

# CY-1 无渗透钻井液处理剂的室内试验研究

李家芬 苏长明 于培志 崔迎春

(中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院, 北京 100083)

**摘 要:** 为解决钻井过程中经常遇到的压差卡钻、钻井液漏失、井壁垮塌及地层严重损害等问题, 保证安全、快速钻进的同时, 节约钻井成本, 提高油气产量, 人们研究开发了一种提高地层承压能力的新型钻井液体系, 其中零滤失井眼稳定剂和防漏堵漏零滤失井眼稳定剂是其两个关键处理剂。研制了一种提高地层承压能力的 CY-1 无渗透处理剂, 并对其性能进行了室内试验研究及评价, 结果表明, CY-1 处理剂与国内外同类产品相比, 能快速形成封堵膜, 降低钻井液的滤失量, 提高砂床和砂岩的承压能力, 而且成本较低, 效益显著。

**关键词:** 无渗透钻井液; 钻井液添加剂; 钻井液滤失量; 实验室试验

**中图分类号:** TE254+.4 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-0890 (2006) 01-0032-04

## 1 概 述

随着油气勘探开发的不断深入, 钻遇地层越来越复杂, 如压力衰竭地层、裂缝发育地层、破碎或弱胶结性地层、低渗透储层、深井长裸眼大段复杂泥页岩和多套压力层系地层等, 压差卡钻、钻井液漏失和井壁垮塌等井下复杂情况及事故以及地层损害问题非常突出。尤其是随着油田进入开发后期, 由于长期高压注水和局部注采不平衡, 在一个井筒纵向上形成了层间温度和压力各异的多压力层系剖面, 在钻井和固井过程中, 易发生钻井液和固井液的漏失, 即使完成了固井作业, 高低压储层间也有可能发生气(水)窜。为此, 国内外从 20 世纪 60 年代前后就开始研究应用提高钻井过程中井壁承压能力的堵漏材料。对于孔隙、裂缝或溶洞地层引起的严重漏失, 采用纤维状填充剂、块状填料以及颗粒状材料(如草、锯末、谷壳、石块、核桃壳等)进行桥塞堵漏, 在井壁上可以快速形成屏蔽层, 从而封堵孔隙和裂缝, 提高地层承压能力, 保证正常钻进。这称之为物理法提高地层承压能力。

美国在 20 世纪 70 年代首先以柴油、膨润土和水泥作为堵漏材料进行堵漏作业, 并取得了成功, 80 年代又研究成功了稠化堵漏工艺, 即在高剪切速率作用下将油包水型堵剂破乳, 经化学反应形成凝胶, 达到堵漏的目的。我国在 80 年代的中后期, 开发出了一批处理各种类型井漏的有机或无机堵剂, 如以触变水泥、膨胀水泥及快干水泥为主的无机凝胶堵剂; 以聚合物为主的凝胶类、树脂类和膨胀类有机堵剂。应用化学堵剂处理钻井过程中各种井漏的方法称之为化

学法提高地层承压能力。

物理方法提高地层的承压能力, 具有施工简单、见效快且形成的屏蔽层易于清除等特点, 但其承压能力较低; 化学方法提高地层的承压能力, 具有地层承压能力强且持久的特点, 但配制工艺复杂, 施工时间较长, 成本高。这两种方法在不同程度上提高了地层的承压能力, 但也有一定的局限性, 如在进入漏层前需要停钻进行堵漏, 从而延长了作业时间, 增加了钻井成本, 尤其是形成的堵漏屏蔽层对后续完井作业和投产作业造成困难, 导致难于发现油层、降低原油产量等。为此, 国内外研制开发了一种提高井壁承压能力的无渗透(超低渗透)钻井液体系, 主要工作原理为: 先利用惰性材料在地层孔隙或裂缝形成桥塞; 再利用特殊聚合物处理剂, 在井壁岩石表面聚集形成胶束, 依靠聚合物胶束或胶粒界面吸力及其可变形性, 封堵岩石表面较大范围的孔喉, 在井壁岩石表面形成致密无渗透封堵膜, 有效封堵不同渗透性地层和微裂缝泥页岩地层, 将钻井液及其滤液与地层完全隔离, 使其不会渗透到地层中, 从而提高井壁的承压能力。

