

流域水资源丰富度评价的突变评判模型

黄奕龙、董志颖、杨建强 (吉林大学,吉林 长春 130026)

摘要: 针对水资源丰富度与影响因素之间复杂的关系, 提出了应用突变评判模型来评价流域水资源的丰富度, 以便解决在水文条件复杂的地区样本不全和难以获得的难题。

关键词: 水资源; 丰富度; 突变评判模型

MODELS OF CATASTROPHE ASSESSMENT FOR THE EVALUATION OF WATER RESOURCES ABUNDANCE IN A WATERSHED

HUANG Yi-long, DONG Zhi-ying, YANG Jian-qiang(Jilin University, Changchun 130026, China)

Abstract: Aiming at the complicated relations between the abundance of water resources and its influencing factors, we raises evaluating the abundance of water resources with the models of catastrophe assessment to acquire the training or study specimens in the districts with comply hydrologic conditions.

Key words: water resources; abundance; models of catastrophe assessment

流域水资源的丰富程度为多种影响因素综合作用的结果。在水文条件或水文地质条件变化复杂的地区, 很难获得可靠且完整的样本数据, 给水资源丰富度评价与分类带来了困难。突变评价法对系统的评价总目标进行多层次矛盾分解, 利用突变理论同模糊数学相结合产生的突变模糊隶属函数, 由归一公式进行综合量化运算, 最后归一为一个参数, 即求出总的隶属函数, 从而进行评价。本文建立了流域丰富度评价的突变评判模型, 并用实例进行验证。

1 突变评价法的基本原理和步骤

1.1 建立层次结构模型

对评价总指标进行多层次分主次的矛盾分解或分组, 排列成层次结构, 由评价总指标到下层指标, 逐渐分解到最下层子指标, 以便进行量化, 分解到可以直接计量的指标为止。因为常见突变系统的某状态变量的控制变量不超过 4 个, 所以, 相应地一般各层单指标的子指标分解到不超过 4 个。

1.2 确立评价指标体系各层次的突变系统类型

最常见的突变系统类型及其数学模型分别为:

尖点突变系统模型 $f(x) = x^4 + ax^2 + bx$;

燕尾突变系统模型 $f(x) = 1/5x^5 + 1/3ax^3 + 1/2bx^2 + cx$;

蝴蝶突变系统模型 $f(x) = 1/6x^6 + 1/4ax^4 + 1/3bx^3 + 1/2cx^2 + dx$ 。

上述各突变模型中: x 表示突变系统中的一个状态变量; $f(x)$ 表示状态变量 x 的势函数; a, b, c, d 表示状态变量的控制变量。

如果一个指标可以分解为 2 个子指标, 3 个或 4 个子指标, 则该系统视为尖点突变系统、燕尾突变系统或蝴蝶突变系统。

1.3 由突变系统模型的分歧集方程推出归一公式

根据突变理论, 突变系统的势函数 $f(x)$, 所有临界点集合成平衡曲面, 其方程通过求 $f(x)$ 的一阶导数而得到, 即 $f'(x) = 0$ 。它的奇点集通过对 $f(x)$ 求二阶导而得到, 即 $f''(x) = 0$ 。由 $f'(x) = 0$ 和 $f''(x) = 0$ 两方程消去 x , 则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。

尖点突变模型分解形式的分歧集方程为 $a = -6x^2, b = 8x^3$,

于是得到 $x_a = (-1/6a)^{1/2}, x_b = (b/8)^{1/3}$ 。

此处 x_a 和 x_b 只表示对应 a 的 x 值和对应 b 的 x 值。

若令 $x = 1$, 则有 $a = -6, b = 8$ 。这样就确定了在评价决策时状态变量 x 和控制变量 a, b 的取值范围, 即 x 为 $0 \sim 1, a$ 为 $0 \sim 6, b$ 为 $0 \sim 8$ (这里指 x, a, b 的绝对值)。但 $x,$

a、b 的取值范围不统一、也不能同效用函数、模糊隶属数的取值范围一致。因此，为了实际运算方便必须把各突变模型中状态变量、控制变量的取值限制在 0 ~ 1。我们把定义为 0 ~ 1 的状态变量、控制变量的值称为突变级数或突变模糊隶属函数。它是由归一公式表达的。

