

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2016.05.031

# 高水头大流量管道型渗漏定量控制 反向灌浆封堵新技术

王汉辉,于习军,邹德兵,闫福根

(长江勘测规划设计研究有限责任公司枢纽处,湖北武汉430010)

**摘要:**针对现有动水条件下处理高水头大流量管道型渗漏时,存在的处理难度大、效果差、工期长、材料浪费严重,技术经济的可控性差问题,研发了能构建静水环境的专利装置止水灌浆盒,提出了定量控制反向灌浆封堵新技术,并成功应用于工程实践。

**关键词:**管道型渗漏;定量控制;反向静水灌浆;止水灌浆盒

中图分类号: TU433

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2016)05-0160-04

## New Plug Technology of Quantitative Control and Reverse Grouting for High Head and Large Flow Pipeline Leakage

WANG Hanhui, YU Xijun, ZOU Debing, YAN Fugen

(Changjiang Survey Planing Design and Research Co., Ltd, Wuhan, Hubei 430010, China)

**Abstract:** Aiming at the pipeline leakage with high head and large flow, the traditional treatment under the conditions of flowing water will cause some problems, such as construct difficult, poor effect, long duration, material seriously waste. In order to solve the economic and technological controllability problem, a new technique of quantitative control of reverse grouting has been proposed and a patented device which can create static water environment for grouting has been developed as well.

**Keywords:** pipeline leakage; quantitative control; reverse hydrostatic grouting; waterproof filling box

在水利水电工程建设当中,高水头大流量管道型集中渗漏问题时有发生,特别是在岩溶地区,发生的频率较高<sup>[1-2]</sup>。如湖北清江的隔河岩水电站<sup>[3]</sup>、高坝洲水电站<sup>[4]</sup>、水布垭水电站,乌江的银盘水电站<sup>[5]</sup>、洪家渡水电站<sup>[6]</sup>、索风营水电站<sup>[7]</sup>、构皮滩水电站以及嘉陵江亭子口水电站等,在工程建设或投产蓄水运行期间均发生过高水头大流量管道型集中渗漏问题。这类问题的发生,严重影响工程建设的进展或运行期工程效益的正常发挥。

## 1 问题的提出

### 1.1 管道型渗漏处理技术现状

当前管道型集中渗漏处理技术主要有两类:一类是动水处理模式;另一类是静水处理模式。

(1) 动水处理模式:即在渗漏水流动条件下,采

用抛投颗粒料、灌浆等工程措施封堵渗漏通道<sup>[8]</sup>。依据渗漏封堵措施实施的部位,又可细分为入渗口封堵和中间嵌堵两种。入渗口封堵主要是通过对入渗区抛投防渗料来封堵渗漏通道,或修筑临时围堰,抽干积水后查明渗漏通道后再进行封堵。中间嵌堵法一般采用钻孔抛投卵石或级配料、灌注混凝土或砂浆、水泥浆等方式形成一道连续防渗帷幕,来实现对渗漏通道的封堵<sup>[9]</sup>。

(2) 静水处理模式:即在防渗封堵前,采取平压处理措施,临时性降低渗漏水流速,使之达到静水或低流速状态,实现变动水条件为静水环境后再进行封堵处理。

### 1.2 存在的问题

(1) 动水模式:① 水电工程中,管道型渗漏大多与江水或库水连通,入渗口一般位于水下甚至是

深水区,查明入渗口数量及位置难度非常大;中间嵌堵法需查明渗漏通道的发育走向与位置,但受限于复杂的地形地质条件,往往也难于查明。②在高水头、大流速条件下,无论是入渗口封堵还是中间嵌堵,均存在因动水带走封堵材料而导致的工程量大、成本高、施工复杂、工期长等问题<sup>[10]</sup>。

(2) 静水模式:传统的处理方法一般仅适用于低水头渗漏处理,难以用于高水头、大流量的集中渗漏处理。

本文针对当前管道型渗漏处理技术存在的问题,提出了一种能够适用于高水头大流量管道型渗漏封堵处理的新技术。

## 2 技术原理

### 2.1 基本思想

反向控制静水灌浆的基本思想是通过研发一种装置,在管道型渗漏出口变动水条件为静水环境,在出口进行定量控制反向灌浆封堵。该装置应兼具导水、止水及反向灌浆等多重功能。

### 2.2 定量控制灌浆模型

反向控制静水灌浆不仅需要充填渗漏管道本身,还要充填渗漏通道周边一定范围内岩体的裂隙。同时,还要求封堵体在高水头作用下能够满足抗滑稳定。运用宾汉姆流体浆液扩散理论<sup>[11]</sup>及隧洞封堵体抗滑稳定理论<sup>[12]</sup>,建立了管道型渗漏出口反向控制静水灌浆计算模型(图1),并推导定量控制灌浆量计算公式(式(1)~式(3))。

