

# 地质导向系统的应用与研究

林广辉

中国海洋石油南海东部公司,深圳蛇口,518068

**摘要** 地质导向系统是90年代中期开发出来的定向钻井新技术,是对石油钻井工业的一次技术革新。在海洋石油的定向井、延伸井和水平井钻井工程中,该系统有着广泛的应用前景,尤其在地质环境复杂、精度要求较高、工程条件较为恶劣无法进行电测等情况下,更显示出其优越性。1997年南海东部陆丰22-1油田开发水平井应用了该系统,收到了良好的效果。在断层发育带和地层岩性不纯等极其复杂的地质环境下,成功地进行“软着陆”并钻成长度超过2 000 m的水平井。文中介绍这一新技术在陆丰22-1油田开发井的应用情况,着重分析其应用结果,研究其在南海东部地区的发展。

**关键词** 陆丰22-1油田 地质导向 软着陆

地质导向系统(Geo-Steering,简称GST)是90年代中期开发出来并应用于石油钻井工业的定向钻井新技术。地质导向系统是在MWD、LWD技术基础上发展起来的新装备,也是对石油钻井工业的一次技术革新。尤其是在地质环境复杂,精度要求较高,工程条件较为恶劣的情况下,该系统更显示出其优越性。地质导向系统集多种传感器为一体,能在钻头上方几m处测得钻头环形电阻率、横向电阻率、 $\gamma$ 测线值、井斜角度、工具面角度和马达转速等。

用地质导向系统建立起钻井、测井综合评价系统(Integrated Drilling Evaluation And Logging System,简称IDEAL)。该系统集井下定向动力和钻头测井技术为一体,相当于在钻头上开了一个“窗口”,可真实地反映所钻地层的岩性及其孔隙流体的客观情况;因此,现场地质师和定向钻井工程师能及时“看到”所钻井眼的井身轨迹、地层岩性及其孔隙流体物性,据此来设计和控制井身轨迹走向,及时调整和修改定向设计,使钻头能有效而安全地沿着设计的油层目标钻进。

南海珠江口的陆丰22-1油田含油面积广且跨度大,油藏埋深浅,油层薄,油田所在地水深(320 m),这些使开发作业费用较高。该油田设计以较少的开发井布置在较长的水平段(1 000~2 000 m)以求获得较高的产量和低含水。钻井过程中,面对断层发育带、地层岩性不纯和井漏等极其复杂的地质环境,既要满足油藏地质的精度要求,又要保证井身质量和作业的可操作性及时效,钻井项目组中外技术人员经过多次讨论,充分酝酿,作出了切实可行的钻井设计。该设计于1996年9月20日在深圳蛇口由中国海洋石油学会主持召开的“大位移延伸井技术国际研讨会”上进行了交流和讨论。中外专家对这批延伸水平井的工程可行性、工艺技术和钻井设计进行了全面的研讨,并提出了许多宝贵的建议,为顺利进行这批井的钻井作业提供了设计依据。陆丰22-1油田应用GST系统在极其复杂的地质条件下,成功地进行“软着陆”钻水平井,收到了良好的效果。

LWD(随钻测井)是Anadrill公司利用Schlumberger先进的测井技术开发出来的随钻测井系统,该系统能实时测量和存储钻井过程的地质资料,在地层刚被钻开处于原始状态或受钻井液侵蚀较小的情况下就能测得地层的有关资料。MWD(随钻测斜)则是利用测量仪器通过钻井循环介质泥浆的脉冲信号实时测量并深轨迹的井斜、方位、工具面以及地层温度、压力等数据的测井系统,MWD被誉为定向工程师的眼睛,可使操作者能及时看见井眼轨迹及其走向,为及时调整和控制井眼提供客观依据。LWD和MWD等测量系统有如下优势:实时了解井眼轨迹;客观反映地层原始状态下的岩性和流体物性;探查钻井工程事故隐患,及早让作业者作出充分准备以及客观评价油层选择并深轨迹等。

## 1 地质导向系统的组成及特点

地质导向系统包括:近钻头地质导向系统,补偿双电阻,补偿密度中子,综合导向模型计算系统和最新 MWD 系统(M 10 型)。下面主要介绍测量系统。

### 1.1 地质导向系统

图 1 为地质导向(GST)系统的结构示意图。在马达轴承和弯曲本体之间有一固定的弯接头,该弯接头距钻头约 2.6 m,可调范围  $0.75^\circ$ ,  $1.25^\circ$  和  $1.5^\circ$ 。马达还附有 1.22 m 长的近钻头接头(NBS),该接头是地质导向系统的核心部分,它是一个集多种传感器为一体的测量仪器,能提供钻头环形电阻率、横向电阻率、 $\gamma$  射线、井斜、工具面和马达转速等。这组数据的测量位置距钻头只有 0.76~2.44 m。此外,NBS 还用无绳遥测手段接收和记录钻压等数据。

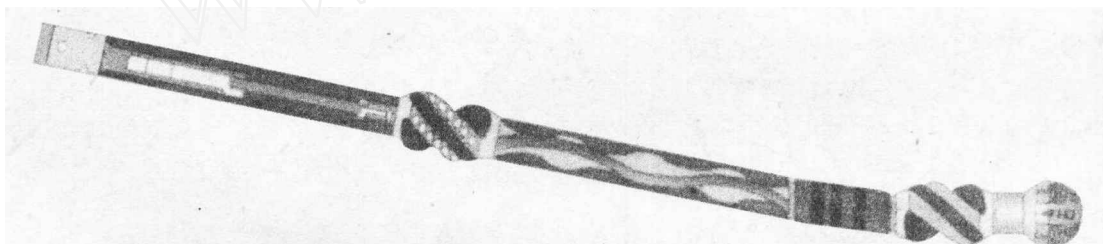


图 1 地质导向工具结构示意图

### 1.2 补偿双电阻(Compensated Dull Resistivity,简称 CDR)

CDR 系统主要包括电池筒、 $\gamma$  传感器、电导率测量总成和探管。它主要用于测量地层的伽玛曲线和深、浅电阻率曲线,这 3 条曲线是实时传输的。对这些曲线进行分析,就可马上判断出地层流体的类型,因此,它是 LWD 测井系统中最基本的组成部分。

