

海河流域城市地下水资源持续利用状况分析

张水龙

摘 要〕 依据地下水资源与城市的组合特征,将海河流域平原区的城市划分为山前平原、中部平原和滨海平原三种类型。选择其中的典型城市石家庄市、唐山市、衡水市、沧州市、天津市为研究对象,运用压力 - 状态 - 响应概念模型,对各个城市地下水资源的持续利用问题进行深入分析。结果表明,所选城市普遍存在地下水资源压力过大,地下水资源系统状态紊乱,自然环境对地下水系统的响应日趋成灾,人为控制措施少而不力的特点。

关键词〕 海河流域;城市地下水;压力 - 状态 - 响应模型;水资源持续利用

中图分类号〕 P641; TV211.1⁺2 **文献标识码〕** A

海河流域是一个严重缺水的地区,地下水作为流域农业、工业和城市生活用水的主要来源,对海河流域社会经济的发展起着关键作用。本文从流域整体观念出发,系统分析流域平原城市群分布及其对地下水资源需求的特点,划分城市和地下水组合的类型,选择典型城市,运用恰当的分析模型,对城市区域的地下水可持续利用问题进行深入研究,以期确定海河流域城市地下水的恢复与管理措施和模式提供依据。

一 海河流域平原区的城市及其地下水资源状况

按照海河流域地下水资源分布的特点,可以将海河流域平原区的城市划分为山前平原、中部平原和滨海平原三种类型。其中,山前平原城市大都坐落于太行山和燕山山麓地带,包括邢台市、邯郸市、石家庄市、保定市、北京市、唐山市等一系列特大、大

及中小城市。山前平原是一个全淡水区。该区具有补给多元化,垂向水力联系好,排水畅通,水质良好,地下水资源丰富的特点。各山前平原城市对地下水的开采以第一、二含水组为主,总的来说地下水采补平衡关系打破得较晚。

中部平原城市坐落于海河流域中部的冲积、冲湖积平原,包括廊坊市、衡水市、沧州市等中小城市。中部冲积平原是一个有咸水区。该区水力坡度减小,渗流微弱,埋深变浅,蒸发变强,以垂向水循环交替为主,咸、淡水并存,地下水资源一般。中部平原城市一般规模不大,但密度较大,主要开采第一、三含水组和深层的地下淡水。地下水采补平衡关系的打破与地区地下水灌溉农业和城市的快速发展有关。

滨海平原城市坐落于滨海冲积、海积平原,包括天津市、秦皇岛市等。整个滨海平原区地势低平,水力坡度仅为 0.10‰ - 0.25‰,导水系数一般小于 50 m² / d,海相地层较发育,浅层潜水 - 微承压水基本

收稿日期〕 2005 - 09 - 10

修回日期〕 2005 - 11 - 25

基金项目〕 中国博士后科学基金资助项目(2004035516);天津市高等学校科技发展基金资助项目(20031215)。

作者简介〕 张水龙(1970—),男,汉族,山西洪洞人,天津大学建筑工程学院博士后,天津理工大学副教授,研究方向为水资源保护和河流生态。

为咸水,仅局部地段有薄层淡水透镜体,为咸水分布区,但深层为一淡水地下水系统。处于海河流域下游的滨海平原,具有排水不畅,地下水埋深小,蒸发强烈,矿化度大,水质差,地下水资源缺乏的特点。滨海平原城市以开采深层地下淡水为主,同时利用有限的浅层地下淡水和微咸水。由于地下水资源有限,需求又大,所以开采地下水引发的环境问题出现得比较早。

为使研究更具针对性,在下文的讨论中分别选择山前平原城市石家庄市(太行山山前)和唐山市(燕山山前)、中部平原城市衡水市和沧州市、滨海平原城市天津市作为各类型城市的代表。

