

ICS 07.040

CCS A 78

TB

团 体 标 准

T/CSGPC XXX-20XX

# 抽水蓄能电站工程测量技术规程

Code of practice for engineering surveying of  
pumped storage power station

(征求意见稿)

(本稿完成时间: 2026年5月30日)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国测绘学会 发布



# 目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	2
5 基本规定	3
5.1 坐标基准	3
5.2 测量精度	3
5.3 数字化与BIM协同	3
5.4 仪器设备与软件	3
5.5 保密管理	3
5.6 工作流程	3
6 控制测量	5
6.1 平面控制测量	5
6.2 高程控制测量	7
7 地形测量	10
7.1 一般规定	10
7.2 图根控制测量	12
7.3 RTK测图	12
7.4 全站仪测图	12
7.5 地面三维激光扫描测图	13
7.6 低空数字摄影测图	13
7.7 机载激光雷达扫描测图	15
7.8 卫星遥感测图	17
7.9 水下地形测量	18
7.10 断面测量	19
7.11 建设征地与移民工程测量	22
7.12 资料整理与提交	22
8 施工测量	23
8.1 一般规定	23
8.2 施工控制网测量	23
8.3 放样测量	26
8.4 计量测量与工程量计算	26
8.5 开挖填筑及混凝土工程测量	27
8.6 地下工程测量	27
8.7 附属工程测量	28
8.8 金属结构与机电设备安装测量	28
8.9 竣工测量	29
8.10 资料整理与提交	29
9 变形监测	31

9.1 一般规定 .....	31
9.2 监测基准网 .....	33
9.3 监测方法及技术要求 .....	34
9.4 自动化监测与智能预警 .....	36
9.5 监测资料整理与提交 .....	36
10 数字化与 BIM 协同测量要求 .....	37
10.1 一般规定 .....	37
10.2 数据格式与交换 .....	37
10.3 模型精度与协同 .....	38
11 质量控制 .....	38
11.1 一般规定 .....	38
11.2 质量检查 .....	38
11.3 质量评定 .....	39
12 证实方法 .....	39
附录 A (资料性) 大高差工程投影变形控制方法 .....	40
参考文献 .....	43

# 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》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。

本文件由中国测绘学会提出并归口。

本文件起草单位：XXXXX、XXXXX。

本文件主要起草人：XXX、XXX。

# 引 言

工程测量是贯穿抽水蓄能电站规划、设计、施工、安装及运维全生命周期的基础性工作。抽水蓄能电站具有上下库高差大（普遍 300~800m）、地下洞室群结构复杂、建设周期紧凑、数字化要求高等特点，其各阶段的测绘工作界线逐渐融合。长期以来，抽水蓄能电站工程测量多参照水电、水利、建筑等多行业的相关标准执行，存在技术要求不统一、精度指标不匹配、数字化交付不规范等问题，易导致地下洞室贯通误差超标、工程量计量争议及运维数据断层等现象。

为适应抽水蓄能电站高质量发展需求，统一抽水蓄能电站工程测量技术标准与作业尺度，制定本文件。本文件在系统梳理和引用现行相关工程测量规范的基础上，明确了抽水蓄能电站工程测量的具体工作流程、各工序的施测等级及作业方法，旨在为抽水蓄能电站工程建设质量与安全提供统一的技术依据，促进项目管理的规范化与科学化，并为保障电站长期安全稳定运行奠定测量数据基础。

# 抽水蓄能电站工程测量技术规程

## 1 范围

本文件确定了抽水蓄能电站工程测量的程序，规定了控制测量、地形测量、施工测量、变形监测、数字化交付及质量控制等技术要求，描述了对应的证实方法。

本文件适用于抽水蓄能电站规划、设计、施工、安装及运行维护全生命周期的工程测量工作。常规水电站的类似大高差及深埋隧洞工程测量可参照执行。

## 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必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期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/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 13923 基础地理信息要素分类与代码
- GB/T 17798 地理空间数据交换格式
- GB/T 18314 全球导航卫星系统（GNSS）测量规范
- 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/T 20257.2 国家基本比例尺地图图式 第2部分：1:5000 1:10000地形图图式
- GB/T 24356 测量成果质量检查与验收
- GB 50026 工程测量标准
- CH/Z 3003 低空数字航空摄影测量内业规范
- CH/Z 3004 低空数字航空摄影测量外业规范
- CH/T 3005 低空数字航空摄影规范
- CH/Z 3017 地面三维激光扫描作业技术规程
- CH/T 8024 机载激光雷达数据获取技术规范
- CH/T 9012 基础地理信息数字成果数据组织及文件命名规则
- DL/T 5173 水电水利工程施工测量规范
- DL/T 5178 混凝土坝安全监测技术规范
- DL/T 5259 土石坝安全监测技术规范
- NB/T 35029 水电工程测量规范

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**抽水蓄能电站** pumped storage power station

利用电力系统的富余电能从下水库向上水库抽水，将电能转换为水的势能储存起来，当电力系统需要时，从上水库向下水库放水发电，再将水的势能转换为电能的一种水电站。

[来源：NB/T 10072—2018, 2.0.1]

### 3.2

**卫星定位测量** satellite positioning

利用卫星定位接收机接收卫星导航系统的多颗定位卫星信号,确定地面点位置的技术和方法,简称卫星定位。

[来源:GB 50026—2020, 2. 1. 1]

### 3. 3

#### 三角形网测量 **triangular control network survey**

通过测量三角形网确定控制点位置的方法,是对以往三角测量、三边测量和边角网测量的统称。

[来源:GB 50026—2020, 2. 1. 5]

### 3. 4

#### 变形监测 **deformation monitoring**

对监测对象的形状或位置变化及相关影响因素进行监测,确定监测体随时间的变化特征,并进行变形分析的过程。

[来源:GB 50026—2020, 2. 1. 11]

### 3. 5

#### 点云 **point cloud**

通过测量方式获取三维空间中目标表面特性的海量点集合。

[来源:GB 50026—2020, 2. 1. 13]

### 3. 6

#### 点云密度 **density of point cloud**

以高程方向为法向方向,单位面积上点云中激光点的平均数量。

[来源:GB/T 36100—2018, 3. 4]

## 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CGCS2000: 2000国家大地坐标系 (China Geodetic Coordinate System 2000)

CORS: 卫星导航定位连续运行基准站 (Continuously Operating Reference Station)

DEM: 数字高程模型 (Digital Elevation Model)

DLG: 数字线划图 (Digital Line Graphic)

DOM: 数字正射影像图 (Digital Orthophoto Map)

DSM: 数字表面模型 (Digital Surface Model)

DTM: 数字地形模型 (Digital Terrain Model)

GNSS: 全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System)

GSD: 地面采样距离 (Ground Sampling Distance)

IMU: 惯性测量单元 (Inertial Measurement Unit)

InSAR: 合成孔径雷达干涉测量 (Interferometric Synthetic Aperture Radar)

LiDAR: 激光探测及测距系统 (LightLaser Detection and Ranging)

LOD: 模型精细度 (Level of Detail)

PDOP: 空间位置精度因子 (Position Dilution of Precision)

PLM: 产品全生命周期管理 (Product Lifecycle Management)

POS: 定位定姿系统 (Positioning and Orientation System)

RTK: 实时动态 (RealTime Kinematic)

TBM: 隧道掘进机 (Tunnel Boring Machine)

TIN: 不规则三角网 (Triangulated Irregular Network)

## 5 基本规定

### 5.1 坐标基准

5.1.1 平面坐标系统应采用CGCS2000国家大地坐标系。当工程区域高差显著导致投影变形超限时, 应建立工程独立坐标系, 并应与CGCS2000建立严密的转换关系。

5.1.2 高程基准应采用1985国家高程基准, 当采用其他高程基准时, 应与1985国家高程基准建立联系。

5.1.3 抽水蓄能电站各阶段测量工作应建立统一的空间基准, 满足数字化交付需求。

### 5.2 测量精度

5.2.1 应以中误差作为衡量测绘精度的标准, 并应以2倍中误差作为极限误差。

5.2.2 对于精度要求较高的工程部位 (如机组安装、变形监测核心区域等), 应制定专门的观测方案和精度评定方法。

### 5.3 数字化与BIM协同

5.3.1 测量工作应满足工程数字孪生和全生命周期管理的需求。

5.3.2 宜推动测量机器人、GNSS、三维激光扫描仪等与BIM平台的深度融合。

### 5.4 仪器设备与软件

5.4.1 测量仪器和设备应在检定或校准有效期内, 并在作业前进行常规检查和校正。

5.4.2 测量数据处理和成果生产软件应通过测试或验证, 确保其正确性和可靠性。

### 5.5 保密管理

5.5.1 涉密测绘成果的管理和保密工作应符合国家相关法律法规和标准的要求。

### 5.6 工作流程

抽水蓄能电站工程测量工作应遵循数字化、协同化原则, 典型工作流程见图1:

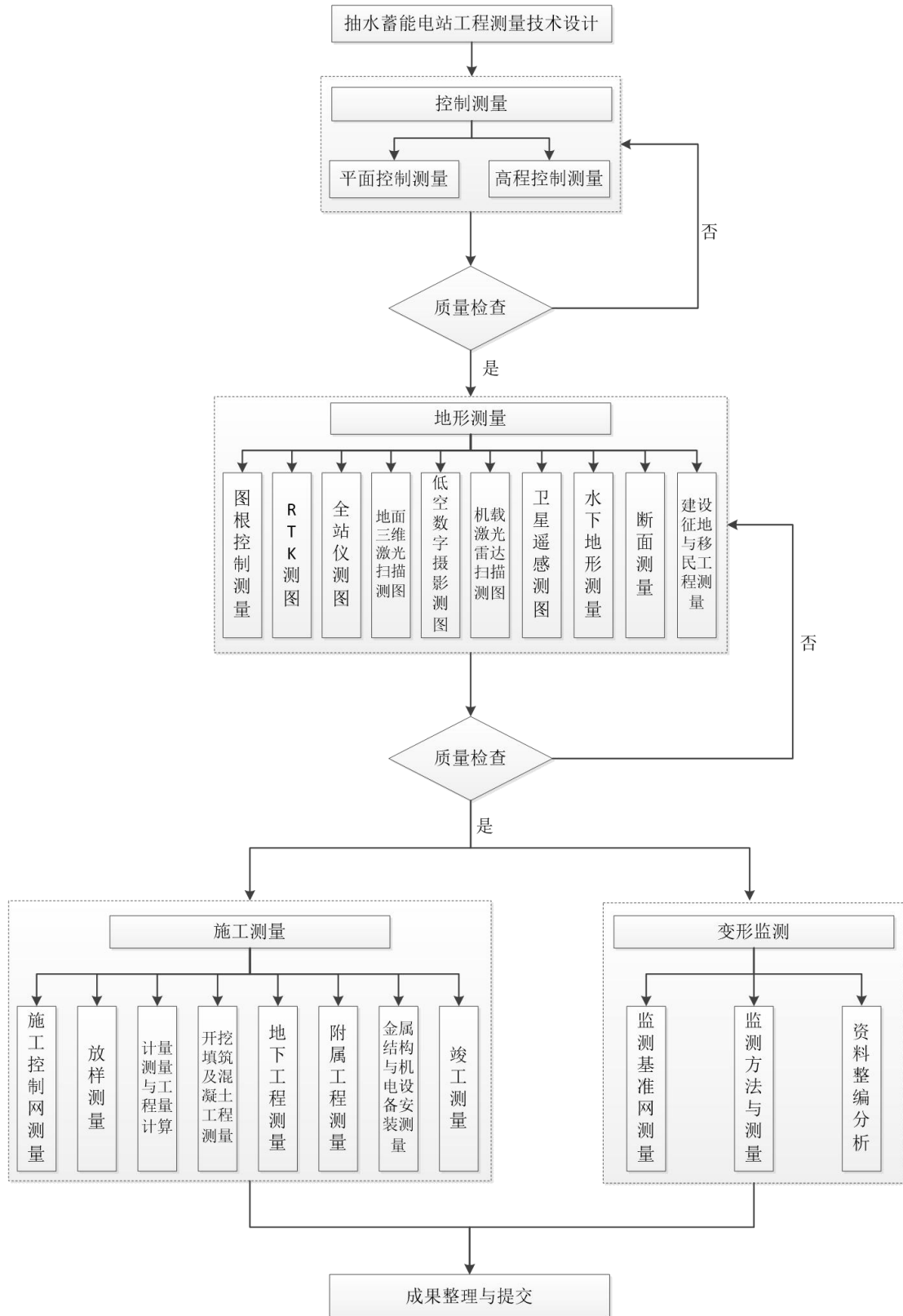


图 1 抽水蓄能电站工程测量工作流程

## 6 控制测量

### 6.1 平面控制测量

#### 6.1.1 一般规定

6.1.1.1 首级平面控制网等级应根据工程规模、阶段和精度要求按表1选取。

表1 抽水蓄能电站各阶段宜采用的首级平面控制等级

阶段/用途	等级
规划阶段	四等/一级/二级
预可行性研究	四等
可行性研究	三等
施工阶段	二等或三等

6.1.1.2 平面控制网的建立可采用GNSS测量、导线测量、三角形网测量等方法。

6.1.1.3 平面控制点高程可采用水准测量、三角高程测量及GNSS高程测量等方法测定。

6.1.1.4 首级控制网的布设应因地制宜并兼顾后续加密和扩展需求；当与国家坐标系统联测时，还应统筹联测方案。

6.1.1.5 加密控制网可越级布设或同等级扩展。

6.1.1.6 平面控制网坐标系投影长度变形应不大于25mm/km。当单一投影面无法满足要求时，应进行工程独立坐标系设计。

#### 6.1.2 工程独立坐标系参数确定

6.1.2.1 工程独立坐标系的设计应综合考虑高程归化与高斯投影变形的耦合效应，科学确定工程参考椭球参数与投影参数，并提供严密的投影参数计算书，作为技术设计的核心内容。其方法可参照附录A。

6.1.2.2 当采用分区投影，应提供相邻投影带或不同投影面之间的坐标转换模型。投影高程面的选择应结合工程建筑物分布特征确定，并遵循下列原则：

- 大坝及上下库区枢纽工程宜选择其平均高程面或重点控制作业面高程；
- 地下厂房区宜选择厂房重点控制作业面或机组安装高程面；
- 引水隧洞及尾水隧洞宜选择隧洞贯通面高程或放样精度要求最高的平面高程。

6.1.2.3 为便于施工拼接与数据管理，位于不同投影面交界处的控制点，应分别计算出其在相邻或全部相关投影面下的平面坐标。

6.1.2.4 工程参考椭球参数确定，应遵循下列原则：

- 当测区大地水准面与标准参考椭球面存在系统性偏差，或测区高差较大时，宜构建贴合测区平均大地水准面的工程参考椭球。
- 宜采用多点拟合法，利用测区内均匀分布的控制点高程异常数据，通过最小二乘法解算椭球平移参数及长短轴调整参数。
- 当GNSS控制网反算边长与地面精密实测边长存在显著尺度差异时，可采用基于尺度比关系的椭球参数确定方法。以精密实测边长为基准计算加权尺度比，将尺度比残差等价转换为抵偿投影面高程修正值，进而修正工程椭球长半径，确保GNSS网平差成果与地面实测尺度高度一致。

6.1.2.5 投影参数确定，应遵循下列原则：

- 选定轴线投影变形最小准则：适用于通风兼安全洞、进厂交通洞等对贯通精度要求极高的线状工程，使选定轴线整体的投影变形理论值趋近于0；

- b) 综合投影变形最小准则：适用于要求测区内各点长度综合变形整体最小的枢纽工程区，以投影变形平方和最小为目标；
- c) 最大投影变形最小准则：适用于对边缘区域边长最大投影变形有严格限制的工程，使测区东西两端的最大投影变形绝对值相等且最小；
- d) 面积投影变形最小准则：适用于对库区淹没面积、土石方量计算精度要求较高的区域。
- e) 对于超大高差（如上下库高差超过300 m）的抽水蓄能电站，宜采用投影-高程耦合变形控制技术。通过建立高差引起的长度变形与远离中央子午线引起的长度变形在空间分布上的线性关系，优化定义新的中央子午线位置，使两类变形在工程关键区相互抵消，并辅以尺度比残差修正抵偿投影面，实现大高差环境下单投影面的变形达标。

