶段,同样需要根据设计的要求测设和检查工程各部位的高低。

要衡量地面上点位的高低,就需要选择一个高度起算标准,就是说高度应该在什么地方开始起算的问题。由于地球表面海洋的面积约占71%,陆地的面积只占29%;经过多年对海水面的观察知道,尽管海水面的升降有变化,但是某一点的长年平均海水面的位置是基本不变的。所以,选用平均的静止海水面作为高度起算的标准是比较合适的,这个面叫大地水准面。其他静止的水面叫水准面。水准面和大地水准面的特点是:面上的各点处处和铅垂线垂直,水准面和大地水准面是个曲面,但在小范围内则可以认为是一个水平面。我国规定以青岛验潮站所确定的黄海平均海水面作为大地水准面,高程确定为零,是全国高程的统一起算面。

地面上一点到大地水准面的铅垂距离,叫该点的绝对高程。在实际工作中也有把高程称海拔或标高的,如图2-1中的 H_A 、 H_B 。例如,

世界上最高的山是珠穆朗玛峰,它的绝对高程是8848.13米,就是说它高出大地水准面的铅垂距离为8848.13米;我国新疆地区吐鲁番盆地中部艾丁湖的水面比黄海平均海水面低154米,这就是说它的绝对高程为-154米。在局部地区工作,由于某些特殊原因,也可以假定一个水准面作为高程起算面。以假定水准面至地面上某一点的铅垂距离叫相对高程或假设高程。

如果地面上两点高程都知道,则两点高差为:(如图2-1)

$$B对A的高差: h_{AB} = H_B - H_A$$

(2-1)

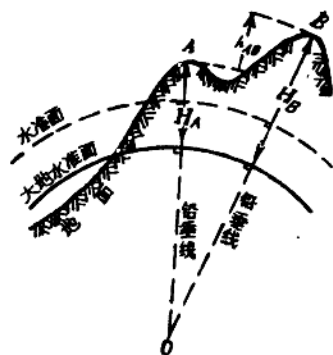


图2-1

H_B 表示B点的高程。

H_A 表示A点的高程。

由(2-1)式可知,高差有正有负。上式计算结果为正时,表示B点高于A点,结果为负时,表示B点低于A点。

为确定地面点的高程所进行的测量工作,叫高程测量。

高程测量因所用仪器与施测方法的不同,一般地可分下列三种:

(1)利用水准仪,根据几何原理,以水平视线进行的高程测量,称为几何水准测量,或简称水准测量。

(2)利用经纬仪测定竖直角,根据三角原理进行的高程测量,称为三角高程测量或称间接高程测量。

(3)利用气压计,根据气压原理进行的高程测量,称为气压高程测量。因为它的理论根据属于物理学的范围,故又称物理高程测量。

在上述三种方法中,以水准测量的精度最高,多用在高程控制方面。三角高程测量方法精度较差,但工作速度快,故用在次精度的高程控制或地形点的高程测定。气压高程测量精度最差,多用在勘测及低精度的高程测量。

水准测量也可根据它的作用不同分为两大类:一种是用于建立全国统一的国家高程控制网,即全国性水准测量,根据精度不同又分为若干等级,我国规定作为国家水准测量分为一、二、三、四等级。另一种是用于工程建设方面的工程水准测量。工程水准测量的精度要比全国性水准测量的精度低。

第二节 水准测量的原理

水准测量是利用水准仪的水平视线来测定两点之间的高差,然后,根据其中一点的已知高程推算其他各点的高程。

在进行测量时,两点上都竖立尺子,水平视线截在两尺上的读数是决定高差的根据。导致视线成水平位置的仪器称水准仪,其主要的构造是望远镜及水准管,当水准管气泡居中时,视线就处于水平位置。设地面上有A、B两点,为要测定B点对A点的高差(如图2-1

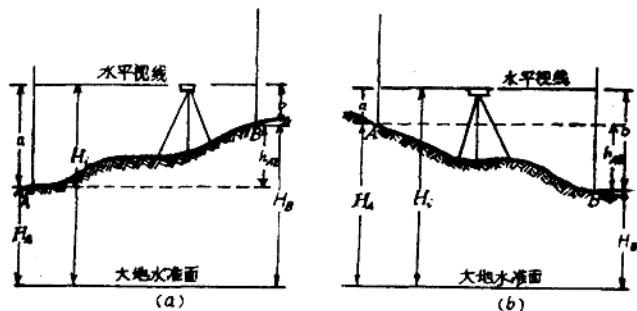


图 2-2

2) h时, 在A、B两点上竖立具有厘米分划的尺子, 称为水准标尺或简称水准尺。在A、B两点间设置仪器, 瞄准A点, 设水准尺的读数为a, 再瞄准B点, 设水准尺的读数为b, 则可求得B点对A点的高差h为:

