

ICS

CCS

# 团 体 标 准

T/CSHE XXXX—YYYY

## 抽水蓄能电站工程 施工控制网测量规程

Code of practice for construction control network surveying of pumped  
storage power station projects

(征求意见稿)

202X—XX—XX 发布

202X—XX—XX 实施

中国水力发电工程学会 发布

# 目 次

前 言 .....	I
引 言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 总体要求 .....	2
5 技术与选点埋石 .....	2
5.1 一般要求 .....	2
5.2 技术设计 .....	3
5.3 选点埋石 .....	6
6 控制网测量 .....	7
6.1 一般要求 .....	7
6.2 外业观测 .....	7
6.3 数据处理 .....	14
6.4 资料整编 .....	18
7 控制网复测 .....	19
7.1 一般要求 .....	19
7.2 网点稳定性分析 .....	20
7.3 资料整编 .....	21
8 测量成果质量检查与验收 .....	21
8.1 一般要求 .....	21
8.2 质量检查 .....	22
8.3 质量评定 .....	22
8.4 成果验收 .....	23
附录 A（规范性）平面控制网点的标石埋设规格 .....	25
附录 B（规范性）控制网点之记格式 .....	27
附录 C（规范性）三维网平差数据预处理 .....	28
附录 D（规范性）基准归算法 .....	31
附录 E（规范性）质量元素、检查项及赋分 .....	33



# 前 言

本文件按照《中国水力发电工程学会标准化管理办法实施细则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国水力发电工程学会提出并归口。

本文件起草单位：中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司、水电水利规划设计总院、中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司、中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司、中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司、中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司、中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司以及四川中水成勘院测绘工程有限责任公司。

本文件主要起草人：

本文件技术内容审查人：

——本文件为首次发布。

# 引 言

为统一抽水蓄能电站工程施工控制网测量技术要求，规范测量作业行为，保障测量成果质量满足工程建设需求，对抽水蓄能电站工程施工控制网的技术设计、选点埋石、测量与复测、成果质量检查与验收等做出规定和要求，制定本文件。

# 抽水蓄能电站工程施工控制网测量规程

## 1 范围

本文件规定了抽水蓄能电站工程施工控制网测量的工作内容、作业方法和技术要求。

本文件适用于抽水蓄能电站工程施工控制网的建立及复测工作。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件中必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 55018 工程测量通用规范

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 17942 国家三角测量规范

GB/T 24356 测量成果质量检查与验收

NB/T 35029 水电工程测量规范

CH 1016 测绘作业人员安全规范

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

施工控制网 construction control network

为满足工程施工需要，统一布设的测量控制基准。

### 3.2

施工控制网复测 revision survey of construction control network

为保障工程施工测量控制基准的正确性、连续性，对已建施工控制网按原技术设计要求进行同等级的再次测量，并及时更新施工控制网测量成果的工作。

### 3.3

三角形网 triangular network

以三角形方式组网，通过测角、测边或边角同测构成的控制网。

### 3.4

平面混合网 horizontal hybrid network

由角度和测距边两种观测量或其中的一种与 GNSS 边长构成的平面控制网。

### 3.5

基础投影面 basic projection plane

平面施工控制网整体平差计算时，其平面坐标系统所对应的高程面。

### 3.6

基准归算法 correction method of datum

将控制网本期成果按自由网进行平差，建立控制网本期与上期成果的转换模型，对复测成果进行归算，求出两期成果的差值；按设定阈值，采用逐点、逐次趋近的迭代方法，判断并剔除位移网点，对网点稳定性做出判定的方法。

## 4 总体要求

4.1 施工控制网的平面坐标系统应与设计阶段协调一致，并与 2000 国家大地坐标系建立联系。

4.2 施工控制网的高程系统应与设计阶段保持一致，并与 1985 国家高程基准建立联系。

4.3 本文件以中误差作为衡量测量精度的标准，并以 2 倍中误差作为极限误差。

4.4 施工控制网测量作业前，应收集、分析相关资料，编写技术设计书；作业中应进行过程质量控制和成果检查；作业完成后应编写技术总结报告。

4.5 测量工作所使用仪器设备应具有法定检验机构出具的检定证书，并在其检定有效期内使用；使用的软件应通过测试或验证。

4.6 施工控制网测量的安全作业应执行 CH 1016 的规定，并应满足工程施工现场的安全管理和环境保护要求。

4.7 涉密工程及涉密资料的使用与管理应符合国家保密法律、法规的相关规定。

## 5 技术设计与选点埋石

### 5.1 一般要求

5.1.1 抽水蓄能电站工程施工控制网包括平面控制网和高程控制网，平面控制网和高程控制网可分别布设，也可联合布设为三维网。平面控制网可采用 GNSS 测量、边角测量等方法建立；高程控制网可采用水准测量、三角高程测量等方法建立。

5.1.2 施工控制网图形设计选用底图的比例尺宜与施工总布置图相适应，设计的控制网图形宜覆盖整个工程施工区域。枢纽工程、地下工程、进/出水口处等重要工程部位的平面、高程控制点布设数量均不应少于 3 座。

5.1.3 施工控制网的测量方法、施测等级应根据工程规模、地形条件、施工布置、临建设施以及施工放样精度要求确定，平面控制网的测量精度等级宜采用二、三、四等，高程控制网的测量精度等级宜采用一、二、三等。各等级控制网适用范围宜按表 1 选择。

表 1 各等级控制网适用范围

工程规模	平面控制网等级	高程控制网等级
大型工程	二等	一等、二等
中型工程	二等、三等	二等、三等
小型工程	三等、四等	二等、三等
注 1：控制网的点位精度不能满足工程施工放样要求时，可提高控制网的施测等级。 2：不便与工程施工区域统一布设控制网的附属工程，可单独布设控制网。		

5.1.4 平面控制网和高程控制网的布设层级不宜超过 2 级，平面控制点相对于同级起算点或邻近上一级控制点的点位中误差不应大于 10mm；高程控制点相对于同级起算点或邻近上一级控制点的高程中误差不应大于 10 mm。

5.1.5 平面控制网宜布设为自由网，建立的平面坐标系统其边长投影长度变形值不应大于 25 mm/km；当工程有特殊情况时，应通过项目技术设计确定。

5.1.6 施工控制网应与设计阶段控制点进行联测，选取的已有控制点应稳定、可靠。平面控制联测已有控制点数量不宜少于 4 座，点位应均匀分布于施工范围，联测等级不宜低于四等；高程控制联测已有控制点数量不宜少于 3 座，应在上、下水库分别选取，联测等级不宜低于三等。

## 5.2 技术设计

5.2.1 施工控制网设计宜收集下列资料：

- a) 工程的地理位置、气象条件、自然环境、交通与通讯、人文生活等资料。
- b) 设计阶段的测量控制点及其他测量成果资料。
- c) 现有的地形图资料和必要的地质资料。
- d) 工程施工总布置图、输水发电系统纵剖面图、其他相关工程设计文件及技术资料等。

5.2.2 应以收集的各项前期资料为基础，在底图上开展施工控制网的设计工作，网点宜选择在受工程影响较小、地质条件良好、方便工程施工放样的区域或位置，并根据通视状况、测量方法等设计控制网图形。

5.2.3 施工控制网技术设计时，应通过精度估算、可靠性评价以及设计优化等确定控制网的图形

方案，最弱点的点位精度应满足本文件 5.1.4 的要求，平面控制网的平均多余观测分量不应小于 0.3。

5.2.4 施工控制网基础投影面宜选用与设计阶段基本平面控制网投影面相近的高程面，工程投影面数量不应小于下式计算的  $N$  值：

$$N = \text{int}\left(\frac{H}{\Delta h}\right) + 1 \dots\dots\dots (1)$$

$$\Delta h = \frac{R}{20} \dots\dots\dots (2)$$

式中： $H$  —— 工程水工建筑物最高点与最低点之间的高差，单位为米（m）；

$\Delta h$  —— 每千米边长投影长度变形值不大于 25 mm 的极限高差，单位为米（m）；

$R$  —— 由测区平均纬度计算的椭球平均曲率半径，单位为千米（km）。

5.2.5 GNSS 平面控制网测量的主要技术指标应符合表 2 的规定：

表 2 GNSS 平面控制网测量主要技术指标

等级	平均边长 (km)	固定误差 $a$ (mm)	比例误差系数 $b$ (mm/km)	最弱边长 相对中误差
二等	0.8~2.0	≤5	≤1	≤1/150 000
三等	0.6~1.5	≤5	≤1	≤1/80 000
四等	0.4~1.0	≤10	≤2	≤1/40 000

注：各等级观测边长小于表中最短平均边长时，仅要求其边长测量中误差小于相应等级最短平均边长中误差的 75%。

5.2.6 GNSS 平面控制网基线边长中误差估算按式（3）进行计算：

$$\sigma = \pm \sqrt{a^2 + (b \times D)^2} \dots\dots\dots (3)$$

式中： $\sigma$  —— 基线边长中误差，单位为毫米（mm）；

$a$  —— 固定误差，单位为毫米（mm）；

$b$  —— 比例误差系数，单位为毫米每千米（mm/km）；

$D$  —— 基线边长，单位为千米（km）。

5.2.7 GNSS 平面控制网的布设应符合下列规定：

- a) 控制点的布设数量及位置分布应满足工程建设施工对平面测量控制的需求；
- b) 应采用网连接或边连接方式，控制网图中不宜出现单三角形；
- c) 相邻控制点间最短基线边不宜小于控制网基线平均长度的 1/3，最长基线边不宜大于控制网基线平均长度的 3 倍；
- d) 构成闭合环或附合路线边数不宜大于 6 条；
- e) 控制点宜有一个及以上通视方向。

