

浯溪口碾压混凝土重力坝钻孔取芯和压水试验成果分析

钟志云¹, 秦根泉², 冯朝辉³

(1. 河海大学水电学院, 江苏 南京 210098; 2. 江西省水利规划设计研究院, 江西 南昌 330029;
3. 江西省景德镇市浯溪口水利枢纽工程领导小组办公室, 江西 景德镇 333000)

摘要: 钻孔取芯和压水试验是判定挡水建筑物大体积混凝土内部施工质量和抗渗性的有效手段, 浯溪口碾压混凝土重力坝采用钻孔取芯和压水试验的方法对碾压混凝土施工质量进行了检测。本文介绍了浯溪口碾压混凝土坝体混凝土分区设计、钻孔压水试验方案及钻孔位置的选取, 通过对其碾压混凝土芯样外观、层面和缝面结合质量、芯样获得率、透水率等检测项目进行统计分析, 对碾压混凝土的质量进行了评价, 并依据试验情况对碾压混凝土坝的钻孔取芯和压水试验提出了建议。

关键词: 碾压混凝土重力坝; 取芯试验; 压水试验; 混凝土抗渗性; 浯溪口水利枢纽

中图分类号: TV543⁺.16 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-4701(2016)06-0404-06

0 引言

由于碾压混凝土施工工艺在混凝土中存在较多的层面, 其渗透特性是评定碾压混凝土质量的一个重要指标, 如果库水沿层面或薄弱部位进入坝体, 则会增加坝体的孔隙水压力及扬压力, 降低坝体的抗滑稳定性, 再则渗透水还会将混凝土中的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 和其他成分带走影响混凝土强度和耐久性^[1,2]。现场钻孔压水试验检查是评定碾压混凝土大坝抗渗性能的一种方法, 为此, 在坝体不同部位布置不同深度的钻孔进行压水试验检查, 测定其渗透指标, 以了解坝体整体防渗性能和坝体局部区域的施工质量。目前很多学者对碾压混凝土大坝取芯和压水试验做了研究。如郑国和等^[3]对汾河二库碾压混凝土坝钻孔取芯和压水试验进行了研究; 黄继全等^[4]对戈兰滩水电站主坝碾压混凝土进行了钻孔取芯和压水试验, 检测和分析了大坝碾压混凝土整体施工质量和防渗性能等多项指标。

本文主要依托江西省浯溪口水利枢纽工程, 论述了该工程碾压混凝土重力坝钻孔取芯和压水试验, 通过试验检测和分析了碾压混凝土芯样、层面和缝面芯样折断率、压水试验透水率等指标, 依据试验成果对大坝碾压

混凝土内部施工质量和防渗性进行了判定。

1 工程概况及坝体混凝土分区

1.1 工程概况

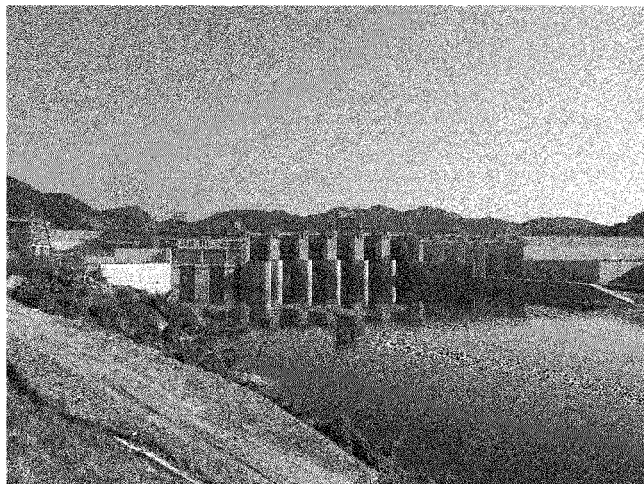


图1 浯溪口水利枢纽工程形象

浯溪口水利枢纽工程位于景德镇市浮梁县蛟潭镇境内, 距景德镇市约 40 km, 是昌江干流中游一座以防

收稿日期: 2016-10-24

项目来源: 江西省水利厅科技项目 (No KT201533)。

作者简介: 钟志云 (1992-), 男, 硕士在读。

洪为主兼有供水、发电等综合利用的水利工程,该工程正常蓄水位 56.00 m(黄海,下同),水库总库容 $4.747 \times 10^8 \text{ m}^3$,电站装机容量 32 MW,坝顶高程 65.50 m,最大坝高 46.80 m,坝轴线长度 498.62 m。该工程等为 II 等工程,永久挡水建筑物为 2 级建筑物,次要建筑物为 3 级建筑物。枢纽主要建筑物有左、右岸非溢流坝、表孔溢流坝(5 孔,长 78.00 m)、底孔溢流坝(6 孔,长 108.00 m)、河床式厂房(长 41.10 m)。目前工程基本完工。工程形象见图 1。

