

地质钻探堵漏新技术的初步研究

陶士先¹, 刘四海², 胡继良¹

(1. 北京探矿工程研究所, 北京 100083; 2. 中石化石油工程技术研究院, 北京 100101)

摘要:对钻探堵漏技术的现状进行了分析。介绍了近期针对地质钻探堵漏开展的高强度快失水堵漏、高强度化学触变堵漏、溶胀型随钻堵漏材料以及成膜钻井液技术阶段科研成果。提出了加强漏失层特性判断与堵漏方法的关联性, 广谱型堵漏技术, 复合堵漏材料和堵漏技术集成化, 高效随钻防漏材料和防漏冲洗液体系, 膨胀管封堵技术研究等地质钻探堵漏技术的重点研究方向。

关键词:地质钻探; 堵漏技术; 快失水堵漏; 化学触变堵漏; 溶胀堵漏材料; 成膜钻井液

中图分类号: P634.8 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2012)11-0013-04

Preliminary Study on Control of Lost Circulation for the Geological Drilling/TAO Shi-xian¹, LIU Si-hai², HU Ji-liang¹ (1. Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China; 2. SINOPEC Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing 100101, China)

Abstract: With the brief discussion on the status of lost circulation control, the paper introduced the recent scientific research achievements in view of the high-strength fast dehydration plugging, the high-strength chemical thixotropic materials plugging and the swelling plugging materials, as well as the film-forming drilling fluid technology. The paper also presents that the key research directions in the relevance of loss zone characteristics judgment and plugging measures; broad spectrum plugging technology; integration of composite plugging materials and leak-proof technology; high-efficient materials for loss circulation control while drilling and leak-proof washing fluid system; and expansion tubular sealing technology.

Key words: geological drilling; plugging technology; fast dehydration plugging; chemical thixotropic materials plugging; swelling plugging materials; film-forming drilling fluid

地层漏失是地质钻探, 乃至石油、天然气、地热等所有钻探中经常遇到的共同问题。据统计全世界油井漏发生率占钻井总数的 20% ~ 25%, 成为钻井中遇到的最为棘手的问题, 造成钻井成本的大幅提高^[1], 常给施工者造成数以百万的经济损失^[2]。地质岩心钻探虽然没有全面统计, 但钻孔漏失仍然是制约提高钻探效率的主要瓶颈问题之一^[3~5]。

1 漏失地层分类及特点

根据漏失地层的特点, 可将井漏分为渗透性漏失、裂缝性漏失和溶洞性漏失 3 类^[6]。其中裂缝性漏失又分为天然裂缝和由钻井液压力压开地层所形成的裂缝(人工裂缝)。

1.1 渗透性漏失

由高渗透的砂岩地层或砾岩地层引起钻井液的漏失称为渗透性漏失。在井内压差的作用下钻井液将会漏入岩层孔隙里, 但泥饼的形成会阻止或减弱

其漏失的程度, 因而渗透性漏失的漏速不大, 一般在 $10 \text{ m}^3/\text{h}$ 以内, 表现为钻井液池的液面缓慢下降。

1.2 裂缝性漏失

可分为地层自然裂缝和由钻井液压力将地层(灰岩和砂岩等)压开所形成的裂缝。在自然裂缝发育的地层中钻井, 都会发生不同程度的钻井液漏失。在破碎带地层中钻进时, 常会随着井下憋跳、钻速加快等现象的出现而发生井漏^[7]。由地层破裂引起的漏失, 主要发生在天然裂缝较少、渗透性不是很好的地层, 漏失压力即破裂压力。裂缝性漏失速度变化范围比较大, 其漏速一般在 $20 \sim 100 \text{ m}^3/\text{h}$ 不等, 表现为钻井液池的液面迅速下降。

1.3 溶洞性漏失

由溶洞性地层引起钻井液的漏失称为溶洞性漏失, 这类漏失一般出现在灰岩地层^[8]。当钻遇溶洞时, 会发生钻具放空, 有时会达 $4 \sim 5 \text{ m}$, 随之循环失灵, 钻井液只进不出。漏速一般在 $100 \text{ m}^3/\text{h}$ 以上,

