

超深井高温钻井液技术概况及研究方向的探讨

胡继良^{1,2}, 陶士先², 单文军², 刘三意²

(1. 中国地质大学(北京)工程技术学院, 北京 100083; 2. 北京探矿工程研究所, 北京 100083)

[摘 要]我国未来深部大陆科学钻探深度为 12000m ~ 13000m, 井底温度将达到 350℃ 以上, 钻井液将面临超高温高压环境, 钻井液技术将面临严峻考验。本文重点介绍了国内外典型深井及超深井钻探和高温地热井钻探钻井液使用情况, 提出了抗高温钻井液的主要技术难点是高温高压及污染条件下钻井液流变性、滤失量、润滑性控制。耐温 250℃ 以上钻井液处理剂及体系、耐高温钻井液试验仪器和地面循环降温系统是超高温钻井液技术研究方向。

[关键词]超深井 钻探 高温钻井液

[中图分类号]P634.6+4 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2012)01-0155-5

Hu Ji-liang, Tao Shi-xian, Shan Wen-jun, Liu San-yi. Overview of ultra-deep well high-temperature drilling fluid technology and discussion of its research direction [J]. Geology and Exploration, 2012, 48(1): 0155-0159.

随着科学钻探技术的不断发展,特别是深井、超深井及其特殊工艺井钻探越来越多,对钻井液提出了更高的要求。我国未来深部大陆科学钻探深度为 12000 m ~ 13000 m, 温度梯度按 3.0℃ ~ 3.5℃/100 m 计算,井底温度将达到 350℃ 以上,钻井液将面临超高温高压环境,给钻井液能否维持稳定的性能带来了极大的挑战。

1 国外超深井钻探及高温井钻探实施情况

超深井钻探国外起步较早。1984 年,前苏联在科拉半岛钻成世界第一口超深井 cr-3 井,井深 12260 m,1991 年第二次侧钻至 12869 m,至今保持着世界最深井的记录。美国成功钻成多口 9000 m 以深的井:罗杰斯 1 井,井深 9583 m;已登 1 井,井深 9159 m;瑟弗兰奇 1-9 井,井深 9043 m;Zmmalon 2 井,井深 9029 m。德国 KTB 科学深钻,井深 9101 m;日本葛根田地热区 WD-1A 地热井,井深 3729 m。

从井内温度来看,前苏联科拉半岛 cr-3 井,井底温度 215℃;美国索尔顿湖高温地热科学钻探,井深 3200 m,温度 353℃;德国 KTB 科学钻探,井温 280℃;日本葛根田地热区 WD-1A 井,用温度指示

材料记录孔底温度为 500℃。

在深井和超深井钻探中,高温钻井液是一项重要的关键技术(汪仲英,2007),受到各国钻探组织的重视。国外超深井钻探钻井液概况如下:

1.1 前苏联科学钻探钻井液体系

(1) 抗高温低密度聚合物钻井液

科拉半岛 cr-3 超深井在结晶岩中钻进采用了抗高温低密度聚合物体系。体系组分见表 1。

表 1 cr-3 井采用的低固相聚合物泥浆体系组分

Table 1 Components of the low solid polymer mud system used in well cr-3

成分	加量(%)	作用
高岭土	15 ~ 25	悬浮剂
Metac(丙烯酸类二元共聚物)	0.15 ~ 0.2	降失水和高温稳定剂
磷酸钠	0.01 ~ 0.05	抗 Ca ²⁺
CMAД-1	1 ~ 3	润滑剂
石墨	1.5 ~ 2	润滑减阻剂

(2) 抗高温高密度聚合物钻井液体系

秋明 cr-6 井深 7502 m,7025 m 时井温 205℃,地层压力异常,采用密度为 1.85 g/cm³ 的抗高温高

[收稿日期]2011-8-26;[修订日期]2011-10-25;[责任编辑]郝情情。

[基金项目]公益性行业科研专项(深部探测技术与实验研究专项)(201011082)资助。

[第一作者]胡继良(1965 年-),男,1998 年毕业于中国地质大学(北京),获硕士学位,在读博士生,教授级高级工程师,现从事钻井液技术研究与开发。E-mail:bjhujl@139.com。

