

珠江三角洲地区地下水环境背景值初步研究

张 英 孙继朝 黄冠星 荆继红 陈 玺 刘景涛 张玉玺

(中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北 石家庄 050061)

摘要:在分析对比国内外研究方法的基础上,选择数理统计方法,运用国际通用统计软件 SPSS,对珠江三角洲地下水水质指标 TDS、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、TFe 环境背景值进行研究,并初步探讨了它们的空间分布规律及控制因素。分析认为地形地貌、区域水动力条件及海水入侵等因素对研究区浅层地下水指标的空间分布起主要控制作用。其结果为评价珠江三角洲地区地下水污染状况提供科学的依据。

关键词:环境背景值;地下水;指标;数理统计;珠江三角洲

中图分类号:P641.69 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2011)01-0190-07

中国首轮地下水污染调查评价工作正在全国陆续展开。评价中需要首先解决的是区域地下水的指标背景值问题,某些指标在地下水中以较高浓度存在往往是由于天然背景含量高所致而非人为活动污染所致。因而进行合理、科学的地下水污染调查评价工作,需要拥有地下水水质指标的天然背景含量资料,需优先进行地下水环境背景值研究。珠江三角洲地区是广东省经济社会发展的龙头和主体,是中国沿海地带经济发展最快的三大经济单元之一。其经济的高速发展造成越来越多的环境污染,地下水水质也受到一定程度的影响。由于该区以往的水文地质调查工作中缺乏系统全面的水质资料,地下水环境背景值的研究尚处于空白状态。为合理的评价珠江三角洲地区的地下水水质及污染程度,进行了地下水环境背景值研究。

1 研究区概况

珠江三角洲地区位于广东省东南部,濒临南海,毗邻港澳。陆地总面积 41698 km²,占广东省国土面积的 23.2%。中心为河网密布的三角洲平原,东、西、北部为断续的山地、丘陵环绕。该区属于亚热带季风湿润气候,年平均气温 21.9℃,年均降雨量 1800~

2200 mm。区内河网如织,纵横交错,河网密度为 0.81~0.88 km/km²。

研究区地下水分为松散岩类孔隙水、碳酸盐岩类裂隙溶洞水、基岩裂隙水三大类。其中松散岩类孔隙水主要分布于西江、北江、潭江、溪流河等河流冲积平原,含水层岩性以粗中砂和卵砾石为主,厚度一般为 3~40 m,水量中等—丰富。碳酸盐岩类裂隙溶洞水主要分布于广花盆地、高明盆地、肇庆、从化等地,岩性以灰岩、白云岩、大理岩、泥灰岩为主,水量贫乏—丰富不等,变化较大。基岩裂隙水主要分布于开平—恩平、肇庆市南部和北部等地,含水层以粉砂岩、细砂岩、砂砾岩、泥质粉砂岩、石英砂岩等为主,富水性贫乏—中等。地下水的主要补给形式有:降雨渗入补给、河流的渗入补给、平原接受基岩裂隙水的侧向补给、沿海砂堤及砂地的凝结水补给、灌溉回归水的渗入补给等。不同地段地下水补给程度随岩性、风化程度、地形地貌、植被覆盖率等的不同而变化。山地丘陵区地下水以垂直迁移为主,并多以泉水或泄流形式向邻近沟谷排泄。平原区地下水以水平径流为主,径流途径长,水流滞缓,多经珠江口和伶仃洋排泄入海。研究区地下水化学类型较多,丘陵区地下水主要是重碳酸盐型(包括重碳酸为主的混

