

南宁市地下水化学场分区特征及其主要影响因素*

Classified Zone Character of Hydrogeochemical Field and Major Influencing Factors in Nanning

吴恒 张信贵 代志宏 易念平
Wu Heng Zhang Xingui Dai Zhihong Yi Nianping

(广西大学土木工程学院 南宁市西乡塘路 10号 530004)

(College of Civil Engi., Guangxi Univ., 10 Xixiangtanglu, Nanning, Guangxi, 530004, China)

摘要 根据资料对南宁市地下水化学场进行区域划分,并研究了化学类型、组分、含量的变化特征与规律。从工程的角度进行分析后,认为水化学场变化的同时也改变了城市建筑的基础——岩土体的性质;而导致这些改变的主要因素是人为抽水和污染。

关键词 水化学场 组分 化学类型 离子

中图法分类号 P 641.3

Abstract The hydrogeochemical field of Nanning was classified. The character and changing rules of chemical classification, composition and content were discussed. To civil engineering, the change of hydrogeochemical field are causing the change of the rock and soil mass which are the foundation of building in the city proper. The reason of change is that groundwater is pumped and contaminated by man.

Key words hydrogeochemical field, composition, chemical classification, ion

随着城市建设的发展和城市人口的日益增多,城市水文循环状况和地下水性状日益发生变化,使原有的地下水平衡系统不断受到影响和破坏,从而形成新的地下水化学场,即地下水化学场发生了变异。从工程的角度,我们应注意到变异后的地下水对其所赋存的岩土环境——城市建筑所依赖的环境也将产生不利的作用。我们知道地下水除诸如动、静水压力、浮力、孔隙水压力等力学作用以外,还有物理化学作用,地下水变异将影响到岩土体的溶蚀、吸附、结晶、固结等性状,最终将影响到岩土体的结构的变化。

因此,研究地下水化学场变异的规律尤其是城市不同区域(如工业区、郊区等)的地下水化学场的区域分布变化规律无疑是非常重要的。同时研究城市区域的水土作用将有助于预测城市区域建筑环境和建筑地基的变形和稳定问题。本文依据南宁市十余年的地下水观测资料,经分析计算,对南宁市地下水化学场类型进行区域划分,并从水土之间相互作用的角度研究其变化特征。

1 南宁市水化学场的区域划分

根据“广西壮族自治区地下水年鉴”中记载的十年来地下水观测资料,综合考虑:主要化学成分、地下水开采现状、工农业布局等因素,对南宁市地下水类型进行区域划分。分区见图 1 表 1

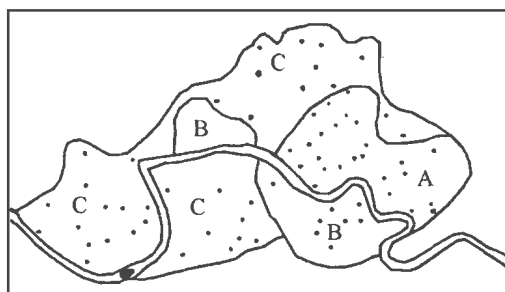


图 1 南宁市地下水化学类型分区图

Fig. 1 The map of groundwater chemical zones

由图 1 表 1 可以看出, A 区,开采强度较大,水位下降,破坏了地下水在含水介质中的天然状态,使介质中的水循环加快,土的吸附作用和水、土离子交替作用增强,水中溶解氧、二氧化碳增多,致使介质中的钙、镁等离子大量进入水中,使水趋于中性,引起矿化度、硬度等化学成分的升高^[1]。同时, A 区是南宁城区的中心,生活污水和工业废水较 B 多。B 区

1999-06-24收稿,1999-09-30修回。

* 国家自然科学基金与广西科学基金联合资助(49662010 59868001)(桂科青 9912013);广西高校跨世纪学科带头人培养对象专项基金资助课题(桂教科 1997第 424号)。

