

doi: 10.11830/ISSN.1000-5013.201604009



泉州湾海水入侵对城市发展建设影响

林跃旗, 林从谋, 常方强, 孟希, 葛冰洋

(华侨大学 岩土工程研究所, 福建 厦门 361021)

摘要: 针对泉州湾存在海水入侵的问题, 运用模糊综合评价法, 建立适用的综合评价模型, 得到较为准确的综合评价结果和海水入侵程度的分布图, 并进一步分析海水入侵影响程度、波及范围及入侵方式. 研究表明: 该地区以轻度入侵为主, II 类水质地下水占比达到 69.70%; 受海水流向冲击的作用凸形海岸带相比凹形海岸带入侵程度更严重, 最大入侵距离达到了 1.50 km; 其评价结果与实际现场相符.

关键词: 海水入侵; 模糊综合评价; 泉州湾; 城市建设

中图分类号: X 824

文献标志码: A

文章编号: 1000-5013(2016)04-0436-05

Effect of Quanzhou Bay Seawater Intrusion on Urban Development and Construction

LIN Yueqi, LIN Congmou, CHANG Fangqiang,
MENG Xi, GE Bingyang

(Research Laboratory of Geotechnical Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: In order to solve the problem of seawater intrusion in Quanzhou Bay, it is necessary to establish the calibration of the invasion distribution. Fuzzy comprehensive evaluation method combined with sample measured data was used to build the suitable comprehensive evaluation model. The accurate evaluation results and the seawater intrusion degree distribution were obtained. The influence degree, the scope and the invasion of seawater intrusion were carried out, it's showed that the region is mainly under mild invasion, the percentage of II class groundwater is 69.70%; the invasion on convex coastal zone impacted by the water flow is more serious than the invasion on concave coast, the maximum invasion distance is 1.50 km; the evaluation results agree with the results in situ.

Keywords: seawater intrusion; fuzzy comprehensive evaluation; Quanzhou Bay; urban construction

海水入侵已成为了沿海地区环境地质问题中最主要的问题之一, 它极大地影响了人、蓄及工农业用水, 水质的恶化也严重地影响了经济发展与城市发展建设. 要对受海水入侵影响的泉州湾进行规划建设, 首先要对海水入侵程度及范围进行评价, 针对入侵程度的不同采取相应的防治措施. 目前, 海水入侵的评价方法一般有判别分析法、电导率法、音频大地电磁法、BP 神经网络法等^[1-6]. 海水入侵的评价方法虽多, 但目前为止, 仍未有哪一种评价方法能被广泛地接受或采用. 海水入侵造成的影响后果很多, 所以采用何种指标和方法才能较为可靠的评价海水入侵程度, 成为了一个重要的难点. 海水体中存在着多种化学物质, 评价其水质类别边界是模糊的, 用原始的单一指标来衡量和分级的方法, 其精度较差, 存在着

收稿日期: 2015-04-26

通信作者: 林从谋(1957-), 男, 教授, 博士, 主要从事隧道与岩土工程设计与施工技术的研究. E-mail: cmlin@hqu.edu.cn.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41306051); 福建省自然科学基金资助项目(2015J01625); 国土资源部公益性行业科研专项(201211039); 华侨大学高层次人才科研启动项目(09BS621)

一定的偏差. 模糊数学综合评价法对模糊边界的划定和评价误差的控制问题有较好的解决效果^[7-11]. 本文运用模糊综合评价法对泉州湾的海水入侵现状进行分析, 为城市减灾避灾提供决策的依据和参考.