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

如果根据A点高程计算B点高程, 或沿AB方向求AB两点的高差, 则瞄准的A尺称为后视点, (因A点在前进方向的后面, 故称后视) 其读数a称为后视读数简称后视, 而瞄准B的尺称为前视点, (因B点在前进方向的前面, 故称前视) 其读数b称为前视读数简称前视。所以高差等于后视减前视。当后视读数大于前视读数时, 如图2-2a, 则高差为正, 说明前视点B高于后视点A; 反之, 当后视读数小于前视读数时, 如图2-2b, 则高差为负, 说明前视点B低于后视点A。

设A点的高程为 H_A , 而AB之高差为 h_{AB} , 则B点的高程 H_B 为:

$$H_B = H_A + h_{AB} \quad (2-3)$$

$$\text{或: } H_B = H_A + a - b \quad (2-4)$$

上式中 $H_A + a = H_i$ 称为视线高程 (在工程测量中经常使用), 所以B点的高程也可由视线高求得:

$$H_B = H_i - b \quad (2-5)$$

安置一次仪器叫做一个仪器测站, 在水准测量中, 一个测站上可以有一个以上的前视, 但只能有一个后视, 这种情况在工程测量中是很普遍的。

当要测定高程的两点间距离很远, 或高差很大, 不能用安置一次仪器测定其两点间的高差时, 可以在两点间加设若干个临时立尺点, 分成若干个测站进行, 这些临时立尺点是作为传递高程用的, 称为转点。转点的特点是既有前视读数, 又有后视读数。从上面所述的情况可以看出, 长距离的水准测量实际上是水准测量基本方法的连续运用。它的特点就是工作的连续性。如图2-3。

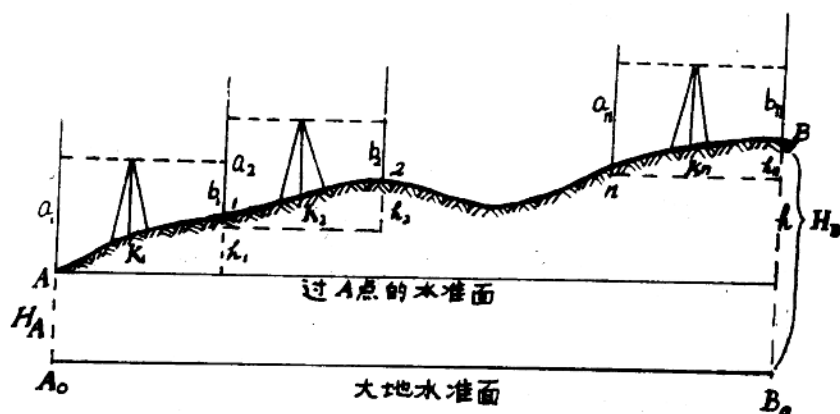


图2-3

设已知A点高程 H_A , 要测定B点的高程 H_B 时, AB两点间的高差不能安置一次仪器而求

得。在这种情况下，先安置仪器于 K_1 ，置水准尺于A、1两点，读取后视读数 a_1 和前视读数 b_1 ，得A、1两点的高差为：

$$h_1 = a_1 - b_1$$

移仪器于 K_2 ，并移A点的水准尺至2点，读得 a_2 和 b_2 ，则1、2两点的高差为：

$$h_2 = a_2 - b_2$$

依次继续下去，直到最后一站 K_n ，此时读得读数 a_n 和 b_n ，最后一段的高差为：

$$h_n = a_n - b_n$$

将以上多段高差相加，即可求得B点对A点高差为：

$$h_{AB} = h_1 + h_2 + \dots + h_n = \sum_{i=1}^n h_i$$

$$\text{或： } h_{AB} = \sum_{i=1}^n (a_i - b_i) = \sum_{i=1}^n a_i - \sum_{i=1}^n b_i \quad (2-6)$$

