

沉积环境和人类活动 对苏锡常地区浅层地下水的水质效应

刘立才^{1,2} 陈鸿汉³ 杨 仪⁴ 王金生¹

(1. 北京师范大学水科学研究院, 北京 100875; 2. 北京市水利科学研究所, 北京 100044;
3. 中国地质大学水资源与环境学院, 北京 100083; 4. 江苏省地质工程勘察院, 江苏 南京 210012)

摘要: 为指导苏锡常地区浅层地下水科学合理地开发利用, 笔者从地质历史的角度分析了沉积环境对浅层地下水水质分布的影响; 充分利用研究区域浅层地下水的历史水质资料, 分析人类活动影响下的水质演化规律。结果表明: 沉积环境对研究区的浅层地下水水质的空间分布特征具有控制作用, 而人类活动对浅层地下水的水质演化具有污染和开采淡化的双重效应。

关键词: 浅层地下水; 沉积环境; 水质演化; 污染; 淡化

中图分类号: P592 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2009)04-0915-05

1 引言

长江三角洲南翼苏锡常地区是经济发达地区, 现代工业化的快速发展, 在很大程度上依赖于地下水资源的大量开采。深层承压水赋水性及水质较好, 其大量开采已引起苏州、无锡、常州连为一体的地面沉降, 造成了严重的经济损失。而浅层地下水的赋水性及水质较差, 且易受人类活动的污染, 开采力度相对较小。为阻止地面沉降的持续发生发展, 江苏省政府已决定禁采承压水, 中心城市引用长江水作为供水水源, 中小城镇以当地的浅层地下水作为供水水源。以浅层地下水作为供水水源, 要查明浅层地下水水质分布特征以及人类活动对地下水水质的影响, 以引导中小城镇地区科学合理地开发利用浅层地下水。

2 沉积分区与浅层地下水水质分布

2.1 浅层地下水含水层

苏锡常地区的浅层地下水并非赋存于同一含水层中。就浅层地下水含水层的分布规律而言, 在苏州以西、张家港以南的常州、无锡的广大地区, 浅层地

下水主要赋存于上更新统的粉细砂层中。而在苏州以东、太仓以南地区, 浅层地下水主要赋存于全新统较为松软的淤质粘土中。在张家港、常熟和太仓沿江地区, 浅层地下水主要赋存于全新统的粉细砂层中。

2.2 浅层地下水含水层沉积区划分

不同地区的浅层地下水含水层介质的沉积年代不同, 同一沉积年代的沉积环境又有所差异。据此, 对应于浅层地下水含水层的分布, 可将苏锡常地区晚更新世以来的松散沉积物划分为 A、B、C 3 个沉积区(图 1)。其中, A 区为晚更新世沉积区, 受晚更新世后期第 IV 次海侵的影响, 上更新统地层上段中部沉积了一层松软状千层饼状粉质粘土, 局部夹有灰色粉细砂、细砂, 形成了浅层地下水含水层的含水介质^[1], 厚度为 10~15 m, 属于潟湖相沉积。含水层的覆盖层为上更新统上段的一层河湖相沉积的硬粘土^[2]。在该区全新统松散沉积物仅在低洼地区零星分布, 岩性为淤泥质粘土。

