

破碎带地层钻探化学凝胶护壁堵漏技术的研究与应用

彭博一, 于培志*

(中国地质大学(北京), 北京 100083)

摘要:针对目前大洋钻探钻遇破碎带硬岩地层复杂情况,在总结国内外破碎带地层钻探施工中的主要技术难点与对策的基础上,结合现场施工中的实际情况,分析施工中经常遇到的破碎带地层特点,提出了应用化学凝胶技术解决破碎带地层井下复杂问题的新思路。提出了适用于不同地层温度的化学凝胶体系基本配方,通过正交试验设计,优选出了最佳体系配方,形成一套完善的适合深海钻探用高温树脂凝胶护壁作业规程。

关键词:破碎带地层;大洋钻探;化学凝胶;护壁堵漏;堵漏剂

中图分类号:P634.6 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2022)01-0064-08

Research and application of chemical gel wall protection and plugging technology in fractured zone formation drilling

PENG Boyi, YU Peizhi*

(China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: In view of hard rock drilling difficulties in fracture zones during ocean drilling, and with the summary of the main technical difficulties and solutions in drilling of the fracture zone formation at home and abroad, this paper analyzes the characteristics of the fracture zone formation often encountered in the construction with regard to field cases, and proposes a new idea of applying chemical gel technology to solve complicated problems in fractured zone formation. The basic formulation of the chemical gel system suitable for different formation temperatures has been developed. Through orthogonal experimental design, a complete operation procedure for high temperature resin gel wall protection has been formed for deep-sea drilling.

Key words: fracture zone formation; ocean drilling; chemical gel; wall protection technology; plugging agent

0 引言

随着我国社会经济快速发展,对油气资源的需求也与日俱增,仅靠陆地油气已不能满足国家日益增长的能源需求,深海能源勘探开发比重不断增大。一般来说,海洋科学钻探的地层最上层是沉积岩,下部的岩性依次为玄武岩、辉长岩和橄榄岩。大洋钻探面临的一大技术难题便是破碎地层孔壁不稳定问题,受各种条件限制,地质钻探中要很好

地解决破碎地层的孔壁不稳定问题十分困难^[1-2]。玄武岩破碎带地层相较普通地层有所不同,其地质条件与组成情况更为复杂。破碎带地层是由弱胶结,甚至无胶结的破碎体与结构面构成,如图1。深海油气资源开发的难度和风险大,作业环境恶劣,地层压力高,井底温度高,加大了深海钻探的挑战难度^[3-4]。除此之外,与钻井液相关的井塌、井漏、阻卡等井下复杂事故风险高、处理难;同时破碎带裂

收稿日期:2021-09-07; 修回日期:2022-01-04 DOI:10.12143/j.ztgc.2022.01.009

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“深海钻探技术与工程支撑(广州海洋地质调查局)”(编号:DD20190584)

第一作者:彭博一,男,布依族,1997年生,硕士在读,资源与环境专业,主要研究方向是钻井液技术及堵漏工艺,北京市海淀区学院路29号中国地质大学(北京)工程技术学院,520669660@qq.com。

通信作者:于培志,男,汉族,1962年生,教授,博士,从事钻井液及堵漏方面的研究工作,北京市海淀区学院路29号中国地质大学(北京)工程技术学院,yupz@cugb.edu.cn。

引用格式:彭博一,于培志.破碎带地层钻探化学凝胶护壁堵漏技术的研究与应用[J].钻探工程,2022,49(1):64-71.

PENG Boyi, YU Peizhi. Research and application of chemical gel wall protection and plugging technology in fractured zone formation drilling[J]. Drilling Engineering, 2022,49(1):64-71.

