

王安民,曹代勇,魏迎春.煤层气选区评价方法探讨——以准噶尔盆地南缘为例[J].煤炭学报,2017,42(4):950-958.doi:10.13225/j.cnki.jccs.2016.0531  
Wang Anmin, Cao Daiyong, Wei Yingchun. Discussion on methods for selected areas evaluation of coalbed methane: A case study of southern Junggar Basin [J]. Journal of China Coal Society, 2017, 42(4): 950-958. doi: 10.13225/j.cnki.jccs.2016.0531

## 煤层气选区评价方法探讨 ——以准噶尔盆地南缘为例

王安民,曹代勇,魏迎春

(中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院,北京 100083)

**摘要:**煤层气选区评价历来是煤层气勘探的一个重要环节,其中评价方法的选择关系到能否准确命中目标靶区。近年来的选区评价方法从定性评价逐渐发展为定量评价。以准噶尔盆地南缘为评价区,从定性—半定量—定量评价的思路方法着手,首先选取了典型的 5 种评价方法,系统地论述了其在煤层气评价选区中的利弊,发现定性评价方法仍有着其广泛运用的空间,虽然现有的定量评价方法进一步降低了主观因素影响,但这 5 种评价方法均不同程度地存在着主观性、经验性判断。在对这 5 种方法进行异同点总结的基础之上,笔者进一步引进了主成分分析法这一定量评价方法,避免了主观因素影响,优选出四工河—大黄山区段为有利区段,与前述 5 种方法结果相同,表明主成分分析法运用于煤层气选区评价是合理可靠的,完全避免了主观因素的影响成为其选区评价的最大优点。在综合分析了各评价方法的优缺点之后,提倡运用初步定性判断—定量评价研究—定性评价验证的思路来进行煤层气的选区评价。

**关键词:**煤层气;选区评价;方法探讨;主成分分析;准噶尔盆地南缘

中图分类号: P618.11 文献标志码: A 文章编号: 0253-9993(2017)04-0950-09

### Discussion on methods for selected areas evaluation of coalbed methane: A case study of southern Junggar Basin

WANG An-min, CAO Dai-yong, WEI Ying-chun

(College of Geoscience & Surveying Engineering, China University of Mining & Technology Beijing, 100083, China)

**Abstract:** Selected areas evaluation of coalbed methane has always been an important link in the process of coalbed methane (CBM) exploration, in which the evaluation method is the key to favorable area. The methods gradually developed from the qualitative evaluation to quantitative evaluation in recent years. This paper uses southern Junggar Basin as an appraisal area. Firstly, five typical kinds of evaluation methods are discussed, in which the merits and demerits are systematically expounded. It is founded that qualitative evaluations are still practical, although quantitative evaluations have improved the veracity of evaluation, subjectivism and empirical judgments are still existed in the process of quantitative evaluations to some extent. Based on the differences and similarities of the five evaluation methods, principal component analysis (PCA) has been proposed for the purpose that avoids the subjectivism and empirical judgments. The Sigonghe to Dahuangshan area has been selected as a favorable area by PCA method, the same result is generated by the five evaluation methods, which proves that the PCA method is feasible in selecting the favorable CBM areas, and its greatest advantage is to avoid the subjectivism. The authors advocate that the thought of “first qualitative

judgment, second quantitative analysis and final qualitative verification” should be used to select favorable CBM areas.

**Key words:** coalbed methane; regional election and evaluation; methods discussion; principal component analysis; southern Junggar Basin

我国煤层气资源量巨大,经过近十几年的迅速发展,我国煤层气的勘探开发已取得了较大突破,从中高煤阶煤层气成功开发到低煤阶煤层气勘探开发取得重大进展,煤层气选区评价方法的地位日益突出,能否准确地运用合理的评价方法是煤层气商业开发者最为关心的问题之一。煤层气的选区评价指标经过多年的探讨,大部分重要指标已形成了共识<sup>[1-4]</sup>,如资源条件、储层条件、保存条件等。选区评价方法则从定性评价逐渐发展为定量评价,多种评价方法不断被提出<sup>[4-9]</sup>,每种评价方法各有其优缺点,笔者将以准噶尔盆地南缘为评价区,讨论从定性到定量的评价方法在低煤阶煤层气评价选区中应用的利弊,根据从定性到定量的原则,选取了已有的“寻找高渗富集区”、地层能量评价法、层次分析法、灰色聚类分析法、突变评价法共5种方法,论述其异同点,在此基础上,为探索煤层气评价新方法,笔者进一步引进主成分分析法运用于煤层气的选区评价,研究其是否具有区别于已有评价方法的优势。根据应用原理将6种评价方法进行归类,见表1。

表1 6种评价方法归类

Table 1 Classification of six kinds of evaluation methods

类型	定性评价	半定量评价	定量评价
评价方法	“寻找高渗富集区”、地层能量法	层次分析法	灰色聚类法 突变评价法 主成分分析

## 1 区域地质背景及数据来源

准噶尔盆地南缘位于准噶尔盆地与天山造山带结合部位<sup>[10]</sup>,自二叠纪以来,本区经历了华力西、印支、燕山、喜马拉雅等多期构造运动的叠加,形成了一系列近东西走向的压性断层和单斜构造<sup>[11-12]</sup>,东西向呈带状分布,有着东西分段、南北分带的特点<sup>[13]</sup>,区内含煤地层主要发育在下、中侏罗统的八道湾组和西山窑组<sup>[14-16]</sup>。为了方便对准噶尔盆地南缘进行煤层气选区评价,基于地理界线和主要构造,笔者将准噶尔盆地南缘划分为7段:霍尔果斯河以西(I)、霍尔果斯河—三屯河(II)、三屯河—乌鲁木齐河(III)、乌鲁木齐河—四工河(IV)、四工河—大黄山(V)、水溪沟矿区(VI)、后峡地区(VII)如图1所示。

