

桥巩水电站一期碾压混凝土围堰施工工艺

王 涛,付登宇,曾 飞

(武汉长科工程建设监理公司,湖北 武汉 430010)

摘要 针对桥巩水电站碾压混凝土围堰混凝土量总计 $174\,454.6\text{ m}^3$ 、总施工工期仅为 88 d、常态混凝土无法在汛前达到设计高程的情况,对该电站一期混凝土围堰采取适宜的施工工艺,将堰体常态混凝土改为碾压混凝土,混凝土中的粉煤灰可产生形貌效应、微粒效应、活性效应以及热学效应等;一期围堰工程使用的外加剂为缓凝高效减水剂(水剂),掺量为 1.5%,使用 YF 达到良好的预期效果;在胶凝材料总量已定的条件下,选定正确的 VC 值,并且闸墩浇筑采用滑模措施,提前 70 d 达到防洪高程。创造了全年连续施工条件。

关键词 碾压混凝土 混凝土温度控制 层间间隔时间 VC 值 自动加水补偿系统 围堰施工 桥巩水电站
中图分类号 TV551.3+2 **文献标识码** B **文章编号** 1006-7647(2009)S2-0016-04

桥巩水电站混凝土围堰施工采取分期导流措施,一期导流范围内施工项目有 11~14 号泄水闸、厂房、船闸、14 号和 15 号重力坝、左岸上坝公路。二期导流范围内施工项目有右岸上坝公路、右岸重力坝、保安电厂和 1~10 号泄水闸。一期围堰挡水标准为全年洪水重现期 5 年,洪水流量为 $16\,400\text{ m}^3/\text{s}$,上游水位为 86.12 m,上游围堰顶高程为 86.60 m,顶宽 6 m,长 180.14 m。纵向围堰由 11 号泄水闸及纵向围堰上、下游段 3 个部分组成。纵向围堰 11 号泄水闸长 133.0 m,纵向围堰上游段长 164.89 m,纵向围堰下游段长 159.08 m,纵向围堰总长 456.97 m。当 $16\,400\text{ m}^3/\text{s}$ 流量的洪水出现时,下游水位为 85.36 m,下游堰顶高程为 85.50 m。下游横向围堰长 117.28 m。一期围堰总长 754.4 m。一期碾压混凝土围堰工程量为 $117\,602\text{ m}^3$,其中常态混凝土工程量为 $20\,875.75\text{ m}^3$,碾压混凝土工程量为 $96\,726.08\text{ m}^3$ 。11 号泄水闸混凝土工程量为 $56\,853\text{ m}^3$,其中常态混凝土工程量为 $40\,163.2\text{ m}^3$,碾压混凝土工程量为 $16\,689.57\text{ m}^3$ 。这里所指的工程量为堰体抗冲耐磨层以下及部分导墙改压混凝土优化后的工程量。

11 号泄水闸堰体长 40 m,宽 27.5 m,最大浇筑面积为 $1\,100\text{ m}^2$,常态混凝土浇筑只有 1 台门机,按混凝土施工规范最少应分为 4 块,每块浇筑面积为 275 m^2 ,堰体齿槽高程为 47.00 m,底板高程为 50.00 m,堰顶高程为 60.00 m,与纵向围堰结合段需在 5 月 20 日

