

· 技术方法 ·

地面沉降影响因素定量分析法比较^{*}

宋 印 胜

(山东省鲁南地质工程勘察院)

提要 对影响某市地面沉降的六个因子,采用相关分析、效果测度、距离系数、灰色关联度、密切值法进行了定量分析,探讨了各模式特征及地面沉降影响因素分析中存在的问题。

关键词 地面沉降 影响因素 定量分析 应用探讨

1 引 言

我国有近 50 个城市(区)产生地面沉降,许多已发生地面沉降的城市相继开展了监测研究。最近几年,由于监测研究的理论、方法和手段日臻完善,先后提交了一批具有国际先进水平的研究成果。这些研究成果不仅使不少城市的地面沉降得到有效控制,还为城市减灾、防灾和促进城市的可持续发展提供了科学决策依据。

地面沉降监测研究,旨在查明地面沉降不同时空的分布、变化规律和导致地面沉降的因子,并针对致沉因素采取相应的防治措施,从而达到控制地面沉降的目的。地面沉降城市一般都分布有巨厚松散沉积层,且与地下水超采联系密切。在无力学指标及分层标的条件下,地下水含水层的多层性、开采井层位及开采量的差异性,又使得主要沉降层难以辨识,只能借助地下水各层开采量、水位等信息来描述或研究。因此,地面沉降主要影响因素的确立,要通过各类监测信息用数理统计的方法来刻划。

2 地面沉降影响因素分析方法

设某市(区)有地面沉降监测值 $y(i)$,且有 n 个影响因素 $x_j(i)$,每个影响因素有 m 个监测数据;则地面沉降序列为 $\{y(i)\} = \{y(1), y(2), \dots, y(m)\}$,影响因素数列为 $\{x_j(i)\} = \{x_j(1), x_j(2), \dots, x_n(m)\}$,其中 $i = j, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$;试求解 $y(i)$ 与 $x_j(i)$ 间的亲疏关系。这一命题在系统工程理论中属于系统诊断,也可以用决策分析的方法加以解决,常用的有相关分析、效果测度、距离系数、灰色关联度和密切值等方法。

2.1 相关分析法

$$R_j = \frac{\sum_{i=1}^m [x_j(i) - \bar{x}_j][y(i) - \bar{y}]}{\sqrt{\sum_{i=1}^m [x_j(i) - \bar{x}_j]^2 \cdot \sum_{i=1}^m [y(i) - \bar{y}]^2}} \quad (1)$$

* 本文 1998 年 12 月收到,1999 年 2 月改回,游文澄编辑。

式中: R_j — j 影响因数的相关数; $|R_j| \in (0,1)$; $|R_j|$ 越大关系越密切;

\bar{x} 、 \bar{y} 一分别为影响因素、地面沉降监测值序列平均值:

$$\bar{x}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_j(i); \bar{y} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y(i) \cdot$$

2.2 效果测度法

首先对监测值序列按以下二式作无量纲处理:

$$y(i) = y(i) / \max y(i) \cdot \quad (2)$$

$$x_j(i) = x_j(i) / \max x_j(i) \cdot \quad (3)$$

式中: $\max y(i)$ 、 $\max x_j(i)$ 一分别为各自监测值序列中的最大值。

再用无量纲后的影响因素序列与地面沉降序列比值作为效果测度(关联系数) $E_j(i)$:
当 $x_j(i) < y(i)$ 时,

$$E_j(i) = x_j(i) / y(i) \cdot \quad (4)$$

当 $x_j(i) > y(i)$ 时,

$$E_j(i) = y(i) / x_j(i) \cdot \quad (5)$$

最后求解影响因素序列的平均效果测度 F_j , F_j 愈接近 1, 关联性愈好。

$$F_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m E_j(i) \cdot \quad (6)$$

2.3 距离系数法

由于影响因素序列与地面沉降数据间差异较大,可比性差,因此使用无量纲后的数列计算距离系数 D_j , D_j 越小表示两序列越接近。

$$D_j = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m [x_j(i) - y(i)]^2} \cdot \quad (7)$$

2.4 灰色关联度法

地面沉降与其影响因素之间在 i 时刻的关联系数表示为:

$$j(i) = \frac{\min_j + \max_j}{j(i) + \max_j} \cdot \quad (8)$$

式中: $j(i) = |y(i) - x_j(i)|$; $\min_j = \min_i \{ \min_j j(i) \}$; $\max_j = \max_i \{ \max_j j(i) \}$;

—分辨系数, $(0,1)$, 一般(本次)取 0.5。

地面沉降与影响因素间的灰色关联 r_j 用(9)式表示; r_j 越接近于 1, 关联程度越高。

$$r_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m j(i) \cdot \quad (9)$$

