

碾压混凝土大坝大升层施工温控技术

黄艳梅

(中国水利水电第七工程局有限公司 第一分局 四川 彭山 620860)

摘要:碾压混凝土高坝施工中的升层高度直接影响施工进度,经济、高效的大升层施工是其首选。对于体形庞大的大坝混凝土而言,大升层意味着大体积。如何解决混凝土水化热带来的温度升高问题就成为迫在眉睫的重中之重,必须采取有效的温控手段控制混凝土裂缝的发生。乌弄龙水电站大坝混凝土施工通过温控计算与分析后,从混凝土配合比、出机口温度、运输过程、浇筑过程、通水冷却等方面采取了有效的温控措施,质量可靠,所取得的经验值得类似工程推广应用。介绍了所采用的温控措施。

关键词:大升层;温度;冷却;配合比;乌弄龙水电站

中图分类号:TV7;TV52;TV544;TV43

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2021)01-0021-04

Temperature Control Technology for Mass Concrete Lift of Roller-compacted Concrete Dam

HUANG Yanmei

(First Branch of Sinohydro Bureau 7 Co., LTD, Pengshan, Sichuan, 620860)

Abstract: The height of each concrete lift poured during construction of roller-compacted concrete dam directly effects the construction progress; the economic and efficient placement of each concrete lift is of great importance. Regarding concrete embankment for roller-compacted concrete dam, a lift with large volume is actually a mass concrete. To avoid concrete cracks caused by temperature rise due to concrete hydration is of the top priority. After calculation and analysis, temperature control measures are taken during the whole process of dam concreting of Wunonglong Hydropower Station, from concrete mix design, discharging, transportation, placement to water-cooling. It has been proved that the quality of the roller-compacted concrete dam is reliable and the temperature control measures are worthy of being popularized and applied in similar projects. Temperature control measures are introduced in this paper.

Key words: mass concrete lift; temperature; cooling; mix ratio; Wunonglong hydropower station

1 概述

乌弄龙水电站是澜沧江上游河段水电梯级开发的第二级电站,坝址位于云南省维西县巴迪乡,电站装机容量为990 MW。拦河大坝为碾压混凝土重力坝,最大坝高130.5 m。枢纽主要建筑物由碾压混凝土重力坝、坝身泄洪表孔和底孔及右岸地下厂房系统等组成。坝顶高程1909.5 m,建基面高程1779 m。大坝坝顶轴线长度为247.1 m,坝顶宽10 m,坝底最大宽度为100 m。坝体断面上游面垂直,下游坡比为1:0.72。

乌弄龙水电站坝址区多年平均气温为11.5℃,极端最高气温为31.9℃,极端最低气温为-8.9℃,多年平均相对湿度为70%,多年平均降雨

量为966 mm,最大日降雨量为93.4 mm,多年平均蒸发量为1460.2 mm。多年平均风速为1.5 m/s,最大风速为19 m/s。

乌弄龙水电站大坝碾压混凝土采用大仓面薄层连续短间歇浇筑、平层法施工^[1],分层高度除强约束区以外以6 m为主。大升层施工方法有效简化了施工程序,提高了机械化施工程度和工效^[2],是施工单位的首选。但大面积混凝土采取大升层施工其混凝土方量之大可想而知。因此,如何解决混凝土水化热带来的温度升高问题就成为迫在眉睫的重中之重,必须采取有效的温控手段控制混凝土裂缝的发生。

2 碾压混凝土温控的要求和内容

收稿日期:2021-01-13

2.1 温控要求

乌弄龙水电站大坝主河床坝段碾压混凝土基础容许温差见表1,容许最高温度见表2。上下层温差标准为 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$;碾压混凝土强约束区控制内、外温差不超过 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$,弱约束区控制内外温差不超过 $17\text{ }^{\circ}\text{C}$,其它不超过 $19\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

表1 碾压混凝土基础容许温差表

距离基础面高度 h / m	容许温差 / $^{\circ}\text{C}$	备注
垫层常态混凝土	14.5	
强约束区(0~0.2 L)	12	浇筑块长边为
弱约束区(0.2~0.4 L)	14.5	100~41.4 m

表2 碾压混凝土容许最高温度表

距离基础面高度 h / m	稳定温度 / $^{\circ}\text{C}$	容许温差 温度 / $^{\circ}\text{C}$	最高温度 / $^{\circ}\text{C}$
垫层常态混凝土	14	14.5	28.5
强约束区	14	12	26
弱约束区	15	14.5	29.5
其它非约束区	16/18	16/20	32/38

