

页岩气地球物理勘探技术发展现状

袁桂琴, 孙跃, 高卫东, 石旭东, 王英秀

(中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 河北廊坊 065000)

[摘要]近年来,全球页岩气产业迅速升温,特别是北美页岩气的快速发展改变了世界能源供应格局。我国页岩气资源潜力巨大,已经引起政府和相关企业的高度关注。页岩气储集层具有高自然伽马、低声波速度、低密度、高电阻率等地球物理特性,这些特性是页岩气勘探地球物理技术识别与评价的依据。当前我国页岩气勘探开发总体处在起步阶段,主要任务是有利目标区域的优选和资源量评价,以及开展关键技术的试验研究。本文通过页岩气地球物理勘探技术发展现状的分析,指出地球物理勘探技术作为页岩气储层评价和增产改造的关键技术,应重点在建立页岩气储层测井评价方法和标准、页岩气储层地震资料各向异性处理和多波反演技术等方面加强研究。加大页岩气勘探工作的投入,基础性研究与关键技术研发相结合,借鉴国外成功经验与自主创新研发相结合,部署开展基础性页岩气资源调查评价,探索建立适合我国地质特点的页岩气地球物理勘探评价技术体系。

[关键词]页岩气 地球物理勘探 地球物理测井 地震勘探 储层评价

[中图分类号]P631 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2013)05-0945-6

Yuan Gui-qin, Sun Yue, Gao Wei-dong, Shi Xu-dong, Wang Ying-xiu. Development status of the shale gas geophysical prospecting technology[J]. *Geology and Exploration*, 2013, 49(5): 0945-0950.

0 前言

进入20世纪,成功进行大规模商业开发的非常规能源包括:煤层气、油页岩、油砂、页岩气、海洋天然气水合物等。在页岩气方面,美国首先突破了页岩气开采关键技术,已进行大规模商业开发,带动了世界页岩气的勘探与开发(Scott L, *et al.*, 2005; 张所续, 2013)。我国作为世界第二大油气消费国,开发非常规能源,尤其是页岩气资源,对我国经济发展和改善能源结构具有重要的现实意义。

用于页岩气勘探的方法有地质、地球物理、地球化学、钻井等,且呈现出以地球物理手段为主的多种综合方法应用的特点。从寻找页岩气开发核心区到钻完井设计,从测井识别页岩气层,到随钻测井,再到压裂裂缝监测,地球物理技术已经融入了页岩气勘探开发的各个阶段,成为页岩气勘探开发不可或缺的基本技术。

1 国内外页岩气地球物理勘探技术发展现状

20世纪70年代,美国页岩气研究重点集中在两个方面:一是页岩层的定性和定量描述、地质-地球化学理论研究及资源潜力评价;二是加强开发工程技术攻关,如新型钻井、完井、压裂技术和增产工艺的研发,使页岩气资源正式成为新的天然气资源勘探开发目标,推动了美国页岩气广泛商业性开采。20世纪90年代,美国逐步构建了以岩心实验为基础、以测井定量解释为手段,以地震预报为方向、以储集层改造为重点和以经济评价为主导的勘探开发体系(Amie M Lucier, *et al.*, 2011)。美国非常规油气公司在注重页岩气开发技术创新的同时,逐步开始关注页岩气藏的地质特征与区域地质背景的研究,以期增加高产井的数量(周小琳, 2012)。2009~2011年,CGGVeritas公司分别在Haynesville地区和Marcellus地区完成4700km²和8500km²的三维地震勘探工作,结合钻井成果获得了很好的成效,充

[收稿日期]2013-03-11; [修订日期]2013-06-06; [责任编辑]郝情情。

[基金项目]地质调查项目(1212011121131)资助。

[第一作者]袁桂琴(1964年-),女,教授级高工,从事物化探战略研究。E-mail:yuanguiqin@igge.cn。

分显示出地球物理技术已经成为页岩气勘探开发中必不可少的手段(刘振武等,2011)。

加拿大是第二个开展页岩气勘探开发的国家,页岩气生产也有数十年的历史。2007年加拿大第一个商业性页岩气藏投入开发,2008年在加拿大北部偏远地区发现了页岩气藏,有望成为北美洲最大的储气盆地。同时,国际化的商业合作活动相继展开。

