

福建省晋江市浅层地下水地球化学特征及环境质量评价*

黄耀裔, 陈文成, 苏建云

(泉州师范学院 资源与环境科学学院, 福建 泉州 362000)

摘要:以福建省晋江市调查获取的浅层地下水数据为基础,对25项测试指标的地球化学特征进行了统计,从变异系数分析该区浅层地下水中 Mn^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 NO_2^- 、 Cl^- 、 PO_4^{2-} 等指标CV%大于1,说明受外界因素影响较大,其他指标受影响较小,空间分布较稳定。根据Piper三线图划分标准,该区浅层地下水类型主要为 $\text{Cl}^- \cdot \text{HCO}_3^- - \text{K}^+ + \text{Na}^+ \cdot \text{Ca}^{2+}$ 型。参照地下水质量标准,对该区浅层地下水进行了环境质量综合评价,结合GIS和地统计构建地下水环境质量数字地面模型,结果表明该区整体综合环境质量状况较好,优良率达到81.67%,但评价结果处于Ⅳ类和Ⅴ类的浅层地下水占17.06%,主要为TDS、 Cl^- 、 NO_3^- 、 NO_2^- 、 NH_4^+ 超标,分析认为与海水入侵,农业生产,工业、生活污水排放有关。

关键词:浅层地下水;地球化学特征;环境质量评价;晋江市

中图分类号:X523

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2015)02-0154-08

浅层地下水通常是指存在于距地表以下60 m内的含水层,主要指第一承压含水层,包含有上层滞水、潜水和浅部承压水^[1]。由于大气降水可携带地表污水、生活污水或者农业生产过程中使用的农药化肥污染渗透至土壤孔隙和裂隙中并溶于浅层地下水,地下水资源过度开采造成水位下降,导致海水入侵等原因,使水质受影响^[2]。在地下水的研究中,国内外P. Ravikumar^[3]、Tizro A T^[4]、陈倩^[5]等学者分别对不同区域做了相关的研究,涵盖了地下水化学特征分类、地下水化学成分空间分布、地下水化学时间演化等多个领域。王俊杰^[6]、姜体胜^[7]、胡春华^[8]等学者则研究分析了不同季节(枯水期和丰水期)的地下水化学时空变化特征等,结果表明地下水季节变化对水化学类型空间变异性影响不大,其主要水化学成分浓度整体变化趋势基本一致,在丰水期受水的稀释成分浓度较枯水期低。

晋江市作为福建省泉州市管辖的县级市,是中国著名的侨乡。2012年,社会经济综合发展指数居第17位、综合竞争力居第5位,经济实力连续多年居八闽的首位。拥有五大传统产业(陶瓷石材、食品、纺织服装、制鞋、轻工玩具)和五大新兴产业(纸制品、新型材料业、车辆机械、精细化工、生物制药)。随着城市化进程,经济发展对地下水开发利用的同时衍生出不少环境问题,据2013年晋江市环境统计公报,区内部分地表水已受到不同程度的污染,按地表水环境质量标准划分处于Ⅲ、Ⅳ类,将该地表水作为补给水时给浅层地下水造成一定的影响。与此同时浅层地下水作为人们生活的重要水源之一,过量饮用受污染的浅层地下水,会危害人体健康,因此研究浅层地下水化学特征不仅有助于科学认识研究区的水质情况,而且对于可持续开发利用和管理也有积极意义^[9]。为了了解当前晋江市浅层地下水的现状,调查该区水文地质地貌等各种自然和人文要素,并在此基础上采样测试浅层地下水化学元素浓度后分析其地球化学特征,并进行浅层地下水环境质量综合评价,为调整农业、工业、生产生活布局,合理开发利用地下水和保护地下水资源提供建议。

1 研究区概况

研究区($24^{\circ}30' \sim 24^{\circ}54' \text{N}$, $118^{\circ}24' \sim 118^{\circ}43' \text{E}$)位于中国福建省中部,晋江下游南岸,总面积721.7 km²。平均海拔在55 m左右,地势呈现出北西高-南东低的态势,由西北向东南缓倾。地貌形态以台地、平原为主。气候属亚热带湿润气候区,年均气温在20~21℃,一月份温度较低(均温11.9℃),七月份温度较高(均温28.2℃);年均日照2 130 h,蒸发量较大达到1 900 mm;年均降雨量911~1 231 mm,夏秋时有台风暴雨发生,易引发

* 收稿日期:2014-01-10 修回日期:2014-06-05 网络出版时间:2015-01-22 11:56

资助项目:国家创新实验项目(No. 201310399020);福建省教育厅科技项目(No. JA12281);泉州市科技局项目(No. 2012Z117)

作者简介:黄耀裔,男,实验师,研究方向为环境信息系统与评价,E-mail:huangyaoyi@163.com

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.n.20150122.1156.018.html

溪河泛滥成灾,每年有不同程度的干旱季节,这也造成该区浅层地下水资源年布不均。

研究区内土壤类型较多样,以红壤分布最广泛,其次为砖红壤性红壤和水稻土。据2009年土地变更调查,农用地占25 527.85 hm^2 ,居民点及工矿用地占28 227.68 hm^2 ,交通运输用地4 805 hm^2 ,水域及水利设施用地占12 306.55 hm^2 ,其他用地占3 560.73 hm^2 。植被覆盖度以2010年8月份的该区ETM+遥感影像资料解译获取,区内植被覆盖度占土地总面积的7.23%,低于福建省平均水平,丘陵台地区绿地较少,水土流失较为严重。

