

集对分析及在地下水环境质量评价中的应用

刘 慧, 龚士良

(上海市城市地质研究院, 上海 200072)

摘要: 集对分析是处理不确定性问题的新的系统理论方法, 本文利用该理论, 以水质为主要评价因子, 提出了地下水环境质量评价新方法。

关键词: 集对分析; 地下水; 水质评价; 水环境质量

中图分类号: P641.3

文献标识码: A

Abstract Set pair analysis is a new systematical and theoretical technique for treating indeterminate problems. A new method for evaluating groundwater environmental quality is proposed herein by using the said theory and taking the water quality as the key factor for evaluation.

Key words: set pair analysis; groundwater; water quality evaluation; water environmental quality

1 引言

集对分析是我国学者赵克勤先生创立的一门新的处理不确定性问题的系统理论方法, 自1989年正式提出迄今10余年来, 在社会、经济、科技等诸多领域得到应用^[1], 并产生良好效果。本文以地下水水质评价为依托, 阐述集对分析理论在地下水环境质量评价中的应用。

2 集对分析理论概述

集对分析是一门新的不确定性理论^[2], 其核心思想是将系统内确定性与不确定性予以辩证分析与数学处理, 体现系统、辩证、数学三大特点。该理论认为, 不确定性是事物的本质属性, 并将不确定性与确定性作为一个系统进行综合考察。集对分析将确定性分成“同一”与“对立”两个方面, 而将不确定性称为“差异”; 从同、异、反三方面分析事物及其系统。同异反三者互相联系、互相影响、互相制约, 又在一定条件下互相转化。引入联系度及其数学表达统一描述各种不确定性, 从而将对不确定性的辩证认识转换成具体数学运算。

联系度及其数学表达由下确定:

设根据问题 W , 对集 A 和集 B 组成的集对 H 展开分析, 共得到 N 个特性, 其中有 S 个为集对中两个集合所共有, 这两个集合又在另外的 P 个特性上相对立, 在其余的 F 个特性($F = N - S - P$)上关系不确定, 则在不计各特性权重情况下, 称:

S/N 为集 A 与集 B 在问题 W 下的同一度, 简记为 a ;

F/N 为相应的差异度, 简记为 b ;

P/N 为对立度, 简记为 c 。

由于同一度、差异度、对立度是从不同侧面刻划两个集合的联系状况, 故总的联系用下式表示:

$$\mu(W) = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}i + \frac{P}{N}j \\ = a + bi + cj$$

式中的 i 为差异不确定度的系数, 在 $[-1, 1]$ 区间视不同情况取值, i 也可仅起标记作用; j 为对立度的系数, 其值为 -1 , j 同样也可仅起标记作用; μ 为联系度, 当其用于刻划某一数字时称为联系数。

由此可知, 联系度表达式一式三量, 同时体现出三者的联系、影响与转化。当 i 为 1 时, 不确定度转化为同一度; i 为 -1 时, 则转化成对立度; 当 i 在 $(-1, 1)$ 区间取值, 则不确定量中同一与对立各占一定比例。联系度 μ 与不确定系数 i 是该理论的基石。该理论包容了随机、模糊、灰色等常见不确定。

该理论提供了直接分析、几何模型、运算演绎^[1]等方法处理和解决不同的具体问题, 并可对各种含有诸多未定因素的评价体系作出决策判断, 实现方案的最优选择^[3]。

收稿日期: 2000-02-14

作者简介: 刘慧 (1966), 女 (汉族), 上海人, 工程师。

3 水质评价的集对分析原理

地下水水质是水环境质量的重要方面, 地下水水质状况直接影响地下水环境质量。因而, 地下水环境质量评价, 从某种意义上说即是地下水水质评价。而地下水水质评价实质上是一个具有确定性的评价指标和评价标准与具不确定性的评价因子及其含量变化相结合的分析过程。实际的地下水水质状况与既定的水质评价标准同样构成了一个集对, 通过两者间的比照分析, 可获得水质评定的量化指标。

根据集对分析联系度表达式中的同一度、差异不确定度、对立度数值及其相互间的联系、制约、转化关系, 不但能进行地下水水质评价, 并可进而对水质监测与改良提供决策帮助, 从而为地下水环境质量的总体评估与保护对策的优选实施提供技术支撑。

