

# 吉林省氟中毒病区水文地质特征 及防氟改水对策

曹玉和 齐佳伟 熊绍礼

(吉林省地质环境监测总站, 吉林 长春 130021)

**摘要:** 本文根据饮水中氟的来源, 将全省氟中毒划分为深循环热水型、火山活动—地下水富集型、地下水运移富集型和淋溶富集型 4 种类型。1、深循环热水型: 水中氟来源于花岗岩浆的释放, 可采用白垩系裂隙孔隙水和玄武岩孔洞裂隙水改水防氟。2、火山活动—地下水富集型: 氟来源于古近系、新近系火山活动期间岩浆中氟的释放, 可用白垩系泉水村组孔隙裂隙水改水防氟。3、地下水运移富集型: 地下水氟来源于大兴安岭、东部高原和松辽分水岭岩石中氟的风化、淋溶, 并在运移至松嫩平原的地下水区域径流—汇水区和汇水区富集形成高氟水, 可用新近系泰康、大安组裂隙孔隙水; 白垩系明水、四方台和嫩江组孔隙裂隙水改水防氟。4、淋溶富集型: 地下水中氟来源于黄土状亚粘土和亚粘土中的氟的溶出, 可用白垩系青山口组孔隙裂隙水改水防氟。

**关键词:** 氟中毒; 水文地质特征; 防氟改水

**中图分类号:** P641.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2010)03-0690-06

## 1 氟中毒病情概况及氟中毒类型

吉林省是中国氟中毒较重的省份之一, 为饮水型氟中毒。流行于 15 个县市, 3171 个自然屯, 氟斑牙患者 66 万余人, 患病率 36.96%; 氟骨症患者 5.5 万余人, 其患病率为 3.06%<sup>[1]</sup>。

上述病屯除安图县 5 个病屯和辉南县 2 个病屯居于吉林省东部山区外, 其余病村均分布在松嫩平原。

根据饮水中氟的来源, 可将全省氟中毒分为: 深循环热水型、火山活动—地下水富集运移型、地下水运移富集型和淋溶富集型 4 种类型。其分布情况见图 1。

(1) 深循环热水型氟中毒: 主要分布在长白山区的安图县内, 该氟中毒区共有 5 个自然屯, 分布面积大约 150 km<sup>2</sup>, 无氟骨症患者, 仅有 980 人患氟斑牙。地下水中氟来源于深部热水储集层, 而热水储集层中的氟可能来源于华力西期花岗岩的释放, 再经深断裂的引导使之出露于地表形成富氟的热水天然露

头, 并渗入附近的浅层地下水, 导致氟含量迅速升高, 形成局部的高氟水。

(2) 火山活动——地下水运移型氟中毒: 该类型氟中毒主要分布在辉南县的辉发河河谷的局部地段。氟中毒区有 2 个自然屯, 氟中毒病人 700 人, 其中氟斑牙患者 667 人, 中轻度氟骨症患者 33 人, 分布面积大约 50 km<sup>2</sup>。推测该区地下水中氟可能来源于古近纪至新近纪期间的火山活动, 经浅层水运移进入辉发河的局部汇水地段, 富集形成高氟水。在火山活动期间, 岩浆中的氟随着岩浆向地表移动, 在移动的过程中, 由于静压力的降低, 氟从岩浆中释放, 其中一部分随岩浆移动喷出地表。储存于岩石裂隙中的部分则可在火山活动停止后缓慢地移向地表, 并溶入地下水中, 随水迁移, 在地下水径流缓慢的地带富集成高氟水。

(3) 地下水运移富集型氟中毒: 此类氟中毒见于广大的松嫩平原。主要包括大安、通榆、洮南、镇赉、洮北、乾安、前郭、长岭、扶余、双辽、农安等县(市)

