

桥巩水电站施工中的混凝土温度控制

王 涛,赖跃强,李光辉

(武汉长科工程建设监理公司桥巩监理部,湖北 武汉 430010)

摘要 总结介绍桥巩水电站混凝土施工中采取的温度控制措施:减少混凝土水泥用量、石料场堆高成品骨料高度,确保从料仓底部取料、冷水拌和混凝土、混凝土运输车厢全部加活动遮阳盖,提高运输速度以减少温度倒灌,在混凝土浇筑仓内采用移动式喷雾枪喷雾以形成仓内小环境降温 2~3℃,避开高温时段浇筑施工混凝土。实践结果表明,区域最高温度出现在 5~8 月的桥巩水电站在混凝土施工过程中,采用常规条件下自然温度浇筑通水冷却的方案是成功的。

关键词 混凝土施工 浇筑温度 温度控制措施 桥巩水电站

中图分类号:TV73 ;TV431 文献标识码:B 文章编号:1006-7647(2009)S2-0008-04

桥巩水电站的主体建筑包括发电厂房、船闸、泄水闸、重力坝等,最大坝高 67.0 m,混凝土浇筑量约为 108.36 万 m³。根据施工总进度计划,工程混凝土高峰月浇筑强度 6.25 万 m³/月,混凝土从 2005 年 12 月开始浇筑,要求 2007 年 8 月一期基坑混凝土施工基本完成。该工程混凝土施工具有工程量大、工期紧迫、强度高、工序多的特点,同时大多数为大体积混凝土浇筑,施工季节性强、受气温影响,温控要求严格。为保证混凝土高强度浇筑,桥巩电站总共布置了 3 座拌合楼:Ⅱ标布置了 2 座 HL120-2S1500L 型拌合楼,单座楼的理论生产能力为 120 m³/h;Ⅲ标布置了 1 座 HZS100 型拌合楼,其理论生产能力为 100 m³/h。3 座拌合楼的理论生产能力合计为 340 m³/h。综合各方面因素(仓面条件、拌合设备、人员组织等),实际生产能力取 0.75 的系数,则 3 座拌合楼的实际生产能力合计为 255 m³/h。

1 主要混凝土温度控制要求

桥巩水电站混凝土温度控制及施工技术要求有混凝土层间间歇时间、混凝土允许最高浇筑温度和混凝土浇筑后通过预埋冷却水管通水冷却 3 部分组成,分述如下。

2.1 常规混凝土浇筑层间间歇时间控制

为充分利用混凝土浇筑过程层面散热的有利条件,降低混凝土最高温升,防止混凝土开裂,一般间歇期按表 1 控制。

表 1 常规混凝土浇筑层层间间歇时间 d

层厚/m	12 月至翌年 2 月	3~5 月、9~11 月	6~8 月
1.0~1.5	3~6	4~8	5~10
2.0~2.5	5~8	6~10	7~12

1.2 混凝土允许最高浇筑温度

为控制混凝土的最高温升在各个月份都不超过允许标准,设计拟定各个部位的浇筑温度按表 2 控制。

表 2 各部位混凝土允许最高浇筑温度 ℃

部位	区域	12 月至 翌年 2 月	3 月、 11 月	4 月、 10 月	5 月、 9 月	6~8 月
泄水 闸坝	基础约束区	14	18	23	25	
	非基础约束区	16	19	24	28	28
左右岸接 头重力坝	基础约束区	14	18	23	25	26
	非基础约束区	16	19	24	28	28
船闸	基础约束区	14	18	23	25	26
	非基础约束区	16	19	24	28	28
厂房	基础约束区	14	18	23	25	
	非基础约束区	16	19	24	28	28

注 ①基础约束区指高度为浇筑块长边尺寸的 0.4 倍以内的区域。高度超过浇筑块长边 0.4 倍的区域为非约束区。②在混凝土龄期超过 28 d 的层面施工,一律按基础约束区控制浇筑温度。

1.3 桥巩水电站混凝土允许最高浇筑温度及存在的问题

桥巩水电站建有 2 座 HL120-2S1500L 型和 1 座 HZS100 型混凝土拌合楼,3 座拌合楼理论生产能力总计为 340 m³/h,无风冷骨料系统,仅有制冷能力为 158×10⁴ kcal/h 的制冷机,理论最大生产 3~7℃冷水 30 t/h 的陈旧设备。现有制冷设备只能抵消混凝