2.2 温控的主要内容

(1)降低混凝土内部的最高温度,即减少混凝土最高温度与运行期设计温度(如稳定温度等)间的差值。

(2)使混凝土各点温度尽量均匀,避免出现过大的温度梯度。

(3)使坝体达到运行期设计温度值,以便进行接缝灌浆处理,防止灌浆后再产生温度应力。

3 乌弄龙水电站采用的碾压混凝土温控技术

3.1 配合比优化设计

优化混凝土配合比设计并加强施工管理,提高施工工艺水平,改善混凝土性能,其目的是提高混凝土的抗裂能力。将碾压混凝土砂中的石粉含量控制在 $(20\pm 2)\%$,优先选择中热水泥,掺合料采用Ⅱ级或以上粉煤灰。在配合比设计中,采取了以下措施,有效降低了混凝土温升:

(1)高掺粉煤灰。配合比采用宣威市众合成建材有限公司生产的“F”类Ⅱ级粉煤灰,高掺量达 60% ,以减少水泥用量。

(2)添加缓凝高效减水剂。采用浙江龙游型缓凝高效减水剂用于碾压混凝土,减少了碾压混凝土中的水泥用量。

(3)选用中热硅酸盐水泥。大坝混凝土选用42.5级中热硅酸盐水泥以减少水泥水化热。

3.2 出机口温度控制

拌和楼出机口温度控制是一个动态过程,其标准取决于当月需满足的混凝土入仓浇筑温度,乌弄龙水电站大坝碾压混凝土浇筑温度见表3。

表3 碾压混凝土浇筑温度控制表

浇筑部位	温控措施	11~3月	4月、10月	5~9月
强约束区 (分层高度 3 m)	最高 浇筑温度	自然入仓	$18\text{ }^{\circ}\text{C}$	$18\text{ }^{\circ}\text{C}$
	通水冷却等	无需通水	通水	通水
弱约束区 (分层高度 6 m)	最高 浇筑温度	自然入仓	自然入仓	$18\text{ }^{\circ}\text{C}$
	通水冷却等	无需通水	通水	通水
非约束区 (分层高度 6 m)	最高 浇筑温度	自然入仓	自然入仓	$20\text{ }^{\circ}\text{C}$
	通水冷却等	无需通水	无需通水	通水

3.2.1 高温季节施工

(1)拌合系统的原材料温控。根据乌弄龙水电站气象资料并结合拌和楼的运行条件,对拌和楼生产制冷混凝土的各种原材料拟定不同月份的拌和温度控制标准,计算公式采用能量守恒公式,结合实际工况,强约束区和弱约束区的碾压混凝土按浇筑温度标准反推求得原材料温度标准(表4),出机口温度根据气温变化进行调整。

表4 碾压混凝土原材料温度控制表 / $^{\circ}\text{C}$

月 份	自然条件		浇筑 温度	入仓 温度	出机口 温度	拌合水 控制结果	骨料控制 温度
	气温	水温					
4	13.9	9	18	13	12.7	9	13.9
5	18.3	11.7	18	15.3	14.1	5	13.1
6	21.5	13.8	18	15.2	13.4	2	10.6
7	21.9	14.5	18	15.1	13	2	9.6
8	21.2	20.7	18	15.3	13.5	2	11
9	19.5	19.1	18	15.4	14	2	13.2
10	15.6	17.5	18	15.9	16	5	15.6

(2)拌合系统温控技术。

①对砂仓采用遮阳棚防晒的方式,骨料采用大量堆存,成品料仓堆料高度不低于 8 m ,以减少夏季高温气候对原材料温度的影响。

②控制混凝土骨料的含水率小于 4% ,且对骨料采用高堆积、冷却水拌和。

③水泥的入库温度不超过 $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

④对拌和楼的料斗、储水器、皮带运输机、拌

和楼等加遮阳棚,以免被太阳暴晒,同时可用水化热较低的水泥生产混凝土。

⑤4~10月若采取上述措施仍不能满足温控要求,则需增加风冷措施预冷骨料,并采取加制冷水拌等方式降低混凝土的出机口温度,使其满足浇筑温度要求。

3.2.2 低温季节施工

低温季节施工时,在混凝土浇筑结束后及时贴苯板并覆盖保温被。

当气温低于 -3°C 且低温天气持续3d或超过3d以上时,实行暂停施工的办法。

3.3 运输过程中的温度控制技术

乌弄龙水电站大坝碾压混凝土施工其碾压混凝土从出机口至上坯层混凝土覆盖前的温度回升值要求为:4~10月,在高温时段不超过 5°C ,其它月份不超过 3°C 。为此,采取了以下温控技术:

