

聚合物凝胶堵漏剂在大裂隙溶洞地层中的研究及应用

左文贵^{1,2,3}, 朱林^{1,2,3}, 吴兵良⁴, 廖光明⁴

(1.有色金属成矿预测与地质环境监测教育部重点实验室, 湖南长沙 410083; 2.有色资源与地质灾害探查湖南省重点实验室, 湖南长沙 410083; 3.中南大学地球科学与信息物理学院, 湖南长沙 410083; 4.湖南煤田地质第一勘探队, 湖南衡阳 421000)

摘要:广东河源地区地质条件复杂, 溶洞、裂隙十分发育。钻探生产中施工难度大, 导致在钻孔施工中冲洗液漏失严重, 施工周期长, 成本高。针对该地区大裂隙溶洞地层研制的一种新型聚合物凝胶堵漏剂, 从理论上探讨该新型凝胶堵漏剂的基本性能和作用机理, 还通过室内试验与现场测试对凝胶堵漏剂进行研究, 测试了凝胶堵漏剂的成胶时间、承压能力、破胶性能等。并针对凝胶堵漏材料的配方进行了对比试验, 得出了现场的最佳应用配方, 对漏失地层进行堵漏, 取得了良好的效果, 降低了钻井液的消耗, 提高了钻井效率。广东河源地区的应用表明, 所研制新型凝胶堵漏剂具有良好的流动性且成胶时间较短, 符合生产需要, 同时还具有很强的承压堵漏能力, 破胶性能显著, 不会卡住钻具。该新型堵漏剂对广东河源地区的堵漏施工效果较好, 易于配制、调整, 不需要特殊设备, 对大裂隙溶洞地区的堵漏具有很好的推广应用前景。

关键词:大裂隙; 溶洞地层; 漏失; 凝胶堵漏剂

中图分类号: P634.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2018)09-0019-06

Polymer Gel Plugging Agent Used in Formation with Large Size Caverns and Fractures/ZUO Wen-gui^{1,2,3}, ZHU Lin^{1,2,3}, WU Bing-liang⁴, LIAO Guang-ming⁴ (1. Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals and Geological Environment Monitoring, Ministry of Education, Changsha Hunan 410083, China; 2. Hunan Key Laboratory of Nonferrous Resources and Geological Hazards Exploration, Changsha Hunan 410083, China; 3. School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha Hunan 410083, China; 4. Hunan No.1 Coal Field Prospecting Team, Hengyang Hunan 421000, China)

Abstract: The geological conditions in the Guangdong Heyuan area are complex with well developed karst caverns and fissures. Drilling difficulties usually lead to serious circulation loss, long construction period and high cost. A new type of polymer gel plugging agent was developed to cope with the local formation with large size caverns and fractures. Theoretical analysis is made of the basic performance and the mechanism of the new type gel plugging agent, with lab experiments and field tests conducted on the gel forming time, load bearing capacity, breaking performance, etc. Comparative tests were done on different gel formula, resulting in an optimum make-up which was applied to plugging with good performance, such as reducing consumption of the drilling fluid, increasing the drilling efficiency. Application in the Guangdong Heyuan area shows that the new type gel plugging agent provides liquidity with the short gelling time, meeting the field needs; meanwhile it can also bear high load, and offer significant gel breaking performance, eliminating pipe sticking. The new type plugging agent was very effective in the Guangdong Heyuan area, and featured of easy concoction and without adding any special equipment. It will find promising application in areas with large size caverns and fractures.

