

基于熵权的属性识别模型在海水入侵现状评价中的应用

李 淼^{1,2}, 夏 军^{1,3}, 李福林⁴, 孟德娟^{1,2}

(1. 中国科学院陆地水循环及地表过程重点实验室 地理科学与资源研究所, 北京 100101;
2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉 430072;
4. 山东省水利科学研究院, 济南 250013)

摘 要:针对海水入侵现状评价中单指标(Cl或矿化度)评价方法的片面性和不确定性等问题, 本文将熵值理论和属性识别模型相结合, 建立了熵权属性识别模型, 并将其应用于滨海地区海水入侵现状评价中。以潍北平原8个海水入侵实测点为应用实例进行研究。结果表明, 潍北平原大部分地区海水入侵属于轻度侵染, 水质为微咸水, 东部地区(6、8号点位)在5月份海水入侵属于较严重侵染, 但在11月份侵染程度减缓, 可能的原因是气候因素(降水增加、海平面上升)以及人为因素(地下水抽水量减少)等共同影响的结果。同时, 5月及11月各个测点海水入侵侵染排序略有差异, 但是差异较小。通过实例证明, 该方法通俗易懂, 计算方法简洁明了, 便于掌握和应用, 为海水入侵现状评价提供了一种可行有效的方法。

关 键 词:属性识别模型; 熵权; 海水入侵; 评价; 潍北平原

1 引言

海平面上升以及近年来人类超采地下水导致滨海地区海水入侵日趋严重, 其中, 2007年山东省海水入侵总面积已经超过了2000 km²[1]。迄今为止, 海水入侵现状评价多采用单一的指标分析, 最常用的是Cl⁻, 目前普遍接受的是以250 mg/l为入侵标准。另外一种常用的指标是矿化度(M), 以2.0g/l为咸-淡水的临界值。目前已有许多学者利用单指标因子对海水入侵现状进行分析[2-5]。然而, 单指标的海水入侵现状评价具有片面性和不确定性, 因此, 在进行现状评价时需要考虑多指标属性。赵健等[6], 徐向阳等[7]利用模糊数学对海水入侵侵染做了评价, 但是在考虑权重时没有充分考虑评价样本信息。本文将充分考虑样本信息的熵权系数和属性识别模型耦合在一起建立了水质评价模型, 并将其应用于滨海地区海水入侵现状评价的研究中。

2 熵权属性识别理论

2.1 方案的属性模式

在研究对象空间 X 取 n 个方案 x_1, x_2, \dots, x_n ,

对每个方案要测量 m 个指标 V_1, V_2, \dots, V_m , 第 i 个方案 x_i 的第 j 个指标 V_j 的测量值为 x_{ij} , 因此, 第 i 个方案 x_i 可以表示为一个向量 $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im})$, $1 \leq i \leq n$ 。

设 F 为 X 上某类属性空间, (C_1, C_2, \dots, C_k) 为属性空间 F 的分割, 以海水入侵评价为例, 假定 F (海水入侵程度) 可分为4类, 即无或轻度侵染、轻度侵染、较严重侵染、严重侵染, 且彼此不相交, 满足 $C_1 < C_2, \dots, < C_k$, 则 (C_1, C_2, \dots, C_k) 是属性空间 F 的有序分割[8-9]。由于属性集之间是可“比较”的, 在水质评价中, 可以认为污染程度越高越“强”, 因此可以建立“强”序来进行综合评价。根据已知的分级标准写成分级标准判断矩阵为:

$$\begin{matrix} & C_1 & C_2 & \cdots & C_k \\ \begin{matrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mk} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

式中: a_{mk} 为第 m 个指标在属性空间 F 上的第 k 个分割值; a_{jk} 满足 $a_{j1} < a_{j2}, \dots, < a_{jk}$ 或者 $a_{j1} > a_{j2}, \dots, > a_{jk}$ 。

2.2 方案属性测度

假定 $a_{j1} < a_{j2}, \dots, < a_{jk}$, 第 i 个方案第 j 个指标

收稿日期: 2011-10; 修订日期: 2012-02.

