

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2017.01.09

引用格式: 韩颖,张宏民,张永峰,等.大同盆地地下水高砷、氟、碘分布规律与成因分析及质量区划[J].中国地质调查,2017,4(1): 57-68.

大同盆地地下水高砷、氟、碘分布规律与成因分析及质量区划

韩颖,张宏民,张永峰,张欣
(山西省地质调查院,太原 030006)

摘要: 为了对大同盆地地下水中砷、氟、碘等的分布和成因进行分析,开展地下水质量区划,依据地下水污染调查取得的最新系列测试数据,结合以往水文地质和水文地球化学研究成果,编制大同盆地浅层和中深层地下水砷含量、氟含量、碘含量等水化学特征分布图,以直观反映大同盆地地下水高砷、高氟、高碘区的空间分布规律;通过分析 pH 值、硫酸根含量、硝酸根含量、铁含量、锰含量与砷的关系,探讨高砷水的形成原因;根据 pH 值、钙离子、重碳酸氢根离子与氟的关系,分析氟超标原因;指出高碘区与高氟区分布的相似性和成因的相似性。研究结果表明,盆地周边高砷、高氟岩层是地下水砷、氟的原生来源,特定的河湖相沉积环境则为砷、碘的富集提供了原生地质条件;北部地区氟增高与地下水位下降致使黏性土中的氟离子进入含水层有关,中部地区高氟与土壤盐渍化有关;中部富含淤泥质黏土的湖相地层是碘富集的原生地质因素,冲积洼地地下水径流条件滞缓是碘富集的水动力因素;干旱气候条件下强烈的蒸发浓缩作用亦是高氟、高碘地下水形成的重要因素。依据砷、氟、碘、硝酸盐、亚硝酸盐、总含盐量(total dissolved salt,TDS)、总硬度、氨氮等单组分含量分布,利用 GIS 空间分析功能,进行了大同盆地浅层和中深层地下水质量区划,可为当地地下水开发利用提供地学依据。

关键词: 砷;氟;碘;分布规律;成因分析;地下水质量区划

中图分类号: P641.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-8706(2017)01-0057-12

0 引言

大同盆地地下水不适宜饮用的主要原因是砷、氟、碘、总含盐量(total dissolved salt,TDS)、总硬度和硝酸盐等超标^[1]。地方性砷中毒简称“地砷病”,是一种生物地球化学性疾病,过量的无机砷可引起以皮肤色素脱失或过度沉着、掌跖角化及癌变为主的全身性慢性中毒。地砷病是一种严重危害人体健康的地方病,除致皮肤改变外,无机砷是国际癌症研究中心确认的人类致癌物,可致皮肤癌、肺癌,并伴有其他内脏癌高发^[2]。地方性氟中毒的基本病征是氟斑牙和氟骨症,严重者可导致瘫痪。高碘和低碘均可导致甲状腺肿大。大同盆地内的应县是高氟、高碘、高砷型地方病区,严重地方病病

区共涉及 150 个行政村,病区总人数约为 12 万人^[3]。自 20 世纪 90 年代在大同盆地发现饮水型砷中毒、氟中毒、碘中毒病例以来,对该区地下水砷、氟、碘等富集现象已引起广泛关注,并开展了大量的调查和科研工作^[4]。但以往研究多偏重于对单个组分的分析,很少有对多项水化学组分的系统分析。2013—2015 年,中国地质调查局部署开展的“中西部地下水污染调查评价”项目,在大同盆地采集水样共计 148 件,其中地下水采样点共 141 件,浅层(井深小于 50 m)的 101 件,中深层(井深大于 50 m)的 40 件,系统测试分析了砷、氟、碘、硒、TDS、总硬度、pH 值、硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮等含量。本文依据上述测试数据编制系列图件,指出大同盆地地下水砷、氟、碘等化学组分的分布规律,分析探讨高砷、高氟、高碘的富集原因;并依据饮用

收稿日期: 2016-06-27; 修订日期: 2016-08-09。
基金项目: 中国地质调查局“中西部地下水污染调查评价(编号: 1212011220983)”项目资助。
第一作者简方数据(1966—),女,硕士,教授级高级工程师,主要从事水文、工程和环境地质调查研究工作。Email: hanying87@163.com。

水质量标准,分别对大同盆地浅层地下水和中深层地下水进行质量区划,以期为当地地下水开发利用提供地学依据^[5-7]。

1 研究区概况

1.1 地质背景

大同盆地是一个三面环山,中间低凹的狭长型盆地,山区多基岩裸露,盆地内为松散沉积物。地层从老至新有太古宇的桑干群和五台山群、中新元古界的长城系和蓟县系、古生界的寒武系、奥陶系、石炭系和二叠系、中生界的侏罗系和白垩系、新生界的第三系和第四系。盆地基底埋藏最深处在山阴凹陷,可达 3 000 余 m^[8]。

根据盆地沉积特征及燕山运动以来构造运动的发展和古气候的变化,大同盆地经历了盆地雏形形成(上新世晚期 N₂³)—湖泊形成期(更新世早期 Q₁¹)—湖泊全盛期(更新世早期 Q₁²—Q₁³)—湖泊收缩期(更新世中期晚期 Q₂—Q₃¹⁻²)—湖泊消亡期(更新世晚期 Q₃³)—河流发育期(全新世 Q₄)^[5]。

1.2 水文地质条件

大同盆地山前地带发育古洪积扇群和现代洪积扇群,扇群的下缘沉积物颗粒显著变细,形成地下水溢出带,造成严重土壤盐渍化。盆地富水性较好的含水层分布于山前洪积扇群带及古河道。山前地带

在湖相环境期是作为湖滨三角洲接受沉积的,这种粗粒物质的沉积物多直接与基岩接触,形成一环状巨厚含水层,赋存丰富的地下水。大同盆地从边山至中心具有明显的水平分带性,水化学类型同样具水平分带的规律:山前倾斜平原地带,含水层颗粒粗,径流条件良好,为 HCO₃—Ca 或 HCO₃—Ca·Mg 型水,矿化度小于 0.5 g/L;倾斜平原下部与冲积平原的边缘地带,由 HCO₃型向 HCO₃·SO₄型过渡,矿化度 0.5~1.0 g/L;冲积平原地带,含水层的粒度细,厚度变小,地下径流缓慢,潜水水化学类型从 SO₄型向 Cl 型水过渡,矿化度 1~3 g/L^[8]。

盆地孔隙含水层在地表以下 50 m 左右存在一层黏土、亚黏土层,具隔水性;50 m 以浅的多为潜水含水层,50 m 以下的为承压含水层。通常把地表以下 50 m 以内的含水层称为浅层地下水,50 m 之下为中深层地下水^[9]。

2 砷、氟、碘等水化学组分分布特征

2.1 数据分析

本次采用“山西六盆地地下水污染调查评价”项目最新调查测试数据^[1],依据国家饮用水分类标准,浅层地下水和中深层地下水中砷、氟、碘、硒、TDS、总硬度、pH 值、硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮等的均值、极大值、极小值和质量分类分别见表 1 和表 2。

表 1 山西大同盆地浅层地下水水化学特征
Tab.1 Chemical characteristics of shallow groundwater in Datong Basin of Shanxi

