

文章编号: 1001-1986(2010)04-00021-04

# 晋城成庄煤层气探明储量估算及经济评价

李贵红<sup>1</sup>, 葛维宁<sup>2</sup>, 张培河<sup>1</sup>, 郑玉柱<sup>1</sup>

(1. 煤炭科学研究总院西安研究院, 陕西 西安 710054;

2. 国土资源部油气资源战略研究中心, 北京 100034)

**摘要:** 在划定储量计算单元的基础上, 采用体积法对晋城成庄区块 3 号、9 号、15 号煤层的煤层气探明储量进行了估算, 结果为  $66.36 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 显示成庄区块属于浅—中层、低产、中丰度的中型气田。为论证成庄区块煤层气开发的经济性, 编制了煤层气储量经济评价程序, 设计出煤层气开发方案, 并进行了经济评估。结果表明: 设计煤层气开发区动用储量为  $21.19 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 其中, 经济可采储量为  $15.75 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 剩余储量为  $5.44 \times 10^8 \text{ m}^3$ ; 经评价各项经济指标良好, 财务内部收益率为 22.2%, 高于天然气行业基准收益率, 盈亏平衡点低, 动态投资回收期 7.82 a (低于 8 a), 地面煤层气开发经济可行。

**关键词:** 煤层气; 探明储量估算; 经济评价; 晋城成庄

中图分类号: P618.11 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1001-1986.2010.04.005

## The estimation and economic assessment of the proved reserves of coalbed methane in Chengzhuang block in Jincheng

LI Guihong<sup>1</sup>, GE Weining<sup>2</sup>, ZHANG Peihe<sup>1</sup>, ZHENG Yuzhu<sup>1</sup>

(1. Xi'an Branch, China Coal Research Institute, Xi'an 710054, China; 2. Strategic Study Center for Petroleum Gas Resources, the Ministry of Land and Resources P.R.C, Beijing 100034, China)

**Abstract:** In order to demonstrate the reserve scale and economic benefit of coalbed methane(CBM) in Chengzhuang in Jincheng, the proved reserves of this block is estimated, and on the basis of a preliminary CBM development plan an economic assessment program was established by Excel according to the regulation of economic assessment for oil and gas reserves (SY/T 5838-93). The financial assessment on the reserves was carried out and analysis on uncertainty factors and sensitivity for the assessment result were made. The result shows that the CBM proved reserves in Chengzhuang block are  $66.36 \times 10^8 \text{ m}^3$ , is a medium gas field with shallow-medium depth, low productivity and medium resource abundance. In addition, the development plan employs the reserves of  $21.19 \times 10^8 \text{ m}^3$ , economic recoverable reserves of  $15.75 \times 10^8 \text{ m}^3$  and residual reserves of  $5.44 \times 10^8 \text{ m}^3$ . The predicted development economic indexes of the Chengzhuang block are better, the financial internal rate of return is 22.2%, higher than the base earning rate of the natural gas industry, the breakeven point also is lower, and dynamic investment payback period is less than 8 years. Through the preliminary economic analysis, it is considered that the surface CBM development in the Chengzhuang block is economically feasible.

**Key words:** coalbed methane; estimation of proved reserves; economic analysis; Chengzhuang in Jincheng

煤层气储量估算及经济评价是一项非常重要的工作, 许多专家和学者对此都做过探讨<sup>[1-13]</sup>。煤层气储量计算已颁布过相应的规范, 但对煤层气储量经济评价还没有形成专业的标准和指导规范。本文估算了晋城成庄区块煤层气探明储量, 并依据 SY/T5838-98《油(气)田(藏)储量经济评价规定》提供的油气储量经济评价方法, 编制了煤层气储量经济评价的程序, 针对设计的初步开发方案, 对成庄

区块煤层气探明储量进行了经济评价。

成庄区块位于沁水复式向斜盆地的南端东翼, 煤系沉积稳定, 构造及水文地质条件简单, 3 号、9 号、15 号目标煤层总厚度在 10 m 以上, 含气量大于  $10 \text{ m}^3/\text{t}$ , 埋藏深度在 500 m 左右。本区块煤田勘探程度达到勘探阶段, 沁水蓝焰煤层气公司施工了 114 口煤层气井, 从钻井、绳索取心、测井、录井到分析测试等工作均由有资质的专业公司承担, 并

收稿日期: 2010-05-11

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2009CB219602)

