

雅鲁藏布江深厚砂砾卵石覆盖层钻探工艺

肖冬顺, 张 辉, 黄炎普, 梁亚农, 赵建强, 曹有顺, 谢庆蛟

(长江岩土工程总公司〈武汉〉, 湖北 武汉 430010)

摘 要: 为了开展雅鲁藏布江流域综合规划及其水资源开发利用与保护专题研究工作, 在雅鲁藏布江干流里龙坝址和本宗坝址共布置了4个200~300 m深的钻孔。主要通过西藏高寒地区4个深厚覆盖层钻孔的成功实施经验, 对西藏高寒地区深厚覆盖层勘探成孔工艺与技术进行研究探讨。

关键词: 雅鲁藏布江流域; 深厚砂砾卵石覆盖层; 成孔工艺; 护壁堵漏

中图分类号: P634 **文献标识码:** B **文章编号:** 1627-7428(2014)08-0021-05

Drilling Technology in Deep Sandy Gravel Overburden Layer at Brahmaputra River/XIAO Dong-shun, ZHANG Hui, HUANG Yan-pu, LIANG Ya-nong, ZHAO Jian-qiang, CAO You-shun, XIE Qing-jiao (Changjiang Geotechnical Engineering Corporation 〈Wuhan〉, Wuhan Hubei 430010, China)

Abstract: In order to carry out the comprehensive planning in Brahmaputra Basin and monographic study on water resources development and conservation, 4 boreholes with depth of 200~300m were laid out in Lilong dam site and Benzong dam site of Brahmaputra main stream. This paper discusses the exploration and hole-building processes in deep overburden layer of alpine region in Tibet based on the successful experience obtained in the above 4 boreholes drilling.

Key words: Brahmaputra basin; deep sandy gravel overburden layer; hole building process; wall protection and leakage proof

0 引言

雅鲁藏布江是我国西南地区重要的跨国界河流, 资源丰富, 生态环境复杂多样, 在我国经济建设和社会发展中具有重要战略地位。根据上级有关要求, 我单位先后多次组织开展了雅鲁藏布江流域综合规划及水资源开发利用与保护专题研究工作, 并分别报送了《雅江流域综合规划》、《雅江水资源开发利用与保护专题研究报告》, 并组织专家进行了审查。根据审查初步意见, 要求在前期综合规划的基础上, 进一步了解雅鲁藏布江干流下游河段工程地质条件, 重点是墨脱梯级开发方案的工程地质条件, 进一步了解米林梯级的建坝成库条件, 为雅鲁藏布江下游河段水能资源开发方案及调节性水库的深化研究提供工程地质资料。为此, 2013年7~11月, 对雅鲁藏布江干流里龙和本宗坝址开展了相应研究工作, 其中里龙坝址距里龙乡上游5 km, 本宗坝址距里龙坝址上游28 km, 主要在里龙坝址和本宗坝址共布置4个200~300 m深的钻孔。本文主要通过西藏高寒地区4个深厚覆盖层钻孔的成功实施, 对勘探成孔工艺与技术进行研究探讨。

1 工程概况

雅鲁藏布江基本顺雅鲁藏布江缝合带发育, 北、东为欧亚板块中的冈底斯—念青唐古拉板片, 南、西为印度板块中的喜马拉雅板片, 区域构造很复杂。河段大拐弯内侧南迦巴瓦峰是一个向北东倾伏的背斜构造——多雄拉背斜, 东南翼褶皱与断裂相伴随, 主要区域性断裂有吉隆—定日—岗巴断裂带、加杂萨断裂带; 西北翼呈一系列褶皱和弧形断裂发育, 其中雅鲁藏布江缝合带中主要断裂为札达—拉孜—邛多江断裂带、达机翁—彭错林—朗县断裂带。另外, 大拐弯北东侧还有嘉黎—然乌断裂带通过。

