

团 体 标 准

T/CSGPC XXX-20XX

水库库岸边坡变形监测技术规程

Technical Specification for Reservoir Bank Slope Deformation Monitoring

(征求意见稿)

(本稿完成时间：2023年12月28日)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国测绘学会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	3
5 基本规定	3
5.1 一般规定	3
5.2 监测工程等级划分	4
5.3 水库库岸边坡监测内容	5
6 监测设计	5
6.1 一般规定	5
6.2 变形监测	8
6.3 应力应变监测	11
6.4 环境量及渗流监测	11
6.5 视频监控	11
6.6 振动监测	12
6.7 水下地形	12
7 监测方法	12
7.1 一般规定	12
7.2 变形监测	12
7.3 应力应变监测	21
7.4 环境量及渗流监测	22
7.5 视频监控	22
7.6 振动监测	23
7.7 水下地形	24
8 主要监测设备的安装埋设	24
8.1 一般规定	24
8.2 变形监测	24
8.3 应力应变监测	29
8.4 环境量及渗流监测	31
8.5 视频监控	33
8.6 振动监测	33
9 自动化监测	34
9.1 一般规定	34
9.2 系统设计	34
9.3 系统功能及性能	36
9.4 安装调试	36
10 巡视检查	37
10.1 一般规定	37
10.2 巡视检查内容	37
10.3 巡视检查方法和要求	38
11 监测资料整编分析	38

11.1 一般规定	38
11.2 监测资料分析	39
11.3 预警预报	40
12 质量检查与验收	41
12.1 一般规定	41
12.2 质量检查	41
12.3 验收	41
附录 A (资料性) 监测设备安装埋设	43
附录 B (资料性) 监测方法	51
附录 C (资料性) 监测记录表	82
附录 D (资料性) 质量检查	87
参考文献	88

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

水库库岸边坡变形监测技术规程

1 范围

本文件规定了水库库岸边坡巡视检查、监测设计、监测方法、监测仪器设备安装埋设、自动化监测、监测资料整编分析、质量监测与验收的内容及要求。

本文件适用于水库库岸边坡监测工作，其他工程边坡、自然边坡、矿山边坡也可参考使用。

2 规范性引用文件

下列文件中对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 18314 全球导航卫星系统（GNSS）测量规范
- GB/T 24356 测绘成果质量检查与验收
- GB/T 28588 全球导航卫星系统连续运行基准站网技术规范
- GB/T 31077 水库地震监测技术要求
- GB 55018 工程测量通用规范
- GB 50026 工程测量标准
- GB 50057 建筑物防雷设计规范
- DL/T 5178 混凝土坝安全监测技术规范
- DL/T 5211 大坝安全监测自动化技术规范
- DL/T 5259 土石坝安全监测技术规范
- DL/T 5353 水电水利工程边坡设计规范
- DL/T 5785 混凝土坝安全监测系统施工技术规范
- DL/T 5839 土石坝安全监测系统施工技术规范
- NB/T 35029 水电工程测量规范
- NB/T 35109 水电工程三维激光扫描测量规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

水库库岸边坡 reservoir bank slope
水库两岸受水位变化影响区内的边坡。

3.2

变形体 distortion rock mass
已存在明显变形，但尚未发生大规模或整体失稳的岩土体。

3.3

无人机巡视 UAV Inspection tour

利用无人机对选定水库区域进行拍照、摄像、扫描，并对特定位置进行抵近远程查看的方式。

3.4

高危变形体 distortion and dangerous rock mass

大规模或整体失稳的岩土体、人员不宜暴露或者不宜频繁暴露的区域。

3.5

无人机投放监测系统 UAV lay monitoring system

采用无人机及配套的投放系统，精准定点投放监测设备，并进行数据通信与处理的综合监测系统。

3.6

观测数据完整率 observation data integrity rate

接收机观测到卫星的实际历元数据量与理论历元数据量的比值。

3.7

高度角 elevation

又称仰角，指在用户本地水平坐标系中用户与导航卫星连线方向与水平面的夹角。

[来源：BD 420022 3.1.2]

3.8

载噪比 Carrier-to-Noise Ratio (CNR)

载波信号功率与噪声功率谱密度之比。

[来源：BD 420022 3.1.14]

3.9

周跳比 cycle slip ratio

在某时间段内，接收机观测数据的实际历元数据量与发生周跳历元数据量的比值，反映了周跳发生的平均观测历元数。

3.10

多路径误差 multipath error

由非直达导航信号引入的测距误差。

3.11

机器视觉测量技术 machine vision measurement technology

通过影像采集装置获取视频或图像信息，并采用视觉算法将视频或图像数据转化为位移数据，实现对各类建构物的非接触式实时测量的技术。

3.12

相位解缠 phase unwrapping

相位由主值（模为 2π ）恢复到真值的方法统称为相位解缠。

3.13

视频监测系统 video monitoring system

具有视频图像采集、网络传输、视频录像、存储、回放，以及智能分析、综合管理等功能的设备集成。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

ATR: 目标自动识别 (Automatic Target Recognition)

D-InSAR: 差分合成孔径雷达干涉测量 (differential InSAR)

GBSAR: 地基合成孔径雷达 (Ground Based Synthetic Aperture Radar)

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

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

MEMS: 微电子机械系统 (Micro-electro mechanical Systems)

PS-InSAR: 永久散射体合成孔径雷达干涉测量 (persistent scatterer InSAR)

SBAS-InSAR: 短基线合成孔径雷达干涉测量 (small baseline subsets InSAR)

5 基本规定

5.1 一般规定

5.1.1 水库库岸边坡监测应在地质、水文勘察或调查等前期工作基础上开展，监测范围应为勘察或调查查明的影响范围区域。

5.1.2 安全监测设计应具有针对性、适用性和科学性，宜实现自动化监测，监测采用的仪器设备技术参数应满足本文件对监测方法、监测精度、综合性能的要求。

5.1.3 监测设施建设应遵循一次建成、长期连续运行的原则，监测方法应综合考虑技术可靠性、实施可行性以及投资经济性等因素。

5.1.4 水库库岸边坡监测应采用 2000 国家大地坐标系、高程基准应采用 1985 国家高程基准；当采用其他坐标系或高程基准时，应建立其与 2000 国家大地坐标系、1985 国家高程基准间之间的转换关系。

5.1.5 监测仪器设备安装前应进行检验率定，埋设应符合设计技术要求。

5.1.6 监测设计的巡视检查路线应兼顾宏观地质巡查和监测设施设备巡检需求。

5.1.7 监测周期不应少于 1 个水文年。

5.1.8 监测期间应根据边坡稳定性状态,变形迹象发育及发展趋势、环境变化等因素建立动态优化和调整机制,每历经一个水文年应全面评价监测方案合理性并酌情做出针对性优化和调整。

5.1.9 推荐使用创新技术和方法开展边坡监测。

5.1.10 监测物理量取值正负号宜符合下列规定:

- a) 水平向临空面为正,反之为负;面向临空面左为正,反之为负;
- b) 垂直下沉为正,上抬为负;
- c) 裂缝开合度张开为正,闭合为负;
- d) 应力应变拉为正,压为负;
- e) 渗透压力压为正;
- f) 界面压应力压为正。

5.1.11 水库库岸边坡监测控制测量及变形监测内容参照 GB 55018 规定执行。

5.2 监测工程等级划分

5.2.1 水库库岸边坡按其所属建筑物级别、边坡所处位置、边坡重要性和失稳后的危害程度,划分不同的等级。见表 1。

表 1 水库库岸边坡等级划分

等级	水库库岸边坡分级指标
I 级	现存地质灾害隐患的岸坡产生危害型涌浪或地质灾害可能危及 1 级建筑物安全的边坡,边坡特别重要或重要且边坡位于(县级和县级以上城镇等)或(水库坝体、重要集镇、重要工矿企业和重要交通设施等),失稳后的危害程度大(直接威胁人数 ≥ 500 人,潜在经济损失 ≥ 5000 万元,威胁一、二级河道安全)
II 级	可能发生滑坡并危及 2 级、3 级建筑物安全的边坡,边坡较重要且边坡位于集中居民点、工矿企业等,失稳后的危害程度中(直接威胁人数 < 500 人且 ≥ 100 人,潜在经济损失 < 5000 万元且 ≥ 500 万元,威胁三级河道安全)
III 级	要求整体稳定而允许部分失稳或缓慢滑落的边坡,边坡较重要且边坡位于居民点、一般工矿企业等,失稳后的危害程度中(直接威胁人数 < 100 人,潜在经济损失 < 500 万元)

5.2.2 水库库岸边坡监测等级应根据边坡类别、级别,稳定性状态确定。见表 2。

表 2 监测等级划分

稳定性状态	边坡级别		
	I 级	II 级	III 级
不稳定边坡	一级	一级	二级
变形边坡	一级	二级	二级
潜在不稳定边坡	二级	三级	三级

注: 1 不稳定边坡: 处于整体滑动状态或时有崩塌的边坡。

2 变形边坡: 有变形或蠕变迹象的边坡。

3 潜在不稳定边坡: 有明确不稳定因素存在但暂时稳定的边坡。

5.3 水库库岸边坡监测内容

水库库岸边坡监测项目应包括以下内容，见表 3：

- a) 巡视检查；
- b) 变形监测（地表位移监测、深部位移监测）；
- c) 应力应变监测；
- d) 环境量及渗流量监测（降雨量、地下水位、库水位）；
- e) 视频监控；
- f) 振动监测等。

表 3 监测项目

边坡类型	监测等级	监测项目														
		巡视检查	变形监测					应力应变监测		环境量及渗流监测				视频	振动	
			地表水平位移	地表垂直位移	深层水平、垂直位移	倾斜	裂缝	锚杆（索）钢筋轴力	土压力	降雨量	地下水位	库水位	渗流			
土质边坡	一级	●	●	●	●	●	●	●	○	○	●	●	●	○	●	●
	二级	●	●	●	●	○	●	○	○	●	●	●	○	○	○	○
	三级	●	●	●	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○
岩质边坡	一级	●	●	●	●	●	●	○	○	●	●	●	●	●	●	●
	二级	●	●	●	●	○	○	○	○	●	●	●	○	○	○	○
	三级	●	●	●	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○

注：1 ●为应测项，○为宜测项，◎为可测项。

2 根据需要开展水下地形监测。

6 监测设计

6.1 一般规定

6.1.1 水库库岸边坡地质灾害隐患排查应在蓄水期前进行，蓄水期 3 年内每年应至少开展水库库岸边坡地质灾害隐患排查，宜选择 INSAR、遥感影像识别等技术。

6.1.2 水库库岸边坡监测设计应以整体稳定性监测为主，兼顾局部，应根据边坡类别、级别，边坡地质条件，边坡变形与破坏的机理和失稳风险，明确监测目的，论证监测精度综合确定。

6.1.3 水库库岸边坡监测设计方案内容应包括：

- a) 设计目的；

- b) 设计依据;
- c) 设计原则;
- d) 监测项目;
- e) 监测布置;
- f) 实施要求;
- g) 巡视检查及资料分析;
- h) 投资预算等。

6.1.4 水库库岸边坡监测断面设计应按照区域设置,根据边坡地质与工程特点选择代表性监测断面,应与勘探剖面相结合,宜与潜在滑动面的滑动方向或地下水渗流方向综合考虑。

6.1.5 监测仪器设备应在规定的校准有效期内使用,并应满足观测精度和量程的要求,应具有良好的稳定性和可靠性。

6.1.6 失稳风险高、危害性较大水库库岸边坡宜采用自动化监测,实现在线监测、预警预报,监测仪器、供电系统、传输系统应进行冗余设置。

6.1.7 监测工作前期应收集下列基本资料:

- a) 水利水电工程规模、设计标准和建构筑物结构形式等相关设计资料;
- b) 水文、气象资料;
- c) 周边环境条件资料,地形、地质勘察、地灾评估资料;
- d) 现场踏勘资料,复核相关资料与现状关系。

6.1.8 超大规模、特别重要的或条件十分复杂的水库库岸边坡,安全设计标准、稳定分析及其评价等应进行专门研究论证。

6.1.9 水库库岸边坡监测点布设方案应符合下列要求:

- a) 监测点应构成监测纵、横剖面,不同类监测点宜采用同位置布设;
- b) 各监测项目的选取应互为补充、验证;
- c) 位于监测剖面两侧 10m 范围内,完好且观测精度满足要求的既有监测设施,宜纳入监测网络;
- d) 边坡上游 5km 范围内水雨情监测点,边坡所处斜坡单元其一级分水岭范围内降雨量监测点宜纳入监测网络;
- e) 需开展深层水平位移、地下水位等参数监测时,应结合勘查钻孔开展单孔设计,宜利用勘查钻孔布设相应的传感设备。

6.1.10 水库库岸边坡监测精度应根据监测等级,监测工作方式、监测技术方法综合确定,按表 4 确定。

表 4 监测精度

监测项目		监测精度		
		一级监测	二级监测	三级监测
地表水平位移 ^a	岩质边坡	±3mm	±5mm	±10mm
	土质边坡	±3mm	±5mm	±10mm
地表垂直位移 ^b	岩质边坡	±3mm	±5mm	±10mm
	土质边坡	±5mm	±5mm	±10mm
深层水平、垂直位移		±0.1mm	±0.1mm	±0.1mm

监测项目	监测精度					
	一级监测		二级监测		三级监测	
倾斜	0.25mm/m		0.25mm/m		0.25mm/m	
裂缝	±1mm	0.1%F·S	±1mm	0.5%F·S	±1mm	1%F·S
锚杆(索)轴力	0.1%F·S		0.5%F·S		0.5%F·S	
土压力	0.1%F·S		0.5%F·S		0.5%F·S	
降雨量	±2%		±2%		±2%	
地下水位	0.25%F·S		0.5%F·S		0.5%F·S	
库水位	±10mm		±10mm		±10mm	
渗流	±5%F·S		±10%F·S		±10%F·S	
视频	1080p(1920×1080)		1080p(1920×1080)		1080p(1920×1080)	
振动加速度	1000 mV/G		1000 mV/G		1000mV/G	

注：1%F·S是指传感器满量程的百分数（FS=FULL SCALES）

2 变形观测点的高程中误差和点位中误差，是指相对于邻近基准点的中误差

3 特定方向的位移中误差可取表中相应等级点位中误差的 $1/\sqrt{2}$ 作为限值

6.1.11 水库库岸边坡监测应根据工程背景、变形特征及发展趋势、风险管控需求等因素划分为一般监测、应急监测，各阶段应确定相应的监测周期和频率。

a) 应急监测周期一般不少于3个月，视变形趋势可转为一般监测阶段或终止监测；

b) 一般监测周期一般不少于1个水文年；

c) 监测频率分为采样频率和成果输出频率，监测实施按表5执行。

表5 监测频次

监测类型	监测项目	监测频次	
		应急监测	一般监测
巡视检查	巡视检查	1次/天	1次/周-1次/月
环境量	降水量	实时	1次/天
	库水位	实时	2次/天
	地下水位	实时-1次/天	3次/天
变形监测	表部位移	实时-1次/天	1次/周-1次/月
	深部位移	实时-1次/天	1次/周-1次/月
	裂缝	实时-1次/天	1次/周-1次/月
	倾斜	实时-1次/天	1次/周-1次/月
应力应变	应力应变	实时-1次/天	1次/周-1次/月
视频	视频监测	实时	实时
振动	振动监测	实时	实时

注：1 自动化监测仪器每天监测一次。

2 遇暴雨、地震、水位变化较大等特殊情况，应增加监测频次。

3 正常情况下，监测频次取下限值。

6.1.12 水库库岸边坡变形监测设计参照DL/T 5353规定执行；

6.1.13 水库库岸边坡应力应变监测、环境量监测、渗流监测参照DL/T 5178、DL/T 5259规定执行。

6.2 变形监测

6.2.1 变形监测网

6.2.1.1 水库库岸边坡变形监测设计时，应对变形监测内容和范围作出要求，应由实施单位制订变形监测技术设计方案。方案设计应包括监测的目的、精度等级、监测方法、监测基准网的精度估算和布设、观测周期、项目预警值、使用的仪器设备等内容。

6.2.1.2 变形监测网点位的构成宜包括基准点、工作基点和变形观测点，点位布设应符合下列规定：

a) 基准点应选在变形影响区域之外稳固位置，点位不少于 3 个，水平位移基准点应采用带有强制对中装置的观测墩，垂直位移基准点宜采用双金属标或钢管标；

b) 工作基点应选在比较稳定且方便使用的位置，设立在监测区域内的工作基点应采用带有强制对中装置的观测墩。垂直位移监测工作基点可采用钢管标；

c) 变形监测点应设在能反映监测体变形特征的位置或监测断面上；

d) 监测网点的选点、埋设、安装、观测和数据处理应符合现行国家及行业标准，观测墩的制作与埋设可参照附录 A.1 规格建造。

6.2.1.3 GNSS 监测的坐标系统、高程基准应与主体工程保持一致，GNSS 监测成果应归算至强制对中盘中心位置。

6.2.1.4 GNSS 基准站选点环境应满足以下要求：

a) 距易产生多路径效应的地物（如高大建筑、树木、水体和易积水地带等）的距离不小于 200m；

b) 应有 10° 以上地平高度角的卫星通视条件；

c) 距电磁干扰区（如微波站、无线电发射台、高压线穿越地带等）的距离不小于 200m；

d) 避开易产生振动的地带；

e) 应建立在稳定块体上，避开地质构造不稳定地区（如断裂带、易发生滑坡与沉陷等局部变形地区）和易受水淹或地下水位变化较大的地区。

6.2.1.5 GNSS 变形监测应进行观测数据质量分析，以 15 s 采样间隔记录不少于连续 4 h 的观测数据，当载波相位数据利用率低于 80%，数据完整率小于 85%，多路径效应 MP1 大于 0.5，MP2 大于 0.75m，周跳比 O/SIps 小于 200 或周跳数 CSR 值大于 5，信噪比小于 1dB，应变更站址。

6.2.1.6 GNSS 解算软件应具备北斗单系统解算功能。GNSS 数据解算参照 GB/T 18314 规定执行。

6.2.1.7 变形监测基准网等级应根据监测对象的重要性、危害程度等确定，监测基准网等级精度要求应符合表 6 要求。

表 6 变形监测基准网的等级及精度要求

监测基准网等级	水平位移基准网最弱点中误差 (mm)	垂直位移基准网最弱点中误差 (mm)
一等	±1.5	±1.5
二等	±2.5	±2.5
三等	±3.5	±5.0

6.2.1.8 监测基准网应由基准点和工作基点构成，监测基准网应每半年复测一次，每次监测应进行基准点稳定性校测，必要时可设置垂线作为基准点。

6.2.1.9 首次监测应进行两次独立测量，之后各期的变形监测宜符合下列规定：

- a) 宜采用相同的观测路线和观测方法；
- b) 宜使用同一仪器和设备；
- c) 观测人员宜相对固定；
- d) 采用同一基准处理数据。

6.2.1.10 每期观测前，应对所使用的仪器和设备进行自检、校正，并作出详细记录。

6.2.1.11 每期观测结束后，应及时处理观测数据，当数据处理结果出现下列情况之一时，必须即刻通知相关单位采取相应措施：

- a) 变形量达到预警值或接近允许值；
- b) 变形量出现异常变化；
- c) 建（构）筑物的裂缝或地表的裂缝快速扩大。

6.2.2 水平位移监测基准网

6.2.2.1 水平位移监测控制网宜采用三角形边角网，在精度满足要求的条件下，可采用 GNSS 观测方法。

6.2.2.2 边角网点布置应避免视线接近水面，视线离障碍物的距离不小于 2m。

6.2.2.3 水平位移监测基准网应进行精度分析、可靠性分析和灵敏度分析。

6.2.2.4 采用 GNSS 法进行变形监测时，工作基点应布设在滑坡影响范围之外的基础稳固、多路径效应不明显、电测波干扰小及卫星信号接收条件良好的部位，宜设 2 个工作基点。

6.2.3 垂直位移监测基准网

6.2.3.1 垂直位移监测基准网设计、布点、埋设、测量、数据处理等过程应参照 GB/T 12897 及 GB/T 12898 规定执行。

6.2.3.2 垂直位移监测基准网宜布设成环或附和路线，垂直位移监测基准网点宜与水平位移监测基准网同点布设。

6.2.3.3 垂直位移监测基准网应符合以下规定：

- a) 垂直位移观测应设置垂直基准点，基准点不应少于 3 个，相邻两点间距宜在 30m—100m；
- b) 垂直位移基准点的埋设，应避开交通主干道主路、水源地、松软填土、滑坡地段、机器振动区以及其他可能使标石、标志易遭腐蚀和破坏的地方；
- c) 应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；
- d) 垂直位移基准点宜采用双金属标、钢管标、基岩标或岩石标，工作基点的标石可根据现场条件选用浅埋钢管水准标石、混凝土普通水准标石；
- e) 垂直位移监测基准网的测量精度不应超过表 7 规定数值。

表 7 垂直位移监测基准网的主要技术指标

测量等级	一等	二等	三等	四等
M_{Δ}	0.45	1.0	3	5
M_w	1.0	2.0	6	10

6.2.3.4 重要水库库岸边坡的深部垂直位移监测基准可采用倒垂法、双金属管标法。

6.2.3.5 大气稳定、成像清晰条件下可用自动照准全站仪的精密三角高程测量代替二等水准测量。

6.2.4 变形监测设计

6.2.4.1 表部水平位移监测可采用极坐标法、交会法、GNSS 法、近景摄影测量法、地基雷达干涉测量法、三维激光扫描法等；地表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、电磁沉降仪、InSAR 等；裂隙宜采用测缝计、伸缩仪、游标卡尺等方法。

6.2.4.2 水库库岸边坡变形监测点的设计应符合以下规定：

a) 每条监测断面表部监测点不宜少于 3 个，其他监测项目的测点不宜少于 1 个，各类监测项目宜就近布置，可相互验证，地质条件复杂的边坡应增设测点，点位应选在地质、地貌的特征点上，棱镜测点宜采用强制对中装置的墩标，困难地段设置固定照准标志，墩高不低于 1m；

b) 监测设计内容应充分利用原有地质勘察设施，相关资料应衔接前期勘察成果，保持资料的延续性；

c) 变形监测方法应根据失稳边坡规模、地质特点、精度要求、变形速率及监测体的安全性等内容综合考虑确定。

6.2.4.3 水库库岸边坡出现裂缝时应根据需要进行裂缝观测，地表裂缝应注意其分布范围、数量与长度进行地质巡视和监测。

6.2.4.4 水库库岸边坡的每条监测断面应不少于 3 个监测点，监测断面应与勘探断面和稳定性分析断面相结合，地面位移监测点布置应与地下变形监测点位置相结合，建立地面与地下位移变形的关系。

6.2.5 深部变形监测

6.2.5.1 水库库岸边坡深部位移监测可采用多点位移计、滑动测微计、测斜仪、土体位移计等；其他深部位移监测可采用基于微电子机械系统加速度计（MEMS）的监测仪器。

6.2.5.2 采用测斜孔监测多层滑面相对位移时，其最大深度不宜超过 90m，对 100m 以上的水库库岸高边坡，可用多级测斜孔组合的方法进行监测，测斜孔可与地下水位孔结合，有利于多因素相关分析。

6.2.5.3 采用多点位移计监测边坡岩体拉张形变时应根据边坡稳定和变形计算成果，参照类似工程设定孔深、位移点数和位移点位置。

6.2.5.4 重要工程边坡可在监测洞内做地面倾斜监测、岩体变形收敛、引张线监测，特殊情况可在垂直钻孔内做垂线监测。

6.3 应力应变监测

6.3.1 边坡岩体锚杆应力、锚索荷载监测仪器应选用锚杆应力计、锚索测力计,边坡抗滑桩、抗剪洞塞与锚固洞、挡土墙的钢筋应力、混凝土应力应变、界面压力监测仪器应选用钢筋计、应变计(组)、土压力计。

6.3.2 应力应变监测点应选择地质条件、结构形式、受力状态等具有代表性的部位或关键部位布设,应与变形监测点建立物理解释关联性,

6.3.3 应力应变监测设计时应收集并分析各点位设计力学参数。

6.3.4 应力应变监测应符合下列规定:

- a) 测点布置宜与变形监测结合,根据支护结构形式确定监测项目及数量;
- b) 对水库库岸边坡治理中采用的预应力锚杆(索),应布置锚杆(索)测力计监测,监测数量宜按预应力锚杆(索)总量的2%~5%选取,一般不宜少于3根;
- c) 抗滑桩、抗剪洞塞、锚固洞、挡土墙等,应进行钢筋应力、混凝土应力应变、界面压力监测;
- d) 支护结构采用锚固洞、抗剪洞等型式时,应在锚固洞结构体承力部位布置钢筋应力监测点,数量不宜少于3点;
- e) 支挡结构采用挡墙或抗滑桩时,宜在靠边坡侧结构体内布置钢筋应力监测点,并宜在结构体与边坡接触面间布置土压力监测点,数量不宜少于3点;
- f) 支护(挡)结构表面形变敏感部位宜布设表面应变监测点,数量不宜少于3点。

6.4 环境量及渗流监测

6.4.1 环境量监测项目包括地下水位监测、库水位监测、降水量监测、渗流监测、淹没区水下地形等。

6.4.2 水库库岸边坡应至少布置1个雨量站或采用已运行雨量站。

6.4.3 库水位监测应符合下列规定:

- a) 库水位监测设施应布置在水流平稳,受风浪及其他工程因素影响较小,且便于观测的部位;
- b) 库水位监测宜采用水位计或水尺观测。

6.4.4 水库库岸边坡水下地形可采用单波束或者多波束测深系统测量。

6.4.5 渗流量监测宜分区进行,存在内渗流水,宜专设量水设施进行监测。

6.4.6 渗流监测包括地下水位和渗流量,应符合下列要求:

- a) 地下水位或地下孔隙水压力可采用渗压计或测压管监测;
- b) 对于地下水位变幅大的边坡,每个断面的地下水位测点不宜少于2个;
- c) 地下水位应根据边坡地质、地形条件和地下水分布状态进行监测,并宜利用地质勘探钻孔和不同高程的探洞布置地下水位监测孔;
- d) 如边坡及滑坡内有不同的隔水层时,宜分层进行地下水位监测。

6.5 视频监控

6.5.1 视频监控范围应覆盖库岸边坡全部区域,应全天候实时监测。

6.5.2 视频监控设备应采用高清摄像头,单台摄像头覆盖半径不超过2km。

6.5.3 视频管理平台功能应包括视频管理和云台控制、视频显示、录像存储、视频检索、视频转发、用户权限管理和告警联动等功能。

6.6 振动监测

6.6.1 水库库岸边坡振动监测项目宜包括加速度、速度、位移。

6.6.2 测点宜布置在区域活动性断裂带附近，测点不少于 3 个。

6.6.3 振动加速度监测精度不应低于 0.001g。

6.6.4 水库振动监测设计应参照 GB/T 31077 规定执行。

6.7 水下地形

6.7.1 水库库岸边坡水下区域应设置不少于 3 条监测断面，在每个监测断面的库岸设立固定控制点。

6.7.2 水库库岸边坡水下区域地形可采用水下摄像、地形测量或断面测量法进行监测。

7 监测方法

7.1 一般规定

7.1.1 水库库岸边坡采用多种方法进行组合监测时，监测数据应互相校核、互相验证，综合分析。

7.1.2 全站仪、水准仪、读数仪等测读仪表应定期检验和校正。

7.1.3 全站仪、水准仪、GNSS 等监测方法首期监测应连续、独立测量两次，取其合格成果的平均值作为基准值。

7.1.4 监测仪器安装埋设后，基准值的确定应符合下列要求：

a) 测斜管埋设结束后 3~7 天内应进行首次监测，首次应同时监测二次，取二次的平均值作为基准值；

b) 多点位移计、锚杆应力计安装并灌浆后测读 3 次，取平均值为基准值；

c) 滑动测微计、测缝计、土体位移计、阵列式位移计安装好后测读 3 次，取平均值为计算基准值；

d) 锚索测力计安装好后，张拉前测读 3 次，取平均值为计算基准值；

e) 钢筋计安装好后，混凝土浇筑前测读 3 次，取平均值为计算基准值；

f) 应变计（组）在混凝土浇筑后，选取 24 小时至 48 小时内测值平稳、有规律的时刻为计算基准时间，其测值为计算基准值；

g) 土压力计安装埋设前测读 3 次，取平均值为计算基准值。

7.2 变形监测

7.2.1 变形监测基准网

7.2.1.1 变形监测基准网可采用三角形网测量、导线测量、GNSS 测量等形式，主要技术要求见表 8。

表 8 水平位移监测基准网测量的主要技术要求

等级	相邻基准点的 点位中误差 (mm)	平均边长 (m)	测角中误差 ($''$)	测边相对 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	1.5	≤ 300	0.7	≤ 300000	9	12	
		≤ 200	1.0	≤ 200000	6	9	
二等	2.5	≤ 400	1.0	≤ 200000	6	9	
		≤ 200	1.8	≤ 100000	4	6	9
三等	3.5	≤ 450	1.8	≤ 100000	4	6	9
		≤ 350	2.5	≤ 80000	2	4	6

