

# 洞庭湖区浅层地下水质量现状与安全供水研究

皮建高<sup>1</sup> 陈新国<sup>2</sup> 刘长明<sup>1</sup> 潘 晟<sup>1</sup>

(1.湖南省地勘局 402 队,湖南 长沙 410014;2.湖南省矿产测试利用研究所,湖南 长沙 410007)

**摘要:**通过对 1720 个水质分析样品资料的深入分析与计算,系统地评价了洞庭湖区浅层地下水质量,指出了浅层地下水安全供水方向,并提出了安全供水措施及建议。计算结果认为,洞庭湖区浅层地下水中的污染因子主要为 Fe、Mn、PH、NH<sub>4</sub>-N 及 NO<sub>2</sub>-N,其次为 NO<sub>3</sub>-N、Be、COD,共 8 个因子,基本上没有遭受重金属污染;湖区浅层地下水水质整体较好,以优质水为主,占 39.37%,合格水占 26.04%;不合格水(较差水)占 34.59%。

**关键词:**洞庭湖区;地下水污染;浅层地下水质量;安全供水

**中图分类号:**P641.8 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2010)02-0536-06

## 1 前 言

农村饮水安全问题,关系农村居民的生命健康和生命健康。中央政府高度重视,实施农村饮水安全工程是党中央、国务院的一项重大决策。按照中央指示精神,湖南省计划用 10 年时间解决 1500 万农村人口的饮水安全问题。其中重点是要解决好农村居民饮用高氟水、高砷水、污染水以及局部地区饮水困难的问题,优先解决血吸虫疫区和农村学校的饮水安全问题,其中洞庭湖区即属于血吸虫疫区,又是污染水分布区,已列入此范畴。

本文所指的洞庭湖区包括长沙、岳阳、益阳、常德、株洲、湘潭等 6 市的 22 个县(市)、18 个区和 15 个县级国营农林渔场,总面积为 39600 km<sup>2</sup>,占湖南省总面积的 18.41%,现有人口约 1892 万,占全省人口的 29.9%。已有资料证实<sup>[1-3]</sup>,湖区地下水资源十分丰富,但地下水尤其是浅层地下水资源已遭受不同程度的污染,部分水质较差,不宜直接饮用。而区内农村居民对地下水质量现状并不十分了解,只能就地建井取水,饮水不甚安全,因饮水引发人体疾病

的现象时有发生,对社会稳定有一定的影响。本文试图从地下水质量现状角度讨论洞庭湖区农村安全供水问题。

## 2 浅层地下水质量现状

### 2.1 浅层地下水水质分析测试项目<sup>[4]</sup>

为了评价洞庭湖区浅层地下水质量特征,在洞庭湖区根据地貌单元特征,基本按平原区 4×4(=16)km<sup>2</sup> 采集一个水样,丘陵区 4×8(=32)km<sup>2</sup> 采集一个水样,山区按 8×8(=64)km<sup>2</sup> 采集一个水样;全区共采取 1720 个水质分析样品,每个样品分析测试项目为 36 项,分别为 pH 值、Eh 值、电导率、钾(K<sup>+</sup>)、钠(Na<sup>+</sup>)、钙(Ca<sup>2+</sup>)、镁(Mg<sup>2+</sup>)、氯化物(Cl<sup>-</sup>)、硫酸根(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)、重碳酸根(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)、碳酸根(CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>)、磷酸根(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)、总铁(TFe)、二价铁(Fe<sup>2+</sup>)、三价铁(Fe<sup>3+</sup>)、锰(Mn)、锶(Sr)、锌(Zn)、铜(Cu)、钼(Mo)、钴(Co)、酚类、耗氧量(COD)、硝酸盐氮(NO<sub>3</sub>-N)、亚硝酸盐氮(NO<sub>2</sub>-N)、铵氮(NH<sub>4</sub>-N)、氟化物(F)、氰化物(CN)、汞(Hg)、砷(As)、硒(Se)、镉(Cd)、六价铬(Cr<sup>6+</sup>)、铅(Pb)、铍(Be)、钡(Ba)等。