化学组分及指标	样品数	均值/ (mg·L ⁻¹)	极小值/ (mg·L ⁻¹)	极大值/ (mg·L ⁻¹)	地下水质量分类占比/%			
					适宜	较适宜	不适宜	极不适宜
砷	101	0.013 80	0.000 2	0.295 0	86.20	6.90	3.93	2.97
氟	101	1.085 00	0.160 0	3.910 0	58.40	24.80	10.86	5.94
碘	101	0.070 60	0.002 0	2.300 0	82.22	15.80	1.98	0.00
硒	101	0.000 26	0.000 2	0.002 1	100.00	0.00	0.00	0.00
TDS	100	1 182.700 00	349.000 0	7 391.000 0	64.00	21.00	15.00	0.00
总硬度	101	398.400 00	104.000 0	1 742.000 0	70.30	19.80	9.90	0.00
pH 值	100	7.870 00	7.000 0	8.880 0	95.00	5.00	0.00	0.00
硝酸盐	101	9.530 00	0.030 0	92.550 0	86.14	6.93	6.93	0.00
亚硝酸盐	101	0.049 00	0.001 0	1.185 0	99.01	0.99	0.00	0.00
氨氮	100	0.087 00	0.031 0	0.620 0	99.00	1.00	0.00	0.00

注: <0.002 按 0.002 计。
万方数据

表 2 山西大同盆地中深层地下水水化学特征

Tab.2 Chemical characteristics of middle and deep groundwater in Datong Basin of Shanxi

化学组分及指标	样品数	均值/	极小值/	极大值/	地下水质量分类占比/%			
		(mg·L ⁻¹)	(mg·L ⁻¹)	(mg·L ⁻¹)	适宜	较适宜	不适宜	极不适宜
砷	40	0.041 00	0.000 2	0.310 0	67.5	12.5	16.04	3.96
氟	40	0.850 00	0.200 0	4.450 0	80.0	17.5	2.50	0.00
碘	40	0.024 00	0.002 0	0.150 0	92.5	7.5	0.00	0.00
硒	40	0.000 22	0.000 2	0.000 5	100.0	0.0	0.00	0.00
TDS	40	871.200 00	367.000 0	5 813.000 0	87.5	7.5	5.00	0.00
总硬度	40	291.400 00	100.000 0	1 435.000 0	95.0	0.0	5.00	0.00
pH 值	40	7.930 00	7.000 0	8.630 0	97.5	2.5	0.00	0.00
硝酸盐	40	4.410 00	0.090 0	30.470 0	97.5	0.0	2.50	0.00
亚硝酸盐	40	0.047 80	0.000 6	0.653 5	100.0	0.0	0.00	0.00
氨氮	40	0.201 60	0.077 5	1.860 0	87.5	10.0	2.50	0.00

注：<0.002 按 0.002 计。

2.2 大同盆地地下水水化学组分分布特征

2.2.1 砷

大同盆地浅层孔隙水中砷含量的平均值约为 0.013 8 mg/L,最大值为 0.295 mg/L; 大于 0.2 mg/L 的极不适宜区位于盆地中部和西南部,分别为应县

的赤堡—冯庄一带、山阴的后黄台—黑疙瘩一带和朔州的一半村到三甲村附近; 0.05 ~ 0.2 mg/L 的不适宜区分布于怀仁西安堡—新桥一带、应县山阴极不适宜区外围山阴城镇东北—西南地带、朔州新安庄和东关井地带(图 1)。

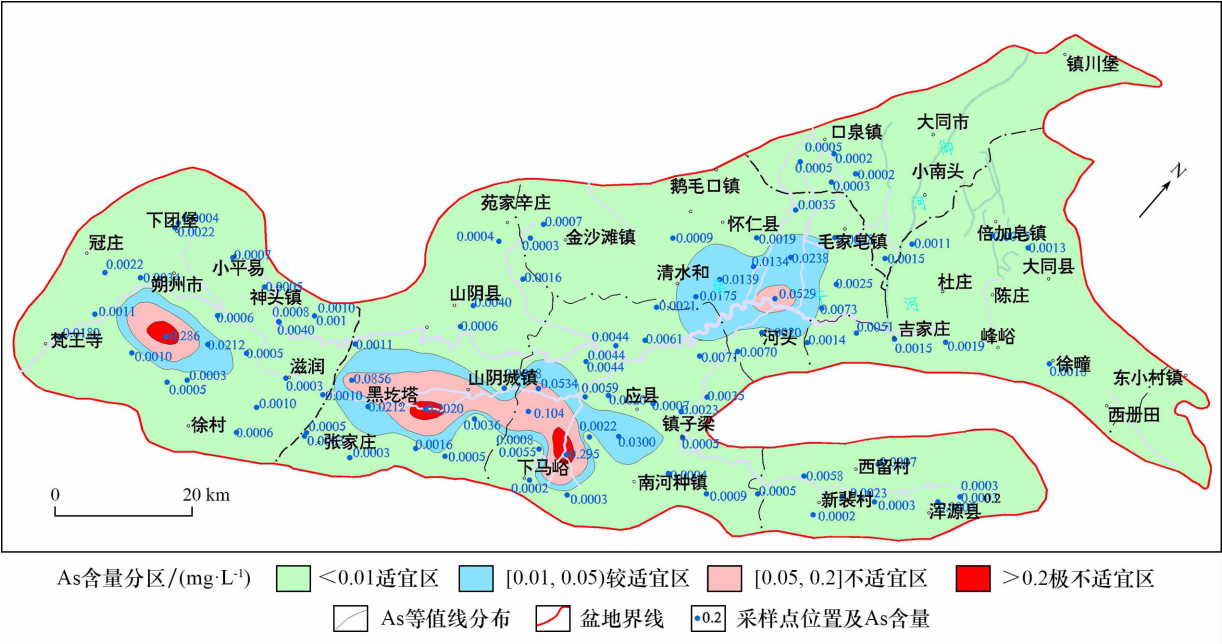


图 1 大同盆地浅层地下水砷含量分布

Fig.1 Distribution of arsenic content within shallow groundwater in Datong Basin

盆地中深层孔隙中砷的均值为 0.041 mg/L,最大值为 0.31 mg/L; 大于 0.2 mg/L 的极不适宜区位于盆地中南部地表水系交汇处,分布于应县席家

