文章编号:1005—6157(2011)03—0192—5

巢湖北岸浅层地下水水化学成分与分布规律

马玉萍,汪家权,张　玲,邵　超,姚晓艳

（合肥工业大学资源与环境工程学院，安徽 合肥 230009）

摘　要：以巢湖北岸1000km^{2}范围内的地下水为研究对象，采集样品130个，利用多种方法测试了15种水质指标。综合运用描述性分析、Piper三线图、相关性分析和离子比例系数，系统地研究了地下水水化学的分布及空间变化特征。最后得出:①巢湖北岸地下水属于弱酸—弱碱性水，水体硬度基本上不大，TDS基本上小于1g/L,水质属于淡水。②主要超标指标为F^-、NO_3^-、总硬度、NO_2^-，污染类型主要表现为氟污染、总硬度和氮污染；③研究区地下水水化学类型复杂，共有28种水化学类型，其中比例比较大的水化学类型为：HCO_3•Cl-Na•Mg、HCO_3•SO_4-Na•Mg、HCO_3•SO_4•Cl-Na•Ca、HCO_3•SO_4-Na•Ca•Mg，分别占总类型的11.38%、8.94%、8.94%和7.32%。④通过计算c(Na+)/c(Cl-)系数，发现区内大多地下水的水质存在变异。

关键词：巢湖流域；地下水；水化学

中图分类号：P641.12;X523　　**文献标志码**：A

0 引言

巢湖位于中国东部安徽省中部、长江中下游左岸,是我国著名的五大淡水湖之一，但近三十年来，巢湖水污染日益加重，水体严重富营养化。关于巢湖水质[1~4]、巢湖沉积物[5~9]、巢湖流域的农业面源污染[10~13]等，前人都进行了较多研究。而关于巢湖流域地下水的情况，则鲜有研究。本文分析了巢湖北岸1000km^{2}范围内的130个浅层地下水的水质情况，对巢湖流域的水质研究及后期制定污染控制的措施有一定的参考价值。

1 研究区概况

巢湖流域属亚热带湿润季风气候区，四季分明，气候温和，雨量集中，无霜期长。多年平均降水量为1021mm，流域多年平均气温为16℃，极端最高气温41℃，极端最低气温零下15.7℃。巢湖流域风向多为东北风和东南风。

巢湖流域主要环湖河流有杭埠河、派河、十五里河、南淝河、柘皋河、兆河、白石天河和裕溪河等9条，呈放射状注入巢湖。在研究区内的主要入湖河流是柘皋河，柘皋河位于巢湖市境，发源于浮槎山东麓清水涧。东南流至柘皋镇，进而折向南流，经青台山西侧穿合裕公路武都大桥、淮南铁路中埠桥，于龟山西北的河口村注入巢湖。全长35km，流域面积507km^2，其中山丘区466km^2，圩区41km^2，是巢湖的主要支流。

2 研究区水文地质条件

研究区地表水系发育，地下水较丰富，水文地质条件复杂，地下水以全新统松散岩类孔隙水和碳酸盐岩类裂隙岩溶水分布最广。

研究区西部及中部大部分地区为松散岩类孔隙含水岩组，东部为碳酸盐岩类裂隙岩溶含水岩层。富水程度从西部、中部到东部分别为5~30m^3/h、<5m^3/h和>5m^3/h。

松散岩类孔隙水含水岩组占全区大部分，一般厚50m。浅部（0~40m）除丘陵坡麓和二、三级阶地有中更新统粘性土、基岩侵蚀基准面上有更新统砂砾层外，皆为全新统粘性土、砂性土及砂砾层。地下水一般为潜水。

碳酸盐岩类裂隙岩溶含水岩组包括上震旦统上部、寒武系—奥陶系、石炭系—下二叠统及中下三叠统。上震旦统上部为灯影组白云岩。单孔涌水量1~5 m^3/h。寒武系—奥陶系由灰岩、白云岩、泥质灰岩等构成、富含潜水，局部承压或自流。泉流量0.4~18 m^3/h，最大180 m^3/h，单孔最大涌水量232 m^3/h。局部自流水头高出地表0.59m。石炭系—下二

收稿日期:2011-02-22

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(No.2008ZX07103-003, 2008ZX07103-001)

作者简介:马玉萍(1986-),女,安徽合肥人,硕士研究生,方向为环境评价与管理。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