收稿日期:2009-08-11;改回日期:2009-10-09

基金项目:湖南省地勘局科研项目“洞庭湖区新农村建设浅层地下水质量及安全供水研究”(2007002)资助。

作者简介:皮建高,男,1961 年生,研究员级高级工程师,长期从事水文地质、工程地质及环境地质研究工作;E-mail:hn402@163.com。

①陈宝顺,等.洞庭湖区水文地质远景区划报告.湖南省地矿局水文二队,1983。

②皮建高,等.洞庭湖地区地质环境调查及治湖对策研究.湖南省地质矿产厅,1999。

③卢庆林,等.湖南省地下水资源评价.湖南省地质研究所,2002。

## 2.2 浅层地下水质量评价方法简述

本次采用了模糊综合评价(具体方法,笔者将另文详细讨论,这里不具体交代评价方法,只讨论权重取值和计算过程)方法对洞庭湖区浅层地下水进行质量评价<sup>[2]</sup>。在评价过程中,首先运用 R 型聚类分析法对 36 个测试项目进行聚类分析,选出参加评价的主要因子,然后,对选出的评价因子按照《地下水质量标准》(GB/T 14848-93)<sup>[3]</sup>,采用污染物浓度和毒理性双权重方法进行模糊综合评价。

## 2.3 权重集的确定

现行水质评价方法一般采用污染物浓度超标赋权法。而对于洞庭湖区一些重金属污染和某些对人体影响较大的污染物,因污染物个体的毒性级别不同<sup>[4,5]</sup>,污染物浓度超标赋权法有可能掩盖某些低浓度因子的毒性作用,因此,有必要将污染物的毒性级别纳入权重考虑,以反映各因子浓度和毒性的综合作用。因此,本次采用浓度和毒理性双权重方法进行评价。

### 2.3.1 浓度权重的确定

污染物浓度权重的计算公式为:

$$\alpha_i = \frac{C_i}{S_i} / \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{S_i} \quad (1)$$

式中: $C_i$ ——各评价参数的实测值;

$S_i$ ——每个参数所对应的各个水质级别的判别值之和的平均值。

### 2.3.2 毒理性权重的确定

根据洞庭湖区浅层地下水污染的实际情况和污染因子的毒理性质,将 24 种评价因子依据其可能对人体健康影响的大小分为六大类,对人体健康影响最大的权重取 1,相对最小的取 0.005(本来可以取 0),其他则取 0~1 之间的数值,具体分类与权重取值

如表 1。

### 2.3.3 综合权重的确定

根据(1)式计算出污染物浓度的权重  $\alpha$ ,按表 1 查取毒理性权重  $\beta$ ,最后求其模糊集的代数积,并归一化,得到综合权重的模糊矩阵  $A$ :

$$A_i = \frac{\alpha \cdot \beta}{\sum_{i=1}^n (\alpha_i \cdot \beta_i)} \quad (2)$$

最后将  $\alpha$  和  $\beta$  系数代入(2)式,即可得到综合评价所需的权重矩阵  $A$ 。

## 2.4 水质评价标准及水质分级

洞庭湖区浅层地下水水质评价标准,按照国家技术监督局 1993 年 12 月 30 日批准 1994 年 10 月 01 日实施《地下水质量标准》(GB/T14848-93)。主要利用 2007 年完成的湖南省洞庭湖区 1:25 万多目标区域地球化学调查中 1720 个浅层地下水水样的测试分析资料,从 36 项测试指标中经 R 型聚类分析法选取了 24 个评价因子,即 pH 值、 $SO_4^{2-}$ 、 $Cl^-$ 、总 Fe、Mn、Cu、Zn、Mo、Co、酚类、耗氧量、 $NO_3^-$ 、 $NO_2^-$ 、 $NH_4^+$ 、 $F^-$ 、氰化物、Hg、As、Se、Cd、 $Cr^{6+}$ 、Pb、Be、Ba 等作为评价指标集,对照国家饮用水标准对浅层地下水作质量评价。

按照《地下水质量标准》(GB/T14848-93),首先将洞庭湖区浅层地下水划分为 1~5 类,再根据新农村供水的要求,将其中的一、二类水归并为一类,统称为“优质地下水”,将其中的三级水称为“合格水”,将四、五级水归并为一类统称为“不合格水”,或称为“较差水”。其中:优质地下水基本未遭受污染,可以直接饮用;合格水可能局部遭受少量因子的污染,但可以直接饮用或稍加处理即可饮用,而不合格水则可能普遍遭受污染,而且污染因子数量较多,必须加以处理才能饮用。

