

海河流域地下水资源演变现状与可持续利用前景

费宇红 李惠娣 申建梅

(中国地质科学院水文地质环境地质研究所,石家庄)

摘要 本文在客观评价海河流域平原区地下水资源现状的基础上,揭示了海河流域地下水系统与人类活动之间相互作用和响应的规律,并立足维持现状开采和补给条件下警告性预测了海河流域平原区地下水资源可持续利用阈值及其恢复时限性。

关键词 地下水资源演变 超采 可持续利用 海河流域

1 研究区概况

海河流域包括北京市、天津市的全部,河北省的大部及山西省、河南省和山东省的部分地区。总面积303 875 km²,其中山区174 859 km²,平原129 016 km²。按照流域水系、地下水埋藏及水文地质条件将流域分为滦河冀东沿海、海河南系、海河北系和徒骇马颊河4个二级区,本研究未包括徒骇马颊河。

1.2 水文地质与地下水系统特征

1.1.1 水文地质特征 研究区的平原、山间盆地及山间河谷沉积了巨厚的第三系、第四系冲洪积物,构成复杂的多个含水层组。平原区中部和东部分布有大片微咸水和咸水。

1.1.2 地下水系统特征 根据海河流域地下水埋藏特征,将第四系含水岩组划分为浅层地下水系统和深层地下水系统。浅层地下水系统底界一般在40~60 m,在山前平原,由于人为沟通、混合开采,浅层地下水系统实际已经延伸到120~150 m。深层地下水系统,其山前平原包括第Ⅲ含水岩组和第Ⅳ含水岩组,顶界深度由西向东约由80 m增加到120~150 m,底界为第四系底板,深度一般为140~350 m;中东部平原指咸水体以下的深层地下淡水,包括第Ⅱ含水岩组下部和第Ⅲ含水岩组,顶界深度一般120~160 m,底界深度一般为270~360 m;第Ⅳ含水岩组底界深度350~550 m(陈望和等,1999)。

1.2 地下水系统变化

海河流域平原区地下水的开发利用,已经使地下水系统与区域水文循环系统之间水分通量关系发生了显著变化。

1.2.1 补给条件的变化 海河流域地下水补给来源主要是大气降水和地表水体的入渗。由于水库拦蓄和超量开采地下水,已经引起区域地下水水位下降,包气带厚度增加。在山前平原的大部分地区,地下水水位埋深已由60年代的2~4 m下降至8 m以下,局部已经达到40多米,降水入渗系数显著减小,由原来的0.30~0.40下降到0.20~0.30^①。在中东部平原地区,地下水水位埋深已由原来的小于4 m,增大至4~8 m,降雨入渗系数由原来的0.11~0.25增加到0.15~0.30。

1.2.2 径流条件的变化 70年代以前,海河流域平原区地下水流向的总趋势与地面倾斜方向、隐伏冲积扇延伸方向及河流流向等大体一致。平原北部由西北向东南流,中部由西向东(东北)流,南部由西向东转为由南向北及东北流,最后经沧州、廊坊地区向天津方向流去。平原低洼地带如白洋淀、宁晋泊、永年洼等及其附近地区为其上游地带地下水流汇集区。近年来,平原区已形成20多个常年性浅层水和深层水地下水水位降落漏斗,从而改变了地下水流场形态。

1.2.3 排泄条件的变化 60年代,研究区地下水排泄以天然排泄为主,现已转变为以人工开采排泄为主。由于包气带厚度的增加,地下水的蒸发和侧向流出也大幅度减小。

2 地下水开采与超采现状

2.1 地下水开发利用发展过程

建国以来,海河流域开采地下水经历了4个阶段:

本文由水利部海河流域水资源规划项目专题之二“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”资助。

责任编辑:宫月萱。

第一作者:费宇红,女,1960年生,副研究员,从事水资源研究,邮编050061。

①河北省环境地质研究所,1999.河北省环境地质监测报告。

(1)初期阶段 :60 年代以前 ,开采仅限于埋藏较浅的地下水 ,开采量有限 ,区域地下水静储量基本处于自然状态。

(2)扩大开采阶段 :60 年代初 ,浅层地下水开采量迅速扩大 ,到 1969 年有机井近 20 万眼 ,局部地区浅层地下水储量出现消耗 ,地下水水位持续下降。

(3)大力发展阶段 :70 年代 ,由于人口和社会经济规模都得到迅猛发展 ,需水量逐年增加 ,地下水资源开采进入浅、中、深相结合 ,到 1979 年地下水开采量突破了 $100 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,过量消耗地下水储量 ,一些地区形成了较大的地下水水位降落漏斗。这个时期 ,地下水资源已经成为社会发展和经济建设的主要供水水源。

