

我国一些天然水中的氟

何世春

(郑州煤田职工地质学院)

关键词 天然水 氟

氟是人体必需的微量元素之一。人体所需的氟一般从饮水中摄入。饮用水中氟的含量低于0.5毫克/升时,龋齿发生率高。长期饮用含氟1.5毫克/升以上的水时,可引起“氟骨症”。氟病分布有地带性和非地带性两种。地带性氟病的分布与自然地理条件有关。潮湿、多雨地带水和土壤中氟含量低,干旱半干旱气候的盐碱地带水和土壤中氟的含量高。因此,龋齿主要分布于湿润带,即元素被强烈淋溶的水文地球化学环境。氟病则主要分布于干旱、半干旱气候下元素富集的水文地球化学环境。非地带性氟病主要分布在温泉、火山和含氟矿床附近地区。

一、地表水中的氟

1. 河水氟含量

我国部分河流河水测定表明,河水中的氟含量普遍偏低,通常低于0.5毫克/升(见表1)。在干旱、半干旱气候条件下的平原地区,河流下游河水中氟离子含量略比一般

表1 我国部分河水含氟量
Table 1 Fluorine contents in some river water of China

时 间	地 点	含氟量(毫克/升)	pH	矿化度(克/升)	水 质 类 型
1961.3	西藏卡玛兰河水	0	4.1	0.16	HCO ₃ -Ca·Na
1964.6	湖北咸宁河水	0.04	7.5		HCO ₃ -Ca·Mg
1971.9	湖南宁乡灰汤河水	0.20	7.5		HCO ₃ -Ca·Na·Mg
1972.3	湖南宁乡乌江水	0.14	7.3	0.09	HCO ₃ -Ca·Na
1975.6	青海唐古拉山布曲	0.17	7.7	0.27	HCO ₃ ·SO ₄ -Ca·Na
1976.6	青海那曲河水	0.20	7.9	0.23	HCO ₃ -Ca·Mg
1979	西藏羊八井藏布曲	0.44	7.5		HCO ₃ ·SO ₄ -Ca·Na
1979	西藏拉萨河水	0.10	7.25		HCO ₃ -Ca

山区河水中高一些。但总的看,我国绝大部分河流水中氟含量都比较低。

2. 湖水氟含量

分布在我国长江中、下游流域的一些湖泊水中氟含量与长江附近地区地表水中氟含量相差不大。分布在我国青藏高原的淡水湖,因多年平均气温低,地表河水和湖水主要靠冰、雪融化补给。这些水一般很少溶解、溶滤各类岩石、矿物,所以水中氟含量也很低。分布在地下热水和矿泉水附近的湖泊,往往水中氟含量偏高。例如,我国西藏羊八井旺日错(湖水)因受羊八井地热田地下热水的影响,水中氟含量偏高。又如,我国黑

龙江省五大莲池因受矿泉水的影响，水中氟含量也较高（见表2）。在我国干旱、半干旱地区，有些湖盆由于长期盐分积累，在湖盆中心形成的化学沉积物，往往是氟的累积区。但因蒸发浓缩作用强烈，在个别湖水中氟的含量也比较高。例如，我国阿拉善的黄

表 2 我国部分湖水的含氟量

Table 2 Fluorine contents in some lake water of China

时 间	地 点	含氟量 (毫克/升)	pH	矿化度 (克/升)	水 质 类 型
1975.9	西藏纳木湖	0.30	7.3	0.18	$\text{HCO}_3-\text{Ca}\cdot\text{Na}\cdot\text{Mg}$
1975.8	西藏泽克当湖	0.00	9.5	3.13	$\text{CO}_3\cdot\text{Cl}\cdot\text{SO}_4-\text{Na}$
1978.8	西藏羊八井旺日错	2.00	8.7	0.22	HCO_3-Na
1975	西藏亚东多钦湖	3.75	7.7	1.39	$\text{SO}_4-\text{Mg}\cdot\text{Na}\cdot\text{Ca}$
1975	西藏泽格丹湖	0	9.50	22.82	CO_3-Na
1960.7	黑龙江省五大莲池	3.4	6.4	0.18	$\text{HCO}_3-\text{Na}\cdot\text{Ca}$

羊湖，每升水中含氟量达 6.2 毫克；吉格德诺尔为 9.1 毫克/升；诺尔湖为 10.0 毫克/升^[7]。可见，分布在干旱、半干旱气候条件下的湖水比湿润气候条件下的湖水含氟量高。

3. 海水氟含量

我国河北省渤海水域氟含量为 1.08 毫克/升。辽宁省兴城渤海水域氟含量为 1.00 毫克/升。虽然都略低于海水中平均含量（1.30 毫克/升），但含量比较稳定。