中游朗县——派镇河谷宽窄相间, 宽谷段水流平缓, 谷底宽一般1~4 km, 两岸阶地发育; 峡谷段山高谷深, 水流湍急, 谷底宽一般0.5~1 km, 呈V形谷。下游朗派镇——背崩大拐弯河段河势受喜马拉雅山东端的南迦巴瓦峰(高程7782 m)和加拉白垒峰(高程7151 m)控制, 围绕南迦巴瓦峰形成马蹄形大拐弯, 属高山峡谷地貌。

区域内广泛分布一套深变质、混合岩系, 岩性主要为黑云斜长眼球状混合岩、条带状混合岩、片麻状混合岩等, 花岗变晶结构, 其次为片岩、板岩, 片理走向往往与河谷走向一致。白垩系日喀则群呈带状断

收稿日期: 2014-02-10; 修回日期: 2014-04-14

作者简介: 肖冬顺(1969-), 男(汉族), 湖南汉寿人, 长江岩土工程总公司(武汉)副经理、高级工程师、全国水利水电一级注册建造师, 探矿工程专业, 从事水利水电工程勘探施工管理及研究工作, 湖北省武汉市工农兵路特一号军供宾馆312, 171546354@qq.com。

续顺江分布,主要由一套浅海相砂页岩组成,并夹有少量碳酸盐岩及基性火山岩。第四系主要为冰碛碎块石土、冲洪积砂砾石、漂卵石以及湖相沉积细砂和亚粘土等,河床覆盖层深厚。

2 资源配置

投入的主要钻探机械设备有:XY-2B 型、XY-4 型岩心钻机各 1 台,BW-160 型三缸泥浆泵 2 台,BW160/10 型泥浆泵 2 台,NJ-340 型泥浆搅拌机 2 台,SDB 型半合管钻具($\Phi 110 \sim 94$ mm)各 4 套。

投入的主要人员有:2 台钻机全部实行三班两倒制,每班设班长 1 名,助手 4 名,每台机再设机长 1 名,整个项目设项目经理 1 名,项目技术负责人 1 名,后勤、财务负责人 1 名。

3 钻孔布置

本宗坝址右岸布置 1 个钻孔,设计孔深 200 m;里龙坝址右岸布置 1 个钻孔,设计孔深 300 m,左岸 2 个钻孔,设计孔深 300 m。设计孔深均以揭穿覆盖层进入基岩 20 m 为终孔原则,根据现场查勘预计覆盖层厚度分别为 100~300 m。现场钻场布置如图 1 所示。



图 1 施工现场

4 成孔工艺与技术

4.1 前期准备

4.1.1 场地平整、基座混凝土浇筑

为了保证钻机安装平整、牢固,在场地平整完成后,浇筑混凝土基座,连接钻机底座的螺栓预先浇筑在混凝土基座中。

4.1.2 孔口预埋管

为了保证开孔的垂直度,预埋 $\Phi 219$ mm 导正套管,导正套管用混凝土浇筑牢固,并保证垂直度。

4.2 钻孔结构设计

采用预埋 2 m、 $\Phi 219$ mm 套管, $\Phi 168$ mm 钻具开

孔(随着孔深的增加而加长钻具)→钻至孔深 15~20 m 下入 $\Phi 168$ mm 套管→换 $\Phi 150$ mm 钻具钻至孔深 90~100 m 下入 $\Phi 146$ mm 套管→换 $\Phi 130$ mm 钻具钻至孔深 140~150 m 下入 $\Phi 127$ mm 套管→换 $\Phi 110$ mm 钻具钻至孔深 240~250 m 时下入 $\Phi 108$ mm 套管→换 $\Phi 91$ mm 钻具钻至终孔深度。钻孔结构设计图如图 2 所示。