求出高差 h_{AB} 后，则B点的高程 H_B 为：

$$H_B = H_A + h_{AB} \quad (2-7)$$

总之，用水准仪测量地面点高程时，水准仪安置的位置和高低可以任意选择，但水准仪的视线必须水平。否则测量成果将是错误的，因此在实际工作时应特别注意这个要求。

第三节 水准测量所使用的仪器及工具

一、水准仪：

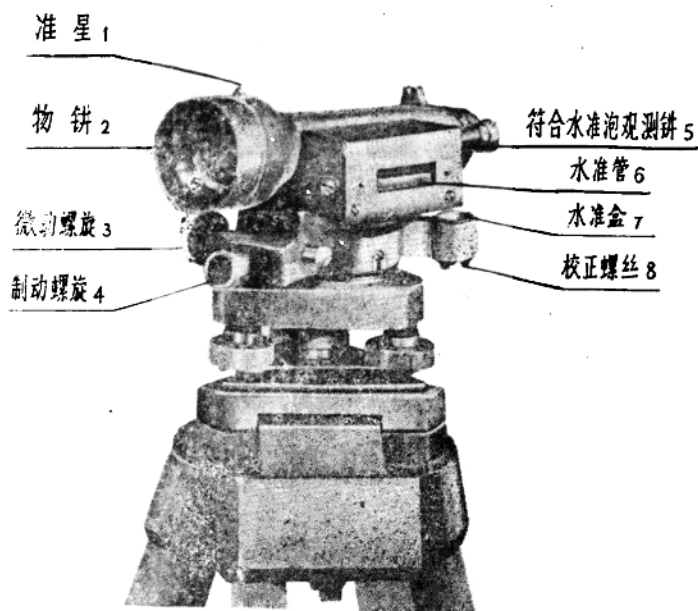


图 2—4 a

水准仪是提供一条水平视线来确定各点间高差的仪器。图 2—4a、2—4b 是北京测绘仪器厂制造的 S₃ 型微倾式水准仪。

微倾式水准仪的构造主要由望远镜、水准管和基座三个部分组成。下面将这三个主要部分分述如下：

1、望远镜：

望远镜是由物镜、目镜和十字丝三个主要部分组成。它的主要作用是提供一条读数的视线，以及能看清远处的目标。

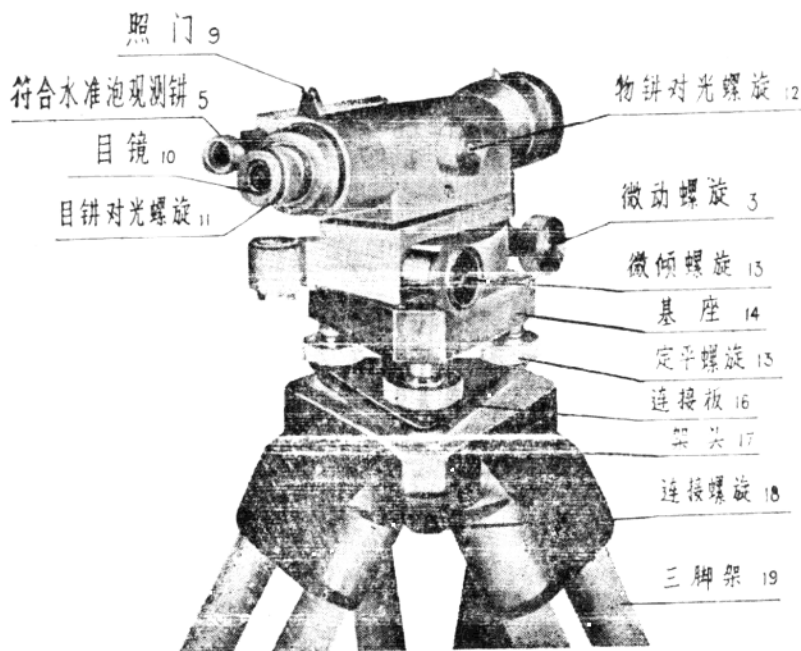


图 2—4b

望远镜有内对光望远镜和外对光望远镜两种，由于外对光望远镜缺点较多，因此，目前主要用的是内对光望远镜，所以，外对光望远镜的情况这里从略不讲了。

图 2—5 是内对光倒像望远镜构造原理图。根据几何光学知道：目标通过物镜和凹透镜的作用在镜筒内造成倒立小实像，转动物镜对光螺旋，移动凹透镜可以使目标的像清晰地反映到十字丝分划板平面上，再通过目镜的作用，使目标的像和十字丝同时放大成虚像，以便于我们看清并照准目标。放大的虚像与用眼睛直接看到的目标大小的比值，叫望远镜的放大率，它是鉴别望远镜质量的主要指标。一般工程中常用的普通水准仪放大率为 18—30 倍。