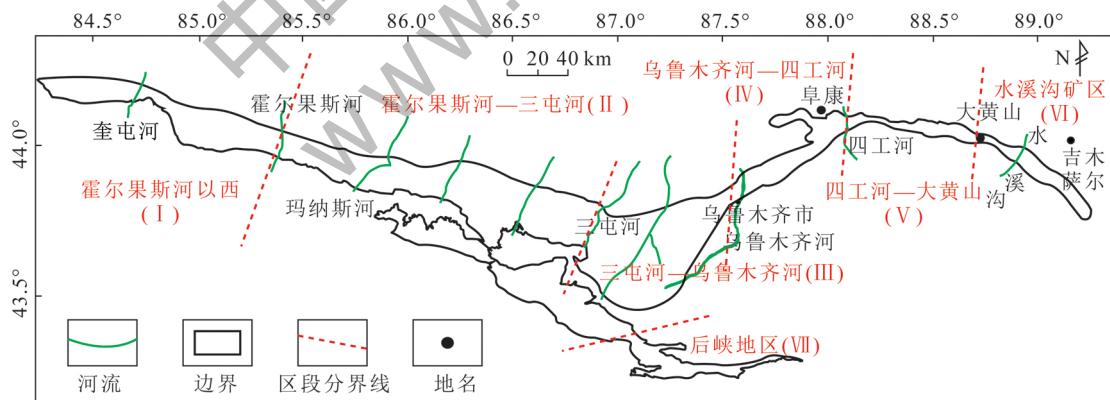


图1 准噶尔盆地南缘区段划分

Fig. 1 Section division of southern Junggar Basin

以评价区实际地质参数为准,列出本文所需评价参数,见表2。

各数据来源说明如下:煤层厚度、 $R_0$ 、煤层埋深、风氧化带深度以及主采煤层顶底板细碎屑岩百分比来源于准噶尔盆地南缘煤田勘探报告,尽量以平均分布于各个区段的钻井为统计对象,每个区段所统计的钻井数均在30个以上,并取其均值作为各区段代表

值,其中,主采煤层顶底板细碎屑岩百分比是以细碎屑岩(泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、粉砂岩)占主采煤层顶底板岩性的比例,统计对象为煤层的直接顶底板(即煤层上下覆岩层)岩性,以统计的钻孔数为分母,以顶底板为细碎屑岩的钻孔数为分子而得出;含气量以及资源丰度数据来源于煤层气勘探资料;兰氏体积、孔隙度、渗透率来源于煤层气勘探资料和实

表 2 准噶尔盆地南缘煤层气选区评价数据  
Table 2 Evaluation indexes of southern Junggar Basin

区段	含气量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ )	煤层厚 度/m ( $10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$ )	资源丰度/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ )	兰氏体积/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ )	孔隙 度/%	渗透率/ $10^{-15} \text{ m}^2$	$R_o$ / %	煤层埋 深/m	风氧化带 深度/m	主采煤层顶 底板细碎屑 岩比例/% ( $\text{MPa} \cdot (100 \text{ m})^{-1}$ )	储层压力 梯度/ ( $\text{MPa} \cdot (100 \text{ m})^{-1}$ )	煤层水 动力 条件
I	$\frac{0.24 \sim 2.16}{1.2}$	13.85	0.303 5	14.88	6.90	3.10	0.37	800	350	55.6	0.80~0.91	弱
II	$\frac{0.74 \sim 6.14}{3.44}$	15.25	0.468 0	21.19	8.47	3.10	0.65	800	350	66.1	0.79~0.89	强
III	$\frac{3.47 \sim 8.93}{6.2}$	14.28	0.546 2	18.74	9.98	$\frac{1.28 \sim 13.62}{7.45}$	0.71	800	500	54.8	0.60~0.96	弱
IV	$\frac{7.07 \sim 14.80}{10.94}$	70.65	4.562 6	20.47	9.61	$\frac{2.81 \sim 13.48}{8.15}$	0.73	750	400	70.3	0.84~0.98	弱
V	$\frac{9.57 \sim 15.65}{12.61}$	56.40	9.419 0	26.30	5.09	$\frac{1.45 \sim 13.51}{7.48}$	0.85	800	450	53.4	0.94~0.98	较强
VI	$\frac{0.08 \sim 3.40}{1.74}$	18.43	2.230 4	20.92	2.51	$\frac{0.50 \sim 2.20}{1.35}$	0.52	875	250	53.4	<0.80	弱
VII	$\frac{2.21 \sim 4.71}{3.46}$	18.96	0.891 7	19.76	5.51	$\frac{0.11 \sim 5.54}{2.83}$	0.55	750	300	55.6	0.60~0.96	较强