CDR 系统用电磁波传递信息,整套系统安装在特制的非磁钻铤内,它与电缆测井仪的双感应工具相似,只不过 CDR 用于测量电导率,而双感应工具用于直接测量电阻率。与双感应工具相比,CDR 对深度的分辨率更高,而测量的深度小一些。它发送 2 MHz 的电磁波,在 2 个接收器之间测量电磁波的相对平移和衰减,将其传输到 2 个独立的比电阻,这样,就得到了 2 种深度的测量结果,即线电阻率  $\rho_{PS}$  和深电阻率  $\rho_{AD}$ 。其补偿功能类似于电测的声波补偿工具,可减少凹凸不平的井壁所产生的井筒效应,进一步增强深度分辨率,提高精度。当然,CDR 的测量数据也用来计算井眼直径,以校核井眼尺寸对测量的影响。

CDR 的  $\gamma$  传感器能测量到能量较高的地层  $\gamma$  射线,这些  $\gamma$  射线能穿透壁厚 25.4 mm 的非磁钻铤,还能穿过泥浆柱的横截面。这些  $\gamma$  微粒进入传感器后,马上进行聚焦和放大,增强能量。能量增加后的微粒撞击阴极板,产生信号。此信号经过放大和进一步处理后,经过模拟数据转换器,最后变成二进制数据,这样,就可向 MWD 传输。

### 1.3 补偿密度中子(Compensated Density Neutron,简称 CDN)

补偿密度中子能最准确地测量地层密度曲线、中子孔隙度曲线,由此进一步鉴定油层的岩性及其孔隙度、密度和渗透率等物理性能。该仪器在大排量和高钻速条件下仍能获得高精度的测量数据。配用 CND 定

向接头,无论以滑动模式还是转动模式钻进,都能准确地取得地层的密度数据。

#### 1.4 MWD 随钻测量系统

MWD 随钻测量系统主要由探管、脉冲器、动力源和井下钻压短节组成。探管内包含了各种传感器,如井斜、方位、温度、震动传感器等。它对各种传感器传来的信号进行放大处理,先将其转换成十进制数码,再转换成二进制,并按事先设定好的编码顺序把所有数据排列好。探管内有微处理器始终在处理这些信号。脉冲器用来传输脉冲信号,并接收地面的指令,因此它是实现地面与井下的双向通讯,并将井下资料适时传到地面的惟一渠道。井下动力部分有锂电池和涡轮发电机2种,它为井下的各种传感器和电子元件供电,并按其需要进行分配。井底钻压短节是一个独立部分,按作业需要决定是否下井使用。当使用井底钻压短节时,它将测得短节的应力变化和微变形,并将测到的井底钻压和井底扭矩的信号进行处理,传送给探管。

测量井斜和方位是 MWD 系统的2个重要功能。井斜是用三轴重力加速计测定的,3个轴相互垂直,分别测量出3个方向的分量,并对它们进行放大处理,转换成二进制数码。测斜时,脉冲器传输脉冲信号,立管上的压力传感器接收这种压力波的变化,将其传至信号处理器进行检波译码以及电脑计算,这样,就能得到井斜值。当作业需要时,或因故只能得到3个方向的原始值时,可以通过计算获得具体的井斜值。

#### 1.5 MWD 和 LWD 系统的脉冲传输方式

利用泥浆柱传输测量脉冲信号是钻井史上的一场技术革命,因为无此技术,一些高难度的水平井、大斜度井和延伸井是很难钻成的。泥浆脉冲的传输方式有3种,即正脉冲、负脉冲和连续波。连续波传输速度最高达  $6 \text{ bit} \cdot \text{s}^{-1}$ ,而正/负脉冲的传输速度最高只有  $3 \text{ bit} \cdot \text{s}^{-1}$ ;因此,连续波是最佳的信号传输方式。

(1) 正脉冲信号传输方式 正脉冲是指脉冲信号造成立管压力增加。在脉冲器的顶部有一类似蘑菇头的活动部件,在蘑菇头以上的特殊非磁短节有一加厚部分,它可使泥浆的流道减少,此处距蘑菇头很近。在脉冲器不发送脉冲信号时,蘑菇头静止不动,钻具内的泥浆压力是稳定的(不改变泵排量)。当脉冲器发送脉冲信号时,蘑菇头向上移动,减少了泥浆流道面积,泵压上升,发送二进制脉冲信号1。在脉冲器的指令下,发射脉冲信号0时,蘑菇头下行到原来的位置,泥浆流道面积增加,恢复到原来的泵压。这样,在整个脉冲发送期间,蘑菇头根据脉冲器的指令,不停地上下运动,使泵压上下波动,这样就传输了正脉冲信号。

(2) 负脉冲信号传输方式 负脉冲是使立管压力降低的脉冲信号。在特制的非磁短节上,有一个小风眼。在正常钻井过程中,这个小风眼被脉冲器的电磁阀关闭,泵压不变。当脉冲器发送信号时,电磁阀开启,一部分泥浆从小风眼泄掉,使泵压降低,发送了二进制脉冲信号1。发送脉冲信号0时,电测阀关闭,小风眼关死,泵压恢复正常。这样,在脉冲信号的指令下,电测阀不停地开关,造成泵压不停地减小、恢复,这样就传输了负脉冲信号。

(3) 连续脉冲信号传输方式 连续波也称正弦波,它是使立管上下波动的脉冲信号,即正常泵压时的上下波动信号。目前,只有 Anadrill 采用连续波传输形式。在脉冲器上有一类似涡轮发电机的定子、转子机构,正常钻进时,转子在脉冲器的指令下,静止在一个固定的位置,转子的叶片遮挡了定子部分的泥浆流道。当发送脉冲信号时,转子转动,使定子和转子之间的泥浆流道达到最大,相当于减小了泵压;继续转动时,泥浆流道逐渐减少,直至最小,泵压逐步随之增加,直到最高泵压。在脉冲器的指令下,转子不停地转动,泵压也就不停地呈正弦波形式变化,这样就传输了连续波信号。

#### 2 钻井测井综合评价系统的主要特点

(1) 使地质和油藏风险降低到最小,能在钻头上几 m 处测得地层岩性及其孔隙流体的客观情况,并在几 s 后传到地面。可利用先进的通信系统经过地面处理后同时传给地质师、定向钻井工程师和作业者代表。

(2) 使钻井工程风险降到最小。IDEAL 系统能让作业者和司钻及时了解气侵、井漏、钻杆刺漏和卡钻等现象,并有较多时间来做应付这些事故隐患的准备工作。在钻头上几 m 处测得定向数据,能减少以往