1 研究区域与方法

1.1 研究区域概况

泉州市的主要水资源为浅层地下水, 山区地下水多属基岩裂隙水, 主要依靠河谷进行排泄; 沿海地区的地下水资源主要为孔隙水, 大部分属于潜水, 也有少量的承压水, 滨海地区的海积层中则多存在咸水. 由于研究区域主要为泉州湾滨海地带, 重点在洛阳江流域(A, B), 其取样井点布置, 如图 1 所示. 图 1 采用的地理坐标体系为 WEB 墨卡托投影坐标, 以本初子午线与赤道交点作为坐标原点; 横轴数值为坐标点与原点的横向距离, 纵轴数值为坐标点与原点的纵向距离, 单位为 m.

1.2 模糊综合评价方法

模糊综合评价法是指使用模糊数学的方法判断、区分事物的优缺点. 首先, 给出的评价标准及获得事物的实际监测值; 然后, 将所考虑影响因素的实测数据进行模糊变换处理; 最后, 对所研究事物作出综合的评价^[12-15].

2 建立泉州湾海水入侵评价模型

2.1 确定评价因子

在海水入侵的研究中, 最直接的判断依据是水化学特征. 进行评价时, 如果评价的指标太少, 则容易导致错误的结果, 引入没用的指标可能影响海水入侵判别的效率和干扰正确评价^[16-17]. 通过对研究区域的取水样进行室内化学实验, 获得了大量的测试数据^[18]. 结合泉州湾地下水调查资料和水质分析资料, 选用 $\rho(\text{Cl}^-)$ 、矿化度(ρ_{M})及 $\rho(\text{HCO}_3^-)/\rho(\text{Cl}^-)$ 三个化学指标作为评价海水入侵的综合指标, 从而确定评价因子集为 $U=\{\rho(\text{Cl}^-), \rho_{\text{M}}, \rho(\text{HCO}_3^-)/\rho(\text{Cl}^-)\}$.

2.2 建立评语集及量化指标

为了更加详细地了解海水入侵前缘的发展情况, 需将水体咸淡过渡带(微咸水)进行细化. 把泉州湾海水入侵程度分为 4 个等级, 建立评语集 $V=\{v_1, v_2, v_3, v_4\}=\{\text{I}, \text{II}, \text{III}, \text{IV}\}$. 对研究区域 33 个监测井点获得的 89 个实测水样进行化学试验和统计分析, 得出 $\rho(\text{HCO}_3^-)/\rho(\text{Cl}^-)$, ρ_{M} 与 $\rho(\text{Cl}^-)$ 存在的线性关系, 结果如表 1 所示. 结合 $\rho(\text{Cl}^-)$ 海水入侵程度划分的界限值量, 就能够定出 $\rho_{\text{M}}, \rho(\text{HCO}_3^-)/\rho(\text{Cl}^-)$ 各等级的具体值范围及代表值.

表 1 海水入侵程度等级划分及指标量化

项目指标	I		II		III		IV	
	值范围	代表值	值范围	代表值	值范围	代表值	值范围	代表值
$\rho(\text{Cl}^-)/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	<250	100	250~600	400	600~1 500	800	>1 500	2 200
$\rho_{\text{M}}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	<1 000	500	1 000~2 000	1 500	2 000~3 000	2 500	>3 000	3 500
$\rho(\text{HCO}_3^-)/\rho(\text{Cl}^-)$	>2.0	4	1.0~2.0	1.5	0.4~1.0	0.5	<0.4	0.3
入侵程度	无入侵(淡水)		轻度入侵(微咸水)		较严重入侵(微咸水)		严重入侵(咸水)	

2.3 构造隶属函数和建立模糊评价矩阵

选用较为成熟的线性隶属函数, 其中应用正降半梯形隶属函数确定 $\rho(\text{Cl}^-), \rho_{\text{M}}$ 的隶属度, 因为其值与海水入侵的程度成正比; 而应用反降半梯形隶属函数确定 $\rho(\text{HCO}_3^-)/\rho(\text{Cl}^-)$ 的隶属度, 因为其比值大小与海水入侵影响严重程度成相反方向变化. 由线性隶属函数确定出评价因子与评价等级之间的

