

金安桥大坝碾压混凝土芯样及原位抗剪试验

李迪光¹, 李金磊¹, 刘相鑫²

(1. 金安桥水电站有限公司, 云南 丽江 674100;

2. 汉能控股集团有限公司开发管理部, 北京 100031)

摘要: 根据设计要求, 对金安桥水电站大坝碾压混凝土钻孔取芯, 检测芯样性能, 进行现场原位抗剪试验。检测结果表明, 芯样外观光滑致密, 骨料分布均匀, 力学性能、极限拉伸和耐久性均满足设计要求; 压水试验透水率小于 1Lu; 刷新了在同一个碾压混凝土钻孔中取出 3 根超过 10 m 的芯样纪录。现场原位抗剪试验表明, 大坝碾压混凝土层(缝)面接合良好, 满足抗滑稳定要求。大坝碾压混凝土工程质量满足设计要求, 整体质量良好。

关键词: 碾压混凝土; 芯样; 压水试验; 原位抗剪试验; 金安桥水电站

Concrete Core Sampling and in-situ Shear Test for Jin'anqiao RCC Dam

Li Diguang¹, Li Jinlei¹, Liu Xiangxin²

(1. Jin'anqiao Hydropower Station Co., Ltd., Lijiang 674100, Yunnan, China;

2. Hanergy Holding Group Limited, Beijing 100031, China)

Abstract: The three recorded concrete core samples with length more than 10 m were obtained in the construction of Jin'anqiao RCC dam. The checks and tests show that: (a) sample appearance is smooth and dense, and the aggregate is evenly distributed; (b) the mechanical properties, ultimate tensile strength and durability meet the design requirements; and (c) the permeability rate gained by water pressure test is less than 1 Lu. The in-situ shear tests show that the interfaces (joints) of RCC lifts have a good bonding and meet the requirement on sliding stability. The RCC engineering quality meets the design requirements and the overall quality is good.

Key Words: RCC; core sample; water pressure test; in-situ shear test; Jin'anqiao Hydropower Station

中图分类号: TV431(274)

文献标识码: A

文章编号: 0559-9342(2011)01-0001-03

0 引言

金安桥水电站碾压混凝土重力坝最大坝高 160 m, 坝顶长 640 m, 坝体共分 21 个坝段, 大坝混凝土工程量约 360 万 m³, 其中碾压混凝土 242 万 m³。碾压混凝土于 2007 年 5 月开始浇筑施工, 2009 年 12 月底浇筑完成。按照设计要求, 进行大坝碾压混凝土钻孔取芯和压水检查试验。通过对碾压混凝土芯样进行物理力学性能、耐久性试验及压水检查, 并结合大坝碾压混凝土现场原位抗剪试验, 综合评价金安桥水电站大坝碾压混凝土的施工质量。

1 原材料及混凝土技术指标

金安桥水电站大坝碾压混凝土所用水泥为永保

42.5 中热硅酸盐水泥, 粉煤灰为攀枝花利源厂生产的 II 级粉煤灰, 骨料为左岸砂石加工系统生产的玄武岩人工骨料。碾压混凝土采用 ZB-1Rcc15 缓凝高效减水剂, 引气剂为 ZB-1G。碾压混凝土的设计技术指标见表 1。

表 1 碾压混凝土设计技术指标

序号	混凝土等级	极限拉伸值/ $\times 10^{-6}$	级配	使用部位
1	C ₉₀ 20W8F100	75	二	大坝上游面
2	C ₉₀ 20W6F100	70	三	坝体内部(1 350 m 以下)
3	C ₉₀ 15W6F100	70	三	坝体内部(1 350 m 以上)

收稿日期: 2010-11-09

作者简介: 李迪光(1969—), 男, 贵州普定县人, 高级工程师, 主要从事水电站工程项目质量管理工作。

2 钻孔取芯及压水试验

2.1 孔位布置

碾压混凝土钻孔取芯的布孔是在混凝土达到设计龄期后,结合不同段坝的不同高程部位及上游防渗区、变态混凝土、汽车入仓扰动等影响仓内混凝土质量的薄弱环节,所布孔位具有代表性。孔位布置避开安全监测仪器、管线及其他预埋件的位置。