注：卫星定位测量基准网不受测角中误差和水平角观测测回数指标的限制。

7.2.1.2 变形监测基准网水平角观测时宜采用方向观测法。并应符合下列规定：

a) 水平角方向观测法的技术要求见表 9，水平角观测记录参照附录 C.1。

表 9 水平角方向观测法的技术要求

等级	仪器精度等级	半测回归零差限 差 ($''$)	一测回内 2C 互差 限差 ($''$)	同一方向值各测回 较差限差 ($''$)
三等及以上	0.5 $''$ 级仪器	≤ 5	≤ 9	≤ 5
	1 $''$ 级仪器	≤ 6	≤ 9	≤ 6
	2 $''$ 级仪器	≤ 8	≤ 13	≤ 9

注：当某观测方向的垂直角超过 $\pm 3^\circ$ 的范围时，一测回内 2C 互差可按相邻测回同方向进行比较，比较值应满足表中一测回内 2C 互差的限差。当观测环境较差时，可降低一级技术指标。

b) 当观测方向不多于 3 个时，可不归零；

c) 采用自驱动的 ATR 功能全站仪采集数据时，不受方向数限制，不配置度盘；

d) 当分组观测时，分组观测应包括两个共同方向，其中一个应为共同零方向，两组观测角之差，不应大于同等级测角中误差的 2 倍。分组观测的最后结果，应按等权分组观测进行测站平差；

e) 一等监测网的三角形闭合差不应超过 2.5 $''$ 。

7.2.1.3 水平角观测误差超限时，应重测并符合下列规定：

a) 一测回内 2C 互差或同一方向值各测回较差超限时，应重测超限方向，并应联测零方向；

b) 下半测回归零差或零方向的 2C 互差超限时，应重测本测回；

c) 若一测回中重测方向数超过总方向数的 1/3 时，应重测本测回；当重测的测回数超过总测回数的 1/3 时，应重测本测站。

7.2.1.4 高海拔地区作业应使用空盒气压表、干湿温度计，作业前宜送检验鉴定机构校准。

7.2.1.5 各等级基准网边长测距的主要技术要求见表 10。

表 10 各等级基准网边长测距的主要技术要求

平面控制网 等级	仪器精度等级	每测回数		一测回读数 较差 (mm)	单程各测回 较差 (mm)	往返测距较差 (mm)
		往	返			
一等	I	4	4	≤ 1	≤ 1.5	$\leq 2(a+b \cdot D)$
	II	6	6	≤ 3	≤ 3	

平面控制网等级	仪器精度等级	每测回数		一测回读数较差 (mm)	单程各测回较差 (mm)	往返测距较差 (mm)
		往	返			
二等	I	3	3	≤3	≤3	
	II	4	4	≤5	≤5	
三等	I	2	2	≤5	≤7	
	II	3	3	≤10	≤15	

注：困难情况下，测边可采用不同时间段测量代替往返观测。

7.2.1.6 测距作业应符合下列规定：

- a) 仪器及棱镜的对中偏差不应大于 2mm；
- b) 三等及以上基准网边长测量，应分别量取两端点观测始末的气象数据，计算时应取平均值。

7.2.1.7 水平距离计算应符合下列规定：

- a) 测量的斜距，应经气象改正和仪器的加乘常数改正后进行水平距离计算；
- b) 水平距离可按照下式计算：

$$D_p = \sqrt{S^2 - h^2} \dots\dots\dots (1)$$

式中： D_p ：测线的水平距离；

S ：经气象及加、乘常数等改正后的斜距 (m)；

h ：仪器的发射中心与棱镜的反射中心之间的高差 (m)。

7.2.1.8 垂直位移监测基准网水准路线的测量，应进行往返测高差不符值及每千米水准测量的偶然中误差 M_Δ 的计算。

每千米水准测量偶然中误差 M_Δ 按下式计算：

$$M_\Delta = \pm\sqrt{\Delta\Delta/R/(4 \cdot n)} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

Δ ——测段往返测高差不符值，单位为毫米 (mm)；

R ——测段长度，单位为千米 (km)；

N ——测段数。

7.2.1.9 每完附合路线或闭合环线的测量，应对观测高差施加改正，然后计算附合路线或环线的闭合差，当构成水准网的水准环超过 20 个时，还需按环线闭合差 W 计算每千米水准测量的全中误差 M_w ，并应符合表 7 的规定 (山区布测的一等水准网，闭合环不足 50 个时， M_w 限差为 ±1.2mm)。

每千米水准测量的全中误差 M_w 按下式计算：

$$M_w = \pm\sqrt{[WW/F]/N} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

W ——经过各项改正的水准环闭合差，单位为毫米 (mm)；

F ——水准环线周长，单位为千米 (km)；

N ——水准环线。

7.2.1.10 各等级水准测量的技术指标应满足以下规定：

- a) 测站视线长度 (仪器至标尺距离)、前后视距差、视线高度、数字水准仪重复测量次数不应超过表 11 的规定数值；水准测量记录参照附录 C.2。

表 11 水准测量技术要求

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积		视线高度		数字水准仪重复测量次数
		光学	数字	光学	数字	光学	数字	光学(下丝读数)	数字	
一等	DSZ05、DS05	≤30	≥4 且 ≤30	≤0.5	≤1.0	≤1.5	≤3.0	≥0.5	≤2.80 且 ≥0.65	≥3 次
二等	DSZ1、DS1	≤50	≥3 且 ≤50	≤1.0	≤1.5	≤3.0	≤6.0	≥0.3	≤2.80 且 ≥0.55	≥3 次
三等	DS1、DS05	≤100	≥3 且 ≤100	≤2.0		≤5.0		三丝能读数		≥3 次
四等	DS1、DS05	≤150	≥3 且 ≤150	≤3.0		≤10.0		三丝能读数		≥2 次

注：下丝为近地面的视距丝。几何法数字水准仪视线高度的高端限差一、二等允许到 2.85m，相位法数字水准仪重复测量次数可以为上表中数值减少一次。所有数字水准仪，在地面震动较大时，应随时增加重复测量次数。

b) 往返测高差不符值、环闭合差和检测高差之差的限差应不超过表 12 的规定；

表 12 限差表

等级	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	检测已测测段高差之差	检测间歇点高差的差
一等	$\pm 1.8\sqrt{R}$	—	$\pm 2\sqrt{F}$	$\pm 3\sqrt{R}$	± 0.7
二等	$\pm 4\sqrt{R}$	$\pm 4\sqrt{L}$	$\pm 4\sqrt{F}$	$\pm 6\sqrt{R}$	± 1.0
三等	$\pm 12\sqrt{R}$	$\pm 8\sqrt{R}$	平原： $\pm 12\sqrt{F}$ 山区： $\pm 15\sqrt{F}$	$\pm 20\sqrt{R}$	± 3.0
四等	$\pm 20\sqrt{R}$	$\pm 14\sqrt{R}$	平原： $\pm 20\sqrt{F}$ 山区： $\pm 25\sqrt{F}$	$\pm 30\sqrt{R}$	± 5.0

注：R—测段、区段或路线长度，单位为千米（km）；当测段长度小于 0.1 km 时，按 0.1 km 计算；
L—附和路线长工，单位为千米（km）；
F—环线长度，单位为千米（km）；
R—检测测段长度，单位为千米（km）；

c) 检测已测测段高差之差的限差，对单程检测或返检测均适用，检测测段长度小于 1 km 时，按 1 km 计算。检测测段两点间距离不宜小于 1 km；

d) 水准环线由不同等级路线构成时，环线闭合差的限差，应按各等级路线长度及其限差分别计算，然后，取其平方和平方根为限差；

e) 光学水准仪观测的主要技术要求见表 13；

表 13 光学水准仪观测的主要技术要求

等级	水准仪级别	水准尺类型	视线长度 (m)	前后视的 距离较差 (m)	前后视的 距离较差 累积 (m)	视线离地 面最低高 度 (m)	基本分 划、辅助 分划读数 较差 (mm)	基本分 划、辅助 分划所测 高差较差 (mm)
一等	DS05、 DSZ05	线条式因 瓦尺	15	0.3	1.0	0.5	0.3	0.4
二等	DS05、 DSZ05	线条式因 瓦尺	30	0.5	1.5	0.5	0.3	0.4
三等	DS05、 DSZ05	线条式因 瓦尺	50	2.0	3	0.3	0.5	0.7
	DS1、DSZ1	线条式因 瓦尺	50	2.0	3	0.3	0.5	0.7
四等	DS1、DSZ1	线条式因 瓦尺	75	5.0	8	0.2	1.0	1.5

注：水准路线跨越江河时，应进行相应等级的跨河水准测量，其指标不受该表的限制。

f) 对于数字水准仪，同一标尺两次读数差不设限差，两次读数所测高差的差执行基辅分划所测高差之差的限差；

g) 测站观测误差超限，在本站发现后可立即重测，若迁站后才检查发现，则应从水准点或间歇点(应经检测符合限差)起始，重新观测；

h) 测站观测限差应满足表 11、表 12 的要求；

i) 各等级水准观测技术指标应参照 GB/T 12897、GB/T 12898 规定执行。

7.2.1.11 电磁波测距三角高程控制测量应满足以下要求：

a) 全站仪自动化固定周期监测采集数据时间宜设置在北京时间 2:00 前后运行；

b) 各等级电磁波测距三角高程监测的作业方法见表 14。

表 14 电测波测距三角高程监测作业方法

等级	测量方法	路线	气象元素		天顶距测回数		
			采集时间	取值	0.5'级仪器	1'级仪器	2'级仪器
二等	对向观测	单程双侧	观测始末	两端平均值	9	12	
三等	对向观测	单程	观测始末	两端平均值	6	9	
四等	对向观测	单程	观测始末	两端平均值	4	6	9

c) 各等级电磁波测距三角高程测量的观测限差不应超过表 15 的规定。

表 15 三角高程测量观测限差

等级	天顶距观测		高差				
	指标较差 (")	测回间较差 (")	每千米高差中 数中误差(mm)	对向高差 较差 (mm)	单程双测高 差较差 (mm)	符合(闭合) 差(mm)	检测已测测段 高差之差(mm)
二等	3	3	±1	±20√D	±4√D	±8√D	±8√D
三等	5	5	±3	±35√D	±8√D	±12√D	±20√D
四等	8	8	±5	±45√D		±20√D	±30√D

注：边长测量观测限差应满足表 10 的规定。D 为测站间水平距离 (km)。

7.2.1.12 电磁波测距三角高程观测的边长应经气象、加乘常数改正后进行下列计算。

a) 大气垂直折光系数 K 值计算公式:

• 利用对向观测高差:

$$K = 1 + \frac{R}{D_{AB}^2} [(S_{AB} \cos Z_{AB} + S_{BA} \cos Z_{BA}) + (i_A - l_B) + (i_B - l_A)] \quad \dots\dots (4)$$

• 利用已知高差:

$$K = 1 + \frac{2R}{D_{AB}^2} [(S_{AB} \cos Z_{AB} + i_A - l_B) - h_0] \quad \dots\dots\dots (5)$$

b) 单向观测高差值计算公式:

$$h = D_{AB} \cot Z_{AB} + i_A - l_B + \frac{1-K}{2R} D_{AB}^2 \quad \dots\dots\dots (6)$$

c) 对向观测高差计算公式:

$$h = \frac{1}{2} \left[D_{AB} \cot Z_{AB} - D_{AB} \times \cot Z_{BA} + (i_A - l_B) - (i_B - l_A) - \frac{K_{AB} - K_{BA}}{2R} D_{AB}^2 \right] \quad \dots\dots (7)$$

式中: S_{AB} A 站至 B 站经修正后的斜距
 D_{AB} A 站至 B 站的平距;
 Z_{AB} A 站至 B 站的天顶距;
 i_A 、 i_B A、B 站的仪器高;
 l_A 、 l_B A、B 站的觇标高;
 h_0 A、B 点间的已知高差
 R 地球平均曲率半径。

d) 利用各边双侧高差不符值计算每千米高差中数偶然中误差公式:

$$M_{\Delta} = \sqrt{\frac{[P_{dd}]}{4n}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

其中 $p = \frac{1}{S^2}$

式中: d 高差不符值 (mm);
 n 高差不符值个数;
 S 斜距 (m)。

7.2.2 水平位移监测

7.2.2.1 水平位移监测控制网宜采用边角网法进行观测。网点间的高差可采用精密水准法或三角高程法观测,当采用三角高程法时,需在同时段或对称观测时段内对向观测垂直角,具体要求见附录 B.2。

7.2.2.2 采用交会法监测时,应符合下列要求:

- a) 交会法宜采用测边测角交会法,点位中误差应满足表 16 的规定;
- b) 边角交会观测水平角和边长,边长观测斜距并通过高差倾斜改正;
- c) 水平角及边长观测的测回数应根据各工程情况进行精度评估,以保证各位移测点在规定方向上的位移量中误差满足表要求,宜观测四测回以上;
- d) 采用极坐标法监测时,宜采用双测站极坐标法。采用全站仪极坐标监测的技术要求见表 16。

表 16 全站仪极坐标监测的技术要求

点位中误差 (mm)	允许最大边长 (m)	测距中误差 (mm)	测角中误差 (")	测回数	
				盘坐	盘右
±3	700	±2	±1	2	2
±5	1000	±3	±1	3	3

注：照准 1 次测坐标 2 次为一测回。

7.2.2.3 采用 GNSS 法监测时，除了符合附录 B.3 要求，还应符合下列要求：

- a) GNSS 变形监测宜采用在线连续观测方式进行。若采用人工观测，应采用四等及以上精度的 GNSS 静态测量法；
- b) 同区域 GNSS 监测网应保持 GNSS 监测设备型号一致；
- c) 每年定期校核 GNSS 基准点的稳定性；
- d) 平差成果应输出网点在相应坐标系中的二维或三维坐标、基线长度、基线向量改正数、方位、转换参数以及相应的精度信息；
- e) GNSS 监测应参照 GB/T 28588 规定执行。

7.2.2.4 采用机器视觉测量技术监测时，除了符合附录 B.4 要求，还应符合下列要求：

a) 机器视觉测量仪应具备边缘计算能力，其处理器的处理速度和算法的处理能力应满足采样频率及测量精度的要求；

b) 机器视觉测量仪的光轴与靶标平面的夹角易不大于 30°。机器视觉智能相机硬件参数宜满足下列要求：

- 环境温度：-40 ℃~+60 ℃；
- 环境相对湿度：<95%；
- 相机分辨率：不低于 3840×2160；
- 测量精度：<1/50000 视场；
- 位移重复性：0.1 mm；
- 光谱范围：>800 nm；
- 最低照度：彩色模式≤0.1 lx，黑白模式≤0.01 lx；
- 测量距离：不小于 200m（配合镜头）；
- 支持靶标数：不小于 20 个；
- 测量频率：不小于 1 min/次。；
- 温度控制：成像系统内置恒温控制装置，控制误差不大于±0.2 ℃；
- 本地存储：存储不少于 100 组位移数据与 2 min 视频数据；
- 防护等级：不小于 IP65。

c) 数据为标准数据帧格式，远程传输，并记录上报状态，支持断网、断电续传功能。

7.2.2.5 采用 GBSAR 监测时，应符合下列要求：

a) 雷达布设前应开展可行性研究，确定边界条件，当相干数据不满足要求时，可布设人工反射片来增加相干性；

b) 地基雷达获取监测目标二维形变，雷达入射角水平方位宜以顺滑动方向为最佳，逆滑动方向次之，避免垂直滑动方向；

c) 干涉测量应进行大气相位校正；

d) 数据处理流程应包括影像配准、差分干涉、相位滤波、相位解缠、大气相位校正、变形解算、地形数据和变形结果匹配等步骤，数据处理方法见附录 B.5。

7.2.2.6 采用三维激光扫描仪监测时，应符合下列要求：

- a) 地面三维激光扫描监测站的布设与联测应参照 NB/T 35109 规定执行;
- b) 数据采集流程应包括控制测量、扫描站布测、标靶布测、设站扫描、纹理图像采集、外业数据检查、数据导出备份等步骤, 数据采集和处理要求见附录 B.6;
- c) 扫描获取的数据应及时检查标靶数据的完整性、可用性, 当某测站标靶数据不完整、不能识别, 或者识别的坐标点明显偏离靶心时, 应重测该测站。

7.2.3 垂直位移监测

7.2.3.1 精密水准观测作业应符合下列要求:

- a) 应在标尺分划线成像清晰稳定的条件下进行观测, 不得在日出后或日落前约半小时、太阳中天前后、风力大于四级、气温突变时以及标尺分划线的成像跳动而难以照准时进行观测。阴天可全天观测;
- b) 观测前半小时应将仪器置于露天阴影下, 使仪器与外界气温趋于一致。设站时应用测伞遮蔽阳光, 使用数字水准前, 应进行预热;
- c) 使用数字水准仪, 应避免望远镜直接对着太阳, 并避免视线被遮挡。仪器应在其生产厂家规定的温度范围内工作, 振动源造成的震动消失后启动测量键。当地面震动较大时, 应增加重复测量次数;
- d) 每测段往测与返测的测站数均为偶数, 否则应加入标尺零点差改正, 由往测转入返测时。两标尺应互换位置, 并应重新整置仪器, 在同一测站上观测时不得两次调焦。转动仪器的倾斜螺和测微鼓时, 其最后旋转方向, 均应为旋进;
- e) 各等级监测水准测量仪器选用、监测方式、测量限差要求见附录 B.7, 现场监测记录表格式见附录 C.2。

7.2.3.2 采用测距三角高程法监测时, 应符合下列要求:

- a) 监测级别为三等的垂直位移观测, 可使用电磁波测距三角高程测量方法, 并使用专门觇牌和配件。更高精度或特殊的垂直位移测量, 需要采用三角高程测量时, 应进行详细的设计和论证;
- b) 电磁波测距三角高程测量的视线长度不宜大于 700m, 视线垂直角宜小于 10° , 视线高度和离开障碍物的距离应大于 1.2m。各等级观测视线长度要求、视线长度差、累计差等要求见附录 B.8。

7.2.3.3 采用静力水准仪监测时, 应符合下列要求:

- a) 监测前向联通管内注入蒸馏水, 并仔细排除水管、三通、钵体内气泡, 连接管路;
- b) 联通管应平放在地面上, 当通过障碍物时, 应防止连通管在竖向出现 n 形而形成滞气死角。连通管任何一段儿的高度应低于蓄水罐底部, 但最低不宜低于 20cm;
- c) 可采用目测和自动遥测, 分别用数字显示器或数据采集器观测;
- d) 观测时间应选在气温最稳定的时段, 各测点观测依次在尽量短的时间内完成;
- e) 基准点高程应进行定期校核;
- f) 静力水准垂直位移计算方法见附录 B.9, 现场监测记录表格式见附录 C.3。

7.2.3.4 采用 GNSS 监测时, 应符合附录 B.3 的规定。

7.2.3.5 InSAR 监测应符合下列要求:

- a) 应根据工作区域形变特点和任务要求, 选择边坡监测的 SAR 数据和数据处理方法, 具体监测要求见附录 B.10, 主要星载数据源参数要求见附录 B.10.6, 常用的数据处理方法有 D-InSAR、SBAS-InSAR、PS-InSAR, 数据处理流程见附录 B.10.7;
- c) InSAR 数据处理工作应生成形变速率图, 可转换为累计形变量图、时间序列形变量

图和相关形变统计表格等成果资料；

d) InSAR 监测结果宜与其他监测数据对比验证以评价其精度。

7.2.3.6 水库库岸边坡出现裂缝时，应根据需要进行裂缝观测并满足下列要求：

- a) 裂缝观测点，应根据裂缝的走向和长度，分别布设在裂缝的最宽处和裂缝的末端；
- b) 裂缝观测标志，应跨裂缝牢固安装。标志可选用，镶嵌式金属标志、粘贴式金属片标志、钢尺条、坐标格网板或专用量测标志等；
- c) 标志安装完成后，应拍摄裂缝观测初期的照片；
- d) 裂缝的量测，可采用比例尺、小钢尺、游标卡尺或坐标格网板等工具进行；量测应精确至 0.1mm；
- e) 裂缝的观测周期，应根据裂缝变化速度而定。裂缝初期可每半个月观测一次，基本稳定后宜每月观测一次，当发现裂缝加大时应及时增加观测次数，必要时应持续观测。

7.2.4 深部位移监测

7.2.4.1 电磁沉降仪监测应符合下列规定：

- a) 电磁沉降仪应自下而上测定。将测头放入垂直管中进行测量，本次测量值与前次测量值的差值即为该测点的垂直位移量；
- b) 每次平行测读两次，其读数差不大于 2mm，取其平均值为本次测值。

7.2.4.2 滑动测微计监测应符合下列规定：

- a) 第 1 次测量时在导管管口做好探头进入导管方向的标记，以后每次测量探头均从同一方向放入探头，探头在孔内的基准方向由导向链控制；
- b) 每次测量前应采用标定筒对探头进行温度标定，对测孔测量时宜采用两个测回，计算测值采用两测回的平均值；
- c) 每次测量时宜测读三次，若三次读数误差小于 3mm，取其平均值即可作为该标距长度的监测值。

7.2.4.3 测斜仪监测应符合下列规定：

- a) 监测前应检查活动式测斜仪探头、导轮、弹簧、密封圈及读数仪的工作情况；
- b) 监测时应先将测斜仪探头放入孔底，每次起测的高程应相同，静置孔内使仪器温度基本稳定，自下而上进行测读，完成正向行程测量；将测斜仪调转 180°，再按相同方法，完成反向行程测量；
- c) 正向、反向行程测量完成后，应对测值及时进行校验，正向、反向两次测值的绝对值之差宜不大于 0.05%F·S，取其平均值为本次测值；
- d) 活动式测斜仪测量范围及精度指标见表 12。

表 12 活动式测斜仪测量范围及精度指标

参数	指标
测量范围	±53°
观测精度	±10 弧秒/30m

e) 固定式测斜仪测量范围及精度指标应满足表 13 要求；

表 13 固定式测斜仪测量范围及精度指标

参数	指标
量程	±15°
灵敏度	±12 弧秒，（±0.06mm/m）

参数	指标
精度	0.1%FS
线性	0.2%FS（在±5度时），0.5%FS（在±10度时）
十字轴灵敏度	4%
温度漂移	±0.5 弧秒/℃

f) 固定式测斜仪应采用专用读数仪或自动化监测，并按已标定的仪器参数和设定的计算公式计算各测点的水平位移；

g) 活动式和固定式测斜仪监测成果计算要求见附录 B.11.1、B.11.2 规定，监测记录表格式见附录 C.4、C.5。

7.2.4.4 多点位移计、测缝计、土体位移计监测应采用与传感器配套的读数仪测读，每次平行测读两次，其读数差小于仪器精度，取其平均值为本次测值。位移监测成果计算要求见附录 B.11.3 规定，监测记录表格式见附录 C.6、C.7。

7.2.4.5 伸缩仪可对单一裂缝进行监测，也可采用多条拉线对滑坡体的多个裂缝同时进行监测。

7.2.4.6 游标卡尺监测时应符合以下规定：

a) 监测前应检查游标卡尺工作情况，查看游标和主尺身的零刻度线是否对齐；

b) 监测时固定尺身，根据测量类型使尺身保持水平或垂直，量爪与被测标点紧密贴靠，从卡尺上读出读数；

c) 根据副尺零线以左的主尺上的最近刻度读出整毫米数，根据副尺零线以右与主尺上的刻度对准的刻线数乘上仪器精度读出小数，将上面整数和小数两部分加起来，计算总位移量。游标卡尺监测记录表格式见附录 C.8。

7.2.4.7 阵列式位移计应按已标定的仪器参数和计算公式计算各测点水平位移，使用相配套的采集软件直接读数，监测记录表格式见附录 C.9。

7.2.4.8 倾角计监测要求应参照 DL/T 5178 规定执行，使用与传感器配套的读数仪测读各方向数据，监测记录表格式见附录 C.10。

7.2.4.9 崩塌计应采用 MEMS 传感器实时在线监测边坡岩体的倾角、振动频率、振幅数据、加速度，使用相配套的采集软件直接测读，监测记录表格式见附录 C.11。

7.3 应力应变监测

7.3.1 各类仪器监测应符合下列要求：

a) 应按照规定的监测项目、频次进行监测，并做到无缺测、无漏测、无不符合精度、无违时；

b) 选用与传感器配套的读数仪进行测读，每次平行测定两次，其读数差小于仪器精度，取平均值为本次测值；

c) 各类传感器的读数仪在使用前应检查各功能键、接线柱、电池状态、显示情况等，检查合格的读数仪可用于测读；

d) 测读前，应保持传感器电缆的清洁、干燥，无锈蚀、氧化现象；测读时，将传感器电缆按相应的接线方法与读数仪直接连接；

e) 应连续测读，待测值稳定后再读数、记录，测读时禁止用手直接接触传感器电缆芯线；

f) 测读完成后, 应将传感器电缆整理整齐并妥善保管;
g) 测读时, 如发生测值不稳、无测值或测值异常等情况, 应对传感器电缆进行检查, 可进行以下操作:

- 检查接线是否正确;
- 检查传感器电缆与测量仪表接触是否良好, 电缆芯线是否出现断线等情况;
- 测量传感器芯线间电阻和绝缘电阻, 判断发生故障的原因。

7.3.2 应力应变成果计算方法见附录 B.12, 现场监测记录表格式见附录 C.12 和 C.13。

7.3.3 应力、应变监测的主要技术要求, 应符合下列规定:

a) 传感器应具有足够的强度、抗腐蚀性和耐久性, 并具有抗震和抗冲击性能; 传感器的量程宜为设计最大压力的 1.2 倍, 其精度应满足工程监控的要求; 连接电缆应采用耐酸碱、防水、绝缘的专用电缆;

b) 传感器埋设前, 应进行密封性检验、力学性能检验和温度性能检验, 满足要求后方可使用;

c) 传感器应密实埋设, 其承压面应与受力方向垂直; 连接电缆应进行编号;

d) 传感器预埋稳定后, 方能测定静态初始值。

7.4 环境量及渗流监测

7.4.1 降雨量监测宜选用自记雨量计、遥测雨量计或自动测报雨量计等。

7.4.2 库水位监测应符合下列规定:

a) 库水位监测宜采用遥测水位计或标尺, 应安装在波浪影响小的地方;

b) 易结冰区域采用气泡式水位计;

c) 直立式水尺露出地面 10cm~20cm, 并在桩顶设置一圆头钉作为高程测量标志。观测标尺时, 应尽可能接近它, 水面读数至毫米。在有风浪时, 应取波峰、波谷读数的平均值。

7.4.3 地下水位监测应符合下列规定:

a) 监测设施宜采用测压管, 测压管水位监测可采用电测水位计、渗压计或其他压力变送器;

b) 采用电测水位计测量测压管内水位时, 应将测头缓慢放入管内, 在指示器开始反应时, 测量出管口至孔内水面的距离, 两次读数之差不应大于 1cm;

c) 测压管管口高程应每 1 年~2 年校测一次;

d) 电测水位计测绳长度标记应每隔 1~3 个月用经过计量检验合格的钢尺校正一次。

7.4.4 边坡地下水出水点宜进行渗流量监测, 渗流量监测宜分区进行。

a) 渗流量监测宜采用量水堰、量杯、量筒和渗流量仪等方法, 渗水管水位宜采用水位计;

b) 量水堰监测渗流量时, 将渗流水围水汇集, 再通过量水堰测量, 量水堰可用钢板制成。当渗流量小于 1L/s 时, 宜用容积法监测; 当渗流量为 1L/s~30L/s 宜选用直角三角形薄壁堰; 当流量大于等于 30L/s 时宜用矩形薄壁堰或梯形薄壁堰。量水堰的结构和流量计算方法见附录 B.1。

