

# 杭州市主城区浅层地下水水质现状

徐玉裕<sup>1</sup>, 范华<sup>2</sup>, 项剑飞<sup>2</sup>, 陆树立<sup>1</sup>, 周侣艳<sup>1</sup>, 叶辉<sup>1</sup>, 王奕奕<sup>1</sup>, 赵佳佳<sup>1</sup>

(1. 杭州市环境监测中心站, 浙江 杭州 310007; 2. 杭州市市政设施监管中心, 浙江 杭州 310003)

**摘要:** 调查了杭州市主城区浅层地下水水质现状。结果表明, 杭州市主城区浅层地下水污染较重, “三氮”超标现象普遍, 而主要污染项目为  $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{I}_{\text{Mn}}$  和总大肠菌群及细菌总数。指出, 农业面源污染和生活污水, 是造成杭州市主城区浅层地下水氮污染的主要原因。提出分析了地下水水质污染的成因。指出应加强地下水保护以及地下水资源的质量管理。进行科学、合理地开发利用, 实现地下水水资源的可持续利用, 支持杭州市国民经济的可持续发展。

**关键词:** 浅层地下水; 水污染; 杭州主城区

**中图分类号:** X523 **文献标识码:** B **文章编号:** 1006-2009(2010)03-0038-05

## Present Situation of Shallow Ground Water Quality in Urban Area of Hangzhou

XU Yu-yu<sup>1</sup>, FAN Hua<sup>2</sup>, XIANG Jian-fei<sup>2</sup>, LU Shu-li<sup>1</sup>, ZHOU Lv-yan<sup>1</sup>, YE Hui<sup>1</sup>, WANG Yi-yi<sup>1</sup>, ZHAO Jia-jia<sup>1</sup>

(1. Hangzhou Environmental Monitoring Centre, Hangzhou, Zhejiang 310007, China;

2. Hangzhou Municipal Facilities Correctional Center, Hangzhou, Zhejiang 310003, China)

**Abstract:** The situation of shallow ground water quality in urban area of Hangzhou was investigated. The results indicated agricultural polluting sources and sewage caused heavy pollution of the water. The detecting values of ammonia, nitrate and nitrite had been out of limits of national environmental standard. The pollutant indicators were  $\text{NH}_3 - \text{N}$ ,  $\text{NO}_2^- - \text{N}$ ,  $\text{I}_{\text{Mn}}$ , coliforms and total number of bacteria. Priority was given to strengthen the protection of ground water and quality management of ground water resources, to scientifically and reasonably exploit ground water resources, and to realize the sustainable utilization of ground water resources for sustainable development of the national economy.

**Key words:** Shallow ground water; Water pollution; Hangzhou urban area

地下水是宝贵的资源, 它不仅是杭州市最洁净的天然水体, 在城市水资源的调配上也具有一定的意义。但是, 由于工业的发展和城镇人口的增加, 前些年城镇污水处理厂又未建成, 工业结构不尽合理并未实行清洁生产及航运船舶的污染等因素, 都是地下水水体内源污染物蓄积, 水体自净能力下降, 导致各类指标超标的原因。杭州市部分主城区(下城区、拱墅区)  $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$  超标严重, 已无法满足饮用等需求。通过监测评价杭州市主城区浅层地下水的水质现状及成因<sup>[1-2]</sup>, 提出针对杭州市的地下水污染防治对策, 旨在掌握研究区地下水功能状况, 为实现杭州市主城区地下水资源可持续利用提供指导依据。

### 1 主城区地下水分布特征

杭州市主城区中, 除上城区、西湖区和西湖风景名胜地区部分地区拥有山区地形外, 其他城区都为平原河网区。主城区的浅层地下水为松散岩类孔隙水和基岩裂隙水<sup>[3]</sup>。

松散岩类孔隙水按其埋藏条件、水力特征可分为孔隙潜水及孔隙承压水。孔隙潜水水量丰富, 散布于西湖区的九溪、留下等山区沟谷及山麓地带冲积砂、砾石层中<sup>[4]</sup>, 也广泛分布于各城区的平原河