该钻井液的主要作用效果为:

- 1) 保证了钻井过程中疏松砂层、高低压互层、高含水、易塌易漏等复杂地层的稳定, 同时解决了上述复杂地层的固井质量差及油井寿命短的难题。
- 2) 可以节省油层套管; 减少钻井液处理剂的用

收稿日期: 2005-06-28

作者简介: 李家芬 (1960—), 女, 1983 年毕业于抚顺石油学院应用化学专业, 高级工程师。

联系电话: (010) 82312325

量,如井壁稳定剂、降滤失剂等;缩短处理井下复杂情况及事故的时间;提高钻井和固井质量,降低钻井综合成本。

3) 当钻井液渗入表面微裂缝或孔喉形成很薄的滤饼时,就会使地层的破裂压力升至 30 MPa。

4) 不仅具有传统钻井液的优良性能,还拥有传统钻井液所不具备的优越性能:a. 具有很低的动滤失性能;b. 可封闭页岩裂缝和孔隙以及钻井液滤饼的不可渗透性;c. 钻井液的滤失量不是时间平方根的函数。

5) 通过酸溶测试,无渗透钻井液滤饼 98%~99%可清除,压力反转可自动脱落,渗透率恢复率大于 95%,有利于保护油气层。

零滤失井眼稳定剂和防漏堵漏零滤失井眼稳定剂是无渗透钻井液完井液的两个关键处理剂。笔者在室内进行了大量的研究工作,研制了一种提高地层承压能力的 CY-1 无渗透钻井液处理剂。室内试验结果表明,该处理剂能快速形成封堵膜,降低钻井液的滤失量,提高砂床和砂岩的承压能力,使用效果较好,成本较低,效益显著。

## 2 CY-1 处理剂的研制与性能评价方法

### 2.1 CY-1 处理剂的组成

CY-1 处理剂主要由惰性材料、高分子材料和活性物质组成。

1) 惰性材料。CY-1 处理剂的主要原材料是利用废弃植物制得的高强度植物纤维,其纤维粗且长,韧性大。该产品原料来源广泛、价格低廉,制备工艺简单易行,便于推广应用。

2) 高分子材料。为了进一步增强 CY-1 处理剂在短时间内的物理作用效果,笔者在室内筛选了一种具有不影响钻井液流变性能、并在一定时间内可以膨胀的高分子材料。它在桥塞的基础上,吸附在地层孔隙和惰性材料所形成的缝隙中并膨胀,从而增强屏蔽层的致密性,提高地层承压能力。

3) 活性物质。选用了在 1 400~1 600 ℃ 温度下熔融并经过大量水的急冷而得到的活性物质。通过试验研究发现,该活性物质的粒径越小其胶结强度越高,粒径小于 5 μm 时,效果最好。但是,要把该活性物质研磨到粒径小于 5 μm 不但耗时很大,加工成本很高,而且也很难使颗粒大小完全一样。在研究中还发现,当活性物质中小于 5 μm 的超细颗粒质量分数大于 30% 时,泥饼与地层以及泥饼与水泥之间的胶结强度最大,并且对钻井液和水泥浆的流变性能均没有影响,即使加量达到钻井液总量的 20% 以上,

这种变化也很微小。

### 2.2 性能评价方法

#### 2.2.1 滤失量测量

常规钻井液滤失量测量方法采用滤纸作为隔离介质,但由于滤纸是均质的,而地层是非均质的,因此不能准确反映地层的实际情况。为此,在测定无渗透钻井液的滤失量或滤液进入岩心的深度时,人们采用了砂床滤失仪,其结构与常规滤失仪相似,主要的区别是采用砂床代替滤纸作为隔离介质(如图 1 所示)。该滤失量测试方法不同于 API 滤失量测试方法,其滤失量与砂粒的粒度成正比关系,即砂粒粒度越小,滤失量越小。每次试验一般选用 0.6~0.9 mm 的砂子 200 g,钻井液用量为 200 mL。利用低压低温 API 设备进行钻井液滤失量测试试验,观测其滤失量情况。通常泥饼的滤失量是时间平方根的函数,而渗透率则不是时间平方根的函数。这对井下情况的判断提出了一个新的理念。其试验装置及试验过程见图 1。

