

DOI: 10.3969/j.issn.1004-6933.2012.06.015

南阳盆地浅层地下水中氟的分带性分布特点及其成因

宁立波, 卜新峰, 莫春雷

(中国地质大学(武汉)环境学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 分析南阳盆地浅层地下水中氟的分布特点, 结果表明, 南阳盆地浅层地下水中氟的质量浓度总体上呈现出从山区到平原区逐渐升高、从河流的上游到下游先升高后降低的趋势。运用地下水流动系统理论并结合研究区水文地质条件, 探讨这种氟的分带性分布的成因, 认为地下水流动系统源区至汇区的空间异质性是产生地下水中氟分带性分布的根本原因。

关键词: 地下水; 氟; 分带性分布; 地下水流动系统; 南阳盆地

中图分类号: P641 文献标志码: A 文章编号: 1004-6933(2012)06-0066-04

Zonation characteristics of fluorine and its causes in shallow groundwater in Nanyang Basin

NING Li-bo, BU Xin-feng, MO Chun-lei

(School of Environmental Studies, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China)

Abstract: The characteristics of fluorine distribution in shallow groundwater in the Nanyang Basin were analyzed. The results show that the fluorine concentration increases gradually from mountainous areas to plain areas, and increases initially and then decreases from the upper reaches to the lower reaches of the river. Based on the hydrogeological conditions of the study area, the groundwater flow system theory was used to analyze the causes of the zonation. The conclusion is that the spatial heterogeneity of the groundwater flow system from the recharge area to the discharge area is the main cause of the zonation.

Key words: groundwater; fluorine; zonation; groundwater flow system; Nanyang Basin

分带性是自然界一种广泛存在的现象, 如, 气候带分布、植被分布以及地貌形态等, 一般都存在地域上的分带性^[1-2], 这已经为人们所认识和了解。地质也存在分带性, 如地质构造、土壤分布和地球化学元素分布等^[3]。国内的一些学者对这种现象进行了研究。李志刚等^[4]对淮北平原浅层高氟地下水成因进行研究, 认为浅层高氟地下水的分布具有明显的区域性规律; 林学钰等^[5-6]对松嫩平原高氟水的分布规律进行了深入的研究, 认为松嫩盆地地下水中氟的质量浓度有着明显的分带性特征: 从盆地边缘到盆地中心, 地下水中氟的质量浓度逐渐增加; 王根绪等^[7]对西北干旱区地下水中氟的分布规律及环境特征进行了研究, 认为随着西北干旱区内陆水系从产生到消亡的演变, 从山区至山前细土平

原, 氟含量具有显著的淋溶-径流、径流-蒸发与溶滤-蒸发-浓缩富集 3 个水化学分带。

但水中氟的分带性分布的成因机理却鲜有人进行分析, 多数学者仅从水化学角度对高氟水的成因进行了研究, 而对高氟水的分布规律, 尤其是分带性现象, 很少进行动力学机制方面的探讨。笔者运用地下水系统理论对南阳盆地浅层地下水中氟的分带性分布展开研究, 并初步探讨这种分布的动力学机制。

1 地质背景条件

南阳盆地是一个西、北、东 3 面环山、微向东南倾斜开口的半开启扇形盆地, 处于我国“第二台阶”与“第三台阶”的交汇处, 位于秦岭、大巴山以东, 桐柏山、大别山以西, 其北面为秦岭山脉东端的伏牛山

基金项目: 国家自然科学基金(40802057)

作者简介: 宁立波(1966—), 男, 副教授, 博士, 主要从事水资源污染与评价方面的科研与教学工作。E-mail: ninglibo200294@163.com

地,南面为大巴山脉的东端。

研究区地形由于受构造的控制而具有南陡北缓的特点,侵蚀及剥蚀山地主要分布在其北部和西部,东部多分布有剥蚀岗地,西南和东南分布有低山丘陵,中部为冲洪积(或冲湖积)平原。研究区北部开阔,向南逐渐收缩,河流间的部分河间地块之中有槽型洼地的存在,平原和山区之间的交接带零星分布有垄状和鼓状岗地。研究区地形起伏较大,海拔最高达1491.1 m,最低为80 m。这种特有的地形地貌条件塑造了研究区内河流及地下水的流动趋势:唐河与白河两大水系的补给区和源区都在研究区北部山区,河流流向以由北向南、西北至东南和东北至西南为主。大气降水所产生的地表径流对研究区周边广大基岩山区和低山丘陵地区产生侵蚀和搬运作用,为盆地内平原区第四系沉积物的形成提供了有利的条件。

