

有压动水覆盖层帷幕成幕及控制灌浆 技术研究与应用

谭宝宝¹, 冯杨文², 陈晓东³, 熊德军¹, 钟久安², 何非凡³, 臧鹏²

(1. 国电丹巴东谷河水电开发有限公司, 四川 丹巴 626300;

2. 四川共拓岩土科技股份有限公司, 四川 成都 610091; 3. 中电建振冲建设工程股份有限公司, 北京 100102)

摘要:蓄水条件一定水头下的坝基覆盖层渗漏采用灌浆进行防渗处理时, 面临水泥浆液抗动水冲刷性差而被流水稀释分散、水流冲失以致灌浆难以成幕防渗以及耗浆量极大等难题。结合工程实践, 本文研究了采用抗动水分散浆液、膏状浆液, 遵循先堵后灌原则, 上下游分排灌注不同浆液, 解决了有压动水覆盖层防渗帷幕成幕及控制灌浆相关问题。工程应用效果好, 为类似渗漏工程治理提供了重要的参考借鉴。

关键词:坝基覆盖层; 有压动水; 渗漏治理; 帷幕灌浆; 控制灌浆

中图分类号: TV543 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2021)12-0120-06

Research and application of curtain forming and controlled grouting technology for overburden with pressurized flow water

TAN Baobao¹, FENG Yangwen², CHEN Xiaodong³, XIONG Dejun¹,

ZHONG Jiu'an², HE Feifan³, ZANG Peng²

(1. Guodian Danba Donggu River Hydropower Development Co., Ltd., Danba Sichuan 626300, China;

2. Sichuan Gotone Geotechnical Technology Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610091, China;

3. PowerChina Vibroflotation Construction Engineering Co., Ltd., Beijing 100102, China)

Abstract: During the process of grouting for seepage treatment of dam foundation overburden under some water head when retaining water, problems such as slurry dispersing, incomplete curtain, large consumption of cement, may be encountered. In reference to field practice, this paper investigates the use of the anti-washout slurry and the paste-like slurry, the injection-after-sealing principle, and grouting in tiers of different types of slurry for the upstream and downstream to solve the technical problems related to grouting of the overburden anti-seepage curtain and control of grouting under pressurized flow water. The technology produced good field results and can provide important reference for similar seepage treatment.

Key words: dam foundation overburden; pressurized flow water; seepage treatment; curtain grouting; control grouting

0 引言

对于大坝基础设在覆盖层上的水电水利工程水库的渗漏, 覆盖层是主要的渗漏通道之一。在设计控制之内的正常渗漏(流), 一般不会对大坝产生渗透破坏; 若渗流过大且集中, 在长期作用下覆盖

层中的细小颗粒可能被水流带走, 形成大的孔隙结构, 逐渐地渗流将可能具有一定的流速和较大的渗漏量, 这不仅给已建水库带来水量损失和发电效益损失, 而且还威胁到大坝的安全。因此, 具备处理时机时应尽快对覆盖层的渗漏进行防渗处理。

收稿日期: 2021-03-31; 修回日期: 2021-07-07 DOI: 10.12143/j.ztgc.2021.12.018

作者简介: 谭宝宝, 男, 汉族, 1983年生, 高级工程师, 从事水电水利工程开发与管理工, 四川省甘孜州丹巴县东谷水电营地, 285028868@qq.com。

引用格式: 谭宝宝, 冯杨文, 陈晓东, 等. 有压动水覆盖层帷幕成幕及控制灌浆技术研究与应用[J]. 钻探工程, 2021, 48(12): 120-125.

TAN Baobao, FENG Yangwen, CHEN Xiaodong, et al. Research and application of curtain forming and controlled grouting technology for overburden with pressurized flow water[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(12): 120-125.

