

大型泵站工程大体积混凝土温控技术的应用

韩 兴

(中国水利水电第五工程局有限公司,四川成都 610225)

摘要:文章结合蜀山泵站大体积混凝土施工实例,探究了大型泵站大体积混凝土温控技术,剖析了大体积混凝土温控技术难点,介绍了大体积混凝土温控重点及有效的温控措施,通过理论分析及数据整理得出了温控参数,研究结果可为类似泵站枢纽工程大体积混凝土工程施工提供有价值的参考。

关键词:大型泵站;大体积混凝土;温控措施;内外温差;防裂

中图分类号:TV544+.91;TV675

文献标志码: B

文章编号:1001-2184(2025)增 2-0064-05

DOI:10.20196/j.cnki.scsfld.2025S212

Application of temperature control technology for mass concrete in large pumping station projects

HAN Xing

(Sinohydro Bureau 5 Co., Ltd., Chengdu 610225, China)

Abstract: The temperature control technology for mass concrete in large pumping stations was investigated, taking the construction example of mass concrete at the Shushan Pumping Station. The difficulties of temperature control in mass concrete was analyzed, key aspects and effective measures for temperature control was introduced, and specific temperature control parameters through theoretical analysis and data compilation was derived. This study serves as a valuable reference for the construction of mass concrete in similar pumping station hub projects.

Key words: large pumping station; mass concrete; temperature control measures; internal-external temperature difference; crack prevention

1 大体积混凝土定义

《大体积混凝土施工标准》GB/T 50496—2018,定义大体积混凝土为混凝土结构物实体最小尺寸不小于1 m的大体量混凝土,大体积混凝土施工过程中,由于大量混凝土水化热反应产生大量热量,势必造成大体积混凝土内外温差变大,从而导致混凝土产生温度裂缝。温度裂缝对混凝土质量而言是灾难性破坏,因此对大体积混凝土施工的温控防裂尤其重要。

如何采取有效的大体积混凝土温控防裂技术措施,在大体积混凝土施工中显得十分重要^[1]。本文介绍泵站大体积混凝土温控防裂施工技术措施。

2 大体积混凝土温控技术措施

2.1 大体积混凝土温控技术整体规划

当施工中遇到大体积混凝土时,应按照以下

方法进行大体积混凝土施工技术准备。

2.1.1 设计单位提供大体积混凝土温控参数

根据设计温控参数,采取对应温控措施,使大体积混凝土施工满足每一项温控指标。大体积混凝土施工中施工参数包括:出机口温度(若有)、入仓温度、冷却水管布置形式(若有)、混凝土最大温度(若有)、混凝土内外温差(若有)等。针对设计所提供的温控参数,必须采取有效温控措施。

(1) 出机口温度

已知出机口温度,根据《水利水电计算手册》,反推拌和骨料及拌和用水温度,并通过拌合站试拌试验法,进行温度系数校正。一般项目采取温控措施:冰水拌和法、加冰拌和法、骨料冷却法(地垄取料、风冷、空调制冷、液氮制冷),常规推荐采取冰水拌和法与骨料风冷法相结合使用,这种方

收稿日期:2025-04-08

法操作简洁方便。对出机口温度要求比较苛刻时,在常规方法中增加加冰拌和方法,经济效果比空调冷却骨料好且稳定,由于加冰拌和,仅增加一台刨冰机,直接降低拌和骨料及拌和罐内部温度,减少施工成本。

(2) 入仓温度

在出机口温度和入仓温度两个温控参数中,大部分设计单位只会给出入仓温度要求,因为出机口温度会由于混凝土运输入仓过程中会温度回升及仓面环境温度等因素影响,造成混凝土入仓温度不可控,因此混凝土入仓温度是设计提供温控参数必不可少的参数。已知入仓温度,根据混凝土运输长度,计算混凝土回升温度,推算出机口的温度要求。一般采用罐车外包保温布、提前对罐车罐体洒水降温等措施。同时对仓面混凝土温度进行控制,原则上不超过混凝土入仓的温度要求,尽量选取低温时段进行浇筑。若仓面环境温度超过入仓的温度要求,采取雾炮机喷雾进行仓面降温处理。

