

济南泉域岩溶水质演变及其对人类活动的响应

路洪海¹, 章 程²

(1. 聊城大学 环境与规划学院, 山东 聊城 252059; 2. 中国地质科学院 岩溶地质研究所, 广西 桂林 541004)

摘 要:地下水是岩溶地区水资源的重要赋存形式,也是岩溶地区经济发展的重要支撑点。由于岩溶含水层的本质脆弱性,岩溶水资源在人类活动胁迫下极易蜕变。以 20 世纪 50 年代末的地下水化学状况为背景值,结合近 20 a 的水质监测资料,分析了济南泉域岩溶水质演化与人类活动的关系。结果显示:近 20 a 来,地下水水质总体呈恶化趋势,水质的区域性、阶段性变化与人类活动强度密切相关,东郊岩溶水质最差,且无污染物增长幅度明显高于市区和西郊。伴随土地利用方式的改变和人类活动强度的空间变化,地下水水质从间接补给区、直接补给区到泉水排泄区,单项污染指数和综合污染指数依次升高;具有典型代表性的泉域东部大辛河流域,从上游、中游到下游,地下水污染物的浓度也渐次升高,且愈往下游污染物浓度增幅愈大,显示出与土地利用方式和人类活动的密切相关性。因此优化调整土地利用结构,减少人类活动对地下水的污染,对岩溶水资源的可持续利用和济南“泉城”景观的保护有重要意义。

关键词:水质演变;岩溶含水层;济南泉域

中图分类号: P641.8

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)06-0238-03

The Variations of Groundwater Quality and Its Relationship with Human Activity

LU Hong-hai¹, ZHANG Cheng²

(1. Environment and Planning College of Liaocheng University, Liaocheng, Shandong 252059, China;

2. Institute of Karst Geology, Chinese Geological Academy, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract: The groundwater is the main water resources in karst areas. It is also one of the most important basic aspects in supporting the social economic development. The groundwater quality is affected by human activity to a large extent due to its intrinsic vulnerability. Based on more than 20 years' hydrochemical data, taking Ji'nan spring basin as an example, the variations of groundwater chemistry and its relationship with human activity are analyzed. The results show that the groundwater has been deteriorated during the past 20 years. The groundwater quality varies not only in different areas but also in different time under the pressure of human activity. The groundwater quality in the east suburb is worse than that of the west and the centre and is deteriorating more rapidly. With the land use change and the enhancement of human activity, the groundwater pollution index rises from the indirect recharge area via the direct recharge area to the discharge area. The same variation happens from upper reaches to lower reaches in Daxin river basin, a typical karst area in the east of Ji'nan spring basin where the patterns of land use and human activity changes apparently. There is a close relationship between the groundwater and land use change and human activity. Therefore it is necessary to rearrange the patterns of land use and prevent the groundwater from polluting caused by unreasonable human activity in order to realize the sustainable utilization of karst water resources and to protect the famous spring-scape in Ji'nan.

Key words: the variations of groundwater quality; the karst aquifers; Ji'nan spring basin

由于强烈的岩溶作用和岩溶地区特有的地下、地表“双层空间”结构的存在,岩溶地区“三水”转化迅速,地下水成为水资源的重要赋存形式^[1],在我国北方半干旱温带岩溶区则常常形成岩溶大泉^[2],成为当地重要的饮用水源和景观资源。作为北方典型的岩溶泉域,济南诸泉 20 世纪 70 年代以来的持续断流引起了人们的广泛关注^[3-5],同时由于岩溶含水层的本质脆弱性,不合理的人类活动极易导致岩溶水资源的蜕变^[6],进一步研究岩溶水质演变及其对人类活动的响应,对于规范人类活动、加强岩溶水资源的保护有重要意义,同时也为基于岩溶水资源保护的土地利用结构调整提供重

要依据。本文结合近 20 a 的水化学资料,对济南泉域的水质演变与人类活动的关系进行了探讨。

1 泉域边界

济南泉域位于鲁中山地北缘和山前倾斜平原的交接地带,地势南高北低。泉域东、西分别以相对隔水的东梧断裂和马山断裂为界,南边界为济南、泰安交界处的地表分水岭,北以济南岩体岩浆体和石炭、二叠系煤系地层为界,面积 1 486 km²。区内地表河流主要有玉符河、北沙河、大辛河、小清河和黄河(图 1)。