密度聚合物钻井液体系,其组分见表 2。

表 2 cr-6 超深井采用的高密度聚合物泥浆体系组分
Table 2 Components of the high-density polymer mud system used in well cr-6

成分	加量(%)	作用
粘土	15~25	悬浮剂
NaOH	0.2~0.3	pH 调整剂
CMC 或 HEC	0.1~0.2	降失水剂
MeTac	0.2~0.3	降失水和高温稳定剂
卡鲍诺尔和霍斯塔里尔	0.5~1.0	
铁铬盐	1~5	反絮凝剂
CD3b-1	0.5~1	润滑剂
石墨	1~1.5	润滑减阻剂
重晶石	适量	调密度

由于前苏联科学深钻起步较早,聚合物等很多优良处理剂尚未用于钻井行业,因此为了适应井深、井温高以及其它复杂地质条件,其泥浆体系的特点是:固相含量高,处理剂品种繁多、用量大(王达等,1995)。

1.2 德国 KTB 科学钻探用钻井液体系

KTB 井分先导孔和主孔用钻井液。先导孔开始用 Dehydrill HT 无固相钻井液(屠厚泽,1992)。D-HT 是一种硅酸盐化合物,高温下流变性稳定,但失水量大,腐蚀性强。主孔以此为基础,加入人工锂蒙脱石粘土、Hostadrill 3118,称 D-HT/HOE 体系,井深 7100 m 后泥浆性能恶化,高温条件下泥浆粘度降低,携屑困难,井眼扩大。经克劳斯特尔大学研究,转化为 D-H/HOE/Pyrodrill 体系,其组分见表 3。

表 3 D-H/HOE/Pyrodrill 钻井液体系组分
Table 3 D-H/HOE/Pyrodrill drilling fluid system components

成分	加量(%)	作用
膨润土	3.6	提粘、控失水
粘封剂(AMPS/AAM)	0.15	控失水、增粘
高温稳定剂(SSMA)	0.15	反絮凝、防粘土高温胶凝
抗温剂	0.5	控高温失水
Dehydrill-HT(原浆)	1~1.5	无机增粘剂
Hostadrill 3118(原浆)	1.5	

转换后泥浆低剪粘度提高,高温失水降低,携屑能力改善,但漏斗粘度和高剪粘度增加到无法接受(FV≥240s,直至不流)。

KTB 井钻井液管理人员开始只注重流变性稳定,采用 D-HT 无固相改性硅酸盐钻井液。钻进施工中,性能恶化,井壁坍塌,携屑困难,因此不得不转化为控制高温失水的钻井液体系。采用了大量的磺化高聚物和共聚物,体系在高温下(280℃)流变性失调,承载岩屑能力更差,固相无法控制,井壁缩径

严重(地质专家解释为岩层流动)。最后在 9101 m (设计井深 10000 m)提前终孔。

1.3 美国科学钻探钻井液

1974 年美国在俄克拉荷马钻成了当时世界最深井-罗杰斯 1 号井,孔深 9583 m。由于泥浆密度对井内压力异常失控,诱发井喷,地层流体以硫磺为主,在井内迅速凝固而终孔。1985 年在索尔顿 S2-14 孔,以研究高温地热为中心的科学钻探(SSSDP 计划)孔,孔深 3220 m,地温 353℃;1988 年巴耶斯井 1762 m,井底温度 295℃。美国高温井钻进所采用的钻井液体系主要有:

(1) 聚磺钻井液体系,如由 Magcobar 公司提供的抗高温 DURATHERM 水基钻井液体系,主要材料为粘土、PAC、XP-20(改性褐煤)、Resiner(特殊树脂),pH 为 10.5-11.5。