碾压混凝土二级配区钻取的 $\phi 150$ mm芯样,采用 HGY-300 钻机 $\phi 168$ mm 钻具钻取;碾压混凝土三级配区 $\phi 200$ mm 芯样,用 HGY-300 钻机 $\phi 219$ mm 钻具钻取。

2.2 芯样描述

金安桥水电站大坝碾压混凝土先后安排 3 次钻取芯样,累计取出 $\phi 200$ mm 和 $\phi 150$ mm 大于 10 m 的长芯样 10 根;钻孔总计长 791.25 m,芯样获得率为 98.86%,平均长度为 0.98 m。芯样的长度和获得率属国内前列。2009 年 5 月 11 日在 1 号坝段取出一根 $\phi 150$ mm、长 16.49 m 的超长芯样。2008 年 12 月 22 日在 11 号坝段 11-II-01 深 40.07 m 的同一孔内,取出一根 $\phi 150$ mm、长 15.73 m 芯样和两根分别为 10.92、10.36 m 的芯样,刷新了在同一个碾压混凝土钻孔中取出 3 根超过 10 m 的芯样纪录。

取出的碾压混凝土芯样外观表面平整、光滑、骨料分布均匀,结构密实、气孔少,骨料架空现象少。在对芯样进行编号和素描后,具有代表性的超长芯样,存放在左坝肩 EL.1424 养护水池里长期保存;一般芯样堆放在 2 号渣场,然后选送到委托单位进行芯样力学性能和耐久性试验。

2.3 压水试验成果分析

碾压混凝土压水孔为 $\phi 75$ mm,压水检查孔布置考虑了防渗区和主填筑区的不同部位。压水孔每 3 m 为一压水段长,采用单点法进行压水试验,第一段压力为 0.3 MPa,第二段压力为 0.6 MPa,其余各段压力均为 1.0 MPa。压水试验压力结束标准:在稳定的压力下每 5 min 读一次压水流量,在流量无持续增大趋势,每一次连续 5 个流量中最大值与最小值之差小于最终值的 10%时,全孔压水试验结束,用满足要求的水泥砂浆封口。总压水段数为 58 段。

压水试验结果表明:碾压混凝土最小透水率为 0.02 Lu,最大透水率为 0.90 Lu(孔口段);透水率小于 0.1 Lu、0.1~0.5 Lu、0.5~1.0 Lu 的段分别占总段数的 33%、62%、5%;大坝碾压混凝土整体抗渗性能良好。

3 芯样试验

3.1 容重和抗压强度

对碾压混凝土坝所取的 $\phi 200$ mm 和 $\phi 150$ mm 芯样,进行抗压强度试验,最后换算成 150 mm 立方体的抗压强度,试验结果见表 2。

表 2 芯样抗压强度、容重试验结果

设计强度指标	芯样直径/mm	抗压强度/MPa	折算成 150mm 抗压强度/MPa	容重/ $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$
二级配 $C_{90}20$	150	20.9	26.0	24 901.8
三级配 $C_{90}20$	200	19.12	24.1	25 872.0

二级配 $C_{90}20$ 混凝土芯样(15 组)抗压强度平均值为 26.0 MPa,最大值 32.5 MPa,最小值 18.6 MPa,满足二级配抗压强度设计要求。三级配 $C_{90}20$ 混凝土芯样(15 组)抗压强度平均值为 24.1 MPa,最大值 38.6 MPa,最小值 17.9 MPa,满足三级配抗压强度设计要求。

二级配 $C_{90}20$ 碾压混凝土容重检测 25 组,平均值为 $24\ 901.8\ \text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$,最大值为 $25\ 382\ \text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$,最小值为 $24\ 059\ \text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$;三级配 $C_{90}20$ 碾压混凝土容重检测 40 组,平均值为 $25\ 881.8\ \text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$,最大值为 $26\ 744.2\ \text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$,最小值为 $25\ 215.4\ \text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ 。符合玄武岩骨料容重大较大的特性。

3.2 抗拉强度、极限拉伸值和静力抗压弹性模量

芯样抗拉强度、极限拉伸值试验结果见表 3。

表 3 芯样抗拉强度、极限拉伸值结果

设计强度指标	芯样直径/mm	试验组数	高径比	抗拉强度/MPa	极限拉伸值/ $\times 10^{-4}$
二级配 $C_{90}20$	150	9	2:1	1.09	0.69
三级配 $C_{90}20$	200	9	2:1	1.01	0.59

