

地质与测量

# 黔西地区煤储层物性差异及其成因机制分析

邓会娟, 夏浩东, 崔立伟

(国土资源实物地质资料中心, 河北 三河 065201)

**摘要:** 为了探究黔西地区煤层气勘探开发潜力, 采用多种测试手段, 系统分析了该地区 2 种典型区块( 织纳和盘关) 的煤储层在孔隙结构、吸附性、孔渗特征等方面的差异, 并深入剖析了该差异的形成机制。结果表明: 黔西地区煤储层物性差异的主控因素是煤的变质程度, 而煤的变质程度又受控于煤层的沉积埋藏史和后期的构造热事件; 沉积埋藏史决定了织纳和盘关两区之间的煤阶差异, 而后期的构造热事件是织纳和盘关地区内部煤阶差异的主控因素。不同的沉积埋藏史及构造热事件产生了不同的煤化作用史, 导致了煤岩在物理、化学结构上的差异, 从而决定了黔西地区煤储层物性的差异。

**关键词:** 煤储层; 黔西地区; 沉积埋藏史; 构造热事件

中图分类号: TD163 文献标志码: A 文章编号: 0253 - 2336( 2014) 09 - 0126 - 04

## Analysis on Physical Properties Differences and Origin Mechanism of Coal Reservoirs in Qianxi District

DENG Hui-juan, XIA Hao-dong, CUI Li-wei

( Territorial Resources Object Geological Information Center, Sanhe 065201, China)

**Abstract:** In order to explore the potential of coalbed methane exploration and development in Qianxi District, based on various tests, the differences in physical properties ( such as the pore structure, adsorptivity, porosity and permeability, etc. ) of coal reservoirs in two typical areas ( Zhina and Panguan ) were systematically analyzed, and the origin mechanism of their differences were furthermore deeply analyzed. The results show that the differences in physical properties of coal reservoirs in Qianxi District are mainly controlled by the evolution degree of coal reservoirs. The evolution degree is dominated by the sedimentary and burial history as well as the tectonic thermal events afterwards. The sedimentary and burial history determines the differences in coal ranks between Zhina area and Panguan area, while the tectonic thermal events are the main controlling factors of their internal differences in coal ranks. Resulting from the various sedimentary and burial history or tectonic thermal events, different evolution processes and physical - chemical structures generate, which in return determine the physical properties of coal reservoirs in Qianxi District.

**Key words:** coal reservoir; Qianxi district; sedimentary and burial history; tectonic thermal events

## 0 引 言

黔西地区是中国南方广大区域内高含气量、高资源强度、高采收率的煤层气有利选区, 该区煤层气的勘探与开发对于我国煤层气资源的贡献具有现实意义<sup>[1]</sup>。煤储层物性研究是确定煤层气勘探与开发潜力的先决条件, 因此, 对黔西地区煤储层物性的研究显得尤为重要。煤储层物性包括含气性、孔裂隙性和渗透性等, 其中含气性主要表现为煤储层孔

隙对煤层气的吸附, 渗透性实质是对煤储层孔裂隙系统的综合反映, 煤的孔裂隙特征不仅与孔裂隙中气体的赋存状态有关, 而且也极大影响到孔裂隙与气液分子间的相互作用。因此, 对煤储层物性的研究实质就是揭示煤储层孔裂隙系统对煤层气储集、渗流及产出的控制作用<sup>[2-4]</sup>。煤储层中宏观裂隙、大孔、中孔是煤层气渗流的主要贡献者, 而微孔和小孔是煤层气吸附、扩散的主要贡献者<sup>[5-6]</sup>。许多学者从煤阶、煤质、煤岩组分等煤自身因素角度对煤储

收稿日期: 2014 - 04 - 22; 责任编辑: 曾康生 DOI: 10. 13199/j. cnki. cst. 2014. 09. 0029

基金项目: 中国地质调查局科技攻关资助项目( 1212011120404)

作者简介: 邓会娟( 1966—), 女, 河北三河人, 高级工程师, 硕士。E - mail: denghj1966@ 163. com

引用格式: 邓会娟, 夏浩东, 崔立伟. 黔西地区煤储层物性差异及其成因机制分析[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42( 9) : 126 - 129. 60.

