

沧州市地下水开发利用与保护

王长明, 王 伟

(沧州市水务局, 河北 沧州 061000)

摘要 沧州市水文地质条件复杂, 地下淡水资源有限, 地下水自然环境脆弱, 深层淡水的大量开采, 使原本脆弱的地下水自然环境更加脆弱, 导致了地下水下降漏斗、地面沉降、咸水入侵、地下水水质污染等严重的环境地质问题。分析水资源开发利用现状及产生问题的原因, 提出水资源开发利用的总体思路和地下水开发利用保护方案。

关键词 地下水, 水资源利用, 沧州市

中图分类号 :TV213 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-693X(2007)S1-0077-04

1 地下含水系统的水文地质特征

1.1 地下含水层

沧州市地处河北平原东部, 地下水主要赋存于第四系松散地层中, 含水岩系自上而下划分为 4 个含水组。第 I 至第 IV 含水组底界埋深分别为 40 ~ 60 m、120 ~ 250 m、250 ~ 350 m、350 ~ 550 m, 含水组间有厚度 15 ~ 40 m 的黏土层相分隔。西部肃宁县全境、河间市、任丘市和献县的局部为全淡区, 其它有咸水区。

1.2 地下水化学

沧州市地下水化学条件较复杂, 上部为浅层淡水, 中部为咸水, 咸水之下为深层淡水。浅层淡水水化学类型主要受古河道影响而变化, 西部近山区河流以 H—C·M·N 和 H·L—N·M 型水为主, 子牙河两侧以 H·L·S—N·M 混合型水为主, 黑龙港河和南运河流域主要为 H·L—N·M 型水, 漳卫新河沿岸多为 H—N·M 和 H·L—N·M 型水; 深层淡水水化学类型自西向东的变化规律为: H—N → H·L—N—H·L·S—N → L·H—N → L—N。西部为矿化度小于 0.5 g/L 的 H—N 型水, 中部过渡为矿化度 0.4—1 g/L 的 H—N 型水, 东部为矿化度 1 ~ 2 g/L 的 L—N 型水; 咸水分布广, 厚度大, 除全淡区外, 都有厚度不等的咸水层, 自西向东厚度由 20 m 增至 380 m, 青县、黄骅市、海兴县局部有全咸区分布。浅层咸水底界深度一般 30 m, 深层咸水主要赋存于第 II 含水组, 东部可跨至第 III 含水组。

1.3 地下水动态

浅层地下水主要为淡水和微咸水, 局部及东部沿海为咸水。目前浅层淡水和微咸水开发程度较高, 2006 年全市平均水位埋深 8.43 m。

深层地下水主要为淡水和咸水。地表水匮乏, 深层(III)淡水逐渐成为主要水源, 大量开采深层(III)淡水, 地下水位急剧下降, 1970 ~ 2006 年全市平均埋深由 18.93 m 降至 64.45 m(表 1), 导致地下水产生漏斗, 形成人工流场, 地下水位下降, 地下水汇水面积拓展, 漏斗也就同时加深扩大。

表 1 沧州市第四系含水层的地下水动态特征

含水组划分	水力性质	地下水动态成因类型	天然水位(水头)/m	开采后平均水位埋深/m	
				1970 年	2006 年
浅层地下水 第 I 含水组	微承压水	强渗入补给(蒸发开采型)	0~2	8.43	
深层地下水 第 III 含水组	承压水	径流越流补给(开采型)	0~3	18.93	64.45
深层地下水 第 II 含水组	微承压, 承压水	弱渗入补给和径流补给(开采、径流型)	2~4	除全淡区外, 第 II 含水组全部是咸水, 基本未开采。	

2 地下水资源与深层淡水限采量

2.1 地下水资源量

地下水资源系指矿化度质量浓度小于 2 g/L 的浅层淡水。考虑目前非常规水资源的利用实际和广阔的开发前景, 对浅层地下咸水资源量也进行了计算。深层淡水补给困难, 水交替缓慢, 循环周期长,