覆盖层防渗工程中,混凝土防渗墙、高压喷射灌浆、帷幕灌浆等是比较常见的方法。综合考虑运营期水电水利工程水库现场条件、坝体结构、施工便利等,坝基覆盖层防渗堵漏采用帷幕灌浆相对较为适宜。

大坝坝基覆盖层防渗堵漏处理时,一般情况下需放空水库或降低库水位以确保“干地”施工、减小水压和渗流速度以降低施工难度,但会给电站、水库的经济效益带来一定的损失。在不具备放空条件或为了减少经济损失而需保持蓄水工况时,库水将处于较高水位,在上下游较大水头差的作用下,坝基覆盖层渗漏区域可能产生具有一定流速和较大流量的流动水,即有压动水。

1 有压动水覆盖层帷幕灌浆施工难点

按被灌地层分,帷幕灌浆可分为基岩帷幕灌浆和覆盖层帷幕灌浆。类似地,在蓄水条件下的帷幕灌浆亦可分为有压动水基岩帷幕灌浆和有压动水覆盖层帷幕灌浆。相对而言,基岩帷幕灌浆、有压动水基岩帷幕灌浆、覆盖层帷幕灌浆、有压动水覆盖层帷幕灌浆的施工难度依次增大。虽然有压动水基岩帷幕灌浆已有相关工程实例,如甲岩电站大坝左右岸趾板新增帷幕灌浆工程(趾板灌浆孔位处水深达50 m,孔深达153 m),但并不意味着其经验就可解决有压动水覆盖层帷幕灌浆的问题。目前,有压动水覆盖层帷幕灌浆处理渗漏缺陷仍是难点问题。例如,甘孜州境内大渡河流域某水电站河床段坝基深厚覆盖层帷幕补强面临蓄水工况高承压水头、动水条件灌浆施工等难题^[1]。

(1)通常,帷幕灌浆材料多采用水泥浆液。在有压动水覆盖层中采用水泥浆液进行灌浆时,因浆液凝结时间长、抗水冲和抗稀释性差,易被水流带走,渗透扩散亦受影响,使得浆液难以在覆盖层孔隙或空洞留存,以致较难形成完整帷幕,难以达到坝基防渗目的,而且浆液耗量极大,使得渗漏治理效果不佳,是有压动水覆盖层灌浆的难点。

(2)在有压动水覆盖层采用普通硅酸盐水泥浆液结合冲填级配料或者灌注水泥砂浆等,在一定程度上可抗水流冲击,仍面临浆液水下凝固时间长、抗水流冲释性差等问题。已有的研究表明,普通硅酸盐水泥浆液在水下,尤其是动水下的凝固时间较长,甚至发生假凝或不凝现象。

(3)近年来,为了解决浆液在水下凝固时间过长、动水下易被冲散的难题,多种灌浆材料用于有压动水灌浆工程,但仍难尽如人意。掺速凝剂的浆液、水泥-水玻璃双液浆液可缩短浆液凝结时间但易被水流稀释,水泥-水玻璃双液亦存在混合不均、堵管、堵孔事故;掺抗分散剂的水泥浆液可在静水下抗分散,但抗动水冲释性不足。热沥青遇水凝固,不易被水冲释,但灌前要加热、灌注过程中要保温,施工工艺复杂,不适用于深孔灌注。聚氨酯灌浆材料(化学浆液)密度约 1.05 g/cm^3 ,注入钻孔渗漏位置后,与水反应快,形成泡沫状固结体,扩散范围受限,在有压动水条件下,比水轻的发泡体易聚集在渗漏入口附近通道上部,动水仍可能从通道下部渗流,以致效果不太理想,再者价格贵。

综上,在蓄水条件下对坝基覆盖层渗漏进行灌浆处理时,面临常规水泥浆液抗动水冲释性差而被流水稀释分散、水流冲失以致灌浆难以成幕防渗以及耗浆量极大的难题。故此,对有压动水覆盖层帷幕成幕及控制灌浆技术进行研究^[2]。

2 有压动水覆盖层帷幕成幕及控制灌浆技术研究

2.1 有压动水覆盖层灌浆技术总体思路

《水电水利工程覆盖层灌浆技术规范》(DL/T 5267—2012)术语“帷幕灌浆”的释义为“将浆液灌入覆盖层孔隙或空洞内形成连续的阻水幕,以减小覆盖层地基的渗漏量或降低渗透压力的灌浆工程”。由此可知,覆盖层帷幕灌浆施工将浆液灌入覆盖层孔隙或空洞,从而形成阻水幕。反之,覆盖层帷幕灌浆要成幕,需要浆液进入覆盖层孔隙或空洞并留存。

