

沧州市高氟水分布规律及环境影响分析

雷德林,付学功,耿红凤,董小丽

(沧州水文水资源勘测局,河北 沧州 061000)

摘要 分析沧州市高氟水的分布富集规律和使用深层地下水对浅层地下水环境、农作物含氟量、居民健康等方面的影响,提出了减少深层地下水开采,加快引江工程步伐,用于饮用前进行降氟处理,加强水质监测等减少高氟水危害的措施。

关键词 高氟水 深层地下水 环境地质 沧州市

中图分类号 X52 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2007)02-0043-04

Distribution rules of high fluoride water and its environmental impacts in Cangzhou City

LEI De-lin, FU Xue-gong, GENG Hong-feng, DONG Xiao-li

(Bureau of Hydrology and Water Resources Survey of Cangzhou, Cangzhou 061000, China)

Abstract The effects of deep groundwater utilization on the shallow groundwater environment, the fluoride in the crops and the human health were discussed based on the analysis of the distribution and enrichment rules of high fluoride water in Cangzhou City. Measures to ensure the water environment and reduce the harm of high fluoride water were proposed, such as reducing the exploration of deep groundwater, constructing the water diversion project as soon as possible, treatment of water before drinking to reduce fluoride, and enhancing water quality monitoring.

Key words high fluoride water; deep groundwater; environmental geology; Cangzhou City

沧州市是河北省水资源最短缺的地区之一,每年大量超采深层地下水来维持日益增长的国民经济发展的需要。目前,沧州市深机井数量已达 24 136 眼,深层地下水开采量为 9.23 亿 m^3/a ,超采量为 6.43 亿 m^3/a 。地下水严重超采使沧州市成为全国乃至全世界闻名的地下水漏斗区,并造成咸水界面下移、海水倒灌、地面沉降、地裂缝等大量地质灾害问题。由于深层地下水含氟量较高,大量深层氟离子被引入到地表物质循环中,导致该地区环境发生改变。为了减少高氟水的负面影响,分析了高氟水的分布规律,提出了保证沧州市地质环境稳定的措施。

1 高氟水分布规律

通过对沧州市 12 439 眼地下水井水质化验资料分析,发现沧州市地下水含氟量在平面方向和垂直

方向都有一定分布规律。沧州市地下水井含氟量情况统计见表 1。

1.1 垂直分布

根据地下水开采的取水段深度把地下水分为 5 个含水组:第Ⅰ、Ⅱ含水组为浅层地下水;第Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ含水组为深层地下水。

a. 深层地下水含氟量大都超过饮用标准(大于 1.0 mg/L),超标率达到 80% 以上;浅层地下水含氟较低,适宜饮用,超标率仅为 5%。

b. 浅层地下水第Ⅰ含水组含氟量最低,均值小于 1.0 mg/L ,第Ⅱ含水组含氟量较低,微超饮用水标准。第Ⅲ含水组含氟量最高,第Ⅳ含水组含氟量低于第Ⅲ含水组,但大于第Ⅱ含水组、第Ⅴ含水组含氟量低于第Ⅳ含水组。氟在地下水中的垂直分布呈上尖下钝的枣核形。不同埋深含水层含氟量井数统计见表 2。

