

用灰色系统理论 分析南京东郊岩溶水源地地下水动态

禹祥裕 夏建平

(南京地质学校)

提要 以灰色关联分析的方法对地下水动态进行研究是可行的,能
为水源地地下水动态的控制指出方向,为地下水资源的合理开发、利用
提供科学依据。

关键词 关联系数;关联度;灰色系统分析;地下水动态;南京东郊某
水源地

0 引言

地下水动态的研究是水文地质工程地质工作中非常重要的一个方面。找出影响地下水动态的主要因素并按影响程度的大小排序,这对系统的决策和管理是必不可少的。以往多用数理统计方法进行多变量相关分析,它要求样本空间不随时间变化,而实际工作中出现的常常是另一种情况,即研究对象具有动态性。如何反映系统的动态性,灰色系统理论为我们提供了一个新途径。它是以一般的数学方法为基础,根据所研究因素之间的发展态势来衡量因素间关联程度的一种灰色关联分析法。本文拟以灰色关联分析的方法,对南京东郊某岩溶水源地地下水动态进行研究。

1 基本原理

设有 m 个与研究的母因素(x_0)有一定关联作用的子因素(x_1, x_2, \dots, x_m),它们都至少有 N 个同期动态观测值。

母序列: $\{x_{0(i)}\} \quad i=1, 2, \dots, N$

子序列: $\{x_{k(i)}\} \quad i=1, 2, \dots, N$

$k=1, 2, \dots, m$

把它们标么化后仍以 $x_{0(i)}, x_{k(i)}$ 记之:

第一作者简介:禹祥裕,男,57岁,副教授,1964年于长春地质学院水文地质专业研究生毕业,210008 南京市大

石桥4号。

$$x_{0(i)} = x_{0(i)} / \bar{x}_0; \quad \bar{x}_0 = \sum_{i=1}^N x_{0(i)} / N$$

$$x_{k(i)} = x_{k(i)} / \bar{x}_k; \quad \bar{x}_k = \sum_{i=1}^N x_{k(i)} / N$$

$$i = 1, 2, \dots, N; \quad k = 1, 2, \dots, m.$$

关联度是由关联系数演变而来的。子因素 x_k 与母因素 x_0 的关联系数为

$$\xi_{0k(i)} = (\Delta_{\min} + \theta \Delta_{\max}) / (\Delta_{0k(i)} + \theta \Delta_{\max}) \quad (1)$$

式中 $\xi_{0k(i)}$ 子因素 x_k 与母因素 x_0 在 i 时刻的关联系数

θ 分辨系数

$$\Delta_{0k(i)} = |x_{0(i)} - x_{k(i)}|$$

$$\Delta_{\min} = \min_{1 \leq k \leq m} \left\{ \min_{1 \leq i \leq N} [\Delta_{0k(i)}; \quad i = 1, 2, \dots, N] \right\}$$

称之为两极最小差;

$$\Delta_{\max} = \max_{1 \leq k \leq m} \left\{ \max_{1 \leq i \leq N} [\Delta_{0k(i)}; \quad i = 1, 2, \dots, N] \right\}$$

Δ_{\max} 称为两极最大差。

$\xi_{0k(i)}$ 越大, 关联性越好, 不难看出 $0 \leq \xi_{0k(i)} \leq 1$ 。子因素 x_k 与母因素 x_0 的关联度记为 r_{0k} , 则

$$r_{0k} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \xi_{0k(i)}, \quad r_{0k} \in [0, 1] \quad (2)$$

r_{0k} 就是衡量事物(因素)之间关联性的一个量度, 因素自身的关联度 $r_{00} = 1$, r_{0k} 愈接近于1, 子因素 x_k 与母因素 x_0 的关联性愈好。当 θ 取值0.5时, $r_{0k} \geq 0.8$ 为关联性好; $0.6 \leq r_{0k} < 0.8$ 为关联合格; $0.5 \leq r_{0k} < 0.6$ 为关联性勉强合格; $r_{0k} < 0.5$ 为关联性不合格(或称不显著)。综上所述, 关联分析是通过计算关联系数及关联度实现的。关联度的基本思想, 是根据曲线间相似程度来判断关联性。

2 应用实例

2.1 水文地质条件简述

南京东郊某水源地位于丘陵地区, 地势西南高, 东北低。区内大部分被第四系覆盖, 厚60~150m。下伏基岩主要是中三叠系青龙群顶部角砾状灰岩, 其北部系侏罗系象山群砂岩, 西部属二叠系黄马青群砂页岩, 两者均为断层接触; 南部为青龙群灰岩, 西南部有零星火成岩体

边界清楚。水源地主要含水岩组为青龙群顶部角砾状灰岩, 赋存裂隙岩溶水。层厚150~250 m。蜂窝状灰岩似层状地发育于该层中。是一个覆盖型岩溶地区, 其储水构造为呈北东向展布的开阔向斜盆地。本区断裂构造发育。地下水主要赋存于岩石的断裂、裂隙和溶洞之中, 呈线状或脉状“水线”。“水线”相互交织构成“水网”, “水网”是在构造型式的基础上形成的。各类储水构造依靠“水线”与区域地下水“水网”相互关联, 相互制约, 构成了统一的地下水循环系统。不同河段地下水与地表水补给关系各异。水源的主要补给源为大气降水, 部分来自东南部山区的侧向迳流补给。

