



化学灌浆技术在小湾电站坝体混凝土裂缝处理工程中的应用

陈小华

(宜昌瑞派尔特种工程技术有限责任公司,湖北 宜昌 443002)

摘要:云南小湾电站坝体混凝土由于多种原因产生了多条贯通或不贯通、分布无规律的裂缝。针对这些裂缝,通过钻孔、物探、压水进行检查,根据裂缝检查结果编制专项灌浆方案,选用了环氧树脂灌浆材料对坝体混凝土裂缝进行化学灌浆处理,达到了结构加固补强和防水的目的。

关键词:小湾电站;混凝土裂缝;化学灌浆;环氧树脂灌浆材料

文章编号:1007-497X(2011)-08-0028-05 中图分类号:TV543+.2; TU57.9 文献标识码:B

Application of Chemical Grouting Technology in Concrete Crack Restoration of Xiaowan Hydroelectric Power Station

Chen Xiaohua

(Yichang Repair Special Project Technology Co., Ltd., Yichang, Hubei 443002, China)

Abstract:There are many concrete cracks distributed irregularly, both through and non-through cracks in Xiaowan hydroelectric power station. The dam body cracked was checked by drilling, physical exploration and pressure water. According to the fact a special grouting method was made. The article introduces epoxy grouting technology used to deal with the dam body cracks in the project, saying structural reinforcement was successfully done as a result.

Key words: Xiaowan electric power station; concrete crack; chemical grouting; epoxy grouting material

1 工程概况

小湾水电站是世上少有的巨型工程之一,拱坝坝高 294.5 m,为目前已建或在建最高拱坝之一^[1-2]。该水电站于 2005 年 12 月开始浇筑,2007 年 11 月在坝体中部 EL. 1 048.5~1 059.25 m 处横缝灌区压水检查时,发现部分坝段之间有互窜水现象。经巡视检查、横缝灌区压水、检查孔压水及数字成像等方法分析,发现 EL. 1 100 m 高程以下的坝段分布有多条裂缝。专家研究后决定,对裂缝进行化学灌浆处理。

2 灌浆工艺流程

收稿日期:2011-01-21

作者简介:陈小华,男,1973 年生,工程师,主要从事化学灌浆、混凝土外保温等工作。联系地址:443002 湖北省宜昌市西陵经济开发区西湖路 12 号。

小湾水电站裂缝化学灌浆工艺流程见图 1。

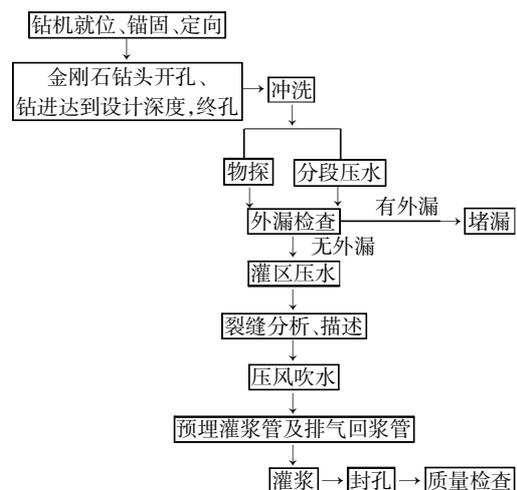


图 1 小湾水电站裂缝化学灌浆工艺流程

3 施工工艺



3.1 钻孔

1) 灌浆孔直径均为 60 mm, 布置穿过裂缝的间排距基本为 6 m(高差)×4 m(间距), 灌浆孔距离横缝不小于 3 m。灌浆孔分为先导孔和后续孔, 先导孔钻孔结束后, 立即冲洗钻孔并进行分段压水试验, 同时进行孔内数字成像测试。压水和物探完成后, 将结果报送监理和设计单位以确定后续孔钻孔参数。