堡向西南方向至山阴城镇一带; 0.05 ~ 0.2 mg/L 的不适宜区分布于极不适宜区的外围应县的龙泉村至山阴的白坊村一带(图 2)。

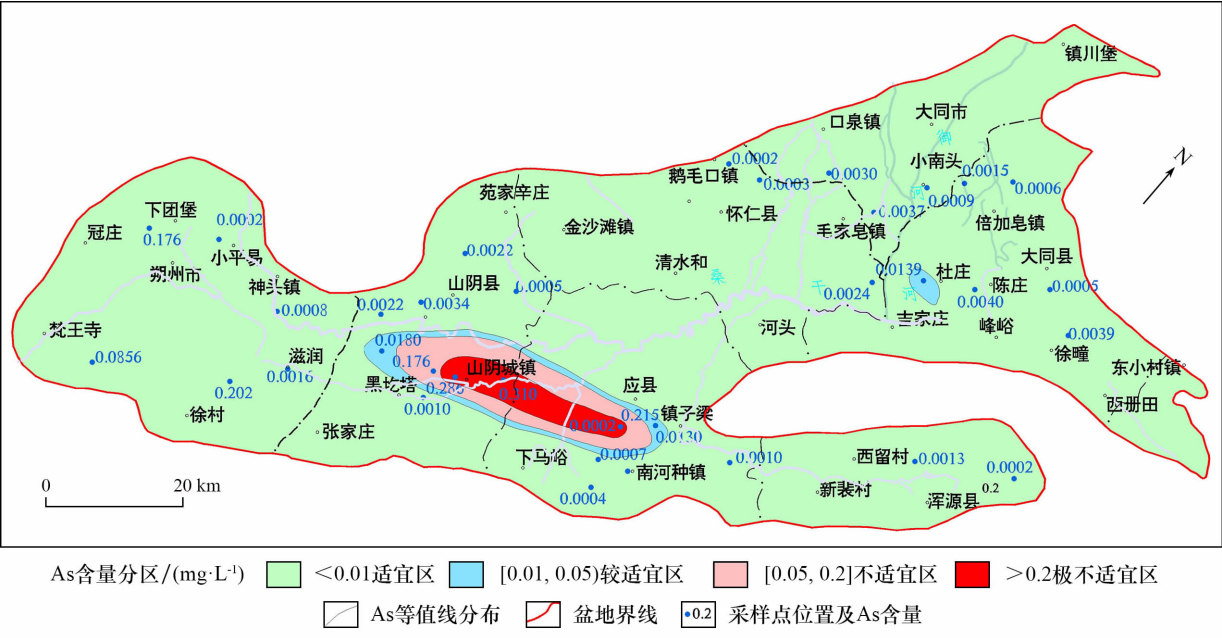


图2 大同盆地中深层地下水砷含量分布

Fig.2 Distribution of arsenic content within middle and deep groundwater in Datong Basin

2.2.2 氟

大同盆地浅层孔隙水中的氟含量普遍较高,高值区主要分布于盆地中部和北部,最高达 3.91 mg/L。盆地南部和周边山前地下水中的氟含量稍低,最小值为 0.16 mg/L。整个盆地平均含量为 1.085 mg/L (超过地下水Ⅲ类水质标准 GB/T 14848—93 规定的 1.0 mg/L)(图3)。

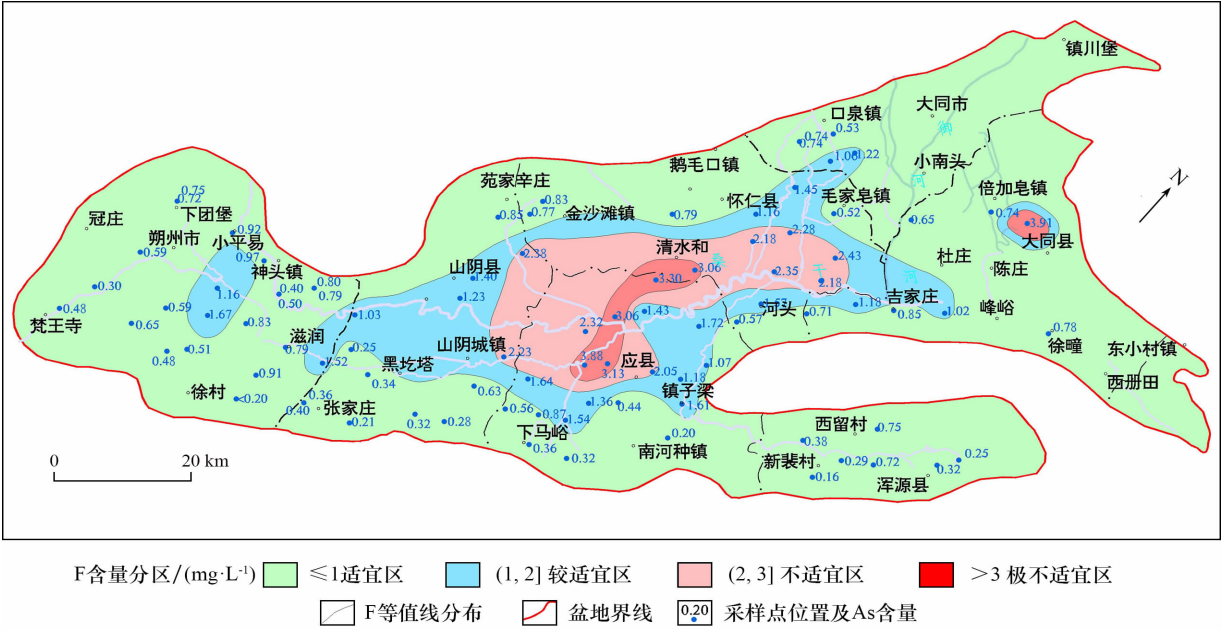


图3 大同盆地浅层地下水氟含量分布

Fig.3 Distribution of fluorine content within shallow groundwater in Datong Basin

盆地中深层孔隙地下水中的氟平均含量较浅层低,高值区分布与浅层地下水相似,最高值为 4.45 mg/L,平均含量为 0.85 mg/L,最低值为 0.2 mg/L。整体看来,高氟区主要分布于山阴县、怀仁县和大同县地区,与当地居民氟中毒分布区一致(图4)。

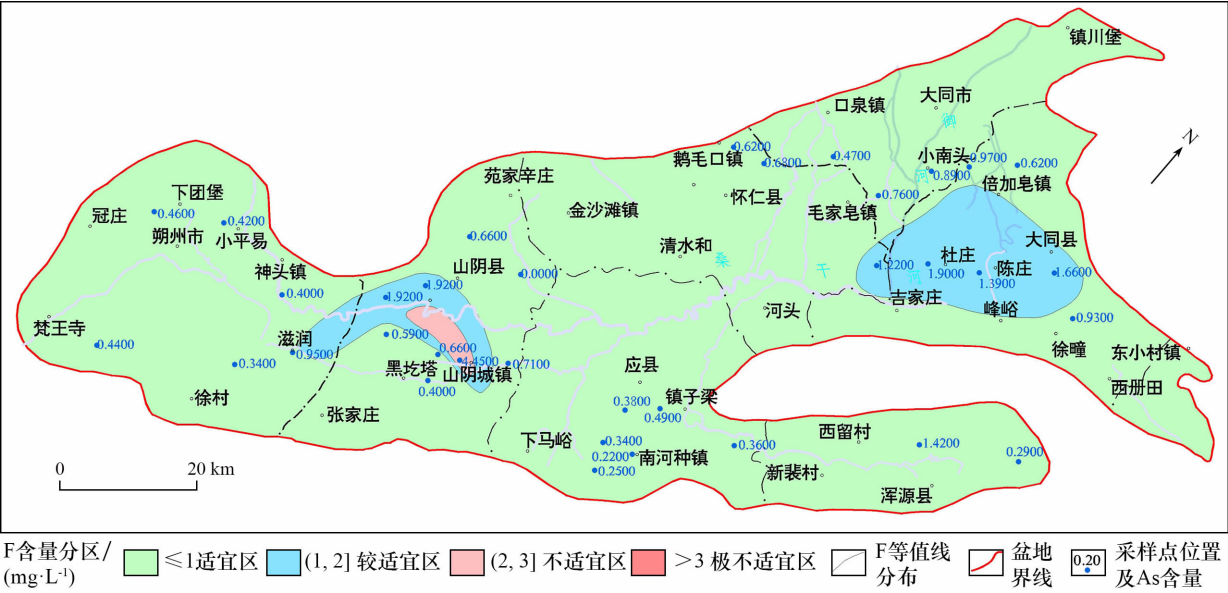


图 4 大同盆地中深层地下水氟含量分布
Fig. 4 Distribution of fluorine content within middle and deep groundwater in Datong Basin

