

福建省莆田城区地下水质量现势性分析评价

陈文林

(福建省 197 地质大队,福建 泉州 362000)

摘要:在分析莆田城区的水文地质特征基础上,进行水文地质单元划分.采用模糊综合评价法,分析评价了地下水质量现势及分布特征.综合分析认为:莆田城区浅层地下水质量总体较差,基本上与该区域地下水实际状况相符;分布特征为木兰溪下游及入海口地下水质量极差,沿海岸线及木兰溪中游两岸地下较差,远离海岸线或往山丘地带水质逐渐往较好—良好趋势展布.

关键词:地下水;水质质量;模糊综合评价;现势;莆田城区

中图分类号:P641.69 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2017)03-0103-08

Status analysis and evaluation on groundwater quality in Putian City, Fujian Province

Chen Wenlin

(The 197[#] Geological Prospecting Team of Fujian Province, Quanzhou 362000, China)

Abstract: Based on the analysis of the hydrogeological characteristics of the urban area of Putian City, the division of hydrogeological units was conducted. The current situation and distribution characteristics of groundwater quality were analyzed by using fuzzy comprehensive evaluation method. The result indicates that the Putian City groundwater quality is generally poor, which is basically consistent with the actual situation of local groundwater. The distribution characteristics of groundwater quality for Mulan River downstream and corresponding estuary are extremely poor, while along the coastline and midstream of Mulan River are very poor, but for far away from the coast line or mountain areas gradually become well.

Keywords: groundwater; water quality; fuzzy comprehensive evaluation; present situation; Putian City

近年来,在莆田市国民经济快速发展过程中,随着大量工业废水和生活污水的未达标排放以及农药和化肥的大量使用,造成莆田地区浅层地下水出现不同程度的污染.尤其是在沿海平原地区,浅层地下水污染状况呈现出日趋严重的趋势^[1-3],因此,系统地开展地下水环境调查评价是极为必要的^[4-6].现有的地下水环境质量评价的数学模型很多,对于各单项组分有单因子评价法,对于多种组分有综合评价法^[7],物元评价法^[8],灰色综合评价法^[9],神经网络综合评价法^[10]等.本文在相关项目工作的基础上,根据调查资料并选取 2013~2015 年平水期 42 件具有代表性的水样分析结果,采用模糊综合评价方法综合分析和研究了莆田地区水文地质条件,地下水水质特征,污染程度及其分布特征,认为评价方法真实可靠,为科学制定浅层地下水环境监测,保护对策提供参考依据.

1 水文地质特征

莆田城区属于亚热带海洋性季风气候,温暖湿润,多年平均降雨量 1 300 mm,为地下水提供了较丰富

收稿日期:2016-07-01

基金项目:长江三角洲经济区地质环境调查评价资助项目(12120114074501);福建省广义地质调查资助项目(201401)

通信作者:陈文林(1965-),男,福建莆田人,学士,高级工程师,主要从事水文,工程,环境地质研究.E-mail:474112704@qq.com

的补给源,但降雨量年内分布极不均匀,4~8月份集中了全年的75.5%,冬季只占12%。地表水系为木兰溪和闽东南诸小河。木兰溪自西向东,多发育支流,支沟,水网密集,最后汇入兴化湾;闽东南诸小河,直接汇入东海,流程短,方向各异是其主要特征,如图1所示。