作者简介: 王长明(1948—), 男, 河北唐山人, 高级工程师, 主要从事水资源管理工作。E-mail: wcmwater1107@tom.com

作为后备水源,不计入地下水资源量。经计算多年平均地下水资源量为 6.8 亿 m³,浅层矿化度质量浓度 2~3 g/L 微咸水、3~5 g/L 弱咸水和大于 5 g/L 咸水的资源量分别为 5.7 亿 m³、2.6 亿 m³ 和 2.3 亿 m³。

2.2 深层淡水限采量

SL/T238—1999《水资源评价导则》规定,平原区深层承压地下水,不具有持续开发利用意义,需要开发利用深层水的地区,应确定出限定水头下降值条件下的允许开采量。限采量为允许开采量的上限值,即最大允许开采量。根据河北省水利厅用单纯形法对模型求解的水位降深方案,采用年降深为 0 m 时的允许开采量作为限采量,沧州市深层淡水限采量(见表 2)。

表 2 深层淡水限采量

区域	面积/km ²	限采量/亿 m ³	可开采模数/(万 m ³ ·km ⁻²)
沧州市	14056	2.92	2.08

3 水资源开发利用及环境水文

3.1 水资源开发利用现状

沧州市多年平均水资源量 12.6 亿 m³,其中地表水资源量 6.1 亿 m³,浅层地下水资源量 6.8 亿 m³,可开采量 5.0 亿 m³,重复计算量 0.3 亿 m³。2003 年沧州市人均水资源量 181 m³,只有全国平均水平的 8%。

沧州市经济社会发展迅速,当前主要靠开发地下水来维系(表 3)。按 SL286—2003《地下水超采区评价导则》评价,全市范围为特大型超采区。

3.2 环境水文地质

3.2.1 地下水环境

沧州市处于半干旱气候区,降水量少,且时空分布不均,是旱涝碱咸自然灾害频发地区。由于地质构造特点和受到气候等自然环境条件控制,使地下含水层分布有大面积咸水、高氟水等原生地下水环境问题。次生地下水环境问题,主要是人为因素,河道污水下渗,污水灌溉,农田施放农药、化肥造成的浅层地下水污染。经过对 31 眼井典型调查,浅层水水质 100% 达不到生活饮用水标准,符合农灌用水标准的仅占 16.1%。浅层水主要污染物高锰酸盐指数、氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮的检出率分别达

到了 100%、100%、48.6% 和 73.1%,有毒污染项目总砷、氰化物和挥发酚检出率分别达到了 19.2%、3.85% 和 3.85%。

3.2.2 深层淡水超采

a. 深层淡水超采,导致地下水位持续下降形成漏斗。天然降水和干旱对浅层地下水动态变化影响十分明显,深层地下水的补给则不受本地降水的影响,深层地下水在降水后因开采量减少,水位回升。深层地下水动态变化主要受人工开采影响,长期在负均衡条件下开采深层淡水,导致地下水位不断下降,地下水场发生不利变化,形成漏斗。在天然状态下,深层地下水位(头)不超过 4 m,1970 年市区漏斗中心水位埋深为 21.00 m,2006 年下降至于 95.10 m。沧州市 1967 年深层地下水产生漏斗;1970 年,-10 m 等值线封闭面积 9.8 km²;1995 年,-10 m 等值线在沧州市已不能封闭;2006 年,大于 -60 m 等值线面积已达 8563 km²,占全市总面积的 61%。地下水位持续下降造成大量泵井失效,泵井更新,单井出水量降低,提水成本增高,经济损失巨大。

b. 地下水漏斗区域内产生地面沉降。沧州市地面沉降即呈现沉降区与漏斗范围相同,沉降速度与漏斗下降速度一致。从沧州市 1974~1978 年深层地下水漏斗剖面与地面沉降历时曲线对比分析(图 1)可以看出,漏斗中心水位下降速度快,其所对应的地面位置沉降值大,漏斗中心与沉降中心向外,