B 区和 C 区的浅层地下水的含水层介质沉积于全新世。B 区为全新世太湖平原沉积区, C 区为全新世新长江三角洲沉积区。在全新世, 沿江地区、苏

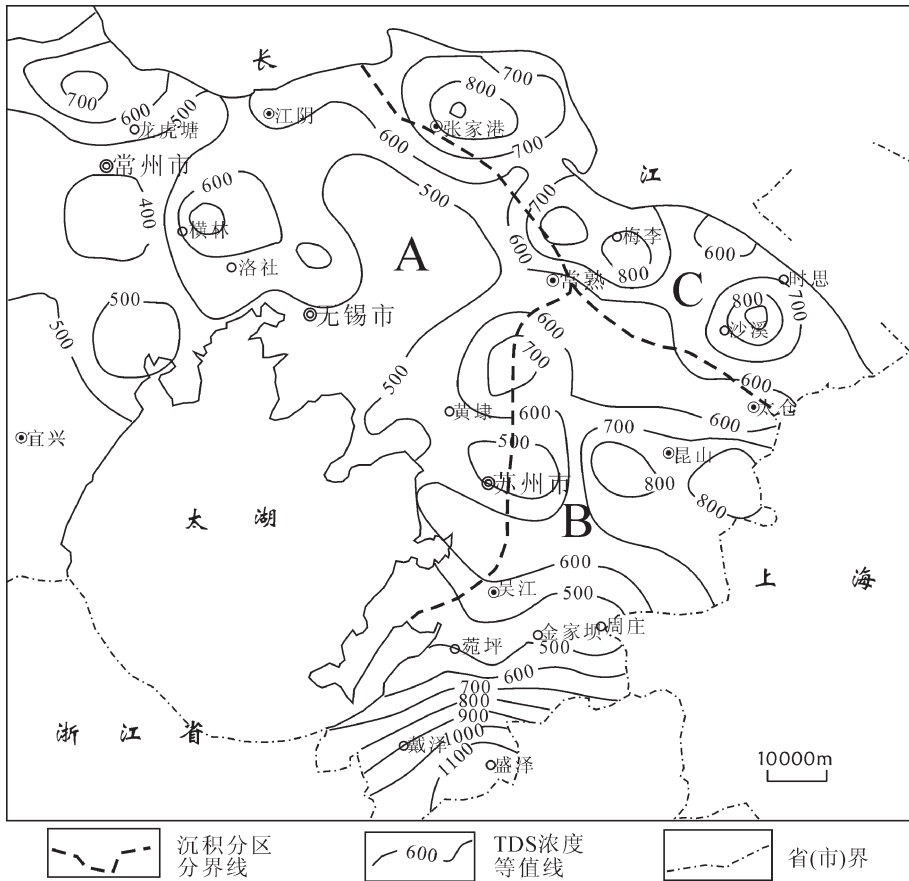


图 1 苏锡常地区浅层地下水含水层介质沉积分区及 2003 年 TDS 浓度等值线

Fig.1 Sediment division of shallow aquifer and TDS concentration contour in 2003 in Suxichang region

州以东的昆山吴江地区及上海地区经历了第 V 次海侵。在 C 区张家港—梅李—太仓东北部沿江一线，全新世地层发育比较完全。全新世地层中段为滨海、海湾相沉积，岩性为灰褐色粉质粘土夹薄层粉砂，局部呈现千层饼状结构特征，厚度一般为 2~15 m，形成沿江一线浅层地下水的含水介质^[9]；上段为河海泛滥相沉积，厚度一般为 3~5 m，岩性为灰褐、黄褐色粉质粘土为主，构成浅层地下水含水层的覆盖层。而在 B 区，全新统地层分布稳定，厚度仅为 3~10 m，岩性为河湖相沉积的灰褐、暗灰色淤质粘土，受第 V 次海侵的影响，该区局部低洼地带的浅层地下水尚存在片状微咸水。

2.3 水质分布特征

根据 2003 年浅层地下水采样点总溶解固体 (TDS) 浓度的测试结果，可绘制 TDS 浓度等值线图 (图 1)。从图上可以看出，A 区 TDS 的浓度一般为

400~700 mg/L，而 B 区和 C 区 TDS 的浓度一般为 600~900 mg/L，明显高于 A 区。不仅 TDS 如此，总硬度、Na⁺、Cl⁻等组分也表现出类似的浓度分布特征。该分布特征与浅层地下水含水层介质及其覆盖层的沉积环境和沉积历史具有密切的联系。

有关文献资料表明，A 区包气带硬粘土层的许多原始特征已在成土过程中受到不同程度的改造，实际上已成为古土壤，经过地质历史时期的长期淋滤和地下水水位的升降作用，包气带中 CaCO₃ 的含量以及其他盐分的含量很低^[9]，并且，由于含水层及其覆盖层介质的沉积年代较早，浅层地下水的淡化历史较长，该区浅层地下水中的各宏量组分、总硬度和 TDS 的浓度较低；而 B 区和 C 区含水层及其覆盖层介质沉积的地质年代较晚，水质淡化历史相对较短。在降雨、河流入渗及地下水位升降的过程中，含水层及其覆盖层中含量较高的盐分，不断进入地

下水,故浅层地下水中的各宏量组分、总硬度及 TDS 的浓度较高。

3 人类活动影响下的浅层地下水水质历史演化规律

3.1 不同沉积区的水质演化规律

苏锡常地区浅层地下水的调查研究较早,始于 1960 年。局部区域的浅层地下水研究较为深入。但同时覆盖苏锡常地区的浅层地下水水质普查仅有 3 次,普查时间分别为 1978 年枯水期、1982 年平水期和 2003 年枯水期。根据常州溇湖以北典型地块 20 余眼监测井在 2002 年 10 月底(平水期)、2003 年 1 月中旬(枯水期)和 2003 年 8 月中旬(丰水期)的水质检测数据,经数理统计分析,平水期与枯水期的 TDS 浓度之间未呈现显著差异,而丰水期因降水入渗的稀释作用使得 TDS 浓度较枯水期明显降低,二者具有显著差异性。由于 3 个年份的水质测试时间处于枯水期和平水期,因此,水质对比可排除水文期的作用,可以利用水质数据分析苏锡常地区浅层地下水水质的历史演化规律。

