

北京市平原区地下水分层质量评价

郭高轩

(北京市水文地质工程地质大队, 北京 100195)

摘要:本文提出了一套基于 ArcGIS 平台的区域地下水水质评价方法, 实现了单因子指标质量评价和多因子综合质量评价。方法不仅能够批量处理地下水水样和地下水质量评价结果的网格化成图, 并且保留了以往容易被忽略的水质“极差点”。最后应用该方法对来自于北京市平原区 1 035 眼水井中的丰、枯水期近 3 000 余个水质数据进行了评价, 结果表明平原区单因子超标的主要有总硬度、溶解性总固体、锰、氨氮、铁、氟、硝酸盐、亚硝酸盐。北京平原区地下水由浅层到中层再到深层, 水质越来越好, 其超 III 类水的面积分别为 3 649 km²、2 258 km² 和 737 km²。区域评价结果表明, 平原区地下水丰水期的水质普遍略差于其枯水期水质。

关键词:地下水质量评价; 北京平原; F 值法

中图分类号: P641 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2012)02-0518-06

1 引言

中国 660 多个城市中, 有 400 多个城市存在缺水问题, 有 136 个城市严重缺水^[1], 其中许多城市以地下水作为供水水源, 且都存在不同程度的水质型缺水问题。北京市 2/3 的供水来自于地下水, 随着经济的快速发展、人口的急剧增长和城市规模的不断扩大, 北京市的供水形势日益严峻^[2]。特别是进入 21 世纪以来, 城市化进程的加快和区域经济的快速发展, 加重了局部水资源的负荷, 加剧了城市地下水的污染。为了进一步合理科学利用地下水资源, 保障城市供水安全, 缓解水资源危机, 维持经济可持续发展, 新一轮的地下水水质调查和评价工作(特别是城市水资源勘查与评价)被提到了前所未有的重视高度。

自 2003 年以来, 北京地区先后开展了一系列有关地下水环境的调查工作: 如 2006 年中国地质调查

局启动了“华北平原地下水污染调查”项目(1:25 万精度)^①、2008 年完成的“北京市平原区多参数立体地质调查”项目(1:10 万精度)^②、2009 年北京市政府实施了“北京市平原区地下水污染调查”项目(1:5 万精度)^③。随着工作精度的不断提高, 地质调查成果的精度也越来越高。由于浅层地下水水质的大面积恶化, 迫切需要进行分层地下水水质的调查与评价工作。在系统分析北京平原区地质结构的基础上, 进行了平原区地下水含水层划分, 并在丰、枯水期对浅层、中层、深层地下水分别采样, 进行了单因子和综合质量分层评价, 本文即是这项分工工作的部分成果。

2 北京平原区含水层划分

北京平原是由几大河流冲、洪积作用下形成的山前缓倾斜平原, 地势西北高, 东南低。区域上地下水自西北(北)流向东南。由冲洪积扇的顶部到中部

收稿日期: 2011-07-18; 改回日期: 2011-09-29

基金项目: “北京市平原区地下水污染调查(PXM2009-158305-074498)”项目和“北京市委组织部优秀人才培养资助项目(2009D010002000002)”联合资助。

作者简介: 郭高轩, 男, 1979 年生, 硕士, 高级工程师, 主要从事水工环及城市地质方面工作; E-mail: g_g_x@yahoo.cn。

①林健, 陈忠荣, 赵薇, 等. 华北平原区地下水污染调查评价报告(北京部分), 2009.

②北京市地质矿产勘查开发局. 北京市平原区多参数立体地质调查报告, 2008.

③辛宝东, 郭高轩, 陆海燕, 等. 北京市平原区地下水污染调查报告, 2010.

