

文章编号: 1001-1986(2005)03-0029-04

# 潞安目标区煤层气赋存和生产的地质因素分析

叶建平 (中联煤层气有限责任公司, 北京 100011)

**摘要:** 分析了影响潞安目标区煤层气赋存和生产的主要地质因素, 提出了本区煤层气井产气量低、产水量高的原因。潞安目标区与晋城目标区相比较, 张性断层发育, 3号煤顶板砂岩条带发育。地下水从浅部接受大气降水补给, 部分在文王山和二岗山断裂带排泄, 煤层顶板砂岩含水层与煤层不仅构成了一个统一的地下水系统, 又由于与断层的沟通作用形成了一个完整的地下水补径排系统, 使得地层能量被释放, 煤层气大量迁移逸散, 煤储层压力降低, 煤层气井产能降低。

**关键词:** 煤层气; 地下水系统; 淹水盆地; 潞安

**中图分类号:** P618.11 **文献标识码:** A

## Analysis on geological factors of coalbed methane distribution and production in Lu'an area

YE Jian-ping (China United Coalbed Methane Corporation, Beijing 100011, China)

**Abstract:** The dominant geological factors influencing the target coal seam's gas occurrence and production in Lu'an area are analyzed. Based on that the causes of low gas productivity and high water productivity in the study area are revealed. The reason for that is caused by lots of extensional faults and sandstone belts above No. 3 coal seam. On the whole, with underground water recharging from outcrops at the east of the area and discharging to Wenwangshan and Ergangshan fault zones, as well as the sandstone aquifer above No. 3 coal seam and No. 3 coal seam itself, a complete underground water system was formed, which communicates with the faults. Consequently, reservoir energy was released and coalbed methane was transformed and escaped, which resulted in the low reservoir pressure and the low coalbed methane productivity.

**Key words:** coalbed methane; underground water system; Qinshui basin; Lu'an area

## 1 概述

在山西潞安目标区, 前人曾对影响煤层气赋存的地质条件进行过研究。中联煤层气有限责任公司于1997年开始在本区进行煤层气勘探开发试验, 先后施工了7口井。最先在屯留县和长子县布置施工

了4口煤层气井——TL-001井、TL-002井、TL-005井和O2-3井, 其中TL-001井和TL-002井进行了1a多排采试验, 获得了完整的生产数据, TL-005井因工程故障未生产, O2-3井为参数井。2002年中联公司和Philips公司的国际合作项目在屯留县西部又施工了3口生产试验井, 因故没有排

收稿日期: 2004-08-25

基本项目: 国家“十五”重大科技攻关项目(编号: 2001BA605A-07-02)

作者简介: 叶建平(1962—), 男, 浙江宁波人, 中联煤层气有限责任公司高级工程师, 博士, 从事煤层气勘探和开发研究。

在不同的温度段缩聚和裂解所占的优势各不相同, 两个反应处于相互促进或相互制约的状态。不同实验方法缩聚和裂解所表现出的优势不同。

d. 褐煤生烃演化过程中反映出的这一规律, 可为干酪根热降解机理和煤成气演化规律以及含煤地层油气勘探评价提供新的理论依据。

## 参考文献

- [1] Lewan M D. Experiments on the role of water in petroleum formation [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1997, 61(17): 3691—3723.
- [2] 王春江, 夏燕青, 罗斌杰. 低成熟阶段可溶有机质的热缩聚作用 [J]. *科学通报*, 1997, 42(6): 631-632.
- [3] 秦匡宗, 郭绍辉, 李术元. 有机地质大分子结构与未熟油生成 [J]. *石油勘探与开发*, 1997, 24(5): 1-6.
- [4] 王培荣, 陈奇, 何文祥, 朱俊章. 未熟-低熟阶段有机质的两极分化作用-低温低压加水热模拟实验 [J]. *科学通报*, 1999, 44(2): 208-211.
- [5] 杨文宽. 腐殖煤的热解机理和生烃率 [J]. *石油与天然气地质*, 8(1): 26-37.
- [6] 姚素平, 张景荣等. 鄂尔多斯盆地中生界煤成烃潜力的实验研究 [J]. *煤田地质与勘探*, 2004, 32(1): 24-28.
- [7] 王涵云, 杨天宇. 原油热解成气热模拟实验 [J]. *天然气工业*, 1982, 3: 28-33.
- [8] 傅家谋等. 煤成烃地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1990, 66-75.
- [9] 刘宝泉, 蔡冰, 方杰. 上元古界下马岭组页岩干酪根的油气生成模拟试验 [J]. *石油实验地质*, 1990, 12(2): 147-159.