收稿日期:2010-04-08;改回日期:2010-09-15

基金项目:中国地质调查局项目(2010534807)资助。

作者简介:张英,女,1986年生,硕士生,研究方向为水环境;E-mail:are134598@126.com。

合型)地下水,平原区地下水主要是重碳酸盐型(包括重碳酸为主的混合型)和氯化物型为主的地下水。

2 样品采集与分析

笔者于 2005—2008 年共采集 1:25 万区域地下水样 396 组(图 1)。取样点为民井和现场挖坑,对民井先抽水,待水位恢复后于水下 50cm 定深取样;对挖坑点,一般挖至潜水位下 50 cm,先将最初渗出水基本排出,待水位稳定且水质的混浊度变清后再取样。

样品均送至国土资源部广州物料实验检测中心测试。执行标准参照 GB/T8538-95,总溶解固体(TDS)、氯离子、硫酸根离子、总铁的检测方法分别为重量法、硝酸银滴定法、硫酸钡比浊法与 ICP-OES。准确度控制采用国家水样标准物质和水样加标回收两种方式相结合的方法。

3 地下水环境背景值研究方法与应用

3.1 地下水环境背景值研究方法简述

继美国学者 F.W. 克拉克发表背景值方面的报告之后,国外对环境背景值的研究从地壳、岩石逐渐扩展到土壤、水等环境要素。2005 年以来,欧洲 14 个国家启动环境起始值划定(BRIDGE)项目,根据各个国家研究尺度与研究程度的不同,采取不同方法确定了这些国家的地下水环境背景值,为该地区环境起始值的划定奠定了基础^[1]。

国外对地下水环境背景值的研究方法可归为 3 类:比拟法、含水层溶解过程的水化学模拟、分离法^[2]。比拟法适合于缺乏空间水质分析资料的地区,且只能较粗略地反映背景情况。含水层溶解过程的水化学模拟法需要研究人员具备较好的模型知识、水化学知识,对监测数据要求比较严格,适合于小区域的背景值研究。分离法通过统计方法分析地下水样,需要具备大量质量可靠的水质分析数据,要求研究人员具备专业的统计学知识。

国内对环境背景值的研究始于土壤,曾开展过全国范围的土壤环境背景值研究。吉林省、第二松花江流域及长江中下游重点地区等的地下水环境背景值研究使中国在该领域的研究达到一定的水平^[5,6]。主要研究方法包括:比拟法、平均值法、趋势面分析法、剖面图法、数理统计分析法、等值线法等^[3-4]。其中平均值法和趋势面分析法适用于相对清洁区(人类活动影响相对较小的地区),其余方法适用于相对

污染区。另外,根据不同时间的系列样品作系列图,得到不同时间的地下水背景值,反映地下水环境背景值的时间差异性,而且可以反映出研究区的各种局部变化^[9]。

地下水环境背景值研究方法^[2,3,4,9]对比见表 1。本次地下水环境背景值研究充分利用 2005—2008 年珠三角水质资料,选取数理统计方法,运用国际通用的 SPSS(17.0)统计软件,在判断各指标符合何种分布类型的基础上,计算 TDS、Cl⁻、SO₄²⁻、TFe⁻等 4 个无机指标的统计特征值。

3.2 研究区地下水环境背景值

3.2.1 地下水环境单元划分

珠三角地下水环境单元的划分,是依据地下水的形成条件(区域地质构造特征、地形地貌演变历史、底层岩性分布特征)、埋藏特征和介质特点等,并结合气象、水文条件及地理位置(考虑海水入侵)等(图 2),共划分为 11 个单元。

3.2.2 剔除异常值^[5,6]

首先运用散点图法,从宏观上确定要剔除的离群数据;然后运用 Thompson 法,对散点图法确定的异常值进行检验。对异常数据的剔除应比较慎重,以少剔除为原则^[6],充分考虑野外环境地质条件。显著性水平取 $\alpha=0.01$ 。

3.2.3 计算背景特征值

(1) 检验分布类型^[7]

选用柯尔莫哥洛夫-斯米尔诺夫(Kolmogorov-Smirnov)法,偏度、峰度法,以及 SPSS 中的 P-P 图或 Q-Q 图法,对各环境统计单元的各元素含量概率分布类型进行综合判定(信度选为 0.05)。

