

受控定向钻进技术在福建马坑矿区的应用

邹道全

(福建省第八地质大队,福建 龙岩 364012)

摘要:重点介绍了福建马坑矿区 ZK8321 分支孔受控定向钻进技术。施工中运用了国内先进的螺杆钻造斜技术及光纤陀螺测量定向技术,避开上部复杂孔段(松散破碎层、溶洞地层、采空区等)及对勘探工作的影响,达到了施工目的;总结了施工技术难点与措施,分析了施工技术效果,积累了宝贵的施工经验。

关键词:受控定向钻进技术;倾斜平面设计;螺杆钻;马坑矿区

中图分类号:P634.7 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2016)01-0070-05

Application of Controlled Directional Drilling Technology in Makeng Mining Area/ZOU Dao-quan (No. 8 Geology Team of Fujian, Longyan Fujian 364012, China)

Abstract: Whipstocking by screw drill and directional technology by fiber optic gyroscope measurement were applied in ZK8321 branch hole of Makeng mining area to avoid upper complex hole segment and the influence on exploration. The paper analyzes the difficult construction technologies, introduces the construction measures and the effects and summarizes the practice experience.

Key words: controlled directional drilling technology; incline plane design; screw drill; fiber optic gyroscope; Makeng mining area

0 引言

我队于1991年在紫金山铜金矿区进行过 $\varnothing 59$ mm口径的受控定向钻进技术的试验研究,取得了不错的成果;2010年马坑矿区成功申报国土资源部深孔钻探关键技术野外科研基地,受控定向钻进技术是其课题项目之一;在马坑矿区施工了ZK8321分支孔,运用了国内先进成熟的螺杆钻造斜技术及光纤陀螺测量定向技术,避开上部复杂孔段(松散破碎层、溶洞地层、采空区等)对勘探工作的影响,验证了ZK8321主孔见矿点偏距55~75 m处的矿层厚度,积累了宝贵的施工经验。

1 矿区概况

1.1 矿区地质条件

马坑矿区属闽西山博平岭山脉的中段山岭地带,为构造侵蚀地形,主要为山岭及部分丘陵、谷地。因处于山区,其气温较龙岩市区往往会低2~3℃,霜期会长些;雨季长达5个多月(4—8月),其中70%雨量集中在4—8月份。工作区内植被发育,大部分地段为竹林或树林覆盖,基岩出露较差。矿区

附近小溪沟发育。

马坑矿区岩性极复杂,岩相变化极大,断裂、褶皱十分发育,岩浆活动强烈。大部分岩石遭受强烈的热液蚀变。区内地形切割强烈,地形陡峻。岩石主要为泥岩(砂质泥岩、炭质泥岩)、灰岩、砂卡岩、硅化粉砂岩、石英砂岩等,岩石类别较硬,部分岩石硬度达到10级。

1.2 主孔概况

ZK8321主孔设计孔深900 m,于2011年6月19日开孔,至2012年3月30日终孔,终孔孔深863.93 m。ZK8321主孔钻孔结构见表1。

表1 ZK8321主孔结构

孔段/m	钻孔口径/ mm	下入套管口径/ mm	下入套管数/ m
0~18.96	250	245	18.99
18.96~256.37	200		
256.37~348.71	172	168	347.91
348.71~387.01	130	127	385.91
387.01~439.74	110	108	439.67
439.74~547.49	95	89	547.89
547.49~863.93	77		

收稿日期:2015-07-23;修回日期:2015-11-27

作者简介:邹道全,男,汉族,1983年生,工程师,勘查与技术工程专业,从事探矿工程技术工作,福建省龙岩市新罗区东肖地质八队,44104845@qq.com。

地层情况为:0 ~ 272 m,砂质泥岩、粉砂岩、泥岩、细砂岩、细砂岩夹泥岩等;272 ~ 356.48 m,风化辉绿闪长岩;356.48 ~ 390.80 m,压碎石英斑岩;390.80 ~ 800 m,含燧石条带灰岩,中厚层质灰岩、含泥质灰岩及溶洞;800 ~ 805 m,铁矿体;805 ~ 863.93 m,中细粒石英砂岩、中薄层粉砂岩、石英砂砾岩。