页岩气勘探开发虽然在全球特别是北美地区取得重大进展,但勘探开发中的地球物理技术研究与应用却相对滞后。美国深入研究了页岩气的地质成藏理论,并针对页岩气储层的特点开发了储层评价技术,这些理论与技术是近几年刚刚兴起的前沿技术,系统理论方法和实用技术还在逐渐形成中,尚未见到系统的、配套完善的页岩气预测和评价地球物理方法。

国外页岩气勘探主要采用地震技术,以存在于裂缝发育带中的页岩气藏为主要目标。常用的裂缝发育带及含气性地震预测方法有:基于地震构造解释和沉积分析的裂缝预测、叠后地震属性裂缝预测、叠前地震属性裂缝预测、方位地震P波属性裂缝预测、多波多分量地震属性裂缝预测、地震与测井综合裂缝预测和裂缝综合预测等。高分辨率三维地震技术有助于准确认识复杂构造、储层非均质性和裂缝发育带,主要是通过相干分析技术、地震属性分析、层间切片等预测页岩的空间展布和相对高有机碳、高孔渗及微裂缝发育的层段和地区,提高探井(或开发井)成功率。微地震裂缝技术可用于预测裂缝生成方向,以及优化水力压裂设计和裂缝走向,改善水平井水力压裂评估。

与北美相比,中国页岩气勘探起步较晚,而与全球其他地区相比,中国页岩气勘探处于领先地位,为北美以外地区率先实现页岩气突破和工业化先导试验的国家(邹才能等,2011)。我国于20世纪90年代向页岩气开发领域进军,但由于受地质条件以及开发技术的限制,一直没有形成规模化开发(李武广等,2011)。探索研究主要集中在页岩气资源评价理论与方法、成藏特征和成藏机理等方面,以调查富有机质页岩的基本特征为目标,主要手段为地质浅井和地表地质调查(李玉喜等,2011)。2011年,我国陆相页岩气勘探取得重大突破,中国第一口陆相页岩气出气井点火成功。随着页岩气勘探开发的全面展开,与页岩气相关的配套地球物理关键技术的研究迫在眉睫。

针对页岩气勘探开发所需的地球物理技术,“川西页岩气地球物理预测与评价技术研究”项目通过立项论证,以页岩气的岩石物理特征、地震响应特征和测井响应特征为基础,开展页岩气资源评价、储层识别、储层改造、有效开发各环节中的地球物理技术研究;通过建立页岩气测井及地震预测、评价方法,推进和完善页岩气产层评价、产层预测及工程参数预测方法系列,对提高当前国内页岩气勘探开发成功率及经济效益具有重要价值。李志荣(2011)等通过四川盆地南部页岩气的勘探实践,对页岩气地球物理勘探技术进行探索和研究,提出了适合于中国地质特征的页岩气地球物理勘探评价方法与技术思路。

地球物理测井是识别、评价页岩气储层,并为后期完井提供指导参数的重要手段。主要涉及自然伽马测井、井径测井、声波时差测井、中子密度测井、电阻率测井、岩性密度测井、地层密度测井等(Hill D G, *et al.*, 2004)。国外含气页岩的测井解释评价日趋完善,各测井服务公司都已经有了成形的软件系统,贝克休斯公司发展了一套专门应用于页岩气评价的软件—页岩气专家系统;斯伦贝谢也研发出了应用于解释评价的页岩气模块。近几年,国外在页岩气测井评价方面的工作主要体现在对ECS测井(Elemental Capture Spectroscopy)和高分辨率成像测井的应用。另外有研究表明,感应测井与岩石介电常数有关的X分量负异常与干酪根的存在及其类型之间有一定的相关性(莫修文,2011)。

我国页岩气地球物理测井研究工作总体处于起步状态,页岩气藏岩石物理基础研究和实验分析技术尚属空白,测井解释方法和软件缺乏,页岩气地球物理测井工作以跟踪国外发展动态为主。2010年2月由斯伦贝谢公司(Schlumber)对中国第一口页岩气井进行测井作业,国内测井服务公司和研究机构参与进行了测井解释评价(郝建飞等,2012)。