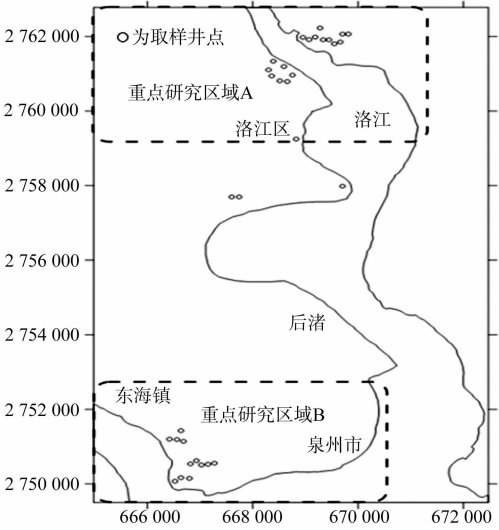


图 1 研究区范围及井点分布图

Fig. 1 Investigation area and the well site

模糊关系. 先分别求得相应各级的隶属度 $r_{i,j}$, 然后计算出各因子的模糊关系矩阵 \mathbf{R} .

2.4 确定评价因子权重矩阵

各个评价指标权重由超标指数赋权法计算获得, 求解步骤如下.

1) 各指标 4 个评价等级海水入侵质量代表值 D_j 的算数平均值 E_i 表示为

$$E_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n D_j. \tag{1}$$

其中: n 为分级数, $n=4$.

2) 各指标的实测值 X_i 相对于 E_i 的超标倍数 W_i , W_i 越大, 则权重就越大, 即

$$W_i = \frac{X_i}{E_i}. \tag{2}$$

3) 再对 W_i 做归一化处理, 得到各评价指标所对应的权重, 即

$$a_i = W_i / \sum_{i=1}^n W_i. \tag{3}$$

由此构成的权重模糊矩阵为 $\mathbf{A} = \{a_1, a_2, a_3\}$.

2.5 模糊综合评价结果

运用加权平均型的模糊算子对 \mathbf{R} 和 \mathbf{A} 做模糊矩阵复合运算, 得到模糊综合评价的结果, 即

$$\mathbf{B} = (a_1 \quad a_2 \quad a_3) \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} \end{bmatrix} = (b_1 \quad b_2 \quad b_3). \tag{4}$$

最后, 根据最大隶属度原则, 取 $\{b_1, b_2, b_3\}$ 中的最大值, 该值在 V 中所对应的级别就是海水入侵程度的模糊综合评价结果等级.

3 评价结果与城市发展建设对策分析

3.1 研究区域综合评价结果

在大量现场测试数据的基础上, 通过 Matlab 软件将线性隶属函数及式(1)~(4)编制成相关程序, 计算得到研究区域海水入侵程度的模糊综合评价结果, 如表 2 所示.

表 2 泉州湾洛阳江流域海水入侵评价结果
Tab. 2 Evaluation results of seawater intrusion in Luoyang river basin Quanzhou Bay