因没有 GST 系统而可能钻过油层才发现而要求纠偏等作业,并可以尽可能使井眼规则,有利于下套管和完井作业。

(3) 有利于改善测井质量。常规的钻井作业后测井质量常常受到井眼扩大、泥浆侵蚀等干扰,GST 系统能实时测得钻头附近地层岩性及其孔隙流体物性。

(4) 及时了解和控制井眼轨迹。脉动 MWD 系统能在 1 s 内传递高达 10 组定向数据到地面,比以前所用系统快几倍到几十倍。结合其他地质测井数据及时调整定向钻具的工具面,使钻井作业能有效地连续地沿着作业者需要的井深轨迹钻井。

(5) 及时了解和控制钻井参数。伴随 MWD 系统的 RWOB 系统能及时地从地质导向马达把钻井参数传递给 MWD 系统,然后传到地面,让作业者能及时了解和有效地控制这些参数,使定向钻井技术有效实施,以满足油藏地质的三维三靶水平段和纵向的高精度要求,并使井深轨迹沿着较为理想的油层钻进。

### 3 应用 GST 系统实施“软着陆”钻水平井的新工艺

传统水平井钻井设计中一般先用同尺寸或略小的钻头钻一个领眼到预定井深进行电测,取得油层资料后把领眼回填掉,再根据已钻井眼的资料造斜侧钻新的井眼进入水平段。陆丰 22-1 油田采用近年来国际上利用地质导向系统过行“软着陆”的新方法成功地钻成 5 口水平开发井。

应用地质导向系统“软着陆”钻水平井,即在油藏地质背景较为熟悉的情况下不钻领眼,用已掌握的邻井钻井地质资料设计和指导定向钻井。在钻井过程中应用地质导向随钻测井技术随时测量和对比邻井油藏地质资料,准确地控制井身轨迹,把水平段布置在理想的油藏层位。这一技术在世界上许多海上油田钻开发水平井中已得到成功应用。

陆丰 22-1 油田开发中应用地质导向系统“软着陆”钻水平井的主要措施如下:

(1) 井身结构和套管程序 在井身结构中省略了 444.5 mm 井眼段,井身结构为:914.4 mm + 660.4 mm + 311.1 mm + 215.9 mm 井眼段;套管程序为:762 mm + 508 mm + 273 mm (+/- 100 m)/244.5 mm + 177.8 mm 尾管。

(2) 优化定向设计 914.4 mm 井眼段为直井段,井深 419 m(海床以下 67 m)。5 口井中有 3 口井的 660.4 mm 井眼为直井,其他 2 口井则在 660.4 mm 井眼段开始造斜,且第 1 造斜点为 450 m,即 762 mm 套管鞋以下 31 m。前述 3 口井的第 1 造斜点选择在 311.1 mm 井段,井深分别为 600~730 m。第 1 增斜段造斜率为  $3.0 \sim 3.5(^{\circ}) \cdot (30 \text{ m})^{-1}$ ,增斜至  $60^{\circ}$  左右,垂直井深为 1 008~1 096 m,然后稳斜至目标层——珠江组的碳酸岩顶,测量井深 1 832~2 313 m(垂直井深 1 569~1 592 m)。

目前世界上采用的水平井井眼轨迹主要有短曲率半径、中曲率半径和长曲率半径 3 种。短曲率半径水平井斜井段部分的弯曲半径约 6~12 m,造斜率  $1.5 \sim 3.0(^{\circ}) \cdot (30 \text{ m})^{-1}$ ,水平段长度约 121.9 m。它具有造斜率高、造斜速度快、弯曲井段短的特点,故水平段以上的复杂地层大部分可处在直井段中,并在钻水平段前下套管注水泥,可比其他类型的水平井更准确地钻达设计靶区。生产时抽油泵等井下设备可安装在直井段中,防止泵杆弯曲和过度磨损,但短半径水平井需使用铰接式驱动杆及特殊的弯曲钻具组合进行造斜,不是一般的方法和工具能实现的。

中曲率半径水平井斜井段的弯曲半径约 4.6~914.4 m,造斜率  $8 \sim 50(^{\circ}) \cdot (30 \text{ m})^{-1}$ ,水平段可达 457.2 m。相对于长曲率半径类型而言,此类型具有与短曲率半径类型相似的优点,例如避免了复杂的地层处在斜井段中,能较准确地进入预定的目标,可节约时间等。钻造斜段时需要一种专用的液马达,钻水平井则可使用可控液马达。

长曲率半径水平井斜井段的弯曲半径约 304.8~914.4 m,造斜率  $2 \sim 6(^{\circ}) \cdot (30 \text{ m})^{-1}$ ,水平井段可达 609.6 m 以上,它具有造斜率适中、狗腿度小的特点,故作业难度小,可获得较长的水平井段,可使用标准的套管完井。在全部标准尺寸井眼中均可使用常规的旋转钻具组合或可控液马达系统钻进。长曲率半径水平

井对海上油田的开发更加有用,它与大斜度延伸井一样,可用于开发距平台井口较远的油层。

一般来说,钻水平井并不存在惟一的最佳的方法。井眼轨迹、造斜率以及造斜工具等的选择,取决于钻水平井的目的和要求解决的课题,取决于地层情况和钻井中可能遇到的问题。

陆丰22-1油田延伸水平井的井眼轨迹属于长曲率半径水平井的类型,选择这种类型的理由是:

(1) 油田的开发要求钻水平位移较大的水平井,以便在一个平台上能够控制较大的含油面积,降低费用,提高产量。

(2) 油田开发方案布置了较长的水平段,最长1 800 m,以求获得较高的单井产量,缓和出水时间与速度,以降低原油的含水量。长曲率半径型造斜率较小,有助于钻较长的水平段,提高作业的可操作性。

(3) 无需使用其他特殊的定向钻井系统和工具,采用Andrill公司近年开发的IDEAL体系和GST导向马达及MWD系统即可实施这批开发井的钻井作业。

这批延伸水平井钻井实践证明,陆丰22-1构造的地层岩性、强度完全能够满足 $3\sim 5(^{\circ})\cdot(30\text{ m})^{-1}$ 的造斜率。这批井钻井作业较为顺利,177.8 mm尾管一次顺利下到水平井井底等事实也证明,选择长半径造斜率是合适的。

稳斜至目标层后开始寻找珠江组的孔隙碳酸岩和灰岩层,找到这些目标层后即可结束311.1 mm井眼段。该井段实际井深范围为1 900~2 238 m。下入244.5 mm套管并固井后,仍保持稳斜钻进寻找目的层孔隙砂岩顶部,并用“软着陆”的方法把井斜角从 $60^{\circ}$ 提升到 $85^{\circ}$ ,瞄准进入第1靶心(该油藏地质的精度要求为 $\pm 3\text{ m}$ )。根据实际的钻井地质和油层物性等具体情况,再把井斜角提高到 $90^{\circ}$ 进入水平状态,并结合随钻测井资料,尽量使井深轨迹沿着较为理想的油层钻至全井设计总深度,并使之满足第2、第3靶心精度要求。