7.5 视频监控

7.5.1 高清摄像头应具备加装 AI 智能视频识别的条件, 图像分辨率不小于 400 万像素, 图像及视频参数不小于 1/2.7" 靶面尺寸, 低照度彩色不大于 0.005 勒克斯, 黑白不大于 0.0025 勒克斯, 具备可见光或红外补光功能。

7.5.2 视频监测系统的数据保存时间不少于 30 天，设备年度在线率不低于 90%。

7.5.3 视频分辨率不低于 1080P，每秒不低于 25 帧。

7.5.4 视频图像应清晰且实时传送，视频码率不低于 4Mbps。

7.6 振动监测

7.6.1 振动监测系统应符合下列规定：

a) 监测系统应由加速度传感器、记录器、计算机、传输线路四部分组成；

b) 监测仪器布置方式应包括集中记录式和分散记录式。集中记录式是将加速度记录器集中布置在监测管理中心；分散记录式是将加速度记录器分散在台站，监测管理中心只有计算机系统；

c) 加速度传感器的主要技术指标要求见表 B.13.1；

d) 记录器应由数据采集单元、触发单元、存储单元、计时单元、通信单元、控制单元、显示单元及电源单元组成，主要技术指标要求见表 B.13.1；

e) 应安装监测仪器专用地线，接地电阻宜小于 4Ω ；

f) 结构反应台阵监测设备宜配备多通道数字强震动加速度仪。场地效应台阵宜配备三通道数字强震动加速度仪；

g) 信号传输辅助设备应配备程控电话或网络等通信手段，并做好接地保护措施；

h) 计算机系统配置应符合下列要求：

- 台站强震动加速度仪触发后可自动拨号或进行网络通信至计算机系统；

- 应配备适合工业应用环境，有较高运算速度和较大存储容量的工业 PC 机，并宜配有打印机、扫描仪等外围设备；

- 应配置便携式计算机作为移动工作站；

- 应配置强震动加速度记录处理分析软件。

i) 信号传输可采取电缆或光纤有线传输方式。传感器应通过电缆将信号传输到记录器。电缆应采用多芯屏蔽式，不应设置在具有强电磁干扰设备的附近。露天电缆宜穿入钢管加以保护，并采取接地保护措施。台站至监测管理中心可通过光纤、网络或电话线传输。

7.6.2 速度记录的处理分析应符合下列规定：

a) 地面加速度记录大于 $0.002g$ 时，应及时读取各个通道最大加速度值，并复制备份原始数据；

b) 场地加速度峰值大于等于 $0.025g$ 时，应及时填写监测记录报告单。监测记录报告单的内容应包括地震发生的时间、各通道地震记录的最大加速度值、各通道地震记录的时间长度等。监测记录表格式见附录 C.14；

c) 场地峰值加速度记录大于 $0.025g$ 时，应及时对加速度记录进行常规处理分析，包括以下内容：

- 对未校正加速度记录波形数据进行零基线和仪器频率校正，形成校正加速度记录；

- 对校正加速度记录波形数据进行一次、二次积分计算处理，形成速度时程和位移时程；

- 对校正加速度记录计算 5 个阻尼比值（0，0.02，0.05，0.1，0.2）的反应谱；

- 对校正加速度记录计算傅里叶谱。

d) 在对加速度记录进行常规处理分析的基础上，应提出加速度水平向最大峰值、垂直向最大峰值、地震动持续时间、地震卓越周期、地震烈度、结构的动力放大系数和结构自振周期等重要数据。

7.7 水下地形

水库库岸边坡水下地形测量应满足 NB/T 35029 的要求。

8 主要监测设备的安装埋设

8.1 一般规定

- 8.1.1 监测仪器设备在安装前应进行检验、率定，检验、率定合格后方可安装埋设。
- 8.1.2 监测设施施工人员应了解水库库岸边坡地质条件、开挖支护方式、工程施工进度和监测设计文件，理解监测目的，并编制实施方案。
- 8.1.3 监测实施方案编制应明确监测项目，监测方法，监测网（点）布设，监测精度，监测周期与频率，监测数据分析及安全评价，预警预报，监测网（点）建设技术要求，质量、安全、进度保障措施等内容。
- 8.1.4 监测仪器设备应根据水库库岸边坡施工进度与施工环境变化及时进行安装埋设，获取基准值。
- 8.1.5 水库库岸边坡监测应修建专用观测通道。
- 8.1.6 监测仪器设备安装过程应按规定测读，安装完成后及时判断监测仪器的状态是否正常，发现问题应及时处理或更换仪器。
- 8.1.7 监测设施安装埋设完毕后应设置保护装置，测量埋设位置及电缆走线拐点坐标，及时绘制安装埋设图和电缆走线图，并填写考证表。
- 8.1.8 传感器接长电缆应穿管保护，电缆每隔 5m 贴一个标签。
- 8.1.9 监测仪器埋设安装过程应设置安全标识，标识牌格式可参照附录 A.7。
- 8.1.10 水库库岸边坡监测仪器设备安装可按照 DL/T 5785、DL/T 5839、NB/T 10486 的要求执行。

8.2 变形监测

8.2.1 变形观测墩（标）

水库库岸边坡变形监测观测墩（标）的建造应满足以下要求：

- a) 观测墩一般为钢筋混凝土结构，依据参考站建站地理、地址环境，观测墩可分为基岩观测墩、土层观测墩和屋顶观测墩三类；
- b) 观测墩（标）位置根据设计坐标放样；
- c) 根据地质条件、周边环境条件，可参照附录A.1中推荐的标准规格；
- d) 观测墩（标）应与被测体结合牢固；
- e) 基岩和土层观测墩应高出地面 3m，一般不超过 5m；对于屋顶观测墩，高度应大于 1.5m；
- f) 基岩和土层观测墩宜建设在观测室内，应高出观测室屋顶面1.5m以上，室外部分应加装防护层，防止风雨与日照辐射对观测墩的影响；
- g) 对于基岩观测墩，内部钢筋与基岩紧密浇注，浇注深度不少于0.5m；
- h) 对于土层观测墩，钢筋混凝土墩体应埋于解冻线2m以下；

i) 观测墩应浇注安装强制对中标志，并严格整平，墩外壁应加装（或预埋）适合线缆进出硬制管道（钢制或塑料），起保护线路作用；

j) 基岩和土层观测墩与地面接合四周应做不少于5cm的隔振槽，内填粗沙，避免振动带来的影响；

k) 基岩和土层观测墩应与观测室或周围房屋的主要结构分离，以免影响观测墩的稳定性；

l) 两观测墩的间距应大于5m。

8.2.2 GNSS 设备安装

8.2.2.1 GNSS接收机安装应符合下列规定：

a) 安装之前应完成接收机的检定工作；

b) 安装应根据其使用手册或说明进行；

c) 接收机应放置于通风良好、干燥、避光的地点，一般置于集成柜内。

8.2.2.2 GNSS天线安装应符合下列规定：

a) 天线必须固紧于观测墩的强制对中标志上，天线定向指北标志与真北方向差异应小于5°；

b) 天线电缆应采用低损耗的射频电缆，若电缆需要延长时，根据性能指标加装相应的在线放大器；

c) 天线电缆可根据需要加装低损耗射频电缆防雷装置，并进行接地电阻测试。

8.2.2.3 电源设备安装应符合下列规定：

a) 敷设、安装供电系统应加装电涌防护设备；

b) 参考站内全部设备由UPS供电，电压不稳定地区可按需要加装交流稳压器。

8.2.2.1 通讯设备安装应符合下列规定：

a) 根据需要可加装信号线（或频射线）防雷设备；

b) 室内通讯设备应尽可能远离接收机；

c) 测试误码率和延迟。

8.2.2.1 雷电防护设备应符合下列规定：

a) 参考站根据需要可加装电力线、通信线、频射线电涌防护设备和建筑物雷电防护设备；

b) 由具备专业资格的工程人员设计防护结构和系统；

c) 安装及测试工作由专业技术人员完成。

8.2.3 视觉监测系统安装

8.2.3.1 视觉监测仪主机安装应符合下列规定：

a) 视觉监测仪主机必须安装在被监测的水库库岸边坡附近稳固的区域，标靶安装在被监测的水库库岸边坡灾害隐患典型监测点位上；

b) 监测标靶和视觉监测仪主机之间距离不宜过大，两者之间应无遮挡通视条件良好；

c) 通过视觉监测系统主机的精度和主机以及标靶之间的距离换算出的坐标精度，应能满足本规范中对于水库库岸边坡水平位移和垂直监测的精度要求；

d) 视觉监测系统主机宜通过角度可调的安装支架固定在混凝土墩顶或金属结构立柱上，视觉监测仪与墩柱之间应紧密结合，墩体、立柱的高度应能保证与标靶之间的通视需求。安装位置不发生自身垂直位移变化。摄像机应安装在金属保护罩内，应根据不同的场景和距离选择合适的焦距。

8.2.3.2 标靶的安装宜采用钢支架或水泥观测墩的方式安装，支架或观测墩与被测结构之间应稳固结合，尺寸和形式应按照现场情况进行定制。必要时安装标靶防护罩，标靶应正对视觉测量仪位置。

8.2.3.3 视觉监测系统主机应通过市电或者太阳能供电，接入专用电气柜，采集的数据经4G/5G或网线、光纤等方式传输到数据管理平台。

8.2.3.4 标靶的初始目标信息应包括：初始测量图像、目标点设置信息、目标点标定的初始坐标信息等。

8.2.3.5 视觉监控系统的摄像机宜支持遥测，以使得平台获取现场的实时视频信息。

8.2.4 表面测缝计安装

表面测缝计安装应满足以下要求：

a) 测缝计应预拉1/4~1/3量程，根据预拉后的裂缝计两端锚杆距离确定缝隙两侧的安装孔位置。

b) 用电锤在安装孔位置钻孔，孔深不宜小于10cm，孔径不宜小于12mm。

c) 采用环氧树脂灌注钻孔，将测缝计两端锚杆推进与钻孔表面齐平。

d) 环氧树脂凝固后安装调试传感器，取掉球向万向节轴承的螺母，并用螺丝刀拧紧球头顶丝，然后重新装上螺母固定顶丝。

e) 读取初始值。

f) 安装测缝计保护罩。

8.2.5 滑动测微计安装

滑动测微计安装应满足以下要求：

a) 滑动测微计钻孔孔径、深度、方向和孔斜偏差应符合设计要求，钻孔应全孔取芯，并进行地质描述，绘制钻孔柱状图。采用非岩芯钻的钻孔应进行孔内摄像。钻孔内岩粉应采用清水或压缩空气清洗干净；

b) 滑动测微计安装前应检查测量环、钻孔和导管。安装导管时应用密封胶将带有导管底盖的第一根导管与测量环连接，待定位后，将测量环用螺钉固定，并用密封胶带裹好。应依次连接第二根、第三根及后续导管和测量环，直至完成测孔深度所需的全部导管及测量环的安装；

c) 导管及测量环安装后，导管与钻孔壁间应灌浆密实，待水泥浆初凝和终凝后，应首先对全孔进行通畅性探测。初始值测量宜在导管与测量环埋设灌浆1周后进行；

d) 滑动测微计安装应记录测量导管孔口坐标、测量环安装数量、孔底与孔口处测量环的高程；

e) 滑动测微计钻孔安装记录宜包括钻孔位置、钻孔地质描述、钻孔班报表、钻孔深度及方向、孔口高程、滑动测微计导管长度、测环初始位置、数量、初始数据、安装人员、安装日期、安装照片、孔口保护装置施工照片。

8.2.6 静力水准安装

静力水准安装应满足以下要求：

a) 应测量放样确定测点和参考点位置，测点和参考点设观测墩，观测墩应与被测体紧密结合，采用现浇混凝土，混凝土强度等级不低于C20。墩面不水平度允许偏差为 $\pm 0.5^\circ$ ；各测点墩墩面高程与设计值的允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$ ；

b) 静力水准装置安装前应备好真空泵、压力表、滤气瓶、蒸馏水及供水系统等辅助设

备，并将钵体、水管、浮子清洗干净，对水管进行排气处理；

c) 将静力水准仪牢固固定在观测墩上，连接好通水管后，给通水管加压进行漏气检查，压力可控制在 $0.3\text{MPa} \sim 0.4\text{MPa}$ ，然后给通水管抽气约 15min 后，由供水系统将蒸馏水充满通水管；

d) 在钵体内注入蒸馏水，应避免水滴沾到浮子上，仔细排除通水管、三通管道接头与钵体内气泡。测量参考点静力水准仪读数，达到预定值时停止注水。等待数分钟后再通过调节观测点底座的螺杆使水准仪读数在预定值内，然后连接通气管；

e) 安装过程中应对仪器、管路和电缆仔细保护。通水管的铺设应尽量平直，避免呈波形起伏，通水、通气管应有保护（温）措施；

f) 安装调试完成后应立即按照国家二等水准测量方法对各测点和参考点的安装高程进行测量，同时观测各点静力水准仪读数，平行观测两次，其读数差不大于 0.3mm 为合格，并取其算术平均值作为初始值。

8.2.7 倒垂安装

倒垂安装应满足以下要求：

a) 钻孔前应按设计坐标测量放样确定开孔位置并复核相关位置，钻孔开始前应将钻机底座固定牢靠，使钻机转盘水平、立轴竖直、钻杆和钻具保持平直；

b) 孔口处宜埋设长度大于 3m 的导向管，导向管应竖直，并用混凝土固定，宜采用低转速，小压力，小水量钻进，每钻进 $1\text{m} \sim 2\text{m}$ 应检测一次钻孔偏斜度，及时纠偏，并对钻孔全过程进行完整记录；

c) 钻孔完成后应全面清洗，除净孔内残留岩粉，并根据岩芯或钻孔电视绘制钻孔柱状图，然后妥善保护孔口，防止异物进孔；

d) 钻孔保护管底部宜焊封，底部 50cm 的内壁应加工为粗糙面，以使用水泥浆固结锚块。保护管宜采用丝扣连接，接头处应精细加工，加工后及现场安装前均应进行预拼接，保证连接后整个保护管的平直度，接头处应采取措施密封防水；

e) 安装钻孔保护管前应自下而上准确测定钻孔偏斜值，确定钻孔保护管埋设位置。下保护管前，可在钻孔底部先回填 50cm 厚的水泥浆，护管下至孔底后，宜将护管上提 $10\text{cm} \sim 20\text{cm}$ 进行定位，使其中心线与有效孔径中心重合，用钻机或千斤顶固定，然后准确测定保护管的偏斜值，如偏斜过大，应加以调整，直到满足要求方可回填水泥浆或水泥砂浆，固结后方可拆除固定保护管的钻机或千斤顶；

f) 垂线安装前再次检测有效孔（管）径，应不小于 75mm ，并确定有效孔径中心，将线体对准有效孔径中心，以水泥浆或水泥砂浆将锚块浇固在钻孔底部，其允许偏差为 $\pm 4\text{mm}$ 。安装全过程注意保护孔口，避免异物进入；

g) 安装过程中应仔细保护好垂线线体、垂线坐标仪及其接长电缆，垂线线体应防止弯折和损伤，测点组件应标记测点名称和编号。遥测垂线坐标仪电缆连接后应及时归整固定，加以必要保护；

h) 垂线观测墩应采用现浇钢筋混凝土结构，边线应平行于位移坐标轴线，观测墩应与被测体结合牢固，结合面宜使用界面处理剂并插筋，混凝土强度等级不低于C20；

i) 待观测墩混凝土固化后安装垂线支架及孔口保护装置，安装应牢固可靠；

j) 浮桶内应注入变压器油，倒垂线浮体组安装应使浮子水平、连杆垂直，浮子应位于浮桶中心，处于自由状态。若采用恒力浮子，应使整个浮子没入液体中，但不可触及浮桶底部；若采用其他类型浮子，则应调整到设计浮力；

k) 宜先安装测线，再安装坐标仪基座。基座安装位置应考虑仪器的量程和位移量的大小，应使仪器导轨（轴线）平行或垂直于位移方向，允许偏差为 $\pm 1^\circ$ 。坐标仪基座应调整水

平，水平度允许偏差为 $\pm 0.1^\circ$ 。

8.2.8 测斜管安装

测斜管安装应满足以下要求：

- a) 测斜管钻孔的位置、孔径、深度、倾斜度和方向应符合设计要求。钻孔完成后应冲洗，清除钻孔异物；
- b) 测斜管安装前可按设计长度逐节预接，预接时应检查管内导槽是否通畅，对接时导槽应对准，在对接处作好对准标记并编号；
- c) 测斜管全部放入钻孔后，应调整导槽方向，使其中一对导槽方向与预计的岩体变形或倾斜方向一致，作为 A 向主观测方向；
- d) 测斜管与钻孔间宜灌入直径 3mm~5mm 的粗砂或水泥砂浆充填，并应回填密实。测斜管孔口应用水泥砂浆固定，并安装保护装置；
- e) 测斜管安装后，应测定测斜管管口导槽的初始方位角，初始扭转角宜采用测扭仪分段测定；
- f) 测斜管安装埋设后应待回填砂土和砂浆稳固后开始观测；
- g) 测斜管投入使用前宜通过活动式测斜仪测量数据进行检查；
- h) 测斜管的钻孔安装记录宜包括钻孔位置、钻孔深度、孔口高程、钻孔地质描述、钻孔班报表、观测区和观测断面位置、观测孔编号、安装人员、安装时间、安装深度、管口导槽或观测槽方位角、初始读数、安装照片、孔口保护装置施工照片等。
- i) 固定测斜仪孔内传感设备安装可参照附录 A.2。

8.2.9 多点位移计安装

多点位移计的安装应满足以下要求：

- a) 多点位移计钻孔孔径、深度、方向和孔斜偏差应符合设计要求，钻孔可采用潜孔钻、液压锚固工程钻机、回转工程钻机或其他适宜的方法钻进成孔，钻孔应进行孔内摄像或钻孔取芯；
- b) 多点位移计安装埋设前应对传感器各组件进行现场检验。检验内容应包括表筒的灌浆密闭性检查、传感器检验、传递杆和护管检查；
- c) 多点位移计安装时，应预置灌浆管和排气管，灌浆管、排气管与传递杆锚头一起绑扎送至钻孔内。位移计表筒、锚头、传递杆安装就位后，应进行孔内灌浆。灌浆过程中应防止水泥浆进入传递杆护管内；
- d) 传感器安装后，应根据岩土体可能发生的位移大小，按设计要求预拉，锁紧传感器，盖上表筒并拧紧；
- e) 多点位移计安装完毕后，应按设计要求进行孔口保护，待回填砂浆固化后开始观测；
- f) 多点位移计钻孔安装记录宜包括钻孔位置、钻孔地质描述、钻孔班报表、钻孔深度及方向、孔口高程、多点位移计测点安装深度、测点传感器量程、测点电缆颜色（编号）、锚头型式、初始数据、安装人员、安装日期、安装照片、孔口保护装置施工照片。

8.2.10 阵列式位移计安装

8.2.10.1 阵列位移计垂直安装应满足以下要求：

- a) 钻孔孔径不宜低于 $\phi 110\text{mm}$ 。应按照设计要求在监测位置钻孔；
- b) 宜使用外壁带凹槽的测斜管，便于后续下压装置固定筒。下入测斜管时，调整 $\phi 70$ 测斜管使其高出地面约 20cm，用于固定下压装置；
- c) 回填细砂要填实，防止上实下空而导致的监测数据被放大；
- d) 组装安装套件，将丝杆、传感器线缆穿过固定筒，用力将固定筒下压，同时用自攻

螺丝将固定筒与测斜管固定；

e) 使用扳手扭转螺丝，直到将传感器压紧，完成安装。最终使得传感器贴近测斜管壁，以避免传感器在测斜管内晃动带来的数据跳变。需要注意，在拧紧的同时应预留足够的线缆，防止传感器线缆被扯断；

f) 应安装孔口保护装置，并根据现场情况，安装防护电箱来保护数据传输模块和供电设备；

g) 阵列位移计安装记录表宜包括测斜孔相关信息、测斜管安装相关信息、传感器信息、安装人员、施工过程照片等。

8.2.10.2 阵列式位移计也可水平安装，用于沉降监测，水平安装时应遵循以下安装要点：

a) 若安装在土质边坡，应按照设计要求沿着安装高程面开挖沟槽，沟槽长度应与阵列位移计长度相适应，并整平沟槽基床。

b) 位移计可敷设 PE 管进行保护，将 PE 管展开后平铺在防浪墙角，平铺完成后，调整 PE 管位置，使 PE 管保持水平直线状态；

c) 将阵列位移计展开后，平铺呈直线状态，通电测试数据，测试阵列位移计状态正常后方可进行安装。安装前需断开电源，将阵列位移计完全装入 PE 管中，并将阵列位移计远线端位置用 PE 管堵头堵住；

d) 将保护管每隔一段距离用卡箍打入膨胀螺丝固定在坝顶地面，采用开挖沟槽方式安装阵列位移计时，无需固定卡箍，直接回填即可，回填土需夯实均匀；

e) 用定制双抱箍分别固定阵列位移计近线端钢管与 L 形沉降观测钉，沉降钉测头保持朝上，将近线端保护管用防火泥封堵，阵列位移计近线端连接线缆应预先用波纹管保护，并浇筑混凝土监测墩保护，保证 L 形沉降观测钉露出墩身一侧，作为起算点校核；

f) 阵列位移计安装记录表宜包括测斜孔相关信息、测斜管安装相关信息、传感器信息、安装人员、施工过程照片等。

8.3 应力应变监测

8.3.1 锚杆应力计安装

锚杆应力计安装应满足以下要求：

a) 锚杆应力计宜与支护锚杆同步埋设，应按照设计要求预先将钢筋计连接在一根锚杆上，锚杆材质与支护锚杆一致，连接方法同钢筋计连接方法，连接强度不低于锚杆强度；

b) 锚杆应力计钻孔孔径宜大于支护锚杆钻孔孔径（锚杆应力计最粗处）10mm—20mm，其余要求与支护锚杆钻孔要求相同；

c) 将锚杆应力计缓慢送入孔中，安装过程应注意保护仪器电缆，在连接锚杆应力计的监测锚杆上安装排气管，将组装检测合格后的监测锚杆送入钻孔内，引出电缆和排气管，插入灌浆管，用水泥砂浆封闭孔口；

d) 安装检查合格后进行灌浆。

8.3.2 锚索测力计安装

锚索测力计安装应满足以下要求：

a) 锚索测力计规格宜根据设计要求和现场施工要求进行定制，其内径应稍大于锚索束外径，外径应小于锚具外径，锚索测力计的规格与锚具不匹配时，应增加承压板。承压板应平整光滑，外径宜大于锚索测力计外径 10mm，内径与锚索测力计内径相同，厚度不小于锚具厚度；

b) 监测锚索的钢绞线下料长度应满足锚索测力计安装与锚索施工要求，宜大于非监测锚索 300mm—500mm；

c) 锚索测力计应安装在无粘结锚索上,应在锚索锚固端及锚墩混凝土承载强度达到设计要求后进行安装;

d) 安装前应将锚墩清理干净,安装平面应光滑平整,必要时应采用石膏刮平,待干燥后刷一层机油或润滑油,顺序安装锚索测力计、承压板(可选)、工作锚,调整锚索测力计与锚索孔同轴,采用手持千斤顶进行预紧,预紧应按对角线多级均匀加压的原则进行,确保锚索测力计和锚墩安装基面紧密接触、受压均匀不偏心,然后安装千斤顶、工具锚进行张拉。

e) 测力计安装就位后,加荷张拉前,应测量其初始值和环境温度,连续测 3 次,当 3 次读数的最大值与最小值之差小于 1%F.S 时,取其平均值作为张拉过程监测的基准值;

f) 预紧后以及每级张拉后均应进行观测,最后一级荷载应进行稳定监测,每 5min 测读 1 次,连续测读 3 次,最大值与最小值之差小于 1%F.S 时则认为稳定,读数稳定后进行锁定并测读锁定荷载;

g) 张拉过程应同步观测记录锚索测力计荷载与油压千斤顶荷载,二者相差不宜大于 5%,否则应检查张拉设备、安装组件与张拉工艺,并对后续锚索施工采取措施纠正;

h) 锁定后剪除多余锚索并按设计要求对锚具、出露锚索、测力计进行封闭和保护,按设计要求将电缆引至安全处。锚索测力计的安装可参照附录 A.6。

8.3.3 钢筋计安装

钢筋计安装应满足以下要求:

a) 钢筋计应焊接在同一直径的受力钢筋并保持在同一轴线上,受力钢筋的绑扎接头距仪器 1.5m 以上;

b) 钢筋计的规格应与钢筋直径相匹配,应清除钢筋计表面的铁锈;

c) 钢筋计与钢筋焊接应采用坡口焊,轴心对正重合,焊接强度不低于受力钢筋强度。焊接时仪器中间应包裹湿棉纱,焊接过程中浇水冷却,使仪器内部温度低于 60℃,焊缝未冷却前不应浇冷水;

d) 仪器工作正常后方可浇筑混凝土,仪器周围应人工振捣密实,振捣器至少距离钢筋计 0.5m。凝土初凝后测取基准值;

e) 电缆牵引时应做标识,电缆走线时应沿钢筋下部牵引,以防混凝土浇筑时,损伤电缆;

f) 仪器埋设后及时检测,并填写安装记录,浇筑砼时应有专人看护,待仪器周围 50cm 范围内混凝土浇筑完毕后方可离开。钢筋计的安装可参照附录 A.4。

8.3.4 应变计安装

8.3.4.1 应变计组安装应满足以下要求:

a) 应提前按照设计详图加工或订购各种埋设时需要的零部件、配套件及材料,并采用固定支座确定应变计的埋设位置和方向;

b) 应检测仪器绝缘电阻、自由状态电阻比和电阻值,根据设计计算每支仪器的加长电缆,使用五芯水工观测电缆对仪器进行逐支接长。电缆接头应满足防湿、防水要求;

c) 运送仪器途中应轻拿轻放,避免对仪器造成损伤;

d) 仪器埋设应专人负责,安装埋设仪器应细心操作,位置应正确,在仪埋过程中应进行现场保护;

e) 按照埋设点高程、桩号及埋设部位混凝土浇筑进度,将预埋件预埋在先浇注混凝土层内,预埋杆外露长度 $\geq 20\text{cm}$,预埋杆可根据需要适当加长,其螺纹部分应用纱布或牛皮纸包裹好,以免砂浆沾污或碰伤;

f) 当混凝土浇至接近埋设高程时,用适当尺寸的挡板挡好埋设点周围混凝土,取下预埋件螺纹裹布,安装支座并固定其位置和方向,将支杆套管按设计要求方向安装支座;

g) 将套管上螺帽松开, 取出支杆(螺母应套在支杆上)旋入仪器上接座端, 拧紧后将支杆套入套管内, 将螺帽拧紧。将接好仪器的支杆插入支杆套筒内, 借助支杆两端的橡胶圈保证支杆的方向和位置;

h) 按设计编号安装好相应的应变计, 严格控制应变计的方向, 角度误差应不超过 1° 。定位后将仪器电缆捆扎一起, 并按设计要求将电缆牵引至临时或永久观测站;

i) 回填混凝土应剔除粒径大于8cm粗骨料, 从周围慢慢倒入仪器附近, 人工方法捣实。埋设过程中应进行现场维护, 仪器安装埋设后, 其部位应做明显标记, 并留专人看护。

8.3.4.2 基岩应变计安装应满足以下要求:

a) 采用钻孔埋设的孔径约 $\varnothing 75\sim\varnothing 90\text{mm}$, 孔深根据设计要求确定。孔内应冲洗干净, 排除积水, 仪器应位于埋设孔中心, 其方向误差应不超过 $\pm 1^{\circ}$ 。埋设时应采用膨胀水泥砂浆(或微缩水泥砂浆)填孔。为防止水泥砂浆对仪器变形的影响, 应在仪器中间嵌一层2mm厚的橡皮或油毛毡;

b) 采用凿槽埋设时, 开槽的尺寸为 $500\times 200\times 200\text{mm}$ 。仪器安装定位的方向误差应不超过 $\pm 1^{\circ}$ 。埋设时应将槽坑清洗干净, 采用膨胀水泥砂浆(或微缩水泥砂浆)铺填。应在仪器中嵌一层2mm厚的橡皮或油毛毡, 防止砂浆对仪器变形的影响。