表 1 南宁市地下水类型分区表

Table 1 Chemical Zonation of Groundwater in Nanning

分区名称 Name of Zone	化学组分项目含量平均值 The mean content of chemical composition					开采现状 Current situation of exploitation	
	矿化度 Degree of mineralization	硬度 (德度) Hardness	铁离子 Iron	游离 CO ₂ Free CO ₂	pH 值 pH value	开采模数 (万 m ³ /年) Modulus of exploitation (ten thousand cubic metre/year)	开采井密度 (口/平方公里) Density of exploitation wells (square kilometre) ⁻¹
A区 (集中开采地下水的城区) Zone A (The city proper where the groundwater is exploited centrally)	204.07	8.2	5.85	44.3	6.36	> 17	0.6~2
B区 (分散开采地下水的城区) Zone B (The city proper where the groundwater is exploited decentrally)	148.76	4.8	4.825	41.29	5.71	1~6	< 1
C区 (分散开采地下水的郊区) Zone C (The suburbs where the groundwater is exploited decentrally)	99.7	3.67	3.68	24.6	6.0	4~10	< 1.5

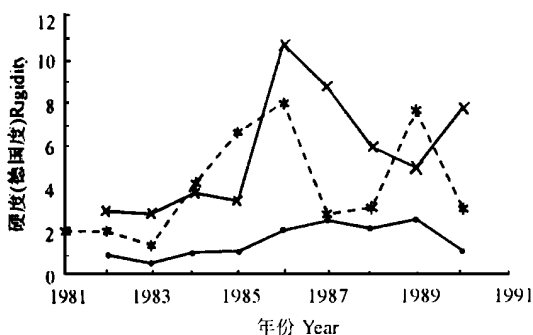
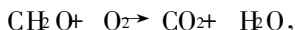


图 2 南宁市不同类型区地下水硬度动态曲线

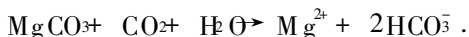
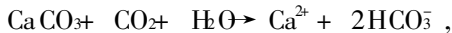
Fig. 2 Dynamic curve of groundwater hardness in zones

—×— A型 Type A; —*— B型 Type B; —●— C型 Type C.

是城区,污水又较 C区多。其地下水由于地表水的下渗,邕江水的补给而受到污染。生活污水和工业废水的 COD 很高 (COD 是指水在一定条件下能被强氧化剂氧化的有机物所消耗的氧量), COD 高说明水中有机物含量高,水中有机物 (用 C₂H₆O 代表) 氧化分解^[2]:



CO₂ 与岩土中的 CaCO₃、MgCO₃ 作用生成 Ca²⁺、Mg²⁺, 也将引起地下水总硬度的增高, Cl⁻ 和 SO₄²⁻ 的含量也随之增高。



虽然, C区的地下水开采强度稍高于 B区, 但 B区是城区, 人口和工业均较密集; 而 C区是郊区, 以农、林为主, 人口少、植被丰富。所以, B区受到人为污染远大于 C区, 游离 CO₂ 含量高于 C区, 导致各化学组分高于 C区。因此, 各区主要化学组分以 A B C 顺序递减。

2 各区域地下水化学基本特征

2.1 若干离子含量变化特征

图 2 图 3 图 4 图 5 列出南宁市各区的主要离子对比图。研究表明, 各区的总硬度、钙离子、铁离子、重碳酸根离子等含量均呈上升趋势。A区、B区的变化幅度较大, 而 C区基本上是平缓的。同时, 每区地下水中的钙离子、铁离子、重碳酸根离子及硬度曲线有良好的相关性, 即每区的钙离子、铁离子、重碳酸根离子和硬度曲线线型、增幅基本一致, 且按数量级由 C区至 B区再到 A区跃升。

