

地质钻探完全漏失地层处理方式探讨

王志祥¹, 许非¹, 陈冲², 刘爱明¹, 胡有山¹, 蒲俊侠²

(1. 四川省第七地质大队, 四川 乐山 614099; 2. 西藏自治区地质矿产勘查开发局第六地质大队, 西藏 拉萨 851400)

摘要:地质钻探遇到完全漏失地层时经常采用顶漏钻进和水泥堵漏。提出顶漏钻进可采用孔口长流水、倾倒高稠度浆液、倾倒制泡浆液、钻杆涂抹润滑脂(膏)等干孔段应对措施,水泥堵漏添加抗分散剂、促凝早强剂、缓凝剂、水泥球胶合剂等应对措施。研发了钻孔堵漏小球,从结构特点、操作流程及原理特征进行了说明和探讨,拟解决传统惰性堵漏材料“大颗粒易架桥但不易进裂缝,小颗粒易进裂缝但难承压”的矛盾。

关键词:地质钻探;完全漏失;顶漏钻进;水泥堵漏;堵漏小球

中图分类号:P634.8 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2023)S1-0218-05

Discussion on treatment of completely leak strata for geological drilling

WANG Zhixiang¹, XU Fei¹, CHEN Chong², LIU Aiming¹, HU Youshan¹, PU Junyi²

(1. No.7 Geological Brigade of Sichuan Province, Leshan Sichuan 614099, China;

2. No.6 Geological Group, Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development of Tibet Autonomous Region, Lhasa Xizang 851400, China)

Abstract: Leakage drilling and cement plugging are often used when geological drilling encounters completely leak formation. It is suggested that the dry hole section measures can be taken for leakage drilling such as long running water at hole opening, pouring high consistency grout, pouring foam slurry and applying grease on drill pipe. While for the cementing plugging, adding anti-dispersant, hardening accelerating and flash setting agent, retarding agent and cement ball cemedin can be used. The drill hole plugging ball is developed, and the structural characteristics, operation process and principle are explained and discussed, which is intended to solve the contradiction of “arge particles are easy to bridge but hard to enter the crack while small particles are easy to enter the crack but difficult to bear pressure” for the traditional inert plugging material.

Key words: geological drilling; complete leakage; leakage drilling; cement plugging; plugging ball

0 引言

地质钻探施工经常遇到钻孔漏失等情况,其发生原因在于孔内泥浆压力大于地层中孔隙、裂缝或溶洞中液体的孔隙压力,并通过漏失通道向周围的容纳空间流失^[1-2]。钻孔漏失不仅会带来泥浆消耗、负荷增大、孔壁失稳等诸多问题,严重时将无法正常钻进。完全漏失地层是指孔口全部失返的严重漏失地层,其对钻进的影响和处理难度均较大。当

出现漏失时,现阶段一般采取随钻堵漏、不作处理顶漏钻进、采取技术措施后顶漏钻进、停钻堵漏等4种方式。随钻堵漏一般适用于孔口有部分返浆的情况,完全漏失地层并不常用。

1 顶漏钻进

1.1 顶漏钻进存在问题

从技术层面来讲,一般都不建议顶漏钻进,工

收稿日期:2023-05-25; 修回日期:2023-08-10 DOI:10.12143/j.ztgc.2023.S1.032

基金项目:四川省张建东钻探技能大师工作室资助项目“电动顶驱钻探装备配套及成井工艺关键技术研究”

第一作者:王志祥,男,汉族,1983年生,高级工程师,勘查技术与工程专业,硕士,长期从事钻探技术研发及服务,四川省峨眉山市峨眉街87号,182352585@qq.com。

引用格式:王志祥,许非,陈冲,等.地质钻探完全漏失地层处理方式探讨[J].钻探工程,2023,50(S1):218-222.

WANG Zhixiang, XU Fei, CHEN Chong, et al. Discussion on treatment of completely leak strata for geological drilling[J]. Drilling Engineering, 2023,50(S1):218-222.