由 $x_a = (-1/6a)^{1/2}$ ，取 $x = 1$ (绝对值)，则 $a = 6$ (绝对值)。如果把 a 缩小 6 倍、即也取为 1，则 $a = 1 \times 6$ ， $x_a = (1 \times 6/6)^{1/2} = (a)^{1/2}$ 。也就是说现在根号内 a 比原来的 a 值相对缩小了 6 倍 (a 的程度并不改变)、使 a 的取值范围变为 0 ~ 1；同理，可以推导出 $x_b = (b)^{1/3}$ 。这样 x、a、b 的取值范围都是 0 ~ 1，于是 x、a、b 都可以使用效用函数或模糊隶属函数，成为多维模糊隶属函数。这样突变数学就和模糊数学沟通起来了。

尖点突变模型的归一公式是 $x_a = (a)^{1/2}$ ， $x_b = (b)^{1/3}$ 。同理，燕尾突变模型分解形式的分歧方程为 $a = -6x^2, b = 8x^3, c = -3x$ ；导出归一公式为 $x_a = (a)^{1/2}, x_b = (b)^{1/3}, x_c = (c)^{1/4}$ 。蝴蝶突变模型分解形式的分歧点集为 $a = -10x^2, b = 20x^3, c = -15x^4, d = 4x^5$ ；导出的归一公式为 $x_a = (a)^{1/2}, x_b = (b)^{1/3}, x_c = (c)^{1/4}, x_d = (d)^{1/5}$ 。

1.4 利用归一公式进行综合评价

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 x 值 “大中取小” 或取平均值。假若系统的诸控制变量之间不可互相

替代，即不可相互弥补不足，因而按归一公式求得系统状态变量 x 值时，要从诸控制变量对应的 x 值中，即 x_a, x_b, x_c, x_d 中选取最小的一个作为整个系统的 x 值，这叫 “大中取小”，只有这样，才能满足分歧方程，才能质变。而当系统的各个控制变量之间可以相互补充其不足时，x 值达到较高的平均值，也就是取控制变量 a、b、c、d 相对应的 x_a, x_b, x_c, x_d 的平均值。

2 研究实例

以辽西沿海 9 流域为例，进行评价分类：I 大凌河上窝铺站以上区；II 大凌河上窝铺至朝阳段；III 大凌河凉水河子及牯牛河流域；IV 大凌河西河流域；V 大凌河朝阳以下干流区；VI 小凌河流域；VII 小凌河至六股河间流域；VIII 六股河流域；IX 六股河至山海关间流域。利用上述算法建立水资源丰富度 (总目标) 评价的多耦合突变评判模型，总目标下含 3 个一级指标：①控制因素，含二级指标 A 和 E；②地表水状况，含二级指标 B、C、D 和 I；③地下水状况，含二级指标 F、G、H 和 J。其中 A 为年均降水量；B 为地表水量密度；C 为最大 4 个月径流百分率；D 为年径流变差系数；E 为水面蒸发量；F 为地下水总量；G 为地下水综合补给模数；H 为 $P = 7.5\%$ 时保证供水总量；I 为 人均地表水量；J 为 人均地下水量。具体情况见表 1。

表 1 辽西沿海 9 个流域 10 项评价分类指标多年平均值

指标		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
A	mm	548	486	478	504	521	571	626	627	670
B	万t/km ²	6.4	13.2	8.4	7.3	8.8	13.2	17.2	21.4	23.1
C	%	70.7	66.8	74.3	81.3	73.4	81.0	86.8	83.9	86.8
D		0.56	0.53	0.62	0.70	0.54	0.67	0.78	0.70	0.78
E	mm	1778	1836	1844	1819	1803	1756	1704	1703	1663
F	亿 m ³	1.98	1.55	1.08	0.45	3.59	3.18	1.69	1.24	0.87
G	万 t/km ²	3.48	3.41	1.89	1.46	7.97	5.81	6.9	4.03	4.90
H	亿 m ³	3.95	2.41	2.28	1.10	2.76	3.15	1.83	3.24	2.08
I	m ³ /人	380.2	1053.2	928	248	519	479.7	613	1078	1370
J	m ³ /人	203	272	209	51	478	211	247	203	291

