

ICS 93.020

CCS P 22

# T/GXAS

团 体 标 准

T/GXAS 1262—2026

## 水运工程边坡监测与检测技术规程

Technical code of practice for slope monitoring and detection of  
water transport engineering

2026 - 03 - 13 发布

2026 - 03 - 19 实施

广西标准化协会 发布



## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 监测 .....	1
4.1 基本规定 .....	1
4.2 表面水平位移监测 .....	5
4.3 深层水平位移监测 .....	7
4.4 表面垂直位移监测 .....	8
4.5 深层垂直位移监测 .....	10
4.6 地表裂缝监测 .....	12
4.7 支护结构变形监测 .....	12
4.8 孔隙水压力监测 .....	13
4.9 土压力监测 .....	14
4.10 支护结构应力监测 .....	14
4.11 锚杆（索）拉力监测 .....	16
4.12 地下水位监测 .....	17
4.13 降雨量监测 .....	18
4.14 爆破振动监测 .....	19
4.15 自动化监测 .....	20
5 检测 .....	23
5.1 基本规定 .....	23
5.2 锚杆（索）检测 .....	23
5.3 支护桩检测 .....	27
5.4 混凝土支护结构检测 .....	32
5.5 喷射混凝土检测 .....	40
附录 A（资料性） 爆破振动监测记录表 .....	42
附录 B（规范性） 自动化监测常用传感器性能指标 .....	44
附录 C（规范性） 回弹值修正值 .....	46
附录 D（资料性） 钻芯机的操作和维护 .....	49
附录 E（规范性） 芯样混凝土抗压强度异常数据判别和处理 .....	50
参考文献 .....	51

## 前 言

本文件参照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。

本文件由广西交投集团有限公司提出。

本文件由广西标准化协会归口。

本文件起草单位：广西交投集团有限公司、重庆交通大学、百色枢纽通航投资有限公司、广西大学、广西交通建设工程试验检测行业协会。

本文件主要起草人：张建球、李金、汪磊、廖德华、陈登峰、李家栋、李燕兵、张信贵、谭力、潘新恩、孙慧、邱海、覃航、王宾、林世彬、潘炳刚、赵满生、沈盼、罗维宏、方伟讯、彭文、董慧斌、赵付万、杨恩祈、李祖照、梁光先、黄家奇、刘姝麟、杨琳、唐中评、关启钰、廖家艳、朱裕辉、梁家华、兰骏华、黄朱丽、伍炳坤、何文润、杨晨、郭志恩、吴永华、劳继晔、扈世龙、唐梦君、李舒阳、陈昌。

# 水运工程边坡监测与检测技术规程

## 1 范围

本文件界定了水运工程边坡所涉及的术语和定义，确立了水运工程边坡监测与检测的程序，描述了水运工程边坡监测与检测的方法，规定了水运工程边坡监测与检测的技术要求。

本文件适用于水运工程边坡的监测与检测，包括新建工程及既有工程的安全监测以及支护结构的质量检测等。

## 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，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 17942 国家三角测量规范
- GB 50026 工程测量标准
- JTS 131 水运工程测量规范
- JTS/T 236 水运工程混凝土试验检测技术规范
- JTS 239 水运工程混凝土结构实体检测技术规程
- T/CECS 720 钢板桩支护技术规程

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**水运工程边坡** slope of water transport engineering

水运工程项目中，如港口、航道、通航建筑物等构筑物由于地形开挖或者填筑而形成的具有一定坡度和高度的岩土体。

### 3.2

**支护结构** retaining and retaining structure

防止边坡失稳、控制变形和防护坡面所设置各类工程结构。

### 3.3

**爆破振动** blast vibration

爆破引起岩质边坡沿其平衡位置作直线或曲线往复运动的过程。

[来源：GB 6722—2014，3.30，有修改]

### 3.4

**挡墙** retaining wall

使边坡保持稳定的支护结构，包括重力式挡墙、扶壁式挡墙和桩板式挡墙。

## 4 监测

### 4.1 基本规定

4.1.1 边坡监测工作程序宜包括接受委托、收集资料、制定监测方案、准备仪器设备、实施监测、出具相关报告环节。

4.1.2 边坡监测断面根据边坡监测等级、规模和地质成因等因素，结合地质勘察断面、稳定性分析和支护措施等设置，一级边坡主监测断面布置不少于2个，二级及以下边坡主监测断面布置不少于1个。

4.1.3 边坡监测点的布设符合下列规定。

- a) 监测点应沿边坡潜在滑动方向或已发生的滑动方向与垂直滑动方向共同布设成监测线。
- b) 在监测的边坡段至少应在坡体中部以及两侧边缘布设 3 条监测线，间距不宜大于 50 m。
- c) 监测点宜布设在每级台阶处，可根据边坡等级适当加密监测点。
- d) 符合下列条件之一的地段，增设监测点：
  - 1) 地质条件不良地段；
  - 2) 受地下水、地表水影响较大的地段；
  - 3) 抗滑桩的桩顶；
  - 4) 有滑动迹象或正在进行边坡治理的地段。

4.1.4 根据边坡高度，按表 1 确定边坡的监测等级。

表1 边坡监测等级

边坡高度 (m)	监测等级
$H \geq 30$	一级
$20 \leq H < 30$	二级
$H < 20$	三级

注1：同一边坡的各段，可根据实际情况确定不同的监测等级。  
 注2：对边坡影响范围内存在高压电塔等重要建（构）筑物的边坡工程，其安全等级宜提高一个等级。  
 注3：监测等级由高到低依次为一级、二级、三级。

4.1.5 边坡监测项目结合工程实际情况，根据边坡监测等级按表 2 进行选择。

表2 边坡监测项目

监测项目	监测等级		
	一级	二级	三级
表面水平位移	★	★	★
深层水平位移	★	☆	☆
表面垂直位移	★	★	★
深层垂直位移	★	☆	☆
地表裂缝	★	★	★
支护结构变形	★	★	★
孔隙水压力	☆	☆	—
土压力	☆	☆	—
支护结构应力	☆	☆	—
锚杆(索)拉力	★	★	★
地下水位	★	☆	—
降雨量	★	☆	—
爆破振动	★	★	★

注：“★”为必设项目，“☆”为选设项目，“—”为无要求项目。

4.1.6 边坡监测频率综合考虑边坡监测等级、工程实施阶段、周边环境、自然条件变化和当地经验确定。当监测对象相对稳定时，可适当降低监测频率，在无数据异常和事故征兆的情况下，可按表 3 确定。

表3 边坡监测频率

监测项目	监测等级											
	一级				二级				三级			
	施工阶段		运营阶段		施工阶段		运营阶段		施工阶段		运营阶段	
	旱季	雨季	旱季	雨季	旱季	雨季	旱季	雨季	旱季	雨季	旱季	雨季
表面水平位移	1次/2 d	1次/1 d	1次/15 d	1次/7 d	1次/3 d	1次/1 d	1次/15 d	1次/10 d	1次/7 d	1次/3 d	1次/30 d	1次/20 d
深层水平位移	1次/2 d	1次/1 d	1次/15 d	1次/7 d	1次/3 d	1次/1 d	1次/15 d	1次/10 d	1次/7 d	1次/3 d	1次/30 d	1次/20 d
表面垂直位移	1次/2 d	1次/1 d	1次/15 d	1次/7 d	1次/3 d	1次/1 d	1次/15 d	1次/10 d	1次/7 d	1次/3 d	1次/30 d	1次/20 d
深层垂直位移	1次/2 d	1次/1 d	1次/15 d	1次/7 d	1次/3 d	1次/1 d	1次/15 d	1次/10 d	1次/7 d	1次/3 d	1次/30 d	1次/20 d
地表裂缝	1次/2 d	1次/1 d	1次/15 d	1次/7 d	1次/3 d	1次/1 d	1次/15 d	1次/10 d	1次/7 d	1次/3 d	1次/30 d	1次/20 d
支护结构变形	1次/2 d	1次/1 d	1次/15 d	1次/7 d	1次/3 d	1次/1 d	1次/15 d	1次/10 d	1次/7 d	1次/3 d	1次/30 d	1次/20 d
孔隙水压力	1次/3 d	1次/1 d	1次/15 d	1次/10 d	1次/3 d	1次/1 d	1次/30 d	1次/15 d	1次/7 d	1次/3 d	1次/60 d	1次/30 d
土压力	1次/3 d	1次/1 d	1次/15 d	1次/10 d	1次/3 d	1次/1 d	1次/30 d	1次/15 d	1次/7 d	1次/3 d	1次/60 d	1次/30 d
支护结构应力	1次/3 d	1次/1 d	1次/15 d	1次/10 d	1次/3 d	1次/1 d	1次/30 d	1次/15 d	1次/7 d	1次/3 d	1次/60 d	1次/30 d
锚杆拉力	1次/3 d	1次/1 d	1次/15 d	1次/10 d	1次/3 d	1次/1 d	1次/30 d	1次/15 d	1次/7 d	1次/3 d	1次/60 d	1次/30 d
锚索拉力	1次/3 d	1次/1 d	1次/15 d	1次/10 d	1次/3 d	1次/1 d	1次/30 d	1次/15 d	1次/7 d	1次/3 d	1次/60 d	1次/30 d
地下水位	1次/3 d	1次/1 d	1次/30 d	1次/15 d	1次/3 d	1次/1 d	1次/60 d	1次/30 d	1次/7 d	1次/3 d	1次/90 d	1次/60 d
降雨量	逐日量	逐日量	逐日量	逐日量	逐日量	逐日量	逐日量	逐日量	逐日量	逐日量	逐日量	逐日量

注1：选设项目和无要求项目的监测频率可视具体情况适当降低。  
注2：爆破施工均进行爆破振动监测。  
注3：边坡工程施工前的监测频率根据边坡的发展状态而定。  
注4：施工期，在测点周边区域，开挖爆破、灌浆作业或预应力锚固等施工前后，适当增加监测频率。  
注5：遭遇暴雨以上降雨天气、水位骤升骤降、有感地震及边坡出现其他不安全征兆等情况，受影响的边坡适当增加监测频率。

4.1.7 边坡监测期限根据边坡监测等级确定，一级边坡监测期限宜至边坡工程交工后不少于2年，二级边坡监测期限宜至边坡工程交工后不少于1年，三级边坡监测期限宜至边坡工程交工后结束。

4.1.8 监测预警值满足边坡安全控制要求，预警条件可为单个监测项目或多个监测项目组合，可根据设计计算结果和工程经验确定。当监测结果达到预警条件时，及时以书面形式反馈建设单位、监理单位和施工单位等。监测预警值可结合边坡工程特点和变形稳定计算分析的成果，按下列原则制定：

- 变形监测项目预警值由位移速率及累计位移量共同控制；
- 对于采用预应力锚索加固的边坡，可采用锚索荷载监测值与设计值的比值；
- 受地下水作用影响较大的边坡，可采用失稳状态的临界地下水位或渗透压力；
- 边坡监测预警值根据设计单位要求确定，当无具体要求时，可按表4和表5确定。

表4 边坡监测预警值

监测项目	监测等级					
	一级		二级		三级	
	累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)	累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)	累计值 (mm)	变化速率 (mm/d)
表面水平位移	30~40	2~3	40~60	3~4	50~70	4~6
深层水平位移	35~55	2~3	50~70	3~4	60~80	4~6
表面垂直位移	20~40	2~3	30~50	3~4	40~60	4~6
深层垂直位移	20~40	2~3	30~50	3~4	40~60	4~6
地表裂缝	10~30	3~4	10~30	3~4	10~30	3~4
支护结构变形	20~40	2~3	30~50	3~4	40~60	4~5
内部变形	15~25	2~3	20~30	3~4	25~40	4~5
孔隙水压力	$(60\% \sim 70\%) f_1$	—	$(70\% \sim 80\%) f_1$	—	$(70\% \sim 80\%) f_1$	—
土压力	$(60\% \sim 70\%) f_1$	—	$(70\% \sim 80\%) f_1$	—	$(70\% \sim 80\%) f_1$	—
支护结构应力	$(60\% \sim 70\%) f_2$	—	$(70\% \sim 80\%) f_2$	—	$(70\% \sim 80\%) f_2$	—
锚杆拉力	$80\% f_3 \sim 70\% f_2$	—	$80\% f_3 \sim 70\% f_2$	—	$80\% f_3 \sim 70\% f_2$	—
锚索拉力	$80\% f_3 \sim 70\% f_2$	—	$80\% f_3 \sim 70\% f_2$	—	$80\% f_3 \sim 70\% f_2$	—
地下水位	1 000	300	1 000	300	1 000	300

注1： $f_1$ 为荷载设计值， $f_2$ 为构件承载力设计值， $f_3$ 为预应力设计值。  
注2：当监测项目的变化速率达到表中规定值或连续3d超过该值的70%时，预警。  
注3：嵌岩桩或墙体位移报警值宜按表中取值的50%取用。

表5 边坡爆破振动监测预警值

振动频率 $f$ (Hz)	安全允许质点振动速度 (cm/s)
$f \leq 10$	5~9
$10 < f \leq 50$	8~12
$f > 50$	10~15

注1：表中质点振动速度为3个分量中的最大值，振动频率为主振频率，主振频率指最大振幅对应波的频率。  
注2：频率范围可根据类似工程或现场实测波形选取。  
注3：特殊结构或有病害的保护对象，其爆破质点振动速度安全允许值通过专家论证确定。  
注4：当监测项目的变化速率达到表中规定值或连续3d超过该值的70%时，报警。

4.1.9 监测报告包含但不限于下列内容：

- 委托方名称，工程名称、地点，建设、勘察、设计、监理和施工单位；
- 地质条件描述；
- 测点编号、位置等相关信息；
- 施工日期和相关施工记录；
- 仪器设备及传感器的规格、型号、量程、精度；
- 监测的目的、方法、数量、日期；

- g) 监测过程叙述及异常情况描述;
- h) 监测数据, 实测与计算分析图表;
- i) 和监测内容相应的结论。

## 4.2 表面水平位移监测

### 4.2.1 一般规定

4.2.1.1 变形观测点相对于最近基准点的观测精度符合表 6 的要求。

表6 变形观测点的观测精度

等级	点位中误差 (mm)
一等	±1.5
二等	±3.0
三等	±6.0
四等	±12.0

注: 表面水平位移测量用坐标向量表示时, 向量中误差为表中相应等级点位中误差的 $1/\sqrt{2}$ 。

4.2.1.2 监测网等级根据观测的内容、性质、目的和要求, 按照观测中误差的绝对值为允许变形值的 $1/10\sim 1/20$ 的原则确定。

4.2.1.3 每期变形观测前, 按相应等级的观测精度对所需的工作基点和基准点进行检查。

4.2.1.4 监测网布设前, 充分收集测区已有基础资料, 并根据测区的地形、地质条件和现有的仪器设备及变形观测的性质、内容和要求进行全面计划和设计。施工控制网与监测网联测, 一个测区的监测网一次布设, 原施工控制网相邻点间的相对精度满足变形观测要求时, 可直接作为基准点和工作基点。

4.2.1.5 监测网的布设符合下列规定:

- a) 平面控制可采用边角网、三角网等形式, 受地形条件限制时, 可布设成导线网形式;
- b) 导线网中相邻结点间的导线点数不得多于 2 个。

4.2.1.6 基准点和工作基点的布设符合下列规定:

- a) 基准点选在地基稳固、便于监测和不受影响的地点, 一个测区的基准点不少于 3 个;
- b) 基准点应远离变形体, 当不便直接观测变形观测点时, 可布设工作基点, 其点位应稳固, 便于监测;
- c) 采用视准线法进行表面水平位移监测时, 两端布设基准点或工作基点, 视准线偏离变形点的距离不大于 20 mm, 并在视准线上至少布设 2 个检查点。

4.2.1.7 平面基准点及工作基点采用具有强制归心装置的观测墩。

4.2.1.8 变形观测点选择在能反映变形体变形特征又便于监测的位置, 对永久性变形观测点, 埋设金属标志。

4.2.1.9 监测网的精度及平面监测网观测的主要技术指标符合 JTS 131 的有关规定。

### 4.2.2 监测方法

表面水平位移监测可根据现场条件及监测要求采用全站仪测量法、GNSS测量法和机器视觉智能测量法等。

### 4.2.3 仪器设备

表面水平位移监测仪器技术参数符合下列要求:

- a) 全站仪宜选用测角精度 $\leq 1''$ , 测距精度 $\leq 1\text{ mm}+1\text{ ppm}$ 的高精度测量机器人;
- b) GNSS 静态平面定位精度不低于 $1.6\text{ mm}+0.5\text{ ppm}$ , 静态高程定位精度不低于 $3.4\text{ mm}+0.5\text{ ppm}$ ; 动态平面定位精度不低于 $2.7\text{ mm}+1\text{ ppm}$ , 动态高程定位精度不低于 $4.7\text{ mm}+1\text{ ppm}$ ;
- c) 机器视觉智能测量系统测量精度:  $0\text{ m}\sim 50\text{ m}$ 时不低于 $0.2\text{ mm}$ ;  $50\text{ m}\sim 200\text{ m}$ 时不低于 $1\text{ mm}$ ;  $200\text{ m}\sim 400\text{ m}$ 时不低于 $1.5\text{ mm}$ 。

### 4.2.4 现场监测

#### 4.2.4.1 全站仪测量法监测要求

4.2.4.1.1 采用三角网测量时，符合 GB/T 17942 的有关规定。

4.2.4.1.2 采用交会法和极坐标法时，符合下列要求：

- a) 采用交会法进行表层水平位移监测时，交会方向不宜少于 3 个；
- b) 角交会法的交会角宜在 60° ~120° 之间，边交会法的交会角宜在 30° ~150° 之间；
- c) 采用极坐标法进行表面水平位移监测时，宜采用双测站极坐标法，其边长应采用钢尺丈量或电磁波测距仪测定，采用钢尺丈量时，不宜超过一尺段，并应进行尺长、温度和高差等项改正；
- d) 测站点采用有强制对中装置的监测墩，监测点安置反光镜或觇牌等强制对中其他固定照准标志。

4.2.4.1.3 采用自由设站法时，符合下列要求：

- a) 控制点的数量不少于 3 个，分布在三角形网的外围或两端；
- b) 水平角宜采用方向法观测，若需分组，归零方向相同，并至少重复观测一个方向；
- c) 自由设站法测量边角同步观测且测回数相同，并符合 GB 50026 的有关规定。

4.2.4.1.4 采用视准线法时，符合下列要求：

- a) 视准线的两个基准点选择在稳定的区域，并具有高一级的基准点经常校核的条件，且便于安装仪器和观测；
- b) 视准线的长度一般不超过 300 m，超过 300 m 时分段观测；
- c) 视准线离开障碍物 1 m 以上；
- d) 各测点偏离视准线的距离不大于 20 mm，采用小角法时，小角角度不超过 30' ；
- e) 视准线测量采用活动觇牌法观测时，观测前测定其零位差，观测精度要求为视准线长度的 1/100 000；
- f) 采用小角度法观测时，观测精度按式（1）估算：

$$m_S = m_\beta L / \rho \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- $m_S$ ——位移中误差，单位为毫米（mm）；
- $m_\beta$ ——测角中误差，单位为秒（"）；
- $L$ ——视准线长度，单位为毫米（mm）；
- $\rho$ ——206 265" ；

g) 基准点、校核基准点和变形测站点应采用有强制对中装置的监测墩。

4.2.4.1.5 采用激光准直法时，在使用前对激光仪器进行检校，使仪器射出的激光束轴线、反射系统轴线和望远镜照准轴三者重合（共轴），并使观测目标与最小激光斑重合。

4.2.4.1.6 采用方向线偏移法时，对于主要监测点，可用该点为测站测出对应基准线端点的边长与角度，求得本测站侧向偏差值。对于其他监测点，可测出该站对应其他监测点的边长与角度，求得侧向偏差值。

4.2.4.1.7 采用全站仪自动跟踪测量观测时，符合 GB 50026 中的有关规定。

#### 4.2.4.2 GNSS 测量法监测要求

4.2.4.2.1 基准站设立在变形区之外地势较高的区域。

4.2.4.2.2 测站点与基准站安装上部天空开阔，高度角 15° 以上无遮拦，且周围无 GNSS 信号反射物，无高压电线、电视台、无线发射电站、微波站等干扰源。

