

文章编号:1673-9469(2008)03-0098-03

隆尧县高氟地下水的分布特征与利用

陆斌法¹,杜文堂²,杨会双³,李曦滨¹,张敬凯²

(1.中国煤田地质总局 第四水文地质队,河北 邯郸 056000;2.河北工程大学 资源学院,河北 邯郸 056038;3.河北省地勘局 第十一地质大队,河北 邢台 054000)

摘要:依据大量地下水化学分析资料,揭示了高氟地下水的分布规律和水化学特性,并从气候、地貌、地层岩性和水文地球化学环境等方面分析了高氟地下水的形成机理。认为高含氟地层的存在是形成高氟水的基础,地貌、气候和水文地球化学条件是三个重要的控制因素,并建立了地下水中氟含量与相应深度地层氟含量的关系式,用于指导低氟地下水的寻找与开发。

关键词:高氟地下水;分布成因;水化学环境;隆尧县

中图分类号: X143

文献标识码: A

Research on distributed characteristic and formation of high fluorine groundwater in Longyao

LU Bin-fa¹, DU Wen-tang², YANG Hui-shuang³, LI Xi-bin¹, ZHANG Jing-kai²

(1. The Fourth Hydrogeological Team of China National Administration of Coal Geology, Handan 056000, China;
2. College of Natural Resources, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China;
3. No.11 Team, Hebei Geological Prospecting Bureau, Xingtai 054000, China)

Abstract: The hydro-chemical characteristics and distribution of groundwater with high fluorine in Longyao are revealed according to the data from chemical analysis of the groundwater, and the formation of the groundwater is discussed through the condition of stratum, physiognomy, and hydro-geochemistry, weather. The condition of stratum is the foundation, and physiognomy, and hydro-geochemistry, weather are the main influencing factors to decide the background contain of the formation of the groundwater in Longyao. Moreover the formula distinguished high, low fluorine groundwater has established and that can be consulted to seek, exploit low fluorine groundwater resource in this region.

Key words: bearing groundwater with high fluorine; distribution and formation; hydrochemistry environment; Longyao

高氟水是指氟含量超过 1mg/L 的水。长期饮用高氟水会造成肝、肾损伤,引起斑齿病、氟骨病等,以至失去劳动能力^[1]。高氟水在世界上分布广泛,危害大,一直受到各国的重视。而我国是受害较严重的国家之一,受害面积大,主要分布在吉林、内蒙、河北、山西、宁夏、甘肃和安徽等省份,氟中毒人口多,严重影响人民的的生活和工作,制约当地经济的发展^[2]。

隆尧县是邢台地区地氟病重点县,百分之四十的自然村有氟中毒发生,严重损害了当地人民的身体健康,为防病治病,在该县开展了饮用水水

文地质工作,其目的是:在初步查明隆尧县水文地质条件基础上,为氟病区寻找开发低氟水资源提供科学依据。本文是在分析氟病区水文地质条件和高氟水分布规律的基础上,探讨高氟水的形成机理,为水资源的合理开发利用提供依据。

1 自然地理及水文地质概况

隆尧县属华北暖温带,干旱、半干旱季风气候区,年平均气温 12.7℃,年均降雨量 508mm,年均蒸发量 1 952.4mm。研究区主要位于山前倾斜平

收稿日期:2008-06-16

作者简介:陆斌法(1963-),男,江苏苏州人,高级工程师,从事煤田地质与水文地质研究工作。

原氾河冲洪积扇区,仅在东边缘为冲积平原区,总体形态西高东低,地形标高由扇形地顶端(西尹村)60.0m,至洼地最低处(杨家尧)25.0m,坡降1%,到中部平原区标高为26.7m,为封闭半封闭之洼地地形。

