

文章编号: 1001-1986(2018)05-0129-06

# 沁水盆地夏店区块煤层气藏气水分异特征

冯树仁，张 聪，张金笑，刘 忠，崔新瑞，晁巍巍

(中国石油天然气股份有限公司山西煤层气勘探开发分公司，山西 晋城 048000)

**摘要:** 沁水盆地夏店区块煤层气藏属低孔低渗致密气藏, 区块试采情况证实该区气水分布关系复杂。为了明确研究区气水分布规律, 对夏店区块试采区煤层气地质条件、压裂和生产动态资料进行分析, 阐明夏店区块试采区的气水分布特点, 探讨气水分布差异主控因素。结果表明, 研究区气水分异主要表现为 2 种情况, 一是高部位产气、低部位产水的重力分异; 二是局部井区受断层影响, 出现高部位产水、低部位产气的气水倒置现象。根据气水分布特征, 以构造形态为骨架, 结合储层、压裂及生产动态资料, 建立了封闭断层—褶曲、类气顶、开放断层控制、微构造控制、顶底板岩性控制等 5 种气水分布模式, 明确了沁水盆地夏店区块气水分布主要受构造及压裂控制影响, 同时提出差异化的井位部署建议, 可以指导该区煤层气进一步的勘探开发。

**关 键 词:** 沁水盆地 ; 煤层气藏 ; 夏店区块 ; 气水倒置 ; 重力分异 ; 气水分布

**中图分类号:** P618.11      **文献标识码:** A      **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1986.2018.05.020

## Gas-water differentiation characteristics of CBM reservoirs in Xiadian block, Qinshui basin

FENG Shuren, ZHANG Cong, ZHANG Jinxiao, LIU Zhong, CUI Xinrui, CHAO Weiwei

(Shanxi CBM Company, Petrochina Co., Jincheng 048000, China)

**Abstract:** The coalbed methane reservoirs at Xiadian block of Qinshui basin are of low porosity and low permeability. In order to define the gas-water distribution rule in the study area, CBM geological conditions, fracturing and production performance data in the pilot mining district of Xiadian block were analyzed to illuminate the gas-water distribution characteristics and discusses the control factors of gas water distribution differences. The results show that the difference of gas and water in the study area occurs mainly in two cases, one is the difference of the gravity, gas occurs in higher part, water occurs in lower part; the second is that locally affected by the fault, and the gas-water inversion phenomenon occurs, water appears in the higher part and gas appears in the low part. According to the characteristics of gas-water distribution, with structural form as skeleton, combined with reservoir fracturing and production performance data, five patterns of gas and water distribution, were set up, that is, closed fault fold, gas-like cap, open fault control, micro structure control, lithologic control of roof and floor, it was defined that gas and water distribution in this area was mainly affected by structure and fracturing, at the same time differentiated well placement was suggested, which can guide the further exploration and development of CBM.

**Keywords:** Qinshui basin; coalbed methane; Xiadian block; gas water inversion; gravitational differentiation; gas and water distribution

随着我国煤层气开采逐步商业化, 开发技术也日趋完善, 但由于地质差异性、煤储层非均质性等, 采取相同工艺技术的煤层气井投产后, 表现出井间气水差异较大的特点<sup>[1]</sup>。对煤层气井产气产水分布

规律、主控因素以及气水分布模式的研究, 是煤层气优化井型井网部署、指导开发技术对策制定、降低勘探开发风险的重要依据。目前, 国内外对于这方面的研究较少。

收稿日期: 2018-04-05

基金项目: 国家科技重大专项项目(2017ZX05064); 中国石油天然气股份有限公司重大科技专项(2017E-1405)

**Foundation item :** National Science and Technology Major Project(2017ZX05064); Major Science and Technology Project of Petrochina co. (2017E-1405)

第一作者简介: 冯树仁, 1991 年生, 男, 甘肃靖远人, 工程师, 从事煤层气勘探开发研究工作. E-mail: 979476569@qq.com

引用格式: 冯树仁, 张聪, 张金笑, 等. 夏店区块煤层气藏气水分异特征[J]. 煤田地质与勘探, 2018, 46(5): 129–134.

