

城市化影响地下水水质的正负效应

于开宁^{1,2}, 万力², 都沁军¹

(1. 石家庄经济学院资源与环境系, 河北石家庄 050031; 2. 中国地质大学水资源与环境学院, 北京 100083)

摘要: 以石家庄市为例, 通过城市化水平和地下水污染态势的定量计算、分析, 对城市化影响地下水水质的机理及其正负效应进行了探讨。结果表明: 石家庄城市化发展处于初级阶段; 城市化影响地下水水质有正负两方面的效应, 城市化水平的提高, 有助于改善地下水水质, 但却易于加剧地下水盐污染。本研究为以地下水作为主要、甚至唯一供水水源城市的可持续发展提供了一种理论和根本途径。

关键词: 城市化; 地下水水质; 影响机理; 正负效应; 石家庄市。

中图分类号: P641.11 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-2383(2003)03-0333-04

作者简介: 于开宁(1965—), 男, 副教授, 中国地质大学(北京)博士研究生, 主要从事水资源、环境科学与工程方面教学与科研工作。E-mail: yukn2002@sohu.com

随着全球城市化趋势的日益明显, 水环境问题更加突出, 这一矛盾已经成为城市建设和发展中最重要的制约因素, 也给全球经济与水环境可持续发展提出了严峻挑战。城市化与水环境问题相互关系的研究是实施全球可持续发展战略的重要基础。

世界许多城市以地下水作为部分甚至唯一的供水水源, 地下水在城市发展中扮演越来越重要的角色, 特别是在干旱、半干旱地区。我国北方城市化发展很快, 但该区水资源严重短缺, 地下水环境问题日益突出。其中, 地下水超采与水质恶化, 成为其城市环境地质问题中最广泛、最严重的两大问题。截止 1999 年底^[1], 因严重超采地下水, 华北平原已出现世界上面积最大的地下水降落漏斗, 总面积在 $5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 以上, 已基本连成一片。地下水过量开采, 造成城市水资源短缺; 而地下水水质恶化又进一步加剧了水资源短缺程度。因此, 城市化对地下水水质的影响效应, 尤其是二者之间关系的定量研究成为我国北方可持续发展的重要课题。

20 世纪 80 年代以来, 英国地质调查局等单位在全球不同地区进行了城市化对地下水水质的影响研究^[2~9]; 王裕德^[10]以贵州喀斯特区的城市环境为例, 讨论了城市水文效应及城市水环境。这些研究主

要剖析全球城市化趋势影响下不同地区城市地下水环境问题, 定性揭示了城市化对地下水水质的负面影响。

本文以石家庄市为例, 通过构建城市化水平度量指标体系, 进行其城市化水平定量计算、分析; 并结合地下水污染态势及其污染机理研究, 最终揭示城市化影响地下水水质的正负效应。

1 石家庄城市化水平及其态势分析

本次研究采用层次分析法, 构建了由 5 个大类指标(A类)、17 个中类指标(B类)和 29 个单项指标构成的城市化水平评价的指标体系^[11], 并对石家庄市城市化水平进行了评价, 其结果见图 1。

石家庄市为河北省省会, 北靠北京、天津, 具有良好的城市化发展背景。从图 1 看, 石家庄城市化水平综合评价价值较低, 为 39.43~46.14, 根据多级分级标准属于城市化的初级发展阶段; 但总体上呈上升之势。另外, 石家庄城市化水平的各个方面表现并不均衡, 有的已超前发展, 其指标已表现出较高阶段的特征; 而有的方面仍处于落后状态。在 5 个一级指标中, 人口城市化水平最高, 其评价价值为 72.72~84.15; 而地域景观城市化水平最低, 其评价价值仅为 16.35~32.21。

收稿日期: 2002-05-18

基金项目: 河北省科学技术研究计划项目(No. 97457229D); 国家外国专家局重点项目(No. 9820077)。

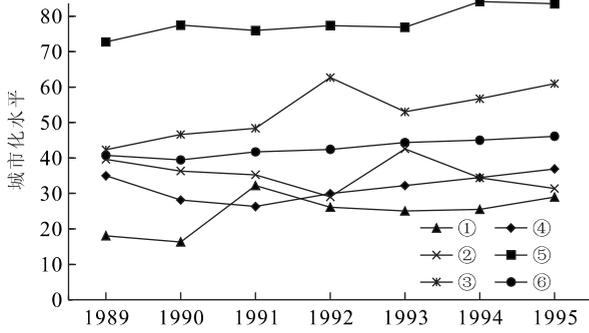


图 1 城市化水平一级指标评价价值及综合评价价值态势

Fig. 1 Assessment results of grade 1 indexes and comprehensive index of urbanization level