前浇筑到高程 85.50 m,见图 1。

1 碾压混凝土

1.1 粉煤灰在碾压混凝土中的作用

碾压混凝土逐渐被世界各国认同并大量推广使用。与常态混凝土相比,碾压混凝土具有水泥用量少、施工速度快、工程造价低、温度控制简单、施工设备通用性强等优点。粉煤灰是一种活性材料,在常温常压下水存在时与水泥反应生成稳定的不溶解的化合物并具有一定的胶凝性能,在碾压混凝土中产生 4 种效应。掺入的粉煤灰特有的颗粒形态和适宜的级配,使混凝土拌合物的工作性能和结构得到改善称之为“形貌效应”。粉煤灰颗粒在水泥浆体中发挥细而分散的微集料的物理和化学作用,对混凝土拌合物的和易性和硬化混凝土结构及物理力学性能所起的改善作用称“微粒效应”。粉煤灰与水泥化合过程中析出的轻氧化钙与部分硫酸钙起反应对水工混凝土有调整水泥标号、减少混凝土干缩、防止干缩裂缝产生的作用称为“活性效应”。掺入水泥中的粉煤灰水泥水化作用 7 d 后的粉煤灰颗粒表面上无明显变化,28 d 时开始看到初步水化的胶凝状化合物产生。此后的反应速度加快,90 d 以后粉煤灰颗粒表面开始出现大量的纤维状晶体,这些纤维晶体相互交叉连接,降低了水泥的水化热温升速度,削减水化热温升峰值的现象称为“热学效应”。桥巩水

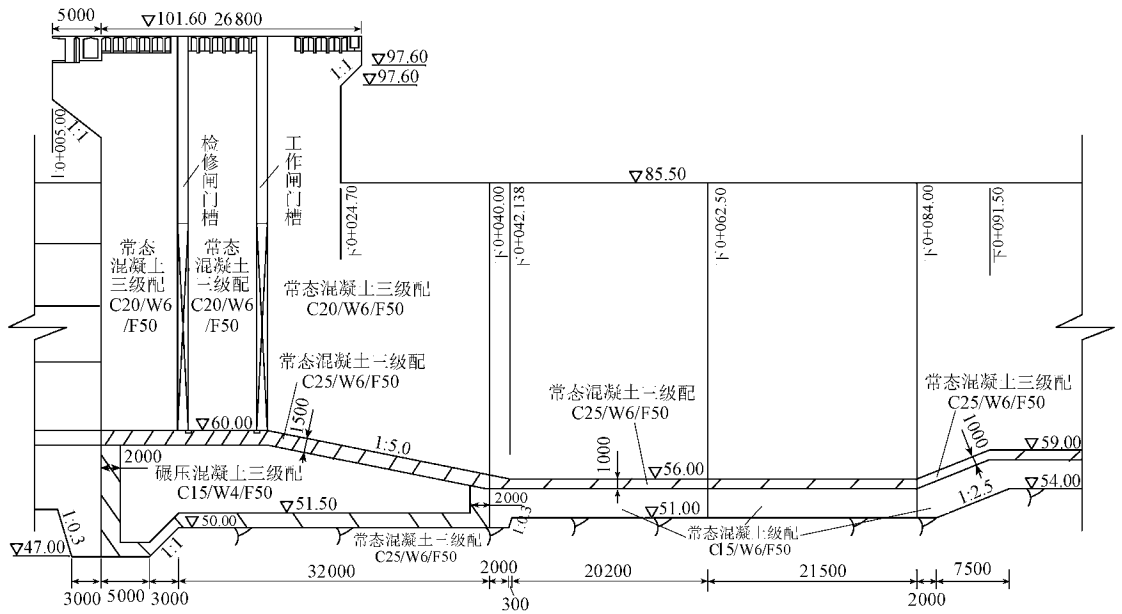


图 1 11 号泄水闸堰体立面图(高程单位：m,尺寸单位：mm)

电站用的粉煤灰来自来宾 B 电厂,有Ⅱ级粉煤灰和Ⅲ级粉煤灰。Ⅱ级粉煤灰用于永久建筑物的纵向围堰结合段 11 号泄水闸,Ⅲ级粉煤灰用于碾压混凝土围堰。为把好质量关,每批粉煤灰进场时都进行抽检,抽检不合格的粉煤灰不得使用,抽检项目有细度、含水率、烧失量、需水量比。抽检结果见表 1。

