

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(in Chinese with English abstract).

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

侯海海¹ 邵龙义¹ 唐跃² 罗晓玲³ 王学天¹ 刘双¹

(1. 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院, 北京 100083;
2. 中国地质调查局油气资源调查中心, 北京 100029; 3. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037)

摘要:中国低煤阶含煤盆地煤层厚度大, 储层物性好, 煤层气资源丰富, 而对于低煤阶煤层气有利区优选评价目前还没有成型的模型, 本文以占全国低煤阶煤层气总资源量 50% 的吐哈盆地为例, 运用多层次模糊数学的思路, 对资源因素、煤储层因素、保存因素以及次一级影响因素共计 19 项参数, 进行关键要素定量排序, 针对吐哈盆地特有的成藏地质条件建立了煤层气选区评价标准, 通过“赋值加权求和定量排序”的方法, 探讨了低煤阶煤层气评价标准及主控因素对煤层气赋存的影响。研究表明: 吐哈盆地二级构造单元沙尔湖浅凹陷、大南湖浅凹陷和哈密凹陷是适合煤层气勘探开发的有利目标区。

关键词:吐哈盆地; 模糊数学; 层次分析; 低煤阶; 煤层气; 选区评价

中图分类号: P618.1; TE12 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2014)03-1002-08

近年来, 随着国内外煤层气勘探开发理论和工程实践的持续进展, 其选区评价标准及有利区优选原理和方法也在不断跟进, 即由传统半定量性质的“综合评价标准”方法体系向选区定量化这一必然趋势发展。

在叶建平等^[1]提出的选区评价体系中, 根据煤层气地质条件的模糊性和确定性两条主线, 采用地质研究(定性)→定量排序(定量)→地质分析(再定性)的辩证思路进行煤层气选区评价及有利区优选。在进行优选目标定量排序时, 多采用模糊数学的方法进行有利区层次分析排序^[2-4]。

煤层气选区评价地质要素包括煤储层因素、资源因素和保存因素, 它们又包含众多次一级影响要

素, 这些要素之间相互影响, 同时也存在着相互联系, 因此分别从成煤环境、煤化程度、构造断裂作用和水文地质条件出发, 探讨了次一级地质要素之间的关系。由于并非所有要素在选区评价中均具有同等作用, 而且考虑到煤层气后期开采工艺条件, 最终确定了以下 3 方面关键要素, 即资源丰度及其分布特征、地质构造及对煤层气赋存的影响和沉积环境及对煤储层渗透率的影响(图 1)。

基于前人的研究成果, 本文在建立煤层气选区评价标准时, 首先采用多层次模糊数学的方法进行地质因素重要性排序分析, 然后对影响吐哈盆地煤层气成藏主控因素进行定量排序和分析, 最终利用其中 6 个关键要素对该地区进行煤层气有利区优选。

收稿日期: 2013-11-29; 改回日期: 2014-01-25

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05033-002)及中国地质调查局项目(1212011220794)联合资助。

