

# 鲁西南高氟区生活饮用水供水模式研究

郝奇琛<sup>1</sup>, 石建<sup>2</sup>, 苏晨<sup>1,3</sup>, 姜山<sup>2</sup>, 邵景力<sup>1</sup>, 万森<sup>2</sup>

(1.中国地质大学(北京),北京 100083;2.山东省国土测绘院,山东 济南 250102;  
3.中国地科院水文地质环境地质研究所,河北 石家庄 050061)

**摘要:**为有效解决鲁西南高氟区生活饮用水供水安全问题,在水文地质环境地质调查的基础上,通过水质分析、岩土样分析、综合评价研究,查明高氟水的分布规律、圈定生活饮用水找水靶区。结合供水水源空间分布特征、供水现状及供水方式,因地制宜,提出了3种供水模式:以浅层孔隙水或岩溶裂隙水为水源的集中供水模式;以深层孔隙水为饮用水源集中供水并且以浅层孔隙水为生活用水水源的分散供水模式,以及以地表水为主要水源的集中供水模式。供水模式的划分可为鲁西南高氟改水工作及供水安全问题提供技术支持与保障。

**关键词:**高氟水;找水靶区;供水模式;鲁西南

中图分类号:R123

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2013)05-0039-07

鲁西南行政上属于山东省菏泽市及济宁市的部分地区,面积约15 587 km<sup>2</sup>,是我国地氟病易发区,同时也属于资源性缺水、水质性缺水、工程性缺水地区,其中,菏泽市人均当地水资源占有量仅243 m<sup>3</sup>,远小于全国平均水平,也低于国际公认的极度缺水区的评价标准(500 m<sup>3</sup>)<sup>[1]</sup>;部分自来水厂氟化物超标,水质达不到饮用水标准,严重威胁居民身体健康;为了解决高氟水问题,当地曾开展过除氟改水工程,但由于盲目打井或改水工程年久失修,当地氟害问题依然严峻。针对鲁西南地区水资源开发利用过程中存在的问题,本次研究提出了3种生活饮用水供水模式,为解决当地生活饮用水问题及经济社会可持续发展提供支持。

## 1 区域水文及水资源分布规律

鲁西南高氟区位于黄河以东、京杭运河以西、黄河故道以北的黄泛平原区(见图1)。地表水系属淮河流域,境内河流丰枯变化大,属季节性河流,且污染严重,能有效利用的径流量有限。该区利用的地表水资源主要为引黄客水,多年平均引水量约为10×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/a<sup>[1]</sup>,不仅用于农业灌溉,而且用于城市供水。地下水是鲁西南地区最主要的供水水源,分布有松散岩类孔隙水和碳

酸盐岩类裂隙岩溶水,地下水资源量约为24×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>。

鲁西南松散层厚度最大可达1 000 m,地层岩性主要为粉砂质粘土、黏土质粉砂及粉、细砂层,并且含有较多的钙质结核<sup>[2]</sup>。根据地下水系统性、赋存条件及水质结构,垂向上可将松散岩类孔隙水划分为3个含水岩组:浅层孔隙水、中层孔隙水和深层孔隙水<sup>[3]</sup>(见图2)。

(1)浅层孔隙水。含水层底板埋深一般小于60 m,水位埋深2~10 m。含水层岩性主要为粉细砂、粉砂,富水性较好,在古河道的有利部位可形成中型水源地。浅层孔隙水水补径排条件受气象、水文、地形、岩性及人为控制,大气降水是其主要补给来源,蒸发及人工开采是其主要排泄方式。由于地势平坦,水力坡度仅有0.18‰~0.32‰,地下水水平径流缓慢,浅层孔隙水水位埋深较浅,蒸发强烈,因此浅层孔隙水以垂向运动为主,地下水动态主要为入渗回渗-蒸发型<sup>[4]</sup>。浅层孔隙水主要为HCO<sub>3</sub>-Na型、HCO<sub>3</sub>-Na·Mg型水,大部分地区总溶解固体小于1.0 g/L,菏泽-曹县局部地区分布有总溶解固体1~2 g/L的微咸水。

(2)中层孔隙水。含水层厚度为60~250 m。因顶、底板是以粉质黏土为主的隔水层,故本层水具承压

收稿日期:2012-11-26

项目基金:国家重点基础研究发展计划项目“973”项目(2010CB428804);山东省2009年度地质勘查项目“山东鲁西南高氟区地下水调查与供水评价示范”(鲁勘字(2009)060号)

