

# 浅谈运城盆地高氟地下水的分布及成因

曹小虎

(运城水文水资源勘测分局,山西 运城 044000)

摘要 通过对运城盆地高氟地下水分布规律及成因探讨,确认高氟是由半干旱的气候条件、富含氟化物的包气带土体、碱性的地球化学环境及独特的水文地质构造确定,并详细地揭示了区内高氟地下水的形成机理。

关键词 地下水 运城盆地 氟含量

中图分类号 P641.12 文献标识码 A 文章编号 1004-6933(2005)06-0063-03

## Distribution and causes of formation of high-fluorine groundwater in Yuncheng basin

CAO Xiao-hu

(Water Resources Investigation Bureau of Yuncheng, Yuncheng 044000, China)

Abstract Distribution and formation of high-fluorine groundwater in Yuncheng basin were discussed in this paper. It is presented that high-fluorine is caused by the semi-arid climate of the region, high-fluorine content of soils in the saturated zone, alkaline geo-chemical environment, and the unique hydrogeological structure. The formation mechanism of high-fluorine groundwater in this region was also studied.

Key words groundwater; Yuncheng basin; content of fluorine

运城盆地位于山西省的南部,三面环山,西傍黄河。行政区包括盐湖区、闻喜县、夏县、临猗县、永济市以及万荣县、绛县的部分地区。该盆地水文地质条件复杂,水化学特征异常,出现了著名的盐湖。近年来通过水质分析发现该区地下水含氟量严重超标,面积达数千平方公里。该区中地下水作为人畜用水的主要水源,含氟量高低直接影响到人们的正常生活。

### 1 运城盆地地下水中氟的分布

#### 1.1 浅层地下水中氟的分布

浅层地下水是指埋深小于 60 m 的潜水和微承压水。在涑水盆地的浅层水中,氟的富集面极广,其中超标面积达 3 155.3 km<sup>2</sup>,占整个盆地浅层水面积的 76.7%,以质量浓度大于 4 mg/L 为氟骨症区;1.0 ~ 4.0 mg/L 为氟斑牙区;0.5 ~ 1.0 mg/L 为适宜区;小于 0.5 mg/L 为缺氟区,盆地中浅层水含氟量及分

布面积见表 1。

表 1 运城盆地浅层水氟化物分布面积 km<sup>2</sup>

| 地区     | 分布面积  |       |         |       | 超标面积    |
|--------|-------|-------|---------|-------|---------|
|        | 缺氟区   | 适宜区   | 氟斑牙区    | 氟骨症区  |         |
| 绛 县    |       | 142.9 | 58.9    |       | 58.9    |
| 闻喜县    |       | 316.2 | 314.4   |       | 314.4   |
| 夏 县    |       | 109.1 | 396.6   |       | 396.6   |
| 盐湖区    | 10.3  | 124.1 | 516.3   | 425.6 | 941.9   |
| 永济市    | 159.0 | 98.3  | 368.1   | 270.9 | 639.0   |
| 临猗县    |       |       | 512.1   | 251.4 | 763.5   |
| 万荣县    |       |       | 41.0    |       | 41.0    |
| 合 计    | 169.3 | 790.6 | 2 207.4 | 947.9 | 3 155.3 |
| 占总面积/% | 4.1   | 19.2  | 53.6    | 23.1  | 76.7    |

在整个盆地的超标区中,表 2 所列的 5 个小区尤为突出。

#### 1.2 中深层地下水中的氟含量

在盆地中深层地下水中,氟仍然是全区性富集,超标面积 2 757.8 km<sup>2</sup>,占深层水面积的 56.4%。其中崞阳、临晋、七级、青渠屯一带氟质量浓度最高达

4~11.2 mg/L,面积 237.7 km<sup>2</sup>,最大值超标 10 倍之多。见表 3。

表 2 浅层水氟化物含量及分布面积

| 地区   | 质量浓度<br>/(mg·L <sup>-1</sup> ) | 面积<br>/km | 地区   | 质量浓度<br>/(mg·L <sup>-1</sup> ) | 面积<br>/km |
|------|--------------------------------|-----------|------|--------------------------------|-----------|
| 北相小区 | 6~9.7                          | 36.0      | 栲栳小区 | 6~8.0                          | 28.0      |
| 大渠小区 | 6~7.2                          | 18.0      | 七级小区 | 6~12.0                         | 60.0      |
| 南扶小区 | 6~11.2                         | 70.0      |      |                                |           |

表 3 运城盆地中深层水氟化物分布面积 km<sup>2</sup>

| 地区     | 分布面积  |        |        |       | 超标<br>面积 |
|--------|-------|--------|--------|-------|----------|
|        | 缺氧区   | 适宜区    | 氟斑牙区   | 氟骨症区  |          |
| 绛 县    |       | 78.1   | 38.1   |       | 38.1     |
| 闻喜县    |       | 513.9  | 261.4  |       | 261.4    |
| 夏 县    |       | 23.3   | 447.0  |       | 447.0    |
| 盐湖区    | 33.8  | 574.0  | 470.8  |       | 470.8    |
| 永济市    | 194.6 | 219.9  | 368.0  |       | 368.0    |
| 临猗县    |       | 209.3  | 934.8  | 237.7 | 1172.5   |
| 万荣县    |       | 286.2  |        |       |          |
| 合 计    | 228.4 | 1904.7 | 2520.1 | 237.7 | 2757.8   |
| 占总面积/% | 4.7   | 38.9   | 51.5   | 4.9   | 56.4     |