FENG Shuren, ZHANG Cong, ZHANG Jinxiao, et al. Gas-water differentiation characteristics of CBM reservoirs in Xiadian block, Qinshui basin[J]. Coal Geology & Exploration, 2018, 46(5): 129–134.

一般来讲，地下水系统越活跃、开放性越强，越不利于煤层气富集<sup>[2-6]</sup>。J. C. Pashin 等<sup>[7]</sup>认为开放的地下水系统，使得盆地煤层气赋存和产能变差。孙粉锦等<sup>[8]</sup>研究沁水盆地南部煤层气富集特征时，认为局部宽缓的构造高部位以及上斜坡等地带是煤层气富集高产的有利配置。桑树勋等<sup>[9]</sup>认为在水文地质条件简单的地区，构造及盖层岩性是煤层气封存的主控因素。叶建平<sup>[10]</sup>对潞安目标区煤层气赋存和生产地质因素进行了研究，认为张性断层发育形成的开放性地下水系统是导致目标区含气量变化大、气井产气量低、产水量高的主因。李清等<sup>[11]</sup>对延川南区块高产水井原因进行了剖析，认为压裂缝的缝高过大，沟通了二叠系下石盒子组的砂岩裂隙水是导致该区高产水井的主要原因。任光军等<sup>[12]</sup>通过研究柳林地区的煤层气高产水井，认为该类井需要通过大排量的泵型进行排水降压。刘昌平等<sup>[13]</sup>通过对夏店区块煤层气井产水来源进行剖析，制定了高产水、低产气井的差异化排采对策，并取得一定效果。

沁水盆地南部夏店区块共投产试采井 100 余口，日产气量在  $0\sim2700 \text{ m}^3$ ，日产水量在  $0\sim65 \text{ m}^3$ ，单井产气产水差异较大，且不同试采区均有高产气井、高产水井分布。笔者以夏店区块生产动态资料为基础，结合前人研究成果，从构造形态入手，研究煤层气藏气水分布规律，建立气水分布模式，探讨气水分布主要控制因素，并提出相应的开发布井技术对策。

1 区块概况

夏店区块位于沁水盆地的中东部，邻近潞安矿区，行政区划隶属屯留县、长子县、襄垣县等区管辖，面积  $630 \text{ km}^2$ （图 1）。

研究区主采煤层为山西组3号煤层，厚度一般为5.0~6.5m，平均5.4m；埋深195~1200m，平均670m，具有南浅北深的特点。煤镜质体反射率( $R_{max}$ )为1.97%~2.71%，平均2.36%，煤阶属贫煤-无烟煤。渗透率 $(0.008\sim0.195)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ ，属低渗-特低渗煤储层。煤层含气量为4.2~23.7 m<sup>3</sup>/t，平均15 m<sup>3</sup>/t，平面差异大。3号煤层顶底板由砂岩和泥岩组成，绝大部分地区煤层顶板泥岩发育，部分区域砂岩发育。

区内构造具有“东西呈带、南北成块”的特点<sup>[14-15]</sup>，主体构造是向西北倾斜的斜坡构造，文王山、二岗山两条断裂带将本区分成南北3个断块；区内NE—NNE、近EW向的褶皱发育。水文地质条件较为复杂，邻近3号煤层上下主要发育3套含水层，其中二叠纪砂岩裂隙含水层与奥陶纪灰岩含水层是本区重要的含水层，同时也是涌水量较大的含水层<sup>[10,13-14,16]</sup>。