研究区内地质构造属新华厦系,断裂密集发育,构成不同方向的带状断裂带,以北东向断裂(如晋江—灵源山断裂)、北西向断裂(如清流—晋江断裂带)及次生断裂带(如许厝断裂)为主。断裂带作为地下水流动的通道和存储场所,可为地下水赋存提供良好的地质环境。境内地层从老到新分布有:前泥盆系澳角组(D_1o)动力变质岩;侏罗系上统鹅宅组(J_1e)火山喷出岩和第四系地层(更新统龙海竺队(Q_3l)、全新统长乐组(Q_4c)、时代未分残坡积层(Q_p))。境内地下水的赋存、分布、补给、径流、排泄受地形地貌、地层岩性、地质构造、水文气象、植被等诸多因素的综合影响。

2 研究方法

2.1 样品采集与测试

研究区浅层地下水布点调查取样主要根据地层岩性、民井和机井分布情况,严格按地下水污染地质调查评价规范操作,格网布点原则据《环境影响评价技术导则——地下水环境(HJ610-2011)》,以能够基本了解和客观反映该区的浅层地下水水质特征,受实验条件等其他因素限制。项目实测2012年5月地下水(丰水期水位)水质,辅助调查枯水期的水位变化,水样采集过程中同时通过GPS定位仪确定水样空间分布状况(投影坐标系为WGS84,见图1)。对研究区浅层地下水样品测试了pH值、电导率(EC)等25个指标(表1为高于检出限的指标)。采样和化验操作过程依据《生活饮用水标准检验方法》(GB5750)进行。

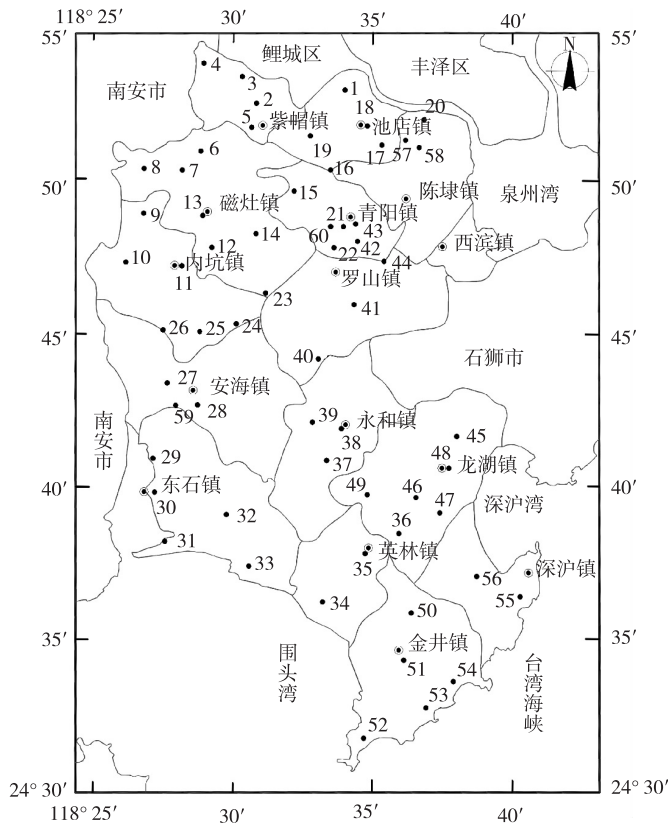


图1 研究区采样分布图

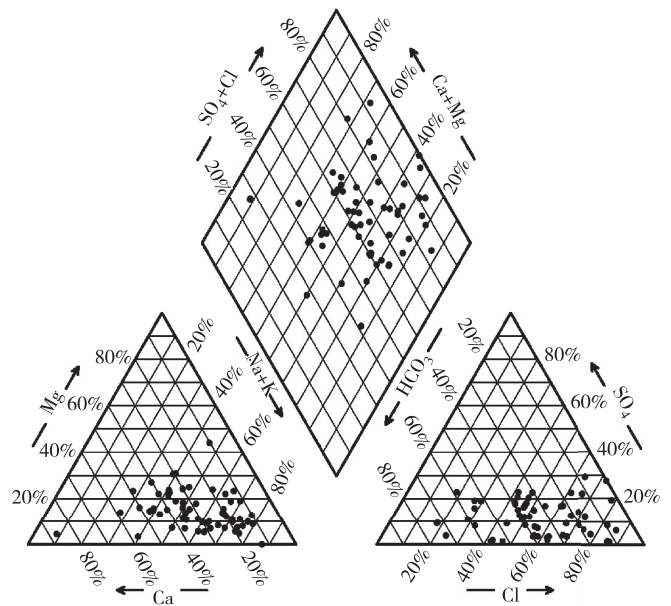


图2 研究区地下水 Piper 图

2.2 综合评价方法

根据《地下水质量标准》(GB/T 14848-1993)^[10]列出的测试项目,选取了总硬度(TH)、矿化度(TDS)、氨氮(NH_4^+)、硝酸盐(NO_3^-)、亚硝酸盐(NO_2^-)、氯离子(Cl^-)、碳酸氢盐(HCO_3^-)、硫酸盐(SO_4^{2-})、氟离子(F^-)、

汞(Hg^{2+})、铬(Cr^{6+})、锌(Zn^{2+})、铁(Fe^{2+})、锰(Mn^{2+})、铜(Cu^{2+})作为综合评价的评价指标因子,其中 HCO_3^- 指标在《地下水质量标准》中未列出,参考相关文献^[11]结合研究区实际情况进行分级。根据单项指标分级,以浅层地下水调查测试数据为基础,参照《地下水质量标准》对本区浅层地下水进行水环境质量综合评价。评价过程如下:

1) 首先采用《地下水质量标准》的地下水单项指标的质量分类结合单项组分评价分值确定结果得分值。

$$F_{i,j} = \begin{cases} 0, & \text{处于 I 类水平} \\ 1, & \text{处于 II 类水平} \\ 3, & \text{处于 III 类水平} \\ 6, & \text{处于 IV 类水平} \\ 10, & \text{处于 V 类水平} \end{cases}, \quad i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m. \quad (1)$$