2.5 密切值法

为消除专家评判人为因素的影响,宜采用 $A = \{ E_j(i) \}$ 作规范化矩阵,并选出 i 时刻最大($B \max$)及最小($B \min$)影响因素。

$$B \max(i) = \max_j \{ E_j(i) \} \cdot \quad (10)$$

$$B \min(i) = \min_j \{ E_j(i) \} \cdot \quad (11)$$

其密切值 C_j 越小,表示两数列关系越密切。

$$C_j = \frac{d \max(j)}{b^+} - \frac{d \min(j)}{b^-} \quad (12)$$

式中:

$$d \max(j) = \sqrt{\sum_{i=1}^m [E_j(i - B \max x(i))]^2}; \quad d \min(j) = \sqrt{\sum_{i=1}^m [E_j(i) - B \min(i)]^2};$$

$$b^+ = \min\{B \max(i)\}; \quad b^- = \max\{B \min(i)\}.$$

3 地面沉降影响因素实例计算

为了便于计算对比,本文引用葛庆宝等人的实测资料^[1]。河北沧州市地处华北平原之东部滨海地带,松散沉积物厚度近 1000m。按水文地质条件及含水层特征,其间划分为 5 个含水组(层)。30m 以上为浅层含水层(),只零星开采少量生活及农业用水;30m 以下的 30~150m,150~250m,250~350m,350~450m 及 >450m 分别为 , 1, 2, , 含水组(层),是该市工业及生活用水的主要开采层。由于深层地下水开采相对集中,且强度大,多年超采导致地下水水位急剧下降,因而产生地面沉降。1970 年地面沉降量仅 9mm;以后沉降速率加快,1986 年累计沉降量为 744mm;1990 年漏斗中心累计沉降量已达 1131mm(表 1)。对表 1 采用(2)、(3)式无量纲值列表 2;按(4)、(5)式计算的效果测度值见表 3^[3]。

表 1 累计开采量与累计沉降量监测值

Table 1 Monitoring data of mining yield and depressive figure

年份	累计开采量(10 ⁴ m ³)					全市最低水位(m)	漏斗中心累计沉降量(mm)
	含水组	1 含水组	2 含水组	含水组	深层含水组		
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅		
1971	36.60	140.63	272.69	8.27	458.19	22.47	25.0
1972	74.81	287.31	588.40	25.36	957.88	24.00	35.0
1975	114.78	833.27	2503.08	221.93	3673.06	50.28	89.0
1976	127.57	1187.78	3415.04	317.69	5048.08	53.69	145.0
1978	197.44	1946.91	5356.01	537.22	8037.58	58.07	172.0
1979	248.89	2270.21	6196.57	863.24	9578.91	65.00	199.0
1980	316.13	2862.06	7028.85	1103.50	11310.54	69.99	272.0
1981	350.29	3626.44	7825.99	1377.21	13126.93	74.48	351.0
1982	464.44	4334.44	8559.99	1831.71	15190.57	70.53	456.0
1983	589.88	5123.44	9194.99	2309.61	17217.92	73.94	527.0
1986	1252.87	8202.64	11875.24	3383.93	24715.73	75.05	744.0
1990	2734.89	11944.04	15452.79	4944.47	35076.19	82.08	1131.0

表 2 地面沉降量与地下水开采量无量纲数值

Table 2 Nondimensional values between depressive figure and mining yield

序列 i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
y	0.022	0.031	0.079	0.128	0.152	0.176	0.240	0.310	0.403	0.466	0.658	1.0
x_1	0.013	0.027	0.042	0.047	0.072	0.091	0.116	0.128	0.170	0.216	0.458	1.0
x_2	0.012	0.024	0.070	0.099	0.163	0.190	0.240	0.304	0.363	0.429	0.687	1.0
x_3	0.018	0.038	0.162	0.221	0.347	0.401	0.455	0.506	0.554	0.595	0.768	1.0
x_4	0.002	0.005	0.045	0.064	0.109	0.175	0.223	0.279	0.370	0.467	0.684	1.0
x_5	0.013	0.028	0.105	0.144	0.229	0.273	0.322	0.376	0.433	0.491	0.705	1.0
x_6	0.274	0.292	0.613	0.654	0.707	0.792	0.853	0.907	0.859	0.901	0.914	1.0

表 3 地面沉降量与各层地下水开采量效果测度值

Table 3 Effect measure value between depressive figure and mining yield of different layer s underground water

E_i i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
E_1	0.591	0.871	0.532	0.367	0.474	0.517	0.483	0.413	0.422	0.464	0.696	1.0
E_2	0.545	0.774	0.886	0.773	0.933	0.926	1.000	0.981	0.901	0.921	0.958	1.0
E_3	0.818	0.816	0.488	0.579	0.438	0.439	0.527	0.613	0.727	0.783	0.857	1.0
E_4	0.091	0.161	0.570	0.500	0.717	0.994	0.929	0.900	0.918	0.998	0.962	1.0
E_5	0.591	0.903	0.752	0.889	0.664	0.645	0.745	0.824	0.931	0.949	0.933	1.0
E_6	0.080	0.106	0.129	0.193	0.215	0.222	0.281	0.342	0.469	0.517	0.720	1.0

