

· 技术方法 ·

煤层气储层评价方法的选择

孔 锐^{1,2}, 张哨楠¹

KONG Rui^{1,2}, ZHANG Shao-nan¹

1. 成都理工大学能源学院, 四川 成都 610059;

2. 中国地质大学(北京)人文经济管理学院, 北京 100083

1. College of Energy Resources, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;

2. School of Humanities and Economic Management, China University of Geosciences Beijing, 100083, China

摘要: 为了提高煤层气储层评价工作的效率, 在总结前人对煤层气储层评价工作的基础上, 根据煤层气储层评价的工作任务、评价流程的特点, 分析了目前对煤层气储层评价所用的方法和手段各自的特点; 从数据采集、评价指标体系的建立和评价计算方法的选择 3 个方面, 分析了对评价的准确度、精确度、可信度的影响程度。认为目前计算机技术的应用已很深入, 煤层气储层评价方法可以根据评价工作目标选择更加简单的方法, 并且可以使得煤层气储层评价结果可视化程度大大提高。同时, 利用同一组数据计算、对比了一般综合评价方法与熵权法的分析过程和结果的差异。

关键词: 煤层气; 储层评价; 评价指标体系; 评价方法选择

中图分类号: P618.11

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2012)04-0586-08

Kong R, Zhang S N. The selection of evaluation methods for coalbed methane (CBM) reservoirs. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(4):586-593

Abstract: In order to improve the efficiency of the coalbed methane reservoir evaluation, this paper analyzed the characteristics of various methods and tools currently used for coalbed methane reservoir evaluation on the basis of summarizing previous work and according to the tasks and procedures of the relevant work. In the aspects of data acquisition, the establishment of the evaluation index system and the choice of the evaluation and calculation methods, the authors analyzed the degree of influences upon the accuracy, precision and reliability of the evaluation. It is held that, with the deepening utilization of the computer technology, simpler methods can be chosen according to the working objective of the evaluation, and the visualization of the methane reservoir evaluation result can be greatly improved. In addition, using the same set of data, the authors compared the results of the analytical process and difference between the common comprehensive evaluation method and the entropy method.

Key words: coalbed methane; reservoir evaluation; evaluation parameter system; selection of evaluation method

在经济高速发展的今天, 由于能源紧缺, 替代石油、天然气、煤等的非常规油气资源的开发和利用受到格外的关注, 尤其是煤层气的开发利用受到各国的高度重视。2006 年美国的煤层气开发利用量已与当年的天然气量基本相当。

非常规油气资源也称为特殊油气资源, 是指诸

如煤层气、可燃冰、油页岩、油砂岩等资源。专家们认识到储层的沉积-成岩特性控制着整个储层的发育。在生储盖配套发育的前提下, 储层的储集空间发育与否是确定储层是否有利的关键^[1]。部分学者将石油、天然气储层研究扩大到煤层气的储层研究领域, 这不仅可以为煤矿安全提供基础研究资料, 更可

收稿日期: 2011-01-01; 修订日期: 2011-12-19

资助项目: 中国地质调查局地质矿产调查评价专项《青藏高原重要矿产资源发展战略研究》(编号: 资[2010]矿评 02-02-26)

作者简介: 孔锐(1962-), 女, 硕士, 副教授, 硕士生导师, 从事资源性企业市场发展战略管理、市场营销管理和顾客关系管理等方面的研究。E-mail: kongrui@cugb.edu.cn

以为开发利用煤层气能源提供决策依据。

煤层气储层评价不仅需要具体的地质相关数据,而且需要全面、系统地综合各类方法开展研究。既要根据所研究的区块的特点建立准确、适用、科学的评价体系,又要灵活运用多学科理论、方法和技术。因此进行煤层气储层评价有3个关键点:一是相关地质数据的获取,二是评价体系的建立,三是评价方法的选择。后二者的准确度、精确度、可信度将在很大程度上决定评价的准确性、可靠性和可信性。本文重点对评价方法选择进行分析研究。

1 煤层气评价方法应用现状综述

煤层气储层与常规天然气储层相比有许多特殊性。煤层气储层中煤既是气体的储集岩,也是生气岩。煤层气产出过程不仅有渗流过程,而且还有吸附、解吸、扩散等过程。因此获得切合实际的、准确的、科学的评价体系将比天然气更加困难。

