

基于多层次模糊分析法的黔北煤田煤层气有利区优选

郭志军^{1,2}, 吴章利^{1,2}

(1. 自然资源部复杂构造区非常规天然气评价与开发重点实验室, 贵州 贵阳 550008;
2. 贵州省油气勘查开发工程研究院, 贵州 贵阳 550008)

[摘要] 为了对黔北煤田煤层气矿权空白区块进行有利区优选, 以区内8个煤层气矿权空白区块为研究对象, 选取构造复杂程度、水文地质条件、埋深、主采煤层厚度、>2 m煤层数、煤级、地质资源量、地质资源丰度、含气量、渗透率、储层压力梯度、含气饱和度、构造煤发育程度、勘察程度、可采系数等15个评价指标, 采用多层次模糊分析法, 构建了一个3级评价参数体系及煤层气有利区块多层次模糊数学评价模型。通过层次分析法确定各层次指标的权重和隶属度, 最后依据模型计算出各规划区块的综合评价系数值。结果得出: 研究区8个煤层气矿权空白区的综合评价系数值介于0.569~0.821之间, 其中大方县大方背斜南段煤层气区块、黔西县黔西向斜西翼南段煤层气区块2个区块综合评价系数值大于0.8, 为煤层气勘探开发有利区; 大方县金龙向斜理化煤层气区块、黔西县黔西向斜钟山—素朴煤层气区块、金沙县黔西向斜禹漠煤层气区块、金沙县官田向斜官田坝煤层气区块、大方县金龙向斜板桥煤层气区块等5个区块的综合评价系数值介于0.6~0.8之间, 为煤层气勘探开发次有利区; 大方县大方背斜双山—竹园煤层气区块的综合评价系数值小于0.6, 为煤层气勘探开发备选区。

[关键词] 多层次模糊分析法; 黔北煤田; 煤层气有利区; 煤层气矿权空白区; 贵州

[中图分类号] P618.13; TE132.2; X830.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-5943(2022)03-305-10

1 引言

黔北煤田作为贵州省九大煤田中面积最大的煤田, 但由于区域构造、含煤岩系的聚煤规律、沉积环境及煤变质程度的影响, 该区煤层气资源量居全省第二位, 并且由于资源丰度较低, 平均资源丰度0.66亿m³/km², 因此, 煤层气开发潜力一直作为继六盘水煤田、织纳煤田之后的第三大煤田。该区煤层气勘查程度相对较低, 截至目前, 仅在金沙地区林华煤矿、长岗向斜、绿塘井田及对江南井田等地开展过煤层气勘查工作。前人对黔北煤田

煤层气资源赋存特征的研究工作主要集中在以上地区或某些煤炭重点勘查区内, 对整个黔北煤田的煤层气资源赋存情况了解不够全面(肖永洲等, 2008; 肖永洲, 2012; 杨剑波, 2015; 徐宏杰等, 2015; 金军等, 2015; 杨剑波, 2016; 易同生等, 2017; 黄政祥, 2018; 胡小林等, 2018; 吴圣等, 2018; 郑长东等, 2018; 陶斤金, 2019; 张曼婷, 2020; 方泽中等, 2021)。迫切需要开展黔北煤田煤层气有利区优选工作, 为下一步该区煤层气工作的整体有序开展提供决策依据。

本文依据贵州省煤层气勘查开发专项规划修编(2019—2025年)成果, 针对黔北煤田范围内的8

[收稿日期] 2022-01-26 **[修回日期]** 2022-06-24

[基金项目] 贵州上二叠统龙潭组煤层气重点层段优选和丛式井完井及压裂技术与示范(208-9912-JBN-UTS0); 毕节试验区煤层气资源调查评价与开发技术研究(52000021MGQSE7S7K6PRP)。

[作者简介] 郭志军(1988—), 男, 河南商丘人, 硕士, 高级工程师, 从事非常规油气研究方向的研究工作。E-mail: 352501017@qq.com.

个煤层气矿权空白区,从区块地质背景、资源条件、储层条件及开发条件等方面开展综合评价。运用多层次模糊分析法建立煤层气选区选层评价模型,并对8个煤层气区块的勘探开发潜力进行综合评价及初步排序,筛选出下一步开展煤层气工作的有利区,为黔北煤田煤层气勘查开发工作的有序开展及贵州省煤层气矿业权区块出让提供参考依据。

2 研究区概况

2.1 地理位置

黔北煤田行政区划归属遵义、毕节两地级市管辖,其范围为北与云南省、四川省和重庆市毗邻,南至六广、金碧、马场、董地一线,东起于狮溪、太白、旺草、虾子、团溪、养龙司一线,西止于赫章财神、罗州、兴发,包括赫章、毕节、大方、黔西、金沙、遵义、绥阳、桐梓、仁怀、习水、赤水等县市。整体位于贵州省北部,其地理坐标大致为:东经 104°33'05"~107°19'17",北纬 27°04'40"~29°10'55",面积 30 133 km²。

