

小秦岭深孔岩心钻探水泥浆护壁堵漏技术研究与应用

王战社¹, 沈星¹, 戚波²

(1. 陕西地矿第六地质队, 陕西 西安 710000; 2. 吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026)

摘要: 钻孔的护壁堵漏一直是深孔钻进中的技术难题, 在小秦岭深部找矿项目钻探施工中, 由于该地区区域地质较为复杂, 且构造发育, 岩石破碎, 钻进过程中孔内经常出现掉块、塌孔、漏失等问题, 泥浆堵漏效果不佳, 施工中采用水泥浆护壁堵漏达到了良好的效果。本文针对小秦岭深部钻探项目水泥浆护壁堵漏技术的应用, 对深孔岩心钻探水泥浆护壁堵漏技术进行分析与总结, 提出深孔灌浆堵漏技术对速凝水泥浆性能的要求与施工技术要点, 并对该矿区相关钻探施工提供指导与建议。

关键词: 深孔岩心钻探; 护壁堵漏; 水泥浆

中图分类号: P634.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2016)08-0019-05

Study and Application of Cement Slurry Plugging Technology for Deep Hole Core Drilling in Xiaolinling Area/ WANG Zhan-she¹, SHEN Xing¹, QI Bo² (1. The Sixth Geological Team of Geological Mining of Shaanxi Province, Xi'an Shaanxi 710000, China; 2. College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China)

Abstract: Wall protection and plugging has been technical difficulty in deep hole drilling. In the drilling construction for deep prospecting projects in Xiaolinling, because of the complex regional geology with tectonic development and fractured rocks, block falling, hole collapse and leakage often occurred in drilling process and mud plugging effect was poor, while good result was achieved by slurry plugging in the construction. According to the application of cement slurry plugging technology for deep drilling projects in Xiaolinling, the paper analyzes and summarizes wall protection and plugging technology for deep core drilling, puts forward the requirements of deep holes grouting and plugging technology to the performance of quick-setting cement slurry and gives advices to the related drilling construction in this area.

Key words: deep hole core drilling; wall protection and plugging; cement slurry

0 引言

岩心钻探是固体矿产勘探常用的勘探手段之一, 是勘探时获取直观地质资料的最主要方式。在深孔钻探施工中, 经常会遇到复杂地层, 出现掉块、坍塌、漏失、超径等现象, 在厚大破碎岩层的施工难度大, 护壁堵漏一直是施工技术难点。在钻孔护壁堵漏工作中, 水泥仍然是目前最广泛采用的、重要的胶凝固结材料。在小秦岭矿区深孔钻探施工中, 多次遇到破碎、漏失地层, 采用套管跟管钻进方法处理, 操作难度大; 采用堵漏剂等堵漏材料处理, 在小裂隙地层中效果较佳, 但无法根治。经过摸索比较, 在深部钻进时遇到破碎严重、大孔隙裂隙、溶蚀性地层, 冲洗液漏失严重或全漏失时, 采用水泥浆封孔治理, 能够有效地解决孔内事故, 提高钻效, 取得较好的经济效益。

1 深孔灌浆水泥浆性能分析

1.1 护壁堵漏原理

硅酸盐水泥与水混合后发生剧烈化学反应与物理变化, 逐渐凝结硬化, 形成固体^[1-2]。当遇到构造破碎带、裂隙发育带、溶洞等复杂层位时, 将水泥浆注入到破碎、漏失地层, 浆液沿着裂隙流动最终填充裂隙, 与碎裂岩块或溶蚀岩体发生胶结固化, 利用水泥浆的凝固、硬化作用, 堵塞裂隙溶洞, 最终形成一个具有一定强度的整体, 从而起到护壁堵漏的作用。

对于深孔施工, 采用水泥浆护壁堵漏时, 对水泥浆的性能要求较高。要保证水泥浆具有良好的流动性, 在可泵期内能够将水泥安全灌注至事故孔段。同时水泥浆的固结时间要适当, 在保证合理的初凝时间条件下尽量缩短初终凝时间间隔, 防止水泥浆

