

甘肃曹家口金矿松散破碎地层液动潜孔锤钻进 冲洗液选型及应用

王发民, 刘清山, 郭合伟, 何玉云, 曹学斌
(宁夏回族自治区核工业地质勘查院, 宁夏 银川 750021)

摘要:曹家口金矿位于甘肃省山丹县大马营乡。2015 年宁夏核工业地质勘查院 2 台全液压力头钻机在该矿区施工,因地层破碎、坍塌、漏失严重等情况,曾报废 4 个钻孔。为了提高施工效率和施工质量,采用 SYZX96 型绳索取心液动潜孔锤,为确保液动潜孔锤能发挥最佳使用效果,对配套冲洗液类型进行了评价研究,并进行了现场应用。应用结果表明,回次进尺平均提高 68%,全孔岩心采取率达到 95.5% 以上,台月效率平均提高 21%,没有发生孔内事故,降低了钻探成本,提高了施工质量和施工效率。

关键词:绳索取心液动潜孔锤;松散破碎地层;冲洗液;岩心采取率;漏失;甘肃曹家口金矿
中图分类号:P634.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)05-0029-04

Selection and Application of Hydraulic DTH Hammer Flushing Fluid for Loose and Fractured Formation in Gansu/WANG Fa-min, LIU Qing-shan, GUO He-wei, HE Yu-yun, CAO Xue-bin (Ningxia Nuclear Industry Geological Exploration Institute, Yinchuan Ningxia 750021, China)

Abstract: Caojiakou gold deposit is located in Shandan County of Gansu Province. In the drilling construction in 2015, 2 full hydraulic power head drilling rigs were used, 4 drilling holes have been scrapped because of formation fracture, collapse and serious leakage. In order to improve the construction efficiency and quality, SYZX96 type wire-line coring hydraulic DTH hammer was adopted, and the evaluation analysis was carried out on the types of matching flushing fluid to ensure the best effect of the hydraulic DTH hammer. The field application results show that the footage per round trip increased by 68%, the core recovery rate was up to more than 95.5% in total and the average monthly efficiency increased by 21% with no downhole accident, which reduces the drilling cost and improves the construction quality and construction efficiency.

Key words: wire-line coring hydraulic DTH hammer; loose and fractured formation; flushing fluid; core recovery rate; leakage; Caojiakou gold deposit in Gansu

1 施工项目地质概况

1.1 矿区区域地质构造特征

甘肃省山丹县曹家口金矿位于山丹县大马营乡,大黄山主峰南侧,属中高山区,海拔最高 3201 m,高差一般 200~400 m。地势陡峻,沟谷发育,覆盖广泛,荆棘丛生。勘查区内有大黄山复式向斜的次一级褶皱(大黄山背斜之南翼),断裂发育。矿区间褶皱不发育,仅局部见有小型扭曲。地层产状变化较大,且无规律,主要与断裂作用有关。地层倾向一般 10°~70°,局部倾向北西或南东,个别地段倾向南西。工作区内以走向逆断层为主,平推断层次之,主要断裂有 6 条,钻孔布置区域内主要存在一条 F1 逆断层,该断层位于工作区北东部边缘长石石英

杂砂岩中,两端延长出测区外,长>4 km,对钻探施工影响较大。

1.2 矿区钻遇地层岩性特征

0~30 m,第四系冲积层、残坡积层,地层破碎,冲洗液漏失严重。

30~260 m,主要为浅灰色长石石英杂砂岩夹板岩,地层裂隙发育、破碎,属力学不稳定地层,吸水膨胀、易分散,钻探施工难度大。

260~600 m,主要为泥岩、石英砂岩及泥质板岩,少数地层硅化,地层较完整,可钻性在 6~8 级。

2 钻探技术难点及液动潜孔锤技术要求

2.1 钻探技术难点

收稿日期:2018-02-07; 修回日期:2018-04-09

基金项目:宁夏地质矿产资源勘查开发创新团队科研项目(编号:宁地科发[2016]1号)

作者简介:王发民,男,汉族,1965年生,正高职高级工程师,地质工程专业,博士,主要从事探矿工程方面的科研及管理工作,宁夏银川市西夏区贺兰山西路718号,wd040516@163.com。

通信作者:何玉云,男,回族,1982年生,工程师,主要从事地质岩心钻探及冲洗液等方面的研究与管理,宁夏银川市西夏区贺兰山西路718号,heyuyun2010@126.com。