由于目标有远有近，为了使目标的像总是落在十字丝平面上，在望远镜上有调节物镜的对光螺旋。由于人的眼力不一致，所以在望远镜上装有目镜对光螺旋，可以调节目镜位置使我们看清十字丝。

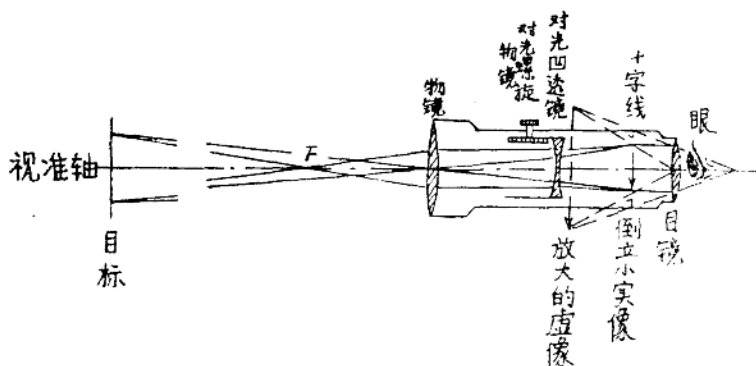


图 2-5

图 2-6 是 S₃ 型微倾式水准仪望远镜实际构造略图。由于物镜固定和密封，所以防潮，防尘性能较好。

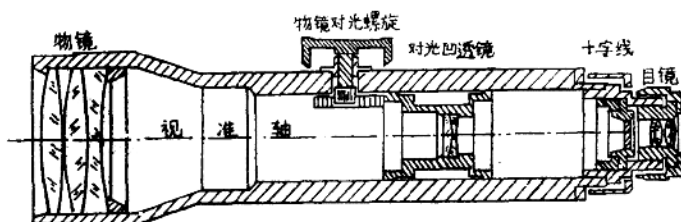


图 2-6

十字丝分划板是装在十字丝环上，通过三个校正螺丝固定在望远镜筒上。十字丝是在玻璃上刻线。十字丝的构造和形式如图 2-7。

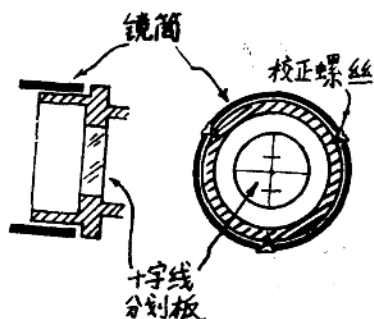


图 2-7

十字丝中央交点和物镜光心的连线叫视准轴（也叫视线）。当视准轴对准目标时，就叫照准了。所以视准轴是我们照准的依据。

用望远镜看清目标的程序是：第一步是目镜对光，就是根据观测者的视力，调节目镜对光螺旋，使十字丝清晰；第二步是物镜对光，就是调节物镜对光螺旋，使目标的倒立小实像正落在十字丝平面上。这时我们从目镜中就可以同时看清十字丝和目标了。

做好对光的标准是没有视差。如图 2-8 (a)，经过调节物镜螺旋使目标的像恰好落在十字丝板平面上，眼睛在目镜上下移动，十字丝交点总是指在目标的一个固定点上，这种情况表示没有视差。如果十字丝交点有错动现象，说明有视差，如图 2-8 (b)。如果

有视差就会影响读数的正确性。消除视差的办法是继续仔细的对光，直到没有错动现象为止。

为了控制望远镜的左右移动，使视准轴对准目标，水准仪上装有制动螺旋和微动螺旋，其构造形式之一如图 2—9。微动架 G_1 、 G_2 与望远镜相连，当拧紧制动螺旋时，制动片就压紧基座轴套，使望远镜不能转动；这时如果旋转微动螺旋，则由于微动弹簧的作用，可使竖轴连着制动套环一起做微小的转动。从图 2—9 还可以看出，当松开制动螺旋时，微动螺旋也就失去作用了。