4.2.4.2.3 观测过程中，防止接受设备震动，并防止人员和其他物体碰动天线或阻挡信号。

4.2.4.2.4 观测过程中不宜改变卫星截止高度、数据采样间隔等关键参数。

4.2.4.2.5 采用静态测量模式作业时，符合下列规定：

- a) 通视条件好，且便于使用全站仪等进行后续监测；
- b) 作业过程中严格按照规定的时间计划进行观测；
- c) 观测前，对接收机进行预热和静置，同时检查电池的容量、接收机的内存和可储存空间是否充足；
- d) 天线安装的对中误差，不大于 2 mm，天线高的量取精确至 1 mm；
- e) 观测时，避免在接收机旁边使用无线电通信设备，同时，接收机应避免阳光直射，雷雨天气关机停测，并卸下天线以防雷击；

f) 观测数据处理和质量检查满足 GB 50026 的有关规定, 同一时段观测值的数据采用率不宜小于 85%。

#### 4.2.4.2.6 采用动态测量模式作业时, 符合下列规定:

- a) 设立永久性固定参考站作为变形监测的基准点, 并建立实时监控中心;
- b) 流动站的接收天线, 永久设置在监测体的变形观测点上, 并采取保护措施;
- c) 接收天线的周围无高度角超过  $10^\circ$  的障碍物;
- d) 变形观测点的数目根据监测项目和监测体结构布设;
- e) 接收卫星数量不少于 5 颗, 并采用固定解成果;
- f) 数据通信, 参考站和监测点与数据处理分析系统通过通信网络进行连通, 并保证数据实时传输。

#### 4.2.4.3 机器视觉智能测量法监测要求

4.2.4.3.1 摄像头固定墩尺寸根据现场情况进行调整, 可采用方形水泥墩, 尺寸不宜低于  $60\text{ cm} \times 60\text{ cm} \times 60\text{ cm}$ , 以保障测站稳定为最低要求。

4.2.4.3.2 摄像头设立在变形区之外, 距离监测站不宜大于 400 m。

4.2.4.3.3 靶标高度不宜低于 1 m, 靶标采用混凝土水泥墩或者膨胀钉固定。采用混凝土水泥墩固定时, 尺寸不宜低于  $20\text{ cm} \times 20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ ; 采用膨胀钉固定时, 固定处混凝土厚度不宜低于 20 cm。

4.2.4.3.4 观测过程中, 防止接收设备震动, 并防止人员或其他物体碰动天线或阻挡信号。

#### 4.2.5 成果整理分析

分析监测数据, 形成表面水平位移监测报告, 报告包含但不限于下列内容:

- a) 基准点和工作基点的位置坐标和高程;
- b) 变形监测点坐标实测值;
- c) 表面水平位移量和表面水平位移速率;
- d) 表面水平位移速率~时间曲线和累计表面水平位移量~时间曲线;
- e) 最终表面水平位移量。

### 4.3 深层水平位移监测

#### 4.3.1 一般规定

4.3.1.1 深层水平位移监测断面选择具有代表性的部位, 该部位地面应同时设置表面水平位移监测点, 每个监测断面的深层水平位移监测点不宜少于 2 个, 监测点间距宜为 30 m~50 m。

4.3.1.2 测斜管底端应埋入相对稳定层不小于 2 m 或覆盖层足够深处。采用人工测斜仪测量或测斜仪机器人测量时, 宜按 0.5 m 间隔测读数据; 采用柔性测斜仪或固定测斜仪自动化监测时, 传感器间隔不宜超过 1 m。

#### 4.3.2 监测方法

深层水平位移监测应根据工程实际情况、监测要求等选用滑动式测斜仪、固定式测斜仪或柔性测斜仪。

#### 4.3.3 仪器设备

深层水平位移监测仪器技术参数符合下列要求:

- a) 滑动式测斜仪最小分度值不大于 0.1 mm, 准确度不低于 0.1 mm/500 mm;
- b) 固定式测斜仪的最小分度值不大于  $8''$  ;
- c) 柔性测斜仪位移分辨率不大于 0.01 mm, 位移稳定性优于 3 mm/50 m。

#### 4.3.4 现场监测

##### 4.3.4.1 测斜管理设要求

4.3.4.1.1 测斜管可采用铝合金或塑料管, 其弯曲性能以适应被测主体的位移情况为适宜。测斜导管内纵向的十字导槽润滑顺直, 管段接口应紧密。

4.3.4.1.2 钻孔埋设测斜管时, 接长导管应使导向凹槽严格对正, 不准许偏扭; 导管之间的连接牢固

可靠，防止泥、砂进入管内。

4.3.4.1.3 钻孔埋设测斜管后，使一组凹槽方向与预计的位移方向一致。然后回填钻孔，使回填料与周边介质符合反滤及密度要求。

4.3.4.1.4 导管的底部密封，避免泥、砂进入。观测孔口部应设置有效的防护装置，并设立明显的标志。当埋设位置在水下时，宜采用固定式测斜仪，并将信号电缆引至施工区域外，做好保护措施。

#### 4.3.4.2 测量方法

4.3.4.2.1 采用滑动测斜仪测量时，将测斜仪的导向轮放入水平位移方向的凹槽，直至导管底部，将电缆线与接收指示器连接，打开开关。读数稳定后，提升电缆到欲测位置，读数。每次保证在同一位置处。将测斜仪提升到管口后，旋转 180°，再按上述步骤进行测量，消除测斜仪本身的固有误差。

4.3.4.2.2 采用固定式测斜仪测量时，将多支测斜仪串联在测斜管内，竖向测量间距根据工程需要选取，连接杆之间有能灵活转动的方向接头。

4.3.4.2.3 采用柔性测斜仪测量时，先按照工程设计需要，确定测斜仪安装个数，间隔米数，然后将测斜仪安装至测斜工装上，螺丝固定。将安装好测斜仪的测斜工装放入测斜管内，注意测斜工装两端的合页，安装时对准测斜管上的凹槽，缓缓往下放。测斜仪上的连接线缆顺着工装凹槽连接下一组，直至全数安装好。

#### 4.3.5 成果整理分析

以测斜管底部为位移起算点，测斜管埋设结束24 h后，以第一次读数作为初读数。分析监测数据，形成深层水平位移监测报告，报告包含但不限于下列内容：

- a) 竖向各测点水平位移累计值；
- b) 竖向各测点两次测量时间间隔内的水平位移变化量和水平位移速率；
- c) 深层水平位移累计值~时间曲线、深层水平位移速率~时间曲线。

### 4.4 表面垂直位移监测

#### 4.4.1 一般规定

4.4.1.1 变形观测点相对于最近基准点的观测精度符合表 7 的有关规定。

表7 变形观测点的观测精度

等级	高程中误差 (mm)
一等	±0.5
二等	±1.0
三等	±2.0
四等	±4.0

注：表面垂直位移监测，可根据需要按变形监测点的高程中误差或相邻变形监测点的高差中误差确定测量等级。

4.4.1.2 监测网等级根据观测的内容、性质、目的和要求，按照观测中误差的绝对值为允许变形值的 1/10~1/20 的原则确定。

4.4.1.3 每期变形观测前，按相应等级的观测精度对所需的工作基点和基准点进行检查。

4.4.1.4 监测网布设前，充分收集测区已有基础资料，并根据测区的地形、地质条件和现有的仪器设备及变形观测的性质、内容和要求进行全面计划和设计。施工控制网应与监测网联测，一个测区的监测网应一次布设，原施工控制网相邻点间的相对精度满足变形观测要求时，可直接作为基准点和工作基点。

4.4.1.5 监测网的布设应采用闭合水准网形式。

4.4.1.6 基准点和工作基点的布设符合下列规定：

- a) 基准点选在地基稳固、便于监测和不受影响的地点，一个测区的基准点不应少于 3 个；
- b) 基准点远离变形体，当不便直接观测变形观测点时，可布设工作基点，其点位应稳固，便于监测。

4.4.1.7 高程基准点埋设在变形区以外的基岩或坚硬土层上。

4.4.1.8 变形观测点选择在能反映变形体变形特征又便于监测的位置，对永久性变形观测点，埋设金属标志。

4.4.1.9 监测网的精度及高程监测网观测的主要技术指标符合 JTS 131 的有关规定。

4.4.1.10 现场测量时符合下列要求。

- a) 每期观测开始前，测定数字水准仪的*i*角，当其值对一等、二等沉降观测超过 15"，对三等、四等沉降观测超过 20" 时，停止使用，立即送检，当观测成果出现异常，经分析可能与仪器有关，及时对仪器进行检验。
- b) 观测前半小时，将数字水准仪置于露天阴影下，使仪器与外界气温趋于一致，观测前，进行不少于 20 次单次测量的预热。
- c) 在标尺划线成清晰和稳定的条件下进行观测，不在日出后或日落前半小时、太阳中天前后 2 h 内、风力大于四级、气温突变、标尺分划线的成像跳动难以照准时进行观测，阴天可全天观测。
- d) 标尺读数顺序符合下列要求：
  - 1) 一、二等水准观测时，光学水准仪往测时，奇数站读数顺序为“后-前-前-后”，偶数站为“前-后-后-前”，返测顺序相反；数字水准仪往测时奇数站读数顺序为“后-前-前-后”，偶数站为“前-后-后-前”，返测顺序相同；
  - 2) 三等水准测量的读数顺序为“后-前-前-后”；
  - 3) 水准测量的读数顺序为“后-后-前-前”。
- e) 使用水准仪观测符合表 8 的有关规定。

表8 水准仪观测要求

视线长度 (m)	前后视距差 (m)	前后视距差累计 (m)	视线高度 (m)	重复测量次数 (次)
≥3且≤75	≤2.0	≤6.0	≥0.45	≥2

f) 水准仪观测限差应符合表 9 的有关规定。

表9 水准仪观测限差要求

两次读数所测高差之差限差 (mm)	往返较差及附和或环线闭合限差 (mm)	单程双测站所测得高差较差限差 (mm)	检测已测段高差之差限差 (mm)
3.0	$3.0\sqrt{n}$	$2.0\sqrt{n}$	$4.5\sqrt{n}$
注：n为测站数。			

- g) 避免望远镜直接对着太阳，并避免视线被遮挡，当遇到临时振动影响时，暂停作业，当长时间受振动影响时，增加重复测量次数。
- h) 各期观测过程中，当发现相邻监测点高差变动异常或其他异常时，进行记录。

#### 4.4.2 监测方法

表面垂直位移监测可根据现场条件及监测要求采用几何水准测量法、电磁波测距三角高程测量法、GNSS测量法和机器视觉智能测量法等。

#### 4.4.3 仪器设备

表面垂直位移监测仪器技术参数符合下列要求：

- a) 水准仪宜选用 DS1 级以上的数字水准仪，并配套相应的条码尺；
- b) 全站仪宜选用测角精度≤1"，测距精度≤1 mm+1 ppm 的高精度测量机器人；
- c) GNSS 静态平面定位精度不低于 1.6 mm+0.5 ppm，静态高程定位精度不低于 3.4 mm+0.5 ppm；动态平面定位精度不低于 2.7 mm+1 ppm，动态高程定位精度不低于 4.7 mm+1 ppm；
- d) 机器视觉智能测量系统测量精度：0 m~50 m 时不低于 0.2 mm；50 m~200 m 时不低于 1 mm；200 m~400 m 时不低于 1.5 mm。

#### 4.4.4 现场监测

##### 4.4.4.1 电磁波测距三角高程测量法监测要求

- 4.4.4.1.1 电磁波测距三角高程测量宜在平面控制点的基础上布设成三角高程网或高程导线。
- 4.4.4.1.2 电磁波测距三角高程测量的主要技术要求符合表 10 的规定。

表10 电磁波测距三角高程测量的主要技术要求

等级	每千米高差全中误差 (mm)	边长 (km)	观测方向	对向观测高差较差 (mm)	附和或环形闭合差 (mm)
四等	10	≤1	对向观测	$40\sqrt{D}$	$20\sqrt{\sum D}$
注1: $D$ 为测距边的长度 (km)。 注2: 起讫点的精度等级, 应起讫于不低于三等水准的高程点上。 注3: 路线长度不应超过相应等级水准路线的总长度。					

4.4.4.1.3 电磁波测距三角高程观测的技术要求符合下列规定:

- a) 电磁波测距三角高程观测的主要技术要求符合表 11 的规定;

表11 电磁波测距三角高程测量的主要技术要求

等级	垂直角观测				边长观测	
	仪器精度等级	测回数	指标差较差 (")	测回较差 (")	仪器精度等级	观测次数
四等	1" 级仪器	3	≤7"	≤7"	10mm级仪器	往返各一次

- b) 垂直角的对向观测, 当直觇完成后应即刻迁站进行返觇测量;
- c) 仪器、反光镜或觇牌的高度, 应在观测前后各量测 1 次, 并应精确至 1 mm, 去平均值作为最终高度。

4.4.4.1.4 电磁波测距三角高程测量的数据处理符合下列规定:

- a) 直返觇的高差应进行地球曲率和大气折光差的改正;
- b) 平差前应按式 (2) 计算每千米高差全中误差;

$$M_W = \sqrt{\frac{1}{N} \left[ \frac{WW}{L} \right]} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- $M_W$ ——高差全中误差, 单位为毫米 (mm);
- $W$ ——附和或环形闭合差, 单位为毫米 (mm);
- $L$ ——计算各  $W$  时, 相应的总路线长度, 单位为千米 (km);
- $N$ ——附和路线或闭合环的总个数。

- c) 高程网应按最小二乘法进行平差并计算每千米高差全中误差;
- d) 高程成果的取值应精确至 0.1 mm。

4.4.4.2 GNSS 测量法监测要求

符合4.2.4.2的有关要求。

4.4.4.3 机器视觉智能测量法监测要求

符合4.2.4.3的有关要求。

4.4.5 成果整理分析

分析监测数据, 形成表面垂直位移监测报告, 报告包含但不限于下列内容:

- a) 基准点和工作基点的位置坐标和高程;
- b) 变形监测点高程实测值;
- c) 表面垂直位移量和表面垂直位移速率;
- d) 沉降速率~时间曲线和累计沉降~时间曲线;
- e) 最终沉降量。

4.5 深层垂直位移监测

4.5.1 一般规定

根据岩土层分部情况, 多点位移计宜选用3~5点式。

#### 4.5.2 监测方法

深层垂直位移监测宜采用多点位移计、分层沉降仪、深层沉降标。

#### 4.5.3 仪器设备

深层垂直位移监测仪器设备符合下列要求：

- a) 多点位移计测量精度不应低于 0.1%FS，灵敏度应满足下列要求：
  - 1) 测量范围为 0 mm~20 mm 时，灵敏度 $\leq$ 0.01 mm/F；
  - 2) 测量范围为 0 mm~50 mm 时，灵敏度 $\leq$ 0.02 mm/F；
  - 3) 测量范围为 0 mm~100 mm 时，灵敏度 $\leq$ 0.04 mm/F；
- b) 分层沉降磁环分辨率不应低于 1.0 mm，精度不宜低于 2.0 mm；
- c) 水准仪宜选用 DS1 级以上的数字水准仪，并配套相应的条码尺。

#### 4.5.4 现场监测

##### 4.5.4.1 多点位移计监测要求

###### 4.5.4.1.1 地质调查

查清土体软弱结构面的大小、厚度、产状及分布特点，作为确定传感器性能指标和锚头类型、数量及布置深度等监测设计参数。

###### 4.5.4.1.2 钻孔

多点位移计埋设钻孔符合下列要求：

- a) 在预定部位，按设计要求的孔径、孔向和孔深钻孔；
- b) 一般工程或岩性较均一的可用冲击钻；对于大型重要工程或岩性变化较大的地段使用岩芯钻，并对岩芯进行详细的描述和记录；
- c) 开孔孔位与设计位置的偏差不得大于 50 mm，开孔直径 $\phi$ 200 mm，深度 0.5 m，以满足安装测头部件要求；钻孔直径根据锚头数量确定，一般为 $\phi$ 76 mm~ $\phi$ 110 mm，钻孔要求两孔保持同心；
- d) 钻孔开始前和钻孔过程中，随时校核钻孔位置、方向和孔深，钻孔轴线应保持直线，孔斜偏差应小于 $3^\circ$ ，孔深比最深测点多 1.0 m 左右，孔口保持稳定平整；
- e) 钻孔完毕，仪器安装前，用压力水将钻孔冲洗干净，并检查钻孔通畅情况；
- f) 在不良地质条件下，可采用特殊方法（如注浆法固壁）以防止塌孔，确保仪器设备的顺利安装。

###### 4.5.4.1.3 安装埋设

多点位移计安装埋设符合下列要求：

- a) 测点与传感器的连接方式，有传递杆连接和钢丝连接，其外部均用 PVC 管封闭保护。传感器均安装在孔口，孔内最深的测点位于不动层中；
- b) 埋设前，先对仪器进行检查、组装和编号，并做好必要的标记和记录。组装时按照设计的测点深度，将锚头、位移传递杆和护管与传感器严格按厂家使用说明书进行；
- c) 安装现场条件允许时，可将各部件连接组装好随同灌浆管和排气管一次性整体送入孔内；
- d) 安装现场不具备一次性整体送入孔内的条件时，则需在孔口边连接送入孔内；
- e) 各部件全部送入孔内后，安装、固定测头及预接传感器，全部安装完成后，应对整个系统进行彻底的检查，防止意外；
- f) 检查无误后，用水泥砂浆将测头周围填实密封，待灌浆完毕后再全部密封。

###### 4.5.4.1.4 回填灌浆

多点位移计埋设孔回填灌浆符合下列要求：

- a) 选择灌浆材料时，要求其凝固后的力学特性与周围土体介质材料的力学性能相近；
- b) 开始灌浆，灌浆压力视现场条件而定，一般情况采用不大于 0.5 MPa 灌浆压力即可，直至排气管返浆后再持续不少于 10 min 后停止灌浆，堵住灌浆管和排气管，以保证钻孔内灌浆饱满密实。24 h 后对孔口部分由于浆液固结形成的空间进行二次灌浆，浆液灌满后封孔；

- c) 孔内浆液及孔口装置达到初期强度后,剪去孔口多余的灌浆管和排气管,安装或调整位移计传感器,使其留有一定的压缩量(预留总量程的1/4左右)。连接线缆,测试检查无误后做好孔口保护装置和电缆引线。

#### 4.5.4.1.5 变形观测

灌浆终凝7d后进行初值测量,随后根据监测计划进行正常周期观测。

#### 4.5.4.2 分层沉降仪监测要求

同一磁性沉降环每次进行往、返两次测量,取平均值作为测量结果,测量差不大于1.5mm。每次监测均测定沉降管口高程的变化,然后换算出沉降管内各监测点的高程。

#### 4.5.4.3 深层沉降标监测要求

采用水准测量,水准测量符合4.4.1的有关要求。

#### 4.5.5 成果整理分析

分析监测数据,形成深层垂直位移监测报告,报告包含但不限于下列内容:

- a) 深层垂直位移~时间过程曲线;
- b) 深层垂直位移速率~时间过程曲线。

### 4.6 地表裂缝监测

#### 4.6.1 一般规定

4.6.1.1 地表裂缝监测点布置在边坡工程墙顶背后 $1.0H$ (岩质) $\sim 1.5H$ (土质)( $H$ 为边坡高度)范围内,选取在有代表性的裂缝位置,当原有裂缝增大或出现新裂缝时,及时增设监测点。

4.6.1.2 地表裂缝监测内容包括裂缝的位置、走向、长度、宽度、发现时间,必要时监测裂缝深度。

#### 4.6.2 监测方法

地表裂缝宽度监测可采用千分尺、游标卡尺、数字裂缝宽度测量仪直接测量,也可采用裂缝计、粘贴安装千分表量测或摄影测量;裂缝长度监测宜采用直接测量法。

#### 4.6.3 仪器设备

地表裂缝监测仪器技术参数符合下列要求:

- a) 裂缝宽度测量精度不宜低于0.1mm;
- b) 裂缝长度测量精度不宜低于1mm。

#### 4.6.4 现场监测

4.6.4.1 监测前记录监测对象已有裂缝的分布位置和数量,测定其走向、长度、宽度和深度等情况。

4.6.4.2 裂缝监测宜在裂缝两侧设置标志,监测标志具有可供量测的明晰端面或中心。长期观测可采用钉入或埋入的金属标志、金属标杆,必要时可在裂缝两侧浇筑混凝土墩并设立标志;需要测量裂缝的纵横变化时,可采用方格网版标志。同时,还定期增加人工巡视检查。

4.6.4.3 每条裂缝的监测点不少于3个,测点宜布置在裂缝的最宽处和裂缝两端。

#### 4.6.5 成果整理分析

分析监测数据,形成地表裂缝监测报告,报告包括但不限于下列内容:

- a) 地表裂缝的位置、坐标、走向、长度、宽度、发现时间;
- b) 裂缝长度、宽度累计值;
- c) 裂缝各测点两次测量时间间隔内的宽度、长度变化量及变化速率;
- d) 裂缝宽度、长度累计值~时间曲线、变化速率~时间曲线。

### 4.7 支护结构变形监测

4.7.1 支护结构变形监测可在支护结构顶部或预估支护结构变形最大处,根据边坡地质与加固特点,

布置 1 条或多条代表性监测断面，每个断面不少于 3 个监测点，监测点间距宜为 30m~50m。监测断面尽可能与勘探断面和稳定性分析断面相结合。

4.7.2 支护结构变形监测适用于抗滑桩、格构梁、挡墙结构等的变形监测。

4.7.3 支护结构水平位移监测应符合 4.2 的有关规定。

4.7.4 支护结构垂直位移监测应符合 4.4 的有关规定。

## 4.8 孔隙水压力监测

### 4.8.1 一般规定

4.8.1.1 孔隙水压力测试孔宜垂直和沿边坡的走向布置，纵向间距宜为 10m~20m，横向间距适当加密，测点深度需考虑潜在滑动面的最大深度。

4.8.1.2 电测式孔隙水压力计适用于各种渗透性质的土层。当量测误差不大于 2kPa 时，使用电测式孔隙水压力计；使用期大于 1 个月、测试深度大于 10m 或在一个观测孔中多点同时量测时，宜选用电测式孔隙水压力计。

4.8.1.3 流体压力式和开口式孔隙水压力计适用于渗透系数  $K$  大于  $1 \times 10^{-5}$  cm/s 的土层。当量测允许误差不小于 2kPa 时，可选用液压式孔隙水压力计；当量测允许误差不小于 10kPa 时，可选用气压式孔隙水压力计。流体压力式孔隙水压力计使用期不宜超过 1 个月；液压式孔隙水压力计不宜在气温低于零摄氏度时使用。

### 4.8.2 仪器设备

孔隙水压力计技术参数符合下列要求：

- 精度不大于 0.5%FS，传感器的直线度不大于 2.0%FS，重复度不大于 1.0%FS，迟滞不大于 1.0%FS，分辨率不大于 0.2%FS；
- 量程上限值宜大于静水压力值与预估超孔隙水压力值之和的 2 倍；静水压力值与预估超孔隙水压力值之和可按式 (3) 估算：

$$P_{max} = P_{静} + P_{超} = \gamma_w h_w + \gamma h_s + \gamma' h_w \dots \dots \dots (3)$$

式中：

$P_{max}$ ——最大孔隙水压力，单位为千帕 (kPa)；

$P_{静}$ ——静水压力，单位为千帕 (kPa)；

$P_{超}$ ——超孔隙水压力，单位为千帕 (kPa)；

$\gamma_w$ ——水重度，单位为千牛每立方米 (kN/m<sup>3</sup>)；

$h_w$ ——水深度，单位为米 (m)；

$\gamma$ ——试验土层重度，单位为千牛每立方米 (kN/m<sup>3</sup>)；

$h_s$ ——孔隙水压力计埋深，单位为米 (m)；

$\gamma'$ ——试验土层浮重度，单位为千牛每立方米 (kN/m<sup>3</sup>)。

### 4.8.3 现场监测

4.8.3.1 孔隙水压力计埋设方法可采用钻孔法、压入法、填埋法等。

4.8.3.2 孔隙水压力计埋设时，符合下列规定：

- 采用钻孔法埋设时，钻孔直径宜为 110mm~130mm，不宜使用泥浆护壁成孔，钻孔应圆直、干净；
- 孔隙水压力计周围应回填透水填料，填料宜选用干净的中粗砂、砾砂或粒径小于 10mm 的碎石，填料层高度宜为 0.6m~1.0m；
- 上下两个孔隙水压力计之间应有高度不小于 1.0m 的隔水填料分隔，宜选用直径 2cm 左右的风干黏土球作填料，投放黏土球时缓慢、均衡投入，确保隔水效果；
- 观测孔口宜采用直径 10mm~20mm 的干燥膨润土球填实封严，防止地表水渗入；
- 观测孔口设置有效的防护装置，并设立明显的标志，孔隙水压力计导线应有防潮、防水措施。

4.8.3.3 在软弱土层中埋设单个孔隙水压力计时,宜采用压入法埋设。根据埋设深度和压入难易程度,直接将孔隙水压力计缓慢压入预定深度,或钻进成孔到埋设预定深度以上 0.5m~1.0m 处,再将孔隙水压力计压入预定深度,其上孔段用隔水填料全部填实封严。

4.8.3.4 填方工程中宜采用填埋法。

4.8.3.5 安装前,先将孔隙水压力计端部的透水石取出,用水浸泡 24h 以上或用开水煮沸 1~2h 以排除其中的空气,然后记录孔隙水压力计编号与埋设编号,再检查孔隙水压力计的工作状态是否正常。

4.8.3.6 观测孔隙水压力时,测量埋设位置附近的地下水位。

#### 4.8.4 成果整理分析

孔隙水压力计埋设前,待测值稳定后,用读数仪测量并记录测值,连续测量3次取平均值作为初始值。埋设结束后,采用测读仪测读测点数值或结合基准频率、灵敏度和初始频率计算静水压力值。分析监测数据,形成孔隙水压力监测报告,报告包含但不限于下列内容:

- a) 各测点的孔隙水压力值和两次测量间隔时间内的孔隙水压力变化值;
- b) 孔隙水压力~时间曲线。

### 4.9 土压力监测

#### 4.9.1 一般规定

4.9.1.1 土压力监测点的位置和数量根据监测目的和要求确定,且满足下列要求:

- a) 监测断面具有代表性;
- b) 每个断面的监测点布置按土层情况布置,应力变化较大的土层监测点加密布置。

4.9.1.2 土压力传感器的测量范围和分辨率满足监测要求,其上限可取设计土压力的 1.2 倍。

#### 4.9.2 仪器设备

土压力计技术参数符合下列要求:

- a) 精度不大于 0.15%FS;
- b) 传感器的直线度不大于 2.0%FS,重复度不大于 1.0%FS,迟滞不大于 1.0%FS,分辨率不大于 0.2%FS。

#### 4.9.3 现场监测

4.9.3.1 土压力传感器埋设前,进行稳定性、水密性的检测和压力、温度的标定等工作。

4.9.3.2 土压力传感器的埋设采用土中直接埋设或结构接触式埋设等方法,埋设过程中有土压力膜保护措施。

4.9.3.3 土压力传感器的测力面与所测土压力方向垂直并紧贴被监测对象。

4.9.3.4 埋设土压力传感器时,减少对周围土体的扰动,土压力传感器与周围土体充分接触,接触面的回填土密实度与周围土体一致。

4.9.3.5 土压力传感器导线有防潮、防水措施,导线中间不宜有接头,在导线引出部位设置有效的防护装置,并设立明显的标志。

4.9.3.6 土压力传感器埋设后,立即进行检查、测试,至少经过一周时间的监测并确立稳定初始值。

#### 4.9.4 成果整理分析

分析监测数据,形成土压力监测报告,报告包含但不限于下列内容:

- a) 各测点土压力值和两次测量间隔时间内的土压力变化值;
- b) 土压力~时间曲线。

### 4.10 支护结构应力监测

#### 4.10.1 一般规定

4.10.1.1 素混凝土结构宜在浇筑施工时,在内部埋设混凝土应力计;钢筋混凝土结构宜在钢筋笼制作时,在主筋上安装钢筋应力计。

4.10.1.2 监测断面的选择符合下列原则:

- a) 理论设计计算书提供的具有代表性的应力大的危险断面；
  - b) 受力复杂，需要详细分析的断面；
  - c) 断面形状不规则，有突变处的截面；
  - d) 设计要求的其他位置。
- 4.10.1.3 测试断面上测点布置符合下列规定：
- a) 主应力方向已知时，轴向受力构件应在其断面上、下或左、右沿轴向布置测点；受弯构件应在其最大弯矩处断面的边缘或四角沿轴向布置测点；受弯构件应在其断面的四角上布置不少于四个轴向测点；
  - b) 当主应力方向未知时，测点可布置在受弯构件的正应力与剪应力较大的部位、断面形状不规则或有突变处、汇交力系的杆件节点部位；
  - c) 重要受力部位一个测点应布置两个传感器，对称结构断面可适当减少测点数量。
- 4.10.1.4 应力计宜采用振弦式传感器。
- 4.10.2 仪器设备
- 4.10.2.1 混凝土应力计技术参数符合下列要求：
- a) 量程不宜低于设计值的 2 倍；
  - b) 分辨率不宜低于 0.2%FS，量测精度不宜低于 0.5%FS。
- 4.10.2.2 钢筋应力计技术参数符合下列要求：
- a) 量程不宜低于设计值的 2 倍；
  - b) 分辨率不宜低于 0.2%FS，量测精度不宜低于 0.5%FS。
- 4.10.3 现场监测
- 4.10.3.1 现场测试前的准备工作：
- a) 测点位置表面打磨、清洁；
  - b) 测量导线布置、连接，测试仪器布置；
  - c) 测量仪器调试。
- 4.10.3.2 埋设前根据监测设计要求完成预留槽孔、导管、集线箱壁龛及各种预埋件的施工和加工，并对埋设点位置进行测量放样。按要求进行电缆连接和编号，应将埋设仪器及附件进行试安装，检查仪器性能，确认各项工作无误。
- 4.10.3.3 仪器埋设时，使仪器保持正确位置及方向。埋设仪器周围进行回填时，剔除大于 8cm 的骨料，且由人工分层密室。仪器埋设后，对仪器进行检测、调试，发现问题及时处理或更换，确认工作正常后做好标记，防止人为或机械损坏仪器。
- 4.10.3.4 仪器埋设符合下列规定：
- a) 单向仪器埋设的角度误差不超过  $1^\circ$ ，位置误差不超过 2cm；
  - b) 双向仪器应保持相互垂直，相距 8cm~10cm，且其中心线与结构表面的距离相同；
- 4.10.3.5 压应力计埋设时，符合下列规定：
- a) 垂直方向埋设时，混凝土面冲洗凿毛，底面水平，在底面铺 6mm 厚水泥砂浆垫层；水泥砂浆垫层初凝后，用更稠的水泥砂浆放在垫层上，将应力计放在水泥砂浆层上，边旋转边挤压，排除气泡和多余水泥砂浆，上部放置 10kg 压重块；随时用水准仪或水平尺校正仪器，保持水平；压重 12h 后，浇筑混凝土，取出压重块；整个过程不碰撞仪器；
  - b) 水平方向和倾斜方向埋设时，混凝土与仪器承压面结合紧密，仪器的位置和方向正确。
- 4.10.3.6 钢筋计尽量焊接在同一直径的受力钢筋并保持同一轴线上，受力钢筋之间的绑扎接头距仪器 1.5m 以上。钢筋计的焊接可采用对焊、坡口焊或熔槽焊。焊接时及焊接后，宜在靠近传感器端用洗毛巾包裹，在湿毛巾上浇水冷却，仪器温度不超过  $60^\circ\text{C}$ ，且不准许在焊缝处浇水。
- 4.10.3.7 传感器电缆牵引按设计要求实施并符合下列规定：
- a) 水平牵引可直接埋设在混凝土内或加槽钢保护；
  - b) 向上牵引时，可沿混凝土柱或钢筋上引；
  - c) 向下牵引时，预埋设电缆或导线，导线中设钢丝绳或其他承受电缆自重的附件；
  - d) 电缆避免承受过大的拉力或接触尖锐的物体，在关键部位应用橡皮或麻布等材料包扎。

#### 4.10.4 成果整理分析

分析监测数据，形成支护结构应力监测报告，报告包含但不限于下列内容：

- a) 各测点应力值及其变化速率；
- b) 应力~时间曲线、施工工况~时间曲线、应力速率~时间曲线。

#### 4.11 锚杆（索）拉力监测

##### 4.11.1 一般规定

4.11.1.1 永久性预应力锚杆和安全等级为一级支护工程中的临时性预应力锚杆进行锚杆自由段杆体拉力监测。永久性预应力锚杆的监测数量不少于锚杆总数的 10%，且不少于 5 根；临时性预应力锚杆的监测数量不少于锚杆总数的 3%，且不少于 5 根。进行拉力监测的工程锚杆具有代表性。

4.11.1.2 锚杆自由段杆体拉力宜选用锚杆测力计进行测试。对全长粘结型非预应力锚杆，其锚头附近的杆体拉力也可选用锚杆测力计进行测试。锚杆锚固段杆体拉力可选用振弦式、电阻应变式、光纤光栅式等传感器进行测试。

##### 4.11.2 仪器设备

传感器、锚杆测力计及测试仪表组成的测量系统符合下列规定：

- a) 测量值宜控制在测量系统全量程的 25%~80%；
- b) 振弦式测试系统测量误差不得大于 2.5%FS，分辨力宜为 1Hz；
- c) 电子应变测试系统测量误差不得大于 1%FS，分辨力宜为 1 $\mu\epsilon$ ；
- d) 光纤光栅测试系统测量误差不得大于 1%FS，分辨力宜为 1 $\mu\text{m}$ 。

##### 4.11.3 传感器安装

4.11.3.1 锚杆测力计的安装符合下列规定：

- a) 测力计安装前应测读基准值；
- b) 测力计受力方向与锚杆轴线重合；
- c) 锚杆自由段杆体拉力监测、锁定力测试时，测力计安装在工作锚与垫板之间；
- d) 测力计、观测电缆和集线箱设置保护装置；
- e) 对锚杆测力计安装情况进行记录。

4.11.3.2 电阻应变计的选用和安装符合下列规定：

- a) 宜选用标距为 3mm~10mm 的应变片，温度补偿片型号与工作片相同；
- b) 粘贴前，将贴片位置的杆体表面进行打磨和去污清理；
- c) 粘贴后的应变片和接线端子进行防水防潮的密封处理；
- d) 应变片引出导线采用屏蔽电缆，并由独立保护管引出；
- e) 正式测试前，应变片及导线的系统绝缘电阻值应大于 200M $\Omega$ 。

4.11.3.3 粘贴式光纤光栅应变计的安装符合下列规定：

- a) 粘贴前，将贴片位置的杆体表面进行打磨和去污清洗；
- b) 可采用点焊将传感器的安装片脚与锚杆杆体连接；
- c) 传感器进行防潮处理和缓冲保护；
- d) 连接传感器的传输光纤可沿螺纹钢筋的两肋布置，并进行粘结处理；
- e) 在测点位置附近布置温度传感器，温度传感器可绑扎在锚杆杆体上。

4.11.3.4 应力计、应变计与钢筋锚杆的连接符合下列规定：

- a) 应力计、应变计与钢筋锚杆的连接宜在工厂或施工现场作业棚内的台架上进行；
- b) 当杆体材料为普通钢筋时，宜采用机械连接或焊接方式；
- c) 连接后的应力计、应变计受力方向与锚杆杆体轴线方向一致；
- d) 应力计、应变计和观测电缆进行编号；
- e) 应力计、应变计的频率或电阻初值在正常范围内。

##### 4.11.4 现场监测

4.11.4.1 锚杆自由段杆体拉力监测符合下列规定。

- a) 锚杆测力计安装完成后, 锚杆张拉锁定前应进行测力计初读数; 锚杆张拉锁定完成后, 进行锚杆张拉锁定力测读, 作为锚杆拉力的第一次测读数据。
  - b) 每次测读时, 测力计观测应读数 2 次, 相邻两次读数间隔 5min, 取 2 次读数的平均值作为观测值。
  - c) 当监测锚杆需重新张拉时, 张拉前后应分别记录测力计的观测值。
  - d) 每次观测时, 量测测力计的环境温度; 并记录工程施工或运行情况。
  - e) 预应力锚杆自由段杆体拉力监测频率除符合 4.1.6 的有关规定外, 还符合下列规定:
    - 1) 施工期间, 在锚杆张拉锁定后的最初 7d 内宜 1 次/ (1~2) d, 7d 后宜 (1~2) 次/7d;
    - 2) 运行期间, 宜 (1~2) 次/30d;
    - 3) 当遇有降雨、邻近地层开挖、相邻锚杆张拉、支撑拆除、爆破振动等情况以及监测数据变化速率过快时, 增加监测频次;
    - 4) 永久性工程竣工后, 锚杆拉力监测时间不宜少于 24 个月。
- 4.11.4.2 锚杆锚固段杆体拉力监测符合下列规定。**
- a) 锚固段注浆体终凝后进行第一次测读。
  - b) 对预应力锚杆, 锚杆张拉锁定前宜进行一次测读, 锚杆张拉锁定完成后进行一次测读;
  - c) 每次测读时, 对每一测点读数 2 次, 相邻两次读数间隔 5min, 取 2 次读数的平均值作为观测值。
  - d) 记录工程施工或运行情况。
  - e) 对预应力锚杆, 进行锚杆自由段杆体拉力监测。
  - f) 监测频率: 施工开挖初期宜 1 次/ (1~2) d, 以后宜 1 次/ (7~14) d, 也可根据工程需要和锚杆锚固段杆体拉力变化情况确定。
  - g) 当出现下列情况之一时, 提高监测频率:
    - 1) 监测数据达到或超过报警值;
    - 2) 监测数据异常;
    - 3) 锚固结构出现开裂;
    - 4) 出现影响锚固工程及周边环境安全的异常情况。
- 4.11.5 成果整理分析**
- 4.11.5.1 锚杆拉力监测数据整理剔除异常数据。**
- 4.11.5.2 锚杆自由段拉力监测结果的整理宜符合下列规定:**
- a) 宜按测试时间对应的锚杆拉力列表整理;
  - b) 宜绘制锚杆拉力~时态曲线;
  - c) 宜绘制锚杆拉力~工况曲线;
  - d) 宜对监测数据进行拟合分析, 预测锚杆拉力的变化趋势;
  - e) 也可绘制锚杆拉力变化速率~时态曲线。
- 4.11.5.3 锚杆锚固段拉力监测结果的整理宜符合下列规定:**
- a) 监测结果宜按工程施工情况、监测时间、监测位置、传感器编号列表整理;
  - b) 宜绘制锚杆不同断面拉力随时间变化曲线;
  - c) 宜绘制锚杆不同断面拉力随工况变化曲线;
  - d) 宜对监测数据进行拟合分析, 预测锚杆拉力的变化趋势。

## 4.12 地下水位监测

### 4.12.1 一般规定

地下水位监测断面选取符合下列要求:

- a) 根据边坡地质、地形及地下水分布等因素按监测断面布置, 监测断面宜与内部变形监测断面相结合, 具备条件的, 可利用地质勘探孔或勘探平硐布置地下水位监测;
- b) 布置在具有代表性的断面上和易产生破坏的敏感区域, 各断面地下水位不宜少于 3 个监测点。

### 4.12.2 监测方法

地下水位监测可采用钻孔埋设水位管法、预埋传感器或水尺监测法进行。

#### 4.12.3 仪器设备

地下水位监测仪器设备技术参数应符合下列要求：

- a) 水位计精度不应低于 2mm；
- b) 水位尺精度不宜低于 10mm。

#### 4.12.4 现场监测

4.12.4.1 潜水水位管应在施工前埋设，滤管长度满足测量要求，用隔水填料填实封严，防止地表水渗入。承压水位监测时在被测含水层与其他含水层之间有高度不小于 1m 的隔水填料分隔，宜选用直径 2 cm 左右的风干黏土球作填料，在投放黏土球时，缓慢、均衡投入，确保隔水效果。

4.12.4.2 水位管埋设后，稳定水位的间隔时间按地层的渗透性确定，对砂土和碎石土不得少于 0.5h，对粉土和黏性土不得少于 8h。

4.12.4.3 采用钻孔埋设水位管法时应在水位管埋设 24 h 后采用水准仪测出水位管顶的高程，计算水位变化。水位管顶的高程宜每个月校核一次。

#### 4.12.5 成果整理分析

水位观测数据读取三次，并取其平均值作为观测值。分析监测数据，形成地下水位监测报告，报告包含但不限于下列内容：

- a) 地下水位变化值；
- b) 地下水位~时间曲线。

#### 4.13 降雨量监测

##### 4.13.1 一般规定

4.13.1.1 降雨量监测可采用人工监测或自动化监测。

4.13.1.2 人工监测宜选用雨量器进行；自动化监测可选用自记雨量器、遥测雨量器或自动预报雨量器等。

##### 4.13.2 仪器设备

雨量器误差不宜大于3%。

##### 4.13.3 现场监测

###### 4.13.3.1 人工监测

4.13.3.1.1 安装高度选定后，不得随意变动，以保持历年降雨量观测高度的一致性和降雨记录的可比性。

4.13.3.1.2 降雨器安装完毕后，用水平尺复核，检查承水器口是否水平。

4.13.3.1.3 在观测时间若有降雨，取出储水桶内的储水器，放入备用储水器，然后到室内用量雨杯测记降雨量。如降雨很小或已停止，可携带量雨杯到观测现场测记降雨量。