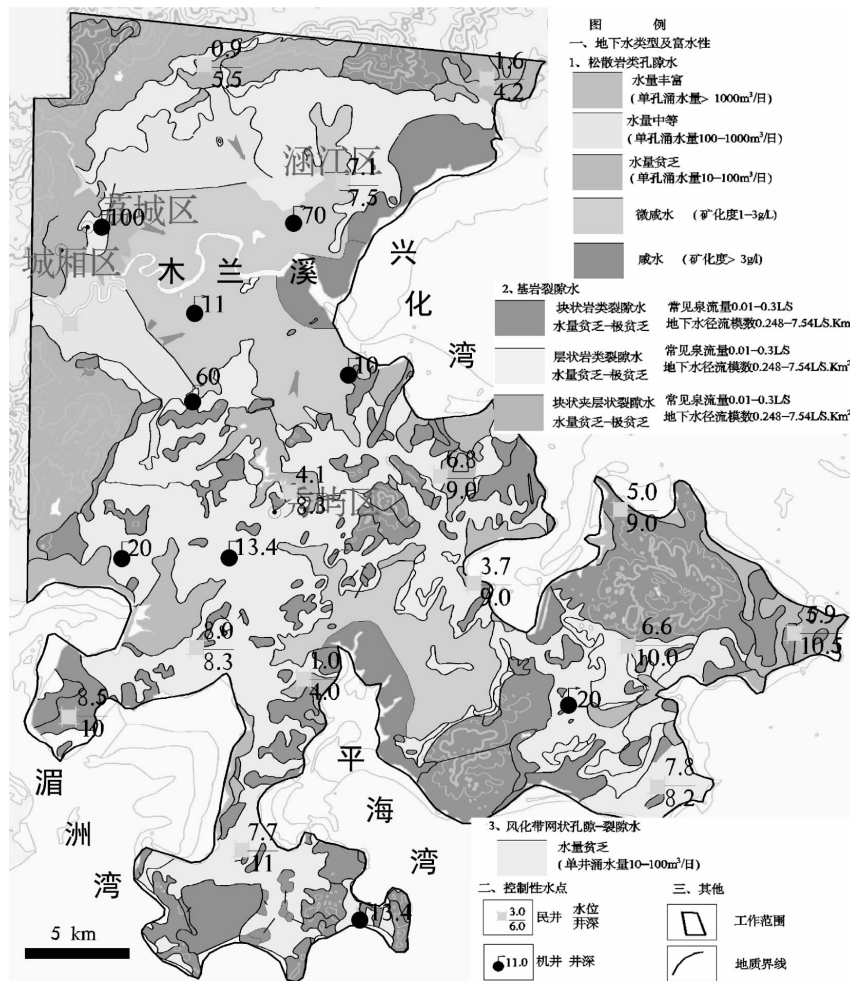


图1 莆田城区水文地质图

1.1 地下水类型

根据地下水的赋存性质和埋藏条件,本区地下水主要分3种类型:松散岩类孔隙水,风化带孔隙裂隙水和基岩裂隙水。

1) 松散岩类孔隙水

松散岩类孔隙水主要分布在兴化平原及少数沉积海湾地区,表层潜水多为淡水或者半咸水,TDS为200~800 mg/L,水量相对贫乏。含水层厚度1.00~4.18 m,水位埋深0.40~3.30 m,渗透系数0.015~3.500 m/d,单井涌水量1.34~55.96 m³/d。深层承压水以兴化平原为代表,埋深约15~20 m可见一层砾卵石含水层,含水层厚度1~4 m,水量丰富。据单孔抽水试验验证,单井用水量可达1 200 m³/d,但普遍是咸水, E_c 一般大于15 000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 。

2) 风化带孔隙,裂隙水

区内风化残积层从山区至滨海普遍发育,构成红土地。主要岩性上部为粘土,亚粘土,透水性差,下部为含砾亚砂土,轻亚粘土,碎屑碎石,结构松散,风化裂隙较发育,构成裂隙网络,含孔隙,裂隙水,往下过渡到基岩。透水,富水性差,水量较贫乏。单井涌水量1.34~9.68 m³/d,个别27.55 m³/d,渗透系数0.14~0.48 m/d。

3) 基岩裂隙水

区内基岩广泛出露,主要岩性有花岗岩,二长花岗岩,凝灰岩等。在沿海残丘,节理裂隙及风化裂隙虽

较发育,但多被泥质充填,不利大气降水渗入,总体说本区水量极贫乏,泉流量常见值 $0.02\sim 0.10\text{ L/s}$,枯季径流模数 $0.04\sim 0.94\text{ L/(s}\cdot\text{km}^2)$.但是由于受区域构造影响,局部地区深部基岩储有较为丰富的构造裂隙水.水文钻探证实,秀屿区南部深部基岩裂隙十分发育,最大裂隙达 3 cm ,岩石破碎严重,单孔涌水量可达 $500\sim 900\text{ m}^3/\text{d}$.