程实践中出现大量顶漏钻进是成本、技术、观念的综合结果。长孔段持续破碎漏失地层中钻进往往随堵随漏,此时顶漏钻进是不得已而为之。顶漏钻进主要存在以下问题:(1)干孔段润滑差致使钻机回转负荷大;(2)干孔段失去泥浆液柱压力及护壁作用致使孔壁稳定性变差;(3)大量漏失致使泥浆制备质量难以保证,动态水位下泥浆护壁效果变差;(4)回次钻进前的泥浆冲孔难以保障^[4-7]。

1.2 顶漏钻进减阻护壁措施

通过实践改进,施工人员摸索了一系列解决上述问题的办法。

(1)针对钻机回转负荷大,采用孔口接水管长流水的方式减小摩阻力,可在水源充足且干孔段地层较为稳定时使用,成本最低。

(2)以聚丙烯酰胺、羧甲基纤维素钠等为材料配制高稠度浆液,在每回次开钻前随钻杆从孔口倒入^[6],减阻效果和维持时间优于清水。

(3)以聚丙烯酰胺等配置基浆,加入5%~1%的韦兰胶、月桂酰胺基羟磺基甜菜碱LHSB或水泥(混凝土)发泡剂配方产品等中的一种,通过搅拌机约10 min可制得3倍左右原浆体积的微泡沫,搅拌速度越快则泡沫越多越细腻,若加入羟丙基甲基纤维素HPMC、植物胶等,则稳泡效果更好。显微镜观察实验室搅拌制备的微泡沫直径多为10~10²微米量级,如图1所示,其漏斗粘度及旋转粘度均大幅提升,可从孔口倒入起到干孔段良好润滑护壁效果。

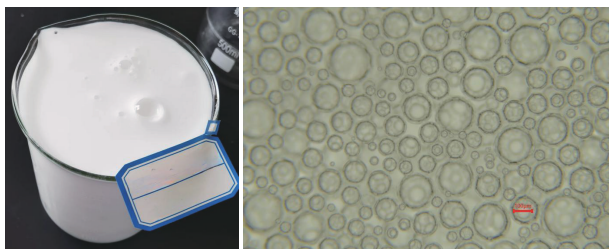


图1 实验室搅拌制备润滑减阻“微泡沫”

(4)干孔段钻杆涂抹锂基脂黄油等,可达到较好减阻护壁效果,这类润滑酯购买方便;也可涂抹自制“润滑膏”,其粘附性更强,可在更长时间内发挥作用,配方如表1所示,温度低时可适当增加废机油用量。

(5)动态水位下应尽量采用泥浆护壁,添加少量

表1 润滑膏推荐配方

黑机油(废机油)/%	松香/%	沥青/%	石蜡/%
65	20	10	5

太古油可起到良好润滑效果。

上述总结出的顶漏钻进系列技术措施可降低施工成本,同时也为长孔段集中堵漏或套管隔离创造了条件。

1.2 顶漏钻进冲孔问题

回次钻进开始一般以孔口返浆作为依据,但顶漏钻进孔口并不返浆,开始钻进时间需要凭操作人员的经验掌握。合理的冲孔时间指孔底钻头位置泥浆达到稳定循环的时间,冲孔时间长了浪费泥浆和时间,冲孔时间短了又容易烧钻,因此需要保证合理的冲孔时间。

当孔内水位较高、停钻时间较长、泥浆静切力较低或者采用清水钻进等情况下,孔底容易沉积大量岩屑。钻头在下放到孔底过程中,钻头内台阶与卡簧座之间很小的间隙极易被岩屑堵塞。当泵入泥浆在钻杆内外形成的液位压差不足以排开岩屑时,而空气的可压缩性又很大,除非泥浆即将灌满全部钻杆,否则泵压表通常显示为零,此时抢先开钻容易造成烧钻事故。笔者将孔口不返浆钻孔的冲孔问题细分成冲孔有泵压、冲孔无泵压无稳定水位、冲孔无泵压有稳定水位、冲孔无泵压且地层易糊钻等4种情况,根据不同情况确定合理的冲孔时间,详见《钻孔失返顶漏钻进中的冲孔问题及其技术措施分析》^[7]。

2 堵漏措施

钻进施工尤其是深孔钻进过程中,要保证持续使用优质泥浆,钻孔堵漏则成为重要先决条件。掌握孔内水位(通常为回次结束动态水位)是筛选堵漏措施的重要指标,现场可用水位计准确测量或使用钢绳投送内管时粗略估算。当孔内水位接近孔口时,要使泥浆返出孔口所需堵漏材料提供的承压能力不高,可以尝试采用随钻堵漏、泥球堵漏(含高岭土的黄泥,而非膨润土)或惰性材料(801、803、锯末等)加高分子聚合物混合稠浆堵漏等;当孔内水位很深时,此时所需的承压能力很高,水泥堵漏则相比而言更加适合。