(2) 确定统计特征值^[8]

a. 正态分布

$$X_0 = \bar{X} \pm \alpha S$$

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

$$Cr = \frac{S}{\bar{X}}$$

式中:

X_0 —背景值, X_i —实测值, \bar{X} —平均值, S —标准差, Cr —变异系数, n —样本容量, α —倍数(取自然数)。

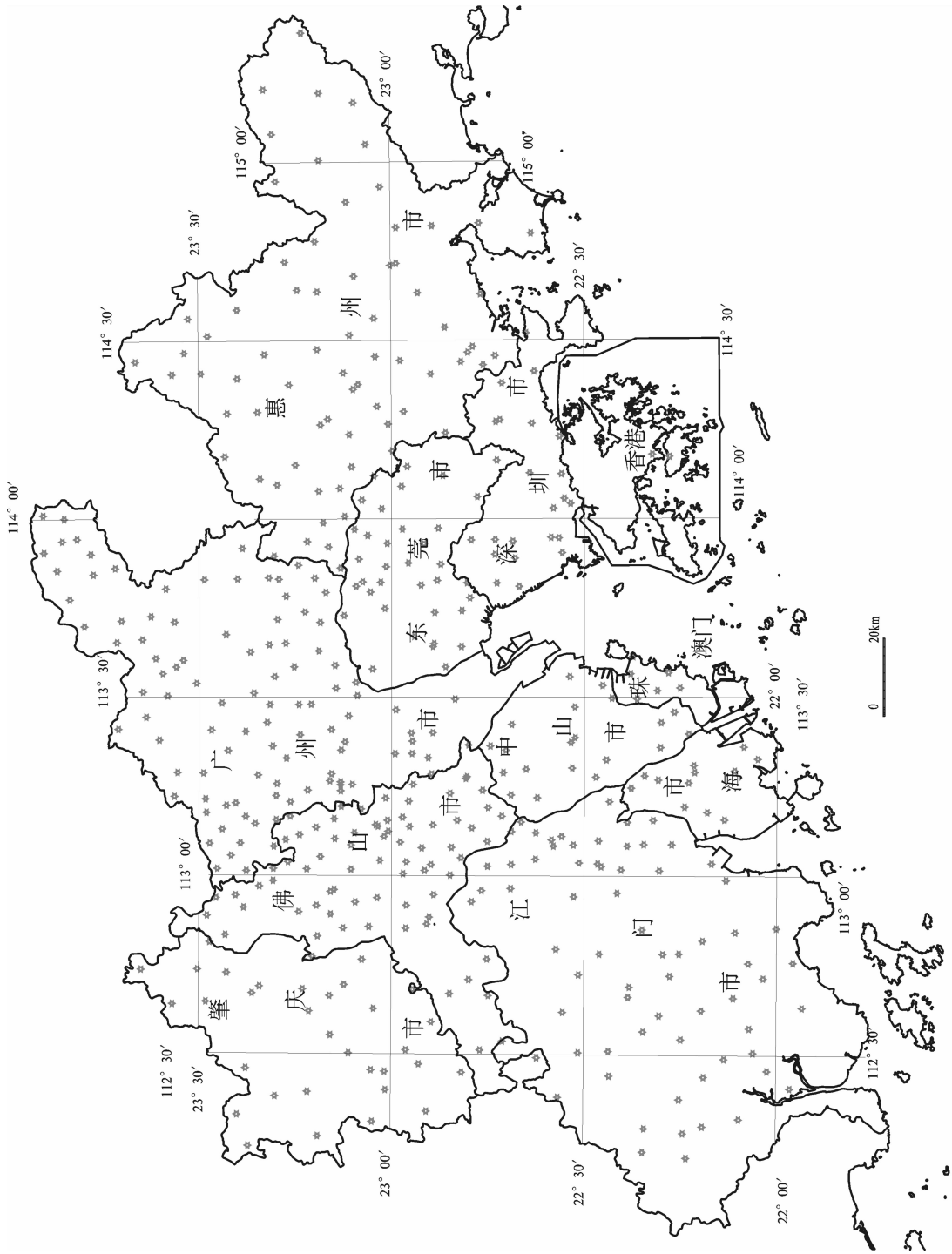


图1 珠江三角洲地下水采样点分布图
Fig.1 Distribution of sampling sites

表 1 地下水环境背景值研究方法对比

Table 1 Comparison between the methods for the study of natural background levels

