

DB61

陕 西 省 地 方 标 准

DB XX/ XXXXX—XXXX

# 堆石混凝土坝施工质量数智化监控 技术规范

Technical Specification for Digital Monitoring of Construction Quality of Rock-filled  
Concrete Dams

（征求意见稿）

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

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 基本要求 ..... 2

5 监控系统架构 ..... 2

6 施工质量数智化监控技术要求 ..... 3

7 数智化监控设备技术要求 ..... 5

8 数据采集、传输与处理要求 ..... 6

9 智能预警与闭环管控 ..... 7

10 系统运行维护与验收 ..... 7

## 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。

本文件由陕西省水利厅提出并归口。

本文件起草单位：陕西省东庄水利枢纽工程建设有限责任公司、清华大学、西北农林科技大学、陕西省水利电力勘测设计研究院、重庆交通大学、中国水利水电第八工程局有限公司、四川西沐建信科技有限公司、北京华石纳固科技有限公司、陕西水利水电工程集团有限公司、中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司。

本文件主要起草人：姚胜利、周鹏、金峰、陈梦、蔺晓明、罗滔、南康宁、周虎、王健、李萌、姬广祥、张浩、赵利平、段传广、杨家琦、张喜喜、周琦著、孙茂飞、王波雷。

本文件首次发布。

本文件不涉及其他知识产权。

本文件由陕西省东庄水利枢纽工程建设有限责任公司负责解释。

联系信息如下：

单位：陕西省东庄水利枢纽工程建设有限责任公司

电话：029-35960189

地址：陕西省西安市新城区西七路 198 号江河大厦

邮编：710005

# 堆石混凝土坝施工质量数智化监控技术规范

## 1 范围

本文件规定了陕西省境内堆石混凝土坝施工质量数智化监控的术语和定义、基本规定、监控系统架构、施工质量数智化监控、监控设备技术要求、数据采集传输与处理、智能预警与质量闭环管控、系统运维与验收等技术要求。

本文件适用于陕西省境内新建、改建、扩建的大、中型堆石混凝土坝施工质量数智化监控系统设计、建设管理、运行维护工作，小型堆石混凝土坝、类似堆石混凝土水工建筑物施工质量监控可参照执行。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期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 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求
- SL/T 678 胶结坝技术规范
- SL 725 水利水电工程安全监测设计规范
- SL 766 大坝安全监测系统鉴定技术规范
- DL/T 5806 水电水利工程堆石混凝土施工规范
- NB/T 10077 堆石混凝土坝设计规范
- NB/T 11559.1 水电工程有限元数值分析导则 第1部分：混凝土坝
- NB/T 11668 大坝智能建设技术导则

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

- 3.1 堆石混凝土** rock-filled concrete (RFC)  
利用高自密实性能混凝土填充堆石体的孔隙，形成完整、密实、满足设计要求的混凝土。
- 3.2 数智化监控** digital and intelligent monitoring  
综合应用物联网、大数据、人工智能等技术对大坝施工过程进行数字化、智能化的监测、分析与控制的手段。
- 3.3 关键工序** critical process  
在堆石混凝土坝工程项目施工过程中，对工程质量、结构安全起决定性作用的施工环节与步骤，包括堆石入仓、自密实混凝土浇筑、层面处理、温控防裂等工序。
- 3.4 智能预警** intelligent early warning  
通过实时分析现场监控数据与预设的安全/质量阈值，在隐患或偏差发生前自动发出警示以防患于未然的技术手段。
- 3.5 闭环控制** closed-loop control  
通过构建现场施工信息的监测、分析与反馈体系，对施工质量风险进行全过程监测、预警与管控，确保质量隐患被彻底消除并达成预期目标的管控机制。

4 基本要求

4.1 一般规定

- 4.1.1 堆石混凝土坝施工质量智能监控系统应与主体工程同步设计、同步施工、同步验收、同步投用，满足数字孪生水利工程建设质量和安全监管的相关要求。
- 4.1.2 数智化监控的主要项目及控制标准应符合国家及行业现行施工质量、安全相关标准，不得降低施工质量基本要求，与现有质量管控体系有效衔接。