井点 编号	综合评价结果矩阵 \mathbf{B}	评价 结果	井点 编号	综合评价结果矩阵 \mathbf{B}	评价 结果
1	[0.164 6 0.580 0 0.256 4 0]	II	18	[0.882 3 0.117 7 0 0]	I
2	[0.368 3 0.362 2 0.269 5 0]	I	19	[0.244 2 0.492 3 0.263 5 0]	II
3	[0.280 2 0.449 9 0.270 9 0]	II	20	[0.259 8 0.472 1 0.267 1 0]	II
4	[0.223 8 0.515 9 0.260 2 0]	II	21	[0 0.315 3 0.663 4 0.021 3]	III
5	[0.274 3 0.455 2 0.270 5 0]	II	22	[0.343 7 0.378 4 0.277 9 0]	II
6	[0.191 8 0.554 1 0.254 1 0]	II	23	[0.335 1 0.385 9 0.279 0 0]	II
7	[0.370 4 0.361 1 0.268 5 0]	I	24	[0.301 1 0.425 9 0.274 0 0]	II
8	[0.459 8 0.304 2 0.236 0 0]	I	25	[0.301 1 0.425 6 0.273 4 0]	II
9	[0.381 4 0.358 4 0.259 2 0]	I	26	[0 0.049 8 0.813 5 0.137 6]	III
10	[0.454 1 0.314 4 0.230 5 0]	I	27	[0 0.261 2 0.706 4 0.032 4]	III
11	[0.008 1 0.702 2 0.268 7 0.021 0]	II	28	[0.272 1 0.459 1 0.269 8 0]	II
12	[0.138 4 0.584 1 0.277 5 0]	II	29	[0.088 3 0.588 9 0.322 8 0]	II
13	[0.162 8 0.579 4 0.257 8 0]	II	30	[0.094 1 0.589 0 0.317 9 0]	II
14	[0.367 3 0.362 8 0.270 0 0]	I	31	[0.341 2 0.380 4 0.278 4 0]	II
15	[0.346 3 0.374 6 0.279 1 0]	II	32	[0.257 8 0.475 8 0.266 4 0]	II
16	[0.343 6 0.376 8 0.279 6 0]	II	33	[0.264 2 0.483 7 0.252 1 0]	II
17	[0.219 0 0.522 3 0.258 7 0]	II			

从表 2 模糊综合评价的结果可知:泉州湾洛阳江流域地区有 7 个井水取样点满足Ⅰ类水质, 占总取样点的 21.21%;23 个取样点符合Ⅱ类水质, 占总取样点的 69.70%;3 个取样点符合Ⅲ类水质, 占总取样点的 9.09%;未发现Ⅳ类水质.

根据表 2 的评价结果,利用 Surfer 软件绘制出重点研究区域的海水入侵现状综合评价图,如图 2,3 所示.图 2,3 采用的地理坐标体系为 WEB 墨卡托投影坐标,以本初子午线与赤道交点作为坐标原点;横轴数值为坐标点与原点的横向距离,纵轴数值为坐标点与原点的纵向距离,单位为 m.

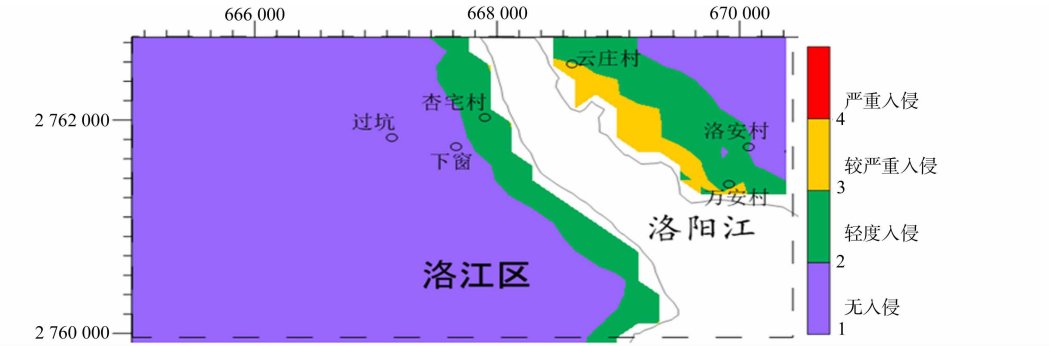


图 2 重点研究区域 A 海水入侵综合评价图

Fig. 2 Comprehensive evaluation of seawater intrusion on key investigation area A

