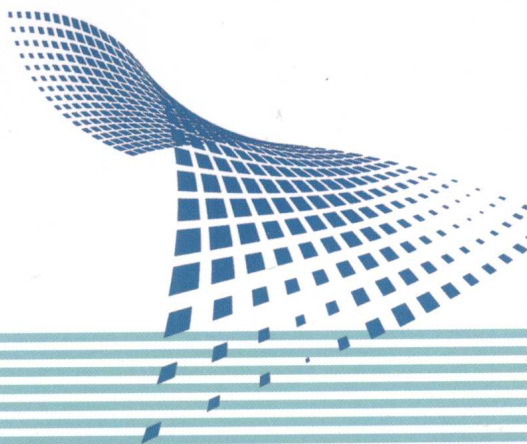


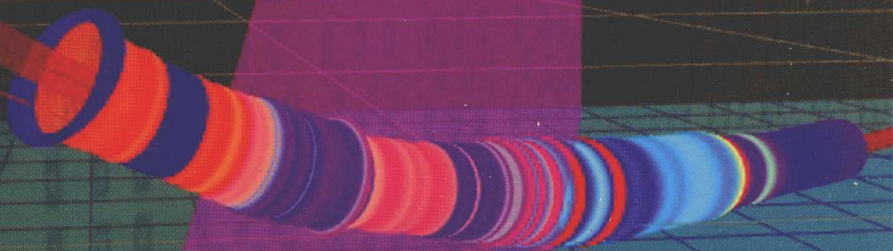
Application and Development of
Geosteering and Rotary Steerable
Systems Technique



地质导向与旋转导向技术 应用及发展

中国石油勘探与生产公司 编
斯伦贝谢中国公司

石油工业出版社



地质导向与旋转导向技术 应用及发展

中国石油勘探与生产公司

斯伦贝谢中国公司

编

石油工业出版社

《地质导向与旋转导向技术应用及发展》

编 委 会

主 编：吴 奇

副主编：郑新权 曾维忠 安文华 Yong Chai Hing

徐春春 Lee Tow Koon 朱水桥 任芳祥

王 若

编 委：李国欣 黄 南 毛蕴才 聂向斌 叶新群

杨 彬 汪海阁 欧蓉娜 王胜启 牛玉强

陈 刚 王 若 龙 平 薄 珉 周明信

麦 欣 于天忠 滕学清

序

随着油气勘探开发的不断深入,地质对象日趋复杂,高陡构造、窄压力窗口地层、高研磨性地层、大水平位移目标等复杂地质条件,给钻井工程提出了严峻的挑战,而薄储层、底水油藏以及非均质储层对水平井地质导向技术也提出了更高的要求,能否更好地应对这些挑战和要求成为制约勘探进程和开发效益的关键。

近年来,垂直钻井、水平井地质导向、旋转导向等技术在中国石油取得了很好的应用效果,其中 Power V 等垂直钻井技术有效地解决了山前高陡构造防斜打快难题,从根本上遏制了山前井套管磨损、井斜等复杂问题,提升了钻井技术水平,该技术在塔里木、玉门和新疆等油田推广应用,已经成为高陡构造实现优快钻井的有效手段。针对薄层、底水等复杂油气藏的开发难题,近钻头地质导向技术(包括 PeriScope 边界探测地质导向、GVR 电阻率成像地质导向等不同系列组合)的应用,有效提高了水平井储层钻遇率,优化了水平井眼在储层中的位置,提交了单井产量和油藏采收率,在新疆陆梁薄层底水油藏、辽河新海 27 区块二次开发以及西南、大庆等油田复杂油气藏高效开发中发挥了关键技术作用。PowerDrive、PowerXceed 等旋转导向技术在大港等油田的应用,有效保证了一批滩海大位移井的顺利实施,创造了水垂比 3.92 的好纪录。通过以上先进技术的应用,较好地满足了复杂勘探开发目标区面临的技术难题,提高了勘探开发整体效益。