隙发育,极易发生漏失事故。破碎带钻进难、取心难、护壁难,成为钻井工程中的一大难题。常规破碎带护壁堵漏技术有桥塞、注水泥浆等,桥塞材料在破碎带往往难以稳定承压。



图1 破碎地层岩心

Fig.1 Cores from broken formation

通过研究深海钻探下硬岩破碎带的地质特点,开发破碎带护壁高温树脂凝胶体系,通过现场试验形成一套完善的深海钻探高温树脂凝胶护壁作业规程。

破碎带地层漏失层段较多且井段较长,承压能力较低,漏失通道对压力比较敏感。所以要求堵漏材料能有效地形成堵漏骨架,具有良好的承压作用;同时要有良好的韧性和胶结能力,提高孔壁稳定性;并且其成胶时间及密度可控。在当前的钻井工程实践中,化学凝胶堵漏技术的应用非常广泛,其作为一种国际前沿的堵漏技术,通过高聚物在界面上的静力、界面分子间作用力、化学键,使聚合物在表面处发生粘接。化学堵漏技术具有以下优点:堵漏浆液密度较低且可调;凝固时间调整范围大;堵漏浆滤失能力较强,滤失液体也会凝固;可堵塞微孔型漏层;堵漏后钻屑对泥浆性能无不良影响;强度适中,容易进入漏层,进入漏层后驻留性好等。而且化学堵漏方法具有较强的适应性,能够针对不同尺寸的井漏点进行高效封堵^[5]。

1 破碎带堵漏技术

1.1 常规堵漏技术

目前国内普遍采用的堵漏工艺有:

- (1)随钻堵漏技术。广泛用于渗透性漏失堵漏。
- (2)桥塞堵漏技术。广泛用于孔隙、微裂缝性漏失堵漏。
- (3)水泥堵漏技术。适用于裂缝性井漏堵漏,是利用水泥浆固结后封堵漏失通道的堵漏方法。

(4)聚合物堵漏技术。适用于裂缝性井漏堵漏。分子聚合物通过分子间相互作用自发地聚集形成超分子结构,或其它材料发生交联形成胶状交联物,进入漏层后通过增加漏失通道流动阻力而达到堵漏目的^[6-10]。

1.2 化学凝胶堵漏机理

化学凝胶堵漏材料进入漏层能逐渐充满裂缝、溶洞、孔隙等漏失空间,形成能隔断地层内部流体与井筒流体的“凝胶段塞”,能有效隔绝“油气水”,该段塞启动压力大于漏失时,自身可以达到堵漏的目的。配制堵漏剂时,以水和堵漏剂为连续相,化学交联剂和成胶剂为分散相,在搅拌或流动状态下,化学交联剂和成胶剂均匀地分散于连续相中,具有较好的流动性能。静止后,化学堵漏剂体系快速形成立体网状结构,具有很好的滞流作用,对封堵漏层极为有利。化学堵漏剂体系形成网状结构的过程中,大量无机活性剂与有机高分子量聚合物中的离子基团结合,充分充填网状结构空间,在一定时间内,无机活性物质相互间产生离子化学反应,形成较坚硬的骨架结构,增强了有机高分子交联体的整体强度^[11-13]。化学凝胶堵漏剂具有成胶时间可控、密度低、强度高特点;低密度可以使化学凝胶堵剂顺利的进入破碎带,通过施加一定压力使化学凝胶堵剂充满整个破碎带,当化学凝胶堵剂成胶后会整个破碎带胶结成为一个高强度的整体。

2 化学凝胶优选

破碎带地层漏失层段较多且井段较长,承压能力较低,漏失通道对压力比较敏感,要求堵漏材料必须满足以下几点要求:(1)具有较强的架桥封堵能力,能有效地形成堵漏骨架,具有良好的承压作用;(2)要有良好的韧性和胶结能力,提高孔壁稳定性;(3)成胶时间及密度可控。化学凝胶具有很好的流变性能,静止或低速流动状态下,能快速形成空间网状结构;稳定性好,对漏层的封堵长久有效;具有凝胶和桥接的双重功能,且成胶时间、密度等可控,承压能力和胶结能力可以满足上述要求。

