

# 唐山市平原区浅层地下水环境特征研究

郭春艳<sup>1</sup>, 马震<sup>2</sup>, 张兆吉<sup>1</sup>, 费宇红<sup>1</sup>

(1. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 石家庄 050061; 2. 天津地质矿产研究所, 天津 300170)

**摘要:** 为了掌握唐山市平原区地下水环境质量特征, 对研究区浅层地下水进行了采样分析。研究表明, 唐山市平原区地下水水化学类型具有明显的分带性, 自北向南, 溶解性总固体和总硬度逐渐升高; 浅层地下水的总硬度、锰、硝酸盐氮、溶解性总固体、氟化物、亚硝酸盐和氨氮的质量浓度较高, 已超过《生活饮用水卫生标准》; 有毒有害重金属中砷和六价铬的问题值得注意。进一步分析发现, 唐山市地下水环境质量恶化的主要原因是河流污染、企业排污和农业生产等人类活动影响。

**关键词:** 唐山市平原区; 浅层地下水; 地下水环境特征; 地下水水化学类型; 人类活动

**中图分类号:** TV211.12   **文献标志码:** A   **文章编号:** 1672-1683(2014)04-0077-04

## Shallow Groundwater Environment in Tangshan Plain Area

GUO Chun yan<sup>1</sup>, MA Zhen<sup>2</sup>, ZHANG Zhao ji<sup>1</sup>, FEI Yu hong<sup>1</sup>

(1. Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Shijiazhuang 050061, China;

2. Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, Tianjin 300170, China)

**Abstract:** In order to determine the current situation of shallow groundwater environment in Tangshan plain area, samples of shallow groundwater were collected and analyzed. The results showed that hydrochemical type of shallow groundwater in Tangshan plain area has apparent zonation characteristics and the total dissolved solid (TDS) and hardness increase gradually from north to south. The TDS, hardness and concentrations of manganese, nitrate nitrogen, fluoride, nitrite, and ammonia nitrogen were above those defined in the "National Hygienic Standard of Living Water", and more attention should be paid to the toxic and harmful heavy metals, especially arsenic and hexavalent chrome. It suggested that river pollution, industrial pollution, and agricultural production are the main reasons to cause the deterioration of groundwater quality.

**Key words:** Tangshan plain area; shallow groundwater; groundwater environment; hydrochemical type; human activity

地下水是唐山市的主要供水水源, 但由于人类活动的影响, 其地下水环境质量逐渐恶化, 地下水资源的合理开发利用和保护对于保障该地区人民生活 and 工农业生产具有重要作用。地下水环境和化学特征研究可以阐明人类活动对地下水环境的影响, 对于区域地下水资源可持续开发利用和综合管理具有一定的指导作用<sup>[1]</sup>。

唐山市平原区是我国开展地下水资源勘查研究较早和研究程度较高的地区之一。自20世纪50年代开始, 经过五十多年的勘查, 在区域地质、水文地质条件调查的基础上, 开展了大量关于区域地下水资源评价、地下水合理开采利用途径与方法、城市与工业集中供水、农业供水、环境水文地质、地下水动态与均衡等多方面的研究工作。但是, 有关唐山市平原区地下水化学和水质方面的研究相对较少。本研究在

分析唐山市平原区地下水基本化学特征基础上, 对化学组分的浓度和分布规律进行了研究, 并进一步分析了唐山市地下水环境的影响因素, 以期系统地把握唐山市平原区地下水环境特征, 为该区地下水资源保护和合理开发利用提供依据。

## 1 研究区水文地质概况

唐山市平原区位于燕山南麓山前倾斜平原, 地势北高南低。区内分布有第四系含水层和奥陶系灰岩岩溶裂隙含水层, 其中第四系含水层是区内工农业及生活用水的主要开采层。

研究区自北而南可划分为冲洪积平原、滨海平原两个水文地质区。冲洪积平原水文地质区第四系由古滦河、滦河、还乡河、陡河、沙河、饮马河、洋河等河流不同时期形成的规模大小不等并相互迭置的冲洪积扇组成, 含水层岩性均以砂

收稿日期: 2013-11-12   修回日期: 2014-01-24   网络出版时间: 2014-06-11

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2014.04.001.html>

基金项目: 中国地质科学院水文地质环境地质研究所基本科研业务费项目“太行山前平原地下水中Cr(Ⅵ)分布特征与来源识别”(SK201104); 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目“地下水资源组成变化与水均衡模式”专题(2010CB428804-1)

作者简介: 郭春艳(1984), 女, 蒙古族, 助理研究员, 博士研究生, 主要从事水文地质环境地质方面的研究, E-mail: ihgchunyan@163.com

