

海河平原区高氟地下水分布与评估

张浩^{1,2}, 王立明³, 徐鹤³, 孔凡青⁴

(1. 海河流域水资源保护局, 天津 300170; 2. 河海大学 水文水资源学院, 江苏 南京 210098;

3. 海河水利委员会 水资源保护科学研究所, 天津 300170; 4. 海河流域水环境监测中心, 天津 300170)

摘要: 海河平原区是我国政治文化中心和工农业生产基地,也是高氟地下水的重灾区。调查研究该地区高氟地下水的分布规律、影响因素、健康风险对于区域社会经济发展和水生态文明建设具有重要意义。根据2014–2015年海河平原区269眼浅层地下水监测井的氟化物检测数据,研究区地下水中氟化物浓度最高为2.26mg/L。高氟水主要分布在研究区中部,原生地质条件和人类活动是影响高氟水形成的主要因素。采用非致癌物质健康风险评估模型对高氟水地区的健康风险进行了量化评估,该地区氟化物健康风险平均为 0.45×10^{-8} 。避免高氟水危害应实施水源优选、水质监测、合理开发地下水等多个方面的措施。

关键词: 浅层地下水; 氟化物; 健康风险评估; 海河平原

中图分类号: X523; X832

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2017)03-0032-04

Distribution and assessment of high fluorine groundwater in Haihe River Plain

ZHANG Hao^{1,2}, WANG Liming³, XU He³, KONG Fanqing⁴

(1. Water Resources Protection Bureau of Haihe River Basin, Tianjin 300170, China; 2. College of

Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. Water Resources

Protection Institute of Haihe River Basin, Tianjin 300170, China; 4. Haihe River Water

Environmental Monitoring Center, Tianjin 300170, China)

Abstract: The Haihe River Plain is the political and cultural center, the industrial and agricultural production base of China, but also the hardest hit area by the high fluorine groundwater. It is important to investigate the distribution law, influencing factors and health risk of high fluorine groundwater in the area for the regional social economic development and water ecological civilization construction. According to the fluoride detection data of 269 monitoring wells in 2014 and 2015 of the Haihe River Plain, the highest fluoride concentration in groundwater in the study area was 2.26mg/L. High fluorine water was mainly distributed in the middle of the study area, and the primary geological conditions and human activities were main factors that influence the formation of high fluorine water. Non carcinogenic substance health risk assessment model was used for the quantitative assessment of health risk of high fluorine water area, and the area of fluoride health risk is about 0.45×10^{-8} . To avoid high fluorine harm, many aspects of water resources optimization, water quality monitoring, rational exploitation of groundwater and other measures should be implemented.

Key words: shallow groundwater; fluorosis; health risk assessment; Haihe River Plain

氟是构成人体牙齿和骨骼的重要元素^[1], 饮用水适宜的氟化物浓度为0.5~1.0 mg/L。根据《地下水环境质量标准》(GB/T14848-93)^[2]和《生活饮用水卫生标准》(GB/T5749-2006)^[3], 氟化物含量超过1mg/L的地下水可定义为高氟地下水。长期饮用高

氟水, 可能导致氟斑牙, 骨质疏松, 关节变形等慢性氟中毒。海河平原区是我国地下水开发利用程度最高的地区之一, 同时也存在范围较大的高氟地下水, 属于高氟水重灾区^[4-6]。研究地下水氟化物的分布规律, 探讨高氟地下水的影响因素, 评估高氟地下水的

收稿日期: 2017-01-23; 修回日期: 2017-02-13

基金项目: 水利部公益性行业科研专项(201501008)

