

文章编号: 1001-6791 (2000) 02-0180-06

地下水系统径流带的模糊划分模式^{*}

张文国, 王国利

(大连理工大学土木工程系, 辽宁 大连 116024)

摘 要: 提出了径流带划分的模糊划分模式, 为准确进行水文地质参数分区和建立水文地质概念模型创造了条件。结合某水文地质单元的实际进行了应用, 取得了满意的结果。

关 键 词: 水文地质; 地下水系统; 径流带; 模糊划分模式

中图分类号: P641.13 **文献标识码:** A

地下水系统径流带的时空划分, 对水文地质概念模型的建立和地下水流模拟, 具有重要的意义。实际工作中, 由于认识和经验水平不同, 有时因划分结果的差异得出错误的分析结论, 由此导致概念模型失真。传统上, 人们习惯将地下水系统径流带以强、弱进行划分^[1]而在共维条件下径流的强与弱既有差异, 又存在“亦此亦彼”性, 是典型的模糊概念。因此, 传统的划分不可避免地存在主观任意性。针对这一实际, 本文提出一种新的划分方法——模糊划分模式。通过实例, 验证该方法的实用性和有效性。

1 模糊划分模式理论与模型

模糊划分模式不但实现了对样本的分类, 而且解决了通常聚类分析方法中精确性与模糊性的矛盾。是当前模糊水文学中应用比较广泛的领域^[2]。

设有待分类的 n 个样品组成的样本集, 每个样本有据以分类的 m 个指标特征值, 则该样本集的特征值矩阵为

$$X_{m \times n} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix} = (x_{ij}) \quad (1)$$

式中 $i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$ 。设以决策集 D 中的目标 j 最大特征值 x_{ij} 与最小特征值 x_{ij} 作为上、下确界的相对值, r_{ij} 为决策 i 样本 j 特征值对于优的相对隶属度。有两类指标: 一是指标值越大, 对优的隶属度越大, 有

^{*} 收稿日期: 1998-12-31; 修订日期: 1999-04-07

作者简介: 张文国 (1963-), 男, 内蒙古赤峰人, 大连理工大学土木工程系博士, 主要从事水文水资源研究。

$$r_{ij} = (x_{ij} - \min_i x_{ij}) / (\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}) \quad (2)$$

二是指标值越小, 对优的隶属度越大, 则有

$$r_{ij} = (\max_i x_{ij} - x_{ij}) / (\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}) \quad (3)$$

设将 n 个样本划分为 C 类, 描述每个分类的 m 个指标特征为聚类 (分类) 中心 (或称为模式的 m 个指标特征), 可用模糊聚类中心矩阵

$$S_{m \times c} = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1c} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2c} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_{m1} & s_{m2} & \dots & s_{mc} \end{bmatrix} = (s_{ih}) \quad (4)$$

表示, $h = 1, 2, \dots, c$ 。相应地, 其模糊划分矩阵为

$$U_{c \times n} = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ u_{c1} & u_{c2} & \dots & u_{cn} \end{bmatrix} = (u_{hj}) \quad (5)$$

首先确定权重向量: $w = (w_1, w_2, \dots, w_m)$, 使 $\sum_{i=1}^m w_i = 1$ 。分别给定允许计算精度 ϵ_1 和 ϵ_2 , 并给出初始模糊划分矩阵 u_{ih}^0 , 利用下列公式:

$$s_{ih} = \sum_{j=1}^n u_{hj}^2 w_i^2 r_{ij} / \sum_{j=1}^n u_{hj}^2 w_i^2 \quad (6)$$

$$u_{hj} = \frac{1}{\sum_{i=1}^c \left(\sum_{l=1}^m (w_l |r_{lj} - s_{lh}|)^2 / \sum_{l=1}^m (w_l |r_{lj} - s_{lh}|)^2 \right)} \quad (7)$$

循环迭代, 并满足迭代条件

$$\max |u_{ih}^l - u_{ih}^{l-1}| \leq \epsilon_1 \quad \max |s_{hj}^l - s_{hj}^{l-1}| \leq \epsilon_2 \quad (8)$$

