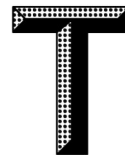


ICS 07.040
CCS A 15



团 体 标 准

T/CI 956—2025

混凝土坝智能建造技术导则

Technical guidelines for intelligent construction of concrete dams

2025-04-01 发布

2025-04-01 实施

中国国际科技促进会 发布
中国标准出版社 出版

目 次

前言Ⅲ

引言Ⅳ

1 范围1

2 规范性引用文件1

3 术语和定义1

4 总体原则2

5 混凝土坝智能建造管理3

6 混凝土坝施工4

7 混凝土坝温控7

8 灌浆工程8

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。本文件发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国长江三峡集团有限公司提出。本文件由中国国际科技促进会归口。

本文件起草单位：中国长江三峡集团有限公司、中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司、中国水利水电第三工程局有限公司、浙江金华市顺泰水电建设有限公司、广东大禹水利建设有限公司、山东水总有限公司、浙江寰晟环境工程有限公司、中国葛洲坝集团第二工程有限公司、北京金河水务建设集团有限公司、江苏淮阴水利建设有限公司、中国安能集团第二工程局有限公司、福建省水利水电勘测设计研究院有限公司、陕西省东庄水利枢纽工程建设有限责任公司、湖南省水利水电勘测设计规划研究总院有限公司、中国水利水电第九工程局有限公司、黑龙江省水利水电集团有限公司、新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司、长江水利水电开发集团(湖北)有限公司、新疆北方建设集团有限公司、陕西省泾河工程局、东辰华夏(北京)工程技术有限公司、新疆昌吉方汇水电设计有限公司、水利部产品质量标准研究所、中国葛洲坝集团三峡建设工程有限公司、中国铁建港航局集团有限公司。

本文件主要起草人：谭尧升、何展国、杨鸽、李小东、蔡海川、张序林、朱向东、徐浩、刘志明、张晓光、赵志刚、谢亚军、吴志刚、李玉、姚胜利、罗亮明、张立明、张栋、周正荣、梁峰、尚超、赵琦、郑寓、刘玉林、卢正雷、陈永华、李宗杰、陈海宽、李健、叶开渊、周鹏、关荣财、金爱云、王磊、张万军、杨禹、李洁、王永峰、陈棚、李勇平、张泉山、蒋一波、余志实、陈梦、南康宁、管帝、刘传炜、李铭松、朱建利、沈研、许立祥、鲍志松、石体伟、王苏豫、杜晓宁、杨振虎、王宏民、王红杰、于庆伟。

引 言

近年来云计算、大数据、物联网、人工智能等信息技术、数据技术与传感技术快速发展,并在国内外各类混凝土坝的全面应用,我国大中型水电工程中混凝土坝已形成信息化、数字化、智能化的建设格局,利用智能碾压、智能温控、智能通水、智能灌浆等智能建造技术,通过对工程设计、施工工艺与项目管理流程的智能化管理,促进混凝土坝实现安全、优质、绿色、高效建造,显著提升了工程建设管理水平和效益。

为规范混凝土坝建设现场的信息化、数字化、智能化技术的应用,提升工程建设管理水平和效益,文件编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,并在广泛征求意见的基础上,制定本文件。

混凝土坝智能建造技术导则

1 范围

本文件规定了混凝土坝智能建造管理、混凝土坝施工、混凝土坝温控、灌浆工程等的相关要求。
本文件适用于新建、改建和扩建混凝土坝的智能建造。

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 20988	信息安全技术	信息系统灾难恢复规范
GB/T 25070	信息安全技术	网络安全等级保护安全设计技术要求
GB/T 39204	信息安全技术	关键信息基础设施安全保护要求
GB/T 39786	信息安全技术	信息系统密码应用基本要求
GB/T 43697	数据安全技术	数据分类分级规则
NB/T 11405	混凝土坝智能温控系统规范	
NB/T 11561	水电工程智能建造技术通则	
NB/T 11668	大坝智能建设技术导则	
NB/T 11743	水电工程化学灌浆质量检测规程	
DL/T 2759	水电工程环境保护技术监督导则	
DL/T 5148	水工建筑物水泥灌浆施工技术规范	
DL/T 5178	混凝土坝安全监测技术规范	
DL/T 5260	水电水利工程施工环境保护技术规程	
DL/T 5712	水电水利工程接缝灌浆施工技术规范	
SL 601	混凝土坝安全监测技术规范	