8.3.5 土压力计安装

土压力计安装应满足以下要求:

a) 土压力计宜采用挖坑或预留坑的方式埋设, 监测水平方向土压力时坑深不宜小于20cm, 监测其他方向时坑深不宜小于一个填筑层厚度, 坑的大小宜便于施工和仪器安装;

b) 仪器宜预埋在相对刚性一面的结构中, 使承压膜面朝向填筑料且与界面平齐, 仪器范围10cm内回填细砂至高出传感器, 其余部分回填粒径不大于80mm的级配粒料, 回填料应分层填筑并夯(捶)实;

c) 当监测界面土压力时, 可按照土中土压力计要求安装埋设;

d) 土压力计安装埋设的空间位置偏差不应大于 $\pm 50\text{mm}$, 安装角度偏差不应大于 $\pm 2^{\circ}$ 。

e) 土压力计安装埋设可参照附录A.5

8.4 环境量及渗流监测

8.4.1 测压管及渗压计安装

测压管及渗压计安装应满足以下要求:

a) 测压管宜采用一孔一管方式埋设;

b) 应按设计要求测量放样确定开孔位置, 钻孔孔径一般为 $\Phi 110\text{mm}$, 不宜小于 $\Phi 75\text{mm}$, 孔深按设计要求确定。钻孔时严格控制深度和角度, 不应采用泥浆、水泥浆、植物胶固壁, 宜取芯或做孔内电视摄像, 绘制钻孔柱状图并记录钻孔全过程, 钻孔完成后应清洗钻孔, 清除孔底沉渣, 排干孔内积水, 孔口加塞保护;

c) 按设计要求和实际孔深配置测压管保护管, 可选用内径50mm的镀锌钢管或硬质塑料管, 管底用闷头封闭, 管顶加盖保护。进水管段开孔应排列均匀且内壁无毛刺, 孔径 $\varphi 4\text{mm}\sim\varphi 6\text{mm}$, 面积开孔率宜为10%~20%。进水管段必须保证渗水能顺利地进入管内, 外部应包扎无纺土工布, 当遇泥质岩层、风化岩体或覆盖层有可能塌孔或产生管涌时, 应加设反滤装置, 反滤装置的安装埋设应满足以下要求:

- 在进水管段外包土工布, 置入有可能塌孔的钻孔, 如覆盖层、泥质岩、风化岩、断层破碎带中的钻孔内, 作为保护装置;

- 组装式过滤体以聚氯乙烯硬质管为进水管段, 其外包涤纶过滤布, 过滤布外套上专用的泡沫软塑料做孔壁撑体, 用土工布将泡沫软塑料缠紧, 使其外径小于钻孔直径, 并用胶粘

紧，以便放入孔内，粘胶遇水自动脱开，组装过滤体则紧靠孔壁。这种装置适用于可能产生管涌的断层破碎带内；

d) 测压管应使用吊装安全绳套住管底缓慢放入孔中，导管分段连接应牢固；

e) 在钻孔底部灌注 10cm~20cm 厚的水泥砂浆或水泥膨润土浆，然后填入洁净粗砂，至高于进水管段 20cm 或设计要求的高程处，再填入 20cm 厚的洁净细砂，滤料回填后应检查其回填高度，满足要求后填入膨润土球或水泥浆封孔，土介质钻孔采用膨润土球封孔，岩石介质钻孔采用水泥浆封孔，封孔施工应满足以下要求：

• 应严格控制膨润土球入孔数量和速度，防止架空。若孔内水位低于封孔料高程，应向孔内注入清水使膨润土球吸水膨胀崩解；

• 水泥灌浆浆液水灰比宜为 0.5:1；

• 单孔多管式测压管各岩层的进水管之间应使用膨润土球或水泥膨润土混合泥球封闭隔离；

f) 测压管安装完成后，应设置管口保护装置，防止雨水流入和人畜破坏；

g) 测压管内渗压计安装应使用不锈钢钢丝绳吊装在底部可能淤积高度之上，安装完后，应测定渗压计实际安装高程，并用电测水位计校准；

h) 安装完毕准确测量并记录管口高程。

8.4.2 雨量计安装

雨量计安装应满足以下要求：

a) 雨量计安装位置宜设置在周边环境空旷、平整的地方，不应有障碍物，雨量计基座应稳固，雨量计与基座之间应采用不锈钢地脚螺栓连接应牢固，能保证仪器在暴风雨中不发生抖动或倾斜；

b) 雨量计承水口至地面高度宜为 70cm，北方地区可沿用 120cm；

c) 安装基面和雨量计的承水口应水平，水平度的允许偏差为±1.0°；

d) 在安装雨量计的同时，应安装供电、数据采集仪和防雷击设施；

e) 雨量计安装完成后应采用人工注水实验进行设备校准调试，人工注水实验不应少于 3 次，保证仪器处于正常工作状态。

8.4.3 水位计安装

8.4.3.1 浮子式水位计安装应满足以下要求：

a) 测井（管）应竖直安装牢固，其直径应足够大，使浮子、平衡锤与井（管）壁的距离不小于 75mm，其底部进水管应低于预计最低水位；

b) 将浮子、钢丝绳、平衡锤、传感器（码盘）及水位计安装平台组装牢靠，使钢丝绳位于测井（管）孔中心并固定，水位计安装平台水平度允许偏差为±0.5°，高程允许偏差为±1.0cm；水位计的安装埋设可参照附录 A.3。

c) 水位计信号传输电缆宜采用钢管保护并埋入地下或建筑物内；

d) 水位计安装后应人工测试其读数准确性，人工拉动钢丝绳以 20cm/min ~ 40cm/min 的速率带动传感器工作，在库水位预计最大变幅长度范围内，钢丝绳人工拉动长度与水位计实测读数的允许偏差为±2.0cm。

8.4.3.2 超声波水位计安装应满足以下要求：

a) 应竖直安装支架，固定超声波传感器的悬杆应水平，悬杆的长度 L 应满足超声波传感器的开角的要求

$$L=H\tan\alpha\times\beta \dots\dots\dots (8)$$

式中：H 为传感器到最低水位的距离，

α 为超声波束的半开角，

β 为与传感器性能有关的系数，一般取 $\beta=3\sim 4$ 。

悬杆高度应满足传感器的测量域区（150cm~200cm）要求，即高于最高水位 150cm~200cm；

b) 将超声波传感器、温度传感器、天线、太阳能电池板、测量终端机和数传仪用电缆及相关附件组装固定牢靠，超声波传感器安装在悬杆的最前端，并应处于水平状态，其下方开角范围内不应有其他物体，距超声波传感器后 30cm~40cm 处的温度传感器宜水平安装。超声波传感器安装高程的允许偏差为 $\pm 1.0\text{cm}$ ；

c) 定向天线应确定好安装方向，太阳能电池板宜朝正南向或中午 13 时太阳的方向；

d) 超声波传感器和温度传感器的电缆连接线应顺着悬杆用扎线固定，传输电缆采用钢管保护并埋入地下或建筑物内，架空时应将电缆固定在镀锌铁丝上。现场及室内应按要求安装信号避雷器；

e) 现场安装后测定超声波水位计的初始值，与水尺读数或其他水位监测数据比较，其允许偏差：水位 10m 变幅内的为 $\pm 2\text{cm}$ ，10m~20m 变幅的为 $\pm 3\text{cm}$ 。

8.4.3.3 水压力传感器类水位计安装应满足以下要求：

a) 传感器进水口应使用干净的细砂包裹进行反滤保护，安装在测井（管）内，测井（管）应稳固，水位衔接平顺；

b) 安装深度小于等于 70m 时，其安装高程的允许偏差为 $\pm 0.5\text{cm}$ ；安装深度大于 70m 时，其安装高程的允许偏差为 $\pm 1.0\text{cm}$ ；

c) 水位计安装后，应用测量设备测定水位计埋设安装高程。

8.5 视频监控

8.5.1 摄像机安装应满足以下要求：

a) 安装位置（方向）合理有效；

b) 应检查云台的水平、垂直转动角度，并根据设计要求定准云台转动的起点方向；

c) 从摄像机引出的电缆宜留有余量，不得影响摄像机的转动。摄像机的电缆和电源线均应固定，并不能用插头承受电缆的自重；

d) 初步安装摄像机应经通电试看、细调，检查各项功能，观察监视区域的覆盖范围和图像质量，符合要求后方可固定。

8.5.2 防雷接地施工应满足以下要求：

a) 防雷与接地设计符合 GB 50348 的要求。

b) 室外前端设备接地电阻值不大于 4Ω ，联合接地电阻值不大于 1Ω 。

8.6 振动监测

8.6.1 加速度传感器安装应满足以下要求：

a) 加速度传感器应固定安装在现浇的混凝土监测墩上，监测墩出路部分尺寸长、宽、高，宜为 $40\text{cm}\times 40\text{cm}\times 20\text{cm}$ ，顶面要求平整，墩体宜预留出导线穿入孔；

b) 监测墩应与被测物牢固连成一体，其建造要求是：

- 在新鲜基岩上，现浇混凝土观测墩前，应先将接触面打毛，并打孔预埋插筋，冲洗干净后，用混凝土现浇，待干后，将加速度传感器底板用环氧树脂或螺栓加以固定。尚应外加保护罩；

- 加速度传感器宜通过螺栓或可靠的粘合剂固定在观测墩上，应外加保护罩；

- 固定前，应使加速度传感器符合设计要求的方位和初动方向。

8.6.2 信号传输应满足以下要求:

- a) 宜采用多芯屏蔽电缆, 布线不得设置在具有强电磁干扰设备的附近。室外电缆宜穿入钢管内加以保护, 并采用接地保护措施;
- b) 传输电缆线应尽量减少接头。接头处应焊接牢固, 并做好导线的绝缘屏蔽;
- c) 铺设电缆时, 应避免电缆承受过大拉力, 以防受损。

9 自动化监测

9.1 一般规定

9.1.1 自动化在线监测系统、预警预报系统、传输系统、监测仪器、供电系统等软硬件设备运行正常, 监测自动化系统应考虑冗余设置。

9.1.2 自动化系统结构应具有安全、可靠、维护方便、扩展性好、易于改造和升级等特点。

9.1.3 系统选用的监测仪器设备软硬件接口宜统一。

9.1.4 自动化系统硬件设备安装应结合现场情况进行安全防护和环境保护。

9.1.5 自动化系统硬件设备的巡视检查和观测通道修建、监测仪器设备保护宜与安装埋设同步实施, 并开展定期检查和维护。

9.1.6 自动化监测系统布置应统筹考虑施工周期, 保持监测资料的连续性和完整性; 应以整体稳定性为主, 兼顾局部稳定监测, 并对治理措施进行重点监测; 表部与深部监测宜相结合布置, 应能反映水库库岸边坡的变形、受力性态。

9.1.7 自动化系统安装完成后, 应进行实地全流程检验测试, 测试合格后方可投入实际监测工作。

9.1.8 自动化监测项目应设计人工比测接口, 人工比测时不影响自动化监测系统的正常运行, 宜根据边坡体变形监测需求设计定期开展比测工作。

9.1.9 自动化监测方法和监测精度应根据监测内容、变形特征、场地条件等综合确定, 监测频次应按监测阶段分别要求。

9.1.10 监测成果应及时整理、备份、分析与入库存储, 并设置足够保存期限。

9.1.11 水库库岸边坡自动化监测可按照 DL/T 5211 的要求执行。

9.2 系统设计

9.2.1 自动化系统应包含监测传感器、数据采集与传输设备、网络通信设备、供电及防雷设备、服务器计算机在线监测软件与监测信息管理系统(实时监测综合管理系统)。

9.2.2 自动化系统宜按分布采集集中管理的方式进行设计, 子系统宜按监测区域和监测内容等确定, 宜根据工程规模和特点采用模块化设计。

9.2.3 监测系统设计应考虑可复制和可扩展性; 数据传输宜采用便于数据与其他平台对接的标准化接口。

9.2.4 监测系统设备应适应现场环境条件, 在设计使用年限内应可靠、稳定。

9.2.5 数据采集设计应符合下列规定:

- a) 数据采集设备与传感器之间应有明确的拓扑关系。根据水库库岸边坡特点与现场条件,可选择集中采集或分散采集;
- b) 数据采集设备宜具备指令设定时钟修改、系统参数配置等远程控制的功能;
- c) 数据采集方式可根据需求选择连续采集、定时采集或两者结合的方式;
- d) 数据采集设备宜兼容应答式和自报式两种方式;
- e) 数据采集设备布置应根据传感器埋设情况、数据采集设备与传感器之间的距离、传感器信号的传输衰减、安装条件等因素综合确定;
- f) 不同的数据采集设备可设置不同的监测频次。

9.2.6 数据传输设计应符合下列规定:

- a) 监测系统的数据传输和存储应采用加密方式;
- b) 数据传输应综合考虑岸边所处环境、监测频次、采样频率、传输数据量等因素,选择线缆、光纤、卫星、微波、蜂窝网络通信等方式;
- c) 监测现场宜采用国际总线标准构建现场通信网络,也可采用无线通信技术构建现场通信网络,或北斗卫星通信网络;
- d) 数据传输速率应遵循通信稳定可靠的原则,根据通信方式、现场网络环境状况等因素综合确定;
- e) 监测数据的传输应满足监测数据实时性、准确性和安全性的要求,宜具有修复链路能力。

9.2.7 供电设计应符合下列规定:

- a) 设备供电设计宜使用市电供电,也可使用太阳能、风能供电;
- b) 现场供电设备应稳定,宜设有断电情况下自动切换的不间断电源,其持续供电时间应根据具体要求确定;
- c) 供电系统应设置过载保护;
- d) 室外供电系统应符合防雷设计要求并可靠接地,应按 GB 50057 执行,野外电阻接地小于 $10\ \Omega$;

9.2.8 监测服务器设计应符合下列规定:

- a) 监测服务器应具有数据发布、数据自动备份、多级用户管理和网络安全防护等功能;
- b) 监测服务器宜设置上电自启动功能,软件应设置随系统自动启动功能;
- c) 监测服务器应根据监测数据所占的存储空间,合理选择存储容量,并预留备用存储空间;
- d) 监测服务器的供电、防雷、抗干扰设计应满足机房建设相关要求,宜利用现有机房资源;
- e) 监测服务器应采取计算机病毒防护等安全技术措施。

9.2.9 监测软件应具备数据实时采集、自动传输、自动存储、数据管理等功能,并应符合下列规定:

- a) 设计数据库字段时应考虑不同传感器的数据格式;
- b) 监测软件应能够实时接收监测值和各相关参数,并能调取各监测点的历史数据;
- c) 监测软件应根据不同的需求远程设置监测频次和报警值;
- d) 监测软件应具有数据处理和报表输出功能,所采集的监测数据,应根据用户需要进行报表设置并自动生成、储存为通用数据文件;
- e) 监测软件宜具有针对异常数据的自动复测并增加监测频次的功能。

9.2.10 监测系统预警和报警功能设计应符合下列规定:

- a) 监测数据达到报警值的某一程度时应进行预警，达到报警值时应报警；
- b) 监测数据的变化率达到预设值时应预警；
- c) 系统设备故障、通信异常时应自动报警；
- d) 系统报警可采用界面提示、声光提示短信通知、邮件通知等方式。

9.3 系统功能及性能

9.3.1 系统应具备巡测和选测功能，系统数据采集方式可分为应答控制方式和自动控制方式。

9.3.2 系统应有显示功能，显示监测系统的总体布置、各子系统组成、采集数据过程线、报警状态显示窗口等。

9.3.3 电源中断时，系统工作参数及采集数据不丢失。

9.3.4 系统具备双向数据通信功能，包括数据采集装置与监测管理站间、监测管理站与监测管理中心站间。

9.3.5 监测系统与外部系统网络计算机之间的数据通信应建立数据审查机制。

9.3.6 系统具有自检功能，提供自检信息。

9.3.7 系统应具备防雷、防潮、防锈蚀、防小动物破坏、抗震、抗磁干扰等性能。

9.4 安装调试

9.4.1 自动化监测系统安装的具体要求如下：

a) 数据采集设备的安装应符合下列规定：

- 安装位置应根据传感器埋设情况、数据采集设备与传感器之间距离、安装条件等因素综合确定；

- 室外安装时应考虑各种天气条件下的适用性，并根据现场情况采取防水、防雷、防腐蚀、防磁等措施；

- 数据采集设备应安装牢固。

b) 监测服务器的安装应按 GB 50174 执行，并应符合下列规定：

- 服务器应安装在无强电磁干扰的位置；

- 服务器安装位置应具备一定的空间和稳定可靠的电源；

- 服务器应接地良好。

9.4.2 自动化系统联调的具体要求如下：

a) 系统联调宜根据系统设计进行，应包括下列内容：

- 设备功能测试；

- 系统参数设置；

- 比测；

- 系统运行测试；

- 系统初始值确定。

b) 系统联调前应满足下列要求：

- 设备、线路与设计要求一致；

- 电源稳定可靠，设备接地良好；

- 温度、湿度等环境符合设备正常运行要求。

c) 设备功能测试宜包括下列内容：

- 设备工作状态检查；

- 传感器测试;
- 数据采集设备采集功能测试;
- 数据采集设备输出功能测试;
- 数据传输设备通信功能测试。

d) 系统参数设置应主要包括下列内容:

- 设置传感器初始状态;
- 设置传感器类型监测位置接入通道号标定系数等参数;
- 根据硬件拓扑关系, 设置数据采集设备和数据传输设备之间的通信方式、速率、地址

等参数;

- 设置数据传输设备和服务器之间的通信方式、通信速率、地址等参数。

d) 比测应符合下列规定:

- 监测点宜进行快速连续测试,检查测值是否稳定;
- 比测宜采用过程线比较法;
- 有条件的监测项目及监测点宜人工干预给予物理量变化检查测值是否出现相应变化;
- 测的方法、设备、精度应符合国家现行标准的有关规定。

e) 系统运行测试应符合下列规定:

- 测试数据应具有连续性,测试时采用的频次和时长应能反映监测对象的变化情况;
- 有干扰信号时,应检查干扰来源并采取措施进行处理;
- 监测系统正常工作状态下, 自动采集数据缺失率不应大于 6%;
- 系统应测试自动巡测、定时巡测、选测的数据采集功能, 数据处理和数据库管理功能,

运行状态自检和报警功能。

f) 监测初始值应在监测系统测试符合要求后测定,并应经 3 次以上的测定, 数值稳定后可取平均值作为初始值;

g) 系统安装调试完成后, 应提供系统安装调试报告。

9.4.3 自动化监测系统的运行包括平均无故障时间、数据缺失率、比测精度、平均维护时间等统计数值, 具体指标可依据 DL/T 5272 对应限差可放宽至 2 倍。

10 巡视检查

10.1 一般规定

10.1.1 水库库岸边坡监测设计阶段应编制巡视检查方案, 包括范围、项目、路线、人员、记录要求、分析评价、安全作业和应急处置等内容。

10.1.2 巡视前应收集和分析库区水文、气象、地质和监测资料, 了解巡查环境。

10.1.3 巡视检查应包括日常巡视检查、年度巡视检查和特殊情况下巡视检查, 并应符合以下规定:

- 年度巡视检查宜在每年汛前、汛后进行;
- 发生强震、特大暴雨、库水位骤变、变形速率加剧及其他影响工程安全运行的特殊情况时, 应及时开展巡视检查, 可优先采用无人机等遥控手段开展;
- 巡视检查内容主要包括变形迹象与特征识别、监测设施设备巡检维护等。

10.2 巡视检查内容

10.2.1 岩质边坡巡视检查内容宜包括隆起、错台、开裂、掉块、渗水等现象。

10.2.2 土质边坡巡视检查内容宜包括隆起、沉陷、湿陷、剪出、滑动、脱空、开裂、流土、涌砂、渗水等现象。

10.2.3 监测设施检查主要包括外观、保护装置完好情况。

10.3 巡视检查方法和要求

10.3.1 巡视检查宜采用目视、耳听、手摸、鼻嗅等方法，可辅以锤、钎、量尺、放大镜、石蕊试纸、望远镜、照相机、摄像机、遥感影像等进行。可用无人机巡视，对选定库岸区域进行拍照、摄像、扫描，并对特定位置进行抵近远程查看。

10.3.2 日常巡视检查频次应符合下列规定：

- a) 水库库岸边坡巡视检查频次应满足表 5 的要求。
- b) 每年汛前、汛后应进行巡视检查；

10.3.3 巡视检查应做好记录，填写巡视检查记录表或保存、上传巡查 APP 信息。各种巡视检查的记录，图件和报告等均应装订成册，及时归档。

10.3.4 日常巡视检查报告内容应简单、扼要说明问题，附照片及略图。年度巡视检查报告和特殊情况下巡视检查报告宜包括下列内容：

- a) 检查目的和任务；
- b) 检查日期；
- c) 规定项目的检查结果，包括略图、素描、照片、影像等资料，以及其对比、分析成果；
- d) 不属于规定检查项目的异常情况发现、分析及判断成果；
- e) 必须加以说明的特殊问题；
- f) 检查结论和建议；
- g) 检查、校核人员签名。

10.3.5 巡视检查成果应包括下列内容：

- a) 日常巡视检查表；
- b) 特殊情况下的巡视检查报告；
- c) 年度巡视检查详细报告。

11 监测资料整编分析

11.1 一般规定

11.1.1 整编成果应进行全面分析和综合评价，库岸边坡的变形应通过水位、降水量等环境量因素与变形速率、裂缝开合度、渗流量等效应量因素进行综合分析，评估水库库岸边坡是否稳定或存在潜在滑移风险。

11.1.2 监测数据和巡视检查成果应及时进行整编分析，日常监测数据应定期整理形成报告，长期监测的水库库岸边坡还应每年应进行一次全面、详细的综合资料整编，形成年度报告。年报整编内容应做到图表完整、规格统一、说明完善、重点突出、反映规律、结论明确。

11.1.3 监测成果应统计位移量和特征值变化量，绘制位移曲线及矢量图，包括库水位、地下水位、降雨量与变形速率存在的相关性关系曲线。

11.1.4 根据边坡类型并结合不同阶段的变形特征量，分别制定土质边坡和岩质边坡的安全警戒等级和预警标准。

11.1.5 发生强震、特大暴雨、地下水位、库水位骤变等异常工况时，应结合巡视检查成果及时进行综合分析和评价。

11.1.6 监测资料分析应综合抗滑稳定、变形效应量、渗流效应量、结构支护效应量、巡视检查成果评判岸坡稳定状况。监测资料宜建立监测信息管理系统进行管理，宜采用监测信息系统管理平台实现在线预警预报。

11.1.7 根据库岸失稳边坡规模、危险性制定监测预警管理制度。预警管理制度应包括警情报送对象、时间、方式和流程等；

11.1.8 利用监测数据、地质地勘资料进行临滑预报研究；

11.2 监测资料分析

11.2.1 水水库岸边坡监测资料包括巡视检查资料，各类监测数据，气象、水文等数据，监测资料分析应充分利用各类监测资料，相互检校数据可靠性。

11.2.2 监测资料分析应建立数据表征与地质环境条件、工程背景、巡视检查等基础资料的逻辑联系，采用比较法、作图法、特征值统计法、数学模型等方法分析做出客观的物理解释，给出科学合理的预警和处置措施。

11.2.3 监测数据分析与表征宜按如下要求执行：

a) 变形监测类监测数据分析遵循“点—线—面”主线，依次进行累计变形量-变形速率-变形加速度分析评价；GNSS 地表绝对位移监测数据分析表征方法见附录 B.3 所示，其余位移类监测数据亦可参考附录 B；

b) 力学参数监测数据分析首先对原始观测量进行温度改正预处理，其次对预处理数据依次开展累计量-速率-加速度分析，结合设计参数作出评价；

c) 降雨量监测数据分析宜开展过程降雨量、小时降雨量、天降雨量、月降雨量以及年降雨量分析，采用柱状图表征；宜结合区域气象和地质背景条件开展降雨强度分析；

d) 地下水位、库水位监测数据应推算为绝对高程并开展绝对量—变化速率—加速度分析评价，可采用曲线图、面积图或柱状图表征；

e) 高频振动加速度监测数据宜针对短时间窗口，开展三轴观测量、幅值分析，可采用傅里叶变换方法开展时频分析；

f) 对监测数据序列开展速率、加速度分析时应考虑时间间隔因素，计算得到同一时间尺度下的速率和加速度值；

g) 同一边坡布设多类监测项时，应以剖面或区域为单元，开展不同测项监测数据相关性分析，发掘和甄别变形或变化主要诱发因素。

11.2.4 监测运行期间资料整编分析周期应按如下要求执行：

a) 汛期应急监测期间应每日开展资料整编分析，非汛期应急监测期间应每周开展资料整编分析；

b) 汛期一般监测期间应每周开展资料整编分析，非汛期一般监测期间应每月开展资料整编分析；

c) 如遇强降雨、连续降雨、地震或工程爆破、库水位快速升降等不利工况，监测数据异常突变时，应立即开展监测资料整编分析。

11.2.5 汛后及年度监测工作结束后应编制阶段性监测报告，针对性地提出监测运行、防灾避险工作建议，提出下一阶段工作计划。

11.3 预警预报

11.3.1 预警预报方法

变形速率判断可根据监测位移曲线跟踪法,指数平滑法与非线性回归法结合。蠕变曲线切线角和矢量角计算可根据指数平滑法、卡尔曼滤波法、多元非线性相关分析法、斋藤迪孝法、稳定系数判据、极限分析法等方法。

11.3.2 资料收集

对边坡的监测预警预报,必须有相应的地质调(勘)查等资料做依据,主要资料有:

- a) 边坡的自然条件和地质条件;
- b) 形成主要灾害如滑坡、崩塌与泥石流等的特征与成因;
- c) 边坡稳定性评价;
- d) 边坡所在地区和影响范围内的人口、直接经济价值等。

11.3.3 宏观前兆监测预警

地表异常现象可关注以下内容:

- a) 宏观形变。包括滑坡、崩塌变形破坏前常常出现的地表裂缝和前缘岩土体局部坍塌、膨胀、剪出,以及建筑物或地面的破坏等。测量其产出部位、变形量及其变形速率;
- b) 宏观听声。监听在滑坡、崩塌变形破坏前常常发出的宏观声音,及其发声地段;
- c) 动物异常观察。观察滑坡、崩塌变形破坏前其上动物(鸡、狗、牛、羊等)常常出现的异常活动现象;
- d) 地表水和地下水宏观异常。监测滑坡、崩塌地段地表水、地下水水位突变(上升或下降)或水量突变(增大或减小),泉水突然消失、增大、变混或突然出现新泉等。

11.3.4 预警预报模型

预警预报模型方法可采用以下内容:

- a) 水库库岸边坡变形表现形式为滑坡和危岩崩塌的。应依据不少于 10 个周期的观测数据绘制变形曲线图,建立滑坡和危岩预警数学模型,通过模型对变形进行分析,模型建立主要方法可采用回归分析法;
- b) 采用回归分析法建立的回归模型有线性回归模型和指数回归模型、多项式回归模型等非线性回归模型。变形因子不宜选择过多,应选择主要的变形因子,数量不宜超过 2 个;
- c) 监测体上所有监测点或部分监测点变形总体一致时,可利用监测点的平均变形量建立数学模型;某些监测点变形量差异大(如突变)时,应对这些特殊点单独建立数学模型,以保证模型的有效性;
- d) 根据建立的预警模型进行趋势预报,同时应给出预报结果的误差范围和适用条件;
- e) 当坡体进入加速变形阶段,可采用斋藤迪孝法作预报。

11.3.5 预警期间信息报送

按照已制定的预警分级制度上报。

- a) 水库库岸边坡监测管理部门应建立信息报送制度并落实信息报送工作的实施;
- b) 应在监测合同、技术设计中约定预警信息报送工作;
- c) 预警期间信息报送应编制工作方案,确定报送流程,落实报送部门,报送责任主体和责任人;
- d) 预警期间信息报送要及时,确保信息通畅、责任到位,应制定应急预案指导灾(险)情发生时的抢险救灾工作。

