张掖市甘州区地下水中氟的分布规律和成因

何 锦,安永会,韩双宝

(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:在研究张掖盆地水文地质条件的基础上,结合水质测试资料,探讨张掖市甘州区地下水中氟离子空间分布规律并分析其产生原因。结果表明:从山前冲积平原至细土平原,浅层地下水中氟离子浓度逐渐增高;而深层地下水中氟离子浓度变化不明显。细土平原区地下水中氟离子浓度具有随深度的增加逐渐降低的垂直分带规律。丰富的氟物质来源、特殊的水文地质条件和水化学背景是导致甘州区浅层地下水中氟离子富集的主要原因。取用深层地下水是解决高氟区水质性缺水的有效手段。

关键词:氟离子;地下水;张掖市

中图分类号:P641.12 **文献标识码**:A **文章编号**:1004-6933(2008)06-0053-04

Distribution and sources of fluorin ion in groundwater in Ganzhou District of Zhangye City

HE Jin, AN Yong-hui, HAN Shuang-bao

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

Abstract: Based on the investigation of hydrogeological conditions and water quality in the Zhangye Basin, the distribution of fluorin ion in the groundwater of Ganzhou District is analyzed. The results show that: (1) the concentration of fluorin ions in shallow groundwater increases gradually from the piedmont alluvial plain to the fine soil plain, while those in deep groundwater show no remarkable change; (2) the concentration of fluorin ions in groundwater of the fine soil plain declines gradually with the increase of vertical depth; and (3) the high concentration of fluorin ions in the shallow groundwater is mainly caused by the rich fluoride sources, the special hydrogeological conditions and the hydrochemical background. It is concluded that utilizing the deep groundwater is a feasible way to prevent water shortage in the regions with high concentrations of fluorin ions.

Key words: fluorin ion; groundwater; Zhangye City

氟是自然界中广泛分布且与人畜健康密切相关的化学元素,其化学性质活泼、离子形态易溶于水并被人体所吸收。氟过量摄入导致的氟中毒现象在我国内陆盆地十分普遍[1]。据有关资料,1980 年以来,张掖市甘州区氟病人口达到 3 800 人,占其总人口的 6.1%,为改造氟病水源累计投资已达 43.4 万元。本文利用野外实测资料,对甘州区地下水中氟离子的分布规律及富集成因进行初步分析。

1 研究区概况、研究方法及数据

张掖甘州盆地区地处河西走廊中段,总面积 4 240 km^2。本区属于典型的温带大陆性气候,降水少而蒸发强烈,区内年降水量 113.30 ~ 342.70 mm,年平均蒸发量 1 453 ~ 2 351 mm。区内河流有黑河及其支流山丹河。研究区地势自东南向西北倾斜,地形坡度 2.5% ~ 0.4%,地貌上分为南部山前冲洪积戈壁平原和盆地中部冲洪积细土平原以及北部山前戈

基金项目:中国地质调查局国土资源大调查项目(1212010634711)

作者简介:何锦(1980—),男,甘肃白银人,助理工程师,硕士,主要从事地下水资源合理开发利用方面的研究。E-mail:hejing007105@hotmail.com

壁平原。受构造条件的制约，甘州区地下水资源主要是走廊平原区第四系中、上更新统松散岩类孔隙水，含水层自南部山前至北部盆地，由单一的潜水含水层渐变为多层的潜水-承压水含水层[2]。

在研究区内选取典型地段采集样品 78 组，测试方法严格按照 DZ/T0064—93《地质矿产部地下水标准检验方法》的要求进行。

2 甘州区氟的空间分布规律

2.1 平面分布特征

2.1.1 浅层地下水氟离子分布特征

浅层地下水是指在山前戈壁带单一含水层中的潜水和细土平原区多层结构含水层中 100 m 以上的潜水和微承压水[3]。如图 1 所示，氟离子质量浓度总体上呈现西南低东北高的特征。从祁连山前冲洪积平原到细土平原，地下水中氟离子质量浓度逐渐增高；北山前第四系松散层地下水中氟离子质量浓度高于祁连山前。氟离子质量浓度小于 0.50 mg/L 的地下水，分布于乌江—三闸—碱滩以南的广大地区及黑河沿岸；氟离子质量浓度为 0.50 ~ 1.0 mg/L 的地下水，分布于山丹河以北及上秦乡；氟离子质量浓度为 1.0 ~ 2.0 mg/L 的地下水，分布于北山山前靖安堡—张掖农场以北地区；氟离子质量浓度大于 2.0 mg/L 的地下水，分布于红沙窝。红沙窝北山、北大山等低山丘陵区，地下水氟离子质量浓度 1.0 ~ 2.0 mg/L，最高可达 3.5 mg/L。