2) 采用 XY-150 地质回转型钻机钻孔, 其中灌浆孔采用单管钻具钻进, 检查孔使用双管单动钻具钻进, 钻进过程中每 5 m 进行一次测斜和纠偏。

3) 为确保钻孔精度, 所有灌浆孔孔位、方位角均测量放样, 并对操作人员进行技术交底。

4) 灌浆孔开孔前将孔位测量放样数据送大坝监测单位审核会签, 检查是否与监测仪器冲突。若有冲突, 报设计单位调整孔位参数, 保证坝内预埋仪器不被钻孔破坏。

5) 孔位放样完成、标识清楚后, 钻机就位进行安装和加固。

6) 开钻前准备工作完成后, 通知现场三检和监理, 对人员、设备、钻孔机具、孔位、方位角、倾角等进行检查验收。验收合格签发“开钻证”后, 方可开钻。

7) 检查孔直径为 91 mm, 检查孔施工前根据孔位相邻原灌浆孔的物探资料, 推测和分析裂缝的大致位置, 当钻至缝前 3 m 时停钻, 重新配好钻具和钻杆, 现场三检和监理共同见证穿缝时的整个钻进过程。穿缝时, “低钻压、低转速、小水量”钻进, 避免过缝时取出的芯样在裂缝位置处断裂。

3.2 冲洗、压水及物探

3.2.1 冲洗钻孔

钻孔结束后, 对孔壁进行冲洗。具体做法是: 首先用高压水连续冲洗 5~10 min, 再将孔口压力在极短时间内突然降到 0, 如此一升一降、一压一放, 进行不少于 5 次脉动循环冲洗, 直至回水洁净。冲洗压力为灌浆压力的 80%。

3.2.2 单孔压水

钻孔冲洗干净后使用气囊式阻塞器阻塞, 采用

“单点法”自孔底向孔口每 5 m 进行分段压水, 压水压力为 0.5 MPa, 压水时间为 20 min, 每 5 min 测读一次压水流量, 流量稳定后取最终的流量值作为稳定流量, 计算透水率吕荣值(Lu)。单点法压水流量、压力等数据采用灌浆压水自动记录仪进行自动记录, 并辅以手工记录。

3.2.3 物探测试

钻孔终孔后, 采用高压水进行脉动冲洗, 确保裂缝或孔壁不被岩粉或其他杂质污染, 冲洗完成后及时通知和配合物探测试单位(由业主委托的第三方)进行孔内物探测试, 以探测钻孔内的裂缝情况。

3.3 注浆管安装

灌浆孔单孔压水试验和物探测试完成后, 在各灌浆孔内预埋 $\Phi 20$ mm 的钢管作为注浆管, 注浆管距孔底不大于 10 cm, 孔口外露约 20 cm, 孔口预埋一根回浆管, 用快速封堵材料“防水宝”对孔口进行封堵, 然后进行灌区封闭压水检查。

注浆管安装后, 由三检、监理旁站验收合格, 方可进入下道工序施工。

3.4 灌区封闭性压水

灌区封闭性压水检查至关重要, 通过压水检查判定孔与孔之间或坝段与坝段之间相互串通的情况和是否有大的漏点。

灌区压水具体方法: 由底层开始逐孔进行压水, 压水压力为 0.5 MPa, 直至上层的灌浆孔返水、流量压力稳定, 并查清外漏情况。以此类推, 直至最后一排灌浆孔封闭压水结束。达到设计压力后上层灌浆孔仍未返水, 此时压力、流量稳定 30 min 后可结束。

在压水过程中, 仔细记录每层灌浆孔返水孔号、返水时间、稳定流量、压水总量、间隔时间等。

3.5 嵌缝

在压水过程中, 安排专人对附近的廊道、排水方钢、观测间、电梯井等重点部位进行巡视, 检查有无渗漏点, 对渗漏的部位进行开槽、嵌缝等施工处理, 有效封堵渗漏通道。

在渗漏点开宽 8~10 cm、深 3~5 cm 的槽, 再打磨



冲洗并吹干,然后先用“防水宝”封堵,再在表面涂刮一层环氧胶泥。

也可使用另一种嵌缝堵漏的施工方法:开槽嵌缝后直接用冲击钻钻骑缝孔,孔深 10~20 cm,然后贴上灌浆嘴,灌注水溶性聚氨酯浆材快速堵漏。

由三检、监理再次旁站进行压水检查,验收合格后进入下道工序。

3.6 灌浆方案编制及审核

根据各灌区灌浆孔单孔压水、物探测试、封闭压水等检查成果,由施工单位编制专项灌浆施工方案上报监理单位,再由监理单位组织业主、设计、物探、施工等单位联合对灌浆方案工艺参数和可行性进行讨论,然后由施工单位根据讨论意见对灌浆方案进行修改和完善,报监理单位审核批复,按照监理审核后的方案组织施工。