钻井堵漏施工中,钻遇不同的漏失层,要求化学堵漏剂具有不同的初凝时间、终凝时间及凝胶强度。同时,为了施工的安全高效,化学堵漏剂应满足初凝时间相对较长,终凝时间越短越好并且具有足够的凝胶强度的施工原则。在钻遇某一漏失层时,

需掌握漏失层的地质条件和漏失环境,诸如深度和温度等,并预估化学堵漏剂的泵入时间,最后依据上述的堵漏原则优选出最佳的化学堵漏剂配比用于施工。根据现场施工需要,实验室中开展30℃和90℃的优选实验。

化学凝胶堵漏剂的主要材料为化学堵漏剂的4种组分(悬浮剂、交联剂、成胶剂和堵漏剂)以及用于提高体系的悬浮性的膨润土。悬浮剂主要是起到悬浮其它物质和调节密度的作用,成胶剂和堵漏剂反应形成化学凝胶的主要成分,交联剂使所有物质达到成胶时间时结合成为一个整体^[14-16]。

采用如表1所示的实验配方,讨论悬浮剂、交联剂、成胶剂、堵漏剂不同加量对化学凝胶堵漏剂的影响,根据现场需要开展室内试验优选最佳配方。

2.1 30℃配方优选

30℃化学凝胶正交实验如表2所示。

为了分析4个优化因子对化学堵漏剂的初凝时间、终凝时间及凝胶强度的影响程度,需对实验数据

表1 化学凝胶堵漏浆正交实验配方

Table 1 Orthogonal experiment formula for chemical gel plugging slurry

序号	悬浮剂 A/%	交联剂 B/%	成胶剂 C/%	堵漏剂 D/%	膨润 土/%
1	6	1.5	6	6	5
2	8	2	8	8	5
3	10	2.5	10	10	5
4	12	3	12	12	5

采用正交实验数据分析方法进行处理,使用极差分析法,此实验的偏差越小越好,把在每个水平上的重复试验的各指标数据加起来,即对各水平的好几次重复试验的指标求和,称作指标和 K_i ,再取水平响应指标求和平均值,称作指标平均值 \bar{K} ,使用极差 R 来描述因子在试验中地位主次, $R = K_{\max} - K_{\min}$,极差越大,因素对性能的影响越严重。处理结果如表3~5所示。

表2 30℃化学凝胶正交实验

Table 2 Orthogonal experiment of chemical gels at 30℃

编号	悬浮剂A/%	交联剂B/%	成胶剂C/%	堵漏剂D/%	膨润土/%	初凝时间/min	终凝时间/h	凝胶强度/mm
1	6	1.5	6	6	5	120	18	68
2	6	2.0	8	8	5	115	18	68
3	6	2.5	10	10	5	105	16	63
4	6	3.0	12	12	5	80	14	43
5	8	1.5	8	10	5	90	15	62
6	8	2.0	6	12	5	85	14	65
7	8	2.5	12	6	5	65	12	64
8	8	3.0	10	8	5	100	15	55
9	10	1.5	10	12	5	100	15	50
10	10	2.0	12	10	5	90	14	48
11	10	2.5	6	8	5	115	16	68
12	10	3.0	8	6	5	90	15	68
13	12	1.5	12	8	5	80	14	55
14	12	2.0	10	6	5	80	15	60
15	12	2.5	8	12	5	75	14	60
16	12	3.0	6	10	5	65	14	64

注:用维卡仪测量针入度,间接反映实验试样的强度

由表中极差值的大小,得出因素对化学堵漏剂初凝时间、终凝时间及凝胶强度影响的主次关系如下(主→次):

初凝时间:ACDB;
终凝时间:ACDB;
凝胶强度:CDBA。

表3 30℃化学堵漏剂初凝时间实验数据处理结果

Table 3 Experimental data processing results of initial setting time of the chemical plugging agent at 30℃