作者简介: 侯海海, 男, 1986 年生, 博士生, 主要研究方向为沉积学和煤层气地质理论及应用; Email: 379730939@qq.com。

通讯作者: 邵龙义, 男, 1964 年生, 教授, 博士生导师, 从事煤田地质学研究; E-mail: shaol@cumtb.edu.cn。

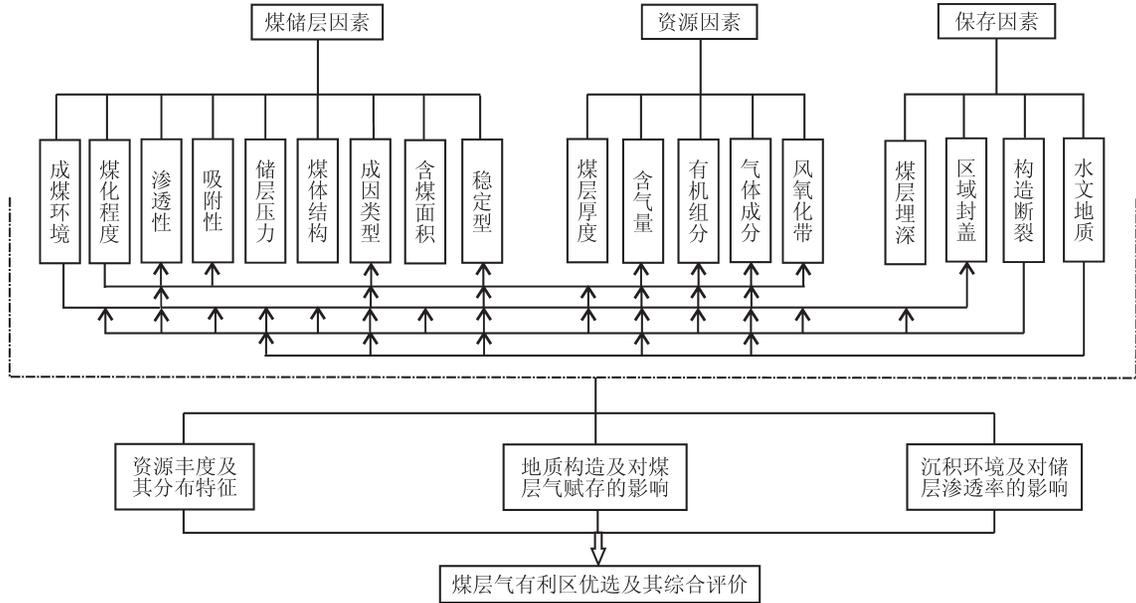


图1 煤层气选区评价地质要素层次分析及相互关系

Fig.1 Analytic hierarchy and relationship of geological factors in coalbed methane evaluation

1 吐哈盆地煤层气地质条件概述

吐哈盆地位于新疆维吾尔自治区东部,呈东西向条带状展布,周围被博格达山、哈尔力克山和觉罗塔格山所环绕,构造单元可划分为吐鲁番坳陷、了墩隆起、南部隆起和哈密坳陷等4个一级构造单元。其中,吐鲁番坳陷包括柯尔碱凹陷、布尔加凸起、台北凹陷、托克逊凹陷、艾丁湖斜坡等5个二级构造单元,南部隆起包括沙尔湖浅凹陷、沙尔湖隆起、大南湖浅凹陷、骆驼圈子浅凹陷、梧桐窝子浅凹陷、野马泉凹陷等6个二级构造单元,哈密坳陷包括哈密凹陷、黄田凸起2个二级构造单元(图2)。

吐哈盆地含煤地层为侏罗系水西沟群,以河流

三角洲—滨浅湖沉积体系为主,其中八道湾组与西山窑组为吐哈盆地重要的含煤地层。八道湾组总体含多个煤层,共2~38层,一般4~24层,平均煤层厚度4~67 m,以薄—中厚层煤层为主,局部发育厚煤层,主要分布于托克逊凹陷与台北凹陷,厚度一般30~90 m;西山窑组含煤性优于八道湾组,煤层分布较稳定,西山窑组总体含煤2~60层,一般5~25层,多为中—厚煤层,在托克逊凹陷,西山窑组聚煤强度远小于八道湾组,而在哈密凹陷,西山窑组聚煤强度则大于八道湾组^[6-7]。

吐哈盆地除艾维尔沟煤产地外,其余地区多为褐煤、长焰煤和气煤,成煤物质基础良好,具有丰富的煤层气资源,据新一轮全国煤层气资源评价预测^[8],吐哈

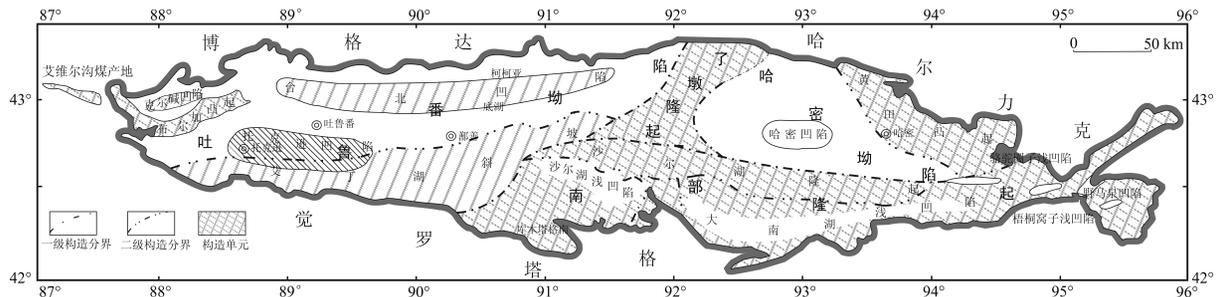


图2 吐哈盆地构造区划(据文献[6]修改)

