

山西沁水盆地南部煤层气储层特征及成藏主控因素研究

潘思东¹, 崔周达²

(1. 中国地质大学(武汉)资源学院, 湖北武汉 430074; 2. 云南恩洪煤矿, 云南曲靖 655005)

[摘要] 以沁水盆地南部3号煤为研究对象, 利用压汞法、扫描电镜观察等分析方法, 研究了煤层气储层特征。结合构造解析、盆地分析以及前人研究成果, 探讨了区内煤层气成藏主控因素。研究表明: 3号煤层煤岩类型以半亮煤为主, 储层裂隙系统发育, 煤岩热演化程度较高, 生烃潜力巨大; 压汞孔隙度在1.40%~5.87%之间, 渗透率(0.06~0.58) × 10⁻³ μm², 储层较致密, 储集空间以孔隙和裂隙为主。逐一分析了沉积作用、岩浆侵入活动、水动力作用以及构造作用对煤层气聚集成藏的控制, 综合分析认为顶、底板泥岩(致密砂岩)发育区、岩浆侵入活动活跃区、水动力弱~滞留区以及构造活动较弱区为煤层气的主要富集区域。

[关键词] 煤层气; 储层特征; 成藏条件; 控制因素

[中图分类号] TE122.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-6225(2016)06-0011-04

Accumulation Main Control Factors and Reservoir Characters of Coalbed Gas in Southern Part of Qinshui Basin of Shanxi Province

PAN Si-dong¹, CUI Zhou-da²

(1. Resource School, China Geological University (Wuhan), Wuhan 430074, China; 2. Yunnan Enhong Coal Mine, Qujing 655005, China)

Abstract: It taking the third coal seam of the southern part of Qinshui basin as studying object, then coalbed gas reservoir characters was studied by pressure pump method and scanning electron microscope. Accumulation main control factors were discussed by structural analysis, basin analysis and studying results of predecessors. The results showed that the lithotype of the third coal seam was seimbright coal, fractures developed fully in reservoir layers, the thermal evolution degree of coal and rock mass was high, and the potential that generating hydrocarbon is tremendous, the pore ratio of pressure pump belong 1.40%~5.87%, and permeate ratio is about (0.06~0.58) × 10⁻³ μm², reservoir layers is densely, the main reservoir room is pore and fracture. The actions that to coalbed gas accumulation and reservoir were analyzed, which included deposition effect, rock magma invade, water dynamic, structural effect and so on. After synthesis analysis, the main accumulation zone of coalbed gas were the development zone of mudstone (densely sandstone) in roof and floor, the active zone of magma invading, the weak-retention zone of water dynamic and the weak zone of structural movement.

Key words: coalbed gas; reservoir character; accumulation condition; main control factor

煤层气作为优质清洁的天然气资源, 美国、加拿大、澳大利亚等国已形成规模化产能。近几年, 我国加大了对煤层气的勘探开发力度, 取得了一定成绩, 2014年产能已达3.71 × 10⁹ m³, 其中仅沁水盆地产能就达3.00 × 10⁹ m³。至2014年底沁水盆地共完成钻井数达10500口左右, 占71%; 探明地质储量4.350 × 10¹¹ m³, 占65%^[1]。沁水盆地南部是我国最重要的煤层气生产区域, 以3号煤为主力煤层, 我国学者对该区煤层气储层特征^[2-9]及成藏主控因素^[9-14]进行过大量研究, 做了大量的实际工作。本文在系统总结前人研究成果的基础上, 开展沁水盆地南部3号煤储层特征及成藏理论研究, 对

成藏关键问题进行深入分析与讨论, 形成系统的煤层气储层研究方法, 为该区域及国内其他区块煤层气的勘探开发提供借鉴意义。

1 地质背景

工区位于沁水复式向斜南部, 东、西、南三面分别为太行山隆起、霍山凸起和中条山隆起。构造相对简单, 主要为褶皱, 断层不发育, 整体呈北北东向的大型复式向斜构造, 轴线处于沁水-沁县连线且两翼对称性较好, 地层东翼较西翼平缓。地层为华北地区层系, 志留纪、泥盆纪以及下石炭世等地层缺失, 盆地边缘出露上古生界、中生界地层,

