

突变评价法在煤层气评价和选区中的应用

陈茂谦¹ 师俊峰² 金 娟²

(1. 中国石油 冀东油田分公司, 天津 唐海 063200; 2. 中国石油 勘探开发研究院, 北京 100083)

摘 要:针对目前在煤层气选区评价方法上存在的问题,应用突变理论和模糊数学相结合的方法得到了突变模糊隶属函数,并由此建立了煤层气区块综合评价和选区模型。该模型首先建立了评价煤层气区块综合评价指标体系结构,并对指标参数进行了归一化处理;然后应用突变模糊隶属函数法,对煤层气区块进行了综合评价和筛选。该模型可避免模糊评价法、因子分析法和层次分析方法等的弱点,减少了主观性又不失科学性,对煤层气开发中的区块优选具有指导意义。

关键词:煤成气;评价;突变理论;模糊数学;隶属度

中图分类号:P618.11 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0890(2009)02-0074-04

我国煤层气资源丰富,但是有很大一部分处于未开发状态。有些煤层气藏在目前的经济技术条件下没有动用价值。而开发利用煤层气,对改善煤矿安全生产条件、缓解常规油气供应紧张状况、实施国民经济可持续发展战略、保护大气环境等均具有十分重要的意义。因此,在投入开发前应对准备动用的煤层气区块进行综合评价,筛选较好的区块优先开发,这将对煤层气区块的动用决策提供指导性意见,从而避免重大经济损失。

目前对地下煤层气区块的综合评价主要有层次分析法、灰色聚类法和模糊评判法。张培河等应用层次分析方法综合评价了煤层气区块^[1-2],霍凯中等采用灰色聚类法对煤层气区块进行了评价^[3],胡宝林、陈练武等人则应用了模糊综合评判法^[4-7]。但是,无论是层次分析法还是模糊评价法,以及功效系数法和因子分析法,都具有难以确定的参数权重或者要求样本数量大的缺点^[1-7]。由于突变评价法^[8]没有对指标采用权重,但考虑了各评价指标的相对重要性,从而减少了主观性又不失科学合理性,避免了这些问题。为此,笔者应用突变评价法进行了煤层气的综合评价。

的不连续特征。突变理论直接处理不连续性而不联系任何特殊的内在机制,这使该方法特别适用于对内部作用尚未知系统的研究。势函数中的变量有两类:一是状态变量(行为变量),它表示系统的行为状态;二是控制变量,可把它视作影响行为状态的诸因素。

最常见的突变类型有三种,即尖点突变、燕尾突变和蝴蝶突变。其势函数方程分别为:

$$f(x) = x^4 + ax^2 + bx \quad (1)$$

$$f(x) = \frac{1}{5}x^5 + \frac{1}{3}ax^3 + \frac{1}{2}bx^2 + cx \quad (2)$$

$$f(x) = \frac{1}{6}x^6 + \frac{1}{4}ax^4 + \frac{1}{3}bx^3 + \frac{1}{2}cx^2 + dx \quad (3)$$

式中, $f(x)$ 为一个系统的状态,即势函数; x 为状态变量; a 、 b 、 c 、 d 为控制变量。

1.1 突变模型的归一化公式

基于突变理论的评价方法,通过对分歧集的归一化处理,得出突变模糊隶属度函数^[8-11]。应用该评价法时,无需确定各因素的权重,但应较好地把握各因素之间的矛盾主次关系。

根据突变理论,其所有临界点集成平衡曲面,其方程为 $f'(x) = 0$ 。其奇点集满足方程 $f''(x) = 0$ 。

1 原理与方法

突变理论(catastrophe theory)是 20 世纪 70 年代发展起来的一门新的数学分支^[8]。它主要研究势函数,并根据势函数将临界点分类,进而研究临界点附近

收稿日期:2008-02-25;改回日期:2009-01-20

基金项目:中国—欧盟能源环境项目“中国煤层气生产可行性研究”(编号:Europe Aid/120723/D/SV/CN)资助

作者简介:陈茂谦(1968—),男,河北唐海人,1991年毕业于西南石油学院油气储运工程专业,工程师,主要从事生产技术管理工作。

联系电话:(0315)8768658

联解 $f''(x)=0$ 和 $f'(x)=0$ 消去 x , 可得到突变系统的分歧点集方程。分歧点集方程表明诸控制变量满足此方程时, 系统就会发生突变。通过分解形式的分歧点集方程导出归一公式, 由归一公式将系统内诸控制变量不同的质态化为可以比较的同一质态, 即化为状态变量表示的质态。