Fig.2 Structural partition result of Turpan-Hami Basin (modified after reference [6])

盆地煤层气地质资源量为 $21198.34 \times 10^8 \text{ m}^3$,资源丰度为 $2.26 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,具有良好的勘探开发前景。

2 层次分析法评价模型

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process) 简称 AHP, 是当前应用最广泛的多属性评价方法之一, 具有系统性、综合性与简便性的特点, 由美国运筹学家 T.L. Saaty^[9] 于 20 世纪 70 年代初期提出, 其特点在于评价者可以将复杂问题分解为若干层次和若干要素, 并在同一层次要素之间进行计算、比较和判断, 可以得出不同方案的重要性程度, 从而为选择最优方案提供决策依据。该评价方法于 80 年代初期引入到中国并进行了全面推广, 在能源发展及其对策、战略规划、经济分析和预测、装备的系统评价、人才规划和评价、产业结构的调整等方面得到广泛的应用^[10]。

该方法基本思想为: 首先, 根据需解决问题将系统分解为若干组成要素, 将这些要素按支配关系分组, 建立模拟系统功能或特征的递阶层次结构模型; 其次, 按一定的比例标度, 对同一层次各要素关于上一层次中某一准则的重要性进行两两比较, 构造两两比较判断矩阵, 由判断矩阵计算被比较要素对于其准则的相对权重, 如判断矩阵 $A=(a_{ij})$, 其中 $a_{ij} > 0, a_{ij}=1/a_{ji}, a_{ii}$ 或 $a_{ij}=1 (i, j=1, 2, \dots, n)$, 而 a_{ij} 代表要素 U_i 和 U_j 相对于上一层要素重要性的比例标度; 最后, 计算各层次元素对于目标系统的综合权重并得出排序结果。层次分析法关键在于通过两两比较来构造判断矩阵, 其中可用多种方法求出排序权重, 如几何平均法、特征向量法和最小二乘法等。

在对比例标度进行赋值时, 有 1~9 标度、9/9~9/1 标度, 10/10~18/2 标度^[11] 和 04 标度^[4] 等, 本文则采用 0~4 标度来进行评价, 即极重要 3~4, 很重要 2~3, 稍微重要 1~2, 两者相当为 1, 稍微不重要 0.5~1, 不重要 0.5~1/3, 极不重要小于等于 1/3, 最后则采用特征向量法对判断矩阵求得排序权重。

3 煤层气选区关键要素定量排序

采用层次分析法对吐哈盆地煤层气选区中的关键要素进行定量排序, 定性分析与定量分析相

结合, 由此建立煤层气勘探开发潜力的评价决策系统。

首先, 建立评价问题的递阶层次结构。考虑到煤层气在生成、运移、富集等成藏过程中的诸多影响因素以及各因素间的相互关系, 总结归类并划分出煤储层因素、资源因素和保存因素 3 个评价指标。每个评价指标对于煤层气开发的影响又由多个次级的参数决定, 根据这些参数的特征将其归入 3 个评价指标 (表 1)。

其次, 在遵循客观性和评价主体的特殊性两大原则的基础上, 即吐哈盆地主要为低煤阶煤, 含气量低、孔隙度高、煤层厚度大且水文地质条件对该地区煤层气的运移和保存影响较大等特点, 建立同指标参数间两两比较判断矩阵。

然后, 利用 Matlab 软件计算判别矩阵的最大特征根 λ_{\max} 及其对应的特征向量, 得到各指标的权重 (表 2)。为保证计算结果的可信度和相对准确性, 避免一些不合理的判断矩阵可能引起的失误, 故对判断矩阵进行一致性检验。本次采用随机一致性比率 $C.R.$ 来判别矩阵的一致性, 其为一致性指标 $C.I.$ 与同阶平均随机一致性指标 $R.I.$ 的比值。 $C.I. = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{n - 1}$, $C.R. = \frac{C.I.}{R.I.}$, n 为矩阵的阶数, $R.I.$ 的值参见表 3。如 $C.R. < 10\%$, 则认为判别矩阵具有可接受的 inconsistency, 如 $C.R. > 10\%$, 则需要重新赋值和修正计算, 直至一致性通过为止。