12 质量检查与验收

12.1 一般规定

12.1.1 监测系统建造安装调试完成后，应对工程质量进行验收和评定,包括工序验收。

12.1.2 水库库岸边坡变形监测成果质量检查应依据下列文件进行

- a) 有关的法律法规，国家标准，行业标准；
- b) 技术设计书，任务书，合同书或者委托的验收文件；
- c) 项目委托方与承担方之间达成的其他文件；
- d) 质量管理体系质量文件。

12.1.3 变形监测成果质量应按照 GB/T 24356 的相关要求进行检查与验收。

12.2 质量检查

12.2.1 仪器设备出厂合格证、检验证书资料齐全，并通过验收。

12.2.2 仪器设备安装埋设满足该类监测设备规范和设计要求。

12.2.3 内外观监测资料在完整性、连续性、可靠性等方面应满足的要求、土建安装质量控制要求等。

12.2.4 监测数据检验与处理应符合下列要求：

a) 每次监测数据采集后，应随即检查、检验原始记录的可靠性、正确性和完整性，如有漏测、误读、误记或异常，应及时补测、复测、确认或更正。原始监测数据检查检验的主要内容有：

- 作业方法是否符合规定；
- 监测仪器性能是否稳定、正常；
- 监测记录是否正确、完整、清晰；
- 各项检验结果是否在限差以内；
- 是否存在粗差；
- 是否存在系统误差。

b) 经检查、检验后，若判定监测数据不在限差以内或含有粗差，应立即重测；若判定监测数据含有较大的系统误差时，应分析原因，并设法减少或消除其影响。

c) 质量检查记录表见附录 D。

12.3 验收

12.3.1 监测工程分为初步验收和最终验收两个阶段，建设单位完成监测工程土建、安装、调试工作，对工程质量进行自检，确认工程质量符合有关法律法规和工程建设标准，符合设计文件及合同要求，并提交工程施工报告、安装调试报告，由建设单位初步验收；试运行结束后，由建设单位组织最终验收。

12.3.2 初步验收主要包括：检查是否已完成工程设计和合同约定的各项内容，工程实施单位或监理单位组织的绩效考核自评和自验收资料。

12.3.3 监测单位进行试运行监测，完成一个水文年的监测，提交试运行监测报告。

12.3.4 最终验收主要包括：实体工程质量验收，试运行监测报告、竣工报告、图件、资料、文件等工程技术档案审查。

附录 A

(资料性)

监测设备安装埋设

监测设备的安装埋设、观测墩的制作参照以下内容：

A.1 地表监测设施

A.1.1 立柱式安装常见基础构造要求如下：

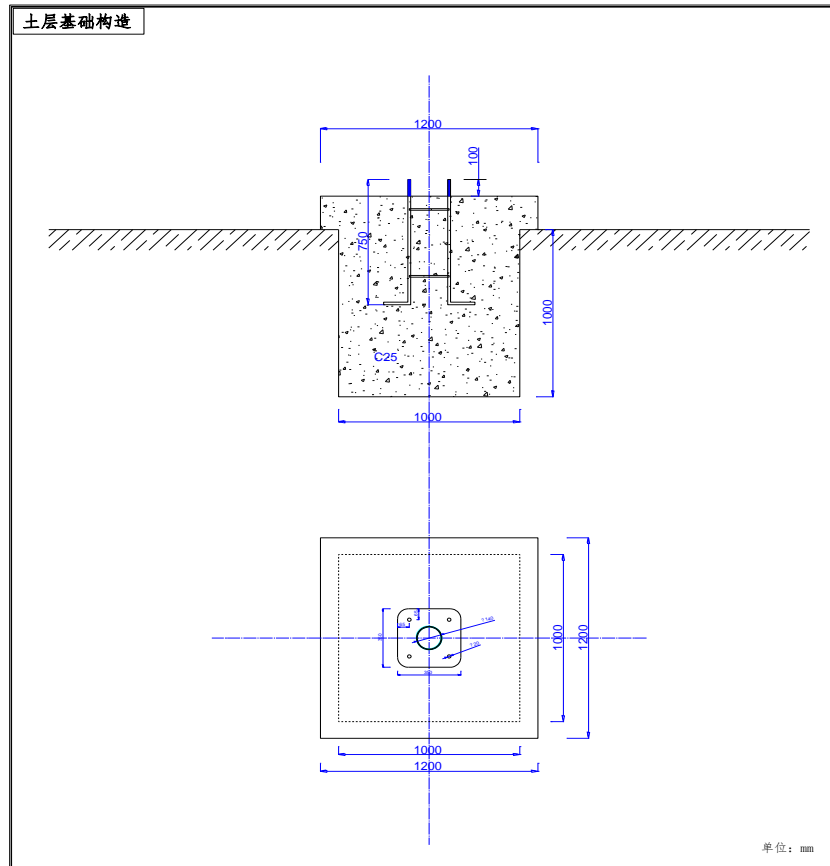


图 A.1 立柱式安装常见基础构造

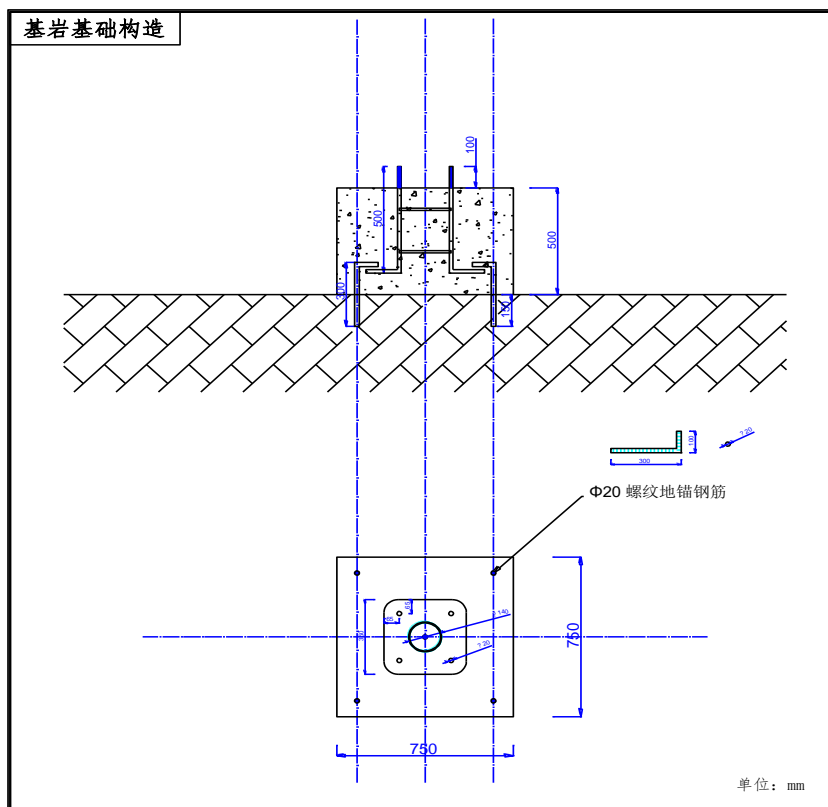


图 A.2 立柱式安装常见基础构造

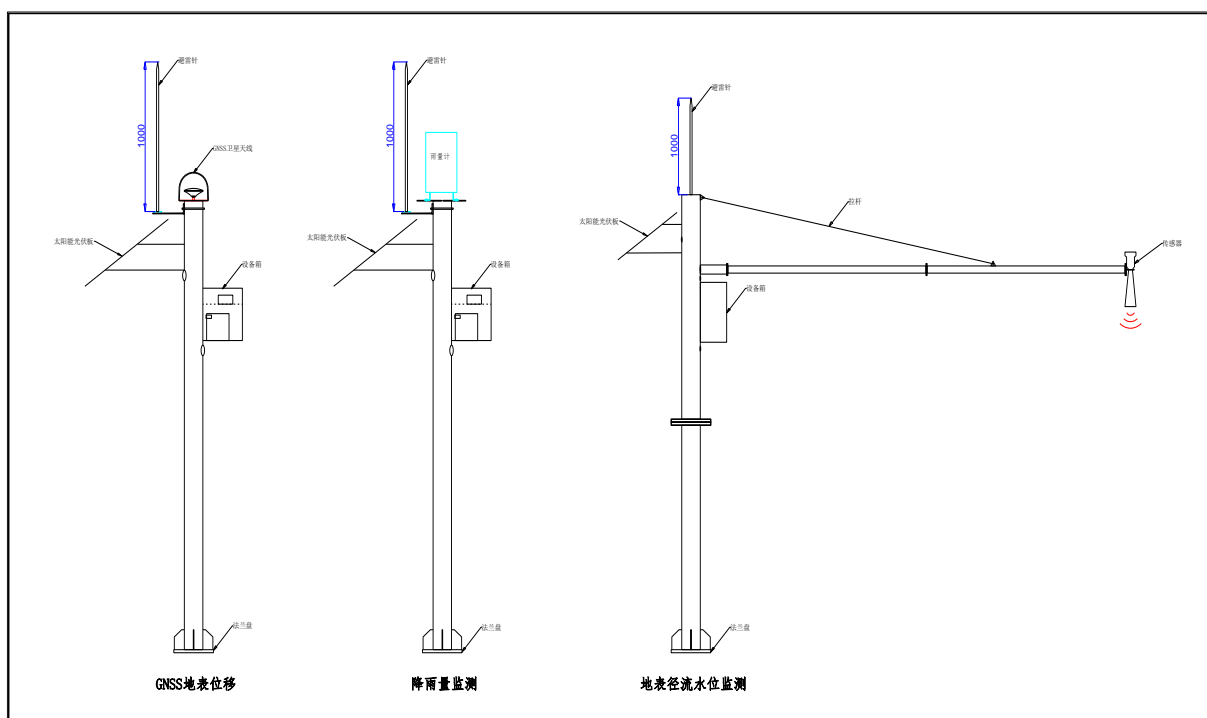


图 A.3 立柱式安装常见基础构造

A.1.2 采用人工监测方式其变形监测基准点观测墩标石及构造要求执行 GB50026 附录 B 附录 C 相关要求

布设于挡墙、格构梁、桩顶等支挡结构上的观测墩，其构造形式可选用圆柱墩或棱台墩

形，墩台底部宜采用地锚与结构紧密连接，其平面尺寸和高度以通视条件为依据具体确定。

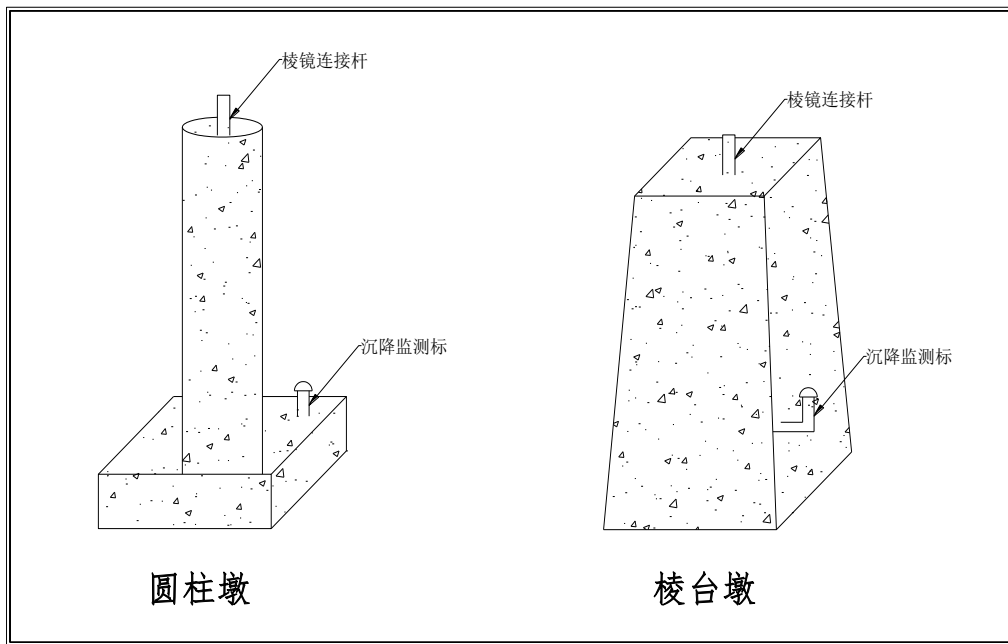


图 A.4 立柱式安装常见基础构造

A.1.3 当采用壁挂式安装倾角、裂缝等监测传感装置时，可按如下要求配置安装件

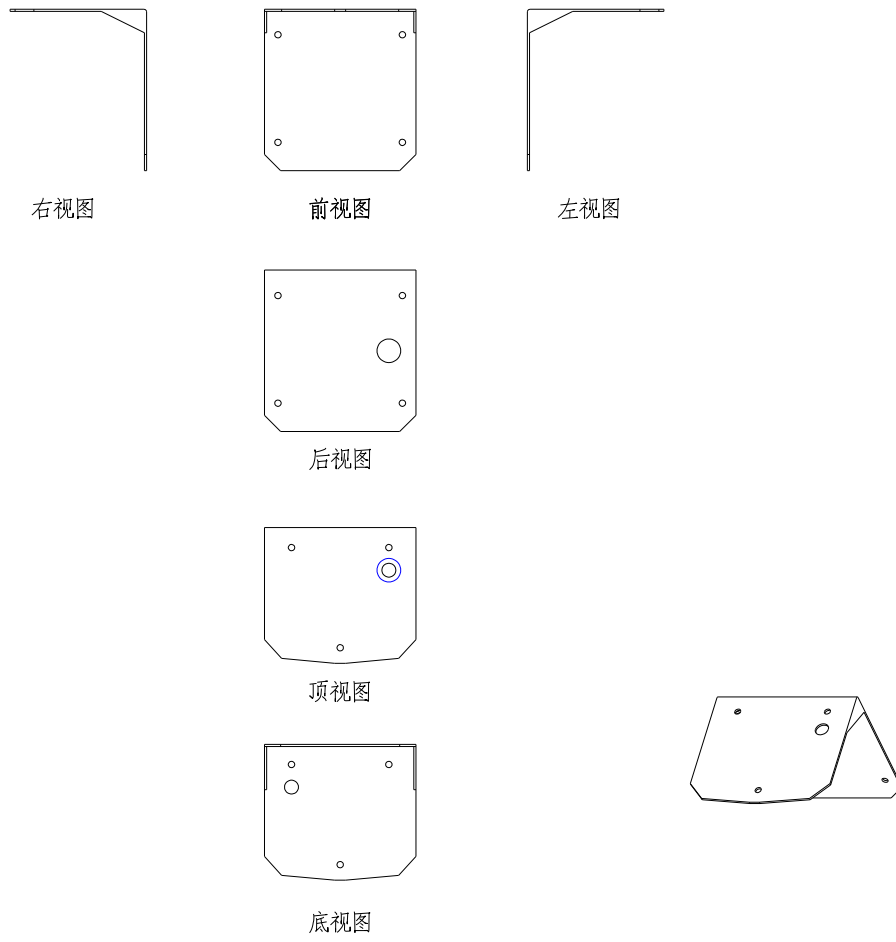


图 A.5 立柱式安装常见基础构造

A.2 孔内传感装置布设

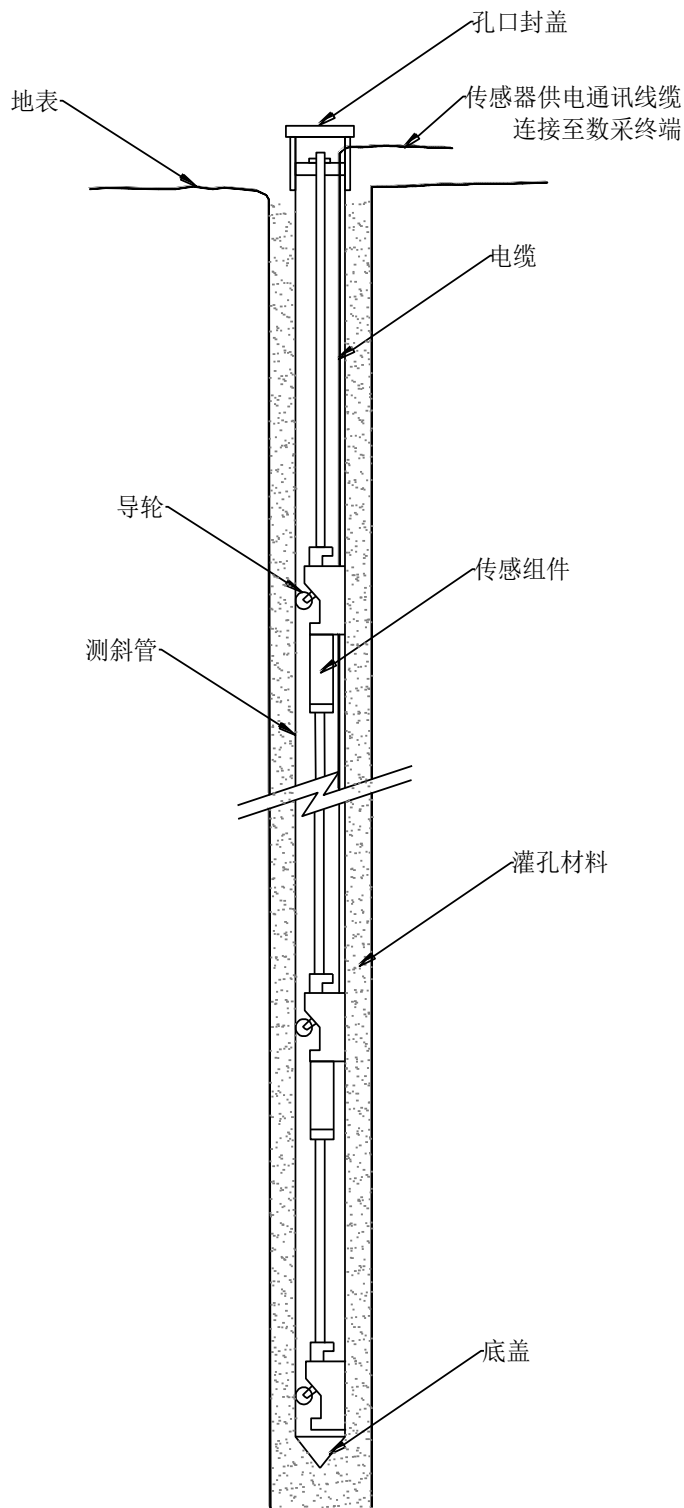


图 A.6 深层水平位移（以固定测斜为例）孔内传感设备安装部署示意图

A.3 水位计安装

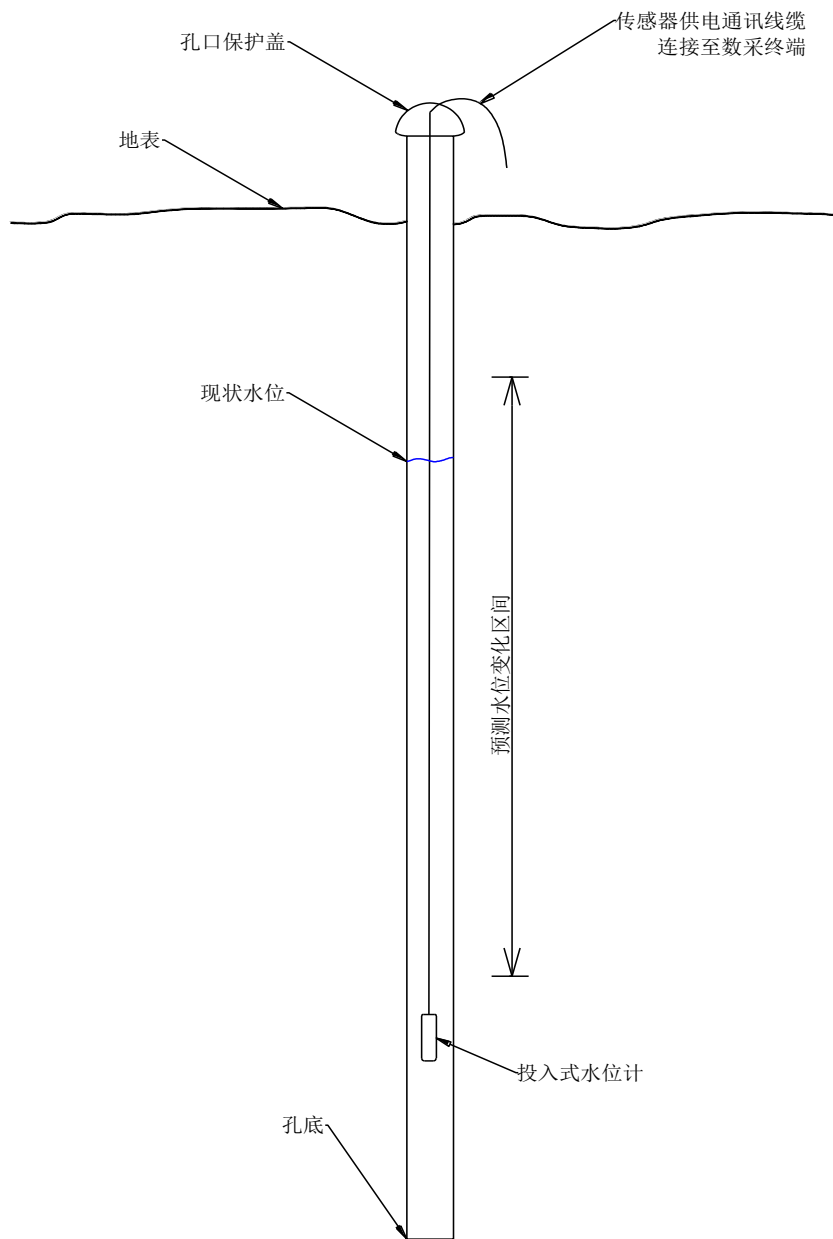


图 A.7 地下水位（以投入式水位计为例）孔内传感设备安装部署示意图

A.4 钢筋计安装

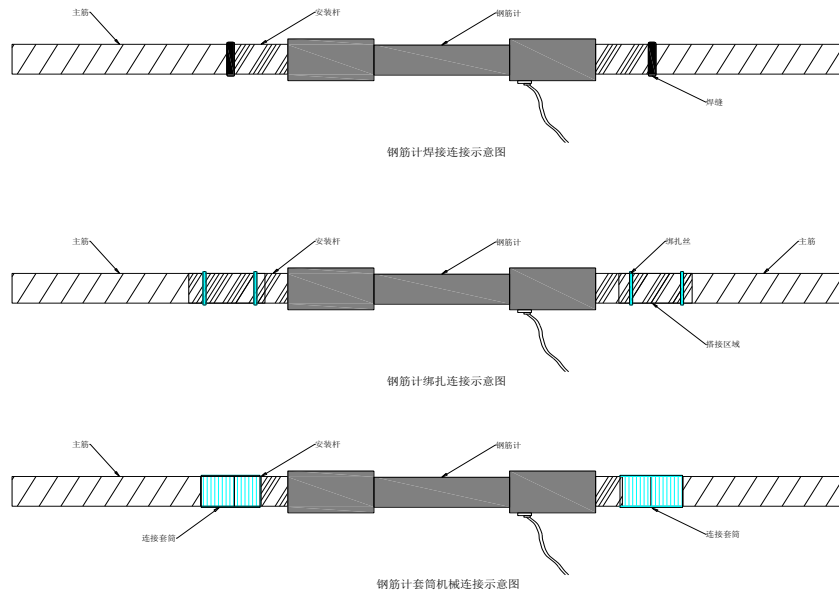


图 A.8 钢筋测力计安装示意图

A.5 土压力计安装

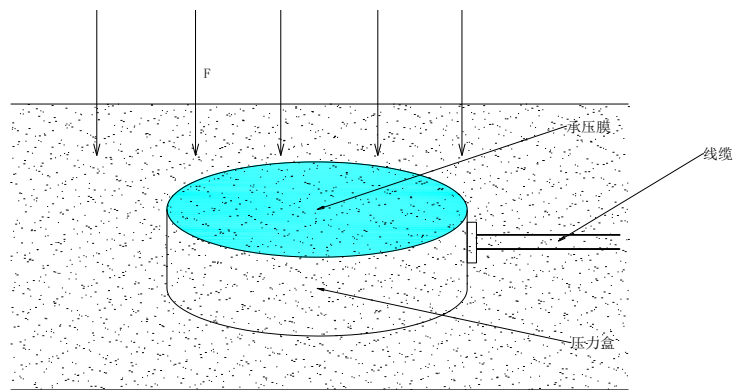


图 A.9 土压力盒安装示意图

A.6 锚索测力计安装

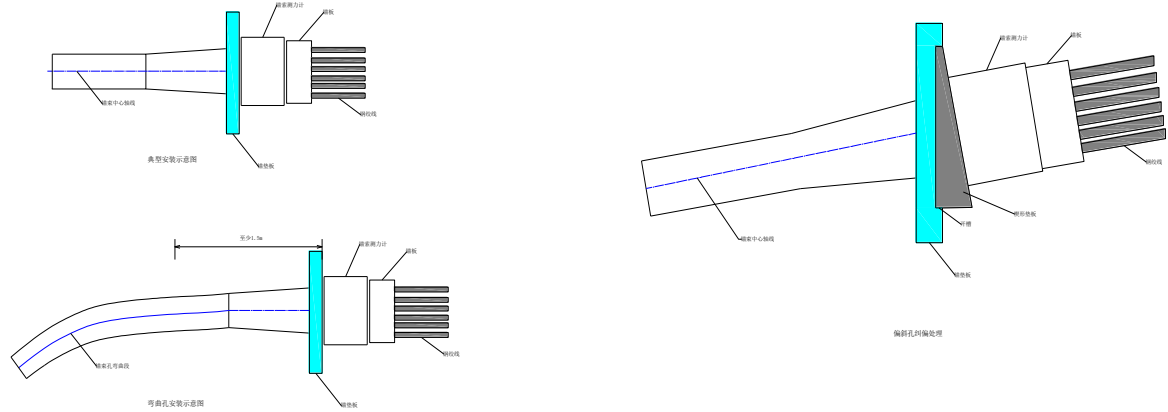
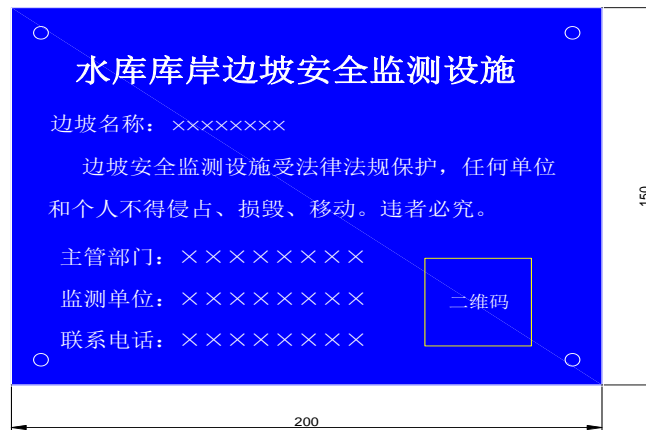