[收稿日期] 2016-06-22

[基金项目] 国家自然科学基金(41101098)

[作者简介] 潘思东(1965-), 女, 云南昆明人, 高级工程师, 在职博士研究生, 主要从事矿产普查与勘探科研及煤层气专业方向的实验教学。

[引用格式] 潘思东, 崔周达. 山西沁水盆地南部煤层气储层特征及成藏主控因素研究[J]. 煤矿开采, 2016, 21(6): 11-14.

[DOI] 10.13532/j.cnki.cn11-3677/td.2016.06.003

盆内主要出露三叠纪地层。本区含煤地层以上石炭统太原组以及下二叠统山西组为主，为近海海陆交互沉积。煤系地层沉积以后，该区地层受到多期构造运动，出现多次沉降、抬升，煤上地层存在差异性剥蚀，而煤层则经历了缓慢演化、演化波动、快速演化、演化终止等 4 个阶段。本文研究对象 3 号煤层为山西组，其分布广泛、厚度大（一般 5~6m）、纵横向发育较稳定，埋深在 100~1000m 之间。3 号煤层顶板以泥岩、粉砂岩为主，厚度大于 10m，底板主要为泥岩，具有良好的封闭性^[13]。

2 煤储层特征

2.1 煤岩类型

研究区 3 号煤层煤岩类型主要为半亮煤，其次为半暗煤。煤岩最大镜质组反射率在 1.96%~2.98% 之间，平均 2.28%；镜质组含量 72.1%~89.2%，平均 81.8%；惰质组 5.8%~16.9%，平均 11.7%；矿物含量在 2.7%~11.9% 之间，平均 7.2%。区内半亮煤脆性较大，原生、次生裂隙发育，充填程度较低，仅部分被方解石半充填，此外还发育白色的方解石薄膜和黑色的暗煤条带。在扫描电镜下观察，可见煤岩表面赋存不同形状的黄铁

矿，裂隙发育情况更加清楚，在缝面处可见高岭石、伊利石等黏土矿物。该区镜质组含量较高，表明煤岩沉积时为强还原环境，形成的煤层气储层物性也较好。此外，镜质组含量较高也说明煤岩生气潜力巨大。

2.2 储层物性及储集空间特征

利用常规压汞法对煤储层孔隙进行研究^[14]。压汞法可定量分析孔半径在 3.75nm 以上的储层孔隙参数，所测得数据为有效孔隙。实验选取来自不同矿区的样品进行，采样深度分布适中，以保证数据的代表性。实验结果表明（表 1）：孔隙度随着采样深度的递增呈现减少的趋势，个别样品如 BF3-1 规律性不强是由于受构造运动的影响，储层裂隙及割理发育，孔隙度值有所增加；压汞孔隙度介于 1.40%~5.87% 之间，平均 3.94%，说明区内 3 号煤储层较致密；进汞饱和度为 15.08%~35.42%，平均 23.75%，说明煤储层有效孔隙较少，连通程度较差；退汞效率 59.52%~81.22%，平均 68.12%，说明煤储层退汞效率较高，储层渗透性能较好；随着埋藏深度的增加，渗透率有逐渐增长的趋势，这可能和裂隙发育情况、储层压力变化有关。

