

# 某电厂水库岸边取水工程施工实践

李建斌, 刘国谋, 赵存宝, 李 丽, 袁慧敏

(河南省郑州地质工程勘察院, 河南 郑州 450053)

**摘要:**为满足某电厂供水需求,需在某水库进行岸边取水工程(含取水竖井、引水隧道、引水明渠3部分)施工。通过短段掘砌逆作工艺,井筒壁溶洞导水并将导出的水作为水源的一部分,实现了井筒干封底,顺利完成井筒施工;采用顶管技术+管顶注浆技术在破碎岩体、涌水量较大地层成功完成引水隧道施工;通过岩塞爆破成功实现引水隧道和水库的连接;通过船载冲击成槽技术,实现了引水明渠的施工。

**关键词:**取水工程;短段掘砌;逆作法;导水;干法封底;隧道顶管;冲击成槽

**中图分类号:**TV67 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2014)02-0074-04

**Construction Practice of Water Intake Engineering near the Reservoir/LI Jian-bin, LIU Guo-mou, ZHAO Cun-bao, LI Li, YUAN Hui-min** (Zhengzhou Institute of Geological Engineering Investigation of Henan Province, Zhengzhou Henan 450053, China)

**Abstract:** To meet the water supply demand of a power plant, the water intake engineering construction (containing water intake shaft, draw water tunnel and open diversion channel) at a reservoir was needed. By means of the top-down method of excavation with lining alternated in short segments, guiding cavern water from shaft wall was derived as a part of the water source, and the shaft construction was completed with dry bottom-sealing. By pipe jacking and pipe top grouting technologies, draw water tunnel was accomplished in the strata with broken rocks and abundant water inflow; by the rock plug blasting, the connection of the tunnel and the reservoir was successfully realized; and by percussive trenching technology, open diversion channel was constructed.

**Key words:** water intake engineering; excavation with lining alternated in short segments; top-down method; guiding water; dry bottom-sealing; pipe jacking in tunnel; percussive trenching

## 1 工程概况

华润电力登封有限公司二期(2×600MW级)超临界燃煤发电机组岸边取水泵站单位工程位于登封市宣化镇青石沟东玉村西部白沙水库岸边,设计每小时取水1500 t。

岸边取水泵站单位工程包括如下几个分部工程:取水竖井、引水隧洞和引水明渠、岸边取水泵房、配电间。

## 2 岩土工程勘测情况简述

根据资料,工程场地属于低山地貌,地势自西北向东南逐渐降低,地面标高210~255.0 m,设计进水口位于迎水坡部位,水库未建前经常冲刷,坡面较陡,岩石为微风化。

### 2.1 工程地质条件

根据竖井周边4个钻孔资料确定,地层自上而下可以分为2个主层和3个亚层。

①粉质粘土,褐黄~黄褐色,可塑~硬塑,中等

压缩性,含植物根系,下部含风化白云质灰岩残块,残块直径3~20 cm。因地势不同厚度变化较大,层厚0.30~2.30 m,层底高程252.82~256.40 m。

②白云质灰岩,灰、灰白、青灰色,微风化为主,裂隙附近风化程度较强,层面上发育网格状方解石脉,见溶隙及溶洞。上部呈细晶~隐晶结构,下部隐晶结构,中厚层构造。岩层走向北西,倾向北东,倾角15°~25°,该层最大揭露厚度18.1 m,层底标高202.34~254.87 m。岩体基本质量分级为Ⅳ级。

②<sub>2</sub>破碎带,灰、灰褐、灰白等色,由白云质灰岩经风化及构造切割产生的碎块组成,碎块大小不均,一般粒径为3~25 cm,碎块间隙多为可塑状粘性土及密实粉细沙充填,局部见岩溶、裂隙发育。岩块风化程度以中等风化为主,少量为强风化和微风化。该层分布于②层中,揭穿厚度1.20~12.00 m,层底标高198.88~250.84 m。岩体基本质量分级为Ⅴ级。

②<sub>3</sub>破碎带,灰黄、棕黄等色,该层由60%~

收稿日期:2013-10-17

作者简介:李建斌(1965-),男(汉族),河南洛阳人,河南省郑州地质工程勘察院高级工程师、注册岩土工程师,水文地质与工程地质专业,从事岩土工程勘察、设计、施工工作,河南省郑州市南阳路56号地矿大厦410房间,hn.dk@163.com。