因素	K1	K2	K3	K4	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	R
悬浮剂A	420	340	395	300	105.00	85.00	98.00	75.00	30.00
交联剂B	390	370	360	335	97.50	92.50	90.00	83.75	13.75
成胶剂C	385	370	350	315	96.25	92.50	87.50	78.75	17.50
堵漏剂D	355	410	350	340	88.75	102.50	87.50	85.00	17.50

表4 30℃化学堵漏剂终凝时间实验数据处理结果

Table 4 Experimental data processing results of final setting time of the chemical plugging agent at 30℃

因素	K1	K2	K3	K4	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	R
悬浮剂A	66	56	60	57	16.50	14.00	15.00	14.25	2.50
交联剂B	62	61	58	58	15.50	15.25	14.50	14.50	1.00
成胶剂C	62	62	61	54	15.50	15.50	15.25	13.50	2.00
堵漏剂D	60	63	59	57	15.00	15.75	14.75	14.25	1.50

表5 30℃化学堵漏剂凝胶强度实验数据处理结果

Table 5 Experimental data processing results of gel strength test for the chemical plugging agents at 30℃

因素	K1	K2	K3	K4	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	R
悬浮剂A	242	246	234	239	60.50	61.50	58.50	59.75	3.00
交联剂B	235	241	255	230	58.75	60.25	63.75	57.50	6.25
成胶剂C	265	258	228	210	66.25	64.50	57.00	52.50	13.75
堵漏剂D	260	246	237	218	65.00	61.50	59.25	54.50	10.50

根据初凝时间越长越好、终凝时间越短越好以及凝胶强度越高越好的原则,结合极差R的大小,可以得出以下最佳因素条件的选择结果:

就有利于延长初凝时间的因素而言,选择:A1C1D2B1;

就有利于缩短终凝时间的因素而言,选择:A2C4D4B3;

就有利于提高凝胶强度的因素而言,选择:C4D4B4A3。

将以上4种因素根据实际重点因素统筹考虑后,化学堵漏剂最佳配比条件确定为:A3B2C4D3,即:10%悬浮剂+2%交联剂+12%成胶剂+10%堵漏剂。

在小井眼段钻进遇井漏情况时,利用化学凝胶堵漏可阻水隔气效果,保护后续堵漏段塞完整性。化学堵漏剂各组分对其凝胶时间都有影响,但悬浮剂对初凝时间和终凝时间的影响程度最大,其次为成胶剂、堵漏剂和交联剂。在施工中,30℃的条件下可参考以上实验数据选定化学堵漏剂配比,若施

工环境的差异要求对化学堵漏剂的凝胶时间做出小幅度的调整,则应该保持悬浮剂的加量一定,只需要调整成胶剂或堵漏剂的加量。

2.2 90℃配方优选

由于地层埋置越深温度越高,要求防漏堵漏技术应该具有足够的抗高温能力。为了分析化学凝胶在高温漏失层中的堵漏能力,在实验室中设计高温条件下的正交实验。实验中将配制好的化学堵漏剂浆倒入小老化罐中,并将老化罐放置在90℃的静态滚子炉中加热。由于温度较高,设计的加热时间为12h,试样强度的测量用维卡仪替代,以针入度的大小来间接反映化学堵漏剂的凝胶强度。90℃化学凝胶正交实验如表6所示。

为了分析4个优化因子对化学堵漏剂的初凝时间、凝胶强度的影响程度,需对实验数据进一步的处理,使用极差分析法,处理结果如表7~表9。

由表中极差值的大小,得出因素对化学堵漏剂初凝时间、终凝时间及凝胶强度影响的主次关系如下(主→次):

