

# 灌浆廊道混凝土施工期温度与应力仿真分析

宋 云<sup>1</sup>, 于 洋<sup>1</sup>, 郭 磊<sup>2</sup>, 陈守开<sup>2</sup>

(1. 中国人民武装警察部队 水电第一总队, 广西南宁 530028; 2. 华北水利水电大学 水利学院, 河南 郑州 450045)

**摘要:**针对苗尾水电站心墙堆石坝心墙灌浆廊道混凝土结构约束条件复杂及施工期易开裂的问题,开展了廊道施工期温度与应力特性的仿真研究;针对夏季高温季节的温控问题,利用三维非稳定温度场和应力场有限元算法,分析研究了灌浆廊道施工期的温度与应力发展的规律和分布状态。结果表明,在复杂的内外约束作用下,相对即时混凝土抗拉强度,灌浆廊道侧墙部位应力峰值显著,早期容易产生表面裂缝,后期存在内部开裂的风险,为此需要严格控制浇筑温度并加强表面保温。

**关键词:**混凝土; 温度应力; 开裂; 灌浆廊道

中图分类号: TV543

文献标志码: A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.S1.048

在心墙堆石坝工程中,有时为了避免施工期的灌浆干扰并满足后期检修、观测的需要,一般在坝基部位的心墙设置灌浆廊道。众所周知,心墙作为坝体最重要的防渗结构,需要保证其完整性,不允许出现结构性裂缝,一旦在心墙处产生了贯穿性裂缝,运行期极易成为渗漏通道,进而影响大坝的蓄水和安全。

作为心墙堆石坝的重要结构,灌浆廊道具有如下几个特点:① 修建于基岩的基槽中,受U型约束,外约束作用强;② 作为孔口结构,内约束复杂,应力应变分布规律性差,易发生应力集中现象;③ 作为混凝土结构,荷载及其作用形式复杂多样,除温度荷载、自重作用外,自生体积变形、干缩变形、拉压徐变、环境因素以及地基特性等均影响其施工期的应力发展与分布状态。因此,运用理论分析、经验借鉴等常规分析手段均难以确定灌浆廊道施工期真实的温度、应力情况,需借助数值分析手段。本文利用成熟的三维不稳定温度场与应力场仿真分析程序,按照三维有限元建模、初始与边界条件确定、施工过程模拟与计算、结果分析的思路,对心墙堆石坝灌浆廊道混凝土施工期的温度与应力变化及其分布规律进行研究,为工程的温控防裂提

供指导。

## 1 工程概况

苗尾水电站位于云南省大理州云龙县旧州镇境内的澜沧江河段上,挡水建筑物采用砾质土心墙堆石坝,大坝心墙顶高程为1 412.80 m,底高程1 276.5 m,心墙最大高度136.30 m。为避免施工期的灌浆干扰及便于后期检修、观测,沿心墙左岸1 370.00 m高程以下、右岸1 368.00 m高程以下设置灌浆廊道,廊道尺寸为3.5 m×3.5 m,结构断面如图1所示。灌浆廊道采用C25混凝土,混凝土的热力学参数如下:

导热系数	6.70 kJ/(m·h·℃)
比热	0.945 kJ/(kg·℃)
导温系数	0.00303 m <sup>2</sup> /h
线胀系数	8.15 10 <sup>-6</sup> ℃
最终绝热温升	39.16℃
最终弹性模量	33.205 GPa
最终抗压强度	31.6 MPa
密度	2 340 kg/m <sup>3</sup>

泊松比 0.167  
 自生体积变形  $-40 \times 10^{-6}$

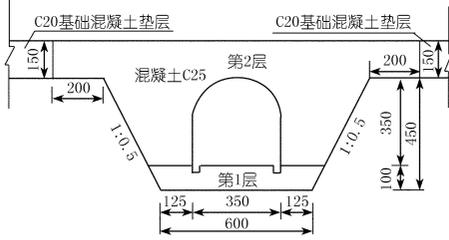


图1 灌浆廊道典型断面(单位:cm)

### 2 计算模型与仿真假定

考虑廊道混凝土的结构形式、布置特点以及施工安排,取河床部位廊道混凝土进行计算。在网格剖分时采用空间六面体和五面体等参元。考虑混凝土表面附近温度受环境温度影响较大,早期温度梯度和应力梯度较大,同时表层混凝土的温度和应力变化情况也正是本工程混凝土结构温控防裂研究的重点,因此设置相对较薄的单元,且网格由外向内逐渐变粗。同时,为了模拟分层浇筑过程,网格划分时将考虑分层、分块线的位置。模型单元和节点总数分别为 13 440 和 17 460 个,计算网格如图 2 所示。