注：“—”之上为区间值，“—”之下为均值。

际所采样品的测试数据,其中区段 I、II 为煤层气勘探报告中的值,其他区段是综合了报告中的值与所采煤样的测试值所确定的;储层压力梯度值在区段 IV 和 V 以煤层气参数井数据为准,其他区段利用恢复水位的方法以静水压力代表储层压力;煤层水动力条件来源于煤田地质勘探、煤层气勘探报告。

对于半定量及定量评价方法,参照文献[2-7]的煤层气评价指标,选择准噶尔盆地南缘的资源条件(资源丰度、含气量、煤厚)、储层条件(渗透率、兰氏体积、孔隙度、 $R_o$ )、保存条件(埋深、顶底板岩性、风氧化带深度)共 10 个指标作为本文研究所用的评价指标。

## 2 定性评价方法

### 2.1 评价方法原理

定性评价是最为传统也较为直观的评价方法,其特点是只注重某几个对煤层气开发最有影响的因素,从而达到“一目了然”的评价效果,本文所用定性评价方法的原理如下:

(1) “寻找高渗富集区”:即寻找渗透率较高、煤层气富集的地区,是最为传统的定性评价方法之一,因为渗透率、含气量(或资源丰度)对于煤层气的开发犹为重要,故寻找“高渗富集区”也是最为行之有效的定性评价方法之一。

(2) 地层能量法:地层能量评价方法就是评价含

煤地层中流体所具有能量的大小<sup>[8]</sup>,该方法评价原理是:煤层气的采出是靠地层能量的转换,即降低地层能量来实现的,因此,对地层能量的描述则可以定性评价出各区段的开采潜力,而地层能量则可间接用某些地质参数表征,如地应力、储层压力、煤层水动力条件,而这些参数可以通过地层实测或对区域构造演化、地下水条件的研究获得。

### 2.2 评价结果及优缺点分析

寻找“高渗富集区”考虑的是含气量与渗透率这两个对煤层气开发极为重要的两个参数(表 2),以高含量值所在区段作为优先考虑区,优选出有利区段为四工河—大黄山区段(V)、乌鲁木齐河—四工河区段(IV)。地层能量法可以以储层压力、煤层水动力条件来衡量(表 2),优选出最有利区段为四工河—大黄山区段(V)。

从定性方法的原理及结果来看,依据的是对煤层气开发有利的主要地质参数来进行有利区优选。优点与缺点分述如下:

(1) 优点:①能简单快速找到有利区,需要考虑的地质参数较少,在收集相关主要参数后,列出表格之后便能判断出有利区,如上述两种定性方法,先后以含气量、渗透率、地层压力等较为单一的参数大小进行排序,选择较大的为有利区,简单迅速地判定四工河—大黄山区段(V)为最有利区段。②所考虑的主地质参数易于获得,在进行煤层气勘探时,首先需

要获得的基础煤层气地质参数几乎也同时都是最重要的地质参数,如含气量、渗透率等,因此,所选的主要地质参数较为易于获得。

(2) 缺点:①考虑的地质参数不够全面,不论是煤层气藏条件研究或是煤层气地质开发,所需考虑的影响因素较多,“生”、“储”、“保”3方面的各个影响因素不可或缺,单一的有利因素虽从一定程度上代表着有利区,但从煤层气开发的角度来讲还是不够。②容易出现两种或两种以上的主要地质参数相互制约的情况,如某一地区含气量高但渗透率低,或是含气量低但是储层压力高,出现此种情况时,若简单地只从定性的角度来进行评价选区,则容易产生错误的评价结果。

### 3 半定量评价方法

#### 3.1 评价方法原理及步骤

层次分析法是系统论中的一种决策方法,是系统论中的一种决策方法,在各行业中得到了较为广泛的应用,其原理是将复杂问题分解为若干层次,在同一层次中的各评价参数之间进行比较和计算,得出重要性程度<sup>[5]</sup>。该方法评价步骤<sup>[5,17-18]</sup>为:

(1) 对决策系统划分层次,建立多层次结构模型(表3)。

表3 层次分析法结构模型

Table 3 Hierarchical structure of indicators for analytic hierarchy process

评价指标	煤层勘探开发潜力 A		
	资源条件 B <sub>1</sub>	储层条件 B <sub>2</sub>	保存条件 B <sub>3</sub>
评价参数	含气量 C <sub>11</sub>	兰氏体积 C <sub>21</sub>	顶底板岩性 C <sub>31</sub>
	煤层厚度 C <sub>12</sub>	渗透率 C <sub>22</sub>	风氧化带深度 C <sub>32</sub>
	资源丰度 C <sub>13</sub>	孔隙度 C <sub>23</sub>	煤层埋深 C <sub>33</sub>
		煤变质程度 C <sub>24</sub>	

(2) 就子指标对于上层指标的重要性进行两两比较,构造两两比较判断矩阵,即下层指标对于上层指标的标度赋值(重要性赋值),这一步人为主观因素影响较大,赋值的标度有多种分法,本次研究采用0~4标度来评价。