(1)车辆运输前,先采用冷水冲洗、润湿车厢,降低车厢板温度,车厢冲洗时间间隔不大于2h。

(2)在运输车辆安装遮阳棚,防止车辆在运输途中遭太阳直射并能减少风对料堆表面的风干影响。禁止采用尾气设于车厢的汽车运输混凝土。

(3)大坝混凝土浇筑期间,应保持运输道路通畅,在关键路段设置指挥人员,以减少交通堵塞,减少温度“倒灌”。

(4)在受料平台及仓内均设置信号工,以减少自卸汽车在卸料平台的等待时间,尽快入仓卸料,减少温度“倒灌”。

(5)缆机及箱式满管在混凝土运输过程中,对皮带机安装遮阳棚以防止太阳暴晒,采取保温、降温措施,开仓前对料罐实施冲水降温,对吊罐、满管包裹保温材料等。满管入仓必须控制混凝土入仓后的平仓振捣时间,尽量快速平仓振捣,以减少预冷混凝土暴露在空气中的时间,从而减少混凝土的空气热传导温升。

3.4 混凝土浇筑过程中的温度控制技术

混凝土浇筑温度系指入仓混凝土经平仓振捣或碾压后、覆盖上坯层混凝土前,在距本坯层混凝土表面以下10cm处的混凝土温度。混凝土料入仓后,对仓内的温控在低温季节和高温季节均非常重要。本工程主要采取了以下措施:

(1)仓面小气候。高温季节浇筑混凝土时外界气温较高,为防止混凝土初凝及气温倒灌,营造

小气候以降低施工环境温度,喷雾亦可防止假凝。喷雾机喷雾以降低仓面的环境温度,喷雾时需保证成雾状,注意避免其形成水滴落在混凝土面上。喷雾机安放在周边模板、坝肩槽坡面或仓面固定支架上,架高2~3m并结合风向使喷雾方向与风向一致。同时,根据仓面大小选择喷雾机数量,一般喷雾机按照间距30m左右布置并保证喷雾降温效果,或匹配现场需求进行喷雾机的安装,以达到更好的喷雾降温效果。注意:喷雾时水分不得过量,以防止混凝土表面积水。开始喷雾时的仓内气温根据现场试验确定,且以混凝土表面不形成积水为控制条件。

(2)满管入仓时,注意控制混凝土入仓后的平仓振捣时间,快速进行平仓振捣以减少预冷混凝土暴露在空气中的时间,降低其在浇筑时段的温升。

(3)在风大、高温、太阳暴晒严重等情况下,碾压完毕立即采用保温被覆盖,直到下一层开使摊铺^[3]。

3.5 通水冷却

在混凝土浇筑完成后混凝土初凝到终凝这段时间,混凝土内部的水泥与拌和水会发生充分的水化热化学反应,在其结合的同时产生了大量的热量,使混凝土内部急剧升温,导致混凝土内外的温差变大,如果不采取及时的处理措施,混凝土内部会产生裂缝,导致混凝土强度严重下降。通常控制混凝土内部因水化热引起的坝体内部温度升高的办法是坝体内通水冷却,即在碾压混凝土施工的同时预埋冷却水水管,在其水化热温升期间进行通水冷却。

乌弄龙水电站大坝通水冷却分一期、中期及二期冷却。一期冷却在混凝土开始浇筑时立即开始通水冷却,以降低混凝土的最高温度。中期冷却是对当年4~9月高温季节浇筑的混凝土在10月后进行通水冷却,二期通水冷却的目的是使混凝土降至接缝灌浆或接触灌浆温度。

3.5.1 坝体内冷却水管的布置

坝体内混凝土冷却水管的布置按1.5m间距呈蛇型布置,水管距上游坝面2.5m,距离下游坝面3m;垂直方向层距为1.5m,水管距基岩面或老混凝土面距离 $\geq 0.3\text{m}$,距离各种缝及孔洞的距离为1.5m。水管不允许穿过各种缝及孔洞,单根循环蛇型水管的长度要求不大于250m^[4]。冷却蛇形管垂直于水流方向布置,当同一

