

景洪水电站碾压混凝土温控防裂措施及组织管理

赵富刚, 牛文阁, 李超毅

(云南华能澜沧江水电有限公司景洪水电工程建设管理局, 云南 景洪 666100)

摘要 针对景洪水电站水文气象条件、施工特点, 以及上下游围堰和右冲坝段碾压混凝土温度控制标准, 介绍景洪水电站纵向围堰高温季节碾压混凝土施工过程中采取的具体温控措施, 以及业主在温控组织管理工作中采取的措施。对各项温控措施成效的统计分析表明, 景洪水电站温控工作基本取得了预期成效, 纵向围堰碾压混凝土至今未发现危害性的温度裂缝。

关键词 碾压混凝土; 温度控制; 防裂措施; 组织管理; 景洪水电站

中图分类号 :TU755 ;TV544⁺.921 **文献标识码** :B **文章编号** :1006-7647(2007)03-0046-03

Temperature control and anti-cracking measures for RCC construction and management at Jinghong Hydropower Station//ZHAO Fu-gang, NIU Wen-ge, LI Chao-yi (Jinghong Hydropower Project Construction and Management Bureau, Yunnan Huaneng Lancang River Hydropower Co., Ltd., Jinghong 666100, China)

Abstract : In consideration of the hydrological and meteorological conditions, the construction characteristics, and the temperature control standard of RCC for cofferdams on upper and lower reaches and for right dam sections, an introduction was given to special temperature control and management measures adopted in RCC construction of longitudinal cofferdams at Jinghong Hydropower Station during the high temperature period. The statistical analysis shows that the temperature control measures have achieved expected result without any temperature-induced harmful cracks occurring in the longitudinal cofferdams.

Key words : RCC; temperature control; anti-cracking measure; management; Jinghong Hydropower Station

1 工程概况

1.1 工程基本情况

景洪水电站位于云南省澜沧江下游河段西双版纳傣族自治州境内, 电站装机容量为 5×350 MW。拦河坝为碾压混凝土重力坝, 最大坝高 108 m, 厂房坝段布置在河床左侧主河槽部位, 溢流坝段及升船机坝段布置在河床右侧滩地。工程施工分两期, 一期在纵向围堰及一期上下游土石围堰围护下进行右岸溢流坝段及升船机坝段等施工, 左岸主河槽过流; 二期在纵向围堰及二期上下游土石围堰围护下进行左岸厂房坝段及厂房等施工, 右岸导流底孔及升船机缺口过流。

纵向围堰全长 697 m, 由上下游纵向围堰、右冲砂底孔坝段(以下简称右冲坝段)共同组成, 其中上游纵向围堰长 273 m, 下游纵向围堰长 163.892 m, 右冲坝段全长 260.108 m。上游纵向围堰设计高程 575.5 m, 混凝土工程量 21.1×10^4 m³; 下游纵向围堰设计高程 564.5 m, 混凝土工程量 7.04×10^4 m³。上下游纵向围堰混凝土工程量共计 28.14×10^4 m³, 右

冲坝段混凝土 17.4×10^4 m³。

1.2 水文气象条件

景洪水电站地处亚热带地区, 坝址区气温较高, 长夏无冬, 多年平均气温 22.0℃, 多年平均最高气温 38.0℃, 极端最高气温 41.1℃, 极端最低气温 2.7℃, 月平均日温差 11.7℃。坝址区河水年平均水温 18.5℃, 月平均最高水温 23.5℃, 月平均最低水温 12.2℃。多年平均相对湿度 81%, 最大风速 34 m/s。坝址区多年平均气温、河水水温、湿度统计资料见表 1。

1.3 工程施工特点

根据工程计划安排, 2004 年 1 月 16 日开始纵向围堰混凝土浇筑, 6 月 30 日达到 555.0 m 高程, 以满足工程安全度汛要求, 9 月底上下游纵向围堰达到设计高程, 该部位施工时段主要集中在 3~9 月份高温季节, 工期紧、施工强度高。上下游纵向围堰除垫层为常态混凝土外其余均为碾压混凝土, 右冲坝段 540.0 m 高程以下也设计为碾压混凝土, 纵向围堰碾压混凝土工程量 30.6×10^4 m³, 占该部位混凝土总量的 67.2%。