### 6.1.3 选点埋石

选点埋石应按照NB/T 35029规定执行，并符合下列要求：

- a) 点位需稳固可靠、便于保存、利于使用，覆盖上下水库、对外交通等关键区域；
- b) GNSS点位应顶空高度角 $15^\circ$ 以上无遮挡；远离水域、强无线电源等干扰物；
- c) GNSS点位应考虑抽水蓄能电站进场交通洞、通风兼安全洞等隐蔽工程或地下工程施工需要；
- d) 三角形网点应保证良好通视，视线离障碍物大于1.2m，避开发热体与强磁场；
- e) 导线点尤其地下点位应选在已支护、稳定的洞壁，避开施工干扰与渗水区；
- f) 根据等级与用途建造混凝土普通标石或岩石标石，地下点需牢固嵌入围岩并做醒目保护。

### 6.1.4 GNSS 测量

GNSS控制测量的主要技术要求、计算方法、精度指标等应按照GB/T 18314规定执行，并符合下列要求：

- a) 新建控制网应与CGCS2000或工程已有坐标系统联测，联测点数量不应少于3个。在需要用常规测量方法加密平面控制的区域，GNSS网点布设应保证有一个或一个以上通视方向；
- b) 当选用一个投影工程面无法将测区内投影长度变形控制在25mm/km时，可选用多个投影工程面，选用的多个投影工程面宜靠近抽水蓄能电站主要施工作业面；
- c) GNSS测量应考虑抽水蓄能电站大落差特点，充分预留三角形网观测条件。

### 6.1.5 三角形网测量

三角形网测量的主要技术要求、计算方法、精度指标等应按照GB 50026规定执行，并符合下列要求：

- a) 考虑抽水蓄能电站工程上水库、下水库落差大、工程分布范围广的特点，三角形网测量平差计算时宜引入GNSS测量边长进行校核；
- b) 针对抽水蓄能电站进场交通洞、通风兼安全洞等大型地下洞室工程，三角形网测量时，应确保洞口的控制点位至少有两个长边作为后视及检核方向；
- c) 三角网测量平差计算时，起算点与起算方向宜分别选择上水库和下水库。

### 6.1.6 导线测量

导线测量的主要技术要求、计算方法、精度指标等应按照GB 50026规定执行，并符合下列要求：

- a) 导线测量主要适用于抽水蓄能电站进场交通洞、通风兼安全洞等地下洞室工程的

控制测量；

- b) 对于地下工程短边导线的测量，应采用三联脚架法或强制对中观测墩进行观测；
- c) 对于抽水蓄能电站进场交通洞、通风兼安全洞等较长地下工程，应采用平行双导线进行测量。

### 6.1.7 资料整理与提交

平面控制测量工作完成后，应对资料进行整理并提交，应符合下列要求：

- a) 平面控制测量工作完成后，应对下列资料进行整理：
  - 1) 技术设计书；
  - 2) 埋石点点之记；
  - 3) 平面控制网展点图；
  - 4) 原始记录资料；
  - 5) 平面控制计算资料和控制成果表；
  - 6) 各种测量仪器和工具的检验资料；
  - 7) 检查报告；
  - 8) 技术总结报告；
  - 9) 其他有关的资料。
- b) 平面控制测量项目完成后，应提交下列资料：
  - 1) 技术设计书；
  - 2) 埋石点点之记；
  - 3) 平面控制网展点图；
  - 4) 控制点成果表；
  - 5) 检查报告；
  - 6) 技术总结报告。

## 6.2 高程控制测量

### 6.2.1 一般规定

- 6.2.1.1 高程控制可采用水准测量、电磁波测距三角高程测量、GNSS 高程测量等方法；
- 6.2.1.2 项目区建立的控制网应满足项目区对控制点的密度和精度的要求。项目区建立的二、三、四、五等高程控制均可作为测区首级高程控制网。首级高程控制宜布设成附合路线、闭合环或结点网；
- 6.2.1.3 高程控制路线应选择高等级或同等级水准点作为起算点，起算点使用前应对其标石进行检查，对其高程数据进行校核；
- 6.2.1.4 项目区已有高程控制，可沿用已有高程系统；已有高程系统应与国家高程系统联测，并建立相应的转换关系；不具备与国家高程系统建立联测条件时，可采用国家测绘相关部门提供的其他成果作为项目的起算数据。当采用国家测绘相关部门提供的成果作为起算数据时，宜采用闭合水准路线，也可采用附合水准路线；施工阶段宜采用闭合水准路线；
- 6.2.1.5 各等级高程路线应沿坡度小、土质坚实、施测方便的道路布设，当高程控制路线交叉时应构成路线结点；
- 6.2.1.6 首级高程控制网的等级应根据工程规模、勘测设计阶段及用途和精度要求确定，具体等级可按表2选取：

表 2 抽水蓄能电站各阶段宜采用的首级高程控制等级

阶段/用途	等级
规划阶段	五等
预可行性研究	四等/五等
可行性研究	四等/三等
施工阶段	二等

### 6.2.2 选点埋石

选点埋石应按照NB/T 35029规定执行，并符合下列要求：

- a) 首级高程控制点应埋设永久性标石，可利用测区已有平面控制点标石或其他固定标志，也可在基岩或坚固的永久性建筑物上凿埋永久性标志。加密高程控制点的埋石视需要而定，可埋设永久性标石，可利用测区已有标石和固定标志；
- b) 高程控制点标石应选埋在土质坚硬、稳定、安全、僻静、利于长期保存、便于观测的地方；采用GNSS高程测量方法时，高程控制点的点位还应满足GNSS控制点埋设的要求；
- c) 高程控制点标石埋设后，现场绘制点之记、采集概略坐标。拍摄近景、远景照片，远景照片应能反映标石埋设后现场地物地貌；
- d) 抽水蓄能电站上水库、下水库、引水隧洞进出口等区域高程控制点数量每处不宜少于3座；
- e) 五等水准埋石间距可视需要确定，但不宜大于2km；
- f) 外业观测应在标石埋设稳定后进行。

### 6.2.3 水准测量

水准测量的主要技术要求、计算方法、精度指标等，二等应按照GB/T 12897规定执行，三等、四等应按照GB/T 12898规定执行，并符合下列要求：

- a) 二等水准测量的仪器设备及检校要求、观测方法、观测限差、数据处理等要求应按GB/T 12897的相关规定执行；三、四等水准测量的仪器设备及检校要求、观测方法、观测限差、数据处理等要求应按GB/T 12898的相关规定执行。
- b) 五等水准测量，观测顺序应为后—后—前—前。五等水准附和或闭合路线可采用单程观测，支线可采用往返观测或单程双转点观测；
- c) 当二等水准路线跨越河、深沟时，视线长度不超过100m，可采用一般方法进行观测，但在测站上应变换仪器高度观测两次，两次高差之差应不大于1.5mm，取两次结果的中数作为最后结果。当三、四等水准路线跨越河、深沟时，视线长度不超过200m，可采用一般方法进行观测，但在测站上应变换仪器高度，观测两次，两次高差之差应不大于7mm，取两次结果的中数作为最后结果。五等水准跨越河、深沟时，视距长度不大于250m，应变换仪器高度观测两次，所测高差互差不应大于14.0mm，取两次观测值的平均值作为最后结果。

### 6.2.4 电磁波测距三角高程测量

电磁波测距三角高程测量的主要技术要求、计算方法、精度指标等应按照NB/T 35029的规定执行，并符合下列要求：

- a) 三、四、五等电磁波测距三角高程测量宜与平面控制测量结合布设和同时施测；也可单独布设成附和导线、闭合导线网。各等级电磁波测距三角高程测量可以采用每点设站法或隔点设站法。
- b) 电磁波测距三角高程测量采用隔点设站法观测时，前、后视线长度宜相等，最大视距差不宜大于40m；应以单程双测模式观测两次，隔点设站法电磁波测距三角高程测量的主要技术要求应符合表3的规定。

表3 隔点设站法电磁波测距三角高程测量的主要技术要求

等级	边长 (m)	两次观测高差较差 (mm)
三等	≤300	≤ $8\sqrt{D}$
四等	≤500	≤ $14\sqrt{D}$
五等	≤800	≤ $20\sqrt{D}$

注：D为测距边长，单位：km。

- c) 对于三等及以上测距三角高程测量，大气折光系数（k 值）不宜直接采用经验常数，宜采用基于实时气象梯度数据的修正模型进行高差计算，当缺乏实测气象梯度数据时，应通过同期对向观测或采用精密水准测量数据反演折光系数。

### 6.2.5 GNSS 高程测量

GNSS 高程测量主要适用于抽水蓄能电站工程的规划阶段、预可研阶段的高程控制测量，并应符合下列规定：

- a) GNSS 高程测量可采用 GNSS 高程拟合测量、基于大地水准面精化模型的 GNSS 高程测量、GNSS 动态高程测量。GNSS 高程拟合测量、GNSS 动态高程测量可适用于五等高程测量；基于大地水准面精化模型的 GNSS 高程测量可适用于四等高程测量。
- b) GNSS 高程拟合测量的主要技术要求应符合下列规定：
  - 1) GNSS 拟合高程测量宜与 GNSS 平面控制测量同时进行，也可单独进行；
  - 2) GNSS 网应与四等或四等以上的水准点联测。联测的高程点应满足 GNSS 观测条件，且宜分布在测区的四周和中央，若测区为带状地形，联测的高程点应分布于测区两端及中部两侧。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) 抽水蓄能电站项目区高差较大，GNSS 拟合高程测量应增加联测点数；
  - 4) 上水库、下水库地形趋势变化明显的区域，宜采取分区拟合的方法。各分区间应有不少于 2 个重合点；
  - 5) GNSS 拟合高程测量宜选用固定误差不超过 10mm、比例误差系数不超过 2mm/km 的双频接收机，观测技术要求应按照 GB/T 18314 规定执行，观测时段数不应少于 1.6，时段长度根据测区实际情况适当延长，天线高应在观测前后各量测 1 次，较差应小于 3mm，取其平均值作为天线高。
- c) GNSS 拟合高程计算应符合下列要求：
  - 1) GNSS 拟合高程计算宜利用区域似大地水准面精化成果或当地的重力大地水准面模型、资料；
  - 2) 抽水蓄能电站项目区地形起伏较大，宜采用曲面拟合模型；
  - 3) 待拟合高程点不宜超出拟合高程模型所覆盖的范围。
- d) 对 GNSS 点的拟合高程成果应进行检测。检测点数不应小于全部拟合高程点的 5%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电磁波测距三角高程方法进行，其高差允许较差为  $40\sqrt{L}$ mm，其中 L 为检查路线的长度（km）。
- e) 基于似大地水准面精化模型的 GNSS 高程控制点测量应从高级控制点上起算，利用求出的控制点间的高差，按附和或闭合水准路线计算的闭合差应满足相应等级的精度要求。
- f) GNSS RTK 高程控制点测量主要技术要求应符合表 4 的规定：

表 4 GNSS RTK 高程控制点测量主要技术要求

大地高中误差（mm）	流动站到基准站间距离（km）	观测测回数	起算点等级
≤30	≤6	≥3	四等及以上

注 1：网络 GNSS RTK 测量应在连续运行基准站系统的有效服务范围内；  
注 2：大地高中误差指控制点大地高相对于最近基准站的误差。

- g) GNSS RTK 高程控制点测量时，设置的高程收敛精度不应大于 30 mm。
- h) 流动站观测应采用三脚架对中、整平，每次观测历元不应少于 10 个，采样间隔 2s~5s，各测回高程较差不应大于 30mm，应取各测回的平均值作为最终结果。
- i) 可通过流动站高程测量成果与相应高程异常或坐标系统间转换关系，进行 GNSS RTK 控制点高程的系统换算，换算后的高程残差不应大于 1/12 基本等高距。
- j) 当拟合模型及似大地水准面精化模型的精度满足要求时，流动站的高程异常可采用数学拟合方法、似大地水准面精化模型内插等方法确定。
- k) GNSS RTK 控制测量成果数据处理和检核，应符合下列规定：

- 1) GNSS RTK 控制测量外业采集的数据应及时进行备份和内外业检查;
- 2) RTK 测量控制点成果应进行 100%的内业检查和不少于总点数 5%的外业检测,外业检测可采用相应等级的水准测量、电磁波测距三角高程测量等方法,检测点应均匀分布于测区内,且不应少于 3 个。水准测量检测高程较差、电磁波测距三角高程检测高程较差按 GB50026 的相关规定执行。

#### 6.2.6 跨河水准测量

抽水蓄能电站跨河水准测量的主要技术要求、计算方法、精度指标等,二等应按照 GB/T 12897 规定执行,三等、四等应按照 GB/T 12898 规定执行,并符合下列要求:

- a) 当二等水准视线长度不超过 100m,三、四、五等水准视线长度不超过 200m 时,跨河水准测量可采用一般方法进行观测,在测站上应变换仪器高度观测两次;
- b) 二等、三等跨河水准测量应采用双线跨越障碍物,并按同等精度在两岸联测,组成四边形闭合环。

#### 6.2.7 资料整理与提交

- a) 高程控制测量工作完成后,应对下列资料进行整理:
  - 1) 技术设计书;
  - 2) 埋石点点之记;
  - 3) 高程控制网图;
  - 4) 原始记录资料;
  - 5) 高程控制计算资料和控制成果表;
  - 6) 各种测量仪器和工具的检验资料;
  - 7) 技术总结报告;
  - 8) 其他有关的资料。
- b) 高程控制测量项目完成后,应提交下列资料:
  - 1) 技术设计书;
  - 2) 埋石点点之记;
  - 3) 高程控制网图;
  - 4) 控制点成果表;
  - 5) 技术总结报告。

### 7 地形测量

#### 7.1 一般规定

7.1.1 地形测量的比例尺应根据抽水蓄能电站的规划、设计、施工等不同阶段的需求选定,并符合下列规定:

- a) 站点选择、总体规划阶段,宜采用 1:5000 或 1:10000 比例尺;
- b) 预可行性研究、可行性研究阶段,宜采用 1:2000 或 1:1000 比例尺;
- c) 招标及施工图设计阶段,枢纽建筑物区、上下库库盆及进出水口区域应采用 1:500 比例尺;
- d) 局部复杂地质缺陷区、大型地下厂房洞口及高边坡开挖区,宜采用 1:200 或更大比例尺。

7.1.2 地形图的分幅和编号宜按照 GB 50026 相关规定执行,或可采用工程独立矩形分幅。图廓整饰及注记应符合相关测绘标准。

7.1.3 抽水蓄能电站地形测量宜优先采用机载 LiDAR、低空数字航空摄影、无人机倾斜摄影及地面三维激光扫描等新型测绘技术。对于通视条件良好、范围较小的局部区域,可采用 GNSS RTK 或全站仪进行常规数字测图。

7.1.4 地形测量成果宜包括 DLG、DEM、DOM 及实景三维模型等,并满足电站 BIM 设计和数

字孪生底座的需求。

7.1.5 地形类别划分和基本等高距的确定应符合下列规定：

a) 应根据地面倾角  $a$  大小确定地形类别：

平坦地： $a < 2^\circ$  ；

丘陵地： $2^\circ \leq a < 6^\circ$  ；

山地： $6^\circ \leq a < 25^\circ$  ；

高山地： $a \geq 25^\circ$  。

b) 基本等高距应按照 GB 50026 规定选取。

7.1.6 地形测量数据源的获取，宜采用 RTK 测图、全站仪测图、地面三维激光扫描测图、低空数字摄影测图、机载激光雷达扫描测图、遥感解译测图及扫描数字化等方法，各比例尺地形图测量数据源获取方法可按表 5 选取。

**表 5 各比例尺地形图测量数据源获取方法**

比例尺	数据源获取方法
1:5000	低空数字摄影测图、卫星遥感测图、扫描数字化
1:2000	低空数字摄影测图、机载激光雷达扫描测图
1:1000	低空数字摄影测图、机载激光雷达扫描测图、地面三维激光扫描测图
1:500	RTK 测图、全站仪测图、地面三维激光扫描测图、机载激光雷达扫描测图等

