



土木与建筑类专业创新型一体化教材

建筑工程测量实训

主编 赵文娟

建筑工程测量实训

主 编 赵文娟



扫描二维码
共享立体资源

北京出版集团
北京出版社

北京出版集团
北京出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑工程测量实训 / 赵文娟主编. — 北京 : 北京出版社, 2016.7 (2020 重印)

ISBN 978-7-200-12198-8

I. ①建… II. ①赵… III. ①建筑测量—高等职业教育—教材 IV. ①TU198

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 112724 号

建筑工程测量实训

JIANZHU GONGCHENG CELIANG SHIXUN

主 编: 赵文娟

出 版: 北京出版集团

北京出版社

地 址: 北京北三环中路 6 号

邮 编: 100120

网 址: www.bph.com.cn

总发行: 北京出版集团

经 销: 新华书店

印 刷: 定州市新华印刷有限公司

版印次: 2016 年 7 月第 1 版 2020 年 4 月修订 2021 年 4 月第 3 次印刷

开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张: 16

字 数: 332 千字

书 号: ISBN 978-7-200-12198-8

定 价: 48.00 元

教材意见建议接收方式: 010-58572162 邮箱: jiaocai@bphg.com.cn

如有印装质量问题, 由本社负责调换

质量监督电话: 010-82685218 010-58572162 010-58572393

实训一	水准测量和水准仪	1
实训二	角度测量和经纬仪	23
实训三	距离测量与直线定向	41
实训四	地形图测量	60
实训五	基坑变形监测测量	86
实训六	± 0 以下建筑施工测量	108
实训七	± 0 以上建筑施工测量	135
实训八	线路工程测量	168
实训九	道路及桥梁施工测量	192
实训十	建筑沉降观测	220
参考答案		240

实训一 | 水准测量和水准仪

依据北京亦庄某商业文化娱乐办公楼项目的建筑施工图和结构施工图，通过引测施工现场外测量基准点，对施工现场内的标高进行整体的量测，绘制出施工现场内地面标高控制网，为开槽标高的控制以及挖土总量的计算做好充足的准备。



■ 实训目标

- 1. 掌握水准仪的使用方法。
- 2. 能通过水准仪测量标高并进行所测量标高的整理和计算。
- 3. 了解水准测量在实际工程中的重要性，提高学习积极主动性。

设备及工具准备

- 1. 全站仪 TS02，精度 $\pm 2''$ ，1 台。
- 2. 水准仪 DINI03，1 台。
- 3. 30 米钢尺，1 把。

实训分析

一、平面控制测量

(1) 导线测量应符合《城市测量规范》(CJJ/T 8—2011) 三级导线的精度要求。导线超长时(不宜超过规定长度的 1.5 倍)，其绝对闭合差不应大于 26 cm。当导线超长或平均边长较短，附和导线的边数超过 12 边时，应适当提高测角精度。当导线长度短于规定长度的 1/3 时，其绝对闭合差不应大于 13 cm。在控制点比较稀少的地区，导线可同级附和一次。

(2) 在控制点较少或施测范围较大的地区，应布设导线网，做结点进行平差。导线网测量应符合《城市测量规范》(CJJ/T 8—2011) 的要求。三级导线网的精度要求如表 1-1 所示。

表 1-1 三级导线网的精度要求

等级	闭合环或附和导线长度 (km)	平均边长 (m)	测距中误差 (mm)	测角中误差 (")	导线全长相对闭合差
三级	1.5	120	$\leq \pm 15$	$\leq \pm 12$	$\leq 1/6\,000$

注：导线网中结点与高级点间或结点与结点间的导线长度不应大于附和导线规定长度的 0.7 倍。

(3) 使用已有控制点直接进行测量时，必须对所使用的控制点进行角度、边长校核，并做好校核记录，符合下列精度时方可使用：

- 检测角与条件角较差 $\leq 30''$ ；
- 实量边长与条件边长较差的相对误差 $\leq 1/4\,000$ 。

二、条件点的测量

(1) 条件点应是指对应规划许可证图，为计算拟建建（构）筑物与四至相对关系的周边建（构）筑物、围墙、河、渠、现状路、铁路、高压塔（线）、古树、文物等地物待测点。

(2) 条件点的测设，应在两个测站沿不同的起始方向按极坐标法或两组前方交会法测量。交会时，距离宜小于 100 m，交会角度宜在 $30^{\circ} \sim 150^{\circ}$ 。两次测量坐标限差为 ± 5 cm，取用平均值。

三、建设工程放线验线测量

1. 放线测量

依据北京市规划委员会许可证附图中建（构）筑物角点坐标进行定位测量。

2. 验线测量

(1) 验测点应指北京市规划委员会许可证附图中建（构）筑物角点坐标。

(2) 验测点的测设应在两个测站沿不同的起始方向按极坐标法或两组前方交会法测量。交会时，距离宜小于 100 m，交会角度宜在 $30^{\circ} \sim 150^{\circ}$ 。两次测量坐标限差为 ± 5 cm，取用平均值。在平坦地区用极坐标法可不测垂直角。也可将验测点联入导线，或用全球定位系统（GPS）测设。

四、四至距离的计算

在建设工程灰线验线测量成果中，必须依据建设工程规划许可证附图中所标注的距离一一对应进行计算，在计算时应符合下列规定：

(1) 四至边界应严格和规划许可证附图中所示的四至边界一致。涉及拨地红线和规划路时，如果规划路已变更，计算距离时仍算至原规划道路红线上，同时应在成果图上按比例画出变更后的规划路，并应注明“变更前规划路”和“变更后规划路”；如果拨地边界发生变更，计算距离时仍算至原拨地线上，同时应在成果图上按比例画出新、原拨地线，并应注明拨地档案号；如果四至边界为设计边界，应在成果图上标注“设计边界”；如果四至边界为本单位所测的测量成果，应在成果图上标明测量成果的档案号。

(2) 当四至的周边建（构）筑物未建，一般情况下可不计算涉及与此建（构）筑物的间距。如果不能满足规划监督的要求，可依据周边建（构）筑物的设计坐标进行计算，同时在成果图上必须注明：“此建（构）筑物未建，间距以设计坐标计算。”当周边建（构）筑物正建〔仅限于建（构）筑物未到 ± 0 〕又确需计算此距离时，可依据放线、验测成果进行计算，同时在成果图上必须注明：“此建（构）筑物正建，间距无法实测，以放线、验测坐标计算。”

(3) 当建设工程规划许可证附图中所标距离的细部点位不明确，无法根据结构图推求出细部点的坐标时，一般情况下应计算出与所标距离的细部点最近的又能推求出坐标的邻近点的坐标，由此点向四至计算距离。如果达不到规划监督的要求，即达不到严格和规划许可证附图标注位置一致时，可以根据建设单位提供的电子图（必须是和规

划许可证附图一致)读取不确定的细部点的坐标,或在电子图上量取距离推求出不确定的细部点的坐标,然后进行计算;如果没有电子图,可根据规划许可证附图上所标不确定的细部点的位置,按相应的比例,测量不确定的细部点到固定点的距离,计算出不确定的细部点坐标,然后进行计算。