2015年宁夏核工业地质勘查院2台全液动力头钻机在该矿区施工,共完成5个钻孔,钻探进尺1835 m,施工中,因地层破碎、坍塌、漏失等报废钻孔达4个。施工的1835 m进尺由2台钻机完成,耗时110 d,平均台月效率255 m,钻探成本约700元/m,岩心采取率在80%~85%。该矿区施工遇到的主要问题是:地层坍塌破碎,遇水易膨胀、分散,回次进尺<500 mm,常出现提下钻遇阻、打捞岩心后再次下钻不能顺利下到孔底、开泵后出现泵压升高、冲洗液不能正常循环等现象,需要反复扫孔循环才能重新钻进;部分钻孔漏失严重,经常出现冲洗液失返现象,漏速>5 m³/h,钻具回转阻力大,烧钻等事故时有发生。

2.2 液动潜孔锤冲洗液技术要求

为提高施工效率和回次进尺,我们决定采用液动潜孔锤钻进。液动锤是在冲洗液环境下高频往复运动,因此冲洗液性能对其使用寿命和工作状态影响很大,高含砂量、高固相含量和高粘度的冲洗液会加剧液动锤零件磨损,影响其使用寿命,也可能发生阻卡使液动锤停止工作。因此采用液动潜孔锤钻进对冲洗液性能有较严格的要求,除要求冲洗液具有良好的护壁性能外,还要求冲洗液具有较低的含砂量(含砂量<0.5%)、较低的粘度、较低的密度(一般为1.0~1.1 g/cm³)、低切力、低失水量及强抑制性和良好的润滑性能。

3 冲洗液优选

针对施工中存在的钻探技术难题,综合考虑液动锤冲洗液性能特性,选择冲洗液必须满足以下两方面技术要求:一要有很好的护壁效果,确保孔壁稳定;二要满足液动潜孔锤要求的工作技术参数,确保液动锤能正常工作。为此,根据钻遇地层特点和施工工艺要求,我们分段设计了冲洗液技术方案。

3.1 覆盖层冲洗液的优化选择

覆盖层地层较松散破碎,要求冲洗液具有低失水量和适当的粘度,结合大量室内冲洗液优选评价实验,最终优选出一套低固相冲洗液体系在开钻时使用。配方:1 m³水+30 kg 钠土+5 kg HV-CMC+10 kg 无荧光防塌润滑剂+40 kg 腐植酸钾+1 kg 水解聚丙烯酰胺+1 kg NaOH。冲洗液性能参数:密度1.02 g/cm³,马氏漏斗粘度49 s,表观粘度23 mPa·s,塑性粘度18 mPa·s,动切力10 Pa,动塑比0.56,失水量6 mL/30 min。

3.2 30 m以深岩层冲洗液的优化选择

根据以往施工资料,该矿区23~260 m主要为浅灰色长石石英杂砂岩夹板岩,地层裂隙发育、破碎,属力学不稳定地层,吸水膨胀,容易分散,钻探施工难度大。为了保证施工质量,下完表层套管后更换SYZX96型绳索取心液动潜孔锤钻具,要求冲洗液具有较好的护壁护心效果,同时能满足液动潜孔锤的正常工作。

为了满足现场施工需要,在室内对23 m以深岩层钻进时冲洗液配方进行了优选和评价,初步优选出成膜1、成膜2、无固相1和无固相2四组冲洗液配方:其中成膜体系1是2015年我单位从北京探矿工程研究所引进的冲洗液体系,成膜体系2是我们根据现场冲洗液材料设计的备选冲洗液方案。

