

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2024.02.10

引用格式: 王振华, 郭睿, 李彦彬, 等. 超采引起的河北平原东部地下淡水和地下咸水变化——以廊坊市东部和沧州市东部为例[J]. 中国地质调查, 2024, 11(2): 81–89. (Wang Z H, Guo R, Li Y B, et al. Change of underground fresh and underground salt water caused by groundwater over-extraction in the eastern Hebei Plain: A case study of the eastern Langfang City and the eastern Cangzhou City[J]. Geological Survey of China, 2024, 11(2): 81–89.)

超采引起的河北平原东部地下淡水和地下咸水变化 ——以廊坊市东部和沧州市东部为例

王振华, 郭睿*, 李彦彬, 李振雄, 郭鑫鑫

(河北省地质矿产勘查开发局国土资源勘查中心(河北省矿山和地质灾害应急救援中心),
河北石家庄 050081)

摘要: 自1975年以来,河北平原东部地下水严重超采引起一系列地质环境问题。基于河北平原东部(廊坊市东部和沧州市东部)2017年高密度地下水位统测数据、地下水开采量数据,判断河北平原东部地下水开发现状。通过分析研究区深浅层地下水水位数据、开采量和资源潜力,认为近年来河北平原东部地下淡水存在严重超采情况。通过对研究区深层地下水取样分析数据与水质历史背景数据开展对比分析,同时布置高密度电法进行物探解译,得出现状地下咸水底界,将之与20世纪70年代研究区的地下咸淡水分界数据对比认为,研究区地下淡水超采,引发地下咸淡水分布产生较大变化,同时对引起变化的主导因素进行了分析。研究有助于深入认识河北平原东部咸水区地下水开发利用条件,为推动河北平原东部咸水区的地下淡水资源合理开发提供科学依据。

关键词: 地下淡水超采; 地下咸淡水变化; 垂向变化; 平面变化

中图分类号: P641.1

文献标志码: A

文章编号: 2095–8706(2024)02–0081–09

0 引言

地下水是地质环境中重要组成要素,过度开采地下水会导致咸水分布区的地下咸水赋存发生变化。宋海波等^[1]在河北省平原中部分析了开采条件下河北平原中部咸淡水界面下移的变化,主要研究了开采条件下咸淡水界面垂向变化,未研究平面上的变化;刘帅等^[2]和Rubhera等^[3]研究了滨海平原地下水超采条件下,形成浅层地下水漏斗,破坏了含水层中咸水和淡水之间的平面分布的动态平衡,咸水区地下水向漏斗中心流动造成了咸水入侵,造成水环境恶化。上述研究发现咸淡水界面平面上向漏斗中心移动靠近,但涉及垂向和平面上的综合研究较少。为研究地下淡水资源超采条件下

的咸淡水的整体变化规律(垂向和平面的咸淡水界面变化),本文选取了河北平原东部的廊坊市东部和沧州市东部作为研究区。研究区在20世纪70年代以前未大规模开发利用地下水,地下咸淡水的空间分布基本稳定,但1975年以来工农业生产大规模开采地下淡水,形成了大范围的地下水降落漏斗^[4–5],使得地下咸水逆天然径流方向补给漏斗区,导致了研究区内地下咸水体分布发生了较大的变化。本文采用深浅层地下水水位统测、取样分析、多年开采量统计、高密度电法物探等方法,并根据区域开采量计算评价了研究区深层和浅层地下水开采强度,绘制了2017年研究区深、浅层地下水水位标高等值线,圈定了地下水降落漏斗分布范围;分析了研究区1975–2017年深、浅层地下水位变幅,以及由于超采引起的地下咸水分布变化。通

收稿日期: 2023–08–22; 修订日期: 2024–03–05。

基金项目: 河北省自然资源厅专项地质调查项目“京津冀协同发展文安、任丘、大城、青县1:5万环境地质调查(编号:454–0503–YBN–7W27)”资助。

第一作者简介: 王振华(1985–),男,高级工程师,主要从事水文地质、环境地质、工程地质方面的研究工作。Email: 910924505@qq.com。

通信作者简介: 郭睿(1988–),男,高级工程师,主要从事水文地质、环境地质方面的研究工作。Email: 2316733266@qq.com。

过将2017年数据与1975年的数据进行对比分析,得出河北平原东部咸水区在地下淡水超采条件下的地下咸淡水体分布变化,分析了引起变化的主导因素,为合理开发地下淡水资源提供依据。

1 研究区概况

研究区位于廊坊市东部和沧州市东部,属于冲海积东部平原^[6](图1),其中廊坊市东部为大城县和文安县南部,沧州市东部为青县和任丘市东部,区内主要赋存、开采利用的地下水为第四系松散岩

类孔隙水^[7-9]。区内第四系沉积厚度为280~550 m,受不同地质历史时期的古气候、古地理沉积环境及新构造运动等因素控制,含水层组在不同深度的分布形态、发育程度均存在着差异性,导致了研究区内水文地质特征的不同。因此,以第四纪沉积物的岩性为基础,以水文地质条件为依据,将第四系含水层组自上而下划分为4个含水层组,研究区第四系含水层组的划分及其水文地质简要特征见表1。其中地下水第Ⅰ含水层组和第Ⅱ含水层组大部分区域为咸水,第Ⅲ含水层组、第Ⅳ含水层组为淡水。