(4) 拟建建(构)筑物与四至边界的距离计算可采用解析法,根据所测的坐标进行计算。计算可在计算机图形软件中进行。当采用计算机图形软件计算时,可不要中间计算结果,但在工作略图中,验测点、条件点的点位、点号,被验测建(构)筑物与周边建(构)筑物、规划路、拨地红线的关系数据应标明,位置要准确,以利于各级检查。

(5) 拟建建(构)筑物与四至边界的距离也可采用实量法,即在实地进行距离测设,距离测设可采用光电测距或钢尺丈量。采用实量法时,应严格依据规划许可证附图标示位置量测,必须保证量测的数据为待测建(构)筑物与四至的最小距离,并必须进行多余观测,两次同精度丈量较差相对误差不应大于 $1/4\ 000$ 。距离应加尺长和倾斜改正。

(6) 采用解析法或实量法时,计算距离的位置应和规划许可证附图所标注的位置相一致。

(7) 拟建建(构)筑物每侧应计算的数据,应与规划许可证附图中标示的数据一一对应。

(8) 计算时角值应取至秒,边长和坐标值应取至毫米。

五、坐标成果

依据规划许可证附图上的相关尺寸及坐标,应计算拟建建(构)筑物角点坐标及与四至边界的距离,同时还应将距离标注在成果图上,将建(构)筑物角点坐标填入测量成果表中。



建设工程规划验收
测量的内容

六、建设工程规划验收测量

1. 测量内容

(1) 测量主体建(构)筑物外部轮廓线。

建设工程竣工后,应对主体建(构)筑物的外部轮廓线进行实地测量,测量内容应包括主体建(构)筑物轮廓线平面图形、建(构)筑物外轮廓的拐点及悬挑部分的投影点、架空过道等特征点。

(2) 测量主体建(构)筑物外部轮廓线距四至边界的距离。

建设工程竣工后,应对主体建(构)筑物的主体外墙及主要拐点距四至边界的距离进行实测。四至边界应指建设用地的规划道路红线、拨地红线、周边建(构)筑物、现状围墙、古树、古迹文物、现状路等。周边条件点可采用灰线验线或 ± 0 验线的测量成果。用解析法算出或实量出实际距离,标注在成果图上。

主体建(构)筑物每侧应计算的数据,应与规划许可证附图中标示的数据一一对应。

(3) 测量主体建(构)筑物高度。

建设工程竣工后,应对建(构)筑物的高度、层数进行实测。应根据建设工程规划许可证所规定的内容进行楼高测量,同时还应在成果表中绘制出立面图。

(4) 测量配套和附属设施应符合下列要求。

规划验收测量中,除了测量主体建(构)筑物轮廓线平面图外,还应测量与建设工程规划许可证对应的建设用地范围内的其他现状地物,如保留的建(构)筑物、单独设立的配套设施等,并应用必要的注记在平面图中标明相关的属性信息。

2. 测量方法

(1) 平面控制测量。

控制测量的主要技术要求应符合本实训的相关规定。

(2) 条件点的测量。

条件点应指规划验收主体建(构)筑物的主要拐点及与规划验收主体建(构)筑物有相对关系的周边建(构)筑物、围墙、河、渠、现状路、铁路、高压线(塔)、古树、文物等地物点。

条件点的测设,应在两个测站沿不同的起始方向按极坐标法或两组前方交会法测量,当两组值的较差 $\leq 5\text{ cm}$ 时,取两组值的平均值为条件值。交会时,距离宜小于 100 m ,交会角度宜在 $30^\circ \sim 150^\circ$,在平坦地区用极坐标法可不测垂直角。

周边地物条件点可用灰线验线或 ± 0 验线中的成果。

利用条件点可绘出主体建(构)筑物的轮廓线及周边地物的边线。

(3) 其他地物的测量。

规划验收主体建(构)筑物的次要点位或其他附属、配套设施均属于其他地物,测量时可用测地形图的方法测绘,或用单极坐标的方法测绘,并有相应的记录手簿。内业数据处理可直接在计算机图形软件上进行,生成*.dwg格式的电子地形图。

(4) 四至距离的计算。

①规划验收建(构)筑物与四至边界的距离计算可采用解析法,根据所测的坐标进行计算,计算可在计算机图形软件中进行。当采用计算机图形软件计算时,可不要中间计算结果,但在工作略图中,条件点的点位、点号,与周边建(构)筑物、规划路、拨地红线的关系数据要标明,位置要准确,以利于各级检查。

②规划验收建(构)筑物与四至边界的距离也可采用实量法,即在实地进行距离测设,距离测设可采用光电测距或钢尺丈量。采用实量法时,应严格依据规划许可证附图标示位置量测,必须保证所量测的数据为规划验收建(构)筑物与四至的最小距离,并必须进行多余观测,两次同精度丈量较差相对误差不应大于 $1/4\ 000$ 。距离应加尺长和倾斜改正。

③采用解析法或实量法时,计算距离的位置应和规划许可证附图所标注的位置相一致。

④规划验收建(构)筑物每侧应计算的数据,应与规划许可证附图中标示的数据一一对应。

⑤计算时角值应取至秒,边长和坐标值应取至毫米。

七、楼高测量

1. 测量内容

(1) 楼高是指建(构)筑物檐口或女儿墙顶到室外地坪的相对高度。

(2) 对于平面屋顶的建(构)筑物,实测楼高时,应测量女儿墙顶到室外地坪的相对高度。实量女儿墙高度时,算出设计 ± 0 至室外地坪的高差,在立面图上分段标出女儿墙顶——楼顶、楼顶—— ± 0 、 ± 0 ——室外地坪的高差。

分段标出各高差外,还必须在立面图上标出整体高度,标注格式详见规划许可证,数字的字头均垂直于标注线向西(图纸方向:“上为北、左为西”)。

(3) 对于坡屋面或其他曲面屋顶的建(构)筑物,应测量建(构)筑物外墙皮与屋面板交点至室外地坪的高度。

如果建设工程规划许可证附件(或验收申请表中)要求测出最高点高度,应按要求测量。

(4) 突出屋面的水箱间、电梯间、亭台楼阁一般可不测高度;如果建设工程规划许可证中有要求,应按要求测量。

(5) 阶梯式建(构)筑物要测出各楼层的高度,各楼层都要标出分段高差和整体高度,并应在立面图中分段标注清楚。

2. 测量方法

可用三角高程法、前方交会法或钢尺实量法。

用三角高程法实测楼高时,应变换仪器高,分两次实测高差,两次测量值的较差不大于 10 cm 时,取平均值作为最终值。用三角高程法实测时应注意:测水平距离时,测距的垂足点处的棱镜与测垂直角的前视点应在同一垂直面内,最好采取测垂直角和测斜距用同一测点的方法。量测棱镜高、楼高精确至 1 mm。

利用钢尺实测楼高时应有多余测量。

八、地下建(构)筑物的规划验收测量

地下建(构)筑物指地下水泵、地下配电室、地下停车场、地下室、人防工程、设备层等。

1. 平面控制测量

地下建(构)筑物规划验收测量的平面控制测量应按《北京市地下人防工程竣工测量技术规定》(北京市测绘院、北京市城建档案馆 1988 年 4 月)执行。

2. 细部点位测量

规划许可证附图中标注坐标的地下建(构)筑物的点位应以全圆观测的方法测量,其他点位应以测地形图的方法测量。

3. 高度测量

地下建(构)筑物的高度指净空高度。

实训总结

基本情况	北京亦庄某商业文化娱乐办公楼项目的水准测量
完成情况	掌握水准仪的使用方法，能进行对所测量标高的整理和计算
评价	针对水准测量在实际工程中的应用，提高学生在学习过程中对仪器设备的掌握能力。对相应公式的使用，除了是对课堂理论的验证外，还是巩固和深化课堂所学知识的环节，更是培养学生动手能力以及训练严格的科学态度和作风的手段。通过对平面控制测量和条件点测量、建设工程规划验收测量和楼高测量等的学习，可以增强对水准测量概念的理解，提高解决工程中实际测量问题的能力，为今后参加工作打下坚实的基础

