

# 大渡河安宁水电站深厚覆盖层勘探技术与方法

李志远 黄小军 张雁钦

(中国水电顾问集团北京勘测设计研究院, 北京 100024)

**【摘要】** 介绍了大渡河上游安宁水电站可研阶段河床深厚覆盖层勘探所用的技术与方法:  $\phi 130$  植物胶钻具钻进工艺、 $\phi 139$  厚壁套管跟管钻进工艺、多级跟管钻头钻进工艺; 还介绍了覆盖层钻孔孔内旁压试验和原状砂样的采取技术。本阶段深厚覆盖层勘探中应用的技术与方法保证了勘探工作的圆满完成, 为计算和设计提供了详实、可靠、全面的参数, 同时也完善勘探技术与内容, 提高了勘探水平, 为今后的勘探工作作了相应的技术储备。

**【关键词】** 深厚覆盖层勘探;  $\phi 130$  植物胶钻进;  $\phi 139$  厚壁套管跟管; 多级跟管钻进; 旁压试验; 原状砂样

**【中图分类号】** P 634.5

**【文献标识码】** A

doi: 10.3969/j.issn.1007-2993.2012.01.006

## An Overview of the Deep Cover Exploration Techniques and Methods of the Dadu River Anning Hydropower

Li Zhiyuan Huang Xiaojun Zhang Yanqin

(Beijing Research Institute of Survey and Design of China Hydropower Engineering Consulting Group Co. (CHECC), Beijing 100024, China)

**【Abstract】** This paper indicated that the deep cover exploration techniques and methods used in Dadu River anning hydropower feasibilities:  $\Phi 130$  plant gum drilling technology,  $\Phi 139$  thick-walled tube with the tube drilling technology, multi-level drill with drill pipe into the processes; and also described the cover drill hole next to the pressure tests and the original sand sample taken technology. The exploration in deep cover on the application of technologies and methods had ensured the successful completion of exploration work. For detailed calculations, designs, reliable and comprehensive parameters, It also improved exploration technology to improve the level of exploration for future work.

**【Key words】** deep cover exploration;  $\phi 130$  vegetable gum drilling;  $\phi 139$  thick-walled tube with tube; tube drilling with multi-level; pressure-meter test; undisturbed sand samples

### 0 引言

大渡河是长江上游的二级支流, 岷江的最大支流, 其独特的自然地理条件, 决定了水电资源数量大、质量优, 有较好的区位优势, 落差大而集中, 淹没损失小, 开发条件优越。大渡河是四川省迄今为止前期工作开展最多的一条大河, 大渡河干流水力资源经济可开发装机容量达 22 000 MW, 是四川水能资源丰富的三大河流之一, 在国家规划的十三大水电基地中排名第五位, 对大渡河干流水电资源实施“流域、梯级、有序、综合”开发, 为四川经济发展和西电东送提供保障。

### 1 工程地质

大渡河安宁水电站预可研阶段勘探揭露的河床覆盖层厚度最大为 94 m。其特点是沉积层各岩组岩相和厚度变化较大、层次较多, 物理力学特性各

异, 含水、透水程度不均一, 工程地质、水文地质条件复杂。为此, 可研阶段对其筑坝建库工程地质条件进行了大量的地质勘察和深入细致的研究工作。

鉴于河床覆盖层深厚, 安宁水电站推荐坝型为沥青混凝土心墙坝, 覆盖层采用防渗帷幕处理。预可勘探结果显示, 坝址河床覆盖层上部漂石、卵石层可满足当地材料坝建基要求, 浅埋砂层存在震动液化问题, 需进行工程处理。坝基深厚覆盖层透水性强、渗透稳定性差, 需进行防渗处理。故进一步查明坝基覆盖层的工程地质特性及建坝适应性、坝基水文地质结构和相对隔水层的空间分布、土体物理力学参数和抗渗指标的选取、坝基渗漏、坝基变形、抗渗稳定及抗震液化稳定等为下一步优化设计提供可靠参数相当重要<sup>①</sup>。

**作者简介:** 李志远, 1964 年生, 男, 天津武清人, 工学硕士, 高级工程师, 主要从事水电工程勘察技术及管理工作。E-mail: 20041503@163.com

<sup>①</sup>中国水电顾问集团北京勘测设计研究院. 大渡河安宁水电站预可研阶段工程地质报告[R]. 2010.