3.7 模拟灌浆压水

为了验证灌浆方案的正确性和可操作性,按设计技术要求在灌浆前进行了一次灌区模拟灌浆压水。

模拟灌浆压水整个过程以最下排作为进水孔,进水压力控制在 0.5 MPa 内,进水流量约为 20 L/min,待与之串通的化学灌浆孔返水后,测出漏量,关闭回浆管。在压水过程中,仔细记录每层灌浆孔返水时的压水总量、间隔时间及稳定流量。

3.8 灌浆

经专题会议讨论通过,再经监理检查满足开灌要求后,施工单位向监理申请签发“准灌证”,实施灌浆。

3.8.1 灌浆材料

1)原材料的选定:按设计要求:“环氧树脂化灌浆材料可操作时间不小于 18 h 或更长,可操作时间调整后,化灌浆材其他指标仍满足设计要求”,本工程的灌浆材料选用了 CW 环氧树脂灌浆材料。

2)灌浆材料性能:工程所用环氧树脂灌浆材料的性能指标见表 1。

3.8.2 灌浆施工工艺参数

为确保化学灌浆质量,不同灌浆区域采用了不同的灌浆参数。

表 1 环氧树脂灌浆材料性能指标

项 目	性能指标	
浆液密度/(g/cm ³)	>1.00	
起始黏度/(mPa·s)	<20	
可操作时间/h	>5,并能满足现场灌浆施工需要	
抗压强度/MPa	≥45	
抗拉强度/MPa	≥10	
拉伸剪切强度/MPa	>5	
粘结强度/MPa	干粘结	>3
	湿粘结	>2.5
抗渗压力/MPa	>1.0	
渗透压力比/%	>300	

1)EL. 1 061 m 以下区域

①灌浆压力:相互串通的化学灌浆孔以 0.5 MPa 的灌浆压力进行灌注;相互不串通的化学灌浆孔采用 0.8 MPa 单孔纯压式灌注。灌浆压力从 0.1 MPa 开始,采用分级升压方式,逐渐升压至上层进浆孔或回浆孔返浆为止,分级升压速度为 0.05 MPa/5 min。

②灌区升压方式:选取底层串通性最好的孔作为主进浆孔,起灌压力为 0.1 MPa,若相邻孔依次返浆,则按返浆先后次序依次并灌(单排灌浆孔并联个数不超过 5 个),该层所有孔均进浆后,逐渐升压至设计压力;若 30 min 后相邻孔仍未返浆,则逐渐升至设计压力,相邻孔返浆后按返浆先后次序依次并灌。按此逐层实施,直至顶层回浆孔返浆。

③灌浆结束标准

单孔灌浆:对于单孔灌浆,待孔口排气管回纯浆后,封闭回浆管。在灌浆孔充满并达到设计灌浆压力时,当浆液注入量小于 0.01 L/min 后,保持设计压力再屏浆 120 min,即可结束灌浆。

完全封闭的灌区:当最后一孔返纯浆起压后,在设计压力下,当浆液注入量小于 0.01 L/min 后,则保持设计压力再屏浆 120 min,即可结束灌浆。

灌区顶部无法完全封闭的灌区:当顶层回浆孔出纯浆后,按该孔回浆压力不大于 0.05 MPa 的要求,控制所有进浆孔的进浆压力及注入量,继续灌浆直至最后一个进浆孔浆液注入量小于 0.01 L/min,然后再屏



浆 120 min 结束该排串通孔灌浆。

2) EL. 1 061 m 以上区域

①灌浆压力：鉴于小湾拱坝混凝土裂缝情况复杂，裂缝化灌处理极端重要，为确保化灌质量，裂缝化灌采用“低压慢灌”。串通性好的灌区以及多坝段同时灌浆时，进浆压力为 0.5 MPa，回浆压力为 0.3~0.5 MPa，二者不一致时按进浆压力来控制；串通性差的灌区，进浆压力为 0.8 MPa，回浆压力为 0.5~0.8 MPa，二者不一致时按进浆压力来控制；灌区顶排孔按 0.3 MPa 的灌浆压力屏浆结束，防止压力过大对裂缝上缘造成劈裂。无裂缝、无缺陷、压水也无渗漏的灌浆孔暂时不做处理。

