

小口径金刚石钻进在大岗山水电站 帷幕灌浆工程中的应用

古剑飞¹, 甘贻强¹, 张明明²

(1. 北京振冲工程股份有限公司, 北京 100102; 2. 成都理工大学环境与土木工程学院, 四川 成都 610059)

摘要:以小口径金刚石钻进在大岗山水电站帷幕灌浆工程中的应用为例,总结了小口径金刚石钻进在坚硬地层中的施工技术。从设备机具的选择、施工工艺、相关参数的确定、钻进中遇到的常见问题及预防措施等方面进行了论述,并结合钻孔轨迹平面投影图对孔斜进行分析。

关键词:小口径金刚石钻进;硬地层;帷幕灌浆;钻进参数;大岗山水电站

中图分类号:P634.5⁺1 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2013)05-0060-05

Application of Small Diameter Diamond Drilling in Curtain Grouting for a Hydropower Station/GU Jian-fei¹, GAN Yi-qiang¹, ZHANG Ming-ming² (1. Beijing Vibroflotation Engineering Co., Ltd., Beijing 100102, China; 2. Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China)

Abstract: By an engineering case of small diameter diamond drilling in Dagangshan hydropower station, the paper summarizes the construction technology of small diameter diamond drilling in hard formation. The description includes the choice of equipment machinery, construction technology, the determination of the relevant parameters, common problems in drilling and prevention measures. And analysis is made on the borehole deviation according to plane projection drilling track.

Key words: small diameter diamond drilling; hard format; drilling parameters; technical measures; Dagangshan hydropower station

金刚石钻进技术不仅在固体矿产及煤矿层的探储方面应用广泛,而且已经深入到工程建设的各种领域中,其在国民经济的发展中具有独特的地位。水电工程施工中,坝基、坝体、二道坝、厂房等都需要灌浆作业,进行帷幕灌浆、固结灌浆、接缝灌浆、接触灌浆等,这些都离不开钻探施工。而在以前,在灌浆孔的施工中占主导地位的是硬质合金和钢粒钻进方法,但由于这2种钻进方法自身的特点,不适应复杂地层和对成孔质量要求较高的灌浆孔,且施工难度大,钻孔事故多发,钻进效率低。随着新材料、新技术、新工艺的发展和结合,金刚石钻进以其高效率、高质量、低成本的特点迅速推广开来。本文以大渡河大岗山水电站大坝帷幕灌浆工程为例,通过对小口径金刚石钻进的应用进行分析,结合相关规范、历史资料以及工程施工特点等总结和探讨小口径金刚石在坚硬(部分软硬互层)地层中的钻进工艺。

1 概述

1.1 工程概况

该水电站为混凝土双曲拱坝,最大坝高210.00 m,电站装机容量2600 MW(4×650 MW),最大水头178.00 m,最小水头156.80 m,额定水头160.00 m,发电引用流量1834 m³/s,保证出力636 MW,年发电量114.30亿kW·h。电站枢纽区基岩主要为澄江期灰白色、微红色中粒黑云二长花岗岩,另外有辉绿岩脉(β)、花岗细晶岩脉(γL)、闪长岩脉(δ)等脉岩穿插发育于花岗岩中,尤以辉绿岩脉分布较多,它们与围岩接触关系有焊接式、裂隙式和断层式3种接触类型。勘测已查明的辉绿岩脉出露宽度一般0.5~10 m,最大宽度达26 m,其中宽度>2 m或较破碎的辉绿岩脉共计203条,宽度>5 m的辉绿岩脉约56条,主要以陡倾角为主。

1.2 技术难点

1.2.1 地质条件复杂

帷幕灌浆区以研磨性高的花岗岩为主,深部穿插辉绿岩脉,根据已有的勘探资料显示,存在多个岩脉和断层,断层破碎带沿辉绿岩脉发育,给施工带来不利影响。

收稿日期:2012-12-24; 修回日期:2013-04-25

作者简介:古剑飞(1984-),男(汉族),四川广安人,北京振冲股份有限公司工程师,岩土工程专业,主要从事基础处理及岩土锚固工程施工工作,北京市朝阳区望京西园221号,gujianfei1984@126.com。