5.2.8 三角形网测量的主要技术指标应符合表 3 的规定。

表 3 三角形网测量主要技术要求

等级	平均边长 (km)	测角中误差 (")	测距标称精度	天顶距中误差 (")	最弱边长相对中误差
二等	0.6~1.2	≤1.0	优于 1mm+1mm/km×D	≤1.5	≤1/150 000
三等	0.4~0.8	≤1.8	优于 1mm+2mm/km×D	≤2.0	≤1/80 000
四等	0.3~0.6	≤2.5	优于 2mm+3mm/km×D	≤2.5	≤1/40 000

注：1 表中D为边长长度，按 km 计。  
2 各等级观测边长小于表中最短平均边长时，仅要求其边长测量中误差小于相应等级最短平均边长中误差的 75%。

5.2.9 三角形网布设应符合下列规定：

- a) 应根据工程区控制范围、环境特点及控制需求进行三角形网的网点布设。
- b) 三角形网的图形宜布设为边角网，可依据点位精度的估算结果，对测距边及方向等观测量进行优化。
- c) 三角形网中的三角形内角不宜小于 30°，每一网点的连接方向不宜少于 3 个。

5.2.10 平面混合网测量的主要技术指标要求应符合本文件 5.2.5 和 5.2.8 的相应规定，混合网布设应符合本文件 5.2.7 和 5.2.9 的规定。

5.2.11 采用三角形网或混合网进行工程平面控制网布设时，当测距边的平距化算精度大于测距中误差的 1/2 时，平面控制网宜采用三维布设方式。

5.2.12 高程控制网的网点布置，工程区域宜每 1km~2km 布设一座，非工程区域宜每 2km~3km 布设一座；在靠近电站上水库和下水库的基础稳定、能长期保存位置，宜分别设置一个水准点组，每水准点组布设的水准点数量不宜少于 3 座。

5.2.13 一、二、三等高程控制网宜采用水准测量方法，三等高程控制网可采用三角高程测量方法。

5.2.14 各等级高程控制网测量的每千米水准测量的偶然中误差 $M_{\Delta}$ 和全中误差 $M_W$ 不应大于表 4 的规定。

表 4 每千米水准测量的偶然中误差和全中误差 (mm)

测量等级	一等	二等	三等
$M_{\Delta}$	0.45	1.0	3.0
$M_W$	1.0	2.0	6.0

5.2.15 高程控制网布设应符合下列规定：

- a) 高程控制网宜布设为结点网，当高程控制网图形路线单一时，应增加检核条件。
- b) 水准观测路线宜选择土质坚实的道路、沟底或山脊。
- c) 上水库和下水库之间宜通过不同观测线路形成闭合环线。

- d) 电磁波测距三角高程网宜以平面控制网点为基础, 依据工程建设需要进行布设。
  - e) 电磁波测距三角高程网的观测边长不宜超过 900m。
- 5.2.16 当控制网三分之一的测距边倾角大于  $6^\circ$  时, 宜采用三维网方案, 并应符合下列规定:
- a) 平面控制网和高程控制网应联合布设;
  - b) 三维网的设计图形, 宜由水平方向、天顶距、测距边、GNSS 基线和水准高差五类观测量中的部分或全部联合构成。
  - c) 各类观测量的主要技术指标应符合本节 5.2.5、5.2.8 和 5.2.14 条的规定。
  - d) 三维网平均多余观测分量不应小于 0.3。

### 5.3 选点埋石

#### 5.3.1 平面控制网选点

##### 5.3.1.1 平面控制网的点位选择应符合下列规定:

- a) 应依据技术设计确定的控制网图形方案进行网点的实地点位选择。
- b) 点位应选择在地基稳定、交通便利、利于保存的地方。

##### 5.3.1.2 GNSS 控制网的点位选择还应符合下列规定:

- a) 点位的顶空应开阔, 视场高度角  $15^\circ$  及以上范围内宜无遮挡。
- b) 距离大面积水域、具有强烈反射卫星信号物体等宜大于 100m。
- c) 距离大功率无线电发射源等宜大于 200m, 距离高压线和微波信号传送通道宜大于 50m。

##### 5.3.1.3 三角形网的点位选择除满足 5.3.1.1 外, 还应符合下列规定:

- a) 点位四周应视野开阔, 便于控制网的扩展与加密。
- b) 相邻网点间应通视条件良好, 视线距障碍物和地面的距离不宜小于 1.2m。
- c) 点位及视线应避开烟囱、散热塔、散热池等发热体, 距离高压线等强电磁场宜大于 50m。

#### 5.3.2 平面控制点的埋石

5.3.2.1 二等平面控制网的标石应采用带有强制归心装置的混凝土观测墩。三、四等平面控制网的标石宜采用带有强制归心装置的混凝土观测墩, 也可采用普通混凝土标石或岩石标。混凝土观测墩、普通混凝土标石及岩石标埋设规格见附录 A。

##### 5.3.2.2 混凝土观测墩的建造与埋设应符合以下要求:

- a) 强制对中装置的顶面应埋设水平, 其平整度不应大于  $4'$ , 强制归心装置的对中误差不应超过 0.1mm。
- b) 标石周围宜建造排水和保护设施, 并应设置警示标识。

#### 5.3.3 高程控制网选点

##### 5.3.3.1 高程控制网的点位选择应符合下列规定。

- a) 应依据技术设计确定的高程控制网布置方案进行实地网点的点位选择。

- b) 网点应选在地基稳定、便于通行、施测方便，可长期保存的地方。
- 5.3.3.2 当采用电磁波测距三角高程测量时，网点间高差不宜过大，且视线高度离开地面和周边障碍物距离不应小于 1.2 米。
- 5.3.4 高程控制点的埋石
- 5.3.4.1 高程控制网的标石类型应选用普通混凝土水准标石或岩石水准标，标志应满足水准观测要求，水准标石周围应建立保护设施，并应设置指示桩。埋设规格参照附录 A.2 执行。
- 5.3.4.2 当平面和高程控制网共用标石时，水准标石宜选埋在观测墩底部平台且靠近地下基础的位置。
- 5.3.5 三维控制网网点的点位选择，应与观测方法相适应，且兼顾第 5.3.1 条、5.3.3 条选点要求；标石类型及埋设宜按 5.3.2 条、5.3.4 条的规定执行。
- 5.3.6 施工控制网的标点可利用测区范围内符合要求的原有控制点。
- 5.3.7 当施工控制网点选择的实地位置与图上设计点位差异大于 50m 时，应对控制网重新进行精度估算，其估算结果仍应满足设计精度要求。
- 5.3.8 施工控制网标点实地建造埋设工作完成后，应绘制控制网点点之记。点之记格式见附录 B。

## 6 控制网测量

### 6.1 一般要求

- 6.1.1 施工控制网的外业观测工作，宜待埋设的控制网标石自然稳定后进行。
- 6.1.2 宜根据控制网技术设计方案、作业准备情况和现场环境条件，制定外业作业计划。
- 6.1.3 外业工作开展前，应进行仪器设备及辅助工具的完好性、合规性和齐全性检查、仪器设备和附件的连接、通电检查，仪器参数与观测限差的设置检查等。
- 6.1.4 外业观测应选择气象稳定的时间段进行。观测前仪器设备宜通风晾置，待与外界环境温度一致后方可开始。
- 6.1.5 观测记录宜采用测量设备随机软件或自动记录程序。
- 6.1.6 外业原始观测成果应及时传输保存，并对观测成果进行检查、整理，记录与表格填写应字迹工整、不缺项漏项，各项原始记录不得删除、更改或补记。

### 6.2 外业观测

#### 6.2.1 GNSS 控制网的外业观测

- 6.2.1.1 GNSS 控制网观测应采用静态观测模式，主要技术要求应按表 5 执行：

表 5 GNSS 控制网的主要技术要求

技术指标	等级		
	二等	三等	四等
仪器标称精度	优于 $5\text{mm}+1\text{mm}/\text{km}\times D$	优于 $5\text{mm}+1\text{mm}/\text{km}\times D$	优于 $10\text{mm}+2\text{mm}/\text{km}\times D$
卫星高度角 ( $^{\circ}$ )	$\geq 15$	$\geq 15$	$\geq 15$
观测时段数	$\geq 2$	$\geq 1.6$	$\geq 1.6$
观测时段长度 (min)	$\geq 90$	$\geq 60$	$\geq 45$
同时观测有效卫星数	$\geq 5$	$\geq 5$	$\geq 4$
数据采样间隔 (s)	10~30	10~30	10~30
PDOP	$\leq 6$	$\leq 6$	$\leq 6$
注:1 观测时段数 $\geq 1.6$ , 指采用网观测模式时, 每站至少观测一个时段, 其中二次设站的点数不小于 GNSS 网总点数的 60%。 2 $D$ 为基线边长, 按 km 计。			

6.2.1.2 GNSS 控制网观测作业应符合下列规定:

- a) 观测前应进行接收机的电池电量、存储空间等状态检查, 对观测模式、数据采样间隔等仪器设置的正确性进行复核。
- b) GNSS 网测量可不观测气象元素, 只记录天气情况。
- c) 接收机天线定向标志线宜指向正北, 并在观测过程中保持一致。每时段观测前、后, 天线高各量取一次, 其较差应小于 1mm, 取两次量测天线高的均值。
- d) 观测作业时, 接收机 10m 范围以内应避免使用无线电通信工具; 同一时段观测内不应重新启动接收机、调整天线位置、更改仪器设置等操作。
- e) 测站应记录测站点名称、观测日期、天气情况、时段号、接收机型号与序列号、天线类型与天线高、开(关)机时间等信息。