作者简介: 李贵红(1976—), 女, 山西大同人, 工程师, 博士研究生, 从事煤与煤层气地质工作。

遵照相关国家标准和行业标准。区内气井最高产量达  $1\,572\text{ m}^3/\text{d}$ ，套管压力维持在  $0.05\sim 0.75\text{ MPa}$ 。通过以往勘探及研究工作，对该区块的地质特征、煤层展布、厚度、结构、煤岩类型、含气性等特征认识基本清楚，煤层对比可靠，估算储量的煤层分布稳定，探明及控制面积可靠。

成庄区块所处晋城市西北，具有独特的区位优势，采出的煤层气可以供山西省内的太原、长治、临汾、运城以及河南省的邻近城市使用，目前晋城市及周边城市已培育了比较成熟的煤层气市场，煤层气销路通畅，煤层气主要用作晋城及周边城市的居民生活用气和汽车燃料及化工原料，市场前景广阔。

## 1 煤层气探明储量估算

### 1.1 估算单元划分

从构造的复杂程度和储层稳定程度看，成庄区块地层产状平缓，构造以宽缓的褶皱为主，断层稀少，煤层厚度变化小，满足Ⅰ类Ⅰ型的特点，同时也满足 DZ/T 0216—2002《煤层气资源量/储量规范》附录 B 中估算煤层气探明储量的基本井控要求。因

此，可以将 3 号、9 号和 15 号煤层作为独立单元估算煤层气探明储量。

### 1.2 参数确定方法及取值

煤层气储量估算方法较多，有类比法、体积法等。体积法是最常用、最简单的方法，本次采用该方法估算成庄区块煤层气探明储量，其计算公式如下：

$$G_i = 0.01 Ah DC, \quad (1)$$

式中  $G_i$  为煤层气探明储量， $10^8\text{ m}^3$ ； $A$  为煤层含气面积， $\text{km}^2$ ； $h$  为煤层净厚度， $\text{m}$ ； $D$  为煤的密度  $\text{t}/\text{m}^3$ ； $C$  为煤层气含量， $\text{m}^3/\text{t}$ 。

由式(1)可以看出，煤层气探明储量计算需要确定的参数包括：含气面积、煤层净厚度、煤的密度和含气量。

#### 1.2.1 含气面积

根据目前成庄区块煤炭生产状况和煤层气勘探井的分布，结合矿权登记情况和煤层含气量的分布状况，确定探明含气区边界和含气区面积。3 号煤层探明含气区面积  $40.54\text{ km}^2$ ，9 号煤层为  $43.71\text{ km}^2$ ；15 号煤层为  $49.17\text{ km}^2$ (表 1)。

表 1 成庄区块煤层气探明储量参数确定及储量估算结果  
Table 1 The parameters determination and estimation results of CBM proved reserves

煤层 编号	面积 / $\text{km}^2$	厚度 / $\text{m}$	含气量 / $\text{m}^3\cdot\text{t}^{-1}$	煤密度 / $\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$	地质储量 / $10^8\text{ m}^3$	储量丰度 / $10^8\text{ m}^3\cdot\text{km}^{-2}$	可采储量 / $10^8\text{ m}^3$
3	40.54	6.06	9.31	1.46	33.37	0.82	19.36
9	43.71	1.06	12.39	1.54	8.81	0.20	4.68
15	49.17	3.25	9.89	1.53	24.17	0.49	10.39
小计	叠合含气面积( $\text{km}^2$ )		133.42		66.36	1.43	34.42

#### 1.2.2 煤层净厚度

煤层净厚度是指扣除夹矸层的煤层厚度。本区煤田勘查程度达到勘探阶段，煤层厚度分布得到了有效控制，根据《煤层气资源/储量规范》，煤层净厚度的下限值确定为  $0.6\text{ m}$ ，夹矸的起扣厚度为  $0.05\text{ m}$ ，当夹矸厚度  $>0.05\text{ m}$  时，需剔除夹矸厚度。

煤层厚度是在等值线图上采用面积均衡法求得，成庄探明区内 3 号、9 号和 15 号煤层平均厚度分别为  $6.06\text{ m}$ 、 $1.06\text{ m}$  和  $3.25\text{ m}$ (表 1)。

#### 1.2.3 含气量

成庄区块煤层含气量数据包括：煤层气井测试数据和煤田勘探瓦斯孔测试资料。分析成庄区块煤层气井测试的气含量数据和瓦斯孔测试的气含量数据，确定校正系数，对瓦斯孔测试气含量进行校正。其中，3 号煤层校正系数为 3.65，15 号煤层为 3.26。9 号煤层直接采用煤层气井测试气含量数据，不需要校正。

采用面积均衡法求取含气量，3 号煤层平均含

气量为  $9.31\text{ m}^3/\text{t}$ ；9 号煤层为  $12.39\text{ m}^3/\text{t}$ ；15 号煤层为  $9.89\text{ m}^3/\text{t}$ (表 1)。