1.2.2 钻探质量要求高

该电站帷幕灌浆工程,设计孔距 2.0 m,排距 1.5 m,最大深度 200 m。按规范要求,钻孔顶角偏差要求为:“狗腿”度 0.5°/100 m,其钻孔精度已大大超过了除专门科学研究试验需要或者特殊条件(如核环境、应急救援)下的常规钻孔孔斜控制标准。孔底允许偏差见表 1。此外,岩心的最大长度限制在 3 m 内,岩心的采取率≥85%,若不足,则需进行补采措施,直至满足要求。

表 1 帷幕灌浆孔孔底允许偏差

孔深 /m	允许偏差/(°)		孔深 /m	允许偏差/(°)	
	单排孔	二或三排孔		单排孔	二或三排孔
20	0.25	0.25	50	1.00	1.15
30	0.45	0.50	60	1.30	1.50
40	0.70	0.80	>60	1.50	1.50

1.2.3 深孔作业量大

孔深 >80 m 的灌浆孔累计工程量达 40000 m,特别是在河床部位,孔深 >160 m,并且钻孔底部地层压力 >5 MPa,极易造成孔内事故,严重者可导致钻孔报废,影响工程进度和质量。

1.2.4 钻头寿命短,孔内事故多发

单个普通人造孕镶金刚石钻头仅钻进 20~30 m 后,钻头就严重磨损,无法继续使用。据统计,非正常磨损(偏磨、冲蚀、拉槽、崩裂等)的钻头高达 65% 以上,由于操作手经验不足,无法判断孔内情况,继续使用严重磨损的钻头,进而引发孔内事故,导致钻探成本增加,效率降低。

2 钻探施工技术

2.1 帷幕灌浆施工工艺

采用自上而下分段灌浆、孔口封闭循环式灌浆法,严格按照规范要求执行每 5 m 一灌(帷幕灌浆起始段长度分别为 2 和 3 m,以下长度采用 5 m)。一般以钻杆作为灌浆管,将钻杆下至距孔段底部不大于 50 cm 位置,孔口安装孔口封闭器进行灌浆作业(见图 1)。帷幕灌浆施工工艺见图 2。

