

# 陕西省大荔县高氟地下水的形成条件分析

朱 桦 杨炳超 赵阿宁 柯海玲 乔 冈

(西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054)

**摘要:**为了查明陕西省大荔县高氟地下水的分布、形成条件, 本文通过环境地质调查及水样测试, 从地层、气象、地质地貌、水文地质及水文地球化学等几个角度进行了系统分析。研究表明, 大荔县高氟地下水的分布、形成条件受地质、气候、地貌和水文地质的控制, 大气降水在入渗过程中通过水岩作用及淋滤作用将岩石和土壤中氟元素带入地下水中, 在蒸发作用下浓缩, 最终形成高氟地下水。该研究可为解决大荔县饮水安全问题提供水文地质依据。

**关键词:**高氟地下水; 分布; 形成条件

**中图分类号:** P641.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2010)03-0672-05

## 1 前 言

大荔县是陕西省地方性氟中毒病比较严重的地区之一, 洛河以北地区群众不同程度患有氟斑牙、氟骨病, 有的甚至丧失劳动能力。研究结果表明, 当地潜水中的氟含量高是导致氟中毒病的主要原因。高氟水使洛河以北大部分地区成为水质性缺水的地区, 严重威胁着当地群众的身心健康。

查明高氟水的分布、形成及富集规律, 是防治大荔县地方性氟中毒的关键。许多学者在大荔县开展了高氟地下水的调查与研究, 如 1989 年高云典等<sup>①</sup>完成了“陕西省关中地区高氟地下水分布及改水途径的研究”, 对大荔县高氟地下水的分布特征、形成原因作了探讨。此后, 在上述调查的基础上开展了防氟改水工作, 如新建的育红水源地供水工程, 解决了洛河以北大部分群众的饮水安全问题。但是, 随着经济发展和人口增长, 育红水源地的供水能力已不能完全满足需求, 部分地区群众又开始饮用高氟水。据大荔县水务局调查资料, 目前大荔县饮用高氟水的群众仍有约 19 万人, 防病改水任务十分艰巨。开展水文地质环境地质调查, 探讨大荔县高氟水的分

布及形成条件, 提出防病改水方案, 对于从根本上解决当地人民群众的饮水安全问题, 意义重大。

## 2 水文地质条件

根据区内地层和结构及埋藏条件, 区内地下水类型主要为第四系裂隙孔隙水和奥陶系隐伏岩溶水, 裂隙孔隙水又可划分为裂隙裂隙潜水和裂隙承压水两种类型(图 1)。潜水的形成、分布条件与地貌、岩相密切相关, 不同的地貌单元有不同的含水岩组, 水文地质特征各异。承压水的分布、运移规律主要受地质构造、古地理条件控制。

大荔县地下水的补给区主要是北部的黄土塬区, 大气降雨通过入渗补给地下水, 地下水向南流向平原区, 在平原区一部分地下水通过蒸发排泄, 一部分排入洛河与渭河(图 2)。

## 3 高氟地下水分布特征

大荔县潜水中氟含量较高, 高氟水呈环带状分布, 以洛河为界, 洛河以北广大地区地下水氟含量较高, 超过饮用水水质标准 1.0 mg/L, 基本上都为高氟水, 特别在低洼地带, 地下水氟含量可高达 4.0

收稿日期: 2010-03-05; 改回日期: 2010-04-26

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目“陕西省大荔县高氟水调查评价”(1212010634713)资助。

作者简介: 朱桦, 男, 1961 年生, 教授级高级工程师, 从事水文地质工作; E-mail: xazhua@yahoo.com.cn; abing24@163.com。

①高云典, 等. 陕西省关中地区高氟地下水分布及改水途径的研究, 1989.