4 水质评价的集对分析方法

基于集对分析的地下水水质评价, 首先将评价水体的指标含量与评价标准构筑一个集对。对于一个试样来说, 设有 N 个评价指标, 若其中有 S 个含量优于标准, 有 P 个较标准为差, 有 F 个未测或缺乏比较, 则该试样的联系度表达式为

$$\mu = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}i + \frac{P}{N}j \quad (1)$$

式中的 i 、 j 分别为差异不确定度和对立度标记。

设 $a = S/N$ 、 $b = F/N$ 、 $c = P/N$, 则 a 、 b 、 c 依次称为同一度、差异不确定度、对立度, 由式 (1) 简写为

$$\mu = a + bi + cj \quad (2)$$

根据集对分析理论, 式 (2) 中的同一度、对立度是相对确定的, 而差异度则相对不确定; 同时由于 a 、 b 、 c 三者是对同一问题不同侧面的全面刻划, 因而三者彼此间存在相互联系、制约、转化关系。依据 a 、 b 、 c 三者大小关系及定量分析, 可判断实际试样的水质状况。显然, a 值越大, c 值越小, 水质越好。另外, 依据 a 、 b 、 c 的具体数值, 可进行水质状况评价分级, 即以评价因子的含量指标相对于水质评价标准的达标、超标数及其所占比例, 确定地下水质量等级。

由于地下水容易遭受污染, 通过定期的水质检测, 及与天然本底值的比照, 可以掌握地下水是否污染及其污染程度。利用集对分析方法进行地下水污

染程度的评价, 以天然本底值、评价标准及检测分析的最低检出限为依据, 将监测点各指标的含 量划分为未检出 (低于最低检出限)、检出 (高于最低检出限)、超标 (高于评价标准), 则检出的监测点数量占监测点总数的百分比即为检出率, 超标的监测点数量占监测点总数的百分比为超标率。由此, 以集对分析联系度表达式表述即为: a 相当于未检出率, b 相当于检出率, c 相当于超标率。 a 值越大越接近于 1, 说明地下水越接近于天然状态; b 值越大, 说明已有不良组分或不同于天然水质的组分介入, 提示有污染迹象; 而 c 值越大, 则污染程度越高。

超标组分依据评价标准尚有轻度污染、中等污染、严重污染等不同等级, 因而 c 值还可根据实际情况再作进一步分析, 即集对分析具有层次性, 联系度可进行矩阵运算。

由于实际水体含有各种不同组分, 各自的含量可能隶属不同的水质级别标准, 利用 a 、 b 、 c 三者关系及其相对于水质分级界限的比例权重, 可综合判定水体的实际水质等级。

根据上述方法, 对于批量试样或具动态变化的水质评价, 同样可进行定量分析, 继而对地下水环境的总体质量作出综合评估。

5 应用实例

某地区在作地下水水质分析评价时, 根据具体实际, 选择了对水质影响有重要作用的若干组分作为评价因子, 部分试样的检测结果及该地区对地下水质量的分级标准如表 1、表 2^[4]。

表1

试样	1	2	3	4
总矿化度	502	800	782	1390
总硬度	25.30	23.34	35.44	73.92
亚硝氮	0	0	0.140	0
硝氮	3.15	2.30	9.30	3.05
酚	0	0.002	0.002	0
铬 ⁽⁶⁺⁾	0.005	0.003	0.010	0.032

* 单位: mg/L

表2

水质分级	总矿化度	总硬度	亚硝氮	硝氮	酚	铬 ⁽⁶⁺⁾
I	400	10	0.035	2.5	0.001	0.002
II	1000	25	0.1	10	0.002	0.05
III	3000	100	0.4	50	0.01	0.20

根据前述方法, 若以水质分级 I、II、III 的三个界限依次作为集对分析联系度表达式中的同一度、

差异度、对立度的取值依据, 则4个试样水质评价的集对分析联系度分别为:

$$\mu_1 = \frac{2}{6} + \frac{3}{6}i + \frac{1}{6}j = 0.333 + 0.500i + 0.167j \quad (3)$$

$$\mu_2 = \frac{1}{6} + \frac{5}{6}i + \frac{0}{6}j = 0.167 + 0.833i + 0j \quad (4)$$

$$\mu_3 = \frac{0}{6} + \frac{4}{6}i + \frac{2}{6}j = 0 + 0.667i + 0.333j \quad (5)$$

$$\mu_4 = \frac{2}{6} + \frac{2}{6}i + \frac{2}{6}j = 0.333 + 0.333i + 0.333j \quad (6)$$