齐宝权等(2011)经过对四川盆地南部W_x井页岩气储层部分物性参数的初步处理,有针对性地选取测井项目,探讨了页岩气的测井解释模式,对今后页岩气储层测井解释评价工作具有参考意义。页岩气储层与常规气储层的差异很大,其渗透率极低的特点决定了开发必需采用适当的增产技术如储层评价技术,才能实现商业开发(赵群等,2008)。测井和取心是页岩气储层评价的两种主要手段。Schlumber公司应用测井数据,包括ECS来识别储层特征(贾飞雄,2013)。成像测井可以识别出裂缝

和断层,并能对页岩进行分层。声波测井可以识别裂缝方向和最大主应力方向,进而为气井增产提供数据。岩心分析主要是用来确定孔隙度、储层渗透率、泥岩的组分、流体及储层的敏感性,并分析测试TOC和吸附等温曲线。

页岩储集层的含气性及产气能力与裂缝的发育情况关系密切,对页岩裂缝进行检测,可为页岩气储集层的含气性检测提供最直接的依据(曲寿得,2003;陈佳梁等,2004)。李曙光等(2011)利用因岩性各向异性而产生的地震波各向异性、快慢横波分裂、曲率相干属性、频变AVO等几种裂缝检测识别页岩气储集层的方法,为页岩气的地球物理勘探提供了技术思路。蒋裕强等(2010)借鉴美国页岩气勘探成功经验,综合利用四川盆地最新的浅井钻探和野外露头取样资料,筛选出有机质丰度、热成熟度、含气性等八大关键地质因素,进而提出了一套较为适用的储层评价标准。

北美裂隙性页岩气勘探开发经验证明,有机质丰度高的细粒碎屑岩往往伴随放射性元素含量增加、岩石密度降低、声波速度降低、电阻率增大、以及氢和碳含量增加的一般规律,因此利用常规测井组合的响应特征,可以系统测量成熟泥页岩参数(李新景,2007)。

了解页岩气储层岩石地球物理特征对于弄清控制岩石物理特性的各因素之间的相互作用很重要。页岩油气储层参数的定量评价比较困难,国内还处于研究起步阶段。国外开展相关研究较早,建立了各自的评价方法和流程,开发了相关的测井解释软件。评价方法各不相同,对于页岩油气储层定量评价目前没有统一的工业标准流程,概况起来有两大类:一类是基于岩心数据建立岩电统计模型;另一类是丰富常规测井信息求解岩石物理体积模型。

页岩矿物成分和储层结构评价、页岩储层标准的建立、裂缝类型识别与岩石力学参数评价等方面的研究,是页岩气测井技术评价的重点。研究表明,深层页岩气测井评价技术是中国与国外的最大差距,也是中国页岩气测井评价技术的核心问题(刘双莲等,2011)。

根据国外页岩气勘探开发经验,水平井钻井和储层改造是页岩气勘探开发提高产量的关键技术,而地球物理方法则是优化页岩气钻井及储层压裂改造部署的必要技术支撑,能始终贯穿服务和指导勘探开发工程。2010年首次分别在四川盆地南部完钻了页岩气井W_x井和N_x井,继而又开始了水平分

支井的实施,标志着我国页岩气勘探开发迈出了成功的一步,特别是在页岩气地质选区、钻完井技术、储层改造技术等方面有了初步的认识,同时对利用测井和地震勘探等方法进行页岩气高产富集区识别预测和评价,以及为钻井轨迹设计和储层改造目标提供技术支撑方面提出了迫切要求(齐宝权等,2011)。

2009年川渝鄂开展了蜀南、富顺-永川、长宁、昭通等4个区块页岩气二维地震及威远、长宁2个页岩气三维地震项目,从数据采集到资料处理解释进行系统全面的技术攻关。2013年保靖区块页岩气二维地震勘探项目,部署二维地震测线12条,重点针对区内构造特征、页岩层发育情况。这些项目的启动,标志着我国页岩气勘探开发将进入一个全新的时期。

