水利水电工程施工测量规范

SL 52—93

1 总则 (50)
2 平面控制测量 (51)
3 高程控制测量 (62)
4 放样的准备与方法 (71)
5 开挖工程测量 (77)
6 立模与填筑放样 (80)
7 金属结构与机电设备安装测量 (84)
8 地下洞室测量 (87)
9 辅助工程测量 (92)
10 施工场地地形测量 (94)
11 疏浚及渠堤施工测量 (97)
12 施工期间的外部变形监测 (101)
13 竣工测量 (104)
附录A 平面控制的标墩与标志 (107)
附录B 测边网角条件自由项限值计算 (108)
附录C 高程控制点标志、标石埋设规格 (110)
附录D 测量仪器高、棱镜(觇牌)高的精密方法 (110)
附录E 平面位置放样操作方法的规定 (111)
附录F 平面放样方法精度估算公式 (113)
附录G 有关高程放样的精度估算公式 (116)
附录H 用钢带尺精密传递高程计算公式 (117)
附录I 用具有平行玻璃板的水准仪进行高程放样时的有关计算(以威尔特N3水准仪为例) (118)
附录J 钢带尺放样中的计算 (119)
附录K 光电测距边长和高差的各项改正值计算公式 (119)
附录L 像片控制点和标志 (121)
附录M 洞外、洞内导线贯通误差估算 (122)
附录N 沉降观测点设置和工程量计算方法 (123)
附加说明 (123)
主要符号 (124)
条文说明 (125)

中华人民共和国 水　利　部
电力工业部

关于颁发《水利水电工程施工测量规范》SL52—93的通知

水建[1993]330号

为推动水利水电工程施工测量技术的进步，保证施工测量的质量，水利部和原能源部委托水利水电长江葛洲坝工程局为主编单位，对原水利电力部水利水电建设总局局标准《水利水电工程施工测量规范》SDJS9—85进行了修订。该规范的修订送审稿已通过两部审查，现批准为行业标准，编号为SL52—93，自1993年12月1日起执行，原局标准同时废止。

本规范由主编单位负责解释，水利电力出版社负责出版发行。

1993年6月25日

1 总 则

1.0.1 本规范适用于水利水电工程施工阶段的测量工作。其内容包括总则、控制测量、放样的准备与方法、开挖工程测量、立模与填筑放样、金属结构与机电设备安装测量、地下洞室测量、辅助工程测量、施工场地地形测量、疏浚及渠堤施工测量、施工期间的外部变形监测、竣工测量。

1.0.2 施工测量工作应包括下列内容。

(1)根据工程施工总布置图和有关测绘资料，布设施工控制网。

(2)针对施工各阶段的不同要求，进行建筑物轮廓点的放样及其检查工作。

(3)提供局部施工布置所需的测绘资料。

(4)按照设计图纸、文件要求，埋设建筑物外部变形观测设施，并负责施工期间的观测工作。

(5)进行收方测量及工程量计算。

(6)单项工程完工时，根据设计要求，对水工建筑物过流部位以及重要隐蔽工程的几何形体进行竣工测量。

1.0.3 本规范以中误差作为衡量精度的标准，以两倍中误差为极限误差。

1.0.4 施工测量主要精度指标应符合表 1.0.4 的规定。

表 1.0.4 施工测量主要精度指标

序号	项目		精度指标			说明
			内容	平面位置中误差 (mm)	高程中误差 (mm)	
1	混凝土建筑物		轮廓点放样	±(20～30)	±(20～30)	相对于邻近基本控制点
2	土石料建筑物		轮廓点放样	±(30～50)	±30	相对于邻近基本控制点
3	机电设备与金属结构安装		安装点	±(1～10)	±(0.2～10)	相对于建筑物安装轴线和相对水平度
4	土石方开挖		轮廓点放样	±(50～200)	±(50～100)	相对于邻近基本控制点
5	局部地形测量		地物点	±0.75(图上)	—	相对于邻近图根点
			高程注记点		1/3 基本等高距	相对于邻近高程控制点
6	施工期间外部变形观测		水平位移测点	±(3～5)	—	相对于工作基点
			垂直位移测点	—	±(3～5)	相对于工作基点
7	隧洞贯通	相向开挖长度小于 4km	贯通面	横向±50 纵向±100	±25	横向、纵向相对于隧洞轴线。高程相对于洞口高程控制点
		相向开挖长度 4～8km	贯通面	横向±75 纵向±150	±38	

1.0.5　施工平面控制网坐标系统，宜与规划设计阶段的坐标系统一致，也可根据需要建立与规划设计阶段的坐标系统有换算关系的施工坐标系统。施工高程系统，必须与规划设计阶段的高程系统相一致，并应根据需要就近与国家水准点进行联测，其联测精度不宜低于本工程首级高程控制的要求。

1.0.6　局部建筑工程部位相对精度要求较高时，可单独建立高精度的控制网。控制网应结合实际情况进行专门设计。

1.0.7　水利水电工程各项施工测量工作，除使用本规范所规定的方法外，亦可采用能满足本规范精度要求，并经过实践验证的新技术、新方法。

1.0.8　施工测量人员应遵守下列准则。

(1)在各项施工测量工作开始之前，应熟悉设计图纸，了解规范的规定，选择正确的作业方法，制定具体的实施方案。

(2)对所有观测数据，应随测随记、严禁转抄、伪造。文字与数字应力求清晰、整齐、美观。对取用的已知数据、资料均应由两人独立进行百分之百的检查、核对，确信无误后方可提供使用。

(3)对所有观测记录手簿，必须保持完整，不得任意撕页，记录中间也不得无故留下空页。

(4)施工测量成果资料(包括观测记簿、放样单、放样记载手簿)，图表(包括地形图、竣工断面图、控制网计算资料)应予统一编号，妥善保管，分类归档。

(5)现场作业时，必须遵守有关安全、技术操作规程，注意人身和仪器的安全，禁止冒险作业。

(6)对于测绘仪器、工具应精心爱护，及时维护保养，做到定期检验校正，保持良好状态。对精密仪器应建立专门的安全保管、使用制度。

2　平面控制测量

2.1　一般规定

2.1.1　平面控制网的精度指标及布设密度，应根据工程规模及建筑物对放样点位的精度要求确定。

2.1.2　平面控制网的等级，依次划分为二、三、四、五等测角网、测边网、边角网或相应等级的光电测距导线网，其适用范围按表2.1.2执行。

表2.1.2　各等级首级平面控制网适用范围

工程规模	混凝土建筑物	土石建筑物
大型水利水电工程	二	二～三
中型水利水电工程	三	三～四
小型水利水电工程	四～五	五

对于特大型的水利水电工程，也可布设一等平面控制网，其技术指标应专门设计。

各种等级(二、三、四、五)、各种类型(测角网、测边网、边角网或导线网)的平面控制网、均可选为首级网。

2.1.3 平面控制网的布设梯级，可根据地形条件及放样需要决定，以1～2级为宜。但无论采用何种梯级布网，其最末级平面控制点相对于同级起始点或邻近高一级控制点的点位中误差不应大于±10mm。

对于水工隧洞地面控制网，其相邻洞口点的点位中误差见表8.1.3。

2.1.4 首级平面控制网的起始点，应选在坝轴线或主要建筑物附近。以使最弱点远离坝轴线或放样精度要求较高的地区。

2.1.5 独立的平面控制网，应利用勘测设计阶段布设的测图控制点，作为起算数据，在条件方便时，可与邻近的国家三角点进行联测。其联测精度应不低于国家四等网的要求。

2.1.6 平面控制网建立后，应定期进行复测，尤其在建网一年后或大规模开挖结束后，必须进行一次复测。若使用过程中发现控制点有位移迹象时，应及时复测。

2.1.7 平面控制网的观测资料，可不作椭圆投影改正。采用平面直角坐标系统在平面上直接进行计算。但观测边长应投影到测区所选定的高程面上。

2.2 技术设计

2.2.1 平面控制网的技术设计应在全面了解工程建筑物的总体布置，工区的地形特征及施工放样精度要求的基础上进行。设计前应搜集下列资料。

(1)施工区现有地形图和必要的地质资料。

(2)规划设计阶段布设的平面和高程控制网成果。

(3)枢纽建筑物总平面布置图。

(4)有关的测量规范和招投标文件资料。

2.2.2 四等以上平面控制网布设前，应按下列程序进行精度估算，选定最优方案。

(1)在图上或野外实地选点、确定各待定平面控制点的近似坐标。

(2)选定网的等级和类型，确定各观测量的先验权。

(3)解算未知参数的协因数阵，计算各点的点位中误差或误差椭圆元素并与本规范的规定精度作比较。

(4)若不能满足规范要求时，调整图形结构、改变网的类型或改变各观测元素的先验权，重复(2)、(3)项工作，直至满足规定的精度为止。

2.2.3 直线形建筑物的主轴线或其平行线，应尽量纳入平面控制网内。

2.2.4 布设测角网的技术要求如下：

(1)测角网宜采用近似等边三角形、大地四边形、中心多边形等图形组成。三角形内角不宜小于30°。如受地形限制，个别角也不应小于25°。

(2)测角网的起始边，应采用光电测距仪测量，坡度应满足下列要求：

二等起始边坡度应小于5°

三等起始边坡度应小于7°

四等起始边坡度应小于 10°

当测距边坡度超过以上规定时，天顶距的观测精度或水准测量精度，应另作专门计算。

(3)各等级测角网的主要技术要求应符合表 2.2.4 的规定。

表 2.2.4　测角网技术要求

等级	边长 (m)	起始边相对中误差	测角中误差 (")	三角形最大闭合差 (")	测回数	
					DJ_1	DJ_2
二	500～1500	1/30 万	±1.0	±3.5	9	—
三	300～1000	1/15 万(首级) 1/13 万(加密)	±1.8	±7.0	6	9
四	200～800	1/10 万(首级) 1/7 万(加密)	±2.5	±9.0	4	6
五	100～500	1/4 万	±5.0	±15.0	—	4

2.2.5　布设测边网的技术要求如下：

(1)测边网也应重视图形结构。三角形各内角宜在 30°～100°之间，当图形欠佳时，要加测对角线边长或采取其它措施加以改善。

(2)对于四等以上测边网，要在一些三角形中，以相应等级测角网的测角精度观测一个较大的角度(接近 100°)作为校核。校核公式见 2.6 节。

(3)测边网中的每一个待定点上，至少要有一个多余观测。不允许布设无多余观测的单三角锁。

(4)各等级测边网的布设应符合表 2.2.6 的要求。

2.2.6　布设边角网的技术要求：

(1)边角网的测角与测边的精度匹配，应符合下列要求：

$$\frac{m_\beta}{\sqrt{2}\rho''}=\frac{m_s}{S\times10^3}\text{或}\frac{m_i}{\rho''}=\frac{m_s}{S\times10^3} \tag{2.2.6}$$

式中　m_β、m_i——相应等级控制网的测角中误差、方向中误差(")；

m_s——测距中误差，mm；

S——测距边长，m；

ρ——206265。

(2)各等级边角网、测边网的主要技术要求应符合表 2.2.6 的规定。

表 2.2.6　边角网、测边网技术要求

等　级	边　长 (m)	测角中误差 (")	平均边长相对中误差	测距仪等级	测回数		
					边　长	天顶距	
						DJ_1	DJ_2
二	500～1500	±1.0	1/25 万	1～2	往返各 2	4	
三	300～1000	±1.8	1/15 万	2	往返各 2	3	4
四	200～800	±2.5	1/10 万	2～3	往返各 2	—	3
五	100～500	±5.0	1/5 万	3～4	往返各 2	—	2

注：1. 光电测距仪一测回的定义为：照准一次，读数四次。

2. 测距仪分级技术规格见表 2.5.1。

(3)边角网方向观测的测回数,应符合表 2.2.4 的要求。

(4)各站仪器高、棱镜高(觇牌高)的丈量误差对于二、三等网不应大于 1mm,四、五等网不应大于 2mm。

(5)除二、三等网以外,可用不同时段的单向测距代替往返测距。

2.2.7 三、四、五等平面控制网,可用相应等级的导线网来代替。导线网的布设,应符合以下规定:

(1)当导线网作为首级控制时,应布设成环形结点网,各导线环的长度不应大于表2.2.7中规定总长的 0.7 倍。

(2)加密导线,宜以直伸形状布设,附合于首级网点上。各导线点相邻边长不宜相差过大。

(3)导线网的精度指标和技术要求,应符合表 2.2.7 的规定。

表 2.2.7 光电测距附合(闭合)导线技术要求

等级	附合(闭合)导线总长(km)	平均边长(m)	测角中误差(")	测距中误差(mm)	全长相对闭合差	方位角闭合差(")	测距要求	
							测距仪等级	测回数
三	3.2	400	1.8	5	1/55000	$\pm 3.6\sqrt{n}$	2	2
	3.5	600		5	1/60000		2	2
	5.0	800		2	1/70000		1	2
四	1.8	300	2.5	7	1/35000	$\pm 5\sqrt{n}$	3	2
	3.0	500		5	1/45000		2	2
	3.5	700		5	1/50000		2	2
五	2.0	200	5	10	1/18000	$\pm 10\sqrt{n}$	3~4	2
	2.4	300		10	1/20000		3~4	2
	3.0	500		7	1/25000		3	2

注:表中所列的技术要求,符合最弱点点位中误差不大于 10mm(三、四等)和±20mm(五等)。

2.2.8 五等测角网的起始边,可用鉴定过的钢尺丈量,钢尺的鉴定期一般不超过一年。鉴定相对中误差不大于 1/10 万。其主要技术要求应符合表 2.2.8 的规定。

表 2.2.8 钢尺丈量起始边的技术要求

作业尺数	丈量总次数	定线误差(mm)	尺段高差误差(mm)	读定次数	估读(mm)	温度读至(℃)	同尺各次或同段各尺较差(mm)	丈量方法	边长丈量较差相对中误差
2	2	50	3	3	0.5	0.5	2	悬空	1:3万

2.3 平面控制网选点、埋设及标志

2.3.1 平面控制点应选在通视良好、交通方便,地基稳定且能长期保存的地方,视线离障碍

物(上、下和旁侧)不宜小于 2.0m。

2.3.2 对于能够长期保存、离施工区较远的平面控制点,应着重考虑图形结构和便于加密;而直接用于施工放样的控制点则应着重考虑方便放样,尽量靠近施工区并对主要建筑物的放样区组成的图形有利。

控制点的分布,应做到坝轴线以下的点数多于坝轴线以上的点数。

2.3.3 位于主体工程附近的各等级控制点和主轴线标志点,应埋设具有强制归心装置的混凝土观测墩。其它部位可根据情况埋设暗标或半永久标志。对于首级网,同一等级的控制点应埋设相同类型的标志。

2.3.4 各等级控制点周围应有醒目的保护装置,以防止车辆或机械的碰撞。在有条件的地方可建造观测棚。

2.3.5 观测墩上的照准标志,可采用各式垂直照准杆,平面觇牌或其它形式的精确照准设备。照准标志的形式、尺寸、图案和颜色,应与边长和观测条件相适应,图样按附录 A 的规定执行。

2.3.6 照准标志底座平面应埋设水平。其不平度应小于 10′。照准标志中心线与标志点的偏差不得大于 1.0mm。

2.3.7 对于测边网或边角网,其点位的选择,还应注意以下几点。

(1)视线应避免通过吸热、散热不同的地区,如烟囱等。

(2)视线上不应有任何障碍物,如树枝、电线等,并应避开强电磁场的干扰,如高压线等。

(3)测距边的倾角不宜太大,可参照本规范 2.2.4(2)款的要求放宽 3°～4°。

2.4 水平角观测

2.4.1 水平角观测前,必须对经纬仪进行检验和校正。检验项目和检验方法按《国家三角测量和精密导线测量规范》规定执行。

2.4.2 水平角观测应遵守下列规定。

(1)观测应在成像清晰,目标稳定的条件下进行。晴天的日出、日落和中午前后,如果成像模糊或跳动剧烈,不应进行观测。

(2)应待仪器温度与外界气温一致后开始观测。观测过程中,仪器不得受日光直接照射。

(3)仪器照准部旋转时,应平稳匀速;制动螺旋不宜拧得过紧;微动螺旋应尽量使用中间部位。精确照准目标时,微动螺旋最后应为旋进方向。

(4)观测过程中,仪器气泡中心偏移值不得超过一格。当偏移值接近限值时,应在测回之间重新整置仪器。

(5)对于二等平面控制网,目标垂直角超过±3°时,应在瞄准每个目标后读定气泡的偏移值,进行垂直轴倾斜改正。对于三、四等三角网的角度观测,当目标垂直角超过±3°时,每测回间应重新整置仪器,使水准气泡居中。

2.4.3 水平角观测一般采用方向观测法,其操作步骤如下。

(1)将仪器照准零方向标志,按度盘配置表配置度盘和测微器读数。

(2)顺时针方向旋转照准部 1～2 周后精确照准零方向标志,并进行水平度盘、测微器读数(照准二次,各读数一次)。(五等三角测量可只照准读数一次)。

(3)顺时针方向旋转照准部，精确照准第 2 方向标志，按(2)款方法进行读数；顺时针方向旋转照准部依次进行第 3、4、……、n 方向的观测，最后闭合至零方向(当观测方向数小于或等于 3 时，可不闭合至零方向)。

(4)纵转望远镜，逆时针方向旋转照准部 1～2 周后，精确照准零方向，按(2)款方法进行读数。

(5)逆时针方向旋转照准部，按上半测回观测的相反次序依次观测至零方向。

以上操作为一测回。

2.4.4 水平方向观测应使各测回读数均匀地分配在度盘和测微器的不同位置上，各测回间应将度盘位置变换一个角度 δ，计算公式如下：

$$\delta=\frac{180^\circ}{m}(j-1)+i(j-1)+\frac{w}{m}\left(j-\frac{1}{2}\right) \tag{2.4.4}$$

式中 m——测回数；

j——测回序号($j=1、2\cdots\cdots m$)；

i——水平度盘最小间隔分划值，$DJ_1=4'$，$DJ_2=10'$；

w——测微盘分格数值，DJ_1 型为 60 格，DJ_2 型为 600″。

2.4.5 若测站方向数超过 6 个时，应分组进行观测。分组观测时应包括两个共同方向，其中一个为共同零方向。其两组共同方向观测角之差，不应大于同等级测角中误差的两倍。采用方向观测法其主要技术要求应符合表 2.4.5 的规定。

表 2.4.5 水平角方向观测法技术要求

等级	经仪型号	光学测微器两次重合读数差(″)	两次照准读数差(″)	半测回归零差(″)	一测回中 2c 较差(″)	同方向值各测回互差(″)
二、三、四	DJ_1	1	4	6	9	6
	DJ_2	3	6	8	13	9
五	DJ_2	3	6	8	13	9
	DJ_6	—	12	18	—	24

注：当观测方向的垂直角大于±3°时，该方向的 2c 较差，按相邻测回同方向进行比较，其差值仍应符合上表规定。

2.4.6 水平角观测误差超过表 2.4.5 要求时，应在原来度盘位置上进行重测，并符合下列规定：

(1)上半测回归零差或零方向 2c 超限，该测回应立即重测，但不计重测测回数。

(2)同测回 2c 较差或各测回同一方向值较差超限，可重测超限方向(应连测原零方向)。一测回中，重测方向数，超过测站方向总数的 1/3 时，该测回应重测。

(3)因测错方向、读错、记错、气泡中心位置偏移超过一格或个别方向临时被挡，均可随时进行重测。

(4)重测必须在全部测回数测完后进行。当重测测回数超过该站测回总数的 1/3 时，该站应全部重测。

2.4.7 观测导线水平角，应遵守下列规定：

(1)观测导线转折角时，若方向数为 2，采用左、右角观测法，当方向数多于 2 时，采用方向观测法，其测回数和观测限差与相应等级的三角测量相同。

(2)观测四等以上导线水平角时，应在观测总测回数中，按奇数测回和偶数测回分别观测导线前进方向的左角和右角。观测右角时仍以左角起始方向为准换置度盘位置。左角和右角分别取中数后相加，其与 360°的差值不应超过本等级测角中误差的两倍。

(3)如果导线较长，且导线通过地区有明显的旁折光影响时，应将总的测回数分为日、夜各观测一半。

(4)在短边的情况下，应采用三联脚架法观测。

2.4.8 观测手簿的记录、检查和观测数据的划改，应遵守下列规定：

(1)水平角观测的秒值读、记错误，应重新观测，度分读、记错误可在现场更正。但同一方向盘左、盘右不得同时更改相关数字。

(2)天顶距观测中，分的读数在各测回中不得连环更改。

(3)距离测量中，每测回开始要读、记完整的数字，以后可读、记尾数。厘米以下数字不得划改。米和厘米部分的读、记错误，在同一距离的往返测量中，只能划改一次。

2.4.9 水平角观测结束后，其测角中误差按下列公式计算。

(1)三角网测角中误差：

$$m_\beta = \pm\sqrt{\frac{[ww]}{3n}} \qquad (2.4.9\text{-}1)$$

(2)导线(网)测角中误差的计算方法分两种情况。

a. 按左、右角闭合差计算：

$$m_\beta = \pm\sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{2n}} \qquad (2.4.9\text{-}2)$$

b. 按导线方位角闭合差计算：

$$m_\beta = \pm\sqrt{\left[\frac{f_\beta f_\beta}{n}\right]/N} \qquad (2.4.9\text{-}3)$$

式中 w——三角形闭合差；

Δ——左、右角之和与 360°之差；

f_β——附合导线(或闭合导线)的方向角闭合差；

n——三角形个数或计算 f_β 的测站数；

N——附合导线或闭合导线环的个数。

2.5 光电测距

2.5.1 根据测距仪出厂的标称精度的绝对值，按 1km 的测距中误差，测距仪的精度分为四级，其技术规格应符合表 2.5.1 的规定。

表 2.5.1 测距仪分级技术规格

测距中误差(mm)	测距仪精度等级
$\lvert m_D\rvert \leqslant 2$	1
$2 < \lvert m_D\rvert \leqslant 5$	2
$5 < \lvert m_D\rvert \leqslant 10$	3
$\lvert m_D\rvert > 10$	4

仪器的标称精度表达式为

$$m_D = \pm(a + bD)$$

式中 a——标称精度中的固定误差，mm；

b——标称精度中的比例误差系数，mm/km；

D——测距长度，km。

测距前，应根据距离测量的精度要求，按上述标称精度表达式，正确地选择仪器型号。

2.5.2 测距仪及辅助工具的检校。

(1)新购置的仪器或大修后，应进行全面检校。

(2)进行四等以上控制网的距离测量前，必须将测距仪送有关检验机构进行全面的检验，获得加、乘常数和周期误差等数据。

(3)测距使用的温度计、气压计等也应送计量部门进行检测。

2.5.3 测距作业应注意事项：

(1)测距前应先检查电池电压是否符合要求。在气温较低的条件下作业时，应有一定的预热时间。

(2)测距仪的测距头、反射棱镜等应按出厂要求配套使用。未经验证，不得与其它型号的相应设备互换使用。

(3)测距应在成像清晰、稳定的情况下进行。雨、雪及大风天气不应作业。

(4)反射棱镜背面应避免有散射光的干扰，镜面不得有水珠或灰尘沾污。

(5)晴天作业时，测站主机必须打伞遮阳，不宜逆光观测。严禁将测距头对准太阳。架设仪器后，测站、镜站不得离人。迁站时，必须取下测距头。

(6)观测时气象数据的测取及各项观测限差应符合表 2.5.3 的规定，若出现超限时，应重新观测。当观测数据出现分群现象时，应分析原因，待仪器或环境稳定后重新进行观测。

表 2.5.3 测距作业技术要求

项目	气象数据测定				一测回读数较差限值 (mm)	测回间较差限值 (mm)	往返或光段较差限值 (mm)
三角网等级 测距仪等级	温度最小读数 (℃)	气压最小读数 (Pa)	测定时间间隔	数据取用			
二 1～2	0.5	50	每边观测始末	每边两端平均值	2	3	$2(a+b\cdot D)$
三 2	0.5	50	每边观测始末	每边两端平均值	3	5	
四 2～3	1.0	100	每边测定一次	测站端观测值	5	7	
五 3	1.0	100	每边测定一次	测站端观测值	5	7	

注：往返较差必须将斜距化算到同一高程面上后方可进行比较。

(7)温度计应悬挂在测站(或镜站)附近，离开地面和人体 1.5m 以外的阴凉处，读数前必须摇动数分钟；气压表要置平，指针不应滞阻。

2.5.4 测距边的归算应遵守下列规定：

(1)经过气象、加常数，乘常数(必要时顾及周期误差)改正后的斜距，才能化为水平

距离。

(2)测距边的气象改正按仪器说明书给出的公式计算。

(3)测距边的加、乘常数改正应根据仪器检验的结果计算。

(4)测距边的倾斜改正、投影改正计算方法见附录K。

2.5.5 测距边的精度评定，按下列公式计算。

(1)一次测量观测值中误差：

$$m_D=\pm\sqrt{\frac{[Pdd]}{2n}} \tag{2.5.5-1}$$

对向观测平均值中误差：

$$m_D=\pm\frac{1}{2}\sqrt{\frac{[Pdd]}{n}} \tag{2.5.5-2}$$

(2)任一边的实际测距中误差：

$$m_{S_1}=\pm m_D\sqrt{\frac{1}{P_{Di}}} \tag{2.5.5-3}$$

式中 d——各边往返测水平距离的较差；

n——测边数；

P——各边距离测量的先验权，令 $P=\frac{1}{m_D^2}$，m_D 可按测距仪的标称精度计算；

P_D——第 i 边距离测量的先验权。

2.6 成果的验算和平差计算

2.6.1 平差计算前，应对外业观测记录手簿、平差计算起始数据，再次进行百分之百的检查校对。如用电子手簿记录时，应对输出的原始记录进行校对。

2.6.2 控制网各项外业观测结束后，应进行各项限差的验算。

(1)测角网。

a. 极条件自由项的限值：

真数：
$$W_j=\pm 2\frac{m_\beta}{\rho''}\sqrt{\Sigma\mathrm{ctg}^2\beta} \tag{2.6.2-1}$$

对数：
$$W_j=\pm 2m_\beta\sqrt{[\delta\delta]} \tag{2.6.2-2}$$

b. 边(基线)条件自由项的限值：

真数：
$$W_D=\pm 2\sqrt{\frac{m_\beta^2}{\rho^2}\Sigma\mathrm{ctg}^2\beta+\left(\frac{m_{S_1}}{S_1}\right)^2+\left(\frac{m_{S_2}}{S_2}\right)^2} \tag{2.6.2-3}$$

对数：
$$W_D=\pm 2\sqrt{m_\beta^2[\delta\delta]+m_{\lg S_1}^2+m_{\lg S_2}^2} \tag{2.6.2-4}$$

c. 方位角条件自由项的限值：

$$W_f=\pm 2\sqrt{m_{\alpha_1}^2+m_{\alpha_2}^2+n\cdot m_\beta^2} \tag{2.6.2-5}$$

d. 固定角条件自由项的限值：

$$W_g=\pm 2\sqrt{m_g^2+m_\beta^2} \tag{2.6.2-6}$$

式中 m_β——相应等级的测角中误差；

δ——求距角正弦对数的一秒表差；

m_S——测距中误差；

$m_{\lg S_1}$、$m_{\lg S_2}$——起始边边长对数中误差；

m_{a_1}、m_{a_2}——起始边方位角中误差；

m_g——固定角的角度中误差；

n——推算路线所经过的测站数；

β——求距角；

$\frac{m_{S1}}{S_1}$、$\frac{m_{S2}}{S_2}$——起始边边长相对中误差。

(2)边角网和测边网。

a. 边角网边条件自由项限值：

按角度平差：

$$W_S=\pm 2\sqrt{m_\beta^2[\delta\delta]+m_S^2[\delta_S\delta_S]} \qquad (2.6.2\text{-}7)$$

按方向平差：

$$W_S=\pm 2\sqrt{m_i^2[\delta\delta]+m_S^2[\delta_S\delta_S]} \qquad (2.6.2\text{-}8)$$

b. 观测角与边长计算所得角值的限差：

$$W_T=\pm 2\sqrt{2\left(\frac{m_S}{S}\rho''\right)^2(\mathrm{ctg}^2\alpha+\mathrm{ctg}^2\beta+\mathrm{ctg}\alpha\cdot\mathrm{ctg}\beta)+m_\beta^2} \qquad (2.6.2\text{-}9)$$

c. 测边网角条件(包括圆周角条件与组合角条件)自由项的限值计算见附录 B。

式中 m_i、m_β——相应等级规定的方向中误差和测角中误差；

δ、δ_S——求距角正弦对数的秒差和条件方程式中边长改正数系数；

$\frac{m_S}{S}$——各边的平均测距相对中误差；

α、β——除观测角外的另外两个角。

(3)导线网。

a. 导线方位角条件自由项限值：

$$W_{方}=\pm 2\sqrt{nm_\beta^2+m_{a1}^2+m_{a2}^2} \qquad (2.6.2\text{-}10)$$

b. 导线闭合图形的自由项限值：

$$W_{图}=\pm 2m_\beta\sqrt{n} \qquad (2.6.2\text{-}11)$$

式中 n——导线测站数；

m_β——相应等级导线规定的测角中误差；

m_{a_1}、m_{a_2}——附合导线两端已知方位角的中误差。

2.6.3 测角网、测边网按等权进行平差。边角网和导线网的定权，可根据情况，从下列三种方法中选择。

(1)根据先验方差定权。即令 $P_\beta=1$

则　　$P_S=m_\beta^2/m_S^2$　　(2.6.3-1)

或令　　$P_i=1$

则　　$P_S=m_i^2/m_S^2$　　(2.6.3-2)

式中　m_β、m_i——可按本规范第2.4.9条计算或取用相应等级的先验值；

m_S——可取用仪器的标称精度；

P_β——角度观测值的权；

P_i——方向观测值的权；

P_S——测距边观测值的权。

(2)先分别按测角网和测边网单独平差求得各自的方差估值 m_β(或 m_i)、m_S，然后按(1)款所列公式定权。

(3)在条件允许时，也可考虑按方差分量估计原理定权。

2.6.4　各等级平面控制网均应采用严密的平差方法。平差所用的计算程序应该是经过鉴定或验算证明是正确的程序。

2.6.5　根据平差方法评定三角网平差后的精度，一般应包含：单位权测角(或方向)中误差，各边边长中误差和方向中误差，各待定点点位中误差和各点的绝对(相对)误差椭圆元素。

2.6.6　内业计算数字取位的要求应符合表2.6.6的规定。

表2.6.6　内业计算数字取位要求

等　　级	观测方向值(″)	改　正　数		边长坐标值(mm)	方位角值(″)
		方向(″)	长度(mm)		
二	0.01	0.01	0.1	0.1	0.01
三～四	0.1	0.1	1.0	1.0	0.1
五	1	1	1.0	1.0	1.0

2.6.7　平面控制测量结束后，应对下列资料进行整理归档。

(1)平面控制网图及技术设计书。

(2)平差计算成果资料。

(3)外业观测记录手簿。

(4)技术工作小结。

2.7　主要轴线的测设

2.7.1　大坝、厂房、船闸、钢管道、机组、各种泄水建筑物如隧洞、水闸等的主要轴线点，均应由等级控制点进行精确的测定。

主要轴线点相对于邻近等级控制点的点位中误差，应符合表2.7.1的规定。

2.7.2　轴线点的测设方法应按等级控制网的要求，进行加密。事先应进行精度估算，确定作业方法和选用仪器的等级和型号。

2.7.3　主要轴线点的测设，可按下列步骤进行：

(1)根据轴线点的设计坐标值，进行初步实地定点。

(2)按本规范2.7.2的规定，精确测定该点的坐标值。当实测坐标值与设计坐标值之差

大于表 2.7.1 的限值时，将该点改正至设计位置，并重新进行检测，直至符合表 2.7.1 的规定为止。

表 2.7.1　主要轴线点点位中误差限值

轴　线　类　别	相对于邻近控制点点位中误差(mm)
土 建 轴 线	±17
安 装 轴 线	±10

2.7.4　轴线点应埋设固定标志。主要轴线每条至少要设三个固定标志。

3　高程控制测量

3.1　一般规定

3.1.1　高程控制网的等级，依次划分为二、三、四、五等。首级控制网的等级，应根据工程规模、范围大小和放样精度高低来确定，其适用范围，见表 3.1.1。

表 3.1.1　首级高程控制等级的适用范围

工　程　规　模	混凝土建筑物	土　石　建　筑　物
大型水利水电工程	二 或 三 等	三　等
中型水利水电工程	三　等	四　等
小型水利水电工程	四　等	五　等

3.1.2　高程控制设计

高程控制测量的精度应符合下列要求：

最末级高程控制点相对于首级高程控制点的高程中误差，对于混凝土建筑物应不大于±10mm，对于土石建筑物应不大于±20mm。在施工区以外，布设较长距离的高程路线时，可按(GB12897—91)《国家一、二等水准测量规范》和(GB12898—91)《国家三、四等水准测量规范》中规定的相应等级精度标准进行设计。对于水工隧洞高程控制测量的精度标准按本规范第 8 章的规定执行。

3.1.3　布设高程控制网时，首级网应布设成环形网，加密时宜布设成附合路线或结点网。其点位的选择和标志的埋设应遵守下列规定：

(1)各等级高程点宜均匀布设在大坝上下游的河流两岸。点位应选在不受洪水、施工影响，便于长期保存和使用方便的地点。四等以上高程点的密度视施工放样的需要确定。一般要求在每一个重要单项工程的部位至少有 1～2 个高程点。五等高程点的布置应主要考虑施工放样、地形测量和断面测量的使用。

(2)高程点可埋设预制标石，也可利用露头基岩、固定地物或平面控制点标志设置。埋设首级高程标石，必须经过一段时间，待标石稳定后才能进行观测。各等级高程点应统一编号。

高程标志、标石埋设的规格可参照附录C选用。

3.1.4 高程测量使用的水准仪、水准标尺、测距仪及其附件等应分别按《国家水准测量规范》及《中、短程光电测距规范》(ZBA76002—87)中有关规定进行检验与校正。

3.2 水准测量

3.2.1 等级水准测量的主要技术要求应符合表3.2.1的规定。

表3.2.1 等级水准测量的技术要求

等级		二	三	四	五
M_Δ(mm)		≤±1	±3	±5	±10
M_W(mm)		≤±2	±6	±10	±20
仪器型号		DS_{05},DS_1	DS_1,DS_3	DS_3	DS_3
水准尺		因瓦	因瓦、双面	双面	双面、单面
观测方法		光学测微法	光学测微法 中丝读数法	中丝读数法	中丝读数法
观测顺序		奇数站:后前前后 偶数站:前后后前	后前前后	后后前前	—
观测次数	与已知点联测	往返	往返	往返	往返
	环线或附合	往返	往返	往	往
往返较差、环线或附合线路闭合差(mm)	平丘地	$\pm4\sqrt{L}$	$\pm12\sqrt{L}$	$\pm20\sqrt{L}$	$\pm30\sqrt{L}$
	山地	—	$\pm3\sqrt{n}$	$\pm5\sqrt{n}$	$\pm10\sqrt{n}$

注:n——水准路线单程测站数,每km多于16站时,按山地计算闭合差限差。

3.2.2 等级水准测量测站的主要技术要求,应符合表3.2.2的规定。

表3.2.2 等级水准测量测站的技术要求

等级	二		三		四	五
仪器型号	DS_{05}	DS_1	DS_1	DS_3	DS_3	DS_3
视线长度(m)	≤60	≤50	≤100	≤75	≤80	≤100
前后视距差(m)	≤1.0		≤2.0		≤3.0	大致相等
前后视距累积差(m)	≤3.0		≤5.0		≤10.0	—
视线离地面最低高度(m)	下丝≥0.3		三丝能读数		三丝能读数	—
基辅分划(黑红面)读数较差(mm)	0.5		光学测微法 1.0 中丝读数法 2.0		3.0	—
基辅分划(黑红面)所测高差较差(mm)	0.6		光学测微法 1.5 中丝读数法 3.0		5.0	—

注:当采用单面标尺四等水准测量时,变动仪器高度两次所测高差之差与黑红面所测高差之差的要求相同。

3.2.3 水准测量所使用的仪器及水准尺,应符合下列技术要求:

(1)水准仪视准轴与水准管轴的夹角：DS_{05}、DS_1 型仪器不应大于±15″；DS_3 型不应大于±20″。

(2)二等水准采用补偿式自动安平水准仪，其补偿误差绝对值不应大于 0.2″。

(3)水准尺上的每米间隔平均长与名义长之差：对于因瓦水准尺不应大于±0.15mm，对于双面水准尺不应大于±0.5mm。

3.2.4 水准观测应注意下列事项：

(1)水准观测应在标尺成像清晰、稳定时进行，并用测伞遮蔽阳光，避免仪器曝晒。

(2)严禁为了增加标尺读数，把尺垫安置在沟边或壕坑中。

(3)同一测站观测时，不应两次调焦，转动仪器的倾斜螺旋和测微螺旋时，其最后均应为旋进方向。

(4)每一测段的往测与返测，测站数均应为偶数，否则应加入标尺零点差改正，由往测转向返测时，两标尺必须互换位置并应重新整置仪器。

(5)五等水准观测，可不受上述(3)、(4)款的限制。

3.2.5 观测成果的重测和取舍。

(1)因测站观测限差超限，在迁站前发现可立即重测，若迁站后发现，则应从高程点重新起测。

(2)往、返观测高差较差超限时应重测。二等水准重测后，应选用两次异向合格的结果，其它等级水准重测后，可选用两次合格的结果。如重测结果与原测结果分别比较，其较差均不超限时，应取三次结果的平均数。

3.2.6 水准测量路线需要跨过江、河、湖、泊和山谷等障碍物时，其测站视线长度，二等水准超过 100m，三、四等水准超过 200m 时，应按照 GB12897－91 和 GB12898－91 的规定执行。

3.3 光电测距三角高程测量

3.3.1 光电测距三角高程测量在水利水电施工高程控制测量中的应用范围：

(1)结合平面控制测量，将平面控制网布设成三维网(或二维网加三角高程网)。

(2)在施工区，可代替三、四、五等水准测量。

(3)在跨越江、河、湖、泊及障碍物传递高程时，可代替二、三、四、五等水准测量。

3.3.2 结合平面控制测量，布设三维网的技术要求，见表 2.2.6。

3.3.3 代替三、四、五等水准的光电测距三角高程测量，可采用单向、对向和隔点设站法进行，其技术要求应符合表 3.3.3 的规定，并注意以下几点：

(1)高程路线应起迄于高一级的高程点或组成闭合环。隔点设站法的测站数应为偶数。

(2)有关距离测量的技术要求，均按表 2.5.3 中相应等级的规定执行。

(3)精密丈量仪器高的方法见附录 D。

(4)当视线长度小于或等于 500m 时，可直接照准棱镜觇牌，视线长度大于 500m 时，应采用特制觇牌。

(5)采用隔点设站观测时，前、后视线长度应尽量相等，最大视距差不宜大于 40m，视线通过的地形剖面应相似、倾角宜相近。

(6)单向测量只能用于布设有校核条件的单点，不宜布设高程路线。

(7)视线通过沙漠、沼泽、干丘、……若对向(往返)观测高差较差超限，应分析原因，在排除可能发生粗差的条件下，可适当放宽。

表 3.3.3　光电测距三角高程测量的技术要求

等级	使用仪器	最大边长(m)			天顶距观测				仪镜高丈量精度(mm)	对向观测高差较差(mm)	附合或环线闭合差(mm)
		单向	对向	隔点设站	测回数		指标差较差(″)	测回差(″)			
					中丝法	三丝法					
三	DJ_1 DJ_2	—	500	300	4	2	9	9	±1	$\pm 50D$	$\pm 12\sqrt{(D)}$
四	DJ_2	300	800	500	3	2	9	9	±2	$\pm 70D$	$\pm 20\sqrt{(D)}$
五	DJ_2	1000	—	500	2	1	10	10	±2	—	$\pm 30\sqrt{(D)}$

注：D 为平距，以 km 计。

3.3.4　单向、对向光电测距三角高程测量，一测站的操作程序如下：

(1)仪器和棱镜(觇牌)架设好后，量取仪器高与棱镜(觇牌)高。

(2)读取测站的气象数据。

(3)观测斜距。

(4)观测天顶距(测完全部测回数)。

(3)、(4)款的观测程序可互换。

3.3.5　以隔点设站法施测三等高程路线时，一测站的操作程序规定如下：

(1)读取气象数据。

(2)照准后视棱镜(觇牌)标志，观测天顶距。

(3)照准前视棱镜(觇牌)标志，观测天顶距。

(4)观测前视斜距。

(5)观测后视斜距。

(6)仿(2)～(5)测完全部测回数。

以上简称为“后、前、前、后”法，对于四、五等高程测量，可采用“后、后、前、前”法，其它要求与三等相同。

3.3.6　用三丝法观测天顶距的步骤规定如下：

(1)望远镜在盘左位置概略瞄准目标，制动水平与垂直螺旋，然后旋转水平与垂直微动螺旋，使十字丝的上丝精确照准目标、读数。继则反时针方向旋出垂直微动螺旋，再一次旋入精确照准目标、读数。这样就完成了两次照准两次读数，两次读数之差不大于 3″。

(2)旋转垂直微动螺旋，分别用中丝和下丝各精确照准目标两次、读数两次。

(3)纵转望远镜，依相反的照准次序，瞄准各目标，但仍按上、中、下次序精确照准读数。

以上完成三丝一测回的观测工作。在盘左、盘右位置照准目标时，目标成像应位于竖丝的左、右附近的对称位置。仅用中丝法观测天顶距可参照(1)款步骤。

3.3.7　天顶距测量限差的比较与重测。

(1)测回差比较的方法为：同一方向，由各测回各丝所测得的全部天顶距结果互相比较。

(2)指标差互差的比较方法为仅在一测回内各方向按同一根水平丝所计算的结果进行

互相比较。

(3)重测规定：若一水平丝所测某方向的天顶距或指标差互差超限，则此方向须用中丝重测一测回。三丝法若在同方向一测回中有二根水平丝所测结果超限，则该方向须用三丝法重测一测回，或用中丝重测二测回。

3.4 跨河高程测量

3.4.1 采用光电测距三角高程测量方法，布设高程路线跨越河流、湖泊的宽度超过表3.3.3所规定的最大边长限值时，按本节规定执行。采用其它方法时，按GB12897—91和GB12898—91的规定执行。

