

城市化对地下水补给的影响

——以石家庄市为例

于开宁

(石家庄经济学院资源与环境工程系)

摘 要 城市化对地下水补给的影响对研究城市水循环、水资源供需平衡及地下水超采、防治地下水水质恶化,以及揭示两大主要地下水环境问题(地下水超采与水质恶化)之间的有机联系都具有重要意义。石家庄城市化与地下水之间的相互作用机理研究具有典型示范性。本文以石家庄市为例,在分析地下水在城市供水中的作用及其开发利用基础上,通过研究城市化影响地下水补给的变化规律,进一步探讨了城市化对地下水补给的影响机理,最终建立城市化影响地下水补给增量的诱发机理框图。研究结果表明,城市化会导致地下水补给量的增加,地下水开采诱发产生对城市周围井场和地表水的袭夺以及城市供、排水系统渗漏所造成的新补给源的引入是城市化诱发产生地下水补给增量的重要机理。

关键词 城市化 地下水补给 补给增量 新补给源

1 引 言

随着人口增长及世界经济的发展,城市化趋势变得日益明显;与此同时,城市化对环境的影响也更加强烈。尤其是水环境问题,已对全球构成威胁,成为城市建设和发展中最重要的制约因素。地下水因其诸多优于地表水之处而受到世界各地的广泛重视,许多城市以地下水作为部分、甚至唯一的供水水源,并且这些城市中有许多是由于能够获得水质较好的地下水而发达起来的。可以说,地下水在城市发展中扮演着越来越重要的角色。揭示城市化与地下水各方面之间的相互影响规律,协调城市化与地下水环境之间的矛盾以实现其可持续发展,已成为全球性的重要研究课题。

城市区因强烈的人为活动及其特殊的地表结构,使其水循环和环境地质问题有别于其他地区。地下水超采与水质恶化是当前日益突出的城市环境地质中最广泛、最严重的两大问题。其中,城市化对地下水补给的影响研究,无论对研究城市水文循环、水资源供需平衡及地下水超采问题,还是防治地下水水质恶化,以及揭示两大地下水环境问题(地下水超采与水质恶化)之间的有机联系都具有重要意义。石家庄市为河北省省会,是我国北方一座发展速度很快的新兴轻工业城市,位于天然地下水资

源十分丰富的滹沱河冲洪积平原上部,但由于长期以地下水作为近乎唯一的城市供水水源,区内相继出现了一系列环境水文地质问题;其中,地下水超采与水质恶化为其两大主要问题。这两大问题严重阻碍着石家庄市的发展与经济腾飞,甚至威胁着省城的存亡。石家庄城市化与地下水环境之间的相互作用机理研究具有典型示范性。

2 地下水在城市供水中的作用及其开发利用

地下水是石家庄平原区工农业及生活用水的主要供水源,也是石家庄市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。为此,1996年8月市区建成启动了日产 $30 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的地表水厂,从而改变了多年的城市供水水源结构,由单纯地下水型变为地下水-地表水混合型。目前,石家庄市约120万人口全部采用集中统一供水,集中供水由市自来水公司的6个地下水水厂和一个表面水水厂实现,至1997年底,7个水厂的供水总量达 $6.614 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{a}$,其中地下水约占供水总量的86.2%。石家庄市地表水资源不丰富,滹沱河是流经本区的主要河流。自1958年上游岗南和黄壁庄水库建成后,河流量减少;1980年以后由于降水量

减少,常年断流。正在规划与实施的跨流域南水北调工程计划调配给石家庄市总水量为 $9.36 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{a}$ 向总干渠两侧的 7 个县、区供水。从以上可见,地下水在石家庄市城市供水起着举足轻重的作用,即便在南水北调工程实施后,石家庄市仍然是以地下水作为主要供水水源。