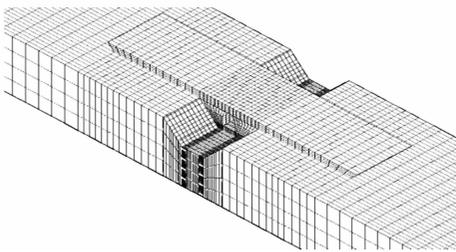


图2 三维仿真网格模型

温度场计算时,缝面(左右岸方向)作为绝热边界外,其余外表面边界均为第3类表面放热边界。应力场计算时,基岩底面视为固定,四周侧面取连杆支撑,其余边界面均为自由变形面。

### 3 计算结果与分析

仿真计算按夏季施工,浇筑温度以实时气温为基准,考虑日照辐射的影响。根据当地多年平均气象资料,计算时取风速 2.0 m/s,不考虑昼夜温差的影响。考虑到廊道侧墙受力状态较为复杂,本文以廊道侧墙为例进行分析,计算结果如图 3~8 所示。

计算结果表明,由于水泥水化放热作用,混凝土浇筑后温度升高,到达峰值后,温度随着环境温度下降并趋于环境温度,且早期内部温度高于表面,形成内外温差,后期内部温度接近于表面并随环境温度的变化而

变化,这与实际混凝土温度变化的一般规律相符。此外,混凝土应力计算值及变化值基本控制在合理范围内。总体而言,仿真计算结果合理。

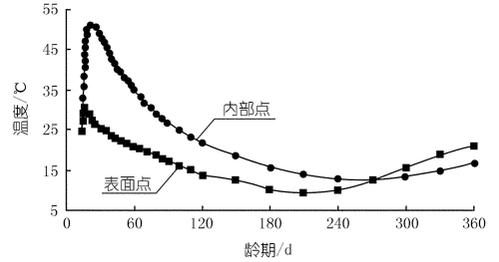


图3 廊道侧墙温度历时曲线

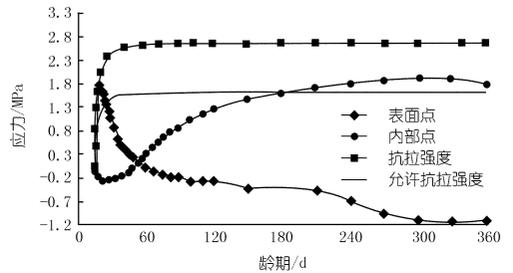


图4 廊道侧墙应力历时曲线

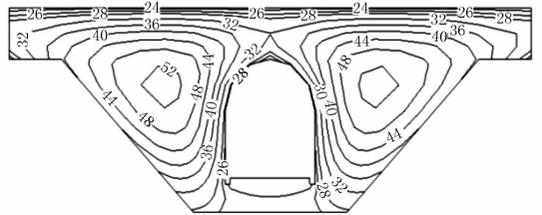


图5 浇筑后3d中截面温度云图(°C)

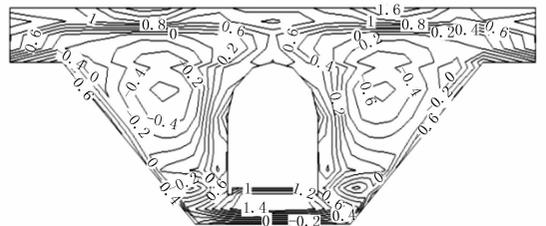


图6 浇筑后3d中截面应力云图(MPa)

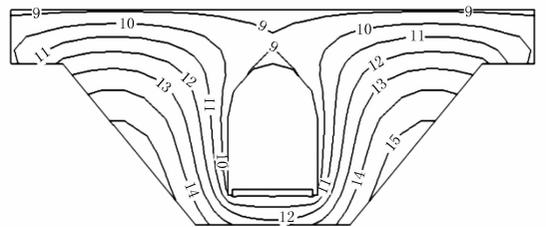


图7 浇筑后28d中截面温度云图(°C)

由图3,4可知,无温控措施时,侧墙表面点和内

(存料场占地区的左右侧排洪沟段,待存料使用结束后砌筑),截洪沟出口接排水箱涵;随堆渣进占,在干沟和支沟布置涵管工程(主要用于堆渣期间引排弃渣场堆渣区域汇水和后期渣底渗水),见图5。