(1)式中 $F_{i,j}$ 表示研究区浅层地下水各组分得分值; i 代表浅层地下水待评价的样点数; j 代表浅层地下水待评价的指标数。

2) 接着再利用内梅罗指数法进行综合:

$$F_i = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n F_{i,j}\right)^2 + F_{\max,j}^2}{2}}, \quad i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m. \quad (2)$$

(2)式中 $F_{\max,j}$ 表示研究区浅层地下水单项组分评价分值 $F_{i,j}$ 中的最大值; $F_{i,j}$, i, j 含义同上。

3) 最后由(2)式计算得到的综合得分值 F_i 后,据(3)式确定浅层地下水水环境综合质量评价结果,若 F 愈大,则表明受污染程度愈严重,反之受污染程度愈轻,根据《地下水质量标准》, I 类为优良、II 类为良好、III 类为较好、IV 类为较差、V 类为极差。

$$F = \begin{cases} < 0.80, & \text{I 类(优良水平)} \\ 0.80 \sim 2.50, & \text{II 类(良好水平)} \\ 2.50 \sim 4.25, & \text{III 类(较好水平)} \\ 4.25 \sim 7.20, & \text{IV 类(较差水平)} \\ > 7.20, & \text{V 类(极差水平)} \end{cases} \quad (3)$$

3 结果与讨论

3.1 浅层地下水地球化学特征

3.1.1 水化学浓度统计分析 根据水样测试成果, Al^{3+} 、 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Hg^{2+} 、 Cr^{6+} 、 CO_3^{2-} 指标浓度测试结果值为 0, 意味着无法检出或低于检出限, 故不在表 1 中列出上述指标统计结果。研究区浅层地下水的 pH 值范围介于 4.05~7.06 之间, 均值为 6.55, 总体上呈中性、弱酸性, 这与南方的大气降水为弱酸雨, 基底岩性为酸性火成岩(铝硅酸盐)以及偏酸性土壤特性存在一定的关系。通常情况在酸性介质下容易使土壤或者岩性矿物中的化学元素或组分被浸提溶滤形成离子状态而溶解于地下水中^[12]。在被检测的阴离子、阳离子浓度从大到小分别为: $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Mn^{2+} 、 NH_4^+ ; Cl^- 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 H_3SiO_4^- 、 NO_3^- 、 PO_4^{2-} 、 F^- 、 NO_2^- , 总体以 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 和 HCO_3^- 浓度为主。由于晋江市毗邻台湾海峡, 地下水受海水成分的混染作用, 而海水中含有大量的 Na^+ 、 Mg^{2+} 和 Cl^- 等, 使得阳离子主要来源为火成岩—铝硅酸盐(钠长石、斜长石、正长石、微斜长石、霞石)的风化产物, 盐沉积层(主要是岩盐)和分散在岩石土壤中的化合物(岩盐、芒硝等); 阴离子则主要来源于孔隙中含高浓度 Cl^- 的海积层、岩盐沉积层等的溶滤、以及大气降雨下渗^[13]。矿化度指标通常包含有地下水中阳离子和阴离子的浓度, 对矿化度、电导率、阴阳离子做相关性分析, 相关系数从大到小分别为: $\gamma_{\text{TDS}, \text{EC}}$ (0.97)、 $\gamma_{\text{TDS}, \text{Na}^+ + \text{K}^+}$ (0.95)、 $\gamma_{\text{TDS}, \text{Cl}^-}$ (0.92)、 $\gamma_{\text{TDS}, \text{SO}_4^{2-}}$ (0.89)、 $\gamma_{\text{TDS}, \text{TH}}$ (0.89)、 $\gamma_{\text{TDS}, \text{Mg}^{2+}}$ (0.81)、 $\gamma_{\text{TDS}, \text{Ca}^{2+}}$ (0.76)、 $\gamma_{\text{TDS}, \text{HCO}_3^-}$ (0.58), 依相关系数值表明 TDS 与 EC、TH、阴阳离子浓度均呈现出显著性相关, 同时阴、阳离子浓度水平随着 TDS 的增减而随之增减, 结合绘制出的每种水质成分的浓度空间分布图, 表明 TDS 与 EC、TH 及阴、阳离子在空间浓度分布规律及其变化情况均有较好的吻合性。

3.1.2 水化学类型 水化学类型在一定程度上有助于了解地下水的成因。由表 1 可知: 晋江市浅层地下水中大组分阳离子($\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 、 Ca^{2+})和阴离子(Cl^- 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-})的浓度较大, 且均值与标准差差异性较大, 这些大组分离子决定着该区地下水的水化学类型。同时地下水 Piper 三线图可反映地下水化学特征的分布状态,

图 2 显示研究区浅层地下水 $K^+ + Na^+$ 占 40%~90%, Ca^{2+} 占 20%~60%, Cl^- 占 20%~90%, HCO_3^- 占 20%~90%; SO_4^{2-} 占 20%~40%, 使得该区水化学类型整体较为复杂。按照 Piper 三线图划分的晋江市地下水化学类型有: $Cl^- - Na^+$ 型、 $HCO_3^- - Ca^{2+}$ 型、 $Cl^- \cdot HCO_3^- - K^+ + Na^+ \cdot Ca^{2+}$ 型、 $Cl^- - K^+ + Na^+ \cdot Ca^{2+}$ 型、 $HCO_3^- - Cl^- - Na^+$ 型、 $Cl^- - K^+ + Na^+ \cdot Ca^{2+}$ 型, 其中主要以 $Cl^- \cdot HCO_3^- - K^+ + Na^+ \cdot Ca^{2+}$ 型为主。根据晋江市地下水的赋存条件。含水特征及富水程度划分的基岩裂隙、风化带孔隙裂隙、松散岩类孔隙这 3 类间隙水中均包含有以上的一种或几种化学类型。从地质学角度解释其缘由, 境内地层岩性主要以火成岩为主, 岩性为花岗岩, 而花岗岩的水化学类型也主要是 $HCO_3^- - K^+ + Na^+ \cdot Ca^{2+}$ 型, 表明该区水化学类型受水文地球化学环境作用、元素迁移和海水入侵影响。

