

文章编号:1001-1986(2006)01-0021-05

煤层气可采性综合评价方法研究——以潘庄井田为例

张培河¹, 张 群¹, 王宝玉², 李国富², 田永东²

(1. 煤炭科学研究总院西安分院, 陕西 西安 710054;

2. 沁水蓝焰煤层气有限责任公司, 山西 晋城 048006)

摘要:文章对常规煤层气可采性研究方法进行了研究,分析了各种方法适用的条件以及存在的问题,指出煤层气的可采性需要在地质因素综合分析的基础上,研究主要控制性地质因素及其有效配置。多因素加权分析法与储层数值模拟法相结合是一种有效的煤层气可采性评价方法。并以潘庄井田为例,在系统分析了影响煤层气可采性主要地质因素的基础上,进行了煤层气可采性的综合评价。

关键词:煤层气;可采性;评价方法;有效配置

中图分类号:P618.11 **文献标识码:**A

Integrated methods of CBM recoverability evaluation: A case study from Panzhuang mine

ZHANG Pei-he¹, ZHANG Qun¹, WANG Bao-yu², LI Guo-fu², TIAN Yong-dong²

(1. Xi'an Branch, China Coal Research Institute, Xi'an 710054, China;

2. Lanyan CBM Co., Ltd., in Qinsui, Jincheng 048006, China)

Abstract: Adaptive condition and existing problems of various methods of coalbed methane (CBM) recoverability evaluation are discussed in the paper. It is important to study the effective configuration of main geological factors. The combination of multi-factor weighted analysis with reservoir simulation is an effective means to evaluate CBM recoverability. Based on systematic analysis of main geological factors of Panzhuang mine, the integrated evaluation of CBM recoverability is performed.

Key words: CBM; recoverability; evaluation method; effective configuration

收稿日期:2005-05-18

基金项目:科技部社会公益专项资金项目“煤层气资源可采性和储层产能评价技术”(2001DIA1006)和“973”国家重点基础研究发展计划项目“中国煤层气成藏机制及经济开采基础研究”(2002CB11700)资助

作者简介:张培河(1969—),男,山东胶南人,煤科总院西安分院高级工程师,从事煤层气资源评价及开发工作。

5 工作面涌水量的预计^[2]

340工作面老顶垮落后,导水裂隙带波及“四含”时,预计“四含”水进入工作面的涌水量可采用下式计算:

$$Q = \frac{BK(2S - M)M}{R}$$

式中 B 为工作面走向长度,按设计为 520 m; M 为含水层厚度,“四含”平均厚度为 15.2 m; S 为水位降深,据地面 90~4 观测孔资料,“四含”水位标高为 -195.2 m,基岩标高为 -205.4 m,按“四含”水全部进入工作面,其水位降深 $S = -195.2 - (-205.4) = 10.2$ m; K 为渗透系数,由西 19₂ 孔抽水资料, $K = 2.01$ m/d; R 为影响半径, $R = 10S\sqrt{K} = 144.6$ m。

经计算,“四含”水的涌水量 $Q = 23.8$ m³/h。

6 试采工作面回采情况总结

童亭矿 340 工作面于 1999 年 12 月开始回采,在工作面推进 15 m 时,老塘出现淋水,开始涌水量为 8 m³/h,随着回采范围的扩大,涌水量逐渐增加,最

大涌水量为 21 m³/h,并维持到回采结束。在整个回采过程中,没有发生任何异常情况,试采取得了成功,累计出煤 10.9 万 t。

在 340 工作面试采成功的基础上,2000 年、2001 年相继开采了 320、3201 两个上提工作面,其回采上限为 -235 m。在这两个面的回采过程中,也没有发生任何异常情况。

2002 年 11 月,桃园煤矿一个工作面进行上提开采,工作面涌水量为 6~20 m³/h。由于没有充分考虑基岩面起伏等因素,工作面防水煤岩柱留设不合理(据测算工作面最近点距“四含”仅 10 m 左右),导致 11 月 10 日工作面发生溃砂事故。这次事故,溃砂约 5 km³,主要为泥砂、砾石、分选不均的鹅卵石等“四含”充填物,伴随的水量较小。

参考文献

- [1] 张朱亚,等. 煤系上覆含水层富水特性[C]. 合肥:煤炭科学研究总院合肥研究所,1991.
- [2] 柴登榜,等. 矿井地质工作手册[M]. 北京:煤炭工业出版社,1984.