为了有效地控制井身轨迹,使之符合油藏地质的精度要求,设计了1个允许的进入靶区和一两个水平段摆动靶区。在垂直方向上,水平井靶区允许进入的范围为:向上1.0 m,向下2.0 m,这个纵向靶区要求虽近于苛刻(南海东部地区一般要求为5~35 m, TVD),但却是非常重要的。所以提出这样的要求,是因为:(1)要尽可能远离油水界面,增大垂直井深不得超过1 638 m;减少底水的影响,减慢采油时含水量上升的速度。(2)要避开油层顶部厚度约3 m的致密层,垂直井深1 600~1 620 m;使各水平段处在渗透性较好的主油层中;在水平方向上,水平段活动的许可范围是以靶心为中心,向前、向后各15 m。

#### 4 定向钻具组合(BHA)

用于陆丰22-1油田开发井钻井作业的造斜工具和马达为一体A 675 M(PDM),这一型号能提供较大的功率和中等转速。其主要特点是:可在地面调整弯接头的弯度( $0^{\circ}\sim 3^{\circ}$ );使用多极涡轮动力;使用球形密封延长作业寿命,减少起下钻时间;单轴驱动加强轴承强度,设计泥浆润滑系统;多级轴承系统能传送较高的钻压;能适应较高的转速,地面转速可高达 $200\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ ;空心转子有利于高排量作业。其主要技术规范包括:外径171.5 mm,长6.52 m,弯体到马达底部1.83 m,驱动轴转速范围 $150\sim 300\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ ;最小/最大排量为 $1.1/2.3\text{ kL}\cdot\text{min}^{-1}$ ;最优扭矩为 $4.5\text{ kN}\cdot\text{m}$ ;输出动力为70~140 kW;压差为47 kPa;最大钻压为222.4 kN;钻头压力降为1.7~10.3 kPa;最大允许拉力为1 000.8 kN;涡轮计数:4.8级。

##### 4.1 311.1 mm 井眼段

该井段为开始造斜(或增斜)到稳斜井段,它用一个带有 $1.05^{\circ}\sim 1.5^{\circ}$ 弯接头的马达(MIXL型或A 962 M型)的地质导向钻井系统和MWD系统钻进,用 $3\sim 4(^{\circ})\cdot(30\text{ m})^{-1}$ 的造斜率增斜至 $60^{\circ}$ 左右,然后稳斜至油层上方目标层(灰层),直至设计的244.5 mm套管下入深度。所用的钻具组合是:PDC(或)牙轮钻头+962 m导向马达+回压凡尔+MWD+无磁钻铤+ $2\times 203.2\text{ mm}$ 钻铤+震击器+ $6\times 127\text{ mm}$ 加重钻杆+ $27\times 127\text{ mm}$ 加重钻杆。

第1造斜段和稳斜段与第2造斜段BHA略有不同。

当用PDC钻头以滑动模式钻进有困难或钻速过低( $1\sim 2\text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$ )时,可改用牙轮钻头。使用的PDC钻头为SIMITH M 90 P型。

#### 4.2 215.9 mm 井眼段

这一井眼段首先伺机(钻到空隙砂岩顶)把井斜角升到 $80^{\circ}\sim 85^{\circ}$ ,然后根据地质油藏部门要求的靶心(经调整后)及精度要求调整井深轨迹,采用钻领眼或“软着陆”方式把井斜角提高到 $90^{\circ}$ 水平钻进,并根据主油层的波动,结合LWD资料分析油层物性,使井眼始终沿着最理想的轨迹钻进。

215.9 mm井眼所使用的地质导向钻具组合是:PDC钻头+GSTXP马达+RCV+CDR+MWD+CND+3×127 mm加重钻杆+震击器+2×127 mm加重钻杆。

随着井深加大,水平段加长,可使用牙轮钻头并在震击器之上加适当长度的钻杆。调整后的钻具组合为:牙轮钻头+GSTXP马达+RCV+CDR+MWD+CND+3×127 mm加重钻杆+震击器+2×127 mm加重钻杆+189×127 mm钻杆+78×127 mm加重钻杆。

用特制的PDC钻头钻215.9 mm水平井段在南海东部海域是第一次尝试,使用的PDC钻头为HYC-LOG的DS 107 DF+GUV型和GEODIAMOND的M 16 VXX型等。这批水平井使用PDC钻头钻水平井段获得成功,不仅在单一行程中增加了钻井进尺从而减少下钻次数,而且还大大提高了钻井机械钻速。必要时(如增斜井段)钻速高达 $40\sim 50\text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$ ,从而有效地提高了钻水平井段的作业时效和整体经济效益。

必须指出的是,典型的MWD/LWD系统在定向井钻具组合的布置如上文所述。CDN测量系统接在钻具组合上部,这样,万一井下出现卡钻事故,就能下入打捞矛打捞出中子源和密度源。用于实时测井的CDR和RCV系统接在下部,可以尽快评价地层,并监视地层空隙压力。CDR通常要尽量靠近钻头、MWD底部,用来测量井底的钻压和扭矩。导向马达接在MWD/LWD系统的下面,以便及时调整井眼轨迹。在中曲率井,或定向井工程师非常关注井斜和方位变化的井段,或其他需要时,也可以把CDR接在MWD的上面。所有这些测量系统均安装在特制的非磁钻铤内或短节内,统称MWD专用钻铤。在测量仪器的外桶上有扶正器和固定锚,使之居在非磁钻铤内,并牢固地与非磁钻铤连为一体。

通常在一口井的设计阶段,就应确定MWD/LWD系统,可以使用MWD/LWD电脑软件对BHA特征进行预测,尤其要对摩阻进行预测。由于摩阻较大,作好摩阻预测将有助于正确地评估钻机提升能力和扭矩能力等,甚至直接关系到是否对钻机进行升级改造。

#### 4.3 用于定向控制和井身控制质量的技术措施

这批水平井在特定的地质条件下必须满足油藏精度要求,在定向控制和井身质量控制方面采取了严格的钻井技术措施。其基本准则包括:满足油藏地质靶心的要求(纵向 $\pm 1.5\text{ m}$ );防止新钻井与探井和评价井(共4口井)相互碰撞;严格控制狗腿,以减少钻井和下套管时弯曲和磨损;严格控制垂直井深,最大TV不得超过1 683 m RKB底线(即1 615 m MSB),防止井眼太接近油水界面。