2.2.3 碘

大同盆地浅层孔隙水中碘含量的均值为 0.070 6 mg/L,最大值为 2.3 mg/L; 大于 0.5 mg/L

的不适宜区位于盆地的中部,分布于怀仁草地村以南至应县的大黄巍以北一带; 极大值位于应县的寇寨(图 5)。

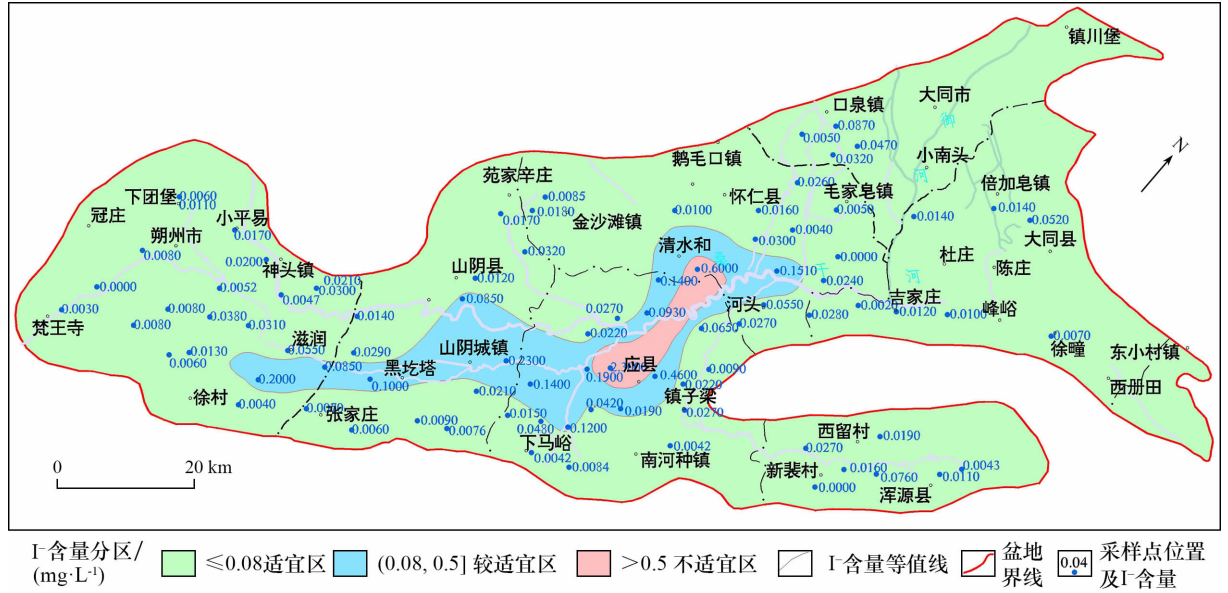


图 5 大同盆地浅层地下水碘含量分布
Fig. 5 Distribution of iodine content within shallow groundwater in Datong Basin

盆地中深层孔隙水中碘的均值为 0.024 mg/L,最大值为 0.15 mg/L。全区没有不适宜区,只有适宜区和较适宜区。中深层碘值明显低于浅层的碘值。 万方数据

2.2.4 TDS

大同盆地浅层地下水的 TDS 值普遍高于中深层地下水,平均 TDS 值为 1 182.7 mg/L; 且 TDS 值较高的地下水主要集中分布于盆地中部,TDS 值均

在 1 000 mg/L 以上,高者大于 3 g/L。在盆地的北部和南部补给区,孔隙水的 TDS 值较低,一般小于 1 000 mg/L。从边山至盆地中心,沿地下水径流, TDS 值逐渐升高。TDS 值大于 2 g/L 的不适宜区主要分布于大同市口泉镇东南、怀仁河头至应县一带、朔州滋润一带。

盆地中深层孔隙地下水的 TDS 分布情况较浅层简单,只有应县西南部盆地地表水系交汇处大于 2 000 mg/L,为不适宜区,其他地区均为适宜或较适宜区。整个盆地中深层孔隙地下水的 TDS 平均值为 871.2 mg/L,在盆地北部、南部及东部补给区,孔隙水的 TDS 值较低,小于 500 mg/L。

2.2.5 总硬度

大同盆地浅层地下水总硬度平均值为 398.4 mg/L,极大值为 1 742 mg/L; 大于 650 mg/L 的不适宜区在盆地有 4 处分布,分别为北部大同市口泉到辛寨一带、中部应县的寇寨和望岩两块、西南部朔州的小营村到福善庄一带; 450 ~ 650 mg/L 的较适宜区分布于不适宜区的外围地带。

盆地中深层孔隙水的总硬度的平均值为 291.4 mg/L,极大值为 1 435 mg/L,不适宜区只有应县的北湛局部分布,其余均为适宜区。

2.2.6 pH 值

大同盆地浅层地下水的 pH 值平均为 7.87,极小值为 7.0,极大值为 8.88,全区为弱碱性水; 没有不适宜区。

盆地中深层地下水的 pH 值平均为 7.93,极小值为 7.0,极大值为 8.63,全区为弱碱性水; 也没有不适宜区。

2.2.7 硝酸盐

大同盆地浅层孔隙水的硝酸盐(以氮计)均值为 9.53 mg/L,极大值为 92.55 mg/L,超过 30 mg/L 的不适宜区有 4 个。从北向南依次分布于大同的口泉—辛寨一带、怀仁的马庄、应县的大黄巍及山阴县滋润乡小营村一带; 其分布与地下水的补径排条件和局部地区的农业活动和污染有关。

盆地中深层孔隙地下水中的硝酸盐较浅层孔隙水低,均值为 4.41 mg/L,极大值为 30.47 mg/L,超过 30 mg/L 的不适宜区只有 1 处,位于怀仁县城关镇秦城村,可能与农业活动和工业污染有关。

2.2.8 亚硝酸盐

大同盆地浅层孔隙水的亚硝酸盐(以氮计)均

值为 0.049 mg/L,极大值为 1.185 mg/L,没有不适宜区; 1 ~ 4.8 mg/L 的较适宜区域分布于朔州市薛圆图,其他地区均为适宜区。

大同盆地中深层孔隙水的硝酸盐均值为 0.047 8 mg/L,极大值为 0.653 5 mg/L,均为适宜区。

2.2.9 氨氮

大同盆地浅层孔隙水的氨氮(以氮计)均值为 0.087 mg/L,极大值为 0.62 mg/L,没有不适宜区; 较适宜区域分布于盆地南部,位于山阴县后所乡后张堡村一带。

大同盆地中深层孔隙水的氨氮均值为 0.201 6 mg/L,极大值为 1.86 mg/L; 大于 1.5 mg/L 的不适宜区位于山阴古城镇后黄台村附近,0.5 ~ 1.5 mg/L 的较适宜区域分布于山阴古城镇至朔州滋润一带。

2.3 超标组分的成因

2.3.1 砷

大同盆地高砷地下水主要分布于黄水河和五里河两侧,该区为盆地中部河间洼地区,基本为盆地最低洼地带,浅层与中深层地下水高砷水平面分布规律基本相同。地下水中砷的来源有 2 类: 天然来源与人为活动。天然来源主要因自然环境条件的变化(特别是氧化还原条件的变化)使地质体中的砷(吸附或成矿)释放出来进入地下水; 人为活动则指在人类活动直接或间接参与下,给地下水增加额外的砷,如含砷矿床开采、含砷农药使用、含砷废物流失等等。

