

文章编号: 0254-5357(2007)04-0320-05

## 内蒙古河套地区高氟水成因分析

赵锁志<sup>1,2</sup>, 王喜宽<sup>1,2</sup>, 黄增芳<sup>2</sup>, 李世宝<sup>2</sup>,

王忠<sup>2</sup>, 苏美霞<sup>2</sup>, 张青<sup>2</sup>, 孔凡吉<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学(北京)水资源与环境学院, 北京 100083;

2. 内蒙古自治区地质调查院, 内蒙古呼和浩特 010020)

**摘要:** 根据内蒙古生态地球化学调查结果, 结合大量的水质测定资料, 编制了河套地区地下水氟离子含量分级图, 分析研究了区内高氟水的形成与富集的原因。包括当地气候条件等自然因素, 研究区内岩性、土壤性质、地下水物化条件、湖泊沉积物类型等地质因素和人类活动三个方面。其中起主导作用的是自然因素、地质因素, 而像包头市近郊潜水氟污染是由于包钢的废渣和废水排放等人类活动引起的。对治理河套地区氟中毒的区域环境问题提出了相应的建议。

**关键词:** 高氟水; 地氟病; 成因分析; 河套地区

**中图分类号:** P596; O613.41 **文献标识码:** A

## Study on Formation Causes of High Fluorine Groundwater in Hetao Area of Inner Mongolia

ZHAO Suo-zhi<sup>1,2</sup>, WANG Xi-kuan<sup>1,2</sup>, HUANG Zeng-fang<sup>2</sup>, LI Shi-bao<sup>2</sup>,

WANG Zhong<sup>2</sup>, SU Mei-xia<sup>2</sup>, ZHANG Qing<sup>2</sup>, KONG Fan-ji<sup>2</sup>

(1. School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Institute of Regional Geological Survey of Inner Mongolia Autonomous, Huhhot 010020, China)

**Abstract:** Based on the results of regional eco-geochemical survey combined with a mass of analytical data for regional underground water, fluorine-content classification maps are drawn and the formation causes of high fluorine groundwater are studied. The results of the study show that the natural factors including local climate condition, geological factors including lithology, soil property, physical and chemistry condition of the groundwater, lake sediment type and human activity factor in the research region are the major causes of the formation of high fluorine groundwater. And dominant factors are natural factor and geological factor. But fluorine pollution of phreatic water in outskirts of Baotou city is from the human activities including discharge of sewage and waste residue from Baotou steel plant. Suggestions are also put forward to improve regional environmental condition in fluorosis region.

**Key words:** high fluorine groundwater; fluorine disease; analysis of formation cause; Hetao area

氟是人体所必需的“生命元素”, 同时也是“积累元素”。人体每日从环境中摄取氟允许量不超过 4~6 mg/L。一般认为, 人体内的氟 65% 来自饮水, 35% 来自食物<sup>[1]</sup>。当饮用水中的氟含量超过

1 mg/L 时即为高氟水。如果人们长期饮用高氟水可引起氟中毒。氟中毒是一种慢性的全身性疾病, 早期表现为疲乏无力、食欲不振、头晕、头痛、记忆力减退等症状。过量的氟进入人体后, 主要沉积在

收稿日期: 2007-01-16; 修订日期: 2007-03-08

基金项目: 国土资源地质大调查——内蒙古河套农业经济区生态地球化学调查项目资助(200414200005)

作者简介: 赵锁志(1964-), 男, 内蒙古呼和浩特市人, 在读博士, 高级工程师, 从事水文地质、环境地质工作。

E-mail: zhaosz1964@sohu.com。

牙齿和骨骼上,形成氟斑牙和氟骨症。当氟含量超过 1.5 mg/L 时,将引起牙齿斑釉症,出现氟斑牙;达到 6 ~ 10 mg/L 时,牙齿明显破损,造成骨质疏松,进而导致氟骨症,超过 10 mg/L 时,常引起氟中毒,使胃腐蚀和肝、肾细胞变性<sup>[2]</sup>。由于氟对人类健康的影响很大,各国传统上对饮水中氟的最大限量和最低限量都作出规定<sup>[2]</sup>,世界卫生组织和美国推荐值为 0.7 ~ 1.2 mg/L;日本 0.8 mg/L;欧盟 0.7 ~ 1.7 mg/L,按照我国的饮用水标准,适宜的含量为 0.5 ~ 1.0 mg/L<sup>[3]</sup>。