3.4.2 跨河高程测量场地的选定应注意以下几点：

(1)跨河地点应尽量选择于路线附近江河最狭处，以便使用最短的跨河视线。

(2)视线不得通过大片草丛、干丘、沙滩的上方。

(3)视线距水面的高度，在跨河视线长度为500m时，不得低于3m，1000m时不得低于4m。当视线高度不能满足上述要求时，需埋设高木桩并建造牢固的观测台。

(4)跨河图形的布置应在大地四边形〔图3.4.2(*a*)〕、平形四边形〔图3.4.2(*b*)〕，等腰梯形〔图3.4.2(*c*)〕或"*Z*"字形〔图3.4.2(*d*)〕中选用。

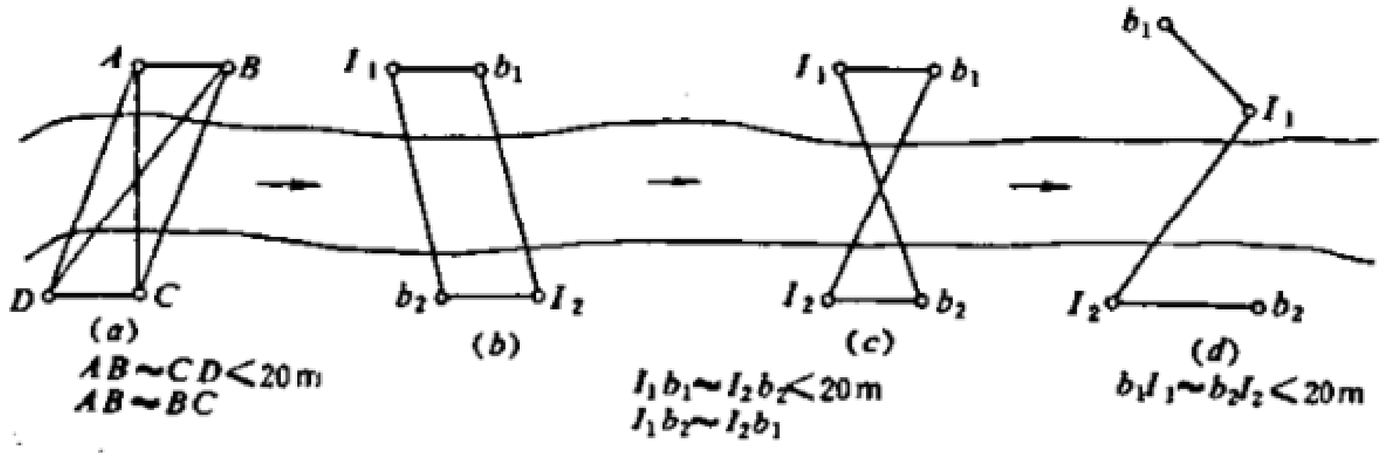


图3.4.2 跨河水准布置图

(*a*)大地四边形；(*b*)平行四边形；(*c*)等腰梯形；(*d*)"*Z*"字形

3.4.3 跨河高程测量的技术要求，应符合表3.4.3的规定。

表3.4.3 跨河高程测量的技术要求

高程等级	仪器类型		最大跨河视线长度(m)	测回数			天顶距观测				
	测距仪等级	经纬仪		距离	天顶距		两次照准两次读数差(")	指标差互差限值(")	同一标志测回差(")	最少时间段	独立测定组数
					中丝法	三丝法					
二	1～2	DJ_1 T2000	500	3	6	3	2	4	4	2	4
三	2	DJ_2 T1000	800	2	4	2	3	9	9	2	4
四	2～3	DJ_2	1000	2	3	2	3	9	9	1	2
五	4	DJ_2	1500	1	2	1	—	—	—	1	—

3.4.4 二等跨河高程测量的程序和方法。

方法一：距离和天顶距分别观测。

(1)准备工作。

a. 选择图 3.4.2(*a*)的大地四边形作为过河场地并埋设固定标志。

b. 用二等水准的精度测定同岸两点(*A*、*B* 和 *C*、*D*)之间的高差。

c. 在远标尺上的 2.500m 和 2.000m 处，分别精确安装两个特制觇牌。

(2)观测程序和方法。

a. 在 *A* 点设站，量测仪器高，测定远标尺 *C*、*D* 点上觇牌的天顶距 Z_{AC1}、Z_{AC2}和 Z_{AD1}、Z_{AD2}(Z_{AC1}、Z_{AC2}代表 *AC* 方向标尺上两个觇牌的天顶距，下同)。

b. 在 *B* 点设站，量测仪器高，仿 *a* 项测得 Z_{BC1}、Z_{BC2}和 Z_{BD1}、Z_{BD2}。

以上构成一组天顶距观测。

c. 仪器和尺子相互调岸。

d. 分别在 *C*、*D* 点设站按 *a*、*b* 项方法测定 Z_{CA1}、Z_{CA2}、Z_{CB1}、Z_{CB2}和 Z_{DA1}、Z_{DA2}、Z_{DB1}、Z_{DB2}。

以上构成两组天顶距观测。

剩余的观测量应在不同的时段继续进行。

e. 距离测量，按表 2.5.3 和表 3.4.3 的技术要求，分别测量 *AB*，*AC*，*AD* 及 *BC*，*BD*，*CD* 等边的距离，并读取气象数据。

方法二：距离和天顶距同时观测。

(1)准备工作。

a. 场地选择同方法一。

b. 准备三个棱镜(或一个棱镜，若干个觇牌)。

(2)观测程序和方法。

a. 在 *A* 点设站，量取仪器高。在 *B*、*C*、*D* 架设棱镜或觇牌，量取棱镜高(觇牌高)，读取气象数据。

b. 观测 *B*、*C*、*D* 三点的天顶距(测完全部测回数)。

c. 观测 *B*、*C*、*D* 三点的斜距。

d. 读取气象数据。

e. 在 *B* 点设站，*A* 点架设棱镜，*C*、*D* 点棱镜不动，量取仪器高、棱镜高(觇牌高)，读取气象数据。

f. 观测 *A*、*C*、*D* 三点的天顶距和斜距(测完全部测回数)。

g. 读取气象数据，以上组成一个独立的观测组。

h. 仪器、棱镜(觇牌)同时调岸。仪器分别架 *C*、*D* 二点，分别观测 *A*、*B*、*D* 三点的斜距和天顶距。

i. 在每一站量取仪器高、棱镜高(觇牌高)，在每一站观测工作的始末读取气象数据。

以上组成第二个独立观测组。

j. 选择另一个时间段，再观测两个独立的观测组。

3.4.5　三、四、五等跨河高程测量，一般按图 3.4.2(*b*)、图 3.4.2(*c*)或图 3.4.2(*d*)的布置方式进行，一测站的操作程序如下：

(1)置仪器于 I_1 点，观测本岸近标尺 b_1，照准棱镜(觇牌)，观测天顶距。

(2)瞄准对岸远标尺 b_2〔图 3.4.2(d)为 I_2〕,照准棱镜(觇牌),观测天顶距。

继续观测剩余的测回数,各测回连续观测时,相邻两测回间观测近标尺和远标尺的次序可以互换,直至观测完全部测回数。

(3)观测气象元素。

(4)测量仪器对远标尺和近标尺的斜距。

以上组成一组独立的观测值。

(5)仪器和标尺同时调岸。仪器架设于 I_2 点,先观测远标尺 b_1〔图 3.4.2(d)为 I_1 点〕,后观测近标尺 b_2,按(1)～(4)款分别观测仪器对 b_1、b_2 的天顶距和斜距。

对三、四等跨河高程测量,应选择另一时间段再进行上述的往返测,获得三、四组独立观测值。

3.4.6 采用光电测距三角高程测量方法进行跨河高程传递时,应注意下列事项:

(1)观测应在成像清晰,风力微弱的气象条件下进行,最好选在阴天为宜。

晴天观测应在日出后一小时至地方时 9 时 30 分止,下午自 15 时至日落前一小时止。且往返观测应在较短的时间间隔内进行。

(2)当过河点处于不稳定的地段时,应在附近稳定区选择监测点,并在跨河测量前后按相应等级对过河点进行监测。

(3)在调岸时,远标尺的特制觇牌在标尺上的位置,以及过河点上架设棱镜(对中杆)要严格保持其高度不变。

(4)在条件许可时,宜用两台同型号的仪器同时对向观测。

(5)二等跨河高程测量应精密丈量仪器高(见附录 D)和棱镜高(觇牌高)。精密丈量方法视情况而异,一般应将其点固定部分事先精密测定,活动部分在现场用小钢板尺量取。

3.4.7 按常规方法的跨河水准测量,其作业方法可参照 GB12897－91 和 GB12898－91 中的有关规定进行。

3.5 外业成果的整理与平差计算

3.5.1 高程测量应采用规定的手簿记录,并统一编号,手簿中记载项目和原始观测数据必须字迹清晰、端正,填写齐全。

3.5.2 高程测量观测、记录及计算小数位的取位,应符合表 3.5.2 的规定。

表 3.5.2 观测、记录及计算小数位取位的规定

高程等级	天顶距观测读数与记录小数位(″)	水准尺观测读数与记录小数位(mm)	往(返)测距离总和(km)	往(返)测距离中数(km)	各测站高差(mm)	往(返)测高差总和(mm)	往(返)测测高差中数(mm)	高差(mm)
二	0.01″ 0.1″	0.05 0.1	0.01	0.1	0.01	0.01	0.1	0.1
三	0.1 1.0	1.0	0.01	0.1	0.1	1.0	1.0	1.0
四、五	1.0	1.0	0.01	0.1	1.0	1.0	1.0	1.0

3.5.3 水准测量外业验算的项目包括下列内容:

(1)观测手簿必须经百分之百的检查，并由两人独立编制高差和高程表。

(2)根据测段往返测高差不符值(Δ)计算每公里高程测量高差中数的偶然中误差 M_Δ，当高程路线闭合环较多时，还须按环闭合差(W)计算每公里高程测量高差中数的全中误差 M_W。

$$M_\Delta=\pm\sqrt{\frac{1}{4n}\left[\frac{\Delta\Delta}{R}\right]} \tag{3.5.3-1}$$

$$M_W=\pm\sqrt{\frac{1}{N}\left[\frac{WW}{F}\right]} \tag{3.5.3-2}$$

式中 Δ——测段往返测高差不符值，mm；

R——测段长，km；

n——测段数；

W——经各项改正后的水准环闭合差或附合路线闭合差，mm；

F——计算各 W 时，相应的路线长度(环绕周长)，km；

N——附合路线或闭合环个数。

以上 M_Δ 和 M_W 的绝对值应符合表 3.2.1 的规定。

3.5.4 光电测距三角高程测量、跨河高程测量的外业验算项目，应包括下列内容：

(1)外业手簿的检查和整理。

(2)对所测斜距进行各项改正。包括：气象改正，加常数、乘常数改正；必要时还应加入周期误差改正。

(3)若斜距和天顶距分别观测时，应对天顶距观测值进行归算，归化到测距时的天顶距，其计算公式为

$$Z_{ij}=Z'_{ij}-\Delta Z_{ij}=Z'_{ij}-\frac{[(V'-V)+(I-I')]\sin Z'_{ij}}{S_{ij}}\rho'' \tag{3.5.4-1}$$

式中 Z_{ij}、Z'_{ij}——测站点 i 到照准点 j 天顶距的归化值和观测值；

V'、V——观测天顶距时的棱镜高(觇牌高)和测距时的棱镜高(觇牌高)；

I'、I——观测天顶距时的仪器高和观测斜距时的仪器高；

S_{ij}——斜距观测值。

(4)概略高差计算。

a. 单向观测：

$$h_{ij}=S_{ij}\cos Z_{ij}+\frac{1-K}{2R}S_{ij}^2+I_i-V_j \tag{3.5.4-2}$$

b. 对向观测：

$$h_{ij}=\frac{1}{2}[(S_{ij}\cos Z_{ij}-S_{ji}\cos Z_{ji})+(I_i-V_j)+(I_j-V_i)] \tag{3.5.4-3}$$

c. 隔点设站法观测：

$$h_{AB}=\left[(V_A-V_B)-(S_A\cos Z_A-S_B\cos Z_B)+\left(\frac{1-K_B}{2R}S_B^2-\frac{1-K_A}{2R}S_A^2\right)\right] \tag{3.5.4-4}$$

式中 h_{ij}——测站 i 与镜站 j 之间的概略高差；

S_{ij}——经气象和加、乘常数改正后的斜距；

Z_{ij}、Z_{ji}——归化后的天顶距；

I_i、I_j——i 和 j 站的仪器高；

V_i、V_j——i 和 j 站的棱镜高；

h_{AB}——隔点设站法中，后视点 A 与前视点 B 之间的高差；

V_A、V_B——隔点设站法中，后视点 A 与前视点 B 的棱镜(觇牌)高；

S_A、S_B——隔点设站法中，后视点 A、前视点 B 与测站间的斜距(经气象、加、乘常数改正后)；

Z_A、Z_B——隔点设站法中，测站对后视点 A、前视点 B 的天顶距；

R——地球曲率半径；

K——大气折光系数。

(5)根据概略高差，计算附合路线或闭合环的闭合差，并按下式进行检校：

a. 由各路线算得同一路线的高差较差不应大于由下式计算的限值：

$$dH_m = \pm 2M_\Delta \sqrt{NS}$$

b. 由大地四边形组成的三个独立闭合环，用各条边平均高差计算闭合差，各环线的闭合差 W 应不大于按下式计算的限值：

$$W_m = \pm 2M_w \sqrt{2S}$$

式中 N——独立路线数，图 3.4.2(a)的 $N=4$；

S——跨河视线长度，km。

3.5.5 二、三、四等高程网的平差计算应按最小二乘原理，采用条件观测平差或间接观测平差法进行，并计算出单位权高差中误差和各点相对于起算点的高程中误差。

3.5.6 高程网平差时，可按下式定权：

水准测量

$$P=\frac{1}{L}\text{或 }P=\frac{1}{n}$$

光电测距三角高程测量

$$P=\frac{1}{L^2}\text{或 }P=\frac{1}{L}$$

式中 L——测段长度，km；

n——测站数。

3.5.7 高程控制网布设完成后，应上缴下列资料：

(1)原始观测记录。

(2)仪器鉴定、校正资料。

(3)水准网略图和点位说明资料。

(4)水准网、三角高程网概算资料。

(5)平差计算成果和精度评定资料。

(6)技术总结文件。

4 放样的准备与方法

4.1 一般规定

4.1.1 放样工作开始之前，应详细查阅工程设计图纸，收集施工区平面与高程控制成果，了解设计要求与现场施工需要。根据精度指标，选择放样方法。

4.1.2 对于设计图纸中有关数据和几何尺寸，应认真进行检核，确认无误后，方可作为放样的依据。

4.1.3 必须按正式设计图纸和文件(包括修改通知)进行放样，不得凭口头通知或未经批准的草图放样。

4.1.4 所有放样点线，均应有检核条件，现场取得的放样及检查验收资料，必须进行复核，确认无误后，方能交付使用。

4.1.5 放样结束后，应向使用单位提供书面的放样成果单。

4.2 放样数据准备

4.2.1 放样前应根据设计图纸和有关数据及使用的控制点成果，计算放样数据，绘制放样草图，所有数据、草图均应经两人独立校核。

用电算程序计算放样数据时，必须认真核对原始数据输入的正确性。

4.2.2 应将施工区域内的平面控制点、高程控制点、轴线点、测站点等测量成果，以及工程部位的设计图纸中的各种坐标(桩号)、方位、尺寸等几何数据编制成放样数据手册，供放样人员使用。

4.2.3 现场放样所取得的测量数据，应记录在规定的放样手簿中，所有栏目必须填写完整，字体应整齐清晰，不得任意涂改。填写内容包括：

(1)工程部位、放样日期、观测、记录及检查者姓名。

(2)放样点所使用的控制点名称，坐标和高程成果，设计图纸编号，使用数据来源。

(3)放样数据及草图。

(4)放样过程中的实测资料。

(5)放样时所使用的主要仪器。

4.3 平面位置放样方法的选择

4.3.1 应根据放样点位的精度要求，现场作业条件和拥有的仪器设备，选择适用的放样方法。选择放样方法时，应考虑两种不同的放样程序。

(1)直接由等级平面控制点放样建筑物轮廓点。

(2)由加密点(轴线点、测站点)放样建筑物轮廓点。

当采用第(2)种放样程序时，应考虑加密点的测设误差，即建筑物轮廓点的点位中误差，

按二级分配(各自相对于高一级的控制点)。

4.3.2 平面位置放样方法的具体操作要求以及各种放样方法的点位精度估算公式,参照附录E.F。

4.3.3 采用测角前方交会法测设测站点的技术要求应符合表 4.3.3 的规定。

表 4.3.3 测角前方交会法的技术要求

点位中误差 (mm)	交会角 γ (°)	交会边长 (m)	测回数 DJ_2	测回数 DJ_6	交会方向数
±15	50～130	<200 200～300 300～400	1 2 3	—	3
±30	40～140	<300 300～400	1 2	3	3
±50		≤500	1	3	3

4.3.4 采用单三角形测设测站点的技术要求,应符合表 4.3.4 的规定。

表 4.3.4 单三角形法的技术要求

点位中误差 (mm)	交会角 γ (°)	边长 (m)	测回数 DJ_2	测回数 DJ_6	三角形闭合差 (″)
±15	30～150	≤400	2		±10
±30		≤500	2	4	±15
±50		≤500	1	2	±20

4.3.5 采用测角后方交会法测设测站点的技术要求应符合表 4.3.5 的规定。

表 4.3.5 测角后方交会法的技术要求

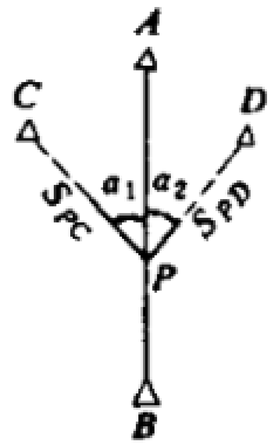
点位中误差 (mm)	交会角 α、β 和所对已知角 C 之和 (°)	边长 (m)	测回数 DJ_2	测回数 DJ_6	交会方向数	待定点的位置
±15	—	≤400	3	—	4	位于已知点的三角形内
±30	不得在 160～200 之间	≤150	2	4	4	待定点距危险圆圆周不小于危险圆圆周半径的 1/5
±50		≤300	1	2	4	

注：1. 后方交会点的精度,主要决定于交会图形,当图形较好时,可适当放宽边长的限制,减少测回数。

2. 后方交会点的检核采用计算 4 组坐标相互比较的方法。

4.3.6 采用轴线交会法测设测站点的技术要求应符合表 4.3.6 的规定。

表 4.3.6 轴线交会法的技术要求

点位中误差 (mm)	夹角 a_1、a_2 的要求 (°)	S_{PC} 和 S_{PD} 的要求 (m)	测回数 DJ_2	测回数 DJ_6	已知点点位要求	示意图
±15	≥25	<300 300～400 400～500	2 3 4	3 — —	位于轴线异侧	
±30	≥20	≤500	2	3		
±50	≥20	≤500	1	2		

注：待定点 P 必须精确位于已知轴线上,且 PA、PB 的长度,不宜过短。

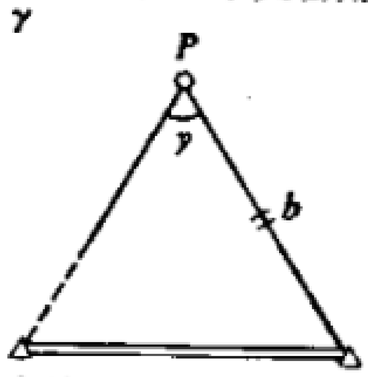
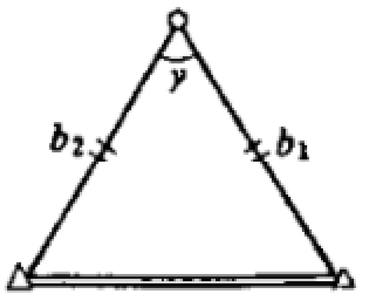
4.3.7　采用边角前方交会法测设测站点的技术要求，应符合表 4.3.7 的规定。

表 4.3.7　边角前方交会法的技术要求

点位中误差 (mm)	交会角范围		测距边长 (m)	测距要求		角度测回数				说明与图示
	交会方法	γ (°)		测距仪等级	测回数	水平角		天顶距		
						DJ_2	DJ_6	DJ_2	DJ_6	
±15	Ⅰ Ⅱ	15～160 10～170	≤600	3	2	2	3	2	2	方法Ⅰ： 两角一边交会法
±30	Ⅰ Ⅱ	15～165 15～170	≤1200	3	2	1	2	1	2	方法Ⅱ： 两边两角交会法
±50	Ⅰ Ⅱ	15～165 15～165	≤1500	3～4	2	1	2	1	1	

4.3.8　采用边角后方交会法测设测站点的技术要求，应符合表 4.3.8 的规定。

表 4.3.8　边角后方交会的技术要求

点位中误差 (mm)	交会角范围		测距边长 (m)	角度测回数				测距要求		说明与图示
	交会方法	γ (°)		水平角		天顶距		测距仪等级	测回数	
				DJ_2	DJ_6	DJ_2	DJ_6			
±15	Ⅰ	90～165	≤400	2	4	2	4	3	2	方法Ⅰ： 在测站点 P 观测一条边 b 和一个交会角 γ 
	Ⅱ	10～170	≤700	2	4	2	4	2	2	
		20～160		2	4			3		
		30～150		1	2			4		
±30	Ⅰ	60～165	≤500	2	4	1	2	3	2	方法Ⅱ： 在测站 P，观测两条边 b_1b_2 和一个交会角 γ 
		90～165						4		
	Ⅱ	15～165	≤1000	1	2	2	4	3	2	
		25～155						4		
±50	Ⅰ	50～165	≤700	1	2	1	2	3	2	
		75～165						4		
	Ⅱ	10～170	≤1500	1	2	1	2	3	2	
		20～160						4		

注：计算时测距仪的比例误差未给予考虑。测角中误差按 DJ_6 一测回 $m_\beta=\pm6''$ 计。

4.3.9　采用测边交会法放样测站点时应注意以下几点：

(1)注意图形结构，交会角不应小于 30°。

(2)交会方向数，不宜少于 3 个，边长应限制在 1000m 以内。

(3)测距仪等级及测回数的选定，见表 4.3.7 和表 4.3.8。

4.3.10　采用光电测距极坐标法测设测站点的技术要求，应符合表 4.3.10 的规定。

表 4.3.10　光电测距极坐标法的技术要求

点位中误差（mm）	测距边长（m）	角度测回数				测距要求	
		水平角		天顶距		测距仪等级	测回数
		DJ_2	DJ_6	DJ_2	DJ_6		
±15	≤500	2	4	2	2	2	2
	500～700	3	4	2	3	2～3	
±30	<500	1	2	1	2	3～4	2
	500～1000	2	3	2	3	3	
±50	≤1500	1	2	1	2	3～4	2

注：采用光电测距极坐标法测设测站点时，应在同一部位至少测放二点，并丈量该两点间的距离，以资校核。

4.3.11　在上列边角联合测量决定点位时应共同注意以下几点：

(1)测距时均应在镜站量测气象数据。

(2)所测边长均应加入加、乘常数、气象、倾斜、投影等各项改正，计算方法见附录 K。

(3)如要同时测定点的高程时，均应以±2mm 的精度量取仪器高与棱镜(觇牌)高，当边长大于 300m 时要加入球气差改正(或仅加球差改正)。

(4)测角与测距的各项限差，见表 2.4.5 和表 2.5.3。

4.3.12　采用钢尺量距、视差法测距布设施工导线测设测站点或放样轮廓点的技术要求应符合表 4.3.12-1 的规定。

表 4.3.12-1　施工导线技术要求

点位中误差（mm）	等级	附合导线全长（m）	导线全长相对闭合差	平均边长（m）	测角中误差（″）	测回数		方位角闭合差（″）	边长丈量相对中误差
						DJ_2	DJ_6		
±15	一	800	1/10000	80	±5	2	—	$\pm 10\sqrt{n}$	1/8000
	二	400	1/8000	40	±10	2	4	$\pm 20\sqrt{n}$	1/5000
±30	二	2000	1/15000	200	±5	2	—	$\pm 10\sqrt{n}$	1/10000
	三	1000	1/10000	100	±10	2	4	$\pm 20\sqrt{n}$	1/8000
	四	500	1/5000	50	±20	—	2	$\pm 40\sqrt{n}$	1/5000
±50	一	3500	1/15000	350	±5	2	—	$\pm 10\sqrt{n}$	1/10000
	二	1500	1/8000	150	±10	2	4	$\pm 20\sqrt{n}$	1/5000
	三	800	1/4000	70	±20	—	2	$\pm 40\sqrt{n}$	1/4000
	四	600	1/3000	50	±30	—	2	$\pm 60\sqrt{n}$	1/3000

注：1. 因现场条件限制，执行本表要求有困难时，在满足导线最弱点点位精度要求的情况下，可自行确定导线的技术要求。

2. n——导线测站数。

(1)导线边长用钢尺丈量时，应符合表 4.3.12-2 的规定。

表 4.3.12-2　钢尺丈量技术要求

边长丈量相对中误差	作业尺数	丈量总次数	定线误差 (mm)	读定次数	估读 (mm)	温度读至 (℃)	同尺各次或同段各尺较差 (mm)	经各项改正后，各次或各尺全长较差 (mm)	丈量方法
1：10000～1：15000	2	4	±30	3	0.5	0.5	3.0	$\pm 40\sqrt{D}$	悬空丈量
1：3000～1：10000	1	2	±50	3	1.0	1.0	3.0		

注：1. D——导线边长，km。

2. 用弹簧秤时，应张拉至钢尺鉴定时的拉力。

(2)导线边长采用二米横基尺测定时，应符合表 4.3.12-3 的规定。

表 4.3.12-3　二米横基尺视差法测量导线边长的技术要求

点位中误差 (mm)	等级	视差角测角中误差 (″)	一次测定的长度 (m)	半测回数 DJ_2	半测回差 (″)	测距方法
±15	一	±1	≤80	6	±5	中点法
	二	±1	≤40	6	±5	端点法
±30	二	±1	≤105	6	±5	中点法
	三	±1	≤100	6	±5	中点法
	四	±1	≤50	6	±5	端点法
±50	一	±1	≤120	6	±5	中点法
	二	±1	≤150	6	±5	中点法
	三	±1	≤70	6	±5	端点法
	四	±2.5	≤50	2	±5	端点法

4.3.13　采用光电测距导线测设测站或放样建筑物轮廓点时，按表 4.3.13 执行。

表 4.3.13　光电测距导线的技术要求

点位误差 (mm)	附合导线全长 (m)	导线全长相对闭合差	平均边长 (m)	测角中误差 (″)	测距中误差 (mm)	角度测回数				方位角闭合差 (″)
						水平角		天顶距中丝法		
						DJ_2	DJ_6	DJ_2	DJ_6	
±15	7500	1/35000	300	±1.8	±3	9	—	4	—	$\pm 3.6\sqrt{n}$
	3000	1/30000	200	±2.5	±5	6	—	2	—	$\pm 5\sqrt{n}$
	2000	1/18000	150	±5.0	±3	2	3	2	3	$\pm 10\sqrt{n}$
±30	3600	1/18000	300	±5.0	±10	2	3	2	3	$\pm 10\sqrt{n}$
	4000	1/15000	200	±5.0	±5	2	3	2	3	$\pm 10\sqrt{n}$
	3000	1/15000	150	±5.0	±5	2	3	2	3	$\pm 10\sqrt{n}$

续表

点位误差(mm)	附合导线全长(m)	导线全长相对闭合差	平均边长(m)	测角中误差(″)	测距中误差(mm)	角度测回数				方位角闭合差(″)
						水平角		天顶距中丝法		
						DJ_2	DJ_6	DJ_2	DJ_6	
±50	5400	1/15000	300	±5.0	±10	2	3	2	3	$\pm 10\sqrt{n}$
	5000	1/12000	200	±5.0	±5	2	3	2	3	$\pm 10\sqrt{n}$
	3000	1/8000	150	±10	±10	1	2	2	3	$\pm 20\sqrt{n}$
±100	4500	1/6000	300	±15	±10	1	2	2	3	$\pm 30\sqrt{n}$
	5000	1/7000	200	±10	±10	1	2	2	3	$\pm 20\sqrt{n}$
	7500	1/10000	150	±5.0	±5	2	3	2	3	$\pm 10\sqrt{n}$
±200	5500	1/4000	150	±15	±10	—	1	—	1	$\pm 30\sqrt{n}$
	6000	1/4200	200	±15	±10	—	1	—	1	$\pm 30\sqrt{n}$
	7500	1/4500	300	±15	±10	—	1	—	1	$\pm 30\sqrt{n}$

4.3.14 采用钢尺进行精密长度放样时，尺长方程式中各项改正数值符号的选用见附录J。

4.4 高程放样方法的选择

4.4.1 高程放样方法的选择，主要根据放样点高程精度要求和现场的作业条件。可分别采用水准测量法、光电测距三角高程法、解析三角高程法和视距法等。高程放样的精度估算公式见附录G。

4.4.2 对于高程放样中误差要求不大于±10mm的部位，应采用水准测量法，并注意以下几点：

(1)放样点离等级高程点不得超过0.5km。

(2)测站的视距长度不得超过150m，前后视距差不大于50m。

(3)尽量采用附合路线。

4.4.3 采用经纬仪代替水准仪进行土建工程放样时，应注意以下两点：

(1)放样点离高程控制点不得大于50m。

(2)必须用正倒镜置平法读数，并取正倒镜读数的平均值进行计算。

4.4.4 采用光电测距三角高程测设高程放样控制点时，注意加入地球曲率的改正，并校核相邻点的高程。

4.4.5 采用具有平行玻璃板测微器的水准仪进行精密高程放样，视线高的计算方法见附录I。

4.4.6 高层建筑物、竖井的高程传递，可采用光电测距三角高程法或用钢带尺进行，传递方法可分别参照本规范3.3条和附录H。

4.5 仪器、工具的检验

4.5.1 施工放样使用的仪器，应定期按下列项目进行检验和校正：

(1)经纬仪的三轴误差、指标差、光学对中误差，以及水准仪的i角，应经常检验和校正。

(2)光电测距仪的照准误差(相位不均匀误差)、偏调误差(三轴平行性)、加常数、乘常

数，一般每年进行一次检验。若发现仪器有异常现象或受到剧烈震动，则应随时进行检校。

4.5.2 使用工具应按下列项目进行检验：

(1)钢带尺应通过检定，建立尺长方程式。

(2)水准标尺应测定红黑面常数差和标尺零点差。标尺标称常数差与实测常数差超过1.0mm时，应采用实测常数差；标尺的零点差超过±0.5mm时，应进行尺底面的修理或在高差中改正。

(3)塔尺应检查底面及接合处误差。

(4)垂球应检查垂球尖与吊线是否同轴。

5 开挖工程测量

5.1 一般规定

5.1.1 开挖工程测量的内容包括：开挖区原始地形图和原始断面图测量；开挖轮廓点放样；开挖竣工地形、断面测量和工程量测算。

5.1.2 开挖轮廓点的点位中误差应符合表5.1.2的规定。

表5.1.2 开挖轮廓点点位中误差

工程部位	点位中误差(mm)		备注
	平面	高程	
主体工程部位的基础轮廓点、预裂爆破孔定位点	±50～±100	±100	±50mm的误差仅指有密集钢筋网的部位，点位误差值均相对于邻近控制点或测站点、轴线点而言
主体工程部位的坡顶点、中间点、非主体工程部位的基础轮廓点	±100	±100	
土、砂、石覆盖面开挖轮廓点	±200	±200	

5.1.3 开挖放样高程控制点，不应低于五等水准测量的精度。一般情况下，均可采用光电测距三角高程点。

5.2 开挖工程细部放样

5.2.1 开挖工程细部放样，需在实地放出控制开挖轮廓的坡顶点、转角点或坡脚点，并用醒目的标志加以标定。

5.2.2 开挖工程细部放样采用测角前方交会法，宜用三个交会方向，以“半测回”标定即可。采用极坐标法放样时，其方向线的测设方法按附录E执行。距离丈量可根据条件和精度要求从下列方法中选择：

(1)用钢尺或经过比长的皮尺丈量，以不超过一尺段为宜。在高差较大地区，可丈量斜距加倾斜改正。

(2)用视距法测定，其视距长度不应大于50m。预裂爆破放样，不宜采用视距法。

(3)用视差法测定，端点法长度不应大于 70m。

5.2.3 细部点的高程放样，可采用支线水准，光电测距三角高程或经纬仪置平测高法：

(1)支线水准应往返测量，其较差不应大于表 5.1.2 关于高程中误差的 1/2。

(2)光电测距三角高程，采用测距一测回，天顶距一测回。

(3)经纬仪置平测高，需正、倒镜读数取平均值，转站时，需往返测，其较差限值同(1)款，且转站数不应超过四站。

5.2.4 所有细部放样点，均应注意校核。校核方法宜简单易行，以能发现错误为目的，并将校核的结果记入放样手簿。

5.2.5 在开挖施工过程中，应经常在预裂面或其他适当部位，以醒目的标志标明桩号、高程或开挖轮廓线。

5.2.6 开挖部位接近竣工时，应及时测放基础轮廓点及散点高程，并将欠挖部位及尺寸标于实地，必要时，在实地画出开挖轮廓线，以备验收。

5.3 断面测量和工程量计算

5.3.1 开挖工程动工前，必须实测开挖区的原始断面图或地形图；开挖过程中，应定期测量收方断面图或地形图；开挖工程结束后，必须实测竣工断面图或竣工地形图，作为工程量结算的依据。

5.3.2 断面间距可根据用途、工程部位和地形复杂程度在 5～20m 范围内选择。有特殊要求的部位按设计要求执行。

5.3.3 断面图和地形图比例尺，可根据用途、工程部位范围大小在 1∶200～1∶1000 之间选择，主要建筑物的开挖竣工地形图或断面图，应选用 1∶200；收方图以 1∶500 或 1∶200 为宜；大范围的土石覆盖层开挖收方可选用 1∶1000。

5.3.4 断面中心桩的精度要求，应符合表 5.3.4 的规定。

表 5.3.4 断面中心桩测量的精度要求

断面类别	纵向误差(cm)	横向误差(cm)
原始收方断面	±10	±10
竣工断面	±5	±5

5.3.5 断面点相对于断面中心桩的误差，应符合表 5.3.5 的规定。

表 5.3.5 断面点的精度要求

断面类别	比例尺	断面点误差(图上 mm)	
		平面	高程
原始、收方断面	1∶1000、1∶500	±1.0	±0.7
竣工断面	1∶200	±0.75	±0.5

5.3.6 断面点间距应以能正确反映断面形状，满足面积计算精度要求为原则。一般为图上 1～3cm 施测一点。地形变化处应加密测点。断面宽度应超出开挖边线 3～10m。

5.3.7 采用地面摄影方法，施测各种比例尺的断面图和地形图时，其技术要求如下：

(1)摄影基线长度 B 在下列范围内选择：

$$\frac{Y_{max}}{20} \leqslant B \leqslant \frac{Y_{min}}{4} \qquad (5.3.7)$$

基线丈量相对中误差不大于 1/2000，两摄影站高差不大于 $B/5$。

(2)最大竖距长度(Y_{max})不应大于表 5.3.7 的规定。

表 5.3.7 最大竖距长度表

基线长度 / 最大竖距长度 / 断面类别	$B \geqslant \frac{Y_{max}}{10}$	$\frac{Y_{max}}{10} > B \geqslant \frac{Y_{min}}{20}$
原始，收方断面	1.6M	0.8M
竣工断面	0.8M	0.4M

注：1. M——成图比例尺分母。

2. 在像片控制点按附录 L 的标准形式布置时，最大竖距长度可再增加 0.5M。

(3)每一立体像对，应按附录 L 的要求布设像片控制点。像片控制点坐标及摄影站坐标在野外测定。其平面和高程中误差应不大于图上 0.2mm(在作业困难地段可放宽至图上±0.3mm)。不得在无像片控制点的像对上量测断面。

(4)像片坐标改正数的计算，按如下情况确定：

a. 若断面点基本上在一个垂直面上，且纵向的变化不大时，可采用各像片控制点改正数的平均值。

b. 若断面点在 Y 距方向变化较大时，应采用线性内插法或严格的解析法。

5.3.8 断面测量也可采用交会法(前方交会法、激光交会法或特征点交会法)，其主要技术要求应符合表 5.3.8 的规定。

表 5.3.8 交会法断面测量技术要求

断面类别	最大竖距 (m)		相应于最大竖距的最短基线 (m)		两测站测得同一点高程较差 (mm)	两个三角形测得同一点的竖距较差 (mm)
	DJ_6	DJ_2	DJ_6	DJ_2		
原始、收方断面	0.5M	0.8M	0.10M	0.14M	0.7M	2.0M
竣工断面	0.37M	0.6M	0.07M	0.10M	0.5M	1.5M

5.3.9 采用视距法测断面，最大视距长度应符合表 5.3.9 的规定。

表 5.3.9 视距长度限值

断面类别	绘图比例尺	视距长度 (m)
原始、收方断面	1∶200 1∶500	<40 <100
竣工断面	1∶200	—

5.3.10 当断面线过长或视线受到障碍需要转站时，对于原始、收方断面，可支出一个视距测站点，其视距长度应符合表 5.3.9 的规定。1∶200 的竣工断面测量不宜采用视距法。

5.3.11 采用花杆皮尺法测断面时，断面中心桩每侧的距离不应大于 20m，若地形平坦，每侧长度可放宽至 50m。断面方向可用“十”字直角架标定。

5.3.12 对于原始、收方断面测量，也可从实测的地形图上截取。但地形图比例尺应不小于断面图的绘图比例尺。

5.3.13 开挖施工过程中，应定期测算开挖完成量和工程剩余量。开挖工程量的结算应以测量收方的成果为依据。

5.3.14 开挖工程量的计算应符合下列规定：

(1)用以计算工程量的地形图或断面图必须是在现场实测的。

(2)断面间距及位置的布设应根据地形变化或等间距确定。

(3)面积计算方法可采用解析法或图解法，当采用求积仪计算面积时，应在同一图纸上测量一块标准面积以确定图纸伸缩系数。解析法计算面积的公式如下：

$$P=\frac{1}{2}\left[\sum_{i=1}^{n} X_i(Y_{i+1}-Y_{i-1})\right] \qquad (5.3.13\text{-}1)$$

或

$$P=\frac{1}{2}\left[\sum_{i=1}^{n} Y_i(X_{i-1}-X_{i+1})\right] \qquad (5.3.13\text{-}2)$$

式中 P——欲求之面积，m^2；

X_iY_i——为 n 多边形的第 i 个转折点的坐标。点的编号按逆时针方向。

5.3.15 两次独立测量同一区域的开挖工程量其差值小于 5%(岩石)和 7%(土方)时，可取中数(或协商确定)作为最后值。

5.4 资料整理

5.4.1 开挖放样使用的图纸，记录手簿、放样数据计算资料，工程量计算成果等在单项工程结束后，应分类整理归档。

5.4.2 竣工地形图和断面图按第 13 章的要求进行整理、归档。重要工程项目(如水工隧洞、大坝、厂房等)应写出开挖工程测量放样总结，作为竣工资料一起归档。

5.4.3 大型水利水电的工程量计算资料，在有条件的单位应建立工程量数据库。

6 立模与填筑放样

6.1 一般规定

6.1.1 立模和填筑放样应包括下列内容：测设各种建筑物的立模，填筑轮廓点；对已架立的模板、预制(埋)件进行形体和位置的检查；测算填筑工程量等。

6.1.2 建筑物立模、填筑轮廓点的点位中误差应符合表 6.1.2 的规定。

表 6.1.2　立模、填筑轮廓点点位中误差及分配

建筑材料	建筑物名称	点位中误差 (mm)		平面位置误差分配 (mm)	
		平面	高程	轴线点或测站点	细部放样
混凝土	各种主要水工建筑物(坝、闸、厂房)、船闸及泄水建筑物、坝内正、倒垂孔等	±20	±20	±17	±10
	各种导墙及井、洞衬砌，坝内其他孔洞	±25	±20	±23	±10
	其他(副坝、围堰心墙、护坦、护坡、挡墙等)	±30	±30	±25	±17
土石料	碾压式坝(堤)上、下游边线、心墙、面板堆石坝及各种观测孔位等	±40	±30	±30	±25
	各种坝(堤)内设施定位、填料分界线等	±50	±30	±30	±40

6.1.3　高层建筑物混凝土浇筑及预制构件拼装的竖向测量偏差，应遵守表 6.1.3 的规定。

表 6.1.3　竖向测量偏差限值

工程项目	相邻两层对接中心线相对偏差(mm)	相对基础中心线的偏差(mm)	累计偏差(mm)	备注
厂房、开关站等各种构架、立柱	±3	H/2000	±20	H—总高度
闸墩、栈桥墩、船闸厂房等侧墙	±5	H/1000	±30	
拌和楼、筛分楼、堆料高排采等	±5	H/1000	±50	

6.1.4　混凝土预制构件拼装及高层建筑物中间平台相对水平度的测量中误差，同一层不应大于±3mm。

6.1.5　用于立模、填筑放样的高程控制点，其相对于邻近高级高程点的高程中误差不应大于±15mm。

6.2　建筑物的细部放样

6.2.1　混凝土建筑物立模细部轮廓点的放样位置，以距设计线 0.2～0.5m 为宜。土石坝填筑点，可按设计位置测设。放样点间距应符合表 6.2.1 的规定。

表 6.2.1　放样细部点间距要求

形状	直线		曲线	
材料	混凝土	土石料	混凝土	土石料
相邻点最长距离(m)	5～8	10～15	4～6	5～10

6.2.2　各种曲线、曲面立模点的放样，应根据设计要求及模板制作的不同情况确定放样的密度和位置。曲线起讫点、中点、折线的折点一般均应放出，曲面预制模板应酌情增放模板拼缝位置点。曲线、曲面放样，应预先编制放样数据表，始终以该部位的固定轴线(固定点)为依据，采用相对固定的测站和方法。