2.2 含煤地质背景

黔北煤田位于贵州省北部扬子陆块南部被动边缘褶皱带上的毕节弧形构造区、织金宽缓褶皱区和凤冈南北向褶断区。区内大面积出露地层为寒武系、二叠系、三叠系及侏罗系,含煤地层出露面积为 1 518 km²,主要含煤地层为上二叠统龙潭组、长兴组,成煤环境以三角洲平原聚煤环境为主,其次为潮坪—泻湖及碳酸盐台地沉积环境(金军等,2015)。上二叠统含煤地层厚度 76~343 m,南西厚,北东薄,煤层埋深大部分在 1 500 m 以

浅。含煤地层水文地质条件简单,富水性弱,上覆下三叠统飞仙关组有一层数十厘米至数米厚的泥岩、钙质泥岩(可相当于大隆层位)夹灰岩透镜体,偶为硅质岩,致密性较好,下伏峨眉山玄武岩组其厚度至赫章一带不足 100 m,往东部逐渐变薄,至水箐—朱昌—高店—鸡场一线玄武岩尖灭。

区内含煤地层层数多(1~67),含煤总厚 1.43~23.66 m,含煤系数为 1.7%~10.2%,薄煤层占比较高,少部分为中—厚层,大部分结构为中等,局部结构简单。煤类主要为无烟煤,仅在煤田东部为贫煤,东北角的桐梓千斤坝、箐坝分布有焦煤、瘦煤、贫煤和瘦煤。全煤田各煤层的煤化程度较高,仅东北煤化程度较低。可采及局部可采煤层 1~7 层,不同区域煤层的赋存特征有所差别。

区内构造复杂程度较高,地应力较大。煤体以原生结构煤和碎裂煤为主,整体结构相对完整。煤层甲烷含量变化于 0.03~54.45 m³/t 之间,平均 12.80 m³/t。煤层气试井压力分布在 0.99~12.35 MPa 之间,平均 4.98 MPa。压力系数为 0.34~1.4,平均 0.86,欠压、常压和超压均有分布。煤层试井渗透率变化于 0.002 5~2.09 mD 之间,平均 0.173 mD,属于中—低渗透率煤层。

2.3 煤层气矿权空白区

煤层气矿权空白区主要依据《贵州省煤层气勘查开发专项规划修编(2019—2025年)》成果,在重点勘查规划区内优选数个煤层气区块,开展开采试验,进行煤层气矿权区块投放,企业出资,政府回收成本,为下一阶段工作奠定资金基础。黔北煤田内分布 8 个煤层气矿权空白区,具体情况如图 1 及表 1,本次对黔北煤田煤层气有利区的优选主要是对这 8 个煤层气矿权空白区的优选。

表 1 煤层气矿权空白区块基本信息

Table 1 Basic information of blank blocks of coalbed methane mining rights

构造单元	区块名称	区块编号	区块面积(km ²)	地质资源量(亿 m ³)
大方背斜	贵州省大方县大方背斜双山—竹园煤层气区块	61	33.04	53.20
	贵州省大方县金龙向斜板桥煤层气区块	65	50.71	55.27
金龙向斜	贵州省大方县金龙向斜理化煤层气区块	66	44.36	48.35
	贵州省黔西县黔西向斜西翼南段煤层气区块	67	89.70	97.77
黔西向斜	贵州省金沙县黔西向斜禹漠煤层气区块	71	81.19	88.5
	贵州省黔西县黔西向斜钟山—素朴煤层气区块	74	42.91	46.77
官田向斜	贵州省金沙县官田向斜官田坝煤层气区块	79	35.12	23.53
大方背斜	贵州省大方县大方背斜南段煤层气区块	93	79.94	127.90
合计			456.97	541.29

