

凝胶堵漏技术在阳山矿区漏失地层中的应用

石立明^{1,2}, 曹灶开³

(1. 吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026; 2. 武警黄金指挥部, 北京 100055; 3. 武警黄金十二支队, 四川 成都 611732)

摘要: 甘肃省文县阳山矿区地质构造复杂, 地层破碎蚀变强烈, 多层位漏失, 钻探施工漏失现象普遍。在研究地层漏失机理的基础上试验应用了聚合物凝胶堵漏技术。ZK2232 孔的现场应用表明, 聚合物凝胶堵漏剂与其他惰性桥堵剂配合使用, 能很好地解决钻进过程中的恶性漏失问题, 堵漏效果较好。在堵漏施工中, 聚合物凝胶堵漏不受漏失通道的限制, 能够通过挤压变形进入裂缝和孔洞空间, 最终达到封堵漏层的目的。

关键词: 钻探; 聚合物凝胶堵漏; 漏失地层; 阳山矿区

中图分类号: P634.6 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2015)09-0022-03

Gel Plugging Leakage Technology Application in the Stratum in Yangshan Mining Area/SHI Li-ming^{1,2}, CAO Zao-kai³ (1. College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China; 2. Armed Police Gold Command, Beijing 100055, China; 3. Armed Police Gold Twelve Detachment, Chengdu Sichuan 611732, China)

Abstract: Gansu Yangshan mining area geological structure is complicated, broken strata alteration strong, multi layer leakage, drilling leakage loss is a common phenomenon. On the basis of in-depth study of the mechanism of formation leakage, the polymer gel plugging technology is explored and tested. In the construction, polymer gel plugging is not limited by the leakage passage, which can enter the space of cracks and holes, and ultimately achieve the purpose of sealing leakage. In ZK2232 field application shows that the use of polymer gel plugging agent and other inert bridging agent can be used to solve the leakage of the drilling process, and the effect is better.

Key words: drilling; polymer gel plugging technology; leakage formation; yangshan mining area

在地质构造强烈的地层中进行钻探施工时, 常会遇到自然裂缝异常发育的地层, 从而产生不同程度的冲洗液漏失。冲洗液漏失不仅消耗人力物力, 导致工期延长, 更会影响孔壁稳定, 严重时甚至诱发卡钻、烧钻等孔内事故。甘肃省文县阳山矿区多数钻孔漏失严重, 施工单位针对裂隙型漏失地层主要采用搓泥球、随钻堵漏、水泥灌注等方法进行堵漏, 但由于裂隙型地层漏失成因复杂, 影响因素多, 特别是在碳酸盐岩地层出现恶性漏失时, 常规堵漏方法效果甚微。笔者在深入分析阳山矿区地层漏失机理的基础上, 试验应用了 YS-1 凝胶对该矿区碳酸盐裂隙型地层进行堵漏, 并取得了较好效果。

碎蚀变强烈, 主要由第四系冲洪积物、碎裂岩、糜棱岩、钙泥质千枚岩、碳泥质千枚岩、板岩、灰岩、斜长花岗斑岩及硅质岩脉组成, 其中, 又以千枚岩和灰岩分布较为广泛。灰岩地层中裂隙较为发育, 如图 1, 尤其以安坝-葛条湾矿段较为突出, 在钻遇该层时, 钻孔漏失现象较为普遍。

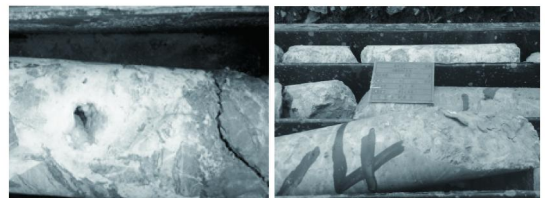


图 1 灰岩裂隙

1 矿区地质情况

阳山矿区地层产于泥盆系中统三河口组第三岩性段(D21S4)及第四岩性段(D21S5), 主要受安昌河-观音坝断层控制, 区内褶皱、断层较为发育, 破

2 矿区钻孔漏失情况及原因分析

矿区每年施工钻孔 20 余个, 其中漏失钻孔占 60%。漏失地层主要为千枚岩破碎蚀变带, 天然裂隙发育, 部分钻孔多层位漏失, 并有坍塌掉块现象。

收稿日期: 2015-09-05; 修回日期: 2015-09-14

作者简介: 石立明, 男, 汉族, 1968 年生, 高级工程师, 吉林大学在读硕士, 地质工程专业, 从事岩心钻探技术与管理工作, 北京市宣武区红莲南路 55 号, shiliming1968@sohu.com。