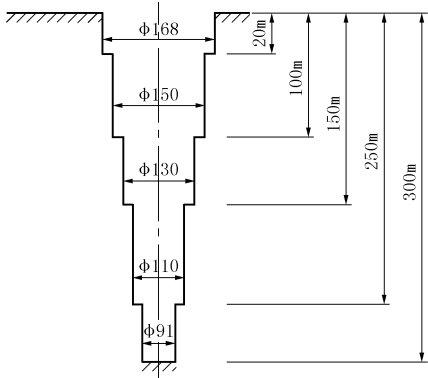


图 2 钻孔结构设计图

4.3 钻进技术参数

钻进中根据各个地层的实际情况采用合理的钻探工艺。钻头使用热压或电镀金刚石钻头,钻具采用 SDB 半合管钻具,配合 SM 植物胶泥浆钻进。钻进参数见表 1。

表 1 西藏雅鲁藏布江流域综合规划深厚覆盖层勘探钻进参数值

钻具直径 /mm	钻压/kN	转速 /(r·min ⁻¹)	流量 /(L·min ⁻¹)
168	7~8	150~200	70~80
150	5.5~7	180~220	60~70
130	4.5~6	260~300	60~70
110	4~5(减压钻进)	360~400	60~70
91	3.5~4.5(减压钻进)	450~600	50~60

4.4 钻孔护壁堵漏

砂砾卵石地层是工程地质钻探中常见的一种典型的不稳定地层,这类地层主要是由水(或风)的搬运沉积而成,是由粘土、砂、砂卵石、碎石等组成,其基本特征是结构松散、无胶结或胶结性差,呈大小不等的颗粒状,具有良好的透水性,稳定性极差。这种地层一旦被钻开,很容易破坏原来的相对稳定或平衡状态,使孔壁失去约束而产生不稳定。主要表现在钻进时易发生塌孔、掉块,冲洗液漏失严重,易发生卡、埋钻等孔内事故。

4.5 岩心采取

砂砾卵石地层结构松散、无胶结或胶结性差,呈大小不等的颗粒状,为了保证取心质量,采用 SDB

半合管钻具,配合 SM 植物胶泥浆钻进。

5 技术难点及技术处理措施

5.1 技术难点

5.1.1 孔壁不稳定

此次雅鲁藏布江综合规划补充勘察项目,针对里龙和本宗 2 个坝址,在雅鲁藏布江两岸及漫滩上一共布置了 4 个钻孔,这 4 个钻孔覆盖层厚度最深的可达 286 m。根据钻孔结构设计,在未下入下一层套管之前,裸露的覆盖层段最深可达 100 m,这种裸露层结构松散,极不稳定。为了保证钻探生产的顺利进行,进而提高钻进效率,如何维持孔壁的稳定是关键所在。如:ZK02 号钻孔中,设计孔深 300 m,砂砾卵石覆盖层厚 286 m,当钻到孔深 250 m 时由于钻孔底部漏失严重,孔口突然不返浆,220~250 m 孔段发生严重坍塌埋钻事故;采取反钻的方法,把 240 m 的钻杆反出后,孔内还余落 1 根长钻杆、1 根短钻杆和 1 套粗径钻具,用 DPPL-Ⅱ型压注灌浆材料进行封堵事故孔段,待凝 8 h 后进行扫孔,透过事故孔段,在到达原孔深后继续钻进,直至达到设计孔深。

原因分析:造成孔壁失稳的原因有很多,主要有:(1)孔内的压力主要有上覆土层总压力、钻井液的液注压力、地下水压力。当这三者失去平衡,同时所在地层本身强度不够,难以承受额外分配的应力时,孔壁将失去稳定;(2)起下钻时,钻具在孔内的上下运动会产生抽吸压力和“激动”压力,影响孔内原有的压力平衡;(3)钻井液对裸露层的冲刷和水化作用,也会在一定程度上造成孔壁的失稳。

5.1.2 取心质量不高

覆盖层胶结不好,结构松散,如 ZK02 号钻孔在 33~37 m 段的岩心(见图 3 所示),如果继续采用普通泥浆配合单管钻具,对岩心的冲刷及震动干扰将不可避免的降低岩心的采取率。为了取出最接近地层实际的岩心以满足地质的要求,必须选取合理的钻探工艺及设备。



图 3 ZK02 号钻孔 33~37 m 段的岩心

原因分析:(1)传统的冲洗液如清水、泥浆,都对岩心有冲刷、浸润作用,岩心中松软破碎的细颗粒成分都会被冲掉,因此取得高质量岩心的难度很大。(2)使用普通的单管钻具,钻井液直接与钻具中的岩心接触,加之钻井液本身具有一定的压力,对岩心的冲刷作用是非常明显的。此外,普通单管钻具里的岩心跟随钻具做高速回转运动,岩心因此而产生的振动及离心作用,对其的伤害也是非常大的。