作者简介: 张浩(1986-), 男, 山东滕州人, 博士研究生, 工程师, 主要从事水资源保护、水环境治理、水生态修复工作。

健康风险,提出切实可行的改水措施是保障区域供水安全的重要举措。

1 研究区概况

海河平原区东临渤海,北抵燕山,西界太行,面积 $13.1 \times 10^4 \text{ km}^2$,人口 1.1 亿,包括北京、天津、河北、河南、山东等省、直辖市。研究区浅层地下水主要赋存于第四系含水岩层第一含水层组。在山前冲洪积平原地区,浅层地下水直接接受降水与地表水的渗入补给,水质矿化度低。中部冲湖积平原和滨海平原有咸水分布地区的浅层淡水,接受降水与河、渠水的补给。同时与咸水有着不可分割的联系,水化学特征较为复杂^[7-8]。

2 材料与方法

本研究在海河平原区布设采样井 269 个,其中北京 50 个,天津 15 个,河北 122 个,山东 54 个,河南 28 个。分别于 2014 年 3 月、2014 年 9 月、2015 年 3 月、2015 年 9 月采集了水样,采样井分布情况见图 1。每个采样井采集 2L 水样,分别装于 4 个塑料瓶并密封保存,用于检测和空白实验。水样采集后在 48 h 内送至海河流域水环境监测中心进行分析,氟化物在实验室采用离子色谱仪分析。

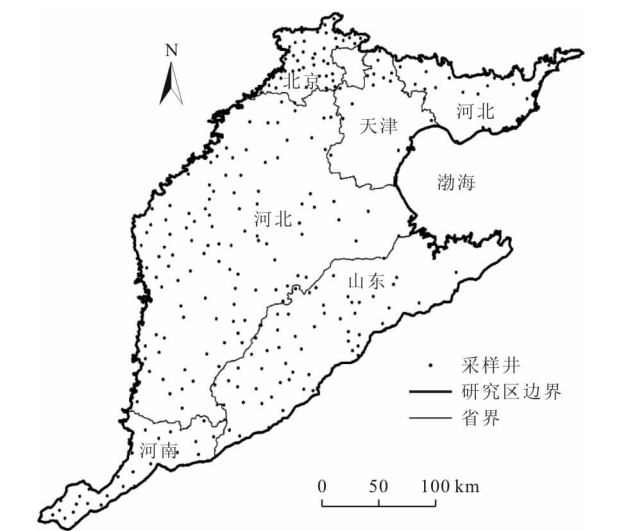


图 1 研究区及采样井示意图

通过野外采样和实验室分析,获取了 1076 个水样的氟化物浓度数据。通常,超过样本平均值一定程度的数据可视为由于样品采集或实验分析过程中不可控因素产生的异常值。为了降低异常值对数据分析的影响,本研究将 3 倍样本标准差作为识别异常值的限值,在后续的分析中采用正常的极值替代异常

值。数据的统计分析采用 SPSS 软件进行。氟化物浓度空间分布采用克里金差值法研究。

3 结果与讨论

3.1 时空分布特征

2014 年 3 月至 2015 年 3 月,海河平原区浅层地下水平均氟化物浓度由 0.59 mg/L 逐渐升高至 0.66 mg/L,2015 年 9 月的平均浓度较 2015 年 3 月有较大幅度的下降,为 0.56 mg/L。

表 1 海河平原区地下水氟化物浓度统计特征表 T

时间	mg/L			
	平均值	最大值	最小值	异常值
2014-03	0.59	2.10	< DL	2.22 ~ 3.07
2014-09	0.60	2.06	< DL	2.18 ~ 2.90
2015-03	0.66	2.26	0.06	2.39 ~ 4.08
2015-09	0.56	2.00	< DL	2.16 ~ 3.82