使用STATOIL研究编制的SYSDRILL定向设计软件,并用“最小曲率法”设计井身轨迹,定向设计将用于指导现场施工。使用Andrill公司的“IDEAL”监视软件进行现场分析,监测井深轨迹在设计的误差范围内,避免井与井之间“窄槽”。造斜点和造斜率的选择要有利于优化井与井之间轨迹距离和钻井作业的实施。定向设计将随现场情况及时调整。设计第1造斜段斜率为 $3\sim 4(^{\circ})\cdot(30\text{ m})^{-1}$ ,第2造斜段斜率为 $5(^{\circ})\cdot(30\text{ m})^{-1}$ ,限制狗腿严重度,精心设计和调整钻具组合,并精确计算扭矩和摩阻力。其他钻井措施还有:

- (1) 使用牙轮钻头“双弯”马达钻311.1 mm造斜段井眼。
- (2) 造斜段后第1次起钻调整可调弯接头至 $0^{\circ}$ 并用PDC钻头。
- (3) 钻稳斜井段。
- (4) 造斜至 $60^{\circ}$ 左右时,稳斜钻进寻找目标层(1 567~1 592 m TVD处的碳酸岩)。调整钻具组合再造斜进入油层靶心,采用“软着陆”方式进入水平段。水平段钻进中结合地层岩性及时调整井身轨迹方向。
- (5) 使用随钻测量系统(LWD和MWD)及时了解井身轨迹,测量要求如下:
  - 每一钻柱(大约30 m)测量1次,最长间隙不得超过100 m。
  - 在244.5 mm套管内下陀螺仪校正MWD数据的精度。
- (6) 用SYSDRILL DDS软件综合考虑所有测量中的不定计算,比较结果将用于调整下一步钻井措施以

提高其精度。

(7) 必要时在钻井过程中也可使用 Gyro 测量磁偏角,直到 MWD 感应器的磁偏角正常。Gyro 的精度要求视井斜、方位和靶心大小而定。

(8) 严格控制钻井参数。

在 244.5 mm 套管内钻水泥塞和钻套管鞋时,不宜使用双弯接头钻具(GST),地面钻速应 $\leq 25 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ ,出鞋后 3 m 用滑动方式钻进,造斜段不宜用旋转方式钻进。

在以滑动方式钻进后,至少 3 m 的地面钻速要 $\leq 25 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

用  $0.75^\circ$  固定接头 + 可变直径扶正器时,钻速 $\leq 120 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

用  $1.25^\circ$  固定接头 + 可变直径扶正器时,钻速 $\leq 80 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

用  $0.75^\circ$  固定接头 +  $0.38^\circ$  可变直径扶正器时,钻速 $\leq 50 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

推荐泥浆泵排量  $Q$  为  $1.3\sim 1.5 \text{ kL}\cdot\text{min}^{-1}$ ,最大  $Q\leq 2.2 \text{ kL}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

稳斜段和水平段尽量保持恒速钻进,推荐钻速(FOP) $\leq 25\sim 30 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$ ,一般不超过  $35 \text{ m}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

使用生物油基钻井液(SYN-TEQ 体系)钻油层水平段,钻井液密度控制在  $1.04 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  以下,相应的过平衡压力为 480 kPa。

当定向滑动钻井遇到困难时,采取下列措施改变导向条件:短起下钻,必要时划眼;打入高黏泥浆清洗井筒;加接钻铤(最多 5 柱);减小扶正器尺寸(209.55 mm 改为 203.2 mm);将 PDC 钻头换为牙轮钻头。

## 5 GST 在陆丰 22-1 油田的应用

陆丰 22-1 构造处于珠江口盆地的一条主要断层活跃带,前几任作业者曾对其进行过一系列的地球物理勘探和地质研究工作。开钻前,STATOIL 作业者对原有资料进行了消化研究,认为 5 口开发井将钻遇断层 3 处,而实际钻井过程中钻遇大小断层累计 11 次。水平段钻遇断层前后的油层岩性和物性发生了很大的变化,岩层有的落差 3~5 m,有的甚至找不到油层,或物性不理想。作业者研究决定,在水平段开窗侧钻。5 口井累计开窗侧钻 11 次。采用 GST 在断层活跃带钻水平井,避免了完井后才能钻出油层的风险。

### 5.1 L5、L9、L3、L1 井实际钻井结果及侧钻原因分析

L5 井是钻 215.9 mm 井眼的第 1 口井,当时认为该井水平段不经过断层,钻井难度较小,因而先钻该井以便为其他 4 口井的钻进提供参数并积累经验,但在钻井过程中,因对砂岩顶部深度认识不足,导致第 1 次侧钻。随后在垂直深度 1 630 m 找到砂岩顶后继续钻进,至 2 558 m MD 处遇到严重井漏,估计为大断层影响产生的破碎带。为尝试避开破碎带,决定第 2 次侧钻,最后在 2 480 m MD 处完钻。

L9 井汲取 L5 井教训,首先钻到孔隙砂岩(1 630 m TVE,RKB),然后钻水平井段至 2 630 m MD 处,找到物性条件良好的油层,进入致密砂岩。为重新找到油层,先后 2 次侧钻,但未成功,未找到物性良好油层,外方决定临时弃井。

L3 井砂岩顶部深度与预测完全一致(1 616 m TVD,RKB),可见砂岩顶构造的预测在这个局部地区是相当成功的,但在钻至 3 361 m MD 处,由于对断层认识不足,钻遇一未预测到的地坳,该地坳由 inline 215 m 和 225 m 附近的 2 条断层所组成,段距达 5 m(上升盘 1 609 m,下降盘 1 614 m TVD,RKB),然而在水平段钻进过程中,穿过断层后失去物性良好的油层,导致侧钻。

L1 汲取 L3 井经验,由挪威的地球物理师对沿 L1 井的轨迹作断层解释,并提出在与 L3 相同的位置处仍存在一小地坳,断距达 6~8 m,但实钻结果断距仅 3 m(上升盘 1 608 m,下降盘 1 611 m TVD,RKB)。虽然油层物性条件很好,但因为水平段深度下降过多,在今后的生产过程中会见水过早,因此决定抽回钻头从 3 334 m MD 处开始侧钻。

### 5.2 L7 井顺利完成的成功经验

根据 4 口井数次侧钻的经验,认识到以前的地球物理解释精度已不能满足水平井钻井的需要,因此,作业者加强了以下几个方面的工作:提高地震剖面的解释精度,特别是对沿井深轨迹可能遇到的断层的判断;