当帷幕灌浆施工是在水电水利工程水库正常运行工况下进行(水库不放空,库水位根据电站正常运行情况变动),存在较高水头、深孔、动水等复杂施工条件。坝基下游与上游存在水头差,坝基渗漏使得覆盖层中存在一定流速的水流,灌入的浆液易被水冲稀释,难以在孔隙或空洞留存,因此难以凝结成幕,是覆盖层灌浆施工的难点。

2.1.1 研究思路

(1)灌浆材料与浆液。在水流冲刷作用下,常规浆液易被水冲释,初凝时间延长,难以凝结与堵塞渗漏通道;常规浆液水泥颗粒被水流稀释分散、冲走,难以灌入并留存在覆盖层孔隙或空洞而成幕。因

此,有压动水条件下,浆液一是要不易被水冲稀释,即具有抗动水分散性;二是进入孔内、地层后能尽早凝结,即具有一定速凝性。

(2) 灌浆成幕技术方法。通常,坝基渗漏较大的覆盖层一定程度上存在优势渗漏通道。若能堵塞缩小优势渗漏通道,后续水泥灌浆成幕才有条件实施。因此,覆盖层灌浆施工需遵循“先堵漏,后灌浆”原则。遇动水大渗漏时,可先尽可能连续注入粘稠、抗水冲或抗动水分散浆液,希望渐进堵塞较大漏失通道,再及时连续灌入水泥浆渗透、扩散入地层孔隙或空洞以凝结成幕。

(3) 帷幕效果与设计排数、施工顺序。从灌浆实践可知,灌浆帷幕的防渗效果与其厚度密切相关。一般地,覆盖层帷幕的厚度根据最大设计水头、帷幕的允许渗透比降、渗流控制标准进行确定后,匹配确定帷幕灌浆孔的孔距、排距及排数。

覆盖层帷幕布置3排及以上时,先灌注下游排孔,再灌注上游排孔,后灌注中间排孔。希望下游排孔可先行参照灌浆强度值(GIN)灌浆法封堵较大渗漏通道,一定程度上可拦阻上游排孔浆液随水流向下游流失过多,上下游两边排孔封堵周边后,中间排孔则可采用相对较高压力进行灌浆渗透、扩散入地层孔隙或空洞以凝结成幕^[3-5]。

2.1.2 工艺技术措施

(1) 灌浆材料选择与使用。灌浆材料综合选用抗动水分散浆材、双液速凝浆材(掺水玻璃)、水泥浆液、水泥膨润土稳定浆液等。根据实际漏失情况调整浆材与配比,原则上先多灌入抗分散浆材、速凝浆材,封堵灌浆宜连续进行。

宜分排灌注不同浆液。下游排孔、上游排孔可灌注抗动水分散浆液、膏状浆液、双液速凝浆材或水泥浆等,中间排孔宜灌注水泥膨润土稳定浆液或水泥浆。

(2) 灌浆参数拟定。根据水头压力调整灌浆压力,宜使用较高压力灌浆,以使灌浆扩散半径、压力挤密影响范围满足要求。

(3) 灌浆设备选择。选用螺杆泵灌注抗动水分散浆材、膏状浆液、双液速凝浆材等;选用三缸高压灌浆泵,满足高压灌浆、深孔灌浆时压力需要,以及灌注水泥膨润土稳定浆液或水泥浆。

(4) 灌浆孔分序灌注。覆盖层灌浆严格按分序加密的原则进行,排内可分3序。先灌注下游排孔,再灌注上游排孔,后灌注中间排孔。同排灌浆孔先灌Ⅰ序孔,再灌Ⅱ序孔,后灌Ⅲ序孔。

(5) 灌浆结束后措施。达到灌浆结束标准后,采取屏浆措施、闭浆措施。

2.1.3 工艺步骤与作用(见表1)

表1 有压动水覆盖层灌浆工艺步骤与作用

Table 1 Grouting procedure and functions for overburden with pressurized water

序号	工艺步骤名称	说明	作用
1	灌注抗动水分散浆材	动水下浆液能留存,初步堵塞渗漏通道	控制灌浆
2	灌注速凝膏状浆液	进一步堵塞渗漏通道	控制灌浆
3	灌注速凝水泥浆液	基本堵塞渗漏通道	控制灌浆
4	灌注水泥粘土浆、普通水泥浆液	在较高压力下,水泥浆液扩散渗透、压力挤密覆盖层地层	帷幕成幕与防渗

