

泰安城市高速发展背景下地下水环境退化研究

王滨^{1,2,3}, 朱振亚¹, 蔺文静³, 陈立³, 张发旺³

(1. 石家庄经济学院 工程学院, 河北 石家庄 050031; 2. 河北省水资源可持续利用与开发重点实验室, 河北 石家庄 050031; 3. 中国地质科学院 水文地质环境地质研究所, 河北 石家庄 050061)

摘要: 20世纪80年代以后, 中国城市进入快速发展时期, 地下水资源处于长期大量开采的境况。泰安市城市供水量的60%源于地下水, 随着泰安市的高速发展, 地下水环境演化呈现逐年退化的态势, 主要表现为地下水动力场退化, 地下水水质污染和地质灾害负环境效应三个方面。研究表明, 泰安城市高速发展的各项指标与地下水环境退化的各项指标之间具有显著的线性相关性, 二者的拟合曲线和拟合函数也表明城市高速发展对地下水环境退化起着明显的驱动作用。

关键词: 城市高速发展; 地下水环境退化; 泰安市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)01-0210-04

中图分类号: X141

Groundwater Environmental Degradation Under High-speed Development of Tai'an City

WANG Bin^{1,2,3}, ZHU Zhen-ya¹, LIN Wen-jing³, CHEN Li³, ZHANG Fa-wang³

(1. Engineering College, Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang, Hebei 050031, China;

2. Key Lab of Sustainable Utilization and Exploitation of Water Resources of Hebei Province, Shijiazhuang,

Hebei 050031, China; 3. Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, GAGS, Shijiazhuang, Hebei 050061, China)

Abstract: Most of cities in China have developed with a high speed since 1980s and more and more groundwater resources are over-pumped every year. Because 60% of water sources are groundwater in Tai'an City, the degradation of the city's groundwater environment occurs with the high-speed development, including degradation of groundwater dynamic force field, groundwater pollution, and geological hazards. Research results show that there is a significant correlation between city's high-speed development indexes and groundwater environment degradation indexes. Meanwhile, the fitting curve and fitting function also indicate that there are some obviously driving actions to the degradation of groundwater environment caused by city's high-speed development.

Keywords: city's high-speed development; degradation of groundwater environment; Tai'an City

泰安市位于山东省中南部, 交通发达, 旅游资源优越, 自20世纪70年代末期, 泰安市进入高速发展时期, 城市人口密度不断增加, GDP呈现持续上升的高速发展势头(如图1)。随着泰安市城市的高速扩展, 资源被大量消耗, 环境污染和恶化现象日益加重, 尤其是地下水资源被大量开采(如图1), 导致地下水环境呈现逐年退化态势。泰安市城市工农业用水60%以上源于地下水, 地下水主要由第四系浅层松散岩类孔隙潜水和深层碳酸盐岩类承压岩溶水组成。20世纪70年代以后, 城市供水由第四系孔隙潜水为主转为深层岩溶水为主, 主要供水水源地有泰安城区水源地、旧县水源地和东武水源地。

城区水源地启用于20世纪70年代初, 1980年后地下水开采量大大超出了地下水环境承受能力, 地下水位开始急速下降, 降落漏斗逐年扩张, 地下水水质出现恶化, 地面塌陷和地裂缝等地质灾害开始频繁发生。旧县水源地和东武水源地的地下水环境也同样经历了这样一个随城市高速发展而逐渐退化的态势。地下水环境的这些退化态势已经严重影响了当地工农业的生产发展和居民的生命财产安全, 成为城市进一步发展的重要障碍。因此, 研究城市高速发展背景下的泰安市地下水环境退化态势和退化原因, 对于科学合理利用地下水资源, 保证城市快速发展和地下水环境的有序协调和可持续发展具有重要意义。

收稿日期: 2009-05-07

修回日期: 2009-08-28

资助项目: 国土资源部公益性行业科研专项经费项目资助(200811072)

作者简介: 王滨(1974—), 男(汉族), 山东省阳谷县人, 副教授, 主要从事地质环境及地质灾害方面的研究工作。E-mail: 2020wb@163.com.

通信作者: 张发旺(1965—), 男(汉族), 河北省深州市人, 研究员, 从事水文地质、矿山环境地质方面的研究工作。E-mail: fawangzhang@sina.com.

