

中华人民共和国水利行业标准

SL 52—2015

替代 SL 52—93

水利水电工程施工测量规范

**Specification for construction survey of
water and hydropower projects**

2015-05-15 发布

2015-08-15 实施

中华人民共和国水利部 发布

中华人民共和国水利部

关于批准发布水利行业标准的公告

(水利水电工程施工测量规范)

2015 年第 36 号

中华人民共和国水利部批准《水利水电工程施工测量规范》
(SL 52—2015)为水利行业标准，现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	水利水电工程 施工测量规范	SL 52—2015	SL 52—93	2015. 5. 15	2015. 8. 15

水利部

2015 年 5 月 15 日

前 言

根据水利技术标准制修订计划安排，按照 SL 1—2014 《水利技术标准编写规定》，修订 SL 52—93 《水利水电工程施工测量规范》。

本标准共 13 章，主要技术内容有：总则、术语和符号、平面控制测量、高程控制测量、地形测量、水工建筑物施工放样准备与方法、水工建筑物开挖和填筑工程测量、金属结构与机电设备安装测量、地下工程测量、疏浚及渠堤施工测量、辅助工程测量、变形监测、竣工测量等。

本次修订的主要内容有：

- 增加 GPS 全球定位系统测量、GPS 拟合高程测量方法和数字水准仪作业的有关规定等内容。
- 原“施工场地地形测量”一章改为“地形测量”，增加数字地形测量、地面三维激光扫描测量、近景摄影测量等内容。原平板仪测图的相关内容予以删除。
- 原“放样的准备与方法”一章改为“水工建筑物施工放样准备与方法”。增加 GPS—RTK 方法在放样测量中的使用内容，删除视差法测距导线、二米横基尺边长测定等方面的内容。
- 原“开挖工程测量”和“立模与填筑放样”合并为“水工建筑物开挖、填筑工程测量”。增加 GPS—RTK 测量和地面三维激光扫描测量技术在水工建筑物的开挖、填筑工程测量方面的应用。
- “金属结构与机电设备安装测量”、“疏浚及渠堤施工测量”、“辅助工程测量”和“竣工测量”部分，增加全站仪等先进仪器和方法的使用内容，删除已落后的仪器及其使用方法的的相关内容。

——原“地下洞室测量”一章改为“地下工程测量”，隧洞相向开挖长度由原来的8km增加至50km，增加了TBM全断面掘进机开挖施工的相关内容。

——原“施工期间的外部变形监测”一章改为“变形监测”。增加水平位移和垂直位移监测网、数据处理和变形分析等内容。

——增加“术语和符号”章节。

本标准全文推荐。

本标准所替代标准的历次版本为：

——SDJ 59—85

——SL 52—93

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部建设与管理司

本标准解释单位：水利部建设与管理司

本标准主编单位：中水北方勘测设计研究有限责任公司

本标准参编单位：中水东北勘测设计研究有限责任公司

中水珠江规划勘测设计有限公司

中水淮河规划设计研究有限公司

中国水利水电第四工程局有限公司勘测设计研究院

河北省水利水电勘测设计研究院

新疆水利水电勘测设计研究院

山西省水利水电勘测设计研究院

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：谢津平 高金平 周水渠 惠武权

乔世雄 曹卫斌 毛久常 杨仰诚

孙景亮 何宝根 许映林 董雪亮

余宣兴 魏培志 黄 琨 陆日壮

本标准审查会议技术负责人：严建国

本标准体例格式审查人：陈 昊

本标准在执行过程中，请各单位注意总结经验，积累资料，随时将有关意见和建议反馈给水利部国际合作与科技司（通信地址：北京市西城区白广路二条 2 号；邮政编码：100053；电话：010－63204565；电子邮箱：bzh@mwr.gov.cn），以供今后修订时参考。

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	3
2.1	术语	3
2.2	主要符号	3
3	平面控制测量	7
3.1	一般规定	7
3.2	平面控制网选点、埋设及标志	8
3.3	三角形网测量	9
3.4	导线测量	10
3.5	水平角观测	11
3.6	光电测距	14
3.7	全球定位系统（GPS）测量	17
3.8	外业成果整理和平差计算	20
3.9	平面控制网的维护管理	21
4	高程控制测量	23
4.1	一般规定	23
4.2	高程控制网选点、埋设及标志	24
4.3	水准测量	24
4.4	光电测距三角高程测量	28
4.5	跨河高程测量	30
4.6	GPS 拟合高程测量	34
4.7	外业成果整理与平差计算	35
4.8	高程控制网的维护管理	39
5	地形测量	40
5.1	一般规定	40
5.2	图根控制测量	41

5.3	地形图的测绘要求	42
5.4	数字地形测量	44
5.5	水下地形测量	50
5.6	纸质地形图数字化	51
5.7	资料整理	52
6	水工建筑物施工放样准备与方法	54
6.1	一般规定	54
6.2	放样数据的准备和方案编制	54
6.3	平面位置放样方法	55
6.4	高程放样方法	60
6.5	仪器、工具的检验	61
6.6	资料整理	62
7	水工建筑物开挖、填筑工程测量	63
7.1	一般规定	63
7.2	开挖工程测量	63
7.3	填筑工程测量	64
7.4	放样点检查	67
7.5	开挖、填筑工程量计算	67
7.6	资料整理	69
8	金属结构与机电设备安装测量	70
8.1	一般规定	70
8.2	安装专用控制网、安装轴线及高程基点的测设	71
8.3	安装点放样	72
8.4	安装点检查	73
8.5	资料整理	73
9	地下工程测量	75
9.1	一般规定	75
9.2	地面控制测量	78
9.3	地下控制测量	79
9.4	施工放样与断面测量	80

9.5 资料整理	83
10 疏浚及渠堤施工测量	84
10.1 一般规定	84
10.2 疏浚施工测量	84
10.3 渠堤施工测量	85
10.4 工程量计算与竣工验收测量	86
10.5 资料整理	87
11 辅助工程测量	89
11.1 一般规定	89
11.2 筛分、拌和、供料等混凝土生产系统测量	89
11.3 缆机、塔机、桥机等运输系统施工测量	90
11.4 围堰与戗堤施工测量	91
11.5 线路测量	92
11.6 资料整理	93
12 变形监测	94
12.1 一般规定	94
12.2 变形监测基准网和工作基点网	95
12.3 选点与埋设	96
12.4 监测方法的选择	97
12.5 数据处理与变形分析	100
12.6 资料整理	100
13 竣工测量	102
13.1 一般规定	102
13.2 开挖竣工测量	102
13.3 填筑竣工测量	104
13.4 过流部位的形体测量	104
13.5 金属结构与机电设备安装工程竣工测量	105
13.6 资料整理	105
附录 A 平面控制点观测墩与标志	107
附录 B 光电测距边长和高差的各项改正值计算公式	109

附录 C	高程控制点标志及标石埋设规格	111
附录 D	测量仪器高、棱镜（觇牌）高的精密方法	112
附录 E	平面放样方法精度估算公式	113
附录 F	平面位置放样操作方法的规定	118
附录 G	钢带尺放样中的计算	121
附录 H	用钢带尺精密传递高程计算公式	122
附录 I	地下工程导线贯通误差估算示例	124
附录 J	平面控制测量点之记	126
标准用词说明		128
标准历次版本编写者信息		129
条文说明		131

1 总 则

1.0.1 为适应水利水电施工技术的发展，统一水利水电工程施工测量技术要求，确保测量成果质量，满足水利水电工程施工要求，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于水利水电工程施工测量工作。

1.0.3 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 进行施工期间的外部变形观测。

5 进行收方测量及工程量计算。

6 单项工程完工时，应对水工建筑物过流部位、重要隐蔽工程、建筑物的各种重要孔（洞）的几何形体以及金属结构与机电设备安装工程等进行竣工测量。

1.0.4 本标准以中误差作为衡量精度的标准，以 2 倍中误差为极限误差。

1.0.5 施工平面、高程控制网系统，宜与规划设计阶段的坐标、高程系统一致，也可根据需要建立与规划设计阶段有换算关系的施工坐标、高程系统，大中型水利水电工程的施工平面及高程控制网应与邻近国家控制点进行联测，小型水利水电工程的施工平面及高程控制网宜与邻近国家控制点进行联测，其联测精度不低于本工程首级控制的要求。对相对平面、高程精度要求高的工程部位可在施工整体控制的基础上单独建立专用控制网。

1.0.6 施工测量开展前，作业单位应收集设计文件和施工图纸，根据施工图纸和地形地质条件，按照成本、质量、进度三大控制

进行优化设计，提出施工测量方案。

1.0.7 施工测量工作除本标准所规定的方法外，亦可采用能满足本标准精度要求的新方法、新技术。

1.0.8 用于施工测量的各类仪器设备应经过法定计量单位的检定，并在检定有效期内使用。

1.0.9 本标准主要引用下列标准：

GB/T 12897 国家一、二等水准测量规范

GB/T 12898 国家三、四等水准测量规范

GB/T 12979 近景摄影测量规范

GB/T 13923 基础地理信息要素分类与代码

GB/T 16818 中、短程光电测距规范

GB/T 17160 1:500 1:1000 1:2000 地形图数字化规范

GB/T 17942 国家三角测量规范

GB/T 18315 数字地形图系列和基本要求

GB/T 18316 数字测绘产品检查验收规定和质量评定

GB/T 20257.1 国家基本比例尺地图图式 第1部分：1:500 1:1000 1:2000 地形图图式

GB 50026 工程测量规范

GB 50167 工程摄影测量规范

CH/T 2004 测量外业电子记录基本规定

CH/T 2005 三角测量电子记录规定

CH/T 2006 水准测量电子记录规定

1.0.10 水利水电工程施工测量除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 施工测量 construction survey

工程施工阶段进行的测量工作。

2.1.2 施工放样 setting out

工程施工时，按照设计和施工要求，将设计的建筑物或构筑物的平面位置、高程测设到实地的测量工作。

2.1.3 放样测站点 setting out station

测量放样时架设仪器的点。

2.1.4 放样点 setting out point

将建筑物设计轴线、特征点或轮廓点测设到地面上的点。

2.1.5 安装测量 installation survey

为建筑构件或设备部件安装所进行的测量工作。

2.1.6 贯通误差 error of breakthrough

隧道（井巷）贯通后，相向（或单向）掘进的施工中线在贯通面处的偏离值。包括纵向贯通误差、横向贯通误差和竖向贯通误差。

2.1.7 变形监测 deformation monitoring

对建筑物、构筑物及其地基或一定范围内岩体及土体的水平位移、沉降、倾斜、挠度、裂缝等进行的测量工作。

2.1.8 竣工测量 survey for acceptance

为获得各种建（构）筑物及地下管网等施工完成后的平面位置、高程及其他相关尺寸而进行的测量。

2.2 主要符号

A_c ——钢带尺的横截面积；

a ——固定误差；

a_h ——高处水准仪对 A 标尺的读数；
 a_j ——由测距仪检定求得的加常数值；
 b ——比例误差系数；
 b_j ——由测距仪检定求得的乘常数系数；
 b_l ——低处水准仪对 B 标尺的读数；
 D ——水平距离；
 D_e ——平均边长；
 D_m ——测距长度；
 Δd ——基线的长度较差；
 F ——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 ——附和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、等高距；
 Δh ——水准测量往返测高差不符值；
 I ——仪器高；
 I' ——观测天顶距时的仪器高；
 i ——水准仪视准轴和水准管轴间的夹角；
 i' ——水平度盘最小间隔分划值；
 K ——大气折光系数；
 k ——测回序号；
 L ——附和（闭合）水准路线长度；
 L_c ——视准线长度；
 L_d ——测段长度；
 L_n ——钢带尺长度；
 L_s ——视准线长度；
 L' ——地下两洞口间水准路线长度；
 M_h ——隧洞竖向贯通中误差；
 M_w ——每千米高程测量高差中数的全中误差；
 M_Y ——隧洞横向贯通中误差；

M_{Δ} ——每千米高程测量高差中数的偶然中误差；
 M'_{Δ} ——地下每千米高程测量高差中数中误差；
 m ——测回数；
 m_c ——仪器的标称精度；
 m_D ——一次测量观测值中误差；
 m_d ——位移中误差；
 m_h ——地面高程测量中误差；
 m'_h ——地下高程测量中误差；
 m_i ——方向中误差；
 m_l ——位移中误差；
 m_s ——测距中误差；
 m_t ——可取用仪器的标称精度；
 m_{β} ——测角中误差；
 m_0 ——单位权中误差；
 m_1 ——井下基边的定向中误差；
 N ——附和导线或闭合导线环的个数、独立路线数、测站数；
 n ——测站数、测段数、测边数、三角形个数；
 n_c ——独立测量次数；
 n_g ——导线组数；
 n_i ——异步环中基线边个数；
 n_s ——同步环中基线边的个数；
 P ——先验权；
 P_c ——面积；
 P_i ——方向观测值的权；
 P_s ——测距边观测值的权；
 P_{β} ——角度观测值的权；
 Q ——传递高程时钢尺下端挂锤重量；
 Q'_{XCXC} 、 Q'_{XJXJ} 、 $\cdots$ 、 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;
 R ——地球曲率半径;
 r_k ——第 k 测回零方向水平度盘的配置值;
 S ——斜距、边长;
 S' ——经改正后的斜距;
 S_d ——基线长度;
 S_l ——跨河视线长度;
 t ——温度;
 $V_{\Delta x}$ 、 $V_{\Delta y}$ 、 $V_{\Delta z}$ ——基线向量在 x 、 y 、 z 方向的改正数;
 V_h ——棱镜(觇牌)高;
 V_t ——总工程量;
 W_e ——三角形闭合差、水准路线环闭合差或附和路线闭合差;
 W_r ——钢带尺每米重量;
 W_s ——同步环全长闭合差;
 W_x 、 W_y 、 W_z ——同步环、异步环坐标分量闭合差;
 Z ——天顶距;
 α ——坐标方位角、垂直角;
 α_s ——钢尺温度膨胀系数;
 θ ——斜井轴线至照准点方向的水平夹角;
 ρ ——角度转换常数, $\rho = 206265''$;
 σ ——基线长度中误差;
 Δ ——导线左右角闭合差。

3 平面控制测量

3.1 一般规定

3.1.1 平面控制网宜布设为全球定位系统（GPS）网、三角形网或导线网。GPS 网、三角形网和导线网应按二等、三等、四等、五等划分。各种等级、各种类型的平面控制网，均可选为首级网。平面控制网适用范围应按表 3.1.1 执行。

表 3.1.1 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	二等	二等、三等
中型水利水电工程	三等	三等、四等
小型水利水电工程	四等、五等	五等

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

3.1.3 平面控制网的布设等级，应根据地形条件和放样需要决定，宜为 1~2 级。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 $\pm 10\text{mm}$ 。

3.1.4 平面控制网的起始点，宜选在坝轴线或主要建筑物附近，以使最弱点相对远离坝轴线或放样精度要求较高的地区。

3.1.5 平面控制网技术设计，应根据建筑物总体布置、施工区的地形特征及施工放样精度要求确定，并搜集下列相关资料：

- 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 枢纽建筑物平面总布置图。
- 4 相关的测量规范、测量技术报告和招投标文件资料。

3.1.6 对于直线形建筑物，应在其主轴线或其平行线的两端布点并宜纳入平面控制网内。

3.1.7 技术设计时应针对工程施工的精度和放样要求，进行网形的精度估算，确定最优方案。

3.1.8 平面控制网，应与工程项目规划设计阶段布设的稳定控制网点建立联系。将观测边长投影到测区主施工高程面上，采用平面直角坐标系统进行计算。

3.2 平面控制网选点、埋设及标志

3.2.1 平面控制网点应选在通视良好、交通方便、地基稳定且能长期保存的地方。视线离障碍物（距上、下和旁侧）不宜小于 2.0m，应避免视线通过吸热、散热不同和强电磁场干扰的地方（如烟囱、高压线等）。处于地势陡险的点位应采取措施便于标石造埋和观测。

3.2.2 当平面控制网用 GPS 测量时，GPS 控制点的选点、埋除应符合 3.2.1 条的规定外，还应满足下列要求：

1 GPS 网的点与点之间宜通视，但在需要采用常规测量法加密及施工放样区域，GPS 网点应保证一个或一个以上的通视方向。

2 点位宜选在安置仪器方便、顶空开阔地带。视场内障碍物的高度角不宜超过 15° 。

3 点位应远离大功率无线电发射源（如电视台、微波站等）200m 以上、远离高压电线 50m 以上。

3.2.3 对直接用于施工放样的控制点，应考虑方便放样，宜靠近施工区并对主要建筑物的放样区组成有利的图形。对能够长期保存、离施工区较远的平面控制点，应考虑图形结构和便于加密。控制网点的分布应做到坝轴线下游的点数多于坝轴线上游的点数。

3.2.4 位于主体工程附近的各等级平面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。

3.2.5 观测墩上的照准标志，可采用各式垂直照准杆、平面觇牌和其他形式的照准设备。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，图样应按附录 A 的规定执行。

3.2.6 强制归心装置的顶面应埋设水平，其不平度应小于 4'。照准标志中心线与强制归心装置中心的偏差不应大于 1.0mm。

3.2.7 平面控制埋石点均应绘制点之记。必要时应拍摄近景、远景照片。

3.3 三角形网测量

3.3.1 三角形网宜布设成边角网，应联测 3 个及以上已知点。当采用一点一方向作起算时，应联测另一个已知点作检核。网中的边长宜全部观测，方向可部分观测。

3.3.2 对于三角形网点布设应根据工程条件和特点以满足工程要求为主。组成的三角形各内角宜为 30°~150°。当图形条件欠佳时，在满足点位精度要求时可适当放宽图形结构要求。

3.3.3 三角形网布设应符合下列技术要求：

- 1 测角和测边的精度匹配应满足式 (3.3.3) 的要求：

$$\frac{m_{\beta}}{\sqrt{2}\rho} = \frac{m_s}{S \times 10^3} \quad (3.3.3)$$

式中 m_{β} ——相应等级控制网的测角中误差，(″)；

m_s ——测距中误差，mm；

S ——测距边长，m；

$\rho = 206265''$ 。

- 2 技术指标应符合表 3.3.3 的规定。

- 3 仪器高、棱镜高（觇牌高）的量取至 1mm。

- 4 四等及四等以下控制网，可用不同时段的双向测距代替往返测距。

表 3.3.3 三角形网技术要求

等级	平均边长 /m	测角中 误差 /(")	三角形 最大 闭合差 /(")	平均边长 相对中 误差	测距仪 等级	测 回 数						
						边长	水平角			天顶距		
							0.5" 级	1" 级	2" 级	0.5" 级	1" 级	2" 级
二	500~1500	±1.0	3.5	1：25 万	I、Ⅱ	往返各 2	6	9	—	3	4	—
三	300~1000	±1.8	7	1：15 万	Ⅱ	往返各 2	4	6	9	2	3	4
四	200~800	±2.5	9	1：10 万	Ⅱ、Ⅲ	往返各 2	2	4	6	1	2	3
五	100~500	±5.0	15	1：5 万	Ⅲ、Ⅳ	往返各 2	1	2	4	1	1	2
注 1：光电测距一测回为：照准 1 次，读数 4 次。												
注 2：测距仪分级技术规格见表 3.6.1。												

3.4 导线测量

3.4.1 光电测距导线测量的技术指标应符合表3.4.1的规定。

表 3.4.1 光电测距导线测量技术要求

等级	导线 总长 /km	平均 边长 /m	方位角 闭合差 /(")	测角 中误差 /(")	测距 中误差 /mm	全长相对 闭合差	测距仪 等级	测 回 数						
								边长	水平角			天顶距		
									0.5" 级	1" 级	2" 级	0.5" 级	1" 级	2" 级
二	—	—	$\pm 2\sqrt{n}$	± 1.0	± 2	1 : 110000	I	往返 各 2	6	9	—	3	4	—
三	3.2	400	$\pm 3.6\sqrt{n}$	± 1.8	± 5	1 : 55000	Ⅱ	往返 各 2	4	6	9	2	3	4
	3.5	600			± 5	1 : 60000	Ⅱ							
	5.0	800			± 2	1 : 70000	I							
四	2.8	300	$\pm 5\sqrt{n}$	± 2.5	± 7	1 : 35000	Ⅲ	往返 各 2	2	4	6	1	2	3
	3.0	500			± 5	1 : 45000	Ⅱ							
	3.5	700			± 5	1 : 50000	Ⅱ							
五	2.0	200	$\pm 10\sqrt{n}$	± 5.0	± 10	1 : 18000	Ⅲ、Ⅳ	往返 各 2	1	2	4	1	1	2
	2.4	300			± 10	1 : 20000	Ⅲ、Ⅳ							
	3.0	500			± 7	1 : 25000	Ⅲ							

3.4.2 采用导线网作为平面控制网的首级网时，导线宜布置成环形结点网。导线网结点间长度不应大于表 3.4.1 中规定导线总长的 0.7 倍。

3.4.3 加密导线宜以直伸形状布设，附合于高等级控制点上。各导线点相邻边长不宜相差过大。

3.4.4 光电测距导线测量测角和测边精度匹配与三角形网测量技术要求一致，四等及四等以下导线网，可用不同时段单向测距代替往返测距。

3.5 水平角观测

3.5.1 水平角观测的仪器检验项目和检验方法应按 GB/T 17942 的规定执行。

3.5.2 水平角观测宜采用方向观测法，一测回操作程序、分组观测应按 GB/T 17942 的有关规定执行。并应符合下列规定：

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，仪器应使用测量伞遮阳。

3 仪器照准部旋转时，应平稳匀速，制动螺旋不宜拧得过紧，微动螺旋宜使用中间部位。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，仪器气泡中心偏移不应超过一格。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 $\pm 3^\circ$ 时，应在瞄准目标后读定气泡的偏移值，进行垂直轴倾斜改正。对于三等、四等三角网的角度观测，目标垂直角超过 $\pm 3^\circ$ 时，每测回间应重新整置仪器，使水准气泡居中。有纵轴倾斜补偿器的全站仪和电子经纬仪不受本条的限制。

3.5.3 采用全站仪或电子经纬仪进行水平方向观测时，可不进行度盘配置。若采用光学经纬仪进行水平方向观测时应配置度

盘，使各测回读数均匀地分配在度盘和测微器的不同位置上。

1 标称精度为 1" 的光学经纬仪第 k 测回配置水平度盘位置的计算公式为：

$$r_k = \frac{180^\circ}{m}(k-1) + i'(k-1) + \frac{i'}{2m}(k-1) + \frac{i'}{4m} \quad (3.5.3-1)$$

2 标称精度为 2" 的光学经纬仪第 k 测回配置水平度盘位置的计算公式为：

$$r_k = \frac{180^\circ}{m}(k-1) + \frac{i'}{2}(k-1) + \frac{i'}{2m}(k-1) + \frac{i'}{4m} \quad (3.5.3-2)$$

式中 r_k ——第 k 测回零方向水平度盘的配置值；

m ——按三角形网等级规定的测回数；

k ——测回序号 ($k=1, 2, \dots, m$)；

i' ——水平度盘最小间隔分划值，(′)，DJ1 型为 4′，DJ2 型为 10′。

3.5.4 若测站方向数超过 6 个时，可考虑分组进行观测。分组观测时应包括 2 个共同方向，其中 1 个为共同零方向。其 2 组共同方向观测角之差，不应大于同等级测角中误差的 2 倍。

3.5.5 采用方向观测法其主要技术要求应符合表 3.5.5 的规定。

表 3.5.5 水平角方向观测法技术要求

等级	仪器类型	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	0.5"级	1	2	4	6	3
	1"级	1	4	6	9	6
	2"级	3	6	8	13	9
五	1"级	1	4	6	9	6
	2"级	3	6	8	13	9
	6"级	—	12	18	—	24

注：当观测方向的垂直角超过 $\pm 3^\circ$ 时，该方向的 2C 较差，按相邻测回同方向进行比较，其差值仍符合本表规定。

3.5.6 水平角观测误差超过表 3.5.5 的要求时，应在原来度盘位置上进行重测，并应符合下列规定：

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 重测应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。

3.5.7 观测导线水平角应符合下列规定：

1 四等以上导线水平角观测，当测站只有 2 个方向时，采用左、右角观测法观测。即在观测总测回数中，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 2 倍。当方向数多于 2 个时，采用方向观测法，其测回数和观测限差与相应等级的三角形网测量相同。