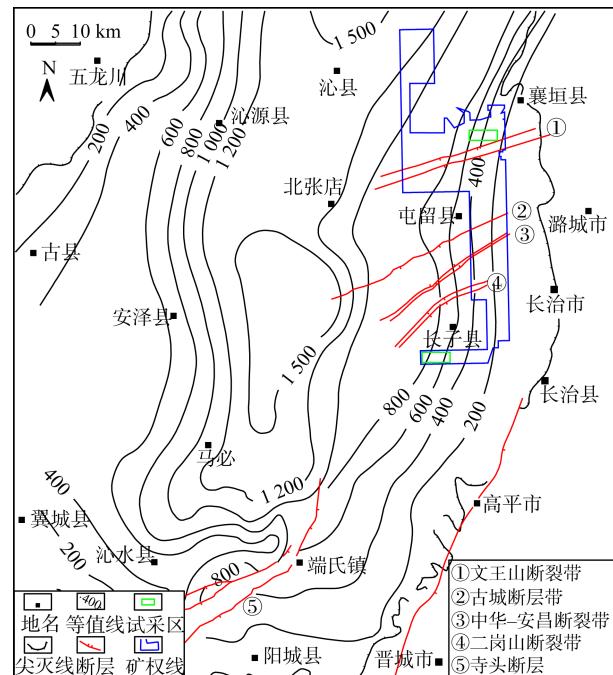


图 1 研究区地理位置及主力煤层埋深图

Fig.1 Location of the study area and the buried depth of the main coal seam

## 2 气水分布区状况

## 2.1 划分标准

以研究区已试采井生产动态资料为基础，综合考虑构造、煤储层特征、顶底板岩性等因素，建立了夏店区块内3号煤层气藏气水分布区划分标准，划分出高产气区、较高产气区、高产水区以及气水双低区4个气水分布区类型(表1)。

表 1 夏店区块气水分布划分标准

**Table 1 Classification standards of gas and water distribution in Xiadian block**

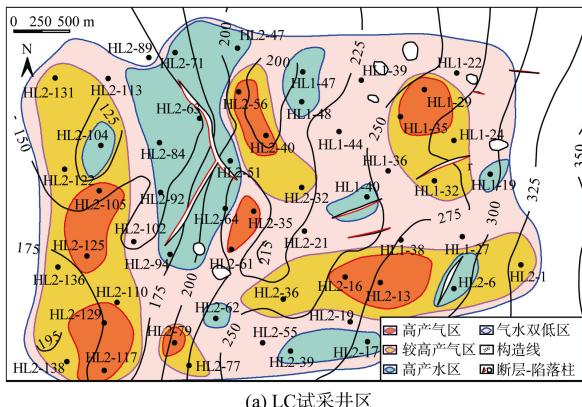
分区名称	日产气量/m <sup>3</sup>	日产水量/m <sup>3</sup>
高产气区	>800	<3
较高产气区	300~800	3~5
高产水区	—	>5
气水双低区	<300	<3

## 2.2 气水分布特征

依据以上划分标准进行试采区气水分布划分，并编制了 LC 和 WY 两个试采区 3 号煤层平面气水分布图(图 2)，进而分析其平面分布特征。

从划分结果看，两个井区气水产出分布整体复杂，无明显的气水界面，但平面上呈现出一定的气水变化规律。在 LC 试采区，产气区成条带状分布，且与构造形成一定相关性，宽缓背斜及相对高部位煤层气井产气较高；中部煤层气井整体产水量较大，主要与断距较大的断层发育有关；此外有高产水井

零星分布, 可能是压裂裂缝沟通含水裂隙造成。WY试采区整体呈现气水低产, 局部构造高部位或者背斜位置为产气井集中分布区; 井区整体产水量小, 仅个别井压裂沟通含水层后导致产水量大。



(a) LC试采井区

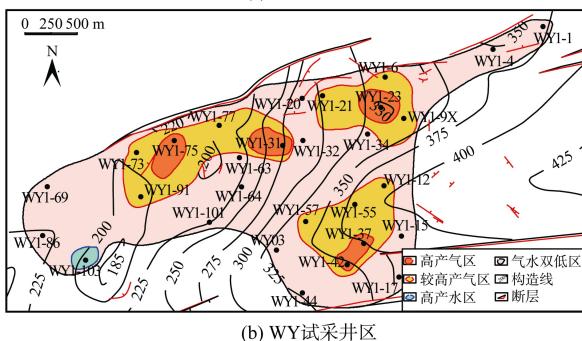


图2 夏店区块试采区气水分布平面图

Fig.2 Distribution plan of gas and water in the pilot mining district of Xiadian block