80%的强~全风化白云质灰岩残块和少量粉质粘土组成,局部全为白云质灰岩风化物。白云质灰岩残块一般为全风化,少量为强~中等风化,一般粒径为3~20 cm,最大粒径为30 cm。粉质粘土为可塑~硬塑状态。该层由于构造作用使岩体破碎并强烈风化形成,分布于基岩上部。本层厚度分别为2.00~4.70 m,层底标高分别为254.40~250.84 m。岩体基本质量分级为V级。

②<sub>4</sub>破碎带,灰、灰褐、灰黄等色,该层岩性主要为强风化白云质灰岩,局部裂隙中充填少量粘性土成分。岩体未经扰动时整体性较好,但节理裂隙发育,将岩石切割成棱角状,手捏即碎。扰动后成沙状,混少量碎岩块,浸水后强度降低较多。该层分布较广,一般沿构造裂隙发育,揭穿竖向厚度为1.90~30.50 m,层底标高195.57~240.87 m。岩体基本质量分级为V级。

## 2.2 水文地质条件

(1)地下水:根据勘探资料,场地地下水类型为裂隙潜水,勘探期间地下水位埋深32.0~38.0 m,相应的标高为218.67~220.58 m。破碎带地层渗透系数为4.5~7.5 m/d。

(2)地表水:场地地表水体主要为白沙水库水和大气降水后地表积水,勘测期间白沙水库水位标高218.0 m和水库正常蓄水水位标高相同,水库最低水位211.0 m,百年一遇的洪水位标高232.47 m。

(3)地下水与地表水联系:地下水与库内蓄水

相连,接受白沙水库库水和大气降水补给,地下水位主要受水库水位变化影响。施工期间白沙水库水位标高220 m左右,工程场地地下水位标高218.67~220.58 m左右。

## 3 设计概况及对施工的要求

### 3.1 取水竖井

圆形断面,顶部标高为253.0 m,井筒基底标高为205.0 m,井筒内底标高206.5 m,井总净高度为46.5 m,内直径为7 m,侧壁钢筋混凝土衬砌平均厚度为0.9 m,底板钢筋混凝土厚度为1.5 m。

对施工的要求:采用井下注浆、超前锚杆预加固再进行掘进,最后衬砌混凝土。

### 3.2 引水隧洞

圆形断面,内直径为2.2 m,水库进水口内底标高为210.0 m,顶部标高为212.2 m,总长度为54.4 m,钢筋混凝土衬砌平均厚度0.4 m,底部纵向坡度为1.0%。