2 如导线较长，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。

3 在短边的情况下，应采用三联脚架法观测。

3.5.8 观测手簿的记录、计算，可采用设置相应限差的软件进行，并直接输出水平角记录计算结果。如采用专门表格手工记录时，观测数据的划改应符合下列规定：

1 水平角观测的秒值读、记错误，应重新观测，度和分的读、记错误可在现场更正。但同一方向盘左、盘右不应同时更改相关数字。

2 天顶距观测中，分的读数在各测回中不应连环更改。

3 距离测量中，每测回开始应读、记完整的数字，以后可

读、记尾数。厘米以下数字不应划改。米和厘米部分的读、记错误，在同一距离的往返测量中，应只划改 1 次。

3.5.9 水平角观测结束后，其测角中误差应按下列公式计算。

1 三角形网测角中误差：

$$m_{\beta} = \pm \sqrt{\frac{[WW]}{3n}} \quad (3.5.9 - 1)$$

2 导线网测角中误差的计算方法分两种情况。

1) 按左、右角闭合差计算：

$$m_{\beta} = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{2n}} \quad (3.5.9 - 2)$$

2) 按导线方位角闭合差计算：

$$m_{\beta} = \pm \sqrt{\frac{1}{N} \left[\frac{f_{\beta}^2}{n} \right]} \quad (3.5.9 - 3)$$

式中 W ——三角形闭合差，(″)；

Δ ——左、右角之和与 360° 之差，(″)；

f_{β} ——附和导线（或闭合导线）的方位角闭合差，(″)；

n ——三角形个数或计算 f_{β} 的测站数；

N ——附和导线或闭合导线环的个数。

3.6 光电测距

3.6.1 根据光电测距仪出厂的标称精度，按 $D=1\text{km}$ 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 3.6.1 的规定。

表 3.6.1 测距仪的精度分级

测距仪精度等级	测距中误差/mm
I	$m_D \leq 2$
II	$2 < m_D \leq 5$
III	$5 < m_D \leq 10$
IV	$m_D > 10$

仪器的标称精度表达式为：

$$m_D = \pm (a + bD) \quad (3.6.1)$$

式中 a ——固定误差，mm；

b ——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，选择仪器型号。

3.6.2 测距作业技术要求应符合表 3.6.2 的规定。

表 3.6.2 测距作业技术要求

项 目		气象数据测定			一测回 读数 较差 /mm	测回间 较差 /mm	往返或 光段较差 /mm
三角形网等级 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			
$\frac{二}{I、II}$	0.5	50	每边观 测始末	每边两端 平均值	2	3	$2(a+bD)$
$\frac{三}{II}$	0.5	50	每边观 测始末	每边两端 平均值	3	5	
$\frac{四}{II、III}$	1.0	100	每边测 定一次	测站端 观测值	5	7	
$\frac{五}{III}$	1.0	100	每边测 定一次	测站端 观测值	5	7	
注：将斜距化算到同一高程面上后再比较往返较差。							

3.6.3 测距作业应符合下列要求：

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

2 测距时使用与仪器配套的反射棱镜。其他型号的反射棱镜未经验证不应使用。

3 测距应在成像清晰、稳定的情况下进行。雨、雾、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，镜面不应有水珠

或灰尘沾污。

5 晴天作业时，测站主机应打伞遮阳，不宜逆光观测。严禁将仪器对准太阳。架设仪器后，测站、镜站不应离人。迁站时，仪器应装箱。

6 观测时气象数据的测取及各项观测限差应符合表 3.6.2 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。

7 通风干湿温度计应悬挂在测站（镜站）附近，离开地面和人体 1.5m 以外的阴凉处，读数前应通风数分钟，气压表应置平，指针不应滞阻。在高原地区应采用高原测温计测量温度。

3.6.4 测距边归算应符合下列规定：

1 经过气象、加常数和乘常数改正后的斜距，才能化为水平距离。必要时加入周期误差改正。

2 测距边的气象改正可按仪器说明书给出的公式计算，精确的气象改正应按 GB/T 16818 中的公式进行计算。

3 测距边的加常数、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 B。

3.6.5 测距边的精度评定，应按下列公式计算：

1 一次测量观测值中误差：

$$m_D = \pm \sqrt{\frac{[Pdd]}{2n}} \quad (3.6.5 - 1)$$

对向观测平均值中误差：

$$m_{\overline{D}} = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[Pdd]}{n}} \quad (3.6.5 - 2)$$

式中 d ——各边往返测水平距离的较差，mm；

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。

2 任一边的实际测距中误差：

$$m_{si} = \pm m_D \sqrt{\frac{1}{P_{Di}}} \quad (3.6.5 - 3)$$

式中 P_{Di} ——第 i 边距离测量的先验权。

3.7 全球定位系统 (GPS) 测量

3.7.1 GPS 网按相邻点的精度分为四个等级 (见表 3.7.1)。在布网时,可逐级布设或布设同级全面网,常规网可与 GPS 网组成混合网。

表 3.7.1 GPS 网精度分级

等级	固定误差 a /mm	比例误差系数 b /(mm/km)	最弱边相对中误差
二	≤ 5	≤ 2	1/150000
三	≤ 10	≤ 5	1/80000
四	≤ 10	≤ 10	1/40000
五	≤ 10	≤ 20	1/20000
	≤ 10	≤ 40	1/10000

3.7.2 各等级 GPS 网基线测量中误差 σ 应采用相应等级对应的固定误差和比例误差,边长值应取实际平均边长,基线长度中误差应按式 (3.7.2) 计算:

$$\sigma = \pm \sqrt{a^2 + (bD)^2} \quad (3.7.2)$$

式中 σ ——基线长度中误差, mm;

a ——固定误差, mm;

b ——比例误差系数, mm/km;

D ——平均边长, km。

3.7.3 GPS 网应由一个或若干个独立观测环构成,也可采用附和路线构成,各等级 GPS 网中每个闭合环或附和路线中的边数不宜大于表 3.7.3 的规定。

表 3.7.3 闭合环或附合路线边数的规定

等 级	闭合环或附合路线的边数/条
二	≤ 6
三	≤ 8
四	≤ 10
五	≤ 12

3.7.4 布设 GPS 网时，应联测 3 个及以上已知点做起算。当采用一点一方向作起算时，应联测另一个已知点作检核。GPS 首级网宜根据需要构成大地四边形或中点多边形。

3.7.5 GPS 网点的高程联测应根据施工要求确定。高程联测点的精度不应低于四等，且分布均匀、密度适中。联测的高程点数量应按高程拟合曲面的要求决定。若施工区域已布设四等水准点，可用 GPS 方法选择若干水准点进行 GPS 观测，求得施工区域的高程异常值。

3.7.6 GPS 测量的技术要求应符合表 3.7.6 的规定。

表 3.7.6 GPS 测量技术要求

等 级	二	三	四	五
GPS 接收机类型	双频	双频或单频	双频或单频	双频或单频
同步观测的接收机数量	≥ 3	≥ 2	≥ 2	≥ 2
卫星高度角/(°)	≥ 15	≥ 15	≥ 15	≥ 15
同时观测有效卫星数	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
观测时段数	≥ 2	≥ 1.6	≥ 1.6	≥ 1
观测时段时间/min	≥ 90	≥ 60	≥ 45	≥ 30
两次观测的数据采样间隔/s	10~30	10~30	10~30	10~30
点位几何图形强度因子 PDOP	≤ 6	≤ 6	≤ 6	≤ 8
注：观测时段数 ≥ 1.6 ，指采用网观测模式时，每站至少观测一时段，其中二次设站点数不小于 GPS 网总点数的 60%。				

3.7.7 GPS 观测应符合下列规定：

1 施测前根据测区的平均经度、纬度和作业日期编制 GPS 卫星可见性预报表，根据该表进行同步观测环图形设计及观测时段设计，编制出作业计划进度表。

2 GPS 网测量不观测气象元素，只记录天气情况。

3 GPS 接收机天线定向标志线，应指向正北。天线安置应严格对中。天线高的量取应精确至 1mm，每时段观测前后各量取天线高一次，两次较差应小于 2mm。

4 观测时，应避免在接收机 10m 以内使用无线电通信工具。

3.7.8 GPS 观测外业记录应符合下列规定：

1 记录项目应包括下列内容：

1) 测站点名、观测日期、天气情况、时段号、记录员姓名。

2) 观测的开始与结束时间。

3) 接收机类型及其出厂编号、天线号码。

4) 天线高量测值。

2 记录项目应在现场记录，字迹清楚、整齐。

3 外业各时段观测结束后，应及时将外业观测记录结果录入计算机。接收机内存数据文件在录入计算机时，不应进行编辑、修改。

3.7.9 GPS 测量外业观测数据应进行异步环、同步环和复测基线检核，并应满足下列要求：

1 异步环各坐标分量闭合差及环线全长闭合差，应满足式 (3.7.9-1) 的要求：

$$\left. \begin{aligned} W_x &\leq 3\sqrt{n}\sigma \\ W_y &\leq 3\sqrt{n}\sigma \\ W_z &\leq 3\sqrt{n}\sigma \\ W &= \sqrt{W_x^2 + W_y^2 + W_z^2} \\ W &\leq 3\sqrt{3n}\sigma \end{aligned} \right\} \quad (3.7.9-1)$$

式中 W_x 、 W_y 、 W_z ——异步环坐标分量闭合差，mm；
 W ——异步环全长闭合差，mm；
 n ——异步环中基线边个数；
 σ ——基线长度中误差，mm。

2 同步环各坐标分量闭合差的限差值为异步环闭合差限差值的 1/2。

3 重复基线的长度较差应符合式 (3.7.9-2) 的规定：

$$\Delta d \leq 2\sqrt{2}\sigma \quad (3.7.9-2)$$

式中 Δd ——基线的长度较差，mm；

σ ——基线长度中误差，mm。

3.7.10 在相关数据检验符合要求后，以所有独立基线组成 GPS 空间向量网，并在 WGS-84 坐标系中进行三维无约束平差。在无约束平差中，基线向量的改正数 ($V_{\Delta x}$ 、 $V_{\Delta y}$ 、 $V_{\Delta z}$) 绝对值均不应大于 3σ 。

3.7.11 在无约束平差确定有效观测量的基础上，在施工平面控制网的坐标系下进行二维约束平差。在约束平差中，基线向量的改正数与无约束平差结果的同名基线相应改正数的较差 ($dV_{\Delta x}$ 、 $dV_{\Delta y}$ 、 $dV_{\Delta z}$) 均不应超过 2σ 。

3.7.12 GPS 网进行约束平差后控制网的精度应符合表 3.7.1 的规定。

3.7.13 当 GPS 测量有漏测或观测数据不足时应补测，当观测数据不能满足 3.7.9 条的要求时应重测。需补测或重测的边，应安排进行同步观测。

3.8 外业成果整理和平差计算

3.8.1 平差计算前，应对外业观测记录手簿、平差计算起始数据，再次进行全面的检查校对。

3.8.2 控制网各项外业观测结束后，应进行各项限差的验算。

3.8.3 平面控制网计算成果中应包含起算数据、观测数据和必要的中间数据。平差后的精度根据平差方法评定，应包含：单位

权测角（或方向）中误差，相对点位中误差、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点位误差椭圆元素。

3.8.4 内业计算数字取位的要求应符合表 3.8.4 的规定。

表 3.8.4 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

3.8.5 平面控制测量结束后，应对下列资料进行整理归档：

- 1 技术设计书。
- 2 外业观测记录手簿。
- 3 控制点点之记、平差计算成果资料及平面控制网图。
- 4 检查报告。
- 5 技术总结。
- 6 仪器检定资料。

3.9 平面控制网的维护管理

3.9.1 平面控制网建成后，应加强维护管理，保障控制网点的正常使用和安全。

3.9.2 建网后形成平面控制网布置图，各等级控制点应有醒目的保护设施，观测墩应有保护标芯的装置。

3.9.3 当控制网点被人为或施工破坏后，且确认还需要此点位存在，应立即重建该控制点，以该点原等级测量，点名不同于原点名。

3.9.4 随着工程的进展，应根据需要逐步扩展、加密控制网点，使施工放样直接在控制点或其加密点上进行。

3.9.5 为及时发现和改正控制网点可能发生的位移，应对平面

控制网的全部或局部进行定期的、随机的复测。在下列情况下应进行复测：

1 平面控制网整网复测应在建成一年以后进行，对于局部复测可根据施工需要进行。

2 开挖工程基本结束，进入混凝土工程和金属结构、机电安装工程开始之前应进行施工区局部控制网复测。

3 处于高边坡部位或离开挖区较近的控制点，应适当增加局部复测次数。

4 发现控制网点有被撞击的迹象或明显的沉降现象时，应对被撞击或沉降区局部控制点进行复测。

5 控制网点周围有裂缝、沉陷或有新的工程活动时，应对周边局部控制点进行复测。

6 遇明显有感地震，应对整网进行复测。

7 利用控制网点作为起算数据进行布设局部专用控制网时，应对整网进行复测。

3.9.6 控制网整网及局部区域复测时，应按照建网时的网形结构和精度要求进行。

4 高程控制测量

4.1 一般规定

4.1.1 高程控制网是施工测量的高程基准，其等级划分为二等、三等、四等、五等。首级高程控制网的等级应根据工程规模、范围和放样精度来确定，其适用范围见表 4.1.1。注：临时和永久建筑物的首级控制网布设等级应满足表 4.1.1 的要求。

表 4.1.1 首级高程控制网等级适用范围

工程规模	混凝土建筑物	土石建筑物
大型水利水电工程	二等或三等	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

4.1.2 高程控制网测量可采用水准测量、光电测距三角高程测量或 GPS 拟合高程测量等方法。

4.1.3 布设高程控制网时，首级网应布设成环形网，加密网宜布设成附和路线或结点网。

4.1.4 施工高程系统应与规划勘测设计阶段的高程系统相一致，首级网应与国家水准点联测，其联测等级不低于四等水准测量的技术要求。对相对高程精度要求高的工程部位可建立专用的高精度高程控制网，可布设成局部二等、三等水准网。

4.1.5 高程控制测量的精度应满足下列要求：最末级高程控制点相对于首级高程控制点的高程中误差，对于混凝土建筑物不应大于 $\pm 10\text{mm}$ ，对于土石建筑物不应大于 $\pm 20\text{mm}$ 。

4.1.6 在施工区以外布设较长距离的高程路线时，通过设计决定高程测量等级，精度指标及线路长度应按 GB/T 12897 和 GB/T 12898 规定的相应等级精度指标进行设计。对于水工隧洞高程控制测量的精度要求应按第 9 章的规定执行。

4.2 高程控制网选点、埋设及标志

4.2.1 高程控制点的点位选择和标石埋设应符合下列规定：

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，在每一个单项工程的部位宜至少有 2 个高程控制点。五等高程点的布设应主要考虑施工放样、地形测量和断面测量的使用。

2 可现浇混凝土标石或埋设预制标石。可在裸露、稳定的基岩上制作岩石标或埋设金属标志，在混凝土面上或墙体上埋设金属标志，在平面控制点标志上或在观测墩盘石面上埋设金属标志。

3 各等级高程控制点应统一编号。高程控制点标志及标石埋设图见附录 C。

4.2.2 高程控制点可利用测区已有平面控制点的标石和固定标志。加密高程控制点的埋石数量可视需要而定。

4.2.3 高程控制埋石点应按要求绘制点之记及水准路线图，采集概略坐标，必要时应拍摄近景、远景照片。

4.2.4 高程控制点标石埋设后，应经过一段时间的稳定期方可进行观测。

4.3 水准测量

4.3.1 水准测量的主要技术要求应符合表 4.3.1 的规定。

表 4.3.1 水准测量的技术要求

等 级	二	三	四	五
偶然中误差 M_{Δ}/mm	± 1	± 3	± 5	± 10
全中误差 M_W/mm	± 2	± 6	± 10	± 20
仪器型号	DS05 DS1	DS1 DS3	DS3	DS3
水准标尺	因瓦水准尺	因瓦水准尺 或双面尺	双面尺	双面尺

表 4.3.1 (续)

等 级		二	三	四	五
观测方法		光学测微法或 数字水准法	光学测微法或 数字水准法	中丝 读数法	中丝 读数法
水准观测		往返	往返	单程	单程
观测顺序	往测	奇数站：后前前后 偶数站：前后后前	后前前后	后后前前	后后前前
	返测	奇数站：前后后前 偶数站：后前前后			
往返测较差和路线 闭合差/mm	平丘地	$\pm 4\sqrt{L}$	$\pm 12\sqrt{L}$	$\pm 20\sqrt{L}$	$\pm 30\sqrt{L}$
	山地	—	$\pm 4\sqrt{n}$	$\pm 6\sqrt{n}$	$\pm 10\sqrt{n}$
注：n 为水准路线单程测站数，每千米多于 16 站时按山地计算闭合差；L 为闭合或附合路线长度，km。					

4.3.2 水准测量测站的技术要求应符合表 4.3.2 的规定。

表 4.3.2 水准测量测站的技术要求

等 级		二		三		四		五
仪器型号		DS05	DS1	DS1	DS3	DS1	DS3	DS3
视线长度/m	光学	≤60	≤50	≤100	≤75	≤150	≤100	≤150
	数字	≥3 且 ≤60	≥3 且 ≤50					
前后视距差/m	光学	≤1.0		≤2.0		≤3.0		大致相等
	数字	≤1.5						
前后视距累积差/m	光学	≤3.0		≤5.0		≤10.0		—
	数字	≤6.0						
视线离地面最低 高度/m	光学	下丝读数≥0.3		三丝能读数		三丝能读数		—
	数字	≤2.80 且 ≥0.55						
数字水准仪重复测量次数/次		≥3		≥3		≥2		≥1
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		—

表 4.3.2 (续)

等 级	二	三	四	五
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：相位法数字水准仪重复测量次数可以为表中数值减少 1 次。所有数字水准仪，在地面振动较大时，暂时停止测量，直至振动消失，无法回避时随时增加重复测量次数。				

4.3.3 水准测量所使用的仪器及水准标尺应符合下列技术要求：

1 水准仪 i 角要求：DS05、DS1 型仪器不应大于 $\pm 15''$ ；DS3 型仪器不应大于 $\pm 20''$ 。

2 水准测量采用补偿式自动安平水准仪，其补偿误差绝对值不应大于 $0.3''$ 。

3 水准标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 $\pm 0.15\text{mm}$ ；对于双面水准标尺不应大于 $\pm 0.5\text{mm}$ 。

4.3.4 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，并用测伞遮阳，避免仪器被曝晒。因瓦水准尺应使用尺撑固定，不宜用手扶尺。

2 严禁为了增加标尺读数把尺垫安置在沟边或壕坑中。

3 一测站观测时，不应两次调焦，旋转仪器的倾斜螺旋和测微螺旋时，其最后应为旋进方向。

4 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，两标尺应互换位置并应重新整置仪器。

5 五等水准观测不受 3 款、4 款的限制。

4.3.5 观测成果的重测和取舍应符合下列规定：

1 测站观测限差超限，应立即重测，若迁站后发现，则应从水准点开始重新观测。

2 往返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。其他等级水准重测后，可选用两次合格的结果。如重测结果与原往返测量结果分别比较，其较差均不超限时，应取三次结果的平均数。

4.3.6 使用数字水准仪进行各等级水准测量，应执行表 4.3.1 及表 4.3.2 的相应规定。在测段往返起始测站应进行各项设置：

- 1 应对采用的水准仪进行下列设置：
 - 测量的高程单位和记录到内存的单位为 m；
 - 最小显示位二等为 0.00001m（三等、四等为 0.0001m）；
 - 设置日期格式为实时年、月、日；
 - 设置时间格式为实时 24 小时制。
- 2 应对测站限差参数进行下列设置：
 - 视距限差的高端和低端；
 - 视线高限差的高端和低端；
 - 前后视距差限差；
 - 前后视距差累积限差；
 - 两次读数高差之差限差。
- 3 应对作业进行下列设置：
 - 建立作业文件；
 - 建立测段名；
 - 选择测量模式；
 - 输入起始点参考高程；
 - 输入点号（点名）；
 - 输入其他测段信息。

4 应进行通信参数设置：按仪器说明书操作。

4.3.7 水准测量路线跨越江河、湖泊、洼地和山谷等障碍物，当测站视线长度超过表 4.3.2 的要求时，应按表 4.3.7 的要求执行。当测站视线长度超过表 4.3.7 的要求时应按 GB/T 12897 和 GB/T 12898 的规定执行。

表 4.3.7 跨河水准测量测站技术要求

等级	仪器型号	视线长度 /m	仪器高变换次数 /次	两次高差较差 /mm
二	DS05 DS1	≤100	1	≤1.5
三	DS1 DS3	≤200	1	≤6
四	DS3	≤200	1	≤7

4.4 光电测距三角高程测量

4.4.1 光电测距三角高程测量在高等控制测量中可代替三等、四等、五等水准测量，在跨越江河、湖泊及障碍物传递高程时可代替二等、三等、四等、五等水准测量。

4.4.2 光电测距三角高程测量技术要求应符合表 4.4.2 的规定。

4.4.3 天顶距观测应采用经纬仪（或电子经纬仪、全站仪）用中丝法或三丝法进行。盘左位置和盘右位置分别照准同一目标读数为一测回，应用水平丝精确照准目标 2 次，各读数 2 次，2 次读数较差不应大于 3″。

4.4.4 天顶距测量限差的比较与重测应符合下列规定：

1 测回差的比较：同一方向各测回各丝所测的天顶距互相比较。

2 指标差互差的比较：同一测回内各方向应按同一根丝所计算的指标差进行互相比较。

3 重测规定：中丝法所测某方向的天顶距或指标差互差超限，则此方向应采用中丝重测一测回。三丝法若在同方向一测回中有 2 根水平丝所测结果超限，则该方向应采用三丝法重测一测回，或用中丝法重测二测回。

4.4.5 用全站仪进行高程测量时，可直接测量斜距、平距和高差。在盘左和盘右位置应分别照准同一目标测量斜距和高差。

4.4.6 用隔点设站法施测三等高程路线时，测站一测回应采用下列操作程序：

1 照准后视棱镜（觇牌）标志，观测天顶距。

2 照准前视棱镜（觇牌）标志，观测天顶距。

3 观测前视斜距。

4 观测后视斜距。

5 以上简称为“后前前后”法，对于四等、五等高程测量可采用“后后前前”法。

4.4.7 三丝法观测天顶距应采用下列步骤：

1 望远镜在盘左位置，用十字丝的上丝两次精确照准目标并读数，每次照准 2 次读数，2 次读数之差不大于 3″。

2 分别用中丝和下丝各精确照准目标 2 次，每次照准 2 次读数。

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

4.4.8 光电测距三角高程测量应符合下列规定：

1 高程路线应起讫于高一级的高程点，并组成附和路线或闭合环。

2 精密量测仪器高，棱镜高，方法见附录 D。

3 当视线长度小于 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。

4 隔点设站观测时，前、后视线长度宜相等，最大视距差不宜大于 40m，并应变换 1 次仪器高度，观测 2 次。

5 单向测量只能用于布设有校核条件的单点，不宜用于高程路线。

6 观测斜距和高差时，当温度变化超过 1℃ 时，宜在测回间重新输入温度后再进行观测。

7 视线通过江河、湖泊、沼泽和沙漠时，若往返测高差较差超限，应分析原因，在排除可能发生粗差的条件下，可将限差放宽到限差的 $\sqrt{2}$ 倍。

4.5 跨河高程测量

4.5.1 当光电测距三角高程测量路线跨越江河、湖泊，其视线

长度超过表 4.4.2 所规定的最大边长限值时，应按表 4.5.2 的规定执行。采用其他方法跨河时，应按 GB 12897 和 GB 12898 的规定执行。

4.5.2 跨河高程测量的技术要求应符合表 4.5.2 的规定。

4.5.3 跨河高程测量场地选定应符合下列要求：

1 选择水准路线附近的河面最窄处，使用最短的跨河视线。同岸的两点间距离为 10~20m，同岸两点大约等高，两岸的高差宜小。跨河图形中两岸的短边和跨河的长边宜相等。

2 视线不应通过大片草丛、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，不应低于 3m，1000m 时不应低于 4m。当视线高度不能满足上述要求时，应建造满足高度要求的牢固观测台。

4 跨河高程测量图形的布置应在大地四边形、平行四边形、等腰梯形或 Z 形中选用，见图 4.5.3。二等测量宜选用大地四边形，三等、四等测量宜选用平行四边形和等腰梯形，五等测量宜选用 Z 形。