收稿日期: 2012-06-18

基金项目: 地质矿产资源调查评价专项“不稳定地层快速成膜护壁技术及高强度堵漏技术研究与应用”(1212011120252)和“复杂地层高效钻进技术的研究”(1212010816008)

作者简介: 陶士先(1964-), 女(汉族), 辽宁人, 北京探矿工程研究所教授级高级工程师, 探矿工程专业, 从事钻井液技术研究与应用工作, 北京市海淀区学院路 29 号探工楼 204 室, bjhuji@msn.com。

井漏后往往会造成井喷或井塌卡钻事故,属最严重的井漏。

2 堵漏技术研究现状

迄今为止,国外对井漏的预防通常是延续使用上个世纪的处理方法,对于渗透性漏失的处理通常是采用降低泥浆密度或静止候堵,或往泥浆中加入随钻堵漏材料或惰性桥堵材料进行解决。对于局部漏失的处理,多采用桥接材料或复合堵漏材料、膨胀性堵漏材料、软硬塞(水泥+膨润土)等材料和相应工艺技术处理。对于严重漏失的处理采用水泥、软硬塞、凝胶等可固结成熟堵漏技术。

国内防漏堵漏技术的发展历程与国外的情况基本上类似,只是时间上落后5~10年。对于渗透性漏失,主要是在钻井液中加入一定量的随钻堵漏剂、液体套管、锯末等材料,进行循环堵漏,堵漏成功率较大,但堵漏后孔壁承压能力有待进一步提高,经常出现二次压漏等情况。对于恶性漏失,则采用水泥、凝胶、水泥+膨润土等技术,堵漏工艺复杂,对于含水恶性漏失地层,成功率低,严重影响了其工艺技术的推广应用。随着施工深度的不断增加,以及钻探工作逐步向复杂构造区域的延伸,防漏堵漏工作遇到了前所未有的挑战,有进无出的恶性漏失堵漏仍然是钻探工作的一大难题。

经过几十年的研究摸索,国内外开发出了数百种堵漏材料。依据其作用机理常用堵漏材料可分为6类,即桥接堵漏材料、高失水堵漏材料、暂堵材料、化学堵漏材料、无机胶凝堵漏材料和软(硬)塞类堵漏材料。而堵漏方法,就其堵漏机理而言,归纳起来无外乎下面4种。

(1)稠浆堵漏:即增加漏失浆液的粘度、切力,增加漏失浆液在漏失通道的流动阻力,达到钻孔内外液柱压力的平衡和堵漏的目的。如静止堵漏、无机凝胶堵漏、剪切稠化液堵漏等。

(2)桥塞堵漏:即通过架桥材料在近孔壁或进入地层内部一定深度的喉道处先堆积、桥接形成桥梁,纤维材料构成拉筋,小颗粒材料填充逐渐形成泥饼,阻止漏失浆液的进一步进入。如桥接堵漏(核桃壳、云母)、高失水堵漏、暂堵材料堵漏、膨胀材料堵漏、软硬塞堵漏(水泥+膨润土)等。

(3)化学固结堵漏:即将堵漏浆液挤入漏失通道内一定深度后,堵漏浆液逐渐凝固、形成胶塞,将漏失通道封堵。如水泥堵漏、脲醛树脂堵漏、封包石灰堵剂堵漏等。

(4)套管或膨胀管、摘脱管等封隔:即先强行钻穿漏层后下入套管或膨胀管等管具将漏层进行封隔。

从堵漏机理可以看出,稠浆堵漏对漏失较小的微裂隙且无明显承压要求的漏层有效。常规的桥塞堵漏对于漏失通道特征比较清楚的漏层比较有效。化学固结材料堵漏,在室内实验充分、施工工艺合理,保证能够挤入漏层一定深度,否则堵漏效果难以保证。用水泥堵一次漏不亚于固一次井,周期长、难度大。