Key words: fractures; karst cavern; circulation loss; gel plugging agent

1 问题的提出

广东河源市长翠村地处粤北九连山区, 地形复杂, 起伏较大。钻孔区域地层多裂缝、溶洞发育。主

要具有以下特征: 灰岩溶洞裂隙发育, 泥浆漏失严重的井段厚度约 500 m^[1-1], 同时局部填充有大量的流砂, 伴随着干孔, 无返液的情况, 导致断钻、跑斜、

收稿日期: 2018-04-23

作者简介: 左文贵, 男, 汉族, 1962年生, 副教授, 高级工程师, 硕士研究生导师, 主要从事固体矿产勘查、岩土工程勘查等研究工作, 湖南省长沙市岳麓区麓山南路 932 号中南大学校本部地学楼, 3130339519@qq.com。

通信作者: 朱林, 男, 汉族, 1995年生, 硕士研究生在读, 地质工程专业, 主要从事地质工程专业方向的钻探技术方面的研究工作, 湖南省长沙市岳麓区麓山南路 932 号中南大学校本部地学楼, 765075674@qq.com。

卡钻、夹钻比较突出,堵漏工作非常困难;钻孔孔深100 m处左右分布有灰岩破碎带,钻进难度大,钻进效率极其低下,取心困难,取心率难以得到保证,钻孔孔壁掉块现象特别严重,易造成卡钻现象^[5-8]。

从地层情况和钻井施工过程中所遇到的问题可以看出,长期存在于钻井工作中的井漏问题,到目前仍没有得到很好的解决。随着国内外专家多年来对堵漏新材料的不断探索,以前单一的桥接堵漏材料已转化成了复合的堵漏材料,如今已研制出了许多新型堵漏剂,在一定程度上使防漏堵漏的效率得到了很大提高。但是有时候仅仅使用这些堵漏材料仍存在一定的局限性,如在含水的异常高压层使用水泥浆堵漏,则会出现浆液被地层流体稀释,无法凝固而导致堵漏失败的现象,但在水泥浆前先注入一段封隔的聚合凝胶,则能有效提高堵漏的成功率^[9-10]。为此,凝胶也随着其优良的特性和表现,成为了近几年国内外研究机构的研究重点,并且在凝胶堵漏材料上取得了一定的进展。如中国石油集团渤海钻探工程有限公司研制出的WS-1凝胶,国外的Sweatman等人研制出的聚合物堵漏体系(CP),Lecolier等人研制出的交联聚合物桥塞堵漏剂(CACP)等,均在多口恶性漏失井中取得了良好的现场应用效果,而这种效果是众多新型堵漏材料所实现不了的。虽然凝胶用于处理井漏已取得了良好的效果,同时其相关堵漏机理的研究也有了一定进展,但是在处理大裂缝、溶洞性漏失等问题上还未解决。因此,我们针对大裂隙溶洞地层,对一种新型凝胶堵漏剂进行了研究。

2 聚合物凝胶堵漏机理

2.1 聚合物成胶原理

当聚合物分子溶于水后,聚合物分子的主链或侧链可通过化学键与高价金属离子相互连接,形成一种可包裹自由水的空间网状结构,即形成凝胶体。而凝胶体的空间网络结构通常具有很高的粘弹性,这种网络的大小主要取决于高分子链之间以化学键交联的数量^[11-12]。当聚合物的交联程度足够高时,发生交联的链段就会阻止链和链之间的移动,链段仅能在一个平面伸直,但是当外力消失后,链段可以恢复至原来位置^[13-14]。

2.2 凝胶堵漏原理

根据钻井现场的实际情况(漏速、漏层深度等)

来控制凝胶的成胶时间,使凝胶在完成成胶前以液体或者高粘稠流体进入漏失通道,并尽可能的多覆盖所有漏失井段,由于凝胶本身以液态形式出现,所以不论漏失通道的形状如何,凝胶都可以顺利的进入。停泵后,凝胶停滞在井筒和漏失通道中,随着时间的延长逐渐成胶,此时,凝胶与漏失通道壁面之间可以产生较大的粘滞阻力,随着凝胶的逐步成胶,粘滞阻力逐步增加,产生压差漏速逐渐减小,当凝胶完全成胶后,形成的强度足以抵抗井筒与漏层之间的压差时,堵漏便成功。由于凝胶成胶后具有憎水的特性,其完全成胶后形成的块体很难被水稀释,也很难被孔内气体所破坏,而且在其运动过程中还有很好的推水和推气作用。因此,凝胶堵漏尤其适用于常规堵漏材料难以封堵的钻孔漏失^[15-17]。

