

深水油气科技发展现状与趋势

赵纪东, 郑军卫

(中国科学院资源环境科学信息中心/中国科学院国家科学图书馆兰州分馆, 甘肃 兰州 730000)

摘要:作为全球未来油气资源的主要接替区,海洋深水区已成为很多国家的战略要地。相比于陆地和浅水区而言,科学技术在深水油气勘探开发中的作用更加突出。通过对深水油气地质特征、勘探技术(地震技术和非地震技术)和开采技术(立管技术、开发井钻井技术及完井采油技术)发展现状的系统调研和深入分析,结合主要国际石油公司的发展规划、近年召开的国际著名油气会议和油田技术服务公司取得的试验成果,总结归纳出深水油气科技四大发展趋势,同时对我国在该领域的发展提出了几点建议。

关键词:深水; 油气科技; 发展现状; 发展趋势

中图分类号: TE132.1⁺¹

文献标志码: A

文章编号: 1672-1926(2013)04-0741-06

引用格式: Zhao Jidong, Zheng Junwei. Development status and trends of science and technology of deepwater oil and gas[J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(4): 741-746. [赵纪东, 郑军卫. 深水油气科技发展现状与趋势[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(4): 741-746.]

0 引言

由于陆上及海洋陆架浅水区油气勘探开发程度的不断提高,油气资源获得重大发现的机率越来越小,所以,随着科学技术的不断进步,海洋深水区成为了一个必然去向。近年来,全球新增油气探明储量大部分来自于深水,同时深水区也发现了多个大型油气田,并且已经形成了墨西哥湾、西非和巴西海域这3个深水油气勘探开发中心。

深水油气的勘探开发对国家能源安全具有重要意义,以巴西为例,其凭借深水区油气储量、产量的快速增长,在2006年基本实现了油气的自给自足,完成了由石油进口国到出口国的历史性转折。对中国而言,其原油对外依存度在2011年达到56.7%,早已超过了50%这一国际警戒线。因此,中国在“十二五”科技规划和能源科技的“十二五”规划中都对深水油气资源的勘探开发给予了高度重视。

深水油气勘探开发是一项高科技活动,但中国目前的相关研究及实践还处于起步阶段,仍面临着诸多挑战。因此,十分有必要了解和分析国际深水油气科

技的发展现状和态势,这对推动中国的深水油气勘探开发,保障自身能源安全具有重要参考借鉴意义。

1 深水油气地质特征

整体来看,全球的深水盆地可简单划分为4个盆地群,分别为近南北走向的滨大西洋和滨西太平洋深水盆地群,以及近东西走向的新特提斯构造域和环北极深水盆地群^[1]。从当前已探明情况来看,蕴藏大量油气资源的深水盆地则主要分布在墨西哥湾、巴西东部陆缘、西非陆缘、挪威中部陆架、澳大利亚西北陆架以及南海^[2-4]。

深水油气相关地质研究主要集中于构造背景、储层、圈闭及烃源岩等方面。研究^[1-5]表明:全球深水盆地集中分布在三叠纪之后形成的被动(离散)大陆边缘,这些大陆边缘一般经历了三大构造演化阶段(前裂谷期、裂谷期和裂后热沉降期);高孔隙度和高渗透率的浊积砂体是深水油气藏的主要储集层;大型地质构造(如龟背斜、滚动构造、盐岩构造等)是全球深水富产油气盆地的主要圈闭类型;白垩系烃源岩是多数深水含油气盆地的主力烃源岩,沉积环

收稿日期:2013-01-31;修回日期:2013-03-04.

基金项目:中国科学院资源环境科学与技术局“十二五”委托任务“资源环境科技发展态势监测分析与战略研究”资助。

作者简介:赵纪东(1981-),男,陕西宝鸡人,副研究员,主要从事地球科学情报研究工作. E-mail: zhaojd@llas.ac.cn.