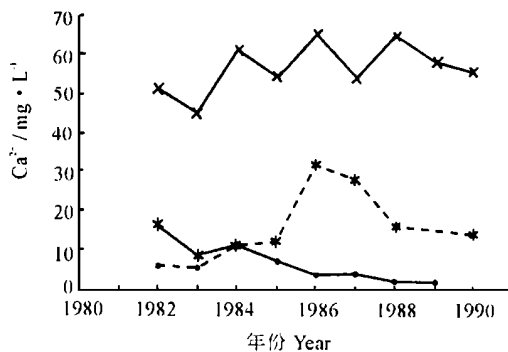


图 3 南宁市不同类型区地下水中 Ca²⁺ 离子动态曲线

Fig. 3 Dynamic curve of Ca²⁺ ion in zones groundwater

—×— A型 Type A; —*— B型 Type B; —●— C型 Type C.

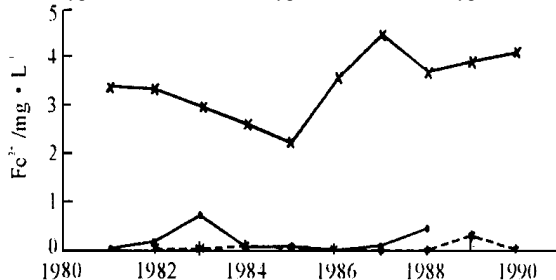


图 4 南宁市不同类型区地下水中 Fe²⁺ 离子动态曲线

Fig. 4 Dynamic curve of Fe²⁺ ion in zones groundwater

—×— A型 Type A; —*— B型 Type B; —●— C型 Type C.

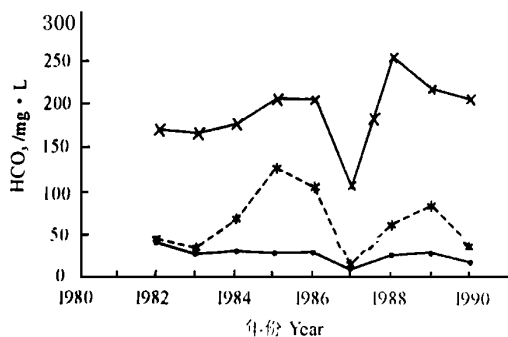


图 5 南宁市不同类型区地下水中 HCO_3^- 离子动态曲线

Fig. 5 Dynamic curve of HCO_3^- in zones groundwater

—×— A型 Type A; - - * - - B型 Type B; ●— C型 Type C.

图 6, 图 7, 图 8, 图 9 列出与人为活动关系密切的组分 (酚、氨氮、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮) 在 A、B、C 区的检出率动态曲线。

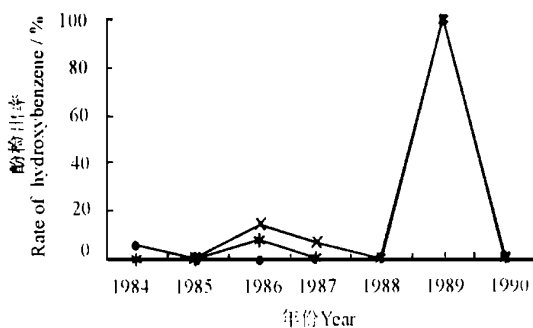


图 6 南宁市不同类型区地下水中酚检出率动态曲线

Fig. 6 Dynamic curve of rate of hydroxybenzene in zones groundwater

—×— 酚 A Hydroxybenzene A; - - * - - 酚 B Hydroxybenzene B; ●— 酚 C Hydroxybenzene C.