最后, 利用指标层各指标的重要性系数与准则层对应的重要性系数加权综合, 得到指标层相对于目标层的权重 (表 4)。此外, 还需要进行总的一致

表 1 煤层气勘探开发选区指标体系

Table 1 Parameter system of CBM exploitation assessment

评价指标	煤层气勘探开发潜力 A		
	资源因素 B ₁	储层因素 B ₂	保存因素 B ₃
评价参数	含气量 C ₁₁	原始渗透率 C ₂₁	顶底板岩性 C ₃₁
	煤岩组分 C ₁₂	含气饱和度 C ₂₂	水文地质 C ₃₂
	风氧化带深度 C ₁₃	煤储层压力梯度 C ₂₃	构造条件 C ₃₃
	煤层厚度 C ₁₄	煤体结构 C ₂₄	埋藏深度 C ₃₄
	煤变质程度 C ₁₅	成因类型 C ₂₅	
	资源丰度 C ₁₆	稳定性 C ₂₆	

表2 各指标层相对于目标层的重要性系数
Table 2 The importance of each index layer relative to target layer

		评价指标及矩阵						特征向量	最大特征根 (λ_{max})	随机一致性比率 (C.R.) /%
A-B	A	B ₁	B ₂	B ₃				W _B	3.0547	5.26
	B ₁	1.00	1.20	1.50				0.39		
	B ₂	0.83	1.00	2.50				0.41		
	B ₃	0.67	0.40	1.00				0.20		
B ₁ -C ₁	B ₁	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₁₄	C ₁₅	C ₁₆	W _B	6.0399	0.63
	C ₁₁	1.00	1.39	3.03	2.22	2.78	1.11	0.27		
	C ₁₂	0.72	1.00	2.16	1.60	2.00	0.80	0.19		
	C ₁₃	0.33	0.46	1.00	0.74	0.93	0.37	0.09		
	C ₁₄	0.45	0.63	1.35	1.00	1.25	0.50	0.12		
	C ₁₅	0.36	0.50	1.08	0.80	1.00	0.40	0.09		
	C ₁₆	0.90	1.25	2.70	2.00	2.50	1.00	0.24		
B ₂ -C ₂	B ₂	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	C ₂₄	C ₂₅	C ₂₆	W _B	6.0004	0.006
	C ₂₁	1.00	1.07	1.29	1.43	0.71	0.93	0.17		
	C ₂₂	0.93	1.00	1.20	1.33	0.67	0.87	0.16		
	C ₂₃	0.78	0.83	1.00	1.11	0.56	0.72	0.13		
	C ₂₄	0.70	0.75	0.90	1.00	0.50	0.65	0.12		
	C ₂₅	1.40	1.50	1.80	2.00	1.00	1.30	0.24		
	C ₂₆	1.08	1.15	1.38	1.54	0.77	1.00	0.18		
B ₃ -C ₃	B ₃	C ₃₁	C ₃₂	C ₃₃	C ₃₄			W _B	4.0012	0.05
	C ₃₁	1.00	0.60	0.50	2.00			0.19		
	C ₃₂	1.67	1.00	0.70	3.00			0.30		
	C ₃₃	2.00	1.43	1.00	4.00			0.41		
	C ₃₄	0.50	0.33	0.25	1.00			0.10		

性检验,这一步是由上而下逐层进行的。最终计算结果得出最低层次元素,即决策层方案的优先顺序的相对权重和整个递阶层次模型的判断一致性检验, $C.R._k = C.R._{k-1} + \frac{C.I._k}{R.I._k}$,当 $C.R._k < 10\%$ 时,认为递阶层次在第 k 层水平上整个判断有满意的一致性,由表2可知本次评价总的一致性检验达到要求。

4 煤层气选区评价标准建立

中国低煤阶煤层气选区标准及资源评价目前尚无成型的体系,而西北地区作为中国煤层气勘探开发的热点和难点地区之一,选区评价研究历来受到重视,因为它不仅是低煤阶煤层气勘探的基础,同时也是煤层气开发的关键。本文针对吐哈盆地

表3 平均随机一致性指标 R.I. 取值
Table 3 The values of the average stochastic consistency index R.I.