二、地下水中的氟

1. 氟在地下水中的形成和富集

天然水中的氟来自自然界的岩石和矿物。笔者曾用北京西郊温泉村、良乡东关和白龙潭等地采集的奥陶纪石灰岩、震旦纪硅质石灰岩、花岗岩等岩石样品，作岩石溶滤实验。结果表明，北京附近的燕山期花岗岩、震旦纪硅质石灰岩和奥陶纪石灰岩均含有氟。但不同岩石中氟含量不相同（表3）。各种含氟矿物在水中的溶解度是很不相同的。萤石（ CaF_2 ）在 18℃ 的 100 毫升水中能溶解 1.6 毫克，冰晶石（ Na_3AlF_6 ）在 25℃ 水里的溶解度为 0.417 克/升。因此，当地下水、地下热水和地表水径流通过含氟矿物或岩石

表 3 不同岩石的氟溶滤量

Table 3 Fluorine contents in dissolution-filtration water from various type rocks

分析编号	采样地点及岩石种类和重量	溶滤水 pH	溶滤后水里氟 量 (毫克/升)	备 注
64—385	北京良乡硅质石灰岩内结晶体 0.29 克	7.00	12.40	此表 64—388 和 64—389 两个样品取样时间、地点、种类相同，因溶滤水的 pH 值不同化验结果不同。
64—386	北京良乡硅质石灰岩 300 克	7.00	1.20	
64—387	北京白龙潭花岗岩 300 克	7.00	2.10	
64—388	北京温泉村奥陶纪石灰岩 300 克	7.00	0	
64—389	北京温泉村奥陶纪石灰岩 300 克	9.00	0.095	

时，水中就溶有氟。但在自然界，水中氟的富集除了与岩石、矿物中氟的绝对含量有关

以外,还与气候条件、地形地貌条件、水文地质条件、土壤岩性条件以及水本身的温度、化学组成、矿化度、pH 等有关: 1) 气候条件: 在干旱、半干旱的大陆性气候条件下,多年平均降雨量远小于多年平均蒸发量的地区,由于蒸发量远大于降雨量,蒸发成了浅层地下水的主要排泄方式,蒸发浓缩作用的结果,使浅层地下水和包气带内有大量的氟富集。2) 地形地貌条件: 在地形低平洼地,尤其是一些槽形、蝶形封闭洼地里,凹地地形是高氟水形成与赋存的良好场所。由于凹地中地势低洼,水位埋藏浅,水力梯度小,地下水径流甚为迟缓,是涝碱相随,碱性土壤发育,地表盐渍化,水中含氟量高。浅层高氟水分布与地形地貌的关系有如下特征: a) 同一地质结构、不同地形地貌单元,氟含量不一。当含水层位于凹地、掩埋凹地时水里氟含量高;当含水层位于岗地时,水氟含量低。b) 同一地形地貌单元、不同地质结构,水氟含量不一。在含水层次少的地带水氟含量低,含水层次多的地带水氟含量高。c) 同一地形地貌单元、同一地质结构、取水深度不同,水氟含量不一。取水深度位于含水砂层顶板以上者水氟含量高,反之则低。d) 同一地形地貌单元、同一地质结构、同一取水深度,因水井使用程度不同,水里含氟量不一。新井含氟高,老井低;不常用的井水含氟高,常用的井水含氟低。3) 水文地质条件: 地下水埋藏浅,水力坡度小,水平径流滞缓,以蒸发浓缩作用为主,有利于氟的富集。由于地下水径流条件差,侧向流动十分微弱,不利于水中氟向四周侧向运移。由于水的蒸发作用,天长日久,日积月累,增加了地下水中氟的含量,形成浅层高氟地下水。4) 地层岩性条件: 粘土类>亚粘土类>亚砂土类>极细砂>细砂>细中砂。近期砂土沉积,有利于降水入渗和地下水向上垂直蒸发,碱性土壤和水的浓缩作用增强,含水层颗粒越细,蒸发浓缩作用越强,因而易于高氟水的赋存。5) 水文地球化学条件: 在盐渍化、苏打化凹地、低洼易涝盐碱地,掩埋凹地的碱性土壤环境是浅层高氟水富集的有利水文地球化学环境。在干旱半干旱气候条件下,由于浅层地下水的蒸发作用,水里 Na^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等离子含量增加,水的矿化度增高。pH 值大的碱性环境,有利于土壤积盐、脱盐、易形成富氟地层和富氟盐渍土,增强土壤对氟的吸附和浓缩,为氟富集提供了场所。6) 水温条件: 水温高的,其氟含量高于水温低者。

