

水库大坝混凝土全周期质量控制与防裂关键技术研究

张晓东

寿县安丰塘灌区管理所

DOI:10.32629/hwr.v9i12.6718

[摘要] 水库大坝混凝土施工属于水利工程建设的关键部分,施工质量直接关系到大坝安全运行和使用寿命。本文根据实际工程经验,对混凝土材料的选择、配合比设计、施工工艺、质量控制等关键技术进行分析,针对施工过程中的温控防裂、浇筑技术、质量检测等重点问题提出具体措施,为提高水库大坝混凝土施工质量提供技术参考。

[关键词] 水库大坝; 混凝土施工; 质量控制; 温控防裂

中图分类号: TV62 **文献标识码:** A

Research on Key Technologies for Full Cycle Quality Control and Crack Prevention of Reservoir Dam Concrete

Xiaodong Zhang

Shouxian Anfengtang Irrigation District Management Office

[Abstract] The concrete construction of reservoir dams is a key part of water conservancy engineering construction, and the construction quality directly affects the safe operation and service life of the dams. Based on practical engineering experience, this article analyzes key technologies such as the selection of concrete materials, mix design, construction technology, and quality control. Specific measures are proposed for key issues such as temperature control and crack prevention, pouring technology, and quality inspection during the construction process, providing technical reference for improving the quality of concrete construction for reservoir dams.

[Key words] reservoir dam; Concrete construction; Quality Control; Temperature control and crack prevention

水库大坝属于水利枢纽工程的关键部分,其结构安全性要求非常高。混凝土是大坝的主要材料,施工技术水平好坏直接关系到工程质量。淮河流域水利工程建设证明,施工技术措施科学合理地应用可以保证混凝土结构质量,延长工程使用年限。

1 混凝土材料选择与配合比设计

1.1 原材料质量控制

水泥的选用是混凝土质量控制的基础环节。大坝混凝土使用中低热或低热水泥,这可以降低水化热温升,减少温度裂缝的发生概率。水泥强度等级要满足设计要求,进场时必须具有完整的质量证明文件,如出厂合格证、检验报告等。储存时需要干燥通风,不能受潮结块影响使用性能。

骨料质量好坏直接影响混凝土的强度、耐久性。粗骨料宜采用质地坚硬、级配良好的碎石,针片状颗粒含量应控制在规范允许范围内,含泥量要符合规范要求。细骨料应采用中粗砂,细度模数在合理范围内,泥块含量和有害物质含量均符合标准限值。骨料进场后要分类堆放,不得混杂、污染。

拌和用水水质直接关系到混凝土性能。生活饮用水可以直

接使用,其它水源要经过检验合格后才能使用。水中不得有影响水泥正常凝结硬化的有害物质,pH值应在规定范围内。外加剂选用应根据施工季节和技术要求确定,必须经过试验验证后才能使用,严禁使用过期或变质的产品。

1.2 配合比优化设计

混凝土配合比设计要考虑强度、耐久性、工作性等各方面要求。设计前应确定设计强度等级、抗渗等级、抗冻等级等技术指标。通过试配确定水胶比,在保证强度的情况下,适当降低水胶比可以提高混凝土的密实度,从而提高抗渗性能。胶凝材料总量的确定要结合施工条件及温控要求,适量掺加粉煤灰、矿渣粉等矿物掺合料,既可改善混凝土的工作性,又能降低水化热。

砂率选择是否合理对混凝土的和易性影响较大。砂率过大增加用水量,使混凝土强度降低;砂率过小则使混凝土流动性、可泵性变差^[1]。通过试验确定最佳砂率,使混凝土既具有良好的流动性,又具有适当的粘聚性。外加剂掺量应根据实际需要及试验结果来确定,减水剂可改善混凝土工作性,在相同坍落度下减少用水量,提高混凝土强度和耐久性。

配合比确定后应进行现场校核,由于现场砂石含水率变化较大,应根据实测含水率调整施工配合比,使实际水胶比满足设计要求。不同的施工部位混凝土需要的配合比不同,应分别试配、优化。配合比调整必须经过试验验证和技术负责人批准,不能随意更改。

2 混凝土施工工艺技术

2.1 浇筑技术要点

水库大坝混凝土浇筑必须保证连续性、均匀性和密实性,这是保证结构整体性的关键。大坝体积大,一般采用分层分块浇筑法。施工前应合理规划浇筑仓,确定好各个层的厚度和间歇时间,改善散热路径,防止出现冷缝。混凝土运输过程必须保持连续,不能因为中断而造成拌合物性能变差。淮河流域等地高温天气施工时,采取给运输车辆搭帐篷进行遮阳隔热、洒水降温的方式来避免运输过程中温度升高和热稳定性降低。