表 1 煤孔隙压汞实验结果

样品号	采样深度/m	压汞孔隙段孔隙比例/%			孔隙度/%	渗透率/ 10 ⁻³ um ²	进汞饱和 和度/%	退汞效 率/%	孔径分选 系数/um
		微、小孔	中孔	大孔					
WZ3-2	240	82.52	6.79	10.69	5.87	0.06	35.42	70.52	2.79
WY-1	345	86.69	7.26	6.05	5.69	0.12	30.45	64.78	2.18
DS-5	457	87.03	3.03	9.94	5.20	0.21	21.96	59.57	2.75
DS-2	632	92.30	5.49	2.24	3.10	0.26	23.09	81.22	1.55
BF3-1	765	93.32	4.87	1.81	4.82	0.09	28.72	66.64	1.97
HC-1	912	92.22	4.21	3.57	2.79	0.35	16.97	63.54	1.73
HC-2	936	94.10	4.09	1.81	2.68	0.43	15.08	79.18	1.37
SX006-2	1005	94.29	3.57	2.14	1.40	0.58	18.29	59.52	1.34

根据代表煤样压汞实验结果，结合煤层气储层分类标准，认为该区储层属于 I~II 储层。结合扫描电镜观察，3 号煤储集空间主要为孔隙和裂隙，储层类型为孔隙型、孔隙~裂隙型和裂隙型储层。

3 煤层气成藏主控因素

研究区优越的地质条件是煤层气聚集成藏的基础，具体而言主要包括以下几个方面内容。

3.1 沉积作用

研究区山西组沉积时期由于华北地台的整体抬升，沉积环境由海相逐渐朝陆相过渡，区内出现南北差异沉降和南北相带分异现象。沉积相逐渐由三角洲相转变为潮坪-浅水陆棚相，海相沉积朝陆相煤系沉积发展^[6]。

沉积环境对煤层发育有重要影响，区内河流相形成的煤系地层往往不稳定且较薄，浅水三角洲相为该区 3 号煤煤层气的主要烃源岩。三角洲沉积体系主要有三角洲平原分流河道、分流间弯和河口坝。其中分流间弯对煤层形成影响最大，其分布广泛、水体深度适中，易广泛发育形成稳定煤层，厚度介于 4~8m 之间，形成了以榆社、沁水、晋城等区为代表的煤层；三角洲平原分流河道分布于安泽-胡县以西，河口坝分布于研究区东南部，整体上分布范围均较小，形成的煤层厚薄不一，极不稳定。

浅水三角洲中的三角洲平原对泥炭沼泽的形成极其有利，分流河道也可在废弃河道中堆积形成大量泥炭沼泽。因此，利于形成煤-砂-煤的地层组

合模式, 易形成自生自储式煤层气气藏。

沉积环境通过控制煤相从而控制煤的生烃潜力。沼泽还原性不同, 生烃潜力也不同, 沼泽相生烃潜力由小到大为干燥森林、潮湿森林、较浅覆水森林、较深覆水森林、低位(芦苇)^[15]。因此, 沉积环境的不同也导致了区内3号和15号煤层含气量的不同。

当然, 沉积体系纵向上还可控制岩性组合从而影响煤层气储层的封存能力。3号煤层泥岩、粉砂质泥岩占比达50%, 顶、底板泥岩以及部分砂岩(泥质含量较高)均非常致密, 且厚度较大, 具有较好的封盖能力^[16]。如潘庄、成庄地区, 上覆盖层厚度达40m, 单井产量较高, 平均达4900m³/d; 而郑庄、樊庄东部等区块上覆盖层有效厚度不足10m, 煤层气产量较低, 不足1000m³/d。

3.2 构造热事件

沁水盆地3号煤层热演化程度较高, 最大 R_o 达2.5%, 构造热事件较大地提高了煤层热演化程度。结合构造演化特征, 分析盆地埋藏演化史后认为沁水南部煤层气成藏过程主要经历了3个时期^[17]: 第1次生成时期为海期-印支期, 三叠系末期埋藏深度达到最大, 为正常地温梯度及古地热场, 镜质组反射率为1.2%左右, 此时为第1次生气时期, 生烃量为46.47~81.45m³/t; 第2次生气时期为燕山期, 此时处于异常古地温时期, 煤化作用快速增大促使煤层气二次生成, 其作用范围广、持续时间长, 生气量达到最大, 介于97.86~359.10m³/t之间, 为主要成气时期; 喜山期的气

