

桥巩水电站一期碾压混凝土围堰施工中的混凝土质量控制

吴 浩¹,黄远锋²

(1.武汉长科监理公司 湖北 武汉 430010;2.广西水电工程质量检测中心 广西 南宁 530000)

摘要 :总结介绍桥巩水电站一期碾压混凝土围堰施工中对混凝土质量控制采取的措施 :工程所用的水泥、钢材等重要的原材料由业主指定质量较好、产品信得过的生产厂家 ,由施工单位采购 ;砂石料是利用基坑开挖的新鲜岩石加工而成的人工骨料 ;外加剂和粉煤灰由施工单位按规定采购。混凝土拌合物的混凝土施工配合比试验成果经监理审核批准后才能使用 ;混凝土生产过程中监理人员、施工单位试验人员、拌合楼操作人员以及实验室人员按照规定对混凝土配合比进行测量、试验以及检查以确保配合比的准确性 ,然后方可按照混凝土配合比进行生产 ,监理工程师对上述混凝土生产的质量管理过程进行监理 ,无论是碾压混凝土还是常态混凝土都要进行性能及强度检测 ,由检测结果得出混凝土的强度值以及混凝土的质量等级。

关键词 :RCC 围堰 ;混凝土施工 ;质量控制 ;质量分析 ;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)S2-0012-04

桥巩水电站位于广西来宾市迁江镇 ,是红水河梯级开发的第 9 座电站。枢纽以发电为主、兼有航运、灌溉等综合利用效益。电站正常蓄水位为 84.00 m ,死水位为 83.00 m。电站装机容量为 480 MW ,采用灯泡贯流式机组。机组转轮直径为 7.6 m ,装机 8 台。单机容量为国内同类最大。水库库容及电站装机容量均属二等工程 ,工程规模为大(2)型。

坝址枢纽主体建筑从左至右有左岸接头土坝、左岸刺墙及混凝土重力坝、船闸、发电厂房、泄水闸 ,以及右岸重力坝、接头土坝。按照施工导流 ,分二期施工。一期工程在碾压混凝土(RCC)围堰的保护下 ,主要修建左岸重力坝、船闸、发电厂房等工程。一期 RCC 围堰的运行期为 2 年 ,常年抵水。因此 ,一期 RCC 围堰能否按期投入使用以及工程质量如何对桥巩水电站的建设至关重要。

一期 RCC 围堰的设计标准为抵挡 5 年一遇洪水 相应的红水河流量为 16 500 m³/s。设计最高洪水水位上游为 86.12 m ,下游为 85.36 m。围堰按结构形式分为上游横向围堰、纵向围堰上游段、纵向围堰结合段(11 号泄水闸)纵向围堰下游段、下游横向围堰 ,以及上下游围堰接头土石坝 ,其中纵向围堰结合段为永久建筑。轴线全长 729.4 m ,共设 5 条结构缝、4 条伸缩缝。每道缝上、下游均设止水锌片。

堰顶高程从上游 86.60 m 过渡到下游 85.90 m。堰底高程依据开挖建基面从 47.00 m 至 72.00 m 不等。RCC 围堰的典型断面形式为梯形。上、下游围堰顶宽 5 m。纵向围堰顶宽 6 m ,其中纵向围堰结合段顶宽 3~9 m。围堰底宽按建基面高程不同 ,从 11.80 m 至 27.50 m 不等。以 1:0.3 的坡比向上收窄。RCC 上下游模板周边 1 m 范围注入 1:0.5 水灰比的水泥浆 ,形成常态混凝土作为防渗层。混凝土工程量为 17 万 m³。其中 C10w4RCC102 054 m³ ,基础填塘 C10w4 常态混凝土 9 456 m³ ,迎、背水面 C15w4 常态混凝土 1 415 m³ ,11 号泄水闸 C10w2 内部混凝土 6 350 m³ ,C15w6 基础填塘混凝土 23 820 m³ ,C20w6 迎水面混凝土 24 265 m³ ,C25w6 过流面混凝土 3 521 m³。混凝土施工配合比见表 1。

