

倒流河水库大坝碾压混凝土现场碾压试验研究

潘红岭, 胡瑞, 牛亚东

(中国水利水电第五工程局有限公司, 四川 成都 610066)

摘要:介绍了倒流河水库双曲拱坝碾压混凝土施工工艺试验过程,通过工艺试验,对碾压混凝土配合比及施工参数进行了验证,最终确定了室内试验选定的混凝土配合比的合理性以及碾压混凝土施工工艺及相关施工参数,确保了工程施工质量。

关键词:倒流河水库;双曲拱坝;碾压混凝土;施工工艺

中图分类号:TV7;TV52;TV43;TV522

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2018)04-0098-04

1 概述

倒流河水库工程位于距叙永县城 83 km 的观兴乡海水村 5 社的倒流河墨鱼尖处。工程挡水坝为碾压混凝土双曲拱坝,坝顶高程 1 043 m,坝顶宽 7 m,坝顶弧长 191.29 m,最大坝高 60 m,坝底宽 20 m,建基面高程为 983 m。

坝体上游为 150 cm 厚 C₁₈₀20W6F50 二级配富胶碾压混凝土,下游为 C₁₈₀20W4F50 三级配碾压混凝土,坝体上游迎水面及下游背水面均为 50 cm 厚 C₁₈₀20W6F100 变态混凝土。

为确定倒流河水库大坝工程碾压混凝土的施工工艺、碾压施工参数并验证室内试验选定的混凝土配合比的合理性,进行了现场碾压试验。

(1)碾压混凝土试验场地尺寸为 16 m × 20 m,场地布置在大坝上游高程 995 m 平台上。试验场施工前先将场地用水清洗干净,表面不能有积水。现场采用反铲反复碾压拍平,然后浇筑 20 ~ 30 cm 厚的 C20 垫层混凝土找平。碾压混凝土采用自卸汽车直接入仓的方式,在入仓口前铺设长 10 m,宽 4 m 的碎石作为脱水路段,对自卸汽车轮胎进行冲洗。

(2)试验场地分为 2 个区,共分 4 层填筑,每层厚度为 30 ~ 40 cm,第一层与第二层为连续上升层,第二层顶面为施工缝层面;第二层间歇层养护 24 h 后打毛处理,铺设砂浆后再进行第三层的填筑,第三、四层连续上升填筑。第三层填筑后间歇 6 h 铺筑砂浆或水泥净浆后,再进行第四层的铺筑。

(3)现场由技术人员用红漆在模板边上标记

铺料控制高程线、压实控制高程线、试验分区线、混凝土标号分区线、条带宽度等参数指标,以便于仓内指挥人员及施工人员准确识别。

(4)沿试验场地周边依次铺设 50 cm、100 cm 厚的变态混凝土、二级配 C20 富胶碾压混凝土、三级配 C20 碾压混凝土并布置分缝线等,具体布置情况见图 1。

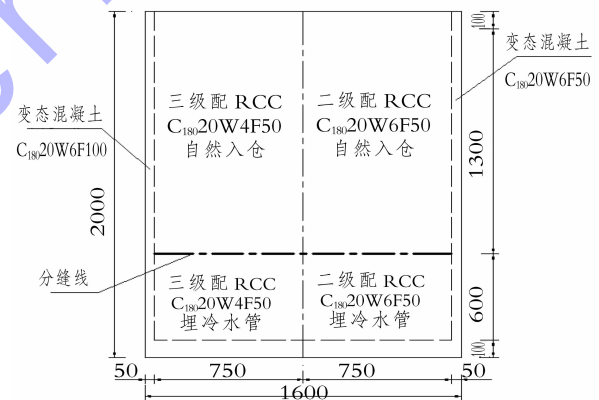


图1 碾压混凝土试验场地平面布置图

试验的目的:

- (1)验证室内试验选定的配合比的合理性。
- (2)总结碾压混凝土施工工艺及参数,包括:拌和、运输、摊铺厚度、碾压遍数、层面处理、变态混凝土施工工艺试验等。
- (3)确定满足施工用的碾压混凝土 V_c 值。