DENG Hui-juan, XIA Hao-dong, CUI Li-wei. Analysis on Physical Properties Differences and Origin Mechanism of Coal Reservoirs in Qianxi District[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42( 9) : 126 - 129. 60.

层物性的影响进行了分析<sup>[7-10]</sup>, 还有学者探讨了岩浆热变质作用对煤层气生气和储层物性的控制作用<sup>[11-13]</sup>。笔者利用各种测试手段, 研究了黔西地区的 2 个典型区块( 织纳和盘关) 的煤储层物性差异, 同时对这 2 个区块的沉积埋藏史进行了恢复, 结合流体包裹体测试分析, 阐明了研究区的煤化作用史, 得到了黔西地区煤储层物性差异及其形成机制。

### 1 研究区块地质概况

黔西地区属于晚二叠世上扬子聚煤盆地的一部分, 位于扬子陆块西段, 区域上包括贵州水城、盘关、织金、纳雍等地<sup>[14]</sup>。早二叠世后期的东吴运动结束了栖霞茅口期陆表海环境, 整个上扬子盆地反升成陆, 遭受了不同程度的风化剥蚀和淋滤残积作用, 造就了广阔的残积平原, 为含煤建造的沉积准备了地形条件; 随后, 早期康滇古陆进入裂谷成弯期发展阶段, 大量玄武岩浆溢流喷发, 堆积成连绵起伏的玄武岩山地; 晚二叠世早期, 在北东向构造格架为主导的控制下, 形成了由北往南、由北西往东倾斜的地势, 并形成了 3 个不同的沉积相区, 控制了晚二叠世的成煤; 燕山运动使白垩纪以前的地层和聚煤期形成的煤系, 均遭到褶皱和断裂的强烈改造, 形成后期的构造格架<sup>[15]</sup>。黔西地区主要含煤系地层位于上二叠统的龙潭组中、上部 and 长兴组下部, 为一套海陆交互沉积, 由晚二叠世多期沉积的三角洲叠合而成, 其下部地层为峨眉山玄武岩, 上部盖层为下三叠统飞仙关组<sup>[16]</sup>。

### 2 样品采集与试验

研究采集了织纳区块的样品 5 块( ZN1—ZN5); 采集盘关区块样品 6 块( PG1—PG6), 样品采集充分考虑了地域分布和主采煤层等因素。在样品采集的基础上, 对 22 块样品进行了镜质组反射率  $R_o$  测试, 压汞孔径分析, 常规孔渗测试, 甲烷等温吸附试验以及流体包裹体测试分析。

### 3 试验结果与讨论

#### 3.1 煤储层物性差异分析

1) 煤储层孔隙结构特征。前人将煤岩孔隙分成大孔( 孔径大于 1 000 nm)、中孔( 孔径 100 ~ 1 000 nm)、小孔( 孔径 10 ~ 100 nm) 和微孔( 孔径小于 10 nm)<sup>[17]</sup>。压汞孔径测试结果见表 1, 织纳区块煤储层孔隙结构以微、小孔占优, 平均值为 84.49%, 而盘关区块大、中孔相对发育; 织纳区块煤岩进汞饱和度低于盘关区块, 这也说明织纳区块煤储层的孔

隙结构以微、小孔为主, 孔隙相对偏细, 导致汞蒸汽难以进入孔隙; 盘关区块的煤岩样品排驱压力普遍低于织纳区块, 因为排驱压力随着孔隙中大、中孔含量的增高而减小。煤岩镜质组反射率测试表明: 织纳区块煤岩变质程度高于盘关区块, 变质程度低的煤层埋深浅, 煤岩基质较松散, 孔隙结构以大、中孔为主; 而变质程度高的煤层埋深增大, 煤岩基质经过压实变得致密, 大、中孔减少, 微、小孔发育。