二级指标中，A 与 E 之间为尖点突变；B、C、D、I 之间为蝴蝶突变；F、G、H、J 之间为蝴蝶突变。一级指标中，控制因素、地表水状况、地下水状况 3 者之间为燕尾突变。

由前述理论可知：F、G、H、J 各量之间为互补关系，可利用归一公式中的 “求均值” 原

则。A 与 E 为非互补关系，B、C、I 之间为互补关系，但它们和 D 为非互补关系，在利用归一公式时可 “大中取小”，但这会损失部分信息，本文对其改进，将非互补的关系通过数学运算转变为互补关系。对数据进行标准化处理时，A 为升序排列，即其值越大，对流域丰富

度正影响越大；而对 E 进行降序排列，即其值越小，对流域丰富度正影响越大。对 D 的处理也是采用降序排列。其它所有余下的指标均是采用升序排列，这样就解决了信息丢失的问题。

本文将单指标各级标准值（流域水资源丰富度评价的灰色聚类分析资料）作为分类指示数。指示数位于同一类型的河流就属于同一丰

富度区。

据以上所述的计算原理，将数据经过规范化处理后，采用突变评判模型。经过计算可以将辽西各流域水资源的丰富度分为以下几类：{4} 极枯；{1, 2, 3} 较枯；{6} 中等；{7, 8} 丰；{5, 9} 较丰。为了方便对比，本文将文献 [1] 与 [2] 中应用模糊综合评判及灰色聚类法结果一同列于表 2 中。

表 2 3 种不同方法对水资源丰富度评价分类结果

评价分类级别									
流域	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
模糊综合评判法	4	4	4	5	1	3	4	4	1
灰色聚类法	1	1	5	5	1	3	1	1	1
突变评价法	4	4	4	5	1	3	2	2	1

由评价结果可以看出，这 3 种评价分类方法不太相同，但对流域 IV、V、VI、IX 的评价分类结果基本相同，对流域 III 的结果也相差不大；对流域 I、II、III，模糊综合评判法与突变评价法一致。通过对流域 I、II 分析，灰色聚类评价结果与实际明显不符，因为这二流域指标数值大多处于较枯，水资源丰富度不可能较丰。VII、VIII 这两流域模糊综合评判法和突变评价法不一致。经过分析可知，流域大多数指标不是很枯，它们和流域 IX 相差不大，模糊综合评判法将其划为 4 级与实际不符，本文将其划为 2 级。因此突变评价法对水资源丰富度评价分类的结果是最为合理的。分析另外两种方法不合理的原因，模糊综合评判法采用了取极大极小值，丢失了部分信息，且在因子加权过程中，过份突出了较大值指标作用，因而评价等级不合理；而灰色聚类法的主观性较大，计算结果不合理。

3 结论

突变评价法按指标间的内在矛盾逻辑关系

列出多耦突变评判模型，关键是抓住矛盾主次方面。其本质在于计算不同质态的矛盾。它将定性与定量相结合，在定性评价上它考虑了评价指标的相对重要性，在定量评价上避免了人为确定权重的困难，它不直接采用权重，而是求算出总的隶属函数，所以评价结果很科学，而且计算简单、准确，值得推广应用。

参考文献：

- [1] 田锡堂. 流域水资源丰富度评价的灰色聚类分析 [J]. 经济地理, 1996, (2): 215 ~ 220.
- [2] 郑成德. 流域水资源丰富度评价的模糊综合评判 [J]. 地理学与国土研究, 1998, 14(2): 42 ~ 46.
- [3] 都兴富. 突变理论在经济领域的应用 [M]. 电子科技大学出版社, 1994. 22 ~ 70.
- [4] Poston T, Stewart I. Catastrophe Theory [M]. Cambridge: Camb. Univ. Press, 1980.

作者简介：黄奕龙（1975 ~），硕士研究生。

（2000-11-02 收稿 朴东明编辑）