

Power Drive Xceed 指向式旋转导向系统 在渤海某油田的应用

和鹏飞¹, 孔志刚²

(1. 中海石油能源发展监督监理技术分公司, 天津 300452; 2. 中石油长城钻探工程技术研究院, 辽宁 盘锦 124000)

摘要:通过对 Power Drive Xceed 指向式旋转导向钻具外部结构、内部组成以及工作原理的简要说明, 对该钻具和泥浆马达钻具在安全性、时效性 2 方面进行了对比。最后通过 Power Drive Xceed 指向式旋转导向钻具在渤海某油田的应用, 进行了其与泥浆马达钻具在轨迹控制、机械钻速以及近钻头连续并斜方位的对比分析, 给出了渤海在水平井常用的泥浆马达钻具和 Power Drive Xceed 指向式旋转导向钻具的使用模式, 为其它地区使用该工具提供了参考经验。

关键词: 旋转导向; 泥浆马达; 轨迹控制; 机械钻速; 对比分析

中图分类号: P634.7; TE243 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2013)11-0045-04

Application of Power Drive Xceed Rotary Steerable System in Bohai Oilfield/HE Peng-fei¹, KONG Zhi-gang² (1. CNOOC Energy Development Technology & Services Ltd. Supervision & Technology Co., Tianjin 300452, China; 2. Petro China Great Wall Drilling Technology Research Institute, Panjin Liaoning 124000, China)

Abstract: With a brief description about the external structure, internal composition and working principle of Power Drive Xceed rotary steerable system, this paper compared PD Xceed system with mud motor in terms of safety and timeliness. By the application of PD Xceed rotary steerable system in Bohai Oilfield, the analysis is made on the trajectory control, ROP and continuous deviation, the using pattern of commonly used horizontal well mud motor drilling tool and Power Drive Xceed rotary steerable system are obtained, which can be the experience reference to the application in other areas.

Key words: rotary steerable; mud motor; trajectory control; ROP; comparative analysis

1 Power Drive Xceed 指向式旋转导向钻具结构组成

1.1 结构组成

Power Drive Xceed 指向式旋转导向钻具(以下简称 PD Xceed 钻具)外部结构(以 900 型号为例)本体尺寸 $\varnothing 218.6 \text{ mm}$, 下部安放有 2 个 $\varnothing 307.98 \text{ mm}$

螺旋翼扶正器。内部主要由 3 部分组成: 动力产生组件(Power Generation), 包括涡轮和交流发电机; 传感器及控制元件总成(Sensors Package & Control system), 包括电子元件和传感器等组件; 导向系统(Steering system), 包括马达、齿轮传动组件、偏心工作筒以及驱动轴等部件。如图 1 所示。

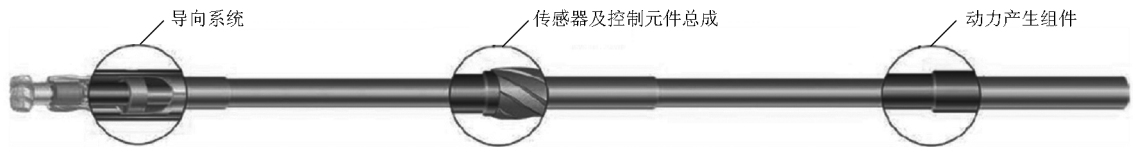


图 1 PD Xceed 钻具的内部组成

(1) 动力产生组件(Power Generation): 整个钻具的动力来源是钻井液通过涡轮带动涡轮转动产生。涡轮带动发电机(2 kW)切割磁场产生电流, 导向马达使用 6 A、350 V 电源, 传感器以及其他电子元件使用 5 V 和 13 V 的电压供电。

(2) 传感器及控制元件总成(Control system):

该控制元件包括一套电子测量工具, 标准的 6 轴传感器组(磁通门和重力加速度计), 精确测量壳体转速、井斜、方位和工具面, 同时计算并发送相应指令, 但仍需要 MWD 工具利用钻井液脉冲传输到地面。电子控制元件主要是通过地面改变泥浆流量, 来改变涡轮转速, 当泥浆泵流量减小, 涡轮转速相应降

收稿日期: 2013-04-11; 修回日期: 2013-10-14

作者简介: 和鹏飞(1987-), 男(汉族), 甘肃人, 中海石油能源发展监督监理技术分公司工程师, 化学工程与工艺、石油工程专业, 主要从事海洋石油钻完井技术监督工作, 天津市塘沽区渤海石油路 688 号海油大厦 B 座, hepft@cnooc.com.cn.