表6 90℃化学凝胶正交实验

Table 6 Orthogonal experiment of chemical gels at 90℃

编号	悬浮剂 A/%	交联剂 B/%	成胶剂 C/%	堵漏剂 D/%	膨润土 E/%	初凝时间/min	5 h强度/mm	12 h强度/mm
1	6	1.5	6	6	5	42	57	52
2	6	2.0	8	8	5	40	56	52
3	6	2.5	10	10	5	37	38	37
4	6	3.0	12	12	5	30	40	40
5	8	1.5	8	10	5	27	46	36
6	8	2.0	6	12	5	35	56	44
7	8	2.5	12	6	5	29	56	49
8	8	3.0	10	8	5	25	45	42
9	10	1.5	10	12	5	35	42	33
10	10	2.0	12	10	5	21	37	31
11	10	2.5	6	8	5	28	54	43
12	10	3.0	8	6	5	32	50	40
13	12	1.5	12	8	5	20	34	32
14	12	2.0	10	6	5	15	32	22
15	12	2.5	8	12	5	15	40	35
16	12	3.0	6	10	5	35	50	43

表7 90℃化学堵漏剂初凝时间实验数据处理结果

Table 7 Experimental data processing results of initial setting time of the chemical plugging agent at 90℃

因素	K1	K2	K3	K4	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	R
悬浮剂 A	149	116	116	85	37.25	29.00	29.00	21.25	16.00
交联剂 B	124	111	109	122	31.00	27.75	27.25	30.50	3.75
成胶剂 C	140	114	112	100	35.00	28.50	28.00	25.00	10.00
堵漏剂 D	118	113	120	115	29.50	28.25	30.00	28.75	1.75

表8 90℃化学堵漏剂5h强度实验数据处理结果

Table 8 Experimental data processing results of 5h strength test of the chemical plugging agent at 90℃

因素	K1	K2	K3	K4	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	R
悬浮剂 A	191	203	183	156	47.75	50.75	45.75	39.00	11.75
交联剂 B	179	181	188	185	44.75	45.25	47.00	46.25	2.25
成胶剂 C	217	192	157	167	54.25	48.00	39.25	41.75	15.00
堵漏剂 D	195	189	171	178	48.75	47.25	42.75	44.50	6.00

表9 90℃化学堵漏剂12h强度实验数据处理结果

Table 9 Experimental data processing results of 12h strength test of the chemical plugging agent at 90℃

因素	K1	K2	K3	K4	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	R
悬浮剂 A	181	171	147	132	45.25	42.75	36.75	33.00	12.25
交联剂 B	153	149	164	165	38.25	37.25	41.00	41.25	4.00
成胶剂 C	182	163	134	152	45.50	40.75	33.50	38.00	12.00
堵漏剂 D	163	169	147	152	40.75	42.25	36.75	38.00	5.50

初凝时间:ACBD;

5 h强度:CADB;

12 h强度:ACDB。

根据初凝时间越长越好、终凝时间越短越好以及凝胶强度越高越好的原则,结合极差 R 的大小,可以得出以下最佳因素条件的选择结果:

就有利于延长初凝时间的因素而言,选择:A1C1B1D3;

就有利于提高5 h后强度的因素而言,选择:C3A4D3B1;

就有利于提高12 h后强度的因素而言,选择:A4C3D3B2。

将以上4种因素根据实际重点因素统筹考虑后,化学堵漏剂最佳配比条件确定为:A3B1C3D4,即:10%悬浮剂+1.5%交联剂+10%成胶剂+12%堵漏剂。在钻井堵漏施工中,要求化学堵漏剂满足初凝时间越长越好而终凝时间越短越好的堵漏施工原则。

2.3 化学凝胶各组分对成胶时间的影响

正交实验表明,30℃时化学堵漏剂各组分对其凝胶时间都有影响,但影响程度不同。在钻井堵漏施工中,面对不同的地质条件和漏失环境,经常需要通过改变某一组分的加量小幅度调整化学堵漏剂的凝胶时间。因此,必须准确地分析化学堵漏剂各组分对其凝胶时间的影响。利用控制变量法的思路设计实验,基础试样采用化学堵漏剂配方:12%悬浮剂+3%交联剂+12%成胶剂+12%堵漏剂+5%膨润土。研究成胶剂对化学堵漏剂体系凝胶时间的影响时,实验中确保其它组分加量与基础试样相同的情况下,将成胶剂的加量提高3%后配制化学堵漏剂,然后将其放置在30℃的恒温水浴中观察凝胶时间。研究堵漏剂对化学堵漏剂体系凝胶时间的影响时,以前面的实验配方为基础,只将堵漏剂的加量减少至10%配制化学堵漏剂,然后将试样放置在30℃的恒温水浴中观察凝胶时间,实验配方及数据如表10所示。