2.2 钻探设备的选择

根据地层条件、灌浆平洞断面尺寸(如图 3 所示)、钻孔设计深度、钻孔结构和钻进方法选择设备如下。

钻探设备:XY-2 型钻机,BW250 型灌浆泵,ZJ400 型高速搅拌机,高压胶管,56TKSB-10 型排污泵,D85-45×6 型清水泵,简易四角钻塔等。

备用发电设备:功率为 220 kW 的柴油发电机

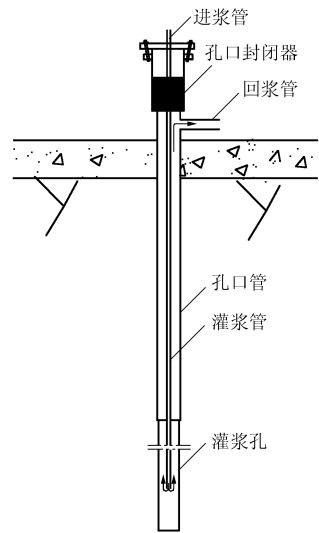


图 1 灌浆孔示意图

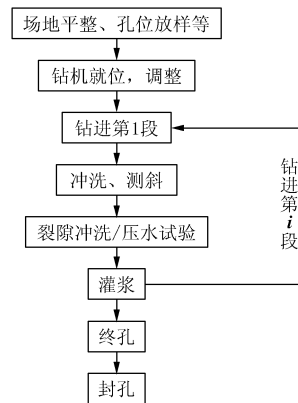


图 2 帷幕灌浆施工工艺

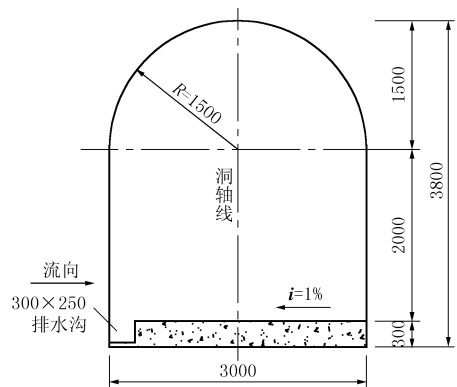


图 3 灌浆廊道断面尺寸

组,变压器等。

2.3 钻进规程参数

通过前期试验钻探得到的数据,考虑金刚石的磨耗、钻进效率和钻探成本等因素,结合钻压、转速、泵量三者之间的关系选取最优钻进规程参数。

2.3.1 钻压

根据金刚石钻头硬而耐磨的特点和碎岩机理,

决定了其以高转速为主的钻进规程。钻压 P 、钻速 v 、钻头磨损 w 三者之间的关系如图 4 所示, I 区为表面破碎区, 钻速低; II 为疲劳破碎过渡区, 多次重复作用使裂纹扩展; III 为体积破碎区, 钻头单位进尺磨损量大, 钻速随钻压增长快^[1]。钻压值取图中最优区内(注:该工程采用孕镶金刚石钻头)。

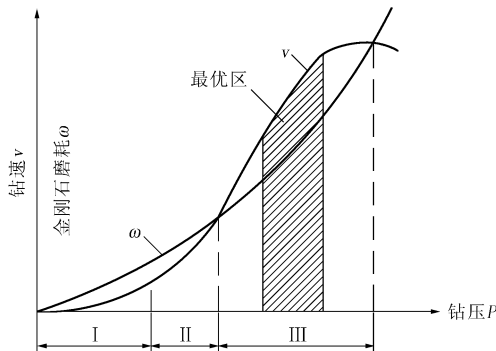


图 4 钻压 P 、钻速 v 、钻头磨损 w 关系

孕镶金刚石钻头钻压:

$$P = Fq$$

式中: F ——钻头实际工作唇面的面积, cm^2 ; q ——单位底唇面面积上允许的压力, kN/cm^2 , 坚硬岩石 $q = 0.6 \sim 0.7 \text{ kN}/\text{cm}^2$ 。

2.3.2 转速

孕镶金刚石钻头的金刚石粒度很小, 一般粒径 0.2 mm 左右, 出刃量微小, 主要靠高转速获取钻进效率, 推荐的线速度为 $1.5 \sim 3 \text{ m/s}$ 。在实际操作中, 需考虑钻机的能力和钻杆柱的质量, 合理选择转速^[2]。钻具在较高的转速状态下, 不会发生抖振和大幅度的甩动, 能够保持持久的平稳运转。

2.3.3 冲洗液量

孕镶金刚石钻头唇面和岩面间只存在漫流区, 主要靠水口循环。研究表明, 当转速为 $800 \text{ r}/\text{min}$, 钻头唇压为 10 MPa , 钻头每转一周, 胎体温度升高 1.73° , 所以宜尽量使用较大泵量, 防止烧钻。同时, 需考虑在采用大泵量排粉时, 高速岩粉流对胎体的冲蚀磨损, 导致金刚石颗粒过早的脱落。泵量的确定以上返流速 ($v = 0.3 \sim 0.6 \text{ m/s}$) 来确定:

$$Q = 6vF \text{ (L/min)}$$

式中: v ——环隙空间的上返流速; F ——钻孔环空面积。

本工程灌浆孔钻进工艺参数见表 2。

2.4 取心技术措施

采用单管取心钻具, 利用钻头上部的卡簧装置提断岩心。卡簧为加工简单的外槽式卡簧, 用 40 铬钢

表 2 帷幕灌浆工程灌浆孔钻进工艺参数

深度/m	钻头类型	孔径 /mm	钻压 /kN	转速/(r·min ⁻¹)	泵量/(L·min ⁻¹)
0~3	孕镶金刚石钻头	91	8~10	350~700	50~70
3~设计深度	孕镶金刚石钻头	76	6~10	400~850	40~60

加工并经淬火处理制成, 具有较好的弹性和耐磨性。需要注意的是, 下钻前, 应使用地面岩心对卡簧装置进行试验, 确认其灵活好用之后再下钻; 在正常钻进过程中, 不能随意上提钻具, 以免钻进中途卡断岩心, 造成岩心堵塞; 当卡簧磨损严重, 没有与岩心适合的配合面积, 应换新卡簧使用。图 5 为取出的岩心照片。

