

# 国外深水钻井液技术进展

王 松<sup>1</sup> 宋明全<sup>2</sup> 刘二平<sup>1</sup>

(1. 长江大学 化学与环境工程学院, 湖北 荆州 434023; 2. 中国石化石油勘探开发研究院 德州石油钻井研究所, 山东 德州 253005)

**摘 要:**随着石油工业的不断发展,海洋油气勘探的水域越来越深,深水钻井难度也越来越大。介绍了深水钻井存在的主要问题:海底页岩的稳定性差、钻井液用量大、井眼清洗难、浅层天然气容易形成气体水合物、低温下钻井液的流变性不稳定、地层破裂压力窗口窄等,这些都对钻井液技术提出了更高的要求。国外深水钻井作业开始得较早,使用的钻井液体系主要有水基钻井液和合成基钻井液,其中水基钻井液主要包括墨西哥湾的高抑制性水基钻井液体系、高性能水基钻井液和  $\text{CaCl}_2$ /聚合物钻井液,挪威海域的硅酸盐钻井液体系以及甲基葡萄糖甙钻井液等;合成基钻井液主要包括墨西哥湾的酯/烯烃基钻井液、IO 和酯基钻井液及环境可接受的专用合成基钻井液等。另外,还介绍了充气钻井液和特殊的油基钻井液体系。最后,分析了深水钻井液技术的发展趋势,并提出了一些建议。

**关键词:**深水钻井;水合物;水基钻井液;油基钻井液;充气钻井液;合成基钻井液

**中图分类号:**TE254 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0890(2009)03-0008-05

自 1985 年以来,随着第一批水深在 300 m 以上深水油气勘探开发项目的投入建设,国际深水油气勘探开发逐渐增多。最初 10 a 的年平均增长速度为 65%,西北欧、巴西、墨西哥湾的勘探开发速度最快,2001 年起墨西哥湾深水区的产量已超过浅水区。据统计,截至 2000 年,水深 500 m 的深水油气田有 162 个,遍及世界各海域,其中尤以美洲的墨西哥湾海域、拉丁美洲的巴西海域及西非海域最多,深水油气田探明油气储量为  $22.6 \times 10^8$  t 油当量,占海上油气田探明总储量的 12%。

目前,深水钻井还面临着许多难题,对钻井液技术的要求更高,为此,笔者在分析深井钻井存在的主要难题的基础上,详细介绍了国外先进的深水钻井液技术,并对其发展趋势进行了分析,以对我国深水钻井有所借鉴和指导。

## 1 深水钻井中存在的问题

与浅水区域相比,深水钻井面临的主要问题有<sup>[1-4]</sup>:海底页岩的稳定性差、钻井液用量大、井眼清洗难、浅层天然气与形成的气体水合物、低温下钻井液的流变性、地层破裂压力窗口窄等。这些问题给钻井工作带来了诸多困难,同时对钻井液技术提出了更高的要求:在保证钻井安全的前提下,兼顾钻井成本和环境效益。

### 1.1 海底页岩的稳定性差

在深水区中,由于沉积速度、压实方式以及含水量的不同,海底页岩的活性大。河水和海水携带细小的沉积物离海岸越来越远,由于缺乏上部压实作用,胶结性较差,易于膨胀、分散,导致过量的固相或细颗粒分散在钻井液中,从而影响钻井液性能。

### 1.2 钻井液用量大

在深水环境下的钻井液需求量是很大的。一般隔水管体积就高达  $159 \text{ m}^3$ ,再加上平台钻井液系统,而且由于井眼直径大,为了钻达设计井深,一般下入的套管也多(常常是 4~7 层),因此钻井液用量就比其他同样井深的陆上或浅水区的井大得多。

### 1.3 井眼清洗难

深水钻井时,由于开孔直径、套管和隔水管的直径都比较大,如果钻井液流速不足就难以达到清洗井眼的目的。因此,对钻井液清洗井眼的能力提出

收稿日期:2008-11-19;改回日期:2009-03-26

作者简介:王松(1964—),男,1985 年毕业于江汉石油学院钻井工程专业,教授,硕士生导师,主要从事油田化学方面的研究与教学工作。

联系电话:(0716)8060442

了更高要求。一般采用稠浆清洗、稀浆清洗、联合清洗、增加低剪切速率黏度,以及有规律地短程起下钻等方法,这些方法均有助于清除钻井过程中的钻屑。使用与钻井过程中钻井液黏度不同的清扫液清除钻屑效果较明显,比如使用稀浆钻进,稠浆清洗钻屑。