1.2 地下水化学特征

1.2.1 松散岩类孔隙水

根据取得的测试成果显示,该类型地下水分潜水与深层承压水,二者在水化学上表现出不同的特征,主要如下:

1) 潜水

在基岩山区表现出普遍性的地下水水化学演变规律,从基岩山区到沿海平原,水化学类型从 $\text{HCO}_3-\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 型到 $\text{Cl}-\text{Na}$ 型水逐渐演变.

在沿海平原则表现为另外一种形态.由于历史上海侵及局部污染的影响,平面上呈现出斑状分布形态,主要表现在地下水中 E_c 值及地层中电阻率等地球物理指标的非线性分布.因此,区内咸水广泛分布而淡水多呈孤岛状零星分布,也即淡水斑状分布.

由于pH的敏感性,潜水的这一指标呈现出多样性,多受到周边环境的影响,变化较大.

2) 承压水

区内承压水主要指松散层中埋深在 $15\sim 20\text{ m}$ 有一层砾卵石中的地下水,该层孔隙较大,连通性较好,水量丰富.根据调查,该层地下水矿化度普遍偏高,总体表现为从山边到沿海 E_c 值从 $16\ 000\sim 26\ 000\ \mu\text{s/cm}$ 递增.

1.2.2 风化带孔隙-裂隙水及基岩裂隙水

根据现场测试指标,风化带孔隙-裂隙水及基岩裂隙水主要特征如下:

pH值一般小于7呈现弱酸性,局部靠近海岸,受到海水影响pH值会大于7甚至大于8;

E_c 一般小于 $500\ \mu\text{s/cm}$,呈现出低矿化的特征.在海岸带地区,有的大于 $1\ 000\ \mu\text{s/cm}$,甚至表现出咸水特征, E_c 值超过 $2\ 000\ \mu\text{s/cm}$,但范围往往较小.

水化学类型主要为 $\text{HCO}_3-\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ 型.

2 水文地质单元划分及样品的选取

2.1 水文地质单元划分

莆田城区属木兰河流域及闽东南诸河流域水文地质单元,为了合理,更为准确评价地下水环境现状,根据水文地质特征,城区可分为4个地下水子单元(图2),即 I_1 兴化湾木兰河流域地下水子单元, I_2 兴化湾后海地下水子单元,II湄洲湾地下水子单元,III平海湾地下水子单元.

2.2 采样点布设

布设原则:(1)在总体和宏观上应能控制不同的水文地质单元,须能反映所在区域地下水系的环境质量状况和地下水质量空间变化;(2)监控地下水重点污染区及可能产生污染的地区,监视污染源对地下水的污染程度及动态变化,以反映所在区域地下水的污染特征;(3)水样点尽可能合理地分布在各水文地质单元的补给区,径流区和排泄区内(图2).

3 水质评价方法

选取有代表性平水期42件地下水样品测试结果^[11],采用模糊综合评价法进行地下水质量分析评价.

模糊集合理论的概念于1965年由美国自动控制专家查德(Zadeh L A)教授提出,用于表达事物的不确定性.模糊综合评价法是一种基于数学的综合评标方法.它根据模糊数学的隶属度理论把定性评价化为定量评价,即用模糊数学对受到多种因素制约的事务或对象做出一个总体的评价^[12-13].张新钰等通过多种评价方法分析比较得出,模糊综合评价法充分考虑了水质分级界限的过渡性,比F值综合评价法直接

