

中国北方高砷地下水分布特征及成因分析

韩双宝 张福存 张 徽 贾小丰 何 锦 李旭峰

(中国地质调查局水文地质环境地质调查中心, 河北 保定 071051)

摘要:本文分析了银川平原北部饮水型砷中毒分布、水文地质条件和水化学特征,并探讨了地下水中砷离子分布规律和富集环境。研究表明:高砷地下水区呈两个条带状分布于冲湖积平原,主要为埋藏深度小于 40 m 的潜水,水化学环境呈弱碱还原环境,水化学类型主要为 $\text{HCO}_3\text{-Na}\cdot\text{Ca}$, $\text{Cl}\cdot\text{HCO}_3\text{-Na}$, $\text{Cl}\cdot\text{HCO}_3\text{-Na}\cdot\text{Ca}$ 型;最后对比分析了中国北方内蒙古平原、山西大同盆地、新疆、吉林西部高砷地下水分布和环境地质特征。

关键词:银川平原;地下水;砷;古地理

中图分类号:P641.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2010)03-0747-07

饮水型砷中毒是由于长期通过饮水摄入过多的砷,而引起的以皮肤色素脱失、着色、角化及癌变为主的全身性的慢性中毒性疾病。在世界上分布较广^[1],目前已知 20 多个国家有不同程度的砷中毒流行^[2]。

中国大陆高砷地下水分布广泛,当地居民因长期饮用高砷水而造成砷中毒,受影响人口约 230 万,其中饮水中砷大于 $50\mu\text{g/g}$ 的高砷暴露人口已超过 50 万人,砷中毒患者约 7800 人^[3-4],主要分布于内蒙古河套平原、山西大同盆地、新疆奎屯地区^[5]、吉林西部^[6]、宁夏银川平原等地。本文探讨银川平原高砷地下水分布特征,并与中国北方其他高砷区进行对比分析。

1 宁夏银川平原

宁夏是中国饮水型地方性砷中毒分布区域之一^[4],于 1995 年发现有地方性砷中毒病区和砷中毒病人^[7],目前共发现 20 多个砷中毒病区,谭卫星等^[8]2006 年对宁夏高砷病区调查发现砷中毒病例 500 多例,病情较轻,总患病率为 5.77%。砷中毒区域主要分布在贺兰山山前宁夏北部地区,以银北平原病情最重,行政区划上属石嘴山市,如平罗县和惠农县。其他地区病情轻或无发病。砷中毒流行区域与高砷地下水分

布区域基本一致。

1.1 自然地理概况

研究区位于银川平原北部,面积约 3200 km^2 ,行政区划隶属于银川市和石嘴山市,东侧为黄河,西至贺兰山山脉(图 1)。属大陆北温带干旱、半干旱气候,贺兰山山区年均降水量 450 mm 左右;平原区年均降水量 183 mm,年均蒸发量 1955 mm。

研究区地势平坦,除黄河外,无常年性河流。西部山前冲洪积平原与冲湖积平原相接的地带,分布有湖泊与湿地。同时研究区为重要的引黄灌区,区内灌溉渠系密布,在灌溉季节地下水水位上升,一些地区有盐碱化现象。

1.2 水文地质条件

研究区属于断陷沉积盆地,第四系沉积物巨厚,中心位置可达 1600 m,向平原边缘沉积厚度迅速变薄。贺兰山前为单一潜水结构区,洪积倾斜平原前缘为潜水承压水多层结构区,含水层岩性由砾石变为中细砂、细砂,地下水水质较好。冲洪积平原和冲湖积平原区,潜水含水层岩层主要为细砂粉细砂,厚度在 10~40 m,局部地段上覆 1~2 m 或大于 2 m 的粘性土层,使潜水微具承压性;第一承压层岩性为细砂、粉细砂,埋深 30~180 m,是城镇生活用水和农村