卵石、卵砾石为主,由老到新,含水层的平面分布范围逐渐缩小。滨海平原水文地质区的含水层以中细砂、粉砂为主,深层淡水之上广泛分布有咸水。

根据沉积物的岩性特征以及水文地质条件,在研究区可以划分出四个含水层组:第Ⅲ含水层组,底界埋深 10~30 m,位于地表及浅部地段,直接接受大气降水补给和蒸发排泄,水循环条件好,为垂直强烈循环交替带;第Ⅱ含水层组底界埋深 40~200 m,间接受大气降水补给,水循环条件较好,为较强烈循环交替带;第Ⅰ含水层组底界埋深 60~420 m,地下水具承压性,径流条件较差,为较差循环带;第Ⅳ含水层组底界埋深 350~550 m,地下水具承压性,径流条件差,为弱循环带。通常在华北平原地下水研究中,将第Ⅲ、第Ⅱ含水层组统称为浅层含水层系统,第Ⅰ、第Ⅳ含水层组统称为深层含水层系统<sup>[2]</sup>。

## 2 样品采集与测试

根据水文地质条件和潜在污染类型分布区,有代表性和控制性地布设采样点,共采集样品 299 个,见图 1,检测指标 70 项,包括现场物理化学指标 7 项,无机指标 27 项,有机指标 36 项。样品采集过程中严格进行质量控制,按 5% 的比例布设现场空白样、现场标准样和平行样,并对异常的测试数据点进行复核采样。有机污染样品采用统一的保温箱加冰保存,送样时间满足有机样品测试要求。

无机污染样品由中国地质调查局认可的天津地质矿产研究所实验室负责检测。有机污染样品由中国地质调查局认可的国家地质实验测试中心、国土资源部地下水矿泉水及环境监测中心负责检测。



图 1 研究区浅层地下水采样点分布

Fig. 1 Distribution of groundwater sampling locations in the study area

## 3 研究区地下水环境特征

### 3.1 地下水化学基本特征

根据舒卡列夫分类方法对研究区的地下水化学进行分类,即对 6 种主要阴阳离子中毫克当量大于 25% 的离子进行

组合,按同类离子含量大的靠前的方法命名,并划分了地下水的化学类型。然后,按阴离子含量顺序简化分类赋值,再利用 MapGis 平台 DTM 分析和图形编辑模块,绘制了研究区地下水的水化学类型分带图,见图 2。

分析图 2 发现,研究区北部分位于燕山山前地带,含水层以砾卵石、粗砂为主,渗透性好,直接接受山前地下水侧向径流补给,地下水径流速度快,更新速率高,地下水化学类型以低溶解性总固体的重碳酸钙型和重碳酸钙·镁型为主;中部地区多位于冲洪积扇前缘地区,含水层以中砂、细砂为主,颗粒较细、渗透性一般,主要接受大气降水补给,地下水径流速度较慢,地下水化学类型以重碳酸钙·镁型和重碳酸钙·镁·钠型为主,地下水的溶解性总固体比北部高;南部多为滨海平原水文地质区,地势低平,地下水流动缓慢且蒸发作用强,加之海水入侵的影响,地下水化学类型为溶解性总固体较高的氯化物钠型。可见,孔隙水的化学分带特征与水动力条件吻合较好。

滨海地区多数地下水样品点的离子浓度均值呈现  $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^- > CO_3^{2-}$ ,  $Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+} > K^+$ , 具有海水入侵的典型特征<sup>[3]</sup>,同时滨海地区  $\gamma Mg^{2+} / \gamma Ca^{2+}$  值远高于山前平原区平均值 0.49 而接近于海水的比值 5.5<sup>[4]</sup>,说明唐山地区海水入侵现象严重。

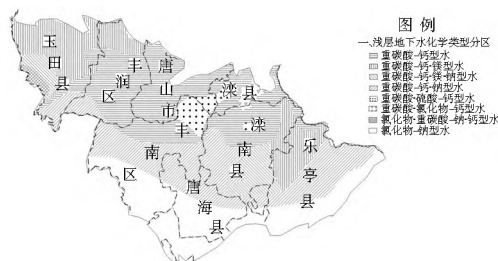


图 2 研究区浅层地下水化学类型

Fig. 2 Hydrochemical type of shallow groundwater

### 3.2 地下水污染指标特征

#### 3.2.1 常规指标特征

对研究区的 299 个浅层地下水样品的一些化学参数进行统计特征分析,结果见表 1。统计结果显示,研究区浅层地下水的总硬度、锰、硝酸盐氮、溶解性总固体、氟化物、亚硝酸盐和氨氮的质量浓度较高,已超过《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006)<sup>[5]</sup>。其中,总硬度为 94~4340 mg/L,溶解性总固体为 68~9231 mg/L,二者的分布规律相似,高值点主要分布在在滦河以西、青龙河以东的乐亭县和滦南县东部、唐山西部的玉田县以及陡河和还乡河沿岸,即集中在河流沿岸和东部咸水区。