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

混凝土坝智能建造 **intelligent construction technology for concrete dams**

集成利用智能化技术、智能化装备及智能化管理等,以建筑信息模型为基础,通过对混凝土坝工程设计、施工过程与项目管理的数字化管控与持续优化,形成施工全过程、全要素的感知、分析和控制的闭环。

3.2

全面感知 **comprehensive perception**

通过传感器、网络通信技术等手段,对混凝土坝建设各环节的多种模式信息进行感知、采集与存储。

3.3

真实分析 real analysis

利用网络通信、信息融合、模式识别、数据挖掘、人工智能等技术,基于生产控制系统和信息管理系统等数据资源,对多源数据进行自动检测、关联、相关、组合和估计等处理,自动关联分析工程建设过程中的海量结构化或非结构化数据。

3.4

实时控制 real-time control

采用智能控制手段,配置数字化控制设备,根据工程现场实际情况自动调整控制策略、方法、参数和管理方式。

3.5

混凝土坝工作性态仿真 performance simulation of concrete dams

建立在线仿真分析模型,实时模拟施工过程、材料等参数演化,分析预测混凝土坝的温度、应力、变形、渗流等时空演化规律,通过与监测数据的对比分析,为实际工程提供技术支撑。

3.6

BIM 深化设计与应用 design and application of building information modeling

对大坝单元混凝土材料分区、钢筋布设、监测仪器布置等进行 BIM 设计与深化建模,施工布置方案编制、多方案比选与优化,开展 BIM+进度计划/成本/测量等方面应用,以及多专业结合的碰撞检查。

3.7

智能通水系统 intelligent cooling control system

用于对冷却水流量、水温等进行智能化控制的软硬件系统。

4 总体原则

4.1 混凝土坝智能建造应遵循技术先进、管理高效、绿色环保和经济合理的原则,包含建设全过程的资源要素、工艺流程、质量控制和智能技术应用等,并应符合 NB/T 11561 和 NB/T 11668 的有关规定。

4.2 可行性研究阶段应提出混凝土坝智能建造目标及内容,招标设计阶段应提出混凝土坝智能建造实施方案,信息基础设施和软硬件系统建设应满足混凝土坝智能建造进度要求。

4.3 混凝土坝智能建造应符合 GB/T 40234、NB/T 10507 和 NB/T 10508 的有关规定,宜建设大坝全景信息模型及大坝智能化建设平台,包含混凝土坝施工过程管理、技术管理、智能生产控制、专业化管理、科研与进度仿真服务等功能。

4.4 混凝土坝智能建造系统应集成相关的软硬件系统,建立大坝建设期与运行期的数据传递关系,具备全面感知、真实分析、实时控制的智能闭环要求。

4.5 混凝土坝智能建造系统的构成、建设、运维和信息数据安全应符合 NB/T 11668、GB/T 20988、GB/T 25070、GB/T 39204、GB/T 39786 和 GB/T 43697 的有关规定。

4.6 建设单位应在项目全过程统筹智能建设规划与实施,可委托有经验的实施单位负责混凝土坝智能建造系统的建设和运维。

4.7 混凝土坝施工过程中的环境保护应符合 DL/T 2759 和 DL/T 5260 的有关规定。水保环保宜采用智能化监测与修复手段,应符合 NB/T 11561 的有关规定。

4.8 混凝土坝施工过程中宜开展混凝土坝工作性态仿真与反馈分析,通过与实体结构的实时数据交换,实时评估主体建筑物工作性态与安全状态,为设计控制标准和施工措施动态优化调整提供参考。