收稿日期:2010-04-17;改回日期:2010-04-21

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(1212010634714)资助。

作者简介:韩双宝,男,1983年生,助理工程师,从事水文地质研究工作;E-mail:shuangbaohan@126.com。

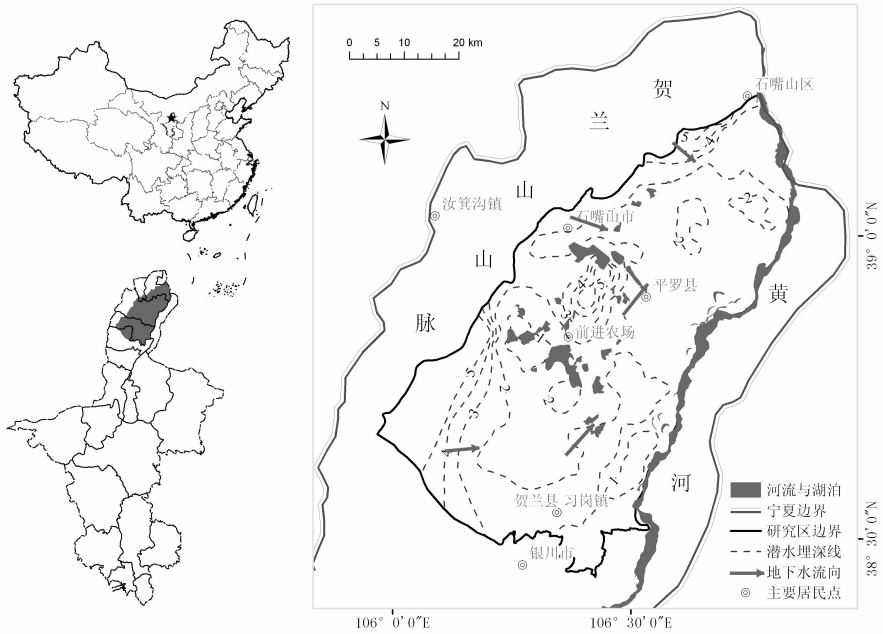


图1 研究区位置与水文地质条件示意图

Fig.1 Schematic map showing location and hydrogeological condition of the study area

集中供水主要开采层;第二承压层以粉细砂为主,水位埋深 160~280 m,目前开发利用较少。

多层结构区,潜水水位埋深一般在 1.0~3.0 m,承压水水位埋深一般小于 6.0 m;靠近山前地区,承压水水位低于潜水 1 m 以上,平原中部在 1 m 以内。平原西部山前,地下水自贺兰山流向平原盆地,地下水自西向东流,水力坡度大,径流条件好;平原中东部,受平原地势和黄河影响,地下水自西南向东北流,水力坡度明显减小,径流条件变差。

2 采样与测试

地下水采样时间为非灌溉干旱季节,分别于 2007 年 11—12 月和 2008 年 11—12 月两次采样。现场测定水温、pH 值、Eh 值、电导率、溶解氧(DO)。其他测试项目在实验室按相应国家标准进行测定,主要测试方法和仪器包括常规滴定法、原子吸收分光光度计、紫外可见分光光度计、原子荧光光度计和式波极谱仪。

3 地下水水化学特征

3.1 区域水化学特征

从研究区地下水常规化学成分的基本特征(表 1)可以看出:研究区地下水 pH 值范围在 7.18~8.58,

表 1 各含水层主要水质指标的统计结果(单位:mg/L)
Table 1 Statistical results of major water quality indicators in aquifers

指标	潜水			承压水		
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
Na ⁺	30.8	1289.9	240.9	12.3	820.0	140.9
K ⁺	1.1	22.0	4.4	0.5	8.0	2.5
Mg ²⁺	1.9	556.5	72.7	3.3	104.5	36.1
Ca ²⁺	13.6	364.3	103.8	13.2	117.4	63.9
Cl ⁻	24.8	1317.2	161.1	17.7	1329.0	160.4
SO ₄ ²⁻	3.9	1307.1	295.0	1.9	487.8	168.7
HCO ₃ ⁻	164.4	855.7	478.2	135.6	532.1	270.2
pH	7.18	8.58	7.7	7.42	8.5	8.08

属于中性偏碱性水,潜水 pH 的平均值为 7.7,略低于承压水的 8.08。潜水和承压水中各主要离子浓度变化规律一致,阳离子为:Na⁺>Ca²⁺>Mg²⁺>K⁺;阴离子为:HCO₃⁻>SO₄²⁻>Cl⁻。各种离子浓度及水化学指标变化范围较大,潜水主要离子浓度一般大于承压水。如潜水 Na⁺的范围为 30.8~1289.9 mg/L,最大值与最小值相差 40 倍,平均值为 240.9 mg/L;而承压水中 Na⁺浓度则相对较小,变化范围为 12.3~820.0 mg/L,平均值为 140.9 mg/L。