地区	前提条件	方法	优缺点
国内研究	非污染区	平均值法	没有区分样品浓度分布类型,但方法简单,可粗略的反映背景情况
		趋势面分析法	拟合过程中不可避免地带来误差,但可直观清晰地反映出背景值及其分布
	污染区	比拟法	无法体现空间差异性
		剖面图法	比较直观,但需要布设取样剖面,比较费时
		趋势面分析法	见上所述
		等值线法	得出的背景值为单一值,不是范围值
国外研究	对水文地球化学过程了解较少,缺少可利用数据	数理统计法	无法体现时间差异性,但可充分利用以往水质资料
		比拟法	无法体现空间差异性
	小区域尺度,监测数据质量很好	含水层溶解过程的水化学模拟	获得背景值最复杂的方法,不仅需要专业的水化学知识,还要有对模型的专业知识,耗时
		浓度分布曲线分析——卷积法	可充分利用各采样点数据,但需要深入的统计学知识
同一环境单元,水化学条件均一	预筛选法	适合于大量数据、统计方法可用的宏量组分,但所选指示剂与其他人为产生的物质浓度不一定完全相关,会导致删除很多必要数据	

b.对数正态分布

$$X_0 = \bar{X}_g \times S_g^a \text{ 或 } \ln X_0 = \overline{\ln X} \pm \alpha S_{\ln X}$$

$$\bar{X}_g = \frac{1}{n} \left(\prod_{i=1}^n X_i \right) \text{ 或 } \bar{X}_g = e^{\overline{\ln X}} \left[\ln X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln X_i \right]$$

$$S_g = e^{S_{\ln X}} \left[S_{\ln X} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\ln X_i - \overline{\ln X})^2} \right]$$

$$Cr = \frac{S}{\bar{X}} \sqrt{e^{S_{\ln X}^2} - 1} = \sqrt{e^{(\ln S_g)^2} - 1}$$

式中:

\bar{X}_g —几何平均值, $S_{\ln X}$ — $\ln X$ 的标准差, S_g —几何标准差, α —倍数(取自然数)。

c.偏态分布(非正态,也非对数正态分布)

以中位数 Me 作为统计对象的集中值,用一定样本概率下的百分位数区间作为背景值区间^[7]。

地下水中有组分的含量,或符合正态分布,或符合对数正态分布,否则,均作偏态分布处理,不再考虑分布类型。

(3)对低于检测下限数据的处理

检出率 $80\% \leq E < 100\%$ (即低于检出限的频率 $\leq 20\%$),取其检出下限的 0.7 倍参加数理统计,计算统

计参数;检出率为 $50\% \leq E < 80\%$ (即低于检出限的频率在 $20\% \sim 50\%$),取样本的中位数作统计特征值;检出率 $E \leq 50\%$ (即低于检出限的频率 $> 50\%$),取其检测下限作为统计特征值(实质上是众数作为统计特征值)。

3.2.4 结果及分析

珠三角地区三个化学指标的地下水环境背景值计算结果见表 2。

(1)珠江三角洲地区浅层地下水受外界影响较大。地下水受地貌条件、地下水径流条件、含水层介质条件和地下水环境等方面影响,不同地段差异明显,元素通常有多个来源,故地下水化学元素多呈偏态分布,不同程度地反映了这些元素的形成条件比较复杂。