3 堵漏凝胶的开发

3.1 聚合物和交联剂的筛选

成胶时间和强度是凝胶堵漏的关键技术,成胶时间短,则很难泵入地层,应该找到一种适合的投送方法;成胶时间太长,一方面会导致因堵漏耽误时间太多,另一方面也会由于成胶时间长而导致成胶强度比较低,不利于堵漏,或者堵漏成功率低,所以选择聚合物或交联剂一定要保证凝胶应有一定的成胶强度^[18-19]。聚合物种类比较多,但不一定都能成为凝胶,有的聚合物成胶后强度过低,使得堵漏成功率降低,而且有时还很难找到合适的交联剂。因此,如何选择聚合物和交联剂显得尤为重要。通过对堵漏剂相关技术的调研,同时对不同聚合物和凝胶剂成胶情况进行研究,根据成胶强度选出4种聚合物体系进行对比分析。成胶效果如表1所示。

表1 不同聚合物与交联剂成胶情况

聚合物种类	交联剂种类	成胶时间/min	最大成胶粘度/(mPa·s)
水解聚丙烯酰胺(0.8%)	重铬酸钠(0.35%)+ 硫代硫酸钠(0.8%)	15	9500
水解聚丙烯酰胺(0.8%)	重铬酸钠(0.35%)+ 硫代硫酸钠(1.2%)+ 木质素磺酸钠(1.0%)	8	11000
羟丙基瓜尔胶(1.0%)	有机复合硼(0.3%)	0.7	60000
羟丙基瓜尔胶(1.0%)	有机钛(0.4%)	27	120000
聚乙烯醇(3.0%)	硼酸(1.0%)	72	178500
聚乙烯醇(3.0%)	硼砂(2.0%)	48	202500

通过试验了大量不同的聚合物和交联剂。我们

筛选的是目前市面上不曾出现的,能成胶并且具有较好成胶强度的凝胶体系,所以选择了聚乙烯醇和硼砂交联,聚合物采用聚乙烯醇,即 PVA,交联剂采用硼砂,开展一系列相关的室内试验。

3.2 聚合物凝胶体成胶试验

3.2.1 聚合物浓度加量试验

为研究聚合物凝胶体系,对选定的聚合物和交联剂,我们进行了不同浓度的成胶试验,测得反应体系的粘度。如表 2 所示。

表 2 聚合物浓度对胶体粘度的影响			
聚乙烯醇浓度/ %	硼砂浓度/ %	成胶时间/ min	表观粘度/ (mPa·s)
1.5	2	32	181300
2.0	2	39	186400
2.5	2	15	188900
3.0	2	49	202500
3.5	2	58	202000

由图 1 可以看出,当聚合物的浓度增大时,反应体系的表观粘度也随之增大,反应体系中的聚合物与交联剂充分反应,所形成空间网状结构密集程度越大,表观粘度也随之增大。但当聚合物浓度达到一定值时,聚合物反应体系充分反应,成胶粘度已到稳定状态,甚至略有降低。

