

扬子区页岩气和煤层气联合开发的地质优选

陈尚斌^{1,2}, 朱炎铭^{1,2}, 李 伍², 罗 跃², 王怀勳², 钟和清²

(1. 中国矿业大学 煤层气资源与成藏过程教育部重点实验室, 江苏 徐州 221116;

2. 中国矿业大学 资源与地球科学学院, 江苏 徐州 221116)

摘 要: 为了优选煤层气和页岩气联合研究与开发的有利区域, 以扬子地区二叠系龙潭组及其上下部组合地层为研究对象, 分析页岩气和煤层气的资源分布特点; 讨论成藏地质条件及气藏聚集模式, 依据龙潭组及其上下部地层组合的分布特征和埋深、页岩气和煤层气的资源潜力等条件, 确定优选区域。研究认为, 龙潭组在上扬子和下扬子普遍发育; 上扬子滇东-黔西等区煤层气资源丰富; 上扬子龙潭组及其与局部由长兴组相变而成的大隆组组合, 下扬子大隆组—龙潭组—孤峰组组合均发育富含有机质泥页岩, 厚度较大、分布连续, 有机质含量高, 母质类型好, 成熟度高, 具有页岩气成藏的良好地质条件和丰富的资源潜力, 且存在页岩气和煤层气资源的重叠组合性; 至少在上、下扬子分别形成三种和两种地层空间气藏聚集模式。上扬子川南资阳、自贡及重庆、黔西北地区和下扬子苏南句容盆地, 可作为开展页岩气和煤层气联合研究与开发的优选区域。

关键词: 页岩气; 煤层气; 联合研究开发; 有利区优选; 龙潭组; 气藏聚集模式; 资源分布; 扬子区

中图分类号: TE 122.35

文献标志码: A

Geological optimization of shale gas and coalbed methane combined research & develop in Yangtze, China

CHEN Shangbin^{1,2}, ZHU Yanming^{1,2}, LI Wu², LUO Yue², WANG Huaimeng², ZHONG Heqing²

(1. Key Laboratory of Coalbed Methane Resources and Reservoir Formation Process, the Ministry of Education, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China; 2. School of Resources and Earth Science, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: The Upper Permian Longtan Formation and the combined upper and lower strata in Yangtze, South of China are as the research objects for the basis of bringing forward the suggestion of combined research & develop in the article. It analyzed the distributed features of the resources of the shale gas and the CBM. It discussed the geological conditions of accumulation and the gather mode of the gas pool, and then optimized Yangtze as the favorable region to launch combined research & develop of the shale gas and the coalbed methane. The result showed that Longtan Formation is general developed in upper and in lower Yangtze. The CBM resource in Eastern Yunnan and Western Guizhou is very rich. Longtan Formation on the Yangtze region and the Dalong combination which local phase transformed from Changxing Formation, Dalong-Longtan-Gufeng combinations on lower Yangtze grow clay shale, which is rich in the organic matter. The clay shale has a larger thickness and continuous distribution. The type of parent material is good, and its maturity is high. These make it has appropriate geological conditions to form shale gas and rich resource potential. It has the overlapping and combination of the shale gas and CBM resources. In the area, it at least respectively forms three kinds and two kinds of the aggregation model of gas reservoir formation. It is determined that Ziyang and Zigong in southern Sichuan, Chongqing, northwest Guizhou on upper Yangtze and Jurong Basin in southern Jiangsu on lower Yangtze are the optimization regions to launch shale gas and CBM combined research & development.

