

中国石化油气田开发工程技术面临的挑战与发展方向

李 阳, 薛兆杰

(中国石油化工股份有限公司, 北京 100728)

摘 要: 油气田开发工程技术的进步, 为原油生产的稳定增长和天然气的快速发展提供了重要的支撑, 但是开发对象日趋复杂化以及持续的低油价, 需要开发工程技术创新发展, 形成适应性更强的、成本更低的配套开发技术。总结了中石化油气开发的趋势及工程技术面临的挑战, 分析了高含水老油田、深层油气、非常规油气、深水油气对开发工程技术的需求, 提出了开发工程技术的发展方向, 并从工程技术创新、技术经济适应性、研发试验平台建设等方面提出加快工程技术发展的建议。这对推动油气开发工程技术发展, 实现我国油气资源的高效开发、保障国家能源供应具有重要意义。

关键词: 油气田开发; 工程技术; 技术挑战; 发展方向; 中国石化

中图分类号: TE2; TE3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-0890(2016)01-0001-05

Challenges and Development Tendency of Engineering Technology in Oil and Gas Development in Sinopec

LI Yang, XUE Zhaojie

(China Petroleum & Chemical Corporation, Beijing, 100728, China)

Abstract: The progress of engineering technologies in oil and gas development has provided significant support for the stable growth of crude oil production and the fast development of natural gas exploitation. As the increase of complication of reserve targets and oil price drop, engineering technologies should be innovatively developed to meet the challenge with wider applicability and lower engineering cost. In this paper, the trend of oil and gas development in Sinopec and related engineering technical challenges were reviewed. Then, the development tendency of engineering technologies was proposed. Finally, some suggestions to speed up the development of engineering techniques were put forward from the aspects of engineering technology innovation, technical and economic adaptability and R & D test platform construction, which will promote the development of oil and gas development engineering technologies and realize efficient development of oil and gas resources to guarantee national energy supply.

Key words: oil and gas development; engineering technology; technical challenge; development tendency; Sinopec

开发工程技术是提高油气田采收率, 实现油气资源有效开发的重要保证。近年来, 我国油气田开发工程技术的快速发展, 有力支撑了原油生产的稳定增长和天然气的快速发展。但是, 随着已开发老油田含水率进一步上升, 持续稳产难度不断加大; 新发现油气田向深水、深层发展, 地质条件越来越复杂, 开发效益越来越低, 迫切需要开发工程技术的创新与发展。2014 年 6 月份以来, 国际油价持续下跌, 包括中国石化在内的国内外石油天然气公司的

油气上游业务普遍出现亏损的状况, 给油气田开发和石油工程技术发展提出了新的挑战, 如何提高单井产量、降低开发成本, 实现油气田的可持续发展, 是开发工程技术亟需解决的一个重大问题^[1-4]。

收稿日期: 2016-01-20。

作者简介: 李阳(1958—), 男, 山东东平人, 1982 年毕业于华东石油学院石油地质专业, 2002 年获中国科学院沉积学专业博士学位, 中国工程院院士, 主要从事油气田开发地质、油气田开发及提高采收率技术与相关管理工作。E-mail: liyang@sinopec.com。

1 油气田开发趋势及工程技术面临的挑战

随着油气勘探开发的不断深入和发展,中国石化现阶段油气开采领域集中在高含水老油田、低渗透油气田、深层海相油气田等低品位油气资源,未来主要接替领域是深层、深水、致密油气、页岩气等非常规资源(2015年已在涪陵焦石坝建成 $50 \times 10^8 \text{ m}^3$ 生产能力)。

1.1 高含水老油田开发技术

我国东部老油田多于20世纪七八十年代投入开发,已经全面进入高含水开发中后期阶段,油田含水率不断上升,产量下滑严重,稳产形势严峻。据统计,截至2013年底,我国高含水油田储量约 $140 \times 10^8 \text{ t}$,占动用地质储量的53%,年产量达 $9\,610 \times 10^4 \text{ t}$,占全国原油总产量46%以上。中国石化高含水油田年产量达 $2\,431 \times 10^4 \text{ t}$,占原油总产量55%。

