

基于层次分析法的德州地面沉降易发区的可拓学划分应用

张永伟^{1,2}, 李红霞³, 商婷婷¹, 贾超², 梁浩¹, 杨亚宾⁴

(1.山东省地质环境监测总站, 山东 济南 250014; 2.山东大学, 山东 济南 250061; 3.济南市育贤小学, 山东 济南 250024; 4.山东省鲁北地质工程勘察院, 山东 德州 253015)

摘要:基于物元模型的可拓学理论分析, 提出华北平原德州地面沉降易发区的可拓学划分方法。利用地面沉降易发性分级、分类标准和影响因子分析, 构造出经典域物元和节域物元, 应用物元和可拓集合中的关联函数, 建立了易发性等级综合评判的可拓评价模型, 通过基于层次分析法的可拓学评价分析, 采用正方形等间距(2km×2km)划分了135个网格, 再将划分单元转化成面元, 经过等值差分, 得到了地面沉降易发区划分结果。计算结果显示, 可拓学方法能够实现量化、多因子评价地面沉降易发性等级问题, 从而科学合理地指导地面沉降综合分区防治。

关键词:地面沉降; 可拓学; 物元模型; 易发区划; 层次分析法

中图分类号: P642.26

文献标识码: B

引文格式: 张永伟, 李红霞, 贾超, 等. 基于层次分析法的德州地面沉降易发区的可拓学划分应用[J]. 山东国土资源, 2016, 32(7): 58-64. ZHANG Yongwei, LI Hongxia, SHANG Tingting, etc. Application of Extensives Theory for Partition of Land Subsidence Susceptible Area of Dezhou City Based on Analytic Hierarchy Process[J]. Shandong Land and Resources, 2016, 32(7): 58-64.

地面沉降是一种致使地面高程降低的缓变性地质灾害^[1]。基于层次分析的可拓学是较为科学的量化评价方法, 采用这种方法对华北平原地面沉降最为严重的地区之一德州进行易发区划分, 对于该区的地面沉降综合防治具有一定的指导作用。

1 研究区概况

德州市位于黄河下游冲积平原区, 1965年深层地下水开采以来, 深层地下水位降落漏斗迅速在纵、横向上拓展, 漏斗中心水位埋深已超过140m。20世纪80年代, 德州市范围内产生了不同程度的地面沉降。德州是华北平原地面沉降出现最早、影响最大和最为严重的地区之一, 已与河北省形成连片沉降区^[2]。

德州市地面沉降各监测点以每年16.9~62.5

mm(1991—2010年)的速率下沉。沉降中心位于城区的国棉一厂院内(D62), 19年累计沉降量为-1186.9mm, 年均沉降量为-62.5mm。城区边缘的木材公司院内(D9)累计沉降量(19年)为-636.9mm, 年均沉降量(19年平均值)-33.5mm。外围(YD1)累计沉降量为-321.7mm, 年均沉降量(19年平均值)-16.9mm(表1)。由此看出, 监测区各观测点存在明显的不均匀沉降。随着观测点不均匀沉降的发生, 地面点高差会越来越大^[3]。

2 可拓学模型

2.1 可拓学简介

可拓学(extensics)是一门横断学科和交叉学科, 由广东工业大学蔡文为首的中国学者创立, 是研究事物拓展的可能性和开拓创新的规律与方法^[4]。

收稿日期: 2015-12-17; 修订日期: 2016-02-20; 编辑: 王敏

基金项目: 山东省地面沉降监测与防治研究(工作项目编号: 1212011220182)、华北平原德州地面沉降监测预警系统建设(鲁国土资发[2012]112号)

作者简介: 张永伟(1972—), 男, 山东泗水人, 研究员, 主要从事水工环及地质灾害防治等方面的工作; E-mail: zyw526@126.com

目前,可拓学应用于工业^[5]、医学、农业、土地等级评价等领域,在地质学上应用如围岩质量分类^[6]、泥石流危险度评价、地质灾害脆弱性评价和损毁山体影响度评价等^[7]。

假设事物的等级为 N ,它关于特征 c 的量值为 v ,以此三元组作为表述事物的基本元,为物元 R 构

成的三要素, $R = (N, c, v)$ 。

可拓学应用的基本思路为:将评价目标根据数据值进行等级划分,构建可拓模型,再将评价指标依次代入各等级的集合中进行多指标评定,根据评定结果与各等级集合的关联度大小进行比较来确定评定等级。