收稿日期: 2009-11-30; 修订日期: 2010-02-23

基金项目: 杭州市环境保护科技基金资助项目(2009012)

作者简介: 徐玉裕(1982—), 男, 浙江温州人, 工程师, 硕士, 从事环境监测、环境管理与规划、流域生态过程研究。

网区,主要补给来源为大气降水、侧向径流、地表水、渠道及田间灌溉补给<sup>[5-8]</sup>。孔隙承压水主要分布在拱墅区祥符桥等地。

基岩裂隙水(如虎跑泉、兔儿泉等)赋存于基岩裂隙及断裂带中,大气降水补给,均为低钠、低矿化淡水,水质较好<sup>[9]</sup>,但是具有富水性差,分布不均的缺点,主要存在于西湖区的转塘等西部山区及拱墅区的半山地带。

水井与西湖、钱塘江一样,对于杭州的发展有着举足轻重的地位。虽然地下水的功能已逐步退

出历史舞台,但是历史上对地下水的过度开采以及不合理使用,导致地下水位逐年下降,在祥符桥一带已形成区域性水位降落漏斗。

## 2 浅层地下水监测及评价

### 2.1 监测点位及项目

杭州市主城区监测井具体位置<sup>[10]</sup>见表 1。共监测 2 次(第一次为 5 月—7 月,第二次采样为 11 月—12 月),求出 2 次监测数据的平均值。

表 1 各主城区监测井概况

Tab 1 Site of monitoring wells in urban area

区域	监测井名称	年代	地理位置	备注
下城区	钱王井	五代吴越宝正元年	延安路杭州科技交流馆正东面	一级保护古井
	梁宅井	约 100 年	双眼井巷 2 号广兴堂国医馆	一级保护古井
	永康巷井	约 100 年	建国北路 620 号南面	一级保护古井
	胭脂新村 1 号井	解放前	胭脂新村社区华侨新村 5 号内	四级保护古井
	五里塘苑井	解放前	五里塘苑 7 幢南侧	四级保护古井
上城区	南星古泉	明、清	南星古桥边	一级保护古井
	上八眼井	宋	粮道山路 26 号门前	一级保护古井
	金鱼弄 1 号井	约 100 年	金鱼弄 1 号	一级保护古井
	郭婆井	清	清波门社区四宜路 14 幢旁	一级保护古井
西湖区	甘水巷上口井	约 110 年	甘水巷 5 号	一级保护古井
	狮子山井	约 100 年	狮子社区狮子山	一级保护古井
	安乐井	五代	茶市社区茶市 4 号对面	一级保护古井
	兔儿井	约 100 年	西溪路 457 号	一级保护古井
	应家桥井	解放前	转唐街道大清社区	四级保护古井
拱墅区	革命井	1960 年	南阳坝社区肖家桥 33 号东侧	一级保护古井
	街心井	解放前	小河直街口子	三级保护古井
	临河井	解放前	小河直街 18 号	三级保护古井
	院庭井	解放前	小河直街 29 号	三级保护古井
	万善井	解放前	康桥镇康桥老街 50 号对面	四级保护古井
江干区	石板巷井	解放前	石板巷新村东园 36 幢南面	四级保护古井
	白石寺古井	约 150 年	笕桥明石路 4 区之江助剂厂内	一级保护古井
	山羊坞井	约 130 年	丁桥镇山羊坞	一级保护古井
	宋井	约 150 年	笕桥路 128 号	一级保护古井
	永济井	解放前	永济桥 4 号	四级保护古井
风景名胜	龙居双口井	约 100 年	龙居 15 号	一级保护古井
	龙井	三国	凤凰岭上	一级保护古井
	双井	南宋	雷峰塔景区内	一级保护古井
	忠泉	明、清	越王庙内	一级保护古井
	灵隐寺龙井	明、清	灵隐寺后大殿左侧	一级保护古井
	本真井	解放前	灵隐路 18 号	一级保护古井