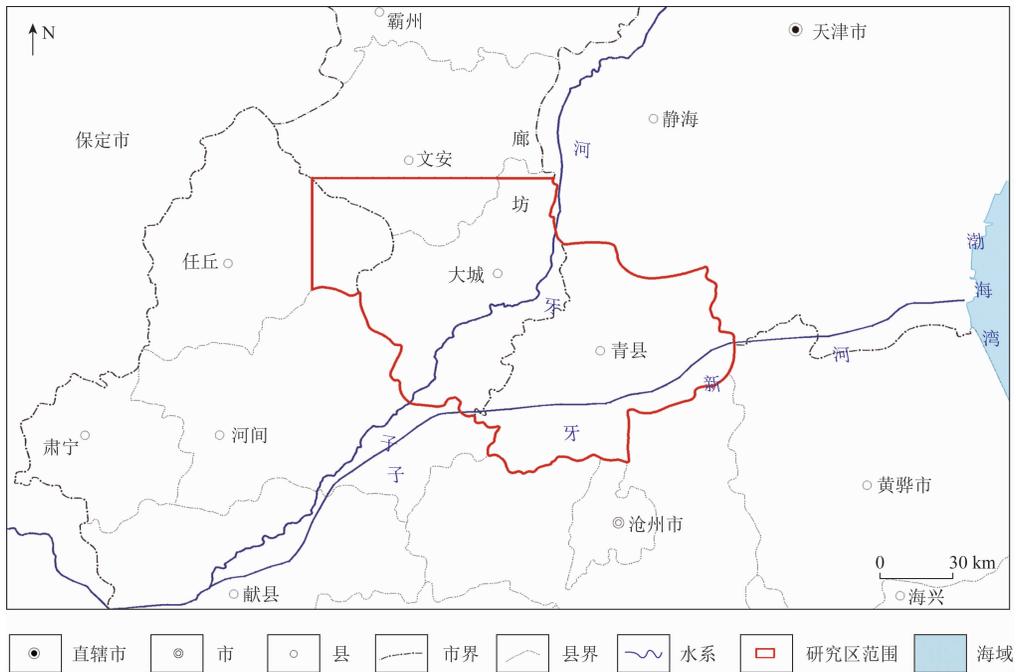


图1 研究区位置

Fig.1 Location of the study area

表1 研究区第四系含水层组划分及其水文地质特征简表

Tab.1 Division of quaternary aquifer formation and its hydrogeological characteristics in the study area

含水层组划分	类型与结构	含水层特征			现状水头/m	矿化度/(g·L ⁻¹)	单井出水量/(m ³ ·d ⁻¹)	水力性质	地下水动态成因类型
		岩性	厚度/m	底板深度/m					
浅层地下水	Ⅰ 冲洪积相的带状结构	粉砂—细砂	5.7~22.7	23.7~65.6	1.31~11.29	0.5~12	16.7~638.5	潜水—微承压水	强渗入补给—蒸发开采型
	Ⅱ 冲洪积相、湖积相的带状结构	粉砂—细砂	8.0~40.0	123.7~175.6	—	2.0~15.0	193.2~3 105.6	承压水	弱渗入补给径流补给—开采、径流型
深层地下水	Ⅲ 冲积、洪积与湖泊相的带状、盆状结构	主要为细砂,其次为粉砂和中砂	30.0~100.0	291.0~393.0	60.5~71.0	0.5~2.0	173.1~9 632.5	承压水	径流越流补给—开采型
	Ⅳ 冲积、洪积与湖相堆积的带状结构	主要为细砂,其次为粉砂和中砂	26.5~59.9	378.6~482.9	67.2~74.1	0.7~2.0 (局部>2)	340.0~658.0	承压水	缓慢径流、越流补给—开采型

注:表中现状水头为2017年水位埋深数据,“—”表示无数据。

河北平原在第四纪有过数次海进-海退历程, 遗留下很多原生咸水, 经过沉积下渗导致地下水第 I 含水层组 and 第 II 含水层组大部分区域为咸水^[10-11], 仅在古河道分布区、海侵未到区域为地下淡水、地下微咸水。研究区西部的文安县、任丘市多利用第 I、II 含水层组的地下水, 东部的大城县和青县多数机井、民井利用第 III 含水层组的地下水, 少数利用第 IV 含水层组的地下水。

研究区地下咸淡水的划分以矿化度 2.0 g/L 作为标准, 按照划分标准划分认为: 河北平原东部咸水呈楔状存在, 西部存在全地下淡水分布区, 地下咸水分布自西向东逐渐增厚^[11-13] (图 2)。

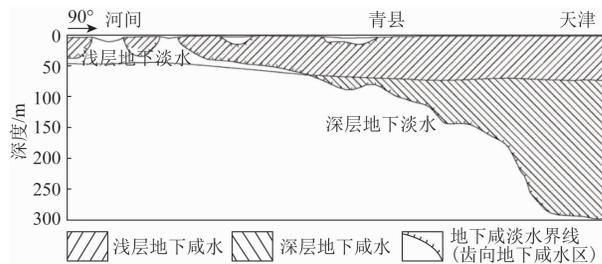


图 2 河北平原东部区域地下咸淡水分布剖面^[13]

Fig.2 Profile of underground salt and underground fresh water distribution in the eastern Hebei Plain^[13]

根据水质分析及地面物探解译资料综合判断, 地下咸水顶界面埋深多在 0~30.0 m。

深层地下淡水的水位埋深由西向东逐渐变深, 埋深为 60.5~71.0 m, 受超采影响, 在大城县和青县已形成 2 处较大漏斗, 漏斗中心水位埋深最深超过 90.0 m。