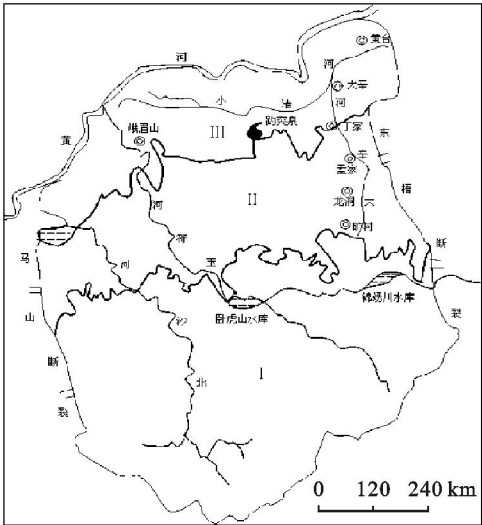


图 1 济南泉域分布

2 泉域水文地质概况

济南泉域位于泰山穹隆的北翼,总体上是一个以古生代地层为主体的向北倾斜的单斜构造。出露地层为太古界泰山岩群、古生界寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系和新生界第四系。泉域北部分布有燕山期中基性侵入岩体。泰山群变质岩构成区域基底,上覆寒武系灰岩与页岩互层,奥陶系中、下统厚层灰岩沿倾向方向按顺序正常出露,构成一平缓的单斜构造(图 2)。地下水补给主要是大气降水的直接入渗补给,其次为地表水渗漏补给,主要渗漏河为玉符河和北沙河。地下径流总体沿坡向、地层倾向向北运动,在市区及东西部受岩浆岩体及石炭、二叠系地层阻挡,在承压水作用下,地下水沿溶蚀裂隙、管道等上涌,形成诸泉。天然条件下地下水以泉的形式排泄,20 世纪 80 年代以来,人工开采成为地下水最主要的排泄方式^[7]。

3 岩溶含水层特征

济南泉域以寒武系凤山组、中下统奥陶系灰岩裂隙岩溶含水层为主,北部有部分含水岩组为第四系松散岩类,其中奥陶系裂隙岩溶含水层是本区工农业和城市生活用水的主要取水目的层。泉域内灰岩出露区地表溶蚀裂隙、溶沟、溶槽等广泛发育,又加上岩层倾角小,极有利于大气降水渗入和沟谷流水渗漏,该区天然水资源补给模数一般大于 20 m³/(a·km²),是全省岩溶水补给模数最大的地区^[8]。据钻孔资料和示踪试验^[9],含水层溶孔、溶洞、溶蚀裂隙、溶蚀管道等十分发育,地下连通性好,水力联系密切。地下水呈扇形交叉网络状结构展开,总体向北潜流,水力坡度在南部山区约为 1.5%~2.5%,由南向北和由东至西水力坡度逐渐减缓。由于地下水埋深较浅,地下、地表水力联系密切,岩溶含水层极易受地表状况的影响。

4 岩溶水质演变及其对人类活动的响应

岩溶含水层的本质脆弱性使地下水系统对人类活动表现出少有的敏感性,人类活动在很大程度上影响着地下水的水质、水量。岩溶含水层水质的变化能集中反映人类活动对岩溶含水层脆弱性的影响^[6]。

4.1 岩溶水质的多年演变趋势

20 世纪 50 年代末,济南地区人口少,社会经济尚不发达,“三废”排放污染少,岩溶地下水的开采量也小,水质处于

近天然状态,可以此时间水质资料作为地下水水质演变的背景值,来对比研究泉域内地下水水质在人类活动影响下多年演变趋势。在地下水化学监测指标中,Cl⁻、SO₄²⁻、NO₃⁻、总硬度、矿化度是反映地下水水质变化和是否受污染的重要指标^[10],现以峨眉山水厂、七里河与黄台电厂、趵突泉的水质监测资料为依据,分析岩溶水质多年演变趋势。

峨眉山水厂位于济南市西郊玉符河下游,区内人口密集,工业相对集中,汽总分厂、生建摩托车厂、山东水泥厂、长城炼油厂等成为重要的点状工业污染源。由图 3 可以看出,岩溶水各组分含量与 1959 年相比,呈明显上升趋势,但在 1990 年之前,增长相对较慢,1990 年之后增长迅速,1996 年达到最大值(NO₃⁻ 1997 年达到最大值),之后总体呈下降趋势,但与 1990 年之前相比,仍呈上升趋势。

西郊水源地位于党家庄工业区,1990 年以后,工业、企业增长迅速,“三废”排放量也迅速增长,成为地下水水质污染的一个重要原因,党家庄镇周边采石场密布,灰岩的大量开采和生态环境的破坏也是水质变化的一个重要原因^[11-12]。1996 年以后,西郊水厂地下水实行限量开采,各离子的浓度相应降低。