基金项目: 中国科学院对外合作重点项目计划项目(GJHZ1016); 国家重点基础研究973项目(2010CB428406)。

作者简介: 李淼(1982-), 男, 汉族, 山西太原人, 博士研究生。E-mail: limiao108@gmail.com; lim.09b@igsrr.ac.cn

值 x_{ij} 具有属性 C_k 的属性测度 $\mu_{ijk} = \mu(x_{ij} \in C_k)$:

当 $x_{ij} \leq a_{j1}$, 取 $\mu_{ij1} = 1$, $\mu_{ij2} = \mu_{ij3} = \dots = \mu_{ijk} = 0$;

当 $x_{ij} \geq a_{jk}$, 取 $\mu_{ijk} = 1$, $\mu_{ij1} = \mu_{ij2} = \dots = \mu_{ij(k-1)} = 0$;

当 $a_{jt} < x_{ij} < a_{j(t+1)}$ ($1 \leq t \leq K-1$) 时, 即测量值介于树形空间的两个分割值之间时:

$$\begin{cases} \mu_{ijt} = \frac{|x_{ij} - a_{j(t+1)}|}{|a_{jt} - a_{j(t+1)}|} \\ \mu_{ij(t+1)} = \frac{|x_{ij} - a_{jt}|}{|a_{jt} - a_{j(t+1)}|} \\ \mu_{ijt} = 0 \\ k < t \text{ 或 } k > t+1 \end{cases} \quad (2)$$

计算得到第 i 个方案的各项指标测量值的属性测度之后, 计算第 i 个方案 x_i 的属性测度 $\mu_{ik} = \mu(x_i \in C_k)$ 。 m 个指标的重要性可能相同, 也可能不同, 因此需要考虑各个评价指标的权重影响, 计算各指标的权重 $W(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)$, $\omega_i \geq 0$, $\sum_{j=1}^m \omega_j = 1$ 。由指标权重可计算得到属性测度 μ_{ik} :

$$\mu_{ik} = \mu(x_i \in C_k) = \sum_{j=1}^m \omega_j \mu_{ijk} \quad 1 \leq i \leq n, 1 \leq k \leq K \quad (3)$$

按照置信度准则, 对置信度 l (一般取 0.6 ~ 0.75), 计算 k_i :

$$k_i = \min \left\{ k: \sum_{t=1}^k \mu_{it} \geq l, 1 \leq k \leq K \right\} \quad (4)$$

上述准则是从“强”的角度来考虑, 以水质污染程度为例, 即认为污染程度越大越“强”, 而且“强”的类占相当大的比例, 也就是达到置信度 l 。取 k 知道满足上式, 则认为 x_i 属于 C_{k_i} 类。

按照属性识别的评分准则, 计算海水入侵侵蚀指数 q_{x_i} :

$$q_{x_i} = \sum_{t=1}^k n_t \mu_{it} \quad (5)$$

式中: n_t 为分数, 其值与 t 取值一致 ($t=1, 2, \dots, k$), 则可根据 q_{x_i} 的大小对 x_i 进行比较和排序。

3 熵值法确定权重系数^[8-9]

在水质评价中确定评价指标的权重时, 往往多采用如层次分析法这样的主观确定权重的方法, 这样在评价时可能由于人为主观因素对评价结果造成影响, 不能客观反映水质情况。在信息论中, 熵

反映了信息无序化程度, 其值越小, 系统无序度越小, 故可用信息熵评价所获系统信息的有序度及其效用, 即由评价指标值构成的判断矩阵来确定指标权重, 它能尽量消除各指标权重计算的人为干扰, 使评价结果更符合实际。本文选用 Shannon 熵的方法, 从实测数据入手, 充分利用数据自身信息, 客观地确定出熵权。

其计算步骤如下:

(1) 构建 m 个事物 n 个评价指标的判断矩阵 $R = (x_{ij})_{mn}$ ($i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$);

(2) 将判断矩阵归一化处理, 得到归一化判断矩阵 B :

$$b_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (6)$$

式中: x_{\min} 、 x_{\max} 分别为同指标下不同事物中最优越或最劣; 本文所有指标均为值小更优越。

(3) 根据熵的定义, m 个评价事物 n 个评价指标, 可以确定评价指标的熵为:

$$H_i = -\frac{1}{\ln m} \sum_{j=1}^m f_{ij} \ln f_{ij} \quad (7)$$

$$i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$$

显然当 $f_{ij}=0$ 时, $\ln f_{ij}$ 无意义。为保证 $\ln f_{ij}$ 有意义, 对其进行修正, 计算公式为:

$$f_{ij} = \frac{1 + b_{ij}}{\sum_{j=1}^m (1 + b_{ij})} \quad (8)$$

(4) 计算评价指标的熵权 W :

$$\begin{aligned} W &= (\omega_i)_{1 \times n} \\ \omega_i &= \frac{1 - H_i}{n - \sum_{i=1}^n H_i} \\ \sum_{i=1}^n \omega_i &= 1 \end{aligned} \quad (9)$$