境以湖相和海陆过渡相为主。

2 深水油气勘探技术

2.1 地震勘探技术

地震勘探基本不受水深的限制,在浅水区和深水都可进行数据采集。由于数据采集效率高,拖缆地震模式(另一种是海底地震)被广泛使用。对于深水区而言,海面拖曳型地震勘探受欢迎,因为其使用的气枪震源发射能量大,声波穿透深度深,且单道或多道接收拖缆不会影响作业船速,而深拖型地震勘探在深水高压环境中不得不采用单点发射和单点接收的工作方式,作业船速非常低,因此应用相对较少^[6]。

受海水速度变化大、地层各向异性影响突出、多次波复杂等因素影响,多次波压制、崎岖海底成像、高精度各向异性动校正、水深切除、涌浪干扰和异常振幅去除等成为深水地震资料利用好坏的关键。其中,多次波压制(SRME技术、高分辨率拉冬滤波技术)和崎岖海底成像(常规时间偏移、叠后深度偏移、叠前深度偏移)颇受关注。例如,借助PC集群服务器的发展,CGGVeritas公司开发出新的叠前深度成像技术即逆时偏移技术(RTM),并利用该技术提高了巴西Tupi油田(水深2 000多米)的盐下油藏成像质量。

2.2 非地震勘探技术

地震勘探能够识别海底含油气构造,发现油气概率更高的地区,但其仅能在一定程度上预测地层中所含流体的性质,而海洋可控源电磁勘探技术(CSEM)则极大地弥补了这种不足。CSEM技术以位于船上的多频率信号发射机和位于海底的供电电极拖曳系统构成场源,通过部署于海底测点的电磁信号采集站来接收信号,数据解译结果具有直接指示油气的能力,可以极大地改善前沿地区和成熟地区的勘探业绩,降低钻井风险^[7]。例如,壳牌公司(Shell)就曾利用该技术放弃了巴西深水一个区块的投标。此外,高分辨率重力勘探、声波探测等在深化海底地质构造分析、三维海底地形图绘制等方面也有重要作用。同时,通过微生物学方法(MOST)和地球化学方法(SSG)对烃类微渗漏形成的微生物异常和吸附烃异常进行检测,也可帮助预测海底下伏地层中是否存在油气藏,以及其性质到底是油藏还是气藏。

3 深水油气开采技术

3.1 立管技术

由于深水油气开发大多采用移动式平台,所以

需要立管(Riser)来连接位于水面的浮式装置和位于海床的海底设备(如井口、总管等)。从功能上来看,钻井立管(Drilling Riser)和生产/采油立管(Production Riser)是2种非常重要的立管系统。生产立管负责连接海上生产平台和水下生产系统,主要用于输送油、气、水等。钻井立管又称钻井隔水管,负责连接海洋钻井平台和位于海底的防喷器(BOP),以便隔离外界海水,循环钻井液、安装BOP、支撑各种控制管线^[8]。

从结构形式来看,深水立管主要有4种,即钢悬链线立管(SCR)、顶张力立管(TTR)、柔性立管(FR)和混合立管(HR)。其中,钢悬链线立管是深水油气资源开发的首选立管系统^[9],主要用于深水湿式采油树生产、注水/气、输油/气;顶张力立管则主要用于干式采油树,以及完井(不使用单独钻井平台)、回注、钻井和外输等操作。随着全球深水开发活动的增加,其余2种立管系统的应用也日渐增多。

3.2 钻井技术

目前,深水油气开发钻井一般都采用隔水管钻井技术,同时隔水管适应海水深度的能力也已超过3 000m。虽然深水油气钻井面临泥线不稳固、浅层地质灾害、窄密度窗口、气体水合物危害等挑战,但仍然取得了巨大进展,从而使有关问题在一定程度上得到了解决。