运城盆地地下水含氟量普遍较高,分布有如下特征 :①浅层地下水和中深层地下水含氟量超标区面积都很大 ;②浅层地下水含氟量比中深层地下水含氟量普遍较高且分布面积大 ;③浅层地下水和中深层地下水含氟量超标区均成片出现,而且展布方向随地下水流向具明显分带性。即南北盆地边缘地带含量较小,盆地中心低洼处含量较高。

2 氟的地球化学特性

氟属卤族元素,在自然界中以 F<sup>-</sup> 的形式存在,氟与一价碱金属形成易溶的氟盐(氟钠盐 NaF、氟钾盐 KF),与碱土金属形成难溶的氟石(氟镁石 MgF<sub>2</sub>、萤石 CaF<sub>2</sub>),与稀土元素形成许多氟化物(钇萤石 (Ca、Y)F<sub>2</sub>、铈萤石 (Ca、Ce)F<sub>2</sub> 等)。由于氟和 OH<sup>-</sup> 的离子半径相近,所以在岩浆岩及热液矿物中形成含氟铝硅酸盐矿物。氟的电负性高达 3.95,居所有元素的首位,也就是说,氟的化学活性最大,这种特性使氟趋于形成络合物。许多络合物是稳定的不为水解,电离也很弱,它们在表生带中迁移。

3 运城盆地高氟地下水成因分析

运城盆地高氟地下水的形成与本区气候、土体地球化学特性、环境地质条件、水文地质构造具有密切的关系。

3.1 气候因素

气候是控制和影响本区地下水中氟富集最根本的外在因素,在不同的气候条件下,原生矿物的分解速度、元素的生物地球化学循环强度和元素迁移的

速度都具有明显的差异。尤其是在本地区潜水动态类型为入渗—蒸发型,降水和蒸发强度与地下水埋深,左右着该地区中盐分(包括氟盐在内)的垂向运动。

在蒸发作用下,水中的盐分向地表运动,并在土壤剖面上发生沉淀,据氟化物的溶解度,先后有吸附性氟化物 CaF<sub>2</sub>,SrF<sub>2</sub>,MgF<sub>2</sub> 等沉淀物。氟盐的累积量随地下水的埋深而减小,蒸发强度的增强而增强,在水蒸发过程中,水中的盐分发生浓缩。大气降水时,雨水通过包气带土体入渗补给地下水,在溶解、溶滤、水解、水化、扩散、离子吸附交替作用下,将蒸发时沉淀在土中含氟盐分连同粘土质吸附的盐分淋溶迁移水中,并将土中本身存在的含盐晶粒和分散体所含的氟盐溶解也带入水中,从而加大了地下水中氟化物的含量,在入渗—淋溶—强烈蒸发—浓缩的反复作用下,形成了本地区高氟水体。

在运城盆地中,多年平均降雨量为 500 ~ 525 mm,蒸发量在 2 000 mm 以上,如此半干旱的气候是形成该区浅水中氟超标的重要因素。盆地承压水即中深层水多为径流—开采动态类型,受气候因素影响较小,其补给源为潜水越流及峨嵋台地、中条山侧向径流补给。所以溶解—淋滤—蒸发作用对其影响不大,从而形成了中深层地下水氟含量较浅层水低的状况。

3.2 土体地球化学特性

3.2.1 包气带土体化学特性

包气带土体中氟化物的富集、碱性的地球化学环境,是形成本区高氟水的又一重要因素,这种情况在前文提及的 5 个氟高度超标的小区最为明显,在这 5 个小区中,包气带岩性均为粘土、亚粘土,且多为碱性盐渍化地段。

3.2.2 含氟矿物质的迁移

地下水中,氟还可来源于含有氟矿物的云母、角闪石、磷灰石。在运城盆地中分布有各类云母片岩、角闪岩、硅质岩地层,在物理、化学风化的作用下,形成的碎片及次生矿物在水力、风力的搬运下,不断地向沉降地带堆积,形成了巨厚的新生代沉积物,从而也增高了地下水的含氟量。

3.3 地下水过量开采

国外资料表明,地下水多年取水量超过可开采量时,由于地下水水位持续下降,扩大了固相与液相的比例而使该系统中的相互作用效应加强,其结果会导致地下水矿化度与某些组分含量的增加。例如,欧洲南部摩达维亚盆地萨尔马特地下含水层,由于超量开采,使氟的浓度及矿化度均增高。近 10 年来,美国某些地区由于地下水超采,矿化度由