6.2.3　立模、填筑轮廓点，可直接由等级控制点测设，也可由测设的建筑物纵横轴线点(或

测站点)测设。

(1)由轴线点或测站点放样细部轮廓点时,一般采用极坐标法。

(2)在不便于丈量距离的部位进行放样时,宜采用短边(200m 以内)前方交会法。

(3)在有众多三角点作为交会方向的部位,也可采用后方交会法测定测站点坐标,然后再放样细部点。

(4)在已经精确测定了轴线的部位进行细部放样时,也可采用轴线交会法。

(5)在有条件的地方,细部点的精确放样,可采用边角前方交会,边角后方交会或测边交会法等。

6.2.4 直线形建筑物的放样控制线宜布设成包括主轴线(或其平行线)的方格网形式。主轴线的测设精度应符合 2.7.1 条的规定。由主轴线测设辅助轴线的距离丈量相对中误差,有金属结构联系部位,应不大于 1/20000,其他部位应不大于 1/10000。

6.2.5 对于挡墙、护坦、大型临时混凝土建筑物的立模填筑细部放样,由于线路较长、转折点较多,宜布设经纬仪或光电测距仪附合导线连接各转折点,附合导线的最弱点点位中误差应符合表 6.1.2 的规定。

6.2.6 采用滑升模板浇筑混凝土的建筑物(如闸墩、导墙、栈桥墩等),放样点的点位中误差应符合表 6.2.6 的规定。

表 6.2.6 滑升模板放样点的点位中误差

项目		点位中误差(mm)	
		平面	高程
轴线间相对位移		±5	—
垂直度	本层	±3	—
	总高度	±H/2000	
截面尺寸	墙、柱	±5	−3
	梁	±5	
预留孔洞中心位移		±10	±20
预埋件位置		±10	±10

注:1. H 为建筑总高度。

2. 点位中误差均相对于建筑物的固定轴线。

6.2.7 混凝土建筑物的高程放样,应区别情况,采用不同的方法。

(1)对于连续垂直上升的建筑物,除了有结构物的部位(如牛腿、廊道、门洞等)外,高程放样的精度要求较低,主要应防止粗差的发生。

(2)对于溢流面、斜坡面以及形体特殊的部位,其高程放样的精度,一般应与平面位置放样的精度相一致。

(3)对于混凝土抹面层,有金属结构及机电设备埋件的部位,其高程放样的精度,一般高于平面位置的放样精度,应根据不同的精度要求采用水准测量方法,并注意检核。

6.2.8 在厂房进出水口、排沙孔、泄水闸、冲水闸和各种廊道等部位,在混凝土底板即将完工时,应预埋各式测量标志,并及时利用原施工控制点,将其中心线的桩号、高程引测在标志

上。以备日后竣工测量及机电设备安装之用。

6.2.9 特殊部位的模板架设后，应利用测放的轮廓点进行检查，其偏差应符合表 6.2.9 的规定。

表 6.2.9 模 板 偏 差 限 值

项 目	允许偏差 (mm)	
	外露表面	隐蔽内部
模板边线与放样轮廓点偏差	±10	±15
结构物水平截面内部尺寸	±20	
预留孔、洞尺寸及位置	±10～±20	

6.3 建筑物立模放样点的检查

6.3.1 放样工作开始前，应认真阅读设计图纸，验证设计坐标或其几何尺寸，在切实弄清设计数据之后，才能开始放样。

对于放样的轮廓点，必须进行检核，检核方法可根据不同情况而异。检核结果应记入放样资料中，外业检核以自检为主，放样与检核尽量同时进行。必要时，也可另派小组进行检查。

6.3.2 选择放样方法时，应考虑检核条件。没有检核条件的方法(如极坐标法、两点前方交会法，三方向后交法等)，必须在放样后采用另外的方法进行检查。

6.3.3 放样资料，应由两人独立进行计算和编制，若由计算机程序计算放样资料时，必须校对输入数据的正确性。

6.3.4 建筑物基础块(第一层)轮廓点的放样，必须全部采用相互独立的方法进行检核。放样和检核点位之差不应大于$\sqrt{2}m$(m 为轮廓点的测量放样中误差)。

6.3.5 重复测设同一部位的轮廓点位置，可采用简易方法检核。如丈量相邻点之间的长度或检视与已浇建筑物轮廓线的吻合程度以及检视同一直线上的诸点是否在一直线上等。

6.3.6 对于形体或结构复杂的建筑物，放样和检核应采用同一组放样测站点。

6.3.7 模板检查验收资料中，若发现与设计有较大偏差或存在系统偏差时，应对可疑部分进行复测。

6.4 填筑工程量测算

6.4.1 混凝土浇筑和土石料填筑工程量，必须从实测的断面(或平面)图上计算求得。收方断面图的技术要求应符合表 6.4.1 的规定。

表 6.4.1 填筑工程量收方断面技术要求

工程分类	断面间距	断面图比例尺	断面点点位中误差(图上 mm)	
			平面	高程
混凝土浇筑	与开挖竣工断面图一致	1∶50～1∶200	≤0.5	≤0.5
土石料填筑		1∶200～1∶500	≤0.75	≤0.5

6.4.2 混凝土浇筑块体收方，基础部位应根据基础开挖竣工图计算；基础以上部位，可直接根据水工设计图的几何尺寸及实测部位的平均高程进行计算。

6.4.3 土石料填筑量收方，应根据实测的各种填料分界线，分别计算各类填料方量。

6.4.4 独立两次对同一工程量测算体积之较差，在小于该体积的3%时，可取中数作为最后值。

6.5 资料整理

6.5.1 放样工作完成后，必须及时向施工单位或质检部门提交“测量放样单”或“测量检查成果单”。放样单或成果单是放样单位向施工单位提供的重要技术文件，是向质检或施工监理部门提供的质检凭证，必须妥善保存。其内容包括：

(1)放样的工程部位，单项工程名称并绘制测点所在部位的草图。

(2)注明放样点与设计边线的关系，或列出各放样点的坐标和实测高程值。

(3)放样数据的来源和需要特别说明的问题。

(4)放样日期和放样者姓名。

6.5.2 单项工程放样结束后，作业组应整理并保存下列资料：

(1)现场施工放样手簿。

(2)放样计算资料和放样中采集的数据。

(3)小组自检记录和放样草图底稿。

6.5.3 单项工程完工后，应及时整理下列资料：

(1)单项工程竣工测量资料及图表。

(2)竣工测量手簿及施测方法简明报告。

(3)放样数据计算资料。

(4)单项工程测量技术小结。

6.5.4 由电子记录器或计算机输出的野外观测记录、计算资料等应及时整齐地贴于有关手簿或计算用纸上，并加注必要的说明。

7 金属结构与机电设备安装测量

7.1 一般规定

7.1.1 金属结构与机电设备的安装测量工作，应包括下列内容：测设安装轴线与高程基点，进行安装点的放样和安装竣工测量等。

7.1.2 金属结构与机电设备安装轴线和高程基点，应埋设稳定的金属标志，一经确定，在整个施工过程中不宜变动。

7.1.3 在安装测量的作业中应注意以下几点：

(1)必须使用精度相当于或高于 DS_3 和 DJ_2 型的水准仪和经纬仪。

(2)量测距离的钢带尺，必须经过检定并附有尺长方程式。

(3)高程测量必须相应地使用因瓦水准尺，红黑面水准尺以及有毫米刻度的钢板尺。

7.1.4 安装测量的精度指标应符合表 7.1.4 的规定。

表 7.1.4 金属结构与机电设备安装测量的精度指标

设备种类	细部项目	允许偏差		备注
		平面 (mm)	高程 (mm)	
压力钢管安装	1. 始装节管口中心位置 2. 与蜗壳、阀门伸缩节等有连接的管口中心 3. 其它管口中心位置	±5 ±(6～10) ±10	±5 ±10 ±15	相对钢管安装轴线和高程基点
平面闸门安装	主反轨之间的间距和侧轨之间间距	−1～+4	—	相对门槽中心线
弧形门、人字门安装	—	±(2～3)	±(1～3)	相对于安装轴线
水轮发电机安装	1. 座环安装中心及方位误差 2. 机坑里衬安装和蜗壳安装中心	+(2～5) ±5～±10	高程±3，水平度 0.5 ±5～±10	相对机组中心线和高程基准点
天车、起重机轨道安装	轨距	±5	1. 同跨两平行轨道相对高差小于 10 2. 坡度不大于 1/1500	一条轨道相对于另一条轨道

注：本表上下限的取用，应根据具体设备和精度要求，由安装部门确定。

7.2 安装轴线及高程基点的测设

7.2.1 金属结构与机电设备安装轴线测设的精度要求，应符合表 2.7.1 的规定。

7.2.2 在安装过程中，由于种种原因致使原来的安装轴线或高程基点，部分或全部被破坏时，可按下列不同情况予以恢复。

(1)利用剩余的轴线点或高程基点。

(2)以已精确安装就位的构件轮廓线或基准面恢复原轴线或高程基点。

(3)按规定精度，由平面或高程控制网点重新测定。

无论采用何种方法恢复的轴线或高程基点，必须进行多方校核，以获得与已安装构件的最佳吻合。

7.2.3 测设安装部位的高程基点时应注意以下两点：

(1)一个安装工程部位至少应测设两个高程基点。

(2)测设安装工程基点相对邻近等级高程控制点的高程中误差应不大于±10mm。

7.3 安装点的细部放样

7.3.1 安装点的测设必须以安装轴线和高程基点为基准，组成相对严密的局部控制系统，安装点的误差均相对于安装轴线和高程基点而言。

7.3.2 由安装轴线点，高程基点测设安装点的技术要求。

(1)测设方法：一般采用直角坐标法或极坐标法进行。

(2)距离测量以钢带尺为主，丈量结果中应加倾斜、尺长、温度、拉力及(平链)悬链等改

正(不加投影改正)。距离丈量的技术要求应符合表 7.3.2-1 的规定。

表 7.3.2-1 安装点距离丈量的技术要求

丈量时拉力	温度读记(℃)	边长丈量次数	同测次串尺		边长丈量较差的相对误差
			读数次数	较差(mm)	
与鉴定钢带尺时相同	1.0	2	2	1	1∶10000

(3)在用光电测距仪测量距离时,宜用"差分法"操作。

(4)方向线测设:要求后视距离应大于前视距离,用细铅笔尖(或垂球线)作为照准目标。经纬仪正倒镜两次定点取平均值,作为最后方向。

(5)安装点的高程放样,应采用水准测量法,水准测量的技术要求应符合表 7.3.2-2 的规定。

表 7.3.2-2 安装点水准测量的技术要求

序号	项目	使用仪器	使用标尺	测站限差要求
1	精密高程精密水平度测量	DS_1	因瓦水准尺、钢板尺	按二等水准测量要求或另行规定操作要求
2	一般安装点高程测量	DS_3	红黑面水准尺、钢板尺	按三等水准测量要求

7.3.3 在高精度的水平度测量中,应使用在底部装配有球形接触点的因瓦水准尺或钢板尺(钢板尺应镶嵌在木制尺中)。

7.4 铅垂投点

7.4.1 在垂直构件安装中,同一铅垂线上的安装点点位中误差不应大于±2mm。

7.4.2 铅垂投点,可采用重锤投点法,经纬仪投点法,激光投点仪投点法以及光学投点仪投点法。

7.5 安装测点检查与资料提交

7.5.1 对已测放的安装点,必须按下列要求进行检查:

(1)检查工作应采用与测放时不同的方法。

(2)对构成一定几何图形的一组安装测点,应检核其非直接量测点之间的关系。

(3)对铅垂投影的一组点,必须检查各投影点间边长的几何关系。

(4)由一个高程基点测放的安装高程点或高程线,应用另一高程基点进行检查,或用两次仪器高重复测定。

7.5.2 所有平面与高程安装点的检测值与测放值的较差,不应大于放样点中误差的$\sqrt{2}$倍,以保证放样点之间严密的几何关系。

7.5.3 安装构件的铅垂度检查测量,宜在距构件 10～20cm 的范围内用细钢丝悬挂重锤(重锤置于盛有溶液的桶中)。然后根据要求在需要检查的位置上,用小钢板尺量取构件与垂线之间的距离,并按一定比例尺绘制垂直剖面图。

7.5.4 测放的安装点经检查合格后,应填写安装测量放样成果表,提交安装等单位使用。

7.5.5　单项工程安装工作结束后，应将安装放样资料、竣工检查验收成果以及设计图纸等整理归档。

8　地下洞室测量

8.1　一般规定

8.1.1　地下洞室测量包括下列内容：根据贯通测量设计，建立洞内、外平面与高程控制，进行洞室施工放样，测绘洞室开挖和衬砌断面、计算开挖和填筑工程量等。

8.1.2　水工隧洞开挖的极限贯通误差，应符合表 8.1.2 的规定。当在主斜洞内贯通时，纵向误差按横向误差的要求执行。对于上、下两端相向开挖的竖井，其极限贯通误差不应超过±200mm。

表 8.1.2　水工隧洞开挖贯通误差

相向开挖长度(km)		1～4	4～8
极限贯通误差(mm)	横向	±100	±150
	纵向	±200	±300
	竖向	±50	±75

注：相向开挖的长度包括支洞长度在内。

8.1.3　在进行贯通测量设计时，可取极限误差的 1/2，作为贯通面上的贯通中误差，根据隧洞长度，各项测量中误差的分配，应符合表 8.1.3 的规定。

表 8.1.3　贯通中误差分配值

相向开挖长度(km)	1～4	4～8	1～4	4～8	1～4	4～8
误差名称	横向(mm)		纵向(mm)		竖向(mm)	
洞外测量	±30	±45	±60	±90	±15	±20
洞内测量	±40	±60	±80	±120	±20	±30
全部贯通测量	±50	±75	±100	±150	±25	±40

注：当通过竖井贯通时，应把竖井定向当作一个新增加的独立因素参加贯通中误差的分配。

8.1.4　横向贯通中误差的估算，可按下列公式进行。

(1)采用三角测量方法布设洞外控制时，其横向贯通中误差的估算可按下列两种方法：

a. 以相邻洞口点 J、C 的局部相对点位误差椭圆在贯通面上的投影面来计算，即

$$M_Y=\pm m_0\sqrt{Q'_{\Delta X\Delta X}\cos^2 a+Q'_{\Delta Y\Delta Y}\sin^2 a+Q'_{\Delta X\Delta Y}\sin 2a} \qquad (8.1.4\text{-}1)$$

其中：

$$Q'_{\Delta X\Delta X}=Q'_{XCXC}-2Q'_{XJXC}+Q'_{XJXJ}$$

$$Q'_{\Delta Y\Delta Y}=Q'_{YCYC}-2Q'_{YJYC}+Q'_{YJYJ}$$

$$Q'_{\Delta X\Delta Y}=Q'_{XCYC}-Q'_{XCYJ}-Q'_{XJYC}+Q'_{XJYJ}$$

式中 m_0——单位权中误差；

a——隧洞贯通面的坐标方位角；

Q'_{XCXC}、Q'_{XJXJ}……Q'_{YJYJ}——J、C 两点中以某一点为起算点，进行间接观测平差计算所得的另一点对该起算点的权系数。

b. 把靠近隧洞一侧的三角点当作单导线，按(2)款所述的导线法进行估算。

(2)采用导线布设洞外控制时，横向贯通中误差按下式计算：

$$M_Y=\pm\sqrt{(m_{Y\beta}^2+m_{Yl}^2)/n} \qquad (8.1.4\text{-}2)$$

$$m_{Y\beta}=\pm\frac{m\beta}{\rho}\sqrt{\Sigma R_X^2}$$

$$m_{Yl}=\pm\frac{m_l}{l}\sqrt{\Sigma d_Y{}^2}$$

式中 $m_{Y\beta}$——由于测角误差所产生的在贯通面上的横向中误差，mm；

m_{Yl}——由于量边误差所产生的在贯通面上的横向中误差，mm；

m_β——导线测角中误差，″；

R_X、d_Y——导线各点至贯通面的垂直距离和投影长度；

$\frac{m_l}{l}$——导线边长相对中误差；

n——独立测量次数。

(3)洞内导线测量误差对横向贯通误差的影响为 M'_Y，其计算方法同第(2)款。

具体估算例子见附录 M。

(4)竖井定向测量引起的横向贯通中误差按下列公式计算：

$$M_{Y0}=\frac{m_0D_X}{\rho} \qquad (8.1.4\text{-}3)$$

式中 m_0——井下基边的定向中误差；

D_X——井下基边至横向贯通面(Y)的垂直距离。

(5)洞外、洞内控制测量误差对横向贯通面中误差总的影响为：

$$M_*=\pm\sqrt{M_Y^2+M'^2_Y+M_{Y0}^2}$$

8.1.5 洞外和洞内高程控制测量误差，对竖向贯通的影响，按下式计算：

$$M_h=\pm\sqrt{m_h^2+m'^2_h} \qquad (8.1.5)$$

$$m_h=\pm M_\Delta\sqrt{L}\,,\ m'_h=\pm M'_\Delta\sqrt{L'}$$

式中 m_h、m'_h——洞外、洞内高程测量中误差；

M_Δ、M'_Δ——洞外、洞内 1km 路线长度的高程测量高差中数中误差；

L、L'——洞外、洞内两洞口间水准路线长度，km。

8.1.6 工程开工之前，应根据隧洞的设计轴线，拟定平面和高程控制略图，按表 8.1.2、表 8.1.3 所规定的精度指标，进行预期误差的估算，以便确定洞外和洞内控制等级和作业方法。

8.2 洞外控制测量

8.2.1 洞外平面控制测量，可布设测角网、测边网或边角网，网的等级可根据隧洞相向开挖长度，参照表 8.2.1 的规定选择。

表 8.2.1 洞外控制网等级选择

控制网等级	隧洞相向开挖长度(km)
二	6～8
三	4～6
四	1～4
五	≤1

等级确定后，控制测量的技术要求均按第 2 章有关规定执行。

8.2.2 当隧洞较长，布置测角网三角形个数较多时，应在网中加测一定数量的测距边。而在测边网中宜在适当位置增加一些角度观测。

8.2.3 采用光电测距导线作为洞外控制时，导线宜组成环形，且环数不宜太少，边数不宜过多，隧洞横向贯通中误差的技术要求应符合表 8.2.3 的规定。

表 8.2.3 洞外光电测距基本导线技术要求

隧洞相向开挖长度(km)	要求的横向贯通中误差(mm)	导线全长(km)	平均边长(m)	测角中误差(″)	测距中误差(mm)	全长相对闭合差	方位角闭合差(″)
1～4	30	5.4	200	±2.5	±5	1/25000	$\pm 5\sqrt{n}$
		3.3	300	±5.0	±10	1/20000	$\pm 10\sqrt{n}$
		6.8	400	±2.5	±5	1/32000	$\pm 5\sqrt{n}$
4～8	45	10.5	300	±1.8	±5	1/32000	$\pm 3.6\sqrt{n}$
		19.5	500	±1.0	±2	1/55000	$\pm 2\sqrt{n}$
		11.0	700	±2.5	±5	1/33000	$\pm 5\sqrt{n}$

注：本表是将附合导线的最弱点点位中误差视作“要求的横向贯通中误差”计算而得。

8.2.4 长距离引水隧洞平面控制网，其边长应投影到隧洞的平均高程面上。

8.2.5 布设洞口点或洞口附近控制点时应注意：

(1)洞口点应尽量纳入控制网内，也可采用图形强度较好的插点图形与控制网联接。

(2)位于洞口附近的控制点，应有利于施工放样及测设洞口点。

(3)由洞口点向洞内传递方向的连接角测角中误差，应比本级导线测角精度提高一级，至少不应低于洞内基本导线的测角精度。

8.2.6 三角点或导线点的标志，可因地制宜地埋设简易标石或设岩石标，在长隧洞进出口处或支洞口，宜埋设一定数量的混凝土观测墩。

8.2.7 洞外高程控制的等级，应根据隧洞相向开挖长度参照表 8.2.7 的规定选择。

表 8.2.7 洞外高程控制等级的选择

高程等级	隧洞相向开挖长度(km)
三	4～8
四	1～4
五	<1

8.2.8 当采用边角网，测边网或导线网布设洞外控制时，其高程控制可与平面控制相结合，用光电测距三角高程测量代替三、四等水准测量。

8.2.9 高程标石可根据需要埋设，但每个洞口附近至少应有两个高程点。

8.3 洞内控制测量

8.3.1 洞内平面控制测量，一般布设地下导线。地下导线分为基本导线(贯通测量用)和施工导线(施工放样用)。

8.3.2 洞内施工导线点的布设，主要为满足开挖施工中放样的需要，宜 50m 左右选埋一点，并每间隔数点与基本导线附合。施工导线必须注意校核，杜绝错误的发生。

8.3.3 洞内各等级光电测距基本导线的技术要求应符合表 8.3.3 的规定。

表 8.3.3 洞内光电测距基本导线技术要求

隧洞相向开挖长度(km)	要求的横向贯通中误差(mm)	导线测量精度		平均边长(m)	导线全长(km)
		测边中误差(mm)	测角中误差(″)		
2.5～4	40	±5	±1.8	300	2.4
		±5	±1.8	200	2.0
		±5	±2.5	200	1.6
		±5	±5.0	250	1.0
1～2.5	40	±10	±5	250	1.0
		±5	±2.5	150	1.5
		±10	±2.5	200	1.4
		±10	±5	150	0.75
<1.0	40	±5	±5	200	1.0
		±10	±5	150	0.75
		±10	±10	150	0.5
		±5	±5	100	0.8

注：1. 本表按支导线端点误差计算。

2. 相向开挖长度大于 4km 时，基本导线的技术要求应作专门设计。

8.3.4 导线边长用钢带尺丈量时，其技术要求应符合表 4.3.12-1 的规定。并应加入尺长、倾斜和温度改正。

8.3.5 导线边采用横基尺分段测量时，每段的测量中误差按 8.3.5 式计算：

$$m_s = \pm m_L \sqrt{n} \tag{8.3.5}$$

式中 m_L——基本导线要求的边长中误差；

m_s——横基尺每段边长测量中误差；

n——分段数。

8.3.6　洞内基本导线应独立地进行两组观测，导线点两组坐标值较差，不得大于表 8.1.3 洞内测量贯通中误差的$\sqrt{2}$倍，合格后取两组坐标值的平均值作为最后成果。

8.3.7　对于曲线隧洞及通过竖井、斜井或转向角大于 30°的平洞贯通时，其导线精度应相应提高一级（或作专门设计）。

8.3.8　洞内（包括斜井）的高程控制，一般采用四等高程测量，在未贯通前，高程测量宜进行两组观测，以资校核。洞内高程标石，应尽量与基本导线点标石合一。

8.3.9　在洞内使用各类光电测距仪时，应特别注意仪器的防护，仪器及反射镜面上的水珠或雾气应及时擦拭干净，以免影响测距精度。

8.3.10　隧道贯通后，应及时进行贯通测量，并对贯通误差进行调整和分配。

8.4　地下洞室施工测量

8.4.1　地下洞室细部放样轮廓点相对于洞轴线的点位中误差，不应大于下列规定：

（1）开挖轮廓点±50mm（不许欠挖）。

（2）混凝土衬砌立模点±10mm。

8.4.2　开挖放样以施工导线标定的轴线为依据，直线段用串线法标定洞中心线时，两吊线的间距不应小于 5m，其延伸长度 ，应小于 20m，曲线段应采用经纬仪标定中线。隧洞开挖，宜在洞内安置激光准直仪，或用激光经纬仪标定中线。

8.4.3　开挖掘进细部放样，应在每次爆破后进行，掌子面上除标定中心和腰线外，还应画出开挖轮廓线。

8.4.4　地下洞室混凝土衬砌放样，应以贯通后经调整配赋的洞室轴线为依据，在衬砌断面上标出拱顶、起拱线和边墙的设计位置。立模后应进行检查。

8.4.5　随着洞室工程的施工进 展，应及时测绘开挖和混凝土衬砌竣工断面。断面测点相对于洞轴线的点位中误差允许偏差为：

（1）开挖竣工断面：±50mm。

（2）混凝土竣工断面：±20mm。

8.4.6　隧洞在混凝土衬砌过程中，应根据需要及时在两侧墙上埋设一定数量的铜质（或不锈钢）永久标志，并测定高程、里程等数据，以备运行期间使用。

8.5　资料整理

8.5.1　在施工过程中应整理提交下列资料：

（1）开挖和混凝土浇筑工程量。

（2）立模放样验收记录。

（3）放样计算资料。

8.5.2　地下工程竣工后，应提交下列资料：

（1）贯通测量技术设计书。

（2）控制测量平差计算成果。

（3）洞轴线控制点与控制网连测的平差资料及进洞关系平面图。

（4）洞内导线和高程计算成果和平面图。

(5)开挖和混凝土竣工断面图，竣工工程量。
(6)贯通误差的实测成果和说明。
(7)技术总结。

9 辅助工程测量

9.1 一般规定

9.1.1 辅助工程测量包括：筛分、拌合、皮带机、缆机等混凝土生产系统；铁路、公路、桥梁等运输系统以及输电线路、管线、围堰等临时工程的施工放样、工程量的测算、竣工验收等。
9.1.2 辅助工程的施工放样，应尽量利用已有的施工控制网点及其加密点。当辅助工程远离施工区时，可用三角锁或导线等形式布设放样测站点，其坐标、高程系统可独立选定。
9.1.3 施工区以外的辅助工程测量，如长距离的各种线路测量等，则按有关专业规范执行。

9.2 筛分、拌合系统测量

9.2.1 筛分、拌和系统各主轴线测设以后，其细部放样，均应以轴线为基准，采用直角坐标法或极坐标法进行。
9.2.2 筛分、拌和系统施工放样的精度要求应符合表 9.2.2 的规定。

表 9.2.2 筛分、拌和系统放样点精度要求

序号	项目	放样误差		备注
		平面 (mm)	高程 (mm)	
1	拌和楼、筛分楼、制冷、制热系统主轴线点	±30	±20	相对于邻近基本控制点
2	辅助轴线	±5	±10	相对于主轴线
3	各柱垂直度	±5	±h/1000	相对于设计间距
4	立柱垂直度	—	±h/1000	相对于立柱基础
5	同层水平度	—	±(3～5)	
6	相邻皮带机机头、机尾相对偏差	±20	±10	

注：h——立柱高度。

9.2.3 混凝土及砂石骨料运输的中心线，应由筛分楼(或拌合楼)中心线定出，并用导线连接。皮带机定向的横向偏差不应大于 50mm，相邻点的高程测定误差，不应大于±10mm。
9.2.4 筛分、拌合系统的高程控制点精度不应低于五等水准。

9.3 线路测量

9.3.1 线路测量应分初测和定测两个阶段进行，初测阶段，由设计单位会同测量单位实地查勘，在现场选出路线方案，视需要实测 1∶500～1∶2000 带状地形图或纵断面图。地形图的技术要求和施测方法按本规范第 10 章有关规定执行。

9.3.2 导线测量是测设线路控制点的基本形式。可沿线路的一侧布设或直接利用线路中心桩组成导线。路线导线测量的精度要求：

(1)铁路、管线导线测量最弱点点位中误差不应大于±100mm。

(2)公路、输电线路导线测量的最弱点点位中误差不应大于±200mm。线路高程控制应不低于五等水准精度。

9.3.3 线路中桩的间距测量，应根据不同的精度要求，分别采用测距仪，钢带尺和皮尺测量。

9.3.4 线路测量采用支导线时，应加强校核，需要时，应进行往返或同向两次观测。

9.3.5 线路中桩间距可根据地形变化情况确定。直线段不宜大于 50m，曲线段不宜大于 20m。中桩地面高程测定误差不应大于 100mm。

9.3.6 公路、铁路曲线段中桩间距按曲线半径大小选定。一般为 10m 的整倍数。曲线的起、迄点及中点均应放出。曲线的横向闭合差不应大于 100mm。

9.3.7 铁路、公路和管线，在施工过程中均应施测横断面图。施测精度按 5.3.2 条中的收方断面的要求执行。施测方法一般采用视距法、花杆皮尺法或摄影法进行，断面间距按地形变化确定，一般不大于 20m。断面宽度应测至设计线外 3～5m。

9.3.8 输电线路内的建筑物及地形，应根据需要提供实测带状图，当输电线路与其他线路交叉跨越时，应测定其交角(读至分)、杆塔高、线高、路面(或轨顶)高及跨越河流、湖泊的宽度和洪水位。高差测定误差不应大于 100mm。

9.3.9 对输电线路的导线弧垂有影响的地段，应测横断面；导线架设时，应进行弧垂放样。

9.4 桥梁、缆机测量

9.4.1 远离施工区的桥梁，可独立布设专用控制网，网形一般为大地四边形、双三角形或近似矩形，并应将桥轴线纳入网内。控制点的选择应有利于施工放样。桥梁三角网的等级按桥梁长度确定：小于 200m 的布设五等三角网；200～500m 布设四等三角网。其各项技术要求，应符合表 2.2.4 或表 2.2.6 的规定。

9.4.2 桥梁施工放样的技术要求，应符合表 9.4.2 的规定。

表 9.4.2 桥梁施工放样的技术要求

桥长 (m)	桥轴线相对中误差	桥墩沿桥轴线方向的中误差 (mm)
<200	1/10000	±10
200～500	1/20000	±10

9.4.3 对小于 200m 的中、小桥梁，可不建立桥梁三角网，而采用光电测距仪直接测定轴线长度和进行桥台(墩)位置放样。

9.4.4 采用前方交会法进行桥墩中心点放样时，应满足下列要求：

(1)从同岸桥轴线两侧控制点进行交会放样时，交会角宜在 90°～150°之间。

(2)从桥轴线同侧河流两岸的控制点进行交会放样时，交会角宜在 60°～90°之间。

(3)采用三方向交会时，示误三角形最大边长不应大于 30mm，并取示误三角形重心投

影到桥轴线上的位置作为最后点位。

9.4.5 桥梁的高程控制，应在桥址两岸各埋设一组(至少两个)稳固的水准基点和若干施工水准点，施测精度不应低于四等水准要求。

9.4.6 平移式缆机施工放样的精度要求应符合表 9.4.6 的规定。

表 9.4.6 平移式缆机施工放样精度要求

项　　目	测 段 误 差	备　　注
两岸缆机中心线定位	±30mm	相对于邻近基本控制点
两岸缆机中心线间距	±50mm	
两岸缆机中心线不平行度	±1′	
同一岸两轨道中心线间距	±3mm	
轨距	±2mm	相对于轨道中心线
轨道纵向水平度	1/15000	

9.4.7 缆机中心线的测设方法，可按精度要求，从第 4 章第 3 节中选择。两岸缆机中心线测设后，应进行间距及不平行度的检查，满足要求后，将其固定，作为开挖浇筑和安装的基准。

9.4.8 缆机基础混凝土浇筑后，以缆机中心线为基准，按表 9.4.6 的精度要求，测定两轨道的安装中心线。轨道间距应采用鉴定过的钢带尺丈量，并应加入尺长、倾斜和温度改正。

9.4.9 缆机的高程控制，应采用四等水准测量。轨道水平测量可用 DS_3 型水准仪和钢板尺或红黑面尺进行。

9.5 围堰、戗堤放样

9.5.1 围堰、戗堤轴线的点位中误差不应大于 50mm。

9.5.2 围堰、戗堤轴线应在两岸设有明显标记，其水中部分可用浮标或激光(灯光)标定，以利进占(填筑)。

9.5.3 围堰、戗堤的填筑放样，可用经纬仪定向、测高、皮尺量距进行，并定期施测填筑断面，计算工程量。

10 施工场地地形测量

10.1 一般规定

10.1.1 施工场地地形测量，一般用于场地布置、土地征购、建基面验收及公路、铁路的新建、改建工程。

10.1.2 测图比例尺，除建基面验收应采用 1∶200 外，其它可根据工程性质、设计及施工要求，在 1∶500～1∶2000 范围内选择。

10.1.3 较大范围的 1∶500～1∶2000 比例尺地形测量，应按《水利水电工程规划设计阶段

测量规范》有关规定执行。1∶200和小范围内的1∶500～1∶2000比例尺地形测量，应符合本章规定。

10.1.4　对于精度要求较低的局部地形图，可按小一级比例尺地形图的精度施测，或用小一级比例尺地形图放大。

10.1.5　地形测量所采用的平面坐标、高程系统，一般应与施工测量采用的平面坐标、高程系统一致。但在远离工程枢纽的测区，可采用假定的坐标、高程系统。

10.1.6　地形图基本等高距的选择，应符合表10.1.6的规定。同一测区相同比例尺地形图，不得采用两种基本等高距。

表10.1.6　地形图的基本等高距

地形类别	地面倾角	比例尺			
		1∶200	1∶500	1∶1000	1∶2000
		基本等高距(m)			
平地	<3°	0.25	0.5	0.5	1
丘陵地	3°～10°	0.5	0.5	1	2
山地	10°～25°	0.5	1	1	2
高山地	>25°		1	1～2	2

10.1.7　地形图的精度，要求地物点相对于邻近图根点的平面位置中误差、等高线及高程注记点相对于邻近图根点的高程中误差，应符合表10.1.7的规定。

表10.1.7　地形图精度规定

地物点位置中误差(图上mm)		等高线高程中误差(基本等高距)		高程注记点高程中误差(基本等高距)
平地、丘陵地	山地、高山地	平地、丘陵地	山地、高山地	
0.75	1.0	1/3～1/2	2/3～1.0	1/3

注：隐蔽、困难地区，可按表中要求放宽0.5倍。

10.1.8　图廓格网线和控制点展点误差，不应大于0.2mm，图廓对角线和控制点间的长度误差，不应大于±0.3mm。

10.1.9　地形测图，应遵守现场随测随绘真实反映地貌、地物形状的原则，其视距长度，地形点间距及高程注记点取位，应符合表10.1.9的规定。

表10.1.9　测量地形点的技术要求

测图比例尺	1∶200	1∶500	1∶1000	1∶2000
最大视距长度(m)	30	60	120	200
地形点间距(图上cm)	1～3			
地形点注记至	0.01m	0.01或0.1m	0.1m	0.1m

注：1. 在地物比较简单，垂直角小于2°、标尺呈像清晰的情况下，最长视距可放宽0.25倍。

2. 当基本等高距采用0.5m时，地形点高程应注记至厘米。

10.1.10　地形图的分幅，可采用正方形或矩形分幅，地形图图式，应以国家现行图式和《水

利水电工程规划设计阶段测量规范》为依据。

10.1.11 每幅图的控制点点数(解析图根点和测站点),应符合表 10.1.11 的规定。

表 10.1.11 每幅图内控制点的密度

图幅大小(cm) \ 测图比例尺	1:200 (点)	1:500 (点)	1:1000 (点)	1:2000 (点)
40×50	5	7	8	12
50×50	6	8	10	15

采用光电测距仪测图,控制点量可适当减少。1:200 地形图测图,可直接利用放样点作为控制点。

10.2 建基面 1:200 比例尺地形测量

10.2.1 图根点相对于邻近控制点的点位中误差,不应大于图上±0.15mm。测站点与邻近图根点的点位中误差,不应大于图上±0.20mm。图根点和测站点的高程,可按五等高程精度要求测定。

10.2.2 测图方法一般应采用光电测距仪极坐标法或经纬仪加钢尺量距法,不得采用视距法。

10.2.3 地形碎部测绘,应符合下列规定:

(1)碎部地形测绘应在建基面开挖到设计高程,浮碴清理干净后及时进行。

(2)当量距的倾角大于 3°时,应在距离中加入倾斜改正值。

(3)施测范围,一般应超出开挖边线 2~3m。

(4)建基面上的重要地物,如钻孔、断层、深坑、挖槽等,均应测绘在图上。

(5)当开挖斜坡超过 60°时,可用示坡线表示。地形变化复杂地段,应加密测点。

(6)图上应绘出建筑物填筑分块线,并须注明工程部位名称及分块号。

10.3 1:500~1:2000 比例尺地形测量

10.3.1 施工区的测图控制,可直接利用施工控制网加密图根控制点。

在远离施工区施测地形图时,应建立测图控制。一般分为二级:图根控制点和测站点。图根控制点的点位中误差,不应大于图上±0.1mm。测站点的点位中误差,不应大于图上±0.2mm。测图的高程控制点,可用五等高程测量精度施测。

10.3.2 测绘土地征购地形图,应着重地类界和行政管理分界线的测绘,如水田、旱地、荒地、山界线、森林界、坟界和区、乡界等,并在图上作相应的注记。计算倾斜地段征地面积时,应将平距换算为斜距。

10.3.3 新建或改建公路、铁路的带状地形图测绘,应符合下列要求:

(1)带状地形图,一般沿线路中线两侧各测出 30m,或根据设计要求而定;

(2)线路上已有的桥涵,应分别测注其顶部底部高程;

(3)与其它线路平面或立体交叉时,应分别测注平面交叉点高程和立体交叉处的隧洞、

桥涵的顶部、底部高程。

10.3.4 施工场地地形图测绘，应符合下列要求：

(1)各类建筑物及其主要附属设施，均应测绘。

(2)地面上所有风水管线，应按实际形状测绘。密集的动力线、通讯线可视需要选择测绘。

(3)水系及附属建筑物，宜按实际形状测绘。水面高程及施测日期，可视需要测绘。河渠宽度小于图上 1mm 时，可绘单线表示。

(4)道路及其附属建筑物，宜按实际形状测绘，人行小路可择要测绘。

(5)地貌应以等高线(计曲线、首曲线、间曲线)表示为主。计曲线间距小于图上 2.5mm 时，可不插绘首曲线。特征地貌(如崩崖、雨裂、冲沟等)，应用相应符号表示。

(6)山顶、鞍部、凹地、山脊、谷地等必须测注高程点。独立石、土堆、坑穴、陡坎，应注记比高，斜坡、陡坎小于 1/2 等高距时可舍去。

(7)植被的测绘，视其面积大小和经济价值，可适当进行取舍。

(8)居民地、厂矿、学校、机关、山岭、河流、道路等，应按现名注记。

(9)具有定向作用和文物价值的独立树、纪念塔等应重点测绘。

10.3.5 采用地面立体摄影测量成图，应参照《水利水电工程规划设计阶段测量规范》执行。

11 疏浚及渠堤施工测量

11.1 一般规定

11.1.1 本章的规定适用于水利水电工程的河、湖、闸区、库区的疏浚工程测量和渠堤施工测量。

11.1.2 疏浚及渠堤施工测量应包括下列内容：施工控制系统的建立；渠堤中心线定线；细部轮廓点放样，施工过程中的水上、水下地形、断面测量，工程量计算；以及工程的竣工验收测量等。

11.1.3 疏浚及渠堤工程施工控制系统的建立方法及精度要求，分别按下列不同情况处理。

(1)疏浚工程的施工控制系统，一般从附近国家三角点，采用导线测量、各种交会法或建立三角锁的方法向施工区传递坐标。高程控制点，应从附近国家等级水准点或流域高程基准点，用水准测量或光电测距三角高程测量方法引测。其平面、高程点的精度应不低于1∶1000地形测量的图根控制点的测定精度。

(2)渠堤测量的施工控制系统，一般沿着渠道走向建立施工导线。导线最弱点的点位中误差应不大于±1.0m，高程控制按国家等级水准的要求布设。

局部小范围的疏浚工程的施工控制，也可建立独立平面坐标系统。但高程系统必须与国家系统或流域系统一致。

11.2 水深及水下地形测量

11.2.1 水深测量应与水位观测配合进行，故需在施工区及其附近设置水尺(或自动水位计)。水尺设置应注意以下几点：

(1)水尺应设置在河岸稳定、明显易见、且无回流的地段。施工水域水面比降小于1/10000的河段，每一公里设置一组水尺。水面比降大于1/10000的河段，每0.5km设置一组水尺。

(2)每组水尺必须由两支或两支以上的水尺组成，相邻水尺应有0.1m或0.2m的重合。风浪较大的地方，水尺重合幅度适当增加。

(3)施工区远离水尺所在地时，应在水尺附近设置水位读数标志，由专人负责，定时悬挂信号或采用其他通讯设备通报水位。

(4)水尺高程连测，应按下列规定进行：

永久性水尺，不低于四等水准测量的精度。

施工性水尺，不低于五水准测量的精度。

应测出水尺零点高程，水尺刻度应能直接表示高程。

11.2.2 水位观测的次数，应遵守下列规定：

每日班前、班后观测一次；作水深测量时，施测始末各观测一次。若水位变化每小时大于5cm或变化幅度大于10cm应增测一次。感潮地段每小时观测一次。水尺应读至厘米。

有风浪时，观测水位应取浪峰和浪谷读数的平均值。风力大于四级或水面波浪大于1m时，不宜进行水位观测。

11.2.3 水深测量应符合下列规定：

(1)根据水深、流速及精度要求，选择测深工具。

测深杆：一般用于水深小于5m，流速小于1.0m/s的水域。测深中误差为±0.10m左右。

测深锤：一般用于水深5～15m，流速为1～2m/s的水域，测深中误差为±0.15m左右。

铅鱼式测深锤：一般用于水深大于10m，流速大于3.0m/s的水域。锤重一般为15～20kg，测深中误差为±0.20m左右。

回声测深仪：适用于水深大于3m，流速较大水域面积宽阔的地区，测深中误差为±0.20m左右。使用前，应对测深仪进行检验。

(2)测深点的密度以能显示出水下地形特征为原则。一般间距为图上1～3cm。河道纵向稍稀，横向稍密，中间可稍稀，岸边应稍密。

对于水工建筑物的施工区测深点的密度应适当加密。

(3)测深点的高程(测深)中误差应不大于±0.2m。

测深点平面位置中误差，不应大于图上±1.5mm。在流速大的地区，可放宽至图上±2～±3mm。

(4)测深点的定位，可根据不同情况选择。

断面索法：适用于河宽在50～150m，流速小于1.5m/s的水域或已测设断面里程桩的

测区。

六分仪法：适用于河宽大于 300m、流速小于 3m/s 的水域。

交会法：适用于面积较大地区的散点测深，绘制水下地形图。

无线电定位法：适用于宽广的河口、湖泊、港湾和近海测深。

11.2.4 水下地形测图的平面和高程系统，图幅分幅、等高距的大小一般应与陆上地形图一致，以便于两者相互衔接。

11.3 疏浚施工测量

11.3.1 各级测图平面控制点、精度不低于 1：1000 比例尺测图的图根点、测站点和相当于测站点精度的断面里程桩，均可作为放样测站点。放样测站点的高程精度不应低于五等高程测量的要求。