叠统由灰岩和少量白云岩、页岩、泥灰岩组成。泉流量0.4 ~ 77m^3/h。单孔涌水量15 ~ 50m^3/h，最大达236m^3/h。地下水局部承压，水位埋深小于15m。

研究区地下水接受降雨补给，水平径流，垂直蒸发和河流排泄[3]。

3 采样与测试

3.1 采样

本次实验在实地调查巢湖北岸地下水的基础上，采集了130组样品,覆盖范围1000km^2。用北京五四坐标表示的范围为东西方向0540~0590，南北方向为3500~3520。采样点分布如图1所示。

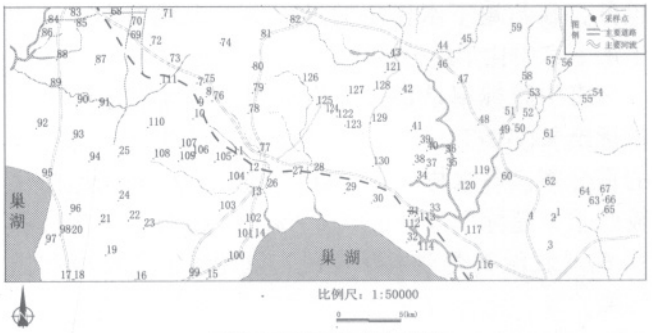


图1 采样点位置分布图
Fig.1Distribution of sampling locations

3.2 测试指标与方法

测试所选取指标为15个，即pH值，氧化还原电位（Eh）、电导率（COND）、总溶解固体（TDS）、总硬度、Na^+、K^+、Mg^{2+}、Ca^{2+}、HCO_3^-、F^-、Cl^-、NO_2^-、NO_3^-、SO_4^{2-}等。其中pH值、氧化还原电位（Eh）、电导率（COND）、总溶解固体（TDS）采用便携式Ultrameter™ 6P型多参数水质检测仪测定；HCO_3^-、CO_3^{2-}采用滴定中和法测定；其他各种阴阳离子采用PIC-10A型离子色谱仪测定，总硬度由Ca^{2+}和Mg^{2+}浓度计算得出。

4 测试结果与分析

4.1 测定结果描述性分析

利用SPSS软件对130组水样的测试结果进行统计分析，其结果如表1所示。

pH变化范围为6.19~8.72,表明该区域地下水属于弱酸—弱碱性水，Eh范围为162~265mV，均值为202.79mV，所有水样均处于氧化状态。各种阴阳离子的变异系数在52.88%到254.06%之间，变异系数（C.V.）的划分等级为：弱变异性，C.V.<10%;中等变异性，10%<C.V.<100%;强变异性，C.V.>100%。因此，本研究区域水样的pH、Eh属于弱变异强度；COND，TDS，总硬度，以及Mg^{2+}、Ca^{2+}、HCO_3^-、NO_3^-、SO_4^{2-}这些离子浓度都属于中等变异强度；而NO_2^-、F^-、Cl^-、Na^+、K^+变异系数均超过100%，属于强变异强度。各种水质指标分布的不均匀性主要是因为研究区含水地层地质特征的多样性决定的，由于是浅层地下水，地下水化学组分的构成必然受到周边岩性的影响，本研究区内的地层种类繁多，以第四系全新统和第四系更新统为主，然后夹杂着二叠系、三叠系、奥陶系、震旦系、寒武系、志留系和石炭系等多种地层，不同地层中岩石的不同化学

表1 地下水样测试结果统计分析结果
Table 1　Statistic analysis of tested results of groundwater samples

测定指标	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数/%	超标率
F^-	0.00	28.07	3.14	4.49	143.04%	68.46%
Cl^-	4.07	658.60	82.84	85.81	103.58%	3.85%
NO_2^-	0.00	3.82	0.42	1.05	254.06%	14.62%
NO_3^-	4.56	563.60	82.79	80.70	97.47%	34.62%
SO_4^{2-}	14.10	543.20	92.74	69.34	74.77%	3.08%
HCO_3^-	30.97	422.84	153.81	81.34	52.88%	
Na^+	3.35	496.10	88.74	89.83	101.23%	
K^+	0.00	332.10	23.52	47.07	200.10%	
Mg^{2+}	0.10	187.90	39.43	35.63	90.35%	
Ca^{2+}	8.23	191.30	55.21	37.44	67.81%	
COND	122.20	5110.00	826.84	577.28	69.82%	
TDS	77.56	3951.00	571.22	436.32	76.38%	5.38%
Eh	162	265	202.79	19.65	9.69%	
PH	6.19	8.72	7.06	0.47	6.67%	0.77%
总硬度	20.96	922.88	299.64	213.03	71.10%	16.92%