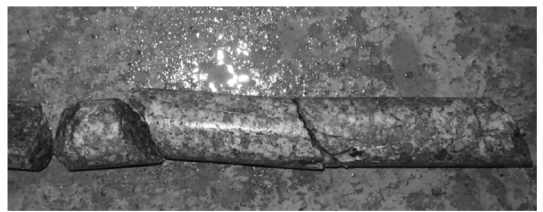


图 5 岩心照片

2.5 钻头寿命短的原因分析及针对性改进

2.5.1 钻头因素

为降低成本, 施工方采购的金刚石钻头品级不一, 使用了一批磨耗比低于 $1:15000$ 的低级人造金刚石钻头, 其强度、硬度、抗磨性能、断裂韧性、导热性能等减弱。对同品级的钻头, 在每钻进尺 h 不变条件下, 钻速 v 与金刚石的粒度 n 的立方根成正比, 出刃随粒度增大而变大, 但是出刃愈大愈容易折断和脱落。工程使用的部分人造金刚石钻头粒度不均, 大小差异明显, 出刃量较大, 统计的约 25% 报废的钻头发生了金刚石脱落、折断。钻头体钢体端部与非工作部分胎体呈一个倒三角粘结, 胎体中间部分的孕镶层高度约比胎体两边缘孕镶层高 $1.3 \sim 2.1 \text{ mm}$, 导致钻进后期唇面中间拉槽, 金刚石的利用率和钻头寿命都降低; 此外胎体硬度对孕镶层层面的弧度大小有影响。实践表明, 孕镶层面接近水平时, 钻头寿命更长。部分钻头胎体硬度低, 磨损快, 造成对金刚石包镶不牢固。

2.5.2 工艺因素

部分钻探设备老化严重仍在用, 附属设备(压力表、泵压表等)缺失, 根本无法判断和校验是否采用了合理的钻进规程, 只能凭经验操作, 风险大。

2.5.3 改进措施

(1) 一切以工程质量为中心, 严把质量关, 采购质量合格优质级或标准级的钻头;

(2)改善钢体端部形状,可做成锯齿形(连续倒三角)、矩形、梯形等形状,改善孕镶层分布情况,使唇面受力尽量均匀;

(3)改变骨架金属与粘结金属的比例,改变烧结工艺,调节烧结温度及压力^[1];

(4)淘汰不合格设备,合理选用钻头技术参数,严格控制钻进时效,既要讲效率也要讲质量;

(5)加入润滑剂,改善孔内情况,降低磨损,此外有些润滑剂还能减少摩擦热的生成。

经过调整后,钻头的使用寿命一般90~120 m,平均进尺效率由0.7~0.9 m/h提高到1.5~2.1 m/h,钻进效率提高,效果明显。

2.6 常见事故及预防措施

2.6.1 折断杆事故

据现场统计,该工区在2012年8~11月共发生断钻杆事故127起,约占孔内事故总次数的47%,处理钻杆折断事故耗费657台时,严重影响了钻探效率。调查显示约85%的钻杆折断部位集中在丝扣部位(见图6)。主要原因包括以下几个方面:在钻进裂隙坚硬花岗岩层时,钻头切削具碰到裂隙阻力减小,转过后阻力又急剧增大,产生频繁的扭矩变化,导致钻杆横向扭转振动,丝扣磨损加剧;在严重弯曲的钻孔中,弯曲的钻杆柱生成交变应力,产生疲劳破坏,强度降低;管材质量不高,本身存在微小裂纹,当二次裂纹形成时,折断加剧;此外,还包括一些人为因素,操作不当等。



图6 断钻杆照片

预防措施:加强钻杆的维护和检查,对钻杆进行再加工和调质处理。

2.6.2 烧钻事故^[3]

施工L₁₅-Ⅲ-10号孔,设计深度163 m,在120 m时,施工人员未及时发现高压进水胶管破裂,持续钻进十多分钟,发生烧钻事故。后经过重复顶、拉、扭事故处理措施,强行把钻具拉出,钻头体为黑色,轻微变形,胎体内周呈不规则形状,钻头报废。烧钻事故的发生多是冲洗液循环不畅导致的,有些为了赶进度抓效率,使用大钻压高转速钻进,岩屑不能