11.3.2 放样点的点位误差，应符合表 11.3.2 的规定。

表 11.3.2 疏浚放样点位精度要求

项目		放样点点位中误差 (m)	备注
疏浚开挖边线	岸边	±0.5	相对于放样测站点
	水下	±1.0	
各种管线安装		±0.5	
挖槽中心线		±1.0	
疏浚机械定位		±1.0	

11.3.3 挖槽放样应在横断面上设置五点标志：中心线、两岸上、下开口线点。标志纵向间距一般为 50～100m，弯道处适当加密。

11.3.4 挖槽放样的标志设置应满足下列要求：

(1)当水深小于 4m、流速小于 1.5m/s 时，可设置立式标杆；当水深大于 4m 时，宜设置浮标。

(2)标志必须明显易见。夜间施工或能见度差时，可立灯标，灯标不得少于两组。

11.3.5 庄台吹填造地等施工，均应分层进行放样。

11.3.6 陆上管线放样，应放出水陆接头和弯管接头转折点，并设立转折点之间的填挖高程桩。测设的管口位置，距排淤场坡脚的距离不应小于 5m。

11.3.7 自由沉浮水下排泥管和挖泥船的定位放样应按下列程序进行：

(1)在 1：1000 或 1：2000 比例尺水下地形图上标出挖泥船或潜管主要部位的设计位置。

(2)选择最佳放样方法，计算有关放样数据。

(3)在定位处先设放浮标进行概略定位，然后指挥精确就位。

11.3.8 疏浚放样必须注意水面以上高土方层和水下各类土质的成型坡比，以保证机械安

全和施工质量。

11.3.9 施工中的断面测量，是在规划设计阶段已有断面的基础上进行加密或补测。水下横断面的方向应沿河道中心线垂直布设，河道弯曲处宜布设成扇形。

11.3.10 水下横断面图、挖槽平面或断面图的绘制比例尺，可根据河宽和施测范围确定，但应与测点精度相适应。纵横比例尺的大小，可依据河床形态确定。断面间距由设计决定，一般在河流平缓处可稀，河流拐弯或流速变化处宜密。

11.4 渠堤施工测量

11.4.1 渠堤的选线、定线测量的技术要求，按《水利水电工程规划设计阶段测量规范》有关章节执行。渠堤的施工测量按本节规定执行。

11.4.2 渠堤中心线的测定，可采用以下两种方法。

(1)在规划设计阶段已有渠堤中心线的地区，可利用已有中心桩进行加密。中心桩间距在直线段为 30～50m。曲线段为 10～30m。

(2)在原有中心桩已被破坏的地区，应根据中心桩的设计数据，利用布设的施工导线或原有的控制点、图根点重新进行放样或加密，其点位误差应不大于 200mm。

11.4.3 在拟建水工建筑物的地段(渠首、渡槽等部位)应埋设固定标志，作为施工放样的控制点，点位误差仅需满足建筑物的相对精度要求即可。

11.4.4 渠堤中心桩确定后，应立即施测渠堤纵、横断面，其技术要求应符合表 11.4.4 的规定。

表 11.4.4 渠堤纵横断面技术要求

断面种类	断面间距	断面比例尺	
		水平	竖直
纵断面	沿中心桩	1∶2000～1∶5000	1∶100～1∶500
横断面	20～50m	1∶200～1∶500	1∶200～1∶500

11.4.5 渠道纵断面施测长度与渠长相应，横断面施测长度，在挖方区应超过两侧坡顶 3～5m，填方区应超过外坡脚 3～5m。在拟建水工建筑物的地区还应根据水工建筑物的施工和设计要求，加测纵、横断面。

11.4.6 渠堤的边桩放样，是将设计横断面与地形横断面的交点标定在实地上，以供开挖之用。边桩放样点的点位中误差(相对于断面中心桩)一般不应超过 100mm。

11.5 工程量计算与竣工验收测量

11.5.1 疏浚工程量的计算，必须以设计图纸及实测的断面资料为依据。对于自然回淤比较严重的地段，应布设固定断面进行定期或不定期施测，并及时上报回淤量。

11.5.2 疏浚工程量计算包括：堤防加固，庄台工程及其他收方工程。其总工程量计算考虑流失方量和施工期内吹填土体的自动固结沉陷量以及原地基在吹填土荷载作用下而生产的

固结沉降量。

(1)工程量的计算一般采用平均断面计算法或平均深度计算法。

(2)流失方量一般由测量确定,也可用流失系数 k 来计算(k 值应根据施工的土质、土况等确定)。

(3)固结沉降方量一般根据沉降观测资料计算,有条件时,亦可采用钻孔对比法计算(沉降观测的设置方法见附录 N)。计算公式为

$$V=V_1+V_2+V_3 \tag{11.5.1}$$

式中 V——总工程量,m^3;

V_1——实测方量,m^3;

V_2——沉降方量,m^3;

V_3——流失方量,m^3。

吹填区(或排淤区)工程量的测算应在停产 90~100 天内进行。

11.5.3 疏浚工程泥方量的结算,应按疏浚前后水深测量资料计算实挖方量,在回淤或冲刷严重地区,亦可按挖泥船产量计逐日积累的方量进行计算。产量计使用前必须进行校正,输入土的饱和密度由土工试验确定。

11.5.4 疏浚工程完工后,应在挖槽范围内进行竣工验收测量,绘制竣工图(一般为平面水深图,如需要可加测断面图)。验收测量可按下列两种方式之一进行。

(1)由建设单位和施工单位共同对挖槽作一次完整的水深测量。

(2)由建设单位选择全部测点的 10%测其水深以资验证:如低于规定的精度时,再选择 30%的测点验核,若仍然不符,则进行全部测点验收。

11.5.5 渠道竣工。

断面图上应绘出原始地面线、设计开挖线和施工断面线,必要时还须绘出土、石分界线等。

11.5.6 竣工测量应整理或上交的资料包括:

(1)规划设计阶段移交的平面、高程和中心桩等控制资料。

(2)施工阶段新建立的平面、高程控制成果。

(3)工程竣工断面图,平面图、工程量汇总表等。

12 施工期间的外部变形监测

12.1 一般规定

12.1.1 本章内容适用于为保证施工安全而进行的临时性变形监测。水工建筑物的永久变形监测工作,应执行《混凝土大坝安全监测技术规范》(SDJ336—89)。

12.1.2 施工期间外部变形监测的内容包括:施工区的滑坡观测;高边坡开挖稳定性监测;

围堰的水平位移和沉陷观测；临时性的基础沉陷(回弹)和裂缝监测等。

12.1.3 各项监测的位移量中误差，应符合表 12.1.3 的规定。

表 12.1.3 变形监测位移量中误差

观测项目	位移量中误差(mm)		备注
	平面	高程	
滑坡监测	±5	±5	相对于工作基点
高边坡稳定监测	±(3～5)	±5	相对于工作基点
临时围堰观测	±5	±10	相对于围堰轴线
基础沉陷(回弹)	—	±3	相对于工作基点
裂缝	±3		相对于观测线

注：对于施工区外的大滑坡和高边坡监测的精度标准可另行确定。

12.1.4 变形观测的基点，应尽量利用施工控制网中的三角点。不敷应用时，可建立独立的、相对的控制点，其精度应不低于四等网的标准。

12.2 选点与埋设

12.2.1 工作基点的选择与埋设，应注意下列几点：

(1)基点必须建立在变形区以外稳固的基岩上。对于在土质和地质不稳定地区设置基点时应进行加固处理。基点应尽量靠近变形区。其位置的选择应注意使它们对测点构成有利的作业条件。

(2)工作基点一般应建造具有强制归心的混凝土观测墩。

(3)垂直位移的基点，至少要布设一组，每组不少于三个固定点。

12.2.2 测点的选择与埋设，应符合下列要求：

(1)测点应与变形体牢固结合，并选在变形幅度、变形速率大的部位，且能控制变形体的范围。

(2)滑坡测点宜设在滑动量大，滑动速度快的轴线方向和滑坡前沿区等部位。

凡人员能够接近的测点，宜埋设管径与观测标志配套的钢管，以便插入观测标志。对于人员不易接近的危险地段，可埋设高 1.2m 的钢管(或木桩)，上端焊接(或打入)简易的固定观测标志。

(3)高边坡稳定监测点，宜呈断面形式布置在不同的高程面上，其标志应明显可见，尽量做到无人立标。

(4)采用视准线监测的围堰变形点，其偏离视准线的距离不应大于 20mm。垂直位移测点宜与水平位移测点合用。围堰变形观测点的密度，应根据变形特征确定：险要地段 20～30m布设一个测点；一般地段 50～80m 布设一个测点。

(5)山体或建筑物裂缝观测点，应埋设在裂缝的两侧。标志的形式应专门设计。

(6)采用地面摄影进行变形监测时，其测点的埋设，应根据摄影站和被摄目标的远近，计

算标志的大小，以使标志在像片上能获得清晰的影像。

12.3 观测方法的选择和观测的技术要求

12.3.1 滑坡、高边坡稳定监测，采用交会法时，其主要技术要求，应符合表 12.3.1 的规定。

表 12.3.1 前方交会法进行滑坡、高边坡监测的技术要求

点位中误差 \ 方法	测角前方交会			测边前方交会			边角前方交会			
	测角中误差 (")	交会边长 (m)	交会角 γ (°)	测距中误差 (mm)	交会边长 (m)	交会角 γ (°)	测角中误差 (")	测距中误差 (mm)	交会边长 (m)	交会角 γ (°)
±3mm	±1.0 ±1.8	≤200	30～120 60～120	±2	≤500	70～110	±1.8	±2	≤500	40～140 60～120
±5mm	±1.8 ±2.5	≤250	40～140 60～120	±3	≤500	60～120	±2.5"	±3	≤700	40～140

注：观测时，应有多余观测。

12.3.2 采用视准线法(活动觇牌法和小角度法)监测水平位移时，应符合表 12.3.2 的规定。

表 12.3.2 视准线法技术要求

精度要求 \ 方法	活动觇牌法				小角度法			
	视准线长度 (m)	测回数	半测回读数差 (mm)	测回差 (mm)	视线长度 (m)	测角中误差 (")	半测回读数差 (")	测回差 (")
±3mm	≤300	3	3.5	3.0	≤500	1.0	4.5	3.0
±5mm	≤500	3	5.0	4.0	≤600	1.8	3.5	2.5

12.3.3 视准线观测之前，应测定活动觇牌的零位差，测定固定觇牌的同轴误差。经纬仪(视准仪)应按《国家三角测量和精密导线测量规范》(1975 年 1 月出版)的要求进行检验校正。

12.3.4 活动觇牌法一测回的观测程序如下：

在视准线一端点设置仪器，后视另一端点，固定照准部，前视测点上的活动觇牌，指挥前视人员转动活动觇牌的微动螺旋，使觇牌中心与视线重合后进行读数，每一测回正、倒镜各照准活动觇牌两次，读数两次，取平均值作为该测回的观测值，当视准线较长时，宜在两端工作基点上观测邻近的 1/2 的测点。

12.3.5 采用小角度观测法时，可不变换度盘位置。若测点的垂直角不大于±1°，则可不纵转望远镜。观测程序如下：

(1)照准后视点(固定点)进行水平度盘读数。

(2)用度盘微动螺旋照准测点，进行水平度盘读数。

(3)用度盘微动螺旋使视线离开测点，再次照准测点，读数。

(4)重新照准后视点，读数，以上操作为一测回。

(5)在同一度盘位置，进行其余测回的观测。

12.3.6 小角度法观测方向的垂直角大于 3°时，要求观测过程中，气泡偏离中心位置不得

超过 0.5 格。否则应读定气泡偏离值，进行纵轴倾斜改正，或测回间重新整平气泡。

12.3.7 垂直位移观测，宜采用水准观测法，也可采用满足精度要求的光电测距三角高程法。地基回弹宜采用水准仪与悬挂钢尺相配合的观测方法。

12.3.8 观测周期应根据变形体的具体情况确定，在观测系统建立的初期，应连续观测两次或数次，以确定可靠的首次基准值。在正常的情况下，一般每半月观测一次。若遇特殊情况（洪水、地震、分期蓄水等），应增加测次。

12.4 资料整理

12.4.1 观测资料应认真检查，并及时整理。资料整理应包括下列内容：

(1)外业观测资料的检查，测站平差和平均值的计算。

(2)平差计算，求得未知数的最或是值。

(3)位移量计算，编制累计位移量一览表。

(4)绘制位移量与相关因素的关系曲线图。

12.4.2 成果分析应包括下列内容：

(1)评定观测精度。

(2)分析观测成果是否符合正常变化规律。

(3)对异常观测值和异常变化，应认真分析原因，辨别真伪。

(4)重点部位应与其他观测资料综合分析。

(5)寻找影响位移的相关因素。

13 竣 工 测 量

13.1 一般规定

13.1.1 竣工测量包括下列主要项目：

(1)主要水工建筑物基础开挖建基面的 1∶200～1∶500 地形图（高程平面图）或纵、横断面图。

(2)建筑物过流部位或隐蔽部位形体测量。

(3)外部变形监测设备埋设安装竣工图。

(4)建筑物的各种重要孔、洞的形体测量（如电梯井，倒垂孔等）。

(5)视需要测绘施工区竣工平面图。

13.1.2 竣工测量的精度指标参照各章节相应项目的测量中误差的规定执行。施测精度，一般不应低于放样的精度。

13.1.3 竣工测量作业方法：

(1)随着施工的进程，按竣工测量的要求，逐渐积累竣工资料。

(2)待单项工程完工后，进行一次性的测量。

对于隐蔽工程、水下工程以及垂直凌空面的竣工测量，宜采用第一种作业方法。

13.1.4 对于需要竣工测量的部位，应事先与设计、施工管理单位协商，确定测量项目，防止漏测。

13.2 开挖竣工测量

13.2.1 主体工程开挖至建基面时，应及时实测建基面地形图，亦可测绘高程平面图，比例尺一般为1∶200。图上应标有建筑物开挖设计边线或分块线。

13.2.2 开挖竣工断面测量的技术要求(包括主体工程建基面和地下洞室开挖)，应符合表13.2.2的规定。

表13.2.2 开挖竣工断面测量的技术要求

类别		横断面				纵断面			
坝闸及厂房	坝块宽度(m)	间距(m)	方向	测点间距(m)	绘图比例尺	断面布设	施测条数	测点间距(m)	绘图比例尺
	≥10	1条	—	0.5～1.0	1∶50～1∶200	—	3	0.5～1.0	纵1∶50 横1∶200
	<10						2		
隧洞	直线段	5	垂直洞中线	1～2	1∶50～1∶100	沿纵向洞顶、洞底	2	1～2	纵1∶50～1∶100 横1∶1000～1∶2000
	曲线段 渐变段 斜坡段	3～5	径向						
地下大体积洞室		2～5	垂直洞中线	0.5～1	1∶50～1∶200	沿纵向洞顶、洞底、拱肩	4	1～2	纵1∶50～1∶100 横1∶1000～1∶2000
泄水建筑物		5	垂直轴线	1～2	1∶50～1∶200	沿轴线	1	2～3	1∶50～1∶100

注：上表系一般规定，如遇到开挖截面突变时，应加测断面。

13.2.3 对于高边坡部位的固定锚杆，视需要测锚杆立面图或平面图。

13.3 填筑竣工测量

13.3.1 单项填筑工程竣工时，应测绘建筑物的高程平面图，或纵、横断面，其比例尺不应小于施工详图。

13.3.2 对于电梯井、倒垂孔等井孔的竣工测量，应随着施工的进展，逐层进行形体测量。其测量成果，随时整理成图或制表备用。

13.3.3 土、石坝在心墙、斜墙、坝壳填筑过程中，每上料二层，须进行一次边线测量并绘成图表为竣工时备用。

13.4 过流部位的形体测量

13.4.1 需要进行形体测量的部位有：溢洪道、泄水坝段的溢流面、机组的进水口、蜗壳锥管、扩散段；闸孔的门槽附近，闸墩尾部，护坦曲线段、斜坡段、闸室底板及闸墙等。

13.4.2 过流部位的形体测量，其断面布设应符合表 13.4.2 的规定。

过流部位的形体测量，也可采用光电测距极坐标法，测量散点的三维坐标。散点的密度，可根据建筑物的形体特征确定：水平段可稀，曲线段、斜坡段宜密。

表 13.4.2 过流部位形体断面测量布设及测量精度

工程部位		断面布设		测点中误差 (mm)	
		横断面间距 (m)	纵断面间距 (m)	平面	高程
闸、孔溢流段	护坦	—	20	±20	±15
	闸墩室	3～5	(每孔 1～3 条)	±15	±10
	消力坎	—	3		
	过流底板	3～5	20		
	导墙	5～10	—		
	胸墙	—	3		
厂房	进口段	3～5	(每孔 1～3 条)		
	主机段	1～5	—		
	尾水段	3～5	(每孔 1～3 条)		
隧洞	混凝土衬砌段	10	—	±20	±20
	混凝土喷锚段	20	—	±40	±40

13.4.3 竣工测量的成果，除了整理绘制成果表外，还必须按解析法的要求计算各测点的三维坐标值。在提供成果时，除提供图纸外，还应提供坐标实测值。

13.5 资料整编

13.5.1 竣工图的编绘，应与设计平面布置图相对应，图表应按竣工管理部门的统一图幅规格选用，分类装订成册，并附必要的文字说明。

13.5.2 竣工地形图应该注明图幅的坐标系统、高程系统、测图方法、比例尺、制图日期等基本数据。对于竣工纵、横断面图，必须注明断面桩号、断面中心桩坐标、断面方向、比例尺，并附有断面位置示意图。

13.5.3 提交的各项成果成图资料，应项目齐全，数据正确，图表清晰，符合质量要求。

13.5.4 应该归档的竣工资料，一般包括下列项目：

(1)施工控制网原始观测手簿、概算及平差计算资料。

(2)施工控制网布置图、控制点坐标及高程成果表。

(3)竣工建基面地形图和纵、横断面图。

(4)建筑物实测坐标、高程与设计坐标、高程比较表。

(5)实测建筑物过流部位及其他主要部位的竣工测量成果(坐标表、平面、断面图)。

(6)施工期变形观测资料。

(7)测量技术总结报告。

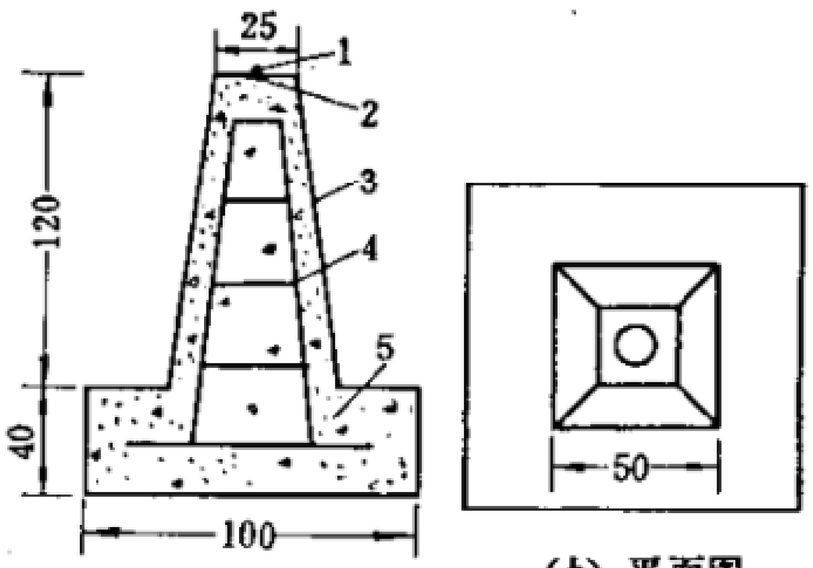
(8)施工场地竣工地形图,平面图。

附录A　平面控制的标墩与标志

A1　混凝土标墩

A1.1　一般混凝土标墩,如图A1。

A1.2　可调整标心位置的混凝土标墩的上部结构,如图A2。

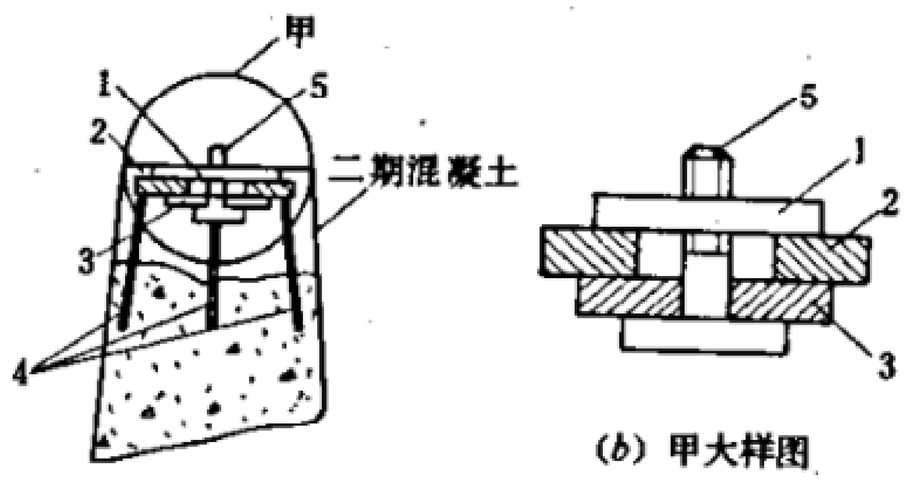


(a) 剖面图　　(b) 平面图

图A1　混凝土标墩(单位:cm)

1—标心；　2—标盘;3—标身;

4—钢筋；　5—底座



(a) 剖面图　　(b) 甲大样图

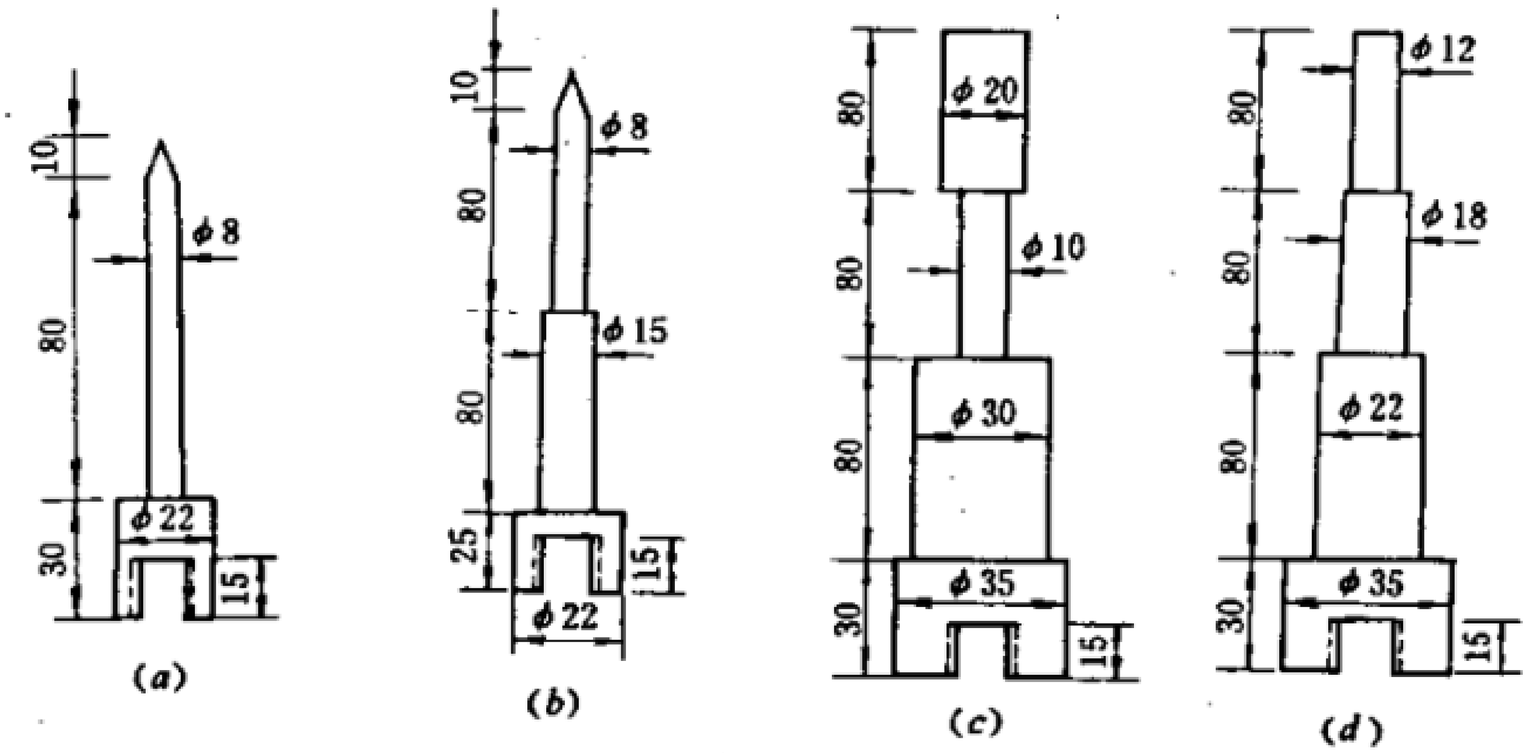
图A2　混凝土标墩上部结构

1—标盘；　2—供调大孔环；　3—卡环;

4—钢筋；　5—螺栓

A2　照准标志

A2.1　照准标志的结构如图A3,照准标志与标心的连接应和使用的经纬仪配套。



(a)　(b)　(c)　(d)

图A3　照准标志(单位:cm)

附录B　测边网角条件自由项限值计算

B1.0.1　在独立的测边网中，每一个中点多边形、大地四边形或扇形存在一个几何条件（相当于测角网中的极条件），为使此条件和惯用的三角网中的条件方程式相接近，我们采用以圆周角条件（对于中点多边形）和组合角条件（对于大地四边形和扇形）来建立条件方程式，自由项限值按下式计算：

$$W_J=\pm 2m_s\sqrt{(a_i a_i)} \tag{B1}$$

式中　m_s——观测边的平均测距中误差；

a_i——条件方程式系数。

B1.0.2　中点多边形圆周角条件方程式系数 a 的计算：

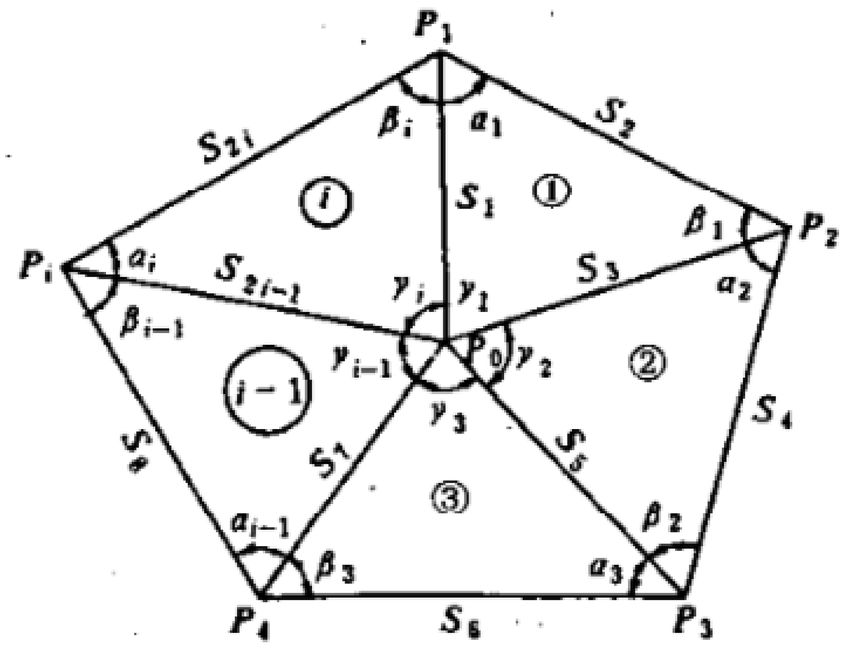
辐射边系数：

$$a_{2i-1}=\frac{\sin(a_i+\beta_{i-1})\rho''}{S_{2i-1}\sin a_i\sin\beta_{i-1}} \tag{B2}$$

外围边系数：

$$a_i=\frac{\rho''}{S_{2i-1}\sin a_i}$$

编号规定：奇数边号为辐射边，偶数边编号为外围边，角按顺时针方向编号，先 a_i 后 β_i，中心角用 γ_1 编号（图B1）。



图B1　中点多边形

B1.0.3　对于大地四边形或扇形可以看作为折叠的中点三边形（$n=3$）或四边形（$n=4$），如图B2所示。组合角条件方程式系数计算仍可采用上述中点多边形系数计算公式，但图形编号时要把重叠三角形放在最后，而且三个角度作为负值即可。大地四边形系数和扇形系数的计算公式分别见表B1和表B2。

表 B1　大地四边形系数 a_i 计算公式表

辐 射 边 系 数	外 围 边 系 数
$a_1=\dfrac{\sin(a_1-\beta_3)\rho''}{S_1\sin a_1\sin\beta_3}$	$a_2=\rho''/S_1\sin a_1$
$a_3=\dfrac{-\sin(\beta_1+a_2)\rho''}{S_3\sin a_2\sin\beta_1}$	$a_4=\rho''/S_3\sin a_2$
$a_5=\dfrac{\sin(\beta_2-a_3)\rho''}{S_5\sin a_3\sin\beta_2}$	$a_6=-\rho''/S_5\sin a_3$

注：即用$(-a_3)$、$(-\beta_3)$代入上述公式即得。

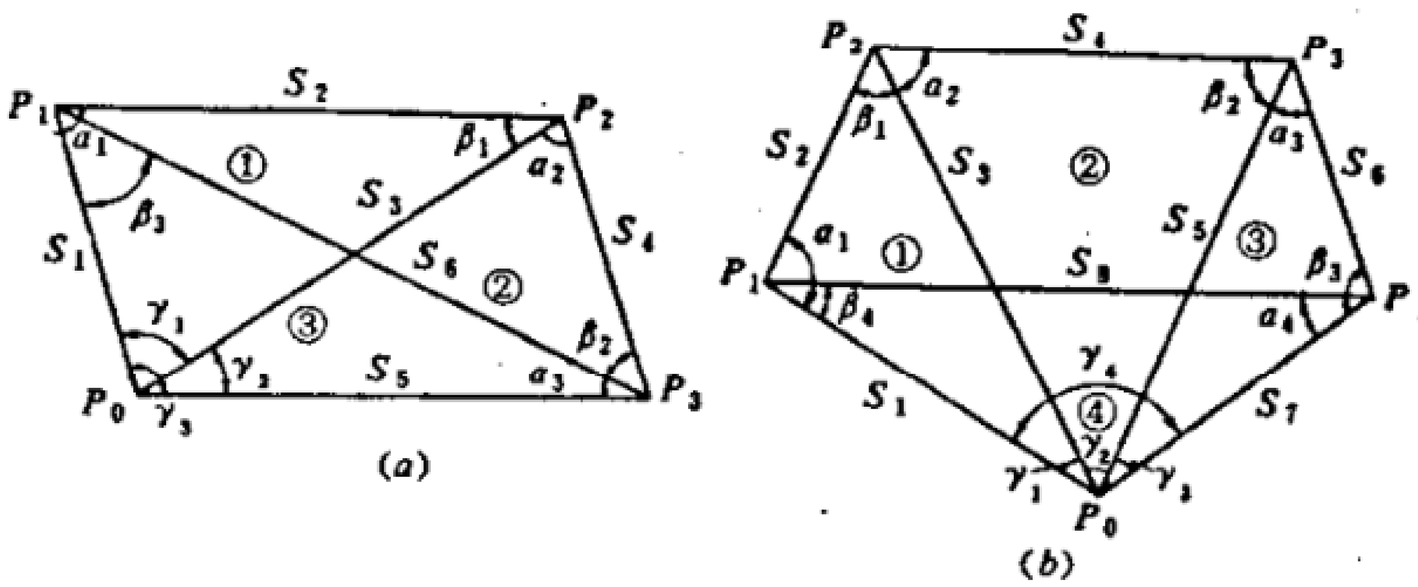


图 B2　大地四边形和扇形

(a)大地四边形；(b)扇形

B1.0.4　检核计算方法如下。

(1)根据观测边长计算各中心角 γ_i，并计算闭合差 W。对于中心多边形：

$$W_{中}=\gamma_1+\gamma_2+\cdots\cdots\gamma_i-360°$$

对于四边形：　　$W_{四}=\gamma_1+\gamma_2-\gamma_3$

对于扇形：　　$W_{扇}=\gamma_1+\gamma_2+\gamma_3-\gamma_4$

(2)计算各系数 a_i 和 W_J。

(3)若 $W_m<W_J$ 即为满足要求。

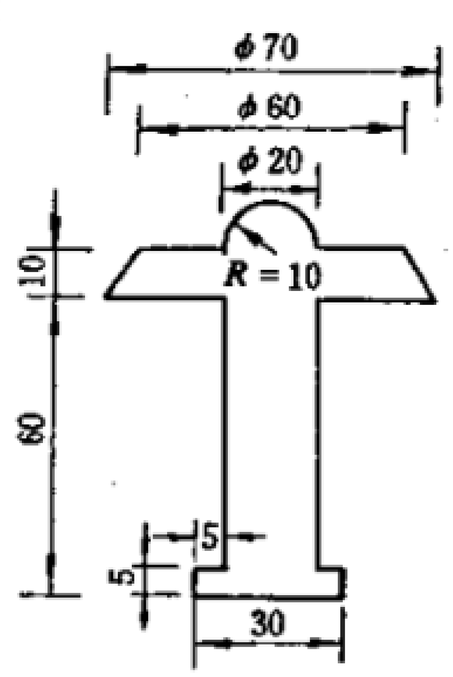
表 B2　扇形系数 a_i 的计算公式表

辐 射 边 系 数	外 围 边 系 数
$a_1=\dfrac{\sin(a_1-\beta_4)\rho''}{S_1\sin a_1\cdot\sin\beta_4}$	$a_2=\rho''/S_1\sin a_1$
$a_3=\dfrac{-\sin(\beta_1+a_2)\rho''}{S_3\sin a_2\cdot\sin\beta_1}$	$a_4=\rho''/S_3\sin a_2$
$a_5=\dfrac{-\sin(\beta_2+a_3)\rho''}{S_5\cdot\sin a_3\cdot\sin\beta_2}$	$a_6=\rho''/S_5\sin a_3$
$a_7=\dfrac{\sin(\beta_3-a_4)\rho''}{S_7\cdot\sin a_4\cdot\sin\beta_3}$	$a_8=-\rho''/S_7\sin a_4$

注：即用$(-a_4)$、$(-\beta_4)$代入上述公式即得。

附录C　高程控制点标志、标石埋设规格

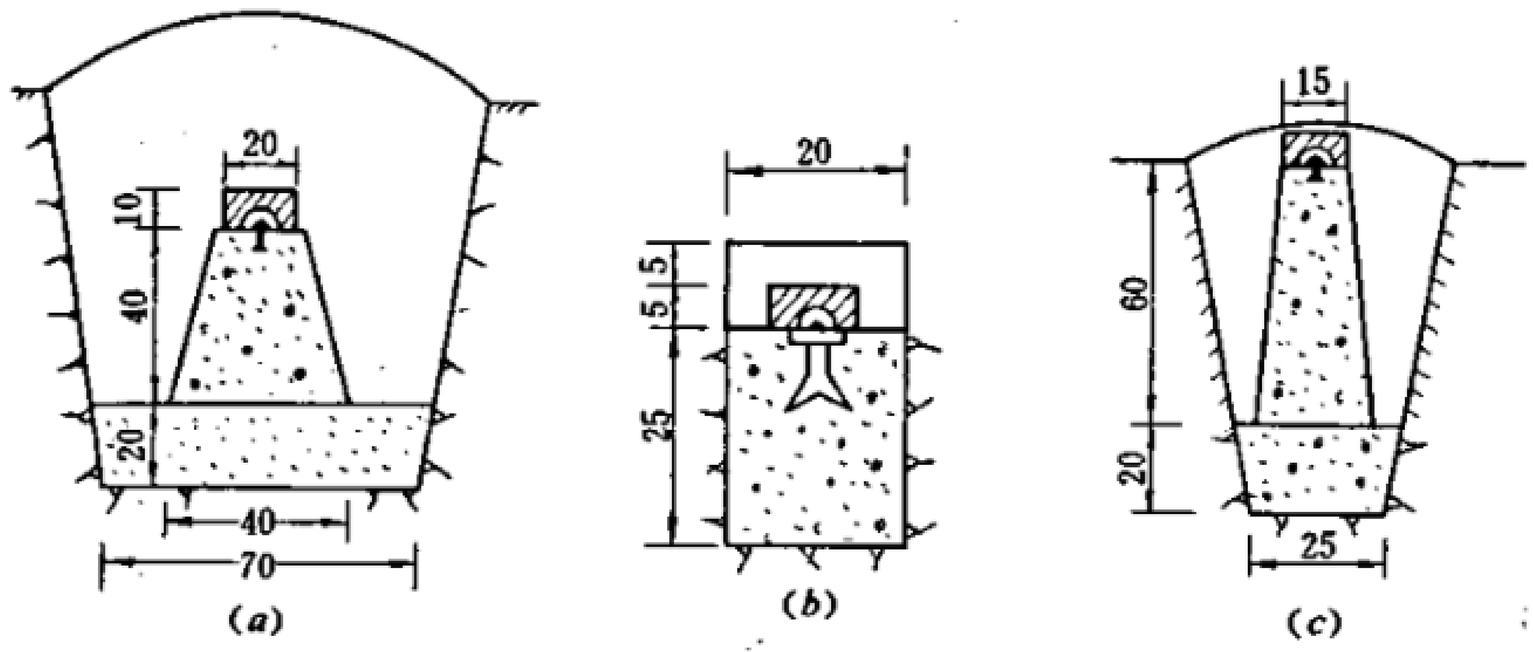
C1.0.1　金属水准标志，如图C1。



单位（mm）

图C1　金属水准标志　（单位：mm）

C1.0.2　水准标志埋设图，如图C2。



图C2　水准标志埋设图　（单位：cm）

(a)二、三等水准标石埋设图；(b)岩石标石埋设图；(c)四等水准标石埋设图

注：冻土地区的标型和埋设深度可自行设计。

附录D　测量仪器高、棱镜（觇牌）高的精密方法

D1.0.1　事先将仪器的水平轴（或棱镜和觇牌中心）至调平螺丝上部基座的固定长度，用机

械方法(如游标卡尺等)或用精密水准仪配以因瓦水准尺或钢板尺,予以精确测定。在现场观测中,只需量测标石面(或高程标志顶部)至上部基座面之间的距离就可以了。这种作业方法,特别是在观测仪器墩上是非常方便的,精度可保证在±1mm 内。

D1.0.2 如图 D_1 将经纬仪置中于 A 点,水准尺立于 B 点(A、B 两点高程差已用相应等级水准测得),读出在仪器水平视线时的水准尺整数分划读数,并用中丝两测回测定该分划线的垂直角,用钢尺量取水平距离 S,则仪器水平轴至 B 点标志间的高差 Δh 为

$$\Delta h = l_1 - S\mathrm{tg}\beta$$

设 A 点的仪器高(即水平轴之高程)为 I_A

则 $$I_A = h_{AB} + \Delta h$$

当 $S=10\mathrm{m}$,$\beta=1^\circ$,$m_\beta=\pm 2''$,$m_{l_1}=\pm 0.002\mathrm{m}$ 时,$m_{\Delta h}\leqslant 0.1\mathrm{mm}$,因此,用这种方法测取仪器高的精度是高的。

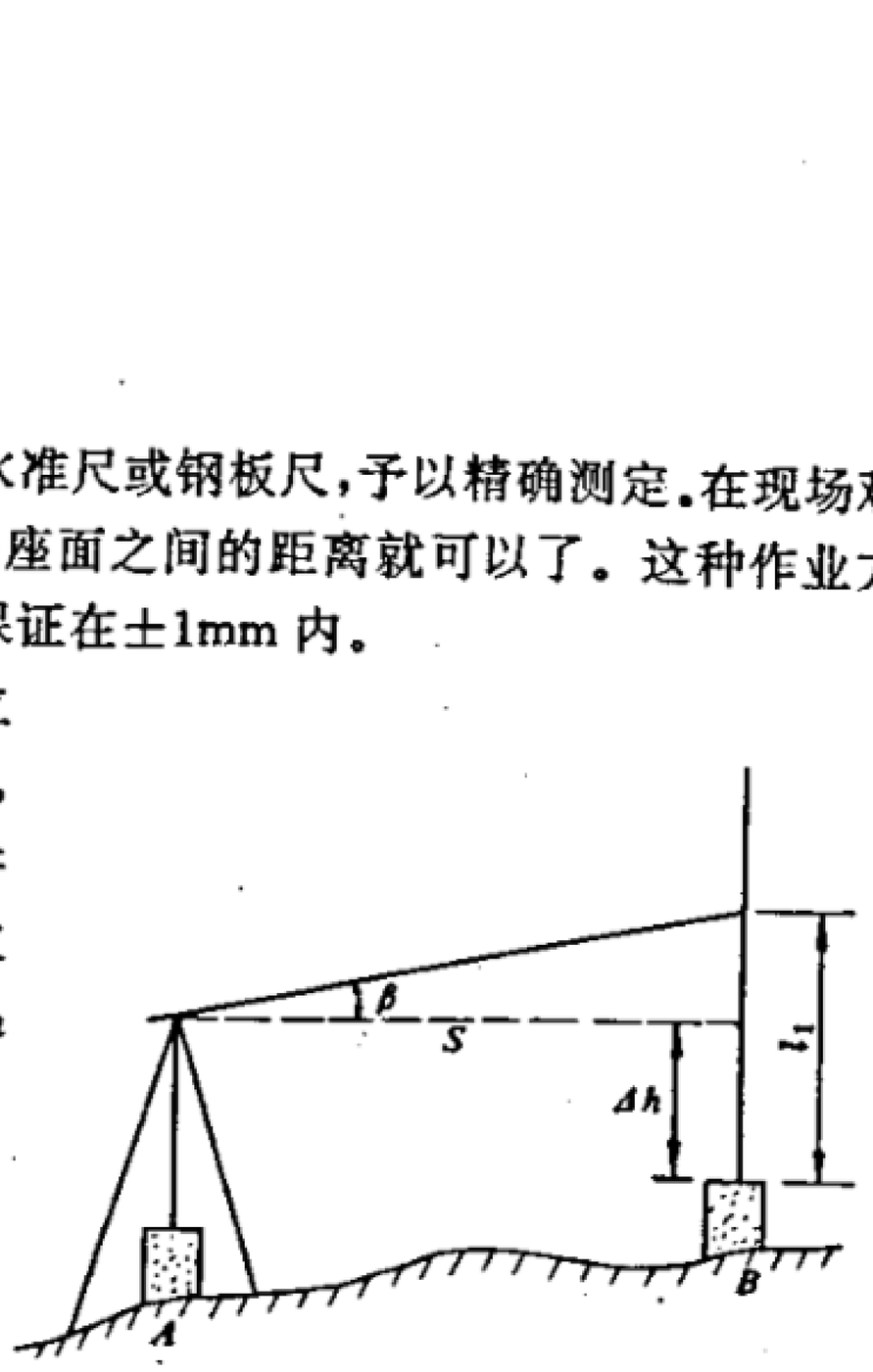


图 D1 测量仪器高的示意图

附录 E 平面位置放样操作方法的规定

E1 角度前方交会法放样角度的操作程序

E1.1 将仪器精确架设于测站点上,于盘左位置顺时针旋转照准部 1～2 周后,精确照准后视方向点。

E1.2 用测微器和度盘配置变换钮,配置后视方向所需的度盘位置,再转动测微器,精确读出方向值,并求出其与后视方向计算值之差数,以便对前视(交会)方向计算值进行改正(加或减差数)。