1.2 坝体混凝土分区

涪溪口水利枢纽从左至右分为 24 个坝段,左、右岸非溢流坝采用碾压混凝土重力坝坝型,左岸碾压混凝土

非溢流坝段长 163.7 m,包含 1[#]~7[#]坝段;右岸碾压混凝土非溢流坝段长 107.80 m,包含 20[#]~24[#]坝段。碾压混凝土总计浇筑方量为 9 万 m^3 。大坝设计断面坝顶高程为 65.50 m,坝顶宽度为 8.0 m,最大坝高为 46.80 m,上游坝面上部采用垂直坡面,下部采用 1:0.20 的斜坡,斜坡高度为 10 m;下游坝面 59.63 m 高程以上垂直,59.63 m 高程以下坡度为 1:0.75;在大坝上游坝踵处设一个深为 2.70 m 的齿槽,在齿槽内部布置帷幕灌浆排水廊道,廊道断面尺寸为 2.5 m $\times$ 3.5 m(宽 $\times$ 高)^[5]。碾压混凝土非溢流坝混凝土分为上下游防渗区、基础混凝土区、内部混凝土区和坝顶区。坝体混凝土分区示意图见图 2。

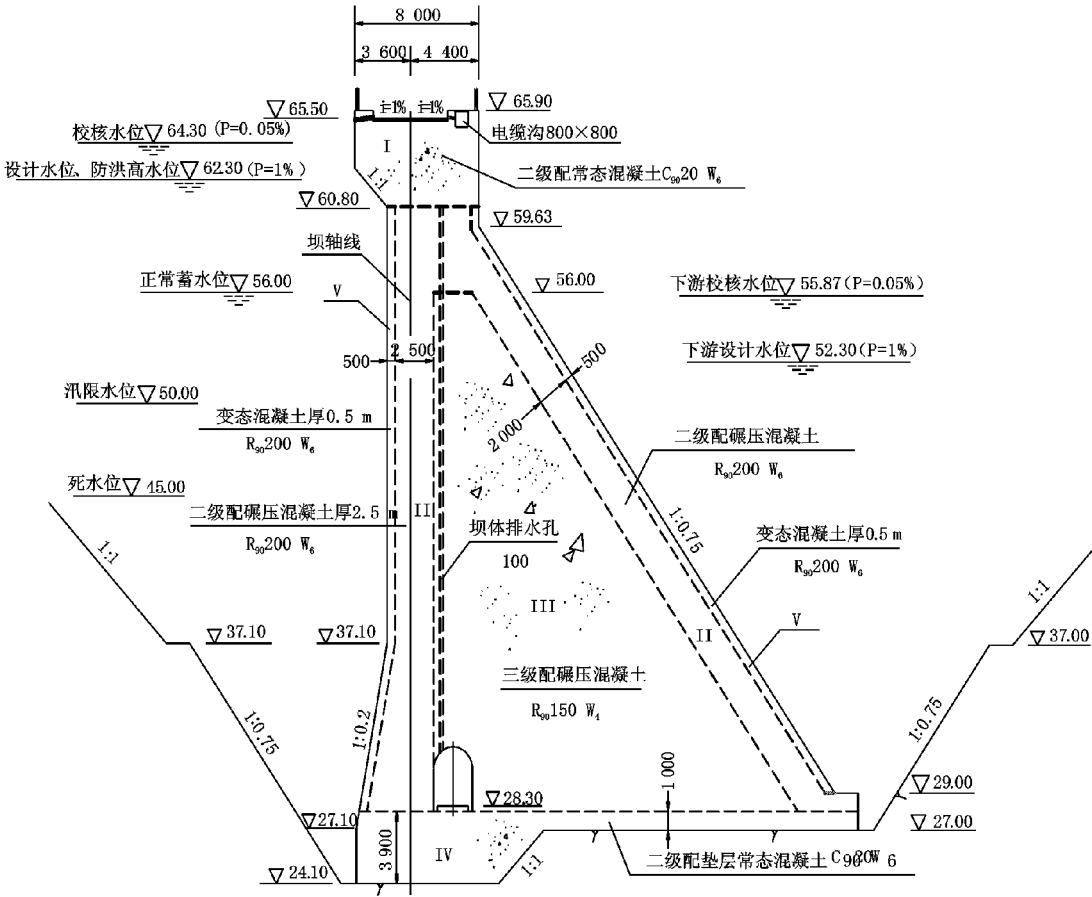


图 2 坝体混凝土分区示意图

2 钻孔取芯及压水试验方案

2.1 试验目的及方法

(1) 取芯试验

取芯试验的目的为从碾压混凝土中取出芯样或整

长芯样,对其外观、断面、骨料分布均匀性,混凝土密实程度及胶结情况作直观检查,同时进行综合评定,部分芯样送试验室作力学指标测定。试验方法采用 HGY-1000 岩芯钻机钻孔,取芯直径 200 mm,提取芯样采取葫芦吊,长芯样采用吊车吊。

(2) 压水试验

压水试验目的为评定碾压混凝土大坝抗渗性能,测定不同部位不同高程的渗透指标,了解坝体整体防渗性能和坝体局部区域的施工质量。试验方法采用 HGY - 200 岩芯钻机造孔,取芯钻孔到位后,利用钻孔供水管道冲洗钻孔,至孔口回水无岩粉带出后,取芯终孔。将水压栓塞下至试段顶部,关闭泄压阀,启动压力供水泵,将连通管、试段内空气排出孔口,待孔口有清水返出时,打开泄压阀,启动手摇泵,将水压栓塞栓紧固定,准备压水。压水采用自上而下,单点法,纯压式孔深 0 ~ 30 m 试段压力,为 0.3 MPa,30 m 以下压力为 0.6 MPa,试段长度为 5 m,第一段预留栓塞位置 0.5 m,一般持续压水 25 min,期间读数 5 次,便结束该段次的压水,取最后一次测读读数作为本次计算流量的依据。

