

# 高密度钻井液的技术难点及其应用

刘永福

(中石化华北石油局第九普查勘探大队,山西 晋中 030600)

**摘要:**近年来高密度钻井液随深井钻井技术取得了较大的发展,成功地解决了深井高温、高压、高盐、多套压力系统环境的防漏、防喷、防卡、防盐、防钙、防硫化氢及破碎垮塌地层抑制,高固相条件下流变性和沉降稳定性控制等问题。高密度钻井液加重材料的选择与性能控制已成为深井钻井的关键技术。介绍了高密度钻井液的应用情况。

**关键词:**高密度钻井液;重晶石;铁矿粉;沉降稳定性

**中图分类号:**P634.6 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2007)05-0047-03

现行钻井液体系按其密度不同,可分为低密度钻井液(密度  $< 1.0 \text{ g/cm}^3$ )、普通钻井液(密度  $1.0 \sim 1.2 \text{ g/cm}^3$ )、普通加重钻井液(密度  $1.2 \sim 1.6 \text{ g/cm}^3$ )、高密度钻井液(密度  $1.6 \sim 2.3 \text{ g/cm}^3$ )、超高密度钻井液(密度  $> 2.3 \text{ g/cm}^3$ )<sup>[1]</sup>。近年来,随深井钻井技术取得了较大的发展,随着钻井深度的不断增加,高温、高压、盐岩及多压力系统等复杂地层不断增多,高密度钻井液的应用范围越来越广。20世纪90年代以来相继进行了塔里木、川东、莺歌海等地区高密度钻井液(当量密度  $2.0 \text{ g/cm}^3$  以上)深井钻井,成功地解决了深井高温、高压、高盐多套压力系统环境,高密度钻井液的防漏、防喷、防卡、防盐、防钙、防硫化氢及破碎垮塌地层抑制,高固相条件下流变性和沉降稳定性控制等问题。高密度钻井液加重材料的选择与性能控制已成为深井钻井的关键技术之一。

## 1 高密度钻井液技术难点

### 1.1 加重材料对钻井液性能的影响

高密度钻井液随加重材料的加入其表观粘度、塑性粘度呈现不规则的平台变化<sup>[2]</sup>(见图1)。加重材料对高密度钻井液性能有较大影响,加重剂密度决定高密度钻井液固相的体积份数,从而影响其流变性;加重剂粒度影响高密度钻井液的液相粘度和沉降稳定性;加重材料表面改性及活化,改善了加重材料动力稳定性和高密度钻井液流变性能<sup>[3,4]</sup>,钻井液的低剪切粘度是区分钻井液有无沉降现象的一个重要参数。

高温、高压、高盐及多压力系统环境,高密度钻

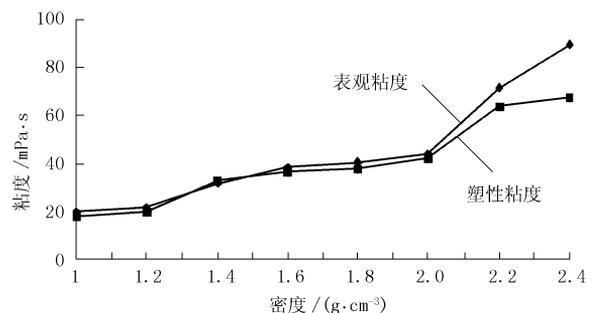


图1 加重钻井液流变性变化曲线

井液中40%~60%固相含量导致高密度钻井液粘度、切力过高变稠,同时产生加重剂沉降问题。深井施工中经常因钻井液流动困难、循环阻力大、激动压力高而发生井漏、钻井液失稳、固化、高温胶凝等复杂情况。采用稀释剂减稠进一步恶化加重剂沉降,采用结构稳定剂提高切力,以悬浮加重剂会导致流变性变差。经常陷入“加重-增稠-降粘-加重剂沉降-密度下降-再次加重”的恶性循环,高密度钻井液流变性与沉降稳定性控制已成为深井钻井的关键技术。

高密度钻井液可通过不同密度的淡水、盐水、复合盐水制备<sup>[15,16]</sup>。不同加重剂对钻井液流变性能、滤失量、润滑性均有较大影响,依据钻井液体系优选重晶石、活化重晶石、铁矿粉、活化铁矿粉、方铅矿等加重材料。密度  $> 2.0 \text{ g/cm}^3$  的高密度钻井液一般采用铁矿粉与活化重晶石复配加重,以期降低固相含量改善高密度钻井液流变性,解决铁矿粉加重时高固相含量造成泥饼致密性及润滑性变差、滤失量增加,活化重晶石加重高固相含量引起流变性、沉降稳定性等相关问题<sup>[5]</sup>。四氧化锰加重剂可提高钻