表 1 沧州市地下水井含氟量情况统计

地名	化验水井数/眼			超标水井数/眼				按含氟量分类井数/眼							
	深井	浅井	小计	深井		浅井		深井				浅井			
				数量	超标率/%	数量	超标率/%	0~1 mg·L ⁻¹	1.1~2 mg·L ⁻¹	2.1~4 mg·L ⁻¹	>4 mg·L ⁻¹	0~1 mg·L ⁻¹	1.1~2 mg·L ⁻¹	2.1~4 mg·L ⁻¹	>4 mg·L ⁻¹
任丘市	158	1272	1430	126	80	195	15	32	98	22	6	1077	172	22	1
河间	103	1512	1615	103	100	192	13		58	31	14	1320	166	26	
肃宁	175	445	620	85	49	107	24	90	47	38		338	83	24	
献县	263	1342	1605	157	60	33	2	106	129	28		1309	28	5	
泊头	126	1070	1196	102	81	37	3	24	65	32	5	1033	37		
吴桥	6	1130	1136	3	50	7	1	3		1	2	1123	6	1	
东光	31	1022	1053	31	100	2	0.2			14	17	1020	1	1	
南皮	19	215	234	19	100		0			13	6	215			
沧州市区	84	54	138	84	100		0			4	80	54			
青县	126	540	666	126	100		0		26	69	31	540			
孟村	28	316	344	16	57		0	12		5	11	316			
盐山	7	139	146	7	100		0		1	6		139			
海兴	37	483	520	37	100	1	0.2		8	29		482			
沧县	63	1378	1441	55	87	21	1.5	8		25	30	1357	10	11	
黄骅	59	120	179	59	100		0		12	35	12	120			
中捷	56	14	70	56	100		0		7	30	19	14			
大港	41	5	46	41	100		0			30	11	5			
合计	1382	11057	12439	1107	80	595	5	275	451	412	244	10462	503	90	1

表 2 不同埋深含水层含氟量井数统计

地名	调查井数/眼	第Ⅱ含水组(上更新统)				第Ⅲ含水组(中更新统)				第Ⅳ含水组(下更新统)			
		合格井/眼	超标井/眼	含水组埋深/m	$\bar{\rho}(F)/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	合格井/眼	超标井/眼	含水组埋深/m	$\bar{\rho}(F)/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	合格井/眼	超标井/眼	含水组埋深/m	$\bar{\rho}(F)/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
河间	99	12	22	40~202	1.8	4	51	190~308	2.4	4	6	308~407	1.6
献县	240	13	30	100~280	1.3	74	93	180~270	1.4	15	15	270~450	1.2
沧县	63	1	1	40~250	1.1	2	54	220~350	3.8		5	350~500	3.0
青县	62			80~250			53	250~450	3.6		9	450~500	2.4
盐山	35			40~200			22	200~350	4.3		13	350~500	3.6
黄骅	63			170~320			26	289~420	4.0		37	420~510	2.6
合计	562	26	53		1.5	80	299		2.54	19	85		2.2

1.2 平面分布

a. 高氟浅井 98% 集中在运河以西。东部浅层地下水含氟量大都不超标。

b. 高氟深井平面分布与浅井分布规律相反,除肃宁全县及河间、献县靠近肃宁的区域含氟量小于 1.0 mg/L 外,其他县市含氟量都超标。从西到东氟的质量浓度(以下简称 $\rho(F)$)从 0.48 mg/L 增加到 4.18 mg/L,在吴桥、东光出现一个含氟量高值区。

c. 深层地下水 $\rho(F)$ 区域差异较大, $\rho(F)$ 从西向东逐渐增大,具体分布是:肃宁、河间的兴村到行别营一带、献县的西部、任丘的纉州乡, $\rho(F)$ 小于 1.0 mg/L,符合地下水Ⅰ类水质标准,面积为 1983 km²,占总面积的 14.1% 任丘、河间、献县的其他地区 $\rho(F)$ 在 1.0~2.0mg/L 之间,符合地下水Ⅳ类水质标准,面积为 1922 km²,占评价总面积的 13.7% 其他地区的 $\rho(F)$ 均在 2.0mg/L 以上,符合Ⅴ类水质标准,其中 $\rho(F)$ 在 2.0~4.0mg/L 的区域面积为 3965 km²,占总面积的 28.2%, $\rho(F)$ 在 4.0~5.0 mg/L 的区域面积为

5383 km²,占总面积的 38.3%, $\rho(F)$ 在 5.0 mg/L 以上的区域面积为 803 km²,占评价总面积的 5.7%,主要分布在东光以及南皮县的寨子一带。沧州市深层地下水(第Ⅲ含水组)含氟量分区见图 1。