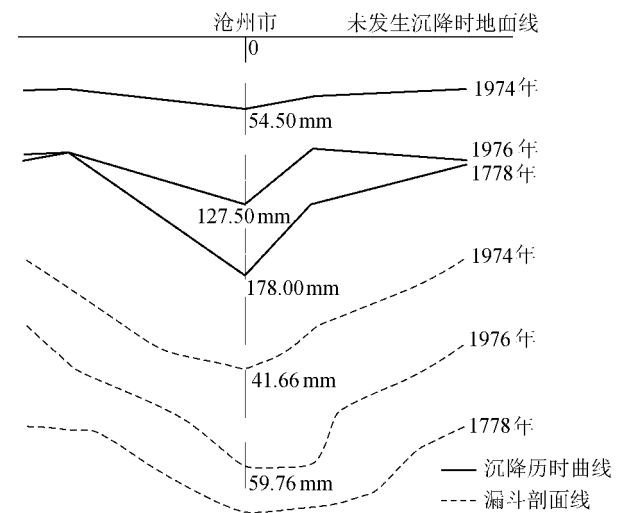


图 1 深层地下水漏斗剖面与地面沉降历时曲线

表 3 沧州市经济社会发展与地下水开发利用现状

2005 年 末总人口/万人	经济发展指标		近 10 a 全市年均用水量								地下淡水供水量			
	1980 年代 初工农业 生产总值 /亿元	2005 年 国内生产 总值/亿元	地表水		地下咸水		地下淡水		总量	浅层水		深层水		
			供水量 /亿 m ³	占总 量/%	供水量 /亿 m ³	占总 量/%	供水量 /亿 m ³	占总 量/%		供水量 /亿 m ³	利用 率/%	供水量 /亿 m ³	利用 率/%	
685	18	1131	15.1	1.9	12	0.4	3	12.8	85	12.8	4.9	80	7.9	5.0

水位降深和地面沉降值相应逐渐减少。沧州市区1970年发现地面沉降9mm,2001年沉降中心累计沉降量已达2236mm。目前地面沉降尚未能有效控制,据预测2010年沉降中心累计沉降量可达3~614mm,其沉降幅度排在天津、上海之后,成为我国最典型、沉降量最严重的区域之一。地面沉降造成行洪排沥防御标准降低,地下管网破坏,铁路运输安全受威胁,国家高程控制标志点失效,风暴潮频发,浅层地下水位抬高等,其危害十分严重。

c. 深层淡水超采量越大,地下水位下降越快,地面沉降越严重。根据对沧州市1970~2001年地面沉降量、深层地下水漏斗中心水位埋深和深层淡水开采量进行相关分析,地面沉降直接受深层淡水开采量和地下水位影响(图2)。沧州市地面沉降与深层淡水超采有直接关系,深层淡水超采量越大,地下水位下降越快,地面沉降越严重,三者速率成正比关系。

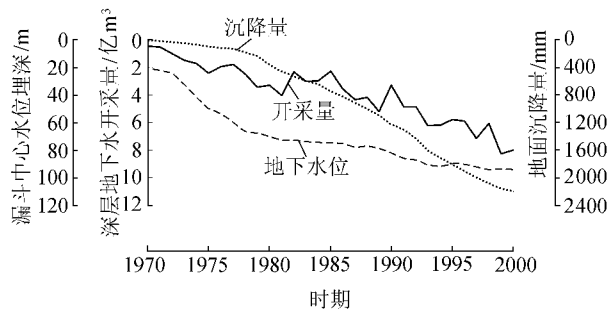


图2 沧州市深层地下水开采量、漏斗中心水位埋深与地面沉降量关系

d. 大量并集中开采深层淡水,为咸水入侵、地下水水质污染提供了水动力条件。沧州市仅西部肃宁县(占全市总面积的4%)为全淡区,其余县市均为有咸水区。由于有咸水区主要集中开采深层第Ⅲ含水组淡水,深层第Ⅱ含水组因为是咸水基本未开采,使咸水水位高于淡水水位,两含水组间水头差导致咸淡水界面向淡水移动,发生咸水入侵。沧县和河间市咸淡水界面下移10m的面积已达1959km²。据沧县典型研究区资料显示,1997年与1979年比较,咸淡水界面最大下移深度已达30m。东部咸水西侵,1989年与1984年比较,咸水区面积向西扩展了686km²,平均137km²/a。深层淡水矿化度1989年比1981年升高0.768g/L,平均每年升高0.096g/L。沧州市地下高氟水的形成,既由海陆交替相富氟环境地质特点所决定,又受开采深层淡水人为因素的影响。沧州市第四系松散的沉积地层170~300m分布着厚层黏性土,与之相应,深层第Ⅲ含水组厚度在150~200m。黏性土的特征是遇水膨胀,干燥收缩,压缩性大,大量开采深层淡水时,会使含水层水头下降,当含水层与黏性土间水头克服水与颗粒间的结合力时,黏性土层中的水