内蒙古河套地区地处内蒙古自治区中部,东起蛮汗山西麓,西止于狼山脉、乌兰布和沙漠以东,南临库布齐沙漠、鄂尔多斯高原,北靠阴山山脉。主要城市有呼和浩特市、包头市及临河市,人口总数约 267 万,盆地面积约 2.8 万 km<sup>2</sup>,是内蒙古自治区主要的商品粮、工业、乳业基地<sup>[4]</sup>。该地区是我国地氟病高发区,氟中毒分布于呼和浩特市托克托县、土默特左旗、包头市土默特右旗以及巴彦淖尔市临河市部分地区,受病地区达 8 764 km<sup>2</sup>,受病人数达 138 万<sup>[5]</sup>。高氟病使当地居民健康受到严重损害。为改善内蒙古河套农业经济区生态环境,促进自治区经济发展并为自治区政府规划提供科学依据,内蒙古自治区人民政府与中国地质调查局于 2003 年 7 月签署协议,合作开展了“内蒙古河套农业经济区生态地球化学调查”项目。工作面积为 3.2 万 km<sup>2</sup>,实测工作以 1:25 万多目标区域地球化学调查为主,区域环境地质及遥感调查为辅。在区域性调查基础上进行区域和局部生态地球化学评价,进而进行总体综合评价<sup>[6]</sup>。

数十年来,氟地方病在内蒙古河套地区得到了大量研究,主要表现在症状、病因、病理和防治等方面的研究,归纳为围绕基础研究、应用研究和开发研究三个方面展开。基础研究着眼于阐明氟的生理功能和代谢过程及探求氟与其他微量元素间的相互作用,应用研究的热点是探明氟与疾病的关系及地方性氟病的防治措施;开发研究主要表现为研制各种形式的氟补给剂或回氟剂改善异常区居民的氟状况<sup>[6]</sup>。而有关氟元素在地下水中的迁移富集规律和影响因素则研究甚少。本文试图分析河套地区高氟水的形成、富集、迁移条件和转化规律,并对制定地下水污染治理措施提供相应的建议。

### 1 高氟区分布

内蒙古生态地球化学调查地下水测量工作采

样面积 32 000 km<sup>2</sup>,采集地下水化学样 2 004 件,对这些水样进行了氟化学元素含量分析。根据其水质测定资料编制了河套地区地下水氟离子含量分级图(图 1)。由图 1 可见,研究区氟浓度适宜区,约占研究区氟面积的 3/4。土默特川平原的湖积平原中心、后套平原北部山前地带及磴口—黄河镇附近黄河南东岸地区为 1 ~ 2 mg/L 和 2 ~ 6 mg/L 的高氟区,氟含量大于 6 mg/L 的极度超标区仅分布于湖积中心的中部,测点极值 22.5 mg/L。

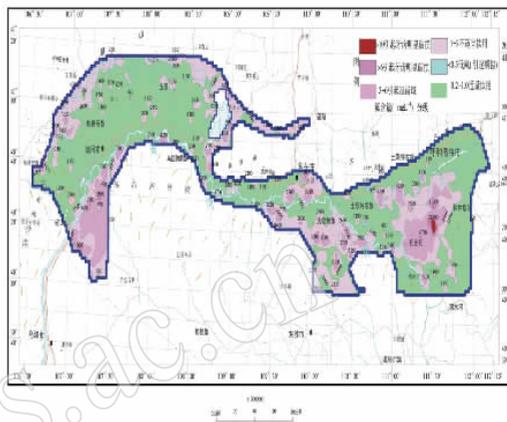


图 1 内蒙古河套农业经济区地下水氟分级图  
Fig. 1 Groundwater fluoride classification map of Hetao agriculture economic zone in Inner Mongolia