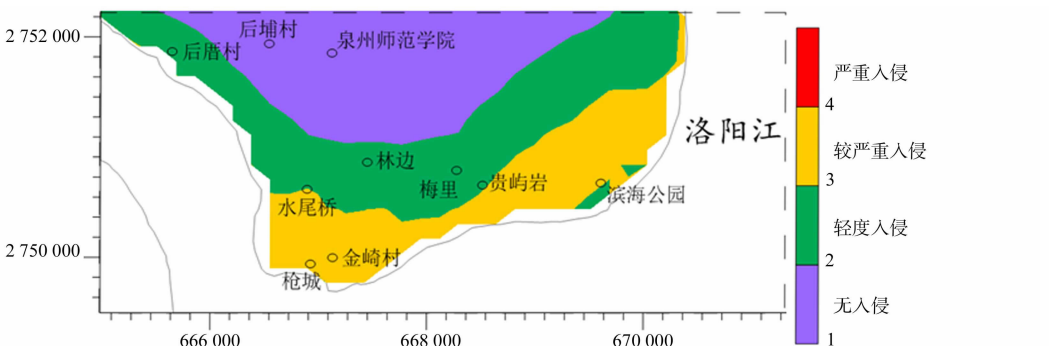


图 3 重点研究区域 B 海水入侵综合评价图

Fig. 3 Comprehensive evaluation of seawater intrusion on key investigation area B

由图 2 可以看出:在研究区域 A 中,万安村-云庄村之间的水质受到了较严重的侵染,呈条带状入侵,最大入侵距离约为 0.82 km;而对岸杏宅村一带水质只受到轻度侵染,呈条带状分布,最大入侵距离约为 0.36 km.由图 3 可以看出:研究区域 B 中,枪城-金崎村-贵屿岩一带水质的侵染情况也较为严重,由海向内陆延伸依次呈片状、条带状分布,最大入侵距离约为 1.50 km;受海水流向冲击的作用,晋江出海口处和滨海公园两处海水入侵的程度明显大于凹处的贵屿岩;但滨海公园由于基岩的存在,导致了个别井点的水质受侵染情况较轻.海水入侵程度随着离海距离的增加而减小,入侵程度较严重的点主要分布在受海水流向冲击作用较大的海岸带,而河流凹岸的入侵程度相对较轻.

3.2 城市发展建设的对策建议

为了统筹经济发展与生态保护这一矛盾,生态修复技术是首选武器.要严厉整治泉州湾存在的不合理滩涂养殖,保护好不断减少的红树林及建设红树林湿地公园.因为红树林不仅能缓解海水入侵的现状,也能够增强泉州湾国际候鸟迁徙站的作用.同时,政府要禁止对滨海海沙的开采,防止海水入侵程度的加剧.采用多孔混凝土及其他自然材质构成生态护岸,形成阻挡海水入侵的天然屏障时,也为野生动物提供了栖息场所.严格控制地下水开采的同时,也需有计划地加强对地下水的回灌补给,如修建地下蓄水库、拦河闸等.

泉州市特殊的地理位置及气候决定了其发展方向,即海湾型城市.出于旅游业的考虑,海水入侵程度较严重的海岸带(Ⅲ,Ⅳ类水质)可划为旅游用地,但不适宜永久性建筑物用地.滨海地带是开发商眼中海景住宅楼的黄金地段,但其兴建在海水轻度入侵处(Ⅱ类水质)时,必须要考虑混凝土及钢筋的耐久性.对于沿海养殖渔业,禁止随意引入海水,提高海水位,严格执行休渔和禁渔制度,推进生态渔业生产

方式. 推广节水灌溉技术,还可利用微咸水浇灌耐盐作物. 工业不适合安置在受海水入侵影响的海岸带. 海水入侵对当地人们的饮水造成了困难,解决其饮水问题已刻不容缓.

4 结论

1) 将模糊综合评价法运用在泉州湾海水入侵研究中,建立了相应的适用数学评价模型,并对两大研究区域的水样进行了综合评价,获得了海水入侵的综合评价图. 从评价结果可得出:该滨海地区地下水主要以Ⅰ类和Ⅱ类水质为主,但Ⅱ类和Ⅲ类水质占 78.79%,超出一半取样井点,表明洛阳江流域地区已经受到海水的入侵影响. 海水入侵以轻度入侵为主,呈条带状分布;较严重入侵位置一般呈片状分布在距海较近的填海地块,最大入侵距离达到了 1.50 km.