表 2 研究区 2011—2017 年浅层地下水开采量与允许开采量对比

Tab.2 Comparison of shallow underground fresh water exploitation and allowable exploitation in the study area from 2011 to 2017

县域名称	2011—2017 年浅层地下水 允许开采量/($\times 10^5 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$)	浅层地下水开采量/($\times 10^5 \text{ m}^3$)						
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
大城县	4 839.4	1 600.0	1 080.0	1 107.0	1 128.0	1 012.0	1 419.0	608.0
青县	3 797.4	1 931.0	1 937.0	1 492.0	1 618.0	1 175.0	1 767.0	825.5
文安县南部	408.3	635.5	614.6	598.4	548.2	574.5	567.6	743.4
任丘市东部	488.7	1 032.7	998.8	972.4	890.8	933.6	922.4	802.3

根据 2017 年环境地质调查资料^[21], 大城县和青县浅层地下水未过量开采, 大城县西部及相邻的任丘市、文安县浅层地下水为淡水和微咸水, 超采模数为 $(2 \sim 3) \times 10^5 \text{ m}^3/\text{km}^2$ (图 3 左)。

研究区西侧出现两个大规模的浅层地下水降

2 研究方法数据来源

本文于 2017 年开展了研究区深层和浅层地下水水位统测、地下水水质取样分析、多年开采量统计、高密度电法物探, 收集了历史背景数据, 对现在和历史状况进行了对比分析。

研究区布置了浅层地下水统测点 212 个, 统测密度达到每百平方千米 9 个以上; 布置了深层地下水统测点 289 个, 统测密度达到每百平方千米 12 个以上。布置了深层地下水水质检测分析点 6 组, 并与 20 世纪 70 年代的水质数据^[14-16] 进行了对比, 计算了深层地下水咸化率。

开展高密度电法剖面测量 19 条, 得出 2017 年研究区地下咸淡水界面垂向埋深, 并与 20 世纪 70 年代的数据进行对比, 分析了研究区地下咸水界面垂向变化情况。

3 结果与讨论

3.1 浅层地下水超采情况

根据文安县、任丘市、大城县、青县水资源公报^[17-20], 统计了浅层地下水开采量, 并与每个地区的浅层地下水可开采资源量进行对比分析 (表 2), 数据显示文安县、任丘市的浅层地下水严重超采, 而大城县和青县区域浅层地下水开采程度较低。

落漏斗 (图 3 右), 漏斗中心分别为任丘市梁石镇东南、大城县大尚屯镇西北。这是多年浅层地下水超采导致地下水含水层上部疏干, 使得东部浅层地下水向西 (逆天然流向) 补给漏斗区和疏干区, 导致平面上的地下咸淡水界线向西推移^[11]。

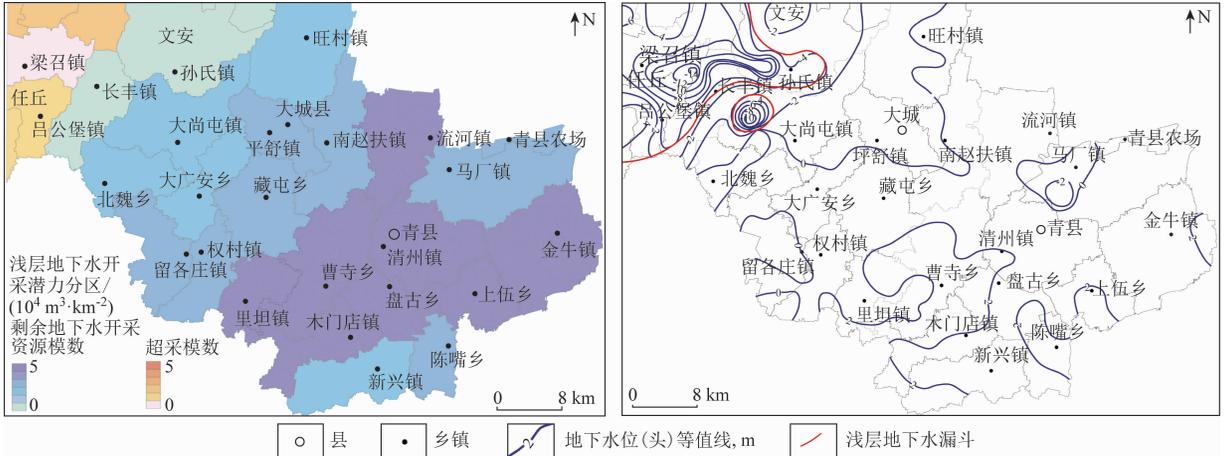


图3 2017年研究区浅层地下水开采潜力评价(左)和水位等值线及漏斗分布(右)

Fig.3 Evaluation of shallow groundwater exploitation potential (left) and shallow groundwater water level contours and funnels distribution (right) in the study area in 2017

从1975年至2017年研究区浅层地下水水位下降幅度西部达到10~15 m,中东部下降幅度较小,多小于3 m,局部为4~7 m(图4),与浅层地下水漏斗分布区基本相对应。