收稿日期: 2016-06-02; 修回日期: 2016-07-13

基金项目: 陕西省地质公益项目“陕西小秦岭金矿田成矿规律与深部成矿预测研究”(编号: 20130302)

作者简介: 王战社, 男, 汉族, 1963年生, 高级工程师, 陕西省探矿工程专业委员会委员, 长期从事钻探施工及项目管理工作, 陕西省西安市临潼区代仁路16号, 270205017@qq.com。

过度流失。另外,为达到良好的护壁堵漏效果,要提高水泥浆的早期强度增长速度,并确保水泥浆的粘结强度、细度较好,使其与破碎岩体较好地胶结成整体^[3-4]。

1.2 流变特性分析

1.2.1 流变性^[5]

水泥浆的流变特性在固孔堵漏施工中起到至关重要的作用,特别是在深孔灌注中,良好的流变特性是安全施工的前提。水泥浆性能状态变化,主要由硅酸盐水泥中 C_3S 、 C_2S 、 C_3A 以及 C_4AF 等主要成分相互作用引起,随着水化反应进行,水泥浆逐渐变稠,粘度增大流动性变差,至最终凝固完全丧失流动性。

同时水泥浆的流变性又与温度、水灰比、添加剂等因素密切相关,从而导致流变特性呈现不同的变化规律。分析研究各因素对水泥浆性能的影响规律,对于设计优化深孔护壁堵漏水泥浆配方具有重要意义。

1.2.2 水灰比对流动性影响

水泥浆的水灰比对其流动性以及固结速率有着重要影响,不同水灰比情况下,水泥浆的密度、离子的浓度不同,进而会影响水泥浆内部粒子间的相互作用。王斌斌^[5]对不同水灰比下水泥浆流变特性规律进行了研究(如图1所示),表明在常温20℃时,增大水灰比,可以明显改善水泥浆的流变性能,获得较好的流动性,增强水泥浆的可泵性。但在深孔施工过程中,考虑灌注段孔深以及候凝时间等因素,水泥浆的水灰比控制在0.55~0.6较为合适。

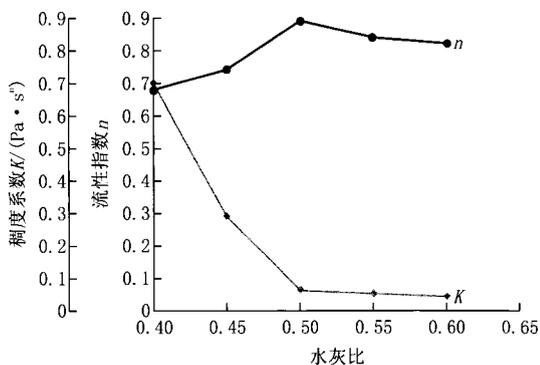


图1 不同水灰比影响下的水泥流变特性规律

1.2.3 温度对流动性影响^[5-6]

不同温度条件下水泥浆的流变特性有着明显差别,同时也直接影响到水泥浆的固结速率。如图2所示,在20~80℃研究范围内,水泥浆流动性呈波动变化。温度<50℃时水泥浆流变参数增大大幅度

较小;温度的逐渐增高,促使水泥水化速率加快,浆体内部逐渐形成稳定的结构能力,50~80℃温度范围内,水泥浆稠度系数大幅增加,流性指数持续减小,水泥浆的流变性急剧变差。