表 1 晋江市浅层地下水元素地球化学浓度特征参数统计 (n=60)

项目	最大值	最小值	平均值	标准差	方差	CV%(±5%)
矿化度(TDS)/(mg·L ⁻¹)	1 729.00	6.50	362.44	273.61	74 862.61	75.24
pH 值/无量纲	7.46	4.05	6.55	0.52	0.27	7.92
总硬度/(mg·L ⁻¹)	469.00	18.00	125.22	90.85	8 254.63	72.55
总碱度/(mg·L ⁻¹)	235.00	0.00	73.78	60.41	3 710.89	81.87
电导率(EC)/(μmho·cm ⁻¹)	2 383.80	119.07	500.12	386.01	151 528.76	77.18
钠钾离子(Na ⁺ +K ⁺)/(mg·L ⁻¹)	435.00	9.22	72.41	71.25	5 077.20	98.48
钙离子(Ca ²⁺)/(mg·L ⁻¹)	141.00	4.09	34.44	26.81	719.12	77.47
锰离子(Mn ²⁺)/(mg·L ⁻¹)	1.00	0.00	0.03	0.136	0.019	447.27
镁离子(Mg ²⁺)/(mg·L ⁻¹)	44.65	0.00	9.85	8.21	67.45	83.56
碳酸氢根(HCO ₃ ⁻)/(mg·L ⁻¹)	286.00	3.11	94.01	74.04	5 481.75	78.09
磷酸根(PO ₄ ²⁻)/(mg·L ⁻¹)	2.56	0.00	0.12	0.35	1 694.52	281.66
氯离子(Cl ⁻)/(mg·L ⁻¹)	651.00	9.67	95.43	102.34	10 472.85	107.19
氨氮(NH ₄ ⁺)/(mg·L ⁻¹)	0.16	0.00	0.025	0.028	0.001	111.31
亚硝酸盐(NO ₂ ⁻)/(mg·L ⁻¹)	0.305	0.00	0.015	0.049	0.003	324.82
氟离子(F ⁻)/(mg·L ⁻¹)	0.8	0.00	0.24	0.15	0.024	63.74
硝酸盐(NO ₃ ⁻)/(mg·L ⁻¹)	45.18	0.23	6.85	5.97	36.25	87.16
硫酸根(SO ₄ ²⁻)/(mg·L ⁻¹)	256.00	1.00	33.13	40.83	1 666.71	123.52
硅酸盐(H ₃ SiO ₄ ⁻)/(mg·L ⁻¹)	56.00	6.00	26.91	13.18	176.53	48.96

3.1.3 水化学空间分布特征 研究区浅层地下水中总硬度、总碱度、TDS、pH、EC、 $Na^+ + K^+$ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 、 F^- 、 NO_3^- 、 $H_3SiO_4^-$ 等变异系数小于 1, 表明这些指标的浓度空间分布较稳定; 而 Cl^- 、 NH_4^+ 、 SO_4^{2-} 介于 100%~200%, Mn^{2+} 、 NO_2^- 、 PO_4^{2-} 等其余指标大于 200%, 反映这些指标分布极不均匀, 虽然测试结果浓度值较低, 但在局部地段有高浓度区的形成, 从而影响到浅层地下水的水质, 这些指标浓度较高且浓度在空间上变化较大。

地理信息技术(GIS)作为计算机辅助手段用于浅层地下水的分析评价是一个很好的辅助工具。本文借助 MapGIS K9 软件平台的网格模型插值生成等值线图来反映该地区各种地球化学指标的浓度分布情况及可确定不同浓度分布面积。图 3 为该区 Cl^- 指标的数字地面模型图(等值线图), 从图 3 可知 Cl^- 浓度较大主要分布在境内的英林镇、金井镇沿至围头半岛围头湾, 邻接南安市的境内东石镇与安海镇交接处, 其中东石镇邻南安市靠近石井码头处区域的变化幅度大。同理, SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 、 Mn^{2+} 、 PO_4^{2-} 、 NO_2^- 这些变异系数大的水质因子根据等值线图反映出的空间分布和局部高浓度情况, 可为分析超标因素等提供参考。通过等值线图除了可以反映各种水质因子的浓度空间分布特征, 还可将各种水质指标通过地理信息技术的空间叠加分析(并、差、交等运算)综合出浅层地下水化学类型的空间分布或水环境质量综合评价结果分布。

3.2 浅层地下水环境质量评价

3.2.1 单项评价结果 金属元素(Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Hg^{2+} 、 Cr^{6+} 、 Fe^{2+} 等)浓度低于地下水质量标准的Ⅱ类(即天然背景水平)以下甚至部分采样点未检测出, 唯独 Mn^{2+} 金属元素在研究区的紫帽镇、磁灶镇、青阳镇和安海镇浓度偏高, 平均浓度为 0.03 mg/L, 最大浓度高达 1.00 mg/L, 采样点最高超过单指标Ⅴ类(不适合饮用)标准值; TDS