表 1 德州市 1991—2010 年各监测点高程及沉降量统计

监测点号	1991 年高程 /m	2007 年高程 /m	2010 年高程 /m	1991—2010 沉降量/mm	2007—2010 沉降量/mm	1991—2010 年 均沉降量/mm	2007—2010 年 均沉降量/mm
D62	19.917	18.836	18.730	-1186.9	-105.9	-62.5	-35.3
Q1	21.283	20.256	20.160	-1122.9	-95.8	-59.1	-31.9
D94	18.800	18.082	17.985	-815.5	-97.5	-42.9	-32.5
Q3	21.047	20.388	20.305	-741.8	-82.8	-39.0	-27.6
D109	23.085	22.454	22.340	-745.3	-114.3	-39.2	-38.1
D101	19.540	18.958	18.859	-681.4	-99.4	-35.9	-33.1
D108	22.362	21.763	21.656	-705.8	-106.9	-37.1	-35.6
D9	19.976	19.423	19.339	-636.9	-83.9	-33.5	-28.0
D110	21.198	20.660	20.538	-659.8	-121.8	-34.7	-40.6
D111	20.737	20.264	20.184	-552.9	-79.9	-29.1	-26.6
D112	20.133	19.719	19.656	-476.8	-62.8	-25.1	-20.9
D113	20.117	19.718	19.666	-451.1	-52.1	-23.7	-17.4
DJ19	22.291	21.879	21.810	-480.8	-68.8	-25.3	-22.9
DJ9	22.872	22.493	22.438	-434.1	-55.1	-22.8	-18.4
D114	19.718	19.361	19.322	-396.3	-39.3	-20.9	-13.1
D115	18.795	18.468	18.433	-362.4	-35.4	-19.1	-11.8
DJ22	20.518	20.163	20.110	-407.6	-52.6	-21.5	-17.5
YD6	19.338	18.989	18.940	-398.1	-49.1	-21.0	-16.4
YD4	20.085	19.741	19.695	-389.9	-45.9	-20.5	-15.3
D116	15.591	15.293	15.268	-322.6	-24.6	-17.0	-8.2
YD1	20.635	20.353	20.313	-321.7	-39.7	-16.9	-13.2

2.2 可拓学模型建立

2.2.1 确定经典域

$$R_{oj} = (N_{oj}, C, V_{oji}) = \begin{bmatrix} N_{oj} & C_1 & V_{oj1} \\ & C_2 & V_{oj2} \\ & \dots & \dots \\ & C_n & V_{ojn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{oj} & C_1 & \langle a_{oj1}, b_{oj1} \rangle \\ & C_2 & \langle a_{oj2}, b_{oj2} \rangle \\ & \dots & \dots \\ & C_n & \langle a_{ojn}, b_{ojn} \rangle \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: N_{oj} 表示所划分的第 $j(j=1, 2, 3, \dots, m)$ 个等级, $c_i(i=1, 2, 3, \dots, n)$ 表示易发性等级 N_{oj} 的因素, $V_{oji} = \langle a_{oji}, b_{oji} \rangle$ 为 N_{oj} 关于因素 c_i 所确定的量值范围——经典域。

2.2.2 确定节域

$$R_p = (P, C, V_p) = \begin{bmatrix} P & C_1 & V_{p1} \\ & C_2 & V_{p2} \\ & \dots & \dots \\ & C_n & V_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_{oj} & C_1 & \langle a_{p1}, b_{p1} \rangle \\ & C_2 & \langle a_{p2}, b_{p2} \rangle \\ & \dots & \dots \\ & C_n & \langle a_{pn}, b_{pn} \rangle \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: P 为等级的全体 $V_{pi} = \langle a_{pi}, b_{pi} \rangle$, 为 P 关于因素 i 所取量值的范围, 即 P 的节域。

2.2.3 确定待评物元

$$R = (P, C, V_i) = \begin{bmatrix} P & C_1 & V_1 \\ & C_2 & V_2 \\ & \dots & \dots \\ & C_n & V_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中: p 为待评价目标, c_i 为影响易发等级的因素, v_i 为 p 关于因素 c_i 的量值。