#### 1.2.4 煤的视密度

在灰分变化不大的情况下，煤层气探明储量的计算采用煤的视相对密度算术平均值。3 号煤层视密度算术平均值为  $1.46\text{ t}/\text{m}^3$ ；9 号煤层为  $1.54\text{ t}/\text{m}^3$ ；15 号煤层为  $1.53\text{ t}/\text{m}^3$ (表 1)。

#### 1.2.5 采收率

根据成庄区块与邻区煤层气地质条件类比和煤储层数值模拟预测结果，确定地面垂直井煤层气开发各目标煤层的煤层气采收率。其中，3 号煤层为 58%；9 号煤层为 53%；15 号煤层为 43%。

### 1.3 探明储量储量估算结果

根据式(1)和以上确定的计算参数，对 3 号、9 号、15 号煤层的煤层气探明储量进行估算。结果显示：煤层气探明地质储量  $66.36\times 10^8\text{ m}^3$ ；平均煤层气资源丰度为  $1.43\times 10^8\text{ m}^3/\text{km}^2$ ；煤层气可采储量  $34.42\times 10^8\text{ m}^3/\text{km}^2$ (表 1)。其中，3 号煤层气探明储量

为  $33.37 \times 10^8 \text{ m}^3$ ; 9号煤层为  $8.81 \times 10^8 \text{ m}^3$ ; 15号煤层为  $24.17 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

从储量规模来讲,成庄区块属于中型气田;叠合储量丰度为  $1.43 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ ,按储量丰度分类属中丰度气田;埋深 100~600 m,产能 1 000~2 000  $\text{m}^3/\text{d}$ ,为浅-中层的低产能气田。综合评价而言,成庄区块为浅-中层、低产、中丰度的中型气田。

## 2 煤层气探明储量经济评价

### 2.1 开发项目设计

经济评价必须基于一定的项目规划,探明储量的经济评价也是如此。在煤矿区,煤层气的开发要与煤炭生产紧密结合。基于成庄区块目前的煤炭生产情况、煤层气勘探现状,以及地质条件,设计探明储量经济评价的煤层气开发工程。

设计的煤层气开发工程部署在未来 10 a 后煤炭采掘可达到区域。采用地面垂直井方式进行开发,目标层位为 3 号、9 号和 15 号煤层,采用矩形井网,井间距为 260 m $\times$ 300 m。设计施工煤层气生产井 190 口,根据年生产规模及煤矿生产的需要,基建期分 3 a,第 1 年施工 30 口,第 2 年 100 口,第 3 年 60 口,气井平均深度 550 m,形成产能  $1.05 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。根据《油(气)田(藏)储量技术经济评价规定》,对 190 口井、形成  $1.05 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$  产能开发方案进行了经济评价。

经济评价需要考虑气井产能状况。利用 Comet2 专业煤层气软件进行产能预测,稳定产气量约为 1 500~1 800  $\text{m}^3/\text{d}$ ;稳产期约为 7 a;最高产气量为 3 109  $\text{m}^3/\text{d}$ 。生产 15 a,平均单井产气量为 1 682  $\text{m}^3/\text{d}$ ,3 号、9 号和 15 号煤层的煤层气采收率分别为 58%、53%和 43%。

### 2.2 勘探开发基建总投资预测

#### 2.2.1 已有勘探成果及勘探基建总投入预测

煤层气单井投资预算费用包括:井场修路、临时用地、青苗赔偿及复垦、钻井、测井、固井、试井及测试、完井、压裂、下泵、套管材料、排采设备等费用,以及 5%的不可预见费用。预测成庄区块勘探井单井投资为 150.0 万元,生产试验井单井投资 288.4 万元。施工 10 口参数井和 20 口试验井,总费用为 7 268 万元。

#### 2.2.2 开发指标及开发基建总投资预测

根据煤层气生产井试采资料及储层数值模拟结果,确定成庄区块煤层气开发生产规模为  $1.05 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ,煤层气商品率为 96%,则商品产量为  $1.01 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。生产井单井投资 225.4 万元,基建期内第 2 年施工

100 口井,开发基建总投资为 22 540 万元;第 3 年施工 60 口井,开发基建总投资为 13 524 万元。开发基建总投资共计 36 064 万元。

#### 2.2.3 勘探开发基建总投资

成庄区块勘探开发总投资为勘探和开发基建投资之和,共计 43 332 万元。资金来源为企业投资 35%,银行贷款占 65%。

### 2.3 技术经济评价指标预测

成庄区块未来开发参数取值如下:基建期 3 a,生产期 15 a,稳产期 7 a,产品单位经营成本为 40 元/ $\text{km}^3$ ,年销售税金为销售收入的 12%,资源税免收,煤层气销售价格为 1.30 元/ $\text{m}^3$ 。中长期贷款年利率 6.12%,从生产年第 1 年起偿还利息,分 10 a 还清,总计偿还 10 320.36 万元。收益率参照天然气行业基准收益率定为 12%。