比较上述4式中同一度、差异度、对立度大小, 可直观看出, 试样水质由优至劣依次为1、4、2、3。

进一步分析评价因子的具体含量与水质分级标准间的数量关系, 可以看出, 即使同一级别的水, 也会因指标的含量差异, 而使水的质量有所不同。由此, 相对于分级标准可继续作同一、差异、对立的集对分析。

以1号试样为例, 6个评价因子的组分含量相对于水质分级标准的联系度表达式为:

$$\begin{aligned} \mu_{1, \text{总矿化度}} &= \frac{1000 - 502}{1000 - 400} + \left(\frac{502 - 400}{1000 - 400} \right) i + 0j \\ &= 0.83 + 0.17j + 0j \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \mu_{1, \text{总硬度}} &= 0 + \frac{100 - 25.3}{100 - 25} i + \frac{25.3 - 25}{100 - 25} j \\ &= 0 + 0.996i + 0.004j \end{aligned} \quad (8)$$

$$\mu_{1, \text{亚硝氮}} = 1 + 0i + 0j \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \mu_{1, \text{硝氮}} &= \frac{10 - 3.15}{10 - 2.5} + \frac{3.15 - 2.5}{10 - 2.5} i + 0j \\ &= 0.913 + 0.087i + 0j \end{aligned} \quad (10)$$

$$\mu_{1, \text{酚}} = 1 + 0i + 0j \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \mu_{1, \text{铬}^{(6+)}} &= \frac{0.05 - 0.005}{0.05 - 0.002} + \frac{0.005 - 0.002}{0.05 - 0.002} i + 0j \\ &= 0.938 + 0.062i + 0j \end{aligned} \quad (12)$$

6项指标平均后得:

$$\bar{\mu}_1 = 0.780 + 0.219i + 0.001j \quad (13)$$

将式 (13) 所得权重系数处理式 (3), 并经归一化后得:

$$\mu'_1 = 0.703 + 0.297i + 0j$$

同理 $\mu'_2 = 0.501 + 0.499j + 0j$

$$\mu'_3 = 0.138 + 0.811i + 0.051j$$

$$\mu'_4 = 0.516 + 0.346i + 0.138j$$

上述4式中的系数即为水质隶属于不同级别标准的同一程度。如1号试样相对于 I 级水有70.3%的同一程度, 有29.7%同一于 II 级水, 试样偏向于 I 级水。

6 结语

本文借助于集对分析理论, 提出了建立在该理论基础之上的地下水水质评价新方法, 从而为地下水环境质量评价提供了新的途径。特别须指出的是, 由于地下水质量状况实际上具有动态特征, 集对分析理论同时提供了对联系度表达式中 i 、 j 进行不同赋值的各种方法, 从而可使研究问题更趋深化。该理论不仅是一种技术手段, 更是一种辩证思维的决策系统。因此, 其不仅对地下水质量评价有借鉴作用, 同时对地下水环境的保护决策更具有指导意义。

承蒙集对分析理论创立者赵克勤先生关心赐教, 至为铭感。

参 考 文 献

- [1] 赵克勤 集对分析及其初步应用 杭州: 浙江科学技术出版社, 2000- 1.
- [2] 赵克勤 集对论——一种新的不确定性理论、方法与应用 系统工程, 1996 (1).
- [3] 赵克勤 基于集对分析的方案评价决策矩阵与应用 系统工程, 1994 (4).
- [4] 郑成德 水环境质量评价的灰色聚类法 水文, 1998 (4).

(上接第13页)

参 考 文 献

- [1] 王大纯等 水文地质学基础 北京: 地质出版社, 1986

- [2] 陈崇希等 地下水流问题数值方法 武汉: 中国地质大学出版社, 1990
- [3] 中华人民共和国北京市标准 北京地区建筑地基基础勘察设计规范 (GBJ 01- 501- 92). 北京, 1992