表 1 黔西地区煤储层物性常规分析数据

区 块	样 品 号	$R_o / \%$	进汞饱 和度 / %	退汞效 率 / %	排驱压 力 / MPa	压汞孔径段孔隙含量 / %		
						大孔	中孔	微、小孔
织 纳	ZN1	1.64	32.78	31.24	0.07	19.28	5.25	75.47
	ZN2	2.03	29.21	75.73	4.66	5.31	5.85	88.84
	ZN3	2.64	30.57	80.95	—	4.54	7.16	88.30
	ZN4	3.14	17.77	42.04	6.31	3.28	7.01	89.71
	ZN5	3.31	34.77	41.16	3.92	6.46	13.41	80.13
盘 关	PG1	0.71	27.97	58.92	4.10	4.96	12.48	82.56
	PG2	0.87	37.68	40.73	—	11.52	16.46	72.02
	PG3	0.81	43.28	26.57	1.97	22.55	9.00	68.45
	PG4	0.89	36.01	39.32	0.08	19.65	6.78	73.57
	PG5	1.23	44.25	43.46	1.03	11.04	22.17	66.79
	PG6	1.27	40.9	31.05	0.13	19.95	13.33	66.72

2) 煤储层吸附性。煤层甲烷主要以吸附状态赋存于煤的孔隙系统中, 因此煤的吸附能力不仅是影响煤层含气量的关键因素之一, 而且对煤层气的采收率具有决定性的作用。通常用等温吸附试验的兰氏体积和兰氏压力来评价煤储层的吸附性能, 兰氏体积是煤层气储层的极限吸附量, 代表煤层气储层的吸附能力; 兰氏压力是实际吸附量达到极限吸附量 50% 时的压力, 代表煤层气储层吸附气体的难易程度。黔西织纳和盘关区块衡水煤样的等温吸附测试结果表明( 图 1), 织纳区块中、高煤阶煤储层中孔隙以微、小孔为主, 样品吸附能力普遍较高, 原煤的兰氏体积为 27.17 ~ 39.62  $m^3/t$ , 均值为 32.72  $m^3/t$ , 兰氏压力为 2.08 ~ 2.74 MPa, 均值为 2.68 MPa; 而盘关区块中、低煤阶煤储层的原煤兰氏体积的平均值为 13.83  $m^3/t$ , 兰氏压力为 1.97 MPa, 均低于织纳区块。

3) 煤储层孔渗特征。织纳区块煤储层孔隙度范围为 1.8% ~ 6.6%, 平均 4.0%, 渗透率为 0.01 ~ 3.56  $\times 10^{-3} \mu m^2$ , 平均 0.71  $\times 10^{-3} \mu m^2$ ; 而盘关区块煤储层孔隙度范围为 2.8% ~ 7.9%, 平均为 6.1%, 渗透率为 (0.2 ~ 14.7)  $\times 10^{-3} \mu m^2$ , 平均为 4.22  $\times 10^{-3} \mu m^2$ ( 表 1)。两区的孔渗特征存在显著的差异, 织纳区块为中、高煤阶煤储层,  $R_o = 1.64\% \sim$

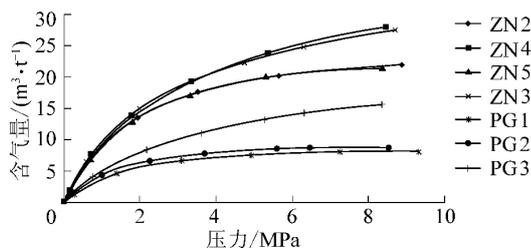


图1 黔西地区煤储层甲烷等温吸附曲线特征

3.31% ,孔隙度低 ,渗透性差;而盘关区块煤储层以中、低煤阶为主,  $R_o = 0.71\% \sim 1.27\%$  ,孔隙度高 ,渗透性好。

### 3.2 煤储层物性差异的形成机制分析

黔西织纳和盘关区块煤储层物性差异的主控因素是煤的变质程度,试验结果表明煤储层物性与煤的变质程度密切相关,随着煤变质程度的增加,煤储层的孔隙度、渗透率及甲烷吸附能力都发生较大的变化。煤的变质程度受控于煤层埋深及后期的构造热事件,通过对黔西织纳和盘关区块的沉积埋藏史和热演化史的恢复,结合流体包裹体测温数据,明确深成变质作用和岩浆热变质作用对煤变质程度的影响,准确把握2 区块煤储层物性差异的形成机制。