6.2.1.3 用于 GNSS 平面控制网同时段观测接收机的数量不宜少于 4 台。

6.2.1.4 如遇雷电、风暴等不利天气应停止 GNSS 外业观测。

6.2.2 三角形网的外业观测

6.2.2.1 三角形网水平方向、测距边、天顶距的观测宜采用带有补偿器的全站仪进行。观测时的照准棱镜应与全站仪相配套。观测过程中, 气泡中心位置偏离不应超出补偿器的补偿范围, 当气泡位置接近偏离限值时, 应在观测测回间重新整平仪器。

6.2.2.2 三角形网的水平方向观测宜采用方向观测法, 水平角观测测回数不应少于表 6 的规定。

表6 水平角观测测回数

控制网等级	测回数		
	0.5"级	1.0"级	2.0"级
二等	6	9	—
三等	4	6	9
四等	2	4	6

6.2.2.3 水平角方向观测法观测限差不应超过表7的规定。

表7 水平角方向观测法观测限差 (")

项 目	二等		三等			四等		
	0.5"级	1.0"级	0.5"级	1.0"级	2.0"级	0.5"级	1.0"级	2.0"级
两次照准读数差	2.0	4.0	2.0	4.0	6.0	2.0	4.0	6.0
半测回归零差	4.0	6.0	4.0	6.0	8.0	4.0	6.0	8.0
一测回 2C 互差	6.0	9.0	6.0	9.0	13.0	6.0	9.0	13.0
同一方向值各测回较差	4.0	6.0	4.0	6.0	9.0	4.0	6.0	9.0
三角形最大闭合差	3.5		7.0			9.0		
按非列罗公式计算的测角中误差	1.0		1.8			2.5		

注：1 当观测方向垂直角超过 $\pm 3^\circ$ 时，该方向 2C 互差较差按相邻测回进行比较；  
2 采用自动化观测记录时，可不进行两次照准测量。

6.2.2.4 方向观测法的一测回操作程序、分组观测、方向观测补测和超限观测值重测应按 GB/T 17942 中相关规定执行。

6.2.2.5 测距边应进行往、返观测，仪器测距标称精度、观测测回数应符合表8的规定，测距边观测技术要求不应超过表9的规定。

表8 仪器测距标称精度、观测测回数

控制网等级	测距标称精度	观测测回数
二等	优于 $1\text{mm}+1\text{mm}/\text{km}\times D$	$\geq 4$
三等	优于 $2\text{mm}+1\text{mm}/\text{km}\times D$	$\geq 4$
四等	优于 $3\text{mm}+2\text{mm}/\text{km}\times D$	$\geq 4$

注：1 距离一测回观测是指盘左、盘右照准目标读数 1 次的过程；  
2 各测回间应重新照准目标并调整光强；  
3  $D$ 为测距边长度，按 km 计。

表9 测距边观测技术要求 (mm)

控制网等级	一测回读数较差	测回中数间较差	往、返测观测较差
二等	2.0	3.0	$2(a + b \times D)$
三等	3.0	5.0	
四等	5.0	7.0	

注：1 应将测距边 往、返测观测划算至同一高程面上进行较差比较。  
 2  $a$ 为全站仪的测距固定误差，单位为毫米(mm)、 $b$ 为全站仪的测距比例误差，单位为毫米/千米(mm/km)、 $D$ 为测距边长度，单位为千米(km)。

6.2.2.6 天顶距宜按中丝法进行测量，仪器测角标称精度、观测测回数以及观测技术要求应按表10的规定执行。

表10 仪器测角标称精度、观测测回数以及观测技术要求

控制网等级	测角标称精度 (")	观测测回数	两次照准读数差 (")	指标差互差 (")	测回差 (")
二等	$\leq 0.5''$	$\geq 3$	$\leq 2$	$\leq 6$	$\leq 3$
	$\leq 1.0''$	$\geq 4$	$\leq 4$	$\leq 8$	$\leq 4$
三等	$\leq 0.5''$	$\geq 2$	$\leq 2$	$\leq 6$	$\leq 3$
	$\leq 1.0''$	$\geq 3$	$\leq 4$	$\leq 8$	$\leq 4$
	$\leq 2.0''$	$\geq 4$	$\leq 6$	$\leq 10$	$\leq 7$
四等	$\leq 0.5''$	$\geq 1$	$\leq 2$	$\leq 6$	—
	$\leq 1.0''$	$\geq 2$	$\leq 4$	$\leq 8$	$\leq 4$
	$\leq 2.0''$	$\geq 3$	$\leq 6$	$\leq 10$	$\leq 7$

注：采用自动化观测记录时，可不进行两次照准观测。

6.2.2.7 测距边、天顶距观测作业，应符合下列规定：

- a) 测距边观测始末应分别记录测站和镜站的气象数据。
- b) 测距边、天顶距观测宜分别进行，采用自动观测模式时可同时进行。
- c) 仪器高和棱镜高应在测前、测后分别量测，两次读数较差不应大于1mm。
- d) 仪器补偿器无法正常工作或超出补偿器的补偿范围时，应停止观测。

6.2.2.8 测距边、天顶距观测的重测、补测应符合下列要求：

- a) 测距边观测作业时，一测回读数较差超限，应补测读数一次，去掉孤值后取均值。如补测仍超限，重测该测回。
- b) 测距边测回间中数较差超限，应重测距离最大或最小的测回，如重测仍超限，应全部重测。往、返测较差超限，应重测往测或返测，如仍超限，则往、返测应全部重测。

c) 天顶距观测的指标差互差、测回差超限时, 除明显孤值外, 重测所有测回。

6.2.2.9 当采用自动化观测方式时, 水平角、天顶距和测距边可同时观测, 各类观测量的观测测回数、技术指标以及重测补测等应满足本文件的相应要求。

6.2.2.10 温度计宜采用通风干湿温度计, 气压表宜选用空盒气压表, 气象数据观测要求应符合表 11 的规定。

表11 气象数据观测要求

控制网等级	最小读数		测定时间	气象数据取用
	温度(℃)	气压(Pa)		
二、三、四等	0.2	50	边长观测始、末	边两端平均值

6.2.2.11 水平角、天顶距和距离观测记录及平差计算数值取位应符合表 12 的规定。

表12 水平角、天顶距和距离观测记录及平差计算数值取位

控制网等级	观测项目	观测读数	观测量测回中数	记录、平差计算值
二、三、四等	水平角	0.1"	0.01"	0.01"
	天顶距	0.1"	0.01"	0.01"
	距离	0.1mm	0.01mm	0.01mm

6.2.3 平面混合网外业观测

平面混合网中 GNSS 网和三角形网的测量应符合本文件 6.2.1 条和 6.2.2 条的技术规定。

6.2.4 水准网外业观测

6.2.4.1 水准测量应使用数字水准仪。各等级水准测量应用的数字水准仪指标不应低于表 13 的要求。

表13 数字水准仪最低指标

等级	一等	二等	三等
仪器最低指标	DSZ05	DSZ1	DSZ3

6.2.4.2 水准作业期间, 应每天开测前进行  $i$  角测定, 采用数字水准仪时若开测为未结束测段则使用该测段测定的  $i$  角, 新测段开始前再次进行测定。每日开测前应对标尺上的圆水准器和水准仪上的概略水准器进行检视。

6.2.4.3 水准测量使用的仪器及水准尺应符合表 14 的规定:

表14 仪器及水准尺技术指标表

序号	仪器技术指标项目	一等	二等	三等	超限处理方法
1	$i$ 角	$\leq 15''$	$\leq 20''$	$\leq 20''$	校正

2	水准仪补偿误差	≤0.2"	≤0.3"	≤0.5"	禁止使用
---	---------	-------	-------	-------	------

表14 仪器及水准尺技术指标表 (续)

序号	仪器技术指标项目	一等	二等	三等	超限处理方法
3	标尺零点不等差	≤0.1mm	≤0.1mm	≤0.1mm	调整
4	标尺名义米长偏差	≤0.1mm	≤0.1mm	≤0.5mm	调整

6.2.4.4 一、二、三等水准测量应采用中丝读数法进行往、返观测。同一区段的往测、返测，宜使用同一类型的仪器和转点尺承沿同一线路进行。

6.2.4.5 水准测量测站视线长度、前后视距差、视线高度、重复测量次数按表 15 规定执行。

表15 测站视线长度、前后视距差、视线高度、重复测量次数要求 (m)

等级	仪器类别	视线长度	前后视距差	任一测站上前后视距差累计	视线高度	重复测量次数
一等	DSZ05	≥4 且 ≤30	≤1.0	≤3.0	≤2.80 且 ≥0.65	≥3 次
二等	DSZ1	≥3 且 ≤50	≤1.5	≤5.0	≤2.80 且 ≥0.55	≥2 次
三等	DSZ3	≤75	≤2.0	≤5.0	≤2.90 且 ≥0.45	≥2 次

注：当地面振动较大时，应停止观测或增加重复测量次数。

6.2.4.6 水准测量的主要技术指标不应超过表 16 的规定。

表16 水准测量的主要技术指标 (mm)

等级	检测已测测段高差之差	测段、区段、路线往返测高差不符值	附和路线闭合差		环闭合差		山地、高山地的水准路线、区段、测段往返测高差不符值
			平原	山地	平原	山地	
一等	$3\sqrt{R}$	$1.8\sqrt{K}$	—		$2\sqrt{F}$	—	—
二等	$6\sqrt{R}$	$4\sqrt{K}$	$4\sqrt{L}$	$5\sqrt{L}$	$4\sqrt{F}$	$5\sqrt{F}$	$0.6\sqrt{n}$
三等	$20\sqrt{R}$	$12\sqrt{K}$	$12\sqrt{L}$	$15\sqrt{L}$	$12\sqrt{F}$	$15\sqrt{F}$	$3\sqrt{n}$

