

· 油气地质 ·

中国页岩气地质调查评价研究现状与存在问题

李世臻^{1,2}, 姜文利³, 王 倩³, 刘丽君³

LI Shi-zhen^{1,2}, JIANG Wen-li³, WANG Qian³, LIU Li-jun³

1. 中国石油大学(北京)盆地与油藏研究中心, 北京 102249;

2. 中国地质调查局油气资源调查中心, 北京 100029;

3. 国土资源部油气资源战略研究中心, 北京 100034

1. *Basin and Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;*

2. *Oil and Gas Resources Survey of China Geological Survey, Beijing 100029, China;*

3. *Strategic Research Center for Oil and Gas Resources, Ministry of Land and Resources, Beijing 100034, China*

摘要:美国页岩气大规模商业性开发促进了中国页岩气地质调查评价和研究工作的开展。经过近 10 年的探索实践,认识到中国页岩气地质条件复杂,地质理论和开发技术有待突破。从中国富有机质页岩特征及分布规律、生气机理与富集规律、页岩气储层物性及微结构、保存条件、资源评价与选区评价等方面对目前中国页岩气地质理论研究进展进行了综述分析,讨论了中国在页岩气地质理论研究中存在的问题,并对今后中国页岩气地质研究工作进行了展望。认为沉积、构造对页岩层段分布规律的控制作用研究需加强,页岩气吸附机理的理论认识需深入,微结构定性定量测试分析技术需提高,评价现今页岩气保存条件的指标体系需建立,选区参数体系和标准需进一步完善。

关键词:页岩气; 生气机理; 富集规律; 储层物性; 保存条件; 资源评价

中图分类号: P618.1; TE122 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2013)09-1440-07

Li S Z, Jiang W L, Wang Q, Liu L J. Research status and currently existent problems of shale gas geological survey and evaluation in China. *Geological Bulletin of China*, 2013, 32(9): 1440-1446

Abstract: The United States shale gas large-scale commercial success promoted the exploration, development and research work of shale gas in China. After years of exploration and practice, China's complex geological conditions of shale gas are understood, geological theory and technological development of shale gas are expected to have a breakthrough, and the comprehensive geological theory can guarantee the shale gas exploration and development at the top speed. This paper has summarized the characteristics and distribution of rich organic shale, the generation mechanism and enrichment regularity of shale gas, the reservoir properties and the microstructure, the preservation conditions, the resources assessment and prospecting area selection as well as the research progress of shale gas geological theory, and analyzed the problems existent in shale gas geological theory research. The prospect of shale gas geological research work in the future is predicted, and the existent problems are pointed out as follows: The study of shale distribution and characteristics is not enough; the research on the influence of the sedimentary and structure on the distribution of fine shale needs to be strengthened; the generation mechanism of shale gas and the enrichment regularity of different rich organic shale types need to be studied in-depth, and the adsorption mechanism of shale gas needs further understanding; the relationship between the reservoir properties and the parameters of each shale is not clear, and the qualitative and quantitative analytical technology of the microstructure should be improved; the influence of the tectonic evolution on gas-bearing nature is not clear, and the preservation conditions index system for shale gas evaluation should be established; it is difficult to determine the key parameters for shale gas resource evaluation,

收稿日期: 2013-05-29; 修订日期: 2013-09-10

资助项目: 全国油气资源战略选区调查与评价专项(编号: 2009GYXQ15, 2009GYXQ21)

作者简介: 李世臻(1982-), 男, 博士后, 从事全国油气地质综合研究。E-mail: lishz2006@sina.com

通讯作者: 姜文利(1980-), 男, 博士, 副研究员, 从事石油地质、煤层气、页岩气、油气资源战略研究工作。E-mail: jwl1980@126.com

and the prospecting area selection parameters system and standards need to be further improved.