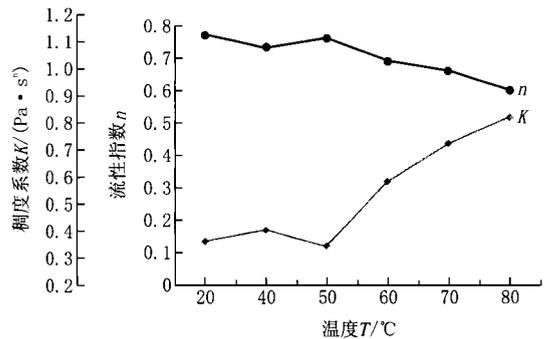


图2 不同温度影响下的水泥浆流变特性规律

深孔岩心钻探,孔深在2000m以内,除特殊地域情况下,孔内温度一般为50℃以下,因此温度对于水泥浆性能影响相对较小。

1.2.4 添加剂对流动性影响^[7-9]

在钻探施工中多采用加速凝剂的速凝水泥浆,而速凝剂对于水泥内各物质组分间反映存在一定影响。以 $CaCl_2$ 作为速凝剂的水泥浆,在加入 $CaCl_2$ 后能生成新的水泥熟料矿物,提高水化产物的溶解度,并加速水泥水化速度和硬化速度。同时生成多水氯铝酸复盐,增加了化学结合水,相应的减少了自由水,提高了水泥的早期强度、密实度和不透水性。但由于 Cl^- 的存在,减弱了带正电荷的水泥微粒间的分子引力,使水泥不易形成结构。因此在水化初期,可以改善水泥浆的流动性。

1.3 固结时间与强度

固孔用的快干水泥具有初凝时间长、终凝时间短、泵入安全等特点。同时根据处理段孔深度以及施工要求,可通过调节水灰比和添加剂加量等控制水泥浆的固结时间,以取得安全高效的封堵效果。另外针对不同处理深度及采用的灌注方法,特别是处理段位置较深的情况下,水泥浆的可泵期需严格控制在安全合理的时间范围内。根据以往施工经验:处理孔段深度<500m,最小可泵期<40min;处理段深度为500~1000m,最小可泵期<60min;处理段深度>1000m,最小可泵期<90min。

另外,水泥浆内各组分随着固结反应的进行,当达到初凝时,水泥浆失去流动性,此时水泥不具有强度特性,在达到终凝时水泥具有一定的初期强度。固孔施工中一般需养护24h左右,在水泥浆达到强

度要求后方可进行透孔施工。并且应在水泥石强度早期增长期间和适当抗压强度范围内钻水泥塞,以免当水泥强度超过岩石强度时发生孔斜^[10]。

2 小秦岭深孔项目水泥浆护壁堵漏应用

2.1 区域地质与工程概况

施工区以近东西向褶皱以及矿田南北两条走向东西的区域性断裂组成区域构造骨架,由太古宇太华群组成的大月坪——金罗斑复式背斜横贯全区,呈近东西向展布。区域构造较为复杂。本区发育有与东西向复杂构造带具有成因联系的控脉断裂 800 余条,含金石英脉充填其中,并受其严格控制。

小秦岭 ZK801 号深部钻探孔,终孔深度 1918.75 m,300~1200 m 孔段岩石较松散破碎,岩心呈短柱状、块状、碎屑状,其余孔段岩石较完整。自孔口分别下入一级套管至 18.32 m,二级套管至 238.9 m,进行隔离,264 m 以深采用金刚石裸孔钻进。

2.2 漏失情况分析与漏失处理

施工钻进至 913.00~920.15 m 与 1243.35~1249.55 m 时,孔口反水逐渐减小,泥浆池液面急剧下降,钻孔出现严重漏失情况。钻进过程中泥浆泵工作挡位为 1 挡,泵量 52 L/min,两处孔段冲洗液消耗量大,漏失程度为全漏失。提取孔段岩心为蚀变碎裂伟晶岩夹石英脉,以及绿泥石英片岩夹石英岩脉,岩心破碎(如图 3 所示),且破碎裂隙地层厚度较大,并伴有溶蚀孔隙,孔内压力大于地层压力,冲洗液沿裂隙漏失。