和总硬度是评价地下水质量优劣的重要指标,据研究区测试结果,TDS 指标平均浓度为 362.44 mg/L,处于 II 类标准范围内,最大浓度 1 729 mg/L,最小浓度 6.50 mg/L,浓度跨度大,大体呈现由中部向东北、西南方向逐渐增大的趋势,但最大值低于 IV 类(适合各种工农业用水)标准;而总硬度指标平均浓度为 125.22 mg/L,处于 I 类(即天然低背景水平)范围内,最大值为 469 mg/L,低于 III 类(符合人体健康)标准,大部分属于软水和微硬水,说明该区浅层地下水 TDS 和总硬度指标浓度相对较低; Cl^- 最大值超过 V 类水平标准,有可能受到海水入侵的影响; NO_3^- 最大值为 45.18 mg/L,超过地下水 V 类标准; NO_2^- 最大值为 0.035 mg/L,超过地下水 V 类标准; NH_4^+ 最大值为 0.16 g/L,超过地下水 V 类标准。 NO_3^- 、 NO_2^- 、 NH_4^+ 主要受农业施肥、工业废水和生活废水产生的污染因素的影响大,在境内呈现出超标率较高且空间分布差异较小的特征。

3.3.2 综合评价结果 国内大多评价文献都采用基于离散点数据方式评价^[11],无法体现出评价区域的空间分布情况,借助 GIS 结合地统计方式^[14]构建地下水环境质量数字地面模型,

将评价等级离散数据连续化表达表征浅层地下水水环境的综合质量。通过 ArcGIS 的地统计分析模块^[15]对地下水环境质量综合评价结果插值,插值步骤如下:对离散地下水样点作正态分布校验→分析空间趋势规律→通过半变异/协方差函数和交叉验证后→确定最佳半变异模型→依据此模型插值得出地下水环境质量数字地面模型图。从图 4 可反映出地下水环境质量综合评价空间分布,并结合研究区土地利用及工业、企业分布图(图 5)进行结果分析。

据图 4、图 5,评价结果处于 I 类等级的范围占全区总面积的 60.75%,主要分布于区内紫帽镇、池店镇靠近泉州市中心城区的鲤城区、丰泽区;内坑镇、永和镇;罗山镇和龙湖镇靠近石狮市一带。这些地区地势较平缓,土地类型主要为基本农田和城镇村建设用地,并且这些区域工业企业分布较少,为污染较轻的工业企业。其中单指标除了永和镇英墩往南至永和镇塘下村(即 37 至 40 号水样点,采样点位于农田) NO_3^- 、 NH_4^+ 属 III 类水外,金井镇围头三角地带矿化度属 III 类水外,其余均达到 II 类水质标准,综合评价结果为 I 类水质标准,经预处理可用于生活饮用。综合评价结果处于 II 类的范围占全区总面积的 22.18%,涉及的镇较多,分布较散,主要分布于区内青阳镇、安海镇、罗山镇、英林镇、深沪镇、金井镇部分区域,工业企业数量增多,为一些家具、服装加工等污染较小的企业。浅层地下水中 NO_3^- 、 NH_4^+ 、TDS、 Cl^- 单指标属 III 类水质外,其余均达到 II 类水质标准。其中分布于金井镇—深沪镇一带多与海水入侵产生的 Cl^- 和 TDS 浓度有关;安海镇、罗山镇、英林镇分布有工业区,导致 NO_3^- 、 NH_4^+ 浓度较高,经处理可用于生活饮用。结果评价结果处于 IV 类的范围占全区总面积的 15.17%,这类水质可适用于农业和部分工业用水。主要分布于晋江市金井镇埔宅村区域临界深沪镇坑边村靠近台湾海