表10 30℃时化学堵漏剂组分对凝胶时间的影响

Table 10 Effect of chemical plugging agent composition on gelation time at 30℃

编号	悬浮剂/%	交联剂/%	成胶剂/%	堵漏剂/%	膨润土/%	初凝时间/min	终凝时间/h	凝胶强度/mm
1	12	3.0	12	12	5	55	11	44
2	12	3.0	15	12	5	50	9	45
3	12	3.0	15	10	5	72	13	50

上述实验数据表明,在悬浮剂、交联剂、堵漏剂及膨润土加量相同的情况下,成胶剂的加量提高3%后,初凝时间缩短5 min,终凝时间缩短2 h,而终凝试样的针入度基本保持不变。当悬浮剂、交联剂、成胶剂及膨润土的加量一定时,堵漏剂的加量减少至10%后,化学堵漏剂试样的初凝时间延长22 min,终凝时间延长了4 h,终凝试样的针入度增加5

mm。

为了进一步研究高温条件下化学堵漏剂各组分对其凝胶时间的影响,将实验温度提高至90℃,其它条件(实验配方、成胶剂和堵漏剂的变化量)与30℃时的实验完全相同,将化学堵漏剂试样放置在90℃的滚子炉中加热12 h,各组试样配方、初凝时间和12 h针入度如表11所示。

表11 90℃化学堵漏剂组分对凝胶时间的影响

Table 11 Effect of chemical plugging agent composition on gelation time at 90℃

编号	悬浮剂/%	交联剂/%	成胶剂/%	堵漏剂/%	膨润土/%	初凝时间/min	12 h强度/mm
1	12	3.0	12	12	5	25	36
2	12	3.0	15	12	5	18	33
3	12	3.0	15	10	5	35	40

实验数据表明,90℃时确保化学堵漏剂其它组分不变的情况下,提高成胶剂的含量至15%,实验

试样的初凝时间缩短7 min,针入度减小3 mm;当悬浮剂、交联剂、成胶剂及膨润土的含量一定时,堵漏

剂的含量减少2%，试样的初凝时间延长7 min，针入度增加7 mm。凝胶时间和凝胶强度的变化趋势与30℃时完全一致。

通过2组不同温度的实验，说明无论温度高低，在保证其它组分配比不变的情况下，成胶剂的含量增加将小幅度地缩短成胶时间，减少堵漏剂的含量将延长成胶时间，但凝胶强度会有小范围的降低。因此，本实验的结论为小范围调整化学堵漏剂成胶时间提供了可靠的实验依据。

3 破碎带地层现场应用实例

3.1 山东青岛山旺-上马台矿区

山东青岛山旺-上马台矿区井底温度35℃，有局部破碎带发育。在28ZK6孔钻进过程中，下钻至240~270 m产生恶性漏失造成无泥浆返，对正常施工造成了不利影响，应用随钻堵漏等常规堵漏技术均无效果，于是采用自主研发的化学凝胶进行护壁堵漏，室内实验优选配方为：10%悬浮剂+2%交联剂+12%成胶剂+10%堵漏剂。最后结合实际施工特点进行现场配方调整，即在现场堵漏浆按次序分别加入8%膨润土、10%悬浮剂、12%成胶剂、10%堵漏剂、2%交联剂、5%增强剂进行配浆，钻进过程在穿过破碎带地层之后进行化学凝胶堵漏，候凝48 h之后下钻扫孔，堵漏材料强度满足要求，堵漏效果良好。正常钻进施工时，返浆量达到80%以上，堵漏成功。所用堵漏浆堵漏效果良好，能较好地满足施工需求。