1 引言

煤层气的可采性是指在目前的经济技术条件下,一个地区煤层气可采出的程度。煤层气的开发基于可采性研究,伴随着煤层气产业的发展而逐渐发展起来的各项煤层气评价技术、储层模拟技术以及各种优化的开发工艺,都是为提高气井产能,最大限度地提高经济效益服务的。中国的煤层气勘探起步于上世纪 90 年代初,煤层气勘探仅有 10 多 a 的历史。到目前为止,已施工的各类煤层气井有 300 口左右,遍布于中国的各大煤田(含煤区),但至今没有形成具有规模化生产的煤层气商业性开发区,其原因之一是对煤层气可采性的研究程度不够。

煤层气的可采性受多种因素的影响,如:地质条件、煤层气开发方式、开发工艺、市场条件和国家政策法规等。本文主要针对目前国内比较常用的地面垂直井煤层气开发方式,基于目前的煤层气开发技术水平,从地质角度,进行煤层气可采性评价方法的研究。

2 煤层气可采性评价方法

2.1 评价方法概述

美国是世界上煤层气商业性开发最成功的国家,对煤层气可采性的研究也较为完善。在美国的煤层气实际生产过程中,根据不同盆地的煤层气地质特征以及开发方式,多采用不同选区标准,但均要求影响煤层气开发的主要地质因素在配置上应达到经济开发的最低限度。为进行煤层气可采性的综合研究以及储层产能的有效评价,在 20 世纪 80 年代中期,美国进行了煤储层数值模拟研究,并把储层模拟技术应用到实际开发部署,取得了良好的效果。到 80 年代中晚期,推出了 Comet3D 和 Coalgas 等商业化煤储层模拟软件。近年来,ARI 公司又推出了 COMET2 模拟软件。中国的煤层气研究起步较晚,对煤层气可采性的研究尚不成熟,赵庆波、张新民、苏伏义、池卫国等学者都对煤层气的可采性进行过研究,但多局限于某一地区煤层气勘探的选区评价。选区的方法也只是储层参数的简单叠加,对评价区煤层气的可采性只能作出定性的判断。目前,国内外采用的煤层气可采性研究方法基本上可归结为两类:地质因素评判法和储层数值模拟法。

2.1.1 地质因素评判法

地质因素评判法是在对评价区地质条件综合研究的基础上,针对影响煤层气可采性的主要地质因素,采用一定的数学方法(如:层次分析、神经网络、

模糊数学等),经过综合的评判分析,按不同的可采性级别,对评价区的煤层气可采性作出定性评价的方法。该方法是目前国内外学者普遍采用的一种方法。它适用于地质资料或储层资料少、煤层气勘探程度低的地区,多应用于煤层气勘探开发的初期选区评价。该方法的主要优点在于:操作上简便易行,对掌握资料的数量要求相对较低,能够定性反映煤层气的可采性,是一种粗放型的评价方式。

2.1.2 煤储层数值模拟法

该方法是采用一定的储层数值软件,通过预测评价区的煤层气开发产能,进行煤层气可采性研究。该方法比较繁杂,通常需要在煤层气地质条件综合研究、煤层气勘探开发气井产能分析评价的基础上,通过历史拟合修正煤储层参数、优化煤层气开发井网设计,进行煤层气开发产能预测,并根据预测结果,通过经济评价的手段对煤层气的可采性作出判断。储层数值模拟需要大量的参数支持,预测结果量化程度高且比较可靠,比较适合用于已进行过煤层气勘探试验,且有气含量测试资料、试井测试资料和气井排采数据的地区。

无论是采用地质因素评判法,还是采用储层数值模拟法进行煤层气可采性的研究,都必须在煤层气地质条件研究的基础上进行,对地质条件的研究程度直接决定着评价结果的可靠程度。实践证明,多因素加权地质因素评判与储层数值模拟相结合是一种有效的煤层气可采性评价方法。

2.2 多因素加权分析法

煤层气的可采性和储层产能受到多种地质因素的制约,但在不同煤盆地或同一煤盆地的不同地区,影响煤层气可采性的主要地质因素以及这些因素在空间上的组合配置都会有很大的不同。单一因素的影响在某一地区的煤层气开发所起的作用也许是至关重要的,但对多数地区来说,煤层气的可采性取决于各种地质因素的有效配置。因此,对煤层气可采性和储层产能的研究,需要在多种地质因素综合分析的基础上,研究适合于该地区的主要控制性地质因素以及这些因素之间的有效配置。由于不同地质因素对煤层气可采性的影响程度不同,因此,可采用多种地质因素加权分析的方法进行可采性研究。该方法不仅能够体现不同地质因素对煤层气可采性的影响程度,而且可以反映各种地质因素对煤层气可采性的综合影响。