加强随钻测井资料的分析,特地从海洋石油南海东部公司请来了经验丰富的地球物理专家和井场地质师,协助作业者加强物探解释工作。对沿 L7 井轨迹的三维高分辨率地震剖面做了精细解释。

(1) 识别出段距仅 2~3 m 的断层 11 条,从而将地震解释精度提高了一个数量级。

(2) 在地震解释基础上,准确评价构造形态,建议外方 L7 井可沿设计轨迹再钻 150 m。外方采纳建议后,使 L7 井断距长达 7 m(上升盘 1 619 m,下降盘 1 626 m TVD,RKB),从而提前做好准备,避免了侧钻的再次发生,为 L7 井水平段一次钻井成功打下了坚实的基础。

(3) 加强随钻测井资料的分析,结合南海东部公司科研中心及挪威解释的砂岩顶构造,将地震解释的构造与断层标于同一钻井剖面上。与随钻资料相比,这样既可以验证哪一种构造解释更为准确,又可及时提示外方井眼轨迹设计是否合理,提出下一步钻井中需注意哪些问题,做到一图多用,一目了然。

### 5.3 L9 井水平段的重钻工作

因为曾经对 L9 井构造和断层情况认识不清,造成所钻水平段油层物性不理想,故决定永久弃井。此次重新研究,作业者和中方倾注更多的精力,集中全力作了以下几个方面的工作。

(1) 地震剖面的详细研究 这项工作除了沿 L9 井最新设计轨迹做精细的地震解释,识别出可能存在的地质层外,还分别在平行 L9 井轨迹方向解释剖面 5 条,在垂直 L9 井轨迹的方向解释剖面 3 条,从而使 L9 地区的地球物理工作由线到面,增加了分析的可靠性。研究中划出了以前该地区所没有的垂直 L9 轨迹的断层 6 条,并认识到在 2 650 m MD 处由于地坳的存在而使地层抬高,因而以前的往下侧钻应改为往上钻,从而为 L9 井的重新钻井树立了信心。

(2) 构造剖面图的绘制 继续沿用 L7 井的工作方法,将中外双方解释的砂岩顶构造绘于剖面上,同时将 L9 井最新设计轨迹标于图上,检查井眼轨迹的设计是否合理。经过双方协商讨论,先后 3 次改进井眼轨迹设计,从而使井眼轨迹的设计更为合理。

(3) 可能遇到的问题 由于 L9 井在以前钻井过程中出现过井漏,估计这个地区断层可能是“开启”的。另外,从 2 650 m MD 处开始,构造有些遭受削蚀的迹象,这段距离约有 80 m 左右,若物性条件不好,建议直接往前钻,穿过这段。

## 6 结 论

通过陆丰 22-1 油田延伸井的钻井实践得出如下认识和结论。

(1) 延伸水平井可提高特定油层的油井产量,延缓油层见水时间和降低地层出水速度,在当今定向钻井技术较为发达的条件下,是切实可行的,尤其在边际油田的开发中,能有效地提高其经济评价结论和效益。

(2) 地质导向和定向钻井系统是认识地层岩性,分析油层物性的重要资料来源,是了解所钻井眼轨迹及其走向,控制井眼沿着预计轨迹和油层的最佳路径钻进的最重要的技术保障。LWD 和 MWD 系统是实现高精度定向控制的必要条件。

(3) 在地质环境较为熟悉的条件下,用“软着陆”钻井方案钻水平井进入设计油层是可行的。GST 系统的应用是“软着陆”钻水平井进入设计油层的重要技术保障。

(4) 用“软着陆”钻井方案能节省大量的作业时间,减少井眼的裸露时间,降低钻井工程的作业风险。

(5) 对油田的地质构造等认识不足时,定向钻井设计宜采用钻领眼方式。钻领眼后,对油层的岩性和物性有了充分的认识,再钻水平段,可克服寻找靶心的盲目性,减少无用的钻井进尺,避免地质侧钻。

(6) 现场随钻地质导向解释系统是复杂地层延伸水平井钻井过程中调整井身轨迹的有效工具。

(7) 有了先进的导向钻井系统,在水平段实施造斜侧钻或多底井,在技术上是可行的。这批水平井在水平段 11 次侧钻,成功率达 100%。

(8) 陆丰 22-1 油田完井后进行的测试和正式投产结果表明,单井试井原油最高产量  $5\,171\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ ,1998 年产油 166.76 万 t,证明陆丰 22-1 油田采用“软着陆”钻井方案是成功的。

(9) GST 和 LWD 系统的应用,必须建立在对地质构造的正确认识和地质主管人员具备丰富经验和技



术素质的基础上。

(10) 南海东部地区近年开发井的钻井作业几乎都是定向井、延伸井和水平井。在油藏地质背景较为熟悉的情况下,应用 GST 系统和“软着陆”钻井方案钻水平井,有着广泛的发展前景。

(收稿日期:1999-04-22;编辑:郭 骊)

(上接第 38 页)

从井口管汇或计量分离器来的天然气,大多数是被水和凝析油饱和了的天然气,当压力降低时,会出现凝析液,而凝析液必须除去。除去凝析液的方法是通过 J-T 效应节流降温,使冷凝液析出。为防止 J-T 阀上游形成水合物,进入 J-T 阀入口的气体的温度要保持在稍高于水合物形成温度上,因此不需要注入防冻剂。天然气通过控制阀进行膨胀,然后流进低温分离器。突然的膨胀产生了凝析液,形成了水合物。从低温分离器分离出的气体,经气/气换热器后,温度升高,以满足用户的露点要求。J-T 阀入口温度,也是通过此气体进行调节的,以防止形成水合物,堵塞 J-T 阀。

随着气田生产天然气生产后期气井压力下降,J-T 阀节流效应所除去的凝析液,将不能满足仪表气和气动设备用气的露点要求。例如在第 1 年,仪表动力气源的露点为  $-3.2^{\circ}\text{C}$  (A 平台),而到气田生产后期其露点将高达  $5.5^{\circ}\text{C}$ ;因此,在 J-T 阀的下游增设了 2 级气体干燥器。气体干燥器的形式与我们通常使用的压缩空气干燥器一样,在此不再赘述。

## 6 应用的局限性

现在的低温分离器已不同于以前的分离器,因为它要靠油层本身的油气压力和温度来操作。低温分离器的低温是由天然气大压差节流降压所产生的节流效应所获得。节流前的操作压力是根据低温分离器的操作温度确定的。当井口压力和温度变化较大时,工艺控制比较困难。另外,当流动温度和压力随时间改变时,操纵装置必须重新进行调整。如果盘管来气过冷,则液体中的轻组分有可能冷凝;如果入口物流过热,已凝聚的油和水重新蒸发为气态,则更多的中间组分将损失到气流中。这样就会使凝析油的回收率不高,天然气中的水汽含量仍很高。从水合物溶解方面来看,在寒冷的冬季会出现过低的液体温度,造成堵塞低温分离器的液体出口。