2.1 水泥堵漏

水泥堵漏在地质钻探中应用很多,具有价格便

宜、方便购买、结石强度高等诸多优点,还能对破碎地层进行良好护壁。

2.1.1 水泥堵漏存在问题

水泥浆液会因水泥型号、水灰比、早强剂、速凝剂、缓凝剂、温度等条件不同,会在几小时到几天内凝固到满足承压适合扫孔的强度。施工人员能做到水泥凝固时间精确掌握、水泥污染率明显降低、固结孔段达到设计预期、水泥堵漏操作安全快速的难度很大。随改性材料品种增多,将受制于技术人员是否亲测并掌握其性能,甚至不同供应商的同名产品,其效果也可能截然不同。

325、425 硅酸盐水泥方便就地购买,根据温度等不同调制成水灰比 0.45~0.5 的浆液^[8],采用泥浆泵泵入孔内,其存在的主要问题是:(1)孔口不返浆并不代表孔内没水,即使技术人员能够准确计算并掌握前置液、灌浆量、替浆量及各种现场操作,也很难预估水泥浆液被水侵破坏的程度,水侵不仅稀释破坏了水泥浆,当有流动地下水时还会致使水泥浆顺水流方向流失,孔内水流上游方向更难封堵,这些都会造成堵漏失败;(2)当钻孔较深、含水孔段较长时,容易出现大量不凝固的浮浆,操作人员在下钻时难以准确预知浮浆位置,极易造成钻具插入浮浆过深而发生埋钻事故;(3)同径下水泥堵漏操作风险很高,但却被经常采用,正常应采用小一级钻杆或 $\text{O}42\text{ mm}$ 、 $\text{O}50\text{ mm}$ 钻杆,增大钻杆与孔壁间隙,以防止水泥外返出钻杆过高而发生埋钻事故;(4)高原等寒冷地区钻探施工,制浆用水温度接近 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$,致使水泥凝固速度很慢,若不加入适当的促凝早强剂,不仅费时还增大了水泥浆被破坏的机率,凝固效果得不到保障。

2.1.2 水泥堵漏改进措施

虽然不添加改性剂的普通硅酸盐水泥净浆被大量应用并达到堵漏目的,但一些简单实用、成本低廉的水泥改性方案有时候却能起到事半功倍的效果,包括大幅降低水泥污染、减少水泥用量、提高堵漏成功率、降低埋钻风险等。

(1)水侵污染是水泥堵漏失败的重要原因,它提高了水灰比,降低了水泥凝固所需的钙离子浓度,水泥无法凝固或凝固强度很低,还会带来扫孔风险、泥浆污染等问题。通过实验筛选出聚环氧乙烷 PEO、非离子聚丙烯酰胺 NPAM、羟丙基甲基纤维素 HPMC 等材料,选择其中一种即可提高水泥浆液抗

分散性,明显降低水侵污染,添加量根据分子量及品质参照水泥质量的 $1\% \sim 3\%$ 为宜,以满足泵送所需流动度,实验效果如图 2 所示。现阶段常用做泥浆材料的聚丙烯酰胺一般为阴离子聚丙烯酰胺(代号 PHP、HPAM、APAM),市场还有阳离子聚丙烯酰胺(代号 CPAM)、两性离子聚丙烯酰胺(代号 Am-PAM)以及各种类型的聚胺乳液,实测不能使用。某些标注为 PAM 的聚丙烯酰胺需要认真核实或进行小样测试,明确为非离子聚丙烯酰胺时,才可做为水泥抗分散剂使用。

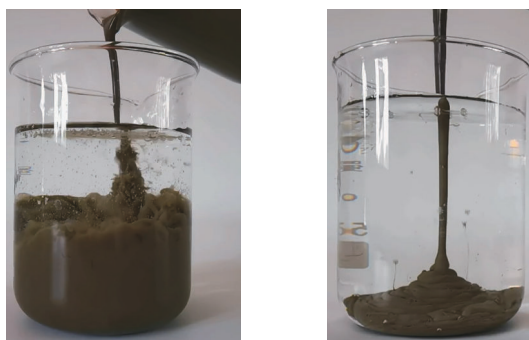


图 2 不同水泥浆液抗水侵效果对比

(2)现场可采购工业级固体片状氯化钙,作为促凝早强剂使用效果很好,加量 $1\% \sim 5\%$,能将初凝时间和终凝时间都提前。可采用方便易购的白糖作为缓凝剂以延长操作时间,加量 $1\% \sim 3\%$ 。通过调节凝固时间以满足安全灌注操作,也可控制扫孔时间。