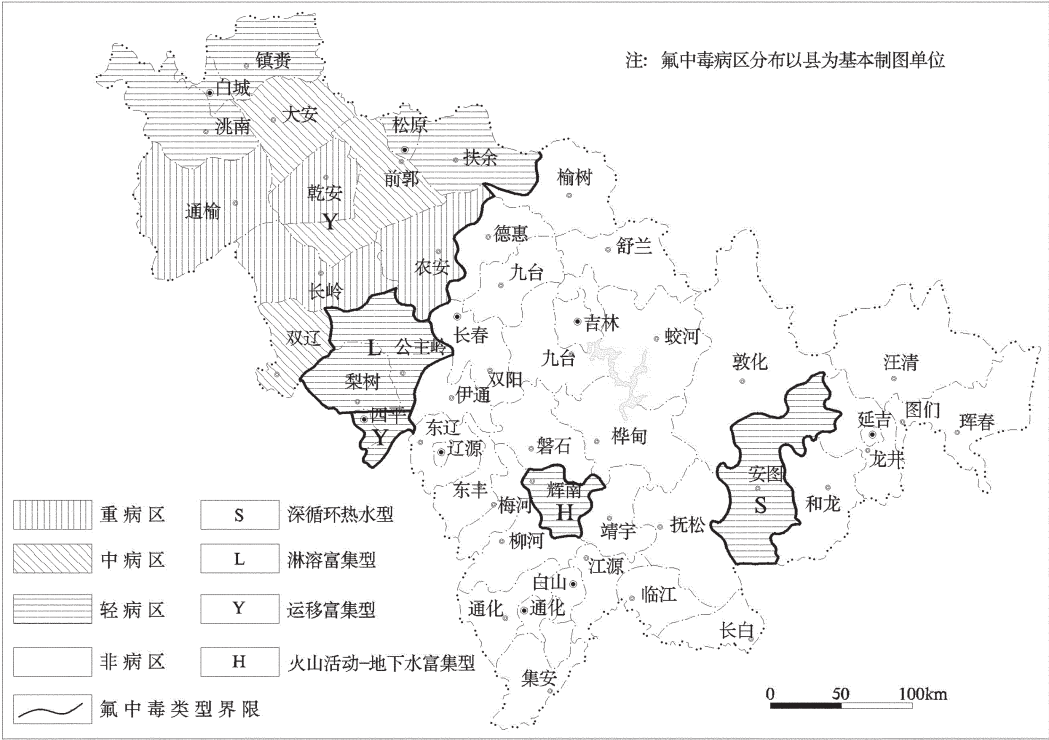


图 1 吉林省氟病区分布图<sup>[4]</sup>

Fig.1 The distribution of fluorosis area in Jilin Province<sup>[4]</sup>

区。共有氟斑牙患者 661163 人,氟骨症患者 54920 人,分布面积大约 40000 km<sup>2</sup>。该区地下水氟的来源主要是周边山区岩石中氟的释放和平原内部岩石中氟的溶解。来自周边山区岩石中氟释放后,再经地下水流迁移,在地下水径流的汇水区或径流—汇区内富集而形成高氟水。在上述氟来源中以周边山区岩石中氟释放为主。其中主要来源区为大兴安岭地区,东部高平原地区及南部松辽分水岭地区。

大兴安岭来源区主要由华力西期、燕山期花岗岩和中生代火山岩组成,在漫长的地质历史时期中,岩石经受了强烈的风化作用,致使风化层厚度达数 10 m,岩石中的氟得到了充分的释放并进入地下水中。岩石氟含量的测定结果显示:岩石中氟含量为 1.53~3.63 mg/L,氟的释放系数达到 0.073~1.52。

东部及南部高平原氟来源区:该区岩石中氟的原始来源应为长白山区的花岗岩、火山岩和玄武岩类。根据岩石氟含量测定和含氟矿物分析,东部及南部高平原地区的岩石中氟含量为 4.2~102 mg/L,平均含量为 55 mg/L,含氟矿物有:方氟硅钾石(2KF·

SiF)、方霜晶石 (NaF·CaF<sub>2</sub>·AlF·H<sub>2</sub>O)、氟硅钠矿 (3Na<sub>2</sub>O<sub>6</sub>·CaO·2SiO<sub>2</sub>·ZnO<sub>2</sub>·2HF)、水铝氟石 (CaF<sub>2</sub>·2Al(F·OH)<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O)、钾冰晶石(2KF·NaF·3AlF<sub>3</sub>)等。

从上述 2 类源区岩石释放出的氟进入地下水后,均随地下径流向平原汇水区域运移,并在通榆至乾安一带富集形成高氟水。根据区域水文地质条件分析,两个氟来源区虽然具有共同的水化学富集区,但其控制范围仍有所局限。大兴安岭来源区的控制范围大致在通榆县的边昭镇—长岭县的三十号乡——乾安县的大布苏泡、安唱镇、让字镇——前郭县的新庙镇连线以北的广大地区。该连线以南的地区则是受东部和南部高平原来源区的控制。