表 1 桥巩水电站粉煤灰主要技术指标								%
统计值	Ⅲ级粉煤灰				Ⅱ级粉煤灰			
	细度	含水率	烧失量	需水量比	细度	含水率	烧失量	需水量比
技术要求值	≤45	≤1	≤15	≤115	≤20	≤1	≤8	≤105
最小值	22.2	0.12	4.0	97.4	13.7	0.30	5.2	94.0
最大值	50.3	0.40	11.0	103.0	19.2	0.64	8.0	96.3
平均值	38.6	0.21	7.6	100.6	17.41	0.43	7.03	94.8

1.2 水泥

一期碾压混凝土围堰所用水泥为普通硅酸盐水泥,主要技术指标见表 2。

表 2 红水河牌 P.042.5 水泥质量抽检结果统计							
统计值	细度	标准稠度	安定性	凝结时间/h			
	%	%		初凝	终凝	抗折	抗压
技术要求值	≤10		合格	0.75	≤10	≥3.5	≥16.0
最小值	0.40	24.4		2.42	3.05	3.8	20.0
最大值	3.70	29.2		3.01	4.23	5.4	31.7
平均值	1.76	26.5	合格	2.75	3.52	4.7	26.8

1.3 外加剂

碾压混凝土中胶凝材料少,砂率较大,为了改善施工性能须掺入减水剂。掺入减水剂可以降低混凝土拌合物的 VC 值,改善其黏聚性和抗分离性能。同时为了适应碾压混凝土大面积连续浇筑的特点,延长碾压混凝土的初凝、终凝时间,用以减少冷缝出

现,提高浇筑分层间结合能力。此外,可以减缓水泥水化热速度,降低碾压混凝土早期绝热温升,削减温度峰值。美国上静水坝在掺 75% 粉煤灰的碾压混凝土中,掺减水剂与不掺减水剂第 120h 混凝土温度峰值降低 8°F,详见图 2。

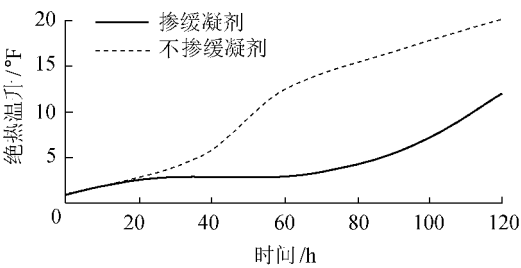


图 2 掺与不掺缓凝剂的碾压混凝土绝热温升曲线(初始温度 45°F)

桥巩水电站一期碾压混凝土围堰工程使用的外加剂为缓凝高效减水剂(水剂),掺量为 1.5%,17 组检测数据显示的 YF 外加剂主要技术指标如下:减水率为 20.1%~21.1%,泌水率比为 21%~97%,含气量为 2.2%~3.1%,初凝和终凝的凝结时间分别为 140~220 min 及 160~230 min,3 d,7 d 和 28 d 的抗压强度分别为 127~178 MPa,133~170 MPa,130~160 MPa,检测结果表明,使用 YF 外加剂达到了良好的预期效果。

1.4 混凝土骨料

1.4.1 细骨料

细骨料主要采用本工程砂石系统生产的人工砂,主要技术指标见表 3。

1.4.2 粗骨料

粗骨料主要采用本工程砂石系统生产的人工碎石,主要技术指标见表 4。

表 3 细骨料主要技术指标 %

统计值	细度模数	石粉含量	泥块含量	含水率
平均值	2.77	12.3	0	7.1
最大值	3.18	19.2	0	10.7
最小值	2.27	4.2	0	4.6

