

◀ 钻井完井 ▶

doi:10.11911/syztjs.201704003

## 马深1井钻井工程设计与施工

陈明, 黄志远, 马庆涛, 刘云鹏, 葛鹏飞, 夏广强

(中石化胜利石油工程有限公司钻井工艺研究院, 山东东营 257000)

**摘要:**马深1井是部署在四川盆地的一口超深井,存在井身质量控制困难、钻井提速难度大、喷漏风险并存、钻井液和水泥浆性能维护难度大、固井质量难以保证等钻井技术难点。为此,根据该井所钻遇地层的特点,充分考虑预探井风险,在保证钻井安全的前提下,兼顾井身质量、效率、经济等因素,将井身结构设计为导管+五开井身结构,设计采用氯化钾聚胺磺化防塌钻井液和胶乳防气窜固井水泥浆,并在实钻中采用气体和泡沫钻井技术、“螺杆+PDC钻头”复合钻井技术、“涡轮钻具+孕镶金刚石钻头”钻井技术及“旋冲工具+PDC钻头”钻井技术等提速技术。该井钻井过程顺利,提速效果明显,表明该井的钻井工程设计合理,所采用的提速技术针对性强,可以解决该井存在的钻井技术难点。

**关键词:**超深井; 钻井设计; 井身结构; 钻井液; 固井; 水泥浆; 气体钻井; 动力钻具; 马深1井

**中图分类号:**TE22    **文献标志码:**A    **文章编号:**1001-0890(2017)04-0015-06

## Design and Drilling of Well Mashen 1

CHEN Ming, HUANG Zhiyuan, MA Qingtao, LIU Yunpeng, GE Pengfei, XIA Guangqiang

(Drilling Technology Research Institute of Sinopec Shengli Oilfield Service Corporation, Dongying, Shandong, 257000)

**Abstract:** Well Mashen 1 is an ultra-deep well drilled in the Sichuan Basin. Drilling of the well was characterized by difficulties in borehole quality control, ROP enhancement, coexistence of lost circulation and blowout, maintenance of desirable performances of drilling fluids and cement slurries, and quality control in cementing operations. Under such circumstances, a casing program involving conductor plus five spud-in intervals had been designed on the basis of specific features and risks of target formations, together with safety of drilling operations, quality, efficiencies, economic performances and other factors. According to the design, KCl polyamine sulfonation anti-sloughing drilling fluid and latex anti-gas channeling cement slurry system were to be used. In practice, gas drilling, foam drilling, “PDM drill plus PDC bit” composite drilling techniques, “turbo drill plus diamond-impregnated bit”, “RSS plus PDC bit” and other techniques had been deployed to enhance ROP. Drilling processes of the well were satisfactory with significant enhancement in ROPs. Generally speaking, the engineering design for the Well Mashen 1 was rational and all techniques adopted were satisfactory and could effectively remove drilling technical challenges.

**Key words:** ultra-deep well; drilling design; casing program; drilling fluid; cementing; cement slurry; gas drilling; downhole motor drilling; Well Mashen 1

四川盆地东北部的通南巴构造是中国石化的重点勘探区域之一,主要勘探目的是探明下寒武统龙王庙组储层。为提高该区域的勘探程度,在马路背构造高部位部署了马深1井,初始设计井深7 470.00 m,在顺利钻至目的层下寒武统沧浪铺组后,为了加深对灯影组产层以及元古界地层的认识,考虑到该井上部井身质量良好,决定加深钻至井深8 418.00 m。

通过优化钻井工程设计和应用新技术,保证了该井的安全高效施工,全井平均机械钻速达到1.84 m/h。

收稿日期:2016-06-21; 改回日期:2017-05-17。

**作者简介:**陈明(1979—),男,山东滨州人,2001年毕业于石油大学(北京)石油工程专业,2009年获中国石油大学(华东)油气井工程专业工程硕士学位,高级工程师,主要从事钻井工程设计方面的研究工作。E-mail:chenming206\_slyt@sinopec.com。

该井创亚洲第一超深井纪录,  $\phi 273.1$ ,  $\phi 193.7$  mm 套管和  $\phi 146.1$  mm 尾管下深最深及取心井段最深等 4 项中国石化纪录, 圆满完成了该井的钻探任务, 取得了显著的钻井施工效果。