4.5.4 二等跨河高程测量，距离和天顶距分别观测时应采用下列程序和方法：

1 应进行下列准备工作：

1) 选择大地四边形过河场地并埋设固定标志。

2) 用二等水准的精度测定同岸两点（AB 和 CD）之间的高差。

3) 在标尺上的 2.500m 和 2.000m 处，分别精确安装两个特制觇牌。

2 应采用下列观测程序：

1) 在 A 点设站，量测仪器高，测定 C 点上标尺两觇牌的天顶距 Z_{AC1} 、 Z_{AC2} 和 D 点上的 Z_{AD1} 、 Z_{AD2} 。

2) 在 B 点设站，量测仪器高，同 1) 项测得 Z_{BC1} 、 Z_{BC2} 和 Z_{BD1} 、 Z_{BD2} 。

3) 仪器和标尺相互调岸。

表 4.5.2 跨河高程测量技术要求

等级	测距仪等级	仪器类型	最大跨河视线长度 /m	天 顶 距							斜 距			仪器高 棱镜高 测量精度 /mm
				测回数		两次读数差 /('')	指标差较差 /('')	测回差 /('')	测定组数	测回数	一测回读数间较差 /mm	测回中数较差 /mm		
				中丝法	三丝法									
二	I、Ⅱ	DJ1	500	6	3	2	4	4	4	3	5	7	±1	
三	Ⅱ	DJ2	800	4	2	3	9	9	4	2	10	15	±2	
四	Ⅱ、Ⅲ	DJ2	1000	3	2	3	9	9	2	2	10	15	±2	
五	Ⅳ	DJ2	1500	2	1	—	—	—	—	1	10	15	±2	

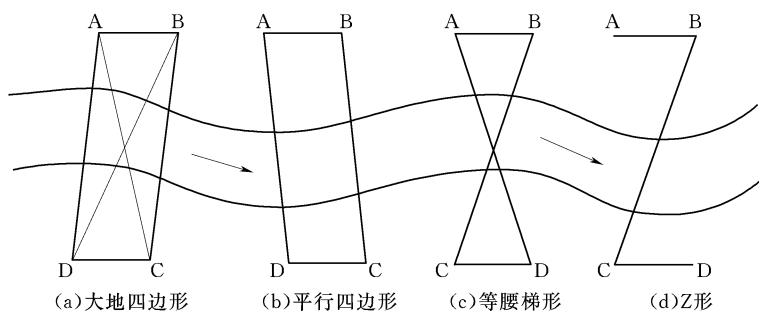


图 4.5.3 跨河高程测量布置图

- 4) 分别在 C、D 点设站按 1) 项、2) 项测定 Z_{CA1} 、 Z_{CA2} 、 Z_{CB1} 、 Z_{CB2} 和 Z_{DA1} 、 Z_{DA2} 、 Z_{DB1} 、 Z_{DB2} 。
- 5) 上述 1) 项、2) 项构成一组天顶距观测，1) 项、2) 项、3) 项、4) 项构成两组天顶距观测，其余的观测组应在不同的时段进行观测。
- 6) 距离测量应按表 3.6.2 和表 4.5.2 的技术要求，分别测量 AB、AC、AD、BC、BD、CD 边的距离。

4.5.5 二等跨河高程测量，距离和天顶距同时观测时应采用下列程序和方法：

1 应进行下列准备工作：

- 1) 场地选择应符合 4.5.3 条的要求，图形布置宜选用大地四边形。
- 2) 准备三个带觇牌的棱镜（或二个棱镜，三个觇牌）。

2 应采用下列观测程序：

- 1) 在 A 点设站，量取仪器高，在 B、C、D 点架设棱镜，量取棱镜高（觇牌高），观测 B、C、D 三点的天顶距（全部测回数）。
- 2) 观测 B、C、D 三点的斜距。
- 3) 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），观测 A、C、D 三点的

天顶距和斜距（全部测回数）。

- 4) 仪器、棱镜（觇牌）相互调岸，仪器分别架 C、D 二点按 1) 项、2) 项观测 A、B、C（D）三点的斜距和天顶距。
- 5) 上述 1) 项、2) 项构成一组天顶距观测，1) 项、2) 项、3) 项、4) 项构成两组天顶距观测，其余的观测组应在不同的时间段进行观测。

4.5.6 三等、四等、五等跨河高程测量，宜按图 4.5.3（b）、（c）、（d）的布置方式进行。

1 应进行下列准备工作：

- 1) 选择适合过河高程测量的场地。
- 2) 准备二个棱镜（觇牌）。

2 应按下列程序进行观测：

- 1) 置仪器于 A 点，观测本岸点 B 的天顶距和斜距。
- 2) 观测对岸点 D 的天顶距和斜距。
- 3) 仪器和棱镜（觇牌）相互调岸，仪器置于 C 点，先观测 B 点的天顶距和斜距，后观测本岸点 D 的天顶距和斜距。
- 4) 对三等、四等跨河高程测量，应另选时间段再进行三四组观测值的观测。

4.5.7 跨河光电测距三角高程测量应注意下列事项：

- 1 观测应选择成像清晰、风力微弱的气象条件下进行，宜选择在阴天。
- 2 装有特制觇牌的标尺在调岸后，应检查其在标尺上的位置。
- 3 在条件许可时，宜用两台同型号仪器同时对向观测。

4.6 GPS 拟合高程测量

4.6.1 GPS 拟合高程测量宜与 GPS 平面控制测量一起进行，可适用于平原或丘陵地区的五等及以下高程测量。在高程联测困难

的平原或丘陵地区，可采用 GPS 拟合高程测量替代四等高程测量，但应联测高等级高程点进行高程验算。

4.6.2 GPS 拟合高程测量应符合下列主要技术要求：

1 GPS 网应与四等或四等以上的水准点联测。联测的 GPS 点，宜分布在测区的四周和中央。小面积测区的带状地形，联测的 GPS 点应分布于测区两端及中部，大面积测区宜分区域进行高程拟合。

2 联测点数，宜大于选用计算模型中未知参数个数的 1.5 倍，点间距宜小于 10km。

3 地形高差变化较大的地区，应适当增加联测的点数。

4 GPS 观测的技术要求，应按 3.7 节的有关规定执行。天线高应在观测前后各测量 1 次，取其平均值作为最终高度。

4.6.3 GPS 拟合高程计算，应符合下列规定：

1 充分利用当地的重力大地水准面模型或资料。

2 应对联测的已知高程点进行可靠性检验，并剔除不合格点。

3 对于地形平坦的小测区，可采用平面拟合模型；对于地形起伏较大的大面积测区，宜采用曲面拟合模型。

4 对拟合高程模型应进行优化。

5 GPS 点的高程计算，不应超出拟合高程模型所覆盖的范围。

4.6.4 对 GPS 点的拟合高程成果，应进行检验。检验点数应不少于全部高程点的 10%且不少于 3 个点。高差检验，可采用相应等级的水准测量方法或光电测距三角高程测量方法进行，其高差较差不应大于 $30\sqrt{D}\text{mm}$ (D 为检查路线的长度，单位为 km)。

4.7 外业成果整理与平差计算

4.7.1 高程测量取位要求应符合表 4.7.1 的规定。

4.7.2 电子记录应按 CH/T 2006、CH/T 2005 和 CH/T 2004 的规定执行。

表 4.7.1 观测、记录及计算小数位取值要求

等级	天顶距 观测读数 与记录 /(")	天顶距 各测回 平均数 /(")	往(返) 测距离 总和 /km	往(返) 测距离 中数 /km	水准尺 观测读数 与记录 /mm	测站 高差 /mm	往(返) 测高差 总和 /mm	往(返) 测高差 中数 /mm	高程 /mm
二	0.1	0.01	0.01	0.1	0.1	0.01	0.01	0.1	1
三	1	0.1	0.01	0.1	1	0.1	0.1	0.1	1
四	1	0.1	0.01	0.1	1	0.1	0.1	0.1	1
五	1	0.1	0.01	0.1	1	1	1	1	1

4.7.3 手工记录应使用规定的手簿，统一编号，所有项目应填写齐全。记录的文字与数字不应涂改或擦去，对有错误的数字（只限于分米、米和度、分的读数）与文字，应用单线划去，在其上方写出正确的数字与文字，并在备注栏中注明原因。对重测的记录应用单线划去，并注明原因及重测结果记于何处。

4.7.4 在进行各项改正计算前，应对外业观测记录手簿、平差计算起始数据进行全面检查校对。如用电子手簿记录时，应对输出的原始记录进行校对。

4.7.5 水准测量外业验算应包括下列内容：

1 除四、五等单程水准路线及图根水准路线外，每完成 1 条水准路线的测量，应进行往返测或左右路线的高差不符值及每千米水准测量的偶然中误差 M_{Δ} 的计算并应符合表 4.3.1 的规定，小于 100km 或测段数不足 20 个的路线，可纳入相邻路线一并计算。每千米水准测量的偶然中误差 M_{Δ} 可按式（4.7.5-1）计算：

$$M_{\Delta} = \pm \sqrt{\frac{1}{4n} \left[\frac{\Delta\Delta}{R} \right]} \quad (4.7.5-1)$$

式中 Δ ——测段往返测高差不符值，mm；

R ——测段长，km；

n ——测段数。

2 当构成水准网的水准环超过 20 个时，应按环线闭合差 W

计算每千米高差中数的全中误差 M_w ，并应符合表 4.3.1 的规定。
每千米高差中数的全中误差 M_w 可按式 (4.7.5-2) 计算：

$$M_w = \pm \sqrt{\frac{1}{N} \left[\frac{WW}{F} \right]} \quad (4.7.5-2)$$

式中 W ——经各项改正后的水准环闭合差或附和路线闭合差，mm；

F ——计算 W 时相应的路线长度（环线周长），km；

N ——闭合环或附和路线个数。

4.7.6 光电测距三角高程测量、跨河高程测量外业验算应包括下列内容：

1 对斜距进行气象、加常数和乘常数各项改正，必要时还应进行周期误差改正。

2 若斜距和天顶距分别观测时，应对天顶距观测值进行归算，改正到测距时的天顶距，计算式为：

$$Z = Z' + \frac{[(V' - V) + (I - I')] \sin Z'}{S} \rho \quad (4.7.6-1)$$

式中 Z 、 V 、 I ——观测斜距时的天顶距、棱镜高、仪器高；

Z' 、 V' 、 I' ——观测天顶距时的天顶距、棱镜高、仪器高；

S ——斜距观测值；

$\rho = 206265''$ 。

3 高差计算式为：

$$h = S \cos Z + (1 - K) \frac{S^2}{2R} \sin^2 Z + I - V \quad (4.7.6-2)$$

式中 h ——高差，m；

S ——经改正后的斜距，m；

Z ——天顶距，(°)；

K ——大气折光系数，在 0.08~0.14 之间或实测确定；

R ——测区地球曲率半径，m；

I ——测距时的仪器高，m；

V ——测距时的棱镜高，m。

4 根据相邻点间高差，计算附和路线或闭合环的闭合差。

5 跨河三角高程测量，由各推算路线计算出的高差较差和
各环线闭合差应按下式进行检核：

1) 由各路线算得同一路线的高差较差小于式 (4.7.6-3)
计算的限值：

$$dH_m = \pm 2M_{\Delta} \sqrt{NS} \quad (4.7.6-3)$$

2) 由大地四边形组成的三个独立闭合环闭合差小于式
(4.7.6-4) 计算的限值：

$$W_m = \pm 2M_w \sqrt{2S} \quad (4.7.6-4)$$

式中 N ——独立路线数，图 4.5.3 (a) (b) (c) 的 N 分别为
4、2、2；

S ——跨河视线长度，km。

4.7.7 二等、三等、四等高程控制网的平差计算应按条件观测
平差法或间接观测平差法进行，并计算出各点相对于起算点的
高程中误差。

4.7.8 高程控制网平差时根据不同测量方法应分别按照满足式
(4.7.8-1) 或式 (4.7.8-2) 的要求定权。

水准测量：

$$P = \frac{1}{L} \quad \text{或} \quad P = \frac{1}{N} \quad (4.7.8-1)$$

光电测距三角高程测量：

$$P = \frac{1}{L^2} \quad \text{或} \quad P = \frac{1}{L} \quad (4.7.8-2)$$

式中 L ——测段长度，km；

N ——测站数。

4.7.9 高程控制测量完成后应整理归档下列资料：

- 1 技术设计书。
- 2 外业观测记录手簿。
- 3 高程控制网概算资料、平差计算成果资料。
- 4 控制点点之记、高程控制网图。

- 5 检查报告。
- 6 技术总结。
- 7 仪器检定资料。
- 8 有条件时宜建立数据库。

4.8 高程控制网的维护管理

4.8.1 高程控制网建成后，应加强维护管理，保障控制网点的正常使用和安全。为防止人员、车辆和机械在作业中造成对点位的损害，各等级高程控制点应有醒目的保护设施。

4.8.2 随着工程的进展，为满足施工需要应及时加密网点。

4.8.3 为及时发现和改正控制网点可能发生的沉降和破坏，应对高程控制网进行定期的、随机的复测，复测的频次和范围与平面控制网复测工作一致，并应同时进行。

4.8.4 控制网整网及局部区域复测时，应按照建网时的网形结构和精度要求进行。

5 地形测量

5.1 一般规定

5.1.1 施工阶段的地形测量主要用于场地布置、建设用地、工程量计算、建基面验收、场内交通工程等。

5.1.2 测图比例尺可根据工程性质、设计及施工要求在 1 : 200 ~ 1 : 2000 范围内选择。

5.1.3 在符合设计和施工要求情况下采用放大图进行地形测量时,应采用小一级比例尺地形图放大,精度要求较低的地形图宜按小一级比例尺地形图的精度施测。

5.1.4 同一测区相同比例尺地形图不应采用两种基本等高距,地形图基本等高距选择应符合表 5.1.4 的要求。

表 5.1.4 地形图的基本等高距

地形类型	地面倾角 /(°)	比 例 尺			
		1 : 200	1 : 500	1 : 1000	1 : 2000
		基本等高距/m			
平地	<3	0.2 或 0.5	0.5	0.5 或 1	0.5 或 1
丘陵地	3~10	0.5	0.5、1	1	1
山地	10~25	0.5	1	1	2
高山地	≥25	—	1	2	2

5.1.5 地形图上地物点相对于邻近图根点的点位中误差、等高线及高程注记点相对于邻近图根点的高程中误差要求,应符合表 5.1.5 的规定。

5.1.6 数字地形图打印输出时,图廓格网线和控制点展点误差不应超过图上±0.2mm,图廓对角线和控制点间的长度误差不应超过图上±0.3mm。

表 5.1.5 地形图精度规定

地物点点位中误差 (图上 mm)		等高线高程中误差		高程注记点 高程中误差
平地、丘陵地	山地、高山地	平地、丘陵地	山地、高山地	±1/3 <i>h</i>
±0.6	±0.8	±1/2 <i>h</i>	±1 <i>h</i>	
注 1: <i>h</i> 为地形图基本等高距。				
注 2: 森林、隐蔽等特殊困难地区可将表中的规定放宽 0.5 倍。				

5.2 图根控制测量

5.2.1 图根控制测量应根据施工区各等级控制点确定。图根点相对于邻近控制点的点位中误差不应超过图上 $\pm 0.1\text{mm}$ ；高程中误差不应超过测图基本等高距的 $\pm 1/10$ 。

5.2.2 图根点的密度根据地形、采用的仪器和测量方法确定，宜不少于表 5.2.2 的规定。

表 5.2.2 每幅图图根点（含等级控制点）的数量要求

测图 比例尺	图幅尺寸 /cm×cm	每幅图图根点（含等级控制点）数量			
		全站仪测图	GPS-RTK 测图	地面摄影测量 成图	地面三维激光 扫描测图
1 : 200	50×50	3	1	4	3
1 : 500	50×50	4	1	4	4
1 : 1000	50×50	5	2	5	5
1 : 2000	50×50	5	3	5	5

5.2.3 图根点平面控制测量可采用交会法、导线测量法、极坐标法和 GPS 测量等。

5.2.4 图根点高程控制可采用水准测量、光电测距三角高程测量和 GPS 拟合高程测量等方法。

5.2.5 图根控制测量内业计算取位应符合表 5.2.5 的规定。

表 5.2.5 内业计算取位要求

方位角计算值 /(°)	边长及坐标计算值 /m	高程计算值 /m	坐标成果 /m	高程成果 /m
1	0.001	0.001	0.01	0.01

5.3 地形图的测绘要求

5.3.1 地形点的密度应根据地形、地物变化的复杂程度确定，宜为图上 1~3cm。地形点的高程注记宜至分米，当基本等高距为 0.5m 时应注记至厘米。

5.3.2 地形图的分幅和编号，宜满足下列要求：

- 1 地形图的分幅，可采用正方形或矩形方式。
- 2 图幅的编号，宜采用图幅西南角坐标的千米数表示。
- 3 带状地形图或小测区地形图可采用顺序编号。
- 4 对于已施测过地形图的测区，可沿用原有的分幅和编号。

5.3.3 地形图图式和地形图要素分类代码的使用，应满足下列要求：

- 1 地形图图式采用 GB/T 20257.1。
- 2 地形图要素分类代码，采用 GB/T 13923。
- 3 对于图式和要素分类代码的不足部分可自行补充，并编写补充说明。对于同一个测区，应采用相同的补充图式和补充要素分类代码。

5.3.4 数字地形测量应符合下列要求：

- 1 成图软件应通过鉴定并满足 GB/T 20257.1 的要求。
- 2 进行现场调绘、检查。地形图上出错或失真时，应进行补测或修正。

3 数字地形图检查验收和成果评定应按 GB/T 18316 的规定执行。

5.3.5 1:200~1:2000 地形图测绘应符合下列要求：

- 1 建基面地形测量应符合下列要求：

- 1) 在开挖到设计高程、浮渣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) 施测范围宜超出开挖边线 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) 超过 60° 的斜坡可用相应的斜坡符号表示。地形变化复杂地段应加密测点。
 - 6) 图上应标出建筑物填筑分块线，并注明工程部位名称及分块号。
- 2 新建或改建公路、铁路的带状地形测量应符合下列要求：
- 1) 带状地形图，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) 与其他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。
- 3 施工场地地形测量应符合下列要求：
- 1) 各类建筑物及其主要附属设施，均应测绘。
 - 2) 地面上所有管线，应按实际形状测绘。密集的电力线、通信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、谷地等应测注高程点。独

立石、土堆、坑穴、陡坎，应注记比高，斜坡、陡坎小于 $1/2$ 基本等高距时可舍去。

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) 钻孔、探槽、探井、平洞等地质勘探点应在图上标示。

4 土地征购地形测量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，并在图上做相应的注记。

5.4 数字地形测量

5.4.1 数字地形测量的测绘方法可根据仪器设备和施工条件确定。并可采用下列方法：

1 全站仪测图。

2 GPS-RTK 测图。

3 地面摄影测量成图。

4 地面三维激光扫描测图。

5.4.2 全站仪测图应符合下列规定：

1 全站仪测图可采用编码法、草图法和内外业一体化成图法等测量方法。

2 测图作业时应检查定向方位，仪器安置及测站检核，应符合下列要求：

1) 对中误差不应大于 5mm ，仪器高和棱镜高的量取至 1mm 。

2) 应选择较远的图根点作为测站定向点，并施测另一图根点的坐标和高程，作为测站检核。检核点的平面位

置较差不应大于图上 0.2mm，高程较差不应大于基本等高距的 1/5。

3) 应对其他测站已测地物点进行重复测量检查。

3 测距长度应符合表 5.4.2 的规定。

表 5.4.2 全站仪测图最大测距长度

测图比例尺	最大测距长度/m	
	地物点	地形点
1 : 200	100	160
1 : 500	160	300
1 : 1000	300	500
1 : 2000	450	700

4 当布设的图根点不能满足测图需要时，可采用极坐标法增设少量测站。

5 全站仪测图按图幅施测时，每幅图应测出图廓线外 5mm；分区施测时，应测出区域界线外图上 5mm。

5.4.3 GPS-RTK 测图应符合下列规定：

1 GPS-RTK 测图前，应搜集下列测区的基础性资料：

1) 控制点成果及 GPS 测量资料。

2) 坐标系统和高程基准的参数，包括：参考椭球参数，中央子午线经度，纵、横坐标的加常数，投影面正常高，平均高程异常等。

3) WGS-84 坐标系与测区地方坐标系的转换参数及 WGS-84 坐标系的大地高程基准与测区的地方高程基准的转换参数。

2 坐标转换可采用重合点求转换参数，重合点数量不应少于 4 个，且应均匀分布在测区内，坐标转换参数也可直接应用测区 GPS 网二维约束平差所计算的参数。高程转换可采用拟合高程测量的方法且应按 4.6 节的有关规定执行。

3 转换参数的应用应符合下列规定：

- 1) 不超出原转换参数的计算所覆盖的范围, 且输入参考站点的空间直角坐标, 应与求取平面和高程转换参数 (或似大地水准面) 时所使用的原 GPS 网的空间直角坐标成果相同, 否则, 应重新求取转换参数。
- 2) 使用前, 应对转换参数的精度、可靠性进行分析和检测。检测点应分布在测区的中部和边缘。检测结果, 平面较差不应大于 5cm, 高程较差不应大于 $30\sqrt{D}$ mm (D 为参考站到检测点的距离, km); 超限时, 应分析原因并重新建立转换关系。
- 3) 对于地形变化明显的大面积测区, 应绘制高程异常等值线图, 分析高程异常的变化趋势是否同测区的地形变化相一致。当局部差异较大时, 应加强检查, 超限时, 应进一步精确求定高程拟合方程。
- 4 参考站点的选择和设置, 应符合下列规定:
 - 1) 根据测区面积、地形地貌和数据链的通信覆盖范围, 均匀布设参考站。
 - 2) 参考站点的地势应相对较高, 周围无高度角超过 15° 的障碍物和强烈干扰接收卫星信号或反射卫星信号的物体, 有效作业半径不应超过 5km。
 - 3) 参考站对中误差不应大于 2mm; 天线高量取至 1mm。
 - 4) 正确输入参考站的相关数据, 包括: 点名、坐标、高程、天线高、基准参数、坐标高程转换参数等。
- 5 流动站的作业, 应符合下列规定:
 - 1) 作业的有效卫星数不宜少于 5 个, PDOP 值应小于 6, 并应采用固定解成果。
 - 2) 仪器设置应与参考站相一致, 初始化宜在比较开阔的地点进行。
 - 3) 作业前, 宜检测 2 个以上不低于图根精度的已知点。检测结果与已知成果的平面较差不应大于图上 0.2mm, 高程较差不应大于基本等高距的 1/5。

4) 作业中, 如出现卫星信号失锁, 应重新初始化, 并经重合点检查合格后, 方能继续作业。

5) 结束前, 应进行已知点检查。作业结束后, 及时转存测量数据并做好备份。

6 不同参考站作业时, 流动站应检测一定数量的地物重合点。点位较差不应大于图上 0.6mm, 高程较差不应大于基本等高距的 1/3。

7 对采集的数据应进行检查处理, 删除或标注作废数据、重测超限数据、补测错漏数据。

8 CORS 站地形测量可参照 GPS-RTK 测图规定执行。

5.4.4 地面摄影测量成图应符合下列规定:

1 地面摄影测量适用于陡峭边坡、峡谷区等困难地区的地形测量。

2 地面摄影测量的精度常以摄影距离的相对中误差表示, 宜为 1:200~1:2000, 也可用点位中误差表示。成图精度应符合表 5.4.4-1 的规定。

表 5.4.4-1 地面摄影测量成图精度要求

误差类别	平面位置中误差 (图上 mm)	高程中误差/m
像控点	± 0.2	$\pm 1/6h$
地物点	± 0.8	$\pm 1/2h$
等高线		$\pm 1h$
注: h 为基本等高距。		

3 应根据摄影纵距的远近, 选择合适的镜头, 参考标准见表 5.4.4-2。

表 5.4.4-2 摄影纵距关系表

镜头类型	镜头焦距/mm	摄影纵距/m
广角定焦镜头	28	2~100
标准定焦镜头	50	100~250
中远摄定焦镜头	85	250~450

表 5.4.4-2 (续)

