

The Research of the Efficient Exploration and Development Technology of Oil and Gas Resources in China

Yuanfu Zhang¹, Zaixing Jiang¹, Wei Zhao¹, Xiaojie Wei¹

University of Geosciences, Beijing, China, 100083

1. zyf@cugb.edu.cn, 2. jiangzx@cugb.edu.cn

Abstract: As China's traditional energy, oil and gas will remain one of the indispensable energy resources for China's economic and social development in the present and foreseeable future. As an unrenewable resources, the efficient exploration and development technology of oil and gas resources is a necessary means to maximize resource utilization. This article makes a comprehensive discussion and analysis of the efficient exploration and development technology of China's oil and gas resources by considering these following aspects: the growing geophysical exploration technology, the fresh special reservoir technology and the future exploration and development technology. And the conclusion is raised that China's future exploration and development technology of oil and gas resources must be more creative and independent, develop forward-looking technology, occupy the advantage position of technology, and finally realize the orderly and efficient exploration and development of China's oil and gas resource and ensure the security of China's energy security.

Keywords: traditional energy, exploration technology, energy security

中国油气资源高效勘探开发技术研究

张元福¹, 姜在兴¹, 赵伟¹, 魏小洁¹

1. 中国地质大学(北京)能源学院, 北京, 中国, 100083

1. zyf@cugb.edu.cn, 2. jiangzx@cugb.edu.cn

摘要: 油气作为中国的传统能源, 在目前和可以预见的未来仍将是中国经济和社会发展不可或缺的资源之一。作为不可再生的资源, 油气资源的高效勘探和开发技术是实现资源利用最大化的必要手段。本文从已经趋向成熟的地球物理勘探技术, 方兴未艾的特种油藏配套技术和面向未来的勘探开发新技术三个方面对我国的油气资源高效勘探开发技术进行了全面阐述和分析, 认为我国油气勘探开发技术的未来必须走自主创新之路, 大力发展前瞻性技术, 占领技术制高点, 最终实现我国油气资源有序, 高效的良性开发, 保证我国的能源安全。

关键词: 传统能源; 勘探技术; 能源安全

1 引言

油气的勘探开发属于典型的资金和技术密集型行业, 技术的先进与否很大程度上决定了一个油田的勘探开发水平。尤其是随着油气勘探程度的提高和勘探领域的扩展, 勘探开发技术水平的提高成为了我国乃至世界油气勘探开发不断取得进步的核心动力, 为世界经济的发展做出了卓越的贡献。油气勘探开发技术可以大体分为以下几个方面: 地质-地球物理综合勘探技术、地球物理仪器技术、特种油藏配套勘探开发技术, 海洋油气勘探开发技术以及处于起步阶段的油气

勘探开发新技术等。下面将从三个方面对油气资源的高效勘探开发技术进行全面阐述。

2 趋向成熟的地球物理勘探技术

2.1 高精度三维地震勘探技术

随着油气勘探的不断深入, 人们对地震数据的精度和纵、横向分辨率的要求越来越高, 这促进了高精度三维地震技术的发展。高精度三维地震技术, Western GECO 公司称之为“Q-land 技术”, PGS 公司称其为 HD3D 技术。高精度三维地震可理解为在高分

辨率三维地震勘探的基础上,实现高精度三维偏移成像。目前,国外三维地震面元已达到 $12.5\text{m}\times 12.5\text{m}$, PGS在泰国海湾获得的 seismic 剖面主频高达 150Hz 。此外,数字检波器和24位地震仪的出现进一步推动了高精度三维地震技术的发展。与此同时,高精度三维地震技术在我国也得到了应用,取得了非常好的效果,如吉林扶余油田通过高精度三维地震技术使得地震资料品质大幅提升,带动了老油田扩边的巨大成功;长庆苏里格气田高精度数字检波器采集使处理后的道集资料得到质的飞跃,为叠前地震资料的挖潜工作奠定了基础。

随着地震数据采集方法和装备的改进、数据处理技术的提高和解释方法的发展,利用地震资料不仅能确定地下构造形态、断裂分布,而且能了解地层岩性、储层厚度、储层参数,甚至能直接指示地下油气的存在。地震资料同测井、岩芯资料以及其它地下地质资料相结合,能对油藏进行描述和监测。