②灌区升压方式：选取最下排串通性最好的孔作为主进浆孔，起灌压力为 0.1 MPa，逐级升压，升压速度不得快于 0.1 MPa/30~60 min。先用大泵（排量大于 2 L/min）进行灌注，灌浆流量控制在 10 L/min 以内，若相邻孔依次返浆，则按返浆先后次序依次并灌（单排灌浆孔并联个数不超过 5 个）。若上排孔有返浆现象，但最低排主进浆孔的相邻孔在主进浆孔进浆 3~4 h 后仍不返浆，则将其充容后并灌，逐级升压至设计压力；待第 2 层的进浆孔返浆后，关闭阀门，改用小泵（排量小于 2 L/min）对低排孔逐级升压至设计压力后，稳压灌注直至该排孔屏浆结束；若最低排孔灌注时间已达 15~20 h，但第 2 排孔仍有个别串通孔未返浆，则利用大泵将其充容直到第 2 排串通孔全部返浆，按此逐层实施，直至灌区顶排孔达到设计屏浆结束标准后，屏浆结束。

③灌浆结束标准

单孔灌浆：当孔内进浆、孔口排气管回纯浆后，封闭回浆管，逐级升压，当达到单孔设计灌浆压力 0.8 MPa、注入量小于 0.01 L/min 时，保持设计压力，再屏浆 2 h 结束该孔灌浆。

群孔灌浆：逐层进浆并达到结束标准，进浆最终压力必须控制在 0.5 MPa，上层回浆最终压力控制在 0.3~0.5 MPa，进浆孔浆液注入量小于 0.01 L/min 后，按设计要求进行操作，即：每个灌区化灌达到设计结

束标准后，屏浆时间不小于 4 h 或更长时间。若进浆最终压力和回浆最终压力不一致，则按进浆压力控制灌浆。灌浆过程中，已返浆的孔每隔 4 h 打开孔口的排气管，进行排气和排浆水混合物，待返出纯浆后立即关闭排气管阀门。上仰孔及正在屏浆或接近屏浆条件的孔不执行排水、排气程序。

灌浆顺序：先灌注相互串通的灌浆孔，后进行单孔纯压式灌浆。物探有缝、无渗漏或有缺陷的单孔采用化学浆液灌封；无缝、无串漏的单孔采用 0.45:1 的普通硅酸盐水泥灌封。

3.8.3 浆液配置

浆液按配合比 A:B=(4~6):1 进行配制，现场技术人员根据进浆流量、灌浆压力、灌注时间等综合因素，报现场三检和监理批准进行适时调整。浆液配合比多选用 5:1 的比例。

专用制浆及储浆桶采用双层设计，外层连接系统冷却水在灌浆过程中对浆液进行循环冷却；高温下系统冷却水不能满足要求时，向桶内加冰块对浆液进行冷却。按设计技术要求，浆液温度控制在 5~35℃，现场抽检测试的浆液温度一般在 19~33℃。

3.8.4 灌浆过程

灌浆时根据灌浆区域在相应的平台如 EL. 1 070 m、EL. 1 085 m 等地点布置输送化灌材料 A 液的供应站，然后在相应的坝面排架上或廊道内设置灌浆站；A 液用泵输送到灌浆站后，加入 B 液进行配浆制浆。同时安排专人进行记录。

灌浆采用齿轮灌浆泵及美国原装智能电动灌浆机。首先投入 1 台大泵（排量大于 2 L/min）进行充容，灌浆泵采用无级调速电机，可以很方便地进行灌浆压力调整和灌浆流量控制，然后再投入 2 台小泵（排量小于 2 L/min），同时对本层的灌浆孔进行稳压补灌。使用变频器来控制齿轮灌浆泵电机的转速，从而达到稳定控制进浆流量和压力的目的，避免压力流量陡升造成爆管或浆液渗漏等现象。

