

文章编号: 1001-1986(2011)05-0022-05

煤层群条件下的煤层气成藏特征

杨兆彪¹, 秦 勇¹, 高 弟¹, 王 斌²

(1. 中国矿业大学资源与地球科学学院, 江苏 徐州 221116;
2. 胜利石油管理局井下作业公司试气 2 队, 山东 东营 257077)

摘要: 基于对我国煤层群发育特征的分析, 在概述前人多煤层条件下煤层气成藏特征研究成果的基础上, 发现煤层群成藏特征主要表现在垂向上存在“多层统一煤层气系统”或“多层叠置含气系统”, 陆相河流-三角洲-湖泊相的煤层群一般为“多层统一煤层气系统”, 海陆过渡相的三角洲-潮坪-泻湖相煤层群一般为“多层叠置含气系统”。进一步解剖比德-三塘盆地实测钻孔资料显示, 层序组合是煤层群独立含气系统发育的关键。依据该区抽水钻孔资料分析亦证明, 至少存在 4 套独立含气系统。泻湖潮坪相发育的煤组存在超压的可能, 但储层能势分布不均匀。另外, 煤层群内部各煤层之间由于“烃浓度封闭效应”及煤层本身的低渗透性对流体流动存在“叠加封闭”作用, 使煤层群储层存在“超压”可能性增大。这些结论深化了对煤层群成藏特征的认识。

关键词: 煤层群; 含气系统; 叠加封闭; 超压; 层序; 成藏特征

中图分类号: P618.13 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1986.2011.05.006

Coalbed methane (CBM) reservoir-forming character under conditions of coal seam groups

YANG Zhaobiao¹, QIN Yong¹, GAO Di¹, WANG Bin²

(1. School of Mineral Resources and Geoscience, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China; 2. Team 2 of Downhole Test Gas, Shengli Petroleum Administration, Dongying 257077, China)

Abstract: Based on development character of Chinese coal seam groups, research fruits of predecessors about CBM reservoir-forming character under conditions of coal seam groups were summarized. CBM reservoir-forming character of coal seam groups mainly exhibited “multiple united CBM system” or “multiple superposed CBM system”, coal seam groups of land river-delta-lake environments commonly showed “multiple united CBM system”, but coal seam groups of sea-land transition delta-tideflat-lagoon environments showed “multiple superposed CBM system”. Results of further anatomizing borehole measuring data of Bide-Santang basin showed that strata sequence combination is a key factor of multi-coal-seam independent gas system. In accordance with water pumping borehole data, there are more than four independent gas systems, and overpressure may exists in coal-group developed in lagoon and tidal facies, but reservoir energy is uneven. Because of “obturation effect of hydrocarbon concentration” between each coal seam and effect of “superposed obturation of low penetrability of coal seam on liquid flowing, the possibility that overpressure exists in coal seam group increases. These findings deepen the understanding on reservoir-forming characteristics of multi coal seams.

Key words: coal seam groups; CBM-bearing system; superposed obturation; overpressure; sequence; reservoir-forming character

我国某些地区含煤地层中普遍发育煤层群, 如华北晚古生代盆地南带的下二叠统山西组和下石盒子组、西南地区的晚古生代上二叠统龙潭组等^[1]。多煤层发育地区往往是我国煤层气资源集中赋存的地区, 煤层气开发前景巨大。然而, 我国前期煤层气成藏作用研究虽有显著进展, 对煤层群条件下煤

层气成藏作用特征也有少量研究^[2], 但尚未从其重要性和新的学术高度来认识这一问题, 成藏作用特殊性没有得到系统认识, 成藏机理尚不十分明了。为此, 本文基于对煤层群特点的分析, 分析了前人关于多煤层条件下煤层气成藏条件特点的研究成果, 重点探讨了层序对煤层群物性的控制, 并提出

收稿日期: 2010-08-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(40730422); 江苏省科研创新计划项目(CX09B_117Z)