4.2 监控范围

堆石混凝土坝施工质量数智化监控应对筑坝材料、中间产品及浇筑质量进行监控，应覆盖堆石入仓、自密实混凝土浇筑、层面处理及温控防裂等关键工序。

4.3 监控功能通用要求

- 4.3.1 数智化监控应具备数据自动采集、融合治理、存储服务、智能分析、动态仿真、异常预警、报表生成、可视化展示与多方数据共享功能，满足建设、设计、施工、监理与监管单位的质量管控需求。
- 4.3.2 数智化监控应支持异常数据的自动甄别、问题定位与处理留痕功能，实现关键工序施工质量问题的智能预警与闭环控制。
- 4.3.3 监控数据应实现标准化、规范化存储归档，数据存储期限不低于工程设计使用年限，满足工程质量追溯、竣工验收、后期运维核查要求。

5 监控系统架构

- 5.1.1 堆石混凝土坝施工质量数智化监控系统应围绕施工质量管控构建，宜采用感知监测层、网络传输层、数智赋能层和智能应用层的四层架构。
- 5.1.2 感知监测层应采用具有针对性强、可靠性高、性能稳定的智能传感设备、智能检测终端、视频智能监控设备组成，宜实现对关键工序作业流程、施工质量及大坝形象面貌的感知与采集。
- 5.1.3 网络传输层应结合施工区特定环境和数据通信需求，采用 4G/5G 公网通信、无线自组网、光纤宽带通信等方式灵活组网，实现感知监测层数据汇聚整合的实时性、稳定性与安全可靠。
- 5.1.4 数智赋能层宜由机理模型、智能分析模型、风险诊断模型、知识库和数智驱动引擎构成，实现施工监控数据的快速解析与质量风险判识。
- 5.1.5 智能应用层应面向施工进度管理、施工质量管控、施工安全预警开发专项功能，实现关键工序施工质量的数字化、智能化、精细化闭环管控功能。

6 施工质量数智化监控技术要求

6.1 一般规定

- 6.1.1 堆石混凝土坝施工质量数智化监控应符合大坝构筑质量标准的相关规程规范。
- 6.1.2 堆石混凝土坝施工质量数智化监控数据可实时汇聚、在线分析及归档追溯。
- 6.1.3 数智化监控反馈的预警与报警信息，应具备及时干预与闭环处理的控制流程。

6.2 筑坝材料监控

- 6.2.1 堆石混凝土筑坝材料应按照 SL/T 678、NB/T 10077 或 DL/T 5806 的指标要求，采用人工定期检

测或在线自动检测方式，及时汇聚整合检测结果。

### 6.3 堆石施工监控

6.3.1 大坝浇筑仓内堆石监控，宜采用仓面监控摄像机自动抓拍、人工定时定点拍照、无人机巡查航拍等方式获取，并应符合下列规定：

1. 大坝填筑仓内堆石照片宜按分区获取，分区应沿大坝上下游方向与平行坝轴线方向划分数量均不宜少于 3 个区域，分区的最小边长不宜超过 10m，每个分区内采集的堆石照片数量不宜少于 3 张。
2. 采集的堆石照片宜包括仓面底部、水平外露面积及垂直外露面积等部位；

6.3.2 仓内堆铺到位的堆石品质可采用图像识别的方法进行分析，并应符合下列规定：

1. 获取到的堆石照片宜采用分割识别算法提取堆石掩膜或轮廓信息，计算堆石的粒径与形状参数指标。
2. 堆石照片的真实尺寸信息宜通过相机参数矩阵标定与坐标系转换的方式获取，也可直接在照片范围内摆放尺寸标识物进行换算。
3. 应对仓内堆铺到位堆石的逊径料占比、逊径料集中区域个数、关键级配参数、板片状堆石占比等指标进行分析统计和归档存储。
4. 堆石分割与参数计算方法宜基于现场或室内试验进行有效性验证和准确度评估，当堆石参数计算结果与实际值偏差超过 10%时，应对算法或模型进行优化调整。
5. 应根据仓内堆石的逊径料占比、逊径料集中区域个数、关键级配参数、板片状堆石占比等指标对仓内堆石品质做出判断；当整体或局部区域内指标不满足要求时，应进行预警反馈。

6.3.3 可在堆石选取、冲洗环节加装堆石品质辅助监控系统，宜符合下列规定：

1. 在入仓堆石选取处，可加装监控摄像头，结合 6.3.2 中的图像识别方法对选取堆石的逊径料占比、关键级配参数及板片状堆石占比等指标进行监控分析与预警。
2. 在入仓堆石冲洗处，可加装监控摄像头或传感器，对堆石冲洗质量进行监控分析与预警。