### 3 气水分布控制因素探讨

#### 3.1 构造控制

断裂构造主要控制煤层的含气性及局部地层水补给的强度; 背斜或者正向构造核部应力释放形成高渗区; 向斜或负向构造核部由于应力集中, 物性变差, 不利于气井产气, 同时由于构造落差的影响, 在低部位形成汇水区。

宏观上, 研究区由于受文王山、中华-安昌及二岗山断裂的影响(图1), 局部构造对研究区产水特征控制明显(图3)。其中WY1-22、Q20-33井位于构造高部位, 储层物性较好, 产气效果好, 日产气量分别为 $1100\text{ m}^3$ 、 $1050\text{ m}^3$ , 平均日产水 $0.3\text{ m}^3$ ; 靠近中华-安昌断层带的G1-16井日产水 $28\text{ m}^3$ , 不产气。局部构造同样对试采井区的气水分布影响显著。例如LC试采井区内, 西部及中部构造高部位形成两条高产气条带, 平均单井日产气可达到 $700\text{ m}^3$ , 日产水 $0.5\text{ m}^3$ , 而中部由于受F1断层影响较广, 形成较大范围的高产水区, 平均单井日产水 $43\text{ m}^3$ , 不产气。

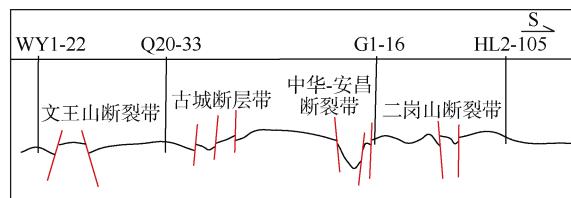


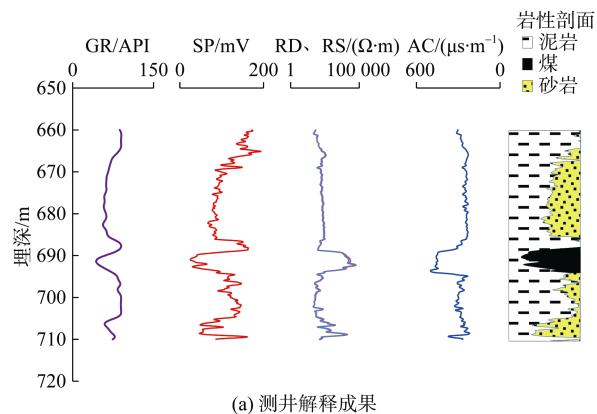
图3 夏店区块3号煤层南北向剖面图

Fig.3 North-south cross-section of coal seam 3 in Xiadian block

#### 3.2 压裂影响

不同压裂方式对释放单井产能也有不同的效果<sup>[1]</sup>。由于煤层渗透性差, 需对煤层进行压裂改造, 在煤层中建立良好的渗流通道才能更好地释放煤层气井产能。

此外, 压裂产生的人工裂缝缝高过大, 可能会沟通顶底板含水层造成局部气井产水量大, 影响气水分布。例如HL2-17井所处位置构造平缓, 无断层发育; 从测井解释成果发现(图4), 在3号煤层顶部发育一套厚达 $16\text{ m}$ 的砂岩层, 解释为含水层, 直接顶板是泥岩, 厚度 $2.5\text{ m}$ ; 微破裂压裂裂缝监测得到人工裂缝缝高 $10\text{ m}$ , 投产后日产水 $35\text{ m}^3$ , 属于高产水井, 分析认为该井由于压裂时缝高过高, 裂缝穿透煤层直接顶板, 沟通顶部砂岩含水层, 发生