2 页岩气地球物理勘探技术发展重点

由于页岩气储集层具有高自然伽马、低速度、高含氢量、低密度、高电阻率等地球物理特性,与常规油气勘探类似,地球物理测井和地震等技术是当前用于页岩气勘探最主要的地球物理方法(张键等,2012)。根据国内外有关页岩气地球物理技术发展状况,页岩气地球物理技术大致包括页岩气储层岩石物理技术、页岩气测井评价技术、页岩气地震资料采集及特殊处理技术、页岩气地震识别与综合预测技术、页岩气非地震技术、微地震压裂监测等技术系列(刘振武等,2011),其发展重点如下。

页岩气储层岩石物理技术:围绕页岩运动学和力学性质实验室测试技术进行攻关,形成配套技术;储备页岩气储层电学及声学特征实验技术与实验手段,研究页岩气储层的地球物理响应特征;超前研究页岩气储层地震各向异性岩石物理建模技术。

页岩气测井评价技术:建立适合我国页岩气勘探的测井技术系列。随钻测井在水平井钻井中起着不可替代的地质导向作用,而且随钻测井资料不受泥浆侵入的影响,资料真实可靠并且更加经济。测井新技术(如核磁共振测井、微电阻率成像测井、元素俘获能谱测井等)在页岩气定量解释评价方面应该有着更为广阔的前景(刘双莲等,2011)。对裂缝识别及定量评价技术进行攻关,形成成熟、配套的页岩气储层物性参数测井处理和评价工作流程,建立页岩气测井识别和评价标准。

页岩气地震资料采集及特殊处理技术:攻克高信噪比地震资料采集技术,提高地震资料品质;地震

资料处理和反演过程中考虑地震各向异性的影响是一个热点问题,也是进一步提高地震资料品质的关键(Sondergeld *et al.*, 2011; 孙龙德, 2013)。Paradigm 公司的 EarthStudy 360°全方位角度域成像、解释、可视化和描述系统,在利用地球物理手段研究页岩气储层各向异性特征方面作了有益的尝试(Zvi Koren *et al.*, 2009)。

页岩气储层地震识别与综合预测技术:页岩层厚度与埋深预测技术已经成熟,需进一步提高预测精度;研究页岩气地震响应,并形成配套的、可用于工业化生产的识别和预测技术(罗蓉等, 2011)。当前急需加强井中地震数据采集技术研究,其数据处理和资料解释技术亟待研发。国外已经开始进行四维 VSP 的生产试验,研究储层各向异性特征的变化,不断提高裂缝检测的精度。在传统的叠后和叠前地震属性分析的基础上,加强宽方位三维地震 P 波勘探及方位地震属性、多波多分量二维和三维地震勘探及多分量地震属性、地震与测井裂缝综合预测应用研究。

微地震压裂监测技术:微地震技术在国外发展很快,已形成了从数据采集到分析、解释以及油藏监测的配套技术系列。国内目前还没有一套完整的微地震监测技术方案及采集设计、处理解释配套软件。基于三维地震解释的水平井轨迹设计技术和微地震监测技术对提高页岩气井产能和采收率至关重要。3DVSP 技术联合微地震监测技术是压裂裂缝监测的有效手段,裂缝预测是页岩气勘探开发中的一项关键技术(林建东, 2012),井中地震与地面地震的联合是提高页岩气综合勘探能力的一种必然发展趋势。

页岩气非地震技术:除地震、测井之外其他的地球物理方法,发展如电磁法、磁法等非地震技术,开展页岩气多方法综合预测和评价,多学科综合研究必然会使预测结果更趋合理。

3 页岩气地球物理勘探技术发展保障条件

页岩气勘探面临的关键技术问题是核心区选区及储层识别与评价,在页岩气储层评价中,需建立页岩气储层测井评价方法和标准;对地震技术而言,主要用于页岩储层分布、厚度以及页岩储层物性、含气性等方面的研究。从我国页岩气勘探开发战略角度考虑,地球物理勘探技术的发展,除合理部署安排关键技术攻关外,还应重点关注以下几方面。