知识链接

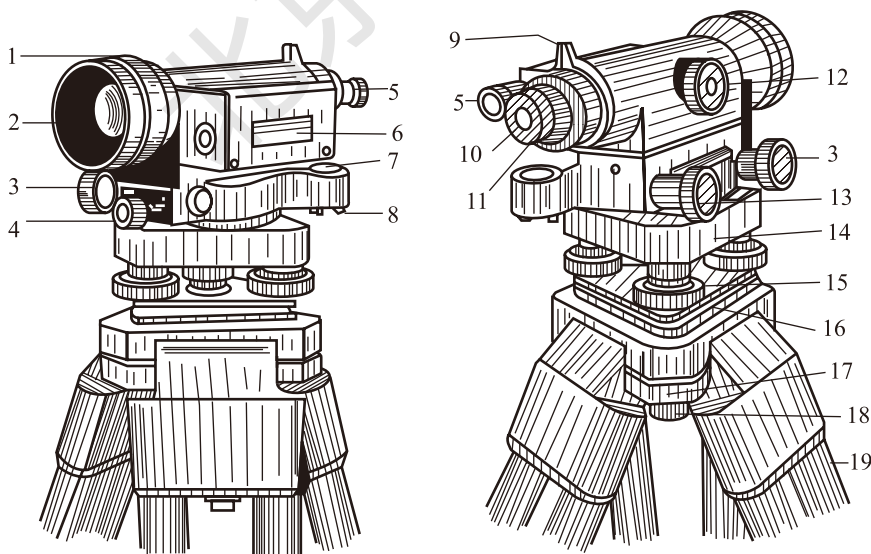
水准仪是为水准测量提供水平视线的仪器。我国水准仪系列标准按其精度等级主要分为 DS_{05} 、 DS_1 、 DS_3 、 DS_{20} 等型号，D、S 分别为大地测量、水准仪的汉语拼音第一个字母，下标数字表示精度等级。如 DS_3 型水准仪的“3”表示该仪器每千米往返观测高差精度为 ± 3 mm。水准仪按结构又有自动安平水准仪和数字水准仪。 DS_{05} 、 DS_1 型为精密水准仪， DS_3 、 DS_{20} 型为工程水准仪。水准测量的工具主要有水准尺和尺垫。本节主要介绍 DS_3 型微倾式水准仪及其使用。



水准仪演示

一、 DS_3 型微倾式水准仪的构造

图 1-1 所示为 DS_3 型微倾式水准仪。它主要由望远镜、水准器、基座等组成。

图 1-1 DS_3 型微倾式水准仪

1—望远镜；2—物镜；3—微动螺旋；4—制动螺旋；5—观察镜；6—管状水准器；7—圆状水准器；8—圆状水准器校正螺丝；9—照门；10—目镜；11—分划板护罩；12—物镜调焦螺旋；13—微倾螺旋；14—轴座；15—脚螺旋；16—连接底板；17—架头压块；18—压块螺丝；19—三脚架

1. 望远镜

望远镜具有成像和扩大视角的功能,是测量仪器观测远目标的主要部件。其作用是看清不同距离的目标和提供照准目标的视线。如图 1-2 所示,它由物镜、物镜调焦透镜、十字丝分划板、目镜等组成。物镜、物镜调焦透镜、目镜为复合透镜组,分别安装在镜筒的前、中、后三个部位,三者共光轴,组成一个等效光学系统。通过转动调焦螺旋,调焦透镜沿光轴在镜筒内前后移动,改变等效光学系统的主焦距,从而可看清不同距离的目标。

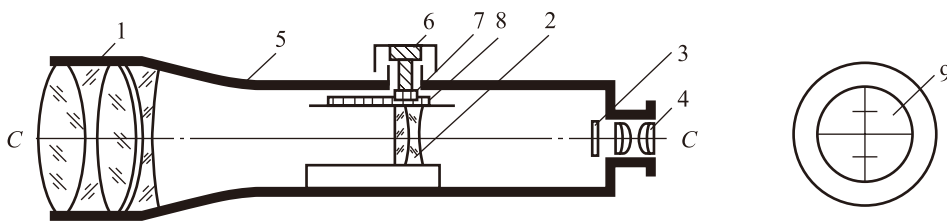


图 1-2 望远镜的构造

1—物镜; 2—物镜调焦透镜; 3—十字丝分划板; 4—目镜; 5—物镜筒; 6—物镜调焦螺旋; 7—齿轮; 8—齿条; 9—十字丝影像

十字丝分划板为一平板玻璃,上面刻有相互垂直的细线,称为十字丝。中间一条横线称为中丝或横丝,上、下对称且平行于中丝的短线称为上丝和下丝,上、下丝统称视距丝,用来测量距离。竖向的线称竖丝或级丝。十字丝分划板压装在分划板环座上,通过校正螺丝套装在镜筒内,位于目镜与调焦透镜之间,它是照准目标和读数的标志。

物镜光心与十字丝交点的连线称望远镜视准轴,用 $C-C$ 表示,为望远镜照准线。

望远镜的成像原理如图 1-3 所示。远处目标 AB 反射的光线,通过物镜和调焦后的物镜调焦透镜折射形成一个倒立实像 ab ,落在十字丝分划板平面上。调节目镜对光螺旋,目镜又将它和十字丝一起放大形成虚像 a_1b_1 ,即为在望远镜中观察到的目标 AB 倒立的影像。现代水准仪在物镜调焦透镜后装有一个正像棱镜(如阿贝棱镜、施莱特棱镜),通过棱镜反射,看到的目标影像为正像。这种望远镜称为正像望远镜。

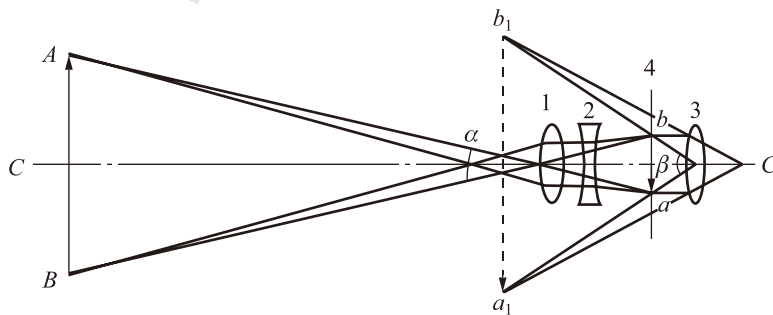


图 1-3 望远镜成像原理

1—物镜; 2—物镜调焦透镜; 3—目镜; 4—十字丝分划板

物体虚像 a_1b_1 对眼睛的张角 β 与 AB 对物镜光心的张角 α 之间的比值称为望远镜的放大倍率,用 V 表示,即 $V=\beta/\alpha$ 。

通过望远镜能看到的物面范围大小称为视场，视场边缘对物镜中心形成的张角称为视场角，用 w 表示。 V 、 w 是望远镜的重要技术指标，一般来说， V 、 w 越大，望远镜看得越远，观察的范围越大。 DS_3 型水准仪一般 $V=28 \sim 32\times$ ， w 为 $1^\circ 30'$ 。