(a) 测井解释成果

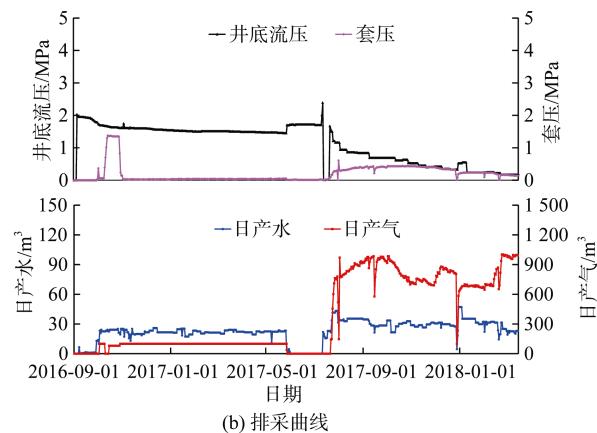


图4 HL2-17井测井解释成果及排采曲线

Fig.4 Log interpretation results and extraction curve of well HL2-17

高产水，井底流压下降困难。2017 年 7 月换成大泵抽出更多水后，流压才开始稳步下降，满足日降压力 0.1 MPa 的排采要求。

#### 4 气水分布模式

通过对全区构造的精细描述，证实气水产出与

构造关系密切。基于煤层气井产气分布特征，以构造形态为骨架，结合储层发育特征、顶底板岩性及生产动态特征资料，总结出了 5 种符合研究区 3 号煤层气藏气水分布模式(表 2)，即封闭断层-褶曲模式、类气顶模式、开放断层控制模式、微构造控制模式和顶底板岩性控制模式。

表 2 夏店区块气水分布模式  
Table 2 Distribution patterns of gas and water in Xiadian block

模式名称	模式图	成因	产气产水特征
封闭断层-褶曲模式		封闭断层-构造高部位形成良好的“圈闭”，在构造幅度差存在下，重力分异影响	高部位产气 低部位产水
类气顶模式		在背斜构造背景下，由于应力释放的影响，核部位置物性较翼部好	核部位置高产气，翼部位置相对低产，形成类气顶形态
开放断层控制模式		大断距断层易沟通上下含水层。受应力释放影响，相对远处形成高产区，可形成气水倒置现象	高产水井富集在断层面附近，相对远处形成高产区，可形成气水倒置现象
微构造控制模式		受微幅构造、储层非均质性控制	形成“广覆式”的复杂气水关系
顶底板岩性控制模式		压裂缝缝高偏高易沟通顶底板含水层；气水关系与含水层发育程度及压裂缝规模有关	井间气水差异大

#### 4.1 封闭断层-褶曲模式

由于断层面受到泥岩涂抹作用可以形成侧向封闭型断层<sup>[17]</sup>。封闭型断层与背斜构造组合形成良好的“圈闭”，在高部位物性较好，通常形成富气高产区；同时由于构造幅度差的存在，水的密度较甲烷大，受到重力的影响，形成气上水下的格局，气水

分异明显(表 2 类型 )。例如研究区中部 4-110 试采井组，处于背斜构造，其东南侧为中华安昌断裂北断层，由于泥岩涂抹作用形成侧向封闭，结合背斜构造组成背斜-封闭断层的“圈闭”，高部位的 4-110 井日产气 2 000 m<sup>3</sup>，日产水 0.1 m<sup>3</sup>，低部位的 4-98 井日产气 200 m<sup>3</sup>，日产水却达到 50 m<sup>3</sup>。低部位井

排水对高部位井同样起到协同降压的效果，有利于高部位形成高产井。该模式下布井时应适当远离由于断层导致的储层物性变差的区域，在高部位加密气井部署，低部位适当布置水井协同降压，提高局部降压增产效果；此外还可试验上倾水平井，增大井控范围，利于煤层排水降压。