4.13.3.1.4 为减少蒸发损失，在降雨停止后及时观测降雨量。

4.13.3.1.5 使用量雨杯读数时，视线与水平凹面最低处平齐，观读至量雨杯的最小刻度。

4.13.3.1.6 降雨量记录至 0.1mm，不足 0.05mm 的降雨不作记录，历时记至分钟。

###### 4.13.3.2 自动化监测

4.13.3.2.1 边坡影响范围区域内至少设置 1 处降雨量监测点。

4.13.3.2.2 雨量器设置位置避开强风区，其周围应空旷、平坦，不受突变地形、树木和建筑物以及烟尘的影响，并方便检查维护。

4.13.3.2.3 雨量器安装完毕后，用水平尺检查雨量器器口水平状况。

4.13.3.2.4 在安装雨量器的同时，安装供电、通信控制装置和防雷击设施。

4.13.3.2.5 雨量器安装调试时，使用专用雨量量筒，进行 3 次人工注水试验，每次注水 10mm，在 5

min~10min 内均匀注完水量，观测仪器计数是否与所注水量一致，测试误差在 $\pm 0.2\text{mm} / 10\text{mm}$  以内，超过误差时进行调试。实验完毕，清除实验数据。

4.13.3.2.6 汛期前对雨量器进行检查调试。

#### 4.13.4 成果整理分析

分析监测数据，形成降雨量监测报告，报告包含但不限于下列内容：

- a) 降雨量变化值；
- b) 降雨量~时间曲线。

#### 4.14 爆破振动监测

##### 4.14.1 一般规定

4.14.1.1 边坡的爆破振动判据，采用能够反映爆破有害效应对边坡影响的测点质点峰值振动速度和主振频率。

4.14.1.2 边坡长度不大于 1000m 时，边坡爆破振动重点监测断面宜布置 1 个；边坡长度大于 1000m 时，边坡爆破振动重点监测断面宜每 1000m 布置 1 个。

4.14.1.3 每个监测断面布置最少 1 个测点，测点布置在距爆破区最近的坡脚，每一测点均布置垂直向、水平径向和水平切向的传感器，同时监测三个方向的质点振动值。

4.14.1.4 在突变位置的两侧分别布置测振仪器。

4.14.1.5 边坡爆破振动监测频率除符合 4.1.6 的有关规定外，还符合下列规定：

- a) 一次性爆破监测，各监测断面同时监测；
- b) 长期爆破监测，重点监测断面每月监测 1 次以上，至少 1 个代表性测点每次爆破必测。

##### 4.14.2 仪器设备

爆破振动监测仪器技术参数符合下列要求：

- a) 传感器频带线性范围符合表 12 的规定；

表12 被测物理量的频率范围

监测项目	爆破类型			
	深孔爆破		浅孔爆破	其他爆破
质点振动速度	近区	30~300Hz	20~300Hz	2~300Hz
	中区	10~100Hz		
	远区	2~50Hz		

- b) 记录设备的采样频率宜大于 100 倍被测物理量的主振频率；
- c) 速度传感器的灵敏度非线性度不大于 5%；
- d) 传感器和记录设备的测量幅值满足监测项目的要求；
- e) 记录设备具有现场显示、输入、保存实测波形信号和监测参数、实时远程传输实测物理量数据的功能，有对现场监测数据进行分析处理、与计算机进行数据通信的功能，并配有现场监测数据分析处理软件；
- f) 质点振动速度测试导线宜选用屏蔽电缆。

##### 4.14.3 现场监测

4.14.3.1 收集地形地质资料、保护对象资料，爆破规模、爆破方式、孔网参数、单段起爆药量、起爆顺序及起爆网路等爆破参数。

4.14.3.2 仪器安装前，根据测点布置情况对测点及其传感器进行统一编号，确定传感器 X 方向为水平径向，Y 方向为水平切向，Z 方向为垂直向。

4.14.3.3 安装时，确保振动传感器与介质紧密接触，不得出现松动与滑动现象：

- a) 传感器安放在岩石或基础表面时，清理干净岩石或基础表面，并使之与传感器形成紧密（刚性）连接；
- b) 传感器安放在岩体内部时，宜采用与被测介质波阻抗接近的材料充填密实传感器周围的空间；

c) 传感器安装在土质地表时, 清除表面浮土, 并使传感器安装于密实土层中。

4.14.3.4 在测振仪器安装过程中, 严格控制每一测点不同方向的测振仪器安装角度, 误差不大于 $5^{\circ}$ 。

4.14.3.5 需要获取爆破振动传播衰减规律时, 测点至爆源的距离, 按“近密远疏”的对数规律布置, 测点数不少于5个。

4.14.3.6 布置在爆破警戒区的仪器应进行必要的安全防护。

4.14.3.7 宜测量确定各测点的三维坐标。

4.14.3.8 合理选择自触发设定值, 设置的量程、记录时间及采样频率等, 满足工程测振要求。

4.14.3.9 根据记录设备电源的待机时间, 合理选择开机时间; 有远程控制的测振仪器可根据爆破程序设置开机指令。

4.14.3.10 监测爆破振动波传播速度时, 采用同步触发装置, 使多个测点的测振仪器同步记录。

4.14.3.11 及时填写爆破振动监测记录表, 监测原始记录信息应完整, 记录表见附录A。

#### 4.14.4 成果整理分析

分析监测数据, 形成爆破振动监测报告, 报告包含但不限于下列内容:

- a) 动力反应时域曲线和频域曲线;
- b) 各测点振动速度与测点距振源的距离变化曲线。

#### 4.15 自动化监测

##### 4.15.1 一般规定

边坡监测符合下列条件之一时, 宜采用自动化监测:

- a) 需要长期监测的项目;
- b) 需要高频次监测的项目;
- c) 人工监测实施困难的项目;
- d) 测点所处环境条件受限的项目;
- e) 有特殊要求的项目。

##### 4.15.2 自动化监测系统技术要求

###### 4.15.2.1 数据自动采集系统符合下列要求:

- a) 数据自动采集系统具有电源管理、电池供电和掉电保护, 电源意外中断时, 设备工作参数和采集数据不丢失, 恢复供电时, 能自动恢复采集工作;
- b) 数据自动采集装置具有选测、按设定时间自动巡测和暂存数据功能;
- c) 数据自动采集装置可接收采集计算机的命令设定和测控参数;
- d) 数据自动采集装置的量程、分辨率和精度满足监测要求, 并与对应传感器性能匹配;
- e) 数据自动采集装置宜兼容多种传感器, 并可同时采集数据, 同时具有设备离线提醒功能;
- f) 不同传感器的数据采集, 可设置不同的监测频次;
- g) 数字型传感器可直接接入数据传输设备, 也可通过数据采集设备接入;
- h) 数据自动采集装置具备通过数据接口对外传输监测数据的功能。

###### 4.15.2.2 数据传输系统符合下列要求:

- a) 数据传输系统采用开放的通讯协议和标准数据传输方式, 数据传输宜采用有线传输方式, 有线传输难以实现时, 可以采用无线传输方式;
- b) 数据传输采用具有校验功能的协议, 能够及时纠正传输错误的数据包;
- c) 数据传输满足监测数据实时性、准确性和安全性的要求。

###### 4.15.2.3 数据储存管理和实时发布系统符合下列要求:

数据储存管理和实时发布系统具有数据实时发布和定时发布的功能, 并能进行数据异常情况下故障显示。

###### 4.15.2.4 监测服务器系统符合下列要求:

- a) 监测服务器系统具有数据发布、数据自动备份、多级用户管理和网络安全防护功能;
- b) 监测服务器宜设置上电自动启动功能, 软件设置随系统自动启动功能;

- c) 监测服务器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) 监测服务器采取计算机病毒防护安全技术措施。
- 4.15.2.5 软件管理系统符合下列要求：
- a) 设计数据库字段时考虑不同传感器的数据格式；
  - b) 监测软件能实时接收检测值和各相关参数，并能调取各监测点的历史数据；
  - c) 监测软件根据不同的需求远程设置监测频次和报警值；
  - d) 监测软件具有数据处理和报表输出功能，所采集的监测数据，能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；
  - f) 监测系统宜预留人工数据采集接口和人工录入数据接口。
- 4.15.2.6 供电系统符合下列要求。
- a) 监测系统供电可根据现场情况采用电网供电或太阳能供电。
  - b) 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，其持续供电时间根据具体要求确定，设置过载保护装置，室外供电系统符合防雷设计要求并可靠接地。
  - c) 使用太阳能供电时应符合下列要求：
    - 1) 太阳能供电系统宜包含蓄电池、太阳能板与控制器三个模块；
    - 2) 太阳能板功率根据现场设备的功耗计算获得，太阳能板功率宜不低于设备功耗的 20 倍；
    - 3) 蓄电池容量（以安时计）宜设置在太阳能板功率（以 W 计）数值的 1/2；
    - 4) 控制器具备电源管理、电池供电、掉电保护和自动上电等功能；
    - 5) 供电系统能保障现场监测设备在连续阴雨天正常工作。
- 4.15.2.7 报警系统符合下列要求：
- a) 监测数据达到报警值的某一程度时进行预警，达到报警值时报警；
  - b) 监测数据的变化率达到预设值时预警；
  - c) 系统故障、通讯异常时自动报警；
  - d) 系统预警和报警第一时间以短信、传真、广播等形式通知用户。
- 4.15.2.8 自动化监测系统设计使用年限宜覆盖项目监测周期，部分监测仪器设备或传感器的设计使用年限无法覆盖项目监测周期时，在系统设计阶段需提出保证监测数据继承性的设备更换方案。
- 4.15.2.9 设置于现场的自动化监测设备应设立警示铭牌，制定完善的管理制度，建立监测系统档案，内容至少包含设备名称、编号、监测内容、位置等。
- 4.15.2.10 自动化监测系统保持良好运行状态，监测设备定期检查维护，做好检测记录，存档备查。
- ### 4.15.3 自动化监测设备技术要求
- 4.15.3.1 自动化监测设备具有先进性、适用性和可行性，并符合下列要求：
- a) 监测设备符合监测期限、监测内容、监测方法和系统功能的要求；
  - b) 监测设备的防水、耐腐蚀性能满足现场环境要求；
  - c) 监测设备具有较强的抗干扰能力和自适应能力；
  - d) 监测设备能满足连续监测的要求。
- 4.15.3.2 传感器的选择根据下列内容进行：
- a) 传感器类型；
  - b) 信号输出方式；
  - c) 灵敏度；
  - d) 线性范围；
  - e) 稳定性；
  - f) 量程和精度；
  - g) 供电方式；
  - h) 安装方式；
  - i) 频率响应特性；
  - j) 环境条件。

4.15.3.3 传感器应具有温度补偿功能,当环境温度变化对监测结果产生影响时,对环境温度同步监测,并对监测结果进行修正。

4.15.3.4 人工监测方式采用的传感器在数据接口、精度等指标满足监测要求的情况下,可接入自动化监测系统,但自动化监测系统不能采用需要人工干预的传感器。

4.15.3.5 传感器密封性满足水运工程环境使用要求,可采用填充密封胶、安装保护盒等方式进行密封处理。

4.15.3.6 常用传感器性能指标要求见附录 B。

#### 4.15.4 常用自动化监测系统及传感器要求

4.15.4.1 全站仪自动化监测系统符合下列要求:

- a) 全站仪自动化监测系统测量监测点三维坐标的变化,适用于水平位移、垂直位移、倾斜等监测项目;
- b) 在编制实施方案前进行现场勘察,编制的实施方案完成控制网的设计和监测点的布设,并细化全站仪自动化监测方案;
- c) 全站仪测站具有良好的通视条件,采用的全站仪具有马达驱动、自动照准功能,且宜配置自动整平基座,架设稳固。基准点位于变形区域外,不少于 3 点,宜均匀分布于变形区周边。监测点的布设根据被监测对象的特点做到均匀布设、兼顾重点,避免同一方向上设置多个监测点或监测点过于集中。全站仪测站与基准点、监测点间具有良好的通视条件;
- d) 全站仪测站使用强制对中观测墩,测站宜具有保护仪器设备的设施,基准点、监测点宜使用单棱镜,棱镜宜设置保护措施;
- e) 在全站仪运行期间,定期对基站、基准点的稳定性进行检查;
- f) 全站仪自动化监测系统宜有自动剔除粗差、漏点补测、超限重测的功能;
- g) 采用多测站全站仪变形监测时,相邻测站有 3 个以上重叠的观测测点。

4.15.4.2 固定式测斜仪自动化监测系统符合下列要求:

- a) 固定式测斜仪自动化监测系统适用于支挡结构或土体内各深度处的水平位移监测;
- b) 测斜孔内布设的固定式测斜传感器个数根据测试深度、测试精度及测斜管孔径综合考虑,固定式测斜传感器的竖向间距能反映监测深度范围内管形变化要求,间距一般宜控制在 2m~5m;
- c) 固定式测斜仪自动化监测系统的起算点宜设置在测斜管的顶部,管顶水平位移可通过人工测量方法修正。

4.15.4.3 电水平尺自动化监测系统符合下列要求:

- a) 电水平尺自动化监测系统适用于垂直位移、倾斜等监测项目;
- b) 电水平尺传感器量程不宜小于 $\pm 40^\circ$ ,分辨率不宜低于 $\pm 1''$ ,重复测量精度不宜低于 $\pm 3''$ ,可单支使用或多支串联使用;
- c) 多支电水平尺串联安装构成“尺链”进行垂直位移测量时,其中单支电水平尺的长度应能满足监测对象不均匀沉降控制要求,一般为 1m~3m,采用几何水准方法定期联测尺链的起点与终点高程变化,根据几何水准测量成果修正各测点沉降变形监测成果。

4.15.4.4 裂缝、水位、应力以及水、土压力类传感器符合下列要求:

- a) 将相应类别传感器通过数据自动采集设备接入自动化监测系统后,可适用于裂缝、水位、应力以及水压力、土压力等监测项目;
- b) 各自动化监测系统传感器的布设和选型根据监测对象的特点和相关单位的要求;
- c) 自动化监测项目宜选用带测温功能的传感器,数据自动采集设备应与传感器之间能可靠传递信号;
- d) 在水位孔中设置空隙水压力计时,布设在预计最低水位以下,采取措施保证空隙水压力计稳定在水位观测孔同一位置;
- e) 传感器与数据自动采集设备位置应予以规划,满足电缆拖引距离最短和施工干扰最少的要求。

#### 4.15.5 成果整理分析

自动化监测系统应具有初步的数据整理和分析功能,包括但不限于下列内容:

- a) 绘制各监测物理量过程变化曲线;

- b) 绘制各监测物理量在时间和空间上的分布特征图；
- c) 绘制各监测物理量之间的相关关系图。

## 5 检测

### 5.1 基本规定

5.1.1 边坡检测工作核心目标是验证支护结构施工质量，服务于边坡长期稳定性和风险防控。

5.1.2 边坡检测工作程序宜包括接受委托、收集资料、制定检测方案、准备仪器设备、实施检测、出具相关报告环节。

5.1.3 边坡检测工作基本原则包含：

- a) 安全性优先：检测作业不得危及边坡自身稳定、既有结构安全及人员安全；
- b) 代表性与可比性：测点布设、样本选取能反映结构整体质量，历史数据具备可追溯性；
- c) 方法适配性：检测方法选择匹配结构类型、检测目的、材料特性；
- d) 全过程质量控制：覆盖检测方案编制、现场实施、数据采集、分析评价、报告编制全环节。

5.1.4 边坡检测包含下列项目：

- a) 锚杆（索）检测；
- b) 支护桩检测；
- c) 混凝土支护结构检测；
- d) 喷射混凝土检测。

5.1.5 检测报告包含但不限于下列内容：

- a) 委托方名称，工程概况，建设、勘察、设计、监理和施工单位名称；
- b) 地质条件描述；
- c) 受检构件编号等相关信息；
- d) 施工日期和相关施工记录；
- e) 仪器设备规格、型号等相关信息；
- f) 检测的目的、方法、数量、日期；
- g) 检测过程叙述及异常情况描述；
- h) 检测数据，实测与计算分析图表；
- i) 和检测内容相应的结论。

### 5.2 锚杆（索）检测

#### 5.2.1 一般规定

5.2.1.1 锚杆（索）（以下简称锚杆）根据检测目的，选择基本试验或者验收试验开展检测。需要提供试验锚杆的极限抗拔承载力、预应力锚杆弹性变形验算结果时，选择基本试验；需要提供受检锚杆的抗拔承载力检测值、支护锚杆弹性变形验算结果及其是否满足设计要求时，选择验收试验。

5.2.1.2 进行锚杆基本试验时，锚固段注浆体强度不低于设计强度的 90%，或锚固段注浆体的龄期达到 28 d；进行锚杆验收试验时，锚固段注浆体强度不低于设计强度的 75%。

5.2.1.3 锚杆基本试验的检测数量，永久性锚杆不少于 6 根，临时性锚杆不少于 3 根。

5.2.1.4 施工完成后进行验收试验的受检锚杆选择，符合下列规定。

- a) 施工质量有疑问的锚杆全部进行锚杆验收试验。
- b) 优先选取下列条件中的锚杆：
  - 1) 局部地质条件复杂部位的锚杆；
  - 2) 设计方认为重要部位的锚杆。
- c) 除本条 a) 和 b) 规定的受检锚杆外，其余受检锚杆宜随机选取。

5.2.1.5 5.2.1.4 第 b) 项和第 c) 项的锚杆检测数量不少于锚杆总数的 5%，且不少于 5 根。

5.2.1.6 仪器设备在检定或校准的有效期内，使用前对仪器设备进行检查调试，当现场操作环境不符合仪器设备使用要求时，采取有效的防护措施。

5.2.1.7 试验加载装置安装前，采取措施确保试验锚杆处于独立受力状态，不受支撑构件、垫层或混凝土面层的影响。

### 5.2.2 检测仪器设备

5.2.2.1 锚杆基本试验、验收试验等宜采用液压千斤顶加卸载，其作用力方向与锚杆轴线重合；对荷载分散型锚杆，当采用并联千斤顶同步张拉法进行试验时，其单元锚杆的作用力方向须与其单元锚杆的轴线重合。

5.2.2.2 试验仪器设备性能指标符合下列规定：

- 荷重传感器、压力传感器或压力表的准确度优于或等 0.5 级；
- 试验用油泵、油管在最大加载时的工作压力不超过规定工作压力的 80%；
- 荷重传感器、千斤顶、压力表或压力传感器的量程与测量范围相适应，测量值宜控制在量程的 20%~80%；
- 位移测量仪表的测量误差不大于 0.1%FS，分度值/分辨力优于或等于 0.01mm。

5.2.2.3 荷载量测可采用放置在千斤顶上的荷重传感器直接测定，或采用并联于千斤顶油路的压力表或压力传感器测定油压，根据千斤顶校准结果换算荷载。

5.2.2.4 锚头位移宜采用位移传感器或百分表测量，且符合下列规定：

- 位移测量方向与锚杆的轴向变形方向平行；
- 安装 1~2 个位移测量仪表；对采用并联千斤顶同步张拉法进行试验的荷载分散型锚杆，每组单元锚杆应安装 1 个位移测量仪表；
- 位移测量系统应设置基准桩和基准梁，位移测量仪表的基座应固定在基准梁上，不得使用千斤顶作为位移测量基准点；
- 基准桩应优先设置在与试验加载装置不同标高的下一台阶的岩土层中；
- 基准桩、基准梁和固定位移测量仪表的夹具避免太阳照射、振动及其他外界因素的影响。

5.2.2.5 锚杆试验加载反力装置符合下列规定：

- 加载反力装置提供的反力不得小于最大试验荷载的 1.2 倍；
- 加载反力装置的构件满足承载力和变形的要求。

5.2.2.6 锚杆试验加载反力装置可根据试验条件选择支座横梁反力装置、支撑凳式反力装置或承压板式反力装置，加载反力装置的选择符合下列规定：

- 基础锚杆采用支座横梁反力装置；
- 支护锚杆可采用支座横梁反力装置、支撑凳式反力；支护型岩石锚杆和锚杆支护结构体系中设置有连续墙、排桩、腰梁、圈梁等支撑构件的土层锚杆，也可采用承压板式反力装置；
- 持有荷载试验应采用支撑凳式反力装置。