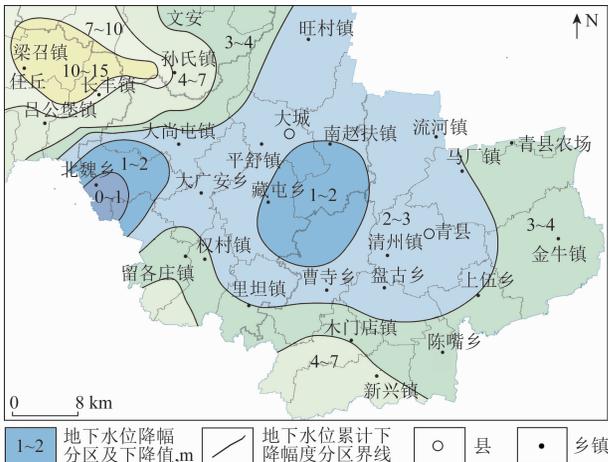


图4 研究区浅层地下水水位降幅分区(1975—2017年)

Fig.4 Partition of shallow groundwater level drop range in the study area(1975 -2017)

表3 研究区2011—2017年深层地下淡水开采量与允许开采量对比

Tab.3 Comparison table of deep underground fresh water extraction and allowable extraction in the study area from 2011 to 2017

县域名称	2011—2017年深层地下淡水 允许开采量/ $\times(10^5 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1})$	深层地下淡水开采量/ $(\times 10^4 \text{ m}^3)$						
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
大城县	2 333.2	6 005	4 801	4 770.0	4 743.0	4 357	4 279	4 192.0
青县	1 576.3	6 759	6 481	5 858.0	6 062.0	4 616	4 654	4 778.0
文安县南部	326.6	2 132	2 002	1 997.8	1 991.6	1 950	1 985	1 980.7
任丘市东部	707.3	1 430	1 390	1 385.0	1 193.0	1 120	1 143	1 101.8

3.2 深层地下水超采情况

3.2.1 深层地下水降落漏斗

根据2017年环境地质调查资料^[21],统计深层地下水淡水开采量,并与每个地区的深层地下水可开采资源量(表3)进行对比分析,得出深层地下水基本全部超采,局部严重超采,最大超采模数大于 $5 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{km}^2$,出现大规模深层地下水水位降落漏斗(图5),超采强度远大于浅层地下水。

大城县地下水降落漏斗位于大城县西南一带,漏斗中心位于留各庄镇西北一带,在研究区内未完全封闭,向西南延伸出研究区。2017年6月份中心水位埋深90.3 m,标高-83.8 m,2017年9月份中心水位埋深82.2 m,标高-75.4 m。

青县地下水降落漏斗位于青县中部及西南部,与南部地下水降落漏斗相连,漏斗区南部在研究区内未闭合,漏斗中心位于清州镇。2017年6月份中心水位埋深94.5 m,水位标高-89.5 m。2017年9月份中心水位埋深78.2 m,标高-74.0 m^[14]。

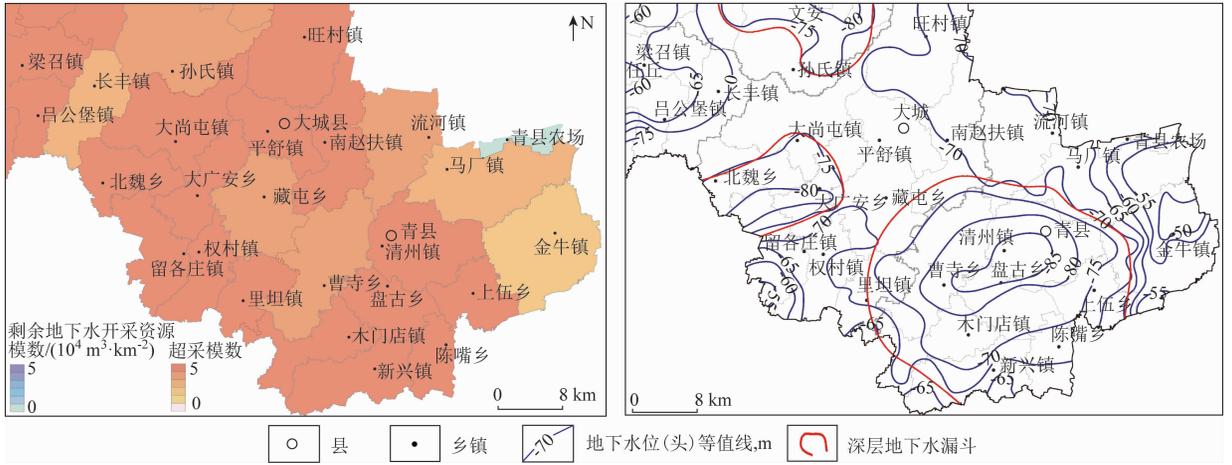


图5 2017年研究区深层地下水开采潜力评价(左)和水位等值线及漏斗分布(右)

Fig. 5 Evaluation of deep groundwater exploitation potential (left) and deep groundwater level contours and funnel distribution (right) in the study area in 2017

文安县地下水降落漏斗位于文安县中南部,中心不在研究区,地下水降落漏斗分布向北部延伸。

3.2.2 水位变幅及深浅层地下水位差值

从1975年至2017年研究区深层地下水水位下降幅度最大的区域分别为文安中南部、任丘中北部、大城县北部区域、大城县西南部区域和青县中南部区域,分别达到了70.0~80.0 m、55.0~60.0 m、55.0~60.0 m、60.0~70.0 m和80.0~90.0 m(图6),与深层地下水降落漏斗分布区相对应。