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

煤层气成藏地质条件和主控因素,从资源因素、煤储层因素和保存因素对该盆地进行了综合研究,并建立了煤层气选区评价标准,具体选区评价参数及取值如表5所示。

5 煤层气有利区优选

一般认为^[12-16],在低煤阶煤层气成藏关键因素中,同中高煤阶一样,构造因素是最为直接的控气因素;成煤环境主要影响煤储集层的生气潜力、储集性能及渗透性;水文地质条件对低煤阶煤层气的生成(包括次生生物气)、运移、富集均具有一定的控制作用。因此,三者有利匹配则有利于低煤阶煤层气的成藏和勘探开发(图3)。

在实际操作中,考虑到不能够将所有评价参数统计齐全,结合上述低煤阶煤层气成藏关键要素,本次选区评价将影响吐哈盆地煤层气富集要素归纳为6个关键参数,即资源丰度、煤层厚度、埋深、成因类型、原始渗透率和水文地质条件。

通过多层次分析法对煤层气选区关键要素进行定量排序并结合对吐哈盆地建立的煤层气选区

评价标准,对该含煤盆地煤层气有利区优选量化进行研究。结合表4和表5,对吐哈盆地艾维尔沟煤产地、托克逊凹陷、台北凹陷、艾丁湖斜坡、沙尔湖浅凹陷、哈密凹陷和大南湖浅凹陷等二级构造单元,分别进行上述6个关键要素进行加权求和,结果如表6所示。根据赋值加权求和结果可知,吐哈盆地适合煤层气进行勘探开发的重点区为沙尔湖浅凹陷、大南湖浅凹陷和哈密凹陷。

6 结论及建议

(1)在前人研究的基础上,从成煤环境、煤化程度、构造断裂作用和水文地质条件出发,将各类影响煤层气选区评价的地质参数串联起来,最终归纳为资源丰度及其分布特征、地质构造及对煤层气赋存的影响和沉积环境及对煤储层渗透率的影响等3个方面,以此探讨中国煤层气选区评价思路及递进层次结构模型。

(2)通过运用多层次模糊数学的思想,对吐哈盆地煤层气各影响因素进行了定量排序,并结合已建立的该盆地煤层气选区评价标准,将赋值加权求和的方法应用到了该盆地煤层气有利区优选,结果表明:吐哈盆地煤层气有利勘探开发区为沙尔湖浅

表4 各层次系数总排序

Table 4 Total sequence of each influence factor

评价指标	权重	评价参数	权重
资源因素 B ₁	0.39	含气量 C ₁₁	0.11
		煤岩组分 C ₁₂	0.07
		风氧化带深度 C ₁₃	0.04
		煤层厚度 C ₁₄	0.05
		煤变质程度 C ₁₅	0.03
		资源丰度 C ₁₆	0.09
煤储层因素 B ₂	0.41	原始渗透率 C ₂₁	0.07
		含气饱和度 C ₂₂	0.07
		煤储层压力梯度 C ₂₃	0.05
		煤体结构 C ₂₄	0.05
		成因类型 C ₂₅	0.10
		稳定性 C ₂₆	0.07
保存因素 B ₃	0.20	顶底板岩性 C ₃₁	0.04
		水文地质 C ₃₂	0.06
		构造条件 C ₃₃	0.08
		埋藏深度 C ₃₄	0.02

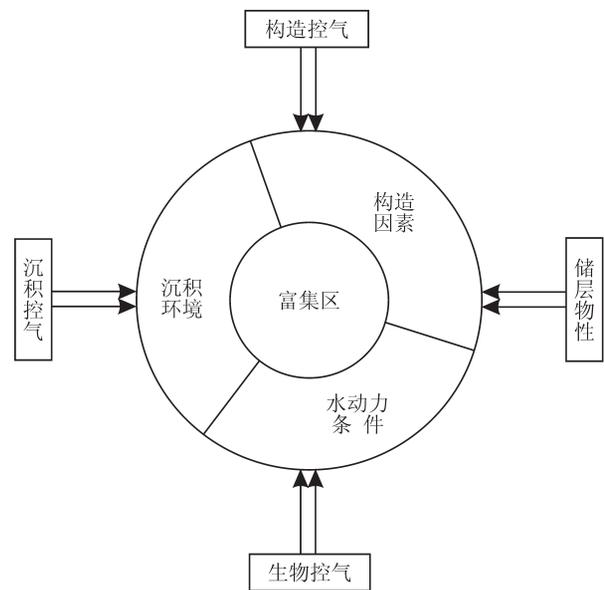


图3 低煤阶煤层气成藏富集区影响因素
Fig.3 The influence factors of reservoir area of low-rank coal methane

