

垂直钻井新技术

随着旋转导向钻井技术的迅速发展，一套专为垂直钻井设计的新系统得以问世。

Guido Brusco
Eni S.p.A.
意大利 Falconara

Pete Lewis
意大利米兰

Mike Williams
美国得克萨斯州 Sugar Land

在编写本文过程中得到以下人员的帮助，谨表谢意：美国得克萨斯州 Sugar Land 的 Denny Adelung, Emma Bloor 和 Steve Siswanto; 英国 Stonehouse 的 Matt Bible, Ian Carne 和 Brian Stevens; 意大利 Ravenna 的 Dipesh Pattni 和 Geertjan van Og。

PowerDrive, PowerPak, PowerV 和 SlimPulse 等是斯伦贝谢公司的商标。

1. Williams M: “旋转导向钻井新技术的应用”, 《油田新技术》, 16 卷, 第 1 期 (2004 年春季刊): 4-9。
2. “Drilling Levels Will Continue Upward”, *World Oil*, 225 卷, 第 2 期 (2004 年 2 月): 41, 43-45, 47. “Heightened Activity Will Continue in Some Areas”, *World Oil*, 225 卷, 第 2 期 (2004 年 2 月): 63-65, 69。
3. 有关实例请参见: Williams, 参考文献 1。
4. 有关在构造运动活跃的地区钻井更多的信息, 请参见: Addis T, Last N, Boulter D, Roca-Ramisa L 和 Plumb D: “The Quest for Borehole Stability in the Cusiana Field, Colombia”, *Oilfield Review*, 5 卷, 第 2/3 期 (1993 年 4 月/7 月): 33-43。
5. 有关 KTB 项目更多的信息, 请参见: Bram K, Draxler J, Hirschmann G, Zoth G, Hiron S 和 Kuhr M: “The KTB Borehole – Germany’s Superdeep Telescope into the Earth’s Crust”, *Oilfield Review*, 7 卷, 第 1 期 (1995 年 1 月): 4-22。
Calderoni A, Savini A, Treviranus J 和 Oppelt J: “Outstanding Economic Advantages Based on New Straight-Hole Drilling Device Proven in Various Oilfield Locations”, SPE 56444, 发表在 SPE 技术年会暨展览会上, 休斯敦, 1999 年 10 月 3-6 日。

可以说绝大多数井都是直井, 但将这些井称为直井未免忽略了井眼有偏离垂直方向的趋势。在没有特殊钻井程序或技术的情况下, 井眼常常可能沿着与层面和其它地质特征垂直的方向钻进。在井眼测量技术问世之前, 勘探与生产 (E&P) 公司无法了解井眼的偏离和弯曲程度, 直至测井或者下套管作业因复杂的井眼形状而受阻。除了自然偏移外, 钻井作业也可能使井眼出现狗腿或者其它不规则形状/方向, 而这些问题可能直至作业受阻时才会被发现。

定向钻井和测量技术使勘探与生产公司能够更准确地控制井眼轨迹。此外, 钻井公司不断提高钻井技术, 并进行了大量改进, 包括精心挑选钻头、优化钻压以及改进井眼净化作业等。旋转导向系统的问世对这些改进来说更是锦上添花。

在最近 10 年才问世的旋转导向钻井技术继续向前发展^[1]。新型旋转导向系统具有优秀的定向控制功能, 支持较长水平段的钻进、双中心钻头钻进、恶劣环境及松软或未固结地层中的钻进等。除了经常见诸报端的复杂或破纪录钻井作业外, 旋转导向系统还明显提高了普通垂直钻井作业的效率。

应用于垂直钻井的新型旋转导向系统不但可防止井眼偏离垂直方向,

也可使已经倾斜的井眼恢复垂直。新型旋转导向系统可用于各种尺寸的井眼, 该系统在钻进过程中连续旋转, 从而提高井眼质量和井眼净化效果, 降低了卡钻风险并提高了机械钻速 (ROP)。

本篇文章介绍了 PowerV 垂直钻井系统及其在意大利的应用。首先, 我们对为什么要进行垂直钻井做一讨论。

垂直钻井的原因

在每年所钻的近 7 万口井中, 绝大多数都是简单的直井^[2]。勘探与生产公司通常都想方设法降低这些井的成本, 所以并不采取特殊措施使其保持垂直。不过, 某些因素要求勘探与生产公司必须钻出高质量的直井。

勘探与生产公司可能希望钻出一个垂直穿过储层的平滑井眼^[3]。平滑而又垂直的井眼有利于下尺寸较大、与井壁之间间隙较小的套管, 这样便有可能在建井作业后期再下额外的套管柱。但在井眼先偏离后来又返回垂直状态的情况下, 无法再下额外的套管柱。