#### 4.2 类气顶模式

通常正向构造核部位置由于应力的释放容易形成高渗或较高渗区，储层物性变好，气井相对高产；储层物性翼部较核部或相对高部位差，气井产量相对较低，形成一种核部高产，翼部相对低产，但由于气水分异界限并不清晰，故称为“类气顶模式”。该模式主要为构造变形引起储层物性变化所致（表 2 中类型 II）。如 WY 井区北部 WY1-23 井组，处于背斜位置，其中 WY1-23 位于核部位置，日产气 1 100 m<sup>3</sup>，日产水 0.2 m<sup>3</sup>，而位于翼部的 WY1-21 井日产气 650 m<sup>3</sup>，日产水 0.1 m<sup>3</sup>，WY1-9 井日产气 500 m<sup>3</sup>，日产水 0.2 m<sup>3</sup>。整体表现出核部位置较翼部位置产量高，该类模式布井时可适当在构造顶部位置加密。

#### 4.3 开放断层控制模式

研究区 3 号煤层上下地层均存在含水层，而大断距、开放性断层常常沟通含水层，在断层面附近区域形成一定范围的富水区，由于外来水补给强度大，煤层压力下降困难，同时大断层容易导致煤层气逸散，造成低产气、高产水井；相应地，受到开放性断层的影响，在距断层面相对远处，地层应力发生释放，形成相对高渗区，同时外来水补给条件弱，气井产量较高；整体来讲，局部井区形成气水倒置现象，即高部位产水、低部位产气（表 2 中类型 III）。LC 试采区的 HL2-63 井组处在 F1 断层处，根据钻井资料 F1 断层垂直断距可达 100 m，沟通下部奥陶纪灰岩层，邻近 F1 断层的井普遍高产水，日产水量 30~80 m<sup>3</sup>，不产气；而 HL2-105 井距离 F1 断层 1 000 m 处，且位于 F1 断层的下降盘，其日产气可达 800 m<sup>3</sup>，日产水 2.3 m<sup>3</sup>；整体来讲，形成气水倒置格局。该类模式高产水区可适当布置排水井<sup>[18]</sup>；在设备满足的条件下尽可能提高工作强度，协同周围气井排水降压，防止越流补给强度大而导致邻区降压困难。

#### 4.4 微构造控制模式

由于井组尺度内褶曲构造复杂，导致储层非均质性变强，气水关系随之变得复杂。局部构造高部位气井产气量较大，产水量较小，气水分异明显；在低洼部位可能因构造落差形成局部汇水小区，气井出现低产气高产水的特征；但小断层沟通顶底板

含水层时，气井可能高产水（表 2 中类型 IV）。该类型在研究区分布较多。

#### 4.5 顶底板岩性控制模式

大量试验证明，煤层气井需进行储层改造提高煤储层渗透性才能高产，压裂是当前煤层气储层改造的重要手段<sup>[19-21]</sup>。当煤层顶底板发育砂岩或灰岩含水层时，且直接顶底板较薄（一般小于 10 m），由于压裂缝的缝高偏高而沟通顶底含水层，产生高产水井，形成井间气水差异（表 2 中类型 V）。该类模式与顶底板含水层发育程度及压裂缝规模有较大关系，储层改造时适当控制压裂缝缝高即可避免大水井的产生。

### 5 结 论

a. 从研究区内试采井区开发效果来看，试采井区气水产出分布整体复杂，无明显的气水界面，但局部平面上呈现出一定的气水变化规律。

b. 在精细构造解释的基础上，以构造形态为框架，结合气水分布特征、储层特征及生产动态资料，将夏店区块划分为封闭断层-褶曲、类气顶、开放断层控制、微构造控制、顶底板岩性控制 5 种气水分布模式。依据气水分布模式，提出相应的布井方式，明确了加强低部位井排水强度，避开不可降压的富水区，以降低开发风险。

c. 研究区气水分异主要是受构造因素控制，在局部井区由于顶底板为含水区，气井压裂后可能导致单井后期产水大。结合气水分布模式，提出优选构造高部位、避开高含水区的高效井位部署思路；合理控制压裂规模及参数配置以提高储层适应性；试验水平井开发等方式，进而指导该区块煤层气进一步的勘探开发。