Key words: shale gas; coalbed methane (CBM); combined research & develop; favorable areas optimization; Longtan Formation; gas reservoir aggregation model; resource distribution; Yangtze

0 引 言

全球页岩气资源量为 $456.2 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 煤层气资源量为 $240 \times 10^{12} \text{ m}^3$ (埋深 2 000m 以浅), 分别约占全球非常规天然气资源量的 50% 和 26%, 成为非常

规天然气的主体。近年世界煤层气开发取得了巨成功, 美国、加拿大、澳大利亚和中国等国家, 都实现了煤层气资源的商业化开发。而页岩气仅在美国和加拿大成功开发, 美国页岩气 2009 年产量达到 $878 \times 10^8 \text{ m}^3$, 预计 2010 年页岩气产量将占全美天然

收稿日期: 2010-09-27 网络出版时间: 2011-10-24 18:31:27 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/21.1379.N.20111024.1831.007.html>

基金资助: 国家科技重大基金项目资助 (2008ZX05-034-04); 国家自然科学基金重点项目资助 (40730422)

作者简介: 陈尚斌 (1983-), 男, 甘肃 通渭人, 博士研究生, 从事煤层气与页岩气地质学习和研究工作;

通讯作者: 朱炎铭 (1963-), 男, 江苏 丹阳人, 教授, 博士生导师, 从事煤、油气资源评价、资源勘探、能源沉积盆地分析等方面的研究。本文编校: 于永江

气产量的15%,促进了页岩气在世界范围研究和勘探开发热潮^[1]。中国页岩气资源十分丰富,初步评估资源量^[2]可达 $100\times 10^{12}\text{ m}^3$,可采资源量^[3]达 $26\times 10^{12}\text{ m}^3$;中国煤层气资源也十分丰富,新一轮全国煤层气资源评价表明:2 000 m以浅的煤层气资源量^[4]为 $36.81\times 10^{12}\text{ m}^3$,若煤层气商业开发获得更大发展,页岩气尽早实现商业开发,将对中国油气短缺现状的改善和缓解具有重要意义。

1 联合研究与开发的背景

中国煤层气勘探开发已步入产业化初期发展阶段^[5-6],要使煤层气商业化程度更加深入,还存在广阔的研究和发展空间。中国页岩气勘探开发刚刚起步^[7-8],因此煤层气和页岩气具有交叉的科学研究空间。且页岩气和煤层气都具有自生、自储、自保的成藏特点,均主要以游离气和吸附气方式储集,都需要解吸和压裂开采等诸多共性特征^[9]。我国晚古生代和中生代地层中广泛发育有富含有机质泥页岩和煤层或者薄煤层伴生、互层,具有同时形成页岩气和煤层气以及复式气藏的基础地质条件,是提出二者联合研究与开发建议的理论依据。开展页岩气和煤层气的联合研究与开发,可在高效利用资源的同时借鉴经验、节约成本,具有重要的现实意义。但二者的共探共采等问题还没有展开研究讨论。黄籍中^[10](2009)先提出四川盆地龙潭组、须家河组煤系发育区有利于煤层气和页岩气成藏;李玉喜^[11]等(2009)提到在多种天然气成藏区域可以考虑开展合采技术研究。若在理想区域层位开展二者联合研究和商业开发,将极大缩短页岩气探索历程;有利于发展页岩气和煤层气地质理论。

中国南方发育多套区域性烃源岩^[12-16],故在页岩气研究初期,将重点聚集于四川盆地及其周缘,特别是川南、川东南、渝东南、渝东北及黔北等地区,以龙马溪组和筇竹寺组为研究^[17-21]重点,将页岩气调查和勘探重点集中在上扬子和下扬子。该区也普遍发育上二叠统龙潭组煤系,尽管对本区龙潭组页岩气的研究不多^[3,10-11],但据富有机质暗色泥页岩厚度、有机碳含量、成熟度及埋藏深度等条件,具有形成页岩气藏的良好地质基础;有较丰富的煤层气资源^[22-23]。此外,古生界华南盆地经历了多期构造运动,区域构造复杂,对本区气藏资源后期改造程度显著^[3,24-25]。因而上、下扬子龙潭组具有探索页岩气和煤层气联合研究与开发的有利条件;对可能存在的复式气藏研究有促进意义,为多种天然气资源联合勘查开发提供参考。