#### 1.4 浅层气与气体水合物

深水钻井作业中,气体水合物的形成不仅是一个经济问题,更是一个安全问题。气体水合物类似于冰的结构,主要由气体分子和水分子组成,外观上看起来类似于脏冰,但是它在性质上又不像冰,如果压力足够,它可以在 0℃ 以上形成。海底附近或井中溶解的水合物受到冷却后易在隔水管和压井阻流管线上重新凝结,尤其是在节流管线、钻井隔水管、防喷器以及海底的井口里,一旦形成气体水合物,就会堵塞气管、导管、隔水管和海底防喷器等,从而造成严重的事故;同样钻井过程中的水合物分解可能导致地层变弱,井眼扩大、固井失败以及井眼清洁方面的问题<sup>[5-12]</sup>。

#### 1.5 温度过低

随着水深加大,钻井环境的温度也越来越低,给钻井和采油作业带来很多问题。如在低温下,钻井液的黏度和切力大幅度上升,而且会出现显著的胶凝现象,形成天然气水合物的可能性增大<sup>[13]</sup>。

#### 1.6 地层孔隙压力和破裂压力之间“窗口”狭窄

深水区域上覆岩层相当一部分由海水所替代,因此上覆岩层压力与陆地上相比偏低,由于地层具有较低的破裂压力而孔隙压力没有很大的变化,这就使孔隙压力与破裂压力之间的差变得非常小。对于相同沉积厚度的地层来说,随着水深的增加,地层的破裂压力梯度在降低,致使破裂压力梯度和地层孔隙压力梯度之间的窗口较窄,深海钻井尤其是表层地层容易出现井漏等井下复杂情况。

## 2 国外深水钻井常用的钻井液体系

### 2.1 水基钻井液体系

水基钻井液由于其优良的性能和较低的成本,已被广泛用于深水钻井作业中。

在墨西哥湾的深水井和大陆架井已成功应用了一种高抑制性水基钻井液体系,该钻井液以 15%~20% 的氯化钠和海水为基液,以聚丙烯酰胺作为黏

土抑制剂,淀粉为降滤失剂,用氢氧化钾调节 pH 值,重晶石作为加重剂。该钻井液体系应用时表现出了优良的页岩抑制性,黏度低,易于控制及保持组分。该钻井液体系与传统水基钻井液配合,能从根本上消除一些典型的复杂问题,如未溶解的聚合物引起的筛堵、聚合物消耗快、抑制性变差等。该钻井液体系已接近合成基或油基钻井液的性能<sup>[14-15]</sup>。

2004 年,东墨西哥湾钻成了两口创纪录超深水井<sup>[16]</sup>。这两口井是在墨西哥湾水深大于 2 133.6 m 下所钻的最快的井,使用了高性能水基钻井液(WBM)来钻中间井段。该钻井液具有与合成基钻井液(SBM)相媲美的性能,其优势是允许在这种环境敏感性近海区域处理岩屑。由于不用把岩屑带到海岸进行处理,因而节省了大量的费用。其还具有下套管和注水泥时不会出现漏失及更容易进行置换的优点。该钻井液可以储存起来重复应用,可以称为 SBM 岩屑“零排放”。使用高性能的 WBM 避免了每口井大约 318 m<sup>3</sup> 岩屑的运输和处理,避免了下套管和注水泥时钻井液的漏失,从而降低了成本。

在墨西哥湾深水区域 1 503 m 的开发井中,曾试验用一种新研制的高性能水基钻井液(HP-WBM)<sup>[17]</sup>。该钻井液的目标是达到与合成基钻井液(SBM)体系相近的钻井效果,并达到美国环保法规的要求。应用该钻井液的钻井及下套管过程均很顺利。完井期间,当盐水浊度降至 20 NTU 时,盐水滤失长达 10.5 h。这与邻井中使用 SBM 体系所需的时间相类似,在 20.5 h 的滤失时间后盐水的清洁度达到 49 NTU。这表明采用 HPWBM 体系比用 SBM 体系缩短了 10 h 安装时间,节省了 100 000 美元。钻井承包商还节省了使用 SBM 体系时用于安装相关设备所需的 50 000 美元。人们曾预计该井的产量不理想,但套管射孔投产后发现该井是深水油田产量最高的油井之一。