Key words: shale gas; generation mechanism; enrichment regularity; reservoir properties; microstructures; preservation conditions; resource assessment; prospecting area selection

21 世纪以来,随着关键技术的进步,美国页岩气产量持续强劲攀升,2011 年美国页岩气产量突破 $1700 \times 10^8 \text{m}^3$, 占全美天然气总产量的 25%^[1], 改变了美国的能源格局, 天然气净进口量近几年来连年下降(由 2007 年的 $107.11 \times 10^8 \text{m}^3$ 下降为 2011 年的 $55.07 \times 10^8 \text{m}^3$)^[2]。美国页岩气大规模商业性开发带动了全球页岩气勘探开发的新高潮, 在其影响下, 加快中国页岩气勘探开发的呼声日益增高^[3-7], 政府、企业、学界参与勘探开发和研究工作的热情日益高涨。2004 年以来, 中国在页岩气地质条件分析、中美页岩气地质条件对比、页岩气资源潜力评价和有利勘探方向预测上, 开展了一系列卓有成效的工作, 取得了大量的研究成果, 同时在一些研究程度高的地区部署了页岩气钻井, 并见到了良好的页岩油气显示。国内多位学者对中国页岩气资源进行了估算和评价, 认为中国页岩气资源潜力巨大^[4,8-9]。2013 年 6 月, 美国能源信息署(EIA)再次公布了其对全球页岩气资源的评估结果, 认为中国页岩气技术可采资源量为 $31.55 \times 10^{12} \text{m}^3$, 排名世界第一^[10]。2012 年 3 月, 国土资源部发布《全国页岩气资源潜力调查评价及有利区优选》成果, 评价结果是中国陆域页岩气地质资源潜力为 $134.42 \times 10^{12} \text{m}^3$, 可采资源潜力为 $25.08 \times 10^{12} \text{m}^3$ (不含青藏区)^[11]。随着勘探实践的开展、实际资料的丰富和认识程度的提高, 评价结果会发生新的变化, 变得更加准确, 但上述研究数据足以表明, 中国页岩气资源潜力巨大。

目前, 中国页岩气勘探开发已处于起步阶段, 在页岩气勘探开发的认识上, 普遍观点是中国页岩气地质条件复杂, 不能照搬国外经验, 未完全掌握核心工艺技术, 勘探开发标准规范空白, 鼓励性政策缺位, 这些问题将制约中国页岩气勘探开发的进程, 今后应加强理论研究、科技攻关、标准制定、工程示范和政策扶持。相对而言, 中国页岩气地质理论研究工作更为薄弱, 有些方面甚至严重滞后于勘探开发实践。系统的页岩气地质理论工作至关重要, 它是页岩气勘探开发的基础, 对于中国的页岩气勘探开发具有重要的科学指导意义, 若地质理论指导跟不上, 就难以实现页岩气勘探开发的跨越式发展。笔

者从中国富有机质页岩分布规律及特征、生气机理与富集规律、页岩气储层物性与微结构、保存条件、页岩气资源评价与选区评价 5 个方面的研究进展进行了综述, 系统梳理当前页岩气研究中存在的问题, 对今后的研究工作进行了展望, 以期对中国页岩气地质理论的发展与创新起到抛砖引玉的作用。

1 富有机质页岩特征及分布规律

中国富有机质页岩发育层系多、类型多、分布广, 自下古生界至新生界 10 个层系中形成了数十个含气页岩层段。按照形成环境进行分类, 可将富含有机质页岩划分为海相富含有机质泥页岩、海陆过渡相(含煤岩系)富含有机质泥页岩、湖相富含有机质泥页岩 3 种类型^[12-15], 每类泥页岩的地质特征相差较大(表 1)。

常规油气的分布主要受烃源岩和圈闭的控制, 而页岩气集烃源岩、储层和盖层等关键的成藏体系要素于同一套页岩层系, 其岩性、厚度、面积、地化参数、物性参数、矿物组成直接控制着页岩气的含量。中国在开展常规油气勘探开发的较长历史中, 获得了大量常规油气地质资料。在以往的研究中, 对富有机质页岩作为烃源岩进行过一定程度的研究, 但作为页岩气的储集层来说, 其精细的时空分布规律(厚度、埋深、面积)及其各项特征(沉积特征、岩性、物性、地化、元素、矿物组成、力学性质、含油含气性等)未系统地开展过工作。页岩展布及其特征具有非均质性, 目前关于页岩的研究资料匮乏、基础薄弱。中国广大页岩分布区的沉积环境和后期经历的多期构造改造迥异, 页岩的分布特征与沉积环境、构造变形之间的关系至今还没有进行系统的研究, 有机地球化学参数(有机碳含量、有机质类型及有机质热演化程度等)与沉积环境、构造背景之间的变化关系也未开展相关研究。