镜头类型	镜头焦距/mm	摄影纵距/m
中远摄定焦镜头	100	450~800
远摄定焦镜头	135	800~1500
远摄定焦镜头	200	>1500

4 摄影基线和精度估算应按 GB/T 12979 的要求确定。

5 像控点人工标志的形状和大小应符合 GB/T 12979 的要求，对于特别困难、人工无法布设像控点的区域，可采用采集特征点替代像控点。

6 像控点宜均匀布设在测区内。若测区范围大，需拍摄两排或多排时，应保证相邻两排影像间有 3 个以上公共像控点作为连接点。

7 影像数据采集时，应根据被摄影区域选择平行摄影、旋转摄影的摄影方式。平行摄影针对距离较近、表面较平坦、无遮挡的摄影对象，旋转摄影针对距离较远、起伏较大、有部分遮挡、远景近景变化较大的摄影对象。拍摄时应保证相机焦距固定，摄站从左向右，影像从左向右旋转。

8 地面摄影测量内业处理软件应具备下列功能：

- 1) 系统误差的补偿功能。
- 2) 像点坐标粗差的定位和剔除功能。
- 3) 各类未知数的理论精度的输出及可靠性指标的输出。
- 4) 对摄影测量观测值和非摄影测量观测值进行联合平差的功能。

9 地面摄影测量成图及资料整理应符合 GB 50167 和 GB/T 12979 的规定。

5.4.5 地面三维激光扫描测图应符合下列规定：

1 地面三维激光扫描测图适用于深山峡谷地区的地形图测绘。

2 地面三维激光扫描基站的布设应符合下列规定：

- 1) 扫描基站的选取应根据现场地形情况，以扫描视角能涵盖测区地形、地貌特征点为依据。
- 2) 扫描基站的选取应视野开阔，基站基础稳定，避免因各种外来因素的干扰而影响扫描的精度。
- 3) 扫描基站的间距不应超过设备的标称测程，宜布设在高处，提高扫描范围，避免扫描漏洞。不同扫描基站的扫描区域的重叠度不宜少于 10%。

3 地面三维激光扫描测量控制点的布设与联测应符合下列规定：

- 1) 已知基站可作为控制点使用，当基站作为控制点并架设三维激光扫描仪时，架设仪器时应对中整平，应检查扫描仪视准轴定向方位，仪器安置及测站检核应符合 5.4.2 条全站仪测图的要求。
 - 2) 用三维激光扫描仪对地形直接扫描，若在同一次扫描中单独定义扫描控制点区域时，扫描区域的控制点布设应当均匀；小区域扫描时，控制点数量应在 4 个以上；大区域扫描时，宜间隔 400~600m 布设 1 个控制点；控制点的精度应满足图根点的精度要求。
 - 3) 应在选定的控制点位置安置觇标。觇标宜选用规则的圆状目标，觇标表面应采用高反射材质，避免抛光而发生镜面反射。为确保拟合出圆心位置，觇标球体直径应大于扫描点间距的 3~5 倍。觇标应架设在空旷突出位置，扫描间隔应保证觇标上可获得至少 9 个激光点。
 - 4) 控制点联测应在激光扫描的最接近时间，或同步进行。
- 4 地面三维激光扫描测量现场要求应符合下列规定：
- 1) 扫描基站应远离振动源和干扰源。
 - 2) 扫描仪应避免在烈日和高温下工作。
- 5 地面三维激光扫描测量的点云拼接应符合下列规定：

- 1) 对于能够设置基站坐标和扫描仪视准轴方向的三维激光扫描仪, 不同基站的扫描成果可按统一的坐标直接拼接。
- 2) 对于以扫描仪当时的位置和轴向为参考的独立坐标系统的激光扫描仪, 相邻的扫描区域应以至少 10% 的重叠部分拼接成一个大区域, 以每个大区域为单元布设控制点。
- 3) 进行点云数据拼接时, 选取相邻两块点云数据的三处及以上公共点计算相关参数, 将两块点云数据拼接在一起。计算出的参数转换值, 高山地区应小于 1.0×10^{-7} , 平坦地区应小于 1.0×10^{-12} 。
- 6 地面三维激光扫描测量的坐标转换应符合下列规定:
 - 1) 拼接好的整片点云坐标应纳入同一坐标系统, 并进行坐标转换。
 - 2) 坐标转换过程中, 检查点的残余误差应满足的要求为: 平地、丘陵地坐标误差不应大于图上 0.3mm; 山地、高山地坐标误差不应大于图上 0.4mm; 高程误差不应大于 1/3 基本等高距。
- 7 检查扫描后的点云数据, 对物体遮挡的隐蔽区域应进行补测。
- 8 扫描区域调绘可按相应比例尺成图的调绘要求进行。
- 9 数据处理应符合下列规定:
 - 1) 对点云数据进行分类和编辑, 并分为地面点和非地面点两类。
 - 2) 对地面点数据抽稀后生成等高线。

5.5 水下地形测量

- 5.5.1 水下地形测量的平面坐标系统和高程系统应与陆地上地形图一致。
- 5.5.2 测深点定位可根据不同情况和条件选择测角前方交会法、

全站仪极坐标法、GPS 定位等方法。

5.5.3 水深测量应符合下列规定：

1 宜根据水深和流速选择测深工具：

- 1) 测深杆：宜用于水深小于 5m 的水域。测深中误差为 $\pm 0.10\text{m}$ 。
- 2) 测深锤：宜用于水深小于 15m、流速小于 2m/s 的水域。测深中误差为 $\pm 0.15\text{m}$ 。
- 3) 铅鱼式测深锤：宜用于水深小于 20m、流速小于 3m/s 的水域。锤重为 15~20kg，测深中误差为 $\pm 0.20\text{m}$ 。
- 4) 测深仪：宜用于水深大于 20m 的水域；当水深为 3~20m 且流速大于 3m/s 时，也宜采用测深仪测定水深。测深中误差为 $\pm 0.20\text{m}$ 。

2 测深点宜按断面法布设，断面间距为图上 1~3cm，测点间距应为图上 1~2cm。

3 测深点的高程中误差：水深小于等于 20m 时，高程中误差为 $\pm 0.2\text{m}$ ；水深大于 20m 时，高程中误差为 $\pm 0.01H$ （ H 为水深值，单位为 m）。

4 测深前应对选择的测深工具进行检查校正。当使用测深仪测深时，测前和测后均应对测深仪进行检查校正。

5 水底树林和杂草丛生水域不宜使用测深仪。

6 当遇到流速大于相应规定或水深大于 20m 的作业环境时，测深点高程中误差可放宽 1 倍。

5.5.4 水下地形图上应标明水边线高程和测绘日期。

5.6 纸质地形图数字化

5.6.1 纸质地形图数字化应采用扫描数字化法。

5.6.2 扫描仪主要技术指标及数字化软件应符合 GB/T 17160 的相应规定。

5.6.3 数字化图中的地形、地物要素和各种注记的图层设置及属性表示，应满足用户要求和数据入库需要。

5.6.4 纸质地形图数字化原图应符合下列规定：

- 1 原图的比例尺不应小于数字化地形图的比例尺。
- 2 原图宜采用聚酯薄膜图，无薄膜图时，在满足用户用图要求的前提下，也可采用纸质图。
- 3 图纸平整、无褶皱、图面清晰。
- 4 对原图纸或扫描图像的变形，应进行修正。

5.6.5 图纸、图像的定向和纠正，应符合下列规定：

- 1 宜选用内图廓的四角坐标点或格网点作为定向点。
- 2 定向点不应少于4点，位置应分布均匀、合理。
- 3 当地形图变形较大时，应适当增加定向点进行纠正。
- 4 定向和纠正完成后，应做格网检查。其坐标值与理论坐标值的较差不应大于图上0.3mm。

5.6.6 地形图要素的数字化，应符合下列规定：

- 1 对图纸中有坐标数据的控制点和建（构）筑物的细部坐标点的点位绘制，不应采用数字化的方式而应采用输入坐标的方式进行。

- 2 图廓及坐标格网的绘制，应采用输入坐标的方法由绘图软件按理论值自动生成，不应采用数字化方式产生。

- 3 原图中地形、地物符号与现行图式不相符时，应采用现行图式规定的符号。

- 4 点状符号、线状符号和地貌、植被的填充符号的绘制，应采用绘图软件生成，各种注记的位置应与符号相协调，重叠时可进行交互式编辑调整。

- 5 等高线、地物线等线条的数字化应采用跟踪法。

5.6.7 数字化完成后，应进行图幅接边并输出检查图。

5.6.8 检查图与原图比较：点状符号及明显地物点的偏差不应大于图上0.2mm，线状符号的误差不应大于图上0.3mm。

5.7 资 料 整 理

5.7.1 地形测量正式成果应进行分幅和图面整饰，并制作结合

表。数字地形测量还应满足 GB/T 18315 的要求。

5.7.2 地形图测量完成后应整理归档下列资料：

- 1** 技术设计书。
- 2** 图根控制测量计算和成果资料。
- 3** 地形图和分幅索引图。
- 4** 相关数据文件。
- 5** 技术总结。

6 水工建筑物施工放样准备与方法

6.1 一般规定

6.1.1 施工放样工作前应完成下列工作：收集施工区平面和高程控制成果及放样相关资料；详细查阅工程设计图纸，了解设计要求与现场施工需要；放样数据的准备；放样方案的编制；测量仪器和工具的检验、校正等。

6.1.2 对设计图纸中的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。

6.1.3 应按正式设计图纸和文件（包括修改通知）进行放样，不应凭口头通知或未经批准的图纸进行放样。

6.1.4 使用的平面和高程控制网，应进行全部或部分的检测。控制网点密度不能满足放样需要时，应进行加密。

6.1.5 所有放样点线，均应有检核条件，现场取得的放样和检核资料，应进行复核，确认无误后，方可交付使用。

6.1.6 放样结束后，应向使用单位提供书面的放样成果单。

6.2 放样数据的准备和方案编制

6.2.1 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计算校核。用电算程序计算放样数据时，应核对原始数据输入的正确性。

6.2.2 应将施工区域内的平面和高程控制点、轴线点、测站点等测量成果，以及设计图纸中的各种坐标（桩号）、方位、尺寸等数据编制成放样数据手册，供放样人员使用。

6.2.3 现场放样所取得的测量数据，应记录在规定的放样手簿中，所有栏目填写完整，字体清晰，不应任意涂改。应填写下列内容：

- 1 工程部位、放样日期、观测员、记录员及检查员姓名。
- 2 放样点所使用的控制点名称、坐标和高程成果、设计图

纸编号和使用数据来源。

- 3 放样数据和草图。
 - 4 放样过程中的实测资料。
 - 5 放样时所使用的主要仪器型号和出厂编号。
- 6.2.4 施工放样工作开展之前，应编制施工放样方案，方案的编制宜包括下列内容：
- 1 工程概况。
 - 2 技术依据。
 - 3 已有资料（控制点、高程基点）分析。
 - 4 控制点检测与加密。
 - 5 放样方法、技术要求、放样作业程序。
 - 6 放样点精度估算。
 - 7 人员及仪器设备配置。
 - 8 质量、安全、环境保证体系和具体措施。
 - 9 成果资料整理与提交要求。
- 6.2.5 对局部精密施工放样，宜单独做专门技术设计。

6.3 平面位置放样方法

- 6.3.1 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。
- 6.3.2 平面位置放样方法的具体操作要求和各种放样方法的点位精度估算方式，应参照附录 E、附录 F。
- 6.3.3 光电测距极坐标法的技术要求应符合表 6.3.3 的规定。

表 6.3.3 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
		DJ2	DJ6	DJ2	DJ6		
±15	<500	2	4	2	2	Ⅱ	2
	500~700	3	4	2	3	Ⅱ、Ⅲ	

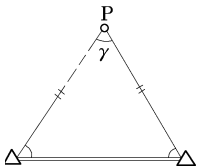
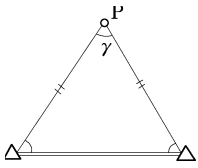
表 6.3.3 (续)

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
		DJ2	DJ6	DJ2	DJ6		
±30	<500	1	2	1	2	Ⅲ、Ⅳ	2
	500~1000	2	3	2	3	Ⅲ	
±50	≤1500	1	2	1	2	Ⅲ、Ⅳ	2

注：采用光电测距极坐标法布设测站点时，在同一部位至少测放 2 点，并测定该两点间的距离用于校核。

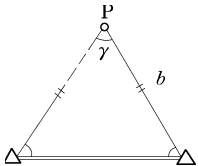
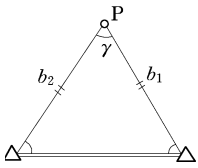
6.3.4 边角前方交会法的技术要求应符合表 6.3.4 的规定。

表 6.3.4 边角前交会法的技术要求

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		
						DJ2	DJ6	DJ2	DJ6	
±15	I II	15~160 10~170	≤600	III	2	2	3	2	2	方法 I：两角一边交会法 
±30	I II	15~165 15~170	≤1200	III	2	1	2	1	2	方法 II：两边两角交会法 
±50	I II	15~165 15~165	≤1500	III、IV	2	1	2	1	1	

6.3.5 边角后方交会法的技术要求应符合表 6.3.5 的规定。

表 6.3.5 边角后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	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	
				DJ2	DJ6	DJ2	DJ6			
±15	I	90~165	≤400	2	4	2	4	Ⅲ	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	Ⅱ	2	
		20~160		2	4			Ⅲ		
		30~150		1	2			Ⅳ		
±30	I	60~165	≤500	2	4	1	2	Ⅲ	2	方法Ⅱ： 在测站点 P，观测两条边 b_1 、 b_2 和一个交会角 γ 
		90~165						Ⅳ		
	Ⅱ	15~165	≤1000	1	2	2	4	Ⅲ	2	
		25~155						Ⅳ		
±50	I	50~165	≤700	1	2	1	2	Ⅲ	2	
		75~165						Ⅳ		
	Ⅱ	10~170	≤1500	1	2	1	2	Ⅲ	2	
		20~160						Ⅳ		
注：计算时测距仪的比例误差未给予考虑。测角中误差应按 DJ6 一测回 $m_\beta = \pm 6''$ 计。										

6.3.6 测角前方交会法的技术要求应符合表 6.3.6 的规定。

表 6.3.6 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		交会方向数
			DJ2	DJ6	
±15	50~130	≤200	1	—	3
		200~300	2		
		300~400	3		
±30	40~140	≤300	1	3	3
		300~400	2		
±50		≤500	1		

6.3.7 测角后方交会法的技术要求应符合表 6.3.7 规定。

表 6.3.7 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		交会 方向数	待定点的位置
			DJ2	DJ6		
±15	—	≤400	3	—	4	位于已知点的三角 形内
±30	不应在 160~200	≤150	2	4	4	待定点距危险圆 圆周不应小于危险 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。						
注 2：后方交会点的检核采用计算 4 组坐标相互比较的方法。						

6.3.8 单三角形法的技术要求应符合表 6.3.8 的规定。

表 6.3.8 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		三角形闭合差 /(")
			DJ2	DJ6	
±15	30~150	≤400	2	—	±10
±30		≤500	2	4	±15
±50		≤500	1	2	±20

6.3.9 轴线交会法的技术要求应符合表 6.3.9 规定。

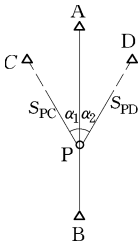
6.3.10 采用测边交会法放样时应符合下列规定：

- 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符合表 6.3.7 和表 6.3.8 的规定。

6.3.11 距离测量应符合下列规定：

- 1 每边观测始末读记气象数据，取始末平均值用作气象改正计算。

表 6.3.9 轴线交会法的技术要求

点位中 误差 /mm	夹角 α_1 、 α_2 的要求 /(°)	S_{PC} 和 S_{PD} 的要求 /m	测回数		已知点 点位 要求	示意图
			DJ2	DJ6		
± 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 要求精确位于已知轴线上，且 PA、PB 的长度不能过短。

2 测点需要测定高程时，仪器高和棱镜（觇牌）高量取至毫米。

3 所测边长应加入加常数、乘常数、气象、倾斜、投影等各项改正。

4 当边长大于 300m 时应加入球气差改正。

6.3.12 当边长采用钢尺量距时，丈量的边长应加入尺长、温度和倾斜（50m 钢尺两端的高差大于 0.5m 时，应加倾斜改正）等项改正。钢尺量距技术要求应符合表 6.3.12 的规定。尺长方程式中各项改正数值符号的选用见附录 G。

表 6.3.12 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 次较差 /mm	经各项改正后的 各次全长较差 /mm	丈量 方法
1/10000~ 1/15000	2	4	30	3	0.5	0.5	3.0	40√D	悬空 丈量
1/3000~ 1/10000	1	2	50	3	1.0	1.0	3.0		
注 1: D 为导线边长, km。									
注 2: 钢尺拉力接近检定时拉力。									

6.3.13 GPS-RTK 放样时应符合下列规定：

1 对于面积较大的测区，需要分区求解转换参数时，相邻分区应不少于 2 个重合控制点。

2 坐标转换可采用重合点求转换参数，参数转换要求见 5.4.3 条。

3 流动站作业离参考站距离不应超过 5km。

4 每次作业开始前或重新架设基站后，均应进行不少于 1 个同等级或高等级已知点的检核。

5 GPS-RTK 平面放样技术要求应符合表 6.3.13-1 的规定。

表 6.3.13-1 GPS-RTK 平面放样技术要求

点位中误差 /mm	边长相对中误差	与基准站距离 /km	观测次数	起算点等级
$\leq \pm 50$	$\leq 1/20000$	≤ 5	≥ 4	四等以上
$\leq \pm 50$	$\leq 1/10000$	≤ 5	≥ 3	一级以上
$\leq \pm 50$	$\leq 1/6000$	≤ 5	≥ 2	二级以上
注：点位中误差指相对于邻近控制点而言。				

6 GPS-RTK 放样点结束后应进行检查，平面可以采用 GPS 快速静态测定坐标、全站仪测量边长和角度方法。检测结果应满足表 6.3.13-2 的规定。

表 6.3.13-2 GPS-RTK 放样点平面校核精度要求

边长校核		角度校核		坐标校核
测距中误差 /mm	边长较差 相对中误差	测角中误差 /(")	角度较差 /(")	坐标较差 /mm
$\leq \pm 15$	$\leq 1/14000$	$\leq \pm 5$	≤ 14	$\leq \pm 50$
$\leq \pm 15$	$\leq 1/7000$	$\leq \pm 8$	≤ 20	$\leq \pm 50$
$\leq \pm 15$	$\leq 1/5000$	$\leq \pm 12$	≤ 30	$\leq \pm 50$

6.4 高程放样方法

6.4.1 根据放样点高程精度要求和现场的作业条件选择放样方

法。高程放样可采用水准测量法、光电测距三角高程法、GPS-RTK 高程测量法等。

6.4.2 GPS-RTK 高程放样注意事项与 6.13 条 1~4 款相同，其技术要求应符合表 6.4.2 的规定。

表 6.4.2 GPS-RTK 高程放样技术要求

高程中误差 /mm	与基准站距离 /km	观测次数	起算点等级
$\leq \pm 30$	≤ 5	≥ 3	四等以上

6.4.3 GPS-RTK 放样点高程检查可采用光电测距三角高程、水准测量等方法。检测高差较差不应大于 $\pm 40\sqrt{L}$ （ L 为检测路线长度，km，不足 1km 时按 1km 计算）。

6.4.4 对于高程放样中误差应不大于 $\pm 10\text{mm}$ 的部位，应采用水准测量法，并应符合下列要求：

- 1 放样点离等级高程点应不超过 0.5km。
- 2 测站的视距长度应不超过 150m，前后视距差应小于 50m。
- 3 宜采用附和水准路线。

6.4.5 采用光电测距三角高程法时，应加入地球曲率的改正，并校核相邻点的高程。

6.4.6 高层建筑物、竖井的高程传递，可采用光电测距三角高程法和钢带尺传递法进行，钢带尺的传递方法可参照附录 H。

6.5 仪器、工具的检验

6.5.1 施工放样使用的仪器应定期进行检验和校正：

- 1 经纬仪的三轴误差、指标差、光学对中误差应经常检验和校正。
- 2 水准仪的 i 角应经常检测和校正。
- 3 GPS 仪器、全站仪和数字水准仪应按相关规定检验，仪器内设参数不应随意改动。

4 光电测距仪的加常数、乘常数和周期误差一般每年检定 1 次。仪器使用中注意偏调误差，及时检校。若仪器有异常现象或受到剧烈震动，应随时进行检校。

6.5.2 使用工具的检验应包括下列内容：

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。当常数差超过标称值 1.0mm 时，应采用实测常数差。当标尺的零点差超过 0.5mm 时，应进行尺底面的修理或在高差中改正。

3 塔尺应检查底面及结合处误差。

4 垂球应检查垂球尖与吊线是否同轴。

5 通风式干湿温度计、气压计每年送检 1 次。

6 对中杆应检查棱镜中心与对中杆中心是否在同一铅垂线上。用于对中杆垂直的气泡应经常检查。

6.6 资 料 整 理

6.6.1 放样测量过程中，应在放样手簿上对放样点位置、点名、观测数据、日期等进行记录。

6.6.2 放样结束后，应及时整理提交下列资料：

1 相关的设计图纸和有关数据。

2 使用的控制点成果。

3 放样数据和放样草图。

4 放样手簿。

5 放样成果。

6 各类数据、图的电子文档。

7 仪器和工具检校资料。

8 技术总结。

7 水工建筑物开挖、填筑工程测量

7.1 一般规定

7.1.1 开挖、填筑工程测量内容包括：施工区原始地形图和断面图测绘；放样测站点的测设；开挖、填筑轮廓点的放样；竣工地形图和断面图测绘；工程量计算；已立模板、预制构件位置的检查与验收测量。

7.1.2 开挖、填筑轮廓点的放样可根据其精度要求采用各种交会方法、极坐标法、直角坐标法和 GPS 实时动态定位（RTK 法）、地面三维激光扫描等方法进行。高程放样可采用水准测量法、光电测距三角高程测量法和 GPS-RTK 高程测量法。

7.1.3 每次放样测量作业结束后，应及时对放样点进行检查，并留放样、检查记录。

7.2 开挖工程测量

7.2.1 开挖轮廓点的点位中误差应符合表 7.2.1 的规定。

表 7.2.1 开挖轮廓点点位中误差

工 程 单 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	$\pm (50 \sim 100)$	± 100	$\pm 50\text{mm}$ 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	

7.2.2 开挖工程放样应测放出设计开挖轮廓点，并用醒目的标志加以标定。

7.2.3 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、高程和开挖轮廓点。

7.2.4 开挖部位接近竣工时，应及时测放基础轮廓点和散点高程，并将欠挖部位及尺寸标于实地，必要时，在实地标出适当密度的开挖轮廓点，以备验收。

7.2.5 有地质缺陷的部位，还应详细测绘地质缺陷地形图。

7.2.6 分部工程开挖竣工时，应及时测绘竣工地形图或断面图。

7.3 填 筑 工 程 测 量

7.3.1 建筑物立模、填筑轮廓点的点位中误差应符合表 7.3.1 的规定。

表 7.3.1 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
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
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
注：点位中误差均相对于邻近控制点或测站点、轴线点而言。					

7.3.2 高层建筑物混凝土浇筑及预制构件拼装的竖向测量偏差，应符合表 7.3.2 的规定。

表 7.3.2 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
厂房、开关站等各种构架、支柱	± 3	$H/2000$	± 20
闸墩、栈桥墩、船闸厂房等侧墙	± 5	$H/1000$	± 30
注： H 为总高度。			

7.3.3 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 $\pm 3\text{mm}$ 。

7.3.4 混凝土建筑物轮廓点放样宜为距设计线 $0.2 \sim 0.5\text{m}$ 。土石方填筑轮廓点放样以设计位置为宜。放样点间距应符合表 7.3.4 的规定。

表 7.3.4 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
相邻点最大间距/m	5~8	10~15	4~6	5~10

7.3.5 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测设，轮廓点的放样宜采用下列几种方法：

- 1 由轴线点或测站点放样轮廓点时，宜采用极坐标法。
- 2 在不便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 在已经精确测定了轴线的部位进行放样时，也可采用轴线交会法。
- 4 在有条件的地方，放样可采用边角前方交会或边角后方交会法。
- 5 有条件的也可使用三维激光扫描后再进行测设。

7.3.6 采用滑升模板浇筑混凝土的建筑场（如闸墩、导墙、栈桥墩等），放样点的点位中误差应符合表 7.3.6 的规定。

表 7.3.6 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 为建筑物总高度。			
注 2: 点位中误差均相对于建筑物的固定轴线。			