钻直井还有一个更大的优点, 即高质量的垂直钻进在一开始便可将井眼尺寸控制在最小。一般来说, 尺寸较小的井眼钻起来更快, 钻屑处理、管柱和水泥的成本也较低。

许多作业公司通过在地面一个位置定向钻进多口相隔很远的井来减少钻井



PowerV 工具规范				
PowerV 工具	475	675	825	900/1,100
最大旋转速度 (rpm)	250	220	220	200
最大作业温度 (°F)	257/302*	257/302*	257/302*	257/302*
最大钻压 (lbf x 1,000)	50	65	65	65
钻头最大扭矩 (ft-lbf x 1,000)	4	16	16	48
流量范围 (加仑/分钟)	220 至 400	320 至 650	480 至 1,900	480 至 1,900
需要的钻头压降 (psi)	600 至 800	600 至 800	600 至 800	600 至 800
最大作业压力 (psi)	20,000	20,000	20,000	20,000
垂直控制系统	自动	自动	自动	自动
井眼尺寸 (英寸)	5 ³ / ₄ 至 6 ¹ / ₂	8 ¹ / ₂ 至 9 ⁷ / ₈	10 ⁵ / ₈	12 ¹ / ₄ 至 22
*可提供高温型号系统				

▲ PowerV垂直钻井系统。这套简单而耐用的系统建立在得到现场应用验证的PowerDrive旋转导向系统基础之上。工具最短长度仅为12英尺(4米)，可用于5³/₄至22英寸的井眼。标准型号的最高作业温度为257°F(125°C)。高温型号的最高作业温度为302°F(150°C)。所有型号均可在20000 psi(138 MPa)的静水压力下工作。

作业的地面占地面积。在这些作业中，垂直钻井是防止从海上平台和陆上钻井平台上钻出的上部井段之间相互碰撞的重要技术。对于在造斜点之上偏离垂直方向的油气井，即使偏离程度很小，作

业公司也很难利用现有的井槽。

钻井作业不仅受到地面条件的限制，井眼设计还必须考虑地下情况。例如，在断裂岩层之下、在陡峭的倾斜层或构造运动活跃的地区钻井往往需要

采取特殊措施才能使井眼保持预定轨迹^[4]。利用垂直钻井技术可钻达特定目标层。

一些特殊钻井项目也受益于垂直钻井。例如，德国大陆超深钻井计划Kontinentales Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland(KTB)钻了一口深度为9101米(28960英尺)的直井，以便研究地壳的基本情况^[5]。垂直钻井系统在防止斜度增加，并尽量保持最小的井眼尺寸和摩阻等方面起到了很好的作用。

垂直钻进上部井段对于大位移钻井作业的成功至关重要。上部井段扭曲程度过大将造成下部井段中的扭矩和阻力升高，增大钻杆和套管磨损。井眼扭曲也会增大出现钻井问题的风险，这些问题包括井眼清洁效果不好、卡/滑钻现象以及因扭矩和阻力过大而无法达到计划深度等。平滑、规则的井眼有助于获得高质量测井曲线，从而易于进行地层评价。显而易见，众多因素都让勘探与生产公司选择钻直井。

在过去，为了保持较小的井眼倾角，勘探与生产公司将钟摆钻具组合下入井中，但在硬地层或高度倾斜的地层中，钟摆钻具组合的效率较低。为了使井眼恢复垂直而进行的校正作业不仅成本高昂而且还无法防止再次出现井眼偏斜。为了满足钻直井的需要，旋转导向系统应运而生，它可用于垂直钻井作业。这套新系统可让井眼始终保持垂直，而且还具有机械钻速高的优点。旋转导向系统的连续旋转降低了机械卡钻的风险。而且，旋转导向系统没有静止井下组件，因此不会出现非旋转部件的锚定效应。

垂直钻井新技术

PowerV工具可提供一些特殊功能(左上图)。可在地面对PowerV工具编程让其自动纠斜并保持垂直。这样，将工具下井之后，PowerV将主动进行导向，保持垂直而无需在地面进行任何操作。



^ 位于意大利 Pescara 附近的 Miglianico 油田。



PowerV 工具配有全套三轴向测量装置，其中的传感器可确定倾角是否在改变，如果改变的话，还可确定方位角及改变量。如果倾角改变，PowerV 工具将利用滑板主动推靠井眼较高侧来自动确定恢复井眼垂直的方向。这种自动操作意味着利用 PowerV 系统钻井无需在井场进行调整。

旋转导向系统在作业过程中无需

使用随钻测量（MWD）系统。不过，配上普通的随钻测斜仪便可实时测量倾角。

旋转速度可调整，以便优化等效循环泥浆密度（ECD）和环空清洁作业。在直井尤其是陆上作业中，因为钻机受到泵或压力限制，所以钻机的全程旋转十分重要，这有利于井眼的清洁及 ECD 的控制。对于具有关键泥浆密度

窗口的深水井、超压地层或裂缝性地层以及敏感地层而言，ECD 和井眼清洁也非常重要。

PowerV 系统的其它优点包括井眼轨迹控制准确、井眼质量高、机械钻速高以及井眼清洁效果好等。除了钻井效果好的优点之外，本系统的部署仅需较少的现场人员，从而降低了成本并避免了钻井现场的拥挤现象。