“十二五”以来,中国石化不断加强精细注水、三次采油、水平井、立体开发等开发技术的研究与应用,使老油田的采收率不断提高。但是由于老油田普遍进入“高含水、高采出程度”的开发阶段,增产措施效果变差,油田稳产难度增大。2014年,中国石化油田年均综合含水率达到89.2%,剩余采油速度为11.1%,SEC剩余经济可采储量仅 $3.8 \times 10^8 \text{ t}$,储采比9.0。以胜利油田为代表的中国石化东部老油田已全面进入开发中后期,综合含水率已超过90%,有些油井含水率高达98%以上,已经接近经济开采极限,造成大量的高含水井关井。增产措施效果差,难以弥补产量递减,统计结果表明,在应用增产措施后,老井的单井次年增油量由20世纪90年代初的972 t下降到573 t,新井的单井年增油量由1 940 t下降到923 t,下降一半以上。但由于陆相沉积油藏的非均质性程度高,油田平均采收率较低,仅26.5%,高含水油田虽然采收率高一些(平均为35.1%),但仍有60%以上的原油没有采出,具有提高采收率的资源潜力。高含水老油田剩余油日趋零散,进一步提高采收率,需要在剩余油的识别与描述以及有效的开发模式方面进行创新和发展^[5]。

1.2 深层油气田开发技术

近年来全球深层油气开发进入快速发展时期。至2012年底,全球共发现埋深大于4 500 m的深层

油气田861个,其中埋深大于6 000 m超深层油气田122个。2000年以来,全球埋深大于4 000 m的油气储量占陆上探明油气储量的65%。我国陆上深层-超深层石油储量稳步增长,天然气储量占比持续攀升,成为增储重点。

中国石化在四川盆地、塔里木盆地、渤海湾盆地、准噶尔盆地都发现了深层-超深层油气田,并建设了普光、元坝深层气田和塔河深层油田,推动了油气增储上产。普光气田创新形成了高含硫气田高效开发技术、高含硫气田腐蚀防护技术、高含硫天然气超大规模深度净化技术、高含硫气田安全控制技术等,建成天然气产能 $110 \times 10^8 \text{ m}^3$,成为我国第一大酸性气田,已累计生产净化天然气 $381 \times 10^8 \text{ m}^3$,硫磺 $1\,025 \times 10^4 \text{ t}$;元坝气田形成了超深水平井钻完井技术,为其产能建设提供了强有力的技术保障,创造了30多项国内钻井新纪录,更创造了井深最深7 971.00 m(元坝121H井)、垂深最深6 991.20 m(元坝101-1H井)及水平段最长1 073.30 m(元坝272-1H井)等3项超深酸性气藏水平井世界纪录,建成了 $34 \times 10^8 \text{ m}^3$ 净化气产能;塔河油田建设成为世界上最大的缝洞型油藏原油生产基地,已建原油产能超过 $700 \times 10^4 \text{ t}$,累计产油近亿吨。普光、元坝、塔河等深层油气藏的成功开发,标志着中国石化已经攻克了超深油气藏、高温高压、高含硫化氢等世界级难题,基本形成了深层油气藏开发工程配套技术。

但是,目前深层-超深层油气开发仍然存在诸多挑战,由于油气埋藏超深,多在5 000 m以深,地层复杂,油气水关系复杂,储层认识与预测难度大;东部渤海湾盆地深层砂砾岩体储量、西部准噶尔盆地超深层油藏,属于低丰度-特低丰度、特低渗透储量,有效开发技术仍有待攻关;地层高温高压,存在多套压力体系,钻完井过程中易垮塌,井眼轨迹控制及测量难度大^[6]。

1.3 非常规油气开发技术

页岩气、致密油气、煤层气等非常规资源是未来油气储量增长的主要接替资源。我国非常规油气资源丰富,据估算非常规天然气可采资源 $40 \times 10^{12} \text{ m}^3$,致密油可采资源量 $20 \times 10^8 \text{ t}$,我国正在进入常规、非常规油气资源开发并举的新阶段。

中国石化页岩气主要分布在四川盆地及周缘,截至2015年底,探明地质储量超过 $3\,500 \times 10^8 \text{ m}^3$,已在涪陵焦石坝建成海相页岩气 $50 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的产

