

# 中国石化超深井钻井技术现状与发展建议

闫光庆, 张金成

(中国石化石油工程技术研究院, 北京 100101)

**摘 要:** 为了促进中国石化超深井钻井技术进步, 加快深部油气资源勘探开发步伐, 在统计、分析钻井数据的基础上, 介绍了近年逐步成熟和得以有效应用的气体钻井、“PDC 钻头+螺杆钻具”复合钻井、“孕镶金刚石钻头+涡轮钻具”复合钻井、“PDC 钻头+扭力冲击器”复合钻井、35 MPa 高压喷射钻井、自动垂直钻井系统等超深井钻井提速技术。分析了普光气田、元坝气田及塔河油田等中国石化三大重点区域的超深井钻井技术现状: 普光气田已钻井平均井深 5 999.00 m, 平均钻井周期 232.06 d; 元坝气田已钻井平均井深 7 049.67 m, 平均钻井周期 439.47 d; 塔河油田 12 区已钻井平均井深 6 441.80 m, 平均钻井周期 102.85 d。分析认为, 中国石化超深井钻井技术已达较高水平, 但与欧美等石油工业发达国家相比尚有差距。最后, 对中国石化超深井钻井技术的发展进行了思考, 给出了发展建议。

**关键词:** 超深井钻井 普光气田 元坝气田 塔河油田 中国石化

**中图分类号:** TE245 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0890(2013)02-0001-06

## Status and Proposal of the Sinopec Ultra-Deep Drilling Technology

Yan Guangqing, Zhang Jincheng

(Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing, 100101, China)

**Abstract:** In order to promote the progress of ultra-deep well drilling technology, speed up the exploration and development of oil and gas in deep reservoir, based on the statistics and analysis of drilling data, this article introduced some advanced technologies that used in ultra-deep wells, including gas drilling technology, composite drilling technology of PDC bit with PDM, impregnated diamond bit with turbodrill, PDC bit with torsional percussion tools, high pressure jet drilling with 35 MPa, automatic vertical drilling system, etc. The paper also analyzed the technical status of ultra-deep wells drilled in three main oil fields of Sinopec as Puguang Gas Field, Yuanba Gas Field and Tahe Oilfield, the average drilling depth in Puguang was 5999.00m, average drilling cycle time was 232.06 days, the average well depth in Yuanba was 7 049.67 m, average drilling cycle time was 439.47 days, average well depth in Tahe was 6 441.80 m, average drilling cycle time was 102.85 days. The analysis showed that the Sinopec ultra-deep drilling technology has been first-class now in the world, but it has some something to do for catching up the advanced technology as that in developed countries in the world. In the end, some thinking and suggestions for ultra-deep drilling technology were proposed in the paper.

**Key words:** ultra-deep well drilling; Puguang Gas Field; Yuanba Gas Field; Tahe Oilfield; Sinopec

## 1 概 述

目前国际上对深井、超深井和特超深井较为通行的划分方法为<sup>[1]</sup>: 完钻井深 4 500~6 000 m 的直井为深井, 6 000~9 000 m 的直井为超深井, 超过 9 000 m 的直井为特超深井。早在 1949 年, 美国就钻成世界第一口超深井(井深 6 255 m), 1972 年又钻成世界第一口特超深井(井深 9 159 m)。1984 年, 前苏联创造了 12 262 m 的世界特超深井纪录,

收稿日期: 2012-11-22; 改回日期: 2013-03-13。

**作者简介:** 闫光庆(1960—), 男, 山东阳谷人, 1982 年毕业于华东石油学院钻井工程专业, 副总工程师, 高级工程师, 主要从事钻井工程技术研究与管理工作。

**联系方式:** (010)84988608, yangq.sripe@sinopec.com。

**基金项目:** 国家高技术研究发展计划(“863”计划)“超深井钻井技术研究”(编号: 2006AA06A109)、中国石化科技攻关项目“元坝地区优质快速钻井关键技术研究”(编号: P09084)和国家科技重大专项“侧钻井钻井液泥岩防塌技术和钻完井技术配套”(编号: 2011ZX05049-002-002)联合资助。