表 1 评价因子毒理性权重( $\beta$ )取值  
Table 1 Weight values for the assessment factor toxicity ( $\beta$ ) used in this paper

分类	因子组合	权重取值 ( $\beta_i$ )
第一类	Hg, CN, As, Cd, $Cr^{6+}$ , Pb, Cu, 酚类	1
第二类	$NO_2-N$	0.95
第三类	Fe, Mn, $NH_4-N$ , $NO_3-N$	0.7
第四类	PH, COD, F	0.4
第五类	Be, Co, Mo, Ba, Zn, Se	0.01
第六类	$SO_4^{2-}$ , CL	0.005

## 2.3 浅层地下水质量现状

### 2.3.1 浅层地下水中的污染因子分析

从 1720 个浅层地下水样品测试结果分析,检出的超标因子共有 14 个,分别为总铁、锰、pH 值、氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、铍、化学耗氧量、砷、锌、钡、钴、铅及镉等,超标率从 44.7%~0.1%,其中以总铁及锰超标率最高,均在 43%以上,pH 值次之,超标率为 32%，“三氮”超标率居中,为 9.3%~27.4%,砷、锌、钡、钴、铅及镉等重金属元素超标率最低,均<1%,见表 2。

由此可见,从污染因子的超标率来看,洞庭湖区浅层地下水中的污染因子主要为总铁、锰、pH、氨氮及亚硝酸盐氮等 5 个因子,其超标率均在 20%及以上,其次为硝酸盐氮、铍和化学耗氧量 3 个因子,超标率在 5%以上,共计 8 个因子,主要为非金属污染,基本上没有遭受重金属污染。

从单因子含量来看,超标 10 倍(以三级水为标准,相当于饮用水标准)以上因子共有 6 个,分别为亚硝酸盐氮、氨氮、锰、总铁、铍及硝酸盐氮。最大超标倍数最大的为亚硝酸盐氮,其样品含量 22.32 mg/L,超标 1116 倍(1326 号样);排在第二的氨氮其样品含量 164 mg/L,超标 820 倍(63 号样);总铁、锰的最大超标倍数分别为 155、177 倍,对应的样品号分

别为 53、140。详见表 3。

### 2.3.2 浅层地下水质量现状

按上述方法,采用计算机编程进行地下水质量评价,根据水质评价结果统计,洞庭湖区浅层地下水中优质水分布区面积为 14559.60 km<sup>2</sup>,占全区总面积的 39.37%,其中一级水占 16.76%,二级水占 22.61%;合格水分布区面积为 9627.88 km<sup>2</sup>,占全区总面积的 26.04%;不合格水(较差水)分布区面积为 12792.57 km<sup>2</sup>,占全区总面积占 34.59%,详见表 4。由表可见,洞庭湖区浅层地下水中约有三分之一为不合格水(较差水),有近三分之二的合格水,其中有近五分之二优质地下水(表 4 和图 1)。

### 2.3.3 浅层地下水质量分区特征

据计算结果统计,洞庭湖区一级—五级水分布面积比分别为 16.8%、22.6%、26.0%、18.8%、15.8%,可见全区以二级和三级水为主,各占四分之一左右,一级水和五级水较少,分别为 16.8 和 15.8%。按三级划分,其中优质水占 39.4%,合格水占 26.0%,不合格水(较差水)占 34.59%;按二级划分,基本可直接饮用水占 65.4%,不能直接饮用的地下水占 34.6%。按照行政区划分析浅层地下水质量特征,位于南部丘岗地区的长沙、株州和湘潭市 3 个地区,其浅层地下水质量总体较湖区中心地带的岳阳、益阳和常德地区

表 2 洞庭湖区浅层地下水主要污染因子组合特征

Table 2 Characteristics of contaminants in shallow groundwater of Dongting Lake area

因子名称	TFe	Mn	pH	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Be	COD	As	Zn	Ba	F	Co	Pb	Cd
超标个数	769	754	552	471	339	160	131	97	12	5	4	2	2	1	1
超标率/%	44.7	43.8	32.1	27.4	19.7	9.3	7.6	5.6	0.7	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1

表 3 洞庭湖区浅层地下水主要化学因子含量特征

Table 3 Statistics of content characteristics of chemical elements in shallow groundwater of Dongting Lake area

