

高压旋喷水泥浆护壁技术的研究与应用

陶建华, 李粤南, 陈惠明, 彭金灶, 傅丛群

(福建省地质矿产勘查开发局, 福建 福州 350003)

摘要:针对深孔复杂夹层(断层)和溶洞地层钻进的护壁困难,常规护壁方法无法解决的问题,提出并研究试验成功了高压旋喷水泥浆护壁技术,经多个矿区、钻孔的实践证明,高压旋喷水泥浆护壁法可以在任意孔深的坍塌超径孔段、软弱松散地层等形成可靠、有效的“水泥套管”护壁。系统介绍了该项技术的工艺原理、技术要点及其推广应用情况。

关键词:高压旋喷;水泥浆;护壁;复杂地层

中图分类号:P634 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2014)03-0011-07

Research and Application of Wall Protection Technology with High Pressure Jet Grouting Cement Slurry/TAO Jian-hua, LI Yue-nan, CHEN Hui-ming, PENG Jin-zao, FU Cong-qun (Fujian Bureau of Geology and Mineral Exploration and Exploitation, Fuzhou Fujian 350003, China)

Abstract: Aimed at the wall protection difficulties in multiple interlayer and karst stratum, which can not be solved by traditional wall protection means, high pressure jet grouting cement slurry technology was put forward and successfully developed. By the practice experiences in several mining areas and boreholes, the reliable and effective “cement casing” has formed by wall protection technology with high pressure jet grouting cement slurry in collapse and oversized hole sections in any depth and loose strata. The paper systematically introduces this technology about its process principle, the technical points, the application and popularization.

Key words: high pressure jet grouting; cement slurry; wall protection; complex formation

高压旋喷水泥浆护壁技术是国土资源公益性行业科研专项经费项目《福建马坑铁矿钻探技术应用示范和科研基地建设》课题(课题编号:201011002-02)研究形成的创新性成果。该技术吸收高压旋喷加固软土地基的精髓,通过机具的研制和工艺的研究,以高压旋喷水泥浆的方式,解决了常规护壁方法不能胜任(钻孔漏失、泥浆护壁难、且无法采用套管隔离等)的深部松散、破碎、易水化分散坍塌“断层泥”等复杂地层的护壁难题。

1 高压旋喷水泥浆护壁方法的提出

在复杂地层钻进中,常用的护壁方法有套管隔离、泥浆护壁、固结护壁(如水泥浆固结等)等。然而,近年来,在深孔钻探和部分特别复杂地层钻探中,遇到大量常规护壁方法难于解决的孔内复杂情况,给正常钻进带来极大的困难,迫切要求探讨相应的解决办法。

(1)复杂地层钻进中,常常由于操作工艺失当、护壁措施不力等原因造成孔壁严重坍塌。孔内一旦

形成较大的超径孔段,泥浆护壁效果下降,一般需要灌注水泥浆护壁。水泥浆灌注时,浆液从钻杆内流入孔底,由下而上替换孔内泥浆,挤占钻孔空间。水泥浆液流经孔内“大肚子”时,受到泥浆稀释、污染使水泥浆无法有效凝固,或不能完全占据超径空间有效形成孔壁。

(2)复杂地层深孔钻探实践中,也常在中、深部孔段钻遇松散、破碎、易水化分散坍塌等复杂夹层(断层)和溶洞,当不能或无法采用套管隔离、其上部又存在难以封堵的严重漏失时,孔壁普遍严重失稳,钻进无法进行。

龙岩市马坑矿区岩层裂隙发育、软硬互层交替频繁、中部大小不一溶洞成串、深部断层破碎带常见等,是福建省复杂地层,特别是铁矿勘查区地层的代表。在“攻深找盲”的地质勘查工作中,马坑矿区中、深部孔段钻遇不少松散、破碎、易水化分散坍塌等常规护壁方法难于解决孔内护壁难题的复杂夹层,如层厚1~5 m不等“断层泥”(风化严重的松散地层,怕水冲刷、含泥成分高,易缩径、坍塌)。针对