5.1.3 套管的起拔

在深厚的覆盖层钻探施工中,下入的套管难以起拔是经常遇到的技术难题。起拔套管花费时间的多少直接影响钻进的效率和成本。

原因分析:分段切割分段起拔和强力起拔是现场常用的 2 种快速起拔套管的方法,但是在深厚覆盖层中运用这 2 种方法往往不管用。究其原因,主要是现场在下入套管时没有采取有效的措施以利于日后套管的起拔。因此,套管脚、管口很容易被钻屑、砂等上返物充填,时间越久,充填越多、越实,起拔套管的阻力就越大。此外,套管隔离段如果存在一些水敏性地层吸水膨胀后将把套管抱得更紧,有时只要套管周围被这种地层完全抱紧几米就会使套管难以起拔。

5.2 技术处理措施

针对以上提出的 3 个技术难点及相应的原因分析,现场采取了一系列的技术措施,保证了此次钻探项目的顺利完工。

5.2.1 针对孔壁不稳定

5.2.1.1 保持孔内压力平衡

主要的手段是调整泥浆密度,确保泥浆的液柱压力可以平衡地层压力又不至于压裂地层。现场采用的泥浆密度一般在 $1.05 \sim 1.08 \text{ g/cm}^3$,并配备除砂装置以及泥浆密度测试仪,随时调控泥浆的密度。与此同时,严格控制起下钻的速度,控制泥浆合适密度与粘度,避免因此产生的抽吸压力和“激动”压力破坏孔内原有的压力平衡状态。

5.2.1.2 严格控制泥浆性能

除了泥浆的密度外,泥浆的粘度、失水量和矿化度等性能指标对孔壁的稳定都有一定的影响。泥浆的粘度一般控制在 $30 \sim 45 \text{ s}$,过大了会使泵量变小,钻速下降,在裸露层钻进的时间增加,液动压力增大,对孔壁的稳定不利;过小了泥浆的流速大,对孔壁的冲击破坏作用明显。降低泥浆的失水量及提高其矿化度可以减小地层的水化作用。为了达到这些性能指标,现场使用了 SM 植物胶泥浆,效果显著。

现场使用的 SM 植物胶泥浆的配方:膨润土 3%~4%, SM 植物胶 0.4%~0.5%, 纯碱为土粉和 SM 植物胶总量的 6%~7%。

各地层所采用的泥浆参数(ANY-1 测试仪)如表 2 所示。

表 2 各地层对应的泥浆参数

地层	密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	粘度/s	含砂量/%
细砂	1.02~1.05	31~37	<4
中粗砂	1.04~1.07	35~45	<4
砂卵石	1.02~1.05	35~42	<4
粘土	1.00~1.04	26~33	<4
花岗岩	1.02~1.05	29~32	<4

5.2.1.3 优化钻进工艺

(1)提钻过程中,泥浆的液面会随着钻具的上升而下降,所以必须边提钻边往孔内补浆。

(2)钻进时尽量不要使用弯曲的钻杆,特别是裸露层深的时候。因为弯曲的钻杆会对孔壁产生强烈的碰撞敲打作用。

(3)起下钻要慢,以减小“激动”压力和抽吸压力。

(4)由于裸露层深厚,在可行的条件下,可以加快钻进速度,快速达到下一层套管的设计深度,下入套管,以缩短不稳定地层裸露在外的时间。

5.2.1.4 DPPL-II 型压注灌浆材料封孔

DPPL-II 型压注灌浆材料是一种快干、早强水泥,通过加入速凝剂,早期强度大大提高,护壁堵漏效果更显著。

根据护孔长度及孔径的不同,计算并称取不同数量的 DPPL-II 型材料、清水和速凝剂,其计算公式如下:

$$W_c = 1/4 \pi D^2 L k \gamma \times 10^{-6};$$

$$A_u = 2\% W_c;$$

$$W_w = P_c W_c;$$

式中: W_c ——DPPL-II 型材料用量,kg; A_u ——速凝剂用量,kg; W_w ——清水用量,kg; k ——护孔系数,取 $k=0.8$; P_c ——水灰比, $P_c=3$; γ ——材料密度, $\gamma=3.1 \text{ g/cm}^3$; D ——钻孔直径,mm; L ——孔段长,m。