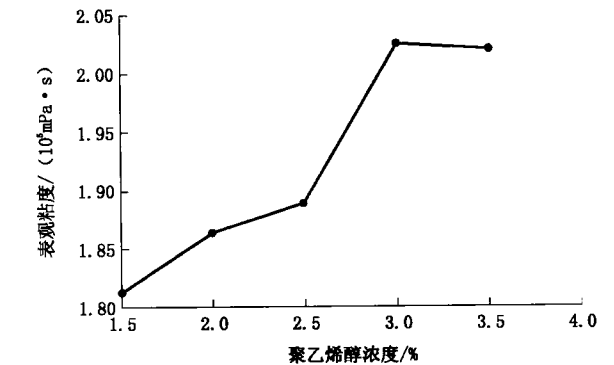


图 1 聚乙烯醇浓度对表观粘度的影响

3.2.2 交联剂加量试验

为了考察硼砂交联剂的加量对反应体系粘度的影响,不同交联剂加量时,测定反应体系的表观粘度,试验结果如表 3 所示。

从表 3 可以看出当聚合物浓度与温度为某一常数时,聚合物胶体的表观粘度随着交联剂的加入而增加,最后逐渐趋于平稳,并略有降低,其相关的变化关系见图 2,粘度的增加是由于交联剂与聚合物反应的结果,当交联剂的添加量超过两者反应所需

表 3 交联剂浓度对胶体粘度的影响			
聚合物浓度/ %	硼砂浓度/ %	成胶时间/ min	表观粘度/ (mPa·s)
3	0.4	35	112800
3	0.6	41	180500
3	1.0	49	196000
3	1.5	51	198300
3	2.0	68	202500
3	2.5	79	2010800

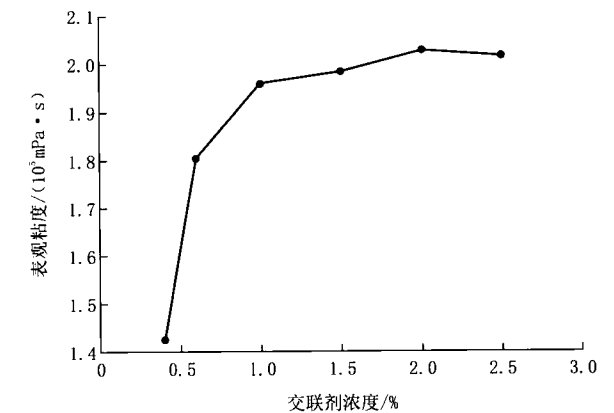


图 2 交联剂浓度对表观粘度的影响

的量时,其表观粘度不再继续增大。交联剂添加量较小时,聚合物中只有少量的与交联剂产生化学反应,其形成的空间网状结构较疏松,胶体的表观粘度小,随着交联剂加入量增多,参与化学反应的聚合物也逐渐的增多,从而生成的空间网状结构胶体变得越来越密实,胶体的表观粘度也随之加大。后期聚合物凝胶体系所形成的空间网状结构强度过大,结构致密,降水分子包裹起来,粘度变差。当聚合物浓度与交联剂浓度达到一定值时,两者反应达到平衡,聚合物体系充分反应。

3.3 配方优选

凝胶堵漏剂的关键因素主要是将聚合物与交联剂成胶时间控制在合理的范围内,即将成胶时间控制在 1~3 h 为最优。由以上成胶试验可知,凝胶体系存在交联剂的最佳用量值,通过对以下 8 个聚合物和凝胶剂配方成胶情况进行研究分析,以确定最佳配方。(1)清水+2%PVA+1%硼砂;(2)清水+2%PVA+1%硼酸;(3)清水+2%PVA+1.5%硼砂;(4)清水+2.5%PVA+1%硼砂;(5)清水+3%PVA+2%硼砂;(6)清水+3%PVA+2%硼砂+0.75%六偏磷酸钠(缓凝剂);(7)清水+3%PVA+2%硼砂+0.75%六偏磷酸钠(缓凝剂)+1%细木屑;(8)清水+3%PVA+2%硼砂+1%植物胶+

1%细木屑(骨架材料)。

成胶效果如表4所示。

表4 凝胶成胶数据

试验 配方	溶液中出 现大量透 明状胶束/ min	整体稠化, 不再有胶束 悬浮于溶液 中/min	无法搅拌, 但体系具 备良好流 动性/min	完全成胶, 成为具有 粘弹力的 胶体/min	表观 粘度/ (mPa·s)
(1)	1.50	6.30	14.50	24.20	182500
(2)	1.60	5.33	12.17	35.25	189700
(3)	0.93	4.58	12.20	39.08	191000
(4)	0.70	4.17	12.83	45.53	194500
(5)	0.17	3.03	6.20	68.00	202500
(6)	0.50	30.53	33.87	60.20	223200
(7)	0.87	32.83	37.55	62.00	223400
(8)	0.47	58.33	81.00	165.00	303500