指 标	NO <sub>2</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	Mn	TFe	Be	NO <sub>3</sub> -N
三级水标准	0.02	0.2	0.1	0.3	0.0002	20
最大值(mg/L)	22.32	164	17.75	46.5	0.016	215
最大超标倍数	1116	820	177.5	155	80.0	10.8
平均超标倍数	2.7	7.3	3.9	7.1	0.7	0.4
样号	1326	63	140	53	902	1532
最小值(mg/L)	0	0	0	0	0	0
样号	1	61	292	87	1	452
平均值(mg/L)	0.054	1.453	0.389	2.129	0.00015	7.373

表 4 浅层地下水水质分级特征

Table 4 Classifications of shallow groundwater qualities in Dongting Lake area

水质分类	优质水	合格水	不合格水(较差水)	总和
面积/km <sup>2</sup>	14559.60	9627.88	12792.57	36980.0
%	39.37	26.04	34.59	100.00

水质要好。

#### (1) 优质水分布特征

优质水分布面积百分比以株州最大,占 68.6%,湘潭及长沙次之,分别为 58.3%、54.3%,岳阳市优质水分布面积比最小,占全区的 22.7%,益阳、常德分别为 31.0%、37.2%;合格水(三级水)分布面积百分比六地市相差较小,大多在 26%~34%,其中以益阳最少,只有 17.6%,长沙市最多,占 34.3%。

#### (2) 不合格水分布特征

不合格水面积百分比以长沙最小,只占 11.4%,湘潭、株州次之,分别占 13.4%、17.7%;不合格水比例以益阳最大,占 51.4%,岳阳、常德次之,分别为 49.1%和 38.2%。

### 3 新农村安全供水方向分析

#### 3.1 新农村安全供水方向

(1)根据地下水水质标准,合格水的标准对应于生活饮用水标准,因此,首选洞庭湖区的合格水及优质水分布区作为新农村安全供水的取水方向,在这些地段可以找到可供直接开发利用的浅层地下水。

(2)在不合格水分布区,浅层地下水普遍遭受不同程度的污染,且污染因子较多,不能直接作为供水水源。在这些地段,新农村安全供水的解决途径有:

一是根据浅层地下水的污染程度及污染因子处理的难易程度来选择对浅层地下水进行处理;

二是开发利用深层地下水,其成本相对较高,且必须开展相应的水文地质勘查工作;

三是在直接利用地表水,并辅以水处理措施。

#### 3.2 新农村安全供水分区

##### 3.2.1 以优质浅层地下水为主开发利用适宜区

本区对应于优质地下水分布区,这些地段具体分布于长沙市中部的乌山镇—霞凝—福临—金井一带,西部煤炭坝、偕乐桥、银田镇等地,西北部乔口—东城镇以及东部的黄花、江背—柞冲镇等地;岳阳市西北部的许市、三封寺,东北部的羊楼司—定湖及源

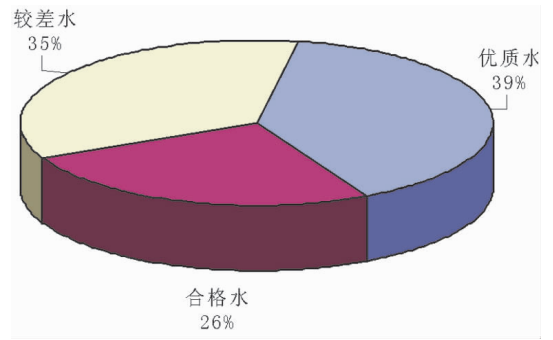


图 1 洞庭湖区浅层地下水质量级别组合图

Fig.1 Classifications of shallow groundwater qualities in Dongting Lake area

潭镇等地,中东部的鹿角—麻塘、公田等地以及东南部的南湖洲、高家坊—樟树港一带;常德市西部的修梅—四星岗—河伏—草坪镇一带,以及南部及北部有零星地段;益阳市的中部及南部赤山岛—三眼塘—新桥河—新市渡—欧江岔一带以及北部零星地段;株洲市北部的北关—群丰镇一带以及南部的淦田—朱亭一带,湘潭市北部的鹤岭镇—湘潭市岳塘区及南部的梅林桥—中路铺—茶恩寺一带,西部的零星地段等地。