①地域景观(权重 0.19);②生活方式(权重 0.23);③环境状态(权重 0.15);④经济(权重 0.25);⑤人口(权重 0.18);⑥综合值

制约城市化水平提高的主要因素为经济、地域景观、生活方式城市化,它们的权重最高,但其评价价值却较低,这也是石家庄市处于城市化初级发展阶段的根本原因。因此,要加快城市化进程,应重点加强以上 3 方面,尤其是经济和生活方式城市化。值得强调,水是一种特殊资源,不能过度消费。城市供水作为权重较大的生活方式城市化指标,其分值最高(1989 年、1993 年人均生活用水量接近标准值 46 m^3);但后来过度用水使其分值降低,尤其 1995 年人均生活用水量为标准值的 2.3 倍,其分值陡降至 0。另外,加大节水力度,对改善石家庄市水资源短缺现状来说尤为重要。

2 石家庄地下水水质演化规律

石家庄市位于天然地下水资源十分丰富的滹沱河冲洪积平原中上部,地下水是其长期以来几乎唯一的城市供水水源。随着城市化进程的加快,地下水长期处于超采状态,水资源的供需矛盾日益突出,区内相继出现了一系列地下水环境问题,其中,地下水超采与盐污染为其两大主要问题,这两大问题严重阻碍着石家庄市的发展与经济腾飞。

2.1 地下水主要污染组分及污染态势

于开宁等^[12]研究表明,区内地下水污染组分可分为两大类,即有毒组分(酚、氰化物、 Cr^{6+})和盐污染组分(总固溶物、硬度、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 NO_3^- 等);二者在区内的表现不一,有毒组分污染普遍减轻,盐污染则逐年加重。由常规组分浓度升高引起的盐污染构成了目前乃至今后石家庄市地下水环境污染的主要

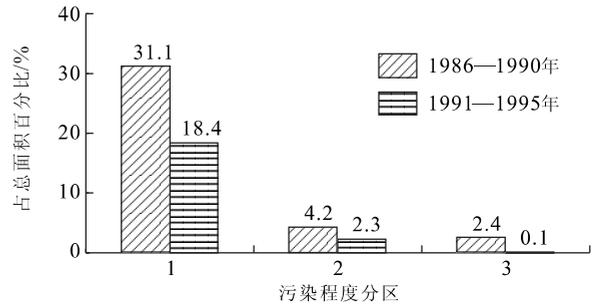


图 2 地下水污染程度及其趋势

Fig. 2 Degree and trend of groundwater pollution

1. 轻污染($1 \leq$ 综合污染指数 < 2); 2. 中等污染($2 \leq$ 综合污染指数 < 5); 3. 重污染(综合污染指数 ≥ 5)

问题,尤其是 NO_3^- 浓度和硬度升高。

本次根据 1986—1990 年、1991—1995 年石家庄市地下水环境监测报告成果进行地下水水质趋势分析,报告中选取酚、氰化物、 Cr^{6+} 和总固溶物、硬度、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 NO_3^- 等作为评价因子,对地下水污染程度进行了评价(图 2)。从图 2 中看出,1986—1995 年间,区内地下水污染区(包括轻污染区、中等污染区、重污染区等)面积皆逐年减小,并且其污染程度也在降低(重污染区面积百分比减小最大,为 50%),这充分说明石家庄市地下水水质在逐步改善。

2.2 地下水污染机理

地下水有毒组分的污染原因比较简单,主要由城市工业排放含酚、氰化物及铬等有毒组分的废水直接渗入引起;污染程度主要取决于污染源、包气带厚度、岩性及污染液运移形式等。地下水有毒组分逐年下降,主要与政府加大污染源综合治理和污水处理力度有关。此外,地下水开采也影响有毒组分的污染。在地下水位降落漏斗内,包气带厚度增大,污染途径加长,使其有毒组分的污染减轻。

