

混凝土施工技术在水利水电施工中的应用

倪博涛

镇江市水利建筑工程有限公司, 江苏 镇江 212100

[摘要]伴随我国水利水电工程发展速度不断加快, 开始对混凝土施工技术应用水平提出较高要求。水利水电工程的主要特点为规模庞大、受力条件特殊、多水环境等, 混凝土施工面临温控困难、裂缝风险等问题。因此, 本文将基于水利水电工程施工环境与条件, 分析混凝土施工技术在水利水电施工中的应用价值, 最后系统梳理大体积混凝土温控防裂、碾压混凝土、水下混凝土、衬砌混凝土等技术应用要点, 旨在提高混凝土施工技术应用效果, 促进水利水电工程取得稳定发展。

[关键词]混凝土施工技术; 水利水电; 施工; 应用

DOI: 10.64635/ja.2026.1182

中图分类号: TV544

文献标识码: A

Application of Concrete Construction Technology in Water Conservancy and Hydropower Construction

Ni Botao

Zhenjiang Water Conservancy Construction Engineering Co., Ltd., Zhenjiang, Jiangsu 212100, China

Abstract: With the continuous acceleration of the development of water conservancy and hydropower projects in China, higher requirements have been placed on the application level of concrete construction technology. Water conservancy and hydropower projects are mainly characterized by large scale, special stress conditions, and water-rich construction environments, and concrete construction faces problems such as difficulty in temperature control and the risk of cracking. Therefore, based on the construction environment and conditions of water conservancy and hydropower projects, this paper analyzes the application value of concrete construction technology in water conservancy and hydropower construction. It then systematically reviews the key technical points of mass concrete temperature control and crack prevention, roller-compacted concrete, underwater concrete, lining concrete, and other construction technologies. The aim is to improve the application effect of concrete construction technology and promote the stable development of water conservancy and hydropower projects.

Keywords: concrete construction technology; water conservancy and hydropower; construction; application

引言

水利水电工程作为重要基础设施, 通过使用混凝土施工技术, 可发挥其高强度、耐久性等优势, 增强大坝、水闸、引水隧洞等结构的稳固性。在实际应用混凝土施工过程中, 混凝土方量高、温度变化剧烈, 如未能对其高效利用, 将会造成严重的安全问题。可以看出, 研究混凝土施工技术在水利水电施工中的应用策略具有重要意义。

1 水利水电施工环境与条件

1.1 大体积

大体积是水利水电施工的主要特征, 比如重力坝的底宽可达到数十米, 船闸的边墙单仓浇筑高度、厚度也会远远超过普通建筑。由于建筑结构体量巨大, 在应用混凝土

施工技术时, 极易引发水泥水化热, 出现集中爆发、缓慢散逸等情况。与此同时, 由于混凝土导热性较低, 其内部产生的水泥水化热可在短时间内超过 60℃, 表层因与空气、流水接触迅速散热, 形成内外温差, 使结构表面产生拉应力。并且, 这种温差不会瞬时消失, 衰减周期甚至可达数年, 如果在长期降温中产生收缩、被约束, 便会使整体结构出现贯穿性裂缝。

1.2 强约束

在水利水电工程应用混凝土技术进行施工时, 混凝土结构的底部、侧面会与基岩紧密贴合, 上方、相邻仓面也会紧挨已凝固的混凝土。在该过程中, 工程会给混凝土带来极大的外界约束刚度, 使混凝土在升温膨胀环节便开始

不断累计应力,在之后的自然散热、收缩过程中,压力会逐渐释放并转化微拉应力。在早期施工中,混凝土的抗拉强度储备较低,当强约束条件下,结构内部会积聚温度应力。尤其是在水利水电工程的坝体孔洞周边、陡坡基岩突变部位,其应力较为集中,进一步增加开裂风险。

1.3 多水环境

水利水电工程基本会在水环境中建设,定会存在基坑渗流、承压水上涌、降雨积水等问题。由于处于多水环境,会造成混凝土的浇筑施工过程面临物料离析风险。如果新拌混凝土直接与水接触,水泥浆体则会被稀释、大量流失、骨料架空,形成渗漏通道。同时,水利水电工程的水下结构也要承受渗透水压、溶蚀性侵蚀,对混凝土的抗渗等级、抗冻标号、抗冲磨能力提出较高要求^[1]。