7.1.7 DLG 的基本精度要求应按照 GB 50026 相关规定执行。

7.1.8 DEM 应由规则格网点数据和特征点数据以及边界数据组成，数字高程模型格网间距的选取及格网点高程中误差应符合表 6 的规定：

**表 6 DEM 格网间距的选取及格网点高程中误差 (m)**

比例尺	格网间距	格网点高程中误差			
		平坦地	丘陵地	山地	高山地
1:500	0.5	0.2	0.4	0.5	0.7
1:1000	1.0	0.2	0.5	0.7	1.5
1:2000	2.0	0.1	0.5	1.2	1.5
1:5000	2.5	0.7	1.5	2.5	4.0

注：森林、沼泽等隐蔽地区 DEM 的高程中误差不得超过表中相应限差的 1.5 倍，内插点的高程中误差不得超过表中相应限差的 2 倍。

7.1.9 DOM 的主要技术要求应符合下列规定：

a) 数字正射影像图 GSD 不应大于表 7 的规定。

**表 7 数字正射影像图地面分辨率 (m)**

比例尺	1:500	1:1000	1:2000	1:5000
GSD	0.05	0.1	0.2	0.5

b) 地物点的平面位置中误差，对于平坦地、丘陵地不应大于图上 0.6mm，对于山地、高山地不应大于图上 0.8mm。

7.1.10 地形图的图式和要素分类代码的使用应符合下列规定：

a) 1:500、1:1000、1:2000 地形图图式应符合 GB/T 20257.1 的规定，1:5000、1:10000 地形图图式应符合 GB/T 20257.2 的规定；

b) 地形图要素分类代码宜按 GB/T 13923 执行；

c) 图式和要素分类代码的不足部分可自行补充，并应编写补充说明。对于同一个工程或区域，应采用相同的补充图式和补充要素分类代码。

7.1.11 DLG、DEM、DOM 的成果文件命名应按照 CH/T 9012 的有关规定命名，数据存储格式

宜符合 GB/T 17798 的有关规定。

7.1.12 数字地形测量成果的质量检查应符合下列规定：

- a) DLG 应进行内外业质量检查；
- b) DEM 应进行外业实测检查和精度统计；
- c) DOM 应进行数学基础、覆盖范围、影像清晰度、色彩均衡度、镶嵌拼接痕迹及地物点内业量测检查；
- d) 数字三维模型应进行模型数据的质量检查。

## 7.2 图根控制测量

7.2.1 测图控制点应在首级或施工控制网的基础上进行加密。加密控制点的精度应满足相应比例尺测图的规范要求。

7.2.2 图根控制测量的主要技术要求、计算方法、精度指标等应按照 GB 50026 规定执行，并符合下列要求：

- a) 图根控制点点位标志宜采用木（铁）桩，也可埋设标石；
- b) 图根平面控制，宜采用 GNSS RTK 测量方法，也可采用图根导线、极坐标、边角交会等方法；
- c) 图根高程控制，可采用图根水准、电磁波测距三角高程、GNSS RTK 高程控制测量等方法；
- d) GNSS RTK 图根控制测量，可采用单基准站 RTK 或网络 RTK 进行。在通信条件困难时，也可采用后处理动态测量模式进行测量，有条件采用网络 RTK 测量的地区，宜优先采用网络 RTK 测量。流动站到基准站或 CORS 虚拟站点的距离不应超过相关规范限值，且在山区峡谷地带应增加已知点检核；
- e) 在卫星信号遮挡严重的密林或深谷区域，宜采用全站仪导线或高程导线进行补充测量。

## 7.3 RTK 测图

RTK 测图的主要技术要求、作业流程、精度指标等应按照 GB 50026 规定执行，并符合下列要求：

- a) RTK 测图技术，适用于低空数字摄影飞行器禁飞、通视条件较差、人员配置不足及精度要求高的小范围地形测量区域；
- b) RTK 测图作业可采用单基站 RTK 测量方法，在已建立连续运行基准站系统的区域宜采用网络 RTK 测量方法；
- c) 对 RTK 采集的数据应进行检查处理，应删除或标注作废数据、重测超限数据、补测错漏数据。

## 7.4 全站仪测图

全站仪测图的主要技术要求、作业流程、精度指标等应按照 GB 50026 规定执行，并符合下列要求：

- a) 全站仪测图，可按图幅施测，也可分区施测；按图幅施测时，每幅图应测出图廓线外 5mm；分区施测时，应测出各区界线外图上 5mm；
- b) 当采用草图法作业时，应按测站绘制草图，并对测点进行编号；测点编号应与仪器的记录点号相一致；草图的绘制，宜简化标示地形要素的位置、属性和相互关系等；
- c) 在建筑密集的地区作业时，对于全站仪无法直接测量的点位，可采用支距法、线交会法等几何作图方法进行测量，并记录相关数据；

- d) 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; 对检查修改后的数据, 应及时与计算机联机通讯, 生成原始数据文件并做备份。

## 7.5 地面三维激光扫描测图

7.5.1 地面三维激光扫描测图技术可适用于 1:1000、1:500 地形测量。

7.5.2 地面三维激光扫描测图的总体工作流程包括技术准备与技术设计、数据采集、数据预处理、成果制作、质量控制与成果归档。

7.5.3 地面三维激光扫描测图的主要技术要求、作业流程、精度指标等应按照 CH/Z 3017 规定执行, 并符合下列要求:

- a) 扫描站扫描范围应覆盖整个扫描目标物, 均匀布设, 且设站数目尽量减少;
- b) 各扫描站之间的重叠区域, 应选择有明显地形或地物特征区域, 以提高各扫描站点云拼接精度;
- c) 考虑抽水蓄能电站工程落差大的特点, 标靶布测时, 应在扫描范围内均匀布置且高低错落;
- d) 标靶测量时, 宜采用 GNSS RTK 技术进行测量;
- e) 点云数据采集时, 相邻扫描站间有效点云的重叠度应不低于 30%, 困难区域不低于 15%。

7.5.4 地面三维激光扫描点云数据的处理, 应按照 CH/Z 3017 规定执行, 并符合下列要求:

- a) 点云数据配准根据不同的作业方法, 可选择控制点、标靶、特征地物点进行点云数据配准;
- b) 点云坐标系转换应采用不少于 3 个分布均匀的同名点, 通过七参数模型进行坐标系转换, 转换时宜固定比例因子; 小范围或单一扫描目标物可采用一个已知点和一个已知方位进行坐标系转换;
- c) 点云数据中存在脱离扫描目标物的异常点、孤立点时, 应采用滤波或人机交互进行降噪处理;
- d) 点云数据抽稀应不影响目标物特征识别与提取。

7.5.5 根据处理后的点云数据制作 DLG, 应包括点云分类、特征点线提取、等高线绘制、其他要素采集和图面整饰等; DLG 制作应符合 GB/T 13923 的相关规定。

## 7.6 低空数字摄影测图

7.6.1 低空数字摄影测图技术可适用于 1:500、1:1000、1:2000 地形测量。

7.6.2 低空数字摄影测图所采用的飞行平台及载荷设备应符合下列规定:

- a) 低空数字摄影飞行平台应具有足够的载荷能力, 抗风能力不低于 4 级, 巡航速度满足曝光点时间间隔要求, 不宜大于 120km/h, 最快不大于 160km/h; 自动驾驶仪具备基本的飞行控制功能, 满足航路点和曝光点曝光控制及数据存储要求; 导航定位系统可使用双天线 GNSS 导航和自动修正旋角, 以及双频 GNSS 差分定位或精密单点定位来解算实际曝光点坐标, 数据输出频率不小于 5Hz; 采用 IMU/GNSS 辅助航空摄影时, IMU 的精度应满足侧滚角和俯仰角不大于  $0.01^\circ$ 、航偏角不大于  $0.02^\circ$ ;
- b) 数码相机镜头应为定焦距镜头, 且对焦无限远, 镜头与相机机身、相机机身与飞行平台连接稳固; 相机具备曝光信号反馈功能, 最高快门速度不低于 1/1000s, 航向视场角不应小于  $27^\circ$ ; 影像数据动态范围每通道不应小于 8bit, 采用压缩格式存储时, 压缩倍率不应大于 10 倍;
- c) 数码相机检校时应在地面或空中对检校场进行多基线多角度摄影, 通过摄影测量

平差方法解算主点坐标、主距和畸变差参数，主点坐标检校中误差应不大于  $10\ \mu\text{m}$ ，主距检校中误差应不大于  $5\ \mu\text{m}$ ，残余畸变差应不大于 0.3 像素；相机检校周期不宜超过 2 年，当相机出现大修、关键部件更换或遭受剧烈振动和冲击等情况时，应重新检校。

7.6.3 低空数字摄影前应收集摄区地形资料，踏勘、调查摄区内可能影响飞行安全的高大建筑物、高压线、无线电干扰源等地面信息，根据摄影任务，制定航摄计划。航摄计划应包括以下内容：

- a) 摄区范围及其地物地貌特征；
- b) 测图比例尺和摄影地面分辨率；
- c) 航线敷设方法、飞行高度、像片航向和旁向重叠度；
- d) 飞行器与航摄影类型、技术参数和辅助设备参数；
- e) 需要提供的航摄成果名称和数量；
- f) 执行航摄任务的时间和期限；
- g) 航线预设计，起降场地预选情况，预估飞行工作量；
- h) 其他技术要求。

7.6.4 根据不同比例尺航摄成图要求，结合分区的地形条件、测图等高距、航摄基高比及影像用途等，在确保成图精度的前提下，在表 8 的范围内选择各航摄分区基准面的影像 GSD。

表 8 各成图比例尺 GSD 选择

成图比例尺	影像地面分辨率 (GSD)
1 : 500	$\leq 0.05\text{m}$
1 : 1000	$\leq 0.08\text{m}$
1 : 2000	$\leq 0.16\text{m}$

7.6.5 低空数字摄影测图外业像控点布设及测量应按照 CH/Z 3004 的相关规定执行。

7.6.6 低空数字摄影测图外业调绘应按照 CH/Z 3004 的相关规定执行。

7.6.7 低空数字摄影测图外业航摄应按照 CH/Z 3005 的相关规定执行，并符合下列规定：

- a) 定高航飞的航摄分区和基准面确定应兼顾成图比例尺、飞行效率、飞行方向、飞行安全等因素；航摄分区基准面高程一般取分区内高程占比加权平均值；山地分区内的高差不大于 1/4 相对航高，高山地分区内的高差不大于 1/3 相对航高；分区跨度应尽量扩大，且完整覆盖摄区，当出现分区面积较小、零散破碎等情况导致飞行任务实施困难时，可按照最低点地面分辨率不低于基准面分辨率 1.5 倍的原则重新分区，或将摄区内分辨率超限面积占比不超过 10% 的多个小分区向相邻较大分区合并；
- b) 仿地航飞的航摄分区的确定应兼顾成图比例尺、飞行效率、飞行方向、飞行安全、地形特点等因素，相对航高按照成图比例尺和飞行安全确定；
- c) 航线一般按测区形状的长边平行敷设，也可按东西向或南北向敷设；曝光点用数字高程模型按地形起伏逐点设计，宜采用定点曝光或等距曝光控制方法；
- d) 对于缺乏特征地物的区域，应在航摄实施之前布设像控点标志并测量坐标，地标尺寸应根据摄影分辨率确定，地标在航片上应成像清晰、棱角分明；
- e) 航摄实施过程中，应根据无人飞行器的性能要求，选择合适的起降场地和备用场地；起飞前应校准气压高度计、卫星定位的大地高、地形图海拔高程三者之间的差异，确保飞行实时高度控制与设计航高不出现较大系统性偏差。

7.6.8 空中三角测量应按照 CH/Z 3003 的相关规定执行，并符合下列规定：

- a) 空中三角测量加密开始前, 应收集和分析基础控制测量及像片控制测量成果, 以及航摄影像数据, 包括测区航摄略图 (包括航摄分区划分、航线分布、图幅分幅); 影像索引图, 中心点接合图; 航摄鉴定表; 辅助航摄资料, 包括摄站点坐标 (GNSS 数据)、像片姿态参数 (IMU 数据) 等数据或纸质资料; 航摄质量验收报告; 其他相关资料。
- b) 像控点转刺应对外业提交的像控点和外业检查点进行辨认和量测, 根据点位图和说明, 进行综合判点后, 准确确定其点位。

7.6.9 DLG、DOM、DEM 数据采集与制作应按照 CH/Z 3003 的相关规定执行, 并符合下列规定:

- a) 数据编辑应在专用图形编辑系统上, 依据图式要求以及外业调绘成果, 按综合取舍的原则进行数据编辑, 做到不失真、不遗漏, 主次有别、层次分明;
- b) 数据编辑过程中, 应消除定位错误、图层错误、属性错误、图形遗漏、属性遗漏、注记遗漏等, 消除要素间相互矛盾、线条不平滑等不合理现象;
- c) 绘制电力线、通信线时, 同一杆架上有多种线路的, 表示其中主要的线路, 但各种线路走向应连贯, 线类应分明;
- d) 河流遇桥梁、水坝、水闸等应中断; 水涯线与陡坎重合时, 可用陡坎边线代替水涯线, 水涯线与斜坡脚重合时, 仍应在坡脚将水涯线绘出。

## 7.7 机载激光雷达扫描测图

7.7.1 机载激光雷达扫描应符合下列规定:

- a) 机载激光雷达扫描测量可用于地形图测绘、三维模型制作、工程量计量等测绘工作。
- b) 机载激光雷达扫描点云密度不宜低于表 9 的规定。

表 9 机载激光雷达扫描点云密度规定

测图比例尺	机载激光雷达扫描点云密度 (点/m <sup>2</sup> )			
	平地	丘陵地	山地	高山地
1:200	2.50	5.00	7.50	10.00
1:500	1.00	2.00	3.00	4.00
1:1000	0.50	1.00	1.50	2.00
1:2000	0.25	0.50	0.75	1.00
1:5000	0.10	0.15	0.30	0.40

注: 表中点云密度为地面点密度。

- c) 激光点云精度应不低于本文件规定的地物平面位置精度、高程注记点高程精度的要求执行; 植被茂密区域或低反射率地区等困难地区, 激光点云的平面和高程精度可放宽 0.5 倍。
- d) 抽水蓄能电站工程重点部位 (如上水库、下水库、进场交通洞、通风兼安全洞等部位) 的点云密度及精度应根据项目需要单独设计, 植被厚密区域、地形地貌破碎区域、陡崖区域等可采用井字飞行等重复扫描的方法对点云密度不满足要求的区域进行补充扫描。

7.7.2 机载激光雷达扫描航飞应根据所使用的激光雷达系统和数码相机的技术参数以及采集数据的精度要求进行设计, 应按照 CH/T 8024 的相关规定执行, 并符合下列规定:

- a) 扫描分区划分应根据扫描范围及周边地形起伏、飞行安全距离、激光雷达对目标

的有效测程、基站布设以及 IMU 误差累计所决定的最大直线飞行时间等综合确定；

- b) 航高应根据测图比例尺、机载激光雷达的有效测程、激光雷达扫描角度及激光点密度要求和测区条件、飞行平台安全高度等因素确定。最大航高应按公式 1 计算；

$$H_{\text{最大}} = S \cdot \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (1)$$

式中：

- $H_{\text{最大}}$ ——最大航高（相对航高）（m）；  
 $S$  ——机载激光雷达的有效测程（m）；  
 $\theta$  ——机载激光雷达的扫描角（°）。

- c) 同一分区内的航线高度可采用不同的绝对航高，平地、丘陵和山地分区内的地形高差大于 1/4 相对航高，高山地分区内地形高差大于 1/3 相对航高的分区航线宜保持一致的相对航高，均应保证激光点云密度和旁向重叠度的要求；同时进行影像采集时相邻航线的绝对航高之差不大于相对航高的 10%；  
d) 有横滚补偿和可变视场角功能的机载激光雷达，航线旁向重叠不宜小于 20%，最低不应小于 13%，无此类功能的机载激光雷达宜加大旁向重叠度至 50%；  
e) 航线的航向覆盖和旁向覆盖应超出整个摄区不低于 1/2 相对航高距离。

7.7.3 地面 GNSS 基站布设与控制联测按照 CH/T 8024 的相关规定执行，并符合下列规定：

- a) 飞机在数据采集期间应与不少于 1 个基站保持同步观测，飞机与地面基站的有效距离不应大于 10km；  
b) 地面基站 GNSS 接收机的采样频率应与 POS 中的 GNSS 接收机采样频率保持一致，采样频率不低于 1Hz。