实践表明,筛选引进国外先进技术并加以消化吸收,是行之有效的技术发展模式。通过与斯伦贝谢等知名服务公司的技术合作,较好地跟踪到了国际上最新技术的进展,也有力地促进了国内相关技术的发展,“技术窗口”作用明显。目前国内垂直钻井、近钻头地质导向等工具研发已经取得了突破性的进展,打造出了多种利器,并在生产中得到了应用。

本书编写的目的在于总结近几年斯伦贝谢钻井与测量技术的发展和应
用,指导广大地质和工程技术人员更好地了解和掌握国际上先进技术的发展,坚持走技
术发展之路,推动技术不断进步。

中国石油勘探与生产公司副总经理

吴奇

前 言

钻井技术进步能够加快勘探进程和提升开发效益,而先进技术的引领和消化,往往起到事半功倍的效果。近年来,斯伦贝谢公司垂直钻井、水平井地质导向等技术在石油应用取得了显著效果,克服了复杂区块勘探开发上所遇到的技术难题,提高了勘探开发整体效益。通过这些技术的应用,充分发挥了技术窗口的作用,也有力地促进了石油相关技术的研发。实践证明,引进国外先进技术并加以消化吸收,是非常有效的技术发展模式。

为了更好地总结、消化、吸收国际先进技术,为使地质和工程管理与技术人员更好地了解和掌握先进适用技术,特编写了本书。本书共分为水平井地质导向技术、旋转导向与定向钻井技术、随钻测量与测井测试技术 3 篇共 9 章。

地质导向技术的发展是水平井技术规模应用和发展的技术保障,1992 年斯伦贝谢公司首次提出地质导向概念,1993 年研制出第一套用于水平井地质导向的随钻测井工具 CDR 技术,在提高水平井储层钻遇率上发生了根本性变革,本书第一篇结合应用实例详细介绍了 GST 地质导向技术、geoVISION(GVR)地质导向技术、ImPulse 地质导向技术、PeriScope 地质导向技术、adnVISION 密度成像地质导向技术、EcoScope 多参数成像地质导向技术以及小井眼高分辨率电阻率成像地质导向等技术应用与实际效果。从地质导向的工作流程和实现方法,以及实时对比与模型更新、数据的读取与识别都有较为详细的介绍。早期的 GST 近钻头测量工具距钻头距离 2.5m 左右,能够有效提供近钻头电阻率、伽马和井斜测量数据,实现了对钻进轨迹的实时有效调整。在薄储层开发中,通过 GVR 的实时方向性测井数据,结合钻前地质预测,在钻井过程中通过井眼轨迹穿过地层界面位置的方向性测量和成像来判断轨迹和地层之间的关系,最大限度地降低储层水平段的无效进尺,提高钻遇率。PeriScope 储层边界探测技术是一项具有突破性的地质导向技术,具有更深的探测深度和更明确的储层与非储层指向性,能够估算出工具到地

层边界的距离和地层边界的延伸方向,在储层电阻率和非储层电阻率差异足够大的情况下能够识别出工具上下 4 ~ 5m 范围内的电阻率和电导率变化边界。尤其对边底水不确定薄层油藏,取得了很好的地质效果。adnVISION 密度成像地质导向技术可以测量地层的密度和孔隙度、光电指数等,同时可以实现 16 个象限的密度、光电指数成像等,主要应用于物性、油气水关系比较复杂的储层中。

旋转导向钻井钻出的井眼轨迹光滑,携屑好,有利于后续阶段的作业施工和降低作业风险。斯伦贝谢公司 1999 年推出了第一代推靠式旋转导向工具,之后研发了推靠式旋转导向系统、垂直钻井系统、指向式旋转导向系统,至 2010 年推出了高造斜率旋转导向系统,系列工具在提高复杂深井钻井速度、大位移井延伸能力等方面发挥了重要作用。推靠式旋转导向系统是通过推靠块推靠井壁改变工具的造斜方向,从而对井眼轨迹进行控制,一定程度上受地层软硬和井径大小的制约。而指向式旋转导向系统是指在钻具连续转动的同时,将钻头指向所需方位而进行定向钻进的导向方式,可实现复杂工况条件下高质量的定向钻井作业,同时使工具本体的磨损最小。垂直钻井系统作为旋转导向系统的一个分支,是一种自动化的钻井工具,利用钻井液推动推靠块作用于井壁获得反推力,保持井眼轨迹处于近乎垂直,它是通过自带的测斜传感器测量井斜,一旦发现井眼轨迹偏离垂直方向即会自动调整工具姿态,使井眼重新回到垂直方向并继续钻进。垂直钻井系统在高陡构造地层实现防斜打快、提高井眼质量上发挥了重要作用。