(3) 由判断矩阵计算子指标对于上层指标的相对权重,即计算判断矩阵最大特征根及其对应的特征向量,特征向量即为相邻两层指标的权重,该步骤利用 Matlab 软件计算,同时为了使得计算结果合理可靠,避免失误,故对判断矩阵进行一致性检验。一般采用随机一致性比率  $C.R.$  来进行判别,其判别式如下:

$$C.I. = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{n - 1}, C.R. = \frac{C.I.}{R.I.}$$

其中,  $n$  为矩阵的阶数,  $R.I.$  的值参见表4。如果  $C.R. < 10\%$ , 则认为判别矩阵具有可接受的 inconsistency, 如果  $C.R. > 10\%$ , 则需要重新赋值和修正计算,直至一致性通过为止。

表4 平均随机一致性指标  $R.I.$  取值<sup>[5]</sup>

Table 4 Values of the average stochastic consistency index  $R.I.$ <sup>[5]</sup>

矩阵阶数	1	2	3	4	5	6	7
$R.I.$	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36

(5) 在通过一致性检验得出合理的各指标权重之后,再对各指标参数进行打分赋值,具体打分值见文献<sup>[5]</sup>,最后权重值与打分值相乘汇总,得出加权值优选有利区。

#### 3.2 评价结果及优缺点分析

依据上述方法原理及步骤,得出淮南地区低煤阶煤层气评价结果见表5。

表5 层次分析法的有利区优选结果

Table 5 Optimization results of favorable areas by analytic hierarchy process

区段	I	II	III	IV	V	VI	VII
加权值	3.63	5.18	5.75	6.87	6.97	4.42	4.07

从评价结果来看,四工河—大黄山(V)得分最高,依旧为最有利区段,其次为乌鲁木齐河—四工河(IV)。通过该方法原理及结果分析,其优缺点分述如下:

(1) 优点:①分层次建立了各级指标的一一对应关系,即将诸多繁杂的煤层气地质参数进行分类,并采用相应的标度进行相对权重的标度赋值,将决策者的经验判断进行量化,并且随着煤层气重要评价指标如资源条件、储层条件、保存条件等越来越得到公认,各下级指标相对于上级指标的重要程度亦越来越得到公认,这使得人为的标度赋值也愈趋合理。②加权求值得最终评价结果可靠,从近年来的文献可以看出,煤层气评价指标体系越来越合理成熟,业内对煤层气各评价指标也越来越认同,这为层次分析法评价的合理性提供了可靠的基础。

(2) 缺点:①人为的标度赋值仍有一定的误差,这与决策者对具体评价区的煤层气地质条件的认识有关,在较为公认的指标如兰氏体积、渗透率,其对储层条件的相对权重可以标度在3~4,但仍有一些指标

如风氧化带深度等对资源条件的相对权重则没有一个较为公认的标度区间,这给决策者的主观经验判断带来了一定难度。② 随机一致性比率  $C.R.$  很难通过,当判断矩阵不具有 consistency 时,就需要进行多次的标度赋值调整,使其最终通过一致性检验,工作量较大,而当进行各指标标度值的一系列微调时,决策者的主观经验判断进一步使得误差增大。

## 4 定量评价方法

### 4.1 现有典型评价方法的原理及步骤

#### (1) 灰色聚类分析

灰色聚类是将聚类对象对不同聚类指标所拥有的白化数,按数个灰类进行归纳整理,从而判断聚类对象属于哪一类的灰色统计方法<sup>[19]</sup>。对煤层气勘探区而言,部分地区并未能完全取得各项地质参数,同时参数之间关系很难确定,因此,评价区块是一个灰色系统<sup>[7]</sup>。煤层气的灰色聚类就是将各区段的不同地质参数所拥有的白化函数,归纳成“好、中、差”3个灰类,判断各区段属于哪一类型,主要步骤如下<sup>[7,19-22]</sup>。

① 将淮南7个区段作为聚类对象,将评价参数作为聚类指标,列出聚类白化数  $d_{ij}$  (即为各区段的评价参数  $i$  代表区段,  $j$  代表评价参数),并对数据标准化;

② 以各指标的评价标准确定白化函数及阈值,常见的白化函数有3种,白化函数的转折点称为阈值,可根据已有模型或经验确定;

③ 在阈值的基础上标定聚类权,即确定权重;

④ 利用3种白化函数计算各区段“好、中、差”3个灰类的白化数,然后与聚类权的乘积之和求出聚类系数,构造聚类行向量进行聚类。

#### (2) 突变评价法

突变理论是20世纪70年代发展起来的一门数学分支,突变理论能够直接处理不连续性而不联系任何特殊的内在机制特别适用于内部作用尚未确知系统的研究<sup>[23-24]</sup>,应用模型相对简单,运用领域广阔,适用于煤层气选区评价的研究,其主要评价步骤如下<sup>[9,24-25]</sup>。

① 对参数指标进行多层次分解,形成指标参数层次结构,这一点与层次分析法较为类似,但不同的是指标的排序须按重要程度来排,见表6;

② 将各参数数据进行标准化处理;

③ 以参数层次结构对应的突变模型计算突变值,常用的3种突变模型有尖点突变、燕尾突变和蝴蝶突变,每个模型均对应有相应的计算突变值的公

式,逐级向上进行计算并最终排序,达到优选的目的。

### 4.2 评价结果及优缺点分析

灰色聚类分析法评价结果见表7,突变评价法结果见表8。

表6 突变评价法参数层次结构

Table 6 Hierarchical structure of indicators for catastrophe evaluation

0级指标	1级指标	2级指标
煤层气综合评价指标	资源条件	含气量
		资源丰度
		煤层厚度
	储层条件	渗透率
		兰氏体积
		孔隙度 $R_0$
保存条件	煤层埋深	
	顶底板岩性 风氧化带深度	