煤层气可采性评价多因素(或主要因素)加权分析法的步骤是:

a. 根据地质因素的分析,确定煤层气可采性

主要影响因素,建立主要地质因素集合:

$$F = \{F_1, F_2, \dots, F_n\},$$

其中 F_1, F_2, \dots, F_n 分别为影响煤层气可采性的主要地质因素。

b. 分析不同地质因素对煤层气可采性的影响程度,确定不同地质因素的权重,建立权重集合:

$$D = \{D_1, D_2, \dots, D_n\},$$

其中 D_1, D_2, \dots, D_n 分别为 F_1, F_2, \dots, F_n 地质因素的权重。

c. 对主要地质因素进行有效配置,其公式如下:

$$M_j = \sum_{i=1}^n (F_{im} \times D_i),$$

其中 M_j —第 j 个结点的煤层气可采性量化指标;

F_{im} — F_i 因素分类指标;

D_i — F_i 因素权重系数;

m — F_i 因素分级数。

根据计算,确定的不同网格结点的量化指标集合如下:

$$M = \{M_1, M_2, \dots, M_k\},$$

其中 K 为参与计算量化指标的结点数。

建立的模型准确与否需要通过检验,其检验步骤是:

a. 依据计算得到的不同地区的煤层气可采性量化指标进行分类;

b. 通过煤储层数值模拟技术,预测不同类别量化指标下的煤层气开发潜力,检验所建立模型的准确性;

c. 对主要可采性影响因素的权重系数作适当调整,使建立的模型更贴合本地区的实际情况。

2.3 综合评价法

多因素加权分析法和储层数值模拟法相结合,是一种煤层气可采性的有效评价方法,称之为综合评价法。多因素加权分析可以有效地将煤层气可采性的主要地质因素进行配置,储层数值模拟可以预测煤层气井的产能,掌握不同配置区域的煤层气可采性。由于不同地区计算出的煤层气可采性量化指标会有很大的不同,但煤层气的可采性取决于最低的量化指标,因此,应根据储层数值模拟结果及当地市场、气价以及开发成本等,通过经济评价的方法,确定目前开发技术条件下的煤层气开发最低经济产量指标,据此确定可采性最低量化指标。煤层气可采性及储层产能的综合评价流程见图1。

3 潘庄井田煤层气可采性评价

潘庄井田位于沁水盆地的南部晋城矿区,面积

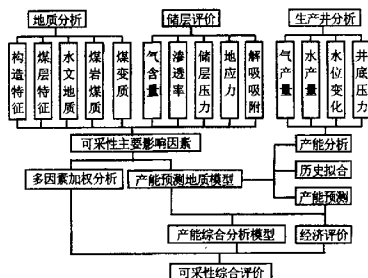


图1 煤层气可采性综合评价流程图

Fig.1 The flow chart of CBM recoverability evaluation

约135.74 km²。其发育石炭—二叠纪含煤地层,含煤层段为太原组和山西组,共含煤21层,煤层总厚度9.9~17.8 m,平均13.4 m。3号和15号煤层全区稳定发育,是煤层气勘探开发的主要目标煤层。

3.1 影响煤层气可采性的地质因素

从煤层气产出机理分析,影响煤层气可采性的主要地质因素有:煤层厚度、煤层气含量、煤储层压力、煤层渗透性、煤的吸附性能、煤层埋藏深度和水文地质条件等。

3.1.1 煤层厚度

3号煤层厚度5.04~7.16 m,平均6.11 m;15号煤层厚度0.30~6.17 m,平均3.21 m。

3.1.2 煤层气含量

煤层气含量普遍较高,实测气含量最高可接近40 m³/t。其中,3号煤层一般为10~20 m³/t;15号煤层多为15~25 m³/t。

3.1.3 储层压力

煤储层压力变化不大,试井实测煤储层压力为2.31~3.88 MPa,储层压力梯度为0.8~1.2 MPa/hm,为正常压力储层。

3.1.4 煤层渗透性

注入/降压试井实测3号煤层渗透率为3.61 md。另外,根据影响煤层渗透性的地质因素分析,因该区煤层埋藏浅,煤层多为原生结构,且煤裂隙发育,所以推断煤层渗透率较高。

3.1.5 煤的吸附性能

潘庄井田煤的吸附能力强。3、15号煤的干燥无灰基Langmuir体积为37.74~51.81 m³/t,平均42.33 m³/t;空气干燥基Langmuir体积为35.30~39.06 m³/t,平均37 m³/t。