收稿日期:2014-02-21

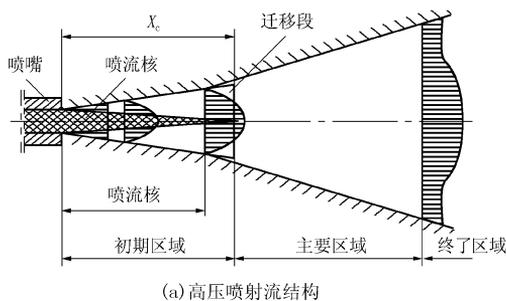
基金项目:国土资源公益性行业科研专项经费项目《福建马坑铁矿钻探技术应用示范和科研基地建设》课题(201011002-02)

作者简介:陶建华(1956-),男(汉族),福建省地质矿产勘查开发局总工程师、教授级高级工程师,中国地质大学(北京)、福州大学兼职教授,地质专业,博士,从事地质矿产资源勘查技术与管理工,福建省福州市五四路285号。

这一技术难题,我们结合国土资源公益性课题的实施开展了相关探讨,通过借鉴高压旋喷桩加固地基的原理,创新性地研究了水泥浆高压旋喷固结护壁法,并在马坑铁矿区外围勘探钻孔中进行了试验应用,取得满意的护壁效果。

2 旋喷水泥浆护壁工艺原理与影响因素

高压旋喷成桩是我国20世纪70年代末引进的改良土壤、加固土层技术,已广泛应用于软基加固、坝基防渗帷幕、坝基及桥基的加固、建构筑物临时支护等工程领域。该技术按高喷钻具喷射通道(喷管的层数)和喷射介质(浆、气、水等)的不同,有单管、双重管、三重管等方法。由于双管法、三管法均需同轴喷射压缩空气,现有空压机的工作能力使其应用深度受限,而需采用旋喷水泥浆护壁的复杂地层孔深较大,因此只能使用单管高压旋喷法。据相关实



(a) 高压喷射流结构

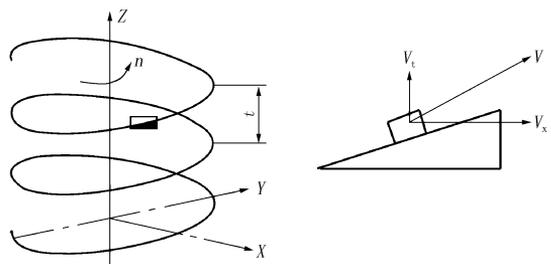
践,一般以20~30 MPa的压力将高压水泥浆液旋喷注入地层,成桩直径可达400~500 mm。

2.1 单管高压旋喷法工艺原理

在常规泵送法灌注水泥浆的钻杆下端安装特殊侧面喷嘴,从欲护壁孔段底部开始,由下往上边泵送高压水泥浆边慢速旋转和提升钻杆;压力浆液从喷嘴中高速喷出,以巨大的冲击力破坏孔壁松散岩土体的同时,由于喷嘴的旋转使浆液与从岩土体上崩落下来的颗粒搅拌混合或完全充填垮塌超径形成的空间,并经过一定时间的凝固形成圆柱状的固结体;扫水泥后,即形成可靠、有效的“护壁水泥套管”。

2.2 单管旋喷高速射流特性^[6,7]

单管高压旋喷注浆使用高压喷射水泥浆流切割土壤。高压水泥浆经直径为 d_0 的喷嘴喷出,形成具有高能量的高速射流,相关研究将其分成3个区域(见图1)。



(b) 喷嘴移动速度 V 、切线速度 V_t 、提升速度 V_t 和提升螺距 t 之间的关系

图1 高压旋喷水泥浆护壁工艺原理图

(1)初期区域:包括保持喷嘴出口压力的喷流核和迁移段。喷流核轴向动压是常数且速度均匀,具有最强的破土能力;迁移段中喷流核的扩散宽度稍有增加,轴向动压有所减小。射流初期区长度 X_c 与淹没流体的围压和系统压力有关,围压(等于流体密度和液柱高度之积)小,系统压力高,则 X_c 值大。

(2)主要区域:是射流紊流发达、破土强搅拌区。在该区段,轴向动压陡然减弱,射流速度进一步降低,但长度较初期区大。它的扩散率为常数,扩散宽度和距离的平方成正比。在土中高喷时,喷射流与土壤在本区域内搅拌混合。