表7 灰色聚类分析法评价结果

Table 7 Optimization results of favorable areas by grey cluster analytic method

区段	属于“好”类的系数	属于“中”类的系数	属于“差”类的系数	综合评价结果
I	0.018 9	0.277 2	0.828 3	差
II	0.148 3	0.253 1	0.682 8	差
III	0.195 1	0.348 8	0.561 1	差
IV	0.469 1	0.415 6	0.328 1	好
V	0.458 7	0.448 7	0.078 4	好
VI	0.121 3	0.226 7	0.674 2	差
VII	0.129 8	0.287 6	0.701 6	差

表8 突变评价法评价结果

Table 8 Optimization results of favorable areas by catastrophe evaluation method

区段	突变评价法评价结果	
	综合评价值	排名
I	0.856 6	7
II	0.888 6	5
III	0.909 8	3
IV	0.976 3	2
V	0.984 9	1
VI	0.882 6	6
VII	0.890 7	4

从上述评价结果可以看出,两种评价方法均优选出四工河一大黄山(V)为最有利区段,根据两种定量评价方法评价过程及结果,其优缺点分述如下:

(1) 优点: ① 在确定各指标权重时,以实际地质

数据为基础,运用各方法中的数学公式进行计算,最大程度地避免了决策者的主观臆断。②灰色聚类分析中,将淮南7个区段分别划分至3种灰类系统,在划分过程中,白化函数较为全面地满足了人们对煤层气评价指标参数的偏好程度,即很好地将各指标按不同类型的白化函数得到白化值,使得评价结果精确可靠。③在突变评价法中,计算相对简单,同时成功避免了确定各指标的权重,只考虑各指标间的相对重要性,使得决策者的主观臆断性进一步减少。

(2) 缺点:①尽管这两种定量评价最大程度避免了主观臆断,但在整个评价过程中依旧存在着人为的主观性、经验性判断,这是由于评价指标在业内公认程度的问题,在灰色聚类分析中表现为白化函数阈值的确定,在突变评价中表现为各指标间的相对重要性的确定。②在定量评价方法中,各个区段的原始地质参数只能取一个代表性的值,无法广泛准确地代表一个区段,这亦是定量评价与定性评价最大的区别之一。③灰色聚类分析目的是在于将各评价区段划归于不同的灰类进行判断,而同一灰类的各区段则无法清晰地排序,如除四工河—大黄山(V)、乌鲁木齐河—四工河(IV)区段外的其他区段均为“差”类,无法对其进行排序。

#### 4.3 主成分分析法原理及步骤

由前文可以看出,现有的典型半定量、定量评价方法或多或少地均有主观性、经验性判断的影响,而本文试图将主成分分析应用于煤层气的选区评价,主成分分析这一数学方法则完全依靠数据进行评价,避免了主观因素的影响,且由于煤层气的选区评价涉及到很多指标,利用主成分分析可以很好地将多个指标压缩成少数几个综合指标,且避免了指标信息的重叠,达到综合评价的目的。

将多个指标压缩为少数信息不重叠的综合指标的统计方法就是主成分分析法<sup>[26-27]</sup>,主成分分析法运用于煤层气选区评价的原理是:设有 $n$ 个区段,每个区段具有 $P$ 个评价指标,将这 $P$ 个指标看作 $P$ 个随机变量,记为 $X=(x_1, x_2, \dots, x_p)'$ 。设随机向量 $X$ 的均值为 $\mu$ ,协方差矩阵为 $\Sigma$ ,主成分分析就是要把这 $P$ 个指标的问题,转变为讨论 $P$ 个指标的线性组合问题。对 $X$ 进行线性变换,可以生成新的综合指标,即主成分,记为 $y_1, y_2, \dots, y_p$ 。计算操作运用SPSS软件进行,主要步骤<sup>[28-30]</sup>如下:

① 将评价参数的原始数据进行标准化处理;

② 将原始数据转为无量纲的数据后,求出协方差矩阵,计算特征方程中所有特征值,根据方差贡献率确定主成分数量,见表9,前3个成分的方差累积

达89.733%,足以代表数据的绝大部分信息,因此提取了3个主成分。

表9 观测值的特征根及方差贡献率

Table 9 Latent root and variance contributes of evaluation index

成分	初始特征值及方差贡献率		
	特征值( $\lambda$ )	方差贡献率/%	累积/%
1	5.39	53.94	53.94
2	2.44	24.40	78.35
3	1.14	11.39	89.73

③通过评价指标对各主成分的贡献率即主成分因子载荷进行计算,载荷值反映了主成分与评价指标的相关系数(表10),表达了评价指标对各个主成分的重要性,因此可以对主成分进行命名识别,写出各主成分表达式,从而计算出主成分得分(FAC\_1, FAC\_2, FAC\_3),即各指标与对应的载荷值的乘积之和。