图4 排水方案一布置示意



图5 排水方案二布置示意

### 3.3 排水方案比选

经分析比较,两方案投资相当,方案一优点在于后期检修方便,但若消能不当,下游高速水流在陡坡段将对堆渣坡面及原坡面产生冲刷。方案二采用明排和暗排相结合的方式,减少了下游侧周边截水沟的排水压力,并且弃渣前可形成完善的排水系统,易于施工。推荐采用方案二。

## 4 结语

沟道型弃渣场集水面积大,洪峰流量大,合适的排水方案是确保渣场稳定的关键。由于弃渣堆放改变了原沟道水文条件,应分别按照施工期排水及永久排水要求,综合分析确定排水方案。

对于支沟发育的沟道型弃渣场,渣场排水应遵循“明暗结合,就近分流;临时与永久相结合”的原则。弃渣前应在原沟道布置涵管或堆石棱体,为渣体或周边渗水形成通道。永久排水应根据施工条件、排水流量、消能条件、当地材料、后期维护、造价等综合分析采用明排或暗排。

(编辑:赵凤超)

(上接第149页)

部点的最高温度分别为  $30.4^{\circ}\text{C}$  (龄期 2 d) 和  $51.3^{\circ}\text{C}$  (龄期 7 d); 早期最大内外温差在龄期 9 d 时达  $23.3^{\circ}\text{C}$ ; 内部点最大基础温差  $37.4^{\circ}\text{C}$ 。与较大的内外温差对应,侧墙表面点在 1~7 d 所产生的拉应力均超过允许抗拉强度,其中最大拉应力  $1.78\text{ MPa}$  (龄期 4 d), 最小抗裂安全度出现在龄期 3 d, 为 1.08, 存在潜在的开裂风险; 同样与较大的基础温差对应,侧墙内部点在混凝土浇筑后,经历第一个低温季节后出现了最大拉应力  $1.91\text{ MPa}$  (龄期 300 d), 超过了允许的抗拉强度  $1.59\text{ MPa}$ , 抗裂安全度仅 1.37, 开裂风险较大。

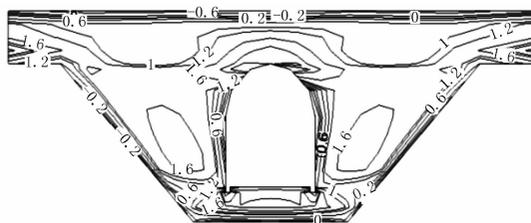


图8 浇筑后 28 d 中截面应力云图 (MPa)

由图 5 可知,龄期 3 d 时,廊道表层混凝土温度在  $30^{\circ}\text{C} \sim 42^{\circ}\text{C}$  急剧变化,温度梯度达  $20^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 。由此形成的拉应力达到  $1.0 \sim 1.6\text{ MPa}$  (图 6), 其中廊道侧墙距离垫层约 1.5 m 的表面产生了超过  $1.6\text{ MPa}$  的拉应力,而 3 d 时混凝土抗拉强度  $1.87\text{ MPa}$ , 允许抗拉强度

$1.13\text{ MPa}$ 。因此,若不采取合理的温控措施,廊道侧墙表层混凝土极易出现表面裂缝。

由图 7 可知,龄期 28 d 时,廊道混凝土处于准稳定状态,内表温差在  $5^{\circ}\text{C}$  以内。此时混凝土内部拉应力已经较大。由图 8 可知,最大值拉应力主要分布在廊道两侧中部位置,超过  $1.6\text{ MPa}$ , 接近允许抗拉强度,存在潜在的开裂风险。

## 4 结论

(1) 作为孔口结构,灌浆廊道内约束复杂,早期易产生表面裂缝;温控方面重点应关注廊道侧墙位置,该位置表面最大拉应力可达到  $1.78\text{ MPa}$ , 接近抗拉强度。

(2) 该灌浆廊道修筑于基槽内,受 U 形约束,约束作用强,后期受基础温差的影响,在内部出现较大拉应力,产生由内而外发展的深层甚至贯穿性裂缝。特别应关注廊道侧墙混凝土体积较大的部位,后期最大拉应力可达  $1.91\text{ MPa}$ , 超过允许抗拉强度。

(3) 灌浆廊道混凝土施工期易产生裂缝,尤其是廊道侧墙位置,建议采取科学合理的温控措施,特别是要严格控制浇筑温度,加强早期表面保温并采取内部通水降温的措施。

(编辑:郑毅)