仓面处理是浇筑前必须进行的工序。必须将基岩面或施工缝面的所有杂物、积水、松动颗粒彻底清除干净,并进行凿毛和高压冲洗,使新旧混凝土有良好的粘结。对廊道、孔洞等构造复杂部分及止水片、监测仪器等预埋件周围部位要特别控制。这些部位钢筋密集、空间有限,需要流动性较高的混凝土配合比,并辅以小型振捣设备或者人工的方式进行充分振捣,保证混凝土填充密实,杜绝空洞缺陷。振捣作业要适度,以混凝土表面泛浆、无明显气泡逸出为准,严禁过振或漏振。全过程要做好详实的记录,包括浇筑时间、方量、仓位、温度、异常情况等,以达到质量可追溯的目的。

2.2 温控防裂措施

大体积混凝土的温度控制和防裂是水库大坝施工的技术难题,必须从源头降热、过程散热、后期保温三个方面入手。

在材料和生产环节,应优先选用水化热较低的水泥品种,并且大比例掺入粉煤灰、矿渣粉等矿物掺合料,从而有效地降低胶凝材料体系的总水化热。夏季施工时可采用喷淋冷却粗骨料、加冰拌和等方法,使混凝土出机口温度降低。浇筑之后内部散热主要是依靠预埋冷却水管系统。根据温度监测结果来调节通水流量、水温和时间,有条理地引导内部热量。

表面保温保湿养护可以控制内、外温度差,防止表面开裂。混凝土终凝后要立即用保温材料(土工布、泡沫板)覆盖,减小表面热量散失速率。淮河流域等温差大的地方,要重点考虑春秋季节昼夜温差和冬季寒潮的影响,加强保温层的防护。养护期内混凝土表面要保持湿润。

创建实时温度监测和反馈控制体系,是达成精确温控的前提。在坝体典型断面上布置温度传感器分层监测内部温度场的变化。依据监测数据得出内外温差、基础温差、降温速率,适时调整冷却、保温的手段,保证所有温控指标(内表温差一般保持在20℃到25℃之间)一直在设计允许安全范围内,以对温度应力及裂缝进行有效控制。

3 施工质量控制方法

3.1 施工过程监测

水库大坝混凝土施工质量控制,是一个对原材料、生产、浇筑、养护全过程进行系统监督的体系,必须严格遵守大体积水工结构特殊的技术要求。原材料控制是保证工程质量的源头。除规范对水泥、骨料、外加剂等进行常规的物理力学性能检验外,还要重点检测影响大坝长期耐久性的关键指标,例如水泥的水化热、骨料的碱活性、坚固性等,所有的检测结果必须形成档案,保证材料性能满足设计要求并且具有可追溯性。拌和生产控制是混凝土实现均质性及达到设计性能的主要环节。拌和站计量系统要定期严格校准,保证投料精度;对不同的设计部位(坝体内部、外部、水位变化区)所用的不同配合比,必须建立从生产、运输到浇筑全流程的标识和复核制度,防止误用。浇筑过程监督是现场质量把控的重中之重,必须全程旁站监督,重点检查分层厚度是否符合方案、浇筑是否连续、模板体系(尤其是高大或悬臂模板)是否稳定可靠,并确保冷却水管、监测仪器、止水带等所有预埋件位置准确、固定牢固、功能完好。养护和温控监测属于保证混凝土性能健康发展的关键性延续性工作。必须派专人负责表面保温保湿覆盖物的铺设和维护工作,根据事先布置好的温度传感器网络,定时定点采集并分析混凝土内部的温度数据,据此动态调整保温或者通水冷却措施。对大坝上游防渗面等重要部位,必须保证养护条件(温、湿度、时间)得到最严格的满足。

3.2 质量检验标准

大坝混凝土的质量检验,需在通用强度指标外,更强调其耐久性与结构实体性能。强度检验应采用“标准养护”与“同条件养护”试件并行的方式,后者更能真实反映结构内部强度发展,且需重视大体积混凝土的后期(如90天)强度。耐久性检验的核心是抗渗性与抗冻性,必须按设计要求等级(如W8、F100)进行抽样检验。现场实体检测广泛采用回弹法、超声回弹综合法等无损技术进行普查;对重要或存疑部位,可经批准后钻取芯样进行抗压、抗渗等直接检验,但需审慎选定位置并妥善修补。外观与内部缺陷检查需严格控制表面缺陷,并可借助地质雷达等无损手段探查内部空洞。所有检验数据须完整归档,作为验收与运维的依据。

4 常见问题及处理对策

水库大坝混凝土结构的裂缝问题,是决定水库大坝长久安全耐久的重要因素。裂缝的产生是材料特性、环境影响、外荷载、施工工艺等各方面共同作用的结果,它破坏结构的整体性,也有可能成为渗漏和钢筋锈蚀的通道。分析裂缝产生的原因并建立起全周期的防治修复体系,对保证工程质量有着极其重要的作用。

4.1 裂缝问题的系统性机理分析

混凝土开裂就是其内部应力超过材料抗拉强度的宏观表现。根据成因的不同,裂缝可以分为以下几类,准确识别是有效治理的前提。

4.1.1 温度应力型裂缝

此类裂缝是由水泥水化热引起的。混凝土导热性差,浇筑后

内部温度迅速上升,表面散热快,造成内外温差。当由此产生的温度变形受到基础或者内部钢筋的约束时,就转化为拉应力,超过混凝土早期抗拉强度就会产生开裂^[2]。表面温度裂缝多由内外温差大造成,形状不规则、深度较浅。深层或贯穿裂缝是由大体积混凝土整体降温收缩受强约束引起的,一般较长,较宽,对结构的整体性和防渗性有很大危害。