将配制好的浆液灌注孔内停待 4 h 后进行扫孔,发现岩心胶结良好,其抗压强度达 20 MPa 以上。

5.2.2 针对取心质量不高

5.2.2.1 使用 SM 植物胶泥浆

在低固相的泥浆中加入了 SM 植物胶浆液,可以制得 SM 植物胶泥浆。这种钻井液较普通泥浆,

粘度有所提高,失水量也降低了。与此同时,这种钻井液还具有护胶、减振、润滑作用。较高的粘度可以降低对岩心的冲刷;低失水可以降低岩心和孔壁的水化作用;护胶作用是指其能在岩心表面形成一层胶膜,从而对岩心起到保护的作用;减振作用是基于 SM 植物胶是一种粘弹性的液体,加入泥浆后可以吸收钻具回转中振动产生的部分能量,从而减小振动对岩心的损害;润滑作用可以减少钻井液与岩心之间的冲刷作用,进而起到保护岩心的作用。图 4 为 ZK02 号钻孔,在孔深 230~234 m 的岩心照片,岩心采取率明显提高。



图 4 ZK02 号钻孔 230~234 m 段的岩心

5.2.2.2 使用 SDB 单动半合管钻具

钻进中钻具高速回转,对岩心管内的岩心产生离心力和水平振动。同时,泥浆通过钻杆直接冲刷岩心,胶结不好的岩心很容易被冲蚀流散。单动半合管钻具是一种外管转动、内管不转动的双层岩心管钻具,这种钻具除了可以防止冲洗液直接冲刷岩心的作用外,由于其内管不转动,还可以避免钻具转动造成对岩心的机械破坏,可使取心质量有很大的提高。SDB 钻具配合 SM 植物胶泥浆在深厚的覆盖层中钻进,效果更加明显。SDB 钻具的使用应注意以下事项:

(1)下入钻具前,检查其单动性好坏,卡簧与卡簧座的配合间隙,水路是否畅通;

(2)对于松散的覆盖层,在保证内管转动的前提下,卡簧座与钻头内台的间隙应当尽量小,控制在 0.5 mm 较为适合;

(3)下钻到接近孔底时,需开泵慢慢扫至孔底,待孔内基本干净后方可正常钻进,这样可以避免沉渣充塞内管和水眼;

(4)正常钻进中不要随意上下活动钻具(如确需上下活动时,建议不超过 0.1 m,但一般不作提倡),如被顶死,要求及时提钻;

(5)对于松散的覆盖层,取心采用关泵干钻取心,烧死后即可提钻。

5.2.3 针对套管起拔难

根据套管难以起拔的原因,本项目现场制定了一系列的预防措施,使得终孔后 80% 的套管得以起拔。

(1)密封套管管脚。下入套管前,在管脚缠海带以密封管脚,防止钻屑、砂等上返物充填进套管与孔壁的间隙,增加起拔套管的阻力。

(2)固封管口。套管口用夹板固定,并在四周用砂石、土、泥浆粉等捣实、填高。这种方法同样可

以减少上返物进入套管与孔壁、套管与套管的间隙。

(3)提高泥浆的润滑性能。在泥浆中加入石墨粉可以降低孔壁、泥皮对套管的摩擦阻力。在接近下入下一层套管设计孔深时,可以提前一个班在泥浆中加入石墨粉,加量为 40 ~ 60 kg/m³。