作者简介 王涛(1941—),男,山东济南人,教授级高级工程师,从事水电站建设管理工作。

土拌和过程及运输过程的混凝土温升,对混凝土浇筑温度影响微乎其微。故各部位混凝土允许最高浇筑温度无法实现。

根据桥巩水电站附近的来宾市、忻城县气象站资料统计,该区多年平均气温为 20.7~20.8℃。最高气温一般出现在 7 月、8 月;最低气温一般出现在 12 月、1 月及 2 月。各站多年逐月平均气温见表 3。

根据设计院全年各时段对各部位混凝土统计浇筑温度的划分,多年平均气温分别如下:12 月至翌年 2 月平均气温为 12.1℃,3 月、11 月平均气温为 16.75℃,4 月、10 月平均气温为 21.85℃,5 月、9 月平均气温为 25.9℃,6~8 月平均气温为 28℃。

表 3 来宾、忻城气象站多年逐月平均气温 ℃

月份	来宾站气温	忻城站气温	月份	来宾站气温	忻城站气温
1	11.0	11.1	7	28.5	28.5
2	12.3	12.1	8	28.2	28.0
3	16.0	16.3	9	26.6	26.4
4	21.1	21.0	10	22.6	22.4
5	25.2	25.1	11	17.5	17.4
6	27.3	27.2	12	12.9	13.1

注 来宾站多年极端最高气温为 39.6℃(1995 年 7 月 31 日),多年极端最低气温为 -3.3℃(1963 年 1 月 15 日),平均气温为 20.8℃;忻城站多年极端最高气温为 39.7℃(1971 年 7 月 22 日),多年极端最低气温为 -3.4℃(1963 年 1 月 15 日),平均气温为 20.7℃。

混凝土由砂、石料、水泥、煤灰、水、外加剂组成,全部材料温度随着气温和太阳辐射温升而变化,水泥的出厂温度此处忽略不计。根据广西气象局研究广西地区全年太阳辐射热温升变化在 2.81~4.49℃范围,全年坝面辐射温升平均为 3.71℃。根据该结果以及表 2、表 3 计算可知该区 5 月、9 月混凝土平均浇筑温度为 29.92℃,6~8 月混凝土平均浇筑温度为 32.31℃,见表 4。

表 4 按自然条件计算月平均浇筑温度汇总 ℃

时间	太阳辐射温升	月平均气温	混凝土月平均浇筑温度
12 月至翌年 2 月	3.14	12.10	15.44
3 月、11 月	3.40	16.75	20.15
4 月、10 月	3.64	21.85	25.49
5 月、9 月	4.02	25.90	29.92
6~8 月	4.31	28.00	32.31

注 因混凝土仓面气温高于气象站多年平均气温,并且未计混凝土拌和、运输温升,故表计算的混凝土浇筑温度低于实际混凝土浇筑温度。

各部位各时段混凝土浇筑温度按月平均浇筑温度计,均超出最高允许浇筑温度,现只拿高温时段加以说明。

各部位(泄水闸坝、左右岸接头重力坝、船闸、厂房)5 月、9 月的月平均浇筑温度均为 29.92℃,基础约束区超出允许温度 4.92℃(该区设计要求的混凝土

最高浇筑温度为 25℃),非基础约束区超过 1.92℃(该区设计要求的混凝土最高浇筑温度为 28℃),5 月、9 月气温高、太阳辐射影响大,即便夜晚进行混凝土浇筑,平均浇筑温度也在 30℃以上。

各部位(泄水闸坝、左右岸接头重力坝、船闸、厂房)6~8 月的月平均浇筑温度为 32.31℃,基础约束区超出允许温度 6.31℃(该区右岸接头重力坝及船闸部位设计要求的混凝土最高浇筑温度为 26℃),非基础约束区超过 4.31℃(该区设计要求的混凝土最高浇筑温度为 28℃)。

每年 6~8 月是桥巩水电站气温最高、太阳辐射最强的季节,实际每天 24 h 的混凝土浇筑温度都将超过 33℃,如何解决混凝土浇筑温度和混凝土质量控制问题应做深入研究。