作者简介: 杨兆彪(1980—), 男, 河北张家口人, 博士研究生, 研究方向为煤层气地质。

了自己的认识和进一步研究的思路。

1 煤层群特点

前人对煤层群尚无确切定义。近期,尹中山在研究川南煤田古叙矿区煤层气地质时提出煤层群(组)的概念,即含煤地层在纵向上煤层层数多,相对集中,特征明显,易于对比,且物性差异不大,

层间距在 10 m 以内,同时这些煤层横向有一定的分布范围等特征^[3]。本文认为,煤层群是以可采煤层层数多为特征,且煤层纵向间距一般较小(<50 m),横向分布广泛,形成于同一聚煤地质时期。我国华北、西北、东北、西南地区均有煤层群发育,而不同地区煤层群的发育特点有所不同(表 1),但总体上受控于 3 类沉积体系。

表 1 中国煤层群发育特征
Table 1 Character of coal seam groups in China

含煤区域	典型代表区域或盆地	聚煤期	聚煤组或段	沉积环境	含煤层数	可采层数	可采煤层厚度/m	稳定性	煤级	煤质煤岩类型
华北聚煤区	华北盆地南带(淮北淮南矿区)	P	山西组 下石盒子组 上石盒子组	海陆过渡相 三角洲-潮坪-泻湖	20~30	12	24.69	优	烟煤—无烟煤	镜质组含量多。
	鄂尔多斯聚煤盆地(北缘、西缘)	J	延安组	陆相河流-三角洲-湖泊相	7~37	9~20	0.8~30	一般	低煤级烟煤	半亮煤半暗煤为主,自下而上镜质组含量增多,低灰煤。
西北聚煤区	准格尔盆地、吐哈盆地	J	八道湾组 西山窑组	陆相河流-三角洲-湖泊相	7~123	4~27	16.64~183.3	良	低煤级烟煤	光亮煤、半亮煤为主,镜质组含量多。
东北聚煤区	三江—穆稜盆地群	K	城子河组(珠子组)	海陆过渡相-陆相湖泊相	26~95	3~20	20.0	优	低煤级烟煤	半亮煤、半暗煤为主,自下而上镜质组含量增多。
	多伦—延吉盆地群(阜新盆地)	K	沙海组 阜新组	陆相河流-三角洲-湖泊相	9~30	9~12	26.14~42.69	优	低煤级烟煤	光亮煤和半亮煤为主,镜质组含量多。
	舒兰盆地	E	舒兰组	陆相河流-三角洲-湖泊相	20~30	8~12	9.59~19.35	优	褐煤	光亮煤和半亮煤为主,腐植组为主。
华南聚煤区	黔西比德—三塘盆地	P	龙潭组	海陆过渡相 三角洲-潮坪-泻湖	25~57	6~17	10.51~16.16	优	无烟煤	光亮煤和半亮煤为主,镜质组含量为主。
	黔西滇东盆地(恩洪盆地)	P	宣威组	陆相河流-三角洲相	18~73	8~20	16~18	优	焦煤 瘦煤	半亮和半暗型煤为主。镜质组多在 70% 以上。
	滇东盆地群	E	中新统和上新统	陆相河流-三角洲-湖泊相	5~57	1~27	<278	一般	褐煤	半暗煤为主 腐植组为主。

注:自韩德馨等^[4]、中国煤田地质总局^[5]资料提炼整理。

第 1 类是海陆过渡的三角洲-潮坪-泻湖沉积体系,这是我国煤层广泛发育的最主要聚煤环境,能够形成厚度较大且较为稳定的煤层群,如华北石炭二叠纪巨型聚煤盆地南带、华南晚二叠世聚煤盆地黔西—滇东地区(表 1)。它们均属于稳定的克拉通盆地,周期性的海退海侵反复出现,造就了周期性的含煤准层序^[6]。