5 混凝土坝智能建造管理

5.1 混凝土坝信息模型管理

5.1.1 混凝土坝施工宜按照相关行业统一的 BIM 编码、存储、交付与应用的标准要求,建立大坝信息模型,开展施工全过程应用。

5.1.2 混凝土坝施工宜实现设计成果、施工过程、监测与环境数据的集成管理与大数据分析。

5.1.3 混凝土坝信息模型应跟踪设计变更与深化过程,实现变更前后的模型、参数对比与可追溯。

5.1.4 混凝土坝信息模型宜满足下列要求:

- a) 包含大坝各单元混凝土材料分区、钢筋布设、冷却水管布置、监测仪器布置等信息,可进行施工布置方案编制、多方案比选与优化;
- b) 对混凝土施工进度计划、实际形象进度进行展示与对比分析,开展施工碰撞分析与预警;
- c) 可视化管理安全监测、质量验收过程与成果资料等,形成工程数字档案;
- d) 实现基于 BIM 的工程量计划进度、材料需求计划、原材料应耗量计算及物资核销,签证工程量的统计与结算。

5.2 智能进度管理

5.2.1 进度管理宜采用进度计划仿真方法,基于 BIM、计算机仿真等技术的数字化建模与仿真系统,开展基于实时边界条件的进度跟踪分析,优化施工进度计划。

5.2.2 混凝土坝施工宜建立进度仿真系统,开展总进度计划仿真分析及阶段性进度计划的仿真,综合考虑影响进度的不确定因素,论证施工方案的合理性和可行性,并对施工方案进行优选,为大坝施工计划的编制、多方案比选、关键进度节点推演验证、优化施工布置及资源组织方案提供依据。

5.2.3 混凝土坝施工进度智能化管理应确定施工进度节点目标,计划下一阶段基础处理、坝体施工、金属结构安装等工程的主要形象面貌及工程量,制定施工进度计划图表。

5.2.4 混凝土坝施工进度仿真宜满足下列要求:

- a) 对混凝土坝划分单元、混凝土生产、运输、平仓与施工等环节进行进度模拟,基于混凝土坝智能监控,实现混凝土坝施工进度预测、偏差分析、资源优化与施工方案动态调整;
- b) 基于传感器、视频监控、物联网等手段,采集大坝开仓时间、工程量、强度、施工装备、入仓效率、平仓、振捣和碾压效率等实时数据,分析实际进度与计划进度偏差,动态调整和优化施工方案,预测后续施工进度,提出进度纠偏措施。

5.3 智能安全管理

5.3.1 智能安全管理应建立智能安全管理体系与平台,并建立安全风险分级管控和隐患排查治理双重预防机制,对人员行为、设施装备状态及环境因素等情况进行监测与分析,及时开展安全后评价工作。

5.3.2 安全管理平台应包括安全隐患垂直上报、隐患处理状态展示、隐患处理结果反馈等功能。

5.3.3 智能安全管理宜利用具有感知功能的劳动防护用品、视频识别技术等手段,对安全准入、佩戴劳动防护用品、不安全区域、人员岗位履职、交叉作业、交通与重机械驾驶等行为进行管控。

5.3.4 智能安全管理宜采用视频识别、轨迹跟踪或电子围栏等技术,对高临边防护、施工排架搭设、模板安装、通道人数、车辆轨迹、起重机械运行等项目进行监测与管控。

5.3.5 在边坡、滑坡体等高风险部位应对变形、应力等指标进行监测,当监测值超相应阈值时预警。

5.3.6 智能安全管理宜基于视频监控、大数据、智能算法等技术,对人员安全状态和管理效果进行评价,分析人员到岗情况与现场安全标准施工的群体行为、作业人员身份与从事工种的匹配,对人员活跃