1.3 定向孔概况

ZK8321 分支孔自 560 m 分支施工,运用国内先进的螺杆钻造斜技术及光纤陀螺测量定向技术,目的是验证 ZK8321 主孔见矿点偏距 55 ~ 75 m 处矿层厚度。

2 定向设计方法

2.1 坐标系的建立

地质设计给定条件是孔口和分支点、靶点位置相对于“北京坐标系”的坐标值。为能直观地表达钻孔轨迹,将原坐标进行平移处理,建立以孔口为坐标原点,方位 = 0°(正北)为 X 轴正向,方位 = 90°(正东)为 Y 轴正向,铅垂地心相反方向为 Z 轴正向的坐标系,得出在新坐标系中相关点的坐标值(见表 2)。

表 2 转换后的坐标值

坐标值	孔口	分支点	靶点
X	0	-18.276	-77.394
Y	0	31.065	85.955
Z	0	-558.585	-796.660

2.2 轨迹设计

轨迹设计采用倾斜平面设计法^[1],即在空间任意倾斜平面内设计分支孔轨迹的方法。它假定造斜段的钻孔轨迹为圆弧形,造斜后钻孔轴线以直线穿过靶点。倾斜平面由分支点切线和分支孔靶点确定。

2.2.1 设计依据

(1)坐标系:Z 轴正向——朝上,X 轴正向方位 $\alpha_x = 0^\circ$ (正北),Y 轴正向方位为 $\alpha_x + 90^\circ$ (正东),开孔点为坐标原点。

(2)造斜强度 I:依据粗径钻具能否顺利过孔、钻柱在孔内工作的安全性和造斜机具造斜能力确定,选定 $I = 0.5^\circ/\text{m}$ 。

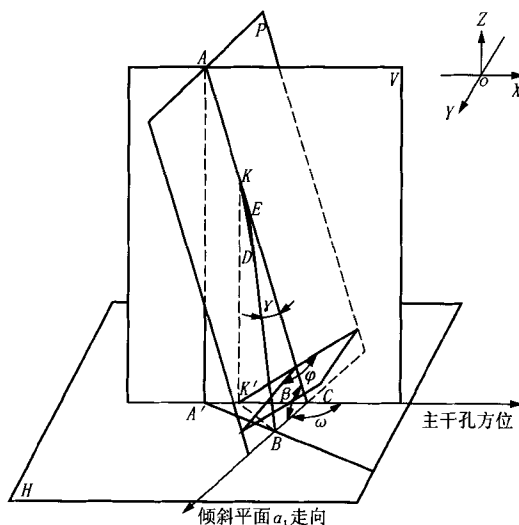
(3)分支点 K 的孔深 L_K ,顶角 θ_K ,方位角 α_K ,以及坐标 (X_K, Y_K, Z_K) ,通过测斜及计算求得: $L_K = 560 \text{ m}$, $\theta_K = 6.8^\circ$, $\alpha_K = 108.6^\circ$, $(X_K, Y_K, Z_K) = (-$

18.276, 31.065, -558.585)。

(4)靶点 B 坐标 (X_B, Y_B, Z_B) ,由地质部门给定: $(X_B, Y_B, Z_B) = (-77.394, 85.955, -796.660)$ 。

2.2.2 设计与控制的数学模型

图 1 是主干孔与分支孔空间位置的相对关系,其中 $\overline{AK}$ 为主干孔, $\overline{KDB}$ 为分支孔。通过测斜数据及各点的空间位置关系,通过相关计算公式(详见文献[1])就可得出造斜、稳斜长度,倾斜面走向以及钻孔需知位置的顶角、方位角和坐标值。



P 平面—分支孔轴线倾斜平面; β —KC 和 BC 两直线的夹角; γ —全弯曲角;H 平面—过靶点 B 的水平面; ω —倾斜平面走向与主干孔方位差值;V 平面—主干孔垂直平面; ϕ —造斜安装角;P 平面与 V 平面的夹角。

图 1 主干孔与分支孔空间位置图

2.2.3 程序设计

(1)根据倾斜平面设计法的相关计算公式和已知条件,结合计算机中 Excel 表格强大的计算功能设计简便的程序^[2],输入造斜强度、分支点坐标、靶点坐标,就可得出造斜、稳斜长度,倾斜面走向以及钻孔需知位置的顶角、方位角和坐标值。