冷却水管布置形式:冷却水管是降低大体积混凝土绝热温升最有效的方法,直接降低混凝土内部温度,从而减小混凝土内外温差,降低混凝土开裂风险。冷却水管可采取钢管和 HDPE 管,管径 $\phi 25 \sim 50$ mm,冷却水管每个回路不大于 200 m。根据施工经验,建议采取 $\phi 32$ 薄壁铁管(管壁厚度 2 mm)效果最佳,接头采取 32PE 管对接,并采用钢筋外部加固,不仅抗损坏能力强,而且施工成本可接受。

(3) 混凝土内部最大温度

若设计给出混凝土最大温度,则要进行混凝土水化热和混凝土温度应力计算。可采取 midas fea 软件对混凝土水化热进行有限元分析,确保混凝土最大温度不超过设计要求。按照以上计算要求,通过调整配合比或水泥品种,控制混凝土内部最大温度。一般项目采取调整配合比减少水泥用量或采取中、低热品种水泥来控制此指标,建议在规范要求的前提下,科学调整配合比减少水泥用量,增加粉煤灰措施。

(4) 混凝土内外温差

内外温差是大体积温控防裂重要指标,混凝土内外温差的控制效果直接影响混凝土是否开裂。控制混凝土内外温差不仅需降低混凝土内部

温度,更重要的是做好混凝土外部保温工作,通常的做法是外部覆盖保温被,封闭混凝土散热截面,从而减小混凝土与环境温度热量交换。通过增加保温被的层数控制混凝土内外温差。

2.1.2 设计单位未提供大体积混凝土温控参数情况的施工技术准备

(1) 规范要求

大体积混凝土施工规范,一般参考《大体积混凝土施工标准》GB/T 50496—2018,此规范大体积混凝土施工温控指标应符合下列规定:“3.0.4 大体积混凝土施工温控指标应符合下列规定:a. 混凝土浇筑体在入模温度基础上的温升值不宜大于 50°C ; b. 混凝土浇筑体里表温差(不含混凝土收缩当量温度)不宜大于 25°C ; c. 混凝土浇筑体降温速率不宜大于 2.0°C ; d. 拆除保温覆盖时混凝土浇筑体表面与大气温差不应大于 20°C 。”

一般大体积混凝土温控按照以上标准作为控制,进行大体积混凝土温控措施制定。由于此本规范总则中“1.0.2 本标准适用于混凝土结构中大体积混凝土施工。不适用于碾压混凝土和水工大体积混凝土等工程施工。”部分地区认为对国标大体积混凝土规范参数控制区间太大,不能具有代表性,不能作为大体积混凝土温控参数。此时根据所属工程属性,通过工程行业划分为:水利行业、水电行业、水运行业、交通工程等,由于行业规范高于国家规范标准,不同行业采取不同规范,目前水利行业采取《水工混凝土施工规范》SL 677—2014、水电行业采取《水工混凝土结构设计规范》DL/T 5057—2009、水运行业采取《水运工程大体积混凝土温度裂缝控制技术规程》JTS 202—1—2010、交通行业采取《大体积混凝土施工标准》GB/T 50496—2018。

以上规范中对大体积混凝土温控要求参数结合取标准高的,即为工程大体积混凝土温控参数指标。

(2) 温控措施

温控措施分为混凝土内部措施和外部措施,内部措施主要是分析混凝土级配、配合比调整及低热水泥拌和,从混凝土内部进行改变混凝土水化热反应来控制混凝土最大温升。外部温控措施制定分三个阶段:浇筑前控制措施、浇筑中控制措施、浇筑后控制措施。

①浇筑前控制措施包括:控制混凝土入仓前温度控制,主要包括骨料预冷、拌和预冷、混凝土运输升温;

②浇筑中控制措施包括:控制混凝土入仓中温度控制,主要包括选择合理浇筑时段、仓面降温、混凝土运输升温;

③浇筑后控制措施包括:主要包括冷却水管、保温保湿措施等;

一般大体积温控是最主要控制指标为内外温差。一般而言,改变混凝土内部最大温度不是最有效的温控措施,而通过加强外部保温措施可以有效弥补内外温差。相比之下,大体积混凝土内部措施研究繁琐且周期较长、费用较高。因此,大体积混凝土一般采取外部控制措施可更有效的控制大体积混凝土施工。