注：1 表中R为检测测段的长度 (km)，K为测段、区段、路线长度 (km)，L为附和路线长度 (km)，F为环线长度 (km)，n为测站数。R小于1km时按1km计，K小于100m时按100m计；  
2 表中“检测已测测段高差之差”的限差对单程检测和双程检测均适用，检测测段长度小于1km时，按1km计算。检测测段两点间距离不宜小于1km；  
3 当每千米单程测站数n大于16站时，可按n计算高差不符值。

6.2.4.7 水准测量的仪器设备及检校、测站观测顺序和方法、间歇与检测、测站观测限差、测段往返起始测站设置、成果重测和取舍、跨河水准测量等应按 GB/T 12897、GB/T 12898 中相关规定

执行。

6.2.4.8 水准观测应注意下列事项:

- a) 水准观测应在标尺成像清晰、稳定时进行，避免仪器曝晒。水准尺宜使用尺撑固定立尺，不应徒手扶尺。
- b) 应将尺垫安置稳定，防止碰动。
- c) 测段的往测与返测，测站数均应为偶数。由往测转向返测时，两标尺应互换位置并应重新整置仪器。

6.2.4.9 应及时将当天观测数据成果存储、备份，各项观测信息填写完整、齐全。

6.2.4.10 全部水准观测作业完成后，应对观测数据成果进行整理、检查及验算。

6.2.5 电磁波测距三角高程测量

6.2.5.1 电磁波测距三角高程测量可采用每点设站法或隔点设站法观测，两种方法也可交替使用。每点设站法，应进行往返观测；隔点设站法，可采用单程双测。

6.2.5.2 电磁波测距三角高程测量每点设站法技术要求应符合表 17 的规定。

表17 电磁波测距三角高程测量每点设站法技术要求

等级	仪器标称精度		最大视线长度 (m)	距离观测测回数	天顶距				仪器、棱镜高量测精度 (mm)	对向观测高差较差 (mm)	附和或环线闭合差 (mm)
	测角中误差 (")	测距中误差 (mm)			测回数	两次重合读数较差 (")	指标差较差 (")	测回差 (")			
三等	≤0.5	优于 1mm+2mm/km×D	900	≥3	≥3	≤1	≤6	≤4	≤1	≤35√S	≤15√L

注: 1 D为测距边长度、S为测距边长、L为路线总长, 单位均为 km。  
2 距离一测回观测是指盘左、盘右照准目标读数 1 次的过程;

6.2.5.3 采用电磁波测距三角高程隔点设站法的技术要求应符合表 18 的规定。

表18 电磁波测距三角高程隔点设站法的技术要求

等级	仪器标称精度		最大视线长度 (m)	最大前后视视线长度之差 (m)	距离观测测回数	天顶距				仪器、棱镜高量测精度 (mm)	两次观测高差较差 (mm)	附和或环线闭合差 (mm)
	测角中误差 (")	测距中误差 (mm)				测回数	两次重合读数较差 (")	指标差较差 (")	测回差 (")			
三等	≤0.5	优于 1mm+2mm/km×D	500	80	≥3	≥3	≤1	≤6	≤4	≤1	≤8√S	≤15√L

注: 1 D为测距边长度、S为测距边长、L为路线总长, 单位均为 km;  
2 距离一测回观测是指盘左、盘右照准目标读数 1 次的过程。

6.2.5.4 隔点设站法观测单程双测时，应按“后前前后”观测次序进行，应符合下列要求:

- a) 测站设站后，应先照准后视棱镜(觇牌)标志，观测天顶距和距离；然后照准前视棱镜(觇牌)标志，观测天顶距和距离。
- b) 变换仪器位置或仪器高后，应先照准前视棱镜(觇牌)标志，观测天顶距和距离；然后照准后视棱镜(觇牌)标志，观测天顶距和距离。

6.2.5.5 电磁波测距三角高程测量应符合下列规定:

a) 高程路线应附和或起闭于高一级的高程控制点，并组成附和路线或闭合环线。

b) 天顶距采用非自动观测，视线长度大于 500m 时，宜使用特制觇牌。

6.2.5.6 天顶距测量的两次重合读数较差超限，应重测该天顶距。

6.2.5.7 三角高程网的距离测量、补测与重测，气象元素观测及要求等应符合本文件的 6.2.2.7、6.2.2.8 和 6.2.2.9 的规定。

6.2.6 三维网外业观测

三维网外业观测的 GNSS、三角形网及水准测量等应符合本文件 6.2.1、6.2.2 和 6.2.4 相应的技术要求与规定。

### 6.3 数据处理

6.3.1 控制网与原有测图控制点的联系测量宜采用就近、分别联测的方式，获取部分网点联测平面坐标和高程。

6.3.2 控制网平差计算应符合下列规定：

6.3.2.1 控制网应采用严密平差方法进行整网平差，并进行精度评定；

6.3.2.2 平面控制网的基线边（测距边）应以基础投影面作为边长投影面，宜固定单点进行自由网平差，可利用网点联测坐标按尺度不变的相似变换方式进行定向、定位，并输出平面控制网在基础投影面的坐标成果。

6.3.2.3 高程控制网宜采用单点高程起算，经平差计算后输出高程控制网各网点高程成果。

6.3.3 以平面控制网的基础投影面坐标成果为基础，依据设计确定的不同高程投影面，采用转换计算方式依次取得各高程投影面的平面坐标。

6.3.4 平面、高程控制网的计算成果应通过对算方式进行检验。

6.3.5 平面、高程控制网成果计算的取位应符合表 19 和表 20 要求：

表 19 平面控制测量内业计算数值取位要求

等级	方向值修正数 (")	边长修正数 (m)	边长与坐标 (m)	方位角 (")
二等	0.01	0.0001	0.0001	0.01
三、四等	0.1	0.001	0.001	0.1

表 20 高程控制网内业计算数值取位要求

等级	往(返)测距离总和(km)	往返测距离中数(km)	电磁波测距边长(mm)	天顶距(")	各测站高差(mm)	往(返)测高差总和(mm)	往返测高差中数(mm)	高程(mm)
一等	0.01	0.1	—	—	0.01	0.01	0.1	0.1
二等	0.01	0.1	—	—	0.01	0.01	0.1	0.1
三等	0.01	0.1	1	0.1	0.1	0.1	1	1

注：一、二等跨河水准电磁波测距和天顶距计算数值取位按国家一、二等水准测量规范要求执行。

6.3.6 施工控制网建立完成后，以控制网测量成果作为起算，结合联测数据重新计算联测点的平面坐标，对比分析联测点在新建控制网和原测图控制两系统的坐标差值，进而对前期地形图测量成果的应用以及设计成果放样影响做出综合判定。

6.3.7 GNSS 控制网数据处理

6.3.7.1 GNSS 控制网数据处理应满足下列要求：

- a) 外业观测结束，应及时将观测数据存档、备份，填写测站和测点名称、天线高、接收机编号等各项观测信息，并按点名、观测日期、观测时段命名观测文件。
- b) 当采用不同类型的 GNSS 接收机观测时，应将接收机观测数据统一转换为 Rinex 格式。
- c) 应屏蔽原始数据中的冗余信息，进行观测数据的质量检核等。

6.3.7.2 GNSS 控制网测量基线解算应符合下列规定：

- a) 基线解算时观测数据最低高度角以 15° 为宜。
- b) 基线解算的起算点单点定位观测时间不应少于 30min。
- c) 按同时段观测为单位进行基线解算，基线解算应采用双差固定解。

6.3.7.3 GNSS 网测量外业观测数据应进行异步环、同时段观测环和重复基线检核，并应符合下列规定：

a) 异步环各坐标分量闭合差及环线全长闭合差应符合式（4）的规定：

$$\left. \begin{aligned} W_x &\leq 3\sqrt{n}\sigma \\ W_y &\leq 3\sqrt{n}\sigma \\ W_z &\leq 3\sqrt{n}\sigma \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

$$W = \sqrt{W_x^2 + W_y^2 + W_z^2} \leq 3\sqrt{3n}\sigma$$

- 式中： n —— 闭合环的边数；  
 σ —— 由环平均边长计算的基线边长中误差；单位为毫米（mm）；  
 W<sub>x</sub> —— GNSS 环在 X 方向的闭合差，单位为毫米（mm）；  
 W<sub>y</sub> —— GNSS 环在 Y 方向的闭合差，单位为毫米（mm）；  
 W<sub>z</sub> —— GNSS 环在 Z 方向的闭合差，单位为毫米（mm）；  
 W —— 环线全长闭合差，单位为毫米（mm）。

b) 同时段观测环的坐标分量闭合差和环线全长闭合差不应大于异步环相应限差的 3/4。

c) 重复基线测量的长度较差应符合式（5）的规定：

$$d_s \leq 2\sqrt{2}\sigma \dots\dots\dots (5)$$

- 式中： d<sub>s</sub> —— 重复基线测量的长度较差，单位为毫米（mm）；  
 σ —— 由重复基线边长计算的基线边长中误差，单位为毫米（mm）。

d) 当观测数据的异步环、同时段观测环和复测基线检核不符合本文件规定时，应进行观测

数据分析，重测相关基线或同时段观测图形，直至观测数据通过检核。

6.3.7.4 GNSS 控制网无约束平差，应符合下列规定：

- a) 基线向量检验合格后，应选用与导航卫星定位系统一致的坐标系进行三维无约束平差，平差成果宜包括在该坐标系网点的三维坐标、GNSS 基线边长、基线向量改正数 ( $V_{\Delta X}$ 、 $V_{\Delta Y}$ 、 $V_{\Delta Z}$ ) 以及精度信息等。
- b) 无约束平差中，基线分量的改正数绝对值不应超过相应等级的 GNSS 基线边长中误差的 3 倍，即满足式 (6) 的要求：

$$\left. \begin{matrix} V_{\Delta X} \leq 3\sigma \\ V_{\Delta Y} \leq 3\sigma \\ V_{\Delta Z} \leq 3\sigma \end{matrix} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