(2)钻孔空间坐标的计算。钻孔空间位置坐标是按均角全距法计算公式,用 Excel 表格编制计算程序,根据光纤陀螺仪测的孔斜数据,输入各测点孔深、顶角、方位角数据,就可得出相关的空间位置坐标。

(3)利用 Excel 表格编制的程序,简单易用,可及时根据实测井斜和方位,与设计值进行对比,进行定向控制和轨迹计算,及时判断或调整后续轨迹定向控制参数,尽量减少定向控制失误。

2.3 ZK8321 分支孔轨迹设计计算

分支点选在孔深 560 m 处,选定造斜强度 $I = 0.5^\circ/\text{m}$ (能保证造斜能力且对稳斜段的施工无安全方面的影响),设计计算结果:分支孔长度(至靶点) $L = 251.620\text{ m}$;造斜孔段长度 $L_1 = 27.805\text{ m}$;稳斜孔段长度 $L_2 = 223.814\text{ m}$;倾斜平面走向 $\alpha_1 = 150.796^\circ$;造斜全弯曲角 $\gamma = 13.902^\circ$ (为增方位造斜)。

3 主要设备与器具

XY-5 型钻机(配 55 kW 电动机),BW-320 型泥浆泵(配 22 kW 电动机),JTL-40GX 型光纤陀螺测斜仪(含绞车、电缆等),SG23 型钻塔,Ø65 mm 螺杆钻具,Ø75 mm 定向钻头。

4 施工技术

4.1 定向技术

ZK8321 分支孔采用 JTL-40GX 型光纤陀螺测斜仪进行定向^[3]。光纤陀螺仪(长寿命)是一种可以敏感地球转速的高灵敏度传感器,使用时无需在地面进行方向校准,它可以自主寻北,得出的方位值就是钻孔倾斜真北方位角,使用非常方便。它虽然

价格较贵,但具有精度高、体积小、质量轻、零点漂移小、寿命长、维护方便等诸多优点。JTL-40GX 型光纤陀螺测斜仪顶角测量采用重力加速度传感器,和其它类型传感器相比具有精度高、性能稳定等特点。JTL-40GX 型光纤陀螺测斜仪属于自寻北陀螺测斜仪。自寻北陀螺测斜仪可以称作唯一能在任何地区(南北半球均可)、任何场合(磁性,非磁性,裸孔,套管孔,钻杆中)应用的测斜仪。主要技术指标:顶角测量范围 $0^\circ \sim 45^\circ$,测量精度为 $\pm 0.1^\circ$,分辨率 0.01° ;方位角测量范围 $0^\circ \sim 360^\circ$,测量精度顶角 $> 1^\circ$ 时,优于 $\pm 2^\circ$;测量方式为点测;寻北时间 $\leq 2\text{ min}$;测量深度 2000 m。

JTL-40GX 型光纤陀螺测斜仪(见图 2)井下装上纠偏工具引鞋,安装引鞋时需保证引鞋定位键槽与仪器顶部定位线在一条母线上,安装好后把仪器下放到钻具工具处,钻具纠偏工具键会落入到定位槽内,称作入键。入键后,每转动一次钻具,同时测量一下顶角,更新终点工具方位角和终点工具垂向角,把纠偏工具转到纠偏的位置,即测得终点工具方位角为设计的工具方位角,就完成了纠偏定位。