垂直井段, 米
方位角 = 288°
起点 = 0 N/S, 0E/W

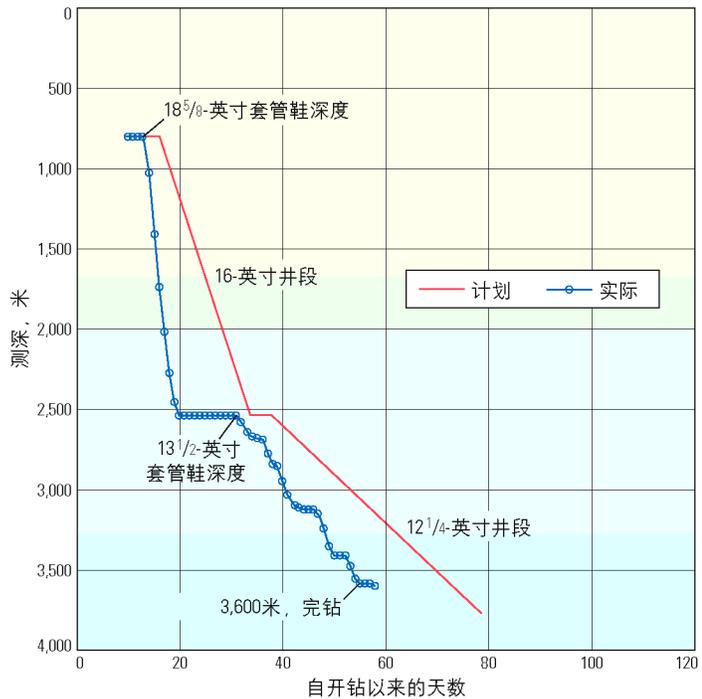
应用先进的垂直钻井技术时, 16英寸和12英寸井眼钻进2796米(9173英尺), 平均井斜角仅为0.18°。PowerV工具一次下入钻16英寸井段, 8次下入钻12¹/₄英寸井眼段, 使得Miglianico油田2号井的机械钻速比周围井的机械钻速高20%以上。

困难地层中的垂直钻井

在意大利中部的Pescara, 埃尼公司正在Miglianico油田钻开发井(前一页)。碳酸盐岩储层位于坚韧的塑性粘土岩之下, 因此, 很难钻大直径井眼。

6. Bratton T, Edwards S, Fuller J, Murphy L, Goraya S, Harrold T, Holt J, Lechner J, Nicholson H, Standifird W 和 Wright B: “避免钻井过程中的问题”, 《油田新技术》, 13卷, 第2期(2001年夏季刊): 32-51。

Ali AHA, Brown T, Delgado R, Lee D, Plumb D, Smirnov N, Marsden R, Prado-Velarde E, Ramsey L, Spooner D, Stone T 和 Stouffer T: “利用岩石力学模拟分析岩石的变化特征”, 《油田新技术》, 15卷, 第2期(2003年夏季刊): 22-39。



利用PowerV系统进行快速钻井。埃尼公司使用该系统钻Miglianico 2号井所用时间比计划提前15天。

不仅如此, 粘土岩钻屑还影响钻井液的优化。

埃尼公司选择PowerV工具来钻进Miglianico油田的2号井。公司希望提高钻井效率、井眼清洁效果以及井筒质量。SlimPulse第三代小井眼随钻测量仪器实时确定井眼是否垂直。为了提高钻井效率和机械钻速, 井下钻具组合中安装了PowerPak导向马达。

PowerV工具钻16英寸井眼时, 仅下井一次, 共钻进1736米(5696英尺)(左上图)。机械钻速比周围井的平均机械钻速高21%。12¹/₄英寸井眼段长1060米(3478英尺), 工具共下井8次, 机械钻速比周围井的平均机械钻速高24%。在两段井眼的钻进过程中均没有出现工具故障, 与钻井计划相比共节省了15天时间(右上图)。

受到Miglianico 2号井成功钻井的鼓舞, 埃尼公司利用特制的22英寸PowerV工具来钻意大利南部Grumento

Nova油田Monte Enoc 5号井的上部井段。PowerV系统在地表层钻遇富含粘土的冲积层, 并在导管下深以下钻遇硬质石灰岩。在这两种情况下, 机械钻速均快于传统的井下钻具组合。

垂直钻井难题经济有效的解决方案

尽管垂直钻井技术看起来相对简单, 但它面临与定向钻井同样的困难。一些非常昂贵的作业领域如深水盐下开发需要利用垂直钻井技术。旋转导向系统在垂直钻井方面表现非常出色。如果使用旋转导向系统, 无需进行耗时的校正弯曲井眼作业, 可提高机械或二者兼而有之, 从而为勘探与生产公司提供了一种节约建井成本的新方法。

与斯伦贝谢开发的其它旋转导向系统一样, PowerV系统能够与钻柱一起连续旋转。具有降低风险和提高井眼质量等优点。

— GMG