趵突泉位于市区中心泉域排泄区,水质不仅受市区人类活动的影响,也受制于南部、西南部补给区的来水质量,此外北部由于岩浆岩体的阻挡,地下径流受阻,污染物质相对富集,导致水质恶化。由图 4 可以看出,各组分含量总体呈上升趋势,1990 年和 1994 年是丰水年,由于稀释作用,增长幅度有所减缓。1986 年以前,泉水 Cl⁻ 含量大于 SO₄²⁻,市区地下水污染以生活污水污染为主;1986 年以后,SO₄²⁻ 含量和增长幅度明显大于 Cl⁻,地下水污染转向以工业废水污染为主。

七里河与黄台电厂位于东郊工业区,区内冶金、煤炭、石化、钢铁、化工等重工业密集,黄台电厂是全省最大的电厂之一。本区是工业与生活用水集中区,地下水开采量大,部分地段已形成多年降落漏斗,引起区域地下水动力条件和地下水氧化还原环境的改变,加剧了地下水的污染。由图 5 可以看出,地下水各组分含量总体呈不断上升趋势,且增幅远大于西郊和市区,20 世纪 80 年代后期 Cl⁻、SO₄²⁻、NO₃⁻ 浓度的快速增长与本区工业的快速发展密切相关,水质恶化趋势明显。

表 1 大辛河流域地下水水质空间变化 mg/L

采样点	矿村	龙洞庄	孟家庄	丁家庄	大辛庄
TOC	<0.5	<0.5	4.05	14.7	16.5
总硬度	267	278	348	388	332
NO ₃ ⁻	1.53	1.83	2.19	3.41	5.66
SO ₄ ²⁻	41.3	43.9	39.0	43.5	51.5

4.2 岩溶水质的空间变化

济南泉域从南往北可分为: 间接补给区; 直接补给区; 泉水排泄区(图 1)。间接补给区以农业活动为主,属人类活动弱作用区;直接补给区靠近市区,人口密度较大,经济活动强度比间接补给区明显增加,属人类活动较强作用区;泉水排泄区位于市区中心,人口密度大,经济活动强度高,属人类活动强作用区。不同强度人类活动影响下地下水水质的空间变化在一定程度上可以代替时间上的变化^[13],反映出地下水水质演变对人类活动的响应。对间接补给区 12 个采样点、直接补给区 15 个采样点和泉水排泄区 8 个采样点污染指数的计算结果表明(图 6):地下水污染指数从直接补

给区、间接补给区到泉水排泄区明显增高,人类活动强烈区地下水污染明显重于弱作用区。

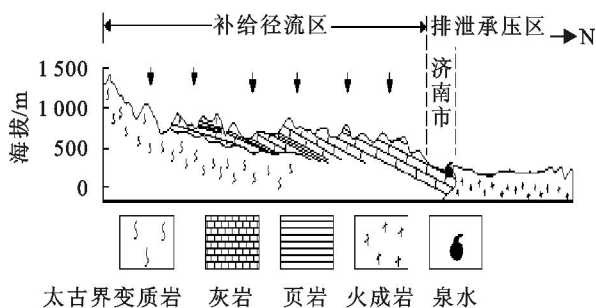


图 2 济南泉域水文地质剖面

济南泉域东部大辛河流域土地利用方式和人类活动强

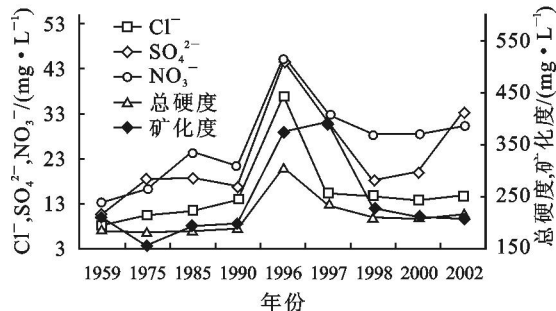


图 3 峨眉山水厂地下水化学变化

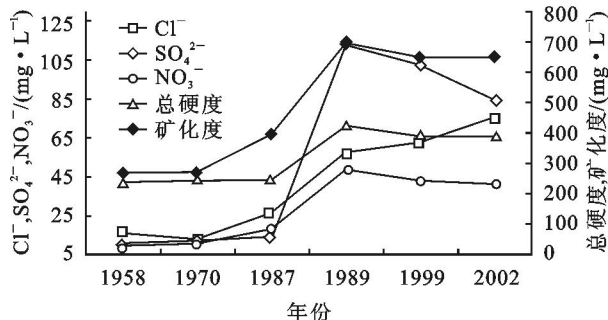


图 5 七里河与黄台电厂水化学变化

5 结 语

伴随土地利用方式的改变和人类活动的加强,济南泉域岩溶水质在空间和时间上都发生了明显变化,人类活动强烈区,水质恶化明显。济南泉域水质演变除受含水层本质脆弱性影响外,人类活动加强无疑是地下水水质恶化的最重要因素,因此优化调整泉域补给区土地利用方式,合理确定地下水开采量,保证岩溶水资源有效补给,同时进一步规范人类活动,减少人类活动对地下水的污染,是岩溶水资源可持续发展的保证,对济南“泉城”景观资源保护也具有重要意义。