##### 3.2.2 以合格浅层地下水为主开发利用基本适宜区

本区基本对应于合格地下水分布区,包括长沙市西部的夏铎铺—东湖塘—莲花镇一带以及东部的果园、北圣—镇头、浏阳市城关等地;岳阳市西部的梅田湖—三封寺镇一带,东北部的江南—聂市镇,东部的公田—桃林寺,南部的洞庭围、湘阴县城关镇、白水镇、汨罗城关镇等地;常德市北部盐井—黄山头、官渡桥—张公庙—保和堤,南部的陬市—沧港—岩汪湖镇、山阳港—桃花源镇,黄土店—崔家桥等地;益阳市北部鹿湖—泗湖山、中部迎风桥—兰溪、中部的衡龙桥—兰镇及南部的桃江县城—灰山港—衡龙桥等地;株洲市北部龙头铺、中部雷打石、三门镇及南部的朱亭以南等地以及湘潭市中部及西部的云湖桥—石潭—青山桥等地。

##### 3.2.3 以不合格浅层地下水为主的不宜开发利用区

本区与不合格浅层地下水分布区基本对应,包括长沙的宁乡县城关、花明楼、坪塘镇、长沙市城区东部及永安镇等零星地,岳阳市西部的鲇鱼须、宋家咀、北景港以北,及北部的广兴州—岳阳市城区—路口镇一带以及东南部的临资口—桃林寺一带;常德市北部



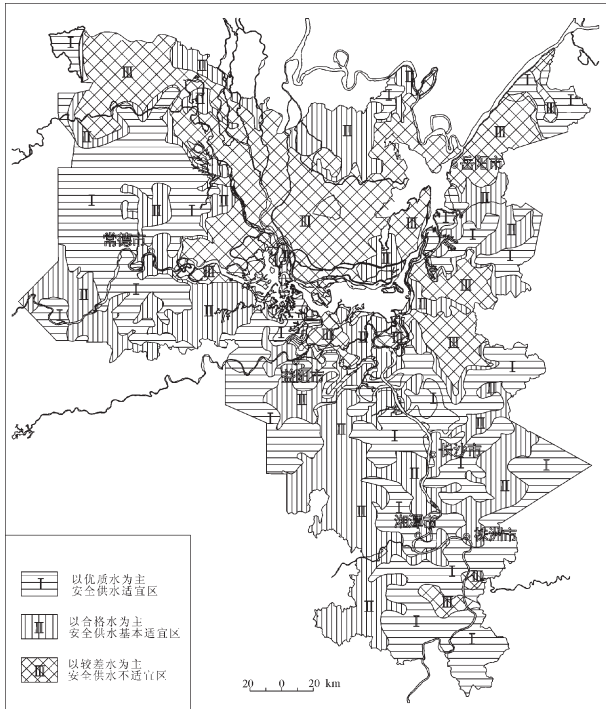


图2 洞庭湖区浅层地下水安全供水方向分析图

Fig.1 Direction analysis of the secure shallow groundwater supply in Dongting Lake area

和东部的王家厂—梦溪—大鲸港—西港—牛鼻滩一带;益阳市北部地区的南县城关—三仙湖—阳罗—共华—沙头—兰溪一带;株洲市的株洲市城区、株洲县城关、三门镇及朱亭以南等零星地以及湘潭市的姜畲、湘潭县城关、潭家山、射埠镇以西等零星地。

#### 4 安全供水措施及建议

(1)因地制宜选择优质或合格的浅层地下水作为供水水源。依据洞庭湖区新农村安全供水方向分析结论,因地制宜地选择优质地下水或合格的地下水作为供水水源,以集中开采形式开发利用浅层地下水;对于不合格的地下水,尤其是重金属污染较重的地下水,应尽量避免采用。

(2)合理选择水处理方法,充分利用地下水资源。在不合格水分布地区,根据不同的地下水污染(或超标)特点,选择不同的水处理方法,对地下水水质进行处理。如对pH值偏酸性地区,可以选择用碱性石灰材料中和和处理方法;对于湖区铁质地下水分布区,采用对地下水进行曝气、锰砂吸附等处理方法,充分利用地下水资源。

(3)大力宣传地下水地球化学和卫生知识,科学调整食品结构及饮食习惯。地下水地球化学环境相对稳定的区域,其地下水地球化学条件基本稳定,各级政府应大力宣传地下水已有研究成果,让农村居民掌握简单的卫生常识,通过科学合理的食品结构及饮食习惯,调节人体化学“环境”。