4 海水入侵水化学指标

海水入侵动态变化可用咸淡水界面运移来描述, 但这种变化本质表现为地下水盐浓度变化^[10]。迄今为止, 多采用单一的指标分析, 最普遍的是 Cl^- , 目前普遍接受的是以 250 mg/l 为入侵标准。另外一种常用的指标是矿化度 (M), 以 2.0 g/l 为咸-淡水的临界值, 也有用电阻率和电导率为指标的^[11]。

Cl^- 和矿化度作为首选指标。 Cl^- 是海水中最主

要的稳定常量元素,反映海水入侵最为敏感,同时对淡水的污染及对农业生态的有害效应十分明显。矿化度指水中可溶性固体总量,海水与正常淡水的矿化度截然不同,因此滨海地区地下水中矿化度的升高为海水入侵的直接反映。然而,淡水中Cl⁻和矿化度的水平除受海水侵染影响外,还受生活污水、工业废水、矿区排水等一些非海水因素影响。因此仅仅采用上述两种指标分析海水入侵程度是不全面的,实际中往往产生偏差,因此有必要选择多种指标进行评价。本文中還选择以下3种指标。

SO₄²⁻含量。SO₄²⁻是海水中较稳定的元素,而陆地地下淡水中含量较少,属于微量元素,受到侵染后,SO₄²⁻含量值是随海水入侵程度的发展变化较为敏感的指标,因此可以选为海水入侵水水质评价的评判指标。

HCO₃⁻与Cl⁻之比(HCO₃⁻/Cl⁻)。不同类型的地下水特征离子不同,特征离子的比值往往有很大差异,这是区分不同地下水的一种有效的指标。潍北平原地下淡水主要为重碳酸盐型或重碳酸盐-氯化物型,其主要阴离子为HCO₃⁻,而海水属于氯化物型,其主要阴离子是Cl⁻,因此选择这两种特征阴离子比值作为评价海水入侵程度的水化学指标之一。

钠吸附比(SAR)。Na⁺是海水中首要的阳离子。海水入侵可使地下水及土壤中的Na⁺含量升高,超过一定限度则会导致土壤次生碱化,这是形成重侵染程度区盐渍土形成过程之一。美国盐渍土实验室提出的SAR即是衡量灌溉水质的钠危害程度的一个水化学指标^[12],其表达式为:

$$SAR=rNa^{+}/\sqrt{(rCa^{2+}+rMg^{2+})/2}$$
 (10)

表1 海水入侵程度的等级划分

Tab.1 The grades of the degree on seawater intrusion				
等级	I	II	III	IV
入侵程度	无或轻度侵染	轻度侵染	较严重侵染	严重侵染
水质范围	影响淡水	微咸水	微咸水	咸水及盐水

表2 海水入侵指标的等级划分及代表值^[6-7]

Tab.2 The index and representative value of seawater intrusion								
指标	I		II		III		IV	
	等级范围	代表值	等级范围	代表值	等级范围	代表值	等级范围	代表值
Cl ⁻	<250	100	250 ~ 600	400	600 ~ 1500	800	>1500	2200
M	<1000	500	1000 ~ 2000	1500	2000 ~ 3000	2500	>3000	3500
SO ₄ ²⁻	<200	75	200 ~ 450	350	450 ~ 1200	700	>1200	1800
HCO ₃ ⁻ /Cl ⁻	<2.0	1	2 ~ 4	3	4 ~ 10	6	>10	14
SAR	<2.0	1.4	2 ~ 3.35	2.6	3.35 ~ 10	4.5	>10	15.5

式中:r表示毫克当量。

确定各项指标分级和界值。被侵染的水体依其程度轻重从淡水变成微咸水乃至咸水,常年严重侵染区中,地下水变成咸水,各项化学指标及其动态多在较高侵染水平上趋于纯化。参照中华人民共和国地下水水质标准,考虑到海水入侵水水质的本身特点,为突出反映海水入侵前缘的变化,应该在其过渡带(微咸水)加以细化。因此,将海水入侵程度分为4级^[13](表1),通常所说的咸淡水界处于I、II级之间。