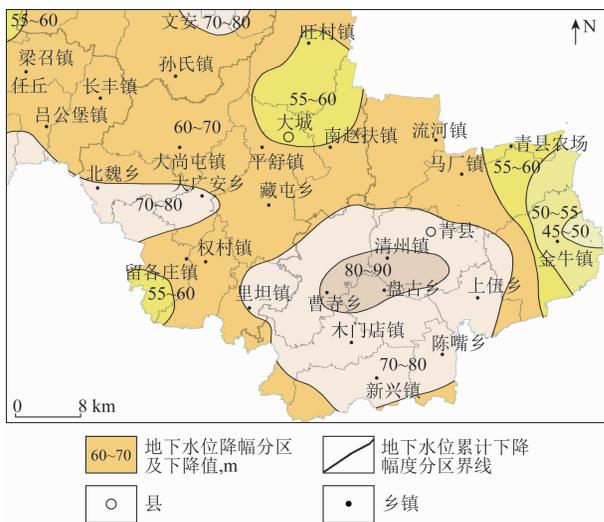


图6 1975—2017年研究区深层地下水水位降幅分区

Fig. 6 Deep groundwater level drop range in the study area from 1975 to 2017

由于深层地下淡水超采程度远大于浅层地下水,浅层地下水水位变幅远小于深层,为1.3~

11.3 m,导致了深浅层地下水巨大的水头差,最大达80多米。

3.3 地下咸水、地下淡水分布变化

研究区地下水在水平、垂向分布均表现出一定的规律性,西部为淡水—微咸水,东部为咸水(图7)。根据溶解性总固体(total dissolved solid, TDS)^[21]数据反映,研究区内地下水在垂向空间自上而下一一般为淡水—咸水—淡水结构,咸水一般发育于第I含水层组下部(或全部)与第II含水层组,最咸段一般位于第II含水层组中。第III含水层组一般为全淡水,仅在青县东部马厂镇一带发育咸水,第IV含水层组同为淡水,但TDS较第III含水层组稍高。自西向东随着径流途径的增加及距海距离的缩短,地下咸水层厚度增大,浅层地下淡水层减少、变薄。自上而下地下含水层粒度从细—粗多次韵律交替,其中第III含水层组粒度最粗。岩性自西向东由粗到细,由西部的中细砂、细砂到东部的粉细砂、粉砂。

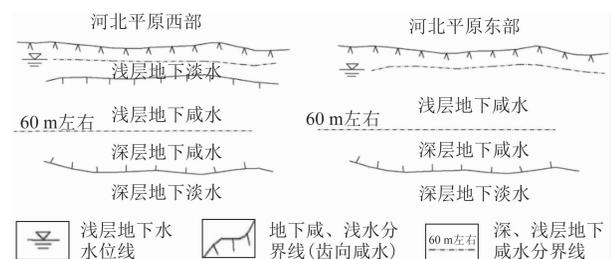


图7 研究区地下咸淡水空间分布^[13]

Fig. 7 Spatial distribution of underground salt and fresh water in the study area^[13]

研究区大部分区域均分布有地下咸水,研究区西部的任丘市和文安县的局部为全地下淡水区。青县第 I 含水层组大部及第 II 含水层组、大城县第 II 含水层组全部为地下咸水,大城县第 I 含水层组西部为地下淡水—地下微咸水,东部为地下咸水。

根据《廊坊市地质环境监测报告(2011—2015 年)》^[23],2006—2010 年期间第 I 含水层组地下咸水区分布在大城县中东部,2011—2015 年期间地下咸水区蔓延至大城县的中西部。2006—2015 年的 10 a 间大城县区域地下咸淡水水平面上的分界线向西推移约 30 km。

根据 2017 年的地面物探、物探测井,以及钻探取样、水质化验结果,研究区内的地下咸淡水垂向分界面埋深对比 20 世纪 70 年代的大城县、青县、文安县和任丘市农田供水测井及水文地质物探资料^[14-16]的地下咸淡水垂向分界面,青县区域内地下咸淡水界面下移 20~70 m,并呈现由东北向西南地下咸淡水界面下移量变大的规律^[1,11]。在大城县中部偏东区域地下咸淡水下界面下降值达到 100 m 之多,从大城县城区由西北向东南一线形成下移量的峰值,大城县西部地下咸水底界面下移 10~90 m (图 8)。

从分布空间环境来看,地下咸淡水垂向分界面自西向东逐渐加深,地下淡水的 TDS 数值自西向东均呈逐渐增大的趋势。年均咸化率(V)计算公式为

$$V = \frac{M_{末} - M_{初}}{M_{初} \cdot n} \times 100\% \quad (1)$$

式中:V 为年均咸化率,%/a; $M_{初}$ 为监测起始年矿化度值,mg/L,采用 1973—1989 年的 TDS 数值;

$M_{末}$ 为监测末尾年 TDS 数值,mg/L,采用 2017 年 TDS 数值; n 为监测年数,a。

受地下淡水超采影响,从监测数据(咸化率测点位置见图 8)来看深层地下水有了不同程度的咸化。深层地下水的咸化程度,采用表 4 中的标准进行评价,评价结果见表 5。

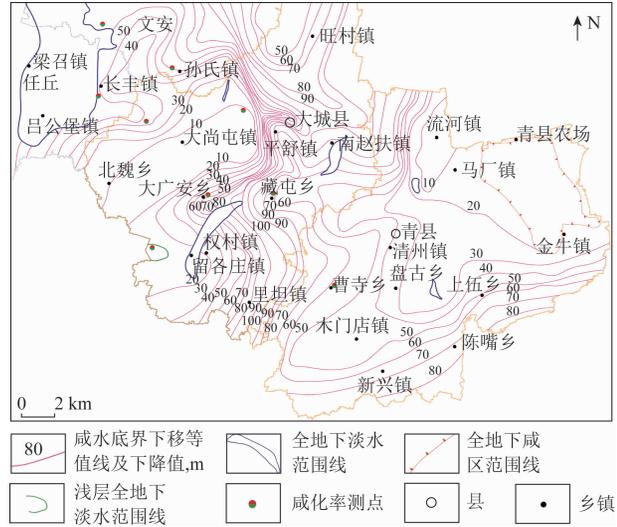


图 8 2017 年研究区地下咸淡水界面下降幅度等值线
Fig. 8 Contour line of underground salt and underground fresh water interface drop in the study area in 2017