(4)超采阶段 :自 80 年代至今 ,需水量迅速增加 ,长期无序过量开采地下水资源 ,导致地下水储量大量消耗 ,区域地下水水位持续下降 ,漏斗逐年扩大 ,并出现严重的地面沉降、海水倒灌、水质污染等环境地质问题。

由于大量超采地下水 ,导致海河流域平原区地下水与 60 年代相比 ,发生了显著变化。1998 年与 1958 年相比 ,海河流域浅层地下水水位普遍下降 ,水位降幅介于 4.8 ~ 22.2 m。深层地下水在 70 年代之后也发生水位大幅度下降 ,降幅介于 12.9 ~ 53.8 m。相对 1975 年 ,海河流域平原区浅层地下水水位埋深大于 10 m 的面积 ,由 $0.463 \times 10^4 \text{ km}^2$ 增至 $3.17 \times 10^4 \text{ km}^2$;深层地下水水位埋深大于 10 m 的面积 ,由 $1.37 \times 10^4 \text{ km}^2$ 增加到 $6.19 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中 ,大于 40 m 的面积达到 $1.85 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

2.2 地下水储量消耗

在 60 年代的扩大开采阶段 ,就开始大量消耗浅层地下水储量 ,而深层地下水储量的大量消耗始于 70 年代的大力发展阶段 ,环境地质问题集中发生在超采阶段。

自大力开采地下水资源以来 ,海河流域平原区 (不包括徒骇马颊河地区)地下水累计消耗储量 $895.8 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中浅层地下水消耗储量 $471.2 \times 10^8 \text{ m}^3$,深层地下水消耗储量 $424.6 \times 10^8 \text{ m}^3$;不同时期浅层地下水消耗量为 :1958 ~ 1975 年消耗 $8.56 \times 10^8 \text{ m}^3$;1975 ~ 1985 年消耗 $13.84 \times 10^8 \text{ m}^3$;1985 ~ 1998 年消耗 $14.41 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。不同时期深层地下水消耗量为 1958 ~ 1975 年消耗 $4.59 \times 10^8 \text{ m}^3$;1975 ~ 1985 年消耗 $16.31 \times 10^8 \text{ m}^3$;1985 ~ 1998 年消耗 $14.11 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。由此可见地下水储量年均消耗量逐年增大 (表 1)。

表 1 海河流域平原不同时期地下水储量年均消耗量

Table 1 Annual average consumption of groundwater reserves in different period in the plain of the Haihe valley $\times 10^8 \text{ m}^3$

层位	1958 ~ 1998 年	1958 ~ 1975 年	1975 ~ 1985 年	1985 ~ 1998 年
浅层水	11.78	8.56	13.84	14.41
深层水	10.61	4.59	16.31	14.11

2.3 地下水资源超采现状及其分布

地下水资源超采系指某一研究区域在一定的研究期内 ,实际开采量超过了自然因素和人类活动影响下区域水文循环补给地下水的多年平均能力。

目前 ,海河流域中南部平原出现大范围区域性超采地下水资源 ,冀东沿海平原区呈局部性超采 ,城镇或工业区周围的地下水开采程度都比较高 ,基本属于严重超采区。

海河流域浅层地下水资源超采区多年平均超采量为 $28.18 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,超采总面积为 $4.42 \times 10^4 \text{ km}^2$,占全流域平原区总面积的 34.2% ,其中超采区面积 $4.07 \times 10^4 \text{ km}^2$,占总超采的 92.3% ;严重超采区面积 3420 km^2 ,占总超采的 7.7%。超采区主要分布在太行山前冲洪积平原全淡水区和廊坊地区的霸州市、三河县 ,严重超采区分布在石家庄市、永年县和邢台地区交接地带及肥乡漏斗中心地带。

深层地下水资源超采区多年平均超采量为 $23.43 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。超采总面积 $5.6 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中 ,超采区面积 $2.2 \times 10^4 \text{ km}^2$,占总超采面积的 38.9% ;严重超采区面积 $3.4 \times 10^4 \text{ km}^2$,占总超采面积的 61.1% ,超采区主要分布于平原区的中、东部及滨海平原区 ,属于大范围整体性分布 ,涉及唐山、廊坊、天津、石家庄、衡水、沧州、邯郸、邢台、滨州、德州、济南和濮阳等地区。

3 超采地下水引起的环境地质问题

地下水的超采必然打破地下水系统的水量均衡、水盐均衡和岩土力学平衡 ,地下水系统为了与外部环境之间建立新的平衡 ,势必导致地下水水位、水量、水质和含水介质发生一系列变化 ,如地面沉降、地裂缝、地面塌陷、海水入侵等 ,这些变化对于人类生存和社会经济发展来讲 ,是灾害性环境地质问题。