注:DL 为值小于检出限。

由 269 眼监测井氟化物检测结果,在 arcgis10.2 平台通过克里金差值,绘制海河平原区浅层地下水氟化物浓度分布图,见图 2。由图 2 可以看出,2014 年 3 月至 2015 年 9 月期间,海河平原区浅层地下水氟化物的空间分布情况总体一致。氟化物自东北部的天津到西南部的山东,穿过河北平原中部,呈带状分布。2014 年 3 月,氟化物浓度大于 1 mg/L 但小于 2 mg/L 的监测井有 8 个,占 3.97%;氟化物浓度大于 2 mg/L 的监测井有 36 个,占 13.38%。2014 年 9 月,氟化物浓度大于 1 mg/L 但小于 2 mg/L 的监测井有 9 个,占 3.35%;氟化物浓度大于 2 mg/L 的监测井有 38 个,占 14.13%。2015 年 3 月,氟化物浓度大于 1 mg/L 但小于 2 mg/L 的监测井有 9 个,占 3.35%;氟化物浓度大于 2 mg/L 的监测井有 35 个,占 13.01%。2015 年 9 月,氟化物浓度大于 1 mg/L 但小于 2 mg/L 的监测井有 5 个,占 1.86%;氟化物浓度大于 2 mg/L 的监测井有 32 个,占 11.90%。氟化物主要集中在研究区的中部,天津、沧州、衡水、德州等地浓度较高。

3.2 影响因素

浅层地下水化学特征是自然条件与人类影响共同作用的结果。

(1)原生地质条件。据以往的调查与研究成果^[9-10],研究区分布有大量电气石、角闪石、云母、磷灰石等含氟矿物质。各种含氟岩石在风化作用下其中的 F^- 被水中的 OH^- 取代,随降雨向包气带入渗,同时经过长期的蒸发浓缩,形成高氟地下水。研究区中部包气带主要由卵石、砾石构成,对氟化物的

吸附作用弱, F^- 更容易通过降水淋滤作用迁移至饱水带, 造成浅层地下水氟的富集。

(2) 地下水酸碱度。氟在地下水环境中存在如下化学平衡:



在碱性环境中, 水中 OH^- 、 HCO_3^- 浓度高, 使 Ca^{2+} 与 CO_3^{2-} 结合形成 $CaCO_3$ 沉淀, 从而降低 Ca^{2+} 浓度, 有利于(1)式逆向进行, 降低 F^- 与 Ca^{2+} 形成 CaF_2 沉淀的几率, 使水中的氟富集^[11-12]。

(3) 高氟水灌溉。研究区是我国粮食主产区, 该区域利用浅层高氟水灌溉, F^- 会大量吸附在土壤颗粒表面, 在降水的淋滤、溶解作用下逐渐迁移至浅层地下水, 导致地下水氟含量升高。

(4) 地下水超采。研究区是我国地下水超采最为严重的地区之一, 研究区的中部位于过量开采地下水所形成的地下水漏斗区。过量开采地下水, 使得地下水水位下降, 引起黏性土中大量 F^- 在释水过程中进入地下含水系统, 从而引起地下水的氟含量升高。