研究区内地层主要有古元古界—新生界地层、白垩系至下第三系沉积层以及第四系地层,其中第四系地层覆盖了盆地中部的大部分平原。松散岩类孔隙水主要赋存于研究区内平原及部分岗地的第四系及第三系松散沉积物的孔隙内。松散岩类孔隙水占据了研究区内地下水较大的面积和范围,是研究地下水中氟分布情况的主要对象和重要载体。为了便于研究和对不同深度范围内孔隙地下水中氟的质量浓度分布规律的表达,对南阳盆地内分布广泛的松散岩类孔隙水,以地下水位埋深作为区分浅层、中深层地下水的标准,以50 m地下水埋深为界,将50 m以上的浅层地下水作为本次研究的主要对象。

2 浅层地下水中氟的分布特点

2.1 取样点布置及地下水中氟的质量浓度特征

为了解南阳盆地浅层地下水中氟的分布规律和特点,于2010年8月在研究区内采集地下水样品248份,地下水样采集点在南阳盆地各区域内分布相对均匀。取样点位置见图1。

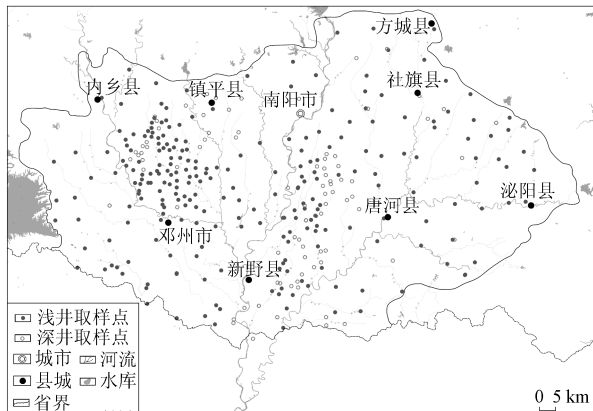


图1 研究区地下水样采集点分布

依据水样的水质分析统计结果,得出南阳盆地地下水中氟的质量浓度特征参数(最小值0.04 mg/L,最大值2.90 mg/L,平均值为0.48 mg/L,总样本数据的标准差为0.32)与地下水样品分类统计表(表1)。南阳盆地地下水中氟的最小质量浓度与最大质量浓度之间相差70余倍,其0.48 mg/L的质量浓度均值低于适宜饮用水中氟的质量浓度标准值(0.5~1.0 mg/L),而其总样本数据的标准差为0.32,说明样本之间氟的质量浓度差异较为显著。

表1 地下水样品分类统计

类别	样品数/个	百分比/%
低氟水 ($\rho(\text{F}^-) \leq 0.5 \text{ mg/L}$)	123	49.60
中氟水 ($0.5 \text{ mg/L} < \rho(\text{F}^-) \leq 1.0 \text{ mg/L}$)	118	47.58
高氟水 ($\rho(\text{F}^-) > 1.0 \text{ mg/L}$)	7	2.82

2.2 地下水中氟的分带性分布

基于对水中氟的质量浓度与人体健康关系的认识,依据国家生活饮用水卫生标准,并结合南阳盆地地下水中氟的质量浓度的实际情况,对南阳地区地下水进行划分,见表1。在水化学分析统计结果的基础上,考虑水动力条件、地形地貌条件以及河流的分布情况,绘制出南阳盆地浅层地下水中氟的质量浓度等值线图(图2)。由图2可以看出,南阳盆地大部分地区浅层地下水中氟的质量浓度小于1.0 mg/L,局部地区水中氟的质量浓度超过国家饮用水标准的限值1.0 mg/L。