(4)淋溶富集型氟中毒:该类氟中毒主要分布在松嫩平原高平原地区的公主岭和梨树县境内。病区共有 213 个自然屯,氟斑牙患者 18081 人,氟骨症患者 2929 人,分布面积大约 1500 km<sup>2</sup>。

该病区地下水氟的来源主要是第四系中更新统黄土状亚粘土和亚粘土中的氟在地下水的长期淋滤作用下进入地下水而形成的高氟水。其分布地域大

多数都在地下水径流变缓的地形相对低洼处。

## 2 氟中毒病区的水文地质特征

### 2.1 深循环热水型氟中毒区的水文地质特征

冷水:该区为中低山区,地下水水力坡度大,交替循环快,总体上为地下水的区域补给区。地下水储藏于白垩系下统大砬子组的砂岩、砂砾岩、页岩以及第四系下更新统军舰山玄武岩中,为孔隙裂隙水和孔洞裂隙水<sup>[3]</sup>。其中在安图县二道白河一带的第四系玄武岩孔洞裂隙水天然泉水流量为 0.37~14.34 L/s。而埋藏其下的白垩系大砬子组孔隙裂隙水单井涌水量为 100~500 m<sup>3</sup>/d。地下水化学类型均为 HCO<sub>3</sub>-Ca·Mg,溶解性总固体低于 1.0 mg/L。

热水:受深断裂影响并沿深断裂溢出地表,在长白山天池附近的天然露头处所测得的水温介于 59~82℃,地下水化学类型为 HCO<sub>3</sub>-Na 型水,氟含量 6.20 mg/L,还含有 H<sub>2</sub>S 及 CO<sub>2</sub> 等气体。溶解性总固体 1350 mg/L。但是在热水天然露头下游约 50 km 的钻孔中地下水样品中测得,其水化学类型为 HCO<sub>3</sub>-Ca·Mg,氟含量为 0.65 mg/L,溶解性总固体 2610.97 mg/L。钻孔与天然露头相比,钻孔中地下水中氟比温泉降低了 10 倍,钠降低了 5 倍,钙增高了 20 倍,镁增高了 110 倍,溶解性总固体增高了 1.0 倍。通过对照说明在热水沿断裂向地表溢流过程中接受了围岩和地下水化学组分的混入与淡化。同时也说明该深层断裂已断至主储热层。

### 2.2 火山活动——地下水运移富集型氟中毒区的水文地质特征

该区为中低山和玄武岩熔岩台地分布区。地下水交替循环快,河谷低地接受中低山和玄武岩熔岩台地地下水的补给,进入河谷低地后地下水径流速度骤然变缓,并且在局部低洼处富集。中低山区网状裂隙水涌水量多超过 100 m<sup>3</sup>/d,熔岩台地孔洞裂隙水 100~500 m<sup>3</sup>/d,水化学类型属 HCO<sub>3</sub>-Ca·Mg 或 HCO<sub>3</sub>-Ca·Na 型,溶解性总固体 200 mg/L。河谷低地地下伏的碎屑岩孔隙裂隙水涌水量 100~500 m<sup>3</sup>/d,水化学类型为 HCO<sub>3</sub>-Ca·Na 型或 Na·Mg 型,溶解性总固体 500 mg/L 左右,局部氟含量 2.0~3.0 mg/L。该类型氟中毒以辉南县挥发河河谷地区最为典型,在病区的上游新近纪晚期喷发的火山群,随火山活动,氟往往储存在火山颈周围的岩石裂隙中,当地下水流经时将其带入辉发河谷,并在第四系浅层水的

低洼处富集,形成高氟水。而埋藏于其下的白垩系砂岩、砂砾岩含水层为低氟水,氟含量为在 0.5~1.0 mg/L。

### 2.3 淋溶型氟中毒病区水文地质特征

该区位于松嫩平原东部高平原地区属松嫩盆地的区域性地下水补给区,地下水交替循环较好,径流快。地下水的主要水文地球化学作用以淋溶为主。含水层为中更新统黄土状亚粘土,地下水主要储存于黄土状亚粘土的裂隙中。单井涌水量小于 100 m<sup>3</sup>/d,含水层厚度 10 m 左右,地下水位埋藏深度 3~5 m,水化学类型为 HCO<sub>3</sub>-Ca 型,溶解性总固体低于 500 mg/L。在低洼处可形成局部富集,溶解性总固体不超过 1000 mg/L。氟中毒病区大体上和局部洼地相一致。氟含量 2~4 mg/L。