2.2 有压动水灌浆材料研究

根据工程实际需要,对膏状浆液、抗动水分散浆液进行研究。膏状浆液粘稠,可用于充填较大空隙。抗动水分散浆液在水流中不分散,可先封堵较大的动水渗漏通道,为先堵后灌创造条件。根据材料特性、成本、配料与灌注工艺等相关资料分析,抗动水分散浆液考虑以聚氨酯类材料与水泥复合的方向进行调配研究^[6]。

2.2.1 膏状浆液

膏状浆液主要选用羟丙基甲基纤维素或海藻酸钠为主要外加剂,硅灰、甲酸钙等为辅助外加剂(表2)。相对而言,纤维素的效果较海藻酸钠略微差,但纤维素较为经济,故使用纤维素膏状浆液。

试验表明,在0.5:1水泥浆液中掺加1%纤维素、1%碳酸钠,获得的纤维素膏状浆液的流动性、初凝时间满足施工需要。

表2 膏状浆液配合比试验

Table 2 Mixing ratio test of the paste slurry

序号	配合比			粘度/ (mPa·s)	初凝时 间/min	抗压强 度/MPa
	水泥	水	外加剂			
1	100	50	1(纤维素)	4560	90	33
2	100	50	1.5(海藻酸钠)	4340	92	34

2.2.2 抗动水分散浆液

水泥浆液凝结时间长,在水中易被水流稀释、分散。因此,需研究抗动水分散浆液。参考《水工建筑物化学灌浆施工规范》(DL/T 5406—2010)有关内容,选用油溶性(疏水型)聚氨酯灌浆材料大类(此处以GTGR代称),研究与水泥的复合,以制成抗动水分散浆液。

经试配,推荐GTGR:水泥=0.5:1的C-GTGR1浆液,其密度、粘度相对较大,初凝时间相对较短,抗压强度相对较高(表3)。抗分散性试验表明,该浆液在静水中不分散,水中搅拌下亦不被稀释、不分散,具有抗水流冲释性。灌浆料的密度比水大,在水中呈现下沉趋势,不易随水流方向大量流失,具有抗水冲性。灌浆料初、终凝时间根据外加剂的加量进行调整控制,可实现快速固化。浆液以水泥为主,相应降低了使用成本^[7]。

表3 抗动水分散浆液配合比试验

Table 3 Mixing ratio test of the anti-wash out slurry

GTGR浆 材拌合料	配合比		密度/ (g· cm ⁻³)	粘度/ (mPa· s)	初凝 时间/ min	抗压 强度/ MPa
	水泥	催化剂				
5	10	0~10	1.95	4120	10~45	20

2.3 覆盖层灌浆成幕与控制灌浆技术分析研究

2.3.1 控制灌浆技术

坝基渗漏较大的覆盖层一定程度上存在优势渗流通道。普通水泥浆液到达覆盖层钻孔的渗流位置时,在水流作用下顺着优势渗流通道流动,不断被水流稀释、分散乃至冲走,流失量大,亦难以封堵渗流通道^[8-9]。因此,控制浆液的措施如下:

(1)采用抗动水分散浆液(如C-GTGR1浆液)先行封堵渗流通道。抗动水分散浆液在动水中不分散,密度比水大,初凝时间可调至较短,则不断有凝结物在不规则的覆盖层渗流通道中得以下沉、留在通道下部,渐进堵塞较大漏失通道,使得抗动水分

散浆液随水流流动的距离不会过远,从而合理地控制了灌浆量。之后,视不同情况,再采用纤维素膏状浆液、水泥-水玻璃双液、浓水泥浆等进一步封堵渗流通道。

(2)控制灌浆亦需要适宜的灌浆孔排数,例如2排或3排及以上。边排孔侧重于堵漏,注入抗动水分散浆液、纤维素膏状浆液、水泥-水玻璃双液等,低压或无压以避免浆液流失过远。边排孔封堵后,中间排孔能升压灌注水泥粘土浆液或水泥浆液,既保证灌浆质量,又可避免浆液在较大压力下流失过远。

