

浅析综合温控措施在混凝土质量控制中的应用

胡清焱, 王抗, 张国寿

(中国水利水电第十工程局有限公司,四川成都 610072)

摘要:色拉龙一级水电站地处老挝南部,旱季白天气温较高,昼夜温差大。由于采石场岩性为砂岩且因砂岩骨料压碎值偏高,骨料吸水率大,混凝土配合比中水泥掺量相对较高,致使坝体水化热较大。鉴于气温和骨料的双重因素,该工程通过综合温控措施的应用,使混凝土的浇筑质量得到了较好的控制,各项温度指标满足设计要求。

关键词:高温气候;砂岩骨料;综合温控措施;混凝土质量控制;老挝色拉龙一级水电站

中图分类号:TV7;TV544;TV523

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2018)05-0042-04

1 概述

老挝色拉龙一级水电站以发电为主,主要建筑物由碾压混凝土重力坝、溢流坝、坝式取水口、坝后式发电厂房、主变 GIS 楼及尾水渠等组成。水库总库容 9.53 亿 m³,额定水头 46 m,电站装机容量为 70 MW,安装 2 台混流式机组,年平均发电量为 2.7 亿 kW·h。

枢纽区拦河大坝为碾压混凝土重力坝,混凝土坝顶全长 459 m,坝顶高程 219.5 m,最大坝高 64.5 m,从左岸至右岸依次为长 175 m 的左岸重力坝段,长 71 m,布置 4 个溢流孔的溢流坝段,长 19 m 的导流底孔坝段,长 34 m 的厂房进水口坝段,长 160 m 的右岸重力坝段。

该工程地处低纬度地区,属热带季风气候,流域内气候全年温和,受季风影响,降水年内分配极为不均衡,形成了明显的旱季和雨季。雨季一般从 5 月开始,至 10 月底结束。

根据对色拉龙一级水电站工程区直线距离约 150 km 的沙湾拿吉(Savannakhet)雨量站降雨资料进行统计,5~10 月降雨量达全年降雨量的 91.3%。流域多年平均气温为 22℃~26℃,年内 1

月份的气温最低,月平均气温为 14℃~21℃;4 月份的气温最高,月平均气温为 24℃~30℃,流域多年平均相对湿度一般在 70% 以上,多年平均日照小时数为 2 490 h。

2 实施温控措施的必要性

(1)砂岩骨料的应用。该工程采石场岩性为砂岩,砂岩原岩抗压强度较低,稳定性较差(较离散),成品骨料压碎值偏高,骨料线膨胀系数大,吸水率高。因砂岩作为混凝土骨料存在一些先天性的缺陷,配合比中水泥用量相对较高,致使坝体水化热较大。为了确保混凝土浇筑质量,必须采取有力的温控措施。

(2)工程区气候因素。该工程区地处老挝南部,旱季白天气温相对较高,昼夜温差较大,采用常规或单一的温控手段均不能满足设计混凝土温控技术要求。因此,需要将各项温控措施综合应用,用以控制混凝土出机口温度和坝体最高温度等主要温度指标,有效控制混凝土的浇筑质量。

3 混凝土温度控制标准

3.1 基础温差

混凝土基础容许温差见表 1。

表 1 混凝土基础容许温差控制标准表

/℃

基础约束范围		溢流坝段、底孔坝段、取水口坝段	左右岸挡水坝段 (4~9#、16~20#)	左右岸挡水坝段 (1~3#、21~23#)、厂房
0~0.2 L	碾压混凝土	14	14	18
0.2~0.4 L	碾压混凝土	16	16	18

注:L为浇筑块长边长度。

3.2 内外温差

常态混凝土内外温差控制≤19℃;碾压混凝土

土内外温差控制≤16℃。

3.3 容许最高温度

根据老挝色拉龙河流域气候特性以及设计温

收稿日期:2018-08-08

控技术要求,所允许的浇筑最高温度见表2。

4 混凝土温度计算

表2 大坝混凝土浇筑的允许最高温度表

/℃

大坝混凝土范围	强约束区 0~0.2 L	弱约束区 0.2~0.4 L	自由区 0.4 L 以上
溢流坝、底孔坝段、进水口坝段、左右岸挡水坝段(4~9#、16~20#)	允许浇筑温度 28	28	28
	允许最高温度 44	44	44