表 1 研究区浅层地下水参数统计特征

Table 1 Statistics of hydrochemical parameters of shallow groundwater

参数统计特征	总硬度	锰	硝酸盐氮	溶解性总固体	氟化物	亚硝酸盐氮	铵氮
最大值/(mg·L <sup>-1</sup> )	4 340.00	73.60	146.77	9 231.00	2.96	27.48	11.51
最小值/(mg·L <sup>-1</sup> )	94.99	0.00	0.02	68.00	0.08	0.00	0.00
平均值/(mg·L <sup>-1</sup> )	395.52	0.43	12.46	721.10	0.56	0.16	0.27
标准偏差	321.75	4.37	17.18	706.90	0.42	1.93	0.85
变异系数	0.81	10.08	1.38	0.98	0.75	11.76	3.18
超标率(%)	28.76	25.84	19.40	17.06	12.37	10.03	6.69

由表1还可看出,锰和亚硝酸盐氮的变异系数已大于10。这些指标对水文条件、地形地貌及人类活动等外界环境更为敏感,稳定性较弱,人类活动可能导致了这些指标的变化。锰的超标率是25.84%,仅次于总硬度,且其超标点主要分布在煤河、陡河、沙河、溯河等河流沿岸以及玉田县的郭家桥乡、陈家铺乡、杨家板桥镇等地区。

地下水中“三氮”浓度均较高,说明人类活动影响较大。总体来说,硝酸盐-氮在北部分布较多,南部较少,超标点主要分布在玉田县的孤树镇-彩亭桥镇-虹桥镇-白官屯镇一线和唐山市区南部陡河沿岸。铵氮主要分布在玉田县的燕山山前地带、还乡河沿岸以及陡河和沙河之间的沿岸地带。此外,沙河以东的地下水中铵氮的指标浓度较高,濒临超标。总之,“三氮”主要集中分布在农业活动强烈地区和河流沿线附近等人类活动频繁的地区。

### 3.2.2 毒性重金属特征

除了前述的常规性的指标以外,研究区毒性重(类)金属中砷和六价铬的质量浓度较高,砷超标率为14.38%,六价铬的超标率0.67%。虽然六价铬的超标率不高,但是超标点较集中,浓度值很高。砷的高浓度点主要分布在玉田县的燕山山前一带、滦河南部沿岸地带以及丰南区和滦南县交界处的部分区域,多数为低洼地带。由于浅层黏性土中富砷,所以地下水中砷的来源多与原生环境有关。

重金属六价铬检出率6.35%,超标率0.67%,检出点主要分布在玉田县内、南刘屯-岳各庄一带,见图3。

玉田县检出点集中在亮甲店镇、杨家套乡、彩亭桥镇以及还乡河沿岸地带。玉田县内塑料厂和橡胶厂众多,而塑料厂和橡胶厂的主要污染物之一就是六价铬。在塑料加工区的28组水样中,20组检出六价铬,检出率71.4%,含量多在0.006~0.019 mg/L。在塑料厂最集中的学田庄、殷家屯的3个水样中六价铬含量最高,学田庄的两个点的六价铬含量分别为0.17 mg/L、0.18 mg/L,殷家屯达0.19 mg/L。在橡胶厂集中区的12组水样中,5组检出六价铬,检出率33.3%,含量多在0.0046~0.010 mg/L,其中在鸦鸿桥-窝洛沽取样剖面,4组检出六价铬,检出点集中分布在张庄子-孙庄子的橡胶厂周围,六价铬含量最高点为西定府(0.01 mg/L)。

南刘屯-岳各庄一带的铬污染主要来源于原路南区化工厂排放的铬酸酐废渣,该化工厂于1969年建于南刘屯,1974年迁至岳各庄,唐山地震清理废墟时将该厂大量铬酸酐废渣埋入坑、沟内,从而形成了南刘屯和岳各庄两个污染中心。虽然曾进行开挖治理且地下水连年不断地抽取排出,地下水中六价铬含量整体呈下降趋势,但其依然是唐山市地下水的重要污染因子。南刘屯-岳各庄一带有7个点检出,其中有1个点超标,主要位于南刘屯污染中心、岳各庄污染中心及地下水漏斗中心区。南刘屯污染中心点六价铬含量0.73 mg/L,超标14.6倍。受地下水流场的控制,六价铬污染沿地下水流向运移扩散,漏斗中心的两口井已经检出(六价铬含量分别为0.021 mg/L和0.019 mg/L),且含量已高于岳各庄污染中心六价铬最大含量0.017 mg/L。

