

# 运城盆地高氟地下水水质的多元统计分析

马啸

宁夏吴忠市环境监测站

DOI:10.18686/hwr.v2i8.1454

**[摘要]** 长期饮用高氟地下水可以导致严重的地方性氟中毒。本文运用多元统计方法中的相关分析和系统聚类法分析对运城盆地地下水水质进行评价,研究了运城盆地高氟地下水中氟与其他水化学指标的相关关系和空间变化特征。分析结果表明,地下水中的氟与 pH、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{HCO}_3^-$  和温度呈现显著的正相关关系,与  $\text{Ca}^{2+}$  呈现显著的负相关关系,说明碱性环境和高矿化度有利于高氟水的形成,而较高的钙离子浓度抑制了氟浓度的上升。

**[关键词]** 运城盆地; 相关分析; 系统聚类分析; 氟

## 1 研究区概况

运城盆地是典型的干旱-半干旱第四纪沉积盆地。它还受盆地水文,水文地质条件和气候条件的控制。运城盆地是新生代断陷盆地,地形封闭。厚厚的第四纪松散沉积物(超过 500 米)沉积在盆地的中心。盆地主要含水层,冲积平原为中奥陶统砂岩和砾石层,湖泊和平原位于中,下更新世湖泊。洪水区是中下隆起的砾石层。盆地东南部的中条山主要分布着前震旦纪的片麻岩,其次是震旦系,寒武纪灰岩和砂岩。它富含裂隙水和岩溶裂隙水,北部梯田构成了沁水河和渭河的分水岭。盆地地下水补给源为大气降水和侧向流,而排泄主要基于人工开采和蒸发。地下水运动的总趋势是从中心向中心和上游向下游移动。

研究区浅层地下水(埋深小于 60 米)的氟化物含量超过 3115.5 平方公里。分布在盆地的所有县(市),氟化物含量超过 4.0 毫克/升的高氟地区分布在永济,临沂和运城县(市)。面积达 947.9km<sup>2</sup>。该盆地还有 7 个高氟富集区,氟含量为 6-12 毫克/升。盆地中,深层地下水中的氟含量超过标准面积 2837.3 平方公里。氟富集区分布在富阳,

临津,7 级和清曲,含量为 4-11.2mg/L。面积 237.7 平方公里,最大值超过 10.2 倍,导致严重氟中毒。村民几乎全部患有氟斑牙。高氟地下水的存在直接威胁着广大农村人口的饮水安全,严重危害人民的健康;同时,也造成了研究区水资源短缺,加剧了水资源供需矛盾,严重阻碍了经济发展。

## 2 研究方法

相关性分析是研究现象之间是否存在某种依赖关系,并探讨具有特定依赖性的现象的相关方向和相关性。它是研究随机变量之间关系的统计方法。系统聚类分析是一种用于定量研究分类问题的多变量统计方法。尽可能将类似的样本分成一个类,并尽可能将不同的样本分成不同的类。本文利用相关分析模块中的单相关分析模块,定量分析了地下水中 F 与其他水化学数据的相关性。根据相关分析结果,确定了地下水中 F 与其他化学成分的相关性,可作为分析高氟水形成影响因素的参考。系统聚类方法可以对研究区的地下水环境进行分类,反映其空间变化及其分布规律,并解释地下水环境的演变特征。

I — 实测定子电流, A;

k — 铜绕组取 235。

b 励磁损耗(转子绕组铜耗)修正:

$$\Delta P_{fcu} = 1 \frac{k+t}{k+75} \times \frac{I_f^2}{I_{fN}^2} \times P_{fcu(75)}$$

式中:

$\Delta P_{fcu}$ —励磁损耗修正因子, kW;

$P_{fcu(75)}$ —励磁损耗设计值, kW;

t — 励磁绕组平均温度, °C;

$I_{fN}$ —额定励磁电流, A;