能,2015年生产页岩气 $30.4 \times 10^8 \text{ m}^3$,成为继北美之外第一个投入商业化开发的大型页岩气田,形成了3 500 m以浅页岩气开发配套工程技术,为我国页岩气开发奠定了理论和实践基础。中国石化致密油气主要分布在鄂尔多斯盆地、渤海湾盆地、塔里木盆地等^[7],从2007年开始致密油的开发,2012年以来大规模应用水平井多段压裂技术,先后建立了鄂南致密油、胜利深层油积岩致密油及深层砂砾岩致密油等开发示范区,致密油产量快速上升,2015年达到 $70 \times 10^4 \text{ t}$;大牛地气田致密气藏得到高效开发,产能达到 $50 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。中国石化煤层气自营区块4个,探明地质储量 $208 \times 10^8 \text{ m}^3$,目前在延川南建成了煤层气 $5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的产能,日产气量达 $20 \times 10^4 \text{ m}^3$,初步形成了煤层气U/V形井钻完井技术、煤层气绳索取心技术、大液量低伤害压裂配套技术等煤层气有效开发技术。

从发展的进程看,非常规油气开发工程技术已经从学习引进阶段发展到自主研发阶段,实现了3 500 m以浅页岩气的成功开发,致密油气、煤层气开发也取得突破,但整体来看,研究和认识程度仍然较低,基础理论研究深度尚不能满足勘探开发的需要;虽然形成了适用于中浅层页岩气的开发技术,但对资源丰富的深层页岩气的开发不适应;致密油气、煤层气勘探开发虽然取得了一些重要进展,但是采收率及采油速度均较低,总体上仍处于探索阶段;我国非常规资源多分布在地表复杂的地区,大液量、大砂量的压裂方式存在诸多限制,需研发新的压裂工艺技术^[8]。

1.4 深水油气开发技术

全球油气资源发展重心逐步向海上转移。2010年以来,新发现油气储量约59%来自深水海域,深水油气产量逐年增加。

中国石化国内海洋探矿权区块主要分布在东海、渤海、南黄海、南海北部湾和琼东南等海域,已经形成了适用于滩浅海油气开发的海洋钻井平台设计、海洋特种装备研发、海洋工程建设及检测、滩浅海高密度丛式井及大位移井钻完井等工程配套技术,保障了海上油气田的建设和生产。海外海洋区块主要分布在巴西、尼日利亚、印度尼西亚和安哥拉等国家,目前已开展了西非深海钻完井关键技术研究,开始了水下井口、水下采油树等深水装备研发工作,形成了钻完井风险评估与控制技术、深水钻完井工程方案设计技术、浮式钻井装置选择、导管喷射下

入技术、井控工艺技术、深水低温钻井液技术、深水低温固井技术等一系列深水钻完井关键技术及作业管理体系。2013年海外海洋区块原油产量达到 $1 500 \times 10^4 \text{ t}$,占海外油气总产量的近40%。

但是,由于深水油气勘探开发投入高、风险大,对装备和技术要求高,目前中国石化缺乏深水钻井平台,深水油气田开发经验、深水油气钻完井技术和装备更是严重不足,深水油气开发及工程技术和装备的总体水平与国际一流水平相比存在巨大差距。

2 油气田开发工程技术发展方向

石油工程技术既要保证已开发油气田提高采收率和改善开发效果的需要,又要推动深水、深层、非常规等油气的快速发展,因此需要更紧密地结合当前资源特点和开发技术发展状况,加快发展适用于高含水老油田、深层油气田、非常规油气及深水油气开发需求的工程技术,占领技术高点,支撑油气田开发。

2.1 老油田提高采收率技术

不断提高采收率是油田开发的永恒主题,工程技术创新与应用已经成为老油田提高采收率、实现原油可持续发展的重要手段。从当前老油田的开发难点及技术发展现状来看,提高采收率技术攻关的重点主要集中在3个方面:一是发展具有不同地质分辨能力的油藏综合地球物理技术,提高剩余油分布预测与识别能力,为老油田稳产提供解决方案;二是提升水平井、分支井、大位移水平井等复杂结构井钻完井技术水平;三是快速发展智能开采、增产改造技术和提高采收率配套工程技术,提高单井产能和采收率。

2.2 深层油气、非常规油气等新领域开发工程技术

近年来,万米钻机、旋转导向钻井、水平井、体积压裂等工程技术的进步,推动了深层油气和页岩气等非常规油气勘探开发的快速发展。但是随着勘探对象日益复杂,安全环保风险日益增大,需要加强4个方面的工程技术创新:一是进行地球物理勘测新技术的重点攻关,发展高精度、宽频三维地震数据采集处理解释技术和三维多尺度储层精细评价技术,实现深层复杂构造的准确落实,同时需进行非常规油气甜点预测及微地震监测技术的攻关研究,提高储层甜点预测精度;二是研制具有自主知识产权的