围堰模板主要采用大块悬臂钢模板 ,散装钢模板为辅 ,配以汽车吊和手拉葫芦提升。上游、下游围堰背水面则采用混凝土预制块错台堆砌的方式替代模板 ,与 RCC 同步上升。

RCC 采用 15 t 自卸汽车直接运到仓内 ,88 kW 推土机摊铺分层。松铺层厚 35 cm ,碾压层厚 30 cm。20 t 振动碾平碾 2 遍、振动碾压 6~8 遍。条带搭接 20 cm。模板(预制块)周边注浆 ,振捣器人工振捣密实。

11 号泄水闸采用滑模 ,以千斤顶组合 ,依托竖

作者简介 :吴浩(1941—)男 ,湖北武汉人 ,高级工程师 ,从事工程材料研究。E-mail :446560627@qq.com

表 1 一期 RCC 围堰工程混凝土配合比

混凝土等级	级配形态	配合比参数及材料用量/(kg·m ⁻³)									
		水灰比	水泥 用量	粉煤灰		用水量	YF 高效缓 凝减水剂	人工砂	石 头		
				等级	用量				D80	D40	D20
C10W4	三级配常态	0.57	105	Ⅱ	91	112	2.10	666	668	520	297
C10W4	三级配 RCC	0.57	55	Ⅲ	101	89	2.34	759	656	437	365
C15W2F50	三级配常态	0.55	133	Ⅱ	71	112	2.28	670	666	518	298
C20W6F50	三级配常态	0.53	158	Ⅱ	53	112	2.54	661	595	521	372

向钢筋提升。混凝土采用自卸汽车水平运输 ,转30t 高架门机垂直运输入仓 ,振捣器人工振捣。

1 混凝土材料质量控制

1.1 工程所用的原材料

为从源头控制工程质量 ,工程所用的水泥、钢材等重要的原材料由业主指定质量较好、产品信得过的生产厂家 ,由施工单位采购。砂石料是利用基坑开挖的新鲜岩石加工而成的人工骨料。外加剂和粉煤灰由施工单位按规定采购。

1.1.1 水泥

对进场水泥进行质量抽检。检验项目有细度、标准稠度、安定性、凝结时间、强度等物理性能。监理试验室共抽检水泥 38 组 ,结果见表 2。从检测结果看 ,红水河牌水泥细度较细 ,早期强度及后期强度均较高 ,28 d 抗压强度的标准差为 1.43 MPa ,是品质优良的水泥。

表 2 进场水泥监理单位质量抽检结果统计

统计值	细度/ %	标准 稠度/ %	安 定 性	凝结时间/min		3 d 强度/MPa		28 d 强度/MPa	
				初凝	终凝	抗折	抗压	抗折	抗压
				≥45	≤600	≥3.5	≥16	≥6.5	≥42.5
技术要求	≤10		合格	≥45	≤600	≥3.5	≥16	≥6.5	≥42.5
最小值	0.4	24.4		145	183	3.8	20.0	7.2	45.0
最大值	3.7	29.2		186	254	5.4	31.7	8.6	54.9
平均值	1.76	26.5	合格	165	211	4.7	26.8	7.8	51.1

1.1.2 粉煤灰

理论研究和工程实践证明 ,粉煤灰具有改善混凝土和易性、减少水化热、抑制碱骨料反应的作用。作为水工混凝土掺和料 ,具有重要的经济和技术意义。Ⅱ级粉煤灰主要用于 11 号泄水闸 ,Ⅲ级粉煤灰主要用于一期 RCC 围堰。一期 RCC 围堰工程合计使用Ⅲ级粉煤灰 9 210.58 t ,Ⅱ级粉煤灰 2 409.88 t。施工单位按每批不超过 200t 的频率进行验收检验 ,检验合格才可以入罐 ,并对监理部进行进场工程材料报验。同时 ,监理试验室按施工自检 20% 的频率 ,对进场粉煤灰进行质量抽检。检测项目有细度、含水率、烧失量、需水量比等。对检验不合格的粉煤灰 ,坚决不允许入罐 ,或者降级使用。施工单位共自检Ⅲ级粉煤灰 50 组 ,Ⅱ级粉煤灰 13 组。监理试验