参考文献:

[1] 袁道先,蔡桂鸿.岩溶环境学[M].重庆:重庆出版社,1985.
[2] 袁道先.中国岩溶学[M].北京:地质出版社,1993.
[3] 陈振鹏.济南保泉供水研究[J].中国岩溶,1985,4(2):22-29.
[4] 李传谟,赵新华.济南岩溶水资源的分析与泉水名胜的保护[J].中国岩溶,1985,4(2):31-39.
[5] 张宝祥,孙学懂,刘青勇.济南泉群断流的成因与对策探悉[J].地下水,2003,25(1):6-9.

度的空间变化具有很好的代表性。大辛河发源于矿村,流经龙洞庄、孟家庄、丁家庄,至大辛庄入小清河,全长 22 km(图 1),从矿村到龙洞庄区域是济南市的风景名胜,自然生态环境基本未受破坏;龙洞至孟家村区域以种植业为主,采石和烧石灰对生态环境造成了一定的破坏;丁家庄至大辛庄是济南市东郊工业集中区,农业除种植业外,畜禽养殖业也较为发达,人类活动强烈。流域地下水水质从矿村到大辛庄变化明显(表 1)。

上游到下游,随着土地利用方式的改变和人类活动的增强,地下水中 TOC、总硬度、NO₃⁻ 含量逐渐升高,大辛庄水质恶化更加明显,TOC、NO₃⁻ 含量分别是矿村的 33 倍和 3.7 倍,同时还检出多种有机污染物,大肠杆菌和细菌总数超标。工业废水和畜禽养殖场粪便污水入渗已对地下水水质构成严重威胁。

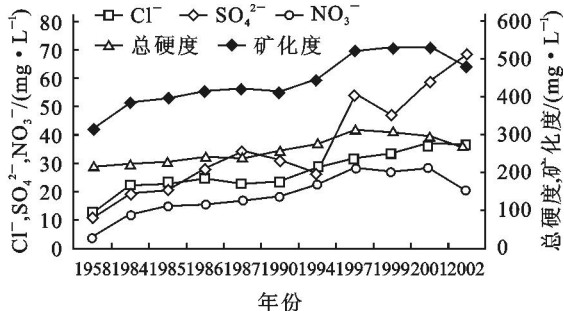


图 4 趵突泉水化学变化

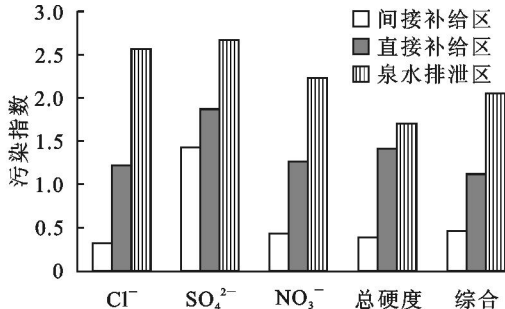


图 6 济南泉域地下水污染指数空间变化

[6] David D, Heinz H. Karst hydrogeology and human activities [M]. Poland: Wydawnictwo Uniwersytetu Slaskiegoul, 1998:31-37.
[7] 山东省地矿工程勘察院.山东省济南市保泉供水水文地质勘探报告[R].1989.
[8] 山东省地矿工程勘察院.山东省环境地质图集[M].济南:山东省地图出版社,1996:41-43.
[9] 济南保泉课题组.济南泉水来源试验研究[R].1996.
[10] 沈照理,朱宛华,钟佐.水文地球化学基础[M].北京:地质出版社,1993.
[11] Ekmekci M. Impact of quarries on karst groundwater systems[M]// Gunay G. Hydrogeological Processes in Karst Terrains. IAHS Publ., 1993,207:3-6.
[12] Wicks C, Groves C. Acidic mine drainage in carbonate terrains: geochemical processes and rates of calcite dissolution [J]. Journal of Hydrology, 1993, 146:13-27.
[13] 刘新华,傅家谟,沈照理,等.油类污染过程中地下水地球化学环境的变化:以山东省淄博市某地下水水源地为例[J].地球化学,1996,25(4):331-338.