储层评价之前要对已有钻井的四性(电性、物性、岩性和含油气性)资料进行全面分析,取得岩石学、物性、流体、测井相应特征、测试分析的第一手资料。所以煤层气储层评价系统不仅包含反映煤层气储集特征的含气量、储层压力等参数,而且还包含反映煤层气产出能力的渗透率、孔隙度、割理、裂隙等参数,以及影响煤层气储集和产出的煤地质学特征参数(如煤岩类型特征、煤体结构特征、煤级等)^[9]。

从获得的资料来看,开展煤层气储层评价工作的大多数研究者关注的是煤层气储层地质学特征评价、储集层物性特征评价、资源储量评价、煤层气可采性综合评价等。也有学者对评价方法进行了相关的技术对比研究,如王敦则等^[9]进行了煤层气物理测井技术发展综述,其中谈到了煤层气测井技术综合评价方法的对比。

储层评价工作除了指标体系设计外,还需要确立反映评价对象表现状态的相应的指标值。指标体系越科学、指标值的获得越可靠、与评价对象表现状态的实际情况越接近(准确),评价结果的精确度才可能越高。如煤层气的产能受煤层气的解吸、扩散、渗流等过程环节的共同控制,所以要分别研究各个过程阶段。而各个过程阶段有可能遵从不同的规律,解吸参数可以用朗格缪尔等温吸附曲线描述,煤层气解吸后向渗透性裂隙扩散的过程遵循 Fick 定律,渗流过程则遵从达西定律。依次科学地划分过程阶

段为建立评价指标体系框架奠定了基础。同时,各个过程环节各有评价其表现状态的指标,不同地区就会有不同的表现状态指标值。但是,指标之间可能有一定的联系,如渗透率关系到煤层气井产能的大小,同时还与定向渗透率密切相关。因此,这就要求在选择评价指标时要考虑指标之间的关联性,为分解上一级指标找到突破口。另外,在参数值的获取问题上,有时可以无条件地直接得到,有时可能只能间接地得到或干脆利用替代参数。如煤层含气量参数值可用钻孔瓦斯量或瓦斯涌出量的相对值来类比获得。这就可能造成评价的精确度下降。

评价过程还需要科学地选用处理数据的方法。数学处理方法选择得越科学,评价结果的可信度才越高。目前收集的文献显示,定量数学的综合评价方法用于煤层气储层评价,国外大都在20世纪90年代前后就已开展,而中国在21世纪初才开始。中国的研究者大都采取了定性研究,有一定的半定量研究成果,而定量方法开展的深度、广度与国外相比有一定的差距。

定性的方法即为地质因素分析法。由于煤层气储层地质现象在许多情况下无法用具体的参数值来精确地描述,所以定性的办法也非常有效。如衡量保证煤层气资源丰度的指标值是借用石油系统的天然气工业指标的最低值(单井 $>2000\text{m}^3/\text{d}$)^[4],但是煤层气产能与常规天然气储层产能差异很大,因此借用来的量化值可能会有较大的误差,评价结果要进行修正。为了修正这一误差就要根据经验,使用定性方法再加以分析。

半定量化的方法是将定性的资料通过一定方式转化成数据显示,常见打分法转换。将定性研究问题转化成定量研究,不仅可以提高精确度和可信度,而且提高了评价结果的显示度,也是将技术指标值转换成经济或管理指标值的一种途径。如员争荣等^[9]在研究煤层气储层性能综合评价方法时,不仅将各评价指标根据研究靶区的情况分为3个等级,还根据煤层气储层性能的物性数据赋予不同的分值,以便显示现状特征的差异。

定量的方法首先是使用最多的加权求和法。员争荣等^[9]在新集矿区煤层气研究中,评价各个矿带煤层气储层状况时使用该方法。更加准确的定量数学处理方法,如模糊数学法^[2,6-7]、灰色系统法、层次分析法、神经网络系统^[8-10]、熵权法^[12]等方法的使用。

还有将以上方法结合使用进行更加精确研究的成果,如多层次的模糊数学评价体系^[1],为开展油气储层分层进行模糊数学评价提供了条件。

但是,上述的定量评价煤层气储层的方法都没有考虑时间、空间的变化,评价结果只呈现一种平面上各“点状”的煤层气储层状态。随着计算机技术的不断发展,通过地理信息系统(GIS)技术充分展示空间数据在综合评价方面的功能优势也开始应用^[2],但是使用者并不多。