藏改造和调整阶段, 基本不生气。构造热事件主要影响第2次生气阶段, 主要表现在以下几个方面^[11, 18]:

(1) 岩浆侵入活动促进煤岩二次生气 岩浆侵入的热力作用促使煤层气化, 产生叠加生气, 而没有岩浆侵入的地区二次生气不明显, 如晋城矿区在晚侏罗世-早白垩世生气量快速增加, 最高达160m³/t, 而同时期的潞安矿区生气量增加幅度极少, 主要靠一次生气(图1)。实验证明, 岩浆侵入形成高温高压环境, 煤分子发生变化, 进一步加大了煤的变质作用, 增加热演化程度, 进而增加了生气量。

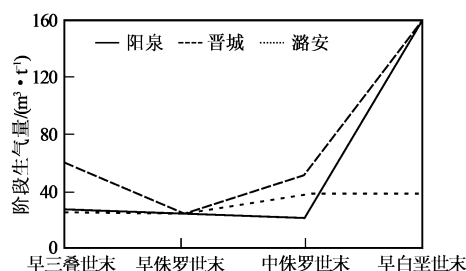


图1 不同区域阶段生气量比较

(2) 岩浆侵入活动增加了煤岩孔隙度 利用热解分析仪进行热力烘烤, 实验表明, 煤岩在经过热力烘烤后, 煤岩气孔数量明显增加, 原有气孔明显加大。通过统计实验所用煤样热力烘烤后孔隙度、渗透率的变化, 认为煤岩孔隙度和渗透率都有不同程度的增加, 且随着烘烤时间的增加, 孔、渗也不断增加(表2)。

(3) 岩浆侵入活动利于形成裂隙系统 岩浆

表2 热力烘烤实验煤岩孔隙度和渗透率的变化

样品号	采样深度/m	原孔隙度/%	热力烘烤后孔隙度/%			原渗透率/ 10^{-3} um ²	热力烘烤后渗透率/ 10^{-3} um ²		
			15min	30min	60min		15min	30min	60min
WZ3-2	240	5.87	6.28	7.22	9.13	0.06	0.09	0.19	0.58
WY-1	345	5.69	6.45	7.18	8.79	0.12	0.23	0.36	0.87
BF3-1	765	4.82	5.74	6.77	7.82	0.09	0.11	0.22	0.34
SX006-2	1005	1.40	1.92	2.78	3.83	0.58	0.91	1.35	3.24

侵入活动形成的高温环境使生气量迅速增加, 且远大于煤层的吸附能力, 游离气不断向外突破产生突破压力致使煤岩破裂。同时岩浆侵入本身产生构造应力以及热力作用, 煤岩更易破裂。岩浆在煤岩层内冷却过程中, 由于热胀冷缩作用, 还会形成张裂隙。此类裂隙最易发育的地方为流体运移拐角处、凹痕处等应力集中区。总之, 岩浆侵入通过产生裂隙增加了煤岩渗透率, 改善了煤层导流能力。

3.3 水动力特征

水动力作用对煤层气富集成藏及分布有重要作用, 水动力强度和方向控制着煤层气的分布^[19-21]。

研究区为复式向斜构造, 通过重力作用, 地表大气降水源源不断地通过岩石渗流至向斜轴部, 整体呈现出盆地边缘往中心渗流的特征。因此, 不同于常规气藏, 煤层气气藏向斜部位含气量明显高于背斜部位, 向斜轴部含气量高于翼部(图2)。将水动力作用划分为强动力区、弱动力区和滞流区, 其中弱动力区和滞流区对煤层气聚集成藏有利。研究区东部为强动力区, 含气量小于10m³/t; 西部及南部大部分区域为滞流区, 含气量普遍大于20m³/t, 最高达26m³/t; 中部弱动力区分布广泛, 含气量一般在18m³/t以上。