2.4 通水冷却

全部冷却水管均用红水河水进行通水冷却,冷却时间要求持续 30 d。红水河水温(迁江水文站 1976~2002 年多年逐月平均水温)1 月,2 月,3 月, ..., 12 月分别为 15.7℃,15.4℃,17.5℃,20.9℃,23.9℃,24.9℃,25.6℃,26.1℃,25.7℃,23.8℃,21.1℃,18.0℃,21.6℃;多年平均水温为 21.6℃,历年极端最高水温为 29.8℃,极端最低水温为 11℃。

2 因地制宜解决高温季节混凝土浇筑问题

上述均为按坝区多年平均温度和坝区太阳辐射温升计算的各月最高平均混凝土浇筑温度。但 2007 年 4 月下旬现场实测混凝土浇筑温度为 29℃,比该区 4 月份平均最高浇筑温度 25.49℃高 3.15℃,现场实际的混凝土浇筑温度远远超过各部位最高允许浇筑温度。若为实现上述规定的各部位最高允许浇筑温度,将用数月时间和大量资金建设混凝土的制冷系统,客观条件不允许。笔者认为已采取了预埋冷却水管的混凝土温控方案,可不同时采取严格的混凝土允许最高浇筑温度要求。经业主召开专家咨询会议,同意采取一般混凝土温控条件下的自然温度浇筑方案。

一般混凝土温控条件下的自然温度浇筑采取了以下措施 ①减少水工建筑物内部温度最有效的办法是减少混凝土中的水泥用量,根据多个水电站坝内埋设温度计对比统计,每立方米混凝土每增加 6 kg 左右水泥,温度升高 1℃。为保证混凝土的质量,减少混凝土裂缝出现的可能,根据建筑物受力条件,分别采用 60 d 龄期和 90 d 龄期,以降低水泥用量。②砂石料场堆高成品骨料高度,确保从料仓底部取料,可降低骨料温度 3~4℃。③冷水拌和混凝土,用冷水厂生产的 3~7℃冷水拌制混凝土。④混

凝土运输车厢全部加活动遮阳盖,避免阳光直接照射到车内的混凝土,加强混凝土的运输管理,提高运输速度,减少温度倒灌。⑤仓内喷雾,在混凝土浇筑仓内采用移动式喷雾枪喷雾,形成仓内小环境降低浇筑温度2~3℃。⑥避开高温时段浇筑混凝土,全年利用低温季节9月至翌年4月多浇筑混凝土;5~8月高温季节避开中午太阳高辐射时段,11:00~17:00暂停混凝土浇筑。

3 实 例

将有代表性的5月、6月、8月施工的混凝土浇筑温度和最高温升的变化分别举例如下:①5月份浇筑的3号机进水口底板混凝土埋设温度计编号C3ST-2,桩号 $x = 0 + 395.6, y = 0 + 009.0$ 高程为41.70 m 浇筑初始温度为26.9℃、最高温度为40.8℃,见表5。②6月份浇筑的6号机进水口底板埋设温度计编号C5ST-3,桩号 $x = 0 + 342.8, y = 0 + 009.0$ 高程为43.125 m,浇筑初始温度为28.9℃、最高温度38.3℃,见表5。③8月份浇筑6号机尾水底板混凝土埋设温度计编号C5ST-7,桩号 $x = 0 + 342.8, y = 0 + 063.08$,高程为46.00m,浇筑初始温度为29.9℃、最高温度为41.0℃,见表5。

表5 2006年实测混凝土内部温度

3号机进水口底板 混凝土内部温度计 C3ST-2 实测		6号机进水口底板 混凝土内部温度计 C5ST-3 实测		6号机尾水底板 混凝土内部温度计 C5ST-7 实测	
日期	温度/℃	日期	温度/℃	日期	温度/℃
05-02	26.9	06-12	28.9	08-18	29.9
05-05	31.8	06-13	33.7	08-20	31.8
05-06	38.0	06-14	36.7	08-21	39.0
05-07	40.8	06-15	37.2	08-22	40.2
05-08	39.8	06-16	37.4	08-23	40.7
05-09	39.4	06-17	37.8	08-24	41.0
05-10	38.6	06-18	38.0	08-25	40.6
05-15	36.5	06-19	38.3	08-26	40.1
05-31	34.7	06-25	37.8	09-15	33.0
06-20	34.6	07-20	34.9	10-17	28.7
07-10	33.3	08-09	28.8	10-30	28.6
08-29	31.3	09-19	24.7	11-30	27.0
09-29	29.4	11-30	23.1	12-30	21.0