### 2.4 财务评价

依据上述设计的开发工程和确定的评价指标进行经济评价。投资利润率  $T_p$  为 11.8%;投资利税率  $T_{pt}$  为 14.3%;财务内部收益率(FIRR)为 22.2%;静态投资回收期( $P_t$ )为 6.28 a;动态投资回收期( $P_t'$ )为 7.82 a;财务净现值(FNPV)为 7 254.94 万元。

### 2.5 不确定因素和敏感性分析

在财务评价基础上,可对开发工程进行盈亏平衡分析。设固定成本和可变成本分别为总成本的 0.55 和 0.45,盈亏平衡点 BEP 为 22.4%。盈亏平衡分析(图 1)表明,该方案对产量变化具有较好的风险承受能力。

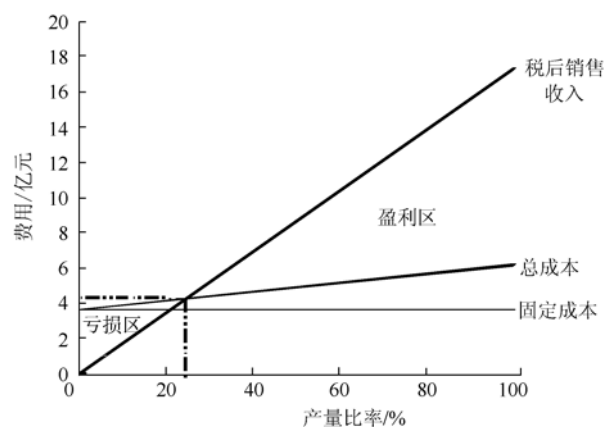


图 1 经济评价盈亏平衡分析图

Fig. 1 The breakeven analysis plot of economic assessment

敏感性分析(图 2)显示,销售价格、产量和成本对经济效益影响较敏感,而投资对经济效益影响不敏感。考虑到煤层气田开发方案确定后,再要提高产能只有通过动用预备储量来实现,销售价格的提高和成本的下降是获得良好经济效益的重要途径。

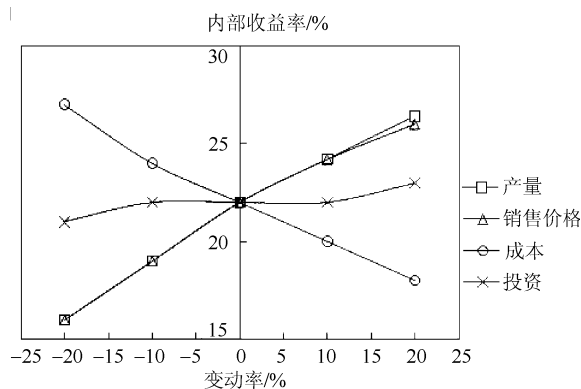


图 2 经济评价敏感性分析图

Fig. 2 The sensitivity analysis plot of economic assessment

### 3 结 论

晋城成庄区块 3 号、9 号和 15 号煤层探明叠合含气面积  $133.42 \text{ km}^2$ , 煤层气探明地质储量  $66.36 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。地面煤层气开发采用垂直井、矩形井网(井间距为  $260 \text{ m} \times 300 \text{ m}$ )、部署 190 口井的开发方案, 开采目标煤层为 3 号、9 号和 15 号煤层联合排采, 建设产能规模  $1.05 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ , 动用储量为  $21.19 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 经济可采储量为  $15.75 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 剩余储量为  $5.44 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。煤层气开发工程经济评价指标良好, 财务内部收益率 22.2%, 动态投资回收期 7.82 a, 煤层气开发有较好的经济效益和较强的抗风险能力, 地面煤层气开发可行。