度及其工时、工效等进行数据挖掘分析。

5.4 智能质量管理

5.4.1 混凝土坝施工宜建立质量管理体系与平台,对原材料质量检测、施工过程质量监控和工程质量验评过程进行智能化管理。

5.4.2 智能质量管理应利用物联网、移动应用、工业控制等技术,建立检验检测公共服务平台,对原材料和混凝土进行试验检测和原位检测记录,对样品取样与标识、混凝土养护、试验过程监控、试验报告与成果分析等流程进行数字化管理与盲检。

5.4.3 混凝土坝的关键工序、重要部分与隐蔽工程可利用机器视觉等技术进行视频、图片采集识别与智能分析,实现施工过程监控、施工质量智能分析与全过程可追溯。

5.4.4 设计、施工、检查、验收等全过程数据资料应利用区块链等技术进行加密存储与管理,防止信息非法篡改。

5.4.5 混凝土坝各专业的标准化质量验评体系宜建立移动端施工质量检查与评定验收系统,建立智能化的评价体系,实现基于关键测量、检测指标与工序评定结果的单元质量验收等级自动评价。

5.5 安全监测与性态仿真

5.5.1 混凝土坝施工应利用智能传感器、物联网技术等手段,对大坝温度、变形、应力、缝面及基岩开合度、坝基渗流等监测项目进行数字化采集与在线监测,对数据和混凝土坝性态进行动态分析与预警。

5.5.2 混凝土坝施工应建立安全监测平台,对监测设备及传感装置的综合管理,支持对监测数据的统计、查询、分析、展示。混凝土坝安全监测应符合 DL/T5178、SL601 的有关规定。

5.5.3 混凝土坝施工宜建立在线仿真系统,并具备以下功能:

- a) 实时采集环境监测与结构安全监测数据,进行混凝土坝温度、应力、变形等结构性态仿真分析,基于仿真结果对混凝土坝安全风险进行预测和预警,优化温控等方案;
- b) 利用监测数据进行反演分析,修正混凝土材料热力学参数等仿真计算参数;
- c) 建立智能建造模式下的标准化工艺与培训平台,包括大坝混凝土备仓与施工、保温及养护、灌浆工程等标准化工艺,用于指导和考核现场施工生产。

6 混凝土坝施工

6.1 施工深化设计

6.1.1 混凝土坝分段应基于大坝信息模型,细化形成混凝土施工单元的分层模型。混凝土坝分段宜基于混凝土材料分区模型,统计各级配混凝土用量。

6.1.2 施工深化设计宜开展上下游抗震钢筋,廊道、孔口、牛腿等特殊部位钢筋的三维布置设计与材料耗量统计分析。

6.1.3 混凝土坝施工应开展数字化备仓设计,形成材料准备、生产、调运、现场存放等方案。

6.1.4 混凝土施工应开展仓面设计,包括各分区材料、施工方法,运输、平仓、振捣、碾压、温控设备需求,人员、材料计划等需求。

6.1.5 混凝土缆机入仓可开展缆机调度方案设计,合理规划缆机入仓方式,保证施工安全,实现多仓同浇,提高缆机调运效率。

6.2 砂石料制备

6.2.1 砂石料制备宜基于智能化技术,实现从砂石骨料生产、运输过程智能化控制,系统产量、储量、质

量的全流程智能化分析,提高大坝高强度施工与混凝土全过程质量管控。

6.2.2 砂石料开采宜建立料场三维地质 BIM 模型,实现规划和优化开采方案,以及可视化跟踪开采形象等功能。

6.2.3 砂石料开采可采用智能化爆破装备,利用 BIM 技术建立智能爆破系统,实现对布孔、装药等爆破方案与流程的调整、优化。

6.2.4 砂石料制备宜采用传感器、视频监控、图像识别、智能算法等手段,建立砂石料生产过程智能控制系统,包括实时监控砂石料加工、设备运行情况和砂石骨料的质量检测、跟踪、评价,实现产能、质量的实时在线监控与动态排产,保证稳定供给。