注:Eh单位mV,COND单位ms/cm,pH无量纲,其他单位均为mg/L

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

组分，在与地下水作用的过程中进入地下水，导致了地下水中化学组分的不同。

表中超标率是指该项指标超过《地下水环境质量标准》(GB/T 14848-93)Ⅲ类标准的水样占总水样的百分率。各水样中F^-、NO_3、总硬度、NO_2超标比较严重，超标率分别是68.46%、34.62%、16.92%和14.62%。污染类型主要表现为氟污染、总硬度和氮污染。

4.2 地下水水化学类型分析

统计表明TDS的变化范围在77.56~3951.00mg/L之间，TDS小于1g/L的样品占总样品的94.12%，水质大多数为淡水（图2）。

由于区内各地段的地下水补给、径流和排泄方式不同,因而表现出不同的地下水水化学特征。

该区水化学类型复杂，根据舒卡列夫分类图表

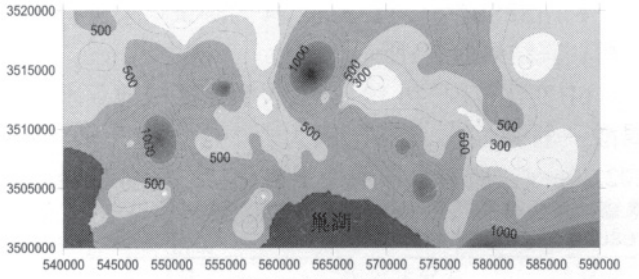


图2 TDS等值线图
Fig.2 TDS isolines

分析，该区水化学类型共有28种。利用Piper三线图的方法得出区内水化学类型。图3左边的图反映了巢湖北边流域TDS小于1g/L阴阳离子含量的分布特征：在阳离子中钙离子含量较高，钠离子次之，镁离子再次之；在阴离子中碳酸氢根离子含量高，其次为是硫酸根、氯离子。其中水化学类型为：HCO_3•Cl-Na•Mg占总类型的11.38%；HCO_3•SO_4-Na•Mg和HCO_3•SO_4•Cl-Na•Ca均占总类型的8.94%；HCO_3•SO_4-Na•Ca•Mg占总类型7.32%。

图3右边的图则是TDS大于1g/L阴阳离子含量的分布特征：阳离子高到低的顺序与上述相似，仍然是钙离子含量较高，钠离子次之，镁离子再次之；在阴离子中，氯离子、硫酸根离子占主要比例。TDS大于大于1g/L的水样只有7个，水化学类型也均不相同。

对整个区域内地下水的水化学类型进行分析，发现研究区域地下水类型比较复杂，各种离子的浓度都比较高，大部分属于矿化度小于1g/L的HCO_3型淡水。

4.3 地下水中主要组分

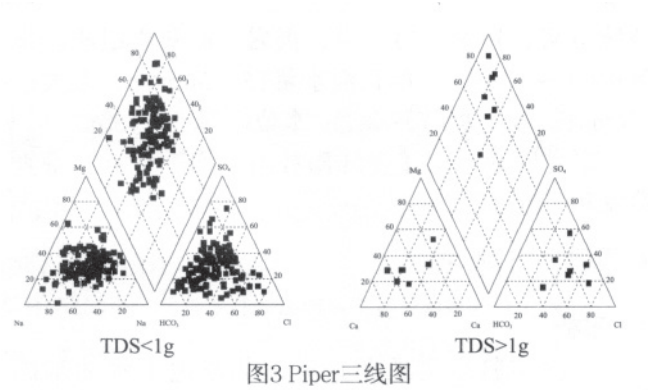


图3 Piper三线图
Fig. 3 Piper trilinear chart

4.3.1 总硬度

区内总硬度范围为20.96~922.88mg/L，平均硬度为299.64 mg/L。小于150 mg/L的软水占总水样的25.74%，介于150~450 mg/L范围内的硬水水样占总水样的56.62%，介于450~714 mg/L范围内的高硬水水样占总水样的8.08%，大于714 mg/L的超硬水水样占总水样的9.56%。所以区内地下水以软水和硬水为主。如图4显示研究区总硬度污染范围比较广，主要分布在研究区西部及中部靠近巢湖湖体地区。