(3)对于溶洞或大裂隙带,水泥浆液即使加入了抗分散剂,仍可能出现大量流失,可考虑投入改性水泥球的方式堵漏。在水泥干粉中加入质量 20% 的脲醛树脂胶粉(木胶粉)和 20% 的水^[9],搓球投入水中长时间不易分散,但水泥凝固强度偏差;或采用水泥干粉中加入质量 $1\% \sim 2\%$ 的羟丙基甲基纤维素 HPMC 和 30% 的水,能较容易地搓球并投入孔内堵漏,此方案水泥凝固强度较高。两种方案均可配合促凝早强剂使用,能在几小时内达到堵漏所需强度,实验效果如图 3 所示。额外工序是需要进行插孔挤压操作以提升填充溶洞或裂缝的效果。

2.2 堵漏小球

2.2.1 问题的提出

施工单位对堵漏措施的要求其实很明确,“简



图3 脲醛树脂胶粉改性水泥球在水中不分散

单、高效、省时、安全、低廉、易得”。PVC油膏或其它沥青改性产品通常呈软塑状,防水性能很好,可直接作为堵漏材料使用,其效果优于泥球堵漏,但仍易在长期压力作用下变形流失,承压能力并不高。实验实测PVC油膏的承压能力低于1 MPa,在此压力下即可从缝深500 mm×缝长35 mm×缝宽1 mm的人工模拟裂缝中流出,如图4所示。即若孔内水位超过100 m,一定量的PVC油膏或其它沥青改性产品就较难堵漏成功。普通机制石子菱角分明、强度大,作为堵漏骨架材料能提供很强的承压能力,但其粒径需要与地层裂缝宽度匹配,否则难以进入裂缝发挥堵漏作用。若单纯地投送石子,则易被磨碎后让泥浆带走,裂缝的填充性也不好。地层裂缝尺寸并不规则且难以观察,做到石子粒径的完全匹配不可能,需要考虑随机破碎变形的自适应机制。

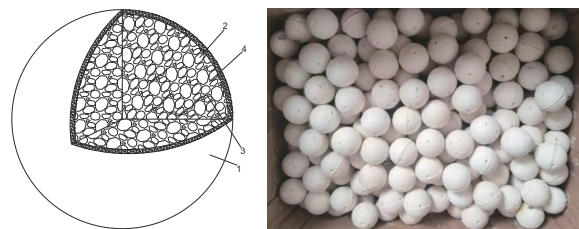


图4 沥青料在低于1MPa压力下被挤出模拟裂缝

由此看来,沥青改性产品和石子具有各自不同的优缺点,将两者结合起来,可充分利用石子的高强度承压力和沥青改性产品的优异防水性能。堵漏小球从堵漏原理设计上拟解决“大颗粒易架桥但不易进裂缝,小颗粒易进裂缝但难承压”的矛盾,通过一定方式使承压骨架颗粒相对裂缝能够“进得去、留得住、承得起”。

2.2.2 制作与使用过程

堵漏小球由骨架材料(一定粒度级配的石子或橡胶颗粒)、长玻璃纤维、软塑防水材料(PVC油膏或其它沥青改性产品)、外壳(石膏浆液注塑或聚脲浆液注塑)组成^[10]。骨架材料粒径范围1 mm~10 mm,以大致匹配常规地层裂缝;玻璃纤维长度40 mm~80 mm;PVC油膏或其它沥青改性产品可解决纯沥青低温冷脆的问题。这些材料价格便宜、易得,将其加热混合,并作切割、成球、造壳处理,可制成直径42 mm的堵漏小球,如图5所示。绳索取心NQ钻头内径46 mm,堵漏小球可从孔口投入并穿过钻头达到孔底,其适用于NQ、HQ、PQ、SQ等钻孔口径。堵漏小球承压能力主要依靠骨架材料,适当加量的软塑防水材料可到防冲刷作用,过多则易出现对骨架材料的“悬浮”效应,会减少骨架材料相互接触架桥的机会。