再到扇缘地带,地层由单一的砂卵砾石层过渡到砂、砂质粘土、粘土互层的多层结构。受基底起伏和沉积环境控制,平原区第四系厚度差别较大,山麓地带不足 10 m,最厚处位于顺义天竺地区,达 900 多米。根据研究区内的地质条件和水文地质条件,全平原可以划分为 6 个地下水子系统,分别为:永定河地下水子系统、潮白河地下水子系统、拒马河、大石河冲洪积扇地下水子系统、温榆河冲洪积扇地下水子系统、蓟运河(沟河、错河)冲洪积扇地下水子系统和永定河上游山间盆地地下水子系统^[2]。

本次调查研究的对象为平原区第四系松散孔隙水,结合目前地下水开采用现状和主要开采层位,以区域稳定的弱透水层作为本次水质调查含水层组划分的依据,将平原区第四系松散孔隙水在垂向上划分为浅层、中层和深层 3 个主要含水层组(图 1),分别为:1)浅层地下水,主要为潜水含水层;在承压水分布的部分地区,包含埋深较浅的承压水。含水层底板埋深一般在 20~40 m,分布于整个平原区;2)中层地下水,主要为浅层承压水。含水层板埋深一般在 60~100 m,底板埋深一般 80~120 m;3)深层地下水,主要为深层承压水。含水层顶板埋深一般在 100~120 m,底板埋深一般在 180~250 m,部分地区可达 300 m。

图 2 为平原区近 4 万眼水井的深度统计直方图。从统计意义上来看,0~40 m 深的水井占到总井

数的 15%左右,40~80 m 深的水井占到总井数的 33.4%,80~120 m 深的水井占到总井数的 41.8%,几乎占到一半。上述统计数据是在含水层划分的基础上,开展地下水水质分层调查评价的基础。

3 评价方法

地下水质量评价的方法有单因子质量评价法、综合质量评价法,后者中包含 F 值评分法、内梅罗指数法、灰色理论评价法、人工神经网络法和模糊数学法等^[3]。目前被广泛采用的仍然是《地下水质量标准(GB/T14848-93)》的 F 值评分法^[3]。评价的步骤是:首先对采样及分析结果进行数据检查和校核,确定无误后,建立基础数据库;然后依据各单项组分的浓度划分各组分所属的质量类别,进而确定单项组分评价分值 F_i ,然后按下式计算综合评价分值 $F^{[4-7]}$:

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

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

其中 \bar{F} :各单项组分 F_i 的平均值; F_{\max} :单项组分评价分值 F_i 中的最大值; n :指标个数。将各指标的 F_i 划分为 5 个等级,由低到高分别赋值 0、1、3、6 和 10。第三步依据公式(1)和(2)计算的 F 值,按表 1 划分地下水质量级别, F 若为临界值,则从优不从劣。最