二 海河流域典型城市地下水资源利用状况评价方法

1. 评价模型

“压力 - 状态 - 响应”(PSR)概念模型是用于评价一个国家和地区可持续发展水平的、著名的国际通用模型^[1]。其中,压力指标用以表征那些造成发展不可持续的人类的活动和消费模式或经济系统的一些因素;状态指标用以表征可持续发展过程中的各系统的状态;响应指标用以表征人类为促进可持续发展进程所采取的对策。由于该框架模型突出了环境受到的压力和环境退化之间的因果关系,与可持续发展的环境目标密切相关,因而受到了普遍接受^[2]。因此,该模型是一个开展地下水资源持续利用问题研究的有力工具^[3]。

2. 基于压力 - 状态 - 响应概念模型的地下水评价指标

鉴于近年来社会经济活动对地下水资源干扰加剧的趋势,本研究重点考虑社会经济系统与地下水系统之间的“压力 - 状态 - 响应”循环关系,并建立相应的评价指标体系,如表 1所示。

表 1 基于压力 - 状态 - 响应概念模型的地下水系统评价指标

类型		指标名称	指标含义
压力	社会	人均地下水资源量	水资源与人口的关系
	经济	GDP每百元占有地下水资源量	水资源与生产力布局之间的关系,包括
		工业总产值每百元占有地下水资源量	GDP、工业和农业三个方面
		农业每公顷耕地地下水资源占有量	
状态	水质	地下水水质等级	自然与人为二元作用下水质的变化以及水质满足人类需要的程度
	水量	地下水储量消耗时限	可利用水资源量/需水量
	水文地质环境	地面沉降速度	用地面沉降速度表示水文地质环境所处状态
响应	响应措施	人工引水量	调整压力和状态的典型措施
		地下水控采面积	

三 评价结果与分析

1. 城市地下水资源压力分析

图 1显示了所选 5个城市浅层地下水资源的状况。从中可以看出,山前平原城市石家庄市和唐山市的地下水资源条件明显优于中部平原城市衡水市和沧州市,而后者又好于滨海地区的天津市。城市地下水资源系统压力从大到小的顺序依次为天津市、沧州市、衡水市、石家庄市和唐山市。1950年后尤其是 1980年以后这些城市在人口、经济方面的长期持续增长使得地下水的供需矛盾变得十分突出,近些年上述 5城市的年缺水量均在 50%以上。以 2003年 1 - 6月的情况为例,石家庄市、唐山市、衡水市、沧州市的水资源供需比依次为 0.38、0.48、

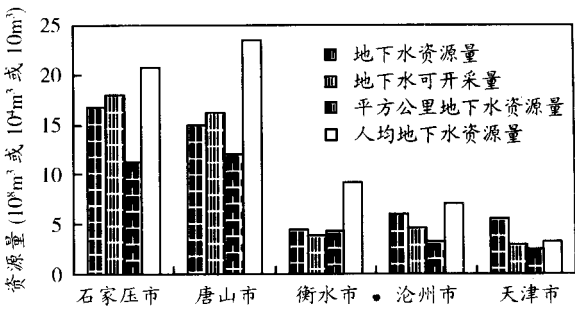


图 1 各城市地下水资源状况比较

0.33、0.37,缺水程度严重。这种缺水状况,使得城市地下水的开采量长期居高不下,远远超出了当地地下水资源的承载能力。同时,这一压力又因各个城市人口、经济和地下水资源存在的差异而不同,并可进一步区分为资源胁迫型和污染胁迫型两种类

型。由人口、经济和城市化带给地下水系统的压力主要反映在资源量上,可称这种来自社会经济系统的压力为资源胁迫型压力。此外,作为人口、经济高度密集的城市,在其正常的运转中要产生大量的废弃物,它们尤其是废水向自然界的排放和农用化学物质的大量施用,将直接威胁到地下水系统的质量,可称这种来自社会经济系统的压力为污染胁迫型压力。2002年城市地下水监测数据表明,在各城市均存在着不同程度的超标现象,总硬度污染主要集中在石家庄,超标率为 61.5%;氟化物污染主要集中在沧州和衡水,超标率分别为 71.0%和 13%;唐山存在六价铬污染,超标率为 23%。上述两种压力交织在一起,一同改变着城市地下水资源的质量、数量以及地下水环境的质量。