随钻测量技术可实时了解井下压力、温度等状况,作为科学钻井的重要组成,在越来越多的定向钻井作业、大位移井作业、水平井作业中发挥越来越重要的作用。本书第三篇对随钻测井技术概况、地层电阻率测井技术、地层孔隙度测井技术、地层压力测试技术、地层压力测试技术概况、地层压力测试技术与应用进行了论述,从实现测量功能,到实现很多测量数据的实时传输功能,从而满足了不同的工程和地质应用需求,实时测斜数据为及时调整轨迹提供了依据,储层参数的实时测取,提高了地层对比和分析水平,当量钻井液密度等实时钻井力学参数为高效钻井提供了技术数据。

总之,本书技术涵盖面较广,阐述较深入,从技术发展背景、技术原理、工作原

理、作业方式、使用条件、应用范围、实际应用效果等方面进行了详细的阐述,数据翔实,图文并茂,易于理解。

本书由中国石油勘探与生产公司与斯伦贝谢中国公司联合编写,前言由毛蕴才编写,郑新权校稿,第一篇由杨彬、欧蓉娜、麦欣、于天忠编写,汪海阁、陈祖锡、葛运华、王若校稿,第二篇由黄南、汤新国、周明信、叶新群编写,汪海阁、陈祖锡、葛运华、叶新群校稿,第三篇由聂向斌、牛玉强编写,王胜启、汪光太、王若、叶新群校稿。

本书在编写过程中,得到了中国石油天然气股份有限公司赵政璋副总裁的大力支持,得到了斯伦贝谢公司中国区总裁许成祝先生的大力支持,得到了相关油田领导和工程技术部门的大力配合,中国石油勘探与生产公司工程技术与监督处和斯伦贝谢中国公司做了大量具体的组织和技术指导工作,石油工业出版社对出版样稿进行了详细的审查。值此本书正式出版之际,谨向他们表示衷心的感谢!

由于作者水平有限,本书难免有差错与不足,敬请读者给予批评指正。

笔 者

2012 年 5 月

目 录

第一篇 水平井地质导向技术应用及发展

第一章 水平井地质导向概况	(3)
第一节 地质导向的发展历程和应用概况	(3)
第二节 水平井地质导向的发展趋势	(5)
第二章 地质导向的定义、组成和实现方法	(7)
第一节 地质导向的定义和组成	(7)
第二节 地质导向的工作流程和实现方法	(10)
第三章 地质导向技术应用	(24)
第一节 GST 地质导向技术的应用	(24)
第二节 GVR 地质导向技术的应用	(28)
第三节 ImPulse 地质导向技术应用	(37)
第四节 PeriScope 地质导向技术应用	(42)
第五节 adnVISION 密度成像地质导向技术的应用	(67)
第六节 EcoScope 多参数成像地质导向技术的应用	(71)
第七节 MicroScope 小井眼高分辨率电阻率成像地质导向技术	(79)
第八节 地质导向技术应用的几点认识	(98)