今后应充分收集和整理现有地质资料和油田勘查资料, 在区域露头精细观察的基础上, 通过野外地质调查和取样, 结合区域整体研究和室内分析, 开展高分辨率层序地层学研究, 划分出页岩层段, 编制一系列大比例尺基础性图件, 如富有机质页岩厚度、埋

表1 中国富有机质泥页岩类型及其主要特征
Table 1 Types and major characteristics of organic matter-rich argillite in China

泥页岩类型	海相	海陆过渡相(含煤系地层)	湖相
主要盆地类型	克拉通盆地	克拉通盆地边缘	断陷盆地、前陆盆地
沉积相	深海、半深海陆棚等	沼泽、潮坪、间湾等	深湖、半深湖、浅湖等
主要地层	古生界	上古生界、中生界	中生界、新生界
分布及岩性组合特点	单层厚度大,分布稳定,可夹海相砂质岩、碳酸盐岩等	单层较薄,累计厚度大、常与砂岩、煤系等其它岩性互层	累计厚度大、侧向变化较快,主要分布在拗陷和断陷沉积中心,常夹薄层砂质岩
岩石矿物	脆性矿物含量一般较高,大于40%,粘土矿物含量一般较低,小于40%	脆性矿物含量一般大于35%,水敏矿物含量偏高	脆性矿物含量较低,粘土矿物含量一般较高,大于40%,水敏矿物含量偏高
主要分布区域	南方、西北、华北、青藏	华北、南方、西北	东北、华北、南方、西北
有机质类型	I、II型为主	III型为主	I、II、III型
有机质成熟度	1.5%~4.5%	1.0%~3.0%	<2.0%
TOC	1.0%~4.7%	1.0%~10.0%	0.9%~3.5%
所含页岩气成因	热解	热解	热解、生物、混合
主要含油气类型	页岩气	页岩气、煤层气、致密砂岩气	页岩油、页岩气
含气量(m ³ /t岩石)	0.5~6.0	1.5~2.5	1~2
保存条件	构造强烈,保存条件差	部分地区保存条件差	后期改造弱,保存条件好

深、TOC含量、 R_o 等值线图;同时加强页岩分布及各项参数与沉积和构造关系的研究,建立页岩物性参数、有机地球化学参数与沉积、构造等背景因素之间的变化关系模型;另外,加强储层地质力学研究。

2 生气机理与富集规律

页岩气的多成因、多赋存方式和连续性聚集决定了页岩气生气机理和富集规律的复杂性。关于页岩气的生成和聚集国内研究不多,张金川等^[19]认为页岩气成藏过程体现了完整的天然气成藏机理序列,既有在孔隙水、干酪根有机质和液态烃类中的溶解,也有生烃初期时的吸附聚集,以及后来大量生烃时期的活塞式运聚到生烃高峰时期的置换式运聚,

是典型吸附到常规游离之间的序列过渡。烃源岩中生成的烃类能否排出,关键在于生烃量必须大于岩石和有机体对烃类的吸附量,同时必须克服页岩微孔隙强大的毛细管吸附等因素。因此,烃源岩所生成的烃类只有部分被排出,仍有大量烃类滞留于烃源岩中,一般认为页岩气藏的形成是天然气在源岩中大规模滞留的结果^[7]。页岩气流动机理主要包括达西流动、解吸、扩散。大孔隙及裂缝中气体流动遵循达西定律^[18],气体也可以从有机质颗粒、粘土矿物颗粒、纳米孔隙壁上解吸,一般在纳米级孔隙中只有小分子通过,页岩气运移以扩散作用为主,另外大量吸附于有机质颗粒、粘土矿物颗粒的页岩气也存在着运移。

探讨页岩气生气与赋存机理,是当前急需解决的科学问题。根据前述内容,页岩气的多成因、多赋

存方式使其生气、迁移和富集明显不同于常规天然气。中国南方海相页岩演化程度高,含煤岩系演化程度适中,同时伴有煤层气的生成,中新生界湖相页岩演化程度较低,这些直接决定了中国不同类型富有机质页岩生油生气机理与富集规律的不同;在生气潜力上,不同类型页岩 TOC 下限、高成熟度页岩 R_o 上限到底是多少尚未有清晰认识;在页岩微孔隙结构与页岩储层的吸附能力及储气能力上,国际上研究也不够深入,缺乏系统的理论研究,以上问题制约了对中国页岩气资源的科学认识。