2.2.4 确定评价指标关于各等级的关联度

各单项评价指标 V_i 关于各等级 j 的关联度为

$$K_{oj}(v_i) = \begin{cases} \frac{p(v_i, V_{oji})}{p(v_i, V_{pi}) - p(v_i, V_{oji})} & p(v_i, V_{pi}) - p(v_i, V_{oji}) \neq 0 \\ \frac{-p(v_i, V_{oji})}{|X_{oji}|} & p(v_i, V_{pi}) - p(v_i, V_{oji}) = 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$p(v_i, V_{oji}) = \left| v_i - \frac{a_{oj1} + b_{oj1}}{2} \right| - \frac{b_{oj1} - a_{oj1}}{2}$$

$$p(v_i, V_{pi}) = \left| v_i - \frac{a_{pi} + b_{pi}}{2} \right| - \frac{b_{pi} - a_{pi}}{2}$$

2.2.5 待评物元关于各类别等级的关联度

待评目标 p 关于评价等级 j 的关联度为:

$$K_{oj(p)} = \sum_{j=1}^m a_j K_{oj}(v_i) \quad (5)$$

式中： a_i 为指标 c_i 的权系数，且 $\sum_{i=1}^n a_i = 1$ 。

2.2.6 可拓评判等级

若 $K_{j\max}(P) = \max_{j \in \{1, 2, 3, \dots, m\}} K_{oj}(P)$ ，则评定 p 属于等级 j 。

$$\bar{K}_{oj}(P) = \frac{K_{oj}(P) - \min_j K_{oj}(P)}{\max_j K_{oj}(P) - \min_j K_{oj}(P)} \quad (6)$$

$$j^* = \frac{\sum_{j=1}^m j \bar{K}_{oj}(P)}{\sum_{j=1}^m \bar{K}_{oj}(P)} \quad (7)$$

式中： j^* 为 P 的级别变量特征值，从 j^* 中可看出偏向另一类的程度。

3 地面沉降易发性等级可拓评价

3.1 评价体系的建立

3.1.1 评价因子的确定

在综合分析地面沉降影响因素的基础上，参考有关研究成果^[8-10]，选择地面沉降状况因子和地质环境条件因子（包括地下水开采状况）作为评价因子。地面沉降状况因子包括累计沉降量、沉降速率和预测沉降量^[11-14]。地质环境条件因子包括水位允许降深、新生界厚度、软土层厚度和地面高程。

3.1.2 评价指标体系

(1) 体系的层次构成。评价体系由评价目标层、影响因子层（准则层）、要素属性层和要素指标层构成见表 2。

(2) 评价指标标准：易发程度高为 I 级；易发程度中等为 II 级；易发程度低为 III 级。

3.2 确定评价区并制作基础网格

该次评价范围确定为德州市德城区，面积为 539 km²。该次评价采用正方形等间距网格进行剖分，网格大小为 2 km×2 km，共剖分为 135 个网格。然后将剖分单元转化成面元，并对每一剖分单元进行连续编号，将单元编号作为各面元的“ID”属性赋值。将单元的各种指标值分别赋予各单元的属性值，建立单元属性库。

3.3 单元数据的获取

根据野外实测值、观测值、地形图、地质图量算值等方式获取单元数据。

3.4 权值的确定

权值的确定方法采用层次分析法（Analytic Hi-

erarchy Process，简称 AHP）^[15]。层次分析定权法判断矩阵标度分级依据表 3。权值计算采取自上而下（目标层 A—因子层 B—属性层 C）的方法。

表 2 评价指标体系与指标等级划分

评价目标层	因子层	要素层	指标层	指标层易发性代号	性分级
地面沉降易发性综合评价 (A)	地面沉降状况 (B1)	累计地面沉降量 (1991—2010 年) C1	>1.0m	D1	大
			0.5~1m	D2	中等
			<0.5m	D3	小
	地面沉降速率 C2	地面沉降速率 C2	>50mm/a	D4	大
			20~50mm/a	D5	中等
			<20mm/a	D6	小
	地质环境条件 (B2)	预测地面沉降量 (2010—2020 年) C3	预测地面沉降量 (2010—2020 年) C3	>200mm	D7
100~200mm				D8	中等
水位允许降深 C4		水位允许降深 C4	>70m	D10	大
			50~70m	D11	中等
地质环境条件 (B2)	新生界厚度 C5	新生界厚度 C5	>3000m	D13	较大
			1000~3000m	D14	中等
			<1000m	D15	较小
	软土层厚度 C6	软土层厚度 C6	>5m	D16	较大
			3~5m	D17	中等
地面高程 C7	地面高程 C7	<3m	D18	较小	
		<20m	D19	较大	
		20~25m	D20	中等	
			>25m	D21	较小