桥巩水电站采用常规温控措施的自然温度浇筑,在高温季节(5~8月)混凝土的浇筑温度控制在26.9~29.9℃,比预测的月平均最高浇筑温度(29.92~32.31℃)低3.02~2.41℃,说明常规温控措施是成功的。但是,浇筑温度都超过了设计要求的强约束区允许最高浇筑温度(25℃)。

一期通水冷却效果:厂房大体积混凝土设计要求埋设冷却水管,混凝土浇筑后4h开始通红水河水进行冷却,每24h改换一次通水方向,连续通水冷

却30d。广西水电科学研究院《混凝土热学性能试验报告成果》中C20 MPa混凝土绝热温升为24.4℃,这里就高温季节5月、6月、8月埋设温度计处的温度进行对比说明。

2007年5月7日浇筑3号机进水口底板埋设C3ST-2温度计,桩号 $x = 0 + 395.6, y = 0 + 009.0$,高程41.70m,浇筑温度26.9℃,C20 MPa混凝土绝热温升24.4℃。混凝土自然散热与浇筑块的上、下、左、右浇筑块温度倒灌二者均略不计,混凝土内部温度峰值为51.3℃,实测混凝土温度峰值为40.8℃,冷却水管通水冷却后,削减温度峰值10.5℃,浇后第60d混凝土内部温度下降到33.3℃,60d总计削减温度峰值18℃,见表6。

表6 2007年一期通水冷却削减混凝土温度峰值统计

温度计	日期	混凝土 浇筑 温度	C20MPa混凝土温度计				浇后60d	
			混凝土 绝热 温升	内部 最高 温度	实测 内部 温度	削减温 度峰值	实测 温度	削减 温度
C3ST-2	05-02	26.9	24.4	51.3	40.8	10.5	33.3	18.0
C5ST-3	06-12	28.9	24.4	53.5	38.3	15.2	28.8	24.7
C5ST-7	08-18	29.9	24.4	54.3	41.0	13.3	28.7	25.6

注 混凝土最高温度峰值=混凝土浇筑温度+绝热温升。忽略混凝土自然散热和混凝土浇筑块上、下、左、右浇筑块的温度倒灌影响。

2007年6月12日浇筑6号机进水口底板混凝土埋设C5ST-3温度计,桩号 $x = 0 + 342.8, y = 0 + 009.0$,高程43.125 m,浇筑温度28.9℃,实测最高温度为38.3℃,C20 MPa混凝土绝热温升为24.4℃,混凝土内部最高温度为53.3℃,温度计实测最高温度38.3℃,削减温度峰值15.0℃,浇后第60天削减温度24.5℃,见表6。

2007年8月18日浇筑6号机尾水底板混凝土埋设温度计,桩号 $x = 0 + 342.8, y = 0 + 063.08$,高程46.00m,浇筑温度29.9℃,混凝土绝热温升24.4℃。混凝土内部最高温度54.3℃,埋设温度计实测最高温度41.0℃,削减温度峰值13.3℃,浇后第60天削减温度25.6℃,见表6。

埋设温度计观测成果表明,设计通水冷却方案正确,冷却效果良好,在高温季节(5~8月)削减混凝土温度峰值10.5~15.0℃,浇后第60天混凝土温度下降到28.7~33.0℃。与最高温度比,削减了18~25.6℃。该结果充分说明由于通水冷却已达到削减混凝土温度峰值的设计目的,保证了混凝土质量,是厂房混凝土无裂缝的重要原因。

二期通水冷却效果:根据设计院混凝土二期冷却温度的要求进行冷却,各层混凝土的平均温度要求见表7,实测混凝土温度见表8。实测结果表明,二期冷却后使混凝土温度降低了4.4~4.9℃,基本

符合各层混凝土平均温度要求。

表 7 二期通水冷却各层混凝土平均温度

距底板 表面深度/m	混凝土 平均温度/℃	距底板 表面深度/m	混凝土 平均温度/℃
1.5~2.0	16.5	4.0~5.0	20.0
2.0~3.0	17.5	>5.0	21.0
3.0~4.0	18.5		