## 2 钻探工艺

安宁水电站的河床深厚覆盖层一直是预可研、可研阶段地质勘探的重点。其地层物质组成变化大,钻孔孔壁不稳定,个别层位漏失严重,直径25 cm以上的漂石、孤石含量多,这些都对钻探工作带来了很大的麻烦,要保证钻探取芯率,必须采取比较先进的钻探工艺和技术,在安宁水电站可研阶段覆盖层钻探工作中,主要采用了φ130大口径植物胶钻具钻进、φ139厚壁套管跟管钻进及植物胶多级跟管钻头钻进等先进钻探工艺。

### 2.1 钻头及钻探参数的选择

#### 2.1.1 钻头

目前水电钻探基本都使用金刚石钻头,其中孕镶金刚石钻头使用范围最为广泛。钻头的选择主要依据胎体硬度和耐磨性,选择原则是岩石硬、研磨性弱,则胎体偏软、耐磨性偏低;相反,岩石软、研磨性强,则胎体偏硬、耐磨性要高<sup>[1-2]</sup>。对于砂卵石覆盖层的钻探,一般使用HRC40~45的孕镶金刚石钻头。

#### 2.1.2 钻进规程参数

钻压P要保证金刚石有效地破碎孔底岩石,并根据岩石性质、钻头类型、钻头的直径、钻孔内的压力损失和金刚石的质量、数量和粒度等确定,钻压根据(1)式计算并确定:

$$P = P_y \times F \quad (1)$$

式中:P为加在钻头上的总压力,N;P<sub>y</sub>为加在钻头底唇面单位面积上的压力,MPa,P<sub>y</sub>=4~8 MPa;F为钻头底唇面总面积,m<sup>2</sup>。

转速n是影响金刚石钻进效率的重要因素,在一定条件下,转速越快,钻进效率越高。

冲洗液量Q的确定可根据返流速度来考虑,同时兼顾地层性质、钻孔环状间隙、钻头类型、金刚石

粒度、胎体性能、水口形状大小、冲洗液的性质和性能等因素,一般按(2)式计算:

$$Q = 6V \times F \quad (2)$$

式中:Q为冲洗液量,L/min;V为环状间隙返流速度,m/s,其值一般应大于0.3~0.5 m/s;F为钻进环状断面积,cm<sup>2</sup>[1-2]。

在钻探过程中,各种钻进参数可以参照表1选择,必要时通过现场试验确定<sup>[3]</sup>。

表1 植物胶钻具钻进参数参考表

孔径 /mm	钻压 /kN	转速 /(r·min <sup>-1</sup> )	泵量 /(l·min <sup>-1</sup> )	泵压 /MPa
SDB130	8~9	450~500	40~45	<0.5
SDB110	6~8	500~600	30~40	<0.5
SDB94	5~7	600~800	15~30	<0.5
SDB77	4~5	600~1000	10~15	<0.5

### 2.2 φ130大口径植物胶钻进工艺

为了更为直观地查看河床覆盖层的物质组成及分层情况,在河滩布置了钻孔ZKK48、ZKK49,对此特引进了φ130大口径植物胶钻具进行植物胶跟管取芯钻探。φ130大口径植物胶钻具与常规φ130单管钻具相比,其优点是钻孔开孔就使用双管单动植物胶钻具进行取芯钻探,可以取到原状岩芯;而用φ130单管钻具钻进只能打捞起一部分岩芯,且是扰动的、不完整的,无法准确推断地层的原始结构及层理,进一步影响后期设计参数的选择和工程处理。对于覆盖层在100 m左右的钻孔,使用φ130大口径植物胶开孔钻进,后续再经过2~3次变径钻进,就可以保证钻孔的成功且原状取芯率在85%以上,很多层位可以达到100%。φ130大口径植物胶钻具的结构示意图见图1,取芯效果见图2。