研究区地下水天然流向自西向东,第I含水组接受大气降水和侧向径流补给,第II+III含水组在 Q_3 出露区接受大气降水和侧向径流补给,覆盖区主要接受侧向径流补给和第I含水组越流补给,人工开采和侧向流出为主要排泄方式。该县全年用于工农业生产,人民生活的淡水及微咸水开采量为110 026万 m^3/a 。研究区内水饭庄、东商村、隆尧县城、柏舍、魏家庄一线以西,由于补给充沛,开采量相对分散,基本保持了自西向东的天然流场,水力坡度为1/350-1/600。该线以东由于地下水富水性较差,开采量相对集中已形成降落漏斗。

2 高氟地下水的空间分布特征

本次所选择的目标含水层为研究区内的第I含水组和第II+III含水组,由于地下水中氟含量随时间变化不明显,因此下面主要讨论地下水中氟含量在空间的分布规律。

2.1 地下水中氟的水平分布规律

1)第I含水组中氟的水平分布规律。氾河冲洪积扇型地区西部地下水氟含量0.48-0.90 mg/L。水饭庄、官庄、隆尧县城东边缘、南丈村、魏家庄一线以东至连仲村、林家庄、百家寨一线以西(扇前洼地及扇形地向洼地之过渡地带)地下水氟含量1.10-4.90mg/L,其中涅河及两侧氟含量较高,为2.0-4.90mg/L,洼地中心条带向东西两侧,地下水氟含量逐渐降低为1.0-2.0mg/L之间。小漳河以东,冲积平原地下水氟含量为0.36-0.66 mg/L。

2)第II+III含水组中氟的水平分布规律。第II+III含水组氟含量比第一含水组普遍较低,但局部地段有高氟透镜体分布,依据氟含量分为两个等级:(1)氟含量0.50-1.0mg/L区。在水饭庄、大张庄、千户营、梅庄、隆尧县城、旧城、柏舍、魏家庄一带连续分布地下水氟含量为0.50-0.94mg/L,较高值分布在氾河附近,远离氾河较低。研究区北端王桥至西潘庄地下水氟含量(0.56-0.82

mg/L)和西端崔庄、西良一带地下水氟含量(0.60-0.64mg/L)为适宜区。(2)氟含量<0.50mg/L区。除适宜区外,均为氟含量较低区,地下水氟含量0.10-0.50mg/L。其中双碑、木华以西地区地下水氟含量<0.32mg/L,为全县最低地区。

据F3号孔勘探结果,埋深67-103m深度内地层易溶盐氟含量0.33mg/百克土,丘底村井深94m取样氟含量1.16mg/L,此段为高氟透镜体,范围在丘底、隆尧县城、义丰、尧庄、柏舍、南丈村一带,为南北长10km,东西宽5 km,椭圆形分布。

2.2 地下水中氟的垂直分带规律

1)第四系地层中氟的垂直分带规律。据勘探孔易溶岩样、压出液样、全化学样和全矿物鉴定样等土样鉴定资料分析:氟在含水介质中成层分布,同成因时代地层中粘性土层较砂层氟含量高,高低氟层相间分布, Q_4 冲湖积地层中高氟层密集,整体氟含量高。 Q_3 冲洪积地层中氟含量普遍较低,局部有薄高氟夹层分布。 Q_2 冰水相堆积层为低氟层,局部有高氟透镜体。 Q_1 冰碛地层中未发现高氟层。

2)第四系地下水中氟的垂直分带规律。本次研究对不同含水段的深、浅孔进行了调查取样,测试结果如表1。

表1 不同含水段地下水氟含量统计表

Tab.1 Statistical data of fluorine content in various aquifers

位置	浅层水		中深层水	
	成井段 (m)	氟含量 (mg/L)	成井段 (m)	氟含量 (mg/L)
大张庄乡 大虫营村	0-43.0	3.90	100.0-250.0	0.52
牛桥乡梅庄村	0-60.0	2.30	52.0-152.0	0.18
牛桥乡 徐麻营村	0-20.0	2.40	100.0-203.0	0.54
大张庄乡 白家庄村	0-40.0	2.30	40.0-150.0	0.60