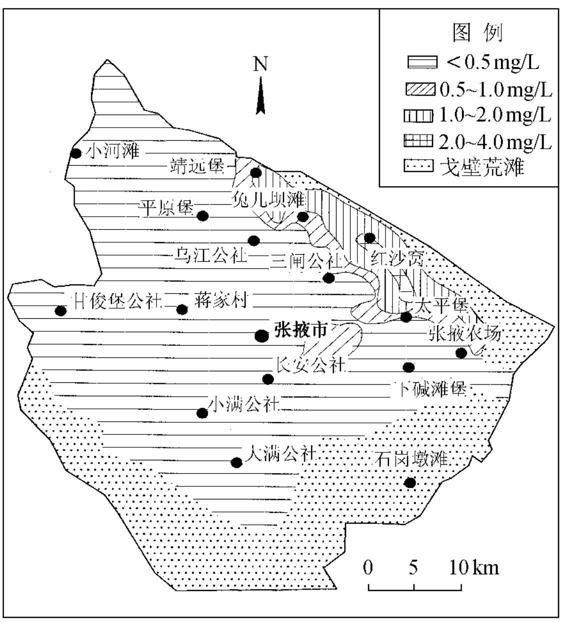


图 1 张掖市甘州区浅层地下水氟离子分布

2.1.2 深层地下水氟离子分布特征

深层地下水是指埋深 100 m 以下的深层承压水[3]。如图 2 所示，张掖市甘州区深层地下水中氟离子质量浓度在 0.1 ~ 0.8 mg/L 之间。黑河沿岸以及山丹河以南的广大地区氟离子质量浓度普遍低于 0.5 mg/L，而龙首山山前靖安乡—张掖农场以北地区氟离子质量浓度在 0.4 ~ 0.8 mg/L 之间。对比图 1 与图 2，可以看出全区深层地下水中氟离子质量浓度均低于上部浅层地下水。表明当地深层地下水径流条件好，径流速度快，与上部潜水含水层联系不紧密，水中氟离子基本不受上部蒸发浓缩作用的影响，不易富集。

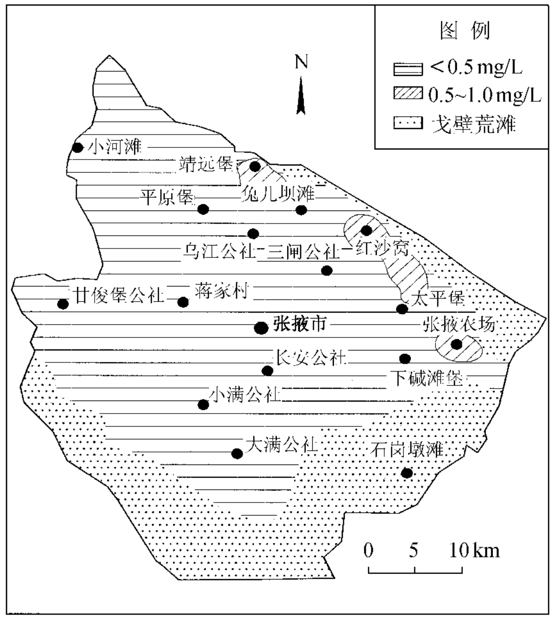


图 2 张掖市甘州区深层地下水氟离子分布

2.2 垂向分布特征

通过对研究区内不同井型中地下水进行取样分析，发现由于各类水井取水深度不同地下水氟离子浓度也存在差异，总的规律为氟离子质量浓度随着取样深度的增加而减小(图 3)，这与前人总结‘在勘探深度内(300 m)，随着深度的增加，地下水中氟离子浓度减小’[4]的规律一致。