1—外壳;2—骨架材料;3—长玻璃纤维;4—软塑防水材料

图5 堵漏小球结构示意图及成品

当钻孔出现漏失时,将卡簧座换成“特制尖锥”,即可不提钻实现“钻进模式”与“堵漏模式”的快速切换,堵漏操作流程为:孔口送水并投小球→将卡簧座换成尖锥下内管→连接钻杆开泵送水→回转加压捅孔到底→换回卡簧座恢复钻进。对于绳索取心钻进工艺,单独配备捅孔钻具比较麻烦,现有方案是将卡簧座前端焊接一个尖锥,可超出钻头一定距离,如图6所示。堵漏小球会在“液柱压力+钻具挤压力”的双重作用下变形,骨架材料被迫进入裂缝或破碎后

进入裂缝,强行提供承压能力,此工况要严于恢复钻进后仅有“液柱压力”时的工况。挤压到底时泥浆若能顺利返出孔口,则表示堵漏成功,整个操作接近于一个回次钻进的时间。捅孔操作时,拧紧内管总成中的自锁螺母进一步压缩弹簧,可降低内管总成单动性以提高捅孔效果。



图6 特制尖锥及与钻头配合

2.2.3 原理特征

堵漏小球结构及配套操作流程有以下3个特点:(1)防泥浆冲刷:堵漏小球外壳及小球内部材料都具有防水性,内部骨架材料以及挤压破碎后的骨架材料会被软塑防水材料粘结包裹,基本不易被泥浆污染或带走,有更多机会进入裂缝;(2)挤压破碎架桥:除骨架小颗粒即小于裂缝尺寸的颗粒可直接进入裂缝外,大颗粒会被挤压破碎强行进入,这样形成的破碎颗粒更易形成架桥承压能力;(3)挤压绕阻架桥:裂缝具有不确定的尺寸,小于裂缝的骨架颗粒虽然容易进入裂缝,但会随着软塑材料呈同步依序的状态进入,此时堵漏材料的承压能力基本来自于软塑材料自身的粘聚力,这种承压能力通常较小,除

非遇到转角或缝宽变小。长玻璃纤维不仅能增加软塑材料粘聚力以防止其流淌,还可通过纤维对骨架颗粒杂乱无章的缠绕,使其受力不均而更多呈现翻滚或不同步,增加骨架颗粒接触架桥的概率。

3 结语

地质钻探面对完全漏失地层时,通常采用顶漏钻进和水泥堵漏等处理方式。本文分析了不同处理方式可能遇到的相关问题,结合工程经验和实验室测试筛选,提供了一些相对简单实用的改性材料和配方,同时还探讨了新研发的钻孔堵漏小球,以供技术人员参考。通过不断探索和尝试,希望达到地质钻探施工单位“简单、高效、省时、安全、低廉、易得”的顶漏钻进和堵漏技术要求。

参考文献:

- [1] 鄢捷年. 钻井液工艺学[M]. 北京: 中国石油大学出版社, 2018:387.
- [2] 曾祥熙, 陈志超, 何玉明. 钻孔护壁堵漏与减阻[M]. 北京: 地质出版社, 1981:319-322.
- [3] 郑力会. 防漏堵漏理论与技术进展[R]. 华北油田: 中国石油大学(北京), 2011.
- [4] 李锦峰. 恶性漏失地层堵漏技术研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(5):19-27.
- [5] 王发民, 魏和平, 警兵, 等. 绳索取芯钻进中顶漏钻进工艺实践[J]. 钻探工程, 2021, 48(9):89-93.
- [6] 杨丕祥, 童强, 吴博. 绳索取芯在顶漏钻进施工中的实践与认识[J]. 西部探矿工程, 2015, 27(9):83-84, 88.
- [7] 王志祥, 郭如伦, 韩庆, 等. 钻孔失返顶漏钻进中的冲孔问题及其技术措施分析[J]. 四川地质学报, 2022, 42(S1):151-154.
- [8] 范正清, 邵启昌. 钻孔冲洗与护壁堵漏工艺在[M]. 兰州: 甘肃地质矿产局, 1986:243-245.
- [9] 张晓西, 鄢泰宁, 杨凯华, 等. 岩土钻掘系列课程实验指导书[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2008:58.
- [10] 王志祥, 欧涛, 韩庆, 等. 一种钻孔堵漏小球及其制备方法: CN113863892B[P]. 2023-02-24.

(编辑 王文)