配方(8)是为了探究另一种将凝胶堵漏材料送入漏失通道的方法,植物胶首先也能够和硼砂交联,形成具有一定粘弹性的水基凝胶,在这种水基凝胶中PVA又与硼砂交联,形成一种复合凝胶体系,初期能够在分散介质中形成分散的小团凝胶块,这些复合的小凝胶团能够完全形成具有很大强度的整块凝胶,但所需时间很长,其原理与加入缓凝剂相似,水基凝胶可以隔离开PVA凝胶与水,从而减缓其反应速率。然而,其可以快速形成的分散小凝胶团强度很高,且相互接触时也会相互融合具备一定强度,所以设想将这种复合凝胶体系在分散小凝胶团的情况下泵入漏失通道,使其小凝胶团被挤压填补裂缝与孔隙,减少成胶时间,提高生产效率,成胶。

3.3.1 配方体系堵漏性能评价

本次堵漏性能测试中所使用的堵漏测试仪是根据高压失水仪原理自制,模拟破碎地层条件下漏失的仪器。图3为自制模拟堵漏测试仪,图4为模拟破碎地层所用的砂石。

如图5和图6所示,前4种配方所形成的胶体虽具有一定的粘弹力,但是比较稀,手触摸仍然会有液体粘滞感,说明此配方交联没有完全将所有的分散介质(水)包裹在凝胶网状结构中,并且此时凝胶几乎没有强度,挑挂性弱,挑起后会由于自身重力而断裂,因而不进行进一步堵漏承压测试。

堵漏性能测试结果如表5所示。

凝胶材料完全封堵漏失通道如图7,加入植物胶后效果如图8。



图3 模拟堵漏测试仪

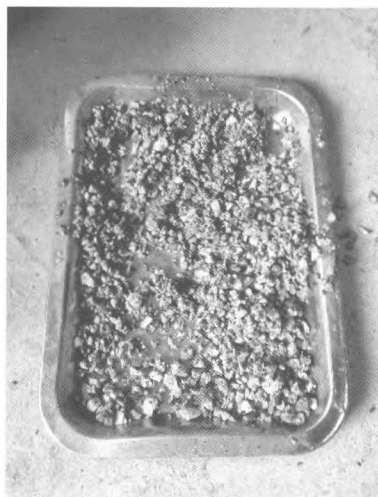


图4 模拟破碎地层所用砂石



图5 凝胶成胶



图 6 凝胶成胶

表 5 配方体系堵漏性能测试结果

配方	测 试 结 果
(5)	加压至 3.5 MPa,未漏失,堵漏成功,由于 3.5 MPa 已达到仪器承压极限,故无法测试凝胶堵漏材料突破压力
(6)	加压至 3.5 MPa,未漏失,堵漏成功,可见加入缓凝剂在设计承压范围内对凝胶体系承压能力无影响
(7)	加压至 3.5 MPa,未漏失,堵漏成功,但由于设备限制,无法测试突破压力,无法测出加入骨架材料后凝胶堵漏材料的承压能力有所提升
(8)	放入凝胶堵漏材料后,加入 1000 mL 水,不加压漏出 220 mL,这是由于此时凝胶体系是分散的小凝胶团,还未能完全进入裂缝与孔隙中,加压初期又有 160 mL 漏失,原因也是由于凝胶堵漏材料还未能完全进入裂缝与孔隙中封堵漏失通道,加压稳定至 3.5 MPa 后无漏失,堵漏成功