南阳地区的高氟地下水所表现出的分带性特点较为明显:

a. 低氟地下水集中分布在盆地上游的山区、山前地带以及丘陵垄岗地带。盆地周边靠近山区的倾斜平原带和丘陵垄岗带上游的地下水以低氟地下水为主,主要分布在内乡县—邓州市以西、镇平县—南阳市—社旗县以北以及唐河县—泌阳县东南的地区;

b. 越往盆地的中心部位,水中氟的质量浓度越高。盆地中部以中氟地下水为主,局部地区存在高氟地下水。中氟地下水主要分布在盆地中部湍河与赵河、赵河与潦河以及白河与唐河之间的河间地区。

c. 高氟水伴随中氟水以“插花状”形式出现。盆地中部靠近盆地开口的下游地区的低洼地以及河间地块的水中氟的质量浓度较高,一般在1.0~1.2 mg/L之间,主要分布在官庄镇—施庵镇—溧河铺镇一带;局部地区水中氟的质量浓度超过2.0 mg/L,如在新野县溧河铺镇高庄村所取的水样中,氟的质量浓度最高可达2.9 mg/L。此外,河沿岸局部地段有高氟水零星分布,但氟的质量浓度一般不超过2.0 mg/L。

地下水中氟的质量浓度总体上呈现出从山区到

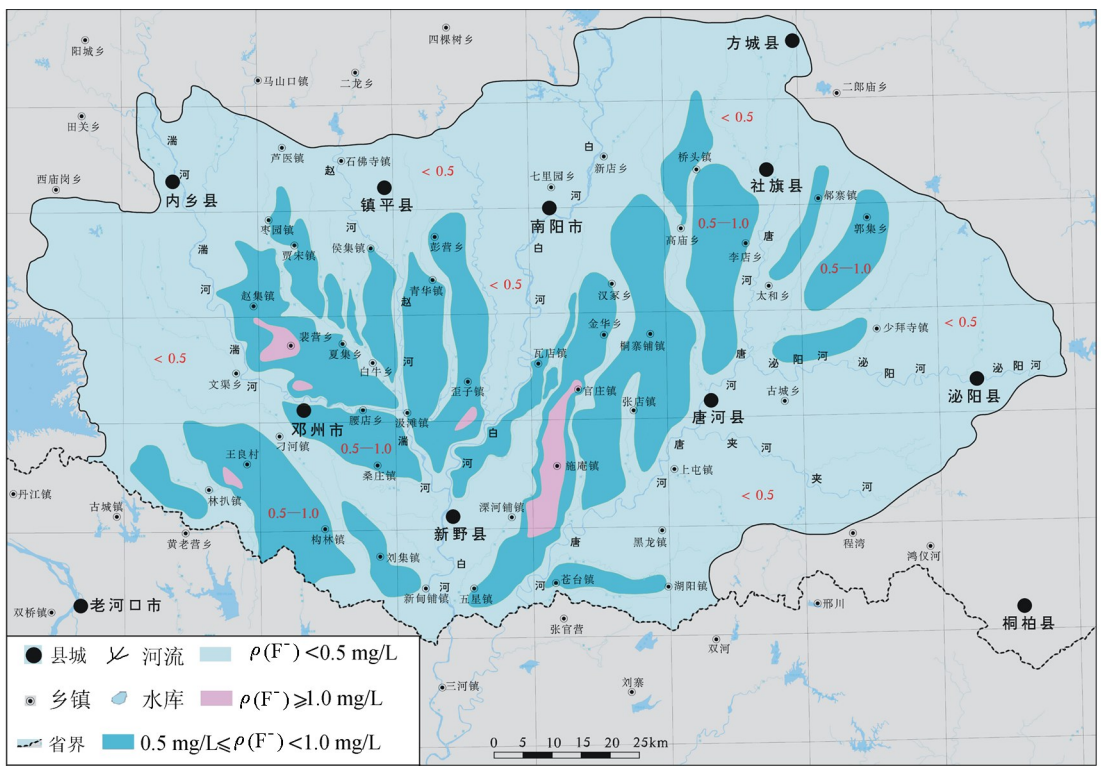


图2 南阳盆地浅层地下水中氟的质量浓度等值区

平原区逐渐升高,从河流上游到下游先升高后降低的趋势。为了更好地说明这种分带性,以河流为参照,分别统计南阳盆地西部的湍河、中部的白河以及东部唐河的上、中、下游地段(这些河流的上、中、下游同时可以代表南阳盆地区域的源区、中间区和汇区)部分浅层地下水中氟的质量浓度值,绘制出浅层地下水中氟的质量浓度沿河流向变化情况图(图3)。