E1.3 顺时针旋转照准部,照准另一已知方向点,利用该方向的观测值(考虑 E1.2 款差数改正)与计算值之差数,检查后视方向的正确性。

E1.4 顺时针将照准部转至前视方向所需(经 E1.2 款差数改正后)的度盘位置,然后指挥定点人员进行定点。

E1.5 再顺时针旋转照准部,照准后视方向点,以检查归零差。

E1.6 纵转望远镜,按逆时针方向旋转照准部,先精确照准后视方向点,并读取水平度盘读数,再将照准部逆时针旋转至前视方向值加后视读数的度盘位置,仿 E1.4、E1.5 款操作,即完成前方交会一测回定点程序。

E2 极坐标法放样操作程序

E2.1 按角度前方交会法交会一测回的操作程序,定出待定点方向线。

E2.2 沿待定点方向线丈量或测设测站点至待定点的距离。

E3　轴线交会法的操作程序

E3.1　如图 E1，将仪器架于 A 点(或 B 点)，后视 B 点(或 A 点)，使用盘左盘右两度盘位置定出待定点 P 的概略位置 P'。

P'的确定，也可采用 E4、E5 的正、倒镜投点法。

E3.2　再在 P' 点架设仪器，根据要求的测回数测定 a_1、a_2 角值。

E3.3　计算 P' 点纵(或横)坐标与所需 P 点纵(或横)坐标的差值 PP'。而后，由 P' 点沿轴线量出 PP' 距离，定出 P 点。

E4　正、倒镜投点(中间投点)法之一

E4.1　如图 E2(a)，将仪器大致置于已知直线 AB 上，并概略整平。

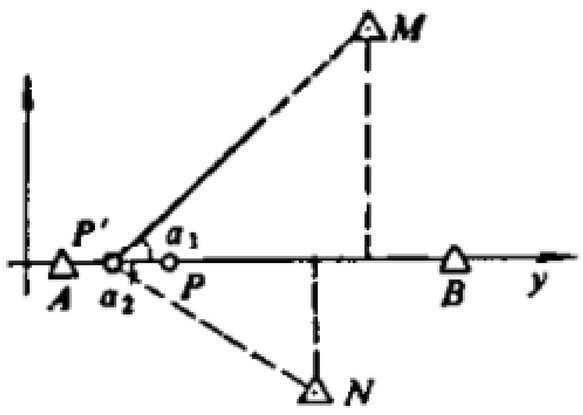


图 E1　轴线交会法示意图

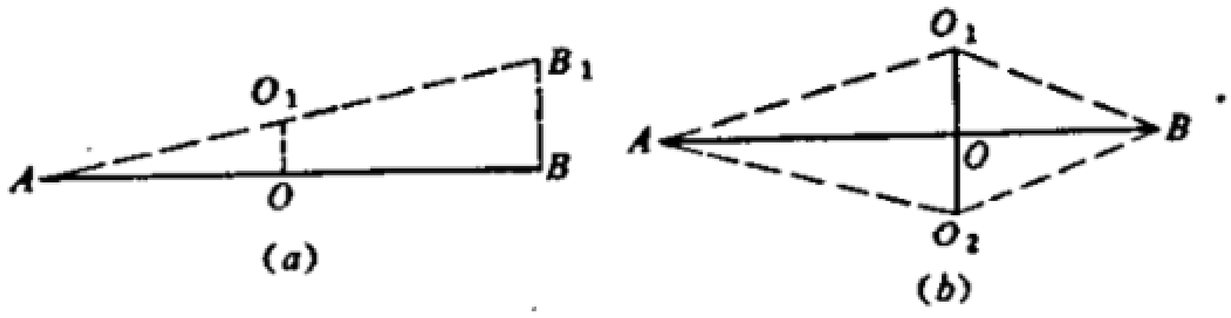


图 E2　正倒镜投点法示意图

(a)正倒镜投点法之一；(b)正倒镜投点法之二

E4.2　正镜瞄准远端点(相对于架站点)A，纵转望远镜看近端点 B，并估计十字丝交点 B_1 与近端点 B 的偏离值 BB_1。

E4.3　根据偏离值 BB_1 移动仪器 O_1(若移动距离较大，则仪器应用圆水泡整平)，重复 E4.2 款操作，估计偏离值，再次移动仪器 O_1 向已知直线 AB 靠近。

E4.4　当仪器 O_1 相距已知直线 AB 的距离小于 2cm 时，应精确整平仪器，仿 E4.2、4.3 款操作步骤，直至十字丝交点与近端点 B 重合为止。

E4.5　倒镜瞄准远端点 A，纵转望远镜看近端点 B，若十字丝交点与近端点 B 重合，即可进行投点。否则应松开中心连接螺丝，轻微移动仪器，使得正、倒镜观测量，十字丝交点对称偏离近端点 B 的两侧后(或与 B 点重合)，再进行投点。

E5　正、倒镜投点(中间投点)法之二

E5.1　如图 E3(b)，同 E4.1 款。

E5.2　正镜瞄准远点 A 后，将照准部顺时针旋转 180°看近端点 B，估计十字丝交点与端点 B 的偏离值。

E5.3　同 E4.3 款。

E5.4　同 E4.4 款，得正镜投点。

E5.5　倒镜瞄准远点 A 后，将照准部逆时针旋转 180°看近端点 B，再仿 E5.4 款得到倒镜投点。

E5.6　取正、倒镜投点的平均位置，即为所求投点。

附录F　平面放样方法精度估算公式*

F1　极坐标法(图F1)

$$M_p^2=m_x^2+m_y^2 \tag{F1}$$

$$m_x=\pm\sqrt{m_c^2+m_b^2\cos^2\beta+\left(\frac{m_\beta}{\rho}b\right)^2\sin^2\beta} \tag{F2}$$

$$m_y=\pm\sqrt{m_b^2\sin^2\beta+\left(\frac{m_\beta}{\rho}b\right)^2\cos^2\beta} \tag{F3}$$

当$\beta=90°$时，代入F2、F3式即为直角坐标的精度估算公式F4：

$$m_p=\pm\sqrt{m_b^2+m_c^2+\left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2} \tag{F4}$$

式中　m_c、m_b——量边中误差；

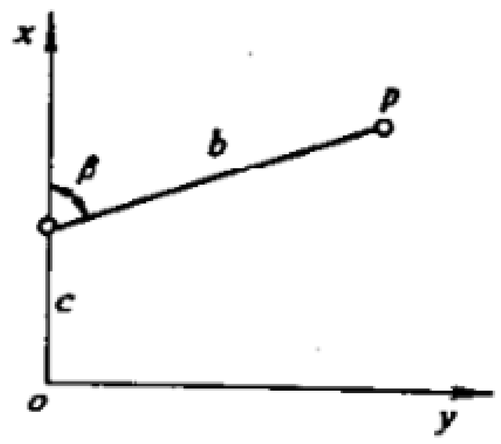
m_p——p点平面位置中误差；

b——量边长度；

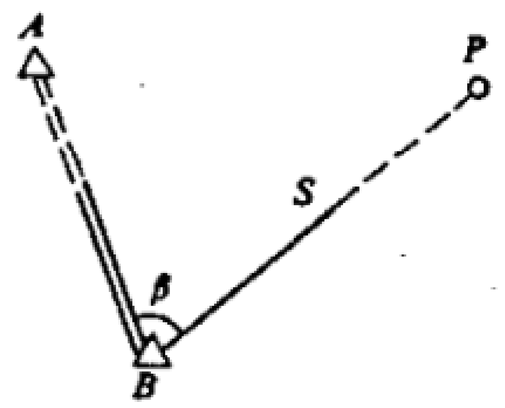
m_β——测角中误差；

$\rho=206265''$。

F1.1　光电测距极坐标法(图F2)



图F1　极坐标法示意图



图F2　光电测距极坐标法示意图

$$M_p=\pm\sqrt{m_s^2\cos^2a+\left(\frac{S\,m_\beta}{\rho}\right)^2} \tag{F5}$$

式中　S——斜边长；

a——垂直角；

m_s——测距中误差。

F2　轴线交会法**(图F3)

---

* 估算公式中，除注明者外，均未顾及到起始点误差，测站点和照准点偏心误差以及标定误差。

** 如沿x轴方向进行轴线交会，则应以M_{xP}置换M_{yP}。

$$M_{yP}=\pm\frac{1}{\sqrt{2}}S_{mP}\csc\beta\,\frac{m_\beta}{\rho} \tag{F6}$$

式中 M_{yP}——交会点 P 沿 y 轴方向的平面位置误差；

S_{mP}——M、N 点至 P 点的平均距离；

β——为夹角 β_1、β_2 的平均值。

F3 两点角度前方交会(图 F4)

$$M_P=\pm\frac{m_\beta}{\rho}S\sqrt{\frac{\sin^2\beta_1+\sin^2\beta_2}{\sin^2\gamma}}=\pm\frac{m_\beta}{\rho}\frac{\sqrt{a^2+b^2}}{\sin\gamma} \tag{F7}$$

式中 S——基线长度；

a、b——交会边边长。

F4 测角侧方交会法(图 F5)

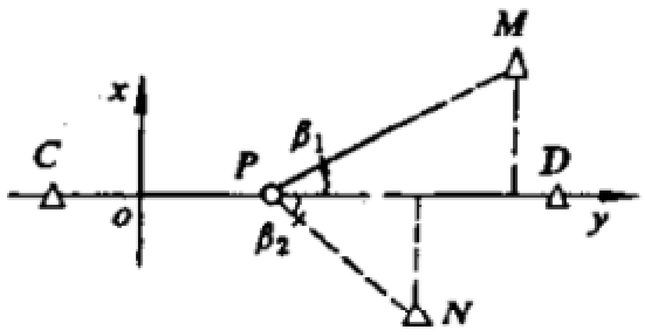


图 F3 轴线交会法示意图

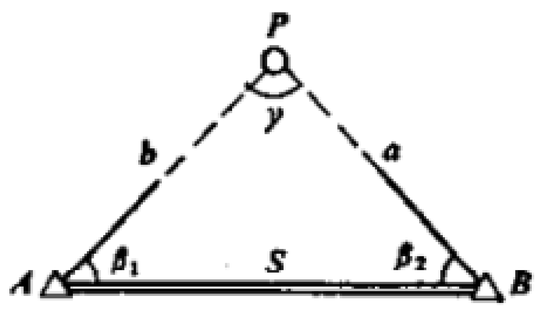


图 F4 两点角度前方交会示意图

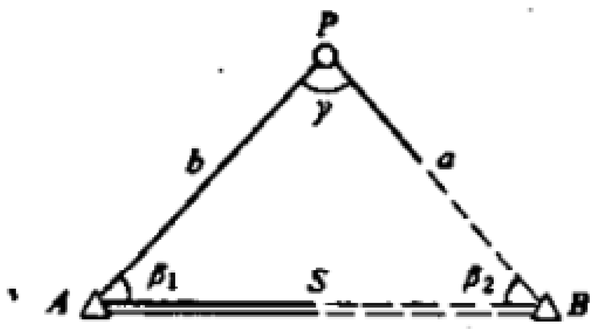


图 F5 测角侧方交会示意图

$$M_P=\pm\frac{m_\beta}{\rho}S\frac{\sqrt{\sin^2\beta_1+\sin^2\gamma}}{\sin^2\beta_2}=\pm\frac{m_\beta}{\rho}\frac{\sqrt{a^2+S^2}}{\sin\gamma} \tag{F8}$$

F5 单三角形法(图 F6)

$$M_P=\pm\frac{m_\beta}{\rho}S\sqrt{\frac{\sin^2\beta_1+\sin^2\beta_2+\sin^2\gamma}{3\sin^4\gamma}}=\pm\frac{m_\beta}{\rho\sin\gamma}\sqrt{\frac{1}{3}(a^2+b^2+S^2)} \tag{F9}$$

F6 测角后方交会法(图 F7)

$$M_P=\pm\frac{m_\beta b_2}{\rho\sin(\gamma+\beta)}\sqrt{\frac{b_1^2}{S_1^2}+\frac{b_3^2}{S_2^2}} \tag{F10}$$

F7 三点测角前方交会法(图 F8)

$$M_P=\pm\frac{m}{2\rho}\sqrt{\frac{a^2+b^2}{\sin^2(\beta_2+\beta_1)}+\frac{b^2+c^2}{\sin^2(\beta_3+\beta_4)}} \tag{F11}$$

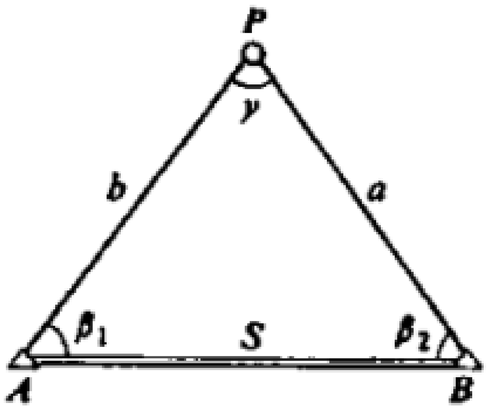
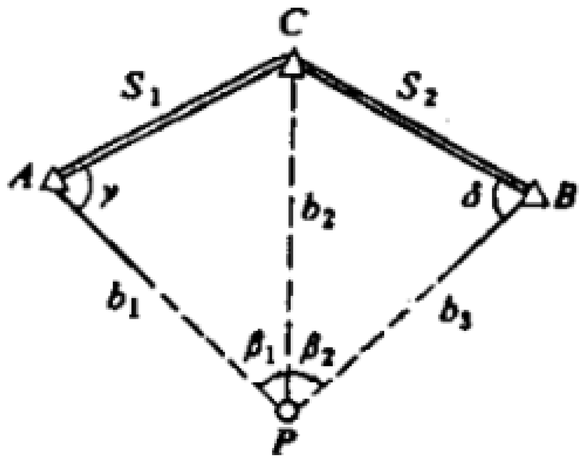


图 F6　单三角形示意图



F7　测角后方交会示意图

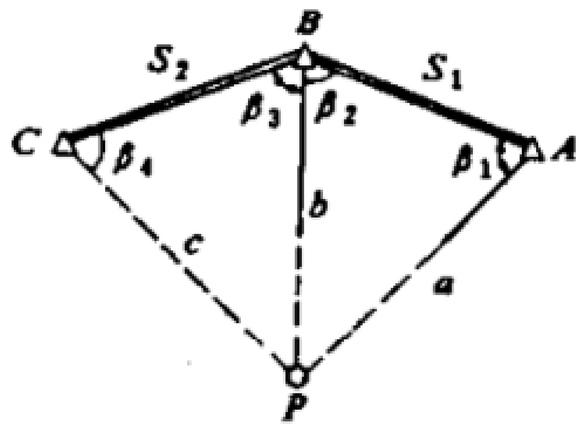


图 F8　三点测角前方交会示意图

F8　测边交会法(图 F9)

$$M_P=\pm\frac{\sqrt{2}\,m_s}{\sin\gamma} \tag{F12}$$

式中　m_s——边长丈量中误差。

F9　边角交会法

F9.1　边角交会法之一(图 F10)

$$M_P=\pm m_s\sqrt{\frac{S_2^2+2K-2K\cos\gamma}{K(1-\cos\gamma)^2}} \tag{F13}$$

F9.2　边角交会法之二(图 F11)

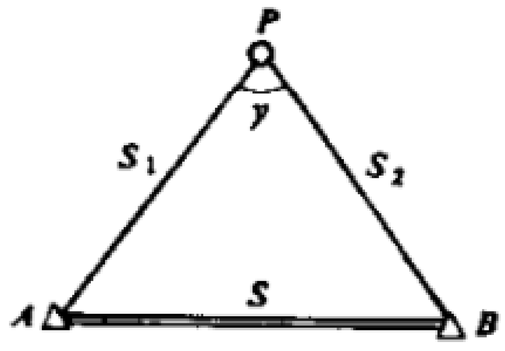


图 F9　测边交会法示意图

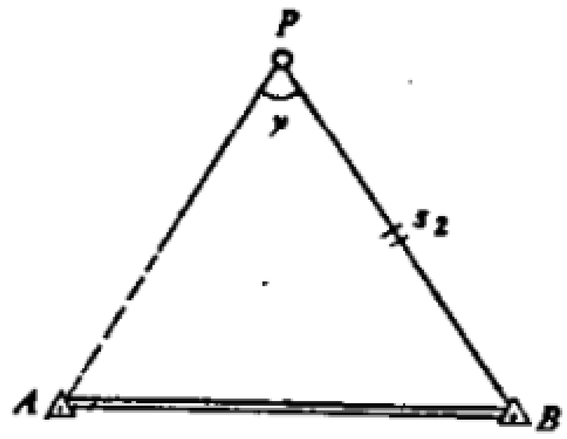


图 F10　边角交会法之一示意图

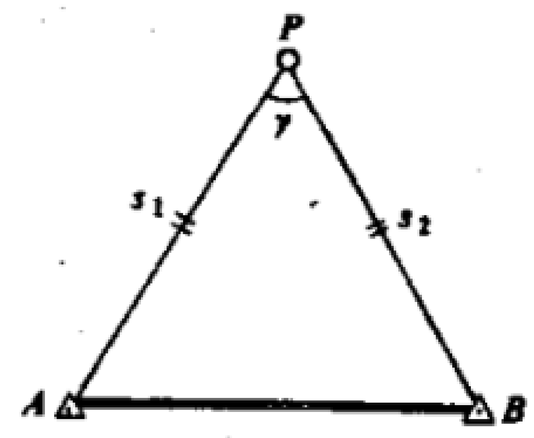


图 F11　边角交会法之二示意图

$$M_P=\pm m_s\sqrt{\frac{2s^2+2K-2K\cos\gamma}{s^2\sin^2\gamma+2K(1-\cos\gamma)^2}} \tag{F14}$$

F9.3　边角交会法之三(图 F12)

$$M_P=\pm m_s\sqrt{\frac{s^4+2K_s^2}{Ks^2\cos^2\gamma+Ks^2+K^2\sin^2\gamma}} \tag{F15}$$

F9.4　边角交会法之四(图 F13)

$$M_P=\pm m_s\sqrt{\frac{2s^4+2Ks^2}{s^4\sin^2\gamma+2Ks^2(1+\cos^2\gamma)+K^2\sin^2\gamma}} \tag{F16}$$

在上列图形中，均设 $s_1=s_2$。

$K=m_s^2\rho^2/m_\beta^2$（m_s、m_β 分别为测边和测角中误差）。

F10 横基尺测边（端点法）（图 F14）

$$m_s=\frac{S^2}{b}\cdot\frac{m_\gamma}{\rho''} \tag{F17}$$

式中 S——边长；

b——横基尺长，2m；

m_γ——视差角测角中误差；

ρ——206265″。

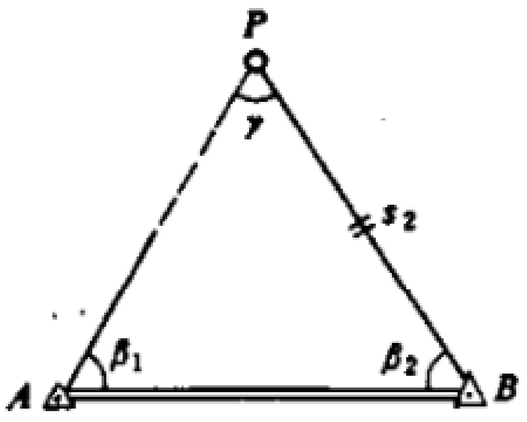


图 F12 边角交会法之三示意图

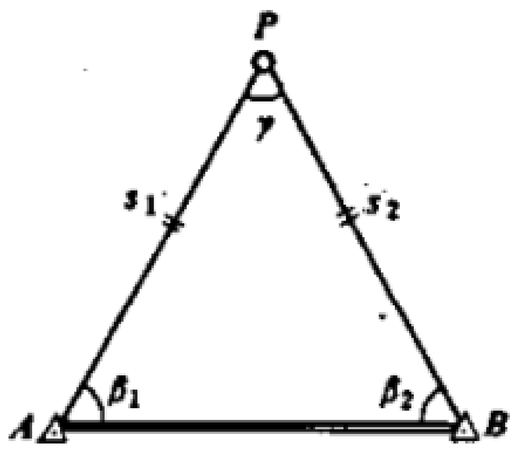


图 F13 边角交会法之四示意图

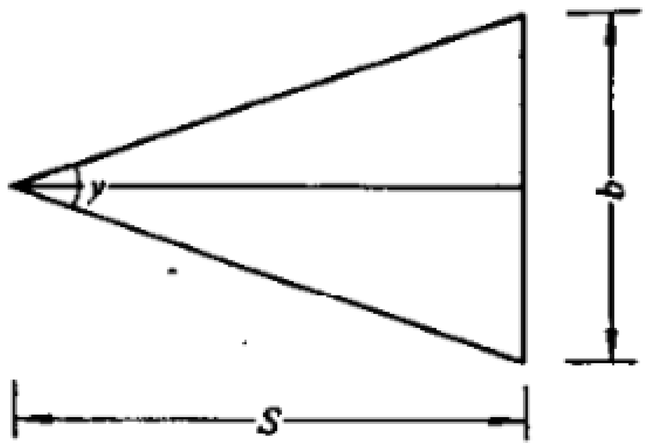


图 F14 横基尺测边示意图

附录 G 有关高程放样的精度估算公式

G1 三角高程测量法*

G1.1 解析三角高程（单向观测）

$$m_h=\pm S\left\{\left(\mathrm{tg}a\,\frac{m_s}{S}\right)^2+\left(\frac{1}{\cos^2 a}\cdot\frac{m_a}{\rho}\right)^2+\left(\frac{S^2}{2R}\right)^2 m_k^2+m_i^2+m_v^2\right\}^{\frac{1}{2}} \tag{G1}$$

G1.2 光电测距三角高程（单向观测）

$$m_h=\pm\left\{m_s^2\sin^2 a+\left(\frac{S^2\cos^2 a m_a^2}{\rho^2}\right)+\left(\frac{D^2}{2R}\right)^2 m_k^2+m_i^2+m_v^2\right\}^{\frac{1}{2}} \tag{G2}$$

式中 m_s——解析边边长、电磁波测距边边长中误差；

S——解析边边长、电磁波测距边长（斜距）；

a——垂直角；

m_k——大气折光系数测量误差；

---

* 均未考虑仪器高、觇标高的误差；当放样点距离大于 300m 时，应考虑球气差改正。

m_i、m_v——仪器高和觇标高测定误差；

D——平距。

G2 视距高程测量(单觇观测)

$$m_h=\pm\frac{S}{\cos^2 a}\sqrt{\left(\sin 2a\,\frac{m_s}{2S}\right)^2+\left(\cos 2a\,\frac{m_a}{\rho}\right)^2} \tag{G3}$$

式中 S——平距；

$\frac{m_s}{S}$——视距测量边长相对中误差，一般为 1/200。

附录 H 用钢带尺精密传递高程计算公式

H1.0.1 如图 H1 所示(由上往下传递高程)。

$$H_B=H_A+(a-b)-(V_1-V_2)+\Delta t+\Delta l+\Delta l_1+\Delta l_2+\Delta l_3 \tag{H1}$$

$$\Delta t=(t-t_0)aL \tag{H2}$$

$$\Delta l_1=\frac{\gamma L^2}{2E} \tag{H3}$$

$$\Delta l_2=\frac{L(Q-Q_0)}{FE} \tag{H4}$$

$$\Delta l_3=\frac{W^2L^3}{24Q_0^2} \tag{H5}$$

$$L=V_1-V_2 \tag{H6}$$

式中 H_A——已知点高程；

H_B——待求点高程；

a——高处水准仪对 A 标尺的读数；

b——低处水准仪对 B 标尺的读数；

V_1——高处水准仪对钢尺的读数；

V_2——低处水准仪对钢尺的读数；

Δt——温度改正数；

Δl——尺长改正数；

Δl_1——钢带尺自重伸长改正数；

Δl_2——钢带尺加重伸长改正数；

Δl_3——垂曲改正数(钢带尺检验为悬链状态)；

t_0——检定钢尺时的温度；

t——传递高程时的平均温度；

γ——钢的比重(7.8g/cm³)；

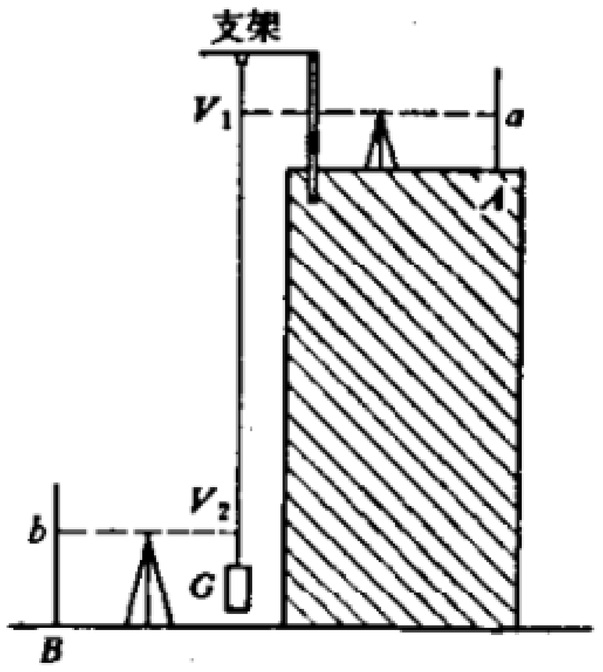


图 H1 用钢带尺精密传递高程示意图

E——钢的弹性模量($2\times10^6\times10N/cm^2$)；

F——钢带尺的横截面积；

Q——传递高程时钢尺下端挂锤重量；

Q_0——钢带尺检验时的拉力；

W——钢带尺每米重量；

L——钢带尺长度。

附录Ⅰ　用具有平行玻璃板的水准仪进行高程放样时的有关计算(以威尔特N3水准仪为例)

Ⅰ1　视线高的计算

$$\text{尺子正立时：视线高}=H+A+a-M$$

$$\text{尺子倒立时：视线高}=H-A+a-M$$

Ⅰ2　高差和基辅差计算*

Ⅰ2.1　后尺正立、前尺倒立

Ⅰ2.1.1　高差：

$$h_{基}=A_{后}+A_{前}+a_{后}-a_{前}$$

$$h_{辅}=A_{后}+A_{前}+a_{后}-a_{前}-2K$$

Ⅰ2.1.2　基辅差：

$$\text{后尺：}(A_{基}+a_{基})+K-(A_{辅}+a_{辅})$$

$$\text{前尺：}A_{辅}-A_{基}+a_{基}-a_{辅}-K$$

Ⅰ2.2　后尺倒立、前尺正立

高差：

$$h_{基}=-(A_{后}+A_{前})+a_{后}-a_{前}$$

$$h_{辅}=-(A_{后}+A_{前})+a_{后}-a_{前}-2K$$

Ⅰ2.3　前、后尺均倒立

高差：

$$h_{基或辅}=A_{前}-A_{后}+a_{后}-a_{前}$$

式中　H——起始点高程；

A——水准尺的厘米分划读数；

h——高差；

a——测微鼓读数；

M——平行玻璃板在垂直位置时测微鼓的读数，一般为50格(5mm)；

---

* 符号右下角注有后、前、基、辅的，系指后尺、前尺、基本分划、辅助分划读数、基本分划高差或辅助分划高程。

K——基辅常数差(N_3 水准仪的 K 值为 301550)。

附录 J　钢带尺放样中的计算

J1.0.1　长度放样时，钢带尺的尺长方程式中的各项改正数和倾斜改正数的符号，应与丈量距离时相反。

设某钢带尺的尺长方程式为

$$L=l+\Delta l+al(t-t_0) \tag{J1}$$

则丈量一段距离 L_1 时的计算式为

$$L_1=l_1+\frac{\Delta l}{l}l_1+al_1(t-t_0)-\Delta l_h \tag{J2}$$

放样一段距离 L_2 时的计算式为

$$L_2=l_2-\frac{\Delta l}{l}l_2-al_2(t-t_0)+\Delta l_h \tag{J3}$$

式中　L_2——要求放样的距离；

l——钢带尺的名义长度；

Δl——钢带尺的尺长改正数；

a——钢带尺的膨胀系数；

t——丈量或放样距离时的温度；

t_0——检查钢带尺时的温度；

Δl_h——倾斜改正数。

另外还须注意：

当钢带尺检验时悬空丈量求出的尺长方程式，在沿建筑物表面水平放样距离时，应加上垂曲改正数。计算公式见附录 H 中的 Δl_3。

若钢带尺在检验平台上求得的尺长方程式，用于悬空放样距离时，应减去垂曲改正数。

附录 K　光电测距边长和高差的各项改正值计算公式

K1　测距边气象改正值的计算(适用于威特型和克恩型系列的测距仪)

$$\Delta S_1=\left(28.2-\frac{0.0387p}{1+0.0037t}\right)S$$

或

$$\Delta S_1=\left(28.2-\frac{0.00029p_a}{1+0.0037t}\right)S \tag{K1}$$

式中 t——温度，℃；

p——大气压力，mmHg；

p_a——大气压力 Pa，1mmHg=133.322Pa；

S——斜距观测值，100m 计；

ΔS_1——测距边的气象改正值，mm。

K2 测距仪加乘常数改正值的计算

$$\Delta S_2=a+bS \tag{K2}$$

式中 a——由测距仪检定求得的加常数值，mm；

b——由测距仪检定求得的乘常数系数，mm/km；

S——斜距观测值，km；

ΔS_2——加、乘常数改正值，mm。

K3 斜距的归算

K3.1 用高差计算

$$D=\sqrt{S'^2-h^2} \tag{K3}$$

K3.2 用天顶距计算

$$D=S'\sin Z-\frac{1-K}{4R}S'^2\sin 2Z \tag{K4}$$

或

$$D=S'\sin(Z-f) \tag{K5}$$

$$f=(1-K)\frac{S}{2R}\rho''$$

式中 Z——天顶距观测值；

S'——经气象、加、乘常数改正后的斜距，$S'=S+\Delta S_1+\Delta S_2$；

h——测距仪与棱镜之间的高差；

D——测站与镜站平均高程面上的平距；

f——地球曲率与大气折光对天顶距的改正值；

K——大气折光系数；

R——地球平均曲率半径 6370000m。

K4 测区平均高程面上边长的归算

$$D_0=D\left(1-\frac{H_m}{R}\right) \tag{K6}$$

$$H_m=H_g-H_r$$

式中 H_g——测距边两端点高程的平均值；

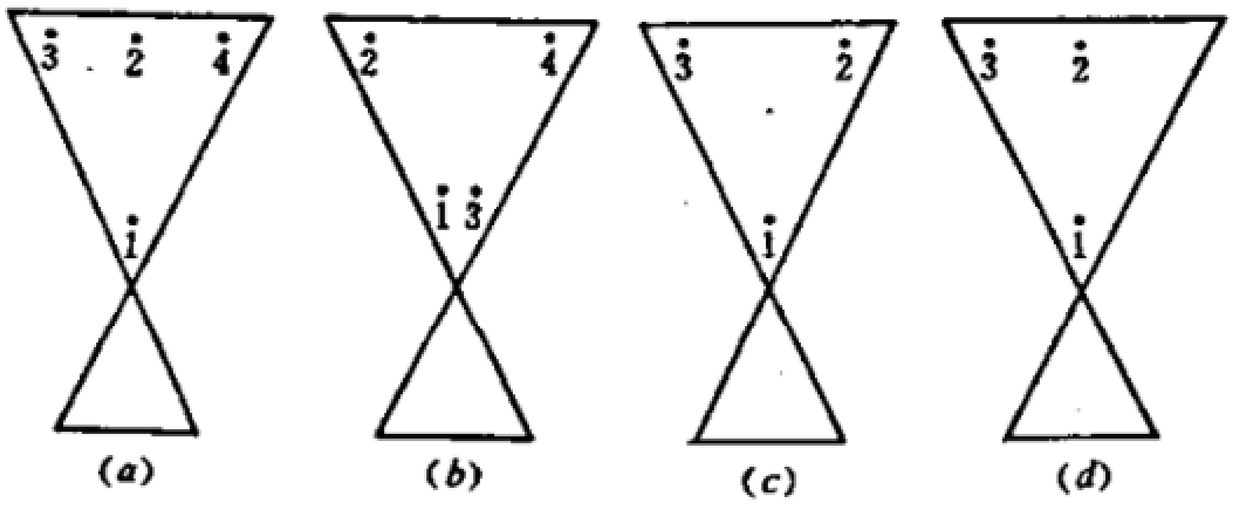
H_r——测区选定的投影面的高程。

K5　地球曲率和大气折光对高差的改正计算

$$\Delta h=(1-K)\frac{D^2}{2R} \tag{K7}$$

附录L　像片控制点和标志

L1.0.1　像片控制点布置一般有图L1四种图形，其中图L1(*a*)、图L1(*b*)图形较好，图L1(*c*)、图L1(*d*)图形次之。另外，在外业特殊困难地区，为了施测断面，也可在断面测区布点。

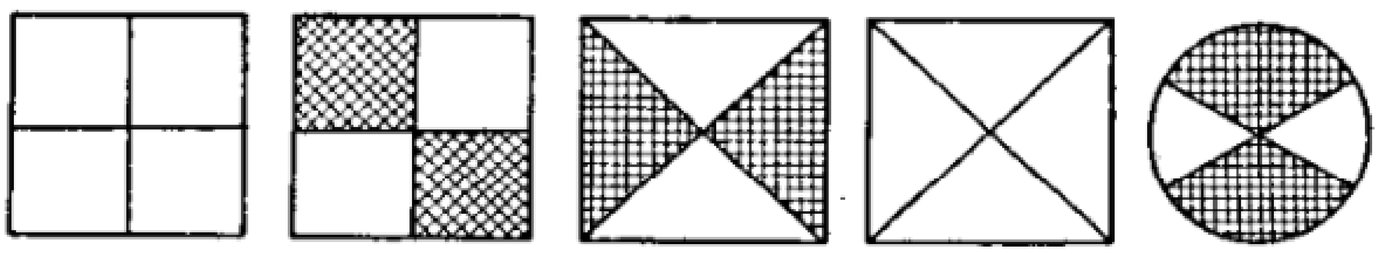


图L1　像片控制点布置图

L1.0.2　觇板标志，见图L2的五种形式，图案用红白油漆表示。杆状和觇板标志尺寸按表L1执行。

表L1　杆状和觇板标志尺寸表

距摄影站距离(m)	杆状形式		觇板形式	
	直径(cm)	长短(m)	线条宽度(cm)	觇板外形(m×m)
<400	2	1	2	0.3×0.4
400～800	4	1.5	4	0.4×0.5
800～1200	6	2	6	0.6×0.7
1200～1600	8	2.5	8	0.7×0.8
1600～2000	12	3.0	12	0.8×0.9



图L2　觇板标志图

附录 M　洞外、洞内导线贯通误差估算

M1.0.1　按一定比例尺绘制导线略，如图 M1(图中只绘了一半)。

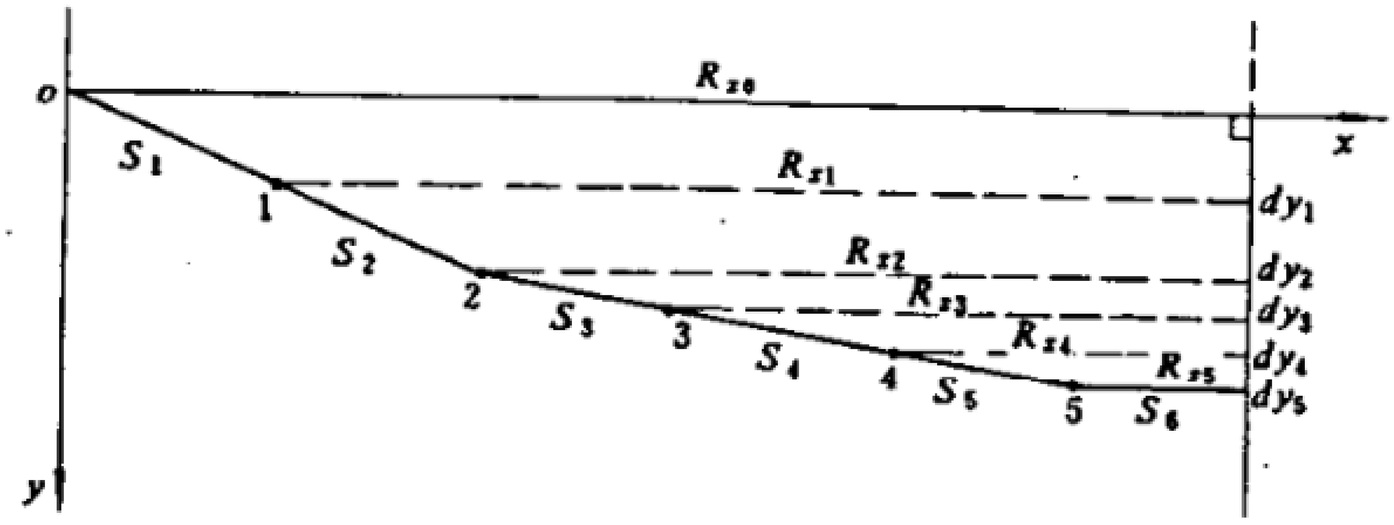


图 M1　导线略图

表 M1　图 M1 量取的 Rx_i、dy_i

点号或边号	1	2	3	4	5	6	7	1′	2′	3′	4′	5′	6′	7′
Rx_i	1300	1120	700	500	300	100		1180	1080	700	500	300	100	
dy_i	100	80	10	10	20	60	10	112	40	20	15	40	40	10

导线平面布置图如图 M2。

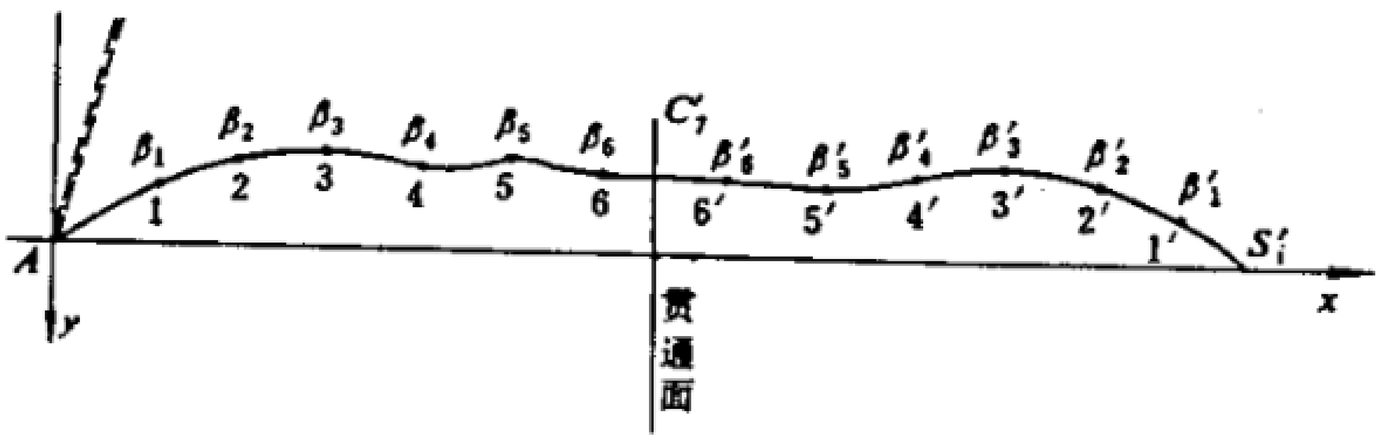


图 M2　导线平面布置图

M1.0.2　在图上量取 Rx_i、dy_i，列于表 M1。

M1.0.3　按下列公式计算 $m_{y\beta}$、m_{yl}。

$$m_{y\beta}=\pm\frac{m_\beta}{\rho}\sqrt{\Sigma R_x^2} \tag{M1}$$

$$m_{yl}=\pm\frac{m_l}{l}\sqrt{\Sigma d_y^2} \tag{M2}$$

$$m_y=\pm\sqrt{m_{y\beta}^2+m_{yl}^2} \tag{M3}$$

附录N　沉降观测点设置和工程量计算方法

N1.0.1　施工前在吹填区设立直径0.7m、厚0.015m带孔的铁板底盘，盘上焊有可接长的分划标志杆(一般用镀锌铁管)，盘下焊有长0.25m的稳定齿，杆上视吹填厚度焊有拉环(固定标志杆保持铅直)。观测杆设置数量，应视吹填区范围和吹填厚度由甲乙双方共同商定。