4.2 仪器终点工具方位角的确定

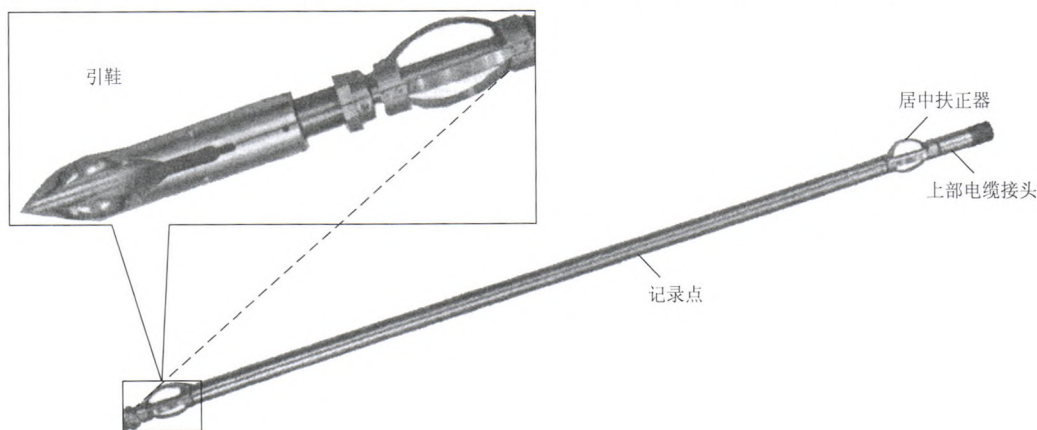


图2 JTL-40GX 型光纤陀螺测斜仪

仪器终点工具方位角 α 计算公式:

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_1 + \alpha_2$$

式中: α_1 —— 倾斜面走向,根据设计计算, $\alpha_1 = 150.796^\circ$; α_1 —— 造斜工具组合差, $(^\circ)$; α_2 —— 反扭转角, $(^\circ)$ 。

造斜工具组合差可由弯外管母线与定位键位置之差量取,量取该点到定向接头的键位置的弧长 h ,通过下式计算 α_1 :

$$\alpha_1 = h \frac{360^\circ}{\pi d} = 10 \times \frac{360^\circ}{3.14 \times 74} = 15.5^\circ$$

式中: h —— 弧长,取 10 mm; d —— 定向接头外径,取 74 mm; α_1 —— 增方位造斜时取正值,减方位造斜时取负值。

螺杆钻具在孔底工作时产生反扭矩,使钻具发生扭转变形,产生扭转角为影响定向的准确性,因此在造斜过程中应给予控制、消除。

反扭转角 α_2 的计算公式为:

$$\begin{aligned}\alpha_2 &= \frac{57.3KM_T L}{GJ_P} \\ &= \frac{57.3 \times 0.4 \times 241 \times 560 \times 32}{0.79 \times 10^{11} \times 3.14 \times (0.072^4 - 0.06^4)} \\ &= 28.67^\circ\end{aligned}$$

式中: M_T ——螺杆钻具的输出扭矩,取 $241 \text{ N} \cdot \text{m}$; L ——钻杆柱长度,取 560 m ; G ——钻杆剪切弹性模量,取 $0.79 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$; J_P ——钻杆柱截面的惯性矩, $J_P = (\pi/32)(d_2^4 - d_1^4)$ (d_1, d_2 ——钻杆柱内、外径, $d_1 = 0.06 \text{ m}$, $d_2 = 0.072 \text{ m}$), m^4 ; K ——经验修正系数($0.4 \sim 0.8$),这里取 0.4 。

仪器终点工具方位角 $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 = 150.796^\circ + 15.5^\circ + 28.67^\circ = 194.96^\circ$ 。

4.3 定向操作措施

(1) 仪器使用前,要对仪器进行校准,保证引鞋定位键槽与仪器顶部定位线在一条母线上。

(2) 正确连接井下仪器、电缆、操作面板等之间导线,检查各密封圈是否完好,并涂抹黄油,保证密封,仪器各连接处丝扣需上紧。

(3) 正确组装造斜钻具与定位装置,准确测量组合差,并通过计算消除。

(4) 陀螺仪引鞋安装一根细锡丝,并固定牢固,便于定向到位判断准确。

(5) 仪器下井时应由专人操作绞车,控制下降速度,下至离到位 $3 \sim 5 \text{ m}$ 时,可适当加快速度,保证有一定速度入键。为了判断是否入键,可提拉几次,测出每次到位后的工具方位角,若差值 $\geq 3^\circ$,说明已入键。

(6) 绳索取心钻杆上部连接专用定向提引接头,顺时针缓慢转到钻杆,每转一次,测量一下工具方位角,使其达到所需值后即可提出仪器,检查细锡丝是否断开,若无,应重新定向。