2) 根据实测值确定各个因子权重. 与葛冰洋^[18]采用的单一评价指标结果相比,解决了单因子评价方法评价结果过高的缺陷,避免了人为主观因素,可较真实地反映泉州湾地区海水入侵现状.

3) 基于泉州湾海水入侵的现状分析结果可知:要发展建设泉州市这一海湾型城市的海岸带,就要足够重视海水入侵的危害,特别是凸形海岸带,其相比凹形海岸带入侵程度更严重. 从农业、工业、渔业及旅游业发展的角度出发,针对海水不同的入侵程度,提出了相应的城市发展生态修复技术、预防措施.

参考文献:

[1] 范家爵. 判别分析在圈定海水入侵范围的应用[J]. 国土资源,1984(2):196-203.

[2] 钟启明,陈建生,陈亮. 滨海地区海水入侵的一种测定方法[J]. 水利水电科技进展,2007,27(1):50-52.

[3] 刘冀闽,师沙沙,韩涛. 电导率法在海水入侵监测中的应用[J]. 中国环境管理干部学院学报,2009,19(1):77-79.

[4] 杨学明,苏永军,杜东,等. 音频大地电磁法在海水入侵动态监测中的应用[J]. 物探与化探,2013,37(2):301-305.

[5] 杨志英. BP 神经网络在水质评价中的应用[J]. 中国农村水利水电,2001(9):27-29.

[6] LIU Xianbin,LI Guofeng,LIU Zhanguang,et al. Water pollution characteristics and assessment of lower reaches in haihe river basin[J]. Procedia Environmental Sciences,2010,2(6):199-206.

[7] LIU Li,ZHOU Jianzhong,AN Xueli,et al. Using fuzzy theory and information entropy for water quality assessment in three Gorges region, China[J]. Expert Systems with Applications,2010,37(3):2517-2521.

[8] 吴国金. 模糊数学法在地下水污染评价中的应用[J]. 江西地质,1999,13(3):232-237.

[9] 曾永,樊引琴,王丽伟,等. 水质模糊综合评价法与单因子指数评价法比较[J]. 人民黄河,2007,29(2):64-65.

[10] 乔吉果,龙江平,许冬,等. 基于模糊数学方法的长江三角洲滨海地区海水入侵现状评价[J]. 海洋学研究,2011,29(4):57-64.

[11] 陈鹏宇,余宏明,师华鹏. 基于权重反分析和标准化模糊综合评价的岩爆预测模型[J]. 岩石力学与工程学报,2014,33(10):2154-2160.

[12] 杨纶标,高英仪. 模糊数学原理与方法[M]. 广州:华南理工大学出版社,2004:80-213.

[13] 田梅青,肖同亮. 海水入侵程度的模糊综合评判[J]. 安阳工学院学报,2007(4):36-60.

[14] 周志军,王胡振,张小静,等. 应用模糊综合评判方法识别水驱优势渗流通道井和层[J]. 数学的实践与认识,2014,44(21):129-136.

[15] 陈藜藜,金腊华. 湖库富营养化的改进型模糊综合评价方法研究[J]. 中国环境科学,2014,34(12):3223-3229.

[16] 章斌,宋献方,韩冬梅,等. 运用数理统计和模糊数学评价秦皇岛洋戴河平原的海水入侵程度[J]. 地理科学,2013,33(3):342-348.

[17] 赵建. 海水入侵水化学指标及侵染程度评价研究[J]. 地理科学,1998,18(1):16-23.

[18] 葛冰洋. 基于电法泉州湾海水入侵规律试验研究[D]. 泉州:华侨大学,2009:17-29.

(责任编辑: 黄晓楠 英文审校: 方德平)