7.7.4 平面坐标、高程转换控制点与检查点的布设和测量应符合下列规定：

- a) 平面坐标、高程转换的控制点应均匀分布，应覆盖整个作业区域，测区最高处和最低处应有控制点。平面坐标转换控制点数不应少于 4 个，高程转换控制点数量不应少于表 10 的规定：

表10 高程转换控制点数量

测图比例尺	方块状测区	条带状测区	
	转换控制点数（个）	转换控制点数（个）	测区宽度
1:500	5+S/2	5+L/2	宽度<1km
1:1000	5+S/4	5+L/4	宽度≤1km
1:2000	5+S/16	5+L/10	宽度≤2km
1:5000	5+S/100	5+L/30	宽度≤5km

注：表中 S 为测区面积（km<sup>2</sup>），L 为测区长度（km）。1:200 测图比例尺高程转换控制点数量按 1:500 测图比例尺执行。

- b) 平面坐标、高程转换控制点可利用符合要求的原有控制点；  
c) 检查点点位宜均匀分布于抽水蓄能电站工程区域，不同高程面、不同反射面、重点工程部位都应有检查点；检查点应位于裸露的平坦地面上，避免选择航带重叠区及高程急剧变化处，每个扫描分区的检查点不应少于 30 个。

7.7.5 机载激光雷达测量数据获取应按照 CH/T 8024 的相关规定执行，并符合下列规定：

- a) 激光雷达扫描测量前，应验证测定的激光雷达系统偏心分量正确性；同时获取影像时还应验证数码相机的偏心分量正确性；
  - b) 地面 GNSS 基站宜在飞机起飞前 5min 完成检测并开始连续观测，机载设备在飞机起飞前应通电检测并完成 POS 系统初始化，飞机降落并停稳 5min 后，检查 IMU 及 GNSS 数据记录并确认完整无误，方可关闭电源；
  - c) 应设置激光雷达设备的扫描镜摆动角度、扫描频率、脉冲等参数；应设置数码相机的曝光度、快门速度、ISO 值等参数。
- 7.7.6 机载激光雷达测量数据预处理应包含下列内容：
- a) 对原始数据进行解码；
  - b) 对同一架次的 POS 数据、地面基站观测数据、飞行记录数据、基站控制点数据等进行整理，解算航迹文件；
  - c) 结合激光测距数据生成满足要求的点云数据。
- 7.7.7 POS 数据解算应符合下列规定：
- a) 各类基站的成果应处于同一坐标和高程系统；
  - b) 地面 GNSS 基站与机载 GNSS 观测数据，应按后处理精密动态测量模式获取飞行过程中机载 GNSS 的各时刻三维坐标；
  - c) 当使用 CORS 系统跟踪站或单基站时，应采用 PPP 解算成果对机载 GNSS 的各时刻三维坐标进行校核；
  - d) 后差分（PPP 解算成果精度满足测图比例尺要求时，可直接采用 PPP 解算成果作为机载 GNSS 的各时刻三维坐标；
  - e) 应利用机载 GNSS 的解算结果、IMU 数据和偏心分量值融合生成实时航迹文件；
  - f) 应依据双向解算差值、GNSS 定位精度和数据质量因子等指标对 POS 数据质量进行综合判定；
  - g) 应在数据检查合格后导出航迹文件。
- 7.7.8 在数字产品制作前，应先对点云数据按地面点、非地面点进行分类，并符合下列规定：
- a) 对点云数据存储容量较大的工程项目，宜根据数据处理软件和硬件性能，按减少接边工作量和高效处理的原则对点云数据进行分块处理；
  - b) 将明显低于地面的点或点群（低点）和明显高于地表目标的点或点群（空中点），以及移动地物点等噪声点进行滤除；
  - c) 应利用基于地表形态、回波次数、反射强度等算法或算法组合对点云数据进行迭代计算提取地面点；
  - d) 自动算法分类错误的激光点应通过人工编辑进行重新分类，如山脊、陡坎、陡崖等地形突变和地形破碎的区域，以及低矮植被密集区域；对于判别困难的区域可参考同步获取的数码航空影像；
  - e) 应对分类后的激光点成果进行检查，并进行精度统计，精度应满足本规范的要求。
- 7.7.9 DEM 的精度及制作步骤应符合下列要求：
- a) 对分类后的地面点成果进行 TIN 或 GRID 处理，构建网格模型；
  - b) 对水域、道路等特殊区域进行高程改正；
  - c) 按规定的图幅要求对 DEM 进行裁切；
  - d) DEM 的质量检查通过三维透视及晕渲，检查 DEM 的可靠性。对模型不连续、不光滑处应重新核实地面点分类的可靠性；
  - e) 使用实地施测的地面检查点，在 DEM 中内插获取相应平面位置的高程，计算并统计检查点与内插点间的高程误差。

## 7.8 卫星遥感测图

7.8.1 卫星遥感测图技术可适用于 1:5000 地形图成图。

7.8.2 卫星遥感测图应按照 NB/T 35029 规定执行，并符合下列要求：

- a) 本技术适用于抽水蓄能电站工程建设的资源与环境调查、移民实物指标调查、土地利用调查、水土流失监测、河道变迁监测、地质灾害监测、规划选点阶段小比例尺地形图测绘等需求；
- b) 航空、航天遥感资料的空间分辨率和时相应与专业需求相适应。除特殊要求外，航空遥感资料宜选用彩色、彩红外或多光谱影像，航天遥感资料宜选用多光谱波段影像；
- c) 卫星遥感测图应布置控制点用于几何纠正，控制点应基于项目已有控制成果进行；
- d) 野外调查之前，应制定野外调查方案，选择合适的调查路线，再进行野外踏勘调查，重点针对上水库、下水库进行调查调绘；若采用存档卫星影像资料，现场调查发现变化较大时，应进行地面补测。

## 7.9 水下地形测量

7.9.1 水下地形图在坐标系统、高程系统、图幅分幅及编号、内容表示、综合原则以及比例尺确定等方面应与陆地地形一致。

7.9.2 水下地形测量应覆盖上下水库的死水位至正常蓄水位之间的全部库盆区域，水域地形图应与陆地地形图互相衔接。

7.9.3 水域测量平面、高程控制应根据测区已有控制点密度、测区大小、任务特性、测图比例尺和作业模式等进行测设。

7.9.4 水下地形测量应根据水深、流速、河宽等水下地形状况选择测量设备和制定测量方案。

7.9.5 水下地形测量宜采用测深线法或散点法。相邻测段应布设一条重合测深线，不同时期的相邻测深段应布设两条重合测深线；测深检查线宜垂直主测线布设，其长度不宜少于测深线总长度的 1%。

7.9.6 水深测量可采用单波束测深仪、多波束测深系统、机载激光测深系统、测深杆、测深绳等，水深测量定位宜采用卫星定位实时动态 RTK 技术，也可采用实时码差分 RTD 技术，定位数据应与测深数据同步。

7.9.7 测深定位点点位中误差限值应按表 11 的要求执行。

表 11 测深点定位中误差限值

测图比例尺	点位中误差限值（图上 mm）
1 : 200~1 : 2000	1.5
1 : 5000~1 : 10000	1.0

7.9.8 测深点的深度中误差限值应按表 12 的要求执行。

表 12 测深点深度中误差限值

测深范围（m）	测深器具	流速（m/s）	测深点测深中误差（m）
0~3	测深杆		±0.10
0~10	测深锤	<1	±0.15
1~10	单波束测深仪		±0.15
10~20	单波束测深仪或测深锤	<0.5	±0.20
>20	单波束测深仪		±0.015H

<500	多波束测深系统		$\pm 0.30 \sim \pm 0.02H$
注 1: H 为水深 (m);			
注 2: 当精度要求不高或作业困难时, 测点深度中误差可放宽 1 倍。			

7.9.9 等高(深)线的插求点或数字高程模型格网点相对于邻近图根点的高程中误差, 不应超过表 13 的规定。

表 13 等高(深)线的插求点或数字高程模型格网点  
相对于邻近图根点的高程中误差

水底地形倾角 $\alpha$	$\alpha < 2^\circ$	$2^\circ \leq \alpha < 6^\circ$	$6^\circ \leq \alpha < 25^\circ$	$\alpha \geq 25^\circ$
高程中误差 (m)	$\frac{1}{2}h_d$	$\frac{2}{3}h_d$	$1h_d$	$\frac{3}{2}h_d$
注 1: $h_d$ 为地形图的基本等高距 (m);				
注 2: 施测困难的一般地区测图, 高程中误差不宜超过表中相应限差值的 1.5 倍;				
注 3: 水深大于 20m 或工程精度要求不高时, 水域测图的高程中误差不宜超过表中相应限差的 2 倍。				

7.9.10 施测水下地形时, 应测量水边线, 水边线可结合 DOM 进行采集。

7.9.11 测深过程中或测深结束后, 应对测深断面进行检查。检查断面与测深断面宜垂直相交, 检查点数不应少于 5%。检查断面与测深横断面相交处, 图上 1mm 范围内水深点的深度检查较差, 不应超过表 14 规定的限差。

表 14 图上 1mm 范围内水深点的深度检查较差限差

水深 H (m)	$H \leq 20$	$H > 20$
深度检查较差的限差 (m)	0.4	$0.02 \times H$

7.9.12 采用多波束测深系统测量时应按照 NB/T 35029 规定执行, 并符合下列要求:

- 测前应在测区内进行声速剖面测量, 每天不少于 1 次, 水温及声速变化剧烈时应增加测量频次;
- 测深点宜按断面布设, 扫测主测深线方向宜平行于河道走向, 或垂直于水库主坝轴线;
- 断面间距应根据水下地形和水深计算。有效扫测应全覆盖整个测区, 扫测测线之间的覆盖面应有重叠; 若采用分区扫测, 相邻子区应有 5% 以上的重叠。有专项工程需要时, 可根据工程需要加密;
- 进行检查线测量时, 使用中心区域的波束。

7.9.13 采用单波束测深仪测量时应按照 NB/T 35029 规定执行, 并符合下列要求:

- 测深点宜按断面布设, 测深主测深线宜垂直于等深线总方向或岸线, 或平行于水库主坝轴线;
- 测深断面间距宜为图上 10mm~20mm, 测深点间距宜为图上 10mm~40mm, 地形起伏变化时应加密标注特征点;
- 测深仪定位中心应与测深中心一致, 其偏差不宜大于图上 0.3mm, 超限时应进行偏心改正;
- 检查线测量宜配备姿态传感器。

7.9.14 水下地形成图应符合下列要求:

- 水下地形与陆地地形合并于同一图块内, 水下地形岸线部分与陆地地形接合处应有 4mm 的重叠; 接合处的地物允许误差为地物允许中误差的  $2\sqrt{2}$  倍; 接合处等高线允许误差为高程允许误差的  $2\sqrt{2}$  倍; 接合处地貌的拼接不应产生变形。
- 陆地等高线、水边线用实线表示, 水下等高线用蓝色实线表示。

- c) 水下高程注记点的间距，中小比例尺成图为图上 1~2cm，大比例尺成图为图上 1~3cm，重要地方可加密水下高程点注记。

7.9.15 库容测量应按照 NB/T 35029 规定执行，并符合下列要求：

- a) 对于人工开挖的上水库、下水库，在水库开挖浇筑完成后，宜采用机载激光雷达或地面三维激光扫描方式进行库底地形测量；
- b) 对于利用自然河道或已建水库作为下水库的区域，宜采用多波束测深系统或单波束测深仪进行库底地形测量；
- c) 库容计算可采用等高线法、DTM 法、断面法等进行计算，并生成水位-库容-面积（Z-V-A）关系曲线。

## 7.10 断面测量

7.10.1 断面测量包括河流和水库断面测量、供水或补水线路断面测量、道路断面测量等。

7.10.2 断面测量应按不同工程阶段对测量工作的要求，根据地形状况、测量比例尺和拟采用的仪器设备制定测量方案。

7.10.3 断面图可实地测绘，也可利用大比例尺地形图、激光点云数据提取，或利用 DTM 内插生成。

7.10.4 断面测量应根据测区地形状况、任务特性、测量比例尺和拟采用的仪器设备制定方案。横断面测量点间距，应以能够真实反映地形变化为原则，地形变换转折点均应实测。

7.10.5 采用现有大比例尺地形图按一定方向绘制断面图时，使用的地形图的精度应不低于断面的测量精度。

7.10.6 用于提取断面的激光点云数据经过预处理和后处理，点云密度和点云滤波分类精度应满足相应比例尺断面测量的要求，沟、坎、山脚、悬崖峭壁等特殊地貌不能出现点云空洞，地形特征不能造成失真。

7.10.7 采用 DTM 内插生成断面图时，DTM 的格网尺寸、精度应满足相应比例尺断面测量的要求。DTM 的建立除应满足第七章的相关要求外，还应对植被茂密的区域适当加密像控点，加强陡坎、植被、建（构）筑物等地物地貌的调查，并对复杂地形进行横断面抽查，抽查比例应大于 5%。

7.10.8 河流、水库及供、补水线路断面测量应按照 NB/T 35029 规定执行，并符合下列要求：

- a) 纵、横断面的测量比例尺宜在表 15 规定的范围内选择，有特殊要求的应按合同或任务书执行。

表 15 纵、横断面的测量比例尺

工程阶段	纵断面	横断面
规则	1:5000~1:10000	—
预可行性研究	1:2000~1:5000	1:1000~1:2000
可行性研究	1:1000~1:5000	1:500~1:1000
运营管理	1:1000~1:5000	1:200~1:1000

- b) 纵断面水位点和横断面点的测量精度应符合表 16 的规定。

表 16 纵断面水位点和横断面点的测量精度

断面类别	比例尺	点位中误差 (图上 mm)	高程中误差 (m)	
			山地	高山地
纵断面水位点	1:1000~1:10000	±0.5	±0.1	
横断面点	1:200	±0.8	±0.3	
	1:500		±0.3	
	1:1000		±0.3	±0.7

	1:2000		±0.7
<p>注 1: 合同或任务书对测量精度要求的按合同或任务书执行;</p> <p>注 2: 表中的点位中误差、高程中误差指相对于邻近图根点的中误差, 纵断面水位点高程中误差是指任一水位点相对于纵断面中部水位点的中误差。</p>			

- c) 纵、横断面图的制图比例尺, 应根据绘制内容、测点密度、断面长短和比高, 在表 17 中选用。

表 17 纵、横断面图的制图比例尺

断面图类别	水平比例尺	竖直比例尺
纵断面图	1:5000~1:10000	1:200~1:1000
横断面图	1:1000~1:2000	1:200

- d) 为计算水位流量关系曲线, 上水库坝址位置、下水库坝址位置、上水库泄洪洞出口位置、下水库泄洪洞出口位置及库区均应测设横断面。
- e) 横断面的位置在实地确定后, 应分别在河道两岸水库正常蓄水位以上埋设断面端点桩并编号。横断面端点平面和高程测量应满足图根精度的要求。
- f) 绘制横断面图时, 左岸基点应绘在图纸的左边, 由左至右逐点绘制。图上应标注断面测量时的工作水位及测量日期。
- g) 纵断面图应测量同时水位线。同时水位观测采用北京时间, 同步测记水位。考虑抽水蓄能电站水库涉及河流里程不长、测量时间短的特点, 可直接采用工作水位线代替同时水位线。

7.10.9 道路断面测量应符合下列规定:

- a) 道路断面测量分两阶段测量(初测、定测)和一阶段测量(一次定测), 应根据道路等级、地形条件及设计需要综合确定测量方法。
- b) 二级及以上道路断面测量应在地形图上选线, 按两阶段测量; 三级及以下等级道路断面测量可采用现场选定线、一次定测。
- c) 现场选定线可采用直接定交点、延长直线钉设转点(或交点)的方法确定交点和转点坐标。实地放线可采用 RTK、极坐标、自由设站、支距和偏角等方法。
- d) 初测阶段采用自由设站法、支距法和偏角法放线时, 中线放样闭合差应符合表 18 的规定。

表 18 中线放样闭合差

项目	一级公路、二级公路	级及以下等级公路
角度闭合差(″)	$30\sqrt{n}$	$60\sqrt{n}$
长度相对闭合差	1/2000	1/1000

注: n 为折角数。

- e) 定测阶段采用自由设站法、偏角法、支距法等方法测定路线中桩, 其闭合差应小于表 19 的规定。

表 19 距离偏角测量闭合差限差

道路等级	纵向相对闭合差		横向闭合差(mm)		角度闭合差(″)
	平原、丘陵区	山地	平原、丘陵区	山地	
一级和二级公路	1/2000	1/1000	100	100	60
三级及以下公路	1/1000	1/500	100	150	120