2 煤层气储层评价方法选择分析

储层评价主要解决 4 个问题,一是以井点为约束,利用高分辨率地震资料的精确解释开展面上的展布工作,包括沉积相、储集物性参数、储层厚度等;二是圈定有利地区,提供加密钻探井数、井位;三是根据流体性质及储层参数,计算储层产能和本区控制储量;四是结合经济分析,提出本区开发前的准备工作,并制定开发概念设计或可行性方案^[1]。煤层气储层的评价工作也是基于以上 4 个问题进行的。因此,煤层气储层评价时选择哪种计算方法,主要与以下因素有关:一是参数的特点,二是研究的目的,三是任务等,具体来说是各地质参数的性质、参数之间的关系和具体值、研究的时间点及其前后的各指标状态。但是不同的评价方法所表现出的状态程度是不同的(表 1)。研究的具体任务可以是开展综合地质参数评价、经济评价等,这些都属于多指标评价问题。

加权求和法是最简单、最快捷、最方便的方法,但是没有考虑煤层气储层各地质状况描述指标对研究目的贡献的差异性。不分层次考虑问题导致准确

度、精确度都较低。即使增加了勘验点的地质状况描述数据,也不能反映随时间的变化参数的改变状态。尤其是当外界给予一定干涉时可能导致的变化趋势,且无空间向量表示特征。

层次分析法可以解决加权求和法只能简单处理指标之间的关系问题,也考虑了煤层气储层各地质状况描述指标分层的关系,但是不可避免地又涉及到赋权问题。在赋权时,各个评价指标的权重系数大都以经验赋予法为主,可以是项目组成员一起完成,也可以是聘请专家组成专家组来确定。从事该项工作的人大都是行业专家,或由其指导。所以该方法掺杂了许多人为的主观因素,客观性在此表现较差。同时,也无法解决加权求和法的其它问题。

为了减轻主观因素对赋权的干扰,开展煤层气储层综合评价时可以直接使用客观的办法进行赋权工作。如熵权法可以减轻这一问题所带来的对煤层气评价精度和信度的影响。在赋权时,将指标之间进行两两对比,判断其权重差异来获得权重值,减少主观因素的影响。但是该方法也只是解决了赋权问题,其它问题仍然没有解决。

模糊数学法、神经网络系统法等也可以减轻赋权问题带来的不准确性问题。模糊综合评判法既可以得到不同指标值的相对大小差异,也可以得到同一个指标在一个确定的判定集中可能的状态表述值。神经网络系统法具有代表性的 BP 法,可以通过不断地学习将某指标随某些因素的变化而可能的变化状况进行模拟,处理数据的系统通过多轮次的修正、学习,直到更加符合实际的状态,以此减轻评价过程中不必要的干扰。同时还可以根据评价需要的精度改变处理系统评价结果的精度,准确度也更高。

表 1 煤层气储层评价方法表现状态对比

Table 1 Comparison of performance between CBM reservoir evaluation methods

评价方法	参数值	参数间关系	评价等级	时间	空间
加权求和	√	—	—	—	—
层次分析	√	√	—	—	—
熵权	√	√	—	—	—
模糊综合评判	√	√	√	—	—
BP神经网络	√	√	√	√	—
GIS	√	√	√	√	√

注:“√”表示有,“—”表示无

虽然定量数学的评价方法手工处理数据非常麻烦、复杂,但是在计算机软件技术的支持下,原来使用起来非常麻烦的数学处理过程变得简单。如层次分析法、模糊数学综合评判法、BP神经网络系统等的数据处理可以使用计算机软件自动处理,简化了处理过程,使这些评价方法的推广具有了更大的可能性。另外各种数学方法的综合运用也成为趋势。如使用熵权法的赋权优势,突出层次分析法的系统性优势,将问题进行分层次说明,再使用模糊综合评判法等其它方法进行评价,这样使得评价结果的精度、信度和准确性大大提高。

煤层气储层评价结果增加展现评价对象的时间、空间变化内容的趋势非常明显。尤其是GIS技术的使用,展现数据库功能在评价工作中的优势,表现出空间、时间的评价指标变化的特点,还可以用立体图形形象地显示其评价结果。