石家庄市位于滹沱河冲洪积扇中上部,属山前倾斜平原水文地质区。地下水主要赋存于第四系松散岩层孔隙中,其含水层可划分为 4 组,分别相当于 Q_4 、 Q_3 、 Q_2 、 Q_1 。第 I、II 含水层组为浅层地下水,属潜水或微承压水,是目前本区的主要开采层。长期超采与时空上的开采集中是本区地下水资源开采利用的两大主要特点,导致了水位区域性下降,在一些集中开采区形成了大规模的水位降落漏斗。尤其在石家庄市,形成了区内最大的水位降落漏斗。该漏斗属工业开采型漏斗,自 1965 年开始形成漏斗的雏形,到 1995 年,漏斗中心埋深达 43.47 m,封闭等水位线为 33 m,封闭面积扩展至 109.5 km^2 ;在 1974~1995 年间,漏斗中心水位平均每年下降 1.32 m,漏斗面积平均每年扩大 4.83 km^2 。当然,随着地表水厂的投入运行,将对石家庄市水位降落漏斗的相对稳定起到积极作用。

3 城市化影响下地下水补给的变化

通常认为,城市化降低了对地下水的渗透补给。这主要是考虑城市铺装区、建筑物及公路等集水区渗透性较差。对于石家庄市地下水补给量的变化趋势,多年来大致存在 2 种观点:一种认为,多年来地下水补给量大致相当;另一种认为,地下水补给量呈逐年递减之势。以上似乎可以得出这样的结论:城市化会引起地下水补给量减小。然而,该结论对诸多问题的解释非常困难。例如,随着城市化进程的加快,地下水开采量逐年增加,如果再引起地下水

补给量的减小,那么含水层的疏干情况将比现在严重得多,对石家庄市来说整个浅层地下水可能已不复存在。

为了揭示城市化对地下水补给的实际情况,本次研究在《河北平原水资源与环境地质勘查评价报告(石家庄典型区)》(简称典型区报告)的基础上做了进一步探讨。该报告中采用了地下水位动态法和综合补给量法对地下水补给量进行了计算。本次计算时间为 1973~1995 年,计算范围包括石家庄市(含郊区)、正定县、藁城市、栾城县及鹿泉市的平原区,其面积分别为 254 km^2 、 601 km^2 、 813 km^2 、 397 km^2 、 264 km^2 ,总计 2329 km^2 ;计算深度为第四系主要富水带——浅层水(目前地下水主要开采层)。地下水位动态法是根据水均衡原理及地下水补、径、排条件建立计算模型的,其计算结果见表 1。由表 1 可以看出,石家庄市区的单位面积年均补给量高居所有行政区之首,而离市区最近的鹿泉市、正定县分列二、三位,明显地反映出城市化对地下水补给量的积极影响。另外,市区地下水补给量基本上呈逐年递增之势,也进一步说明了城市化的控制作用。从全区来看,以上规律不明显,1980 年以后呈相反趋势,即地下水补给量逐年降低,这是因为全区地下水补给量除侧向补给外,大气降水影响比较大,而在市区各补给项中居第二的渠(排污渠)灌渗漏补给则退居第三(见表 2),其城市化的影响减小。城市化对市区和全区地下水补给量的影响作用,从石家庄地质环境监测 5 年 1 次的报告中的资料统计也可得到进一步说明:在石家庄市监测区(1003 km^2),1986~1990 年为 $274245.0 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、1991~1995 年为 $260925.0 \times 10^4 \text{ m}^3$;石家庄平原区(6321.2 km^2)1981~1985 年为 $1059764.0 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、1986~1990 年为地下水补给量分别为 $983395.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、1991~1995 年为 $790021.1 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。以上充分证明,城

表 1 计算区地下水动态法补给量计算结果及其与综合补给量的差值

Table 1 Comparison between 2 calculating results of groundwater recharge by 2 kinds of methods							$10^4 \text{ m}^3 \cdot (\text{a} \cdot \text{km}^2)^{-1}$	
行 政 区 时 段 (a)	$Q_{\text{动态}}$						$Q_{\text{动态}} - Q_{\text{综合}}$	
	石家庄市	正定县	栾城县	鹿泉市	藁城市	全区	石家庄市	全区
1973~1975	104.9	45.1	38.6	99.2	46.3	57.1	-5.1	-2.3
1976~1980	145.2	52.6	41.8	99.3	32.7	63.5	+9.7	-0.1
1981~1985	132.5	40.9	40.1	98.8	35.5	57.8	+12.2	+6.9
1986~1990	143.7	51.0	27.6	98.2	31.4	55.6	+7.1	+0.6
1991~1995	150.1	42.1	29.7	98.8	26.1	52.6	+12.6	-0.7
1973~1995	137.9	48.4	35.3	98.8	36.0	57.3	+8.4	+1.1