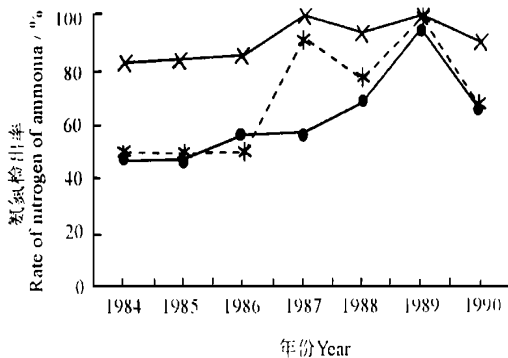


图 7 南宁市不同类型区地下水中氨氮检出率动态曲线

Fig. 7 Dynamic curve of rate of nitrogen of ammonia in zones groundwater

—×— 氨氮 A Nitrogen of ammonia A; - - * - - 氨氮 B Nitrogen of ammonia B; ●— 氨氮 C Nitrogen of ammonia C.

从图 6 中看出酚的检出率的动态变化呈不稳定状态, 并且各区均有检出。主要原因是人类无规律排放污水造成的。A、B 区工业集中: 糖纸厂、电厂、化

工厂、味精厂都是污染大户。而 C 区是由于农业灌溉过程中, 污物首先在土壤中积累, 随后在继续灌溉和雨水入渗过程中将积累在土壤中的污染物进一步淋滤向下渗透, 造成地下水污染的。

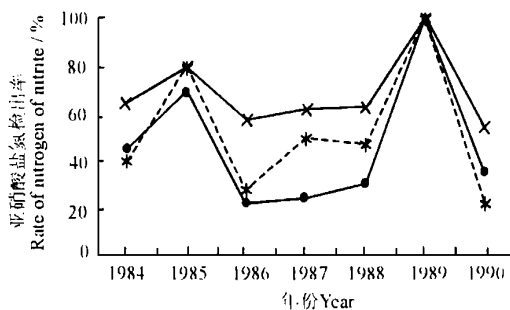


图 8 南宁市不同类型区地下水中亚硝酸盐氮检出率动态曲线

Fig. 8 Dynamic curve of rate of nitrogen of nitrite in zones groundwater

—×— 亚硝酸盐氮 A Nitrogen of nitrite A; - - * - - 亚硝酸盐氮 B Nitrogen of nitrite B; ●— 亚硝酸盐氮 C Nitrogen of nitrite C.

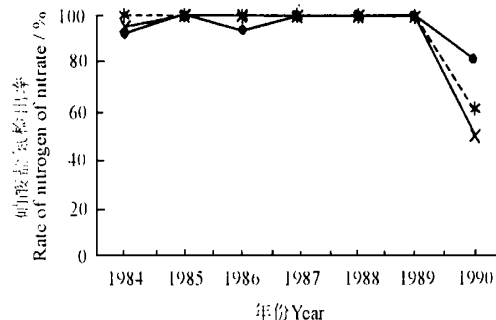
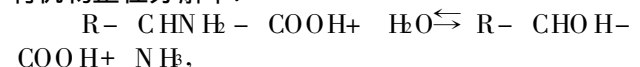


图 9 南宁市不同类型区地下水中硝酸盐氮检出率动态曲线

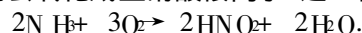
Fig. 9 Dynamic curve of rate of nitrogen of nitrate in zones groundwater

—×— 硝酸盐氮 A Nitrogen of nitrate A; - - * - - 硝酸盐氮 B Nitrogen of nitrate B; ●— 硝酸盐氮 C Nitrogen of nitrate C.

图 7, 图 8, 图 9 表明南宁市“三氮”污染近年来有加重的趋势。铵离子主要是动物蛋白质在微生物分解下生成的^[3], 即由蛋白质分解成氨基酸再水解分离出氨气, 水中有铵离子存在表明水源刚被污染不久有机物正在分解中:



铵离子不稳定, 当有足够的氧气在硝化细菌作用下, 氨就会氧化成亚硝酸根离子。这一作用称为硝化作用



亚硝酸根离子的出现, 一方面说明水体受污染已经一段时间, 有机物开始氧化, 另一方面也说明含氮有机物的分解过程尚未到最后阶段。亚硝酸根非常不稳定, 在氧气存在和微生物作用下, 可进一步氧化为硝酸根离子 $2\text{HNO}_2+\text{O}_2\rightarrow 2\text{HNO}_3$ 。

