

人类活动对鲁北平原地下水环境影响特征研究

刘春华^{1,2}, 张光辉¹, 杨丽芝², 卫政润², 刘中业²

(1. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北 石家庄 050061; 2. 山东省地质调查院, 山东 济南 250013)

摘要: 从近10年来对鲁北平原地下水环境问题的调查成果出发, 论述了人类活动对鲁北平原地下水环境的影响特征, 包括浅层地下水污染、含水层疏干等的分布、形成规律及发展趋势。鲁北平原浅层地下水主要污染物为三氮、砷、铅等重(类)金属, 个别地方存在有机物污染。深层含水层疏干主要发生在长期以深层地下水作为生活和工业水源的德州, 深层含水层疏干引发了地面沉降; 浅层地下水疏干发生在以浅层地下水为农业供水水源的冠县和宁津县。通过对鲁北平原地下水环境问题的分布现状、产生原因及规律、发展趋势及其危害的研究, 提出了相应的预防措施及可持续发展对策。

关键词: 地下水; 污染; 含水层疏干; 地面沉降; 鲁北平原

中图分类号: P641.8

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2012)06-0001-05

Characteristic research on the influence of human activities on groundwater environment in northern Shandong plain

LIU Chunhua^{1,2}, ZHANG Guanghui¹, YANG Lizhi², WEI Zhengrun², LIU Zhongye²

(1. Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Science, Shijiazhuang 050061, China; 2. Shandong Institute of Geological Survey, Jinan 250013, China)

Abstract: Based on research of the environmental problems of groundwater in northern Shandong plain in the past 10 years, the impact of human activities on the groundwater environment was analyzed, including shallow groundwater pollution and aquifer dewatering, and its distribution, formation of law and development trend. The pollutants of shallow groundwater in the northern Shandong plain included nitrogen, heavy metal such as As and Pb, and organic. The deep confined aquifer dewatering occurs mainly in Dezhou where deep groundwater exploration have last for a long period. The deep confined aquifer dewatering triggered land subsidence. The shallow groundwater dewatering occurred in Guanxian and Ningjin where shallow groundwater was the main water supply for agriculture. Through the study on the distribution, causes, trends and its hazards of environmental problems of groundwater in study area, the paper raised appropriate precautions and sustainable development strategy.

Key words: groundwater; pollution; aquifer dewatering; land subsidence; the northern Shandong plain

1 研究区概况

华北平原是我国北方重要的经济区和粮棉油生产基地, 鲁北平原位于华北平原东南缘, 包括黄河以北的全部山东省行政区域, 面积约32 000 km², 属于暖温带大陆型季风气候区, 多年平均降水量563.8 mm, 多年平均蒸发量1 500~1 900 mm。自西南向东北地面高程从40 m左右降至1 m, 依次为黄河冲积平原、黄河三角洲冲积-海积平原和滨海平原等地貌单元(图1)。地下水和黄河水为该区间的主要供水水源, 但是人类的社会活动造成了区内部分地区

产生了一系列地质环境问题, 包括地下水污染、地下水降落漏斗、土壤盐渍化和地面沉降等。笔者在对鲁北平原近10年的调查基础上, 对该区的地下水环境问题及针对性措施进行了分析和探讨。

2 浅层地下水补径排及水化学特征

区内浅层地下水含水岩组为第四系松散岩类, 含水岩组底板埋深最大为80 m, 地下水自西南向东北缓慢径流入渤海, 地下水水头自西南向阳谷县到沿海河口区由36 m逐渐下降到2 m, 地下水水头坡降约0.12‰。包气带岩性多为结构松散、渗透性良