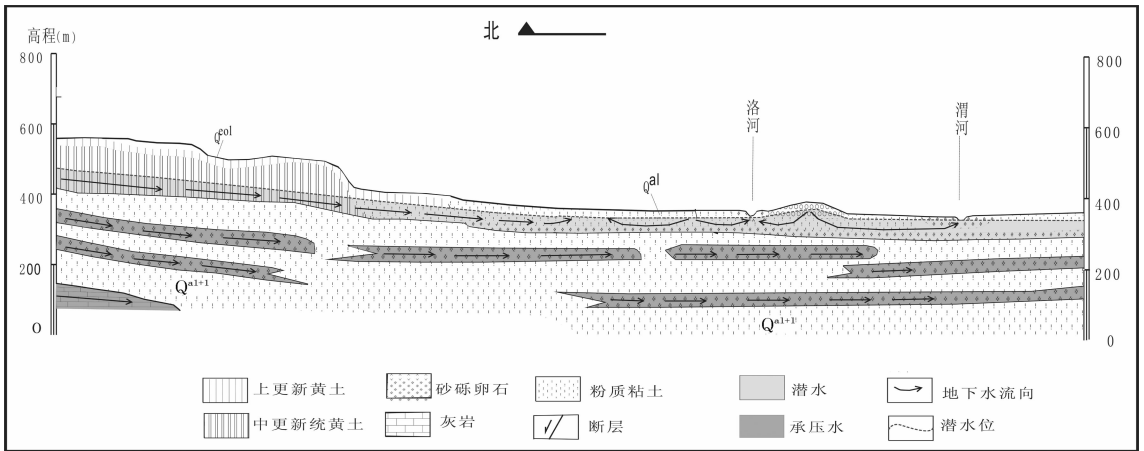


图 1 大荔县水文地质剖面图

Fig.1 Hydrogeological profile of Dali County

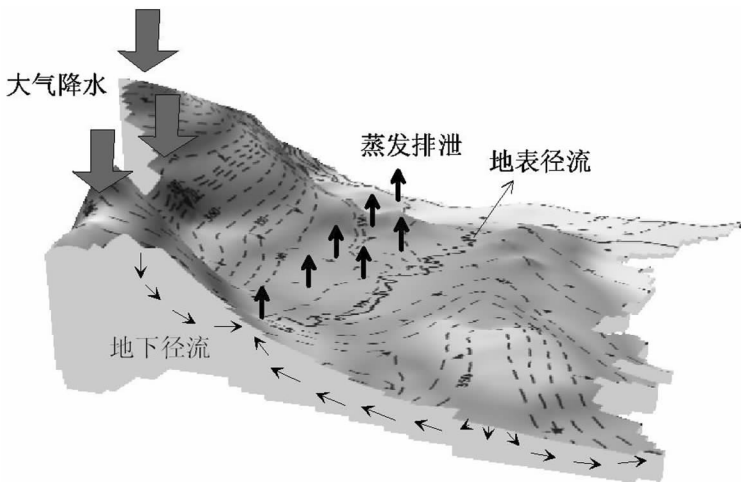


图 2 大荔县地下水水循环示意图

Fig.2 Schematic map showing cycling of groundwater in Dali County

mg/L 以上;洛河以南地下水中氟含量相对较低,基本低于 1.0 mg/L,靠近渭河地下水氟含量满足生活饮用水水质标准(GB5749-2006)(图 3)。病区承压水中氟含量一般在 1.1~1.3 mg/L,因此,本文中提到的高氟地下水指的是潜水部分。

#### 4 高氟潜水的形成条件分析

高氟潜水形成条件受地层因素、气候条件、地貌、水文地质及水化学环境等条件的影响,地层为地下水中氟提供物质来源,气候、地貌、水文地质条件共同作用,最终使得氟在地下水中富集,形成高氟水。