1991年该井侧钻至12 869 m,到现在该井仍保持着世界最深井纪录<sup>[2]</sup>。截至目前,世界上已钻成超过9 000 m的特超深井8口<sup>[3]</sup>,超过10 000 m的特超深井2口(前苏联和美国各1口),美国及欧洲的超深井钻井技术处于世界领先水平。

我国超深井钻井技术起步较晚,1976年在四川地区完成的女基井,井深达6 011 m,开启了我国超深井钻井的序幕<sup>[4]</sup>。1976—1985年,全国共钻成10口超深井,其中有2口井超过7 000 m,即位于四川的关基井(井深7 175 m,1978年)和位于新疆的固2井(井深7 002 m,1979年)。1986—1997年,共完成34口超深井,其中塔参1井井深达7 200 m(1997年),是当时我国陆上最深井<sup>[2]</sup>。20世纪90年代末期以来,随着塔里木盆地、四川盆地的大规模勘探开发,超深井数量越来越多。

2008年之后,中国石化每年完钻超深井多达100口以上。截至目前,中国石化完成7 000 m以深超深井70余口,其中塔深1井井深达8 408 m,为亚洲最深井<sup>[4]</sup>,标志着中国石化超深井钻井技术已达到较高水平,但与欧美等石油工业发达国家相比尚有差距。为此,笔者基于中国石化重点区域的超深井钻井实践,详细总结分析了中国石化超深井钻井技术现状,并提出了发展建议。

## 2 中国石化重点油气田概况及钻井难题

中国石化超深井钻井主要集中在川东北地区 and 新疆塔河地区,重点油气田主要有普光气田、元坝气田和塔河油田。

1) 普光气田。位于四川省东北部大巴山南麓,储层埋深6 000 m左右,含气面积约28 km<sup>2</sup>,可采储量 $2\,511 \times 10^8$  m<sup>3</sup>,是我国目前已发现的规模最大、丰度最高的特大型整装海相气田<sup>[5-6]</sup>。该气田于2009年10月顺利投产,目前已建成年产 $100 \times 10^8$  m<sup>3</sup>混合天然气的生产能力,是川气东送工程的主要气源。

2) 元坝气田。位于九龙山构造带南翼、通南巴背斜带西南侧、川中古隆起的北部斜坡,储层埋深7 100 m左右,勘探面积3 251.48 km<sup>2</sup>,预测天然气远景资源量为 $1.77 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup>。该气田是继普光气田之后中国石化第二个千亿方级大气田,也是川气东送工程资源接替的重要阵地<sup>[7-8]</sup>。

3) 塔河油田。位于天山南麓、塔克拉玛干沙漠北部边缘,是我国第一个古生界海相亿吨级大油田,

也是中国石化在新疆地区最大的油气田。储层埋深6 500 m左右,为下奥陶系碳酸盐缝洞油藏<sup>[9-10]</sup>。该油田的勘探开发经历了试油试采、滚动开发及快速上产3个阶段,2004年以来,原油产量以每年 $60 \times 10^4$  t左右的速度增长,2012年年产量达到了 $735 \times 10^4$  t。

在普光气田、元坝气田及塔河油田等超深油气田的钻井实践中,遇到了一系列钻井难题。归纳起来,主要有以下几个方面:

1) 地层硬度高,研磨性强,可钻性差。普光气田、元坝气田上部陆相地层的可钻性级值一般为5~8,须家河组石英砂岩硬度达8级;塔河油田三叠系泥岩及石炭系顶部砂岩研磨性强,砾石发育,致使钻头寿命短,机械钻速低。