4.1.2收缩变形型裂缝

收缩裂缝由水分流失和自身化学物理变化引起。塑性收缩发生在浇筑后的数小时内,表面水分过快蒸发产生毛细管负压,造成表层形成网状微裂,高温干燥大风环境加大了这种风险。干燥收缩为长期的过程,硬化之后由于内部吸附的水分蒸发,使凝胶体收缩,当收缩受到外力限制时产生拉应力,从而引起开裂。过高的用水量或者胶凝材料用量、养护不够都会加大干燥收缩。

4.1.3荷载与变形相关裂缝

此类裂缝直接影响结构安全。荷载裂缝是由于实际荷载大于设计承载力或者偶然作用(地震)引起的,走向一般垂直于主拉应力方向^[3]。地基不均匀沉降裂缝是因为坝基岩土体性质不均或者存在缺陷,在荷载的作用下产生差异沉降,引起上部结构次应力超限开裂。该类裂缝的分布往往和沉降模式相对应。

4.1.4施工缺陷诱发裂缝

施工工艺控制不好会形成裂缝,属于人为因素。浇筑间歇过长形成弱结合的冷缝;振捣不密实留下缺陷或过振导致离析;模板支撑不牢或拆模过早使混凝土过早受力;钢筋保护层不足易导致锈胀开裂。这些都是可以利用精细化施工管理来避免的。

4.2裂缝综合防治与修复技术体系

应对裂缝要按照预防为主、防治结合的原则,创建起涵盖材料、设计、施工、养护的全过程防控体系,对已有裂缝实施科学的修复。

4.2.1基于材料本构的源头防控

优化配合比是提高抗裂性根本。选择低热水泥,大掺量使用优质粉煤灰、矿渣粉等矿物掺合料,可以降低水化热,改善微观结构。设计上以低用水量、低胶材用量为追求目标,使用高效减水剂在高工作性下实现低水胶比,从而减少收缩。经过试验证明,可以在某些部位掺加补偿收缩类外加剂。改善骨料级配、砂率能增强体积稳定性。

4.2.2施工过程的精细化控制

大体积混凝土必须严格控制温控。预冷骨料、加冰拌和降低入仓温度;埋设冷却水管通水散热;表面及时覆盖保温保湿材料,减小内外温差和表面收缩应力。实行温度实时监测,根据

实际情况来调节养护措施。合理地划分浇筑仓面、控制分层厚度、间歇时间,防止水化热积聚。

4.2.3全面的养护与构造措施

充分的保湿养护是防止收缩裂缝的主要方法。初凝后即刻开始,使用覆盖洒水、喷雾或者养护剂等方式保持表层湿润14天以上。结构上在应力集中处加设防裂钢筋网,合理设置伸缩缝、后浇带释放约束应力^[4]。

4.2.4既有裂缝的评估与修复

对已经出现的裂缝要根据宽度、深度、活动性、对安全功能的影响来分类处治。对于宽度小于0.2mm的稳定微细表面裂缝可以采用表面封闭的方法,涂刷高分子涂料或者聚合物砂浆进行防渗。对较宽并且有防渗补强要求的裂缝,压力灌注环氧树脂或者聚氨酯浆液为成熟方案。对影响承载力的活动性裂缝或者严重缺陷,则需要采用粘贴纤维复合材料、钢板或者局部置换混凝土等加固措施,且方案要经过专项设计。对重要的裂缝,处理后应设点长期观测。

5 结束语

水库大坝混凝土施工技术牵涉到材料、工艺、质量控制等诸多方面,各个环节彼此联系、互相影响。经过实践证明,严格控制材料质量、科学设计配合比、规范施工工艺、健全质量管理体系是保证工程质量的基础。温控防裂措施可以大大降低开裂的情况,提高结构耐久性。施工过程中要加强对施工人员的技能培训,提高施工人员的素质;加强过程的监控,及时发现问题,并加以解决;重视经验总结,不断改善技术措施。随着新工艺、新技术的采用,混凝土施工技术会不断的发展,给水利工程提供更好的技术保证。

[参考文献]

- [1]刘潇.水库大坝塑性混凝土防渗墙的施工控制和质量检测[J].广西水利水电,2025,(05):99-102.
- [2]姜恩宇.水库大坝碾压混凝土施工技术分析[J].水泥,2025,(10):125-128.
- [3]文盛.水库除险加固中大坝塑性混凝土防渗墙施工技术应用[J].黑龙江水利科技,2025,53(09):80-82.
- [4]王鑫颖,范震.基于混凝土防渗填筑技术的水利大坝工程施工设计研究[J].科技与创新,2025,(14):95-97+101.

作者简介:

张晓东(1970--),男,汉族,皖寿县人,助理工程师,研究方向:水利。