根据取芯样及压水试验要求选用的主要试验设备如表 1 所列。

2.2 钻孔分类及孔位布置

根据钻孔取芯及压水试验的目的及要求,在左、右

表 1 钻孔取芯压力试验主要设备

设备名称	型号及规格	单位	数量	备注
岩芯钻机	HGY - 1000	台	1	金刚石钻头 Φ219 mm, 取芯直径 200 mm
岩芯钻机	HGY - 200	台	1	金刚石钻头 Φ75 mm, 取芯直径 60 mm
压力供水泵	103 L/min 1.0 Mpa	台	1	
自动记录仪	GJY - VⅢ	台	1	双路三参数
手摇泵		台	1	

岸非溢流坝段坝顶高程 65.5 m 处布置检查孔,检查孔布置要能代表施工各时段及各分区的混凝土施工质量^[6-15],20#坝段因在施工期出现过裂缝质量缺陷,计划在该坝段进行针对性试验检查。实际完成取芯钻孔 4 个,ZXK(20) - 2 号孔为 20#坝段坝体裂缝缺陷处理调查专用孔,孔位布置见表 2;压水试验实际完成钻孔 5 个,孔位布置见表 3。

表 2 钻孔取芯布置汇总表

孔位编号	坝段编号	孔顶高程/m	孔底高程/m	钻孔深度/m	取芯位置
ZXK(20) - 1	20#	65.50	25.00	40.50	二级配防渗区,坝纵 0 + 399.5、坝横 0 + 001.0,入岩 5 m
ZXK(20) - 2	20#	65.90	30.15	35.75	三级配区,坝纵 0 + 400.5、坝横 0 + 002.1
ZXK(4) - 4	4#	65.50	28.80	36.70	二级配防渗区,坝纵 0 + 068.0、坝横 0 + 000.6,入岩 5 m
ZXK(6) - 5	6#	65.50	42.30	23.20	三级配区,坝纵 0 + 146.72、坝横 0 + 002.1