初期区长度加上主要区长度即为射流破土有效长度 X (高压旋喷加固的有效长度,即单管旋喷破土半径)。有效长度越长,则搅拌土壤的距离越大,成桩的直径也越大。

(3)终了区域:喷射流的动能处于衰竭状态。

2.3 单管旋喷射流破碎效果的影响因素

影响高压旋喷桩护壁效果(射流搅拌桩体的强

度和直径)的因素主要有:喷嘴直径 d_0 ,射流浆液的密度 ρ_0 、压力 P_0 、流量 Q 和喷嘴的旋转速度 n 、提升速度 V_t 。一般地,高压喷射流产生的破坏力(即打击力)^[7]可用下式表达:

$$F = \rho_0 A V^2 \quad (1)$$

式中: F ——破坏力,MPa; ρ_0 ——浆液密度,kg/L; A ——喷嘴面积, m^2 ; V ——射流平均速度,在喷嘴面积 A 一定时由喷射压力(即泵压)控制,m/s。

依据公式(1),当浆液密度 ρ_0 和喷嘴面积 A 一定时,打击力 F 随射流平均速度 V 的增大而增大,而 V 由泵压控制,由此可以得出以下结论。

(1)泵压越大,打击力 F 越大,桩径也越大。为提高射流效果,需要较高的系统压力及流量。

(2)射流搅拌桩体的质量和强度由提升速度、回转速度及浆液本身质量好坏决定。

(3)旋喷能量大小也是决定成桩截面的重要因素。提速较慢,在同一压力、流量的旋喷流作用下相对单位孔壁土体施加喷射流能量就大,土体被扰动破坏程度高,成桩截面积就大,反之成桩截面积就

小。

研究和试验证明^[4]:在高喷其他注浆参数不变的情况下,旋转速度 n 主要决定成桩直径 D ;提升速度 V 主要决定成桩效率 E 和成本 C ;旋转速度 n 和提升速度 V 的合理匹配决定成桩质量 Q 。

此外,工程实践证明^[6],破土半径除与射流特性有着重要关系外,还与土体的物理力学特性、射流与土体的相对位置(距离)和作用时间有关。

3 旋喷水泥浆护壁工艺要点

通过研究,制定旋喷水泥浆护壁工艺流程为:确定护壁孔段→组装旋喷钻具→下入旋喷钻具→配置护壁浆液→压浆旋喷提升→提出旋喷钻具→清洗旋喷机具→候凝、扫水泥。

3.1 组装、检测旋喷钻具

机具组装、下入钻孔前,应进行地面试喷,并检查高压系统的完好性及设备的可靠性和压力,旋转速度等,满足设计要求后方可下放喷管。

3.2 下入旋喷钻具

(1)下喷浆管要轻、慢,防止刮塌孔壁。

(2)下钻遇严重坍塌孔段,可泵送泥浆或清水扫穿。

(3)若喷嘴未用胶带缠封保护,为防止喷嘴堵塞,临近护壁孔段时可采用低压送水(浆)的方法下管。

3.3 旋喷水泥浆液配置

3.3.1 浆液的配比

水泥浆水灰比是影响旋喷桩体强度的主要因素,一般按0.40~0.50选用。根据灌注孔段深度和灌注方法、工艺选择适当的可灌期。水泥浆的可灌期可用改变减水剂加量或水灰比来调节。

3.3.2 喷浆量计算^[8]

喷浆量计算有2种方法,即体积法和喷量法,取其大者作为设计喷射浆量。

3.3.2.1 体积法

按照灌注孔段情况确定。

$$Q = (\pi/4)D_e^2 K_1 h_1 (1 + \beta) + (\pi/4)D_0^2 K_2 h_2 \quad (2)$$

式中: Q ——需要用的浆量, m^3 ; D_e ——旋喷体直径, m ; D_0 ——注浆管直径, m ; K_1 ——填充率,0.75~0.9; h_1 ——旋喷长度, m ; K_2 ——未旋喷范围土的填充率,0.5~0.75; h_2 ——未旋喷长度, m ; β ——损失系数,0.1~0.2。

3.3.2.2 喷量法

以单位时间喷射的浆量及喷射持续时间,计算

出浆量,计算公式为:

$$Q = (H/V)q(1 + \beta) \quad (3)$$

式中: V ——提升速度, m/min ; H ——喷射长度, m ; q ——单位时间喷浆量, m^3/min 。

根据计算所需的喷浆量和设计的水灰比,即可确定水泥和各种材料的用量。

3.3.3 配制浆液

(1)严把原材料质量关。禁止使用不合格水泥、受潮结块水泥或过期水泥。

(2)严格按水灰比要求配制水泥浆液,确保浆液浓度符合要求。制浆材料按设计用量采用质量或体积计量法严格控制,其误差 $\geq 5\%$ 。记录所加水量、水泥质量和浆液密度等数据。