表 3 层次分析定权法的判断矩阵标度分级及其含义

标度值	含义
1	两因子具同等重要性
3	前者比后者稍微重要
5	前者比后者较重要
7	前者比后者非常重要
9	前者比后者绝对重要
2, 4, 6, 8	2, 4, 6, 8 为 1~3, 3~5, 5~7, 7~9 的中值
倒数	因素 i 与 j 重要性之比为 b_{ij} ，则 j 因子与因子 i 重要性之比为 $b_{ji} = 1/b_{ij}$

3.4.1 构建目标层 A 的综合判断矩阵

为实现 B 层对目标层 A 层的描述，对 B 层指标进行相对重要性两两比较，确定地面沉降状况 (B1) 和地质环境条件 (B2) 的组合群对总目标的权重关系。目标层 A 的判断矩阵为： $A = \{b_{ij} \mid i, j = 1 - 2\}_{2 \times 2}$ 在上述工作的基础上，构建的地面沉降危害性评价权重综合判断矩阵见表 4。

表 4 地面沉降危害性评价权重综合判断矩阵

A	B1	B2
B1	1	1/2
B2	2	1

3.4.2 构建 2 个因子层 B 的判断矩阵

分别根据因子层(B1、B2)的要求构建 B 层和 C 层的判断矩阵(表 5、表 6)。

表 5 地面沉降状况因子相对重要性判断矩阵

B1	C1	C2	C3
C1	1	1/5	1/3
C2	5	1	3/2
C3	3	2/3	1

表 6 地质环境状况因子相对重要性判断矩阵

B2	C4	C5	C6	C7
C4	1	6	3	5
C5	1/6	1	1/2	1/3
C6	1/3	2	1	2
C7	1/5	3	1/2	1

3.4.3 层次排序及求解权向量

根据判断矩阵,利用线性代数,求出矩阵的最大特征根所对应的特征向量。所求特征向量即为各评价因素的重要性排序,归一化后,也就是权数分配。

对于一个正向量 $W=(W_1, W_2, \dots, W_n)^T$, 其标准化向量 W 为:

$$W_s = \left[\frac{W_1}{\sum_{i=1}^n W_i}, \frac{W_2}{\sum_{i=1}^n W_i}, \dots, \frac{W_n}{\sum_{i=1}^n W_i} \right]^T \quad (8)$$

式中: $W_s(W_{s1}, W_{s2}, \dots, W_{sn})^T$ 为同一层次相应因子对于上一层次某个指标相对重要性的排序权值。

目前常见的计算因子排序权重向量的方法主要有方根法、和积法、特征根法、最小二乘法和对数最小二乘法等。鉴于方根法计算方便,该次采用方根法近似求解,并用 Excel 进行计算^[16]。计算结果见表 7。

表 7 矩阵权值计算成果

矩阵	A	B1	B2
W1	0.33	0.11	0.58
W2	0.67	0.54	0.08
W3		0.35	0.20
W4			0.14

3.4.4 判断矩阵一致性检验

单层排序权值是否合理,需进行一致性检验,公式为:

$$C_R = C_I / R_I \quad (9)$$

$$C_I = (\lambda_{\max} - 1) / (n - 1) \quad (10)$$

式中: C_R 为一致性比例; R_I 为平均一致性指标,其数据如表 8 所示。

C_I 为一致性指标。当 $C_R < 0.1$ 时,达到一致性;否则,需重新调整。判断矩阵一致性检验结果如表

9 所示, C_R 值均 < 0.1 , 判断矩阵均具有满意的一致性。

表 8 层次分析法的平均随机一致性指标值

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
R_I	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

表 9 矩阵一致性检验结果

矩阵	λ_{\max}	C_I	R_I	C_R
A	2	0	0	0
B1	3	0	0.58	0
B2	4.13	0.04	0.90	0.05
总体		0.03	0.79	0.03

