

文章编号:1001-4179(2012)04-0059-03

糯扎渡水电站泄洪洞混凝土温控施工工艺

阮 征,张 国 锋,薛 晓 华

(长江勘测规划设计有限责任公司 工程建设与监理公司,湖北 武汉 430010)

摘要:糯扎渡水电站泄洪洞前期混凝土浇筑发生贯穿性温度裂缝后,通过采用中热水泥取代硅酸盐水泥、优化混凝土配合比和“差异化”通水冷却等措施,即在混凝土升温过程中产生压应力的时段,通大流量低温水,以加快混凝土降温速度,尽可能降低混凝土温度峰值;在混凝土温度峰值过后的降温阶段,为防止通水降温与表面自然降温叠加导致降温过快,而使混凝土产生开裂,严格控制降温速率,适度提高水温和降低流量,使后期浇筑的右岸泄洪洞抗冲耐磨混凝土未产生裂缝。其具体做法可供同类工程参考。

关键词:抗冲耐磨混凝土;温控防裂;通水冷却;泄洪洞;糯扎渡水电站

中图法分类号:TV431 文献标志码:A

糯扎渡水电站位于云南省澜沧江干流,电站装机容量 5 850 MW。河道左右岸各布置 1 条泄洪洞,洞长分别为 956 m 和 1 076 m,最高运行水头为 125.6 m,最大泄洪流速为 47 m/s,具有“高水头、高流速、大泄量”等特点。

泄洪洞无压段及出口明渠底板和边墙采用 C₁₈₀55 (工程初期采用 C₉₀55)抗冲耐磨混凝土。

澜沧江下游属亚热带气候,全年分雨、旱两季。太阳紫外线强,雨水蒸发量大。工区多年平均气温 21.7℃,全年日昼温差较大,日温差不小于 20℃ 的平均天数占 58.8%。气温连续 1~3 d 骤降大于 5℃ 的次数最多月份发生在 5,11 月,分别约占总次数的 45.5% 和 18.2%。

1 温控设计标准

(1) 温控的设计值见表 1。

表 1 抗冲耐磨混凝土温控设计值

强度等级	弹性模量/($\times 10^4$ MPa)			极限拉伸值/($\times 10^{-4}$)			绝热温升/($^{\circ}$ C)		自生体积收缩/($\times 10^{-6}$)
	7d	28d	90d	7d	28d	90d	三级配	二级配	
C ₁₈₀ 55	3.36	3.56	3.82	≥ 0.95	≥ 1.0	≥ 1.1	41	48	≤ 30

(2) 容许最高温度。泄洪洞抗冲耐磨混凝土按不

同季节(雨季和旱季)和不同小区域气候环境(洞内和洞外),设计规定容许混凝土内部最高温度旱季(4~10月)为 45℃,雨季(11~3月)洞内 40℃、洞外 36℃。

(3) 混凝土内外温差不大于 20℃,浇筑温度不大于 19℃。

2 前期浇筑及裂缝成因分析

2.1 前期浇筑与温度裂缝情况

工程初期,选用普洱天壁 P.142.5 硅酸盐水泥、混凝土设计强度等级 C₉₀55、机口温度 16℃ 的混凝土,在左岸泄洪洞无压段进行浇筑。浇筑分仓长度 15 m,泵送入仓,坍落度为 12~14 cm,按设计规定对混凝土表面采用了保温措施。

施工完毕后,监测到混凝土内部(中间部位)最高温度为 65℃,内外温差高达 40℃。收仓后一周内,发现每个浇筑块产生了 1~2 条贯穿性温度裂缝。

2.2 混凝土内部温度状况

施工期间,将电阻式温度传感器埋在混凝土浇筑仓的中部区域,浇筑仓混凝土厚度为 1.5 m,传感器埋深分别 0.25,0.75 m 和 1.25 m。

C₉₀55 抗冲耐磨混凝土内部温升历时曲线如图 1,

测温数据特征值见表 2。

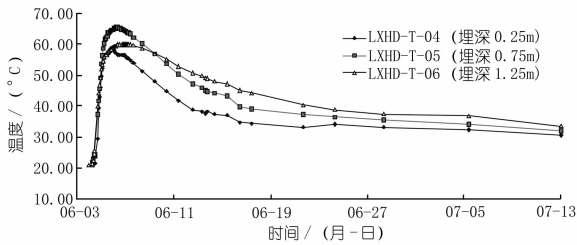


图 1 C₉₀/55 混凝土 (P. I 型水泥) 温升历时曲线

表 2 混凝土内部测温数据特征值

探头 编号	埋深/ m	浇筑温度/ (°C)	温度峰值/ (°C)	最高升温/ (°C)	峰值历时/ h	平均升温率/ (°C·h ⁻¹)	平均降温率/ (°C·h ⁻¹)	稳定温度 历时/d
T-04	0.50	21.5	58.10	36.60	35.67	1.03	-0.08	50~60
T-05	0.75	22.5	65.25	42.75	49.60	0.75	-0.08	50~60
T-06	1.25	20.75	59.85	39.10	64.67	0.56	-0.08	50~60