2. 水准器

水准器是用来衡量视准轴 $C-C$ 是否水平、仪器旋转轴（又称竖轴） $F-F$ 是否铅垂的装置。有管状水准器（又称水准管）和圆状水准器两种，前者用于精平仪器使视准轴水平，后者用于粗平仪器使竖轴铅垂。

(1) 管状水准器。

图 1-4 (a) 所示为内壁沿纵向研磨成一定曲率的圆弧玻璃管，管内注入乙醚和乙醇混合液体，两端加热融封后形成一气泡。水准管纵向圆弧的顶点 O ，称为管水准器的零点，过零点相切于内壁圆弧的纵向切线，称为水准管轴，用 $L-L$ 表示。当气泡中心与零点重合时，称为气泡居中。为了使望远镜视准轴 $C-C$ 水平，水准管安装在望远镜左侧，并满足 $L-L \parallel C-C$ 。当水准管气泡居中时， $L-L$ 处于水平，而 $C-C$ 也就处于水平位置。这是水准仪应满足的重要条件。

为了表示气泡的偏移量，沿水准管纵向对称于 O 点间隔 2 mm 弧长刻一分划线。两刻线间 2 mm 弧长所对的圆心角，称为水准管的分划值 [图 1-4 (b)]，用 τ 表示。它表示气泡偏离零点 2 mm（一格）时，水准管轴倾斜的角。

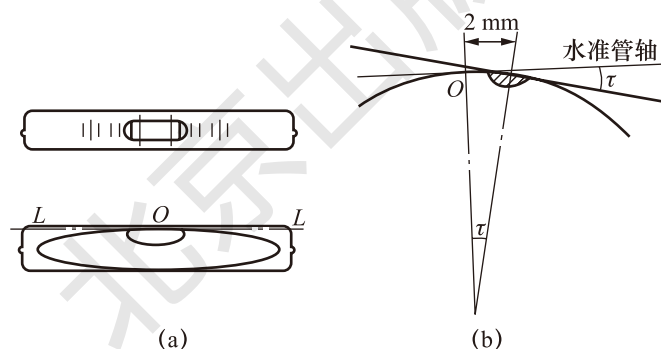


图 1-4 管状水准器的构造与分划值

(2) 圆状水准器。

如图 1-5 所示，圆状水准器装在水准仪基座上，用于粗略整平。圆状水准器顶面的玻璃内表面研磨成球面，球面的正中刻有圆圈，其圆心称为圆状水准器的零点。过零点的球面法线 $L'-L'$ ，称为圆状水准器轴。圆状水准器轴 $L'-L'$ 平行于仪器竖轴 $F-F$ 。气泡中心偏离零点 2 mm 时竖轴所倾斜的角值，称为圆状水准器的分划值，一般为 $8' \sim 10'$ ，精度较低。

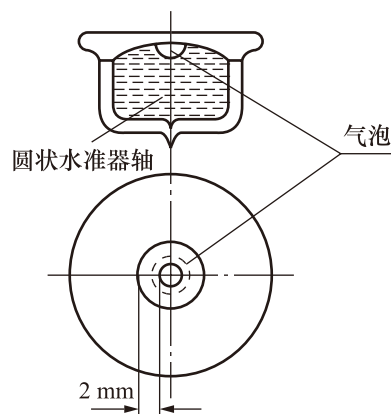


图 1-5 圆状水准器的构造

3. 基座

基座由轴座、脚螺旋和连接底板组成。仪器的望

远镜与托板铰接，通过竖轴插入轴座中，由轴座支撑，轴座用三个脚螺旋与连接底板连接。整个仪器用中心连接螺旋固定在三脚架上。此外，控制望远镜水平转动的有制动、微动螺旋，制动螺旋拧紧后，转动微动螺旋，仪器在水平方向做微小转动，以利于照准目标。微动螺旋可调节望远镜在竖直面内的俯仰，以达到使视准轴水平的目的。

4. 水准尺

水准尺又称标尺，有直尺和塔尺两种，如图 1-6 所示。直尺一般用不易变形的干燥优质木材制成，全长 3 m，多为双面尺。尺面为 1 cm 黑白或红白相间分划，每 10 cm 加一倒字注记（与正像望远镜配套的亦有正字）。黑白相间的尺面为黑面尺，称为基本分划面；尺底起点为 0。红白相间的尺面为红面尺，称为辅助分划面；尺底起点不为 0，与黑面相差一个常数 K ， K 称为零点常数。同一高度两面读数相差 K ，供红黑面读数检核之用。直尺用于等级水准测量，两把尺组成一对，一把 $K=4.687$ m，另一把 $K=4.787$ m，起点读数差（称为零点差）恰为 ± 100 mm。

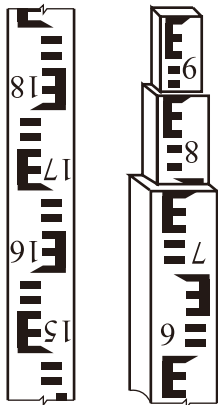


图 1-6 水准尺

塔尺一般用玻璃钢、铝合金或优质木材制成，一般由三节尺段套接而成，全长 5 m。尺面为 5 mm 或 10 mm 分划，每 10 cm 加一注记，超过 1 m 在注记上加红点表示米数，如 2 上加 1 个红点表示 1.2 m，加 2 个红点表示 2.2 m，依此类推。塔尺两面起点均为 0，属于单面尺。它携带方便，但尺段接头易损坏，对接易出差错，常用于精度要求不高的水准测量。

二、水准仪操作

水准仪的使用包括仪器的安置、粗略整平、瞄准水准尺、精平和读数等操作步骤。水准仪技术操作是水准尺使用、水准测量的一项基本功能训练。通过具体操作，来加深对仪器三大组成部分功能性的认识，达到正确使用仪器的目的。

1. 安置三脚架

打开三脚架并使高度适中，目估使架头大致水平，检查脚架腿是否安置稳固，脚架伸缩螺旋是否拧紧，然后打开仪器箱取出水准仪，置于三脚架头上用连接螺旋将仪器牢固地固连在三脚架头上。

2. 粗略整平

粗平是借助圆状水准器的气泡居中，使仪器竖轴大致铅垂，从而使视准轴粗略水平。在整平的过程中，气泡的移动方向与左手大拇指运动的方向一致，如图 1-7 所示。

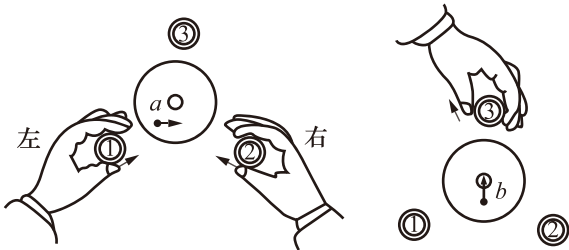


图 1-7 粗略整平

3. 瞄准水准尺

首先进行目镜对光，即把望远镜对着明亮的背景，转动目镜对光螺旋，使十字丝清晰；再松开制动螺旋，转动望远镜，用望远镜筒上的照门和准星瞄准水准尺，拧紧制动

螺旋, 然后从望远镜中观察。转动物镜对光螺旋进行对光, 使目标清晰, 再转动微动螺旋, 使竖丝对准水准尺。当眼睛在目镜端上下微微移动时, 若发现十字丝与目标影像有相对运动, 这种现象称为视差。产生视差的原因是目标成像的平面和十字丝平面不重合。视差的存在会影响到读数的正确性, 必须加以消除。消除的方法是重新仔细地进行物镜对光, 直到眼睛上下移动, 读数不变为止。此时, 从目镜端见到十字丝与目标的像都十分清晰。图 1-8 所示为水准尺读数, 图 1-9 所示为视差影响的情况。