式中： $\sigma$  —— 由 GNSS 网平均边长计算的基线边长中误差，单位为毫米(mm)。

6.3.7.5 GNSS 控制网约束平差，应符合下列规定：

- a) 应在无约束平差确定有效观测量的基础上，选择基础投影面平面坐标系统进行施工控制网的约束平差。
- b) 首级平面控制网宜固定单点方式进行平差，并按本文件 6.3.2 条的要求进行平面控制网定向、定位，进而求得首级平面控制网的各网点坐标成果。
- c) 按两级布设平面控制网宜整网平差，也可以首级网点为固定点，利用首级网定向、定位后计算的坐标成果进行约束平差。
- d) 约束平差的基线向量改正数与无约束平差结果的同一基线分量相应改正数的较差均不应超过相应等级基线中误差的 2 倍。
- e) 平差结果应输出观测点在相应坐标系的二维或三维坐标、基线向量的改正数、GNSS 基线边长、基线方位角等，以及相关的精度信息。

6.3.8 三角形网数据处理

6.3.8.1 三角形网数据预处理应满足下列要求：

- a) 应安全可靠地传输、存储现场记录的原始观测数据，原始观测数据不应修改。
- b) 检查校核外业观测数据，应对存在的粗差和系统误差进行处理。
- c) 当原始观测数据的较差或中误差超出项目技术设计或相应测量等级技术规定时，应重测相应观测量。
- d) 上一工序成果未达到质量要求时，不应转入下一工序。

6.3.8.2 三角形网测量的测距边改正和归算应按下列要求执行：

- a) 测距边应进行加乘常数改正、气象改正和标石中心归算改正，再进行水平距离计算。
- b) 测距边两端网点高差宜采用水准测量或电磁波测距三角高程测量成果。
- c) 测距边两端网点间水平距离可按式 (7) 进行计算：

$$D_p = \sqrt{S^2 - h^2} \dots\dots\dots (7)$$

式中： $D_p$  —— 测距边两端网点（标石中心）间水平距离，单位为米（m）；

$S$  —— 经各项改正后网点间的测距边边长，单位为米（m）；

$h$  —— 网点间的高差，单位为米（m）。

d) 应根据平面坐标系建立所确定的控制网基础投影面高程，对两网点间的平距进行投影换算后参与控制网平差计算。

#### 6.3.8.3 三角形网数据处理应满足下列要求：

a) 三角形网的平差计算应符合本文件 6.3.2 条的要求。

b) 平差计算时，应对计算略图和输入数据进行校对。输出的平差成果应包含起算数据、观测数据、中间数据以及控制网成果。

c) 平差后的精度评定应包含有单位权中误差、点位误差椭圆参数或相对点位误差椭圆参数、边长相对中误差、点位中误差等。

#### 6.3.9 混合网数据处理

##### 6.3.9.1 混合网数据预处理应满足下列要求：

a) GNSS 基线解算应在通过 GNSS 观测数据质量检验后进行；三角形网测量的测距边应化算至标石中心。

b) GNSS 基线计算应符合本文件第 6.3.7 条规定，三角形网测量的测距边计算应符合本文件第 6.3.8 条规定。

c) 利用两种观测方法获得的公共边进行尺度比计算，并依尺度比均值对 GNSS 边进行归算。

d) 依据确定的控制网基础投影面高程，对两网点间的 GNSS 基线、测距边进行水平距离投影换算。

##### 6.3.9.2 混合网数据平差处理应符合本文件 6.3.2 的要求。

#### 6.3.10 高程控制网数据处理

##### 6.3.10.1 水准测量数据预处理应符合下列规定：

a) 依据水准测量施测等级、各项限差要求检查外业观测数据质量，并进行数据整理，确认观测成果全部符合规定后，方可进行外业计算。

b) 水准测量外业计算项目包括：外业高差和概略高程表的编算；每千米水准测量偶然中误差计算；附和路线与环线闭合差的计算；每千米水准测量全中误差的计算等。

c) 水准测量外业计算的方法和具体要求，应符合 GB/T 12897、GB/T 12898 的相关规定。

##### 6.3.10.2 电磁波测距三角高程测量数据预处理应符合下列规定：

a) 测距边应加入气象改正和加乘常数改正。

b) 采用每点设站法时，单向观测高差 $h$ 按式（8）计算，并取往测、返测单向观测高差平均值作为相邻测站高差：

$$h = S \times \cos\beta + \frac{1-K}{2R} (S \times \sin\beta)^2 + i - v \dots\dots\dots (8)$$

式中： $S$  —— 经过各项改正后测距边边长，单位为米（m）；

$\beta$  —— 天顶距，单位为度（°）；

$K$  —— 大气垂直折光系数，宜分工程不同部位取值；

$R$  —— 测区地球平均曲率半径，单位为米（m）；

$i$  —— 仪器高度，单位为米（m）；

$v$  —— 反射镜的高度，单位为米（m）。

c) 采用隔点设站法时，相邻照准点间的高差 $h_{12}$ 按式（9）计算：

$$h_{12} = S_2 \times \cos\beta_2 - S_1 \times \cos\beta_1 + v_1 - v_2 + \frac{1-K}{2R} \times [(S_2 \times \sin\beta_2)^2 - (S_1 \times \sin\beta_1)^2] \dots\dots\dots (9)$$

式中： $\beta_1$ 、 $\beta_2$  —— 相邻两照准点的天顶距，单位为度（°）；

$v_1$ 、 $v_2$  —— 相邻两照准点的反射镜的高度，单位为米（m）；

$S_1$ 、 $S_2$  —— 相邻两照准点经过各项改正后测距边边长，单位为米（m）

d) 电磁波测距三角高程测量测定的高差，宜加入正常水准面不平行改正，计算处理方法按 GB/T 12898 的相关规定执行。

### 6.3.10.3 高程控制网数据处理应符合下列规定：

a) 高程控制网应按严密平差进行计算，平差成果中应包含单位权高差中误差和各点高程中误差。

b) 高程控制网采用水准测量方法按距离定权时，权 $P_L$ 应按式（10）计算：

$$P_L = \frac{1}{L} \dots\dots\dots (10)$$

式中： $L$  —— 测段长度，单位为千米（km）。

c) 高程控制网采用水准测量方法按测站数定权时，权 $P_N$ 应按式（11）计算：

$$P_N = \frac{1}{N} \dots\dots\dots (11)$$

式中： $N$  —— 测站数。

d) 高程控制网采用电磁波测距三角高程测量方法按距离定权时，权 $P_D$ 应按式（12）计算：

$$P_D = \frac{1}{D^2} \dots\dots\dots (12)$$

式中： $D$  —— 两点间平距，单位为千米（km）；

### 6.3.11 三维网数据处理

6.3.11.1 三维网观测量数据预处理按附录 C 的规定执行。

6.3.11.2 三维网平差计算各观测量的权宜按方差分量估计方式确定。

## 6.4 资料整编

6.4.1 控制网测量工作完成后，应对下列资料进行整理：

a) 技术设计书。

- b) 控制网布置图。
  - c) 控制点点之记。
  - d) 外业观测记录。
  - e) 仪器设备检定证书。
  - f) 平差计算资料及成果表。
  - g) 检查报告和技术总结报告。
- 6.4.2 项目完成后，应提交下列资料：

- a) 技术设计书。
- b) 控制点点之记。
- c) 控制点成果表及说明。
- d) 检查报告和技术总结报告。

## 7 控制网复测

### 7.1 一般要求

7.1.1 施工控制网建立完成后，应进行复测，并符合下列规定：

- a) 在电站工程开始施工前应对整网进行复测。
- b) 工程施工期间，每年度宜进行 1 次复测。
- c) 基础工程结束，进入混凝土工程施工、金属结构和机电安装工程开始前应对施工控制网的局部或整网进行复测。
- d) 出现地震、洪水、地质灾害发生等重大自然环境变化影响时，应进行复测。
- e) 受工程施工扰动影响，施工控制网在使用过程中出现网点不稳定现象时，应进行复测。

7.1.2 施工控制网复测工作宜执行原设计方案。采用的仪器设备、观测图形或路线、测量方法、观测等级、数据处理方法及起算基准等宜保持一致。

7.1.3 施工控制网复测前，应做好下列准备工作：

- a) 收集控制网建网时的各项测绘资料，对控制网建网测量技术方案、技术总结报告、平差计算资料以及测量成果等进行分析。
- b) 组织现场查勘，检查环境与交通条件、控制网现状形态和标点的完好性等。网点破损应依据网点受破坏情况和重要程度，对网点予以修复或重建。
- c) 统筹人员和仪器设备安排，结合控制网测量技术要求和现场实际情况，制定施工控制网复测方案。

7.1.4 施工控制网复测时，如原有控制网产生变化应做下列处理：

- a) 因施工控制网的网点减少，致使原施工控制网不能满足工程施工放样对测量控制需求的，应在原网点附近位置予以重建。
- b) 施工控制网网形发生变化时应重新进行精度估算，其估算的最弱点点位精度应满足原技

术设计确定的精度指标。

c) 新增控制点应以原施工控制网为基础, 可采用插点、插网或补网的方式进行。

7.1.5 控制网复测外业工作完成后应对复测资料进行检查, 施工控制网复测数据按自由网平差计算的最弱边相对中误差和最弱点点位精度应满足设计要求, 数据处理应符合本文件 6.3 的规定。

## 7.2 网点稳定性分析

7.2.1 控制网网点进行稳定性分析时, 相邻期控制网数据处理所采用的起算基准、控制网图形和平差模型等宜保持一致。

7.2.2 依据相邻两期控制网的数据处理结果, 可选用统计分析法、模型分析法、基准归算法等进行网点的稳定性分析, 并结合网点的埋设基础、实地位移场可能变化情况以及工程施工扰动影响等, 判定控制网网点的现状形态。基准归算法详见附录 D。

