

## 综述与评述

# 中国陆上深层油气勘探开发关键技术现状及展望

姚根顺<sup>1,2</sup>, 伍贤柱<sup>3</sup>, 孙贊东<sup>4</sup>, 余春昊<sup>5</sup>, 葛云华<sup>6</sup>, 杨贤友<sup>7</sup>,  
文 龙<sup>8</sup>, 倪 超<sup>1</sup>, 付小东<sup>1</sup>, 张建勇<sup>1,2</sup>

(1. 中国石油杭州地质研究院,浙江 杭州 310023;

2. 中国石油天然气集团公司碳酸盐岩储层重点实验室,浙江 杭州 310023;

3. 中国石油集团川庆钻探工程有限公司,四川 成都 610051;

4. 中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司,河北 涿州 072751;

5. 中国石油集团测井有限公司,陕西 西安 710077;6. 中国石油集团钻井工程技术研究院,北京 102206;

7. 中国石油勘探开发研究院,北京 100083;8. 中国石油西南油田分公司,四川 成都 610056)

**摘要:**近年来中国深层油气勘探开发得到快速发展,而技术发展则起到了非常重要的支撑作用。针对中国深层油气复杂的工程地质环境,梳理了近年来取得长足发展的四大技术体系,主要包括:  
①深层复杂构造地震成像与储集层预测技术体系,包含针对深层的地震“两宽一小”采集技术、逆时偏移处理技术、复杂构造综合建模技术和变速成图技术,提高了构造解释精度,保证了深层地质体的高精度成像和预测;②深层提速增效钻井工艺技术体系,大幅度提高了钻井速度,降低了钻井成本和钻井风险;③深层高温高压测井评价技术体系,为准确判别储层性质及流体性质提供了保障;  
④深层高效开发技术体系,特别是深层储层提高改造体积技术的发展和成熟,提高了单井产量和深层油气开发的效益。在分析基础上,针对今后深层油气勘探开发面临的挑战,从①深层地震采集处理及解释技术、②深层安全高效钻完井与控制关键技术、③深层高温高压测井评价技术以及④深层油气藏改造、堵水与举升技术 4 个方面指出了深层油气勘探开发技术的未来发展方向,并强调发展适用性和经济性的技术体系是实现深层油气高效、低成本勘探开发的关键。

**关键词:**深层油气;勘探开发技术;地震;测井;钻井;油气藏改造

**中图分类号:**TE122      **文献标志码:**A      **文章编号:**1672-1926(2017)08-1154-11

**引用格式:**Yao Genshun, Wu Xianzhu, Sun Zandong, et al. Status and prospects of exploration and exploitation key technologies of the deep oil & gas resources in onshore China[J]. Natural Gas Geoscience, 2017, 28(8):1154-1164. [姚根顺, 伍贤柱, 孙贊东, 等. 中国陆上深层油气勘探开发关键技术现状及展望[J]. 天然气地球科学, 2017, 28(8):1154-1164.]

## 0 引言

随着油气科技进步,钻井深度不断增大。1974 年在美国完钻的勃尔兹·罗杰斯 1 井深度达 9 583m,1992 年俄罗斯科拉半岛上的科拉 3 井完钻深度为 12 260m,2012 年俄罗斯萨哈林油田 Z-44 Chayvo

井完钻井深 12 376m 是目前世界上最深的油井<sup>[1]</sup>。根据 Krayushkin<sup>[2]</sup>统计 4 500~8 100m 深度内已经开发的 1 000 多个油气田,其石油原始可采储量约占全球石油总储量的 7%,而天然气储量约占全球天然气总储量的 25%,在美国、意大利、墨西哥等深层勘探程度较高的国家和地区,深层油、气的探明储

收稿日期:2017-05-05;修回日期:2017-06-05。

基金项目:中国石油天然气股份公司重大科技专项(编号:2014E-32);国家科技重大专项(编号:2017ZX05008-005)联合资助。

作者简介:姚根顺(1962-),男,安徽黄山人,教授级高级工程师,主要从事石油地质基础与勘探评价研究。

E-mail:yaogs\_hz@petrochina.com.cn.

量分别占其总储量的31%和47%。据庞雄奇<sup>[3]</sup>2015年统计,全球已发现的1477个深层油气藏中,气藏占42%,油气并存者占51%,油藏为7%;深层石油可采储量为 $105 \times 10^8$ t,占石油总可采储量的4.45%;探明天然气可采储量为 $70 \times 10^8$ t油当量,占天然气总可采储量的4.71%。近年来,我国先后在塔里木盆地库车坳陷克深一大北地区、塔北隆起哈拉哈塘地区,四川盆地川东北地区二叠系—三叠系台缘礁滩、川中古隆起震旦系—寒武系、川西地区中二叠统栖霞组—茅口组,渤海湾盆地深层碎屑岩和深潜山,松辽盆地和准噶尔盆地深层火山岩等获得了一系列的重大发现,形成了一批规模储量区。深层已经成为我国陆上油气勘探突破发现与规模增储的重要领域<sup>[4-15]</sup>。

深层油气勘探的突破得益于理论和技术的进步,而勘探开发实践也反过来促进了深层油气勘探开发技术的进一步发展和完善。如:地震岩溶缝洞预测技术的进步加速了塔里木盆地北部哈拉哈塘地区奥陶系岩溶缝洞油藏的发现进程,而随着勘探开发活动的开展,岩溶缝洞地震雕刻技术得到了进一步发展并形成体系,该技术体系在后续的塔中地区和塔北地区其他岩溶缝洞型油气藏的勘探及开发中起到关键作用<sup>[16-18]</sup>。又如:四川盆地二叠系—三叠系礁滩地震成像技术的改进促进了“开江—梁平海槽”两侧礁滩岩性气藏的发现,探明了普光、龙岗等一系列深层气藏,而随着普光气田、龙岗气田勘探开发的推进,礁滩地震预测技术体系日臻成熟,不仅推动了元坝气田的发现和增储上产,而且在四川盆地震旦系灯影组微生物丘白云岩储层以及寒武系龙王庙组颗粒滩白云岩储层的预测中得到进一步发展和完善,对安岳气田的整体探明和快速上产起到了重要作用<sup>[19-21]</sup>。

我国深层油气勘探开发层系往往处于叠合盆地下构造层,除勘探目标地层埋深增大外,钻井往往需要穿过多套不同类型地层系统,导致深层工程地质环境复杂,主要表现为3个方面:①岩性体系复杂,疏松层、盐膏岩层、缝洞层等不同类型地层体系互存;②压力体系复杂,多套压力体系互存;③气藏通常具有“三高”特征,即高温、高压、高含硫。这种复杂的工程地质环境造成我国深层油气勘探开发难度大,必须要完成5项任务:①明确领域区带;②锁定目标靶点;③钻探目标靶点;④确认目标靶点;⑤高效开采油气。除了第一项任务由地质理论认识主导外,其余4项任务则由工程技术主导,涉及地震、钻

完井、测井以及采油采气等技术。随着近年来深层油气勘探开发活动的加强,以及国家或油气公司层面专项研究工作的开展,深层油气勘探开发相关技术得到快速发展和完善,已经初步形成体系。本文意在梳理我国深层油气勘探开发关键技术研发现状,搞清面临的挑战,并力图指出其未来发展方向,以期为深层油气勘探开发及技术发展提供借鉴。

## 1 我国深层油气勘探开发关键技术研发现状

深层多期成藏改造后规模油气富集区的预测,“三高”油气藏开发方式与能量补充以及高温、高压、高盐、高研磨等恶劣的工程地质环境,决定了深层油气高效勘探开发必须形成配套工程技术体系。随着近年来深层油气勘探开发快速推进,目前已初步成型4项配套工程技术体系,推动了深层油气勘探开发进程。