2 混凝土施工技术在水利水电施工中的应用价值

2.1 提高施工效率

在传统的水利水电施工过程中,大坝浇筑的主要形式为柱状快间歇作业,使用混凝土技术,可完成连续铺筑。对于干硬性混凝土来说,其无需振捣,使用自卸汽车、摊铺机、振动碾压便可进行快速流水施工,上升高度可观,有效减少施工工期。在洞室衬砌施工过程中,可组合使用大型钢模台车、泵送系统,缩减混凝土的单循环浇筑时间。此外,施工单位还可使用导管法进行混凝土水下浇筑,不必修筑复杂围堰,迅速形成稳固的止水基础,防止排水工序占用较长周期,大幅提高水利水电工程施工效率。

2.2 保障施工安全

水利水电工程规模庞大、施工复杂,通过使用混凝土施工技术,可采用水下不分散混凝土、导管灌注工艺,将关键作业面转移到水上平台,减少潜水作业量,避免地下水涌水坍塌,提高施工安全性。与此同时,施工单位还可使用大体积混凝土通水冷却技术、保温保湿养护技术,从源头上避免温度裂缝,防止因裂缝拓展造成坝体渗漏或失稳。在隧道岔管部分,钢筋密集分布,应用自密实混凝土技术可减轻振动人员的劳动压力,避免在狭窄、尘噪环境中施工。并且,还可发挥混凝土的自填充优势,避免出现蜂窝空洞,提高衬砌结构受力可靠性,增强工程整体安全。

2.3 节约成本

在应用混凝土技术过程中,施工单位会采用温控防裂体系,防止水利水电工程后期因裂缝而使用化学灌浆、表面涂覆等修补技术,节约维护成本,延长结构使用寿命。另外,应用碾压混凝土技术,会大量使用粉煤灰等掺合料,相比于常态混凝土来说,会减少单方水泥用量,削减材料

成本。同时,应用混凝土技术还可减少模板支设、拆装环节,降低人工、周转材料费用。施工单位还会使用水下导灌法,节约围堰填筑、拆除成本^[2]。

3 混凝土施工技术在水利水电施工中的应用策略

3.1 大体积混凝土施工与防裂技术

大体积混凝土属于水利水电施工中的关键技术之一,施工单位应优选原材料、配比设计,从源头上发挥减热作用。可使用中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥,其水化热较低,还可结合使用矿渣粉,利用其生成的火山灰反应代替早期水化极为剧烈的水泥熟料,确保绝热升温曲线趋近平缓。同时,还可应用高效缓凝减水剂,控制水胶比不超过0.45,使结构的后期强度得到增长,减少单方混凝土的总发热量。在配比设计过程中,还要优选配比方案,确保其具有较高的抗拉强度、极限拉伸值,从而提高大体积混凝土材料的自身抗裂性。为做大体积混凝土的温度调控,施工单位可采用分层分块浇筑、通水冷却方法。应依据坝体结构特征,合理划分仓面浇筑块,厚度控制在1.5m~3m范围内,层间间歇时要预留充足的自然散热窗口期。施工单位还可在每层内部设置蛇形冷却水管,利用天然水、经制冷机组冷却后的低温水,确保大体积混凝土结构内部温度达到峰值前主动携走水化热,使最高温度压处于设计范围内。一期冷却时,应做好削峰;二期冷却时,应在接缝灌浆施工前完成,可强迫降温充分张开横缝,为后续灌浆作业的顺利完成提供良好条件,有效减少残余拉应力。施工单位还要做好实时监测,灵活调控冷却水流量、温度,使温度调节精准高效。另外,施工单位还应对大体积混凝土进行表面保温与养护操作。拆模完成后,要将挤塑聚苯板立即粘贴到暴露面,确保结构表面温度过渡平缓,防止冷击裂缝。还要在表面覆盖润湿土工布,达到抑制干缩裂缝的效果。如果在冬季施工,还应搭建保温棚、吹热风,确保大体积混凝土结构强度得到稳定增长。