3.2 东胜气田TPH-399井

JPH-399井位于内蒙古自治区鄂尔多斯市杭锦旗，处井漏高发地区。漏失的成因机理主要是断层、破碎区带、纵横向天然微裂缝、层理发育、岩性胶结性差、结构力薄弱条件所致。地层破碎，微裂缝发育，能够安全钻进的泥浆密度窗口小，对当量钻井液密度的变化比较敏感。针对杭锦旗工区JPH-399井地层破碎，目标段2476~2654 m，微裂缝发育的特点，配制化学凝胶堵漏。配方为：25 m³水+5%膨润土+10%悬浮剂+10%成胶剂+12%堵漏剂+1.5%交联剂+5%增强剂。现场的材料在80~90℃的成胶效果与实验室样品成胶效果一致，用桥堵浆作为前置液，增加凝胶的滞留性，阻止凝胶在漏层内全部漏失，提高了凝胶堵漏的成功率。

4 结论

总结破碎带地层施工护壁堵漏主要难题，并对化学凝胶技术加以研究，利用化学凝胶解决破碎带地层井下复杂问题，通过现场试验形成一套完善的化学凝胶护壁作业规程。

(1)化学凝胶堵漏剂具有利于注入、密度可调、稠化时间可调、适中抗压强度和抗污染性好等特点，既能封堵渗透性漏失，又能提高裂缝型和溶洞型漏失地层的承压能力，对地层裂缝性漏失的解决以及提高地层承压能力的堵漏施工有极大帮助。

(2)化学凝胶是一种有机胶凝材料与无机胶凝材料相结合的一种复合型化学堵漏材料。此类凝胶体系密度可控，流变性良好。在一定条件下可以有效交联成胶为块状固体，承压强度高，可有效封堵地层。在小井眼段钻进遇井漏情况时，利用化学凝胶堵漏可阻水隔气，保护后续堵漏段塞完整性。现场的应用加上室内试验的不断优化，研制的化学凝胶堵漏剂技术已经非常成熟。通过正交试验设计，优选出了不同温度状态下的化学凝胶配方。30℃环境下配方为：10%悬浮剂+2%交联剂+12%成胶剂+10%堵漏剂。90℃环境下配方为：10%悬浮剂+1.5%交联剂+10%成胶剂+12%堵漏剂。研究发现，化学凝胶各组分中成胶剂和堵漏剂会影响凝胶的成胶时间，增加成胶剂和堵漏剂和缩短成胶时间。

(3)室内研究与现场应用结果表明：将化学凝胶技术应用于破碎带地层中，能有效防止井下复杂情况的发生，提高钻井施工效率，保证井下安全。

参考文献(References):

- [1] 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):30-32,64.
HU Jiliang, TAO Shixian, JI Weijun. Discussion of borehole wall stability technology in broken formation and the practice [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011, 38(9): 30-32, 64.
- [2] 王方博.川西海相破碎地层防塌钻井液技术研究及应用[J].钻探工程,2021,48(9):54-63.
WANG Fangbo. Application of anti-collapse drilling fluid technology in marine broken formation in western Sichuan[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(9): 54-63.
- [3] 叶建良,张伟,谢文卫.我国实施大洋钻探工程的初步设想[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(2):1-8.
YE Jiangliang, ZHANG Wei, XIE Wenwei. Preliminary