2) 构造高陡,井斜问题突出。普光气田地层倾角一般为30°~75°,自然造斜能力强,极易发生井斜。

3) 井壁失稳严重,三个油气田的多套地层均发生过井漏,空气钻进及气液转换过程中地层易坍塌。

4) 元坝气田嘉陵江组地层存在盐膏层和高压盐水层,塔河油田石炭系盐膏层蠕变速率快,对高密度钻井液和钻井工程提出了严峻挑战。

5) 岩性多变,岩石坚硬,跳钻严重,气体钻井中断钻具事故频繁发生。

## 3 中国石化超深井主要钻井技术

### 3.1 气体钻井技术

相对于常规钻井,气体钻井技术主要以空气、泡沫、氮气等为循环介质,主要包括空气钻井、泡沫钻井、雾化钻井、氮气钻井等,属于欠平衡钻井技术范畴。该技术具有大幅度提高机械钻速、减少遇水膨胀地层垮塌、有利于防止地层漏失、保护产层、控制井身质量等优势。

针对普光气田上部陆相地层易漏、易斜、岩石可钻性差、机械钻速低等钻井难题,2006年1月首次在普光气田P302-1井试验应用了气体钻井技术,取得了明显的提速效果。此后,该技术在该气田其他37口开发井进行了全面推广应用,先后共实施67井次,总进尺94 616.69 m(占38口开发井钻井总进尺的47.46%),最深钻达4 480 m,平均机械钻速达7.82 m/h。统计表明,气体钻井技术的机械钻速是常规钻井的5~8倍,同时还有效避免了井漏,提高了井身质量等<sup>[11-12]</sup>,成为普光气田陆相地层钻井提速的主要技术。继普光气田成功应用之后,该技术

又在元坝气田进行了推广应用,也成为元坝气田上部陆相地层钻井提速的主要技术。

### 3.2 “PDC 钻头+螺杆钻具”复合钻井技术

PDC 钻头主要靠切削破碎地层,切削速度与转速成正比关系,适应高转速低钻压的工况,“PDC 钻头+螺杆钻具”复合钻进就是利用螺杆钻具的高转速提高 PDC 钻头的切削速度。该技术能大幅提高机械钻速,减少起下钻次数,有效控制井斜,降低扭矩,减轻钻具磨损,是深井超深井钻井提速的有效手段。

普光气田 38 口开发井应用“PDC 钻头+螺杆钻具”复合钻井技术钻进 81 339.35 m,占该气田三开海相地层总进尺的 93.00%;平均机械钻速 2.84 m/h(单趟钻最高机械钻速达 8.12 m/h),相比常规钻井提高了 140.68%。在元坝气田海相地层和塔河油田的应用也表明,该技术大大提高了机械钻速,缩短了钻井周期,有效控制了井径扩大率。该技术目前在中国石化各油气田普遍采用,已成为深部海相地层钻井提速的主要技术<sup>[13]</sup>。

### 3.3 “孕镶金刚石钻头+涡轮钻具”复合钻井技术

“孕镶金刚石钻头+涡轮钻具”复合钻井技术是将钻井液的水力能量通过涡轮叶片组转换成高速旋转的机械能量,通过孕镶金刚石钻头切削、刨犁破岩,具有工具寿命长、转速高、不受温度影响及单趟进尺长等诸多优点,能够在强研磨性砂岩、砾岩、火成岩地层中显著提高机械钻速<sup>[14-15]</sup>。

针对元坝气田自流井组、须家河组地层研磨性强、可钻性差、机械钻速低等难题,引进并推广了“孕镶金刚石钻头+涡轮钻具”复合钻井技术。截至 2013 年 2 月,该技术共在元坝地区试验应用了 18 口井,总进尺 8 504.21 m,平均机械钻速 1.50 m/h,与自流井组、须家河组地层常规钻井(0.69 m/h)相比提高了 117.39%,取得了很好的提速效果。该技术在川西、新疆、东北等地区的高研磨性硬地层钻井中进行了推广应用,均取得明显的提速效果。

### 3.4 “PDC 钻头+扭力冲击发生器”复合钻井技术

阿特拉扭力冲击器由上下两个涡轮组驱动带有偏心锤的心轴做往复运动,将钻井液的流体能量同时在钻头上转换成周向和径向上的高频冲击力,冲击、剪切破碎岩石,不但能提高机械钻速,而且还能延长钻头及下部钻柱的使用寿命<sup>[16]</sup>。