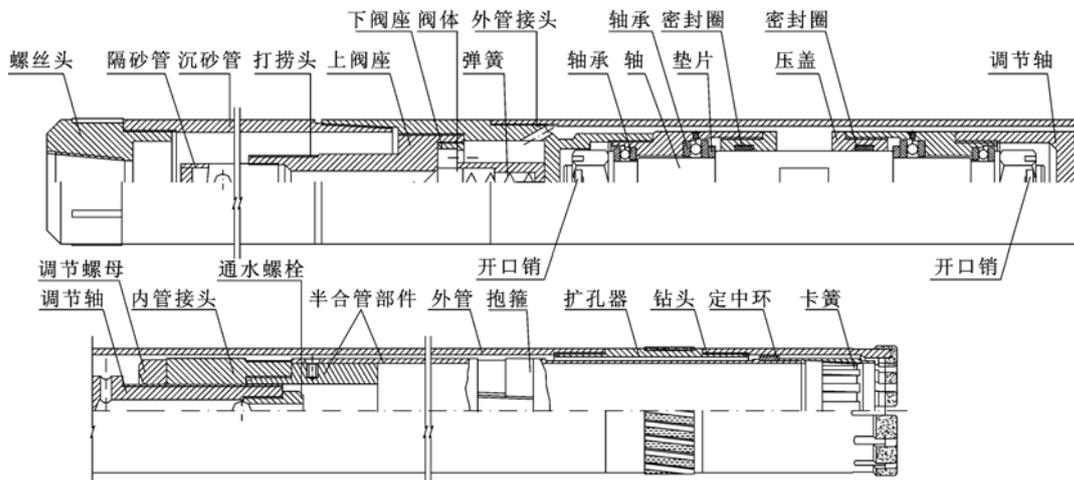


图1 φ130植物胶钻具结构示意图

图2  $\phi 139$  植物胶取芯效果图

### 2.3 $\phi 139$ 跟管钻进工艺

$\phi 139$  厚壁套管是由石油勘探引进应用于水电覆盖层勘探,在其优点突出。以前在深厚覆盖层钻进时,开孔一般都用  $\phi 127$  口径的钻具,然后利用吊锤“拍打”的方式跟进  $\phi 168$  厚壁套管。一般情况下, $\phi 168$  厚壁套管在不遇到大孤石的情况下,可以跟进 20~25 m,再往下由于  $\phi 127$  钻孔口径与  $\phi 168$  厚壁套管口径相差太大的影响,跟进  $\phi 168$  厚壁套管的阻力就变得越来越大,跟进越来越困难。改用跟进  $\phi 139$  厚壁套管,可以避免这种弊端,因  $\phi 139$  厚壁套管与  $\phi 127$  钻具所成的孔径相差很小,且又是植物胶护壁取芯钻进,植物胶可以起到润滑作用,在遇到孤石进行孔内爆破的条件下, $\phi 139$  厚壁套管通过“拍打”的方式可以跟进到孔深 100 m 左右,基本上实现了一径到底的钻进,所取得的地质资料也较多级变径的要详实、全面<sup>[4-5]</sup>。

### 2.4 植物胶跟管钻头钻进工艺

所谓的跟管钻头钻进工艺即在套管底部安装一个跟管钻头,套管顶部连接盖头,盖头与钻机动力竖机钻杆连接,这样改锤击套管为加压回转钻进,避免了锤击跟管的弊端,SH 植物胶冲洗液的润滑作用有效地减小套管管壁与钻孔孔壁之间的摩擦,使得套管的跟进比较平稳、高效<sup>[6-7]</sup>。在深厚覆盖层取芯钻进中,可以使用多级变径跟管钻进的方式完成钻孔,安宁水电站 ZKK43 号钻孔,钻孔揭露覆盖层厚度为 94 m,使用多级变径跟管钻头钻进顺利的完成此孔,其钻孔孔径为: $\phi 168$  厚壁套管跟进到 20 m, $\phi 127$  厚壁套管“钻进”到 55 m, $\phi 108$  厚壁套管“钻进”到 85 m, $\phi 89$  套管“钻进”至基岩处(95 m),有了如此的孔壁保证,钻孔的完成变得自然而然了。

## 3 孔内原位试验及取样

### 3.1 孔内旁压试验<sup>[8],②</sup>

#### 3.1.1 孔内旁压试验内容与目的

为进一步研究深覆盖层上筑坝的适宜性,需有针对性地进行相关物理和力学性能试验,为设计和计算提供地基承载力和旁压模量等指标参数。本阶段在钻孔 ZKK04、ZKK05、ZKK37 内进行了原位旁压试验,由试验得到的旁压曲线,可用来确定地基承载力和旁压模量,估算地基的压缩模量和剪切模量。