### 1.1 深层复杂构造地震成像与储集层预测技术体系

由于深部地震信号高频成分衰减快,并且上部地层常存在高速屏蔽层,造成深层地震记录品质明显降低,使得深层地震勘探面临一系列难题,主要表现在:①地表及浅层条件变化大,激发接收条件差,干扰波发育;②地层埋藏深、地震反射波能量弱,保幅成像难度大;③深层地下断裂发育、断块众多,导致地层产状变化大且部分地区发育高陡地层,地震波场极其复杂;④地震资料信噪比低、成像精度低、圈闭落实难;⑤储集层与非储集层的反射特征差异小,储集层识别与预测困难<sup>[22,23]</sup>。

针对上述问题,近年来通过攻关,发展了多种技术,形成深层复杂构造地震成像与储集层预测技术体系,主要包括数字地震采集技术、偏移处理技术、复杂构造综合建模技术、变速成图技术等。

(1)数字地震采集技术。就采集技术而言,不同地区针对不同地表及地质条件集成了不同的采集技术体系。在四川盆地震旦系—寒武系深层勘探中,围绕观测系统优化、高精度近地表速度调查、宽频带激发、数字宽频接收、水下检波器应用、大型障碍物三维变观技术等开展研究,逐步发展形成了深层碳酸盐岩“两宽一小”数字地震采集技术系列,即:①宽方位、宽频带、小面元的三维观测系统优化设计,增加了深层地震反射信息量,可以获得包含更多方位角上反射信息的高质量数据,对断裂、岩性尖灭的识

别能力明显提高;②高精度近地表结构调查;③大型障碍物变观设计;④数字检波器接收技术;⑤水下检波器应用;⑥优选激发岩性和激发参数等。新获取的原始地震资料有效反射信息丰富、连续性好、品质优良,使寒武系及震旦系原始地震资料信噪比大幅提高<sup>[22-30]</sup>。

(2)偏移处理技术。主要有2种:①逆时偏移处理技术(RTM),可以对深层复杂速度场进行更细化和更精确的估计,实现对复杂区域的准确成像,特别是多步法逆时偏移技术,能够更精确地反映地球深部的不同地质目标(图1);②基于波动方程的叠前深度偏移处理技术,能够很好地解决速度纵横向变化剧烈的地震资料准确成像问题,克服了盐下、碳酸

盐岩、火山岩等复杂目标成像差的难题<sup>[22]</sup>。

(3)复杂构造综合建模技术及变速成图技术。通过复杂构造综合建模技术和变速成图技术相结合,可以提高构造解释精度;与此同时,利用区域大剖面控制构造格局、应用地震层序分析和层拉平技术解剖构造演化规律,开展模型正演明确波组特征,最终形成了以VSP和地震合成记录井震标定为基础、以全三维精细层位对比为核心、以高精度速度场建立为关键的低幅度构造精细建模和解释技术<sup>[24,31,32]</sup>。该技术系列在四川盆地高石梯—磨溪地区的应用,准确落实了震旦系灯影组和寒武系龙王庙组构造特征和细节变化,后期钻井证实构造成果误差小于1%<sup>[24]</sup>。

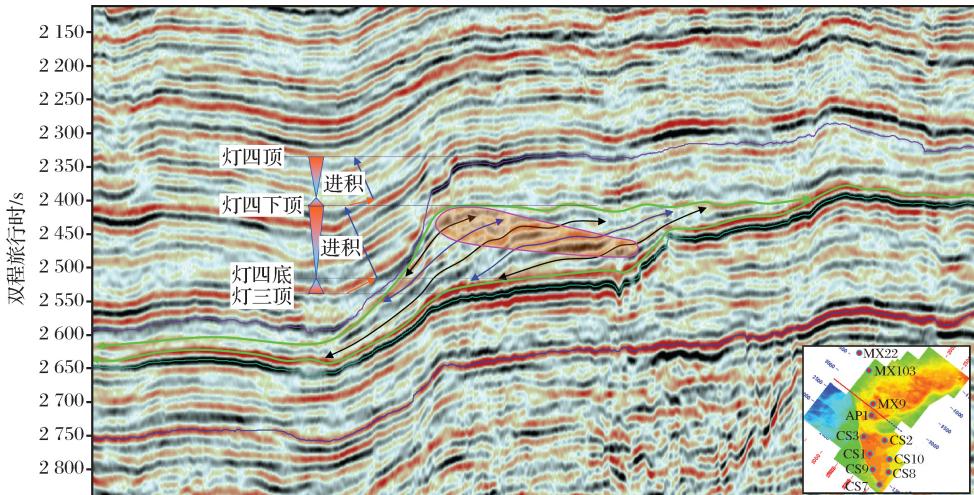


图1 四川盆地高石梯地区灯影组逆时偏移处理地震剖面(台地边缘反射结构清晰)

Fig.1 RTM seismic section of Dengying Formation of Gaoshiti area in Sichuan Basin

## 1.2 深层提速增效钻井工艺技术体系

深层多发育高温、高压、高酸性油气藏,存在钻井事故多、碳酸盐岩缝洞型储层易涌易漏、致密油气储层质量差等问题,需要发展安全、快速钻井,以及油气层保护等关键技术。

深层优快钻井完井装备及配套工具方面取得5方面进展<sup>[22,33]</sup>:①万米钻机及配套装备,满足了深层钻井大负荷套管和对井下事故处理能力以及大型井控设备安装的要求;②井口与防喷器方面,防喷器最大耐压达到175 MPa,防喷器、井口、采油树等均能满足高压、高含硫油气田的防腐要求;③油井管材与钻杆方面,目前已存在高强度、高韧性、特殊螺纹等高性能油套管及新型油井管;④井下破岩技术方面,通过开发耐磨、抗温切削齿和制造工艺,钻头性能不断提高;⑤井下动力钻具,多为抗高温螺杆钻

具、涡轮钻具、电动钻具和液动锤/水力脉冲钻具等,满足深部直井、定向井、水平钻井等需求。

此外,近年来,深层提速提效工艺技术得到了快速发展,包括自动垂直钻井技术、深层高温随钻测量技术、窄密度窗口安全钻井技术、钻井液技术、固井技术和复杂结构井钻井技术等技术系列<sup>[34-37]</sup>。

针对特定的地质环境,不同盆地研究集成了特定的技术系列,大幅提高了深层钻井速度并降低了成本和风险。例如四川盆地,为了加快高石梯—磨溪区块天然气勘探进程,针对浅部地层易垮塌、纵向上多压力系统且存在局部高压、长井段高密度钻进且夹层强度高、多套地层高温高压高含硫、碳酸盐岩地层容易发生井漏及溢流等诸多复杂地质特征,研究了提速技术手段,经过2年的现场试验,逐渐形成了一套适合该区块工程地质特征的震旦系探井钻井

提速配套技术:①优化井身结构,充分发挥提速技术应用并满足后期完井作业对井筒完整性的需要;②螺杆+转盘配合PDC复合钻井,以高效、个性化PDC钻头为主配合KCl聚合物钻井液,快速钻过上部大尺寸井眼段,缩短钻井时间;③以封隔式尾管悬挂器为主体的防气窜配套工艺技术,解决了“喇叭口”窜气问题,固井质量整体提升<sup>[38]</sup>。该技术系列形成后平均机械钻速同比提高16.78%,钻井周期从192d缩短到166d(图2),实现了震旦系深井的优快钻井,为加快安岳气田高石梯—磨溪区块的勘探开发进程提供了有力的技术保证<sup>[38]</sup>。

