

亚热带碾压混凝土筑坝温控防裂技术及施工工艺研究

郭瑞

中国水电建设集团十五工程局有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i4.7889

[摘要] 文章以地处亚热带的老挝某水电站碾压混凝土重力坝为例, 通过优化混凝土配合比、合理设计浇筑层厚度、降低混凝土入仓温度、加速混凝土散热, 有效控制混凝土的内外温差, 实现了碾压混凝土的温度控制, 坝面没有裂缝发生。通过这些综合技术手段, 能够在简单快速的施工, 并显著减少裂缝的发生, 提升碾压混凝土重力坝的长期稳定性和耐久性。研究成果为亚热带国家的碾压混凝土温控和防裂技术提供了科学依据与工程实践参考。

[关键词] 亚热带; 碾压混凝土筑坝; 无预冷; 温控防裂措施

Research on temperature control and cracking technology of subtropical RCC dam

Guo Rui

Sinohydro 15 Engineering Bureau Co., Ltd.

[Abstract] the article is located in the subtropical Laos a hydropower station roller compacted concrete gravity dam, for example, by optimizing the concrete mix ratio, reasonable design pouring layer thickness, reduce the concrete into the warehouse temperature, accelerate the concrete cooling, effectively control the internal and external temperature difference of concrete, realize the RCC temperature control, no cracks in the dam surface. Through these comprehensive technical means, it can be in the simple and rapid construction, and significantly reduce the occurrence of cracks, improve the long-term stability and durability of RCC gravity dam. The research results provide scientific basis and engineering practice reference for RCC temperature control and cracking prevention technology in subtropical countries.

[Key words] subtropical; RCC dam; no pre-cooling; temperature control and crack prevention measures

引言

重力坝是水利工程中常用的结构形式之一^[1-2]。碾压混凝土筑坝技术将碾压土石坝施工与常态混凝土坝结构优点集于一体, 具有胶凝材料用量少、机械化程度高、施工速度快、工期短、质量安全可靠、经济性相对较好等特点, 备受世界坝工界青睐^[3-5]。在碾压混凝土重力坝的施工过程中, 温度控制和裂缝防治一直是挑战性的技术难题。近年来, 东南亚成为“一带一路”建设的重点和优先方向, 采用碾压混凝土筑坝技术日益剧增, 高温季节浇筑大坝碾压混凝土成为惯例, 但是温控措施的复杂工艺给碾压混凝土简单快速的施工带来一定的挑战。

地处亚热带地区的泰国、柬埔寨、老挝、缅甸等国家的一些碾压混凝土坝设计指标主要采用单一的强度指标和骨料级配, 这些坝的设计理念及温控措施值得学习和借鉴。

1 工程概况

该水电站位于老挝境内的湄公河支流上, 电站装机容量 6 万 KW, 主要由混凝土重力坝、引水系统, 地面式厂房、运行村等建筑物组成。大坝正常蓄水位 348.0m, 死水位 343.0m, 总库容 2.24 亿 m³, 属于二等大(2)型工程, 从左岸到右岸共由

7 个坝段组成。最大坝高 67.0m, 坝顶长度 154.0m, 坝顶宽度 6.0m。混凝土浇筑 16.7 万 m³, 其中碾压混凝土浇筑 8 万 m³。

2 碾压混凝土温度控制标准

- (1) 新老混凝土温差: 控制标准为不超过 18°C。
- (2) 内外温差: 混凝土内外温差不超过 20°C。
- (3) 绝热温升: 混凝土绝热温升不超过 18°C。
- (4) 容许最高温度: 混凝土允许最高温度按照表 3 控制。

表 3 混凝土容许最高温度(单位: °C)

部位		约束分区	浇筑月份
坝段	坝段编号		4月~10月
储门槽坝段	2#	EL. 330m 以下	44°C
溢流坝段	3#~4#	EL. 310m 以下	40°C
		EL. 310m~322m	44°C
冲砂底孔坝段	5#	EL. 310m 以下	40°C
		EL. 310m~325m	44°C

3 碾压混凝土施工温控措施

3.1 原材料

- (1) 骨料采用该项目砂石加工系统生产的砂石料。
- (2) 水泥采用老挝琅勃拉邦水泥厂生产的“三象”牌 P.042.5 普通硅酸盐水泥。
- (3) 粉煤灰采用云南曲靖方能粉煤灰销售公司生产的 II 级粉煤灰。
- (4) 外加剂采用山西凯迪建材公司生产的 KDN0F-2 型缓

凝高效减水剂和 KDSF 型引气剂。

3.2 优化配合比

采用“两掺一低”技术,通过优化配合比,降低水泥用量,从而降低混凝土的绝热温升,达到控制混凝土内部最高温度的目的。通过试验及优化的碾压混凝土配合比见表 4。

表 4 碾压混凝土施工配合比

设计等级	配制强度 (Mpa)	水胶比	砂率 (%)	粉煤灰掺量 (%)	每方混凝土材料用量 (kg/m ³)								
					水	水泥	粉煤灰	砂子	石子 (mm)			减水剂 (%)	引气剂 (/万)
									5-20	20-40	40-80		
C ₉₀ 20 W8F50	23.4	0.43	39	50	80	102	102	822	514	771	0	1.0	1.0
C ₉₀ 15 W6F50	17.9	0.48	35	55	78	73	89	756	421	561	421	1.0	1.0