(7) 将仪器提出孔外时,应有专人看守孔口,待仪器快到孔口时,停用绞车,用人力拉出孔外,以免仪器受损。

4.4 造斜钻进技术措施

4.4.1 螺杆钻性能参数

采用 4LZ-65-3 型钻具,外径 65 mm ,钻头尺寸 $73 \sim 90 \text{ mm}$,头数 4:5,级数 3,扭矩 $241 \text{ N} \cdot \text{m}$,马达压降 2.4 MPa ,每转排量 0.63 L/r ,马达排量范围 $140 \sim 280 \text{ L/min}$,钻头转速 $222 \sim 444 \text{ r/min}$,最大功率 11 kW ,钻具长度 2865 mm 。

4.4.2 螺杆钻操作

(1) 螺杆钻具下孔前都要在地表进行空载运转试验,检验螺杆钻具在不同泵量情况下的起动泵压、正常运转泵压、运转平稳状态、溢流阀开闭等情况,并做好记录,以保证孔内工作可靠。

(2) 钻具下到一定位置、定向完成后,用上下卡盘卡紧主动钻杆,用自制反扭转器(见图3)牢固立轴导管以防转动,并在主动钻杆上做好方向标志。

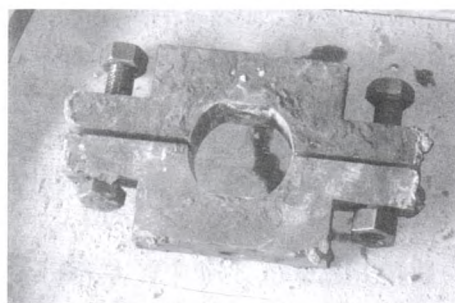


图3 反扭转器

(3) 缓慢将钻具下放到孔底,再将钻具提离孔底 $0.3 \sim 0.5 \text{ m}$ 后启动螺杆钻具。待泵压升到正常值时,再缓慢将钻具下放到孔底,逐步增加钻压至所需值后开始钻进。

(4) 造斜钻进过程中,钻压应均匀施加,以减少(轻)钻具的振动。

(5) 造斜钻进过程中要认真观察各种仪器,保证钻进参数的恒定。应有专人看管水泵,并随时观察泵压的变化,以便正确判断分析孔内情况:如泵压突然上升,要立即提动钻具,使泵压恢复正常;如发现憋泵并处理无效时,要立即关泵、卸压,提钻检查。

(6) 钻进过程中,要随时注意主动钻杆上标志的方向,如发现主动钻杆扭转,要立即停止钻进并重新调整。

(7) 使用较大造斜强度的造斜器时,要控制回次造斜长度,采用造、稳结合。一般情况下,造斜段内的平均造斜强度 $\geq 0.5^\circ/\text{m}$ 。

(8) 在造斜段稳斜钻进时,钻具长度 $\geq 1.5 \text{ m}$ 。在造斜段中扩孔、换径时要注意带导向。

(9) 每造斜钻进一次,必须用锥形钻头进行修、扩孔,并及时测量造斜效果,以确定下一回次的造斜参数。

行修、扩孔根据地层情况选择修、扩孔机具及其技术参数。一般情况,如果扩孔的孔径差 $< 5 \text{ mm}$,可采用锥形钻头扩孔;反之,用带导向的钻头扩孔。

(10)造斜钻进时,造斜钻头内取出的小岩心,应用专用岩心盒装好,写上回次、造斜长度、岩心长度、孔深等,放入岩心中妥善保管。

4.4.3 钻进技术参数

钻头规格 75 mm,泵量 160 L/min,钻压 5 ~ 8 kN,泵压 1.6 MPa。

4.5 施工难点与措施

(1)灰岩上部岩溶发育,溶洞多、大小不一,洞内多充填泥砂、漂砾,有的溶洞成串(孔深 590 ~ 603.79 m 见 10 个溶洞,604 ~ 660.44 m 见 22 个大小不等溶洞),钻孔护壁成为施工的难点。采用惰性材料灌水泥及高压旋喷水泥方法护壁,有效地解决了护壁问题,但水泥用量大,灌水泥护孔等待时间长。

(2)因多次灌水泥,如何安全、快速扫水泥成为关键。经过多次的实践,形成了一套相对可行的方法:灌完水泥后 4 ~ 6 h 内,采用 Ø50 mm 合金单管钻具冲水泥,保留所需灌水泥孔段 15 ~ 20 m 的水泥柱;灌水泥 24 h 后,采用同径单管扫水泥至所需灌水泥孔段以上 5 m;灌水泥 48 h 后,再用同径扫水泥。