室共抽检Ⅲ级粉煤灰 17 组、Ⅱ级粉煤灰 7 组。从检测结果看 ,粉煤灰细度变化较大 ,但需水量比较小 ,减水效果较好。

表 3 进场粉煤灰监理单位抽检结果统计

统计值	Ⅲ级				Ⅱ级			
	细度/ %	含水 率/%	烧失 量/%	需水 量比/%	细度/ %	含水 率/%	烧失 量/%	需水 量比/%
	≤45	≤1	≤15	≤115	≤20	≤1	≤8	≤105
技术要求值	≤45	≤1	≤15	≤115	≤20	≤1	≤8	≤105
最小值	22.2	0.12	4	97.4	13.7	0.3	5.2	94
最大值	50.3	0.4	11	103	19.2	0.64	8	96.3
平均值	38.6	0.21	7.6	100.6	17.41	0.43	7.03	94.8

1.1.3 钢材

钢材主要应用于纵向围堰结合段。施工单位按每批不超过 60 t 的量进行验收检验 ,检验合格才可以使用 ,并对监理部进行进场工程材料报验。同时 ,监理试验室按施工自检 20% 的频率对进场钢材进行质量抽检。检验项目有延伸率、屈服强度、抗拉强度、冷弯试验等力学性能指标。工程合计使用钢材 1 163.761 t ,施工单位共自检 HRB335 热轧带肋钢筋 50 组 ,自检 R235 热轧光圆钢筋 5 组。监理单位共检测 HRB335 热轧带肋钢筋 39 组、R235 热轧光圆钢筋 2 组 ,检测结果全部合格。

表 4 进场钢材监理单位质量抽检结果统计

统计值	HRB335 热轧带肋钢筋				R235 热轧光圆钢筋			
	延伸 率/%	屈服 强度	抗拉 强度	冷弯 试验	延伸 率/%	屈服 强度	抗拉 强度	冷弯 试验
	≥16	≥335	≥490	合格	≥23	≥235	≥370	合格
技术要求	≥16	≥335	≥490	合格	≥23	≥235	≥370	合格
最小值	26	355	510		27	320	475	
最大值	36	455	630		30	355	530	
平均值	30.5	382.6	568.9	合格	28.8	337.5	502.5	合格

1.1.4 外加剂

工程所用的外加剂为 YF 缓凝高效减水剂。施工单位按每批不超过 100t 的频率进行验收检验 ,检验合格才可以使用 ,并对监理部进行进场工程材料报验。同时 ,监理试验室按施工自检 20% 的频率 ,对进场的外加剂进行质量抽检。检验项目有减水率、泌水率、凝结时间差、抗压强度比等。工程合计使用 YF 缓凝高效减水剂 256.938 t ,施工单位共自检 9 组。监理单位抽检 1 组 ,YF 高效缓凝减水剂 ,检测结果如下 :掺量为 1.5% ,减水率为 21.5% ,泌水

率比为 66% ,凝结时间差初凝为 188 min、终凝为 179 min 抗压强度比 3 d 为 153%、7 d 为 143%、28 d 为 136%。检测结果表明 ,该外加剂减水率在 20% 以上 ,延长凝结时间效果较好 ,但泌水量变化较大。