注: $Q_{\text{动态}}$ 为地下水动态法补给量; $Q_{\text{综合}}$ 为地下水综合补给量,原始资料来源于“典型区报告”
万方数据

市化引起地下水补给量的增加。

从表 1 中可以看出 ,因城市化发展而产生的新补给源对城市区地下水补给产生的影响 ,表中 2 种计算方法的比较表明 ,在市区除 1973~1975 年外 ,动态补给量法明显高于综合补给量法 ;在全区规律性不明显 ,二者交替上升 ,这主要是由于综合补给量法没有考虑城市区地下水的新补给源。

4 城市化对地下水补给的影响机理分析

地下水补给量在城市化影响下的时空变化研究充分证明 ,城市化不仅不会减少地下水补给 ,反而导致地下水补给量的增加(图 1)。城市化引起地下水补给量增加的机理如下 :

(1)地下水开采引起补给增量的诱发机理 :从

表面上看 ,城市由于大量的铺装区、建筑物及公路等 ,使渗透补给地下水的可能性大大减小。然而 ,城区地下水补给与其他地区不同。除大气降水外 ,侧向补给、渠灌回归、井灌回归和渠灌田间补给都是重要补给来源 ,并且侧向补给量和渠灌回归补给量位居前两位(表 2)。此外 ,距市区较近、城市化水平较高的鹿泉市和正定县的侧向补给量所占比例相对较高 ,分别为 70.0%和 49.1% ,而藁城市的地下水补给中大气降水入渗所占比例最高(35.6%) ,其次为渠灌回归(30.8%) ,侧向补给仅列为第三(19.6%) ,反映出较低的城市化水平。以上可见 ,城市化导致地下水开采量增加 ,从而对周围井场产生大规模掠夺 ,使侧向补给成为地下水补给最主要的方式。另外 ,由于经过市区的石津渠、东明渠和西明渠等水利工程的防渗措施较差 ,在地下水开采影响下增加了

表 2 1973~1995 年间计算区补给项占总补给量的百分比
Table 2 Calculating results of groundwater recharge by synthesis between 1973~1995 %

行政 区 补 给 项	石家庄市	正定县	栾城县	鹿泉市	蒿城市	全区
降水入渗	9.4	25.4	35.7	11.5	35.6	21.6
井灌回归	2.9	8.8	15.1	2.7	14.0	7.7
渠灌回归	18.4	16.5	16.6	11.7	30.8	19.0
渠灌田间	0.2	0.2	3.4	4.1		1.3
侧向补给	69.1	49.1	29.1	70.0	19.6	50.4
合计/ $\times 10^4\text{m}^3\cdot\text{a}^{-1}$	32 905.2	29 886.7	13 001.7	27 818.9	27 267.1	13 0879.6

注 :原始资料来源于《河北平原水资源与环境地质勘查评价报告(石家庄典型区)》

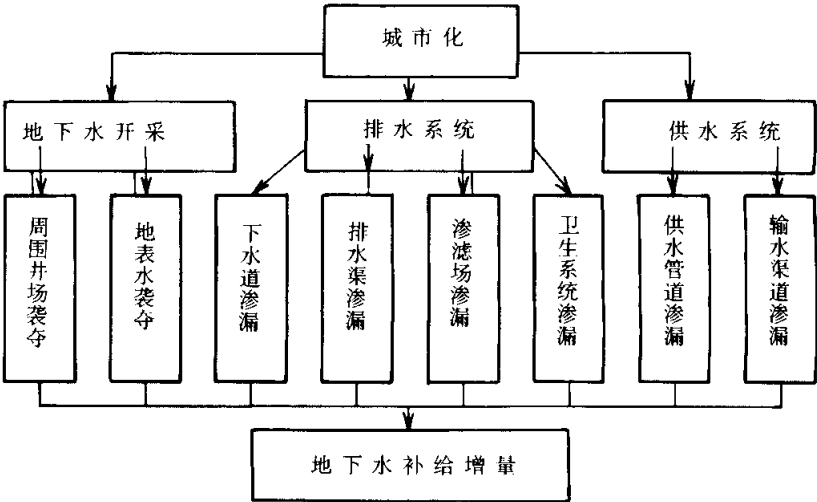


图 1 城市化影响地下水补给增量的诱发机理框图

Fig.1 A fram - figure on the mechanism inducing the increment of groundwater recharge