式中 l 为迭代结束的次数。求解软划分模糊矩阵 u_{ih} 和最优模糊划分矩阵 (u_{hj}^*) 。从而实现对样本的分类。

2 实例研究

北方某岩溶煤矿区, 是我国主要的煤炭生产基地之一, 同时也是一大水矿床。该区地势西高东低, 高程 800~200 m, 面积 150 km²。为一南北走向的构造盆地。50 年代以来, 国家投入了大量人力、物力, 进行了地质、水文地质勘察工作, 积累了丰富的资料。70 年代开始利用数值法对矿床涌水量进行预测和控制, 取得了明显效果。在此基础上, 又建立了分布参数的管理模型^[3], 提出了针对不同条件的备选管理方案。为管理决策提供了科学的依据。该水文地质条件如图 1 所示, 该区分分为潜水和承压水两个亚区。共有三个地下水进水口的和两个泄水口。地层由老而新分布有: 震旦系、寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系、三叠系。其中奥陶系灰岩为本区主要含水层。该区地下水系统的特点为: 西部裸露 (O₂) 山区为补给区, 东部为径流区, 下游泉群 (南部泄水口下游) 构成排泄区。客观上构成一个较完整的补、径、蓄、排的水文地质

单元。

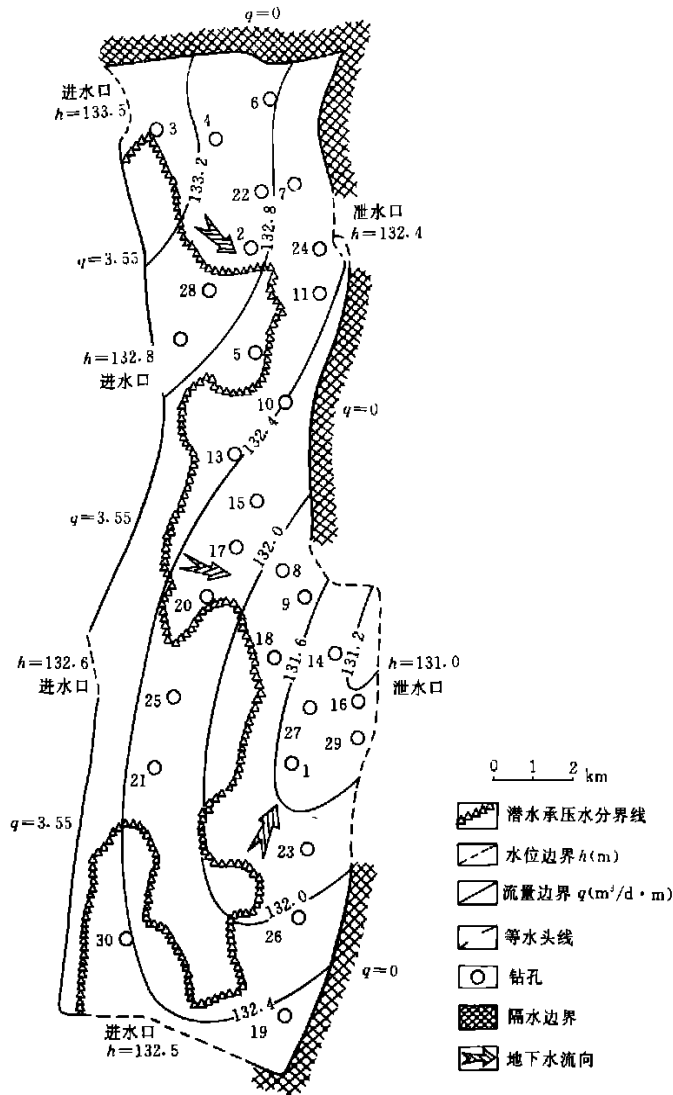


图 1 钻孔布置及地下水流场图

Fig. 1 Layout of drilling holes and groundwater flow field

选取该水文地质单元内 30 个钻孔的资料，运用模糊划分方法进行地下水系统径流带的划分，并由此得到水文地质参数的分区，作为概念模型建立的基础。30 个钻孔在平面上基本控制了该水文地质单元的整个区域。每个钻孔选取 9 个水文地质指标参与计算（表 1）。这样即可在三维空间上对单元内地下水径流带进行分区。