7.2.3 控制网点稳定性分析判断时, 其阈值计算应符合下列规定:

7.2.3.1 平面控制网点坐标分量较差阈值计算:

a) 按平面坐标分量中误差计算阈值:

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_{\text{限}} &= \mu \times \sqrt{m_{x1}^2 + m_{x2}^2} \\ \Delta y_{\text{限}} &= \mu \times \sqrt{m_{y1}^2 + m_{y2}^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (13)$$

式中:  $\mu$  —— 限差系数取 2;

$\Delta x_{\text{限}}$ 、 $\Delta y_{\text{限}}$  —— 网点 x、y 坐标分量的限值, 单位为毫米 (mm);

$m_{x1}$ 、 $m_{y1}$  —— 网点上一期测量点位在 x 方向和 y 方向上的中误差, 单位为毫米 (mm);

$m_{x2}$ 、 $m_{y2}$  —— 网点本期复测点位在 x 方向和 y 方向上的中误差, 单位为毫米 (mm)。

b) 按两期网点位移 $\Delta P_{\text{限}}$ 确定阈值,  $\Delta P_{\text{限}}$ 可按下式 (14) 计算:

$$\Delta P_{\text{限}} = 3 \times \sqrt{\frac{(K \cdot D)^2}{n} + \frac{(\alpha \cdot D / \rho)^2}{N}} \dots\dots\dots (14)$$

式中:  $\Delta P_{\text{限}}$  —— 为控制网点位移判定值 (mm);

$K$  —— 为相应等级的最弱边边长相对中误差;

$D$  —— 为控制网的平均边长 (mm);

$\alpha$  —— 为控制网相应等级的测角中误差 (");

$\rho$  —— 为 1 弧度对应的秒值 (206265");

$n$  —— 为控制网点平均观测边数 (边长往测、返测边算 2 条);

$N$  —— 为控制网点平均观测方向数。

7.2.3.2 高程控制网点高程较差阈值可按 (15) 式计算:

$$\Delta h_{\text{限}} = \mu \times \sqrt{m_{h1}^2 + m_{h2}^2} \dots\dots\dots (15)$$

式中： $\mu$  —— 限差系数，一般取 2；

$\Delta h_{\text{限}}$  —— 网点高程的限值，单位为毫米（mm）；

$m_{h1}$  —— 网点上一期测量的高程中误差，单位为毫米（mm）；

$m_{h2}$  —— 网点本期复测的高程中误差，单位为毫米（mm）。

7.2.4 控制网复测应以稳定网点为基础进行平差计算，评定的最弱点点位精度应满足设计要求，并输出控制网复测成果。

7.2.5 控制网复测工作完成后应对复测成果进行整理、提交，对复测成果的应用做出相应说明。

### 7.3 资料整编

7.3.1 控制网复测工作完成后，应对下列资料进行整理：

- a) 外业观测记录。
- b) 仪器设备检定证书。
- c) 平差计算资料及成果表。

7.3.2 项目完成后，应提交下列资料：

- a) 施工控制网复测方案
- b) 复测成果表及说明。
- c) 复测检查报告、技术总结报告。

## 8 测量成果质量检查与验收

### 8.1 一般要求

8.1.1 质量检查、评定与成果验收宜按测绘项目进行。测量成果宜包括：技术设计文件、原始观测数据、平差计算资料、技术总结报告、成果检查报告、点之记、成果表及成果说明等。

8.1.2 测量成果质量检查、评定与验收的主要依据应包括任务书或合同书、技术设计文件和相关技术标准等。

8.1.3 测量成果质量控制应采用二级检查一级验收方式进行，并应满足下列要求：

- a) 测量成果应依次进行过程检查、最终检查和验收。
- b) 检查、验收工作应按顺序独立进行，不得省略、代替或颠倒顺序。
- c) 最终检查应审核过程检查记录，成果验收应审核最终检查记录。

8.1.4 测量成果最终检查按优、良、合格和不合格四个等级进行质量评定，按合格和不合格两个等级进行质量验收。

8.1.5 成果质量的检查记录、评定记录、验收记录不得更改、增删，内容填写应完整、规范、清晰，应有质量检查、评定及验收人员的签名。

8.1.6 质量问题处理应符合下列要求：

- a) 最终检查中发现存在不符合技术设计文件、技术标准或其他有关技术规定的成果时，应

及时提出处理意见，将不合格成果退回作业单位进行处理，完成后重新进行最终检查。

b) 过程检查、最终检查质量分歧应由项目测绘单位裁定，项目验收中质量分歧应由项目委托方裁定或独立的第三方检验裁定。

c) 验收合格的项目，测绘单位应对验收中发现或提出的问题按照验收文件中提出处理意见在规定时间内进行修改完善，并通过复查核实。

d) 验收不合格的项目，应将项目全部成果退回项目测绘单位处理，处理完成后重新申请验收，再次验收时应按原程序执行。

## 8.2 质量检查

8.2.1 成果质量检查可采用详查和概查相结合的方式，过程检查由测绘单位作业实施部门完成、最终检查应由测绘单位质量管理部门实施。

8.2.2 施工控制网测量成果质量的内业检查宜全数检查，外业检查可采用抽样检查形式，抽样程序宜按 GB/T 24356 相关规定执行。

8.2.3 测量成果过程检查前，应满足下列要求：

- a) 完成提交过程检查部分的全部工作内容。
- b) 作业组自检、互查过程中发现的质量错漏已按要求处理。
- c) 测量过程资料按要求整理完毕。

8.2.4 成果最终检查前，应满足下列要求：

- a) 完成项目规定的全部工作内容。
- b) 过程检查中发现的质量错漏已按要求处理。
- c) 技术总结报告编写及项目测量成果资料按要求整理完毕。
- d) 完成项目合同文件约定的相应条件。

8.2.5 成果过程检查发现的错漏问题应填写过程检查记录表，整改完成后应进行复核，检查记录禁止更改、增删。

8.2.6 成果最终检查完成后应编写测量成果检查报告，填写成果质量评定表，并应符合下列要求：

- a) 最终检查发现的问题，应在测量成果最终检查意见表中记录并提出处理意见。
- b) 最终检查存在问题的测量成果，作业单位应按照最终检查意见对错漏项目进行修正，修正完成后提交复核确认。
- c) 最终检查不合格的成果应退回作业部门处理，作业部门处理完善后重新提交最终检查，直至最终检查质量合格为止。

## 8.3 质量评定

8.3.1 控制网测量成果质量评定可与成果最终检查同步进行，也可根据需要单独开展质量评定。

8.3.2 控制网测量成果质量宜采用百分制评分，成果质量评定等级及质量验收等级应符合表 21 的规定。

表21 成果质量评定等级及质量验收等级表

成果质量评定等级	质量得分	成果质量验收等级
优	$S \geq 90$ 分	合格
良	$75 \text{ 分} \leq S < 90 \text{ 分}$	
合格	$60 \text{ 分} \leq S < 75 \text{ 分}$	
不合格	$S < 60$ 分	不合格

8.3.3 质量评定可分为项目技术设计、资料整理和控制网测量三个分项，分项的质量元素、检查项的赋值得分按附录 E 执行。

8.3.4 控制网的成果质量得分采用分项加权平均法计算，其中项目技术设计、资料整理和控制网测量的三个分项成果权重分别为 0.15、0.15 和 0.70。

8.3.5 控制网测量成果质量得分计算应符合下列规定：

a) 控制网分项成果的质量检查项中出现不合格项，则分项测量成果质量及控制网成果质量应综合评定为不合格。

b) 各分项成果质量元素得分 $S_i$ ，可采用式（16）计算：

$$S_i = \sum_{r=1}^n (s_r \times P_r) \dots \dots \dots (16)$$

式中： $S_i$  —— 分项质量得分， $i=1、2、3$ ；

$n$  —— 分项质量元素检查项个数；

$s_r$  —— 第  $r$  个质量检查项的质量得分；

$P_r$  —— 第  $r$  个质量检查项的权。

c) 控制网测量成果质量得分可按式（17）计算：

$$S = 0.15 \times S_1 + 0.15 \times S_2 + 0.70 \times S_3 \dots \dots \dots (17)$$

8.3.6 依据控制网测量成果质量计算的分值，按 8.3.2 条的表 21 评定控制网的成果质量评定等级及质量验收等级。

## 8.4 成果验收

8.4.1 成果验收应由项目委托方组织，验收方式有委托方自行验收或委托具有资质的质量检验机构验收。

8.4.2 成果验收前，项目应具备下列条件：

a) 完成项目合同或任务书范围内的全部工作内容。

b) 成果质量评定为合格及以上等级。

c) 成果资料已按要求整理完毕。

8.4.3 成果验收应按下列规定执行：

a) 测量单位应向委托方提出验收申请。

b) 验收申请应获得委托方批复，并明确验收方式、验收时间、验收地点等内容。

c) 成果验收完成后，应编写测量成果验收报告或出具验收意见。

8.4.4 成果验收应包括下列主要内容：

a) 成果内容、完成数量、成果格式、资料数量、提交形式等是否满足项目合同文件、技术设计文件和现行国家技术标准等要求。

b) 检查成果形成过程中的技术策划、人员设备、技术实施、过程质量控制、资料整编等方面是否满足合同要求，并对遗留问题提出处理意见。

c) 审核最终检查报告和测量成果检查记录，发现的问题作为资料质量错漏处理。

d) 发现的错漏问题应在成果验收文件中完整记录，并应对验收中发现的技术质量问题提出明确的处理意见和整改完善时间。

附录 A  
(规范性)