3.1.6 煤层埋藏深度

潘庄井田煤层埋藏多小于800 m。其中,3号煤

层埋深为 250~600 m;15 号煤层为 350~700 m。

3.1.7 水文地质条件

潘庄井田水文地质条件简单。尽管区内含水层比较发育,但在煤系内部发育的多层泥岩隔水层阻断了含水层与煤层的水力联系。煤系下伏的奥灰岩溶含水层与 15 号煤层间距小,对煤层气开发具有潜在影响,因此,在煤层气开发时应尽可能地避免贯通该含水层。

3.2 煤层气可采性综合评价

3.2.1 主要地质因素加权评价

影响煤层气可采性和储层产能的因素非常多,不同的地区影响煤层气可采性的因素会有所差别,即使是同一地质因素,其影响程度也不尽一致。分析潘庄井田的煤层气地质条件,确定影响煤层气可采性的主要地质因素:煤层厚度、渗透率、气含量、煤层埋藏深度以及储层压力。分析这些地质因素对煤层气可采性的影响程度,可确定评价指标分类和权重以及各类别的权重系数(表 1)。

根据上述标准,对煤层总厚度、煤层埋深、煤层气含量等地质因素按同一的网格对其等值线图进行网格化;对煤层渗透率、储层压力,在定性评价基础上,对各网格点进行定量;最终计算所有网格结点上的煤层气可采性综合量化指标,并绘制量化指标预测等值线。根据绘制的量化指标预测等值线,分析不同地区的煤层气可采性。潘庄井田煤层气可采性的量化预测结果如图 2 所示。

潘庄井田煤层气可采性及储层产能量化预测指标为 0.74~1.0。在井田的中部量化指标高,煤层气可采性好。从中心向外,量化指标逐渐降低,煤层气可采性逐渐变差,东北部的量化指标最低。量化指标越高,煤层气的可采性越好,但量化指标只是反映了不同地区煤层气可采性的差异,并不能真实反映煤层气的可采性,而具有实际意义的煤层气可采性研究,通常是通过煤储层数值模拟和经济评价完成的。

3.2.2 煤储层数值模拟

上述地质因素的加权评判只是对潘庄井田不同地区煤层气可采性的定性预测。对潘庄井田煤层气可采性的定量预测及开发潜力评价,则需要采用储层数值模拟的方法,对模拟预测得到的煤层气井的产能状况的进一步分析完成。模拟预测采用美国 ARI 公司研制开发的 COMET2.11 煤层气模拟软件,为了充分了解潘庄井田不同量化指标范围的煤层气可采性以及产能状况,在井田的 5 个不同位置,按优化的布井方案,分别布置一个矩形地面垂直井并组

表 1 潘庄井田煤层气可采性评价指标

Table 1 The evaluation index of CBM recoverability in Panzhuang mine

影响因素	权重	分类	权重系数
煤层总厚度	0.25	> 10 m	1.0
		< 10 m	0.75
渗透率	0.25	> 1.0 md	1.0
		0.5~1.0 md	0.6
		< 0.5 md	0.3
气含量	0.25	> 15 m ³ /t	1.0
		10~15 m ³ /t	0.7
		< 10 m ³ /t	0.5
煤层埋深	0.15	< 500 m	1.0
		> 500 m	0.7
储层压力	0.05	≥ 1 MPa/hm	1.0
		< 0.75 MPa/hm	0.5

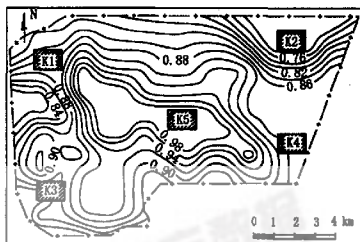


图 2 潘庄井田煤层气可采性量化指标预测等值线及模拟预测区块分布图

Fig.2 Predicted isoline of CBM recoverability evaluation and the distribution of simulation blocks in Panzhuang mine

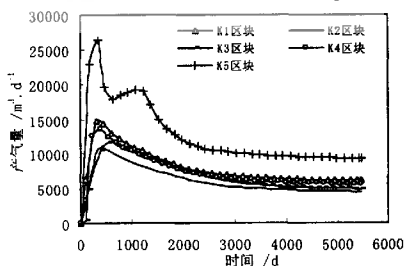


图 3 不同模拟区块产气量预测曲线图

Fig.3 Comparison of gas production in various simulation blocks 进行产能预测。井组布置区块分别为 K1、K2、K3、K4 和 K5(图 2);按五点式布井方式,井间距为 400×300 m;模拟目标煤层为 3、9、15 号煤层。