动态压井钻井技术^[10-12]通过实施边钻进边加重的动态压井钻井作业,有效解决了浅水流诱发的严重井漏问题,实现了表层套管段的安全钻井,同时还提高了钻井效率。双梯度钻井技术^[12-13]通过在整个钻井液返回回路中保持双密度钻井液体系,有效控制了井眼环空压力和井底压力,进而克服了深水钻井中遇到的窄密度窗口问题,实现了技术套管段的安全钻井。双井架钻井技术^[14]通过2个钻机的协同、并行作业,省去了普通钻井作业过程中的非关键钻井作业,达到了提高钻井效率,节省钻井时间的目的(目前正在建的平台和钻井船大多都采用该技术)。

欠平衡钻井技术^[15](气体钻井、雾化钻井、泡沫钻井等)通过井底压力低于地层压力的环境实现,其使地层流体有控制地进入到井筒并循环至地面,从而减少或避免了井漏和压差卡钻等井下复杂事故以及对地层的污染。随钻环空压力监测(APWD)技术和随钻地震技术(SWD)通过压力数据和地震数据的实时采集与分析,提高了钻井过程中的前视能力,可更好地进行实况监控与处置以及地质导向和储层导向。最大储层接触技术^[16](MRC)通过提高

井眼与油藏的接触长度,增加了泄油面积,进而提高了油气产量和采收率,同时还可减少岩屑和钻井液的排放,降低环境污染。

3.3 完井采油技术

深水油气田的完井一般以丛式井、卫星井、或丛式井与卫星井相结合的方式进行,其完井方法不像陆上那般多种多样,种类十分有限,目前主流的深水完井方法是压裂充填和裸眼直接下高级优质筛管防砂。对于深水完井采油而言,其最明显特征可能并不是这些,而是水下采油树和人工举升等技术。

完井技术是最大限度提高深水油田产量的关键,但是深度越大,技术选择就越受限制,例如当水深超过 1 829m 时,唯一的系统设计选择就是采用拥有湿式水下采油树的海底井口系统^[17]。现在,水下采油树已成为任何一个海底生产系统不可缺少的组成部分,除主要用来连接来自井下的生产管道和出油管外,其还是隔绝油井顶端和外部环境的重要屏障。在采油树规定承受压力方面,也已从多年前的 34.5MPa 发展为 70MPa。

长期以来,海上石油开采一直优先选择气举作为其人工举升方式,但是,最大注入压力为 17.2MPa 的常规气举系统仅够用于油藏埋深浅、生产压力低的典型近海陆架井,而不能满足苛刻的深水和海底环境要求。为此,斯伦贝谢公司开发出了工作压力范围为 13.8~34.5MPa 的高压气举系统 Xlift,从而使作业者能够在较深的注入点对气举井进行完井,进而改善油井的整体动态。

4 发展趋势

4.1 深水沉积理论对深水油气勘探具有重要影响

深水油气勘探大多与深水沉积区有一定关系,深水沉积理论在深水储层预测方面具有重要意义,深刻影响着深水沉积油气预测及勘探方向的把握。尽管人们对深水油气的特征进行了大量研究,但是对于这些资源的形成过程,特别是对深水沉积作用的研究,还没有取得类似于“浊积扇”和“鲍马序列”那样经典的理论。

上述 2 个理论堪称 20 世纪沉积学最伟大的理论,但在 20 世纪末,可能由于指导深水油气勘探时未能发挥应有作用,其受到了猛烈抨击^[18]。在 1997 年 AAPG 年会的一个题为“深水碎屑沉积作用与储层关系:我们能预测什么?”(Processes of Deep-water Clastic Sedimentation and Their Reservoir Implications: What Can We Predict?)的讨论会上,一些著名沉积学

家就“鲍马序列”进行了激烈争论,但没有达成一致。1998 年,EAGE 和 AAPG 共同组办了主题为“浊积岩油藏的开发和管理:历史案例和经验”(Developing and Managing Turbidite Reservoir: Case Histories and Experiences)的研究会议,专家对此次会议进行总结时^[19]反复强调“浊积岩的石油储层预测远比我们想象的复杂,甚至相反”。