### 参 考 文 献

- [1] 侯景龙, 刘志东, 刘建中. 煤层气开发压裂技术在沁水煤田的实践与应用[J]. 中国工程科学, 2011, 13(1): 89–92.  
HOU Jinglong, LIU Zhidong, LIU Jianzhong. Application of hydraulic fracturing techniques for CBM wells in Qinshui coal field[J]. Engineering Sciences, 2011, 13(1): 89–92.
- [2] 杨永田. 河东煤田三交区块水文地质条件与控气特征[J]. 中国煤田地质, 2007, 19(3): 30–33.  
YANG Yongtian. Hydrogeological condition and gas controlling features of sanjiao Sector, Hedong coalfield[J]. Coal Geology of China, 2007, 19(3): 30–33.
- [3] 田冲, 汤达祯, 周志军, 等. 彬长矿区水文地质特征及其对煤层气的控制作用[J]. 煤田地质与勘探, 2012, 40(3): 43–46.  
TIAN Chong, TANG Dazheng, ZHOU Zhijun, et al. Hydro-

- geological characteristics and their control on coalbed methane in abainchang amining area[J]. Coal Geology & Exploration ,2012 ,40(3) : 43–46.
- [4] 马凤山 , 李尚儒 , 蔡祖煌 . 煤层气开发的水文地质问题[J]. 水文地质工程地质 , 1998 , 25(3) : 20–22.  
MA Fengshan , LI Shangru , CAI Zuhuang. Hydrogeological problems in coalbed gas exploitation[J]. Hydrogeology & Engineering Geology , 1998 , 25(3) : 20–22.
- [5] 池卫国 . 沁水盆地煤层气的水文地质控制作用[J]. 石油勘探与开发 , 1998 , 25(3) : 15–18.  
CHI Weiguo. Hydrogeological control on the coalbed methane in Qinshui Basin[J]. Petroleum Exploration and Development , 1998 , 25(3) : 15–18.
- [6] 叶建平 , 武强 , 王子和 . 水文地质条件对煤层气赋存的控制作用[J]. 煤炭学报 , 2001 , 26(5) : 459–462.  
YE Jianping ,WU Qiang ,WANG Zihe. Controlled characteristics of hydrogeological conditions on the coalbed methane migration and accumulation[J]. Journal of China Coal Society , 2001 , 26(5) : 459–462.
- [7] PASHIN J C , GROSHONG J R H. Structural control of coalbed methane production in Alabama[J]. International Journal of Coal Geology , 1998 , 38(1/2) : 89–113.
- [8] 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.  
SUN Fenjin , WANG Bo , LI Mengxi , et al. Major geological factors controlling the enrichment and high yield of coalbed methane in the southern Qinshui Basin[J]. Acta Petrolei Sinica , 2014 , 35(6) : 1070–1079.
- [9] 桑树勋 , 范炳恒 , 秦勇 , 等 . 煤层气的封存与富集条件[J]. 石油与天然气 , 1999 , 20(2) : 104–107.  
SANG Shuxun ,FAN Bingheng ,QIN Yong ,et al. Conditions of sealing and accumulation in Coal-Bed gas[J]. Oil & Gas Geology , 1999 , 20(2) : 104–107.
- [10] 叶建平 . 潞安目标区煤层气赋存和生产的地质因素分析[J]. 煤田地质与勘探 , 2005 , 33(3) : 29–32.  
YE Jianping. Analysis on geological factors of coalbed methane distribution and production in Lu'an Area[J]. Coal Geology & Exploration , 2005 , 33(3) : 29–32.
- [11] 李清 , 赵兴龙 , 谢先平 , 等 . 延川南区块煤层气井高产水成因分析及排采对策[J]. 石油钻探技术 , 2013 , 41(6) : 95–99.  