“PDC 钻头+扭力冲击发生器”复合钻井技术是针对元坝气田下部陆相地层岩石坚硬、研磨性

强、机械钻速低而引进的一种钻井新技术。截至 2013 年 2 月,该技术在元坝气田共试验应用了 18 口井。其中,在  $\phi 311.1$  mm 井眼试验应用了 8 口井(10 井次),单趟钻平均进尺 245 m,平均机械钻速 2.83 m/h,与未用阿特拉扭力冲击器时相比提高了 172.12%。继元坝气田之后,该技术也被推广应用到其他油气田,其中在塔河油田  $\phi 215.9$  mm 井眼试验应用了 11 口井(14 井次),应用地层为卡拉沙依组及巴楚组地层,单趟钻平均进尺 615 m,平均机械钻速 6.50 m/h,与未用阿特拉扭力冲击器时相比提高了 91.18%。

### 3.5 35 MPa 高压喷射钻井技术

受钻井装备制约,常规喷射钻井的泵压一般为 20 MPa 左右。基于近年钻井装备技术进步,采用额定功率 1 640.5 W(2 200 HP)的钻井泵、耐压 52 MPa 的水龙头及耐压 70 MPa 的循环管汇,通过提高排量及减小喷嘴直径,把泵压提高到 35 MPa,大幅度提高了钻头的水力破岩和井底清岩能力,形成了 35 MPa 高压喷射钻井技术<sup>[17]</sup>。

2010 年以来,该技术相继在塔河油田进行了 6 口井的试验应用,总进尺 26 249 m,平均机械钻速 25.50 m/h,取得了明显的提速效果。其中,TP308X 井应用井段 50~4 673 m,平均机械钻速 58.30 m/h,与邻井常规钻井相比提高了 170.00%。由于该技术与常规钻井相比大幅提高了排量,在中上部地层也取得了良好的防阻卡效果。

### 3.6 自动垂直钻井系统

自动垂直钻井系统利用伸缩的近钻头稳定器,采用井下闭环控制系统自动控制井斜,在大倾角地层能把井眼控制在几乎垂直的状态,并可大钻压钻进,是高陡构造地层防斜打快的有效手段。该系统按工作原理可分为旋转推靠式(如 Schlumberger 公司的 Power V)和静止推靠式(如 Baker Hughes 公司的 Verti Trak)两大类。

在普光气田及新疆地区的高陡构造地层,传统的防斜方法就是轻压吊打,不但防斜效果不理想,而且机械钻速低,而采用自动垂直钻井系统取得了明显的防斜打快效果。普光 7 井使用了 Power V 垂直钻井系统,钻进井段 1 710.97~2 475.35 m,井斜角从 3.8°降至 0.7°,其中最大井斜角为 1.2°(井深 2 095 m 处),最小井斜角为 0°(井深 1 908 m 处),机械钻速 1.75 m/h,是邻井常规钻井的 2 倍多。工

作时间占总钻井时间的80%以上,大大超过了常规钻井的钻井时效。塔河油田阿北1井四开井段使用了Verti Trak垂直钻井系统,5 300~5 335 m井段井斜角由3.88°降至0.47°,5 331~5 408 m井段平均机械钻速2.34 m/h,较常规钻井提高了36.05%。

## 4 超深井钻井技术综合应用效果

### 4.1 普光气田

从2001年11月3日第一口探井P1井开钻,到2009年9月19日最后一口开发井P104-3井完钻,普光气田超深井钻井共经历了8年时间。概括起来,可将普光气田钻井技术的发展划分为探索、发展及气体钻井3个阶段<sup>[5]</sup>:

1) 探索阶段(2001-09—2003-06),该阶段完成了第一口探井P1井的钻探施工;

2) 发展阶段(2003-06—2005-12),该阶段分3个轮次,共钻了9口探井,主要是在认真总结P1井经验教训的基础上,通过推广应用优选钻头、“PDC钻头+螺杆钻具”复合钻井、防斜打快、防漏堵漏等技术提高钻井速度;