6.2.5 砂石料制备宜建立资源消耗管控系统,基于传感器、图像识别、物联网、智能算法等手段,实时监控砂石料生产用水、用电和废水、废渣处理情况。

6.2.6 砂石骨料仓储可建立砂石骨料库存系统,基于生产监控实时采集的产量和录入的出入库数据,形成闭环的出入库管理。

6.2.7 砂石骨料运输应建立数字化调度运行与远程监控系统,基于车辆运输定位技术,对毛料运输和车辆运输违规情况的动态实时监控,实现骨料运输车辆的数字化调度与跟踪。

6.2.8 砂石骨料运输宜建立运输安全管理平台,实现对司机、岗点、车辆、道路、卡口、证照及应急抢险等信息的申请和审批等流程管理。运输安全管理应采用传感器、图像识别、智能算法等手段,对违规行为和潜在安全风险进行智能识别与预警。

6.3 混凝土生产

6.3.1 混凝土生产应建立数字化信息管理系统,实现混凝土要料、配料、审核等信息与流程的数字化管理。

6.3.2 混凝土生产系统应支持运输车辆自动识别、生产方式和调度、在线检测、控制参数的自动管理及相关数据的存储。

6.3.3 混凝土生产系统应基于仓面要料指令和施工配合比,动态采集骨料含水率、超逊径、温度等指标,自动计算生产配合比。

6.3.4 混凝土生产可利用视频监控、传感技术,对砂石骨料的传输状态、称重及搅拌层工作状态进行监控。

6.3.5 混凝土生产应建立拌合楼/站生产智能控制系统,与混凝土生产管理系统对接,实现对配料信息的自动识别读取,采集使用部位、强度等级、级配、拌和时长、生产配合比、称量配合比等生产拌和信息,实时监控生产过程。

6.3.6 混凝土生产应采用传感器、智能感知和识别技术,对原材料温度、出机口温度、砂石骨料湿度、级配、生产量等信息进行自动监测和反馈,采用加冰、喷水等措施控制温度、湿度等。

6.3.7 混凝土生产应利用传感器、图像识别等技术对水泥、粉煤灰、砂石骨料等资源余量进行监测。

6.3.8 混凝土生产宜利用大数据技术,开展拌合楼生产的效率、强度、质量、温度等统计分析 with 预警。

6.4 仓面准备

6.4.1 备仓设计宜基于数字化技术,针对大坝典型仓面编制备仓工作规划、材料需求计划、材料入仓跟踪、备仓进度跟踪,形成标准化的备仓工作流程;宜对仓面的模板、钢筋、止水、仪器埋件等设施的布置进行三维设计与规划,自动生成工程量、工作内容及材料清单。

6.4.2 备仓过程宜利用先进监控设备、BIM 和物联网等手段建立管控系统,包括材料的入仓、出仓及仓间转运记录、备仓作业、人力投入情况等内容,实现备仓设计、申请、审批和调度的全流程智能管理,管理记录同步自动生成。

6.4.3 备仓作业内容应采集每班各工种的投入人数、投入时长、当班及累计完成进度、备仓形象等信息。施工管理人员每班次结束前应到现场核定当班完成进度,对应的人力投入情况,记录到智能建造APP的备仓进度跟踪项目中。

6.5 运输及入仓

6.5.1 混凝土运输应建立管控系统,对混凝土待料、水平运输、垂直运输、卸料、空载返回等环节进行管控。

6.5.2 混凝土运输应对运输车进行编码,对混凝土运输及入仓过程可利用视频识别、定位、传感器等技术,实时采集运输轨迹、运输时长、运载状态、安全间距、实时速度等混凝土运输过程数据,分析预警异常状态。