上述水氟富集因素中,蒸发浓缩作用是浅层高氟地下水形成的主导因素。因此,降低地下水位到蒸发极限深度以下,促使地下水循环交替,加快水体更新,破坏氟的富集条件,有利于水质保护。当浅层地下水埋藏深度大于 4 米时,地下水的蒸发极限深度位于包气带中,水中氟的浓缩作用减弱,水氟含量降低。

2. 寻找低氟地下水的方向

在干旱半干旱地区,浅层高氟地下水以下,往往有含氟量低的地下水存在。因此,一般打深井可找到含氟量低的地下水。例如,山西省太原市交城平原地形洼地,是地下水埋藏浅、径流不畅的洼地。这里处于蒸发浓缩作用强烈的干旱半干旱气候带,多年平均降水量 450.08 毫米,年蒸发量平均达 1800 毫米。随着水的蒸发,浅层地下水逐渐浓缩,矿化度不断提高,水中氟含量逐渐增高。地下水中氟含量在垂向有随深度增加逐渐减少的趋势。在这里,只要开采埋藏深度大于 150 米的地下水,水中氟含量就可达到饮用水标准。又如赤峰地区,高氟水下同样存在着低氟水,水中氟含量一般 0.6—0.8 毫克/升^[6],也是可供开采饮用的地下水源。

在干旱半干旱地区，低氟地下水往往顺地表水体成条带状分布，这是由于含氟量低的地表河水长期渗入补给地下水的结果。人们可以利用这一低氟地下水作为饮用水的水源。如山西太原市交城平原盐碱地区，地下水埋藏越浅，水矿化度越高，即 Na^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等离子含量越高，水中氟含量也越高。但是，在有地表水体影响的地段，浅层地下水氟含量明显降到 1.0 毫克/升以下，虽属局部地段，同样可以作为饮用水源开采。

我国浅层高氟地下水分布面积很广，有些地方中、深层地下水氟含量也偏高，尤其是在干旱半干旱气候条件下的内陆盆地、沿海地带和豫东黄河冲积平原，是我国防氟改水的重点地区。

三、温泉和地下热水中的氟

我国温泉和地下热水中的氟含量普遍比较高（表 4），且与其水化学组成有一定的关系。

笔者曾利用西藏羊八井地热田温泉和地下热水自流钻孔水的水质分析资料，作出水中氟离子含量与水矿化度关系图（图 1），发现羊八井热水中氟离子含量随水的矿化度

表 4 我国一些温泉和地下热水中的氟含量及化学组成

Table 4 Fluorine contents and chemical composition in warm spring and underground hot water of China

样 点	含氟量 (毫克/升)	矿化度 (克/升)	pH	阳离子 (毫克/升)			阴离子 (毫克/升)			
				$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	Ca^{++}	Mg^{++}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	CO_3^{2-}
广东省东山湖温泉	9.40	1.14	7.64	386.6	17.9	1.21	531.0	45.2	85.0	0
广东省从化温泉	11.60	0.32	7.72	87.8	14.0	0	8.55	10.40	212.0	0
广东省陆川温泉	10.0	0.49	7.55	135.9	11.9	0	15.5	159.4	136.1	0
湖南省灰汤温泉	9.50	0.22	8.8	94.67	1.06	0	8.60	5.04	138.3	31.6
湖北省咸宁温泉	3.80	1.99	7.4	24.15	466.5	80.89	7.09	1340.2	163.69	0
河南省临汝温泉	7.80	1.90	7.3	538.66	105.21	13.38	341.8	687.3	329.5	0
陕西省临潼温泉	5.80	0.85	7.62	248.29	40.83	3.62	156.15	249.89	194.53	0
江苏省南京汤山	3.80	1.80	7.36	51.13	389.67	57.24	8.07	1125.31	158.9	0
山东省威海疗养院	3.00	14.54	6.8	3949.5	1564.3	6.29	8574.2	326.68	93.78	0
山西省寺平安温泉	7.00	0.81	7.1	215.41	53.85	3.70	190.68	206.54	137.07	0
河北省平山温泉	8.50	1.74	7.6	571.30	30.06	6.81	567.60	377.04	124.47	15.60
北京小汤山温泉	6.30	0.51	7.3	91.20	40.3	15.1	28.4	63.3	271.1	0
辽宁省汤岗子温泉	16.0	0.48	9.13	154.79	5.04	0	48.11	135.04	69.93	24.76
青藏公路126道班	1.10	1.30	8.2	382.78	54.9	62.8	30.79	15.30	1194.3	115.77
西藏羊八井温泉	9.0	1.59	8.3	476.33	18.54	1.22	480.9	35.0	285.07	22.24