#### 3.1.2 原理与方法

旁压试验是在预先钻好的孔内放入旁压器,通过压力-体积控制装置使旁压器径向扩张,对孔壁施加压力,使土体产生相应变形的一种原位测试方法。原位旁压试验是在原位应力条件下进行试验,避免或减轻了土样的扰动,能反映微观和宏观结构对土性的影响。

##### 1) 压力和体积校正

按照下式分别进行压力  $p$  和体积  $V$  校正:

$$p = p' + p_w - p_i \quad (3)$$

$$S = S' - \alpha(p' + p_w) \quad (4)$$

式中: $p$ 、 $S$  分别为校正压力和测量管水位下降值; $V = S \cdot A$ ,  $A$  为测量管截面积; $p'$ 、 $S'$  分别为压力表的读数和量管水位下降值; $p_w$  为静水压力; $p_i$  为弹性膜约束力,由弹性膜约束力校正曲线得到; $\alpha$  为仪器综合变形系数。

##### 2) 确定压力特征值

根据校正后的压力和体积绘制  $p-V$  曲线,可确定 3 个压力特征值  $p_0$ 、 $p_l$  和  $p_l$ 。

由旁压曲线直线段延长线与纵坐标相交确定  $V_0$ ,对应  $V_0$  的旁压曲线上的压力值即为原位水平土压力  $p_0$ ;但实际上从旁压曲线上确定  $p_0$  误差较大,有时会得出不合理的结果。可用下式进行估算:

$$p_0 = k_0 \gamma z + u_0$$

旁压曲线直线段终点所对应的压力值即为临塑压力  $p_l$ 。

旁压曲线趋向与纵轴平行线时,其对应的压力为极限压力  $p_l$ 。当无法从旁压曲线确定极限压力  $p_l$  时,可用曲线外推方法推至最大体积增量值  $V_1$ ,取对应于  $V_1$  的压力为  $p_l$ 。其中, $V_1 = V_c + 2V_0$ ,  $V_c$  为旁压器中腔初始体积; $V_0$  为孔穴体积与旁压器中腔初始体积的差值。

##### 3) 旁压模量

由现场旁压试验曲线可确定旁压模量  $E_m$ :

②中国水电顾问集团北京勘测设计研究院. 大渡河安宁水电站可研阶段钻孔旁压试验报告[R]. 2011.

$$E_m = 2(1 + \mu)(V_c + V_m) \frac{\Delta p}{\Delta V} \quad (5)$$

式中： $\mu$  为泊松比； $V_c$  为旁压器中腔初始体积； $V_m$  为平均体积增量，取旁压器试验曲线直线段两点间压力所对应的体积之和的一半； $\Delta p$  为旁压试验曲线上直线段的压力增量； $\Delta V$  相应与  $\Delta p$  的体积变化增量。

4) 其他参数

旁压剪切模量  $G_m$ ，根据弹性理论可得  $G_m = \frac{E_m}{2(1 + \mu)}$ ；变形模量  $E_0$ ， $E_0 = E_m / \alpha$ ； $\alpha$  土的结构系数，砂砾一般取 0.25；压缩模量  $E_s$ ， $E_s = E_0 / \left(1 - \frac{2\mu^2}{1 - \mu}\right) = E_0 / \beta_0$ 。

地基土的承载力基本值  $f_0$ ， $f_0 = (p_1 - p_0) / F$ ， $F$  为安全系数。

地基土的承载力标准值  $f_k$ ， $f_k = f_0 \cdot \left(1 - \frac{1.704}{\sqrt{n}} + \frac{4.678}{n^2}\right) \frac{\sigma}{\mu}$ ；式中： $n$  为样本个数； $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \mu_i^2 - n\mu^2}{n-1}}$ ， $\mu = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i}{n}$ 。

3.1.3 成孔及试验成果

安宁水电站坝址区覆盖层最大厚度达 94.0 m，具多层结构，从下至上总体可分 6 层，土层地质复杂。旁压试验成果的可靠性和准确性与试验成孔质量密切相关。现场试验成孔过程按照图 3 进行，具体步骤如下：