综上所述,不同的煤层气储层评价方法各有其优势。简单的方法使用方便、处理数据便捷、应用面广,但精度低、可视性差。而定量程度高的方法处理数据过程复杂,但可以大大提高评价结果的精度、信度、可视性等。

3 煤层气储层评价地质数据影响因素分析

从以上分析可知,要提高对煤层气储层评价的精度和可信度,不仅要有指标体系、各指标之间的关系状况值和各指标值,还要注意这些值获得的准确性,以及评价结果数据的表现状态。

首先,煤层气储层评价要考虑的是各种“原始值”获得的精确度、准确度和可信度,这是保证整个评价结果的精度和可信度的基础。“原始值”就是未处理过的原始数据,包括指标值和权重值。如利用常规的测井技术直接或间接地获得一系列煤层气储层评价的参数值,即煤层气含量、吸附特性值、孔隙度值、渗透率值等,这些都是用来划分等级或归类的“原始值”。煤层气形成于煤化作用的各个阶段,煤化程度不同,煤层气含量不同;煤层气又往往大都吸附于煤层之中,煤化程度不同又使得可以吸附的煤层气量不同;煤层埋深不同,煤层气储量的大小也有差异等。这种复杂的关系使得无论用哪种方法获得这些“原始值”都存在一定的误差。“原始值”的另一问题就是赋权值。人为赋权值时,赋权值的水平状态和分布规律与赋值者的主观意识有极大的关系。赋值

者的偏好、倾向,对煤层气储层信息的了解程度、评价经验等,将决定各评价指标权值赋予的大小,也反映出他对各指标的看法。另外,每个指标值的获得精度和可信度与使用的技术、工艺等也有极大的关系。

第二,煤层气储层评价的目的和工作要求。这对于评价工作的系统性和完整度、评价体系与评价目标的复合性、评价体系各指标之间的独立性等都是非常重要的。每个评价指标各自代表着一定的意义,具有自己的固有性质,根据不同的评价目的或要求,对其重视程度有所差别,因此这些固有性质对评价结果的贡献度有差别。

第三,注意评价方法的选取。不同的评价方法各有优势,也有其不尽人意之处。目前,在进行煤层气储层评价时,大多数数学处理方法只是对各非时间和空间参数进行评价处理。也就是说,在进行煤层气储层评价时大多考虑的是一定的时间、空间地点下的问题,没有考虑或没有充分考虑时间或空间变化的问题,因此只得到一个点或线的静态评价状态。随着研究工作的不断深入,会越来越感觉到评价对象随时间的变化趋势和空间地理位置的重要性。所以表1中所列的数学评价方法就应该与数据库管理方法相结合使用,GPS技术的开发使用是一个发展趋势。

综上所述,影响煤层气储层评价结果的精度、可信度和准确度的最主要因素是原始数据、评价指标体系和评价方法。这3个因素对煤层气储层评价工作起到支撑的作用。

4 两种评价方法的比较

通过以上的分析可以看出,煤层气储层评价的不同方法各有特点,数据处理过程的复杂程度不同,人为干预程度有所区别,结果的精度也就有差异。在此以人为干预情况、过程简单程度为条件选择2种方法加以比较。以最常使用的一般综合评价法与熵权法进行比较。前者人为干预度高,但过程简单;后者人为干预度低,但计算过程稍加复杂。

为了使计算结果具有可比性,使用同一个案例。为了突出计算方法的差异性,同时简化数据收集过程,选择已经有一定评价工作基础的案例。本文以淮南煤田新集矿区煤层气评价为例。淮南煤田新集矿区属于挤压型的煤田构造背景,由南向北可分为南部带、中深部带和北部带。其煤层可分为13-1、11-

表 2 煤储层参数评价标准划分^[5]