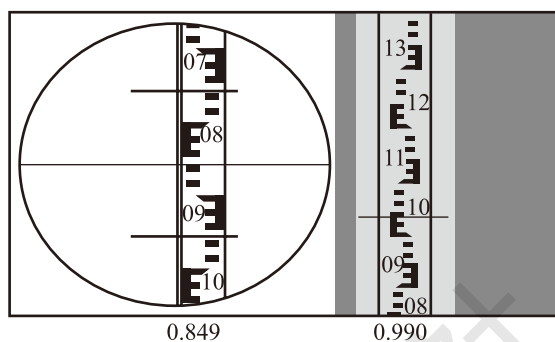


图 1-8 水准尺读数

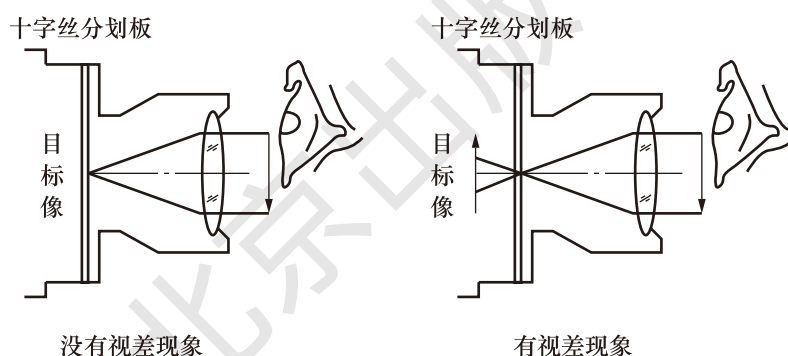


图 1-9 视差影响

4. 精平与读数

眼睛通过位于目镜左方的复合气泡观察窗看水准管气泡, 右手转动微动螺旋, 使气泡两端的像吻合, 即表示水准仪的视准轴已精确水平。这时, 即可用十字丝的中丝在尺上读数。现在的水准仪多采用倒像望远镜, 因此读数时应从小往大, 即从上往下读。先估读毫米数, 然后报出全部读数。精平和读数虽是两项不同的操作步骤, 但在水准测量的实施过程中, 却把两项操作视为一个整体, 即精平后再读数, 读数后还要检查水准管气泡是否完全符合要求。只有这样, 才能取得准确的读数。

三、水准测量误差分析

测量仪器制造不可能完善, 经检验校正也不能完全满足理想的几何条件。同时, 由于观测人员感官的局限和外界环境因素的影响, 观测数据不可避免地存在误差。为了保证应有的观测精度, 测量工作者应对测量误差产生的原因、性质及防止措施有所

了解,以便将误差控制在最小范围内。

测量误差主要来源于仪器误差、观测误差和外界环境因素的影响三个方面。水准测量也不例外。

1. 仪器误差

(1) 仪器经校正残余误差。

仪器经校正后,仍有残余误差。当仪器受震或使用日久,两轴间会产生微小的角度,即使水准管气泡居中,视线也不会水平。采用前后视距相等(即“中间法”)观测可以消除其影响。

(2) 望远镜物镜调焦透镜运行的误差。

物镜对光时,物镜调焦镜应严格沿光轴前后移动。由于仪器受震或仪器陈旧等原因,物镜调焦镜不沿光轴运动,造成目标影像偏移,不能正常读数。这项误差随物镜调焦镜位置不同而变化,根据同距离等影响的原则,采用中间法前后视仅做一次对光,可削弱或消除其误差。

(3) 水准尺的误差。

这项误差包括尺长误差、分划误差和零点误差,它直接影响读数和高差精度。经检定,不符合尺长误差、分划误差规定要求的水准尺应禁止使用。尺长误差较大的尺,对于精度要求较高的水准测量,应对读数进行尺长误差改正。零点误差是由于尺底不同程度磨损而造成的,成对使用的水准尺可在测段内设偶数站消除,这是因为水准尺前后视交替使用,相邻两站高差的影响值大小相等、符号相反。

2. 观测误差

(1) 水准管气泡居中的误差。

水准测量读数前,必须使水准管气泡严格居中。由于水准管内壁的黏滞作用和观测者眼睛分辨能力的局限,气泡未严格居中而产生误差。实践证明,水准管气泡居中的误差与水准管分划值 τ 有关,一般为 $\pm 0.15\tau$,并与视线长 D 成正比。当采用符合水准器时,居中精度可提高2倍。即有

$$m_i = \pm \frac{0.15\tau}{2\rho''} \cdot D$$

式中, $\rho''=206\ 265''$, m_i 以 m_m 为单位。当 $\tau=20''$, D 分别为100 m、50 m时, m_i 分别为0.7 mm、0.4 mm。

(2) 估读误差。

观测者用望远镜在标尺上估读不足分划值的微小读数,产生的估读误差与人眼分辨能力(一般为 $60''$)、视线长度 D 、望远镜放大倍率 V 有关。可按下式计算:

$$m_v = \frac{60''}{V} \cdot \frac{D}{\rho''}$$

当 $V=28$ 倍, D 分别为100 m、75 m时, m_v 分别为1.0 mm、0.8 mm。

(3) 视差影响。

当存在视差时,十字丝平面与水准尺影像不重合,若眼睛观察的位置不同,便读



测量误差的基本知识

出不同的读数，因而也会产生读数误差。

(4) 水准尺倾斜误差。

水准尺倾斜导致尺上读数增大，如水准尺倾斜 $3^{\circ}30'$ ，在水准尺上 1 m 处读数时，将会产生 2 mm 的误差；若读数大于 1 m，误差将超过 2 mm。

由上述可知，观测误差对测量成果影响较大，而且是不可避免的偶然误差。因此，观测者应按操作规程认真操作，快速观测，准确读数，借助标尺的水准器立直标尺。同时仔细调焦，消除视差，以尽量减小观测误差的影响。如图 1-10 所示。