表 3 钻孔压水孔位布置汇总表

孔位编号	坝段编号	孔顶高程/m	孔底高程/m	钻孔深度/m	取芯位置
YSK(20) - 1	20#	65.50	30.00	35.5	二级配防渗区,坝纵 0 + 400.25、坝横 0 + 001.0
YSK(20) - 2	20#	65.80	35.30	30.5	三级配区,坝纵 0 + 401.5、坝横 0 + 002.1
YSK(22) - 3	22#	65.10	43.11	22.5	二级配防渗区,坝纵 0 + 445.0、坝横 0 + 001.0
YSK(7) - 4	7#	65.61	43.50	22.0	三级配区,坝纵 0 + 147.22、坝横 0 + 002.1
YSK(6) - 5	6#	65.50	31.00	34.5	二级配防渗区,坝纵 0 + 130.0、坝横 0 + 001.0

3 试验成果及分析

3.1 钻孔取芯完成情况

钻孔取芯累计进尺 136.15 m,其中常态混凝土 24.37 m,碾压混凝土 107.23 m,基岩 4.55 m,碾压混凝土中二级配进尺 60.53 m,三级配进尺 46.7 m^[16]。

3.1.1 获得芯样长度分析

在 130.02 m 混凝土钻孔进尺中,获得芯样长 129.92 m,碎块长 0.10 m,于 ZXK(20) - 2 孔取出最长

芯样 16.20 m(见图 3),混凝土芯样获得率 98.72%,采取率 98.80%,其中常态混凝土芯样获得率 98.5%,采取率 98.59%,碾压混凝土中二级配混凝土芯样获得率 99.04%,采取率 99.04%,三级配混凝土芯样获得率 97.79%,采取率 98%。

3.1.2 芯样断口类别与折断形态

所取芯样共有断口 167 个,其中常态混凝土 22 个,碾压混凝土 145 个,145 个碾压混凝土断口中,机械人工折断断口共有 81 个;层面折断共有 25 个;缝面折断共有 12 个;人工搬运折断共有 11 个(见图 4);骨料架

空,浆液离析、骨料分离的折断共有 15 个;大骨料占芯样直径的 1/3 而折断的共 6 个。上述数据表明,层面和缝面折断断口共 37 个,占断口总数的 22.16%,施工因素及机械人工等原因的断口 130 个,占断口总数的 77.84%。

3.1.3 芯样分析

通过统计分析,大坝钻孔取芯混凝土芯样采取率 98.80%,获得率 98.72%,芯样外观合格率 98.86%,优良率 97.06%。

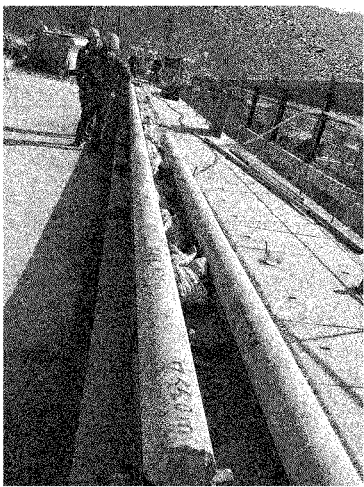


图 3 最长芯样



图 4 人工折断芯样

3.2 现场压水试验及分析

本次压水试验共布 5 孔,实际完成 5 孔,其中 4[#]坝块的 YSK(4) - 4 孔移至 7[#]块,故孔号相应改为 YSK(7) - 4,YSK(20) - 2、YSK(22) - 3 开孔高程为实测高程。5 孔总进尺 145m,完成压水 29 段/次,详见表 4,

其中常态混凝土 5 段/次,设计要求抗渗等级为 W_6 ;碾压混凝土 24 段/次,碾压混凝土中,二级配碾压混凝土 16 段/次,设计要求抗渗等级为 W_6 ;三级配碾压混凝土 8 段/次,设计要求抗渗等级为 W_4 。

表 4 钻孔压水工程量统计表

序号	孔位编号	开工日期 (年月日)	孔径 Φ/mm	孔位		孔顶高程/m		孔深/m	压水试验段	备注
				坝纵	坝横	起	止			
1	YSK(20) - 1	2015.12.15	75	0 + 400.25	0 + 001.0	65.50	30.00	35.50	7	二级配防渗区
2	YSK(20) - 2	2015.12.22	75	0 + 401.25	0 + 002.1	65.80	35.30	30.50	6	三级配坝体区
3	YSK(22) - 3	2015.12.29	75	0 + 445.0	0 + 001.0	65.10	43.10	22.50	5	二级配防渗区
4	YSK(7) - 4	2016.01.08	75	0 + 147.22	0 + 002.1	65.60	43.50	22.00	4	三级配坝体区
5	YSK(6) - 5	2016.01.11	75	0 + 130.0	0 + 001.0	65.50	31.00	34.50	7	二级配防渗区
合计								145	29	