(2) 海泡石聚合物钻井液:将粘土换成海泡石土,抗温能力明显提高。

(3) 分散性褐煤-聚合物钻井液体系:由 Chevron 服务公司研制,采用该体系在密西西比海域,成功钻进 7178.04m,井底温度 212.8℃。

1.4 日本科学钻探钻井液

早期日本深井基本上使用分散体系,推荐使用木素磺酸盐泥浆(佐野守宏,1990),其特点是有一定的抗高温和抑制能力,固相(岩屑)承载能力大,其主要组分见表 4。

表 4 日本高温地热井钻探泥浆体系
Table 4 Japanese high-temperature geothermal well drilling mud system

材料名称	加量(%)	作用
膨润土	3~10	提粘、降失水
铁铬木素磺酸盐	3~4	反絮凝剂
铬褐煤	1~2	高温稳定剂
NaOH	调 pH 至 10~11	调节 pH

该体系具有非常好的抗温性能,但组分中含铬离子的材料对环境有影响。

近几年,日本研究使用温度在 210℃ 以上的水基钻井液,该钻井液以 Therma Vis 及 G-500S 两种超高温材料为主体,外加造壁剂、高温降滤失剂、井眼稳定剂和高温润滑剂。使用该体系在“三岛”基地完成 6300m 深井钻进,井底温度为 225℃。

2 国内超深井钻探及高温井钻探实施情况

国内自大庆油田在 60 年代成功钻成我国第一口深井-松基六井以来,各油田已先后成功钻成多口超

深井。如 1976 年,钻成第一口超深井—女基井,井深 6011m;1978 年钻成的超深井关基井(7175m);1979 年钻成新疆固 2 井(7002 m);1998 年钻成塔里木塔参 1 井(7200 m);2005 年,完成中国大陆科学钻探“科钻 1 井”,井深 5158m;2006 年,完成国内目前最深超深井——塔河 1 井,井深 8408m(曾义金等,2005)。

我国高温深井及高温地热井所采用的钻井液体系主要有以下几种类型:

2.1 高温地热钻井—分散性抗高温钻井液体系

我国较早就开展了高温地热钻井钻井液研究工作(修宪民,1989;曾梅香等,2007)。其中西藏羊八井(ZK4002 地热井)采用的是分散性抗高温钻井液体系。该体系由北京探矿工程研究所研究设计(汤松然等,1993),体系基本配方为:5% 膨润土+3% 地热 93。该体系在高温高压条件下性能稳定,顺利完成 ZK4002 井施工,井底温度达到 329.8℃。

2.2 石油深井—聚磺钻井液体系

目前国内石油系统施工的高温深井多采用聚磺钻井液体系。聚磺泥浆的基本组成为:膨润土+高分子聚合物+磺化酚醛树脂(或同类产品)+褐煤类产品+纤维素(或淀粉等)。聚磺钻井液体系也在深孔钻探得到发展(王建,2010)。

(1) 泌深 1 井,钻进深度 6005m,井底温度达到 241℃,采用的钻井液体系(邱正松等,2009)为:4% 膨润土+1.2% 抗高温降滤失剂 RCS-18+3% 改性树脂类处理剂 CQ-11+3% 改性褐煤沥青类树脂 CQ-22+3% HTP-1+2% HTP-2+3% 耐高温防塌降滤失剂 KP-8+1% SF-26+3% 白油+重晶石(密度为 1.2 g/cm³)。

(2) 胜科 1 井,完钻井深为 7 026 m,井底温度为 235℃。主要采用国外抗高温钻井液材料,研制了超高温水基钻井液体系(李公让等,2009),其主要处理剂包括:Driscal D 抗高温聚合物降滤失剂、Desco 单宁基产品及磺化沥青 Soltex。

2.3 抗高温高密度钻井液的技术研究

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 g/cm³)、中密度钻井液(密度 1.0 ~ 1.5 g/cm³)、高密度钻井液(密度 1.5 ~ 2.0 g/cm³)、超高密度钻井液(密度>2.0 g/cm³)。近年来,深井钻探的发展,促进了抗高温高密度钻井液的研究(王松等 1996;余加水等,2005;张喜凤等,2007;梁大川等,2008;王旭,2009;艾贵成等,2009)。20 世纪 90 年代以来采用超高密度钻井液(当量密度 2.0 g/cm³ 以上)在塔里木、川东、莺歌海等地区相继成功进行了多口深井钻进。