监测项目: pH、 $I_{m}$ 、 $NH_3 - N$ 、总硬度、 $Cr^{6+}$ 、 $TCN^-$ 、 $NO_2^- - N$ 、挥发酚、 $Hg$ 、 $As$ 、细菌总数、总大肠菌群、 $F^-$ 、 $Cl^-$ 、硝酸盐、硫酸盐、 $Pb$ 、 $Cd$ 、 $Fe$ 、 $Mn$ 。

### 2.2 地下水评价

采用单项参数和综合评分法对杭州主城区 2009 年年平均地下水水质监测结果进行质量

评价<sup>[11-12]</sup>。

### 2.2.1 评价项目

根据《地下水环境质量标准》(GB/T 14848 - 93)规定和杭州市主城区浅层地下水的实际情况,选择了 pH、 $I_{mn}$ 、 $NH_3 - N$ 、总硬度(以  $CaCO_3$  计)、亚硝酸盐、 $F^-$ 、 $Cl^-$ 、硝酸盐、硫酸盐、 $Fe$ 、 $Mn$ 、 $Hg$ 、 $As$  等 13 项作为评价项目(由于全部浅层地下水中总大肠菌群均  $>100 L^{-1}$ ,为劣类,根据内梅罗指数计算综合评分值  $F$ ,其中  $F_{max} = 10$ ,评定的水质较差则主要是因此原因。同时细菌学指标不作为地下水质量级别评定指标,所以评定时,总大肠菌群和细菌总数不作为评价参数。)

### 2.2.2 评价方法

首先进行各单项组分评价<sup>[13-14]</sup>,按照《地下水环境质量标准》(GB/T 14848 - 93)所列分类指标,划分为 5 类,代码和类别代号相同,不同类别标准值相同时,从优不从劣,确定单项组分评价分值  $F_i$ ,见表 2。例如:挥发酚类、类标准值均为  $0.001 mg/L$ ,若水质分析结果为  $0.001 mg/L$  时,应定为类。

表 2 单项组分评价分值

Tab 2 Individual evaluating scores

类别					
$F_i$	0	1	3	6	10

其次,选用内梅罗指数计算综合评分值  $F^{[13]}$ ,综合评价值  $F$ (见表 3)的确定方法如下:

$$F = \sqrt{\frac{F^2 + F_{max}^2}{2}} \tag{1}$$

$$\bar{F} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i \tag{2}$$

式中: $\bar{F}$ ——各单项评价分值  $F_i$  的平均值;  
 $F_{max}$ ——单项评价分值  $F_i$  中的最大值;  
 $n$ ——项数。

表 3 综合评价分值级别

Tab 3 Levels of comprehensive evaluation

级别	优良	良好	较好	较差	极差
$F$	$<0.80$	$0.80 \sim <2.50$	$2.50 \sim <4.25$	$4.25 \sim <7.20$	$>7.20$

最后,根据  $F$  值划分地下水质量级别<sup>[15-16]</sup>。

## 2.3 主城区地下水结果及评价

### 2.3.1 单项水质参数评价<sup>[17-18]</sup>

根据监测数据和评价结果,杭州市主城区监测的水井中超标井率为 100%,超标井指超过《地下水环境质量标准》(GB/T 14848 - 93) 类的水井,已无法作为集中式生活饮用水水源。各监测井中  $NO_2^- - N$ 、 $NH_3 - N$  和  $I_{mn}$  超标,超标率分别为 46.7%、40%和 20%,细菌总数(超标率 73.3%)和总大肠菌群(超标率 100%)超标,除去两项生物性指标,污染类型主要表现为氮污染。

位于拱墅区的临河井  $NO_2^- - N$  为  $1.83 mg/L$ ,超过地下水类质量标准( $0.02 mg/L$ )约 90 倍;江干区的宋井  $NH_3 - N$  为  $9.87 mg/L$ ,超地下水类质量标准( $0.2 mg/L$ )约 50 倍。按照区域分布分析, $NO_2^- - N$  和  $NH_3 - N$  指标超标现象主要集中在拱墅区、下城区和上城区。位于拱墅区的万善井和石板巷井的  $NH_3 - N$  分别为  $3.44 mg/L$  和  $4.69 mg/L$ ,超过地下水类质量标准约 20 倍。下城区 4 口井(除梁宅井外)  $NH_3 - N$  均超过地下水类质量标准,钱王井的  $NH_3 - N$  高达  $6.02 mg/L$ 。