3.1 加强页岩气基础研究

一系列地质问题认识不足构成了制约中国页岩气发展的瓶颈,尤其是在中国页岩气勘探快速起步的今天,基础研究工作的系统开展对页岩气工业的发展具有重要意义(张金川, 2011)。中国页岩气研究只是近几年的事,而美国页岩气研究至少 30 多年,有的甚至说是上百年,规模开发近 10 年。中国许多基础研究,包括机理研究、参数测定等,由于设施的落后,很难达到精细准确。为此,加强页岩气基础研究迫在眉睫。

3.2 国际合作与自主创新相结合

勘探开发页岩气的尖端技术大多掌握在国际大油气公司手中,先进的钻探技术已使美国的页岩气大规模开发具有经济价值。我国地质条件复杂,特别是陆相页岩热演化程度较低,分布非均质性较强,有效开发需要有针对性的技术。遵循国际合作与自主创新相结合的原则,在借鉴先进技术的基础上,构建具有中国特色的页岩气勘探开发模式。

3.3 企业应作为关键技术研发主体

页岩气对保障国家能源安全、降低能源对外依存度具有重大战略意义。在规划部署、资金安排、项目设置方面,政府要给予政策的支持,企业应作为关键技术研发的主体。在国家科技重大专项计划中增加页岩气研究的比重,从国家层面部署设立页岩气关键技术攻关课题,集合国内外优势技术资源,构建我国页岩气勘探技术研发体系,建立合理的页岩气地球物理勘探技术流程,突破一批适用于勘探生产实践的关键技术。

3.4 加快部署基础性调查工作

目前我国尚未对全国页岩气资源进行系统勘查与评价,页岩气资源评价、储量计算和产能预测的方法需要探索,页岩气资源量、储量和产能尚不清楚,家底不明不利于页岩气资源勘探开发和国家的合理规划部署。

3.5 面向生态文明建设的页岩气勘探开发

页岩气是一种清洁能源,但其勘探生产过程却存在比常规油气生产还要大的环境风险。页岩气的勘探开发需要水压致裂,水压致裂在多个层面存在危害性(王中华, 2013)。在生态环境备受关注的今天,压裂过程中消耗大量的水资源、压裂液对地下水造成的污染等问题要引起重视(岳婷等, 2013)。页岩气井的反流水中的烃类、重金属、微生物和盐类,对水处理提出了挑战,它代表着最难以处理的工业废水。

4 结语

地球物理技术是页岩气勘探中重要的手段,其关键技术的研究突破将会对页岩气规模化勘探开发意义重大。要加强页岩气储层岩石物理性质基础性研究,以及页岩气测井评价、页岩气地震识别与综合预测、页岩气非地震等关键技术研究;同时,合理规划部署与多方联动攻关,基础性研究与实用技术研发相结合,借鉴国外成熟技术与自主创新相结合,逐步建立具有我国地质特点的页岩气地球物理勘探技术体系。

[References]