(3)水泥浆液必须搅拌均匀。拌制的水泥浆液进行双重过滤,筛除1.5 mm以上的粗颗粒,以防粗颗粒混入输浆管而堵塞喷嘴。

浆液过滤装置:在灰浆搅拌机、储料箱之间和注浆泵的吸水管进口各设一道过滤网。滤网规格应小于浆液喷嘴直径,一般为2 mm左右。

(4)已经制成待用的水泥浆液应使用低速搅拌机不间断搅拌,防止水泥浆沉淀。

3.4 压浆旋喷提升

(1)喷管下入到所需加固孔段底部、清孔后,卸开主动钻杆,投放钻具底端出水口的堵水钢球。

(2)重新接上钻杆,压送配制好的合格水泥浆液,使浆液从钻头侧喷咀喷射。

(3)喷射注浆参数——压力和流量达到规定值并稳定后,喷嘴从严重坍塌孔段下方按喷射技术参数要求(见表1)留置旋转喷浆1~3 min,再由下向上缓慢旋转、提升喷射水泥浆,使欲固结护壁孔段充满水泥浆。

表1 单管法高压旋喷注浆技术参数

喷嘴		浆液		提升速度	旋转速度
直径 /mm	数量 /个	压力 /MPa	流量 /(L·min ⁻¹)	/(cm·min ⁻¹)	/(r·min ⁻¹)
2~3	2~3	5~20	80~120	20~25	20左右

(4)当喷至加固孔段顶部时,停止旋喷作业,提出孔内钻具,并及时进行清理。

(5)旋喷过程中应随时检查浆液的流量、喷射压力、旋转、提升速度等参数是否符合设计要求,并做好施工记录,绘制作业过程曲线。

3.5 压送替浆水

泵完水泥浆后,必须立即泵入事先计算好的清水量,替出水泵、钻杆中的水泥浆液,并将水泵,送水

管、钻杆冲洗干净。

3.6 清洗机具设备

喷射完毕,认真清洗注浆机具设备,管内、机内不得残存水泥浆。通常把浆液换成水,在地面上喷射,直到把泥浆泵、注浆管和软管内的浆液全部排出。

3.7 扫水泥

候凝时间以 36 ~ 72 h 为宜,地层松软选用小值,地层完整可选大值。实践表明,候凝时间过短,水泥与孔壁的固结体会因强度过小而受到破坏,失去堵漏或护壁的作用;候凝时间过长,水泥石强度高,易在松软孔段扫出新孔。

(1) 扫孔内水泥石宜采用侧刃不锋利的全面钻头,最好是金刚石不取心全面钻头。尽量不用取心钻具钻取水泥石。

(2) 扫完水泥石后,应用大泵量冲洗钻孔,送入孔内循环的冲洗液量不少于钻孔容积的 3 倍,以全面清除孔内悬浮的水泥渣。

3.8 注意事项

灌浆前必须准备充分,分工明确,指挥统一、动作协调迅速,全部浆量必须一次灌完。

(1) 应详细了解、掌握、记录实际孔深和孔内欲护壁孔段情况。灌浆前尽量充分冲刷孔壁上的泥皮。

(2) 应根据孔内情况合理确定工艺参数,注意泵压、转速、提升速度等参数的控制,及时根据地层状况,判断旋喷的大致效果和评定旋喷参数的合理性等。

(3) 喷射注浆自下而上连续进行。开始送浆,直到成桩后停浆,中途不得中断。喷射提升过程中,由于卸管或其它原因(停电、停水、机械故障等)造成的注浆中断停歇时间超过 0.5 h 时应清洗管路,防止堵塞;恢复旋喷时,搭接长度 > 0.5 m,以保证桩体连续性和整体性。

(4) 在喷射灌浆过程中,若土质松软,应进行复喷处理;遇超径孔段、空洞等特殊情况,应停止提升喷管,连续注浆至空洞填满浆液。

(5) 在高压喷射注浆过程中出现压力骤然下降、上升等异常情况时,应查明产生的原因并及时采取措施。

(6) 施工中应如实记录高压喷射注浆的各项参数和出现的异常现象,作好钻孔及旋喷作业原始记录。

4 旋喷水泥浆护壁技术的应用与推广

4.1 旋喷水泥浆护壁设备与机具

综合考虑钻探现场实际情况,旋喷水泥浆护壁研究试验和推广应用均采用钻探生产设备:旋喷机具的下入、旋转、提升采用 XY-4、XY-5 等型号钻机,高压注浆泵采用压力可达到 6 ~ 8 MPa 及以上的 BW 型泥浆泵,采用泥浆搅拌机拌制水泥浆。