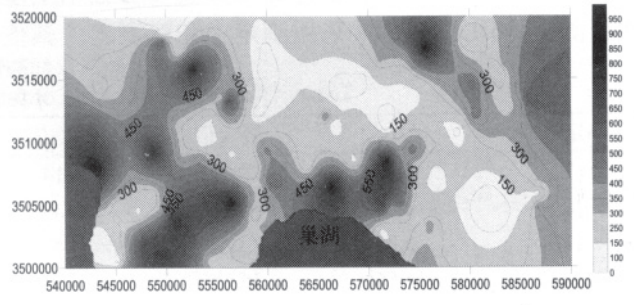


图4 总硬度等值线图
Fig.4 Total hardness isolines

4.3.2 F^-

整个研究区域内的氟含量都较高，样品中最大F^-含量为28.07mg/L，是地下水Ⅲ类质量标准的28倍。超出地下水Ⅲ类质量标准1-5倍的占总超标水样的72.53%，5~10倍的占总超标水样的18.68%，超过10倍的占8.79%。安徽省地氟病严重流行区是淮北平原地区，淮河以南的广大地区，存在零散分布的地氟病病区，以轻病区为主。但是在含氟矿床及温泉附近，存在中—重度病区。研究区F^-含量超标严重的地区分布在桥头集及大程村周边。分析原因，研究区地下水中的氟主要来源于含氟量较高的矿物，桥头集附近存在着大量的磷矿床，这些磷矿床中的氟磷灰石中的氟元素会通过强烈的淋溶及离子交替吸附而进入地下水从而导致了地下水中F^-的含量偏高，并且这一区地下水的pH均在7.5以上，而研究表明呈碱性、偏碱性的水有利于含氟矿物的解吸及溶解[16]。F^-

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

分布特征如图5所示。

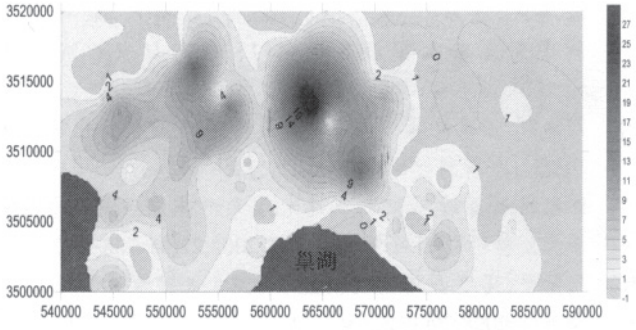


图5 F^-等值线图
Fig.5 F^- isolines

4.4 相关性分析

4.4.1 水质指标相关性分析

相关性分析可揭示地下水水化学参数的相似性及化学成分来源的一致性和差异性[16~17]。利用SPSS软件，对巢湖北岸地下水130组水样和13组指标的计算的地下水水化学成分间的相关系数表2。

由上表可以看出，TDS与Cl^-、NO_3^-、SO_4^{2-}、Na^+、K^+、Mg^{2+}、Ca^{2+}七种指标都具有中等以上的相关程度，而HCO_3^-与矿化度没有明显的相关性。TDS与Cl^-、NO_3^-、SO_4^{2-}的Spearman相关系数分别是0.69、0.59、0.61，具有显著的相关性。七种常规离子中Cl^-、SO_4^{2-}是决定该地区浅层地下水中矿化度的主要化学组分。

各种阴阳离子之间，NO_3^-与SO_4^{2-}之间的相关系数为0.73，显著相关，说明研究区域内的地下水中的NO_3^-与SO_4^{2-}存在同一来源，同样Na^+ 与Mg^{2+}， Ca^{2+}和Mg^{2+}的相关系数为0.81和0.56，也达到显著相关程度，即Na^+ 与Mg^{2+}以及Ca^{2+}和 Mg^{2+}也具有同一来源。

4.4.2离子比例系数分析

在地下水的化学成分中,各种组分之间的含量比例系数常常被用来研究某些水文地球化学问题。$c(Na^+)/c(Cl^-)$系数称为地下水的成因系数,是表征地下水中钠离子富集程度的一个水文地球化学参数。标准海水的$c(Na^+)/c(Cl^-)$系数平均值为0.85,低矿化度水具有较高的$c(Na^+)/c(Cl^-)$系数(>0.85),高矿化度水具有较低的$c(Na^+)/c(Cl^-)$系数(<0.85)。