评价指标的分级范围及标准确定遵循3方面原则:参照国内外有关水质标准;考虑前人研究的等级划分;从本区实际测定情况出发。根据以上3方面原则,对海水入侵水水质等级各指标进行等级范围及界值的确定,本文所采用的相邻两级的临界值和代表值如表2所示。

5 应用实例

以潍北平原的寿光、寒亭、昌邑2009年5月16日和2009年11月16日海水入侵水质资料为例,共

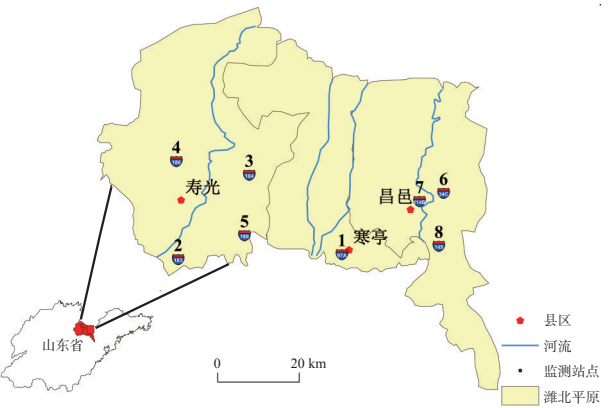


图1 潍北平原8个水质测量点位置图
Fig.1 Location of eight water quality measurement wells in plain north of Weifang

有8个水质测量点位置见图1,监测数据见表3~4。用前面介绍的模型来进行海水入侵现状评价具体步骤如下:

(1) 分类标准矩阵的建立

	I级	II级	III级	IV级
Cl ⁻	100	400	800	2200
M	500	1500	2500	3500
SO ₄ ²⁻	75	350	700	1800
HCO ₃ ⁻ /Cl ⁻	1	3	6	14
SAR	1.4	2.6	4.5	15.5

(2) 熵权的确定

根据公式(6)~(9)计算出评价指标的熵权系数。结果见表5。

(3) 属性测度计算与结果

根据式(2)~(5)计算各点的属性测度,得到属性测度计算结果表(表6~7)。由表可知,取置信度为0.75,除了5月16日6号和8号井海水入侵较严重之外,其余全部为轻度侵袭。

6号和8号井海水入侵评价结果半年之后由较严重侵染变为了轻度侵染。影响海水入侵的因素很多,从自然因素来讲包括气温变暖、海平面上升,降水量,地质、水文地质条件;地形地貌等;从人为因素来讲主要原因是由于地下水超采后采补失调,造成地下水水位负值漏斗区,引发海水倒灌造成海水入侵。因此,可以认为,造成淮北平原6号和8号点从5月到11月海水入侵程度有所减轻主要原因如下:在一个水文年内,汛期由于降水量增大,开采量减少,地下水位升高,9或10月份升到最高,且一直持续到来年2月份;随着春灌季节的到来,降水补给量减少,开采量增大,到6月份降到最低水位,其年变幅一般2~8 m。2009年5月还未到汛期,月降水量为20.9 mm,而经过7~9月的汛期后降水入渗补给地下水,使得地下水位抬升,同时11月月降水量为29.5 mm,大于5月的降水量,对地下水的补给也大于5月份。与此同时,温度由5月份的20.9℃下降到11月的4.3℃,海平面在年内由5月的高位降回11月的低位^[4]。在地理,地质及水文地质条件相同的情况下(同点),降水量的增加所导致的地下水位的抬升以及由于气温的下降而下降的海平面共同作用,使得淡水与海水的水动力条件发生变化,从而导致海水入侵锋面后退。另外,淮北平原5月份用水集中,主要用途是农业灌溉,因此抽取地下水要远远多于11月,因此在5月份水位低于11月份水位,这就导致海水在5月份入侵程度大于

表3 淮北平原2009年5月16日海水入侵水质监测数据
Tab.3 Monitoring data in plain north of Weifang City on May 16, 2009