1.1.5 砂石料

砂石料是利用基坑开挖的新鲜石灰岩加工而成的人工骨料。施工单位对细骨料(人工砂)每班进行 1 次检测细度模数、石粉含量、含泥量、泥块含量等指标 ,合计检测 314 组。监理试验室也进行了抽查。检测数据表明 ,人工砂的细度模数在 2.77 左右 ,且波动较小 ;石粉含量平均在 12.5% 左右 ,含泥量较低 ,泥块含量为零。施工单位对粗骨料(大、中、小石)按同规格每天进行 1 次检测超径、逊径、针片状、含泥量、泥块含量等指标 ,合计检测各种规格的骨料 888 组。监理试验室也进行了抽检。检测数据表明 ,骨料的超逊径、针片状含量较小 ,含泥量较低 ,无泥块含量 ,压碎指标合格。

1.2 混凝土拌合物

1.2.1 混凝土配合比

施工单位试验室在监理的见证下 ,以与工程实际使用完全一致的原材料对不同强度等级及抗渗要求的混凝土 ,在满足最大限制水灰比、最少粉煤灰掺量等规程规范和设计文件要求的条件下 ,进行混凝土施工配合比试验。混凝土施工配合比试验成果经监理审核批准以后才能使用。

1.2.2 混凝土生产的质量控制

监理要求施工单位对砂石骨料的含水率、细度模数、超逊径等进行测定。根据测定结果和经监理审批的混凝土配合比 ,及时调整混凝土拌和用水量和砂石骨料的用量 ,由施工单位试验人员 2 人分别计算、核发混凝土生产配料通知单 ,拌合楼操作人员依据混凝土生产配料通知单每次定秤以后 ,再由试验室人员检查无误方可开始生产。每班称量前校正零点 ,中心控制室每班检查称量误差 2 次。监理工程师对上述混凝土生产的质量管理过程进行监理 ,以确保原材料称量偏差符合规范要求 ,拌和时间符合规定的要求。混凝土水灰比经抽查验算 ,符合设计要求。

RCC 是一种半干硬、干硬混凝土 ,其工作性不再用传统塑性混凝土的坍落度表示 ,现行规范用 VC 值表示。坍落度与 VC 值是混凝土拌和质量的直接体现。坍落度的控制范围为 3 ~ 5 cm ,VC 值的控制范围为 5 ~ 9 s。施工单位按规定频率进行测定 ,同时监理试验室也对混凝土坍落度与 VC 值进行抽查。共检测坍落度 406 次 ,合格率为 95.7% ,检测 VC 值 551 次 ,合格率为 94.5%。检测结果表明混凝土拌合物的质量控制较好。

1.3 混凝土工程质量情况及评价

1.3.1 混凝土施工质量

在业主、设计、监理、施工单位对开挖岩石建基面进行联合验收合格的基础上才能进行混凝土施工准备。对每个混凝土施工单元 ,施工单位在钢筋制安、模板工程、止水片、机电埋件、混凝土施工缝(岩石基础)等工序质量自检合格的基础上 ,报请监理验收 ,经监理验收合格后才能进行混凝土浇筑施工。混凝土浇筑过程中 ,监理工程师进行旁站监理 ,及时指出存在的问题并要求施工单位改进。对碾压混凝土施工 ,监理除了对摊铺厚度、碾压遍数、振动碾行走速度等碾压参数进行监理以外 ,对每个碾压层还要进行压实度检测并进行见证 ,合格以后才允许进行下一层的施工。压实度检测采用核子密度仪进行 ,对每个碾压层面 ,每 100 ~ 200 m² 检测 1 次。压实度设计值为 2 450 kg/m³ ,实测 1 521 个点 ,结果压实度为 2 450 ~ 2 540 kg/m³ ,平均值为 2 471 kg/m³ ,合格率为 100%。混凝土浇筑完成以后 ,监理要求施工单位及时进行混凝土养护。

1.3.2 混凝土性能及强度检测

无论是碾压混凝土还是常态混凝土 ,施工单位按不超过 500 m³ 取样 1 组的频率进行了 28 d 抗压强度检验。同时 ,监理按施工自检 20% 的量进行了抽检。检验结果见表 5。