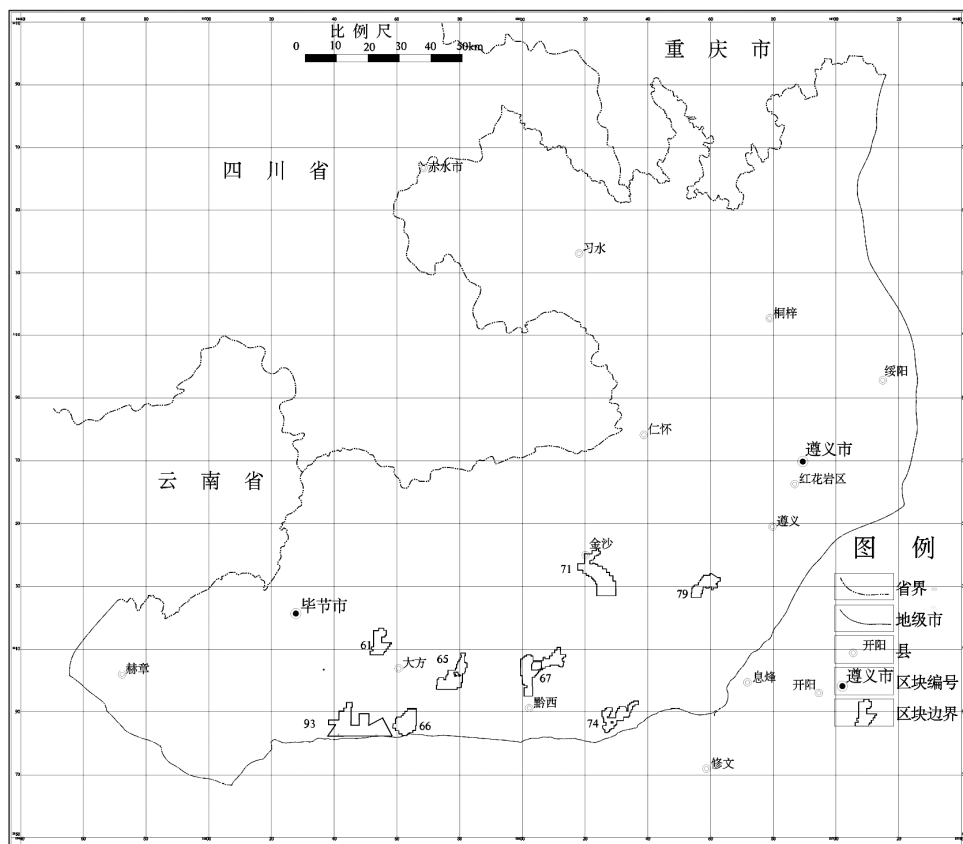


图1 煤层气矿权空白区分布图

Fig. 1 Distribution map of coalbed methane mining right blank area

3 多层次模糊数学评价模型

3.1 优选方法与基本思路

针对黔北煤田 8 个煤层气矿权空白区,本次采用多层次模糊数学方法(邵龙义等,2011;韩俊等,2008;吴财芳,2018;张军建等,2017)开展区块优选。其基本思路为先对优选的评价指标进行系统分类及层次划分,建立一个多层次评价参数体系,然后构建煤层气有利区块多层次模糊数学评价模型,通过层次分析法确定各层次指标的权重和隶属度,最后依据模型计算出各规划区块的综合评价系数值。综合评价系数值越大的区块,即为煤层气勘探开发潜力越大的区块。

3.2 评价指标体系

有利区优选是从黔北煤田 8 个煤层气空白区中优选出有利于煤层气开发的区块。由于各区块的地质背景、资源条件、储层条件及开发条件等方面差异较大,某些地质参数获取无法统一。综合

各区块的煤层气地质特征及参数指标获取情况,本次选取构造复杂程度、水文地质条件、埋深、主采煤层厚度、>2 m 煤层数、煤级、地质资源量、地质资源丰度、含气量、渗透率、储层压力梯度、含气饱和度、构造煤发育程度、勘察程度、地形条件、经济环境条件、可采系数共 15 个指标作为优选指标,并依据各参数之间的组合关系将其划分为 3 个层次(表 2)。

3.3 优选评价过程

3.3.1 各层次评价指标权重的确定

依据上述的评价指标体系,采用层次分析法算出各层次指标的权重。首先对同一层次的各项指标依据重要程度进行对比(表 3),组成各层次指标之间的判断矩阵,利用 EXCEL 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 4)。为避免出现一些不合理的判断矩阵,导致计算结果的不准确性,提高计算结果的可信度,需要对判断矩阵开展一致性检验。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

C. 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 5。如 $C. R. < 10\%$, 则认为判别矩阵具有可接受的

不一致性, 如 $C. R. > 10\%$, 就要进行重新赋值与重新计算, 直至一致性检验通过。最后, 将各指标的权重系数与上一层次的权重系数开展加权综合, 得到各指标层相对于上一目标层的权重系数(潘丽娟, 2014)。

表 2 研究区煤层气有利区优选指标体系

Table 2 Optimization index system of CBM favorable areas in the study area

评价指标	A 煤层气勘探开发潜力			
	B1 地质背景	B2 资源条件	B3 储层条件	B4 开发条件
评价参数	C11 构造复杂程度	C21 地质资源量	C31 渗透率	C41 勘察程度
	C12 水文地质条件	C22 地质资源丰度	C32 储层压力梯度	C42 可采系数
	C13 埋深	C23 含气量	C33 含气饱和度	
	C14 主采煤层厚度	C34 构造煤发育程度		
	C15 > 2 m 煤层数			
	C16 煤级			