采。从TL-001井和TL-002井这两口井的生产情况来看,本区煤层气产能较低,产气量平均47~320  $m^3/d$ ;产水量较大,平均38~61  $m^3/d$ ;初期产水时间长,两口井分别在排水119 d和202 d后才开始产气。显然我们有必要研究导致本区煤层气产能低的原因,探讨影响煤层气富集运移产出因素,旨在指导本区煤层气勘探部署。本文是在以往工作的基础上,以地下水系统理论为指导,通过对煤层气田地下水系统的研究,提出影响本区煤层气赋存和生产的主要地质因素。

## 2 潞安目标区煤层气赋存特征

山西潞安目标区位于沁水盆地东部中段,按照地貌和构造特征,本区从北到南可以分为3个区块:北部为武乡和襄垣区块,以剥蚀丘陵低山地形为主,一般标高900~1300 m,地貌由黄土梁、冲沟组成典型的黄土地形;中部为屯留区块,位于文王山断裂带和二岗山断裂带之间;南部为长治区块。中部和南部属长治盆地,覆盖第四系松散层。全区地势北高南低,最低的漳河河床标高为899 m。主要发育浊漳河北源、西源、南源等水系。下面主要研究中南部的屯留区块和长治区块。

### 2.1 煤层及煤级

潞安目标区含煤地层为太原组和山西组,平均厚166.14 m,含煤11~18层,煤层总厚平均14.98 m。3号煤和15号煤是主采煤层,厚度稳定,也是煤层气勘探开发的主要目标层。

3号煤层位于山西组中下部,单层厚度最大。中部及南部厚4.50~8.44 m,平均6.25 m。北部分又变薄,平均厚度仅1.90 m。该煤层结构简单一较复杂,含夹矸1~3层。

15号煤层位于太原组下段,二岗山断层以北的屯留区块,厚度为0.30~2.82 m,明显小于3煤。二岗山断层以南的长治区块,15煤厚度为1.45~6.40 m。15煤的稳定性较差,结构简单一较复杂,一般含夹矸3~4层。

综上所述可以看出,南北两区相比较,南区富煤条件明显好于北区。在东西方向上,富煤带主要位于研究区中一东部地区。3煤、15煤从东部盆地边缘向西缓缓倾斜,煤层埋藏深度范围都在1000 m以浅。

本区煤级分布规律性明显:自东向西,煤变质程度逐渐增高,煤级呈近南北向条带状分布。东部靠近煤系露头区,以焦煤和瘦煤为主,煤的镜质组反射率多为1.64%~1.90%;在研究区中一西部,煤的变

表1 各井田或勘探区含气量统计表

Table 1 Coalbed methane content in Lu'an area

勘探区 /井田	煤 层	含气量分布 范围/ $m^3/t$	含气量平均值 (点数)/ $m^3/t$	煤层深度/ $m$
南	3	7.00~23.35	12.43(9)	350.76~773.44
峰	15	5.53~17.77	12.17(6)	440.98~826.97
屯	3	3.07~20.89	10.46(50)	370.62~670.01
留	15	5.12~15.27	13.36(9)	619.11~768.57
长	3	0~15.79	6.04(40)	298.36~547.20
治	15	1.10~16.27	8.74(33)	460.96~684.00

注:本表数据引自潞安矿区相关井田的煤田地质勘探报告。

质程度高,煤级主要为贫煤和无烟煤。各煤层煤级随埋深的增加而增大。山西组煤的镜质组反射率为1.64%~2.24%。太原组煤的镜质组反射率为1.83%~2.29%。

### 2.2 含气量分布规律

各井田或勘探区煤层含气量分布如表1,潞安目标区煤层含气量变化较大,含气量总体偏低。3煤甲烷含量平均为5.31~12.34  $m^3/t$ ,最高点为23.35  $m^3/t$ ;15煤甲烷含量平均为5.05~13.36  $m^3/t$ ,最高点为17.77  $m^3/t$ 。其中,北部南峰勘探区含气量3煤平均12.43  $m^3/t$ ,15煤12.17  $m^3/t$ ;中部屯留井田含气量3煤平均10.46  $m^3/t$ ,15煤13.36  $m^3/t$ 。南部长治勘探区含气量3煤平均6.04  $m^3/t$ ,15煤8.74  $m^3/t$ 。