## 4 研究区地下水环境质量的影响因素

随着社会和经济的发展,人类活动对地下水环境的影响

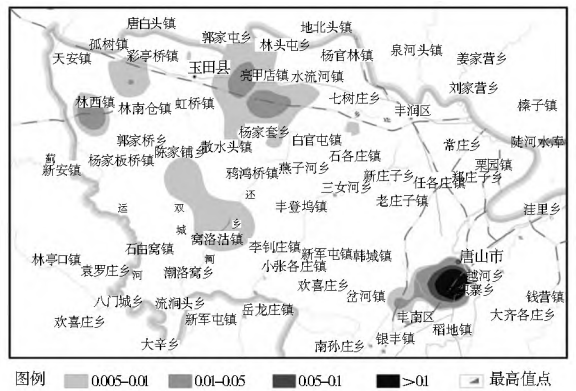


图3 浅层地下水六价铬含量等值线

Fig. 3 Spatial distribution of Cr(VI) concentration in shallow groundwater

越来越显著<sup>[6,8]</sup>。工业和生活污水的排放、农业区的污水灌溉都直接引起某些指标含量升高<sup>[9,11]</sup>,而地下水开采造成地下水水位下降,改变了补径排条件和氧化还原环境的转化等,引起水化学特征的变化,此外,地下水超采导致的沿海地区海水入侵现象越来越严重<sup>[12,13]</sup>。研究区地下水环境质量主要受到河流污染、企业排污以及农业面源污染等的影响。

### 4.1 河流污染

近年来区内河流普遍由于上游用水量增加和水库拦蓄,已基本断流,多数河段成为沿岸地区生活及工业污水的排放河道。例如,陡河是流经唐山市区的主要河流,上世纪80年代有两百多家企业直接或间接地向陡河排放工业污水,河水受到严重污染,河流底泥中积累了大量的污染质,虽然曾进行过清污工作,但是仍残留一定是污染质,加之,如今向河流排污现象仍然存在。陡河沿岸地下水分析结果显示,浅层地下水中硫酸盐、氯化物、钠、总硬度、溶解性总固体等常量组分仍普遍高于周边地区,三氯甲烷、1,1-二氯乙烷、1,2-二氯乙烷、氯乙烯、1,1-二氯乙烯、甲苯、1,1,2-三氯乙烷、溴二氯甲烷等有机污染物也有检出。因此,河流污染是唐山市地下水环境质量的重要影响因素。

### 4.2 企业排污

唐山市企业排污对地下水水质的影响在玉田县体现的最为明显,玉田县内总硬度、锰、溶解性总固体、氟化物、六价铬等指标的含量都比较高,评价结果中超标点较多。由于玉田县内各类工业众多,尤其是塑料厂和橡胶厂有数十家。塑料、橡胶加工的主要无机污染主要是六价铬、镉、氟化物等,还有对二氯苯、苯、乙苯、苯乙烯、甲苯等有机污染物检出。

### 4.3 农业面源污染

农业生产对地下水水质的影响主要包括污水灌溉的影响和施用化肥农药的影响。2001年-2005年,研究区平均污水灌溉面积达61220 hm<sup>2</sup>,利用污水量9988.1万 m<sup>3</sup>,污水灌溉主要分布在丰润、玉田、丰南、滦南、古冶和唐海等地的河流沿岸地区。自20世纪90年代以来,区内化肥农药施用量逐渐增加,根据统计年鉴,2007年唐山地区化肥施用量312649 t,农药施用量4918 t,化肥和农药在降水或灌溉过程中,通过农田地表径流、排水和地下渗漏,大量地进入土壤和地下水而造成污染。

## 5 结论

(1) 受水动力条件等的影响,唐山市平原区浅层地下水化学类型呈现明显的分带性,自北向南溶解性总固体逐渐升高,对应的地下水中的主要离子也随之发生变化。低溶解性总固体水以重碳酸根、钙离子为主,高溶解性总固体的水以氯离子、钠离子为主。

(2) 浅层地下水的总硬度、锰、硝酸盐氮、溶解性总固体、氟化物、亚硝酸盐和氨氮的质量浓度较高,是影响地下水环境质量的重要污染指标,且其高值点主要分布在玉田县和河流沿岸,因此这些地区是唐山市平原区地下水环境保护和治理的重点地区。