拱墅区和下城区的均有 2 口井  $I_{mn}$  超标,分别为临河井( $4.46 mg/L$ )、万善井( $4.86 mg/L$ )、钱王井( $3.08 mg/L$ )和胭脂新村 1 号井( $3.16 mg/L$ )。此外拱墅区的街心井( $pH 9.44$ )和院庭井( $pH 9.20$ )还存在  $pH$  值超标现象。

而总大肠菌群和细菌总数等生物指标超标无明显地理分布特征,所有监测点位全都超标。其中,总大肠菌群最高为  $230 mL^{-1}$ ,细菌总数最高达  $130000 mL^{-1}$ (西湖区的安乐井)。

除西湖区外,其他城区监测井  $Fe$ 、 $Mn$  超标<sup>[19]</sup>,超标率分别为 26.6%和 36.7%。下城区的五里塘苑井  $Fe$  为  $3.33 mg/L$ ,超标达 10 倍以上;其次为风景名胜区的双井( $1.68 mg/L$ )和拱墅区的石板巷井( $1.47 mg/L$ );而上城区的金鱼弄 1 号井  $Mn$  为  $2.68 mg/L$ ,超标 26 倍,其次为下城区五里塘苑井( $1.63 mg/L$ )和胭脂新村 1 号井( $1.33 mg/L$ )。

### 2.3.2 水质综合评价

根据 2009 年的实测资料,杭州市主城区浅层地下水水质较差,已不能满足饮用要求,见表 4。其中,地下水为类水质量标准的监测井有 3 个,占总监测井数的 10%,为类水质量标准的监测井有 1 个,占总监测井数的 3%,而剩余的监测井水质均为和类水质标准(、类水监测井分

别占总监测井数的 47%、40%)。

表 4 各主城区监测井浅层地下水评价结果

Tab 4 Evaluation results of shallow ground water in urban monitoring wells

区域	监测井名称	综合评价项目	
		F 值	地下水级别
下城区	钱王井	7.27	极差
	梁宅井	3.06	较好
	永康巷井	7.28	极差
	胭脂新村 1 号井	7.35	极差
	五里塘苑井	7.32	极差
西湖区	狮子山井	4.28	较差
	安乐井	4.38	较差
	兔儿井	4.26	较差
	应家桥井	4.30	较差
	革命井	4.37	较差
	江干区	白石寺古井	4.33
山羊坞井		4.33	较差
宋井		7.38	极差
永济井		7.15	较差
龙居双口井		4.28	较差
上城区	南星古泉	7.28	极差
	上八眼井	2.17	良好
	金鱼弄 1 号井	7.32	极差
	郭婆井	4.30	较差
拱墅区	甘水巷上口井	4.27	较差
	街心井	7.22	极差
	相国井	7.37	极差
	院庭井	7.19	较差
	万善井	7.41	极差
名胜区	石板巷井	7.26	极差
	龙井	2.15	良好
	双井	7.23	极差
	忠泉	4.30	较差
	灵隐寺龙井	4.30	较差
	本真井	2.16	良好

总大肠菌群和细菌总数不作为评价参数。

### 2.4 水质现状成因分析

杭州市主城区浅层地下水,主要补给来源于地表水,部分来源于大气降水。“三氮”超标现象普遍,而主要污染项目为  $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{I}_{\text{mn}}$ 、总大肠菌群及细菌总数,这说明杭州市主城区浅层地下水水质已经受到人为活动的影响<sup>[20]</sup>。

农业面源污染和生活污水,是造成杭州市主城区浅层地下水氮污染的主要原因。主城区地下水长期受生活污水、乡镇工业废水、农业面源等污染

严重,特别是农药、化肥和除草剂等面污染源已成为主城区农业种植区(主要分布在西湖区和江干区)地下水的主要污染源。农药、化肥和除草剂等残留物质长年积累于土壤中,随着灌溉水及雨水的淋溶,随补给地下水的水源,通过岩石空隙进入地下水,入渗污染地下水。同时积存在土壤中的化肥、农药的残留物质,随汛期洪水的冲刷进入地表水,而主城区的平原河网区地下水埋藏较浅,包气带<sup>[21]</sup>厚度薄,岩性粗,过滤自净能力较差,入渗途径短,地表的易溶物质易进入地下水中,进而间接污染地下水,造成地下水污染<sup>[4]</sup>。