2.3.2 动水条件成幕技术

在有压动水覆盖层,浆液需进入覆盖层孔隙或空洞并留存,才可胶结地层以成幕。因此,浆液要先在覆盖层中“站住脚”。此需先灌注抗动水分散浆液,不断有凝结物沉留在不规则的覆盖层渗流通道下部,渐进堵塞较大漏失通道,先行起到一定减渗作用、遏制动水流速,以使后续浆液能更多地不断留在覆盖层中,为成幕创造先决条件。

考虑帷幕的允许比降,覆盖层防渗灌浆需要一定的帷幕厚度,故宜布置多排孔。边排孔封堵漏失通道后,中间排孔灌浆时就能够升得起较高压力,配以专用灌浆钻喷头,切割搅搅孔周一定范围的地层,扩大浆液渗透扩散与胶结的范围,实现渗透胶结、压密空隙而形成有效防渗幕体。中间排孔宜灌注水泥膨润土稳定浆液或水泥浆。

2.3.3 有压动水覆盖层帷幕成幕及控制灌浆实施步骤

帷幕灌浆孔的布置如图1所示。

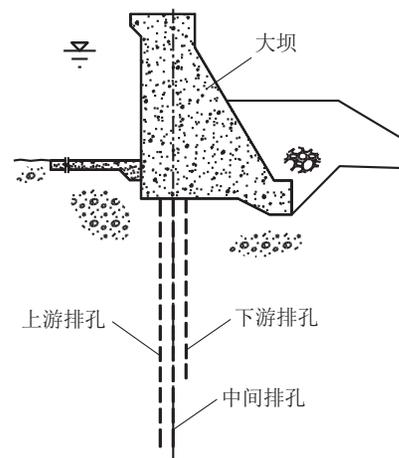


图1 帷幕灌浆孔布置

Fig. 1 Layout of the grouting holes

步骤一:作为覆盖层灌浆成幕的必要首步,在下游排孔使用螺杆注浆泵分段灌注抗动水分散浆液,对有压动水覆盖层较大的漏失通道进行渐进堵塞,起到减渗和遏制动水流速的作用,之后使用三缸灌浆泵复灌水泥浆至正常结束,为后续水泥灌浆成幕提供条件;

步骤二:以适当高于下游排灌浆孔的灌注压力对上游排灌浆孔使用螺杆注浆泵或双液注浆泵分段灌注纤维素膏状浆液和水泥水玻璃速凝浆液,进一步堵塞渗漏通道,之后使用三缸灌浆泵复灌水泥浆至正常结束,为后续水泥灌浆成幕提供条件;

步骤三:以适当高于上游排灌浆孔的灌注压力对中间排灌浆孔使用三缸灌浆泵分段灌注水泥膨润土稳定浆液或水泥浆,浆液在高灌浆压力下渗透、扩散入地层孔隙或空洞以凝结成幕。

3 工程应用

丹巴某水电站河床覆盖层上部为砂卵砾石(Q_4^{al+pl})、下部为含泥砂卵砾石(Q_3^{gl}),结构中密—密实,渗透系数为 $3.6 \times 10^{-3} \sim 8.7 \times 10^{-2}$ cm/s,属强—中等透土层。

坝基河床防渗原设计方案采用水平混凝土铺盖防渗。电站运行多年后,坝基渗流量(不含生态放水量)约 $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$,超过设定值,研究决定采取新增垂直防渗灌浆帷幕。覆盖层坝段设置3排或2排帷幕灌浆孔,孔距 1.5 m ,排距 1.2 m ,梅花形布置,灌浆孔在覆盖层中的深度达 44.1 m ,灌浆压力 $0.3 \sim 4.0 \text{ MPa}$ 。

为保障渗漏处理期间水库电站的发电、水资源利用等经济收益,决定在蓄水条件下进行覆盖层帷幕灌浆。蓄水工况下大坝前后水头差约 15 m ,水流速约 1.1 m/s 。

帷幕灌浆采用孔口封闭、孔内循环、自上而下分段灌浆法。除了主要对新钻段进行灌浆以外,还可以使以上各段都能得到若干次的重复灌浆,最终都会受到最高压的“考验”,有利于提高灌浆质量。

在上下游较大水头差的作用下,覆盖层灌浆面临水泥浆被流水稀释、带走,浆液流失严重,较难留存。经研究与试验,遵循“先堵漏,后灌浆”原则,遇动水大渗漏时,先尽可能连续注入粘稠、抗水冲或抗动水分散浆液(如C-GTGR1堵水浆液),以渐进堵塞较大漏失通道,再及时连续灌入水泥浆或水泥粘