低温分离工艺通常适用于富气的分离;至于贫气,当低温分离工艺对液烃回收具有经济价值时才可使用。此外,对压力高、产气量大的气井,当气体主要组分除甲烷外还有含量较高的硫化氢、二氧化碳、凝析油以及液态水和汽态水时,也宜采用低温分离技术。

## 7 参考文献

- 1 林存瑛主编. 天然气矿场集输. 北京:石油工业出版社,1997
- 2 曾自强,张育芳主编. 天然气集输. 南充:西南石油学院,1996
- 3 阿诺德肯,斯图尔特 莫里斯. 油气田地面处理工艺——气处理系统和设施设计. 吴孟君译. 杨延昕校. 北京:石油工业出版社,1992

(收稿日期:2000-02-21;编辑:张金棟)

——修井机技术参数应根据今后作业内容来确定。如果考虑修井机今后要进行大修作业,在设计阶段,修井机负荷、泥浆泵泵压及排量、配套设备等就应从大修作业方面考虑(为了节约费用,降低生产成本,修井机设计仍按最大工作负荷进行。由于油田前期为常规修井作业,修井机前期设备配套按常规修井配备,只预留设备安装空间;油田后期需要进行大修作业时,修井机再按大修要求全面配备,而且一个油田几个平台共享修井机大修配套设备,如柴油机、泥浆泵、转盘、水龙头、井口工具等);反之,考虑修井机今后工作范围只是常规修井作业,修井机负荷、泥浆泵泵压及排量、配套设备等,就仅从常规修井作业考虑,以节省费用,降低成本。

——正确认识修井机国产化。渤海公司修井机状况:埕北B平台修井机为加拿大DRECO生产的K400-60T修井机,埕北A平台修井机为美国LTV生产的WILSON 30-90T修井机,绥中36-1A平台修井机为美国LTV生产的WILSON 38-80T修井机,绥中36-1B平台修井机为加拿大DRECO生产的K80-60T修井机,绥中36-1J平台修井机为美国IRI生产的60T修井机;这些修井机从设备的使用性能、配套程度到设备的维修、操作等方面都令人满意,给人们留下了深刻印象,十几年来采用它们培养了众多的技术骨干;当接触国产修井机时,某些操作人员对它们存在一些偏见。在修井机国产化初始阶段,必须正确认识国产修井机,不能因国产修井机存在背或多或少的的问题,就对修井机国产化持否定态度,修井机国产化的道路必须坚定地走下去;在概念上应该明确,在目前阶段国产修井机与进口修井机的区别在于哪种修井机更好用、更可靠,而不是能用和不能用。

(本文写于1998年7月,同年8月2日渤西修井机的井架发生了意外。渤海公司吸取了经验,在这以后的修井机井架设计计算中采取了第三方验算和监督制造的机制,确保了修井机井架质量的可靠性,并取得了可喜成效——喻贵民)

(收稿日期:2000-04-20;编辑:张金棣)

## 作者简介

- 陈国庆 讲师,1971年出生,1993年毕业于上海交通大学船舶与海洋工程专业,现在上海交通大学船舶与海洋工程学院工作
- 周学军 工程师,1967年出生,1988年毕业于江汉石油学院仪表自动化专业,现在中海石油研究中心工作
- 孟宪华 高级工程师,1961年出生,1987年毕业于石油大学(北京),获工学硕士学位,现在中国石油天然气集团公司石油工程技术研究院从事滩海工程技术研究工作
- 姜 伟 高级工程师,1955年出生,1982年毕业于西南石油学院钻井工程专业,现在中海石油(中国)有限公司天津分公司工作
- 李银素 高级工程师,1947年出生,1970年毕业于河北工业大学化学系,现在中海石油技术服务公司工作
- 沈 伟 工程师,1967年出生,1989年毕业于石油大学(华东)炼制系,1997年于石油大学获硕士学位,现在中海石油技术服务公司技术发展中心工作
- 林广辉 1957年出生,1983年毕业于江汉石油学院石油工程系,同年到南海东部石油公司工作,现任BP AMOCO 流花油田联合作业集团高级工程师
- 高宝奎 工程师,1965年出生,1987年毕业于兰州大学力学系,1992年于清华大学工程力学系获硕士学位,现在石油大学从事油气井管柱力学研究工作
- 刘培林 工程师,1965年出生,1988年毕业于石油大学(华东)采油专业,现在海洋石油工程股份公司工作
- 伍年青 高级工程师,1945年出生,1969年毕业于北京石油学院采油专业,现在吉林油田设计院从事供排水、油田注水和含油污水处理地面工程设计工作
- 郭永峰 讲师,1955年出生,1994年获石油大学(北京)硕士学位,现在中海石油技术服务公司工作
- 喻贵民 工程师,1969年出生,1992年毕业于西南石油学院矿机专业,现在中海石油技术服务公司井下作业公司工作

——本刊

Key Words: Liaodong Bay, cluster well, high quality and high speed drilling, drilling technology, management

#### Development of New Activity Agent of Barite and Its Assessment in Sea Water Drilling Fluid

..... *Li Yinsu, Zhang Jufen, Mo Chengxiao, Pan Huifang* (20)

Abstract: In order to solve effectively the suspend stability of weighting materials in sea water drilling fluid, a new activity agent of weighting materials is developed, which can resist against salt, calcium and high temperature. This paper introduces the activity mechanism of barite, and lists the experiment results of new kind of activity barite in high temperature (180~210 °C) and high density (1.8~2.4 g·cm<sup>-3</sup>) in sea water drilling fluid.

Key Words: activity barite, weighting agent, suspend properties, sea water drilling fluid

#### Research and Practice of Improved Drilling Fluid Properties ..... *Shen Wei* (26)

Abstract: Several factors effecting drilling drag of extended reach well are discussed this article. In order to utilize sufficiently all advantages of Polyglycol Enhanced Mud, some technical measures were brought forward, by which the lubricity of PEM mud is improved, and the ability of anti-sticking of drilling fluid enhanced, resulting in reduction of drilling drag.