经对温升历时曲线和数据特征进行分析,泄洪洞抗冲耐磨混凝土内部温升有如下特点:

(1) 内部温度峰值高,中部区域达 65.25°C,混凝土水化热温升达 42.75°C。

(2) 升温快,平均每天达 18°C,出现温度峰值历时仅为 1.5~2.6 d,峰值过后开始降温,平均每天为 1.92°C。

(3) 混凝土中心温度峰值与建基面岩体温度(地温按 24°C 计算)之差达 41.25°C,与洞内月平均气温(按实测 5 月份洞口月平均气温 25°C 计算)之差达 40.25°C。

(4) 不同埋深的温度传感器所测温度峰值有明显差别,表明混凝土表面具有较好的散热效果。基岩也有一定的散热能力,但散热能力有限。

2.3 裂缝原因分析

混凝土内部早期为压应力,随着混凝土温度峰值的出现,混凝土表面开始降温,温度应力由压应力逐步转化为拉应力。即开始在混凝土表面及与基岩接触面形成较高的拉应力,当拉应力超过极限抗拉强度时产生裂缝。

导致混凝土产生裂缝的因素主要有:

(1) 水泥水化热值高,导致混凝土内部温度过高。混凝土出机口温度偏高,泵送混凝土坍落度大,水泥用量大,浇筑温度超标。

(2) 降温过快。实测平均每天降温达 1.92°C,降温过快的原因为内部温度过高及表面保温措施不到位。

(3) 混凝土表面保温措施不到位,遭遇气温骤降时,在混凝土表面产生较大拉应力,影响深度达 0.5 m,与温度应力叠加导致裂缝产生。

3 施工方案优化

3.1 用中热水泥取代硅酸盐水泥

采用优质中热水泥、高效减水剂并优化混凝土配合比,减少水泥用量。前期,左岸泄洪洞采用普洱天壁 P. I42.5 硅酸盐水泥,混凝土水化热较高,后改用祥云中热 42.5 硅酸盐水泥。

3.2 优化混凝土配合比

通过选用中热水泥、高效减水剂,降低混凝土坍落度,提高粉煤灰掺量比例及充分利用混凝土后期强度,对混凝土配合比进行了优化。优化前后的混凝土配合比比较见表 3。优化后的混凝土配合比,水泥用量相对减少了 83 kg/m³,用水量减少了 27 kg/m³。

表 3 优化前 C₉₀/55 与优化后 C₁₈₀/55 混凝土配合比

项目	坍落度/ mm	水胶 比	粉煤灰/ %	砂率/ %	减水剂/ %	引气剂/ %	混凝土材料用量/(kg·m ⁻³)					
							水	水泥	粉煤灰	砂	小石	中石
优化前	14~16	0.37	15	38	1.2	0.005	138	317	56	697	573	573
优化后	5~7	0.38	20	34	0.8	0.009	111	234	65	672	520	780

3.3 采用预冷混凝土

为了控制浇筑温度,对混凝土拌和楼的制冷系统进行了升级改造,提高了制冷能力,改造后混凝土拌和楼出机口温度可按 12°C~14°C 控制,有效降低了浇筑温度超标率。

为防止混凝土浇筑温度超标,施工过程中还采取了加快入仓速度、合理安排运输车辆并加强运输过程管理,运输车辆设置遮阳棚,浇筑仓搭设遮阳棚(洞外)。

3.4 采用“差异化”通水方案

(1) 冷却水管布置。冷却水管采用外径为 25 mm 的金属管,预先加工成弯段和直段两部分,在仓内拼装成蛇形管圈。冷却水管距周边、缝面、混凝土顶面的距离按 0.8~1.5 m 控制,铺设在每个浇筑层的中下部,间排距为 1.0 m×1.5 m。