### 2 高氟水成因分析

研究区地氟病主要是由于饮水含氟量高 (>1.0 mg/L)所致,属饮水型病区。绝大多数是由于浅层地下水含氟量过高而致病,具有分布范围广、发病为数众多的特点。高氟水区主要集中在大黑河、黄河冲湖积平原中心的地下水排泄中心。河套地区高氟水是在特定的自然地理环境由各种要素综合作用而形成的,其受控的主要环境因素归纳如图 2。

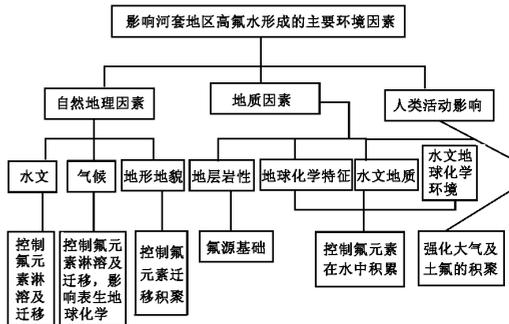


图 2 形成河套地区高氟水的主要环境因素(据文献[7]修改)  
Fig. 2 Main environmental factors formation of high fluoride groundwater of Hetao area

## 2.1 气候因素

研究区属大陆性干旱、半干旱气候带,多年平均降水量100~400 mm,并有自东向西逐渐减少的规律。年蒸发量1600~3500 mm。由于气候干燥,致使地下水较强烈蒸发浓缩,大大提高了水中氟的含量。

## 2.2 地层因素

### 2.2.1 岩石的氟含量

研究区地下水氟的主要来源于北部在阴山山脉太古界桑干群片麻岩中的含氟矿物和中更新统湖相沉积物。由于广泛分布的深变质岩中含有较高的氟,通过地下水溶滤迳流,将氟带到平原;另一方面,由于在平原区沉积了巨厚的第四系地层,在这套地层中,上更新统-全新统底部和中更新统上段地层氟的含量较高,这是研究区内地下水氟含量增高的根本原因。

阴山山地中氟元素在固图补隆-旗下营出现高背景区,乌拉特前旗-包头市北-旗下营元素出现多处浓集中心,这些地区氟元素强度高、规模大,最高含量达6134  $\mu\text{g/g}$ 。对应的包头市、呼和浩特市所辖的平原区各旗县是地方性氟中毒高发区。

从表1可看出,研究区内三大岩类的含氟量为变质岩>岩浆岩>沉积岩,变质岩中以作为主要矿物成分的黑云母、金云母、绢云母和角闪石的全氟量较高,而以正长石、石英、白云石为主要矿物成分的岩石全氟量较低。经分析,斜长角闪岩的全氟量高达1867  $\mu\text{g/g}$ ,而大理岩仅为20~40  $\mu\text{g/g}$ 。

表1 不同岩石中的氟含量

Table 1 Fluorine content in different rocks

岩类	样品数	$w_B/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$		
		算术平均值	标准偏差	含量范围
变质岩	43	952	1087	19~6250
岩浆岩	30	673	1001	85~5400
沉积岩	21	580	283	240~1310

此外,山区不同成因类型堆积物的全氟算术平均值也是不同的,如风积沙为309  $\mu\text{g/g}$ ,风积黄土为401  $\mu\text{g/g}$ ,坡积物为464  $\mu\text{g/g}$ ,残积物为628  $\mu\text{g/g}$ ,即氟含量风积沙<坡积物<残积物。

### 2.2.2 土壤的氟含量

根据本次生态地球化学调查结果,河套地区土壤的氟含量高于中国和世界的平均值。研究区内土壤的氟含量平均值为478  $\mu\text{g/g}$ ,中国土壤平均值为440  $\mu\text{g/g}$ ,世界土壤均值200  $\mu\text{g/g}$ <sup>[8-9]</sup>,这为区内高氟地下水提供了物质来源。