表10 主成分载荷值

Table 10 Component matrix

评价指标	主成分		
	1	2	3
含气量	0.183	0.055	-0.012
资源丰度	0.157	0.054	-0.351
煤层厚度	0.142	0.242	-0.071
渗透率	0.118	0.271	-0.095
兰氏体积	0.077	-0.359	0.132
孔隙度	0.170	-0.095	0.223
$R_0$	0.169	0.072	0.101
煤层埋深	-0.085	0.246	0.247
顶底板岩性	0.135	-0.124	0.534
风氧化带深度	0.066	-0.230	-0.563

④以表9中的特征值作权数,即将每个特征值占特征值总和的比例作为各主成分相对权重,最后以主成分得分值与权重值相乘,得出综合评价值(FAC),并按进行排序,即可优选出有利区。

#### 4.4 评价结果与验证

主成分分析法评价结果,见表11。

主成分分析法优选出四工河—大黄山(V)为有利区段,前文所述方法结果一致,说明主成分分析法应用于煤层气选区评价是合理可靠的,从主成分分析法的评价过程来看,该方法与前述定量评价方法的区别如下:

①该方法以协方差矩阵的特征值、方差贡献率提取主成分,并对主成分因子载荷进行分析,得出主

成分得分系数并进行识别,最后以主成分特征根作权重,计算综合得分,完全避免了主观因素的影响,较之前述方法有较大进步。

表 11 主成分分析法评价结果

Table 11 Optimization results of favorable areas by principal component analysis

区段	FAC_1	FAC_2	FAC_3	FAC	综合得分排序
I	-1.02	-0.61	0.28	-0.74	7
II	-0.25	-0.50	-0.54	-0.35	5
III	0.28	-0.81	1.85	0.18	3
IV	1.22	-0.84	-1.28	0.35	2
V	1.37	1.44	0.47	1.28	1
VI	-1.07	1.40	-0.26	-0.30	4
VII	-0.54	-0.08	-0.53	-0.41	6

② 主成分分析法可以很好地将多个指标压缩成少数几个综合指标,在繁杂的煤层气评价指标中,避免了各评价指标信息的重叠,并且以主成分的特征根作权重,对每个主成分进行加权加总,使得评价结果合理可靠。

③ 该方法依旧存在难点,即根据得分系数进行主成分命名识别时,在评价过程中表现为得分系数相差不多但也有一定距离,使得决策者对各主成分命名识别起来略为不易。

准确可靠的评价方法关系到能否准确命中煤层气的开发有利区,准噶盆地南缘作为低煤阶煤层气勘探开发的典型地区,其煤层气开发已取得了一定成绩,可以以各区段煤层气勘探开发现状作为评价结果的验证:

在评价的最有利区段 V(四工河—大黄山)东部的白杨河矿区于 2013—2015 年间建成了新疆第 1 个煤层气先导性示范工程,形成了 50 余口的开发井网,日产量在 1 000 m<sup>3</sup> 以上,而在最有利区段西部,新疆的煤层气开发公司亦形成了较大规模的煤层气开发井网,并取得了最高单井日产量达 17 125 m<sup>3</sup>,创造了全国丛式、单层排采煤层气井产量最高纪录。

在评价的次有利区段 IV(乌鲁木齐河—四工河)的乌鲁木齐河东矿区已有生产井网的出现,单井日产量可达 1 300 m<sup>3</sup>,取得了一定成效,但仍旧低于最有利区段。

而其他区段的勘探开发效果相比于最有利区段与次有利区段则略差一筹:

在区段 II 中,玛纳斯一带(区段西部)与呼图壁一带(区段东部)于 2006—2016 年间施工了数口煤层气参数井,且玛纳斯地区辅有二维和三维地震解释;在区段 III 中的硫磺沟一带,自 2006 年以来,中石

油、加拿大特拉维斯特能源公司等先后在该地区施工数口生产试验井,勘探深度为 2000 多米,均有着良好的气显示,但并未形成开发井网,区段 II、III 目前的开发效果仍整体低于最有利与次有利区。

在区段 VII 区段中的塔拉德萨依勘查区中,已有煤层气生产试验井出现,其中 CS-1 井经压裂后,日产气可达 400 m<sup>3</sup>[31],而区段 I、VI 则未出现煤层气井的试探性开发,评价结果显示潜力较低。

因此,从准噶尔盆地南缘各区段的煤层气勘探开发效果来看,本次研究所优选的有利区结果是可靠的。

## 5 结 论

(1) 评价方法中的主观性判断反映的是评价指标公认程度的问题,也决定了评价的可靠性。定性评价中主地质参数易于获得且影响较大,因此定性评价往往能得出与其他方法相同的评价结果,所以,即便现在主流是以定量评价为主,但定性评价方法仍具有相当程度的活力。

(2) 无论从方法原理亦或是评价结果来看,将主成分分析法应用于煤层气的选区评价是可行的,其优点是避免了主观因素的影响,同时也避免了各个原始指标的信息重叠。

(3) 根据本次的煤层气评价方法探讨研究,提倡运用“初步定性判断—定量评价研究—定性评价验证”的思路来进行煤层气的选区评价,既使得主观性判断合理,又使得定量评价结果可靠。