5.2.2.7 提供加载反力的连续墙、排桩、腰梁、圈梁等支撑构件或喷射混凝土面层，其提供的反力不得小于最大试验荷载的 1.2 倍；加载反力装置施加给岩土层的压应力不宜大于岩土承载力特征值的 1.5 倍。

5.2.2.8 锚杆中心、支座边(承压板边)、基准桩中心之间的距离符合表 13 的规定。

表13 锚杆中心、支座边(承压板边)、基准桩中心之间的距离

反力装置类型	距离		
	两支座间距	基准桩中心与锚杆中心	基准桩中心与支座边(承压板边)
支座横梁反力装置	$\geq 4B$ 且 $\geq 6d$ 且 $> 2.0m$	$> 2.0m$	$\geq 1.5B$ 且 $> 2.0m$
支撑凳式反力装置	$\geq 3d$	$> 1.0m$	$\geq 1B$ 且 $> 1.0m$
承压板式反力装置	—	$> 1.0m$	$\geq 1B$ 且 $> 1.0m$

注：B为支座边宽或承压板边宽；d为锚杆钻孔直径。

5.2.2.9 锚杆张拉锁定装置与卸锚装置符合下列规定：

- 荷载测量及其仪器的技术性能指标应符合 5.2.2.1~5.2.2.3 的规定；
- 位移测量可用钢板尺进行测量，精确至 1mm；
- 锚杆张拉锁定装置可选用带有限位板的加载反力装置；
- 锚杆卸锚装置可选用支撑凳式加载反力装置。

### 5.2.3 基本试验

#### 5.2.3.1 一般规定

5.2.3.1.1 锚杆基本试验加卸载方法采用多循环加卸载法，当有成熟的地区经验时，锚杆也可采用单循环加卸载法。

5.2.3.1.2 锚杆基本试验最大试验荷载( $Q_{max}$ )预估值的确定符合下列规定：

- a) 拉力型锚杆取锚固段注浆体与岩土体之间破坏荷载预估值、杆体与锚固段注浆体之间破坏荷载预估值两者中较小者的(1.0~1.5)倍；
- b) 压力型锚杆取锚固段注浆体与岩土体之间破坏荷载预估值的(1.0~1.5)倍，且不宜超过锚固段注浆体局部抗压破坏荷载的0.9倍；
- c) 钢绞线锚杆杆体应力不超过杆体极限强度标准值的0.85倍；钢筋锚杆杆体应力不超过杆体屈服强度标准值的0.9倍；
- d) 当设计有要求时，按设计要求取值。

5.2.3.1.3 基本试验的锚杆不得选用工程锚杆，且全长粘结型锚杆宜设置0.5m~1.0m的自由段。

### 5.2.3.2 试验要求

5.2.3.2.1 锚杆基本试验中初始荷载( $Q_0$ )的选取宜取最大试验荷载预估值的10%。

5.2.3.2.2 试验中加荷速度宜为(0.05~0.10)  $N_k/min$ ，卸荷速度宜为加荷速度的2倍。

5.2.3.2.3 试验中锚头位移基准值的确定符合下列规定：

- a) 在初始荷载作用下，每间隔5min测读一次锚头位移；
- b) 当相邻两次锚头位移增量不大于0.01mm时，可视为锚头位移稳定，取最后一次读数值作为锚头位移基准值。

5.2.3.2.4 基本试验的锚头位移相对稳定标准符合下列规定：

- a) 多循环加卸载法、单循环加卸载法：在0min~30min测时间内，当岩石锚杆/土层锚杆相邻两次锚头位移增量分别不大于0.05mm/0.10mm时，可视为位移稳定；当30min内锚头位移仍不稳定时，则应延长观测时间，当岩石锚杆/土层锚杆出现1h内锚头位移增量分别不大于0.50mm/1.00mm时，可视为位移稳定；
- b) 分级维持荷载法：当岩石锚杆/土层锚杆30min内的锚头位移增量不大于0.05mm/0.10mm时，可视为锚头位移达到相对稳定。

### 5.2.3.3 试验方法

5.2.3.3.1 基本试验的多循环加卸载法符合下列规定：

- a) 荷载分级和锚头位移观测时间根据初始荷载取值按表14的规定确定；

表14 基本试验的多循环加卸载法的荷载分级和锚头位移观时间

循环次数	分级荷载与最大试验荷载的百分比(%)											
	初始荷载	加载过程							卸载过程			
第一循环	10	30	—	—	—	—	—	50	—	—	30	10
第二循环	10	30	50	—	—	—	—	60	—	—	30	10
第三循环	10	30	50	—	—	—	60	70	—	50	30	10
第四循环	10	30	50	—	—	60	70	80	—	50	30	10
第五循环	10	30	50	—	60	70	80	90	70	50	30	10
第六循环	10	30	50	60	70	80	90	100	70	50	30	10
持荷时间(min)		5	5	10	5	5	5	≥10	5	5	5	5

注：当初始荷载取最大试验荷载预估值的30%时，从第二循环开始试验，共进行五个循环的加卸载试验，每个循环均卸载至最大试验荷载预估值的30%。

- b) 在每一循环的非最大荷载作用下，每级荷载加载或卸载完成后持荷5min，并在第0min、5min测读锚头位移；
- c) 在每一循环的最大荷载作用下，加载完成后，应每间隔5min测读一次锚头位移；当锚头位移达到5.2.3.2.4的相对稳定标准时，方可卸载；
- d) 当加载至最大试验荷载预估值尚未出现5.2.3.3.3规定的终止加载情况时，宜按最大试验荷载预估值10%的荷载增量继续进行(1~2)个循环的加卸载试验。

## 5.2.3.3.2 基本试验的单循环加卸载法符合下列规定：

- a) 荷载分级和锚头位移观测时间根据初始荷载取值按表 15 的规定确定；

表15 基本试验的单循环加卸载法的荷载分级和锚头位移观测时间

试验荷载与最大试验荷载的百分比 (%)											
初始荷载	加载过程						卸载过程				
10	30	50	60	70	80	90	100	70	50	30	10
观测时间 (min)	≥10						5				

注：当初始荷载取最大试验荷载预估值的30%时，从最大试验荷载预估值的50%开始试验，并卸载至最大试验荷载预估值的30%。

- b) 加载分级进行，采用逐级等量加载，分级荷载宜为最大试验荷载预估值的 1/10，其中，第一级加载量可取分级荷载 2 倍；卸载分级进行，每级卸载量可取分级荷载的 2 倍；
- c) 每级荷载施加完成后，每间隔 5min 测读一次位移；
- d) 锚头位移达到 5.2.3.2.4 的相对稳定标准时，可继续施加下一级荷载；
- e) 卸载时，每级荷载维持 15 min，按第 0 min、5min、10min、15min 测读锚头位移；
- f) 当加载至最大试验荷载预估值尚未出现 5.2.3.3.3 规定的终止加载情况时，宜按最大试验荷载预估值 10% 的荷载增量继续进行 (1~2) 级加载试验。

## 5.2.3.3.3 出现下列情况之一时，终止加载：

- a) 锚杆杆体破坏；
- b) 多循环加卸载法中，本次循环荷载产生的单位荷载下的锚头位移增量达到或超过前一循环荷载产生的单位荷载下的位移增量的 5 倍；
- c) 单循环加卸载法和分级维持荷载法中，本级荷载产生的单位荷载下的锚头位移增量达到或超过前一级荷载产生的单位荷载下的位移增量的 5 倍；
- d) 土层锚杆在 3h 内、岩石锚杆在 2h 内，锚头位移未达到 5.2.3.2.4 的相对稳定标准；
- e) 已加载至最大试验荷载预估值或完成了增加的 (1~2) 级荷载试验，且锚头位移达到位移相对稳定标准。

## 5.2.3.4 成果整理分析

分析检测数据，形成检测报告，报告包含但不限于下列内容：

- a) 受检锚杆孔位对应的地质剖面图或柱状图；
- b) 加载反力装置和试验方法；
- c) 多循环加卸载法应绘制锚杆的荷载~位移 ( $Q\sim s$ ) 曲线、荷载~弹性位移 ( $Q\sim s_e$ ) 曲线和荷载~塑性位移 ( $Q\sim s_p$ ) 曲线；单循环加卸载法与分级维持荷载法应绘制锚杆的荷载~位移 ( $Q\sim s$ ) 曲线；对应的数据表；
- d) 每根试验锚杆的极限承载力和确定依据；
- e) 预应力锚杆弹性变形验算结果。

## 5.2.4 验收试验

## 5.2.4.1 一般规定

- a) 锚杆验收试验加卸载方式的选择宜采用单循环加卸载法，也可采用多循环加卸载法；
- b) 锚杆验收试验的最大试验荷载不小于锚杆验收荷载，当满足下列条件时，可判定所检测的工程锚杆验收试验结果满足设计要求：
- 1) 锚杆抗拔承载力检测值的平均值不小于锚杆验收荷载；
  - 2) 锚杆抗拔承载力检测值的最小值不小于锚杆验收荷载的 0.9 倍。
- c) 按本条 b) 项进行检测结果评价时，宜取锚杆验收荷载的 (1.1~1.2) 倍。

## 5.2.4.2 试验要求

5.2.4.2.1 锚杆验收试验中初始荷载 ( $Q_0$ ) 的选取宜取最大试验荷载的 30%。

5.2.4.2.2 试验中加卸荷速度、锚头位移基准值的测读符合 5.2.3.2.2、5.2.3.2.3 的规定。

### 5.2.4.3 试验方法

#### 5.2.4.3.1 锚杆验收试验的单循环加卸载法符合下列规定：

- a) 荷载分级和锚头位移观测时间符合表 16 的规定；

表16 验收试验的单循环加卸载法的荷载分级和锚头位移观时间

试验荷载与最大试验荷载的百分比 (%)									
初始荷载	加载过程						卸载过程		
30	50	60	70	80	90	100	70	50	30
观测时间 (min)	≥10						5		

- b) 每级荷载施加完成后，每间隔 5min 测读一次锚头位移；  
 c) 锚头位移相对收敛标准：当后 5min 的位移增量小于前 5min 的位移增量时，可视为锚头位移达到相对收敛标准；  
 d) 锚头位移达到相对收敛标准时，可施加下一级荷载；  
 e) 卸载时，每级荷载持荷 5min，并在第 0min、5min 测读锚头位移；  
 f) 当出现 5.2.3.3 规定的终止加载情况时，可终止加载。

#### 5.2.4.3.2 锚杆验收试验的多循环加卸载法应符合下列规定：

- a) 荷载分级和锚头位移观测时间符合表 17 的规定；

表17 验收试验的多循环加卸载法的荷载分级和锚头位移观时间

循环次数	分级荷载与最大试验荷载的百分比 (%)									
	初始荷载	加载过程						卸载过程		
第二循环	30	50	—	—	—	—	60	—	—	30
第三循环	30	50	—	—	—	60	70	—	50	30
第四循环	30	50	—	—	60	70	80	—	50	30
第五循环	30	50	—	60	70	80	90	70	50	30
第六循环	30	50	60	70	80	90	100	70	50	30
观测时间 (min)	1	1	1	1	1	1	≥10	1	1	1

- b) 在每一循环的非最大荷载作用下，每级荷载施加或卸载完成后，持荷 1min，测读一次锚头位移；  
 c) 锚头位移相对收敛标准：当后 5min 的位移增量小于前 5min 的位移增量时，可视为锚头位移达到相对收敛标准；  
 d) 在每一循环的最大荷载作用下，荷载施加完成后，每间隔 5min 测读一次锚头位移；当锚头位移达到相对收敛标准时，方可卸载；  
 e) 当出现 5.2.4.3.3 规定的终止加载情况时，可终止加载。

#### 5.2.4.3.3 当出现下列情况之一时，应终止加载：

- a) 当出现 5.2.3.3 第 a) ~d) 项规定的情况之一时；  
 b) 已加载至最大试验荷载值，且锚头位移达到相对收敛标准。

### 5.2.4.4 成果整理分析

分析检测数据，形成检测报告，报告包含但不限于下列内容：

- a) 受检锚杆孔位对应的地质剖面图或柱状图；  
 b) 加载反力装置、锚杆试验方法和张拉方法；  
 c) 5.2.3.4 第 c) 项要求绘制的曲线和对应的数据表；  
 d) 基础锚杆抗拔承载力确定标准和抗拔承载力；  
 e) 锚杆验收标准与评定依据和抗拔承载力检测值。

## 5.3 支护桩检测

### 5.3.1 钢板桩

- 5.3.1.1 钢板桩施工过程中，对钢板桩的桩长、桩顶标高、桩位偏差、沉桩垂直度等项目进行检测。
- 5.3.1.2 土方开挖过程中，根据分区、分层开挖情况，对土方开挖面的钢板桩桩身弯曲度、桩身垂直度、锁口咬合程度、渗漏水情况等项目进行检测。
- 5.3.1.3 钢板桩支护结构施工完毕、土方开挖至设计标高后，对钢板桩围护墙桩身弯曲度、桩身垂直度、锁口咬合程度、板桩墙平直度、支护结构变形、板桩墙渗漏等项目进行检测。
- 5.3.1.4 钢板桩围护墙质量检验标准符合 T/CECS 720 的有关规定。

### 5.3.2 混凝土灌注桩

#### 5.3.2.1 桩身完整性检测

##### 5.3.2.1.1 一般规定

5.3.2.1.1.1 桩身完整性分类符合表 18 的规定，桩身完整性类别为 I 类、II 类的桩判为“合格”，III 类、IV 类判为“不合格”。

表 18 桩身完整性分类

类别	分类原则
I 类	桩身完整
II 类	桩身轻微缺陷，不影响桩身结构承载力的正常发挥
III 类	桩身有明显缺陷，对桩身结构承载力有影响
IV 类	桩身存在严重缺陷

- 5.3.2.1.1.2 桩身完整性采用声波透射法检测，检测数量为总桩数的 100%。当发现检测数据异常时，查找原因重新检测。
- 5.3.2.1.1.3 采用钻芯法检测辅助验证时，单孔钻芯检测发现桩身混凝土存在质量问题，可在同一基桩增加钻孔验证，并根据前、后钻芯结果对受检桩重新评定。
- 5.3.2.1.1.4 钻芯法检测结果不满足设计要求时，分析原因并扩大检测。
- 5.3.2.1.1.5 验证检测或扩大检测采用的方法和检测数量须得到工程建设有关方的确认。
- #### 5.3.2.1.2 声波透射法检测
- 5.3.2.1.2.1 采用声波透射法检测时，受检桩混凝土强度不低于设计强度的 70%，且不低于 15MPa。
- 5.3.2.1.2.2 声测管应沿钢筋笼内测对称布置，且埋设数量应符合下列规定：
- 桩径  $D \leq 800\text{mm}$  时，不得少于 2 根声测管；
  - 桩径  $800\text{mm} < D \leq 1600\text{mm}$  时，不得少于 3 根声测管；
  - 桩径  $D > 1600\text{mm}$  时，不得少于 4 根声测管；
  - 桩径  $D > 2500\text{mm}$  时，宜增加预埋声测管数量。
- 5.3.2.1.2.3 出现下列情况之一时，采用钻芯法检测辅助验证，不得采用声波透射法对整桩的桩身完整性进行评定：
- 声测管未沿桩身通长配置；
  - 声测管堵塞导致检测数据不全；
  - 声测管埋设数量不符合 5.3.2.1.2.2 的规定。
- 5.3.2.1.2.4 桩身完整性类别应结合桩身缺陷处声测线的声学特征、缺陷的空间分布范围，按表 19 所列特征进行综合判定。

表19 声波透射法检测桩身完整性判定

特征	类别
所有声测线声学参数无异常，接收波形正常	I
存在声学参数轻微异常、波形轻微畸变的异常声测线，异常声测线在任一检测剖面的任一区段内纵向不连续分布，且在任一深度横向分布的数量小于检测剖面数量的50%	
存在声学参数轻微异常、波形轻微畸变的异常声测线，异常声测线在一个或多个检测剖面的一个或多个区段内纵向连续分布，或在一个或多个深度横向分布的数量大于或等于检测剖面数量的50%	II
存在声学参数明显异常、波形明显畸变的异常声测线，异常声测线在任一检测剖面的任一区段内纵向不连续分布，且在任一深度横向分布的数量小于检测剖面数量的50%	
存在声学参数明显异常、波形明显畸变的异常声测线，异常声测线在一个或多个检测剖面的一个或多个区段内纵向连续分布，但在任一深度横向分布的数量小于检测剖面数量的50%	III
存在声学参数明显异常、波形明显畸变的异常声测线，异常声测线在任一检测剖面的任一区段内纵向不连续分布，但在任一深度横向分布的数量大于或等于检测剖面数量的50%	
存在声学参数严重异常、波形严重畸变或声速低于底限值的异常声测线，异常声测线在任一检测剖面的任一区段内纵向不连续分布，且在任一深度横向分布的数量小于检测剖面数量的50%	
存在声学参数明显异常、波形明显畸变的异常声测线，异常声测线在一个或多个检测剖面的一个或多个区段内纵向连续分布，且在一个或多个深度横向分布的数量大于或等于检测剖面数量的50%	IV
存在声学参数严重异常、波形严重畸变或声速低于底限值的异常声测线，异常声测线在一个或多个检测剖面的一个或多个区段内纵向连续分布，或在一个或多个深度横向分布的数量大于或等于检测剖面数量的50%	
注1：完整性类别由IV类往I类依次判断。	
注2：只有一个检测剖面的受检桩，桩身完整性判断应按该检测剖面代表桩全部横截面的情况对待。	

### 5.3.2.1.3 钻芯法检测

5.3.2.1.3.1 采用钻芯法检测时，受检桩的混凝土龄期应达到 28d，或受检桩同条件养护试件强度达到设计强度要求。

5.3.2.1.3.2 桩径小于 1.2m 的桩的钻孔数量可为 1 个~2 个，桩径为 1.2m~1.6m 的桩的钻孔数量宜为 2 个，桩径大于 1.6m 的桩的钻孔数量应不少于 3 个。

5.3.2.1.3.3 钻芯开孔位置宜重点布置在声波透射法检测结果异常的剖面附近，钻进深度大于声波透射法检测结果异常的横截面位置。

5.3.2.1.3.4 钻芯法现场检测符合下列要求：

- a) 钻机设备安装必须周正、稳固、底座水平。钻机在钻芯过程中不得发生倾斜、移位，钻芯孔垂直度偏差不得大于 0.5%；
- b) 每回次钻孔进尺宜控制在 1.5m 内；
- c) 钻取的芯样按回次顺序放进芯样箱中，钻机操作人员记录钻进情况和钻进异常情况，对芯样质量进行初步描述，检测人员对芯样混凝土详细编录。

5.3.2.1.3.5 受检桩质量评价满足设计要求时，从钻芯孔孔底往上用水泥浆回灌封闭，灌浆压力不小于 0.3MPa；受检桩质量评价不满足设计要求时，封存钻芯孔，留待处理。