被挤出,随着黏性土的释水,其中呈吸附状态的氟离子同时被释放出来进入地下水中,使得深层淡水中氟离子含量增高。据监测,十三化建1号井的开采深度285~392m,1980~1987年地下水含氟量由4.0mg/L增至6.5mg/L,年均升高0.4mg/L。

4 地下水开发利用

4.1 水资源开发利用总体思路

沧州市水资源短缺,深层淡水开发程度高,全市范围为严重超采区,超采区要逐步压缩超采,达到采补平衡。实现上述目标,首先要合理调控当地水资源,以开发浅层地下水(包括咸水)为基础,建设以土壤及潜水含水层的地层空间,作为调节大气降水、土壤水、地下水、地表水的地下水水库,科学调控地下水埋深,最大限度地把时空分布不均的天然降水和地表径流转化为可持续利用的水资源。在大量压缩深层淡水开采量,远不能满足供需要求的情况下,通过外调水(引黄、引江、引王快水库水)和非常规水资源(海水、咸水、中水)增加供水量,建设节水型社会,达到供需平衡。

4.2 地下水开发利用控制指标

a. 地下水可开采利用量。浅层地下水可开采利用量,是指在经济上合理、技术上可能,环境条件允许的情况下,能够获取的最大补给资源量。经计算多年平均浅层淡水可开采利用量为5.0亿m³,浅层矿化度质量浓度为2~3g/L的微咸水、3~5g/L的弱咸水和大于5g/L咸水的可开采利用量分别为4.0亿m³、1.8亿m³和1.6亿m³。深层淡水限采量即可开采利用量,为2.9亿m³。

b. 地下水埋深。研究表明,沧州市旱季防治盐碱化的浅层水临界深度2~3m,雨季前防涝蓄雨浅层水临界深度4~6m。沧州市地面沉降速率与深层水埋深有关,埋深超过60m是20~60m速率的8.5倍。深层水埋深必须控制在60m之内,防止地面沉降量大幅度增加。

4.3 地下水资源管理措施

a. 调整深井布局。严格取水许可审批,调整深井布局。自来水管网内能用浅层咸水淡化的不再批准打深井。沧州市现有深井18811眼,密度大,分布不合理,特别是市区及周围的5大水源地,主要开采第Ⅲ、Ⅳ含水组深层水,深井集中,开采强度大,是漏斗和沉降中心,这一区域不再批准打深井,现有深井逐步关闭。其它区域严格限采,在压缩深层淡水开采量转换水源后,合理调整机井数量和布局,2010年和2030年机井数量分别控制在7080眼和6720眼。井距控制:运西800~1000m,运东1000~1500m。

b. 限制地下水开采量。国内外实践表明,有效

限制地下水开采量须有法制保障。国家应制定地下水法或修改完善水法。地方根据当地水资源开发利用情况,制定配套的地方性法规,对地下水禁采、限采、开采数量、开采层位、开采深度、机井管截面积等做出硬性规定。

c. 关停市区深井。沧州市区及周围5大水源地有深井282眼,市自来水厂水源深井已关闭,其余257眼企事业单位自备井计划2007年前全部关停。转换水源后,工业和生活用水全部改用地表水。停止开采深层淡水后,每年可减少开采量0.2亿 m^3 ,结束市区深层淡水长期严重超采局面,涵养地下水资源,遏制地下水位下降。同时消除了污染深层淡水的潜在因素。

d. 人工回灌。结合沧州实际,近期人工回灌可利用地下水库水源,地下水库主要通过坑塘、河渠、农田拦蓄的地表入渗水进行补给,经计算,地下水库的可调蓄水量为360万 m^3/a 。汛期利用现有深井浅层水回灌深层水,大城县等地均有成功实例。具体方法是在深井旁再打1眼浅井,深浅井用导管连接,中间按水泵用于抽掉导管中的水或气,在深浅井水位差的作用下,浅井水自动流入深井进行自流回灌。远期计划引江水和经过处理后的中水为水源,采用回灌设备系统回灌。