3.2 高砷水化学特征

3.2.1 pH 值

研究区内地下水 pH 值在 7.18~8.58, 而高砷水 (大于 50 μg/L) pH 值多在 7.5~8.5, 属于中性和弱碱性地下水 (图 2)。

3.2.2 Eh 值

氧化还原环境对地下水中砷迁移富集有密切的关系, 即氧化还原作用制约砷在环境中存在的形式和迁移能力 [9-10]。研究区内地下水 Eh 值为 -200~200 mV, 高砷水多在 0~50 mV 和 -200~-100 mV, 其中强还原环境 (-200~-100 mV) 中砷含量最高 (图 3)。另外氧化还原条件影响砷的价态, 从而影响高砷水毒性, 因为在还原条件下砷主要以 As(III) 形态存在, 根据医学环境地球化学研究, As(III) 对人体的毒

性高于 As(V) 60~100 倍 [2]。

3.2.3 地下水中其他组分

高砷地下水阴离子以 HCO₃⁻ 为主, Cl⁻ 次之, 而阳离子以 Na⁺ 为主, 部分水样 Mg²⁺ 离子百分含量较高。其高砷水化学类型主要为 HCO₃⁻-Na·Ca, Cl·HCO₃⁻-Na, Cl·HCO₃⁻-Na·Ca 型。

4 高砷地下水分布特征

利用水样测试数据, 绘制了银川平原北部潜水总砷含量分布图 (图 4)。银川平原高砷地下水主要分布于银川平原北部, 以平罗县和邻近平罗县的区域最高。从全区来看, 高砷地下水 (>50 μg/L) 呈不连续分布, 与内蒙河套平原高砷地下水分布类似 [9], 沿地下水流向在平面上呈两个条带分布: 东侧条带平行于黄河分布, 南起贺兰县通义乡—平罗县通伏乡—北至渠口乡; 西侧条带南起平罗县前进农场—北至惠农县黄渠桥燕子墩。

研究区内地下水中砷含量最高值位于平罗县前进农场为 177 μg/L, 超出中国小型集中式水和分散式供水标准 (50 μg/L) 3.6 倍, 生活饮用水标准 (10 μg/L) 的 17.7 倍。不同砷含量的地下水分布区面积见表 2, 高砷地下水区占研究区总面积约 8.2%; 砷含量高于 10 μg/L 的地下水区占总面积约