## 参考文献(References):

- [1] 王一兵,田文广,李五忠,等.中国煤层气选区评价标准探讨[J].地质通报,2006,25(9-10):1104-1107.  
Wang Yibing, Tian Wenguang, Li Wuzhong, et al. Criteria for the evaluation of coalbed methane area selection in China[J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(9-10): 1104-1107.
- [2] 李五忠,田文广,陈刚,等.不同煤阶煤层气选区评价参数的研究与应用[J].天然气工业,2010,30(6):45-47,63,126.  
Li Wuzhong, Tian Wenguang, Chen Gang, et al. Research and application appraisal variables for the prioritizing of coalbed methane areas featured by different coal ranks[J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(6): 45-47, 63, 126.
- [3] 赵黔荣.六盘水煤层气选区评价参数及勘探开发模式[J].贵州地质,2000,17(4):226-235.  
Zhao Qianrong. Discussion on geological feature of coalbed gas and its mode of exploration and development in Liupanshui area[J]. Guizhou Geology, 2000, 17(4): 226-235.
- [4] 罗金辉,杨永国,秦勇,等.基于组合权重的煤层气有利区块模糊优选[J].煤炭学报,2012,37(2):242-246.  
Luo Jinhui, Yang Yongguo, Qin Yong, et al. Fuzzy optimization for



- CBM favorable targets based on combined weights [J]. *Journal of China Coal Society* 2012, 37(2): 242-246.
- [5] 侯海海, 邵龙义, 唐跃, 等. 基于多层次模糊数学的中国低煤阶煤层气选区评价标准——以吐哈盆地为例 [J]. *中国地质*, 2014, 41(3): 1002-1009.  
Hou Haihai, Shao Longyi, Tang Yue, et al. Criteria for selected areas evaluation of low rank CBM based on multi-layered fuzzy mathematics: A case study of Turpan-Hami Basin [J]. *Geology in China* 2014, 41(3): 1002-1009.
- [6] 叶建平, 秦勇, 林大杨. 中国煤层气资源 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1998: 186-195.
- [7] 霍凯中, 赵永军, 孙立冬. 灰色聚类分析在煤层气选区评价中的应用 [J]. *断块油气田* 2007, 14(2): 14-17.  
Huo Kaizhong, Zhao Yongjun, Sun Lidong. Application of grey cluster analysis in selective area evaluation of coalbed methane [J]. *Fault-Block Oil & Gas Field* 2007, 14(2): 14-17.
- [8] 池卫国. 煤层气评价选区新思路——地层能量评价法及其应用 [J]. *天然气工业*, 1998, 18(4): 26-29 A.  
Chi Weiguo. A thought on the evaluation and regional selection of coalbed gas—evaluation method of formation energy and its application [J]. *Natural Gas Industry*, 1998, 18(4): 26-29 A.
- [9] 陈茂谦, 师俊峰, 金娟. 突变评价法在煤层气评价和选区中的应用 [J]. *石油钻探技术* 2009, 37(2): 74-77.  
Chen Maoqian, Shi Junfeng, Jin Juan. Application of catastrophe theory in evaluation and selection of coal-bed gas reservoirs [J]. *Petroleum Drilling Techniques* 2009, 37(2): 74-77.
- [10] 白斌. 准噶尔南缘构造沉积演化及其控制下的基本油气地质条件 [D]. 西安: 西北大学, 2008: 55-90.  
Bai Bin. Tectono-sedimentary evolution and its controls on basic petroleum geological condition of south Margin of Junggar [D]. Xi'an: Northwest University 2008: 55-90.
- [11] 于福生, 李国志, 杨光达, 等. 准噶尔盆地南缘褶皱-冲断带变形特征及成因机制模拟 [J]. *大地构造与成矿学*, 2009, 33(3): 386-395.  
Yu Fusheng, Li Guozhi, Yang Guangda, et al. Deformation feature and genesis simulation of fold-and-thrust belts in the southern margin Junggar Basin [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2009, 33(3): 386-395.
- [12] 王先超. 新疆五宫煤矿瓦斯赋存的构造控制 [J]. *山东国土资源* 2015, 31(6): 16-19.  
Wang Xianchao. Tectonic control on gas occurrence of Wugong coal mine in Xinjiang uygur autonomous region [J]. *Shandong Land and Resources* 2015, 31(6): 16-19.
- [13] 陈书平, 漆家福, 于福生, 等. 准噶尔盆地南缘构造变形特征及其主控因素 [J]. *地质学报* 2007, 81(2): 151-157.  
Chen Shuping, Qi Jiafu, Yu Fusheng, et al. Deformation characteristics in the southern margin of the Junggar Basin and their controlling factors [J]. *Acta Geological Sinica* 2007, 81(2): 151-157.
- [14] 祁斌. 阜康矿区煤层气开发地质特征与钻井选型 [J]. *中国煤层气* 2015, 12(3): 23-25.  
Qi Bin. Geological characteristics and selection of drilling wells for CBM development in Fukang mining area [J]. *China Coalbed Methane* 2015, 12(3): 23-25.
- [15] 张国庆. 淮南煤田煤层气资源开发前景 [J]. *中国煤田地质*, 2001, 13(2): 35-36, 121.  
Zhang Guoqing. Exploiting prospect of coal bed gas resources in Zhunnan Coal-field [J]. *Coal Geology of China* 2001, 13(2): 35-36, 121.
- [16] 郭继刚, 王绪龙, 庞雄奇, 等. 准噶尔盆地南缘中下侏罗统泥岩评价及排烃特征 [J]. *中国矿业大学学报* 2013, 42(4): 595-605.  
Guo Jigang, Wang Xulong, Pang Xiongqi, et al. Evaluation and hydrocarbon expulsion characteristics of the Middle-Lower Jurassic source rock in the southern margin of Junggar basin [J]. *Journal of China University of Mining & Technology* 2013, 42(4): 595-605.
- [17] 吕跃进, 陈万翠, 钟磊. 层次分析法标度研究的若干问题 [J]. *琼州学院学报* 2013, 20(5): 1-6.  
Lü Yuejin, Chen Wancui, Zhong Lei. A survey on the scale of analytic hierarchy process [J]. *Journal of Hainan Tropical Ocean University* 2013, 20(5): 1-6.
- [18] 韩俊, 邵龙义, 肖建新, 等. 多层次模糊数学在煤层气开发潜力评价中的应用 [J]. *煤田地质与勘探* 2008, 36(3): 32-36.  
Han Jun, Shao Longyi, Xiao Jianxin, et al. Application of multi-layered fuzzy mathematics in assessment of exploration potential of coalbed methane resources [J]. *Coal Geology & Exploration*, 2008, 36(3): 32-36.
- [19] 刘刚, 陈新军, 柳保军, 等. 灰色聚类分析在石油及天然气地质研究中的应用 [J]. *新疆石油学院学报* 2003, 15(1): 26-30.  
Liu Gang, Chen Xinjun, Liu Baojun, et al. Application of grey clustering analysis in the geological study of petroleum and natural gas [J]. *Journal of Xinjiang Petroleum Institute* 2003, 15(1): 26-30.
- [20] 谭河清, 彭存仓, 武国华, 等. 灰色聚类分析在孤东地区油气勘探中的应用 [J]. *石油与天然气地质* 2003, 24(1): 97-101.  
Tan Heqing, Peng Cuncang, Wu Guohua, et al. Gray clustering analysis and its application to petroleum exploration in Gudong area [J]. *Oil & Gas Geology* 2003, 24(1): 97-101.
- [21] 冯利华. 灾害等级的灰色聚类分析 [J]. *自然灾害学报*, 1997, 6(1): 16-20.  
Feng Lihua. Gray clustering analysis of disaster grade [J]. *Journal of Natural Disasters*, 1997, 6(1): 16-20.
- [22] 王晓波, 丁陈建. 灰色聚类分析在煤矿瓦斯分区中的应用 [J]. *煤田地质与勘探*, 1998, 26(5): 26-29.  
Wang Xiaobo, Ding Chenjian. The application of the gray cluster analysis in the mine gas division [J]. *Coal Geology & Exploration*, 1998, 26(5): 26-29.
- [23] 凌复华. 突变理论及其应用 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1987: 1-5.
- [24] 李绍飞, 孙书洪, 王向余. 突变理论在海河流域地下水环境风险评价中的应用 [J]. *水利学报* 2007, 38(11): 1312-1317.  
Li Shaofei, Sun Shuhong, Wang Xiangyu. Application of catastrophe theory to risk assessment of groundwater environment for river basin [J]. *Journal of Hydraulic Engineering* 2007, 38(11): 1312-1317.
- [25] 谷新建, 柴红保. 应用突变评价理论选择采矿方法 [J]. *中国安全科学学报* 2004, 14(7): 16-18.  
Gu Jianxin, Chai Hongbao. Selection of mining method by catastrophe