对地下水的补给 ,诱发产生了地下水补给增量。

(2)新补给源的引入渗漏机理 :随着城市化进

程的加快,供水量和排污量也在增加,供水干线、下水道和输水-排水(污)渠等所产生的渗漏量成为城区地下水补给不可忽视的组成部分。另外,渗滤坑、公共卫生系统以及公路排水渗滤场等也对地下水补给产生影响。通过典型年调查,石家庄城市污水排放量约占城市用水量的 75%,其中东明渠、西明渠排放量最大(约占总排放量的 80%),由市政管道、明渠分别汇集于东明渠和西明渠,通过总退水渠排入胶河),其次为石津渠和渗坑排放。表 2 反映出综合补给量法计算仅考虑大气降水入渗、侧向补给、渠灌回归、井灌回归和渠灌田间等 5 项补给,对不可忽略的新补给源的渗漏补给则没有考虑,故综合补给量法计算结果普遍低于动态法补给量。在全区范围内,因城市化产生新补给源的渗漏补给相对较低,故 2 种计算方法的结果相当,其规律性不明显。

5 结论

(1) 石家庄市的供水结构由单纯地下水型变为地下水-地表水混合型,但地下水仍是该区城市供水的主要供水水源,并继续在城市建设和经济发展中扮演重要角色。

(2) 城市铺装区、建筑物及公路等会降低大气降水对地下水的渗透补给,但城市化的最终结果导致地下水补给量的增加。城市中心,单位面积地下水补给量最大,远离市区、受城市化影响较小的周边地区,地下水补给量则较小。市区地下水补给量随城市化进程的加快呈逐年递增之势,而周边地区的规律性不明显。

(3) 城市化影响下的地下水补给增量的诱发机理为:①地下水开采诱发产生对城市周围井场及地表水的袭夺;②城市供排水系统渗漏所造成的新补给源的引入,主要包括供水干线、下水道、输水-排水(污)渠以及渗滤场排泄等的渗漏。其中,后者随城市化发展将成为城市地下水补给的重要组成部分。但在以往应用综合补给量法进行城市地下水补给量计算时,此项常被忽略。

参 考 文 献

- 于开宁, Morris B L. 1999. 城市化对地下水流系统的影响. 华北地质矿产杂志, 14(2): 199~203.
石家庄市统计局. 1990~1996. 石家庄统计年鉴. 北京: 中国统计出版社.

The Impact of Urbanization on Groundwater Recharge : a Case Study of Shijiazhuang City

Yu Kaining

(Shijiazhuang University of Economics , Shijiazhuang , Hebei)

Abstract With the rapid urbanization , groundwater has been playing a more and more important role. The study on the impact of urbanization upon groundwater recharge is of great significance not only in studying the hydrologic cycle , supply - demand balance and groundwater overexploitation but also in preventing and controlling the deterioration of groundwater quality and in revealing the relationship between overexploitation and water quality deterioration , the two main problems in groundwater environment. The study on the interaction mechanism between urbanization and groundwater constitutes a typical example. In this paper , based on the analysis of the importance of groundwater in water supply of the city as well as the exploitation and utilization of groundwater , the author studied the change of groundwater recharge under the impact of urbanization , and then discussed the impact mechanism of urbanization on groundwater recharge. On such a basis , a frame - figure on the mechanism inducing the increment of groundwater recharge was constructed. The results show :① urbanization results in the increase of groundwater recharge ;②the inducing of groundwater from the well - field around the city and surface water by exploitation of groundwater and the importing of new recharge sources that results from the leakage of water - supply and water - discharge systems of the city seem to be the important mechanism that induces the recharge increase of groundwater by urbanization.

Key words urbanization groundwater recharge recharge increment new recharge sources