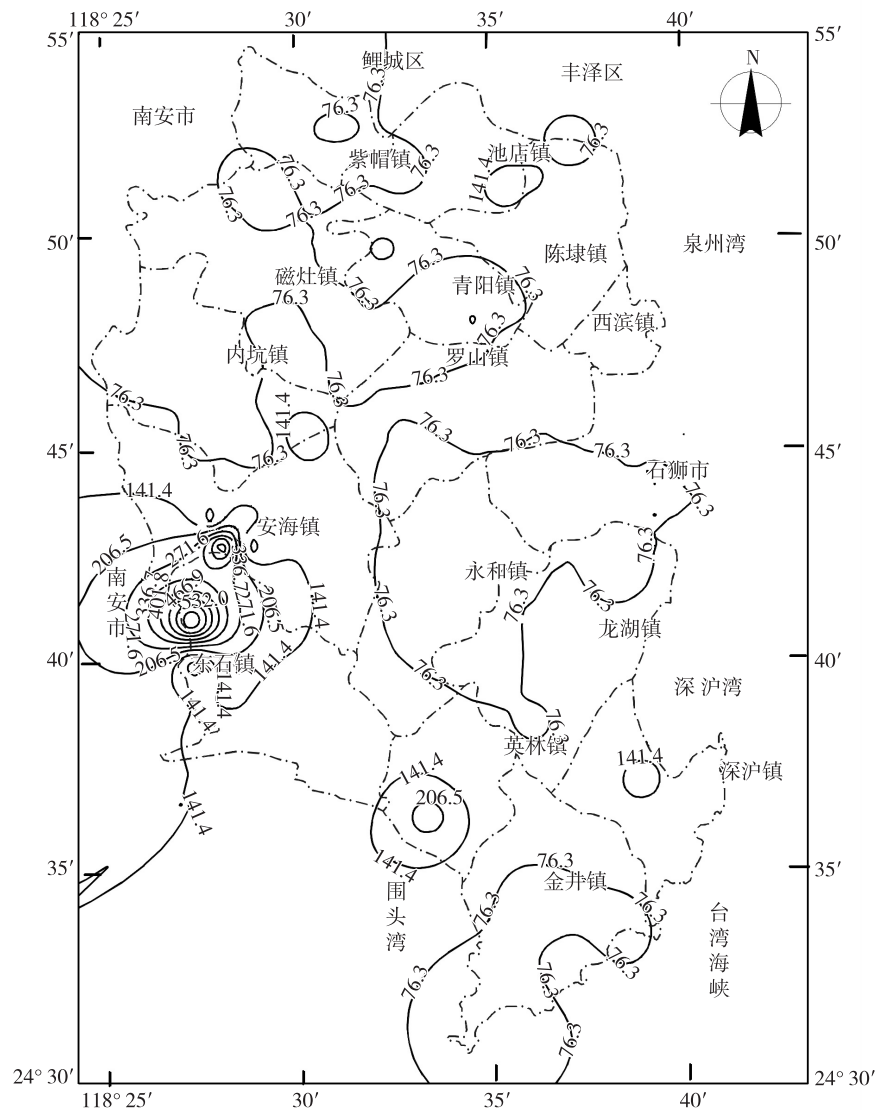


图 3 研究区氯离子等值线图

峡地区,该地区 NO_3^- 、 NO_2^- 指标浓度超过 V 类水质标准;晋江市磁灶镇与紫帽镇交界处(磁灶镇占大部分区域)、安海镇部分区域、池店镇赤塘村与陈埭镇高登村、池店镇新店村与青阳镇交界等地区 Mn^{2+} 、 NO_3^- 、 NO_2^- 指标浓度超标,其中 Mn^{2+} 和 NO_2^- 甚至超过 V 类水质标准,而 NO_3^- 达到 III 类水质标准。综合评价结果处于 V 类的范围占全区总面积的 1.89%,主要分布于区内安海镇区临界东石镇地区与南安市交界,该地区主要是总硬度、TDS、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 、 NO_3^- 指标浓度超标,其中总硬度、TDS、 Cl^- 、 NO_3^- 超过 V 类水质标准。综合评价结果表明研究区地下水环境质量处于 I 类和 II 类的范围达 81.67%。