- f) 对高程要求严格的路段和地点、曲线控制点、高填深挖地段、大型桥梁和隧道两端、立体交叉、挡土墙、横向地形明显变化处以及需要特殊控制的地段应实地放桩进行纵、横断面测量; 可在符合精度要求的地形图上截取纵、横断面点的里程

和高程，编制道路纵、横断面成果表和纵、横断面图。

g) 纵断面测量应符合表 20 的规定：

表 20 道路中桩间距规定

单位：m

直线		曲线			
平原、丘陵	山地	不设超高的曲线	R>60	30<R<60	30<R
50	25	25	20	10	5

注：R 为曲线半径。

h) 纵、横断面图在各桩点平面、高程数据的基础上绘制。

i) 纵断面图的绘制水平比例尺可在 1:1000~1:5000 间选用，竖直比例尺 1:100~1:500；横断面点的距离以中桩为零点起算，面向中线前进方向分左、右计算累距，横断面制图选择纵横比例尺相同，宜采用 1:200 的比例尺。

7.10.10 断面测量应提交下列资料：

- a) 断面端点桩测量成果表。
- b) 横断面测量成果表。
- c) 纵断面测量成果表。
- d) 横断面图。
- e) 纵断面图。

### 7.11 建设征地与移民工程测量

7.11.1 建设征地与移民工程测量的范围应包括水库淹没影响区、工程建设区和移民安置区。

7.11.2 移民工程测量应包括下列内容：

- a) 平面和高程控制测量。
- b) 地形图测绘。
- c) 移民实物指标调查。
- d) 测设移民迁移线、土地征用线和专业项目处理线等，并测设永久界桩和临时界桩。
- e) 权属界线调查及土地利用现状图测绘。
- f) 移民调查配合测量。
- g) 移民安置区供水项目、道路工程和输电线路等配套工程测量。

7.11.3 建设征地与移民工程地形图及土地利用现状图的测图比例尺可按表 21 进行选择。

表 21 建设征地与移民工程地形图及土地利用现状图测图比例尺

工程部位	阶段	比例尺
水库淹没影响区	预可行性研究	1:2000~1:10000
	可行性研究	1:1000~1:2000
工程建设区	预可行性研究	1:2000~1:5000
	可行性研究	1:500~1:2000
移民安置点	可行性研究和移民安置实施	1:500~1:1000
移民安置成片生产开发区	可行性研究和移民安置实施	1:500~1:2000

7.11.4 建设征地与移民工程测量应按照 NB/T 35029 规定执行，并符合下列要求：

- a) 水库淹没影响区和枢纽工程建设区首级平面和高程控制测量等级不应低于四等。已有控制资料经检核符合要求时应充分利用，密度不足的区域应进行补测。
- b) 调查工作底图可采用精度满足本阶段设计要求的地形图、土地利用现状图、同等精度的航片及卫片等解译成果。

c) 预可行性研究阶段移民实物指标遥感解译应达到 1:2000 地形图的精度。

7.11.5 建设征地与移民工程测量工作完成后，应对下列资料进行整理：

- a) 技术设计书。
- b) 控制计算资料和成果表。
- c) 界桩成果表。
- d) 界桩展绘图。
- e) 土地利用现状图及结合表。
- f) 技术总结报告和检查报告。

## 7.12 资料整理与提交

7.12.1 地形测量作业完成后，应对以下资料进行整理：

- a) 仪器检定资料；
- b) 测量记录手簿；
- c) 测量计算资料和成果表；
- d) 数字化地形图和索引图；
- e) 技术设计书；
- f) 检查报告和技术总结报告；
- g) 地形图数据文件、元数据文件等各种数据文件；
- h) 任务书要求的其他资料。

7.12.2 项目完成后，应提交以下资料：

- a) 技术设计书；
- b) 控制测量成果表；
- c) 数字化地形图和索引图；
- d) 检查报告和技术总结报告。

## 8 施工测量

### 8.1 一般规定

8.1.1 施工测量工作内容包括：施工控制网测量、放样测量、开挖填筑工程测量及混凝土工程测量、计量测量与工程量计算、金属结构与机电设备安装测量、地下工程测量、附属工程测量、竣工测量等内容。

8.1.2 对由建设单位组织移交的平面及高程控制网做好开工前同等级复测验证工作，有疑问时与初测单位沟通解决；根据工程进展和施工放样的需要及时开展控制网局部加密工作。

8.1.3 严格审核设计图纸、文件、测量起始点位和数据等依据的正确性，施工图纸审核内容应包括坐标与高程系统、建筑轴线关系、几何尺寸、各部位高程等，应了解和掌握有关工程设计变更文件，以确保测量放样数据准确可靠。

### 8.2 施工控制网测量

#### 8.2.1 一般规定

- a) 施工控制网宜分级布设，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。施工控制网分首级网和加密网。
- b) 首级施工控制网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，各等级首级施工控制网适用范围宜按表 22 选择。

表 22 各等级首级施工控制网适用范围

工程规模	平面控制网等级	高程控制网等级
------	---------	---------

大型工程	二等、三等	二等、三等
中型工程	三等、四等	三等、四等
注：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。		

- c) 首级施工控制网起算点应与设计阶段控制点进行联测，平面控制联测设计阶段平面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；高程控制联测设计阶段高程控制点数量不宜少于 3 座，应在上、下水库部位分别选取，联测等级不宜低于四等。
- d) 施工控制网基础投影面宜与设计阶段基本平面控制网投影面保持一致，当工程有特殊状况时，应通过项目技术设计确定。同一投影面内由高程引起的长度变形应不大于 25 mm/km，长度变形超限时，需增设高程投影面，高程投影面数量不应小于下式计算的  $N$  值：

$$N = \text{int}\left(\frac{H}{\Delta h}\right) + 1 \quad (2)$$

$$\Delta h = 2 \times 0.025 \times (R + H_0)$$

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 m；
- $\Delta h$  —— 每 km 边长投影长度变形值不大于 25 mm 的极限高差，单位为 m；
- $R$  —— 测区椭球平均曲率半径（可取 6371km），单位为 km；
- $H_0$  —— 测区平均高程，单位为 km。

#### 8.2.2 施工控制网技术设计应符合下列要求：

- a) 施工控制网设计宜收集下列资料：
- 1) 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；
  - 2) 设计阶段的测量控制点及其他测量成果资料；
  - 3) 现有的地形图资料和必要的地质资料；
  - 4) 工程施工总布置、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。
- b) 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。

#### 8.2.3 施工控制网选点与埋石应符合下列要求：

- a) 平面控制网的布设应符合下列规定：
- 1) 控制点的布设数量及位置分布应满足工程建设对平面测量控制的需求；
  - 2) 最短边不宜小于控制网平均边长的 1/3，最长边长不宜大于控制网平均边长的 3 倍；
  - 3) GNSS 网应采用网连接或边连接方式，构成闭合环或附和路线边数不宜大于 6 条，控制点宜有一个及以上通视方向；
  - 4) GNSS 测量网点应对空开阔，远离大功率无线电发射源 200m 和高压电线 50m，避开大面积水域和其他多路径影响严重的区域；
  - 5) 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，每一网点的连接方向不宜少于 3 个；
  - 6) 加密导线宜以直伸形状布设，并附合于高等级控制网节点上。各导线点相邻边长不宜超过 1:3，导线点最弱点的点位中误差不超过  $\pm 10\text{mm}$ ；
  - 7) 使用全站仪测量时，测线离障碍物不宜小于 1.5m，应避免吸散热快、强电磁场等影响测量精度的范围；

- 8) 平面控制网点宜选在通视良好、地基稳定且能长期保存的地方，设置强制归心混凝土标墩，基础坐落在冻土线下不少于 0.7m 处；强制归心装置应带有高程标志，其对中误差应不大于 0.1mm，顶面埋设水平不平度宜小于 4'。
- b) 高程控制网的布设应符合下列规定：
  - 1) 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；
  - 2) 上水库和下水库之间宜通过不同观测线路形成闭合环线；
  - 3) 优先与平面控制网点结合布置，在靠近电站上水库、厂房交通洞口和下水库基础稳定、能长期保存且便于寻找和引测的位置，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；其他工程区域宜每 1km~2km 布设一座，非工程区域宜每 2km~3km 布设一座；
  - 4) 无道路通达无法实施水准测量的区域可采取电磁波三角高程和 GNSS 高程进行补充。GNSS 高程测量宜与 GNSS 平面控制测量一起进行；
  - 5) 独立水准标石可现浇混凝土标石或埋设预制标石，也可在基岩上或混凝土墙体上钻孔埋设金属标志；
  - 6) 水准观测路线宜选择土质坚实的道路、沟底或山脊。
- 8.2.4 施工控制网数据采集及处理要求详见本文件第 6 章控制测量。
- 8.2.5 施工控制网成果的交桩，应符合下列规定：
  - a) 由建设单位组织，初测单位向施工单位提交控制测量成果资料，监理单位应参加交接工作。现场交接平面和高程控制点，办理交桩手续后施工单位方可使用。
  - b) 控制网交桩成果资料应包括下列内容：
    - 1) 测量技术报告；
    - 2) 控制点成果表、使用说明及点之记；
    - 3) 施测网图、平差计算资料。
- 8.2.6 施工控制网的复测，应符合下列规定：
  - a) 抽水蓄能电站建设期间，应加强施工控制网复测工作。施工控制网复测分为定期复测和不定期复测。
  - b) 定期复测维护是对电站平面高程控制网的全面整体复测。复测频次应满足下列要求：
    - 1) 施工控制网建立一年后应进行整体复测；
    - 2) 土建高峰期应每年复测 1 次；
    - 3) 竣工测量前进行整体复测；
    - 4) 出现地震、洪水、地质灾害等重大自然环境变化影响时，应进行复测。
  - c) 施工单位应根据施工需要开展不定期复测，复测时间间隔不应大于 12 个月。
    - 1) 不定期复测内容包括标段施工任务区域内和邻近控制点、相邻关联标段的控制网连接点，检查控制点间的相对位置是否发生位移，点位的相对精度是否满足要求；
    - 2) 接桩后工程开工前、进入主体混凝土工程施工、金属结构和机电安装工程开始前、布设局部专用控制网时应进行复测；
    - 3) 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。
  - d) 施工控制网复测应遵循下列原则：
    - 1) 编写复测工作技术方案或技术大纲。
    - 2) 复测精度等级不应低于原测等级，复测采用的测量方法、仪器精度等级、观测图形或路线、观测技术要求、数据处理方法及起算基准等与原测宜保持一致。

- 3) 因网点丢失和破坏, 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按同精度内插方法恢复或增补。
  - 4) 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。
  - 5) 选择稳定可靠的控制点进行约束平差, 约束平差前应对已知点的稳定性和兼容性进行检验。
- e) 复测成果的分析应用
- 1) 高等级复测时, 复测成果与原测成果较差未超出复测等级允许中误差 2 倍的仍采用原测成果, 较差超过允许中误差 2 倍的采用复测成果;
  - 2) 同等级复测时, 更新时宜采用全数更新复测成果;
  - 3) 当复测成果较差超过原测成果允许中误差  $2\sqrt{2}$  倍的点位数量超过 1/3 时, 需查找原因, 分析对已施工工程的影响;
  - 4) GNSS 法复测在满足相应等级精度规定后, 比较平面网点坐标分量较差、相邻点间坐标增量之差的相对精度限差;
  - 5) 三角形网或导线法复测在满足相应等级精度规定后, 应进行水平角、边长较差的分析比较;
  - 6) 高程控制网测段高差复测的精度和要求符合相应等级的规定后, 应进行测段复测高差与原测高差的较差的分析比较, 较差应符合检测已测测段高差之差的规定。

### 8.3 放样测量

- 8.3.1 测量放样准备应以正式设计图纸、文件、修改通知为准。
- 8.3.2 放样测量包括平面位置放样测量和高程放样测量, 分直接放样法和归化法放样。
- 8.3.3 放样测量前应进行下列准备工作:
  - a) 搜集现场控制测量成果、地形图, 通过审批的工程设计图纸、设计文件等必要资料。
  - b) 熟悉设计图, 找出放样点的设计位置及其与周围各部位之间的几何关系, 检核作为放样依据的设计图纸中有关数据和几何尺寸, 准备放样数据。
  - c) 结合现场条件、控制点的分布和现有仪器设备, 确定放样方法和放样精度要求, 制定放样测量方案, 选择放样方法时, 应考虑检核条件。高精度的施工放样宜单独做专门技术设计, 宜采用归化法放样。
  - d) 测量仪器和工具的检验、校正。
- 8.3.4 放样前应对平面和高程控制网进行检核; 控制点密度不满足放样需要时, 应进行加密。
- 8.3.5 宜利用邻近基本控制点作为放样测站点进行放样测量, 也可以利用基本控制点先测设放样测站点后再进行放样测量。
- 8.3.6 放样应有检核条件, 经过检查验收才能交付使用。放样点检查应采用同精度、相互独立的方法进行, 对形体复杂或结构复杂的建筑物, 检核和放样宜采用同一组测站点。
- 8.3.7 平面位置放样应按下列要求执行:
  - a) 根据放样点位的精度要求、现场作业条件、拥有的仪器设备选择适用的放样方法。点位放样可根据其精度要求采用交会法、极坐标法、直角坐标法、正倒镜投点法或 GNSS RTK 等方法。
  - b) 曲线放样可采用偏角法、切线支距法、坐标法和极坐标法等方法, 应根据设计要求确定放样点的位置和密度, 曲线起点、终点、折线的折点均应放出。
  - c) 建筑物放样应遵循从整体到局部的原则, 先放样主轴线, 再放样辅助轴线, 最后放样细部位置。

### 8.3.8 高程放样应按下列要求执行：

- a) 根据放样高程精度要求和现场作业条件选择放样方法，可采用水准测量、电磁波测距三角高程测量、GNSS-RTK 高程测量等方法。
- b) 高程放样中误差要求不超过 $\pm 10\text{mm}$ 时，宜采用水准测量方法。
- c) 采用电磁波测距三角高程测设放样控制点时，宜采用每点设站法或隔点设站法。
- d) GNSS RTK 放样点高程检查可采用电磁波测距三角高程测量、水准测量等方法。

8.3.9 所有测量放样数据宜经两人独立计算校核。采用计算机程序计算放样数据时，应对数学模型和输入数据的正确性。

## 8.4 计量测量与工程量计算

8.4.1 用于工程量计算的地形图比例尺，可根据用途、工程部位范围大小在 1:200~1:1000 之间选择。主要建筑物的竣工地形图，建基面地形图比例尺以 1:200 为宜，大范围的收方图的比例尺可选用 1:1000。

8.4.2 计量测量与工程量计算应按照 DL/T 5173 规定执行，并符合下列要求：

- a) 施工过程中应在计量周期内采集收方地形数据或断面数据，按适当的计算方法计算完成工程量；经审批的工程量计算成果作为工程量的计量依据。
- b) 根据工程项目的实际情况，工程量计算可选取断面法、方格网、DTM 法、三维数字模型等方法进行计算。
- c) 对同一区域进行两次独立测量计算的土方工程量差值不超过 7%、石方工程量差值不超过 5%、混凝土填筑工程量差值不超过 3%时，可取平均值作为最后值。

## 8.5 开挖填筑及混凝土工程测量

8.5.1 开挖填筑及混凝土工程测量内容包括：施工区原始地形图和断面图测绘；放样测站点的测设；轮廓点放样；模板、预制构件的检查、验收测量；竣工地形图和断面图测绘；工程量计算等。

8.5.2 开挖填筑及混凝土工程测量应按照 DL/T 5173 规定执行，并符合下列要求：

- a) 在进出水口、引水隧洞和各种廊道等部位，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、高程引测在测量标志上。
- b) 填筑施工中应在不同填筑料分界线或其他适当部位以醒目的标志标明桩号和高程，分层填筑完成后应对不同填筑料的分界线进行验收测量。

## 8.6 地下工程测量

8.6.1 地下工程测量的内容包括：贯通测量的技术设计；建立地面和地下平面与高程控制网；轴线、坡度、高程和开挖断面、支护和衬砌断面的施工放样；测绘纵横断面并计算开挖、浇筑或喷锚工程量；中间验收及竣工验收。