### 2.4 地下水迁移富集型氟中毒病区水文地质特征

该类型氟中毒是在地下水区域性或地域性地下水动力条件影响和控制下形成的,氟中毒病区一般都出现在径流—汇水区和汇水区。按其形成条件的不同可分为松嫩低平原氟中毒和高平原氟中毒区。

该类型病区见于梨树县和公主岭市。在浅层高氟水之下,埋藏有白垩系青山口组低氟含水层,氟含量 0.3~0.5 mg/L,在梨树县该层水单井涌水量为 106~480 m<sup>3</sup>/d,公主岭部分地区单井涌水量达 1008 m<sup>3</sup>/d。

#### 2.4.1 松嫩低平原氟中毒区

该氟中毒类型区处于地下水区域水动力条件的径流区和汇水区,以汇水区为主。在松嫩平原的西部,径流区仅存在于通榆的向海以西、双岗以北地区;在松嫩平原东部,径流区仅存在于长岭县城至新安镇连线以东,北界嫩江,南部几乎无径流,越松辽分水岭后几乎直接进入汇水区。因此,该区的水文地球化学作用是以富集为主导。

地下水储存于第四系上更新统砂层,中更新统砂层、下更新统砂砾石层、新近系泰康、大安组砂岩,以及白垩系下统明水、四方台组砂岩中。第四系上更新统砂层地下水单井涌水量多小于 100 m<sup>3</sup>/d,其他含水层地下水涌水量都在 500~3000 m<sup>3</sup>/d,少数低于 500 m<sup>3</sup>/d。第四系上更新统水化学类型比较复杂,但是具有比较明显的水平分带性。在通榆县四井子经双岗镇连线以西和以北地区为 HCO<sub>3</sub>-Mg·Na 或 Na·Ca 型,在该连线向南、向西经大布苏泡至乾安、安字镇一带,地下水化学类型阴离子依次变为

$\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl} \rightarrow \text{Cl} \cdot \text{HCO}_3 \rightarrow \text{Cl}$  型水, 阳离子组合变为  $\text{Na} \cdot \text{Ca}$  或  $\text{Na}$  型。地下水溶解性总固体由  $1.0 \text{ g/L} - 2.0 \text{ g/L} - 3.0 \text{ g/L}$ , 甚至更高, 地下水氟含量介于  $1.0 \sim 12 \text{ mg/L}$ 。但是埋藏于其下的第四系中下更新统含水层以及新近系和白垩系含水层的地下水化学类型阴离子均为  $\text{HCO}_3$  型水, 溶解性总固体含量维持在  $1000 \text{ mg/L}$  以下。上更新统含水层为该区的致病层, 氟含量多在  $1.0 \sim 3.0 \text{ mg/L}$  以上, 高者可达  $12 \text{ mg/L}$ 。由于该区近年来大量开发深部地下水, 导致下伏第四系中、下更新统地下水的严重污染, 多数地区中、下更新统氟含量也达到了  $1.0 \sim 3.0 \text{ mg/L}$ 。只有新近系含水层尚未受到污染, 是本区理想的改水目的层。本区的水文地质特征见图 2。

2.4.2 高平原氟中毒区

该类氟中毒区见于农安县境内的波罗泡子、元宝泡子和敖宝图泡子等积水洼地。洼地低于高平原正常台面  $3 \sim 10 \text{ m}$ , 并成为地域性汇水洼地, 除汇集地表径流外, 有的泡子还有常年或季节性溪流注入, 同时也是第四系地下水的汇水盆地。地下水储藏于第四系中更新统黄土状亚粘土或亚砂土和白垩系下