经计算得130组水样中$c(Na^+)/c(Cl^-)$系数的几何平均值为2.44，其中$c(Na^+)/c(Cl^-)$系数大于1的水样占总水样的67.69%，如图6。说明Na^+的物质的量浓度大部分大于Cl^-的物质的量浓度。

地下水的$c(Na^+)/c(Cl^-)$系数大于1的话，说明地下水有变异，Cl^-在地下水中的含量相对稳定，不会发生大的变化，$c(Na^+)/c(Cl^-)$系数的值主要取决于Na^+的浓度，从整个区域内的地下水的$c(Na^+)/c(Cl^-)$系数的计算结果可以发现，研究区域内大多地下水与长石等矿物发生了作用，矿物中钠盐的溶解是Na^+的主要来源。

表2 巢湖北岸地区地下水水化学成分间的相关系数
Table 2 Correlative coefficient of aquatic chemical compositions in groundwater of the north shore of the Chao Lake

测定指标	F^-	Cl^-	NO_2^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	TDS	pH	总硬度
F^-	1.00	0.14	-0.18	0.10	0.07	0.16	-0.02	-0.14	0.02	-0.09	0.10	0.15	-0.02
Cl^-		1.00	-0.39	0.41	0.35	0.19	0.38	0.13	0.31	0.33	0.69	-0.14	0.35
NO_2^-			1.00	-0.25	-0.14	-0.22	-0.30	-0.10	-0.23	-0.26	-0.28	0.04	-0.26
NO_3^-				1.00	0.73	-0.02	0.09	0.28	0.16	0.40	0.59	0.00	0.30
SO_4^{2-}					1.00	0.05	0.15	0.33	0.14	0.39	0.61	-0.01	0.29
HCO_3^-						1.00	0.37	0.20	0.30	-0.01	0.21	-0.11	0.20
Na^+							1.00	0.34	0.81	0.45	0.31	-0.19	0.76
K^+								1.00	0.41	0.45	0.34	0.02	0.46
Mg^{2+}									1.00	0.56	0.34	-0.22	0.93
Ca^{2+}										1.00	0.45	0.02	0.80
TDS											1.00	-0.13	0.43
pH												1.00	-0.14
总硬度													1.00

5 结论

（1）巢湖北岸浅层地下水属于弱酸—弱碱性水，硬度不大，TDS基本上小于1g/L,水质属于淡水。主要超标指标为F^-、NO_3^-、总硬度、 NO_2^-，超标率分别是68.46%、34.62%、16.92%和14.62%。污染类型主要表现为氟污染、总硬度和氮污染。

（2）研究区域内水样的阳离子含量的分布特征是：在阳离子中钙离子含量较高，钠离子次之，镁离子再次之；在阴离子中碳酸氢根离子含量高，其次为是硫酸根、氯离子。水化学类型复杂，研究区地下水样的水化学类型共有28种，其中HCO_3•Cl-Na•Mg占总类型的11.38%；HCO_3•SO_4-Na•Mg和HCO_3•SO_4•Cl-Na•Ca均占总类型的8.94%；HCO_3•SO_4-Na•Ca•Mg占总类型7.32%。

（3）区域内有$c(Na^+)/c(Cl^-)$系数大于1的水样占

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

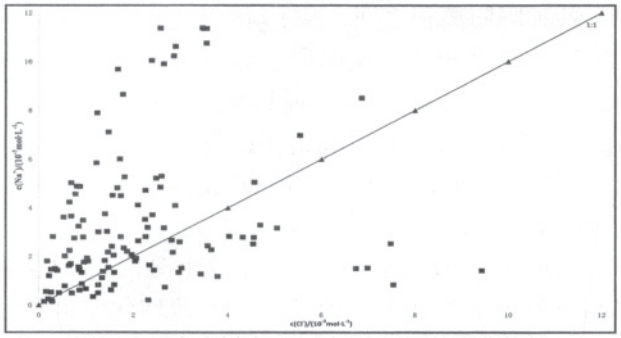


图6 地下水水样中c(Na^+)相对c(Cl^-)的变化特征

Fig.6 Pattern of c(Na^+) changing with c(Cl^-) in groundwater samples

总水样的67.69%，说明地下水有变异，可能存在着各种溶解、吸附和交换作用。具体作用有待进一步研究。

参考文献：

[1] 徐微,吕锡武,余亚琴.巢湖水体富营养化主要驱动因子的模糊数学评价[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2007,23(4):651~654.