注 :用于细度模数、石粉含量及泥块含量的检测组数均为 1 054 组,用于含水率的检测组数为 3 038 组。

表 4 粗骨料检验结果统计 %

统计值	超径	逊径	含泥量	泥块含量	针片颗粒含量
平均值	2.4	3.2	0.2	0	3.3
最大值	7	10	1.2	0	10
最小值	0	0	0	0	0

注 :用于超径、逊径、泥块含量的检测组数均为 3 195 组,用于含泥量及针片颗粒含量的检测组数分别为 2 943 组和 3 033 组。

1.5 配合比

碾压混凝土围堰标号为 C10/W4 三级配,总胶凝材料用量为 156 kg,粉煤灰占总胶凝材料用量的 64.7%,为 101 kg。水泥为 55 kg,水灰比为 0.57,砂率为 34%,砂为 759 kg,级配碎石为 1 458 kg,YF 外加剂掺量为 2.34 kg,VC 值为 2~9 s。碾压混凝土围堰配合比见表 5。碾压混凝土采用汽车进仓,TY120 推土机平仓,SD150D 及 YZ20D 振动碾碾压,由于模板拉筋及斜面模板影响,振动碾无法靠近模板碾压振动。因碾压混凝土和易性差,振动器无法振动,只能采用变态混凝土(加浆配合比详见表 5),加浆前在碾压混凝土表面人工压钻直径 50 mm、深 300 mm 的孔洞,将水泥浆注入孔洞中,注浆量按 5%~7% 控制。强力振动器振动。变态混凝土范围垂直模板 0.5 m,斜面模板 1.0 m。施工分层缝按常规铺 M15

表 5 碾压混凝土配合比

类型	每立方混凝土或砂浆材料用量/kg						
	水胶比	水	水泥	粉煤灰	砂	石	YF 减水剂
RCC(三级配 C10/W4)	0.57	89	55	101	759	1458	2.34
C10 变态 RCC		632	1 108				16.6
M15 砂浆		245	220	94	1570		4.28

注 :RCC 设计 VC 值为 2~9 s,M15 砂浆稠度为 40~100 mm。

表 7 11 号泄水闸常态混凝土配合比

混凝土强度等级	级配	混凝土种类	水胶比		用水量/(kg·m ⁻³)	砂率/%	粉煤灰掺量/%	控制坍落度/mm	1 m ³ 混凝土组成材料用量/kg					
			计算	实际					水	水泥	粉煤灰	人工砂	级配碎石	YF 减水剂
C10/W4/F50	三	常态	0.64	0.57	112	32	40	30~50	112	105	91	666	1485	2.10
C15/W6/F50	三	常态	0.59	0.55	112	32	30	30~50	112	133	71	671	1479	2.28
C20/W6/F50	三	常态	0.53	0.53	112	31	25	30~50	112	158	53	661	1488	2.54
C25/W6/F50	三	常态	0.51	0.51	112	31	15	30~50	112	187	33	661	1487	2.64
C20/W6/F50	二	常态	0.53	0.53	135	35	25	50~70	135	191	64	710	1334	3.06
C30/W6/F100	一	常态	0.49	0.49	157	39.5	15	70~90	157	272	48	757	1 173	3.84

注 ①本配合比中,砂、石料均以饱和面干状态为基准,使用时需根据现场砂石骨料的实测含水率、细度、超逊径含量等换算成施工配合比进行使用。②混凝土材料用量按绝对体积法计算,各材料密度值分别为:红水河牌 P.042.5 水泥牌 3.00 g/cm³,来宾Ⅱ级粉煤灰 2.24 g/cm³,饱和面干人工砂 2.66 g/cm³,饱和面干碎石 2.69 g/cm³。③混凝土抗渗、抗冻等级为 90 d 龄期。

砂浆。11 号泄水闸碾压混凝土、系永久建筑混凝土标号 C15/W4 三级配。总胶凝材料用量为 175 kg,粉煤灰占胶凝材料用量的 46%,为 94 kg,水泥为 81 kg。水灰比为 0.51,砂率为 34%,砂为 754 kg,级配碎石为 1 476 kg,减水剂 YF 的掺量为 2.43 kg,设计 VC 值为 2~9 s,配合比见表 6。