时至今日,虽然相关研究和争论仍在继续,而新理论也未诞生,但至少可以看出^[18],与重力流相关的深水沉积作用理论面临新的解释甚至否定。未来,若想在深水油气勘探方面取得突破,除关注深水油气的地质特征外,深水沉积作用及其过程的理论体系研究与深化将非常关键。通过对深水层序地层、深水浊流及碎屑流与深水扇成因机理、深水牵引流沉积以及成藏规律等的系统化精细研究,深水沉积理论将可能极大地促进深水区的油气勘探。

4.2 地震技术和电磁技术共同推动深水油气勘探

深水油气勘探的目的是加强钻前地质研究和风险评估,提高寻找大油气藏的成功率。目前,发展最快、应用最广的是地震勘探技术,同时电磁勘探技术作为重要补充,也有相当程度的发展和应用。现在,这 2 种勘探技术除在各自领域内继续向前发展外,还出现了联合作业的新趋势。

对于主要采用海面拖曳方式进行的深水地震勘探而言,分辨率低是主要问题^[6]。为此,PGS 公司推出了集压力和速度传感器于一身的双传感器地震拖缆采集系统 GeoStreamer,大大提高了地震分辨率和深部探测能力;ION 公司推出了正交三分量 MEMS 数字检波器 VectorSeis,可更精确地以更广的带宽对地震波场进行采样。起步相对较晚的 CSEM 技术,由于在海底油气勘探实验和商业应用中取得了显著成效,被誉为自 3D 海洋地震法问世以来最重要的地球物理勘探技术。2002 年,挪威国家石油公司(Statoil)成立 EMGS 子公司,对 CSEM 技术进行商业化,之后壳牌(Shell)等相继跟进。近年来,美国 AGO(2004 年被斯伦贝谢收购)的海洋电磁勘探拖曳系统、英国 OHM 的深水活动式场源(DASD)得到了广泛应用。

从作业方式上来看,地震勘探和电磁勘探一般是独立进行的。但是,2010 年 PGS 公司在北海成功地完成了全球首例地震—电磁联合勘探测试^[20]。其通过类似海上拖缆地震的方式(有别于 CSEM 技术的作业方式),实现了同一条测线上的地震和电磁数据采集,同时数据质量分析也表明地震数据采集

不受电磁勘探作业影响。因此可以说,传统的勘探方式由此实现了一次跨越。尽管此次测试是浅水区(水深 400m)泥线下 2 000m 的数据采集,但不可否认其在深水区的应用前景,以及由此开启的数据采集新篇章和为油气发现所带来的新机遇。未来,公认的确确定油藏的最佳方法,即电磁数据与地震数据的结合,将以更低的成本、更高的质量和灵敏度在深水油气勘探中发挥其巨大潜力。

4.3 技术与装备在实现深水油气开发中的作用愈加关键

相对于勘探而言,深水油气开发需要更高水平的技术和装备。浅层地质灾害、窄密度窗口、气体水合物等问题使深水油气开发与陆地和浅水形成了巨大差别。因此,深水钻井装置与设备、油气生产设备在业内受到了广泛关注。

面对未来大于 103.5MPa 的深水技术前沿,英国石油公司(BP)在 2012 年提出了 20K™ 行动计划^[21],旨在解决 103.5~138.0MPa 压力下 13.6~27.3t 油气资源的勘探、开发和生产,该行动计划包括 4 个部分:①钻机、立管和防喷器设备;②单井设计与完井技术;③海底生产系统;④修井与防堵技术。目前,巴西国家石油公司已经拥有了国际领先的深水、超深水钻井和采油技术,具备了 3 000m 水深以下的油气勘探和开采能力,但是深水油气勘探开发技术仍是其未来的重要发展方向,主要包括深水油气田勘探开发新技术、提高采收率技术、超深水技术和盐下层油气开采技术等^[22-23]。作为全球石油行业规模最大、历史最悠久的盛会之一,2012 年的海洋技术会议(Offshore Technology Conference)除继续关注深水钻井与完井、柔性管、岩土工程等方面的进展外,还就 103.5MPa 压力下的钻井、创新性的浮式生产储卸装置、深水固井等新主题进行了讨论,而在会议展览方面,几乎每家参展商推出的设备、材料、技术都与深水有关,特别是大量用于深水钻探的重型装备和技术。