2.2 地震沉积学技术

地震沉积学是在地震储层预测技术、沉积学、层序地层学、地震地层学等学科的基础上发展而来的一门新学科^[1-3]。针对于我国陆上薄互储层的勘探和开发生产而言,层序地层学分析尺度较粗,在钻井资料较少时,沉积相分析主要靠人工解释地震相(同相轴反射结构和构造),进而转化为沉积相,而且基本上限于“三级层序”或“体系域”(多套砂组或准层序组)级别下的研究,解决不了局部区带、高频层序的平面沉积分析及目标砂体预测的难题。而地震沉积学依靠井震有机结合,地震属性和反演的综合应用,因此能够开展四至五级层序的沉积微相的展布研究。应该说地震沉积学的出现是适应了岩性地层油气藏勘探与开发的现实需求,采用在等时地层格架内,应用客观定量的地震属性计算替换主观性较强的肉眼观察来进行地震相、沉积相划分和储层预测。从理论上分析,地震反演、地震多属性分析技术与层序地层学、沉积学的结合来研究最小等时地层单元内的沉积、储层问题就产生了地震沉积学的概念。

2.3 开发地震技术

开发地震术语较多,国外有称开采地球物理(Production Seismology)、开发与生产地球物理(Development and Production Geophysics,简称D&P)、油藏地球物理或储层地球物理(Reservoir

Geophysics)及开发地震(Development Seismic)等。地震、开发与生产地球物理、开发(开采)地球物理是同一概念,它的涵义是利用油藏地球物理方法来解决开发中的问题,可以理解为开发阶段的油藏地球物理学^[4]。从目前开发地震的应用和发展来看,开发地震研究内容涉及储层预测、油藏描述、开发监测各过程。因此,开发地震是在勘探地球物理学的基础上,充分利用针对油气藏的观测方法和信息处理技术,结合钻井、地质和油藏工程等多学科资料,在油气田开发过程中对油气藏做出完整描述和动态检测的新兴学科^[5]。主要包括三维地震(3D)、垂直地震剖面、井间地震、微地震检测、随钻地震、时间推移地震、多波多分量地震等新技术。

3 方兴未艾的特种油藏配套技术

3.1 低渗透油藏开发技术^[6]

国际上把渗透率在0.1毫达西至50毫达西之间的油藏界定为低渗透油。随着勘探开发程度的不断提高,老区稳产难度越来越大,开发动用低渗、特低渗油藏成为我国陆上石油工业增储上产的必经之路。

低渗透油藏开发是一大难题,要实现稳产增产目标,必须正视开发低渗透油藏面临的问题,寻求相应的对策。只有这样,才能让这类难动用储量成为现实的石油产量。

低渗透、特低渗透油田开发最突出的六大特点是:油层自然产能低;利用天然能量开发采收率低;油层存在天然微裂缝;启动压差及驱替压力梯度大;部分油井见效缓慢、地层压力分布不均衡;见水后采液、采油指数下降。这也就导致了开发过程中单井产量低;井控储量小;气体低速流动;初期稳产较难;开发难度大;多井低产;经济效益受限,且受价格制约。

目前我国在低渗透油田的开发中所采用的技术主要包括分类评价与相对富集区优选技术,特低渗透渗流机理与井网优化技术,超前注水技术,储层压裂改造技术,水平井与规模丛式井开发技术等。实践表明,这些技术的成功研发与应用,对低渗透的增储上产发挥了十分重要的作用。

3.2 稠油油藏开采技术

由于油稠、层薄、储层敏感性等因素的影响,难动用稠油油藏的生产动态有特殊的特点和规律,近

几年在实验分析超稠油油藏渗流特点、总结分析难动用稠油油藏开采规律的基础上,针对难动用稠油油藏注汽压力高、注汽质量差、防砂难度大、举升效率低的特点,研究配套了高效的储层保护技术、挤压(压裂)充填防砂等技术降低注汽压力,提高注汽质量和返排效果;优化设计了井筒高效隔热技术提高注汽质量;研究配套了井筒高效乳化降粘工艺、大斜度稠油井防偏磨举升工艺提高举升效率。通过以上技术的研究和配套应用,解决了部分难动用稠油油藏的开发矛盾并得到有效开发。

3.3 海洋油气勘探开发技术

全球海洋油气资源非常丰富,其中大陆架占据主要部分,约为60%左右;深水、超深水的资源量也不容小觑,约占全部海洋资源量的30%^[7]。

随着海洋油气勘探开发从浅海、半浅海向深海的延伸,难度逐步增加,先进科学技术的支撑作用也愈发重要。近几年,海洋勘探已广泛使用三维地震技术和海上多维多分量勘探技术等,促进了勘探效率的提升。井筒技术也比陆上发展迅速,主要使用长距离水平钻井及分支水平钻井技术等。