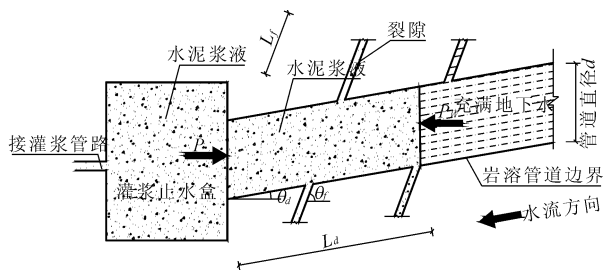


图1 “管道型”渗漏出口反向控制灌浆计算模型

$$L_d = \frac{K\gamma_w h_0 d_d}{2\tau} \quad (1)$$

$$L_f = \frac{P - 2h_0\gamma_w}{2\gamma_w J_f} \quad (2)$$

$$V = \frac{\pi}{4} (d_d^2 L_d + N d_f^2 L_f) \quad (3)$$

式中: $K$ 为安全系数,一般可取3~5,根据集中渗漏规模、地质条件的复杂程度选取; $\gamma_w$ 为水重度; $h_0$ 为总渗漏水头; $d_d$ 为岩溶管道直径; $d_f$ 为裂隙截面直径; $\tau$ 容许剪切应力; $P$ 为灌浆压力; $J_f$ 为裂隙渗透

比降; $L_d$ 为封堵段总长度; $L_f$ 为裂隙浆液扩散距离; $N$ 为管道周围裂隙总数,根据围岩类别估算; $V$ 为水泥浆液总体积。

### 2.3 技术要点

#### 2.3.1 止水灌浆盒研发与制安

(1) 止水灌浆盒研发。止水灌浆盒应兼具渗漏导水、止水及反向灌浆等多重功能,是创造变动水条件为静水环境的关键装置。

考虑到止水灌浆盒在关闭控制闸阀、灌浆作业期间需承受较大的内压,加之搬运、安装过程中易碰撞损坏,因此止水灌浆盒宜采用钢板焊接预制;其结构型式、尺寸大小及排水管过流能力应根据渗漏规模、范围、渗漏量以及渗漏点周边地形、地质条件等因地制宜制作。制作时应遵循以下几个原则:

- 1) 止水灌浆盒尺寸大小应能将渗漏点(区)完全包围;
- 2) 止水灌浆盒结构形态应尽量与周边地形衔接紧密;
- 3) 止水灌浆盒导水能力应大于总渗漏量;
- 4) 连接于止水灌浆盒排水路上的控制闸阀耐压性能满足承受反向灌浆压力的要求;
- 5) 止水灌浆盒应密封焊接牢固并具有足够的刚度。

根据上述原则,研发了一种止水灌浆盒(专利号:ZL2013201749969)<sup>[13]</sup>,其结构设计及实物分别见图2、图3。盒体结构一般包括钢板焊接形成的止水盒、排水管、控制闸阀、变径接头、固定法兰盘等。

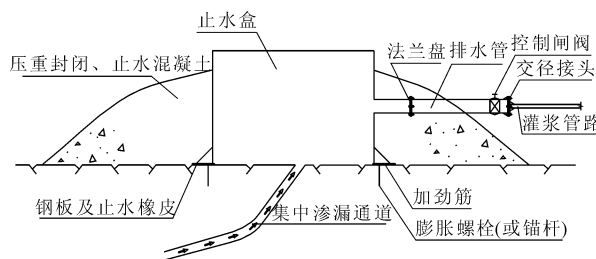


图2 止水灌浆盒结构图

(2) 止水灌浆盒安装与止水。止水灌浆盒安装一般采用现场制作,人工或机械吊装的方式安装。

止水灌浆盒安装就位后的周边止水工序极为关键。如果止水灌浆盒周边止水不彻底,将导致混凝土与岩体接触面多次发生击穿漏水,从而加大堵漏处理的施工难度。

(3) 关闸耐压试验。止水灌浆盒安装埋设、周边止水处理及加固完成后,应关闭控制闸阀进行关闸试验。关闸过程应缓慢进行,并加强对止水灌浆盒周边以及渗漏通道沿程的巡查,重点检查如下内

容:① 渗漏通道沿程是否有漏水现象;② 止水灌浆盒周边止水是否有效;③ 止水灌浆盒及控制闸阀自身能否承受渗漏水头压力等。一旦发现有漏水或破坏迹象时,应迅速打开闸阀,重新进行止水或加固处理,至关闸后止水灌浆盒周边及渗漏通道沿程均不漏水为止。