应通过生烃动力学模拟实验,结合中国不同富有机质页岩类型,探讨高过成熟富有机质页岩的生烃潜力,探索不同类型页岩气层的有效 TOC 下限;从不同级别孔隙结构的角度,特别是纳米级孔隙结构的角度研究入手,分析纳米孔隙与微裂缝之间的复杂孔隙结构或网络,探讨孔隙度、孔隙类型、渗

透率与页岩中页岩气游离、吸附和溶解的关系;尤其加强吸附态下天然气的运移机制与富集过程,以及控制其富集过程的主要因素研究,最终揭示页岩气富集的内在规律,探索建立中国不同类型页岩气的生气机理和富集模式。

3 页岩气储层物性及微结构

与常规气藏有着显著不同,页岩气藏具有低孔隙度、低渗透率、储集条件极差的非常规气藏特征^[18-19],中国页岩储层孔隙度一般小于 10%,渗透率一般低于 $0.001 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。孔隙类型包括孔隙(残余原生孔隙、与矿物质有关的孔隙、有机质孔隙和其它孔隙)和微裂隙(成岩裂缝、异常压力裂缝、构造裂缝、其它裂缝)^[20-22],其地质成因和特征如下(表 2)。

页岩气在页岩中的主要赋存方式是游离气和吸附气,页岩中孔隙发育情况是决定页岩气赋存方式

表 2 中国页岩孔隙主要类型
Table 2 Major types of shale pores and fissures in China

孔隙类型	地质成因	主要特征
残余原生孔隙	与常规储层孔隙相似,脆性矿物颗粒支撑,颗粒间未被充填的原生孔	脆性矿物颗粒(晶粒)间,随压实、成岩作用增强而减少
矿物 质 孔 隙	晶间孔	成岩后生阶段由于重结晶作用、白云化作用形成于晶形较好、晶体粗大的矿物之间
	溶蚀孔	钙质、长石等溶解(或溶蚀)作用形成的次生溶孔
	矿物转化孔	随埋深增加,粘土矿物向其他矿物转化,体积减小而形成
	有机质孔隙	在高过成熟阶段,有机质热降解大量生排烃后形成的微孔
其他孔隙	古生物虫孔、有机质与矿物间联通孔等	处于粘土矿物层间,缝宽 50~300nm,连通性相对较好
成岩裂缝	在沉积成岩作用下,形成平行层理纹层面间的孔隙	呈网络状、线状或串珠状孔,孔径一般为纳米级,直径为 5~750nm,平均 100nm
裂 缝	异常压力裂缝	层间页理缝多被充填,在页理发育的泥页岩中极为常见,成岩收缩缝连通性较好,开度变化较大
	构造裂缝	上覆地层加载或卸载、流体压力不平衡、有机质生烃等导致地层异常压力,岩石破裂而成
	其他裂缝	在构造运动作用下,岩石破裂或滑脱而成
其他裂缝	在溶蚀、风化等作用下形成	有机碳含量较高的炭质泥页岩中普遍发育,一般缝面不规则,不成组系,多充填有机质
		构造缝产状、宽度和长度变化大
		分布一般不规则、不连续、规模小

及其赋存量的关键要素。目前,对不同沉积环境形成的海相、含煤岩系、湖相泥页岩的岩石类型、矿物组成、孔隙度、渗透率、孔隙结构、储集空间类型缺乏系统的认识 and 对比研究,针对页岩特有纳米孔隙也缺乏系统的认识,脆性矿物、粘土矿物和有机质对孔隙发育的贡献差异也尚未查明,页岩储层物性与特殊地质条件下各项参数(岩石类型、矿物组成、有机地化参数、储集空间类型和结构)的关系有待进一步研究。

今后应引入和采用先进的测试分析和模拟技术,开展页岩微结构尤其是纳米孔隙结构的研究和物性分析,获取更加准确的定量数据;加强成岩作用和有机质生烃对页岩物性参数的影响,建立页岩孔隙度、渗透率与无机矿物颗粒粒度与含量、粘土矿物成分与含量、有机质含量、成岩作用等多重因素的定量半定量关系。