表 3 判断矩阵各标度及含义

Table 3 Scale and meaning of judgment matrix

标度	含义: 两个因素相比—横向因素/纵向因素
1	表示具有相同重要性
3	表示前者比后者稍微重要
5	表示前者比后者明显重要
7	表示前者比后者强烈重要
9	表示前者比后者极端重要
2, 4, 6, 8	表示上述相邻判断 1-3, 3-5, 5-7, 7-9 的中间值
倒数	若因素 a_i 与因素 a_j 的重要之比为 a_{ij} , 那么因素 a_j 与因素 a_i 的重要之比为 $1/a_{ij}$

表 4 各指标层相对于目标层的权重值

Table 4 Weight value of each indicator layer relative to the target layer

评价指标及矩阵		特征向量	最大特征根(max)	随机一致性比率(C. R. /%)						
A-B	A									
	B1	1.00	1.20	1.50	4.00	0.37 0.28 0.25 0.10	4.00	0.12		
	B2	1/1.2	1.00	1.10	2.80					
	B3	1/1.5	1/1.1	1.00	2.50					
B4	1/4	1/2.8	1/2.5	1.00						
B1-C1	B1	C11	C12	C13	C14	C15	C16	0.22 0.08 0.24 0.28 0.13 0.05	6.05	0.82
	C11	1.00	3.00	1/1.2	1/1.4	2.00	4.00			
	C12	1/3	1.00	1/3.2	1/3.5	0.50	1.80			
	C13	1.20	3.20	1.00	1/1.2	2.20	4.00			
	C14	1.40	3.50	1.20	1.00	2.50	4.00			
	C15	1/2	2.00	1/2.2	1/2.5	1.00	3.00			
	C16	1/4	1/1.8	1/4	1/4	1/3	1.00			
B2-C2	B2	C21	C22	C23				0.17 0.51 0.32	3.00	0.31
	C21	1.00	1/3.2	1/1.8						
	C22	3.20	1.00	1.50						
B3-C4	B3	C31	C32	C33	C34			0.29 0.14 0.23 0.34	4.00	0.06
	C31	1.00	2.20	1.30	1/1.2					
	C32	1/2.2	1.00	1/1.6	1/2.3					
	C33	1/1.3	1.60	1.00	1/1.5					
C34	1.20	2.30	1.50	1.00						

续表

评价指标及矩阵				特征向量	最大特征根(max)	随机一致性比率(C. R. /%)
B4-C3	B4	C41	C42	0.29 0.71	2	0
	C41	1	1/2.5			
	C42	2.50	1			

表5 平均随机一致性指标 RI 取值

Table 5 Average random consistency index RI Value

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

3.3.2 确定评价指标的隶属度

本文研究区选定的评价指标不仅有定性指标也包含定量指标,定性指标主要包括构造复杂程度、水文地质条件、埋深、渗透率、储层压力梯度、含气饱和度、构造煤发育程度。定量指标包括主采煤层厚度、>2 m 煤层数、煤级(%)、地质资源量、地质资源丰度、含气量、勘察程度、可采系数。不同类型的指标其隶属度的确定方法不同,定性指标的隶属度确定主要根据实践经验划分不同的定义域范围,并直接赋值取得,定量指标的隶属度

确定是根据定义域上的分段范围进行赋值取得。同时,如果某一区域的构造条件与水文地质条件十分复杂,地质认识程度不够,难以开展工作。地质资源量与地质资源丰度特别小,开发潜力很小,那么后期的开发规模就无从谈起。因此,将地质背景下的构造复杂程度与水文地质条件、决定开发潜力的地质资源量和地质资源丰度作为一票否决的指标,将前者较复杂的区域及后者均较低的区域先排除。具体各指标隶属度的确定方法见表6。

表6 各层次评价参数一览表

Table 6 List of evaluation parameters at all levels

参数名称	参数权重	评价标准	赋值	备注
构造复杂程度	0.081	简单	1.00	构造十分复杂一票否决
		中等	0.6-0.8	
		复杂	0.40	
水文地质条件	0.028	滞留区	1.00	水文地质条件十分复杂一票否决
		弱径流区	0.6-0.8	
		径流区	0.40	
埋深	0.090	浅	1.00	
		中	0.6-0.8	
		深	0.40	
地质背景	主采煤层厚度	≥10	1.00	
		8-10	0.2x-1	
		≤8	0.60	
>2 m 煤层数	0.047	≥3	1.00	
		2-3	0.80	
		≤1	0.60	
煤级(%)	0.020	≥4	1.00	
		3-4	0.4x-0.6	
		≤3	0.60	
地质资源量	0.048	≥200	1.00	地质资源量小于10一票否决
		100-200	0.004x+0.2	
		≤100	0.60	
资源条件	地质资源丰度	≥3	1.00	地质资源丰度小于0.5一票否决
		2-3	0.4x-0.2	
		≤2	0.60	
含气量	0.091	≥15	1.00	
		10-15	0.08x-0.2	
		≤10	0.60	