## 3 水文地质条件分析

### 3.1 含水层特征

目标区内主要含水层有新生界松散含水层、基岩风化带含水层、碎屑岩类裂隙含水层组、太原组薄层灰岩含水层组及寒武—奥陶系灰岩含水岩组等。

新生界松散含水层中富水性较强的下更新统含水层分布于长治盆地,单位涌水量为0.05~0.77 L/(s·m)。煤系基岩风化带富水性稍强,单位涌水量0.04~0.66 L/(s·m)。煤系含水层富水性弱,山西组单位涌水量0.002~0.007 L/(s·m),太原组单位涌水量0.001~0.002 L/(s·m)。

各含水层水位从上而下逐层降低。基岩风化带水位标高为908.14~934.48 m,山西组为699.69~876.83 m,太原组为677.66~701.28 m,奥陶系为658.32~663.36 m。这一特征表明邻近补给区径流比较明显,且奥陶系灰岩的透水性显著地较其上部含水层强。由于这种水位差的存在,上部各含水层中的地下水均可补给奥陶系灰岩含水层。

### 3.2 含煤地层地下水系统

#### 3.2.1 水动力特征

就含水层水力联系程度和水动力特征来看,中部和南部存在明显差异。

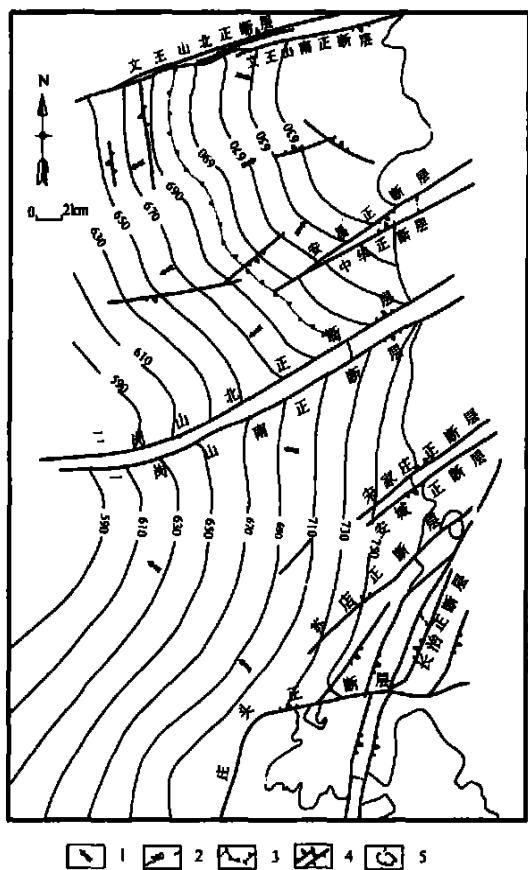


图1 潞安目标区山西组砂岩含水层流场图

Fig. 1 Aquifer flow field of Shanxi Formation in Lu'an Area

1—地下水径流方向; 2—等水位线; 3—地下水分水岭;

4—断层; 5—3煤露头线

二岗山断层以南的长治区块,山西组含水层地下水头比太原组高,如3201孔山西组地下水位756.27 m,太原组677.66 m。这说明在正常情况下,两者的水力联系不明显。

在二岗山断层以北的屯留区块,山西组和太原组含水层地下水头均在700 m左右,如3121孔山西组和太原组含水层水位分别为708.91 m和696.76 m,两者很接近,说明它们之间有一定的水力联系。煤系含水层与下伏中奥陶统灰岩含水层之间的水力联系比较复杂。中奥陶统灰岩含水层地下水位一般为660 m,一般情况下,如果没有断层导通,煤系与中奥陶统之间垂向上不存在水力联系。当出现断层时,这些含水层之间可能发生水力联系。据煤田地质勘探的抽水试验资料,屯留井田山西组砂岩水位700.24 m,太原组灰岩水位698.00 m,中奥陶统灰岩水位683.68 m。常村井田山西组砂岩水位786.2 m,太原组灰岩水位714.00 m,中奥陶统灰岩水位710.00~720.00 m。文王山南断层,断层落差大,其断距在屯留井田内350 m到270 m。文王山南断层