表5 煤层气选区评价参数一览

Table 5 Parameter list of CBM selection evaluation

参数名称	参数权重	参数含义	评价标准	赋值	
资源因素	含气量	气含量大小/(m ³ t ⁻¹)	≥4	10~7	
			4~2	7~3	
			≤2	3~0	
	资源丰度	0.09	单位面积的煤层气资源量 / (10 ⁸ m ³ km ⁻²)	≥3	10~7
				1~3	7~3
				≤1	3~0
	显微煤岩组分	0.07	镜质组含量/%	≥80	10~7
				50~80	7~3
	煤层厚度	0.05	煤层总厚度/m	≤50	3~0
≥150				10~7	
煤变质程度 (R ₀)	0.03	表征煤的演化程度/%	50~150	7~3	
			≤50	3~0	
风氧化带深度	0.04	与气体成分和煤变质程度有关	≥0.8	10~7	
			0.4~0.8	7~3	
			≤0.4	3~0	
成因类型	0.1	是否有次生生物气补给	≤300 m	10~7	
			300~600 m	7~3	
			≥600 m	3~0	
储层因素	稳定型	0.07	煤层的连续性以及煤层倾角大小	有	10
				无	5
	原始渗透率	0.07	渗透率大小 煤层裂隙 煤层透气性	≤35°	10~7
				35°~45°	7~3
				≥45°	3~0
	含气饱和度	0.07	实际含气量与理论含气量的比值	≥10 md	10~7
				10~3 md	7~3
				≤3 md	3~0
	储层压力梯度	0.05	表征煤层裂缝中的流体压力变化快慢	≥60%	10~7
60~50%				7~3	
≤50%				3~0	
煤体结构	0.05	后期构造运动对煤体产生的塑、韧性变化	≤9.3 kpa/m	3~0	
			9.30~10.30 kpa/m	7~3	
			≥10.3 kpa/m	10~7	
构造复杂程度	0.08	断层及褶皱的发育程度和规模大小	原生结构煤	10~7	
			碎裂、碎粒煤	7~3	
			糜棱煤	3~0	
水文地质条件	0.06	水动力强弱和排水量大小	断层和褶皱稀少	10~7	
			断层和褶皱稀少—较多	7~3	
			断层和褶皱比较发育	3~0	
煤层顶底板岩性	0.04	岩性的致密性对煤层气保存程度的影响	水动力弱径流, 排水量较小	10~7	
			中低矿化度, 水动力弱径流-径流, 排水量较大	7~3	
			高矿化度, 水动力径流, 排水量大	3~0	
煤层埋深	0.02	埋深太浅甲烷逸散严重, 太深则渗透率低	泥岩	10~7	
			炭质泥岩或砂质泥岩	7~3	
			砂岩或灰岩	3~0	
保存因素	0.06	埋深太浅甲烷逸散严重, 太深则渗透率低	1000~1500 m	7~3	
			300~1000 m	10~7	
			≤300 m	3~0	

表6 吐哈盆地煤层气有利区优选结果

Table 6 The optimization result of CBM favorable areas in Turpan-Hami Basin

构造单元	资源丰度 ($10^8\text{m}^3/\text{km}^2$)	煤层厚度 /m	埋深/m	成因类型 (有无次生物气)	原始渗透率 /md	水文地质条件	赋值加权求和
艾维尔沟煤产地	1.09 (4)	24.4 (3)	382.5 (3)	暂无 (5)	0.16 (1)	滞留区 (6)	1.5
托克逊凹陷	1.98 (4)	25 (3)	2000 (3)	暂无 (5)	0.1 (1)	径流区 (3)	1.32
台北凹陷	2.17 (6)	15 (2)	2500 (2)	暂无 (5)	0.1 (1)	承压区 (4)	1.49
艾丁湖斜坡	0.31 (1)	31.89 (3)	1500 (3)	暂无 (5)	0.067 (1)	排泄区 (2)	0.99
沙尔湖浅凹陷	0.93 (3)	105.3 (6)	924 (7)	有 (10)	78.7 (10)	径流区 (3)	2.59
哈密凹陷	0.32 (1)	20 (2)	950 (7)	暂无 (5)	9.47 (7)	承压区 (4)	1.56
大南湖浅凹陷	0.64 (2)	64.1 (4)	850 (8)	有 (10)	5 (5)	径流区 (3)	2.07