2 原材料的选择及碾压混凝土配合比

2.1 原材料的选择

试验用水泥采用四川宜宾瑞兴实业有限公司生产的“重龙山”牌 P. O42. 5 普通硅酸盐水泥。粉煤灰采用四川泸州地博粉煤灰开发有限公司生

产的Ⅱ级粉煤灰。外加剂采用山西凯迪建材有限公司生产的KDNOF-2型缓凝高效减水剂与KDSF型引气剂。骨料为倒流河墨鱼尖筛分拌和场加工的黑串沟料场人工骨料,人工砂的细度模数为2.77~2.89,石粉含量为19.8%~20.4%。

原材料经检查均满足质量要求。

2.2 碾压混凝土配合比

本次现场碾压混凝土试验主要针对坝体迎水面变态混凝土、二级配富胶碾压混凝土及三级配碾压混凝土进行,其配合比见表1。

表1 碾压混凝土现场试验配合比表

混凝土设计强度等级	级配	粉煤灰掺量/%		水胶比		每 m ³ 混凝土/砂浆材料用量 /kg·m ⁻³						每 m ³ 变态混凝土加浆量 /L·m ⁻³	湿容重 /kg·m ⁻³			
		碾压混凝土	变态浆液	碾压混凝土	变态浆液	水	水泥	粉煤灰	砂	小石	中石			大石	KDNOF-2	KDSF
C ₁₈₀ 20W6F50 (富胶)	二	50	/	0.5	/	91	91	91	817	626	764	/	1.456	0.054 6	/	2 480
C ₁₈₀ 20W4F50	三	55	/	0.5	/	83	75	91	765	446	594	446	1.328	0.049 8	/	2 500
C ₁₈₀ 20W6F100 (变态)	二	50	45	0.5	0.48	91	91	91	817	626	764	/	1.456	0.054 6	50	1 680

3 碾压混凝土施工工艺试验

3.1 工艺流程

碾压混凝土施工流程:

测量放线→立模→仓号清理→仓号验收→混凝土拌和、运输→混凝土入仓、摊铺→碾压→养护→缝面处理→转下一层施工工序。

3.2 碾压混凝土的拌和、运输及入仓

碾压混凝土试验的材料拌制采用1×3 m³的HZS120型强制拌和站,设计拌和能力为120 m³/h,每次拌和2 m³碾压混凝土时需用的拌和时间为60 s。拌和采用人工砂-水泥-粉煤灰-水-外加剂-小石-中石-大石的投料顺序。

碾压混凝土运输采用20 t自卸汽车运输入仓,入仓前用高压水将车胎冲洗干净,冲洗时间约3 min。

3.3 卸料、摊铺及碾压

采用多点式退铺法式卸料,卸料的最大高度不大于1.5 m,料堆高度不大于80 cm。将碾压混凝土料直接卸在层面上,由小松D31P推土机摊铺,后续的来料卸在平好仓的混凝土面上,对卸下的碾压混凝土料应及时进行摊铺,采用这种卸料方式可以降低料堆高度,可有效减少骨料分离。

现场碾压试验共分四层填筑成型,第一层铺料厚度为35 cm,第二层铺料厚度为40 cm;第三、四层铺料厚度为35 cm,每层铺筑采用红漆在模板上分别标出铺料高程线、压实高程线,进而控制铺料平仓及压实高度。将铺料高程控制在35 cm、40 cm(图2)。

在每一条带碾压层摊铺机摊铺一定距离后进



图2 碾压混凝土摊铺作业示意图

行碾压作业。主要采用BW202AD双钢轮振动碾碾压,振动碾自重10.724 t,振筒宽度为2.136 m,试验区一、二层连续碾压,铺层厚度为35 cm、40 cm,压实厚度为30 cm、35 cm。第三层在第二层施工缝上铺筑2 cm厚的砂浆或水泥净浆后铺筑碾压,摊铺厚度为35 cm,压实厚度为30 cm。第四层在第三层初凝缝上铺筑2 cm厚的砂浆或水泥净浆后进行铺筑碾压,摊铺厚度为35 cm,压实厚度为30 cm(图3)。

碾压试验要求振动碾以1 km/h的行走速度碾压,条带在碾压过程中搭接20 cm。碾压条带以2遍无振+6遍、8遍、10遍不同的有振+2遍无振的压实遍数碾压,采用核子密度仪分别测试不同工况条件下的压实度。