作者简介:郝奇琛(1986-),男,山东滕州人,博士生,主要从事水文学与水资源研究。E-mail: haoqichen1986@163.com

通讯作者:邵景力(1959-),男,山东滕州人,教授,主要从事水文地质教学与科研工作。E-mail: jshao@cugb.edu.cn

性,与上、下含水系统没有明显的水力联系。该含水层岩性为细砂,有效含水层厚度小,富水性弱,单井涌水量约为 200 m<sup>3</sup>/d,总溶解固体大于 2.5 g/L,属 Cl·SO<sub>4</sub>-Na·Mg 型水,为咸水层,目前尚无供水意义。

(3)除巨野、郓城南部落外,深层孔隙水。顶板埋深一般为 150~250 m,含水层岩性以细砂、中粗砂为主。由于有隔水层的阻隔,深层水与中层含水层水力联系较

弱,其主要补给来源为西侧的顺层补给,且径流缓慢,补给资源量有限,主要排泄方式为人工开采,由于大规模的人工开采,部分地区已经形成了区域地下水降落漏斗<sup>[5]</sup>。嘉祥一带深层孔隙水水化学类型为 SO<sub>4</sub>-Na 型水、其他地区多为 HCO<sub>3</sub>-Na 型水,部分地区总溶解固体大于 1.0 g/L,但小于 2.5 g/L。

碳酸盐岩类裂隙岩溶含水岩组主要分布于嘉祥一带岩溶出露区(见图 1、图 2)。地下水赋存于寒武系、奥陶系裂隙岩溶中,隐伏岩溶裂隙水顶板埋深小于 200 m,裂隙岩溶发育,接受侧向径流及越流补给<sup>[6]</sup>。水化学类型多为 HCO<sub>3</sub>·SO<sub>4</sub>-Na 型水,总溶解固体大多小于 1.0 g/L。氟离子含量一般符合要求,水质相对较好,是较理想的供水水源。

## 2 高氟水分布规律

通过水文地质调查和 159 件浅层水取样分析,得到浅层水氟离子含量分布图(见图 1)。浅层高氟水呈片状分布于巨野、嘉祥及金乡等多个区县,氟离子含量最高可达 6.4 mg/L,主要分布于洼地、缓平坡地等地势较低的区域,此类地区地下水径流较慢,蒸发浓缩作用强烈,加之具备高氟水形成的水化学条件,在淋滤、溶滤、增发浓缩作用下,氟离子最终在此类地区