土浆渗透、扩散入地层孔隙或空洞以凝结成幕,取得了成效。例如,灌浆过程中,覆盖层坝段一个先导孔的覆盖层第1段塌孔严重,孔段 $0.20 \sim 0.30 \text{ m}$ (段长 0.1 m),漏失严重,耗用水泥 6991 kg ,单耗 69907 kg/m ;第2段 $0.30 \sim 2.00 \text{ m}$ (段长 1.7 m),漏失严重,采用抗动水分散浆液C-GTGR1灌注以封堵大漏失通道,耗用GTGR1浆材 3150 kg ,水泥单耗约 11279 kg/m ,与第1段相比显著下降,说明C-GTGR1浆液起到积极的封堵作用;第3段 $2.00 \sim 5.00 \text{ m}$ (段长 3.0 m),在水泥浆液中适当掺加水玻璃,亦试用了纤维素膏状浆液(耗用纤维素 9.6 kg),该段单耗约 3322 kg/m ,降低明显,说明其上第2段灌注是有效果的。

总体上,灌浆按分序加密的原则进行,先边排后中间、排内分序加密。灌浆孔施工顺序为:先灌下游排,再灌上游排,最后灌中间排;排内灌浆孔分3序,先施工I序灌浆孔,再施工II序灌浆孔,最后施工III序灌浆孔。分排灌注不同浆液,边排孔灌注了抗动水分散浆液、纤维素膏状浆液,侧重于堵漏;中间排重点在于较大压力灌注水泥粘土浆、水泥浆以渗透胶结、压密空隙而形成有效防渗幕体^[10-15]。

经过新增垂直帷幕灌浆防渗处理后,检查孔注水试验获得的灌后地层渗透系数 $4.2 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$,小于设计防渗标准($5 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$);坝体下游河道内可见渗流量 23 L/s ,小于设定值($0.05 \text{ m}^3/\text{s}$)。说明灌浆有效地充填、封堵了孔隙通道,覆盖层灌浆帷幕成幕并发挥了防渗作用。

在电站运营期间,在蓄水发电条件下进行坝基渗漏处理,施工工期约5个月,保障了发电收益约2000万元,经济效益明显。

4 结论

结合丹巴某水电站坝基渗漏处理工程,研究与应用了有压动水覆盖层帷幕成幕及控制灌浆技术,在蓄水发电条件下进行坝基渗漏处理,保障了渗漏处理期间水库电站的发电、水资源利用,亦解决了常规水泥浆液抗动水冲释性差而被流水稀释分散、水流冲失以致灌浆难以成幕防渗以及耗浆量极大的难题,坝基防渗治理效果与社会经济效益明显。研究得出的主要结论有:

(1)有压动水覆盖层灌浆施工宜遵循“先堵漏,后灌浆”原则。遇动水大渗漏时,先尽可能连续注入

粘稠、抗水冲或抗动水分散浆液(如C-GTGR1堵水浆液),以渐进堵塞较大漏失通道,再及时连续灌入水泥浆渗透、扩散入地层孔隙或空洞以凝结成幕。

(2)有压动水覆盖层灌浆宜分排灌注不同浆液。下游排孔、上游排孔等边排孔侧重于堵漏,可灌注抗动水分散浆液、膏状浆液、双液速凝浆材或水泥浆等;中间排孔重点在于较大压力灌浆以渗透胶结、压密空隙而形成有效防渗幕体,宜灌注水泥膨润土稳定浆液或水泥浆。

参考文献(References):