## 1 地质情况及钻井技术难点

### 1.1 地质情况

马深 1 井自上而下钻遇侏罗系遂宁组、沙溪庙组、千佛崖组、自流井组, 三叠系须家河组(以上为陆相地层)、雷口坡组、嘉陵江组、飞仙关组, 二叠系大隆组、吴家坪组、茅口组、栖霞组、梁山组, 志留系韩家店组、小河坝组、龙马溪组, 奥陶系五峰组、宝塔组、湄潭组、洗象池群组、陡坡寺组、龙王庙组、沧浪铺组、仙女洞组、筇竹寺组以及震旦系灯影组。纵向上综合预测地层压力系数最低 1.00、最高 1.97, 从上至下呈现升高—降低—升高—降低的变化趋势(见表 1)。邻井马 1 井飞仙关组地层实测压力系数 1.97, 实际钻井液密度 2.06 kg/L, 因此, 预测该井在相同层位可能钻遇高压甚至异常高压。

表 1 马深 1 井预测地层压力系数

Table 1 Predicted formation pressure coefficients in Well Mashen 1

地层	井段/m	预测地层压力系数	邻井实测压力系数
遂宁组—下沙溪庙组	0~2 345.00	1.00~1.10	
千佛崖组—自流井组	2 345.00~3 120.00	1.23~1.47	1.36~1.47
须家河组	3 120.00~3 455.00	1.15~1.50	1.15~1.62
雷口坡组—嘉陵江组	3 455.00~4 655.00	1.38~1.71	1.71~1.74
飞仙关组—大隆组	4 655.00~5 665.00	1.43~1.97	1.43~1.97
吴家坪组—栖霞组	5 665.00~6 060.00	1.60~1.85	1.20~1.70
梁山组—五峰组	6 060.00~6 820.00	1.01~1.46	1.01~1.61
宝塔组—陡坡寺组	6 820.00~7 040.00	1.32~1.67	
龙王庙组—沧浪铺组	7 040.00~7 260.00	1.33~1.66	
仙女洞组	7 260.00~7 650.00	1.35~1.50	
筇竹寺组	7 650.00~8 080.00	1.15~1.25	1.52
灯影组	8 080.00~8 280.00	1.10~1.20	1.00~1.24

### 1.2 钻井技术难点

1) 井身质量控制困难。上部陆相地层, 特别是沙溪庙组和须家河组, 地层倾角大、软硬交错, 易发生井斜, 大尺寸井眼井斜控制和纠斜难度大。海相地层嘉陵江组—飞仙关组地层倾角最大达到  $22^\circ$ , 梁山组、五峰组和龙王庙组地层倾角均达到  $11^\circ$  以上, 井斜问题突出, 加之地层温度高, 影响测斜工具

的正常使用, 难以掌握井斜变化趋势, 井身质量控制难度大。嘉陵江组存在盐膏层, 盐膏层易发生蠕变造成缩径或盐膏层溶解形成“大肚子”井眼, 影响后期钻井安全<sup>[1-3]</sup>。

2) 钻井提速难度大。陆相地层岩石致密、硬度大, 特别是须家河组发育大段砂泥岩互层, 地层可钻性差。上部水层分布复杂, 可以应用气体钻井技术的井段有限, 部分地层出水量大, 泡沫钻井也无法应用。对于上部大尺寸井眼, 采用常规钻井技术由于排量受限, 提速工具难以发挥作用<sup>[4-5]</sup>; 茅口组地层发育大段硅质灰岩地层, 吴家坪组和灯影组地层硅质含量高, 可选用钻头少。对于下部小尺寸井眼, 由于钻具长、刚性低, 钻压无法有效传递到钻头上, 造成机械钻速低。

3) 井漏与井喷风险并存。马深 1 井所在区块地层压力层系变化频繁, 钻井液安全密度窗口窄。邻井马 1 井实钻过程中在须家河组发生了 2 次井涌, 河坝 1 井、元坝 29 井、天星 1 井等井在须家河组、嘉陵江组、飞仙关组、吴家坪组、筇竹寺组以及灯影组发生了不同程度的漏失。钻井过程中必须注意调整钻井液性能, 在钻井液安全密度窗口较窄的情况下既要保证压稳又要不发生漏失<sup>[6-7]</sup>。

4) 井底温度高, 钻井液、水泥浆性能维护难度大。该井设计井深较深, 地层温度最高可达到  $175^\circ\text{C}$  以上, 高温下钻井液和水泥浆的性能会变差, 因此, 应选用抗高温的钻井液和水泥浆, 并制定合理的维护处理措施, 以保证钻井液和水泥浆性能稳定。