0.25 g/L 增高到 1.5 g/L,氟的含量也有明显的增高。根据 2003 年《山西省地下水资源量调查评价》成果,运城盆地现状开采量为 43 916 万 m<sup>3</sup>/a,可开采量为 27 813 万 m<sup>3</sup>/a,其利用率为 157.9%,已经处于严重超采状态。可见过量开采地下水也是引起氟含量较高的因素之一。

3.4 水文地质条件

运城盆地的水文地质条件较为复杂,浅层水由周围向盆地中心汇集,径流条件一般是山前比盆地好,上游比下游好,中条山前水力坡度为 0.6% ~ 1.2%,峨嵋台地为 0.7%,平原仅为 0.3% 左右。

在峨嵋台地及中条山前地区由于地下水的径流条件好,水交替能力强,所以地下水中含氟量一般都较低。平原区由于地下水径流不畅,水的交替性差,

有利于氟水在局部洼地浓缩。该区中独特的闭流型水文地质条件是形成本区地下水含氟量明显分带的最重要因素。

4 结 论

- a. 运城盆地浅、中、深层水含氟量大面积超标。
- b. 在半干旱的气候条件下,入渗—淋溶—强烈蒸发—浓缩、富含氯化物的包气带土体、碱性的地球化学环境、地下水的过量开采以及独特的水文地质条件是本区高氟地下水的成因。
- c. 盆地中氟病区的广泛分布是由饮用高氟地下水所致,在弄清氟分布及成因的基础上,各级有关部门应及时提出改水方案,预防氟病的发生。

(收稿日期 2004-03-05 编辑 舒 建)

(上接第 36 页)

表 1 三涧堡河谷地下水库设计及资金预算<sup>①</sup>

| 工程名称    | 施工项目                       | 资金预算/万元 |
|---------|----------------------------|---------|
| 地下拦水坝工程 | 钻探、套管、水泥、高压注浆              | 678     |
| 地表水拦蓄工程 | 拦洪防波闸、拦洪闸(3 座)、河道整治(28 km) | 1 018   |
| 人工补源工程  | 补源沟(320 条)、补源井(2 000 眼)    | 420     |
| 取水工程    | 渗渠(3 条)                    | 240     |
| 供水工程    | 泵房及配套(3 处)、集水井(3 眼)、供水配电   | 148     |
| 排污工程    | 污水管道(15 km)                | 150     |
| 咸水体处理工程 | 大口井(4 眼)、深井封孔              | 50      |
| 监测管理系统  | 监测井及配套(15 眼)、中央控制室         | 128     |
| 合 计     |                            | 2 832   |

地下水库可增加孔隙地下水开采资源量 447.5 万 m<sup>3</sup>/a,吨水造价仅为引碧三期工程吨水造价的 40%<sup>[5]</sup>,造价较低。将汛期地表径流转化为孔隙水资源加以利用后,可相应减少深层岩溶裂隙水的开采,从而控制或减轻下伏岩溶含水层的海水入侵。同时,增加的水资源可促进当地经济的稳定发展,亦从根本上解除了与大连市争水的可能性。可见,三涧堡地下水库的建立具有良好的环境效益、经济效益、社会效益,为沿海小流域水资源系统人工调控起到了示范作用。

4 结 论

- a. 大连沿海中小流域水资源的优化利用,可解决分散小城镇的供水问题,对缓解重点城市水资源

- 的供需矛盾具有重要意义。
- b. 大连沿海中小流域的自然特点,决定了其地表水利工程开发难度较大,但由于多数流域具备水源、地下调蓄空间、补给通道等条件,可实施地下水人工调控以调节水资源的时间分配不均,实施人工调控的技术要点在于无径流观测流域地表水资源的评价、调蓄类型的确定及地下水库库容的确定。
- c. 三涧堡地下水库实例证明,地下水人工调蓄提高了流域水资源的调蓄能力,避免了与重点城市争水的矛盾,同时可防治海水入侵、恢复水环境,成为优化利用沿海中小流域水资源的有效模式。

致谢 感谢辽宁水文地质工程地质勘察院所提供的大量实例资料。

参考文献：

[1] 曲天桥,翟红. 大连市水资源现状调查[J]. 辽宁城乡环境科技,2001,21(1) 4~8.  
[2] 大连市地方志编纂委员会办公室[M]. 大连年鉴. 2000 : 111.  
[3] 李小华. 数字令人无法漠视[N]. 大连日报,2004-03-25.  
[4] 杨绍南. 大连市水资源开发利用战略构想[J]. 辽宁地质,2000,17(3) 235~237.  
[5] 赵天石,杨绍南. 建设地下水库是大连市开发水资源的重要途径[J]. 水文地质工程地质,2000(4) 37~39.  
[6] 张立中. 水资源管理[M]. 北京:中国广播电视大学出版社,2002.

(收稿日期 2005-01-12 编辑 舒 建)

① 王卫东,董维科,李宝兰,等. 大连市旅顺口区三涧堡地段海水入侵地质灾害勘察报告. 1998.