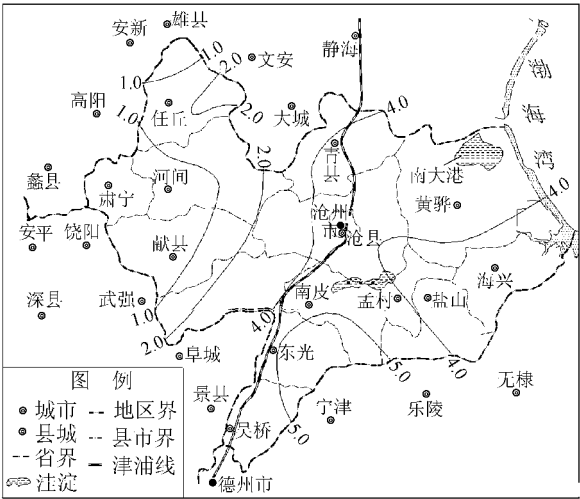


图 1 沧州市深层地下水(第Ⅲ含水组)含氟量分区

1.3 时程变化

对比分析 1995 年、2003 年部分井的化验数据,可以了解含氟量随时间的变化规律。

a. 浅井含氟量时程变化。分析沧州市 50 眼浅井氟化物含量,发现除个别靠近排污河道的井外,含氟量没有明显增大趋势,说明土壤和植物对氟化物的吸附作用较强,暂时没有影响浅层地下水水质。但高氟水灌溉区土壤含氟量呈逐渐上升趋势。

b. 深井含氟量时程变化。20 眼深井观测数据表明,深井含氟量随时间变化趋势不明显。说明深层地下水水质比较稳定,含氟量高的情况将长期存在。

2 高氟水富集规律

氟是非常活泼的非金属元素,它几乎能与任何其他元素相互作用,生成多种化合物,广泛分布于自然界中。沧州市地下高氟水与其地质背景和有利的迁移、富集条件有关。

2.1 富氟的环境地质背景

沧州市载氟母体为第四系松散地层,主要由陆相沉积、海相沉积、火山岩沉积组成。

a. 陆相沉积。沧州市第四系地层主要由太行山岩石风化、经各种动力搬运沉积于境内而形成。太行山岩性主要为片岩、片麻岩、石灰岩等,这些岩石含氟较高,一般在 $370 \sim 800 \text{ mg/kg}$,这是该市环境中氟的主要来源。

b. 海相沉积。进入第四纪以来,沧州市境内发生了 7 次海进。随着海相沉积,海水中大量氟化物伴随沉积物留了下来,构成了海陆交替相富氟地质环境特点。

c. 火山岩沉积。沧州市第四纪频繁的火山活动分为 4 期,分布于沧州市以东,呈多层不连续分布,分布区内层数和厚度不一。火山岩岩性主要为凝灰岩,少数为玄武岩。这些岩石含有大量氟化物,从而增大了地层载氟量。

西部平原的海进次数、海浸时间及海相层厚度都远不如东部平原,且火山岩沉积仅见于东部,这就构成了地层含氟本底值从西到东由小到大的差异。这恰与更新统地层由西到东地下水含氟量从低到高的规律相吻合。

2.2 影响氟活性的主要因素

沉积母质含氟量介于 $370 \sim 800 \text{ mg/kg}$,但是地下水中含氟量和土壤水浸液中含氟量差异很大,说明含氟量与氟的活性及区域土壤地球化学环境有关。

2.2.1 氟的活性

氟在地表的迁移和聚集受钙的制约, Ca^{2+} 浓度大时, F^- 易受 Ca^{2+} 固定以氟化钙的形式存在于土壤

中,氟化钙难溶于水,一般不会产生危害。在酸性条件下,水体中的氟与铝、铁、硅等形成可溶性络合物在水中迁移。在碱性环境中, pH 值越大,水中的 OH^- 与 Fe^{2+} 、 Al^{3+} 产生的沉淀物就越明显, F^- 在水中的相对浓度也就越大,随着碱性加强, OH^- 取代 F^- 的离子代换作用加强,在这种环境中,氟基本上以离子形态存在,活性强、危害大。沧州市深层地下水由西向东碱性递增,氟的含量逐步升高,正符合这一规律。