2.2 灰关联分析

2.2.1 参数选择

位于南京东郊某水源地西北段的井₃孔, 孔深250.67m, 角砾状灰岩含水层顶板和底板标高分别为68.87m和250.67m, 该孔正好置于水源地抽水前期地下水等水压线的低值中心部位。由此可见, 井₃孔的地下水动态的长期观测记录, 可以反映整个水源地地下水的动态变化; 所以, 我们以井₃孔的水位高程作为研究对象。众所周知, 影响地下水动态特征的因素众多, 就本区而言, 主要影响因素是: 水文地质条件; 气候因素; 人为因素等。为了作关联分析, 我们选用了7个因素, 如母因素: 井₃孔历年每年月平均水位高程 ($x_{0(i)}$); 子因素: (1) 位于井₃孔南1250m的ck₃孔历年每年月平均水位高程($x_{1(i)}$); (2) 当年降雨量月均值($x_{2(i)}$); (3) 前一年降雨量月均值($x_{3(i)}$); (4) 当年蒸发量月均值($x_{4(i)}$); (5) 位于井₃孔NW25°约750m的K₉孔每年月均开采量($x_{5(i)}$); (6) 位于井₃孔以南约100m的 x_{k1} 孔每年月均开采量($x_{6(i)}$)。

上述各因素数值见表1

表1 某水源地地下水动态及有关因素时序表 (原始数据引自江苏水文队长观站)

Tab.1 The table of groundwater regime and related factors from Some Source area in time order

序号(年份)	1 (1981)	2 (1982)	3 (1983)	4 (1984)	5 (1985)
($x_{0(i)}$) (m)	9.16	10.48	9.96	9.85	9.67
($x_{1(i)}$) (m)	9.12	9.83	10.08	9.94	9.77
($x_{2(i)}$) (mm)	87.49	95.26	93.67	79.99	84.44
($x_{3(i)}$) (mm)	85.26	87.49	95.26	93.67	79.99
($x_{4(i)}$) (mm)	130.2	130	123.06	118.73	116.6
($x_{5(i)}$) (m ³)	16656.08	18946.83	28678.83	36050.75	33669.42
($x_{6(i)}$) (m ³)	30436	28737.33	23748.67	26735.33	21186.67

2.2.2 计算过程

首先将表1数据进行标么化处理, 即把各因素序列除以各自均值; 在此基础上计算母因素 x_0 与子因素 x_k 序列在第 i 的绝对差值, 之后求得母因素序列与子因素序列的两极最小、最

大差值;再按式(1)解得关联系数序列;最后按公式(2)求关联度,所求的关联系数及关联度列于表2。计算实现过程的框图如图1所示。

表2 关联系数和关联度表 (1981~1985)
Tab.2 Results of correlation and correlation coefficient(1981-1985)

关联 因素 \ 序号 (年份) 系数	1 (1981)	2 (1982)	3 (1983)	4 (1984)	5 (1985)	关联度
$(x_{0(i)})$ 与 $(x_{1(i)})$	0.9827	0.7556	0.8989	0.9134	0.9093	0.891
$(x_{0(i)})$ 与 $(x_{2(i)})$	0.7496	0.9284	0.7867	0.6514	0.8718	0.797
$(x_{0(i)})$ 与 $(x_{3(i)})$	0.8458	0.7021	0.7359	0.7569	0.6954	0.747
$(x_{0(i)})$ 与 $(x_{4(i)})$	0.5999	0.9183	0.9037	0.8072	0.8112	0.808
$(x_{0(i)})$ 与 $(x_{5(i)})$	0.3665	0.3333	0.7618	0.3443	0.3981	0.440
$(x_{0(i)})$ 与 $(x_{6(i)})$	0.4381	0.8517	0.6285	0.9044	0.5073	0.665

2.2.3 结果分析

根据上述计算结果,当 θ 取0.5时,关联度 $r_{01} > r_{04} > r_{02} > r_{03} > r_{06} > r_{05}$ 。由此可见,ck₈与井₃孔的水位标高之间关联程度最高($r_{01} = 0.891$),这说明两孔虽相距有1250m之远,但两孔之间水力联系密切,为同一储水构造;于同一时间内的两个观测点上,地下水位基本在同一标高上,或具有同步等幅升降之特点。井₃孔水位高程与当年和前一年之降雨量有着较为显著的关联性($r_{02} = 0.797, r_{03} = 0.747$),它反映了地下水天然动态与大气降水密切相关的规律,大气降水是本水源地的主要补给来源;还佐证了地下水位不单单受当年降水量影响,而且受往年降水量多少的制约,地下水位本身是一个过程函数,存在继承性,大气降雨对