为达到设计规定的压实度容重,第一层(35 cm)以1 km/h速度行走,以无振2遍,有振6遍、8遍、10遍,无振2遍进行碾压。首先



图3 碾压混凝土振动碾压作业示意图

以2+6+2遍碾压,其次以2+8+2遍碾压,最后以2+10+2遍碾压,在每次碾压完成后用核子密度仪进行压实度检测。经检测,2+6+2遍碾压后已满足压实度98%的设计规定要求。

第二层(40 cm)以1.5 km/h速度行走,以无振2遍,有振6遍、8遍、10遍进行碾压。首先以2+6+2遍碾压,其次以2+8+2遍碾压,最后以2+10+2遍碾压,碾压完成后用核子密度仪进行压实度检测。经检测,2+8+2遍碾压后已满足压实度98%的设计规定要求。

第三、四层(35 cm)以1 km/h速度行走,以无振2遍、有振6遍、无振2遍进行碾压(即2+6+2遍)。碾压完成后用核子密度仪(测试深度25 cm)进行压实度测试,检测结果满足设计要求。压实度检测结果见表2。

表2 碾压混凝土压实度及容重检测表

层数	级配	条带	V_c 值/s	混凝土温度/°C	气温/°C	压实度/%	碾压遍数	容重/ $g \cdot cm^{-3}$
1	二	1	4.8	27.6	27	95.9	2+4+2	2.482
						98.9	2+6+2	
						99.6	2+10+2	
2	三	6	4.3	28	26.1	97.2	2+4+2	2.479
						98.7	2+6+2	
						101.4	2+10+2	
3	二	3	4.0	27.5	25	98.7	2+8+2	2.475
						99.2	2+8+2	
4	三	8	3.7	27	24.8	99.2	2+8+2	2.485
						99.2	2+8+2	
3	二	3	3.7	26.8	28.5	98.5	2+6+2	2.468
						98.9	2+6+2	
4	三	5	3.9	27.1	27.9	98.9	2+6+2	2.483
						98.9	2+6+2	
3	二	4	4.4	27.3	25.3	99.6	2+6+2	2.492
						99.6	2+6+2	
4	三	7	4.1	26.8	29.6	99.4	2+6+2	2.476
						99.4	2+6+2	

3.4 变态混凝土施工

本次碾压试验为模拟大坝碾压混凝土施工,在碾压混凝土试验仓号四周模板附近浇筑变态混凝土,变态混凝土施工宽度分别为1 m、0.5 m,长度方向(20 m)变态混凝土宽度为0.5 m,宽度方向(16 m)变态混凝土设置为1 m。

变态混凝土浆液采用制浆机拌制,加浆的配合比采用室内试验确定的配合比,在加浆前由试验室抽取浆液进行现场检测,检测结果满足要求后,加浆量按5%(碾压混凝土体积的百分比)进行加浆。第一阶段第一层变态混凝土主要采用人工在平仓后挖10 cm深的槽、均匀定量向槽内洒浆液,采用 $\phi 100$ 振捣棒振捣;第一阶段第二层及第二阶段第三、四层变态混凝土采用平仓后在其表面均匀定量的洒浆液,加浆完成后均采用 $\phi 100$ 插入式振捣棒进行振捣,振捣至变态混凝土表面翻浆均匀,振捣棒拔出时,混凝土表面不留空洞。

根据本次碾压混凝土试验变态混凝土的施工情况,确定变态混凝土的加浆量以4.5%、

5%、5.5%控制,变态混凝土的坍落度达到10~20 mm左右为宜。变态混凝土的振捣以先碾压相邻部位的碾压混凝土、再振捣变态混凝土的方式为宜。

3.5 碾压混凝土层面的处理

本次碾压混凝土试验第一阶段与第二阶段的结合面按施工缝进行处理,在第一阶段碾压结束后24 h进行冲毛处理,冲毛采用高压水枪清除其表面的浮浆及松动骨料;对于高压水枪无法清除的部位采用人工凿毛,凿毛完成后采用高压水枪将仓号清洗干净。在第二阶段施工前,进行摊铺厚度为2~3 cm砂浆的处理(立即在砂浆表面摊铺碾压混凝土)。