收稿日期: 2012-09-02; 修回日期: 2012-09-26

基金项目: 中国地质调查局重点基础项目(1212010634603); 国家自然科学基金项目(41172214)资助

作者简介: 刘春华(1981-), 女, 湖北赤壁市人, 博士研究生, 研究方向为水循环与水土保持。

好的粉土。区内地下水补给主要为大气降水、地表水和灌溉水,地下水的排泄主要为蒸发和开采。受含水介质、补径排条件以及人类活动的影响,浅层地下水化学条件在水平方向具有分带性。自西向东由黄河冲积平原到滨海冲海积平原,地下水阳离子化学类型由 Na + Mg 型水和 Na + Ca + Mg 型水过渡为 Na 型水,岛状分布 Ca + Mg 型水、Na + Ca 型水及 Mg 型水,黄河中段沿黄地带地下水类型则主要为 Ca 型和 Ca + Mg 型;地下水阴离子化学类型自西向东由 HCO₃ 型水和 HCO₃ · SO₄ · Cl 型水过渡为 SO₄ · Cl 型水和 Cl 型水,在中西部岛状分布有 HCO₃ · SO₄ 型水,在西部阳谷、莘县部分地带分布一片 HCO₃ · Cl 型水;自西向东地下水中矿化度的含量由小于 2 g/L,渐变到大于 5g/L^[1]。

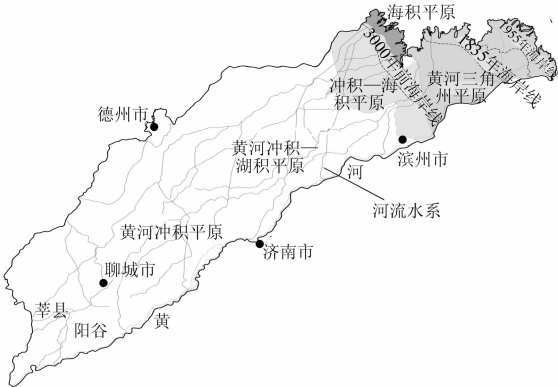


图1 研究区地貌简图

3 人类活动对地下水环境的影响

3.1 地下水污染

2006 – 2009 年期间在鲁北平原共采集 1084 件浅层地下水样品无机和有机分析样品,根据水质分析及污染评价结果,鲁北平原浅层地下水主要污染物为三氮、重金属,个别地方存在有机物污染。

3.1.1 污染评价方法 以 20 世纪 80 年代三氮数据作为三氮背景值(C₀),重金属和有机物背景值为检出限,现状数据(C_{ki})利用区内 2006 – 2009 年水质数据, C_Ⅲ 为《地下水质量标准》中指标 i 的Ⅲ类指标限值,采用单因子污染指数评价法,计算式如式(1),诊断结果按照表 1 进行分级。

$$P_{ki} = \frac{C_{ki} - C_0}{C_{Ⅲ}} \tag{1}$$

3.1.2 三氮污染 根据评价结果,全区氨氮(NH₄⁺ -N)污染点占样品总数比例为 8%^[1], NH₄⁺ 最高含量为 45 mg/L;亚硝酸盐氮(NO₂⁻ -N)污染点占样品总数比例为 30%, NO₂⁻ 含量最高为 65 mg/L;

硝酸盐氮(NO₃⁻ -N 为)污染点占样品总数比例为 25%, NO₃⁻ 含量最高为 1041.3 mg/L。

表1 单因子污染指数分级标准

污染类别	未污染	轻污染	中污染	重污染
污染分级	I	II	III	IV
指数范围	P≤0	0 < P ≤0.2	0.2 < P ≤0.6	P > 0.6

全区三氮污染在冲积海积平原呈面状分布,中西部地区呈岛状分布或点状零星散布,基本以每个城市为中心形成了一个个岛状的污染圈,其他区域污染点零星分布(图 2),污染区面积占总面积15.5%。

区内地下水的演化主要是淋滤作用和大陆盐化作用等两个作用的结果,三氮污染主要由人类社会活动输入导致,三氮来源主要有 3 个方面:一个是农业上化肥的施用,二是城镇污水管道和农村居民分散点化粪池的渗漏,三是工业污水排入河渠后下渗。

化肥施用最多的是氮肥(尿素 CO(NH₂)₂、氯化铵 NH₄Cl、硫酸铵(NH₄)₂SO₄、硝态氮肥),氮肥不完全被农作物吸收,随雨水或灌溉水在溶解作用、淋滤作用下,经土壤、包气带进入地下水中,其间在铵化作用、硝化作用下转化成为 NO₂⁻、NO₃⁻。