第二篇 旋转导向与定向钻井技术应用及发展

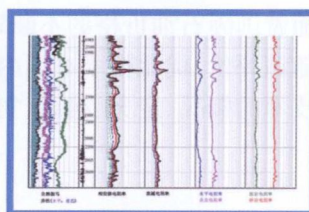
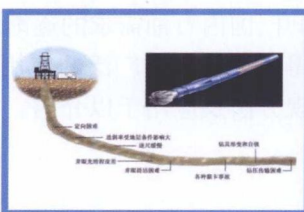
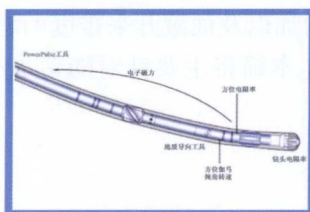
第一章 旋转导向钻井	(103)
第一节 概述	(103)
第二节 推靠式旋转导向系统 PowerDrive X5/X6	(105)
第三节 指向式旋转导向系统 PowerDrive Xceed	(110)
第四节 复合式旋转导向系统 PowerDrive Archer	(117)
第五节 附加动力旋转导向系统 PowerDrive vortex	(122)
第二章 垂直钻井技术应用及发展	(126)
第一节 垂直钻井系统工具简介	(126)
第二节 垂直旋转导向系统在国内油田的成功应用	(127)
第三章 井下导向马达	(135)
第一节 概述	(135)
第二节 PowerPak 马达的设计和试验	(135)
第三节 PowerPak 导向马达构成	(136)

第三篇 随钻测量与测井测试技术应用及发展

第一章 随钻测量技术	(143)
第一节 随钻测量技术概况	(143)
第二节 随钻测量技术的应用	(150)
第二章 随钻测井技术	(181)
第一节 随钻测井技术概况	(182)
第二节 随钻地层电阻率测井技术	(191)
第三节 随钻地层孔隙度测井技术	(207)
第三章 随钻地层压力测试技术	(225)
第一节 随钻地层压力测试技术概况	(225)
第二节 随钻地层压力测试技术的应用	(229)
参考文献	(236)

第一篇

水平井地质导向技术应用及发展



20 世纪末期,为适应石油工业的发展需要,尤其是为了提高钻井效率和提高油藏采收率,水平井地质导向技术逐渐发展起来。21 世纪初,水平井地质导向技术在国内中国石油系统初次应用就取得了良好的效果,但由于石油工程师对其了解较少,此项技术一直没有引起足够的重视。随着国际石油价格的不断攀升、国内石油需求的逐渐增加以及油藏开采难度的增加,这项高效随钻评价、优化技术在国内得到了越来越广泛的应用。本篇将主要针对随钻水平井地质导向技术的概况、定义、组成、实现方法及应用予以介绍。

第一章 水平井地质导向概况

第一节 地质导向的发展历程和应用概况

20 世纪以来,伴随着石油的大量开采,整装油气藏逐渐减少,复杂、难动用油气藏逐渐增加。80 年代初,随着定向井技术的成熟和新的井下工具、仪器的应用,水平井钻井技术进入了一个蓬勃发展期。水平井、分支水平井、鱼骨井等特殊工艺井技术大大增加了井眼轨迹在储层中的有效长度,扩大了泄油面积,使得用常规钻井技术无法动用的边际油气藏得到了有效的开发,并提高了油气藏的采收率。但是对于复杂油气藏,由于其精细结构无法预知,仅靠将井眼轨迹控制在钻井设计的几何靶区内的常规水平井钻井技术,常常由于储层钻遇率低而无法实现预期的开发目标。即使对于油藏情况了解比较清楚的地区,也会因为产层的变化导致水平井的钻进效果不理想。而随钻测井和随钻测量技术的突破,实现了水平井的实时地质导向,即根据井底地质测井结果而非三维几何空间目标将井眼轨道保持在储层内的一种轨迹控制。与早期以三维空间几何体为目标的控制方式相比,地质导向控制方式以井眼是否钻达储层为评判标准,是一种更高级的井眼轨迹控制方式。由此可见,地质导向钻井是科技进步的必然产物,也是油气勘探开发对钻井技术的客观需求。

水平井地质导向技术的发展经历了多个阶段。1992 年,斯伦贝谢公司首次提出地质导向概念,并于 1993 年研制出第一套用于水平井地质导向的随钻测井工具 CDR,哈利伯顿、贝克休斯的英特克公司和挪威国家石油公司(Statoil)等也相继研制出了各自的地质导向系统。至今,水平井地质导向技术已经历了近 20 年的发展,其发展历程大致如下:

1992 年,斯伦贝谢公司首次提出地质导向的概念,与此同时,随钻测井工具 CDR 提供的深浅电阻率和自然伽马测量第一次用于指导地质导向作业。

1993 年,斯伦贝谢公司研制出第一套专用于地质导向的随钻测井工具 GST。

1996 年,方向性测量及成像技术成功运用到地质导向中,使随钻地质导向有了方向性的概念。同年底,斯伦贝谢公司的地质导向工具在欧洲和非洲应用超过 50 口井,总进尺超过 32000m。

1999 年,高分辨率的实时电阻率成像展现了清晰的轨迹形态,并提供了实时地层倾角,标志着随钻测井地质导向的又一次革命,具有里程碑意义。

2005 年,随钻储层边界探测工具 PeriScope-675 实现了地质导向过程中储层边界的可视化,探测深度也更深。

2006—2007 年,包括储层边界探测工具 PeriScope-675 在内的多功能随钻测井 EcoScope、随钻测压 StethoScope、随钻 MWD TeleScope 等 Scope 系列工具的不断推出,为地质导向提供了更丰富的随钻测井、测量信息,以及更快速、稳定的实时数据传输。

2008 年,小井眼储层边界探测地质导向工具 PeriScope-475 的成功开发,拓展了三维地

质导向技术的应用范围。斯伦贝谢公司全球地质导向井数及 PeriScope 井数(2000—2009 年)见图 1-1。

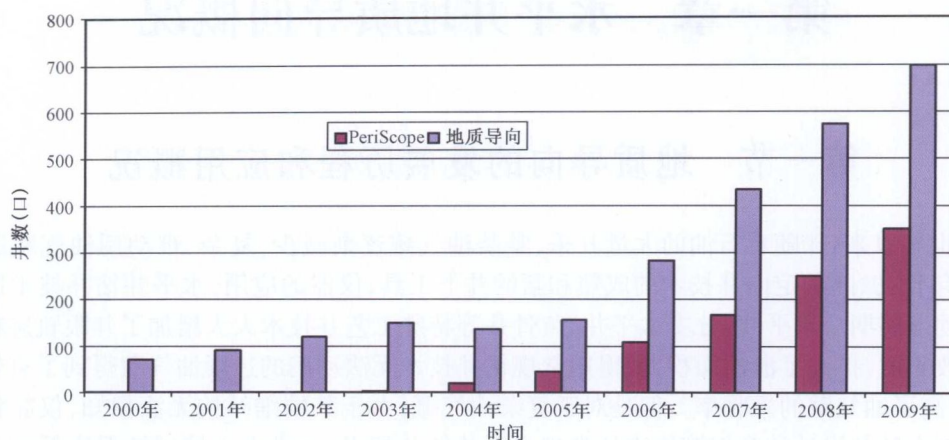


图 1-1 斯伦贝谢全球地质导向井数及 PeriScope 井数(2000—2009 年)

2010 年,小井眼随钻高分辨率电阻率成像技术的运用和三维地质导向软件技术的发展,推动了地质导向技术的再次飞跃。

近年来,中国石油水平井应用得到了快速增长,其中以 MWD + LWD 为主的导向方式在生产中得到了普遍应用,满足了大部分水平井导向的要求。2004 年,斯伦贝谢公司和塔里木油田公司合作钻探了国内第一口应用随钻测井成像完成地质导向的水平井,此后这项技术逐渐在各个油田推广开来。至 2010 年,在各种复杂、难动用油气藏,例如,稠油热采油藏、稀油薄层底水油藏、煤层气藏和致密气藏,应用地质导向技术的水平井超过 345 口,水平段平均钻遇率达到 90% 以上,进尺超过 208km(图 1-2 和图 1-3)。通过水平井地质导向,致密气藏、碳酸盐岩气藏、底水稀油油藏、复杂断块稠油和稀油油藏等得以高效开发。