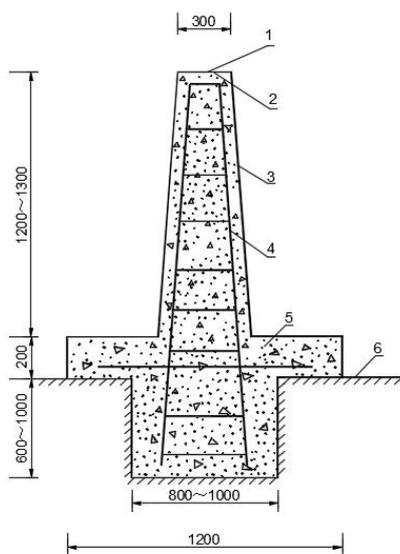
平面控制网点的标石埋设规格

A.1 混凝土观测墩标石埋设规格

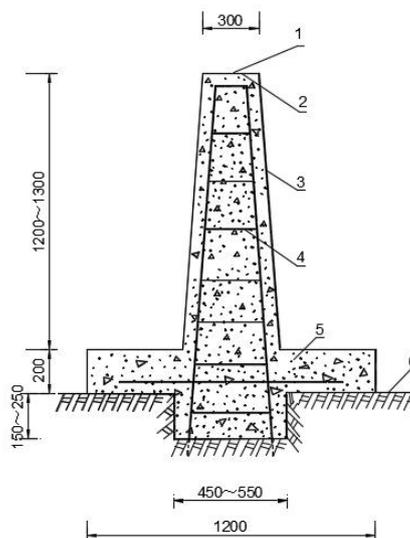
土质基础的混凝土观测墩埋设规格和埋设尺寸如图 A.1 (a) 所示, 其标石埋设深度应大于该地区冻土深度; 观测墩柱体可选用四棱台或圆柱体, 俯视图如图 A.1 (c) 或 A.1 (d) 所示。

岩质基础的混凝土观测墩埋设规格和埋设尺寸如图 A.1 (b) 所示, 观测墩的架立钢筋应植入底部岩石; 观测墩柱体可选用四棱台或圆柱体, 俯视图如图 A.1 (c) 或 A.1 (d) 所示。

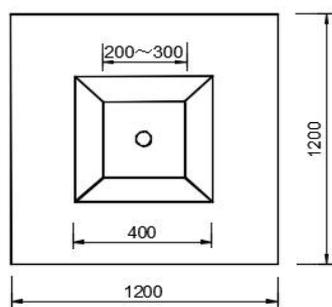
单位为毫米



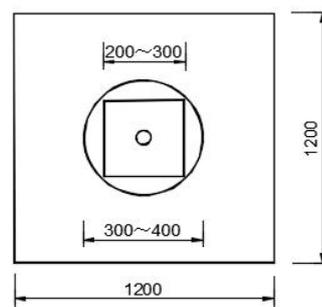
(a) 土质基础标石规格及埋设图



(b) 浅层基岩标石规格及埋设图



(c) 四棱台俯视图



(d) 圆柱体俯视图

标引序号说明:

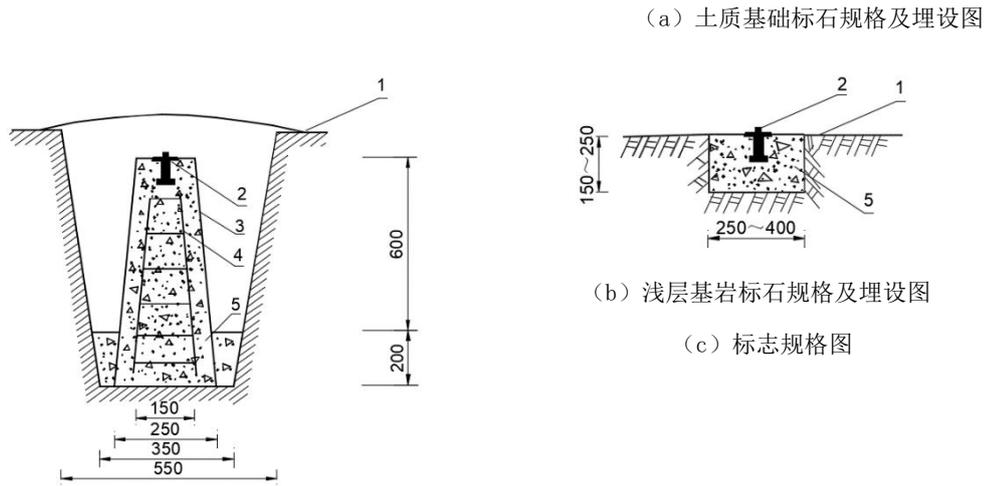
- 1—标石中心;
- 2—强制对中盘;
- 3—观测墩柱体;
- 4—钢筋骨架;
- 5—观测平台;
- 6—地面。

图A.1 平面控制点混凝土观测墩制作及埋设规格

A.2 普通混凝土标石及岩石标埋设规格

土质基础的普通混凝土标石埋设规格和埋设尺寸如图 A.2 (a) 所示，其标石埋设深度应大于该地区冻土深度；岩质基础的岩石标埋设规格和埋设尺寸如图 A.2 (b) 所示；标志宜采用金属标志，标志规格如图 A.2 (c) 所示。

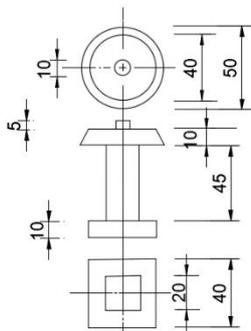
单位为毫米



标引序号说明：

- 1—地面；
- 2—标志；
- 3—柱体；
- 4—钢筋；
- 5—混凝土。

图A.2 平面控制点普通混凝土标石及岩石标埋设规格



附录 B  
(规范性)

控制网点之记格式

控制网点点之记格式见表 B。

表 B 控制网点点之记格式

点名 (点号)		所在地			
点位 略图		本点通 视方向 或路线 连接点	点名	距离(km)	备注
标石 断面图		点位地 质条件 描述或 拍摄照 片			
标石类型		地别土质			
		概略坐标	B=   °   '   "      L=   °   '   "		
			X=                      Y=		
点位 详细 说明			选 点	姓名	
				日期	
			埋 石	姓名	
				日期	
附注	说明当地冻土及地下水是否影响点位的稳定性及采取的措施。				



$$dS_1 = S' - \sqrt{S'^2 + (l-i)^2 - 2S' \times (l-i) \times \cos(\beta' - 2\varepsilon)} \dots\dots\dots (C.2)$$

$$\varepsilon = \rho'' \times S' \times \frac{\sin\beta'}{2R}$$

式中： $i$  —— 仪器高，单位为米（m）；  
 $l$  —— 棱镜高，单位为米（m）；  
 $\rho$  —— 1 弧度对应的秒值（206265''）；  
 $\beta'$  —— 测站点观测的天顶距，单位为秒（"）；  
 $R$  —— 地球曲率半径，单位为米（m）。

b) 将 a、c 处的长度化算到 A、B 两标石中心的弦长，其改正数应按 (C.3) 进行计算：

$$dS_2 = 2 \times \varepsilon \times i / \rho \dots\dots\dots (C.3)$$

通过加乘常数改正、气象改正和标石中心改正的测距边，作为两个标石之间的弦长可直接参与三维平差，在计算平面坐标时，先将测距边化算成水平距离，再依据两点的正常高高程，将两点的水平距离投影到坐标系统所选定的高程面上。

### C.3 天顶距

#### C.3.1 测站观测天顶距归化到标石中心的改正

如图 C.1 所示，天顶距归化到标石中心的改正应按式 (C.4) 计算：

$$\Delta\beta = \sin^{-1} \left[ \frac{(l-i)}{S} \times \sin(\beta' - 2\varepsilon) \right] \dots\dots\dots (C.4)$$

式中： $\Delta\beta$  —— 天顶距修正值，单位为度（°）；  
 $i$  —— 仪器高，单位为米（m）；  
 $l$  —— 棱镜高，单位为米（m）；  
 $S$  —— 测距边，单位为米（m）；  
 $\beta'$  —— 天顶距观测值，单位为度（°）；  
 $\varepsilon$  —— 垂线偏差，单位为度（°）。

#### C.3.2 测站观测天顶距球差和气差改正

在图 C.2 中， $\beta_1$ 、 $\beta_2$  为经归算到标石中心的天顶距， $\varepsilon_1$ 、 $\varepsilon_2$  为球面曲率改正，即为球差角  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = S_0/(2R)$ 。 $\delta_1$ 、 $\delta_2$  为往返测大气折射角，也称气差角，由大气垂直折光所引起，其表达式为： $\delta_1 = K \cdot S_0/(2R)$ ， $K$  为大气垂直折光系数。

通常，对向观测的往返测高差取均值后可以抵消一部分或大部分垂直折光差的影响。在推算往返测高差之前，对往返测天顶距先进行球差角和气差角的改正，然后再进行往返高差的计算，其结果与往返测高差取均值等价。

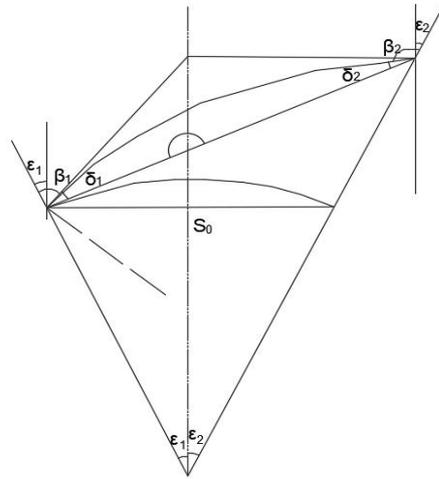
如图 C.2 所示：

$$\beta_1 - \varepsilon_1 + \delta_1 + \beta_2 - \varepsilon_2 + \delta_2 = 180 \dots\dots\dots (C.5)$$