4.1 计算参数的确定

根据当地气象数据资料,每年4月气温最高,月平均气温为24℃~30℃,最高气温为35℃。计算采用的 T_a 为气温最高月份(4月)的日

平均气温30℃,最高气温为35℃。最高温度下材料温度和比热容参数见表3,混凝土配比见表4;混凝土浇筑温度 T_p 按照温控要求控制为28℃。

表3 混凝土材料参数表

物料名称	水泥	粉煤灰	砂	粗骨料	水	外加剂
物料比热 C Kcal/(kg·℃)	0.18	0.18	0.22	0.21	1	1
物料初始温度 T_i /℃	55	45	26	27	28	28

表4 混凝土骨料配比表

/kg·m⁻³

级配	水	水泥	粉煤灰	砂	大石	中石	小石	外加剂
C15 三级配碾压	80	88	72	587	588	582	277	1.6
C20 二级配常态	160	208	52	400	600	850	/	2.6

4.2 混凝土入仓温度计算

计算公式: $T_p = T_{B.p} + \theta_p \tau (T_a - T_{B.p})$

式中 T_p 取28℃; $T_{B.p}$ 为混凝土入仓温度,℃; θ_p 为混凝土浇筑过程中温度倒灌系数,取 $\theta_p = 0.002 \sim 0.003/\text{min}$; τ 为铺料平仓振捣至上层混凝土覆盖前的时间,min,取240 min; T_a 为混凝土运输时的气温,℃,取30℃。

计算得: $T_{B.p} = 26.1$ ℃。

4.3 出机口温度计算

计算公式:

$T_{B.p} = T_0 + (T_a - T_0)(\theta_1 + \theta_2 + \dots + \theta_n)$

式中 $T_{B.p}$ 取4.1中的计算值26.1℃; T_0 为混凝土出机口温度,℃; T_a 取30℃; θ_i ($i=1,2,3,\dots,n$)为温度回升系数,混凝土装、卸、转运每次 $\theta = 0.032$,混凝土运输时, $\theta = At$;式中 A 为混凝土运输过程中的温度回升系数,取0.0005; t 为运输时间,min,取16 min。

计算得: $T_0 = 25.6$ ℃。

因此,拌和站出机口温度只要低于25.6℃,即可满足混凝土浇筑温度不超过28℃的要求。

4.4 出机口温度热力计算

(1) 拌和站拌制混凝土产生的机械热计算公式:

$$Q_{\text{机}} = 10Nt/V$$

式中 $Q_{\text{机}}$ 为每m³混凝土拌和时产生的机械热,kcal; N 为HZS120拌和站搅拌机功率,为75 kW; t

为搅拌时间,2 min; V 为搅拌机容量,2 m³。

计算得: $Q_{\text{机}} = 750$ kcal。

(2) 混凝土出机口温度的计算。

根据热量守恒原理,可知拌和后的成品混凝土的总热量应加上拌和过程中产生的机械热,等于拌和前混凝土配料的总热量。

$$\sum T_i \cdot G_i \cdot C_i + Q_a = T_0 \cdot \sum G_i \cdot C_i$$

其中 T_i 为混凝土中各种配料的入机温度; G_i 为单位时间混凝土中各种配料的质量; C_i 为混凝土中各种配料的质量比热容; Q_a 为生产混凝土所产生的搅拌热,750 kcal/m³。

将表3、4中的数据代入上式,计算中的拌和水采用2℃的冷水,计算得:C20碾压混凝土出机口温度 $T_0^{\text{碾压}} = 24.01$ ℃,C15常态混凝土出机口温度 $T_0^{\text{常态}} = 25.32$ ℃。

根据4.2项的计算结果,混凝土出机口温度要求不高于25.6℃。根据4.3项的计算结果,C20常态混凝土和C15碾压混凝土采用加2℃冷水拌和,可以满足设计温控要求。

4.5 冷水机组的负荷计算

该工程高峰期浇筑强度为4.9万m³/月,其中常态混凝土为1.37万m³/月,碾压混凝土为3.53万m³/月,则每小时浇筑混凝土强度约122.5 m³/h,根据混凝土配比,每m³混凝土最大加水量约为102 kg(高峰期综合耗水率),混凝土生产需要的冷水温度为2℃,冷水机负荷计算如