研究表明,地下水盐污染主要由 NO_3^- 污染和硬度升高造成,二者间存在密切联系,阳离子交换、硝化作用是导致地下水 NO_3^- 污染和硬度升高的重要机制^[12,13]。地下水超采是石家庄市盐污染的重要诱发因素。一方面,它加速污染源中盐污染组分由高值区向低值区扩展,扩大了盐污染的范围;另一方面,由其形成的水位降落漏斗,改变了水文地球化学环境,使污染载体与包气带和含水围岩之间发生一系列水文地球化学作用,尤其形成了间歇入渗条件下水土系统中的 NO_3^- -N 转化迁移和硬度升高,导致盐污染进一步加剧。因此,石家庄市地下水盐污染逐年加重,主要与地下水超采和污水排放有关。全区面

积最大的重盐污染区正分布在市政排水汇集区,也是老污灌区,同时也处于水位降落漏斗区域内。

3 城市化对石家庄地下水水质的影响机理

地下水水质随城市化进程而得到改善,正是发展城市化的根本所在。城市化过程中,人们越来越重视环境保护和治理,极力使环境质量处于良好状态。尽管石家庄市污水处理率比较低,其指标分值为 3.80~14.00,但却呈逐年增大之势,且 1994 年、1995 年由此前的 4.22 以下陡增至 12.20,14.00,使地下水有毒组分污染普遍减轻,其超饮用水标准率为 0。相反,石家庄市的城市供水总体较好(其分值最高为 98.48),但其趋势却逐年降低,1995 年则为 0(年人均生活用水量达 106.8 m³/人,为标准值的 2.3 倍),这与过量开采地下水密切相关;而地下水超采导致了地下水盐污染逐年加重。因此,随着城市化水平的提高,石家庄市地下水有毒组分污染普遍减轻,而地下水盐污染逐年加重。综合以上城市化与地下水水质之间的相互作用关系,可建立城市化对地下水水质的影响机理框图(图 3)。

4 城市化影响地下水水质的效应分析

城市化影响地下水水质有正负两方面的效应。正效应表现在随城市化水平的提高,重视污水处理,减少污水排放量,改善了地下水水质;负效应体现在排污系统产生的各种渗漏和固体废弃物的淋滤渗漏污染地下水以及过量开采地下水导致盐污染,使地

下水水质恶化。以上两效应的共同作用结果,决定了城市化对地下水水质的最终影响。

石家庄市地下水盐污染随城市化进程而加剧,只反映了城市化影响地下水水质的负效应,但不是必然结果。城市化发展扩大了水的需求,并不意味着盲目增加人均用水量。因为水是一种特殊资源,不能过度消费。人均生活用水量只有接近标准值(46 m³/人),其评价指标的分值才能保持较高水准。这要求加大节水力度,提高水的利用率。这样,由地下水超采导致的盐污染就会得到控制,使地下水水质得到改善。相反,如果盲目开采地下水资源以满足城市化发展对水的需求,不仅会加剧对地下水环境的破坏,还会降低城市化指标的分值。城市化发展是否导致盐污染加剧,取决于地下水资源是否合理开发利用。故加大节水力度、控制地下水开采对石家庄这样以地下水作为主要、甚至唯一供水水源的城市来说尤为重要。它既可提高城市化水平,又能缓解地下水环境问题。可见“地下水盐污染是城市化发展的必然结果”的观点^[4]是片面的。

减轻城市化影响地下水水质的负效应、增强正效应是实施其可持续发展的根本途径。

本文承蒙沈照理教授审阅,并提出修改意见,谨此致谢!