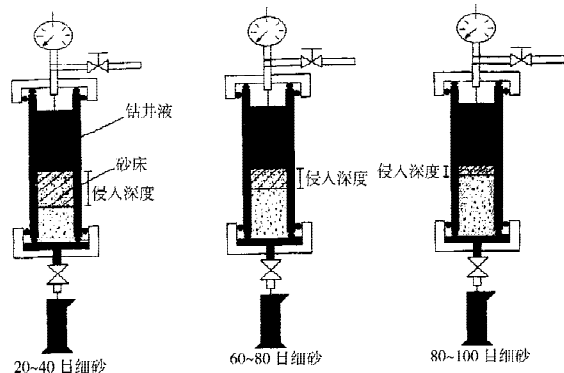


图 1 砂床滤失仪基本结构及滤失量测试过程

#### 2.2.2 岩心损害程度评价

图 2 为由静态岩心流动试验装置改装而成的岩心滤失量测试装置,把岩心夹持器换成高温高压岩心夹持器,增加钻井液冷却及接收装置。把岩心装入高温高压岩心夹持器中,加热至需要温度,把配制好的钻井液加入钻井液杯中,开冷凝器,手压泵加压至

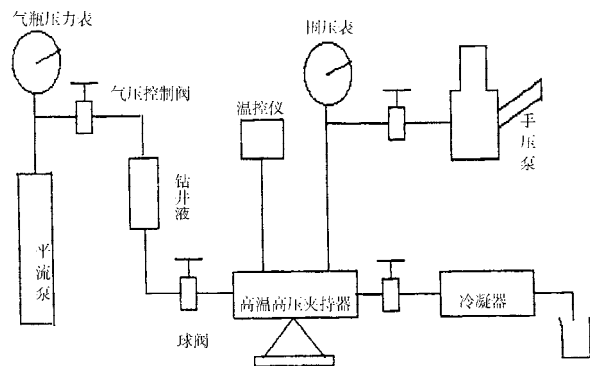


图 2 岩心滤失量测试装置

4.2 MPa,开平流泵加压至0.7 MPa,读取接液杯中的滤失量。如果滤失量为0,待高温高压岩心夹持器冷却后,取下岩心,量取滤液进入岩心的深度。

将做过滤失量试验的岩心,在岩心夹持器中继续加压,直到压力稳定。根据压力、时间、滤液粘度、滤失量等计算此时的岩心渗透率,反向驱替后,测量岩心污染后的渗透率,并计算渗透率恢复率。取出岩心将被污染的端面部分切掉,记录被切掉岩心的长度,重新测试岩心的渗透率,若此刻的渗透率与开始测得的渗透率基本相同,则被切掉岩心的长度为污染深度。

### 2.2.3 承压能力评价

1) 砂床承压能力评价。砂床承压能力评价使用图1所示仪器,向测完滤失量的罐中加入钻井液,继续加压,直到压穿为止,记录最大的施加压力,即为该砂床的承压能力。

2) 岩心承压能力评价。岩心承压能力评价使用如图2所示仪器,把测试完岩心滤失量后的岩心取下,轻轻刮下岩心表面的滤饼,重新装入岩心夹持器中,把钻井液杯中的钻井液换成清水,加压,开启平流泵,逐渐加压直至有液滴流入滤液接收杯,此时平流泵压力即为岩心的承压能力。

## 3 室内评价试验

### 3.1 钻井液性能影响试验

在钻井液中加入提高地层承压能力的无渗透处理剂,原则上不影响钻井液流变性及滤失造壁性,其作用效果仅在封堵地层的孔隙和裂缝中显现出来,笔者对加入CY-1无滤透钻井液前后钻井液性能进行了室内试验评价,并与美国得威公司生产的FLC2000、LCP2000以及国产的1#和2#样品进行了对比。试验选用两种钻井液体系,一种为室内配制,配方为3%钠膨润土+0.3%CMC(中粘);另一种为中原油田现场钻井液,高温高压(HTHP)滤失量在120℃、3.5 MPa下测得,试验结果见表1。