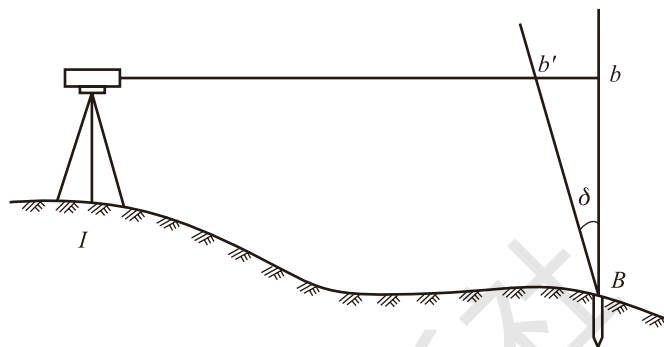


图 1-10 水准尺倾斜误差

3. 外界环境因素的影响

(1) 地球曲率和大气折光的影响。

地球曲率与大气折光的影响之和为

$$f = 0.43 \times \frac{D^2}{R}$$

如果使前后视距离 D 相等，计算的 f 值则相等，地球曲率和大气折光的影响将得到消除或大大减弱。

(2) 仪器和水准尺升降的影响。

在观测过程中，仪器由于自重会随时间下沉或由于土壤的弹性会上升，使得读数减小或增大。如果往测上坡使高差增大，则返测下坡使高差减小，取往返高差平均数，可削弱其影响。对一个测站进行往返观测就意味着观测程序的改变，按“后、前、前、后”或“前、后、后、前”的观测程序，取高差平均值，也能削弱其影响。因此，观测时选择坚实的地面作测站和转点，踏实脚架和尺垫，缩短测站观测时间，采取往返观测等，都可以减小此项影响。

(3) 大气温度和风力的影响。

温度不规则变化和较大的风力会引起大气折光变化，致使标尺影像跳动，难以读数。温度变化会影响仪器几何条件变化，烈日直射仪器会影响水准管气泡居中等，导致测量误差的产生。因此，水准测量时，应选择有利的观测时间，在观测时应撑伞遮蔽，避免仪器遭受日晒雨淋，以减小影响。

四、三、四等水准测量

三、四等水准测量除用于国家高程控制网加密外，还常用于建立局部区域地形测量和工程测量高程首级控制，其高程应就近由国家高一级水准点引测。根据测区条件和用途，三、四等水准路线可布设成闭合或附合水准路线，水准点应埋设普通标石或作临时水准点，也可和平面控制点共享，三、四等水准测量的技术要求如表 1-2 所示。

表 1-2 三、四等水准测量技术指标

水准 测量 等级	使用仪器	高差闭合差的限差 (mm)		视线长 度 (m)	视线高 度	前后视 距离差 (m)	前后视距 离累积差 (m)	黑红面 读数差 (mm)	黑红面 所测高 差之差 (mm)
		附合、闭 合路线	往、返 测较差						
三等	DS ₃	$\pm 12\sqrt{L}$	$\pm 12\sqrt{K}$	≤ 75	三丝能 读数	≤ 2	≤ 5	2	3
	DS ₀₅ DS ₁			≤ 100					
四等	DS ₃	$\pm 20\sqrt{L}$	$\pm 20\sqrt{K}$	≤ 100	三丝能 读数	≤ 3	≤ 10	3	5
	DS ₀₅ DS ₁			≤ 150					

注：表中 L 、 K 均表示路线长度，以 km 为单位。

1. 观测方法

三、四等水准测量采用成对双面尺观测。测站观测程序如下。
安置水准仪，粗平。
瞄准后视尺黑面，读取下、上、中丝的读数，记入表 1-3 手簿 (1)、(2)、(3) 栏。
瞄准前视尺黑面，读取下、上、中丝的读数，记入表 1-3 手簿 (4)、(5)、(6) 栏。
瞄准前视尺红面，读取中丝的读数，记入表 1-3 手簿 (7) 栏。
瞄准后视尺红面，读取中丝的读数，记入表 1-3 手簿 (8) 栏。
以上观测程序归纳为“后，前，前，后”，可减小仪器下沉误差。四等水准测量也可按“后，后，前，前”程序观测。
上述观测完成后，应立即进行测站计算与检核，满足表 1-2 的限差要求后，方可迁站。
测站计算与检核

2. 视距计算与检核

后视距 $d_{后}$: (9) = [(1) - (2)] × 100
前视距 $d_{前}$: (10) = [(4) - (5)] × 100
前后视距差 Δd : (11) = (9) - (10)
前后视距累计差 $\sum \Delta d$: (12) = 上站 (12) + 本站 (11)
以上计算的 $d_{后}$ 、 $d_{前}$ 、 Δd 、 $\sum \Delta d$ 均应满足表 1-2 的规定，以满足中间法的要求。
因此，每站安置仪器时，尽可能使 $\sum d_{后} = \sum d_{前}$ 。



四等水准测量

3. 读数检核

设后、前视尺的红、黑面零点常数分别为 K_1 (如 4.787)、 K_2 (如 4.687)，同一尺的黑、红面读数差为：

$$\text{前视尺 (13)} = (6) + K_2 - (7) \quad \text{后视尺 (14)} = (3) + K_1 - (8)$$

(13)、(14) 之值均应满足表 1-2 的要求，即三等水准不大于 2 mm，四等水准不大于 3 mm，否则应重新观测。满足上述要求即可进行高差计算。

4. 高差计算与检核

$$\text{黑面高差: (15)} = (3) - (6) \quad \text{红面高差: (16)} = (8) - (7)$$

$$\text{黑红面高差之差 (较差): (17)} = (15) - [(16) \pm 100 \text{ mm}] = (13) - (14)$$

(17) 对于三等水准应不大于 3 mm，四等水准不大于 5 mm。上式中 100 mm 为前、后视尺红面的零点常数 K 的差值。正、负号可将 (15) 和 (16) 相比较确定，当 (15) 小于 (16) 接近 100 mm 时， K 取正号；反之取负号。上述计算与检核满足要求后，取平均值作测站高差。即：

$$(18) = [(15) + (16) \pm 100 \text{ mm}] / 2$$

5. 全路线的计算与检核

当观测完一个测段或全路线后，对水准测量记录按每页或被测段进行检核（见表 1-3）。

高差检核：

$$S(15) = S(3) - S(6) \quad S(16) = S(8) - S(7)$$

$$S(15) + S(16) = S[(3) + (8)] - S[(6) + (7)] = 2S(18)$$

$$S(15) + S(16) = S[(3) + (8)] - S[(6) + (7) \pm 100 \text{ mm}] = 2S(18)$$

视距检核：

$$\text{本页 } S(9) - \text{本页 } S(10) = \text{本页末站 (12)} - \text{前页末站 (12)} \quad \text{终点站 (12)} = S(9) - S(10)$$

上述检核无误后，则测段或全路线总长度为：

$$I = S(9) + S(10)$$

四等水准测量一个测站的观测顺序，可采用：“后（黑）、后（红）、前（黑）、前（红）”。即读取后视尺黑面读数后随即读取红面读数，而后瞄准前视尺，读取黑面及红面读数，测站记录计算与三等水准测量完全相同。

6. 成果整理

三、四等水准测量，一般布设单一水准路线（附合水准路线、闭合水准路线和支水准路线），外业成果经检查合格、高差闭合差符合表 1-3 的限差要求时，方可进行高差闭合差的调整和高程计算。闭合差的调整和高程计算与一般水准测量方法相同，它是把闭合差反符号，按与测段长度成正比例进行分配。支水准路线进行往、返测量，取往返测高差的平均值计算高程。