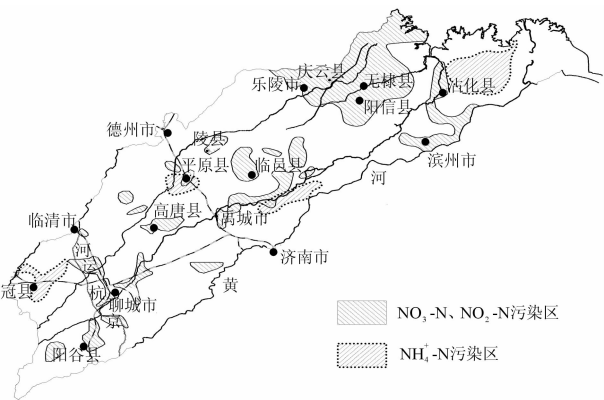


图2 研究区三氮污染范围分布图

根据相关试验证明,土水系统中氮的转化会导致水里总硬度发生变化^[2]。研究区地下水三氮污染也引起总硬度的升高,全区 1 084 组样品浅层地下水总硬度平均值为 1 154 mg/L, NH₄⁺ -N 污染点总硬度平均值为 2 714 mg/L,其中重污染点总硬度平均值为 4 510 mg/L, NO₃-N 污染点总硬度平均值为 1 215 mg/L,其中重污染点总硬度平均值为 1 489 mg/L, NO₂⁻ -N 污染点总硬度平均值为 1 221 mg/L,其中重污染点总硬度平均值为 1 471 mg/L(图 3),三氮污染点的总硬度均大大高于全区平均值,由于氮污染导致了浅层地下水化学组分的变异^[3]。

3.1.3 重金属污染 根据对鲁北平原 1 084 组浅层地下水样品的砷、镉、铬、铅、汞等 5 项重(类)金属测试分析,镉、铬、汞均无检出,砷超标(0.01 mg/L,Ⅲ类地下水质量标准 GB14848-93)点 287 组,占样品总数的 26.48%,铅超标(0.01 mg/L)点 14 组,占样品总数的 1.29%。

根据对 92 组深层(含水岩组顶板埋深大于 100 m)地下水样品的砷、镉、铬、铅、汞等重(类)金属测试分析,镉、铬、汞均无检出,砷有 1 组超标,铅有 1 组超标。浅层地下水和深层地下水都存在砷、铅超标,浅层地下水砷超标率大大高于深层地下水、铅超标率相近(图 4)。

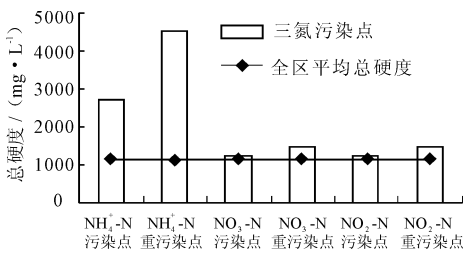


图 3 三氮污染样品的地下水总硬度与全区地下水样品总硬度对比

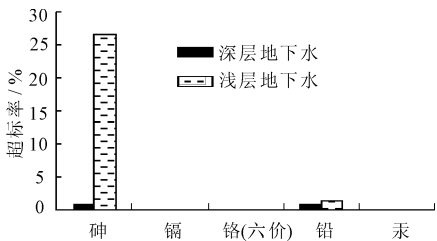


图 4 研究区地下水重(类)金属超标统计图

根据对不同场地类型地下水砷超标点的统计显示,养殖场砷超标率大大高于全区水平(表 2),表明禽畜从饲料中摄取的砷排泄后,废弃物随雨水进入了养殖场周边的地下水环境。综合来看,砷、铅等重(类)金属超标首要原因是背景值高的因素,其次也有部分点由污染引起。