统青山口组砂岩中。第四系中更新统含水层单井水量一般都在  $20 \text{ m}^3/\text{d}$  左右, 水化学类型阴离子为  $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4$  或  $\text{HCO}_3 \cdot \text{Cl} \cdot \text{Cl} \cdot \text{HCO}_3$  型水, 阳离子则以  $\text{Na}$  或  $\text{Na} \cdot \text{Ca}$  为主, 溶解性总固体  $1000 \sim 3000 \text{ mg/L}$ , 或大于  $3000 \text{ mg/L}$  的微咸水、咸水。氟含量一般在  $3 \sim 5 \text{ mg/L}$ , 高者可达  $7 \sim 8 \text{ mg/L}$ 。下伏为白垩系下统青山口砂岩, 单井涌水量  $100 \sim 1000 \text{ m}^3/\text{d}$  (如菠萝泡子北侧钻孔涌水量为  $743.3 \text{ m}^3/\text{d}$ ), 水化学类型为  $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$  或  $\text{Ca} \cdot \text{Na}$  型水, 氟含量低于  $1.0 \text{ mg/L}$ , 溶解性总固体低于  $1000 \text{ mg/L}$ 。

3 防氟改水对策

由于各氟中毒类型区和水文地质特征的差异, 决定了各区改水方向的差异。各氟中毒类型区水文地质特征见表 1。

3.1 深循环热水型氟中毒区的防氟改水对策

该区防氟应以改水为主, 防氟改水目的层为第四系玄武岩孔洞裂隙水和白垩系大砾子组砂岩孔隙裂隙水。玄武岩孔洞裂隙水单井涌水量  $100 \sim 1000 \text{ m}^3/\text{d}$ , 白垩系大砾子组孔隙裂隙水单井涌水量为

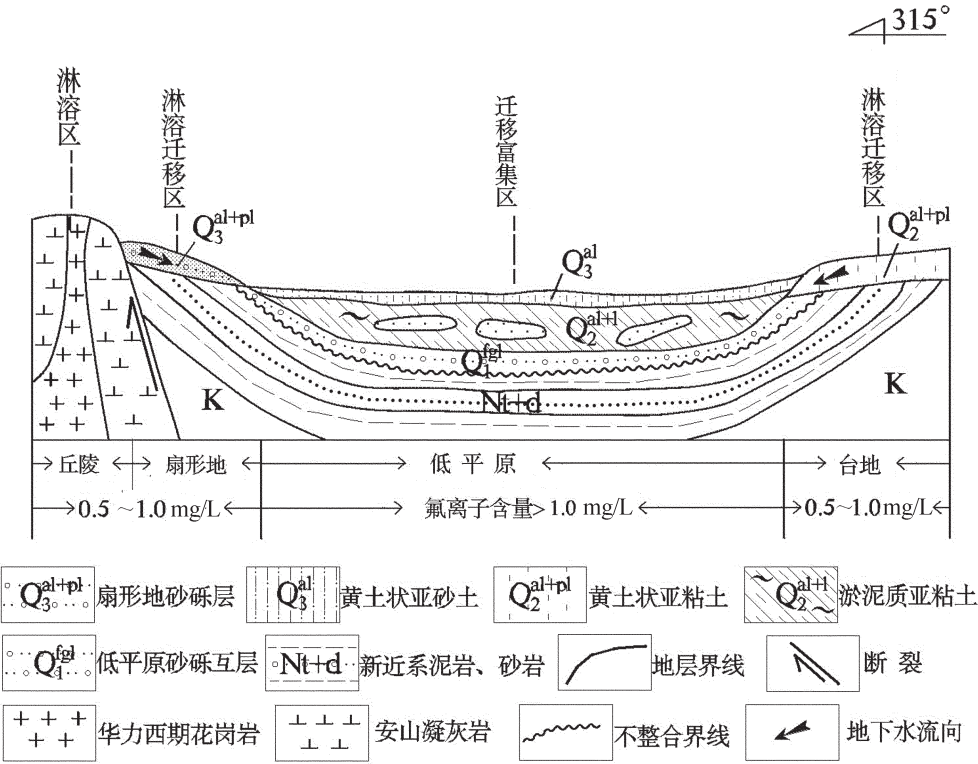


Fig.2 Schematic hydrogeological profile in the migration enrichment area



表 1 氟中毒类型区防氟改水目的层水文地质特征

Table 1 Hydrogeological characteristics of the aquifer for drinking water in fluorosis area