施工要求:分段管棚超前注浆支护后再掘进,然后砌筑混凝土。

### 3.3 引水明渠

梯形断面,底部宽度为2.2 m,底部标高为210.0 m,两侧边坡坡度为1:1(暂定),总长度为41.4 m。

施工要求:采用水下开挖方式。

取水工程剖面见图1。

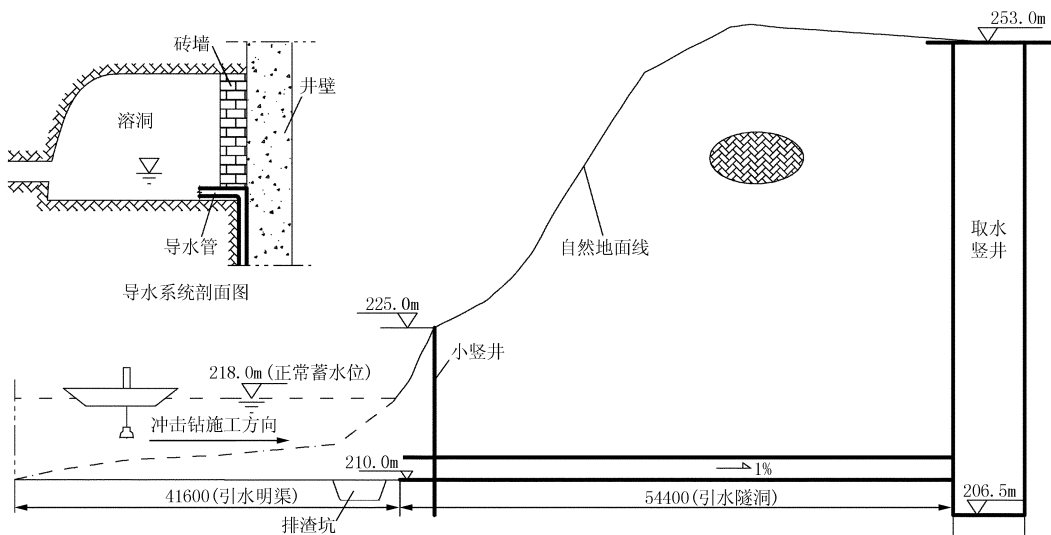


图1 岸边取水施工剖面图

## 4 信息法施工及对设计的进一步优化

### 4.1 辅助小竖井施工

由于引水隧洞没有进行专项勘察,因此,在引水隧洞中线进水口靠岸侧施工小竖井一个,以了解地层情况和水文地质情况。其孔口标高为225 m,井

径1.0 m,井深18.5 m,为孔内爆破钻进,岩体稳定,未采取护壁措施,孔壁观测发现,地层岩性特征和②层白云质灰岩相近,用50 t/h的水泵可将孔内水抽干。为减少后期引水隧洞施工时的涌水量和减少岩塞爆破时的预留岩石厚度,在小竖井两侧靠近引水隧洞外轮廓线布设4个注浆孔,孔径76 mm,深度16~22 m,用DN50钢管作为注浆管进行注浆,注浆后小井内涌水量<10 t/h,岩石裂隙得到水泥浆充填固结。

## 4.2 取水竖井

### 4.2.1 施工方案

在借鉴现有矿山竖井施工经验的基础上,通过研读勘察报告、查看现场岩心并结合辅助小竖井的施工经验,决定竖井施工无需锚杆预加固直接采用逆作短段掘砌<sup>[1]</sup>工艺即:降水(水位以下)→光面爆破(上部4 m极破碎岩体采用机械开挖方式)→清渣(人工辅助修整孔壁)→绑扎钢筋→支模板→浇混凝土→养护→拆模,循环往复直至井筒底部。每隔5 m在靠近井壁处布设4个取心钻孔(平面上取心孔应在原4个勘探孔的中间部位)进行超前预测,并在施工炮眼时根据钻进快慢定性确定岩层软硬情况,确定每次掘进深度为1.2 m左右,经现场浅部试验、并考虑下部地层含水的影响确定混凝土砌筑段长度水位以上为1.2~3.6 m,水位以下为1.2 m左右。

### 4.2.2 井筒内涌水问题及解决办法

从标高253 m算起,施工至-31 m时见水,至-34 m时涌水量增至200 m<sup>3</sup>/h,至-41 m时涌水量增至300 m<sup>3</sup>/h,至设计基地即-48 m时涌水量增至500 m<sup>3</sup>/h,继续向下挖时涌水量无明显增加。为减少井筒内涌水量采取以下措施。

钻孔注浆止水:在-31~-34 m岩溶不发育段进行了双液注浆<sup>[2]</sup>,其中水灰比为1:0.5,水泥浆水玻璃浆液体积比为1:0.6,注浆压力为1.0 MPa,结果无法将浆液注入地层从而起到阻水作用。分析原因为裂隙中充填的粉细砂孔隙太小,水泥-水玻璃双液注浆无法渗入所致,继续用潜水泵强行将水排出,有少量粉细砂从地层中被带出,施工得以进行。

溶洞内水下注水泥砂浆止水:-34~-39 m段见2个溶洞,分别宽约4.0、5.0 m,高约2.0、2.5 m,深3~10 m,洞内有大量水流出,并携带大量粉细砂,水量陡增至300 m<sup>3</sup>/h,由于降水采用普通的潜水泵,耐磨性差,多次导致水泵磨坏,不得不停止降