##### 4.1 地层

高氟水形成的首要条件是具有供氟能力的氟源——地壳富氟的岩石、沉积物和土壤。大荔县地处

关中盆地东端,北依北山,北部有黄土深厚的铁镰塬,为地下水中的氟提供了丰富的物源。据资料显示,北山出露有大量的古生界碎屑岩,岩性主要为灰岩、泥灰岩、石英砂岩、泥页岩等,其中泥灰岩、页岩、泥岩含氟量较高,灰岩及砂岩次之<sup>[1]</sup>。泥灰岩全氟含量为 540 mg/kg,水溶氟为 7.5 mg/kg,泥岩全氟含量为 600~700 mg/kg,水溶氟为 6.2~12.5 mg/kg;黄土中氟含量也比较高,黄土中含有云母、角闪石、电气石和大量的粘土物质,氟含量在 179~490 mg/kg,水溶性氟高达 4.9~34.0 mg/kg。在水合作用和溶滤作用下,岩石中的氟和黄土中的氟向水中迁移,导致潜水中氟含量增高。

##### 4.2 气象

大荔县区内属暖温带半湿润、半干旱季风气候,

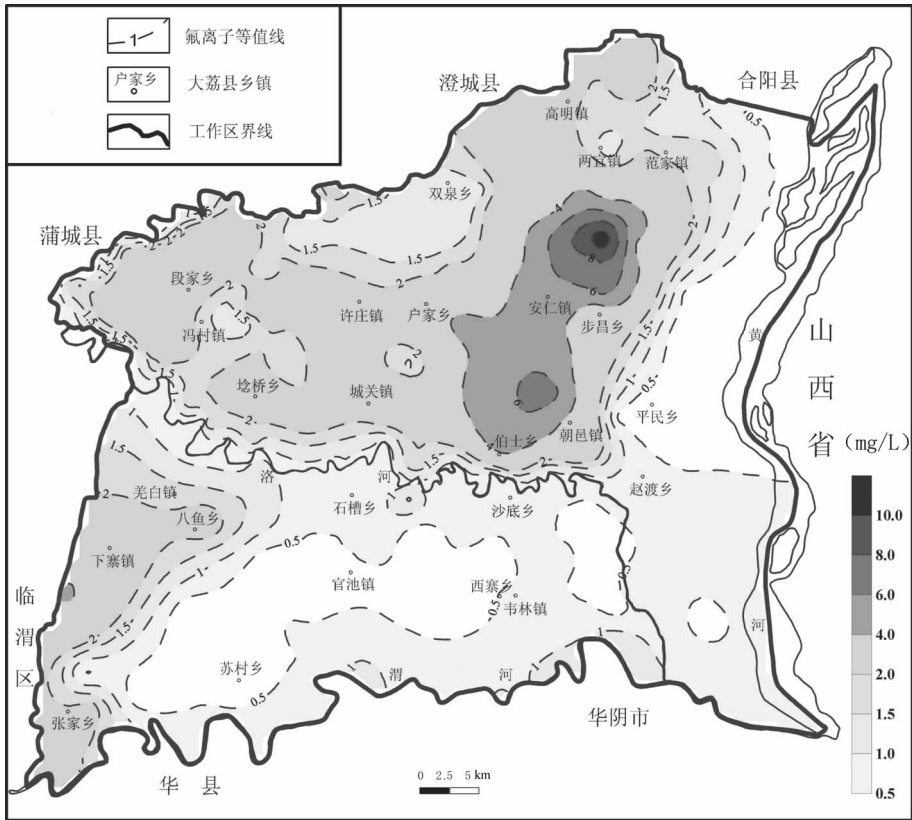


图3 大荔县潜水中氟离子等值线图

Fig.3 Contour map of fluoride in phreatic water of Dali County

多年平均气温 14.4℃, 1 月平均气温 -1.4℃, 极端低温 -16.2℃, 7 月平均气温 27.3℃, 极端高温 42.8℃; 多年平均降水量 514 mm, 且多分布在 7、8、9 这 3 个月; 多年平均蒸发度为 1250 mm。由于蒸发量远大于降雨量, 蒸发作用强烈, 有利于盐分累积<sup>[2]</sup>。