7.3.7 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, 高程放样精度可低于平面位置的放样精度。

2 对于溢流面、斜坡面及形体特殊的部位, 其高程放样的精度应与平面位置放样的精度一致。

3 对于混凝土抹面层、有金属结构及机电设备埋件的部位, 其高程放样的精度应高于平面位置放样的精度。

7.3.8 在厂房进出水口、排砂孔、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。

7.3.9 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 7.3.9 的规定。

表 7.3.9 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	

7.4 放样点检查

7.4.1 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,方可开始放样。对于放样的轮廓点,应进行检核,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,放样与检核宜同时进行。必要时,也可另派小组进行检查。

7.4.2 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、三方向后方交会法等),应在放样后采用另外的方法进行检查。

7.4.3 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,应校对输入数据的正确性。

7.4.4 建筑物基础块(第一层)轮廓点的放样,应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)。

7.4.5 重复测设同一部位的轮廓点位置,可采用简易方法检核。

7.4.6 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。

7.4.7 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。

7.5 开挖、填筑工程量计算

7.5.1 开挖工程动工前,应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,应实测竣工断面图或竣工地形图。各阶段的断面图或地形图均为工程量计算的依据。

7.5.2 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。有特殊要求的部位应按设计要求执行。

7.5.3 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 : 200 或 1 : 500 为宜，大范围的土石覆盖层开挖收方图可选用 1 : 1000。

7.5.4 断面测量时测点的精度应符合表 7.5.4 的规定。

表 7.5.4 断面测量测点的精度要求

断面类别	测点相对于测站点的中误差/cm	
	平 面	高 程
原始、收方断面	±10	±10
土石方工程竣工断面	±5	±5
混凝土工程竣工断面	±2	±2

7.5.5 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，宜为图上 1~3cm 施测 1 点。地形变化处应加密测点。断面宽度应超出开挖边线 3~10m。

7.5.6 对于原始、收方断面测量，也可从实测的地形图上截取断面数据绘制断面图，但地形图比例尺不应小于断面图的绘图比例尺。

7.5.7 施工过程中应定期测算已完成的工程量，工程量的计算应以测量收方的成果为依据。

7.5.8 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。

7.5.9 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。

7.5.10 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应是在现场实测的。
- 2 断面间距及位置的布设应根据地形变化确定。
- 3 工程量计算可选取断面、方格网、三维数字模型等方法进行计算。

4 三维数字模型的数据源宜采用现场实测数据或对原有纸质地形图数字化的数据，也可采用经过可靠校核的三维激光扫描

数据。

5 面积计算方法可采用解析法或图解法，不规则图形面积计算方法宜采用解析法，简单的几何图形，如三角形、梯形、四边形等面积计算方法宜采用图解法。当采用求积仪计算图纸面积时，应在同一图纸上测量一块标准面积以确定图纸伸缩系数。解析法计算面积可采用式（7.5.10-1）或式（7.5.10-2）：

$$P = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (X_i Y_{i+1} - X_{i+1} Y_i) \quad (7.5.10-1)$$

或

$$P = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (Y_i X_{i+1} - Y_{i+1} X_i) \quad (7.5.10-2)$$

式中 P ——所求多边形的面积， m^2 ；

X_i 、 Y_i —— n 多边形的第 i 个转折点的坐标，点的编号应按顺时针方向，当 $i=n$ 时， X_{n+1} 、 Y_{n+1} 即为 X_1 、 Y_1 。

7.5.11 2 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。

7.5.12 独立 2 次对同一区域混凝土填筑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。

7.6 资料整理

7.6.1 每次测量放样作业结束后，应及时将测量放样记录手簿、放样使用的图纸和计算数据、测量放样通知单、测量检查成果表等按工程项目或工程部位整理保存。

7.6.2 每次测量收方工作完成后，应将收方地形图、断面图、工程量计算表及外业数据资料整理保存。

7.6.3 单项工程竣工后，应及时整理竣工测量记录手簿、各种竣工图表、使用的设计图纸和单项工程测量小结。

7.6.4 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。

8 金属结构与机电设备安装测量

8.1 一般规定

8.1.1 金属结构与机电设备的安装测量工作应包括下列内容：测设安装专用控制网、测设安装轴线点与高程基点；安装点的放样和安装竣工测量等。

8.1.2 金属结构与机电设备安装轴线和高程基点，应埋设稳定的金属测量标志，一经确定，应采取相应的保护措施，在整个安装过程中不宜变动。

8.1.3 在安装测量的作业中应符合下列要求：

1 应使用精度不低于 DS3 型的水准仪和 DJ2 型全站仪或经纬仪。

2 量测距离的钢带尺，应经过检定并附有尺长方程式。

8.1.4 安装测量的精度指标应符合表 8.1.4 的规定。

表 8.1.4 金属结构与机电设备安装测量的精度要求

安装测量项目		测点中误差/mm		备 注
		平面	高程	
压力钢管	1. 始装节管口中心位置。	± 5	± 5	相对钢管安装轴线和高程基点
	2. 与蜗壳、阀门伸缩节等有连接的管口中心。	$\pm 6 \sim \pm 10$	± 10	
	3. 其他管口中心位置	± 10	± 15	
平面闸门	主反轨之间的间距和侧轨之间间距	$-1 \sim +4$	—	相对门槽中心线
弧形门、人字门	—	$\pm 2 \sim \pm 3$	$\pm 1 \sim \pm 3$	相对安装轴线
水轮发电机	1. 座环安装中心及方位误差。	$\pm 2 \sim \pm 5$	高程 ± 3 ，水平度 0.5	相对机组中心线和高程基准点
	2. 机坑里衬安装和蜗壳安装中心	$\pm 5 \sim \pm 10$	$\pm 5 \sim \pm 10$	
天车、起重 机轨道	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	一条轨道相对另一条轨道

注：本表上下限的取用，根据具体设备的精度要求，由安装部门确定。

8.2 安装专用控制网、安装轴线及高程基点的测设

8.2.1 大坝、厂房、船闸、机组和各种泄水建筑物的金属结构与机电设备安装的安装专用控制网、安装轴线及高程基点，均应由等级控制点进行测设，相对于邻近等级控制点的点位（平面和高程）限差为 $\pm 10\text{mm}$ 。

8.2.2 安装专用控制网、安装轴线可一次测设完成，也可随安装部位逐渐形成及时分层布设，测设之前应对起算点的稳定性进行检测，并根据安装测量的精度要求进行精度估算，确定布设方案。

8.2.3 在安装项目较多且各安装结构单元之间相对精度要求高的部位，应布设安装专用控制网，对其他相对独立的结构单元宜另布设安装轴线和高程基点。

8.2.4 安装专用控制网内及安装轴线点间相对点位限差不应超过 $\pm 2\text{mm}$ 。高程基点间的高差测量限差为 $\pm 2\text{mm}$ 。

8.2.5 对于每一个独立的安装单元，安装轴线点不应少于3点，高程基点不应少于2点。

8.2.6 独立安装单元的距离测量或竖直传高时用的钢带尺应经过检定。对于超过钢带尺整尺段长度且无法分段丈量或测点两端高差较大的水平距离，可采取高精度测距仪或全站仪用“差分法”进行测量。

8.2.7 在安装过程中，原来的安装轴线或高程基点部分或全部被破坏时，可按下列不同方法进行恢复，并应对恢复的轴线或高程基点进行多方校核。

- 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 应按规定精度，由平面或高程控制网点重新测设。

8.3 安装点放样

8.3.1 安装点的测设应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。

8.3.2 由安装轴线点和高程基点测设安装点，应符合下列技术要求：

1 测设方法可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、拉力及悬链等改正。距离丈量的技术要求应符合表 8.3.2-1 的规定。

表 8.3.2-1 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	同测次测量		边长丈量 较差的 相对误差
			读数次数	较差 /mm	
与检定钢带尺时相同	1.0	2	2	1	1 : 10000

3 用光电测距仪或全站仪测量距离时，宜用“差分法”操作，仪器的测距标称精度不低于 $\pm (3\text{mm} + 2\text{mm}/\text{km})$ 。

4 方向线测设：后视距离应大于前视距离，用测针（或重球线）作为照准目标。经纬仪或全站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 8.3.2-2 的规定。

6 刻划安装点标志的误差应小于 0.3mm。

表 8.3.2-2 安装点水准测量的技术要求

序号	项目	使用仪器	使用标尺	测站技术要求
1	精密高程精密 水平度测量	DS1	因瓦水准标尺、 钢板尺	可按二等水准测量要 求或另行规定技术要求
2	一般安装点 高程测量	DS3	双面水准标尺、 钢板尺	宜按三等水准测量 要求

8.3.3 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标尺或钢板尺（钢板尺应镶嵌在木制尺中）。

8.3.4 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 $\pm 2\text{mm}$ 。

8.3.5 铅垂投点可采用重锤投点法、经纬仪投点法、激光投点仪投点法和光学投点仪投点法。

8.3.6 铅垂投点法顶底点传递限差见表 8.3.6。

表 8.3.6 顶底点传递中误差

高度	中误差/mm	高度	中误差/mm
<20	± 1.0	>40	± 2.0
20~40	± 1.5		

8.4 安 装 点 检 查

8.4.1 对已测放的安装点，应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，应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 2 次仪器高重复测定。

8.4.2 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。

8.4.3 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。

8.5 资 料 整 理

8.5.1 每次安装点放样结束后，应及时填写安装测量放样成果

表，并附点位分布示意图及必要的说明。

8.5.2 每次安装测量验收后，应保留安装测量验收记录。

8.5.3 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、设计图纸和相关文档文件等整理归档。

8.5.4 相关的电子文件整理后应汇总刻盘随归档资料提交配套使用。

9 地下工程测量

9.1 一般规定

9.1.1 地下工程测量应包括下列内容：建立地面和地下平面与高程控制网、地下工程的施工放样、测绘地下工程开挖和衬砌断面并计算开挖和填筑工程量等。

9.1.2 水工隧洞开挖的极限贯通误差应符合表 9.1.2 的规定。相向开挖长度大于 50km 时应做专门技术设计。当在主斜洞内贯通时，纵向误差应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 $\pm 200\text{mm}$ 。

表 9.1.2 水工隧洞开挖贯通测量容许极限误差值

相向开挖长度 /km		<5	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30	30~35	35~40	40~45	45~50
极限贯通误差 /mm	横向	± 100	± 150	± 220	± 300	± 400	± 500	± 620	± 740	± 880	± 1000
	纵向	± 100	± 150	± 220	± 300	± 400	± 500	± 620	± 740	± 880	± 1000
	竖向	± 40	± 56	± 76	± 100	± 124	± 150	± 176	± 200	± 224	± 250
注：相向开挖长度包括支洞的长度。											

9.1.3 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 9.1.3 的规定。

表 9.1.3 贯通中误差分配值

相向开挖长度 /km	贯通中误差/mm								
	横向			纵向			竖向		
	地面	地下	贯通面	地面	地下	贯通面	地面	地下	贯通面
<5	± 20	± 50	± 54	± 20	± 50	± 54	± 15	± 15	± 21
5~10	± 30	± 75	± 81	± 30	± 75	± 81	± 20	± 20	± 28

表 9.1.3 (续)

相向开挖长度 /km	贯通中误差/mm								
	横向			纵向			竖向		
	地面	地下	贯通面	地面	地下	贯通面	地面	地下	贯通面
10~15	±44	±110	±118	±44	±110	±118	±27	±27	±38
15~20	±60	±150	±162	±60	±150	±162	±35	±35	±49
20~25	±80	±200	±215	±80	±200	±215	±44	±44	±62
25~30	±100	±250	±269	±100	±250	±269	±53	±53	±75
30~35	±124	±310	±334	±124	±310	±334	±62	±62	±88
35~40	±148	±370	±399	±148	±370	±399	±71	±71	±100
40~45	±176	±440	±474	±176	±440	±474	±79	±79	±112
45~50	±200	±500	±539	±200	±500	±539	±88	±88	±124

9.1.4 横向贯通中误差,可按下列公式估算。

1 采用三角测量方法布设地面控制时,其横向贯通中误差的估算可采用下列两种方法:

1) 以相邻洞口点 J、C (见图 1) 的局部相对点位误差椭圆在贯通面上的投影面来计算,即:

$$M_Y = \pm m_0 \sqrt{Q'_{\Delta X \Delta X} \cos^2 a + Q'_{\Delta Y \Delta Y} \sin^2 a + Q'_{\Delta X \Delta Y} \sin 2a} \quad (9.1.4-1)$$

其中

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

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

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

式中

m_0 ——单位权中误差, mm;

a ——隧洞贯通面的坐标方位角, 度分秒;

Q'_{XCXC} 、 Q'_{XJXJ} 、 $\cdots$ 、 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。

2) 把靠近隧洞一侧的三角点当作单导线, 可按 2 款所述的导线法进行估算。

2 采用导线布设地面控制时，横向贯通中误差可按式 (9.1.4-2) 计算：

$$M_Y = \pm \sqrt{(m_{Y\beta}^2 + m_{YL}^2)/n_g} \quad (9.1.4 - 2)$$

$$m_{Y\beta} = \pm \frac{m_\beta}{\rho} \sqrt{\sum R_{Xi}^2}$$

$$m_{YL} = \pm \frac{m_L}{L} \sqrt{\sum d_{Yi}^2}$$

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，m；

m_{YL} ——由于量边误差所产生的在贯通面上的横向中误差，m；

m_β ——导线测角中误差，(″)；

R_{Xi} 、 d_{Yi} ——导线各点至贯通面的垂直距离和投影长度，m；

$\frac{m_L}{L}$ ——导线边长相对中误差；

n_g ——导线组数。

3 地下工程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 2 款。具体估算例子见附录 I。

4 竖井定向测量引起的横向贯通中误差可按式 (9.1.4-3) 计算：

$$m_{Y0} = \frac{m_0 D_X}{\rho} \quad (9.1.4 - 3)$$

式中 m_0 ——井下基边的定向中误差，mm；

D_X ——井下基边至横向贯通面 (Y) 的垂直距离。

5 地面、地下控制测量误差对贯通面横向中误差总的影响为：

$$M_n = \pm \sqrt{M_Y^2 + M_Y'^2 + M_{Y0}^2} \quad (9.1.4 - 4)$$

9.1.5 地面和地下高程控制测量误差，对竖向贯通的影响，可按式 (9.1.5) 计算：

$$M_h = \pm \sqrt{m_h^2 + m'_h{}^2} \quad (9.1.5)$$

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

式中 m_h 、 m'_h ——地面、地下高程测量中误差，mm；

M_Δ 、 M'_Δ ——地面、地下 1km 路线长度的高程测量高差中数中误差，mm；

L 、 L' ——地面、地下两洞口间水准路线长度，km。

9.2 地面控制测量

9.2.1 地面平面控制测量，可布设 GPS 网、导线网、三角形网。当采用 GPS 进行地面控制测量时，如果两点间距超过 20km 时，应采用精密星历进行数据解算。地面高程控制网可布设成闭合水准路线、附和水准路线。控制网的等级可根据隧洞相向开挖长度按表 9.2.1 的规定选择。平面控制测量的技术要求应按第 3 章有关规定执行，高程控制测量的技术要求应按第 4 章有关规定执行。

表 9.2.1 地面控制网等级选择

隧洞相向开挖长度/km	三角形网测量	导线测量	GPS 测量	水准测量
<5	三等	三等	三等、四等	三等、四等
5~10	二等	二等	二等、三等	二等、三等
10~20	—	—	二等	二等、三等
20~30	—	—	二等	二等
30~50	—	—	二等	二等
注：隧洞相向开挖长度包括支洞的长度。				

9.2.2 在每个洞口（包括支洞口）附近不受施工干扰的位置，应埋设 3 个平面控制点及 3 个高程控制点标石。平面控制点至少有 1 个与洞口通视良好，定向边和洞口宜位于同一高程面上，以消除垂线偏差对方向值的影响。

9.2.3 宜选择洞口附近的首级控制点或图形强度较好的加密洞

口控制点作为进洞控制点。布设洞口控制点时，应考虑有利施工放样和便于向地下传递坐标和高程等因素。

9.2.4 平面控制点可因地制宜地埋设混凝土标石或岩石标，洞口的控制点宜选择在不受施工影响的位置，并应制作带强制对中基座的混凝土观测墩。

9.2.5 平面控制网的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，坐标成果应投影到隧洞的平均高程面上。施工高程系统应与规划设计阶段的高程系统一致，并根据需要就近与国家水准点进行联测。

9.2.6 当采用三角形网或导线网布设地面控制时，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等、四等水准测量。

9.3 地下控制测量

9.3.1 平面控制测量宜布设光电测距导线，导线可分为基本导线（贯通测量用）和施工导线（施工放样用）。

9.3.2 基本导线可根据需要布设长边直伸导线、多环导线、交叉式双导线网，地下基本导线测量和水准测量的等级可根据隧洞相向开挖长度按表 9.3.2 的规定选择。

表 9.3.2 地下控制网等级选择

相向开挖长度/km	基本导线测量	水准测量
<5	三等、四等	三等、四等
5~10	二等、三等	二等、三等
10~20	二等、三等	二等、三等
20~30	二等	二等
30~50	二等	二等
注：相向开挖长度包括支洞的长度。		

地下基本导线的精度要求应按第 3 章执行，但长度可根据具

体情况放宽 1~1.5 倍。

9.3.3 当单向开挖长度大于 8km 时应加测陀螺方位角。方位角往返测较差小于 2 倍仪器标称精度时，可取往返方位角中数作为导线边的方位角。

9.3.4 基本导线的边长应近似相等，直线段不宜短于 200m，曲线段不宜短于 50m；导线边距离地下设施不应小于 0.2m。

9.3.5 地下施工导线点的布设主要为满足开挖施工放样需要，可根据隧洞开挖方法确定。钻孔爆破法开挖宜每隔 50m 左右选埋 1 点；掘进机开挖法宜根据激光导向仪的有效工作距离和配套长度确定点位间距。地下施工导线每 200m 左右应与基本导线附合，及时计算出施工导线点的里程、高程以及偏离轴线的数值，并进行轴线偏差改正。

9.3.6 基本导线点和施工导线点宜沿洞壁两侧布设，基本导线点标志应设置在带有强制对中基座的仪器平台上。为防止点位变动，控制点点位应定期检查复核。

9.3.7 光电测距边长应进行对向观测，并经气象、加常数、乘常数、周期误差、倾斜和投影各项改正。

9.3.8 当相向开挖的两工作面临近贯通面时，可使用超前探孔或导洞与两洞口的地面基本控制点（包括平面和高程控制网）联测，经统一平差后进行贯通误差的确定、调整和分配。

9.3.9 在地下使用各类光电测距仪时，应特别注意仪器的防护，仪器及棱镜面上的水珠或雾气应及时擦拭干净。

9.4 施工放样与断面测量

9.4.1 地下工程细部放样轮廓点相对于洞轴线的点位限差，应符合下列规定：

- 1 开挖轮廓点放样限差为 0~100mm。
- 2 混凝土衬砌立模点放样限差为 20mm。

9.4.2 钻孔爆破法开挖施工测量应符合下列规定：

- 1 开挖放样应以施工导线标定的轴线为依据，开挖过程中

应安置激光指向仪或激光经纬仪标定中线。

2 开挖放样应在掌子面上标定开挖轮廓特征点，必要时还应标出钻孔位置。对分层开挖的地下厂房等大断面洞室进行放样时，可只标定设计开挖轮廓特征点。

3 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。

9.4.3 采用 TBM 全断面掘进机开挖施工测量应符合下列规定：

1 首先将地下基本导线或施工导线的坐标和高程引测至掘进机的激光导向系统，再以设计轴线指导掘进机的掘进方向。

2 为保证隧洞的准确贯通，对隧洞轴线应进行定期检测。

3 使用双护盾式掘进机施工时，开挖与衬砌平行作业，可只测绘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不应超过 $\pm 20\text{mm}$ 。

9.4.4 盾构法掘进隧洞施工测量应符合下列规定：

1 盾构法掘进隧洞施工测量应包括盾构井（室）测量、盾构拼装测量、盾构姿态测量和衬砌环片测量。

2 安装盾构导轨时，测设同一位置的导轨方向、坡度和高程与设计值较差不应大于 2mm 。

3 盾构拼装完成后，应进行盾构纵向轴线和径向轴线测量，主要包括刀口、机头与盾尾连接中心、盾尾之间的长度测量；盾构外壳长度测量；盾构刀口、盾尾和支承环的直径测量。

4 盾构机掘进实时姿态测量应包括其与线路的平面偏离值、高程偏离值、纵向坡度、横向旋转角和切口里程测量，其技术要求应符合表 9.4.4 的规定。

表 9.4.4 盾构机姿态测量误差技术要求

测量项目	测量误差
平面偏离值/mm	± 5
高程偏离值/mm	± 5
纵向坡度/%	1
横向旋转角/（'）	± 3
切口里程测量/mm	± 10

5 测定盾构机实时姿态时，应至少测量 1 个特征点和 1 个特征轴，宜以其切口中心为特征点，纵轴为特征轴。

6 利用施工导线测定盾构纵向轴线方位角，与盾构机自带陀螺仪测定的方位角的较差修正盾构机掘进方向。

7 衬砌环片测量包括测量衬砌环的环中心偏差、环的椭圆度和环的姿态。衬砌环片应不少于 3~5 环测量 1 次，相邻衬砌环测量时宜重合 2~3 环环片。平面和高程测量中误差为 15mm。

9.4.5 斜井开挖放样可用坡面经纬仪直接测定轴线和平行腰高。若用经纬仪架设在轴线上按真伪倾角法测定平行腰高时，各点的垂直角 α' 可按式 (9.4.5) 计算：

$$\alpha' = \arctan(\tan\alpha\cos\theta) \quad (9.4.5)$$

式中 α ——斜井的设计垂直角，(°)；

θ ——斜井轴线至照准点方向的水平夹角，(°)。

9.4.6 竖井开挖与衬砌测量放样可用重锤、激光投点仪或光学投点仪进行，开挖轮廓放样点相对于竖井轴线的测量中误差不应超过 $\pm 50\text{mm}$ ；混凝土衬砌轮廓放样点相对于竖井轴线的测量中误差不应超过 $\pm 20\text{mm}$ 。

9.4.7 在地下洞室混凝土衬砌过程中，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，以便检修和监测时使用。

9.4.8 地下洞室断面测量应符合下列规定：

1 隧洞开挖、喷锚支护和二衬竣工后应及时测绘竣工断面。

2 断面布设：直线段宜 5m/条，曲线段宜 3m/条，结构变化或特殊部位应适当增加断面。

3 地下厂房等大洞室采用分层开挖时，应分层进行竣工断面测量。

4 断面测量点的位置，应能反应开挖、喷锚支护和混凝土浇筑现状及其建筑限界控制点、设计指定位置的断面点。

5 开挖竣工断面测点相对于洞室轴线的测量中误差不应大于 $\pm 50\text{mm}$ ，混凝土衬砌竣工断面测点相对于洞室轴线的测量中

误差不应大于 $\pm 20\text{mm}$ 。

9.5 资 料 整 理

9.5.1 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。

9.5.2 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 地下工程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，竣工工程量计算表。
- 6 贯通误差的实测成果和说明。
- 7 技术总结。

10 疏浚及渠堤施工测量

10.1 一般规定

10.1.1 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。

10.1.2 疏浚及渠堤施工测量应包括下列内容：施工控制测量、渠堤中心线定线、细部轮廓点放样、施工过程中的地形图及断面测量、工程量计算以及工程的竣工验收测量等。

10.1.3 疏浚及渠堤工程施工控制测量应符合下列规定：

1 疏浚工程施工控制测量的平面、高程控制点的精度应根据坡降确定等级。

2 渠堤测量的施工区施工控制网，平面控制应按不低于五等、高程控制应按不低于四等控制点的要求进行布设。

3 局部小范围的疏浚工程的施工控制，可建立独立平面坐标系，但高程系统应与规划设计阶段一致。

10.2 疏浚施工测量

10.2.1 各级测图平面控制点、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。

10.2.2 放样点的点位中误差，应符合表 10.2.2 的规定。

表 10.2.2 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	陆上	± 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	
疏浚设备定位		± 1.0	
围堰轴线		± 0.3	

10.2.3 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。标志纵向间距宜为 50 ~ 100m，弯道处适当加密。