6 效果分析

完成的工作量情况见表 3 所示。

表 3 西藏雅鲁藏布江流域综合规划深厚覆盖层勘探钻孔工程量统计

孔号	钻孔位置	设计孔深/m	实际孔深/m	覆盖层厚/m	岩心平均采取率/%	钻孔用时/天	平均台班效率/m	地 层 情 况
ZK01	里龙坝址	300	300.2	260.5	92.6	49	6.1	0 ~ 260 m 覆盖层,260 ~ 300.2 m 为片麻状花岗岩
ZK02	里龙坝址	300	303.2	286	95.5	59	5.1	0 ~ 286 m 覆盖层,286 ~ 303.2 m 为片麻状花岗岩
ZK03	里龙坝址	300	262.5	99.4	98	38	6.9	0 ~ 99 m 覆盖层,99 ~ 262.5 m 为片麻状花岗岩
ZK04	本宗坝址	200	167.4	115.5	91.2	16	10.5	0 ~ 115 m 覆盖层,115 ~ 200 m 为片麻状花岗岩

通过采取上述措施,在西藏高原地区,顺利完成了 4 个 200 ~ 300 m 的深厚覆盖层勘探钻孔工作,岩心采取率高,平均岩心采取率达 90% 以上,平均台班效率达 5 m 以上,为雅鲁藏布江流域综合规划提供了可靠的地质资料。

7 结语

深厚砂卵砾石覆盖层因其地层结构、岩性复杂、多变,钻孔岩心质量受多种因素控制,钻孔取心困难,是一种很容易发生孔壁坍塌和冲洗液漏失的不稳定地层,两者又相互影响,由于漏失而导致塌孔又加剧了钻孔的漏失程度。首先,通过特殊钻具及护壁护心减振钻井液的运用,提高了深厚砂卵砾石覆盖层取心质量,保证了复杂深厚砂卵砾石覆盖层原状心样,为分析深厚覆盖层成因及特征提供了重要依据。其次,施工人员必须对该种地层的钻进有充

分的认识,施工前必须做好周密准备工作。对出现过的问题及成功的经验及时进行总结,以提高砂卵砾石地层中的钻探技术水平。

参考文献:

[1] SL 291 - 2003, 水利水电工程钻探规程[S].
[2] 王光明,阳正强,熊德全,等.金沙江其宗水电站上坝址深厚覆盖层钻进工艺探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(5):57 - 60.
[3] 张东兴.河南新蔡焦庄铁矿区预查 ZK001 孔超厚覆盖层钻进技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(12):47 - 53.
[4] 屠厚泽.钻探工程学[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,1988.
[5] 刘广志.金刚石钻探手册[M].北京:地质出版社,1991.
[6] 马明,范子福,肖冬顺,等.水利水电工程钻探与工程施工治理技术[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2009.
[7] 曾祥熹.钻孔护壁堵漏与减阻[M].北京:地质出版社,1981.
[8] 长江水利委员会三峡勘测研究院.水利水电工程勘探与岩土工程施工技术[M].北京:中国水利水电出版社,2002.

贵州省地矿局开展深井钻探技术攻关

本刊讯 为提高深井钻探施工效率和经济效益,在深井钻探技术工艺方面有所突破,贵州省地矿局成立了深井钻探技术攻关领导小组,加强对新技术新工艺攻关的领导。

攻关小组参考国际、国内先进钻井工艺,结合贵州地层裂隙溶洞发育、破碎、软硬互层、水文地质情况复杂等特点,选定应用空气钻井(空气欠平衡钻井技术和空气潜孔锤钻井技术)和螺杆钻井新工艺,同时研究适合贵州地层的泥浆技术,作为攻关的主要技术方向。

技术攻关采取与研究院(所)、大专院校及相关单位合作

的形式,或自行试验总结研究的形式,经过引进试验、推广应用和集成创新来实现提高该局深部钻井施工能力。

本次攻关共设 3 个攻关课题,分别由局属 3 个地质大队承担具体研究任务,其中《空气钻井技术的研究及应用》课题由 114 地质大队承担,《螺杆钻钻井技术工艺在地热井施工中的研究及应用》课题由 111 地质大队承担,《地热钻井泥浆技术的研究及应用》课题由 112 地质大队承担。

目前 3 个课题的课题设计书及项目实施方案均已通过审核,开始进入实施阶段。