套管封隔受井身结构和套管程序的限制,在万不得已的情况下很少采用,膨胀管受井眼条件的限制和一些不成熟技术因素的影响阻碍了该技术的推广应用。

3 地质钻探堵漏新技术的研究

世界上各大石油公司和研究机构每年投入大量的人力、物力进行堵漏技术研究,积累了一些成功经验,然而迄今为止,对于解决长裸眼、多层段漏失,以及恶性漏失仍然十分困难。由于地质钻探在钻孔直径、钻进方法、钻进工艺及设备条件方面的特殊性,许多在石油钻探顺利实施的堵漏技术而在地质钻探却无法使用,地质钻探的堵漏技术手段还相对简单。北京探矿工程研究所针对地质钻探的特殊性,针对不同漏失情况,开展了广谱型堵漏特点的高强度快失水堵漏技术、高强度化学触变堵漏技术、溶胀型随钻堵漏材料以及成膜钻井液技术的研究。

3.1 高强度快失水堵漏技术研究

高强度快失水堵漏技术的原理是:配制的堵漏液在地层孔隙内经压力作用,快速失水使堵漏材料在孔内形成具有较高强度的致密堆积物迅速封堵裂隙及孔隙,达到快速堵漏的目的。该技术主要用于封堵5 mm以下的孔隙或裂缝。

快失水堵漏剂研制方法:选取拉筋材料、架桥材料、助滤剂,通过正交试验优选配方,采用机械复合、材料活化处理等手段,制得快失水堵漏剂。产品性能为:悬浮稳定性96%;失水速度248 mL/min;滤饼厚度23 mm;1 mm缝隙板封堵时间2 s;封堵漏失量400 mL;承压强度7 MPa。为了扩大堵漏范围,提高堵漏后地层的承压强度,可在快失水堵漏剂配制的堵漏液中,引进其它不同形状或粒度的架桥材料。

快失水堵漏技术实施时,需要向堵漏液施加一定的压力使其快速失水,实现快速堵漏。

3.2 高强度化学触变堵漏技术研究

化学触变堵漏技术的原理是:化学触变剂配制的溶液是一种剪切稀释作用较强的粘稠液体,进入漏失地层孔隙后,驱走漏失通道中的水(防止无机触变材料被冲稀)。当无机触变材料与化学触变剂相遇时,迅速转变成不溶于水的凝胶状态而失去流动性。利用上述特性,首先向漏失地层注入化学触变剂,然后再注入无机触变剂,使聚合物体系留在漏失通道内固化,从而实现快速、广谱堵漏的目的。还可结合架桥堵漏技术,扩大堵漏范围,提高堵漏后地层承压强度。该技术主要用于封堵尺寸较大的漏失,特别是失返性漏失,包括含水性失返性漏失。

化学触变堵漏技术包括:

(1)化学触变剂研制或优选,化学触变剂是一种可交联的聚合物体系;

(2)无机触变材料研制,实际是一种交联剂,遇到聚合物体系后,促使其发生交联固化。优选无机材料、促凝剂、膨胀剂等进行合成;

(3)进行实验室内评价,确定其技术参数;

(4)堵漏工艺研究:确定漏失孔段深度和长度,计算触变材料用量,配制化学触变溶液;在灌注化学触变溶液后,应在钻管注入足够量的前置隔离液,防止和无机触变材料在钻杆内固结。

3.3 溶胀型随钻堵漏材料研究

目前,国内外采用具有延迟膨胀特点的堵漏材料用于钻探堵漏的应用还不多见^[9]。这种堵漏材料进入到地层漏失通道后,能够吸水膨胀,紧紧的留在漏失通道中,具有一定的抗压强度,提高了孔壁的承压能力,同时由于吸水体积增大(图1),也扩大了堵漏应用范围^[10]。