总的来看,深水超高压环境下的钻采技术与设备是实现深水油气开发的关键所在。随着水深和海底地层钻入深度的不断加大,相关技术设备的能力必须随之提升。未来将面对的是大于 103.5MPa 的极严酷环境,除了必须关注的超高压钻完井技术和水下生产系统外,对水下防喷、防堵和维修技术的重视也是必不可少的。与此同时,相对于已广泛应用的有隔水管钻井技术而言,21 世纪初开始工业应用的无隔水管钻井技术可能需要关注,特别是挪威

AGR 公司的深水无隔水管钻井液回收(Riserless Mud Recovery, RMR)钻井技术,其有效解决了使用隔水管系统引起的各种问题,缩短了建井周期,节约了钻井成本,更能保证钻井安全^[24-25]。

4.4 环境保护成为深水油气开发无法回避的重要问题

2010 年 4 月 20 日,位于墨西哥湾的“深水地平线”半潜式钻井平台(作业水深约为 1 524m)爆炸起火,大量原油从海底油井不断喷涌而出,最终此次事件演变成为美国历史上最大的环境灾难。此后,环境问题便成为各界密切关注的一个焦点。2010 年,以“为更多人获取能源”(Energy for More People)为主题的北部近海海洋会议(Offshore Northern Seas Conference & Exhibition)的研讨内容除涉及深水和北极油气开发外,还涉及溢油回收等问题。2011 年,以“确保安全、灵活、可持续供应”(Securing Safe, Smart, Sustainable Supply)为主题的欧洲海洋油气会议(Offshore Europe Oil and Gas Conference and Exhibition)不仅关注了技术与设备方面的内容,还关注了溢油防止与响应、碳减排等问题。2012 年, AAPG 年会在与会期间特别举行了以溢油、道德规范和社会责任为内容的专门议题会议。

为了减少对海洋环境的影响和破坏,油气公司和相关技术服务公司采取了一系列技术和措施。一,提升装备的环保能力,比如,通过采取不为泥浆罐设置出口阀门,对所有塔器和船体暴露部分加双层被覆等措施, Sedco Express 半潜式钻井平台的意外溢流被有效防止;二,钻井液体系与钻屑处理,比如, M-I SWACO 公司专门开发出了针对深水生态敏感区的新型水基钻井液,英国石油公司在北海 Valhall 油田实验了钻屑回注(CRI)技术,结果表明该技术是一种非常经济的钻屑和亲油废物处理办法^[26];三,石油泄漏监测与处置,比如,美国科学家最近提出了一种新方法^[27],其不仅可用于确定海水中石油泄漏的源头,而且还可区分泄漏的性质(自然性泄漏还是开采过程中的泄漏),而如果发生溢油事故,要么堵漏,要么“盖帽”,但要从根本上解决问题,就要在漏油井附近钻减压井,但这需要较长时间。

总体而言,不断加强在上述 3 个方面的探索是该领域从业者解决环境问题,达到环保要求的主要选择。与此同时,提高对环境风险的认识,通过加强实时信息监测和采用先进技术来减少或避免事故的发生,也同样值得重视。此外,随着气候变化问题的讨论日趋激烈,采取相关措施(如使用更低功耗的发动机)

以减少作业过程中的碳排放也成为了一项必然要求。

5 结语及对我国建议

深水油气勘探不仅需要地震和电磁等技术的密切配合,还需要经验和理论来把握勘探方向,指导油气发现。因此,不但要重视勘探技术自身的发展以及技术间的联合,而且也要重视对油气系统地质特征的研究,以及对其形成过程的关注,特别是对深水沉积作用及相关理论的深化和完善。