的增高而显著增高。利用北京小汤山温泉水的分析资料作图，也可见到同样的情况。此外，西藏羊八井地下热水和北京小汤山温泉水中的氟含量均随氯离子增加而增高。由于地下热水矿化度高者阴离子主要是氯离子，所以在矿化度高的地下热水里，氟离子含量往往很高。

温泉和地下热水中氟离子含量与水中钠离子呈正相关。因为, 钠盐是易溶盐类。溶解度相当大, 在地下热水里的溶解度更大。地下热水矿化度高者, 其阳离子主要是钠离子, 而氟的钠盐和钾盐又是易溶盐类, 因此, 水里氟的含量随着钠离子含量增多而增高。正因为如此, 在所有盐碱地区的浅层地下水中, 钠离子含量高, 矿化度高, 氟的含量也比较高。一般盐碱地区地下水中氟的含量都超过饮用水的标准。故此, 盐碱地区的居民以及牲畜常患氟中毒。我国的盐碱地区往往是氟病的分布区。

温泉和地下热水氟含量与水中钙、镁离子呈负相关。在白云岩等碳酸盐岩石分布的山区, 水化学类型多为低矿化度的重碳酸钙、镁型。在这种重碳酸盐型地下水中, 氟离子含量普遍比在氯化物或硫酸盐型地下水中低。

温泉和地下热水中氟离子含量随着 pH 值的增加, 也就是随着水的碱性增加而增高。

温泉水和地下热水含氟高的主要原因是受温度影响。氟是地下热水的标志元素。在所有地下热水和天然温泉水里, 氟的含量普遍比同一地区的一般地下水都高。根据这一原理, 可利用冷、热水中氟含量的差别来寻找地下热水和圈定地热田的范围。

四、结 语

天然水中氟的分布是有规律的, 它可分为地带性和非地带性两种类型。地带性氟的分布受气候、地质地貌、岩性、土壤酸碱性质和天然水的温度、pH 值、矿化度、水化学成分等影响; 非地带性氟的分布主要受温泉、地下热水、火山和含氟矿床等制约。

由含氟岩石、矿物溶滤作用形成的天然水中的氟含量差异很大。在湿润条件下, 一般地下水含氟甚低; 在蒸发作用大于降水的干旱半干旱气候条件下的盐碱地区, 浅层地下水中氟离子含量很高。河水氟离子含量一般比较低。湖水氟含量变化幅度较大。温泉和地下热水中氟含量都比较高。

天然水中氟的含量与水中钠、氯离子含量及矿化度呈正相关。在酸性土壤分布区, 因 pH 值偏低, 水中氟含量一般较低。在盐碱地区, 地下水中的氟含量则比较高。在盐碱地区的同一地点, 因含水层粒度不同, 地下水含氟量也不同, 细粒含水层中的地下水, 氟离子含量比粗粒含水层中高。在地下水径流条件较好或有地表水渗入淡化的地带, 地下水中氟含量较低。盐碱地区的低氟地下水往往沿河流两岸呈条带状展布。

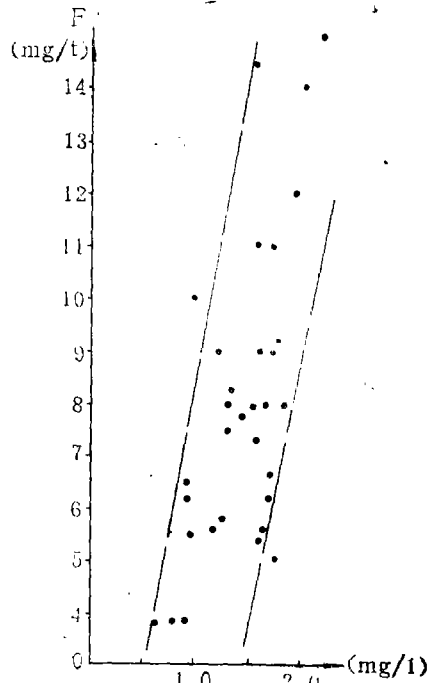


图 1 羊八井热水矿化度—氟离子的关系

Fig.1 Relationship between the rate of mineralization and fluoride ion in underground hot water of Yang Ba Jing