尖点突变模型分解形式的分歧点集方程为:

$$\begin{cases} a=-6x^2 \\ b=8x^3 \end{cases} \quad (4)$$

化为突变模糊隶属函数, 即如下归一公式:

$$\begin{cases} x_a=\sqrt{a} \\ x_b=\sqrt[3]{b} \end{cases} \quad (5)$$

其中, x_a 为对应 a 的 x 值, x_b 为对应 b 的 x 值。

同理, 燕尾突变模型分解形式的分歧点集方程为:

$$\begin{cases} a=-6x^2 \\ b=8x^3 \\ c=-3x^4 \end{cases} \quad (6)$$

导出归一公式为:

$$\begin{cases} x_a=\sqrt{a} \\ x_b=\sqrt[3]{b} \\ x_c=\sqrt[4]{c} \end{cases} \quad (7)$$

蝴蝶突变模型分解形式的分歧点集方程为:

$$\begin{cases} a=-10x^2 \\ b=20x^3 \\ c=-15x^4 \\ d=4x^5 \end{cases} \quad (8)$$

导出归一公式为:

$$\begin{cases} x_a=\sqrt{a} \\ x_b=\sqrt[3]{b} \\ x_c=\sqrt[4]{c} \\ x_d=\sqrt[5]{d} \end{cases} \quad (9)$$

归一公式实质上是一种多维模糊隶属度函数。经过归一化处理, 状态变量和控制变量的取值范围均为 $0\sim 1$, 称其为突变模糊隶属度函数。这是突变评价方法的核心。

根据突变模型内在的矛盾对立统一关系, 各控制变量对状态变量的影响有主次之分。上述三种模型, 控制变量的作用和主次地位如下。

- 尖点突变: a (剖分因子), b (正则因子);
- 燕尾突变: a (剖分因子), b (正则因子), c (燕尾因子);
- 蝴蝶突变: c (剖分因子), d (正则因子), a (蝴蝶

因子), b (偏畸因子)。

1.2 模糊隶属度函数

根据多因素模糊决策理论^[9-10, 12-17]。对同一方案, 在多种目标情况下, 如设 A_1, A_2, \dots, A_m 为模糊目标, 则理想的策略为 $C=A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_m$, 其隶属度函数为:

$$\mu_c(x)=\mu_{A_1}(x) \wedge \mu_{A_2}(x) \wedge \dots \wedge \mu_{A_m}(x) \quad (10)$$

其中, $\mu_{A_i}(x)$ 为 A_i 的隶属度函数, 定义为此方案的隶属度函数, 即为各目标隶属度函数的最小值。

对不同的方案, 如设 G_1, G_2, \dots, G_n , 记 G_i 的隶属度函数为 $\mu_{G_i}(x)$, 若 $\mu_{G_i}(x) > \mu_{G_j}(x)$ 则表示方案 G_i 优于方案 G_j 。

因而利用归一公式, 对同一对象各个控制变量(指标)计算出的对应的 x 值采用“大中取小”的原则, 但对存在互补性的指标, 通常用其平均数代替, 在对象的最后比较时要用“小中取大”的原则, 即对评价对象按总评价指标的得分大小排序。

2 实际应用

2.1 选取评价参数, 建立评价指标体系

影响地下煤层气开发效果的因素很多, 在建立评价指标体系时, 主要考虑以下三个方面: 1) 在技术上或经济上对煤层气开发有重要影响; 2) 指标参数易于获取并可靠; 3) 符合突变评价法的选取标准。为此, 选择了煤层兰氏体积、煤层渗透率、孔隙度、煤层厚度、煤层稳定性、煤变质程度、煤相、镜质组含量、壳质组含量、埋藏深度、顶板岩性、构造和水文地质条件等 13 个评价参数^[1-7]作为评价煤层气区块的主要指标。并把这 13 个参数划分为三类指标: 储层物性指标、生气潜力指标和封盖性能指标。进一步把煤层厚度和煤层稳定性归结为生气潜力指标下的煤层条件, 把镜质组含量和壳质组含量归结为生气潜力指标下的煤层组分条件。根据重要性排序, 建立评价指标体系结构见表 1。