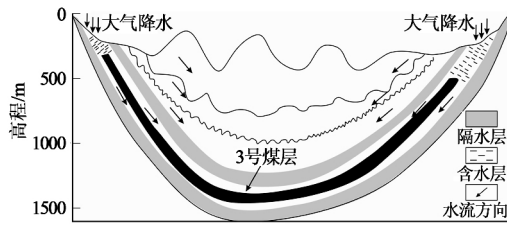


图 2 研究区 3 号煤层水动力特征示意

3.4 构造作用

构造作用控制煤层气的生成和保存,对煤层气的聚集成藏有重要作用。

(1) 煤层气具有向斜控气的特征^[22]。研究区为大型的复式向斜构造,由于向心流动作用,向斜部位煤层气不易散失;向斜轴部气藏水矿化度往往较高,煤层气较少溶于水;向斜轴部中和面与两翼呈正应力,顶底板裂隙不发育,煤层气易于保存。

(2) 研究区石炭系-二叠系煤层沉积时期构造活动强度较弱,活动强度介于西侧鄂尔多斯盆地和东侧华北以东断块之间,地层变形适中、裂隙发育适中,均有利于煤层气的保存^[23]。

(3) 燕山早期区内应力活动较弱,形成原生型煤层气气藏且基本未被改造;燕山期-喜马拉雅早期在 NE-SW 向构造应力作用下,对燕山早期形成的 NE-SW 褶皱进行改造,煤层逐步抬升,但持续时间在 0~27Ma 之间,持续时间短且回返时间晚,改造破坏程度有限,形成调整型煤层气气藏;喜马拉雅晚期构造应力转变为拉张应力,原有裂隙张开度变大,且形成新的张裂隙,对煤岩储层渗流能力有较大改善^[24]。

4 结 论

(1) 沁水盆地南部 3 号煤层煤岩类型以半亮煤为主,煤岩脆性较大,原生、次生裂隙发育且充填程度较低,镜质组含量较高,热演化程度高,煤岩生气潜力巨大。

(2) 压汞法测量煤样孔隙度在 1.40%~5.87% 之间,渗透率 $(0.06\sim 0.58) \times 10^{-3} \text{um}^2$,储层较致密,裂隙相对发育,较好地改善了储层渗透性能。

(3) 研究区煤层气聚集成藏是多因素控制的,并非单一控制,表现出“协同、互补、共存”的特征。研究认为沉积作用、岩浆侵入活动、水动力作用以及构造作用是成藏主控因素,确定了顶、底板泥岩(致密砂岩)发育区、岩浆侵入活动活跃区、水动力弱-滞留区以及构造活动较弱区为区内煤层气的主要富集区域。

[参考文献]