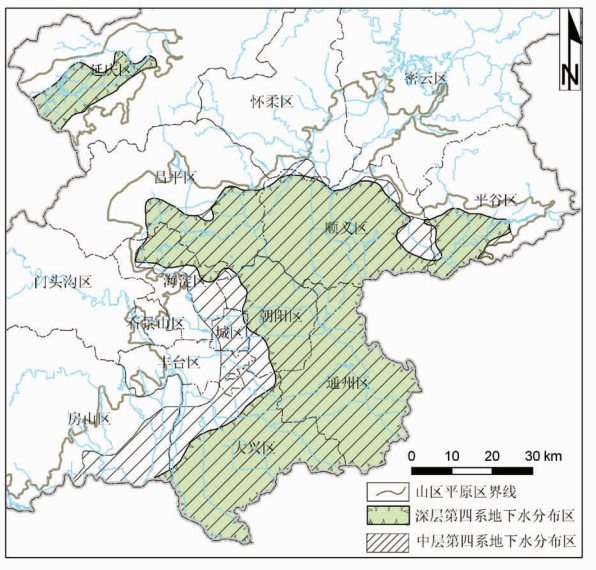


图 1 北京市平原区浅、中、深层地下水分布图
Fig.1 Distribution of groundwater in Beijing Plain

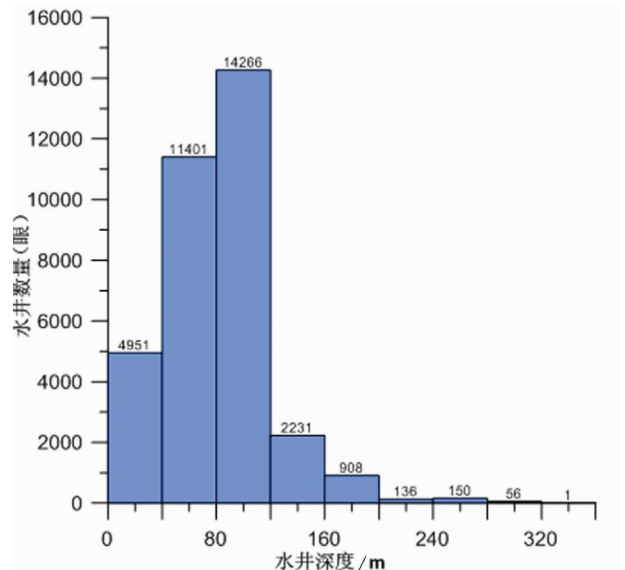


图 2 北京市平原区水井深度直方图
Fig.2 Histogram of wells in Beijing Plain

表1 地下水质量分级

Table 1 Table of groundwater quality classification

级别	优良	良好	较好	较差	极差
F	$F < 0.80$	$0.80 \leq F < 2.50$	$2.50 \leq F < 4.25$	$4.25 \leq F < 7.20$	$F \geq 7.20$

后利用 ArcGIS 软件的 fishnet 模块, 将全平原区划分成 $500\text{ m} \times 500\text{ m}$ 的网格, 并考虑了地下水流向对地下水水质的影响, 评价程序保留了样本中的个别极值点, 从而能够更真实地反映当前最新的地下水质量状况。

4 地下水样品采集

在 2007 年末和 2008 年, 北京市水文地质工程地质大队在北京平原区实施了近 20 年来最大规模的地下水质量调查项目, 分丰、水期对平原区 1 035 眼水井进行了采样工作, 共采集地下水样品 3 000 余组。本次评价水样以 2008 年 6 月份和 11 月份的采样为基础, 各层取样数量如下: 1) 浅层地下水样品

661 件、中层地下水样品 237 件、深层地下水样品 137 件。测试组分 93 项, 其中无机组分 49 项, 有机组分 44 项(本文仅涉及无机组分评价)^[8]。为区域地下水质量评价奠定了坚实的基础, 具体取样点分布见图 3。

5 评价结果及讨论

5.1 单因子质量评价

单因子的质量评价结果表明:

(1) 肉眼可见物、PH 值、浑浊度、嗅和味、色、六六六、滴滴涕、酚、氰化物、硒、镉、铜、高锰酸盐等 14 项指标测试结果均在 I 类水的范围内。

(2) 氯、硫酸盐、铬、砷、汞、碘化物、阴离子洗涤

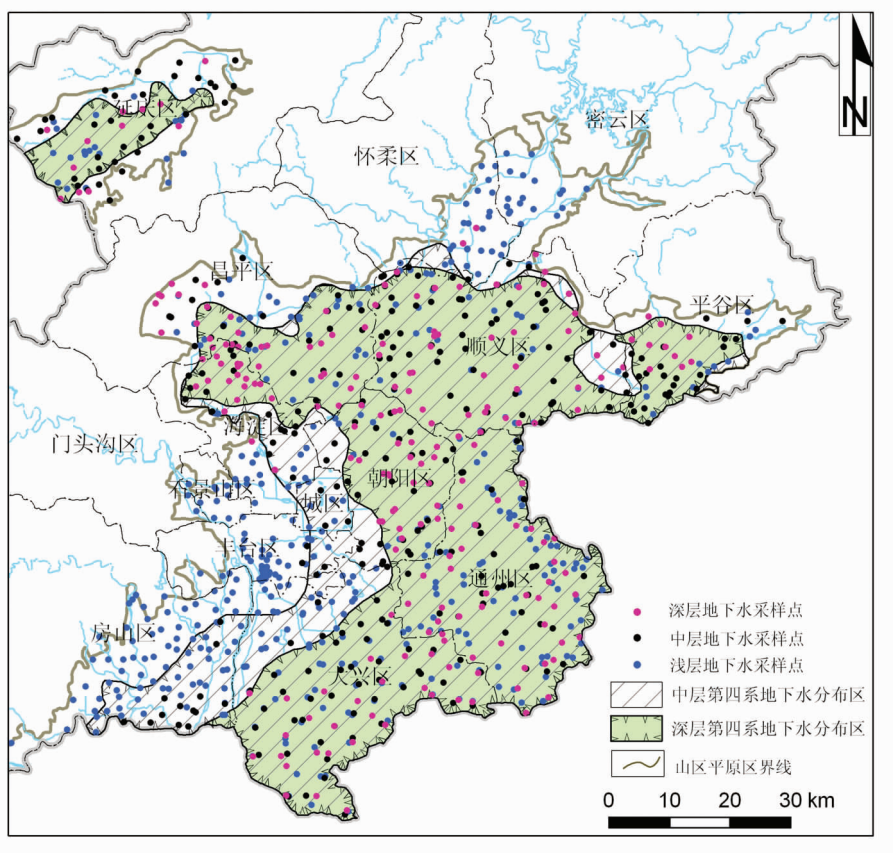


图3 北京市平原区地下水水样点分布图

Fig.3 Distribution of groundwater samples within Beijing plain

剂、锌 8 项指标测试结果在各层地下水中主要为 I 类,在浅层中有 II 类-V 类水样点零星分布。

(3)数量较大、分布较广的 IV、V 类指标主要有总硬度、溶解性总固体、锰、氨氮、铁、氟、硝酸盐、亚硝酸盐 8 项。

5.2 多因子综合质量评价

选择总硬度、溶解性总固体、锰、氨氮、铁、氟、硝酸盐、亚硝酸盐、氯离子、硫酸根离子 10 项作为评价因子,利用 F 值评分法进行评价,分别评价了平原区丰、枯水期浅、中深层地下水综合质量。评价结果见图 4~5。对图 4~5 的评价结果进行对比分析可以看出:(1)浅层地下水均不存在“优良”级的地下水,中深层地下水优良级的面积比例极小;(2)从区域上看,深层地下水水质好于中层,中层地下水水质好于浅层。水质极差点主要出现在浅层地下水中,中层枯水期也有极个别点出现了水质极差点;(3)冲洪积扇的中、上部的地下水水质好于其下游地区;(4)水质较差和极差主要分布在城近郊和东南郊一带。事实上,东南郊一带曾是北京地区的污水灌溉区,加之该区域存在较多数量的化工厂,可能与历史遗留因素有关。另一方面,北京平原区地下水自西北流向东南,城市生活污染在水动力条件下向东南运移也可能是造成东南部水质较差的原因之一。

5.3 评价结果对比与讨论

在丰、枯水期两次采样中,保障了 1035 眼水井中的 99.5%以上水样来自于原来的采样井,只有不到 0.5%的水井在第二次采样时为了达到控制精度而选择了附近的替代井。这为对比丰、水期的评价结果奠定了基础。表 2 为 2008 年 6 月和 11 月份两次水质评价结果的面积统计表。从表中可以看出:

(1)以枯水期为例,浅、中、深层地下水为 IV+V 类面积分别达到了 3 649 km²、2 258 km² 和 737

km²,表明了浅、中、深层地下水分别有 53.8%、43.5% 和 13%已经属于超 III 类地下水。

(2)无论是浅层、中层还是深层地下水,其丰水期的 IV 和 V 类水的统计面积都大于其枯水期。初步分析表明,造成这种结果的主要原因是在丰水期,降雨增多,地表垂向入渗增强,在地下水下渗过程中,上层劣质水和地表污染物(垃圾填埋场、污水河道、渗漏罐等)进入地下水的强度增大,进入后随之扩散,造成了 IV 类和 V 水面积的扩大。

6 结 语

通过本次工作,主要有以下几点认识:

(1)随着地下水污染的面积扩大,程度的不断加深,要求对地下水水质的研究精度也愈来愈高,成果的更新周期也必将越来越短。因此,快速、准确科学的进行区域地下水水质评价必将成为一项长期的工作,并且将不断持续发展下去。

(2)本次工作所采用的基于 Arcgis 软件平台,能够批量进行单因子和多因子综合质量自动化评价,并且能够进行自动化成图,较好的解决了以往人工评价处理数据量小、耗时等不足问题。

(3)北京市平原区第四系地下水质量评价结果表明:平原区的地下水由浅到中再到深,水质逐渐变好。浅、中、深层地下水 IV+V 类水的面积分别达到了其分布面积的 53.8%、43.5%和 13%。水质极差点仅出现在浅层地下水,枯水期的水质普遍好于丰水期水质。初步分析表明,地表污染物和浅层劣质水下渗是主要原因,平原区地下水水质状况不容乐观。因此建议,应当进一步加强地下水污染防治工作,遏制地下水水质恶化,控制劣质水面积扩展,以保证首都供水安全。

(4)本次评价结果中几乎未出现 III 类水,这与中

表 2 北京市平原区地下水质量分类面积统计

Table 2 Area statistics of different groundwater qualities within Beijing Plain

分层	分期	I 类水面积 km ² (百分比)	II 类水面积 km ² (百分比)	IV+V 类水面积 km ² (百分比)
浅	丰水期	2(0.03%)	3 009(45.18%)	3 649(54.79%)
层	枯水期	17(0.26%)	3 063(45.99%)	3 580(53.75%)
中	丰水期	40(0.84%)	2 466(51.76%)	2 258(47.40%)
层	枯水期	80(1.68%)	2 611(54.81%)	2 073(43.51%)
深	丰水期	27(0.71%)	3 056(80.00%)	737(19.29%)
层	枯水期	92(2.41%)	3 231(84.58%)	497(13.01%)