针对墨西哥湾地区普遍存在的与泥岩活化度高有关的钻井复杂情况不断增多的现象,人们开发了第二代 CaCl<sub>2</sub>/聚合物钻井液<sup>[18]</sup>。它是在第一代 CaCl<sub>2</sub> 钻井液的基础上进行了改性,用一种高分子量的聚合物包被剂替代原有的聚合物,并加入不受固相浓度影响的、特制低分子量的羟乙基纤维素控制滤失量。该钻井液体系在墨西哥湾地区的深水钻井中得到成功应用。该钻井液体系克服了第一代 CaCl<sub>2</sub> 钻井液糊振动筛的缺点,没有出现跑漏钻井液现象;井下工具和井下划眼钻具处没有出现泥包现象及相关问题。

挪威是从事海洋深水钻井较早的国家之一。文献[19]报道了挪威深水水基钻井液设计的一个实例。该井所处海域水深 837 m, 海底温度  $-2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 所使用的钻井液需要有较好的水合物抑制性、页岩抑制性, 并能稳定井壁, 避免钻头泥包。作业者用 NaCl、KCl 和聚烯醇(PAG)和乙二醇单体的混合物作为水合物抑制剂, 加量极少即可获得很好的水化抑制效果, 且能够抑制任何水合物的形成; 用低黏聚阴离子纤维素 PAC 和淀粉以 1:2 的比例配成降滤失剂和增黏剂控制钻井液的滤失量和流变性能; 用精细加工的生物聚合物辅助悬浮钻屑; 用具有浊点效应的一种聚烯醇(加量为 3%~4%)来改善泥饼质量, 从而改善滤失性能。

硅酸盐钻井液主要以较好的黏土和页岩稳定性及环境可接受性, 而成为油基钻井液和合成基钻井液的替代物<sup>[20-23]</sup>。与其他钻井液相比, 它降低了化学药品的消耗量, 也降低了成本。可溶性硅酸盐/聚乙二醇钻井液还具有稳定性好、应用范围广等优点。最新的硅酸盐聚合物钻井液体系一般包含 5%~15%(体积分数)的可溶性硅酸盐产品, 其通式是  $\text{M}_2\text{O} \cdot x\text{SiO}_2$ , M 如果是 Na, 它就是硅酸钠, 如果是 K 就代表硅酸钾,  $x$  代表模数比。硅酸盐的稳定溶液在 pH 值较高时(特别是 10.5~12.5), 经常包含大量不同的分子类型, 从单体到低聚物。低聚物如遇到  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  等高价离子会迅速沉淀, 当 pH 值降低就会形成三维凝胶结构。

甲基葡萄糖甙钻井液<sup>[24-26]</sup>是 20 世纪 90 年代提出的一种新型水基钻井液体系, 由于在防塌机理及常规钻井液性能方面类似于油基钻井液, 又称仿油基钻井液体系。大量的室内研究和生产实践证明, 甲基葡萄糖甙钻井液能有效抑制泥页岩水化膨胀, 维持井眼稳定, 保护油气层, 同时还具有良好的润滑性能、抗污染能力和高温稳定性, 并且无毒、易生物降解、对环境影响极小。在环保要求严格的海洋钻井中, 国外已成功在大斜度井和水平井中使用了甲基葡萄糖甙钻井液体系。

## 2.2 合成基钻井液体系

合成基钻井液是国外深水区域常用的钻井液体系之一, 对这方面的研究也较多<sup>[27-29]</sup>。

合成基钻井液已被墨西哥湾的许多承包商使用<sup>[30]</sup>。因线型烷烃没有足够的生物降解性, 且具有一定的生物毒性, 之前用于墨西哥湾的未掺合的线型烷烃和线型  $\alpha$  烯烃不能再用了。出于对技术需

求、成本和环境效应的考虑, 大部分钻井液公司使用烷烃、烯烃和酯的混合物。酯/烯烃混合物是合成基钻井液中最常用的基液。到目前为止, 酯/烯烃混合物为基液的合成基钻井液已在 70 余口井进行了应用, 该钻井液已用于水深超过 2 438.4 m 的井中和大陆架地层温度超过  $176.7\text{ }^{\circ}\text{C}$  的区域。