2.2.2 地球化学环境因素

按照环境地球化学分区,沧州位于半干旱季风气候富盐地球化学环境中,海陆交替相地层富氟区。细分为西、中部平原型和东部滨海平原型。

西、中部平原位于太行山冲积扇间洼地东侧。按水文地质分区,西部为冲洪积平原,中部为湖积冲积平原。水化学类型为重碳酸—钠盐和重碳酸、硫酸—钠盐为主的盐类富集地带,富钙也是富碱环境地区。进入全新世以来,西、中部平原的任丘、河间、肃宁一带沼泽发育,径流排泄条件不好,加之干旱温冷气候,蒸发大于降水,氟被浓缩聚集,形成富氟环境。由于第四纪以来的河流变迁,在冲积平原上形成许多洼地。地形复杂使得沉积物呈现不规则分布,地下水埋藏条件变化大,盐类流失聚集不等。地貌单元不同,形成碱化和盐化的程度各不相同,氟的活性因地而异,从而决定了高氟区灶状分布特点。

东部滨海平原,属海相冲积平原水文地质区。根据土壤化学特点,此带为氟化物——钠盐富集区,是氟的非活跃区,加之地处沿海,受海洋气候影响,湿润多雨土壤淋溶作用强烈,因此地表和浅层水含氟量一般都偏低。而深层由于海水侵蚀影响大,加之深层水碱性较强,氟的活性大,故而深层地下水含氟量高。

3 高氟水开采使用情况

沧州市深层地下水的开发利用大体经历了 3 个阶段:1976~1980 年为第 1 阶段,此阶段为机井建设起步阶段,深机井数量急剧增加,虽然年平均开采量不是很大,但为下阶段发展奠定了基础;1981~1995 年为第 2 阶段,此阶段为稳定发展阶段,深机井数量在经过了第 1 阶段的急剧增长后速率减缓,总数维持在 15000~17000 眼,年平均开采量保持在 4.4 亿 $\sim 5.2 \text{ 亿 m}^3$;1996~2003 年,随着工农业生产的迅猛发展,需水量急剧增加,1996~2000 年,年平均开采量达到了 6.5 亿 m^3 ,2001~2003 年,年均开采量高达 9.2 亿 m^3 。通过开采深层地下水,人为地将 36914 t 氟化物从地层深处带到地面,年均搬运量从 661 t 增加到 2351 t,具体数据见表 3。

表 3 沧州市深层地下水开采量和氟化物搬运量统计

时 段	分类	深层水开采量/万 m ³	氟化物量/t
1976 ~ 1980	总 量	129 778	3 304. 927
	年均量	25 956	660. 995
1981 ~ 1985	总 量	235 468	5 996. 428
	年均量	47 094	1 199. 296
1986 ~ 1990	总 量	260 625	6 637. 076
	年均量	52 125	1 327. 415
1991 ~ 1995	总 量	220 260	5 609. 141
	年均量	44 124	1 123. 662
1996 ~ 2000	总 量	326 415	8 312. 484
	年均量	65 283	1 662. 497
2001 ~ 2003	总 量	276 998	7 054. 031
	年均量	92 333	2 351. 352

4 高氟水对环境的影响

4.1 排污河道附近浅层地下水含氟量逐步提高

深层地下水大部分用于生活和工业用水,在使用后通过排污渠道排出,1990 ~ 1993 年沧州市环保局在城关排干和四排干对渠道附近浅层井含氟量进行观测,发现主要来源于深层地下高氟水的渠道水(现已成为地表水)通过入渗,导致浅层地下水含氟量升高(见表 4)。说明土壤对氟的净化也有一个阈值,当超过阈值后,必然导致浅层地下水含氟量升高。