- thoughts on implementation of the ocean drilling project in China [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2019, 46(2):1-8.
- [4] 汪品先. 大洋钻探与中国的海洋地质[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2019, 39(1):7-14.
WANG Pinxian. Ocean drilling and marine geology in China[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2019, 39(1):7-14.
- [5] 朱成焱. 钻井工程中井漏预防及堵漏技术探析[J]. *西部探矿工程*, 2020, 32(7):56-57.
ZHU Chengyan. Analysis of drilling circulation loss prevention and plugging technology [J]. *West-China Exploration Engineering*, 2020, 32(7):56-57.
- [6] 盛利. 严重漏失破碎带地层钻孔综合施工方法及效果研究[J]. *世界有色金属*, 2018(20):266-267.
SHENG Li. Study on comprehensive construction method and effect of borehole in serious leaky fractured formation[J]. *World Nonferrous Metals*, 2018(20):266-267.
- [7] 周哲文. 凝胶堵漏工艺技术研究与应[J]. *化工管理*, 2019(19):209-210.
ZHOU Zhewen. Research and application of gel plugging technology[J]. *Chemical Enterprise Management*, 2019(19):209-210.
- [8] 黄涛. 钻探施工中堵漏材料堵漏技术的分析研究[J]. *科技信息*, 2013(16):352, 346.
HUANG Tao. Analysis of lost circulation materials and plugging technology for drilling work[J]. *Science & Technology Information*, 2013(16):352, 346.
- [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(1):82-84, 94, 103.
NIE Xun Yong, WANG Pingquan, ZHANG Xinmin. Progresses in gelling polymer sealing technology research[J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2007(1):82-84, 94, 103.
- [10] 王广财, 王丰年, 张军, 等. 凝胶复合防漏堵漏技术在火焰山腹地表层的应用[J]. *钻井液与完井液*, 2017, 34(3):49-53.
WANG Guangcai, WANG Fengnian, ZHANG Jun, et al. Application of a composite gel lost circulation material in the top section of wells drilled in the central region of the mountain of fire [J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2017, 34(3):49-53.
- [11] 曹建坤, 杨生柱, 张宏强. 底水油藏堵水技术研究[J]. *石油勘探与开发*, 2002(5):80-81, 88.
CAO Jiankun, YANG Shengzhu, ZHANG Hongqiang, et al. A research for water shutoff in the bottom water reservoir[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2002(5):80-81, 88.
- [12] 张希文, 李爽, 张洁, 等. 钻井液堵漏材料及防漏堵漏技术研究进展[J]. *钻井液与完井液*, 2009, 26(6):74-76, 79, 97.
ZHANG Xiwen, LI Shuang, ZHANG Jie, et al. Research progress on lost circulation materials and lost circulation control technology [J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2009, 26(6):74-76, 79, 97.
- [13] 程仲, 熊继有, 程昆. 随钻防漏堵漏技术机理的探讨[J]. *钻采工艺*, 2008(1):36-39, 151.
CHENG Zhong, XIONG Jiyong, CHENG Kun. Mechanism analysis about the technology of leak protection and sealing with drilling [J]. *Drilling & Production Technology*, 2008(1):36-39, 151.
- [14] 唐国旺, 于培志. 化学凝胶堵剂的研究与应用[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2017, 44(S1):118-121.
TANG Guowang, YU Peizhi. Analysis and application of chemical gel plugging agent[J]. *Exploration Engineering (Rock and Soil Drilling and Tunneling Engineering)*, 2017, 44(S1):118-121.
- [15] 邵宁, 赵宇光, 于培志. 化学凝胶堵漏技术的研究与应用[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会. 第二十届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流年会论文集. 北京:地质出版社, 2019:259-264.
SHAO Ning, ZHAO Yuguang, YU Peizhi. Research and application of chemical gel plugging technology[C]//The Mineral Exploration Engineering Committee of the Geological Society of China. Proceedings of the 20th National Annual Academic Exchange Conference on Mineral Exploration Engineering (Rock and Soil Drilling and Tunneling Engineering). Beijing: Geological Publishing House, 2019:259-264.
- [16] 郭新健, 于培志. 抗高温化学凝胶堵漏技术在顺北52X井的应用[J]. *钻井液与完井液*, 2019, 36(2):189-193.
GUO Xinjian, YU Peizhi. Controlling mud losses in well shunbei 52X with high temperature chemical gels[J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2019, 36(2):189-193.

(编辑 李艺)