

地质构造对煤层气井产能的控制机理与规律

赵少磊¹, 朱炎铭¹, 曹新款², 王怀勳¹, 周友¹

(1. 中国矿业大学 资源与地球科学学院, 江苏 徐州 221116; 2. 煤炭科学研究总院唐山研究院, 河北 唐山 063012)

摘要: 探讨了构造演化与构造形态对煤层气井产能的控制机理, 并结合沁南地区樊庄矿区实践, 分析了构造对不同产能煤层气井分布的控制规律。研究表明: 构造演化控制煤层气的整个成藏过程; 后期构造形态对煤层气的运移和保存至关重要, 褶皱两翼及向斜核部含气量高, 背斜核部及开放性断层附近含气量低。同时对樊庄矿区研究表明: 煤层气井产能与所处构造部位密切相关, 高产井主要分布于褶皱构造翼部、复向斜的次级背斜核部及复背斜的次级向斜核部, 日均产气量可达 1 000 ~ 5 000 m³; 低产井及产水井主要分布于复背斜的次级背斜核部及正断层断裂带附近, 日均产气量小于 500 m³。

关键词: 地质构造; 煤层气井; 产能; 樊庄区块

中图分类号: P618.11 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2012)09-0108-04

Control Mechanism and Law of Geological Structure Affected to Production Capacity of Coal Bed Methane Well

ZHAO Shao-lei¹, ZHU Yan-ming¹, CAO Xin-kuan², WANG Huai-meng¹, ZHOU You¹

(1. School of Resources and Geosciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;

2. Tangshan Research Institute, China Coal Technology and Engineering Group, Tangshan 063012, China)

Abstract: The paper discussed the control mechanism of the structure evolution and structural shape affected to the production capacity of the coal bed methane well. In combination with the practices in Fenzhuang Mining Area of Qinnan Area, the paper analyzed the control law of the geological structure to the distribution of the coal bed methane wells with different production capacity. The study showed that the structure evolution would control the full accumulation process of coal bed methane. The later structure shape would be critical important to the migration and storage of the coal bed methane. The two wings of the fold and the syncline core would have high methane content and the anticline core and the open fault nearby would have low methane content. The study on the Fanzhuang Mining Area showed that the production capacity of coal bed methane well would have a close relationship to the structure location. The high production wells mainly distributed at the wings of the fold structure, the subordinate anticline core of synclinorium and the subordinate syncline core of anticlinorium and the average daily gas production could reach to 1 000 ~ 5 000 m³. The low production coal bed methane well and the water production well mainly distributed at the subordinate anticline core of anticlinorium and around the normal faults and the average daily gas production would reach to less than 500 m³.

Key words: geology structure; coal bed methane well; production capacity; Fanzhuang Block

煤层气井产能主要来自 2 个方面的制约, 一个是开采技术工艺, 另一个则是地质条件。针对地质条件, 前人做了许多研究, 集中体现在研究构造条件^[1]、煤岩煤质、埋深^[2]、煤厚、临界解

吸压力、渗透率、水文地质条件^[3]等与煤层气井产能的关系, 但在众多地质影响因素中, 构造条件对煤层气井产能的影响最为关键, 构造条件不仅本身对产能具有直接控制作用, 而且通过对煤

收稿日期: 2012-05-11; 责任编辑: 曾康生

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)资助项目(2009CB219605); 国家科技重大专项资助项目(2008ZX05034-04)

作者简介: 赵少磊(1987—), 男, 陕西宝鸡人, 硕士研究生。Tel: 15162116639, E-mail: zhaoshaolei@sina.cn

网络出版时间: 2012-09-17 10:33:18; 网络出版地址: http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2402.TD.20120917.1033.201209.108_028.html

引用格式: 赵少磊, 朱炎铭, 曹新款, 等. 地质构造对煤层气井产能的控制机理与规律[J]. 煤炭科学技术, 2012, 40(9): 108-111, 116.