表1 坝址多年平均气温、水温、湿度统计

月份	多年平均气温/℃	多年平均最高气温/℃	多年平均最低气温/℃	多年平均水温/℃	多年平均最高水温/℃	多年平均最低水温/℃	多年平均相对湿度/%
1	16.0	28.4	7.3	13.1	14.1	12.2	84
2	18.0	32.3	7.6	14.5	15.8	13.3	74
3	21.1	35.7	9.8	16.9	18.2	15.4	68
4	24.3	38.0	13.7	18.6	20.0	17.2	68
5	25.7	37.6	17.8	20.4	22.2	18.9	75
6	25.8	34.7	20.3	21.7	22.9	20.3	83
7	25.4	33.8	20.9	22.2	23.5	20.7	86
8	25.1	33.8	20.7	22.2	23.5	20.6	88
9	24.5	33.4	19.2	21.5	22.8	20.0	87
10	22.6	32.3	15.9	19.7	21.3	18.0	87
11	19.4	30.1	12.0	16.9	18.6	12.7	87
12	16.2	27.1	8.7	14.0	15.6	12.7	87
年平均	22.0	38.0	7.3	18.5	23.5	12.2	81

从表1可以看出,全年气温居高不下,3~10月份月平均气温均超过21.0℃,高温时段长达8个月,3~6月份多年平均最高气温更是超过或接近35.0℃。加之混凝土性能受原材料先天性不足的影响,其极限拉伸值较规范要求偏低,且右冲坝段局部结构体形宽长比达1:4.5,结构对温控防裂不利。混凝土尤其是碾压混凝土安排在高温季节施工,如何做好混凝土温度控制,以防危害性裂缝的出现,成为工程建设的重要课题。

2 温控设计标准及要求

2.1 温控设计标准

设计单位在混凝土性能试验的基础上,对结构的温度场及温度应力进行分析计算,并结合科研单位温控防裂研究成果,提出了上下游纵向围堰和右冲坝段的基础温控标准、上下层混凝土温控标准、内外混凝土温控标准。根据第一阶段混凝土性能试验结果,景洪水电站混凝土极限拉伸值较规范要求偏低,因此相应的温控标准较《混凝土重力坝设计规范》^[1]严格。

2.1.1 基础温控标准

右冲坝段和上下游纵向围堰碾压混凝土基础控制温差见表2^[2]。

表2 碾压混凝土温控设计标准

部位	距基础面高度 h	温控标准/℃	
		$L < 30\text{m}$	$L \geq 30\text{m}$
右冲坝段	0~0.2L(强约束区)	10.0	9.5
	0.2L~0.4L(弱约束区)	10.5	10.0
上下游纵向围堰	0~0.2L(强约束区)	16.0	13.5
	0.2L~0.4L(弱约束区)	18.0	15.5

注:L为浇筑块长边长度。

2.1.2 上下层混凝土温控标准

在间歇期超过28d的混凝土面上继续浇筑时,该混凝土面以上 $1/4L$ 范围内的上层浇筑混凝土按

上下层混凝土温差控制。温差控制标准为:右冲坝段碾压混凝土不大于10.0℃,上下游纵向围堰碾压混凝土不大于15.0℃^[2]。

2.1.3 内外混凝土温差控制标准

右冲坝段碾压混凝土早期、中后期形成的内外温差控制分别不超过12.0℃,14.0℃;上下游纵向围堰则分别不超过16.0℃,18.0℃^[2]。

2.2 具体温控要求

在温控设计标准的基础上,提出了具体的温控要求:右冲坝段3~10月份浇筑温度不大于19.0℃,强、弱(非)约束区允许最高温度分别为28.0℃,29.0℃。上下游纵向围堰11月至翌年2月份浇筑温度不大于20.0℃,3~10月份浇筑温度不大于17.0℃,强、弱、非约束区允许最高温度分别为32.0℃,34.5℃,37.5℃。