### 6.4 自密实混凝土施工监控

6.4.1 宜采用自动监测设备，对自密实混凝土入仓浇筑前的工作性能、仓面浇筑路径、仓内浇筑密实性进行监控。

6.4.2 当未采用泵送浇筑时，宜将自密实混凝土工作性能的全量检测设备部署于拌合楼附近或仓面附近的自密实混凝土卸料点。

6.4.3 应采用密实性监测设备，对仓内自密实混凝土的浇筑密实性进行检测。

6.4.4 宜对自密实混凝土的浇筑过程进行监控，当浇筑点浇筑时间间隔超阈值、浇筑路径与设计方案存在较大偏差时，应发出预警、实现报警反馈。

### 6.5 温控防裂监控

6.5.1 堆石混凝土坝浇筑温控防裂，宜包括原材料温度、混凝土拌合出机口温度、混凝土入仓温度、坝体混凝土温度、施工区天气状态及环境量检测，互相衔接，互为支撑。前序环节出现超标时，应及时调整后续环节的温度措施，保证混凝土温度应力满足大坝浇筑质量要求，降低开裂风险。

6.5.2 堆石混凝土坝体温控防裂监控，除应符合本标准的规定外，还应符合国家现行有关标准的规定。

6.5.3 施工区环境量监测应包括环境温度、环境湿度、降雨量、可包括太阳热辐射、风向、风速等指标。

6.5.4 堆石混凝土坝浇筑温度测点布设应符合下列要求：

1. 应选择典型施工仓面布设温度测点进行坝体温度监控，堆石混凝土的温度测点数量不应少于 1

个；当存在防渗层，宜在防渗层内部同步布设温度测点。

2. 堆石混凝土温度测点布设位置，沿铅锤方向距离上下面层不宜小于 0.5m，沿大坝水平方向距凌空面不宜小于 5m；沿坝轴线方向仓面宽度超过 10m 时，可增加代表性温度测点数量。
  3. 防渗层内温度测点布设位置，沿铅锤方向距离上下面层不宜小于 0.5m，沿上下游方向应置于防渗层中部，温度变幅较大地区，宜在防渗层，以及与堆石混凝土交界处增设温度测点，监测防渗层温度梯度的变化情况。
  4. 温度监测时间宜持续至测点温度达峰后 2~4 天，采样频率在测点温度达峰前不宜小于 4 次/小时、达峰后不宜少于 4 次/天。
- 6.5.5 混凝土入仓温度监测应符合下列要求：
1. 混凝土入仓温度监测，宜采用贴片式或外夹式温度传感器，布设在仓内混凝土浇筑设备的混凝土输送管路外部，实现自密实混凝土入仓温度的实时监测。
  2. 不具备入仓温度实时监测条件时，可采用手持温度采集设备对混凝土入仓温度进行定期检测与数据上传。
- 6.5.6 堆石、自密实混凝土粗细骨料、水泥、掺合料及外加剂等各类原材料的温度，宜随混凝土拌合工序进行定期检测和汇聚整合；检测方式可采用手持温度采集设备或在线传感设备检测。
- 6.5.7 宜基于实测坝体混凝土温度、工程区天气预报，结合大坝温度应力分析机理或数据驱动的仿真分析模型，实现大坝浇筑温度应力场的动态反演分析与风险预测，在坝体开裂风险超阈值时，发出预警信息，并反馈指导现场调整施工措施。
- 6.5.8 在低温或寒潮时段，宜在仓内高温应力梯度区、防渗层、凌空面等部位增设温度测点，加强监控分析与预警反馈。

## 6.6 层面处理监控

- 6.6.1 层面堆石外露、冲毛情况，可采用监控摄像机、人工拍照、无人机航拍图像智能识别方式，通过获取外漏面积占比、冲毛粗糙度进行检测与评价。
- 6.6.2 层面填充密实度，可采用密实度传感器进行检测与评价。
- 6.6.3 检测结果出现异常时，应及时发出报警并向施工现场推送信息，指导现场人员进行修补调整。

## 6.7 施工效率监控

- 6.7.1 宜采用人工填报、自动监测方式，实现仓面模版支立、堆石入仓、混凝土浇筑、层面处理等关键工序的完成时长、人员机械投入、物料供应、天气气候条件等衡量施工效率的数据信息采集与整合。
- 6.7.2 宜基于大坝施工总工期，建立控制大坝仓面浇筑的里程碑和关键时间节点，通过构建施工效率评判模型，实现施工效率和主要影响因素的综合评价，为优化调整施工方式提供支撑。