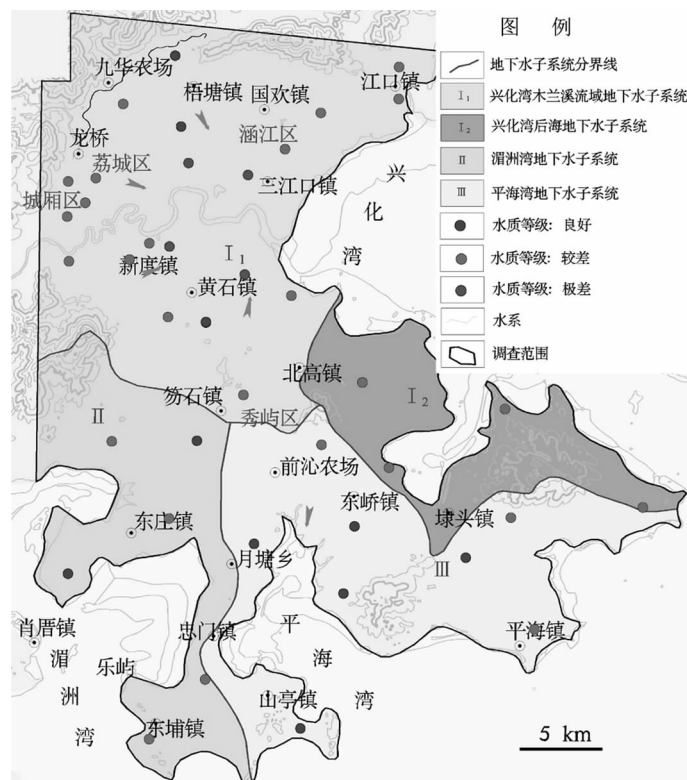


图2 地下水单元划分及水质等级分布图

根据临界判据截然将水质进行分级更准确,并且它考虑了不同评价因子对地下水水质影响的权重,评价结果更精确^[14].于伟伟等模糊综合评价法在地下水水质评价中评价结果更贴合实情,并在实际中得到广泛应用^[15].

本次确定参与水质评价因子有29项:pH值,溶解性总固体,总硬度;硝酸根,亚硝酸根,铵根离子,硫酸根,氯离子,氟离子,碘离子,氰化物,铁,锰,铜,锌,钼,钴,铅,镉,六价铬,汞,砷,硒,钡,铍,镍,高锰酸盐指数,挥发酚类(以苯酚计),阴离子合成洗涤剂.

4 莆田城区水质现状评价与分析

4.1 描述性统计

根据水样测试结果描述统计分析平均值,标准差,最小值,最大值,检出率和超标率,其分析结果见表1.

表1 莆田城区水质描述统计

序号	项目	标准差	平均值/(mg/L)	最小值/(mg/L)	最大值/(mg/L)	检出率/%	超标率/%
1	pH值(无量纲)	0.54	6.867 857	5.320 000	7.740 000	100.00	21.43
2	溶解性总固体	433.29	543.893 300	93.520 000	1 897.000 000	100.00	11.90
3	总硬度	111.80	224.296 400	36.430 000	557.000 000	100.00	4.76
4	硝酸根	24.37	18.857 860	0.400 000	99.460 000	100.00	23.81
5	亚硝酸根	2.40	0.629 226	0.000 500	13.330 000	64.29	30.95
6	铵根离子	0.67	0.205 833	0.005 000	3.500 000	11.90	11.90
7	硫酸根	67.65	45.647 860	0.870 000	440.000 000	100.00	2.38
8	氯离子	216.96	169.623 300	20.250 000	1 078.000 000	100.00	11.90
9	氟离子	0.25	0.195 357	0.005 000	0.980 000	100.00	0.00
10	碘离子	0.00	0.005 000	0.005 000	0.005 000	0.00	0.00