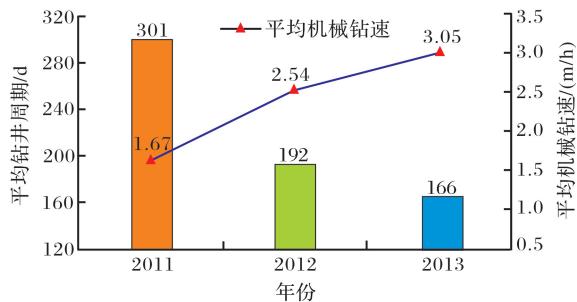


图2 高石梯—磨溪区块深层钻井技术系列集成前后钻井周期及钻速对比

Fig.2 Comparison of drilling cycle and drilling speed before and after series integration of deep drilling technology in Gaoshiti-Moxi area

### 1.3 深层高温高压测井评价技术体系

深层油气最重要的特点就是埋藏深、高温、高压、小井眼,深度最深可达8 000m以深,井底压力最大达到180MPa以深,温度最高达到200℃以上,深层油藏信息的采集给国产成像测井装备提出了严峻挑战,目前,国内塔里木盆地、四川盆地、渤海湾盆地主要以缝洞型碳酸盐岩储层为主,由于我国深层碳酸盐岩储层具有非均值强、储集空间多元组合化、油气水分布复杂等特点,决定了基于测井资料评价进行碳酸盐岩评价将是一个世界级难题。20世纪末,电成像、偶极声波和核磁共振等测井新技术的出现,为碳酸盐岩储层评价提供了一种丰富可靠的、可直观描述的地层有利信息,基本解决了一些缝洞识别评价技术问题,但在裂缝的延展性评价、储层参数的精确计算、储层有效性评价、开发期流体性质识别等关键技术问题上仍存在很多难点<sup>[39]</sup>。2008年中国石油测井公司向国内外市场推出了MCI微电阻率成像测井仪器,目前经过不断地升级该仪器的温压指标已提高到175℃/140MPa<sup>[40-44]</sup>。

2012年4月,中国石油渤海钻探公司自主研发

的远探测声波反射波成像测井仪,探测深度可达10m,打开了精细了解更远地层的微观结构之门,具有广阔的应用前景。由于深层高温高压的特点,该仪器在深层油气勘探中的应用受到了一定的限制。近年来,据理论推测基于偶极横波为基础的远探测技术能有效探测到近井旁30~40m远的缝洞体存在且具备一定的方位探测能力,但该技术在国内油田尚未实现成熟应用<sup>[45]</sup>。

虽然针对深层的单项技术尚有很多难题有待突破,但在现有技术基础上针对特殊的工程地质环境集成的特有的技术系列则在深层油气勘探开发中发挥了关键的作用。如,针对四川盆地乐山—龙女寺古隆起安岳气田形成的“深层海相碳酸盐岩测井评价技术”,就为该区深层油气的勘探开发提供了技术保障。安岳气田灯影组及龙王庙组丘滩相白云岩储层经历了复杂的成岩作用,非均质性极强,针对其特点从2方面入手:①测井数据采集方面,就采用了一些新技术,如针对龙王庙组以孔隙型为主的储层规模推广核磁共振测井及MDT测井、针对震旦系裂缝—孔洞型储层规模应用声波扫描测井及成像测井;②复杂岩性识别,大量采用ECS元素俘获测井并测井新技术试验,如斯伦贝谢ADT介电扫描测井、Litho Scanner岩性扫描测井、Sonic Scanner声波扫描测井,这些新技术、新方法的大量应用,为储层评价奠定了坚实的基础<sup>[46]</sup>。在新技术新方法的基础上,紧密结合地质分析,集成了技术系列:①综合应用薄片、岩化、ELS元素测井及常规测井有效地识别特殊岩性及矿物,进而得到可靠的储层参数;②利用成像测井对各类裂缝进行精细识别及分类,利用声波扫描测井获得各向异性及频散曲线,并结合裂缝识别结果对裂缝的有效性进行评价;③常规测井结合成像测井能够对溶蚀孔洞及大型溶洞进行定性识别,采用BorTcx及孔隙谱技术,定量评价溶蚀孔洞的发育程度及孔洞连通性,而对大型溶洞的延伸情况则需要结合钻井、录井显示及地震资料来综合判别;④流体判别在排除钻井液侵入、导电矿物等影响因素后,可采用可动水指数法、双侧向比值法、视电阻率增大法、中子—密度与中子—声波重叠法、介电扫描等方法,结合储层纵横向流体分布情况来综合判别储层流体性质<sup>[46]</sup>。利用上述集成的技术系列解释龙王庙组探井试气8口井、11层次,测井储层解释符合率达100%(图3)。

### 1.4 深层储层提高改造体积技术体系

深层油气埋深大、地质条件复杂,高效开发是提高效益的关键,而提高单井产量是提高效益的关键,

深层非均质性储层有效体积改造则是提高单井产量的关键。近年来勘探开发逐渐向深层发展,岩性主要包括碳酸盐岩、碎屑岩和火山岩,深层油气藏普遍存在高温高压(最高温度为210℃,最大压力为136MPa)、基质致密(特低孔、特低渗)、储集空间复杂(存在孔、洞、缝)、非均质性强等特点,储层改造技术在深层油气勘探开发中发挥着越来越重要的作用,经过多年的发展,基本形成了深层储层改造主体技术,包括:碳酸盐岩储层深度酸压与转向酸化酸压技术、加重压裂液技术、地面高压设备配套、大口径管柱结构配置等。特别是针对碳酸盐岩储层及碎屑岩储层已经形成了各自的改造技术,效果良好<sup>[8,47-49]</sup>。

碳酸盐岩,在对构造、沉积、地震、录井、测井、测

试、地应力、天然裂缝等储层改造前期评估的基础上,进行了量化和建模工作,在塔里木盆地和四川盆地进行了现场应用,符合率达70%~85%,为选井选层和工艺优选提供了重要依据。研发形成的耐高温清洁转向酸、温控变黏酸、地面交联酸、乳化酸、加重酸等酸化酸压改造材料体系,以及形成的高温深井碳酸盐岩储层改造关键技术,基本可以满足一般深井的深度与转向酸化、酸压要求,酸压裂缝前部的有效酸蚀和大幅度提高II类、III类碳酸盐岩储层的改造体积等技术难题部分得到解决。例如四川盆地龙王庙组,采用“无工具暂堵分层+分流转向”提高改造体积工艺在龙王庙组试验应用24井次,改造后平均测试产量比改造前测试产量提高3.4倍(图4)。