(2)总溶解固体(TDS)是表征地下水质量的综合性指标之一。TDS 在全区的总体分布情况为平原台地区偏高,而山地丘陵区偏低。本区以西北江三角洲平原背景最高,集中特征值为 571.24 mg/L,背景范围上限 785.67 mg/L;以东部山地丘陵基岩裂隙水区背景值最低,仅 99.97 mg/L。区内基岩山区一般地势较高,地下水水力坡度大,加上沟谷切割较深和岩石节理裂隙发育,地下水获得补给后经过短暂的

表 2 珠江三角洲地区地下水环境背景值统计
Table 2 Natural background levels in groundwater of the Zhujiang River Delta

元素	地下水环境单元	分布状态	集中特征值	背景值范围	元素	地下水环境单元	分布状态	集中特征值	背景值范围
TDS	I	P	571.24	123.94~785.67	SO ₄ ²⁻	I	N	44.15	20.94~67.36
	II	P	355.46	49.04~719.08		II	P	34.58	0.23~82.12
	III	P	230.03	54.21~444.26		III	P	31.74	0.78~77.20
	IV	P	177.14	80.10~285.58		IV	P	28.10	0.83~77.44
	V	P	150.89	51.02~246.86		V	LN	6.10	1.24~30.03
	VI	P	121.54	26.37~347.30		VI	P	6.02	0.22~44.96
	VII	P	193.74	81.33~347.20		VII	P	4.29	0.86~51.89
	VIII	N	155.16	85.54~224.78		VIII	P	5.06	0.83~20.59
	IX	P	212.61	42.45~373.27		IX	P	8.98	0.15~54.86
	X	LN	99.97	57.54~173.67		X	P	1.84	0.17~31.47
	XI	P	154.05	40.17~362.44		XI	P	25.17	1.43~67.24
Cl ⁻	I	P	38.96	13.90~72.01	TFe	I	LN	0.079	0.020~0.367
	II	P	29.24	8.69~56.65		II	P	0.057	0.009~0.360
	III	P	27.15	4.92~53.00		III	LN	0.047	0.009~0.241
	IV	P	26.32	5.26~38.61		IV	P	0.05	0.004~0.370
	V	N	27.73	11.63~43.83		V	P	0.04	0.004~0.310
	VI	P	16.84	4.70~57.97		VI	P	0.025	0.004~0.190
	VII	N	14.51	7.47~21.55		VII	P	0.02	0.004~0.130
	VIII	LN	14.89	6.93~32.01		VIII	LN	0.046	0.013~0.168
	IX	P	20.18	3.51~43.87		IX	P	0.03	0.004~0.465
	X	P	14.04	3.51~65.39		X	LN	0.024	0.010~0.062
	XI	P	28.32	6.22~68.31		XI	P	0.045	0.004~0.250

注:P代表偏态分布,N代表正态分布,LN代表对数正态分布,单位:mg/L。

径流,便以泉或渗透的形式排入附近的溪流。径流排泄条件普遍较好,循环交替强烈,使地下水中化学成分相应的比较简单,TDS较低。各江河下游三角洲平原及珠江三角洲河网区,地形平坦,地下水水力坡度小,径流滞缓,排泄不畅,主要以开采和蒸发排泄为主,地下水化学成分复杂,TDS偏高。

(3) Cl⁻主要来源于岩盐的溶解,在地下淡水中一般含量很低,是次要的阴离子之一,但在咸水中却是最主要的离子。区内以西北江三角洲背景最高,集中值为 38.96 mg/L,背景范围上限为 72.01 mg/L,其次为东江三角洲、海积平原区等。而四会低山丘陵区、从化—增城低山丘陵区这两个单元背景含量最低。Cl⁻在珠江三角洲地区的含量变化与水动力条件、咸淡水的混合作用密切相关。基岩区造岩矿物富含氯元素,有丰富的氯离子来源,但由于径流强烈,水交替条件好,Cl⁻易随地下水迁移而流失。平原区水动力条件弱,且沿海地带受海水入侵影响较大,Cl⁻含量显著增高。另外,对 Cl⁻与 TDS 的背景集中