质、储层压力、渗透率、煤厚、埋深等其他因素的控制,间接控制煤层气井的产能。笔者着重探讨构造对煤层气井产能的控制机理与规律,并主要结合沁南地区樊庄区块煤层气勘探开发的实际情况,研究不同构造控制下煤层气井产能的差异性,以期在煤层气的勘探开发上有所帮助。

1 构造对产能的控制机理

渗透性是煤层气开发的关键地质要素,而含气性则是煤层气开采的根本^[4],构造对煤层气井产能的控制,主要体现于构造演化和构造形态控制储层的含气性和渗透性大到控制煤层气井产能。

1.1 构造演化

甲烷是煤层在漫长的地质历史中形成并保存下来的,其明显受到煤层构造-埋藏史与受热史控制,而煤层埋藏史主要受构造控制^[5]。煤层形成后,受构造运动控制,经历多次抬升或沉降,在此过程中,煤层经历不同的演化阶段而生成煤层气,且受构造演化回返的早晚、抬升幅度的影响,煤层气生成量不同。回返抬升时间晚且短,煤层气散失的时间就短,对煤层气藏的保存有利^[6];埋深大、时间长,煤层气生成量大,相应的煤层气保存量也大;因构造抬升甚至暴露剥蚀时间长,则煤层气赋存量少^[7]。如果不同区块在地质历史中所受构造演化差异很大,即使现今地质条件相似,其含气性也会有很大差别。因此,构造演化对煤层气井的产能具有重要的影响作用。

1.2 构造形态

1) 背斜构造。如图1所示,背斜整体受挤压应力作用,两翼压力分布相对均匀,煤层受层间剪切作用裂隙比较发育,同时受到来自核部的

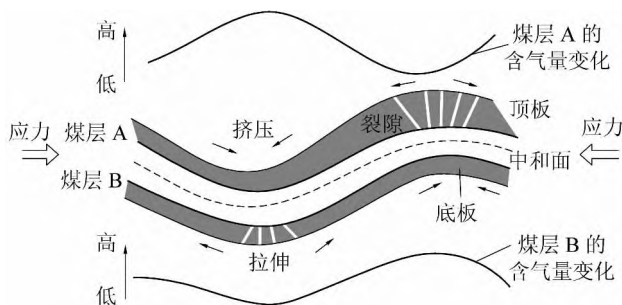


图1 褶皱构造应力特征

水力封堵作用,封闭性较好,有利于煤层气的赋存。背斜核部在中和面以上,表现为拉应力,常发育垂向张裂隙,渗透性良好,若上覆盖层封闭性好,则有利于煤层气的保存,反之则不利于保存;中和面以下,受强烈的挤压应力作用,常在核部形成应力集中,有利于煤层气的保存,但储层渗透性差,形成高压低渗^[8]。所以,背斜核部对于煤层气的保存就取决于煤层与中和面的相对位置关系,图1中,煤层A煤层气沿裂隙易逸散,煤层气含量低,煤层B,封闭性好,煤层气易聚集,含气量高。

2) 向斜构造。与背斜构造不同,向斜核部中和面之上(图1),应力集中,表现为强烈的挤压应力,对于煤层气封存有利,煤层气含量高,但应力集中使得储层渗透性低;中和面以下,受拉张应力作用,只发育少量张性裂隙,同时由于埋深关系煤层气逸散量少,且中和面之上盖层裂隙不发育,阻止了下部煤层气的向上逸散^[9],所以中和面以下核部含气量略微降低,但随埋深增大,该处也会成为煤层气富集区。向斜两翼同背斜两翼相似,封闭性较好,有利于煤层气赋存。所以,对于向斜构造,核部和两翼都有利于煤层气的赋存。

3) 断层构造。断层对煤层气的富集也至关重要,张性断层(正断层、拉张走滑断层或反转逆断层)受拉张应力作用,形成开放性断层面,断层面附近煤层气大量解吸并通过张性断层面逸散,不利于煤层气的富集^[10];挤压性断层(逆断层、压性走滑断层或反转正断层)由于挤压作用,断层面附近压力集中,形成封闭性断层面,煤层气难以逸散,常形成煤层气富集区。

2 实例分析

2.1 沁南樊庄区块概况

沁水盆地南部地区含煤地层为石炭二叠系,其中太原组和山西组是煤层气开发的目的地层,山西组3号煤层在全区稳定分布,且煤层含气量多大于 $16 \text{ cm}^3/\text{g}$,是樊庄区块煤层气开发最重要的目的地层。

樊庄区块探明含气面积 398.23 km^2 ,煤层气储量 $1\ 043.3 \text{ 亿 m}^3$,主体构造为一个复向斜和复背斜的组合,其中发育多个次级背斜和向斜,总