图 A.10 锚索测力计安装示意图

A.7 标识信息牌

标识信息牌规格尺寸及信息内容如下：



注：1 建议信息牌内字体字号按示例执行，单位：mm。

2 二维码应体现监测点名称、仪器设备编号，宜支持扫码查看仪器设备状态及监测数据序列。

图 A.11 标识牌示意图

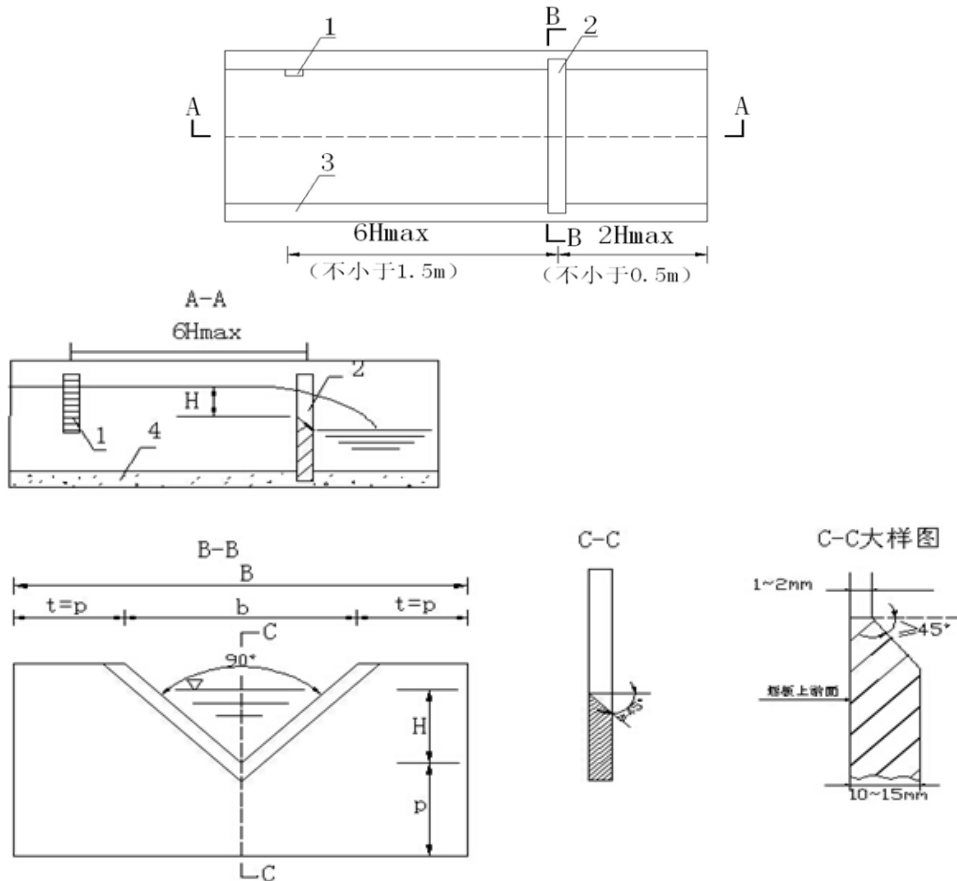
附录 B
(资料性)
监测方法

各类监测方法及技术指标参照以下内容执行：

B.1 量水堰监测

B.1.1 直角三角形堰的结构见图 B.1，流量可按式 B.1 计算，或按实际率定曲线确定。

平面图



1—水尺、测针或量水堰计；2—堰板；3—堰槽侧墙；4—堰槽底板

注：堰顶高于下游水位或 p 大于下游水深， $B \geq (3 \sim 4)H_{\max}$ ， H_{\max} 为最大堰上水头。

图 B.1 直角三角形薄壁堰结构示意图

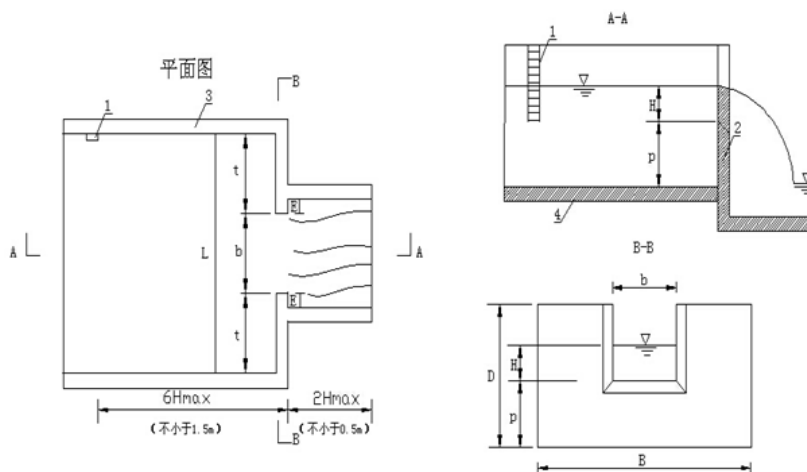
直角三角形量水堰流量 Q 计算公式：

$$Q = 1.4H^{2.5} \quad (\text{B.1})$$

式中： Q ——渗流量， m^3/s ；

H ——堰上水头， m ，适用范围为 $H=0.03\text{m} \sim 0.25\text{m}$ 。

B.1.2 矩形堰分有侧向收缩型和无侧向收缩型，其结构见图 B.2、B.3，流量可按式 B.2、B.3 计算，或按实际率定曲线确定。



1—水尺、测针或量水堰计；2—堰板；3—堰槽侧墙；4—堰槽底板
注：堰顶高于下游水位 0.07m， p 大于 $2H_{\max}$ ， H_{\max} 为最大堰上水头。

图 B.2 有侧向收缩的矩形薄壁堰结构示意图

有侧向收缩的矩形薄壁量水堰流量 Q 计算公式：

$$Q = 2.95C_D b_e h_e^{1.5} \quad (\text{B.2})$$

其中： $b_e = b + K_b$ 、 $h_e = H + K_h$ 。

式中： Q ——渗流量， m^3/s ；

C_D ——流量系数，根据 b/B 值按表 B.1 查阅；

b_e ——有效宽度， m ；

h_e ——有效水头， m ；

K_b ——宽度改正值；

K_h ——水头改正值；

b ——堰宽， m ；

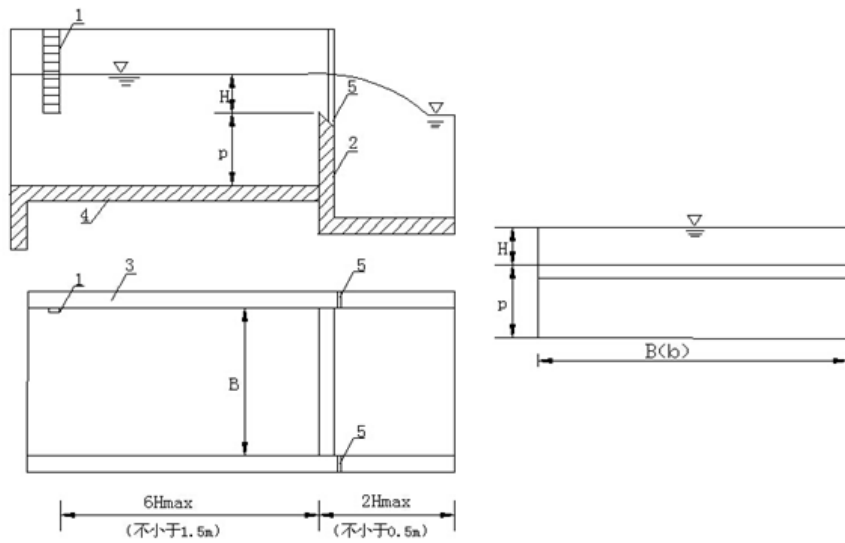
H ——堰上水头， m ，适用范围为 $H=0.03\text{m}\sim 0.75\text{m}$ ；

p ——堰顶至堰上游底板的距离， m ；

B ——堰槽宽度， m 。

表 B.1 矩形薄壁堰流量系数表

b/B	C_D	b/B	C_D
1.0	$0.602+0.075H/p$	0.6	$0.593+0.018H/p$
0.9	$0.598+0.064H/p$	0.5	$0.591+0.058H/p$
0.8	$0.596+0.045H/p$	0.4	$0.589-0.0018H/p$
0.7	$0.594+0.030H/p$	0.3	$0.587-0.0023H/p$



1—水尺、测针或量水堰计；2—堰板；3—堰槽侧墙；4—堰槽底板；5—通气孔

注：堰顶高于下游水位 0.07m， p 大于 $2H_{max}$ ，堰板下游槽身长度不小于 $1.4H_{max}+0.07m$ ， b 不小于 0.3m， H_{max} 为最大堰上水头；通气孔直径 $\Phi = 0.11hB^{0.5}$ 。

图 B.3 无侧向收缩的矩形薄壁堰结构示意图

无侧向收缩的矩形薄壁量水堰流量 Q 计算公式：

$$Q = \left(1.782 + 0.24 \frac{H}{p} \right) B H_0^{1.5} \quad (B.3)$$

式中： Q ——渗流量， m^3/s ；

B ——堰宽， m ；

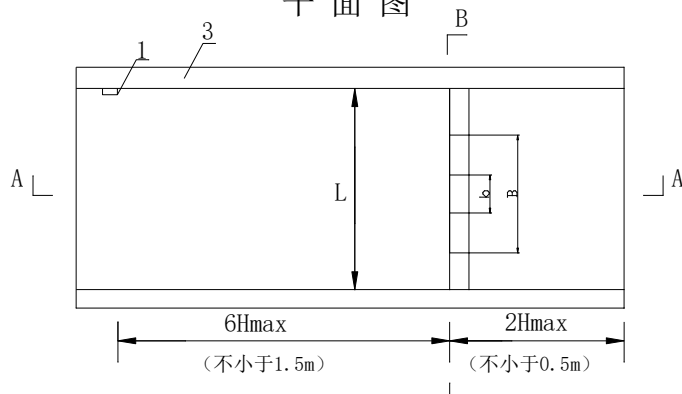
H ——堰上水头， m ，适用范围为 $H=0.03m \sim 0.75m$ ；

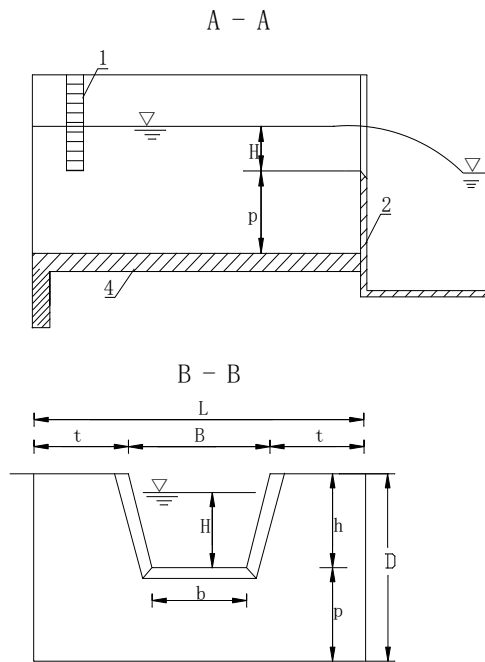
H_0 ——修正后水头， m ， $H_0=H+0.0011m$ ；

p ——堰顶板至堰顶的距离， m 。

B.1.3 梯形堰的结构见图 B.4、表 B.2，流量可按式 B.4 计算，或按实际率定曲线计算。

平面图





1—水尺或测量仪器；2—堰板；3—堰槽侧墙；4—堰槽底板
注：堰口侧边为4:1（竖:横）的斜边，堰顶长度 b 不宜小于 $1/3H$ ， H 为大于 0.05m 。

图 B.4 梯形薄壁堰结构示意图

表 B.2 常用梯形堰结构尺寸

b (cm)	B (cm)	H (cm)	h (cm)	t (cm)	p (cm)	D (cm)	L (cm)	适宜施测 流量 Q (L/s)
25	31.6	8.3	13.3	8.3	8.3	26.5	64.2	2~12
50	60.8	16.5	21.6	16.5	16.5	43.2	110.0	10~63
75	90.0	25.0	30.0	25.0	25.0	60.0	156.0	30~178
100	119.1	33.3	38.3	33.3	33.3	76.3	201.7	61~365
125	148.3	41.6	46.5	41.6	41.6	93.2	247.5	102~640
150	177.5	50.0	55.0	50.0	50.0	110.0	293.5	165~1009

注： D 和 B 包括安装尺寸（ $5\text{cm} \sim 8\text{cm}$ ），安装尺寸可视实际需要适当增减。

梯形薄壁量水堰流量 Q 计算公式：

$$Q = 1.86bH^{1.5} \quad (\text{B.4})$$

式中： Q ——渗流量， m^3/s ；
 b ——堰顶长度， m 。

限制条件为： $0.083\text{m} \leq H \leq 0.5\text{m}$ ， $0.25\text{m} \leq b \leq 1.5\text{m}$ ， $0.083\text{m} \leq p \leq 0.5\text{m}$ 。

B.2 变形监测基准网

B.2.1 水平角观测应符合下列要求：

1 水平角全部测回应在两个异午的时间段内各完成一半，每一时间段观测的基本测回数不超过总基本测回数的 2/3。在全阴天，可适当变通。一等网水平方向观测限差见表 B.3。

表 B.3 水平方向观测限差

序号	项目	限 差
1	三角形最大闭合差	2.5"
2	按菲列罗公式计算的测角中误差	0.7"
3	极条件自由项	$1.4\sqrt{[\delta\delta]}$
4	边条件自由项	$2\sqrt{0.49[\delta\delta]+m_{lg,s1}^2+m_{lg,s2}^2}$

注：表中 δ ——求距角正弦对数秒差； $m_{lg,s1}$ 、 $m_{lg,s2}$ ——起始边长对数中误差。

2 水平角也可采用全组合测角法观测，其方向权 $m \cdot n=24(25)$ ，其中 n 为方向数， m 为测回数。全组合测角法按照 GB/T17942 有关规定执行。

B.2.2 边长观测应符合下列要求：

- 1 边长观测宜采用标称精度不低于 $\pm(1+D \times 10^{-6})\text{mm}$ (D 为测量距离，单位 mm) 的测距仪或全站仪。
- 2 每条边需要对向观测，每单向边需分上午、下午或夜间时段中的两个对称时段观测，每单向一个时段观测二测回，一测回读数四次。一等网边长观测限差要求见表 B.4。

表 B.4 边长观测限差

序号	项 目	限 差
1	各项改正后各时段观测边长较差	$\sqrt{2}(A+B \times D)\text{mm}$
2	各项改正后对向观测边长较差	$\sqrt{2}(A+B \times D)\text{mm}$
3	三角形中观测角与计算角的角值较差	$2\sqrt{2(\frac{m_s}{S}\rho'')^2(\text{ctg}^2\alpha+\text{ctg}^2\beta+\text{ctg}\alpha \cdot \text{ctg}\beta)+m_\beta''^2}$
4	测边为主的边角组合网角条件自由项	$2m_s\sqrt{[aa]}$

注 1：(A+B×D) 为仪器标称精度；D 为斜边长，km。
 注 2： ρ'' ——常数 206265； m_s/S ——各边的平均测距相对中误差； α 、 β ——除观测角外的另两个角度； m_β'' ——相应等级三角形网规定的测角中误差 (")。
 注 3： a ——圆周角条件或组合角条件方程式系数； m_s ——(所有) 观测边的平均测距中误差。

3 边长观测时必须使用规定的气象仪表观测当时的气象元素，用于观测边的气象改正。具体操作为：首先将仪器设定为不进行气象改正（设置气象改正等于零），记录观测边长（斜距），再进行气象改正和常数改正计算（包括加常数、乘常数、周期误差、气象等改正）。边长读数至 0.1mm，计算至 0.01mm。温度读至 0.1℃，气压读至 0.1hPa（毫巴）。

B.2.3 采用三角高程法进行水平位移监测控制网边长倾斜改正时，垂直角观测应符合下列要求：

- 1 垂直角观测仪器应采用精度不低于 J₁ 级的全站仪或经纬仪。
- 2 垂直角宜按中丝法观测 4~12 测回，分别进行对向观测。对向观测两测站的垂直角应尽量在同时段或对称观测时段内进行，以中午附近大气垂直折光变化最小的时间段观测最为宜，取地方时 10 时至 14 时之间，一般情况下在 10 时至 16 时之间目标成像清晰时进行。

B.2.4 GNSS 网监测应符合下列要求：

1 GNSS 网监测应采用 B 级以上精度的 GNSS 静态定位法，对网中距离较近的点应进行同步观测，以获得它们间的直接观测基线，提高精度。当实行分区观测时，相邻分区至少要有 2 个公共点。A 级、B 级网应逐点联测高程，联测等级不低于二等水准精度。

2 可通过增加观测期数（时段数）及重复设站次数的方法，使 GNSS 网点的位移量观测中误差满足规范规定的要求。具体观测要求见 GB/T18314。

B.2.5 垂直位移监测控制网应符合下列要求：

- 1 采用一等精密水准要求进行观测，应采用精度不低于 S₀₅ 级的水准仪。
- 2 一条路线的往返测，应使用同一台仪器和转点尺承，沿同一道路进行。
- 3 同一测段的往测（或返测）与返测（或往测）应分别在上午与下午进行。在日间气温变化不大的阴天和观测条件较好时，若干里程的往返测可同在上或下午进行。
- 4 垂直位移监测控制网监测除符合本规范外，还应满足 GB/T12897 的要求。

B.2.6 一等精密水准观测应符合下列要求：

- 1 一等水准观测，须根据路线土质选用尺桩或尺台（尺台重量不轻于 5kg）作转点尺承，所用尺桩或尺台数应不少于 4 个，特殊地段可采用大帽钉。
- 2 测站视线长度（仪器至标尺距离）、前后视距差、视线高度按表 B.5 规定执行。

表 B.5 水准观测测站视线规定

m

等级	仪器类型	视线长度	前后视距差		任一测站上前后视距差累积		视线高度	
			光学	数字	光学	数字	光学 (下丝读数)	数字
一等	DS ₀₅	≤30	≤0.5	≤1.0	≤1.5	≤3.0	≥0.5	≥0.65
二等	DS ₁ , DS ₀₅	≤50	≤1.0	≤1.5	≤3.0	≤6.0	≥0.3	≥0.55

注：下丝为近地面的视距丝。

3 测站观测顺序和方法

1) 往测时，奇数测站照准标尺分划的顺序为：

- a. 后视标尺的基本分划；
- b. 前视标尺的基本分划；
- c. 前视标尺的辅助分划；
- d. 后视标尺的辅助分划。

这样的观测顺序简称为：后—前—前—后。

2) 往测时，偶数测站照准标尺分划的顺序为：

- a. 前视标尺的基本分划；
- b. 后视标尺的基本分划；
- c. 后视标尺的辅助分划；
- d. 前视标尺的辅助分划。

这样的观测顺序简称为：前—后—后—前。

3) 返测观测顺序，当往测总测站数为偶数时，奇、偶测站照准标尺的顺序分别与往测偶、奇测站相同。即奇数测站采用：前—后—后—前；偶数测站采用：后—前—前—后的顺序。当往测总测站数为奇数时，奇、偶测站照准标尺的顺序分别与往测奇、偶测站相同。

4 测站观测限差见表 B.6。

表 B.6 水准观测测站限差 (mm)

等级	上下丝读数平均值与中丝读数的差		基辅分划读数的差	基辅分划所测高差的差	检测间歇点高差的差
	0.5cm 刻划标尺	1cm 刻划标尺			
一等	1.5	3.0	0.3	0.4	0.7
二等	1.5	3.0	0.4	0.6	1.0

5 往返测高差不符值、环闭合差和检测高差较差的限差见表 B.7。

表 B.7 水准观测闭合差限值 (mm)

等级	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	检测已测测段高差之差
一等	$1.8\sqrt{K}$		$2\sqrt{F}$	$3\sqrt{R}$
二等	$4\sqrt{K}$	$4\sqrt{L}$	$4\sqrt{F}$	$6\sqrt{R}$

注：K——测段、区段或路线长度，km，当测段长度小于 0.1 km 时，按 0.1 km 计算；
L——附和路线长度，km；
F——环线长度，km；
R——检测测段长度，km。

6 每公里水准测量的偶然中误差 M_{Δ} 、每公里水准测量的全中误差 M_w 的限差见表 B.8。

表 B.8 每公里水准测量的偶然中误差 M_{Δ} 和全中误差 M_w 限值 (mm)

测量等级	M_{Δ}	M_w
一等	0.45	1.0
二等	1.0	2.0

B.2.7 变形监测控制网平差计算应符合下列要求：

1 变形监测控制网测站观测工作结束之后，应及时整理和检查外业观测成果。因观测成果含有误差致使观测值不可能完全满足相关条件的理论要求，会出现一定的闭合差。闭合差不应超过某一规定的界限，否则即可能含有粗差，需对观测成果进行重测。只有在剔除含有粗差的观测值，外业成果验算全部合格后，才能进行监测控制网平差计算。变形监测控制网外业成果验算参照 GB50026、GB/T17942、GB/T16818、GB/T12897 等相关规范执行。

2 首期水平位移监测控制网一般采用经典平差计算，平差时应确定一个起算点及一个起算方向。

3 水平位移监测控制网的复测平差计算，当无必要起算数据时，可采用秩亏自由网平差法；当有相对稳定点时，可采用拟稳平差；当能确定有两个以上稳定点或一个稳定点及一个起算方向时，应采用经典平差。

B.2.8 变形监测控制网点稳定性评判应符合下列要求：

1 变形监测网点的稳定性评判应根据各期复测成果及现场情况综合评判。

2 变形监测控制网的 1 次复测成果，可根据单点变形量与（取 k 倍中误差为极限的）极限变形误差椭圆的关系或采用统计检验法，判断是否发生变形。

3 网点坐标有一个方向被确定发生显著位移时，其三维坐标应采用复测后的成果，且与其相应的引用均需进行修正。

B.3 GNSS 变形监测

B.3.1 变形监测的基准可采用 GNSS 基准网或 CORS 站建立。

B.3.2 GNSS 天线的性能指标应符合下列规定：

- 1) 应能在温度 -40°C~+60°C 的环境中长期正常工作，并应安装天线保护罩。
- 2) 应配置扼流圈或抑径板。
- 3) 天线相位中心应稳定可靠，变化量不应大于 1mm。
- 4) 天线线缆应加装有源射频线防雷装置。

B.3.3 接收机的性能指标应符合下列规定：

- 1) 应能在温度 -40°C~+60°C 的环境中长期正常工作。
- 2) 应采用双频或多频 GNSS 接收机，并应能同时接收至少 12 颗 GNSS 卫星信号。
- 3) GNSS 原始观测数据的采样间隔可在 1s~60s 内设置。
- 4) 应至少有 2 个数据传输接口。
- 5) 宜具有支持 TCP/IP 的 LAN 的接口或能通过 TCP/IP 进行数据发送。

B.3.4 GNSS 监测应符合下列规定：

- 1) 应使用零相位天线和强制对中盘安置接收机天线，天线应指北。
- 2) 各精度等级 GNSS 监测技术要求应符合表 B.9 的规定。

表 B.9 GNSS 监测主要技术指标

精度等级	一等	二等	三等	四等	五等
接收机类型	双频	双频	双频或单频	双频或单频	双频或单频
卫星高度角(。)	≥15	≥15	≥15	≥15	≥15
观测时段数	≥2	≥2	≥1.6	≥1	≥1
观测时段长度(min)	≥240	≥90	≥60	≥45	≥30
同时观测有效卫星数	≥5	≥5	≥4	≥4	≥4
数据采样间隔	10~30	10~30	10~30	5~15	5~15
位置精度因子 (PDOP)	≤6	≤6	≤6	≤6	≤8

3) GNSS 实时监测时，监测站与基站 GNSS 接收机的数据采样间隔应相同。

4) GNSS 监测中误差应符合工程变形监测的要求。

B.3.5 GNSS 垂直位移监测宜采用大地高计算垂直位移量。

B.3.6 数据预处理应符合下列规定：

- 1) 当使用不同型号的接收机共同作业时，应将观测数据转换成 Rinex 格式后，再统一进行基线解算。
- 2) 处理结果中宜包括坐标分量及其方差阵、基线及其方差阵等。

B.3.7 GNSS 数据检验应符合下列规定：

- 1) 基线解算时，同一时段观测值的数据剔除率不宜大于 10%。
- 2) 重复基线测量的长度较差限值为 $2\sqrt{2}\sigma$ ， σ 应按式 B.5 计算：

$$\sigma = \sqrt{a^2 + (bD)^2} \quad (\text{B.5})$$

式中： σ ——基线测量允许中误差，mm；

a ——相应精度等级允许固定误差，mm；

b ——相应精度等级允许比例误差，ppm；

D ——相邻点边长，km。

3) 异步环各坐标分量闭合差及环线全长闭合差的限值应符合下列公式的规定：

$$W_X \leq 3\sqrt{n}\sigma \quad (\text{B.6})$$

$$W_Y \leq 3\sqrt{n}\sigma \quad (\text{B.7})$$

$$W_Z \leq 3\sqrt{n}\sigma \quad (\text{B.8})$$

$$W = \sqrt{W_X^2 + W_Y^2 + W_Z^2} \leq 3\sqrt{3n}\sigma \quad (\text{B.9})$$

式中： W_X 、 W_Y 、 W_Z ——坐标分量闭合差，mm；

n ——闭合环中的边数；

W ——环线全长闭合差，mm。

4 同步环各坐标分量闭合差不应大于异步环限差值的一半。

B.3.8 GNSS 基线解算应符合下列规定：

1 起算点的单点定位观测时间，不宜少于 30min。

2 按同步观测时段为单位进行基线解算。

3 在保证独立环所含基线数符合表 B.10 规定的前提下，可舍弃复测基线边长较差、同步环闭合差、异步环闭合差检验中超限的基线。

表 B.10 最简异步环或附和路线的边数

精度等级	一等、二等	三等、四等	五等
闭合环或附和路线的边数（条）	≤6	≤8	≤10

B.3.9 GNSS 网无约束平差应符合下列规定：

1 基线向量检验合格后，宜在 CGCS2000 进行三维无约束平差，提供各点在 CGCS2000 的三维坐标、基线长度、基线分量改正数以及精度信息。

2 无约束平差中，基线分量的改正数绝对值（ $V_{\Delta X}$ 、 $V_{\Delta Y}$ 、 $V_{\Delta Z}$ ）应符合下列公式的规定：

$$V_{\Delta X} \leq 3\sigma \quad (\text{B.10})$$

$$V_{\Delta Y} \leq 3\sigma \quad (\text{B.11})$$

$$V_{\Delta Z} \leq 3\sigma \quad (\text{B.12})$$

式中： σ ——基线测量允许中误差，mm。

B.3.10 GNSS 网约束平差应符合下列规定：

1 应在 CGCS2000 或工程坐标系中进行二维或三维约束平差。

2 对已知点坐标、距离或方位，可强制约束，也可以加权约束。要求已知约束点间的边长相对中误差，应符合表 B.11 的规定。

表 B.11 约束点间边长相对中误差

精度等级	一等	二等	三等	四等	五等	
					一级	二级
约束点间边长相对中误差	1/700000	1/300000	1/200000	1/100000	1/40000	1/20000

3 GNSS 网约束平差后，精度指标应符合工程变形监测的要求。

B.3.11 GNSS 监测结束后，应首先对基准网进行稳定性检验和分析，并通过统计检验的方法判断是否存在点位位移。

B.3.12 每期 GNSS 监测结束后，应依据监测点平差成果计算位移量，并绘制水平位移和垂直位移测值过程线。

B.4 机器视觉变形监测

B.4.1 机器视觉表面变形宜采用在线监测，在线监测系统应包含机器视觉测量仪、靶标、照明系统、供电系统、数据采集与传输系统、数据存储与管理系统的组成，其系统组成如图 B.5 所示。

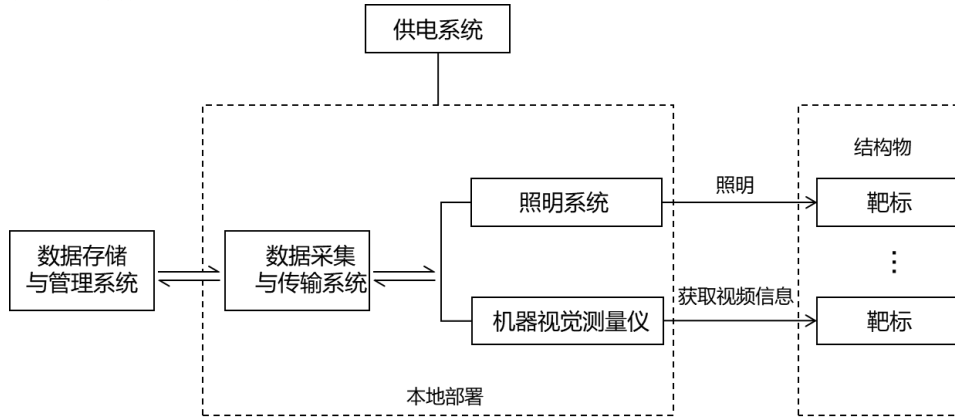


图 B.5 机器视觉表面位移测量系统组成图

B.3.2 在线监测系统应符合下列规定：

- 1 系统应有适当的保护措施和可维护性，并能保证系统设计使用寿命。
- 2 系统软件应与硬件相匹配，且具有兼容性、可扩展性、易维护性和良好的用户使用性能。
- 3 系统软件架构、数据库、应用组件宜采用开源技术。
- 4 系统宜预留数据交互与共享传输接口。