第 2 类是陆相的河流-三角洲-湖泊沉积体系,如华北聚煤区的鄂尔多斯盆地、西北聚煤区的准格尔盆地和吐哈盆地、东北聚煤区的阜新盆地和舒兰盆地等。这些盆地主要形成于中生代到新生代,控制煤层群形成的主要条件是古构造。随聚煤盆地的稳定沉降和扩张及随后的盆地萎缩,适宜的聚煤环境广泛发育,在广阔的滨湖地带和泛滥平原上发育较稳定的泥炭沼泽,如此反复,进而形成煤层群。随着聚煤中心的迁移,富煤中心和煤层群也相应迁移。因此,与第 1 类沉积体系相比,陆相河流-三角洲-湖泊相煤层群具有分布范围相对较小、煤层厚度

不甚稳定的特点。例如,在准格尔盆地乌鲁木齐至阜康一带,西山窑组可采煤层 2~35 层,可采总厚达 152 m,单层最大厚度在芦草沟一带可达 50 m^[5]。

第 3 类是海陆过渡相和陆相河流-三角洲-湖泊相混杂形成的煤层群,典型代表是东北聚煤区的三江-穆稜河盆地群。该盆地群沉积和聚煤作用受到海平面和构造的双重控制作用,随着海陆沉积环境的频繁交替,有利聚煤环境反复出现,导致该类型煤层群具有煤层层数多、厚度薄、分布广和较为稳定等特点。

煤层群显微煤岩组分一般具有镜质组含量多的特点,代表一种稳定或快速埋藏的还原性聚煤环境。同时,从下部煤层到上部煤层,一般具有镜质组含量逐渐增多、惰质组含量逐渐减少的趋势。这进一步佐证了随着聚煤作用的进行,构造格局趋于稳定,有利的聚煤环境逐渐形成。例如,在鄂尔多斯盆地东胜煤田铜川矿区,延安组从下部一段向上至三段,镜质组从 52.3%增至 63.2%,惰质组由 47.1%降到 36.4%^[4]。

2 成藏特征

煤层气藏是指在同一地层压力系统下含有一定数量煤层气的地质体^[7],即“含有一定量煤层气,具有相对独立流体流动系统的煤体(或地质体)称为煤层气藏。由于构造分异作用,一个盆地在平面上往往可存在多个煤层气藏。同时,在构造单元相同的前提下,多煤层盆地在垂向上可能存在多个含煤层气系统,主控因素是煤层群之间极低渗透性岩层导致的隔水或隔气层的发育。因此其垂向煤层气含气系统的发育情况是煤层群成藏有别于单煤层成藏的最大区别。同时煤层群内部各煤层间距较小,相互之间对流体的“叠加封闭”作用也是其主要的成藏特征。

煤层群在垂向上形成的统一气藏,根据煤层气吸附原理,在一个统一的储层压力系统中,煤层埋深加大或层位降低,煤储层压力随之增高,煤层含气量呈现递增或递减(在临界饱和深度之下)规律^[8],即属于一个统一的含气系统。

在国内外不乏煤层群统一成藏的实例。Piceance 盆地是美国煤层气开发成功的煤层气盆地,同时也是多煤层储层,煤层群组间由于发育了海相砂岩,渗透性好,存在水力联系,从压力系统来看,Piceance 盆地处于统一的压力系统,因而根据煤层气藏定义为一个煤层气藏,即在垂向上,煤层群处于一个含气系统,不存在多个含气系统。阜新盆地地下白垩统的阜新组分为 3 个煤层群,刘家勘探区煤储层压力和实测含气量随埋深的增加而增加^[9]。阜新组的主要含水层为砂砾岩层和煤层,含水带为辉绿岩岩墙。各含水层之间缺乏区域性隔水层,而且本区辉绿岩岩墙裂隙非常发育,不仅是一个含水带,而且沟通了所有含水层,使得煤层气藏内的所有煤层处于同一流动单元,构成了多煤层统一煤层气藏。从上述两个实例可以发现,煤层群处于一个统一的含气系统,前提是隔水隔气层的缺乏或不发育,而发育于陆相河流-三角洲-湖泊相的煤层群一般缺乏低渗透性岩层的发育。其中沟通性的岩浆侵入或是开发性断层的发育,在一定程度上可以导通含水或含气层,从而使整个煤层群处于一个统一的含气系统。