体构造比较简单,主要构造形态呈 NNE 向展布,方向多变,明显表现了多期构造作用的产物,断层构造不发育。

2.2 构造演化

沁南煤层气藏的形成受埋藏热演化史的控制,随构造-埋藏史的变迁,煤层的埋深与温度均发生变化,埋深与受热史的每一次变化都影响着煤层的演化与煤层气的生成,从而引起煤层气藏含气量的波动并影响煤层气井的产能。在地质历史中,研究区经历了多期构造运动演化阶段。在前人^[11]研究的基础之上结合本次研究,认为研究区石炭-二叠纪含煤岩系的埋藏热演化史具有明显的阶段性,先后经历了2次生烃阶段(图2),从而形成现今的煤层气藏。

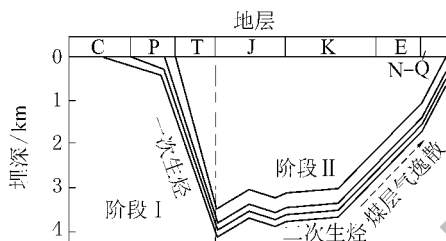


图2 研究区石炭-二叠系埋藏与生气史

第1个阶段是晚石炭世至晚三叠世,在该阶段盆地整体下沉接受沉降,前期沉降缓慢,后期沉降较快,在三叠世末埋藏达到最深,这一阶段是盆地煤层形成的关键时期,同时随埋深不断加大,煤层不断演化,三叠世末煤层镜质组反射率可达到1.0%左右^[12],达到第一次生烃高峰。这一阶段对于煤层气的生成意义重大。

第2阶段从早侏罗世至今,这一阶段石炭-二叠纪煤层经历了第2次生烃高峰。早侏罗世,受燕山运动影响,研究区持续抬升,变质作用终止,中侏罗世开始小幅下沉,晚侏罗世至今研究区持续抬升,但在晚侏罗世至白垩世期间,受燕山热事件影响,地温梯度增大,石炭-二叠纪煤层所受温度已超过三叠世最大埋深温度,发生第2次生烃作用,之后研究区抬升隆起,煤化作用停滞。该阶段对于煤层气的生成及保存都至关重要。刘焕杰等^[13]指出山西南部第1次生烃作用的生气量占总生气量的32%,而第2次生烃则达到68%。第2阶段煤系地层抬升,直接决定了现今煤层气的保存状况。

2.3 构造形态与产能

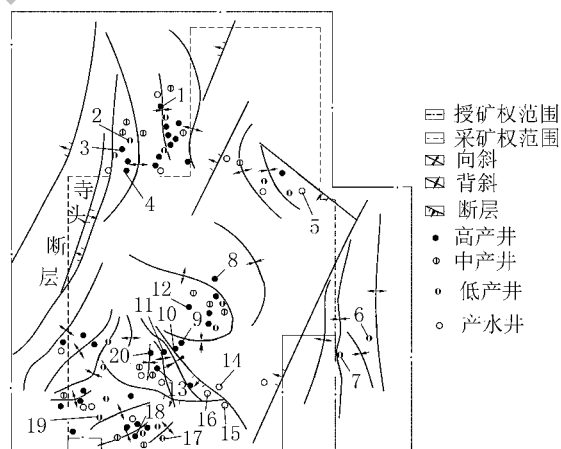
根据樊庄区块煤层气井产能分级标准^[13](表1),对已有排采数据的樊庄94口井产能进行评估。结果显示:樊庄高产井共36口,中产井18口,低产气井21口,产水井19口。

表1 产能分级标准

产能分类	日均产气量/ m^3	日均产水量/ m^3	d_{1000}/d	d_{1000}/t
高产气井	≥ 1000	< 1.5	> 100	> 0.5
中产气井	500 ~ 1000	< 5	> 50	—
低产气井	100 ~ 500	> 1	< 50	—
产水井	< 100	> 1	0	0

注:此表引自中石油华北油田煤层气公司资料, d_{1000} 为日均产气量大于 $1000 m^3$ 的天数; t 为产气累计时间,d。

1) 背斜构造对煤层气井产能影响。樊庄94口井按产能标准进行分级得到煤层气井产能与构造的关系图(图3)。发现背斜的轴部附近低产井较多,如HP5-18、HP4-23、HP2-21-2X、G10-9等井,其日均产气量介于 $100 \sim 500 m^3$ (图4a),高峰日均产气量介于 $184 \sim 2100 m^3$,平均高峰日均产气量为 $936.95 m^3$ 。