8.6.2 地下工程测量应按照 DL/T 5173 规定执行，并符合下列要求：

- a) 每个开挖洞口宜测设不少于 3 个采用强制对中标志的平面控制点，并保障进洞联系边至少有一个可通视的检核方向。当首级控制网点不足时应进行加密，加密网可布设为三角形网、GNSS 网或导线网。
- b) 每个开挖洞口至少测设 2 个高程控制点，洞外高程控制测量可采用水准测量或电磁波测距三角高程测量等方法。
- c) 地下平面控制测量应采用导线测量方法建立，导线在洞内应形成方向检核闭合环，导线形式宜采用多环导线。

### 8.6.3 地下洞室三维激光扫描与超欠挖分析

8.6.3.1 地下厂房、引水隧洞、尾水隧洞等大断面洞室开挖及衬砌施工后，宜采用地面三维激光扫描仪或手持/背包式移动扫描系统进行全断面三维点云数据采集。

8.6.3.2 采用手持/背包式移动扫描系统时，扫描轨迹应形成闭合环，点云绝对位置精度应优于 5cm，点云密度应满足 10cm 间距的网格建模要求。

8.6.3.3 点云数据处理与超欠挖分析应符合下列规定：

- a) 应对原始点云进行去噪、滤波及坐标配准，配准中误差不应大于 2cm；
- b) 将实测点云模型与设计开挖/衬砌 BIM 模型进行布尔运算或法向距离比对，生成超欠挖色谱图及断面偏差曲线；
- c) 基于三维点云网格模型计算的实际开挖方量与设计方量较差，相对误差应满足不同工程结构的精度需求。

#### 8.6.4 TBM 工程测量

8.6.4.1 TBM 工程测量应建立专用的地下控制网，控制点应布设在稳定、便于观测的位置，点间通视良好，点位标志应采用强制对中装置。

8.6.4.2 TBM 导向系统安装前应进行精度检校，安装后应与地面控制网进行联测，确保导向系统坐标系与工程坐标系的一致性。导向系统测量精度应满足表 23 的要求：

表 23 TBM 导向系统测量精度要求

测量项目	精度要求	检测方法
平面位置精度	$\leq \pm 10\text{mm}$	与控制点比对
高程精度	$\leq \pm 10\text{mm}$	与水准点对比
方向精度	$\leq \pm 5''$	与已知方向比对

8.6.4.3 TBM 掘进过程中的放样测量应符合下列规定：

- a) TBM 姿态测量应每掘进 10 环进行一次，遇地质变化或曲线段时应加密至每 5 环测量一次；
- b) TBM 刀盘中心与设计轴线的平面偏差不应大于  $\pm 50\text{mm}$ ，高程偏差不应大于  $\pm 30\text{mm}$ ；
- c) TBM 掘进方向与设计方向的偏差不应大于  $\pm 10''$ ；
- d) 每次测量后应及时调整 TBM 掘进参数，确保掘进方向符合设计要求。

8.6.4.4 TBM 掘进过程中应定期进行人工复核测量，复核内容包括以下方面：

- a) TBM 刀盘中心坐标与设计坐标的偏差；
- b) TBM 机身轴线与设计轴线的夹角；
- c) TBM 掘进里程与设计里程的差异；
- d) 复核测量结果与导向系统测量结果的差异不应大于  $\pm 20\text{mm}$ 。

8.6.4.5 曲线段 TBM 掘进放样应采用三维坐标法，计算 TBM 在曲线上的理论位置和姿态，指导 TBM 按设计曲线掘进。曲线段放样精度要求应比直线段提高 50%。

#### 8.7 附属工程测量

8.7.1 附属工程测量包括场内道路、输电线路、渠堤、围堰与戕堤、砂石系统、混凝土拌合系统、运输系统等测量内容。

8.7.2 附属工程测量应按照 DL/T 5173 规定执行，并符合下列要求：

- a) 场内道路测量主要内容包括：控制网复测；控制网加密；原始地形图和断面图测绘；线路定位测量；路基、路面现场放样；路基横断面测量及土石方计量；中间交工和竣工验收测量。
- b) 架空送电线路的选线，应根据批准的路径方案，配合设计实地选定。当线路通过相关地物比较密集的地段时，应进行必要的联测和相关地物、地貌测量。
- c) 渠堤工程的平面控制网精度应不低于四等。网点宜与渠堤的起讫桩、转折桩相结

合，点位宜埋设稳定的标石；高程控制精度不低于四等水准测量的精度，其高程标点可与平面控制网点共用标点。

## 8.8 金属结构与机电设备安装测量

8.8.1 金属结构与机电设备安装测量工作内容包括：测设安装专用控制网；安装点放样；验收测量与竣工测量。

8.8.2 金属结构与机电设备安装测量应按照 DL/T 5173 规定执行，并符合下列要求：

- a) 安装专用控制网起始点和高程基点应埋设稳固的测量标志，采取相应恢复保护措施以防止安装过程中发生变动，并考虑随着安装进度分层分部延伸和关联衔接的需要。
- b) 安装专用控制网起始点应由邻近等级控制点、地下厂房或局部独立部位宜由保存完好的经测量评估可靠的混凝土工程施工控制点测设，相对于邻近等级控制点的点位（平面和高程）限差为 $\pm 10\text{mm}$ 。

8.8.3 基于三维点云的机电安装精密检测，应符合下列要求：

- a) 针对水轮机蜗壳、定子、转子、球阀等核心大型机电设备，宜采用高精度工业级三维激光扫描仪（标称测距精度优于 $2\text{mm}$ ）进行安装姿态与形变检测。
- b) 扫描作业应布设高精度工业摄影测量控制网或全站仪微控制网进行点云全局精度控制，控制点三维坐标中误差不应大于 $1\text{mm}$ 。
- c) 提取设备关键特征（如法兰面、轴心线、圆度等），拟合计算其实际空间姿态参数；
- d) 将实测点云与设备设计三维模型进行最佳拟合对齐（Best-fit），分析安装偏差及制造形变。
- e) 安装偏差检测报告应包含三维偏差色谱图、关键截面偏差曲线及特征点三维坐标偏差表。

## 8.9 竣工测量

8.9.1 竣工测量应根据施工的进展，按竣工测量的要求，逐渐采集积累竣工资料。待单项工程完工后，再进行全面的竣工测量及资料整理工作。

8.9.2 竣工测量应按照 DL/T 5173 规定执行，并符合下列要求：

- a) 实测清基后建基面地形图或测绘高程平面图，比例尺宜为 $1:200\sim 1:500$ ，图上应标有建筑物开挖设计边线或分块线。
- b) 应对过流部位的形体进行竣工测量：如溢洪道、泄水溢流面、机组的进水口、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。
- c) 金属结构、机电埋件安装定位后，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。

8.9.3 竣工测量成果宜采用数字化交付，并符合下列要求：

- a) 竣工测量除提交传统的竣工图、断面图及坐标高程成果表外，还宜提交工程实景三维模型及竣工 BIM 融合模型等数字化交付资产。
- b) 地上部分宜采用倾斜摄影测量与机载/地面激光雷达融合建模，模型 GSD 或点云间距不应大于 $5\text{cm}$ ；
- c) 地下洞室及室内部分应采用地面三维激光扫描或 SLAM 技术建模，点云间距不应大于 $2\text{cm}$ ；
- d) 模型应进行单体化与语义化处理，赋予工程属性编码。
- e) 竣工 BIM 融合模型应将实测三维点云、竣工实测坐标与设计 BIM 模型进行空间对

齐与属性映射，模型格式宜采用 IFC、3DTiles 或 OSGB 等开放标准格式，并满足电站数字孪生平台的轻量化加载要求。

## 8.10 资料整理与提交

### 8.10.1 施工控制网测量资料整理与提交：

- a) 施工控制网测量工作完成后，应对下列资料进行整理：
  - 1) 交接桩记录和交桩成果；
  - 2) 技术设计书、技术交底培训记录、安全交底记录；
  - 3) 控制网网形图和点之记；
  - 4) 外业观测记录手簿或电子记簿；
  - 5) 过程计算表、平差计算成果和精度评定资料；
  - 6) 计量仪器检定证书及检验资料；
  - 7) 测绘资质证书和作业人员资格证明；
  - 8) 检查报告和技术总结；
  - 9) 成果报告报批资料。
- b) 施工控制网测量工作完成后，应提交下列资料：
  - 1) 控制点成果表；
  - 2) 控制网网形图；
  - 3) 技术总结报告。

### 8.10.2 放样测量资料整理与提交：

- a) 放样测量工作完成后，应对下列资料进行整理：
  - 1) 选用的控制点成果；
  - 2) 控制点成果检核表；
  - 3) 放样成果表；
  - 4) 放样报告。
- b) 放样测量工作完成后，应提交下列资料：
  - 1) 放样成果表；
  - 2) 放样报告。

### 8.10.3 计量测量与工程量计算资料整理与提交：

- a) 计量测量与工程量计算工作完成后，应对下列资料进行整理：
  - 1) 初始地形图；
  - 2) 断面图；
  - 3) 工程量计算表；
  - 4) 外业观测数据；
  - 5) 计量报告。
- b) 计量测量与工程量计算工作完成后，应提交下列资料：
  - 1) 工程量计算表；
  - 2) 计量报告。

### 8.10.4 开挖填筑及混凝土工程测量资料整理与提交：

- a) 开挖填筑及混凝土工程测量工作完成后，应对下列资料进行整理：
  - 1) 设计图纸和有关数据；
  - 2) 选用控制点成果；
  - 3) 放样方法；
  - 4) 外业观测数据；
  - 5) 计算报告。

- b) 开挖填筑及混凝土工程测量工作完成后, 应提交下列资料:
  - 1) 外业观测数据;
  - 2) 计算报告。
- 8.10.5 地下工程测量资料整理与提交:
  - a) 地下工程测量工作完成后, 应对下列资料进行整理:
    - 1) 贯通测量技术设计书;
    - 2) 地面控制测量资料、平差计算成果;
    - 3) 地下导线和高程测量资料、计算成果和平面图;
    - 4) 贯通误差的实测结果和贯通误差调整的说明或平差资料;
    - 5) 地下工程控制点成果表。
    - 6) 技术总结报告。
  - b) 地下工程测量工作完成后, 应提交下列资料:
    - 1) 地下工程控制点成果表;
    - 2) 技术总结报告。
- 8.10.6 附属工程测量资料整理与提交:
  - a) 附属工程工作完成后, 应对下列资料进行整理:
    - 1) 选用控制点成果;
    - 2) 选外业观测数据;
    - 3) 附属工程地形图;
    - 4) 成果报告。
  - b) 附属工程工作完成后, 应提交下列资料:
    - 1) 附属工程地形图;
    - 2) 成果报告。
- 8.10.7 金属结构及机电设备安装测量资料整理与提交:
  - a) 金属结构及机电设备安装测量工作完成后, 应对下列资料进行整理:
    - 1) 安装测量技术方案;
    - 2) 放样交接单;
    - 3) 测量验收(复测)单;
    - 4) 安装测量技术总结报告。
  - b) 金属结构及机电设备安装测量工作完成后, 应提交下列资料:
    - 1) 测量验收(复测)单;
    - 2) 安装测量技术总结报告。
- 8.10.8 竣工测量资料整理与提交:
  - a) 竣工测量工作完成后, 应对下列资料进行整理:
    - 1) 各阶段施工测量技术方案;
    - 2) 主要的施工控制网、专用控制网、安装轴线点布置图;
    - 3) 原始观测手簿、概算和平差计算资料、控制点坐标及高程成果表;
    - 4) 工程开工前的原始地形图及数据;
    - 5) 土石方填筑平面图和断面图;
    - 6) 主体建筑物开挖建基面竣工地形图和纵横断面图;
    - 7) 地下工程开挖、衬砌或喷锚竣工断面图;
    - 8) 混凝土建筑物过流部位及各种重要孔、洞的竣工形体资料;
    - 9) 竣工工程量计算数据、图表及说明;
    - 10) 金属结构、机电设备埋件安装竣工验收资料;
    - 11) 施工期变形监测设备埋设、安装竣工图及监测资料;

- 12) 施工测量所依据的工程设计图纸、文件及其它数据资料；
- 13) 竣工测量报告。
- b) 竣工测量工作完成后，应提交下列资料：
- 1) 各类竣工图；
  - 2) 竣工测量报告。

## 9 变形监测

### 9.1 一般规定

9.1.1 本章节适用于抽水蓄能电站相关的建（构）筑物、建筑场地、地基基础、水工建筑物、地下工程建（构）筑物、桥梁、滑坡等的水平位移、垂直位移、表面变形和内部变形监测。

9.1.2 重要的工程建（构）筑物，在工程设计时，应对变形监测的内容和范围作出要求，并应由有关单位制定变形监测技术设计方案。首次观测宜获取监测体初始状态观测数据。

9.1.3 变形监测的精度要求应符合表 24 的规定。

表 24 变形监测精度要求（单位 mm）

监测项目		中误差限值
水平位移	混凝土重力坝、支墩坝坝体	±1.0
	混凝土重力坝、支墩坝坝基	±0.3
	土石坝坝体表面、滑坡体（岩质边坡）	±3.0
	地面厂房、水工隧洞进出口建筑物、泵站、近坝区岩体和高边坡	±2.0
	滑坡体（土质边坡）、渣场填筑体、料场高边坡	±5.0
垂直位移	混凝土重力坝坝体	±1.0
	混凝土重力坝坝基、水工隧洞进出口建筑物基础	±0.3
	土石坝坝体、滑坡体	±3.0
	地面厂房、水工隧洞进出口建筑物、泵站、近坝区岩体和高边坡	±2.0
	渣场填筑体、料场高边坡	±5.0
表面接缝和 裂缝变形	混凝土坝、厂房、水工隧洞、竖井（调压井）、泵站	±0.2
	岩质边坡	±0.5
	土质边坡	±1.0
	滑坡体	±1.0
表面变形	地下厂房围岩表面、水工隧洞地下洞室	±2.0
内部变形	地下厂房围岩内部、水工隧洞地下洞室	±0.3
	竖井（调压井）围岩内部	±1.0

注：表中表面位移量中误差均指相对工作基点的测量中误差

9.1.4 变形监测网的点位的构成应包括基准点、工作基点和变形观测点，点位布设应符合下列规定：

- a) 变形监测网应按上水库、下水库分区布设，并与工程施工测量控制网建立有效关联。
- b) 基准点应选在变形影响区域之外稳固的位置；每个工程至少应有 3 个基准点；大型工程项目，水平位移基准点应采用带有强制归心装置的观测墩，垂直位移基准点宜采用双金属标或钢管标；

- c) 工作基点应选在比较稳定且方便使用的位置；设立在大型工程施工区域内的水平位移监测工作基点宜采用带有强制归心装置的观测墩，垂直位移监测工作基点可采用钢管标；对通视条件好的小型工程，可不设立工作基点，可在基准点上直接测定变形观测点；
  - d) 变形观测点应设立在能反映监测体变形特征的位置或监测断面上，监测断面应分为关键断面、重要断面和一般断面。需要时，还应埋设应力、应变传感器。
- 9.1.5 监测基准网点应由基准点和部分工作基点构成。监测基准网每半年复测一次；当对变形监测成果产生怀疑时，应随时检核监测基准网。
- 9.1.6 变形监测网应由部分基准点、工作基点和变形观测点构成。监测周期应根据监测体的变形特征、变形速率、观测精度和工程地质条件等因素综合确定。监测期间应根据变形量的变化情况调整。
- 9.1.7 首期监测应进行两次独立测量，之后各期的变形监测应符合下列规定：
- a) 宜采用相同的图形（观测路线）和观测方法；
  - b) 宜使用同一台仪器和设备；
  - c) 观测人员宜相对固定；
  - d) 应记录工况及相关环境因素，包括荷载、温度、降水、水位等；
  - e) 宜采用同一基准处理数据。
- 9.1.8 变形监测作业前，应搜集相关水文地质、岩土工程资料和设计图纸，并根据岩土工程地质条件、工程类型、工程规模、基础埋深、建筑结构和施工方法等因素，进行变形监测方案设计。
- 9.1.9 重要的建筑（构）物及其附属设施的变形监测，应结合工程运营管理需要，逐步实现自动化监测或进行自动化监测改造。