水修理水泵。经过几次抽降水,出砂量愈来愈大,溶洞内支撑洞顶岩体裂隙中的粉细砂被带出导致洞顶坍塌,最后不得不更换为砂石泵。为治理该溶洞内水患,开始时采用止水方案,即先将水改入靠溶洞一侧1/3的地方流入井内,然后在设计混凝土井壁外用早强水泥砂浆砌筑达0.5 m厚的弧形砖墙(将来兼做井筒混凝土外膜)至洞顶,底部布设一批排水孔(供砌筑剩余1/3砖墙排水用),等砖墙凝固后再用同样方法将剩余的1/3处理完,然后从一个砖墙顶部用Ø108 mm钢管插入洞内(管口距砖外墙2.0 m,通过注浆形成一个不小于2.0 m厚的砂浆墙和砖墙共同形成隔水墙)进行洞内下水泥砂浆充填注浆试验,接Ø108 mm钢管至地面,停止抽水至水位全部恢复,开始用混凝土泵大量注浆,注浆后发现按计算的水泥砂浆量注入洞内并没有充填满整个溶洞且水泥砂浆形成团簇状(分析水泥砂浆形成团簇状的原因为水泥砂浆无法形成象灌注桩一样的水泥砂浆上翻情况,导致水泥砂浆离析),与洞壁结合性较差,若继续进行充填注浆一是不经济,二是很难预测注浆效果,因此决定放弃注浆方案。

溶洞水的问题解决与否,直接关系到竖井施工的成败,既然止水不成,必须另想办法,为此项目部组织专题会议研究对策,根据该工程为取水的特点并且结合附近8眼供水井(也在东玉村)也位于水库附近和溶洞内的地下水为同一层水的特点,提出了“溶洞导水”理念:即在井筒岩壁上刻深、宽均20 cm的垂直槽,并用带90°弯头的2根Ø168 mm的钢管,水平部分插入溶洞内,垂直部分放入垂直岩槽内将水倒入井筒底,随泵排出孔外,然后随砌筑混凝土随接长导水管,直到井筒底,进入超挖的碎石层中,获得成功。

### 4.2.3 取水竖井封底

井筒封底有湿法(水下浇筑混凝土)和干法之分。湿法封底存在2个问题,一是无法将底板钢筋嵌入井筒混凝土壁内,二是水下混凝土灌注需多根导管,水下浇筑质量不易控制。为保证封底质量,本工程采用干封底法工艺,具体做法为:将竖井超挖至设计井筒基底标高以下1.0 m,然后在井筒中间和周边共安装4只井管,井管为Ø1000 mm、长度1200 mm的钢滤水管(外缠透水的土工布),紧贴井管外投放砾石做反滤层,接着在井管外投放碎石至设计基底面(碎石层上面需铺设一层500 g/m<sup>2</sup>的不透水土工布,防止混凝土浇筑施工时由于振捣使水泥浆渗透进入碎石层),在底板混凝土浇筑时,井内放置

200 m<sup>3</sup>/h 排量砂石泵 2 台,100 m<sup>3</sup>/h 排量水泵 2 台,80 m<sup>3</sup>/h 排量水泵 2 台,确保动水位保持在低于底板底面 50 cm 处,且井内不涌砂。在施工前与设计部门沟通对集水井附近的钢筋进行了加强。

干封底后集水井的处理:直接将集水井留到原地无需处理,一是和竖井导水管内的水共同做电厂供水的一部分,提高了枯水期电厂用水的保证率;二是减少了水库水位突然下降时底板向上的水压力,对底板稳定有利;三是可作为后续顶管施工的降水集水井。

### 4.3 引水隧洞施工工艺

#### 4.3.1 顶管

由于管棚注浆工序多,工艺复杂,与开挖作业交替进行,占用循环时间较多<sup>[3]</sup>,注浆后还要等到浆液凝固后方能开挖,开挖后还有在洞内焊接钢筋笼,焊接时产生的烟气不易排出,衬砌混凝土后还要将其振密,带电作业不安全,进一步开挖要等到混凝土凝固后达到一定强度,成本高,施工时间长。为克服上述缺点,在充分总结竖井施工经验的基础上,项目部提出了引水隧道采用顶管的建议,经上报业主、设计单位、监理后获得批准,在充分考虑竖井内集水井对供水的贡献和其他因素,将顶管内径调整为 1.8 m,管长 2.0 m,管身材料混凝土标号为 C60,管道壁厚 250 mm,外包 6 mm 厚的钢板,确保管道能承受 0.3 MPa 的压力,管道接口为 F 型,每隔一根管道顶部 120°范围内预留 3 个注浆孔,待顶管完成后注浆填补管上部与岩体形成的空腔。