3.1.4 有机污染 对 1084 组浅层地下水样品 21 项挥发性有机指标(包括三氯甲烷、四氯化碳、1,1,1-三氯乙烷、三氯乙烯、四氯乙烯、二氯甲烷、1,2-二氯乙烷、1,1,2-三氯乙烷、1,2-二氯丙烷、溴仿、氯乙烯、1,1-二氯乙烯、1,2-二氯乙烯、氯苯、邻二氯苯、对二氯苯、苯、甲苯、乙苯、二甲苯、苯乙烯等 21 项)和 5 项半挥发性有机指标(总六六六、 γ -BHC(林丹)、滴滴涕、总滴滴涕、六氯苯和苯并(a)芘)等进行了测试分析和污染评价。

表 2 各类场地地下水砷超标率对比 个, %

场地类型	样品数	检出率	检出平均值	超标平均值	
			(检出限: 0.005)	超标率	(超标限: 0.01)
养殖场	37	65	0.041	51.35	0.050
垃圾场	17	33	0.021	17.65	0.030
蔬菜地	14	50	0.013	28.57	0.018
全 区	1084	35	0.032	26.48	0.040

结果:挥发性有机指标综合污染评价结果显示,全区挥发性有机污染以未污染和轻污染为主,轻污染点多集中在东部及沿海,加油站和石油开采区^[4]未污染比例、轻污染比例和中污染比例略低于全区水平,但重污染比例大大高于全区水平,意味着加油站和油田一旦发生泄漏事故,周边地下水即可能发生有机物中污染甚至重污染(图 5)。在商河县某地刚发生泄漏事故不久的一个加油站 10 m 深井中采集样品测试结果表明,地下水遭受极重有机污染,污染物为苯、甲苯、乙苯,含量均达到 200 g/L 以上。

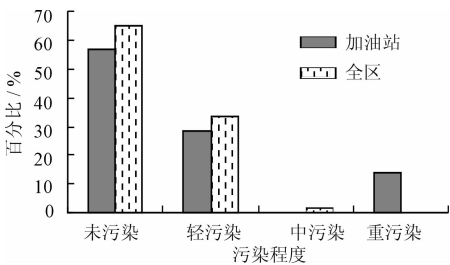


图 5 加油站与全区地下水有机污染程度对比

半挥发性有机指标在本轮测试精度条件下均为未检出,综合污染评价结果确定全部浅层地下水样均为无半挥发性有机指标污染。

3.2 浅层含水层疏干

浅层含水层疏干主要发生在鲁北平原西部的冠县、北部宁津等两地区,两地浅层地下水主要用于农业灌溉。

鲁北平原大规模开采利用地下水始自 20 世纪 70 年代,由于部分地区水资源需求量的增大、采补不平衡,地下水的储存量被逐渐消耗,使得天然条件下浅层地下水自西南往东北入渤海的自然流场逐渐被局部小型区域地下水位降落漏斗所打断,形成冠县漏斗和宁津漏斗。

冠县漏斗区地层为简单的二元结构,地下水水位随开采持续下降,自 1990-2008 年水位下降了 10~15 m(图 6)。2008 年冠县漏斗中心水位埋深 23.67 m(图 7),地下水位下降超出 1/2 个含水层厚,15 m 埋深等值线内漏斗面积 1 148 km²。

宁津漏斗最低水位埋深 15.3 m, 10 m 埋深等值线内漏斗面积 246 km²。目前宁津漏斗规模与地下水最大水位埋深略小于冠县漏斗。

3.3 深层含水层疏干与地面沉降

德州深层承压孔隙地下水自 1965 年开始开采, 随着开采量的增加和集中开采的持续, 导致深层地下水位的持续下降, 1970 年德州深层地下水位降落漏斗开始形成, 1973 年漏斗中心水位埋深 30.0 m, 开采量 825 万 m³/a, 水位降落漏斗面积 37 km² (-10 m 等水位线封闭面积)。往后深层地下水开采量逐年增加, 开采量都在 2 500 万 m³/a 以上, 直至 1998 年丁东水库建成后, 地表水库供水占德州城市生活总供水量 66% 以上, 深层地下水的开采量有所减少, 2008 年德州漏斗中心水位埋深达 143.9 m, 漏斗中心区深层地下水年总开采量 1 118 万 m³/a, -40 m 等水位线已与北部的沧州深层地下水位降落漏斗、天津深层地下水位降落漏斗联成一片, -50 m 等水位线封闭的漏斗总面积约 7 153 km²。