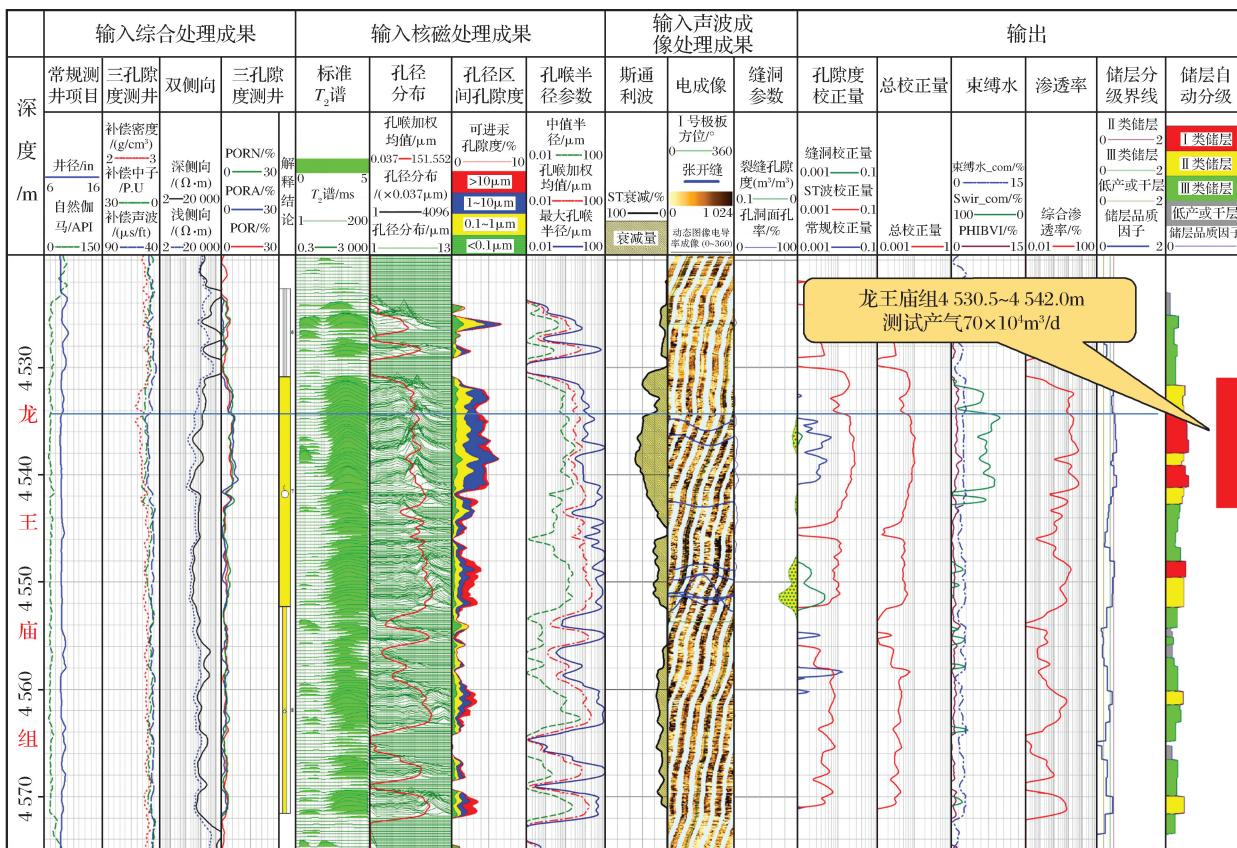


图3 高石102井龙王庙组测井综合解释成果

Fig.3 Comprehensive interpretation results of log in Dragon King Temple Formation of Well Gaoshi102

碎屑岩基本形成了深井高温高压砂岩储层增产改造配套技术。创新研发了一种适合超级13Cr油管的酸化缓蚀剂,优选了3套基质酸化液体系,探索了巨厚储层缝网改造技术;研发了密度1.32g/cm<sup>3</sup>、耐温150℃的低成本硝酸钠加重压裂液,引进了140MPa车组,形成了“六位一体”的加砂压裂技术,实现了深井储层的加砂压裂。该技术基本可以满足

7 700m以内的油气藏有效改造的技术需求。例如“超深长井段储层暂堵分层分段+转向”改造技术在塔里木盆地山前带试验应用13井次,应用最大井深7 780m,最长井段275m,最高地层温度181℃、压力125MPa,施工成功率100%,改造有效率96.43%,平均单井增产3.6倍;而常规改造平均单井增产仅1.15倍(图5)。

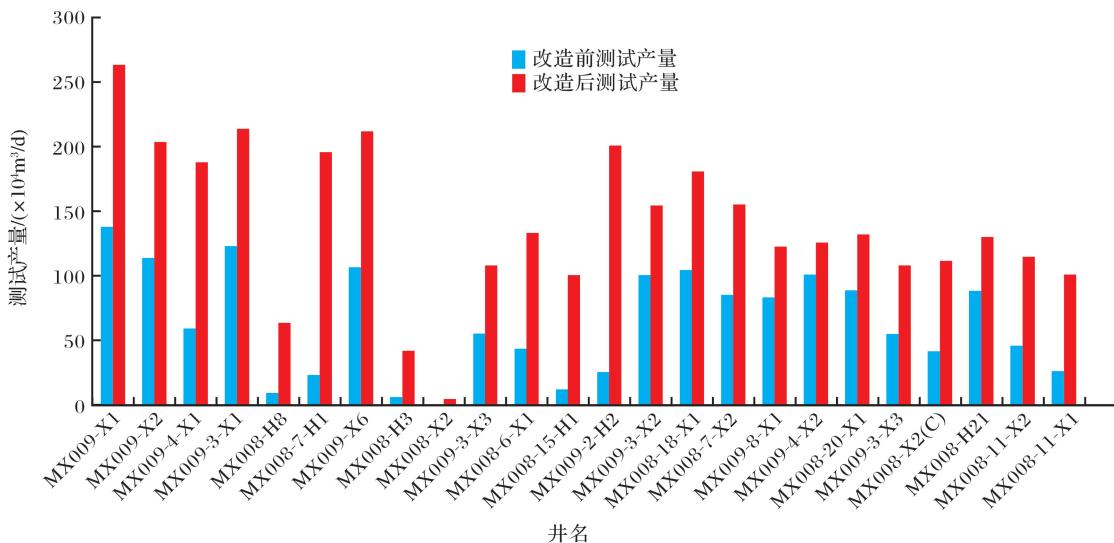


图4 安岳气田龙王庙白云岩储层暂堵分层分段改造效果统计柱状图

Fig.4 Statistical histogram of temporary block and stratified reconstruction effect of dolomite reservoir of Longwangmiao Formation in Anyue Gasfield

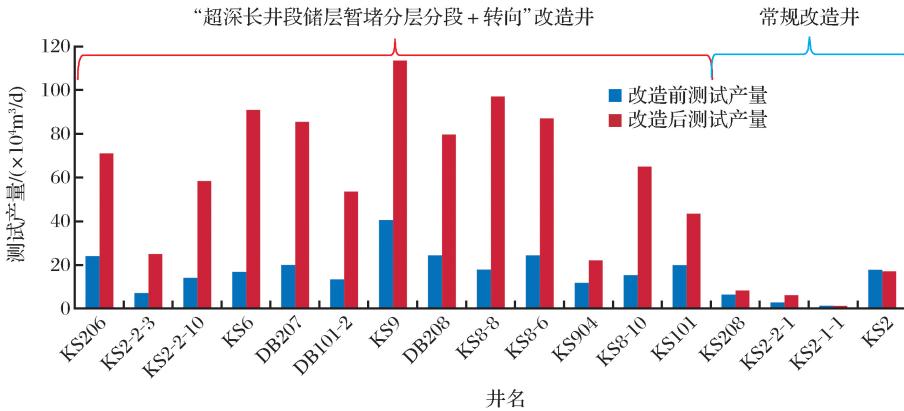


图5 塔里木盆地山前“暂堵分层十转向改造”与常规改造效果对比

Fig.5 Comparison of the effect of temporary blocking layer+steering modification and conventional reconstruction of Tarim Basin

## 2 深层油气勘探开发关键技术发展方向

深层油气勘探开发实践突破了传统石油地质理论认识,是一个新的勘探领域,深层油气储量、产量和大油气田数所占比例仍然较低,由于地质条件复杂,深层四大配套工程技术尚处于发展和完善阶段,下一步将以快速增加储量、提高储量动用程度和采收率为目的,加速发展。