类型	含水层	埋藏深度	单井涌水量	水化学	氟含量	TDS
	岩性	(m)	(m <sup>3</sup> /d)	类型	(mg/L)	(g/L)
深循环 热水型	玄武岩	10~100	100~500	H-CM	0.65	< 0.5
	砂岩					
火山活动 地下水富集型	砂岩	50~100	100~500	H-CM H-CN	0.3~0.5	0.2~0.5
地下水 迁移富集性	砂岩	100~200	500~1000	H-C	< 0.5	< 0.5
淋溶富集型	砂岩或	100~200	500~1000	H-N	< 1.0	< 1.0
	砂砾岩			H-CN		

100~500 m<sup>3</sup>/d,可建集中式供水水源地。

3.2 火山活动——地下水迁移富集型氟中毒区的防氟改水对策

该区防氟改水的对策以开采中深层低氟水为宜。改水目的层为白垩系泉水村组砂岩、砂砾岩等,为孔隙裂隙含水层,单井涌水量 100~500 m<sup>3</sup>/d,要做好成井的止水工艺,防治上覆第四系地下水下渗。

3.3 溶滤型氟中毒病区的防氟改水对策

该区防氟改水以开采深层地下水为宜。防氟改水目的层为白垩系青山口组砂岩孔隙裂隙水含水层,单井涌水量 500~1000 m<sup>3</sup>/d,地下水化学类型为 HCO<sub>3</sub>-Ca 型水,溶解性总固体低于 500 mg/L,成井时要注意成井工艺,防治上覆第四系地下水下渗污染,导致改水目的层氟含量升高。

3.4 地下水迁移富集型氟中毒区防氟改水对策

3.4.1 松嫩低平原氟中毒区

根据 20 世纪 80 年代和近年来在氟中毒区的防氟改水水文地质调查和防氟改水示范工程研究结果<sup>[4-8]</sup>表明:在松嫩低平原西部的镇赉、洮南、洮北、大安、通榆县的西部和北部,防氟改水目的层为新近系泰康组含水层,该含水层由中、细砂岩及砂砾岩组成,单井涌水量一般在 500~1000 m<sup>3</sup>/d,地下水水化学类型为 HCO<sub>3</sub>-Na 或 Ca·Na 型水,溶解性总固体低于 1000 mg/L,个别地带新近系泰康组含水层氟含量超过 1.0 mg/L 时可开采新近系大安组,成井时要严格进行止水,止水部位可在第四系中更新统湖相亚粘土中进行。个别以新近系大安组作为防氟改水目的层的防氟井,应进行二次止水,第二止水段可放在新近系泰康组底部的泥岩中。在通榆县的南部,乾安、扶余、前郭、和长岭西部可将新近系大安组作

为防氟改水开采目的层,该层单井涌水量 500~1000 m<sup>3</sup>/d,地下水水化学类型为 HCO<sub>3</sub>-Ca 或 Ca·Na 或 Ca·Mg 型,溶解性总固体低于 1000 mg/L,氟含量低于 1.0 mg/L,止水一次,以阻断第四系上更新统高氟水下渗,止水部位为第四系中更新统湖相粘土层。在长岭东部和双辽等地以白垩系上统明水组或四方台组粉细砂岩、中细砂岩含水层为防氟改水目的层,成井应做一次止水,止水部位为白垩系上统明水组或四方台组泥岩。单井涌水量 100~500 m<sup>3</sup>/d,地下水化学类型为 HCO<sub>3</sub>-Ca·Mg 或 Ca·Na 型水,溶解性总固体低于 1000 mg/L,氟含量低于 1.0 mg/L。

3.4.2 高平原氟中毒区

根据该区的水文地质条件以打井防氟为宜。防氟改水以白垩系下统嫩江组含水层为开采目的层。该含水层由中、细砂岩组成,单井涌水量一般在 100 m<sup>3</sup>/d 左右,地下水化学类型以 HCO<sub>3</sub>-Na 型为主,溶解性总固体 500~1000 mg/L,氟含量低于 1.0 mg/L。成井应进行一次止水,止水部位为嫩江组泥岩。

4 结 语

吉林省氟中毒病区高氟水的形成一般都是在地下水径流缓慢的汇水区域或局部汇水地段。地形显示为负地形中的极负地形或正地形中的负地形。由于这类极负地形区或负地形区,常常成为地下水乃至地表径流的汇集区,同时也是水文地球化学作用的元素富集区,从而导致高氟水的形成。这是本区高氟水形成的普遍机制。