## 9.2 监测基准网

- 9.2.1 水平位移监测基准网可采用 GNSS 网、三角形网、导线网或视准轴线法等形式布设。
- 9.2.2 水平位移监测基准网宜采用独立坐标系统。专项工程需要时，可与国家坐标系联测。
- 9.2.3 水平位移监测基准网的基准点布设应符合下列规定：
- a) 基准网宜采用一次布网；
  - b) 狭长型建筑物的主轴线或其平行线，宜纳入网内；
  - c) 当采用视准轴线时，应在轴线上或轴线两端布设校核点；
  - d) 采用 GNSS 测量时，宜对空无障碍物、卫星信号反射物、电磁波或微波干扰源；
  - e) 采用导线网时，宜呈环形网布设；
  - f) 大型工程项目布网时，应保证网的精度要求，兼顾网的可靠性和灵敏度等指标。
- 9.2.4 水平位移监测基准网点位宜采用带有强制归心装置的观测墩。混凝土坝观测墩的标型与埋设应按照 DL/T 5178 的规定执行；土石坝观测墩的标型与埋设应按照 DL/T 5259 的规定执行。
- 9.2.5 水平位移监测基准网测量的主要技术要求应符合表 25 的规定。

表 25 水平位移监测基准网测量的主要技术要求

等级	平均边长 (m)	平面点位中误差 (mm)	测角中误差 (")	测距中误差 (mm)	测边相对中误差
一等	300~700	±1.5	0.7	1+1ppm×D	≤1/300000
二等	400~1000	±2.0	1.0	1+1ppm×D	≤1/200000
三等	800~1800	±3.5	1.8	1+1ppm×D	≤1/100000

注 1: ppm 表示 1mm/km;
注 2: D 为测距边边长, km;
注 3: 平面点位中误差, 是指相对于邻近基准点或起算点的最弱点位中误差;
注 4: GNSS 水平位移基准网不受测角中误差和水平角观测测回数指标的限制。

9.2.6 水平位移监测基准网的水平角观测宜采用方向观测法。水平角使用仪器、观测测回数应符合表 26 的规定; 水平角方向法观测限差应符合表 27 的规定。

表 26 水平角观测测回数要求

等级	测角中误差 (")	三角形最大闭合差 (")	水平角观测测回数	
			DJ05 仪器	DJ1 仪器
一等	0.7	2.5	9	12
二等	1.0	3.5	6	9
三等	1.8	7.0	4	6

表 27 水平角方向观测法观测限差 (")

等级	仪器精度等级	两次照准读数差	半测回归零差	一测回 2C 互差	同方向值各测回互差
三等及以上	DJ05	≤1	≤3	≤5	≤3
	DJ1	≤2	≤6	≤9	≤6

9.2.7 监测基准网边长应采用电磁波测距, 测距的主要技术要求应按本文件第 6 章相关规定执行。

9.2.8 GNSS 监测基准网, 应采用双频 GNSS 接收机观测, 一、二等网应采用精密星历进行基线解算, 三等可采用广播星历进行基线解算。各等级 GNSS 测量作业的基本要求按照本文件 6 章节相应规定执行。

9.2.9 水平位移监测基准网测量的其他技术要求应按照本文件第 6 章节的有关规定执行。

9.2.10 垂直位移监测基准网应布设成环形网, 并应采用几何水准测量方法观测。

9.2.11 垂直位移监测基准网宜采用测区原有高程基准, 较大规模的工程宜与国家水准点联测, 较小规模的工程可采用假定高程系统。

9.2.12 垂直位移监测基准点的埋设应符合下列规定:

- 应将标石埋设在变形区以外稳定的原状土层内, 或将标志镶嵌在裸露基岩上;
- 当受条件限制时, 在变形区内也可埋设深层钢管标或双金属标;
- 垂直位移监测基准点至少要布设一组, 每组不少于 3 个固定点;
- 大型水工建筑物的基准点可采用平碛标志;
- 基准点标石, 可根据现场条件和工程需要, 混凝土坝基准点标型与埋设应按照 DL/T 5178 的规定执行; 土石坝基准点的标型与埋设应按照 DL/T 5259 的规定执行。

9.2.13 垂直位移监测基准网的主要技术要求应符合表 28 的规定。

等级	最弱点高程中误差 (mm)	相邻基准点高差中误差 (mm)	每站高差中误差 (mm)	往返较差或环线闭合差 (mm)	检测已测高差较差 (mm)
一等	1.5	0.3	0.07	$0.15\sqrt{n}$	$0.2\sqrt{n}$

二等	2.5	0.5	0.15	$0.3\sqrt{n}$	$0.4\sqrt{n}$
三等	5.0	1.0	0.30	$0.6\sqrt{n}$	$0.8\sqrt{n}$
注： n 为测站数。					

表 28 垂直位移监测基准网主要技术要求

9.2.14 水准仪观测的主要技术要求及方法应按本文件第 6 章相关规定执行。

### 9.3 监测方法及技术要求

#### 9.3.1 一般规定

- a) 水工建筑物及边坡变形监测内容包括水平位移监测和垂直位移监测，监测方式包括人工测量监测和自动测量监测。
- b) 水平位移监测可采用极坐标法、交会法、垂线法、视准线法、引张线法、激光准直法、近景摄影测量法、GNSS 法、InSAR、地基雷达干涉测量法（GB-SAR）、地面三维激光扫描法等；垂直位移监测宜采用水准测量、电磁波测距三角高程测量、静力水准测量等；深部位移监测可采用测斜孔（仪）、多点位移计、滑动测微计、电磁沉降仪等；开合度监测宜采用测缝计、伸缩仪、土体位移计、游标卡尺等方法。

9.3.2 水平位移监测，混凝土坝监测应按照 DL/T 5178 的规定执行，土石坝监测应按照 DL/T 5259 的规定执行，并符合下列要求：

- a) 交会法、极坐标法宜采用测距精度优于  $1\text{mm}+1\text{ppm}$ 、测角精度优于  $1''$  的全站仪进行观测，并配置配套反射棱镜、温度和气压观测仪表。
- b) 视准线法观测可采用经纬仪、全站仪，仪器精度应与视准线长度匹配，当视准线长度大于 500m 时，宜采用 J1 级及以上精度的仪器。
- c) GNSS 接收机须支持单北斗工作的能力，宜采用实时在线自动监测方法，自动解算频次不低于 1 次/24 小时；接收机平面精度不低于  $\pm(2.5+0.5\times 10^{-6}D)\text{mm}$ ，高程精度不低于  $\pm(5.0+0.5\times 10^{-6}D)\text{mm}$ 。
- d) 采用 InSAR 法监测库岸边坡时，应尽量避免南北朝向，垂直陡坡以及茂密植被；监测范围内应该存在裸岩等稳定区域；重点区域可布设适量人工角反射器。
- e) 采用引张线法时，可根据大坝特点和运行环境，选择使用浮托式或无浮托式引张线，线体应设防风护管。
- f) 采用激光准直法时，激光准直的光源、波带板中心和接收靶中心三点应布设在同一高程，两端点宜设置倒垂线作为校核基准点。激光准直的测点应建立观测墩，并将波带板支架固定在观测墩上。
- g) 采用近景摄影测量法时，摄影站应布设在变形体周围稳定的带有强制归心装置的观测墩上。像控点应布设在监测体的四周，当监测体的景深较深时，应在景深范围内均匀布设。当采用直接线性变换法解算待定点时，一个像对的控制点宜布设 6 个~9 个。当采用时间基线视差法时，一个像对宜布设 4 个以上控制点。

9.3.3 垂直位移监测，混凝土坝监测应按 DL/T 5178 的规定执行，土石坝监测应按 DL/T 5259 的规定执行，并符合下列要求：

- a) 大坝垂直位移量精度不低于  $\pm 2\text{mm}$ ，岩质边坡垂直位移量精度不低于  $\pm 3\text{mm}$ ，土质边坡垂直位移量精度不低于  $\pm 5\text{mm}$ ；
- b) 电磁波测距三角高程测量宜在平面控制点基础上布设成三角高程网或高程导线，各等级电磁波测距三角高程路线应起止于高一级的水准点或电磁波测距三角高程点；
- c) 静力水准测量可用于相对沉降变形监测，静力水准沉降观测点宜与水准点结合布置。

9.3.4 深部位移监测，混凝土坝监测应按照 DL/T 5178 的规定执行，土石坝监测应按照

DL/T 5259 的规定执行，并符合下列要求：

- a) 多点位移计宜布置在高边坡和滑坡体的断层、裂隙、夹层层面出露的边坡上。其测点钻孔方向应根据结构面产状和岩体变形方向布置，水平孔宜向下倾斜 5~10 度，以便于灌浆和确保最深处锚头的浆液密实；多点位移计钻孔需取岩芯或做钻孔电视，根据取芯情况或钻孔电视资料可适当调整测孔深度、测点数量及各测点埋深；
- b) 滑动测微计用于监测沿钻孔轴向的变形，滑动测微计孔宜布设在有断层、裂隙密集带、软弱结构面等影响的部位；钻孔底部宜设在相对稳定的岩（土）体内，钻孔方向宜与边坡变形方向一致；滑动测微计孔宜与水平位移测点和地下水位监测孔结合布置。
- c) 测斜仪进行内部位移监测时，测斜孔宜竖向布置，底部宜深入潜在滑动面以下 5m。孔口附近可布置 1 个表面水平位移测点。对 70m 以上的高边坡宜采用分级组合的方式布置。测斜孔可与地下水监测孔结合。
- d) 电磁沉降仪进行垂直位移监测时，电磁式沉降仪的沉降环与沉降导管应预先埋设。填筑土体一般随土体填筑埋设，可采用坑式或非坑式埋设；原始土体可采用钻孔法埋设沉降管与沉降环。沉降环安装时，应控制好沉降环安装间距。

9.3.5 开合度监测，混凝土坝监测应按照 DL/T 5178 的规定执行，土石坝监测应按照 DL/T 5259 的规定执行，并符合下列要求：

- a) 测缝计宜布置在大坝的结构缝或高边坡和滑坡体的裂缝、裂隙处。若裂缝、裂隙主要变形为开合度，则应布设单向测缝计，测缝计布设方向应与裂缝（裂隙）正交；若裂缝（裂隙）存在开合度变化的同时还存在错动变形，则应布设多向测缝计，多向测缝计布设方向应结合错动变形方向确定；
- b) 伸缩仪一般用于监测两点之间的相对变形，两端点应与监测对象固定牢固；
- c) 土体位移计一般用于监测基岩或混凝土建筑与土体间界面位移，可设单点，也可设多点，设置多点时宜采用并联方式。

9.3.6 分布式光纤传感监测，并符合下列要求

- a) 高压引水钢管、大坝防渗体、地下厂房岩锚梁等关键结构，宜采用基于布里渊散射（BOTDA）或光纤布拉格光栅（FBG）的分布式光纤传感技术进行应变与温度连续监测。
- b) 传感光缆的布设应随施工进度同步埋设，光缆应采用铠装保护，布设过程中应避免过度弯折与拉伸，最小弯曲半径应大于光缆外径的 15 倍。
- c) 分布式光纤监测的数据采集与处理应符合下列规定：
  - 1) 空间分辨率不宜低于 0.5m，应变测量精度应优于  $\pm 10 \mu \epsilon$ ，温度测量精度应优于  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ；
  - 2) 应定期进行温度补偿与基准标定，消除环境温度漂移对应变测量的影响；
  - 3) 监测成果应输出沿光缆路径的应变/温度连续分布曲线，并自动识别应变异常集中区。

## 9.4 自动化监测与智能预警

9.4.1 抽水蓄能电站变形监测宜建设多源传感器物联网（IoT）自动化监测系统，实现测量机器人、GNSS 接收机、静力水准仪、测斜仪及分布式光纤等异构数据的统一采集与时间同步。

9.4.2 自动化监测平台应具备数据自动清洗、粗差剔除、平差计算及可视化展示功能，数据采集在线率不应低于 95%。

9.4.3 宜引入机器学习等人工智能算法，建立变形趋势预测与智能预警模型，并符合下列规定：

- a) 基于历史监测数据与环境量（水位、温度、降雨等），训练时序预测模型；
- b) 建立动态阈值预警机制，当实测值超过静态设计阈值或人工智能预测趋势出现显著异常时，系统应自动触发多级报警并推送预警信息。

## 9.5 监测资料整理与提交

### 9.5.1 一般规定

- a) 监测资料整编分析应收集和整理基准点、工作基点、测点等考证资料、仪器相关检验（检定）资料、观测资料、计算资料、相关图表和巡视检查资料，以及工程概况、测区工程地质和水文地质条件、相关设计文件等工程基本资料。
- b) 监测资料整编应做到项目齐全、数据可靠、资料完整、格式统一、说明全面、注记齐全，且分析结论、处理意见和建议符合实际。
- c) 仪器监测和巡视检查的各种原始记录、图表、影像资料以及资料整编、分析成果均应建档保存。
- d) 监测资料整编分析的项目、内容和方法应根据实际需要情况确定。
- e) 监测资料整编时出现下列情况时，应判定成果不合格：
  - 1) 控制点和变形监测的基准点、监测点设置不符合项目技术设计或所用技术标准的规定；
  - 2) 所用仪器设备不满足项目技术设计或所用技术标准的规定的精度要求，或未在检定有效期内使用；
  - 3) 成果精度不满足项目技术设计或所用技术标准的规定；
  - 4) 原始观测数据不真实；
  - 5) 成果出现重大错漏。

### 9.5.2 监测资料整理应符合下列要求：

- a) 监测资料整编应在每次观测后立即对原始观测资料的准确性、可靠性、完整性进行检查、检验，并检查各项限差是否满足要求，是否存在粗差或系统误差。若观测数据不在限差以内或者含有粗差，应立即重测；若观测数据含有较大的系统误差，应分析原因，并设法减少或消除其影响；
- b) 监测资料整编应计算各监测项目本期变形量和变形速率、累计变形量，绘制测值过程线图，进行初步分析评判，对有异常或疑点数据应及时复核、确认，并记录有关情况，作出简要说明，提出建议；
- c) 巡视检查的记录、影像和报告等均应按时间先后次序进行整理编排，每次整编除对本时段内巡视检查发现的异常问题及其原因分析、处理措施和效果观察等作出完整编录外，必要时可简要引述前期巡视检查结果加以对比分析；
- d) 变形监测控制网资料应根据历次观测成果，列出各网点坐标、高程及其变化量，并分析评价网点的稳定性；
- e) 表面变形观测资料整编工作宜包括下列内容：
  - 1) 计算各测点水平位移、垂直位移成果；
  - 2) 统计本次位移量、累积位移量及特殊阶段相对位移变化量；
  - 3) 绘制各测点位移成果过程线图；
  - 4) 绘制各测点位移成果时间、空间分布特征图；
  - 5) 绘制各测点位移成果与相关因素的关系图。
- f) 收敛观测资料整编工作宜包括下列内容：
  - 1) 根据仪器要求，计算基线观测长度；
  - 2) 绘制收敛值与时间关系曲线、收敛值与开挖空间变化关系曲线、收敛值的断面分布图；
  - 3) 根据测点的布置形式选择相应的计算方法计算收敛观测各测点位移的分配。
- g) 当变形监测资料整编中发现下列情况之一时，必须通知建设单位，提高监测频率或增加监测内容：
  - 1) 变形量或变形速率达到变形预警值或接近允许值；

- 2) 变形量或变形速率变化异常;
- 3) 建(构)筑物裂缝或地表裂缝快速扩大。

### 9.5.3 监测资料分析

- a) 监测资料整编完成后,应采用绘制过程线、分布图、相关图、测值比较以及定性、定量等方法对其进行分析,并形成报告。
- b) 日常监测资料分析应编制日报、周报、月报等报告,监测资料综合分析应形成专题报告。监测报告中应明确各变形量的变化规律及其对工程安全的影响,并对影响工程安全的问题提出处理意见或建议。
- c) 监测资料分析应对大坝、边坡、地下洞室等建筑物的工作状态作出评价。在下列时期应进行监测资料综合分析:
  - 1) 首次蓄水前;
  - 2) 蓄水到规定高程;
  - 3) 大坝安全鉴定时;
  - 4) 施工期或运行期大坝出现异常或险情状态时。