Key Words: extended reach well, drag, anti-sticking, lubricity

#### Influence of High Temperature on Strings Helical Buckled in Vertical Wells ..... *Gao Baokui, Gao Deli* (30)

Abstract: Analytic solution is established to describe axial force distribution of strings helical buckled in vertical wells when slack down from the top. When temperature increases, deformation will develop under post buckling conditions, and it is difficult to describe axial force with analytic method, so numerical method is used. Near the point where well diameter changes, high temperature causes a sharp leap of load, local friction will turn direction to keep the continuity of axial force.

Key Words: string, helical buckling, temperature, axial force, friction

#### Calculation of Pressure Wave Speed in Cooled Crude Oil Pipelines ..... *Zhang Zubin, Zhang Guozhong* (33)

Abstract: The pressure wave-speed should be mastered during the operation of crude oil pipelines. After the heated pipeline shut down, the oils shrinkage with temperature decreasing and the yield stress emerges when cooled to some extent. Therefore, hot-oil pipeline initial restart pressure wave-speed is different from that in usual fluid, which is dependent on the range of cooling, the exerted pressure and the propagated distance, besides crude oil and pipe properties. From the principles of momentum conservation and mass conservation, the formula of pressure wave-speed in the fluid with cooling contraction and yield stress has been derive.

Key Words: crude oil pipelines, pipeline transportation, yield stress, pressure wave-speed, calculation

#### Low Temperature Treatment of Natural Gas ..... *Liu Peilin* (37)

Abstract: Low temperature separation, uses the high energy from the well stream to throttle and reduce pressure, then remove the condensate. This technical feature of process and equipment is simple, reliable, and easily for maintainance etc. This method is suitable for high pressure and high flow-rate condition, but is seldomly used since pressure declines quickly.

Key Word: low-temperature separation unit, hydrates, dew point, heating coil, dehydration

### • PETROLEUM EQUIPMENT •

#### Study and Application of Geo-Steering Drilling System ..... *Lin Guanghui* (39)

Abstract: Geo-steering (GST)drilling is a new technology for evaluating the formation collegially while drilling. It was published in early 1990's, and has been applied in drilling engineering since the middle of 1990's. Its main surveying system is consisted of a GST sub, LWD (Logging While Drilling ), and MWD (Measuring While Drilling ). The GST sub is just a few meters above the drilling bit. The main characteristic of formation, such as lithology, physics and chemicals, can be measured after very short footage of new hole been drilled. Based on the analysis of the geological and reservoir data of the offset wells, it can be predicted what formation to be drilled. Soft-landing is a profile design to set the landing point (enter horizontal interval )into the proposal position and for the geological target. The well profile can be designed and modified according to the data from offset wells and GST surveys before and while drilling.

Lufeng 22-1 Oil Field is a large-scale field with quite thin bed. There are many structural faults through the reservoir. The pay zone is mainly sandstone but interlining with other lithology. The GST and Soft-landing technology was applied in the field to drill five(5) horizontal wells. It indicated that the technology was helpful and valuable for drilling through the faults and modifying the profile to land the horizontal section in the perfect geological target effectively. This treatise discusses how to use the technology for Soft-landing and drilling ahead the horizontal interval in ideal pay zone.

Key Words: Lufeng 22 - 1 Oil Field, geo-steering drilling, Soft-landing, research

#### Problems Occurred in Application of Multiphase Pump in Boxi Oil Field and Suggestion for

Improvement ..... Wang Sheng, Liu Hai, Qin Peng (48)

Abstract: This paper describes two main problems existing in the operation of multiphase pumps, such as inlet solid and slug flow. Some improvement methods are presented. The influences of the inlet slug flow on multiphase pumps' performance are analysed and the effective technology improvement method is given, which provides some experiences for future application of multiphase pumping technology.

Key Words: multiphase pump, slug flow

#### Design of Vertical Oil and Water Integrate Treatment Tank

..... Wu Nianqing, Zhao Yuchao, Zhang Bo (52)

Abstract: The vertical oil and water integrate treatment tank uses many new technologies such as ultrasonic dehydration, chemical settlement with electric heating, water washing de-emulsification, tilted pipe, coalesce packing and constant liquid level with varying frequency for adjusting speed. etc. and it overcomes the disadvantages of common treatment equipment (separator, heating furnace, dehydrator and surge tank. etc.) which must be supported by pumps and piping, so it has staggered strike and continuity characteristics for treatment. This paper gives some new ideas about displaying and adjusting for oil and interface, hatch design of the water washing manifold and tank maintenance.

Key Words: oil water integrate treating, dehydrate, oily water treatment, ultrasonic dehydration

### •ENGINEERING ECONOMY•

#### Predicting in Cost and Revenue of Petroleum Company by Method of Multivariate Analysis in Regression

..... Guo Yongfeng, Jin Xiaojian, Liu Bao (56)

Abstract: This paper discusses questions on the predicting and evaluation of the index of used by a company. It is related to the rationality evaluating of the productive cost of a company in past years and the predicting of the cost of production and revenue of the company in future by the method of multivariate analysis in regression, which had been modified by the author. In general, the method of multivariate analysis in regression is widely used in the data deposition on predicting of weather or seismic exploration. But the method has been used in the forecasting on cost and revenue of production in some companies, which has relative smaller scale of production and shorter history of development by the author. The result of application is satisfied by dealing with of computer. On this basis, the author puts forward some new ideas in the economic of enterprises. For example, the method of the first order and second order derivative of index of economic in managing enterprises, and introduces the application of the first order and second order derivative in forecasting of financing in enterprises.

Key Words: multivariate analysis in regressive, management of enterprises, index of economic, correlation matrix, correlation coefficient

#### On How to Reduce the Cost of Offshore Development Projects ..... Cao Yunsheng, Lin Rongqing (61)

Abstract: Cost management reflects comprehensive management ability for an enterprise and it is the core for enterprise management. It is vital for an enterprise to improve competition capacity by strengthening management and lower the cost continuously in the intensive market competition. This article describes some of the efficient operational methods in the stage of design for offshore platform fabrication and engineering operation as well.

Furthermore, this thesis comments on what important functions the established integral assessment system and motivation system perform during the course of lower cost.

Key Words: cost consciousness, consumption cost, production efficiency, quality cost, assessment and motivation

### •NATIONALIZATION•

#### Nationalization of Work-Over Rigs in Boxi Oil Field ..... Yu Guimin (64)

Abstract: The article introduces briefly the design of Boxi oil field workover rig, and defines the basic specification of workover rig with the guide of Petroleum Drilling and Production mechanics. According to operation conditions at the wellsite, the Boxi oil field workover rig was summarized and repaired to lay the foundation of locally made workover rig in BoHai oil field in the future.

Key Words: Boxi oil field, home workover rig, workover rig model, specification, trouble-shooting, existing problem