分析上述资料发现,研究区洼地地下水浅层为高氟水,而深层为低氟水,这一规律与地层中浅部 Q_4 高氟而深部低氟的规律相同。

3 高氟地下水的成因分析

我国高氟水分布较广,但各地地下水的成因却不尽相同^[3-6]。隆尧县高氟地下水的形成与本

区气候、地貌、地层岩性和水文地球化学环境等因素有关。

3.1 含水介质因素

研究区地下水的补给来源主要是大气降水,地下水中化学成分的形成主要是水与岩土相互作用,使得岩土中的可溶性物质转入地下水中的结果。据分析区内高氟水分布区也是地层氟盐含量高的地区,二者存在着明显的对应关系,地下水中氟含量与相应深度内地层氟盐含量实测资料如表2。

表2 地下水中氟含量与相应深度内氟盐含量统计表

Tab.2 Statistical data of groundwater and stratum fluorine content in exploration hole

孔号	成井段 (m)	易溶盐氟含量 (mg/百克)	地下水氟含量 (mg/L)
F ₁	0~11.0	1.338	2.30
F ₁	16.5~30.0	0.822	1.90
F ₁	50.0~136.0	0.616	0.34
F ₁	85.2~128.40	0.6	0.56
F ₂	50~116.0	0.414	0.36
F ₃	30.0~70.0	0.625	0.70

3.2 地貌因素

高氟水主要分布在隆尧县东部封闭、半封闭的洼地,该区的基本特征是:(1)沉积物颗粒比较小、渗透性差、水力坡度小、径流滞缓,为岩层中含氟盐的溶解提供了充足的时间;(2)洼地地下水位埋藏浅,蒸发成为地下水的主要排泄去路,由于蒸发作用只排泄水分,盐分仍保留在余下的地下水中,随着时间的延续,地下水溶液逐渐浓缩,氟离子浓度增加;(3)洼地沉积物颗粒细小,比表面积大吸附能力强,可交换吸附地下水中钙离子,形成低钙的地下水,加速氟离子的溶解。可见地貌条件对高氟水的影响是多种因素综合作用的结果。

3.3 水文地球化学因素

为查明自扇形地区到洼地区水化学环境变化对氟的影响,选择了由西尹村到王盘村地下水径流带上11个点的浅层水样资料进行统计分析。按不同含水层地下水水样,分区(冲洪积扇区、山前洼地区和冲积平原区)或全区进行统计分析,结果如下:

1) F^- 与 rCa^{2+} % 的相关关系。经分析计算

F^- 与 rCa^{2+} % 为负相关,相关系数为 $-0.485 \sim -0.749$ 。

本区扇前洼地中粘性土层交换吸附 Ca^{2+} ,使地下水中 rCa^{2+} 相对含量降低。 K^+ 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 的相对含量升高,限制了 Ca^{2+} 的活动能力,减少了与 F^- 形成沉淀物的机会。又使 CaF_2 水解增加,地下水中氟含量增加

2) F^- 与 rNa^+ / rCa^{2+} 的关系。经分析计算 F^- 与 rNa^+ / rCa^{2+} 为正相关,相关系数为 $0.518 \sim 0.661$,局部为 $0.043 \sim 0.119$ 。

rNa^+ / rCa^{2+} 升高,表示粘性土的胶体交替吸附 Ca^{2+} 而释放 Na^+ 的过程。 rCa^{2+} 相对含量降低与 rNa^+ 的升高有直接原因,故此 rNa^+ / rCa^{2+} 高值即反映一个低钙的环境。另一方面松散层中富氟矿物 CaF_2 的水解过程属于弱电解质水解, rNa^+ / rCa^{2+} 增大,表明 rNa^+ 升高,相当于弱电解质溶液中加入与之类似的强碱盐,由于盐效应,使得富氟矿物 CaF_2 水解加速,地下水中氟富集。

3) 水化学类型与氟的关系。通过对比分析,在高氟水的各种水化学类型中,阴离子毫克当量百分数既可以是 HCO_3^- 为主也可以是 SO_4^{2-} 或 Cl^- ,而阳离子毫克当量百分数仅以 Na^+ 或 Mg^{2+} 为主,而没出现 Ca^{2+} 。表明氟在低钙水化学类型地下水中富集,而在高钙水化学类型地下水中为低氟水。