3.4.5 确定层次总排序权值

目标层 A 包含 2 个因子 B1 和 B2, 其权值分别为 a_1 和 a_2 ; B 层包含 7 个因子 $C_1, C_2, C_3, \dots, C_k, \dots, C_7$; 它们对因子 B_j 的层次排序权值分别为 $b_{1j}, b_{2j}, \dots, b_{nj}$ (当 C_k 与 B_j 无关时, $b_{nj}=0$)。C 层总排序权值为二层权值乘积代数和。计算公式为:

$$A = \sum_{j=1}^k a_j b_{nj} \quad (11)$$

计算结果见表 10。

表 10 评价体系权值计算结果

评价目标层	因子层	B 层权值	要素层 C	C 层权值	
				C 层权值	C 层权值总排序
地面沉降状况 B1	0.33	0.33	累计地面沉降量 C1	0.11	0.04
			地面沉降速率 C2	0.54	0.18
			预测地面沉降量 C3	0.35	0.12
地面沉降易发性评价 A	0.67	0.67	水位允许降深 C4	0.58	0.39
			新生界厚度 C5	0.08	0.05
			软土层厚度 C6	0.20	0.13
			地面高程 C7	0.14	0.09

3.5 可拓评价

根据式(6)计算出每个单元网络的 K 值, 确定每个单元网络的可拓评判等级, 分高、中、低三级评价其易发程度, 最后根据所有单元网络可拓等级, 并综合考虑地质环境条件和地面沉降状况综合确定地面沉降高、中、低易发区。评价过程简述如下。

3.5.1 物元的构造

将易发程度等级 I, II, III 分别记为 N_{01}, N_{02}, N_{03} ; 可以构造出易发程度各等级的经典物元和节域

物元。

3.5.2 确定待评物元

R_i 为第 i 个待评的单元格, v_{ij} 为第 i 个待评单元格第 j 个预测指标实际值。按公式(4)计算其评价指标 C_1 关于各易发程度等级的关联度。按照公式(5)计算出待评物元关于各类别等级的关联度, 评价单元(沉降中心 D62 监测点所在单元格)计算结果见表 11。

表 11 关联度计算结果

编号	K_{01}	K_{02}	K_{03}	等级	\bar{k}_{01}	\bar{k}_{02}	\bar{k}_{03}	j^*
D62	0.184	-0.579	-0.727	I	1.00	0.16	0	1.1

表中 $K_{01}(P) = 0.184$; $K_{02}(P) = -0.579$; $K_{03}(P) = -0.727$, 经比较分析, D62 所在单元格易发程度属于

I 级, 即 D62 所在单元为地面沉降高易发区, 其他单元按照同样的方法计算确定其易发级别。根据所有单元格的评价结果, 再将各剖分单元转化成面元, 最后经过等值差分, 结合地质环境条件等综合划分出不同级别的地面沉降地质灾害易发区。

4 地面沉降易发区划

根据地面沉降地质灾害现状、发育程度、危害程度、发展趋势、地质环境条件, 结合地下水开采等评价因子, 按照基于层次分析的可拓学综合评价等级大小进行易发区划分, 地面沉降分为高、中和低 3 类易发区。评价区易发程度分区结果如图 1 所示。