根据区域水文地质条件确定分为 4 个径流带，即：强径流带；中等径流带；弱径流带；极弱径流带。分别依据公式 2 和 3 求得 r_{ij} ，得到表 2。

表 1 钻孔的水文地质指标

孔号	O ₂ 顶板 标高/m	含水组溶 洞率/%	裂隙岩 溶率/%	单孔裂隙岩 溶点数/个	单位涌水量 (L/sec. 10m)	矿化度 /g · L ⁻¹	总硬度 /德国度	天然流场水力坡度 (钻孔附近)/(1/10000)	水位 年变幅/m
1	13.0	3.25	14.8	4.50	5.96	0.12	13.0	1.15	2.98
2	47.0	3.11	13.8	4.90	6.66	0.24	14.0	1.26	2.83
3	68.0	2.75	12.9	5.10	6.03	0.15	10.0	1.19	2.69
4	- 110.0	1.50	3.50	2.50	3.75	0.35	17.0	1.24	2.78
5	- 308.0	0.34	2.15	0.69	2.10	2.30	21.0	6.66	1.10
6	- 532.0	0.05	0.09	0.13	0.21	6.84	26.0	10.89	0.82
7	- 104.0	1.38	4.00	2.60	4.89	0.48	17.0	2.61	1.95
8	28.0	2.58	14.5	4.60	6.35	0.19	12.0	1.35	2.68
9	36.0	2.73	12.5	4.80	7.38	0.23	12.0	1.28	2.80
10	- 337.0	0.70	1.84	0.71	2.13	2.94	20.0	6.99	1.19
11	- 96.0	1.45	5.30	2.10	3.49	0.53	19.0	3.27	1.79
12	- 575.0	0.09	0.10	0.11	0.23	6.26	24.0	10.12	0.83
13	- 118.0	1.51	4.30	2.30	3.58	0.41	20.0	3.19	1.77
14	71.0	2.88	13.0	4.60	6.42	0.17	13.0	1.18	2.75
15	- 87.0	1.32	4.80	2.80	4.10	0.42	16.0	2.58	1.87
16	52.0	2.74	14.4	4.40	6.89	0.16	13.0	1.24	2.78
17	- 142.0	1.40	4.60	2.50	4.57	0.39	19.0	3.42	1.95
18	- 400.0	0.58	1.87	0.72	1.87	3.11	20.0	7.89	1.05
19	- 517.0	0.10	0.11	0.12	0.24	6.48	25.0	11.23	0.79
20	- 158.0	1.34	3.90	2.40	3.92	0.40	16.0	2.97	1.84
21	- 546.0	0.07	0.12	0.14	0.22	7.00	23.0	12.56	0.81
22	27.0	3.08	13.5	5.00	6.73	0.14	12.0	1.30	2.92
23	- 114.0	1.46	3.80	2.30	4.25	0.45	15.0	2.43	1.76
24	70.0	2.89	13.6	5.30	6.28	0.18	11.0	1.31	3.20
25	- 322.0	0.63	2.13	0.65	1.84	3.46	21.0	7.04	1.00
26	- 122.0	1.44	5.10	2.20	4.11	0.28	18.0	2.38	1.88
27	58.0	2.68	13.2	5.00	7.15	0.21	10.0	1.32	2.70
28	- 350.0	0.46	1.97	0.64	2.00	2.79	21.0	7.94	1.03
29	50.0	2.63	14.2	4.70	6.58	0.20	11.0	1.28	2.71
30	- 305.0	0.38	1.78	0.58	1.79	2.58	22.0	6.78	1.09

给出 ϵ_1 和 ϵ_9 , 均为 0.01; 由于各指标对分类起的作用是大致相同的, 所以, 权重向量取为等权重, 即 $w_i = \frac{1}{9}, i = 1, 2, \dots, 9$;

给出初始模糊划分矩阵 u_{ih}^0 , 即 U_0 , 矩阵元素的每一行的和应为 1。运用 6、7 循环迭代, 并依据迭代结束条件 8 作为判别标准, 求得模糊软划分矩阵 u_{ih} , 据最大隶属度原则最终求得最优划分矩阵 u_{ih}^* , 即 U , 列入表 3。