### 2.1 深层地震采集处理及解释技术

面对深层复杂目标体,面对更高的精度要求,深层地球物理技术应重点发展以下4个方面的技术。

(1)宽频宽方位数字化地震采集技术。宽频可控震源是增强深层反射能量的有效手段,对从根本上提高速度建模及全波形反演精度具有重要意义。

宽频数字检波器可以最大限度地记录全频信号,采用长排列甚至超长排列进行资料采集,可避开浅层速度异常体的屏蔽作用,有利于提高目的层有效信号,因此应着力发展宽频宽方位数字化地震采集技术,包括低畸变、宽频高精度可控震源,全频段数字检波器,50万道以上全数字地震仪,开放式采集软件系统等<sup>[23]</sup>。

(2)复杂岩石物理建模技术。速度横向剧烈变化会导致地震资料成像不准确,对目的层成像精度的影响均源于其速度的横向变化<sup>[23]</sup>。尽管起伏地表偏移、各向异性偏移、逆时偏移和全波形反演技术等在一定程度上改善了上述问题,信噪比提高,深层构造形态、潜山地貌、断面反射、盐丘边等刻画更加清晰,但事实上,这些高精度算法对原始地震资料频

段及信噪比、速度模型精度及运算效率等方面要求极高,制约了其优势发挥<sup>[23]</sup>。只有通过物探与地质的结合、地震与重磁电技术的结合,建立高精度速度模型才是解决深层成像及预测问题的关键。

(3)深层复杂储集体预测技术。重点发展叠前反演(AVO,也包括AVOZ)、高分辨率反演、物性参数反演(储层定量预测)、各向异性裂缝预测、储集层综合评价、油藏动静态建模等技术。

(4)高精度保幅成像处理技术。重点发展逆时偏移处理技术、全波形反演技术、局部角度域偏移等叠前偏移术,以及与之配套的去噪技术、真振幅恢复技术、高精度速度建模技术等<sup>[23]</sup>。

(5)重磁电及测井一体化技术。随着三维重磁电技术的发展以及井间地震技术普及,地震技术与重磁电技术以及测井技术融合成为可能,为解决深层目标高精度成像及精确预测问题,下一步应发展高精度三维电磁相关的装备及软件、非地震信息约束下的速度建模及构造解释技术、研发地震—非地震联合反演软件,完善油藏动态测井—地震联合检测等技术。

## 2.2 深层安全高效钻完井与控制关键技术

深层安全高效钻井与控制是一套复杂的技术体系,目前不同盆地已经发展了部分技术系列,未来主要发展以下 6 个方面的技术。

(1)钻柱震动监测与控制技术。针对非均质难钻地层破岩伴随钻具憋跳、粘滑和涡动,破岩效率下降,工具先期破坏,甚至引发钻具事故等问题,通过监测钻柱异常震动,实时优化参数,实现安全快速钻井;同时,研究钻柱震动控制方法,开发主动的自适应控制型减震提速工具。

(2)复杂地层压力预测方法。基于压实理论、钻前层速度反演、声波等测井资料反演,为井身结构优化设计,钻井液安全密度确定提供依据。

(3)基于PWD/LWD 随钻信息的涌漏复杂早期识别技术。通过地面监测(录井)、井下实时监测,如斯伦贝谢 NDS 系统、壳牌 RTOC 系统,为井控处理赢得时间。

(4)滑动导向钻井钻柱摇摆减阻技术。针对深层大斜度井、水平井滑动导向过程钻柱摩阻大,加压困难,滑动钻进效率低等难题,通过扭摆上部一定长度的钻具,变滑动摩阻为转动摩阻,从而达到减少整个钻柱滑动摩阻,顺利实现滑动钻进的目的。通过对滑动和扭摆 2 种模式下的摩阻和扭矩分析,研制出滑动钻井扭摆减阻工艺技术与控制系统。

(5)深层井身结构优化设计技术。针对深层地层压力复杂,井身结构受限,复杂事故多,钻井周期长,需通过提高地层压力预测精度解决井身结构和地层压力预测的适用性问题,采用非标结构减少事故,降低钻井周期。

(6)难钻地层高效破岩技术。深部地层钻井面临破岩效率低、钻井速度慢,川西北地区高研磨性地层、巨厚砾石层等,破岩效率低,破岩工具寿命短,频繁更换钻头破岩效率低,通过研究难钻地层高效破岩机理和破岩方式,为难钻地层提速技术方案的合理确定提供技术支撑。

## 2.3 深层高温高压测井评价技术

深层储层的典型特征就是非均质性,因此深层测井应以储层非均质研究为核心,在资料准确采集的基础上,通过测井物理模拟与数值模拟相结合、微观机理和宏观响应相结合、多类型和多尺度测井信息相结合,提升测井解决深层碳酸盐岩地质和工程问题的综合能力。通过测井数值模拟与物理模拟为新型探测器的研制、缝洞储层解释模型建立奠定基础,提升采集能力与装备的适应性,利用新兴的三维数字岩心技术开展非均质碳酸盐岩的微观机理与孔隙结构评价研究,岩石物理宏观层面上依托测井重点实验室开展高温高压岩石物理实验,发挥岩石物理在测井解释评价中的刻度作用。采取微电阻率成像、阵列侧向、阵列声波、偶极声波远探测等成像测井结合,解决近井壁缝洞、数十米缝洞定量刻画的难题,把成像测井与矿物测井、常规测井等资料结合开展岩性、组分、流体识别、沉积微相的研究。最后把横向多尺度信息融合,形成成像综合评价技术,以实现提升非均质储层解释符合率及流体识别率的目的。

## 2.4 深层油气藏改造、堵水与举升技术

深层油气储层改造技术发展趋势体现在 2 个方面:一是超深长井段储层安全高效分层分段改造技术。对于长井段储层,采用笼统压裂技术难以实现整个井段上的全面有效改造,使井段的改造程度和储层的动用程度受到限制;用于浅井和中深井的封隔器机械分层分段改造技术,在超深井中应用风险较大;可钻桥塞分层分段压裂技术用于超深井时效率较低,同时,风险较大;所以,对于超深井,发展安全高效的暂堵分层分段改造技术是重要趋势。二是酸压裂缝前部有效酸蚀和大幅度提高Ⅱ类、Ⅲ类碳酸盐岩储层改造体积技术。无论是前置液酸压,还是酸液酸压,现有技术都存在酸压裂缝前部

无法酸蚀问题,而常用的前置液酸压,酸压裂缝前部无法酸蚀的距离更长、范围更广,影响酸压效果的程度可能会更大,所以,如何使酸压裂缝前部得到有效酸蚀,实现全裂缝有效酸压,进一步提高酸化酸压效果,是需要攻关研究的重要方向。对于大量低孔低渗和特低孔特低渗孔隙型或裂缝不发育的孔隙—裂缝型Ⅱ类、Ⅲ类碳酸盐岩储层,采用常规的酸化酸压技术改造储层体积有限,从而影响改造效果与储层的动用程度;如何提高这类储层的改造体积,改善储层改造效果,提高开发效益,是重要技术研究和发展方向。

深层裂缝型储层堵水技术,国内目前的发展方向主要在耐高温高盐化学封堵体系的研究方面。基于聚乙烯亚胺的凝胶体系及基于抗水解材料的研究成为主要发展方向之一,航空航天领域一些新型材料的研发思路也可能将为高温材料的研究提供方向。