B.4.3 机器视觉测量仪应符合下列规定：

- 1 机器视觉测量仪应由机器视觉智能相机（含镜头）、安装基座、连接管线及配套防护部件组成。
- 2 机器视觉测量仪应通过识别特定靶标的视频信息，将其转换为二维位移信息输出，异常时应支持远程查看现场图片或视频。
- 3 机器视觉测量仪应具备边缘计算能力，其处理器的处理速度和算法的处理能力应与采样频率及测量精度要求相匹配。
- 4 机器视觉智能相机硬件参数宜满足下列要求：
 - a) 环境温度：-40℃~+60℃；
 - b) 环境相对湿度：<95%；
 - c) 相机分辨率：不低于 3840×2160；
 - d) 测量精度：<1/50000 视场；
 - e) 位移重复性：0.1mm；
 - f) 光谱范围：>800nm；
 - g) 最低照度：彩色模式≤0.1 lx，黑白模式≤0.01lx；
 - h) 测量距离：不小于 200m（配合镜头）；
 - i) 支持靶标数：不小于 20 个；
 - j) 测量频率：不小于 1 分钟/次；
 - k) 温度控制：成像系统内置恒温控制装置，控制误差不大于±0.2℃；
 - l) 本地存储：存储不少于 100 组位移数据与 2 分钟视频数据；
 - m) 防护等级：不小于 IP65。
- 5 机器视觉智能相机宜具有下列功能：
 - a) 测量方式：AI 算法自动修正转角及距离影响，无需测距与调平；
 - b) 环境相对湿度：<95%；
 - c) 相机分辨率：不低于 3840×2160；
 - d) 测量精度：<1/50000 视场范围；
 - e) 光谱范围：>800nm。

6 机器视觉智能相机配置的镜头宜采用可变焦距镜头，以适应不同的视场与景深的要求。

B.4.4 靶标应符合下列规定：

1 靶标应由包含特征图案的靶面、安装支架与安装基座组成。根据照明形式可分为自发光靶标与外部补光靶标。

2 靶面图案应清晰，其尺寸选择应与机器视觉智能相机的分辨率相匹配。

3 靶标应具有一定的防水及耐腐蚀性能，其防水等级宜不低于 IP65。

4 靶标安装支架与安装基座应稳固可靠，可选择钢制或混凝土材料的安装基座。

B.4.5 照明系统应符合下列规定：

1 照明系统应由照明光源及对应的安装基座组成，为机器视觉智能相机成像提供照明条件。

2 照明光源的光谱波长宜大于 800nm，其照度和功率的选择应根据现场的测量距离与能见度综合选择。

3 照明系统防护应具有一定的防水及耐腐蚀性能，其防水等级宜不低于 IP65。

B.4.6 供电系统应符合下列规定：

1 供电系统应由供电模块及其对应的防护设备组成，为机器视觉测量仪、照明系统及采集与传输系统进行供电。

2 供电系统输出应保证连续稳定，宜具有断电报警的功能。

3 供电模块分为 220V 交流供电与太阳能供电两种模式，条件具备的情况下，宜优先使用 220V 交流供电。

4 供电模块应根据支持的硬件进行选择，其额定功率应不低于其所支持硬件峰值功率的 1.3 倍。

5 当使用 220V 交流供电时，宜配置不间断电源（UPS），不间断电源容量已满足 24 小时连续监测的要求。

6 当使用太阳能供电时，应根据监测需求及当地的气候条件综合选择太阳能供电系统，系统供电宜满足连续一周无日照的监测需求。

B.4.7 数据采集与传输系统应符合下列规定：

1 数据采集与传输系统应包含数据采集模块与数据传输模块，具有数据采集处理、远程通信等功能。

2 数据采集与传输系统应将机器视觉测量仪原始数据转换为本标准要求的标准数据帧格式，进行远程上传，并记录上报状态，支持断网、断电续传功能。

3 数据采集与传输系统宜采用全网通信模组。

4 数据采集与传输系统宜支持感知控制设备或系统通信协议支持解析指定的感知数据包和控制数据包支持通过协议转换模块进行数据结构转换实现感知控制设备与系统之间数据互通。

5 数据采集与传输系统硬件布置应根据监测要求和信号传输距离要求确定，不应影响数据质量；信号采集站之间应考虑信号采集时间同步性要求。

B.4.8 数据存储与管理模块应符合下列规定：

1 数据存储与管理模块应具备数据统一上传、存储、管理、浏览的功能，确保监测数据完整性。

2 应采用数据库技术存储监测系统数据，应提供存储调度、存储监控及存储管理可视化功能。数据库宜采用模块化架构，可按功能对结构信息、监测系统信息和监测数据进行分层、分类存储和管理。

3 数据存储与管理可使用本地数据库与云数据库，宜使用云数据库进行数据存储与管理。

4 数据库应具备数据统一上传、存储、管理、浏览的功能，确保监测数据完整性。

5 数据存储和管理模块宜设置开放式数据接口，可与其他数据库实现无缝衔接。

6 监测数据应当在系统内完整保存，系统宜采用冷热数据分离技术，热数据的有效时间宜大于 12 个月。

7 数据库系统应当支持冗余或集群部署，并设置自动备份，具备一定的容灾功能；

8 数据应进行分层设计，原始传感数据与分析处理后数据独立存储，保证原始传感数据不得被任何人修改。

B.4.8 数据分析应符合下列规定：

1 在线监测系统宜具备数据的预处理和后处理能力，预处理宜采用相关算法实现数据去噪、滤波、异常剔除等功能，数据后处理宜根据数据分析需求确定。

2 监测数据分析应剔除错误数据，数据分析方法可采用统计分析、相关性分析、趋势性分析、对比性分析、机器学习，也可采用其他成熟可靠方法。

3 监测数据应建立基准值，宜将系统运行后首次采集的数据作为基准值。

B.5 GBSAR 监测

B.5.1 GBSAR 数据处理应包括影像配准、差分干涉、相位滤波、相位解缠、大气相位校正、变形结算、地形数据和变形结果匹配等步骤，处理流程如图 B.6 所示。

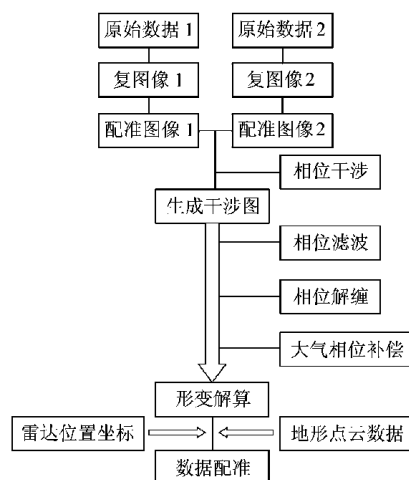


图 B.6 GBSAR 数据处理流程图

B.5.2 GBSAR 数据处理方法应符合下列要求：

1 对于同一目标区域，应对不同监测周期内获取的复数影像进行配准，将两景影像中代表相同地物的像元匹配到同一位置。

2 将高精度配准后的两幅 SAR 影像进行共扼相乘并取相角，获得干涉相位图。

3 生成的干涉图会存在噪声，可采用周期均值方法进行滤波处理。

4 相位解缠是干涉相位值恢复至真实相位值的过程，常用的方法有最优估计法、路径跟踪法、边缘分析或区域分割法、基于最小二乘原理方法等。

5 大气效应可使传播路径弯曲和延迟雷达信号，应通过相位累积法、永久散射体技术、气象数据校准法等 3 种常用方式进行校正。

6 利用差分干涉测量原理计算后可以得到目标视线向变形量。根据雷达与目标之间的几何关系将视线向变形进行投影。

7 借助雷达位置坐标和地形点云数据等实现变形结果与实际监测目标点位置相匹配。

B.6 三维激光扫描变形监测

B.6.1 三维激光扫描变形监测的数据采集和处理包括控制测量、扫描站布测、标靶布测、设站扫描、纹理图像采集、外业数据检查、数据导出备份等步骤，数据采集流程如图 B.7 所示。

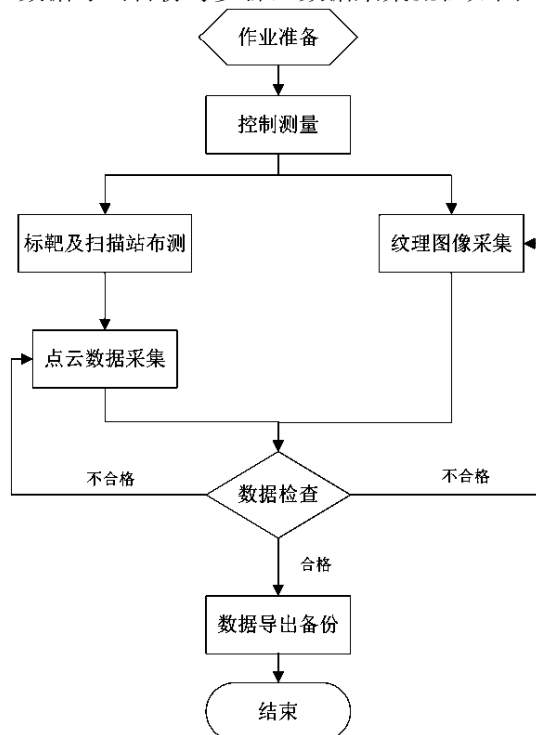


图 B.7 数据采集流程图

B.6.2 控制测量观测应符合下列规定：

- 1 一等点云精度的控制测量应单独设计，其他等级应按照表 B.12 规定选择控制测量观测方法。

表 B.12 约束点间边长相对中误差

点云精度	平面控制	高程控制
二等	二级导线、二级 GNSS 静态	四等水准
三等	三级导线、三级 GNSS 静态	四等水准
四等	图根导线、GNSS 静态或动态	图根水准

- 2 导线测量、GNSS 测量和水准测量作业应符合 CJJ/T8、GB50026 中的规定。

B.6.3 扫描站的布设应符合下列规定：

- 1 扫描站应设置在视野开阔、地面稳定的安全区域。
- 2 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。
- 3 目标物结构复杂、通视困难或线路有拐角的情况应适当增加扫描站。
- 4 必要时可搭设平台架设扫描站。

B.6.3 扫描站的坐标联测可采用 GNSS 静态、全站仪测量等方法，其点位精度应符合 B.6.2 条的要求。

B.6.4 标靶布设应符合下列规定：

- 1 标靶应在扫描范围内均匀布置且高低错落。
- 2 每一扫描站的标靶个数应不少于 4 个，相邻两扫描站的公共标靶个数应不少于 3 个。
- 3 明显特征点可作为标靶使用。
- 4 基准标靶应固定布设在变形体外围的稳定位置。

B.6.5 标靶观测应符合下列规定：

- 1 标靶的坐标和高程测量方法应符合 B.6.3 条的要求，联测宜与激光扫描同步进行。
- 2 标靶测量精度应符合变形监测的规定。

B.6.6 点云数据采集应满足下列要求：

- 1 作业前应将仪器放置在观测环境中 30 分钟以上。
- 2 扫描作业时，应符合下列规定：
 - 1) 按照表 B.13 的要求设置点间距或采集分辨率，按照 B.6.6 的要求布设扫描站点，并应满足相邻扫描站间有效点云的重叠度不低于 30%，困难区域不低于 15% 的要求。

表 B.13 地面三维激光扫描点云精度与技术指标

等级	特征点间距中误差 (mm)	点位相对于临近控制点中误差 (mm)	最大点间距 (mm)	配准要求
一等	≤5	——	≤3	应采用标靶进行配准、连续传递配准次数不应超过 4 次
二等	≤15	≤30	≤10	控制点之间连续传递配准次数不应超过 5 次
三等	≤50	≤100	≤25	控制点之间连续传递配准次数不应超过 5 次
四等	≤200	≤250	——	——

注：一等不宜通过控制点进行配准。

2) 应根据项目名称、扫描日期、扫描站号等信息命名扫描站点，存储扫描数据，并在大比例地形图、平面图或草图上标注扫描站位置。

3) 设有标靶的扫描站应进行标靶的识别与精确扫描。

4) 扫描过程中出现断电、死机、仪器位置变动等异常情况时，应初始化扫描仪，重新扫描。

3 扫描作业结束后，应将扫描数据导入电脑，检查点云数据覆盖范围完整性、标靶数据完整性和可用性。对缺失和异常数据，应及时补扫。

B.6.8 纹理图像数据采集应符合下列规定：

- 1 纹理图像投影像元应符合表 B.14 的规定：

表 B.14 纹理投影像元技术规定

等级	一等	二等	三等	四等
像元大小	≤3mm	≤10mm	≤25mm	≤50mm

2 图像的拍摄角度应保持镜头正对目标面，无法正面拍摄全景时，应先拍摄部分全景，再逐个正对拍摄，后期再合成。

3 宜选择光线较为柔和、均匀的天气进行拍摄，避免逆光拍摄，能见度过低或光线过暗时不宜拍摄。

4 相邻两幅图像的重叠度应不低于 30%。

5 采集图像时应绘制图像采集点分布示意图。

6 纹理颜色有特殊要求时可使用色卡配合拍摄。

B.6.9 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，并应符合下列规定：

1 当使用标靶、特征地物点进行点云数据配准时，应采用不少于 3 个同名点建立转换矩阵进行点云配准，配准后同名点的内符合精度应不低于表 B.14 中特征点间距中误差的 1/2。

2 当使用控制点进行点云数据配准时，二等及以下应利用控制点直接获取点云的坐标进行配准。

B.6.10 坐标系转换应符合下列规定：

- 1 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，转换残差应小于表 1 中点位相对于临近控制点中误差的 1/2。

2 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。

B.6.11 降噪与抽稀应符合下列规定：

1 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。

2 点云数据抽稀不应影响目标物特征识别与提取，且抽稀后点间距应满足表 B.14 的要求。

B.6.12 图像数据处理应包括图像色彩调整、变形纠正、图像配准、格式转换，并应符合下列规定：

1 图像出现曝光过度、曝光不足、阴影、相邻图像间的色彩差异等现象时，应进行色彩调整保持图像反差适中、色彩一致。

2 使用色卡时，应参照色卡进行色彩调整。

3 因视角或镜头畸变引起变形影响使用时，应对图像的变形部分做纠正处理。

4 图像配准时，应保证图像细节表现清晰，无配准镶嵌缝隙。

5 宜将处理后的图像转换为通用的文件格式。

6 处理后的图像应与实地情况相符，真实反映实际材质的图案、质感、颜色及透明度。

B.6.13 选择点云对应的图像数据，根据相机与扫描仪的姿态参数制作彩色点云，制作完成的彩色点云在图像重叠区域应无明显色彩差异。

B.6.14 监测水平位移、垂直位移等定量比对数据时，应由提取的特征点、同类系列点及监测标靶点与同期影像、构造断面线及模型与点云数据进行综合整理归纳和分析得出。

B.7 精密水准监测

B.7.1 各监测等级水准测量仪器选用应符合表 B.15 规定。

表 B.15 水准测量的仪器型号和标尺类型

监测等级	常用仪器型号			标尺类型		
	DS05、DSZ05 型	DS1、DSZ1 型	DS3、DSZ3 型	钢瓦尺	条码尺	区格式 木制标尺
一等	√	√	×	√	√	×
二等	√	√	√	√	√	×
三等	√	√	√	√	√	√

注：表中“√”表示允许，“×”表示不允许。

B.7.2 各监测等级水准监测方式应符合表 B.16 规定，测量限差应符合表 B.17 规定。

表 B.16 各监测等级水准测量监测方式

监测等级	基准点、工作基点联测及首次垂直位移监测			其他各次垂直位移监测		
	DS05、DSZ05 型	DS1、DSZ1 型	DS3、DSZ3 型	DS05、DSZ05 型	DS1、DSZ1 型	DS3、DSZ3 型
一等	往返测	——	——	往返测或单程双站测	——	——
二等	往返测或单程双站测	往返测或单程双站测	——	单程观测	单程双站测	——
三等	单程双站测	单程双站测	往返测或单程双站测	单程观测	单程观测	单程双站测

表 B.17 各监测等级水准测量限差要求

监测等级	往返较差及附和或环线闭合差 (mm)	单程双测站所测高差较差 (mm)	检测已测测段高差之差 (mm)
一等	≤ 2.0	≤ 1.0	$\leq 2.0\sqrt{n}$
二等	$\leq 4.0\sqrt{n}$	$\leq 3.0\sqrt{n}$	$\leq 4.0\sqrt{n}$
三等	$\leq 6.0\sqrt{n}$	$\leq 4.0\sqrt{n}$	$\leq 6.0\sqrt{n}$

B.8 三角高程监测

B.8.1 电磁波测距三角高程测量各等级观测视线长度应符合表 B.18 规定。

表 B.18 三角高程测量视线长度要求 (m)

地形类型			一般地区			山区		
等级			三等	四等	等外	三等	四等	等外
视线长度	直返视	一般	300	400	600	300	800	1300
		最长	400	600	900	400	1300	2000
	中点单视	一般	200	300	400	200	600	1000
		最长	300	100	600	300	900	1400
最大倾角 (°)			15					

注：最短视线三等不应小于 40m，四等和等外不应小于 30m。

B.8.2 电磁波测距三角高程测量各等级视线长度差、视线长度累计差应符合表 B.19 规定。

表 B.19 三角高程视线长度差、累计差要求 (m)

等级	三等		四等		等外	
地形类别	一般地区	山区	一般地区	山区	一般地区	山区
前后视线长度差	20	20	30	100	50	120
前后视线长度累计差	40	40	100	300	100	300

B.9 静力水准监测

B.9.1 静力水准仪基准点的沉降变化量 ΔH_j 与测量值 F 为线性关系，应按式 B.13 计算。

$$\Delta H_j = K_j \times (F_j - F_{0j}) \quad (\text{B.13})$$

式中： ΔH_j ——基准点被测液位变化量，mm；

K_j ——静力水准仪基准点的传感器系数，mm；

F_j ——静力水准仪基准点的实时测量值，mm；

F_{0j} ——静力水准仪基准点的基准值，mm。

B.9.2 静力水准仪测量点沉降变化量 ΔH_x 与测量值 F 为线性关系，应按式 B.14 计算。

$$\Delta H_x = K_x \times (F_x - F_{0x}) \quad (\text{B.14})$$

式中： ΔH_x ——测量点被测液位变化量，mm；

K_x ——静力水准仪测量点的传感器系数，mm；

F_x ——静力水准仪测量点的实时测量值，mm；

F_{0x} ——静力水准仪测量点的基准值，mm。

B.9.3 各测量点相对基准点的沉降变化量 ΔH 与测量值 F 为线性关系，应按式 B.15 计算。

$$\Delta H = \Delta H_x - \Delta H_j \quad (\text{B.15})$$

式中： ΔH 为正值时表示沉降， ΔH 为负值时表示抬升。

B.10 InSAR 监测

B.10.1 InSAR 监测工作包括数据获取、数据处理、精度评估、野外调查与结果分析、成果编制与提交等过程，处理流程如图 B.8 所示。

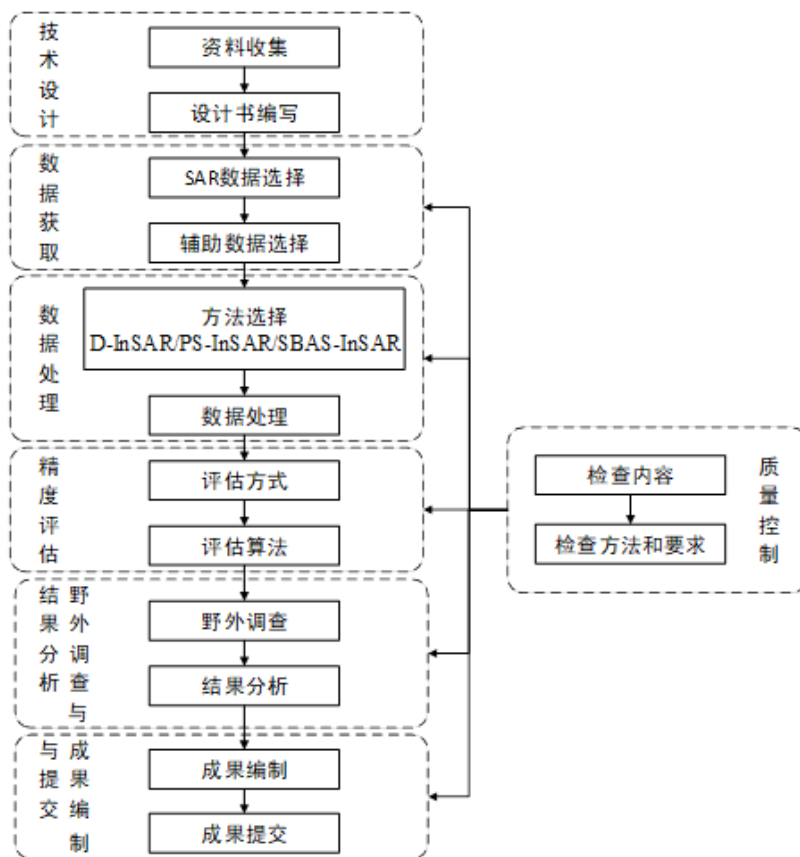


图 B.8 InSAR 监测工作流程图

B.10.2 SAR 数据选取应符合下列规定：

- 1 应根据监测对象特点，结合监测区SAR数据接收情况，编程定制工作周期内的SAR数据。
- 2 SAR数据选取的时间和空间范围，应略大于任务要求的时间与空间范围，一般大于实际监测范围的10%以上。
- 3 SAR数据成像模式和视角均应相同。
- 4 首选同极化SAR数据，次选交叉极化SAR数据。
- 5 宜依据SAR数据的临界空间基线选择其空间基线阈值。系统带宽小于30MHz的SAR数据选择其一半临界空间基线值作为空间基线阈值；系统带宽大于30MHz的SAR数据选择其十分之一临界空间基线值作为空间基线阈值。
- 6 保证干涉相干的条件下，可以不设定时间基线长度，但时间基线不宜超过3年。
- 7 当预订顺轨方向同一期的SAR数据2景及以上时，宜选择长条带数据；同轨数据如果按照单幅定制，相邻两景影像应有超过15%影像长度的重叠度；跨轨数据，相邻两景影像间应有超过15%影像幅宽的重叠度。
- 8 生成优于10mm监测精度监测区形变成果，SAR数据量应大于或等于8景/年；如需生成非线性形变监测成果，数据量应大于或等于16景/年。

B.10.3 SAR 精度评估应符合下列规定：

- 1 评价 InSAR 形变测量成果精度的方法宜采用最邻近法等，评估的方法主要通过水准测量结果与 SAR 垂直方向结果比较，评价的主要参数有样本数目、误差平均值、相关系数和中误差。

2 在相干目标稀少的地区,宜通过空间插值相干目标点拟合面,提取水准点位置对应的相干目标拟合面的位置,分别提取水准和相干目标的形变值,组成一组精度验证数据,收集齐工作区所有验证数据组后,进行精度验证和相关性分析。

3 在相干目标密集的地区,宜采用最邻近点法搜索水准点数据附近最邻近相干目标点,组成验证数据组,进行精度验证和相关性分析,其搜索应在5个像元以内。

4 通过水准测量结果与 SAR 垂直方向结果比较,按下式进行评估:

$$\Delta = d_{InSAR} - d_{Level} \quad (B.15)$$

$$d_{Level} = V_{Level} \cdot \cos \theta \quad (B.16)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}} \quad (B.17)$$

式中: V_{Level} ——水准变形量;

σ ——变形中误差;

n ——外部测量点数,应满足样本统计需要。

5 主要指标算法应符合下列要求:

1) 假设精密水准测量结果为真值, InSAR 测量形变量为观测值,以水准观测值与 InSAR 测量值互差中误差 m_o 的无偏估计为指标, 检验 InSAR 测量精度。中误差应按下式计算:

$$m_o = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} \quad (B.18)$$

$$[vv] = \sum_{i=1}^n (dl_i - dL_i)^2 \quad (B.19)$$

式中: N ——样本数;

dL_i 和 dl_i ——分别为样本点 i 对应的水准观测值和 InSAR 的观测值。

2) 利用相关系数检验 InSAR 与水准测量结果的相关程度。相关系数 ρ 应按下式计算:

$$\rho = \frac{n \sum_{i=1}^n dL_i dl_i - \sum_{i=1}^n dL_i \sum_{i=1}^n dl_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n dL_i^2 - (\sum_{i=1}^n dL_i)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n dl_i^2 - (\sum_{i=1}^n dl_i)^2}} \quad (B.20)$$

式中: N ——样本数;

dL_i 和 dl_i ——分别为样本点 i 对应的水准观测值和 InSAR 的观测值。

6 精度要求应符合下列要求:

1) 检验 InSAR 监测成果精度的样本数目应大于等于 15 组。如果地面实测验证数据数量不符合要求,应及时补充数据。

2) 相干系数大于 0.7 时,评估结论认为: InSAR 成果精度可靠,数据可信。相干系数小于 0.7 时,宜重新选择方法,检查数据处理质量,评估结论: InSAR 成果不可靠。

B.10.4 监测结果分析应符合下列要求:

1 应根据形变的位置、规模、影响因素、工程地质和水文地质条件等综合判定,并分析其发展趋势和危害程度。

2 综合分析的要素宜包括区域的发育分布、活动构造、地层岩性、浅表层地下水分布和开采情况、工程活动等。

3 综合分析方法宜采用彩色渲染、动态显示、空间分析、剖面线分析、等值线分析、变形面积统计等技术。

4 监测结果分析过程中应注意: InSAR 位移速率主要反映垂直变形及部分近东西向变形,对南北向变形不敏感,大气与轨道误差导致的趋势性变形误差,勿与构造变形误差混淆。

B.10.5 成果编制与提交应符合下列要求:

1 监测成果报告编制应包含以下内容:

- 1) 针对监测目标,发现形变区。
- 2) 分析形变区变形的空间分布特征及演变过程。
- 3) 根据形变时序曲线,建立变形阶段判别标志。
- 4) 进行监测结果综合分析,并提出相关建议。

2 成果提交应符合以下要求:

1) 提交成果资料应包括技术设计书、技术成果报告、成果图件、质量控制文件和图件、监测利用的原始资料等，包括纸质和电子光盘两种形式。

2) 提交报告，包括 InSAR 监测工作设计书和 InSAR 监测报告，报告附形变量统计表。

3) 需提交数据处理过程质量控制图件，包括通用图件和每种 InSAR 处理方法的特有图件。

B.10.6 现有可用星载 SAR 传感器基本参数应符合表 B.20 规定。

表 B.20 现有可用星载 SAR 传感器基本参数

星载 SAR 系统	ERS-1/2	JERS-1	RADARSAT-1	ENVISAT-ASAR	ALOS-PALSAR	RADARSAT-2	TerraSAR-X/TanDEM-X (星座 2)	COSMO-SkyMed (星座 4)	Sentinel-1A(1B) 星座(2)	ALOS-2 (PALSAR-2)
所属国家/机构	欧空局	日本	加拿大	欧空局	日本	加拿大	德国	意大利	欧空局	日本
运行时间(开始年份-终止年份)	1:1991-2000 2:1995-2012	1992-1998	1995-2013	2002-2012	2006-2011	2007-	2007-	2007-	2014.4-	2014.5-
轨道高度(km)	790	568	780	800	691	798	514	619	693	628
波长(cm)	C(5.6)	L(23.5)	C(5.6)	C(5.6)	L(23.6)	C(5.6)	X(3.1)	X(3.1)	C(5.6)	L(23.6~25.0)
极化方式	VV	HH	HH	HH/VV	全极化	单极化/双极化/全极化	全极化	HH, VV, HV, VH, HH/VV, HH/HV, VV/VH	HH+HV, VV+VH	全极化
侧视角(°)	23	35	23~65	15~45	8~50.8	23~65	20~55	16.36~52.06	20.0~45.0	8.0~70.0
轨道倾角(°)	98.49	98.16	98.6	98.55	98.16	98.6	97.44	97.86	98.18	97.9
最短观测时间间隔(d)	35	44	24	35	46	24	11(单星) 5.5(双星)	单星重返周期 16 天, 其中 2 号星和 3 号星为 1 天间隔的 tan-dem 模式, 每 17 天 4 颗星以 8 天、1 天、3 天和 4 天的间隔获取干涉数据	12(单星) 6(双星)	14