3) 气体钻井阶段(2006-01—2009-10),以第一口开发井P302-1首次采用气体钻井技术为标志,普光气田钻井进入了大提速钻井阶段,其最突出的特点是气体钻井技术的广泛应用。

普光气田探索、发展与气体钻井等3个阶段的钻井情况见表1。

表1 普光气田不同发展阶段的超深井钻井数据

Table 1 Drilling data of ultra-deep wells in Puguang Gas Field at different stages

阶段	完钻井数/口	完钻井深/m	钻井周期/d	机械钻速/(m·h <sup>-1</sup> )	钻头用量/只
探索阶段	1	5 700	540.27	0.99	124
发展阶段	9	5 956	299.51	1.70	63
气体钻井阶段	41	5 999	232.06	2.61	34

从表1可以看出:发展阶段与探索阶段相比,钻井周期由540.27 d缩短至299.51 d,缩短了44.56%;机械钻速由0.99 m/h提高至1.70 m/h,提高了71.72%;钻头用量由124只减少至63只,减少了49.19%。气体钻井阶段与发展阶段相比,钻井周期由299.51 d缩短至232.06 d,缩短了22.52%;机械钻速由1.70 m/h提高至2.61 m/h,提高了53.53%;钻头用量由63只减少至34只,减少了46.03%。经过8年的研究攻关与实践,普光

气田超深井钻井技术取得了巨大进步,不但为该气田的早日投产提供了强有力的技术支持,而且为中国石化超深井钻井技术的发展积累了宝贵经验。

### 4.2 元坝气田

自2006年5月元坝气田第一口探井元坝1井开钻以来,截至2012年12月底,该气田共计开钻34口直探井,其中完钻井30口,在钻井4口。通过应用泡沫钻井、空气钻井、“PDC钻头+螺杆钻具”复合钻井、“孕镶金刚石钻头+涡轮钻具”复合钻井、“PDC钻头+扭力冲击发生器”钻井、控压钻井等技术,大大加快了元坝气田的勘探开发步伐<sup>[8]</sup>。该气田历年应用超深井钻井技术所钻直井的情况见表2。

表2 元坝气田近几年所钻超深井的钻井数据

Table 2 Drilling data of ultra-deep wells in Yuanba Gas Field in the recent year

年份	完成井数/口	平均完钻井深/m	平均钻井周期/d	平均建井周期/d	平均机械钻速/(m·h <sup>-1</sup> )
2007	1	7 170.71	301.25	341.39	2.00
2008	3	7 095.00	513.77	601.28	1.44
2009	7	7 037.86	472.28	565.52	1.66
2010	3	7 015.67	509.86	595.38	1.65
2011	13	7 009.37	404.26	471.29	1.92
2012	3	7 049.67	439.47	485.07	1.74
平均		7 034.62	441.73	515.73	1.75

从表2可以看出,30口已完钻井的平均井深达7 034.62 m,平均机械钻速1.75 m/h,平均钻井周期441.73 d。总体来讲,经过6年多的钻井实践及科技攻关,元坝地区超深井钻井技术得到了一定提高,但提速效果不明显。分析认为,元坝气田与普光气田同属川东北地区,钻井地质环境比较相近,但元坝气田储层埋深比普光气田深1 100 m左右,钻井难度大大增加,自流井组、须家河组井段的提速问题依然没有从根本上解决<sup>[9]</sup>。目前正在开展进一步的攻关研究,期望在高效破岩工具或钻井方式方面有所突破。

### 4.3 塔河油田

塔河油田自勘探开发以来,从最初的2~3个区块扩大到目前的10多个区块,井深从5 000~6 000 m提高至目前的7 000 m左右,经过多年的技术攻关,目前已经形成了高压喷射钻井、高效钻头优选、“PDC钻头+螺杆钻具”复合钻井、防斜打快钻井等较为成熟的超深井钻井技术<sup>[10]</sup>。塔河12区和托甫台区块为近年来该油田的主力区块,应用超深井钻井技术的钻井情况见表3、表4(均为四级井身结构)。