N1.0.2　工程量的计算，用各观测杆累计观测沉降值之和的平均值与吹填区总面积相乘(当吹填区吹填土厚度不一，且沉降杆所辖面积不均时，可分块计算)。

附加说明

主持单位：水利部建设开发司
能源部水电开发司

主编单位：水利水电长江葛洲坝工程局

参编单位：水利水电第四工程局
水利水电第一工程局
水利水电第十二工程局
葛洲坝水电工程学院

主要起草人：荣燮阳　陈宗佩　周寿彭　何薪基
廖在义　韩效华　朱顺全　金本斌

主 要 符 号

a——测距仪标称精度中的固定误差、条件方程式系数。

b——测距仪标称精度中的比例误差系数。

B——摄影基线长度。

D——水平距离、边长。

F——摄影经纬仪的焦距、导线(水准)环周长。

f——地球曲率与大气折光对天顶距的改正值。

f_β——附合导线或闭合导线环的方位角闭合差。

H——高程、建筑等总高度。

h——高差。

I——仪器高。

i——水准仪视准轴和水准管轴间的夹角。

K——大气折光系数、水准路线长度。

L——附合(闭合)水准路线长度、钢带尺名义长度。

M——成图比例尺分母。

m——测回数。

m_β——测角中误差。

m_i——方向中误差。

m_s——测距中误差。

m_α——起始边方位角中误差、垂直角中误差。

m_0——单位权中误差。

m_h——高差(高程)测量中误差。

m_{lgs}——起始边对数中误差。

m_g——固定角的角度中误差。

M_X——隧洞纵向贯通中误差。

M_Y——隧洞横向贯通中误差。

M_Δ——每公里高程测量高差中数的偶然中误差。

M_W——每公里高程测量高差中数的全中误差。

N——附合导线或闭合导线环的个数、水准环个数。

P——大气压力、面积。

P_β——角度观测值的权。

P_i——方向观测值的权。

P_s——测距边观测值的权。

R——地球曲率半径、水准路线中区段长度、曲线半径。

Q——权系数。

S——斜距、边长。

T——温度、边长相对中误差分母。

n——测站数、测段数、边数、三角形个数。

DJ_1、DJ_2、DJ_6——经纬仪型号。

DS_{05}、DS_1、DS_3、DS_6——水准仪型号。

V——改正数、棱镜(觇牌)高、放大倍率。

W——三角形闭合差、水准路线环闭合差或附合路线闭合差。

W_j——测角网极条件自由项。

W_D——边(基线)条件自由项。

W_f——方位角条件自由项。

W_g——固定角条件自由项。

W_s——边角网边条件自由项。

W_T——观测角与计算角差值自由项。

$W_{方}$——导线方位角条件自由项。

W_B——导线闭合图形的自由项。

X、Y——纵、横坐标。

Z——天顶距。

a——坐标方位角、垂直角、钢尺温度膨胀系数。

β——传距角、水平角。

δ——传距角正弦对数秒差。

Δ——水准测量往返测高差不符值、导线左右角闭合差、真误差。

水利水电工程施工测量规范

SL 52—93

条 文 说 明

前言 (128)
1 总则 (130)
2 平面控制测量 (140)
3 高程控制测量 (145)
4 放样的准备与方法 (148)
5 开挖工程测量 (154)
6 立模与填筑放样 (156)
7 金属结构与机电设备安装测量 (157)
8 地下洞室测量 (160)
9 辅助工程测量 (162)
10 施工场地地形测量 (164)
11 疏浚及渠堤施工测量 (166)
12 施工期间的外部变形监测 (169)
13 竣工测量

前　言

《水利水电工程施工测量规范》SDJS9－85(以下简称"原规范")是原水利电力部水利水电建设总局局标准，自1985年7月1日实施以来，对统一我国水利水电工程施工测量的操作和精度标准，推动测量技术进步，保证施工测量质量，起到了重要作用。近年来，由于新技术的发展和应用，原规范制定的技术依据已日显陈旧，难以反映当前测绘技术水平和现状，急需对原规范进行修订。

本规范的修订工作是在水利部建设开发司和原能源部水电开发司的主持下进行的。水利部建设开发司(90)建技便字第15号文同意修订编委会由周寿彭、荣燮阳、陈宗佩、何薪基、廖在义、韩效华、朱顺全、金本斌等8人组成，周寿彭任主编，荣燮阳、陈宗佩任副主编。本规范修订过程中，于1990年11月、1991年9月、1992年4月、1992年6月先后召开了四次编委会，讨论修订原则和大纲，按章节进行分工，提出规范修订征求意见稿，统稿和集体审校。并发送全国水利水电勘测、设计、施工单位和有关高等院校广泛征求意见，四易其稿形成规范(送审稿)。1992年11月24日在湖北宜昌召开了规范(送审稿)审查会，在此基础上对规范(送审稿)进一步修改完善后完成此稿。

本次修订中，对原规范作了如下主要修改和补充。

(1)规定了本规范的适用范围，对精度指标作了必要的调整。

(2)关于平面控制测量的控制网最末级控制点的相邻点位中误差改为相对于同级起始点或相邻高级点的点位中误差不应大于±10mm……，更改后点位中误差的基准为，对于一级布网是相对起始点的；而对于二级或多级布网是相对于高级点的。增加了适用于小型水利水电工程控制测量的有关规定。

(3)在高程控制测量中，增加了光电测距三角高程代替三、四、五等水准测量及过江水准测量的各项技术规定。

(4)在放样的准备与方法中，增加了边角后交的有关技术规定的内容。

(5)完善了开挖工程测量中对开挖轮廓点点位中误差的规定。补充了有关地面摄影测量方面的内容。

(6)在立模与填筑放样中，增加了对建筑物立模、填筑放样点检查的内容。

(7)增加了金属结构与机电设备安装测量精度指标的规定。

(8)在地下洞室测量中，改变了隧洞横向贯通误差的估算方法，增加了光电测距导线建立洞外控制的技术规格。

(9)在辅助工程测量中，对放样方法及技术要求进行了必要的增删。

(10)增加了渠堤施工测量的内容。

(11)增加了施工期间的外部变形监测内容。

(12)进一步完善了竣工测量项目、内容与技术要求。

河海大学章书寿教授为本规范修订工作的顾问，对编写工作作了重要指导。长江葛洲坝

工程局侯家兴、张白丽同志参与了校对描绘工作。

本规范(送审稿)审查委员会主任为章书寿和赵全林同志。水利部建设开发司李允中、张严明同志参加了本规范修订大纲、送审稿和报批稿的修改和定稿工作。

1 总 则

1.0.1 本条指明了本规范适用的范围和所包含的基本内容。

小型水利水电工程如无法执行本规范某些条文时，应说明理由并提出相应执行措施，报主管部门审批后实施。

1.0.2 本条规定了施工测量的主要内容，明确了施工测量人员的职责，这对于加强测量人员的责任心是必要的。

1.0.3 精度评定的标准通常有以下三种：

(1)中误差 m。

(2)平均误差 ξ。

(3)或然误差 P。

在或然率理论中可以证明，当观测次数 n 趋于∞时，三种标准之间有如下的关系：

$$\xi=0.7979m\approx\frac{4}{5}m$$

$$P=0.6745m\approx\frac{2}{3}m$$

即

$$m\approx\frac{5}{4}\qquad\xi\approx\frac{3}{2}P$$

以上三种标准，当观测次数 n 相当大时，用来评定精度是同样可靠的，但当 n 不大时，用中误差评定精度较可靠，因为它能明显地反映出测量中较大误差的影响。因此，本条规定“测量精度以中误差衡量”。

根据或然理论及有关文献多次实验的统计证明，大于两倍中误差的偶然误差出现的可能性约 5%；大于三倍中误差的偶然误差，其出现的可能性仅为 0.3%。在实际工作中，由于观测的次数不多，因此，本规范取中误差的两倍作为极限误差。

1.0.4 有关表 1.0.4 的简要说明。

(1)关于混凝土建筑物轮廓点的放样精度，目前国内外尚无统一标准，本表根据有关文献及各工程局多年来的实践，制定轮廓点放样精度(平面、高程中误差)为±2～±3cm。其根据是：

a. 李青岳教授主编的《工程测量学》中指出：“坝墩中心线、水轮机轴线放样的精度要求约 1～2cm”。苏联刘茨编著《大型建筑物的放样》中指出：“坝墩轴线位置的纵横向误差 1～2cm，竖向 1cm”。

b. 根据已建工程的实际放样精度统计资料。

(2)有关土石料建筑物轮廓点放样精度，根据我国的实际情况规定为 30～50mm。

(3)土石方开挖轮廓点的放样精度：

a. 根据《水工建筑物岩石基础开挖工程施工技术规范》中规定的放样点中误差见表 1.0.4。

表 1.0.4　土石方开挖轮廓点的放样精度

项　　目	覆　盖　层	岩　　石
平面(mm)	250	100
高程(mm)	125	50

b. 某些水工建筑物或重要部位有较密的钢筋网，钢筋保护层一般不得小于 5cm，因此土石方开挖放样的轮廓点平面位置中误差，规定为 50～200mm。

(4)施工场地地形测量的精度指标。水利水电工程施工阶段地形测量的特点是面积小，比例尺大，成图周期短。为了与《水利水电工程规划设计阶段测量规范》协调一致，故取地形测量的精度为：地物点位置中误差(限额以下)为 0.75～1.00mm(图上)，高程注记点中误差为基本等高距的 1/3。

(5)金属结构与机电设备安装测量指标，是参考《水工建筑物金属结构制造、安装及验收规范》、《电力建设施工验收规范》结合施工测量的实际制订的。

(6)施工期间外部变形观测精度指标。施工期间外部变形观测是为保证施工安全而进行的临时性观测，它的标志埋设，观测方案都比较简单，以能发现危及安全的位移量为标准。因此，它的精度标准要比永久性的变形观测精度标准降低 1～3 倍。本表就是参照有关规范并结合观测目的而制定的。

(7)隧洞贯通误差。水电部 1983 年颁布的《水工建筑物地下开挖工程施工技术规范》中规定：隧洞纵横向极限贯通误差，对于相向开挖长度小于 4km 的隧洞规定为±0.1～±0.2m；对于相向开挖长度大于 4km 的隧洞规定为±0.15～±0.30m；本规范取极限贯通误差的 1/2 作为贯通中误差。

1.0.5　施工测量是在规划设计阶段已有的控制点及其他有关测绘资料的基础上进行的，因此强调施工测量阶段用的平面坐标及高程系统应与规划设计阶段相一致。同时指出结合施工需要可建立施工坐标系。其好处是：既方便施工单位对测量成果的使用，又能将建筑物设计数值与施工坐标有机的联系起来。

1.0.6　在大型水利水电工程施工区，各个主要建筑物之间的相对精度并不要求很高。但是，可能在某一个主要建筑物的内部(例如厂房施工区内各机组之间，机组与钢管之间)其相对精度要求过高。这时，可在该区建立一个相对高精度的专用网，而无需提高整个施工控制网的精度。本条规定的意义就在这里。

1.0.7　制定本条的目的在于：在满足本规范提出精度要求的前提下，大胆推广、应用新技术。

本条对新技术和新方法的采用，本着积极、慎重的态度。凡经过鉴定行之有效的好经验、新方法，如：光电测距等级导线、边角网、测边网、光电测距三角高程等均做了相应的规定。

1.0.8　施工测量中的记录，资料整理，仪器维护，缺乏标准化、规范化。记录涂改，手簿撕页，资料紊乱、丢失以及仪器安全事故等时有发生。制定本条的目的，在于引起测量队的领导和全体施工测量人员的注意。

2　平面控制测量

2.1　一般规定

2.1.2　根据30多年水利水电施工测量的实践，不同规模的工程，应该采用不同等级的施工控制网，以利于既满足施工放样的要求，又经济合理。

建国以来，我国百万千瓦以上的大型水电工程，如刘家峡、龙羊峡、葛洲坝、白山等，首级控制网都是按二等布设的。而百万千瓦以下的大、中型水电站工程，则大部分按三等网布设，对于中、小型工程，施工范围小，则可根据条件从简布置即可。

为了便于施工测量人员的选择，编制了表2.1.2以供参考。

对于特大型水利水电工程，由于工程规模巨大，施工范围广阔，可能需要多级布网，因而可适当提高首级网的等级，以利扩展。

2.1.3　关于平面控制网的精度标准问题。

本规范2.1.3规定“平面控制点相对于同级起算点或邻近高一级控制点的点位中误差不应大于±10mm”。

(1)点位中误差不大于±10mm的规定，根据何在？这里需说明两点。

a. 根据大型水利水电工程30多年施工放样的经验，大坝、厂房等主体工程混凝土模板立模点，若从邻近的最末级控制点多次重复放样，其点位误差不大于±20mm时，则将对混凝土体形和钢筋的安装不会造成明显的影响。

b. 立模点的放样，一般是在轴线点(或测站点)上(即最末级控制点加密而得的点)进行。表6.1.2规定，各种主要混凝土建筑物轮廓点的平面位置误差不应大于±20mm。其中包含起始数据误差和测量误差，即 $M=\pm\sqrt{m_A^2+m_C^2}=\pm 20\text{mm}$。按李青岳教授所提供的公式推证：当起始数据误差 $m_A=0.5M$ 时，m_A 对点位中误差的影响约为15%，基本上不起作用。因此，本规范规定最末级控制点的点位中误差不大于 $\pm 0.5M=\pm 10\text{mm}$。

由于水利水电工程施工控制网的范围不大，控制面积一般不超过5km²。如果将起始点放在控制网中央，则相对于起始点的点位中误差将明显减少。故本规范关于基本精度规格的规定是可以保证的。

为了保证上述点位精度，本规范要求布网的梯级不宜过多，一般为一级全面网，最多不超过二级，否则梯级过多，最末级控制点的点位不易保证。即使由于地形条件等原因，按二级布网时，也最好按同一精度观测，进行统一平差。

(2)点位中误差的基准在那里？(即相对于哪一组基准？)

关于点位中误差的基准问题，本规范2.1.3原规定“……其最末级控制点的相邻点位中误差，不应大于±10mm”，即相对于相邻点。

经1992年4月南京会议审查讨论后，决定改为：“平面控制点相对于同级起始点或邻近高级控制点的点位中误差不应大于±10mm……”。经过这样改动后，点位中误差的基准为：

对于一级布网来讲，是相对于起始点的；而对于二级或多级布网来讲，是相对于高级点的。这样改变的理由是：

点位中误差的基准改为相对于起始点（包括起始方向，起始边长）后，可以限制施工控制网在一定的范围之内，以保证点位的相对高精度。否则，在当前普遍使用测距仪的条件下，边长测量精度高且均匀。在控制网的相当边远的地区，总可以找到一条相邻点位误差（不考虑方位基准的影响）不大于±10mm 的边。这样，边的两端点相对于起始点的点位误差，可能已大大超过±10mm。这样不利于施工放样。

对于水工隧洞地面控制网，因为它只是满足相邻洞口的贯通，因此仍然以“相邻洞口点”的点位中误差来衡量，其限值只要满足表 8.1.3 中横向贯通中误差的要求即可，不必要限制于±10mm。

由于点位中误差的基准改为相对于起始点（或相邻高级点）以后，起始点的位置与点位中误差的大小有关，因此 2.1.4 条规定：“首级平面控制网的起始点，应选在坝轴线或主要建筑物附近。以使最弱点远离坝轴线或放样精度要求较高的地区。”

2.1.6　水利水电工程施工控制网一般建立于施工初期，处在大规模开挖阶段。由于开挖爆破的影响以及河床开挖后的卸荷变形，会使两岸基岩岸坡产生不可忽视的位移。根据龙羊峡施工控制网多次复测的成果（见表 2.1.6），证明复测是很必要的。

表 2.1.6　龙羊峡施工控制网部分点位坐标变化表

点　名	点位基础	位　置	坐标变化（mm）		移动方向
			ΔX	ΔY	
网师园	基　岩	左岸坝上 100m 靠河岸	−9.7	9.5	向河心
新栈东		左岸坝下 50m 靠河岸	−32.7	12.4	
沧浪亭		左岸坝下 100m 靠河岸	−27.0	4.2	
右坝头		左岸坝下 50m 靠河岸	20.0	−12	

复测不仅能表明三角点点位的变化，以保证放样的精度，而且可发现两岸基岩的稳定情况，为领导部门提供非常有用的资料，防止安全事故的发生。

2.2　技术设计

2.2.2　关于平面控制网的优化问题。

控制网的优化设计一般分为零类设计（参考系设计）、一类设计（图形设计）、二类设计（观测权的设计）、三类设计（网的改造设计）。对于水利水电平面控制网来讲，有以下特点：

（1）零类设计是非常明确的，这就是要使施工网的坐标系与勘测设计阶段的坐标系一致。起始数据采用勘测设计阶段一个点的坐标和一条边的方位角；采用经典自由网。

（2）由于水利水电平面控制网的作用，主要是为了方便施工放样，其点位一般要根据放样需要确定，而难以完全适应图形优化设计，因此一类优化设计，只能是在满足放样对点位要求的前提下，适当予以考虑。

（3）由于水利水电平面控制网的规模不大（一般不超过 20 个点），其工作量也小，因此对于二类设计，也可不必过于讲究，一般可按等权进行观测。

我们认为水利水电平面控制网的优化要求，就是在方便放样的前提下，尽量加强图形强度(如加对角线等)，提高观测元素的精度，使网的点位误差减小到理想的水平。因此本规范提出的优化要求只是一般性的要求，不要求达到理论上的最优。

2.2.3 把主要轴线或其平行线纳入平面控制网，有以下几点好处：

(1)可以提高主要轴线定位的精度。

(2)便于在施工放样中建立以主要轴线为坐标轴的施工坐标系统。

(3)在施工放样中，有时需要建立平行或垂直于主要轴线的矩形格网，如果把主要轴线纳入平面控制网内。可以简化矩形网的施测工作，且能提高格网的精度。

2.2.4 关于测角网技术要求的说明。

(1)测角中误差与测回数。

本规范对二、三、四等三角的测角中误差采用了与《国家三角测量和精密导线测量规范》相同的精度。

五等三角的测角中误差与《工程测量规范》中一级小三角的规定相同。各等级三角网的测回数是根据工测部门大量的实验统计资料，并参照有关规定确定的。统计资料表明，适当减少测回数，并不会明显增大测角误差。因为水利水电施工控制网的边长较国家规范规定的长度要短得多，而照准设施精致，加之建造的观测墩有强制对中装置等原因，这些对提高测角精度都是有利的。

(2)起始边精度与最弱边精度问题。

规范表 2.2.4 中关于起始边相对中误差的规定与《城市测量规范》相同，但由于本规范的精度标准是以点位中误差来衡量，因此取消了最弱边相对中误差的规定。

(3)关于起始边倾角的限值，是基于下列原因规定的：由斜距换算平距的公式

$$D=S\cos\alpha \text{ 微分得 } dD=S\sin\alpha\frac{d_\alpha}{\rho}$$

$$m_D=S\sin\alpha\frac{m_\alpha}{\rho}、\frac{m_\alpha}{S}=\sin\alpha\frac{m_\alpha}{\rho}$$

令

$$\frac{m_D}{S}=\frac{1}{5T}$$

由于垂直角测角中误差引起的边长相对中误差，不超过要求的中误差的$\frac{1}{5}$，于是，在一定的测角中误差 m_α 的前提下，其 α 角的限值可按下式计算：

$$\sin^{-1}\alpha=\left(\frac{\rho''}{5Tm_\alpha}\right)$$

根据表 2.2.6 得

二等	$\frac{1}{T}=\frac{1}{250000}$	$m_\alpha=1''.3$	$\alpha=7.3°$
三等	$\frac{1}{T}=\frac{1}{150000}$	$m_\alpha=1''.9$	$\alpha=8.3°$
四等	$\frac{1}{T}=\frac{1}{100000}$	$m_\alpha=2''.2$	$\alpha=10.8°$

五等可不作限制。

2.2.5～2.2.6 对边角网、测边网提出了以下几点要求。

(1)边角网中,边长测量的精度与测角的精度要求基本适应,目的是使控制点的点位误差椭圆接近圆形。

(2)要求在测边网中,选择一些较大的角度,以相应等级的三角测量的角度观测精度进行观测,以检核边长观测的精度,其理由如下。

由于测边网中各边是独立测定的,平差后的边长精度(纵向误差),基本上是均匀的。但其方向精度(横向误差)则受到传算路线中角度误差的影响。而角度误差与图形有关,因此测边网必须重视图形结构,以正三角形为理想图形,其大角和小角限制的理论根据如下:

设γ角为等腰三角形的顶角,则经过推导整理得测边误差与角度误差的关系为

$$m_\gamma''=\sqrt{b}\,\rho''\frac{m_s}{S}\mathrm{ctg}\beta$$

现以不同的测边相对中误差,以及大小不同的γ角代入,可得按边长计算的角度中误差,见表 2.2.5。

表 2.2.5　等腰三边网由测距相对中误差引起的测角中误差

m_γ''(") / $\frac{m_s}{S}$ / γ(°)	二　等 1/250000	三　等 1/150000	四　等 1/100000	五　等 1/50000
30	0.54	0.90	1.35	2.71
40	0.73	1.22	1.84	3.68
50	0.94	1.57	2.35	4.71
60	1.17	1.94	2.92	5.84
70	1.41	2.36	3.54	7.08
80	1.69	2.82	4.24	8.48
90	2.02	3.37	5.05	10.10
100	2.41	4.01	6.01	12.00
110	2.89	4.81	7.21	14.42

由表可知:$\gamma=60°$时,其测角中误差基本相当于各等级三角网的测角中误差(因为采用值比计算作了放宽,故只基本相当)。在以 60°角度为标准,以标准角度误差的两倍为极限,因此本规范规定测边网内角不应大于 100°,另外,三角形内角越小,所对的边长越短。过短的边长会导致测距相对误差增加,形成不利图形。

本规范规定,对于测边网中要在一些较大的角度处,以相应等级的测角精度去观测其角值进行校核。其目的也是因为较大的角度,由边长所计算角度误差较大,用实测的角度进行比较,有利于发现和控制误差的传播。

(3)由于测边网的校核条件较少,野外观测结束后,应利用大家比较熟悉的中点多边形的圆周条件或大地四边形的组合条件进行校核,这对于检查观测质量是十分必要的。

本规范还规定,每一个待定点上必须有三条交会边,即至少有一个多余观测条件。

(4)规范表 2.2.6 中边角网的角度观测精度,与《国家三角测量与精密导线测量规范》的规定相同。平均边长相对中误差的规定,基本上是按照相应的要求计算出来的:即

$$\frac{m_\beta''}{\sqrt{2}\,\rho''}=\frac{m_s}{S\times10^3}$$

二等　$\frac{m_s}{S}=1''/(\sqrt{2}\times206265)=\frac{1}{290000}$　　取$\frac{1}{250000}$

三等　$\frac{m_s}{S}=1'.8/(\sqrt{2}\times206265)=\frac{1}{160000}$　　取$\frac{1}{150000}$

四等　$\frac{m_s}{S}=2'.5/(\sqrt{2}\times206265)=\frac{1}{117000}$　　取$\frac{1}{100000}$

五等　$\frac{m_s}{S}=5'.0/(\sqrt{2}\times206265)=\frac{1}{58000}$　　取$\frac{1}{50000}$

考虑到目前各施工单位所拥有的测距仪的精度等级以 3mm＋2ppm×D 居多，因此边长测量的精度不宜要求太高。故平均边长相对中误差的取值比计算值普遍作了放宽。试图在测角精度上加以补偿。

(5)2.2.6 第 4 款关于仪器高、棱镜高(觇牌高)的丈量，本规范提出的精度要求较高。主要是考虑到建立三维网的要求。若只是为了建立平面控制网，则该款可适当放宽。

(6)2.2.6 第 5 款规定“除二、三等网以外，可用不同等级的单向测距，代替往返测距”。强调了二、三等网必须往返测距的要求，这主要也是为了建立三维网或二维网加三角高程网的要求，保证三角点上的高程精度。

(7)规范表 2.2.6 中关于边角网、测边网天顶距观测的测回数问题。

这次修订规范，对规范表 2.2.6 中天顶距的测回数有了较大幅度的增加，原因有二：

a. 为了使各个平面控制点，同时成为有四等以上精度的高程控制点，方便施工测量中的高程放样。同时，也为控制网研究三维平差准备数据。

b. 测距边边长归算的需要。

表 2.2.6　各等级控制网边长相对中误差所要求的天顶距测角中误差

等　级	要求的测距相对中误差分母	m''					
		$\alpha=2°$	$\alpha=5°$	$\alpha=7°$	$\alpha=10°$	$\alpha=15°$	$\alpha=20°$
二	250000	6.7	2.7	1.9	1.3	0.9	0.7
三	150000	11.1	4.5	3.2	2.2	1.5	1.1
四	100000	16.7	6.7	4.8	3.4	2.2	1.7
五	40000	41.8	16.7	12	8.4	5.6	4.3

测距边边长归算对天顶距观测精度的要求，按下式计算：

$$m_z''=\frac{\sqrt{2}\rho''}{5T\sin\alpha}$$

式中　m_z''——边长归算所要求的天顶距测量中误差；

α——垂直角；

T——要求的测距相对中误差分母。

现根据各等级边角网、测角网所要求的边长测量相对中误差来计算，各等级控制网在不同的倾斜角情况下，所要求的天顶距观测中误差如下：

根据国家测绘局和广东省测绘局的试验，实地取样统计得 DJ_2 仪器一测回的天顶距测角中误差为±2'.18，为了确保观测精度，取一测回中误差为±3″是合适的。由此计算得各等级测边归算要求的天顶距测回数如下：

二等：要求 m_x'' 平均为±1".34　　$n\approx5(DJ_2)$

三等：要求 m_x'' 平均为±1".9　　$n\approx3(DJ_2)$

四等：要求 m_x'' 平均为±2".2　　$n\approx2(DJ_2)$

2.2.7　关于用导线(网)代替三、四、五等平面控制网问题，随着光电测距仪的广泛应用，日益受到重视。本规范对此提出了如下要求：

(1)一、二等首级网，还是仍以三角网的形式布置为好。但长隧洞的一、二等控制网是否可用导线网代替，可根据情况另行设计。

(2)当采用三～五等导线网作为平面控制网的首级网时，本条规定：导线应布置成环形网，这是因为：①作为首级网的导线(网)，是不具有附合条件的；②若将导线布置成单闭合环，则又显得薄弱，因此，布设成环形结点网较好。

(3)导线网的技术要求，应以最弱点点位中误差不大于 10mm 的要求，根据网的等级和平均边长，从表 2.2.7 中选择。

(4)关于导线水平角的测回数。

长江航运规划设计院对三联脚架法电磁波测距三维导线的精度分析，详细地论证了导线水平角观测理论误差和实际能达到的精度，计算了用 T_2 经纬仪进行观测应该采用的测回数，本规范表 2.2.7 中有关测回数的规定就是参照上文制定的。

若采用三联脚架法观测，其测回数可减少 1/3～1/2。见表 2.2.7。

(5)关于导线各结点间的长度的规定。

本规范 2.2.7(1)款规定："当附合导线长度超过表 2.2.7 的规定时，应布设成结点网形。结点与结点、结点与高级点间的导线长度，不应大于表 2.2.7 规定长度的 0.7 倍"。其理论根据是河南省测绘科学研究所王树声同志对各种环形导线网的精度进行了大量计算，证明了这个结论(见 1989 年第 1 期《工程勘测》"环形导线网的精度设计"一文)。

表 2.2.7　导线水平角测回数计算表

测量方法	边　长	野外一测回水平角中误差(")	要求的水平角中误差(")	计算的理论测回数	取整	本规范采用数
垂球对中、一般全圆方向法	500	±6.0	±2.5	5.76	6	9
	1000	±4.0	±1.5	7.11	8	
	1000	±4.0	±2.5	2.56	4	
	500	±5.0	±2.5	4	4	6
	500	±5.0	±5.0	1	1	2
三联脚架法左、右角全圆方向法	500	±3.0	±1.5	4	4	6
			±2.5	1.44	2	
	300	±4.0	±2.5	2.56	4	
	300	±4.0	±5.0	0.64	1	2
	300	±4.0	±1.5	4	4	9
	1000	±3.0	±2.05	1.44	2	

2.2.8　本条内容引自《工程测量规范》第 2.4.9 条，本规范表 2.2.8 中要求边长丈量较差相对中误差达到 1/30000，不是边长相对中误差，因此是可以达到的。

2.3 平面控制网的选点埋设及标志

2.3.1～2.3.6 这几条规定，主要考虑到以下几方面的原因：

(1)使点位长期保存且稳定，便于施工放样。

(2)减少大气因素对观测结果的影响(旁折光、垂直折光等)。

(3)降低对中误差，提高照准精度。

(4)埋设观测墩，建立观测棚可以改善劳动条件。

2.3.7 光电测距，对视线要求所作的规定。

对测距边的倾角，可参照 2.2.4 条(2)款的规定放宽 3°～4°，这是因为测距边的相对中误差比起始边的相对中误差要低，因此经过计算，确认其倾角的限值可放宽 3°～4°。

2.4 水平角观测

2.4.1～2.4.6 (1)本规范规定是根据《国家三角测量与精密导线测量规范》的规定制定的。它是常规做法，目的是为了使外业观测有一个良好的外部环境。

(2)关于水平角方向观测法的技术要求是根据《国家三角测量和精密导线测量规范》制定的。其中关于“当观测方向的垂直角超过±3°时，该方向的 $2c$ 较差，按相邻测回同方向进行比较”的规定，其理论根据如下：

我们知道，仪器视准轴误差(c)和横轴倾斜误差(i)，对同一方向盘左观测值减盘右观测值的影响为

$$L-R=\frac{2c}{\cos\alpha}+2i\operatorname{tg}\alpha$$

$2c$ 的较差受垂直角的影响为

$$\Delta 2c=\left(\frac{2c}{\cos\alpha_1}+2i\operatorname{tg}\alpha_1\right)-\left(\frac{2c}{\cos\alpha_2}+2i\operatorname{tg}\alpha_2\right)\approx c\,\frac{\alpha_1^2-\alpha_2^2}{\rho^2}+2i(\operatorname{tg}\alpha_1-\operatorname{tg}\alpha_2)$$

当 α 超过±3°时，影响 $\Delta 2c$ 的主要是上式中的第二项 $2i(\operatorname{tg}\alpha_1-\operatorname{tg}\alpha_2)$，设 $i=15''$，则 i 角对 $2c$ 较差的影响如表 2.4.1 所示。

表 2.4.1 i 角对 $2c$ 影响较差表

$2i(\operatorname{tg}\alpha_1-\operatorname{tg}\alpha_2)$ 与 $\Delta\alpha$ 之间为 i	5	10	15
15″	2″.6	5″.3	7″.0

由表可知，当 α 超过±3°时，由于 i 角的影响对 $2c$ 较差较大的数值经常出现超限的现象，因此用相邻测回同方向比较是合理的。

(3)关于导线水平角观测方法，水平角测量中误差的计算问题。

本规范 2.4.7 对导线水平角的观测问题及有关导线测量的其它问题作了规定，其理由如下：

a.关于水平角的观测方法。

用左、右角全圆方向法观测导线水平角，综合了左、右角法和全圆方向法的优点（如图2.4.1）。导线一般测站主要观测两个方向，其观测次序为：如测站 C 站，奇数测回瞄准次序 A、B、A(正)，A、B、A(倒)；偶数测回 B、A、B(正)，B、A、B(倒)即相邻两测回中 A、B 均观测6次，合计12次，有效测回数多，二个方向的观测次数均匀。同时由于观测了左右角，可根据圆周角闭合差来检查外业观测质量并易发现粗差。

b. 关于用三联脚架法观测问题。

采用三联脚架法，各测站可以形成理想的空中三维导线，其对中误差和目标偏离误差极微，照准目标误差很小。能够全面、显著提高斜距、水平角、天顶距等一系列测量元素的精度。

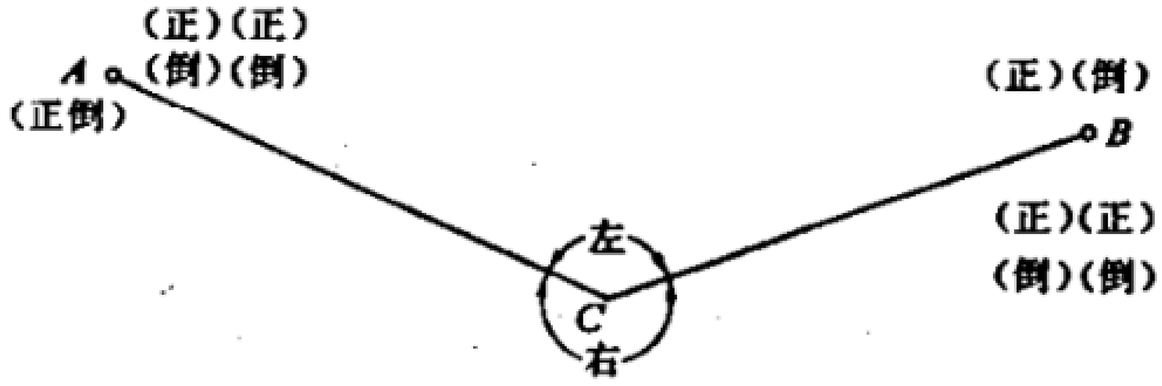


图 2.4.1　全圆方向法观测示意图

c. 关于导线水平角测量中误差 m_β 的计算问题，当导线条数较多时，要根据方位角闭合差 f_β 按下式计算水平角测量中误差

$$m_\beta=\pm\sqrt{\frac{1}{N}\left(\frac{f_\beta f_\beta}{n}\right)}$$

但若导线条数很少（有时甚至只有一条导线时），显然不能按上式计算。这时采用下式计算较为合理。即

$$m_\beta=\pm\sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{2n}}$$

许多实践资料证明，导线条数较多时，按方向闭合差或每条导线采用圆周角闭合差计算水平角测量中误差 m_β，两者基本接近。

2.5　光电测距

2.5.1　鉴于目前测距仪的型号越来越多，精度等级的划分应该细一些，以利于实际作业中参考。故本规范将测距仪的精度划分为4级，与《中、短程光电测距规范》的划分标准不同。

关于测距仪标称精度的表达式主要有两种形式：

$$m_D=\pm(a+bD\times10^{-6})$$

$$m_D=\pm\sqrt{a+(bD\times10^{-6})^2}$$

根据对测距仪的误差分析和实测资料回归分析验证，上述两公式的固定误差 a 比较接近，而比例误差 b 相差比较显著，而对于水利水电平面控制网来讲，最大边长在1.5km内，平均边长小于1km，因此固定误差 a 占主要地位，故采用第一式估算较为直观。

2.5.3　强调测距头、反射棱镜配套使用是为了使测距仪的标称精度能够得到保证。因为实践证明，如果不同厂家或不同型号的测距头、反射棱镜混合使用，其加常数、乘常数都会发生变化。

关于测距仪的检验，本次规范修订时，比原规范有了较大的改变，因为考虑到施工企业一般没有条件（包括设备技术）进行检验，即使有些项目能够检验，其可靠性也难以保证，不敢将检验数据用于对观测值的改正。何况，这种对测距仪的全面检验次数很少，化一点钱到国家有权威的检验机构进行检验是完全必要的。至于在使用中，对某些项目进行经常的检

测，以查明仪器的稳定性，则可以由施工单位随时进行，其检测结果只供参考而已。

本条第(1)～(7)款的要求为光电测距的注意事项。与《中、短程光电测距规范》的有关条款相应。

本规范表 2.5.2 的技术要求有以下几点说明：

a. 表 2.5.2 中有关“气象数据测定”一栏的内容，取自《中、短程光电测距规范》(以下简称 ZBA76002—87)表 2 的内容。本表只是将数字取整并略加调整而已。

b. 由于本规范中有关测距仪精度等级的划分与 ZBA76002—87 的划分的标准不同，因此表 2.5.2 中各种限差作了适合调整。实践证明，这些限差是容易达到要求的。

关于往返或光段较差限值公式比 ZBA76002—87 表中的公式增加了$\sqrt{2}$倍，原因是往返或光段的较差，不但受标称精度的影响，而且还有气象因素和垂直角(或高差)观测误差等因素影响。

2.5.4～2.5.5　关于测距边归算的规定需说明以下几点：

(1)测距边的气象改正，本规范规定要按仪器说明书给出的公式计算，这是因为各种型号的测距仪其所用的气象参考点以及红外波的波长都不同，因此其公式中的关系不同。

(2)测距边的加常数和乘常数改正数，必须根据有权威检验机构的结果而定，未经过检验或检验结果不可靠的或检验时间与使用时间相隔过长的，都不能使用。

(3)在测距边的投影改正计算公式中所用到的平距 D 是测站和镜站平均高程面上的距离。因此在进行投影改正时，H_m 必须是测站和镜站的平均高程。但在一些仪器的说明书中，给出了计算倾斜改正的公式，要注意按给出公式所计算的平距是投影在什么高程面上的。它们之间是不同的。例如 DM500 按说明书上的公式所计算的平距是镜站高程面上的，而 DM503 或 DI1000 是测站高程面上的距离。

(4)关于测距边的精度评定问题。

测距中误差 m_D 计算公式的来源，在一般测量教科书上都有，它是由计算差数中误差(例如往返测钢尺丈量中误差)推导而来的。

2.6　成果的验算和平差计算

2.6.2　(1)测角网各种自由项的验算限值公式，均抄自国家或专业测量规范，无需进行推证。这次修订时，考虑到计算机的普遍使用，增加了以真数形式表示的限值公式。

(2)边角网、测边网各种自由项验算限值公式的来源，推证如下：

观测角与由边长计算所得角值的限差〔见本规范 2.6.2(2)中 b 款〕由余弦定理得

$$c^2=a^2+b^2-2ab\cos\gamma$$

微分得

$$d\gamma''=\rho''\left\{-\operatorname{ctg}\beta\frac{da}{a}-\operatorname{ctg}\alpha\frac{db}{b}+(\operatorname{ctg}\alpha+\operatorname{ctg}\beta)\frac{dc}{c}\right\}$$

化为中误差：

$$m''_\gamma=\rho''\left\{\operatorname{ctg}^2\beta\left(\frac{m_a}{a}\right)^2+\operatorname{ctg}^2\alpha\left(\frac{m_b}{b}\right)^2+(\operatorname{ctg}\alpha+\operatorname{ctg}\beta)^2\left(\frac{m_c}{c}\right)^2\right\}^{\frac{1}{2}}$$

令

$$\frac{m_s}{S}=\frac{m_a}{a}=\frac{m_b}{b}=\frac{m_c}{c}$$

则 $$m''_\gamma=\rho''\frac{m_s}{S}\sqrt{2(\mathrm{ctg}^2\alpha+\mathrm{ctg}^2\beta+\mathrm{ctg}\alpha\cdot\mathrm{ctg}\beta)}$$

这是由测边相对误差$\frac{m_s}{S}$引起的角度误差，再加上观测角的误差m_β，就得到规范中的公式。

(3)测边网角条件(包括圆周角条件及组合角条件)自由项限值计算公式的来源：

圆周角条件方程式的形式为

$$V_{ri}+V_{r2}+\cdots\cdots+V_{rn}+W=0 \qquad (2.6.2\text{-}1)$$

根据边角关系式，列出中心角与边长改正数的关系式：

$$V_{ri}=\frac{\rho''}{n_i}(-\cos\alpha_i V_{s2i-1}+V_{s2i}-\cos\beta_i V_{s2i+1}) \qquad (2.6.2\text{-}2)$$

将(2.6.2-2)式代入(2.6.2-1)式，进行归纳并整理后就获得了各系数a_i的计算公式，然后按协方差传播律求出闭合差的中误差，取两倍中误差作为限值，即得

$$W_i=\pm 2m_s\sqrt{(aa)}$$

对于四边形和扇形，按同样原理推导而得。

2.6.3 平面控制网平差时的定权问题，是根据最小二乘法和数理统计的基本理论而来的。我国各种规范均使用基本相同的定权公式。由于定权时使用的是先验方差，与实际情况可能有出入，本规范提出了三种定权方法可供选择。

2.7 主要轴线的测设

2.7.1 (1)关于主要轴线点测设精度(规范表 2.7.1)的规定是基于以下两点考虑：

a. 本规范规定主要轴线点的点位中误差是相对于邻近基本控制点的，而不是相对于起始点的，也就是说它只考虑轴线点测设时的测量误差。这是因为考虑到若在施工过程中的轴线点毁坏了，需要恢复时，仍然使用同样的邻近控制点。那末就可以不考虑起始数据误差(邻近基本控制点对起始点的误差)对轴线点的影响(或称有相同的影响)。

b. 该表中规定土建轴线点点位中误差为±17mm 是取自规范表 6.1.2 的要求。安装轴线点点位中误差±10mm，是按照等级控制点的要求提出的。

(2)实践证明，若多次、重复测设轴线点，其点位中误差的限值都能符合规范中表 2.7.1 的要求，则对土建或安装工程都不会产生明显的影响。它和已完成的土建构件或安装构件部能顺利的衔接，而不致产生明显的裂隙。

3 高程控制测量

3.1 一般规定

3.1.1 本规范所规定的高程测量，除按《国家一、二等水准测量规范》和《国家三、四等水准测量规范》规定为二、三、四等外，结合水利水电施工测量的具体情况，增加了五等水准测量，并在研究与分析全国各有关单位进行光电三角高程试验与实测成果的基础上，也相应地规定了用其代替三、四、五等高程测量的具体实施方法。

水利水电工程首级高程控制网的确定，系根据工程建筑物的规模与建筑材料等在二、三、四、五等间选用，这样的规定是完全能保证建筑物高程放样的要求。

3.1.2 考虑到水利水电枢纽区的建筑物有的高程精度要求高，如大坝、厂房等，但有的(如砂石系统等)则要求低一些，加之高程测量，有的是以单一路线传递，有的则是在一个部位布成网形，所以规定在主体工程部位，要求最弱点对本级起算点的高程中误差应不大于±10mm，而在施工区以外的高程传递中，只要能满足国家等级高程测量的要求即行了。

3.2 水准测量

本节规定引自《国家一、二等水准测量规范》和《国家三、四等测量规范》。

3.3 光电测距三角高程测量

3.3.1 肯定了光电测距三角高程在水利水电施工测量的高程测量中应用的三个方面，这是符合实际的。

3.3.2 本条规定了光电测距三角高程代替三、四、五等水准的技术要求，这些规定一方面是根据理论计算得来的(见表 3.3.1)，另一方面是从实际经验中总结出来的(见表 3.3.2)。

(1)理论的精度估算。

为了论证光电测距三角高程所能达到的精度，我们进行了理论精度估算。估算是以 $Z=70°$，$m_i=m_V=\pm 1.0\text{mm}$ 和 $m_i=m_V=\pm 2.0\text{mm}$，并以 $m_Z=\pm 1".0$，$\pm 1".5$，$\pm 2".0$，三种不同精度列于表 3.3.1。