表 4 渠道水与附近观测井的含氟量

渠道名称	$\rho(\text{F})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	观测井	$\rho(\text{F})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	
		编号	年初	第 2 年末
城关排干	1.36 ~ 2.87	煤 1	0.92	1.38
		煤 2	0.28	0.91
四排干	3.01 ~ 5.60	计 1	1.10	2.20
		计 2	1.40	1.60
		计 3	0.44	0.87
		计 4	0.30	0.94

注 到渠道距离 煤 1 为 5 m 煤 2 为 15 m 计 1、计 2、计 3、计 4 到渠边距离分别为 5 m、15 m、20 m、40 m

4.2 高氟水对农作物含氟量的影响

使用不同含氟量的水灌溉蔬菜,其含氟量具有很大差异。蔬菜的含氟量与灌溉水含氟量呈正相关。因此,深层高氟水的开发不仅引起饮水型氟中毒,而且会影响食物链,引起食物型氟中毒。2003 年沧州市农业局对蔬菜含氟量进行监测,结果见表 5。

表 5 不同含氟量水浇灌的蔬菜含氟量

蔬菜类型	产地	$\rho(\text{F})_{\text{灌溉水}}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$w(\text{F})_{\text{蔬菜}}/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$
大白菜	吕家坟	6.1	3.27
	党 校	4.0	2.37
	鞠官屯	1.6	1.23
	农科所	0.6	0.60
韭菜	党 校	4.0	1.33
	蔬菜局	1.9	0.32
茄子	党 校	4.0	0.15
	鞠官屯	1.6	0.11

4.3 对人民群众健康的影响

氟化物是人体必需的一种元素,对人体的适宜浓度是 0.5 ~ 1.0 mg/L。国家生活饮用水卫生标准要求氟化物质量浓度不超过 1.0 mg/L。农田灌溉用水标准要求一般地区为小于等于 3.0 mg/L,高氟区应小于等于 2.0 mg/L。目前沧州市仍有 450 万人口在饮用高氟水,长期过量摄入氟会引起机体慢性中毒。高氟水主要影响人体的硬组织,包括牙齿、骨骼,对其他一些软组织也有损伤。氟对于牙齿的损伤不仅仅是影响美观,而且会影响到咀嚼和消化功能。氟骨症一般多发于成年人,从临床检查来看包括骨骼弯曲,比如胳膊伸不开等,影响生活和劳动。沧州市的氟病是由于大量饮用深层地下水造成的,虽只有 30 多年历史,但已经造成不可逆转的危害,必须引起足够重视。

5 预防高氟水危害的措施

5.1 减少深层水开采

目前沧州市积极配合国家地下水超采区治理规划,实施深层地下水封井计划,使该市深层地下水休养生息,水环境状态逐步得到修复。

沧州市浅层地下水含盐量高,但含氟量较低,充分利用海水资源及丰富的浅层地下苦咸水资源,通过海水和苦咸水淡化,来解决沧州市缺水问题已成为越来越多人的共识,并有非常成功的经验,应在政府大力支持下做好推广工作。

5.2 进行降氟处理

高氟水的长期饮用会危害人们的身体健康,要提高人们预防高氟水危害的意识,积极使用已经成熟的化学、物理办法如反渗透技术、胶泥吸附过滤技术等对饮用水进行处理。对没有条件的地区,可以减少直接饮用高氟水,如多喝粥、降氟茶等,减少氟的摄入量。

5.3 加快引江工程进展,重点解决饮用水问题

沧州市是资源型缺水地区,要保证社会经济快速发展和人民生活水平的提高,必须加快外流域引水工程进展,做好来水后用水规划,优先解决饮水问题。

5.4 加强对高氟水危害的监测

沧州市大量使用深层地下水,使得氟在土壤和植物中积累,必将逐渐改变浅层地下水含氟量,影响人们的使用。建议加强水质监测工作,以便对沧州市地下水中氟的变化进行全面、广泛的研究。

参考文献:

[1] 薛冠智. 沧州地区水利志[M]. 北京 科学技术文献出版社,1994.
[2] R·H·布朗. 地下水研究[M]. 北京 学术出版社,1989.

(收稿日期 2005-07-09 编辑 徐 娟)