地面分辨率 (m)	25	25	8~30	25~100	7~100	聚焦模式 1 超级条带模式 3 条带模式 5 其他模式 > 5	凝视模式 0.25 聚束模式 1 条带模式 3 扫描模式 18.5 宽扫描模式 40	聚束模式 1 条带模式 3、15 扫描模式 30 宽扫描模式 100	聚束模式 5 条带模式 5×20 扫描模式 20 宽扫描模式 20	聚束模式 1×3 条带模式 3、6、10 扫描模式 100
星载 SAR 系统	ERS-1/2	JERS-1	RADARSAT-1	ENVISAT-ASAR	ALOS-PALSAR	RADARSAT-2	TerraSAR-X/ TanDEM-X (星座 2)	COSMO-SkyMed (星座 4)	Sentinel-1A(1B) 星座(2)	ALOS-2 (PALSAR-2)
是否提供原始 raw 数据	是	否	是	是	是	否	否	否	否	否
测量变形精度	厘米级	厘米级	毫米级	毫米级	毫米级	毫米级	毫米级	毫米级	毫米级	毫米级
影像幅宽 (km)	100	80	50~500	100~400	30~350	聚焦模式 18 超级条带模式 20 条带模式 50 其他模式 50~500	凝视模式 10 聚束模式 20 条带模式 30 扫描模式 150 宽扫描模式 270	聚束模式 7~10 条带模式 30~40 扫描模式 100~200	聚束模式 20 条带模式 80 扫描模式 250 加宽扫描模式 400	聚束模式 25 条带模式 50~50 扫描模式 350~490

B.10.7 D-InSAR 技术数据处理流程如图 B.9 所示，PS-InSAR 技术数据处理流程如图 B.10 所示，SBAS-InSAR 技术数据处理流程如图 B.11 所示。

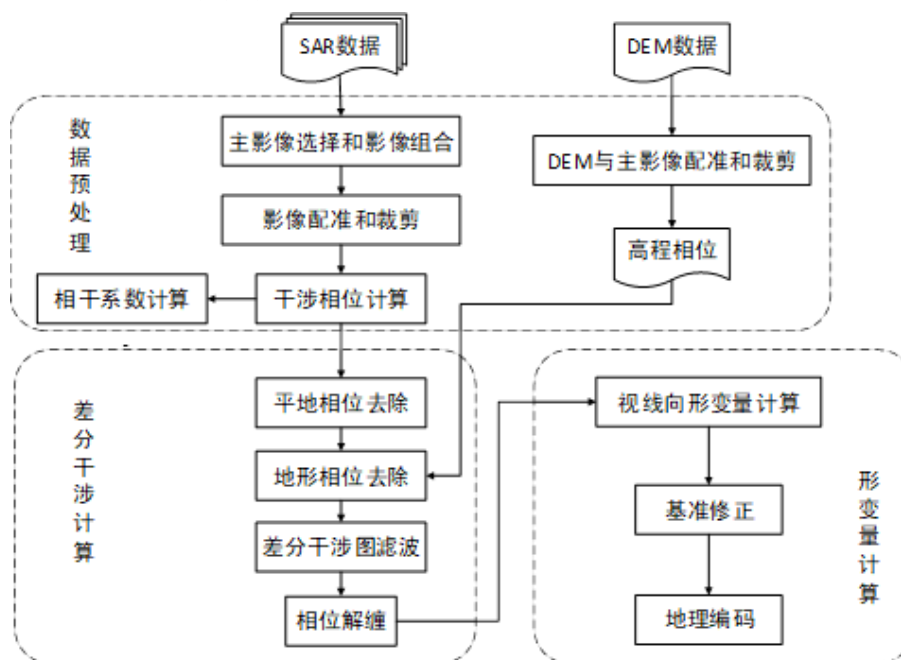


图 B.9 D-InSAR 数据处理基本流程图

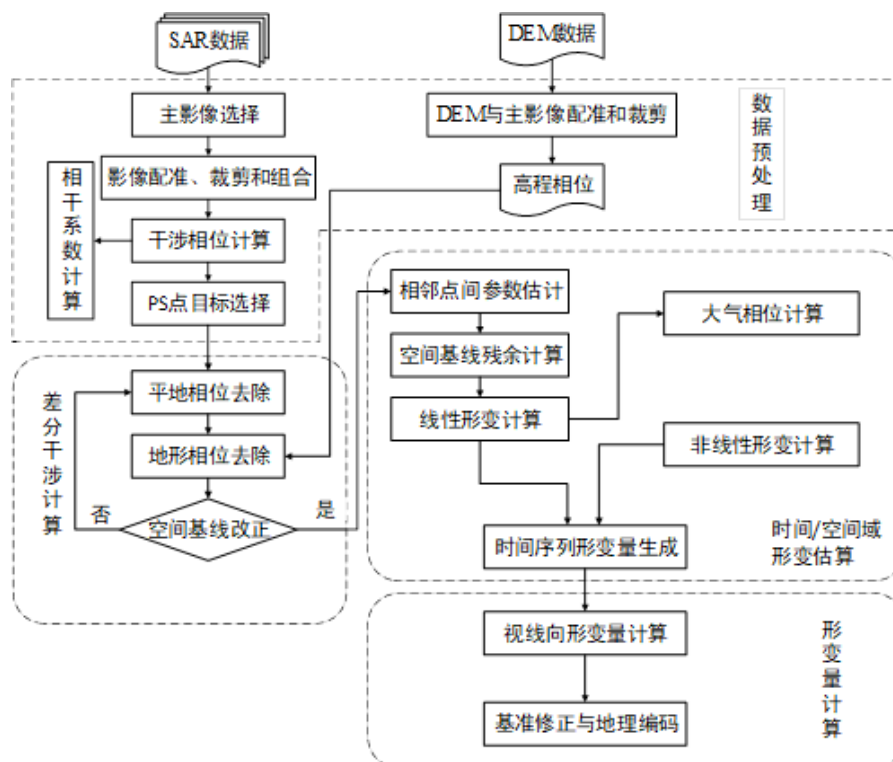


图 B.10 PS-InSAR 数据处理基本流程图

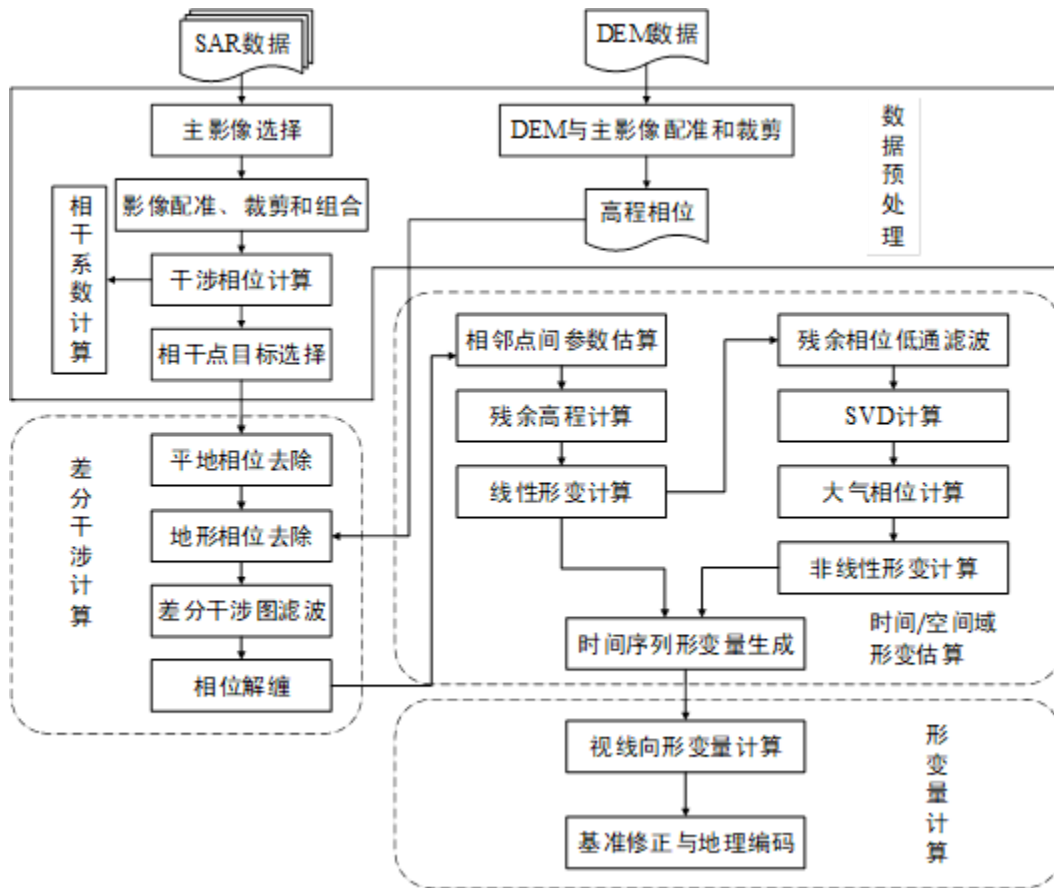


图 B.11 SBAS-InSAR 数据处理基本流程图

B.11 深部变形监测

B.11.1 活动式测斜仪监测成果应按式 B.21 计算。

$$\left. \begin{aligned} W_A &= \sum_{i=\text{底}}^{i=\text{顶}} (CA_i - CA_0) / 100 \quad (i = \text{底}, \text{顶}) \\ W_B &= \sum_{i=\text{底}}^{i=\text{顶}} (CB_i - CB_0) / 100 \quad (i = \text{底}, \text{顶}) \\ W_H &= (W_A^2 + W_B^2)^{1/2} \\ \square\theta_i &= \theta_0 + \arctan(W_B / W_A) \end{aligned} \right\} \quad (\text{B.21})$$

式中： W_A ——A 向位移，mm；

W_B ——B 向位移，mm；

W_H ——合位移，mm；

θ_i ——合位移方向(方位角)，°；

θ_0 ——导槽 A_0 向的方位角，°；

CA_i ——A 向当前差值， CA_i =测值 A_0 -测值 A_{180} ，mm；

CB_i ——B 向当前差值， CB_i =测值 B_0 -测值 B_{180} ，mm；

CA_0 ——A 向基准值， CA_0 =初始值 A_0 -初始值 A_{180} ，mm；

CB_0 ——B 向基准值， CB_0 =初始值 B_0 -初始值 B_{180} ，mm。

B.11.2 固定式测斜仪监测成果应按式 B.22 计算。顶部偏移量等于各段偏移量的总和。每一段的偏移量可通过 $L \sin \theta$ 计算得出，由钻孔底部向上累加，将每段的偏移量累加，即得出测斜管管口的偏移量。

$$D_n = L_1 \sin \theta_1 + L_2 \sin \theta_2 + L_3 \sin \theta_3 + \cdots + L_n \sin \theta_n \quad (\text{B.22})$$

通常情况下，温度的变化非常小，可不考虑温度修正。则

$$D_n = G_1 L_1 R_1 + G_2 L_2 R_2 + G_3 L_3 R_3 + \cdots + G_n L_n R_n \quad (\text{B.23})$$

偏差变化 ΔD 为：

$$\Delta D_n = \sum G_n L_n \Delta R_n \quad (\text{B.24})$$

式中： D_i ——第 i 点与铅垂线的倾斜变形量，mm；

L_i ——第 i 支固定测斜仪的两轮距间的标距，mm；

R_i ——第 i 支固定测斜仪的实时测量值；

G_i ——第 i 支固定测斜仪的仪器系数；

θ_i ——第 i 支固定测斜仪的倾角，°。

附 B.11.3 多点位移计、测缝计、土体位移计计算公式应符合以下规定：

1) 振弦式多点位移计、测缝计、土体位移计应按式 B.25 计算：

$$S = G \times (F_i - F_0) + K \times (T_i - T_0) \quad (\text{B.25})$$

式中： S ——位移，mm；

G ——仪器系数，由仪器出厂检定证书给出；

F_i ——当前测量值，kHz²；

F_0 ——基准值，kHz²；

K ——温度系数，由仪器出厂检定证书给出；

T_i ——当前温度，°C；

T_0 ——基准值温度，°C。

2) 差阻式多点位移计、测缝计、土体位移计应按式 B.26 计算：

$$S = f \times (Z_i - Z_0) + b \times (T_i - T_0) \quad (\text{B.26})$$

式中： S ——位移，mm；

f ——最小读数，MPa/0.01%，由仪器出厂检定证书给出；

b ——温度修正系数，MPa/°C，由仪器出厂检定证书给出；

Z_i ——当前电阻比，0.01%；

Z_0 ——基准电阻比，0.01%；

T_i ——当前温度，°C；

T_0 ——基准值温度，°C。

3) 其他类型的多点位移计、测缝计、土体位移计应按厂家给的公式计算位移。

4) 多点位移计绝对位移计算公式应按式 B.27 计算：

$$L_i = S_0 - S_i \quad (\text{B.27})$$

式中： L_i ——第 i 测点处绝对位移，mm；

S_0 ——锚头最深点的位移，mm；

S_i ——第 i 测点实测的相对位移，mm。

B.12 应力应变监测

B.12.1 锚杆应力计或钢筋计计算公式应符合以下规定：

1) 振弦式锚杆应力计或钢筋计应按式 B.28 计算：

$$\sigma = G \times (F_i - F_0) + K \times (T_i - T_0) \quad (\text{B.28})$$

式中： σ ——锚杆应力，MPa；

G ——仪器系数，由仪器出厂检定证书给出；

F_i ——当前测量值，kHz²；

F_0 ——基准值，kHz²；

K ——温度系数，由仪器出厂检定证书给出；

T_i ——当前温度，°C；

T_0 ——基准值温度，°C。

2) 差阻式锚杆应力计或钢筋计应按式 B.29 计算：

$$\sigma = f \times (Z_i - Z_0) + b \times (T_i - T_0) \quad (\text{B.29})$$

式中： σ ——锚杆应力，MPa；

f ——最小读数，MPa/0.01%，由仪器出厂检定证书给出；

b ——温度修正系数，MPa/°C，由仪器出厂检定证书给出；

Z_i ——当前电阻比，0.01%；

Z_0 ——基准电阻比，0.01%；

T_i ——当前温度，°C；

T_0 ——基准值温度，°C。

3) 其他类型的锚杆应力计或钢筋计应按厂家给的公式计算应力。

附 B.12.2 锚索测力计计算公式应符合以下规定：

1) 振弦式锚索测力计应按式 B.30 计算：

$$\left. \begin{aligned} P &= G \times (F_i - F_0) + K \times (T_i - T_0) \\ S &= (P_i - P_0) / P_0 \times 100 \end{aligned} \right\} \quad (\text{B.30})$$

式中： P ——锚索荷载，kN；

S ——锚索损失率，%；

G ——仪器系数，由仪器出厂检定证书给出；

F_i ——当前测量值，kHz²；

F_0 ——基准值，kHz²；

K ——温度修正系数，由仪器出厂检定证书给出；

T_i ——当前温度，°C；
 T_0 ——基准值温度，°C；
 P_i ——当前锚索荷载，kN；
 P_0 ——锁定卸荷后荷载，kN。

2) 差阻式锚索测力计应按式 B.31 计算：

$$\left. \begin{aligned} P &= f \times (Z_i - Z_0) + b \times (T_i - T_0) \\ S &= (P_i - P_0)/P_0 \times 100 \end{aligned} \right\} \quad (\text{B.31})$$

式中： P ——锚索荷载，kN；
 S ——锚索损失率，%；
 f ——最小读数，kN/0.01%，由仪器出厂检定证书给出；
 b ——温度修正系数，kN/°C，由仪器出厂检定证书给出；
 Z_i ——当前电阻比，0.01%；
 Z_0 ——基准电阻比，0.01%；
 T_i ——当前温度，°C；
 T_0 ——基准值温度，°C；
 P_i ——当前锚索荷载，kN；
 P_0 ——锁定卸荷后荷载，kN。

3) 其他类型的锚索测力计应按厂家给的公式计算荷载。

附 B.12.3 应变计计算公式应符合以下规定：

1) 振弦式应变计（组）应按式 B.32 计算：

$$\varepsilon = G \times (F_i - F_0) + K \times (T_i - T_0) \quad (\text{B.32})$$

式中： ε ——应变， $\mu\varepsilon$ ；
 G ——仪器系数，由仪器出厂检定证书给出或现场检验率定确定；
 F_i ——当前测量值，kHz²；
 F_0 ——基准值，kHz²；
 K ——温度系数，由仪器出厂检定证书给出；
 T_i ——当前温度，°C；
 T_0 ——基准值温度，°C。

2) 差阻式应变计（组）应按式 B.33 计算：

$$\varepsilon = f \times (Z_i - Z_0) + b \times (T_i - T_0) \quad (\text{B.33})$$

式中： ε ——应变， $\mu\varepsilon$ ；
 f ——最小读数， $\mu\varepsilon/0.01\%$ ，由仪器出厂检定证书给出；
 b ——温度修正系数， $\mu\varepsilon/^\circ\text{C}$ ，由仪器出厂检定证书给出；
 Z_i ——当前电阻比，0.01%；
 Z_0 ——基准电阻比，0.01%；
 T_i ——当前温度，°C；
 T_0 ——基准值温度，°C。

3) 其他类型的应变计（组）应按厂家给的公式计算应变。

附 B.12.4 土压力计算公式应符合以下规定：

1) 振弦式土压力计应按式 B.34 计算：

$$P = G \times (F_i - F_0) + K \times (T_i - T_0) \quad (\text{B.34})$$

式中： P ——土压力，MPa；
 G ——仪器系数，由仪器出厂检定证书给出或现场检验率定确定；
 F_i ——当前测量值，kHz²；

F_0 ——基准值, kHz²;

K ——温度系数, 由仪器出厂检定证书给出;

T_i ——当前温度, °C;

T_0 ——基准值温度, °C。

2) 差阻式土压力计应按式 B.35 计算:

$$P = f \times (Z_i - Z_0) + b \times (T_i - T_0) \quad (\text{B.35})$$

式中: P ——土压力, MPa;

f ——最小读数, MPa/0.01%, 由仪器出厂检定证书给出;

b ——温度修正系数, MPa/°C, 由仪器出厂检定证书给出;

Z_i ——当前电阻比, 0.01%;

Z_0 ——基准电阻比, 0.01%;

T_i ——当前温度, °C;

T_0 ——基准值温度, °C。

3) 其他类型的土压力计应按厂家给的公式计算压力。

B.13 振动监测

B.13.1 加速度传感器的主要技术指标要求见表 B.21。

表 B.121 加速度传感器的主要技术指标

序号	项目	技术指标
1	测量范围	± 29 、 ± 49
2	满量程输出	$\pm 2.5V$ 或 $\pm 5\text{ov}$; 单端、差分可选
3	频率响应	0~50Hz
4	动态范围	$\geq 120\text{d}$
5	线性度误差	$\leq 1\%$
6	横向灵敏度比	$\leq 1\%$ (包括角偏差)
7	噪声均方根值	$\leq 10^6\text{gn}$
8	零位漂移	$\leq 500\mu\text{gn} / ^\circ\text{C}$
9	运行环境温度	20~+65°C
10	相对湿度	<90%

附 B.13.2 记录器主要技术指标要求见表 B.22。

表 B.22 记录器的主要技术指标

序号	项目	技术指标
1	满量程输入	$\pm 2.5V$ 或 $\pm 5V$, 单端、差分输入可选
2	动态范围	$\geq 90\text{dB}$
3	频率响应	0~50Hz
4	分辨率	≥ 16 位
5	系统噪声	$\leq 1\text{LSB}$ (均方根值)
6	触发模式	阈值触发、STA 与 LTA 差、比值触发, 手动触发等
4	采样率	50sps, 100sps, 200sps, 500sps 可编程
8	时间服务	标准 UTC, 内部时钟精度优于 10^6 , GPS 校时精度优于 1ms
9	数据通信	RS232 数据流串口, 通信速率 9600bit/s, 19200bit/s, 57600bit/s, 115200bit/s 可选
10	数据存储	CMOS 静态或 RAM 同态盘, 容量 $\geq 16\text{M}$ 字节, 可扩容量
11	道闸延迟	无
12	零点漂移	$< 100\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
13	软件	包括通信程序, 图形显示程序, 其他实用程序和监控、诊断命令
14	环境温度	-20~+6.5°C
15	环境湿度	<90%

附录 C

(资料性)

监测记录表

监测数据的记录格式可参照以下内容：

C.1 水平角观测记录表

表 C.1 水平角观测记录表

工程名称：_____ 仪器型号：_____ 日期：_____ 天气：_____

目标	读数		左右 (2C)	(左+ 右)/2	方向 值	站至目 标 距离 (m)	位移值 (mm)	备注
	盘左	盘右						

观测：

记录：

校核：

C.2 水准测量记录表

表 C.2 水准测量记录表

日期：__年__月__日 往(返)测自__至__ 仪器：__ 标尺：A__ B__

开始时间：__ 天气：__ 呈像：__ 道路：__

结束时间：__ 气温：__ 风向风速：__

测站 编号	后距 1	前距 1	方向及 尺号	标尺读数 (m)		两次读数之差	高差中数	备注
	后距 2	前距 2		一次读数 (m)	二次读数 (m)	(一减二) mm	(m)	
	中数	中数						
	视距差	累计差						

观测：

记录：

校核：

C.3 静力水准仪监测记录表

表 C.3 静力水准仪现场监测记录表

工程部位：_____ 仪器编号：_____ 监测日期：_____

监测日期	测点编号	测值 (mm)	观测	记录	备注

观测：

记录：

校核：

C.4 活动式测斜仪监测记录表

表 C.4 活动式测斜仪监测记录表

工程部位：_____ 测斜孔编号：_____ 监测日期：_____

深度 (m)	A 向测值		B 向测值		深度 (m)	A 向测值		B 向测值		备注
	A ₀	A ₁₈₀	B ₀	B ₁₈₀		A ₀	A ₁₈₀	B ₀	B ₁₈₀	
0.5					12.0					
1.0					12.5					
1.5					13.0					
2.0					13.5					
2.5					14.0					
3.0					14.5					
3.5					15.0					
4.0					15.5					
4.5					16.0					
5.0					16.4					
5.5					17.0					
6.0					17.5					
6.4					18.0					
7.0					18.5					
7.5					19.0					
8.0					19.5					
8.5					20.0					
9.0					20.5					
9.5					21.0					
10.0					21.5					
10.5					22.0					
11.0					22.5					
11.5					...					

观测：

记录：

校核：

C.5 固定式测斜仪监测记录表

表 C.5 固定式测斜仪监测记录表

工程部位：_____ 测斜孔编号：_____ 监测日期：_____

测点名称	仪器读数		观测	记录	备注
	测量值 1	测量值 2			

观测：

记录：

校核：

C.6 多点位移计监测记录表

表 C.6 多点位移计监测记录表

工程部位：_____ 仪器编号：_____ 测点编号：_____

监测日期	1#测点		2#测点			观测	记录	备注
	模数(khz ²)/ 电阻比(%)/ 其他	温度(°C)/ 温度电阻 (Ω)/其他	模数(khz ²)/ 电阻比(%)/ 其他	温度(°C)/ 温度电阻 (Ω)/其他	模数(khz ²)/ 电阻比(%)/ 其他	温度(°C)/ 温度电阻 (Ω)/其他			

观测：

记录：

校核：

C.7 测缝计、土体位移计监测记录表

表 C.7 测缝计、土体位移计监测记录表

工程部位：_____ 仪器编号：_____ 测点编号：_____

监测日期	测量值		观测	记录	备注
	模数(khz ²)/电阻 比(%)/其他	温度(°C)/温度电 阻(Ω)/其他			

观测：

记录：

校核：

C.8 游标卡尺监测记录表

表 C.8 游标卡尺监测记录表

工程部位：_____ 仪器编号：_____ 测点编号：_____

监测日期	位移量 (mm)	观测	记录	备注

观测：

记录：

校核：

C.9 阵列式位移计监测记录表

表 C.9 阵列式位移计监测记录表

工程部位：_____ 仪器编号：_____ 测点编号：_____ 监测日期：_____

测点深度 (m)	测向及累计位移读数			观测	记录	备注
	X 向 (mm)	Y 向 (mm)	Z 向 (mm)			

观测：

记录：

校核：

C.10 倾角计监测记录表

表 C.10 倾角计监测记录表

工程部位：_____ 仪器编号：_____ 测点编号：_____

监测日期	测点号及读数				观测	记录	备注
	A1 (s)	A3 (s)	B2 (s)	B4 (s)			

观测：

记录：

校核：

C.11 崩塌计监测记录表

表 C.11 崩塌计监测记录表

工程部位：_____ 仪器编号：_____ 测点编号：_____

监测日期	倾角 (s)	振动频率 (Hz)	加速度 (mg)	观测	记录	备注

观测：

记录：

校核：

C.12 锚杆应力计、钢筋计、应变计、土压力计监测记录表

表 C.12 土压力计、钢筋计、应变计、锚杆应力计监测记录表

工程部位：_____ 仪器编号：_____ 测点编号：_____

监测日期	测量值		观测	记录	备注
	模数(khz ²)/电阻比(%)/其他	温度(°C)/温度电阻(Ω)/其他			

观测：

记录：

校核：

C.13 锚索测力计监测记录表

表 C.13 锚索测力计监测记录表

工程部位：_____ 仪器编号：_____ 测点编号：_____

监测日期	测量值					温度 (°C)	观测	记录	备注
	1号传 感器	2号传 感器	3号传 感器	…	n号传 感器				

观测：

记录：

校核：

C.14 强震动安全监测记录表

表 C.14 强震动安全监测记录表

台阵名称							台阵代号			
仪器型号							仪器编号			
场地条件							监测对象			
地震时间							震级			
震中经纬度							震中地点			
震中距							震中烈度			
震源深度							记录编号			
仪器 编号	通道 编号	拾震 器号	测点 编号	测点 位置	测点 高程 (m)	测点 方向	灵敏度 (mV/g)	最大 加速度 (cm/s ²)	记录 长度	

观测：

记录：

校核：

附录 D
(资料性)
质量检查

监测成果质量检查可参照以下内容开展：

表 D.1 变形监测成果质量检查记录表

项目名称	项目编号	备注
检查内容	检查结果	备注
执行技术设计或施测方案及技术标准、政策法规情况		
使用的仪器设备及其检定情况		
记录和计算所用软件系统情况		
基准点和监测点布设及标石、标志情况		
实际观测情况,包括观测频率、观测周期、观测方法和操作程序的正确性等		
基准点稳定性检测与分析情况		
观测限差和精度统计情况		
记录的完整准确性及记录项目的齐全性		
观测数据的各项改正情况		
计算过程的正确性、资料整理的完整性、精度统计和质量评定的合理性		
变形测量成果分析的合理性		
提交成果的可靠性、完整性及符合性情况		
技术报告内容的完整性、统计数据的准确性、结论的可靠性及体例的规范性		
成果签署的完整性和符合性情况		
检查阶段： <input type="checkbox"/> 一级检查 <input type="checkbox"/> 二级检查		
质量等级： <input type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格		
检查人：	检查日期：	年 月 日

参 考 文 献

- [1]GB/T 16818 中、短程光电测距规范
 - [2]GB/T 17942 国家三角测量规范
 - [3]GB 50174 数据中心设计规范
 - [4]GB 50348 安全防范工程技术标准
 - [5]DL/T 5178 混凝土坝安全监测技术规范
 - [6]DL/T 5272 大坝安全监测自动化系统实用化要求及验收规程
 - [7]DL/T 5784 混凝土坝安全监测系统施工技术规范
 - [8]DZ/T 0221 崩塌、滑坡、泥石流监测规范
 - [9]NB/T 10486 水电工程岩土体监测规程
 - [10]NB/T 35116 水电工程全球导航卫星系统测量规程
 - [11]SL 197 水利水电工程测量规范
 - [12]SL 486 水工建筑物强震动安全监测规范
 - [13]SL 725 水利水电工程安全监测设计规范
 - [14]BD 420022 北斗全球卫星导航系统（GNSS）测量型接收机观测数据质量评估方法
-