## 6.8 施工过程视频监控

- 6.8.1 在堆石混凝土坝施工期间，宜在坝肩、拌合楼、料场等主要位置布设视频智能识别摄像机，对仓面施工、混凝土生产、材料储运等环节进行全过程监视和智能识别。所选监控摄像头应支持无线或有线通讯。
- 6.8.2 摄像机数量宜以全部覆盖施工仓面为基础进行配置，固定安装方式宜永临结合，部分摄像机可随大坝上升移动安置。
- 6.8.3 仓面施工监控画面的分辨率不宜低于 1080p，宜配备变焦镜头与云台操控功能，摄像机光学变焦应满足施工仓面全覆盖的要求。
- 6.8.4 视频图像的智能识别可采用前端边缘计算或后端监控系统集中识别，智能识别应具备机械工作状态识别、物料堆放与移出识别、堆石粒径级配识别、层面堆石外露识别等必要能力。

6.8.5 视频监控图像与信息应具备实时与定时图像回传、存储归档、历史追溯检索回放功能，并支持移动端实时查看。

## 7 智能监控设备技术要求

### 7.1 一般规定

7.1.1 施工质量智能监控设备应符合国家及行业标准，适配陕西寒旱区施工现场环境。

7.1.2 监控设备应支持自动采集、远程传输、在线校准、标准化输出，设备寿命、无故障运行时间与质保期宜满足工程实际要求。

### 7.2 专项设备

7.2.1 自密实混凝土工作性能自动检测设备，应符合下列规定：

1. 自密实混凝土的流动性、抗离析性、均匀性等工作性能宜实现综合自动化在线监测。
2. 自密实混凝土的工作性能指标，应设置异常报警阈值和报警功能。
3. 自密实混凝土的工作性能指标检测频次不宜低于 1 次/10 方，有效检测结果不宜少于 95%。
4. 设备终端宜支持有线或无线的通讯方式。

7.2.2 密实性监测设备，应符合下列规定：

1. 自密实混凝土的浇筑密实性可基于电容式或电阻式传感设备进行监测。
2. 每仓堆石混凝土内的密实性测点数量不宜少于 4 个，测点宜优先布设在小石集中、堆石缝面、仓面底部等存在密实性风险的部位。
3. 密实性监测的采样频率不宜小于 2 次/min，监测与评价结果应排除雨水和积水的影响。
4. 当仓内存在浇筑密实性较差的测点时，应及时反馈报警。
5. 布设在所有仓内的密实性传感器，总成活率不宜低于 90%。

7.2.3 施工区环境量监测设备，应符合下列规定：

1. 施工区环境量宜采用自动化采集，采集频次不宜小于 2 次/小时。
2. 施工期的坝址环境量监测点，可在坝址上下游同时布置。
3. 环境温度测量范围应在 $-40\sim 60^{\circ}\text{C}$ ，温度测量允许误差不宜大于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。
4. 环境相对湿度测量范围宜为 $0\%\sim 100\%$ ；相对湿度小于等于 80%时，测量允许误差不宜大于 $\pm 2\%$ ；相对湿度大于 80%时，测量允许误差不宜大于 $\pm 5\%$ 。
5. 风向测量范围宜为 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ ；风向测量允许误差不宜大于 $\pm 3^{\circ}$ 。
6. 风速测量范围宜为 $0\text{m/s}\sim 60\text{m/s}$ ；风速测量允许误差不宜大于 $\pm(0.3 + 0.03v)\text{m/s}$ （ $v$ 指风速）。
7. 太阳辐射热测量范围宜为 $0\text{W/m}^2\sim 2000\text{W/m}^2$ ；太阳辐射热允许误差不宜大于 $\pm 5\%$ 。
8. 监测设备宜支持无线或有线通信方式监控。

7.2.4 坝体温度传感器宜符合下列规定：

1. 坝体温度测量范围宜为 $-20^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ ，并结合工程所在地实际气候条件加以调整。
2. 温度测量分辨率不宜大于 $0.1^{\circ}\text{C}$ ，测量允许误差不宜大于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。
3. 温度传感器应满足设计规定的耐水压力要求。

7.2.5 温度采集单元宜符合以下规定：

1. 每个测量单元不宜少于 2 路温度测量通道。
2. 仓面浇筑施工期间的采样频次不宜低于 5 次/小时；仓面浇筑完成 1 个月内的采样频次不宜低于 1 次/小时；仓面浇筑完成 1 个月后采样频次不宜低于 1 次/天。
3. 数据存储容量不宜小于 10000 条数据，存储容量用完后能自动覆盖。