从以上 3 个图可看到: 南宁市地下水中, “三氮”检出率很高, 呈逐年上升趋势, 而且有许多井点

三氮同时检出。这反映了地下水有机污染日益加重。

2. 2 水化学类型变化特征及主要水化学组分特征

采用舒卡列夫水化学分类法同时考虑各主要离子的毫克当量百分数和水的矿化度,对十余年来各区各井点的地下水进行了水化学类型的划分,见表 2 表 3 表 4

表 2 A区各井点水化学类型

Table 2 The chemical types of wells' groundwater in zone A

年份 Year	不同井点的水化学类型数 Chemical types in different wells									
	26	31	50	61	62	78	87	13	30	
1983	7	7		4	35		25			
1984		25		1	2	43				
1985		4	2	9	39	25	2	5	1	
1986	2	23	2	9	29	22	2	1		
1987	4	4		2	25	25	1	4		
1988	5	26	4		32	4	2	25		
1989	25	26	4	8	42	24		25		
1990	45	4	4	9	15	25	5	4		

表 3 B区各井点水化学类型

Table 3 The chemical types of wells' groundwater in zone B

年份 Year	不同井点的水化学类型数 Chemical types in different wells													
	11	16	20	21	24	27	34	38	45	60	85	58	89	90
1983	4	4	5	28	25	7	1	42	4	1		1	1	1
1984	4	4	5	4	25	25	1		4	1		1	1	1
1985	1	1	2	4	25		1	42	1	1	49	2	2	1
1986	4	4	2	12	25	26	2	39	25	1	48	1	1	1
1987	4	4	1	25	25	25	1	46	4	7	28	1	1	1
1988		25	4	4	28	25	1	46	46	1	28	1	4	1
1989	1	25					1	39	25	1	49	1		1
1990		25	12	6	28		2	46	46	4	49	1		2

A B两区处于富水性中等的孔隙水区,分布于邕江二级阶地上。含水层为望高组砂砾石层,以邕江河水倒灌补给为主其次是降水及侧向补给。由于近年来市区的废水都排入邕江,使其污染严重,所以这两区的地下水也被波及。同时,此区地下水以人工开采排泄为主,是南宁市地下水的主要开采区。水位下降破坏了地下水在含水介质中的天然状态,使介质中的水循环加快,土的吸附作用和水土中离子交换作用加强,水中溶解氧,二氧化碳增多,致使介质中的钙、镁等离子大量进入水中,引起了矿化度、硬度等化学成分的提高。所以,60年代单一的1型水($\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$)变成现在的2型($\text{HCO}_3^- - \text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+}$),4型($\text{HCO}_3^- - \text{Na}^{2+} + \text{Ca}^{2+}$),5型($\text{HCO}_3^- - \text{Na}^{2+} + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$),6型($\text{HCO}_3^- - \text{Na}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$),9型($\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-} - \text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+}$),26型($\text{HCO}_3^- + \text{Cl}^- - \text{Na}^{2+}$)

表 4 C区各井点水化学类型

Table 4 The chemical types of wells' groundwater in zone C

年份 Year	不同井点的水化学类型数 Chemical types in different wells													
	1	3	5	10	86	19	35	46	48	49	25	54	55	9
1983			4	29	4	4		12			4	5	4	
1984			5	4	4	4	1		25	1	7	5	4	4
1985			1	1	4		1	1	23		4	2	1	2
1986	1	5	1	2		2	1		25	2	11	4	2	4
1987	1	4	1	1	4	2	2	1	28	2	4	2	25	4
1988	1	4	1	4	4	4	1	1	28	5	4	1	6	4
1989	1	26	1	4	4	4	1	1	28	1	4	5	4	
1990	1	26	6	4	4	4	1	1	28	4	4	5	4	