莫深 1 井,钻孔深度 7500 米,井底温度 173℃。新疆克拉玛依钻井公司为其设计的钻井液体系配方(谢远灿等,2008)为:5% KHm+5% SMP-2+5% SPNH+5% 高温封堵剂+2% A-260+1% 高温保护剂+10% 润滑降滤失剂+2% KOH,使用密度 2.1 g/cm³。该配方顺利完成莫深 1 井深井钻探,在施工时间长达一年情况下,钻井液性能稳定。

从以上国内高密度泥浆体系的研究情况来看,目前高密度泥浆体系密度达到较高水平(施工最高密度达 2.5 g/cm³),但最高温度不超过 200℃。

3 深井超深井耐高温钻井液主要技术难点

3.1 关键问题

(1) 钻井液的抗温问题。高温对钻井液性能影响很大,主要体现在膨润土分散液的絮凝和化学材料的降解;泥浆处理剂与粘土胶粒吸附作用减弱,出现高温解吸现象;高分子聚合物泥浆的粘度对温度十分敏感。在钻井液性能上主要体现在流变性能恶化,滤失量大幅度提高,将直接影响岩屑的悬浮与携带及孔壁稳定。目前国内研究的高温钻井液抗温都在 250℃ 以内,研究耐 300℃ 的高温钻井液面临诸多技术难题。

(2) 高的摩擦阻力。摩擦力随深度成正比增加,而且超深孔的孔斜和方位也会发生较多的变化,导致附加的阻力。如科拉深钻 10 km 时提钻阻力高达 1200 kN,回转阻力矩达 27 kN·m,而 12 km 时提钻阻力达 1400 kN。

(3) 孔壁不稳定问题。会遇到各种复杂地层,如异常压力地层、破碎地层,盐膏等污染地层,要求泥浆具有适当的密度,良好的造壁性能和抗污染性能。这些地层在一般钻探中处理起来尚且困难,在超深孔、高温条件下难度更大。

(4) 试验仪器的限制。现有仪器的测试极限温度大都在 260℃,实际试验温度一般不超过 230℃,超过此温度试验中经常发生密封胶圈失效、釜体变形等情况,影响试验的正常进行。

3.2 技术难点

(1) 高温高压及污染条件下钻井液流变性控制。大部分钻井液高温稀释现象严重,电解质污染使问题更加复杂。钻井液的流变性能直接影响到岩屑的悬浮与携带,是超深井钻探面临的最重要问题之一。

(2) 高温高压及电解质污染条件下钻井液滤失量控制。高温高压、电解质污染将使钻井液的滤失量大幅度提高,井壁泥饼显著增厚,将直接影响井壁的稳定,并引起复杂的孔内事故。

(3) 高温高压、高固相及电解质污染条件下钻井液润滑性能控制。提高钻井液润滑性能的有效途径一是向钻井液中加入润滑剂,二是提高泥饼质量。目前缺少抗高温润滑材料,要控制泥饼质量也非常困难。

4 超高温钻井液技术研究方向

目前国内外通过对应用基础理论和新技术研究,研究开发了大量的抗高温泥浆处理剂(朱宽亮等,2009)及钻井液体系(张琰,1999;孙金声等,2006;王松等,2006;沈丽,2008;朱宽亮等,2009;刘选朋等,2010),但耐温 250℃ 以上的泥浆处理剂及钻井液体系还很少。为应对我国未来超深井科学钻探(设计井深 13000m,按地温梯度 3.0℃ ~ 3.5℃ / 100m 计算,预计孔底温度将达到 390℃ ~ 455℃)所面临的超高温高压问题,需要开展超高温钻井液技术研究,该研究将主要集中在以下几个方面:

(1) 耐温 250℃ 以上钻井液处理剂研究

耐高温钻井液材料的研究是高温钻井液技术研究的基础,主要包括:耐高温降滤失剂、增黏剂、降黏剂及润滑剂的研究。

(2) 耐温 250℃ 以上高温钻井液体系研究

深井超深井钻井液体系的研究主要围绕地层孔壁稳定、钻井液性能稳定及减摩降阻几方面进行。体系研究向以耐温 250℃ 以上,具有良好剪切稀释性能的高密度耐高温钻井液体系、高密度抗污染耐高温钻井液体系、环保钻井液体系等方向发展。