### 2.2.3 湖相沉积物的氟含量

河套平原是一个半内陆的半封闭干旱盆地,地下水高氟区位于湖盆中心。地下水主要以蒸腾和蒸发排泄为主,上更新统-全新统底部和中更新统上部湖相沉积物岩性为黄绿色黏质砂土和细砂,其中湖滨相为钙炭胶结的砂砾石、黄绿色黏砂土及细砂,深湖相为淤泥质层,中间夹有厚度不等的石膏和芒硝层,具有硫化氢臭味,下部承压含水层亦具有硫化氢臭味,并具有脱硫酸的还原过程,也是苏打盐渍化过程中苏打的主要来源。本区具备了土壤水溶氟的增高和高氟水形成的优越环境。经分析,黏质砂土的水溶氟一般为7~15  $\mu\text{g/g}$ ,最高达44  $\mu\text{g/g}$ ,经流水淋溶水溶氟较低,一般为4.8~7.0  $\mu\text{g/g}$ ,钙结层为26.5  $\mu\text{g/g}$ <sup>[10]</sup>。

### 2.2.4 富氟岩矿床淋滤

含氟岩石风化淋滤及含氟矿石受地下水作用溶解,使氟离解,形成与矿脉地理分布相吻合的病区,或当深层地下水流经高氟矿床或高氟基岩时,使地下水含氟量增高。这种类型仅在蹬口附近黄河东岸分布,其氟含量高于背景值,由于缺乏水化学资料,推测与附近存在含氟矿体有关。

## 2.3 地下水因素

### 2.3.1 地下水的pH值

区内浅层地下水在北部和东部周边地区的pH为7~8,构成了微碱性环境,而氟在碱性环境中极为活跃,常呈离子状态存在,所以,地下水的弱碱性环境为氟的迁移搬运提供了条件,形成了本区分布范围较大的高氟水。

### 2.3.2 水化学类型

国内外研究表明, $\text{HCO}_3-\text{Na}$ 型水有利于水中氟的迁移和富集,故高氟地下水多分布在 $\text{HCO}_3-\text{Na}$ 型水的分布区<sup>[11]</sup>。区内浅层高氟地下水的化学类型较复杂,其中,纯属型 $\text{HCO}_3-\text{Na}$ 的地下水不太多,主要分布在湖积中心<sup>[12]</sup>。

水化学类型与氟含量关系以研究区东部的土默特川平原较为典型。在土默特川平原边缘,地下水的化学类型为 $\text{HCO}_3-\text{Ca}\cdot\text{Mg}$ ,对应的地下水氟含量0.3~0.6 mg/L,到达弱迳流的平原区后水化学类型过渡到 $\text{HCO}_3-\text{Ca}\cdot\text{Na}$ 型,对应地下水氟含量0.8~1.0 mg/L,从平原到和湖积中心的过渡带水化学类型为 $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4-\text{Na}\cdot\text{Mg}$ 型和 $\text{HCO}_3-\text{Na}\cdot\text{Mg}$ 型,其地下水的氟含量为1.5~8.0 mg/L,在湖积中心类型则为 $\text{HCO}_3-\text{Na}$ 型,其中地下水氟含量达到最高值(10.0~15.0 mg/L),形成大面积的高氟水。

研究区内浅层地下水中  $F^-$  与  $Ca^{2+}$  的含量成比较稳定的负相关,相关系数为  $-0.49 \sim -0.75$ ,表明氟在低钙水化学类型的地下水中富集。 $(Na^+ + Mg^{2+})/Ca^{2+}$  与氟正相关,相关性比较好,表明地下水中  $Na^+$  和  $Mg^{2+}$  含量越高,越有利于氟的迁移和富集,反之则不利于氟的迁移和富集。另外  $(HCO_3^- + SO_4^{2-})/Ca^{2+}$  与氟也表现出很好的正相关关系,相关系数为  $0.58 \sim 0.84$ ,说明地下水中  $HCO_3^-$  和  $SO_4^{2-}$  含量越高,地下水中氟越富集;反之,当水中  $Ca^{2+}$  含量增加时,  $F^-$  与  $Ca^{2+}$  形成难溶化合物而沉淀,抑制了氟在地下水中的迁移和富集(图3)。