1—20 煤层气井编号分别为 HG21-6、G10-9、G8-9、G6-10、Y16-10、F12-12、F11-1、HX11-26、HX4-10、HX1-20、X2-6、HX7-14、HX3-8、HX4-5、HP2-21-2X、HX3-5、HP4-23、HP5-22、HP5-18、HX1-10

图3 煤层气井产能与构造关系

由于背斜轴部张性断裂发育,一方面,该部位渗透性好,煤层气容易沿断裂逸散,不利于煤层气保存;另一方面,张裂隙沟通顶部含水层,造成该部位煤层气井排水工作量大,排采过程中出现稳定低产现象。背斜翼部由于受力比较均

匀, 3号煤层的直接顶泥岩和泥质砂岩相对完好, 同时, 背斜核部由于裂隙发育, 核部煤层基本顶K8砂岩水对翼部煤层气形成水力封堵, 使煤层气不易逸散, 所以背斜翼部多分布高产井, 如G8-9、G6-10、HX11-26、HX7-14等。

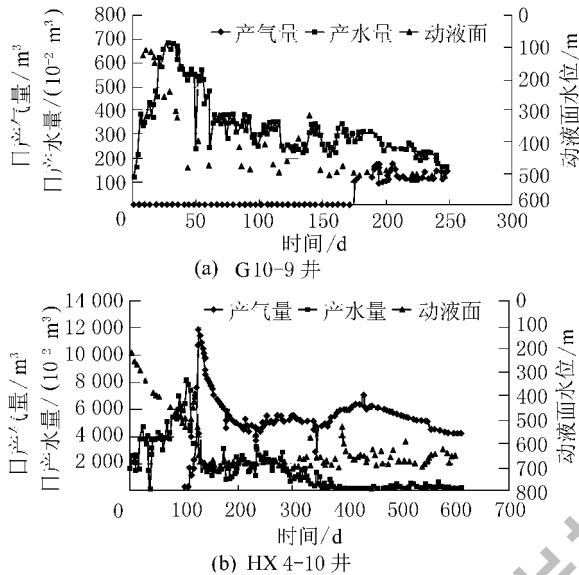


图4 不同构造部位煤层气井生产历史曲线

对于研究区复背斜构造, 其次级背斜核部和面之上受张应力作用, 3号煤易产生裂隙, 次级向斜中裂隙发育相对较弱, 在整体为背斜构造不利于煤层气保存的环境中, 次级背斜位置更不利于煤层气的封闭, 因而这类构造位置煤层气井产能最低, 如F11-1、F12-12等。

2) 向斜构造对煤层气井产能影响。由樊庄矿区煤层气井产能与构造的关系图(图3)可知, 大多数的高产井是处在向斜的轴部附近, 其日均产气量一般可达到 $1\ 000\sim 5\ 000\ \text{m}^3$, 日均产水量一般很小, 一般在 $0.5\sim 1.5\ \text{m}^3$ 变化, 如HG21-6、HX2-6、HP5-22、HX4-10等井(图4b)。由于宽缓向斜轴部附近断裂不甚发育, 煤层埋深及上覆有效地层厚度较大, 有利于煤层气保存, 所以该部位煤层气井通常高产。进一步分析发现, 高产井亦集中在次级向斜、背斜相间排列的区域, 如HX1-8、HX1-10、HX1-20井等, 次级向斜、背斜相间排列的区域处于背斜与向斜的过渡部位, 所受应力相对较小, 顶底板封存能力好, 煤层气易于聚集, 同时, 受褶曲上下层面的剪切作用, 储层裂隙相对发育, 渗透性好, 所

以可形成煤层气高产区。

对于复向斜而言, 其中和面以上整体表现为压应力, 而在复向斜次级背斜中和面以上表现为张应力, 复向斜中和面之上的压应力产生的挤压有利于煤层气的保存, 而在次级背斜部位的张应力使3号煤发育裂隙, 提高了渗透率, 从而位于该构造部位的煤层气井通常高产。