10.2.4 挖槽放样的标志设置应满足下列要求：

1 当水深小于等于 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 标志应明显易见。夜间施工或能见度差时，可立灯标，灯标不应少于 2 组。

10.2.5 庄台吹填造地等施工，均应分层进行放样。

10.2.6 陆上管线放样，应对水陆接头和弯管接头转折点进行放样，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。

10.2.7 自由浮沉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示挖泥船或潜管主要部位的设计位置。

2 选择最佳放样方法，计算相关放样数据。

3 在定位处先设放浮标进行概略定位，然后指挥精确定位。

10.2.8 施工中的断面测量，横断面的间距宜在 20 ~ 50m 选用，应以能满足施工和准确计算工程量为原则。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。

10.2.9 河道疏浚工程横断面测量宜测至堤脚外 3 ~ 5m；湖泊、河口和沿海水域宜测至设计上开口线外 30 ~ 50m。

10.2.10 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。绘图纵横比例尺的大小，可依据河床形态确定。断面间距根据设计要求确定。

10.3 渠堤施工测量

10.3.1 渠堤中心桩（百米桩、千米桩及加桩）的平面位置测

量放样中误差（相对于邻近控制点）为 $\pm 50\text{mm}$ ，高程测量中误差（相对于邻近控制点）为 $\pm 30\text{mm}$ 。所有中心桩宜测有桩顶和地面高程。中心桩间距视地形变化确定，直线段 30~50m，曲线段 10~30m。

10.3.2 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）不应超过 100mm。

10.3.3 渠堤横断面测量宜垂直于渠堤的中心线，横断面测至挖、填区外 3~5m，断面点间距以能反映渠堤的实际地形和准确计算工程量为原则。

10.3.4 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 10.3.4 的规定。

表 10.3.4 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 20~50m	1：2000~1：5000	1：100~1：500
横断面		1：200~1：500	1：200~1：500
注：绘图比例尺可以根据实际情况适当调整。			

10.3.5 在渠堤的拟建水工建筑物（渠首、水闸、渡槽、桥涵等）地段宜布设 3 个以上的施工控制点。点位中误差应满足建筑物的相对精度要求。

10.4 工程量计算与竣工验收测量

10.4.1 疏浚工程量的计算，应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。

10.4.2 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降方量以及原地基在吹填土荷载作用下而产生的固结沉降方量。

1 工程量计算宜采用平均断面计算法或平均深度计算法。

2 流失方量宜由测量确定，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 固结沉降方量宜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条文说明)。计算公式为：

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \quad (10.4.2)$$

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 。

4 吹填区 (或排淤区) 工程量的测算应在停止吹填 (或排淤) 90~100d 内进行。

10.4.3 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。产量计使用前应进行校正，输入土的饱和密度由土工试验确定。

10.4.4 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 (宜为平面水深图，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做一次完整的水深测量。

2 由建设单位选择全部测点的 10% 测其水深作为检查点，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。

10.4.5 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，必要时还应绘出土、石分界线等。

10.5 资 料 整 理

10.5.1 疏浚及渠堤施工测量过程中应保留原始观测记录和计算

资料，如有必要应在野外绘制草图。

10.5.2 疏浚及渠堤施工测量完成后应整理提交下列资料：

- 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。

11 辅助工程测量

11.1 一般规定

11.1.1 辅助工程测量包括：筛分、拌和、供料等混凝土生产系统测量；缆机、塔机、桥机等运输系统施工测量；铁路、公路、桥梁、输电线路、管线等线路工程测量；围堰与戗堤等临时工程的施工放样、工程量的测算；施工区以外的专业工程测量。

11.1.2 辅助工程的施工放样，宜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 GPS 网、导线网或三角形网等形式布设放样测站点，所建立的坐标、高程系统应与设计系统相一致。

11.1.3 施工区以外的专业工程测量，应按 GB 50026 的相关规定执行。

11.2 筛分、拌和、供料等 混凝土生产系统测量

11.2.1 筛分、拌和、供料等混凝土生产系统的各主轴线测设以后，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。

11.2.2 筛分、拌和、供料等混凝土生产系统施工放样的精度应符合表 11.2.2 的规定。

11.2.3 混凝土及砂石骨料运输的中心线，应由筛分楼（或拌和楼）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。

11.2.4 筛分、拌和系统的高程控制点精度不应低于五等水准。

11.2.5 皮带供料系统施工放样应做放样点至供料系统附近，从放样测站点放样皮带供料中心线。

**表 11.2.2 筛分、拌和、供料等混凝土生产系统施工
放样点精度要求**

项 目	放样误差		备 注
	平面 /mm	高程 /mm	
拌和楼、筛分楼、制冷、制热系统主轴线点	±30	±20	相对于临近基本控制点
辅助轴线	±5	±10	相对于主轴线
各柱垂直度	±5	$h/1000$	相对于设计间距
立柱垂直度	—	$h/1000$	相对于立柱基础
同层水平度	—	3~5	
相邻皮带机机头、机尾相对偏差	±20	±10	
皮带机供料线各支撑点间相对偏差	±50	±10	
立柱基础定位点（相对于辅助轴线）	钢板埋件±5	±5	
	地脚螺丝±2	±5	
注：h 为立柱高度。			

11.3 缆机、塔机、桥机等 运输系统施工测量

11.3.1 缆机施工放样的精度应符合表 11.3.1 的规定。

表 11.3.1 缆机施工放样精度要求

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

11.3.2 缆机中心线的测设方法，可按精度要求，从 6.3 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。

11.3.3 缆机基础混凝土浇筑后，应以缆机中心线为基准，应按表 11.3.1 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。

11.3.4 缆机的高程控制，应采用四等水准测量。轨道水平测量可用 DS3 型水准仪和钢板尺或双面水准标尺进行。

11.3.5 塔机基础中心定位点相对于邻近控制点的高程测量限差为 $\pm 30\text{mm}$ 。

11.3.6 运输系统的基础和基座的高程应采用四等水准测量。

11.3.7 塔机、桥机轨道中心线间距和同岸缆机轨道中心线间距测量应使用经检定过的钢尺。两岸缆机中心线间距和两岸轨道中心线间距测量应使用满足精度要求的全站仪或光电测距仪。

11.4 围堰与钱堤施工测量

11.4.1 围堰、钱堤施工开始前应收集或实测施工区域内陆上和 水下地形图或断面图。

11.4.2 围堰、钱堤轴线的点位中误差应不大于 50mm。

11.4.3 围堰、钱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，为便于夜间施工，也可安装激光准直仪，用可见红光指示围堰和钱堤的轴线，以利进占（填筑）。

11.4.4 在钱堤进占过程中，应根据施工需要及时进行轴线桩号标注及高程测量。

11.4.5 在围堰填筑过程中，应及时测量各种填料分界线，并用明显标志加以区分。

11.4.6 围堰、钱堤的填筑放样，可用 GPS、全站仪或经纬仪定向、测高、皮尺量距进行，并定期施测填筑断面，计算工程量。

11.5 线路测量

11.5.1 线路施工测量包括：现场线路方案的勘定、控制网的加密测量、1:500、1:2000 带状地形图或纵、横断面图测绘、线路定线和放样测量、线路土石方计量和竣工验收测量。

11.5.2 线路施工测量的平面控制宜采用导线测量、全站仪坐标法和 GPS-RTK 等测量方法。

11.5.3 线路施工测量的高程控制宜采用水准测量和测距三角高程测量方法。

11.5.4 线路中线桩位测量应符合下列规定：

1 线路中线桩的间距测量，应根据不同的精度要求，选用全站仪、测距仪、钢带尺或其他测量方法。

2 线路中线桩间距可根据地形情况确定，直线段不宜小于 50m，曲线段不宜小于 20m。

3 线路中线桩高程测量，应布设成附合路线，闭合差应小于 $50\sqrt{L}\text{mm}$ 。

11.5.5 公路、铁路和管线，在施工过程中均应施测横断面图。施测精度应按 7.5.4 条中的收方断面要求执行。断面间距按地形变化不宜大于 20m，断面宽度测至设计线外 3~5m。

11.5.6 输电线路内无地形图资料时，应实测平断面图。当输电线路与其他线路交叉跨越时，应测定其交角、杆塔高、线高、路面高、轨道顶高及跨越河流、湖泊的宽度和洪水位。高度测定误差不应大于 100mm。

11.5.7 对输电线路的导线弧垂有影响的地段，应测量横断面，在导线架设时，进行弧垂放样。

11.5.8 桥梁三角网的等级应按桥梁长度确定：小于 200m 的桥布设五等三角网；200~500m 的桥布设四等三角网。远离施工区的桥梁，控制用 GPS 测量，也可布设独立专用控制网。

11.5.9 桥梁的高程控制，施测精度应不低于四等水准的要求。桥址两岸应各埋设不少于 2 个的水准点。

11.5.10 桥梁施工放样的技术要求，应符合表 11.5.10 的规定。

表 11.5.10 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

11.6 资 料 整 理

11.6.1 辅助工程施工阶段应整理下列资料：

- 1** 开工前的原始地形、断面资料。
- 2** 测量时所采用的控制测量数据。
- 3** 测量放样所依据的设计图纸。
- 4** 签收的放样单、验收单等质量记录。

11.6.2 辅助工程施工过程中应整理测量计算资料。

11.6.3 辅助工程施工完成后应整理竣工测量资料。

12 变 形 监 测

12.1 一 般 规 定

12.1.1 本章的规定适用于水利水电工程施工期和初始运营期的变形监测，内容包括：施工区的滑坡监测；高边坡开挖稳定性监测；围堰监测；建（构）筑物监测；基础稳定性监测；基础裂缝监测。

12.1.2 各项监测的监测点测量中误差，应符合表 12.1.2 的规定。

表 12.1.2 变形监测点测量中误差

观 测 项 目		监测点测量中误差		备 注
		平面 /mm	高程 /mm	
滑坡监测		± 5	± 5	相对于工作基础
高边坡稳定性监测	岩石边坡	± 3	± 5	相对于工作基点
	岩土混合或土质边坡	± 5	± 5	
围堰监测		± 5	± 10	相对于围堰轴线
建（构）筑物监测		根据相应的设计要求		相对于工作基点
基础稳定性监测		-	± 3	相对于工作基点
基础裂缝监测		± 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。				

12.1.3 组成变形监测网的基准点、工作基点，可利用施工测量控制网中符合变形监测等级要求的平面和高程控制点。当施工控制网点的数量、规格不满足监测要求时，应新建基准点、工作基点。

12.1.4 变形监测观测周期，宜每半个月观测 1 次，初期可增加观测频次，管理运行期可减少观测频次。观测频次可根据具体项目的施工特点和不同阶段进行调整。遇特殊情况（汛期、雨季、

地震、蓄水异常变化、特殊要求等) 应适当加密观测。首次应连续观测 2 次, 取其平均值作为初始值。

12.1.5 监测工作应先编写专业技术设计报告, 应按技术要求进行施工与观测作业。

12.1.6 每期观测结束后, 应及时处理观测数据, 编写监测报告。当监测结果出现下列情况之一时, 应及时通知建设单位和施工单位采取措施:

- 1 变形量达到预警值或接近允许值。
- 2 变形量出现异常变化或快速变化。

12.1.7 变形监测的基准网和工作基点网应每年定期复测 1 次, 复测路线、网形结构以及精度要求与建网时的要求一致。

12.2 变形监测基准网和工作基点网

12.2.1 变形监测网宜分基准网和工作基点网两级布设。根据监测内容分为水平位移监测基准网、工作基点网和垂直位移监测基准网、工作基点网。

12.2.2 水平位移监测基准网和工作基点网可采用 GPS 网、三角形网、导线网或视准线法等形式布设。水平位移监测基准网和工作基点网的主要技术要求应符合表 12.2.2 的规定。

表 12.2.2 水平位移监测基准网和工作基点网的主要技术要求

等级	平均边长 <i>L</i> /m	测角中误差 / (″)	最弱边相对 中误差	水平角观测测回数		
				0.5″级仪器	1″级仪器	2″级仪器
一等	300	0.7	≤1/300000	9	12	—
二等	400	1.0	≤1/200000	6	9	—
三等	450	1.8	≤1/100000	4	6	9
四等	600	2.5	≤1/80000	2	4	6
注 1: 水平位移监测基准网和工作基点网的点位中误差依据设计、监理或业主提出的技术要求规定执行。						
注 2: 平均边长小于表中的平均边长时, 其主要技术指标可以做相应的调整。						
注 3: GPS 水平位移监测基准网和工作基点网, 不受测角中误差和水平角观测测回数指标的限制。						

12.2.3 水平位移监测基准网和工作基点网的坐标系统应采用原施工坐标系统。

12.2.4 垂直位移监测基准网和工作基点网应布设成环形网，并采用水准测量方法观测。对地形复杂、高差起伏较大区域，可采用能满足相应精度要求的光电测距三角高程测量方法进行观测。

12.2.5 垂直位移监测基准网和工作基点网的高程系统应采用原施工高程系统。

12.2.6 基准点和部分工作基点构成基准网，工作基点和部分监测点构成工作基点网，构网时应保证网的精度符合相应等级要求，并应同时考虑网的可靠性和灵敏度指标。

12.3 选点与埋设

12.3.1 基准点的选点与埋设，应符合下列要求：

- 1 基准点应建立在变形区以外稳固的基岩上。
- 2 基准点应采用具有强制归心的混凝土观测墩。
- 3 垂直位移的基准点，至少应布设 1 组，每组不少于 3 个固定点。

12.3.2 工作基点的选点与埋设，应符合下列要求：

1 工作基点宜建立在变形区附近且便于对监测点进行观测的稳固基岩上，在土质和地质不稳定地区设置工作基点时应进行加固处理。对通视条件较好的小型工程，可不设立工作基点，在基准点上直接测定监测点。

2 工作基点宜建造具有强制归心的混凝土观测墩。

3 垂直位移的工作基点，至少布设 1 组，每组不少于 3 个固定点。

12.3.3 监测点的选点与埋设，应符合下列要求：

1 监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，宜能控制变形体的范围。

2 滑坡监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。凡人员能够接近的监测点，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，宜做到无人立标。

4 采用视准线法监测围堰变形，监测点偏离视准线的距离不应大于 20mm。垂直位移监测点宜与水平位移监测点合用。监测点的密度，应根据地形确定：险要地段 20~30m 布设 1 个监测点；一般地段 50~80m 布设 1 个监测点。

5 山体或建筑物裂缝监测点，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，监测点的埋设，应根据摄影站和被摄目标的远近，计算标志的大小，以使标志在相片上能获得清晰的影像。

12.4 监测方法的选择

12.4.1 变形监测方法宜按表 12.4.1 选用。可同时采用多种方法进行监测。

表 12.4.1 变形监测方法

类别	监 测 方 法
水平位移监测	三角形网、极坐标法、交会法、GPS 测量、正倒垂线法、视准线法、引张线法、激光准直法、精密测（量）距、伸缩仪法、多点位移计、倾斜仪等方法
垂直位移监测	水准测量、液体静力水准测量、光电测距三角高程测量等
三维位移监测	全站仪自动跟踪测量、GPS 技术、摄影测量、三维扫描技术等方法
监测体裂缝	精密测（量）距、伸缩仪、测缝计、位移计等
注 1：挠度观测以及应力、应变监测等按 SL 601《混凝土坝安全监测技术规范》或 DL/T 5178《混凝土坝安全监测技术规范》以及 SL 551《土石坝安全监测技术规范》的规定执行。	
注 2：使用三角形网、GPS、水准测量方法，进行变形监测，测量方法和精度指标应按相应等级依据本标准第三章和第四章相应要求进行。	

12.4.2 采用交会法、极坐标法的主要技术要求，应符合下列规定：

- 1 用交会法进行水平位移监测时，宜采用三点交会法。
- 2 用极坐标法进行水平位移监测时，宜采用双测站极坐标法。
- 3 交会法主要技术要求应符合表 12.4.2 的规定。

表 12.4.2 交会法技术要求

点位中 误差 /mm	方 法									
	测角交会法			测边交会法			边角交会法			
	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 / (°)
±3	±1.0 ±1.8	≤200	30~120 60~120	±2	≤500	70~110	±1.8 ±2.5	±2	≤500	40~140 60~120
±5	±1.8 ±2.5	≤250	40~140 60~120	±3	≤500	60~120	±2.5	±3	≤700	40~140
注：观测时，有多余观测。										

12.4.3 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 12.4.3 的规定。

表 12.4.3 视准线法技术要求

精度 要求 /mm	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 / (″)
±3	≤300	3	3.5	3.0	≤500	1.0	3.5	2.5
±5	≤500	3	5.0	4.0	≤600	1.8	4.5	3.0

12.4.4 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 GB/T 17942—2000 中的 6.1.2 条的要求进行检验校正。

12.4.5 当采用活动觇牌法进行监测时，监测精度应小于视准线长度的 1/100000。

12.4.6 当采用小角度法观测法进行监测时时，监测精度应按式 (12.4.6) 估算：

$$m_d = m_\beta L / \rho \quad (12.4.6)$$

式中 m_d ——位移中误差，mm；

m_β ——测角中误差，(″)；

L ——视准线长度，mm；

$\rho = 206265''$ 。

12.4.7 小角度法观测方向的垂直角大于 3° 时，观测过程中，气泡偏离中心位置不应超过 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。

12.4.8 用全站仪坐标法观测时，各测回均应后视起始方向，其技术要求应符合表 12.4.8 的规定。观测时读取温度、气压。

表 12.4.8 全站仪坐标法观测技术要求

精度要求 /mm	最大边长 /m	测距中误差 /mm	测角中误差 / (″)	测回数
±3	700	±2	±1	3
±5	1000	±3	±1	2

12.4.9 采用三维扫描技术进行监测时应符合下列主要技术要求：

1 在两个不同工作基点上设站，对同一监测体进行三维扫描测量。

2 按极坐标法方式进行设站，精度指标可按极坐标法要求进行。

12.4.10 垂直位移观测宜采用国家二等水准测量进行。对于只需采用三等、四等水准测量的监测项目，也可采用光电测距三角

高程测量方法进行观测。

12.4.11 引张线法的主要技术要求，应符合下列规定：

1 引张线两端，可设置倒垂线作为校核基准点，也可将校核基准点设置在两端山体的平洞内。

2 观测时测回较差不应超过 0.15mm。

12.4.12 正、倒垂线法的主要技术要求，应符合下列规定：

1 当正、倒垂线结合布置时，正、倒垂线宜在同一个观测墩上衔接。

2 测站应采用有强制对中装置的观测墩。

3 垂线观测可采用光学垂线坐标仪和遥测垂线坐标仪。

4 采用光学垂线坐标仪观测时，每次观测 2 测回，测回间应重新整置仪器，2 测回观测值之差不应大于 0.15mm。

5 采用遥测垂线坐标仪观测，观测前应进行灵敏度系数测定。

12.5 数据处理与变形分析

12.5.1 数据成果分析应包括下列内容：

1 起算数据的一致性。

2 评定观测精度。

3 分析观测成果是否符合正常变化规律。

4 对异常观测值和异常变化，应认真分析原因，辨别真伪。

5 重点部位应与其他观测资料综合分析。

6 寻找影响位移的相关因素。

12.5.2 各类数据记录、计算的取位应按相关的规定。记录、计算、成果均应进行检查。

12.5.3 使用计算机处理数据，其使用的软件应经审核批准。

12.6 资料整理

12.6.1 变形监测在每一期结束后，应及时对观测数据进行整理和分析，发现异常及时做预警汇报。

12.6.2 变形监测结束后，应提交下列有关资料：

- 1** 外业观测资料。
- 2** 平差计算成果。
- 3** 位移量计算，编制累计位移量一览表。
- 4** 变形监测成果统计表。
- 5** 监测点位置分布图、裂缝位置及观测点分布图。
- 6** 水平位移量分布图、等沉降曲线图（或沉降曲线图）。
- 7** 有关荷载、温度、水平位移量相关曲线图；荷载、时间、沉降量相关曲线图；位移（水平或垂直）速率、时间、位移量曲线图。
- 8** 变形监测报告。

13 竣 工 测 量

13.1 一 般 规 定

13.1.1 竣工测量应包括下列主要项目：

- 1 主要水工建筑物基础开挖建基面的 1 : 200 ~ 1 : 500 地形图或纵、横断面图。
- 2 建筑物过流部位或隐蔽部位形体测量。
- 3 建筑物的各种重要孔、洞的形体测量（如电梯井）。
- 4 金属结构与机电设备安装工程竣工测量。
- 5 根据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。施测精度不宜低于放样的精度。

13.1.3 竣工测量应采用下列作业方法。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。

- 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。

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，比例尺宜为 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。

13.2.3 对于高边坡部位的固定锚杆，宜根据需要测锚杆立面图或平面图。

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	宜为 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	3~5	径向						
	渐变段 斜坡段								
地下 大体积洞室		2~5	垂直洞中线	宜为 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:本表系一般规定,如遇到开挖截面突变时加测断面。

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、横断面图，其比例尺不应小于施工详图。

13.3.2 对于电梯井等井孔的竣工测量，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 2 层，应进行 1 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。

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)	± 15	± 10
	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 过流部位的形体测量，可采用光电测距极坐标法或用三维激光扫描的方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，水平段可稀疏，曲线段、斜坡段宜密。

13.4.4 竣工测量的成果，除了整理绘制成果表外，还应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 金属结构与机电设备安装工程竣工测量

13.5.1 金属结构与机电设备安装定位后，应由施工测量人员以安装基准点为依据，以不低于安装放样时的精度进行竣工验收测量。

13.5.2 金属结构与机电设备安装工程竣工测量主要包括：弧形门、人字门、平面闸门的主轨、反轨、侧轨；水轮发电机座环和里衬；压力钢管；门机、塔机、桥机轨道。

13.5.3 对弧形门、人字门、平面闸门的主轨和反轨，应测量底坎的水平度、门轨的垂直度及相对于安装轴线的偏差。

13.5.4 对水轮发电机座环和里衬应进行水平度和相对机组中心线的偏差进行测量。

13.5.5 压力钢管各接口中心相对于安装轴线和高程基点的允许偏差为 $\pm 10\text{mm}$ 。

13.5.6 对门机、塔机、桥机（天车）应测量其轨道的水平度、平行性和两轨间距。

13.6 资 料 整 理

13.6.1 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。

13.6.2 竣工地形图应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，应

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。

13.6.3 各项成果资料，应项目齐全，数据正确，图表清晰，符合质量要求。

13.6.4 整理竣工资料应包括下列内容：

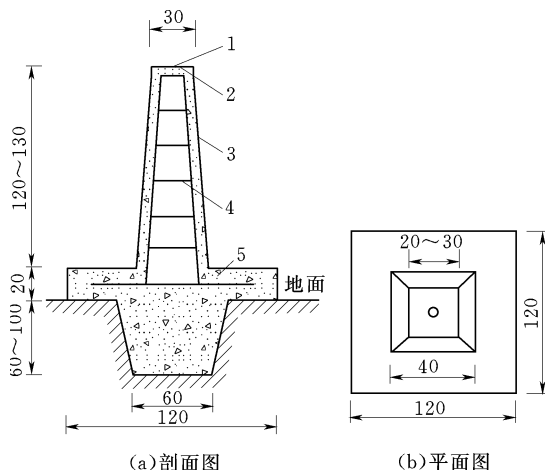
- 1 施工控制网原始观测手簿、概算及平差计算资料。
- 2 施工控制网布置图、控制点坐标及高程成果表。
- 3 竣工建基面地形图和纵、横断面图。
- 4 建筑物施测坐标、高程与设计坐标、高程比较表。
- 5 实测建筑物过流部位及其他主要部位的竣工测量成果（平面图、断面图和记录三维坐标的数据文件）。
- 6 施工期变形观测资料。
- 7 测量技术报告。
- 8 施工场地竣工地形图、平面图。

附录 A 平面控制点观测墩与标志

A.1 混凝土观测墩

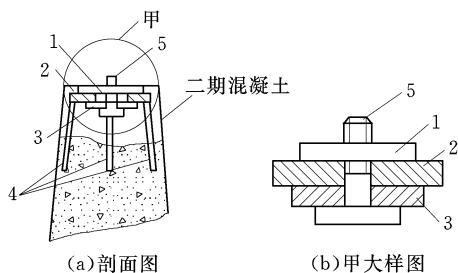
A.1.1 一般混凝土观测墩，见图 A.1.1。

A.1.2 可调整标心位置的混凝土观测墩的上部结构，见图 A.1.2。



1—标心；2—标盘；3—标身；4—钢筋；5—底座

图 A.1.1 混凝土观测墩 (单位: cm)