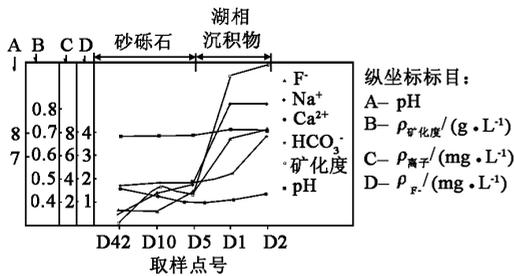


图3 氟含量与  $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $HCO_3^-$  含量, 矿化度及 pH 值关系

Fig. 3 Relationship between  $F^-$  content and contents of  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $HCO_3^-$ , total salinity and pH

### 2.3.3 地下水迳流排泄条件

氟的富集与地下水的迳流排泄条件存在密切关系。在研究区的北部山前倾斜平原和东部大黑河冲积平原上游地带,由于水力坡度大,导水性能好 ( $T > 100$  或  $500 \sim 1000 \text{ m}^2/\text{d}$ ),不利于氟的富集;东部大黑河-黄河冲湖积平原的呼和浩特-托克托县高氟区位于湖盆沉积中心,由于地势平缓,迳流条件差 ( $T < 500 \text{ m}^2/\text{d}$ ),有利于氟的富集;而包头-达拉特旗高氟区,由于处于地下水向黄河排泄区,地下水流动滞缓,为氟的富集创造了有利条件。

### 2.4 非饱和带土体的影响

以大黑河-黄河冲湖积平原为例,呼和浩特-托克托县高氟区位于湖盆沉积中心,由于地势平缓,迳流条件差,地下水埋藏比较浅,地下水的动态类型通常为入渗-蒸发或入渗-蒸发-开采型,浅层地下水和非饱和带土体构成了一个相互作用的水文地球化学系统<sup>[10]</sup>。在该系统中,地下水垂直交替运动比较强烈,土体中的氟化物伴随盐分载体——水,在水盐的垂直交替运动过程中参与淋溶、转移、富集等演变,从而影响浅层地下水中氟的迁移和富集。因此,非饱和带土体的氟源强度是非饱和带土体浅层地下水之间氟的转移和富集的一个关键因素,直接控制着浅层地下水中氟的迁移和

富集。非饱和带土体氟源强度和供氟能力,受控于非饱和带土体的物理化学性质,即受控于土体的矿物成分、化学成分和粒度组成。

研究区由东向西,非饱和带土体厚度逐渐减少,岩性和矿物成分也呈规律性变化。在山前倾斜平原和冲洪积平原,非饱和带多为砂性土体,主要含氟矿物为黑云母和角闪石;而浅层高氟地下水分布区——冲湖积低洼平原非饱和带以黏土为主,主要矿物成分为黏土矿物伊利石。由于黏土矿物对氟具有很强的吸附能力,导致砂性土体和黏性土体的供氟源、全氟量和水溶性氟含量均不同。砂性土体供氟源主要为含氟矿物黑云母、角闪石,全氟量和水溶性氟含量一般分别小于  $400 \mu\text{g}/\text{g}$  和  $10 \mu\text{g}/\text{g}$ ;而黏性土体供氟源主要为吸附态氟以及分布在黏粒和胶粒表面呈分散状存在的易溶氟化物  $\text{NaF}$  和难溶氟化物  $\text{CaF}_2$  等,土体全氟量很高,一般都大于  $500 \mu\text{g}/\text{g}$ ,最高达  $900 \mu\text{g}/\text{g}$ ,而水溶性氟都大于  $10 \mu\text{g}/\text{g}$ ,最高达  $20 \mu\text{g}/\text{g}$ 。因此,黏性土体具有更大的氟源强度,对浅层地下水中氟的富集具有更重要的意义。