在墨西哥海湾深水地区的小井眼侧钻超深井中, 成功应用了合成基钻井液<sup>[1]</sup>。在进行深水钻井时, 最初选用了盐水/淀粉/聚合醇水基钻井液, 由于井下条件恶化, 发生了压差卡钻, 因此选用了合成基钻井液, 顺利完井。合成基钻井液的综合性能优于水基钻井液和油包水钻井液。实践证明, 使用合成基钻井液可以减少事故发生的概率。1996—1997 年期间, 阿莫克公司的深水钻井史上, 使用合成基钻井液处理钻井事故时间缩短 69%, 大大减少了钻井周期。尽管与水基钻井液相比, 合成基钻井液成本高, 但是综合计算后, 钻井综合成本降低 55%, 钻速提高达 70%。但其环境影响问题仍需进一步研究。

2002 年 4—11 月, 马来西亚在其沙巴海岸应用合成基钻井液<sup>[31]</sup>钻了 5 口超深水井, 水深为 1 305~1 876 m。所有井使用了同样的钻井程序, 并都达到了预期深度。这 5 口井的成本都在预算范围内, 泥线下平均钻速约为 88 m/d, 已接近墨西哥湾的钻速。

文献[32]介绍了一种新型合成基钻井液体系的首次现场应用情况。该体系含有 IO 和酯, 无黏土, 符合 EPA(美国环保局)标准, 首次在水深 1 219.2 m、井深 4 572.0 m 的墨西哥湾深井中使用, 井底钻井液密度为 1.524 kg/L, 低温下黏度降低, 超出 40~120  $^{\circ}\text{C}$  温度范围时流变性保持稳定, 且比其他合成基钻井液易于控制。虽然其成本比常用的 IOS-BF 贵 20 美元/桶, 但综合考虑, 成本相差不大。

据文献[33]报道, 墨西哥湾的 Alaminos 峡谷钻了一口水深创世界纪录的深水井。该井水深为 3 051 m, 钻深 6 917 m, 中下层井段选用了一种环境可接受的专用合成基钻井液。该钻井液由环境可接受的合成基液、有机土、 $\text{CaCl}_2$ 、乳化剂和桥堵剂组成, 各组分根据不同井段的要求加量不同。该钻井液性能良好, 可接受地层流体侵入, 易于维护处理。该井提前完钻, 大大降低了钻井成本, 达到了预期效果。

## 2.3 其他钻井液体系

除了水基钻井液和合成基钻井液, 国外深水钻

井还应使用了其他一些钻井液体系,下面简要介绍一种特殊的油基钻井液体系和使用效果较好的充气钻井液。

柴油基钻井液曾一度因其低廉的价格和优良的保护井壁作用而得到广泛应用,但其对环境有极大的危害,并且对人体健康也有不利影响,可引起眼部和呼吸道疼痛,影响记忆力等。1999 年 2—3 月在美国德州奥斯汀举行的 SPE/EPA 会议上报道了一种符合环境安全要求的油基钻井液体系。该体系使用矿物油(芳香族含量 $\leq 0.1\%$ )和棕榈油(完全不含芳香族)代替柴油,矿物油和棕榈油均无毒,并且易生物降解,有较好的环境可接受性,对环境影响极小<sup>[34]</sup>。

巴西 Albacora 油田,水深 454 m 的 AB-L57B 井,以常规钻井钻至井深 2 800 m(垂深 2 563 m), $\phi 244.5$  mm 套管下入到井斜角为  $31^\circ$  的斜井段。目的层是两个夹杂着页岩的砂岩井段,孔隙压力当量密度约是 0.816 kg/L。 $\phi 215.9$  mm 钻头钻至井深 2 989 m(垂深 2 725 m),使用了密度 0.864 kg/L 的充氮水基钻井液。使用充氮水基钻井液降低了对地层损害,防止或减少了井眼问题(例如不同程度的卡钻、循环漏失等),降低了钻井成本<sup>[35]</sup>。

### 3 发展趋势及建议

1)随着经济的发展,对石油的消费日益增加,钻井技术不断成熟,石油勘探开发逐渐向更深的海域迈进。这对深水钻井液的要求不断提高,研制新型无毒、低成本的钻井液体系和钻井液处理剂是今后发展的必然趋势。

2)在海洋钻井液处理剂及体系的推广应用过程中,要将钻井工程、油气层保护和环境保护有机结合起来,从钻井成本和环境效益两方面综合评判它们的推广应用效果,以获得最佳的综合效益。