1—标盘；2—供调大孔环；3—卡环；4—钢筋；5—螺栓

图 A.1.2 混凝土观测墩上部结构

A.2 照准标志

A.2.1 照准标志的结构如图 A.2.1。

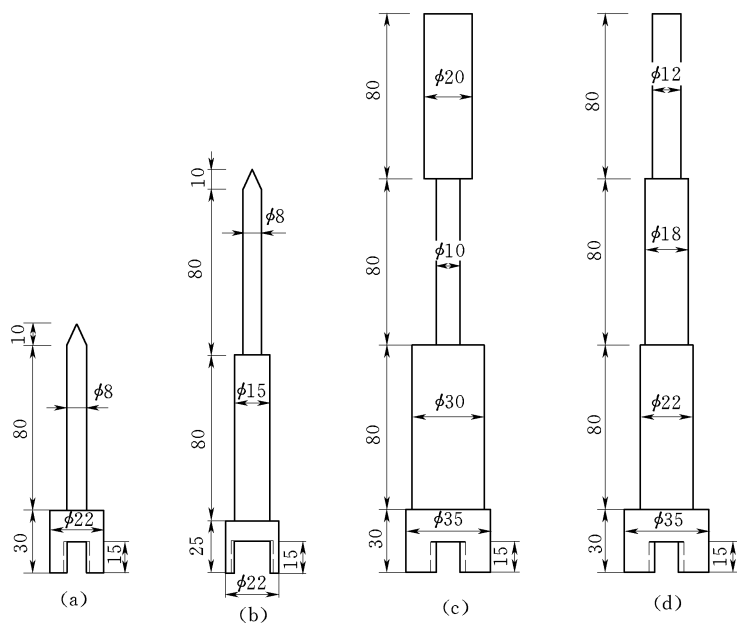


图 A.2.1 照准标志 (单位: mm)

A.2.2 照准标志与标心的连接应和使用的经纬仪配套。

附录 B 光电测距边长和高差的各项改正值计算公式

B.1 测距仪加乘常数改正值的计算

$$\Delta S_2 = a_j + b_j S \quad (\text{B.1})$$

式中 a_j ——由测距仪检定求得的加常数, mm;
 b_j ——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。

B.2 平距计算

B.2.1 用高差计算:

$$D = \sqrt{S'^2 - h^2} \quad (\text{B.2.1})$$

其中 $S' = S + \Delta S_1 + \Delta S_2$

B.2.2 用天顶距计算:

$$D = S' \sin Z - \frac{1-K}{4R} S'^2 \sin 2Z \quad (\text{B.2.2-1})$$

或

$$D = S' \sin(Z - f) \quad (\text{B.2.2-2})$$

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

式中 Z ——天顶距观测值, 度分秒;
 S' ——经气象、加、乘常数改正后的斜距, m;
 h ——测站与镜站之间的高差, m;
 D ——测站与镜站平均高程面上的平距, m;
 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 ——测区地球平均曲率半径, m。

B.3 测区平均高程面上边长的归算

B.3.1 测距边水平距离归算到测区平均高程面或规定的某一高程面上的长度按式 (B.3.1) 计算。

$$D_0 = D \left(1 + \frac{H_p - H_m}{R_A} \right) \quad (\text{B.3.1})$$

式中 D_0 ——归算到测区平均高程面或选定的某一高程面上的长度, m;

D ——测站与镜站平均高程面上的平距, m;

H_p ——测区平均高程或选定的某一高程, m;

H_m ——测距边两端点的平均高程, m;

R_A ——测距边所在法截线的曲率半径, m。

B.3.2 测距边水平距离归算到参考椭球面上的长度按式 (B.3.2) 计算:

$$D_1 = D \left(1 - \frac{H_m + h_m}{R_A + H_m + h_m} \right) \quad (\text{B.3.2})$$

式中 D_1 ——归算到参考椭球面上的长度, m;

h_m ——测区大地水准面高出参考椭球面的高差, m。

B.3.3 参考椭球面上的长度投影到高斯平面上的长度按式 (B.3.3) 计算:

$$D_2 = D_1 \left(1 + \frac{y_m^2}{2R_m^2} + \frac{\Delta y^2}{24R_m^2} \right) \quad (\text{B.3.3})$$

式中 D_2 ——高斯平面上的边长, m;

y_m ——测距边两端点横坐标平均值, m;

Δy ——测距边两端点横坐标之差, m;

R_m ——参考椭球面上测距边中点的平均曲率半径, m。

B.4 地球曲率和大气折光 对高差的改正计算

$$\Delta h = (1 - K) \frac{D^2}{2R} \quad (\text{B.4})$$

附录 C 高程控制点标志及标石埋设规格

C.0.1 金属水准标志，见图 C.0.1。

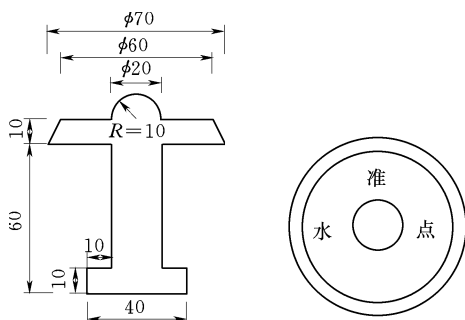
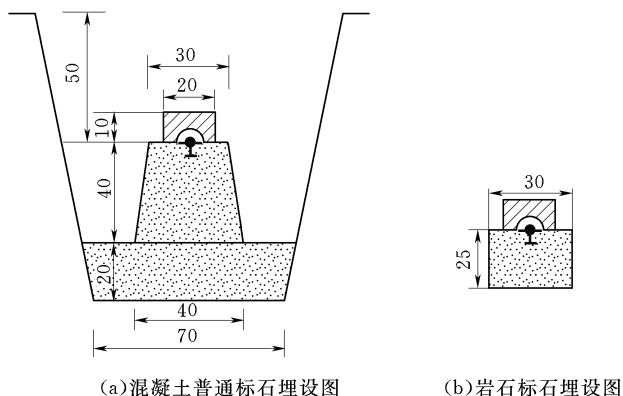


图 C.0.1 金属水准标志 (单位: mm)

C.0.2 水准标志埋设图，见图 C.0.2。



(a)混凝土普通标石埋设图

(b)岩石标石埋设图

注：冻土地区的标型和埋设深度按 GB/T 12898 的规定执行。

图 C.0.2 水准标石埋设图 (单位: cm)

附录 D 测量仪器高、棱镜（觇牌） 高的精密方法

D.0.1 应事先量取仪器的水平轴（或棱镜和觇牌中心）至上部基座面的固定长度，用游标卡尺或钢板尺精确测定。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。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 $\pm 1\text{mm}$ 内。

D.0.2 如图 D.0.2 将经纬仪置于 A 点，水准尺立于 B 点（A、B 两点高程差用相应等级水准测得），读出在仪器水平视线时的水准尺整分划读数，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 D ，则仪器水平轴至 B 点的高差 Δh 为

$$\Delta h = l_1 - D \tan \beta \quad (\text{D.0.2-1})$$

设 A 点的仪器高（即水平轴之高程）为 I_A ，则：

$$I_A = h_{AB} + \Delta h \quad (\text{D.0.2-2})$$

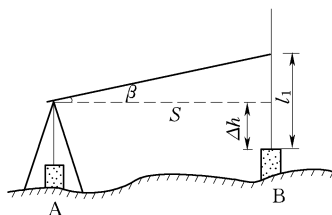


图 D.0.2 测量仪器高的示意图

附录 E 平面放样方法精度估算公式

E.1 极坐标法

E.1.1 如图 E.1.1 所示, 采用极坐标法进行平面放样的精度估算公式如下:

$$M_P^2 = m_X^2 + m_Y^2 \quad (\text{E.1.1-1})$$

$$m_X = \pm \sqrt{m_c^2 + m_b^2 \cos^2 \beta + \left(\frac{m_\beta}{\rho} b \right)^2 \sin^2 \beta} \quad (\text{E.1.1-2})$$

$$m_Y = \pm \sqrt{m_b^2 \sin^2 \beta + \left(\frac{m_\beta}{\rho} b \right)^2 \cos^2 \beta} \quad (\text{E.1.1-3})$$

当 $\beta=90^\circ$ 时, 代入式 (E.1.1-2)、式 (E.1.1-3) 即为直角坐标的精度估算公式 (E.1-4):

$$M_P = \pm \sqrt{m_b^2 + m_c^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho} b \right)^2} \quad (\text{E.1.1-4})$$

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;

$\rho=206265''$ 。

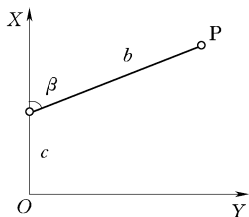


图 E.1.1 极坐标法示意图

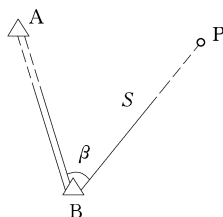


图 E.1.2 光电测距极坐标法示意图

E. 1.2 如图 E. 1. 2 所示, 采用光电测距极坐标法进行平面放样的精度估算公式见式 (E. 1. 2):

$$M_p = \pm \sqrt{m_s^2 \cos^2 \alpha + \left(\frac{S m_\beta}{\rho} \right)^2} \quad (\text{E. 1. 2})$$

式中 S ——斜边长;
 α ——垂直角;
 m_s ——测距中误差。

E. 2 轴线交会法

$$M_{yp} = \pm \frac{1}{\sqrt{2}} S_{MP} \frac{m_\beta}{\rho \sin \beta} \quad (\text{E. 2})$$

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 ——夹角 β_1 、 β_2 的平均值。

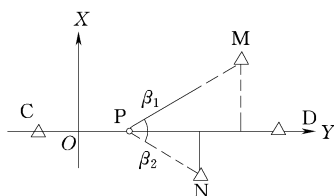


图 E. 2 轴线交会法示意图

E. 3 两点角度前方交会

$$M_p = \pm \frac{m_\beta}{\rho} S_d \sqrt{\frac{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2}{\sin^2 \gamma}} = \pm \frac{m_\beta}{\rho} \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{\sin \gamma} \quad (\text{E. 3})$$

式中 S_d ——基线长度;

a 、 b ——交会边边长。

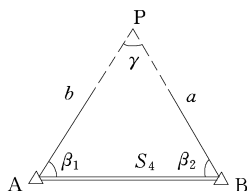


图 E.3 两点角度前方交会示意图

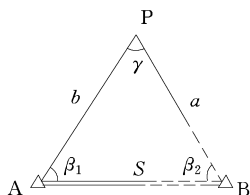


图 E.4 测角侧方交会示意图

E.4 测角侧方交会法

$$M_p = \pm \frac{m_\beta S}{\rho} \sqrt{\frac{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \gamma}{\sin^2 \beta_2}} = \pm \frac{m_\beta \sqrt{a^2 + S^2}}{\rho \sin \gamma} \quad (\text{E.4})$$

E.5 单三角形法

$$\begin{aligned} M_p &= \pm \frac{m_\beta}{\rho} S \sqrt{\frac{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2 + \sin^2 \gamma}{3 \sin^4 \beta_2}} \\ &= \pm \frac{m_\beta}{\rho \sin \gamma} \sqrt{\frac{1}{3} (a^2 + b^2 + S^2)} \end{aligned} \quad (\text{E.5})$$

E.6 测角后方交会法

$$M_p = \pm \frac{m_\beta b_2}{\rho \sin(\beta_1 + \beta_2)} \sqrt{\frac{b_1^2}{S_1^2} + \frac{b_3^2}{S_2^2}} \quad (\text{E.6})$$

E.7 三点测角前方交会法

$$M_p = \pm \frac{m}{2\rho} \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{\sin^2(\beta_2 + \beta_1)} + \frac{b^2 + c^2}{\sin^2(\beta_3 + \beta_4)}} \quad (\text{E. 7})$$

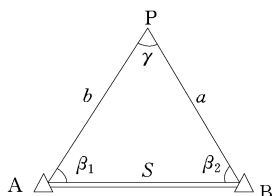


图 E.5 单三角形示意图

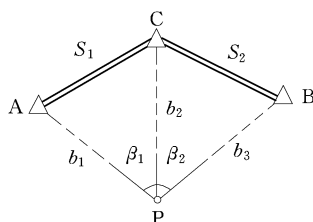


图 E.6 测角后方交会示意图

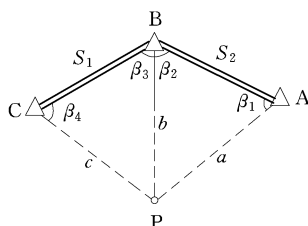


图 E.7 三点测角前方交会示意图

E.8 测边交会法

$$M_p = \pm \frac{\sqrt{2} m_s}{\sin \gamma} \quad (\text{E. 8})$$

式中 m_s ——边长丈量中误差。

E.9 边角交会法

E.9.1 边角交会法之一，如图 E.9.1 所示：

$$M_p = \pm m_s \sqrt{\frac{S_2^2 + 2K - 2K \cos \gamma}{K(1 - \cos \gamma)^2}} \quad (\text{E. 9.1})$$

E.9.2 边角交会法之二，如图 E.9.2 所示：

$$M_P = \pm m_S \sqrt{\frac{2S^2 + 2K - 2K\cos\gamma}{S^2\sin^2\gamma + 2K(1 - \cos\gamma)^2}} \quad (\text{E. 9. 2})$$

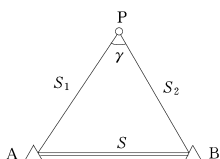


图 E. 8 测边交会法示意图

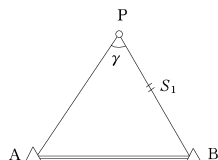


图 E. 9. 1 边角交会法之一示意图

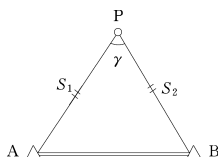


图 E. 9. 2 边角交会法之二示意图

E. 9. 3 边角交会法之三，如图 E. 9. 3 所示：

$$M_P = \pm m_S \sqrt{\frac{S^4 + 2KS^2}{KS^2\cos^2\gamma + KS^2 + K^2\sin^2\gamma}} \quad (\text{E. 9. 3})$$

E. 9. 4 边角交会法之四，如图 E. 9. 4 所示：

$$M_P = \pm m_S \sqrt{\frac{2S^4 + 2KS^2}{S^4\sin^2\gamma + 2KS^2(1 + \cos^2\gamma) + K^2\sin^2\gamma}} \quad (\text{E. 9. 4})$$

在上列图形中，均设 $S_1 = S_2$ 。

$K = m_S^2 \rho^2 / m_B^2$ (m_S 、 m_B 分别为测边和测角中误差)

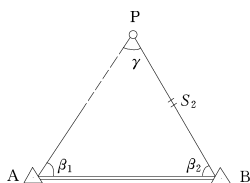


图 E. 9. 3
边角交会法之三示意图

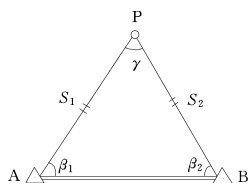


图 E. 9. 4
边角交会法之四示意图

附录 F 平面位置放样操作方法的规定

F.0.1 采用角度前方交会法进行放样应按下列程序进行操作：

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。

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）。

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 F.0.1 条 2 款差数改正）与计算值之差数，检查后视方向的正确性。

4 顺时针将照准部转至前视方向所需（经 F.0.1 条 2 款差数改正后）的度盘位置，然后指挥定点人员进行定点。

5 再顺时针旋转照准部，照准后视方向点，以检查归零差。

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 F.0.1 条 4 款、5 款操作，即完成前方交会一测回定点程序。

F.0.2 采用极坐标法进行放样应按下列程序进行操作：

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。

2 沿待定点方向线丈量或测设测站点至待定点的距离。

F.0.3 采用轴线交会法进行放样应按下列程序进行操作：

1 如图 F.0.3 所示，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 F.0.4、F.0.5 的正、倒镜投点法。

2 再在 P' 点架设仪器，根据要求的测回数测定 α_1 、 α_2

角值。

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。

F.0.4 采用正、倒镜投点（中间投点）法之一进行放样应按下列程序进行操作：

1 如图 F.0.4 (a) 所示，将仪器大致置于已知直线 AB 上，并概略整平。

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 。

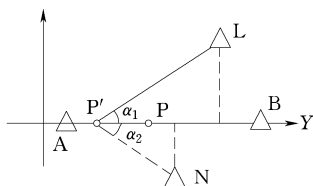
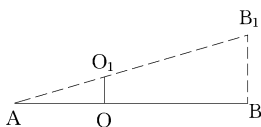
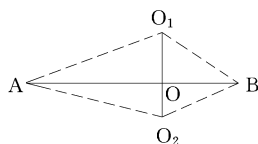


图 F.0.3 轴线交会法示意图



(a) 正倒镜投点法之一



(b) 正倒镜投点法之二

图 F.0.4 正倒镜投点法示意图

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 F.0.4 条 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。

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 F.0.4 条 2 款、3 款操作步骤，直至十字丝交点与近端点 B 重合为止。

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。

F.0.5 采用正、倒镜投点（中间投点）法之二进行放样应按下

列程序进行操作：

- 1 如图 F.0.4 (b) 所示，同 F.0.4 条 1 款。
- 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。
- 3 同 F.0.4 条 3 款。
- 4 同 F.0.4 条 4 款，得正镜投点。
- 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 F.0.5 条 4 款得到倒镜投点。
- 6 取正、倒镜投点的平均位置，即为所求投点。

附录 G 钢带尺放样中的计算

G.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

$$L = l + \Delta l + \alpha l(t - t_0) \quad (\text{G.0.1-1})$$

则丈量一段距离 L_1 时的计算式为

$$L_1 = l_1 + \frac{\Delta l}{l} l_1 + \alpha_s l_1(t - t_0) - \Delta l_h \quad (\text{G.0.1-2})$$

放样一段距离 L_2 时钢带尺上应读取的长度值 l_2 的计算式为:

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

即

$$l_2 = \frac{L_2 + \Delta l_h}{1 + \frac{\Delta l}{l} + \alpha_s(t - t_0)} \quad (\text{G.0.1-3})$$

式中 L_2 ——要求放样的距离, m;

l ——钢带尺的名义长度, m;

Δl ——钢带尺的尺长改正数, m;

α_s ——钢带尺的膨胀系数;

t ——丈量或放样距离时的温度, °C;

t_0 ——检查钢带尺时的温度, °C;

Δl_h ——倾斜改正数, m。

G.0.2 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 。

G.0.3 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 H 用钢带尺精密传递 高程计算公式

$$H_B = H_A + (a_h - b_l) - (V_1 - V_2) + \Delta t + \Delta l + \Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3 \quad (\text{H} - 1)$$

$$\Delta t = (t - t_0) \alpha_s L \quad (\text{H} - 2)$$

$$\Delta l_1 = \frac{\gamma L^2}{2E} \quad (\text{H} - 3)$$

$$\Delta l_2 = \frac{L(Q - Q_0)}{A_c E} \quad (\text{H} - 4)$$

$$\Delta l_3 = \frac{W^2 L^3}{24 Q_0^2} \quad (\text{H} - 5)$$

$$L = V_1 - V_2 \quad (\text{H} - 6)$$

式中 H_A ——已知点高程, m;
 H_B ——待求点高程, m;
 a_h ——高处水准仪对 A 标尺的读数, m;
 b_l ——低处水准仪对 B 标尺的读数, m;
 V_1 ——高处水准仪钢尺的读数, m;
 V_2 ——低处水准仪对钢尺的读数, m;
 Δt ——温度改正数, m;
 Δl ——尺长改正数, mm;
 Δl_1 ——钢带尺自重伸长改正数, mm;
 Δl_2 ——钢带尺加重伸长改正数, mm;
 Δl_3 ——垂曲改正数 (钢带尺检验为悬链状态), mm;
 t_0 ——检定钢尺时的温度, °C;
 γ ——钢的密度, 取 7.8g/cm³;
 E ——钢的弹性模量, 取 2×10^{11} N/m²;

A_c ——钢带尺的横截面积, m^2 ;
 Q ——传递高程时钢尺下端挂锤重量, kg ;
 Q_0 ——钢带尺检验时的拉力, kg ;
 W ——钢带尺每米重量, kg ;
 α_s ——钢带尺的膨胀系数。

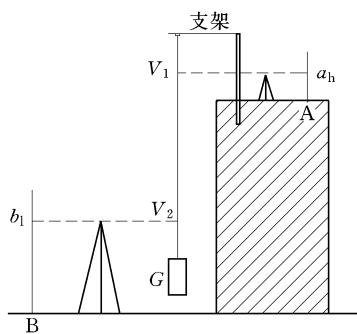


图 H-1 用钢带尺传递高程示意图

附录 I 地下工程导线贯通 误差估算示例

I.0.1 按一定比例尺绘制导线平面布置图及投影关系图，如图 I.0.1-1 和图 I.0.1-2 所示。

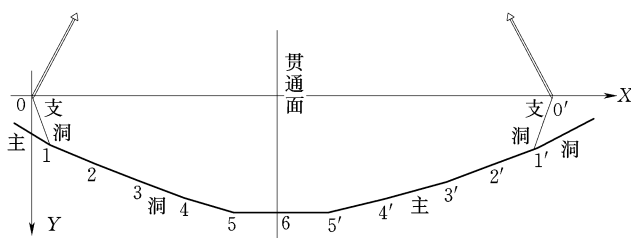


图 I.0.1-1 两端导线平面布置图

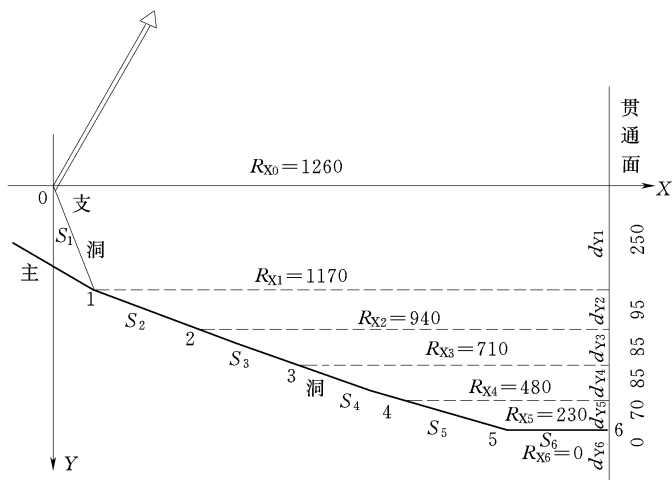


图 I.0.1-2 一端开挖导线至贯通面的投影
(曲线隧洞) 关系略图

I. 0. 2 在图上量取 R_{Xi} 、 d_{Yi} ，列于表 I. 0. 2。

表 I. 0. 2

单位：m

点号	0	1	2	3	4	5	6	5'	4'	3'	2'	1'	0'
R_{Xi}	1260	1170	940	710	480	230	0	260	550	870	1110	1330	1420
d_{Yi}	250	95	85	85	70	0	0	70	90	90	80	260	

I. 0. 3 可按下式计算 $m_{Y\beta}$ 、 m_{YL} 和 M_Y 。

$$m_{Y\beta} = \pm \frac{m_{\beta}}{\rho''} \sqrt{\sum R_{Xi}^2} \quad (\text{I. 0. 3 - 1})$$

$$m_{YL} = \pm \frac{m_L}{L} \sqrt{\sum d_{Yi}^2} \quad (\text{I. 0. 3 - 2})$$

$$M_Y = \pm \sqrt{\frac{m_{Y\beta}^2 + m_{YL}^2}{n_g}} \quad (\text{I. 0. 3 - 3})$$

设 $\frac{m_L}{L} = \frac{1}{40000}$ ， $m_{\beta} = \pm 2.5''$ ，当采用两端开挖方案时，由表

I. 0. 2 计算出 $\sum R_{Xi}^2 = 10771900$ ， $\sum d_{Yi}^2 = 185975$ 。

则 $m_{Y\beta} = \pm 0.0398\text{m}$ ； $m_{YL} = \pm 0.0108\text{m}$ ； $M_Y = \pm 0.0292\text{m}$ 。