(3) 唐山市地下水环境质量恶化主要是由河流污染、企业排污和农业生产等人类活动导致。

### 参考文献(References):

- [1] 章光新,邓伟,何岩,等.中国东北松嫩平原地下水水化学特征与演变规律[J].水科学进展,2006,17(1):20-28. (ZHANG Guang xi, DENG Wei, HE Yan, et al. Hydrochemical Characteristics and Evolution Laws of Groundwater in Songnen Plain, Northeast China[J]. Advances in Water Science, 2006, 17(1): 20-28. (in Chinese))
- [2] 张兆吉,费宇红,郭春艳,等.华北平原区域地下水污染评价[J].吉林大学学报(地球科学版),2012,42(5):1456-1461. (ZHANG Zhaoji, FEI Yuhong, GUO Chunyan, et al. Regional Groundwater Contamination Assessment in the North China Plain[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2012, 42(5): 1456-1461. (in Chinese))
- [3] 安乐生,赵全升,叶思源,等.黄河三角洲浅层地下水化学特征及形成作用[J].环境科学,2012,33(2):370-378. (AN Lesheng, ZHAO Quansheng, YE Siyuan, et al. Hydrochemical Characteristics and Formation Mechanism of Shallow Groundwater in the Yellow River Delta[J]. Environmental Science, 2012, 33(2): 370-378. (in Chinese))
- [4] 沈照理.水文地球化学基础[M].北京:地质出版社,1993. (SHEN Zhaoli. Fundamentals of Hydrogeochemistry[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993. (in Chinese))
- [5] GB 5749-2006, 生活饮用水卫生标准[S]. (GB 5749-2006, Standard for Drinking Water Quality[S]. (in Chinese))
- [6] Parameswari K, Mudgal B V, Nelliya P. Evaluation of Groundwater Contamination and Its impact: An Interdisciplinary Approach[J]. Environ Dev Sustain, 2012, (14): 725-744.
- [7] 毕二平,母海东,陈宗宇,等.人类活动对河北平原地下水水质演化的影响[J].地球学报,2001,22(4):365-368. (Bi Erping, MU Haidong, CHEN Zongyu, et al. Impacts of Human Activities on the Evolution of Groundwater Quality in Hebei Plain [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2001, 22(4): 365-368. (in Chinese))
- [8] 刘春华,张光辉,杨丽芝,等.人类活动对鲁北平原地下水环境影响特征研究[J].水资源与水工程学报,2012,23(6):1-5. (LIU Chunhua, ZHANG Guanghui, YANG Lizhi, et al. Characteristic Research on the Influence of Human Activities on Groundwater Environment in Northern Shandong Plain[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2012, 23(6): 1-5. (in Chinese))
- [9] Navarro A, Carbonell M. Evaluation of Groundwater Contamination Beneath An Urban Environment: The Beso's River Basin (Barcelona, Spain)[J]. Journal of Environmental Management. 2007, (85): 259-269.
- [10] 李纯,武强,王欣宝.人类活动影响下石家庄市浅层地下水环境的演化[J].环境科学与技术,2007,30(8):42-43,77. (LI Chun, WU Qiang, WANG Xirbao. Environmental Evolution of Shallow Groundwater Resulting From Intensive Human Activities in Shijiazhuang City[J]. Environmental Science and Technology, 2007, 30(8): 42-43, 77. (in Chinese))
- [11] 张志强,田西昭,单强,等.唐山市某垃圾填埋场对浅层地下水水质的影响[J].南水北调与水利科技,2011,9(6):79-82. (ZHANG Zhiqiang, TIAN Xi zhao, SHAN Qiang, et al. Effects of Municipal Landfill on the Shallow Groundwater Quality in Tangshan[J]. South to North Water Diversion and Water Science & Technology, 2011, 9(6): 79-82. (in Chinese))
- [12] 付旭,林从谋,黄志波,等.泉州地区海水入侵现状及防治措施[J].自然灾害学报,2012,21(5):185-190. (FU Xu, LIN Congmou, HUANG Zhibo, et al. Present Situation of Seawater Intrusion in Quanzhou Region and Prevention and Control Measures[J]. Journal of Natural Disasters, 2012, 21(5): 185-190. (in Chinese))
- [13] 高玉芳,陈耀登,张展羽.沿海地区地下水模拟优化管理模型[J].水科学进展,2010,21(5):622-627. (GAO Yufang, CHEN Yaodeng, ZHANG Zhanyu. Simulation Optimization Modeling for Groundwater Management in Coastal Areas[J]. Advances in Water Science, 2010, 21(5): 622-627. (in Chinese))