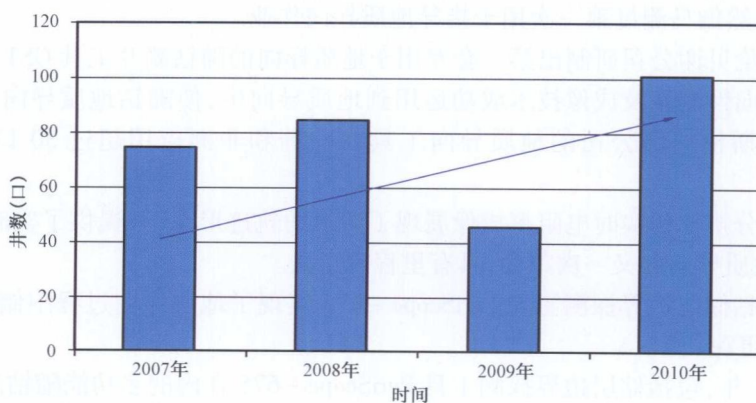


图 1-2 2007—2010 年斯伦贝谢公司在中国石油完成的水平井地质导向井总数

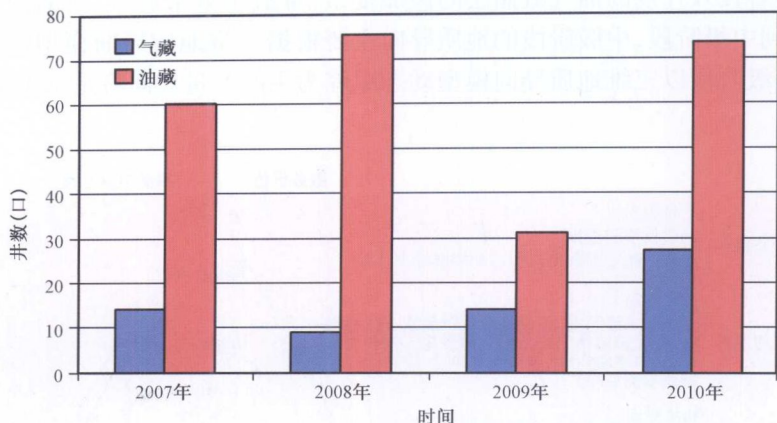


图 1-3 2007—2010 年斯伦贝谢公司在中国石油完成的水平井地质导向井数

第二节 水平井地质导向的发展趋势

经过近 20 年的发展,基于随钻测井的水平井地质导向技术已经越来越成熟,并成为通过优化储层内井眼轨迹提高泄油面积实现油田增产的新技术。近年来,随钻测量、随钻测井技术快速发展,测井系列不断完善。目前已经拥有几十种钻井和测井的测量参数,开发了适用于不同井眼尺寸的随钻测井工具。为适应现代地质导向的发展需求,随钻测井技术则继续向多参数、近钻头、深探测方向发展;随钻测量更加快速、稳定,压缩传输的数据量更大。

地质导向技术是一项综合运用各学科知识指导现场钻井作业的技术。地质导向人员更有效、更快捷地运用各方面信息指导现场决策一直是导向软件的发展方向。目前应用的地质导向软件 RTGS、WellEye、DrillingOffice 等已能够从各个方面对水平井进行实时地质导向跟踪。而下一步的发展方向将是与三维油藏建模软件 Petrel 平台相整合,向大型、综合性、集成化的软件方向发展,(图 1-4)。

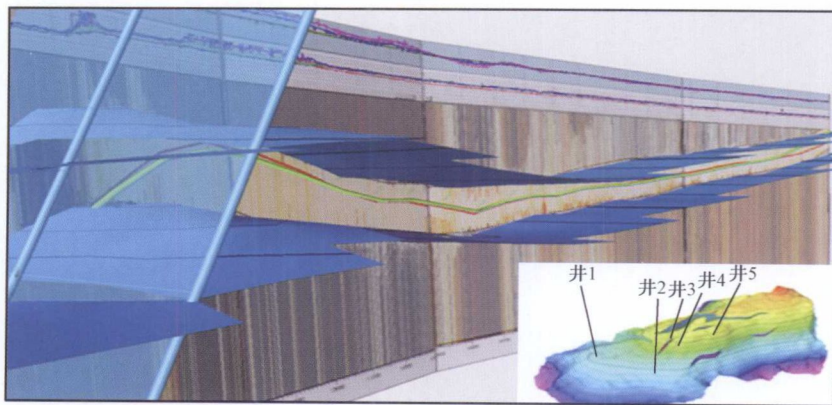


图 1-4 地质导向二维、三维软件综合应用

近年来,随着投入开发的油气藏储层的愈加复杂,挑战也愈来愈大,目前地质导向逐步由初级阶段发展到中级阶段,中级阶段的地质导向主要根据二维地质导向模型进行实时油藏跟踪和导向,而高级阶段以三维地质导向模型动态跟踪为主的产量导向将是未来的发展方向,如图 1-5 所示。