编号	站名	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	M	HCO ₃ ⁻ /Cl ⁻	SAR
1	97A	283	25.5	829	1.64	1.45
2	183	65.6	72.5	381	3.22	2.01
3	184	261	42.3	847	1.94	1.36
4	186	29.4	37	342	10.1	1.88
5	189	143	54.3	660	3.24	1.93
6	34C	1130	172	2360	0.29	0.29
7	114B	97.5	58.1	828	5.59	5.59
8	145	79.4	120	487	3.21	3.21

表4 淮北平原2009年11月16日海水入侵水质监测数据
Tab.4 Monitoring data in plain north of Weifang City on Nov. 16, 2009

编号	站名	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	M	HCO ₃ ⁻ /Cl ⁻	SAR
1	97A	276	155	1010	1.66	2.56
2	183	67.4	64.4	369	3.10	1.99
3	184	277	72.5	925	1.84	1.97
4	186	34	40.8	359	8.91	2.00
5	189	129	62.9	648	3.59	1.87
6	34C	971	138	2030	0.34	0.34
7	114B	98.9	51.4	728	5.48	5.48
8	145	200	134	815	2.06	2.06

表5 评价指标熵权计算结果
Tab.5 Weight value of evaluate index

日期	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	M	HCO ₃ ⁻ /Cl ⁻	SAR
2009.05.16	0.232	0.217	0.211	0.177	0.163
2009.11.16	0.216	0.264	0.195	0.184	0.140

表6 属性测度结果表(2009年5月16日)
Tab.6 The result of attribute recognition model on May 16, 2009

编号	站点	I	II	III	IV	置信度 (0.75)
1	97A	0.491	0.509	0	0	II
2	183	0.742	0.094	0.164	0	II
3	184	0.661	0.339	0	0	II
4	186	0.725	0.098	0.091	0.086	II
5	189	0.356	0.472	0.172	0	II
6	34C	0.417	0.322	0.084	0.177	III
7	114B	0.518	0.295	0.040	0.147	II
8	145	0.479	0.246	0.275	0	III

表 7 属性测度结果表(2009 年 11 月 16 日)
Tab.7 The result of attribute recognition model
on Nov. 16, 2009

编号	站点	I	II	III	IV	置信度 (0.75)
1	97A	0.499	0.501	0	0	II
2	183	0.744	0.077	0.179	0	II
3	184	0.618	0.382	0	0	II
4	186	0.745	0.070	0.067	0.118	II
5	189	0.402	0.598	0	0	II
6	34C	0.384	0.399	0.216	0	II
7	114B	0.524	0.375	0.101	0	II
8	145	0.365	0.635	0	0	II

表 8 海水入侵侵染排序表
Tab.8 Sorting of seawater intrusion

日期/编号	6	5	7	8	4	1	2	3
2009.5.16	2.022	1.816	1.816	1.797	1.538	1.509	1.422	1.339
日期/编号	6	8	5	7	4	1	2	3
2009.11.16	1.829	1.633	1.596	1.573	1.554	1.499	1.432	1.380

11月。因此,在海水入侵评价中,6号、8号点海水入侵情况由5月16日的较严重侵染转变为11月16日的轻度侵染。

(4) 计算各测点海水入侵的侵染排序,具体值见表8。

由表8可知,各测点2009年5月16日海水入侵侵染程度顺序依次为:测点6、测点5、测点7、测点8、测点4、测点1、测点2、测点3;2009年11月16日侵染程度顺序依次为:测点6、测点8、测点5、测点7、测点4、测点1、测点2、测点3。同时,表8中各点5月和11月对应的数值也表明半年来淮北平原海水入侵侵染程度有所减轻。

6 结语

海水入侵的现状评价仅仅使用Cl⁻或矿化度等单指标判断评价,可能为评价结果带来片面性和不确定性,因此,考虑多指标的属性进行评价是必要的。同时,在选用评价方法时应当尽量客观,尽可能消除评价中的人为因素。本文将基于熵权的属性识别模型应用于滨海地区海水入侵现状评价中,以淮北平原8个海水入侵实测点为应用实例进行研究。研究表明,淮北平原大部分地区海水入侵属

于轻度侵染,水质为微咸水,东部地区(6,8号点位)在5月份海水入侵属于较严重侵染,但在11月份侵染程度减缓,可能的原因是气候因素(降水增加、海平面周期性下降)以及人为因素(地下水开采量减少)等共同影响的结果。同时,5月及11月各个测点海水入侵侵染排序略有差异,但是差异较小。

本文方法最主要的优势在于在考虑权重时,熵值法充分利用了评价样本信息,避免了主观确定权重的随意性,使得权重的确定更加客观,提高了评价模型的可靠程度。同时根据区域海水入侵的特点,在考虑多指标属性的前提下合理选用评价指标。该方法通俗易懂,计算方法简洁明了,便于掌握和应用,为海水入侵现状评价提供了一种可行有效的新方法。

参考文献

[1] 《2007年山东省海洋环境质量公报》. 山东省海洋与渔业厅, 2008.