注:括号里面数字为赋值分数。

凹陷、大南湖浅凹陷和哈密凹陷。

(3)在对该低煤阶煤层气评价标准进行推广使用时,所列上述19项参数不必全部使用,针对不同盆地的煤层气成藏地质条件适当调整;在对吐哈盆地有利区内进行勘探开发时,需要对有利区进一步细化,对已获取的参数进行不断的修正。

参考文献(References):

- [1] 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.
Ye Jianping, Qin Yong, Lin Dayang. Coalbed Methane Resources of China[M]. Xuzhou: China University of Mining & Technology Press, 1998: 186-195(in Chinese with English abstract).
- [2] 胡宝林, 杨起, 刘大锰, 等. 鄂尔多斯盆地煤层气资源多层次模糊综合评价中的应用[J]. 中国煤田地质, 2003, 15(2): 16-18.
Hu Baolin, Yang Qi, Liu Dameng, et al. Multilayer fuzzy synthetical appraisalment for coalbed gas resources in Ordos basin[J]. Coal Geology of China, 2003, 15(2): 16-18(in Chinese with English abstract).
- [3] 唐书恒, 岳巍, 崔崇海, 等. 用模糊数学方法评价煤层气的可采性[J]. 地质论评, 2000, 46(增刊): 284-287.
Tang Shuheng, Yue Wei, Cui Chonghai, et al. Assessment of coalbed methane workability through fuzzy mathematics[J]. Geological Review, 2000, 46(Supp.): 284-287(in Chinese with English abstract).
- [4] 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(in Chinese with English abstract).
- [5] 王世新. 新疆吐哈盆地南缘构造演化地质特征及聚-成煤规

律[D]. 吉林大学, 2013: 12-16.

Wang Shixin. Geological and Tectonic Evolution Features and Coal Accumulation-Formating Rule in the Southern Margin of Turpan-Hami Basin, Xinjiang[D]. Jilin University, 2013: 12-16(in Chinese with English abstract).

- [6] 张鹏飞, 金奎励, 吴涛, 等. 吐哈盆地含煤沉积与煤成油[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1997.
Zhang Pengfei, Jin Kuilin, Wu Tao, et al. Coal-bearing Deposition and Coal Related Oil of Turpan-Hami Basin[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1997(in Chinese with English abstract).
- [7] 刘洪林, 王红岩, 赵群, 等. 吐哈盆地低煤阶煤层气地质特征及成藏控制因素研究[J]. 地质学报, 2010, 84(1): 133-136.
Liu Honglin, Wang Hongyan, Zhao Qun, et al. Geological characteristics of coalbed methane and controlling factors of accumulation in the Tuha Coal Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(1): 133-136(in Chinese with English abstract).
- [8] 国土资源部油气资源战略研究中心, 等. 全国煤层气资源评价[M]. 北京: 中国大地出版社, 2009: 71-83.
Strategic Research Center of Oil & Gas Resources of National Ministry of Land and Resources, et al. Resources Evaluation of Coalbed Methane in China[M]. Beijing: China Land Press, 2009: 71-83(in Chinese).
- [9] Saaty T L. Modeling unstructured decision problems—the theory of analytical hierarchies[J]. Math Comput. Simulation, 1978, 20: 147-158.
- [10] 郜洪强, 樊延恩. 层次分析法在垃圾填埋场适宜性评价中的应用[J]. 中国地质, 2009, 36(6): 1433-1441.
Gao Hongqiang, Fan Yanen. The application of the analytic hierarchy process to the assessment of the solid waste landfill suitability[J]. Geology in China, 2009, 36(6): 1433-1441(in Chinese with English abstract).
- [11] 骆正清, 杨善林. 层次分析法中几种标度的比较[J]. 系统工程理论与实践, 2004, (9): 51-53.