4. 温度采集单元宜支持有线及无线的通讯方式。
5. 断电情况下宜支持测温模块连续工作，持续时间不宜小于 24 h。
- 7.2.6 手持式温度采集硬件宜符合下列规定：
  1. 宜具备数字式温度采集、数据存储及数据传输功能；
  2. 测量范围宜包括 $-30^{\circ}\text{C}\sim 90^{\circ}\text{C}$ ，分辨率不宜大于 $0.1^{\circ}\text{C}$ ，允许误差不宜大于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。
  3. 探杆外径不宜小于 5 mm，探杆长度不宜小于 200 mm。
  4. 宜支持有线及无线的通讯方式
  5. 连续工作时间不宜小于 72 h。

### 7.3 安装与校准

- 7.3.1 监测设备与传感器的安装布设施工方案应经建设单位审核通过后实施。
- 7.3.2 监测设备与传感器应安装牢固、防护到位，不宜过度干扰整体施工进度。
- 7.3.3 监测设备与传感器宜定期检修与校准，保证监控数据的稳定性与可靠性。

## 8 数据采集、传输与处理要求

### 8.1 数据采集

- 8.1.1 施工质量监控应以自动化采集为主、人工检测为辅，人工检测数据宜现场实时录入并签字确认。
- 8.1.2 监控数据的采集频次应满足现场施工质量评价及预警反馈的需求；对于特殊仓面或异常工况，宜进行加密采集，保证施工质量风险预警的及时反馈。

### 8.2 数据传输

- 8.2.1 数据传输应采用有线与无线相融合的灵活组网方案；对于高并发、大带宽数据流应采取宽带光纤通信传输网；低带宽、离散型数据流及移动端数据，宜采用 4G/5G 或 WIFI 等无线传输方式；传输延迟 $\leq 10\text{s}$ ，数据丢包率 $\leq 0.1\%$ 。
- 8.2.2 数据报文传输宜采用加密协议，宜具备动态身份认证、数据防篡改追溯能力，保障施工质量监测数据安全可靠。

### 8.3 数据处理

- 8.3.1 数据处理应具备原始数据清洗滤波、剔除异常、校验补全功能，确保监测数据真实可靠；数据处理过程应自动留痕、可追溯并严防篡改。
- 8.3.2 数据处理应基于大数据分析、AI 算法，建立施工质量智能分析模型，实现关键工序施工质量的风险评估与智能预警。
- 8.3.3 根据数据采集规模和体量，宜采用云边协同计算架构，将高频数据解析及轻量基础算法部署在边缘端进行实时解算，以提升响应速率，降低核心网络的传输负荷。

## 9 智能预警与闭环管控

- 9.1.1 宜根据施工质量监控指标的异常程度分级预警，可参考如下原则实现分级预警：
  1. I 级（红色预警）：监控指标严重超限，存在重大质量缺陷，应立即处置。

- 2. II 级（橙色预警）：监控指标明显超限，存在质量风险，应立即排查整改；
- 3. III 级（黄色预警）：监控指标接近阈值，无实质性质量隐患，宜提醒现场人员核查；
- 9.1.2 预警阈值应以设计文件、施工规范及工艺要求为依据，结合工程实际情况确定，不得随意修改。
- 9.1.3 预警信息应通过监控平台弹窗、手机短信或 APP 方式，将预警指标、位置信息及处置建议推送至责任人员。
- 9.1.4 责任人员应针对预警信息，按预警级别及处置方案及时予以处置，并在线反馈处置结果，形成完整的闭环控制流程，直至监控平台自动验证达标、消除预警信息为止。

10 系统运行维护与验收

10.1 运行维护

- 10.1.1 施工期间应落实专人负责堆石混凝土坝施工质量数智化监控系统日常运维，建立常态化巡检机制，保障监控业务在关键工期的连续性与稳定性。
- 10.1.2 运维人员应定期巡查检测硬件设备、优化智能应用软件系统，及时处理运行故障，归档运行维护台账。

10.2 系统验收

- 10.2.1 堆石混凝土坝施工质量数智化监控系统应随主体工程同步开展验收，验收内容宜涵盖系统软硬件综合性能及闭环控制的落实情况。
- 10.2.2 验收标准宜涵盖关键工序的监控覆盖率、监控数据的完整性、闭环处置情况以及管控要求落实情况。