6.5.3 满管溜槽、带式输送机运输及入仓过程管控宜利用视频识别技术,实时采集并分析混凝土骨料分离情况。

6.5.4 混凝土运输及入仓管控宜对混凝土运输入仓环节、运输路线进行统计分析,优化现场运输方案,提升运输效率与准确性。

6.5.5 混凝土运输及入仓应动态跟踪混凝土出机口温度、入仓温度及升温情况,优化运输过程的温度控制措施。

6.6 常态混凝土浇筑

6.6.1 混凝土浇筑宜按照混凝土坝智能建造标准化工艺进行施工,包括混凝土浇筑、保温养护、廊道施工及金属结构安装,对相关人员进行应用培训。

6.6.2 混凝土浇筑宜建立混凝土施工管理系统,集成仓面边界、坯层厚度、振捣区域、施工条带等信息,具备分析并推送坯层覆盖、振捣覆盖、振捣深度、振捣时长等振捣成果的功能,指导混凝土浇筑,相关资料可直接电子归档。

6.6.3 混凝土浇筑可利用定位技术、传感技术,对平仓车、振捣车、人工振捣棒的位置、平仓振捣轨迹进行监控,对振捣深度、时间、角度等信息进行采集,系统应对仓面振捣覆盖情况进行实时分析与展示。

6.6.4 智能振捣应满足平仓角度、平仓覆盖范围、振捣插入深度、振捣插入角度、振捣时长等平仓振捣的操作要求。

6.6.5 定位技术应考虑现场复杂环境的限制,满足易部署与维护的要求。

6.6.6 在振捣车、平仓车内宜配置智能终端设备,用于接收系统推送平仓振捣覆盖成果。

6.6.7 混凝土浇筑全过程宜实现数字化监控,实现对操作人员和管理人员的有效覆盖,对漏平、漏振和坯层覆盖超时等情况进行预警提示,并可利用视频监控技术,实时监控与记录过程。

6.7 碾压混凝土填筑

6.7.1 碾压混凝土填筑应利用定位技术、传感技术,对摊铺机、碾压机的时空信息进行采集,自动分析摊铺设备的速度、轨迹、坯层厚度、覆盖时间参数,以及碾压机的碾压轨迹、碾压速度、碾压遍数、振动频率、振动状态、混凝土压实度参数,实现碾压混凝土摊铺碾压质量的实时分析与反馈。

6.7.2 碾压混凝土填筑管控应符合下列要求:

- a) 监控混凝土摊铺厚度、层间覆盖时间、条带碾压作业时间与层间间隔时间,对超厚、漏碾与层面覆盖超时等情况进行预警和报警;
- b) 在摊铺机、碾压机配置智能终端设备,用于接收系统推送碾压混凝土坝摊铺碾压监控成果;
- c) 建立压实质量智能预测模型,实现碾压过程压实质量动态预测;
- d) 基于摊铺厚度及覆盖时间实现摊铺作业的智能导引,基于坝面碾压遍数及压实质量监控成果

实现碾压作业过程的智能导引；

e) 实现碾压参数快速录入、统计分析、查询出图、实时报警以及碾压质量图形报表输出等。

6.7.3 碾压混凝土填筑施工宜采用具备安全保障和健康诊断功能的无人碾压机等智能化施工机械,实现仓面少人或无人化机械群协同作业,确保人员、机械设备安全。

6.7.4 变态混凝土施工管控宜利用定位技术、传感技术,对变态混凝土加浆孔位置、深度、加浆时间、加浆量等信息进行采集与分析。

7 混凝土坝温控

7.1 施工过程温控

7.1.1 施工过程温控应利用数字测温、红外测温等技术,建立大坝混凝土温度监控系统,对骨料温度、混凝土出机口温度、入仓温度、浇筑温度等信息进行实时感知、动态分析与实时预警。

7.1.2 大坝典型部位及施工仓面宜设立小型移动式气象站,对局部小环境的温度、湿度、风力、风向、太阳辐射热等进行实时监测。

7.1.3 大风、干热等复杂环境下的混凝土坝施工宜采用智能喷雾机对仓面局部环境温度进行控制;喷雾机的转向、转角、喷雾强度、喷雾有效距离与喷嘴的数量、孔径等指标应满足现场要求;转向、转角、喷雾强度宜根据实时采集的环境温度、湿度及风向风力等数据自动调整与优化。