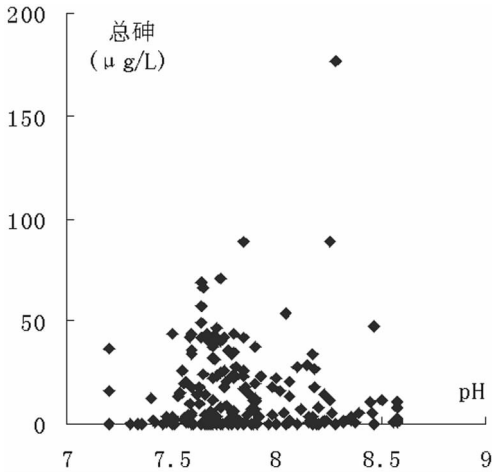


图 2 总砷与 pH 关系图

Fig.2 The relationship between total arsenic and pH

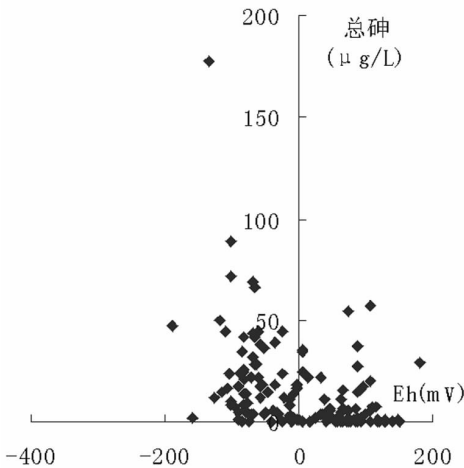


图 3 总砷与 Eh 关系图

Fig.3 The relationship between total arsenic and Eh

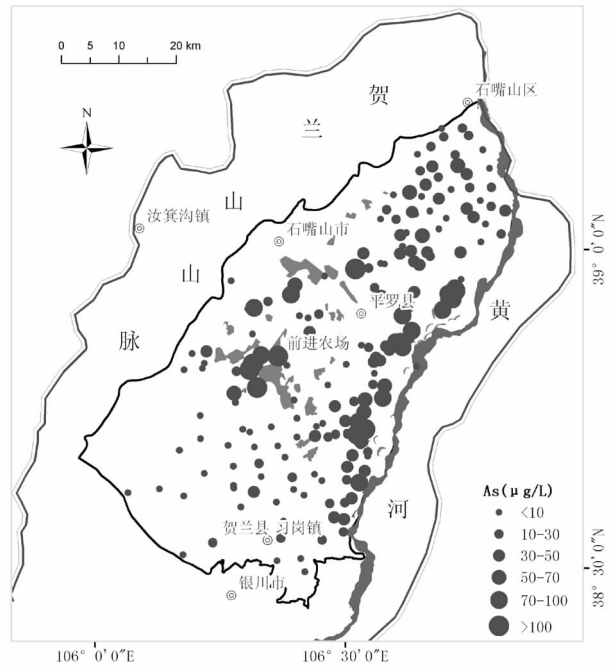


图 4 地下水砷含量分布图

Fig.4 The distribution of arsenic content in groundwater

表2 不同砷含量的地下水分布区面积
Table 2 Distribution areas of different concentrations of arsenic

总砷浓度 I ($\mu\text{g/L}$)	<10	10~30	30~50	50~100	>100
面积/ km^2	1360.1	1173.8	408.7	234.4	27.2
占研究区	42.4	36.6	12.8	7.3	0.9
总面积/%					

57.6%，主要位于平原区沉积中心地带；低砷区(<10 $\mu\text{g/L}$)约占总面积的42.4%，主要位于贺兰县南部、贺兰山前等地。

垂向上，高砷地下水主要赋存于潜水含水层中；第一承压水、第二承压水中砷含量均未超标，大部分地区均未检出或含量低于10 $\mu\text{g/L}$ ，仅在个别地段高于10 $\mu\text{g/L}$ 。承压水砷含量检出最高值为跃进自来水47 $\mu\text{g/L}$ 。

从地下水总砷含量与取样深度关系图(图5)来看，高砷地下水含水层埋藏深度主要为10~40 m，该深度为当地居民私人饮水井主要取水层位，这在一定程度上增加了当地农村居民砷中毒风险。砷含量随埋藏深度增加而明显下降，埋深大于50 m的含水层，砷均小于50 $\mu\text{g/L}$ 。

5 有利于砷富集古地理和水文地质条件

5.1 古地理环境

银川平原为新生代拉张型断陷盆地沉积建造。上新世至全新世，银川平原持续断陷，平原区内沉积了巨厚的松散沉积物。早更新世中期，银川平原处于封闭状态，沉降中心位于银川中部凹陷区和灵武浅陷带。早更新世末或中更新世初期，黄河切穿青铜峡和石嘴山成为外流河。

受贺兰山强烈隆起影响，黄河逐渐从研究区西部向东移动至现代黄河位置。随着黄河的改道，在平原区形成了大量的湖泊，沉积了较厚的湖相沉积层，随着这些湖波的消失，形成了大量的湖沼堆积物。