成膜1:1 m³水+1 kg NaOH+50 kg 成膜A剂+40 kg 成膜B剂+10 kg 防塌减阻剂+20 kg 封堵剂+10 kg 增粘剂。

成膜2:1 m³水+1 kg NaOH+50 kg 成膜A剂+40 kg 成膜B剂+10 kg 防塌减阻剂+15 kg LV-CMC。

无固相1:1 m³水+20 kg 植物胶+20 kg LV-CMC+10 kg 润滑剂+30 kg 腐植酸钾+1 kg 水解聚丙烯酰胺+1 kg NaOH。

无固相2:1 m³水+15 kg HV-CMC+10 kg 无荧光防塌润滑剂+20 kg 腐植酸钾+1 kg 水解聚丙烯酰胺+1 kg Na₂CO₃。

以上4组冲洗液体系具体性能参数见表1。

表1 冲洗液性能参数

配方序号	密度/(g·cm ⁻³)	马氏漏斗粘度/s	表观粘度/(mPa·s)	塑性粘度/(mPa·s)	动切力/Pa	动塑比	滤失量/[mL·(30 min) ⁻¹]
成膜1	1.05	38	16.5	12	9	0.75	6
成膜2	1.06	37	21.5	18	7	0.39	8
无固相1	1.02	38	33.5	22	23	1.05	8
无固相2	1.02	33	15.5	12	7	0.58	8

实验表明,几组冲洗液配方的性能参数基本合理,满足携带和沉降岩粉的需要,但是施工矿区的地层比较松散破碎,因此几组冲洗液体系的护壁效果还需要进一步的验证。为确保现场施工的顺利,我们选取了山丹县曹家口金矿松散破碎层位的岩心进行了室内“岩心浸泡实验”,分别以清水、成膜1、成膜2、无固相1和无固相2作为浸泡介质,实验效果如下。