在前述 4 种类型的高氟水中以地下水迁移富集型的规模最大,氟含量最高,其他类型高氟水规模都较小,氟中毒病情较轻。

根据各类氟中毒病区的水文地质条件,对于零星分布在东部山区的氟中毒病区以引泉水改水为宜,大面积分布在平原区的氟中毒病区应以打井改水为宜。在大面积分布的平原区,氟中毒病区防病改水的开采目的层应为新近系泰康组和大安组含水层,局部地方开采白垩系明水组和四方台组及嫩江、青山口组含水层。在零星分布氟中毒病区的东部山区引泉不方便时,也可开采中深部白垩系大砬子组、泉水村组及第四系玄武岩孔洞裂隙水等。

从各氟中毒病区水文地质条件和改水、用水成本考虑,应取最有效、最经济的含水层为开采目的层。从保护水资源和地下水环境来考虑,对防氟改水井务必进行止水,采取先进有效的成井工艺,使之达到防氟改水和持续利用的目的。

参考文献(References):

[1] 熊少礼, 安钟元, 等. 吉林省西部低平原地下水含氟状况及防氟改水研究[R]. 1985.  
Xiong Shaoli, An Zhongyuan, et al. The research on the containing fluoride state in groundwater and the improvement of drinking water for fluoride prevention in the western of Songneng low-plain in Jilin Province[R]. 1985(in Chinese).

[2] 徐科. 吉林省地方病普查与监测[R]. 1997.  
Xu Ke. The general investigation and monitoring of endemic disease in Jilin province[R]. 1997(in Chinese).  
[3] 吉林省地质矿产局. 吉林省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1988.  
Jilin Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional Geology in Jilin Province[M]. Beijing:Geological Publishing House, 1988(in Chinese).  
[4] 黄长青译, Ietia,s.p.s.et. 印度地方性氟骨症地区的地球化学成分——流行病学研究[J]. 国外医学, 1983, 1 期.  
Translator Huang qingshan, etia,s.p.s.et. The geochemical composition in the region of the endemic skeletal fluorosis in India——The research on epidemic disease[J]. External Medicine, No.1, 1983.  
[5] 熊绍礼, 王德昌, 高山, 等. 吉林省防氟改水技术调查研究报告[R]. 1985.  
Xiong Shaoli, Wang Dechang, Gao Shan, et al. The research report on the technique of drinking water improving for fluoride prevention in Jilin Province[R]. 1985  
[6] Somani. Toxicity of fluorine in some well waters of southern Rajasthan . India. 1975.  
[7] Handa B K. Geochemistry and genesis of fluoride -containing ground waters in India. India. 1975.  
[8] Aoki.k, Ishwaka, kanirawa k.s. Fluorine geochemistry of basaltic rocks from contiental and oceanic regions and pertrogenetic application. Japan. 1981.

Hydrogeological characteristics of endemic fluorine disease areas of Jilin Province and water source project countermeasures for fluorine prevention

CAO Yu-he, QI Jia-wei, XIONG Shao-li

(General Station of Geological Environment Observation of Jilin Province, Changchun 130026, Jilin, China)

**Abstract:**According to sources of fluorine in groundwater, fluorosis in Jilin Province can be divided into four types: 1. Deep-cycle hot water type: the fluorine in groundwater originates from the release of granite magma. Fluorine prevention in drinking water could be carried out by improving crevice-pore water in Neogene sediments and cave-crevice water in basalt. 2. Volcanic activity-enrichment groundwater type: the fluorine in groundwater originates from the release of magma during volcanic activity, and fluorine prevention could be conducted by improving crevice-pore water in Cretaceous sediments; 3. Displacement-enrichment groundwater type: the fluorine in groundwater originates from rock weathering and leaching, with the source from the Da Hingan Mountains, eastern high plains and Songliao watershed. And it forms high fluorine groundwater when it moves into regional runoff-catchment area and regional catchment area. Fluorine prevention could be performed by improving crevice-pore water of Neogene Taikang Formation and Da'an Formation as well as Cretaceous Mingshui Formation, Sifangtai Formation and Nenjiang Formation. 4. Eluviation-enrichment type: the fluorine in groundwater originates from the loessial soil and mild clay. Fluorine prevention could be implemented by improving crevice-pore water of Cretaceous Qingshankou Formation.

**Key words:**fluorosis; hydrogeological characteristics;prevention;water source projects for fluorine prevention