根据以往研究成果,大同盆地地下水砷的来源主要有 2 个方面。

(1)大同盆地周围基岩中的砷^[10]。大同盆地周边基岩中砷、氟含量普遍较高,与地壳均值相比,太古宙花岗岩、片麻岩及二叠系砂页岩夹煤层和第三系玄武岩均为富砷、氟岩石,因此认为盆地周边高砷、高氟岩石是地下水砷、氟的原生来源。砷含量最高的岩石位于桑干河山阴段西北的洪涛山上,岩石中砷含量为 22 μg/g; 而位于东南的恒山岩石中砷含量较低^[11]。由于盆地地形总趋势为西南高、东北低,边山高、中间低,总趋势为从西南向东北倾斜,经过长期水岩相互作用,最终导致盆地中心冲湖积平原低洼地区砷的富集^[12]。

(2)盆地沉积物中的砷。盆地中部山阴应县一带冲湖积物经历新生代以来地球环境演化,含砷量普遍高于世界土壤含砷量的平均值 6.0 mg/L,土壤成熟度较高,有利于砷、氟的富集^[13]。

另外的可能来源是湖泊发育晚期大量死亡生物残体所致。在第四纪初湖泊即将消亡的时期,降雨丰富、温暖潮湿的气候致使岩石化学风化强烈,有大量的砷被水带入湖泊;有些水生动植物通过生物富集作用把砷以很高的含量蓄积起来,这些生物死亡后的大量残体就形成了一个次生的水砷来源,由于这种砷不会长距离迁移,因而可更快速地直接进入地下水^[14]。

2.3.1.1 地下水 pH 值与砷的关系

pH 值是影响地下水中砷活性的一个重要因素。砷在地下水中主要以砷酸盐或亚砷酸盐的形式存在,砷酸根与磷酸根一样,在不同的酸碱条件下与不同数量的氢离子形成不同价态的阴离子;因此,地下水中的砷更容易被含水介质中带正电的物质(如铁、铝氧化物、针铁矿和水铝矿及水铁矿)吸附,pH 值的增大会使胶体和黏土矿物携带更多的负电荷,降低对以阴离子存在的砷酸和亚砷酸的吸附。土壤 pH 值对砷的吸附影响也很大,一般 pH 值为 5~6 时,砷被大量吸附,pH 值大于 6 后砷就会被快速溶解吸附;在弱酸性到碱性范围内,随着 pH 值的增大,砷的吸附量急剧减少。因此 pH 值是影响地下水中砷富集的一个重要因素。从本文研究成果中的 pH 值与砷关系图(图 6)可以看出,研究区地下水 pH 值均大于 7,为弱碱性水,浅层地下水

pH 值与砷含量之间相关性较好,高砷区地下水 pH 值多在 8~8.5 之间;中深层地下水的高砷区 pH 值在 7~8.5 之间。

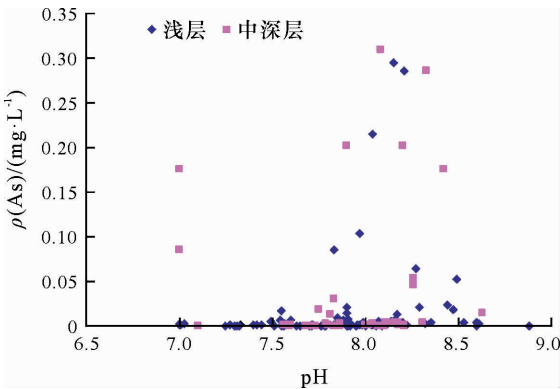


图 6 地下水总砷浓度与 pH 值的关系

Fig. 6 Relationship between total concentration of arsenic and pH in groundwater

2.3.1.2 氧化还原条件

低浓度的硫酸根和硝酸根指示地下水处于还原环境,这种还原环境有利于地下水中砷的富集。通过对地下水总砷浓度与硫酸根含量(图 7(左)) and 硝酸根含量(图 7(右))关系的分析可以看出,高砷地下水中的硫酸根和硝酸根含量均较低。这是因为在氧化环境中,地下水中的砷化物会被胶体或铁锰氧化物或氢氧化物吸附,导致地下水中砷含量低;但变为还原环境时,胶体变得不稳定或铁(锰)的氢氧化物被还原,它们形成了更活泼的离子组分而溶入到地下水中,吸附在它们上面的砷化物也随着进入地下水中。

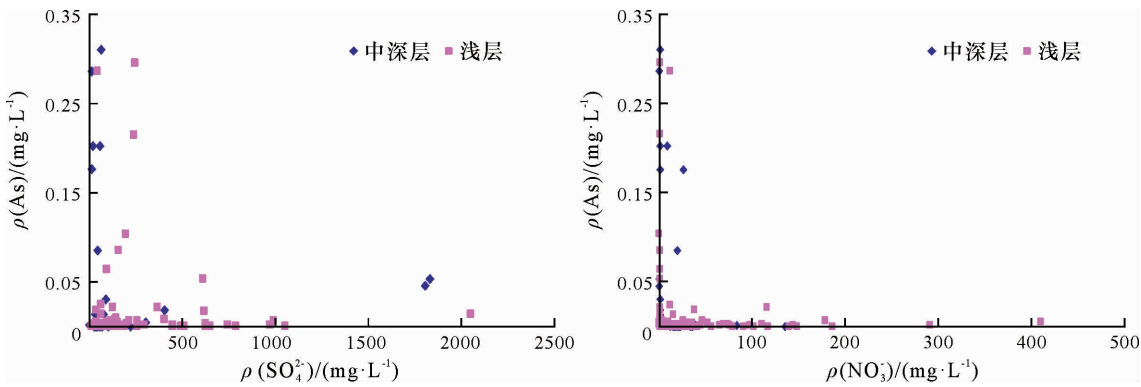


图 7 地下水总砷浓度与硫酸根含量(左)和硝酸根含量(右)的关系

Fig. 7 Relationship between total concentration of arsenic and sulfate content (left) and nitrate content (right) in groundwater

从图 8 可以看出,大同盆地高砷地下水的铁、锰含量均较低。

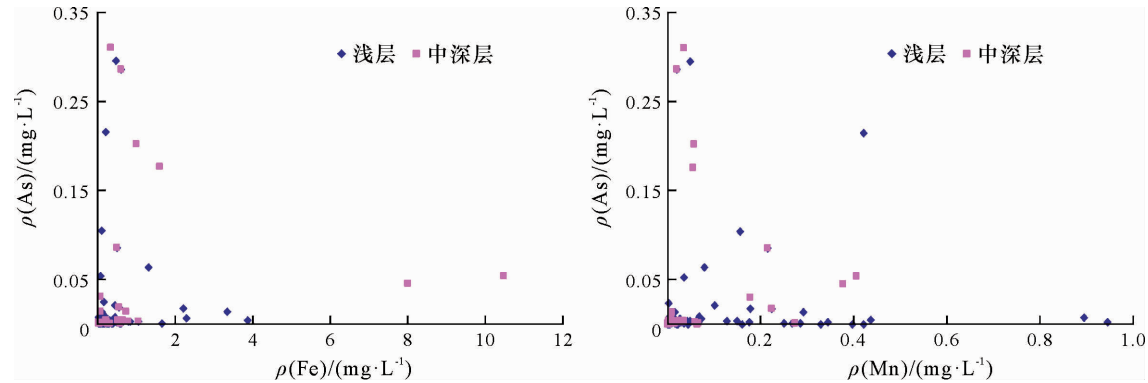


图 8 地下水总砷浓度与铁含量(左)和锰含量(右)的关系

Fig. 8 Relationship between total concentration of arsenic and iron content (left) and manganese content (right) in groundwater