Table 2 Evaluation standard classification of coal reservoir parameters

参数名称	权重	参 数 含 义	评价标准	等级划分	分 值
含煤性	0.94	(1)煤层厚度、稳定性 (2)煤炭资源量大小	≥3 m	好	10~7
			3~1 m	一般	6~3
			≤1 m	差	2~0
含气性	0.98	(1)气含量大小 (2)甲烷浓度大小 (3)煤的吸附能力	≥8 m ³ /t	好	10~7
			8~3 m ³ /t	一般	6~3
			≤3 m ³ /t	差	2~0
渗透性	0.96	(1)煤的渗透率 (2)透气性大小 (3)煤体结构或构造煤比例 (4)煤中裂隙发育程度	≥1 md	好	10~7
			1~0.1 md	一般	6~3
			≤0.1 md	差	2~0
储层压力	0.66	使用储层压力梯度大小	≥ 9.8kPa/m	高	10~7
			9.8~6.5 kPa/m	一般	6~3
			≤ 6.5 kPa/m	低	2~0
含气饱和度	0.62		≥ 80 %	好	10~7
			80%~30%	一般	6~3
			≤30%	差	2~0
原地应力	0.64	依据煤层气试井所测的应力值	≤15%	低	10~7
			15%~25%	一般	6~3
			≥25%	高	2~0
储层温度	0.42	地温梯度大小	≥ 4℃/100m	高	10~7
			4~2.5℃/100m	一般	6~3
			≤2.5℃/100m	低	2~0
煤层产状	0.52	(1)煤层倾角大小 (2)平面起伏程度	≤10°	平缓	10~7
			10~30°	一般	6~3
			≥30°	陡	2~0

注：该表由参考文献[5]中的资料整理而得

2、8、6 和 1 五种类型,其地质参数值见表 2。表 2 中的权重系数、等级划分、打分等是研究者对其煤层气储层进行评价获得的前期基础数据。

同时假设:①所引用的案例数据真实、准确、可靠;②所引用的案例中专家参与评价时是公平、公正、无偏见的。

4.1 一般综合评价方法

以往煤层气储层的评价方法主要是采用一般的综合评价方法,这种方法具有简单易行的特点,然而评价的准确性并不一定能保证。主要原因是在评价时过多地依赖评价者个人或集体的主观判断。

在进行煤层气储层评价时,一般会将评价参数选定为含煤性、含气性、渗透性、储层压力、含气饱和

度、原地应力、储层温度、煤层产状 8 个方面。在具体评价时可按照表 2 所示的参数含义、评价标准、等级划分和相应的分值来进行^[5]。

案例的研究者利用专家打分的方法,对上述 8 项参数进行了专家调查和整理,统计出了每项参数的权重系数,即表 2 中的权重系数值。然后对全区不同煤层进行分析,确定出了评分值(分值列)。带入公式(1),便可以利用基本的评价公式进行煤层评价。结果见表 3。

$$p_i = \frac{\sum_{j=1}^n \omega_j p_{ij}}{\sum_{j=1}^n \omega_j} \tag{1}$$

表 3 全区煤层的综合评价结果

Table 3 Comprehensive evaluation results of the coalbed

参数序号	1	2	3	4	5	6	7	8			
权重系数	0.94	0.98	0.96	0.66	0.62	0.64	0.42	0.52	评价	结果	
参数名称	含煤性	含气性	渗透性	储层压力	含气饱和度	原地应力	储层温度	煤层产状	得分	排序	
煤层	13-1	8.5	4.1	2.5	8.0	1.9	4.6	3.1	6.0	4.92	3
	11-2	7.3	4.2	1.0	7.9	0.8	5.0	3.2	6.0	4.41	5
	8	7.1	6.2	0.7	8.5	2.0	6.0	3.4	6.0	4.99	2
	6	7.0	5.1	2.0	9.0	1.0	5.0	3.6	6.0	4.86	4
	1	8.5	5.1	2.7	7.0	1.7	4.5	4.0	6.0	5.04	1

其中, P_i 为某煤层的综合得分, ω_j 为某参数的权重系数, $i=5, j=8$ 。

由表 3 可见, 淮南煤田新集矿区的煤层由优到劣的排列顺序为 1、8、13-1、6 和 11-2。

4.2 熵权法

熵权法是一种可以用于多对象、多指标的综合评价方法。与一般评价方法不同的是, 其评价结果主要依据客观资料, 几乎不受主观因素的影响, 所以在很大程度上避免了人为因素的干扰。

应用以上案例继续进行评价。本案例中有 5 个煤层, 则 $m=5$; 表 2 所列评价参数有 8 个, 则 $n=8$ 。因此, 评价对象集 $F=\{F_1, F_2, \dots, F_5\}$, 评价指标集为 $C=\{C_1, C_2, \dots, C_8\}$ 。因为指标已经进行了同趋化, 按定性或定量的方法取得多对象比较指标矩阵 R' 后, 再用公式(2)进行规范化处理, 即可得到规范性矩阵 R 。

$$r_{ij} = \frac{r'_{ij} - \text{Min}_i(r'_{ij})}{\text{Max}_i(r'_{ij}) - \text{Min}_i(r'_{ij})} \tag{2}$$