油井深抽优化设计技术,常规的举升优化设计技术不能满足深井采油的需要,深井超深井的设计分析方法与常规井相比,需要考虑的因素更多,模型更为复杂,需要进一步研究解决。深井举升方式优选是保证油井全生命周期高效、长效开采的保证,需要进行攻关研究;有杆泵举升仍然将是国内深井举升的主体技术,实现深井复杂井眼下的三维井筒力学分析是需要攻克的难题;同时,如何利用深井有杆泵举升在地面、井筒、抽油泵等装备和技术方面取得的进展,优化组合现有技术,达到提高举升力、延长检泵周期的目的,是近期需要研究解决的问题;深井组合式接替举升是一个较新的研究方向,若能突破将为深井举升提供一种新思路。

深层气井排水采气技术主要体现在3个方面:  
①提升现有排水采气技术能力。通过提高化学剂的性能、工具材质等,使其具有抗高温、高压、高矿化度、含酸性气体的能力;②排水采气智能化。随着出水井越来越多,单靠人工的单井排水工作量太大,成本也太高,发展排水采气集成技术,攻关研究深层气井智能化排水采气技术是重要的发展方向;③发展组合排水采气技术。随着气井压力、产量的降低,单一工艺无法形成好的排水效果,将2种或多种工艺组合在一起将发挥更好的效果,也是需要研究解决的发展方向。

### 3 结论

由于深层勘探中面临的大深度、高温、高压的地下地质条件,具有投资大、风险高的特点,但只要形成

适用性和经济性的技术体系,就可以实现高效低成本勘探开发,例如安岳气田龙王庙组天然气的发现成本只有0.39美元/m<sup>3</sup>。目前处于国际低油价期,油气公司面临降低成本、保持效益规模的巨大挑战。因此在从事深层油气勘探时,应在立足于找“规模油气藏”、寻找优质储量,以达到降本增效的目的。

“工欲善其事,必先利其器”,本文所梳理的四大配套工程技术体系是将深层复杂地质潜在资源量变为规模储量,将规模储量变为产量的重要技术系列,很大程度上决定着深层油气勘探开发的发展程度,一定意义上决定着石油上游业务发展的进程。虽然低油价时代,深层油气发展面临诸多挑战,但纵观石油勘探开发历程,低油价时代反而是新技术发展的主要阶段,随着工业4.0时代的到来,数字化、信息化技术发展进入创新活跃期,石油工业到了“高新技术取胜”的时代,深层油气勘探开发技术也面临技术发展的新机遇。《能源发展战略行动计划(2014—2020年)》明确提出,到2020年天然气比重达到10%以上,而深层天然气资源丰富,同时“中国制造2025”提出智能制造被定位为中国制造的主攻方向,为包括油气装备制造在内的工程技术发展提供了良好的发展机遇和环境,为深层油气勘探开发四大配套工程技术体系的发展创造条件,为深层油气资源规模发现、精确预测、快速勘探、高效开发提供了保障。

### 参考文献(References)

- [1] Exxon Mobil Corporation.Sakhalin-1 Project Breaks Own Record for Drilling World's Longest Extended-Reach Well[Z]. Exxon Mobil Corporation,2011.
- [2] Krayushkin V A.The plutonic oil-gas fields[J].Нефтьгаз,2008,88(2):104-116.
- [3] Pang Xiongqi.Genetic mechanism and distribution pattern of deep oil and gas reservoirs[C]//The 6<sup>th</sup> CAPG.Beijing,Petroleum Geology Specialized Committee of Chinese Petroleum Society,Petroleum Geology Specialized Committee of Chinese Geological Society,2015.[庞雄奇.深层油气藏成因机制与分布发育规律[C]//第六届石油地质年会.北京:中国石油学会石油地质专业委员会,中国地质学会石油地质专业委员会,2015.]
- [4] Du Jinhui,Zhao Xianzheng,Zhang Yiming,*et al*.Great discovery made in risk exploration of Niudong 1 Well and its significance[J].China Petroleum Exploration,2012,(1):1-7.[杜金虎,赵贤正,张以明,等.牛东1风险探井重大发现及其意义[J].中国石油勘探,2012,(1):1-7.]
- [5] Zhao Wenzhi,Zou Caineng,Li Jianzhong,*et al*.Comparative study on volcanic hydrocarbon accumulations in western and eastern China and its significance[J].Petroleum Exploration and Development,2009,36(1):1-11.[赵文智,邹才能,李建

- 忠,等.中国陆上东、西部地区火山岩成藏比较研究与意义[J].石油勘探与开发,2009,36(1):1-11.]
- [6] Kang Yuzhu. Cases of discovery and exploration of marine fields in China(Part 4): Tahe Oilfield in Tarim Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2005, 10(4): 31-38.[康玉柱.中国海相油气田勘探实例之四:塔里木盆地塔河油田的发现与勘探[J].海相油气地质,2005,10(4):31-38.]
- [7] Zhou Xinyuan, Yang Haijun, Hu Jianfeng, et al. Cases of discovery and exploration of marine fields in China(Part 13): Donghetang sandstone oilfield in Tarim Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2010, 15(1): 73-78.[周新源,杨海军,胡剑风,等.中国海相油气田勘探实例之十三:塔里木盆地东河塘海相砂岩油田勘探与发现[J].海相油气地质,2010,15(1):73-78.]
- [8] Ma Xinhua. A golden era for natural gas development in the Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2017, 37(2): 1-10. [马新华.四川盆地天然气发展进入黄金时代[J].天然气工业,2017,37(2):1-10.]
- [9] Wang Zhaoming, Xie Huiwen, Chen Yongquan, et al. Discovery and exploration reservoir Cambrian subsalt dolomite original hydrocarbon Zhongshen-1 Well in Tarim Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2014, 19(2): 1-12.[王招明,谢会文,陈永权,等.塔里木盆地中深1井寒武系盐下白云岩原生油气藏的发现与勘探意义[J].中国石油勘探,2014,19(2):1-12.]
- [10] Du Jinhui, He Haiqing, Pi Xuejun, et al. CNPC obtained strategic discoveries and successful experience in venture exploration[J]. China Petroleum Exploration, 2011, 16(1): 1-8.[杜金虎,何海清,皮学军,等.中国石油风险勘探的战略发现与成功做法[J].中国石油勘探,2011,16(1):1-8.]
- [11] Huang Wei, Men Guangtian, Ren Yanguang, et al. Discovery and Exploration Technology of Xu Shen Gasfield[M]//2008 Annual Compilation of New Progress in Geological Science and Technology and New Achievements in Geological Prospecting in China. Beijing: Geological Society of China, 2008: 184.[黄薇,门广田,任延广,等.徐深气田发现及勘探技术[M]//2008年度中国地质科技新进展和地质找矿新成果资料汇编.北京:中国地质学会,2008:184.]
- [12] Kuang Lichun, Lü Huantong, Wang Xulong, et al. Exploration of volcanic gas reservoirs and discovery of the Kelameili Gasfield in the Junggar Basin[J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(2): 1-6.[匡立春,吕焕通,王绪龙,等.准噶尔盆地天然气勘探实践与克拉美丽气田的发现[J].天然气工业,2010,30(2):1-6.]
- [13] Zou Caineng, Du Jinhui, Xu Chunchun, et al. Formation, distribution, resource potential and discovery of the Sinian-Cambrian giant gasfield, Sichuan Basin, SW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(3): 278-293.[邹才能,杜金虎,徐春春,等.四川盆地震旦系—寒武系特大型气田形成分布、资源潜力及勘探发现[J].石油勘探与开发,2014,41(3):278-293.]
- [14] Guo Xusheng, Guo Tonglou, Huang Renchun, et al. Cases of discovery and exploration of marine fields in China(Part 16): Yuanba Gasfield in Sichuan Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2014, 19(4): 57-64.[郭旭升,郭彤楼,黄仁春,等.中国海相油气田勘探实例之十六:四川盆地元坝大气田的发现与勘探[J].海相油气地质,2014,19(4):57-64.]
- [15] Shen Hao, Wang Hua, Wen Long, et al. Natural gas exploration prospect in the Upper Paleozoic strata, NE Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2016, 36(8): 11-21.[沈浩,汪华,文龙,等.四川盆地西北部上古生界天然气勘探前景[J].天然气工业,2016,36(8):11-21.]
- [16] Wen Shenming, Liu Xingxiao. Characteristics of seismic attributes of deep buried carbonate reservoirs in Tarim Basin[C]// Symposium on Dynamics and Hydrocarbon Accumulation of Tarim Basin and Its Surrounding Areas. Korla: Sedimentary Geology Specialized Committee of Chinese Geological Society, 2004.[温声明,刘兴晓.塔里木盆地深埋碳酸盐岩储层地震属性特征研究[C]//塔里木及周边地区盆地(山)动力学与油气聚集学术研讨会.库尔勒:中国地质学会沉积地质专业委员会,2004.]
- [17] Chen Guangpo, Pan Jianguo, Tao Yunguang. The application of carbonate karst multiple information for predictive reservoir and effect analysis[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2005, 44(1): 33-36.[陈广坡,潘建国,陶云光.碳酸盐岩溶型储层综合预测评价技术的应用及效果分析[J].石油物探,2005,44(1):33-36.]
- [18] Li Guohui, Yuan Jingyi, Luo Haoyu, et al. Quantitative description technology for fracture-cavity carbonate reservoirs in Halahatang area, Tarim Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2015, 20(4): 24-29.[李国会,袁敬一,罗浩渝,等.塔里木盆地哈拉哈塘地区碳酸盐岩缝洞型储层量化雕刻技术[J].中国石油勘探,2015,20(4):24-29.]
- [19] Li Xueyi. A discussion on the technical difficulties and countermeasures to carry out seismic exploration in the carbonate rock areas of Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2000, 20(2): 12-16.[李学义.四川盆地碳酸盐岩地区地震勘探技术难点及对策探讨[J].天然气工业,2000,20(2):12-16.]
- [20] Zhou Lu, Li Dong, Wu Yong, et al. The seismic response characteristics and distribution of the reefs in the Changxing Formation, northern Sichuan Basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2017, 33(4): 1189-1201.[周路,李东,吴勇,等.四少川盆地北部长兴组生物礁地震响应特征与分布规律[J].岩石学报,2017,33(4):1189-1201.]
- [21] Zhang Guangrong, Ran Qi, Liao Qi, et al. Key seismic exploration technology for the Longwangmiao Formation gas reservoir in Gaoshiti-Moxi area, Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2016, 32(5): 31-37.[张光荣,冉崎,廖奇,等.四川盆地高磨地区龙王庙组气藏地震勘探关键技术[J].天然气工业,2016,32(5):31-37.]
- [22] Zhang Guangya, Ma Feng, Liang Yingbo, et al. Domain and theory-technology progress of global deep oil & gas exploration[J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(9): 1156-1166.[张光亚,马锋梁,英波,等.全球深层油气勘探领域及理论技术进展[J].石油学报,2015,36(9):1156-1166.]
- [23] Sun Longde, Fang Chaoliang, Sa Liming, et al. Innovation and prospect of geophysical technology in the exploration of deep