2 扬子区页岩气和煤层气资源特点

中国页岩气研究和勘探程度很低,张金川^[3]等(2009)依据页岩发育的地质基础、区域构造特点、页岩气富集背景及地表开发条件,将中国页岩气分布有利区域划分为南方、北方、西北和青藏4个大区,其中南方区可采资源量为 $12.17\times 10^{12}\text{ m}^3$,占全国总可采资源量的46.8%。南方页岩气主要分布在扬子地台及其周缘,分为古生界发育齐全的扬子地块和上古生界与花岗岩不规则分布的东南地块,以扬子地块为主,且 ϵ_1 、 S_1 、 P_1 和 P_2 为页岩气最佳勘探目标层。龙潭组 P_{21} 为主要页岩层段,广泛分布在上扬子区和下扬子区,TOC含量0.4~22.0%, R_o 为0.8~3.0%,页岩厚度20~2 000 m。从页岩厚度及其有机质含量角度看,其资源潜力不亚于龙马溪组和筇竹寺组,具有很大的资源潜力。

新一轮全国煤层气资源评价表明南方煤层气地质储量(2 000 m以浅)为 $4.66\times 10^{12}\text{ m}^3$,占全国资源量的12.3%;可采资源量(1 500 m以浅)为 $1.70\times 10^{12}\text{ m}^3$,占全国可采资源量的15.6%^[4]。上扬子滇东-黔西盆地资源量超过了 $1\times 10^{12}\text{ m}^3$,为大型富气带,川南-黔北为大型含气带,川东中型含气带,上扬子北缘、下扬子北缘属小型贫气带;滇东-黔西、川南-黔北及下扬子北缘含煤地层均为龙潭组^[26]。扬子地区龙潭组具有较为丰富的煤层气资源。

由扬子区龙潭组煤层气和页岩气资源特点看出,在四川盆地东北、川南-黔北、重庆和滇东-黔西等区,存在页岩气和煤层气资源的重叠组合性。

3 联合研究与开发的地质条件

3.1 页岩气和煤层气成藏地质基础

研究^[12-13,15]认为,扬子区发育的龙潭组是一套含煤地层,也是重要的烃源岩之一,主要分布在上扬子区川东北(云安、普光一带)、川南(重庆、自贡、资阳一带)和下扬子区苏浙皖区(句容、泰兴、长兴和宣城一带,以浙北煤山为中心),中扬子区(江汉盆地)不发育(图1)。

上扬子区四川盆地上二叠统的研究^[3,10-12,15,27]表明,四川盆地上二叠统属滨海潮坪沼泽相,页岩碳酸盐岩含煤建造。暗色泥岩厚度0.25~125 m,多数20~60 m,小于100 m;暗色泥页岩总有机碳含量TOC为0.2%~12.55%,平均约3%,一般3%~5%, R_o 为1.0%~3.5%,处高-过成熟期,有机质类型以