2. 城市地下水资源系统状态分析

如上所述,海河流域地下水资源系统在流域社会经济发展的同时,承受着巨大的压力,被长期超量

开采,由此导致地下水资源系统状态发生了一系列的变化。变化之一是平原区大面积的地下水位持续下降,1965 - 1998年不同区域下降幅度在 4 - 20 米。浅层地下水水位的变化规律为从山前平原到滨海平原,水位埋深逐渐减小。2001年底,石家庄市、唐山市、衡水市、沧州市平均水位埋深依次为 33.57 米、17.35 米、4.19 米、3.14 米。深层地下水水位的变化规律为从滨海平原到山前平原,水位埋深逐渐减小。2001年底,沧州市、衡水市、唐山市、石家庄市平均水位埋深依次是 62.52 米、56.40 米、44.58 米、27.37 米。变化之二是在流域的山前平原至滨海平原,形成了常年性大面积的、以城市为中心的浅层、深层地下水水位降落漏斗。所选 5 座城市分别是 5 个典型的漏斗中心。但是各城市漏斗中心在水平方向和垂直方向均呈现不同的发展态势,具体情况如表 2 所示。

表 2 各城市地下水水位漏斗区情况

漏斗分布区名	漏斗层位	漏斗中心初始 水位埋深 (m)	1998 年漏斗中心最大 水位埋深 (m)	1998 年漏斗 面积 (km ²)	中心水位多年平均 下降速率 (m/a)
石家庄漏斗	浅层水	2.62 (1958 年)	37.86	325	0.81
唐山漏斗	浅层水	1.51 (1958 年)	42.73	479	1.03
唐山漏斗	深层水	1.24 (1961 年)	76.26	3476	1.92
冀枣衡漏斗	深层水	1.92 (1958 年)	79.62	11530	1.95
沧州漏斗	深层水	0.88 (1958 年)	93.73	2729	2.38
天津漏斗	深层水	3.35 (1958 年)	104.88	2078	2.54

注:表中数据来源于文献 [4]。

其中浅层地下水漏斗主要沿弧带状山前平原呈串珠式发展,石家庄市和唐山市分别是山前平原的两个主要浅层地下水水位漏斗中心,深层地下水漏斗在中东部平原呈片状,并相互连接向着大型复合型漏斗方向发展,天津市、衡水市和沧州市分别是中东部平原的三个深层地下水水位漏斗中心。

在外部压力的作用下,地下水系统状态的变化不仅仅表现在地下水位的降落单个方面,而是综合反映在水质、水量和水文地质环境等三个方面,这种变化将把系统推向远离平衡状态或相向平衡状态。综合上面的数据可以看出,所选 5 城市的地下水系统正向着远离平衡状态方向发展,并表现出一系列包括地面沉降、水质污染、淡水咸化、海水入侵等在内的环境地质灾害。许多研究对此已有报道,本文不再赘述。

3. 城市地下水资源系统响应分析

按照 PSR 概念模型理论,地下水系统状态的上

述种种改变,进而又会影响到人类的社会经济活动,社会经济系统会对此做出种种调整措施,统称为社会经济系统对地下水资源系统的响应。根据这些响应对系统平衡状态恢复的影响,可以将其进一步区分为正向反馈和负向反馈两种类型。考虑到海河流域城市地下水资源系统全部超采的实际情况,任何有利于城市地下水恢复的政策、经济、工程和技术措施都应视为具有正向反馈意义的响应,从这个意义上讲,响应涉及的范围非常广泛。为使讨论更具针对性,选择 5 城市控制超采、域外引水的情况进行分析。为减轻本地的水资源紧张,5 城市几乎都相继实施了引水工程,其中石家庄市引岗南水库、黄壁庄水库供水工程,唐山市引滦供水工程,衡水市衡水湖扩建加大蓄水工程,沧州大浪淀水库引黄河供水工程和引王快水库八大浪淀工程,天津市引用滦河和黄河水。对于能够直接减轻地下水资源压力的控采措施来讲,各城市的情况各不相同。