图 7 凝胶堵漏效果图

3.3.2 破胶性能测试

将配方(8)(清水+3%PVA+2%硼砂+1%植物胶)配置的凝胶取 4 g,2 g 加入 40 mL 基浆(钠土+纯碱),2 g 加入 40 mL 清水中浸泡。



图 8 加入植物胶堵漏效果

浸泡 1 h,水中凝胶约有 50%被溶解,基浆中凝胶吸水膨胀,搅拌后变为豆腐渣样。说明破胶性能良好,不会卡住钻具,影响钻井,而随钻井往下钻,钻井液只会溶胀表层凝胶,不会侵入漏失通道溶胀堵漏材料,而在 1 h 内溶解的凝胶约为 50%,说明也可在含有一定地下水的地层使用,但是不能用于含大量地下水且有强地下水流时使用。

根据以上试验结果,综合成胶时间(1~3 h 最佳),承压能力(大于 3 MPa),破胶性能(凝胶加入钻井液后易破胶),并结合钻孔区域地层常遇灰岩,地层压力较大,在封堵较大的裂缝,需要较大承压能力的堵漏剂等各方面条件,因此确定最佳应用配方为 3%PVA+2%硼砂+1%植物胶+1%细木屑。

4 现场实际应用分析

根据研制的新型聚合物凝胶堵漏剂,针对钻井漏失井段进行现场堵漏试验,通过与复合堵漏剂的配合使用,成功完成了漏失层的封堵。

通过观测钻井液的流速来看,采用新型 PVA 堵漏剂堵漏之后,整个钻井过程中未见有大的流失,只有一些小漏失:漏失速度在 5~15 m³/h,因此再采取静止堵漏方式随钻堵漏。堵漏浆配方:一定量井浆+3%膨润土+3%~8%复合型堵漏剂+3%单向封闭剂,调整粘切提钻至漏失层位,用小排量将堵漏浆泵入至漏失层位后,提钻至漏失层位顶部,静止堵漏 4~6 h(堵漏期间必须保持井内灌满钻井液),再在漏层顶部循环 30 min,不漏则恢复钻井。

所研制的凝胶堵漏剂配合复合堵漏剂使用可以提高堵漏成功率,凝胶可以把地层水和水泥浆分开,并起到一定的保护作用,实现平衡堵漏,现场试验表

明,所研制的聚合物凝胶堵漏剂对大裂隙、溶洞地层漏失等紧急情况具有较好的堵漏效果。

参考文献:

- [1] 陈子玉,任晓辉.赤峰市喀喇沁旗月牙山溶洞成因探讨[J].赤峰学院学报(自然科学版),2007,(3):36-37.
- [2] 田飞.塔河油田碳酸盐岩岩溶缝洞结构和充填模式研究[D].山东青岛:中国石油大学(华东),2014.
- [3] 王生维,侯光久,张明,等.晋城成庄矿煤层大裂隙系统研究[J].科学通报,2005,(S1):38-44.
- [4] 钟志彬.裂隙性岩石力学特性及裂隙性围岩破裂机理研究[D].四川成都:西南交通大学,2017.
- [5] 孙建华,刘秀美,王志刚,等.地质钻探孔内复杂情况和孔内事故种类梳理分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(1):1-9.
- [6] 许超,石智军.煤矿井下定向钻进钻孔事故的预防及处理[J].煤田地质与勘探,2014,42(3):100-104.
- [7] 陶士先,刘四海,胡继良.地质钻探堵漏新技术的初步研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(11):13-16.
- [8] 郑有成,李向碧,邓传光,等.川东北地区恶性井漏处理技术探索[J].天然气工业,2003,23(6):84-85.