图3 破碎段岩心

针对孔内漏失情况,调节泥浆性能加入堵漏材料进行随钻堵漏,漏失情况未得到改善;通过孔口灌入熬制的聚乙烯醇进行护壁堵漏,效果仍不佳,孔内失水较为严重。通过该矿区内钻孔漏失处理经验,采用研制的可控水泥浆进行封孔堵漏,取得了良好的处理效果。

2.3 水泥浆护壁堵漏

2.3.1 水泥浆配方

固孔使用水泥浆应通过工程要求与试验测试性能参数,确定合理的固孔水泥浆配方。选用初始流动性好、初凝时间长、初终凝时间间隔短及早期强度增长较快的水泥浆。针对本次工程 913.00~920.15 m 孔段以及 1243.35~1249.55 m 孔段的漏失及地层情况,进行水泥浆配方现场试验,采用氯化钙作为速凝早强剂,并通过钻杆泵送的方法进行灌注。在提高水泥浆固结速率的前提下,应保证良好的流动性。依据前述水泥浆的流变特性、温度特性、强度要求,采用 800 型超细硅酸盐水泥,通过改变水灰比、添加剂加量测试其性能,共进行以下几组室内试验,测得水泥浆流动度、初凝、终凝时间如表 1 所示。

表1 不同水灰比及速凝剂含量的水泥浆流动度、初凝、终凝时间

序号	水灰比	速凝剂(占水泥质量百分比)/%	流动度/测试时间/(mm/min)	初凝时间/h	终凝时间/h
1	0.5	0.5	190/10,170/155	6.5	7.7
2	0.5	1.5	182/10,160/120	4.5	5.8
3	0.5	3.0	167/10	3.0	4.0
4	0.6	0.5	206/10,163/170	10.5	11.8
5	0.6	1.5	199/10,146/100	7.7	8.9
6	0.6	3.0	185/10,140/60	5.4	7.3

根据现场试验数据以及施工孔段情况,处理段地温均在 50℃ 以下,温度对于水泥浆性能影响较小,由于灌注段位置较深且厚度较大,需要在 60~90 min 内保持良好的流动性,因此需选用流动性较好、可泵期较长的水泥浆。经过试验采用配方 5 作为封孔水泥浆配方效果最佳。

2.3.2 用量计算

(1) 水泥浆灌注量计算^[11]

$$Q_{\text{总}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (1)$$

式中: $Q_{\text{总}}$ ——水泥浆总用量,L; Q_1 ——预泵量,一般选取 20~30 L; Q_2 ——钻杆内残留量,一般选取 30~50 L; Q_3 ——搅拌桶内残留量,一般选取 30~40 L; Q_4 ——灌注孔段水泥浆量,L。

其中灌注段水泥浆量可按下式简单计算:

$$Q_4 = 3.14 \left(\frac{D}{2}\right)^2 LK \quad (2)$$

式中: D ——需灌注段孔径,m; L ——需灌注孔段的长度,m; K ——系数,根据裂隙大小及经验确定,一般取 2~4,裂隙越大取值越大。

(2) 替水量计算

$$Q_{\text{替}} = K(L - T)q + Q_{\text{导}} \quad (3)$$

式中: $Q_{\text{替}}$ ——替水量, m^3 ; K ——压水系数(浅孔 $K = 0.9$, 深孔 $K = 0.95$); L ——钻杆柱长度, m ; T ——静止水位距孔口距离, m ; q ——钻杆内容积($/\text{m}$), $\varnothing 71 \text{ mm}$ 钻杆 $q = 2.92L$; $Q_{\text{导}}$ ——导管及水泵容积, 取 $Q_{\text{导}} = 60 \text{ L}$ 。

(3) 实际用量计算如表 2 所示。

表 2 ZK801 孔 2 孔段水泥浆及替水量用量计算

起止深度/m	钻杆尺寸/mm	水泥浆用量/L	替水量/L
913.00 ~ 920.15	$\varnothing 71/\varnothing 61$	240	2470
1243.35 ~ 1249.55	$\varnothing 71/\varnothing 61$	260	3390