(1)清水浸泡实验(见图1)。

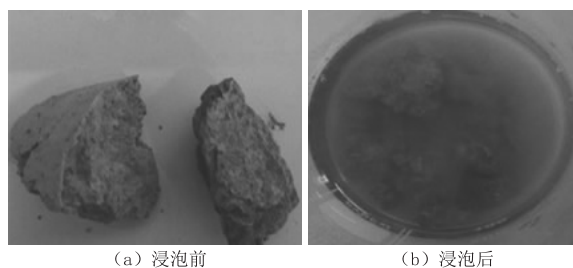


图 1 清水浸泡实验

实验结果:清水浸泡 2.5 min,岩心样品完全分散剥落。

(2)成膜体系浸泡实验(见图 2~3)。

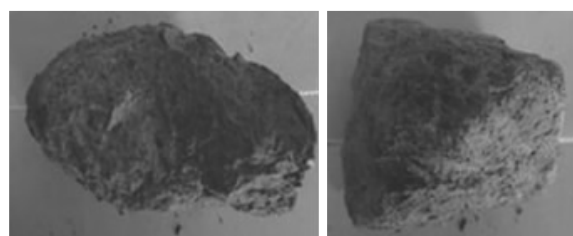


图 2 成膜体系浸泡前岩心

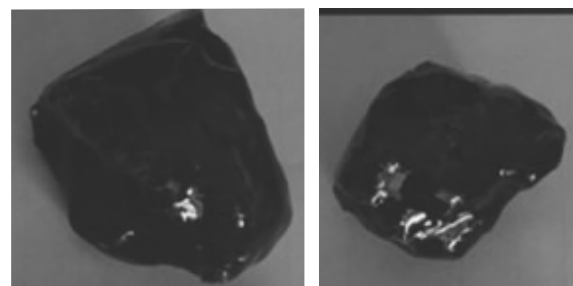


图 3 成膜体系浸泡 4 h

实验结果:成膜体系 1、2 浸泡 4 h 后,岩心表面光滑,没有出现分散剥落现象。

(3)无固相冲洗液浸泡实验(见图 4~5)。

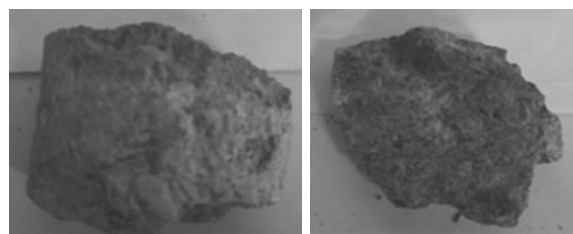


图 4 无固相体系浸泡前岩心

实验结果:无固相体系 1 浸泡 4 h 后岩心表面开始变得松软,无固相体系 2 浸泡 4 h 后,岩心分散成碎块。

在室内对几种冲洗液体系评价的基础上,对矿区

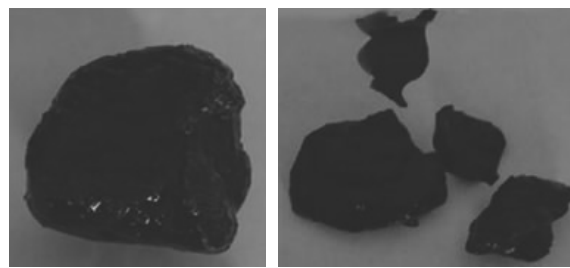


图 5 无固相体系浸泡 4 h

松散破碎岩心样品进行了浸泡实验,实验结果表明成膜体系 1、2 具有较好的“护壁护心”效果,在岩心表面形成了一层致密的“薄膜”,避免了冲洗液中的水分对岩心的侵蚀,同理,在钻进过程中,在孔壁上应该也能形成致密的泥皮,防止冲洗液中的水分对孔壁岩层的侵蚀,确保孔壁稳定。但是成膜体系 2 成本相对较低,因此计划在地层较完整时采用成膜体系 2,以降低成本。在地层较复杂时,为了维持孔壁稳定,采用成膜体系 1 作为最优冲洗液方案。是否能满足液动潜孔锤的正常工作,需要现场进一步验证。

3.3 漏失孔段冲洗液方案

冲洗液漏失的根本原因是孔内液柱相对于岩层产生压差,以及岩石中存在有漏失通道,即钻孔-地层系统存在压力不平衡和岩层中有漏失通道这两个方面。根据 2015 年的施工资料,山丹县曹家口金矿在钻进中发生的漏失以渗漏为主,个别孔段存在裂缝性漏失。现场发生渗漏时,当漏速 $<2 \text{ m}^3/\text{h}$ 时,适当提高成膜体系中封堵剂和增粘剂的加量,避免使用大颗粒堵漏材料对液动潜孔锤造成堵塞,实现快速钻进;当发生裂缝型漏失,将采用施工前设计的冲洗液堵漏方案进行桥接堵漏,堵漏成功后再转化为成膜体系 1 配合液动潜孔锤继续钻进,具体堵漏方案见表 2。

表 2 针对不同裂缝宽度的堵漏方案

裂缝宽度/mm	桥接材料堵漏配方
1~2	冲洗液+0.75%棉籽壳+0.75%稻壳+0.75%锯末
3~4	冲洗液+3%核桃壳+0.75%棉籽壳+1%锯末
5~6	冲洗液+4.5%核桃壳+2.25%贝壳粉+0.75%棉籽壳+0.75%稻壳+1.5%锯末

4 冲洗液现场应用

以 ZK302 孔为例,2016 年 9 月 19 日开钻,覆盖层厚约 30 m,采用 PQ 绳索取心钻具开孔,冲洗液使用优选出的无固相体系,钻进过程中漏失严重,泥浆消耗量较大(达到 $2.5 \text{ m}^3/\text{h}$),钻速为 $1.5\sim 2.0 \text{ m/h}$,

增加 HV-CMC 的加量提高冲洗液的粘度,漏失得到控制(降为 $1.0 \text{ m}^3/\text{h}$);钻进至 45 m,有小段较完整岩石出现,提钻下入 PQ 套管。冲洗液上返情况变好,但仍有较轻微渗漏,但能正常循环钻进。冲洗液更换为成膜体系 2,循环 1 h 后下入绳索取心液动潜孔锤钻具继续钻进,钻头选择为 $\text{O}96 \text{ mm}$ 平底金刚石钻头,环齿形状,胎体硬度 HRC25~45;泥浆泵泵量为 $60\sim 90 \text{ L}/\text{min}$;转速在 $300\sim 550 \text{ r}/\text{min}$ 。

钻进至孔深 127.02 m,因孔内钻遇漏失型裂缝,漏失严重,泥浆失返,漏失量达到 $2.5 \text{ m}^3/\text{h}$,提高冲洗液粘度后漏失仍得不到控制,提钻堵漏。

堵漏措施:按配方“冲洗液+3%核桃壳+0.75%棉籽壳+1%锯末”配制堵漏浆液 3.0 m^3 ,泵入后静止憋压 2 h,开泵循环,冲洗液返出量逐渐加大并恢复正常,冲洗液更换为成膜体系 2,同时加大封堵剂 GFD-1 的加量,防止再次发生漏失,循环 30 min,继续下液动潜孔锤钻进,后续施工顺利,没有出现冲洗液漏失、提下钻受阻及回转阻力大等复杂情况。

通过合理设计和使用冲洗液,液动潜孔锤工作正常,孔壁稳定,取心质量明显提高,平均采取率达到 95%以上,解决了在该矿区钻探施工中遇到的复杂情况,没有发生孔内事故,钻探施工效率和质量明显提高,施工情况统计见表 3。