3.3 降低碾压混凝土入仓温度和浇筑温度

- (1) 在施工组织上安排早晚开仓浇筑碾压混凝土,充分利用夜间和阴天时间浇筑,减少气温影响。
- (2) 砂石成品料堆高度不低于 6.0m,并从料堆底部取料。
- (3) 混凝土拌合站骨料输送系统全线遮盖。
- (4) 加快混凝土浇筑覆盖速度,缩短已浇筑混凝土表面暴露时间,防止温度回升。
- (5) 用喷雾机、冲毛机进行仓面喷雾,形成小气候,实测喷雾效果表明喷雾可使仓内小环境温度降低 5℃左右。
- (6) 通过试验采取改善配合比,降低水泥用量,改善外加剂性能,增加缓凝时间;同时加强施工管理,加大生产能力等措施,确保层间结合。
- (7) 加强混凝土温度监测,包括拌和物的温度检测,入仓温度,已浇混凝土内部的温度等,以便发现问题及时采取措施。

3.4 预埋冷却水管通水冷却

对 3#~5#坝段的碾压混凝土预埋冷却水管压送温度较低天然河水进行冷却。

(1) 冷却水管管材采用内径 28mm、外径 32mm 的 HDPE 塑料水管。坝体混凝土冷却水管布置间距为 1.5m (水平) × 3.0m (垂直)。

(2) 冷却水管距离混凝土周边 1.0m~1.5m。单根长度不大于 300m,蛇形布置。

(3) 冷却水管进出口处水管距离不小于 1.0m,管口外漏不小于 20cm。

(4) 冷却水管铺设在碾压合格的混凝土层面上,冷却水管铺设过程中,采取 10m~20m 小范围进占法铺料,确保碾压混凝土连续浇筑施工。

(5) 混凝土下料浇筑开始通天然河水冷却,通水冷却时间不少于 20 天,并连续进行。通水流量 0.8m³/h~1.8m³/h,控制最大降温速率每天不超过 1.0℃。水流方向 24 小时更换一次。冷却水管进口水温与混凝土最高温差不超过 20℃。

3.5 加强养护

仓面养护可提高混凝土表面的相对湿度,增强表面散热,降低表面温度,尽快提高强度,对防止混凝土干缩裂缝有积极作用。对所有混凝土外露面均抽河水常流水养护、局部洒水养护。

4 碾压混凝土施工

4.1 仓面划分

EL. 301.0m~EL. 316.0m 坝基与岸坡为 C20 常态混凝土,上游防渗区为 C20 变态混凝土或者常态混凝土,中心部位为 C15 碾压混凝土,溢流面、溢流坝闸墩为 C30 抗磨蚀混凝土。坝基与岸坡常态混凝土、上游防渗混凝土、中心部位碾压混凝土,采用同层上升的方式进行浇筑,每层连续升程按照 3m 控制。溢流面、闸墩采取二期浇筑。

4.2 拌和及运输

(1) 采用 HZS240-1Q4000 拌合机组 (4m³),铭牌生产能力为 240m³/h,拌合站距离大坝 1.5Km。

(2) 采用 20t 自卸汽车运输碾压混凝土,6m³ 罐车运送常态混凝土,直接入仓;

(3) 车辆入仓前将轮胎冲洗干净,清洗场至入仓口 60m 的路段,填筑一定厚度的洁净碎石路面,使轮胎脱水后入仓。

4.3 入仓、摊铺、平仓

(1) 进料仓口采用预制混凝土块封堵,仓内施工的同时进行仓外的道路加高;入仓口位置铺垫钢板进行防护,以减少运输设备对混凝土表面的扰动。

(2) 自卸车后退法卸料、推土机进占法平仓,平仓时使混凝土有适当的掺合,消除由于自卸车卸料产生的混凝土离析现象。

(3) 卸料摊铺平仓条带垂直于水流方向,摊铺厚度按 35±3cm 控制,压实厚度为 30cm,根据在周边模板所画的平仓线进行检查,超高部位重新平仓,局部不平部位人工填平。

4.4 碾压

(1) 经过平仓形成一定长度的条带后,开始碾压,碾压

方向垂直水流方向, 碾压条带间的搭接宽度为 10~20cm, 端头部位搭接宽度宜为 100cm 左右。

(2) 振动碾行走速度控制在 1~1.5km/h 范围内, 走向偏差在 20cm 内, 按照先无振碾压 2 遍, 再带振碾压 8 遍程序进行, 最后无振碾压 1~2 遍。