表 4 地下咸水对深层地下淡水的影响程度评价标准
Tab. 4 Evaluation standard for the influence of the underground salt water on the deep underground fresh water

标准	$V \leq 0.5$	$0.5 < V \leq 1.0$	$V > 1.0$
影响程度	基本未咸化	一般咸化	咸化较重

注:考虑地下水离子含量受季节及开采影响, $V \leq 0.5$ 视为地下水水化学性质稳定。

表 5 研究区深层地下水监测点咸化率计算成果

Tab. 5 Salinity rate calculation results for the deep groundwater monitoring points in the study area

分区	井位置	起始年矿化度($M_{初}$)/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	2017 年矿化度($M_{末}$)/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	年均咸化率(V)/ ($\% \cdot \text{a}^{-1}$)	咸化程度	起始年份
大城县	大城县大尚屯镇西北	524.2	801.00	1.20	咸化较重	1973
	大城县大广安乡	487.0	549.30	0.32	基本未咸化	1977
	大城县臧屯乡南	726.0	1 135.80	1.31	咸化较重	1974
	大城县留各庄西 250 m	295.0	559.30	2.42	咸化较重	1980
	大城县平舒镇西北	463.1	598.20	0.66	一般咸化	1973
青县	青县曹寺乡	524.7	833.10	2.10	咸化较重	1989
文安县(部分)	文安县西南	509.0	565.40	0.27	基本未咸化	1976
	文安县孙氏镇	395.3	511.60	0.67	一般咸化	1973
任丘市(部分)	任丘市长丰镇	420.3	656.40	1.81	咸化较重	1986

此外,根据《河北省沧州地区地下水动态观测报告(1981—1985 年)》^[24],沧州地区第 III 含水组

历年 TDS 数值呈现增长趋势。1972 年沧州地区的平均 TDS 数值为 761.0 mg/L,1980 年的 TDS

数值为 831.4 mg/L, 1985 年的 TDS 数值为 850.2 mg/L, 多年平均增长率为 7.43%, 第Ⅳ含水组历年 TDS 数值呈现出增长趋势, 累积增加数值为 0.05 g/L。

3.4 引起变化的主导因素分析

(1) 浅层地下微咸水—地下淡水超采引起地下咸水和地下淡水含水层之间的地下水位差。任丘市东部、大城县西部及文安县区域浅层地下微咸水—地下淡水严重超采, 据调查第Ⅰ含水层组上部已经疏干, 第Ⅱ含水层组出现大规模的地下水降落漏斗, 而大城县东部和青县基本上全部浅层地下水为咸水, 未过量开采, 导致地下水径流反向, 东部地下咸水逆地下水自然流向补给西部地下淡水含水层, 导致地下咸水在平面上向西发生了较大移动。

超采引起的第Ⅰ含水层、第Ⅱ含水层地下咸水和第Ⅲ含水层组地下淡水之间的水头差加大, 大城县东部和青县基本上全部区域, 浅层第Ⅰ含水层、第Ⅱ含水层组为地下咸水, 基本不开采, 大城县西部及相邻的任丘市、文安县浅层水地下为地下淡水—地下微咸水超采程度在 $(2 \sim 3) \times 10^5 \text{ m}^3/\text{km}^2$, 而深层第Ⅲ含水组地下淡水大面积的严重超采, 超采程度大于 $5 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。导致深层地下水位降幅远大于地下浅层水, 形成巨大的水位差, 最大达 80 多米。

地下咸水和第Ⅲ含水层地下淡水之间的水位差是影响地下咸水入侵的主要因素之一, 也是必备的水动力条件, 地下水长期超采, 改变了地下水的流场方向, 水位漏斗区成为汇水区。地下咸水由高水头区向低水头区运动, 地下咸水补给地下淡水, 导致地下咸淡水垂向界面下移。

另外, 在水头差的作用下, 浅部地下咸水通过弱透水层越流补给深部地下淡水, 形成垂向越流, 水位差越大入侵速率越大^[12]。

出现深层地下淡水咸化的地区, 分布于地下水降落漏斗封闭区内。该区水位埋深较大, 水力坡度较大, 说明地下水位下降值越大, 下降速率越快的地区, 地下淡水咸化越严重。

(2) 隔水层不连续稳定。地下咸淡水均赋存于第四系沉积层中, 地下咸水以楔形赋存于第Ⅰ含水层和第Ⅲ含水层之间, 由于研究区地层多为黏性土和砂类土的多层结构, 地下咸水与地下淡水之间不存在稳定的水平隔水层, 而是一个自西向东逐渐加深的斜条状过渡带, 并且隔水层本身性质弱透水

的。当地下咸淡水之间的平衡状态被巨大的水头差破坏时, 在水头压力作用下, 地下咸水就会不断向地下淡水流动。

(3) 报废机井处理不当。研究区内报废机井没有及时处理^[1], 成井井孔施工不良^[25], 间接构成咸淡水连通天窗, 地下咸水在水头差的作用下通过井管向地下淡水层扩散, 造成咸水窜层, 使得地下深层地下淡水咸化。