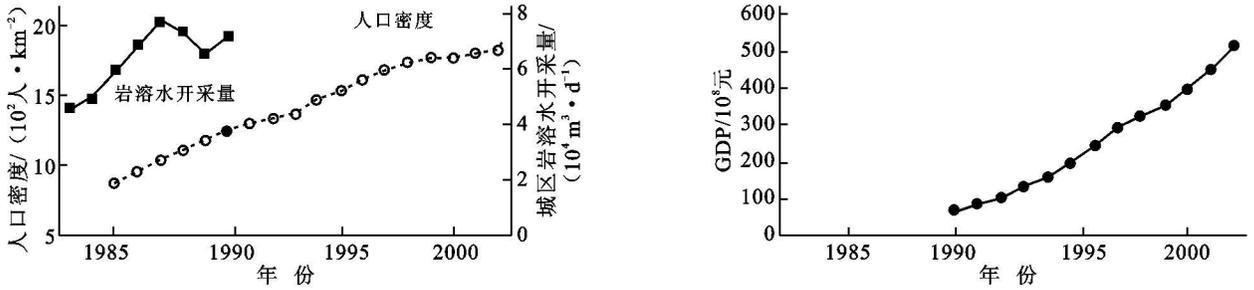


图 1 泰安市城市人口密度、GDP 与岩溶水开采量对比曲线

1 城市高速发展时期泰安市地下水环境退化态势

在城市高速发展的驱动下,泰安市地下水资源需求量逐年增加,地下水环境原有的天然演化平衡状态被打破,呈现总体退化态势,局部出现恶化现象,主要表现为地下水动力场退化,地下水水质污染和地质灾害负环境效应三方面。

1.1 地下水动力场退化

地下水资源的过度开采和城市高速发展形成的土地覆被变化(建成区面积增大,表部土体不透水面积增加)导致降雨对地下水的渗透补给量的降低,加速了地下水补径排条件的分异,造成地下水动力场的退化,主要表现在地下水位下降,地下水降落漏斗扩展,含水层系统变化和地下水流场分异等 4 个方面。

泰安市城区水源地自 20 世纪 70 年代中后期以来地下水位呈现逐年下降态势;旧县水源地自 1982 年启用后地下水位便开始急速下降;东武水源地启用于 20 世纪 90 年代初,地下水也呈现缓慢下降态势(如图 2),1994 年开始对城区水源地实行限采,地下水位明显出现恢复现象,但仍难以恢复至开采前的天然状态。

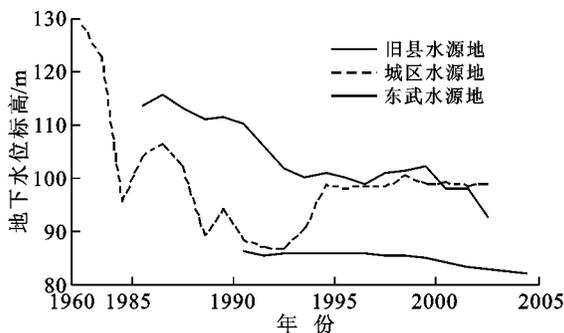


图 2 泰安市各水源地地下水多年水位波动曲线

地下水位的大幅度下降直接导致了城区和旧县两大地下水降落漏斗^[1]的形成。城区水源地于 20 世纪 70 年代初期启用^[2,3],最初开采量为 6.5×10^7 m³/d,70 年代中期开采量达 1.3×10^4 m³/d,地下水降落漏斗开始形成,80 年代平均开采量上升为 5.5×10^4 m³/d,最

大为 8.0×10^4 m³/d,为允许开采量的 1.9 倍。90 年代之后,开采量基本控制在 4.5×10^4 m³/d。因此 20 世纪 70 年代中期为城区降落漏斗形成期,20 世纪 80 年代是降落漏斗快速发展阶段,年扩展速度为 2.4 km²,1994 年地下水限采后为降落漏斗相对稳定期。