因： $\varepsilon = \varepsilon_1 = \varepsilon_2$ ，设： $\delta = \delta_1 = \delta_2$ ，令  $C = \delta - \varepsilon$ ，则有：

$$C = \frac{180 - \beta_1 - \beta_2}{2} \dots\dots\dots (C.6)$$

式中：C —— 两点观测天顶距的球差角改正、气差角改正 (°)。



图C.2 往返测天顶距球差角和气差角的改正

按式 (C.7) 计算改正后的天顶距：

$$\left. \begin{aligned} \beta'_1 &= \beta_1 + C \\ \beta'_2 &= \beta_2 + C \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (C.7)$$

实际上，C 不仅包括球差角改正和气差角改正，还包含了垂线偏差不等差的影响和观测误差，经过改正后的天顶距  $\beta'_1$ 、 $\beta'_2$  相对于处于两点中间的中点天顶距，可作为往返测观测值参与三维平差。

#### C.4 水准高差

水准测量的观测高差在平差计算前应进行改正，一般包括：水准标尺长度改正、正常水准面不平行的改正、水准路线闭合差改正等。一、二等水准测量应视工程实际、收集资料情况以及改正值影响大小加入水准标尺温度改正、重力异常改正等，具体改正项及计算方法按 GB/T 12897 相关规定执行。

参与三维平差的水准高差，一般为水准测量往测和返测高差观测值的平均值。当水准路线较少、水准高差数量不足时，也可将水准测量往测和返测的高差作为独立观测值参与平差。

#### C.5 GNSS 基线

GNSS 观测成果通过同时段观测环、异步环检验后，计算取得的 GNSS 基线解算成果，化算至两点标石中心之间的弦长后，可直接参与三维平差。

对于重复基线，可单独参与平差，也可取平均值后参与平差。当 GNSS 基线边与常规测距边存在尺度差异时，应进行两者之间的尺度比计算，并依据尺度比对 GNSS 基线边的作相应的尺度修正。

附录 D  
(规范性)  
基准归算法

D.1 基准归算法的基本原理

以平面控制网两期观测的稳定网点为基础，建立二维坐标转换模型、计算两期坐标的平移、缩放和旋转参数。将控制网复测成果按自由网进行平差计算，以平面控制网上一期成果作为基准对新一期控制网复测成果进行归算，设定两期网点位移阈值 $\Delta P_{\text{限}}$ ，剔除平面控制网中的位移网点，重新计算二维坐标转换参数，采用逐次趋近的计算方法，直至剔除全部位移网点，对控制网中的稳定网点做出判定。

二维坐标转换模型见下式 (D.1):

$$\begin{cases} X = \Delta X + k \cdot \cos \alpha \cdot x - k \cdot \sin \alpha \cdot y \\ Y = \Delta Y + k \cdot \sin \alpha \cdot x + k \cdot \cos \alpha \cdot y \end{cases} \dots\dots\dots (D.1)$$

- 式中：X —— 控制网复测基准归算后 X 坐标，单位为米 (m)；  
 Y —— 控制网复测基准归算后 Y 坐标，单位为米 (m)；  
 $\Delta X$  —— 控制网复测基准归算 X 坐标平移量，单位为米 (m)；  
 $\Delta Y$  —— 控制网复测基准归算 Y 坐标平移量，单位为米 (m)；  
 $\alpha$  —— 控制网复测自由网成果基准归算旋转参数，单位为度 (°)；  
 k —— 控制网复测自由网成果基准归算缩放参数；  
 x —— 控制网复测自由网成果 X 坐标，单位为米 (m)；  
 y —— 控制网复测自由网成果 Y 坐标，单位为米 (m)。

高程控制网也可参照平面基准归算法进行高程网点的稳定性分析。

D.2 控制网两期网点位移 $\Delta P_{\text{限}}$  阈值计算

控制网点位移判定值宜按下式 (D.2) 确定：

$$\Delta P_{\text{限}} = 3 \times \sqrt{\frac{(K \cdot D)^2}{n} + \frac{(\alpha \cdot D / \rho)^2}{N}} \dots\dots\dots (D.2)$$

- 式中： $\Delta P_{\text{限}}$  —— 控制网点位移判定值，单位为毫米 (mm)；  
 K —— 相应等级的最弱边边长相对中误差；  
 D —— 控制网平均边长，单位为毫米 (mm)；  
 $\alpha$  —— 控制网测角观测中误差，单位为秒 (")；  
 $\rho$  —— 1 弧度对应的秒值 (206265")；  
 n —— 控制网点平均观测边数，如 10 点组成的控制网观测边总数为 30 条，则平均观测边数为 3 条，往返测边算 2 条；  
 N —— 控制网点平均观测方向数，如 10 点组成的控制网观测边总数为 40 条，则平均观测方向数为 4 个。

### D.3 稳定性分析及判定步骤

- a) 以任意一点、一方向作为起算，对控制网复测数据成果进行自由网平差；
- b) 利用控制网全部网点本期复测和上一期观测的两期成果，按最小二乘法计算二维平面坐标转换模型；
- c) 依据转换模型参数，将本期控制网复测的自由网平差成果采用控制网上一期成果为基准，进行控制网平面基准一致性转换，按转换模型计算控制网本期复测的转换后坐标成果；
- d) 计算控制网两期坐标成果的较差，如所有网点的坐标较差均不大于 $\Delta P_{\text{限}}$ ，说明控制网点全部稳定；
- e) 当控制网中存在坐标较差大于 $\Delta P_{\text{限}}$ 的网点，剔除坐标较差最大的网点后，采用剩余同名网点的两期成果，按最小二乘法第二次计算转换模型，并利用模型参数将控制网复测的自由网平差成果重新进行平面基准一致性归算，求得复测归算后的坐标成果；
- f) 经过多次循环判定，直至剔除所有较差大于 $\Delta P_{\text{限}}$ 的网点，控制网其他剩余网点即为稳定网点。。

## 附录 E

### (规范性)

#### 质量元素、检查项及赋分

E.1 项目技术设计的质量元素、检查项及赋值得分可按表 E.1 执行。

**表 E.1 项目技术设计的质量元素、检查项及赋分**

质量元素	权 P1	质量检查项	权 P2	按检查项赋分 [百分制]	质量元素 得分
技术指标合理性	0.25	已有资料的收集及利用	0.05		
		平面坐标系统正确性、合理性	0.05		
		高程系统正确性、合理性	0.05		
		成果的主要技术指标和规格	0.10		
技术设计方案质量	0.60	软硬件设备配置合理性	0.10		
		人员配置及分工合理性	0.10		
		项目主要技术方案合理性	0.30		
		项目主要技术方案经济性	0.10		
设计书完整性	0.15	质量保证措施和要求	0.05		
		拟提交主要成果资料的完整性	0.05		
		设计附件资料的完整性	0.05		
项目技术设计质量总分					

E.2 成果资料整理的质量元素、检查项及赋分可按表 E.2 执行：

**表 E.2 成果资料整理的质量元素、检查项及赋分**

质量评定 元素	权 P1	质量检查项	权 P2	按检查项赋分 [百分制]	质量元素 得分
资料整理 质量	0.60	观测资料、原始手簿等资料的完整性、规范性	0.10		
		计算资料的完整性、规范性	0.10		
		图件类资料图面各要素各种符号和注记的正确性	0.10		
		图件类资料图廓整饰的规整性	0.10		
		控制点、界桩和断面端点成果资料的完整性、规范性	0.10		
		技术总结(竣工)报告的完整性、规范性	0.10		
附件质量	0.40	项目策技术设计书(工作大纲)的规范性	0.03		
		项目合同(任务书)的完整性	0.03		
		设备、仪器仪表检定证书、检验与校正资料的完整性	0.05		
		过程检查和最终检查资料、报告的完整性、规范性	0.10		
		项目验收资料、报告的完整性、规范性	0.10		
成果资料整理总分					

E.3 控制网测量的质量元素、检查项及赋分可按表 E.3 执行。

表 E.3 控制网测量的质量元素、检查项及赋分

质量元素	权 $P_1$	质量检查项	权 $P_2$	按检查项赋分 [百分制]	质量元素 得分
选点质量	0.12	点位布设及点位密度合理性	0.05		
		点位满足观测条件的符合情况	0.05		
		点之记等内容的齐全、正确性	0.02		
造埋质量	0.13	基础开挖、基础处理及稳定性	0.03		
		标石、标志类型和埋设规格与设计符合性	0.03		
		标石浇筑质量	0.05		
		标石外表装饰及警示	0.02		
数学精度	0.20	中误差/每千米水准测量的偶然中误差的符合性	0.07		
		点位中误差/每千米水准测量的全中误差的符合性	0.07		
		边长相对中误差/相对于起算点的最弱点高程中误差的符合性	0.06		
观测质量	0.35	仪器计量检定和检验项目的齐全性, 检验方法的正确性	0.05		
		观测和检测方法的正确性	0.05		
		观测条件选择的正确性、合理性	0.05		
		观测值各项限差的符合性	0.06		
		观测记簿计算正确性、手簿记录与注记的完整性和数字记录、划改的规范性	0.04		
		规范和设计方案的执行情况	0.05		
		成果取舍和重测的正确性、合理性	0.05		
计算质量	0.20	采用平面坐标系/高程系统的合理性	0.03		
		起算点选取的合理性和起始数据的正确性、兼容性	0.03		
		数据使用的正确性和合理性	0.05		
		计算程序的先进性及合法性、计算方案的合理性	0.04		
		外业验算项目的完整性、方法正确性, 各项指标符合性	0.05		
控制网专项测量总分					
注, 当水准闭合环数小于 20 个时, 不做全中误差的符合性检查					