4. 城市地下水资源可持续利用状况总体评价结果

海河流域城市利用地下水的历史悠久^[5],不同的城市形成了不同的地下水利用模式^[6]。在石家庄等山前平原城市先是超采市域内地下水,而后发展为超采市域外地下水,目前又不得不进一步牺牲农业,靠山区水库引水维持。在沧州、衡水等中东部平原城市也由原来(20世纪50-60年代)引用地表水,转为开发地下水,到目前大量开采深层地下水或利用引黄水。在滨海城市天津,早在20世纪50年代就开始大量开采地下水,主要以深层地下水为主,至80年代达到高峰,到目前一方面继续靠大量开采深层地下水和利用少量的微咸水,另一方面依靠引滦河水和引黄河水维持。从流域的层面看,则表现出城市依靠挤占农业用水发展,农业依靠牺牲环境维持,甚至城市依靠跨流域调水来发展(如引滦、引黄工程)的尴尬局面。总的来说,所选城市普遍存在地下水资源压力过大,地下水资源系统状态紊乱,自然环境对地下水系统的响应日趋成灾,人为控制措施少而不力的特点。

四 结论

地下水资源已经成为影响海河流域平原城市发展的主要因素。通过引入压力-状态-响应概念模型,对海河流域典型平原城市的地下水资源的持续利用状况进行了评价与分析,以期确定海河流域城市地下水的恢复与管理措施和模式提供依据。在对影响城市地下水可持续利用的各因素的分析中,将来自社会经济系统的压力进一步区分为资源胁迫型压力和污染胁迫型压力,将在外界压力下系统表现出的状态趋势进一步区分为远离平衡状态或相向平衡状态,并根据对系统平衡状态恢复的影响将响应区分为正向反馈和负向反馈两种类型。分析表明,在人口激增、城市持续快速发展的背景下,海河流域城市地下水面临的主要是资源胁迫型压力,长期超采使得城市地下水系统极不稳定,大面积的以城市为中心的地下水位降落漏斗的存在表明系统正向着远离平衡状态趋势发展。与上述系统状态相应,由于缺乏有力的控制措施来减轻压力,造成了城市地下水系统与社会经济系统之间的恶性循环。

应当指出,本文所进行的讨论存在着一定的局限性,因为,在自然界其它环境要素与地下水系统之间也存在着一种相对简单的“压力-状态-响

应”循环关系。在自然和人为二元作用模式下,地下水系统存在着一种更为复杂的“压力-状态-响应”循环关系。因此,充分考虑这种复杂关系的城市地下水利用应是进一步研究的内容。

【Abstract】 Based on the compositing characteristics of underground water resources and cities of Haihe River Basin, cities can be divided into three types - piedmont plain, median plain and coastal plain. Taking typical cities as the objective, apply Drive - State - Response framework concept model to evaluate the sustainable exploiting situation of each urban underground water resources system. The result shows that for all selected cities the stress on underground water resources is over-heavy, the state of urban underground water resources system is chaotic, the response of natural environment on underground water resources system is being disastrous, and there are a few related control actions.

【Key words】 Haihe River Basin; urban underground water; Drive - State - Response model; sustainable exploiting of water resources

参考文献

- [1] 叶文虎,全川. 联合国可持续发展指标述评. 中国人口、资源与环境, 1997(3): 83 - 87
- [2] 杨多贵,陈劭锋,牛文元. 可持续发展四大代表性指标体系评述. 科学管理研究, 2001(4): 58 - 63
- [3] 夏军. 可持续水资源系统管理研究与展望. 水科学进展, 1998(3): 190 - 197
- [4] 海河水利委员会. 海河流域地下水资源现状评价及典型区环境地质效应分析. 天津: 海河水利委员会, 2001
- [5] 谭徐明. 海河流域水环境的历史演变及其主要影响因素研究. 水利发展研究, 2002, 2(12): 15 - 20
- [6] 李文体,李永根. 河北省城市水资源开发利用存在问题及对策建议. 水资源保护. 2002(4): 33 - 35

(责任编辑:李小敏)