续表

参数名称	参数权重	评价标准	赋值	备注
渗透率	0.074	高渗	1.00	
		中渗	0.6-0.8	
		低渗	0.4-0.6	
储层压力梯度	0.035	超压	1.00	
		正常	0.6-0.8	
		欠压	0.4-0.6	
含气饱和度	0.056	过饱和	1.00	
		饱和	0.6-0.8	
		欠饱和	0.4-0.6	
构造煤发育程度	0.084	低	1.00	构造煤特别发育 (碎粒煤、糜棱煤) 一票否决
		中	0.6-0.8	
		高	0.2-0.4	
勘察程度	0.028	≥ 0.6	1.00	
		0.3-0.6	$2x-0.2$	
		≤ 0.3	0.40	
可采系数	0.070	≥ 60	1.00	
		30-60	$0.02x-0.2$	
		≤ 30	0.40	

①构造复杂程度

构造越复杂越不利于煤层气的开发,构造复杂程度主要指研究区内断裂、褶皱等的发育程度,本文将其定性分为简单、中等、复杂3个等级,如若研究区构造十分复杂,难以认清地质现象则一票否决,其赋值见表6。

②水文地质条件

水文地质条件主要根据地下水功能分区进行赋值,如若水文地质条件十分复杂,研究区水文地质条件难以认清则一票否决(表6)。

③埋深

埋深主要根据不同埋藏深度(浅: $<500\text{ m}$;中: $500\sim 1\ 000\text{ m}$;深: $>1\ 000\text{ m}$)赋值(表6)。

④主采煤层厚度

主采煤层厚度越大,煤层气资源量越多,可开采潜力越大,根据多煤层地区煤层气开采经验,具体赋值见表6。

⑤ $>2\text{ m}$ 煤层数

单层厚度越大,越有利煤层气的勘探开发,其赋值越高(表6)。

⑥煤级

研究区煤层主要为高煤阶煤,高煤阶煤发育区其煤化程度越高越有利于煤层气的开发(表6)。

⑦地质资源量

地质资源量是煤层气开发的基础,资源量越

大,越有利于实现该区煤层气的产业化,如若研究地质资源量特别小,小于 $10\times 10^8\text{ m}^3$,开发潜力较小,后期开发规模无从谈起则一票否决(表6)。

⑧地质资源丰度

地质资源丰度越大,说明该区煤层气资源越富集,经济效益越好,如若地质资源丰度特别小,小于 $0.5\times 10^8\text{ m}^3$,开发潜力较小,后期开发规模无从谈起则一票否决(表6)。

⑨含气量

含气量高代表同等条件下,资源量越大,对煤层气开发就越有利(表6)。

⑩渗透率

煤层气的渗透率越高,越有利于煤层气的开采(表6)。

⑪储层压力梯度

储层的压力梯度主要体现在压力系数(超压:压力系数大于1.1;正常:压力系数0.9-1.1;欠压:压力系数小于0.9)上,压力梯度越高,越有利煤层气的产出(表6)。

⑫含气饱和度

含气饱和度是指煤储层在原位温度、压力、水分含量等储层条件下,煤层含气量与总容气能力的比值(傅雪海,2007)。其值越大说明煤储层含气性越好,其赋值见表6。

⑬构造煤发育程度

煤层气开发中一大难题即为构造煤的发育,目前对于破碎程度在碎粒煤以上的煤层并没有形成完备开发技术工艺,碎粒煤等构造煤呈粉状,质地松软,压裂后形成的通道易被粉末填埋,无法提高煤层渗透率,不利于煤层气的开采。其赋值见表6。

⑭ 勘察程度

为定量表示勘察程度,采用模糊数学方法,将收集的资料按照基础地质勘查报告、煤炭地质勘查报告和煤层气勘察报告三类分类,并给三类报告进行权重赋值,最后通过求和得出勘察程度系数(表7)。具体赋值见表6。

表7 勘察程度权重赋值

Table 7 Weight assignment of survey degree

报告类型	比重	标准	隶属度
煤层气勘察报告	0.5	≥3	1
		2	0.7
		≤1	0.4
煤炭勘察报告	0.3	≥6	1
		2-6	0.1x+0.4
		≤2	0.6
基础勘察报告	0.2	≥3	1
		1-3	0.7
		≤1	0.4

⑮ 可采系数

表8 煤层气有利区块多层次模糊数学评价模型

Table 8 Multi-level fuzzy mathematical evaluation model for favorable blocks of coalbed methane