$I_f$ —实测励磁电流, A。

计算出定、转子损耗修正因子  $\Delta P_{cu}$  及  $\Delta P_{fcu}$  后在总损耗

$\Sigma P$  中增加此两项, 计算效率公式仍为:

$$\eta = (1 - \frac{\Sigma P}{P_g + \Sigma P}) \times 100 \%$$

## 5 结论

发电机在额定负荷下, 实测效率值为 98.84%, 修正后效率值为 98.82%, 高于发电机技术协议所规定的保证值 98.80%。以上是本人在工作中的经验所谈, 不妥之处欢迎各位专家交流指导。

## [参考文献]

[1]丁韬,成科,钟建.冷却介质对水轮发电机效率值测算的影响[J].四川水力发电,2017(6):95-96.

[2]张少锋,付刚,杨晓辉,等.大型水氢氢冷却汽轮发电机效率与损耗测算及影响因素分析[J].河南电力技术,2011(2):4-6.

[3]李文金.量热法测量水轮发电机效率[J].水电与新能源,2016(03):36-40.

### 3 水化学环境与F-富集关系研究

本实验以30个样本所测试项目中的F<sup>-</sup>、Ca<sup>2+</sup>、T、pH、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>做相关分析,获得的相关系数P=0.783的F和pH,并且描述的F-pH是显著的正相关,也就是说,碱性环境有利于地下水中高氟的富集。首先,pH值较高对水土环境中氟的迁移影响较大,主要有以下几方面的原因:对氟解吸反应有较大的影响:首先pH值影响离子的带电性,从而影响其对固相表面的亲和力;其次,较高的pH值也会影响固相表面的性质,从而影响固体表面对离子的吸附能力;第三,较高的pH值有利于金属阳离子的吸附并促进阴离子的解吸;2pH值与土壤吸附吸附常数呈显著负相关;水土环境中大量的OH<sup>-</sup>易与Ca<sup>2+</sup>、Fe<sup>3+</sup>、Al<sup>3+</sup>生成沉淀,使阳离子与氟结合的机会减少,从而允许大量的氟释放到水溶液中。在碱性条件下,大量的OH<sup>-</sup>与粘土矿物、腐殖质和土壤胶体吸附的F<sup>-</sup>交换,使F<sup>-</sup>迁移到水中。此外加入大量的OH<sup>-</sup>以后,由于OH<sup>-</sup>与F<sup>-</sup>半径相近,能够将土壤黏土矿物晶格内的F<sup>-</sup>置换出来,因此,碱性环境有利于氟的沉淀和释放。

F和Ca<sup>2+</sup>之间的相关系数是P=-0.493,表明F与Ca<sup>2+</sup>具有非显著的负相关。当钙离子浓度达到一定水平时,这种负相关性是显著的,并且随着钙离子浓度的增加,氟离子的浓度急剧下降。原因是当氟离子浓度很小时,F和Ca<sup>2+</sup>的含量之间没有相关性,地下水与萤石也没有达到溶解平衡。钙离子浓度在一定范围内的增加或减少不会抑制萤石溶解的离子效应;当氟离子浓度高时,F和Ca<sup>2+</sup>含量之间存在负相关,这与萤石的溶解平衡一致。由于地下水系统中的萤石是饱和的,因此溶解度受系统中氟化物和钙离子浓度的控制,表明氟和钙相互作用的离子效应相同。当氟离子浓度较高时,随着F含量增加,Ca<sup>2+</sup>含量不会继续显著降低,而是保持在一定浓度。这是因为随着Ca<sup>2+</sup>浓度继续以低水平降低,萤石的溶解度迅速增加。

F与SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup>的相关系数分别为P1=0.782,P2=0.899,解释F和SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup>显示的正相关,相关系数分别为0.782,0.899。即随着SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup>含量的增加,F的含量也相应增加。这是由于在高浓度SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup>的地下水中其矿化度很高,总硬度较大,水中的高矿物质含量使地下水呈碱性,从而导致氟离子含量增加。