旧县水源地启用初期开采量小于 3.0×10^4 m³/d,80 年代末增至 4×10^4 m³/d,90 年代最大开采量达 1.0×10^4 m³/d,为允许开采量的 2.8 倍。降落漏斗自 1985 年形成^[2],至 1993 年已快速扩展至 20 km²,年扩展速度为 2.25 km²,之后扩展速度减缓为每年 1.15 km²,至 2000 年漏斗总面积扩展到 28 km²。

地下水位下降和降落漏斗的产生,导致第四系浅层潜水被疏干,岩溶水的承压性也随之消失变为无压水,岩溶水顶托向第四系孔隙水排泄的水动力条件也转变为第四系孔隙水垂向补给下伏岩溶水的状态,岩溶水与上层孔隙潜水间的水力梯度增大,加上岩溶塌陷与地裂缝的存在,覆盖层黏土及粉质黏土等弱透水层由隔水状态演变为透水层,开采目的层由封闭状态向敞开状态演化,含水系统由半敞开状态向全敞开状态演化^[3]。

地下水降落漏斗的形成还直接导致地下水流场的分异^[2],补径排条件及补径排区域相应变动,径流途径变短,原有的天然排泄区消失或发生季节性变动,出现统一的水流场被若干小型水流场所替代的现象。以宅子和上高为分水岭,泰安市形成城区和旧县 2 个独立的以降落漏斗为中心的地下水流场,径流途径由天然状态下泰山山前流向汶河演化为从降落漏斗外围向中心部位的辐射状流动方式。

1.2 地下水水质污染

城市高速发展直接导致“三废”排放量的大大增加,地表水体最先被污染。泰安市为覆盖型岩溶发育区,上覆第四系松散层厚度一般小于 20 m,盖层内土洞和岩溶裂隙极为发育。根据山东省第一地质矿产勘查院的物探结果^[4],仅在东羊娄村面积约 0.25 km² 的范围内就追索发现岩溶洞穴 25 个,推测土洞 11 个,加上岩溶塌陷、地裂缝等地质灾害形成的地表水与地下水之间的天然联系通道,增大了地表水对地

下水的补给力度,加速了地表污染水体对地下水的污染。研究表明,20世纪80年代以后,泰安市地下水已遭受严重污染,地下水宏量组分升高, NO_3^- 污染以及TDS、总硬度和矿化度的迅速上升是地下水污染的主要标志^[3]。

1960年以来,泰安市岩溶水中各常规组分含量均表现出上升的趋势。1960年泰安城区水源地岩溶水的水化学类型为 HCO_3-Ca 型水,1983年转变为 $\text{HCO}_3^\circ\text{Cl}-\text{Ca}$ 型水,1999年演化为 $\text{HCO}_3^\circ\text{Cl}-\text{Ca}^\circ\text{Na}$ 型水^[5],岩溶水的TDS和总硬度也呈逐年上升的态势,旧县水源地岩溶地下水的矿化度与总硬度也呈现出快速上升趋势(图3)。第四系孔隙潜水的的水质也呈现恶化趋势。如城区訾灌庄附近,潜水的TDS也由1960年248.3 mg/L上升至2000年的707.4 mg/L,总硬度由1960年113.0 mg/L上升至2000年的423.4 mg/L^[6]。

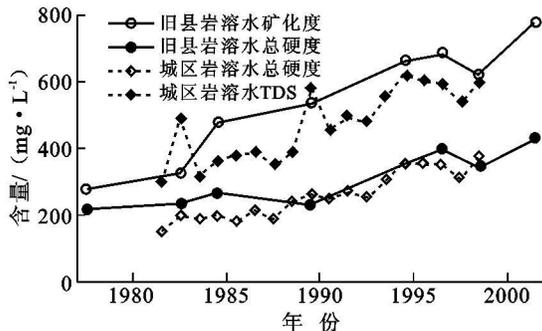


图3 泰安市岩溶地下水化学指标历年变化曲线

泰安市地下水氮污染是区内地下水水质污染最为严重的现象^[3,9],城区水源地岩溶水 NO_3^- 含量在1999年已经达到125 mg/L,旧县水源地岩溶水中 NO_3^- 含量从1983年的6.4 mg/L快速上升为1999年的78.1 mg/L,其它如 Cl^- 和 SO_4^{2-} 等离子的含量也同样呈现出快速上升的趋势(如图4)。泰安城区及近郊区岩溶水总面积187 km²,其中重污染区面积已达43 km²,中污染区面积达66 km²,地下水污染情况极为严重^[3,7]。