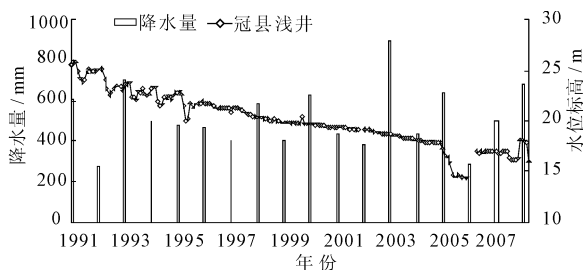


图6 冠县城郊观测孔水位动态

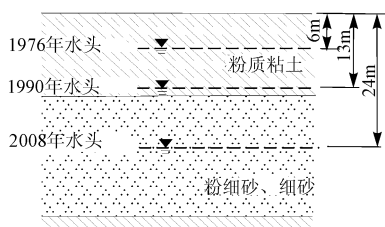


图7 冠县漏斗区含水层疏干过程示意图

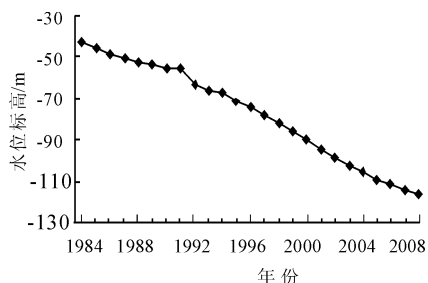


图8 德州漏斗中心深层地下水多年动态曲线

研究区深层承压孔隙地下水开采量由弹性释水量、弱透水层压缩释水量、浅层地下水越流量和侧向径流量四部分组成。根据对德州漏斗深层地下水资

源计算结果^[5], 以 2003 年为均衡期, 深层地下水开采补给量中, 弹性释水量 0.1130 亿 m³/a, 占总开采量的 23.7%, 弱透水层压缩释水量 0.2675 亿 m³/a, 占总开采量的 56.0%, 侧向径流量 0.0343 亿 m³/a, 占总开采量的 7.2%, 越流补给量 0.0627 亿 m³/a, 占总开采量的 13.1%^[5]。

随着弹性储量的消耗, 弱透水层压缩释水量在开采补给量中占的比例随着地下水的持续开采而逐步增大, 持续的压缩释水最终导致地面沉降。

鲁北平原地面沉降主要发生在德州市。开采深层地下水是德州市地面沉降的诱发因素, 德州市地面沉降中心及等值线分布形态近似于深层地下水位降落漏斗的形态(图9), 沉降中心沉降量超过 900 mm, 深层地下水位埋深超过 143 m。

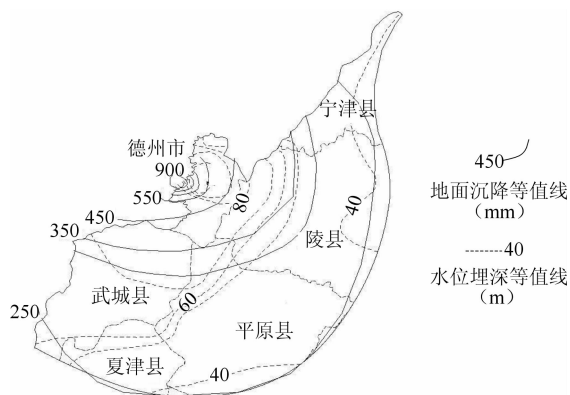


图9 德州市地面沉降与地下水位漏斗分布

4 针对性的防治措施

4.1 地下水污染的防治措施

地下水一旦遭受污染, 治理相当困难, 因此针对地下水污染的防治, 以防为主, 从污染源头上进行控制。具体措施如下:

(1) 对各类规模养殖场产生的废物堆放场地、农村居民自家的化粪池等进行防渗处理, 防止氮、磷等污染物随雨水淋滤进入地下水中, 防止形成分散的磷、氮污染点源。

(2) 加强农药化肥的合理施用。2007 年全国化肥施用强度为 306.53 kg/hm², 国际上发达国家的化肥施用强度约为 200 kg/hm², 而山东省化肥施用强度为 500.347 kg/hm², 是发达国家的化肥施用强度的 2.5 倍。控制化肥的施用强度同时技术上提高化肥的利用效率, 可以防止农业活动造成大范围的面状的氮污染。