图 3 止水灌浆盒实物图

### 2.3.2 主要工艺流程

基本步骤如下:①止水灌浆盒和控制闸阀安装→②止水灌浆盒周边止水、加固→③关闸耐压试验→④接通灌浆管路→⑤打开控制闸阀→⑥开启灌浆机进行反向灌浆。

### 2.3.3 主要控制参数

#### (1) 灌浆方法及材料

为便于控制反向灌浆注入率,并避免灌浆过程中进浆管路出现堵管事故,反向灌浆宜采用孔口循环纯压式灌浆法施工。由于安装止水灌浆盒已经将集中渗漏的动水条件变为静水条件,灌浆材料不会被高流速的水流带走,属于回填灌浆的范畴,可直接采用浓水泥浆液进行灌注,且灌浆过程中一般不需要添加速凝剂。反向灌浆实施前应充分做好各项准备工作,尤其是需配备足够的灌浆设备、材料等,以确保灌浆作业须连续进行,灌浆过程应不间断、不中断。

#### (2) 灌浆压力

参照涌水灌浆处理经验,反向灌浆的压力一般按照下式控制<sup>[14]</sup>:

$$P = P_1 + P_2$$

其中: $P$  为反向灌浆压力; $P_1$  为渗漏出口涌水压力,当  $P_1$  不便实测时, $P$  可按渗漏总水头(不计沿程损失)初步估算; $P_2$  为反向灌浆进浆压力,一般参照回填灌浆压力取值 0.2 MPa ~ 0.3 MPa。

当灌浆过程中出现灌浆压力不变、注入率减小趋势时,可适当加大灌浆压力,前提是不造成周边岩体及渗漏通道沿程岩体被击穿。

#### (3) 灌浆结束标准

由于集中渗漏通道大多规模大,且多于与库水、江水连通,灌浆作业很难像帷幕灌浆、固结灌浆那样达到水泥灌浆规范规定的正常灌浆结束标准<sup>[15]</sup>,须在灌前制定一个合理的控制性灌浆结束标准。

反向控制灌浆结束标准原则上可采用以下 3 种方法控制:① 总灌浆时间控制;② 浆液出现初凝时间节点控制;③ 灌浆总量(总注灰量)控制。相对而言,灌浆总量控制法更能保证灌浆效果、质量,可靠性更好,因此推荐灌浆结束标准一般按灌浆总量控制。

灌浆总量控制标准主要根据渗漏通道的断面、长度等规模特征,按式(1)~式(3)进行估算。

## 3 银盘水电站管道型渗漏处理应用

### 3.1 工程简介

银盘水电站位于乌江下游重庆市武隆县境内,是乌江干流水电开发的第十一个梯级,工程主要由挡泄洪建筑物、电站厂房和通航建筑物等组成。大坝为混凝土重力坝,最大坝高 78.5 m,正常蓄水位 215.0 m,总库容 3.2 亿  $m^3$ 。工程分三期建设。

工程地处碳酸盐地区,坝址区发育多个岩溶管道系统。由于岩溶发育,地质条件复杂,三期基坑开挖过程中沿岩溶系统发生了多处规模较大的管道型渗漏,其中以 KW89 岩溶管道渗漏为代表。

2011 年 7 月,三期基坑船闸开挖至高程 159 m 左右时,闸室 1 左块集水井附近的 KW89 岩溶出现了涌泉状漏水,流量约 180  $m^3/h$  ~ 210  $m^3/h$ 。随后进行集水井开挖时,漏水量剧增,最终发展成 2 处大漏量集中渗漏,总渗水量达 6 000  $m^3/h$ (1.7  $m^3/s$ )左右,渗水水头约 22 m,渗漏规模实属罕见。

渗漏发生后,先后采用了多种常规封堵措施进行堵漏,历时长达 1 年,均未取得明显效果。采用本文提出的管道型渗漏反向控制静水灌浆技术总共耗时仅 2.5 个月就成功封堵了渗漏通道。

### 3.2 封堵处理方案

#### 3.2.1 止水灌浆盒制作

管道型渗漏主要集中在两处,根据渗流量大小及渗漏通道处地质条件,经研究决定采用两个大型止水钢板灌浆盒,尺寸分别为 4.0 m × 5.0 m × 1.5 m、2.0 m × 3.0 m × 1.5 m 的大型止水灌浆盒进行处理,其侧壁均连接 4 根直径  $\phi 630$  mm 的排水管,引排集中渗漏水流。