表 1-3 三、四等水准测量手簿

测段：自 SB-3 至 SB-1
时刻：始：8 时 8 分
 末：9 时 6 分

日期： 年 月 日
天气：晴
呈像：清晰稳定

仪器型号：S3 210033
观测者：
记录者：

测站 编号	点名	后尺	下丝	前尺	下丝	方向及尺号	水准尺读数 (m)		K+ 黑 - 红 (mm)	高差中数
			上丝		上丝		黑面	红面		
		后视距 (m)		前视距 (m)						
		视距差 Δd		累计差 $\sum \Delta d$						
	——	(1)		(4)		后 - 尺号	(3)	(8)	(13)	(18)
		(2)		(5)		前 - 尺号	(6)	(7)	(14)	
		(9)		(10)		后 - 前	(16)	(17)	(15)	
		(11)		(12)		——	$K_1=4.787$		$K_2=4.687$	
1	SB-3 至 SA-4	1.614		0.774		后 1	1.384	6.171	0	——
		1.156		0.326		前 2	0.551	5.239	-1	——
		45.8		44.8		后 - 前	0.833	0.932	1	0.832 5
		1		1		——	——			
2	SA-4 至 X-6	2.188		2.252		后 2	2.008	6.796	-1	——
		1.682		1.758		前 1	1.934	6.622	-1	——
		50.6		49.4		后 - 前	-0.074	-0.174	0	-0.074 0
		1.2		2.2		——	——			
3	X-6 至 X-5	1.922		2.066		后 1	1.726	6.512	1	——
		1.529		1.666		前 2	1.866	6.554	-1	——
		39.3		39.8		后 - 前	-0.14	-0.042	2	-0.141
		-0.5		1.7		——	——			
4	X-5 至 X-4	2.041		2.220		后 2	1.832	6.520	-1	——
		1.622		1.790		前 1	2.007	6.793	1	——
		41.9		43		后 - 前	-0.175	0.273	-2	-0.174 0
		-1.1		0.6		——	$\sum (18) = 0.443\ 5$			
检核	——	$\sum (9) = 177.6$				后	$\sum (3) = 6.876$		$\sum (8) = 25.825$	
		$\sum (10) = 177.0$				前	$\sum (4) = 6.432$		$\sum (7) = 25.382$	
		$\sum \Delta d = (12)\text{末} = 0.6$				后 - 前	$\sum (16) = 0.444$		$\sum (17) = 0.443$	
		L=354.6				——	$[\sum (15) + \sum (16)]/2 = 0.443\ 5 = \sum (18)$			

五、三种测量方式

下面介绍三种测量方式（附和、闭合、支水准路线）的闭合差的调整和高程计算。
进行水准测量的路线称为水准路线。

根据测区实际情况和需要可布置成单一水准路线和水准网。单一水准路线又分为闭合水准路线、附合水准路线和支水准路线三种形式。两条以上单一水准路线相交于某一待定水准点则称为水准网，其相交点称为结点，在图 1-11 中，水准点 5 即为结点。当 A、B 两点的距离较远或者高差较大时，安置一次仪器不能测得它们的高差，这时需要设置转点。在转点放置尺垫即可（注意在相邻两站观测过程中转点尺垫不许有任何的变动），每安置一次仪器称为一个测站。

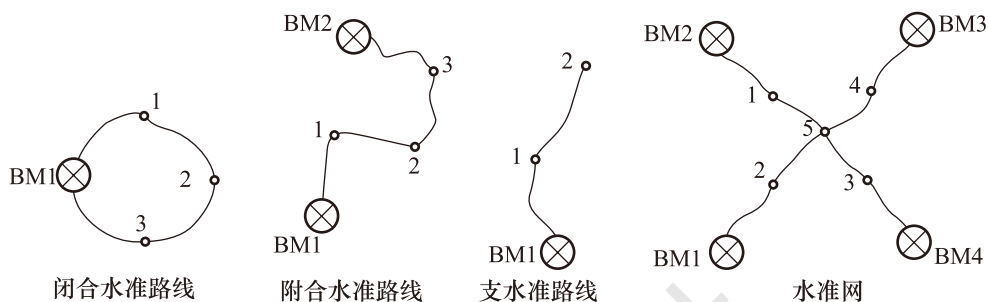


图 1-11

1. 闭合水准路线计算

例：如图 1-12 所示，一闭合水准路线各段高差观测值及其长度均注于图中，已知水准点 BM5 的高程为 37.141 m，求 1、2、3 点高程。

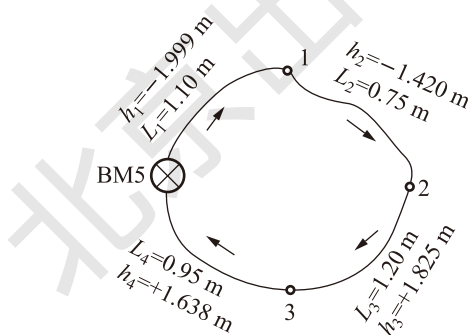


图 1-12

现结合表 1-4 说明闭合水准路线高差闭合差调整与高程的计算方法和步骤：

① 计算路线闭合差 f_h ：

$$f_h = \sum h_{\text{测}} = +44 \text{ mm}$$

$$f_{h\text{允}} = \pm 40\sqrt{L} \text{ mm} = \pm 80 \text{ mm}$$

可见 $f_h < f_{h\text{允}}$ ，说明成果符合要求。

表 1-4 闭合水准路线高差闭合差调整与高程计算

点号	距离(m)	高差观测值 (m)	高差改正数 (m)	改正后高差 (m)	高程 (m)	已知点高程
BM5	1.10	-1.999	-0.012	-2.011	37.141	$H_{BM5} = 37.141\text{ m}$
1	0.75	-1.420	-0.008	-1.428	35.130	
2					33.702	
3	1.20	+1.825	-0.013	+1.812	35.514	
BM5	0.95	+1.638	-0.011	+1.627	37.141	
Σ	4.00	+0.044	-0.044	0	——	

②计算高差闭合差改正数 v_i :

改正数 v_i 与闭合差符号相反，且改正数 v_i 数值总和与闭合差相等。在同一水准路线上，一般可认为观测条件是相同的，所以可认为误差的大小与路线的长度或者测站数成正比。这样闭合差的调整方法是：按与距离或者测站数成正比例、反符号分配，则各段路线高差闭合差的改正数 v_i 为：

$$v_i = -\frac{f_h}{\sum L} L_i \text{ 或 } v_i = -\frac{f_h}{\sum n} n_i$$

式中， $\sum L$ 为水准路线的总长， L_i 为各测段距离； $\sum n$ 为水准路线测站数总和， n_i 为各测段的测站数。分配完后，必须满足 $\sum v = -f_h$ ，否则说明计算有误，应重新计算。

- ③计算改正后高差：高差观测值 + 高差改正数，即为改正后的高差。
- ④计算待测点高程：前一点高程 + 两点间改正后高差，即为最终各测点的高程。

2. 附和水准路线计算

①计算路线高差闭合差 f_h :

$$f_h = \sum h_{\text{测}} - (H_{\text{终}} - H_{\text{始}})$$

②、③、④与闭合路线相同。

3. 支水准路线计算

①计算路线高差闭合差 f_h :

$$f_h = |\sum h_{\text{往}} - \sum h_{\text{返}}|$$

②计算高差值：

取各测段往返测高差中数（往返测高差绝对值之和的平均值）作为本测段的高差，符号以往测为准。

③计算各测点高程值：

由起始点高程往后推算，即：
前一点高程 + 两点间高差 = 后一点高程

六、相关的技术标准

应符合《工程测量规范》(GB 50026—2007) 相关规定。

1. 一般规定

(1) 高程控制测量精度等级的划分, 依次为二、三、四、五等。各等级高程控制宜采用水准测量, 四等及以下等级可采用电磁波测距三角高程测量, 五等也可采用 GPS 拟合高程测量。