低,泥浆泵流量增加,涡轮转速相应增加,PD Xceed 钻具可以监测出涡轮转速的改变,通过峰值的大小变换以及脉冲的频率形成的指令,控制工具改变工具面和造斜力。

(3) 导向系统(Steering system):包括马达与变速箱总成(Motor Gearbox Resolver Assembly)、偏心工作筒总成(Offset Mandrel Assembly)和钻头驱动总成(Bit Shaft Assembly)等。其中:①马达与变速箱总成:马达通过变速箱驱动偏心元件转动,同时总成里包括一个解析装置用来测量马达转子的位置,马达和电子装置连接,以获得电流动力;②偏心工作筒总成:偏心元件在钻具本体的两组轴承上运转(通过两组轴承和钻具本体一起转动),同时偏心元件也可以在钻具内自转,偏心元件的下端有一个偏离该元件中心线的轴承座,轴承座里有一个和钻头驱动轴前端相连接的轴承,这种偏心轴承装置也就使钻头驱动轴相对于钻具本体产生了偏心;③钻头驱动总成:主要有钻头驱动轴,其顶部和偏心元件连接,承接轴向载荷的推力环,以及在钻头驱动轴和钻具传递扭矩的万向接头。

该工具的钻头驱动轴与壳体轴线有固定的 0.6° 偏角,是Power Drive和马达工作原理的结合。该系统连续调节钻头传动轴的方向,来控制钻井方向和井眼的狗腿度,并通过万向节将扭矩和钻压传给钻头传动轴。驱动头和马达偏心连接,扭矩和钻压通过外壳和驱动头之间的轴承传递,“狗腿”度通过调整定向时间百分比来实现。

1.2 工作原理

PD Xceed 导向系统中的电子马达可带动偏心工作筒子中逆时针旋转,与钻具本体的顺时针旋转正好相反,如此可实现 0.6° 偏心弯角工具面在 360° 里的随意调整,此外,保持顺、逆时针旋转速度相同,即可保证工具面在某一角度的稳定。对于这种相对同速的保持,在传感器总成里有感应元件,通过测量钻具本体的转速,以此来实时调节偏心工作筒也就是马达的转速,以保持相对静止。而通过改变二者保持相对静止的时间(实际操作过程中的力的百分比),来获得不同的造斜率。例如,偏心元件和钻具本体在40%的时间保持静止,剩下的60%时间内两者一起旋转,这就构成了一种特定造斜率。

上文提到导向系统里有个解析装置,此装置用于测量伺服马达的转速,同时也能测出马达转子相对于定子的位置,由于定子是和钻具本体在一起的,转子是和偏心元件在一起的,因此,解析装置也就给

出了偏心元件相对于钻具本体的位置。

基于这种工作原理的仪器工作模式有稳斜模式(Straight mode)和定向模式(Steering Control)2种。

稳斜模式(Straight mode):稳斜或者不需要定向时采用的工作模式,这种模式下,钻头驱动轴以及钻头既在上部顶驱的带动下顺时针旋转,同时在马达带动下和偏心工作筒一起旋转(同步但不同速,工具面以 2 r/min 转速转动),这样就形成了一定的扩眼率(3.18 mm)。

定向模式(Steering Control):即定向井工程师依据实际作业情况,选择合适定向方向和造斜力度,然后通过泥浆泵给井下设备分别发送方向和力度2种指令,来获得所需要的造斜。

2 PD Xceed 钻具和马达钻具的性能对比

马达钻具组合和旋转导向钻具组合作为海上定向井钻井的主要工具,在安全性以及时效性方面的一些特点如下。

2.1 安全性

2.1.1 钻具本体与地层的作用状态

马达钻具定向钻进时整个钻柱在井内由于自重以及钻井液液压差的影响,可认为平躺在井眼内的,即与地层的接触面很大,因此摩阻也相当大,而且在粘附性强(如大段泥岩地层)的井段,很容易造成粘附卡钻事故。作为一种旋转导向钻具,PD Xceed 钻具基于其结构与作用原理,在整个定向过程中钻柱一直是旋转的,因此可以有效地减小粘附卡事故的几率。