根据相关研究成果,确定旋喷机具组合为:钻杆 + 侧喷嘴接头(喷具) + 硬质合金扫孔钻头。侧喷嘴接头(喷具)采用与钻孔直径匹配的圆钢加工,结构形式为:

(1) 内孔直径 18 mm,设钢球隔流阀座;

(2) 侧钻 2 ~ 3 个喷嘴,直径 3 ~ 5 mm,过水长度 12 mm,沿接头周边均布。

4.2 旋喷水泥浆护壁的研究试验

4.2.1 旋喷水泥浆护壁的首次应用试验——马坑矿区 ZK7529 孔

4.2.1.1 首次应用试验的背景

马坑矿区 ZK7529 孔设计孔深 1200 m,于 2010 年 10 月 19 日开孔,至 2011 年 10 月 4 日终孔,终孔孔深 1299.19 m。该孔于孔深 960 m 后,钻遇 3 个“断层泥”破碎带:前 2 个断层采用套管隔离,第 3 个断层应用了水泥浆高压旋喷灌注法。

第一个断层带:孔深 969.20 ~ 970.50 m(中间夹 0.2 m 基岩),地下水有径向流动。钻进时阻力大,提出钻具后孔段即被细石充填。采用泥浆护壁无效后,多次采用常规方法灌注水泥,均未取上水泥心样,后扩孔下入 $\varnothing 89$ mm 套管。

第二个断层:1049.60 ~ 1051.60 m($\varnothing 77$ mm 口径)。自 1015.69 ~ 1051.60 m 取上岩心 8 m 左右,出现坍塌;多次灌注水泥浆后,均因偏斜出新孔又屡次坍塌。于是扩孔至孔深 1086.94 m,下入 $\varnothing 73$ mm 飞管。

第三个断层:1135.50 ~ 1138.50 m($\varnothing 59$ mm),地层为强风化辉绿岩,风化严重的“断层泥”松散地层(见图 2),胶结性差,怕水冲刷。由于受钻孔口径限制,采用 $\varnothing 59$ mm 钻具(钻杆为 $\varnothing 50$ mm 外丝 + $\varnothing 50$ mm 内丝)钻进。穿过该断层带后,出现严重坍塌、缩径现象,经多次灌注水泥浆护壁无效。由于受口径限制无法下入套管隔离复杂孔段,探讨应用了水泥浆高压旋喷灌注法,解决了护壁难题。

4.2.1.2 旋喷水泥浆护壁作业要点

(1) 设备:XY-5 型钻机,BW250 型泥浆泵,泥浆搅拌机等。

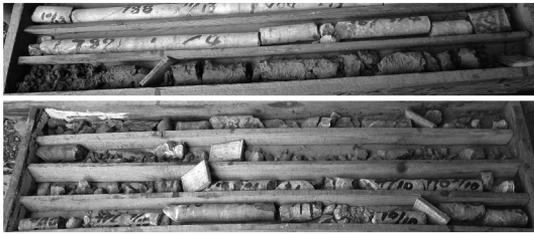


图2 风化严重的“断层泥”松散地层
(孔深 1135.50 ~ 1138.50 m, 口径 59 mm)

(2)护壁材料:采用 42.5 普通硅酸盐水泥,水泥用量 750 kg,水灰比 0.45,加入适量促凝早强剂(NaCl)及速凝剂(三乙醇胺),浆液密度控制在 1.6 g/cm³。