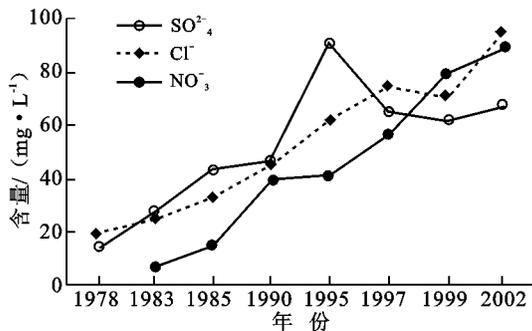


图4 泰安市旧县水源地岩溶地下水各离子含量变化曲线

1.3 地质灾害负环境效应

随着地下水环境的退化,暴发出一系列的负环境

效应,表现在泰安市主要为城区水源地和旧县水源地降落漏斗范围内岩溶塌陷地质灾害的频发。

20世纪70年代中期,城区水源地降落漏斗中心的化肥厂等地首先开始出现地面裂缝,1977年在旧镇陆续出现地面塌陷,之后地面塌陷、地面裂缝逐渐加重,范围也在不断扩大,至今已在岱道庵、訾灌庄等地出现岩溶地面塌陷134处^[4]。

旧县水源地自1988年岩溶塌陷开始频繁发生,塌陷范围逐渐扩展到南、北许家埠,东西苑庄,圣元官庄及西羊娄、东羊娄等9个自然村,近15 km²,造成塌陷40多处^[4](表1)。2003年5月31日凌晨,省庄镇东羊娄村以东300 m的麦田里突发罕见特大型岩溶地面塌陷^[8,9],塌坑剖面呈漏斗状,平面为椭圆形,东西长35 m,南北宽27 m,坑深24 m,面积达750 m²,随后塌坑周围又出现5个点状塌陷坑。2006年2月13日凌晨,该村再次出现2个面积分别为28.9 m²和30 m²的塌陷坑。

频发的岩溶塌陷地质灾害已经严重影响了泰安城市的快速和谐发展,成为经济发展的重要障碍,如津浦铁路三角区岩溶塌陷治理费用达3000多万元,旧县水源地周围危房比例高达20%以上,旧县新村和东西羊娄等多个村庄被迫搬迁^[9]。岩溶塌陷还损害生态环境,导致严重的水土流失现象,破坏地表植被,造成土壤退化,加剧塌陷区周围地下水资源的污染和恶化,塌陷坑点状灌注式污染模式和污灌水面状垂直渗透式污染模式成为岩溶塌陷区典型的地下水污染模式^[9],1994年在省庄镇许家埠村就发生地表污水通过塌陷洞穴直接灌入岩溶含水层而严重污染岩溶水的事件^[11]。

2 城市高速发展与地下水环境退化的驱动关系分析

城市高速发展的驱动是泰安市地下水环境退化的根本原因。20世纪80年代以后,中国城市化进程经历了资源消耗和环境污染的粗放型高速增长模式,城市的高速发展以资源的消耗与环境的污染和破坏为代价。对1987年至1999年泰安市GDP、泰山区人口密度与旧县水源地的地下水位埋深、地下水降落漏斗面积、 NO_3^- 含量、总硬度等数据(表1)^[5]进行相关性分析。计算各组数据之间的相关系数 r 如表2所示。选择显著水平 $\alpha=0.05$,得到样本数 $n=10$ 和 $n=13$ 两种情况下的对比值 $r_{0.05}$ 分别为0.632和0.553,与表2的相关系数计算值进行对比发现,相关系数计算值均大于对比值,说明城市高速发展的各项指标与地下水环境退化的各项指标呈显著线性相关性,这就强有力地说明城市高速发展对地下水环境的退化起着关键的驱动作用。