2.1.2 井眼内的清洁

在环空倾角较大的条件下,特别是形成岩屑床较厚的大倾角环空内,钻具的高转速旋转是提高净化速度的必要因素^[1]。对于马达钻具组合,定向过程中钻柱不旋转,岩屑无法及时返出,增大了卡钻的事故风险,而旋转导向钻具组合的整体旋转,有助于携砂,可以减小发生此类事故的风险性。同时井眼内清洁的程度,也影响到整个循环系统的水力学性能。环空岩屑浓度的增加,使环空压耗增大,钻头的水利射流压耗变降低不利于井底清洁,影响机械钻速,同时也容易导致泵压等问题^[2]。因此在工具条件允许的情况下,使用高转速有更好的携砂效果。

2.1.3 井眼的质量

(1) 近钻头的参数测量。马达钻具一般使用的定向井测量工具在马达之上,且中间加非磁钻铤,距钻头约 20 m 左右,但旋转导向(PD Xceed 钻具组

合)测点距钻头约 3.9 m,且导向工具自带的近钻头的井斜角和方位角的测量,能够更好掌握井眼轨迹的定向方向,减小定向井脱靶的风险。

(2)井眼的平滑度。使用马达钻具的造斜过程,是滑动钻进和旋转钻进交替进行的,即在 30 m 的造斜范围内得到 3°的造斜率,一般只在其中一段滑动造斜(例如 20 m),而其余井段在旋转钻进,由此造成的结果是 30 m 内的造斜集中在滑动段 23 m 内,并没有平均分配到实际的 30 m 中。使用旋转导向(PD Xceed)钻具整个定向是持续进行的,这样得到的造斜井段,造斜率是平均分配的,井眼更平滑。井眼轨迹的平滑和均匀,可以有效减小钻进过程中的钻具受力不均以及扭矩传递问题,也减小了下套管等后续作业的难度^[3]。

(3)形成的井眼形状。使用马达钻具,在滑动和旋转时井段的扩眼率不同,这种忽大忽小的类似于“糖葫芦”的井眼形状,容易引起井下事故,同时也不利于固井作业时的水泥量计算。

(4)另外,马达还存在失效、钻具组合的自锁等问题^[4-7]。

2.2 时效性

(1)定向时的操作。使用马达钻具滑动钻进前需给定工具面,都要考虑反扭角的问题,这样便存在不确定性,需要不断摸索、调整。同时在滑动钻进过程,由于瞬时扭矩的变化,经常导致工具面改变,这也造成定向的不稳定,由此导致需要频繁调整工具面。

(2)有效机械钻速。对于机械钻速的说明,以某油田 4 口井钻井数据为例进行分析说明,具体分析见下文 3.4。

3 在渤海某油田的应用

3.1 地层情况

渤海某油田主要含油目的层是明下段,岩性特征为一套泥岩与粉砂岩、砂岩的不等厚互层,砂岩单层厚度 2~20 m 不等,开发井型以水平井为主。明化镇组和平原组成岩性差,泥岩中粘土含量较高,水敏性较强易水化膨胀。

3.2 钻井作业难点

(1)地层可钻性好,机械钻速快,岩屑产生量大,井眼清沽困难,容易产生泥团,堵塞环空。

(2)下部井眼段泥浆马达滑动困难,粘卡风险大。

3.3 轨迹控制

(1)井眼轨迹设计。4 口井轨迹设计均为水平井,采用两段式造斜,表 1 为 C35h 井轨迹设计参数,图 2 为 C35h 井轨迹垂直投影图。

表 1 C35h 井轨迹设计

造斜段/m	造斜率/[(°)·(30 m ⁻¹)]	终点井斜角/(°)	终点方位角/(°)
第一造斜段 125~630	3	45.00	52.00
第二造斜段 1500~2300	3	90.00	88.50