2.3.3 注浆施工

2.3.3.1 准备工作

(1) 仔细查看岩心, 分析判断漏失层的深度, 厚度, 岩石破碎程度, 岩石孔隙、裂隙大小, 溶蚀孔隙大小等。

(2) 保证封孔段孔壁和孔底清洁, 多次上下扫孔, 直至孔内畅通无阻后, 用清水换浆 1 ~ 2 h, 置换出孔内泥浆, 防止化学材料对水泥凝固时间和强度的不利影响。

(3) 严格按照材料配比配置水泥浆, 充分搅拌均匀, 防止出现结块。

(4) 仔细检查注浆泵、导管等注浆设备, 保证其正常运转不发生故障, 确保注浆过程顺利进行。

2.3.3.2 灌注操作

(1) 反复扫孔, 清水冲孔换浆。

(2) 按照配比及用量配置灌注孔水泥浆, 配置好后不停搅拌, 防止其凝固。

(3) 在清水冲孔后, 不提起钻具, 且不停泵或短暫停泵情况下, 迅速将水泵莲蓬头放入备好的水泥浆桶内, 泥浆泵开启一档($52 \text{ L}/\text{min}$)开始泵送水泥浆。

(4) 待泵送水泥浆过程结束后, 将莲蓬头放入准备好的替浆水桶中, 开泵替浆, 压入预先计算好的替浆水, 之后停泵, 为保证浆液顺利到达孔底, 停泵后卸开机上钻杆, 靠钻杆内外液体压差, 使水泥浆顺钻杆继续下落, 由孔底返出, 直到内外压差平衡。

(5) 提升孔内钻杆钻具, 提钻过程速度一定要缓慢, 防止发生抽吸作用。

2.3.3.3 透孔

在现场做小试样试验, 准确掌握候凝期, 候凝时

间控制在 16 ~ 20 h 即可冲透孔。透孔过程中, 由于上部可能存在未凝固的水泥浆, 应先采用单管钻具下放至水泥浆面, 进行冲孔将其排净, 方可投入内管对完整水泥继续冲透。同时为防止出现偏斜或烧埋钻等事故, 要时刻注意泵压表读数变化及孔口返水情况, 同时采用大泵量冲孔, 低钻压低转速缓慢钻进透孔。

2.3.4 技术要点

水泥浆固孔是较为成熟的施工技术, 优点是操作方便, 处理的孔段相对稳固, 无后顾之忧。但在深孔灌注操作过程中应注意如下技术要点。

(1) 换浆后停待 1 ~ 2 h, 释放孔内压力。灌注孔段长度应上下超过处理段 10 ~ 15 m 以上。

(2) 直接采用绳索钻杆作为灌注导管切记要卸除上下扩孔器, 防止因清空不彻底, 灌注过程中岩石颗粒上涌至扩孔器部位, 抱死钻具, 造成事故。

(3) 扫孔过程一定要扫到孔底, 这样返出的水泥浆只与孔底 1 ~ 2 m 水接触, 稀释。

(4) 灌注后应隔 3 ~ 4 h 重新测量一次浆面, 防止水泥浆从岩石裂隙中缓慢渗走, 造成待凝时间的浪费。

(5) 裂隙过大, 搅拌水泥浆加入适量砂子或其他细粒材料效果更好。

2.4 处理效果

针对小秦岭深孔岩心钻探施工过程中遇到的地层破碎、孔内漏失严重问题, 通过采用研制的可控水泥浆进行护壁堵漏, 处理后未出现漏失坍塌情况, 彻底解决孔内事故, 同时相对以往施工, 缩短封透孔时间, 提高钻效。该孔共使用水泥浆封孔堵漏 6 次, 治理效果均较为显著。处理孔段透孔水泥柱如图 4 所示。