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

m_{β} ——测角中误差，(″)；

ρ ——206265″；

R_{Xi} ——导线点至贯通面的距离，m；

m_{YL} ——由于测边中误差所产生的在贯通面上的横向中误差，m；

$\frac{m_L}{L}$ ——导线边相对中误差；

d_{Yi} ——导线边在贯通面上的投影长度，m；

M_Y ——洞内导线测量在贯通面上所产生的总的横向中误差，m；

n_g ——导线组数。

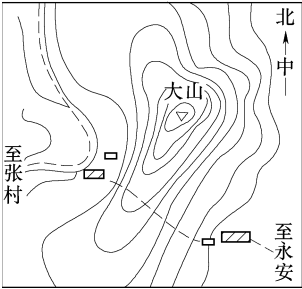
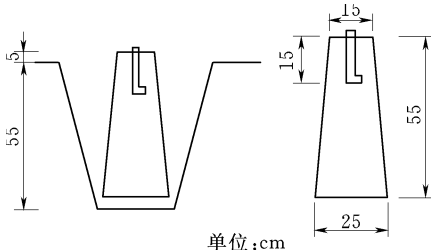
附录 J 平面控制测量点之记

J.1 平面控制点之记绘制

J.1.1 每个平面控制点绘制一页点之记，点之记格式示例见表 J.1.1。

表 J.1.1 平面控制点点之记

测区

点名 点号		大 山		所在地	省（自治区、直辖市） 县（市、区）乡 村			
位置 略图	至山城			本点至 有关点 方向	点名	等级	距离 /km	磁方位角 /（°）
					尖 山	五	4.5	35
					张家湾	五	5.0	47
					五 岭	四	7.0	120
					羊 山	四	7.5	180
					李 岗	三	7.3	263
标石 类型	五等混凝土 标 石	最近水源	本点西南 140m 王庄村有水					
		砂子	本点西 200m 沟中有砂					
		石子	本点东南 20m 矿洞口旁有碎石					
实埋 标石 断面 图					选点	姓名	李勇	
						时间		
					埋标	姓名	张雄	
						时间		
附注	说明是否选在旧标点上，原点为何机关所设，是否需要重新埋石							

J.1.2 测区宜填写工程名称，标石断面图应按埋设的实际尺寸填绘。

J.2 GPS 控制点之记绘制

J.2.1 每个 GPS 控制点绘制一页点之记，GPS 点点之记格式见表 J.2.1。

表 J.2.1 GPS 控制点点之记

网名： 填表日期： 年 月 日

点名：	点号：	等级：	图幅号：
概略位置： $B=$ $L=$ $H=$			
所在地区：		委托保管人：	
最近住所：		通信设施：	
最近水源：		电源情况：	
地类：		石子来源：	
交通线路图		本点交通情况	
点位略图		点位说明	
埋石断面图		接收机天线计划安排位置	
选理单位：		选点者：	埋石者：

J.2.2 网名宜填写工程名称，标石断面图应按埋设的实际尺寸填绘。

标准用词说明

标准用词	严格程度
必须	很严格，非这样做不可
严禁	
应	严格，在正常情况下均应这样做
不应、不得	
宜	允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做
不宜	
可	有选择，在一定条件下可以这样做

标准历次版本编写者信息

SDJ 59—85

主 编 单 位：水利水电长江葛洲坝工程局

副主编单位：水电部第一工程局

水电部第四工程局

参 编 单 位：水电部第十四工程局

水电部第十二工程局

水电部第十三工程局

水电部第六工程局

水电部第九工程局

水电部第七工程局

水电部第三工程局

主要起草人：冯美忍 陈宗佩 荣燮阳 周寿彭

金本斌 韩效华 杨开发 刘 伟

朱顺全 朱永岭 杜宏宽 李翹楚

林国发 刘庆光 熊传骐

SL 52—93

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

中华人民共和国水利行业标准

水利水电工程施工测量规范

SL 52—2015

条 文 说 明

目 次

1	总则	133
3	平面控制测量	134
4	高程控制测量	136
5	地形测量	137
6	水工建筑物施工放样准备与方法	140
7	水工建筑物开挖、填筑工程测量	142
8	金属结构与机电设备安装测量	144
9	地下工程测量	145
10	疏浚及渠堤施工测量	147
11	辅助工程测量	149
12	变形监测	150
13	竣工测量	152

1 总 则

1.0.1 SL 52—93《水利水电工程施工测量规范》颁布以来，随着测绘技术的迅速发展，测绘仪器的不断更新，新的测绘技术和测绘手段不断成熟完善并在生产中广泛应用，SL 52—93 已不适应实际工作的需要，需对其进行修订。

1.0.4 精度评定的标准通常有下列三种：

- (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关系：

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

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

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

即以上三种标准，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，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 2 倍中误差的偶然误差出现的可能性约 5%；大于 3 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，本标准取中误差的 2 倍作为极限误差。

1.0.7 制定本条旨在满足本标准提出的精度要求的前提下，推广、应用新技术。

3 平面控制测量

3.1.1 三角形网是指由一系列相连的三角形组成的控制网，一般布设成边角网。导线网以单导线和支导线为主。

3.1.3 为防止控制网加密梯级过多，对末级网的点位中误差作出限制。

3.1.8 平面控制网多用于工程施工使用，起算点以勘测设计阶段布设的最高级网点为起算，布设等级可按工程项目大小而定。水利水电工程的施工区范围较小，不做高斯投影和方向改化，仅将边长归算到施工高程面上用于计算。

3.3.2 对于特殊工程条件下，竖井、斜井以及隧洞等的坐标传递，一般在进出洞口以及隧洞内转折处对角度和边长的限制可以放宽，以满足工程要求为主。

3.5.2 水平角观测一测回是指：

(1) 将仪器照准零方向标志，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 2 次，各读数 1 次）。（五等三角测量可只照准读数 1 次）。

(2) 顺时针方向旋转照准部，精确照准第 2 方向标志，应按（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。

(3) 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，应按（2）款方法进行读数。

(4) 逆时针方向旋转照准部，应按上半测回观测的相反次序依次观测至零方向。

3.5.3 随着 k 值的递增，式中第二项的值会达到度或大于 1 度，则舍去“度”值，只取该项的“分”值，当此项为整度时则取 0 分。

3.6.4 对各种型号的测距仪其气象参考点以及红外波的波长都

不同，故规定测距边的气象改正要按仪器说明书给出的公式计算，斜距进行改正以后才能参与计算。

3.7.2 GPS 相邻点的弦长精度公式中的固定误差 a 和比例误差 b ，采用 GPS 接收机厂家给出的精度公式中的 a 、 b 的含义和数值。

3.7.5 采用高程拟合曲面的方法求得其他 GPS 网点高程，要使得求点在已知高程点的覆盖范围以内。

3.7.10 为检验无约束平差的基线观测是否包含粗差和减少弃真概率，取 3 倍中误差作为限值是适当的。

3.8.3 三角形网和导线网宜根据先验方差定权，二等以上用方差分量定权，并符合式 (1) 和式 (2) 的要求。

$$\begin{array}{ll} \text{令} & P_{\beta} = 1 \\ \text{则} & P_s = m_{\beta}^2 / m_s^2 \end{array} \quad (1)$$

$$\begin{array}{ll} \text{或令} & P_i = 1 \\ \text{则} & P_s = m_i^2 / m_s^2 \end{array} \quad (2)$$

式中 m_{β} ——测角中误差，(″)；
 m_i ——方向中误差，(″)；
 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。

4 高程控制测量

4.1.1 为满足施工区域施工测量、放样及竣工测量的需要，首级高程控制网一般确定在二等、三等、四等间选用，对于五等高程控制网，一般适用于局部区域的土石建筑物的测量和放样需要。

4.1.2 对于不适宜采用几何水准施测的高差起伏较大的山区，一般使用光电测距三角高程测量方法代替相应精度等级水准测量，而不宜采用 GPS 拟合高程测量。GPS 拟合高程测量适用于无法开展几何水准的地形起伏不大的平原和丘陵地带。

4.6.2 GPS 拟合高程测量，近几年发展很快，而且在工程项目中有很大的应用。但从工程测量的角度看，GPS 高程测量受局限的地方很多。拟合高程所达到的精度有高有低，不尽相同，而且水利水电施工现场，环境比较复杂，需谨慎使用，使用过程中严格按 4.6.1~4.6.4 条的要求执行。

5 地形测量

本章原为“施工场地地形测量”，随着目前水利水电工程的发展趋向于大型化和多样化，局限于施工场地的地形测量的规范已不能满足于施工的需求，随着测量仪器和测量技术的不断进步，需要拓宽地形测量方面的规范，因此，改为“地形测量”。

5.1.1~5.1.4 对施工阶段地形测量的适用范围、测图比例尺的选用范围、坐标系统的要求及地形图的类别划分和基本等高距进行规定。

地形类别的划分是根据工程建设用地对地面坡度的要求和用图的实际情况确定的。地形图比例尺的选用根据用图的特点、细致程度、设计内容和地形的复杂程度等因素进行考虑。除建基面验收时，要求测绘 1:200 比例尺外，大中型水利水电工程宜采用 1:500 为施工用图的基本比例尺；特大型水利水电工程宜选择 1:1000 为基本比例尺。而 1:2000 比例尺多用于线路测量、工程项目的初步设计等。

5.1.5 地形图对高程精度的要求很大程度上体现在对基本等高距的选择上。

5.1.6 本条针对外业纸质地形图的绘制。

5.2.1 本条规定是从图解精度来考虑的。因为人眼的分辨率为 0.1mm，同时图根点最大点位误差不会超过 $\pm 50\text{mm}$ ，也就相当于 1:500 地形图上的 0.1mm 值。

5.2.2 图根点密度是根据测图比例尺、测距最大长度、测图时有后视方向、检查方向和测区的地形情况等综合因素确定的。地面激光扫描测图的图根点密度参考了测距仪和全站仪测图。实际工作中还要考虑测区的具体情况，主要是地物的遮挡情况而定。

5.2.3 图根点平面控制测量的 GPS 测量方法包括：快速静态方法、GPS-RTK 方法、连续运行参考站 CORS 系统等。

5.4.1 本条根据目前多数施工测量部门的实际作业情况列出地形测量的方法和作业手段。

5.4.4 地面摄影测量技术是未来的发展趋势，它能有效提高生产效率，降低劳动强度和生产成本。

5.4.5 随着三维地面激光扫描仪的出现，在水利水电工程测绘中的应用已成趋势。其方便快捷的测量手段，提高了测图效率，减轻了劳动强度。同时扫描技术在水利水电工程的峡谷地段、测量工作者难以达到的区域具有较大的优势。但由于目前该技术的应用还处于初级阶段，本节关于地面激光扫描测图的规定可能不完善，具体作业中可参照执行。

5.5.1~5.5.4 水下地形测量需要说明的几点是：

(1) 水下地形测量可根据环境情况、安全措施、水流及季节的不同而采用相应的作业手段和方式，作业人员要了解各种探测工具的适应范围和所能达到的精度，便于正确选择。

一般情况下测深范围：测深杆0~5m，测深锤0~10m（作业特殊困难区域0~20m），测深仪1m以上。水下地形复杂或流速较快的水域一般不选用测深杆、测深锤等传统测深设备。较大面积水域测量推荐使用自动化模式。

(2) 测深点的密度是根据地形变化确定的，但由于水下地形点是肉眼看不到的，因此按陆地上的规定为图上1~3cm/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，在上述部位要适当加密。

(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 $m = \pm (0.087 \sim 0.1) \text{ m}$ 。

取该值的 2 倍作为限制，即为规定的测深中误差。

(4) 关于平面位置中误差的规定。

影像平面位置精度有两个误差因素：

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再同一位置，因此此规定比陆地测量的同类误差放宽了 2~3 倍。

5.6.1~5.6.8 对于纸质地形图数字化的作业过程中，定向误差主要包括原图的综合误差和数字化时的综合误差。其定向点的选择是具有理论坐标值的点位，其数量根据原图检查情况合理决定。当定向检查点与理论值的差值较大时，要分析原因并适当增加图纸定向点，分区定向。

数字化作业过程中和结束时，对图纸定向点的检查是十分必要的，可有效地防止数据采集过程中因图纸（图像）移位而发生差错。

图幅接边是数字化作业的必要环节。对于纸质地形图数字化的检查方法一般采用检查图与原图套合的方法进行。其误差来源考虑了图形输出误差 0.15mm，采点的点位误差 0.1mm，线状符号误差 0.2mm。故检查图与原图比较，点状符号及明显地物点的偏差一般不大于图上 0.2mm，线状符号的误差一般不大于图上 0.3mm。

6 水工建筑物施工放样准备与方法

6.1.1 任何测量工作开始之前，都要收集有关资料，施工放样工作也不例外。

6.1.2 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，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，因此做出本条规定。

6.1.3 本条规定测量放样应按正式设计图纸和文件进行。口头通知放样或使用未经批准的图纸进行放样，削弱了测量工作的严肃性和可追溯性。

6.1.4 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。

6.1.5 多数大中型工程首级控制往往在施工进场前已完成，但测量标志是否完好、资料是否可靠、控制点密度是否满足放样要求，需现场验证。

6.2.3 本条强调放样手簿记录中应注意的事项，是确保测量资料完整的重要一环，同时规范记录内容，纠正随意记录或无记录现象。

6.2.4 制定测量放样方案有助于规范测量行为，保证测量工作顺利进行。

6.3.3~6.3.12 规定各种放样方法的技术规格。

6.3.13 目前应用 RTK 方法进行测量放样仍处于积累经验的阶段。本条规定使用 RTK 测量技术要求，是根据 GB 50026《工程测量规范》和 CH/T 2009《全球定位系统实时动态测量（RTK）技术规范》规定摘要综合而成。

6.4.2 表 6.4.2 规定 RTK 高程放样技术要求。使用 RTK 高程放样只限于开挖、建筑物的轮廓点放样测量，且放样点的点位高程中误差在 $\pm 100\text{mm}$ 以上，这样有助于放样时容易达到精度要求，

且规定放样测量结束后，使用别的方法进行校核检查，以保证放样测量成果满足精度要求。

6.5.1 本标准鼓励经常对测量放样仪器进行自检和校正，如全站仪、经纬仪的指标差 ($2C$) 三轴误差及对中偏差、水准仪的 i 角等项目的检校。

6.5.2 使用有关测量工具进行必要的检验（如钢带尺、水准尺、塔尺、垂球、温度计和对中杆等），使其误差与测量精度相一致。

7 水工建筑物开挖、填筑工程测量

7.1.1 本条规定了开挖、填筑工程测量的具体内容。

7.1.3 规定放样测量作业结束后应及时对放样点进行检查，确保放样质量。

7.2.1 规定不同材料开挖轮廓点的平面位置和高程中误差是有区别的，这符合工程招投标需要及为工程结算提供依据。

7.2.4 规定开挖部位接近竣工测量处理方法，为验收提供依据。

7.2.5 规定地质缺陷处测量处理方法，为地质缺陷处理工程量的依据。

7.3.1 本条按建筑材料规定建筑场立模、填筑轮廓点的点位中误差，不仅规范施工要求，还为工程验收提供依据。

7.3.4 本条规定建筑物廓放样点与设计线的距离，方便施工、质量检查、确保测量人员和仪器设备的安全。

7.3.5 叙述了适用于立模、填筑细部放样的各种方法。各种方法都要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。

7.3.9 为特殊部位的模板架设后进行检查提供依据。将施工允许偏差的 $1/2$ 作为测量限差。

7.4.1~7.4.6 防止粗差、减少误差出现，保证放样点精度达到设计要求。立模填筑放样点不同于开挖放样点，一旦有错，将会造成严重后果，这里强调了各种检核，显然是十分必要的。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。

7.5.2~7.5.5 为保证断面精度而对断面测量点位、比例尺等做统一规定。

7.5.9 实测的各种填料分界线是精准计算各种填料收方量的保证，也是招标工程计算工程量的基本要求。

7.5.10 解析法计算面积也可根据需要选用下列公式:

$$P = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1}) \quad (3)$$

或

$$P = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n y_i (x_{i-1} - x_{i+1}) \quad (4)$$

7.5.11 建设单位、监理和承包商都非常重视工程量的测量,为此,本条对工程量计算做了一些规定,有助于统一测量、测量方法和最后工程量确定成为有据可依。对同一区域的工程量进行2次独立测量计算结果的比较、认定的统一标准已得到众多建设单位、监理、承包商的认可。

7.5.12 由于目前实行承包制,建设单位、承包商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。

7.6.1、7.6.2 规定测量资料整理归档内容项。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做法,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。

7.6.3 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。

8 金属结构与机电设备安装测量

8.1.1 本条规定了金属结构与机电设备安装测量的基本内容。

8.1.2 安装专用控制网、轴线点与高程基点精度是整个安装过程顺利进行的重要保证，本条特规定对控制网、轴线点与高程基点应加以保护。

8.1.3 对测点高程中误差为 $\pm (10 \sim 15)$ mm 的一般安装点高程测量，使用 DS3 型的水准仪测量也能满足其精度要求，本条 1 款“应使用精度不低于 DS1 型的水准仪……”改为“应使用精度不低于 DS3 型的水准仪……”更为合理。

8.1.4 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 8.1.4 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。

8.3.1 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。

8.3.2 本条是对测设高程基准点提出的两点要求，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。

9 地下工程测量

9.1.2 本条主要依据 SL 378《水工建筑物地下开挖工程施工技术规范》制定。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。

9.1.3 地面和地下测量误差在横向和竖向贯通面上的影响可按附录 I 中的公式计算。

9.1.4

1 对地面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，作为地面三角测量误差对横向贯通误差的影响（如图 1 所示）。这样估算的方法有下列两点好处：

（1）采用局部相对误差椭圆来估算横向贯通中误差符合实际。

（2）计算简单。

2 地下工程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。

9.2.1 地面平面控制测量，一般布设成 GPS 控制网。当隧洞较短（例如小于 10km）且方便进行角度和边长测量时，可以考虑布设导线网、三角形网。

9.2.5 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）无需再选择其他投影面，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

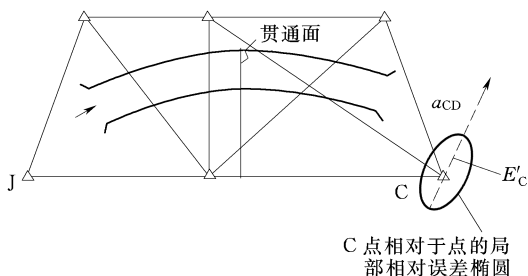


图 1 横向贯通中误差估算示意图

度，隧洞控制网将边长投影至隧洞平均高程面上。

9.2.6 当采用光电测距三角高程测量代替三等、四等水准测量时，应参照 GB/T 12898 《国家三、四等水准测量规范》相关规定执行。

9.3.4 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，因此施工导线要随时建立，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，边长要有一定长度。而施工导线应跟着掘进面布设，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，要保证其正确性，因此进行重复 2~3 次的测量，以保证不出现差错。

9.3.6 光电测距边长的投影改正按 GB/T 16818 《中、短程光电测距规范》的相关规定进行计算。

9.4.1 地下工程细部放样轮廓点相对于洞轴线的点位精度以限差作为精度指标主要为了防止欠挖。

9.4.8 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。

10 疏浚及渠堤施工测量

10.1.2 疏浚施工测量的内容是根据疏浚工程的实际情况规定的。

10.1.3 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形网或导线联测，而高程则以国家等级水准的精度引测。但同样仍尽量利用原有的勘测设计阶段的成果。

10.2.2 表 10.2.2 中规定施工放样的定点精度在 $\pm (0.5 \sim 1.0)$ m，现取 $0.45 \times 0.5 = 0.23$ (m)，作为放样测站点的点位中误差。本标准规定测图的测站点对于邻近图根点的点位中误差应小于等于 ± 0.3 mm (图上)，即 $\pm 0.3 \text{ mm} \times 1000 = \pm 0.3$ m，稍大于 ± 0.23 m。但两岸边定点精度远比水上其他位置的定点精度高。这一规定，兼顾了定点的远近和定点精度的高低。

10.2.8 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。

10.3.1 规划阶段的横断面间距为 100 ~ 200 m，而施工阶段的横断面间距为：直线取 30 ~ 50 m，曲线取 10 ~ 30 m，这是考虑到能够精确计量而规定的。渠堤中心桩（百米桩、千米桩及加桩）的平面位置测量放样中误差（相对于邻近控制点）为 ± 50 mm，高程测量中误差 ± 50 mm，与 SL 260《堤防工程施工规范》的精度要求保持一致且不难达到。

10.3.2 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 $\pm 100\text{mm}$ ，这对于渠道的正常运行不会产生多大的影响。

10.3.5 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 $\pm 200\text{mm}$ ，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。

10.4.1 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，应进行测量并上报回淤量。

10.4.2 在土方施工中，常由于暴雨造成土方流失，因此，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。

沉降观测点设置方法：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）。观测杆设置数量视吹填区范围和吹填厚度由甲乙双方共同商定。

10.4.5 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、精度要与原始断面一致。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。

10.5.1 本节内容由原标准的11.5.6条整理而成。

11 辅助工程测量

11.2.2 表中增加了基础柱钢板埋件和地脚螺丝的精度要求。钢板埋件测量误差 $\pm 5\text{mm}$ 是考虑到钢板的除柱子截面外富余部分较多,地脚螺丝 $\pm 2\text{mm}$ 的测量限差参见 GB 50026—2007《工程测量规范》的条文说明 8.3.2 条。

11.5 该节是专门针对水利水电工程场内施工道路的施工测量而补充的,现行版的 JTG C10—2007《公路勘测规范》和 GB 50026 主要是针对公路勘测设计阶段,对施工阶段测量的精度没有提及。

公路中桩放样的精度按施工阶段区别,开工前的中线恢复和路基边桩放样精度采用了 GB 50026—2007 表 6.2.5-1 和表 6.2.7 以及 JTG C10—2007 表 9.1.1 和表 9.2.2 中定测阶段的相关规定。路基顶部和面路面的测量精度是根据 JTG F80/1—2004《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》的要求允许偏差的 0.4 倍计算而制定的。

公路的施工允许偏差详见 JTG F80/1—2004 的表 4.2.2《土方路基实测项目》、表 4.3.2《石方路基实测项目》、表 7.2.2《水泥混凝土面层实测项目》和表 7.3.2《沥青混凝土面层和沥青碎(砾)石面层实测项目》。

11.5.6、11.5.7 见 GB 50026—2007 的 6.5.1~6.5.7 条。

12 变 形 监 测

12.1.2 对于建（构）筑物监测在施工期和初始运营期的变形监测，是建设项目的一个重要环节，其监测要求一般根据相应的设计要求提出，并由监测单位制定详细的监测方案。

12.1.4 变形监测网的布设，是为了直接获取监测体的变形量。变形监测周期，根据监测体的特征、变形速率、变形影响因子的变化和观测精度等综合确定。作业过程中要依据监测体变形量的变化情况以及遇到特殊情况时要适当地进行加密观测，以确保监测结果和监测预报的适时准确。

12.2.2 变形监测网采用三角形网、导线网方法测量时，水平角和边长观测的技术要求按第4章的相应要求进行。水准观测的主要技术要求，是参考了现行国家标准 GB/T 12897《国家一、二等水准测量规范》、GB/T 12898《国家三、四等水准测量规范》的相关要求制定的。

12.4.5 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2次，读数2次，取平均值作为该测回的观测值，当视准线较长时，一般在两端工作基点上观测邻近的1/2的测点。

12.4.6 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 $\pm 1^\circ$ ，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。

由于视准线的测点偏离基准线的距离不大于 20mm，同时工作基点与视准线测点基本上在同一个高程面上，因此小角度观测法可不纵转望远镜，仅用盘左或盘右位置测量小角。

13 竣 工 测 量

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，施工测量人员要充分的重视。

13.1.2 竣工测量的精度指标，明确指出一般不低于放样的精度，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。

13.2.1 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。图上要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，本条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。

13.3.1 为了真实地表示填筑的形象变化，其测量的比例尺不小于施工放样详图是为满足设计单位的要求。

13.3.2、13.3.3 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。

13.4.3 本条增加“或用三维激光扫描的方法”。

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，还要提供三维坐标。

13.5 本节明确规定以安装轴线为依据，以不低于安装放样时的精度进行竣工验收测量（包括弧形门、人字门、平面闸门的主轨、反轨、侧轨；水轮发电机座环和里衬；压力钢管；门机、塔机、桥机轨道等），其目的是确保该部分竣工测量成果的质量。

13.6 本节的规定是根据国家相关标准、GB/T 24356《测绘成果质量检查与验收》的要求结合目前实际情况而制定的。