7.1.4 施工过程温度监测与控制宜利用大数据与智能技术进行分析,包括过程温升、大风规律等,优化施工过程温控工艺与控制参数。

7.2 保温及养护

7.2.1 保温及养护应结合气象监测预报、现场温度实时感知以及大坝浇筑进度等信息,利用快速测量、物理试验、性态仿真等手段,制定适应相关工程的预警方式和预警准则,对大坝混凝土不同部位保温及养护情况进行实时分析、智能化监控及预警。

7.2.2 保温及养护应实时采集混凝土仓面施工、气象要素等信息,利用仿真软件对表层温度梯度进行分析,对大坝表面保温状态和保温效果进行自动判断、识别与预警,控制混凝土内外温差。

7.2.3 保温及养护可采用视频监控、图像识别、无人机等技术,对仓面、上下游表面及重点部位保温覆盖等措施进行检查、预警。

7.2.4 在大坝廊道、孔口等部位宜设置温度、湿度及风力监测气象站,监测廊道内的风力贯通情况与温湿度水平。在廊道内宜布置智能加湿设备,避免出现表面裂缝。

7.2.5 在仓面应布设旋转式喷水设备,根据实时采集的仓面温度、湿度等信息,对仓面混凝土进行喷水养护。

7.3 内部温度监测

7.3.1 混凝土施工应利用物联网、数字化等技术,实现对混凝土内部温度的实时采集、传输与分析。

7.3.2 混凝土内部温度宜采用数字式温度计,采集频率可按需远程设置。

7.3.3 温度采集仪宜采用低功耗设计、电池供电,紫蜂、Lora 等低功耗数据传输技术。

7.3.4 大型复杂混凝土施工可在混凝土内部预埋分布式测温光纤,利用光纤测温数据,建立混凝土温度场的重构模型,实现对内部温度的全面监控和预测,掌握温度分布特征规律。

7.3.5 混凝土施工可利用 BIM、大数据等技术,实时分析内部温度分布情况、温度变化过程曲线、最高温度分布、空间梯度分布、温度变化幅度等,出现异常可及时预警。

7.4 通水冷却

7.4.1 混凝土施工应利用传感器、物联网等技术和智能算法,建立智能通水控制系统。

7.4.2 智能通水控制系统应通过实时调整通水流量,实现对混凝土内部温度的精准控制。

7.4.3 智能通水控制系统应基于水温和混凝土温度的实时监控数据,控制混凝土升温、降温、控温、温度回升等阶段的温度变化幅度以及降温速率满足设计温控要求,实现温度曲线的预测、通水温度和流量的动态调整。

7.4.4 智能通水系统应支持智能换向功能,保证混凝土内部温度的均衡,调整频度应符合 NB/T 11405 的有关规定。

7.4.5 通水冷却宜基于混凝土内部预测温度变化及实际温度变化特征,进行大数据反演分析,优化通水方案,确保混凝土内部各阶段温度满足设计要求,优化通水管路布设,节约施工用水与能耗。

7.4.6 智能通水设备宜利用 BIM 技术,建立包括智能通水硬件设备、软件平台、仓内管路、制冷水站及供水管网等信息的温控体系,实现制冷供水站、温控机柜和冷却水管等仪器设备的可视化,并实现在智能通水设备运行环境、异常工况处理等方面的运行维护。

8 灌浆工程

8.1 灌浆策略

8.1.1 灌浆工程应符合 NB/T 11743、DL/T 5148、DL/T 5712 和智能灌浆相关标准的有关规定。

8.1.2 固结与帷幕灌浆宜根据岩体可灌性的分区信息以及灌浆过程模拟分析结果,确定不同部位灌浆孔作业的先后顺序、开灌条件、灌浆方式方法等信息,智能分析并以此建立灌浆控制策略,作为后续灌浆过程控制的依据。