由表1可见,FLC2000、LCP2000无渗透钻井液处理剂和国产1#和2#超低渗透钻井液处理剂对基浆的流变性均有不同程度的影响,但CY-1对基浆的流变性影响很小。5种处理剂都不同程度地降低了基浆API和HTHP滤失量,这说明它们可以改善泥饼的质量,降低泥饼的渗透性。

### 3.2 砂床滤失试验

#### 3.2.1 基浆试验分析

在高温高压滤失仪中加入100 g粒径0.45~0.90 mm经清水洗净烘干后冷却的砂子,用水浸湿后铺平,慢慢

表 1 对钻井液性能影响

试验液	表观粘度	塑性粘度	动切力/	API 滤失	HTHP 滤
	/mPa·s	/mPa·s	Pa	量/mL	失量/mL
基浆	15	10	5.0	16	28
基浆+1%国产 1#	21	16	5.0	12	26
基浆+1%国产 2#	20	14	4.5	12	15
基浆+1%FLC2000	20	15	4.0	11	25
基浆+1%LCP2000	16	12	4.5	13	20
基浆+1%CY-1	15	10	5.0	12	18
基浆+2%国产 1#	36	28	8.0	10	23
基浆+2%国产 2#	35	22	13.0	8	12
基浆+2%FLC2000	36	29	7.0	10	20
基浆+2%LCP2000	25	18	7.0	12	13
基浆+2% CY-1	15	11	4.0	10	21
基浆+4% CY-1	18	13	5.0	9	16

加入400 mL基浆,逐渐加压至3.5 MPa,在常温下分别测试滤失量及钻井液形成的封堵膜进入砂床的厚度。试验结果见表2。

表 2 砂床滤失量及封堵膜厚度

试验液	压力/MPa	时间/min	漏失量/mL	封堵膜厚度/cm
基浆	1.0	0.25	全失	—
基浆+1%FLC2000	3.5	30.00	53.5	0.8
基浆+1%国产 1#	3.5	30.00	98.5	1.0
基浆+1%CY-1	3.5	30.00	38.4	0.4
基浆+2%FLC2000	3.5	30.00	40.2	0.6
基浆+2%国产 1#	3.5	30.00	78.0	0.6
基浆+2% CY-1	3.5	30.00	36.8	0.4

试验结果表明,加入国产1#、FLC2000和CY-1三种处理剂的基浆能形成封堵膜,膜的厚度小于1 cm,另外,用砂床测试的滤失量与用滤纸测试的滤失量没有对应关系,通常用滤纸测试的滤失量是时间平方根的函数,而用砂床测试的滤失量不再是时间平方根的函数,并且滤失量与渗透膜的厚度也没有对应关系。

#### 3.2.2 井浆试验分析

在现场井浆中分别加入FLC2000和CY-1处理剂,测定其常规性能参数,并用砂床滤失仪测量其滤失量及进入砂床的厚度,试验结果见表3和表4。

表 3 井浆常规性能参数

试验液	Ø600	Ø300	Ø200	Ø100	Ø6	Ø3	API 滤失量/mL
井浆	56	36	29	19	3	2	3.2
井浆+2%CY-1	40	25	19	12	2	1	3.2
井浆+2%FLC2000	86	56	43	28	6	4	3.0

试验结果表明,CY-1处理剂对井浆性能的影响比FLC2000要小得多,加入2%的无渗透处理剂可以改善井浆的流变性能。

表 4 砂床滤失量及滤液浸入深度

试验液	压力/MPa	时间/min	漏失量/mL	封堵膜厚度/cm
井浆	2.0	1	全失	—
井浆+2%CY-1	3.5	30	36.8	0.3
井浆+2%FLC2000	3.5	30	77.0	0.6

3.3 承压强度试验

向做完砂床滤失量的高温高压钻井液罐中加压，测定封堵膜被压裂有钻井液漏失时的压力，由于试验条件所限，试验压力只能加到10.5 MPa。同时笔者还利用天然岩心（渗透率200 μm<sup>2</sup>、孔隙度 18%）进行了承压能力试验，结果见表 5。