- Scott L, Daniel M, Kent A. 2005. Mississippian barnett shale, Fort worth basin North-central Texas: Gas-shale play with multitrillion cubic foot potential [J]. *AAPG Bulletin*, 89(2):155-175
- Zhang Suo-xu. 2013. The exploration and development situation of world shale gas and development of China's shale gas outlook[J]. *China Mining Magazine*, 22(3):1-3 (in Chinese with English abstract)
- Amie M Lucier, Ronny Hofmann L., Taras Bryndzia. 2011. Evaluation of variable gas saturation on acoustic log data from the Haynesville shale gas play, NW Louisiana, USA [J]. *The Leading Edge*, 30(3):300-311
- Zhou Xiao-lin, Wang Jian, Yu Qian, Du Bai-wei, Liu Wei. 2012. A review of geological characteristics of shale gas accumulation information from AAPG annual convention[J]. *Geological Bulletin of China*, 31(7):1155-1163 (in Chinese with English abstract)
- Liu Zhen-wu, Sa Li-ming, Yang Xiao, Li Xiang-yang. 2011. Needs of geophysical technologies for shale gas exploration [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 46(5):810-818 (in Chinese with English abstract)
- Zou Cai-neng, Dong Da-zhong, Yan Hua, Wang Yu-man, Huang Jin-liang, Wang Shu-fang, Fu Cheng-xin. 2011. Conditions of shale gas accumulation and exploration practices in china [J]. *Natural Gas Industry*, 31(12):26-38 (in Chinese with English abstract)
- Li Wu-guang, Yang Sheng-lai, Yin Dan-dan, Lou Yi, Guo Jin, Meng Hu. 2011. Development technology and strategy of shale gas [J]. *Natural Gas and Oil*, 29(1):34-37 (in Chinese with English abstract)
- Li Yu-xi, Qiao De-wu, Jing Wen-li, Zhang Chun-he. 2011. Gas content of gas-bearing shale and its geological evaluation summary [J]. *Geological Bulletin of China*, 30(2-3):308-317 (in Chinese with English abstract)
- Li Zhi-rong, Deng Xiao-jiang, Yang Xiao, Wu Fu-rong, Liu Ding-jin, Zhang Hong, Tan Rong-biao, Zhou Yue-zong. 2011. New progress in seismic exploration of shale gas reservoirs in the southern Sichuan Basin [J]. *Natural Gas Industry*, 31(4):40-43 (in Chinese with English abstract)
- Hill D G, Lombardi T E, Martin J P. 2004. Fractured shale gas potential in New York [J]. *Northeastern Geology and Environmental Sciences*, 26(1-2):57-78
- Mo Xiu-wen, Li Zhou-bo, Pan Bao-zhi. 2011. Method and advance of shale gas formation evaluation by means of well logging [J]. *Geological Bulletin of China*, 30(2-3):400-405 (in Chinese with English abstract)
- Hao Jian-fei, Zhou Can-can, Li Xia, Cheng Xiang-zhi, Li Chao-liu, Song Lian-teng. 2012. Summary of shale gas evaluation applying geophysical logging [J]. *Progress in Geophysics*, 27(4):1624-1632 (in Chinese with English abstract)
- Qi Bao-quan, Yang Xiao-bing, Zhang Shu-dong, Cao zhen. 2011. Logging evaluation of shale gas reservoirs in the southern Sichuan Basin [J]. *Natural Gas Industry*, 31(4):44-47 (in Chinese with English abstract)
- Zhao Qun, Wang Hong-yan, Liu Ren-he, Bai Wen-hua, Zhang Xiao-wei. 2008. Global development and China's exploration for shale gas [J]. *Natural Gas Technology*, 2(3):11-14 (in Chinese with English abstract)
- Jia Fei-xiong, Hou Ya-ni, Jia Dong-lin, Yang Yang, Gao Na. 2013. Present situation of shale gas exploration and development [J]. *Liaoning Chemical Industry*, 42(2):145-148 (in Chinese with English abstract)
- Qu Shou-de, Ji Yu-xin, Wang Xin. 2003. The method of earthquake detection for oil and gas reservoirs in fractured shale [M]. Beijing: Petroleum Industry Press:15-30 (in Chinese)
- Chen Jia-liang, Lan Su-qing, Wang Chang-jie. 2004. Prediction of fractured reservoirs using seismic technology and its application [J]. *Progressing in Exploration Geophysics*, 27(1):35-40 (in Chinese with English abstract)
- Li Shu-guang, Cheng Bing-jie, Xu Tian-ji. 2011. Geophysical characteristics of shale gas reservoir and its identification method [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 32(4):351-352 (in Chinese with English abstract)
- Jiang Yu-qiang, Dong Da-zhong, Qi Lin, Shen Yan-fei, Jiang Chan, He Fu-wei. 2010. Basic features and evaluation of shale gas reservoirs [J]. *Natural Gas Industry*, 30(10):7-12 (in Chinese with English abstract)
- Li Xin-jing, Hu Su-yun, Cheng Ke-ming. 2007. Suggestions from the development of fractured shale gas in North America [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 34(4):392-400 (in Chinese with English abstract)
- Liu Shuang-lian, Lu Huang-sheng. 2011. Evaluation methods and characteristics of log evaluation technology in shale gas [J]. *Well Logging Technology*, 35(2):112-116 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Jian, Liu Jian-yi, Liu Jiang-yu, Feng Qing. 2012. The geophysical characteristics of shale an its significance [J]. *Journal of Chongqing University of Science and Technology (Natural Sciences Edition)*, 14(5):96-99 (in Chinese with English abstract)
- Sondergeld C H and Rai C S. 2011. Elastic anisotropy of shales [J]. *The Leading Edge*, 30(3):324-331
- Sun Long-de, Sa Li-ming, Dong Shi-tai. 2013. New challenges for the future hydrocarbon in China and geophysical technology strategy [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 48(2):317-324 (in Chinese with English abstract)
- Zvi Koren, Duane Dopkin. 2009. Paradigm earth study 360°-A breakthrough in full azimuth imaging and intertation [J]. *Dew Journal*, 32(3):39-40