(3)旋喷钻具组合:钻杆(Ø50 mm 外丝)+钻杆(Ø42 mm 内丝)36 m+喷具(喷具喷嘴 3 个,孔径 5 mm)+扫孔钻具。

(4)旋喷参数:泵量 90 L/min,泵压 0.2 ~ 5 MPa,旋转速度 I 速,提升速度 6 ~ 8 cm/min。

(5)注浆 24 h 后探水泥面,48 h 后扫孔。

4.2.1.3 护壁效果

孔深 1100 m 碰到水泥面,扫孔取出的水泥心样混有孔壁塌落物(见图 3)。扫孔穿过易坍塌孔段后,采用 Ø59 mm 钻具钻进至终孔。



图3 ZK7529 旋喷护壁水泥心

4.2.2 常规泵灌与高压旋喷水泥浆护壁对比试验——马坑矿区 ZK8321 孔

马坑铁矿 ZK8321 钻孔由于地层复杂,开孔直径 200 mm,钻至孔深 547.50 m 时已将 Ø89 mm 套管下入孔内。580 ~ 680 m 孔段钻遇高度在 0.2 ~ 1 m、充填~半充填型溶洞 30 多个。有的溶洞之间仅相隔 0.3 ~ 0.4 m,部分溶洞存有贯通式通道。由于溶洞群的存在和上部岩层裂隙发育,共同引发的严重漏失难于封堵,泥浆护壁无效,使孔内掉块、漏失等现象严重,钻杆折断、钻孔弯曲及卡钻埋钻等事故时有发生,无法正常钻进。

为探讨解决溶洞群和岩层裂隙发育孔段的护壁问题,结合科研工作,应用现场施工设备在 ZK8321 孔开展了常规泵灌水泥浆与高压旋喷水泥浆护壁的对比试验(见表 2)。旋喷钻具采用 Ø50 mm 钻杆制作,底部封堵,离底部 0.2 ~ 0.3 m 处侧钻 3 个直径

5 mm 的孔眼。

表 2 ZK8321 孔对比试验情况

拟护壁孔段及地层特征		水泥浆灌注情况			备注
孔深/m	地层特征	灌注方法	水泥量/kg	砼面孔深/m	
603 ~ 613.86	0.30 ~ 0.80 m 的溶洞 4 个	普通泵送	1000	606.70	二次补灌
618.4 ~ 628.75	0.20 ~ 0.60 m 的溶洞 5 个	高压旋喷	1000	607	
627.40 ~ 649.51	溶洞 4 个	高压旋喷	1000	623.50	
655.35 ~ 663.53	溶洞 2 个	普通泵送	1000	660	二次补灌

注:均采用标号 42.5 的普通硅酸盐水泥,水灰比为 0.4,速凝剂为食盐与三乙醇胺,添加量分别是 1% 与 0.1%。

根据扫水泥取上的心样,2 种灌注方法水泥浆固结质量存在明显差异。

(1)普通泵送:水泥心呈松散状,存有水眼与气孔,整体强度差值较大,导致局部孔段仍然有漏失与掉块现象。

(2)高压旋喷:水泥心外观光滑密实,基本不出现水眼和气孔,整体强度值相差不大,固结土体的强度值基本能够达到 10 MPa 以上。

4.2.3 旋喷水泥浆护壁在马坑矿区其他钻孔的应用效果

旋喷水泥浆护壁在矿区后续钻孔施工中成为深部复杂地层的主要护壁手段。以下仅列举部分案例。

4.2.3.1 马坑 ZK7929 孔

S95 绳索取心钻进至 783.40 m 时,位于 755.52 ~ 783.40 m 孔段的风化、破碎地层发生坍塌,钻进无法正常进行。分 3 次旋喷灌注水泥(1800 kg)浆护壁,维护了孔壁稳定,图 4 为旋喷灌注水泥浆前后的岩心对比。



旋喷前风化松散地层



旋喷后取出硬状水泥土心

图 4 ZK7929 孔的旋喷护壁情况

4.2.3.2 ZK7525 孔

钻孔从 ZK7525 孔分支钻进至 582.49 m(孔径

95 mm)时,497~518 m 破碎、松散地层发生严重坍塌,钻进无法进行。针对这一复杂层,通过分5个孔段进行旋喷水泥浆护壁(个别增加穿钢丝搅拌)作业,圆满地解决孔壁坍塌问题(见图5),保证了后续造斜、钻进的顺利进行,圆满地完成了分支孔施工任务。