根据现场压水试验及检测换算结果,共进行的 29 段/次压水试验中,5 段常态混凝土压水试验中,最小透

水率 0.029 63 Lu,最大透水性 0.355 56 Lu。二级配碾

压混凝土中,最小透水性非常小,未见读数,最大透水性 1.363 64 Lu(在 YSK(20) - 1 孔,▽ 35.5 m ~ ▽ 30.5 m)。三级配碾压混凝土,最小透水性非常小,未见读

数,最大透水率 0.666 67 Lu。对各孔段的检测数据进行统计,统计结果见表 5 大坝碾压混凝土压水检测透水率统计表。

表 5 大坝碾压混凝土压水检测透水率统计表

孔位编号	压水试验 (段/次)	透水率 Lu										合计/%	设计防 渗等级
		0≤q<0.01		0.01≤q<0.1		0.1≤q<0.5		0.5≤q<1		Q≥1			
		段数	%	段数	%	段数	%	段数	%	段数	%		
YSK(20) -1	1			1	100.00							100.00	常态
YSK(20) -2	1			1	100.00							100.00	常态
YSK(22) -3	1					1	100.00					100.00	常态
YSK(7) -4	1					1	100.00					100.00	常态
YSK(6) -5	1					1	100.00					100.00	常态
小计	5			2	40.00	3	60.00					100.00	常态
YSK(20) -1	6	1	16.67			4	66.67			1	16.67	100.00	二级配
YSK(22) -3	4			1	25.00	2	50.00	1	25.00			100.00	二级配
YSK(6) -5	6					6	100.00					100.00	二级配
小计	16	1	6.25	1	6.25	12	75.00	1	6.25	1	6.25	100.00	二级配
YSK(20) -2	5	1	20.00			4	80.00					100.00	三级配
YSK(7) -4	3					2	66.67	1	33.33			100.00	三级配
小计	8	1	12.5			6	75.00	1	12.50			100.00	三级配
合计	24	2	83.3	1	4.17	18	79.17	2	8.33	1	4.17		碾压

从表 5 数据显示,24 段碾压混凝土压水范围内,透水率 $q < 1$ Lu 为 23 段/次,透水率 $q > 1$ Lu 为 1 段/次。透水率大于 1 Lu 的孔位段在 20#坝段上游面产生裂缝的附近,压水孔与裂缝距离近。分析压水量偏大的原因为试验过程压水与裂缝连通所造成。后期将结合裂缝处理,进行充填灌浆,以提高该段范围的混凝土抗渗性和整体性。

综上所述,二级配碾压混凝土中,透水率 $0 \text{ Lu} \leq q < 0.5 \text{ Lu}$ 为 14 段/次,占 87.50%;透水率 $0.5 \text{ Lu} \leq q < 1 \text{ Lu}$ 为 1 段/次,占 6.25%, $q \geq 1 \text{ Lu}$ 为 1 段/次,占 6.25%,设计要求抗渗等级为 W_6 ,二级配碾压混凝土压水透水率合格达 87.50%。三级配碾压混凝土中,透水率 $q < 1 \text{ Lu}$ 为 8 段/次,占 100.00%,设计要求抗渗等级为 W_4 ,三级配碾压混凝土压水透水率合格达 100.00%。因此,浔溪口水利枢纽大坝碾压混凝土的抗渗指标比较均匀,整体抗渗性能满足要求。

4 结语

(1)浔溪口碾压混凝土重力坝的取芯及压水试验的钻孔布置基本能代表碾压混凝土重力坝各分区和各施工期的施工质量,是对大坝混凝土一次较为系统的整体检测分析;

- (2)试验检测结果基本上和施工过程的质量控制情况相吻合,试验指标达到了设计标准,并在 20#坝段取得了两根 10m 级以上的芯样。
- (3)试验反映出芯样层面折断和缝面折断数占折断总数的比例较高,在缝面也出现了一些骨料分离现象,因此该工程碾压混凝土的层面处理仍是混凝土施工质量的薄弱部位;另外,压水试验在 20#坝段的裂缝区压水量偏大的现象说明,该部位的裂缝连通性较好,属深层裂缝,需进行裂缝灌浆处理。
- (4)通过钻孔取芯及压水试验检测,对浔溪口碾压混凝土重力坝的混凝土施工质量和抗渗性能可以进行初期判断,后期还需选取部分有代表性的芯样进行室内力学性能指标检测,综合检测成果对大坝混凝土的施工质量进行更全面的分析判断。

参考文献:

[1] 俞鹏. 关于光照水电站大坝碾压混凝土钻孔取芯及现场压水试验的研究[J]. 今日科苑,2010(6):59.