[2] 王凤娟.巢湖东半湖浮游生物与水质状况及营养类型评价[D].合肥工业大学,2007.

[3] 朱余,王凤. 巢湖流域水质状况与环境目标可达[J]. 环境监测管理与技术, 2004,16(6): 22~23,26.

[4] 阎伍玖,张建春.纪敏.巢湖流域河水中N,P盐分组成特征分析[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(2):35~38.

[5] 王绪伟,王心源,封毅,刘慧兰.巢湖沉积物总磷分布及其地质成因[J].安徽师范大学学报(自然科学版),2007,30(4):496~498.

[6] 王绪伟,王心源,封毅,薛纪萍.巢湖沉积物总磷含量及无机磷形态的研究[J].水土保持学报,2007,21(4):56~59.

[7] 潘成荣,汪家权,郑志侠,刘静静,殷福才.巢湖沉积物中氮与磷赋存形态研究[J].生态与农村环境学报,2007,23(1):43~47.

[8] 刘静静,汪家权.巢湖内源磷释放特点、稳定性及化学控制研究[J].环境科学研究,2006,19(5):59~64.

[9] 汪家权,孙亚敏,钱家忠,巫建光,潘天声.巢湖底泥磷的释放模拟实验研究[J].环境科学学报,2002,22(6): 738~742.

[10] 周慧平,高超.巢湖流域非点源磷流失关键源区识别[J].环境科学,2008,29(10):2696~2702.

[11] 周慧平,高超,孙波,赵和苍,张桃林.巢湖流域土壤全磷含量的空间变异特征和影响因素[J].农业环境科学学报,2007,26(6):2112~2117.

[12] 周慧平,高超,王登峰,赵和苍,张桃林.巢湖流域农田土壤磷吸持指数及吸持饱和度特征[J]. 农业环境科学学报,2007,26(增刊):386~389.

[13] 房金星,阎伍玖.巢湖流域农村畜牧业发展与非点源污染研究[J].资源开发与市场,2007,23(4):345~347.

[14] 安徽省地质环境监测总站.安徽省地下水资源评价[R].2002.

[15] 尹国勋,毕大园,张威,徐华山.控制永城矿区高氟地下水的地球化学因素[J].焦作工学院学报(自然科学版),2002,21(3):179~182

[16] 王水献,王云智,董新光.焉耆盆地浅层地下水埋深与TDS时空变异及水化学的演化特征[J].灌溉排水学报,2007,26(5):90~93.

[17] 侯景儒,黄竟先.实用地质统计学[M].北京:地质出版社,1998.

CHEMICAL COMPOSITION AND DISTRIBUTION LAW OF SHALLOW GROUNDWATER ON THE NORTH SHORE OF THE CHAO LAKE

MA Yu-ping, WANG Jia-quan, ZHANG Ling, SHAO Chao, YAO Xiao-yan

(*School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui* 230009*, China*)

Abstract: With groundwater in an area of 1000km^2 on the north shore of the Chao Lake as research object, 130 samples were collected to test 15 water quality indexes with a multitude of methods. Descriptive analysis, Piper trilinear chart, correlative analysis and ion proportionality coefficient were jointly applied to study of chemical distribution and spatial change features of groundwater, with a conclusion being reached as: 1)the Chao Lake north shore groundwater is of weak acid-weak alkaline water, with hardness being low and TDS basically less than 1g/l, belonging to freshwater; 2) main disqualified indexes are F^-, NO_3^-, total hardness and NO_2^-, of which fluorine, total hardness and nitrogen pollutions dominate; 3) aquatic chemical types of groundwater are complex in the study area, about 28 in number in total, of them the dominant ones are HCO_3·Cl-Na·Mg, HCO_3·SO_4-Na·Mg, HCO_3·SO_4·Cl-Na·Ca,and HCO_3·SO_4-Na·Ca·Mg taking up 11.38%, 8.94%, 8.94% and 7.32% respectively; 4) It is found through calculation of c(Na^+)/c(Cl^-) coefficient that most of groundwater varies in quality in the area.

Key words: the Chao Lake basin; groundwater; aquatic chemistry

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net