其中, $\text{Max}_i(r'_{ij})$ 和 $\text{Min}_i(r'_{ij})$ 分别是矩阵 R' 中第 j 列的最大值和最小值, r_{ij} 为规范性矩阵中对应于第 i 行 j 列的元素。

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{18} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{28} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{51} & r_{52} & \cdots & r_{58} \end{bmatrix}$$

可用公式(3)计算出第 j 个比较指标 C_j 的熵。并设 $f_{ij}=0$, 有 $f_{ij} \cdot \ln f_{ij}=0$ 。则得到第 j 个比较指标 C_j 的熵权计算公式(4)。

$$H_j = -k \sum_{i=1}^5 f_{ij} \cdot \ln f_{ij} \tag{3}$$

$$\omega_j = \frac{1 - H_j}{\sum_{j=1}^8 (1 - H_j)} = \frac{1 - H_j}{8 - \sum_{j=1}^8 H_j} \tag{4}$$

其中, H_j 为第 j 个比较指标 C_j 的熵, $f_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^5 r_{ij}}$,

表 4 熵和熵权计算结果

Table 4 Calculation results of entropy and entropy weight

参数名称	含煤性	含气性	渗透性	储层压力	含气饱和度	原地应力	储层温度	煤层产状	合计
13-1	-0.36	0	-0.37	-0.31	-0.37	-0.13	0	-0.32	-
11-2	-0.21	-0.09	-0.16	-0.30	0	-0.32	-0.16	-0.32	-
8	-0.10	-0.35	0	-0.36	-0.37	-0.32	-0.30	-0.32	-
6	0	-0.34	-0.34	-0.37	-0.17	-0.32	-0.36	-0.32	-
1	-0.36	-0.34	-0.37	0	-0.35	0	-0.35	-0.32	-
合计	-1.04	-1.12	-1.24	-1.31	-1.25	-1.08	-1.16	-1.61	-
熵	0.65	0.70	0.77	0.83	0.78	0.67	0.72	1	-
1-熵	0.35	0.30	0.23	0.17	0.22	0.33	0.28	0	1.89
熵权	0.187	0.161	0.122	0.090	0.118	0.175	0.147	0	1

表 5 海明距离(p=1)计算结果

Table 5 Calculation results of Hamming distance (p =1)

参数名称	含煤性	含气性	渗透性	储层压力	含气饱和度	原地应力	储层温度	煤层产状	L_1	评价结果
权重	0.187	0.161	0.122	0.090	0.118	0.175	0.147	0		排序
13-1	1.589	0.660	0.305	0.722	0.224	0.805	0.456	0	0.2009	3
11-2	1.365	0.676	0.122	0.713	0.094	0.875	0.471	0	0.1821	5
8	1.328	0.999	0.085	0.767	0.235	1.049	0.450	0	0.2095	1
6	1.309	0.821	0.244	0.812	0.118	0.875	0.529	0	0.1987	4
1	1.589	0.821	0.330	0.632	0.200	0.787	0.588	0	0.2088	2

表 6 欧氏距离(p=2)计算结果

Table 6 Calculation results of Euclidean distance (p=2)

参数名称	含煤性	含气性	渗透性	储层压力	含气饱和度	原地应力	储层温度	煤层产状	L_1	评价结果
权重	0.187	0.161	0.122	0.090	0.118	0.175	0.147	0		排序
13-1	2.526	0.436	0.093	0.521	0.050	0.647	0.208	0	0.2022	3
11-2	1.863	0.458	0.015	0.508	0.009	0.765	0.221	0	0.18712	5
8	1.762	0.997	0.007	0.588	0.055	1.101	0.250	0	0.20842	1
6	1.713	0.675	0.060	0.660	0.014	0.765	0.280	0	0.19492	4
1	2.526	0.675	0.109	0.399	0.040	0.619	0.346	0	0.2074	2

$k=\frac{1}{\ln 5}$; ω_j 为第 j 个比较指标 C_j 的熵权。

根据熵权,将对象映射到距离空间(公式(5)),再进行归一化处理即得表 4。

$$L_{pi}(\omega_j,j)=\left[\sum_{j=1}^8\omega_j^p\cdot r_{ij}^p\right]^{\frac{1}{p}} \tag{5}$$