4) 其它常见离子及水理指标与氟的关系。经分析计算其它常见离子 K^+ 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 及其相对含量百分数和水理性指标,PH值、矿化度、硬度等,相关性均很差。表明这些指标对区内地下水的氟富集影响不明显。

3.4 气候因素

隆尧县年平均蒸发量是降雨量的3.84倍。本区洼地地下水位埋藏浅,蒸发强度大,由于蒸发作用只排泄水分,盐分仍保留在余下的地下水中,随着时间的延续,地下水溶液逐渐浓地氟缩,氟离子浓度增加。

4 病区地下水资源合理开发研究

大量研究表明,地氟病的发生与饮用水中氟过高有密切关系^[7]。据1978年研究区的病情调查资料,氟斑牙发病率、氟骨病发病率均与饮用水氟含量呈正相关关系。相关系数分(下转第105页)

- [12] 赵三军,肖天,岳海东. 秋季东、黄海异养细菌的分布特点[J]. 海洋与湖沼, 2003, 34(3): 295 - 305.
- [13] 周伟华,王汉奎,董俊德,等. 三亚湾秋、冬季浮游植物和细菌的生物量分布特征及其与环境因子的关系[J]. 生态学报, 2006, 26(8): 2633 - 2639.
- [14] 白洁,李焱然,李正炎,等. 渤海春季浮游细菌分布与生态环境因子的关系[J]. 青岛海洋大学学报, 2003, 33(6): 841 - 846.
- [15] DUCKLOW H W. Factors regulating bottom - up control of bacteria biomass in open ocean plankton communities [J]. Arch. Hydrobiol. Beih., 1992, 37: 207 - 217.
- [16] JENNIFER C, JAMES A A E, ELLEN T M. Utilization and turnover of labile dissolved organic matter by bacterial heterotrophs in eastern North Pacific surface waters [J]. Mar. Ecol. Prog. Ser., 1996, 139: 267 - 279.
- [17] KIRCHMAN D L, KEIL G K, SIMON M, et al. Biomass and production of heterotrophic bacterioplankton in the oceanic subarctic Pacific [J]. Deep - Sea Res. (I), 1993, 40: 967 - 988.
- [18] SHIAH F K, DUCKLOW H W. Temperature regulation of heterotrophic bacterioplankton abundance, production and specific growth rate in Chesapeake Bay [J]. Limnol Oceanogr., 1994, 39: 1243 - 1258.
- [19] PROCTOR L M, FUHRMAN J A. Viral mortality of marine cyanobacteria and bacteria [J]. Nature, 1990, 343: 60 - 62.
- [20] SUTTLE C A, CHEN F. Mechanisms and rates of decay of marine viruses in seawater [J]. Appl. Environment Microbiol., 1992, 58: 3721 - 3729.
- [21] DUFOUR P, TORRETON J P, COLON M. Advantages of distinguishing the active fraction in bacterioplankton assemblages: some examples [J]. Hydrobiologia, 1996, 207: 295 - 301.

(责任编辑 闫纯有)

(上接第100页)别为0.948和0.879,经检验相关显著。结合本地的实际条件,合理开发当地的低氟淡水资源是防治地氟病发生的有效途径,而准确划分高低氟含水层是合理开发低氟淡水的技术关键。

为了定量分析地下水中氟含量与相应深度内氟盐含量之间的关系,利用表2资料建立了如下回归方程

$$y = 2.395x - 0.747$$

式中 y - 地下水中氟含量(mg/L); x - 易溶盐氟含量(mg/百克土)。

上式不仅从定量上说明了地层中氟含量对地下水的影响,而且可以利用地层易溶岩氟含量进行高低氟含水层的划分(据上式计算当 $y = 1$ 时, $x = 0.73$ mg/百克土,即成井段地层中易溶岩含量加权平均值 > 0.73 mg/百克土时,该成井段地下水氟含量将大于1mg/L),为水资源的合理开发提供水文地质依据