e. 防治地下水污染。用经济杠杆促进节水减污,搞好污染源治理。划定水资源保护区,实施纳污总量控制。要用法规支撑,明令禁止使用渗坑、渗井排放污水,禁止污水灌溉、禁止串层混合开采地下水,强制回填报废机井。

f. 调整水资源费。沧州市水价改革实践已证明,1997年前地下水价低于地上(引黄)水价,在地下水严重超采的情况下,自备井用水户有地上水不用。1997年后开始调整水资源费征收标准,经过逐步调整,资源水价由0.06元/ m^3 调到了1.50~14.30元/ m^3 (不同用水户),促使自备井用水户大部分已改用了地上水。必须适时、适地的调整水资源费标准,解决资源水价低的问题。城市水资源费征收标准要达到自来水价格。

4.4 水资源保障措施

4.4.1 引黄引江水替换深层淡水

20世纪90年代沧州市启动引水工程建设,1996年大浪淀水库建成后每年引黄河水0.6亿 m^3 ,保证了市区生活和部分工业用水,关闭了市自来水厂深井水源地。继引大入港工程通水,2008年建成滨港供水工程(山东滨州小开河引黄至海兴杨埕水库为黄骅港供水),东部黄骅市、大港油田、临港开发区和大港口用水,全部由深层淡水改为黄河水。南水北调通水后,可引江水4.3亿 m^3/a ,替换深层淡水作为

城市、生态和部分农业用水。

4.4.2 利用海水和地下咸水替换深层淡水

目前沧州市利用海咸水条件成熟。2006年3月,国内规模最大,日产淡水2万t的海水淡化设备,在沧东电厂制水成功。2010年沿海区域需冷却用海水12亿 m^3 (相当0.5亿 m^3 淡水循环利用),97%可用海水替代。近年来,采用咸水淡化技术解决了工业用水和农村饮水问题。2000年沧化集团引进日产1.8万t咸水淡化设备,全市已有132个村安装了苦咸水淡化设备。最近又研究出城市生活(除饮用、洗漱外)利用地下咸水。今后沧州市每年可在农灌、工业、城市生活、渔业、环境等方面推广利用咸水1.2亿 m^3 。

4.4.3 利用中水替换深层淡水

建设中的沧州华峰热电厂(2×300MW)拟利用沧州市运东污水处理厂经深度处理后的中水作为生产用水,年利用水量0.11亿 m^3 。

到2010年沧州市通过外调水和利用非常规水资源替换深层淡水量6.58亿 m^3 。

5 结 语

沧州市地表水匮乏,地下水的开发利用在支撑全市经济社会发展中发挥了极其重要的作用,但过量开采深层淡水也导致了一系列环境地质问题,而且使目前有限的水资源更加紧缺。深层淡水是主要供水水源,治理超采,需大量压缩深层淡水开采量,要通过合理调控当地水资源,充分利用非常规水资源,积极引调地表水,替换深层淡水。国内外实践证明,减少深层淡水开采量,采取人工回灌等措施,可使地下水位得到回升,有效地控制或减缓地面沉降,修复与改善生态与环境。开发利用水资源是人类生存所必需的,人水和谐相处,须寻求人与自然协调均衡的用水之路,即通过合理配置水资源,达到保证人类适量用水,又保证生态与环境用水。

参考文献:

- [1] 陈望和. 河北地下水[M]. 北京:地震出版社,1999:44-46.
- [2] 王长明. 沧州市地下水开发利用规划综述[J]. 河北水利科技,1999(3):46-48.
- [3] WANG Chang-ming. The Study on Controlling the Land subsidence of Cangzhou City[C]//第七届国际地面沉降学术研讨会论文集. 上海:上海科学技术出版社,2005:887-896.
- [4] 王长明. 沧州市水资源保护对策措施[J]. 水资源保护,2003(4):52-54.
- [5] 王长明. 沧州市深层地下水超采引起的生态环境问题及其治理[C]//第5届全国水利工程渗流学术研讨会论文集. 郑州:黄河水利出版社,2006.

(收稿日期 2007-04-30 编辑 舒建)