(3) 温控措施制定标准

为了满足规范温控参数,制定所有措施均以满足温控最低标准,方可达到措施投入最少、施工成本最低,方案最优,以下是制定温控措施标准优先顺序:

- ① 避开高温季节施工,选择合理施工时段;
- ② 降低运输混凝土升温及控制仓面施工温度;
- ③ 降低骨料拌和温度;
- ④ 采取保温保湿措施;
- ⑤ 采取冷却水管降温;
- ⑥ 采取加冰水、加冰拌和措施;
- ⑦ 采取低热水泥及风冷骨料方法。

2.2 大体积混凝土温控技术介绍

2.2.1 模型计算

在温控参数明确的前提下,大体积混凝土施工前应进行模型计算,通过设定不同边界组合计算,得出不同温控措施产生的不同结果,得出最优最省的温控措施组合。通过大体积混凝土有限元模型计算,一般采取 midas fea 水化热分析计算软件,比较方便快捷进行大体积混凝土水化热分析,得出从理论上计算混凝土最大温升,通过控制最大温升来控制混凝土内部最高温度,在设计外部温控措施,得出混凝土抗裂系数分析,与混凝土温控参数进行对比。

经过模型计算,大体积混凝土温差的大小直接影响到混凝土抗裂系数的大小,控制大体积混

凝土内外温差是控制大体积温控的关键。浇筑前、浇筑中控制措施仅仅满足混凝土入仓温度参数,而大体积混凝土浇筑后控制措施能直接控制内外温差的变化,因此,浇筑后温控措施是大体积混凝土措施中最重要的措施控制。

2.2.2 冷却水管布置

冷却水管是最有效降低混凝土内部最大温升的措施,可以有效控制混凝土内部最大温度,减少混凝土内外温差的方法。若设计已给出冷却水管布置,按照设计要求进行冷却水管布置即可。若未设置冷却水管,布置冷却水管应参考以下要求:

1)冷却水管管径可取 20~50 mm,材质可采取 HDPE 管和钢管,管径大小取决于结构物的尺寸,通过计算,一般 $\Phi 32$ mm 管径均可满足要求。在实际施工中,由于混凝土下料影响,采取 HDPE 管效果不理想,采用 2 mm 薄壁钢管代替。

2)冷却循环水管布置顺序,应按浇筑方向分段布置,通水方向应垂直浇筑方向,可很好保护冷却水管成型。

3)冷却水管布置原则,距离混凝土边缘 0.8~1.0 m,冷却水管水平间距 1.2~1.5 m,竖直间距 1.0~1.5 m。局部混凝土结构厚的部位采取蛇形布置,增强冷却效果。

4)冷却水管每个回路长度控制在 180~200 m 范围内,通水效果最佳,大于 200 m 冷却水管回路容易堵塞。

5)大体积混凝土冷却水管回填灌浆,需在混凝土浇筑完成后 40 d 左右采取高一标号砂浆进行回填,确保大体积混凝土内部温度稳定后进行。灌浆顺序需自较低一端开始,向较高一端推进^[2]。先采取注浆机清水洗管,直至最高处冷却水管清水排出。在采用稀水泥浆(水泥:水=1:5)润管,再采取 M35 水泥浆灌注,直至最高处冷却水管砂浆排出,采取比重称进行复核,最后冷却水管外漏段采取 5 m×5 cm 厚 2 mm 钢板封堵。

2.2.3 保温保湿措施

混凝土内外温差的大小不仅是要降低混凝土内部温度,还要降低混凝土表面温度流失,因此混凝土表面的保温也是温控重要控制措施^[3]。由于混凝土养护需要给混凝土内部洒水或养护液,但与混凝土保温被之间存在交叉施工,让混凝土保温和保湿形成统一是控制混凝土表面细微裂缝的

关键措施。通过对混凝土水化热过程分析,混凝土在终凝前是释放水,大部分水分是由于混凝土表面蒸发导致混凝土需洒水养护。如采取4层覆盖方法保温保湿:“地膜(薄薄膜)+棉被+厚薄膜+保温被”。浇筑砼终凝后采取地膜覆盖,再采取保温被覆盖,洒水养护,保持棉被湿润。混凝土内部温度与混凝土表面温度温差大于 15°C 时,采取厚薄膜覆盖,覆盖完成后,再进行保温被覆盖。