- [1] 龙胜祥,李辛子,叶丽琴,等. 国内外煤层气地质对比及其启示 [J]. 石油与天然气地质, 2014, 35 (5): 696-703.
- [2] 许启鲁,黄文辉,刘 贝,等. 沁水盆地南部 15 号煤储层物性特征分析 [J]. 煤矿安全, 2015, 46 (3): 160-163.
- [3] 王军鹏. 沁水盆地南部煤层气储层敏感性评价与保护技术研究 [J]. 中国煤层气, 2014, 11 (1): 25-29.
- [4] 李俊乾,卢双舫,薛海涛,等. 高阶煤层气储层非均质性及其定量评价—以沁水盆地南部郑庄区块为例 [J]. 石油与天然气地质, 2016, 37 (1): 72-79.
- [5] 孙梦迪,于炳松,朱 华,等. 山西沁水盆地南部 3 号煤层储集空间特征与变质程度的关系 [J]. 中国煤炭地质, 2011, 23 (11): 31-35.
- [6] 杨克兵,严德天,郭建东,等. 沁水盆地南部煤系地层层序及聚煤控制因素 [J]. 天然气勘探与开发, 2014, 37 (3): 24-27, 51.
- [7] 刘 贝,黄文辉,敖卫华,等. 沁水盆地南部煤中矿物赋存特征及其对煤储层物性的影响 [J]. 现代地质, 2014, 28 (3): 645-652.
- [8] 陆小霞,黄文辉,陈燕萍,等. 沁水盆地南部深煤层孔隙结构特征 [J]. 东北石油大学学报, 2015, 39 (3): 41-49.
- [9] 张 硕,张小东,李学文,等. 沁水盆地南部煤层气储层特征及可采性研究 [J]. 中国煤炭地质, 2015, 27 (11): 31-35.
- [10] 赵贤正,杨延辉,孙粉锦,等. 沁水盆地南部高阶煤层气成藏规律与勘探开发技术 [J]. 石油勘探与开发, 2016, 43 (2): 303-309.
- [11] 王红岩,万天丰,李景明,等. 区域构造热事件对高阶煤层气富集的控制 [J]. 地学前缘 (中国地质大学(北京); 北京大学), 2008, 15 (5): 364-368.
- [12] 赵伟伟. 沁水盆地南部地质条件及其煤层气成藏优势分析 [J]. 中国煤炭地质, 2009, 21 (S1): 19-21.
- [13] 景兴鹏. 沁水盆地南部煤层气储层压力分布规律的研究 [D]. 西安: 西安科技大学, 2009.
- [14] 张 谦,黄文辉,郭立夫,等. 沁水盆地南部 3 号煤层含气量主控地质因素分析 [J]. 科学技术与工程, 2015, 15 (13): 13-19.
- [15] 杨克兵,严德天,马凤芹,等. 沁水盆地南部煤系地层沉积演化及其对煤层气产能的影响分析 [J]. 天然气勘探与开发, 2013, 36 (4): 22-29.
- [16] 孙粉锦,王 勃,李梦溪,等. 沁水盆地南部煤层气富集高产主控地质因素 [J]. 石油学报, 2014, 35 (6): 1070-1079.
- [17] 孙万禄. 中国煤层气盆地 [M]. 北京: 地质出版社, 2005.
- [18] 任战利,赵重远,陈 刚,等. 沁水盆地中生代晚期构造热事件 [J]. 石油与天然气地质, 1999, 20 (1): 46-48.
- [19] 傅雪海,秦 勇,王文峰,等. 沁水盆地中-南部水文地质控气特征 [J]. 中国煤炭地质, 2011, 3 (1): 31-34.
- [20] 傅雪海,王爱国,陈锁忠,等. 寿阳-阳泉煤矿区控气水文地质条件分析 [J]. 天然气工业, 2005, 25 (1): 33-36.

(下转 45 页)

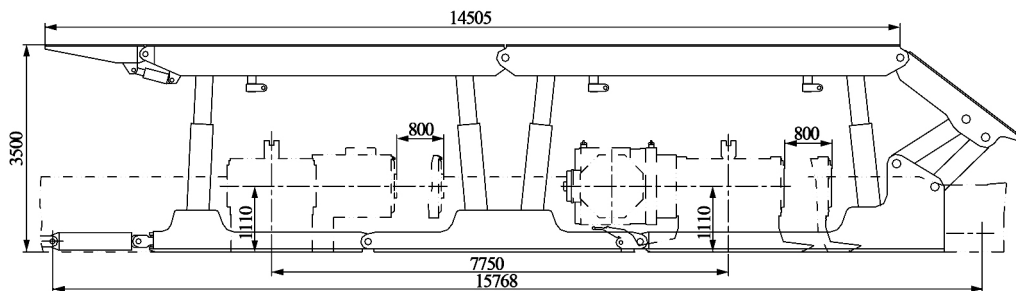


图 4 机头端头设备配套

4 新技术的应用

集团公司千万吨矿井综放工作面前后部运输机应用两种软启动技术, JOY 公司制造的刮板运输机采用德国 WOTH 公司的阀控充液式液力耦合器(即 TTT 技术), 卡特彼勒公司制造的刮板运输机采用 CST 减速器实现软启动。虽然进口设备软启动技术提升了设备可靠性, 但存在采购成本高、采购周期长、备件价格高且供应周期长等问题, 总之进口设备后期使用和大修费用较高, 技术处于垄断状态, 给设备维修保养增加了难度。