经过半个多世纪的发展,中国已经形成了以海洋环境技术、资源勘探开发技术、海洋通用工程技术为主,包含20多个技术领域的海洋高新技术体系。特别是近年来,在国家863计划、973计划、国家自然科学基金、科技攻关计划的支持下,海洋科学技术取得了突破性进展,缩短了与海洋技术先进国家的差距^[8]。我国在海洋监测技术方面,已经发射了中国第一颗海洋卫星,攻克了声学海流剖面测量、高精度CTD剖面测量、高频地波雷达探测等海洋监测关键技术,研制了海面漂流浮标等一批先进的海洋观测仪器设备,显著提升了中国海洋技术水平和国产海洋仪器设备参与市场竞争的能力。在海洋探查与资源开发技术方面,围绕深水海域油气与天然气水合物资源勘查、大洋矿产资源探查等方面的核心技术开展联合攻关,已取得重要进展,必将为中国海洋油气资源勘探开发和大洋矿产资源调查评价提供强有力的技术支撑。

进入大海开展油气勘探开发,就要有先进的装备。然而,目前制约海洋油气勘探开发的恰恰就是装备的落后与短缺。进行深水勘探开发的瓶颈,主要是如何解决钻井船的问题。为此,中国正在建立自己的深海船队,建造3000米水深适用的深水钻井船。同时,中国海油还正在与挪威公司合作,将300米以下半潜水

的钻井船改造为1500米的深水船。

2007年6月,全球最大座底式钻井平台—中油海3号座底式钻井平台抵达南堡油田。至此,中国石油海洋公司已拥有各类移动式平台7座(包括作业试采平台)。该平台投用后,将大大提高中国石油滩海地区勘探开发的能力。

我国自升式钻井平台一直依靠进口的历史已被改写—2007年9月3日,第一座自行设计建造的自升式钻井平台,在青岛北海船舶重工公司交付使用,中国石油海洋公司对其拥有自主知识产权。这座被命名为中油海5号的自升式海洋钻井平台,最大钻井深度7000米,平台在同一地点不用移动就可以钻探20口井。这是我国自行研制的最先进的特深井交流变频数字控制钻机,平台具备钻井、固井及辅助试油等能力,已达到国际先进水平。

尽管我国海洋油气资源勘探开发技术已经取得较快发展,但与美国、英国、法国、俄罗斯、荷兰、挪威等海洋科技发达的国家相比,仅有部分技术达到国际水平,整体水平仍有较大差距。在国际上,移动式钻井平台上的钻井装备几乎被世界上少数几家名牌产品所垄断,如美国的National Supply公司,其钻机约占世界海上钻机的40%,我国的钻井设备可以上固定钻井平台,但要上移动式钻井平台还有一定差距。

不过,2009年3月也传来了一个好消息,中国海油携手上海交大共建的我国首个海洋深水试验池正式开启运行,海洋石油工程股份有限公司的双浮托模型实验是其运行后的首项实验。为了尽快提升装备能力,中国海油计划在未来几年里斥巨资发展深水钻井船等大型深水装备,加快深水能源的开发。由上海外高桥造船厂建造的我国第一艘深水半潜式钻井平台“海洋石油981”正在建设,其最大作业水深达3000米。据悉,“海洋石油981”的前期设计已基本完成,将于今年4月20日下坞组装。此外,最大作业水深同样为3000米的深水铺管船也正在与江苏熔盛重工有限公司合作建造中,其总体技术水平和作业能力在国际同类装备中处于领先地位^[9]。

4 面向未来的勘探开发新技术

4.1 最大储层接触井技术

增加井眼与储层的接触面积可以增加泄油面积、提高波及系数、延迟水侵或气侵的发生,从而最终提高油井产量及油气采收率。最大储层接触井(MRC)是一种智能多分支井,通过主井筒的许多分支井实现