9.4.4 当完成监测资料整理分析后,应及时将所有相关监测成果资料整理成册并归档。监测成果资料提交宜包括下列内容:

- a) 监测相关设计文件。
- b) 监测工作方案。
- c) 监测仪器的合格证、技术参数、使用说明。
- d) 监测仪器检验记录、安装埋设记录。
- e) 观测记录、计算记录、维护记录、巡视检查资料。
- f) 监测工程质量评定资料。
- g) 监测分析周报告、月度报告、年度报告、专题报告、验收报告等。

## 10 数字化与 BIM 协同测量要求

### 10.1 一般规定

10.1.1 抽水蓄能电站工程测量宜建立贯穿规划、设计、施工、运维全生命周期的空间数据管理体系,测量成果宜以三维数字化形式为主,满足BIM与GIS融合应用的要求。

10.1.2 各阶段测量工作宜采用三维激光扫描、倾斜摄影测量等技术获取实景三维数据,并构建与工程坐标系一致的实景三维模型。

### 10.2 数据格式与交换

10.2.1 测量成果数据应采用通用、开放的格式进行存储与交换。三维模型宜采用IFC、3D Tiles、OSGB等格式;点云数据宜采用LAS/LAZ格式;矢量数据宜采用DWG、DXF、SHP或GeoPackage格式。

10.2.2 所有测量数据均应包含完整的元数据,描述其坐标系、高程系、精度、比例尺、生产单位、生产日期等信息。

### 10.3 模型精度与协同

10.3.1 竣工测量阶段宜提交包含高精度点云、实景三维模型及竣工BIM模型的数字化交付资产,模型精度与数据格式应符合工程数字化交付的相关规定。

10.3.2 实景三维模型的GSD或点云间距应符合本文件相关章节的规定,地上模型GSD不应大于5cm,地下洞室点云间距不应大于2cm。

10.3.3 实景三维模型和BIM模型宜在统一的空间基准下进行无缝集成,支撑电站数字孪生平台的构建与应用。

## 11 质量控制

## 11.1 一般规定

11.1.1 测绘成果质量应通过二级检查和一级验收方式进行控制，测绘成果应依次进行过程检查、最终检查和验收。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。最终检查应审核过程检查记录，验收应审核最终检查记录。

11.1.2 测绘成果质量检查、验收与评定的依据为任务书或合同书、技术设计书、委托检查验收文件、行业标准及有关国家标准等。

11.1.3 测绘成果质量评定可与成果检查验收同步进行，也可根据需要单独开展质量评定。

11.1.4 测绘成果最终检查采用优、良、合格和不合格四级质量等级评定，成果验收按合格和不合格两级质量等级评定。

11.1.5 测绘成果的质量检查、评定、验收记录不得更改、增删，内容填写应完整、规范、清晰，应有质量评定、检查及验收人员的签名。

11.1.6 大、中型测绘项目应编写测绘成果的检查、验收报告，小型测绘项目的测绘成果检查、验收以测绘单位质量管理体系的质量运行卡、产品验收单、产品校审卡等形式代替，各类检查、验收记录应随测绘成果一并归档。

## 11.2 质量检查

11.2.1 测绘成果质量检查包括过程检查和最终检查，过程检查由测绘单位作业部门（队室）完成、最终检查由测绘单位质量管理部门实施。

11.2.2 测绘成果质量检查应按照 GB/T 24356 规定执行，并符合下列要求：

- a) 抽样检查应对抽取样本内的单位成果逐一详查，必要时可对样本以外单位成果重要检查项进行概查。样本应在项目综合成果中抽取完整的分项测绘成果，下列相关资料按 100% 提取样品原件或复印件：
- b) 测绘成果过程检查应全数检查，最终检查宜全数检查，野外检查项目可采用抽样检查。
- c) 测绘成果过程检查应在测绘成果过程检查表中完整、规范、清晰地记录检查出来的错漏问题和复查结果，经检查人员、复核人员签名后的记录禁止更改、增删；
- d) 最终检查发现的问题作为成果质量错漏处理，在测绘成果最终检查意见表或产品校审卡中进行记录并提出处理意见；最终检查不合格的成果退回作业部门处理，处理后再进行最终检查，直至检查合格为止；对最终检查出来的错漏项目应进行修正和复查；最终检查完成后应编写测绘成果检查报告，并填写成果质量检查评价总表。

## 11.3 质量评定

11.3.1 测绘成果质量均采用百分制评分，项目测绘成果质量等级评定按表 29 执行。

表 29 测绘成果质量等级评定

最终成果检查质量评定等级	质量得分	成果验收质量等级	质量得分
优	$S \geq 90$ 分	合格	$S \geq 60$ 分
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	$S < 60$ 分

11.3.2 测绘成果质量评定应按照 GB/T 24356 规定执行，并符合下列要求：

- a) 项目的分项测绘成果出现质量不合格项则项目测绘成果质量综合评判为不合格；分项测绘成果的质量评定元素或质量评定单元出现不合格项则分项测绘成果质量

综合评判为不合格。

- b) 测绘成果质量评定以“中误差”统计数学精度。当检测点或边数不小于 20 时，按中误差统计。图类成果数学精度检测包括高程精度检测、平面位置精度检测及相对位置精度检测，检测点（边）数量视地物复杂程度、比例尺等具体情况确定，一般每幅图选取 20 个~50 个，检测点（边）应分布均匀，位置明显。
- c) 对于规模较小、常规测绘项目产品可根据实际情况采用“合格、不合格”两个质量评定等级评定。

## 12 证实方法

抽水蓄能电站工程测量数据应采用以下方法进行证实：

- a) 资料收集阶段，以收集清单对照检查为证实方法；
- b) 技术设计阶段，以通过评审的项目技术设计书为证实方法；
- c) 成果归档及资料提交阶段，以通过业主评审验收为证实方法。

## 附录 A

(资料性)

### 大高差工程投影变形控制方法

#### A.1 总则

A.1.1 本附录适用于抽水蓄能电站大高差、长距离工程测量中，投影变形超过现行规范限值时的控制计算。

A.1.2 本方法通过调整椭球参数与投影参数，实现有效抑制综合投影变形，减少或避免测量分区。

#### A.2 术语与定义

A.2.1 综合投影变形：指由高程归化与高斯投影共同引起的边长变形总和。

A.2.2 抵偿投影面：为抵消投影变形而设定的虚拟投影面。

A.2.3 尺度比残差：精密测距边长与 GNSS 反算边长之间的系统性比例差异。

#### A.3 工程参考椭球参数确定方法

A.3.1 多点拟合法确定工程椭球参数，应符合下列要求：

- a) 当测区大地水准面与标准参考椭球面存在系统性偏差时，宜采用多点拟合法构建贴合测区平均大地水准面的工程参考椭球。
- b) 在标准椭球基础上引入平移 3 参数  $\Delta X_{E1}$ 、 $\Delta Y_{E1}$ 、 $\Delta Z_{E1}$ ，形成了由  $a_{E1}$ 、 $b_{E1}$ 、 $\Delta X_{E1}$ 、 $\Delta Y_{E1}$ 、 $\Delta Z_{E1}$  构成的 5 个待定椭球参数，如图 A.1 及式 A.1 所示。

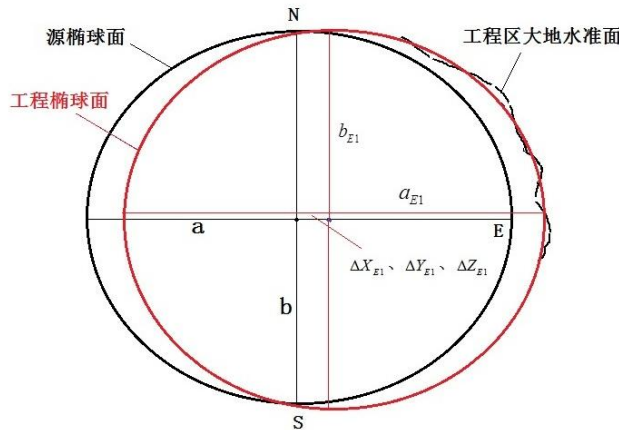


图 A.1 工程椭球参数示意图

$$\frac{(X_{E1} + \Delta X_{E1})^2}{a_{E1}^2} + \frac{(Y_{E1} + \Delta Y_{E1})^2}{a_{E1}^2} + \frac{(Z_{E1} + \Delta Z_{E1})^2}{b_{E1}^2} = 1 \quad (A.1)$$

- c) 在测区内均匀选取不少于 5 个同时具备高精度 GNSS 空间直角坐标  $(X_i, Y_i, Z_i)$  和高等级水准联测正常高  $(H_i)$  的公共控制点，计算出各点的高程异常：

$$[\xi_i^{E1}] = [\xi_1^{E1} \quad \xi_2^{E1} \quad \dots \quad \xi_i^{E1} \quad \dots \quad \xi_{n-1}^{E1} \quad \xi_n^{E1}]^T \quad (A.2)$$

- d) 将对应的平面坐标大地高用测区平均高程或者根据工程需求而指定的基准面高程

$H$  替代，计算工程椭球面拟合所对应的大地高： $H_G^i = H + \xi_i^{E1}$ ，并转换成空

间直角坐标  $H_G^i = [H_1^{E1} H_2^{E1} \dots H_i^{E1} \dots H_{n-1}^{E1} H_n^{E1}]^T$ 。求出  $H_G^i$  后，将大地坐标

$[B_i^{E1} \quad L_i^{E1} \quad H_i^{E1}]^T$  转换成空间直角坐标， $[X_i^o \quad Y_i^o \quad Z_i^o]^T$ 。

- e) 将所解算坐标  $[X_i^o \ Y_i^o \ Z_i^o]^T$  代入式 (A.1), 采用最小二乘法解算工程椭球相对于国家标准椭球的平移参数 ( $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ ) 及长短轴调整参数 ( $\Delta a, \Delta b$ ), 确定出工程区域椭球参数。

#### A.3.2 基于尺度比的椭球长半径修正法

当 GNSS 控制网反算边长与地面精密实测边长存在显著尺度差异时, 宜采用基于尺度比关系的椭球参数修正方法。具体计算过程如下:

- 在控制网中选取不少于 3 条高精度的电磁波测距或全站仪实测边长  $D_{ab}$ 。
- 利用 GNSS 网平差获得的三维坐标反算对应边的空间弦长或椭球面弧长  $D_{Gab}$ 。
- 计算的实测边长与 GNSS 控制点成果的反算边长比值  $L = \frac{D_{ab}}{D_{Gab}}$ 。
- 计算抵偿投影面高程值  $H_m = -R \frac{1-L}{L}$ 。

#### A.4 投影参数确定方法

##### A.4.1 高斯正形投影变形基本模型

任意点的高斯投影长度变形  $\Delta S$  由高程归化变形  $\Delta S_1$  和高斯投影变形  $\Delta S_2$  两部分组成, 其综合投影变形近似计算公式为下式 A.3:

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = S \left( \frac{Y_m^2}{2R_m^2} - \frac{H_m}{R} \right) \quad (A.3)$$

式中:  $H_m$  为边长归算所选投影面高出参考椭球面的平均高程;

$Y_m$  为归算边两端点横坐标自然值的平均值;

$R_m$  为参考椭球面平均曲率半径。

##### A.4.2 选定轴线投影变形最小准则

适用于长距离隧洞、交通洞等对贯通精度要求极高的线状工程, 计算过程如下:

- 确定工程选定轴线的起点 ( $X_1, Y_1$ ) 和终点 ( $X_2, Y_2$ );

$$b) \text{ 距离中央子午线距离 } Y_0 \text{ 为, } Y_0 = \sqrt[3]{\frac{(Y_1^3 + Y_2^3)}{2}};$$

$$c) \text{ 归算边高出抵偿投影面的平均高程 } H'_m = \frac{Y_0^2}{2R}$$

$$d) \text{ 抵偿投影面的高程 } H = (H_m - H'_m)。$$

##### A.4.3 综合投影变形最小准则

适用于要求测区内各点长度综合变形整体最小的枢纽工程区, 计算过程如下:

$$a) \text{ 投影参考位置: } Y_0 = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{(Y_{\max}^2 + Y_{\max} Y_{\min} + Y_{\min}^2)}$$

- 其他方法参照 A.2.2。

##### A.4.4 最大投影变形最小准则

适用于对边缘区域边长最大投影变形有严格限制的工程, 计算过程如下:

a) 投影参考位置:  $Y_0 = \sqrt{\frac{Y_{\max}^2 + Y_{\min}^2}{2}}$

b) 其他方法参照 A. 2. 2。

#### A. 4. 5 大高差工程投影变形控制方法

针对上下库高差超过 300 m 的抽水蓄能电站, 单一投影面难以满足变形限值时, 宜采用投影-高程耦合变形控制技术, 计算过程如下:

- a) 收集测区内控制点坐标 (X, Y, H) 及关键工程部位 (如上水库、下水库) 的高程数据;  
 b) 计算高差引起的每公里变形量, 按式 (A. 4) 计算各点高差引起的每公里变形量  $\Delta D$ :

$$\Delta D = -\frac{\Delta H_m}{R_m} \times 10^6 (\text{mm/km}) \quad (\text{A. 4})$$

- c) 确定由于高差引起的每公里长度变形函数在 Y 方向上的变化率  $k_D = \frac{H_1 - H_2}{\bar{S}R_m}$ , H1

为较高处关键位置高程, H2 为较低处关键位置高程,  $\bar{S} = |Y_1 - Y_2|$  为工程关键区两端  $Y_1$ 、 $Y_2$  在 Y 方向上的距离;

- d) 确定工程关键区域由于远离中央子午线带来的每公里长度变形函数变化率

$$k_L = \frac{Y_1^2 - Y_2^2}{2\bar{S}R_m^2}$$

- e) 工程关键区中心所处经线距新中央子午线的距离  $Y'_m = R_m^2 k_D$ ;

- f) 据  $Y'_m$  确定新中央子午线距离, 以抵偿由于高差引起的上下库投影变形;

- g) 针对高山峡谷环境, 若具备精密测距数据, 计算相对实测地面控制网的边长归算

$$C = \frac{S_{ab}}{S_{Gab}}$$

尺度比

式中: 精密实测平距为  $S_{ab}$ , GNSS 控制点反算边长为  $S_{Gab}$ ;

- h) 计算尺度比残差抵偿投影面修正值  $\hat{H}_m = -R_m \frac{1-C}{C}$ ;

- i) 修正后的抵偿投影面高程为:  $H' = H + \hat{H}_m$ 。

## 参 考 文 献

- [1] GB/T 12897-2006 国家一、二等水准测量规范
  - [2] GB/T 12898-2009 国家三、四等水准测量规范
  - [3] GB/T 13923-2022 基础地理信息要素分类与代码
  - [4] GB/T 15314-2024 精密工程测量规范
  - [5] GB/T 17798-2007 地理空间数据交换格式
  - [6] GB/T 17942-2000 国家三角测量规范
  - [7] GB/T 18314-2024 全球导航卫星系统（GNSS）测量规范
  - [8] GB/T 20257.1-2017 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
  - [9] GB/T 20257.2-2017 国家基本比例尺地图图式 第2部分：1:5000 1:10000地形图图式
  - [10] GB/T 24356-2023 测量成果质量检查与验收
  - [11] GB 50026-2020 工程测量标准
  - [12] GB 55018-2021 工程测量通用规范
  - [13] CH/T 1001-2005 测绘技术总结编写规定
  - [14] CH/T 1004-2005 测绘技术设计规定
  - [15] CH/Z 3003-2021 低空数字航空摄影测量内业规范
  - [16] CH/Z 3004-2021 低空数字航空摄影测量外业规范
  - [17] CH/T 3005-2021 低空数字航空摄影规范
  - [18] CH/Z 3017-2015 地面三维激光扫描作业技术规程
  - [19] CH/T 8023-2011 机载激光雷达数据处理技术规范
  - [20] CH/T 8024-2011 机载激光雷达数据获取技术规范
  - [21] CH/T 9012-2011 基础地理信息数字成果数据组织及文件命名规则
  - [22] DL/T 5173-2003 水电水利工程施工测量规范
  - [23] DL/T 5178-2016 混凝土坝安全监测技术规范
  - [24] DL/T 5259-2010 土石坝安全监测技术规范
  - [25] NB/T 35029-2023 水电工程测量规范
-