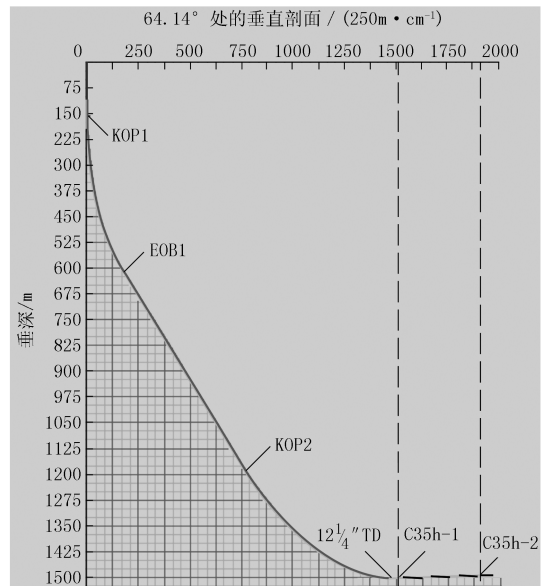


图 2 C35h 井垂直投影图

(2)轨迹控制。上部井段地层较下部更松软,鉴于造斜率要求,考虑综合钻井成本,在上部井眼使用马达钻具控。以 C35h 井为例,马达钻具组合: Ø311.2 mm 钻头 + Ø244.5 mm 泥浆马达(1.15°, Ø308 mm 直翼扶正套子) + Ø203.2 mm 浮阀接头 + Ø269.9 mm 扶正器 + Ø203.2 mm 无磁钻铤 + Ø203.2 mm MWD + Ø203.2 mm 无磁钻铤 + Ø203.2 mm 随钻震击器 + X/O + Ø127 mm 加重钻杆 × 14。在二次造斜开始后,依据实际滑动情况,决定更换为旋转导向钻具组合: Ø311.2 mm 钻头 + Ø228.6 mm PD Xceed + Ø209.6 mm ARC + Ø209.6 mm Telescope + Ø203.2 mm 无磁钻铤 + Ø203.2 mm 随钻震击器 + X/O + Ø127 mm 加重钻杆 × 14。表 2 为 4 口井开始使用 PD Xceed 钻具时的参数情况。

表 2 四口井开始使用旋转导向时的定向井参数

井名	井斜角/(°)	井深/m	井名	井斜角/(°)	井深/m
C34h	46	1481	C35h	52	1600
C32h	44	1435	C36h	44	1490

3.4 机械钻速(ROP)分析

图3为C34h和C35h在井深1500~1600m井段的平均机械钻速对比图。C34h在1500~1600m之间已经使用了旋转导向(PD Xceed 钻具组合),C35h在此井段使用的是马达钻具。通过曲线对比可以明显看出,使用PD Xceed 钻具组合的平均机械进尺要高于马达钻具组合的平均机械进尺。

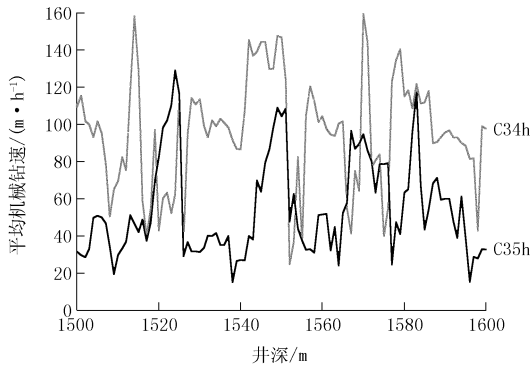


图3 C34h和C35h 1500~1600m段平均机械钻速的对比

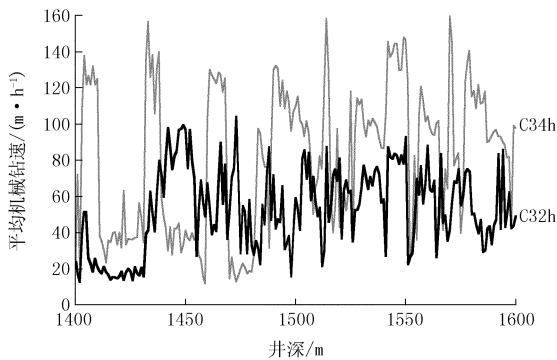


图4 C32h和C34h井更换钻具组合前后的平均机械钻速对比

图4是C34h和C32h井更换钻具组合前后的平均机械钻速对比图。1400~1481m井段使用马达钻具,1481~1600m井段使用PD Xceed 钻具。可以看出,马达钻具井段的滑动和旋转钻进交替波动明显,PD Xceed 钻具组合井段的曲线相对较稳定,进一步表明了PD Xceed 钻具组合导向的持续和平滑性。同时,若单独将滑动段的ROP与PD Xceed 钻具组合ROP对比,后者是明显高于前者的。从图4可以看出,C32h井的1400~1453m井段为马达钻具组合的平均ROP,1453~1600m井段为PD Xceed 钻具组合的平均ROP。分析结果和C34h情况相同。