3) 断裂构造对煤层气井产能影响。樊庄区块主要发育正断层, 图3表明, 在开放性正断层附近的煤层气井多为低产气井或高产水井, 如HX3-5、HX4-5、HY16-10等, 断层对煤层的含气性具有明显的影响, 其情况也是十分复杂, 研究区断层附近的高产水井之所以产出大量水仍未产气, 有2个方面的原因, 一是断层为气体沿断裂面向地表运移提供了通道, 造成煤层及围岩含气性降低, 另一方面, 断层导通了隔水层与含水层。3号煤层上覆K8、K9、K10等砂岩层均为含水层, 断层使煤层与含水层产生水力联系, 排采过程中水源的补给充足, 造成井内液面下降困难, 煤储层的储层压力得不到有效的降低, 进而煤层气难以解吸, 排采长期处于排水阶段。

同时, 樊庄区块北部固县地区的排采资料显示出, 断层在不同距离上对煤层气井产能的影响呈现一定的规律性(图5)。距离断层较近的区域, 裂缝发育, 煤层气大部分逸散, 同时, 正断层往往为导水断层, 造成开采过程排水降压困难, 因而产气量低; 在距离断层向远距离逐渐过渡的区域, 受断层影响, 煤层一般比较破碎, 储层渗透性较好, 煤层气井的产气量就较高, 再向远处, 煤层基本不受断层影响, 煤层含气量及裂隙恢复正常, 煤层气井产能相对降低。

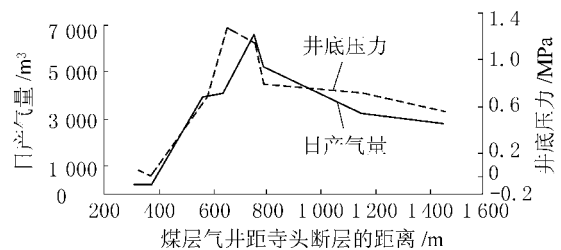


图5 固县地区寺头断层对产气量的影响

3 结 论

- 1) 构造演化控制煤层气的成藏过程。(下转第116页)

- 用前景 [J]. 煤炭转化, 2007, 30 (3): 79-81.
- [3] 梁杰, 刘淑琴, 杨榛, 等. 煤炭地下气化过程分析 [J]. 中国矿业大学学报, 2004, 33 (2): 200-204.
- [4] 刘淑琴, 梁杰, 余学东, 等. 不同煤种地下气化特性研究 [J]. 中国矿业大学学报, 2003, 32 (6): 625-628.
- [5] 杨葵, 梁杰, 李秀珍. 煤炭地下气化燃烧过程影响因素及控制方法 [J]. 煤炭转化, 2002, 25 (4): 32-34.
- [6] 杨兰和, 梁杰, 余力. 煤炭地下气化技术工艺模型试验研究 [J]. 中国矿业大学学报, 1999, 28 (4): 314-317.
- [7] 柳迎红, 梁新星, 梁杰, 等. 影响煤炭地下气化稳定性生产因素 [J]. 煤炭科学技术, 2006, 34 (11): 79-81.
- [8] 杨兰和. 煤炭地下气化火焰工作面移动速度研究 [J]. 煤炭学报, 2000, 25 (5): 496-500.
- [9] 杨兰和, 刘裕国. 煤炭地下气化“三带”特征及影响变量的研究 [J]. 南京理工大学学报, 2001, 25 (5): 533-537.
- [10] 杨兰和, 刘淑琴, 梁杰. 煤炭地下气化动态温度场及浓度场数值分析 [J]. 中国矿业大学学报, 2003, 32 (4): 349-353.
- [11] 梁杰, 刘淑琴, 余力, 等. 煤炭地下气化过程稳定控制方法的研究 [J]. 中国矿业大学学报, 2002, 31 (5): 358-361.
- [12] 杨兰和, 梁杰. 煤炭地下气化燃空区范围 TEM 探测方法 [J]. 南京理工大学学报, 2001, 25 (2): 200-204.
- [13] 冯志华, 常丽萍, 任军, 等. 煤热解过程中氮的分配及存在形态的研究进展 [J]. 煤炭转化, 2000, 23 (3): 6-11.
- [14] 杨兰和. 煤炭地下气化高温区探测的新手段: 测氦技术 [J]. 煤炭科学技术, 1997, 25 (12): 12-15.
- [15] 梁杰, 常建, 刘淑琴, 等. 煤炭地下气化过程灰色预测 [J]. 中国矿业大学学报, 2003, 32 (6): 608-611.
- [16] LIU Shu-qin, LI Jin-gang, MEI Mei, et al. Groundwater Pollution from Underground Coal Gasification [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2007, 17 (4): 467-472.
- [17] 刘淑琴, 梁杰, 常建, 等. 华亭煤纯氧-水蒸汽地下气化模型试验研究 [J]. 东南大学学报: 自然科学版, 2003, 33 (3): 355-358.
- [18] 刘淑琴, 冯银辉, 梁杰, 等. 褐煤地下气化过程汞析出规律的研究 [J]. 环境科学学报, 2004, 24 (5): 821-827.
- [19] LIU Hong-tao, PANG Xu-lin, PAN Xia, et al. Method of Oxygen-enriched Two-stage Underground Coal Gasification [J]. Mining Science and Technology, 2011, 21 (2): 191-196.
- [20] 庞旭林, 陈峰, 潘霞. 涌水条件下富氧煤炭地下气化温度场扩展的模型试验 [J]. 煤炭学报, 2011, 36 (S1): 151-155.