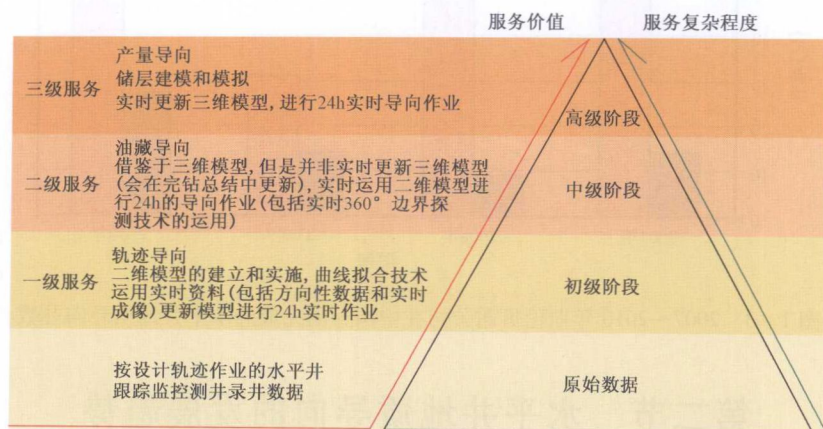


图 1-5 地质导向分级图

第二章 地质导向的定义、组成和实现方法

第一节 地质导向的定义和组成

一、地质导向的定义

斯伦贝谢公司将地质导向定义为:在水平井钻井过程中将先进的随钻测井技术、工程应用软件与人员紧密结合的实时互动式作业服务,其目标是优化水平井井眼轨迹在储层中的位置,实现单井产量和投资收益的最大化。

二、地质导向的组成

地质导向技术的组成主要包括:井下钻井和随钻测井工具、导向工程应用软件、数据传输以及导向人员。从目前国内外地质导向技术的发展来看,井下钻、测井技术是最核心的内容,为地质导向提供了硬件基础;导向软件和传输技术为其提供了软环境;地质导向工程师、钻井工程师、井场地质师、油藏工程师、地球物理工程师等则是地质导向作业的共同决策和执行者。

1. 定向钻井工具

在复杂的水平井施工过程中,地质导向对定向钻井工具的性能有较高要求。不仅要保障井下安全,提高钻井时效,而且要满足随钻测井和精确井眼轨迹控制要求,在复杂的地质条件下实现地质导向目标。

马达和旋转导向钻井系统是目前应用最多的定向钻井工具。使用井下马达在滑动钻井时无法获取随钻测井成像和方向性测量数据,给地质导向带来一定的困难。旋转导向钻井系统可以在旋转钻进过程中实施定向,全过程都能获得成像数据,与近钻头井斜和近钻头伽马相结合,为地质导向进行精确井眼轨迹控制提供了有力帮助。

2. 随钻测井和随钻测量

相对于电缆测井技术,随钻测井的一大优势体现在,钻进过程中及时、最大限度地减小钻井液侵入对测井质量的影响。经过多年的发展,随钻测井已经从传统的伽马、电阻率、密度和中子测井发展到众多的测井项目,如电阻率成像、密度成像、伽马成像、光电指数成像、超声波成像、核磁共振、声波、随钻地震、地层元素谱分析、热中子俘获截面积等(图1-6)。多参数测井可以更准确地对地层作实时评价解释,方向性测井和成像可以保证对井眼周围的地层作出360°全方位的描述,从而保证地质导向实时决策的及时性和准确性。

斯伦贝谢公司提供的随钻测量工具主要有 TeleScope、PowerPulse、ImPulse 和 SlimPulse。随钻测量主要承载下列四项功能。