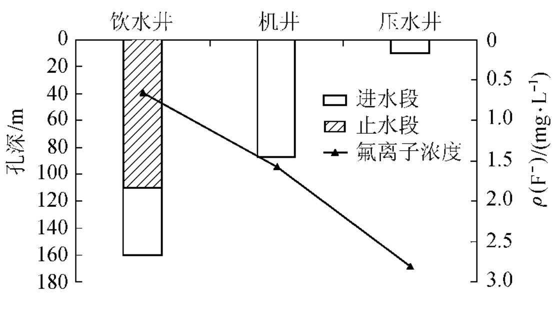


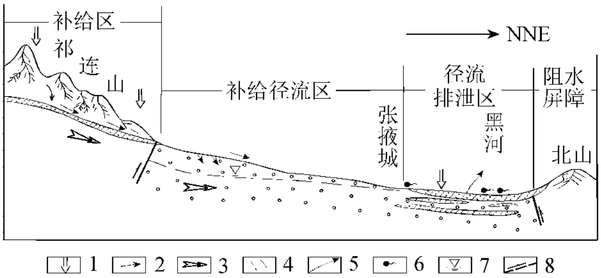
图 3 不同井型地下水中氟离子质量浓度

3 地下水中氟的富集成因

3.1 水文地质条件

研究区南部的祁连山地，地下水接受降水的入渗补给，在山区深切水文网的强烈排泄作用下，绝大

部分都就近排泄于河谷而以地表径流的形式流出山体。河流出山口进入盆地流径洪积扇地带，大量渗漏补给地下水。在冲洪积扇中上部含水层颗粒粗大、导水性强、水力坡度大、地下水径流条件好，所以地下水中含氟量都较低。洪积扇缘及与之毗邻的细土平原区，颗粒渐细、导水性减弱、地下水位埋深变浅，蒸发浓缩作用增强，有利于氟离子的聚集(图 4)。所以特定的水文地质条件是形成区内地下水中含氟量明显分带的一个重要因素。



1—降水 ;2—地表径流 ;3—地下径流 ;4—地表水补给地下水 ;
5—地下水蒸发 ;6—泉 ;7—地下水位 ;8—断层

图 4　张掖盆地地下水补给、径流、排泄

3.2　氟物质来源

研究区内地下水主要补给来源来自祁连山，其主要由变质岩类、岩浆岩类和沉积岩类构成。其中黑云母、绢云母及云母石中氟含量很高，据测定，其氟离子质量分数在 2.1% ~ 5.2% ;角闪石、闪长岩中 $\rho(F^-)$ 也在 1.23 mg/L 以上，其中斜长角闪岩的 $\rho(F^-)$ 可达 1 867 mg/L[5]。另外山区局部地带还分布萤石、磷灰石等富氟矿物。在中新生界层状碎屑沉积岩中，大都以粗砂含砾石及粉砂岩等海陆交互相，内陆湖项沉积为主，碎屑矿物也都包含上述富氟的云母岩和角闪岩等。因此，径流产流区中富氟矿物的存在为甘州平原盆地区中氟离子的迁移与富集提供了丰富的物质基础。从表 1 中可以看出，平原区两侧山体中各类含水介质均不同程度地向水中溶解 F^-，溶解于水中的 F^- 随水迁移至山前盆地中，在第四系含水层中贮存下来，并在蒸发浓缩作用下随着其他盐分在水中富集 ;地表水一方面携带溶解的 F^- 进入下游或被引用于灌溉等，而赋存于下游的土壤及冲洪积地层中 ;另一方面把富氟矿物岩石碎屑

表 1　不同类型赋存介质地下水中的 F^- 质量浓度[3]

地理位置	类　型	主要含水岩组	矿化度/($mg\cdot L^{-1}$)	$\rho(F^-)$/($mg\cdot L^{-1}$)
龙首山	层状基岩裂隙水	凝灰岩大理岩	0.60 ~ 0.80	2.20
	碎屑岩类孔隙水	混合岩	0.52 ~ 1.00	0.55 ~ 1.70
		砂岩	1.23 ~ 8.92	0.58 ~ 2.50
祁连山	层状基岩裂隙水	板岩	0.80 ~ 1.51	< 1

搬运到山前平原区堆积下来，成为流域下游水体中 F^- 的又一重要来源。

3.3　水化学因素

研究表明[6-7]，水体中氟的富集与水化学环境密切相关。由于甘州区深层地下水中氟的差异性不大，在此仅给出了研究区内浅层地下水水化学演化图来说明水化学背景与氟的关系。