5.3.2.1.3.6 钻芯法检测桩身完整性类别时，按表 20 所列特征进行综合判定。

表20 钻芯法检测桩身完整性判定

特征			类别
单孔	两孔	三孔	
混凝土芯样连续、完整、胶结好，芯样侧表面光滑、骨料分布均匀，芯样呈长柱状、断口吻合			I
芯样侧表面仅见少量气孔	局部芯样侧表面有少量气孔、蜂窝麻面、沟槽，但在另一孔同一深度部位的芯样中未出现，否则应判为II类	局部芯样侧表面有少量气孔、蜂窝麻面、沟槽，但在三孔同一深度部位的芯样中未同时出现，否则应判为II类	
混凝土芯样连续、完整、胶结较好，芯样侧表面较光滑、骨料分布基本均匀，芯样呈柱状、断口基本吻合，有下列情况之一：			II
1. 局部芯样侧表面有蜂窝麻面、沟槽或较多气孔 2. 芯样侧表面蜂窝麻面严重、沟槽连续或局部芯样骨料分布极不均匀，但对应部位的混凝土芯样试件抗压强度检测值满足设计要求，否则应判为III类	1. 芯样侧表面有较多气孔、严重蜂窝麻面、连续沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀，但在两孔同一深度部位的芯样中未同时出现 2. 芯样侧表面芯样侧表面有较多气孔、严重蜂窝麻面、连续沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀，且在另一孔同一深度部位的芯样中同时出现，但该深度部位的混凝土芯样试件抗压强度检测值满足设计要求，否则应判为III类 3. 任一孔局部混凝土芯样破碎段长度不大于10cm，且在另一孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观判定完整性类别为I类或II类，否则应判为III类或IV类	1. 芯样侧表面有较多气孔、严重蜂窝麻面、连续沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀，但在三孔同一深度部位的芯样中未同时出现 2. 芯样侧表面芯样侧表面有较多气孔、严重蜂窝麻面、连续沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀，且在任两孔或三孔同一深度部位的芯样中同时出现，但该深度部位的混凝土芯样试件抗压强度检测值满足设计要求，否则应判为III类 3. 任一孔局部混凝土芯样破碎段长度不大于10cm，且在另两孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观判定完整性类别为I类或II类，否则应判为III类或IV类	
大部分混凝土芯样胶结较好，无松散、夹泥现象，有以下情况之一：		大部分混凝土芯样胶结较好，有以下情况之一：	III
1. 芯样不连续、多呈短柱状或块状 2. 局部混凝土芯样破碎段长度不大于10cm	1. 芯样不连续，多呈短柱状或块状 2. 任一孔局部混凝土芯样破碎段长度大于10cm，但不大于20cm，且在另一孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观判定完整性类别为I类或II类，否则应判为IV类	1. 芯样不连续，多呈短柱状或块状 2. 任一孔局部混凝土芯样破碎段长度大于10cm，但不大于30cm，且在另两孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观判定完整性类别为I类或II类，否则应判为IV类 3. 任一孔局部混凝土芯样松散段长度不大于10cm，且在另两孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观判定完整性类别为I类或II类，否则应判为IV类	
有以下情况之一：			IV
1. 因混凝土胶结质量差而难以钻进 2. 混凝土芯样任一段松散或夹泥 3. 局部混凝土芯样破碎段长度大于10cm	1. 任一孔因混凝土胶结质量差而难以钻进 2. 混凝土芯样任一段松散或夹泥 3. 任一孔局部混凝土芯样破碎段长度大于20cm 4. 两孔同一深度部位的混凝土芯样破碎	1. 任一孔因混凝土胶结质量差而难以钻进 2. 混凝土芯样任一段松散或夹泥段长度大于10cm 3. 任一孔局部混凝土芯样破碎段长度大于30cm 4. 其中两孔在同一深度部位的混凝土芯样破碎、松散或夹泥	
注：当上一缺陷的底部位置高程与下一缺陷的顶部位置高程的高差小于30cm时，可认定两缺陷处于同一深度部位。			

### 5.3.2.2 水平承载力检测

#### 5.3.2.2.1 一般规定

5.3.2.2.1.1 支护桩进行水平承载力检测。水平承载力检测时，宜在检测前、后分别对受检桩进行桩

身完整性检测。

5.3.2.2.1.2 水平承载力试验检测可用于试验桩水平极限承载力的确定、工程桩水平承载力及相应的桩顶水平位移的检测。

5.3.2.2.1.3 确定试验桩水平极限承载力的试验，宜在设计前进行，试验桩位置应根据设计要求选取有代表性的地点；工程桩水平承载力及相应的桩顶水平位移的检测，可在工程施工期进行。

5.3.2.2.1.4 水平承载力试验桩的数量根据要求和工程地质条件等确定，不宜少于2根；工程桩检测数量不少于总桩数的1%，且不少于3根。

5.3.2.2.1.5 在距离试验桩3m~10m范围内应具有工程地质钻孔资料。泥面以下16倍桩径或桩宽深度范围内，每隔1m均应具有土样的物理力学性能指标；16倍桩径或桩宽以下深度，间距可适当加大。

5.3.2.2.1.6 试验桩沉桩后至加载的间歇时间，砂性土中不少于3d，黏性土中不少于14d，淤泥或淤泥质土中的摩擦桩不少于25d，水冲沉桩不少于28d；土的类型按泥面以下16倍桩径或桩宽深度范围内土的性质综合确定；此外，桩身混凝土强度抗压强度应达到设计要求。

5.3.2.2.1.7 试验桩桩顶以自由状态进行试验。

5.3.2.2.1.8 桩内埋有测试元件或测斜管的试验桩，控制沉桩后测试元件或测斜管的方位与试验加载方位一致。

5.3.2.2.1.9 水平荷载作用点高程宜与预估滑坡剩余下滑力在支护桩上的作用点高程一致，水平力的方向通过试验桩截面中心。

5.3.2.2.1.10 试验桩桩身抗弯和抗变形能力按预估最大试验荷载进行验算。

#### 5.3.2.2.2 仪器设备

5.3.2.2.2.1 试验装置应由反力系统、加载系统和观测系统三部分组成。

5.3.2.2.2.2 反力系统的水平承载力和水平刚度应取试验桩的1.3倍~1.5倍，采取对顶法时净距不宜小于6倍桩径。

5.3.2.2.2.3 推力支承桩与试验桩净距不宜小于5倍桩径或桩宽，拉力支承桩与试验桩净距不宜小于10倍桩径或桩宽，且不宜小于6m，基准桩与试验桩、反力支承结构的净距不宜小于5倍桩径或桩宽。

5.3.2.2.2.4 加载设备符合下列要求。

a) 加载设备宜采用卧式千斤顶、卷扬机或手拉葫芦。

b) 加载设备的额定加载能力应为预估最大试验荷载的1.3倍~1.5倍。

c) 使用千斤顶加载时，符合下列要求：

1) 使用2台及以上千斤顶时，应采用同一型号的千斤顶，同步并联；

2) 千斤顶加载量的量测宜采用压力表，也可采用压力传感器或者荷载传感器；

3) 压力表精度应优于或等于0.4级，压力表的额定量程应满足千斤顶额定加载能力的需要，压力传感器或荷载传感器的测量误差不应大于1%；

4) 高压油泵加压时，宜采用自动稳压措施；

5) 压力表、油泵、油管在最大试验荷载时的压力不大于规定工作压力的80%。

d) 用卷扬机或手拉葫芦加载时，配用钢丝绳、卡环、滑轮组等机具和拉力传感器。

e) 水平荷载作用部位局部加强或增大受力面积。

5.3.2.2.2.5 观测系统符合下列要求：

a) 基准桩和基准梁应稳固可靠、自成独立系统；

b) 桩顶水平位移测量宜采用位移计或百分表，测试精度不宜低于0.02mm。

#### 5.3.2.2.3 试验方法

5.3.2.2.3.1 水平承载力试验宜采用单向单循环水平维持荷载法。

5.3.2.2.3.2 加载方式可采用水平推力或水平拉力。

5.3.2.2.3.3 水平承载力试验对试验桩水平荷载作用高程处的水平位移进行测试。有条件时，宜测试桩在泥面高程处的水平位移。位移测试方向与水平荷载方向一致，同一高程设置的测点不少于2个。

5.3.2.2.3.4 加卸载均分级进行，加载时每级级差可取预估最大荷载的1/10，卸载时可取2倍加载级。

5.3.2.2.3.5 加载每级应维持20min，卸载每级维持10min；在每级荷载维持时间内，从0min开始每隔5min测读一次。全部卸载后应每隔10min测读一次，测读30min。测读数据现场记录、整理和汇

总。

5.3.2.2.3.6 符合下列条件之一时，可终止加载：

- a) 达到试验要求的最大荷载或最大位移；
- b) 在某级荷载作用下，桩顶水平位移急剧增加、位移速率明显增大；
- c) 地基土出现明显的斜裂缝或桩身断裂。

5.3.2.2.4 成果整理分析

5.3.2.2.4.1 试验检测结束后，绘制水平荷载～水平位移（ $H\sim Y$ ）曲线、力作用点荷载～时间～水平位移曲线。

5.3.2.2.4.2 试验桩水平极限承载力应根据水平荷载～水平位移曲线上第二折点前一级荷载或  $I_g H\sim g Y$  曲线上第二折点的前一级荷载等方法综合确定。

5.4 混凝土支护结构检测

5.4.1 一般规定

5.4.1.1 混凝土支护结构包括挡墙、格构梁等钢筋混凝土支护结构。

5.4.1.2 混凝土支护结构检测项目包含支护结构的钢筋位置、钢筋保护层厚度和混凝土强度。

5.4.1.3 检测须在混凝土支护结构上进行。

5.4.1.4 现场检测方法宜选用对混凝土结构无破损的检测方法。当选用局部破损的取样检测方法或原为检测方法时，宜选择结构构件受力较小的部位，不得损伤结构的安全性，检测结束后，及时补修。

5.4.1.5 非破损方法宜采用电磁感应原理或雷达探测原理的测定仪；局部破损方法为钻孔、剔凿再测量的方法。

5.4.2 钢筋位置检测

5.4.2.1 钢筋位置检测包括钢筋位置和钢筋间距的检测。

5.4.2.2 检测前，结合设计资料和施工记录了解钢筋分布情况，如钢筋直径、钢筋间距、钢筋保护层厚度等。确定钢筋测定仪的适用性，设定钢筋直径、保护层厚度量程范围等参数。

5.4.2.3 检测面为混凝土原表面，并应清洁、平整。钢筋分布简单，避开多层、网状钢筋，避开钢筋接头位置，避开金属预埋件。

5.4.2.4 钢筋位置的检测符合下列要求：

- a) 每个样本至少选择一个测区。当对单个样本进行检测时，每个样本至少选取 3 个测区。当被测钢筋长度小于 4m 时，可选取 2 个测区；
- b) 每个测区至少包含设计间距相同的连续相邻的 7 根钢筋，少于 7 根钢筋时全部检出；
- c) 每个测区选取 2～3 条测线，测线应在被测钢筋的垂直方向上均匀布置，测线间距不宜小于 0.5m；当被测钢筋长度小于 0.5m 时，可均匀布置 1～2 条测线；
- d) 计算每条测线的钢筋间距平均值，即每测区可得到 1～3 个钢筋平均间距值；
- e) 桩、梁类构件检测所有主筋；
- f) 相同浇筑面上测区间距不宜小于 2m；
- g) 在构件表面逐一标记出每根钢筋的位置，测量和记录每个测区检出钢筋的位置即钢筋间距。

5.4.2.5 当遇到下列情况之一时，剔除验证：

- a) 相邻钢筋间距过密，钢筋间最小净距小于钢筋保护层厚度；
- b) 钢筋实际数量或间距的检测结果与设计有较大偏差。

5.4.2.6 受力钢筋的平均间距的允许偏差为  $\pm 15\text{mm}$ ，箍筋、分布筋的平均间距的允许偏差为  $\pm 20\text{mm}$ 。

5.4.2.7 钢筋间距的合格判定符合下列规定：

- a) 当单个钢筋间距的偏差大于允许偏差的 1.5 倍时，钢筋间距判为不合格；
- b) 当单个钢筋间距的偏差不大于允许偏差的 1.5 倍时，钢筋间距的判定符合下列规定：
  - 1) 当平均钢筋间距合格率不小于 80% 时，钢筋间距判为合格；
  - 2) 当平均钢筋间距合格率小于 80% 但不小于 70% 时，抽取相等量的样本进行第二次检测，当第二次检测中出现单个钢筋间距的偏差大于允许偏差的 1.5 倍时，钢筋间距判为不合格；

- 3) 在第二次检测中,单个钢筋间距的偏差不大于允许偏差的 1.5 倍时,按两次抽检总和计算的平均钢筋间距合格率不小于 80%时,钢筋间距判为合格,否则判为不合格。

### 5.4.3 钢筋保护层厚度检测

5.4.3.1 钢筋保护层测定仪使用前必须进行率定,率定方法应符合 JTS 239 的有关规定,率定的允许误差符合表 21 的规定。

表21 钢筋保护层厚度测定仪率定的允许误差

保护层厚度 $d_s$ (mm)	$d_s < 50$	$50 \leq d_s < 60$	$60 \leq d_s < 80$
允许误差 (mm)	$\pm 1$	$\pm 2$	$\pm 3$

5.4.3.2 保护层厚度检测前的准备工作符合 5.4.2.2 和 5.4.2.3 的要求。

5.4.3.3 测区测点布置符合下列要求:

- 每个样本至少选择 1 个测区,总测区数不少于 3 个,每个测区至少包含 6 根钢筋;
- 当对单个样本进行检测时,每个样本至少选取 3 个测区;
- 当所抽检构件的检测面面积较大时,每 30m<sup>2</sup>检测 3 个测区;
- 宜对构件受力主筋进行检测,桩、梁类构件对所抽取构件的所有受力主筋进行检测;
- 相同浇筑面上测区间距不宜小于 2m;
- 每根钢筋选取测点数不宜少于 3 个,测点间距不宜小于 0.5m。

5.4.3.4 保护层厚度检测符合下列要求。

- 检测前对钢筋测定仪进行预热和调零。
- 对被测钢筋进行初步定位,判断出箍筋、横筋和纵筋位置,并在混凝土表面做好标志。
- 根据保护层厚度设计值,在钢筋测定仪上预设保护层厚度测量范围;当钢筋直径已知时,在仪器上预设钢筋直径;当钢筋直径未知时,采用仪器默认的钢筋直径。
- 沿被测钢筋轴线移动探头,选择相邻钢筋影响最小的位置,并避开钢筋接头和绑丝。
- 每测点测试两遍,每次读取保护层测定仪显示的最小值,精确至 1mm。
- 同一测点两次检测值相差满足下列要求:
  - 当保护层厚度检测值 $< 50\text{mm}$ 时,两次重复测量允许偏差为 1mm;当保护层厚度检测值 $\geq 50\text{mm}$ 时,两次重复测量允许偏差为 2mm;
  - 当满足 1) 的要求时,取两次检测的平均值作为该位置的钢筋保护层厚度测定值,精确至 1mm;
  - 当不满足 1) 的要求时,该组检测数据无效,查明原因,在该处重新进行检测。仍不满足于要求时,采用钻孔或剔凿的方法验证。

5.4.3.5 遇到下列情况之一时,宜对电磁感应原理的钢筋保护层测定仪的检测数据进行修正:

- 设计保护层厚度值 $> 60\text{mm}$ ;
- 钢筋直径未知;
- 相邻钢筋过密,钢筋最小净间距小于保护层厚度;
- 钢筋实测数量、位置与设计有较大偏差;
- 采用具有铁磁性原材料配置混凝土;
- 饰面层未清除;
- 钢筋以及混凝土材质与校准试件有显著差异。

5.4.3.6 剔凿原位检测混凝土保护层厚度符合下列要求:

- 采用钢筋测定仪确定钢筋的位置;
- 在钢筋位置上垂直于混凝土表面成孔;
- 宜钢筋表面至构件混凝土表面的垂直距离作为该测点的保护层厚度验证值;
- 构件上能直接测量混凝土保护层厚度的点可记为验证点。

5.4.3.7 采用电磁感应原理的保护层测定仪时,测定结果的修正符合下列规定:

- 修正时,选取所测量钢筋总数不少于 30%的钢筋且不少于 6 处修正保护层厚度,并以修正后的保护层厚度值进行综合判定;
- 钻孔或剔凿时不得损坏钢筋,采用游标卡尺进行实际保护层厚度的测量,并精确至 0.1mm;

c) 总体修正量 $\Delta_{c,tot}$ 和修正的钢筋保护层厚度可分别按式(4)和式(5)计算。

$$\Delta_{c,tot} = C_{cor,m} - C_{m,0} \dots\dots\dots (4)$$

$$C_{m,i} = C_{m,i0} + \Delta_{c,tot} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

$\Delta_{c,tot}$ ——总体修正量,单位为毫米(mm),精确至0.1mm;

$C_{cor,m}$ ——用游标卡尺测得的修正样本保护层厚度的平均值,单位为毫米(mm),精确至0.1mm;

$C_{m,0}$ ——检测得到的修正样本保护层厚度的平均值,单位为毫米(mm),精确至0.1mm;

$C_{m,i}$ ——修正后保护层厚度值,单位为毫米(mm),精确至0.1mm;

$C_{m,i0}$ ——修正前保护层厚度值,单位为毫米(mm),精确至0.1mm。

5.4.3.8 受力钢筋的保护层厚度允许偏差符合表22的规定。

表22 钢筋的保护层厚度允许偏差

构件类型	允许偏差 (mm)
桩、梁	-5~+12
挡墙	-5~+15

5.4.3.9 保护层厚度的合格判定符合下列要求:

- 当保护层厚度的负偏差大于表22规定的钢筋保护层厚度允许负偏差的1.5倍时,保护层厚度判为初步不合格;
- 当保护层厚度判为初步不合格时,宜对初步不合格点逐点剔凿检测。当有测点钢筋保护层厚度的负偏差仍大于表22规定的钢筋保护层厚度允许负偏差的1.5倍时,保护层厚度判为不合格;
- 当保护层厚度的负偏差不大于表22规定的钢筋保护层厚度允许负偏差的1.5倍时,保护层厚度的判定符合下列规定:
  - 当保护层厚度合格点率不小于80%时,保护层厚度判为合格;
  - 当保护层厚度合格点率小于80%但不小于70%时,抽取相等量的样本进行第二次检测,当第二次检测中出现且经剔凿检测后存在有测点钢筋保护层厚度的负偏差仍大于表22规定的钢筋保护层厚度允许偏差的1.5倍时,保护层厚度判为不合格;
  - 在第二次检测中,钢筋保护层厚度的负偏差不大于表22规定的钢筋保护层厚度允许负偏差的1.5倍时,按两次抽检总和计算的钢筋保护层厚度合格率不小于80%时,钢筋保护层判为合格,否则判为不合格。

#### 5.4.4 混凝土强度检测

##### 5.4.4.1 一般规定

5.4.4.1.1 混凝土强度检测,宜采用回弹法或超声回弹综合法,必要时可采用钻芯法。

5.4.4.1.2 测区位置应布置在混凝土结构无缺陷、无损伤且具有代表性的部位;当混凝土结构存在缺陷、损伤或者劣化时,在报告中说明。

5.4.4.1.3 在使用超声回弹综合法或回弹法检测混凝土强度时,优先采用该工程的专用或区域的测强测线,专用测强曲线的制定方法符合JTS 239的有关规定;当无专用测强曲线时,按本章有关公式计算混凝土强度代表值;当所用混凝土原材料或配合比设计具有特殊性时,可与现场钻芯的抗压强度结果验证后使用。

5.4.4.1.4 符合下列条件的构件可作为同批构件,按检测批检测:

- 混凝土设计强度等级相同;
- 混凝土原材料、配合比、成型工艺、养护条件和龄期基本相同;
- 构件种类相同;
- 施工阶段所处状态基本相同。

##### 5.4.4.2 回弹法检测

5.4.4.2.1 回弹仪检测混凝土强度不得用于表面或内部质量有明显差异的混凝土结构或构件。

5.4.4.2.2 测区的技术要求符合下列要求:

- a) 每个样本测区数不少于 5 个，相邻两测区的间距不宜大于 2m，靠近构件端部过施工缝边缘的测区距离构件端部或施工缝边缘不宜大于 0.5m 且不宜小于 0.2m；
- b) 测区宜选在使回弹仪处于水平方向的混凝土浇筑侧面。当不能满足这一要求时，可使回弹仪处于非水平方向的混凝土浇筑侧面、表面或底面；
- c) 每个测区宜选在样本的两个对称或相邻可测试表面上，也可选在一个可测试面上，均匀分布；
- d) 测区的面积不宜大于 0.04m<sup>2</sup>，并能容纳 8 个或 16 个测点；
- e) 测区表面为混凝土原浆面，并清洁、平整、干燥，无疏松层、浮浆、油垢、粉刷层、蜂窝以及麻面等表观缺陷；
- f) 测区应标有清晰的编号，并宜在记录纸上绘制测区布置示意图和描述外观质量情况。

#### 5.4.4.2.3 回弹值测量符合下列要求：

- a) 测点宜在测区范围内均匀分布，相邻两测点的净距不宜小于 20mm；测点距外露钢筋、预埋件的距离不宜小于 30mm；
- b) 测点不应在气孔或外露石子上，同一测点只应弹击一次；
- c) 回弹仪的轴线应始终垂直于结构或构件的混凝土检测面，缓慢均匀施压，不宜用力过猛或冲击，准确读数，快速复位；
- d) 每一测点的回弹值读数应估读至 1。