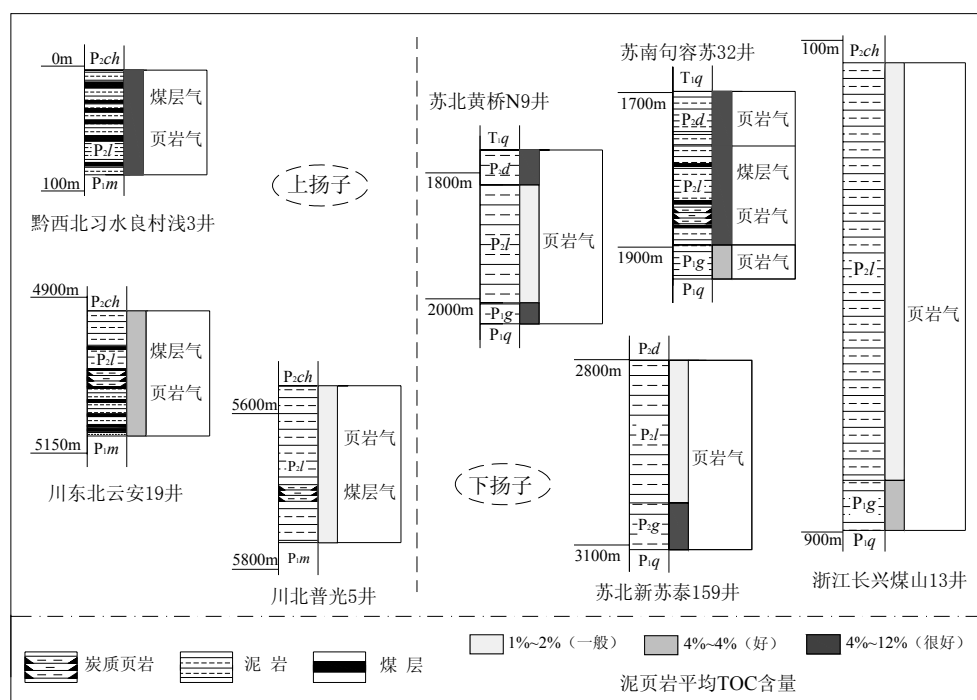


图1 上、下扬子龙潭组及上下部组合岩性剖面及气藏模式图(据文献[15]修改,有机碳含量不包括煤和碳质泥岩的)

Fig.1 Lithologic section and gas reservoir model map of the Longtan Formation and of its upper and lower combination

腐殖型(III型)为主,局部富氢。四川盆地上二叠统主要分布在川东、川南及川西(南)地区。川东有效烃源岩厚度20~120 m;龙潭组在川东云安、普光一带最厚,可达170 m;TOC为3%~7.54%, R_o 为1.6%~3.1%。川西(南)烃源岩有效厚度25~100 m,一般厚80~110 m,麻1井最厚,达125 m;TOC为0.5%~1.5%, R_o 为2.2%~4.0%;川南黔西北习水良村厚75 m。西北缘、北缘及东北缘较薄,多小于20 m。尽管四川盆地龙潭组厚度相对较薄,但有机碳含量高,成熟度适中,依然具有形成页岩气的潜力;川南部分地区含煤以烟煤为主,煤层累厚5~10 m,具有形成煤层气藏的条件。

下扬子区上二叠统的研究^[3,11-12,15]表明,龙潭组烃源岩厚度大于200 m,局部达600 m以上,TOC为2%~5%,煤和碳质泥岩更高(7%~38%);有机质为II型和III型;具备煤层气和页岩气成藏条件。

扬子区长兴组灰岩局部相变为大隆组,为一套黑色硅质泥岩,TOC为1%~10%,多大于2%,最高达21%,厚5~37 m,下扬子区局部厚55 m。上扬子川北和下扬子苏南等地最厚30~60 m,但TOC达3.7%~8.5%,最大达14~21%;II型有机质^[15];尽管厚度不大,却具有形成页岩气藏的潜力。下扬子区龙潭组底部还发育一套下二叠统孤峰组(仅下扬子区发育,图1),主要为黑色硅质泥岩,厚28~120 m,

一般30~60 m;II型有机质;TOC高,多在2%~10%,最高达15.47%,平均5.47%^[15];具有页岩气成藏的潜力。

泥页岩是页岩气成藏的基础。因此上扬子区龙潭组及其与局部由长兴组相变而成的大隆组组合,及下扬子区大隆组—龙潭组—孤峰组组合,具有形成煤层气、页岩气、煤层气和页岩气复式气藏的源岩条件,存在资源的重叠组合性,是适合开展页岩气和煤层气联合研究与开发的理想层位。

3.2 页岩气和煤层气及其复式气藏聚集模式

地层在不同区域的发育展布,使扬子区形成多种气藏聚集模式。根据龙潭组和大隆组在上扬子区的组合,以及龙潭组、大隆组和孤峰组在下扬子区的组合情况,归纳出上、下扬子区页岩气和煤层气在地层空间上的气藏聚气模式。上扬子区可分三种模式,下扬子区可分两种模式(图2)。