(2) 首级高程控制网的等级, 应根据工程规模、控制网的用途和精度要求合理选择。首级网应布设环形网, 加密网宜布设成附和路线或结点网。

(3) 测区的工程系统, 宜采用 1985 国家高程基准。在已有高程控制网的地区测量时, 可沿用原有的高程系统; 当小测区联测有困难时, 也可采用假定高程系统。

(4) 高程控制点间的距离, 一般地区应为 $1 \sim 3 \text{ km}$, 工业厂区、城镇建筑区宜小于 1 km 。但一个测区及周围至少应有 3 个高程控制点。

2. 水准测量

(1) 水准测量的主要技术要求应符合表 1-5 的规定。

表 1-5 水准测量的主要技术要求

等级	每千米高差全中误差(mm)	路线长度(km)	水准仪的型号	水准尺	观测次数		往返较差、附和或环绕闭合差	
					与已知点联测	附和或环绕	平地(mm)	山地(mm)
二等	2	—	DS ₁	钢瓦	往返各一次	往返各一次	$4\sqrt{L}$	—
三等	6	≤ 50	DS ₁	钢瓦	往返各一次	往一次	$12\sqrt{L}$	$4\sqrt{n}$
			DS ₃	双面		往返各一次		
四等	10	≤ 16	DS ₃	双面	往返各一次	往一次	$20\sqrt{L}$	$6\sqrt{n}$
五等	15	—	DS ₃	单面	往返各一次	往一次	$40\sqrt{L}$	—

注: 1. 结点之间或结点与高级点之间, 其路线的长度不应大于表中规定的 0.7 倍。

2. L 为往返测段, 附和或环线的水准路线长度(km); n 为测站数。

(2) 水准测量使用的仪器及水准尺, 应符合下列规定:

①水准仪视线轴与水准管轴的夹角 i , DS₁ 型不应超过 $15''$, DS₃ 型不应超过 $20''$ 。

②补偿式自动安平水准仪的补偿误差 Δa 对于二等水准不应超过 $0.2''$, 三等不应超过 $0.5''$ 。

③水准尺上的米间隔平均长与名义长之差, 对于钢瓦水准尺, 不应超过 0.15 mm ; 对于条形码尺, 不应超过 0.10 mm ; 对于木质双面水准尺, 不应超过 0.5 mm 。

(3) 水准点的布设与埋石, 除满足上述规定外还应符合下列规定:

①应将点位选在土质坚实、稳固可靠的地方或稳定的建筑物上, 且便于寻找、保存和引测; 当采用数字水准仪作业时, 水准路线还应避开电磁场的干扰。

- ②宜采用水准标石，也可采用墙水准点。标志及标石的埋设应符合相关的规定。
- ③埋设完成后，二、三等点应绘制控制点标记，其他控制点可视需要而定。必要时还应设置指示桩。
- (4) 水准观测，应在标石埋设稳定后进行。各等级水准观测的主要技术要求应符合表 1-6 的规定。

表 1-6 各等级水准观测的主要技术要求

等级	水准仪 型号	视线长 度 (m)	前后视的距 离较差 (m)	前后视的距离 较差累积 (m)	视线高地 面最低高度 (m)	基、辅分划 或黑红面读 数较差 (mm)	基、辅分划或 黑红面所测高 差较差 (mm)
二等	DS ₁	50	1	3	0.5	0.5	0.7
三等	DS ₁	100	3	6	0.3	1.0	1.5
	DS ₃	75				2.0	3.0
四等	DS ₃	100	5	10	0.2	3.0	5.0
五等	DS ₃	100	近似相等	—	—	—	—

注：1. 二等水准视线长度小于 20 m 时，其视线高度不应低于 0.3 m。

2. 三、四等水准采用变动仪器高度观测单面水准尺时，所测两次高度较差，应与黑面、红面所测高度之差的要求相同。

3. 数学水准仪观测，不受基、辅分划或黑红面读数较差指标的限制，但测站两次观测的高差较差，应满足表中相应等级基、辅分划或黑红面所测高差较差的限值。

- (5) 水准测量的数据处理，应符合下列规定：
- ①当每条水准路线分测段施测时，应按下面公式计算每千米水准测量的高差偶然中误差，其绝对值不应超过上表中相应等级每千米高差全中误差的 1/2。

$$M_{\Delta} = \sqrt{\frac{1}{4n} \left[\frac{\Delta\Delta}{L} \right]}$$

式中： M_{Δ} ——高差偶然中误差 (mm)；
 Δ ——测段往返高差不符值 (mm)；
 L ——测段长度 (km)；
 n ——测段数。

- ②水准测量结束后，应按下面公式计算每千米水准测量高差全中误差，其绝对值不应超过上述的相应等级的规定。

$$M_W = \sqrt{\frac{1}{N} \left[\frac{WW}{L} \right]}$$

式中： M_W ——高差全中误差 (mm)；
 W ——附和或环线闭合差 (mm)；
 L ——计算各 W 时，相应的路线长度 (km)；
 N ——附和路线和闭合环的总个数。

③当二、三等水准测量与国家水准点附和时，高山地区除应进行正常水准面不平行修正外，还应进行其重力异常的归算修正。

④各等级水准网，应按最小二乘法进行平差并计算每千米高差全中误差。

⑤高程成果的取值，二等水准应精确至 0.1 mm，三、四、五等水准应精确至 1 mm。

职业技能知识点考核

一、单选题

- 在水准测量中，转点的作用是传递()。
A. 方向 B. 高程
C. 距离
- 圆状水准器轴是过圆状水准器内壁圆弧零点的()。
A. 切线 B. 球面法线
C. 垂线
- 水准测量时，为了消除*i*角误差对一测站高差值的影响，可将水准仪置在()处。
A. 靠近前尺 B. 两尺中间
C. 靠近后尺
- 产生视差的原因是()。
A. 仪器校正不完善 B. 物像与十字丝面未重合
C. 十字丝分划板位置不正确
- 高差闭合差的分配原则为()成正比例进行分配。
A. 与测站数 B. 与高差的大小
C. 与距离或测站数
- 消除视差的方法是()使十字丝和目标影像清晰。
A. 转动物镜对光螺旋 B. 转动目镜对光螺旋
C. 反复交替调节目镜及物镜对光螺旋

二、填空题

- A 点在大地水准面上，B 点在高于大地水准面 100 m 的水准面上，则 A 点的绝对高程是_____，B 点的绝对高程是_____。
- 水准路线按布设形式可以分为闭合水准路线、_____、支水准路线和水准网。
- 水准仪主要轴线之间应满足的几何关系为_____、_____、_____。
- 水准仪的主要轴线有_____、_____、_____、_____。
- 为了消除*i*角误差，每站前视、后视距离应_____，每测段水准路线的前视距

离和后视距离之和应_____。

三、简答题

1. 当采用双面尺法进行水准测量以确定两点间的高差时，一测站的主要观测步骤如何实现？如何进行观测数据的检核并计算两点间的高差？
2. 在测站搬设中，为什么前视尺立尺点尺垫不得变动？

北京出版社