深水油气开发是一个系统性工程,立管技术、开发井钻井技术、完井采油技术及相关设备是实现油气开采的必要条件,而修井技术、防喷技术、防堵技术以及可能的溢油监测与处置技术也不容忽视。创新性的无隔水管钻井技术的出现及其应用的开始,为深水钻井提供一个有别于传统的新方案。

随着全球环境的不断恶化和人类环保意识的不断增强,深水油气勘探开发将面临越来越多、越来越高的环保要求,环境保护已成为横亘在油气公司和相关技术服务公司面前一个无法回避的重大课题。

结合国际深水油气科技发展趋势以及我国当前油气勘探开发现状,对我国深水油气勘探提出以下建议:

(1)理论与技术并重。利用先进技术解决当前实践中面临的紧迫问题是一种必然选择,但同时也要注重利用新技术带来的新发现、新成果,来推动相关深水理论的发展和深化,以便更好地指导勘探开发工作。

(2)引进与创新并举。与深水油气勘探开发相关的很多核心/前沿技术与设备大都被国外公司占据,目前除了引进或租用,暂时别无他法。但是,长期而言,不进行自主创新是无法从根本上提升自身实力的。而且,我们也已经做出了一些成绩,如2010年在OTC会议上亮相的中国首台海洋钻井隔水管装置,改变了此前只有美国、挪威等少数几个国家能够研制该装备的格局。

(3)成本与效益兼顾。深水油气开发带来的效益或许是可观的,但除了投入的人力、资金等成本外,付出的环境成本也需要考虑。因为海洋环境一旦被严重破坏,往往无法在短期内恢复,而造成的恶劣影响却将是广泛且持久的。

致谢:中国科学院广州地球化学研究所何家雄研究员、中国海洋石油研究总院张功成教授级高级工程师、中国石油勘探开发研究院陶士振教授级高级工

程师、中国科学院地质与地球物理研究所李忠研究员、中国科学院兰州油气资源研究中心王琪研究员对本文提出了宝贵修改意见,在此表示衷心感谢!

参考文献(References):

- [1] Zhang Gongcheng, Mi Lijun, Qu Hongjun, *et al.* A basic distributional framework of global deepwater basins and hydrocarbon characteristics[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2011, 32(3): 369-378. [张功成, 米立军, 屈红军, 等. 全球深水盆地群分布格局与油气特征[J]. *石油学报*, 2011, 32(3): 369-378.]
- [2] Wu Shiguo, Yuan Shengqiang. Advance of exploration and petroleum geological features of deep-water hydrocarbon in the world[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2005, 16(6): 693-699, 714. [吴时国, 袁圣强. 世界深水油气勘探进展与我国南海深水油气前景[J]. *天然气地球科学*, 2005, 16(6): 693-699, 714.]
- [3] He Jiaxiong, Xia Bin, Shi Xiaobin, *et al.* Prospect and progress for oil and gas in deep waters of the world, and the potential and prospect foreground for oil and gas in deep waters of the South China Sea[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2006, 17(6): 747-752, 806. [何家雄, 夏斌, 施小斌, 等. 世界深水油气勘探进展与南海深水油气勘探前景[J]. *天然气地球科学*, 2006, 17(6): 747-752, 806.]
- [4] Fan Yuhai, Qu Hongjun, Zhang Gongcheng, *et al.* Characteristics of hydrocarbon source rocks in major deepwater petroliferous basins in the world[J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2011, 16(2): 27-33. [范玉海, 屈红军, 张功成, 等. 世界主要深水含油气盆地烃源岩特征[J]. *海相油气地质*, 2011, 16(2): 27-33.]
- [5] Qu Hui, Zheng Min, Li Jianzhong, *et al.* Advances of deepwater hydrocarbon explorations in global passive continental margin and their implication[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2010, 21(2): 193-200. [瞿辉, 郑民, 李建忠, 等. 国外被动陆缘深水油气勘探进展及启示[J]. *天然气地球科学*, 2010, 21(2): 193-200.]
- [6] Pei Yanliang, Wang Kuyang, Yan Keping, *et al.* Study of deep-sea high-resolution multi-channel seismic exploring system[J]. *Advances in Marine Science*, 2010, 28(2): 244-249. [裴彦良, 王揆洋, 闫克平, 等. 深水浅地层高分辨率多道地震探测系统研究[J]. *海洋科学进展*, 2010, 28(2): 244-249.]
- [7] He Zhanxiang, Yu Gang. Marine electromagnetic exploration technology and new progress[J]. *Progress in Exploration Geophysics*, 2008, 31(1): 2-9. [何展翔, 余刚. 海洋电磁勘探技术及新进展[J]. *勘探地球物理进展*, 2008, 31(1): 2-9.]
- [8] Yan Yonghong, Wang Dingya, Deng Ping, *et al.* Drilling riser joints technical status and development proposals[J]. *China Petroleum Machinery*, 2008, 36(9): 159-162. [闫永宏, 王定亚, 邓平, 等. 钻井隔水管接头技术现状与发展建议[J]. *石油机械*, 2008, 36(9): 159-162.]
- [9] Huang Weiping, Li Huajun. A new type of deepwater riser in offshore oil & gas production: The steel catenary riser[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2006, 36(5): 75-80. [黄维平, 李华军. 深水开发的新型立管系统——钢悬链线立管[J]. *中国海洋大学学报*, 2006, 36(5): 75-80.]