3 温控措施

结合国内外众多工程的成功经验,施工过程采取了以下温控综合措施。

3.1 控制混凝土浇筑温度

a. 控制混凝土出机口温度。采取各种温控措施控制混凝土出机口温度不大于12.0℃:①成品料堆、骨料罐搭盖遮阳棚,以避免阳光直射;②控制成品料仓堆料高度,要求成品骨料堆高不低于8m,尽可能使其温度不受日气温变化影响,运输装车时骨料经成品廊道(地垄)由装车仓下料;③减少骨料运输过程中温度升高,所有运输设施设防晒隔热设施,如骨料生产系统成品廊道至装车仓的胶带机、拌和系统的出料皮带、运输骨料的自卸汽车顶部加盖遮阳棚,并尽量在早、晚或夜间运输骨料;④混凝土生产中采取骨料预冷,要求拌和系统骨料罐尽量装满罐,以保证预冷效果;⑤加冰或加冷水拌和混凝土。

b. 减少运输过程中的温度回升。应控制运输过程中混凝土温升不大于1.0℃,措施有:①禁止采用尾气排气管设于车厢的汽车运输混凝土;②在拌和楼对运输车辆车厢进行喷雾冷却后再运输混凝土;③在汽车顶部设活动防晒、防雨篷布等。

c. 减少浇筑过程中的温度回升。具体措施有:①在混凝土仓面喷雾;②加盖保温被,下层混凝土碾压完毕上层混凝土未覆盖前,表面立即用1cm厚的聚乙烯卷材覆盖,防止温度倒灌;③加强管理,合理规划仓面面积,加快混凝土入仓至覆盖的施工速度,缩短混凝土暴晒时间,高温时段碾压混凝土从出料到碾压完毕必须控制在1h之内,每层覆盖时间不得超过4h,对于较大仓号,若经计算平仓碾压浇筑强度不能满足每层覆盖时间小于4h的要求时,则

须改用斜层平推法施工,甚至调整仓号面积;④对于面积较小的仓号尽可能利用早、晚或夜间气温较低的时段施工,避开高温时段。

3.2 通水冷却

冷却水管采用导热系数 $\lambda \geq 1.0 \text{ kJ}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$ 的塑料管,蛇形布置,水平和垂直间距均为 1.5 m。在混凝土开始浇筑时即通入 10.0 $^\circ\text{C}$ 的制冷水,初期通水 18~20 d,管中水的流速控制在 0.6 m/s 左右(对应通水流量约为 20 L/min)。单根循环水管长度不大于 300 m,管中水流方向每 24 h 调换 1 次,每天降温不超过 1.0 $^\circ\text{C}$;冷却水平均水温与混凝土最高温度之差不宜超过 25.0 $^\circ\text{C}$,如果超过可采取先通天然河水再通制冷水的方式解决。

3.3 表面保护和养护

做好混凝土表面保护工作,新浇混凝土拆模后立即采用等效热交换系数 $\beta \leq 10.0 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$ 的保温材料覆盖其侧表面,对长期暴露面和体形结构对温控不利等部位全年挂贴保护材料,顶表面覆盖持水保温材料^[3]。

加强混凝土养护,混凝土收仓终凝后即在平面上进行流水养护,利用模板外有孔眼的钢管或塑料软管对混凝土立面进行流水养护,平面养护至上一层混凝土开始浇筑为止,侧面养护时间不少于 28 d。建立专门的流水养护队伍,做好混凝土保湿工作,避免养护面干湿交替。

3.4 选用合理的浇筑层厚和控制浇筑层的间歇期

碾压混凝土浇筑层厚取 3 m,间歇期要求 5~7 d,若采用 4 d 间歇期,则需增加冷却水管密度,缩短水平间距至 1 m。

4 管理措施

温控是景洪水电站施工进度和质量的“瓶颈”,云南华能澜沧江水电有限公司对此高度重视,在组织与管理上采取了如下措施:

a. 成立温控防裂研究课题组。为科学地研究大坝混凝土施工的温度控制标准及措施,选择合适的施工参数,提出合理的温控措施,成立了温控防裂研究课题组。课题组针对景洪水电站碾压混凝土坝的特点以及混凝土的热学、力学特性等材料试验成果,初定不同部位混凝土的温控防裂标准。根据初定的温控防裂标准,对景洪水电站大坝多个典型坝段进行仿真分析,研究不同温控措施对坝体温度和应力的影响,初定不同部位和施工季节的温控措施,以及混凝土出机口温度要求。对现场混凝土浇筑各环节的用时、温度回升进行测定,建立从出机口到浇筑过程中各工序温度在不同环境量和保温措施条件