特征值作相关分析,在显著性水平为 0.01 时的相关系数为 0.756,二者在地下水中的含量变化存在一定的相关关系。

(4) SO₄²⁻是天然水中重要成分之一,在淡水中含量仅次于 HCO₃⁻阴离子,是较活泼和迁移性较强的离子,在区内的背景含量范围为 0.15~82.12 mg/L。其在地下水中分布的离散性较大,以西北江三角洲、东江三角洲、广花盆地表现最为明显,含量从不到 1 mg/L 至数百 mg/L 都有。在山地基岩地下水区含量较为稳定,且背景值最低,集中特征值在 1~6 mg/L。SO₄²⁻的分布特征表明,其受区域水动力条件影响较明显。另外,据 20 世纪 80 年代区域水文地质普查资料^[9],平原区均值为 19.76 mg/L,SO₄²⁻含量变化较为明显,说明人为输入也占据了重要作用。

(5) Fe 在地下水中通常以 Fe³⁺和 Fe²⁺形式存在,西北江及东江三角洲平原区、东江谷地平原、高要、新兴等地,背景上限均有超标现象(超出国家生活饮用水标准 GB5749-2006)。据 20 世纪 80 年代区域

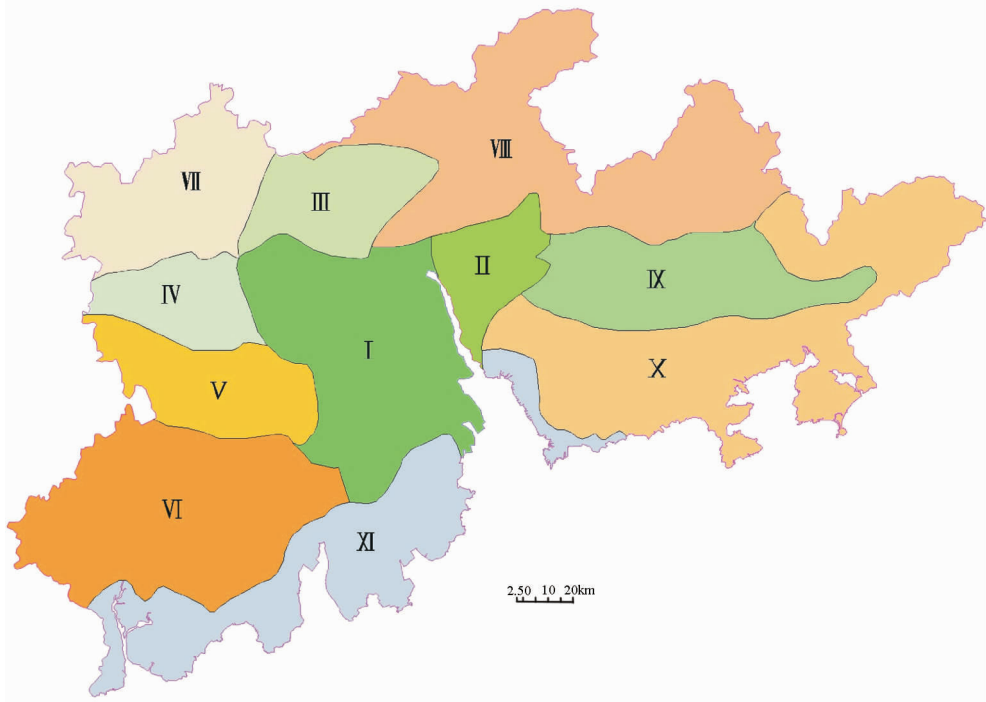


图 2 珠江三角洲地区地下水环境单元分布示意图

I—西、北江三角洲冲积平原孔隙水环境单元;II—东江三角洲冲积平原孔隙水环境单元;III—广花平原区孔隙水环境单元;IV—高要冲积平原孔隙水环境单元;V—新兴—鹤山台地丘陵区裂隙水环境单元;VI—潭江河谷平原、台地、丘陵区裂隙孔隙水—裂隙水环境单元;VII—四会低山丘陵区基岩裂隙水环境单元;VIII—从化—增城低山丘陵区块状基岩裂隙水环境单元;IX—东江谷地平原孔隙水环境单元;X—东部山地丘陵区基岩裂隙水环境单元;XI—海积平原环境单元

Fig.2 Distribution of environmental units in groundwater of the Zhujiang River Delta

I— Pore water unit of alluvial plain in western and northern river delta; II— Pore water unit of alluvial plain in eastern river delta; III— Pore water unit in Guanghua plain; IV—Pore water unit in Gaoyao alluvial plain; V— Fissure water unit of platforms and hills in Xinxing—Heshan; VI— Fissure water unit of River vale plain, platform and hill in Tanjiang River; VII— Fissure water unit of hill and hillock in