(4)加强社会监督力度和环境执法力度,对工矿企业三废排放、农药化肥生产进行及时监测,防止人为污染地下水。

#### 5 结论

(1)洞庭湖区浅层地下水以非金属污染为主,基本没有遭受重金属污染,地下水中的污染因子主要为Fe、Mn、pH、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 及 $\text{NO}_2\text{-N}$ ,其次为 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、Be、COD,共8个因子。其中超标10倍以上的因子共有6个,分别为亚硝酸盐氮、氨氮、锰、总铁、铍及硝酸盐氮。最大超标倍数最大的为亚硝酸盐氮,超标1116倍,其次为氨氮,超标820倍;总铁、锰的最大超标倍数分别为155、177倍。

(2)洞庭湖区浅层地下水水质整体较好,以优质水为主,占39.37%,合格水占26.04%;不合格水(较差水)占34.59%。

(3)首选洞庭湖区的合格水及优质水分布区作为新农村安全供水的取水方向,在这些地段可以找到可供直接开发利用的浅层地下水;而在不合格水分布区,则浅层地下水不能直接作为供水水源,其解决途径一是进行水质处理,二是开发利用深层地下水,三是直接利用地表水,并辅以水处理措施。

(4)考虑洞庭湖区浅层地下水污染因子组合特征,在区内开发利用地下水时,除了应采用合适的水处理方法外,更重要的是应科学调整食品结构及饮食习惯,通过科学合理的食品结构及饮食习惯,调节人体化学“环境”。

#### 参考文献(References):

- [1] 文冬光,林良俊,孙继朝,等.区域性地下水有机污染调查与评价方法[J].中国地质,2008,35(5):814-819.  
Wen Dongguang, Lin Liangjun, Sun Jichao, et al. Approach to investigation and assessment of organic contaminants in regional groundwater[J]. Geology in China, 2008, 35(5):814-819(in Chinese with English abstract).
- [2] 张俊福,邓本让,朱玉仙,等.应用模糊数学[M].北京:地质出版社,1988.

- Zhang Junfu, Deng Benrang, Zhu Yuxian, et al. Applied Fuzzy Mathematics [J]. Beijing: Geological Publishing House, 1988 (in Chinese).
- [3] GB/T 14848-93, 地下水质量标准[S]. 1993.  
GB/T 14848-93, Groundwater Quality Criteria [S]. 1993.
- [4] 沈照理, 朱宛华, 钟佐桑. 水文地球化学基础[M]. 北京:地质出版社, 1993:136-141.
- Shen Zhaoli, Zhu Wanhua, Zhong Zuoshen. Basic of Hydrogeochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993:136-141(in Chinese).
- [5] 许幼云, 顾译南, 等译. 饮水与健康[W]. 北京:人民卫生出版社, 1982.  
Xu Youyun, Gu Yinan(translators). Water and Health [W]. Beijing: People's Medical Publishing House, 1982 (in Chinese).

## A study of the secure water supply and shallow groundwater quality in Dongting Lake area

PI Jian-gao<sup>1</sup>, CHEN Xin-guo<sup>2</sup>, LIU Chang-ming<sup>1</sup>, PAN Sheng<sup>1</sup>

(1. No. 402 Geological Party, Hunan Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development, Changsha 410014, Hunan, China; 2. Hunan Institute of Analyzing and Utilization for Mineral Resources, Changsha 410007, Hunan, China)

**Abstract:** Based on analyzing the test data of 1720 groups of water samples collected from the Dongting Lake area, the authors conducted a quality assessment of shallow groundwater in this area. On such a basis, this paper presents the secure water supply directions and puts forward suggestions and measures for secure water supply. The test data indicate that the shallow groundwater is mainly contaminated by the following eight indexes: Fe, Mn, pH, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, Be and COD. On the whole, the shallow groundwater in this area shows good quality, and hence it is mainly assigned to high quality water (39.37%), and subordinately to qualified water (26.04%) and unqualified water (34.59%).

**Key words:** Dongting Lake area; groundwater pollution; shallow groundwater quality; secure water supply

---

**About the first author:** PI Jian-gao, male, born in 1961, senior engineer, engages in hydrogeology, engineering geology and environmental geology; E-mail: hn402@163.com.