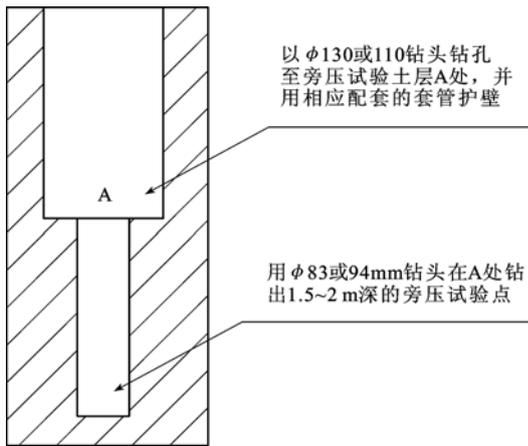


图 3 旁压试验成孔过程示意图

1) 先以较大的钻头钻孔至要求进行旁压试验的土层 A 处，下套管护壁。

2) 根据旁压仪的试验测头尺寸，采用 83/94 mm 钻头进行旁压试验孔钻孔。试验土层钻进深度为

1.5~2.0 m。钻旁压孔时采取植物胶护壁措施，以保证成孔完好。

3) 要求钻孔垂直，孔壁完整，套管护壁。

现场原位旁压试验典型的试验成果曲线见图 4，由曲线可以看出，其膨胀体积与压力关系与理论曲线比较接近，说明钻孔孔壁比较完整，扰动很小，成果可以直接反应原始地层的力学状态。

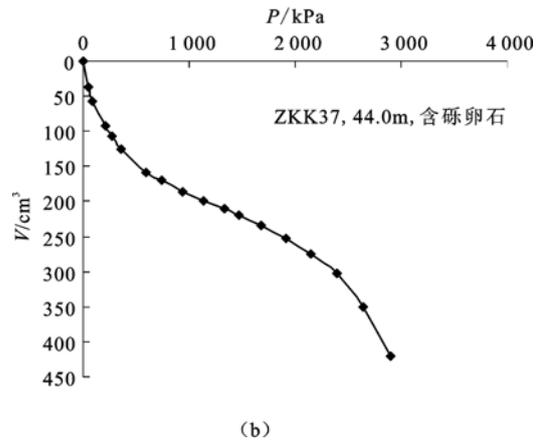
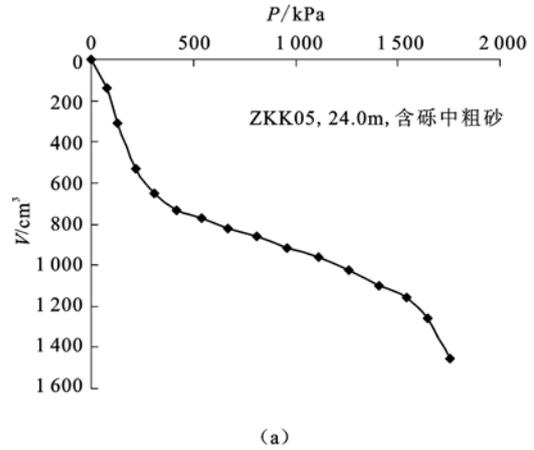


图 4 典型旁压试验成果曲线图

3.2 孔内原状砂样

在工程勘察中常常需通过采取原状样来了解地层的天然结构、抗剪强度、压缩系数、密实度等技术参数，从而确定地层的承载力和稳定性，为工程勘察提供可靠的设计依据。然而在深埋、松散、流动的砂层中采取真实、可靠的原状样一直是国内外一大技术难题，长期以来一直困扰着一些“高、重、大”工程勘察的技术设计工作。

根据预可研初步成果，安宁水电站坝址区河床覆盖层基本分层情况：河床为现代冲积物(Q<sub>4</sub><sup>al</sup>)，勘探厚度为 38.86~91.5 m。按照其物质组成、结构特征、工程特性等，从上向下可分为 6 层和 6 个夹层或透镜体：⑥含砂含砾漂石、卵石层，⑥<sub>1</sub>含砾中粗砂；⑤含卵含砾中粗砂层；④含砂含漂卵石、砾石层，

④<sub>1</sub> 含砾中砂层;③ 含卵含砾中砂层;② 含砂砾石、卵石层,②<sub>1</sub> 含砾中细砂层;① 含砂含砾卵石、漂石层,①<sub>1</sub> 含砾粉细砂层。