续表 1

序号	项目	标准差	平均值/(mg/L)	最小值/(mg/L)	最大值/(mg/L)	检出率/%	超标率/%
11	氰化物	0.01	0.004 012	0.000 500	0.030 000	64.29	0.00
12	铁	1.13	0.293571	0.005 000	7.000 000	100.00	9.52
13	锰	0.43	0.083 690	0.005 000	2.800 000	7.14	7.14
14	铜	0.00	0.003 833	0.001 000	0.017 000	100.00	0.00
15	锌	0.03	0.029 048	0.003 000	0.147 000	100.00	0.00
16	钼	0.00	0.001 536	0.000 500	0.015 000	21.43	0.00
17	钴	0.00	0.006 167	0.002 000	0.020 000	100.00	0.00
18	铅	0.01	0.012 452	0.001 000	0.041 000	100.00	0.00
19	镉	0.00	0.003 429	0.000 000	0.012 000	97.62	4.76
20	六价铬	0.00	0.001 000	0.001 000	0.001 000	0.00	0.00
21	汞	0.00	0.000 005	0.000 005	0.000 005	0.00	0.00
22	砷	0.00	0.000 500	0.000 500	0.000 500	0.00	0.00
23	硒	0.00	0.000 100	0.000 100	0.000 100	0.00	0.00
24	钡	0.00	0.000 500	0.000 500	0.000 500	0.00	0.00
25	铍	0.00	0.000 050	0.000 050	0.000 050	0.00	0.00
26	镍	0.01	0.010 929	0.002 000	0.042 000	100.00	0.00
27	高锰酸盐指数	0.95	1.230 476	0.360 000	5.830 000	100.00	4.76
28	挥发酚类	0.00	0.001 333	0.000 500	0.006 000	33.33	16.67
29	阴离子合成洗涤剂	0.02	0.014 976	0.008 000	0.090 000	100.00	0.00

根据表 1 统计结果,从超标率分析可知,共有 13 个指标超标,其中超标率最高为 NO_2^- ,达 30.95%,次之为 NO_3^- ,达 23.81%,其他依次为 pH 值,挥发酚类,总溶解性固体, NH_4^+ , Cl^- ,Fe,Mn,总硬度,Cd,高锰酸盐指数, SO_4^{2-} ;从检出率可以看出,城区域地下水水样中含碘离子,六价铬,汞,砷,硒,钡,铍的含量甚微,低于仪器的检测限,均未检测到;分析其平均值,最小值,最大值指标可看出,亚硝酸根,铁,铵根离子,锰,硫酸根离子,硝酸根,氟离子,氰化物,氯离子,锌,铅,钼,镍,总溶解性固体,铜,高锰酸盐,总硬度,挥发酚类,阴离子合成洗涤剂,钴等指标值在各监测点差异较大。

4.2 地下水质量及超标分析

根据模糊综合评价方法地下水质量评价结果(表 2),按兴化湾木兰河流域,兴化湾后海,湄洲湾,平海湾地下水子单元进行分析,统计结果见表 3.表 2 中,Ⅰ类主要反映地下水化学组分的天然低背景含量,适用于各种用途;Ⅱ类主要反映地下水化学组分的天然背景含量,适用于各种用途;Ⅲ类以人体健康基准值为依据,主要适用于集中式生活饮用水水源及工农业用水;Ⅳ类以农业和工业用水要求为依据除,适用于农业和部分工业用水外适当处理后可作生活饮用水;Ⅴ类不宜饮用,其他用水可根据使用目的选用。

4.2.1 I_1 兴化湾木兰河流域地下水子单元

分析表 2,表 3, I_1 兴化湾木兰河流域地下水子单元地下水质量总体较差,其中较差占 70%(16 个水样),极差占 17%(4 个水样),良好占 13%(3 个水样),优良和较好均为 0%.超标指标为 pH,总溶解性固体,总硬度, NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , SO_4^{2-} , Cl^- ,Fe,Mn,Cd,高锰酸盐指数,挥发酚类,地下水化学类型以 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{Cl}-\text{Ca} \cdot \text{Na}$, $\text{HCO}_3^- \cdot \text{Cl}-\text{Ca}$, $\text{HCO}_3^- \cdot \text{Cl}-\text{Na}$ 和 $\text{Cl}-\text{Ca} \cdot \text{Na}$ 为主。

4.2.2 I_2 兴化湾后海地下水子单元

I_2 兴化湾后海地下水子单元共取 4 个地下水样品,水质评价结果均为较差.超标指标为 pH,总溶解性固体, NO_2^- , Cl^- ,地下水化学类型分别为 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{Cl}-\text{Mg} \cdot \text{Ca}$, $\text{HCO}_3^- \cdot \text{Cl}-\text{Ca} \cdot \text{Na} \cdot \text{Mg}$, $\text{Cl}-\text{Na}$ 和 $\text{Cl}-\text{Ca} \cdot \text{Na}$ 。

4.2.3 Ⅱ湄洲湾地下水子单元

Ⅱ湄洲湾地下水子单元共取 6 个水样品,根据评价结果地下水质量总体较差,其中较差占 67%(4 个

水样),良好占33%(2个水样),优良,较好和极差均为0%.超标指标为pH,NO₃⁻δ,NO₂⁻δ,挥发酚类,地下水化学类型以HCO₃·Cl-Mg·Ca为主.