#### 3.2.1 沉积埋藏史分析

沉积埋藏史和热演化史的恢复采用 Basin - Mod 盆地模拟软件完成,地层分层数据参考实钻地层数据及各区域地质资料,在参考前人研究成果的基础上,结合区域热史资料,确定了各地质时期古地温梯度。有机成熟度计算采用 LLNL 动力学模型,数值模拟过程中采用实测镜质组反射率进行约束,以保证重建的地层埋藏 - 有机质热演化史符合实际地质过程。

织纳区块上二叠统煤层于三叠世末期进入低成熟期,古地温为  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  ,对应长焰煤阶段,  $R_o = 0.5\% \sim 0.7\%$  ;到侏罗世早期进入成熟期,古地温为  $115\text{ }^{\circ}\text{C}$  ,对应气煤阶段,  $R_o = 0.7\% \sim 1.0\%$  ;早侏罗世末期进入成熟后期,古地温为  $140\text{ }^{\circ}\text{C}$  ,对应肥煤 - 焦煤阶段,  $R_o = 1.0\% \sim 1.3\%$  ;至晚侏罗世末期进入高成熟期,古地温为  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$  ,对应瘦煤 - 贫煤阶段,  $R_o = 1.3\% \sim 2.6\%$  (图2)。

盘关区块埋深浅,地温梯度小,煤化程度相对于织纳区块较低,上二叠统煤于三叠世末期才进入低成熟期,古地温为  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$  ,对应长焰煤阶段,  $R_o = 0.5\% \sim 0.7\%$  ;到晚侏罗世早期进入成熟阶段,古地温为  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  ,对应气煤阶段,  $R_o = 0.7\% \sim 1.0\%$  ;后期煤系地层抬升,煤化作用停止(图3)。

沉积埋藏史对煤的变质程度起着决定性作用,

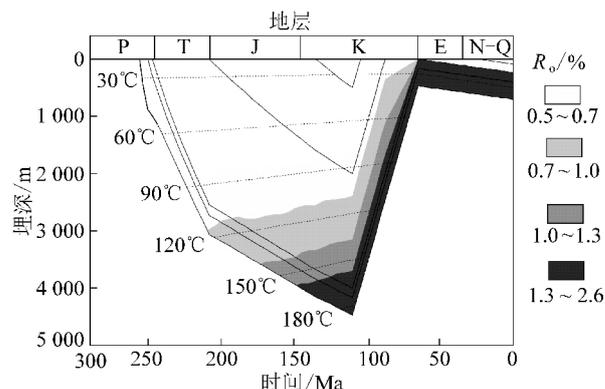


图2 织纳区块煤层埋藏和热演化史

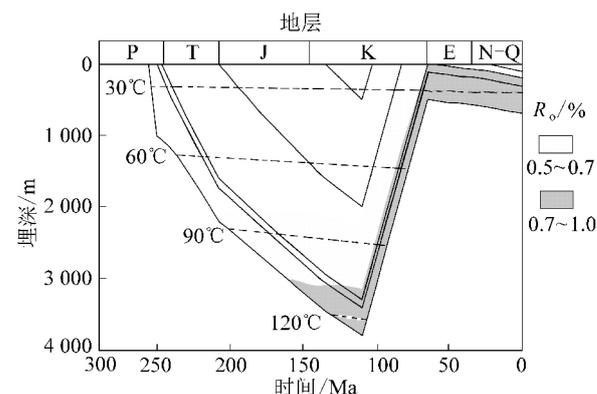


图3 盘关区块煤层埋藏和热演化史

而煤的孔裂隙结构及吸附能力随着煤阶的不同而发生显著的变化。盘关区块中、低煤阶煤孔隙以大、中孔为主,孔隙度和渗透率均高于织纳区块,而织纳区块中、高煤阶煤孔隙以微、小孔为主,其甲烷吸附能力远高于盘关区块。这是因为随着煤变质程度的提高,煤的物理和化学结构随之发生了变化:在物理结构上,煤中大孔随着埋深的增加,物理压实作用增大,大孔破碎,水分排出,使得原生大孔隙减少,孔隙度下降,渗透率降低;在化学结构中,低煤阶分子结构无序性强,芳香片层间距较大,侧链较长,因而形成比较松散的空间结构,具有较大的孔隙度,使得低煤阶煤单位内表面上的碳原子密度小,亲甲烷能力低,随着煤变质程度的提高,缩合环显著增大,侧链和官能团减少,煤分子的定向排列和各向异性显著提高,芳香片层排列更紧密,间距减小,孔隙度和渗透率降低,而比表面积增大,同时羟基和羧基官能团大量脱落,煤的亲甲烷能力显著增加。