5) 固井质量难以保证。大尺寸套管下入深度大, 套管刚性和悬重大, 下入过程中易受阻, 对钻井载荷和泵压要求高; 二开、三开钻井液安全密度窗口窄, 压稳与防漏难以兼顾, 影响了水泥浆密度和固井工艺的选择; 海相地层温度高、上下温差大, 对水泥浆的沉降稳定性、流变性、抗温性能以及固井工具的强度和密封性要求高<sup>[8]</sup>; 套管层次多, 造成环空间隙小,  $\phi 146.1$  mm 套管理论环空间隙仅为 9.5 mm, 加之井深、水泥浆密度高, 顶替效率和固井质量难以保证。

## 2 井身结构设计

为确保钻井成功、顺利钻达目的层, 在分析邻井实际井身结构的基础上, 综合考虑邻井钻井过程中遇到的复杂情况和马深 1 井钻遇地层的特点, 将井身结构优化设计为导管+五开井身结构,

具体井身结构为:

导管,采用 $\phi 114.4$  mm 钻头钻至井深 50.00 m, $\phi 720.7$  mm 导管下至井深 50.00 m,如果浅层出现漏失且钻速较快,可适当加深,建立井口。

一开,采用 $\phi 660.4$  或  $\phi 609.6$  mm 钻头钻至井深 1 001.00 m, $\phi 482.6$  mm 套管下至井深 1 000.00 m,封隔浅层水,为二开创造较好的井控条件,如果井底附近可能有或已经发现有水层,适当加深进行封隔。

二开,采用 $\phi 444.5$  或  $\phi 406.4$  mm 钻头钻至井深 4 297.00 m, $\phi 339.7$  mm 套管下至井深 4 295.00 m,封隔嘉陵江组以上易漏失地层,为三开揭开嘉陵江组和飞仙关组的高压气层创造条件。

三开,采用 $\phi 311.1$  mm 钻头钻至井深 6 204.00 m, $\phi 273.1$  mm 尾管下至井深 6 202.00 m,封隔栖霞组气层及以上高压地层,为四开揭开龙王庙组产层和安全钻井创造条件。 $\phi 273.1$  mm 尾管回接至井口。

四开,采用 $\phi 241.3$  mm 钻头钻至井深 7 652.00 m, $\phi 193.7$  mm 尾管下至井深 7 650.00 m,封隔仙女洞组及以上高压地层,为五开揭开目的层和安全钻井创造条件。如果 $\phi 193.7$  mm 尾管固井质量合格、 $\phi 273.1$  mm 套管和井口装置试压合格,则 $\phi 193.7$  mm 尾管可暂不回接至井口。

五开,采用 $\phi 165.1$  mm 钻头钻至完钻井深 8 418.00 m, $\phi 146.1$  mm 无接箍尾管下在 7 450.00~8 415.00 m 井段。如果 $\phi 193.7$  mm 尾管中完时没有回接至井口,则全井完井时 $\phi 193.7$  mm 尾管回接至井口。

### 3 钻井液设计

根据马深1井钻遇地层的特点和钻井要求,本着有利于环境保护、有利于地质资料录取、保证安全快速钻井、及时发现和保护油气层的原则,优选合理的钻井液,保证钻井液具有良好的防塌、防漏、抗高温、抗盐膏侵、抗酸根污染和保护气层等性能。在保证压稳地层的前提下,尽可能实现近平衡钻井。

导管段选用高膨润土钻井液,密度设计为 1.07~1.25 kg/L。

一开井段在无法实施空气钻井、泡沫钻井的情况下,选用胺基聚合物防塌钻井液,密度设计为

1.07~1.25 kg/L。胺基聚合物防塌钻井液能够有效抑制上部地层泥岩的水化分散,防止钻头泥包和井壁坍塌。

二开井段在无法实施空气钻井、泡沫钻井的情况下,选用氯化钾聚胺防塌钻井液,密度设计为 1.25~1.50 kg/L。氯化钾聚胺防塌钻井液的抑制性强,能够有效防止沙溪庙组、须家河组的泥岩水化膨胀,同时能防止雷口坡组和嘉陵江组盐膏层的塑性变形及其对钻井液的污染。