表 3 塔河油田 12 区超深井钻井数据

Table 3 Data of ultra-deep wells drilling in 12<sup>th</sup> Block of Tahe Oilfield

年份	完成井数/口	平均完钻井深/m	平均钻井周期/d	平均机械钻速/(m·h <sup>-1</sup> )
2007	12	6 351.69	104.71	6.09
2008	30	6 352.20	109.62	6.44
2009	30	6 481.31	104.23	7.58
2010	44	6 336.06	91.08	8.59
2011	34	6 313.02	94.60	8.72
2012	15	6 441.80	102.85	8.48

从表 3 可以看出,塔河油田 12 区超深井(四级井身结构)的机械钻速由 2007 年的 6.09 m/h 提高至 2012 年的 8.48 m/h,提高了 39.24%;钻井周期由 2007 年的 104.71 d 缩短至 2012 年的 102.85 d,缩短了 1.78%。

表 4 塔河油田托普台区块超深井钻井数据

Table 4 Data of ultra-deep wells drilling in Tuofutai Block of Tahe Oilfield

年份	完成井数/口	平均完钻井深/m	平均钻井周期/d	平均机械钻速/(m·h <sup>-1</sup> )
2006	3	6 446.83	158.21	4.84
2007	2	6 747.50	111.04	5.67
2008	3	6 526.39	148.94	5.53
2009	17	6 541.47	144.83	5.41
2010	31	6 610.50	124.91	6.66
2011	25	6 732.09	127.56	6.41
2012	34	6 688.40	127.43	6.40

从表 4 可以看出,托普台区块超深井完成井由 2006 年的 3 口增至 2012 年的 34 口,增幅很大;机械钻速由 2006 年的 4.84 m/h 提高至 2012 年的 6.40 m/h,提高了 32.23%;钻井周期由 2006 年的 158.21 d 缩短至 2012 年的 127.43 d,缩短了 19.46%。

## 5 中国石化超深井钻井技术发展建议

尽管气体钻井、“PDC 钻头+螺杆钻具”复合钻井、“孕镶金刚石钻头+涡轮钻具”复合钻井、“PDC 钻头+扭力冲击器”复合钻井、35 MPa 高压喷射钻井、自动垂直钻井系统等钻井技术在中国石化超深井钻井中发挥了巨大作用,使中国石化钻成了多达几十口井深超 7 000 m 的超深井、1 口超 8 000 m 的超深井,超深井钻井技术已达较高水平,但仍然存在一些制约因素或“瓶颈”问题。笔者根据自己的思考,从技术、管理等方面对中国石化超深井技术的发展提出了以下建议<sup>[18-19]</sup>:

1) 应根据具体情况选择合适的钻井方式和钻井技术。近几年,在重点区域相继推广应用的各

种钻井新技术都被证明是提高钻井速度的有效手段,因此应加大钻井新技术、新工艺、新工具的应用力度,但这些钻井新技术并非适用于所有地区和地层,如自动垂直钻井系统适用于高陡易斜地层,“孕镶金刚石钻头+涡轮钻具”复合钻井技术适用于高研磨性硬地层,等等。因此,应针对不同地区的钻井地质环境,选取适用的钻井方式和钻井技术。

2) 应加大组织与攻关力度,尽量降低钻井新技术带来的风险。普光气田实施气体钻井 41 口井,其中有 26 口井发生钻具复杂情况共计 65 次(包括钻杆断裂 33 次,钻铤断裂 12 次,加重钻杆断裂 7 次,钻杆脱扣 5 次,空气锤锤头断裂 8 次)。可见,气体钻井技术在带来明显提速效果的同时,也给井下安全带来了一定风险。另外,中国石化从事气体钻井技术服务的单位分布较为分散,出现问题时难以及时有效地解决,因此建议成立钻井新技术服务中心,以集中人力、物力,加大钻井新技术适应性及应用过程中出现问题的研究攻关力度,使之发挥最大的提速效力。