- [10] Kozic J. Managed-pressure Drilling; Recent Experience, Potential Efficiency Gains, and Future Opportunities[C]. IADC/SPE 103753, 2006.
- [11] Sun Baojiang, Cao Shijing, Li Hao, *et al.* Status and development trend of deepwater drilling technology and equipment [J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2011, 39(2): 8-15. [孙宝江, 曹式敬, 李昊, 等. 深水钻井技术装备现状及发展趋势[J]. *石油钻探技术*, 2011, 39(2): 8-15.]
- [12] Hou Fuxiang, Wang Hui, Ren Rongquan, *et al.* Key technology and equipment of deep water drilling[J]. *Oil Field Equipment*, 2009, 38(12): 1-4. [侯福祥, 王辉, 任荣权, 等. 海洋深水钻井关键技术及设备[J]. *石油矿场机械*, 2009, 38(12): 1-4.]
- [13] Chen Guoming, Yin Zhiming, Xu Liangbin, *et al.* Review of deepwater dual gradient drilling technology [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2007, 34(2): 246-251. [陈国明, 殷志明, 许亮斌, 等. 深水双梯度钻井技术研究进展[J]. *石油勘探与开发*, 2007, 34(2): 246-251.]
- [14] Liu Guangdou, Xu Xingping, Wang Xilu. Overseas new ultra-deepwater drilling technology[J]. *China Petroleum Machinery*, 2009, 37(5): 83-86. [刘广斗, 徐兴平, 王西录. 国外超深水钻井新技术[J]. *石油机械*, 2009, 37(5): 83-86.]
- [15] Wei Haitao, Zhou Yingcao, Zhai Xiaoqiang, *et al.* Differences and similarities of underbalanced drilling and managed-pressure drilling technology [J]. *Drilling & Production Technology*, 2011, 34(1): 25-27. [韦海涛, 周英操, 翟小强, 等. 欠平衡钻井与控压钻井技术的异与同[J]. *钻采工艺*, 2011, 34(1): 25-27.]
- [16] Nughaimish F N, Faraj O A, Al-Afaleg N, *et al.* First-lateral-flow Controlled Maximum Reservoir Contact (MRC) Well in Saudi Arabia; Drilling & Completion; Challenges & Achievements; Case study [C]. IADC/SPE 87959, 2004.
- [17] Guy C, Emmanuel P, Alan C, *et al.* High Expectations from deepwater wells [J]. *Oilfield Review*, 2002, 14(4): 36-50.
- [18] Li Xianghui, Wang Chengshan, Jin Wei, *et al.* A review on deep-sea sedimentation theory; Significances to oil-gas exploration [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(1): 78-86. [李祥辉, 王成善, 金玮, 等. 深海沉积理论发展及其在油气勘探中的意义[J]. *沉积学报*, 2009, 27(1): 78-86.]
- [19] Weimer P, Slatt R M, Dromgoole P, *et al.* Developing and managing turbidite reservoirs: case histories and experiences: results of the 1998 EAGE/AAPG Research Conference [J]. *AAPG Bulletin*, 2000, 84(4): 453-465.
- [20] PGS. Towed Streamer EM [EB/OL]. [2012-12-03]. <http://www.pgs.com/en/Geophysical-Services/Towed-Streamer-EM/>.
- [21] BP. BP fourth quarter 2011 results and 2012 strategy [EB/OL]. [2012-03-05]. http://www.bp.com/assets/bp_internet/globalbp/STAGING/global_assets/downloads/B/bp_fourth_quarter_2011_results_presentation_slides_and_script.pdf.