三开井段较长,地层压力变化幅度大(压力系数 1.01~1.97),井底温度高,是该井能否钻成的关键。该井段所钻遇地层岩性以灰岩为主,水敏性不强,对钻井液的抑制性要求不高,为保证井壁的稳定性,需增强钻井液的封堵性、耐温性。因此,该井段选用聚磺防塌钻井液,密度设计为 1.95~2.05 kg/L。由于该井段钻井液密度较高,需要采取合适的维护处理措施保持其性能稳定。钻井液维护处理措施:控制膨润土含量小于 20 g/L、固相含量在 35%左右;加入足量的封堵材料,以稳定井壁;加入抗高温降滤失剂 PAMS-180、磺化树脂 SMP-2、封堵材料 SCL 和 FT,以降低钻井液的滤失量,改善泥饼质量;及时补充  $\text{CaCl}_2$ ,以消除酸根离子对钻井液性能的影响;适量补充 NaOH,以保持钻井液的 pH 值;根据井下情况调整钻井液的密度,以确保井控安全;及时以胶液的形式补充稀释剂 SMS-19 和 NaOH,以调整高密度钻井液的流变性,满足正常钻井要求;根据井下摩阻情况,及时补充润滑剂 CGY,以提高钻井液的润滑性,降低井下摩阻<sup>[9-11]</sup>。

四开井段选用氯化钾聚胺磺化防塌钻井液,密度设计为 1.90~2.00 kg/L。与二开井段所用的氯化钾聚胺防塌钻井液相比,其耐温性能更好,能保证钻井液在高温下的抑制性,防止龙马溪组泥页岩地层发生坍塌<sup>[12]</sup>。

五开井段选用抗 200 °C 高温的聚磺防塌钻井液,密度设计为 1.35~1.65 kg/L。该井段所选用钻井液的耐温能力强,可避免钻井液材料和添加剂由于高温降解失效,保证钻井液在高温条件下性能稳定<sup>[13-14]</sup>。同时针对筇竹寺组泥页岩地层,增大抗高温聚胺抑制剂的加量,以增强钻井液的封堵能力和抑制性,防止泥页岩坍塌。

### 4 固井设计

超深井固井普遍面临井身结构复杂、长封固段

环空间隙小、易窜易漏等技术难点<sup>[15]</sup>,结合马深1井的具体情况,确定了该井的固井方案,见表2。

表2 马深1井固井方案

Table 2 Cementing program for Well Mashen 1

开次	套管直径/mm	套管钢级	套管壁厚/mm	套管扣型	水泥浆密度/( $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	固井方式	备注
一开	660.4	N80	15.88	TP-TLM	1.90	内插	水泥返至地面
二开	444.5	TP110TS	12.19	TP-CQ	1.90	双级/一级	水泥返至地面
三开	311.1	TP110TSS	13.93	TP-NF	2.10	尾管	水泥返至井深4 095.00 m,并回接至井口
四开	241.3	TP110TSS	19.05	TP-FJ	2.05	尾管	水泥返至井深6 000.00 m,并回接至井口
五开	165.1	TP125S	12.34	TP-FJ	1.90	尾管	水泥返至井深7 450.00 m

一开井段选用常规密度防气窜水泥浆,实施空气钻井的井段采用干法固井工艺进行固井。

二开井段选用常规加重防气窜水泥浆,油气显示较好的井段选用胶乳(或胶粒)防气窜水泥浆,地层承压能力满足要求时进行一级固井,否则选用分级箍进行双级固井,可选择双凝或多凝水泥浆。

三开、四开和五开井段选用胶乳防气窜水泥浆,裸眼段采用泥饼固化技术,以提高第二界面胶结质量,并根据需要采用堵漏水泥浆(如纤维水泥浆等)。

四开井段固井过程中如果出现井下复杂情况,及时回接 $\phi 193.7$  mm套管。五开井段选用 $\phi 146.1$  mm无接箍尾管完井,尾管与四开井段套管重叠段不少于200.00 m。根据地层实际压力,以压稳、不漏为原则调整水泥浆的密度。

果见表3。

表3 马深1井一开和二开井段钻井效果

Table 3 Drilling performances of the first and second spud-in intervals for Well Mashen 1