Sihui; VIII— Fissure water unit of hill and hillock in Conghua—Zengcheng; IX— Pore water unit of river vale plain in eastern river delta; X— Fissure water unit in eastern hill and hillock; XI— Marine plain—unit

水文地质普查报告^[9],珠江三角洲地区平原区松散空隙水普遍含铁质较高,主要由于含水层顶板普遍覆盖有一层淤泥,不利于地下水的径流和排泄,且淤泥中含有有机质,加剧了含铁氧化物在缺氧的还原环境下的分解,从而增加了地下水中的铁离子含量。铁离子背景低值出现在四会低山丘陵区及东部山地丘陵区,集中特征值只有 0.2 mg/L 和 0.24 mg/L,且含量离散程度较小,较平原区稳定。在丘陵区,虽然岩石受强烈风化分解及溶滤作用,释放出大量铁离子,但因处于地下水补给区,多为强氧化环境,铁离子多以高价 Fe^{3+} 形式存在,最终易形成难溶的氢氧化铁沉淀而很难溶入地下水中^[10]。另外,酸碱条件、含水层介质组分及上覆土层性质等因素对该区地下水铁含量分布都起到一定的作用^[11]。

4 结 论

(1) 珠三角地区浅层地下水因其形成条件比较

复杂,且受外界环境影响较大,地下水中的元素在各个环境背景单元中的分布类型多为偏态分布。

(2) TDS、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、TFe 4 个化学指标的环境背景值在全区的分布情况,总体上为平原孔隙水分布区高于基岩裂隙水分布区,以西、北江三角洲平原为最高,这一特征基本上体现了地下水流动系统中补给区与排泄区元素含量的变化特征,符合地下水水质的形成演化规律,这一规律是受地形地貌、区域水动力条件、海水入侵等多种因素综合作用的结果。

参考文献 (references):

- [1] Müller D, Blum A, et al. Final proposal of a methodology to set up groundwater threshold values in Europe [R]. Specific targeted EU research project BRIDGE (contract No SSPI-2004-006538) report D18.
- [2] Hart A, Müller D, Blum. A Preliminary methodology to derive environmental threshold values [R]. Specific targeted EU research project BRIDGE(contract No SSPI-2004-006538) report D15.