#### 3.2.2 止水灌浆盒安装、埋设

由于两个止水灌浆盒尺寸都很大,均采用机械就位。止水灌浆盒就位后,再浇筑压重混凝土止水、

固定。为避免反灌封堵过程中,混凝土与基岩接触面发生击穿渗漏,混凝土浇筑完成后,又进行了接触灌浆处理。安装成功后的止水灌浆盒见图4所示。



图4 银盘水电站岩溶渗漏处理实景图

混凝土浇筑达设计厚度后,于2011年9月11日进行了闸门耐压试验,闸门后周边岩体、混凝土与基岩接触部位均无渗漏现象。关阀试验成功,具备了实施反向灌浆前提条件。

### 3.2.3 反向灌浆

根据定量控制灌浆模型,初步估算需灌浆约80 m<sup>3</sup>。根据渗漏水头大小,初步拟定反向灌浆设计压力为0.3 MPa。采用0.5:1浓水泥浆,不掺加速凝剂。注入率初期按30 L/min~50 L/min控制,一般按50 L/min~60 L/min控制,最大达到近80 L/min。

反向灌浆总历时约40 h,共灌入水泥总量约435 t(约82 m<sup>3</sup>)。反向灌浆结束并待凝48 h后,打开闭浆管路,检查无渗水现象,管道型渗漏处理取得圆满成功。

### 3.2.4 应用效果分析

银盘水电站三期基坑KW89岩溶管道型渗漏处理工程实践表明,管道型渗漏反向控制静水灌浆新技术在处理高水头大流量渗漏方面具有以下显著优点:

(1) 处理质量可靠。一次封堵处理成功,灌后检查,防渗封堵质量良好,达到了预期目的和效果。

(2) 封堵处理时间短。本次管道型渗漏处理项目前后占用施工工期共约14个月,处理过程中采用了多种方法,耗时近一年,但均未获成功,最终采用本项新技术进行处理。其施工工期为:止水灌浆盒制作、埋设及盖重混凝土浇筑约1.5个月,接触灌浆约5 d,反向封堵灌浆仅约2 d,总施工工期约2.5个月,远远小于前期无效处理所浪费的施工工期。

(3) 处理投资小。由于在静水环境下灌浆,水泥等材料不易被水带走,处理费用相对传统方法节约很多。

## 4 结 语

(1) 本文针对工程中常见的高水头大流量的集中渗漏处理问题,提出了一项定量控制反向灌浆封堵新技术。

(2) 该项技术的关键是借助自主研发的专利装置止水灌浆盒,在出口构建静水灌浆环境,进行反向充填式灌浆。

(3) 银盘水电站等工程应用实践表明,该项新技术具有封堵速度快、可靠性高、投资少等优点,值得在今后类似工程中进行推广使用。

### 参考文献:

- [1] 熊德森. 水工建筑物岩溶渗漏问题综述[J]. 贵州地质, 2003, 20(2): 106-110.
- [2] 陈汉宝, 李瑞清, 刘贤才. 鄂西南岩溶地区几个水库渗漏的教训与反思[J]. 资源与环境工程, 2010, 24(5): 450-453.
- [3] 汪 辉, 张海仓. 灌浆技术在隔河岩电站导流洞堵头渗漏除险工程中的应用[J]. 工业技术与产业经济, 2011(6): 43-44.
- [4] 姚春雷. 高坝洲工程基坑岩溶漏水通道堵漏灌浆技术[J]. 水力发电, 2002(2): 47-49.
- [5] 钟以国. 洪家渡水电站库首右岸构造切口岩溶渗漏处理方案的确定[J]. 贵州水力发电, 2007, 21(1): 27-30.
- [6] 王 颂, 王雪波. 银盘电站三期工程基坑岩溶渗漏分析及处理措施[J]. 人民长江, 2013, 44(6): 1-5.
- [7] 陈玉奇. 索风营水电站导流洞 S63 岩溶管道封堵处理[J]. 贵州水利发电, 2003, 17(2): 42-45.
- [8] 刘德强, 宋战平. 岩溶隧道帷幕注浆止水技术及施工—以宜(昌)万(州)铁路金子山隧道为例[J]. 水利与建筑工程学报, 2007, 5(3): 38-42.
- [9] 陆龙池. 贵州省马洞水库喀斯特渗漏处理技术探讨[J]. 水利科技与经济, 2016, 22(2): 106-108.
- [10] 赵卫全, 韦红梅. 桥巩水电站二期围堰堵漏技术研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2009, 7(4): 13-15.
- [11] 窦向贤. 大坝基岩水泥灌浆的研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2004: 38-42.
- [12] 中华人民共和国水利部. 水工隧洞设计规范: SL279-2002[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002: 27.
- [13] 长江勘测规划设计有限责任公司. 高压大流量集中渗漏灌浆处理装置: 中国, ZL2013201749969[P]. 2013-04-09.
- [14] 张锦秀. 坝基防渗与灌浆技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002: 514-157.
- [15] 中华人民共和国水利部. 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范: SL62-2014[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014: 22.