年份 Year	不同井点的水化学类型数 Chemical types in different wells												
	63	64	65	68	69	72	75	76	79	88	91	92	93
1983	4	4	25	4		4	4		25				25
1984		2	25	5		2	22	22	22				
1985		1	23	2	1		2			1	2		1
1986		2		6	1			1	25	2	26	25	23
1987	25	4	25	5	1	4		4	25	4	1		
1988	6	4	25	5		26	4	5	25	4	25	7	25
1989		4	25	26	4	26	27			23			27
1990		4	25	25	4	4	25			25			

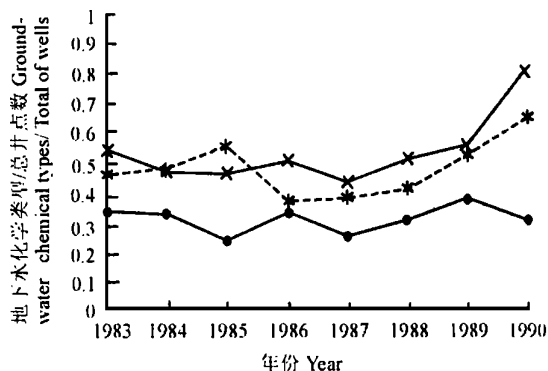


图 10 各区每年地下水化学类型数变化率

Fig. 10 Changing rate of groundwater chemical types number in zones each year

—x— A区 Zone A; --*-- B区 Zone B; ●— C区 Zone C
注: 地下水化学类型数/总井点数——是指每年井点水化学类型的变化率,用来表示某区地下水变化的剧烈程度。

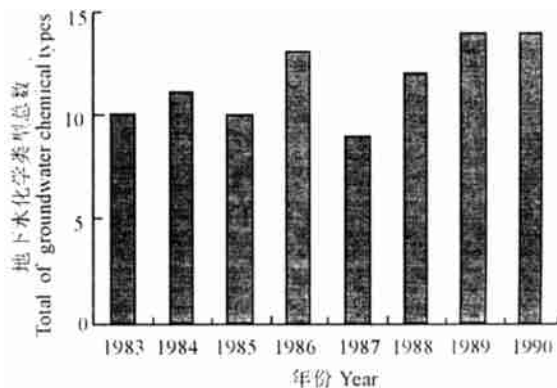


图 11 每年出现的地下水化学类型图

Fig. 11 Groundwater chemical types each year

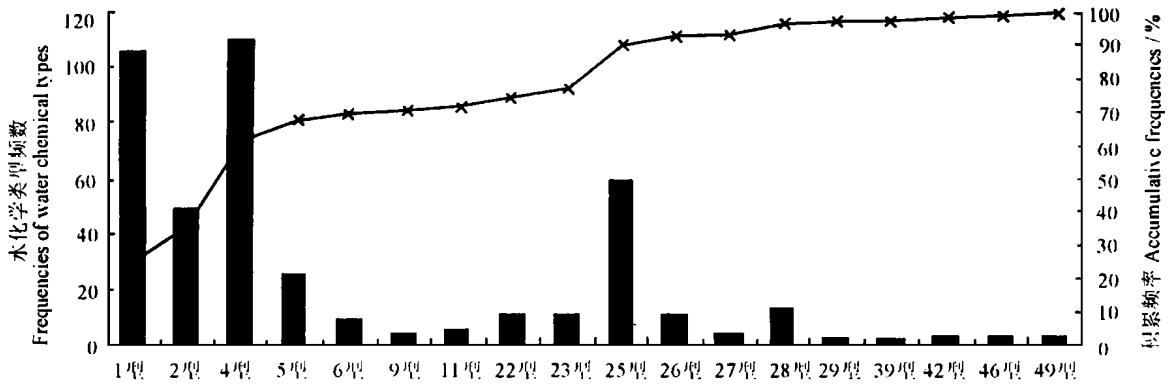


图 12 历年来南宁市地下水出现的水化学类型

Fig. 12 Groundwater chemical types each year

■ 频数 Frequency; ×— 累积频率 Accumulative frequency.