参考文献:

- [1] 潘懋,李铁锋. 灾害地质学 [M]. 北京:北京大学出版社, 2002.
- PAN M, LI T F. Hazard geology [M]. Beijing: Beijing University Press, 2002.
- [2] Morris B L, Lawrence A R, Stuart M E. The impact of urbanization on groundwater quality. British Geological Survey Technical Report [R]. 1995.
- [3] Thomson J A M, Foster S S D. Effects of urbanization on groundwater in limestone islands; an analysis of the Bermuda case [J]. Journal of the Institution of Water and Environmental Scientists, 1986, 40: 527—540.
- [4] BGS, SAGUAPAC. Impact of urbanization on groundwater: Santa Cruz, Bolivia, Final Report [R]. 1994.
- [5] BGS, FIUADY, CAN. Impact of urbanization on groundwater: Merida, Mexico. Final Report [R]. 1994.
- [6] BGS, MOPH. Impact of urbanization on groundwater: Hat Yai, Thailand, Final Report [R]. 1994.
- [7] Trafford J M, Talbot J, Gomez A. The effect of rapid urbanization on the groundwater quality of the karstic

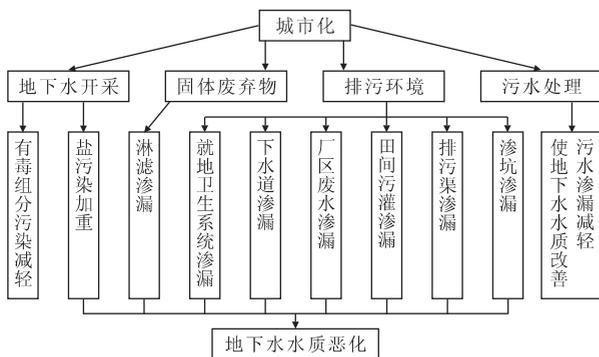


图 3 城市化对地下水水质的影响机理框图

Fig. 3 Frame-figure for the impact mechanisms of urbanization on groundwater quality

- limestone aquifer underlying the city of Merida, Yucatan [R]. 1994.
- [8] Williams A T. Possible contamination of public supply wells as result of urbanization on a karst aquifer; numeric modeling of the Merida region, Mexico [R]. 1994.
- [9] Boonyakarnkul T, Lawrence A R, Chanvaivit S. Impact of urbanization on groundwater in Hat Yai, Thailand [A]. National conference on geological resources of Thailand; potential for future development [C]. [s. l.]: [s. n.], 1992.
- [10] 王裕德. 试论城市水文效应及城市水环境 [J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 1995, 14(2): 34—39.
WANG Y D. A discussion on urban hydro-effect and water environment [J]. Journal of Guizhou Normal University (Natural Science Edition), 1995, 14(2): 34—39.
- [11] 都沁军, 于开宁. 城市化水平评价的指标体系研究 [J]. 统计与决策, 2001, 135(3): 21.
DU Q J, YU K N. A study on the index system of urbanization level evaluation [J]. Statistic and Decision-making, 2001, 135(3): 21.
- [12] 于开宁, 郝爱兵, 李铎, 等. 石家庄市地下水盐污染的分布及污染机理 [J]. 地学前缘, 2001, 8(1): 151—154.
YU K N, HAO A B, LI D, et al. Distribution and mechanism of groundwater salt pollution in Shijiazhuang [J]. Earth Science Frontiers, 2001, 8(1): 151—154.
- [13] 于开宁, 陈京生, 葛正林. 石家庄市地下水盐污染评价——双权均值法 [J]. 地球学报, 2000, 21(2): 221—226.
YU K N, CHEN J S, GE Z L. Double-weighted average method used in the assessment of groundwater salt pollution in Shijiazhuang [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2000, 21(2): 221—226.
- [14] 沈照理, 朱宛华, 钟佐燊. 水文地球化学基础 [M]. 北京: 地质出版社, 1999.
SHEN Z L, ZHU W H, ZHONG Z S. Fundamentals of hydrogeochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999.

Positive and Negative Effects of Urbanization on Groundwater Quality

YU Kai-ning^{1,2}, WAN Li², DU Qin-jun¹

(1. Department of Resources and Environment, Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, China; 2. College of Water Resources and Environment, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: This paper discusses the impact mechanisms and positive-negative effects of urbanization on groundwater quality based on a three-year study in Shijiazhuang by quantitative calculation and analysis of urbanization level and groundwater pollution. The results show that growth of urbanization is helpful to improve the groundwater quality, but may easily result in salt pollution. It puts forward a kind of theory and a radical way of sustainable development for those cities, dependent on groundwater for their main, or even all, water supply.

Key words: urbanization; groundwater quality; impact mechanism; positive and negative effect; Shijiazhuang city.