收稿日期:2006-12-13

作者简介:刘永福(1965-),男(汉族),山西榆次人,中石化华北石油局第九普查勘探大队生产技术部主任、工程师,石油钻探专业,从事石油钻探技术工作,山西省晋中市榆次区道北街99号,(0354)3027423、13353541058, jpscklyf@126.com。

井液的流变性能,降低发生沉降的趋势。

### 1.2 膨润土对钻井液性能的影响

钻井液流变性的调整与控制是高密度钻井液的技术难点。尽管表面改性和活化改善了加重材料沉降问题,仍需要膨润土和分散剂提供高密度钻井液体系的结构强度,增加高密度钻井液稳定性。膨润土含量过高,深井高温、高 pH 值条件会促进膨润土水化分散,造成粘度、切力增大从而失去流动性;膨润土含量过低,钻井液处理剂中高价阳离子深井高温条件下挤压膨润土颗粒扩散双电层,造成膨润土高温聚集,削弱钻井液凝胶强度,破坏高密度钻井液沉降稳定性,促进加重材料沉降甚至导致复杂事故。极高固相条件下膨润土含量存在高温增稠及减稠的双重危险,影响高密度钻井液的流变性和沉降稳定性,合理膨润土含量的确定是控制高密度钻井液性能的核心<sup>[2,5-9]</sup>。

### 1.3 各类处理剂对钻井液性能的影响

为提高高密度钻井液体系的抑制性、维持良好的流变性和润滑性、控制低滤失量、保证泥饼质量,通过抑制性、膨胀量、润滑性等试验,选择各类钻井液处理剂,解决深井高密度钻井液的抗温、抗污染性能和热稳定性、防卡润滑性。利用加重材料表面微弱负电性吸附稀释剂中带正电的  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Al}^{3+}$ 、 $\text{Ti}^{4+}$  络合离子特性,活化加重材料表面性质,改善高密度钻井液沉降稳定性。控制磺化沥青类、表面活性剂等处理剂表面润湿作用对钻井液润滑性、流变性的影响<sup>[3,4,10-14]</sup>。

### 1.4 复杂地质情况对钻井液性能的影响

深井钻遇多压力系统、石膏、复合膏盐、高压盐水层、不稳定地层等复杂地质情况,井漏、钙及盐膏浸等使高密度钻井液维护处理工作复杂化。石膏、复合膏盐污染引起粘度切力升高,铁铬盐(FCLS)稀释会引起加重剂沉降。钻高压盐水层受盐水压力、侵入速度、污染程度及上部地层等情况影响,选择合理密度、找准井漏压力平衡点是关键因素。坍塌、破碎不稳定地层要求高密度钻井液具较强抑制性、良好护壁性,钻进操作中尽量减少对不稳定地层的扰动和冲蚀<sup>[7-9]</sup>。

## 2 高密度钻井液的应用

### 2.1 在塔里木地区的应用

塔河油田外围新区石炭系膏盐层埋藏深、厚度大、蠕变速度快,常发生缩径、盐溶、水化膨胀、坍塌卡钻、坍塌埋钻、卡套管、挤毁套管等复杂情况。进

入盐层先期承压堵漏,提高地层承压能力到当量密度  $1.80 \text{ g/cm}^3$  左右,满足下部盐膏层转换高密度欠饱和盐水聚磺钻井液钻井需要。穿盐井段通过提高钻井液密度,降低盐膏层蠕变速率,或降低盐饱和度,保障盐层塑性蠕变速度与溶蚀速度动态平衡。自 2002 年 S105 井开钻至 2005 年底,42 口井成功应用高密度欠饱和盐水聚磺钻井液穿盐技术,其中 S106、S111 等井盐下发现了丰富的油气资源<sup>[7,17-19]</sup>。

塔北麦盖提构造 4700 m 以下石炭系巴楚油气压力梯度当量密度  $1.93 \sim 1.98 \text{ g/cm}^3$ 。根据巴楚组油气强乳化堵塞、水锁损害的特点,对原聚磺钻井液改性,选用酸溶性石灰石粉和钛铁矿粉加重剂、油溶树脂暂堵剂,控制钻井液密度  $2.05 \text{ g/cm}^3$  左右。改善固相类型和粒度分布,提高泥饼质量和酸溶率,选用 SMP、PAC、PAC-141、SAS 降滤失,增强泥饼致密性、控制失水。麦 6、麦 10 井巴楚组高压油气层段采用  $2.0 \text{ g/cm}^3$  以上高密度钻井液(见表 1),钻井安全顺利与麦 4 井相比平均井径扩大率、表皮系数均明显降低<sup>[8,9]</sup>。