### 参考文献

- [1] 黄元海, 李伟, 孙明安, 等. 煤层气开发选区经济评价模式初探[J]. 中国煤层气, 1996(1): 31-33.
- [2] 孙茂远, 黄盛初. 煤层气开发利用手册[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1998: 295-299.
- [3] 李艳红, 张遂安, 王辉. 煤层气开发项目经济评价中地质条件影响分析[J]. 中国煤田地质, 2000, 12(2): 26-28.
- [4] 杨永国, 王桂梁, 秦勇, 等. 煤层气项目经济评价方法及应用研究[J]. 中国矿业大学学报, 2001, 30(1): 126-129.
- [5] 张遂安, 王竹平, 李艳红. 煤层气开发项目经济评价方法与预测模型[J]. 中国矿业大学学报, 2004, 33(3): 314-317.
- [6] 王宪法, 卢霞, 蒋卫东, 等. 沁水煤层气田樊庄区块煤层气开发经济评价[J]. 天然气工业, 2004, 24(5): 137-139.
- [7] 刘金剑, 蔡云飞. 山西柳林煤层气开发经济评价[J]. 天然气工业, 2001, 21(增刊): 113-116.
- [8] 刘国伟, 苏现波, 林晓英, 等. 煤层气勘探开发一体化经济评价模型[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2007, 26(5): 516-521.
- [9] 杨文静. 煤层气开发项目经济评价研究[J]. 中国煤层气, 2008, 5(1): 38-40.
- [10] 罗东坤, 褚王涛. 煤层气地面工程投资估算和参数确定方法研究[J]. 油气田地面工程, 2008, 27(3): 27-29.
- [11] 王红岩, 刘洪林, 李贵中, 等. 煤层气储量计算方法及应用[J]. 天然气工业, 2004, 24(7): 26-28.
- [12] 李明宅, 杨秀春, 徐文军. 煤层气探明储量计算中的有关技术问题讨论[J]. 中国石油勘探, 2007(1): 87-90.
- [13] 李贵中, 杨健, 王红岩, 等. 煤层气储量计算及其参数评价方法[M]//雷群, 李景明, 赵庆波. 煤层气勘探开发理论与实践. 北京: 石油工业出版社, 2007: 43-46.
- [5] ZIVOTIC D, WEHNER H, CVETKOVIC O, et al. Petrological, organic geochemical and geochemical characteristics of coal from the Soko mine, Serbia[J]. International Journal of Coal Geology, 2008, 73: 285-306.
- [6] SUAREZ-RUIZ I, FLORES D, MARQUES M M, et al. Geochemistry, mineralogy and technological properties of coals from Rio Maior (Portugal) and Penarroya (Spain) basins[J]. International Journal of Coal Geology, 2006, 67: 171-190.
- [7] WANG J, YAMADA O, NAKAZATO T, et al. Statistical analysis of the concentrations of trace elements in a wide diversity of coals and its implications for understanding elemental modes of occurrence[J]. Fuel, 2008, 87: 2211-2222.
- [8] LEVANDOWSKI J, KALKREUTH W. Chemical and petrographical characterization of feed coal, fly ash and bottom ash from the Figueira Power Plant, Parana, Brazil[J]. International Journal of Coal Geology, 2009, 77: 269-281.
- [9] 白向飞, 李文华, 陈亚飞, 等. 中国煤中微量元素分布基本特征[J]. 煤质技术, 2007(1): 1-4.
- [10] 唐修义, 黄文辉. 中国煤中微量元素[M]. 北京: 商务印书馆, 2004: 54-275.
- [11] FINKELMAN R B. Modes of occurrence of environmentally-sensitive trace elements in coal. In: Environmental aspects of trace elements in coal (eds. Swaine DJ and Goodarzi F)[M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995: 24-50.
- [12] GURDAL G. Geochemistry of trace elements in Can coal (Miocene), Canakkale, Turkey[J]. International Journal of Coal Geology, 2008, 74: 28-40.
- [13] 张军营, 任德贻, 赵峰华, 等. 煤中微量元素赋存状态的研究方法[J]. 煤炭转化, 1998, 21(4): 12-17.
- [14] 任德贻, 赵峰华, 代世峰, 等. 煤的微量元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 42-60.
- [15] PALMER C A, FILBY R H. Distribution of trace elements in coal from the Powhatan No.6 mine, Ohio[J]. Fuel, 1984, 63: 318-328.
- [16] PIRES M, FIEDLER H, TEIXEIRA E C. Geochemical distribution of trace elements in coal: modelling and environmental aspects [J]. Fuel, 1997, 76: 1425-1437.
- [17] PAUL M, SEFERINOGLU M, AYCİK G A. Acid leaching of ash and coal: Time dependence and trace element occurrences[J]. International Journal of Mineral Processing, 2006, 79: 27-41.
- [18] 牟保磊. 元素地球化学[M]. 北京: 北京大学出版社, 1999: 66-69.
- [19] 田晓兰, 柳金甫. 用主成分分析法作综合评价时数据的预处理问题[J]. 科学技术与工程, 2007, 7(5): 678-681.

(上接第 20 页)