拱墅区  $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$  含量较高,氮污染较为严重。主要原因是多数企业老厂分布于此,工业废水排放有相当程度达不到标准,加之排放时防渗措施较差,使其渗入地下污染地下水。通过现场调查,发现在临河井和万善井 2 个监测井附近有居民在进行洗衣等活动,这些可能也是造成监测井  $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{I}_{\text{mn}}$  等指标超标的原因之一。

下城区  $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{I}_{\text{mn}}$  超标,存在富营养化问题。这跟下城区人口居住密集,未改造的居民老房较多,生活污水排放防渗措施较差有很大关系。

西湖区大部分山区,浅层地下水为基岩裂隙水,水源补给主要来自大气降水,因此呈酸性,pH 值偏低, $\text{NH}_3 - \text{N}$  偏高。

江干区为郊区菜农聚集区,分布较多的污水池、粪便池,对地下水造成污染。

西湖风景名胜区浅层地下水受西湖水水质影响较大(2003 年起,西湖开始大规模引进钱塘江水),由于钱塘江流域连续几年降水量低,加上上游地区产业结构不合理,一些企业污水排放过大,导致水体中  $\text{NH}_3 - \text{N}$  含量超标。目前相关水域的水质只保持在地表水 III 类标准,勉强符合饮用水要求,且经常受到咸潮和流域内工农业污染的困扰。而随着西湖大规模的引进钱塘江水,地表水渗透导致了西湖风景名胜区浅层地下水受污染<sup>[21]</sup>。

杭州市主城区浅层地下水 Fe、Mn 超标,是由于杭州市主城区大部分位于浙江大地质带上,受原生地质环境的影响,部分化学组分经淋滤作用渗入地下水,导致主城区浅层地下水中个别区域 Fe、Mn 超标,并非人为所致。

### 3 防治对策<sup>[22-23]</sup>

#### 3.1 加强地表水污染的防治工作<sup>[3]</sup>

河水是地下水的补给来源之一,防止地下水污染首先要控制地表水污染。加大对污水防治的监督检查,禁止向河流水域、渗井、渗坑排放污水,加强水资源保护工作。

加快污水处理建设。排污管道要加强防渗措施,完善下水管道系统,注意其封闭性,隔离污水运输线。

开展污水的科学利用,在加强对重点污染源进行治理的同时,加快污水资源化的步伐。污水的科学利用是防治污染的途径之一<sup>[24]</sup>。

### 3.2 控制城乡结合地区农业面源污染

近年来为促进农业生产的快速发展,不合理地施用农药化肥的现象越发严重。应提倡合理、科学、经济地施用农药、化肥,控制农药、化肥施用量,禁用剧毒农药,调整化肥中的磷、钾比例,将有机肥和无机肥配合,增加施用有机肥。

加强农业面源污染控制,认真抓好畜禽养殖业的清理整顿,禁止向河道内排放污水粪便。

### 3.3 加强主城区地下水水质动态监测工作

地下水水质监测工作是水质评价的基础,要建立健全环境监测体系,应建立一定数量的专用承压水水质监测井,定期监测地下水水质。定期对地下水水质状况进行评价及预测预报,并向有关部门通报,有针对性地对地下水水质状况进行科学治理。

水质监测应做到定点监测与大范围内水质普查相结合,特别对比较集中的城市供水水源地进行重点监测,了解和掌握水质动态。建立水质预测预报系统,达到以防为主,防治结合的目的。

### 3.4 控制浅层地下水对深层地下水的污染

通过地下水水质评价分析可知,杭州市主城区浅层地下水已受到人为污染,出现水质恶化现象,因此要严禁有污染的浅层地下水与深层地下水混合开采,以免污染深层地下水。控制潜水入渗对承压水水质的污染。对已停止使用的深井要及时封闭,防止通过井孔污染深层地下水。

#### [参考文献]

[1] 范伟,肖长来,熊启华,等. 吉林省平原区地下水功能可持续性评价[J]. 水资源保护, 2009, 25(3): 14 - 17.  
[2] 秦传玉,赵勇胜,张伟红,等. 基于 BP神经网络的齐齐哈尔地区地下水水质评价[J]. 环境监测管理与技术, 2007, 19(2): 15 - 18.