(3) 加强对工业废水处理和城镇居民生活污水处理的监督管理。在可能形成污染物排放或渗漏的

场地建立地下水水质监测体系,以便及时采取措施。

(4)建议对加油站及和石油管道区布设地下水水质监测体系,同时对于加油站单层储油罐改成具有漏油检测系统的双层储油罐。

4.2 含水层疏干的防治措施

鲁北平原浅层含水层的疏干主要发生在冠县及宁津等以浅层地下水作为农业用水水源的地区,深层含水层的疏干主要发生在德州和滨州等长期以深层地下水作为饮用水源的城市。

(1)缓解漏斗区浅层含水层疏干情势要依赖于发展节水农业、配套节水灌溉设施、提高土壤水的利用效率。根据靳孟贵^[6]等研究,只有转化为土壤水,水资源才能被作物利用,以河北黑龙港地区为研究区,降水所形成的天然土壤水总量 86.26 亿 m^3 ,大大超过地表水可利用量(18.02 亿 m^3)和浅层地下水可利用量(19.51 亿 m^3)。因此除发展节水灌溉农业外,提高土壤水利用效率对于一定程度缓解含水层持续疏干的状况意义重大。

(2)维护含水层的涵养,增加对冠县漏斗地区和宁津漏斗地区引黄灌溉量,加大农业地表水灌溉量一方面可以减少开采量,另一方面可增加浅层地下水的补给,起到涵养水源的作用。

(3)防治深层含水层疏干的唯一措施是减少深层地下水开采或不开采,加大宣传节约用水力度、开源节流,条件允许情况下进一步增大地表水供水比例。

5 结 语

综上所述,鲁北平原浅层地下水主要污染物为三氮、重(类)金属,个别地方存在有机物污染,三氮污染面积占研究区面积的 15.5%,三氮污染引起地下水总硬度的升高;重(类)金属污染物为砷和铅,

砷、铅等重(类)金属超标首要原因是背景值高的因素,其次也约 7% 的采样点由禽畜养殖业、工业污染引起;有机污染主要发生在石油开采区、存在泄漏事故的加油站及和石油管道区。深层含水层疏干主要发生在长期以深层地下水作为生活和工业水源的德州,深层含水层疏干引发了地面沉降,沉降中心与漏斗中心吻合;浅层地下水疏干发生在以浅层地下水为农业供水水源的冠县和宁津县。

由于认识和意识等因素,过去一段时间对地下水资源的利用和保护没有足够的重视,导致了一系列地下水污染、含水层疏干的环境问题的发生,随着经济和社会的发展,水资源供需矛盾将愈来愈突出,地下水污染进一步加剧水质型缺水问题,因此建议加大污染源的排查预防地下水污染的发生,开源节流、优水优用、发展节水农业、合理规划地下水资源的开采。

参考文献:

- [1] 杨丽芝,刘春华,刘中业. 山东地下水污染调查评价(华北平原)报告[R]. 2011. 山东:山东省地质调查院.
- [2] 王东胜,沈照理,钟左燊,等. 氮迁移转化对地下水硬度升高的影响[J]. 现代地质,1998,12(3):431-436.
- [3] Liu Chunhua, Zhang Guanghui, et al. Nitrogen pollution and variation of chemical composition of shallow groundwater in Lubei Plain[C]// SWREP Xi'an, 2011.
- [4] 杨丽芝,刘中业,刘春华,等. 胜利油田北部采油区浅层地下水有机污染特征研究[J]. 水资源与水工程学报,2006,17(3),36-39.
- [5] 杨丽芝,刘春华,刘中业. 华北平原(山东)地下水可持续利用调查评价报告[R]. 2007. 山东:山东省地质调查院.
- [6] 靳孟贵,方连育,等. 土壤水资源及其有效利用——以华北平原为例[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2006.