2.3.2 氟

大同盆地高氟水主要分布在盆地中部和北部,造成高氟水的主要原因有 3 个: ①过量开采地下水。随着地下水位的下降,黏性土中的氟离子在释水过程中大量进入含水层,使地下水中的氟离子出现升高趋势。②与土壤盐渍化有关。高氟区基本位于盆地最低区,也是盆地土壤盐渍化地区,主要由于苏打盐渍化土壤对氟的吸附性较弱,该土壤中水溶性氟含量很高。③强烈的蒸发浓缩作用。大同盆地中部蒸发浓缩作用很强,也是高氟地下水形成的一个重要因素^[15-16],在盐渍化过程中,钙的活度大大下降,氟浓度大大升高。高氟区地势平坦,地下水水位接近地表或溢出,地下水蒸发浓缩强烈,矿化度升高,TDS 值多大于 1 000 mg/L。地下水中氟含量与 pH 值呈现显著的正相关(图 9),高氟地下水的 pH 值多为 7.5~8.5。

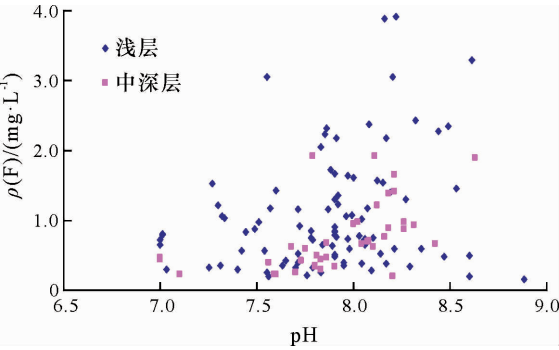


图 9 地下水氟浓度与 pH 值的关系

Fig. 9 Relationship between fluoride concentration and pH in groundwater

CaF₂溶解平衡是控制地下水中氟含量变化的因素,随着地下水中钙离子浓度的增加,氟离子浓度急剧下降,氟与钙呈负相关关系(图 10)。

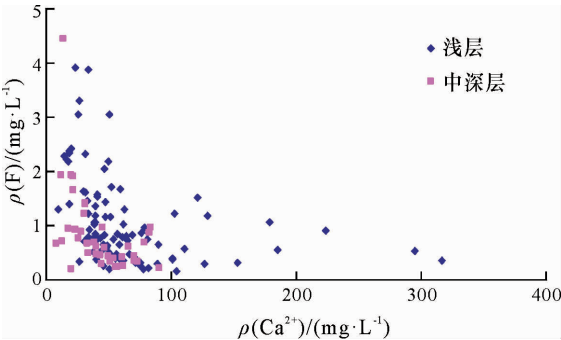


图 10 地下水氟浓度与钙离子浓度的关系

Fig. 10 Relationship between fluoride concentration and calcium ion content in groundwater

盆地高氟地下水的水化学类型多为 HCO₃-Na 型水,高浓度的 HCO₃⁻可交换出吸附于土壤胶体中的氟(图 11)。

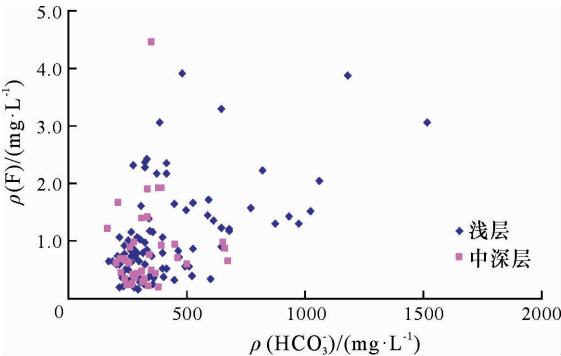


图 11 地下水氟浓度与重碳酸氢根离子浓度的关系

Fig. 11 Relationship between fluoride concentration and bicarbonate ion content in groundwater

2.3.3 碘

根据盆地沉积特征及燕山运动以来构造运动的发展和古气候的变化,大同盆地第四纪以来分为湖泊形成期、湖泊全盛期、湖泊收缩期、湖泊消亡期和河流发育期5个发展阶段。盆地中下部富含淤泥质黏土或黏土层,为碘的富集创造了原生地质条件。

从大同盆地浅层碘分布(图5)可以看出,其与浅层氟的分布(图3)很相似,碘的不适宜区与氟的极不适宜区基本一致,分布于大同盆地中部冲洪积和冲湖积洼地中心。该区地下水流动滞缓,冲湖积相地层中富含黏土和动植物残骸,有机质含量增多,吸附碘的能力增强,在还原环境条件下随同有机质分解而解析出碘。大同盆地的地形地貌条件和地下水流动方向决定了碘元素的富集位置。

盆地中部强烈的蒸发浓缩作用导致土壤盐渍化也是碘富集的因素之一。大同盆地属于半干旱大陆气候,潜水蒸发作用使得溶解度较低的钙、镁离子以碳酸钙、碳酸镁、硫酸钙和硫酸镁的形式大量析出,造成地下水中钠离子、氯离子和碘离子含量升高,尤其是地下水位小于5 m的低洼地带水中碘离子含量更高。

2.3.4 硝酸盐

从编图结果可以看出,大同盆地不论是浅层地下水还是中深层地下水硝酸盐含量均有超标区,但超过30 mg/L的不适宜区不多,浅层地下水硝酸盐(以N计)不适宜区仅占总面积的1.3%,中深层地下水硝酸盐不适宜区则更少。相关文献资料表明,农耕区过多地使用氮肥,会使12.5%~45%的氮从土壤中流失并污染地下水。人工氮肥(尿素、碳铵、硫铵、硝铵)和有机肥均含有大量的氮化物,进入土壤后最终以氨氮形式存在,一部分被植物和作物吸收;一部分在微生物的作用下经硝化转变成硝酸盐随入渗水直接进入含水层;另一部分则被土壤吸附而滞留在土层中,在灌溉条件下,又可转化为硝酸盐而进入地下水。因此,氮肥施用量过高或不合理施放方式是导致大同盆地地下水中硝酸盐污染的主要因素。

浅层地下水硝酸盐超标,除与农耕区农业污染有关外,还有可能与地表污水排放、河道渗漏污染地下水、城市垃圾受雨水淋滤等污染有关。

2.3.5 TDS

大同盆地浅层地下水TDS值大于2 000 mg/L的区域有3个,分别为大同市口泉镇东南、怀仁河头至应县一带和朔州滋润一带。中深层地下水TDS值大于2 000 mg/L的区域只有盆地中部地下水滞流区,范围较浅层水减小。据当地浅层和中深层地下水流程图反映,TDS的规律与地下水流向和补径排条件基本吻合,盆地中部为地下水流动滞缓区,地下水位埋藏浅(一般小于5 m),蒸发浓缩作用强烈,存在土壤盐渍化现象,降水和农业灌溉又使土壤中的盐分溶入地下水中,造成盆地中部TDS超过饮用水标准。