估算公式：单向：$m_h^2=m_S^2\cos^2 Z+S^2\sin^2 Z\left(\frac{m_z}{\rho}\right)^2+m_i^2+m_V^2+\left(\frac{S^2}{2R}\right)^2 m_k^2$

双向：$m_h^2=\frac{1}{2}\left\{\left[m_S^2\cos^2 Z+S^2\sin Z\left(\frac{m_z}{\rho}\right)^2\right]+m_i^2+m_V^2+\left(\frac{S^2}{2R}\right)^2 m_k^2\right\}$

隔点设站：$m_h^2=(\cos^2 Z_A+\cos^2 Z_B)m_S^2+2\sin^2 Z S^2\left(\frac{m_Z}{\rho}\right)^2+2m_V^2$

(2)各有关单位的实验数据。

从表 3.3.1 和表 3.3.2 可以看出：理论估算与实验数据基本一致。

(3)关于天顶距观测的精度，本规范规定：采用 DJ_2 仪器为

三等	四测回	$m_\alpha=\pm1''.5$
四等	三测回	$m_\alpha=\pm1''.8$
五等	二测回	$m_\alpha=\pm2''.2$

其根据是各单位的实验数据，见表 3.3.4。

(4)关于仪、镜(觇)高的量测问题。

使用对中杆时，直接读取对中杆的刻度，达到 1～2mm 的精度是可能的，但对中杆的磨损应事先进行检验。

在观测墩上观测时，采用特定的方法精密量测，这种方法是事先将仪器的水平轴(或棱镜和觇牌中心)至调平螺丝上部基座间的固定长度，用机械方法(或用精密水准仪配以因瓦水准尺)测定，在现场只需量测观测墩表面至仪器基座面高度即可。

在隔点法中，不需量取仪器高。在严格保持偶数测站和前、后视棱镜高度不变的情况下，也可不量棱镜高和觇牌高。

表 3.3.1 光电测距三角高程测量高差精度估算表

双向观测								
Z、m_i、m_v	$Z=70°$、$m_i=m_v=\pm1$mm			$Z=70°$、$m_i=m_v=\pm2$mm			三等水准限 $\pm12\sqrt{L}$	四等水准限 $\pm20\sqrt{L}$
	$\pm1''.0$	$\pm1''.5$	$\pm2''.0$	$\pm1''.0$	$\pm1''.5$	$\pm2''.0$		
S(m)	$2m_h$	$2m_h$	$2m_h$	$2m_h$	$2m_h$	$2m_h$		
200	3.37	2.78	3.26	4.20	4.44	4.76	5.37	8.94
500	3.79	5.22	6.75	5.14	6.27	7.58	8.48	14.14
800	5.52	7.99	10.50	6.52	8.70	11.05	10.70	17.88
1000	6.75	8.87	13.04	7.58	10.46	13.49	12.00	20.00
单向观测								
200	3.36	3.93	5.41	5.44	6.28	6.73	5.37	8.94
500	5.36	7.42	9.54	7.26	8.87	10.72	8.48	14.14
800	7.82	11.29	14.85	9.23	12.31	15.64	10.70	17.88
1000	9.54	13.96	18.44	11.10	14.79	19.08	12.00	20.00
隔点设站法								
100	1.29	0.93	2.59				3.79	6.32
200	2.58	3.86	5.15				5.37	8.94
300	3.86	5.80	7.73				6.57	10.95
400	5.15	7.73	10.31				7.59	12.65
500	6.44	9.66	12.89				8.48	14.14
600	7.73	11.59	15.46				9.30	15.49

注：1.———为在三等限差以内的范围界；

2.--------为在四等限差以内的范围界；

3.·····不量仪觇高的三等范围界；

4.—·—·—不量仪觇高的四等范围界。

表 3.3.2　光电测距三角高程测量能够代替三等水准测量论述结论的综合

文件号	内容性质	测量方法	代三等水准测量边长范围(m)	基本数据				其它条件
				仪器类型		天顶距 $(\frac{测回数}{m''_z})$	仪(镜)置高精度(mm)	
				经纬仪型号	测距仪等级			
[1]	大规模测试	双向观测	50～1160	DJ_2	3	$\frac{3}{\pm 1.1\sim 1.7}$	±2	以觇牌上下缘为目标往返高差取中数
		双向观测	50～700	DJ_2	3	$\frac{3}{\pm 1.1\sim 1.7}$	±2	以觇牌上缘为目标
[2]	大规模测试	双向观测	40～1100	DJ_2	3	$\frac{3}{\pm 1.5}$	±1	—
		隔点设站法	40～400	DJ_2	3	$\frac{3}{\pm 1.5}$	±1	—
[3]	测　试	双向观测	<700	DJ_2	3	$\overline{\pm 2''.0}$	±2	—
			<1200	DJ_2	3	$\overline{\pm 1''.5}$	±2	
[4]	生产实践	双向观测	一般 200～800 最长 1000 左右	DJ_2	3	$\frac{3\sim 4}{\pm 1''.0}$	±1	—
[5]	测　试	同时对向观测	<3000	DJ_1	2	$\overline{\pm 1''.0}$	±1	竖直角在 1.5°左右
[6]	测　试	双向观测	1000 左右	T2000		$\frac{4}{\pm 0.5}$	±0.1	—
		隔点设站法	≤500	T2000		$\frac{4}{\pm 0.5}$	±8.1	用觇牌观测
[7]	测　试	隔点设站法	≤300	DJ_2	2	$\frac{4}{\pm 0.97}$	—	$\Delta D\leqslant\frac{d}{4}\cdot\Sigma AD\leqslant 300$
[8]	对生产资料分析	双向观测	≤1100	DJ_2	3	$\frac{2}{}$	±1	往返各二测回之平均高差的平均值
[9]	测　试	双向观测	<500	DJ_2	3	$\frac{3}{}$	—	—

表 3.3.4　各单位天顶距测角中误差实验数据统计表

文献号生产(实验)单位	仪器类型	观测方法	照准标志	测回数	测角中误差(")	备　注
水电部昆明设计院	DJ_2	中丝法	—	2	±1.43	325 个观测值平均值
广东大瑶山隧洞	DJ_2	中丝法	—	2	±1.60	
河南省宜阳县	DJ_2	中丝法	—	2	±1.10	79 个观测值算得
[10]	T2000	中丝法	—	2	≤±0.5	
[6]	T2000	中丝法	—	4	≤±0.5	
[11]	DJ_1	中丝法	觇　牌	6	±0.7	
[12]	DJ_2	中丝法	棱镜中心	3	±1.0	
[5]	DJ_1	中丝法	觇　牌	6	±0.82	
[7]	DJ_2	中丝法		4	±0.97	
[4]	DJ_2	中丝法	棱镜中心	3～4	±0.02～0.71	
[2]	DJ_2	中丝法	觇　牌	3	±1.54	
[1]	DJ_2	中丝法	觇　牌	3	上±1.40 中±1.10 下±1.70	

(5)关于照准目标问题。

边长在500m以内，用DJ_2型仪器，照准棱镜觇牌标志还是清晰易辨的，因此在测天顶距时，可以不要改换觇牌，以简化外、内业操作与计算手续。但当边长超过500m时，如不用特制觇牌，可能会给天顶距观测带来较大误差，因此本规范取500m为直接照准棱镜中心与觇牌的界限长度。另外，无论照准棱镜还是觇牌，均规定只观测中心标志，不搞上下边缘观测，所以规定仪器与棱镜(觇牌)应架设得离地面高一些，最好不要低于1.5m。

(6)有关文献关于k值的论述归纳如下几点：

a. 在水利枢纽地区要想取得一个切合实际的k值去参与高差计算是不可能的。取一个测区的平均k值(即使可能的话)用于所有的边进行计算，对提高高差的精度是没有帮助的。

b. 习惯采用的$k=0.13$，不适用于水利水电深山峡谷地区。白山电站和水口电站的实测数据最说明问题，跨河边与顺河边的k值相差很大，而顺河边也不千篇一律，怎么能取得一个测区的平均k值而有效地去参与运算呢？

c. 采用往返观测，可以消除或大为削弱大气折光的影响，因此作为三维网或高程路线在k值不能正确取值的情况下，必须采取往返观测。至于往返观测Δk究竟多大以及对$m_{\Delta h}$取何值去估算精度，都是和k值一样具有未定性。但一般认为：观测中的气象条件，应尽量相似，因此特规定往返观测间隔时间，宜在最短时间内完成为佳。

d. 在表3.3.1的精度估算中，我们均忽略了k值的影响，这对对向观测来说，尚可削弱其部分影响。但在单向观测中是应该予以重视的。建议在实践中，结合实际情况，选用适当的k值(或只加地球曲率改正)参与高差计算。

(7)关于对向观测高差较差的限值问题，有关文献的论述摘录如下：

a. 往返高差闭合差与测边两端高差的真误差不存在任何规律……由此可见，企图利用往返测高差闭合差作为三角高程测量限差标准，根据还不够充分。

b. 在光电测距高程中……用水准测量往返较差的公式($\pm 12\sqrt{L}$，$\pm 20\sqrt{L}$)是不合理的，因为在往返测不符值中包含了两倍大气折光差影响……如果只考虑测角误差的影响，则往返较差中误差：

$$m_d=\frac{\sqrt{2}}{\rho}Dm_Z$$

($m_Z=\pm 2''.09$)得$m_d=\pm 17.88$mm，取三倍中误差$d_m=50\sqrt{D}$mm，(D以km计)。

c. 在对向观测高差较差的限差说明中指出："根据表3.3.5可知，超出限差$\pm 30\sqrt{D}$mm所占百分数已符合误差出现的规律。考虑到生产的实际情况，条件多变，本规范在此基础上适当放宽至$40\sqrt{D}$mm(D为边长以km计)。"

表3.3.5　对向观测高差较差表

地　区	工作性质	边　数	边长(km) 最大	边长(km) 最小	较差$>\pm 30\sqrt{D}$ 边　数	占百分数(%)	备　注
珠　海	试　验	62	<1		3	4.2	
西南某矿区	试　验	61	1.83	0.05	5	8.2	其中二条边
迁　安	生　产	70	0.92	0.14	4	5.7	大于1km
西南某矿区	生　产	126			2		

注：引文系指四等高程测量。

d.(通过大量数据算得)对向观测高差平均值的中误差为 $M_\Delta=\pm 12.5S$(按四等),按误差传播定律并取中误差的两倍作为限差,则往返高差不符值的限差为 $d_h=\pm 4\times 12.5S=\pm 50D$(mm)($D$ 以 km 计),建议采用 $d_h=\pm 100S$。

本规范在考虑这一限差时,对已有资料,进行了几组数据的数理统计分析,想求出高差观测的似真误差与边长的关系(在 1000m 内),结果也发现二者呈松散的统计规律,难以找出一个合适的规定去提高与加强三角高程测量的精度,但所有文献均一致认为"……有时往返测较差虽然相当大,但取平均值后,无论在环线闭合或与水准附合都能达到相应等级水准测量的限差要求,因此适当地规定较差限差,主要是防止粗差,故限值可以适当放宽,以免造成不必要的返工浪费"。本规范就是从这一出发点,参照 b、d,作出 $\pm 50D$(三等)、$\pm 70D$(四等)(D 以 km 计)的规定的。

(8)关于隔点设站法后视与前视距离差的限值问题。

这项限值的规定直接牵涉到野外作业的效率,因此应十分慎重,有关文献规定应小于 10m,这可能会给野外选点带来困难。

在考虑到山区前后视转点选择的困难,前后视距差值可能较大,因此我们规定了在计算高差公式中应加入两差改正计算的内容。所以对前后视距差的限值,不必严格要求,概略的规定不大于 40m 即可。

(9)关于附合或环线闭合差的要求,我们仍采用与相应等级水准测量的规定。

3.4 跨河高程测量

3.4.1~3.4.2 鉴于水利水电工程均系在河流两岸进行,结合《国家一、二等水准测量规范》和近年来的全国各水利水电测绘单位进行的试验,特别是水口电站通过大量的光电测距三角高程跨河的实测资料表明,用其代替二、三、四、五等跨河水准测量是可行的。

关于跨河图形的布置,我们除规定了一般跨河水准的图 3.4.2(b)、图 3.4.2(c)、图 3.4.2(d)外,特规定了二等必须采用大地四边形图形,增加了两岸往返观测数,以保证达到相应等级的精度,这是参照《国家一、二等水准测量规范》,和黄河水利委员会大量的二等跨河高程测量的总结文献制定的。

至于三等以下跨河图形及操作方法,是根据水口电站大量的跨河光电测距三角高程测量的实践而制定的,其方法简单,具体实用。

3.4.3 有关跨河高程测量的技术要求的说明。

(1)由于在跨河高程测量中,测距精度对高差的影响不是主要的,所以我们只规定,在不同时间段内,只需往返测两次即可。

(2)关于跨河高程测量视线长度的规定。

鉴于二等跨河高程测量的精度要求高,而国内大多数水利水电工程所在的河流不太宽,所以我们只定了 500m 的档次。如河流宽度超过 500m 时,可参照国家规范执行。

关于三、四、五等跨河高程测量视线长度,我们作了 800m,1000m,1500m 的规定,具体操作也是较方便的。

(3)关于天顶距测量。

这次取二、三、四、五等测角中误差为 $\pm 0''.5$(DJ_1)和 $\pm 1''.5$、$\pm 1''.8$、$\pm 2''.2$(DJ_2)其测回

数顺次规定为 6、4、3、2。结合国内大量实验资料，也是完全能够达到的。

3.4.4 考虑到用光电测距三角高程代替过河等级水准是一件新的工作，因此，应该规定具体作业程序和操作方法。这些内容引自《国家一、二等水准测量规范》。

3.5 外业成果的整理与平差计算

3.5.3 关于计算 M_Δ 和 M_w 的说明。

在一个水利水电工地上，水准路线虽然多，但闭合环很少。因此，计算 M_Δ 还可以，计算 M_w 就有困难。本条新提出在二个公式计算时，应注意它们的前提条件。

4 放样的准备与方法

4.1 一般规定

4.1.1 任何测量工作开始之前，都必须收集有关资料，施工放样工作也不例外。条文所列内容都是不可少的资料，否则，工作无法展开。

4.1.2 由于收集的图纸、资料与施工放样有关的数据、尺寸可能存在错误，如不进行校核，一旦用错数据、尺寸进行放样，轻者造成施工放样的返工，重者造成工程质量事故，因此作出本条规定。

4.1.3 测量放样必须按正式设计图纸和文件进行。这是因为个人随意修改图纸或口头通知，是对国家对工程不负责任的表现，同时，正确与否无所凭据。

4.1.4 本条规定是测量工作的传统做法。为了避免事故的发生，特加以强调。

4.1.5 这是施工放样测量工作应该做的。

4.2 放样数据准备

4.2.1 事先准备好放样数据和草图是施工测量人员常规做法。

在当前广泛使用电子计算机的情况下，特别强调对输入原始数据的正确性进行校核是十分重要的。

4.2.2 放样数据手簿，对于施工测量人员在现场查找有关数据，及时应付现场放样的急需以及在以后整理资料时，便于查考有关放样的依据都是十分必要的。

4.2.3 本条强调放样手簿记录中应注意的事项，是保证测量资料完整的重要一环。

4.3 平面位置放样方法的选择

4.3.1 放样方法与放样的精度要求，与现场工作条件和拥有的仪器设备有关，也与放样程序有关，本条指出来是为了使作业人员便于考虑。

4.3.2 放样的方法与精度估算，是放样工作保证质量的基础。

4.3.3、4.3.10 这几条规定的各种放样方法的技术规格，是根据附录 F 所列的精度估算公

式分别算出的。计算时，是将点位中误差分为：±15、±30mm 和±50mm 三个档次。它们分别能满足填筑、开挖和辅助工程测站点的精度要求。估算时，均不考虑起始数据的误差。测角中误差取 DJ_2 的一测回为 6″，DJ_6 的测角中误差，由于没有见到测试资料，估算时，基本上是取 DJ_2 一测回中误差的 2 倍。测距中误差只取测距仪标称精度的常数误差 a。

4.3.11　规定了在上列各种放样方法中应共同注意的几点。

4.3.12　关于施工导线的技术要求，考虑了以下几点：

(1)档次仍分为三个(±15、±30、±50mm)。

(2)导线均应起闭于点位误差小于或等于±10mm 的等级控制点上。对点位差为 15mm 的导线来讲，应考虑起始点误差的影响，原因是由于测量误差所引起的导线最弱点的误差为±11mm，即 $m_{测}=\pm\sqrt{15^2-10^2}\approx\pm 11\text{mm}$。对于第二、三种情况的导线，其起始误差可忽略不计。

(3)导线测角中误差，为求统一，参照国家规范和《水利水电工程规划设计阶段测量规范》规定为±1″.0、±1″.8、±2″.5、±5″、±10″、±20″。

(4)钢带尺量距技术要求的规定，是参照《火力发电厂测量规程》、《工程测量规范》、《地形地质勘探工程测量规范》和实际作业情况制定的。

(5)二米横基尺视差法测定导线边长技术要求(表 4.3.12-2)，是根据下列公式计算得出的。导线边长相对中误差与分段测量精度的关系有

$$\frac{1}{T}=\frac{S}{M}\sqrt{n}/L \qquad (4.3.12\text{-}1)$$

式中 $\frac{1}{T}$——导线边长相对中误差；

L——导线边长；

S——分段测距长度；

$\frac{1}{M}$——分段测距相对中误差；

n——分段数。

由(4.3.12-1)式得

$$\frac{1}{T}=\frac{m_S\sqrt{n}}{L} \qquad (4.3.12\text{-}2)$$

端点法测距中误差为

$$m_s=\frac{S^2 m_r}{b\rho} \qquad (4.3.12\text{-}3)$$

将(4.3.12-3)式代入(4.2.12-2)式得：

$$\frac{1}{T}=\frac{S^2 m_r}{b\rho}\sqrt{n}/L=\sqrt{\frac{L}{S}}S^2 m_r/bL\rho$$

式中 b——横基尺长，2m；

m_r——视差角测角中误差；

ρ——206265。

经变化整理得

$$S=\sqrt[3]{\frac{Lb^2\rho^2}{T^2 m_r^2}} \qquad (4.3.12\text{-}4)$$

(4.3.12-4)式就是计算端点法分段测量导线边长的分段测距长度的公式。

同理，可得式(4.3.12-5)，用于计算中点法分段测量导线边长的分段测距长度。

$$S=\sqrt[3]{\frac{8b^2\rho^2L}{T^2m_r^2}} \tag{4.3.12-5}$$

至于视差角观测的测回数，是根据1978年《测绘通报》第三期张作容写的“视差角测角精度、测回数及限差问题探讨”一文，该文通过对大量实测资料分析得出：用 T_2 型经纬仪测六个半测回平均值的测角中误差，可以达到一秒的精度。表4.3.12-2中半测回数是按下式计算确定的。

$$n=\frac{\sigma}{m_r^2} \tag{4.3.12-6}$$

式中 m_r——视差角测角中误差。

4.3.13 光电测距导线技术要求(表4.3.13)是根据下列公式计算列出的。

(1)直伸附合导线经角度分配后，终点 B 的闭合差中误差为

$$M_B=\pm\sqrt{m_s^2n+\left(\frac{m_\beta}{\rho}L\right)^2\frac{n+3}{12}} \tag{4.3.13-1}$$

(2)导线中点(最弱点)K 平差后的中误差为

$$m_K=\pm\frac{1}{2}\sqrt{m_s^2n+\left(\frac{m_\beta}{\rho}L\right)^2\frac{n+3}{48}} \tag{4.3.13-2}$$

式中 m_s——测边中误差；

m_β——测角中误差；

n——导线折角数；

L——导线总长。

(3)导线全长相对闭合差为

$$\frac{M_B}{L} \tag{4.3.13-3}$$

上列式中均未顾及起始数据的误差。

4.3.14 本条规定的目的是提醒作业人员，在使用钢尺的尺长方程时，放样和量测，各参数的符号是相反的，否则容易搞错。

4.4 高程放样方法的选择

本节根据高程放样的精度要求，提出了应该采用的放样方法。并对各种方法应该注意的问题加以强调。例如：在当前广泛使用测距仪时，三角高程中应加入地球曲率改正，这虽是常识范围内的事，但一些具体作业人员，往往忽略而造成事故。又如，用具有平行玻璃板的水准仪放样和用钢尺传递高程的计算方法是陌生的，这里列出来是很有必要的。

4.5 仪器、工具的检验

4.5.1 施工放样就是确定建筑物在实地上的位置。其方法不外乎测角、量距和测高。为使放样点位置正确，施工放样人员除注意存在的人为误差及外界误差的影响外，对仪器的各项

误差应使其影响达到能容许的地步。为此，应定期对仪器进行检验校正。规定检验的各项目均为常规检验项目。

4.5.2 对使用的有关测量工具进行必要的检验(如钢带尺、水准尺、塔尺和垂球等)，使其误差与欲达到的测量精度相一致。

5 开挖工程测量

5.1 一般规定

5.1.1 一般开挖放样的具体内容。

5.1.2 开挖放样的精度在已有规范如《地下开挖工程规范》(SDJ212—83)，《岩石基础开挖工程施工技术规范》(SDJ211—83)中，一般规定为±200mm。随着开挖手段的更新，开挖方法的改进，开挖精度也相应地有了提高。因此本规范分为三种情况，规定不同的开挖放样精度。即有密集钢筋网部位的基础轮廓点和预裂爆破孔的定位，规定为±50～±100mm；主体工程部位的一般开挖规定为±100mm；土石方覆盖层开挖，规定为±200mm。这样做是很有必要的，因为：

(1)当前有许多大型水利水电工程的开挖已经普遍采用预裂爆破技术，而预裂爆破孔一次就下钻 8～12m 或更深，如果放样误差太大，将无法再第二次下钻处理。有密集钢筋网部位对欠挖的严格要求更是理所当然的。

(2)自从实行施工监理制度以来，对于开挖的超、欠挖有了严格的控制，因超挖所引起的开挖工程量和混凝土工程量将不予付款。

(3)施工测量的设备和技术水平有了提高，能够满足上述要求。同时严格的要求，也能改变开挖放样中的粗放作业现象。

5.2 开挖工程细部放样

5.2.2 开挖工程的细部放样方法有极坐标法，测角前方交会法、后方交会法等，但基本的方法主要是极坐标法和前方交会法。后方交会法只是测设放样测站点的坐标，然后由测站点再用极坐标法放样。直接用后方交会法放样开挖轮廓点的情况很少。

实践证明，在开阔地区，采用三点前方交会法放样，不仅有校核条件，而且速度快，且能获得放样点三维坐标，尤其是预裂孔定位，采用此法是最实用的。用极坐标法放样开挖轮廓点，测站点必须靠近放样点，因此不论以钢尺或皮尺量距，均以一尺段为限，对于用视距法或视差法放样也必须限制放样距离。

5.2.4 本条强调要对所有放样的细部点进行校核。主要防止粗差，以能发现错误为目的，保证放样点的准确性。校核方法可以是目测、与前次放样对照、丈量各放样点之间的相对关系或在关键点上作简易后方交会等方法。

5.2.5～5.2.6 这两条规定对于指导开挖施工是十分必要的。因为开挖工作面天天都在变

化，如果我们在预裂面上或欠挖部位经常标上桩号和高程，施工人员、地质人员、施工监理人员就可以随时了解开挖的进程，防止超挖或欠挖的发生。在接近竣工的开挖面上画出开挖轮廓线，使验收人员一目了然。也便于验收后锚筋孔的施工，立模架子的绑扎以及清基撬挖人员的作业，也是走向文明施工的一步。

5.3 断面测量和工程量计算

5.3.4 断面中心桩的精度要求。

对于原始收方断面来讲，其用途就是收方。因此，用视距测量的精度(1/100～1/300)来测设断面桩也就可以了。因为纵向误差的大小只涉及到断面位置上的平行移动，横向误差的大小不改变断面的形状和面积，只改变中心点在断面上的位置。对于竣工断面来讲，其用途除了计算工程量外，还涉及到超、欠挖的确定，以及开挖轮廓点是否满足结构的需要，因此，其中心桩的点位误差应不大于 5cm。

5.3.5 规范表 5.3.5 的规定，就是第 10 章 10.1.7 中地物点位置中误差的规定。

5.3.7 关于采用地面摄影法施测开挖断面的几点说明。

(1)基线长度 B_{min}、B_{max}的确定。

B_{min}是根据竖距的误差 $m_{y_{\phi}}$的大小确定的。$m_{y_{\phi}}$的表达式为 $m_{Y_{\phi}}=\pm\frac{Y_{\phi}^2 m_p}{Bf}$ ($Y_{\phi}=Y_{max}$)。令 $m_{Y_{\phi}}=\pm 0.4$mm(图上)，$f=200$mm；$m_p=0.01$mm，则 $B_{min}=Y_{max}^2/8M$。

B_{max}是根据人眼立体观察的效应决定的。

一般人眼观察立体效应的交会角不大于 15°，如大于 15°，则立体效应将迅速降低。如图 5.3.7，b 为眼基线，y 为明视距离。一般为 250mm，则 $r=15°$时

$\text{tg}7.5°=\frac{b}{2}/y=0.13$ 因而得

$B_{max}=2Y\times 0.13\approx Y_{min}/4$ 因此基线应选在

$$B_{min}\sim B_{max}=\frac{Y_{max}^2}{8M}\sim\frac{Y_{min}}{4}$$

考虑到水电系统的实际和精度的需要，规定为

$$\frac{Y_{max}}{20}\leqslant B\leqslant\frac{Y_{max}}{4} \qquad (5.3.7\text{-}1)$$

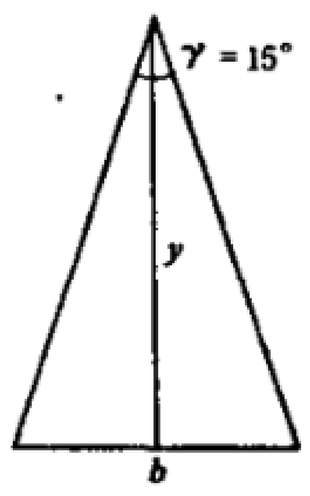


图 5.3.7 人眼立体交会效应图

(2)关于最大竖距长度的限值(见表 5.3.7)，本规范规定“在像片控制点按标准形式布置的条件下，最大竖距长度可再增加 0.5M”。这是根据水口工程的大量实践作出的。例如水口工程中统计 36 个象对的资料如下：

表 5.3.7 各像点的测量值与野外测定值比较表

象对号	基线长 (m)	点 数	最大 Y 距 (Y_{max}) (m)	三维坐标中误差(m)			平均 Y 距 (m)	相对误差	$M=500$ 时 (m)
				ΔX	ΔY	ΔH			
35#	98.023	9	1135	0.123	0.232	0.098.	1015	1/4377	2.3
78	105.704	9	1138	0.150	0.169	0.188	916	1/5421	2.3
33	128.094	11	909	0.105	0.190	0.050	800	1/4211	1.8

续表

象对号	基线长(m)	点　数	最大Y距(Y_{max})(m)	三维坐标中误差(m)			平均Y距(m)	相对误差	$M=500$时(m)
				ΔX	ΔY	ΔH			
34	128.094	12	865	0.062	0.093	0.056	743	1/7494	1.7
36	98.023	8	1128	0.121	0.153	0.074	1036	1/6769	2.2
37	128.094	6	808	0.130	0.127	0.70	680	1/5354	1.6

由表知:基线长大约为 $y_{max}/7$,最大 y 距在相对误差达 1/4000～1/5000 的条件下,仍可达到 1.6～2.3m。一般断面测量的相对误差达到 1/1000～1/2000,已经很好,因此 y 距放长 0.5m 是没有问题的。关键是像片控制点布置合理,改正数计算方法恰当及外业摄影的质量好。

(3)关于像片坐标改正数的计算方法。

原规范根据龙羊峡的经验(断面很陡,在 Y 距方向变化不大,Y 距较短等),采用多个像片控制点像片坐标改正数的平均值是可行的。但对断面在 Y 距方向延伸很大,Y_{max}达到 600～1000m 时,采用平均值的改正方法已不能满足要求。因此本规范要求采用"线性内插法",该方法是根据像片控制点坐标的误差理论,经过图解推导的一种近似方法,虽不完全严密,但比"平均值"已经前进了一大步,经过水口电站 500 多个像对的应用证明是有效的,其理论根据及具体推导过程见《水口水电站摄影测量的应用与误差处理》一文。

(4)关于基线丈量精度问题。

由公式 $y=Bf/p$,微分并转为中误差得:$m_y/Y=m_B/B$,即基线测量的相对误差不低于竖距的相对误差,用 $m_Y=0.4\text{mm}$,$Y=0.8M$ 代入得

$$\frac{m_B}{B}=\frac{0.4\text{mm}}{0.8M}=\frac{1}{2000}$$

这就是要求基线测量的相对中误差。

(5)关于两摄影站之间高差的限值。

当两摄影站的高差达到 $B/5$ 时,(推算过程从略),其中有一个摄影站的像主点已处于像片的边缘(4.5cm+1.0cm=5.5cm,最大为 6cm),在内业仪器上已接近极限位置,故本规范规定两摄影站之间高差不得大于 $B/5$。

(6)关于像片控制点平面位置精度的规定。

考虑到视差 p 的误差对断面点位置的影响最大,因此仅分析像片控制点的误差对竖距 y_p 的影响,令像控点的平面位置误差对 P 的误差不超过 p 的量测误差($m_p=\pm0.01\text{mm}$)的四分之一。经计算得像片控制点平面位置和高程的中误差不大于图上 0.1mm,在野外困难地区允许放宽至 0.2mm 和 0.3mm。

(7)关于等偏角 φ 的限值。

当采用等偏摄影,等偏角 φ 达到 30°时,在 $Y_{min}=4B$ 处,只有 $0.128B$ 的重叠,因而等偏角不能再大。由于等偏摄影的误差比正直摄影的误差大 $\sec\varphi$ 倍(系 m_p 的误差),$\sec30°=1.155$,即偏角 φ 为 30°时,误差增加了 15.5%,因此偏角 φ 应有限制。为了便于在立体坐标量测仪上寻找立体,也应限制偏角。综合上述情况。故规定采用等偏摄影时,等偏角不应大于 30°。

5.3.8　关于交会法断面测量,本规范除了原来的激光交会法外,还增加了前方交会法,特征点交会法。由于它们都是交会法的原理,因此表 5.3.8 适用于以上三种方法。特征点交会法

是在刘家峡电站施工时创造出来的一种办法，它是利用陡壁上位于断面线上的特征点（小草、裂缝、石尖等）作为交会目标。它不需人工立点、精度视特征形状而异。在中、小型电站，没有激光、地面摄影等设备的条件下，也不失为解决陡坡断面测量难题的一种方法。不过，它要在现场随测随算，以检查瞄准目标的错误。交会法（激光交会、前方交会，特征点交会）断面测量的方法，是除了地面摄影法以外，进行陡坡断面测量经常使用且行之有效的方法。其误差关系式推导如下（如图5.3.8）。

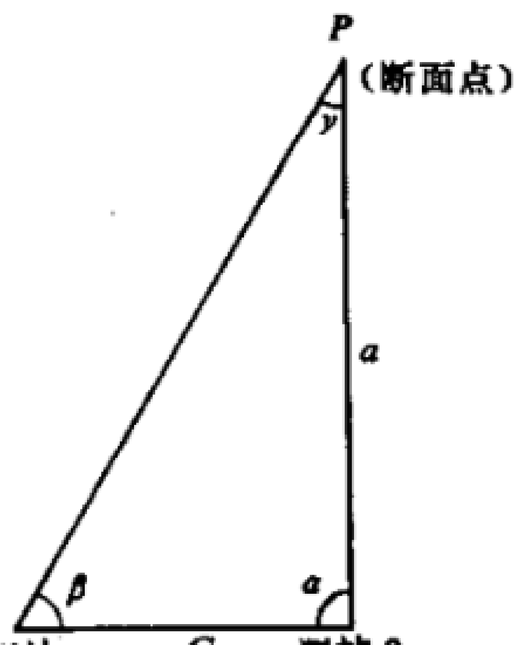


图5.3.8 地面摄影交会图

一般 $\alpha\approx90°$，由于 α、β 是现场测设的，都存在误差，因此 $m_\gamma^2=m_\alpha^2+m_\beta^2$。所谓断面测量的误差，主要是边长 a 的误差，由图知（$\alpha\neq90°$为例推导）

$$a=\frac{c\sin\beta}{\sin\gamma} \qquad (5.3.8\text{-}1)$$

微分，转为中误差得断面边长 d 的相对中误差关系式：

$$\left(\frac{m_a}{a}\right)^2=\left(\frac{m_c}{c}\right)^2+\left(\operatorname{ctg}\beta+\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2+\left(\operatorname{ctg}\gamma\,\frac{m_\gamma}{\rho}\right)^2 \qquad (5.3.8\text{-}2)$$

（1）交会角 γ 和测角误差 m_α、m_β 的确定。

由于现场条件的限制，基线不会太长，因此交会角不会太大，最不利的情况不能小于10°，表5.3.8的规定就是按照 $\gamma=10°$ 计算的。

关于 m_α、m_β 的精度，考虑到在断面测量中只能半测回（或一次后视，多次前视）测定，因而许多误差（如视准差、横轴倾斜误差等）不能消除，再加上激光（或特征）点有一定的发散角（或宽度），两台仪器不能瞄准同一个点。因此 DJ_2 级仪器的测角中误差从±6″放宽到±30″，DJ_6 级仪器从±20″放宽到±50″。

（2）交会边竖距 a 的最大长度和最小基线长度的确定。将基线相对误差

$$\frac{m_c}{c}=\frac{1}{2000},\ m_\alpha=m_\beta=\pm30''(\pm50''),$$

$m_\gamma=\pm\sqrt{2}\,m_\beta$ 代入

$$\alpha=m_\alpha\Big/\sqrt{\left(\frac{m_c}{c}\right)^2+\left(\operatorname{ctg}\beta\,\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2+\left(\operatorname{ctg}\gamma\,\frac{m_\gamma}{\rho}\right)^2}$$

计算得下表：

表5.3.8 交会法断面测量最大竖距和最短基线限值表

项目 / 限值（图上mm） / 使用仪器 / 断面类别	最大竖距		最短基线	
	DJ_2 经纬仪	DJ_6 经纬仪	DJ_2 经纬仪	DJ_6 经纬仪
竣工断面	0.6M	0.37M	0.1M	0.07M
原始收方断面	0.8M	0.5M	0.14M	0.10M

注：1. M 为断面图比例尺；

2. 上表按 $\gamma=10°$ 计算。

例如：欲测 1/200 竣工断面，已知基线长为 20m，则按 1/200 竣工图的要求，交会角在 10°左右时，最大竖距长度允许为 $0.6\times M\times 20/(0.1\times M)=120$m。若基线长度为 15m，则最大竖距长度为 $0.6\times M\times 15/(0.1\times M)=90$m。若欲测竖距长度为 250m，则最短基线为：$B_{min}=250/(0.6\times M)\times 0.1\times M=41.66$m。

(3)关于两站测得的断面点高程较差限值的规定。

同一断面点的高程，可分别由 A_1、A_2 站算得，它们之间的较差应满足一定的要求，否则无法判断其正确与否。

由解析法三角高程单向观测高差中误差计算公式：

$$m_h=\pm\sqrt{(m_s\mathrm{tg}\alpha)^2+(s/\cos^2\alpha)^2\times(m''_\alpha/\rho'')^2+m_i^2+2m_r^2}$$

略去 m_i 和 m_r 影响得

$$m_h=\pm s\sqrt{\left(\frac{m_s}{s}\mathrm{tg}\alpha\right)^2+\left(\frac{m''_\alpha}{\cos^2\alpha\rho''}\right)^2}$$

式中 s——相应的最大竖距长度。

取 $\frac{m_s}{s}=\frac{1}{1000}$，$\alpha=20°$(垂直角)，

$$m_\alpha=\pm 30''(\pm 50'')$$

代入公式得：$m_h=4\times 10^{-4}a$

断面点高程的较差为 $m_{\Delta m}=2\sqrt{2}\,m_h=1.13\times 10^{-3}\cdot a$

用规范表 5.3.7 中相应的 a(最大竖距)代入，取 DJ_2、DJ_6 的平均值，即得 0.5mm×M 和 0.7mm×M，见规范表 5.3.8。

例如：对于竣工断面，则 $a=0.6M(DJ_2)$，$a=0.37M(DJ_6)$代入得 $\Delta_m=1.1\times 10^{-3}\times 0.6$(或 0.37)×1000=$0.66M$(mm)和 $0.041M$(mm)，取平均值 $0.535M$(mm)，取整数 $0.5M$(mm)。

(4)关于由两个三角形测定的断面边长 a 的较差限值的规定。

当由三台经纬仪组成两个三角形进行交会时，一点可算得两个边长 a 和 a'，它们的较差为 $\Delta=a-a'$。化为中误差关系式：$m_\Delta=\sqrt{2}\,m_a$，限值 $\Delta=2\sqrt{2}\,m_a$。因为已规定 $m_a=\pm 0.75$mm(图上)和 ±0.1mm(图上)，故 $\Delta=2\times\sqrt{2}\times 0.75M=2.1M$ 和 $\Delta=2\times\sqrt{2}\times 1.0M=2.8M$。从严要求取 $1.5M$ 和 $2.0M$(mm)。

5.3.9 根据资料，视距测量单向观测的精度约为 1/200，当视距长度 $S'=100$m 时，边长误差为 100/200=0.5m，在 1/500 的图上约为 1mm；当 $S'=40$m 时，边长误差为 40/200=0.2m，1/200 断面图上为 1mm。仍可符合原始收方断面的要求(规范表 5.3.5 的规定)。

高程误差由下式估算：

$$m_h=S'\sqrt{\frac{1}{4}\sin^2 2\alpha\left(\frac{m_s}{S}\right)^2+\cos^2 2\alpha\left(\frac{m_\alpha}{\rho}\right)^2}$$

以 $\alpha=10°$，$m_\alpha=\pm 1'$，$\frac{m_s}{S}=\frac{1}{200}$代入得

当 $S'=100$m 时 $m_h=0.086$m

$S'=40$m 时 $m_h=0.034$m

因此，高程精度也能满足规范表 5.3.5 的规定。

5.3.10　能采用花杆置平量距法测断面的地方，一般地形比较平坦，方向偏差对断面形状不会有很大的影响。但是考虑到方向偏差太大，会使断面点对断面中心桩的距离产生过大的误差，因此本条规定每侧长度不得超过 50m。

5.3.13～5.3.14　在实行投标、招标、施工监理的新情况下，工程量的计算显得特别重要，日益受到各级领导的重视，为此，本规范也作了一些新的规定。

(1)开挖工程量的“结算应以测量收方成果为依据”，这是一条新的规定，我们试图通过这条规定，加强测量人员的责任心，树立测量人员工程量收方的权威。

(2)关于断面间距和位置的布设，本规范作了规定：要求根据地形变化或等间距确定。这是为了防止多算或少算工程量而有意识布置在特定位置。

(3)面积计算方法，现在已逐渐由图解法(求积仪)向解析法转变。本规范提倡用解析法。但目前大部分单位仍用图解法，因此本规范规定，当用图解法时，要考虑图纸伸缩系数以及求积仪本身的精度。

(4)在实行施工监理及工程承包制度以后，甲、乙双方关于工程量结算的纠纷事件日益增多，为了使各方有一个合理的、科学的评判标准，本规范对甲、乙双方计算的工程量差额问题如何处理作了规定，其理论依据如下：

在军委测绘学院杨定国同志所写的《图面积量算的精度分析》一文中，给出了下列结算公式，用解析法计算面积时：

$$P=\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}x_i(y_{i+1}-y_{i-1})\,;m_p=\pm m\sqrt{P}$$

用求积仪计算面积时：$m_p=0.02P$

式中　P——量算的总面积；

x_i,y_i——图形各转折点的坐标，其中 $y_{n+1}=y_1,y_0=y_n$；

m_p——面积中误差；

m——各转折点的坐标中误差。

用解析法计算时，如果各转折点坐标是由坐标数字仪器获得的，则 $m=\pm0.18$ 图上 mm。

如果各坐标是由方格纸(厘米计算纸)或直角尺从图纸上读得的，则 $m=\pm0.38$ 图上 mm。

由此得各种量测方法下的面积中误差 m_p 的估算公式如下：

数字仪器：$m_p=\pm0.18\sqrt{P}$

方格网、直尺读数：$m_p=\pm0.38\sqrt{P}$

求积仪：$m_p=\pm0.02P$

由于面积计算是由甲、乙双方各自进行的，因此应乘以 $\sqrt{2}$，若是限值，应乘以 $2\sqrt{2}$。

故面积量算误差的限值为：

数字仪器：$m_p=\pm0.51\sqrt{P}$

方格网、直尺读数：$m_p=\pm1.07\sqrt{P}$

求积仪：$m_p=\pm0.06P$

由此可知：当面积较大时，求积仪的精度最低，其误差为总面积的 6%。本规范取综合指

标规定为：石方不超过5%，土方不超过7%，否则应重测。

5.4 资料整理

5.4.1～5.4.2 根据各工程局的实际情况，一般对开挖放样的资料整理重视不够，因此规定这二条是必要的。

5.4.3 本条提出“在有条件的单位使用计算机，建立工程量数据库”。一个大型水利水电工程，开挖工程量达几百万甚至千万立方米，项目繁多，情况各异，如果能够建立起一个完整的数据库，这对于投资计算，计划的编制与检查，以及竣工结算都是很必要的。

6 立模与填筑放样

6.1 一般规定

6.1.1 立模和填筑放样的主要内容是根据目前大中型水利水电工程施工测量的实际工作内容规定的。

6.1.2 关于水工建筑物的放样精度，国内尚无统一规定，国际工程测量专业委员会虽然设立一个“施工限差与精度研究小组”，但也没有查到具体数值，本章所列精度指标是根据下列文献、资料和实际作业情况确定的。

(1)全国各大中型水电站，特别是新安江、富春江、乌溪江三个电站的实际资料。

(2)李青岳教授主编《工程测量学》第102页指出：“目前大多数有关文献，都能保证以放样点位中误差不超过±(10～20)mm，作为确定施工控制网必要精度的起算数据”。

(3)参考建工总局编的《钢筋混凝土高层建筑结构设计与施工规定》(JGJ3－91)和原水利电力部编的《水工混凝土施工规范》(DDJ207－82)的有关条文。

(4)碾压式土石坝的放样精度是参照《碾压式土石坝施工技术规范》第2.0.8条中断面比例尺的精度换算的，即最高精度的放样误差不大于图上±0.2mm，实地距离为±40mm。