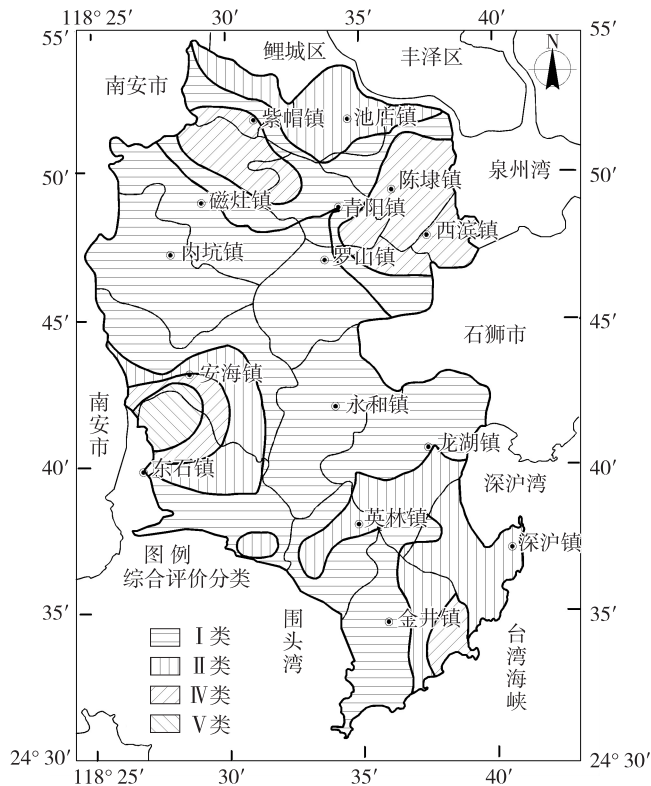


图4 环境质量综合评价等级图

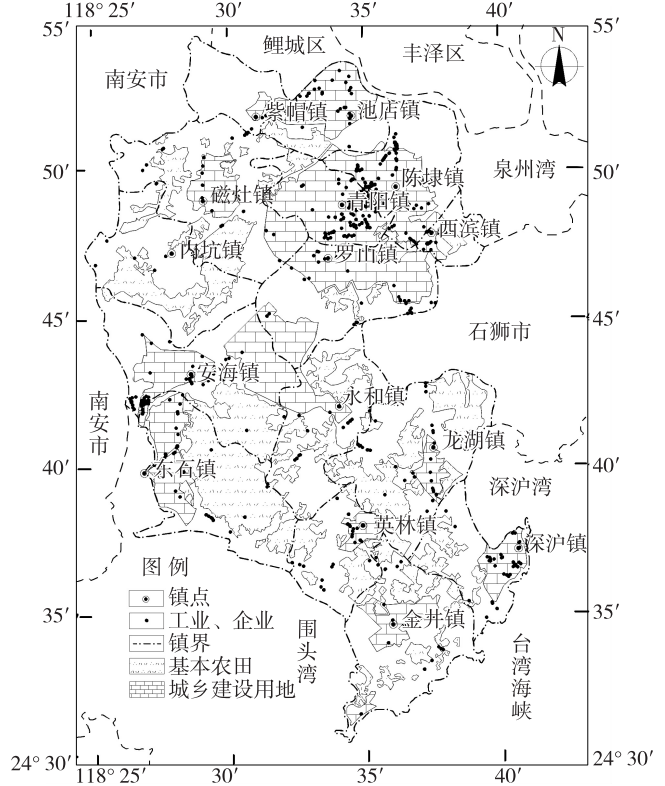


图5 研究区土地利用及企业分布图

3.3.3 评价结果讨论 结合地下水环境单指标分级结果来看,主要超标指标为 TDS、 Mn^{2+} 、 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 NO_2^- 。结果分析:境内紫帽镇、磁灶镇的浅层地下水中 Mn^{2+} 元素浓度较高,可能与原生地质存在一定关系,并且该地区还分布有大量的陶瓷建材厂,结合岩体测试结果分析可能是由于该地区原生地球化学条件高本低值造成,据医学研究长期饮用含 Mn^{2+} 量较高的水源,会对人体生理上造成一定的影响; NH_4^+ 、 NO_3^- 、 NO_2^- 超标则说明人类活动对该区浅层地下水影响较大,如安海镇分布有恒安纸厂、亲亲食品等产污较大的企业及工业区;池店镇、陈埭镇分布有安踏、361 度、贵人鸟、特步、寰球等制鞋企业;陈埭镇、青阳镇则分布有优兰发纸业、凤竹纸业等造纸业,虽然这些企业是以点源形式排放,但是这些产业容易产生大量浓度高的污水,通过地表污水无规排放通过土壤空隙和裂隙下渗,同时当这些污水被排入河流就变成线源污染,成为这些地区浅层地下水水质恶化的一个主要因素之一。 NH_4^+ 、 NO_2^- 、 NO_3^- 指标少部分由于在海相地层中含丰富的有机质经长期分解等作用转化而来,此外 NH_4^+ 、 NO_2^- 、 NO_3^- 指标在一定程度上也可以反映浅层地下水是否受人为因素造成的污染,如农业施含 N、P 化肥,生活含 N 排泄物等经地表渗透,可能会对当地居民的健康形成危害,应引起重视;海水入侵会对研究区沿海一带的海湾浅层地下水造成影响,从评价结果看 IV 类、V 类区域基本都靠近海岸或海湾,岩石地层属于第四系的长乐组和龙海组,其中从海水入侵指标 (SAR 大于 2 和 $\gamma_{\text{Na}}/\gamma_{\text{Cl}}$ 小于 0.85),推断海水入侵以及海积层孔隙水含有咸水可能是影响该地区地下水水质的部分主要原因,如境内安海镇、东石镇、金井镇、深沪镇、陈埭镇检测出反映海水入侵的指示性指标 (TDS 、 Cl^- 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-}) 存在超标。通过对比福建省其他县市的海岸带发现,由于福建海岸带地质环境背景^[16] 基本相似,海水与淡水的阳离子交替性吸附相似,因此海水入侵影响浅层地下水的成分也较相似。其他相关研究文献^[17] 表明海水入侵在我国以山东半岛的莱州湾地区海水入侵最为严重,对比发现由于晋江市地层岩性主要以火成岩为主,含水层岩性主要以第四系长乐组的风积层、冲积层、海积

层和第四系龙海组的海陆交互海积层为主,主要成分为粒度均匀松散的中砂、细砂、粘土、沙质粘土、淤泥、粉砂、淤泥、含海生贝壳的夹泥炭等,使得 Cl^- 浓度高于 Na^+ ,阳离子交替吸附作用较其他地方强。

4 结论

1) 晋江市浅层地下水阳离子浓度以 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 和 Ca^{2+} 离子为主,阴离子浓度则以 Cl^- 和 HCO_3^- 离子为主。根据 Piper 三线图,晋江市浅层地下水以 $\text{Cl}^- \cdot \text{HCO}_3^- - \text{K}^+ + \text{Na}^+ \cdot \text{Ca}^{2+}$ 型为主。TDS 与 EC、TH 及大组分阴、阳离子存在显著性相关。

2) 该区浅层地下水中 Al^{3+} 、 Mn^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Hg^{2+} 、 Cr^{6+} 、 CO_3^{2-} 等离子背景浓度较低或者未检出; SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 、 Mn^{2+} 、 PO_4^{2-} 、 NO_2^- 、 NO_3^- 等指标变异系数较大,说明这些指标浓度较高且浓度在空间上变化较大,导致局部水质差异大,从而影响浅层地下水的质。

3) 结合单指标分级结果来看,主要超标指标为 TDS、 Mn^{2+} 、 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 NO_2^- ,说明境内浅层地下水受原生地球化学条件、海水入侵、人类生产生活等影响,特别是工业废水、生活污水以及农业施肥产生的 N 污染,可能会对当地居民的健康造成危害,应引起重视。此外从海水入侵指标反映出海水入侵造成沿湾带浅层地下水污染,也应引起足够重视。

4) 晋江市浅层地下水整体综合环境质量状况较好。评价结果处于Ⅳ类和Ⅴ类占境内面积的 17.06%,其中Ⅳ类占 15.17%,Ⅴ类占 1.89%,主要分布于晋江市深沪镇沿南至金井镇的围头湾靠近台湾海峡的环海岸处,与南安市石井码头交界的东石镇、安海镇三角地带及东石镇、安海镇部分区域、磁灶镇与紫帽镇交界处(磁灶镇占大部分区域)、池店镇新店村与青阳镇交界带以及池店镇赤塘村延至陈埭镇大部分地区。建议晋江市有关部门应该根据国务院环保部发布的关于《全国地下水污染防治规划(2011—2020)》通知,制定保护和合理开发地下水的相关条例,多点监控地下水污染较严重地区,以优先保护为原则,统筹协调、全面兼顾,水量、水位和水质三者并重原则,有效切断污染源,建立一套长期有效的地下水水源地保护区机制,实现地下水资源的可持续利用。

参考文献:

- [1] 赵焯. 环境地学[M]. 北京:高等教育出版社,2007.
Zhao Y. Environmental geoscience[M]. Beijing: Height Education Press, 2007.
- [2] 杨淑华,孔宪芳,孙向东. 山东省海咸水入侵现状及防治措施[J]. 山东水利, 2004 (10): 38-40.
Yang S H, Kong X F, Sun X D. The status quo of sea salt water intrusion and prevention measures Shandong province[J]. Shandong Water Resources, 2004 (10): 38-40.
- [3] Ravikumar P, Venkatesharaju K, Somashekar R. Major ion chemistry and hydrochemical studies of groundwater of banglore south taluk India[J]. Environ Monit Assess, 2010, 163: 3066-3078.
- [4] Tizro A T, Voudouris K S. Groundwater quality in the semi-arid region of the Chahadourly basin, West Iran[J]. Hydrological Process, 2008, 22: 3066-3078.
- [5] 陈倩,钟金先,李长顺. 数理统计方法在区域浅层地下水水文地球化学研究中的应用[J]. 现代地质, 2012, 26(3): 607-612.
Chen Q, Zhong J X, Li C S. Application of mathematical statistics methods on the study of hydrogeochemistry for the shallow groundwater[J]. Geoscience, 2012, 26 (3): 607-612.
- [6] 王俊杰,何江涛,张昕,等. 某傍河研究区的地下水化学分析[J]. 现代地质, 2010, 24(5): 1000-1006.
Wang J J, He J T, Zhang X, et al. Study on hydrochemistry in a riparian site[J]. Geoscience, 2010, 24(5): 1000-1006.
- [7] 姜体胜,杨忠山,王明玉 等. 北京市南口地区浅层地下水水化学时空变化特征分析[J]. 地球与环境, 2011, 39(2): 203-208.
Jiang T S, Yang Z S, Wang M Y, et al. Analysis on the temporal and spatial variations of hydrochemical characteristics of shallow groundwater in Nankou, Beijing[J]. Earth and Environment, 2011, 39(2): 203-208.
- [8] 胡春华,童乐,万齐远,等. 环鄱阳湖浅层地下水水化学特征的时空变化[J]. 环境化学, 2013, 32(6): 975-979.
Hu C H, Tong L, Wang Q Y, et al. Spatial and temporal variation of shallow groundwater chemical characteristics around Poyang Lake[J]. Environmental Chemistry, 2011, 39 (2): 203-208.
- [9] 董维红,苏小四,候光才,等. 额尔齐斯白垩系盆地地下水矿化度和主要离子浓度的分布规律[J]. 水文地质与工程地质, 2008(4): 11-16.
Dong W H, Su X S, Hou G C, et al. Study on distribution law of TDS and main ion concentration in groundwater in the Ordos Cretaceous Artesian Basin[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2008(4): 11-16.
- [10] 国家技术监督局. GB/T14848—93 地下水质量标准[S]. 北京:中国标准出版社,1993.

- State bureau of technical supervision, Quality standard for ground water (GB/T14848-93) [S]. Beijing: China Standards Press, 1993.
- [11] 兰双双, 姜纪沂, 王滨. 基于物元可拓法的地下水水质评价——以梨树县平原区浅层地下水为例[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2012, 39(4): 722-725.
- Lan S S, Jiang J Q, Wang B. Evaluation of groundwater quality based on matter element and extension means-taking shallow groundwater of plain areas in Lishu for example[J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2012, 39(4): 722-725.
- [12] 李学礼, 孙占学, 刘金辉. 水文地球化学[M]. 北京: 能源出版社, 2010.
- Li X L, Sun Z X, Liu J H. Hydrogeochemistry [M]. Beijing: Energy Press, 2010.
- [13] 高翠萍, 杜新强, 刘铁银, 等. 黑龙江省桦南县城地下水化学特征与成因分析[J]. 节水灌溉, 2012, (2): 41-44.
- Gao C P, Du X Q, Liu T Y, et al. Characteristics of groundwater chemistry and its formation reasons in Huanan county of Heilongjiang province[J]. Water Saving Irrigation, 2012, (2): 41-44.
- [14] 汤国安, 杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- Tang G A, Yang X. ArcGIS spatial analysis GIS experiment course[M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [15] 杨子清, 陈平留, 刘健, 等. 基于 Kriging 法的森林土壤养分空间插值[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2012, 41(3): 396-399.
- Yang Z Q, Chen P L, Liu J, et al. Spatial interpolation of forest soil nutrients based on Kriging method[J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University: Natural Science Edition, 2012, 41(3): 396-399.
- [16] 游美歌. 福建海岸带地质环境背景与海水入侵的形成条件探讨[J]. 工程地质学报, 2009, 17(5): 667-669.
- You M G. Background of geological environment and formation conditions of seawater intrusion in Fujian coastal area[J]. Journal of Engineering Geology, 2009, 17(5): 667-669.
- [17] 郑新奇, 张乃兴, 李新运. 莱州湾东南沿岸地下水水位动态与海水入侵相关规律研究[J]. 水文地质工程地质, 1997(3): 6-9.
- Zheng X Q, Zhang N X, Li X Y. Interrelation between groundwater level regime and sea water intrusion in eastern[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 1997(3): 6-9.

An Evaluation of the Geochemical Characteristics and Environmental Quality of the Shallow Groundwater in Jinjiang China

HUANG Yaoyi, CHEN Wencheng, SU Jianyun

(College of Resources and Environment Science, Quanzhou Normal University, Quanzhou Fujian 362000, China)

Abstract: A statistics of the geochemical characteristics of 25 elements has been studied in this paper on the basis of the shallow groundwater data obtained from the survey in the city of Jinjiang, Fujian Province. From the analysis of the coefficient of variation shows that several indicators (such as Mn^{2+} , SO_4^{2-} , NO_2^- , Cl^- and PO_4^{2-}) in the shallow groundwater of the studied area have the CV% is greater than 1, illustrate the influence by external factors larger, other indicators have changed relatively insignificantly. According to Piper trilinear diagram of groundwater, the type of the shallow groundwater in Jinjiang area is $Cl^- \cdot HCO_3^- - K^+ + Na^+ \cdot Ca^{2+}$. In the light of the quality standard for groundwater, the authors have made a comprehensive environmental quality evaluation of the local shallow groundwater. With the help of GIS and Geo-statistics, the digital terrain model of the groundwater environmental quality has been made. The evaluation shows that the overall environmental quality condition is good, the excellent and good rate reaches 81.67%, but the shallow groundwater (IV, V) only account for 17.06%, with its TDS, Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ exceeding the standard levels, which mainly results from seawater intrusion, agricultural production, industrial and domestic sewage discharge.

Key words: shallow groundwater; geochemical characteristics; environmental quality assessment; Jinjiang city

(责任编辑 陈 琴)