### 2.2 在柴达木地区的应用

青海油田柴达木盆地冷湖、红沟子、狮子沟构造地高压水、盐水层发育,钻井过程中漏、塌、斜、涌等复杂情况频繁发生。采用高密度聚磺防塌、聚磺饱和盐水钻井液成功地解决了井塌、井漏、钻井液污染等复杂问题。沟 6 井二、三开高压水、盐水层段钻井液密度平均  $1.97 \sim 1.98 \text{ g/cm}^3$ ,最高达到  $2.10 \text{ g/cm}^3$ (见表 1)。狮 25-1 水平井高压盐水层段钻井液密度  $2.10 \sim 2.13 \text{ g/cm}^3$ ,各施工阶段顺利安全。

### 2.3 在四川地区的应用

河坝 1 井是迄今为止川东北地区设计最深、施工难度最大的探井,上部陆相地层高陡构造倾角大,坍塌严重,下部海相地层含有多套压力系统,含硫化氢超高压天然气层以及盐水层、盐膏层、易漏失地层等。在钻井施工中垮塌、井漏、喷漏共存,高密度钻井液流变性、固相高温下稳定性控制,预防盐钙、硫化氢、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$  污染及大段破碎地层的防塌抑制成为高密度钻井液的关键问题。三开 3650 ~ 3800 m 三叠系雷口坡组钻井液受  $\text{HCO}_3^-$  污染井壁严重垮塌,转化高密度聚硅醇钻井液体系,钻井液密度  $1.60 \sim 2.10 \text{ kg/cm}^3$ ,井下情况逐步转入正常,有效地抑制了地层的水化、分散、膨胀和坍塌。四开 4481.88 ~ 4523.86 m 嘉陵江组钻遇异常高压气层(测试地层压力 93.64 MPa),钻井液密度  $2.14 \text{ g/cm}^3$  方可压稳,最高达  $2.40 \text{ g/cm}^3$ (见表 1)。

赤水凹陷官渡构造官 3 井, 2.30 g/cm<sup>3</sup> 高密度钻井液钻至 3800 m 发生井涌, 关井求压测得地层压力系数 2.85, 创造我国 4000 m 井深成功应用 2.70 ~ 2.85 g/cm<sup>3</sup> 高密度钻井液先例(见表 1)。

表 1 各地区高密度钻井液性能统计表

作业地区	井号/m	井段/m	$\rho/(g \cdot cm^{-3})$	FV/s	FL/mL	Gel/(Pa $\cdot$ Pa <sup>-1</sup> )	PV/mPa $\cdot$ s	YP/Pa
塔河油田	库 1	5005 ~ 5682	1.99 ~ 2.07	66 ~ 75	1.6 ~ 1.8	1.5/4 ~ 2/12.5	54 ~ 86	11 ~ 15
麦盖提地区	麦 4	4717 ~ 4804	1.72 ~ 2.06	75 ~ 90	7.0 ~ 8.0	0.5/5 ~ 1.5/6	70 ~ 126	5 ~ 18
麦盖提地区	麦 6	4774 ~ 4793	2.02 ~ 2.03	75 ~ 90	4.4 ~ 4.8	6/30 ~ 10/34	104 ~ 137	3 ~ 10
麦盖提地区	麦 10	4763 ~ 4783	1.92 ~ 2.10	75 ~ 90	4.1 ~ 5.0	6/30 ~ 10/34	86 ~ 99	22 ~ 51
柴达木地区	沟 6	1500 ~ 3290	1.73 ~ 2.00	42 ~ 69	6.0 ~ 10.0	3/15 ~ 8/20	18 ~ 28	20 ~ 25
川东地区	河坝 1	4481 ~ 4860	2.00 ~ 2.14	60 ~ 80	2.5 ~ 5.0	8/12 ~ 19/24	30 ~ 44	10 ~ 15
赤水地区	官 3	3820 ~ 3970	2.70 ~ 2.85	72 ~ 165	2.5 ~ 20.0	75/105 ~ 80/100	65 ~ 120	15 ~ 45

## 2.4 国外新型高密度钻井液的应用

SPE87126 报道, M-I 钻井液公司使用密度为 2.2 g/cm<sup>3</sup> 甲酸铯配制 1.66 g/cm<sup>3</sup> 高密度低固相油基钻井液, 与常规高密度油基钻井液相比固相含量(体积分数)由 22% 降低到 1%。不使用加重材料, 可把高密度油基钻井液的重晶石沉降问题降低到最低程度。Statfjord 油田 3 口低产 6 in(Ø152.4 mm) 铣磨开窗井成功地进行现场试验, 减轻钻井液固相颗粒堵塞伤害, 不会发生加重剂沉降。3 口井完井测试产量分别为 2150、4000、840 m<sup>3</sup>/d。盐水钻井液密度取决于所用盐水类型和盐水比, 对低固相油基钻井液甲酸铯可把密度调整到 1.70 ~ 2.20 g/cm<sup>3</sup>。