4 保存条件

页岩气“自生、自储、自盖”的特征及其吸附性能,使其对保存条件要求相对较低,一般要求不是很苛刻^[13, 23-24]。但是,与北美陆台在历次构造运动中未发生巨大变动不同,中国的盆地,尤其南方大陆经历了多期次构造运动叠加改造,隆升剥蚀强烈,断裂极其发育,改造了古生代盆地的构造格局,破坏了古生代地层的完整性和稳定性,导致保存条件复杂^[25-27],所以保存条件作为中国页岩气地质理论中一项重要的研究内容变得尤为重要;而寻找相对稳定、保存较好的页岩区带,是中国页岩气勘探的关键^[14]。影响和表征页岩气保存条件的因素包括构造运动、断层与微裂隙发育程度、页岩及页岩顶底岩层发育特征、岩浆热事件、水文地质条件、页岩现今压力状况等,要综合考虑页岩气的保存条件^[28-29]。

页岩气的保存条件特别是构造演化研究是中国页岩气地质理论研究的特有命题。构造活动导致地层的温压条件变化,页岩原有的孔裂隙系统遭到破坏,微裂隙发育,一方面页岩储层物性显著改善,另一方面打破了吸附气与游离气的平衡,影响页岩气保存。构造改造对页岩储层物性变化、气体赋存形式和含气量变化、页岩气散失机理的影响均缺乏深入研究,另外,如何从现有的断层与微裂隙发育程度、盖层发育特征、水文地质条件、现今压力状况等来判断现今页岩气保存的状况,研

究程度还不高,这些成为制约页岩气勘探和开发的重要科学问题。

应在深刻剖析中国典型地区构造演化和热演化特征的基础上,建立构造-热演化模型,定量评价构造活动造成的页岩储层物性的变化和含气性变化,建立构造活动过程中页岩气散失的定量模型,通过构造叠加、破坏与改造的综合分析,阐明页岩气保存的构造条件。通过定性定量分析,获取不同地区含气量、断层与微裂隙特征,顶底岩层物性、水文条件、地层压力等参数,建立现今页岩气保存条件评价的指标体系和方法。

5 资源评价与选区评价

页岩气藏储层分布连续、具较强的非均质性、赋存形式多,常规油气资源评价体系和参数取值方法已不能很好地适用于页岩气的评价^[30-31]。与美国勘探开发程度不同,中国页岩气勘探开发目前处于起步阶段,缺乏页岩气井的实际生产资料。有关中国页岩气资源潜力的探讨也较晚,始于2008年,主要采用类比法、成因法、体积法、综合法等^[31-35]。体积法是目前国内在资源量计算时普遍采用的方法,国土资源部发布“全国页岩气资源潜力调查评价及有利区优选”成果,全国页岩气地质资源潜力为 $134.42 \times 10^{12} \text{m}^3$ (不含青藏区),可采资源潜力为 $25.08 \times 10^{12} \text{m}^3$,此成果即是以体积法为主评价的结果。在选区评价方面,国内学者对各项地质条件中的关键指标进行了讨论,如有机碳含量、有机质类型、热演化程度、页岩厚度、埋深、含气量、裂缝发育程度、渗透率、脆性矿物含量、保存条件、异常压力、地表条件等^[17, 36-42],不同的学者倾向于不同的指标,并给出了相应指标的下限值和分级参考值,探讨了选区评价和分级分类选区评价的标准。

不同勘探开发阶段适用的评价方法、关键参数及参数获取方式不同,资源评估结果存在较大差异,这些因素都使页岩气资源的准确评价面临巨大挑战。页岩气在生气机理、富集规律与开发方式等方面不同于常规油气藏,使常规油气资源评价和选区方法不适用于页岩气资源评价。中国页岩气在形成的地质条件、勘探程度、勘探程序等方面不同于美国页岩气,因此不能照搬美国现阶段较成熟的评价与选区方法。页岩气资源评价方法的可靠性取决于关键参数的选取是否都足够精确,而这取决于勘探工作

量的投入和科学合理的实验分析。现阶段采用的体积法对连续分布的页岩气评价是合适的,但由于页岩非均质性的存在,其有效页岩体积难以厘定。含气量指标是页岩气资源评价和有利区优选的重要指标^[17,20],但目前含气量的获取还不够准确;成因法中的有机碳转化系数和排烃系数的准确获取还需要大量科学的实验数据来佐证。在选区评价上,不同学者针对不同地区的研究工作提出了不同的参数体系和标准,可谓百家争鸣,缺乏整体统一认识。