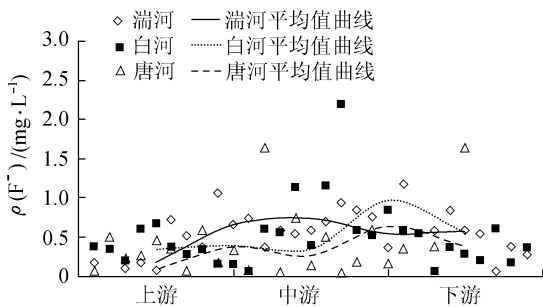


图3 浅层地下水中氟的质量浓度沿河流向变化情况

由图3可以看出,总体上地下水中氟的质量浓度沿河流的上、中、下游呈现出先增大后减小的趋势,分带性分布的特点更为明显。在河流的上游地区,低氟水出现的频率很高,水中氟的质量浓度相对较低,一般在 0.3 mg/L 左右,极少出现高氟水;相对于河流的上游,中游以及靠近中游的上、下游地区,中氟以及高氟地下水出现的频率较高,水中氟的质量浓度最高可达 2.0 mg/L 以上;在河流的下游分布有中氟以及低氟地下水,但低氟地下水出现的频率远小于河流的上游地区,且水中氟的质量浓度大多接近于 0.5 mg/L ,局部伴随出现高氟水。

3 氟的分带性分布成因

南阳盆地作为一个相对独立和较为完整的地质构造单元,其独特的地形、地貌特点为盆地内部“源”、“汇”齐全的地下水流动系统的形成和发育提供了天然有利的条件。就地下水流动系统而言,南阳盆地周边侵蚀中低山区构成了盆地内地下水的源区,中部平原区是整个南阳盆地区域地下水流动系统的汇区,而山前倾斜平原的上部以及部分丘陵地带则成为连接源与汇的中间过渡带。完整的源区、过渡区以及汇区的水氟分布特征在南阳盆地得到了充分的体现。

然而,无论是地下水的源区还是汇区,不同的位置由于地形的起伏会引起地势的变化,从而为更低级别地下水流动系统的源区和汇区的形成提供了条件,低级别的地下水流动系统嵌套在较高级别的地下水流动系统之中,形成了多样化的补排关系。当不同级别的地下水流动系统互相嵌套、交错分布时,在水平方向和垂直方向上都会呈现出一定氟的分带性分布的现象。

一般来讲,作为区域地下水流动系统的源区,水中氟的质量浓度较低,而汇区水中氟的质量浓度较高,但在局部地下水流动系统的影响下,也会产生一定的“反差”(图4)。例如,作为南阳盆地区域地下水流动系统汇区的中部平原,其水中氟的质量浓度并不是都高,局部地区存在一定的高低差异。另外,

浅层地下水受局部地下水流动系统的影响较大,而深层地下水主要受区域地下水流动系统的影响。不同层级地下水流动系统的地下水径流循环交替特点也影响着水中氟的迁移和富集情况。

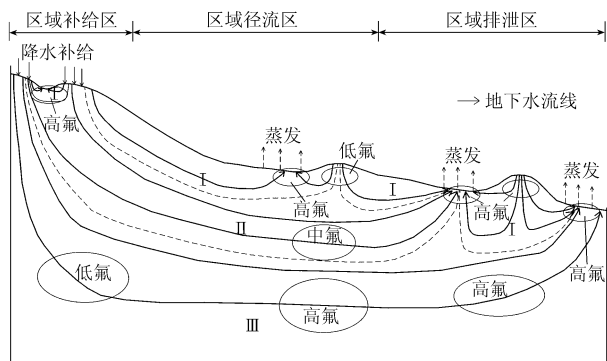


图4 地下水流动系统嵌套分布示意图

广大的山区作为整个盆地地下水的源区,由于降水丰富,且常出现局部暴雨,长期的水流侵蚀作用造成地形下切剧烈,降水多形成河流向盆地内排泄的态势,这里地下水及地表水的更新周期短,水循环交替快,从而水岩作用不充分,水土流失较为严重,而基岩的风化产物多以水流搬运的形式在山前以及中部平原堆积,加上基岩本身的氟脱出能力非常有限,以及蒸发强度较弱,所以,虽然岩石中的含氟量较高,但广大山区水中氟的质量浓度却很低。