#### 5.4.4.2.4 碳化深度测定符合下列要求：

- a) 回弹值测量完毕后，在有代表性的测区上测量碳化深度值，测点数不少于 3 个，并分布在不同测区；
- b) 碳化深度值测量，可采用电动冲击锤及钻芯机等工具在测区表面形成直径约 15mm 的孔洞，其深度应大于混凝土的碳化深度，孔洞中的粉末和碎屑应清理干净，并不得用水擦洗；
- c) 采用浓度为 1%~2% 的酚酞酒精溶液在孔洞内壁的边缘处，当已碳化与未碳化界面清晰时，再用深度测量工具测量已碳化与未碳化混凝土交界面处到混凝土表面的垂直距离。测量 3 次，每次读数应精确至 0.25mm，取其平均值作为一个测点的碳化深度值，并精确至 0.5mm。所有测点的碳化值的平均值为该样本每测区的碳化深度值，并精确至 0.5mm。当碳化深度值极差大于 2.0mm 时，在每一测区测量碳化深度值。

#### 5.4.4.2.5 回弹值计算符合下列要求：

- a) 测区回弹值应以回弹仪水平方向混凝土浇筑侧面的测试值为基准；
- b) 计算测区回弹代表值时，从该测区的 16 个回弹测点值中剔除 3 个最大值和最小值，用其余的 10 个回弹值按式 (6) 计算测区回弹代表值；

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^{10} R_i}{10} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$R_m$ ——测区回弹代表值，精确至 0.1；

$R_i$ ——第  $i$  个测点的回弹值。

- c) 当回弹仪在非水平方向检测混凝土浇筑侧面时，应按式 (7) 换算成水平方向检测混凝土浇筑侧面回弹代表值；

$$R_m = R_{m\alpha} + R_{\alpha\alpha} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$R_m$ ——测区回弹代表值，精确至 0.1；

$R_{m\alpha}$ ——非水平方向检测时测区回弹代表值，精确至 0.1；

$R_{\alpha\alpha}$ ——非水平方向检测时回弹修正值，按附录 B 的规定采用。

- d) 当回弹仪在水平方向检测混凝土浇筑表面和底面时，应按式 (8) 和式 (9) 换算成水平方向检测混凝土浇筑侧面回弹代表值；

$$R_m = R_m^t + R_a^t \dots\dots\dots (8)$$

$$R_m = R_m^b + R_a^b \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$R_m$ ——测区回弹代表值，精确至 0.1；

$R_m^t$ ——水平方向检测混凝土浇筑表面时，测区回弹代表值，精确至0.1；

$R_a^t$ ——混凝土浇筑表面回弹值的修正值，按附录B的规定采用；

$R_m^b$ ——水平方向检测混凝土浇筑底面时，测区回弹代表值，精确至0.1；

$R_a^b$ ——混凝土浇筑底面回弹值的修正值，按附录B的规定采用。

e) 当测试时回弹仪为非水平方向且测试面为非混凝土的浇筑侧面时，应先按本条第 c) 项公式对回弹值进行角度修正，然后用角度修正后的回弹值按本条第 d) 项公式再进行修正。

5.4.4.2.6 混凝土强度代表值的确定符合下列要求：

a) 采用标称能量为 2.207 J 混凝土回弹仪时，混凝土强度代表值宜按式 (10) 计算；

$$f_{cu,i0}^c = 0.02497R_{m,i}^{2.016} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

$f_{cu,i0}^c$ ——第  $i$  测区混凝土强度代表值，单位为兆帕 (MPa)，精确至0.1MPa；

$R_{m,i}$ ——第  $i$  测区回弹代表值，精确至0.1。

b) 采用标称能量为 2.207 J 混凝土回弹仪检测，当混凝土的碳化深度大于或等于 1.0 mm 时，应按式 (11) 进行混凝土强度代表值的碳化因素修正。

$$f_{cu,i}^c = \eta f_{cu,i0}^c \dots\dots\dots (11)$$

式中：

$f_{cu,i}^c$ ——经碳化深度修正后的混凝土强度代表值，单位为兆帕 (MPa)，精确至0.1MPa；

$\eta$ ——碳化深度因素修正回弹法检测混凝土强度代表值的系数，按表23的规定采用。

表23  $\eta$ 值

强度 (MPa)	碳化深度 (mm)					
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	$\geq 6.0$
10.0~19.9	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70
20.0~29.9	0.94	0.88	0.82	0.75	0.73	0.65
30.0~39.9	0.93	0.86	0.80	0.73	0.68	0.60
40.0~50.0	0.92	0.84	0.78	0.71	0.65	0.58

注：当碳化深度修约至0.5 mm的奇数倍时，应采用内插法查表。

5.4.4.2.7 混凝土强度推定值得确定符合下列要求：

a) 当检验批或单个样本的测区总数少于 10 个时，混凝土强度推定值应按式 (12) 计算；

$$f_{cu,e} = f_{cu,min}^c \dots\dots\dots (12)$$

式中：

$f_{cu,e}$ ——检验批或单个样本混凝土强度推定值，单位为兆帕 (MPa)，精确至0.1MPa；

$f_{cu,min}^c$ ——混凝土强度代表值的最小值，单位为兆帕 (MPa)，精确至0.1MPa。

b) 当检验批或单个样本的测区总数不少于 10 个时，混凝土强度推定值应按式 (13) ~ 式 (15) 计算；

$$f_{cu,m}^c = \frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,i}^c}{n} \dots\dots\dots (13)$$

$$S_{f_{cu}^c} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (f_{cu,i}^c - f_{cu,m}^c)^2} \dots\dots\dots (14)$$

$$f_{cu,e} = f_{cu,m}^c - 1.645S_{f_{cu}^c} \dots\dots\dots (15)$$

式中：

$f_{cu,m}^c$ ——混凝土强度代表值的平均值，单位为兆帕 (MPa)，精确至0.1MPa；

$n$ ——测区数量 (个)；

$f_{cu,i}^c$ ——第  $i$  测区混凝土强度代表值，单位为兆帕 (MPa)，精确至0.1MPa；

$S_{f_{cu}^c}$ ——混凝土强度代表值的标准差，单位为兆帕 (MPa)，精确至0.01MPa，取值不小于  $\sigma_0 - 2.0$  (MPa)；

$f_{cu,e}$ ——检测批或单个样本混凝土强度推定值，单位为兆帕 (MPa)，精确至0.1MPa。

c) 当测区混凝土强度代表值中出现小于 10.0MPa 时，混凝土强度推定值小于 10.0MPa。

### 5.4.4.3 超声—回弹综合法检测

5.4.4.3.1 超声—回弹综合法采用超声波检测仪和回弹仪，在所测样本的同一测区内，测得混凝土声速代表值和回弹代表值，推定混凝土强度。

5.4.4.3.2 超声—回弹综合法不宜用于检测因冻害、化学腐蚀及火灾等造成混凝土表面损伤和经超声波法检测判定混凝土均匀性不合格的混凝土。

5.4.4.3.3 测试步骤符合下列要求：

- a) 测区在检测均匀性合格的样本上选取；
- b) 测区表面应清洁、平整、无缝和无饰面层；
- c) 每个样本不少于 5 个测区，测区布置宜在样本混凝土的浇筑侧面，测区宜选在样本的两个对称或相邻可测试表面上，均匀分布，相邻测区间距不宜大于 2 m，对测时测区面积宜为 0.04 m<sup>2</sup>，每个测区包括 4 个超声波测点和 16 个回弹值测点；
- d) 对每一测区，先进行回弹测试，后进行超声测试；
- e) 同一测区声速代表值和回弹代表值满足下列要求：
  - 1) 按 5.4.4.2 的要求进行回弹测试；
  - 2) 进行超声测试；
  - 3) 4 个超声波测点的声速平均值为该测区声速代表值；
  - 4) 回弹代表值按 5.4.4.2.5 规定的方法求得。
- f) 计算样本混凝土强度时，非同一测区内的回弹值和声速值不得混用。

5.4.4.3.4 混凝土强度代表值的确定符合下列要求：

采用标称能量为 2.207 J 混凝土回弹仪时，混凝土强度代表值宜按式 (16) 计算。

$$f_{cu,i}^c = 0.008 v_{m,i}^{1.72} R_{m,i}^{1.57} \dots\dots\dots (16)$$

式中：

$f_{cu,i}^c$ ——第  $i$  测区混凝土强度代表值，单位为兆帕 (MPa)，精确至 0.1 MPa；

$v_{m,i}$ ——第  $i$  测区超声波声速代表值，单位为千米每秒 (km/s)，精确至 0.01 km/s；

$R$ ——第  $i$  测区回弹代表值，精确至 0.1。

5.4.4.3.5 混凝土强度推定值的确定符合 5.4.4.2.7 的要求。

### 5.4.4.4 钻芯法检测

5.4.4.4.1 钻芯法检测混凝土强度通过在所测样本上钻取混凝土芯样试件，直接测定混凝土抗压强度。

5.4.4.4.2 钻芯法采用的主要设备符合下列要求：

- a) 钻芯机具有足够的刚度、灵活操作、固定和移动方便，并有水冷却系统；
- b) 钻取芯样宜采用金刚石或人造金刚石薄壁钻头。钻头胎体无肉眼可见的裂缝、缺边、少角、倾斜及喇叭口变形。钻头胎体对刚体的同心度偏差不应大于 0.3 mm，钻头的径向跳动不大于 1.5 mm，钻头直径不宜小于粗骨料最大粒径的 2 倍；
- c) 锯切芯样宜选用双片自动式岩石切割机。切割机具有冷却系统和牢固夹紧芯样的装置，配套使用的人造金刚石圆锯片有足够的刚度；
- d) 芯样宜用磨平机进行芯样端面加工，除保证芯样的端面平整外，尚须保证芯样端面与芯样轴线垂直；
- e) 探测钢筋位置的仪器，适用于现场操作，探测深度不小于钢筋保护层厚度，探测位置的偏差不大于 5 mm。

5.4.4.4.3 芯样的钻取宜符合下列要求：

- a) 芯样宜在下列部位钻取：
  - 1) 受力较小的部位；
  - 2) 便于钻芯机安放与操作的部位；
  - 3) 避开主筋、预埋件和管线的部位。
- b) 钻取芯样宜按照附录 D 规定的步骤进行；
- c) 芯样钻取完毕后，取出芯样，并进行标记。芯样用塑料制品包好或使用其他适当方法保护运至试验室；

d) 钻芯后留下的孔洞及时进行修补。

5.4.4.4.4 芯样试件的加工符合下列要求。

- a) 芯样试件的高度与直径之比宜为 1.00，标准芯样试件宜为直径 100mm 的混凝土圆柱体试件。
- b) 芯样试件内不宜含有钢筋，不能满足要求时，芯样试件符合下列要求：
  - 1) 标准芯样试验可含有一根直径不大于 22mm 的钢筋或两根直径小于 10mm 的钢筋；
  - 2) 直径小于 100mm 的芯样试件最多可含一根直径小于 10mm 的钢筋；
  - 3) 芯样内的钢筋与芯样试件的轴线基本垂直并离开端面 10mm 以上。
- c) 锯切后的芯样试件上下两个端面宜用磨平机磨平，端面处理完毕的芯样试件应放至 (20±2)℃ 的水中养护至试验龄期且 48h 以上。
- d) 芯样试件尺寸的测量符合下列要求：
  - 1) 用游标卡尺测量芯样试件中部相互垂直的两个位置上的直径，取测量的算术平均值作为芯样试件的直径，精确至 0.5mm；
  - 2) 用钢板尺测量与芯样试件轴线平行的两条母线的高度，取测量的算术平均值作为芯样试件的高度，精确至 1.0mm；
  - 3) 用游标量角器测量芯样试件两个端面与母线的夹角，垂直度精确至 0.1°；
  - 4) 用钢板尺或角尺紧靠在芯样试件端面上，再用塞尺测量钢板尺或角尺与芯样试件端面之间的缝隙确定平整度。
- e) 芯样试件尺寸偏差及外观质量符合下列要求：
  - 1) 芯样试件的实际高径比范围为 0.95~1.05；
  - 2) 直径 100mm 芯样试件的直径允许偏差为 ±5mm；
  - 3) 沿芯样试件高度与其垂直断面的任一直径与平均直径相差不大于 2mm；
  - 4) 芯样试件端面的不平整度在 100mm 长度内不大于 0.1mm；
  - 5) 芯样试件端面与轴线的垂直度范围为 (89~91)°；
  - 6) 芯样没有裂缝或其他较大缺陷。

5.4.4.4.5 按检测批进行检测时，在抽取的每个样本上至少钻取一组芯样试件，每组芯样试件的直径和数量符合表 24 的规定。

表24 单组芯样试件数量

芯样直径 (mm)	100	75~65	60~50
数量 (个)	1	3	5

5.4.4.4.6 抗压强度试验符合 JTS/T 236 的有关规定。

5.4.4.4.7 检查破型后的芯样状态，当出现下列情况之一时，剔除该芯样试件的试验结果：

- a) 含有大于芯样直径 1/2 倍粗粒径的粗骨料；
- b) 含有蜂窝和孔洞等缺陷；
- c) 试件侧面出现斜裂缝。

5.4.4.4.8 抗压强度测试值按式 (17) 计算。

$$f_{cor} = \frac{4\alpha F_c}{\pi d^2} \dots\dots\dots (17)$$

式中：

- $f_{cor}$ ——芯样试件的抗压强度值，单位为兆帕 (MPa)，精确至 0.1MPa；
- $\alpha$ ——系数，当芯样为标准芯样时， $\alpha = 1$ ；当芯样直径小于 100mm 时， $\alpha = 1.12$ ；
- $F_c$ ——芯样试件的抗压试验所测得的最大压力，单位为千牛 (kN)，精确至 1kN；
- $d$ ——芯样直径，单位为毫米 (mm)，精确至 0.5mm。

5.4.4.4.9 单组芯样混凝土强度代表值按下列方法确定。

- a) 芯样直径 100mm 的 1 个芯样，其测试值应为芯样混凝土强度代表值。
- b) 芯样直径 (75~65) mm 的 3 个芯样，其芯样混凝土强度代表值应按下列方法确定：
  - 1) 以 3 个试件抗压强度测试值的算术平均值为芯样混凝土强度代表值；
  - 2) 当 3 个试件抗压强度测试值中出现的最大值或最小值与中间值相差超过 15% 时，取中间值为芯样混凝土强度代表值；

- 3) 当 3 个试件抗压强度测试值中出现的最大值和最小值与中间值相差超过 15% 时, 该组数据无效。
- c) 芯样直径 (60~50) mm 的 5 个芯样, 其芯样混凝土强度代表值按下列步骤确定:
- 1) 按附录 E 对 5 个试件抗压强度测试值进行异常数据的判别和处理;
  - 2) 当无异常值时, 以 5 个试件抗压强度测试值的算术平均值为芯样混凝土强度代表值;
  - 3) 当异常值不多于 2 个时, 以剩余试件抗压强度测试值的算术平均值为芯样强度代表值。
- 5.4.4.4.10 对单个样本检测时, 在单个样本上钻取的芯样数量至少是表 24 规定数量的 3 倍, 并取得单组芯样强度代表值。

#### 5.4.4.5 混凝土强度推定

##### 5.4.4.5.1 回弹法或超声一回弹综合法检测混凝土强度的判定符合下列要求。

- a) 以混凝土强度推定值进行合格评定, 当推定值大于混凝土设计强度等级标准值时, 可判为合格, 反之, 初步判为不合格。
- b) 按检测批检测时, 当该批样本出现以下情况之一时, 则该批样本应全部按单个样本检测和判定:
  - 1) 当该批样本  $f_{cu,m}^c$  小于 25 MPa、 $s_{f_{cu}^c}$  大于 4.5 MPa 时;
  - 2) 当该批样本  $f_{cu,m}^c$  不小于 25 MPa、 $s_{f_{cu}^c}$  大于 5.5 MPa 时。
- c) 当检测批被初步判定为不合格时, 以钻芯法进行修正。
- d) 芯样试件的数量和钻芯位置满足下列要求:
  - 1) 芯样采用回弹法或超声一回弹综合法检测的样本测区中随机抽取, 钻芯位置与回弹法或超声一回弹综合法的样本测区重合;
  - 2) 芯样试件数量不少于表 24 规定数量的 6 倍;
  - 3) 按 5.4.4.4 的有关规定测得单组芯样试件的强度代表值;
  - 4) 按附录 E 对单组芯样试件强度代表值进行异常数据的判别和处理;
  - 5) 单组芯样试件强度代表值的算术平均值作为钻芯法检测样本修正强度的平均值。
- e) 总体修正量和修正的混凝土强度代表值可分别按式 (18) 和式 (19) 计算;

$$\Delta_{tot} = f_{cor,m} - f_{cu,m0}^c \quad \text{..... (18)}$$

$$f_{cu,i1}^c = f_{cu,i0}^c + \Delta_{tot} \quad \text{..... (19)}$$

式中:

$\Delta_{tot}$ ——总体修正值, 单位为兆帕 (MPa), 精确至 0.1 MPa;

$f_{cor,m}$ ——钻芯法测得样本修正强度的平均值, 单位为兆帕 (MPa), 精确至 0.1 MPa;

$f_{cu,m0}^c$ ——被修正方法检测得到的样本修正强度代表值的平均值, 单位为兆帕 (MPa), 精确至 0.1 MPa;

$f_{cu,i1}^c$ ——修正后测区混凝土强度代表值, 单位为兆帕 (MPa), 精确至 0.1 MPa;

$f_{cu,i0}^c$ ——修正前测区混凝土强度代表值, 单位为兆帕 (MPa), 精确至 0.1 MPa。

- f) 应采用修正后的强度代表值, 按 5.4.4.2.7 的要求计算混凝土强度推定值, 再按 5.4.4.5.1 中 a) 和 b) 的要求进行混凝土强度判定的复验。
  - g) 当复验结果仍判该检测批为不合格时, 按下列要求进行再检验:
    - 1) 由未抽检样本组成新的检测批, 随机抽取 30% 的样本进行检测, 并按 5.4.4.5.1 中 a) 和 b) 的要求进行混凝土强度判定;
    - 2) 当新的检测批又判为不合格时, 则检测剩余的全部样本, 并按单个样本逐个进行强度判定。
  - h) 当单个样本被初步判定为不合格时, 应按 5.4.4.4 的有关规定进行钻芯法复验检测。
- 5.4.4.5.2 钻芯法检测混凝土强度的判定符合下列规定:
- a) 混凝土强度代表值个数不少于 9 个时, 混凝土强度代表值的平均值和标准差应分别按式 (20) 和式 (21) 进行计算, 能同时满足式 (22) 和式 (23) 要求时, 可判为合格, 反之, 则判为不合格;

$$f'_{cu,m} = \frac{\sum_{i=1}^n f'_{cu,i}}{n} \quad \text{..... (20)}$$

$$s_{f'_{cu}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (f'_{cu,i} - f'_{cu,m})^2} \quad \text{..... (21)}$$

$$f'_{cu,m} - s_{f'_{cu}} \geq f_{cu,k} \dots\dots\dots (22)$$

$$f'_{cu,min} \geq f_{cu,k} - c\sigma_0 \dots\dots\dots (23)$$

式中:

$f'_{cu,m}$ ——混凝土强度代表值的平均值, 单位为兆帕 (MPa), 精确至0.1MPa;

$f'_{cu,i}$ ——第*i*个混凝土强度代表值, 单位为兆帕 (MPa), 精确至0.1MPa;

$s_{f'_{cu}}$ ——混凝土强度代表值的标准差, 单位为兆帕 (MPa), 精确至0.01MPa, 取值不小于 $\sigma_0 - 2.0$  (MPa);

$n$ ——混凝土强度代表值的数量 (个);

$f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值, 单位为兆帕 (MPa);

$f'_{cu,min}$ ——混凝土强度代表值中的最小值, 单位为兆帕 (MPa), 精确至0.1MPa;

$\sigma_0$ ——混凝土抗压强度标准差的平均水平的值, 单位为兆帕 (MPa), 按表25选取;

表25 混凝土抗压强度标准差的平均水平的值

强度等级	≤C20	C20~C40	>C40
$\sigma_0$ (MPa)	3.5	4.5	5.5

$c$ ——系数, 按表26选取;

表26 系数*c*

强度代表值数量 (个)	9	10~19	≥20
$c$	0.7	0.9	1.0

b) 当混凝土强度代表值为3~8个时, 能同时满足式(24)和式(25)的要求, 可判为合格, 反之, 则判为不合格。

$$f'_{cu,m} \geq f_{cu,k} + \sigma_0 \dots\dots\dots (24)$$

$$f'_{cu,min} \geq f_{cu,k} - 0.5\sigma_0 \dots\dots\dots (25)$$

式中:

$f'_{cu,m}$ ——混凝土强度代表值的平均值, 单位为兆帕 (MPa), 精确至0.1MPa;