- [9] 聂勋勇,王平全,张新民.聚合物凝胶堵漏技术研究进展[J].钻井液与完井液,2007,24(1):82-84,94,103.
- [10] 王中华.聚合物凝胶堵漏剂的研究与应用进展[J].精细与专用化学品,2011,19(4):16-20.
- [11] 王李昌,隆威,高士娟.复杂地层钻探堵漏浆液的研究与应用[J].地质与勘探,2013,49(4):770-776.
- [12] 彭振斌,张闯,李凤,等.聚乙烯醇凝胶堵漏剂的室内研究[J].天然气工业,2017,37(6):72-78.
- [13] 曹晓春,李倍任,秦义,等.聚合物凝胶堵漏剂的研究及应用[J].当代化工,2015,44(11):2572-2574,2577.
- [14] 宋元洪,杨蓉,庄建山,等.高分子凝胶堵漏剂的研究[J].钻井液与完井液,2016,33(5):92-97.
- [15] 张雪峰.堵漏凝胶的研究与应用[D].吉林长春:吉林大学,2013.
- [16] 于澄.聚合物凝胶堵漏技术研究[D].北京:中国地质大学(北京),2016.
- [17] 石立明,曹灶开.凝胶堵漏技术在阳山矿区漏失地层中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(9):22-24,29.
- [18] 王中华.复杂漏失地层堵漏技术现状及发展方向[J].中外能源,2014,19(1):39-48.
- [19] 吕开河,刘阳,乔伟刚,等.高强度预交联凝胶堵漏剂研究[J].油田化学,2011,28(4):359-362.

(上接第18页)

5 结论

(1)安徽省龟山铜金矿区超厚破碎带井壁垮塌严重,采用普通低固相冲洗液难以起到有效的护壁效果,通过采用无固相聚乙烯醇冲洗液顺利钻穿了易垮炭质页岩及煤系地层。

(2)聚乙烯醇冲洗液能够最大程度保证岩心碎块在浸泡过程中不发生崩散,抑制性强,但是失水量偏大,需要补充FT-342等降失水剂控制失水量。

(3)聚乙烯醇对钻屑有较强的絮凝作用,使用时需要确保循环槽、泥浆池、搅拌罐等彻底清洗干净,避免与聚乙烯醇接触时影响使用效果。

参考文献:

- [1] 陆三明.安徽铜陵狮子山铜金矿田岩浆作用与流体成矿[D].安徽合肥:合肥工业大学,2007.
- [2] 陶士先,汤松然,彭步涛.绳索取心钻杆内壁结垢机理与防治[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(S1):155-159.
- [3] 王立志,孙健越.金山矿区钻杆内壁结垢的原因分析与防治

- [J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(S1):207-209.
- [4] 张波,郑秀华,汪传武.高模数水玻璃钾基抑制冲洗液在蠕变坍塌地层中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(9):42-45.
- [5] 翟育峰,王鲁朝,丁昌盛,等.西藏罗布莎科学钻孔冲洗液技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(4):1-4.
- [6] 姜桂春.聚丙烯酰胺无固相冲洗液在复杂地层中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(1):34-37.
- [7] 吴婷婷,张烈辉,张宇睿,等.硅酸盐/聚合物防塌泡沫钻井液研究[J].石油天然气学报,2014,36(3):82-87,7.
- [8] 宋世杰,陈师逊,杨芳.三山岛海上金矿勘查工程ZK3110孔坍塌原因与处理[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(2):26-28,32.
- [9] 张路.适合西部地区新型硅酸盐钻井液技术研究[J].西部探矿工程,2013,25(7):45-47.
- [10] 邱玲玲.西藏罗布莎深钻绳索取心钻井液的研究与应用[D].湖北武汉:中国地质大学,2011.
- [11] 台沐礼,钟兴吉,尹江.PAB无固相聚合物冲洗液在绿泥石化破碎蚀变带地层岩芯钻探中的应用[J].西部探矿工程,2010,22(12):85-86.
- [12] 陈蓓,鄢捷年,王建华.适用于硬脆性泥页岩地层的水基钻井液技术研究[J].西部探矿工程,2009,21(7):50-52.
- [13] 王禹,杨春柳,吕小燕.PVA无固相冲洗液在吉林珲春松林矿区复杂地层的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(7):14-15.