二级配 $C_{90}20$ 混凝土芯样轴心抗拉强度平均值为 1.09 MPa,最大值 1.12 MPa,最小值 0.92 MPa。极限拉伸值平均为 0.69×10^{-4} ,最大值 0.80×10^{-4} ,最小值 0.53×10^{-4} 。三级配 $C_{90}20$ 混凝土芯样轴心抗拉强度平均值为 1.01 MPa,最大值 1.42 MPa,最小值 0.70 MPa。极限拉伸值平均为 0.59×10^{-4} ,最大值 0.77×10^{-4} ,最小值 0.47×10^{-4} 。说明两种级配混凝土抗拉强度和极限拉伸值满足设计要求。

二级配 $C_{90}20$ 和三级配 $C_{90}20$ 混凝土芯样所测得的静力抗压弹性模量分别为 31.5、29.45 GPa,均比设计的 35 GPa 低,有利于坝体的抗裂要求。

3.3 抗剪强度

碾压混凝土芯样抗剪强度试验,做了 2 组二级配 $C_{90}20$ (本体热缝)和 5 组三级配 $C_{90}20$ (本体热缝和层面冷缝),结果见表 4。

从表 4 可以看出:二级配和三级配混凝土的本

表 4 抗剪强度试验结果

设计强度指标	芯样直径/mm	试验组数	检测龄期/d	抗剪断峰值强度参数	
				f'	c' /MPa
二级配 C ₉₀ 20(本体热缝)	150	2	306~336	1.32	1.83
三级配 C ₉₀ 20(本体热缝)	200	2	286~313	1.27	1.82
三级配 C ₉₀ 20(层面冷缝)	200	3	337~433	1.22	1.65

注： f' 指坝体混凝土层面的抗剪断摩擦系数； c' 是指坝体混凝土层面的抗剪粘聚力。

本体热缝、层面冷缝的抗剪强度参数均能满足设计要求；本体热缝的抗剪强度参数比层间冷缝参数要高。

3.4 抗渗和抗冻等级

选取 3 组二级配 C₉₀20 和 4 组三级配 C₉₀20 碾压混凝土芯样，进行抗渗等级试验。二级配 C₉₀20 和三级配 C₉₀20 芯样在 0.9 MPa 下渗水高度分别为 9.2、11.7 cm，抗渗等级均满足 W8 设计要求，但劈开后其渗水高度均较高，6 个试件当中有 1、2 个全透水。

对三级配 C₉₀20 碾压混凝土芯样进行 2 组（6 块）抗冻试验，其抗冻等级 5 块为 F75（检测龄期为 294~360 d），1 块为 F50（检测龄期为 294 d），低于 F100 设计要求。原因在于：混凝土运输、层面摊铺碾压过程，混凝土含气量有损失；现场施工的混凝土芯样浆体量少于试验室标准条件要求量；芯样在钻取、运输以及切割过程中，对混凝土芯样会有影响，造成芯样混凝土抗冻损坏加速，抗冻等级降低。但这不影响碾压混凝土的耐久性。

4 现场原位抗剪试验

4.1 场地布置

大坝碾压混凝土现场共布置 6 组原位抗剪断试验，分两次进行：第一次于 2008 年 12 月在 10 号坝段坝后 1 317.5 m 高程平台进行，试验分 3 组，每组 5 块试件，混凝土设计等级为三级配 C₉₀20W6F100 碾压混凝土；第二次试验在 2009 年 2 月进行，试验位置为 1 号坝段坝 1 422.5 m 高程，试验分 3 组，每组 5 块试件，混凝土设计等级为三级配 C₉₀15W6F100 碾压混凝土。

4.2 试验方法

试验采用平推法，剪切方向与坝体实际受力方向一致。

(1) 垂直荷载的施加方法。碾压混凝土现场抗剪断试验采用多点峰值法，最大正应力 3.0 MPa，5 块试件的正应力初步设定为 0.6、1.2、1.8、2.4、3.0 MPa。每块试件的垂直荷载分 3~5 级施加，每加一级垂直荷载，经 5 min 测读一次垂直变形，再施加下一级荷载。加到预定荷载后，当连续两次垂直变