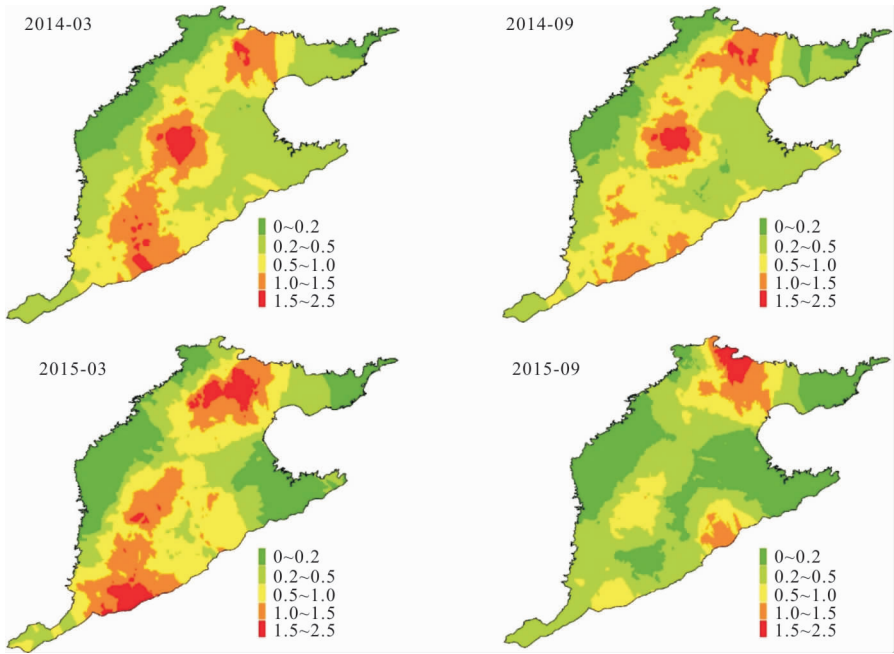


图2 海河平原区浅层地下水氟化物浓度分布图(单位:mg/L)

3.3 健康风险评估

根据《地下水环境质量标准》(GB/T14848-93)中对氟化物的限值, 将研究区逐次采样分析的氟化物浓度数据按照小于等于 1mg/L, 大于 1mg/L 但小于等于 2 mg/L, 大于 2 mg/L 3 个区间分别统计, 得到各个区间内氟化物浓度分布频率, 见图 3。2014 年 3 月至 2015 年 9 月, 氟化物浓度超过 1 mg/L 的情况, 即高氟水所占的比例分别达到 15.61%、17.16%、16.53% 和 12.80%。

健康风险评估是定量描述污染物对人体健康的危害程度, 采用美国环保署(USEPA)推荐的非致癌物质健康风险评估模型可以实现高氟水对人体健康危害的定量化评估^[13]。

$$R = (D \times 10^{-6}) / (RfD \times 70) \quad (2)$$

$$D = W \times C / A \quad (3)$$

式中: R 为非致癌物质经食入途径导致健康危害的个人健康年平均风险; D 为非致癌物质经食入途径的单位体重日均暴露剂量, $mg / (kg \cdot d)$; RfD 为非致癌物质食入途径参与剂量, 氟化物取 $0.06 mg / (kg \cdot d)$; W 为日均饮水量, 成人取 $2.2 L / d$; C 为非致癌物质经食入途径的质量浓度, mg / L ; A 为人体重, 成人取 $70 kg$ 。

根据本次氟化物检测结果, 研究区地下水中氟化物的平均浓度为 $0.60 mg / L$, 最大浓度为 $2.26 mg / L$ 。采用非致癌物质健康风险评价模型计算研究区个人健康年平均风险为 $0.45 \times 10^{-8} \sim 1.69 \times$

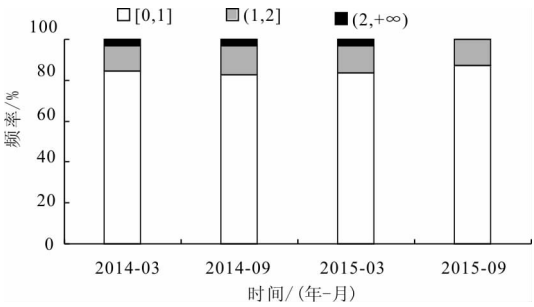


图3 海河平原区地下水氟化物浓度(单位:mg/L)分类频率

10^{-8} 。即该地区每年每人因浅层地下水氟化物致病致死的平均概率和最高概率分别为 0.45×10^{-8} 和 1.69×10^{-8} ,低于国际辐射防护委员会(ICRP)推荐的有毒有害物质健康危害风险最大可接受水平 $5.0 \times 10^{-5}/a^{[14]}$ 。

3.4 改水措施

避免高氟水危害可以综合实施水源优选、水质监测、合理开发地下水等多个方面的措施。

(1)利用低氟水源,避免利用高氟水。避免高氟水的危害,最直接的途径是寻找氟化物含量低的替代水源。在查清氟的形成环境和当地水文地质条件的基础上,可以将深层地下水作为饮用水水源,或者利用雨水、地表水等其他水源,尽量避免长期饮用高氟水。