[2] 薛禹群, 吴吉春, 谢春红, 等. 莱州湾沿岸海水入侵与咸水入侵研究. 科学通报, 1997, 42(22): 2360-2368.

[3] 杨燕雄, 高树勇, 谢亚琼. 秦皇岛市海水入侵灾害评价及防治对策. 中国地质灾害与防治学报, 2008, 19(3): 139-143.

[4] 姚善, 姜振泉, 田梅青. 烟台市海水入侵程度及影响因素探讨. 江苏地质, 2006, 30(2): 120-125.

[5] 韦政, 李晶莹. 莱州湾地区海水入侵变化动态研究. 环境科学与管理, 2010, 35(3): 58-61.

[6] 赵健, 张祖陆, 郭笃发, 等. 海水入侵程度的模糊数学综合判断. 《海水入侵灾害防治研究》, 1996: 66-73.

[7] 徐向阳, 高学平. 模糊数学在海水入侵地下水水质评价中的应用. 水利学报, 2003(8): 64-69.

[8] 程乾生. 属性识别理论模型及其应用. 北京大学学报: 自然科学版, 1997(1): 12-20.

[9] 卞建民, 汤洁, 李立军. 辽河油田地区地下水水质的熵权属性识别评价. 水文, 2007, 27(3): 46-49.

[10] 李福林, 张保祥. 海(咸)水入侵概念及水化学判断指标研究. 《海水入侵灾害防治研究》, 1996: 35-43.

[11] 刘竹梅, 宁玉海. 物探技术检测海水入侵研究. 济南: 山东科学技术出版社, 1996.

[12] 于天仁, 陈志诚. 土壤发生中的化学过程. 北京: 科学出版社, 1990.

[13] 张先起, 梁川, 刘惠卿. 基于熵权的属性识别模型在地下水水质综合评价中的应用. 四川大学学报: 工程科学版, 2005, 37(3): 28-31.

[14] 《2009年中国海平面公告》. 国家海洋局, 2010.

The Application of Attribute Recognition Model Based on Coefficient of Entropy to the Assessment of Seawater Intrusion

LI Miao^{1,2}, XIA Jun^{1,3}, LI Fulin⁴, MENG Dejuan^{1,2}

(1. Key Laboratory of Water Cycle & Related Land Surface Processes,

Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Sciences,
Wuhan University, Wuhan 430072, China;

4. Water Conservancy Research Institute of Shandong Province, Jinan 250013, China)

Abstract: In this study, to solve the question of the one-sidedness and uncertainties when taking an assessment of seawater intrusion by using a single index (such as Cl⁻ or mineralization), an attribute recognition model based on coefficient of entropy theory was built to take an assessment of seawater intrusion in coastal areas, and take a sample application of eight measured wells for seawater intrusion in plain north of Weifang. It is found that the intrusion was mild in most parts of plain north of Weifang where the water quality is brackish water, and more serious intrusion occurred in May, and changed back to mild intrusion in November in the eastern part of the study area (locations No.6 and No.8). There are two possible reasons responsible for this change. The first one is natural factors which include precipitation increases and sea level falls from May to November. The second reason is human activities mainly due to the reduction of groundwater pumping. Meanwhile, there are small differences in the rank of eight measurement wells for seawater intrusion in May and November. The sample application shows that this model is easy to understand and master, and that it provides a feasible and effective method for the assessment of seawater intrusion.

Key words: attribute recognition model; weight coefficient by entropy; seawater intrusion; assessment; plain north of Weifang City

本文引用格式:

李森, 夏军, 李福林, 等. 基于熵权的属性识别模型在海水入侵现状评价中的应用. 地理科学进展, 2012, 31(3): 324-329.