照准目标的顺序是：先利用望远镜上的准星概略照准，然后拧紧制动螺旋，最后利用微动螺旋精确照准。

2、水准器：

水准器有两种形式，一种叫水准管（又叫长盒水准器），一种叫水准盒（又叫圆盒水准器）。利用水准器可以把仪器上的某些轴线安置到水平位置或铅垂位置。

(1) 水准管：水准管是把一个玻璃管的纵向内壁磨成圆弧(圆弧半径一般是7~20米)，管内装酒精和乙醚的混合液密封做成的，如图 2—10。水准管上两端刻划的中点叫水准管

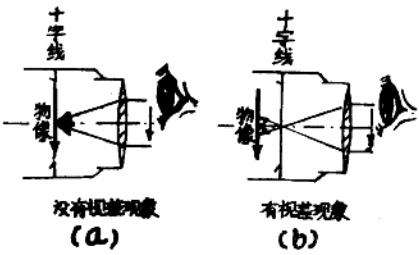


图 2—8

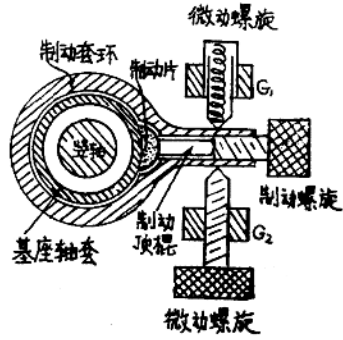


图 2—9

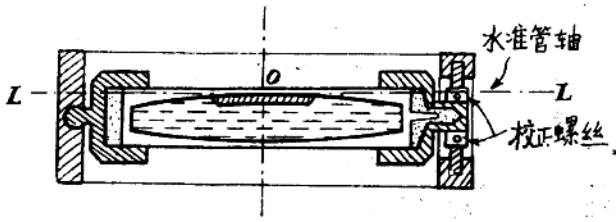


图 2—10

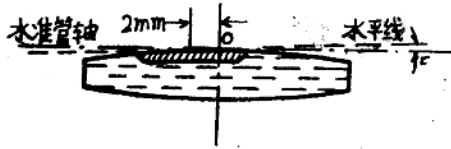


图 2—11

的零点。通过水准管零点与水准管圆弧相切的直线叫水准管轴线，如图 2—10 中 LL 线。水准管气泡居于被零点平分的位置时，叫做气泡居中，这时水准管轴就处于水平位置。气泡每

移动 2 毫米（规定），水准管轴线所倾斜的角度 τ ，叫水准管的角值，如图 2—11。水准管的角值愈小，水准管的灵敏度就愈高。一般水准仪上水准管的角值在 $1' \sim 2''$ 。

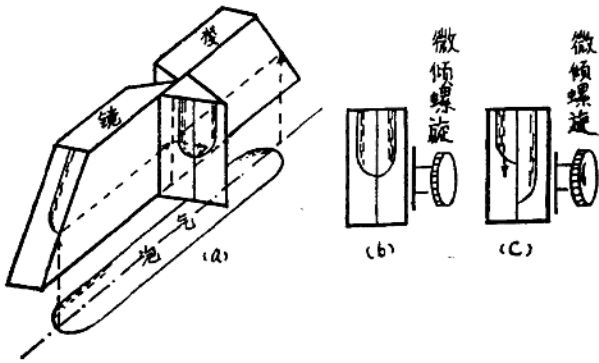


图 2—12

在水准仪上，用校正螺丝将水准管轴线安装成与望远镜的视准轴平行。这样当水准管气泡居中时，水准管轴就水平，视准轴也处于水平位置了。所以，视准轴和水准管轴相互平行是水准仪构造上应具备的重要条件。

调节微倾水准仪上的微倾螺旋（图 2—4 中的 13）可使水准气泡居中。为了观察水准管气泡是否居中，在目前使用的微倾水准仪上都采用符合棱镜系统，使气泡的像反映在望远镜旁的符合水准气泡观察镜中来观察，如图 2—12（a）。当调节微倾螺旋，使气泡两端点的像吻合时，如图 2—12（c），气泡就居中了。当气泡偏离中点时，气泡的两端点就互相分开，如图 2—12（b），表示气泡没有居中。这样就提高了目估气泡居中的精度。