开次	钻井方式	钻进井段/m	进尺/m	纯钻时间/h	平均机械钻速/( $\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$ )
一开	空气钻井或泡沫钻井	50.00~893.66	843.66	108	7.81
	常规钻井	893.66~961.00	67.34	69	0.98
二开	空气钻井或泡沫钻井	961.00~1 209.00	248.00	51	4.86
	常规钻井	1 209.00~4 295.00	3 086.00	1 733	1.87

从表3可以看出,如具备实施空气钻井或泡沫钻井条件,采用空气钻井或泡沫钻井,提速效果较为明显。

## 5 现场施工

马深1井严格按照钻井工程设计进行施工,并根据实际钻井过程中遇到的情况采取相应技术措施,应用钻井新技术和加强现场施工管理,圆满完成了该井的钻井任务,取得了显著的钻井施工效果。该井完钻井深8 418.00 m,钻井周期593.5 d,平均机械钻速达到1.84 m/h,各开次平均井径扩大率均小于5%,最大井斜角为 $7.5^\circ$ ,固井质量合格,复杂时效仅为4.99%。

### 5.1 气体和泡沫钻井技术

马深1井除导眼段外,下沙溪庙组及以上地层如具备实施空气钻井条件,应尽可能采用空气钻井技术;在不具备空气钻井条件时,转为雾化钻井、泡沫钻井或常规钻井。该井一开和二开井段的钻井效

### 5.2 “螺杆+PDC钻头”复合钻井技术

钻进上部地层时,由于井眼尺寸大,在水力参数选择、井底清洗和岩屑携带能力等方面存在诸多问题,导致机械能量不足,造成机械钻速慢。为此,选用等壁厚螺杆钻具与高效PDC钻头配合进行复合钻进,以发挥“螺杆+PDC钻头”复合钻井“大扭矩、低转速、高钻压”的技术特点,达到提高钻速和控制井斜的目的<sup>[16-17]</sup>。

钻进下部海相地层时,特别是五开小井眼,采用“等壁厚螺杆+PDC钻头”复合钻井技术,可充分发挥滑动钻井定向纠斜和旋转钻井减少起下钻次数的优势,提高钻压和水动力传递,以提高机械钻速、缩短钻井周期。

马深1井嘉陵江组、飞仙关组和大隆组地层平



均机械钻速达到 3.31 m/h,五开筇竹寺组,灯影组三、四段平均机械钻速达 2.43 m/h,创造了五开井段单只钻头进尺最大和机械钻速最快的纪录。

### 5.3 “涡轮钻具+孕镶金刚石钻头”钻井技术

涡轮钻具由涡轮节和支承节组成,为全金属结构,以微切削和磨粒磨损破碎岩石。涡轮钻具将高压流体的水力能转换成驱动钻头的机械能,与常规螺杆钻具相比,具有高转速、长寿命、耐高温、低振动等优点。孕镶金刚石钻头与普通金刚石钻头相比,由于金刚石颗粒具有自磨自锐性能,更适合在高转速下钻进硬地层。涡轮钻具与孕镶金刚石钻头配合有利于发挥两者优势,用其钻进高研磨性地层时的提速效果已得到验证<sup>[18]</sup>。

马深1井二开须家河组地层岩性胶结致密、石英含量高、可钻性差,于是采用“涡轮钻具+孕镶金刚石钻头”钻井技术钻进该地层。与该井所在地区须家河组平均机械钻速相比,机械钻速提高 1.65 倍,单趟钻进尺达到 145.43 m,是常规牙轮钻头单趟钻进尺的 6.1 倍。采用“涡轮钻具+孕镶金刚石钻头”钻井技术节约了起下钻时间,提速提效效果明显。

### 5.4 “旋冲工具+PDC 钻头”钻井技术

旋冲工具可增加冲击破岩能量,提高扭矩传递效率,具有防斜效果,同时可消除钻头和岩屑的分子啮合,避免钻头粘滑和跳钻,保证钻头平稳工作,延长钻头使用寿命<sup>[19-21]</sup>。旋冲工具与 PDC 钻头配合使用可给钻头施加 2 个方向的作用力:1) 径向方向的旋转切削力,具有切削破碎岩石的作用;2) 轴向方向的静压力及冲击力,具有静、动载破碎岩石的双重作用,能满足硬—中硬地层的高效破岩要求。

马深1井在钻进 3 493.26~3 827.10 m 井段(雷口坡组地层)时,采用了“旋冲工具+PDC 钻头”钻井技术。与采用“螺杆+PDC 钻头”复合钻井技术钻进相同地层相比,进尺提高了 68.62%,纯钻时间延长 55.67%,平均机械钻速提高了 8.33%。