指标	权重	区块1		区块2		...	区块3	
		隶属度	权系数	隶属度	权系数	...	隶属度	权系数
A ₁	B ₁	X ₁	B ₁ · X ₁	Y ₁	B ₁ · Y ₁	...	Z ₁	B ₁ · Z ₁
A ₂	B ₂	X ₂	B ₂ · X ₂	Y ₂	B ₂ · Y ₂	...	Z ₂	B ₂ · Z ₂
A ₃	B ₃	X ₃	B ₃ · X ₃	Y ₃	B ₃ · Y ₃	...	Z ₃	B ₃ · Z ₃
...
A _n	B _n	X _n	B _n · X _n	Y _n	B _n · Y _n	...	Z _n	B _n · Z _n
综合评价系数		∑ B _i · X _i (i=1,2...n)		∑ B _i · Y _i (i=1,2...n)		...	∑ B _i · Z _i (i=1,2...n)	

将综合排序系数进行比较,以最大值区块作为最有利区块

4 有利区优选评价结果

依据建立的煤层气有利区块多层次模糊数学评价模型及确立的各层次评价指标的权重、隶属度值,最终得出研究区8个煤层气矿权空白区的综合评价系数值及排序结果(表9)。

综合评价结果表明,研究区8个煤层气矿权

煤层气采收系数是指煤层气采收率,由临界解吸压力和郎缪尔常数计算得出,由下式进行计算:

$$\eta = 1 - \frac{P_{ad}(P_L + P_{cd})}{P_{cd}(P_L + P_{ad})}$$

式中: P_{ad}, 枯竭压力, MPa; P_L, 朗格缪尔压力, MPa; P_{cd}, 临界解吸压力, MPa。综合前人研究成果,本文采用 0.5 MPa 作为计算贵州省煤层气采收率的枯竭压力。

$$P_{cd} = \frac{V_{实} P_L}{V_L - V_{实}}$$

式中: P_{cd}, 临界解吸压力, MPa; V_实, 煤层含气量, m³/t; V_L, 朗格缪尔体积, m³/t。

具体赋值见表6。

3.4 有利区多层次模糊数学评价模型构建

为了实现对研究区的有利区优选,并能较大程度接近实际,体现出各个评价指标的真实影响。本文依据前文已建立的优选评价指标体系及优选评价过程,建立了一个煤层气有利区块多层次模糊数学评价模型(表8),模型利用算出的评价区各评价指标的权重及其相对应的隶属度,开展综合评价。

空白区的综合评价系数值介于 0.569 ~ 0.821 之间,表明区内各煤层气区块的勘探开发潜力存在差异,据此将研究区煤层气矿权空白区分为三类:第一类为煤层气勘探开发有利区,其综合评价系数值大于 0.8,包括大方县大方背斜南段煤层气区块、黔西县黔西向斜西翼南段煤层气区块 2 个区块,其综合开发潜力最大,是最优的煤层气勘探开发区块,作为下一步开展煤层气勘探开发示范区

表9 煤层气矿权空白区综合评价及排序结果

Table 9 Comprehensive evaluation and ranking results of coalbed methane mining right blank area

序号	区块编号	区块名称	煤层气地质背景条件				煤层气资源条件				煤层气储层条件				煤层气开发条件				综合评价系数
			水文地质条件	埋深	主采煤层厚度	>2m煤层数	煤级	地质资源量	地质资源丰度	含气量	渗透率	储层压力梯度	含气饱和度	构造煤发育程度	勘查程度	地形条件	可采系数	经济环境条件	
1	93	大方县大方背斜南段煤层气区块	滞留区	600-1 000	9.5	2	3.08-3.54	113.64	1.64	7.80-22.67	中渗	正常	饱和	中	0.74	较简单	49.24	中	0.821
2	67	黔西县黔西向斜西翼南段煤层气区块	滞留区	500-1 000	9.4	2	3.75-4.69	109.34	1.25	2.48-26.61	中渗	超压	欠饱和	中	0.72	较简单	40.69	好	0.806
3	66	大方县金龙向斜理化煤层气区块	滞留区	1 100-1 500	11.22	1	2.76-3.52	105.42	2.34	4.12-46.59	低渗	正常	饱和	高	0.08	中等	41.61	中	0.693
4	74	黔西县黔西向斜钟山-素朴煤层气区块	径流区	600-1 000	6.44	1	2.07-2.25	58.89	1.33	5.54-11.40	/	正常	欠饱和	中	0.2	中等	30.57	中	0.663
5	71	金沙县黔西向斜禹漠煤层气区块	径流区	600-1 000	6.96	1	3.87-4.08	126.48	1.53	2.65-25.99	高渗	正常	欠饱和	中	0.46	中等	33.68	好	0.662
6	79	金沙县官田向斜官田坝煤层气区块	径流区	600-1 100	5.35	0	2.76-3.53	45.67	1.28	1.59-19.46	高渗	正常	/	中	0.32	中等	28.08	中	0.649
7	65	大方县金龙向斜板桥煤层气区块	径流区	800-1 300	5.51	0	2.55-2.95	23.67	1.26	4.01-9.10	中渗	超压	欠饱和	中	0.08	中等	36.23	差	0.646
8	61	大方县大方背斜双山-竹园煤层气区块	径流区	800-1 000	5.91	1	2.40-2.51	53.57	1.44	2.53-15.20	低渗	正常	欠饱和	高	0.26	中等	32.16	中	0.569