表 1 泰安城市发展与地下水环境退化历年相关数据统计

年份	地下水环境退化相关指标				泰安城市高速发展相关指标	
	地下水位埋深/m	降落漏斗面积/km ²	NO ₃ ⁻ 含量/(mg · L ⁻¹)	总硬度/(mg · L ⁻¹)	人口密度/(人 · km ⁻²)	GDP/10 ⁸ 元
1987	4.21	5.0	16.25	185.31	1 024	—
1988	6.57	6.0	20.00	191.40	1 102	—
1989	8.63	7.0	13.00	294.50	1 175	—
1990	8.12	9.0	40.00	222.00	1 230	71.48
1991	9.52	12.0	29.90	274.60	1 288	83.05
1992	13.61	15.0	32.00	295.00	1 320	100.24
1993	18.20	20.0	12.00	249.50	1 363	134.41
1994	19.70	22.0	40.00	349.00	1 452	156.75
1995	18.78	23.0	25.00	303.00	1 517	197.05
1996	19.53	23.5	68.80	359.40	1 597	241.25
1997	21.13	24.0	56.20	400.40	1 675	291.30
1998	18.94	25.0	78.00	348.30	1 723	322.14
1999	18.35	27.0	65.00	357.00	1 745	356.31

表 2 泰安城市高速发展与地下水环境退化指标相关系数计算表

指标	样本数	地下水位埋深	降落漏斗面积	NO ₃ ⁻ 含量	总硬度
人口密度	13	0.901	0.960	0.829	0.886
城市 GDP	10	0.728	0.892	0.771	0.803

进一步对旧县地下水位埋深和泰山区人口密度进行线性回归拟合, 得到拟合函数如下:

$$H = 0.02P - 13.5$$

式中: H ——地下水位埋深; P ——人口密度。

从线性拟合曲线和拟合函数可以更加明显的看出, 泰安市城市高速发展强力驱动着对地下水环境的退化。

3 结论

(1) 泰安市于 20 世纪 80 年代开始进入高速发展时期, 而同时泰安市地下水环境经历了逐渐退化的趋势, 其退化态势主要表现在三方面: 地下水动力场退化, 地下水水质污染和地质灾害负环境效应。

(2) 泰安市城市高速发展的各项指标与地下水环境的退化的各项指标具有显著的线性相关性, 线性拟合曲线也充分说明泰安城市高速发展对地下水环境退化有着明显的驱动作用。

(3) 要保证城市和地下水环境和谐可持续地快速发展, 必须制定科学合理的地下水资源开采和保护方案, 减少对地下水资源的干扰力度, 采取人工措施修复地下水环境, 研究基于地下水资源约束的城市快速发展方案, 健全各项水资源利用和保护的法规, 充分保障地下水环境的可持续发展。

[参 考 文 献]

- [1] 刘立才, 陈鸿汉, 马振民, 等. 泰安市岩溶水环境系统模拟分析[J]. 水利学报, 2003(2): 107-111.
- [2] 马振民, 段琪庆, 刘赠夕. 泰安岩溶水系统地下水动力环境演化规律研究[J]. 济南大学学报: 自然科学版, 2003, 17(1): 1-3.
- [3] 马振民, 石冰, 高宗军. 泰安市地下水污染现状与成因分析[J]. 山东地质, 2002, 18(2): 24-28.
- [4] 王明媚. 泰安市岩溶塌陷机理及监测预报研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2006: 26-28.
- [5] 马振民, 刘立才, 陈鸿汉, 等. 山东泰安岩溶水系统地下水化学环境演化[J]. 现代地质, 2002, 16(4): 423-428.
- [6] 胡戈. 泰安市地下水资源可持续利用研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2004: 27-31.
- [7] 张慧敏, 吴希龙. 泰安市地下水开发利用中的水环境问题及对策[J]. 山东水利, 2005(6): 19-20.
- [8] 高宗军, 张富中, 鲁峰. 山东泰安岩溶地面塌陷前兆及其预测预报[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004, 15(3): 149-150.
- [9] 张广安, 鲁峰, 渠涛, 等. 泰安市泰山区岩溶塌陷成因分析及防治措施[J]. 山东国土资源, 2007, 23(10): 31-33.
- [10] 王滨, 陈立, 王新宝, 等. 岩溶塌陷诱发水土资源退化模式研究[J]. 中国水土保持, 2009(7): 13-15.
- [11] 高宗军, 孙文广, 唐蒙生, 等. 泰安—旧县水源区岩溶水开采与地质环境的关系[J]. 山东地质, 2001, 17(3/4): 86-91.