3) 加快钻井新技术的国产化步伐,加强具有自主知识产权的钻井新技术的研发。前文所述 6 项钻井新技术中,“孕镶金刚石钻头+涡轮钻具”复合钻井、“PDC 钻头+扭力冲击器”钻井、自动垂直钻井系统等都是国外技术,由国外技术服务公司掌握,如由他们服务,就要收取高额的租赁费及人员费用,大大增加了钻井成本,限制了这些钻井新技术在国内的推广应用。因此建议中国石化加强对引进钻井新技术的统筹管理,整合相关力量,加大推广力度,同时加快钻井新技术的国产化步伐,并加强具有自主知识产权钻井新技术的研发。

4) 加强成熟技术的集成配套,形成超深井钻井技术规范。认真总结近年来普光气田、元坝气田及塔河油田等的钻井实践经验,对已经应用成熟并取得较好效果的技术进行全面推广,并不断在针对性、适用性方面完善提高,加强技术集成配套,形成实用的技术规范。重点推广应用空气钻井、泡沫钻井、高效钻头、“PDC 钻头+螺杆钻具”复合钻井、“孕镶金刚石钻头+涡轮钻具”复合钻井、“PDC 钻头+扭力冲击器”钻井、高压喷射钻井等技术。

5) 努力提升超深井井下故障的处理能力。超深井钻井过程中一旦出现井下故障,基本上都是各钻井承包商自行处理,不但处理时间长,而且损失巨大。如 TP235X 井在 2010 年 12 月发生的卡钻事故,处理耗时 757.33 h,埋钻具 1 374.03 m,最终通

过侧钻解除了事故。因此,建议中国石化成立一个专门处理井下故障的技术服务公司。

## 6 结束语

近10年来,中国石化通过超深井钻井技术攻关、引进和推广,以及在普光气田、元坝气田和塔河油田等油气田的钻井实践,形成了一批钻井新技术、新工艺及新工具,大大提高了钻井速度,超深井钻井技术取得了明显进步,但目前的中国石化超深井钻井技术与欧美等石油工业先进国家相比还有差距(主要在工具仪器方面)。为了应对未来高难度超深井安全、快速成井的挑战,建议加快钻井新技术的国产化步伐,加强具有自主知识产权钻井新技术的研发,加大成熟技术的集成配套力度,努力提高超深井井下故障的处理能力。