[3] 俞新华,蔡胜利,巩兵. 杭州市区地下水质量评价[J]. 环境污染与防治, 1999, 21(3): 25 - 26.  
[4] 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.  
[5] 魏秀琴. 河南省平原地区浅层地下水总硬度的分布及演化趋势[J]. 水资源保护, 2009, 25(4): 37 - 39.  
[6] 乔光建,张均玲. 邢台市平原区地下水环境问题分析[J]. 水资源保护, 2002, 18(4): 25 - 27.  
[7] 王东海,李春,高焰,等. 人类活动对济南泉域地下水水质的影响[J]. 中国环境监测, 2003, 19(5): 18 - 20.  
[8] 马颖. 上海市地下水开发利用和保护对策[J]. 水资源保护, 2008, 24(1): 92 - 94.  
[9] 俞光明,刘红樱,张泰丽,等. 城杭州市浅层地下水有机污染及其风险初步评价[J]. 资源调查与环境, 2007, 24(3): 198 - 204.  
[10] 赵琦琦,杨英. 河道污染质垂向迁移对地下水影响的研究[J]. 环境污染与防治, 2007, 29(2): 110 - 114.  
[11] 刘景涛,孙继朝,王金翠,等. 浅层地下水定深取样器的研制[J]. 环境监测管理与技术, 2008, 20(5): 56 - 58.  
[12] 尹国勋,许华,张友安,等. 孟州地下水水质现状评价[J]. 环境科学与管理, 2008, 33(2): 175 - 177.  
[13] 赵金香,王兆林,张淑芳. 广饶县河流污染带地下水水质现状评价与污染分析[J]. 地下水, 2008, 30(3): 43 - 47.  
[14] LIM, ROY F S. Effects of artificial recharge on ground water quality and aquifer storage recovery[J]. Journal of the American Water Resources Association, 1997, 33(3): 561 - 572.  
[15] 杨威,卢文喜,卞玉梅,等. 吉林西部地下水水质评价与分析[J]. 节水灌溉, 2008(2): 42 - 45.  
[16] 王涛,李晶. 大连市农村地下水水质状况综合评价[J]. 吉林水利, 2008, 5(2): 5 - 9.  
[17] 苑红洁,王君,丁新军. 虎林市地下水水质特征及评价[J]. 黑龙江水利科技, 2008, 36(2): 158.  
[18] 胡丽娟,胡涛. 许昌市浅层地下水水质现状与变化趋势[J]. 河南水利与南水北调, 2008(5): 25 - 28.  
[19] 张永祥,朱晓媛,王慧峰,等. 北京市朝阳区地下水水质调查和评价[J]. 地下水, 2008, 20(3): 20 - 23.  
[20] 赵新锋,曾松青,陈建耀,等. “珠三角”地区城市化对地下水水质影响案例研究[J]. 生态环境, 2008, 17(2): 533 - 536.  
[21] 石庆. 浅谈贵州省地下水水质现状[J]. 贵州水力发电, 2008, 22(1): 7 - 9.  
[22] 王意惟,王宇昕. 长春地区地下水水质评价及保护措施[J]. 水利科技与经济, 2009, 15(2): 145 - 150.  
[23] 尹华,刘文,吴延东,等. 长春市浅层地下水水质现状评价及变化趋势分析[J]. 东北师大学报(自然科学版), 2009, 41(2): 171 - 176.  
[24] 陈亮. 杭州市水资源短缺状况变化评价分析[J]. 人民黄河, 2008, 30(9): 51 - 52.

本栏目责任编辑 李文峻