两盘在地表,一般为三叠系下统刘家沟组与二叠系上统上石盒子组相接触。钻孔揭示,断层两盘上石盒子组与本溪组接触,这导致煤层与奥灰含水层对口接触,它们之间发生水力联系。二岗山断层也存在类似情况。

### 3.2.2 地下水补给和径流条件

根据山西组砂岩含水层流场分布图(图1)可知,山西组砂岩含水层水位等势面呈东部高西部低,地下水总体由东向西径流。地下水从东部露头接受大气降雨补给。二岗山地垒和文王山地垒的东段,断层造成煤系与奥陶系灰岩对口接触,由于奥陶系灰岩岩溶水水位低于山西组煤系含水层,煤系含水层将补给灰岩岩溶水含水层,地下水交替积极,断层带成为部分地下水的排泄通道。往西部,断距渐小,对地下水水流的影响也逐渐减弱,地下水主要表现为顺层向深部流动,随侧向距离的延长,径流强度逐渐减弱。在埋深大于800 m处,基本处于滞流状态。另外,在屯留东部煤矿开采区,形成了人工地下分水岭,分水岭以深地下水维持天然地下水流向,而在分水岭以浅,地下水向开采矿井方向径流。

煤系地下水水流场与基底奥陶系灰岩地下水水流场有所不同,在本区奥陶系灰岩地下水分别由北部呈SE向的强径流带和南部呈NE向的强径流带,在潞城汇合后,向东流至辛安泉一带以泉群方式排泄<sup>[1]</sup>。

## 4 地下水系统与煤层气富集运移作用关系

地下水系统就是地下水含水系统,是指由隔水层或相对隔水岩层圈闭的,具有统一水力联系的含水岩系<sup>[2]</sup>。一个含水系统往往由若干含水层和相对隔水层组成,形成统一水力联系。作者<sup>[3]</sup>(2002)曾将“地下水系统”的思想引进到煤层气田中来,将煤储层与顶底板含水层,及其与煤层有水力联系的其他给水含水层有机地联系起来,提出3种煤层气田气水两相流系统类型:封闭型、半封闭型和开放型煤层气田气水两相流系统,其中封闭型有利于煤层气富集,开放型不利于煤层气富集和高产。半封闭型视地质特征和地下水系统特征具体分析。

### 4.1 控气和控水构造

目标区位于沁水复向斜的东翼中段,总体构造形态为向西倾斜的单斜,伴有轴向北北东或近南北向宽缓褶曲。相对沁水盆地而言,本区断裂构造比较发育,且以张性断层为主,多成对出现。主要断裂有文王山断褶带、二岗山断褶带、西川断层、庄头断层、长治断层、中华断层、安昌断层等。其中,文王山北断层和文王山南断层间形成文王山地垒构造,二

岗山北断层和二岗山南断层间形成二岗山地垒, 文王山地垒与二岗山地垒使部分地段含煤地层与灰岩岩溶含水层对接, 加之正断层具导水性, 形成了煤层气的逸散通道, 近断层处煤层中煤层气含量明显偏低, 不利于煤层气富集, 它是本区地下水和煤层气的主要控制构造。

本区另一个重要地质特征是, 3 煤顶板砂岩较发育, 呈条带状分布, 并与断层导通, 如图 2。由于砂岩的富水性, 使得煤层的富水性增加, 水动力增强, 导致煤层气大量运移逸散。因此, 本区煤层气封闭条件变差。

#### 4.2 地下水系统与煤层气富集运移作用关系

本区地下水从东侧盆地的边浅部接受大气降水补给, 向西侧深部径流, 在断层附近, 一部分地下水向断层另一盘的奥陶系灰岩含水层排泄, 因此形成了局部的地下水补径排系统。由于上述导水断层、顶板砂岩等系统边界条件作用, 直接影响 3 号煤层和 15 号煤层的煤层气运移逸散。例如, 在二岗山南正断层南侧, 3 煤顶板砂岩条带发育, 并与断层导通, 因此该区域附近的煤层含气量显著降低, 含气量从周围的  $13.64 \text{ m}^3/\text{t}$  减少到  $5.15 \text{ m}^3/\text{t}$  以下。通过与南部晋城目标区的对比发现, 晋城目标区 3 煤顶板砂岩基本不发育, 其顶板主要为泥岩, 储层封闭条件较好, 而且断层不发育, 大宁—潘庄一带的地下水呈汇流型特征, 因此有利于煤层气富集<sup>[3, 4]</sup>。