+ $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$), 28型 ($\text{HCO}_3^- - \text{Cl}^- + \text{Na}^+$) 等多种类型的水。C区有一部分和前两区位于相同的孔隙水区也受到了污染,但大部分处于富水性弱的孔隙水区,即邕江二级阶地后缘和三级阶地含水层为望高组、白沙组和全新统的砂砾石层,水量不丰富,主要是降水补给,侧向补给次之。和A、B区一样,原来的1型水变得多样化,只是变化幅度小一些。

图 10 给出每年出现的地下水化学类型变化率曲线。图 11 给出每年出现的地下水化学类型总数。图 12 给出历年来南宁市地下水中出现的水化学类型直方图及累积频率图。

由表 2 表 3 表 4, 图 10 图 11 可以看出,随着时间的增长,离子的配比和组合关系变得日益复杂,出现了很大的变更。在不同的区域其地下水化学类型变化率不同,其中A区的变化率最大,B区居中,C区次之,说明在人口、工业相对集中的A、B区地下水化学类型变化剧烈,而处在郊区C区的地下水化学类型变化平缓,反映出地下水被扰动的程度随不同的区域和时间发生不同的变化。另外,随着时间的增长,地下水化学类型总数也呈总体升高趋势,由1983年的10类上升为1990年的14类,地下水化学类型总数的逐年增加间接地反映地下水变异程度的日益增强。

图 12 反映了历年来南宁市地下水化学类型出现的频数,主要有18种水化学类型。其中最主要的是1型 ($\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$), 2型 ($\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$), 4型 ($\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} + \text{Na}^+$), 5型 ($\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+$), 25型 ($\text{HCO}_3^- + \text{Cl}^- - \text{Ca}^{2+} + \text{Na}^+$) 5种,占检出率总数的81.16%,其他化学类型主要分布于人类活动影响较大的A、B区。

由于南宁市地下水的背景类型是1型(阴离子 HCO_3^- , 阳离子 Ca^{2+}) 所以改变后的类型以1, 2, 5, 6, 9, 25, 26, 28等居多。

3 结语

(1) 根据开采现状、化学成分、城市布局将南宁市地下水分为三个区: A区(集中开采地下水的城区)、B区(分散开采地下水的城区)、C区(分散开采地下水的郊区)。

(2) 地下水的矿化度和 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 、 HCO_3^- 等的含量均呈上升趋势,A区增长最快,其次是B区,再次是C区。且各区酚及三氮的检出率均很高,说明有机污染严重。

(3) 8年来共出现18种水化学类型,主要有5种: 1型 ($\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$), 2型 ($\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$), 4型 ($\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} + \text{Na}^+$), 5型 ($\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+$), 25型 ($\text{HCO}_3^- + \text{Cl}^- - \text{Ca}^{2+} + \text{Na}^+$), 地下水中的阴、阳离子配比关系发生很大变更,水化学类型增多。南宁市地下水组分60年代主要阴阳离子为 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} , 现在增加了 Na^+ 、 Fe^{3+} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 等。

(4) 城市建设、人类活动引起了地下水的化学成分变异,土的溶蚀、离子的吸附作用随着开采的强度和人类活动的增强而加强。

参考文献

- 1 广西壮族自治区地质矿产局. 广西壮族自治区南宁市地质条件系列图集, 1988.
- 2 李昌静, 卫钟鼎. 地下水水质及其污染. 北京: 中国建筑出版社, 1988, 11.
- 3 汪晋三, 黄新华, 程国佩. 水化学与水污染. 广州: 中山大学出版社, 1990.
- 4 唐健生, 韩行瑞, 李庆松等. 山西岩溶大泉水文地球化学研究. 中国岩溶, 1991, 10 (4): 262~ 276

(责任编辑: 黎贞崇)