及时排出,致孔底热量散发不出去;采用恒压钻进,当钻头由硬岩层进入软岩时,钻速突然急剧增大;还有些打懒钻,不随时观察孔内情况,不会根据烧钻前兆判断。

预防措施:严格按照规程操作,保持孔内清洁,及时处理堵塞岩心,保证冲洗液循环畅通,加强对钻工的监管等。

2.6.3 钻进中振动

该工区L₁₅-I-13号孔,在钻穿均质性差、不完整岩层时,操作人员盲目加压高转速钻进,钻杆柱振动强烈致使钻杆断裂、金刚石钻头磨损严重。引起金刚石钻进振动的直接或间接原因主要包括:操作不当(高转速、强给进);油泵排量不均匀(油箱内油量不足或者吸入空气等)造成推力波动引起竖向钻杆柱的振动;岩石各向异性;钻孔弯曲,钻杆柱各区段受摩阻力不同。

预防措施:异径接头上或者岩心管上部焊“对中肋骨”,使用导向环等增加钻杆柱稳定性;钻杆柱上涂抹防振油;不使用弯曲、磨损严重钻杆。

2.6.4 钻孔弯曲

钻孔偏斜主要是地质因素和人为因素2个方面综合作用的结果,防斜保直是灌浆工程的重点,必须严格控制孔斜。钻孔弯曲采取预防为主,纠防结合的手段。

3 建议和改进措施

由于灌浆孔的成孔质量要求高,所以我们主要从钻孔防斜方面做出一些改进措施,具体如下:

(1)加强钻孔随钻监测,对偏斜的孔及时纠斜,采用满眼钻具防斜;

(2)从钻进规程考虑,开孔要轻压慢转,小规程参数,尽量采用钻铤加压;

(3)现场设备安装,钻机固定牢稳,孔口管方向准确,确保孔口中心、主轴中心、天车前缘切点三点一线;

(4)考虑使用恒钻速钻进(每钻进尺量一定),主要提高钻进效率,但对防斜也有一定作用。

4 钻探技术成果

灌浆孔的测斜数据按照全角全距法^[4]的相关公式经过MS-Excel计算处理后,将笛卡尔坐标系转换成极坐标^[5],然后将极坐标值导入ACAD绘图软件中即可得到钻孔轨迹的水平投影图^[6],简单、直接的反映钻孔偏斜方向,并可以根据轨迹图大概

的总结出某种偏斜的规律来。表3为处理后的灌浆孔 $R_{1S}-III-4$ 的测斜数据。图7为选取的部分灌浆孔轨迹的平面投影图。从表3中可看出,在前100 m孔段中,70~90 m处易发生孔斜,查相关地质