## 6 结 论

1) 马深1井具有压力层系多、岩性变化复杂、井底温度高等特点,在综合考虑各层套管下深、必封点以及井控能力等因素的基础上,提出了导管+五开井身结构方案。实钻表明,该井身结构满足了安

全钻进以及勘探开发的需要,对国内深井、超深井的井身结构设计具有一定的借鉴作用。

2) 采用“涡轮钻具+孕镶金刚石钻头”钻井技术钻进二开须家河地层、“旋冲工具+PDC 钻头”钻井技术钻进雷口坡组地层以及采用“螺杆+PDC 钻头”钻井技术钻进嘉陵江组、飞仙关组、大隆组、筇竹寺组和灯影组地层,提速提效效果显著,该区块在后续钻进同层位地层时可推广应用。

3) 实钻表明,四开井段使用的氯化钾聚胺磺化防塌钻井液以及三开、五开井段使用的聚磺防塌钻井液的耐温性能和防塌性能好,可以防止井壁失稳。

## 参 考 文 献

### References

- [1] 李真祥. 通南巴构造超深高压气井钻井作业的难点及对策[J]. 天然气工业, 2003, 23(2): 50-53.  
LI Zhenxiang. Difficulties and countermeasures of drilling ultra-deep and high-pressure gas wells in Tong-nan-ba Structure [J]. Natural Gas Industry, 2003, 23(2): 50-53.
- [2] 易浩, 杜欢, 贾晓斌, 等. 塔河油田及周围超深井井身结构优化设计[J]. 石油钻探技术, 2015, 43(1): 75-81.  
YI Hao, DU Huan, JIA Xiaobin, et al. The optimal design of a casing program for ultra-deep wells in the Tahe Oilfield and its periphery[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2015, 43(1): 75-81.
- [3] 窦金涛, 陈科贵, 刘文强, 等. 基于积分本构方程的盐膏岩蠕变参数反演[J]. 断块油气田, 2013, 20(5): 615-618.  
DOU Jintao, CHEN Kegui, LIU Wenqiang, et al. Creep parameters inversion of salt-gypsum rocks based on integral constitutive equation[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2013, 20(5): 615-618.
- [4] 刘新义, 张东清. 川东北地区探井快速钻井技术[J]. 石油钻探技术, 2008, 36(3): 37-40.  
LIU Xinyi, ZHANG Dongqing. Rapid drilling technology used in exploratory wells in Northeast Sichuan Area[J]. Petroleum Drilling Technology, 2008, 36(3): 37-40.
- [5] 刘伟, 李丽. 通南巴深井优快钻井技术[J]. 石油矿场机械, 2008, 37(9): 78-82.  
LIU Wei, LI Li. Optimized and fast drilling technology in Tongnanba Area[J]. Oil Field Equipment, 2008, 37(9): 78-82.
- [6] 姜智博, 周英操, 王倩, 等. 实现窄密度窗口安全钻井的控压钻井系统工程[J]. 天然气工业, 2017, 24(1): 76-79.  
JIANG Zhibo, ZHOU Yingcao, WANG Qian, et al. Managed pressure drilling system used in narrow density window drilling scenarios[J]. Natural Gas Industry, 2017, 24(1): 76-79.
- [7] 吴华. 川(渝)东北构造带钻探难点及技术对策[J]. 天然气工业, 2003, 23(2): 54-56.  
WU Hua. Difficulties and technical countermeasures of drilling Northeast Sichuan (Chongqing) structural belt [J]. Natural Gas Industry, 2003, 23(2): 54-56.