第二阶段第三层碾压完毕、混凝土初凝前铺筑砂浆或水泥净浆后进行第四层碾压混凝土的铺筑。

3.6 碾压混凝土的养护

碾压混凝土早期强度低,需在混凝土终凝后开始养护,混凝土表面采用麻袋并洒水养护。

4 碾压混凝土 V_c 值的控制

根据现场碾压试验,将碾压混凝土出机口 V_c

值控制在 3 ~ 5 s,入仓时 V_c 值控制在 5 ~ 7 s,碾出的混凝土表面平整光滑,有利于碾压混凝土的层间结合。

碾压混凝土 V_c 值的损失程度与碾压混凝土运输时间、运输距离、施工速度、环境温度、湿度、

风速等环境气候条件有很大关系。气温越高,损失越快;时间越长,损失越大。

本次碾压混凝土试验对两种工况(中夜班、白天晴天多云无阳光直射) V_c 值损失情况进行了统计分析,试验结果见表 3。

表 3 碾压混凝土 V_c 值损失检测结果表

序号	层数	拌和站			仓 面			运输历时 /min	V_c 值损失 /s		
		测试时间 h: min	机口 V_c 值 /s	气温 /°C	混凝土温 /°C	测试时间 h: min	入仓 V_c 值 /s			气温 /°C	混凝土温度 /°C
1		18:30	4.5	27.7	27.3	18:50	4.8	27	27	20	0.3
2	一、二	19:10	3.7	27	27	19:35	4.2	26.8	27	25	0.5
3		20:15	3.2	26.8	27	20:40	3.7	26.2	26.7	25	0.5
4		21:20	3	26.2	26.5	21:40	3.4	25.8	26.5	20	0.4
5		20:10	3.2	28.5	26.8	20:22	3.8	27.9	27.4	22	0.6
6	三、四	21:15	3	27.9	27.1	21:35	3.5	27.4	26.6	20	0.5
7		07:50	3.3	25.3	27.3	08:10	3.7	24.8	26.9	20	0.4
8		08:20	3.3	29.6	26.8	08:35	3.9	28.9	27.4	15	0.6

试验数据表明:碾压混凝土出机口 V_c 值均在 3 ~ 5 s 范围内。混凝土运输时间较短时,碾压混凝土 V_c 值损失相对较小,且随气温升高和运输时间的加长, V_c 值损失也逐渐增大。

为控制碾压混凝土 V_c 值,在外部气温较高的情况下,可在拌和站混凝土拌和时加水调整 V_c 值;在运输过程中,对自卸汽车搭设凉棚,防止阳光暴晒;另外,在仓内喷雾以保持空气湿润,进而减少 V_c 值的损失。

5 碾压混凝土浇筑温度的控制

为降低碾压混凝土内部温度,现场试验对冷却水管的降温效果进行了测试,在三层底部施工面上埋设了一层冷却水管,采用外径 HDPE32 mm,壁厚 2 mm,导热系数 ≥ 1.65 kJ/(mh°C),拉伸屈服应力 ≥ 20 MPa,纵向回缩率 $\leq 3\%$ 的高密度聚乙烯管,“U”形布置,埋设间距为 1.5 m,布设宽度为 6 m,长度为 16 m,水管的进出口预留在模板外侧,通水时间为 30 d,其降温效果较好(图 4)。

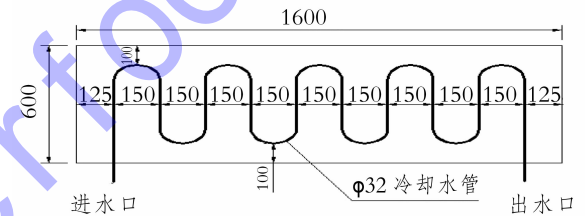


图 4 冷却水管平面布置图

6 碾压混凝土取芯试验

在碾压混凝土达到 15 d 龄期后进行了钻孔取芯。主要采用专用的岩芯取芯钻机,芯样直径为 150 mm,取芯长度为 400 mm,满足规范要求。在钻孔取芯时,严格按照监理工程师的布孔编号进行钻孔,对芯样进行编号,从取芯结果看,芯样表面光洁、气泡极少、骨料分布均匀、清晰可辨、结构密实。

混凝土芯样经检测均满足设计要求。芯样外观描述及检测结果统计情况见表 4。

表 4 混凝土芯样检测结果表

混凝土设计强度等级	级配	外观描述	抗压强度 /MPa	极限拉伸值 / 10^{-6}	弹性模量 /GPa	备注
C ₁₈₀ 20W6F50 (富胶)	二	表面光洁、无气泡、骨料分布均匀、结构致密,间歇层结构明显	29	99	41.9	
C ₁₈₀ 20W4F50	三	表面光滑、稍有气泡,骨料分布均匀,结构致密,间歇层结构明显	30	85	41	