为降低吨煤成本提高竞争力, 集团公司计划逐渐提高千万吨矿井综采设备国产化水平。且随着科学技术的不断发展和煤矿装备水平的不断提高, 变频技术的应用越来越普遍, 国产变频设备完全可以实现大功率运输机“软启动”, 国产变频技术主要优点为:

- (1) 有效降低无功功耗, 节约能源。
- (2) 可提高煤矿安全生产系数。
- (3) 国产变频技术性价比高。
- (4) 变频技术功能完善, 具有完备的保护功能和故障诊断功能, 极大地减少了设备的故障和维护量, 从而降低运营成本。
- (5) 实现运输机软启动、软停车, 延长设备使用寿命, 也避免了对电网的冲击。
- (6) 实现刮板输送机的平滑启动, 对机械部件冲击小, 降低了设备故障的发生。
- (7) 变频驱动技术模块化设计, 故障恢复时间较短, 维修简便。

通过对比软启动技术的优缺点, 15Mt 项目后部刮板运输机驱动确定采用减速器+限矩器+电机方式, 控制采用变频控制。采用变频控制, 驱动单元简化、可靠性提高、外形尺寸变小; 相比进口设备维护、维修费用少, 用电量减少, 节约成本; 变频器布置于设备列车上, 变频器模块化、插装式设计, 维修、维护方便; 变频技术在该项目成功应用后将在其他千万吨矿井推广应用。

5 结束语

同煤集团特厚煤层大采高开采技术的不断发展进步, 必将为企业安全高效和降本增效做出贡献, 其良好的经济与社会效益, 将会促进同煤集团高产高效矿井建设的进一步发展, 也将更好地推进中国煤炭工业安全高效生产。

[参考文献]

- [1] 吴兴利, 刘大同, 张东方. 大同综采 40a 综合机械化装备的研发 [J]. 煤炭学报, 2010, 35 (11): 1893-1897.
- [2] 张东方, 吴兴利. 塔山矿 1500 万 t/a 矿井设备选型研究 [J]. 煤矿机电, 2003 (5): 94-95, 100.
- [3] 吴永平. 特厚复杂煤层综放开采技术研究 [J]. 煤矿开采, 2008, 80 (1): 18-20, 89.
- [4] 王彪谋, 高素英, 杜忠孝. 四柱放顶煤液压支架支护能力技术研究 [J]. 煤矿开采, 2015, 20 (2): 27-29, 55.
- [5] 石晓军, 田建设, 刘俊峰, 等. 特厚较软煤层综放工作面设备选型配套及采煤工艺优化 [J]. 煤矿开采, 2015, 20 (5): 19-22.
- [6] 陆文程, 赵继云, 张德生, 等. 大功率刮板输送机软启动技术分析 [J]. 煤炭科学技术, 2009, 37 (10): 68-73.

[责任编辑: 徐亚军]

(上接 14 页)

- [21] 付江伟, 傅雪海, 胡晓, 等. 焦作矿区煤层气开发的水文地质条件分析 [J]. 中国矿业, 2011, 20 (4): 106-109.
- [22] 李贵中, 王红岩, 吴立新, 等. 煤层气向斜控气论 [J]. 天然气工业, 2005, 25 (1): 26-28.

- [23] 郑德顺, 周璐, 杨登银, 等. 樊庄地区山西组煤层控气综合因素分析 [J]. 科学技术与工程, 2014, 14 (12): 6-10, 16.
- [24] 魏书宏, 韩少明. 沁水煤田南部煤层气构造控气特征研究 [J]. 煤田地质与勘探, 2003, 31 (3): 30-31.

[责任编辑: 施红霞]