分类结果: 第Ⅰ类, 强径流区, 包括钻孔 1、2、3、8、9、14、16、22、24、27、29; 第Ⅱ类, 弱径流区, 包括钻孔 5、10、18、25、28、30; 第Ⅲ类, 极弱径流区, 包括钻孔 6、12、19、21; 第Ⅳ类, 中等径流区, 包括钻孔 4、7、11、13、15、17、20、23、26。按钻孔的平面位置分布, 在研究区内可划分出 4 个水文地质参数区; 以 O₂ 顶板标高, 在垂向自上而下划分为 4 个径流带, 即 ± 0 以上, ± 200 m, - 200~ - 500 m, - 500 m 以下。这样就在三维空间上确定了地下水系统的内部结构, 为概念模型和模拟模型的建立奠定了基础。经与该区域的水文地质条件和模拟模型的预报结果对比、验证^[3], 其划分结果比较好地反映了已知的水文地质条件, 且对建模具有指导作用。

表 2 i 钻孔 j 指标特征值对优的相对隶属度值

Table 2 Relative membership degrees of j index of i drilling hole to superior									
孔号	O ₂ 顶板 标高/m	含水组 溶洞率/%	裂 隙 岩溶率/%	单孔裂隙 岩溶点数/个	单位涌水量 (L/s. 10m)	矿化度 /g · L ⁻¹	总硬度 /德国度	天然流水力坡度 钻孔附近) / (1/10000)	水位年 变幅/m
1	0.9102	1.0000	1.0000	0.8459	0.8020	0.0000	0.1875	0.0000	0.9087
2	0.9628	0.9562	0.9320	0.9229	0.8996	0.0174	0.2500	0.0096	0.8465
3	0.9954	0.8438	0.8708	0.9615	0.8117	0.0044	0.0000	0.0035	0.7884
4	0.7198	0.4531	0.2318	0.4605	0.4937	0.0334	0.4375	0.0079	0.8257
5	0.4133	0.0906	0.1400	0.1118	0.2636	0.3169	0.6875	0.4829	0.1286
6	0.0666	0.0000	0.0000	0.0039	0.0000	0.9676	1.0000	0.8536	0.0124
7	0.7291	0.4156	0.2658	0.4798	0.6527	0.0523	0.4375	0.1280	0.4813
8	0.9334	0.7906	0.9796	0.8651	0.8563	0.0102	0.1250	0.0175	0.7842
9	0.9458	0.8375	0.8436	0.9037	1.0000	0.0160	0.1250	0.0114	0.8340
10	0.3684	0.2031	0.1190	0.1156	0.2678	0.4099	0.6250	0.5118	0.1660
11	0.7415	0.4375	0.3542	0.3834	0.4575	0.0596	0.5625	0.1858	0.4149
12	0.0000	0.0125	0.0007	0.0000	0.0028	0.8924	0.8750	0.7862	0.0166
13	0.7074	0.4562	0.2862	0.4220	0.4700	0.0422	0.6250	0.1778	0.4066
14	1.0000	0.8844	0.8776	0.8651	0.8661	0.0073	0.1875	0.0026	0.8133
15	0.7554	0.3969	0.3202	0.5183	0.5425	0.0436	0.3750	0.1253	0.4481
16	0.9706	0.8406	0.9728	0.8266	0.9317	0.0058	0.1875	0.0079	0.8257
17	0.6703	0.4219	0.3066	0.4605	0.6081	0.0392	0.5625	0.1989	0.4813
18	0.2709	0.1659	0.1210	0.1175	0.2315	0.4346	0.6250	0.5907	0.1079
19	0.0898	0.0156	0.0014	0.0019	0.0042	0.9244	0.9375	0.8834	0.0000
20	0.6455	0.4031	0.2590	0.4412	0.5174	0.0407	0.3750	0.1595	0.4357
21	0.0449	0.0063	0.0020	0.0058	0.0014	1.0000	0.8125	1.0000	0.0083
22	0.9319	0.9469	0.9116	0.9422	0.9093	0.0029	0.1250	0.0131	0.8838
23	0.7136	0.4406	0.2522	0.4220	0.5635	0.0480	0.3125	0.1122	0.4025
24	0.9985	0.8875	0.9184	1.0000	0.8466	0.0087	0.0625	0.0140	1.0000
25	0.3916	0.1812	0.1387	0.1040	0.2273	0.4855	0.6875	0.5162	0.0871
26	0.7012	0.4344	0.3406	0.4027	0.5439	0.0233	0.5000	0.1078	0.4523
27	0.9799	0.8219	0.8912	0.9422	0.9679	0.0131	0.0000	0.0149	0.7925
28	0.3483	0.1281	0.1278	0.1021	0.2497	0.3881	0.6875	0.5951	0.0996
29	0.9675	0.8063	0.9592	0.8844	0.8884	0.0116	0.0625	0.0114	0.7967
30	0.4180	0.1031	0.1149	0.0906	0.2204	0.3576	0.7500	0.4934	0.1245