下。

根据热量 Q 的计算公式:

$$Q = CM\Delta T$$

式中 C 为物质比热, kcal/kg · °C; M 为物质质量, m³/h; ΔT 为水温差, °C。

计算得每 m³ 混凝土需要冷水的负荷为:

$$Q = 1 \times 102 \times (28 - 2) \text{ kcal} = 2652 \text{ kcal}$$

则每 h 生产 122.5 m³ 混凝土所需的冷水负荷 Q_1 为:

$$Q_1 = 2652 \text{ kcal} \times 122.5 = 324870 \text{ kcal} \approx 378 \text{ kW}$$

考虑 1.3 的富裕系数, 需选择一台制冷量不低于 500 kW 的冷水机组。

5 混凝土温控综合措施

5.1 通水冷却

5.1.1 冷却水管材质

坝体内的冷却水管采用 HDPE 塑料管, 主管规格为: 内径 32.6 mm, 壁厚 3.7 mm, 外径 40 mm, 支管规格为: 内径为 28 mm, 壁厚为 2 mm, 外径为 32 mm。冷却水管的主要技术指标要求见表 5。

表 5 大坝采用的 HDPE 塑料冷却水管的主要技术指标表

项目	单位	指标
导热系数	kJ/(m · h · °C)	≥1.6
拉伸屈服强度	MPa	≥20
延伸率	%	极限时 >30%, 破坏时 >100%
纵向尺寸收缩率	%	<3
破坏内水静压力	MPa	≥2
弯曲半径	10 °C 条件下, 最小弯曲半径应不大于 0.5 m, 不卷折, 不破裂, 不渗漏	
液压试验	温度: 20 °C, 时间: 1 h, 环向应力: 11.8 MPa。不破裂, 不渗漏	

5.1.2 水管布置

(1) 基础约束区冷却水管垂直间距为 1.8 m, 水平间距为 1.5 m; 自由区冷却水管垂直间距为 3.6 m, 水平间距为 1.5 m, 单根蛇形支管的长度不大于 300 m。

(2) 冷却水管距上、下游坝面的距离一般要求为 0.8 ~ 1.5 m, 局部不应小于 0.5 ~ 1 m; 冷却水管距横缝面的距离一般要求为 0.8 m; 冷却水管距廊道、孔口、电梯井等内壁面的距离不应小于 0.5 m。

5.1.3 水管的连接与封闭

(1) 坝体内埋设的冷却水管接头采用膨胀式防水接头, 坝外供水管与各条冷却水管主管出口间的三通接头连接应采用定型的可靠产品。坝内冷却水管同一主管上不允许超过 6 个接头, 以防止接头漏水。

(2) 坝外供水管与各条冷却水管主管出口间的联结应随时有效, 同时利用支管阀门启闭控制某条水管的流量而不影响其他冷却水管的循环水。

(3) 水管使用结束后, 应先用 M30 的水泥浆对坝内冷却蛇形管进行回填灌浆, 再切除蛇形管的外露部分并将其处理至满足坝面美观要求为止。

5.1.4 通水冷却要求

(1) 采用天然河水, 通水流量为 1.2 ~ 1.5 m³/h, 通水日降温幅度不超过 1 °C, 通水天数根据温控设计要求为 28 d。

(2) 通水温度与混凝土温度的温差不大于 20 °C, 若混凝土温度回升过快、超过天然河水温度 20 °C, 则应当减小通水流量或切换水源, 采用常温水。

(3) 通水冷却时应严格控制混凝土的降温速率, 混凝土达到最高温度前, 可适当加大通水流量, 同时应采用中下部深度的河水作为通水冷却水, 冷却水池应采取遮阳措施; 为控制温度回升、减少上下层及内外温差, 应根据测温情况适时采取中期通水措施。

5.2 温度观测

(1) 温度测量内容包括: 混凝土原材料温度、出机口温度、浇筑温度、仓内气温及浇筑块内部温度等。

(2) 在混凝土浇筑过程中, 混凝土原材料温度、出机口温度、入仓温度和仓内气温至少 1 h 检测 1 次。

(3) 混凝土浇筑温度测量, 每 100 m² 仓面面积不少于 1 个测点, 每个浇筑层不少于 3 个测点, 每个测点至少配 3 支温度计, 分别布置在浇筑层面的上部、中部和下部。测点布置应考虑不同强度等级的混凝土部位; 同时应满足温控技术要求规定: 温度计埋设密度 ≥ 1 支/300 m², 且最少不低于 3 支。