其中, $L_{pi}(\omega_j,j)$ 为第 i 个对象映射到的距离空间, p 为海明距离($p=1$)或欧氏距离($p=2$)。

表 4 中,权重系数为零,即煤层产状相同,表示在评价时本参数可以不予考虑。由表 4 中的熵权,可以选择海明距离和欧氏距离分别计算煤层的最终评价结果值,见表 5 和表 6。由此可见,无论是关注所有参数用海明距离,还是关注权重系数大的参数用欧式距离计算,本次的评价结果排序都是一致的,但是熵权归一后的值有一定的差异。

4.3 对 2 种评价方法的评价与说明

由计算结果可见,一般综合评价方法与熵权法相比,出现了不同的评价结果。前者排序为 1、8、13-1、6 和 11-2,后者排序为 8、1、13-1、6 和 11-2。尽管一般评价方法也得出了比较满意的结果,但由于有

相关专家的主观参与赋权值、打分,这对于专家的选择和打分过程的严谨性依赖程度很高。不同的专家,尤其是不同水平的专家打分有可能使结果出现比较大的差异。

熵权法中使用的权重值是根据具体数据计算出来的,基本没有人的主观问题。评价结果完全取决于客观资料。同时,只要资料是确定的,则一定会出现一个唯一的评价结果。

另外,从计算过程看,熵权法要比一般综合评价法复杂一些,要求数学功底更扎实。所以在评价工作中使用一般综合评价法的居多。

5 结 语

煤层气储层评价是一项综合性的工作,是以大量的技术工作为基础的管理评价工作。因此在原始数据采集时可以依靠先进的煤层气储层探测技术获得更加精确的数据,也可以利用先进的工艺技术提高其准确性和可靠性,同时还可以根据实际情况,充分利用不同的数学分析模型和现代计算机技术来提高评价的准确度、精确度和可信度。能够提高评价数

据的准确性、可靠性和精度的数学方法和技术,以及数据采集显示技术如 GPS 技术的使用可以大大提高煤层气储层评价的可视化程度,同时进一步提高整个煤层气储层评价工作的水平。

致谢:在选题过程中与成都理工大学周文教授进行了有益的讨论,成文过程中中国地质大学(北京)高孝伟副教授对数据处理过程给予了帮助和指导。在此一并表示感谢。

参考文献

- [1]王允诚.油气储层评价[M].北京:石油工业出版社,1999:2-9.
- [2]姚艳斌,刘大锰,刘志华,等.煤层气储层综合评价要素与评价体系[C]//2008年煤层气学术研讨会论文集.北京:地质出版社,2008:82-97.
- [3]王敦则,尉远江,覃世银,等.煤层气地球物理测井技术发展综述[J].地球学报,2003,24(4):385-390.
- [4]曲延林,马立军,阎伟,等.依兰煤田煤层气资源评价[J].煤层气勘探开发理论与实践,2002:124-131.
- [5]员争荣,钟玲文,张慧,等.煤层气储层性能综合评价方法与应用[C]//中国煤田地质专业委员会 2001 年学术年会论文集.2001:121-125.
- [6]唐书恒,陈春琳,王爱国,等.华北煤层气储层研究与评价[C]//“九五”全国地质科技重要成果论文集.北京:地质出版社,2000:542-547.
- [7]王起新.阜新盆地煤层气储运规律及资源预测研究[D].辽宁工程技术大学博士学位论文,2005:69-71.
- [8]吴东平,吴春萍,谭世君.煤层气测井储层评价神经网络技术应用[J].天然气工业,2000,20(4):61-63.
- [9]Hou Tunsheng,Wang Ying.Interpretation of well logging data for coalbed methane using BP neural network[J]. Geology and Prospecting,1999,35(3):4-44.
- [10]Vaziri H H,Wang X,Palmer I D,et al. Back analysis of coalbed strength properties from field measurements of wellbore cavitations and methane[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 1997,34(6):963-978.
- [11]刘飞.山西沁水盆地煤岩储层特征及高产富集区评价[D].成都理工大学博士学位论文,2004:140-170.
- [12]姚艳斌.基于 GIS 的华北煤层气资源综合评价[D].中国地质大学(北京)硕士学位论文,2005:13-28.