表 3 施工效果对比

孔号	使用钻具	回次数	终孔深度/m	回次进尺/m	全孔岩心采取率/%	台月效率/m
ZK704	普通绳钻	160	208.91	1.30	89.50	482.1
ZK703	普通绳钻	108	136.72	1.26	88.90	612.8
ZK301	普通绳钻	228	281.72	1.23	87.29	620.8
ZK401	普通绳钻	60	71.22	1.19	88.60	572.2
ZK303	普通绳钻	262	269.02	1.03	86.50	532.6
ZK702	液动潜孔锤	89	116.52	2.08	95.30	675.5
ZK302	液动潜孔锤	101	214.22	2.12	95.50	688.2

由表 3 可看出,采用合理的冲洗液方案,确保了液动潜孔锤的工作效率,回次进尺明显提高,使得钻孔回次数降低,施工效率提升,平均提高 68%;全孔岩心采取率达到 95.5%,平均提高 5%,最大提高 8.21%;采用液动潜孔锤平均台月效率 681.85 m ,平均提高 21%;未发生孔内事故,降低了钻探成本。

5 结语

通过室内实验和现场验证相结合的研究方法,初步探讨了甘肃省山丹县曹家口金矿区复杂地层液

动锤钻进冲洗液类型,提出了相应的冲洗液和辅助的堵漏配方。

对于低固相冲洗液体系和无固相冲洗液体系,结合钻遇岩性特点、冲洗液流变性参数及成本因素,选择低固相冲洗液体系作为覆盖层钻进时的冲洗液方案,钻进效率和岩心采取率指标表现良好,事故率明显下降,整个钻进过程未出现绳索取心钻具内管结垢和钻头包泥现象。从成本考虑,低固相冲洗液体系成本仅为无固相冲洗液体系 55%左右。

对于成膜冲洗液体系 1 和成膜冲洗液体系 2 分别在山丹曹家口金属勘查矿区进行了现场应用对比实验,结果表明,两个冲洗液配方应对复杂地层效果明显,能够满足液动潜孔锤工作效率的正常发挥。就成膜冲洗液体系两种配方比较,成膜体系 2 经济性更好,适合在地层相对完整的情况下使用,可以降低冲洗液成本约 30%,在地层相对复杂的情况下及时加入封堵剂和增粘剂转换为成膜体系 1 继续钻进。

通过甘肃山丹曹家口金矿钻探堵漏实验,单孔冲洗液消耗明显减少,台班效率明显提高,推荐的堵漏配方表现出了良好的堵漏效果。

参考文献:

- [1] 杨泽英.SYZX75 型绳索取心液动潜孔锤的研制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(9):73-74.
- [2] 罗永贵.SYZX 绳索取心液动锤在小秦岭金矿田复杂地层深部钻探中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(3):7-9.
- [3] 杨红东,武国峰.液动锤的试验与研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,43(3):37-52.
- [4] 姜桂春,韩颂.绳索取心液动锤在浩尔忽洞金矿复杂地层中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,40(10):13-15.
- [5] 苏长寿,谢文卫,杨泽英,等.系列高效液动锤的研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(3):17-31.
- [6] 陶士先,李晓东,纪卫军,等.成膜防塌无固相冲洗液体系的研究与应用[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会.第十八届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流会论文集,北京:地质出版社,2015:424-430.
- [7] 李攀义,单文军,徐兆刚,等.成膜防塌无固相钻井液体系在金鹰矿区 ZK1146 井中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(10):26-30.
- [8] 陶士先,李晓东,吴召明,等.强成膜性护壁钻井液体系的研究与应用[J].地质与勘探,2014,50(9):1147-1154.
- [9] 胡继良,陶士先,纪卫军.破碎地层孔壁稳定技术的探讨与实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(9):30-32.
- [10] 张晓静.水敏/松散地层钻井液的护壁机理分析与应用研究[D].湖北武汉:中国地质大学(武汉),2007.
- [11] 王建华,苏长寿,左新明.深孔液动潜孔锤钻进技术研究与应用[J].勘察科学技术,2011,(6):59-64.
- [12] 张所邦,谭建国,王爱军,等.宜昌磷矿北部整装勘查项目深孔复杂地层钻探技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(4):23-27.