爆破前采用水平钻机在隧道中心进行 10 m 长的取心钻进,对地层进行超前预测,以便发现问题,及时制定对策。每次光面爆破(配合人工修边)顶进距离控制在 0.4~1.0 m,并用风钻沿隧道周边打 3 个 1.2 m 深的水平钻孔,判定前方地质情况。由于设计井底较顶管底低 3.5 m,就地取材用块石放入井筒内垫至顶管底,作为顶管基座。为避免井壁受力过于集中,采用装配式型钢(HW-400×400 型钢)组合靠背钢支撑,在型钢组合钢支撑前放置一块靠背钢板(1500 mm×1500 mm×50 mm),确保靠背钢板平面与顶管轴线垂直。

顶管施工过程中严谨欠挖,超挖不超过 15 cm,保证顶管按设计和施工规范顶进。施工过程中应时刻注意观察地质情况的变化,提前发现洞室掉块、坍塌现象。顶管结束后管头处岩体完整,用止水膨胀橡胶圈将管头和岩石固定,用同样方法将井壁和顶管固定,最后沿管内注浆孔进行注浆,充填洞壁与管

道外的空腔,同时在顶管浅部挖岩塞爆破排渣坑为岩塞爆破做准备。

顶管开始时涌水量为 10 t/h,随着顶管进行顶管外壁和竖井井筒间隙用水量维持 10 t/h,管内涌水量从开始顶进至顶进 30 m 逐渐增加到 40 t/h,后逐渐减小,接近小竖井时,由于注浆作用管内涌水量接近 0,顶进 13 m 内涌砂较多。

#### 4.3.2 岩塞爆破

引水隧洞进水口采用水下岩塞爆破<sup>[4]</sup>方式与水库中的引水明渠贯通。为减少岩塞厚度,在小竖井附近进行了注浆,以加固岩塞及附近的岩体。实施前先用排沙船将水库底进水口部位的淤泥等松散物清理干净,详细测量进水口地形,以便精确确定岩塞厚度。本工程岩塞厚度取 3.0 m,选用钻孔爆破法,实施后效果良好。

### 4.4 引水明渠施工工艺

由于水库内养殖有鱼,无法采用水下爆破工艺,采用围堰施工这样的线状工程,成堰和拆除围堰费用较高。根据水库内有抽砂船的情况,租用 2 艘 150 t 的船进行拼装并使 2 船中心线平行,船外皮最小静距离 1.4 m,组成水上作业平台,面积 15 m×6.5 m,2 条船中线上设置平行导轨,长 12 m,在导轨上放置可移动的垂直于船轴线的门字支架,其顶梁为安防冲击钻的轴,滑轮可沿轴移动。施工前先将渠轴线两侧各 2.1 m 内的松散物抽走,然后将 2 船轴线和渠中心线重合,靠水一侧用锚将船固定,靠岸一侧将船固定在岩壁上,水流速度较小,用 2 个小的边锚来抵御水的流速引起的船位变动。采用 1.2 m×1.2 m 重达 8 t 的方形冲击锤,进行冲击成槽<sup>[5]</sup>,双排槽的重叠宽度为 10 cm,成槽形成的石渣用砂石泵抽出用船运走。从有水方向开始施工,施工一段后,放松锚绳,收紧岩壁上的钢丝绳进入另一段施工,直至明渠施工完成。由于水底为斜面,因此,开始冲击时应小落距,保证成槽到位。

明渠段岩性判定与边坡确定:从地形上看明渠段位于迎水面,库底应不会存在风化岩;从捞出的冲击石渣来看,岩屑较新鲜;冲击钻进时进度较慢,因此决定将原来设计的渠段面 1:1 边坡,改为直立边坡。施工完成后经水下地形测量,所有断面均满足设计要求。

## 5 结语

(1)本工程竖井不用临时加固,直接逆作短段掘砌是可行的。(下转第 81 页)

试验,试验结果如表2。

表2 结石体物理力学性能表

钻孔	取样位置/m	抗压强度均值/MPa	性质
ZK104	52.00~52.45	5.4	水泥粘土浆结石
B17	53.55~53.75	4.7	水泥粘土浆结石
B25	49.10~49.70	6.9	水泥粘土浆结石
B30	77.41~77.73	7.1	水泥粘土浆结石
J13	148.23~148.41	4.8	水泥粘土浆结石
J15	74.41~74.59	7.1	水泥粘土浆结石

从表2可以看出,在钻孔中不同深度所采取的水泥粘土浆,因受到了注浆压力的压实挤密作用,其抗压强度有很大的提高,平均可达到6.0 MPa,最大可达到7.1 MPa,结石体强度高,完全能够满足帷幕墙体强度要求。