(3) 超高温钻井液试验仪器研究:包括超高温流变仪、超高温滚子加热炉及超高温高压失水仪、粘附系数仪等。

(4) 超高温钻井液地面循环系统研究,包括泥浆温度控制技术及地面泥浆监测等。特别是泥浆降温系统的研究,保证泥浆具有较低的入孔温度。

5 小结

21 世纪初,国内外抗高温钻井液技术发展较快,研究了大量抗高温性能优良的钻井液处理剂,形成了一系列抗高温钻井液体系。从目前国内外已施工的情况看,国外高温钻井液技术相对较高,有许多成功的经验。国内除西藏羊八井外,已施工的深井,最高温度为 241℃。虽然国内外对高温钻井液进行了大量的研究,但对于我国准备实施的超深井科学钻探,还面临诸多挑战,在耐高温泥浆处理剂、耐高温钻井液体系、超高温检测仪器等方面需要做大量的研究工作。

[References]

Ai Gui-cheng, Wang Wei-guo, Zhang Bao-feng, Wang Yong, Cheng Qi-kai. 2009. Deep high-temperature high-density drilling fluid lubricity control technology [J]. West-China Exploration Engineering,

(6):42-44 (in Chinese)

Liang Da-chuan, Wang Shi-guo, Yu Jia-shui, Zhang Yi. 2008. High temperature and high density-resistance water-based drilling fluid system [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 30(1):133-136 (in Chinese with English abstract)

Liu Xuan-peng, Zheng Xiu-hua, Wang Zhi-min, Wang Jun, Xie Wei-quan. 2010. Study of the silicate fluid for prevention of borehole-wall collapse and its application to drilling in Carbonaceous Mudstone [J]. Geology and Exploration, 46(5):967-970 (in Chinese with English abstract)

Morihiro Sano. 1990. Status of the deep drilling mud [J]. Chemical Engineering of Oil and Gas, 19(2):66-74 (in Chinese)

Qiu Zheng-song, Huang Wei-an, He Zhen-kui, Meng Huai-qi, Jiang Jian-ning, Xie Yu-zhi, Liu Ke-fei. 2009. The application of high temperature drilling fluid technology in Well Bishen-1 [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 26(2):35-36 (in Chinese with English abstract)

Li Gong-rang, Xie Yu-zhi, Liu Bao-feng, Lan Qiang. 2009. High temperature high density drilling fluid technology for the forth interval of Well Shengke-1 [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 26(2):12-16 (in Chinese with English abstract)

Wang Song, Mei Yun-yi, Li Shu-lian. 1996. A high temperature, high density drilling fluid with sepiolite [J]. Journal of Jiangnan Petroleum Institute, 18(1):65-68 (in Chinese with English abstract)

Shen Li. 2008. Development and application of high temperature resistance drilling fluid system [J]. Advances in Fine Petrochemicals, 9(4):5-8 (in Chinese with English abstract)

Sun Jin-sheng, Yang Ze-xing. 2006. Study on the water based drilling fluid with ultra high temperature tolerance [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 23(1):15-18 (in Chinese with English abstract)

Tang Song-ran, Tao Shi-xian. 1995. High-temperature geothermal drilling mud [J]. West-China Exploration Engineering, 7(5):18-26 (in English)

Tu Hou-ze. 1992. Status quo of the development of drilling technology in Germany [J]. Geology and Exploration, 28(12):53-57 (in Chinese)

Wang Da, Tang Song-ran. 1995. Russian scientific deep drilling technology overview and features; technical visits one of a series of reports [J]. Exploration Engineering, (1):53-55 (in Chinese)

Wang Jian. 2010. Research on KCl/Polysulfonate water-based drilling fluid system in deep well drilling [J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology (Natural Sciences Edition), 12(5):88-91 (in Chinese with English abstract)