与油藏超过 4.827 km 的接触^[10]。这种井越来越受重视，且驱油效率高。因为在分支得到最优设计的前提下，分支数目的增加就意味着产量的显著增加，这对致密且非均质性较强的油藏来讲是相当重要的。例如，沙特阿拉伯 HaradhIII 油田完全采用油藏最大接触井进行开采，目前 32 口智能油藏最大接触井日产油 300 000 桶。但是，目前油藏最大接触井的每个分支都需要安装到井口的机械控制管线，因此每口井的智能分支数有限。将来，智能井将有大量的分支使得驱油最大化，并且进入难采的薄层段。现在的目标是，用无线遥测技术代替液压管路控制井下阀门，解除对机械控制管线的依赖。井下控制组件向每个控制阀发送无线指令，因此就无需配备机械管线，因此理论上，每口井可以拥有无数个分支。随着井下设备的增加，井下管线的安装也变得越来越困难，因此，无线遥测技术将得到广泛的应用，如永久井下监测。另外，还可以应用电控阀，这种方法无需无线遥测，但仍需向主井眼与每个智能分支的连接处短距离的发送电流和信号（也就是说在井口控制所有的智能分支）。

4.2 智能自控油田技术

通常情况下，智能油田集合了所有与油田相关的信息，如油藏压力、油藏温度、井口流体组分、管流，以及工厂信息化等，利用实况资料来实时管理油田。因此，自井下安装的检测仪器到集中处理涉及的设备多种多样。未来的智能油田将更为复杂，从各井的自我监测到朝着完全自控的方向发展（就是最终实现油田完全自动化）。全自控油田能够将井下储层资料、井口信息与管理结合起来进行实时的油藏模拟，得出最优的注采比，并向每一口井的井底控制阀发送指令，实现自生成的生产策略。这种油田还将经常的对资料进行实时分析以便有效的采集处理数据。如通过对比井底和地表的压力、温度值来检测趋势异常，识别水窜、确定驱替前缘等。油藏工程师在自控油田的任务就是监督管理，而不是操作控制。

4.3 巨格模拟技术

三维地震资料和精细建模算法的广泛应用导致了精细地质模型的形成，该模型能够实现高分辨率描述油藏特征。然而，当这些模型用于流量模拟时，多数的细节被忽视了，因为目前的模拟器无法控制大量的单元。这些高分辨率模型在模拟之前首先被放大，为

了减少单元数分散和平均数据使得分辨率严重降低。未来油藏模拟器将无需放大模型，可以直接利用地质模型高分辨率模拟巨型油田（即便是延伸超过 280×26km 的 Ghawar 巨型油田）。为了达到这一目标，油藏模拟器所控制的单元应比现行模拟器控制的多，自兆元模型（千万单元到亿单元）扩大到千兆元模型（十亿单元）。

模拟器能力的提高源自于算法的新颖和硬件的改善，但仅仅具备硬件条件是远远不够的。新的计算机集群上需要实现近似线性的缩放。同时还需要创新可视化技术，因为数据容量太大，用常规的方法不能有效可视化。这种正在测试的新方法不仅仅能使用户肉眼看见，而且能够用手摸（通过带有力觉反馈的三维触摸控制器来定位油藏）、用耳听（通过智能语音警报器将特殊事件传递到模拟器）。

4.4 智能液技术

智能液是指那些被注入到油藏中用于完成特殊预期行为的流体（如，完全封堵水淹层却允许油流向其他层）。起初，这些流体用于改变近井地带，但最终将流向了油藏深部，在更大程度上改变油藏性质。这些流体将按需研制，并在油藏中自动发生预计的变化。换言之，他们被强制性注入油藏，按自己的方式自动完成他们的任务，无需任何先进的配备工艺，如层位分隔和挠性油管。虽然智能液从相对渗透率改良剂发展到智能乳化剂，还在不断进步，但目前仅仅适用于有限的油藏条件，成功率不高。例如，这种智能液遇到水时形成水合物发生膨胀，堵塞孔道，阻止水运移；而遇到油时发生脱水收缩，允许油通过。因此，这种智能液不用修井机仅仅利用化学制剂就能降低水的相对渗透率，阻止水淹带内水的流动，保护油流，实现堵水。

4.5 仿生井技术

未来的油井会像植物一样，无需钻井，应当“种植”。树根需要一个湿润的土壤，在一定区域内伸展枝节，当土壤干涸时切断枝节，并在其它区域生成另外的枝节，如此反反复复。仿生井与此相似（只是分支寻找的是油不是水），一旦井的垂直井段钻探完毕（种植油井），就“放任自流”。智能分支将朝着无排水含油层伸展，一旦水浸就切断分支，并向其他层延伸另一个分支，以此类推。