#### 3.2.2 构造热事件的改造作用

织纳区块热演化史模拟的结果中煤的变质程度能达到贫煤阶段,  $R_o$  值不会超过  $2.6\%$  ,而实测煤样  $R_o = 1.64\% \sim 3.31\%$  ,部分样品的变质程度已经达到无烟煤阶段。该区钻孔取样测得包裹体均一温度

为 115 ~ 244 °C (图 4a), 很明显地可以将其分为 2 期, 一期的温度为 115 ~ 192 °C, 相当于煤层的深成变质作用, 与该区沉积埋藏史的模拟结果一致; 另一期温度为 206 ~ 244 °C, 这一期温度较高, 是由于后期的构造运动, 使得局部地区幔源岩浆的上升和侵入, 热流体被晚二叠世地层所捕获。盘关区块实测煤样  $R_o = 0.71\% \sim 1.27\%$ , 煤变质程度达到肥煤阶段, 而模拟结果中的煤变质程度只达到气煤阶段。根据包裹体测温结果分析, 盘关区块煤的演化也是深成变质和区域岩浆变质叠加作用的结果, 包裹体均一温度也分为 2 期: 一期温度 65 ~ 119 °C, 相当与晚二叠的古地温, 与模拟结果一致; 另一期温度 135 ~ 150 °C, 是后期构造热事件作用的结果(图 4b)。

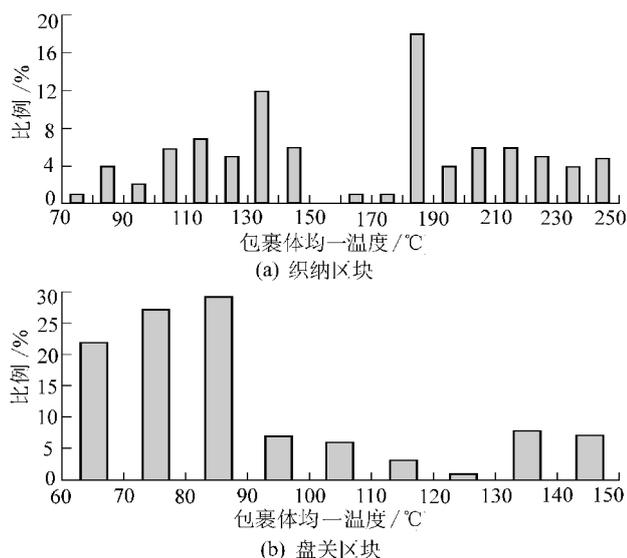


图 4 黔西地区煤储层流体包裹体均一温度特征

黔西地区煤的热演化经历了前燕山期和燕山期 2 个阶段, 前燕山期以深成变质为主, 燕山期以区域岩浆热变质为主。前燕山期织纳区块煤层最大埋深达 4 500 m, 且具有较高的古地温梯度, 该区块的深成变质作用使得煤层演化到贫煤阶段; 而盘关区块由于埋深浅, 古地温梯度正常, 该区的煤层在深成变质作用的影响下只能演化到气煤阶段。在燕山期异常地热背景的影响下, 部分地区煤阶增高、煤层快速生烃, 尤其在大断裂发育的地区, 煤岩中存在大量的变质气孔, 这是由于大断裂造成幔源岩浆的上升、侵入和强烈的热液活动, 对煤层产生接触热变质作用, 煤的变质程度提高。区域岩浆变质作用使得织纳区块部分煤层演化到无烟煤阶段, 同时也使得部分盘关区块的气煤演化到肥煤 - 焦煤阶段。高温作用使煤中有机质挥发, 留下很多密集成群的浑圆状或管状气孔, 提高了煤储层的孔隙度。织纳区块煤样 ZN4