秦勇在对比德-三塘盆地水公河向斜垂向上多煤层的含气性研究后发现,发育于龙潭组的煤层群在垂向上存在 3 个独立的含气系统,1-7 煤层、8-21 煤层、22-35 煤层处于不同的压力系统,因而是 3 个独立的煤层气藏,首次提出了“多层叠置独立含煤层气系统”的新观点^[2]。这主要是因为龙潭组三角洲-潮坪-泻湖沉积体系,形成了由细粒碎屑岩构成的煤层顶底板或煤层之间的致密岩层,具有高度隔水

阻气作用,使得垂向上不同岩层(组合)之间水力相互封闭,不同煤层之间几乎不存在气-水交换作用。煤层群垂向上多个含气系统独立发育的情况在滨海相三角洲-潮坪-泻湖沉积体系中较为普遍。

经过进一步解剖比德-三塘盆地单孔中岭 57 孔和五轮山 21-4 孔,通过绘制煤层群含气量随埋深变化关系图(图 1),发现曲线波动复杂,基本未表现出递增趋势,而是各自表现出独特的含气系统。然而,两者之间表现出共性,暗示着层序控气的关键,即随层位降低,都在 7-8-9 煤附近含气量突然降低,最低的煤层含气量煤层为 9 煤和 10 煤,而后在煤层群下段煤层含气量开始增高。研究区含煤地层可分为 3 段,7 煤和 23 煤在其分界线附近。从下往上,这 3 段的沉积相依次为泻湖-潮坪相、下三角洲平原相、泻湖-潮坪相。泻湖-潮坪相,泥质岩发育,煤层组封闭性较好;下三角洲平原相,细砂岩发育,煤层组封闭性稍差,流体交换能力较强。因此,两个单孔在煤层组中段,煤层含气量表现为大幅度降低。这间接说明,上、中、下 3 段基本缺乏流体交换,上、下两段基本保持了各自独立的含气系统。煤层群含气系统的独特性在于层序的控制,一般泥质岩发育的泻湖-潮坪相可以形成独立含气系统,使煤层含气量在垂向表现出不同程度的波动性,而波动性的大小间接反映了含煤岩系封闭性的强弱。

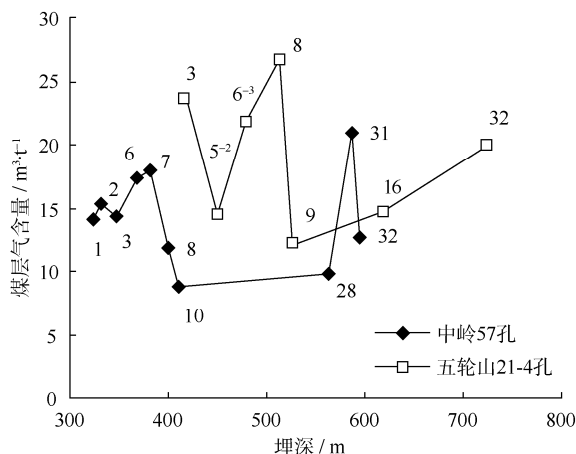


图 1 单孔甲烷含量随埋深变化图

Fig. 1 The variation of single borehole methane content with depth
注: 图中数字为煤层编号

分析煤田钻孔抽水资料,为了解含煤地层中流体连通情况提供一定信息。比德-三塘盆地肥田 3 号勘探区将含煤岩层分 4 段分别作了抽水实验,抽水段为 2-6 煤、6-16 煤、16-30 煤、30-煤层底部。根据部分单孔资料,可知各煤组具有不同的水位标高及水头高度,既具有独立的压力系统,间接佐证