下与时间的关系曲线,确定混凝土运输组织保障措施及各工序的施工方法、工艺、方式及施工强度要求。测试不同配合比、环境量、龄期及不同约束条件下的温度场、温度应力及温度应变,进行反演分析,调整初定的温控措施,修正温控要求和温控标准,量化各温控措施效果。

b. 建立健全温控组织管理机构。为切实保障各项温控工作的顺利开展,成立了以总经理为组长的景洪水电站工程温控措施领导小组,全面负责整个工程的温控措施工作。该小组先后制定颁发了《景洪水电站混凝土温控措施管理办法》、《景洪水电站混凝土温控措施实施奖惩细则》等管理制度,对温控措施管理工作程序、工作内容、温控措施的奖惩细则均做了明确的规定和要求,使温控管理制度化、程序化、量化,使之具有较强的可操作性。

c. 现场温控管理。为加强对现场各环节温控工作及效果的检查,确保各项温控措施的落实,成立了由监理和施工单位有关人员组成的现场温控工作小组。①对气温、混凝土原材料温度(水泥、粉煤灰、砂子的温度,大、中、小石的一次、二次风冷温度,冷水温度,冰温度)及混凝土出机口温度等明确了具体的质量控制指标,同时明确了风冷料仓最低料位、预冷时间等指标。出机口温度高温时段(8:30~19:30)每 1 h 测 1 次,其他时段每 2 h 测 1 次;气温、混凝土原材料温度每 2~4 h 测 1 次。②控制高温时段碾压混凝土从出料到碾压完毕的时间、每层覆盖时间,同时加强对入仓温度、浇筑温度的检测,高温时段每 1 h 测 1 次,其他时段每 2 h 测 1 次,对喷雾设施及效果进行持续跟踪检测,要求喷雾仓面平均湿度不小于 80%,仓面积水强度每 6 min 小于 0.3 mm;检查混凝土摊铺、碾压后表面保温材料的覆盖情况。③建立通水检查监督制度,对通水参数进行量化,每天检查通水组数、流量,检测通水进口温度、出口温度。④埋设测温计,及时掌握混凝土内部温度的变化,对检测结果及时分析并对异常情况迅速提出解决措施。⑤温控措施一条龙检查,现场温控工作小组每天对骨料温控(包括骨料堆存、运输、预冷骨料罐存料、加冰、加冷水、一次风冷及二次风冷等)、混凝土温控(包括混凝土运输、仓面喷雾、仓面保温、通冷却水、洒水、流水养护及保温)整个过程进行严格的一条龙检查。

5 结 语

景洪水电站地理、气候的特殊性及原材料的先天性不足决定了靠单一混凝土温控措施是难以满足要求的,其温控防裂必须采取综合性(下转第 63 页)

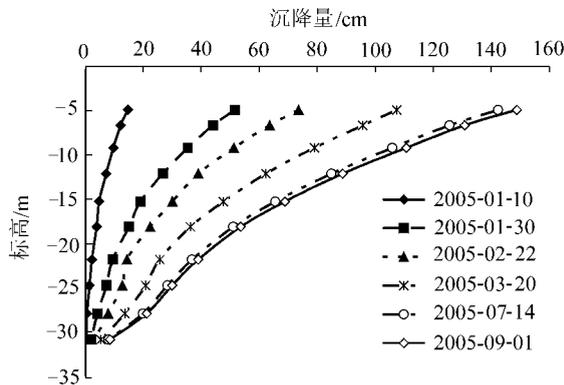


图6 1+000断面分层沉降曲线

高,排水板排水效果较好,土体沉降均匀,没有明显的挤淤现象。

4.3 软体排护底效果分析

由于对砂被、软体排采取了加筋、隔仓处理,克服了风浪及紊流作用的影响,避免砂被变形、鼓包、撕裂等。工程施工期间,虽连续遭受台风、天文大潮及暴雨的袭击,仍基本保持完好。局部发生鼓包现象,用高压水枪在袋口往砂被中稍作冲平就基本恢复原形,效果显著,保证质量。