3.1 地下水水位降落漏斗的演变特征

海河流域平原区地下水水位降落漏斗是随着地下水的开采而产生和发展的。在地下水开采初期 (70 年代以前)地下水排泄量小于地下水有效补给量 ,地下水开采以浅层地下水为主 ,所以 ,仅在地下

水开采集中的局部地段,例如城市和集中供水源地,形成地下水水位降落漏斗,如石家庄市漏斗和保定市漏斗等。随着地下水开采量的增加和开采层位的不断加深,平原区较普遍存在超采问题,区域地下水排泄量超过了区域地下水补给量,地下水水位降落漏斗面积不断扩展,深度逐渐增大(表2),而且,漏斗之间彼此互相影响。

表2 海河流域平原地下水水位降落漏斗要素表
Table 2 Essential factors of groundwater level descending funnel in the plain of the Haihe valley

漏斗分布	漏斗层位	漏斗中心初始 水位埋深/m	1998年漏斗 面积/km ²	1998年漏斗 中心最大水位 埋深/m
唐山漏斗	浅层水	1.51(1958年)	479	42.73
北京朝阳漏斗	浅层水	14.56(1958年)	1685	31.40
保定漏斗	浅层水	2.21(1958年)	1586	32.65
宁泊隆漏斗	浅层水	1.66(1958年)	2470	56.84
石家庄漏斗	浅层水	2.62(1958年)	325	37.86
邯郸漏斗	浅层水	2.52(1961年)	1033	37.20
安阳-鹤壁- 濮阳漏斗	浅层水	2.46(1958年)	6598	22.42
唐山漏斗	深层水	1.24(1961年)	3476	76.26
天津漏斗	深层水	3.35(1958年)	2078	104.88
廊坊漏斗	深层水	1.52(1958年)	1594	75.99
冀枣衡漏斗	深层水	1.92(1958年)	11530	79.62
邢台巨新漏斗	浅层水	1.22(1961年)	1576	78.12
沧州漏斗	浅层水	0.88(1958年)	2729	93.73

3.2 地面沉降问题

区域性地面沉降包括地裂缝和地面塌陷,主要发生在天津地区和京津以南的中东部平原。据有关部门监测,至1998年,海河流域的河北省平原区,累计沉降量大于300 mm的面积为 1.82×10^4 km²以上,大于1000 mm的面积为755 km²。天津地区累计沉降量大于1500 mm的面积为133 km²,大于2000 mm的面积为37 km²。

4 地下水开发利用前景预测分析

4.1 可持续利用性分析

根据警告性预测方法,采用1975~1998年多年平均储量消耗量和1985~1998年平均超采量作为预测单位时间(年)消耗储量,分别以浅层地下水储量和深层地下水弹性储量完全疏干作为警告性预测假设目标,分析现状开采条件和补给条件下疏干地下水所需的时限为:海河流域平原浅层地下水储量消耗疏干时限78~154 a,其中北系150~177 a,南系71~130 a,深层地下水弹性储量消耗疏干时限10~15 a,北系10~13 a,南系9~15 a。

万方数据

4.2 可恢复性分析

地下水储量恢复率与含水层平均总储量的大小及含水层的调节作用有关(地质矿产部水文地质工程地质研究所,1987)。1958~1998年海河流域平原区为浅层含水组疏干厚度(指累计水位下降值)4.8~22.2 m,多年平均补给强度为 $(2.3 \sim 25.0) \times 10^4$ m³/a·km²,地下水储量恢复时限为8~94 a,其中山前平原一般为8~44 a,中东部为53~94 a。深层地下水水位下降变幅介于15.9~53.8 m,多年平均补给强度为 $(1.1 \sim 3.7) \times 10^4$ m³/a·km²,地下水储量恢复时限介于53~200 a,其中山前平原一般为53~166 a,中东部为152~200 a。

5 结论

综上所述,人类活动影响破坏了自然条件下海河流域水文循环演化规律和区域地下水形成机制,改变了区域地下水资源补给能力,致使海河流域地下水资源的数量、质量及时空分布规律发生了显著变化。目前,海河流域水资源开发利用的潜力已经十分有限,超采疏干时间只有不足百年。其利用程度已经进入国际公认的水资源危机阈值范围(一个地区水资源利用量超过总可利用量的20%,就可能发生水危机),淡水资源已经十分紧缺。即使在充分挖掘海河流域本地水资源潜力的前提下,其均衡开采资源仍难以满足本地区社会经济发展对水资源的需求,在今后一定时期内仍然要消耗一定的、已经十分有限的地下水静储量,特别是深层地下水储量。

面向21世纪海河流域社会经济发展的需求,建议:

(1)南水北调工程实施后,挖掘本地区水资源潜力,利用山前平原地下调蓄库容,充分发挥多种水源的综合效益(陈志恺,2000),实现地表水与地下水资源联合调度。

(2)中东部缺水地区应重视咸水和海水的利用,这是一个具有广阔前景的方向。

(3)在水资源规划中针对本地区今后社会经济、人口和产业变革等因素,制定在时间上合理分布的地下水储量可开采阈值、指导性资源优化配置标准和预警监测指标及其相应的管理方案。

参 考 文 献

- 陈志恺等. 2000. 中国水资源的可持续利用. 中国水利(8): 38~42.
陈望和等. 1999. 河北地下水. 北京: 地震出版社. 39~190.
中国地质科学院水文地质工程地质研究所. 1987. 国外地下水资源评价及科学管理译文集. 北京: 地质出版社.

Evolution Situation and Sustainable Utilization Prospects of Groundwater Resources in Hehei River Valley

Fei Yuhong Li Huidi Shen Jianmei

(Institute of Hydrogeology and Environmental Geology , CAGS , Shijiazhuang , Hebei)

Abstract Based on objective evaluation of groundwater resources in the Haihe valley plain , this paper has revealed the law of groundwater system that interacts with and responds to human activities. This paper also predicts the criteria and time limit for the sustainable utilization of groundwater resources in the Haihe valley plain under the condition of maintaining current exploitation and supplementation.

Key words groundwater resources evolution excessive pumping of groundwater sustainable utilization Haihe river valley

中国地质科学院地质调查项目研究工作简讯

滦平盆地陆相层型研究取得重大进展

An Important Progress on the study of Continental Stratotype in the Luanping Basin

柳永清¹⁾ 李佩贤¹⁾ 庞其清²⁾ 田树刚¹⁾

(1)中国地质科学院地质研究所 北京 (2)石家庄经济学院)

我国陆相侏罗-白垩系界线及附近地层研究长期争论较大 亟待建立划分对比标准——层型(也称“金钉子”)。按国际地层委员会(1996)的决议“层型剖面”必须出露完全、沉积连续、化石丰富,具足够的沉积速率,排除构造和变质交代的影响。陆相地层沉积由于受气候、大地构造、火山喷发和盆地演化控制,形成复杂多变的充填序列,长期以来未能找到符合“层型”标准的剖面。

“中国地层标志化石及重点层型剖面”项目陆相层型组经持续2年的艰苦工作,踏勘路线约100余km,测制剖面10余条,累计剖面厚度1000余m,系统采集大量标本,终于在河北滦平县火斗山乡张家沟找到了较为理想的剖面,使研究取得突破性进展。

冀北滦平盆地陆相侏罗-白垩系发育完全,但前人工作深入的大店子东沟剖面具有明显缺陷,不能作为层型候选剖面:其底界附近堆积了多层巨厚“蜂窝梁砾岩”,有人认为存在沉积间断;底界向上约60m厚地层内一直没有找到化石;顶界附近见有约20m厚的玄武安山岩,上覆巨厚的冲积扇砾岩,说明当时构造活动强烈。

张家沟剖面沿山沟东北侧的山梁延伸,岩层完全裸露,岩性以单一的浅湖-半深湖相泥页岩和粉砂万方数据

岩夹砂岩为主,化石丰富、门类繁多;界线附近没有砾岩和火山岩(层)整个剖面表现为单斜地层,倾向NE,倾角平缓约20°,符合层型标准。

经初步研究,张家沟剖面计有介形虫、叶肢介、昆虫、鱼、双壳类、腹足类和植物等多门类化石;底界发现以 *Yanshanina* 为主体的介形虫化石组合,为限定热河动物群和“层型”提供了充分依据。底界之下地层中含 *Eoparacypris-Luanpingella-Pseudopara-cypriodopsis* 组合和 *Nestoria-Keratetheria* 组合,代表大北沟组的前热河动物群;底界之上为 *Eosetheria-Ephemeropsis-Lycoptera* 组合,属大店子组的热河动物群。

剖面由若干个完整、连续的湖泊-扇三角洲沉积旋回序列组成。底界附近为水下分流河道-浅湖沉积相序,顶界附近为浅湖-半深湖-深湖沉积相序。顶、底界限同时排除了火山岩和巨厚冲积扇砾岩造成的沉积间断和对建立“层型”的不利因素的影响,保证生物发育演化的连续性与多学科综合研究。

同时经过详细的野外追索研究,初步建立了“层型”顶、底界面间的沉积-地层格架模型,对“层型”顶、底界的确定和“层型”内沉积、地层和盆地发育演化以及区域对比具有极其重要的意义。