- [3] 邱汉学, 黄巧珍. 地下水环境背景值及其确定方法 [J]. 青岛海洋大学学报, 1994, 12, 16-20.
Qiu Hanxue, Huang Qiaozhen. The concept of groundwater environment background and its determination [J]. Journal of China Ocean University, 1994, 12, 16-20 (in Chinese with English abstract).
- [4] 高迪, 潘国营. 新乡市地下水化学背景值研究 [J]. 露天采矿技术, 2006, (4):51-54.
Ga Di, Pan Guoying. The study on the groundwater background value in Xinxiang city [J]. Opencast Mining Technology 2006, (4): 51-54(in Chinese with English abstract).
- [5] 宇庆华, 曹玉和. 地下水化学背景值研究中的异常值判定与处理 [J]. 吉林地质, 1991, 6(2):75-79.
Yu Qinhu, Cao Yube. The determination and treatment in the research on the groundwater background value [J]. Jilin Geology, 1991, 6(2):75-79(in Chinese with English abstract).
- [6] 长江中下游重点地区地下水环境背景值调查研究课题组. 长江中下游重点地区地下水环境背景值调查研究 [M]. 1991:1, 39-40.
Survey and Research Group of Groundwater Background Levels in The key Areas of the Middle and Lower Reaches of Yangtze River. Survey and Research of Groundwater Background Levels in the Key Areas of the Middle and Lower Reaches of Yangtze River [M]. 1991:1, 31-40(in Chinese).
- [7] 朱红兵, 何丽娟. 在 SPSS10.0 中进行数据资料正态性检验的方法 [J]. 首都体育学院学报, 2004, 9, 16(3):123-125.
Zhu Hongbing, He Lijuan. Methods of Normal Test of Data in SPSS10.0 [J]. Journal of Capital Institute of Physical Education, 2004, 9, 16(3):123-125(in Chinese with English abstract).
- [8] 张宗祜, 李烈荣. 中国地下水资源(安徽卷) [M]. 北京: 中国地图出版社, 2005:12, 152-157.
Zhang Zonghu, Li Lierong. The Groundwater Resources of China (Anhui Province) [M]. Beijing: SinoMaps Press, 2005:12, 152-157 (in Chinese).
- [9] 广东省地质局. 中华人民共和国区域水文地质普查报告(广州幅, 江门幅) [R]. 1981:4, 82-85.
Bureau of Geology of Guangdong Province. Regional hydrogeological survey report of People's Republic of China (Guangzhou and Jiangmen) [R]. 1981:4, 82-85(in Chinese).
- [10] 雷万荣, 唐春梅, 江凌云. 浅谈地下水中铁、锰质的迁移与富集规律 [J]. 江西科学, 2006, 24(1):80-82.
Lei Wanrong, Tang Chunmei, Jiang Lingyun. Discussion on iron and manganese transport and concentrate in underground water [J]. Jiangxi Science, 2006, 24(1):80-82(in Chinese with English abstract).
- [11] 黄冠星, 孙继朝, 荆继红, 等. 珠江三角洲地区地下水铁、锰质的分布特征及其成因 [J]. 中国地质, 2008, 35(3):531-537.
Huang Guanxing, Sun Jichao, Jing Jihong, et al. Distribution and origin of iron in groundwater of the Zhujiang delta [J]. Geology in China, 2008, 35(3):531-537(in Chinese with English abstract).

A preliminary study of natural background levels of groundwater in the Zhujiang River Delta

ZHANG Ying, SUN Ji-chao, HUANG Guan-xing,
JING Ji-hong, CHEN Xi, LIU Jing-tao, ZHANG Yu-xi

(Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang 050061, Hebei, China)

Abstract: Based on a comparison of methods adopted both in China and abroad, the authors calculated natural background levels of TDS, Cl^- , SO_4^{2-} and TFe in shallow groundwater of the Zhujiang River Delta by using SPSS statistical software, and discussed the spatial distribution regularity as well as the controlling factors. The major controlling factors in the Zhujiang River Delta include mainly topography, regional hydrodynamic conditions and saltwater intrusion. The results obtained provide scientific references for the evaluation of groundwater contamination in the Zhujiang River Delta.

Key words: natural background levels; groundwater; indexes; statistics; Zhujiang River Delta

About the first author: ZHANG Ying, female, born in 1986, master candidate, engages in the study of water environment; E-mail: are134598@126.com.