在高风浪港区造陆,采用护底软体排,大大节约了工程时间,经过软体排护底,即使在高沉降速率的情况(见图6)下仍可进行围堤填筑施工。因软体排的作用,围堤侧向位移及位移速率不大(见图5)。

(上接第48页)措施,应从原材料储运、混凝土拌制、运输、浇筑(包括仓面喷雾、覆盖保温被等)及养护等各个环节采取措施,加强控制,同时通水冷却也是混凝土温控防裂的重要措施之一。

在温控管理方面,业主应充分发挥在工程建设中的主导作用,建章立制,明确各家职责,积极引导设计、科研单位制定切实可行的温控标准及要求,督促监理严格按照有关要求对施工单位加强监管力度,同时建立奖罚机制,充分调动各方的积极性,同心同德,做好温控防裂工作。

通过采取上述温控措施以及强有力的温控监督管理,温控工作基本达到了预期成效,有效地控制了裂缝的发生:①一般情况下,当骨料堆料高度大于8m时,堆存5~7d骨料温度可接近当地月平均气温。②当水泥、粉煤灰温度为60℃左右,砂子温度为23℃左右(接近月平均气温),粗骨料一次风冷到8~10℃左右,二次风冷到2~4℃左右,加冰或加冷水拌和,出机口温度可控制在14℃之内。③采取运输车车厢喷雾、遮阳措施,运距在1.5km内,可将运输过程混凝土温升控制在1.0℃左右。④采取仓面喷雾营造小环境、覆盖保温被等措施,可将从混凝土

另外,软体排的使用不仅在技术上可快速造陆,缩小围堤断面,而且在经济上比不用软体排直接填筑围堤减少投资约20%。

5 结语

a. 软体排用于围海造陆工程可以均化地基应力,防止发生较大的侧向变形,有利于施工期及使用期时的地基稳定。

b. 采用不同工艺可满足不同水深及潮位等复杂工况下软体排的施工,特别是对浅水区采用岸供砂充填软体排可克服不同船型施工要求。

c. 实践证明,软体排的利用及工艺改进可进行快速围堤及造陆施工,并提高围堤抗滑稳定性,节约砂石料,大幅度提高施工效率,保证质量,节省施工成本约20%。

参考文献:

- [1] 余帆,周克当,冯刚.系接压载软体排在护岸工程中的应用[J].人民长江,2002,33(8):32-34.
- [2] 程玉来,赵龙根,楼启为.土工织物软体排在长江口深水航道治理工程一期北导堤工程中的应用[J].水运工程,2000(12):53-58.
- [3] 吴梦喜,楼志刚.波浪作用下海床的有效应力分析[J].海洋工程,2002,20(1):64-68.

(收稿日期 2006-04-18 编辑 骆超)

入仓到上一层混凝土覆盖前的温升控制在3~5℃。⑤初期通水是削减浇筑层水化热温升的措施之一,初期通水冷却宜采用10℃左右的制冷水,通水时间18~20d,在混凝土开仓时开始通水,单根水管通水流量不小于20L/min,一般可削减混凝土水化热温升2~4℃。⑥表面保护及流水养护也是降低混凝土最高温度的有效措施之一,采用表面保护及流水养护可使混凝土早期最高温度降低1.5℃左右。⑦根据混凝土内部埋设的温度计测值允许最高温度基本能控制在标准要求内,但仍有局部超标2~3℃,追查原始资料发现这与个别仓号浇筑温度超标有关,受各种因素影响,个别仓号从混凝土入仓到浇筑温度回升达到10℃。⑧至今,纵向围堰碾压混凝土未发现有危害性温度裂缝的产生。

参考文献:

- [1] DL 5108—1999 混凝土重力坝设计规范[S].
- [2] 吕大勇,向弘.景洪水电站右岸冲砂底孔坝段555m高程以下混凝土温控防裂施工技术要求[R].昆明:中水顾问集团昆明勘测设计研究院,2006.
- [3] 戴会超,张超然.三峡混凝土施工及温控材料成果[J].水利水电科技进展,2003,23(1):17-21.

(收稿日期 2006-05-12 编辑 骆超)