F与HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>的相关系数P=0.833,证明F与HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>呈显著的正相关关系,即随着HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>含量的增加,F的含量相应的增加。这是因为地下水中的HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>含量高,水中的溶液是碱性的,氟处于碱性环境中。含氟矿物的F<sup>-</sup>被OH<sup>-</sup>代替进入水中,氟基本上以氟离子形态迁移,也就是HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>盐含量多的溶液,它可以提高氟的活性,并导致水中氟含量的增加。

一般来说,高温有利于含氟矿物的溶解和吸附氟的解吸,从而导致水中氟含量的增加:当水温高时,氟离子的活性增强,使得在岩土表面吸附状态的氟易于解吸并富含水;同

时,含氟化物在岩石土壤中的溶解度增加,导致水中氟离子浓度增加。然而,F和T之间的相关系数是P=0.436,并且地下水中F与温度之间没有显著的正相关。

### 4 研究区地下水环境的空间分布规律

按5类划分,各类所包含的样品数分别为17,2,7,3,1个。A类均处于北部和东南部的基岩山区以及黄土丘陵区,该类地区,地下水具有强烈的交替循环作用,使之具有典型的溶滤水的特征。水化学类型主要是HCO<sub>3</sub>-Na或HCO<sub>3</sub>-Ca-Mg型水。B级和D级位于山前的倾斜平原。径流条件好,溶解淋滤包气带和含水层物质成分,其水化学作用为淋溶型。水化学类型主要为HCO<sub>3</sub>-Ca-Mg、HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>-Ca-Mg、HCO<sub>3</sub>-Na型,水质较好。但D类样品的F<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup>含量明显高于B类样品的,可能是源于D类所取样品点均位于汇流区盐湖附近,因此,水质恶化,氟离子,氯离子和硫酸根离子都增加。C类与E类均位于冲积平原区与湖积洼地,在此类地区,由于地下水水位接近地表或溢出,地形平坦,地下水变浓,浓缩,水化学蒸发。其矿化度升高,水化学类型为Cl-SO<sub>4</sub>-Ca-Mg、Cl-SO<sub>4</sub>-Na、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>或NaCl型,TDS比较高。此两类的硫酸根、氯化物含量基本相差不大,主要表现为微量元素锶以及硅的含量的差别。地下水中硅与锶的含量在山前达到最大,然后向汇流区逐渐减少,这可能与盐分浓缩、沉淀作用有关。

### 5 结论

通过采用不同的多元统计方法对山西运城盆地典型高氟地下水进行地下水水环境分析,获得了如下结论:

采用相关分析法计算了F与pH、Ca<sup>2+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、T、Sr、Si的相关关系,确定了F与pH、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup>、T、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>呈现显著的正相关关系,与Ca<sup>2+</sup>呈现显著的负相关关系,从而确定了氟富集与其他化学组分的相关关系,进而为分析高氟水形成的影响因素提供了有力证据。

采用系统聚类法将研究区采样点划分为A、B、C、D、E5类,其中A类代表基岩山区以及黄土丘陵区,B类与D类代表山前倾斜平原,C类代表冲积平原,E类代表湖积洼地。在对不同类地下水的分布规律分析后发现,结合当地水文地质条件和水化学类型特征,分析发现研究区从基岩山区→山前倾斜平原→冲积平原→湖沼地带,地下水氟离子、氯离子、矿化度等均呈现出逐渐增加趋势,说明地下水氟浓度上升和盐分累积过程具有一定的伴生关系。

### [参考文献]

- [1]韦婷.地下水源热泵水质性约束研究[D].合肥工业大学,2015,(12):27-29.
- [2]刘春燕,黄冠星,张英,等.佛山东部地下水BTEX分布特征与来源[J].南水北调与水利科技,2015,13(04):654-658.
- [3]刘经伦.东河水质生物指标与理化指标相关性分析[J].农业灾害研究,2015,5(05):57-58.