2.2.4 其他温控措施

其他温控措施均属于常规温控措施就不详细阐述,具体根据试验法进行验证,加强温度监测,进行数据统计分析。

2.2.5 温控监测

在大体积混凝土施工中,温控监测是检验大体积混凝土温控措施的有效方法,监测分为移动监测及定点监测。

移动监测包括骨料温度、拌和用水温度、出机口温度监测、入仓温度监测、冷却水管监测、混凝土表面监测等常规监测,此类监测均按照规范要求,做好统计记录。

定点监测为大体积混凝土内部监测,大体积混凝土内部定点监测是大体积混凝土温控关键所在。定点测点的布置遵循重点突出、兼顾全局的原则。根据结构的对称性和温度变化的一般规律,根据各部位结构建筑物特点,根据经验及满足大体积温控施工要求,大体积温控布点应符合下列要求:

(1) 无冷却水管措施结构(结构尺寸小于 1.5 m)

在结构物正中心点中部布置1个观测点,观测点分顶、中、底部测点,顶部测点应贴于混凝土表面,测点上下之间间距在 $0.3\sim 0.5\text{ m}$ 左右。通过同一地点的三个测点观察,确定温差控制保温层的厚度。

(2) 有冷却水管措施结构(结构尺寸大于 1.5 m)

中心冷却水管中部布置1个观测点,靠近冷却水管部位埋设1个观测点,混凝土表面埋设1个观测点。条件允许的情况下可考虑冷却水管进水管及出水管口设置监测点。通过对比冷却水管旁测点、中心测点及表面测点进行温差对比,控制冷却水管通水时间及通水速率。

测温元件选取一般选择有线电子传输测温元

件,可设置测温间隔,通过光纤接至现场集成数据盒收集,再通过现场数据集成盒上无线传输至网页,可通过手机及电脑实时可以监测。

2.3 大体积混凝土施工监测分析

大体积混凝土温度监测后,应立即进行统计分析,用于检验及指导混凝土温控措施是否运行有效。大体积混凝土温控监测,属于流程化的顺序监测,所有温度根据混凝土拌和、运输、浇筑、初凝、终凝过程,进行全过程的监测。每一阶段的监测数据都是反映当前混凝土所处温度,是检测混凝土在温控措施条件下的最好表现。

大体积混凝土温控数据都需进行图表分析,有效反映温度变化。若任何一个阶段出现数据变化过大,应及时查找原因进行温控措施的调整。比如现场入仓温度偏大,需及时调整拌和用水温度;混凝土内部温度降温速率太快,需调整冷却水管运行时间及通水速率等等,监测数据是反映大体积混凝土温度可控的关键因素指标,因此监测数据需大量分析统计工作,才能及时调整温控措施,确保大体积混凝土温度可控。

3 工程实例

引江济淮工程(安徽段)J005-1标蜀山泵站泄水闸水平段底板尺寸: $31.0\text{ m}\times 28.5\text{ m}$,厚度为 2.0 m ,底板浇筑方量 $1\,900\text{ m}^3$,钢筋制安 270 t ,属于大体积混凝土。项目部采取大体积温控技术分析,通过浇筑前控制措施(采取加冰水拌和及罐车保温措施,拌和水的温度不超过 7.5°C)、浇筑中控制措施(选择合理浇筑时段及雾炮机现场仓面降温)、浇筑后控制措施(冷却水管及保温保湿措施),泄水闸底板2019年10月6日上午10:30至2019年10月8日凌晨5:00浇筑完成,历时约 38 h ,通过计算平均入仓强度 $53\text{ m}^3/\text{h}$ 。浇筑后对混凝土温度进行监测。2019年10月7日11:00读取初始数据 20.25°C ,为当时环境温度,2019年10月7日12:00读取初始数据 22.75°C ,为浇筑时混凝土入仓温度,2019年10月9日9:00混凝土温度达到最高温度 56°C ,随后混凝土内部温度开始下降,每天下降速率 1°C 左右。泄水闸底板大体积混凝土浇筑后未发现温度裂缝,温控措施运行可控有效。通过监测点监测数值,得出如下大体积混凝土温控曲线,见图1。