3.5 连续井斜

基于测量元件的测量环境要求,重力加速度计和磁通门在静止状态下才可获得较精确的测量结果,但整个造斜是实时进行的,为此PD Xceed 可在上一次测量结果的基础上,结合整个趋势,对造斜进

行曲线模拟,由此可以提供距离钻头2.9m处的实时、连续井斜角和方位角数值,这能够有效的帮助定向井工程师了解轨迹趋势,以及时发送指令,改变参数来较好的控制轨迹。图5、图6为C35h井在1623.87~1739.3m井段间的连续井斜角、方位角与实测结果的对比图,根据连斜情况在1623.87~1645.72m使用30%的指向力,72°工具面角,1645.72~1675.86m使用40%的指向力,96°工具面角,1675.86~1689.13m使用40%的指向力,72°工具面角,1689.13~1695.11m使用40%指向力,48°工具面角,1695.11~1719.42m改用50%的指向力,48°工具面角,1719.42~1739.30m使用40%的指向力,48°工具面角。

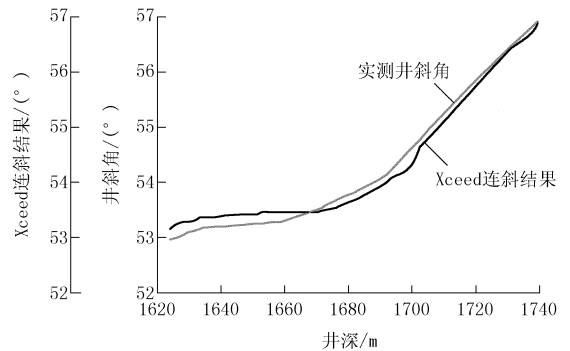


图5 C35h井1623.87~1739.3m间Xceed井斜角连斜分析

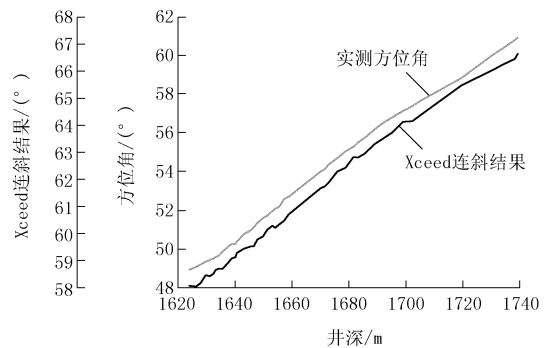


图6 C35h井1623.87~1739.3m间Xceed方位角连斜分析

4 技术展望

随着技术的发展,对于旋转导向系统的改进和提高也在不断地进行着,PD Xceed 钻具可能的发展方向可归纳为以下几点:

(1) 通讯技术的提高。渤海地区常用的PD Xceed 系统与地面的信息传输是基于MWD的,即数据先传给MWD,再由MWD反馈给地面系统接收。这种情况一方面限制了数据传输的时效性,另一方面由于传输能力的限制而不能满足大量数据的传输。
(下转第51页)

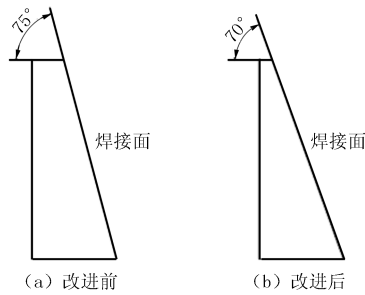


图 4 切削齿镶焊角度改进

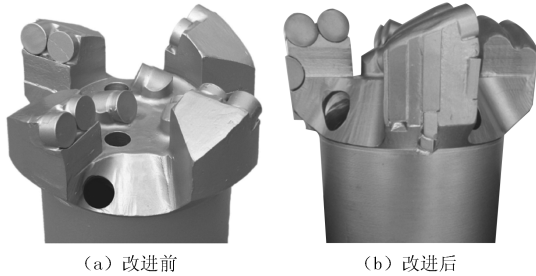


图 5 改进前后钻头对比

4 现场试验

根据以上改进方案设计了 2 只钻头,并在贵州五轮山矿区进行了现场试验,最终 2 只钻头进尺分别为 408、390 m,钻头平均寿命 399 m,有了很大的提高,钻头的相对成本也有所降低,现场施工人员反映较好。试验效果如表 1。