高效破岩装备,并形成“一趟钻”钻井技术,提高深井、水平井、工厂化钻井作业时效,降低钻井成本;三是研发高效环保钻井液、低伤害环保压裂液、固井水泥环高效密封等关键材料;四是研究大型体积压裂、多级压裂等适用于深层气藏的储层改造技术,研究井工厂拉链式压裂、多井同步压裂、新型无水压裂技术,以大幅提高油气资源动用率和采收率^[9-11]。

2.3 深水油气开发技术

中国石化深水油气开发基础薄弱,需要从基础研究出发,研究海域盆地油气地质综合评价及有利区带优选技术;完善滩浅海油气开发工程技术;开展深水钻完井、水下生产系统研究,择机研发中深水钻完井工程配套装备,形成完善的中深水油气勘探开发配套工程技术,为国内外深水油气田开发提供技术支撑。

3 油田开发工程技术发展思考

石油工程作为油田开发的核心业务,面对资源品质的劣质化、油气目标的复杂化、安全环保的严格化和低油价的常态化,工程技术发展要强化技术创新和集成应用,解决油气生产中的关键技术瓶颈,不断提高技术水平和油气经济高效开发的保障力。

一是要以提高油田采收率和难采储量动用率为核心推动新技术发展。工程技术创新要从认识油气藏、打开油气藏、改造油气藏、开采油气藏和保护油气藏的全过程进行技术研发,全面提升研发、装备、技术和服务水平;要树立科研支撑生产的理念,把生产难题作为攻关方向,将单纯项目研究向以解决问题为导向的研究转变,将单纯技术研究向科技开发与生产制造一体化转变;将单一学科作战向多学科、多系统协同作战转变,推动形成科研与生产密切结合,互相促进、共同发展的良好局面。

二是更加注重技术的适用性和经济性。纵观国际油价 50 多年来的变化,低油价其实也正是技术创新的活跃期。目前国际油价在低位运行,实现复杂油田的高效开发是未来油田开发的重要任务,同时又面临降低成本、保持效益规模的巨大挑战。我国油田油藏类型多,地质条件复杂多变,开发方式多,工程技术的可复制性差,不能完全照搬照用别人的技术。我国油田开发工程技术的发展需要结合油气藏特点形成适用技术,从而不断提高油田的开发水平和整体效益;要不断创新油气开发模式,美国

Aera 能源公司、Hess 石油公司在油田开发项目中推行 Lean 管理理念与方法,并取得了较好的效果和效益,涪陵页岩气的开发模式建设已经很好的验证了这一点。要以“提高单井产能”和“降低成本”为油田开发技术目标,找准制约油气田开发的“瓶颈”环节,从工程技术的全过程、全环节上控制成本,形成可复制、可推广的开发技术体系和产业模式,降低工程技术成本,从而提高企业核心竞争力。

三是建设研发试验平台。在技术研发过程中,要注重不断提升研发平台的建设水平,以互联网、物联网为基础,融合专业信息、大数据、云计算等,构建资源共享的信息化平台;建立重点实验室和研究院实验室,加强方法、模型和原型研究,并充分利用国家、国内外高等院校开放实验室平台;集成利用国内外和集团公司内部装备工具资源和力量,建立装备工具研发平台;将研究方法和模型形成软件,提升设计和服务能力,构建软件共享平台;引用国内外先进、适用的标准规程,构建标准规程平台;建立监测平台和体系,提升装备技术水平,通过上下游研究院、油田企业一体化联合攻关,实现石油工程技术跨越和引领。

四是实现油气开发与环境的友好协调。环境与人们的生产生活息息相关,环保问题日益成为人们关心的焦点问题。党的十八大报告提出“推动能源生产和消费革命”,在表述上由原来的“变革”变为“革命”,具有深刻的涵义,这是基于环境承载的状况而提出来的。作为石油工作者,这是一个新课题,需要认真思考“革命”的涵义。要转变发展方式,工程技术必须尽量减少对环境的影响,在生产中减少废气、废水、废物的排放,减少土地、水源的占用,实现油气生产与环境保护的有机统一,促进油气生产,实现低碳绿色发展。