上扬子区,图中SFM是组成龙潭组的煤层层数多,厚度大,含气量高,富含煤层气,同时泥岩层及其上部大隆组有机碳含量高,存在页岩气,综合形成以煤层气为主、页岩气为辅的复式气藏;SFY是龙潭组所含煤层较少较薄,或层多而薄,含气量较好,含煤层气,同时泥岩层及其上部大隆组有机碳含量高,具备极好的页岩气条件,综合形成以页岩

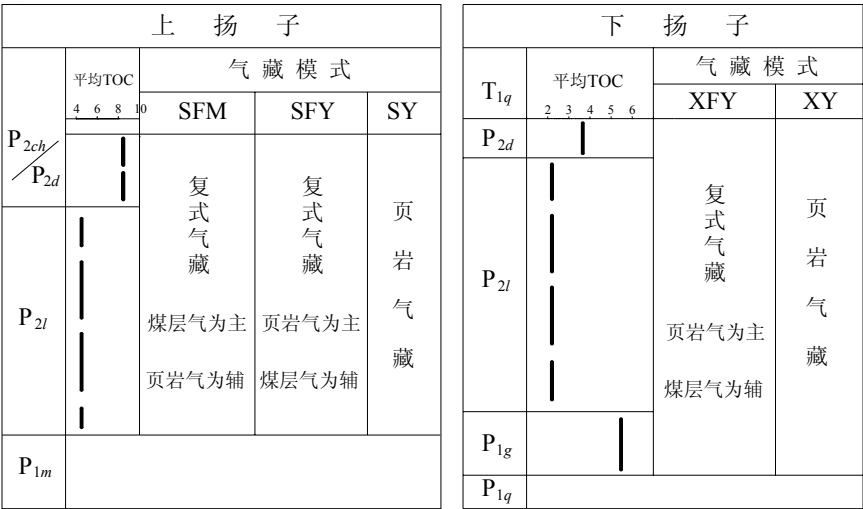


图 2 上、下扬子区二叠系页岩气和煤层气气藏模式图 (P_{2l}中煤和碳质泥岩的 TOC 未计算在上图中)

Fig.2 gas reservoir model map of the Yangtze area Permian shale gas and coalbed methane

岩气为主、煤层气为辅的复式气藏；SY 是龙潭组不含煤层或含煤线，主要由富有机质泥页岩、碳质泥岩组成，只形成页岩气藏。下扬子区，XFY 是龙潭组含煤层，厚度较小，煤层气生成条件较差，泥岩层及其上部大隆组和下部孤峰组厚度大，有机碳含量高，具备很好的页岩气成藏条件，综合形成以

页岩气为主、煤层气为辅的复式气藏；XY 是龙潭组不含煤层或含煤层极薄或含煤线，基本不具备煤层气成藏条件，泥岩与大隆组和孤峰组形成单一页岩气藏。不同区域地质条件决定的气藏聚集模式，为页岩气和煤层气的联合研究与开发提供了依据。