注 温度测定主要按水管闷管测温,并参照电子温度读数决定。

表 8 二期通水冷却实测混凝土温度 ℃

温度计 编号	实测混凝土温度				削减 混凝土 温度
	2006-12-10	2006-12-30	2007-01-18	2007-01-29	
C3ST-2	25.3	23.5	21.8	20.9	4.4
C5ST-3	25.3	23.5	21.8	20.9	4.4
C5ST-7	23.7	21.0	19.4	18.8	4.9

4 结 语

桥巩水电站位于广西红水河来宾地区,该地区

最高温度出现在 5~8 月,根据施工条件,一方面对常规混凝土浇筑层层间间歇时间有效控制;另一方面,因地制宜地从实际出发解决高温季节混凝土浇筑所面临的问题。实际运行结果表明,在该电站混凝土施工中,采用常规条件下自然温度浇筑通水冷却的方案是成功的。

参考文献:

[1] 余静理,杨小华.察汗乌苏水电站发电厂混凝土冬季施工技术[J].葛洲坝集团科技,2009(2):26-28.
[2] 张传仓,杨利民,周艳勤,等.大体积混凝土测温技术工程实践应用[J].混凝土,2007(4):101-102.
[3] 张兴春.大体积混凝土裂缝的产生原因及防治措施[J].山西建筑,2006(11):122-123.
[4] 李和军.大体积混凝土温度裂缝控制方法[J].中国科技信息,2005(6):100-101.

(收稿日期 2009-12-02 编辑 高建群)

致 作 者

为便于作者投稿,特将本刊的性质和对稿件的要求简要介绍如下:

- 1 本刊是一份科技期刊,主要刊登与水科学、水工程、水资源、水环境、水管理等有关的科技论文。因此,要求稿件内容有明确的主题,所介绍的科学技术有创新性、先进性和实用性。
- 2 本刊欢迎下列内容的稿件,特别欢迎各类基金资助项目及其他重大科技项目的研究论文。
- 2.1 水资源利用、配置、节约和保护,包括:水资源形成及时空变化规律研究;水资源利用与生态保护的协调关系研究;大型水利水电工程对河流生态系统的影响;水土流失侵蚀机理和产沙规律研究;地下水的合理开采和利用;水环境保护;水资源可持续利用的方式和对策;节水技术;水权、水价、水市场理论研究;新型水资源开发利用等。
- 2.2 江河的综合治理,包括:防洪减灾技术和策略研究;江河水沙关系的研究和水沙资源的利用;湖库清淤技术;河道整治等。
- 2.3 水利工程建设,包括:跨流域调水工程和大型水电工程建设中的关键技术;岩土高边坡稳定和强震区工程防护技术;水利工程的病害诊治和除险加固;水工混凝土寿命确定;堤防工程隐患探测及防冲加固技术等。
- 2.4 水利信息化,包括:现代信息技术的应用研究

- 和关键技术开发,以及用现代技术对传统水利实施技术改造等。
- 3 对稿件的一般要求如下(详细的撰稿要求请参考本刊《征稿简则》):
- 3.1 研讨“宏观水问题”的稿件,应力求观点鲜明,论证充分,有独到见解和指导意义。
- 3.2 “研究探讨”类稿件,应报道作者科学研究取得的科技新成果,包括有推广价值的新技术、新方法、新产品、新工艺、新材料等原创性成果。
- 3.3 “工程技术”类稿件,应报道工程规划、勘察、设计、施工、管理中具有创新性的技术和方法,包括有推广价值的技术革新成果和成功经验。
- 3.4 “专题综述”类稿件,应对某一学科、某一研究对象或某项技术的现状与发展进行综合、分析和评述,力求以丰富、翔实、最新的文献资料作为综述的依据,并阐明作者自己的见解或观点。
- 3.5 “国外动态”类稿件,一般以“编译”或“摘译”的形式介绍国外相关学科或工程建设的新进展。摘编时应注明原文出处,尊重原文的版权。
- 3.6 摄影稿件以工程摄影、水资源自然景观摄影为主,一般不刊登工作活动图片。
- 4 本刊提供广告服务,内容包括产品介绍、工程介绍及业务单位介绍等。