的优选区;第二类为煤层气勘探开发次有利区,其综合评价系数值介于0.6~0.8之间,包括大方县金龙向斜理化煤层气区块、黔西县黔西向斜钟山—素朴煤层气区块、金沙县黔西向斜禹漠煤层气区块、金沙县官田向斜官田坝煤层气区块、大方县金龙向斜板桥煤层气区块等5个区块,其

综合勘探开发潜力一般,属于次优的煤层气勘探开发区块;第三类为煤层气勘探开发备选区,其综合评价系数值小于0.6,仅有大方县大方背斜双山—竹园煤层气区块1个区块,其综合勘探开发潜力一般,可作为煤层气远景勘探开发区域(表10)。

表10 研究区煤层气矿权空白区勘探开发类型

Table 10 Exploration and development types of coalbed methane mining right blank area in the study area

类别	排序	区块名称
有利区	1-2	大方县大方背斜南段煤层气区块、黔西县黔西向斜西翼南段煤层气区块
次有利区	3-7	大方县金龙向斜理化煤层气区块、黔西县黔西向斜钟山—素朴煤层气区块、金沙县黔西向斜禹漠煤层气区块、金沙县官田向斜官田坝煤层气区块、大方县金龙向斜板桥煤层气区块
备选区	8	大方县大方背斜双山—竹园煤层气区块

5 结论

(1)依据《贵州省煤层气勘查开发专项规划修编(2019—2025年)》成果,黔北煤田共有煤层气矿权空白区8个,各区块含煤地层具有煤化程度高、煤层层数多、单层厚度薄、水文地质条件简单、顶底板封盖条件好、煤体结构好、煤层气含量高、地应力大、煤层孔渗性低等特征。

(2)各空白区块在地质背景(构造复杂程度、水文地质条件、埋深、主采煤层厚度、>2 m煤层数、煤级)方面存在差异,资源条件(地质资源量、地质资源丰度、含气量)各不相同,储层条件(渗透率、储层压力梯度、含气饱和度、构造煤发育程度)也不尽相同,开发条件(勘查程度、地形条件、经济环境条件、可采系数)更是各具特色。

(3)采用多层次模糊数学方法,建立了包含地质背景、资源条件、储层条件及开发条件等4个方面的多层次评价参数体系,构建了煤层气有利区块多层次模糊数学评价模型,确立了各规划区块的综合评价系数值及排序结果,煤层气勘探开发有利区2个:大方县大方背斜南段煤层气区块与黔西县黔西向斜西翼南段煤层气区块;煤层气勘探开发次有利区5个:大方县金龙向斜理化煤层气区块、黔西县黔西向斜钟山—素朴煤层气区块、金沙县黔西向斜禹漠煤层气区块、金沙县官田向斜官田坝煤层气区块、大方县金龙向斜板桥煤层气区块;煤层气勘探开发备选区1个:大方县大方背斜双山—竹园煤层气区块。

[参考文献]