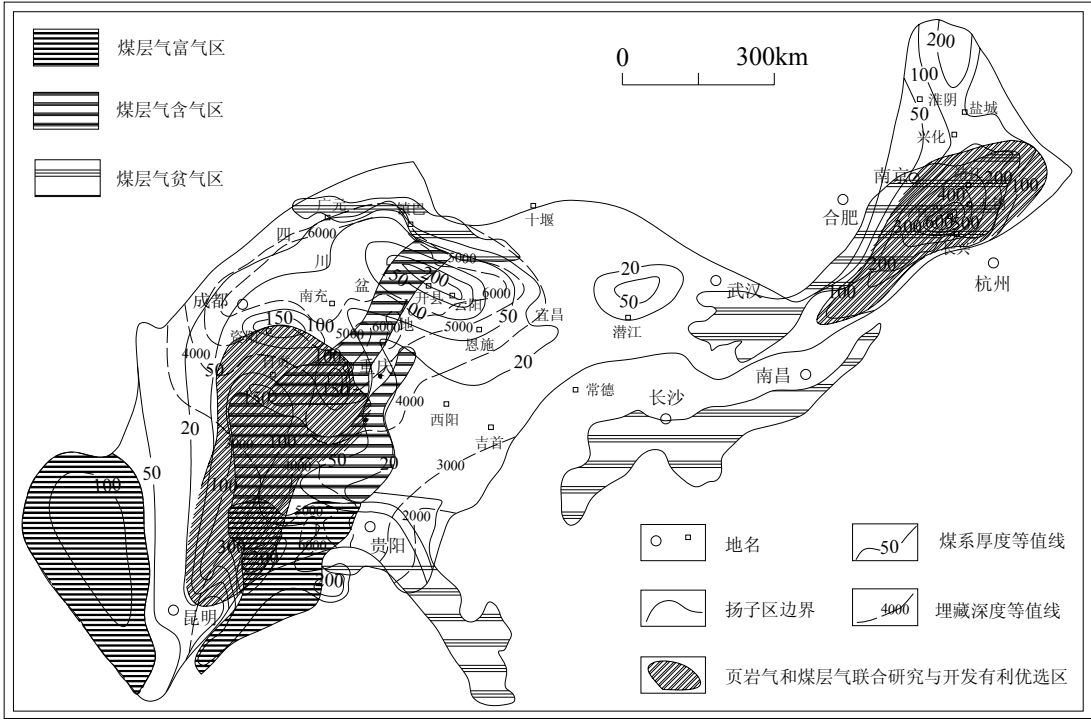


图 3 联合研究与开发优选有利区 (上扬子区为龙潭组厚度等值线图，下扬子为大隆组、龙潭组和孤峰组厚度之和等值线)

Fig.3 permian shale gas and coalbed methane combined research & develop favorable areas optimization, Yangtze region

4 联合研究与开发的有利区优选

尽管四川盆地川(东)北区,龙潭组厚度大,连续稳定,有机碳含量高,具有很好的页岩气和煤层气成藏潜力,但埋深较大,普遍超过5 000 m,在当前研究和勘探水平下不作为优选区域考虑。川南资阳自贡及重庆、黔西北地区页岩气和煤层气成藏潜力好,埋深相对较浅,是理想的优选区域。下扬子地区以苏南地区大隆组、龙潭组和孤峰组厚度大,有机碳含量高,具有很好的页岩气和煤层气成藏潜力,埋深浅,是理想的优选区,图3。

5 结论

(1) 扬子区较广泛分布的上二叠统龙潭组煤系烃源岩具有同时形成煤层气和页岩气及其复式气藏的可能性,是提出页岩气和煤层气联合研究与开发建议的地质基础。

(2) 龙潭组在上扬子和下扬子普遍发育;上扬子滇东-黔西等区煤层气资源丰富;上扬子区龙潭组及其与局部由长兴组相变而成的大隆组组合,下扬子区大隆组-龙潭组-孤峰组组合同时发育富含有机质泥页岩层,厚度较大、连续分布,有机质含量高,母质类型好,成熟度高,具有页岩气成藏的良好地质条件和丰富的资源潜力,存在页岩气和煤层气资源的重叠组合性。

(3) 上扬子龙潭组和大隆组组合,下扬子大隆组、龙潭组和孤峰组组合,形成页岩气和煤层气在地层空间上的多种气藏聚集模式。上扬子可分为煤层气为主页岩气为辅的复式气藏、页岩气为主煤层气为辅的复式气藏和页岩气藏等三种模式,下扬子可分为页岩气为主煤层气为辅的复式气藏和页岩气藏两种模式。

(4) 上扬子川南资阳、自贡及重庆、黔西北地区和下扬子苏南句容盆地,可以作为开展页岩气和煤层气联合研究与开发的优选区域。

参考文献:

- [1] 潘继平.页岩气开发现状及发展前景——关于促进我国页岩气资源开发的思考[J].国际石油经济,2009(11):11-15.
- [2] 王红岩,李景明,赵群,等.中国新能源资源基础及发展前景展望[J].石油学报,2009,30(3):469-474.
- [3] 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.