旋喷前破碎、松散地层



旋喷后扫孔取上的水泥心

图5 ZK7525孔的旋喷护壁情况

4.2.3.3 ZK8721孔

孔深605.83 m处下入 $\varnothing 89$ mm套管后。605.83~667.12 m钻遇泥包石、粘土交互地层,孔壁坍塌严重,经4次旋喷水泥浆作业,成功护壁。674~695.55 m钻遇风化层(见图6),破碎、松散、易坍塌,采用常规方法灌注水泥;钻至795 m,因孔壁坍塌严重,分5次旋喷水泥护壁作业,但扫孔至孔深693 m偏斜出新孔。分析偏斜原因,除扫孔工艺外,主要是机台担心喷嘴堵塞增加了喷嘴数量、加大了喷嘴直径,致使旋喷泵压过低、加固土体直径过小。



图6 ZK8721孔钻遇的砂质松散地层

4.3 旋喷水泥浆护壁的推广应用

4.3.1 湖北放马山矿区ZK10409孔^[2]

2011年10月,湖北放马山矿区ZK10409孔采用XY-4型钻机,BW-250型变量等设备施工,为解决405~505 m的灰岩溶洞层及505~515 m的断

层破碎带地层的护壁问题,应用“钻杆柱+变径接头+ $\varnothing 50$ mm钻杆+旋喷具”进行旋喷水泥浆护壁,取得了其他护壁工艺无法得到的效果。

旋喷具用 $\varnothing 50$ mm外丝钻杆加工而成,两端都接有 $\varnothing 50$ mm外丝双母接箍。旋喷具下部母接箍底面镶有硬质合金,以备扫掉块和钻渣之用;母接箍内电焊密封,促使水泥从旋喷具侧壁所打小孔高压喷向孔壁。

水泥浆液搅拌采用容积为160 L、电机功率为0.75 kW的泥浆搅拌机。

4.3.2 荆山煤田ZK1001孔^[3]

永安荆山煤田的煤系地层岩石节理发育,粉煤层极易坍塌,而且煤层的顶、底板岩性极破碎,胶结疏松,产状陡。ZK1001钻孔下完 $\varnothing 89$ mm套管,采用 $\varnothing 77$ mm金刚石绳索取心钻进至孔深696 m时,578~580.2和591~595.6 m孔段的粉煤层大面积坍塌,钻具在孔内被埋。反钻杆至643.73 m时,使用多种配方的泥浆护壁,仍无法控制孔壁坍塌。

为解决孔壁坍塌问题,在577~600 m孔段进行5次灌注水泥浆(水灰比均为0.5),前4次采用常规灌注方法失败,第5次采用旋喷法灌浆获得成功,并维持孔壁稳定至孔深819.86 m(终孔),见表3。

表3 荆山煤田ZK1001孔灌注水泥封堵坍塌孔段的情况

次序	水泥量/包	灌注方法	固结护壁效果及评价
1	8	用 $\varnothing 71$ mm钻杆当导管;孔口灌入	扫至594 m无水泥心,偏出新孔,594.6 m再次坍塌;失败
2	10	用 $\varnothing 71$ mm钻杆当导管;孔口灌入	水泥心破碎;无效
3	12	用 $\varnothing 50$ mm反丝钻杆泵送灌注	水泥心破碎;无效
4	20	用 $\varnothing 50$ mm反丝钻杆泵送灌注	水泥心破碎;无效
5	16	用 $\varnothing 50$ mm反丝钻杆高压旋喷	水泥心中混有岩屑、碎石、煤渣等;成功

注:水泥规格为50 kg/包。

旋喷水泥浆护壁机具:喷具采用 $\varnothing 50$ mm反丝钻杆加工,旋喷作业利用XY-4型钻机、BW250型泥浆泵、泥浆搅拌机等设备。

5 旋喷水泥浆护壁技术的研究与应用体会

5.1 旋喷水泥浆与灌注水泥浆护壁方法的比较

旋喷水泥浆护壁的工艺方法、操作步骤与注意事项与灌注水泥浆护壁基本相同,但却能取得比灌注水泥浆更好、更可靠的护壁效果,并在灌注水泥浆无法解决的已严重超径孔段、溶洞地层等获得成功护壁,主要是高压浆液从慢转、缓提的钻具侧向高速喷出(见表4),使浆液不仅具有很大的冲击破土、渗