矿区钻孔漏失主要有 4 个原因:一是地层中存在着漏失通道,如孔隙或者裂缝,或者有一定的地下空间容纳外来流体;二是冲洗液压力高于地层裂隙水压力,形成压差;三是冲洗液性能不适应地层,无法形成“封堵”;四是下钻时冲洗液在高速下落钻具的挤压下会产生很高的冲击动能,引起相当高的挤压压力,导致孔壁压裂,造成冲洗液漏失。其中第一个条件是地质自然因素形成的,这是钻孔漏失的必然条件;后 3 个条件主要是施工技术造成的。

钻孔在钻遇漏失层初期,泥浆漏失较小,一般在 $0.6 \text{ m}^3/\text{h}$ 以下,多为中、小裂缝地层,裂隙宽度 $< 1.5 \text{ mm}$ 。表现为压力渗透性漏失与裂缝性漏失并存,通过搓泥球、灌水泥、投惰性材料等常用方法,能起到一定的效果。如继续钻进遇溶蚀孔,漏失量迅速增大,直至无冲洗液返出,测水位时,水位迅速下降,常规方法堵漏无任何效果。

3 凝胶堵漏机理

YS-1 凝胶属于交联类堵漏材料,能吸水膨胀,形成亲水性三维空间网络状结构。凝胶吸水后表现出很好的粘弹性、柔软性和韧性,堵漏时不受漏失通道形状的限制,能够通过挤压变形进入裂缝和孔洞空间。当凝胶进入漏层后,YS-1 凝胶能在岩石表面吸附,与漏失通道作用,产生较高的粘滞阻力,易于在漏层中驻留,从而可以解决桥塞堵漏、随钻堵漏

等方法难以解决的漏失问题。另外,YS-1 凝胶还具有“变形虫”的特殊作用,如果在某一孔道处未产生封堵,会在漏失压差下继续向前变形蠕动,至一较小孔道处产生变形封堵,从而防止裂缝的压力传播和诱导扩展。

YS-1 凝胶配合其它材料用于高渗透、特高渗透地层、裂缝型和大孔道地层堵漏,效果更好。当 YS-1 凝胶中添加了惰性桥堵剂后,惰性桥堵剂刚性好,能起骨架和支撑作用,凝胶则充填在骨架之间,使之封堵严密。

4 室内实验

实验采用高温高压漏失仪,在不同尺寸的人造裂缝中分别采用常规堵漏材料和 YS-1 凝胶堵漏剂进行室内实验。实验时反应温度为 $80 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$,反应时间为 4 h, pH 值为 10~11。实验结果见表 1、表 2, YS-1 凝胶堵漏剂颗粒和溶液见图 2、图 3。

表 1 常规堵漏材料实验现象

人造裂缝	缝长/ mm	缝宽/ mm	缝高/ mm	堵漏效果	
				锯末	泥球
a	30	<1	20	裂缝完全封堵	裂缝完全封堵
b	30	1~3	20	裂缝基本封堵,有微小裂隙	裂缝基本封堵,有微小裂隙
c	30	>3	20	裂缝封堵不完全,有较大裂隙	裂缝封堵不完全,有较大裂隙