笔者认为在冲湖积沉积物堆积过程中，砷元素在湖积地层或地段中逐步富集，为地下水中砷离子提供主要来源，现有资料表明高砷区全部位于冲湖积平原上。

两条高砷带分布也与沉积环境关系密切，西侧条带位于山前冲洪积平原前缘的湖积平原区，在全

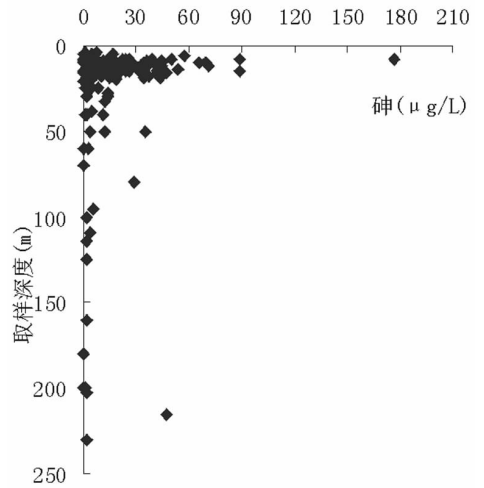


图5 总砷与取样深度关系图

Fig.5 The relationship between total arsenic and sampling depths

新世早期为古黄河河道^[11]，在黄河改道前后湖泊密集，现仍有大量湖泊分布；东部高砷条带位于靠近黄河的冲湖积平原区，为全新世晚期古黄河河道。同孟加拉^[12]，内蒙古河套平原^[13-16]和山西大同^[9,17,18]相似，区内钻孔资料显示，在砷含量高的层位，地层主要为黄色、青灰色细粒的粉砂与细砂，并夹有薄层的黑色腐殖物，形成了还原性富含腐殖质的含水介质。而在山前洪积平原和冲洪积微倾斜平原地区，含水介质主要为粗颗粒砂、砾层，地下水中砷浓度普遍较小，一般低于10 $\mu\text{g/L}$ 或未检出。

5.2 高砷地下水补径排条件

研究区位于银川平原末端，属于银川盆地地下水携带物质的汇流区域，北部第四系基底隆起，同时受贺兰山和陶乐地台的阻挡，地下水径流受阻，盆地四周的砷及其他元素由地下水携带进入平原北部，为地下水中砷的富集提供了物质来源。由于冲湖积平原地形平坦、地势低洼，地下水径流迟缓，地下水水位埋深浅，一般在3 m以内，部分高砷区埋深甚至小于1 m，降雨稀少，气候干旱，蒸发是地下水的主要排泄方式，所以通过上述分析认为蒸发浓缩也是造成研究区地下水中砷富集的主要因素。

6 中国北方其他地区高砷地下水分布及环境地质特征

6.1 内蒙古平原

内蒙古自1990年前后发现砷中毒，目前受威胁

人口约 41 万,分布于中部 4 个盟市及东部赤峰山区^[9],而河套平原和呼包平原为主要的砷中毒分布区域,构造上属华北地台鄂尔多斯台向斜的北缘,为两个独立的新生代断陷盆地^[2]。高砷地下水区分布形态上局部多呈不规则的片状,从西向东呈不连续的条带状展布,位于盆地沉降的中心带。垂直方向上,在一定的深度范围内,随着深度的增加,水中砷含量增大,而且浅层高砷水井井深基本上都在 20~35 m。含水层主要为灰黑色的粉细砂层或粉细砂与粘土、淤泥质粘土互层,沉积物中有机质含量较高,腐臭味浓烈^[14]。砷浓度较高,最高可达 1860 $\mu\text{g/L}$,属于弱碱还原性水化学环境^[13]。

6.2 山西大同盆地

山西省 1994 年首次发现饮水高砷暴露地区,其高砷水主要分布在大同盆地和晋中盆地,砷中毒以大同盆地最为严重。

大同盆地位于山西高原北端,桑干河上游,属内陆半封闭性干旱盆地,构造上为断陷盆地。高砷地下水主要富集在盆地中部的黄水河与桑干河的河间洼

地及洪积-冲湖积平原的交接洼地。垂向上,高砷水主要富集在 20~200 m 承压层中,其中 20~40 m 及 100~150 m 是主要富集段^[17]。高砷含水介质主要为细砂、砂质粘土以及粘土和钙质粘土层互层的还原性湖积物层。地下水中砷含量最高可达 1 930 $\mu\text{g/L}$,水化学环境为弱碱还原性^[9]。

6.3 其他地区

新疆是中国 80 年代初最早发现饮水型砷中毒地区。病区主要位于天山北麓奎屯河下游的冲洪积平原,行政区划为奎屯市农垦兵团车排子垦区。该区第四纪沉积物厚达数百米,以亚粘土、亚砂土为主,局部夹以薄层粘土。2003 年中国政府与联合国儿童基金会“关于减轻砷中毒危害项目”共检测出高砷水井(>50 $\mu\text{g/L}$)1003 个,超标村 130 个。