- [1] 姚志辉,黄艳莉.泸定水电站坝基高水头深厚覆盖层帷幕灌浆施工技术研究[J].水利水电技术,2013,41(5):1-3,9.
YAO Zhihui, HUANG Yanli. Study on construction technology of curtain grouting for deep overburden upon dam foundation under high head for Luding Hydropower Station [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2013,41(5):1-3,9.
- [2] 李正顺.大渡河丹巴水电站坝基深厚覆盖层工程地质研究[D].成都:成都理工大学,2008.
LI Zhengshun. Study on the engineering geological property of deep overburden in the Danba Hydroelectric Power Station[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2008.
- [3] 范峥,钟久安,何非凡,等.高聚物复合堵水浆材在岩溶地区深孔帷幕灌浆中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(1):86-90.
FAN Zheng, ZHONG Jiuan, HE Feifan, et al. Application of high polymer composite water blocking slurry in deep hole curtain grouting in the karst area [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(1):86-90.
- [4] 黄庆豪,侍克斌,毛海涛,等.固结灌浆深度对丹巴水电站深厚覆盖层坝基中流固耦合的影响[J].水电能源科学,2020,38(5):86-90.
HUANG Qinghao, SHI Kebin, MAO Haitao, et al. Effect of consolidation grouting depth on fluid-solid coupling in deep overburden dam foundation of Danba Hydropower Station [J]. Water Resources and Power, 2020,38(5):86-90.
- [5] 张漆,巨彬.深孔覆盖层防渗灌浆试验在工程施工中的应用[J].水利建设与管理,2020,40(3):58-62,84.
ZHANG Qi, JU bin. Application of impervious grouting test of deep hole overburden layer in engineering construction [J]. Water Resources Development & Management, 2020,40(3):58-62,84.
- [6] 唐应鹏.斜卡电站深厚覆盖层水泥化学复合灌浆技术浅谈[J].四川水利,2015(5):79-80.
TANG Yingpeng. Discussion on cement chemical composite grouting technology for deep overburden of Xieka Hydropower Station [J]. Sichuan Water Conservancy, 2015(5):79-80.
- [7] 杨向东,朱红梅.国内聚氨酯灌浆材料的种类及其应用领域[J].山东工业技术,2015(2):140-141.
YANG Xiangdong, ZHU Hongmei. Types and application fields of polyurethane grouting materials in China [J]. Shandong Industrial Technology, 2015(2):140-141.
- [8] 骆秋林.桐子林水电站深厚覆盖层全帷幕灌浆技术[C]//中国水利学会地基与基础工程专业委员会第13次全国学术会议论文集,2015:327-331.
LUO Qiulin. Full curtain grouting technology for deep overburden of Tongzilin Hydropower Station [C]//Proceedings of the 13th National Academic Conference of Foundation and Foundation Engineering Committee of China Hydraulic Society, 2015:327-331.
- [9] 罗先进,何江达,谢红强,等.深覆盖层闸坝结构特性及基础处理措施研究[J].中国农村水利水电,2013(3):114-118,122.
LUO Xianjin, HE Jiangda, XIE Hongqiang, et al. Research on dam structure characteristics and foundation treatment measures for gate dams on deep overburden layers [J]. China Rural Water and Hydropower, 2013(3):114-118,122.
- [10] DL/T 5406—2010,水工建筑物化学灌浆施工规范[S].
DL/T 5406—2010, Specification for chemical grouting construction of hydraulic structures[S].
- [11] DL/T 5267—2012,水电水利工程覆盖层灌浆技术规范[S].
DL/T 5267—2012, Specification of overburden grouting for hydropower and water resources projects[S].
- [12] 张传虎,刘传炜,张红曾,等.深厚覆盖层围堰综合防渗体系施工关键技术[J].电力勘测设计,2018(12):41-45.
ZHANG Chuanhu, LIU Chuanwei, ZHANG Hongzeng, et al. Key technology for construction of deep overburden cofferdam with comprehensive anti-seepage system [J]. Electric Power Survey & Design, 2018(12):41-45.
- [13] 潘松林.谈浅覆盖层地段地表预加固灌浆施工[J].山西建筑,2016,42(7):80-81.
PAN Songlin. Discussion on pre-reinforcement grouting construction of shallow overburden area surface [J]. Shanxi Architecture, 2016,42(7):80-81.
- [14] 李振学,李明辉.泸定水电站深厚覆盖层防渗墙施工技术[J].水力发电,2012,38(1):50-53.
LI Zhenxue, LI Minghui. Construction of cut-off wall in deep overburden for Luding Hydropower Station [J]. Water Power, 2012,38(1):50-53.
- [15] 胡小顺.覆盖层无盖重条件下灌浆施工工艺[J].科技传播,2010(20):111,103.
HU Xiaoshun. Covering layer under the condition without coverheavy construction craft grouting [J]. Public Communication of Science & Technology, 2010(20):111,103.

(编辑 周红军)