资料表明,该段地层软硬互层(花岗岩和辉绿岩),孔底软、硬岩对钻头底唇的反作用力不同,产生偏倾力矩,使钻具在孔内发生偏倒;当深度超过140 m后,也极易发生偏斜。

表3 MS-Excel处理灌浆孔 $R_{1S}-III-4$ 测斜数据

基本轨迹参数			偏距				坐标参数		
孔深 L_i/m	方位角 $\alpha_i/(\circ)$	倾角 $\theta_i/(\circ)$	东西方向偏距 D_x/m	南北方向偏距 D_y/m	水平偏距 D_z/m	平移方位角 $\beta_i/(\circ)$	极坐标值 $\beta_i/(\circ)$	CS(in ACAD)	
0	0	0	0	0	0	0	90.0	0 < 90	
10.0	317.9	0.09	-0.01	0.01	0.016	317.9	-227.9	0.016 < -227.9	
20.0	310.8	0.17	-0.03	0.03	0.135	345.9	-255.9	0.135 < -255.9	
30.0	298.7	0.25	-0.07	0.05	0.258	344.0	-254.0	0.258 < -254.0	
40.0	295.4	0.29	-0.12	0.07	0.388	342.5	-252.5	0.388 < -252.5	
50.0	287.9	0.31	-0.17	0.09	0.481	339.5	-249.5	0.481 < -249.5	
60.0	285.4	0.33	-0.22	0.11	0.558	336.3	-246.3	0.558 < -246.3	
70.0	276.1	0.39	-0.29	0.11	0.643	333.0	-243.0	0.643 < -243.0	
80.0	273.3	0.44	-0.37	0.12	0.777	331.7	-241.7	0.777 < -241.7	
90.0	267.5	0.48	-0.45	0.11	0.906	330.1	-240.1	0.906 < -240.1	
100.0	260.1	0.53	-0.54	0.10	1.032	328.2	-238.2	1.032 < -238.2	
110.0	249.3	0.60	-0.64	0.06	1.174	326.9	-236.9	1.174 < -236.9	
120.0	244.7	0.77	-0.76	0.00	1.363	326.0	-236.0	1.363 < -236.0	
130.0	239.1	0.96	-0.91	-0.08	1.680	327.4	-237.4	1.680 < -237.4	
141.8	235.5	1.28	-1.12	-0.23	2.107	327.8	-237.8	2.107 < -237.8	

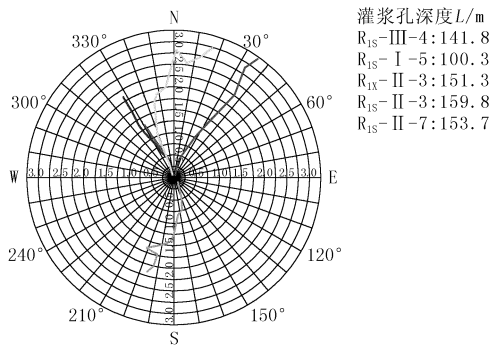


图7 灌浆孔轨迹的水平面投影图

钻具,岩心原状结构容易受到扰动等。另外在平面中反映钻孔的偏斜情况,具有一定作用,对钻孔是否偏斜一目了然,并且可参照偏斜孔段的偏距和方向作为纠斜的指导。

参考文献:

- [1] 李世忠. 钻探工艺学[M]. 北京:地质出版社,1990.
- [2] 张泽洋,郑镇丰. 小口径金刚石钻进规程及其优化组合的探讨[J]. 西部探矿工程,2006,(7):198-199.
- [3] 江锦忠. 金刚钻进烧钻事故的探讨[J]. 大众科技,2010,(10):160-161.
- [4] 吴光琳. 定向钻进工艺原理[M]. 四川成都:成都科技大学出版社,1991.
- [5] 唐平,李粮纲. 极等间距网在钻迹成图及孔斜规律分析中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(6):6-9.
- [6] 左永江. Excel与ACAD相结合在钻孔偏斜数据处理中的应用[J]. 建井技术,2005,26(5):23-26.

5 结语

工程实践表明,小口径金刚石钻进在水电站的灌浆孔应用中具有较高的钻进效率和岩心采取率,但是在钻孔防斜方面,效果并不明显,采用单管取心

灵宝小秦岭整装勘查第一钻终孔

《中国矿业报》消息(2013-05-14) 从河南省地矿一院获悉,由该院组织实施的灵宝市小秦岭金矿田整装勘查第一钻已终孔,孔深1584.11 m。

据了解,该钻孔属灵宝市小秦岭金矿田整装勘查5个子项目之一的“小秦岭地区金矿深部验证”项目内容,孔位布设在小秦岭北矿带深部找矿预测区内,设计进尺1500 m,实际完成进尺1584.11 m,最低控制标高高达海拔-1002.48 m。因其开工时间早,控制标高低,被誉为小秦岭金矿田整装勘查

“第一钻”。该钻孔于2011年5月开钻,历经21个月终孔。期间,项目组克服了北矿带黄土覆盖层厚度大、砾石层多、易卡钻等困难,并在小秦岭深部-900 m标高发现了工业矿体,是目前小秦岭金矿田控制矿体标高最低的钻孔。

专家表示,该钻孔的见矿,扩大了小秦岭金矿田深部找矿空间,验证了找矿模型,揭示了小秦岭深部金矿良好的成矿前景,对小秦岭地区深部开展金矿整装勘查工作具有重要的指导作用。