- 方泽中,徐宏杰,桑树勋,等.2021.黔北林华多煤层井田煤层气开发目标层段初选[J].煤矿安全,52(4):174-181.
- 傅雪海,秦勇,韦重韬.2007.煤层气地质学[M].徐州:中国矿业大学出版社.
- 韩俊,邵龙义,肖建新,等.2008.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,36(3):31-36.
- 黄政祥,公衍伟,王怀勳.2018.黔北煤田绿塘井田瓦斯赋存的地质控制因素研究[J].煤炭科学技术,46(7):213-217.
- 胡小林,尹书岑,刘苏瑶,等.2018.黔北煤田JP区块煤层气储层物化特征及含气量影响因素[J].东北石油大学学报,42(2):33-43.
- 金军,徐宏杰,桑树勋,等.2015.贵州省黔北煤田含煤地层特征分析[J].中国煤炭地质,27(6):1-7.
- 潘丽娟.2014.基于Excel的层次分析法模型设计[J].中国管理信息化,17(17):115-117.
- 邵龙义,文怀军,李永红,等.2011.青海省天峻县木里煤田煤层气有利区块的多层次模糊数学评判[J].地质通报,30(12):1896-1903.
- 陶斤金,汪凌霞,黄纪勇.2019.贵州省三大煤田煤层气地质及开发潜力对比分析[J].天然气技术与经济,13(4):29-62.
- 吴圣,徐韵,沈家宁,等.2018.黔北煤田长岗向斜煤层气富集的构造控制作用[J].煤田地质与勘探,46(2):22-27.
- 吴财芳,刘小磊,张莎莎.2018.滇东黔西多煤层地区煤层气“层次递阶”地质选区指标体系构建[J].煤炭学报,43(6):1647-1653.
- 肖永洲,李作明,管志召,等.2008.黔北煤田的地质特点及采取对策[J].煤炭科学技术,36(3):99-102.
- 肖永洲,孔祥周,田波.2012.贵州黔北煤田二叠系龙潭组煤层对比研究[J].煤矿现代化,2(6):51-53.
- 徐宏杰,桑树勋,金军,等.2015.贵州金沙林华井田煤层气资源分布与评价[J].中国煤炭地质,27(4):16-20.
- 杨剑波.2015.黔北煤田官田坝向斜煤层气赋存及潜力分析[J].中国煤层气,12(6):23-26.

杨剑波. 2016. 黔北煤田官田坝向斜勘查区煤层气赋存及潜力分析[J]. 中国煤炭地质, 28(3): 26-34.

易同生, 包书景, 陈捷, 等. 2017. 黔北煤田林华矿煤系气成藏特征及开发方式[J]. 中国煤炭地质, 29(9): 23-30.

张军建, 韦重韬, 陈玉华, 等. 2017. 多煤层区煤层气开发优选评价

体系分析[J]. 煤炭科学技术, 45(9): 13-17.

郑长东, 秦勇, 杨兆彪, 等. 2018. 黔北煤田长岗向斜煤储层特征与压裂可改造性研究[J]. 煤炭科学技术, 46(9): 208-216.

张曼婷, 付炜. 2020. 黔北煤田林华井田煤层气分布特征及资源潜力[J]. 勘探开发, 28(9): 95-96.

Optimum Selection of Coalbed Methane Favorable Area in North Guizhou Coalfield Based on Multi – level Fuzzy Analysis Method

GUO Zhi-jun^{1,2}, WU Zhang-li^{1,2}

(1. Key Laboratory of Evaluation and Development of Unconventional Natural Gas in Complex Tectonic Area of Ministry of Natural Resources, Guiyang, 550008 China;

2. Guizhou Institute of Petroleum Exploration and Development Engineering, Guiyang, 550008 China)

[Abstract] In order to optimize the favorable areas for the blank block of CBM mining rights in north Guizhou coalfield, it Taken 8 blank blocks of coalbed methane mining rights in the area as the research objects, 15 evaluation indexes such as structural complexity, hydrogeological conditions, buried depth, thickness of main coal seams, > 2m coal seams, coal grade, geological resources, abundance of geological resources, gas content, permeability, reservoir pressure gradient, gas saturation, development degree of structural coal, exploration degree and recoverable coefficient are selected, A three-level evaluation parameter system and a multi-level fuzzy mathematical evaluation model for favorable blocks of coalbed methane are constructed by using multi-level fuzzy analysis method. The weight and membership degree of each level index are determined by Analytical hierarchy process. Finally, the comprehensive evaluation coefficient of each planning block is calculated according to the model. The results show that: The comprehensive evaluation coefficient values of the eight CBM mining right blank areas in the study area are between 0.569–0.821, Among them, the comprehensive evaluation coefficient values of two blocks, the CBM block in the south section of Dafang anticline in Dafang County and the CBM block in the south section of the West Wing of Qianxi Syncline in Qianxi County, are greater than 0.8, which are favorable areas for CBM exploration and development; The comprehensive evaluation coefficient values of the five blocks are between 0.6–0.8, including the physicochemical coalbed methane block of Dafang County Jinlong syncline, the Zhongshan plain coalbed methane block of Qianxi Syncline in Qianxi County, the Yumo coalbed methane block of Jinsha County Qianxi syncline, the guantianba coalbed methane block of Jinsha County guantian syncline, and the Banqiao Coalbed methane block of Dafang County Jinlong syncline, which is a sub favorable area for coalbed methane exploration and development; The comprehensive evaluation coefficient of Shuangshan Zhuyuan coalbed methane block of Dafang anticline in Dafang County is less than 0.6, which is an alternative area for coalbed methane exploration and development.

[Key Words] Multi-level fuzzy analysis; North Guizhou coalfield; Favorable area of coalbed methane; Coalbed methane mining right blank area; Guizhou