(4) 根据研究区 TDS 分析可知, 深层地下淡水普遍存在咸化, 尤其是在深层地下水降落漏斗区咸化严重区域地下咸水的水头高度远大于地下淡水的水头, 盐分的浓度差在渗透压作用下, 形成较强的弥散作用, 压差越大, 弥散作用越强, 地下咸水入侵速度越快。

4 结论

(1) 自 1975 年以来地下淡水严重超采, 打破了河北平原东部浅层地下水的补排平衡和深浅层地下水之间的压力、化学动态平衡, 地下咸淡水体分布发生了较大的变化, 地下淡水赋存空间遭到地下咸水入侵。大城县内第Ⅰ含水层组平面上地下咸淡水分界线向西推移约 30 km。深层地下淡水严重超采使得青县垂向地下咸淡水分界面下移 20 ~ 70 m, 大城县中部偏东区域垂向地下咸淡水分界面下降值达到 100 m 之多, 深层地下淡水咸化严重。

(2) 引起河北平原东部水体变化主导因素: ①浅层地下微咸水—地下淡水超采区形成巨大地下水降落漏斗或局部含水层疏干, 导致地下咸水逆天然流场补给, 侵占地下淡水赋存空间; ②地下咸淡水之间隔水层不稳定; ③个别报废机井没有及时处理或机井成施工不良, 形成地下咸淡水连通天窗; ④地下淡水严重超采条件形成较大地下咸淡水水头差, 地下咸水垂向越流, 导致地下咸水下移。

(3) 随着经济社会的高度发展, 生产生活对地下淡水资源的过度开采打破了咸淡水系统的内在平衡, 使得地下咸水侵入地下淡水赋存空间, 地下淡水水质恶化, 本研究以为河北省平原东部合理开发地下淡水资源及遏制水资源水质恶化提供依据。但对于地下咸水运移的动态变化缺乏长期监测数据, 研究区范围不够大, 关于大区域的地下水超采引起的地下咸水入侵的地质环境问题有待进

一步研究,适时开展地下咸水界面的动态监测,研究其入侵机制。

参考文献 (References):

- [1] 宋海波,张兆吉,费宇红,等. 开采条件下河北平原中部咸淡水界面下移[J]. 水文地质工程地质,2007,34(1):44-46,52.
Song H B, Zhang Z J, Fei Y H, et al. Down - movement of the fresh - saline groundwater interface in the middle of the Hebei Plain under the condition of exploitation[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2007, 34(1): 44 - 46, 52.
- [2] 刘帅,刘志涛,段晓飞,等. 山东省广饶县地下水位多年动态及其地质环境效应分析[J]. 中国地质调查,2021,8(3):49-57.
Liu S, Liu Z T, Duan X F, et al. Dynamic monitoring of the groundwater in Guangrao County in Shandong Province and the analysis of its geological environmental effect[J]. Geological Survey of China, 2021, 8(3): 49 - 57.
- [3] Rubhera R A M M. Groundwater quality degradation due to salt water intrusion in Zanzibar Municipality[J]. African Journal of Environmental Science and Technology, 2015, 9(9): 734 - 740.
- [4] 费宇红,苗晋祥,张兆吉,等. 华北平原地下水降落漏斗演变及主导因素分析[J]. 资源科学,2009,31(3):394-399.
Fei Y H, Miao J X, Zhang Z J, et al. Analysis on evolution of groundwater depression cones and its leading factors in North China Plain[J]. Resources Science, 2009, 31(3): 394 - 399.
- [5] 张兆吉,费宇红,陈宗宇,等. 华北平原地下水可持续利用调查评价[M]. 北京:地质出版社,2009.
Zhang Z J, Fei Y H, Chen Z Y, et al. Investigation and Evolution on Groundwater Sustained Development in Huabei Plain[M]. Beijing: Geology Press, 2009.
- [6] 陈望和,倪明云. 河北第四纪地质[M]. 北京:地质出版社,1987.
Chen W H, Ni M Y. Quaternary Geology of Hebei Province[M]. Beijing: Geology Press, 1987.
- [7] 陈望和. 河北地下水[M]. 北京:地震出版社,1999.
Chen W H. Groundwater of Hebei Province[M]. Beijing: Seismological Press, 1999.
- [8] 张超,张明晶. 万荣县孤峰山山区东涧泉水成因及复流措施的探讨[J]. 山西水利科技,2019(1):45-48.
Zhang C, Zhang M J. Discussion on the cause of formation and reflowing measures of Dongjian spring in Gufeng Mountain area of Wanrong County[J]. Shanxi Hydrotechnics, 2019(1): 45 - 48.
- [9] 陈冶,陈文彬. 日照市地下水环境质量现状评价与原因分析[J]. 地下水,2016,38(3):99-100.
Chen Y, Chen W B. Evaluation and analysis of groundwater environmental quality in Rizhao City [J]. Ground Water, 2016, 38(3): 99 - 100.
- [10] 杨开林,王涛,郭永鑫,等. 引渤济锡海水输送工程[J]. 南水北调与水利科技,2007,5(3):78-82.
Yang K L, Wang T, Guo Y X, et al. Bohai sea water diversion to Xilin Gol[J]. South - to - North Water Transfers and Water Science & Technology, 2007, 5(3): 78 - 82.
- [11] Wang C X, Zhang Z J, Fei Y H, et al. Research on migration features of salt - fresh water interface on the north China plain[J]. Journal of Groundwater Science and Engineering, 2014, 2(2): 68 - 79.
- [12] 牟纯儒,张建平. 河北省典型区咸淡水界面下移现状及其入侵机制分析[J]. 河北水利水电技术,2002(1):37-39.
Mu C R, Zhang J P. Analyse of actuality and intrusion system about salt - fresh water line adown movement in HeBei province typical area[J]. Hebei Water Resources and Hydropower Engineering, 2002(1): 37 - 39.
- [13] 王振华,赵金召,付仕科,等. 关于咸水利用方法的探讨及前景分析——以青县咸水区为例[J]. 河北地质大学学报,2021,44(3):76-81.
Wang Z H, Zhao J Z, Fu S K, et al. Discussion on the utilization methods of saline water and its prospects analysis: A case study of the saline water area of Qingxian county[J]. Journal of Hebei GEO University, 2021, 44(3): 76 - 81.
- [14] 河北第七地质大队. 河北省沧州专区青县农田供水勘测报告[R]. 1969.
The 7th Geological Team of Hebei Province. Qingxian Farmland water supply survey Report, Cangzhou District, Hebei Province[R]. 1969.
- [15] 河北省地质局物探大队革命委员会第二连. 河北青县水文物探成果报告[R]. 1969.
The Second Company of Revolutionary Committee of Geophysical Prospect Brigade of Hebei Geology Bureau. Hydrology and geophysical prospecting report of Qingxian County Hebei Province[R]. 1969.
- [16] 河北省地质局水文地质工程地质大队. 天津地区大城县农田供水水文地质勘测报告[R]. 1972.
Hydrogeology Engineering Geology Brigade of Hebei Geology Bureau. Hydrogeology survey report of water supply for farmland in Dacheng County, Tianjin[R]. 1972.
- [17] 青县水利局. 青县水资源公报[R]. 2011—2017.
Qingxian County Water Resources Bureau. Qingxian county water resources bulletin[R]. 2011 - 2017.
- [18] 大城县水利局. 大城县水资源公报[R]. 2011—2017.
Dacheng County Water Resources Bureau. Dacheng county water resources bulletin[R]. 2011 - 2017.
- [19] 文安县水利局. 文安县水资源公报[R]. 2011—2017.
Wenan County Water Resources Bureau. Wenan county Water resources bulletin[R]. 2011 - 2017.
- [20] 任丘市水利局. 任丘市水资源公报[R]. 2011—2017.
Renqiu City Water Resources Bureau. Renqiu city water resources bulletin[R]. 2011 - 2017.
- [21] 刘占魁,李晋瑞,邵宁,等. 京津冀协同发展文安、任丘、大城、青县1:5万环境地质调查报告[R]. 2019.
Liu Z K, Li J R, Gao N, et al. 1: 50,000 environmental geological survey report of Wen'an, Renqiu, Dacheng and Qingxian [R].