为了取得原状砂样,根据要求,在可研阶段使用了两种原状样取砂器:内环刀取砂器和敞口薄壁取砂器(见图 5 和图 6)。

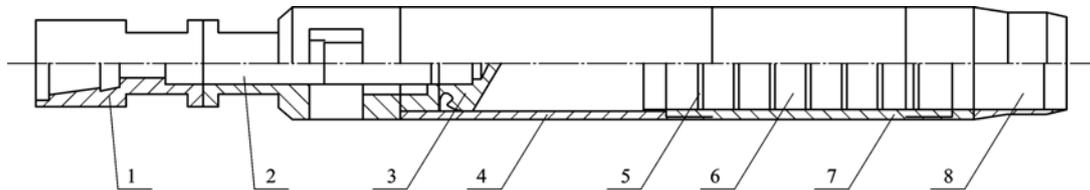


图 5 内环刀取砂器结构示意图

1—接头;2—六角提杆;3—活塞及“O”型密封圈;4—废土管;5—隔环;6—环刀;7—取砂筒;8—管靴

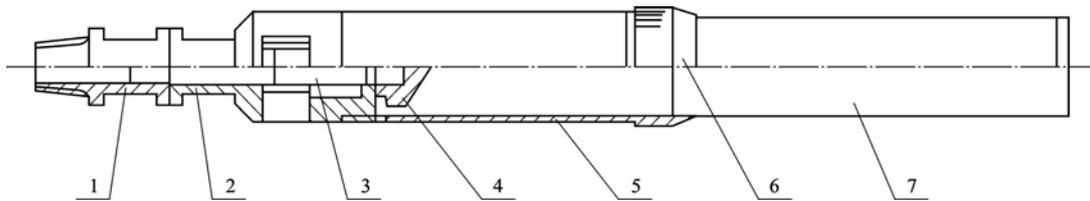


图 6 敞口薄壁取砂器结构示意图

1—接头;2—取土器头;3—六角提杆;4—活塞及“O”型密封圈;5—废土管;6—连接套;7—薄壁取样管

在安宁水电站河床覆盖层砂层中分别使用内环刀取砂器和敞口薄壁取砂器成功地采取了原状砂样,通过各项力学试验,为设计提供了真实、可靠的相关参数。

### 3.3 其他原位试验

本阶段进行的钻孔内其他原位试验还包括重型重力触探试验、标准贯入试验、抽水试验、注水试验等常规试验,这些试验所得的数据同样对认清覆盖层的形成、物理力学指标提供了重要的参考,也为下一步的设计提供了依据。

## 4 结 语

大渡河安宁水电站可研阶段河床深厚覆盖层勘探因其地层结构复杂,给勘探工作带来了很大困难,采取相应的技术措施后,得以顺利、圆满的完成:

1)合理、正确选择钻头类型,适当的钻压、转速、流体力学性能适宜的植物胶冲洗液量是完成深厚覆盖层取芯钻探的前提。

2) $\phi 130$  大口径植物胶钻具钻进取芯工艺、 $\phi 139$  厚壁套管跟管钻进工艺、多级跟管钻头钻进工艺等先进工艺技术的应用是完成深厚覆盖层勘探的技术保障。

3)钻孔孔内原位旁压试验的应用扩展了勘探手段,所得到的原位参数为设计和计算提供了真实、可

靠的数据。

4)钻孔孔内原状砂样的获取是其进行各项力学性能指标试验的前提,完善了深厚覆盖层的力学性能指标。

## 参 考 文 献

- [1] 侯满柱. 坚硬地层金刚石钻进参数的选择[J]. 山西建筑, 2005, 31(6): 71.
- [2] 王志平. 小口径金刚石钻进技术参数的确定[J]. 黑龙江水专学报, 2003, 30(3): 22-23.
- [3] 姚天禄. 九甸峡水利枢纽工程坝址河床深厚覆盖层勘察研究[J]. 水力发电, 2010, 36(11): 76-78.
- [4] 杜明祝. 冶勒水电站深厚覆盖层坝基的勘察研究[J]. 四川水力发电, 1999, 18(3): 15-17.
- [5] 冯建明. 田湾河大电站闸址深厚覆盖层勘探的实践[J]. 四川水力发电, 2001, 20(3): 77-78.
- [6] 李志远, 黄小军. 跟管钻头钻进技术在水电勘探中的研究与应用[J]. 岩土工程技术, 2011, 25(2): 59-63.
- [7] 黄小军. 跟管钻头钻进工艺在大华桥水电站勘探中的特殊应用[J]. 水利水电技术, 2011(1): 44-46.
- [8] 熊德全. 其宗水电站深厚覆盖层钻孔旁压试验[J]. 云南水力发电, 2009(6): 16-19.

收稿日期: 2011-11-12