表 1 改进后钻头试验数据

钻头	总进尺/m	用时/h	平均时效/m
1 号	408	33.25	12.3
2 号	390	31	12.6

通过对比钻进可以得出,改进后的钻头比改进

前的钻头有了很大的提高,寿命上提高了近 2.4 倍,时效是改进前的 1.5 倍左右,可以看出改进后的钢体钻头比较适宜此类地层,减少了卡钻现象。钻头整体效率的提高,为现场钻探施工带来了很大的便利,后期的瓦斯抽放孔的施工中对改进后的钻头进行了大量使用。

5 结语

(1) 钻进煤矿瓦斯抽放孔或探水孔缩径及塌孔比较严重的地层,可以通过增加辅助切削齿、增加反向硬质合金、减小钻头水口横截面积等措施来增加钻头的寿命和钻进效率。

(2) 经过采用改进后的钻头,钻进寿命上和效率上都有了较大的提高,寿命提高到了 399 m 左右,钻进效率提高到 12.4 m/h 左右。因为所用钻头成本有所降低,现场施工人员对此钻头使用效果比较满意。实践表明,这种改进后的钻头非常适应水敏性软硬交错地层应用。

参考文献:

[1] 黄政祥,龙祖根. 贵州煤矿瓦斯地质规律研究[A]. 中国煤炭学会瓦斯地质专业委员会纪念中国煤炭学会成立五十周年系列活动“2012 年全国瓦斯地质学术年会”论文集[C]. 中国煤炭学会瓦斯地质专业委员会,2012.
 [2] 熊孟辉,秦勇,易同生,等. 贵州五轮山矿区煤层气地质条件浅析[A]. 第六届国际煤层气研讨会[C]. 北京:2006.
 [3] 郭东琼. 胎体式 PDC 钻头基础模具设计与成型工艺的研究[D]. 北京:煤炭科学研究总院,2006.
 [4] 陈波. PDC 耐磨性研究[D]. 湖北武汉:武汉理工大学,2009.
 [5] 史晓亮,段隆臣,王蕾. 导向钻进法用三翼回拉扩孔钻头最优切削角计算[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2001,(3).

(上接第 48 页)

(2)信号的发送。目前使用的 PD Xceed 系统的指令是通过改变泥浆泵冲来发送的,这种发送方式一方面操作繁琐,另一方面对泥浆泵以及井筒内钻井液流态、携砂效果的影响很大,可改进为对泥浆泵影响较小的发送方式。

(3)整个井下处理能力的提高。目前 PD Xceed 控制系统的微处理器基于地面指令,能够满足一些简单的信息处理,但这是远远不够的,怎样提高其在入井前指令输入以期在整个钻进过程定向井的自动控制,也是一个发展的方向。

(4)关于钻具设计的改进。如果 PD Xceed 钻具复合配套马达钻具使用,将对机械钻速带来极大的提高。

参考文献:

[1] 编委会. 海洋钻井手册[M]. 北京:石油工业出版社,2009: 588.
 [2] 马明芳. 水平井的环空压耗及井眼净化[J]. 西部探矿工程, 2006,(11):168-170.
 [3] 刘峰. Power-V 和 PD Xceed 垂直导向钻井技术在渤海油田的应用[J]. 石油钻采工艺,2009,(10):30-33.
 [4] 刘志伟,唐向阳. 滑动导向符合钻井技术应用分析[J]. 内蒙古石油化工,2007,(11).
 [5] 万朝辉. 螺杆钻具的工作特性和结构参数的分析研究[J]. 石油机械,2001,29(10):10-13.
 [6] 何文涛. 螺杆钻具失效分析[D]. 陕西西安:西安石油大学, 2008.
 [7] 王建军,张绍槐,狄勤丰,等. 塞平—1 井所用单弯螺杆动力钻具自锁现象分析[J]. 石油钻采工艺,1995,17(2):12-16.