表 2 YS-1 凝胶堵漏剂实验现象

人造裂缝	缝长/ mm	缝宽/ mm	缝高/ mm	堵漏效果	
				YS-1 凝胶堵漏剂	YS-1 凝胶堵漏剂 + GPC(随钻堵漏剂)
a	30	<1	20	裂缝完全封堵	裂缝完全封堵
b	30	1~3	20	裂缝完全封堵,凝胶基本充满裂缝,且凝胶具有一定强度	裂缝完全封堵,凝胶完全充满裂缝,且凝胶具有较高强度
c	30	>3	20	裂缝完全封堵,凝胶部分充满裂缝,且凝胶具有一定强度	裂缝完全封堵,凝胶完全充满裂隙,且凝胶具有较高强度

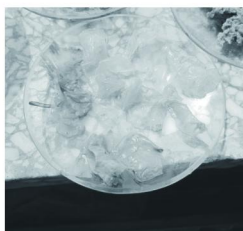


图 2 凝胶颗粒



图 3 凝胶溶液

由表 1、表 2 发现,常规堵漏材料对于 $< 1 \text{ mm}$ 的裂缝(a 缝),能达到堵漏效果,对于 $1 \sim 3 \text{ mm}$ (b 缝)有一定效果,当裂缝 $> 3 \text{ mm}$ (c 缝)时,裂缝则较

难堵住。用 YS-1 凝胶堵漏剂能很好的封堵 c 缝,且强度比常规堵漏材料高。YS-1 凝胶堵漏剂能在裂缝内外膨胀交联形成具有一定强度的高粘弹性凝胶,不受漏失通道的影响,能在挤压下进入微小裂缝及孔洞,充分封堵漏失通道。当 YS-1 凝胶堵漏剂加入惰性桥堵剂 GPC(随钻堵漏剂)时,GPC 能起骨架支撑作用,YS-1 凝胶堵漏剂充填在骨架之间,镶嵌住 GPC,因为 GPC 刚性好,可以承受较大压差,能让凝胶充分封堵裂缝。

5 工程实例

5.1 钻孔漏失情况

以阳山矿区施工的 ZK2232 孔为列,该孔于 2014 年 7 月开始施工,设计孔深 700 m,设计倾角 82°,钻孔直径 95 mm,使用 XY-44A 型钻机, BW250 型泥浆泵。该孔施工至 176 m 时开始出现漏失,孔内不返水,无水位,属恶性漏失,投泥球无效,使用水泥封堵没有成功。顶漏钻进至 207 m,地层变为破碎蚀变千枚岩,继续钻进至 218 m,地层仍然为破碎蚀变千枚岩,通过观测,孔内水位稳定在 207 m 位置,表明已穿过该漏失层,漏失孔段位于 176~207 m,长度 31 m。因受地层条件影响,下入套管护壁的风险较大。通过取出岩心(见图 4)可以看到,该漏失孔段地层岩性以灰岩为主,裂隙发育,岩心较为破碎,岩石裂隙表面上可看到明显的充填物(见图 5),根据充填物厚度推断裂隙宽度 2~3 mm,该地层漏失类型属于典型的裂缝性漏失。



图 4 现场取出的灰岩地层岩心

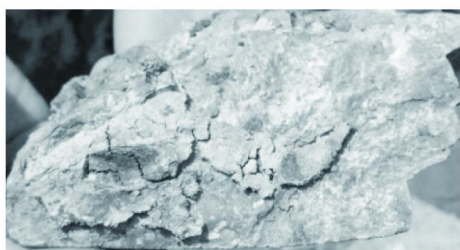


图 5 裂缝中填充的岩屑

5.2 现场凝胶堵漏工艺

根据 ZK2232 孔的漏失特性,制定交联聚合物凝胶堵漏方案:使用膨润土+桥堵剂+交联剂配置前置浆,而后使用膨润土+聚合物+YS-1 凝胶堵漏剂配置堵漏浆,最后使用膨润土+聚合物配成顶替浆,按照前置浆、堵漏浆、顶替浆的顺序使用泥浆泵连续泵入孔内进行封堵。

(1) 计算漏失孔段裸眼体积。

$$V = \frac{D^2 \pi L}{4 \times 10^6} = \frac{95^2 \times 3.14 \times 31}{4 \times 10^6} = 0.21 \text{ m}^3$$