5 结论

1) 本区高氟水的分布受地貌条件制约,自西向东由冲洪积扇形地区至洼地区氟含量逐渐增高,进入冲积平原地区氟含量逐渐降低。垂直方向上,第一含水组为高氟水,第二、三、四含水组为低氟水,局部有高氟透镜体。

2) 高氟水的形成受多种因素的影响,其中高

含氟地层的存在是形成高氟水的基础,地貌、气候和水文地球化学条件是三个重要的控制因素。区内高氟水主要赋存于洼地相对低钙的水化学环境,即为上述各综合因素影响的具体体现。

3) 地下水中氟含量与开采段地层中易溶盐含量关系密切。据计算当地层中易溶盐含量大于0.73mg/百克土时,该地层成井则地下水氟含量大于1.0mg/L;当地层中易溶盐含量小于0.73 mg/百克土时,该地层成井则为低氟水。

参考文献:

- [1] 戴鸿麟. 地方病环境水文地质[M]. 北京: 地质出版社, 1982.
- [2] 中科院生物环境地球化学研究中心. 地球化学环境[M]. 北京: 地质出版社, 2001.
- [3] 李昌静. 氟在地下水中富集条件的分析[A]. 地矿部水文地质与工程地质研究所编. 水文地球化学理论与方法的研究[C]. 北京: 地质出版社, 1985.
- [4] 苏英, 刘俊峰. 咸阳城区高氟地下水的分布及成因研究[J]. 工程勘察, 2004, (4): 31 - 34.
- [5] 李向全, 祝立人, 侯新伟, 等. 太原盆地浅层高氟水分布及形成机制研究[J]. 地球学报, 2007, 28(2): 55 - 61.
- [6] 韩洪伟, 吴国学, 王永祥, 等. 高氟地下水在内蒙赤峰地区的分布与形成初探[J]. 世界地质, 2004, 23(4): 376 - 381.
- [7] 王家林. 玉田县高氟水成因分析及防治[J]. 水科学与工程技术, 2005, (4): 20 - 21.

(责任编辑 刘存英)

隆尧县高氟地下水的分布特征与利用

作者: [陆斌法](#), [杜文堂](#), [杨会双](#), [李曦滨](#), [张敬凯](#), [LU Bin-fa](#), [DU Wen-tang](#), [YANG Hui-shuang](#), [LI Xi-bin](#), [ZHANG Jing-kai](#)

作者单位: [陆斌法, 李曦滨, LU Bin-fa, LI Xi-bin\(中国煤田地质总局, 第四水文地质队, 河北, 邯郸, 056000\)](#), [杜文堂, 张敬凯, DU Wen-tang, ZHANG Jing-kai\(河北工程大学, 资源学院, 河北, 邯郸, 056038\)](#), [杨会双, YANG Hui-shuang\(河北省地勘局, 第十一地质大队, 河北, 邢台, 054000\)](#)

刊名: [河北工程大学学报\(自然科学版\)](#) 

英文刊名: [JOURNAL OF HEBEI UNIVERSITY OF ENGINEERING\(NATURAL SCIENCE EDITION\)](#)

年, 卷(期): 2008, 25(3)

参考文献(7条)

1. [戴鸿麟](#) [地方病环境水文地质](#) 1982
2. [中科院生物环境地球化学研究中心](#) [地球化学环境](#) 2001
3. [李昌静](#) [氟在地下水中富集条件的分析](#) 1985
4. [苏英;刘俊峰](#) [咸阳城区高氟地下水的分布及成因研究](#)[期刊论文]-[工程勘察](#) 2004(04)
5. [李向全;祝立人;侯新伟](#) [太原盆地浅层高氟水分布及形成机制研究](#)[期刊论文]-[地球学报](#) 2007(02)
6. [韩洪伟;吴国学;王永祥](#) [高氟地下水在内蒙赤峰地区的分布与形成初探](#)[期刊论文]-[世界地质\(英文版\)](#) 2004(04)
7. [王家林](#) [玉田县高氟水成因分析及防治](#)[期刊论文]-[水科学与工程技术](#) 2005(04)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_hbjzkjxyxb200803028.aspx