(4)混凝土内部温度的永久观测。对于有预埋永久监测仪器的浇筑块内部温度的观测,应按相关要求要求进行。

(5)浇筑块未预埋监测仪器的混凝土内部温度测量。①对于未埋设永久监测仪器的,采用铜电阻温度计测温;②每个坝段在基础约束区每2~3个浇筑层应布置一支温度计,在非约束区每3~5个浇筑层应布置一支温度计,温度计布置在浇筑层厚度中部、浇筑块中央;③观测频次:开始浇筑~浇后7d,每6h测1次,温度出现高峰期间要加密观测。

5.3 其他温度控制措施

(1)常流水养护及表面保温。各部位混凝土浇筑后即开始安排专人两班制进行24h不间断的常流水养护,同时做好养护记录及交接班交底工作,确保所浇筑的混凝土面一直处于湿润状态,对底部强约束区具备条件的部位进行蓄水养护,坝体上下游面布置花管进行自动流水养护,对重要的结构部位采用土工膜覆盖保水养护。常流水养护及表面保温工作一直持续到混凝土达到设计龄期。

(2)优化配合比设计,控制水化热坝体温升。根据砂岩骨料强度较低、水泥用量较高的问题,从混凝土配合比设计入手,采取了多种手段降低水泥用量:一是更换高效减水剂。减水剂由原来的苏博特(粉末状、减水率为15%~18%)更换为HZ-03型聚羧酸高性能减水剂(液态、减水率为32%~34%),降低用水量和水灰比,从而降低了

(上接第12页)

φ40 cm 钢管,经设计人员重新进行闸门关闭时通气验算后,采用φ40 cm 钢管进行了代换优化。

6 结语

经过设计人员核算及四方讨论后,最终南湃水电站导流洞工程优化成功,施工期间,导流洞各个节点均满足度汛目标要求,大坝临时度汛断面1101 m 高程中期导流目标按期实现,2014年10月15日至2016年6月18日(持续20个月)圆满通过过流考验,下闸蓄水目标按期顺利完成,封堵工作也在下闸后提前完成且封堵效果非常好,该项优化的成功,为类似工程提供了工程经验。

水泥用量,减小了水化热。二是采用动态配合比。根据砂岩骨料磨耗性高,转运及搅拌过程中易产生石粉的特点,试验室通过磨耗试验确定各级骨料的实际磨耗率,进而确定混凝土骨料的真实级配,通过调整砂率等操作优化了配合比。

6 结语

该工程将砂岩料场作为混凝土骨料,由于砂岩的自身特性,为保证混凝土设计强度,配合比中水泥用量相对较高,进而产生了较大的水化热;同时,工程区地处低纬度地区,旱季白天高温,昼夜温差大,致使砂岩骨料与不利气候的双重因素叠加,给混凝土浇筑质量控制带来了一定的难度。鉴于此,该工程通过冷水机组生产2℃冷水拌制混凝土,保证了出机口温度达到设计要求;通过仓内埋设冷却水管,24h不间断的通水冷却,降低了坝体温度;通过在仓面埋设的铜电阻温度计实时监测坝体内部温度,及时调整通水流量和时间,使坝体最高温度和温度变化满足设计要求;通过常流水养护和重点部位土工膜覆盖保水养护,较好的控制了混凝土的浇筑质量。各项温控手段和措施在该项目得到了较好的实际应用,对今后东南亚同类型工程具有一定的参考价值。

作者简介:

胡清焱(1972-),男,四川蓬溪人,高级工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作的;

王抗(1974-),男,四川资阳人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作的;

张国寿(1988-),男,甘肃武威人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作的。

(责任编辑:李燕辉)

参考文献:

[1] 水利水电工程施工组织设计规范,SL303—2004[S].

[2] 水电水利工程施工导流设计导则,DL/T 5114—2000[S].

[3] 水利水电工程施工导流设计规范,SL623—2013[S].

作者简介:

胡清焱(1972-),男,四川蓬溪人,高级工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作的;

魏兴存(1987-),男,河北邯郸人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作的;

杜睿卿(1989-),男,陕西宝鸡人,助理工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作的;

李团威(1990-),男,河南商丘人,助理工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作的。

(责任编辑:李燕辉)