[2] 张小明. 汾河二库碾压混凝土坝钻孔取芯和压水试验检测[J]. 水电站设计,2002(4):88~90.

[3] 郑国和,范世平. 汾河二库碾压混凝土坝钻孔取芯和压水试验成果及分析[J]. 水利水电技术,1999(6):58~60.

[4] 黄继泉,王育敏. 戈兰滩电站 RCC 主坝压水试验及取芯成果分析[J]. 云南水力发电,2008(S1):86~88.

- [5] 秦根泉,蒋水华,温勇兵. 涪溪口碾压混凝土重力坝混凝土分区设计及施工[J]. 水力发电,2016,42(2):60~63.
- [6] 梁维仁,梁晶晶. 皂市水利枢纽工程大坝混凝土钻孔压水检查与取芯检验[J]. 湖南水利水电,2008(4):25~26.
- [7] 林森. 光照水电站大坝碾压混凝土钻孔取芯和压水试验测[J]. 贵州水力发电,2008(05):78~81.
- [8] 陈刚,侯学华. 圆满贯水电站碾压混凝土层间碾压结合控制及坝体取芯芯样成果分析[J]. 贵州水力发电,2010(01):36~39.
- [9] 贾鹏辉. 居甫渡水电站大坝碾压混凝土钻孔取芯和压水试验[J]. 云南水力发电,2009(04):34~35+57.
- [10] 罗继鸣,杨爱庆. 压水试验和钻芯取样技术在碾压混凝土大坝的应用[A]. 2005年度碾压混凝土材料及质量检测专题会议论文集汇编[C]. 碾压混凝土筑坝专委会:,2005:13.
- [11] 贾兆武,赵召君,彭乃中. 商河口水电站坝体碾压混凝土现场压水及钻孔取芯质量检测[A]. 2005年度碾压混凝土材料及质量检测专题会议论文集汇编[C]. 碾压混凝土筑坝专委会:,2005:8.
- [12] 许剑华,黄开信,钟宝全,等. 棉花滩水电站大坝第一枯水期碾压混凝土取芯试验[J]. 水利水电技术,2000(11):52~55.
- [13] 温灵芳. 碾压混凝土钻孔取芯及现场压水试验成果分析[J]. 水利水电施工,2013(03):78~79.
- [14] 熊攀. 亭子口水利枢纽碾压混凝土钻孔取芯及压水试验施工方法[J]. 四川水利,2014(05):113~115+118.
- [15] 陈俊. 碾压混凝土钻孔取芯技术漫谈[A]. 第八次水利水电地基与基础工程学术会议论文集[C]. 中国水利学会地基与基础工程专业委员会,2006:4.
- [16] 涪溪口水利枢纽大坝碾压混凝土钻孔取芯及现场压水试验质量检查报告[R]. 长沙嘉祥建筑劳务有限公司,2016,01.

编辑:唐少龙

Results and analysis of core boring and water pressure test for Wuxikou roller compacted concrete gravity dam

ZHONG Zhiyun¹, QIN Genquan², FENG Chaohui³

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Jiangxi Provincial Water Conservancy Planning and Design Research Institute, Nanchang 330029, China;

3. Jingdezhen City Wuxikou Water Control Project Management Office, Jingdezhen 333000, China)

Abstract: The borehole coring and the water pressure test are reliable means for judging the construction quality and impermeability of massive concrete in water retaining structures. Method of roller compacted concrete (RCC) gravity dam of Wuxikou hydro-junction project with core drilling and water pressure test for the detection of construction quality of roller compacted concrete. This paper introduces the design of concrete partition of the Wuxikou RCC dam, the experimental scheme of drilling water pressure and the selection of drilling position, the quality of roller compacted concrete was evaluated by the statistical analysis of the appearance, level and seam surface bonding quality, core fracture rate, water penetration test and so on, according to test conditions, the paper puts forward some suggestions on the borehole coring and the water pressure test of RCC dam.

Key words: RCC gravity dam; Core drilling test; Water pressure test; Impermeability of concrete; Wuxikou hydro-junction project

翻译:钟志云