(下转第 114 页)

端板中心重合后即可进行焊接。焊接时,先焊支臂两侧的腹板与前端板的立焊缝,后焊支臂上下翼缘板的平、仰焊缝,最后焊接抗剪板。焊接时,采用偶数焊工在四个端板上同时对称施焊,并用塞尺随时检查主横梁与前端板之间的接触间隙以及抗剪板的顶紧、靠严情况,发现问题要及时汇报并采取相应的措施予以处理。

弧形闸门全部焊接完成后进行焊缝探伤检查,弧形闸门外形尺寸的检测包括弧形闸门半径、高度和宽度以及面板弧度是否符合设计要求,然后安装弧形闸门水封橡皮、侧轮等附件,补涂损坏的油漆并涂刷最后一道面漆等,最后向监理提供检测资料、申请弧形闸门安装验收。

(7)弧形闸门启闭机安装后进行弧形闸门启闭试验,启闭机与弧形闸门连接后将弧形闸门提起,采用碳弧气割除支撑平台和工作平台,按照监理工程师的指示进行启闭试验。弧形闸门试验在启闭机试验后进行。

9 结 语

(上接第101页)

7 结 语

通过本次试验,取得了合理的施工参数、对室内试验选定的配合比进行了验证并熟练掌握碾压混凝土施工工艺,达到了试验目的。

(1) 碾压混凝土配合比。

碾压混凝土工艺试验所采用的混凝土配合比可满足碾压混凝土现场施工的可碾性要求。

(2) 投料顺序及拌和时间。

碾压混凝土投料顺序为:人工砂-水泥-粉煤灰-水-外加剂-小石-中石-大石,碾压混凝土拌和时间均为60 s。

(3) V_c 值控制。

碾压混凝土的 V_c 值控制应根据施工时的气候环境及仓面的施工情况进行动态控制。综合考虑碾压混凝土的铺料厚度有所增加,出机口 V_c 值可按3~5 s控制,最终将入仓 V_c 值控制在5~7 s范围。

(4) 振动碾行走速度及碾压遍数。

在满足碾压混凝土达到相对压实度的基础

笔者介绍了根据弧形闸门安装的限制条件、在确保质量和安全的前提下,利用预埋型钢达到水上非常规安装弧形闸门的的目的,同时,结合多种起重设备的协同、配合作业,保证了工期的顺利实现。该方案的顺利实施,成功解决了水电站弧形闸门安装因受汛期影响带来的工期滞后问题,具有一定的借鉴价值,为今后类似作业提供了宝贵经验。

参考文献:

- [1] 程嘉佩,等,合编.材料力学[M].北京:高等教育出版社,1989(1996重印).
- [2] 江正荣,著.建筑施工计算手册(第2版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2001.
- [3] GB/T3811-2008,起重机设计规范[S].
- [4] 张质文,等,主编.起重机设计手册[M].北京:中国铁道出版社,2013.
- [5] 《电力行业标准汇编·水电卷》编辑委员会,著.金属结构设计[M].北京:水利电力出版社,1994.

作者简介:

李刚(1979-),男,四川南充人,工程师,从事水电工程金属结构制安、机电技术和管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

上,既要保证层间结合质量,使碾压混凝土表面全面泛浆,又要适应现场快速施工需要。

当铺料厚度为35 cm、振动碾的行走速度为1 km/h时,所确定的最佳碾压遍数为:无振碾压2遍加有振碾压6遍加无振2遍,可满足仓面碾压混凝土的压实度要求。

当铺料厚度为40 cm时,应严格控制振动碾的行走速度在1.5 km/h以下,所确定的最佳碾压遍数为:无振碾压2遍加有振碾压8遍加无振碾压2遍,可满足仓面碾压混凝土的压实度要求。

参考文献:

- [1] DL/T5433-2009,水工碾压混凝土试验规程[S].

作者简介:

潘红岭(1986-),男,河南濮阳人,项目总工程师,工程师,学士,从事水电工程施工技术与管理工作;

胡瑞(1990-),男,四川苍溪人,助理工程师,学士,从事水电工程施工技术与管理工作;

牛亚东(1989-),男,甘肃庆阳人,助理工程师,学士,从事水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)