表 5 混凝土 28 d 抗压强度检验结果

部位及混凝土等级	组数	施工自检		组数	监理抽检	
		28 d 抗压强度/MPa			28 d 抗压强度/MPa	
		范围	平均值		范围	平均值
围堰 C10W4RCC	106	12.8 ~ 23.7	17.4	22	16.4 ~ 24.4	19.25
围堰填塘 C10W4	57	10.9 ~ 23.8	17.5	23	15.5 ~ 26.3	21.2
11 号坝 C15W2F50	35	17.7 ~ 28.7	22.3	7	21.5 ~ 30.4	25.5
11 号坝 C20W6F50	11	22.4 ~ 30.7	26.2	3	28.5 ~ 35.1	32.5
11 号坝 C25W6F50	4	27.7 ~ 30.4	28.6			

施工和监理单位检测混凝土抗渗标号 ,结果均为合格。尽管设计中对抗拉强度没有提出要求 ,监理试验室还是做了检测供参考。检测 C10 常态混凝土 28 d 抗拉强度 4 组 ,结果为 1.13 ~ 1.98 MPa ,检测 C10 碾压混凝土 28 d 抗拉强度 2 组 ,结果为 1.07 ~ 1.57 MPa。

同时 ,还部分检测了 90 d 龄期的抗压强度 ,以判断混凝土强度增长情况。结果表明 :90 d 强度均比 28 d 强度有较大增长 ,增长率为 20% ~ 64% 之间 ,粉煤灰掺量与强度增长率成正相关关系 ,掺Ⅱ粉煤灰增长率略高于Ⅲ级粉煤灰。

1.3.3 混凝土质量分析评价

对施工自检混凝土强度实验结果分别进行了标准偏差 σ_0 、概率度系数 t 、合格判定系数 K 的计算 ,以及强度平均值判据 $f_{cu,k} + K\sigma_0$ 和强度最小值判据

$f_{cu\ min}$ 保证率 P 的计算 ,计算过程及方法依据《水工混凝土施工规范》的规定进行。其中 ,11 号坝 C25W6F50 混凝土的强度标准差 σ_0 的计算值为 1.2 ,小于 $0.06f_{cu\ k}$ 按规定取值 $0.06f_{cu\ k}$ 为 1.5。结果见表 6。

表 6 施工自检混凝土强度计算结果

部位及混凝土等级	标准偏差 σ_0	概率度系数 t	合格判定系数 K	平均值判据 $f_{cu\ k} + K_{\sigma_0}$	最小值判据 $f_{cu\ min}$	离差系数 C_v	强度保证率 P
围堰 C10RCC	1.6	4.63	0.20	11.5	8.5	0.092	≥ 99.9
围堰填塘 C10	2.0	3.75	0.20	11.5	8.5	0.114	≥ 99.9
11 号坝 C15	2.2	3.32	0.20	16.5	12.75	0.099	≥ 99.9
11 号坝 C20	2.8	2.21	0.28	21.7	18	0.106	≥ 97.7
11 号坝 C25	1.5	3.00	0.50	27.3	22.5	0.052	99.9

混凝土质量包括 2 个方面 ,其一是要符合《水工混凝土施工规范》及《水工碾压混凝土施工规范》关于验收批强度的规定 ;其二是按 SDJ249.1—88《水利水电工程单元工程质量等级评定标准(试行)》的规定 ,确定作为中间产品的混凝土质量等级。

a. 验收批强度。对照表 5 和表 6 看 ,这 5 批混凝土的施工自检平均强度均大于平均值判据 $f_{cu\ k} + K_{\sigma_0}$,强度最小值均大于最小值判据 $f_{cu\ min}$,均符合混凝土强度检验验收批的规定。监理抽检结果也符合验收批的规定。

b. 混凝土质量等级。按照 SL—176—1996《水利水电工程施工质量评定规程(试行)》的规定 ,工程验收的质量等级要达到优良 ,混凝土拌合物的质量必须达到优良。混凝土拌合物的质量标准 SDJ249.1—88《水利水电工程单元工程质量等级评定标准(试行)》有具体规定 ,分别考核混凝土拌合物质量和混凝土试块质量。