表 6 11 号泄水闸碾压混凝土施工配合比

类型	每立方混凝土或砂浆材料用量/kg						
	水胶比	水	水泥	粉煤灰	砂	石	YF 减水剂
RCC(三级配 C15/W4)	0.51	89	81	94	754	1476	2.43
M15 砂浆		245	220	94	1570		4.28
C15 变态混凝土水泥浆		621	1 129				16.93

注 :RCC 设计 VC 值为 5~12 s,M15 砂浆稠度为 40~100 mm。

碾压混凝土与基岩间浇筑 1 层同标号常态混凝土,称垫层混凝土(表 7),以提高混凝土与基岩间的结合能力。常规的垫层混凝土施工方法,其基础验收后先浇垫层混凝土,间隔 3~5 d 再浇筑碾压混凝土。桥巩水电站一期围堰施工工期紧迫,为争取工期,部分浇筑块采用垫层混凝土与碾压混凝土同步浇筑的施工方法,即基础验收—仓面准备—签发开仓证—铺砂浆—常态混凝土—碾压混凝土,减少两者间仓面准备和层间间隔的时间,提高了碾压混凝土的浇筑速度。

1.6 碾压混凝土 VC 值

碾压混凝土是低胶凝材料的干贫性混凝土,需经过反复振动、碾压双重作用使砂浆液化,使骨料颗粒相互移动并充填达到密实。由于反复振动碾压,使混凝土骨料间的相互黏聚力、摩擦力减少,碾压混凝土逐步密实,胶凝材料在此过程中起到润滑作用,经初凝、终凝的演变,发挥胶结硬化作用,形成具有一定物理力学特性的碾压混凝土,这一特性称做 VC 值。

VC 值在碾压混凝土中是把双刃剑,VC 值大,碾压混凝土骨料间相互凝聚,摩擦力增大,难于压实,相应的强度降低,耐久性差。VC 值小,骨料间相互黏聚力、摩擦力明显减少,相应的强度耐久性有所下

降。在胶凝材料总量已定的条件下,正确选定 VC 值是影响施工质量、进度的重要因素。桥巩水电站碾压混凝土试验室内选定的 VC 值为 5~9 s。因桥巩混凝土拌合楼,无砂含水量检测和加水量自动补偿系统。又由于人工砂为湿法生产,砂仓小,混凝土浇筑强度高,使人工砂没有脱水时间和脱水条件。人工砂实测最高含水率最大为 10.7%,平均含水率为 7.1%,最小为 4.6%。

人工砂如此高的含水量,完全靠人工检测,补偿加水,给 VC 值控制带来很大的难度。经常因 VC 值小于 5 s 而停拌碾压混凝土,严重影响工程进度,影响 2006 年 5 月 20 日一期碾压混凝土围堰浇筑到防洪度汛设计高程 86.60m。为此决定将原定的 VC 值 5~9 s 改为 2~9 s,由于 VC 值降低,2 座拌合楼不能正常生产的问题得以解决,碾压混凝土产量直线上升。2005 年 12 月碾压混凝土生产量为 0.53 万 m³,2006 年元月产量上升到 1.49 万 m³,2006 年 2 月产量为 3.25 万 m³,2006 年 3 月产量为 4.98 万 m³,2006 年 4 月产量为 5.85 万 m³,2006 年 5 月产量为 4.3 万 m³,见表 8。

表 8 一期工程碾压混凝土围堰完成情况 万 m³

时间	一期围堰混凝土	厂房混凝土	混凝土合计
2005-12	0.53		0.53
2006-01	1.49		1.49
2006-02	3.25		3.25
2006-03	4.43	0.59	4.98
2006-04	5.05	0.8	5.85
2006-05	2.69	1.61	4.3

注:一期围堰混凝土包括碾压混凝土和常态混凝土。

2 结 语

a. 桥巩水电站 11 号泄水闸堰体为 8 层 4 块,层厚 1.5m,层间混凝土浇筑间隔时间为 3~6 d;层厚 2~2.5m,层间混凝土浇筑间隔时间为 5~8 d(表 9)。上下层间隔时间均取表 9 规定的天数平均值计算。齿槽部位高程 50.00 m 以下只有左右块,考虑浇筑及模板装拆最低间隔时间以 2 d 计,高程 50.00 m 以上以 4 d 计。