4 结束语

当前,新一轮的全球技术革命和产业革命正在孕育兴起,技术发展进入创新活跃期,世界石油工业也已经进入到“高新技术取胜”的时代,保持技术的领先地位,一直是世界各大石油公司长盛不衰、发展壮大的保障。国家就能源发展提出了包括能源技术革命在内的“能源革命”,发布了“中国制造 2025”,智能制造被定位为中国制造的主攻方向,工程技术发展面临着良好的发展机遇和环境。在机遇与挑战并存的关键时期,石油工程技术通过技术创新发展,

降低开发成本,将为油气勘探开发提供更加有力的支撑和保障。

参 考 文 献

References

- [1] WEBSTER J. Going global: tight oil production; leaping out of North America and onto the world stage[R/OL]. [2016-01-15]. <http://www.eia.gov/conference/2014/pdf/presentations/webster.pdf>.
- [2] DUDLEY B. BP statistical review of world energy 2015[R/OL]. [2016-01-15]. <http://www.bp.com/en/global/corporate/press/speeches/bp-statistical-review-of-world-energy-2015.html>.
- [3] EIA. Annual energy outlook 2014[R]. [2015-08-25]. http://www.eia.gov/forecasts/aeo/tables_ref.cfm.
- [4] SORENSEN J, HAMLING J. Enhanced oil recovery(EOR) in tight oil; lessons learned from pilot tests in the Bakken[R]. [2015-08-25]. <http://ptr.ca/+pub/document/tightOil2015/9.%20EOR%20in%20Tight%20Oil%20-%20Jim%20Sorensen.pdf>.
- [5] 许昕,侯宇光. 非常规油气勘探发现现状略述[J]. 长江大学学报(自科版), 2015, 12(26):12-14.
XU Xin, HOU Yuguang. Review of current situation of unconventional oil and gas exploration and development[J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2015, 12(26):12-14.
- [6] 郑春峰,赵忠义,郝晓君,等. 高含水、高采出程度阶段油田剩余油定量表征及其综合评价[J]. 石油天然气学报, 2012, 34(2): 131-135.
ZHENG Chunfeng, ZHAO Zhongyi, HAO XiaoJun, et al. Residual oil quantitative characterization and comprehensive evaluation at high water-cut and high recovery stage[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2012, 34(2): 131-135.
- [7] 李阳. 中国石化致密油藏开发面临的机遇与挑战[J]. 石油钻探技术, 2015, 43(5): 1-6.
LI Yang. Opportunities and challenges for Sinopec to develop tight oil reservoirs[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2015, 43(5): 1-6.
- [8] 宋泓钢. 国内深井钻井提速技术难点分析及对策研究[J]. 化学工程与装, 2015(2): 109-111.
SONG Honggang. Deep well drilling technology analysis and its technical solution in domestic[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2015(2): 109-111.
- [9] BELGRAVE J D M, NZEKWU B I, CHHINA H S. SAGD optimization with air injection[J]. SPE 106901, 2007.
- [10] OSKOEI S J P, MOORE R G, MAINI B B, et al. Feasibility of in-situ combustion in the SAGD chamber[J]. Journal of Canadian Petroleum Technology, 2011, 50(4): 31-44.
- [11] BOUSARD I S. Recovery of oil by a combination of low temperature oxidation and hot water or steam injection: US3976137[P]. 1976-08-24.

[编辑 陈会年]

中国石化北部湾海域探井获得突破

涠4井是中国石化部署在南海北部湾海域的一口探井,位于北部湾盆地涠西南凹陷西部,距广西北海市西南110 km,处于盆地西部边缘。该井设计井深3 783.00 m,钻遇含油层系近百米。2016年初,对该井的两个含油层进行了测试,第一层获日产自喷高品质原油1 458 m³(约1 264 t)、天然气7.18×10⁴ m³,第二层获日产自喷高品质原油1 349 m³(约1 184 t)、天然气7.6×10⁴ m³,创中国石化海域油气勘探单井最高纪录,也是近10年来国内罕见的高产测试探井,给北部湾海域未来的油气勘探突破带来了新希望,对中国石化进一步拓展海域油气勘探开发空间、加快建设我国海上能源基地具有重大战略意义。

[供稿 石 钻]