3.9 特殊情况处理

1) 灌浆期间，安排专人在坝面及廊道对灌浆孔、



原化灌检查孔、裂缝检查孔、廊道壁、观测间、方钢、排水沟等重点部位进行 24 h 不间断巡视,发现外漏及时暂停灌浆并采用快速封堵材料对渗漏点进行堵漏处理。经监理和设计审批,方钢采用 0.45:1 水泥浆灌浆。

2)对于长时间灌注、流量和压力无明显变化的化灌孔,采取“低压力、小流量、慢升压”的方式直至灌浆结束。

3)灌浆时,底排孔灌浆结束后依次移至上排孔进行灌浆,个别孔有不吃浆或少量进浆的,采用上排已返浆的孔间歇灌浆或充容保孔的灌浆工艺。底排孔灌浆时,上排已返浆的孔每隔 4 h 打开回浆管闸阀,进行排气和排浆水混合物及间歇式地灌浆冲刷管路,避免已返浆的孔及管路被堵。

4)灌浆过程中,发现特殊情况,应及时上报监理和设计单位,召开现场专题讨论会探讨合理灌浆工艺,保证灌浆效果。

4 灌浆成果分析及质量检查

4.1 单元工程质量评定标准

根据设计下发的本项目化学灌浆质量检查及验收标准进行工程质量标准评定。评定标准如下:

1)裂缝化学灌浆单元工程质量评定以分析检查孔裂缝充填情况、芯样粘结情况及压水试验成果为主。裂缝化灌充填标准分为粘结良好、有化灌浆液充填和无化灌浆液充填 3 类,按表 2 进行统计。

表 2 裂缝化灌单元工程质量检查情况

裂缝化灌效果分类	芯样检查情况	孔内数字成像检查情况
粘结良好	粘结良好(裂缝两侧均粘结有混凝土芯样)	—
有化灌浆液充填	脱开有化灌浆液充填良好芯样、脱开有化灌材料局部充填芯样	充填良好、局部充填
无化灌浆液充填	无化灌浆液结石	无充填

2)裂缝段(段长 5 m)压水试验透水率应达到: $q \leq 0.2 Lu$ 。

3)工程质量标准评定应结合钻孔及冲洗、灌浆工

艺控制(如:浆液配比及浆液温度控制、灌浆方法、灌浆程序、灌浆压力控制、屏浆和闭浆时间等)、灌浆成果记录等进行综合评定。

4.2 检查孔布置情况

4.2.1 布孔原则

通过孔内数字成像发现检查孔内有裂缝,或钻孔芯样时发现有效化灌浆液结石的检查孔为有效检查孔。只有有效检查孔,才能参与化灌质量评定。

有效检查孔按总孔数的 10%进行控制,孔位选择在串通性较好的部位或灌浆质量有问题的部位。单排串通孔布置在两孔连线中点附近,多排串通孔布置在矩形孔或菱形孔中心附近。

4.2.2 钻孔孔径

检查孔钻孔孔径为 91 mm,钻孔采用双管单动钻具钻进取芯。

4.3 灌浆成果分析

1)施工各工序质量均受控,钻孔及冲洗、压水、灌浆工艺控制、灌浆记录等均满足设计技术要求。

2)灌浆结果的各项指标均满足设计要求。取芯检查结果表明:取芯率达到 95%以上,充填率和充填良好率都在 80%以上,芯样粘结良好率达到 70%以上。从物探成果分析,充填率为 100%,充填良好率 100%。从裂缝段压水成果分析,透水率合格率为 100%。

5 结语

云南小湾电站通过钻孔、压水、物探对裂缝进行检查,根据裂缝检查结果编制专项灌浆方案,对坝体混凝土裂缝进行了化学灌浆,达到了结构加固补强的目的。对于类似坝体混凝土出现的裂缝,该灌浆工艺的经验值得借鉴和推广。

参考文献:

- [1] 刘红学,汪克广.小湾水电站拱坝横缝接缝灌浆施工技术[J].西北水电,2010(5):35-37.
- [2] 朱启贤.小湾电站工程质量管理及经验[J].贵州水力发电,2004(2):79-81.