3)加强对低温条件下深水钻井液的流变性及携岩能力、新型水合物抑制剂及作用机理的研究,并建立一套全面、准确评价深水钻井液性能的标准和方法。

### 4 结 论

1)深水钻井面临着诸多问题,对钻井液技术提出了更高要求。

2)目前深水钻井使用的钻井液体系种类较多,但仍以水基钻井液和合成基钻井液体系为主。

3)墨西哥湾、西北欧、巴西、西非海域是目前深水钻井的主要区域,其他区域深水钻井相对较少。

4)由于对海洋环境保护力度的加大,钻井液除了要满足常规性能外,还要能有效保护油气层和海洋环境。

### 参 考 文 献

- [1] 胡友林,张岩,吴彬,等. 海洋深水钻井井液研究进展[J]. 钻井液与完井液,2004,21(6):50-52.
- [2] 窦玉玲,管志川,徐云龙. 海上钻井发展综述与展望[J]. 海洋石油,2006,26(2):64-67.
- [3] 徐加放,邱正松,吕开河. 深水钻井液初步研究[J]. 钻井液与完井液,2008,25(5):9-10.
- [4] John Shaughnessy, William Daugherty, Rick Graff, et al. More ultradeepwater drilling problems [R]. SPE/IADC 105792, 2007.
- [5] 白小东,黄进军,侯勤立. 深水钻井液中天然气水合物的成因分析及其防治措施[J]. 精细石油化工进展,2004,5(4):52-54.
- [6] 吴华,邹德永,于守平. 海域天然气水合物的形成及其对钻井工程的影响[J]. 石油钻探技术,2007,35(3):91-93.
- [7] Sloan E D. Introductory overview;hydrate knowledge development[J]. American Mineralogist,2005,89 (8/9):1155-1161.
- [8] 张凌. 天然气水合物赋存地层钻井液试验研究[D]. 湖北武汉:中国地质大学(武汉)工程学院,2006.
- [9] 宁伏龙,蒋国盛,张凌,等. 影响天然气水合物地层井壁稳定的关键因素分析[J]. 石油钻探技术,2008,36(5):59-61.
- [10] 刘华,李相方,隋秀香,等. 天然气水合物勘探技术研究现状[J]. 石油钻探技术,2006,34(5):87-90.
- [11] 白小东,黄进军,王川,等. 新型水合物抑制剂 HBH 的评价研究[J]. 石油钻探技术,2007,35(2):36-38.
- [12] 李相方,隋秀香,刘天宝,等. 深层高压气藏测试水合物生成趋势监测与控制技术[J]. 石油钻探技术,2002,30(6):4-5.
- [13] 吴彬,向兴金,张岩,等. 深水低温条件下水基钻井液的流变性研究[J]. 钻井液与完井液,2006,23(3):12-19.
- [14] John Lee, George Sartor, Taylor Green, et al. New fluid system good in deep water[J]. The American Oil & Gas Reporter, 2002, 45(8): 92-95.
- [15] Pat Watson, Eric Kolstad. An innovative approach to development drilling in deepwater Gulf of Mexico[R]. SPE 79809, 2003.
- [16] Pat Watson, Bob Meize, Catalin Aldea, et al. Eastern Gulf of Mexico: inhibitive water-based drilling fluid sets ultradeepwater records[R]. IADC/SPE 87131, 2004.
- [17] William Dye, Ken Daugeau, Nels Hansen, et al. New water-based mud balances high-performance drilling and environmental compliance[R]. SPE/IADC 92367, 2005.
- [18] 李晓岚. 第二代  $\text{CaCl}_2$  钻井液体系在墨西哥湾深水钻井中应用成功[J]. 钻井液与完井液,2001,18(3):17.
- [19] Eirik Sjørgård, Eva Alterås, Gunnar Fimreite, et al. Design of water based drilling fluid systems for deepwater Norway[R]. SPE/IADC 67834, 2001.



[20] Barnfather J L, Bax D J M, Evan Oort, et al. Application of silicate-based drilling fluid in tertiary clays offshore Norway [R]. SPE 38569, 1997.

[21] 金军斌,徐江,张玉宁. 新型硅酸盐无渗透钻井液的研究与应用[J]. 石油钻探技术,2009,37(2):48-52.

[22] 王才学,金军斌,刘建华. 硅酸盐钻井液室内试验研究[J]. 石油钻探技术,2006,34(4):58-62.