为保证模拟结果的准确性,模拟所需要的大部分地质参数均采用实际数据,如煤层厚度、标高、气含量、储层压力、兰氏体积和兰氏压力等;煤层渗透

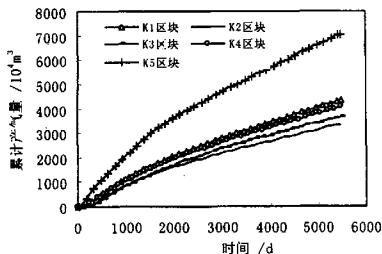


图4 不同模拟区块累计产气量预测曲线图

Fig. 4 Comparison of accumulative gas production in various simulation blocks

率是对气井产能影响较大的参数,但试井测试的煤层渗透率往往偏低,不能反映储层的真实情况,本次模拟,采用经过生产井气水产量拟合后的煤层渗透率数据;煤层裂隙孔隙度、气水相对渗透率曲线也采用历史拟合修正后的资料。5个区块井组模拟预测结果见图3.4。

储层数值模拟结果显示,不同区块煤层气可采性的优劣及储层产能高低顺序为:K5、K1、K4、K3、K2区块。这与煤层气量化预测指标是一致的,不仅佐证了前述煤层气可采性评价指标以及权重系数确定的比较合理,而且显示了煤层气可采性综合评价结果的可靠性。在模拟预测的5个区块中,K5区块量化预测指标最高,煤层气井产能也最高,煤层气的可采性最好,排采15a,最高产气量为32 872 m³/d,15a累计产气量为7 056 × 10⁴ m³;K1区块量化预测指标次之,煤层气井产能次之,高峰产气量为14 783 m³/d,15a累计产气量为4 348 × 10⁴ m³;K2区块量化预测指标最低,模拟预测的气井产能也最低,最高产气量仅为10 700 m³/d,15a累计产气量为3 352 × 10⁴ m³。

3.2.3 煤层气可采性综合评价

煤层气开发产能模拟预测结果显示:潘庄井田(特别是中部区)煤层气开发具有较大潜力,而且储层数值模拟与地质参数量化预测的结果一致:储层数值模拟产能预测较高的地区,地质参数量化预测指标也高。潘庄井田自四周向井田中部,量化预测

指标逐渐增大,煤层气的可采性逐渐变好,模拟预测的气井产量逐渐增大。因此,按照通常的煤层气先简单后复杂、滚动开发的原则,煤层气开发首先应在煤层气可采性较好的井田中部进行,然后向四周扩展,并不断地增大开发规模。

通过上述工作,预测了潘庄井田的煤层气可采性量化指标以及不同量化指标区域的煤层气井产能,对不同地区的煤层气可采性有比较直观的认识。但真正意义的煤层气可采性研究,还需要借助经济评价来完成。由于目前该区煤层气市场不完善,煤层气的开发成本估算存在困难等,因此,煤层气可采性的最低量化指标并没有给出。

4 结论

a. 煤层气的可采性取决于多种地质因素的有效配置。对煤层气可采性的研究,需要在地质因素综合分析的基础上,研究适合于该地区的主要控制性地质因素以及这些因素之间的有效配置。

b. 采用多因素加权分析和储层数值模拟相结合的综合评价方法进行煤层气的可采性研究,是切实可行的。

c. 潘庄井田的研究结果表明,不同地区的煤层气可采性有所不同;从井田四周向井田中部,煤层气可采性逐渐变好。

参考文献

- [1] 赵庆波,刘兵.世界煤层气工业发展现状[M].北京:地质出版社,1998.
- [2] 池卫国,吴松钦.对我国煤层气勘探前景的再认识[J].石油实验地质,2000,22(2):131-135.
- [3] 张培河,靳秀良,孟召平,等.焦作矿区煤层气开发地质条件综合评价[J].煤田地质与勘探,1998,26(2):22-25.
- [4] 张群.国外煤层气储层数值模拟技术的现状及发展趋势[J].煤田地质与勘探,2004,32(增刊):18-25.
- [5] Gas Research Institute. A Guide to Coalbed Methane Reservoir Engineering. GRI reference NO. GRI-94/0397.
- [6] Advanced Resources International, Inc. Powder River Basin coalbed methane development and produced water management study. DOE/NETL-2003/1184.

严正声明

我院自主开发生产的MK系列矿用钻机以优良的产品质量和良好的性能赢得广大用户的信赖。近一个时期来,市场上出现仿冒产品,以次充好,损害我院名誉,也损害广大用户的利益。对此,我院严正声

明,对任何侵犯我院知识产权的行为,我们都将通过法律程序捍卫我们的权益。

也提请广大用户注意识别真伪。

煤炭科学研究总院西安分院