(2) 前置浆配制。按水+膨润土 150 kg/m³+桥堵剂 20 kg/m³+交联剂 50 kg/m³的比例配前置浆 1.2 m³。性能参数:密度 1.06 g/cm³,漏斗粘度 26 s,失水量 10 mL/30 min,pH 值 10。

(3) 堵漏浆配置。配制堵漏浆 1 m³,配方为:0.8 m³水+50 kg 钠膨润土+30 kg GPC+150 kg YS-1 凝胶堵漏剂。性能参数:密度 1.08 g/cm³,漏斗粘度 31 s,失水量 8 mL/30 min,pH 值 11。

(4) 顶替浆配制。配制顶替浆 1 m³,配方为:50 kg 膨润土+15 kg GPC。性能参数:密度 1.04 g/cm³,漏斗粘度 24 s,失水量 12 mL/30 min,pH 值 10。

(5) 下钻至 172 m。

(6) 卸掉吸水管莲蓬头以防堵塞,采用 2 挡排量依次泵入前置浆和堵漏浆,泵压逐渐上升到 1.0 MPa。待堵漏浆全部泵入孔内后,再泵入 0.5 m³顶替浆,泵压逐渐升高至 1.3 MPa。

(7) 上提钻具至 100 m,再继续泵入顶替浆,泵入约 0.3 m³时孔口有泥浆返出。

(8) 采用 2 挡排量循环加压 1.5 h(起初 20 min 内消耗泥浆 0.2 m³,之后不再有泥浆消耗)后,静止 30 min。

(9) 再次开 2 挡循环泥浆,无消耗;开 3 挡循环 5 min 仍无泥浆消耗;随后将排量提高到 4 挡,泵压升至 2 MPa,返出的泥浆量依然正常。停止循环泥浆,静止 2 h。

(10) 下钻至套管底部,开始扫孔,并顺利扫至孔底,泥浆无消耗。

(11) 采用正常钻进用的泥浆替换孔内泥浆,并充分循环清洗孔壁。

(12) 投放内管,恢复正常钻进。

凝胶堵漏前每班(8 h)消耗泥浆 8 m³,成功堵漏后每班(8 h)消耗泥浆不到 0.2 m³。使钻进得以顺利进行。

本次堵漏成本总费用在 1000 元左右。排除非正常因素,从浆液配制到扫孔结束,整个堵漏过程所需时间约 8 h,而使用灌注水泥堵漏水泥凝固+扫孔时间通常都要在 48 h 以上。

6 结语

阳山矿区的应用实践证明,聚合物凝胶堵漏剂与其他惰性桥堵剂配合使用,对封堵恶性漏失层

(下转第 29 页)

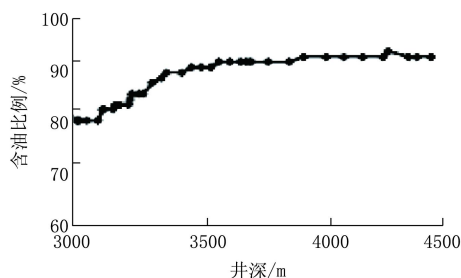


图5 渤页平1井油水比变化曲线

返出,起下钻顺畅。渤页平2井水平位移1329.75 m,水平段881.88 m,平均机械钻速达到8.22 m/h。梁页1HF井完钻井深3961.97 m,水平段长626.2 m,位移1003.16 m。

(2)井壁稳定。渤页平1井完钻井深4335.54 m,三开套管下入至3748.86 m,井径扩大率为1.9%;渤页平2三开井段井径规则,井径扩大率仅为2.3%,电测施工中钻井液静止时间达110 h,电测顺利。

(3)井眼清洁能力强。渤页平2井钻井过程中无托压现象、扭矩小;起下钻摩擦小(70~80 kN);完井下入磨鞋修整井眼施工中,起下钻顺利,振动筛返出钻屑量极少;后期压裂管柱顺利下入,说明井底基本无岩屑床。