### 2.5 工业污染

研究区内的包头市为我国北方重要的重工业基地,工业发达,但工艺流程落后,工业“三废”大量排放。水质监测资料表明,废渣和废水是造成包头市近郊潜水氟污染的主要因素。据对包头市 31 个工厂调查资料,废水年排放量为  $12075.68 \times 10^4 \text{ t}$ ,年排氟量  $993.51 \text{ t}$ ,其中包钢尾矿坝和昆都仑河包钢总下水年排氟量可达  $880.48 \text{ t}$ ,占全市年排氟总量的 88%。废水流入明渠,工业环境污染严重<sup>[10]</sup>。

污染类的氟因污染源的状态(固态或液态)和污染的途径不同,潜水氟污染的程度和特征也有所差异。当污染源的氟以垂直下渗污染潜水,则包气带的特征制约着潜水的污染,包气带愈厚,岩性颗粒愈细,则吸附降解作用愈强,越不易污染潜水;当污染源的氟以侧渗污染潜水,则取决于排污渠道内废水和潜水之间的互补关系,显然废水补给潜水使潜水受到污染,但水化学成分能抑制污染潜水氟含量的增高,污染可改变潜水的水化学类型,可是变化了的水化学类型不一定造成氟含量的增高。

据此,可把工业污染类分成四种不同类型,即渗漏型、侧渗型、下渗型和淋渗型。

(1) 渗漏型 包钢尾矿坝和一电厂贮灰池、废水贮水池的渗漏。这一地带包气带薄,一般厚约  $1 \sim 3 \text{ m}$  或  $3 \sim 5 \text{ m}$ ,其介质层以细颗粒为主。

潜水氟含量在坝体附近,除坝东侧氟含量为  $1.2 \mu\text{g}/\text{g}$  外,一般未超标,含量低于距坝远的潜水氟含量,在坝南侧附近的监测孔氟有逐年降低的趋势。从建坝至今氟降低为  $1 \mu\text{g}/\text{g}$ ,水化学类型由重碳酸型变为

氯硫酸型 其中  $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{Na}^+$  含量明显升高。

坝体四周土壤在地表深度 0~2 cm 污染严重,全氟量达到最高。随着与坝的距离和地表深度增加,氟含量减少。水溶氟以坝南和坝东两侧污染严重(表 2)。土壤可溶盐以氯化物硫酸钠为主,坝下表层以硫酸钠镁为主。

表 2 渗漏型土壤全氟、水溶氟含量

Table 2 Total fluorine and aqueous-soluble fluorine contents in leakage type soil

采样点	位置	$w_B/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$			
		地表深度 0~2 cm		地表深度 20~40 cm	
		水溶氟	全氟	水溶氟	全氟
坝东侧	贾义窑子	12.5	11150	10.05	495
坝西侧	坡西 150 m	5.0	2400	1.75	500
	东打拉亥	2.16	550	1.35	550
坝北侧	钢 8	5.80	4350	1.20	715
坝南侧	坡南 60 m	72.0	65000	22.0	975
	东哈拉布达	22.0	9800	14.80	600
	任福窑子	6.70	690	3.60	715

(2) 侧渗型 包钢可溶盐以氯化物硫酸钠为主,废水经河底部或两侧渗透性强的包气带地层下渗或侧渗扩散污染潜水。

潜水氟含量为 1~3.6  $\mu\text{g}/\text{g}$ ,距渠边愈近污染愈重,氟含量有逐年升高的趋势。如 1971 年 9 月至 9 月 10 日期间氟含量升高 0.4~1.2  $\mu\text{g}/\text{g}$ ,水化学类型由  $\text{SO}_4\cdot\text{Cl}-\text{Na}\cdot\text{Ca}$  型的含氟废水渗透变为  $\text{SO}_4-\text{Ca}$  型水。近渠道处,  $\text{SO}_4^{2-}$  含量为 11.6~14.2  $\mu\text{g}/\text{g}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  为 10~12  $\mu\text{g}/\text{g}$ ,  $\text{Cl}^-$  含量低,土壤可溶盐以重碳酸硫酸钙钠为主。