(上接第111页)

演化过程中的升降运动与受热作用, 控制煤层演化与煤层气生成, 对现今储层含气性有重要影响。

2) 后期构造形态及所受应力作用对煤层气的保存至关重要。褶皱两翼有利煤层气保存, 背斜核部中和面以上裂隙发育含气量低, 该面以下含气量较高但渗透性差; 向斜核部中和面之上应力集中, 含气量高, 渗透性差, 该面之下由于埋深及上层封闭作用含气性好。开放性断层易成为煤层气逸散通道, 含气性低。

3) 樊庄矿区煤层气井产能与构造部位密切相关。高产井主要分布于背斜与向斜的翼部、复背斜的次级背斜核部或次级向斜翼部, 以及复背斜的次级向斜核部或次级背斜翼部, 日均产气量可达 1 000~5 000 m³; 低产井及产水井主要分布于复背斜的次级背斜核部及正断层断裂带附近, 日均产气量小于 500 m³。

参考文献:

- [1] 宋岩, 赵孟军, 柳少波, 等. 构造演化对煤层气富集程度的影响 [J]. 科学通报, 2005, 50 (S): 1-5.
- [2] 陶树, 汤达祯, 许浩, 等. 沁南煤层气井产能影响因素分析及开发建议 [J]. 煤炭学报, 2011, 36 (2): 194-198.
- [3] 甘华军, 王华, 严德天. 高、低煤阶煤层气富集主控因素的差异性分析 [J]. 地质科技情报, 2010, 29 (1): 56-60.
- [4] 孟庆春, 左银卿, 魏强周, 等. 沁水煤层气田樊庄区块产能影响因素分析 [J]. 中国煤层气, 2010, 7 (6): 10-14.
- [5] 秦勇. 国外煤层气成因与储层物性研究进展与分析 [J]. 地学前缘, 2005, 12 (3): 289-298.
- [6] 宋岩, 秦胜飞, 赵孟军. 中国煤层气成藏的两大关键地质因素 [J]. 天然气地球科学, 2007, 18 (4): 545-552.
- [7] 王怀勳, 朱炎铭, 李伍, 等. 煤层气赋存的两大地质控制因素 [J]. 煤炭学报, 2011, 36 (7): 1129-1134.
- [8] 桑树勋, 范炳恒, 秦勇. 煤层气的封存与富集条件 [J]. 石油与天然气地质, 1999, 20 (2): 104-107.
- [9] 李贵中, 王红岩, 吴立新, 等. 向斜控气论 [J]. 天然气工业, 2005, 25 (1): 26-28.
- [10] 李梦溪, 刘庆昌, 张建国, 等. 构造模式与煤层气井产能的关系: 以晋城煤区为例 [J]. 天然气工业, 2010, 30 (11): 10-13.
- [11] 吴财芳, 秦勇, 傅雪海, 等. 沁水盆地煤储层地层能量演化历史研究 [J]. 天然气地球科学, 2007, 18 (4): 557-560.
- [12] 王勃, 姜波, 郭志斌, 等. 沁水盆地西山煤田煤层气成藏特征 [J]. 天然气地球科学, 2007, 18 (4): 565-566.
- [13] 刘焕杰, 秦勇, 桑树勋. 山西南部煤层气地质 [M].