#### 4.3 地貌对地下水中氟的影响

地貌是氟富集的重要条件。大荔县地势南低北高, 高差 142 m。县内北部有黄土台塬, 往南渭河依次发育四级阶地, 阶地内部地势平坦, 二级阶地中东部有安仁—朝邑构造洼地。随着地貌部位的不同, 地势起伏不同, 地下水中氟含量也有差异。通过对代表这些地貌单元的井水所进行的检测分析, 洛河北部从黄土塬区到二级阶地, 地下水中的氟含量逐渐增加, 二级阶地潜水的氟含量达到最高(图 4)。

#### 4.4 水文地质条件

地下水的交替循环速度控制着氟的迁移聚积, 而含水层的岩性、结构、透水性、地下水埋深等因素又控制着地下水循环交替强度。在渭河二级、三级阶

地地带, 含水层结构复杂, 岩土颗粒细, 透水性差, 加之地势平坦, 水力坡度小, 地下水埋深浅, 地下水径流不畅, 洼地地区甚至出露成为地表水, 地下水垂向蒸发作用强烈, 这些因素都为氟的浓缩富集提供了条件。

大荔县高氟地下水按其成因主要分为以下 2 类(图 5):

(1) 溶滤富集型: 主要在北部黄土塬区和渭河四级阶地和羌白镇一带, 由于地下水的溶滤作用, 含水层中的氟大量进入到地下水中, 并在地下水径流滞缓区富集而形成高氟地下水。

(2) 蒸发浓缩型: 分布在渭河二、三级阶地的朝邑、安仁、户家乡、许庄和步昌乡一带, 在地下水浅埋区, 地下水排泄以蒸发为主, 水分蒸发而盐分滞留在地下水中使得氟离子浓缩富集在含水介质及包气带中, 形成高氟地下水。

#### 4.5 水化学特征

通过对大荔县地下水化学资料分析, 大荔县高

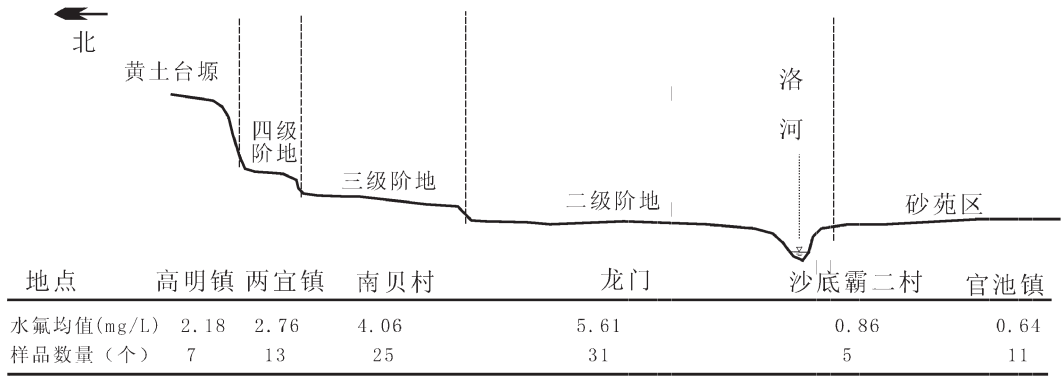


图 4 大荔县地貌与水氟的关系分析示意图

Fig.4 The relationship between geomorphology and water fluoride in Dali County



图 5 大荔县高氟地下水成因类型图

Fig.5 Genetic types of high-fluorine groundwater

氟地下水(潜水)pH 值为 7.5~8.4,呈弱碱性,水化学类型主要以  $\text{HCO}_3^- \cdot \text{Na}^+$ 和  $\text{HCO}_3^- \cdot \text{Cl}^- \cdot \text{Na}^+$ 为主,非高氟水区的水化学类型主要为重碳酸钙镁型水,根据有关研究资料也表明,碱性重碳酸钠型水是中国北方地区有利于氟富集的水化学类型<sup>[3-5]</sup>。