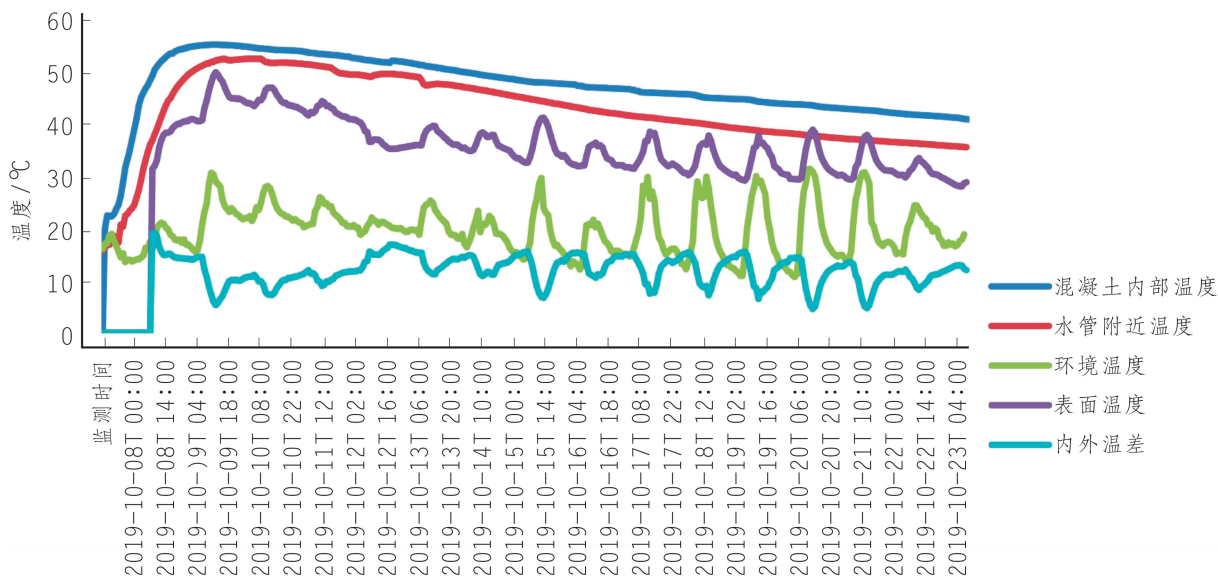


图1 大体积混凝土温度监测曲线

通过泄水闸底板大体积混凝土施工,施工时段为10月份,对所采取的温控措施和监控方式,总结如下:

1)根据大体积温控方案及水化热计算,出机口温度控制不大于 27.2°C ,入模温度保证不大于 28°C 。严格控制原材料及混凝土浇筑拌和用水温度。

2)冷却水管内部通水速率控制 $0.6\sim 0.7\text{ m/s}$,升温阶段需快速通水,降温阶段减缓通水速率。

3)混凝土终凝后洒水保湿养护(夜晚要采取热水养护,养护用水温度与混凝土温度相差 10°C 左右),养护完成后立即进行厚塑料封闭,当混凝土表面温度与环境温度大于 10°C 时,覆盖保温被保温。

4)冷却水循环水管要分路通水,确保混凝土浇筑制冷却水管埋设标高及时通水。冷却水管进口温度与混凝土内部温度相差控制在 20°C 以内^[4]。

5)混凝土内部日降温速度不大于 1°C ,当温度降 0.8°C 时,停止通水。混凝土内部温度达到最大降温阶段时,要时刻关注混凝土内部温度下降速率,严格控制混凝土温度降低速度,当冬季环境温度很低时,导致混凝土内部温度降低过快,需采取通高于混凝土内部温度热水循环进行混凝土内部保温。

6)四周模板表面温度要求与内部温度不大于

25°C 。

4 温控技术总结

通过对大体积混凝土温控技术探究可以发现,大体积混凝土内外温差是大体积混凝土温控的关键。大体积混凝土浇筑完成后,温度控制的效果直接决定了混凝土是否产生温度裂缝。如何控制大体积内外温差,降低混凝土内部温度,同时提高混凝土表面温度,是大体积温控的核心目标^[5]。因此,在大体积温控措施中,只有通过实时监测混凝土温度并进行分析,实施调整温控措施,才能保证大体积混凝土温控可控。