吉林省自 1995 年以来,在通榆、洮南、大安、双辽、农安、乾安、长岭等市县发现了砷中毒,仅在通榆、洮南、大安、双辽、乾安、长岭等县发现 27 个病区,256 个高砷水病屯,砷中毒病人 300 余人,水样超标率 6.41%,高砷暴露人口约 13 万。高砷水主要分布于低平原区第

表 3 中国北方主要高砷地下水区地质环境特征对比
Table 3 Geological environment of typical high arsenic groundwater

	内蒙古河套平原	山西大同盆地	银川平原
砷中毒人口/受威胁人口(人)	?/大于300000	5087/?	500/?
砷浓度范围($\mu\text{g/L}$)	<10~1860	<10~1932	<10~177
气候特征	温带大陆性干旱气候带; 降雨量 130~200 mm, 蒸发量为1900~2500 mm	大陆性半干旱气候带, 降雨量370~420 mm, 年平均蒸发量2 000 mm	大陆性干旱气候带; 年均降水量 183mm, 年均蒸发量1955mm
地质与构造特征	新生代断陷盆地, 富含有机质的湖积地层	断陷盆地, 富含有机质的还原性湖积地层	断陷盆地, 冲湖积地层
地下水水动力特征	地下水径流迟缓	地形封闭, 地下水径流迟缓	地下水径流迟缓, 埋深浅
高砷水平面分布特征	分布于狼山山前倾斜平原与黄河冲湖积平原的交接地带, 位于平原沉积中心地带;	分布于黄水河与桑干河的河间洼地及洪积-冲湖积平原的交接洼地, 位于盆地沉降中心	呈两个不连续的条带分布于冲湖积平原区
高砷水垂向分布特征	主要赋存于20~35m深度	主要赋存在20~200m深度; 其中20~40m及100~150m是主要富集段	主要赋存于10~50m深度
高砷水化学主要环境要素特征	pH 普遍大于8, 弱碱环境 ORP 主要为还原性环境 水化学类型 主要为碱金属重碳酸型和碱金属非重碳酸型	7.5~8.8, 弱碱性环境 主要为还原环境 以 $\text{HCO}_3\text{-Na}$ 型为主, 小部分水样为 $\text{HCO}_3\text{-Cl-Na-Mg}$ 和 $\text{Cl-SO}_4\text{-Na-Mg}$ 型	8.0~8.5, 弱碱环境 氧化和还原环境, 但还原环境中砷浓度最高 以 $\text{HCO}_3\text{-Na-Ca}$, $\text{Cl-HCO}_3\text{-Na}$, $\text{Cl-HCO}_3\text{-Na-Ca}$ 为主
参考文献	张美云等, 2002; 杨素珍等, 2008; 高存荣等, 2008; 李浩等, 2009	郭华明等, 2003; 裴捍华等, 2005; 赵伦山等, 2007	

四系湖相沉积地层,水位埋藏深度较浅,下伏古近-新近系含水层中砷含量不超标。

7 中国北方主要高砷地下水区地质环境特征对比

银川平原高砷地下水区与内蒙古河套平原,山西大同盆地地质环境相比,有很多相似之处,也有各自独特的特征(表3)。

8 结 论

(1)银川平原是中国饮水型砷中毒病区之一,高砷地下水主要位于平原北部,地形地貌上属于冲湖积平原;而山前洪积倾斜平原和冲洪积微倾斜平原地区,地下水中砷浓度普遍小于 $10 \mu\text{g/L}$ 或未检出。

(2)银川平原高砷地下水环境主要为弱碱还原环境,其水化学类型主要为 $\text{HCO}_3-\text{Na}\cdot\text{Ca}$, $\text{Cl}\cdot\text{HCO}_3-\text{Na}$, $\text{Cl}\cdot\text{HCO}_3-\text{Na}\cdot\text{Ca}$ 为主。

(3)银川平原高砷地下水主要赋存于潜水含水层中,高砷区沿地下水流向呈不连续的条带分布,垂向上主要赋存于 40 m 以内的潜水中。

(4)银川平原与河套平原、山西大同高砷水地质环境各有异同。

参考文献(References):