(2)加强水质监测,保障水源地水质安全。加强对海河平原区尤其是高氟水地区地下水水源地监测工作,分析预测地下水氟化物变化趋势,对于受到氟化物污染的水源地应由专业机构实施改水工程^[15],保障饮用水水源地水质安全。

(3)科学利用地下水,降低人为不利影响。人类活动是海河平原区高氟水形成的重要因素。应合理开采地下水,变革传统的污水灌溉方式。避免由于地下水超采,污水灌溉等人为因素引发的地下水氟富集。

4 结 论

(1)根据对海河平原区 269 个采样井,2014 – 2015 年共 4 次水样检测结果,海河平原区浅层地下水氟化物平均浓度为 0.60 mg/L ,最高浓度达到 2.26 mg/L 。高氟地下水区主要分布在研究区的中部,天津、衡水、聊城附近。

(2)采用非致癌物质健康风险评价模型评估海河平原区个人健康年平均风险,平均值为 0.45×10^{-8} ,最大值为 1.69×10^{-8} ,低于国际辐射防护委员会(ICRP)推荐的有毒有害物质健康危害风险最大可接受水平。

(3)海河平原区浅层地下水氟化物的形成受到水文地球化学、地下水开采、农业灌溉等多因素的影

响。为避免高氟水危害,需采取水源优选、水质监测、合理开发地下水等措施。

参考文献:

- [1] 陈维杰. 高氟地下水的致病风险与处理技术[J]. 中国水利, 2010(13): 53 – 54.
- [2] 国家技术监督局. GB/T14848 – 93 地下水环境质量标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [3] 中华人民共和国卫生部. 国家质量监督检验检疫总局. GB/T5749 – 2006 生活饮用水卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [4] 韩 燕. 衡水市高氟地下水成因分析[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(a1): 112 – 114.
- [5] 李桂然. 沧州市地下水中氟化物分布规律分析[J]. 东北水利水电, 2009, 27(11): 58 – 59.
- [6] 杨 英, 尹国勋, 朱利霞. 焦作市浅层地下水氟污染及成因分析[J]. 环境科学与管理, 2009, 34(10): 68 – 72.
- [7] 张兆吉, 雒国中, 王 昭, 等. 华北平原地下水资源可持续利用研究[J]. 资源科学, 2009, 31(3): 355 – 360.
- [8] 张光辉, 费宇红, 刘克岩, 等. 海河平原地下水演化与对策[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [9] 孔晓乐, 王仕琴, 赵 焕, 等. 华北低平原区地下水中氟分布特征及形成原因: 以南皮县为例[J]. 环境科学, 2015, 36(11): 4051 – 4059.
- [10] 邢丽娜, 郭华明, 魏亮等. 华北平原浅层含氟地下水演化特点及成因[J]. 地球科学与环境学报, 2012, 34(4): 57 – 67.
- [11] 许光泉, 刘 进, 朱其顺, 等. 安徽淮北平原浅层地下水中氟的分布特征及影响因素分析[J]. 水资源与水工程学报, 2009, 20(5): 9 – 13.
- [12] 丁 丹, 许光泉, 何晓文, 等. 淮北平原浅层地下水氟的水化学特征及影响因素分析[J]. 水资源保护, 2009, 25(2): 64 – 68.
- [13] 左 俊, 符超峰. 永城市浅层地下水氟化物健康风险评价及其富集原因分析[J]. 地球环境学报, 2015, 16(5): 323 – 329.
- [14] 黄艳红, 常 薇, 何振宇. 武汉市农村地区地下水健康风险评价[J]. 环境与健康杂志, 2010, 27(10): 892 – 894.
- [15] 龚建师, 叶念军, 葛伟亚, 等. 淮河流域地氟病环境水文地质因素及防病方向的研究[J]. 中国地质, 2010, 37(3): 633 – 639.