SPE74541 报道, 挪威北海 Huldra 油田是一个高温和高压凝析油田, 孔隙压力与破裂压力梯度约为 0.12 ~ 0.14 MPa, 凝析油伴 3% ~ 4% CO<sub>2</sub> 和 9 ~ 14 ppm H<sub>2</sub>S 气体。4 口井采用高密度甲酸铯/甲酸钾钻井液钻油层, 随钻压力测量短节监测静态钻井液密度、当量循环密度和井眼清洁情况, 控制当量循环密度 1.96 g/cm<sup>3</sup>、井下静态钻井液密度 1.90 ~ 1.91 g/cm<sup>3</sup>, 高密度甲酸铯/甲酸钾钻井液处于剪切稀释状态, 没有发现碳酸钙静态和动态沉降, 岩心的恢复渗透率为 100%。

## 3 对高密度钻井液的几点认识

(1) 高密度钻井液的作用机理与低密度钻井液不同, 加重剂参与钻井液的凝胶结构的形成。钻井液性能调节必须考虑加重剂的作用, 加重剂粘度效应对钻井液流变性影响较大。

(2) 盐水钻井液密度取决于所用盐水类型和盐水比, 甲酸铯可实现低固相油基钻井液 1.70 ~ 2.20 g/cm<sup>3</sup> 范围密度调整。

(3) 密度 > 2.0 g/cm<sup>3</sup> 的钻井液, 建议使用复配加重剂或方铅矿等高密度加重剂, 以期降低固相含量改善钻井液流变性。四氧化锰加重剂可提高钻井

液流变性能, 降低发生沉降的趋势。

(4) 针对地层选择高密度钻井液体系, 从体系的抑制性、流变性和润滑性入手选择各类钻井液处理剂, 解决深井高密度钻井液的抗温、抗污染和热稳定性。

## 参考文献:

- [1] 赵雄虎, 苟燕. 钻井液体系分类方法研究进展[J]. 石油钻采工艺, 2004, 26(3).
- [2] 胡德云. 超高密度( $\rho \geq 3.00$  g/cm<sup>3</sup>) 钻井液的研究与应用[J]. 钻井液与完井液, 2001, 18(1).
- [3] 沈伟, 李银素, 张菊芬, 等. 抗盐钙抗高温的活化重晶石 PF-BARA[J]. 钻井液与完井液, 2001, 18(1).
- [4] 宋玉龙, 等. 活化铁矿粉加重浆在塔西南地区的现场应用[J]. 钻井液与完井液, 1997, 14(1).
- [5] 周进, 王宏, 陈林, 等. 却勒构造高密度欠饱和盐水钻井液技术[J]. 钻井液与完井液, 2003, 20(5).
- [6] 孟庆生, 江山红, 石秉忠. 塔河油田盐膏层钻井液技术[J]. 钻井液与完井液, 2002, 19(6).
- [7] 雷进喜, 等. 塔里木盆地北部深探井钻井液技术[J]. 钻井液与完井液, 1997, 14(6).
- [8] 王慧利, 等. 新疆麦盖提地区高密度钻井液技术[J]. 钻井液与完井液, 1997, 14(2).
- [9] 袁立鹤, 等. 新疆塔西南地区的保护油层钻井液[J]. 钻井液与完井液, 1997, 14(4).
- [10] 张锐, 邱正松, 王瑞和, 等. 深井水包油钻井液高温高压密度特性模拟实验研究[J]. 钻井液与完井液, 2002, 19(3).
- [11] 生玉亮. 高新 7-3 井高密度钻井液技术[J]. 钻井液与完井液, 1999, 16(2).
- [12] 于茂盛, 等. 克拉 201 井盐膏层钻井液技术[J]. 钻井液与完井液, 1999, 16(4).
- [13] 陈迎伟, 李占英. 克拉 202 井高密度钻井液技术[J]. 钻井液与完井液, 2000, 17(5).
- [14] 张国钊, 邵小模, 李玉姣. 钻井液材料质量标准制定与执行的一些认识[J]. 钻井液与完井液, 2000, 17(1).
- [15] 易绍金, 向兴金, 梅平, 等. 高密度溴盐盐水的健康、安全与环境(HSE) 试验研究[J]. 钻井液与完井液, 2000, 17(6).
- [16] 易绍金, 等. 高密度盐水的腐蚀性研究[J]. 钻井液与完井液, 1999, 16(5).
- [17] 郭春华, 马玉芬. 塔河油田盐下区块盐膏层钻井液技术[J]. 钻井液与完井液, 2004, 21(6).
- [18] 虞海法, 左凤江, 耿东士, 等. 盐膏层有机盐钻井液技术研究与应用[J]. 钻井液与完井液, 2004, 21(5).
- [19] 郑力会, 王志军, 张民立. 盐膏层用高密度有机盐钻井液的研究与应用[J]. 钻井液与完井液, 2004, 21(4).