- [1] Smedley P L, Kinniburgh D G. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters [J]. Applied Geochemistry, 2002, 17:517-568.
- [2] 林年丰. 医学环境地球化学 [M]. 长春: 吉林科技出版社, 1991: 186-201.
Lin Nianfeng, Tang Jie. Medical Environmental Geochemistry [M]. Changchun: Jilin Science and Technology Press, 1991: 186-201 (in Chinese).
- [3] 韩子夜, 蔡五田, 张福存. 国外高砷地下水研究现状及对我国高砷地下水调查工作的建议 [J]. 水文地质工程地质, 2007, 3:126-128.
Han Ziye, Cai Wutian, Zhang Fucun. The current foreign research situation of high arsenic groundwater and suggestion for investigation of high arsenic groundwater in China [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2007, 3:126-128 (in Chinese).
- [4] 金银龙, 梁超轲, 何公理. 中国地方性砷中毒分布调查 (总报告) [J]. 卫生研究, 2003, 32(6):519-539.
Jin Yinlong, Liang Chaoke, He Gongli, et al. Study on distribution of endemic arsenism in China [J]. Journal of Hygiene Research, 2002, 17:517-568 (in Chinese with English abstract).
- [5] 林年丰, 汤洁. 我国砷中毒病区的环境特征研究 [J]. 地理科学, 1999, 19(4):135-139.
Lin Nianfeng, Tang Jie. The study on environmental characteristics

- in arseniasis areas in China [J]. Scientia Geographica Sinica, 1999, 19 (4):135-139 (in Chinese with English abstract).
- [6] 卞建民, 汤洁, 封灵, 等. 吉林西部砷中毒区水文地球化学特征 [J]. 水文地质工程地质, 2009, 5:80-83.
Bian Jianmin, Tang Jie, Feng Ling, et al. Hydrogeochemical characteristics in the arsenic poisoning area in western Jinlin Province [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2009, 5:80-83 (in Chinese with English abstract).
- [7] 胡兴中, 陈德良, 陈建杰, 等. 宁夏北部地方性砷中毒流行病学调查分析 [J]. 中国地方病学杂志, 1999, 18(1):23-25.
Hu Xingzhong, Chen Deliang, Chen Jianjie, et al. Epidemic investigation of endemic arsenic poisoning in the north of Ningxia [J]. Chinese Journal of Endemiology, 2002, 17:517-568 (in Chinese with English abstract).
- [8] 谭卫星, 马天波, 陈建杰, 等. 宁夏地方性砷中毒流行分布 [J]. 宁夏医学杂志, 2006, 28(12):808-900.
Tan Weixing, Ma Tianbo, Chen Jianjie, et al. Distribution of endemic arsenism of Ningxia Hui Nationality Autonomous Region [J]. Ningxia Med J., 2006, 28 (12):808-900 (in Chinese with English abstract).
- [9] 郭华明, 王焰新, 李永敏. 山阴水砷中毒区地下水砷的富集因素分析 [J]. 环境科学, 2003, 24(4):60-66.
Guo Huaming, Wang Yanxin, Li Yongmin. Analysis of factors resulting in anomalous arsenic concentration in groundwater of Shanyin, Shanxi Province [J]. Environmental Science, 2003, 24(4): 60-66 (in Chinese with English abstract).
- [10] 李富君, 孙贵范, 梁刚. 我国各型砷中毒临床表现特点及高砷环境成因 [J]. 中国公共卫生, 1998, 14(11): 651-652.
Li Fujun, Sun Guifan, Liang Gang. Clinical manifestation of various kinds of arseniasis and environment factor of high arsenic in China [J]. Chinese Journal of Public Health, 1998, 14 (11):651-652 (in Chinese).
- [11] 吴加敏, 王润生, 姚建华. 黄河银川平原段河道演变的遥感监测与研究 [J]. 国土资源遥感, 2006, 4:72-92.
Wu Jiamin, Wang Runsheng, Yao Jianhua. Remote sensing monitoring and study one the change of the Yellow River course in Yinchuan plain sector [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2006, 4:72-92 (in Chinese with English abstract).
- [12] Abhijit Mukherjee, Prosun Bhattacharya, Kaye Savage. Distribution of geogenic arsenic in hydrologic systems: Controls and challenges [J]. Journal of Contaminant Hydrology, 2008, 99:1-7.
- [13] 王雷, 张美云, 罗振东. 呼和浩特盆地富砷地下水的分布特征及防治对策 [J]. 内蒙古民族大学学报 (自然科学版), 2003, 18(5): 402-404.
Wang Lei, Zhang Meiyun, Luo Zhendong. Distribution and characteristics of underground water in Huhhot high arsenic concentration areas [J]. Journal of Inner Mongolia University for Nationalities, 2003, 18 (5):402-404 (in Chinese with English abstract).
- [14] 高存荣. 河套平原地下水砷污染机理的探讨 [J]. 中国地质灾害与