(3)因多次造斜钻进,孔内溶洞多,孔内全漏失,造成钻进无法开高转速,钻进效率低。采取在绳索钻杆上涂抹锂基润滑脂降低摩阻,提高转速,起到了很好的效果。

5 技术经济效果

5.1 施工技术效果

5.1.1 造斜效果

ZK8321 分支孔于 2012 年 5 月 3 日于孔深 560 m 处进行定向孔的施工,经过 5 次的螺杆钻定向造斜(见表 3),螺杆钻钻进 14.92 m,其中第 3、4 次造斜因钻遇溶洞群(590 ~ 603.79 m 见 10 个溶洞,604.77 ~ 660.44 m 见 22 个大小不等溶洞),造斜效果不理想,加之孔内掉块严重,灌水泥护孔后扫水泥中偏孔,后穿过溶洞地层后再进行造斜,于 2012 年 8 月 8 日终孔,终孔孔深 839.01 m,给定靶点坐标(-77.394,85.955,-796.660),实际见矿点坐标(-65.084,81.480,-800.874),验证了深部磁异常的情况。

5.1.2 空间位置计算

钻孔各点空间位置计算结果见表 4,采用的是均角全距法。

表 3 螺杆造斜效果

造斜孔段/m	顶角变化/(°)		方位角变化/(°)		备注
	造斜前	造斜后	造斜前	造斜后	
560.82 ~ 564.74	6.80	8.25	108.60	120.00	
580.26 ~ 583.29	10.69	12.29	123.30	124.40	
647.02 ~ 649.37	14.01	12.29	124.00	123.10	不理想
667.16 ~ 669.61	15.64	14.92	125.90	125.00	不理想
689.83 ~ 693.00	15.24	16.15	132.20	137.60	

表 4 空间位置计算结果

测点号	孔深/m	顶角/(°)	方位角/(°)	X 坐标	Y 坐标	Z 坐标
1	50.01	0.42	90.4	0.130	0.217	50.009
2	100.15	1.74	124.8	-0.240	0.963	100.141
3	150.00	2.90	137.7	-1.583	2.455	149.950
4	199.82	3.80	139.0	-3.790	4.488	199.679
5	250.02	3.90	125.3	-5.966	7.151	249.761
6	300.14	3.65	129.5	-7.932	9.814	299.771
7	349.68	3.89	113.4	-9.746	12.272	349.217
8	400.20	5.81	121.6	-11.178	16.023	399.575
9	450.11	6.05	122.4	-13.904	20.401	449.218
10	500.01	6.45	117.5	-16.609	25.126	498.820
11	550.00	6.57	108.2	-18.570	30.471	548.483
12	560.82	6.80	108.6	-18.972	31.672	559.229
13	564.75	8.25	120.0	-19.189	32.154	563.123
14	571.15	10.04	125.7	-19.781	33.011	569.438
15	580.25	10.69	123.3	-20.705	34.342	578.392
16	583.25	12.29	124.4	-21.038	34.839	581.332
17	600.02	14.50	123.2	-23.377	38.213	597.591
18	650.25	15.35	130.7	-31.330	48.888	646.022
19	689.82	15.24	132.2	-38.052	56.772	684.211
20	693.00	16.15	137.6	-38.666	57.379	687.272
21	700.03	16.58	138.5	-40.122	58.729	694.016
22	750.02	17.59	136.9	-50.998	68.666	741.784
23	800.01	18.00	137.6	-62.203	79.090	789.374
24	812.12	18.34	139.2	-65.039	81.577	800.881
25	830.01	18.59	139.7	-69.358	85.224	817.854
26	839.01	18.59	139.7	-71.546	87.080	826.385

5.2 技术经济指标

钻月时间 2232 h,台月时间 1840 h,其中纯钻时间 404 h,辅助时间 1036 h,孔内事故时间 175 h,设备损坏时间 15 h,其它停待时间 210 h;完成进尺 279.01 m,台月效率 109.18 m,钻月效率 90.08 m。