Wang Song, Zeng Ke, Yuan Jian-qiang, Xiao Jun-fang. 2006. Research and application of salt-resisting and high temperature resisting and water base drilling fluid system [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 28(3):105-108 (in Chinese with English abstract)

Wang Xu, Zhou Le-qun, Zhang Bing, Wang Ya-bin, Wang Zhong-hua, Yang Xiao-hua. 2009. Laboratory researches on high temperature high density water based drilling fluids [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 26(2):43-45 (in Chinese with English abstract)

Wang Zhong-ying. 2007. Scientific deep drilling mud problems [A]. Wang Da. CCSD Project drilling Selected Papers [C]. Beijing: Geological Publishing House:163-167 (in Chinese)

Xie Yuan-can, Yu Jia-shui, Zhu Feng, Zhao Li, Li Chun-xiang, Zhang Xiong. 2008. Drilling fluid technology for Well Moshen-1 [J]. Xinjiang Petroleum Science & Technology, 18(2):16-19 (in Chinese)

Xiu Xian-min. 1989. Water-base mud for using in geothermal hole drill-

ing[J]. *Geology and Exploration*, (11):55–59 (in Chinese with English abstract)

Yu Jia-shui, Li Jing, Kong De-qiang, Zhou Wen-xin and Wang Bin. 2005. Study on a ultra-high density drilling fluid[J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 22(s1):17–20 (in Chinese with English abstract)

Zeng Mei-xiang, Li Hui-juan, Shi Jian-jun, Zhao Na, Yang Yong-jiang. 2007. The study on drilling technique of tertiary reservoir reinjection well[J]. *Geology and Exploration*, 43(2):88–92 (in Chinese with English abstract)

Zeng Yi-jin, Liu Jian-li. 2005. Technical status and developmental trend of drilling techniques in deep and ultra-deep wells[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 33(5):1–5 (in Chinese with English abstract)

Zhang Xi-feng, Li Tian-tai, Shi Li-yu, Zhang Bin. 2007. Experimental study of the high-density salt water drilling fluid with high-temperature resistance for deep wells[J]. *Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition)*, 22(5):37–40 (in Chinese with English abstract)

Zhang Yang. 1999. Study of salt water-based mud used for high temperature wells[J]. *Geology and Exploration*, 35(2):61–65 (in Chinese with English abstract)

Zhu Kuan-liang, Wang Fu-hua, Xu Tong-tai, Wang Hai-liang, Lu Shu-qin. 2009. Status in quo and progress (I): study and application of high temperature drilling fluids[J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 26(5):60–68 (in Chinese with English abstract)

Zhu Kuan-liang, Wang Fu-hua, Xu Tong-tai, Wang Hai-liang, Lu Shu-qin. 2009. Status in quo and progress (II): study and application of high temperature drilling fluids[J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 26(6):56–64 (in Chinese with English abstract)

[附中文参考文献]

艾贵成, 王卫国, 张宝峰, 王 勇, 程岂凡. 2009. 深井高温高密度钻井液润滑性控制技术[J]. *西部探矿工程*, (6):42–44

李公让, 薛玉志, 刘宝峰, 蓝 强. 2009. 胜利 I 井四开超高温高密度钻井液技术[J]. *钻井液与完井液*, 26(2):12–16

梁大川, 汪世国, 余加水, 张 毅. 2008. 抗高温高密度水基钻井液体系研究[J]. *西南石油大学学报(自然科学版)*, 30(1):133–136

刘选朋, 郑秀华, 王志民, 王 军, 解卫权. 2010. 硅酸盐防塌泥浆研究及其在碳质泥岩钻探中的应用[J]. *地质与勘探*, 46(5):967–970

邱正松, 黄维安, 何振奎, 孟怀启, 蒋建宁, 薛玉志, 刘克飞. 2009. 超高温水基钻井液技术在超深井泌深 1 井的应用[J]. *钻井液与完井液*, 26(2):35–36