$f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值, 单位为兆帕 (MPa), 精确至0.1MPa;

$\sigma_0$ ——混凝土抗压强度标准差的平均水平的值, 单位为兆帕 (MPa), 按表25选取;

$f'_{cu,min}$ ——混凝土强度代表值中的最小值, 单位为兆帕 (MPa), 精确至0.1MPa。

## 5.5 喷射混凝土检测

### 5.5.1 一般规定

5.5.1.1 喷射混凝土进行表观质量、配合比和喷射混凝土厚度检查, 结构性喷射混凝土还进行抗压强度试验。

5.5.1.2 喷射混凝土工程质量检验与验收标准符合表27的规定。

表27 喷射混凝土工程质量检验与验收标准

项目	检查项目	允许偏差或允许值	检查方法
主控项目	配合比	达到设计强度要求	现场称重
	厚度	允许偏差-30mm (设计厚度≥100mm); 允许偏差-20mm (设计厚度<100mm)	钻孔法
	抗压强度	达到设计要求	抗压强度试验
一般项目	表面质量	密实、平整、无裂缝、无脱落、无漏喷、无露筋、无空鼓、无渗漏水	观察检查

### 5.5.2 喷射混凝土厚度

5.5.2.1 喷射混凝土厚度采用钻孔法检查。

5.5.2.2 喷射厚度检查点密度: 每100m<sup>2</sup>抽检1组。

5.5.2.3 喷射厚度合格条件：厚度平均值大于设计厚度，最小值不小于设计厚度的 80%。

### 5.5.3 抗压强度试验

5.5.3.1 检验喷射混凝土抗压强度所需的试件在工程施工中制取，试块数量为每 500m<sup>2</sup> 喷射混凝土取一组，小于 500m<sup>2</sup> 喷射混凝土的独立工程不得少于 1 组，每组试块不得少于 3 个，材料或配合比变更时应另作一组。

5.5.3.2 检验喷射混凝土强度的标准试块在不小于 450mm×450mm×120mm（长×宽×高）的喷射混凝土试验板件上用切割法或钻芯法取得。

5.5.3.3 喷射混凝土抗压强度标准试块制作步骤符合下列要求：

- a) 在喷射作业面附近，将模具敞开一侧朝下，以 80°（与水平面夹角）左右置于墙脚；
- b) 先在模具外的边墙上喷射待操作正常后将喷头移至模具位置由下而上逐层向模具内喷满混凝土；
- c) 将喷满混凝土的模具移至安全地方，用三角抹刀刮平混凝土表面；
- d) 在潮湿环境中养护 1d 后脱模，将混凝土板件移至试验室，在标准养护条件下养护 7d，用切割机去掉周边和上表面（底面可不切割）后加工成边长 100mm 的立方体试块或钻芯成高 100mm，直径为 100mm 的圆柱状试件，立方体试块的允许偏差，边长为±1mm，直角≤2°，喷射混凝土板件周边 120mm 范围内的混凝土不得用作试件。

5.5.3.4 加工后的试块应继续在标准养护条件下养护至 28d 龄期，进行抗压强度试验。

5.5.3.5 采用切割法取得的试件试验符合下列要求：

- a) 试件为边长 100mm 的立方体；
- b) 试件在标准养护条件下养护 28d，用标准试验方法测得的极限抗压强度乘以 0.95 系数为试件的抗压强度值。

5.5.3.6 采用钻芯法取得的试件试验符合下列要求：

- a) 钻取的试件应为直径 70mm~100mm，高径比 1:1 的圆柱状芯样；
- b) 试件在标准养护条件下养护 28d，用标准试验方法测得试件的极限抗压强度应按式(26)计算。

$$f_c = \frac{4P}{\pi D^2} \dots\dots\dots (26)$$

式中：

$f_c$ ——喷射混凝土抗压强度，单位为兆帕（MPa），精确至 0.1MPa；

$P$ ——试件极限荷载，单位为牛（N）；

$D$ ——试件直径，单位为毫米（mm）。

5.5.3.7 喷射混凝土抗压强度的评定验收符合下列规定：

- a) 同批喷射混凝土的抗压强度以同批内标准试块的抗压强度代表值来评定；
- b) 同组试块应在同板件上切割或钻芯制取，对有明显缺陷的试块予舍弃；
- c) 每组试块的抗压强度代表值为 3 个试块试验结果的平均值。当 3 个试块强度中的最大值或最小值之一与中间值之差超过中间值的 15% 时，可用中间值代表该组的强度；当 3 个试块强度中的最大值和最小值与中间值之差超过中间值的 15%，该组试块不应作为强度评定的依据；
- d) 喷射混凝土质量合格标准为 28d 龄期抗压强度平均值大于设计值，且最低试验强度不小于设计强度的 80%；
- e) 喷射混凝土强度不符合要求时须查明原因采取补强措施。

附 录 A  
(资料性)  
爆破振动监测记录表

爆破振动监测记录表见表A.1。

表A.1 爆破振动监测记录表

一 工程概况						
爆破作业单位						
委托单位						
项目名称						
爆破地点				爆破日期		
爆破类型				爆破位置坐标		
温度 (°C)		相对湿度 (%)		天气		
按爆破设计方案选择的 $\bar{K}$ 、 $a$ 值对测点振动速度峰值的技术及振动速度允许值对比	测点名称 (或序号)	$\bar{K}/a$	至爆心的距离 (m)	最大单段药量 (kg)	振动速度计算值 (cm/s)	振动速度允许值 (cm/s)
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
使用传感器数量 (个)			测点分布图	提示: 文字描述、图片		
二 钻孔参数						
孔径 (mm)	炮孔 (个)		段位 (个)			
最小抵抗线 (m)	孔距 (m)		排距 (m)			
孔深 (m)	填塞 (m)		单耗 (kg/m <sup>3</sup> )			
炸药总类			爆破总药量 (kg)			
起爆方式			单段最大药量 (kg)			
特征段编号	1	2	3	4	5	6
各段起爆时间 (ms)						
各段起爆药量 (kg)						

表A.1 爆破振动监测记录表（续）

三		测点有关信息							
测点编号			起爆时间						
测点坐标	X		测点距爆源的距离 (m)	水平					
	Y			高差	高				
	Z				低				
测点地质描述			传感器编号						
			传感器型号						
			测振仪器型号						
触发方式			触发电平 (cm/s)						
采样长度		采样速率			采样延时				
传感器固定方法			传感器安装状态	提示：文字描述、图片					
测点名称或编号	距爆心水平距离 (m)	仪器编号	测振仪				峰值振动速度 (cm/s)	爆破振动主频率 (Hz)	峰值振动时刻 (s)
			方向	传感器灵敏度 (mv/cm/s)	量程	采样时间 (s)			
1			X						
			Y						
			Z						
2			X						
			Y						
			Z						
3			X						
			Y						
			Z						
4			X						
			Y						
			Z						
5			X						
			Y						
			Z						
6			X						
			Y						
			Z						

注1：天气：晴、少云、多云、阴、小雨、中雨等，按当地气象台预报为准。  
注2：测点的坐标可用测振仪的卫星定位模块自动读取经纬度，测点高程可取相对高差。  
注3：测点相对高差由现场测量得出。

测试人：

复核：

## 附录 B

(规范性)

## 自动化监测常用传感器性能指标

自动化监测常用传感器性能指标如表B.1~表B.8所示。

表B.1 加速度传感器的主要技术指标

项目	力平衡加速度计	电动式加速度计	IdP压电加速度计
灵敏度[V/(m/s <sup>2</sup> )]	±0.125	±0.3	±0.1
满量程输出(V)	±2.5	±6	±5
频率响应(Hz)	0~80	0.25~80	0.3~1000
动态范围(dB)	≥120	≥120	≥110
线性度误差(%)	≤1	≤1	≤1
工作温度范围(°C)	-10~+50	-20~+50	-10~+50
信号调理	线性放大、积分	线性放大、积分	IdP调理放大

表B.2 振弦式应变传感器的主要技术指标

项目	技术指标
分辨率(με)	1.0
精度(%FS)	≤0.5
工作温度范围(°C)	-20~+80
材质	不锈钢

表B.3 光纤光栅式应变传感器的主要技术指标

项目	技术指标
分辨率(με)	1.0
精度(%FS)	≤0.2
工作温度范围(°C)	-30~+120
连接方式	熔接或Fd/APd连接器连接

表B.4 位移传感器的主要技术指标

项目	技术指标
分辨率(mm)	1.0
精度(%FS)	≤0.2
工作原理	LVDT、光纤光栅或其他

表B.5 倾角传感器的主要技术指标

项目	技术指标
分辨率 (°)	0.01
精度 (%FS)	≤0.1
工作原理	MEMS、光纤光栅或其他

表B.6 压力传感器的主要技术指标

项目	技术指标
分辨率 (kPa)	0.1
精度 (%FS)	≤0.5
工作原理	电阻式、振弦式、光纤光栅或其他

表B.7 温度传感器的主要技术指标

项目	技术指标
分辨率 (°C)	0.1
精度 (%FS)	≤0.5
工作原理	电阻式、热电式、光纤光栅或其他

附 录 C  
(规范性)  
回弹值修正值

C.1 非水平方向

非水平方向检测时的回弹值修正值见表C.1。

表C.1 非水平方向检测时的回弹值修正值

$R_{ma}$	检测角度							
	向上				向下			
	90°	60°	45°	30°	-30°	-45°	-60°	-90°
20	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	+2.5	+3.0	+3.5	+4.0
21	-5.9	-4.9	-4.0	-3.0	+2.5	+3.0	+3.5	+4.0
22	-5.8	-4.8	-3.9	-2.9	+2.4	+2.9	+3.4	+3.9
23	-5.7	-4.7	-3.9	-2.9	+2.4	+2.9	+3.4	+3.9
24	-5.6	-4.6	-3.8	-2.8	+2.3	+2.8	+3.3	+3.8
25	-5.5	-4.5	-3.8	-2.8	+2.3	+2.8	+3.3	+3.8
26	-5.4	-4.4	-3.7	-2.7	+2.2	+2.7	+3.2	+3.7
27	-5.3	-4.3	-3.7	-2.7	+2.2	+2.7	+3.2	+3.7
28	-5.2	-4.2	-3.6	-2.6	+2.1	+2.6	+3.1	+3.6
29	-5.1	-4.1	-3.6	-2.6	+2.1	+2.6	+3.1	+3.6
30	-5.0	-4.0	-3.5	-2.5	+2.0	+2.5	+3.0	+3.5
31	-4.9	-4.0	-3.5	-2.5	+2.0	+2.5	+3.0	+3.5
32	-4.8	-3.9	-3.4	-2.4	+1.9	+2.4	+2.9	+3.4
33	-4.7	-3.9	-3.4	-2.4	+1.9	+2.4	+2.9	+3.4
34	-4.6	-3.8	-3.3	-2.3	+1.8	+2.3	+2.8	+3.3
35	-4.5	-3.8	-3.3	-2.3	+1.8	+2.3	+2.8	+3.3
36	-4.4	-3.7	-3.2	-2.2	+1.7	+2.2	+2.7	+3.2
37	-4.3	-3.7	-3.2	-2.2	+1.7	+2.2	+2.7	+3.2
38	-4.2	-3.6	-3.1	-2.1	+1.6	+2.1	+2.6	+3.1
39	-4.1	-3.6	-3.1	-2.1	+1.6	+2.1	+2.6	+3.1
40	-4.0	-3.5	-3.0	-2.0	+1.5	+2.0	+2.5	+3.0
41	-4.0	-3.5	-3.0	-2.0	+1.5	+2.0	+2.5	+3.0
42	-3.9	-3.4	-2.9	-1.9	+1.4	+1.9	+2.4	+2.9
43	-3.9	-3.4	-2.9	-1.9	+1.4	+1.9	+2.4	+2.9
44	-3.8	-3.3	-2.8	-1.8	+1.3	+1.8	+2.3	+2.8
45	-3.8	-3.3	-2.8	-1.8	+1.3	+1.8	+2.3	+2.8

表C.1 非水平方向检测时的回弹值修正值（续）

$R_{m\alpha}$	检测角度							
	向上				向下			
	90°	60°	45°	30°	-30°	-45°	-60°	-90°
46	-3.7	-3.2	-2.7	-1.7	+1.2	+1.7	+2.2	+2.7
47	-3.7	-3.2	-2.7	-1.7	+1.2	+1.7	+2.2	+2.7
48	-3.6	-3.1	-2.6	-1.6	+1.1	+1.6	+2.1	+2.6
49	-3.6	-3.1	-2.6	-1.6	+1.1	+1.6	+2.1	+2.6
50	-3.5	-3.0	-2.5	-1.5	+1.0	+1.5	+2.0	+2.5

注1:  $R_{m\alpha}$ 表示非水平方向检测时的回弹代表值。  
注2:  $R_{m\alpha}$ 小于20或大于50时, 分别按照20或50查表。  
注3: 表中未列入相应于 $R_{m\alpha}$ 的修正值 $R_{\alpha\alpha}$ , 可用内插法求得, 精确至0.1。

## C.2 不同浇筑面

不同浇筑面的回弹值修正值见表C.2。

表C.2 不同浇筑面的回弹值修正值

$R_m^t$ 或 $R_m^b$	$R_a^t$	$R_a^b$
20	+2.5	-3.0
21	+2.4	-2.9
22	+2.3	-2.8
23	+2.2	-2.7
24	+2.1	-2.6
25	+2.0	-2.5
26	+1.9	-2.4
27	+1.8	-2.3
28	+1.7	-2.2
29	+1.6	-2.1
30	+1.5	-2.0
31	+1.4	-1.9
32	+1.3	-1.8
33	+1.2	-1.7
34	+1.1	-1.6
35	+1.0	-1.5
36	+0.9	-1.4
37	+0.8	-1.3
38	+0.7	-1.2
39	+0.6	-1.1

表C.2 不同浇筑面的回弹值修正值（续）

$R_m^t$ 或 $R_m^b$	$R_a^t$	$R_a^b$
40	+0.5	-1.0
41	+0.4	-0.9
42	+0.3	-0.8
43	+0.2	-0.7
44	+0.1	-0.6
45	0	-0.5
46	0	-0.4
47	0	-0.3
48	0	-0.2
49	0	-0.1
50	0	0

注1:  $R_m^t$ 表示水平方向检测混凝土结构浇筑表面时的回弹代表值,  $R_m^b$ 表示水平方向检测混凝土结构浇筑底面时的回弹代表值。  
注2:  $R_m^t$ 或 $R_m^b$ 小于20或大于50时, 分别按照20或50查表。  
注3:  $R_a^t$ 即为混凝土浇筑表面的修正系数, 是指一般原浆抹面的修正值。  
注4:  $R_a^b$ 即为有关混凝土浇筑底面的修正系数, 是指构件底面与侧面采用同一类模板在正常浇筑情况下的修正值。  
注5: 表中未列入相应于 $R_m^t$ 或 $R_m^b$ 的 $R_a^t$ 和 $R_a^b$ , 可采用内插法求得, 精确至0.1。

**附录 D**  
**(资料性)**  
**钻芯机的操作和维护**

### D.1 操作

- D.1.1 操作人员应熟悉机器操作说明书，掌握其操作要领及机器的构造。
- D.1.2 仪器通电前检查下列内容：
- a) 电源电压；
  - b) 冷却水的温度。
- D.1.3 接通电源后检查下列内容：
- a) 钻头摆动不大于 1.5mm；
  - b) 钻芯机主轴旋转方向；
  - c) 钻芯机主轴的径向跳动不超过 0.1mm。
- D.1.4 钻头应选取所需直径并根据确定的主轴旋转方向安装。
- D.1.5 膨胀螺栓孔穴采用电动冲击锤在钻芯区域合适位置钻取，固定膨胀螺栓。
- D.1.6 钻芯机安放于膨胀螺栓上，并用螺母固定。
- D.1.7 调整钻芯机的主轴线，使旋转时的轴线于被钻芯样的混凝土表面相垂直。
- D.1.8 接通电源及冷却水，手持进给手柄，使钻头缓慢地与混凝土表面接触；当混凝土表面出现圆槽后，方可施加压力，钻取芯样试件。
- D.1.9 钻芯时用于冷却钻头和排除混凝土碎屑的冷却水水量宜为 (3~5) L/min。
- D.1.10 钻取芯样应控制钻芯机的钻进速度。
- D.1.11 芯样试件钻取完毕后，应缓慢地将手持进给手柄旋转，使钻头剔除混凝土表面，并断电、断水，锁定钻头。
- D.1.12 卸下固定钻机上的膨胀螺母，从膨胀螺栓上取下钻机，应轻放于底面。
- D.1.13 钻取芯样过程中出现异常的处理方法符合下列规定：
- a) 出现卡钻时，应关闭电源，并用扳手按钻头旋转方向转动至钻头能自由转动后，启动电机电源，继续钻取芯样试件。
  - b) 发现电机输出电流增大，转速降低，排除的冷却水呈清水，含有银白色粉末等情况，应降低进给速度，待钢筋切割完毕后，恢复原来的进给速度。
  - c) 应经常检查碳刷和换向器的磨损，保持碳刷与换向器具有良好的接触。
  - d) 钻头钝化后，可用砂轮磨钻头端面。

### D.2 维护

- D.2.1 钻芯机的进给滑架，立方柱和齿条经常保持洁净，减少磨损。
- D.2.2 在水套外壳泄露孔内，经常加少许机油，减少橡胶油封对主轴的摩擦力。
- D.2.3 钻芯机工作时，当发现冷却水从水套外壳的泄露孔中溢出时，更换水套外壳内的橡胶油封。
- D.2.4 工作完毕后，钻芯机应放于干燥、清洁和无腐蚀气体的环境中。
- D.2.5 长期不用的钻芯机，使用前应作绝缘电阻检查。

附录 E  
(规范性)

芯样混凝土抗压强度异常数据判别和处理

E.1 一般规定

- E.1.1 本方法适用于对单组芯样混凝土抗压强度测试值组成的数据组中的异常数据进行判别和处理。
- E.1.2 在采用钻芯法修正其他无损检测方法时，宜对单组混凝土抗压强度代表值组成的数据组中的异常数据进行判别和处理。
- E.1.3 数据组中异常数据个数的上限不宜超过2个，当超过2个时，对此数据组的代表性，做慎重处理。

E.2 异常值检验

E.2.1 统计值应按式 (E.1) 计算。

$$t = \left| \frac{m_x - x_k}{S_x} \sqrt{\frac{n-1}{n}} \right| \dots\dots\dots (E.1)$$

式中：

- $m_x$ ——余下的n-1个数据平均值，单位为兆帕 (MPa)；
- $x_k$ ——数据组中最大值或最小值，单位为兆帕 (MPa)；
- $S_x$ ——余下的n-1个数据标准差，单位为兆帕 (MPa)；
- $n$ ——数据组中数据数量，单位为个。

E.2.2 当计算统计量t大于临界值 $t_\alpha$ 时，可认为 $x_k$ 系粗大误差构成的异常数据。

E.2.3 临界值 $t_\alpha$ 可按表E.1取值。

表E.1 临界值 $t_\alpha$

数据数量 (个)	4	5	6	7	8	9
$t_\alpha$	2.92	2.35	2.13	2.02	1.94	1.89

E.3 异常值处理

- E.3.1 最大异常数据可直接剔除。
- E.3.2 在有充分理由说明其异常原因时，可剔除最小异常数据。
- E.3.3 当无充分理由说明其异常原因时，在最小异常数据对应芯样邻近位置重新取样复测，根据复测结果，判断是否剔除。

## 参 考 文 献

- [1] GB 6722—2014 爆破安全规程
  - [2] GB 50330—2013 建筑边坡工程技术规范
  - [3] DL/T 5796—2019 水电工程边坡安全监测技术规范
  - [4] JGJ/T 401—2017 锚杆检测与监测技术规范
  - [5] JTS/T 234—2020 水运工程施工监控技术规范
  - [6] JTS 237—2017 水运工程地基基础试验检测技术规范
  - [7] JTS 240—2020 水运工程桩基试验检测技术规范
  - [8] JTS/T 305—2021 水运工程自动化监测技术规范
  - [9] DB13/T 5265—2020 山区高速公路路堑边坡安全监测技术规范
  - [10] DB35/T 1844—2019 高速公路边坡工程监测技术规范
  - [11] DB42/T 1496—2019 公路边坡监测技术规范
  - [12] DBJT45/T 034—2022 水运工程地基试验检测与监测指南
  - [13] DB45/T 2149—2020 公路边坡工程技术规范
  - [14] T/CSEB 0008—2019 爆破振动监测技术规范
-