- Luo Rong, Li Qing. 2011. Log evaluation, seismic prediction and monitoring techniques of shale gas reservoirs [J]. *Natural gas industry*, 31(4): 34-39 (in Chinese with English abstract)
- Lin Jian-dong, Ren Sen-lin, Xue Ming-xi, Sun Yu-fei. 2012. Shale gas seismic identification and prediction techniques [J]. *Coal Geology of China*, 24(8): 1155-1163 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Jin-chuan, Bian Rui-kang, Jing Tie-ya, Tang Xun, Yin Teng-yu, Zhang Qin, Zhu Hua. 2011. Fundamental significance of gas shale theoretical research [J]. *Geological Bulletin of China*, 30(2-3): 318-323 (in Chinese with English abstract)
- Wang Zhong-hua. 2013. The progress of the exploitation technology of shale gas in China [J]. *Sino-Global Energy*, 18(2): 23-31 (in Chinese with English abstract)
- Yue Ting, Hu She-rong, Peng Ji-chao, Chu Fu-he, Zhang Yun-Xun. 2013. Environmental and ecological problems in the process of shale gas exploration and development [J]. *China Mining Magazine*, 22(3): 12-15 (in Chinese with English abstract)

[附中文参考文献]

- 张所续. 2013. 世界页岩气勘探开发现状及我国页岩气发展展望 [J]. *中国矿业*, 22(3): 1-3
- 周小琳, 王剑, 余谦, 杜伯伟, 刘伟. 2012. 页岩气藏地质学特征研究新进展 - 来自 2011 年 AAPG 年会的信息 [J]. *地质通报*, 31(7): 1155-1163
- 刘振武, 撒利明, 杨晓, 李向阳. 2011. 页岩气勘探开发对地球物理技术的需求 [J]. *石油地球物理勘探*, 46(5): 810-818
- 邹才能, 董大忠, 杨桦, 王玉满, 黄金亮, 王淑芳, 付成信. 2011. 中国页岩气形成条件及勘探实践 [J]. *天然气工业*, 31(12): 26-38
- 李武广, 杨胜来, 殷丹丹, 姜毅, 郭瑾, 孟虎. 2011. 页岩气开发技术与策略综述 [J]. *天然气与石油*, 29(1): 34-37
- 李玉喜, 乔德武, 姜文利, 张春贺. 2011. 页岩气含气量和页岩气地质评价综述 [J]. *地质通报*, 30(2-3): 308-317
- 李志荣, 邓小江, 杨晓, 巫芙蓉, 刘定锦, 张红, 谭荣彪, 周跃宗. 2011. 四川盆地南部页岩气地震勘探新进展 [J]. *天然气工业*, 31(4): 40-43
- 莫修文, 李舟波, 潘保芝. 2011. 页岩气测井地层评价的方法与进展