表 5 砂床及岩心的承压能力

试验液	砂床承压能力/MPa	岩心承压能力/MPa
基浆	0	3.5
基浆+1%国产 1#	9.8	14.8
基浆+1% FLC2000	10.1	15.6
基浆+1% CY-1	10.3	16.2
基浆+2% 国产 1#	10.2	21.0
基浆+2% FLC2000	10.3	22.0
基浆+2% CY-1	10.3	28.0
井浆	0	4.3
井浆+1%国产 1#	10.2	15.2
井浆+1% FLC2000	10.3	16.3
井浆+1% CY-1	10.3	18.0

试验结果表明：基浆及井浆在砂床中的承压能力

为零，但加入 1%无渗透处理剂后，砂床的承压能力由 0 提高到大于10.0 MPa（由于试验条件所限，试验压力只能做到10.5 MPa,如果条件许可，有望进一步提高承压强度）；基浆及井浆在岩心中形成泥饼的承压强度约3~4 MPa,而加入 2%无渗透处理剂后的岩心承压强度提高到15~28 MPa;加入不同类型的无渗透处理剂形成的封堵膜强度不同，国产 1# 和 FLC2000 均可以提高砂床及岩心抗压强度，但 CY-1 的效果最明显，它可以大幅度提高岩心的承压能力。

4 结 论

- 1) 无渗透钻井液封堵膜形成速度快且薄，位于岩石端面处，没有渗入岩石深处，所以只要消除过平衡压力，封堵膜的作用就将消弱，一旦有反向压力，封堵膜就会被清除。因此，在完井和生产过程中，封堵膜易于清除不会产生永久堵塞。此外封堵膜中的活性物质可以溶于酸中，解除胶结作用。
- 2) 室内试验结果表明，提高地层承压能力的无渗透处理剂 CY-1，在不影响钻井液流变性能的基础上，能快速形成封堵膜，降低钻井液的滤失量，提高砂床和砂岩的承压能力。
- 3) 用砂床滤失仪测得的滤失量不同于常规的 API 滤失量，而且由于隔离介质为砂子，更接近于地层实际情况，因而砂床滤失量更能真实地反映钻井液在井下的实际情况。

Lab Study on Non-Invasive Drilling Fluid Additive CY-1

Li Jiafen Su Changming Yu Peizhi Cui Yingchun

(Petroleum Exploration and Development Institute, Sinopec, Beijing, 100083, China)

**Abstract:** In order to solve drilling problems of differential sticking, lost circulation, wellbore collapse and reservoir damages, etc. , a novel drilling fluid that can enhance formation pressure bearing ability is developed to ensure safe and fast drilling operations, reduce drilling cost and improve hydrocarbon productivity. Of all additives in the fluid, zero-filtration wellbore stabilizer and lost circulation preventive and plugging material are two key ones. CY-1, a non-invasive additive that can improve formation pressure bearing ability, is developed and its performances are tested in lab. The results show that CY-1 can more quickly form blocking membrane, largely reduce mud filtration and enhance sandstone formation pressure bearing ability with remarkable economic benefits at lower cost when compared with similar products applied worldwide.

**Key words:** non-infiltration drilling fluid; drilling fluid additive; drilling fluid filtration; lab test

胜利油田重点探井大型压裂获工业油流

夏 943 井是胜利油田的一口重点评价探井，完钻井深 3910 m，电测解释发现沙 3 上和沙 3 下井段有油层数层厚 10 m 多。地层有效渗透率为 0.17×10<sup>-3</sup> μm<sup>2</sup>，表皮系数为-2.29，为常压特低渗透层，须对目的层进行压裂改造，以改善储油层的渗流特性及储集空间。该井采用耐高温高压封隔器进行压裂施工，历时 7 h 多，共挤入压裂液 400 m<sup>3</sup> 多，各种规格陶粒砂 60 m<sup>3</sup>，加液氮 16 m<sup>3</sup>。压后日产油 2.5 t，含水仅 3.5%，为特低渗透油层的勘探开发闯出了一条新路。