2.3.6 总硬度

大同盆地中深层水的总硬度大于650 mg/L的区域只有盆地中部应县的北湛一带,而浅层水总硬度不适宜区有大同、应县、山阴和朔州4个区域,其原因主要有2个:①由于工业和生活污水进入地下,导致地下水的硬度升高;②可能与地下水过量开采引起地下水动力场改变、进而引起地下水化学场改变有关,如大同市口泉镇一带的硬度升高可能与过量开采地下水有关。

过量开采地下水导致地下水硬度增高过程主要包括酸性溶滤作用、碳酸溶滤作用、盐效应及阴阳离子交替吸附作用等。过量开采地下水可使地下水位下降,形成区域降落漏斗,使原来饱水带的地带形成包气带氧化环境;而人为排放的硫化物进入地下后在此充分氧化,pH值降低,从而使溶滤作用加强,大量的钙、镁由化合态变成游离态,导致地下水硬度增高。观察口泉一带的硬度升高点的pH值发现,硬度升高点均小于周边硬度正常水中的pH值,也证明了这一观点。

3 地下水质量区划

3.1 地下水质量分区原则

据砷、氟、碘、硝酸盐、亚硝酸盐、TDS、总硬度、氨氮8个单组含量分布特征,利用GIS空间分析功能,按照从劣原则,进行大同盆地浅层地下水 and 中深层地下水质量区划。

3.2 地下水质量分区

浅层地下水质量区划图(图12)显示,大同盆地极不适宜区位于大同县坨坊村、怀仁清水河至应县大黄巍一带、应县赤堡、山阴后黄台、朔州

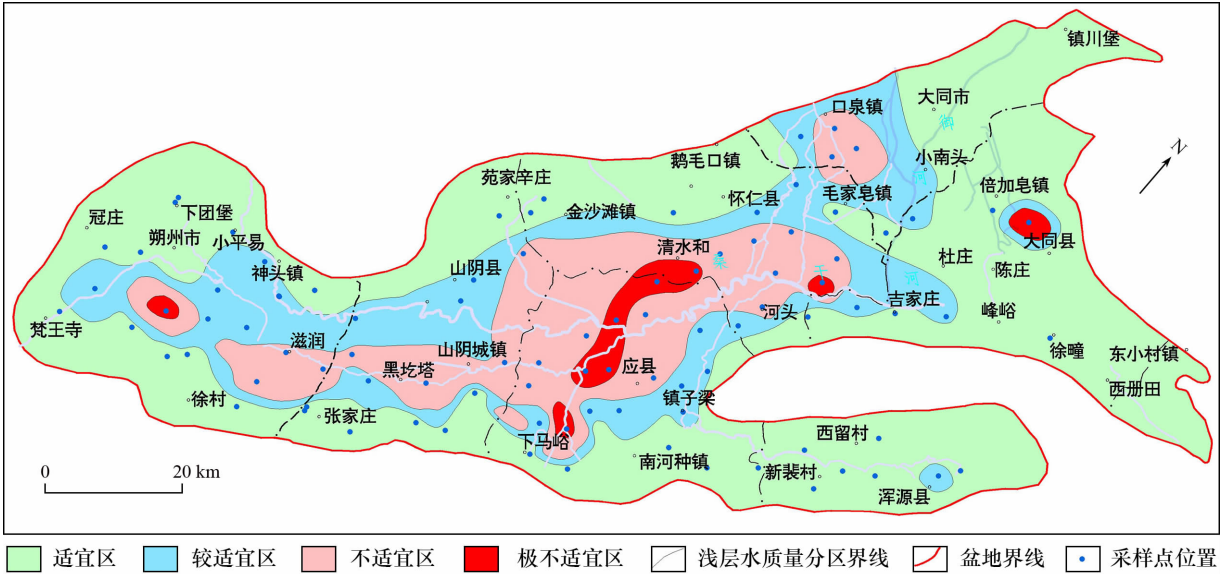


图 12 大同盆地浅层地下水质量区划

Fig. 12 Quality division of shallow groundwater in Datong Basin

三甲村等地,主要超标组分为砷、氟、碘等毒性指标,面积约为 164 km²,占盆地总面积的 2%。不适宜区位于盆地中部极不适宜区的外围以及盆地东西部的局部地带,主要超标组分中部地区为砷、氟、碘、TDS 等,其他地区主要为总硬度和硝酸盐,面积约为1 228 km²,占盆地总面积的 18%。较适宜区主要位于不适宜区的外围区,

面积约为 1 738 km²,占盆地总面积的 21%。适宜区位于盆地四周的边山地区和冲洪积扇的中上部,地下水补给径流条件较好,面积约为4 123 km²,占盆地总面积的 59%。

中深层地下水质量区划图(图 13)显示,大同盆地极不适宜区位于盆地中部应县席家堡至山阴城镇一带,主要超标组分为砷,面积约为 115 km²,

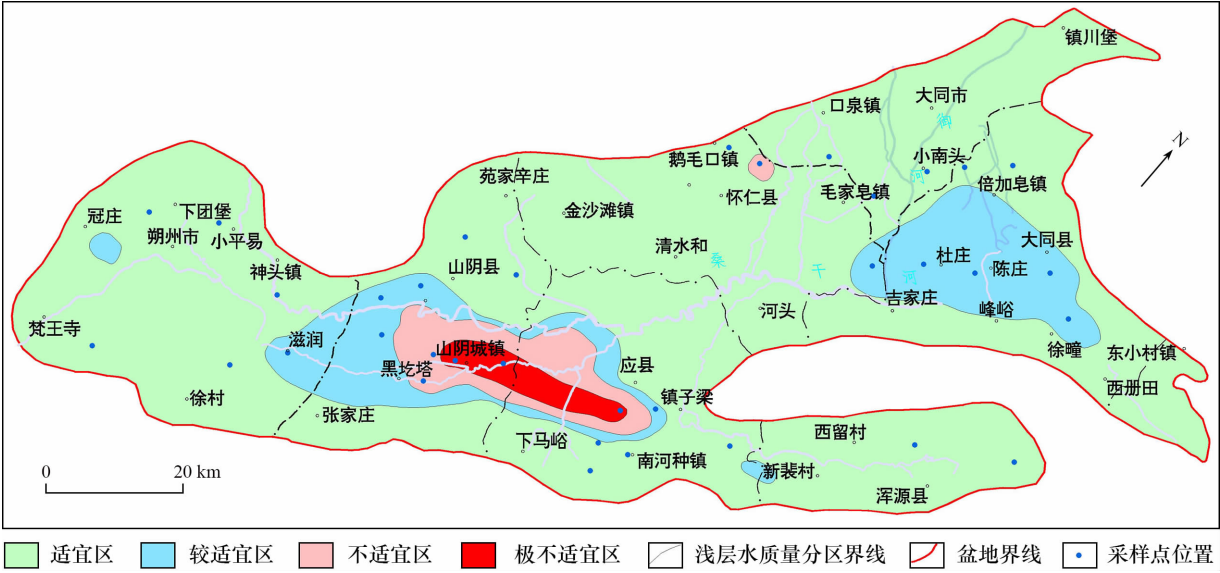


图 13 大同盆地中深层地下水质量区划

万方数据 Fig. 13 Quality division of middle and deep groundwater in Datong Basin

占盆地总面积的2%。不适宜区位于盆地中部极不适宜区外围山阴应县一带和怀仁县城关镇秦城村局部地区,主要超标组分有砷、氟、硝酸盐、TDS等,面积约为274 km²,占盆地总面积的4%。较适宜区位于不适宜区的外围地带、朔州的西南部及及北部大同县至安寺村一带,面积约为924 km²,占盆地总面积的13%。适宜区位于盆地大部分地区,面积约为5 652 km²,占盆地总面积的81%。