表 1 评价指标体系结构		
0 级指标	一级指标	二级指标
煤层气区块的综合评价指标	储层物性指标	兰氏体积
		渗透率
		孔隙度
	生气潜力指标	煤层条件(煤层厚度、煤层稳定性)
		煤变质程度
		煤相
		煤岩组分(镜质组含量、壳质组含量)
	封盖性能指标	埋藏深度
		顶板岩性
		构造
		水文地质条件

2.2 参数的归一化处理

由于表 1 中 13 个评价指标量纲不一致,数值大小不同,因此需要进行归一化处理,可以借助专家打分的方式对各参数进行归一化处理^[4]。

2.3 突变模糊隶属度函数法

对指标体系的分解按突变理论的要求,重要的指标放在前面,次要的指标放在后面(见表 1)。可以看出,二级指标构成的系统自上而下分别由 3 个、

4 个和 4 个指标构成,因此为燕尾突变、蝴蝶突变型和蝴蝶突变型;一级指标为燕尾突变型,由 3 个指标构成;0 级指标是煤层气区块的综合评价价值;另外,生产潜力指标下的煤层条件和煤岩组分分别由两个指标组成,因此二者是尖点突变型。

2.4 综合评价值的计算

应用该突变评价法对柳林煤层气区块进行综合评价,其过程和结果见表 2。

表 2 综合评价值的计算														
项目	储层物性指标			生气潜力指标						盖层性能指标				
	兰氏 体积	渗透 率	孔隙 度	煤层 厚度	煤层 稳定	变质 程度	煤相	镜质 组分	壳质 组分	埋藏 深度	顶板 岩性	构造	水文 地质	
归一值	1.00	0.67	0.38	0.55	0.80	0.60	1.00	0.68	0.63	1.00	0.75	1.00	1.00	
突变级数	X_{a1}	X_{a2}	X_{a3}	X_{b11}	X_{b12}	X_{b2}	X_{b3}	X_{b41}	X_{b42}	X_{c1}	X_{c2}	X_{c3}	X_{c4}	
突变级数值	1.000	0.875	0.785	0.742	0.928			0.825	0.857	1.00	0.944	1.00	1.00	
中间突变指 标值				0.835	0.600	1.00	0.841							
	0.887			0.956	0.903	1.00	0.944		0.986					
	0.951													
中间变量突 变级数值	0.942			0.983						0.996				
总评价价值	0.974													

3 实例验证

应用突变评价法对 10 个煤层气区块进行了评价,表 3 是经归一化后 10 个煤层气区块的参数值。

表 3 煤层气区块的参数归一值													
区块名称	兰氏 体积	渗透 率	孔隙 度	煤层 厚度	煤层 稳定	变质 程度	煤相	镜质 组分	壳质 组分	埋藏 深度	顶板 岩性	构造	水文 地质
柳林	1.00	0.67	0.38	0.55	0.80	0.60	1.00	0.68	0.63	1.00	0.75	1.00	1.00
韩城	1.00	0.43	0.26	0.28	0.60	0.84	1.00	0.80	0.38	0.75	0.75	1.00	0.60
吴堡	0.87	1.00	0.40	0.42	0.80	0.63	0.80	0.50	0.54	0.75	0.75	1.00	0.60
澄合	1.00	0.01	0.26	0.20	0.40	0.81	0.80	0.74	0.26	0.91	0.75	0.75	0.60
蒲白	1.00	0.03	0.24	0.16	0.40	0.81	0.40	0.75	0.23	0.91	0.75	0.75	0.60
石炭井	0.81	0.02	0.31	0.84	0.60	0.73	0.40	0.82	0.77	0.75	0.75	1.00	1.00
横城	0.56	0.03	0.25	0.55	0.60	0.84	1.00	0.60	0.69	0.75	0.75	1.00	0.60
河保偏兴	0.42	0.10	0.44	0.84	0.60	0.33	0.40	0.95	0.77	0.91	0.75	0.75	0.60
府谷	0.35	0	0.33	0.87	0.80	0.31	0.40	0.75	0.85	0.91	0.75	0.75	0.60
神北新民	0.26	0.39	0.43	0.68	0.80	0.23	1.00	0.52	0.72	0.00	0.25	1.00	0.60