### 5 高氟地下水成因分析

北部黄土塬区是地下水补给区,其土壤中氟含量较高,大气降雨与地下水溶滤作用使土壤中氟进入潜水中,在水动力作用下,沿水流方向迁移。到渭

河二三级阶地后,由于地势平坦,水力坡度变小,地下水径流变慢,尤其在朝邑、安仁、户家乡、许庄和步昌乡一带,地下水位埋深较浅,地下水以蒸发排泄为主,强烈的蒸发作用使得地下水中氟离子浓缩富集,致使潜水中氟浓度增高形成高氟地下水。

## 6 结 论

(1)洛河以北广大地区地下水氟含量较高,基本上都为高氟水,在低洼地带地下水氟含量更是高达4.0 mg/L 以上;洛河以南地下水中氟含量相对较低,基本低于1.0 mg/L,为低氟水。

(2)在北部黄土塬区,大气降水在入渗过程中通过水岩作用及淋滤作用将岩土中氟元素带入地下水中,在水动力作用下,沿水流方向缓慢往南迁移,在低洼及滞留区富集,低洼及滞留区是地下水浅埋区,潜水在蒸发作用下浓缩,浓度增高,最终形成高氟地下水。

### 参考文献 (References):

- [1] 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京:科学出版社, 1985:376.  
Liu Dongsheng. Loess and the Environment [M]. Beijing: Science Press, 1985:376(in Chinese).
- [2] 李昌静. 氟在地下水中富集条件的分析 [C]//水文地球化学理论与方法的研究. 北京:地质出版社, 1985:234-235.  
Li Changjing. The analysis of fluoride concentration conditions in

- groundwater [C]//Hydro-geochemical Theory and Method of Research. Beijing: Geological Publishing House, 1985:234-235 (in Chinese).
- [3] 苏英. 咸阳市区高氟地下水的分布及水化学特征 [J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 1995, 23 (增刊):95-99.  
Su Ying. Hydrochemical characteristics and distribution of groundwater with high fluorine in Xianyang City [J]. Shaanxi Normal University (Natural Science Edition), 1995, 23 (Supp.):95-99(in Chinese).
- [4] 黄春雷, 丛源, 陈岳龙, 等. 晋南临汾-运城盆地土壤氟含量及其影响因素[J]. 地质通报, 2007, 7:878-885.  
Huang Chunlei, Cong Yuan, Chen Yuelong, et al. Fluoride content of soil and its influencing factors Jinnan Linfen - Yuncheng Basin [J]. Geological Bulletin of China, 2007, 7:878-885 (in Chinese with English abstract).
- [5] 武汉地质学院地球化学教研室. 地球化学[M]. 北京:地质出版社, 1979:305.  
Wuhan Institute of Geochemistry, Geology Teaching and Research. Geochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1979:305 (in Chinese).
- [6] 林炳营. 环境地学基础 [M]. 北京:科学技术文献出版社, 1985:344-347.  
Lin Bingying. Environment and Science-based [M]. Beijing: Science and Technology Literature Publishing House, 1985:344-347(in Chinese).
- [7] 何世春. 我国一些天然水中的氟 [J]. 地理科学, 1987, 7 (3):280-285.  
He Shichun. Some of our natural fluoride in the water [J]. Geographical Science, 1987, 7 (3):280-285(in Chinese with English abstract).

## The formation regularity of high-fluorine groundwater in Dali County, Shaanxi Province

ZHU Hua, YANG Bing-chao, ZHAO A-ning, KE Hai-ling, QIAO Gang

(Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

**Abstract:** To find out the distribution and formation conditions of high-fluorine groundwater in Dali County, Shaanxi Province, the authors made a systematic analysis from several angles, such as strata, weather, terrain and landform, hydrogeology and hydrochemistry. The results show that the high-fluorine groundwater is jointly controlled by terrain, landform and hydrogeology. Meteoric water brings fluorine element in rock and soil into groundwater through water-rock reaction during its infiltration and leaching, and such water is concentrated during the evaporation to form high-fluorine water. This research provides hydrogeological grounds for solving the problem of safe water drinking in Deli County.

**Key words:** high fluorine groundwater; distribution; formation conditions