[23] 丁彤伟,鄢捷年. 硅酸盐钻井液的抑制性及其影响因素的研究[J]. 石油钻探技术,2005,33(6):32-35.

[24] 吴长勇,梁国昌,冯宝红,等. 海洋钻井液技术研究与应用现状及发展趋势[J]. 断块油气田,2005,12(3):69-71.

[25] 刘岭,高锦屏. 甲基葡萄糖苷及其钻井液[J]. 石油钻探技术,1999,27(1)49-51.

[26] 高长虹. 甲基葡萄糖苷作为降滤失剂的研究[J]. 石油钻探技术,2000,28(1):31-32.

[27] Gandelman R A, Leal R A F, Goncalves J T, et al. Study on gelation and freezing phenomena of synthetic drilling fluids in ultradeepwater environments[R]. SPE/IADC 105881, 2007.

[28] Juan Carlos Rojas, Peter Bern, Louise Jacobson Plutt, et al. New constant-rheology synthetic-based fluid reduces down-hole losses in deepwater environments[R]. SPE 109586, 2007.

[29] 王越之,罗春芝,施建国,等. 合成基钻井液储层保护技术研究[J]. 石油钻探技术,2003,31(1):31-32.

[30] John Hall, Tom Carlson. Synthetic drilling fluid meets deep-water challenge[J]. Drilling Contractor, 2003, 59(3): 46-47.

[31] Jenkins R W, Schmidt D A, Stokes D, et al. Drilling the first ultra deepwater wells offshore Malaysia [R]. SPE/IADC 79807, 2003.

[32] Mike McFadyen, Philip J Vice, Claude Womack, et al. New synthetic fluid system provides stable cold-temperature rheologies[J]. World Oil, 2002, 223(6): 48-55.

[33] Dieffenbaugher J, Dupre R, Authement G, et al. Drilling fluids planning and execution for a world record water depth well[R]. SPE/IADC 92587, 2005.

[34] 高长虹. 国外 20 世纪 90 年代海洋钻井液新技术[J]. 中国海上油气(工程),2000,12(4):63-66.

[35] Nakagawa E Y, Santos H, Cunha J C, et al. Planning of deepwater drilling operations with aerated fluids[R]. SPE 54283, 1999.

[审稿 鄢捷年]

## Development of Foreign Deepwater Drilling Fluid

Wang Song<sup>1</sup> Song Mingquan<sup>2</sup> Liu Erping<sup>1</sup>

(1. College of Chemical and Environmental Engineering, Yangtze University, Jingzhou, Hubei, 434023, China;2. Dezhou Petroleum Drilling Research Institute, Petroleum Exploration & Production Research Institute, Sinopec, Dezhou, Shandong, 253005, China)

**Abstract:** With the development of petroleum industry, deepwater drilling has become more and more important in offshore exploration. While there exist a lot of problems in deepwater drilling, including bad shale stability of sea bed, huge drilling fluid volume, difficulty in hole cleaning, shallow natural gas prone to hydrate formation, unstable fluid rheology at low temperature, narrow window of formation breakdown pressure. All these require higher stands for drilling fluids. Deepwater drilling began much earlier abroad. The drilling fluid systems include water-based drilling fluids and synthetic drilling fluids. The water-based drilling fluids include high inhibitive water-based drilling fluid, high-performance water-based drilling fluid and CaCl<sub>2</sub>/polymer drilling fluid of Gulf of Mexico, silicated drilling of Offshore Norwy and methyl-glucosided drilling fluid. The synthetic drilling fluids include ester/alkene-based drilling fluid, IO/ester-based drilling fluid and the compliant synthetic-base fluid of Gulf of Mexico, and so on. Moreover, aerated fluid and conspicuous oil-based drilling fluid systems were also introduced. Finally, the trend of deepwater drilling fluid technology was analyzed and suggestions were proposed.

**Key words:** deepwater drilling; gas hydrate; water base mud; oil base drilling fluid; aerated drilling fluid; synthetic base drilling fluid



## 本刊勘误

由于本刊编辑在编辑、校对过程中不够仔细,本刊 2009 年第 2 期《关于钻柱一次弯曲临界条件的考证》一文中出现两处错误:改回日期应为 2009-01-20;作者出生年份应为 1937。在此向作者及广大读者致歉。

《石油钻探技术》编辑部