(3) 每层碾压结束后, 及时布点用核子密度仪检测混凝土密度, 如果达不到规定指标, 及时进行振动碾压直至合格为止。

(4) 碾压层允许间歇时间, 连续上升铺筑层间允许间隔时间小于混凝土初凝时间 1~2h; 混凝土拌合物从加水至碾压完毕的历时不大于 2h。

(5) 对仓面 VC 值进行动态管理, 根据现场的气温、昼夜、阴晴、湿度等气候条件适当调整出机口 VC 值, 一般控制在 4~6s, 在不陷碾的前提下取小值。以碾压完毕时混凝土面层达到全面泛浆、人在上面行走微有弹性、仓面没有骨料集中为标准。

5 高温及强日晒应对措施

采用缓凝高效减水剂, 延长混凝土初凝时间; 运输车辆加

表 7 碾压混凝土冷却水温度检测成果

检测时间 (月/日)	进水口温度 (°C)	出水口温度 (°C)	外界温度 (°C)
04/27~05/27	18~23	27~39	23~38

6.3 大坝温度监测成果分析

表 8 大坝温度检测成果统计

温度计名称	埋设部位	实测温度 (°C)	日期 (月/日)
SDT-4593	坝面: EL. 314.0m 坝纵 0+079.5m 坝横 0+000.0m	34.8~45.6	05/23~05/26
SDT-4594	坝体: EL. 314.0m 坝纵 0+079.5m 坝横 0+007.5m	34.6~43.2	05/23~05/26
SDT-4595	坝体: EL. 314.0m 坝纵 0+079.5m 坝横 0+019.5m	32.7~42.8	05/23~05/26
SDT-4596	坝体: EL. 314.0m 坝纵 0+079.5m 坝横 0+031.5m	35.6~44.0	05/23~05/26

6.3.3 监测成果分析

(1) 坝面温度在 34.8°C~45.6°C, 入仓温度在 27.8°C~32.5°C。保证了新老混凝土温差不得超过 18°C。

(2) 坝面温度在 34.8°C~45.6°C, 坝体温度 32.7°C~44.0°C, 保证坝体混凝土内外温差不得超过 20°C。

(3) 混凝土入仓最低温度在 27.8°C, 坝体温度 32.7°C~44.0°C, 保证了混凝土绝热温升不超过 18°C。

(4) 坝体容许最高温度在可控范围之内。

6.5 大坝坝体裂缝检查

大坝碾压混凝土施工完成后, 组织人员进行坝面裂缝检查, 混凝土表面仅有少量龟裂现象, 无贯穿性裂缝和明显的裂缝。

7 结束语

该大坝位于亚热带地区的老挝, 常年高温湿热, 温差变化不大, 在大坝碾压混凝土施工过程中进行喷雾降温、采取天然河水冷却, 大坝常流水养护等综合温控措施, 由此结果满足该大坝温控防裂要求。经过分析施工期的温度观测资料可知, 坝体新老混凝土温差, 坝体内外温差、坝体最高温度, 均满足

盖遮阳, 尽量减少混凝土的温度回升; 碾压混凝土从拌和、平仓到碾压完毕不超过 2h, 仓面 VC 值控制在 5s 以内; 摊铺平仓后立即进行无振碾压 2 遍, 防止混凝土水分损失过快; 采取喷雾、覆盖等防高温、防日晒、保湿措施。

6 实施效果

6.1 碾压混凝土出机与入仓温度

表 6 碾压混凝土出机与入仓温度统计成果

项目名称	单位	数值	备注
高程	m	301.0~316.0	每 3m 一个升程。
日期	月/日	04/27~05/24	
气温	°C	25.0~39.2	
出机温度	°C	26.9~32.4	
入仓温度	°C	27.8~32.5	
仓面 VC 值	s	4.0~5.3	

6.2 冷却水管温度检测成果

大坝 EL. 301m~EL. 316m 冷却水管检测成果见表 8。

设计温度控制要求, 表明大坝碾压混凝土无预冷入仓, 采用的综合温控措施进行施工, 能够满足设计温控要求。该大坝碾压混凝土在施工中温控措施便于操作、经济可行, 保证了工程质量, 降低了施工成本, 达到了温控目的, 可供亚热带地区的同类工程参考。

[参考文献]

- [1]张智. 碾压混凝土重力坝温控及防裂措施研究[D]. 天津: 天津大学, 2009.
- [2]杨萍, 胡平, 刘玉. 碾压混凝土重力坝温控防裂仿真研究[C]. //2010 年度全国碾压混凝土筑坝技术交流研讨会论文集, 2010: 418-423
- [3]范福平. 峡谷地区碾压混凝土筑坝技术与实践[M]. 中国水利水电出版社, 2015.
- [4]南俄 5 水电站碾压混凝土重力拱坝施工技术及管理[J]. 四川水力发电, 2012, 31(4): 114-148
- [5]张晓飞, 王晓平, 张昕, 刘茜, 黄宇, 李守义. 热带高温地区碾压混凝土重力坝温控措施[J]. 排灌机械工程学报. 2019.30(10): 863-869