了煤层群至少存在 4 套独立的含气系统。依据各煤组水头高度分别计算了视储层压力,并换算了压力系数(图 2)。在缺乏试井资料前提下,依据水头高度可以用来评价储层能势的大小。结果显示:超压部分基本出现在 2-6 煤和 6-16 煤含煤层段,最大值出线在 2-6 煤段,且严重欠压也出现在 2-6 煤段。压力系数离散性大,离散性随埋深的增大而减小(图 2)。这种现象说明龙潭组上段含煤岩系非均值性强,封闭性强,这与泻湖-潮坪相泥质岩发育密不可分,但非均值性强,导致流体侧向交换能力可能变弱,压力系数离散性增大。16-30 煤、30 煤底段压力系数接近 1,但均表现为弱欠压,同时随埋深的变化,压力系数离散性很小,这与 2-6 煤和 6-16 煤段截然相反,这种情况可能说明龙潭组中段和下段含煤岩系非均质性弱,流体侧向交换能力较强,储层能势分布均匀,但弱封闭性导致了其压力系数为弱欠压。

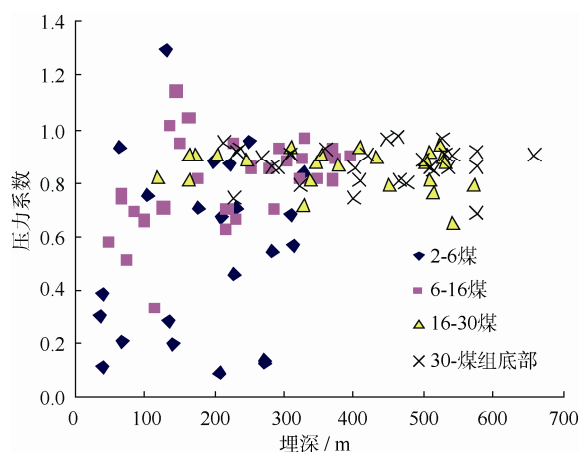


图 2 肥田 3 号各煤组压力系数随埋深变化图

Fig. 2 The variation of pressure coefficient of each coal group with depth

不论是煤层群在垂向上统一成藏,或是多层叠置独立成藏,煤层群在资源量评价方面具有一个最大的特点,即资源丰度高,由于煤层群发育,虽然煤层厚度不大,但资源丰度远远高于全国平均水平 $1.15 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ [10]。本文认为,这是由于煤储层中的甲烷气体在原始状态下一般以扩散的方式运移,煤层群条件下相邻煤层存在相互的烃浓度封闭 [11],同时煤层本身就是一种高度致密的低渗透性岩层 [7],扩散系数一般相当于泥岩的扩散系数,而远远低于砂岩的扩散系数,从而在一定程度上彼此作为间接“盖层”,阻挡了煤层气的垂向扩散运移,有利于煤层气的富集保存,换言之,煤层群内部各煤层之间存在“叠加封闭”作用。即多煤层中煤层气扩散散失强度要低于单一煤层,内部煤层扩散强度要低于边界煤层 [11]。

另外注意到,在煤层群地区所做的煤层气试井中,一般存在超压现象,而超压对于煤层气开采是最为有利的。据我国主要含煤区煤层气储层压力梯度平均值的统计数据显示,超压地区一般集中在煤层群发育的地区:比如六盘水为 10 kPa/m;铁法为 10.18 kPa/m;淮南为 10.82 kPa/m;韩城为 11.5 kPa/m;河东为 10.11 kPa/m;而沁水盆地 6.58 kPa/m;安阳地区为 6.2 kPa/m;峰峰为 6.45 kPa/m;寿阳地区为 7.78 kPa/m [12]。不可否认,形成超压需要多种条件的匹配,而煤层群是否和超压存在着某种联系,需要探讨。尤其是存在“多层叠置煤层气系统”的地区,比如黔西地区,据贵州青山向斜和五轮山井田的研究成果 [13-14],该区域即存在超压的可能性。在该区域实施的多口探煤钻孔发生井喷或气、水同喷 [15],究其实质在于形成“多层叠置煤层气系统”需要在垂向上和平面区域上分布有低渗透性的岩层,以便能阻挡水、气的运移。而形成超压最重要的因素是生烃条件、保存及封盖条件和水动力条件 [16],其中保存及封盖条件同样需要低渗透性的岩层作为垂向或侧向的封闭。“多层叠置煤层气系统”和“超压”的发生需要同样的条件,两者之间存在着一定的联系,其实质关系仍需作深入的探讨和研究。