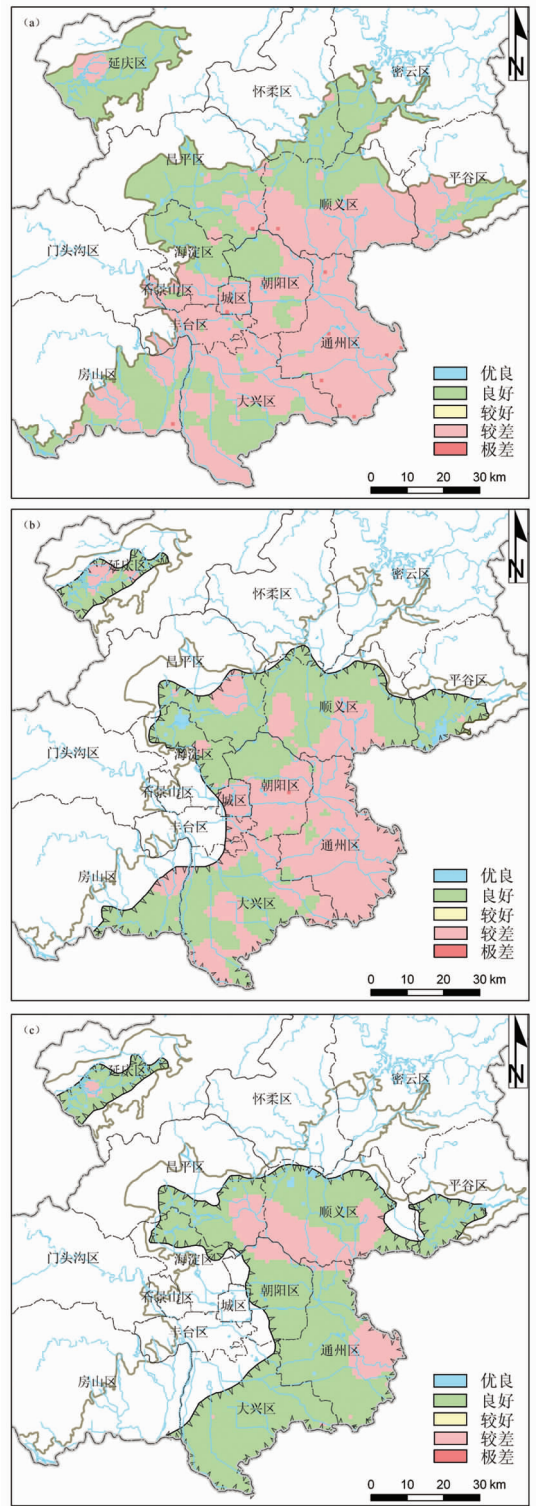
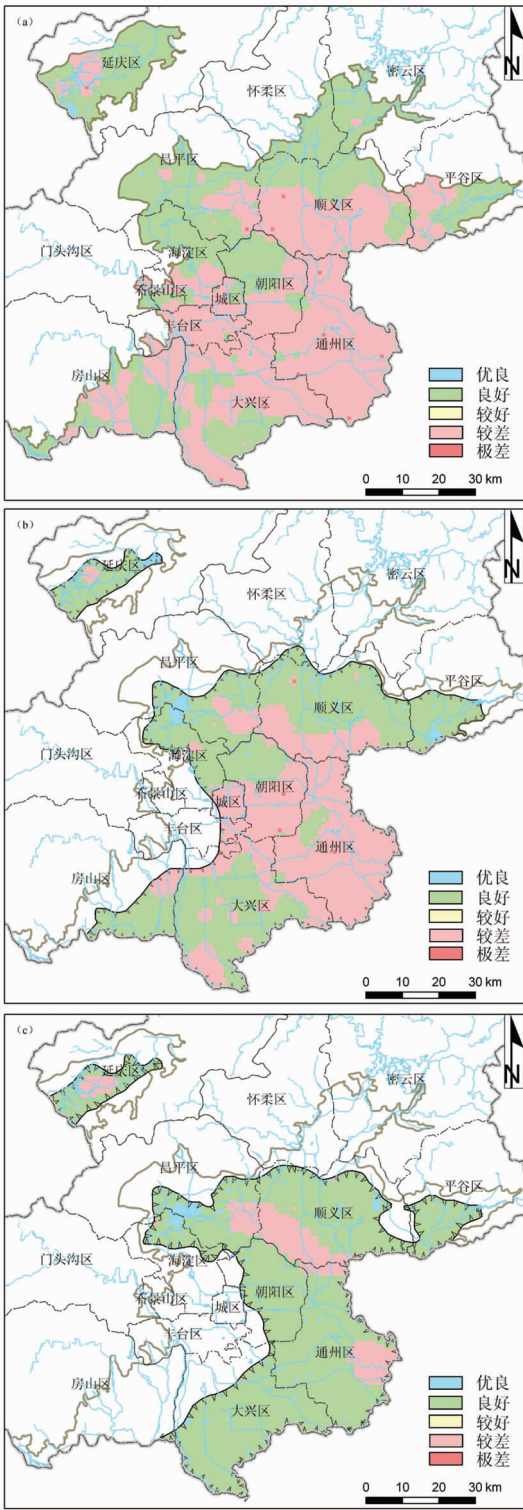


图4 北京市平原区地下水枯水期质量综合评价
a—浅层;b—中层;c—深层

图5 北京市平原区地下水丰水期质量综合评价
a—浅层;b—中层;c—深层

Fig.4 Comprehensive groundwater quality assessment in the dry period within Beijing Plain
(a)—Shallow groundwater; (b)—Middle groundwater; (c)—Deep groundwater

Fig.5 Comprehensive groundwater quality assessment in the wet period within Beijing Plain
(a)—Shallow groundwater; (b)—Middle groundwater; (c)—Deep groundwater

国目前所依据的地下水质量评价标准和评价方法自身的缺陷有关^[7-8]。2007年,中国地质调查局对 GB/T14848-93 标准进行了修订,目前尚未发布,建议尽快完善实施,以进一步推动这项工作。