- [22] Yang Hong, Liu Liqun, Yuan Lei. Petrobras: Road to Rise [J]. *Petroleum Technology Forum*, 2011, (5): 2-6. [杨虹, 刘立群, 袁磊. 巴西国家石油公司崛起之路[J]. *石油科技论坛*, 2011, (5): 2-6.]
- [23] Petrobras. Petrobras 2012—2016 Business Plan [EB/OL]. [2012-06-20]. http://www.brazilchamber.no/wp-content/uploads/2012/06/25029-PN_2012-2016_Final_eng.pdf.
- [24] Gao Benjin, Chen Guoming, Yin Zhiming, *et al.* Deepwater riserless mud recovery drilling technology [J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2009, 31(2): 44-47. [高本金, 陈国明, 殷志明, 等. 深水无隔水管钻井液回收钻井技术[J]. *石油钻采工艺*, 2009, 31(2): 44-47.]
- [25] Andy Hinton, Kjartan Seim, Gerhard Becker, *et al.* BP Egypt uses RMR on a Jack-up to Solve a Top Hole Drilling Problem [C]. SPE 19815-MS, 2009.
- [26] Geehan T, Gilmour A, Guo Q. The cutting edge in drilling-waste management [J]. *Oilfield Review*, 2006, 18(4): 54-67.
- [27] USGS. USGS/BOEM study identifies scientific method to differentiate between natural seepage and produced oils in southern California [EB/OL]. [2012-05-22]. http://www.usgs.gov/newsroom/article.asp?ID=3208&from=rss_home#.T73kFMRtiYw.

Development Status and Trends of Science and Technology of Deepwater Oil and Gas

ZHAO Ji-dong, ZHENG Jun-wei

(Scientific Information Centre for Resources and Environment/Lanzhou Branch
of National Science Library, CAS, Lanzhou 730000, China)

Abstract: As major substitution to supply oil and gas resources for human needs, deepwater (also known as deepsea) has become strategic places for many countries. Compared to land and shallow waters, science and technology play an important role in the exploration and development of deepwater oil and gas. By systemic research and detailed analysis of geological characteristics, exploration technology (seismic technology and non-seismic technology) and mining technology (risers technology, development wells' drilling technology, completion and recovery technology) of deepwater oil and gas, future trends of the science and technology of deepwater oil and gas were summarized in combination with the development plans of major international oil companies. Also shown are the themes of the famous international conferences about oil and gas held in recent years and test results obtained by oilfield service companies. At the same time, a few suggestions for China's future development in the field were proposed.

Key words: Deepwater; Science and technology of oil and gas; Development status; Development trends