4 认识及建议

(1)胺基钻井液针对泥页岩地层具有良好的抑制性能和封堵能力。可通过进一步加入纳米封堵剂、润滑剂等材料,调整钻井液固相粒度合理分布,提高钻井液在沙河街地层的适用性,保证井壁稳定性。

(2)从应用效果来看,油基钻井液有良好的井

壁稳定性能和润滑性能,能较好地保证井眼规则,保证起下钻顺利和页岩层的井下安全。

(3)可在油基钻井液中加入纳微米颗粒,提高钻井液中固相颗粒的合理级配,进一步增加体系的封堵能力,这对钻井液在硬脆性泥页岩中的使用非常重要,可更加有效地保证该地层的井壁稳定。

(4)有必要建立油基钻井液体系流变性和密度预测模型,指导油基钻井液现场施工,提高钻井速度和效益。

参考文献:

- [1] 刘惠民,张守鹏,王朴,等. 沾化凹陷罗家地区沙三段下亚段页岩岩石学特征[J]. 油气地质与采收率,2012,19(6):11-15.
- [2] 王永诗,李政,巩建强,等. 济阳坳陷页岩油气评价方法——以沾化凹陷罗家地区为例[J]. 油气地质与采收率,2013,20(1):83-90.
- [3] 徐波,李敬含,李晓革,等. 辽河油田东部凹陷页岩气成藏条件及含气性评价[J]. 石油学报,2011,32(3):450-458.
- [4] 徐同台,刘玉杰,申威,等. 钻井工程防漏堵漏技术[M]. 北京:石油工业出版社,1997.
- [5] 张希文,孙金声,杨枝,等. 裂缝性地层堵漏技术[J]. 钻井液与完井液,2010,27(3):29-32.
- [6] 刘厚彬,孟英峰,李皋,等. 泥页岩水化作用对岩石强度的影响[J]. 钻采工艺,2010,33(6):18-20.
- [7] 徐加放,邱正松,韩丰欣. 泥页岩水化应力实验方法与实验装置[J]. 钻井液与完井液,2008,25(4):13-15.
- [8] 王建华,鄢捷年,山林. 硬脆性泥页岩井壁稳定评价新方法[J]. 石油钻采工艺,2006,28(6):28-30.
- [9] HERZHAFT B, ROUSSEAU L, NEAU L, et al. Influence of temperature and clays/emulsion microstructure on oil-based mud low shear rate rheology[J]. SPE Journal,2003,8(3):211-217.
- [10] O' BRYAN P L, BOURGOYNE A T, Jr. Swelling of oil-based drilling fluids resulting from dissolved gas[J]. SPE Drilling Engineering,1990,5(2):149-155.

(上接第24页)

具有良好的效果。它能很好地解决冲洗液返出量小的裂缝性、孔洞性、破碎性地层及用常规堵漏方法无法解决的漏失问题,堵漏时间少、成本低,尤其对多层位漏失钻孔,优点更为明显。

参考文献:

- [1] 钱志伟,王平全,白杨. 钻井堵漏用特种凝胶的适用性[J]. 钻井液与完井液,2012,29(2).
- [2] 谭愈荣. 复合胶质无固相钻井液与凝胶固壁堵漏[M]. 北京:地质出版社,1994.

- [3] 王平全,聂训勇,张新民. 特种凝胶在处理“井漏井喷”中的应用[J]. 天然气工业,2008,28(6).
- [4] 张祖培,殷琨,蒋荣庆,等. 岩土钻掘工程新技术[M]. 北京:地质出版社,2003.
- [5] 鄢捷年. 钻井液工艺学[M]. 山东东营:中国石油大学出版社,2001.
- [6] 王文臣. 钻井冲洗与注浆[M]. 北京:冶金工业出版社,1996.
- [7] 黄建宁,刘文革. 渭北煤田澄合矿区复杂地层钻孔施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(6).
- [8] 郑军,何涛,王琪,等. 地下合成凝胶堵漏性能研究[J]. 钻采工艺,2011,23(4).