从图 5 中可以看出浅层地下水化学具有明显的分区特征。分布在山前戈壁带地下水及黑河沿岸一带的水样点，其水化学类型与黑河出山口河水一致，反映了河水渗漏进入含水层过程中的溶滤作用，其 pH 值介于 7.0 ~ 7.9 之间，矿化度介于 0.4 ~ 0.7 g/L，均为 HCO_3-SO_4-Ca-Mg 和 HCO_3-SO_4-Mg-Ca 型。该区域内地下水中 $\rho(F^-)$ 在 0.15 ~ 0.5 mg/L ;属于低氟水分布区。随着地下水进入细土平原后，一方面地下水位抬升，蒸发作用增强 ;另一方面受到农灌影响，地下水矿化度升高，一般在 0.5 ~ 1.5 g/L 之间，地下水化学类型由 HCO_3-SO_4-Ca-Mg 过渡到 HCO_3-SO_4-Cl-Mg 和 HCO_3-SO_4-Na-Mg 型。此类水样点主要集中在细土平原区的碱滩乡—三闸乡—西屯站一带。$\rho(F^-)$ 为 0.4 ~ 0.9 mg/L，属于中氟水分布区。而在山丹河以北的北山山前戈壁带中，地下径流条件缓慢，蒸发成为地下水排泄的主要途径。$\rho(F^-)$ 多大于 1 mg/L，矿化度较高，一般大于 1.5 g/L，其地下水化学类型主要为 SO_4-Cl-Na-Mg 型，属于高氟水分布区。

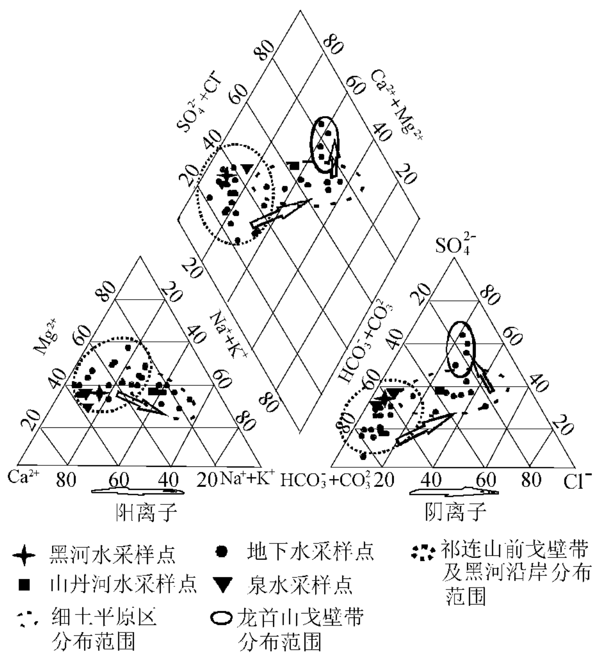


图 5　甘州区浅层地下水水化学演化

由图 6 可以看出这样的规律 :① F^- 在碱性环境中容易溶解和聚集，在检出 F^- 的水样中其 pH 值均大于 7.0。$\rho(F^-) > 1.0$ mg/L 的水体中，其 pH 值一

般在 7.5 以上。在所测定的 78 组样品中，大部分水样的 pH 值范围在 7.2～8.9 之间；②ρ(F^-)变化也比较大，分布范围在 0.2～3.2 mg/L 之间，两者之间并不存在明显的正相关关系，而 ρ(F^-)与矿化度呈近似的正相关关系，一般随着矿化度的增加，水中的 ρ(F^-)也增大，但这种趋势并不明显，尤其在矿化度大于 1.5 g/L 的情况下 ρ(F^-)极不稳定，其范围为 0.15～2.89 mg/L。这反映了在碱性水体中影响 F^- 稳定存在的因素很多，不但与矿化度有关，也与硬度、Na^+、Ca^{2+} 等有关系。

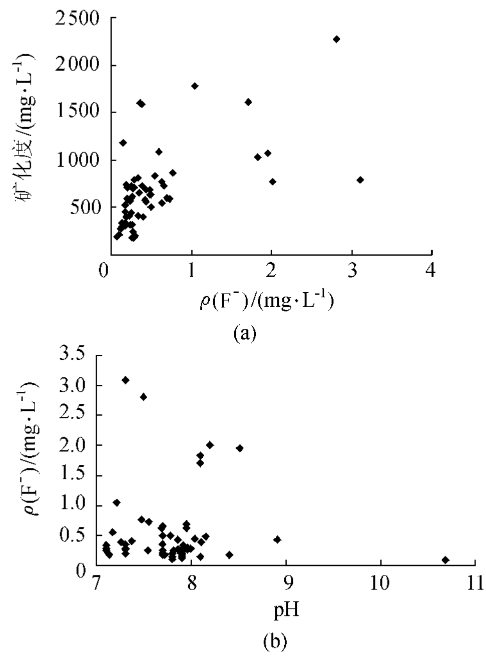


图 6　ρ(F^-)与 pH 及矿化度的关系

总结研究成果[7]，可以得出在同等矿化度条件下，硬度越高，ρ(Ca^{2+})越大，ρ(F^-)越小。而产生这种规律的原因主要在内陆流域高硬度的水环境下，一方面水中 F^- 易与 Ca^{2+} 结合形成难溶于水中 CaF_2，降低了水中 F^- 浓度；另一方面，高硬度水质限制了水体对周围岩体中富氟矿物的溶解能力。