#### 6.4 水位变化对比分析

通过帷幕内外水文观测孔水位变化对比分析(表3),可以清楚看出,帷幕内水位基本保持不变,而帷幕外围水位随着帷幕建成而逐步抬升,最多抬升40多米,说明帷幕拦截地下水效果明显。

表3 帷幕线内外钻孔水位对比表

观测时间	帷幕内/m		帷幕外/m			
	CK52	CK29	216/FK2	CK0801	208/SK14	CK53
帷幕施工前	7.80	-9.50	48.60	53.67	59.03	66.19
帷幕施工后	8.17	-16.50	90.59	90.13	100.31	102.12
水位变化情况	0.37	-7.00	41.99	36.46	41.28	35.93

#### 6.5 坑道排水对比分析

坑道排水多少最直接反应帷幕堵水效果,帷幕施工前月平均排水量为954775 t/m,帷幕施工后月平均排水量为290000 t/m,减少了69.6%,由于帷幕还未完全封闭,预计全封闭的情况下,堵水率将达到75%以上。

(上接第77页)

(2)采用疏水而不是止水方案,不仅解决了该竖井的施工问题,而且导出的水作为供水水源的一部分,减小了后续引水隧洞顶管直径。

(3)在破碎涌水地层中改变先施工注浆管棚,然后开挖再进行衬砌的施工工艺,直接采用顶管+管顶注浆技术,简化了施工工序,缩短了施工工期,降低了施工成本,提高了施工安全度。

(4)结合当地实际情况,用船载平台进行冲击成槽施工水下明渠是一种技术可行、经济、安全的施工方法。

## 7 结语

广东凡口铅锌矿帷幕注浆项目严格按照设计要求及相关规范组织施工,施工过程中钻孔压水试验成果表明:一序孔注浆前加权平均透水率为26.259 Lu,二序孔注浆前加权平均透水率为8.981 Lu,三序孔注浆前加权平均透水率为6.250 Lu,加密孔注浆前加权平均透水率为2.858 Lu,递减率分别达到65.8%、30.4%和54.3%,说明帷幕设计合理,施工质量较好。在帷幕还未完全封闭的情况下,堵水率已经达到69.6%。

施工过程中,ZK70、ZK85、ZK106、ZK127、ZK151、ZK158等钻孔吸浆量大,井下跑浆厉害,为避免浆液浪费,控制投资成本,减少注浆对井下排水的影响,采取了多项控浆措施,如投粗骨料、间歇注浆、双液注浆等,经现场检验,均取得了很好的效果。

帷幕注浆技术可有效解决矿山开采大量疏排水的问题,不但可以保证矿山生产安全、降低生产排水费用,而且有效保护矿区周边环境,避免大量抽排地下水使水位下降而引起地面开裂、塌陷等问题。随着矿山开采不断向深处发展,研究动水注浆技术,不断开发注浆新技术、新材料、新工艺具有重大意义。

## 参考文献:

- [1] 黄才启,孙健.大水矿山截水帷幕注浆工程施工关键技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(12):74-78.
- [2] 程秀德.安徽新桥硫铁矿大型帷幕注浆试验工程[J].探矿工程,2000,(3):29-31.
- [3] 冯玉国.注浆法在露天铁矿疏干巷道截水工程中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(3):31-32,40.
- [4] 董建忠,何家趾.双液注浆技术在杭州市天城广场工程中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(7):51-53.
- [5] 赵书梅,贾立芹,王德强,等.金地铁矿地面注浆堵水技术应用实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(2):64-65.

## 参考文献:

- [1] 龙志阳.立井短段掘砌混合作业法及其配套施工设备[J].建井技术,1998,(3):1-6.
- [2] 李廷义,李渊毅.立井井筒工作面预注浆封水施工技术与安全措施[J].中国科技信息,2010,(23):70-72.
- [3] 陈小雄.现代隧道工程理论与隧道施工[M].四川成都:西南交通大学出版社,2006.
- [4] 郑坚,张仁高.引水隧洞进水口岩塞爆破[J].工程爆破,2003,(2):69-72.
- [5] 何旭斌,陈建斌.冲击钻成槽工艺在柏峰水库混凝土防渗墙施工中的应用[J].浙江水利科技,2010,(3):78-79,82.