- [8] 李真祥,王瑞和,高航献.元坝地区超深探井复杂地层固井难点及对策[J].石油钻探技术,2010,38(1):20-25.  
LI Zhenxiang, WANG Ruihe, GAO Hangxian. Technical challenges arising from cementing ultra deep wells in Yuanba Area [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(1): 20-25.
- [9] 李向碧,郑有成,王兰. KCl—有机盐钻井液在高石梯—磨溪区块上部井段钻井提速中的应用[J]. 天然气工业, 2014, 34(3): 121-125.  
LI Xiangbi, ZHENG Youcheng, WANG Lan. Application of KCl-organic salt drilling fluids to the ROP enhancement in the top section of wells in the Gaoshiti-Moxi Block, Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2014, 34(3): 121-125.
- [10] 薄玉冰. 定向钻井中托压机理分析及对策探讨[J]. 石油钻探技术, 2017, 45(1): 27-32.  
BO Yubing. The formation mechanism and technical countermeasures for back pressure during directional drilling[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2017, 45(1): 27-32.
- [11] 张志财. 强抑制有机胺聚磺钻井液体系的研究及应用[J]. 断块油气田, 2016, 23(1): 109-112.  
ZHANG Zhicai. Study and application of highly inhibitive organic amine polysulfonate drilling fluid[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2016, 23(1): 109-112.
- [12] 樊相生,马洪会,冉兴秀. 马深1超深井四开钻井液技术[J]. 钻井液与完井液, 2017, 34(2): 57-63.  
FAN Xiangsheng, MA Honghui, RAN Xingxiu. Application of KCl-amine polymer sulfonate drilling fluid in Well Mashen-1 [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2017, 34(2): 57-63.
- [13] 杨丽,唐清明,陈智晖,等. 抗温抗盐钻井液体系研究及现场应用[J]. 钻采工艺, 2016, 39(2): 105-107.  
YANG Li, TANG Qingming, CHEN Zhihui, et al. Development and application of anti-temperature and salt-resistant drilling fluid system[J]. Drilling & Production Technology, 2016, 39(2): 105-107.
- [14] 罗人文,龙大清,王昆,等. 马深1井超深井钻井液技术[J]. 石油钻采工艺, 2016, 38(5): 588-593.  
LUO Renwen, LONG Daqing, WANG Kun, et al. Drilling fluid for the super-deep Well Mashen-1 [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2016, 38(5): 588-593.
- [15] 杜建平,顾军,张辉,等. 有效提高页岩气井固井质量的泥饼固化防窜固井技术[J]. 天然气工业, 2015, 35(9): 89-94.  
DU Jianping, GU Jun, ZHANG Hui, et al. Mud cake solidification technology for improving cementing quality of shale gas wells [J]. Natural Gas Industry, 2015, 35(9): 89-94.
- [16] 冯林,母亚军,康海涛. 大扭矩低速螺杆在马深1井二开 $\phi 444.5$  mm大井眼中的应用[J]. 钻采工艺, 2016, 39(1): 30-33.  
FENG Lin, MU Yajun, KANG Haitao. Application of high torque and low speed PDM in  $\phi 444.5$  mm large open hole in Well Mashen1 [J]. Drilling & Production Technology, 2016, 39(1): 30-33.
- [17] 龙刚,刘伟,管志川,等. 元坝地区陆相地层钻井提速配套技术[J]. 天然气工业, 2013, 33(7): 80-84.  
LONG Gang, LIU Wei, GUAN Zhichuan, et al. ROP enhancing technologies for ultra-deep wells in the continental strata in the Yuanba Gas Field, Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2013, 33(7): 80-84.
- [18] 李瑞营,王峰,陈绍云,等. 大庆深层钻井提速技术[J]. 石油钻探技术, 2015, 43(1): 38-43.  
LI Ruiying, WANG Feng, CHEN Shaoyun, et al. ROP improvement in deep formations in the Daqing Oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2015, 43(1): 38-43.
- [19] 索忠伟,王甲昌,张海平,等. 旋冲钻井在塔河工区超深井段的应用[J]. 石油钻采工艺, 2013, 35(4): 44-46.  
SUO Zhongwei, WANG Jiachang, ZHANG Haiping, et al. Application of rotary percussion drilling on the super deep section in Tahe Field [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2013, 35(4): 44-46.
- [20] 玄令超,管志川,呼怀刚,等. 弹性蓄能激发式旋冲钻井工具特性分析[J]. 石油钻探技术, 2016, 44(3): 61-66.  
XUAN Lingchao, GUAN Zhichuan, HU Huaigang, et al. Analysis of the characteristics of the rotary impact drilling tool with an elastic element accumulator [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2016, 44(03): 61-66.
- [21] 马广军,王甲昌,张海平. 螺杆驱动旋冲钻井工具设计及试验研究[J]. 石油钻探技术, 2016, 44(3): 50-54.  
MA Guangjun, WANG Jiachang, ZHANG Haiping. The design and experimental study of PDM driven rotary percussion drilling tool [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2016, 44(3): 50-54.

[编辑 刘文臣]