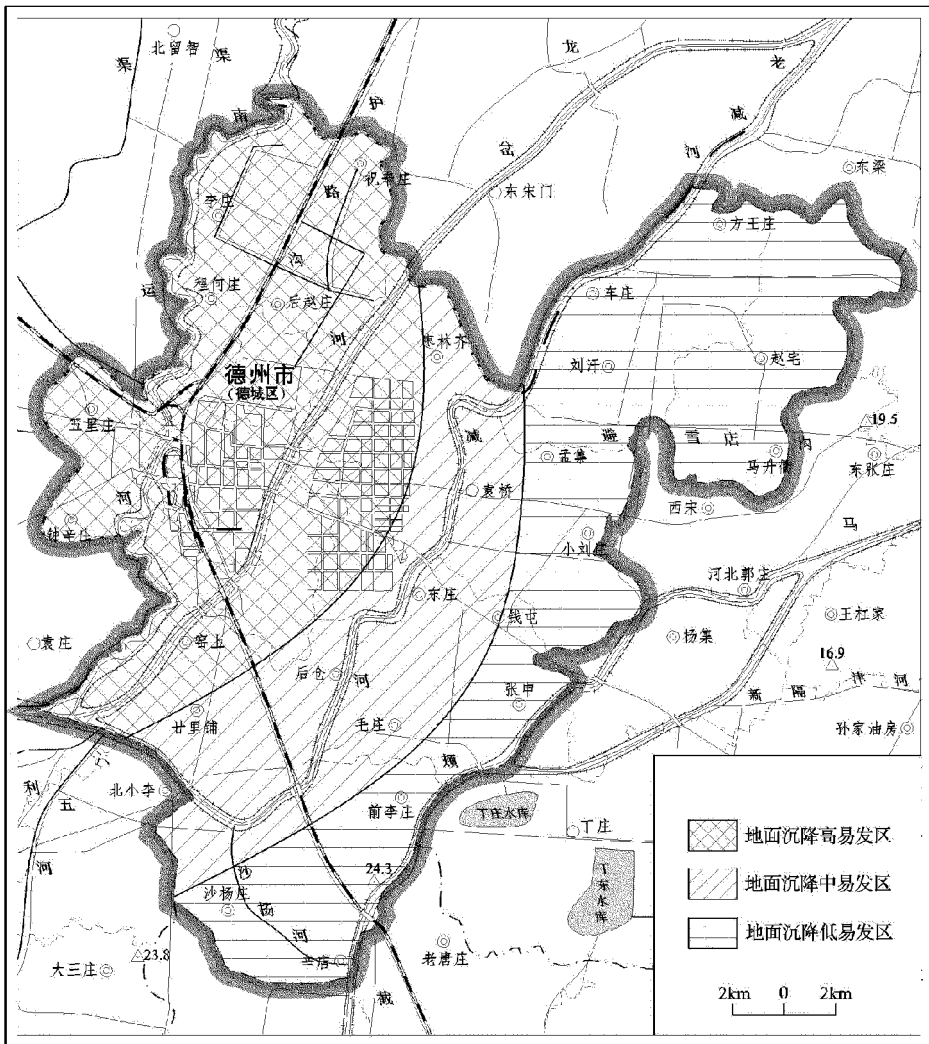


图 1 地面沉降易发程度分区图

4.1 高易发区(I)

位于德州市中心地带,面积约 200 km²。该区深层地下水位埋深多大于 100 m,是深层地下水的集中开采区和地面沉降重点区域。地面沉降累计沉降量局部大于 1 000 mm,1991—2010 年年平均沉降速率为 35~62.5 mm。该区深层地下水主要为工业、第三产业和城市生活用水。

该区应严格执行深层地下水压采方案,调整产业结构;充分利用南水北调、黄河水源补充水资源;实施生态补偿原则和用途管制,实行阶梯水价;对第Ⅲ、Ⅳ含水层组实施人工回灌;对地下水、地面沉降进行长期监测,加强沉降风险评估,建立地面沉降监测预警信息平台。

4.2 中易发区(II)

位于高易发区东南侧,面积 139 km²,是工业和经济较为发达的地段。该区深层地下水位埋深 90~110 m,2010 年地面沉降累计量 500~1 000 mm,1991—2010 年年平均沉降速率为 20~35 mm,是深层地下水开采较集中区,是地面沉降和深层地下水降落漏斗的发展地段。该区深层地下水主要为工业、农业、第三产业和城乡生活使用。

该区宜作为后备水源或应急水源,实行控制性开采,尽快建立分层标等地面沉降自动监测体系。

4.3 低易发区(III)

位于研究区东南边缘地段以及东部京沪高铁沿线一带,面积 200 km²,是德城区农业和第三产业未来发展的重要地段。该区深层地下水位埋深 50~90 m,2010 年地面沉降累计沉降量 300~450 mm,1991—2010 年年平均沉降速率为 10~20 mm,深层地下水开采比较分散,是地面沉降和深层地下水降落漏斗的周边地带。该区深层地下水主要满足乡镇人民的生活用水,其次是部分小企业的工业用水。

该区深层地下水实行控制开采,开发利用浅层地下水,适量引用地表水;提倡农业节水灌溉;可在基岩埋深小的地段建立 1 组地面沉降监测基岩标。

5 结论

可拓学地面沉降易发性评价具有量化、多因子、综合性的特点。它引入了描述客观事物性质变化的关联函数工具,对实变函数中距离的概念加以

拓展,为质、量兼顾解决 2 大类 7 小类地面沉降易发性评价因子间的矛盾问题提供了定量手段。

该次地面沉降物元模型的建立,实现了在沉降易发区等级划分时,将三元组(易发区评价等级 N ,关于评价因子 c 的量值 v)放在一个统一体中进行综合评价。

综合考虑地质环境条件、地下水开采规划所预测的累计沉降量等值线变化趋势与可拓学划分的地面沉降易发性分区形态具有一定的相似性,反映出地面沉降具有区域缓变性和受地下水开采影响明显的特点。这一相似性规律需要进一步研究。