图 4 透孔水泥柱

3 结语

(1) 小口径岩心钻探中, 在遇到岩石破碎易塌

孔,裂隙发育,冲洗液漏失等情况时,采用水泥浆封孔,由于水泥凝固后强度大,并将破碎岩石胶结成为整体,能永久堵塞裂隙、孔隙通道,达到的护壁堵漏效果较好。

(2)深孔注浆时,水泥浆的性能尤为重要,决定着固孔堵漏施工的成功与否。施工中应预先经过室内试验,通过改变水灰比和添加剂加量,优选初始流动性好、初凝时间长、初终凝时间间隔短及早期强度增长较快的水泥浆配方。针对深度 $>800\text{ m}$ 的钻孔封孔堵漏,采用水灰比 0.6 ,速凝剂(氯化钙)加量为 1.5% 左右的水泥浆配方较为合适,其在 $60\sim 90\text{ min}$ 以内保持较好的流动度,同时达到终凝时间为 8.9 h ,候凝时间达到 16 h 左右,水泥强度基本满足透孔要求,充分提高了堵漏效率,节约时间,取得较好的经济效益。

(3)通过小秦岭深孔项目水泥浆固孔治理,孔内掉块、漏水得到彻底根治。同时经过多次水泥浆封孔堵漏实践,对于深孔水泥浆护壁堵漏,施工过程要严格执行操作规程,准确地掌握候凝期和正确扫孔,避免由于操作不慎导致孔内事故。要统一指挥,相互配合,一气呵成,保证处理成功率,提高施工效率与经济效益。

参考文献:

[1] 袁树珍. 钻孔水泥注浆护壁堵漏工艺在上杭碧田矿区的应用[J]. 科技与创新,2014,(7):105,108.

- [2] 刘宇凡,刘滨,吴林龙. 水泥浆堵漏技术探讨[J]. 钻采工艺,2014,(4):110-112.
- [3] 张成德. 注浆护壁堵漏工艺在深孔岩心钻探中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(5):25-26.
- [4] 李粤南. 水泥浆护壁堵漏若干问题的探讨[J]. 福建地质,2011,(3):248-253.
- [5] 王斌斌. 固井水泥浆流变特性研究与应用[D]. 北京:中国石油大学,2011.
- [6] 岳家平,徐翔,李早元,等. 高温大温差固井水泥浆体系研究[J]. 钻井液与完井液,2012,(2):59-62,94.
- [7] 王炜东. 谈煤田钻探钻孔水泥护壁堵漏施工[J]. 黑龙江科技信息,2012,(28):262.
- [8] 方院庭. 矿区水泥护壁堵漏方法的研究[J]. 广东建材,2003,(4):40-42.
- [9] 张欢. 外加剂对水泥基注浆材料流变性能的调控作用[D]. 上海:华东理工大学,2014.
- [10] 李必良,裴向军. 可控水泥浆实验研究[J]. 西北水电,2015,(1):88-91.
- [11] 余桂红,赵尊亭. 小秦岭北矿带ZK4009深孔复杂地层施工技术[J]. 西部探矿工程,2013,(7):58-59,63.
- [12] 魏继军,张洪印,李连江,等. 低密度高强度水泥浆体系研究与应用[J]. 钻井液与完井液,2013,(4):59-62,96.
- [13] 曾祥熹. 钻杆泵送水泥浆的经验[J]. 地质与勘探,1978,(6):68-69.
- [14] 陈志超. 水泥护壁堵漏的技术现状与前景[J]. 地质与勘探,1981,(6):59-63.
- [15] 陈智新. 浅论水泥封孔堵漏在绳索取芯钻探中的应用[J]. 能源与环境,2009,(4):120-122.
- [16] 张蕾. 一种用于煤层气井固井的水泥浆体系研究[D]. 山东青岛:中国石油大学,2011.
- [17] 潘广灿,张金来. 水泥封孔堵漏在洪阳铝土矿区钻探施工中的应用[C]//河南地球科学通报2010年卷(下册),2010.