- 防治学报, 1999, 10(2):25-32.
- Gao Cunrong. Research on the mechanism of arsenic pollution in groundwater in the Hetao plain, Inner Mongolia, China [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 1999, 10(2): 25-32 (in Chinese with English abstract).
- [15] 张美云, 张玉敏, 王春雨, 等. 呼和浩特盆地富砷地下水的分布及砷的迁移与释放[J]. 中国地方病学杂志, 2000, 19(6):442-444.
- Zhang Meiyun, Zhang Yumin, Wang Chunyu, et al. Distribution of high content arsenic in underground water and mobility and release of arsenic in Huhhot Basin [J]. Chinese Journal of Endemiology, 2000, 19 (6):442-444 (in Chinese with English abstract).
- [16] 余孝颖, 吕锋洲, 郑宝山, 等. 内蒙古砷中毒和台湾乌脚病病区井水中腐殖酸性质的比较 [J]. 中国地方病学杂志, 2002, 21(1): 73-93.
- Yu Xiaoying, Lv Fengzhou, Zheng Baoshan, et al. Comparison of humic acid from endemic arsenicosis areas in Inner Mongolia with the Blackfoot disease areas in Taiwan [J]. Chinese Journal of Endemiology, 2002, 21(1):73-93(in Chinese with English abstract).
- [17] 裴捍华, 梁树雄, 宁联元. 大同盆地地下水中砷的富集规律及成因探讨[J]. 水文地质工程地质, 2005, 4:65-69.
- Pei Hanhua, Liang Shuxiong, Ning Lianyuan. A discussion of the enrichment and formation of arsenic groundwater in Datong Basin [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2005, 4:65-69 (in Chinese with English abstract).
- [18] 赵伦山, 武胜, 周继华, 等. 大同盆地地砷、氟中毒地方病生态地球化学研究[J]. 地学前缘, 2007.14(2):226-235.
- Zhao Lunshan, Wu Sheng, Zhou Jihua, et al. Eco-geochemical investigation on the endemic As and F poisoning in Datong Basin [J]. Earth Science frontiers, 2007, 14(2):226-235 (in Chinese with English abstract).

An analysis of the distribution and formation of high arsenic groundwater in northern China

HAN Shuang-bao, ZHANG Fu-cun, ZHANG Hui, JIA Xiao-feng, HE Jin, LI Xu-feng

(Center for Hydrogeology and Environmental Geology, CGS, Baoding 071051, Hebei, China)

Abstract: This paper has analyzed the distribution, hydrogeological condition and hydrochemical characteristics of the drinking water type arseniasis in northern Yinchuan plain, and dealt with the distribution and enrichment environment of arsenic ions in groundwater. It is shown that the high arsenic groundwater is distributed in two zones in the alluvial lacustrine plain, and is mainly of unconfined water, with the buried depth of the groundwater table less than 40 m. The high arsenic groundwater is in a weakly alkaline and reducing environment, and the hydrochemical types are mainly $\text{HCO}_3\text{-Na}\cdot\text{Ca}$, $\text{Cl}\cdot\text{HCO}_3\text{-Na}$ and $\text{Cl}\cdot\text{HCO}_3\text{-Na}\cdot\text{Ca}$; This paper also makes a comparative study of the distribution and the environment geological features of high arsenic groundwater areas in northern China, which include Hetao plain in Inner Mongolian, Datong basin in Shanxi province, Xinjiang, and western Jilin Province.

Key words: Yinchuan plain; groundwater; arsenic; palaeogeography

About the first author: HAN Shuang-bao, male, born in 1983, assistant engineer, engages in the study of hydrogeology; E-mail: shuangbaohan@126.com.