3.2 碾压混凝土技术

在水利水电筑坝施工过程中,可采用碾压混凝土技术,其主要会使用干硬性拌合物,实现快速摊铺、碾压,确保大坝施工过程连续、高效。在设计配合比方案过程中,施工单位要做好VC值控制,才可保障混凝土具有良好可碾性。基于振动碾压条件下,VC值可反映出拌合物的工作度,施工单位需要依据气温、运输距离、碾压层厚将其控制在5~10s范围内。配比方案方面,可采用高骨料、低胶凝材料用量,总胶材为140~180kg/m³,水泥占比小于1/2,使用大量粉煤灰充填,从而将混凝土的水化热水

平降至最低,降低大仓面连续浇筑的温控压力。在混凝土的运输、摊铺、碾压过程中,施工单位应严格管控时效性。当自卸汽车将材料运输到仓面后,要立即使用推土机进行平仓,配合摊铺机做好松铺厚度控制,单层约为 30cm^[3]。在重型振动碾压施工时,应采用静压、振碾、收光的施工流程。具体来说,静压施工可促使骨料就位,振碾施工可保障浆体得到密实填充,最后使用静碾消除轮迹。碾压条带之间的搭接宽度应超过 20cm,施工单位要将出机至碾压完成的时间控制在 2h 内,避免出现冷缝。整个仓面要呈阶梯状持续上升,使作业流程得到流水化控制。另外,在层间结合部位、防渗处理中,施工单位也要要做好施工控制。在碾压层表面覆盖上层前,施工单位需喷洒水泥粉煤灰净浆,有效弥合下层面微裂隙,形成富有粘结力的层间过渡带。在上游迎水面部分,可设置富浆碾压混凝土,嵌装止水铜片、复合土工膜,构建出立体的防渗屏障。对于振动碾无法抵达的区域,如模板边角、廊道周围等,可采用插入式振捣器,配合富浆拌合物对其进行精细处理,不得留有死角。通过这种施工方式,可确保碾压混凝土坝具有较强整体性、密实性。

3.3 水下混凝土技术

为保障水下混凝土技术的应用效果,施工单位应做好浆体稀释流失管控,所以可采用导管法灌注工艺。在施工开始前,要将导管底口预埋到之前注入的混凝土内,利用导管持续灌注新拌合料,将水由底部向上驱替,有效隔离水与混凝土。埋深要控制在 2~6m 范围内,伴随浇筑界面的抬升缓慢拔管,但不得直接将导管拔出混凝土面,防止断桩。这种施工方法要求混凝土具有较强流动性、粘聚性、抗离析力,坍落度的配制可在 180~220mm 内,并掺入缓凝减水剂、增稠组分,保障混凝土在长距离的导管运动中不发生泌水、分层等问题。另外,为增强混凝土水下浇筑施工效果,施工单位还要应用不分散混凝土材料。此种混凝土中会添加纤维素醚或聚丙烯酰胺类絮凝剂,确保拌合物内聚结构粘稠,即便直接应用于静水中,也可减少水泥浆流失量,水陆强度比可超 70%。尤其是在浅水区域薄层修补、无法埋设导管的复杂水域施工中,施工单位便可使用这种材料。在实际施工时,施工单位可采用吊罐方式,结合浅水检查保持浇筑、摊铺效果。无论采用导管法还是直接浇筑法进行水下混凝土施工,施工单位都要对其上升速度、顶面平整度进行严格管控,避免形成泥渣夹层。