- 2019.
- [22] 河北地质局水文地质工程地质观测总站. 河北省地下水位年鉴(沧州地区)(1967—1975)[R]. 1978.
Hebei Geological Bureau Hydrogeological Engineering Geological Observation Station. Hebei Province Ground water Level yearbook (Cangzhou Region) (1967 - 1975) [R]. 1978.
- [23] 朱小龙. 廊坊市地质环境监测报告(2010—2015年)[R]. 2016.
- Zhu X L. Langfang city geological environment monitoring report (2010 - 2015) [R]. 2016.
- [24] 戴树章,刘宝珍,姚世东,等. 河北省沧州地区地下水动态观测报告(1981—1985年)[R]. 1986.
Dai S Z, Liu B Z, Yao S D, et al. Groundwater dynamic monitoring report in Cangzhou, Hebei Province (1981 ~ 1985) [R]. 1986.
- [25] Barlow P M, Reichard E G. Saltwater intrusion in coastal regions of North America[J]. Hydrogeology Journal, 2010, 18(1): 247 - 260.

Change of underground fresh and underground salt water caused by groundwater over - extraction in the eastern Hebei Plain: A case study of the eastern Langfang City and the eastern Cangzhou City

WANG Zhenhua, GUO Rui, LI Yanbin, LI Zhenxiong, GUO Xinxin

(Land and Resources Exploration Center, Hebei Geology and Mineral Resources Exploration Bureau(Hebei Mining and Geological Disaster Emergency Rescue Center), Hebei Shijiazhuang 050081, China)

Abstract: A series of geological environment problems have been caused by groundwater over - extraction in eastern Hebei Plain since 1975. Based on high - density groundwater level measurement data and groundwater extraction data of the eastern Hebei Plain (the eastern Langfang City and the eastern Cangzhou City) in 2017, the authors in this paper analyzed the groundwater exploitation. The underground fresh water in the eastern Hebei Plain was seriously over extracted in recent years by groundwater level analysis of deep and shallow aquifers, exploitation and resource potential. The top and bottom of current salt - water system was bounded through comprehensive comparison between deep water sample analysis data and historical background data of water quality, and based on high density electrical prospecting interpretation. Besides, it is concluded that the distribution of salt and fresh water has changed greatly caused by groundwater over - extraction, through comparison with the 1970 s' boundary between salt water and fresh water, and the main factors causing the change were analyzed. This research is helpful to understand the development and utilization conditions of groundwater and provide scientific basis for promoting the rational development of groundwater resources in the saltwater area of the eastern Hebei Plain.

Keywords: underground fresh water over - extraction; change of underground fresh and salt water; vertical change; lateral change

(责任编辑:王晗)