综上,基于层次分析法的可拓学理论进行地面沉降易发区划,方法是可行的,结果基本符合当地实际情况。

参考文献:

- [1] 林良俊,孙晓明,柳富田.新时期沿海地区国土开发面临的形势和主要环境地质问题及对策研究[J].水文地质工程地质,2010,37,(3):1-3.
- [2] 孟庆峰,戴鲁旗.德州市地面沉降现状及防治对策[J].山东国土资源,2008,24(11):8-9.
- [3] 张永伟.华北平原德州地面沉降成生机理、监测预警与可控性研究[D].济南:山东大学,2014.
- [4] 蔡文.物元模型及应用[M].北京:科学技术文献出版社,1994.
- [5] XU Y, ZHU QX. A new extension theory-based production operation method in industrial process[J]. Chin J Chem Eng., 2013, 21(1):44-54.
- [6] 贾超,肖树芳,刘宁,可拓学理论在洞室岩体质量评价中的应用[J].岩石力学与工程学报,2003,(5):751-756.
- [7] ZHANG YW, LI SC & MENG FQ. Application of extenics theory for evaluating effect degree of damaged mountains based on analytic hierarchy process[J]. Environ Earth Sci, 2014,71:4463-4471. DOI 10.1007/s12665-013-2840-y.
- [8] 贾德旺,岳跃华,叶进霞,等.济宁城区地面沉降演变规律及经济损失估算方法[J].山东国土资源,2006,22(11):38-41.
- [9] 陈杰,朱国荣,顾阿明,等.Biot 固结理论在地面沉降计算中的应用[J].水文地质工程地质,2003,(2):28-31.
- [10] 龚士良.集对分析及在城市地面沉降研究中的应用[J].水文地质工程地质,1998,(5):33-40.
- [11] 李斌,刘峰.遗传神经网络在地面沉降趋势预测中的应用.山东国土资源,2013,29(8):47-49.
- [12] 郭小萌,宫辉力,朱峰,等.基于矩阵的 GM(1,1)模型预测地面沉降——以北京市平原区为例[J].水文地质工程地质,2013,40(06):101-105.
- [13] 杨玉堂,刘清德.聊城市主要地质灾害现状及防治工作进展[J].山东国土资源,2008,24(1-2):20-21.
- [14] 王小刚,邹祖光,王秀芹,等.东营市城区地面沉降影响因素

- [J]. 山东国土资源, 2006, 22(5): 50 - 53.
- [15] 王哲, 易发成. 基于层次分析法的绵阳市地质灾害易发性评价 [J]. 自然灾害学报, 2009, 18(1): 14 - 23.
- [16] 许绍双, Excel 在层次分析法中的应用 [J] 中国管理信息化, 2006, 11(9): 17 - 19.

Application of Extenics Theory for Partition of Land Subsidence Susceptible Area of Dezhou City Based on Analytic Hierarchy Process

ZHANG Yongwei^{1,2}, LI Hongxia³, SHANG Tingting¹, JIA Chao², LIANG Hao¹, YANG Yabin³

(1. Shandong Monitoring Center of Geo - Environment, Jinan, 250014, China; 2. Shandong University, Jinan, 250061, China. 3. Jinan Yuxian primary school, Jinan, 250024, China ; 4. Lubei Geo - engineering Exploration Institute, Dezhou, 253015, China)

Abstract: An evaluating method is proposed to the partition of susceptible area of Dezhou city in Huabei plain based on the matter element model as deduced from the theories of extenics. Using the susceptible degree, classification criteria and influencing factors of land subsidence, the elements in classical and sectorized field are defined, whereby an extension - evaluating model is developed for comprehensive evaluation of the classification of susceptible degree of land subsidence by the correlation function of matter elements and extension sets. The analytic hierarchy process methodology for calculating weight aggregation of evaluating factors is proposed. All region are divided into 135 grids using the square(2km×2km), then the split unit is transformed into surface element after equivalent difference. The evaluating results are thus obtained through such an evaluation. The calculation results show that the present method is effective and applicable to forecast the classification of susceptible degree of land subsidence on multiple - factor quantitatively, which lends the support for control planning for land subsidence.

Key words: Land subsidence; extenics; matter element model; partition of susceptible area; analytic hierarchy process