4　结　语

a. 地处干旱区内陆平原河西走廊的张掖市甘州区，由于其周围发育水系的山体广泛分布着富氟矿物，因此具有丰富的氟物质来源。这些氟物质以离子形式溶于水体，随水流被迁移到细土平原带，并且在强烈蒸发浓缩、温度和其他化学作用等作用下富集，至使浅层地下水中氟离子呈现出从山前冲洪积平原到细土平原带逐渐升高的趋势，而在径流条件好、速度快的深层地下水中氟离子浓度变化不明显。在垂向分布上，氟离子浓度呈现出随深度的增加而逐渐减小的特点。

b. 张掖甘州区浅层地下水化学具有明显的分区特征。F^- 较容易溶解和富集在弱碱性的 SO_4-Cl-Na-Mg 型水中。而矿化度对 F^- 影响不明显，尤其是在高矿化度的情况下，ρ(F^-)极不稳定。

c. 张掖市甘州区的高氟水分布在北山前戈壁带与细土平原交界一带，而充分利用当地深层地下水氟含量较低这一特点，取用深层地下水应是解决当地高氟区水质性缺水的有效手段。

参考文献：

[1] 蒋辉.环境水文地质学[M].北京：中国环境科学出版社，1993：16-27.

[2] 高前兆，李福兴.黑河流域水资源合理开发利用[M].兰州：甘肃科学技术出版社，1990：50-51.

[3] 张光辉.西北内陆黑河流域水循环与地下水形成演化模式[M].北京：地质出版社，2005：120-126.

[4] 甘肃省水文队.中华人民共和国综合水文地质说明书(1:20 万，张掖幅)[R].兰州：甘肃省水文队，1984，54-86.

[5] 张锦波.包头市及近郊潜水氟成因类型的初步探讨[C]//地矿部水文地址工程地质研究所.环境水文地质理论及方法研究.北京：地质出版社，1987：180-181.

[6] 王根绪、程国栋.西北干旱区水中氟的分布规律及环境特征[J].地理科学.2000，20(2)：153-158.

[7] 杨忠耀.氟病水文地球化学成因类型的划分[C]//地矿部水文地质与工程地质研究所.环境水文地质理论及方法研究.北京：地质出版社，1987：32-37.

(收稿日期：2007-07-30　编辑：高渭文)

(上接第 16 页)

[19] 胡宝兰，郑平，胡安辉，等.Anammox 反应器的启动及其菌群演变的研究[J].农业工程学报，2005，21(7)：107-110.

[20] 王峰，夏四清，史妍，等.硝化悬浮填料塔中氨氧化细菌群落稳定性特征分析[J].环境工程，2006，24(3)：10-12.

[21] 苏俊峰，马放，王弘宇，等.利用 PCR-DGGE 技术分析生物陶粒硝化反应器中微生物群落动态[J].环境科学学报，2007，27(3)：386-390.

[22] AOI Y，MASAKI Y，YAMAZAKI S，et al. Quantification analysis of amoA mRNA expression as a new biomarker of ammonia oxidation activities in a complex microbial community [J]. Lett Appel Microbiol，2004，39(6)：477-482.

[23] HARMS G，LAYTON A C，DIONISI H M. Real-time PCR quantification of nitrifying bacteria in a municipal wastewater treatment plant[J]. Environ Sci Techno，2003，37(2)：343-351.

[24] PARK H D，NOGUERA D R. Evaluating the effect of dissolved oxygen on ammonia-oxidizing bacteria communities in activated sludge[J]. Water Res，2004，38：3275-3286.

[25] TANAKA J，SYUTSRBO K，WATANABE K，et al. Activity and population structure of nitrifying bacteria in an activated-sludge reactor containing polymer beads [J]. Environ Microbiol，2003，5(4)：278-286.

(收稿日期：2007-09-19　编辑：高渭文)