(5)对于各种孔洞位置的精度要求，电梯井、正、倒垂孔等平面位置精度要求高，所以均要求按各种主要水工建筑的精度标准执行。

6.1.3 关于混凝土预制构件拼装及高层建筑混凝土浇筑的精度，是根据建工总局《钢筋混凝土高层建筑结构设计及施工规定》(JGJ3－91)，并结合几个电站开关站结构架立柱的安装情况规定的。

6.1.4 为了保证拼装面水平，同一层四个角的高差之差，不应超过一定的限值。由于拼装面一般范围不大，一次仪高可全部测完，限差±3mm就是根据四等水准一测站的读数精度要求规定的。

6.1.5 本条原规定为“用于立模、填筑放样的高程控制点，应不低于四等的精度”。

由于水电施工高程放样，一般视线都很短，如果水准点的精度用等级标准来衡量不太直观。故现修改为“用于立模、填筑放样的高程控制点，其高程中误差不应大于±15mm”，这

15mm 的规定，是参照表 6.1.2 中关于“平面位置误差分配”的数字确定的。

6.2 建筑物的细部放样

6.2.1～6.2.2 规定了放样点的密度和必须放出的一些特征点，这是实践经验的总结。对于特殊形状建筑物放样，主要是保持其相对精度，经过分层，分块浇筑后，仍能保证设计的体形。其绝对精度要求并不很高。因此，测站点不能采用相互独立的交会点，导线点，而要采用长期保存的、统一的轴线点。

6.2.3～6.2.4 叙述了适用于立模、填筑细部放样的各种方法。各种方法都应该具备一定的条件且运用于一定的场合，叙述这些方法的目的也就是为了强调这点。

关于辅助轴线的测设，其中距离丈量的相对精度的规定：有金属结构联系部位为 1/2000；无金属结构联系的部位为 1/1000。前者是根据《机械工业建厂测量规范》的规定制定的。

建筑物的特殊形状，一般都是由曲线构成的。实践经验证明，在现场放样时，宜事先计算好放样数据，并经检核，否则现场临时计算，既耽误时间又容易出错。本条同时规定应编制放样数据表。

6.2.5 对挡墙、护坦等狭长建筑物，按以往的施工经验，采用导线作控制比较好，由导线点把建筑物的转折点联系起来，作为细部放样的测站点。对附合导线的点位误差，规定按Ⅱ类建筑物的精度要求，目的是给细部放样有 17mm 的余地。

6.2.6 滑升模板的立模放样要求与一般分块浇筑的情况不同，要求上下保持严格的相对关系，因此，其精度标准与表 6.1.2 的规定不同。表 6.2.6 的精度引自《钢筋混凝土高层建筑结构设计与 JGJ－91 表 7.7.17，将施工允许偏差的 1/2 作为测量的允许偏差。

6.2.7 叙述了高程放样的各种方法，这些方法，适用于各种不同的情况。由于高程与平面位置在某些部位（倾斜面、曲面）有很强的相关性，因此在不同的部位进行高程放样时，其精度有很大的不同。要特别加以注意。

6.3 建筑物立模放样点的检查

立模放样点不同于开挖放样点，一旦有错，将会造成严重后果！规范在这里强调了各种检查方法，显然是十分必要的。

至于本节所列的检核方法，是否有效和正确，尚待实践检验。

6.4 填筑工程量测算

6.4.1～6.4.2 由于地形或地质情况的变化，基础开挖不能完全与设计断面相符，因此混凝土方量计算必须以基础实测开挖图为依据，而基础的上面部分，则是严格按照设计图纸施工的，方量自然应按设计图计算。

6.4.3～6.4.4 土石坝填筑的材料应该分开测算，因为它们的单价不同，同时也可以用来检查施工是否按设计的材料质量和数量进行。由于目前实行承包制，甲、乙双方往往在工程量的计算上发生争执，因此，规定一个 3%的差异，以便双方协商解决。

6.5 资料整理

6.5.1 单项放样任务完成后，向施工单位或质检部门提供放样成果单正是许多单位习惯的作法，它已成为施工人员、质检人员据以作业或检查的凭证，也是日后竣工资料整理或质量事故调查的重要原始记录。因此，制定本条，极为重要。本条明确放样单应该包括的内容，目的是为了验收时能真正起到上述的作用。否则，如果内容欠详，项目不全，日后需要查阅，起不到应起的作用。

6.5.2 目前有些测量人员对整理资料重视不够，往往是放样工作结束，资料入柜，由于没有及时整理，容易造成资料丢失。如果发生了放样错误，也不易发觉，对于日后的竣工验收造成困难。因此规定及时整理资料是必要的。

7 金属结构与机电设备安装测量

7.1 一般规定

7.1.4 关于安装测量的精度指标，目前国内尚未见到有明确的规定。表 7.1.4 的内容是根据安装规范中有关安装允许偏差的规定，摘要综合而成。

7.2 安装轴线及高程基点的测设

7.2.1 本条指明安装轴线测设的精度指标应满足表 2.7.1 的规定，即不大于 10mm，这是指相对于邻近基本控制点而言的。

7.2.2 由于施工现场的干扰很大，根据过去的经验，往往会使已建立的轴线点与高程基点遭到破坏，本条就是结合其破坏的不同情况，采用不同的方法进行恢复的测设工作。

7.2.3 是对测设高程基准点提出的两点要求。

7.3 安装点的细部放样

7.3.1 说明安装测量工作精度要求的相对性，是一般施工测量的经验。

7.3.2 这是一般安装测量的方法与技术要求，在距离测量中提出了用光电测距仪“差分法”进行距离放样，这在目前广泛使用光电测距仪进行放样的情况下，是十分适宜的。所谓“差分法”是将测距仪设在需要测量距离的延长线上，测定测站点到两端的距离并相减，就得到了所需距离。这样便消除了测距仪加常数的误差，从而提高了距离量测的精度。

7.4 铅垂投点

7.4.1 本条是参照《水工建筑物金属结构制造、安装及验收规范》的有关要求制定的。

7.5 安装测点检查与资料提交

本节各条系根据各工程局多年的实践经验而概括出来的基本做法与要求。

8 地下洞室测量

8.1 一般规定

8.1.2 本条根据《水工建筑物地下开挖工程施工技术规范》(SDJ212－83)制定的。在主斜洞贯通时，因其高程误差和量距误差对贯通均产生影响，因此将纵向贯通误差要求提高到横向贯通误差的要求去执行。

对于上下两端相向开挖的竖井，其贯通难度较大，故将贯通的极限误差放宽为200mm。

8.1.3 测量误差对贯通的影响值，表8.1.3只考虑了三个测量误差因素，即洞外一个，洞内两个，并且是按等影响原则进行分配的。当通过竖井贯通时，应将竖井定向误差作为一个新增加的独立因素参加测量误差对贯通影响值的分配。

8.1.4 本条提出了下列几种横向贯通中误差的估算方法。

(1)洞外三角测量误差对贯通误差的影响，本条规定的估算方法与常规估算方法略有不同。

以相向开挖两洞口点J、C的局部相对点位误差椭圆在隧洞横向贯通面上的投影，作为洞外三角测量误差对横向贯通误差的影响，如图8.1.4所示。

这样估算的方法有以下两点好处：

a. 采用局部相对误差椭圆来估算横向贯通中误差，符合实际。

b. 计算简单。

(2)洞内导线测量误差对贯通误差影响值的计算是近似方法。

(3)竖井定向测量误差对贯通误差影响值的计算是常用公式。

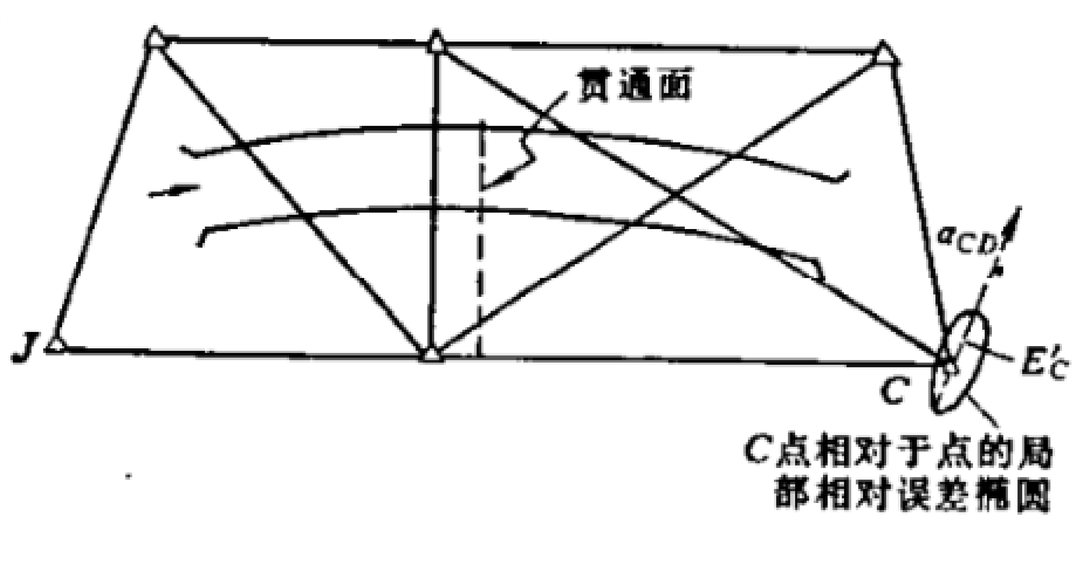


图 8.1.4 横向贯通中误差估算示意图

8.1.5 系常规方法。

8.1.6 系贯通测量设计的一般程序。

8.2 洞外控制测量

8.2.1 根据《铁路测量技术规则》的编写说明所举的以严密公式估算的例子，以不同的隧洞长度，边长精度和测角精度计算贯通误差预期值如表8.2.1。

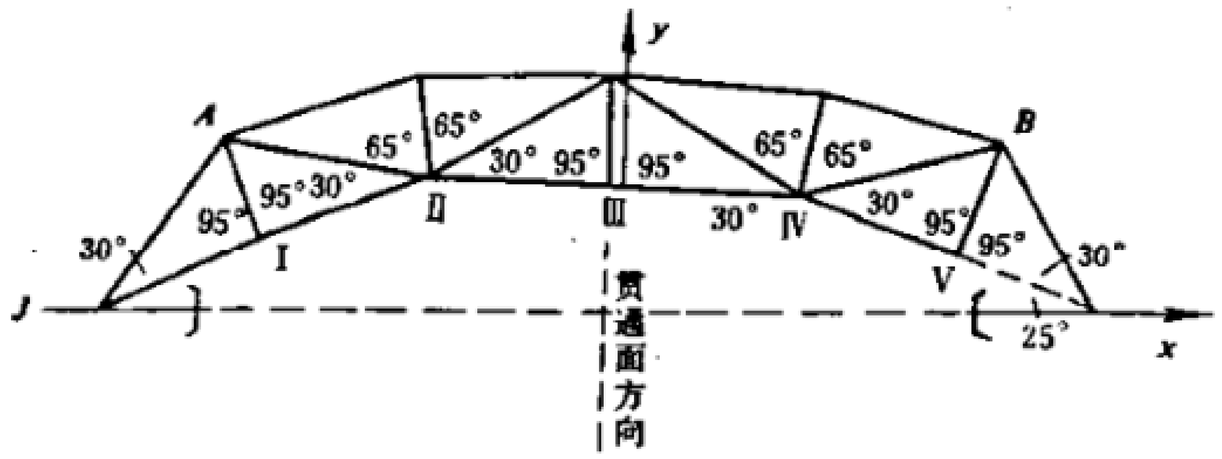


图 8.2.1　贯通误差预期值示意图

表 8.2.1　贯通误差预期值

隧道长度(km)	<1.5	2		4		6		8
测角精度 m_β(")	4	2.5	2.5	2.5	2.5	1.0	1.0	—
起始边精度(m_b/b)	1/25000		1/50000					
贯通误差预期值(mm)	26	24	24	45	33	43	27	35
贯通误差允许值(mm)	30	30	30	45	45	45	45	45

用上表对照第 2 章三角测量技术规格，可以看出规范中表 2.2.4 规定的起始边精度比表 8.2.1 高，而测角精度一样。因此，是能够满足贯通要求的。

8.2.2　增加多余观测，以提高图形强度。在图形适当的地方增测测距边，或增加角度观测，对控制横向误差是会有益的。

8.2.3　关于隧洞地面控制网采用光电测距导线时，导线规格可在规范表 8.2.3 中选用。

选用时可以隧洞相向开挖的长度为基数，从规范表 8.2.1 中选择相应的控制网等级。然后由规范表 8.2.3 中选择相应等级的导线精度指标而付诸实施。

规范表 8.2.3 的数据也是根据 4.3.13 说明中所提出的公式计算的，不过它选择的最弱点中误差为±30mm 和±45mm。

8.2.4　由于坝区控制网边长投影到坝区平均高程面上，因此，在坝区的短隧洞(如导流洞、泄洪洞等)无需再选择其它投影面，但在长距离的引水隧洞工程中，进出口高差大，为了保证贯通精度，隧洞控制网必须将边长投影至隧洞平均高程面上。

8.2.5　这是控制测量的一般作法。洞口点是将洞外控制(坐标、方向)传至地下的关键渠道，它的精度决定了地下控制的起算精度，因此本条作出的规定，是保证满足贯通精度要求的必要措施。

8.2.6　隧洞控制网，从进口往出口方向布设，所经之处，并非都有其它用途，在仅为了传递坐标的地区，标石的埋设当然可以简化一些，但在洞口(或支洞口)因施工测量放样的需要，必须埋设永久标石，对经常设站的点，应埋设混凝土观测墩。

8.2.7　高程路线最大长度按下式计算。

$$L=\left(\frac{m_h}{M_\Delta}\right)^2$$

式中　m_h——洞内高程测量对竖向贯通的影响；

M_Δ——高程测量每公里高差中数的偶然中误差。

表 8.2.7　根据隧洞高程贯通中误差的要求所规定的高程测量等级表

高　程　等　级	二	三	四
M_Δ(mm)	±1	±3	±5

$$L_{1-4}=\left(\frac{15}{M_\Delta}\right)^2=\left(\frac{15}{5}\right)^2=9\text{km}$$

$$L_{4-8}=\left(\frac{20}{M_\Delta}\right)^2=\left(\frac{20}{5}\right)^2=16\text{km}$$

上式计算表明，本条根据高程贯通中误差的要求所规定的高程测量等级是适宜的。

8.3　洞内控制测量

8.3.2　因为隧洞是通过不断的掘进而形成的，而在施工过程中需要进行施工放样，因此施工导线必须随时建立，而基本导线只有在隧洞掘进至一定长度后，才能予以布置，且基本导线要服从贯通误差要求的需要，边长应有一定长度。而施工导线必须跟着掘进面布设，太长了会给掌子面放样带来困难，所以规定为 50m 左右，由于施工导线，为直接放样开挖轮廓线的依据，必须保证其正确性，因此要进行重复 2～3 次的测量，以保证不出现差错。

8.3.3　由于洞内基本导线，在未贯通时，都是支导线，为了简化计算，本条用支导线端点的点位误差当作横向贯通中误差，这当然是偏于安全的。支导线端点的点位误差计算公式为

$$M_B=\pm\sqrt{m_s^2n+\left(\frac{m_\beta}{\rho}L\right)^2\left(\frac{n+1.5}{3}\right)}$$

只要 M_B 不大于表 8.1.3 中洞内导线横向误差(40mm)，就认为满足要求。

8.3.5　在隧洞施工放样中，经常遇到难于丈量距离的地段，如斜井，坡度较大的支洞等。实践证明，在没有测距仪的情况下，横尺是较好的量距工具。因此本条规定了分段丈量的中误差与基本导线边长的总误差之间的关系。设基本导线边长为 L，分段长度为 s，分段数为 n，则：

$$L=ns$$

微分得：$m_L=m_s\sqrt{n}$，则 $m_s=m_L/\sqrt{n}$。

当 m_L 规定时，则可求得分段丈量应达到的精度 m_s。

8.3.6　隧洞基本导线进行独立两组测量的必要性，一是反映在它要绝对保证不能有任何测量错误的发生，二是为了提高导线本身的精度，计算表明，通过两组测量，精度的提高是显著的。

8.3.7　由于通过曲线，一般导线边要短，会增加导线点的数量；通过竖井开挖贯通时，影响贯通的误差来源会增加一项竖井的定向误差；在通过斜井贯通时，其作业条件困难，三项贯通误差(纵向、横向、竖向)显得同样重要；而转角大于 30°的平洞量距误差对横向贯通的误差影响也是大的，因此规定在这种情况下，导线应提高一级以保证贯通的精度。

8.3.8　洞内高程测量通过估算，一般布置四等即能满足要求，用其它方法测量也应保证达到同一精度要求，至于测两组的需要，其说明同第 8.3.6 条。

8.4 地下洞室施工测量

8.4.1 由于隧洞边墙衬砌一般都有密集的钢筋网，如果发生欠挖，会使钢筋绑扎发生困难。因此，要求开挖轮廓点误差不大于 50mm 是适宜的。关于混凝土立模点的精度标准是相对于轴线点的，它相当于表 6.1.2 中的测量误差，不考虑轴线点的误差，因而是可以达到的。

8.4.2 串线法是用目测来决定方向的，在 5m 以内目测两组垂线在一条直线上的精度约为 $\pm 3'$，在 20m 范围内延伸瞄准方向时其误差：

$$m_{串}=\frac{180\times 20000}{206265}\approx\pm 17\text{mm}$$

取 2 倍中误差亦只 $\pm$34mm，满足开挖的精度需要。目前在长距离的隧洞开挖中，一般均在已开挖好的洞壁上安置激光管导向，这已是成功的经验，值得在洞挖中，结合具体情况广泛应用。

8.4.5 测绘竣工断面是工程建设与竣工验收的需要，本条规定的测量精度指标，是与测量放样的精度相适应的。

8.4.6 本条规定是为了便于运行期间的使用。

8.5 资料整理

8.5.2～8.5.3 本节规定是根据工程施工与竣工验收的需要制定的。

9 辅助工程测量

9.1 一般规定

9.1.2 由于辅助工程大部分在施工区以内，且设计单位已给定建筑坐标，因此应尽量利用已有的控制点进行施工放样。当辅助工程远离施工区域时，由于限制条件较少，在有利于施工放样的原则下，可布设三角锁或导线。坐标、高程系统可以假定。

9.1.3 在施工区外，由于线路较长，没有控制系统，它们一般属国家等级公路或铁路，用本章的规定不能满足要求，故须按有关专业规范执行。

9.2 筛分、拌合系统测量

9.2.1 轴线的测设不外乎交会法和导线法，所以可根据精度要求由第 4 章第 3 节任选。另一方面，因拌合、筛分系统自成体系，按目前各施工单位的经验，只要轴线在实地标定，就可以此轴线为准，进行细部放样。

9.2.2 是参考葛洲坝工程局机电处编印的《"3×2400"拌合楼基础允许偏差》及施工放样的实际情况制订的。

9.2.3 规定用导线来作皮带运输线的控制，为一般做法。定线的横向偏差，是根据皮带机最

大允许偏差 50mm 而规定的。相邻点的高差测定误差规定为 10mm，为一般规定，容易达到。

9.2.4　由于筛分拌和系统细部高程放样的相对精度要求较高，而高程的绝对精度要求较低。因此，从整个建筑工程来讲，五等水准精度作为高程控制，足以满足整个施工放样的需要。

9.3　线路测量

9.3.2　所列技术指标，一是来自实践经验，二是参考《铁路工程测量规范》TBJ101—85 的内容制订。

关于最弱点中误差不大于±100mm 和±200mm，是参照《公路设计手册》、《铁道工程测量学》的有关内容制定的。

9.3.4　由于支导线无闭合条件，缺少校核，对可能存在的错误无法发现，为此要求支导线必须加强校核，其方法是进行往返或同向两次观测。

9.3.5～9.3.7　根据方量计算和施工放样需要制订。

9.3.8　目的在于确定输电线路导线对交叉跨越的地(水)面、建筑物以及各种工程设施的最小垂直距离，使之互不影响，保证线路安全运行。

9.3.9　量测和测放出输电线对地面的最小垂直距离，以确保线路安全。

9.4　桥梁、缆机测量

9.4.1　为了简化控制方案，本条规定按桥的长度选择控制网的等级。由于桥长在 500m 以内，选择四、五等控制网，已能够满足点位中误差不大于 10mm 的要求。因此不必另设系列，参照第 2 章的规定执行即可。

9.4.2　桥墩放样的精度，是根据《隧道及桥涵测量》(人民铁道出版社出版)第 495 页表28-1 的规定，取 1/2 作为桥轴线的相对中误差。桥墩的放样误差是根据该书 496 页第 9 项的说明确定的。这样规定，是经过理论分析后得出的，而且可以适用于 500m 以上的大桥。

9.4.3　在光电测距仪精度不断提高的情况下，对于小于 200m 的中小桥梁，由光电测距仪测定桥轴线长度是完全可以办到的。在桥轴线端点直接进行桥墩中心线位置放样，也是可以满足桥墩中心点位误差 10mm 的要求的。这样就可以不必敷设桥梁控制网，加快放样速度。

9.4.4　按本条(1)、(2)款的要求做，易于达到桥墩沿轴线方向的放样精度，(3)款是确保沿桥梁轴线方向的放样精度的具体措施。

9.4.5　根据《隧道及桥涵测量》第 538 页表 30-1 的规定，施工水准点的精度，在桥长为 500m 以下时，均以四等高程控制即可。

9.4.6　规范表 9.4.6 是根据龙羊峡、白山等水利水电工程的实践经验和参照《水工建筑物金属结构制造安装及验收规范》制定的。

9.4.8　两岸缆机轨道的高程放样精度要求不高，四等水准完全可以满足要求。但轨道水平度要求甚高，测量时应用钢板尺或红黑面水准尺。因为塔尺的底面凸凹不平，影响观测精度。

9.5　围堰、戗堤放样

9.5.1　由于围堰、戗堤轴线的放样精度要求不高，确定轴线点的点位误差相对于邻近控制

点为±50mm，这对围堰、戗堤的进展和合拢不会产生影响。

10 施工场地地形测量

10.1 一般规定

10.1.1 由于工程管理和设计需要，施工阶段尚需增测施工场地的地形图、带状图、征地平面图、以及建基面岩石验收图等。

10.1.2 施工场地地形图，一般要求成图周期短，比例尺要求大，除建基面验收时，要求1∶200比例尺外，其它用图1∶500～1∶2000比例尺地形图，已能满足工程需要。

10.1.5 利于工程管理和设计、可与枢纽工程有机地联系起来。

10.1.6 考虑到工程用图的实际，将地形类别分为四类，与《工程测量规范》相同。1∶200比例尺地形图，地形起伏较小，故将等高距规定为0.25～0.5m，以便显示地貌变化。

10.1.7 规范表10.1.7中的一些限值的规定，已能满足水利水电工程施工用图需要，同时亦是多数规范沿用的规定(参照了《工程测量规范》)。现仅对1∶200基建面地形图的有关问题说明如下。

(1)地物点的平面精度估算公式：

$$m_{物}^2=m_{站}^2+m_{测(纵)}^2+m_{测(横)}^2+m_{卡}^2+m_{刺}^2+m_{整}^2 \qquad (10.1.7\text{-}1)$$

$$m_{测(纵)}=S\left(\frac{m_s}{S}\right)\frac{1}{M} \qquad (10.1.7\text{-}2)$$

$$m_{测(横)}=S\left(\frac{m_\alpha}{\rho}\right)\frac{1}{M} \qquad (10.1.7\text{-}3)$$

式中 $m_{物}$——地物点位置中误差，图上mm；

$m_{站}$——测站点点位中误差，图上0.2mm；

$m_{测(纵)}$——地物点测量的纵向中误差；

$m_{卡}$——卡取距离的中误差，取图上±0.1mm；

$m_{刺}$——刺点的中误差，取图上±0.1mm；

$m_{整}$——地形图整饰的中误差，取图上±0.15mm；

S——视距长度，取30m；

$\frac{m_s}{S}$——视距相对中误差，取1/250；

$\frac{1}{M}$——测图比例尺，取1/200。

从而计算得 $m_{测(纵)}=\pm 0.6$mm。

$m_{测(横)}$——地物点测量的横向中误差；

m_α——方向误差，取±3′；

ρ——3438′；

从而计算得 $m_{测(横)}=\pm 0.13mm$。

将以上数据代入(10.1.7-1)式，计算得出：$m_{物}=\pm 0.68mm$，此结果小于本条规定为±0.75mm的要求。

(2)地形点高程精度估算公式：

$$m_h^2=m_{站}^2+m_{测}^2$$

$$m_{测}^2=S^2\left[\frac{1}{4}\left(\frac{m_z}{S}\right)^2\sin^2 2\alpha+\left(\frac{m_\alpha}{\rho}\right)^2\cos^2 2\alpha\right]+m_i^2+m_c^2 \qquad (10.1.7\text{-}4)$$

式中 m_h——地物点高程中误差；

$m_{站}$——测站高程中误差，一般取 1/6 基本等高距(即±0.04m)；

$m_{测}$——测量中误差；

S——视距长度，取 30m；

$\frac{m_z}{S}$——视距相对中误差，取 1/250；

α——垂直角；

m_α——垂直角测角中误差，取±1′；

ρ——3438′；

m_i, m_c——仪器高、觇标高量取中误差，均取至±0.01m。

利用不同数值的垂直角，代入式(10.7.7-4)计算出相应的地形点高程中误差 m_h，见表10.1.7。

表 10.1.7 相应地形点高程中误差表

视距长度(m)	视距相对中误差	垂直角(°)	计算 m_h(m)	允许 m_h(m)
30	1/250	6	0.045	0.083
		10	0.048	0.083
		15	0.053	0.083
		20	0.058	0.083

注：允许 m_h 为 1/3 基本等高距。

由上表可以看出，按本规范的要求进行作业，地形高程精度完全能满足限差要求。

10.1.11 在不同测站测图时，最大视距测得的地形点能够衔接。本条规定的控制点数量，为每幅图的最低数量，如用光电测距仪配合测图，还可适当减少。

10.2 建基面 1：200 比例尺地形测量

10.2.1 参照《水利水电工程勘测设计阶段测量规范》的有关规定制订的。结合水利水电工程施工的特点，各工序衔接很紧，能进行测图的时间较短，故将图根点的点位精度略放宽一些。

10.2.2 根据地物点位置中误差不得超过图上 0.75mm 的规定，对于 1：200 的建基面地形图则要求地物点的误差不能超过 15cm，用视距法是难以达到的。因此，必须采用光电测距仪极坐标法或经纬仪加钢尺量距法。

10.3 1：500～1：2000比例尺地形测量

本节规定是参照《水利水电工程规划设计阶段测量规范》制定的。

10.3.5 采用地面立体摄影测量方法成图，可按《水利水电工程规划设计阶段测量规范》的有关章节执行。

11 疏浚及渠堤施工测量

11.1 一般规定

11.1.1 规定本章的适用范围。

11.1.2 疏浚施工测量的内容，是根据疏浚工程的实际情况规定的。

11.1.3 疏浚、渠堤等各种工程的控制系统是不同的。疏浚工程一般是远离城市的独立施工区。施工范围可能沿着河道延伸很长的距离，但精度较低，因此，一般利用勘测设计阶段的控制点成果即可。当原有成果或点位遭破坏时，也可从附近的国家三角点和水准点，以较低的精度引测。

渠堤工程的特点是：施工范围狭长，平面位置精度要求不高，但高程精度要求较高，因此平面位置可采用低等级的三角网或导线联测，而高程则应以国家等级水准的精度引测。但同样仍应尽量利用原有的勘测设计阶段的成果。

11.2 水深及水下地形测量

11.2.1 关于水尺设置的几点说明。

(1)河流比降为1/10000的河段，每公里有0.1m的水位差，这相当于水尺读数的精度。因此，规定每公里只设一组水尺就够了；比降大于1/10000的河段水位差可能达到0.2m，所以每500m应设立一组水尺。

(2)由于水尺易被风浪冲坏，为了保证水尺观测的连续性，则应有备用的水尺。相邻水尺应有一定的重合度，也是为了使水尺观测工作能够连续进行。

(3)若水尺远离施工船只，传话听不到时，应采用悬挂信号或采用其他通讯设备通报水位数字。这是因为在施工中，随时都要掌握水位的变化情况。

(4)永久性水尺主要是用于长期观测河流比降，其水位观测值的精度要求较高。设比降值的相对误差为

$$\frac{m_i}{i}=\frac{10}{100}，则：\left(\frac{m_i}{i}\right)^2=\left(\frac{m_h}{h}\right)^2+\left(\frac{m_l}{l}\right)^2$$

在$\frac{1}{10000}$比降的河流中两相邻水尺之高差值为0.1m。

(即h=0.1m，其距离相对误差为$\frac{1}{2000}$)，则求得$m_h=\pm 0.01$m。因此，规定永久性水尺的高

程联测，应采用不低于四等精度的水准。

施工性水尺，只用于局部施工测量，采用五等水准即能满足要求。

11.2.3 关于水深测量的几点说明：

(1)本款规定的目的是为了使作业人员了解各种测深工具的适用范围和所能达到的精度，便于正确选择。规定的依据是实际使用中的经验总结和有关测深工具的说明书。

(2)测深点的密度是根据地形变化确定的，但由于水下地形点，肉眼看不见，因此按陆地上的规定为图上 1～3cm 一点，但考虑到河床中间较平坦，两岸变化大，以及纵向变化小，横向变化大等特点，在上述部位应适当加密。

(3)关于测深精度的规定。

在一般情况下，常采用测绳或测杆测量水深。令其一次测深中误差为 m 则：

$$m^2=m_1^2+m_2^2+m_3^2+m_4^2+m_5^2$$

式中 m_1——测绳(杆)的刻划及伸缩误差，一般为 0.01m；

m_2——读数误差，取 0.05m；

m_3——水位读数误差，取 0.05m；

m_4——波浪影响读数误差，取 0.05m；

m_5——比降改正误差，取 0.05m。

测绳(杆)的倾斜，另有改正数。

故 $m=\pm 0.087\sim 0.1$m。

取该值的 2 倍作为限值，即为本条规定的测深中误差。

(4)关于平面位置中误差的规定。

影响平面位置精度有两个主要误差因素：

a. 由于测船不稳定，交会时误差较大。

b. 交会点标志和测深点往往不在同一位置，因此，此规定比陆地测量的同类误差放宽了 2～3 倍。

(5)关于测深点的定位方法系常规作法。

11.2.4 便于陆上和水下地形图的衔接。

11.3 疏浚施工测量

11.3.1 规范表 11.3.2 中规定，施工放样的定点精度应在±0.5～±1.0m 之间，现取 0.45×±0.5=±0.23m，作为放样测站点的点位中误差。本规范规定测图的测站点对于邻近图根点的点位中误差应小于或等于±0.3mm(图上)，即±0.3×1000=±0.3m，稍大于±0.23m。但两岸边定点精度远比水上其他位置的定点精度为高。这一规定，兼顾了定点的远近和定点精度的高低。

在 11.2.8 中规定测深中误差不大于±0.2m，取 0.2m 的 45%作为放样测站点高程中误差，即为±90mm。第 3 章规定五等水准往返闭合差为 $\pm 30\sqrt{L}$，反求得 $L=9.0$km。《水利水电工程规划设计阶段测量规范》规定测站点的高程精度对于邻近加密高程中误差，应不大于 1/6 基本等高距。本规范对于 1∶500 的地形图，规定等高距为 0.5m，则 $0.5\times\frac{1}{6}=9$cm。

1∶2000 的图幅周长只有 4km，故用五等水准测量来作高程控制点，是完全能满足测图要求的。

11.3.2 根据设计要求和放样所达到的实际精度制订。

11.4 渠堤施工测量

11.4.1 选线、定线测量是规划设计阶段的工作，但有时也有可能由施工单位一起做，因此，本条指出了应该遵守的规范。

11.4.2 规划阶段的横断面间距为 100～200m，而施工阶段的横断面间距为：直线取 30～50m，曲线取 10～30m，这是考虑到能够精确计量而规定的。

关于渠道中心线测定中误差不大于±200mm，是指由附近的导线点或图根点放样渠道的转折点时的点位误差。当转折点确定以后，两转折点之间的中心桩，应该保持在一直线上。

11.4.3 渠道定线时，在拟建水工建筑物部位(渠首、渡槽等)埋设固定标志是为了建筑物施工放样之用。若整个建筑物的绝对位置误差达到±200mm，在施工时，只要保持建筑物内部的相对精度，就无损于建筑物的正常运行。

11.4.6 渠道的平面位置的测定精度要求不高，但高程精度一定要保证，因为渠道的功能是输水，故渠道中心桩的高程测量精度不能低于五等。根据第 3 章的规定，五等水准的精度为 $\pm 30\sqrt{L}$，当渠道长度为 10km 时，高程误差约为±100mm，这对于渠道的正常运行不会产生多大的影响。

11.5 工程量计算与竣工验收测量

11.5.1 疏浚地区，往往由于大雨冲刷或回淤，影响疏浚工程量。为了正确计算工程量，必须进行测量并上报回淤量。

11.5.2 在土方施工中，常由于暴雨造成土方流失，因此，应根据土况等确定流失系数。在工程量计算中统一考虑，这样比较符合实际情况。

11.5.5 对渠道竣工测量规定了横断面测量的要求。竣工断面的间距、比例尺、精度应与原始断面一致。断面图上画出三条线的目的是便于检查施工质量和工程量的计算。

12 施工期间的外部变形监测

12.1 一般规定

12.1.1～12.1.2 明确了本章规定所适用的范围和施工期间变形监测的内容。

12.1.3 目前，还没有见到有关施工期间临时性变形观测位移量限差的规定。表 12.1.3 的内容是根据以下原则确定的：

(1)参照《混凝土大坝安全监测技术规范》(SDJ336－89)表 3.1.1 的规定进行适当调整。

(2)根据各个项目的变形特点，以能够观测到危及安全的变形为限。

(3)考虑到目前施工单位的技术和仪器设备状态，本着作业简单，能够较快获得变形资料为目的。

12.1.4　由于施工控制网一般都达到了四等以上的精度，而变形观测的观测量是位移量，是两期坐标的差数，因此，基点的误差不会影响位移量的大小，四等网的精度已可以满足要求。

12.2　选点与埋设

12.2.1～12.2.2　关于选点与埋设的规定，目的是为了使工作基点能够长久稳定，而变形测点能够充分、灵敏地反映变形速率及变形量的大小。

关于视准线测点偏离基准线不大于 20mm 的规定，是受活动觇牌刻划长度的限制，目的是为了在允许变形的范围内仍然能够在活动觇牌上读数。

12.3　观测方法的选择和观测的技术要求

12.3.1　表 12.3.1-1 中交会角 γ 及边长限值规定，是由下面精度估算公式决定的。

(1)测角前方交会(只测 α、β)

由：

$$M_p=\pm\frac{m_\beta}{\rho''}\cdot\frac{\sqrt{S_1^2+S_2^2}}{\sin\gamma} \qquad (12.3.1\text{-}1)$$

设　　$S_1=S_2=S$

则

$$M_p=\pm\frac{m_\beta}{\rho''}\cdot\frac{\sqrt{2}S}{\sin\gamma} \qquad (12.3.1\text{-}2)$$

表 12.3.1-1　交会角 γ 及边长限值的规定

边长(m)	M_p(mm) \ γ(°) / m''_β(")	20	30	40	50	60	70	80	90	…160	要求精度
200	±1".0	4.0	2.7	2.1	1.8	1.6	1.5	1.4	1.4		
	±1".8	7.2	4.9	3.8	3.2	2.8	2.6	2.5	2.5	对称	±3mm
	±2".5	10.0	6.8	5.3	4.5	4.0	3.6	3.5	3.4		
250	±1".0	5.0	3.4	2.7	2.2	2.0	1.8	1.7	1.7		
	±1".8	9.0	6.2	4.8	4.0	3.6	3.3	3.1	3.0	对称	±5mm
	±2".5	12.5	8.6	6.7	5.6	4.9	4.6	4.4	4.3		

(2)测边前方交会(只测 S_1、S_2)

由：

$$M_p=\pm\sqrt{\frac{m_{s1}^2+m_{s2}^2}{\sin^2\gamma}} \qquad (12.3.1\text{-}3)$$

设　　$m_{s1}=m_{s2}=m_s$

则

$$M_p=\pm\frac{\sqrt{2}\,m_s}{\sin\gamma} \qquad (12.3.1\text{-}4)$$

测边交会，虽与边长无关，但距离过长，会使测距仪的比例误差增大，气象数据误差的影响也增大，因此表 12.3.1-2 中边长规定为 500m 和 1000m 两种。

表 12.3.1-2 测边前方交会限值的规定

	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	…170°	要求精度
2mm	16.3	8.3	5.6	4.4	3.7	3.3	3.0	2.9	2.8	2.9	对称	±3mm
3mm	24.4	12.4	8.5	6.6	5.5	4.9	4.5	4.3	4.2	4.3	对称	±5mm
5mm	40.7	20.7	14.1	11.0	9.2	8.2	7.5	7.2	7.1	7.2	对称	±10mm

(3)边角前方交会(测角 α、β 又测边 S_1、S_2)

由：

$$M_p=m_s\sqrt{\frac{2S^4+2\cdot K\cdot S^2}{S^4\cdot\sin^2\gamma+2\cdot K\cdot S^2(1+\cos^2\gamma)+K^2\cdot\sin^2\gamma}} \qquad (12.3.1\text{-}5)$$

式中 $K=\left(\frac{m_s}{m_\beta}\right)^2\cdot\rho^2$。

设 $S_1=S_2=S$，计算结果见 12.3.1-3 表。

表 12.3.1-3 边角前方交会限值的规定

m_s (mm)	m_β (″)	M_p(mm) \ γ / S(m)	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	…170°	要求精度 (mm)
±2	±1.8	500	3.4	3.3	3.1	3.0	2.8	2.7	2.6	2.5	2.6	2.6		
		700	4.4	4.1	3.8	3.4	3.1	2.9	2.7	2.7			对称	±3
		1000	6.0	5.2	4.4	3.8	3.4	3.1	2.9	2.8	2.7			
±3	±2.5	500	4.7	4.6	4.5	4.3	4.4	4.0	3.9	3.8	3.8			
		700	6.2	5.9	5.4	5.0	4.6	4.3	4.2	4.0	4.0		对称	±5
		1000	8.4	7.4	6.4	5.6	5.0	4.6	4.3	4.2	4.1			
±5	±5.0	500	9.1	8.8	8.3	7.8	7.3	7.0	6.7	6.6	6.5			
		700	12.1	11.0	9.9	8.9	8.1	7.5	7.1	6.9	6.8			
		1000	16.2	13.7	11.4	9.7	8.6	7.8	7.3	7.0	6.9		对称	±10
		1200	18.7	15.0	12.1	10.0	8.8	7.9	7.4	7.1	7.0			

规范中表 12.3.2 的规定，是基于以下考虑：

a. 小角度法。由于测角中误差而引起的横向中误差计算公式为

$$m_s=\frac{m_\beta S}{\rho''} \qquad (12.3.16)$$

将规范中表 12.3.2 的视线长度 S 和相应的测角中误差 m_β 代入式(12.3.1)得

$\pm1.0\times500/206265=\pm2.4$mm

$\pm 1.8\times 600/206265=\pm 5mm$

$\pm 2.5\times 800/206265=\pm 9.7mm$

于是可以满足 3mm、5mm 和 10mm 的要求。

b. 活动觇牌法。考虑到活动觇牌法的照准精度比小角度法低一些，因此将视准线长度适当缩短。

12.3.5 由于视准线的测点偏离基准线，距离不大于 20mm。同时，基点与视准线测点基本上在一个高程面上，垂直角不超过 3°，因此小角度观测法可不纵转望远镜，仅在度盘的一个位置，用测微鼓量测小角。

12.3.6 若垂直角大于 3°时，纵轴倾斜误差会显著影响水平角观测精度，且无法在度盘的两个位置读数中加以消除，因此，遇到上述情况时，要读定气泡偏离值，并进行纵轴倾斜改正。

12.3.7 关于垂直位移观测，一般采用几何水准法能够保证精度。但对于滑波、高边坡等观测部位，有时测量人员不能到达或不够安全，因此，本条规定可用光电测距三角高程法。

12.4 资料整理

本节内容是参照《混凝土大坝安全监测技术规范》(SDJZ336—89)制定的。

13 竣 工 测 量

13.1 一般规定

本章规定是按照原部颁《水利基本建设工程验收规程》(SD184—86)并参照原水利部(79)基字第 26 号文《葛洲坝工程大江截流前验收工作施工办法(草案)》的精神制定的。

13.1.1 竣工测量主要项目，是根据目前大中型水利水电工程竣工测量的实际工作内容规定的。本条强调了竣工测量是施工测量的重要内容，施工测量人员应充分的重视。

13.1.2 竣工测量的精度指标，明确指出一般不应低于放样的精度，其目的充分反映施工质量。

13.1.3 本条系根据多年实践经验制定的。

13.1.4 为了使所提供的竣工测量资料，满足工程管理及设计单位的要求。

13.2 开挖竣工测量

13.2.1 建基面地形图的性质主要反映建筑物建基面实际的情况，为了使实测建基面地形图与设计图相配合。因此，图上应反映出建筑物的开挖设计线和分块线，以便于设计、施工单位使用。

13.2.2 根据以往的经验，本节所提的开挖竣工断面测量的技术要求，符合设计要求，在实施中可与设计图对应。

13.2.3 测绘锚杆立面图或平面图是工程建设竣工验收的需要。

13.3 填筑竣工测量

13.3.1 为了真实地表示填筑的形象变化，其测量的比例尺应不小于施工放样详图可以满足设计单位的要求。

13.3.3～13.3.4 都是重点强调“逐层进行形体测量”以防止漏测，保证资料的完整性。

13.4 过流部位的形体测量

13.4.4 由于竣工测量资料的精度，一般要求达到厘米级，仅用图表不能反映出来。因此，还须提供三维坐标。

13.5 资料整编

本节的规定是根据中华人民共和国专业标准《测绘产品检查验收规定》(ZBA75002—89)的要求结合目前实际情况而制定的。