相对于平原区来说,山前地带以及山区与平原的过渡带,其所处的位置离地下水的源区——周围山区较近,地下水的流程相对较短,而这一地带多以倾斜平原、丘陵以及低山为主,地形条件不利于地下水的汇集,水流的流速相对较快,交替更新周期相对较短,加上岩性较粗,含砂量较大,使得水岩作用的程度相对不充分,而本区相对较大的地下水水位埋深也导致蒸发强度较弱,这些都足以引起山前地带的地下水中氟的质量浓度呈现出相对于中部平原区较低的特点。而由于本区接纳山区排泄水流的同时构成了平原区的“源区”,整体上处于区域地下水流动系统的中间位置,所以水中氟的质量浓度表现出来既非“源”的特征,又非“汇”的特点,是一种中间状态。随水流搬运、堆积至本区的基岩的风化、半风化产物进一步风化成土,部分氟由结合态或者吸附态转化为游离态得到释放,以及一些地带岩性变化较为复杂(砂与黏土互层、交错分布),导致水岩调节过程增多、程度增强,从而为这些地区的地下水向中氟水演化的趋势提供了有利条件。

而作为区域地下水汇区的南阳盆地中部平原区,由于受周边山区地表水和地下水的补给,随地下水迁移的氟源源不断地聚集于此,加上离地下水的源区较远,地下水流程大大加长,而中部平原区的地

形非常平缓,地下水流速缓慢,且水循环交替的周期长,蒸发浓缩作用强烈,水流的速度从源到汇经历了由快到慢的过程,在整个流程上接触了更加多样的岩土介质,水岩调节过程更多,水岩作用因此较为充分,地下水中氟的质量浓度也随着盐分的聚集而不断升高。此外,由于南阳盆地平原区是河南省小麦、玉米、棉花以及烟叶等农作物的高产区,农业灌溉比较常见,传统的“漫灌式”灌溉方式无疑加剧了区域内水分的大量蒸发,进而导致本区土壤包气带积盐,氟在表层土壤中的堆积为其进一步向地下水中的迁移提供了条件。

4 结论

a. 南阳盆地浅层地下水中氟的分布具有明显的分带性特征,表现为从盆地周围的山区到中部平原区水中氟的质量浓度逐渐升高;山区以及山前地带水中氟的质量浓度较低,以低氟地下水为主;平原区则以中氟以及高氟水为主,低氟水的分布较少。

b. 这种水中氟的分带性分布是地下水流动系统的源区至汇区环境条件的差异引起的。在一定条件下,汇区聚集了源区迁移来的氟,从而呈现出水中氟的质量浓度由源区到汇区由低到高的变化趋势。

参考文献:

- [1] GUILLEN J, PALANQUES A. A shoreface zonation in the Ebro Delta based on grain size distribution [J]. *Journal of Coastal Research*, 1997, 13: 867-878.
- [2] SARKAR A, GUHA A K. Pleistocene paleoclimatic zonation in northern Indian Ocean as revealed from *Globorotalia Menardii* abundance, Indian [J]. *Journal of Marine Sciences*, 1997, 26: 84-87.
- [3] NAITO K, FUKAHORI Y, PEIMING H, et al. Oxygen and carbon isotope zonations of wall rocks around the Kamioka Pb-Zn skarn deposits, central Japan: application to prospecting [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1995, 54: 199-211.
- [4] 李志刚, 蒋金柱. 淮北平原浅层高氟水成因与改水 [J]. *安徽地质*, 1997, 7(4): 121-123.
- [5] 林学钰, 陈梦熊, 王兆馨, 等. 松嫩盆地地下水资源与可持续发展研究 [M]. 北京: 地震出版社, 2000: 68-90.
- [6] 廖资生, 林学钰. 松嫩盆地的地下水化学特征及水质变化规律 [J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2004, 29(1): 97-102.
- [7] 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): 153-159.

(收稿日期: 2011-09-09 编辑: 彭桃英)