图1 6~10目膨胀体材料膨胀前后对比图

这种堵漏材料采用自由基聚合原理和交联反应原理。在单体聚合反应的同时,通过加入交联反应剂将直链的聚合物连接而形成空间网状结构。通过交联度控制和填充其它材料,控制膨胀体的膨胀率、膨胀时间和膨胀体的强度。

填料作为支撑剂,可以提高材料的强度和韧性,

在挤压过程中会发生拉伸和受压。在拉伸过程中,如膨润土与水和聚合物强烈的氢键作用,使得分子链发生延展而不至于断裂,增加了韧性;在受压过程中,粒状如碳酸钙和片状膨润土能很好地起到缓冲和支撑的作用,使分子链在压力下不发生过大的变形而断裂,从而增加产品的强度。

溶胀型随钻堵漏材料性能评价主要考虑因素:一是考察试样加入泥浆后对泥浆性能的影响;二是考察其堵漏效果。因此主要评价参数为表观粘度、塑性粘度、API滤失量、封闭时间、封闭滤失量及承压强度。这里选择801堵漏剂和单向封堵剂作为参比样品。测试结果见表1。

表1 堵漏试验结果

试验号	表观粘度 /(mPa·s)	塑性粘度 /(mPa·s)	API 失水量 /mL	封闭 时间 /s	封闭 滤失量 /mL	承压 强度 /MPa
溶胀型随钻 堵漏材料	6.5	5	7	5	28	4.5
801堵漏剂	12	10	9	25	120	4.0
单向封堵剂	8	5	19	28	162	3.0

由表1结果可以看出,溶胀型堵漏材料的表观粘度、塑性粘度、API滤失量、封闭时间、封闭滤失量均小于另外2种参比样品,其承压强度高于另外2种参比样品。

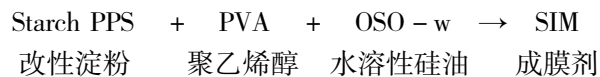
溶胀型随钻堵漏材料在河北莲花铁矿、北京西郊某地应力监测钻探孔中使用,均取得了良好的堵漏效果。

3.4 成膜钻井液技术研究

成膜水基钻井液技术就是使钻井液具有半透膜性能,在井壁上形成一层致密的隔离膜,封堵地层裂隙,从而有效地防止地层水化膨胀,防止井壁坍塌,保护油气层。虽然主要作为防塌剂使用,但具有一定堵漏作用^[11]。

3.4.1 成膜剂的研制

通过成膜剂机理研究、分子结构设计及合成技术等研究,利用具有天然绿色且廉价的改性淀粉(PPS)和刚性的强成膜抗剪切聚乙烯醇(PVA)为多羟基高分子原料与具有特殊结构的水溶性硅油(OSO-w)半干法工艺接枝反应合成水溶性硅基成膜抑制剂(SiM),反应机理如下:



钻井液成膜剂性能评价方法:采用二次滤失量评价其成膜效应,用抑制粘土造浆率及岩屑回收率评价其抑制性能。测试表明,成膜剂各项性能均有

较好表现(表2)。

表2 成膜剂性能

项目	表观粘度 /(mPa·s)	一次滤 失量/mL	二次滤 失量/mL	造浆降 低率/%	岩屑回 收率/%
基浆	42	5	10.2		10.3
基浆+1%成膜剂	11	5	3.4	73.5	93.8

注:岩屑回收率测定采用水及1%成膜剂水溶液。

3.4.2 成膜润滑剂研制

采用石蜡为主要原料,将石蜡乳化改性,并辅以其它载体材料,产品状态为固体润滑剂。

3.4.3 快速成膜冲洗液体系研究

采用本项目研制的成膜护壁剂、润滑剂为主要添加剂,利用其成膜、粘接作用,再选择其纤维状及超细材料,经过配方优化试验,研制出具有超低渗透的快速成膜钻井液体系。

4 结语

从地质钻探来说,堵漏技术是一项世界性的难题。因此要进一步加强堵漏新技术开发,针对地质钻探过程中的各种复杂漏失情况,研究形成较完整的堵漏技术方法体系。今后研究重点或发展趋势应集中在以下几个方面。