8.1.3 接触灌浆深化设计宜基于设计阶段成果,和包含灌浆单元、分区、孔位布置及分段等信息的 BIM 模型,实现基本设计与工艺参数的管理。

8.1.4 接缝灌浆深化设计宜基于设计阶段成果,和包含大坝横缝面、灌浆管路布置等信息的 BIM 模型,实现灌浆分区及灌浆参数的设计与管理。

8.1.5 接缝灌浆宜基于大坝 BIM 模型与灌浆管路模型,建立三维灌浆分析模型,对灌浆过程进行模拟分析,确定不同灌区灌浆顺序、灌浆压力、灌浆设备布设等信息,智能分析并建立灌浆策略。

8.2 可灌性评价

8.2.1 固结与帷幕灌浆宜基于前期地质勘测数据,建立精细化三维灌浆—地质模型,进行灌浆过程模拟分析,获得不同灌浆孔注灰量、浆液扩散半径等灌浆过程参数,自动进行统计分析,实现对岩体可灌性的定量评价及分区。

8.2.2 接缝灌浆宜通过混凝土温控系统,在线获取混凝土内部温度数据与各灌浆分区的平均温度与温度降幅等信息,监测灌浆阶段对各分区混凝土内部温度。

8.2.3 接缝灌浆宜基于智能化技术和传感器等手段,通过在线安全监测,提取各个坝段的实施浇筑进度与形象,实时计算各单元的混凝土浇筑龄期、各横缝面的开合度等,对各项条件指标进行可视化分析与展示。

8.3 灌浆过程控制

8.3.1 灌浆过程宜基于孔位布置参数,利用测量机器人等智能放样设备进行灌浆孔位放样。

8.3.2 灌浆施工宜建立智能灌浆系统和采用智能灌浆设备,对各阶段浆液密度、浆液温度、灌浆压力、

注入率、抬动等参数采用加密技术采集传输;宜具备浆液参数感知、自排污、自清洗等功能,自动获取配浆、变浆等参数,自动完成配浆、补浆、变浆。

8.3.3 智能灌浆宜建立地质参数、灌浆过程参数与灌浆质量评价指标之间的定量关系,实现灌浆过程中对灌浆效果的智能评估。

8.3.4 智能灌浆系统应自动完成裂隙冲洗、压水、灌浆、封孔等作业,应能对浆液外漏、灌区串通、灌浆管路堵塞等特殊情况进行处理,实现正常灌浆和特殊情况灌浆一体化智能控制。

8.3.5 灌浆过程应具备实时压力-流量检测、过压自动保护、流量超限控制等功能,自动获取调压参数、功率控制参数,自动完成压力-流量调节及控制。

8.3.6 灌浆过程可跟踪水泥及钻头、钻杆等主要资源的消耗量,进行消耗分析。

8.4 灌浆质量验评

8.4.1 灌浆工程宜建立灌浆信息智能可视化平台,集成灌浆全过程施工信息,实现实时显示压力-流量曲线、压力-流量-密度-时间联动曲线和变浆、结束、特殊情况处理等关键控制信息,以及灌后各类物探等检查结果信息,实现三维交互可视化分析。

8.4.2 灌浆施工宜自动生成单元成果表、分序成果表、分区成果表及综合纵剖面图。灌浆设计、过程技术资料与灌浆成果宜进行数字化归档。

8.4.3 智能灌浆系统宜具备智能灌浆验收功能,可对施工记录、灌浆成果、检查测试、质量检查和质量事故处理报告、竣工验收报告等资料进行分析和总结。

中国国际科技促进会
团 体 标 准
混凝土坝智能建造技术导则
T/CI 956—2025

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238
读者服务部:(010)68523946
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 0.00 字数 00 千字
2025年5月第1版 2025年5月第1次印刷

*

书号:155066·5-13655 定价 00.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



T/CI 956-2025