应继续总结和对比国内外页岩气地质地球化学的特点及其适用的资源评价方法,深入研究含气量、有效体积等参数的获取方法,系统收集和准确厘定中国不同地区、不同类型、不同层系页岩气的各项参数,根据中国页岩气发育的地质条件,研究我国海相、含煤岩系、湖相页岩气资源分类分级评价。随着页岩气勘探开发资料的积累,不断补充完善新的评价方法和参数,建立页岩气滚动资源评价方法体系,在进行页岩气有利区优选时,进一步优化完善不同地质条件下不同级别评价区的各项参数标准。

6 结论与建议

(1)中国页岩气地质研究工作目前已处于起步阶段,正从理论学习走向科学实践,从重点地区调查走向多地区多类型评价,从局部试验走向规模投入。中国页岩气地质条件极为复杂,页岩气地质理论研究内容广泛,当前的研究基础薄弱,存在问题较多,理论研究相对滞后。

(2)页岩气地质研究应加强沉积、构造对页岩发育和分布的影响研究,精细划分富有机质页岩层段;深入研究不同富有机质页岩类型的页岩气吸附机理;提高微结构定性定量测试分析技术,明确储层物性与页岩各项参数的关系;建立评价现今页岩气保存条件的指标体系;获取页岩气资源评价关键参数,进一步完善选区参数体系和标准。

(3)在页岩气地质理论研究方向上要有所侧重,结合具体实践,推动理论研究的深入;同时,在具体的理论方向研究中要按照地区、层系、类型等内容因地制宜、相互借鉴、统筹兼顾,突出研究的实用价值。建议继续深入讨论,找准关键问题,加大投入力度,开展页岩气地质理论不同领域的攻关研究,建立中国特色的页岩气地质理论体系,促进中国地质理论完善和创新,解决今后中国页岩气勘探开发中

将面临的一系列关键问题,全面指导中国页岩气的勘探开发。

致谢:在论文的成稿过程中,中石化研究院王庭斌教授级高级工程师、聂海宽博士,中国地质大学(北京)丁文龙教授、国土资源部油气资源战略研究中心李玉喜研究员提出了许多好的修改建议,在此表示诚挚的谢意。

参考文献

- [1]潘继平.对促进中国页岩气勘探开发若干问题的思考——2011年中国页岩气发展回顾与思考[J].国际石油经济,2012,(Z1):101-106.
- [2]EIA. Annual Energy Review 2011 [EB/OL] 2012. <http://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/showtext.cfm?t=ptb0601>.
- [3]张大伟.加速我国页岩气资源调查和勘探开发战略构想[J].石油与天然气地质,2010,3(2):135-139.
- [4]董大忠,邹才能,李建忠,等.页岩气资源潜力与勘探开发前景[J].地质通报,2011,30(2/3):324-336.
- [5]赵靖舟,方朝强,张洁,等.由北美页岩气勘探开发看我国页岩气选区评价[J].西安石油大学学报(自然科学版),2011,26(2):1-7.
- [6]李世臻,乔德武,冯志刚,等.世界页岩气勘探发现现状及对中国的启示[J].地质通报,2010,29(6):918-924.
- [7]张抗,谭云冬.世界页岩气资源潜力和开采现状及中国页岩气发展前景[J].当代石油石化,2009,17(3):9-12.
- [8]张金川,姜生玲,唐玄,等.我国页岩气富集类型及资源特点[J].天然气工业,2009,29(12):109-114.
- [9]刘洪林,王红岩,刘人和,等.中国页岩气资源及其勘探潜力分析[J].地质学报,2010,84(9):1374-1378.
- [10]EIA. Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States.<http://www.eia.gov/analysis/studies/worldshalegas/>.
- [11]张大伟,李玉喜,张金川,等.全国页岩气资源潜力调查评价[M].北京:地质出版社,2012.
- [12]李玉喜,聂海宽,龙鹏宇.我国富含有机质页岩发育特点与页岩气战略选区[J].天然气工业,2009,29(12):115-118.
- [13]李建忠,李登华,董大忠,等.中美页岩气成藏条件、分布特征差异研究与启示[J].中国工程科学,2012,14(6):56-63.
- [14]邹才能,董大忠,杨桦,等.中国页岩气形成条件及勘探实践[J].天然气工业,2011,31(12):26-39.
- [15]李玉喜,张金川,姜生玲,等.页岩气地质综合评价和目标优选[J].地学前缘,2012,19(5):332-338.
- [16]张金川,金之钧,袁明生.页岩气成藏机理和分布[J].天然气工业,2004,24(7):15-18.
- [17]李玉喜,乔德武,姜文利,等.页岩气含气量和页岩气地质评价综述[J].地质通报,2011,30(2/3):308-317.
- [18]魏明强,段永刚,方全堂,等.页岩气藏孔渗结构特征和渗流机理研究现状[J].油气藏评价与开发,2011,1(4):73-77.
- [19]姜福杰,庞雄奇,欧阳学成,等.世界页岩气研究概况及中国页岩气资源潜力分析[J].地学前缘,2012,19(2):198-211.