由于不同沉积区采样点处采集的水样来自不同的含水层,且浅层地下水含水层介质及其覆盖层形成的沉积环境和沉积历史具有一定的差异,不同年份的水质差异性分析应针对 A、B、C 3 区分别探讨。利用数理统计学中的 Kolmogorov-Smirnov 法则进行分析可知,在 1978 年、1982 年和 2003 年 3 个年份中,各区 Na^+ 、 Cl^- 、总硬度和 TDS 均服从对数正态分布。据此,可计算出 3 个年份中各区各离子组份的均

值计算结果(表 1)。

浅层地下水中各组分的离子形态及其浓度受人类活动、含水层氧化还原环境等因素的制约。苏锡常地区浅层含水层处于较还原的环境,硝酸根离子和硫酸根离子不稳定,相对而言,钠离子、氯离子、TDS 和总硬度的变化更能体现人类活动对浅层地下水水质的影响程度。

从表 1 中可以看出,自 1978—1982—2003 年,A、B 两区钠离子、氯离子、TDS 和总硬度浓度总体呈现先升后降的变化趋势,而 C 区钠离子、氯离子、TDS 和总硬度浓度则总体呈现不断降低的变化趋势。从 1978—1982 年钠离子、氯离子、TDS 和总硬度浓度上升的幅度(表 1)看,B 区的上升幅度最大,A 区的上升幅度较小,而 C 区的 TDS 和总硬度浓度未发生明显的大的变化,钠、氯离子非但没有上升,反而呈现降低的趋势。自 1982—2003 年,B 区各离子浓度的下降幅度最大,A 区的下降幅度次之,C 区的水质继续好转。

3.2 人类活动对水质演化的双重效应

苏锡常地区浅层地下水水质在历史演化过程中所呈现的水质不断淡化的演变规律,与人类活动对浅层地下水的影响密不可分。人类活动对浅层地下水的影响具有双重效应,一是地表污染源对浅层地下水造成的污染;二是浅层地下水的开采利用加速了水力循环交替,水质呈现淡化的趋势。苏锡常地区浅层地下水水质的历史演化是两种效应的叠加的结果。

根据水质变化历史,自 1978—2003 年,浅层地下水的水质变化可以分为两个阶段:1978—1982 年

表 1 各区各组分浓度变化(mg/L)
Table 1 Time change of some component concentrations in shallow groundwater(mg/L)

区号	年份	Na^+	Cl^-	TDS	总硬度
A 区	1978 枯	58.4	94.3	550.9	363.3
	1982 平	67.2	97.6	623.1	378.4
	2003 枯	47.8	53.7	489.7	325.7
B 区	1978 枯	90.0	117.1	667.2	338.5
	1982 平	112.2	150.9	863.1	474.0
	2003 枯	67.8	74.6	627.8	368.4
C 区	1978 枯	73.2	105.0	719.9	488.6
	1982 平	59.8	94.6	722.2	480.1
	2003 枯	52.0	60.4	700.4	476.5

为工业发展的污染阶段,在此期间,浅层地下水的开采力度很小;1982—2003年为强开采力度与人为污染影响兼具的水质好转阶段。

20世纪70年代末期至80年代初期,苏锡常地区的乡镇企业开始崛起,工业化进程不断推进,但工业污水的排污系统、污水处理系统并不完善,伴随着工业的发展,苏锡常地区密集的河网逐渐成为工业污水的纳污河道,地表水体普遍受到不同程度的污染。污染的地表水体作为浅层地下水的一种补给来源,将会污染浅层地下水;降雨入渗也将携带其他地表污染物进入浅层地下水中,造成地下水的污染。在此期间,浅层地下水的开采程度较低,80年代初浅层地下水的开采量仅约为2万 m^3/d 。工业污染源对浅层地下水的污染程度大于人工开采对地下水的淡化程度,因此,A区、B区水质组分的浓度有所升高。由于B区地势低缓,潜水水位埋深也较浅,水平径流十分微弱,地表污染物在降雨携带下垂向入渗进入浅层地下水,造成地下水污染;而A区地处高亢平原区,微承压水的包气带较厚,污染物质很难迁移进入含水层,人为活动造成的污染相对较轻。C区位于沿江地带,工业化程度较低,人为污染的程度最轻,浅层地下水的开采利用很容易使长江水与地下水发生水力交换,致使地下水水质好转。