3 研究展望

煤层群成藏特征主要为静态特征,包括储层空间展布、含气性、吸附性、储层物性、储层压力和封闭条件,封闭条件又涉及到构造、沉积、水文的互相搭配。对煤层群成藏特征的深入理解和认识,需要综合运用煤田地质、煤层气地质、煤岩学、煤地球化学,以及各种地质学科(沉积、构造、水文)。对于单煤层的成藏特征,前期煤层气地质研究主要着眼于煤储层静态特征在平面区域的变化规律,进而来寻求最佳勘探位置。对于煤层群成藏特征研究,将主要从垂向含煤层序的崭新角度来研究成藏作用机制。

本文尝试引入层序地层学来研究煤层群在垂向和平面上的时空配置关系。层序地层学突出地层序列中的各种关键性物理界面,特别是古间断面,并有效地建立沉积盆地的等时地层格架。这一技术方法体系已有效地用于预测不同类型的储集体 [17]。通过划分层序界面,也就是流体流动单元岩石物性边界,探讨煤层群间在垂向上的成藏特征。因此,借助层序地层学来研究煤层群层序地层格架的时空分布,不失为一种有效手段。

具体而言,将层序地层学引入煤层气勘探领域主要包括以下内容:**a.**以层序地层学理论来分析,解释煤层纵向及垂向分布规律,即预测煤层气储层的空间分布;**b.**研究煤层气保存与体系域之间的关系,即研究煤层气富集区或垂向独立成藏区与体系域的关系;**c.**研究煤层渗透性、含气性、吸附性与沉积物供给、气候变化之间的关系,也就是通过层序界面的确定,来研究储层物性与层序之间的对应关系。

4 结 论

a.根据煤层群发育条件,系统总结了我国煤层群的发育特点,划分出 3 种煤层群的沉积环境:一种是海陆过渡相的三角洲-潮坪-泻湖相,其煤层群分布广泛,发育稳定;一种是陆相河流-三角洲-湖泊相,其煤层群具有分布相对零散,不稳定的特性,但可采煤层厚度大,变化也大;第 3 种为海陆过渡相和陆相河流-三角洲-湖泊相混杂,其煤层群具有层数多,厚度薄,分布广,稳定等特点。

b.煤层群成藏特征主要表现为垂向上存在“多层统一煤层气系统”或“多层叠置含气系统”。陆相河流-三角洲-湖泊相的煤层群一般为“多层统一煤层气系统”,而“多层叠置含气系统”在海陆过渡相的三角洲-潮坪-泻湖相具有普遍性。进一步解剖比德-三塘盆地单孔资料发现,层序组合是“多层叠置独立含气系统”发育的关键,且抽水钻孔资料证明了该区存在多套含气系统。根据水头高度换算出压力系数,发现泻湖潮坪相存在超压的可能性,但储层能势分布不均匀,压力系数离散性大,而下三角洲平原相储层能势分布均匀,但封闭性较差,表现为弱欠压。

c.煤层群内部各煤层之间的“烃浓度封闭效应”及煤层本身的低渗透性对流体起到了“叠加封闭”作用,使得煤层群储层存在“超压”的可能性增大。

(上接第 21 页)

不完全对称型(C3 型)等 7 种短期基准面旋回亚类型。

d.短期基准面旋回层序的垂向和平面分布的规律性:在辫状河(扇)三角洲前缘水下分流河道,以发育低可容纳空间的 A1 型层序为主;在河口坝及前缘席状砂发育部位,以发育 B 型层序为主;水下分流河道与河口坝连续过渡部位,以发育 C 型层序为主。

参考文献

- [1] 吴明荣,姜在兴,邱隆伟,等.白音查干凹陷南部缓坡带白垩系层序地层及其与油气藏的关系[J].石油大学学报(自然科学版)2001,25(5):1-5.
- [2] 张福顺,王生朗,孙宜朴,等.白音查干凹陷层序地层研究[J].石油勘探与开发,2003,30(4):32-33,121.