入裂隙能力,充分置换泥浆和充填超径、溶洞空间,并与旋喷段孔内的岩土颗粒搅拌混合。

表4 旋喷与灌注水泥浆护壁工艺的主要区别

主要区别	浆液压力	浆液流向
旋喷水泥浆护壁	很高,使浆液从一定形状和孔径的喷嘴以很高的速度和力量喷射出去,冲击破坏岩土体	相对低条件多,只需保证浆液从输浆钻杆压出、顶升钻杆与孔壁环状间隙的泥浆即可
灌注水泥浆护壁	浆液从旋喷钻具侧面压出,并随着钻具的旋转和提升扩大孔壁、置换泥浆,并与岩土颗粒搅拌混合	浆液从输浆钻杆压出,沿钻杆与孔壁环状间隙顶升孔内泥浆

5.2 旋喷水泥浆护壁技术的适用地层

(1)中、深部孔段钻遇松散、破碎、易水化分散坍塌等复杂夹层,如:马坑矿区深部常见层厚1~5m不等“断层泥”。

(2)任意孔深的坍塌超径孔段、溶洞地层等有、无充填物中、小孔洞或溶洞群。

5.3 存在的问题

综合旋喷水泥浆护壁技术的应用情况,由于存在以下主要问题,致使护壁效果不够理想,甚至造成旋喷水泥浆护壁的失败。

(1)旋喷钻具喷嘴加工较为随意,达不到科学、合理的喷射流型要求。

(2)旋喷浆液压力不足。

(3)旋喷转速和提升速度的组合不匹配,如:旋喷具提升过快等。

(4)替浆水量的控制不当。

(5)作业人员经验不足,关键环节操作不熟练,各工作人员配合不密切。

6 提高旋喷水泥浆护壁效果的探讨

6.1 持续完善旋喷水泥浆护壁技术

(1)探寻高质量喷嘴。喷嘴是喷头的重要组成部分,喷嘴的水力学特性的好坏直接影响射流对地层的冲切效果,进而决定“水泥套管”直径的大小。

(2)探讨解决旋喷转速不当问题。利用立轴式钻机最低转速进行旋喷回转,转速太快;以点动方式回转,转速不均。

(3)研制或探寻满足旋喷水泥浆护壁所需流量、泵压的专用注浆泵。

6.2 旋喷工艺参数的优化选择

要确保桩体强度值和桩径,针对不同护壁孔段地层,探讨喷嘴直径、浆液流量与压力、旋喷转速、提升速度等组合的旋喷桩体直径、桩体质量研究,进行旋喷工艺参数优化选择。

6.3 提高旋喷搅拌桩体直径的工艺途径

(1)采用复喷工艺:先喷一遍清水破坏孔壁、扩大孔径,再喷一遍或两遍水泥浆。

(2)先扩大孔壁(如采用弯钻杆或偏心钻头扫孔),再进行旋喷注浆。

(3)在旋喷钻具上加装钻叶或穿钢丝,增加旋喷注浆时破坏孔壁和搅拌混合物的能力。

(4)研制和应用扩孔旋喷钻具,如:柔性钻杆(小直径钻杆)+单侧喷嘴+偏心钻头等组合式旋喷钻具。

7 结语

旋喷水泥浆护壁研究成果在福建龙岩马坑铁矿深部复杂地层护壁获得成功后,先后在福建煤田、湖北放马山等矿区多个钻孔推广应用。应用实践表明,该技术可以在任意孔深的坍塌超径孔段、软弱松散地层等形成可靠、有效的“水泥套管”护壁。这一成果为小口径深孔复杂地层护壁增添了一项有效的护壁技术和手段。目前,该技术已成为我局机台深孔钻探主要和必备的护壁手段。

参考文献:

- [1] 陶建华,李粤南.福建省深孔钻探主要技术难题及其解决对策[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(S1).
- [2] 谷守卫.旋喷水泥护壁在湖北放马山矿区ZK10409孔的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(S1).
- [3] 杨生.荆山煤田ZK1001孔的泥浆措施与坍塌治理[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(S1).
- [4] 宋志彬,张金昌,冯起增,等.防渗加固高压旋喷注浆技术的研究与应用[J].探矿工程,2003,(1):38-42.
- [8] 邹道全.马坑外围矿区ZK7529孔钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(S1).
- [6] 隆威,莫志柏,张忠永.单管高压旋喷扩体技术与植筋旋喷桩技术的研究与应用[J].探矿工程,2003,(1):46-48.
- [7] 崔高汉,胡仲杰,方勇,等.高压旋喷成桩机理分析及其对设备的要求[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(9):24-27,31.
- [8] 孟宪才,吴军,马丽华,等.高压旋喷桩在向家咀变电站软土地基中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(9):48-50.