表2 按水文单元划分地下水质量模糊综合评价结果

水样	I类	II类	III类	IV类	V类	水质等级	水样	I类	II类	III类	IV类	V类	水质等级
I ₁ 兴化湾木兰溪流域地下水子单元:优良0个;良好3个;较好0个;较差16个;极差4个													
sy040	0.000	0.333	0.085	0.583	0.000	较差	sy102	0.040	0.035	0.026	0.885	0.014	较差
sy041	0.003	0.219	0.119	0.660	0.000	较差	sy103	0.000	0.292	0.017	0.691	0.000	较差
sy042	0.221	0.214	0.167	0.398	0.000	较差	sy104	0.138	0.199	0.064	0.599	0.000	较差
sy043	0.000	0.318	0.326	0.355	0.000	较差	sy105	0.064	0.174	0.151	0.135	0.476	极差
sy044	0.067	0.345	0.212	0.376	0.000	较差	sy106	0.100	0.122	0.083	0.001	0.694	极差
sy045	0.455	0.474	0.072	0.000	0.000	良好	sy107	0.003	0.004	0.014	0.011	0.979	极差
sy096	0.015	0.016	0.008	0.961	0.001	较差	sy108	0.142	0.000	0.118	0.392	0.348	较差
sy097	0.006	0.015	0.012	0.964	0.002	较差	sy109-1	0.134	0.160	0.127	0.481	0.097	较差
sy098	0.040	0.035	0.093	0.114	0.718	极差	sy109-2	0.456	0.582	0.053	0.000	0.000	良好
sy099	0.279	0.000	0.333	0.387	0.000	较差	sy110	0.033	0.188	0.245	0.533	0.000	较差
sy100	0.321	0.664	0.015	0.000	0.000	良好	sy112	0.109	0.034	0.185	0.270	0.403	较差
sy101	0.361	0.195	0.007	0.437	0.000	较差							
I ₂ 兴化湾前海地下水子单元:优良0个;良好0个;较好0个;较差4个;极差0个													
sy113	0.280	0.000	0.231	0.489	0.000	较差	sy122	0.268	0.272	0.125	0.335	0.000	较差
sy114	0.144	0.156	0.289	0.383	0.027	较差	sy123	0.304	0.173	0.128	0.396	0.000	较差
II 湄洲湾地下水子单元:优良0个;良好2个;较好0个;较差4个;极差0个													
sy111	0.075	0.223	0.349	0.352	0.000	较差	sy125	0.363	0.415	0.222	0.000	0.000	良好
sy118	0.297	0.684	0.019	0.000	0.000	良好	sy127	0.020	0.374	0.206	0.400	0.000	较差
sy124	0.169	0.163	0.017	0.652	0.000	较差	sy128	0.130	0.310	0.204	0.356	0.000	较差
III 平海湾地下水子单元:优良0个;良好5个;较好0个;较差4个;极差0个													
sy115	0.230	0.000	0.168	0.602	0.000	较差	sy120	0.136	0.259	0.020	0.334	0.250	较差
sy116	0.294	0.635	0.071	0.000	0.000	良好	sy121	0.335	0.210	0.007	0.448	0.000	较差
sy117	0.154	0.579	0.267	0.000	0.000	良好	sy126	0.377	0.580	0.044	0.000	0.000	良好
sy119-1	0.008	0.372	0.171	0.449	0.000	较差	sy129	0.250	0.503	0.246	0.000	0.000	良好
sy119-2	0.243	0.448	0.309	0.000	0.000	良好							
莆田城区水质统计:优良0个;良好10个;较好0个;较差28个;极差4个.													