表 9 常态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	5~18	6~10	7~12

注 数据摘自广西电力工业勘查设计院《桥巩水电站工程混凝土温度控制及施工技术要求》第 5.2 条。

常态混凝土浇筑块受前、后、左、右的影响,以最快施工浇筑速度、最快拆模时间 4 d 计算。11 号泄水闸堰体改碾压混凝土后由于大面积整体连续浇筑

上升,不存在层间间隔时间,也不受前后、左右浇筑块和层间间隔时间的限制,总计缩短工期 70 d(见表 10),为二期碾压混凝土围堰汛前上升到设计高程创造了首要条件。

表 10 11 号泄水闸堰体常态混凝土改碾压混凝土缩短工期统计

层次 高程/m	层厚/ m	上下块混凝土 浇筑间隔 时间/d	左右块混凝土 浇筑间隔 时间/d	浇筑时间 合计/d	累计浇筑 时间/d
47.00~48.50	1.5	4.5	2	6.5	
48.50~50.00	1.5	4.5	2	6.5	13.0
50.00~51.50	1.5	4.5	4	8.5	21.5
51.50~53.00	1.5	4.5	4	8.5	30.0
53.00~54.50	1.5	4.5	4	8.5	38.5
54.50~56.50	2.0	6.5	4	10.5	49.0
56.50~58.50	2.0	6.5	4	10.5	59.5
58.50~60.50	2.0	6.5	4	10.5	70.0

注 ①高程 50.00 m 以下齿槽只有左右块,影响以 2 d 计。高程 50.00 m 以上分为 4 块,前、后、左、右影响最快 4 d;②层间间隔时间按广西电力工业勘查设计院《桥巩水电站工程混凝土温度控制及施工技术要求》第 5.2 条规定(文件编号 45063S-143-01)。

b. 调整碾压混凝土 VC 值:原经现场试验确定的碾压混凝土 VC 值选用 5~9 s。因湿法生产人工砂,无脱水时间,人工砂含水量高达 10.7%,平均含水量为 7.1%。又由于 3 座拌合楼均无砂含水量自动检测和加水量自动补偿系统,使碾压混凝土生产控制在 5~9 s 非常难,经常使拌合楼停产或是生产的碾压混凝土小于 5 s 而作为废料处理。岩滩大型水电工程实验证明,VC 值在 1~5 s,或有微量‘弹簧土’但振动碾能正常工作时的碾压效率最高,在此部位钻孔取芯,芯样找不到 0.3 m 的分层层缝并且芯样表面较光亮。随 VC 值增大可在芯样找到 0.3 m 的施工缝,VC 值等于 9 s 以上,0.3 m 施工分层,层缝非常明显,说明低 VC 值碾压混凝土和易性好,使骨料之间相互充填密实。一期碾压混凝土围堰 VC 值实测最小为 2.0 s,最大为 10.9 s,平均为 6.0 s,VC 值选择合理,见表 11。

表 11 三级配碾压混凝土 VC 值测定结果统计

统计值	坍落度/mm	VC 值/s	统计值	坍落度/mm	VC 值/s
最大值	65	10.9	平均值	41	6.0
最小值	25	2.0	设计值	30~50	2~9

注 坍落度检测次数为 1 232 次,VC 值检测次数为 1 987 次。测定结果合格率为 98%。

参考文献:

[1] 王晓燕. 碾压混凝土坝施工过程中的质量控制[J]. 广东水利水电,2009(6):69-73.
[2] 吴涌,陈浩. 浅谈碾压混凝土施工[J]. 四川水利,2009(3):11-13.

(收稿日期 2009-12-02 编辑 高建群)