根据相关系数、效果测度、距离系数、灰色关联度及密切值法的数学模式,其计算结果见表 4。

表 4 地面沉降影响因素计算参数

Table 4 Calculation result of effective factors and parameters

方法因素	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	主要因素
相关系数	0.9504	0.9976	0.9586	0.9980	0.9924	0.7515	x_4, x_2
效果测度 ^[2]	0.570	0.883	0.674	0.728	0.819	0.356	x_2, x_5
距离系数	0.138	0.021	0.142	0.031	0.051	0.463	x_2, x_4
灰色关联度 ^[1]	0.8177	0.9250	0.8418	0.9050	0.9126	0.7845	x_2, x_5
密切值法	3.6845	0.0000	2.6759	2.6573	0.9240	6.3383	x_2, x_5

4 应用探讨

应用五种方法对影响地面沉降的六个因子进行分析,结果表明:相关系数及距离系数方法的主要影响因素为 x_2, x_4 ;效果测度、灰色关联度及密切值法的主要影响因素为 x_2, x_5 ;说明应用经典数学方法与应用现代数学方法对地面沉降影响因素进行分析,所得的结论并非完全一致。相关系数和距离系数是传统常用的相似性统计量,它们刻划的是两条空间曲线整体的几何特征。效果测度、灰色关联度及密切值法是近代(近年)使用的分析曲线各点差异均值的方法。这些数学模式本身是严密科学的,但应用于地面沉降影响因素分析,哪种方法更能反映“真值”,尚不能贸然作出结论。笔者认为分析此类问题,最好能将传统方法与现代方法结合起来,当其结论一致时,方可毋庸置疑。

五种定量分析方法,计算简繁程度依次为:效果测度、相关系数、距离系数、灰色关联度和密切值法。效果测度法用无量纲后的比较数列与参考数列之比的均值代表关联度(平均效果测度),此法是否可行尚待研究。密切值法是多目标决策方法的一种^[4],它用关联系数距阵代替专家评判的规范化矩阵,密切值距离往往被拉大,原有的信息是否会发散,也有待探讨。相关系数是原始数据未加任何处理而直接计算的。灰色关联度大小除取决于数列本身外,还可通过调节 α 值来提高(或降低)分辨率^[5]。距离系数与效果测度都使用极大值无量纲后的数列,但分析结果却使主要因素发生改变,是二条曲线各点均值代表实际,还是二条曲线整体差异代表实际?也是需要探讨的课题。

地面沉降影响因素定量分析,在无分层标的背景下,只能反映数列间数学关系的一个方面,分析结果是否经得起检验,还要看各含水层间软土层的力学指标及含水层的水力性质和条件。如果不考虑力学参数和含水层的调蓄能力,只凭开采量统计资料分析,难免会脱离实际。地面沉降影响因素的分析最好能采用同一地点的沉降量、开采量、水位等分析指标。一个城市(区)用一个累计沉降量、一个水位、一个不同含水层的开采总量进行统计分析,会导致影响因素的信息损失或失真。数据采集的欠科学性,也往往会给严谨的分析结论带来疑问。

参 考 文 献

- [1] 葛庆宝,张金荣.利用灰色系统理论关联度分析方法确定某市地面沉降的主要影响因素.勘察科学技术,1993,(6):15~17
- [2] 段永候.我国地面沉降研究现状与21世纪可持续发展.中国地质灾害与防治学报,1998,(2):1~5
- [3] 郑永胜,王莹.地面沉降影响因素的效果测度分析.中国地质灾害与防治学报,1998,(2):104~107
- [4] 卢学强,唐运平.密切值法在污水土地处理工程选址中的应用.城市环境与城市生态,1997,(1):23~25
- [5] 徐一正,周斯富.系统工程应用手册.北京:煤炭工业出版社,1991.147~149

COMPARISON ON ANALYSIS METHODS OF DEPRESSIVE EFFECTIVE FACTORS

Song Yinsheng
(Lunan Geologic - engineering Institute)

Abstract

Six factors which effect the depression of the city are fixedly analysed by the methods of correlation analysis , effect degree , distance coefficient , gray association ratio and intimate values. The characteristics of the different models have been discussed in this paper , and some problems existed in the analysis studied as well.

Key words :Depression , effective factors , fixedly analysis application study

(上接第 28 页)

EXPLORATION, UTILIZATION AND PREVENTION OF UNDERGROUND WATER RESOURCES IN HUANTAI COUNTY, SHANDONG

Cao Zandong , Shou Jiping and Cao Yongkai
(*Shandong Monitoring Center of Geological Environment*)

Han Suzhen
(Shandong Geological School)

Abstract

According to the investigation of occurrence condition , distribution rule and water quality characteristics of the underground water resources in Huantai county , and the comprehensive analysis of its exploration potential , the measures in reasonable utilization of the underground water resources have been put forward , and some protection measures also put forward to manage environmental problems in the areas as pollution of water quality , excessive exploration of underground water and salinization of soil.

Key Words :Underground water resources , exploration potential , protection measures , Huantai county in Shandong province