表3 地下水质量统计一览表 %

单元	优良	良好	较好	较差	极差
I ₁	0	13	0	70	17
I ₂	0	0	0	100	0
II	0	33	0	67	0
III	0	56	0	44	0

4.2.4 III平海湾地下水子单元

III平海湾地下水子单元共分析9个地下水样品,根据综合评价结果,良好占56%(5个水样),较差占44%(6个水样),优良,较好和极差均为0%.超标指标为pH,NO₃⁻δ,NO₂⁻δ,Fe,地下水化学类型以HCO₃·Cl-Mg·Ca为主,其余为HCO₃·Cl-Ca·Na·Mg和HCO₃·Cl-Ca·Na.

4.3 污染物总体分析

从超标样品数和超标率看(表4),含NO₂⁻δ超标的样品数最多,13个水样,超标率30.95%;次之为NO₃⁻δ,10个水样,超标率23.81%;其余依次为pH值,挥发酚类,总溶解性固体,NH₄⁺δ,Cl⁻,Fe,Mn,总硬度,Cd,高锰酸盐指数,SO₄²⁻.根据最大值/标准值可知,超标指标最严重的为NO₂⁻δ,达到标准值的666.50

倍;次之为 Mn,为标准值 28.00 倍;其余依次分别为 Fe, NH_4^+ , NO_3^- , Cl^- , pH 值,挥发酚类,高锰酸盐指数,总溶解性固体, SO_4^{2-} ,总硬度, Cd.地下水主要污染物分布情况(图 3).