(2) “差异化”通水方案。“差异化”通水方案的基本思路是:在混凝土升温阶段,利用升温过程混凝土产生压应力的时段,通大流量低温水,以加快混凝土降温速度,尽可能降低混凝土温度峰值;在混凝土温度峰值过后的降温阶段,为防止通水降温与表面自然降温叠加导致降温过快使混凝土产生开裂,严格控制降温速率,适度提高水温和降低流量。

根据泄洪洞抗冲耐磨混凝土浇筑温度与温升历时变化规律(图 1),前 5 d,通 10°C~13°C 低温水,流量大于 2.0 m³/h;5 d 后通 15°C~18°C 水,控制流量为

0.5 ~ 1.2 m³/h。

采用“差异化”通水方案后,前5 d通低温大流量制冷水,削峰效果明显,混凝土温度峰值被削减6℃~8℃。5 d后通过适当提高水温和控制通水流量,使降温速率控制在设计允许值0.5℃/d内。表4为左右岸泄洪洞抗冲耐磨混凝土采用“普通”与“差异化”方式通水冷却的数据特征值对比。

“差异化”通水方式较好地解决了混凝土既要快速削减混凝土温度峰值,又要防止降温过快的矛盾,通水降温效率明显提高。通水结束后,在混凝土表面缺陷检查时,除发现左岸泄洪洞出口明渠有少量裂缝外,右岸泄洪洞无压段和出口明渠均未发现裂缝。

表4 不同通水方式特征数据对比

部位	通水方式	温度峰值/ (℃)	5d前升温速率/ (℃·d ⁻¹)		5d后降温速率/ (℃·d ⁻¹)		达到目标温度 (28℃)历时/ d	裂缝检查情况
			平均值	最大值	平均值	最大值		
左洞	普通	45.4	5.28	6.70	0.378	0.51	46.0	少量
右洞	差异化	41.3	4.46	6.33	0.289	0.35	46.0	无裂缝

3.5 做好表面养护与保温

(1) 表面养护。高温季节,在底板混凝土抹面完成后,用喷雾器进行早期喷雾养护,在混凝土表面覆盖持水材料,再辅盖竹跳板,进行持水养护和表面保护,防止施工过程对混凝土表面的损坏。边墙养护采用挂

管喷水,设计龄期内不间断流水养护。

(2) 表面保温。保温材料选用2~3 cm厚聚乙烯发泡塑料卷材,为提高保温效果,在保温卷材表面再辅盖一层防水布。边墙混凝土拆模后,立即涂刷养护剂,粘贴3 cm厚聚苯乙烯泡沫塑料板。

采取上述保温措施后,底板保温层内外温差约12℃,边墙约10℃,较好地阻隔了气温变化对混凝土表面温度的影响,防止了混凝土表面降温过快。

(3) 防气温骤降。根据当地的气候条件,气温骤降主要集中在3,5,11月,以5月为预防重点。主要采取以下方法:加强混凝土早期保护,在3~5 d龄期内,当天气预报在2~3 d内日平均气温下降6℃~8℃时,就进行表面保温;低温季节拆模后立即进行保温;对洞口进行封堵,防洞内“穿堂风”,尽可能减少洞内气温受外界影响。

3.6 施工优化防裂效果

采取上述防护措施后,对右岸泄洪洞115个浇筑仓的通水冷却测温数据进行了统计。结果表明,混凝土温度峰值及闷温温度均低于设计允许值,在工程投入运行前对混凝土表面缺陷进行了检查,未发现温度裂缝,表明温控防裂工作收到了预期效果。

(编辑:徐诗银)

Temperature control technology of concrete of discharge tunnel of Nuozhadu Hydropower Station

RUAN Zheng, ZHANG Guofeng, XUE Xiaohua

(Construction and Supervision Company, Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China)

Abstract: The penetrated temperature cracks were found during the early concrete construction of discharge tunnel of Nuozhadu Hydropower Station. To avoid temperature cracks in the later concrete placement, the measures such as moderate heat cement substituting for Portland cement, optimizing mixture ratio of concrete and differentiation water cooling were adopted. The differentiation water cooling is that when temperature rises and concrete compression appears, large amount water cooling is used to lower the temperature peak; when temperature declines in later period, temperature decrease rate should be controlled, the water temperature should be increased and the discharge should be reduced, so as to prevent rapid cooling caused by superposition of water cooling and natural cooling. Therefore, no crack was found at the scour and abrasion resistant concrete of discharge tunnel at right bank.

Key words: scour and abrasion resistant concrete; temperature control; water cooling; discharge tunnel; Nuozhadu Hydropower Station