- Luo Zhengqing, Yang Shanlin. Comparative study on several scales in AHP[J]. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 2004, (9): 51–53(in Chinese with English abstract).
- [12] 宋岩, 张新民, 柳少波, 等. 中国煤层气地质与开发基础理论[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 384–389.
- Song Yan, Zhang Xinmin, Liu Shaobo, et al. Geological Method and Development Theory of Methane in China[M]. Beijing: Science Press, 2012: 384–389(in Chinese).
- [13] 李贵中, 孙粉锦, 王勃, 等. 吐哈盆地低煤阶煤层气成藏条件及勘探思路建议[C]//2010年煤层气学术研讨会论文集—中国煤层气技术进展. 北京: 石油工业出版社, 2011: 219–224.
- Li Guizhong, Sun Fenjin, Wang Bo et al. Accumulation condition and exploring direction of Low Rank Coalbed Methane in Turpan–Hami Basin[C]//The Annual Workshop of Coalbed Methane in 2011—Advance of Coalbed Methane Technology in China. Beijing: Petroleum Industry Press, 2010: 219–224(in Chinese).
- [14] 胡国艺, 关辉, 蒋登文, 等. 山西沁水煤层气田煤层气成藏条件分析[J]. *中国地质*, 2004, 31(2): 213–216.
- Hu Guoyi, Guan hui, Jiang Dengwen, et al. Analysis of conditions for the formation of a coal methane accumulation in the Qinshui coal methane field[J]. *Geology in China*, 2004, 31(2): 213–216(in Chinese with English abstract).
- [15] 杨起, 刘大锰, 黄文辉, 等. 中国西北煤层气地质与资源综合评价[M]. 北京: 地质出版社, 2005.
- Yang Qi, Liu Dameng, Huang Wenhui, et al. Synthetical Appraisalment on Geology and Resource of CBM, Northwest China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005(in Chinese).
- [16] 肖晖, 任战利, 崔军平. 沁水盆地石炭—二叠系煤层气成藏期研究[J]. *中国地质*, 2007, 34(3): 490–496.
- Xiao Hui, Ren Zhanli, Cui Junping. Carboniferous– Permian coalbed methane– accumulating stages in the Qinshui basin Shanxi[J]. *Geology in China*, 2007, 34(3): 490–496(in Chinese with English abstract).

Criteria for selected areas evaluation of low rank CBM based on multi-layered fuzzy mathematics: A case study of Turpan–Hami Basin

HOU Hai-hai¹, SHAO Long-yi¹, TANG Yue², LUO Xiao-ling³, WANG Xue-tian¹, LIU Shuang¹

(1. School of Earth Sciences and Surveying Engineering, CUMTB, Beijing 100083, China;

2. Center of Oil & Gas Resource Survey, CGS, Beijing 100029, China;

3. Development Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037, China)

Abstract: Thick coal seams, which exist in many basins of the low rank CBM in China, have good reservoir property and abundant CBM resources. However, there is no proper model for evaluation of low rank CBM at present. The methods and theories of the optimal selection of favorable areas of low rank CBM are still in the process of improvement. Taking Turpan–Hami Basin which occupies 50% of the total resources of low rank CBM in China as an example, the authors applied the multi-layered fuzzy mathematic model to quantitative sequencing of 19 key factors, such as resource factors, coal reservoir factors, and preserve factors. According to the special geological conditions of Turpan–Hami Basin and the method of assignment, weighting, summation and quantitative sequencing, the evaluation standards of the regional selection of CBM were set up for exploring evaluation standards of low rank CBM and main factors influencing methane occurrence in China. The results obtained by the authors show that the next key areas of exploration and development are Hami depression, Sha'erhu superficial depression and Da'nanhua superficial depression.

Key words: Turpan–Hami Basin; fuzzy mathematics; analytic hierarchy; low rank; coal–bed methane; selection evaluation

About the first author: HOU Hai-hai, male, born in 1986, doctor candidate, mainly engages in the study of sedimentology and CBM geology; E-mail: 379730939@qq.com.

About the corresponding author: SHAO Long-yi, male, born in 1964, professor, supervisor of doctor candidates, engages in the study of coal geology. E-mail: shaol@cumtb.edu.cn.