应用突变评价法,得到柳林、韩城、吴堡、澄合、蒲白、石炭井、横城、河北偏兴、府谷和神北新民 10 个煤层气区块的综合评价值分别为:0.974、0.969、0.968、0.921、0.916、0.912、0.912、0.907、0.898 和 0.863。

该评价结果与胡宝林应用模糊层次分析法的评价结果一致^[4],说明该综合评价方法在理论和应用上均具有可行性,同时该方法无需人为给出权重,避免了主观臆断性。

4 结 论

1)综合应用突变理论和模糊数学,得到了突变模糊隶属度函数,从而建立了煤层气区块综合评价和选区模型。应用该模型可以评价和优选煤层气区块。

2)建立的综合评价和选区模型避免了模糊评价法、因子分析法及层次分析等方法的弱点,减少了主观性又不失科学合理性。

3)实例验证结果表明,该模型评价结果与其他评价方法吻合很好,说明该模型对煤层气区块的优选具有一定的指导意义。

4)笔者所建立的煤层气评价方法,可推广应用到其他有关评价和选区的问题当中。

参 考 文 献

[1] 张培河,靳秀良,孟召平,等.焦作矿区煤层气开发地质综合评价[J].煤田地质与勘探,1998,26(2):22-25.
[2] 尤立明,周荣福.数学地质在我国煤层气目标区优选排序中的

应用[J].西部探矿工程,2006,18(增):217-219.
[3] 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.
[4] 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[J].中国煤田地质,2003,15(2):16-19.
[5] 陈练武.模糊综合评判在韩城矿区煤层气评价中的应用[J].西安地质学院学报,1997,19(1):52-56.
[6] 张锦鹏,郁钟铭.区间数的模糊综合评判法在煤层气赋存评价中的应用[J].西部探矿工程,2004,16(1):78-80.
[7] 朱志敏,沈冰,刘飞燕.辽宁阜新盆地煤层气地质条件模糊综合评判[J].中国地质灾害与防治学报,2006,17(3):77-79.
[8] 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.
[9] 施玉群,吴益民.基于突变评价理论的施工截流标准优选[J].武汉水利电力大学学报,1997,30(6):45-47.
[10] 周绍江.突变理论在环境影响评价中的应用[J].人民长江,2003,34(2):52-54.
[11] Kai-qi Zou. Fuzzy decision support systems and its application [J]. Advances in Systems Science and Applications, 2003, 3 (1): 52-54.
[12] 师俊峰,吴晓东,竺彪,等.稠油油藏优先开发排序方法[J].石油钻探技术,2007,35(1):59-62.
[13] 宋本岭,夏从亚,王振平.钻井企业技术创新评价模型[J].石油钻探技术,2007,35(3):94-97.
[14] 蒋廷学,胥云,张绍礼,等.难动用区块整体压裂开发经济评价的模糊不确定性分析[J].石油钻探技术,2008,36(1):57-60.
[15] 闫相祯,王伟章,陈宗毅,等.基于专家系统的高压充填防砂方案智能设计[J].石油钻探技术,2008,36(2):67-71.
[16] 张强,张鹏.基于绿色设计的涡轮设计方案模糊综合评价[J].石油钻探技术,2008,36(3):73-76.
[17] 汪志明,李春艳,魏建光,等.利用模糊综合决策方法优选水平井完井方式[J].石油钻探技术,2008,36(5):3-6.

[审稿 吴晓东]

Application of Catastrophe Theory in Evaluation and Selection of Coal-Bed Gas Reservoirs

Chen Maoqian¹ Shi Junfeng² Jin Juan²

(1. Jidong Oilfield Company, CNPC, Tanghai, Tianjin, 063200, China; 2. Research Institute of Exploration & Development, CNPC, Beijing, 100083, China)

Abstract: Considering the existing problems in evaluating the gas reservoir, a new assessment method was created based on the subordinate functions of assessment indexes which is obtained by using catastrophe theory and fuzzy mathematics. Evaluation index system for evaluating coal-bed gas reservoirs was created and then the index parameter was normalized. The subordinate function of assessment indexes was used to evaluate and select coal-bed gas reservoirs. This method can avoid the disadvantages associated with other assessment methods and provide reference for selecting coal-bed gas reservoirs.

Key words: coal-formed gas; evaluation; catastrophe theory; fuzzy mathematics; subjection degree