仓面需要布置多条水管时,各条水管的长度应基本相当。同层各管圈必须同时通水冷却、同时结束,禁止出现不同步冷却的情况。

3.5.2 通水程序及强度

(1)一期通水冷却。上坯层混凝土开始铺筑时即开始通水。针对6 m升层,一般情况下,采用通7℃~10℃的制冷水进行冷却。4月、10月也可采用天然河水,但冷却时间应延长至35 d。管中水的流量控制为前20 d为2 m³/h,后15 d控制为技术要求通水流量1.3 m³/h,水管中的水流方向应每24 h调换一次^[4];混凝土降温速度每天不大于0.5℃,冷却水管进口水温与混凝土最高温度之差不超过20℃。根据温度监测,必要时加强温控力度,防止混凝土出现二次峰值和超过容许最高温度的情况。

(2)中期通水冷却。每年10月份进行闷温检测,对于不满足内外温差标准要求的启动中期冷却。每年10月对当年4~9月浇筑的坝体混凝土进行中期通水冷却,将混凝土内部温度降至满足内外温差要求为准,根据每年的实际外界环境温度确定中期通水冷却的结束温度。中期通水冷却参考水温为7℃~10℃,通水流量不宜大于1.2 m³/h,控制最大降温速率每天不超过0.5℃。

(3)二期通水冷却。在岸坡接触灌浆前,需要进行二期通水冷却。二期通水采用通7℃~10℃的制冷水或满足要求的河水对其进行二期冷却以将其降低至稳定温度^[5]。二期通水程序及要求与一期通水冷却相同。

3.5.3 冷水机的配置

根据乌弄龙水电站大坝的施工进度,35 d混凝土上升10 m,冷却水管间距1.5 m,则有7层冷却水管需要通水,应配备4台移动式冷水站,冷水机组型号分别为HYPCPW650、HYPCPW319、HYPCPW170、HYPCPW100,可以满足工程温控要求。

3.6 冷却水管的封堵

通水冷却结束后,采用42.5级中热硅酸盐水泥浆对冷却水管进行回填灌浆,然后切除水管的外露部分,将其表面处理至满足混凝土外观要求。

4 防裂及内外温差控制技术

(1)高温季节浇筑过程中,对仓面上方喷雾以

降低环境气温;尽量减少混凝土的暴露面和暴露时间,每一层碾压完毕,及时覆盖临时保温被或聚苯乙烯泡沫材料,并在仓面洒水养护,以减少混凝土的温度回升。

(2)浇筑后的养护。

①混凝土浇筑收仓12 h后,开始对混凝土表面进行流水养护,水层厚度大于5 mm。

②对于混凝土水平施工层面,其洒水养护应持续至上层碾压混凝土开始浇筑为止。

③遇气温较低(日平均气温小于3℃)时,停止碾压混凝土施工。对于已浇筑的混凝土仓面用土工膜+保温被材料覆盖并进行洒水养护,养护至上层混凝土开始铺筑。

(3)当日平均气温低于3℃或气温骤降时,为防止碾压混凝土的暴露表面产生裂缝,对大坝上下游面及时覆盖苯板,坝面及仓面采用保温被覆盖并适当延长拆模时间。所有孔、洞及廊道等入口进行封堵,以防其受到冷气的袭击。避免在夜间或气温骤降时拆模。

(4)大坝基础表面保温。为提高坝体基础混凝土的稳定温度,减小温度应力,11月上旬开始对坝体进行表面苯板保护。大坝基础上游面表面保温范围为泄洪进水口底板高程以下;大坝基础下游面表面保温范围从基础高程开始约20 m高度。

5 结语

目前,乌弄龙水电站已投入运行且运行状态良好。事实证明:碾压混凝土大坝6 m高升层施工、辅以上述温控措施,在保证质量的前提下,能够达到经济、高效的效果,所取得的经验值得类似工程借鉴。

参考文献:

- [1] DL/T 5112—2009, 水工碾压混凝土施工规范[S].
- [2] 水利电力部水利水电建设总局. 水利水电工程施工组织设计手册(第3卷 施工技术)[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1987.
- [3] 汪卫兵, 马志峰, 车 军. 官地水电站碾压混凝土坝温控技术研究[J]. 水利水电技术, 2014, 45(8): 98—100.
- [4] NB/T 35092—2017, 混凝土坝温度控制设计规范[S].
- [5] DL/T 5787—2019, 水工混凝土温度控制施工规范[S].

作者简介:

黄艳梅(1979-),女,四川仁寿人,高级工程师,从事水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)