由于浇筑完成后环境温度变化随昼夜温差和季节变化而产生较大波动,导致混凝土外部温度损失不一,进而使混凝土表面温度流失不同,温度控制措施都是随着外部温度的变化而调整的。在炎热的夏季,仅依靠采取低的入仓温度不足以控制混凝土温度,还需要进行混凝土表面保温。在昼夜温差较大及温度较低的季节,还应采取控制外部保温棉被的厚度来控制温差。在不同的季节都要调整相对应温控措施,以满足混凝土内外温差不大于规范及设计要求。因此,温控参数需根据季节的变化和监测温控数据,不断优化的调整相应温控措施。

5 结语

大体积混凝土是混凝土结构施工中的难点,

(下转第78页)



(a) 运输小车人员上下图



(b) 扩挖台车掌子面图

图 9 扩挖运输小车及扩挖平台

用,最终做到了“零事故”的安全施工目标,同时实现了大倾角、超长斜井月进尺 105 m 的行业施工创举,创造了国内领先水平,为今后陡倾角超长斜井施工拓宽了领域,加快了施工速度,改善了作业环境,降低了事故率,缩短了施工工期,确保了工程的顺利进行。为中国水电行业施工超长斜井开创了以人为本,改善施工环境,机械化快速施工,安全操作的新途径,社会效益显著,推广应用意义极大。

参考文献:

- [1] 王岭,曹平周.抽水蓄能电站引水系统斜井扩挖台车设计研究[J].河南科学,2017,35(11):1823-1830.
- [2] 董罗钢,崔光维,代电龙,等.水电工程陡斜井快速开挖支护施工技术[J].云南水力发电,2024,40(增刊2):99-102.
- [3] 马琪琪.水电站大洞径超长斜井扩挖施工技术[C].抽水蓄

能电站工程建设文集 2023.中国水利水电第六工程局有限公司,2024:56-59.

- [4] 许远志,韦剑发,陈笑笑.抽蓄斜井开挖扒渣工序关键技术研究[J].云南水力发电,2023,39(10):145-149.
- [5] 齐界夷,江谊园.长龙山抽水蓄能电站 400 m 级超长斜井施工关键技术[C].中国大坝工程学会.水库大坝智慧化建设与高质量发展.中国葛洲坝集团三峡建设工程有限公司;中国能建工程研究院水电工程设计研究所,2023:676-686.
- [6] 何金星.荒沟抽水蓄能电站引水斜井开挖施工技术[J].云南水力发电,2022,38(6):174-179.
- [7] 蒋洪亮,马琪琪.严寒地区施工班组在超深压力斜井施工中的应用实践[J].企业管理,2021,(增刊2):26-27.

作者简介:

陈智鹏(1992-),男,甘肃定西人,工程师,本科,主要从事水利水电工程技术与施工管理工作。

(编辑:廖益斌)

(上接第 68 页)

文章浅谈大体积混凝土温控技术的应用,通过列举温控措施及混凝土温控参数对比,得出适用于淮河流域安徽区域内水工大体积混凝土温控技术参数及防裂的新措施,从而提升该工程施工质量。通过大体积混凝土温控技术探究,值得在同类工程施工中推广应用。

参考文献:

- [1] 先杰.大体积混凝土温控分析及防裂技术措施[J].珠江水运,2021,(14):104-105.
- [2] 罗婧.泵站大体积混凝土温控防裂措施[J].河南水利与南水北调,2022,51(12):69-70,90.

- [3] 刘发,李明,姚婷.表面保温措施对大体积底板及侧墙混凝土开裂风险的影响[J].徐州工程学院学报(自然科学版),2018,33(4):76-79,88. DOI:10.15873/j.cnki.jxit.000260.
- [4] 林镇平.水利工程大体积混凝土裂缝的产生原因及其防治[J].黑龙江水利科技,2018,46(8):158-159,162. DOI:10.14122/j.cnki.hskj.2018.08.054.
- [5] 王涛.大体积混凝土裂缝成因分析与预防控制措施应用研究[J].中国建筑装饰装修,2023,(9):167-169.

作者简介:

韩兴(1986-),男,河北保定人,高级工程师,学士,主要从事水利水电工程施工管理。

(编辑:廖益斌)