(1)加强漏失层特性判断与堵漏方法的关联性研究。开展可固化堵漏配方的防冲蚀、防收缩工艺技术研究,以满足有进无出、特别是含水裂缝和溶洞型恶性漏失的堵漏要求。

(2)广谱型堵漏技术研究,如高强度快失水堵漏技术、高强度化学堵漏技术以及溶胀型随钻堵漏材料。

(3)开展复合堵漏材料和堵漏技术集成化的研

究,高失水堵剂—桥接剂混配,单项压力封闭剂—高失水堵剂混配、高失水堵剂—桥接材料—水泥复合等,形成不同漏失情况的快速判断和应对方法,提高堵漏效率。

(4)开展高效随钻防漏材料和防漏冲洗液体系研究,提高地层承压能力。

(5)开展膨胀管堵漏技术研究^[12]。

参考文献:

- [1] Fidan E, Babadagli T, Kuru E. Use of cement as lost-circulation material-field case studies[J]. IADC/SPE 88005,2004.
- [2] Donald L, Whitfill, Terry Hemphill. All Lost-Circulation Material and Systems Are Not Created Equal[J]. SPE 84319,2003.
- [3] 皮跃进,刘文华.安溪黄厝坪铁矿区复杂地层钻孔护壁堵漏实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(9):16-17,20.
- [4] 刘维平,胡远彪.牡丹江金厂矿区钻井液选用与堵漏技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(6):13-15,18.
- [5] 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.
- [6] 赵福麟.油田化学[M].山东东营:中国石油大学出版社,2002.58-59.
- [7] 薛玉志,刘振东,唐代绪,等.裂缝性地层堵漏配方及规律性研究[J].钻井液与完井液,2009,26(6):28-30.
- [8] 滕子军,赵善友.液体高膨胀材料充填堵漏试验应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(9):49-51.
- [9] 刘延强,徐同台,杨振杰,等.国内外防漏堵漏技术新进展[J].钻井液与完井液,2010,21(6):80-84.
- [10] Fang C C, Thaemlitz C. New ospar-compliant technologies for managing drilling-fluid lost-circulation events[J]. SPE 94434, 2005.
- [11] 孙金声,汪世国,张毅,等.水基钻井液成膜技术研究[J].钻井液与完井液,2003,14(6):6-10.
- [12] 于好善,王成彪,杨甘生,等.膨胀套管技术与膨胀成型仿真分析[J].地质与勘探,2011,47(4):692-698.

(上接第12页)

破,即必须配备火工材料。急需一种扩孔钻具来配合厚壁管跟进。

参考文献:

- [1] 付兵,邱太宝.深厚砂砾石层金刚石钻探施工技术和工艺[J].四川水力发电,2007,(1).
- [2] 张志平.SM植物胶在水电工程中的实践总结.四川水力发电,2003,(2).
- [3] 侯满柱.坚硬地层金刚石钻进参数的选择[J].山西建筑,2005,31(6):71-71.
- [4] 宋宏图.SM植物胶和SD系列金刚石钻进工艺在深厚砂卵石

层的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(3):13-15,17.

- [5] 冯建明.田湾河大发电站闸址深厚覆盖层勘探的实践[J].四川水力发电,2001,20(3):77-78.
- [6] 黄小军.跟管钻头钻进技术在水电勘探中的研究与应用[J].岩土工程技术,2011,25(2):59-63.
- [7] 王福.浅析复杂地层孔内事故的预防[J].林业科技情报,2007,(3).
- [8] 刘志刚.浅谈地质钻探中孔内事故发生及防范措施[J].科园月刊,2008,(8).
- [9] 马举,陈卫杰,刘惠民.埋钻事故的预防和处理措施[J].黑龙江水利科技,2003,(2).
- [10] 李世忠.钻探工艺学(中册).北京:地质出版社,1988.