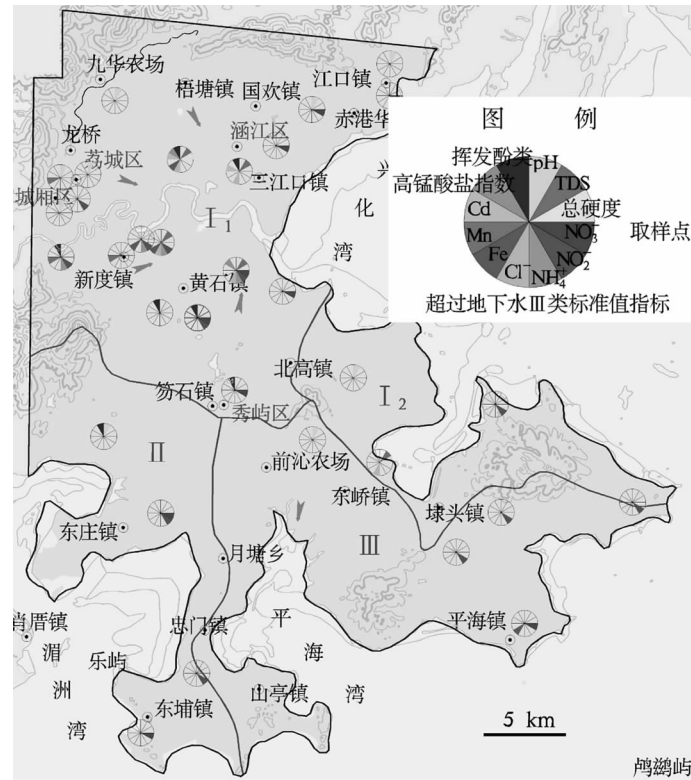


图 3 主要污染物分布图

表 4 莆田城区地下水超标指标统计

指标	平均值 /(mg/L)	最小值 /(mg/L)	最大值 /(mg/L)	标准值 /(mg/L)	最大值 /标准值	超标样品数	超标率/%
亚硝酸根	0.629 0	0.000 5	13.330	0.020	666.50	13	30.95
硝酸根	18.900 0	0.400 0	99.460	20.000	4.97	10	23.81
PH 值	6.870 0	5.320 0	7.740	6.500~8.500	3.40	9	21.43
挥发酚类	0.001 3	0.000 5	0.006	0.002	3.00	7	16.67
溶解性总固体	544.000 0	93.520 0	1 897.000	1 000.000	1.90	5	11.90
铵根离子	0.210 0	0.005 0	3.500	0.200	17.50	5	11.90
氯离子	170.000 0	20.250 0	1 078.000	250.000	4.31	5	11.90
铁	0.290 0	0.005 0	7.000	0.300	23.33	4	9.52
锰	0.080 0	0.005 0	2.800	0.100	28.00	3	7.14
总硬度	224.000 0	36.430 0	557.000	450.000	1.24	2	4.76
镉	0.003 0	0.000 0	0.012	0.010	1.20	2	4.76
高锰酸盐指数	1.200 0	0.360 0	5.830	3.000	1.94	2	4.76
硫酸根	45.600 0	0.870 0	440.000	250.000	1.76	1	2.38

4.4 水质总体评价

莆田城区地下水质量总体较差,其中较差占 67%(28 个水样),极差占 9%(4 个水样),良好占 24%(10 个水样),优良和较好均为 0%.

莆田城区地下水质量现状分布特征为:木兰溪下游及入海口地下水质量极差;沿海岸线及木兰溪中游两岸地下水质量相对较差;远离海岸线或往山丘地带水质逐渐往较好—良好趋势展布.

5 结论

1) 莆田城区地下水质量总体较差,基本上与该区域地下水实际状况相符,模糊综合评价较为合理.在42件地下水样品中,良好质量仅占24%,建议在评价为良好的取水点附近区域,加强地下水资源保护,杜绝一切污染源及污染途径.

2) 莆田城区地下水质量现势分布特征为:木兰溪下游及入海口地下水质量极差,沿海岸线及木兰溪中游两岸地下水质量相对较差,远离海岸线或往山丘地带水质逐渐往较好—良好趋势展布.

3) 建议 I₁, I₂, II, III 的补径排区分别布设地下水监测点,长期观测地下水动态,观测污染物迁移方式.

参考文献:

- [1] 胡四一.中国水资源公报(2012)[R].北京:中国水利水电出版社,2013.
- [2] 唐克旺,王研.我国城市供水水源地水质状况分析[J].水资源保护,2001,17(2):30-31.
- [3] 刘辉,卓海华,刘云兵,等.我国水资源保护监测规划编制的内容和方法[J].水资源保护,2015,31(1):106-109.
- [4] 唐克旺,吕铁峰.关于城市饮用水水源地风险管理的思考[J].水资源保护,2015,31(2):95-98.
- [5] 詹永东.莆田市农村饮用水安全状况与保障措施研究[J].农业环境与发展,2006,23(4):71-73.
- [6] 唐克旺,朱党生,唐蕴,等.中国城市地下水饮用水源地水质状况评价[J].水资源保护,2009,25(1):1-4.
- [7] 刘月,于翠松,曹升乐,等.东阿地下水源地水质综合评价方法研究[J].水资源与水工程学报,2015,25(4):99-103.
- [8] 孟珍珠,唐德善,魏宇航,等.基于海明贴近度的地下水水质熵权模糊物元评价模型[J].四川环境,2015,34(3):117-121.
- [9] 陈继光.灰关联决策在水质面板数据处理中的扩展及应用[J].节水灌溉,2015(4):63-65.
- [10] 兰兆青.Hopfield网络在水质综合评价中的应用[J].山西农业学报,2013,33(2):182-184.
- [11] 陈文林,刘鑫尧,许光泉,等.福建省地下水环境状况调查与评价[R].泉州:福建省197地质大队,2015.
- [12] Zadeh L A.Fuzzy Sets[J].Information and Control,1965(8):338-358.
- [13] Zadeh L A.Similarity relation and fuzzy orderings[J]. Information Sciences,1971(3):177-200.
- [14] 张新钰,辛宝东,刘文臣,等.三种地下水水质评价方法的应用对比分析[J].城市地质,2011,6(1):30-36.
- [15] 于伟伟,邢立亭,马振民,等.模糊评判在地下水质量评价中的应用[J].济南大学学报(自然科学版),2009,23(1):87-89.