潞安目标区所具有的这种导水断层、顶板砂岩等开放型系统边界条件, 形成了开放性的地下水系统, 这导致煤层气大量运移逸散。南部长治区块地下水系统的开放性比屯留区块更强, 煤层气运移逸散程度更大, 因此现存的煤层含气量总体上比屯留区块低, 如图 2 和表 1。说明了南部长治区块和中部屯留区块由于地质条件的差异, 煤层气赋存也有差异。这种开放的地下水系统, 使得盆地煤层气赋存和产能变差<sup>[5]</sup>。

如上述, 本区属单斜构造, 浅部地区、水动力条件好, 交替径流强烈, 这使得煤层气逸散。在煤系中随深度增大, 地下水矿化度增加, 但不十分显著, 在灰岩含水层中, 特别是寒武奥陶系灰岩中含有大量的石膏矿物, 使得地下水滞流区矿化度增加显著, 而且水质类型也多变为  $\text{SO}_4$  型、 $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3$  型, 硬度也大幅度增加。深部地下水的滞流状态能有效地减缓煤层气的外逸。在向斜部位, 煤层气相对富集, 如位于屯留县以东的许村向斜, 含气量高达  $20 \text{ m}^3/\text{t}$ 。因此, 本区西部, 由于地层深度增加, 断裂减少, 煤层气将会相对富集, 尤其在次级向斜中。

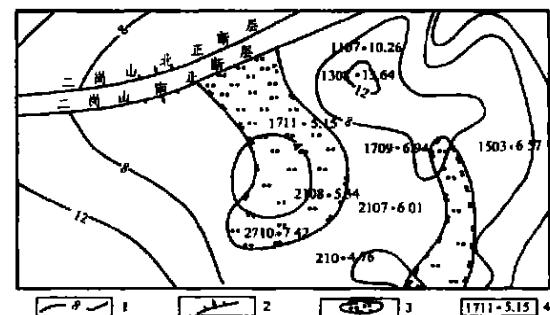


图 2 潞安目标区长治区块煤层顶板砂岩和煤层含气量关系图

Fig. 2 Relationship between the sandstone aquifer above No. 3 coal seam and coalbed methane content of No. 3 coal seam in Lu'an area

1—含气量等值线; 2—断层; 3—顶板砂岩; 4—钻孔号·含气量

总之, 本区煤层含气量影响因素比较复杂。煤层埋藏深度、构造、煤层顶底板岩性、水文地质条件等综合作用, 控制了本区煤层气赋存状态, 同时中部、南部的控制因素存在一定差异。中部主要受构造、地下水和埋藏深度的共同控制, 南部主要受顶板岩性、地下水的控制。北部主要受埋藏深度和地下水的控制。

#### 5 结语

山西潞安目标区, 与晋城目标区相比较, 其张性断层发育, 3 煤顶板砂岩条带发育, 煤层顶板砂岩含水层与煤层构成了一个统一的地下水系统, 又由于断层的沟通作用, 形成了一个完整的地下水补径排系统。地下水从浅部接受大气降水补给, 在文王山和二岗山断裂带排泄, 这使得煤层气大量运移逸散, 地层能量被释放, 煤储层压力降低, 煤层气井产能降低。同时, 这还导致地层富水性增强, 煤层气井的产水量将增高。这些就是本区煤层含气量变化较大、煤层产气量低、产水量高的动因。

衷心感谢叶贵钧教授级高级工程师的指导。

#### 参考文献

- [1] 中国煤田地质总局. 中国北方主要矿区水文地质图集 [M]. 1994.
- [2] 汪大纯, 张人权, 史毅虹等. 水文地质学基础 [M]. 北京: 地质出版社, 1995.
- [3] 叶建平. 水文地质条件对煤层气产能的控制机理与预测评价研究 [D]. 北京: 中国矿业大学(北京校区), 2002.
- [4] 叶建平, 武强, 叶贵钧等. 汾水盆地南部煤层气成藏动力学机制研究 [J]. 地质论评, 2002, 48(3): 319—323.
- [5] Pashin J C, Groshong R H. Structural control of coalbed methane production in Alabama [J]. Internatinal Journal of Coal Geology, 1998, 38(1-2): 89-114.