混凝土拌合物质量的主要考核指标为 3 项 ,分别是原材料称量偏差符合规范要求的频率 ,符合规定拌和时间的频率 ,混凝土水灰比符合设计要求的频率 ;次要考核指标也是 3 项 ,分别是为砂子含水量控制在 6% 以内的频率 ,混凝土坍落度符合设计要求的频率 ,混凝土出机口温度符合设计要求的频率。本工程人工砂含水量达到合格水平 ,其他 5 项指标均达到优良水平。

混凝土试块质量的考核指标主要是混凝土强度保证率。3 批可以评定质量等级的混凝土强度保证率均 90% 以上 ,达到优良等级。其次指标有 3 项 :其一为抗压强度最低值 ,3 批混凝土的抗压强度最低值均大于设计标号的 90% ,达到优良水平 ;其二为抗压强度离差系数 ,3 批混凝土的设计标号小于

200 ,离差系数均小于 0.18 ,达到优良水平 ,其三为抗拉及抗冻、抗渗指标符合设计要求。

1.3.4 验收结论

2006 年 6 月 1 日下午举行桥巩水电站一期围堰竣工验收会议 ,检查验收认为 :桥巩水电站一期围堰工程从 2005 年 4 月开始基础开挖到 2006 年 5 月 ,经过 1 年多的艰苦奋斗 ,施工单位克服了施工中出现种种困难。由于施工单位、监理单位及业主的共同努力 ,设计单位也积极配合、优化设计 ,尽量给施工带来方便和提出了简化施工的措施 ,施工单位按业主要求完成了预定的任务 ,按设计要求形成了 2006 年汛期防洪挡水线。工程施工从原材料开始层层把关 ,各道工序都做到精心施工、严格要求 ,在监理工程师严格监督下完成。因此 ,工程质量状况较好。一期围堰为 1 个单位工程 ,分 5 个分部工程 ,除开挖及基础处理分项工程须补全检查孔试验数据作质量评定外 ,其他 4 个分项合格率为 100% ,综合优良率达到 90.2%。工程通过验收 ,围堰可以挡水。

2 结 语

桥巩水电站一期碾压混凝土围堰工程建成以后 ,经受了 2 个汛期的考验 ,有效地保护了左岸基坑的施工进行 ,证明工程的设计与施工是成功的 ,工程质量较好。

a. 碾压混凝土具有施工快速便捷、温控措施简单的优越性。RCC 可以采用自卸汽车直接入仓 ,推土机摊铺 ,振动碾压实。主要施工方法和土方填筑类似 ,利用土方施工机械实现混凝土快速、高强度施工。可以实现通仓浇筑 ,浇筑完成以后可以采用切割 RCC、埋设沥青衫板等方式造缝 ,实现连续浇筑。使用高效缓凝减水剂结合高掺粉煤灰 ,拌和用水量大幅度减少。使得 RCC 的每立方米水泥用量减少到 55 kg。这样 RCC 的水化热和坝体内部温升大幅度减少 ,不必采取埋设冷却水管等温控措施。

b. RCC 层面结合是关键。一期碾压混凝土围堰在汛期高水位运行时堰体局部有渗漏水现象 ,说明渗漏水部位的层间结合不好。可以通过消除局部骨料分离、晴热天气防止 RCC 干白等措施解决该问题。

参考文献 :

[1] 万福磊 ,黄达海 .向家坝碾压混凝土二期纵向围堰温控措施研究[J].云南水力发电 ,2007(5):39-44.
[2] 郭光文 ,王章忠 ,沙保卫 .三峡工程三期围堰施工技术综述[J].水力发电 ,2005(10):17-19.
[3] 张曙光 .三峡工程三期 RCC 围堰工程[J].中国工程科学 ,2003(11):79-81.

(收稿日期 2009-12-02 编辑 高建群)