6 结语

(1)马坑矿区 ZK8321 分支孔的施工,应用了国内先进成熟的螺杆钻造斜工具和新型的光纤陀螺仪测量定向技术,积累了相关的实践施工经验。

(下转第 80 页)

丰富振冲施工经验的地基处理公司来进行振冲碎石桩的施工。

(5)为提高整个工程的施工进度及施工质量,应认真解决好如下问题:振冲施工用水的落实、施工产生的大量泥浆的存放、增设变压器作为施工电源(施工中采用500 kW柴油发电机)以降低工程成本等。

5 结语

大海子水利工程所在地区的土质为有机土质,在承载力及强度方面较弱,采用振冲碎石桩施工技术进行处理。在处理过程中,严格按照既定的施工工艺进行施工,并在施工过程中做好水、电、料等要素的控制,尤其是料的控制上填料宜“少吃多餐”的方式控制,在有机质土层内则要用“先护壁,后制桩”的施工方法,以确保地基的施工质量。

碎石桩施工水平的高低是决定复合地基成败的关键因素,做好施工各项参数的控制工作,可为工程的顺利施工打下良好的基础。

大海子水利工程实践证明,振冲碎石桩在处理软土地基时,具有施工效果好、速度快、成本低等优点,

具有在水利工程中广泛推广的价值。

参考文献:

- [1] 王勇. 振冲碎石桩在加固软土路基中的应用[J]. 北方交通, 2013, (2): 3-5.
- [2] 姜波. 振冲碎石桩在地基处理中的应用[J]. 中国煤炭地质, 2013, (8): 46-47, 67.
- [3] 李晓力, 肖普, 李庆跃. 重型动力触探在振冲施工质量控制及检测中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(2): 74-76, 80.
- [4] 肖黎明, 刘兴, 徐阳, 等. 无填料振冲法处理新近吹填粉细砂地基的工程应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(2): 56-59.
- [5] 李向群, 杨丰年, 王海鹏. 振冲碎石桩处理软土地基效果分析[J]. 岩土工程技术, 2015, (3): 127-131.
- [6] 王新宇. 振冲碎石桩在水利工程中的应用实例[J]. 山西水利科技, 2015, (2): 8-11.
- [7] 董立龙. 振冲碎石桩施工及效果分析[J]. 科技信息, 2014, (9): 187-188, 228.
- [8] 汪正荣. 建筑地基与基础施工手册(第二版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005: 274-279.
- [9] DL/T 5214—2005, 水电水利工程振冲法地基处理技术规范[S].

(上接第74页)

(2)验证了ZK8321主孔见矿点偏距55~75 m处的磁异常,证实了磁铁矿的存在及厚度。

(3)在分支孔段复杂的地层成功完成分支孔的施工,为该矿区首例。

(4)加工制作了简单实用的反扭转器,保证了定向的准确性。

(5)分支孔的施工,节省了占地地基,可以减少设备搬迁和分支点以上的钻探工作量,又可避开上部复杂地层孔段(松散破碎、溶洞、采空区等)的钻探施工,可大幅度提高钻探效率,缩短工期,节约费用。

参考文献:

- [1] 胡志楠, 李粤南. 受控定向钻探孔身轨迹设计新方法与控制工

艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 1990, (3): 1-5.

- [2] 刘海翔, 向军文, 刘志强. 基于EXCEL的定向钻井应用程序及其工程应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 37(2): 14-16.
- [3] 刘德力. 光纤陀螺测斜仪的研制及应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(22): 363-366.
- [4] 吴翔, 杨凯华, 蒋国盛, 等. 定向钻进原理与应用[M]. 中国地质大学出版社, 2006.
- [5] 樊腊生, 张伟, 吴金生, 等. 汶川地震断裂带科学钻探项目WFSD-4孔定向钻进技术应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(9): 101-108, 113.
- [6] 谢宏军, 索晓晶. 定向钻进技术在黑龙江金厂矿区的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(6): 19-22, 26.
- [7] 吴金生, 宋军, 尤建武, 等. 汶川地震断裂带科学钻探一号孔(WFSD-1)定向钻进技术的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(12): 20-22.
- [8] 姚爱国, 高辉, 方小红. 定向钻进技术的发展与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(S1): 62-65.