形读数之差不超过 0.01 mm 时，认为已达到稳定要求，即可开始施加水平剪切荷载。

(2) 剪切荷载的施加方法。开始按照预估最大剪切荷载的 8%~10% 分级均匀等量施加，当所加荷载引起的水平变形为前一荷载变形的 1.5 倍时（或视具体情况确定），荷载减半按 4% 或 5% 施加，直至剪断。荷载的施加方法以时间控制，每 5 min 一次，每级荷载施加前、后各读变形一次。临近剪断时，密切注视和测记压力变化及相应的水平变形（压力及变形同步观测）。在整个剪切过程中，垂直荷载始终保持不变。

(3) 试验过程中，随时记录试验中发生的调表、换表、碰表、千斤顶漏油、补压、混凝土松动、掉块等情况。

(4) 对试块进行试验完成后，翻转试块，对剪断面的物理特征，如破坏形式、起伏情况、剪断面面积等进行描述和测算，并进行拍照。

4.3 成果分析

坝体三级配 C₉₀20W6F100 和三级配 C₉₀15W6F100 碾压混凝土现场原位抗剪断试验成果分别见表 5、6（缝面工况为热缝）。

表 5 C₉₀20 碾压混凝土现场原位抗剪断峰值强度参数

参数	综合值	第一组	第二组	第三组
f'	1.28	1.28	1.32	1.24
c' /MPa	1.63	1.65	1.51	1.73

注：试验日期为 2008-12-16、17；浇筑条件为小雨天、13℃气温、62% 的相对湿度和 2.0 m/s 的风速；试验部位为 11 号坝段坝后 1 320 m 高程平台；龄期为 302d；仓面高程为 1 315.00~1 318.70 m，开仓时间为 2008-02-08，收仓时间为 2008-02-19。

表 6 C₉₀15 碾压混凝土现场原位抗剪断峰值强度参数

参数	综合值	第一组	第二组	第三组
f'	1.20	1.20	1.20	1.21
c' /MPa	1.79	1.87	1.71	1.78

注：试验日期为 2009-02-22~2009-02-24；浇筑条件为晴天、25℃气温、60% 的相对湿度和 2.0 m/s 的风速；试验部位为 1 号坝段 1 422.5 m 高程平台；龄期为 106 d；仓面高程为 1 420.00~1 422.5 m；开仓时间为 2008-11-08，收仓时间为 2008-11-10。

通过现场试验，坝体三级配 C₉₀20W6F100 碾压混凝土原位抗剪断强度参数值（热缝）显示，试件剪切破坏面沿缝面剪断或混凝土剪断，混凝土剪断面 20%~45%，剪切面起伏差大，为 5~7 cm，混凝土胶结良好，石子分布均匀。三级配 C₉₀15W6F100 碾压混凝土原位抗剪断强度参数值（热缝）显示，试件剪切破坏面沿缝面剪断或混凝土剪断，剪切面较平整，最大起伏差 3~5 cm，混凝土胶结良好，石子分布均匀，有少量石子剪断；第二组混凝土试件

有两块剪断面约50%~60%，剪切面起伏差大，约为8~9 cm。碾压混凝土的层（缝）面胶结良好，石子分布均匀。

5 结 语

金安桥水电站大坝碾压混凝土芯样，表面光滑、结构致密、骨料分布均匀，层间接合良好，混凝土与基岩接触良好，钻孔压水检查结果满足设计要求。

碾压混凝土芯样的抗压强度、静力抗压弹性模量、抗拉强度、极限拉伸值、抗渗等级、抗冻等级、抗剪强度等物理力学性能试验和耐久性试验也满足设计要求。通过对大坝现场两次原位抗剪试验，坝

体混凝土抗剪稳定 f' 、 c' 参数满足设计要求，碾压混凝土层（缝）面胶结良好，石子分布均匀，大坝抗滑稳定性好。大坝碾压混凝土工程质量满足设计要求，碾压混凝土质量整体良好。

参考文献：

- [1] 田育功. 碾压混凝土快速筑坝技术[M]. 北京：中国水利水电出版社，2010.
- [2] 张严明. 中国碾压混凝土筑坝技术(2010)[M]. 北京：中国水利水电出版社，2010.
- [3] CECS 03: 88 钻孔法检测混凝土强度技术规程[S].
- [4] DL/T5150—2001 水工混凝土试验规程[S].
- [5] SL264—2001 水利水电岩石试验规程[S].

(责任编辑 周晓蔚)