参 考 文 献

- [1] 何世春：北京小汤山热矿水成因初步探讨，《地质论评》，23卷5期，1965。
[2] 何世春：饮水氟与人的健康，《环境保护》，第1期，1978。
[3] 李长荣：内蒙古阿拉善山区基岩裂隙水的基本特征，《长春地质学院学报》，第4期，1983。
[4] 何世春：羊八井地热田水文地球化学特征，《中国地质》，第6期，1983。
[5] 何世春：冀中平原地下热水特征，《中国地质》，第11期，1984。
[6] 高照山：赤峰地区高氟地下水的分布与形成初探，《水文地质工程地质》，第2期，1986。
[7] 韩清：阿拉善荒漠天然水中氟的化学地理，《化学地理研究文集》，第12页，科学出版社，1985。

FLUORINE IN SOME NATURAL WATER OF CHINA

He Shichun

(Zhengzhou Geology college of Coalfield Staff and Workers)

Key words: Natural water; Fluorine

ABSTRACT

Fluorine is distributed in natural water regularly, by way of zonal or nonzonal distribution. The zonal distribution of fluorine is closely related with weather, topography, landforms, the acid and alkali nature of soils and the temperature of natural water. The nonzonal distribution is mainly related with warm springs, underground hot water, volcanos and the regions associated with deposit containing fluorine.

In nature, the rocks containing fluorine are dissolved in water by water disivation. The fluorine contents in natural water is quite different. Under humid climatic conditions, underground water contains a small amount of fluorine. In saline alkali regions under dry climatic conditions, shallow ground water contains a large amount of fluorine. The water in rivers contains a small amount of fluorine. The fluorine contents in lakes are quite different. The fluorine content in sea water is stable. Warm springs and underground hot water contain a large amount of fluorine, so they can not be drunk.

The amount of fluorine in natural water is proportional to Na^{+1} , Cl^{-1} , SO_4^{-2} and mineralized degree. Even in a same place, ground water contains a small amount of fluorine in water-bearing strata with coarse particles, and a large amount in strata with fine particles. In saline alkali regions, the water in deep wells contains a small amount of fluorine. Sometimes the water containing a small amount of fluorine can be found on certain sections of river banks. This kind of water can be used as sources water. This paper points out the way to look for the water containing a small amount of fluorine.

目标规划法在水文模型参数识别中的应用

周成虎 汤奇成

(中国科学院地理研究所, 北京)

地理科学 7(3), P249, 图2, 表6, 1987

本文论述了目标规划法在水文模型参数识别中的应用, 详细地介绍了其基本思想和计算步骤, 并把目标规划法的计算结果与最小二乘法的计算结果进行对比分析, 认为目标规划法是识别水文模型参数的一种新的较好的方法。

... ..

若尔盖高原黄河古河道及其古地理意义

孙广友 张文芬

(中国科学院长春地理研究所)

地理科学 7(3), P266, 图2, 表8, 1987

若尔盖高原采日玛至玛曲之间的沿泽洼地, 是黄河的一段古河道。白河对黄河的袭夺是形成这段古河道的直接原因。古河道的地面高度和组成物质相当于现代黄河的二级阶地, 即发育于中更新世。从地貌和地层分析, 古黄河在若尔盖高原曾大范围摆荡, 遗留下许多宽谷治泽, 蕴藏着丰富的泥炭资源。

... ..

我国一些天然水中的氟

何世春

(郑州煤田职工地质学院)

地理科学 7(3), 280, 图1, 表4, 1987

本文报道了天然水中氟的分布, 指出地带性氟的分布受气候、地质地貌、岩性、土壤性质和天然水的温度、pH 值、矿化度、水化学组成等影响, 非地带性氟的分布主要受温泉、地下热水、火山和含氟矿床等制约。研究结果对地方性氟病的分布和防治研究有重要参考价值。

渭北旱原的降水与蒸发

韦省民

(西北大学地理系, 西安)

地理科学 7(3), P255, 图2, 表8, 1987

本文从气候学角度对陕西省渭北旱原的水分收支(降水与蒸发)状况进行了分析。利用西安1932—1980年降水资料将本区各站降水资料延长到49年, 得出本区各级保证率降水量。利用彭曼公式, 考虑海拔因子, 计算出本区的水面蒸发与蒸发力; 验证了贝利公式, 计算出本区的年实际蒸发, 得出本区的水余亏量。

... ..

松花江流域水体中汞的环境背景值

齐少华

(中国科学院长春地理研究所)

地理科学 7(3), P273, 表7, 1987

表本文按水文地理特征采集松花江流域未受污染的水样95个、悬浮物样53个、鱼样100个、沉积物样144个。其汞的分布类型大多呈正态和对数正态分布。流域水体中汞的背景值分别为水—0.009—0.025ppb、悬浮物—0.651—2.757ppm、鱼—0.050—0.254ppm、淤泥级沉积质—0.016—0.070ppm 和沙质沉积物0.008—0.023ppm。

... ..