和 ZN5 煤阶较高,  $R_o$  分别为 3.14% 和 3.31%, 其孔隙度明显优于其他样品, 盘关区块也存在类似的情况, 煤样 PG5 和 PG6 的  $R_o$  分别为 1.23% 和 1.27%, 其孔隙度和大、中孔含量明显高于该区煤阶较低的样品。

#### 4 结 论

1) 黔西地区织纳区块为中、高煤阶煤储层, 煤岩孔隙结构以微、小孔占优, 孔隙度低, 渗透性差, 盘关区块煤储层以中、低煤阶为主, 大、中孔相对发育, 孔隙度高, 渗透性好; 而织纳区块煤岩兰氏体积和兰氏压力均高于盘关区块, 表明织纳区块煤层对甲烷的吸附能力明显高于盘关区块。

2) 黔西地区织纳和盘关区块煤储层物性差异的主控因素是煤的变质程度, 而煤的变质程度受控于煤层的沉积埋藏史和后期的构造热事件, 沉积埋藏史决定了织纳和盘关两区之间的煤阶差异, 而后期构造热事件是织纳和盘关区块内部煤阶差异的主控因素。

3) 黔西地区煤储层物性随着煤阶的不同而发生显著的变化, 低煤阶孔隙度高, 渗透性好, 而吸附性较差, 随着煤层埋深的增加, 煤变质程度增强, 孔隙度变差, 吸附性变大; 后期的构造热事件使得局部区块煤层变质程度增强, 发育了大量气孔, 改善了煤储层的孔渗特征。

#### 参考文献:

[1] Gao D, Qin Y, Yi T S. CBM Geology and Exploring Developing Stratagem in Guizhou Province, China [J]. Procedia Earth and Planetary Science 2009(1): 882 - 887.  
 [2] Gilman A. and Beckie R. Flow of Coalbed Methane to a Gallery [J]. Transport in Porous Media 2000 41(1): 1 - 16.

(下转第 60 页)

软启动技术应用到成套设备上仍需研究谐波抑制技术,研制配套的变频控制系统。链条张力自动控制、链条故障诊断和远程工况监测控制与诊断技术是霍尔传感器、计算机、嵌入式系统、现场总线、以太网、互联网等技术的综合应用,从研究到实际应用,应结合煤矿现场情况,重点解决影响装置可靠性的各方面问题,如防爆、防砸、防水、防潮、防振、抗电磁干扰、现场布线不便等。当然,重型刮板输送机成套装备智能化技术不能局限于此,也应借鉴其他煤机装备或工业领域的先进技术,为提高成套装备自动化智能化水平,保障煤矿高效安全生产服务。