参考文献

- [1] 杨起,韩德馨.中国煤田地质学[M].北京:煤炭工业出版社,1980.
- [2] 秦勇,熊孟辉,易同生,等.论多层叠置独立含煤层气系统——以贵州织金-纳雍煤田水公河向斜为例[J].地质评论,2008,54(1):65-69.
- [3] 尹中山.川南煤田古叙矿区煤层气勘探选层的探讨[J].中国煤炭地质,2009,21(2):24-27.
- [4] 韩德馨,任德贻,王延斌,等.中国煤岩学[M].徐州:中国矿业大学出版社,1995.
- [5] 程爱国,林大扬.中国聚煤作用系统分析[M].徐州:中国矿业大学出版社,2001.
- [6] 李思田,李祯,林畅松,等.含煤盆地层序地层分析的几个基本问题[J].煤田地质与勘探,1993,21(4):1-8.
- [7] 秦勇.中国煤层气地质研究进展与评述[J].高校地质学报,2003,9(3):339-350.
- [8] 秦勇,宋全友,傅雪海.煤层气与常规油气共采可行性探讨——深部煤储层平衡水条件下的吸附效应[J].天然气地球科学,2005,16(4):492-497.
- [9] 安震.刘家勘探区煤储层特征及煤层气开发条件研究[J].中国矿业大学学报,2003,32(2):183-185.
- [10] 叶建平,秦勇,林大扬.中国煤层气资源[M].徐州:中国矿业大学出版社,1999.
- [11] 韦重韬,周荣福.煤层气多层扩散逸失地质历史模型及数值模拟[J].高校地质学报,2003,9(3):390-394.
- [12] 李仲东,周文,吴永平.我国煤层气储层异常压力的成因分析[J].矿物岩石,2004,24(4):87-92.
- [13] 熊孟辉.五轮山矿区煤层气赋存规律及其资源潜力[D].徐州:中国矿业大学,2006:1-75.
- [14] 刘龙乾.青山矿区煤层气赋存规律及其资源潜力[D].徐州:中国矿业大学,2007:1-84.
- [15] 桂宝林.煤层气勘探目标评价方法-以滇东黔西地区为例[J].天然气工业,2004,24(5):32-35.
- [16] 吴永平,李仲东,王允诚.煤层气储层异常压力的成因机理急受控因素[J].煤炭学报,2006,31(4):475-479.
- [17] 李思田.盆地动力学与能源资源-世纪之交的回顾与展望[J].地学前缘,2000,7(3):1-7.

- [3] 邓宏文,王红亮,祝永军,等.高分辨率层序地层学—原理及应用[M].北京:地质出版社.2002.
- [4] 郑荣才,彭军,吴朝容.陆相盆地基准面旋回的级次划分和研究意义[J].沉积学报,2001,19(2):249-255.
- [5] 张义楷,孙伟.盘古梁长 6 油层组高分辨率层序地层分析对比[J].煤田地质与勘探,2006,34(2):5-7.
- [6] 鲁静,邵龙义,鞠奇,等.柴北缘大煤沟矿区侏罗纪煤系层序地层及其煤岩变化特征[J].煤田地质与勘探,2009,37(4):9-14.
- [7] 王卫红,姜在兴,操应长,等.测井曲线识别层序边界的方法探讨[J].西南石油学院学报,2003,25(3):1-4.
- [8] 李震,范宜仁,邓少贵,等.利用测井资料研究层序的方法述评[J].测井技术,2006,30(5):411-415.
- [9] 李新虎.测井曲线最优特征值在层序界面识别中的应用[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2006,21(3):26-30.