LI Qing , ZHAO Xinglong , XIE Xianping , et al. Causes of high yield from CBM wells in Yanchuannan Block and draining measures[J]. Petroleum Drilling Techniques ,2013 ,41(6) :95–99.
- [12] 任光军 , 王莉 , 娄剑青 . 柳林地区水文地质特征及其对煤层气生产井的影响[C]//叶建平. 2008 年煤层气学术研讨会论文集. 北京 : 地质出版社 , 2008 : 378–389.
- [13] 刘昌平 , 胡秋嘉 , 樊彬 , 等 . 地层水对煤层气井产气效果的影响分析——以夏店区块李村井区为例[J]. 中国煤层气 , 2017 , 14(5) : 35–37.  
LIU Changping , HU Qiuja , FAN Bin , et al. Influence analysis of formation water on the gas production effect of CBM well[J]. China Coalbed Methane , 2017 , 14(5) : 35–37.
- [14] 白海波 , 缪协兴 , 冯梅梅 . 潞安矿区新构造及其控水作用的研究[J]. 采矿与安全工程学报 , 2006 , 23(4) : 383–388.  
BAI Haibo , MIAO Xiexing , FENG Meimei. Research on the neotectonics and water controlling effect in Lu'an coal mine[J]. Journal of Mining & Safety Engineering ,2006 ,23(4) :383–388.
- [15] 孙庆宇 , 张小东 , 赵家攀 . 长治区块煤层气赋存特征及控气因素[J]. 中国煤炭地质 , 2016 , 28(7) : 11–15.  
SUN Qingyu , ZHANG Xiaodong , ZHAO Jiapan. CBM hosting features and gas-controlling factors in Changzhi block[J]. Coal Geology of China , 2016 , 28(7) : 11–15.
- [16] 刘芳珍 . 潞安矿区奥陶系岩溶发育规律及成因探讨[J]. 地下水 , 1998 , 20(2) : 70–73.  
LIU Fangzhen. Preliminary exploration on karst developing cuase[J]. Groundwater , 1998 , 20(2) : 70–73.
- [17] 宋来明 , 贾达吉 , 徐强 , 等 . 断层封闭性研究进展[J]. 煤田地质与勘探 , 2006 , 34(5) : 13–16.  
SONG Laiming , JIA Daji , XU Qiang , et al. Advance in fault sealing study[J]. Coal Geology & Exploration , 2006 , 34(5) : 13–16.
- [18] 门相勇 , 闫霞 , 王峰 , 等 . 煤层气井高产水对排采产气的影响及预防措施[J]. 中国矿业 , 2017 , 26(增刊 1) : 393–398.  
MEN Xiangyong ,YAN Xia ,WANG Feng , et al. The influence of high yield water on gas production in CBM wells and its preventive measures[J]. China Mining Magazine , 2017 , 26(S1) : 393–398.
- [19] 胡秋嘉 , 李梦溪 , 乔茂坡 , 等 . 沁水盆地南部高阶煤煤层气井压裂效果关键地质因素分析[J]. 煤炭学报 , 2017 , 42(6) : 1506–1516.  
HU Qiuja , LI Mengxi , QIAO Maopo , et al. Analysis of key geologic factors of fracturing effect of CBM wells for high-rank coal in Southern Qinshui basin[J]. Journal of China Coal Society , 2017 , 42(6) : 1506–1516.
- [20] 陈海汇 , 范洪富 , 郭建平 , 等 . 煤层气井水力压裂液分析与展望[J]. 煤田地质与勘探 , 2017 , 45(5) : 33–40.  
GHEN Haihui ,FAN Hongfu ,GUO Jianping ,et al. Analysis and prospect on hydraulic fracturing fluid used in coalbed methane well[J]. Coal Geology & Exploration , 2017 , 45(5) : 33–40.
- [21] 李安启 , 姜海 , 陈彩虹 . 我国煤层气井水力压裂的实践及煤层裂缝模型选择分析[J]. 天然气工业 , 2004 , 24(5) : 91–93.  
LI Anqi ,JIANG Hai , CHEN Caihong. Hydraulic fracturing practice and coalbed fracture model selecting for coalbed gas wells in China[J]. Natural Gas Industry , 2004 , 24(5) : 91–93.

(责任编辑 范章群 张宏)