尽管这个构想似乎太理想化，但石油工业已经实

现了一部分。开始时钻直井（如同简单的树根），钻完后钻水平段（较复杂的根），然后钻多个分支（如同有许多枝节的树根）。随后，下入智能井下控制阀，能够封堵特定的分支以便有效地切断分支（如同切断树根的一个枝节），然后连接井下检测器和地表控制器，用以分析油藏流体性质、预测水的出现（类似于根部判断区域何时干涸）。所有这些如今都已成为实现。同时，非常复杂井正在研究当中，如前文所描述的油藏最大接触井。

其余方面就是钻井技术的改进，实现油井自动钻进。不可否认，这一目标的实现并非易事，但是部分工艺已经实现了，如挠性油管钻井和胶液喷射钻井，还有一些工艺，如激光钻井，也正在研究。这些井可能是裸眼井完井，带有黏弹性的井下阀而非机械式井下阀，如此一来，一旦其碰到为控制特殊阀门带有特殊信号的化学剂，它们将通过改变其流变力开启或关闭阀门。

4.6 油藏纳米机器人技术

这些小机器人仅为人头发直径的 1/100，将大量地随注入液进入到油藏中。在运行过程中，会分析出油藏压力、温度、流体类型，并将这些信息存入存储器中，然后从采出液中将它们收回（至少部分收回），采集下载这些数据以提供它们在运行过程中采集到的一些关键数据，由此绘制出油藏图。根据油田的规模大小，机器人可能会运行几个月。最后也可以追加实时通讯（有可能通过短弹跳进入井下遥测站）和流动性参数（有可能从流体间的摩擦力产生的电荷或井下电荷站中提供能量）。

设想在钻头前把这些机器人送进去，以取代地质导向，或者把他们从发现井送出以发现油水界面，省去边界程序。可能性是无限的，这也许有些牵强。其实不然。纳米型探测器的发展是迅速的。纳米技术已经在材料加工和医药应用方面取得很大进展，但在石油工业还没有突破，人们正努力将这些先进技术应用于该行业。2008 年 2 月 3 日~6 日举行了一次 SPE 先

进技术学术交流，题目是“上游勘探开发纳米型技术应用：纳米尺度对巨型尺度的挑战”，对该问题进行了探讨，也开阔了大家的研究思路。

5 结论

油气是不可再生的资源，其高效勘探和开发技术是实现资源利用最大化必要手段。世界各国对油气勘探开发新技术都投入了大量的科技资源，我国的油气勘探开发技术整体达到了世界水平，但是部分新技术的研究和应用与世界领先水平仍有一定差距，面临着挑战。

我国应充分利用我国油气勘探开发技术的后发优势，坚持走自主创新之路，大力发展前瞻性技术，抢占技术制高点，最终实现我国油气资源的高效良性开发，进一步保证我国的能源安全。

References (参考文献)

- [1] Zeng Hongliu, Ambrose W A. Seismic sedimentology and regional depositional systems in Miocene Norte, Lake Maracaibo, Venezuela. *The Leading Edge*, 2001, 20 (11): 13-27.
- [2] Lin Chengyan, Zhang Xianguo, Dong Chunmei. Concept of seismic sedimentology and its preliminary application[J]. *Acta Petroli Sinica*, 2007, 28 (2): 69-73.
- [3] LI Bin, SONG Yan, HE Yuping, et al. Discussion and application of seismic sedimentology[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 28 (2): 69-73.
- [4] FENG Kui, ZHANG Xiao-fan, CHEN Chuan, et al. Advances in development seismic technology[J]. *Geology and Resources*, 2009, 18 (1): 64-69.
- [5] Wang Xi-shuang, Gan Li-deng, Yi Wei-qi et al. Technical progress of reservoir geophysics[J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 2006, 41 (5): 606-613.
- [6] Yuan Hongming. The logic of oil price reform [J]. *China Investment*, 2009: 59-61.
- [7] Wang Zhen, Chen Chuanying, Zhao Lin. Present Situation and Challenge of Exploration and Production for Deep Water Oil and Gas in the Whole World[J]. *Sino-Global Energy*, 2010, 15 (1): 46-49.
- [8] Tian Xing. The settlement of the Problem of Ocean Exploration and Development[J]. *China Petroleum Enterprise*, 2008, 9: 42-44.
- [9] Zhao Xiujuan. Deep-sea exploration, determined by technology [J]. *China Petroleum Enterprise*, 2009, 4: 62-63.
- [10] Zhang Weidong, Yuan Wenkui, Tian Kezhong. Development of future petroleum exploration and development technologies[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2009, 37 (3): 118-123.