4 结论

(1)大同盆地砷的富集区主要在应县、山阴、朔州一带;盆地周边高砷、高氟岩层是地下水砷、氟的原生来源,特定的河湖相沉积环境为砷的富集提供了地质条件。大同盆地的高砷水有以下特征:高砷区地下水pH值较高,为弱碱性水;高砷地下水中的硫酸根和硝酸根含量均较低,低浓度的硫酸根和硝酸根指示地下水处于还原环境,说明还原环境有利于地下水中砷的富集;高砷地下水的铁、锰含量较低。

(2)大同盆地高氟水主要分布在盆地中部和北部,北起怀仁马辛庄,向东南至应县几条地表水系交汇地带,再到山阴合盛堡一带。其形成的主要原因是北部地区因过量开采地下水,水位下降使黏性土中的氟离子在释水过程中进入含水层;中部地区位于盆地最低区,与土壤盐渍化有关,苏打盐渍化土壤中水溶性氟含量高;中部强烈的蒸发浓缩作用亦是高氟地下水形成的重要因素。

(3)碘与氟的富集具有相似性,主要位于山阴县、怀仁县和大同县一带。盆地中部富含淤泥质黏土的湖相地层是碘富集的原生地质因素;地下水径流条件滞缓的冲积洼地区是碘富集的水动力因素;干旱气候条件下强烈蒸发浓缩作用也是碘富集的因素之一。

(4)浅层地下水极不适宜区位于大同县圪坊村、怀仁清水河至应县大黄巍一带、应县赤堡、山阴后黄台、朔州三甲村等地,主要超标组分为砷、氟、碘等毒理性指标;不适宜区位于盆地中部极不适宜区的外围以及盆地东西部的局部地带,主要超标组分中部地区为砷、氟、碘,TDS等,局部地区为总

硬度和硝酸盐;极不适宜区和不适宜区约占盆地总面积的20%。中深层地下水极不适宜区位于盆地中部应县席家堡至山阴城镇一带,主要超标组分为砷;不适宜区位于盆地中部极不适宜区外围山阴应县一带、怀仁县城关镇秦城村局部地区,主要超标组分有砷、氟、硝酸盐、TDS等;极不适宜区和不适宜区约占盆地总面积的6%。

参考文献:

- [1] 张宏民,郝小栋,张永峰,等.山西六盆地地下水污染调查评价[R].太原:山西省地质调查院,2015.
- [2] 李军,王三祥,贾清珍,等.山西省农村居民生活饮用水中砷安全风险的调查研究[J].中国预防医学杂志,2016(3):180-182.
- [3] 任建会,张政奎,张永峰,等.大同盆地南缘严重缺水地区地下水勘查与供水安全示范报告[R].太原:山西省地质调查院,2015.
- [4] 王焰新,苏春利,谢先军,等.大同盆地地下水砷异常及其成因研究[J].中国地质,2010,37(3):771-780.
- [5] 杨丽芝,杨雪柯,刘春华.山东平原地区浅层地下水有机污染特征分析[J].中国地质调查,2015,2(8):25-30.
- [6] 梁永平,赵春红,唐春雷,等.北方岩溶区水文地质环境地质调查进展——以北京西山岩溶区为例[J].中国地质调查,2015,2(8):1-8.
- [7] 邓贵标,杨忠琴,田文明,等.贵州三穗地区隆里组的沉积物源与沉积环境分析[J].中国地质调查,2015,2(7):45-52.
- [8] 韩颖,阎世龙,马汉田,等.山西六大盆地地下水资源及其环境问题调查评价[M].北京:地质出版社,2009.
- [9] 韩颖.大同盆地地下水流场水化学场变化特征[J].地质调查与研究,2008,31(2):138-146.
- [10] 王敬华.山阴与应县地区高砷高氟水的形成环境研究[J].内蒙古预防医学,1997,22(4):145-147.
- [11] 王建武,周继华,张建国,等.大同盆地地下水中砷的迁移转化及富集机制研究[R].太原:山西省地质调查院,2008.
- [12] 裴捍华,梁树雄,宁联元.山西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.
- [13] 赵伦山,武胜,周继华,等.大同盆地砷、氟中毒地方病生态地球化学研究[J].地学前缘,2007,14(2):225-235.
- [14] 李永敏,郭华明,王焰新,等.地方性水砷中毒成因、防治和研究现状[J].环境保护,2001(6):44-46.
- [15] 梁川,苏春利,吴亚,等.大同盆地高氟地下水的分布特征及形成过程分析[J].地质科技情报,2014,33(2):154-159.
- [16] 秦兵,李俊霞.大同盆地高氟地下水水化学特征及其成因[J].地质科技情报,2012,31(2):106-111.

Distribution regularity ,origin and quality division of high arsenic ,
fluorine and iodine contents in groundwater in Datong Basin

HAN Ying, ZHANG Hongmin, ZHANG Yongfeng, ZHANG Xin
(Geological Survey of Shanxi Province, Taiyuan 030006, China)

Abstract: In order to analyze the distribution and origin of arsenic, fluorine and iodine in groundwater in Datong Basin, groundwater quality zoning was classified. According to the latest series of test data of groundwater pollution, and the previous research of hydrogeology and hydrogeochemistry, the distribution of water chemical characteristic were compiled, including the contents of arsenic, fluorine and iodine in groundwater of Datong Basin, to reflect the spatial distribution regularity of high arsenic, fluorine and iodine contents groundwater in Datong Basin directly. The reasons for the formation of the high arsenic water were discussed through analyzing the relationships between pH, sulphate, nitrate, iron, manganese contents and arsenic contents. According to the relationships between pH, calcium ion, bicarbonate ion and fluorine, the causes of excessive fluorine were analyzed, and the similarity of distribution and origin of iodine and fluorine area was pointed out. The study results show that the surrounding strata with high arsenic and fluorine contents are the primary sources of arsenic and fluorine in groundwater. The specific lacustrine sedimentary environment provides the primary geological conditions for the enrichment of arsenic and iodine. The increase of fluorine in the northern part of Datong Basin is related to the moving of fluoride ion from the cohesive soil to the aquifer, because of the drop of underground water level. The high fluoride contents in the central region is related to the soil salinization. The lacustrine strata in the central region with rich salty clay is the primary geological factor of iodine enrichment, and the stagnant conditions of groundwater flow in alluvial depression area is the hydrodynamic factor of iodine enrichment. The intense evaporation and concentration under the dry climate conditions is an important factor for forming high fluorine and iodine contents groundwater. Based on the content distribution of the single component such as arsenic, fluorine, iodine, nitrate, nitrite, TDS, total hardness, ammonia nitrogen and so on, the authors carried out the quality division of the shallow and the middle and deep groundwater in Datong Basin by using the spatial analysis function of GIS. This paper would provide the geological basis for the development and utilization of the local groundwater.

Key words: arsenic; fluorine; iodine; distribution regularity; origin analysis; quality division of groundwater

(责任编辑: 常艳)