（2）水准盒：水准盒顶面的内壁是一个球面，球面中心有一个圆圈，圆圈的中心叫水准盒零点。水准盒轴线是通过零点的球面法线方向，如图 2—13。当气泡居中时，水准盒轴

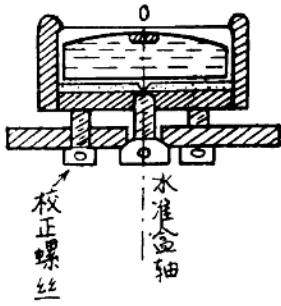


图 2—13

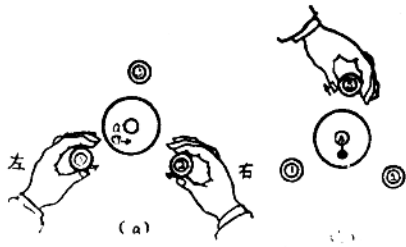


图 2—14

线就处于铅垂位置了。

水准盒灵敏度较低，其角值约为 $8' \sim 10'$ ，是概略定平的工具。

在水准仪上，用校正螺丝将水准盒轴线安装成与仪器的竖轴相互平行的位置。当我们调

节基座上的定平螺旋使水准盒的气泡居中时，水准盒轴线就水平，竖轴也就处于铅垂位置，这时水准仪就概略的定平了。

3、基座：

基座主要是有轴座、定平螺旋和连接板组成，起支撑仪器上部和与三角架连接的作用。利用定平螺旋使水准盒气泡居中的基本操作程序，如图 2—14。

转动定平螺旋使气泡居中的规律是：气泡需要向那个方向移动左手拇指就向那个方向转动定平螺旋，如使用右手时，右手的拇指应向相反的方向转动定平螺旋。图 2—14 (a) 表示气泡偏离a的位置。首先按箭头所指方向，同时转动定平螺旋①、②，使气泡移至b的位置，如图 2—14 (b)。当气泡达到b的位置后，再转动定平螺旋③，使气泡居中，这时仪器就概略水平了。

二、水准测量的工具：

1、水准尺及读法

水准尺式样很多，常用的有塔尺和板尺两种。塔尺多用在等外水准测量中，板尺多用在较精密的水准测量中。图 2—15，是几种不同形式的水准尺。

水准尺的零点一般都在尺的底部，尺的刻划是黑白格相间。每一个黑格或白格都是 1 厘米或 0.5 厘米，尺上每一分米处注有数字，分米的正确位置有的以字顶或字底为准，也有其它形式的，使用前应仔细认清注字和刻划的特点。注字有正字、倒字两种形式。超过 1 米的注记加红点，如 2 表示 1.2 米。也有用 1.2 表示的。

塔尺一般长四米或五米，多是有零点起的单面或双面刻划，如图 2—15 (a)。使用塔尺时必须注意接口位置是否正确。

水准板尺一般为三米，多为两面刻划，一面是零点起的黑色刻划，另一面是由 4.687 米或 4.787 米起的红面刻划如图 2—15(b)。

通过望远镜在水准尺上的读数，是读十字丝中横线在水准尺上指示的数值。读数时应注意尺上注字的顺序，并顺序读出米、分米、厘米，估读到毫米。图 2—16，是倒像和正像望远镜中读尺的例子。

等外水准测量是读横中丝，千万不要读上丝或下丝，以免发生错误。

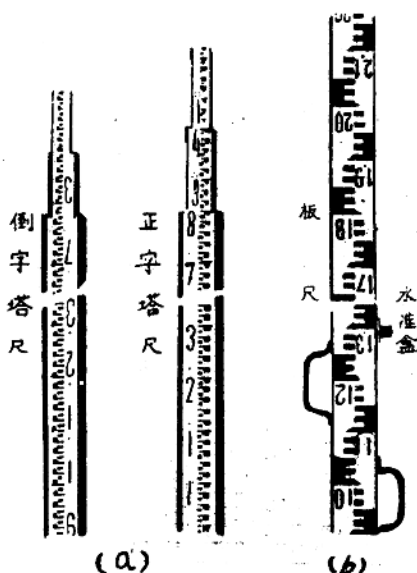


图 2—15