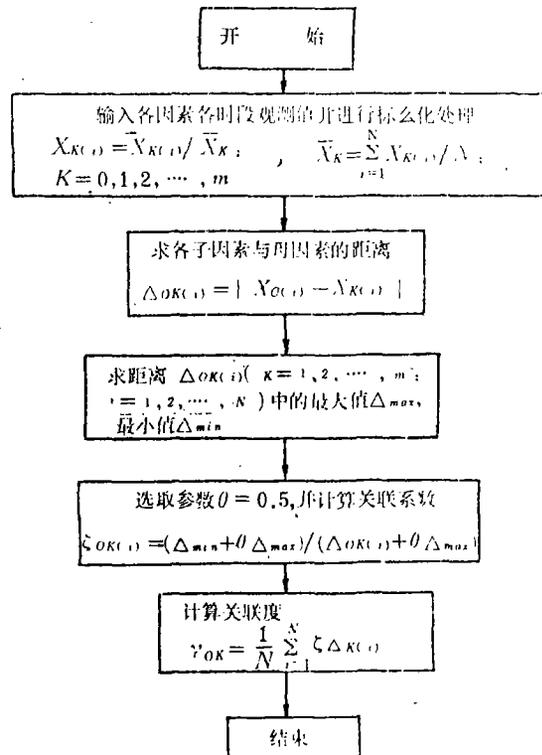


图1 关联度计算框图

Fig.1 Flow chart for program of correlation

水位的影响有着一定程度的滞后性。井₃孔水位高程与蒸发量关联度达0.808。需要指出, 这里的蒸发量由于蒸发皿的边缘效应, 它比单位面积的实际水面蒸发量要大得多, 而实际中的蒸发包含了水面蒸发、土面蒸发、叶面蒸腾等, 故文中所指的蒸发量与实际蒸发量具有不可比性; 蒸发量的高低取决于气温等因素, 而在本地区, 气温高低与降水量多少呈正相关。所以, 透过现象看本质, 蒸发量与井₃孔水位高程的关联性, 乃揭示了本地区气候因素对地下水动态特征有着何等重要的影响。至于 $r_{k1上}$ 、 k_0 孔的开采量与井₃孔水位高程关联性较差($r_{06} = 0.665$, $r_{05} = 0.440$), 则认为开采量与地下水位呈负相关, 81~85年间开采量有限, 降深有限, 还远远没有发挥井的出水效益。

3 结语

通过灰色系统分析方法分析认为: (1)南京东郊某水源地地下水水力联系密切; (2)地下水动态特征与大气降水密切相关, 大气降水是主要的水源补给来源; (3)81~85年间生产井开采量对地下水位尚未构成明显影响, 水量与开采资源相比, 有很大的开采潜力。总之, 形成本地区地下水动态因素是复杂的, 目前看来, 以各处水文地质条件, 气候因素为主; 随着水源地的开发利用, 有理由认为, 人为因素(如开采量的影响)将日趋重要, 随之可能出现的岩溶地区地面沉降坍塌和地下水污染问题, 应及早研究对策, 采取措施。

应用灰色关联分析, 可对水源地系统的过去及现状进行因素分析, 作出量化评估, 明确重点、揭露矛盾, 这将有助于我们对水源地的评价、开发、管理。这种分析方法, 与一般的定性分析比较, 有它的独到之处。应该指出, 灰色系统理论的孕育发展史还很短, 但其发展和应用的广泛性超出了人们的预料; 灰色系统理论还在成熟、完善之中, 在地下水动态分析及水资源评价中的应用还有待于深入探讨, 本文只是一个初步尝试。

参 考 文 献

- 1 邓聚龙. 灰色控制系统. 华中工学院出版社, 1985.
- 2 邓聚龙. 灰色预测与决策. 华中工学院出版社, 1985.
- 3 焦赳赳. 灰色水文地质系统分析与时间序列建模讲座. 勘察科学技术, 1987(6):

ANALYSIS ON GROUNDWATER REGIME OF A KARST WATER SOURCE AREA BY USE OF GREY SYSTEM THEORY

Yu Xiangyu Xia Jianping

(Nanjing Geological School)

Abstract

The analysis of grey system theory can be realized through calculating the correlation degree and the correlation coefficient. Based on the similarity between curves of mother-factor and son-factor, the correlativity can be obtained. In an area of eastern suburb water source, Nanjing city, the groundwater regime has been taken as mother-factor, other 6 elements such as the precipitation have been taken as Son-factors, and then, analysis and estimation have been conducted by grey system theory. The results show that:

- (1) The source water has a close hydraulic connection in behavior.
- (2) The correlativity is obvious between regimes of groundwater and precipitation. Precipitation is the main supplementary source of groundwater.
- (3) The current extraction of ground water still has no evident effect on regional groundwater level.

To sum up, the hydrogeological condition and the climate feature are main factors controlling local groundwater regime. The effect of man-made factor is getting more important as the development of water source, which will bring out the problems on environment and engineering geology. We should take counter measures in advance. The applied example has shown that it is feasible to use the grey system theory to analyse groundwater regime. The application of grey system theory has some particular advantages which can point out the direction for controlling groundwater regime and provide scientific basis for reasonable development and use of groundwater resources.

Key words: Correlation; Correlation coefficient; Analysis of grey system theory; Groundwater regime; Water source area. Nanjing