致谢:参与此项工作的还有张新钰和纪轶群两位同志。该项目历时 3 年,本单位的许多同志为采取和分析地下水样等工作付出了艰辛的劳动,在此一并向他们表示感谢和敬意。

参考文献 (References):

- [1] 姚士谋, 管驰明, 王书国, 等. 我国城市化发展的新特点及其区域空间建设策略[J]. 地球科学进展, 2007, 22(3):51-60.
Yao Shimou, Guan Chiming, Wang Shuguo, et al. The Research on new characteristics of urbanization and the strategy of regional space construction in China[J]. Advances in Earth Science, 2007, 22(3):51-60(in Chinese with English abstract).
- [2] 张安京, 叶超, 李宇, 等. 北京地下水 [M]. 北京: 大地出版社, 2008:1-60.
Zhang Anjing, Ye Chao, Li Yu, et al. Groundwater of Beijing[M]. Beijing: China Land Press, 2008:1-60(in Chinese).
- [3] 张新钰, 辛宝东, 刘文臣, 等. 三种地下水水质评价方法的对比分析[J]. 水资源与水工程学报, 2011, 22(3):113-118.
Zhang Xinyu, Xin Baodong, Liu Wenchen, et al. Comparative analysis on three methods for groundwater quality assessment [J].

- Journal of Water Resources & Water Engineering, 2011, 22(3): 113-118(in Chinese with English abstract).
- [4] 中华人民共和国国土资源部. GB/T14848-93. 地下水质量标准 [S]. 北京, 1993.
Ministry of Land and Resources of PRC, GB/T14848-93. Standards of Groundwater Quality[S]. Beijing, 1993.
- [5] 李刚, 王萍. 地下水环境质量评价方法 [J]. 地下水, 1997, 19(3): 112-115.
Li Gang, Wang Ping. Method of groundwater quality assessment[J]. Groundwater, 1997, 19(3):112-115(in Chinese).
- [6] 刘石. 地下水质量评价方法探讨[D]. 北京: 中国地质大学, 2006: 1-62.
Liu Shi. Discussion on Groundwater Quality Assessment Method [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2006:1-62 (in Chinese with English abstract).
- [7] 林良俊, 文冬光, 孙继朝, 等. 地下水质量标准存在的问题及修订建议[J]. 水文地质工程地质, 2009(1):63-64.
Lin Liangjun, Wen Dongguang, Sun Jichao, et al. Disadvantages and revision suggestions for Standards of Groundwater Quality [J]. Hydrogeology & Engineering Geology 2009, (1):63-64(in Chinese with English abstract).
- [8] 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).

Comprehensive assessment of groundwater quality of different aquifers in Beijing Plain

GUO Gao-xuan

(Hydrogeological and Engineering Geological Party of Beijing, Beijing 100195, China)

Abstract: In this paper, the current status of groundwater quality study in China is reviewed briefly firstly. In view of the disadvantages of traditional methods, a set of means for regional groundwater evaluation based on Arcgis system, which can not only process mass samples but also map the assessment results automatically, is put forward. The outputs of this method preserve the very poor point which was likely to be overlooked in the past. The evaluation results based on more than 3000 groundwater samples collected from 1035 wells in Beijing Plain show that from the shallow part to the depth, the quality of groundwater in Beijing tends to become better. The analytical results show that the main excessive components of the groundwater samples are total hardness, TDS, Mn, NH_4^+ , Fe, F^- , NO_3^- and NO_2^- . The total area belonging to class IV and V is 3649 km², 2258 km² and 737 km² respectively for shallow, middle and deep groundwater. Also, the comparative results show that on the whole the groundwater quality in the wet period is slightly worse than that in the dry period within Beijing Plain.

Key words: groundwater quality assessment; Beijing Plain; Arcgis, method of F value

About the first author: GUO Gao-xuan, male, born in 1979, master, senior engineer, mainly engages in the work of hydrogeology, environmental geology and the study of urban geology; E-mail: g_g_x@yahoo.cn.