(3) 下渗型 位于西厂汗、刘贵以北的包钢和一化工业废水污灌区,这一带包气带较薄,厚度不到 3 m,岩层颗粒较细,含氟废水下渗经包气带污染潜水。

包气带岩层对氟的吸附可不同程度地减轻氟对潜水的污染,但污灌区包气带内水溶氟含量远远大于清水灌区和清污水混灌区。在污灌区水溶氟含量为 23~43  $\mu\text{g}/\text{g}$ ,于 10~40 cm 水溶氟含量最高,在清污水混灌区水溶氟 7.3~23.5  $\mu\text{g}/\text{g}$ ,地表深度 10~20 cm 水溶氟含量最高,在 20 cm 以下则逐渐下降。

(4) 淋渗型 包钢高炉、本炉废渣经大气降水的淋溶不断渗入,经包气带而污染潜水。在渣堆的下游方向潜水污染严重,距渣堆愈近,氟含量愈高,一般为 2~3  $\mu\text{g}/\text{g}$ ,矿化度剧增,可达 5.3 g/L,水化学类型为  $\text{SO}_4-\text{Na}$ ;在渣堆的上游氟含量仅为 0.9~1.2  $\mu\text{g}/\text{g}$ ,矿化度为 0.65~0.80 g/L,水化学类型为  $\text{HCO}_3-\text{Na}\cdot\text{Ca}$  型。

### 3 结论与建议

(1) 内蒙古河套地区高氟水的含量主要受氟物质来源控制,氟源来自研究区周围的基岩山区变质岩和平原内部第四系地层含氟岩石和土壤。地下水氟的富集受气候、水文地质和水化学环境影响,而人类活动加剧了氟污染。

(2) 不同氟污染应采取不同方法治理。工业氟污染应控制含氟“三废”排放量,采取改明渠排污为暗道防渗排放,建立污水处理站网,控制污染源。自然界因素(原生环境)的污染治理,可因地制宜采取防治措施,将含氟量控制在国家饮用水标准范围内。一方面可改变饮用水源,应封闭高氟含水层的水井,改饮含氟量适用人体的含水层水。经调查分析选择低氟的浅井或开凿深井提取低氟的承压水;另一方面可进行化学处理,降低水中的氟含量。目前国内外化学除氟技术较多也较为成熟。

### 4 参考文献

- [1] 张崇伦, 韩行琪. 氟的水文地球化学特征初探 [C]// 中国地质学会首届环境水文学术讨论会论文选编. 1985: 171.
- [2] 李端生. 环境氟与人体健康 [J]. 吉林地质, 2002, 21(3): 101-102.
- [3] 施开良. 环境、化学与人类健康 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2002: 44-45.
- [4] 内蒙古水文地质队. 内蒙古自治区呼包平原水文地质工程地质环境地质综合勘察报告 [R]. 1985: 20-23.
- [5] 内蒙古水文地质队. 内蒙古自治区地下水资源评价 [R]. 2002: 25-26.
- [6] 内蒙古地质调查院. 内蒙古河套农业经济区生态地球化学调查区域地球化学评价设计书 [R]. 2005: 1-59.
- [7] 赵仑山. 山西大同盆地砷、氟中毒的生态地球化学研究 [R]. 2005: 202-204.
- [8] 魏复生, 陈静生, 吴燕玉, 等. 中国土壤环境背景值 [M]. 北京: 地质出版社, 1984: 26.
- [9] 郑海香, 奥静平, 王国光, 等. 内蒙古土壤资源数据册 [M]. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1994: 20-22.
- [10] 张锦波. 包头市及近郊潜水氟成因类型的初步探讨 [M]// 中国地质学会首届环境水文学术讨论会论文选编. 北京: 地质出版社, 1987: 27-30.
- [11] 任福弘, 曾斌辉, 刘文生, 等. 华北地区浅层高氟地下水研究中心的几个问题 [M]// 地质矿产部环境地质实验室. 1990、1991 年年报. 北京: 地震出版社, 北京: 10-11.
- [12] 刘文灿, 禹湘玲. 呼包平原浅层地下水污染现状分析 [G]// 首届青年科技工作者学术交流会论文汇编. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 1986: 116-117.