- [4] 刘成林,朱杰,车长波,等.新一轮全国煤层气资源评价方法与结果[J].天然气工业,2009,29(11):140-132.
- [5] 秦勇,程爱国.中国煤层气勘探开发的进展与趋势[J].中国煤田地质,2007,19(1):26-29,32.
- [6] 钱凯,施振生,林世国,等.中国煤层气的产业化进程与发展建议[J].天然气地球科学,2009,20(6):831-840.
- [7] 张金川,徐波,聂海宽,等.中国页岩气资源勘探潜力[J].天然气工业,2008,28(6):136-140.
- [8] 陈尚斌,朱炎铭,王红岩,等.中国页岩气研究现状与发展趋势[J].石油学报,2010,31(4):689-695.
- [9] Creties D. Jenkins, Charles M. Boyer. Coalbed and shale gas reservoirs[J]. Journal of Petroleum Technology, 2008, 60(2): 92-99(SPE103514).
- [10] 黄籍中.四川盆地页岩气与煤层气勘探前景分析[J].岩性油气藏,2009,21(2):116-120.
- [11] 李玉喜,聂海宽,龙鹏宇.我国富含有机质泥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.
- [12] 马力,陈焕疆,甘克文,等.中国南方大地构造和海相油气地质(上册)[M].北京:地质出版社,2004: 259-364.
- [13] 腾格尔,高长林,胡凯,等.上扬子东南缘下组合优质烃源岩发育及生烃潜力[J].石油实验地质,2006,28(4):359-364.
- [14] 王清晨,严德天,李双建.中国南方志留系底部优质烃源岩发育的构造-环境模式[J].地质学报,2008,82(3):289-297.
- [15] 梁狄刚,郭彤楼,边立曾,等.中国南方海相生烃成藏研究的若干新进展(一)——南方四套区域性还相烃源岩的分布[J].海相油气地质,2008,13(2):1-16.
- [16] 梁狄刚,郭彤楼,边立曾,等.中国南方海相生烃成藏研究的若干新进展(三)——南方四套区域性海相烃源岩的沉积相及发育的控制因素[J].海相油气地质,2009,14(2):1-19.
- [17] 张金川,聂海宽,徐波,等.四川盆地页岩气成藏地质条件[J].天然气工业,2008,28(2):151-156.
- [18] 王世谦,陈更生,董大忠,等.四川盆地下古生界页岩气藏形成条件与勘探前景[J].天然气工业,2009,29(5):51-58.
- [19] 王兰生,邹春艳,郑平,等.四川盆地下古生界存在页岩气的地球化学依据[J].天然气工业,2009,29(5):56-62.
- [20] 聂海宽,唐玄,边瑞康.页岩气成藏控制因素及中国南方页岩气发育有利区预测[J].石油学报,2009,30(4):484-491.
- [21] 朱炎铭,陈尚斌,方俊华,等.四川地区志留系页岩气成藏的地质背景[J].煤炭学报,2010,35(7):1160-1164.
- [22] 秦勇,桑树勋,傅雪海,等.中国重点矿区煤层气资源潜力及若干评价理论问题[J].中国煤层气,2006,3(4):17-20.
- [23] 陈尚斌,朱炎铭,王晓辉,等.松藻矿区羊叉滩井田煤层气赋存特征研究[J].煤炭科学技术,2008,36(8):91-95.
- [24] 赵靖舟,宋立军,时保宏.中国大陆区煤层气盆地划分原则与方案探讨[J].地质学报,2008,82(10):1402-1407.
- [25] 朱炎铭,赵洪,闫庆磊,等.贵州五轮山井田构造演化与煤层气成藏[J].中国煤炭地质,2008,20(10):38-41.
- [26] 覃军,张介辉,徐克定,等.中国大陆南方煤层气勘探前景评价[J].新疆石油地质,2006,27(1):118-120.
- [27] 张利萍,潘仁芳.页岩气的主要成藏要素与气储改造[J].中国石油勘探,2009,14(3):20-23.