- [J]. *地质通报*, 30(2-3): 400-405
- 郝建飞, 周灿灿, 李霞, 程相志, 李潮流, 宋连腾. 2012. 页岩气地球物理测井评价综述 [J]. *地球物理学进展*, 27(4): 1624-1632
- 齐宝权, 杨小兵, 张树东, 曹葵. 2011. 应用测井资料评价四川盆地南部页岩气储层 [J]. *天然气工业*, 31(4): 44-47
- 赵群, 王红岩, 刘人和, 拜文华, 张晓伟. 2008. 世界页岩气发展现状及我国勘探前景 [J]. *天然气技术*, 2(3): 11-14
- 贾飞雄, 侯亚妮, 贾东林, 杨阳, 高娜. 2013. 页岩气勘探与开发现状 [J]. *辽宁化工*, 42(2): 145-148
- 曲寿得, 季玉新, 王鑫. 2003. 泥岩裂缝油气藏地震检测方法 [M]. 北京: 石油工业出版社: 15-30
- 陈佳梁, 兰素清, 王昌杰. 2004. 裂缝性储层的预测方法及应用 [J]. *勘探地球物理学进展*, 27(1): 35-40
- 李曙光, 程冰洁, 徐天吉. 2011. 页岩气储集层的地球物理特征及识别方法 [J]. *新疆石油地质*, 32(4): 351-352
- 蒋裕强, 董大忠, 漆麟, 沈妍斐, 蒋婵, 何溥为. 2010. 页岩气储层的基本特征及其评价 [J]. *天然气工业*, 30(10): 7-12
- 李新景, 胡素云, 程克明. 2007. 北美裂隙性页岩气勘探开发的启示 [J]. *石油勘探与开发*, 34(4): 392-400
- 刘双莲, 陆黄生. 2011. 页岩气测井评价技术特点及评价方法探讨 [J]. *测井技术*, 35(2): 112-116
- 张键, 刘建仪, 刘珏瑜, 冯青. 2012. 页岩的地球物理特征研究 [J]. *重庆科技学院学报(自然科学版)*, 14(5): 96-99
- 孙龙德, 撒利明, 董世态. 2013. 中国未来油气新领域与物探技术对策 [J]. *石油地球物理勘探*, 48(2): 317-324
- 罗蓉, 李青. 2011. 页岩气测井评价及地震预测、检测技术探讨 [J]. *天然气工业*, 31(4): 34-39
- 林建东, 任森林, 薛明喜, 孙宇菲. 2012. 页岩气地震识别与预测技术 [J]. *中国煤炭地质*, 24(8): 1155-1163
- 张金川, 边瑞康, 荆铁亚, 唐玄, 尹腾宇, 张琴, 朱华. 2011. 页岩气理论研究的基础意义 [J]. *地质通报*, 30(2-3): 318-323
- 王中华. 2013. 国内页岩气开采技术进展 [J]. *中外能源*, 18(2): 23-31
- 岳婷, 胡社荣, 彭纪超, 褚福贺, 张运勋. 2013. 页岩气勘探开发过程中的若干环境和生态问题 [J]. *中国矿业*, 22(3): 12-15

Development Status of the Shale Gas Geophysical Prospecting Technology

YUAN Gui-qin, SUN Yue, GAO Wei-dong, SHI Xu-dong, WANG Ying-xiu

(Institute of geophysical and geochemical exploration CAGS, Langfang, Hebei 065000)

Abstract: In recent years, the shale gas industry has received much attention in many countries, especially the rapid development of shale gas in North America has changed the world's energy supply pattern. The huge potential of shale gas resources in China has accordingly attracted great concern of the government and related enterprises. Shale gas reservoirs are characterized by high natural gamma, low acoustic velocity, low density and high resistivity, serving as the basis for the identification and evaluation of shale gas exploration geophysical technology. The current shale gas exploration and development in our country is in its starting stage, and the main task is the optimization of favorable target areas, resource quantity evaluation and key technology tests. Through analysis of the geophysical technology development situation, it is suggested that the geophysical exploration technology is critical for shale gas reservoir evaluation and production capacity-increasing. We should focus on the establishment of shale gas reservoir logging evaluation methods and standards, as well as strengthening research of shale gas reservoir seismic data anisotropic treating and multi-wave inversion technologies. China should increase investment to shale gas exploration work, combine the basic research with the development of key technologies, combine the successful experiences of foreign countries with our own independent innovative research and development, and then deploy basic investigations and assessment of shale gas resources. We should thus establish an evaluation system of shale gas geophysical exploration suitable for China's geological characteristics.

Key words: shale gas, geophysical prospecting, geophysical well logging, seismic exploration, reservoir evaluation