- oil and gas [J]. Petroleum Exploration and Development, 2015, 42(4): 414-423. [孙龙德, 方朝亮, 撒利明, 等. 地球物理技术在深层油气勘探中的创新与展望 [J]. 石油勘探与开发, 2015, 42(4): 414-423.]
- [24] Xiao Fusen, Ran Qi, Tang Yulin, et al. Key technologies and their application to seismic exploration of the deep marine carbonate reservoirs in the Leshan-Longnusi Paleouplift, Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2014, 34(3): 67-73. [肖富森, 冉崎, 唐玉林, 等. 乐山—龙女寺古隆起深层海相碳酸盐岩地震勘探关键技术及其应用 [J]. 天然气工业, 2014, 34(3): 67-73.]
- [25] Liang Shunjun, Lei Kaiqiang, Wang Jing, et al. Seismic research and natural gas exploration breakthrough in DB-KS gravel zone in Kuqa Depression [J]. China Petroleum Exploration, 2014, 19(5): 49-56. [梁顺军, 雷开强, 王静, 等. 库车坳陷大北—克深砾石区地震攻关与天然气勘探突破 [J]. 中国石油勘探, 2014, 19(5): 49-56.]
- [26] Cao Wuxiang. Comparing analysis between data from analog geophone and DSU [J]. Progress in Exploration Geophysics, 2007, 30(2): 96-101. [曹务祥. 模拟和数字检波器的资料响应特征对比分析 [J]. 勘探地球物理进展, 2007, 30(2): 96-101.]
- [27] Chen Zhide, Guan Xin, Li Ling, et al. A processing method for high fidelity and wide frequency band seismic data collected by digital sensors [J]. Oil Geophysical Prospecting, 2012, 47(1): 46-55. [陈志德, 关听, 李玲, 等. 数字检波器地震资料高保真宽频带处理技术 [J]. 石油地球物理勘探, 2012, 47(1): 46-55.]
- [28] Maxwell P, Tcssman J, Reichert B. Design through top production of a MEMS digital accelerometer for Seismic acquisition [J]. First Break, 2001, 19(3): 141-143.
- [29] Liu Yuanzhi, Yu Wenke, Liang Yong. Study on 3D observation layout variation technique applied in the seismic surveying across the large obstacle in the Sanxingdui Site [J]. Geophysical & Geochemical Prospecting Calculation Technology, 2010, 32(6): 594-600. [刘远志, 余文科, 梁勇. 三星堆遗址大型障碍物三维变观技术研究 [J]. 物探化探计算技术, 2010, 32(6): 594-600.]
- [30] Sun Jun. The study of varying-velocity mapping in complex structural region in front-zone of mountains [J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2013, 10(6): 880-884. [孙均. 山前复杂构造带变速成图速度研究 [J]. 工程地球物理学报, 2013, 10(6): 880-884.]
- [31] Feng Xukui. The Key Imaging Technology in Complex Piedmont Structure Exploration [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2015. [冯许魁. 山前复杂高陡构造地震成像关键技术 [D]. 成都: 成都理工大学, 2015.]
- [32] Biondi B, Symes W. Angle-domain common-image gathers for migration velocity analysis by wavefield-continuation imaging [J]. Geophysics, 2004, 69(5): 1283-1298.
- [33] Tang Yiyuan, Zhou Li, Zhang Juewen, et al. Optimized and fast drilling technologies for Longwangmiao Formation, Gaoshit-Moxi block, Sichuan Basin [J]. Natural Gas Technology and Economy, 2015, 9(1): 34-39. [唐一元, 周礼, 张觉文, 等. 高石梯—磨溪构造龙王庙组优快钻井技术研究 [J]. 天然气技术与经济, 2015, 9(1): 34-39.]
- [34] Liu Wei, Li Li. Optimized and fast drilling technologies used for extra-deep wells, northeastern Sichuan Basin [J]. Natural Gas Technology and Economy, 2011, 5(2): 38-40. [刘伟, 李丽. 川东北地区超深井优快钻井技术 [J]. 天然气技术与经济, 2011, 5(2): 38-40.]
- [35] Zhou Jian, Liu Yongwang, Jia Hongjun, et al. Study to improve ROP in thick salt-gypsum layers at Kuqa piedmont area [J]. Drilling & Production Technology, 2017, 40(1): 21-24. [周健, 刘永旺, 贾红军, 等. 库车山前巨厚盐膏层提速技术探索与应用 [J]. 钻采工艺, 2017, 40(1): 21-24.]
- [36] Yang Jinhua, Guo Xiaoxia. Application of new technology-single bit-run drilling [J]. Oil Technology Forum, 2017(2): 38-40. [杨金华, 郭晓霞. 一趟钻新技术应用与进展 [J]. 石油科技论坛, 2017(2): 38-40.]
- [37] Wang Haige, Ge Yunhua, Shi Lin. Technologies in deep and ultra-deep well drilling: Present status, challenges and future trend in the 13<sup>th</sup> Five-Year Plan period (2016-2020) [J]. Natural Gas Industry, 2017, 37(4): 1-8. [汪海阁, 葛云华, 石林. 深井超深井钻完井技术现状、挑战和“十三五”发展方向 [J]. 天然气工业, 2017, 37(4): 1-8.]
- [38] Deng Chuanguang, Zhang Jun, Chang Hongqu, et al. ROP enhancement techniques and their application in the Gaoshit-Moxi block Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2014, 34(3): 115-120. [邓传光, 张军, 常洪渠, 等. 高石梯—磨溪区块探井钻井提速配套技术及其应用效果 [J]. 天然气工业, 2014, 34(3): 115-120.]
- [39] Xu Jingling, Wang Yajing, Cao Guangwei, et al. Well logging evaluation methods on carbonate reservoirs [J]. Geoscience, 2012, 26(6): 1465-1274. [徐敬领, 王亚静, 曹光伟, 等. 碳酸盐岩储层测井评价方法 [J]. 现代地质, 2012, 26(6): 1465-1274.]
- [40] Wang Jieyi, Gao Qiutao. Logging techniques and their applications in ultra high temperature & pressure wells [J]. Well Logging Technology, 2008, 32(6): 556-561. [王界益, 高秋涛. 超高温高压井测井技术及应用 [J]. 测井技术, 2008, 32(6): 556-561.]
- [41] Editorial Office of Petroleum Drilling Techniques. New high temperature and high pressure logging tool-Nautilus Ultra of Baker Hughes Company [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42(6): 91. [石油钻探技术编辑部. Baker Hughes 公司新型高温高压测井工具 Nautilus Ultra [J]. 石油钻探技术, 2014, 42(6): 91.]
- [42] Zhu Youqing, Fu Yousheng, Yang Xiaoling. Application of nuclear magnetic resonance logging in deep gas exploration [J]. Logging Technique, 1998, 22(supplement): 77-80. [朱友青, 付有升, 杨晓玲. 核磁共振测井在深层天然气勘探中的应用 [J]. 测井技术, 1998, 22(增刊): 77-80.]
- [43] Xiao Chengwen, Zhang Chengsen, Liu Shiwei, et al. Logging evaluation technology of Cambrian deep dolomite reservoir in Tazhong area [J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(7): 1323-1333. [肖承文, 张承森, 刘世伟, 等. 塔中寒武系深层白云岩储层测井评价技术 [J]. 天然气地球科学, 2015, 26(7): 1323-1333.]
- [44] Tim Parker, Taher Koriam. New sensorsimprove data gather-