表 3 模糊软划分及最优划分结果

Table 3 Fuzzy soft partition and optimal partition results								
模糊软划分矩阵					最优划分矩阵			
钻孔号	I 类	II 类	III 类	IV 类	I 类	II 类	III 类	IV 类
1	0.95	0.01	0.01	0.03	1	0	0	0
2	0.97	0.01	0.00	0.02	1	0	0	0
3	0.96	0.01	0.00	0.02	1	0	0	0
4	0.10	0.09	0.03	0.78	0	0	0	1
5	0.00	0.96	0.02	0.02	0	1	0	0
6	0.00	0.01	0.98	0.00	0	0	1	0
7	0.01	0.02	0.00	0.97	0	0	0	1
8	0.98	0.00	0.00	0.01	1	0	0	0
9	0.98	0.01	0.00	0.02	1	0	0	0
10	0.00	0.97	0.01	0.01	0	1	0	0
11	0.02	0.04	0.01	0.93	0	0	0	1
12	0.00	0.02	0.97	0.01	0	0	1	0
13	0.02	0.05	0.01	0.92	0	0	0	1
14	0.99	0.00	0.00	0.01	1	0	0	0

续表

钻孔号	模糊划分矩阵				最优划分矩阵			
	I 类	II 类	III类	IV类	I 类	II 类	III类	IV类
15	0.02	0.02	0.01	0.96	0	0	0	1
16	0.98	0.00	0.00	0.01	1	0	0	0
17	0.01	0.02	0.01	0.96	0	0	0	1
18	0.00	0.95	0.03	0.02	0	1	0	0
19	0.00	0.00	0.99	0.00	0	0	1	0
20	0.01	0.02	0.01	0.96	0	0	0	1
21	0.00	0.03	0.96	0.01	0	0	1	0
22	0.99	0.00	0.00	0.01	1	0	0	0
23	0.02	0.03	0.01	0.94	0	0	0	1
24	0.96	0.01	0.01	0.03	1	0	0	0
25	0.00	0.97	0.02	0.01	0	1	0	0
26	0.01	0.01	0.00	0.98	0	0	0	1
27	0.97	0.01	0.00	0.02	1	0	0	0
28	0.00	0.98	0.01	0.01	0	1	0	0
29	0.99	0.00	0.00	0.01	1	0	0	0
30	0.00	0.96	0.02	0.01	0	1	0	0

3 结 论

通常情况下，在获得大量的地质、水文地质资料后，由于人们认识和经验的差异，往往难以得出分析结论。本文提出的方法可将大量的定性和定量的已知信息用模糊划分模式进行分析处理，从而得出正确分析结论。实例表明，该方法是处理解决诸如“强”与“弱”，“清洁”与“污染”等模糊现象的有力工具。在水文地质领域具有广泛的应用前景。

参考文献:

[1] 王国利等 模糊聚类理论模型及其在水文地质条件识别中的应用[J] 华北水利水电学院学报, 1997, (2): 76 ~ 80

[2] 陈守煜 系统模糊决策理论与应用[M] 大连: 大连理工大学出版社, 1994 5~ 10

[3] L in Xueyu, L iao Zisheng, Zhang W enguo An optimal management model for Karst water supply dewatering in Fengfeng coal mining area, north China [C] Future Groundwater Resources at Risk, 1994, Helsinki, Finland 95~ 105

Fuzzy Partition Model on Groundwater Flow Zones

ZHANG Wen-guo,WANG Guo-li

(Department of Civil Engineering , Dalian University of Technology, Dalian 116024,China)

Abstract: The “strong” and “weak” of ground water flow are the typical fuzzy concepts For the sake of the accurate classification of hydrogeological parameters and establishment of hydrogeological concept model, this paper proposes a fuzzy partition model and verifies and tests the model with a practical situation.

Key words: hydrogeology; groundwater system; flow zone; fuzzy partition model