- phe evaluation theory [J]. China Safety Science Journal ,2004 , 14( 7) : 16-18.
- [26] 汪东华.多元统计分析与 SPSS 应用[M].上海:华东理工大学出版社,2010:187-205.
- [27] 赵喜林,李德宜,龚谊承.应用数理统计与 SPSS 操作[M].武汉:武汉大学出版社,2009:225-234.
- [28] 万金保,曾海燕,朱邦辉.主成分分析法在乐安河水质评价中的应用[J].中国给水排水,2009,25(16):104-108.  
Wan Jinbao,Zeng Haiyan,Zhu Banghui. Application of principal component analysis in evaluation of water quality of Lean River [J].China Water & Wastewater,2009,25(16):104-108.
- [29] 高吉喜,段飞舟,乔宝.主成分分析在农田土壤环境评价中的应用[J].地理研究,2006,25(5):836-842.  
Gao Jixi,Duan Feizhou,Xiang Bao. The application of principal component analysis to agriculture soil contamination assessment [J].Geographical Research,2006,25(5):836-842.
- [30] 强平,曾伟,陈景山.利用主成分分析对储层进行分类和评价[J].西南石油学院学报,1997,19(1):26-31.  
Qiang Ping,Zeng Wei,Chen Jingshan. Reservoir classification and evaluation by the method of Chief Component Analysis [J].Journal of Southwestern Petroleum Institute,1997,19(1):26-31.
- [31] 张伟,周梓欣.塔拉德萨依勘查区 CS-1 井煤层气储层特征分析[J].中国煤层气,2016,13(3):10-12,40.  
Zhang Wei,Zhou Zixin. Analysis of the characteristics of coal-bed methane reservoir of CS-1 well in Taladesayi exploration area [J].China Coalbed Methane,2016,13(3):10-12,40.