3.4 隧洞与地下洞室衬砌混凝土技术

在水利水电工程中的水工隧洞衬砌施工过程中,面临

的主要问题包含净空狭窄、内水压力高、围岩渗水等,所以可采用钢模台车、泵送浇筑技术,确保施工过程高效安全。液压式钢模台车的一次衬砌长度为 9~12m,合模后可承受泵送压力,不发生变形。施工单位可使用搅拌车将混凝土运至洞外,经车载泵输送管压入仓内。处理拱顶位置时,可联合使用附着式振捣器、封拱注浆管,使顶部得到密实回填、排除气泡。泵送混凝土时,应具有良好可泵性,坍落度要控制在 160~200mm 范围内,适当提高砂率,确保混凝土在长距离的水平、垂直输送中不会堵管。另外,施工单位还可应用自密实混凝土、回填灌浆技术,有效确保浇筑填充、界面补强效果。尤其是在钢筋密集、断面渐变的岔洞段,使用自密实混凝土可在无振捣条件下完成自行流平、穿越钢筋间隙、排走空气,成型后表面光洁、质地均一,有效消除蜂窝麻面缺陷。当衬砌混凝土满足设计强度后,施工单位要立即开展回填灌浆施工。要将浓水泥浆灌注于拱顶脱空区域,填塞冷缩缝隙的同事,还要保障衬砌与围岩紧密贴合,从而形成协同受力。在灌浆中,要遵循分序加密、逐步升压原则,保障浆液扩散范围、衬砌密实度得到同步提升^[4]。

3.5 水电站厂房

水电站厂房属于水利水电工程中的核心建筑物,该部位的混凝土施工特征包括大体积、高精度、复杂体形,所以应合理应用混凝土施工技术,才可保障工程长期运行的稳定性、安全性。在实际运行中,厂房下部结构会承受巨大水压力、设备荷载,其中还包含蜗壳、尾水管等过流部件,为混凝土浇筑施工的模板设计、钢筋绑扎、振捣密实等方面工作形成严峻挑战。所以,施工单位可采用异形结构模板体系、浇筑工艺。对于蜗壳、尾水管等异形结构模板工程来说,其多呈现为扭曲面、渐变断面、空间弯道形态,施工单位可采用数字化技术构建三维模型,加工定制钢模板,结合数控切割操作,保障曲面偏差控制在毫米级。与此同时,为保障模板体系的适配度,施工单位还要保障混凝土侧压力、浇筑上升速度之间互相匹配,设置分层、分块、对拉加固措施,防止出现跑模、漏浆。浇筑施工中,混凝土需具备良好工作性能,可采用高流动性、自密实性配比方案,结合附着式振捣器、模内导向装置,保障模板边角处充分填充拌合物,避免出现蜂窝、麻面、冷缝。另外,为做好异形结构浇筑,施工单位还要做好温度裂缝防控,尤其对于蜗壳周边来说,该部分混凝土厚薄不均、散热条件差异大,可埋设冷却水管、控制浇筑层厚、掺加粉煤灰,将内外温差控制在合理范围内,从而提高结构的防

渗性能^[5]。

4 结语

在水利水电施工过程中,由于其体积大、约束强、施工复杂,所以施工单位应灵活使用混凝土技术。在应用大体积混凝土技术时,要做好温度管控;在碾压混凝土施工中,要严格控制 VC 值,并做好配比设计;进行水下混凝土施工中,可采用导管法保障灌注效果。无论哪种混凝土施工技术,都应结合水利水电工程实际施工需求,才可发挥技术优势、保障施工安全。相信在不断努力下,混凝土施工技术体系会更加成熟,同时伴随数字化、智能化技术的发展,智能温控、数字监测也会对混凝土技术的应用带来全新机遇,进而促进我国水利水电事业取得更加蓬勃的发展。

【参考文献】

- [1]蔡杨名,姜凤群,赵珂.混凝土施工技术在水利水电施工中的应用[J].科学技术创新,2026(3):181-184.
- [2]代存胜.混凝土施工技术在水利水电施工中的应用[J].大众标准化,2025(8):50-52.
- [3]张新惠.混凝土施工技术在水利水电施工中的应用[J].中国科技期刊数据库 工业 A,2025(10):093-096.
- [4]魏文超.水利工程水库坝体护坡板混凝土施工技术研究[J].低碳世界,2026,16(4):50-52.
- [5]王征.水利工程混凝土施工技术及其设备质量控制措施研究[J].中国设备工程,2026(5):217-219.

作者简介:倪博涛(1999.01—),男,汉族,江苏镇江人,大学专科,长安大学,公路监理。