- ingen extremedrilling environment[Z].E&P,2015,8:11.
- [45] Editorial Office of Petrochemical Application.The far detecting acoustic wave reflection imaging logging instrument has reached the international advanced level [J]. Petrochemical Application,2012,31(1):112.[《石油化工应用》编辑部.远探测声波反射波成像测井仪达到国际领先水平[J].石油化工应用,2012,31(1):112.]
- [46] Zhao Lizi, Xie Bing, Qi Baoquan, et al. Well log assessment technique in the analysis of the petrophysical properties of deepmarine carbonate reservoirs in the Leshan-Longniisi paleouplift in the Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2014, 34(3):86-92.[赵路子, 谢冰, 齐宝权, 等.四川盆地乐山—龙女寺古隆起深层海相碳酸盐岩测井评价技术[J].天然气工业, 2014, 34(3):86-92.]
- [47] Su Shufan.Introduction of deep well test(gas) technology in Sichuan area[J].Oil Drilling & Production Technology,1979 (7):7-18.[苏树藩.四川地区深井试油(气)工艺介绍[J].石油钻采工艺,1979,(7):7-18.]
- [48] Zhou Xinyuan, Yang Haijun.Practice and effectiveness of carbonate oil-gas reservoir exploration-development integration in Tarim Oilfield[J].China Petroleum Exploration, 2012, 17 (5):1-9.[周新源, 杨海军.塔里木油田碳酸盐岩油气藏勘探开发一体化实践与成效[J].中国石油勘探, 2012, 17(5):1-9.]
- [49] Li Yang, Xue Zhaojie.Challenges and development tendency of engineering technology in oil and gas development in SIN-OPEC[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2016, 44(1): 1-5. [李阳,薛兆杰.中国石化油气田开发工程技术面临的挑战与发展方向[J].石油钻探技术,2016,44(1):1-5.]

## Status and prospects of exploration and exploitation key technologies of the deep oil & gas resources in onshore China

Yao Gen-shun<sup>1,2</sup>, Wu Xian-zhu<sup>3</sup>, Sun Zan-dong<sup>4</sup>, Yu Chun-hao<sup>5</sup>, Ge Yun-hua<sup>6</sup>,  
Yang Xian-you<sup>7</sup>, Wen Long<sup>8</sup>, Ni Chao<sup>1</sup>, Fu Xiao-dong<sup>1</sup>, Zhang Jian-yong<sup>1,2</sup>

(1.*PetroChina Hangzhou Research Institute of Geology*, Hangzhou 310023, China ; 2.*CNPC Key Lab of Carbonate Reservoir*, Hangzhou 310023, China ; 3.*CNPC Chuanqing Drilling Engineering Company Limited*, Chengdu 610051, China ; 4.*BGP Inc., China National Petroleum Corporation*, Zhuozhou 072751, China ; 5.*China National Logging Corporation*, Xi'an 710077, China ; 6.*CNPC Drilling Research Institute*, Beijing 102206, China ; 7.*PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development*, Beijing 100083 ; 8.*PetroChina Southwest Oil and Gas Field Company*, Chengdu 610056, China )

**Abstract:** In recent years, China's deep oil & gas exploration and exploitation has developed rapidly. Technological development has played an important role in rapid exploration and high efficiency development. Aimed at the complex engineering geological environment of deep oil & gas in China, this paper has combed the four technological systems that have made great progress, mainly including: (1) seismic imaging and reservoir prediction techniques for deep complex structures, “2W1S” technique (wide-band, wide azimuth and small bin), RTM (Reverse Time Migration), integrated modeling technology for belt, and variable velocity mapping technique, improving structural interpretation accuracy, ensuring high precision imaging and prediction of deep geological bodies; (2) deep speed raising and efficiency drilling technology series, which greatly improved the drilling speed, reduced drilling cost and drilling risk; (3) development of deep high temperature and high pressure logging technology series, which provided a guarantee for the accurate identification of reservoir properties and fluid properties; (4) the deep and efficient development technology, especially the deep reservoir, which improved the development and maturity of the reconstruction volume technology, the production of single well and the benefit of deep oil and gas development. Based on the analysis of the current development of the four major technological systems, focused on the challenges of deep oil and gas exploration and development, this paper further points out the development direction of the four major technology series of deep oil and gas exploration and development, pointing out that the development of technical system of applicability and economy is the key to realize high efficiency and low cost exploration and development of deep oil and gas.

**Key words:** Deep oil & gas; Exploration and exploitation technologies; Seismic; Logging; Drilling; Petroleum reservoir stimulation