沈 丽. 2008. 抗高温钻井液体系的研究与应用[J]. *精细石油化工进展*, 9(4):5–8

孙金声, 杨泽星. 2006. 超高温 (240℃) 水基钻井液体系研究[J]. *钻井液与完井液*, 23(1):15–18

汤松然, 陶士先. 1995. 高温地热钻井泥浆研究[J]. *西部探矿工程*, 7(1):1–5

屠厚泽. 1992. 德国钻探技术发展现状[J]. *地质与勘探*, 28(12):53–57

汪仲英. 2007. 科学深钻泥浆问题[A]. 王达. 中国大陆科学钻探工程钻探技术论文选集[C]. 北京:地质出版社;163–167

王 达, 汤松然. 1995. 俄罗斯科学深钻技术概况和特点:技术考察系列报道之一[J]. *探矿工程*, (1):53–55

王 建. 2010. 适用于深井钻井的 KCl/聚磺水基钻井液体系研究[J]. *重庆科技学院学报(自然科学版)*, 12(5):88–91

王 松, 梅运宜, 李淑廉. 抗高温高密度海泡石钻井液体系[J]. *江汉石油学院学报*, 1996. 18(1):65–6

王 松, 曾 科, 袁建强, 肖俊峰. 2006. 抗盐抗高温水基钻井液体系研究与应用[J]. *石油天然气学报(江汉石油学院学报)*, 28(3):105–108

王 旭. 2009. 抗高温高密度水基钻井液室内研究[J]. *钻井液与完井液*, 26(2):43–45

谢远灿, 余加水, 朱 峰, 赵 利, 李春祥, 张 雄. 2008. 莫深 1 井钻井液技术[J]. *新疆石油科技*, 18(2):16–19

修宪民. 1989. 地热钻井用水基泥浆[J]. *地质与勘探*, (11):55–59

余加水, 李 竞, 孔德强, 周文欣, 王 彬. 2005. 超高密度钻井液技术研究[J]. *钻井液与完井液*, 22(s1):17–20

曾梅香, 李会娟, 石建军, 赵娜, 扬永江, 田宗宝. 2007. 新近系热储层回灌井钻探工艺探索[J]. *地质与勘探*, 43(2):88–92

曾义金, 刘建立. 2005. 深井超深井钻井技术现状和发展趋势[J]. *石油钻探技术*, 33(5):1–5

张喜凤, 李天太, 施里宇, 张 斌. 2007. 深井抗高温高密度盐水钻井液实验研究[J]. *西安石油大学学报*, 22(5):37–40

张 琰. 1999. 抗高温盐水泥浆的实验研究[J]. *地质与勘探*, 35(2):61–65

朱宽亮, 王富华, 徐同台, 王海良, 卢淑芹. 2009. 抗高温水基钻井液技术研究与应用现状及发展趋势 (I) [J]. *钻井液与完井液*, 26(5):60–68

朱宽亮, 王富华, 徐同台, 王海良, 卢淑芹. 2009. 抗高温水基钻井液技术研究与应用现状及发展趋势 (II) [J]. *钻井液与完井液*, 26(6):56–64

佐野守宏. 1990. 深井泥浆的现状[J]. *石油与天然气化工*, 19(2):66–74

Overview of Ultra-Deep Well High-Temperature Drilling Fluid Technology and Discussion of Its Research Direction

HU Ji-liang^{1,2}, TAO Shi-xian², SHAN Wen-jun², LIU San-yi²

(1. School of Engineering and Technology, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083;
2. Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083)

Abstract: In the future, the continental scientific drilling depth of China will reach 12000m ~ 13000m, and temperature of the well bottom will exceed 350℃. The drilling fluid will face a super-high-temperature high-pressure fluid environment, and the drilling technology will face a severe challenge. This paper focuses on presentation about the applications of drilling fluid to typical ultra-deep wells and high-temperature geothermal boreholes in China and elsewhere in the world. It is proposed that the main technical difficulty of the high temperature drilling fluid is the controlling of rheology, filtration and lubrication, and that research direction of drilling fluid technology is temperature drilling fluid agent and systems for the ultra-high temperature above 250℃ as well as the high-temperature drilling fluid testing equipment and ground cycle cooling system.

Key words: ultra-deep well, drilling, high-temperature drilling fluid