**致谢:**在本文撰写过程中,中国石化石油工程技术研究院钻井工艺研究所王甲昌、臧艳彬、李立政等人在资料收集与论文修改等方面提供了大量帮助,在此表示感谢。

## 参 考 文 献

### References

- [1] 蒋祖军,郭新江,王希勇.天然气深井超深井钻井技术[M].北京:中国石化出版社,2011:1-21.  
Jiang Zujun, Guo Xinjiang, Wang Xiyong. Deep and ultra-deep drilling technology in gas wells[M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2011: 1-21.
- [2] 王志刚.国内外深井钻井技术比较分析[J].长江大学学报:自然科学版,2008,5(1):282-284.  
Wang Zhigang. The comparison of deep well drilling technology for home and abroad[J]. Journal of Yangtze University: Natural Science Edition, 2008, 5(1): 282-284.
- [3] 张燕.近年来国外钻井技术的主要进步与发展特点[J].探矿工程:岩土钻掘工程,2007,34(10):76-79.  
Zhang Yan. The main progress and characteristics of development for foreign drilling techniques in recent year[J]. Exploration Engineering: Rock & Soil Drilling and Tunneling, 2007, 34(10): 76-79.
- [4] 李冰.深井超深井钻井技术:开启地下深层宝库的“金钥匙”[J].中国石化,2009(1):34-36.  
Li Bing. Deep and ultra-deep well drilling techniques: the golden key for opening deep underground treasury[J]. Sinopec Monthly, 2009(1): 34-36.
- [5] 张金成.普光气田钻井技术发展及展望[J].石油钻探技术,2008,36(3):5-9.  
Zhang Jincheng. Drilling technology overview of Puguang Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(3): 5-9.
- [6] 张克勤.提高普光气田开发井速度的技术研究[J].石油钻探技术,2009,37(3):34-37.  
Zhang Keqin. Researches on enhancing drilling speed of development wells in Puguang Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2009, 37(3): 34-37.
- [7] 高航献,瞿佳,曾鹏辉.元坝地区钻井提速探索与实践[J].石油钻探技术,2010,38(4):26-29.  
Gao Hangxian, Qu Jia, Zeng Penghui. Research and practice to improve drilling speed in Yuanba Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(4): 26-29.
- [8] 张金成,张东清,张新军.元坝地区超深井钻井提速难点与技术对策[J].石油钻探技术,2011,39(6):6-10.  
Zhang Jincheng, Zhang Dongqing, Zhang Xinjun. Difficulties of improving rate of penetration and its technical solutions in Yuanba Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(6): 6-10.
- [9] 张金成,叶海超,王甲昌.塔里木地区钻井技术难点与对策[M].北京:中国石化出版社,2008:75.  
Zhang Jincheng, Ye Haichao, Wang Jiachang. Difficulties of drilling technology and its technical in Tarim Region[M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2008: 75.
- [10] 王成岭,李作宾,蒋金宝,等.塔河12区超深井快速钻井技术[J].石油钻探技术,2010,38(3):17-21.  
Wang Chengling, Li Zuobin, Jiang Jinbao, et al. Fast drilling technology on ultra-deep wells in Block-12, Tahe Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(3): 17-21.
- [11] 侯树刚,刘新义,杨玉坤.气体钻井技术在川东北地区的应用[J].石油钻探技术,2008,36(3):24-28.  
Hou Shugang, Liu Xinyi, Yang Yukun. Application of gas drilling technology in Northeast Sichuan Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(3): 24-28.
- [12] 张金成,位华,于文红.空气钻井技术在普光气田的应用[J].石油钻采工艺,2006,28(6):8-10.  
Zhang Jincheng, Wei Hua, Yu Wenhong. Application of air drilling technology in Puguang Gas Field[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2006, 28(6): 8-10.
- [13] 董明键,肖新磊,边培明.复合钻井技术在元坝地区陆相地层中的应用[J].石油钻探技术,2010,38(4):38-40.  
Dong Mingjian, Xiao Xinlei, Bian Peiming. Application of compound drilling technology in terrestrial formation in Yuanba Area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(4): 38-40.
- [14] 解兰宏,张金成,张东清,等.涡轮钻井技术在元坝等重点区块的应用[J].石油钻探技术,2011,39(6):15-18.  
Xie Lanhong, Zhang Jincheng, Zhang Dongqing, et al. The application of turbo drilling technology in Yuanba key area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(6): 15-18.
- [15] 董明键.元坝124井超深井钻井提速配套技术[J].石油钻探技术,2011,39(6):23-26.  
Dong Mingjian. Technology to increase drilling speed used in ultradeep Well Yuanba 124 [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(6): 23-26.
- [16] 孙起昱,张雨生,李少海,等.钻头扭转冲击器在元坝10井的试验[J].石油钻探技术,2010,38(6):84-87.  
Sun Qiyu, Zhang Yusheng, Li Shaohai, et al. Application of bit torsional impact generator in Well Yuanba 10[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(6): 84-87.
- [17] 王甲昌,张金成,赵国顺.35 MPa高压喷射钻井技术实践与认识[J].石油钻探技术,2012,40(6):22-26.  
Wang Jiachang, Zhang Jincheng, Zhao Guoshun. Practice and understanding of 35 MPa high pressure jet drilling technology [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2012, 40(6): 22-26.
- [18] 沈忠厚,黄洪春,高德利.世界钻井技术新进展及发展趋势分析[J].中国石油大学学报:自然科学版,2009,33(4):64-70.  
Shen Zhonghou, Huang Hongchun, Gao Deli. Analysis on new development and development trend of worldwide drilling technology[J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2009, 33(4): 64-70.
- [19] 于文平.我国深井钻井技术发展的难点及对策[J].中外能源,2010,15(9):52-55.  
Yu Wenping. Difficulty and countermeasures for the advance of the deep well drilling technology in China[J]. Sino-Global Energy, 2010, 15(9): 52-55.