#### 参考文献:

- [1] 姜翎燕. 工作面刮板输送机技术现状与发展趋势[J]. 煤炭科学技术 2007, 35(8): 102-106.
- [2] 罗庆吉, 石国祥. 综采工作面刮板输送机的现状和发展趋势[J]. 煤矿机电 2000(5): 54-57.
- [3] 赵军. TTT软启动技术在刮板输送机上的应用[J]. 山西煤炭管理干部学院学报 2006, 23(3): 75-76.
- [4] 刘树. CST可控传动装置在综采面刮板输送机中的应用[J]. 煤矿开采 2006, 10(5): 92-93.
- [5] 牛旭原. 综采刮板输送机大功率变频驱动系统及与CST、TTT系统的性能比较[J]. 内蒙古煤炭经济 2009, 6(2): 75-77.
- [6] 汪爱明, 孟国营, 李国平, 等. 刮板输送机伸缩机尾液液控制系统的研制[J]. 煤炭工程 2008(1): 88-90.
- [7] 卢立明, 蔡爱国. 一种刮板输送机的紧链装置, 中国: ZL2011205258150.1 [P]. 2012-09-12.
- [8] 汪爱明, 李国平, 孟国营, 等. 一种边双链刮板输送机链条故障检测方法及其传感器, 中国: ZL201310140198.9 [P]. 2013-09-11.
- [9] 禹芝根, 王会枝, 陈伟, 等. 刮板输送机链条监测装置, 中国: ZL 201220203900.2 [P]. 2012-04-30.
- [10] 汪爱明, 李国平, 李玉春, 等. 刮板输送机远程监测系统的设计[J]. 煤炭工程 2013(7): 126-128.
- [11] 袁小宏, 李辛毅, 屈梁生. 基于因特网的设备远程诊断中心的设计[J]. 中国机械工程 2002, 13(10): 874-876.
- [12] 张周锁, 李富才, 胥永刚, 等. 汽轮发电机组分布式在线监测与故障诊断网络系统的开发研究[J]. 动力工程 2003, 23(3): 2310-2314.
- [13] 李太福, 陈渝光, 杨奕, 等. 基于互联网的远程状态监测与故障诊断系统研究[J]. 西南师范大学学报 2002, 27(1): 26-28.
- [14] 赵冲冲, 廖明夫. 旋转机械状态监测与故障诊断的网络化实现[J]. 机械科学与技术 2002, 21(2): 291-293.
- [15] 于林. 矿用重型刮板输送机链链故障监测传感器研究[J]. 煤炭学报 2011, 36(11): 1934-1937.
- [3] 姚艳斌, 刘大猛, 黄文辉, 等. 两淮煤田煤储层孔-裂隙系统与煤层气产出性能研究[J]. 煤炭学报 2006, 31(2): 163-168.
- [4] Solano - Acosta W, Mastalerz M, Schimmelmann A. Cleats and Their Relation to Geologic Lineaments and Coalbed Methane Potential in Pennsylvanian Coals in Indiana [J]. International Journal of Coal Geology 2007, 72(3): 197-208.
- [5] Liu D M, Yao Y B, Tang D Z et al. Coal Reservoir Characteristics and Coalbed Methane Resource Assessment in Huainan and Huabei Coalfields, Southern North China [J]. International Journal of Coal Geology 2009, 79(3): 97-112.
- [6] 傅雪海, 秦勇, 薛秀谦, 等. 煤储层孔、裂隙系统分形研究[J]. 中国矿业大学学报 2001, 30(3): 225-228.
- [7] Laxminarayana C, Crosdale P J. Role of Coal Type and Rank on Methane Sorption Characteristics of Bowen Basin, Australia Coals [J]. International Journal of Coal Geology, 1999, 40(4): 309-325.
- [8] 苏现波, 张丽萍, 林晓英. 煤阶对煤的吸附能力的影响[J]. 天然气工业 2005, 25(1): 19-21.
- [9] 陈振宏, 王一兵, 宋岩, 等. 不同煤阶煤层气吸附、解吸特征差异对比[J]. 天然气工业 2008, 28(3): 30-33.
- [10] 秦勇, 傅雪海, 叶建平, 等. 中国煤储层岩石物理学因素控气特征及机理[J]. 中国矿业大学学报 1999, 28(1): 14-19.
- [11] 杨起, 汤达祯. 华北煤变质作用对煤含气量和渗透率的影响[J]. 地球科学—中国地质大学学报 2000, 25(3): 273-277.
- [12] 汤达祯, 王激流, 张君峰, 等. 鄂尔多斯东缘煤的二次生烃作用与煤层气的富集[J]. 石油实验地质 2000, 22(2): 140-145.
- [13] 刘洪林, 王红岩, 赵国梁, 等. 燕山期构造热事件对太原西山煤层气高产富集影响[J]. 天然气工业 2005, 25(1): 29-32.
- [14] 桂宝林, 王朝栋. 滇东-黔西地区煤层气构造特征[J]. 云南地质 2000, 19(4): 321-351.
- [15] 贵州省地质矿产局煤田地质研究队. 贵州晚二叠世煤田地质研究[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1990.
- [16] 顾成亮. 滇东-黔西地区煤层气地质特征及远景评价[J]. 新疆石油地质 2002, 23(2): 106-111.
- [17] Хоїот В В. 煤与瓦斯突出[M]. 宋世钊, 王佑安, 译. 北京: 中国工业出版社, 1996: 27-30.

#### (上接第129页)