20世纪80年代至21世纪初期,尽管工业不断发展,地表水体的污染程度日益严重。但在此期间,浅层地下水开采力度也不断加大,自80年代初的2万 m^3/d 不断增大至1997年的36.5万 m^3/d 。近年来,虽然浅层地下水开采力度有递减的趋势,但伴随着深层承压水的禁采,中小城镇及农村地区对浅层地下水的开采力度将进一步加大。浅层地下水开采量的增加将不断激化潜水向微承压水的越流补给,浅层地下水的垂向和水平方向的循环交替作用得以加强,地下水的水质呈现好转的趋势。从表1可以看出,B区各化学组分浓度的下降幅度最大,A区的下降幅度次之,C区的下降幅度最小,且2003年的各离子组分的浓度较1978年的浓度低。

伴随着浅层地下水的开发利用,苏锡常地区浅层地下水的水质呈现不断淡化的发展趋势,这一方面归因于水力循环交替的加速,另一方面与浅层地下水的防污性能密切相关。只有在地表污染物质不易迁移进入浅层地下水的前提下,水力循环交替才能驱使水质不断淡化。由前述可知,A沉积区浅层地下水的覆盖

层为致密坚硬的可塑粘土,B沉积区浅层地下水的包气带为淤质粘土,二者具有较强的吸附性能,浅层地下水具有良好的防污性能。正是由于苏锡常地区浅层地下水特定的包气带岩性,有效阻止了地表污染物向浅层地下水的迁移,工业的大规模发展非但没有造成浅层地下水的严重污染,浅层地下水的开发利用反而促使浅层地下水向淡化的方向发展。

4 结 论

(1)沉积环境和沉积历史控制着苏锡常地区浅层地下水的水质分布状况,使得常州、无锡广大地区浅层地下水水质浓度较低,而苏州及沿江地区浅层地下水的水质浓度较高。

(2)人类活动对苏锡常地区浅层地下水的水质影响具有双重效应。一是地表污染源引起了浅层地下水的水质污染,二是人为开采力度的加大加速了浅层地下水垂直方向和水平方向上的水力循环交替,水质不断淡化。在研究区工业化发展时期,这两种效应明显体现于浅层地下水水质的历史演化规律中。

(3)苏锡常地区浅层地下水具有良好的防污性能,可以预见,伴随着浅层地下水的开发利用,苏锡常地区的浅层地下水将不断淡化。

参考文献(References):

- [1] 李从先, 闵秋宝, 孙和平. 长江三角洲南翼全新世地层和海侵[J]. 科学通报, 1986, (21):1650-1653.
Li Congxian, Min Qiubao, Sun Heping. Holocene stratigraphy and transgressions at the southern flank of the Yangtze Delta [J]. Chinese Science Bulletin, 1986, 31(21):1650-1653(in Chinese).
- [2] 刘宝柱, 李从先, 业治铮. 长江三角洲晚更新世末期古土壤与古环境[J]. 青岛海洋大学学报, 1997, 27(3):397-404.
Liu Baozhu, Li Congxian, Ye Zhizheng. Late late Pleistocene paleosols and paleoenvironment in the Yangtze River Delta area [J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 1997, 27 (3):397-404(in Chinese with English abstract).
- [3] 陈希祥. 关于长江三角洲第四纪海侵的一孔之见[J]. 地层学杂志, 1996, 20(4):291-294.
Chen Xixiang. Limited knowledge about the Quaternary transgressive layers in the delta of the Yangtze River [J]. Journal of Stratigraphy, 1996, 20 (4):291-294 (in Chinese with English abstract).
- [4] 陈庆强, 李从先. 长江三角洲地区晚更新世硬土层成因研究[J]. 地理科学, 1998, 18(1):53-57.
Chen Qingqiang, Li Congxian. Studies on origin of the late Pleistocene stiff clays at the Yangtze Delta [J]. Scientia Geographica Sinica, 1998, 18(1):53-57(in Chinese with English abstract).

The effects of sedimentary environment and human activity on shallow groundwater quality in Suxichang area

LIU Li-cai^{1,2}, CHEN Hong-han³, YANG Yi⁴, WANG Jin-sheng¹

(1. College of Water Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Beijing Hydraulic Research Institute, Beijing 100044, China;

3. School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

4. Jiangsu Institute of Geological Engineering Survey, Nanjing 210012, Jiangsu, China)

Abstract: To provide scientific reference for shallow groundwater exploitation, this paper analyzed the effect of sedimentary environment on the distribution of shallow groundwater quality from the angle of geological history and the effect of human activity on groundwater quality evolution and on the basis of sufficient utilization of historical water quality data. The result shows that the sedimentary environment controls the spatial distribution of groundwater quality and the human activity has exerted two kinds of effects on water quality evolution, i.e., contamination and freshening by groundwater exploitation.

Key words: shallow groundwater; sedimentary environment; groundwater quality evolution; contamination; freshening

About the first author: LIU Li-cai, male, born in 1973, doctor, long engages in the study of groundwater resources; E-mail: llc1021@126.com.