- [20]郭岭,姜在兴,姜文利.页岩气储层的形成条件与储层的地质研究内容[J].地质通报,2011,(2/3):385-392.
- [21]聂海宽,张金川.页岩气储层类型和特征研究——以四川盆地及其周缘下古生界为例[J].石油实验地质,2011,33(3):219-225.
- [22]龙鹏宇,张金川,唐玄,等.泥页岩裂缝发育特征及其对页岩气勘探和开发的影响[J].天然气地球科学,2011,22(3):525-532.
- [23]王鹏万,陈子焯,贺训云,等.桂中坳陷泥盆系页岩气成藏条件与有利区带评价[J].石油与天然气地质,2012,33(3):353-363.
- [24]陈祥,王敏,严永新,等.泌阳凹陷陆相页岩油气成藏条件[J].石油与天然气地质,2011,32(4):568-576.
- [25]郭旭升,郭彤楼,魏志红,等.中国南方页岩气勘探评价的几点思考[J].中国工程科学,2012,14(6):101-105.
- [26]刘小平,潘继平,董清源,等.苏北地区古生界页岩气形成地质条件[J].天然气地球科学,2011,(6):1100-1108.
- [27]聂海宽,何发岐,包书景.中国页岩气地质特殊性及其勘探对策[J].天然气工业,2011,31(11):111-116.
- [28]聂海宽,包书景,高波,等.四川盆地及其周缘下古生界页岩气保存条件研究[J].地学前缘,2012,19(3):280-294.
- [29]李登华,李建忠,王社教,等.页岩气藏形成条件分析[J].天然气工业,2009,29(5):22-26.
- [30]董大忠,程克明,王世谦,等.页岩气资源评价方法及其在四川盆地的应用[J].天然气工业,2009,29(5):33-39.
- [31]朱华,姜文利,边瑞康,等.页岩气资源评价方法体系及其应用——以川西坳陷为例[J].天然气工业,2009,29(12):130-134.
- [32]王香增,张金川,曹金舟,等.陆相页岩气资源评价初探:以延长直罗一下寺湾区中生界长7段为例[J].地学前缘,2012,19(2):192-197.
- [33]张金华,魏伟,钟太贤.国外页岩气资源储量评价方法分析[J].中外能源,2011,16(9):38-42.
- [34]张金川,林腊梅,李玉喜,等.页岩气资源评价方法与技术:概率体积分法[J].地学前缘,2012,19(2):184-191.
- [35]步少峰,马若龙,袁海锋,等.湘中地区海相页岩气资源潜力评价方法及参数选取[J].成都理工大学学报(自然科学版),2012,39(2):223-230.
- [36]范柏江,师良,庞雄奇.页岩气成藏特点及勘探选区条件[J].油气地质与采收率,2011,18(6):9-13.
- [37]张卫东,郭敏,姜在兴.页岩气评价指标与方法[J].天然气地球科学,2011,22(6):1093-1099.
- [38]王社教,杨涛,张国生,等.页岩气主要富集因素与核心区选择及评价[J].中国工程科学,2012,14(6):94-100.
- [39]李延钧,刘欢,刘家霞,等.页岩气地质选区及资源潜力评价方法[J].西南石油大学学报(自然科学版),2011,33(2):28-34.
- [40]卢双舫,黄文彪,陈方文,等.页岩油气资源分级评价标准探讨[J].石油勘探与开发,2012,39(2):249-256.
- [41]赵鹏大,李桂范,张金川.基于地质异常理论的页岩气有利区块圈定与定量评价——以渝东南地区下志留统龙马溪组为例[J].天然气工业,2012,32(6):1-8.
- [42]周德华,焦方正.页岩气“甜点”评价与预测——以四川盆地建南地区侏罗系为例[J].石油实验地质,2012,34(2):109-114.