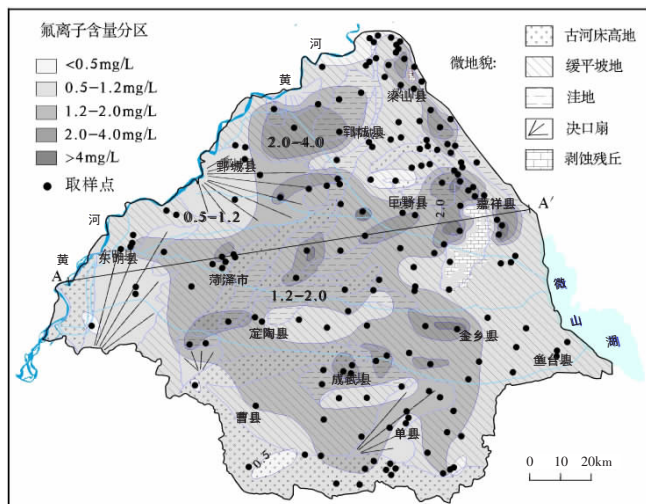


图 1 浅层孔隙水氟离子浓度分区图

Fig.1 Distribution of F<sup>-</sup> in the shallow aquifer

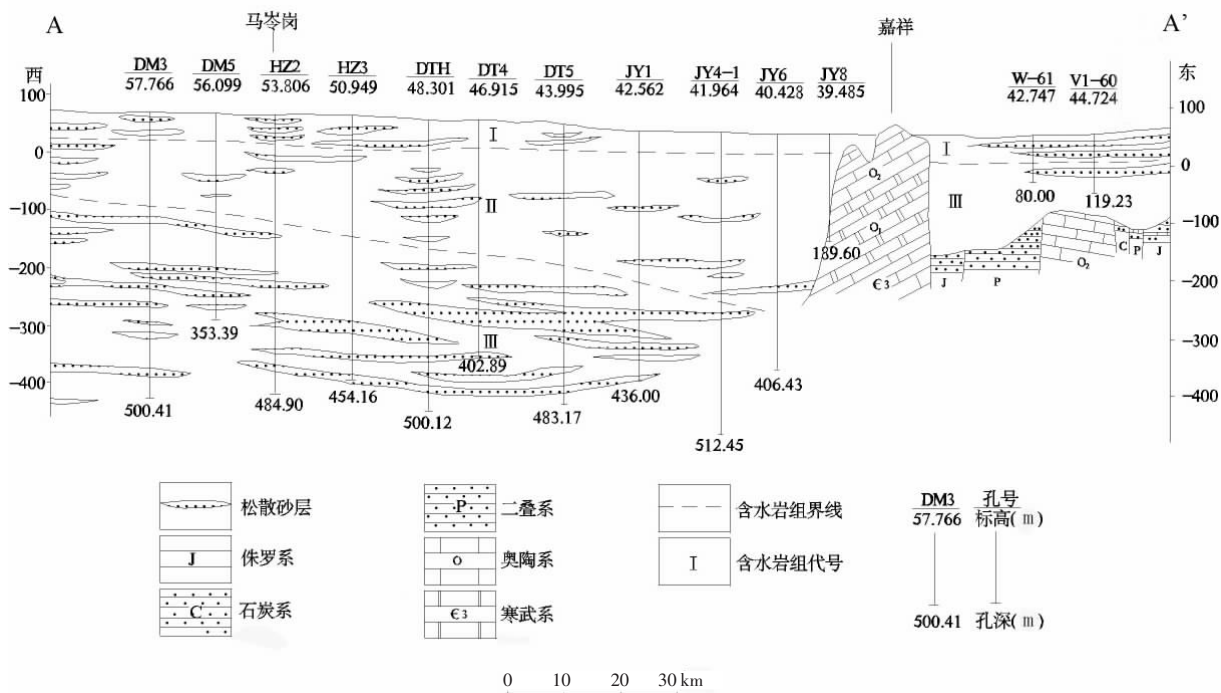


图 2 鲁西南地区含水岩组剖面图

(根据《山东鲁西南高氟区地下水调查与供水评价示范》修改)

Fig. 2 The cross-section of aquifers in the southwest of Shandong province

富集;而在黄河沿岸决口扇及古河床高地等地势较高的地貌分区及南四湖附近等地下水循环条件较好的地区,不利于氟离子富集,浅层孔隙水基本符合饮用水标准要求,局部甚至出现低氟区。浅层高氟水的形成受气候、地质环境、地形地貌特征及水化学环境等多个因素的共同影响,成因类型为溶滤-蒸发浓缩型<sup>[7]</sup>。

深层孔隙水氟离子含量分布具有明显的水平分带性(见图3),自西南向东北方向深层孔隙水氟离子含量呈逐渐减少趋势。东明-定陶-单县一带氟离子含量一般为2.0~4.0 mg/L,巨野北-嘉祥-金乡一带氟离子含量一般符合标准要求,梁山一带甚至出现低氟区。深层氟离子含量分布与浅层氟离子分布特征有着明显的区别,深层氟离子分布在同一个分带内比较均匀,很少出现极大值。沉积环境也是从西南至东北方向发生变化,氟离子含量分布与晚更新世沉积相呈现很好的相似性,推测其为地质历史时期形成的古地下水<sup>[7]</sup>。

氟离子含量在垂向上明显变化,但没有统一的规律。氟离子的富集受含水层结构特性和地下水形成条件的影响,而这些因素受控于复杂的地质构造、古地理及古气候等因素,由此造成各含水层及氟离子在垂向上存在明显差异。总之,氟离子含量在垂向上变化较大,但变化规律因地而异。

### 3 生活饮用水找水靶区

#### 3.1 圈定靶区的原则和方法

找水靶区的圈定,不仅需要考虑水质是否符合生活饮用水要求,而且水量及取水技术条件等都应满

足供水需求。圈定找水靶区的基本原则概括为以下4点:

(1)氟离子含量符合《生活饮用水卫生标准》<sup>[8]</sup>中对农村小型集中式供水和分散式供水水质指标要求,既氟离子限值为1.2 mg/L;

(2)综合水质满足《地下水质量标准》<sup>[9]</sup>中Ⅲ类水质要求;

(3)含水层富水性较好,可以满足直接饮用水供水需求,单井涌水量不小于500 m<sup>3</sup>/d;

(4)取水工程具有经济技术可行性,含水层顶板埋深小于400 m。

使用GIS软件的空间叠加分析功能圈定高氟区生活饮用水找水靶区。将单项评价指标的评价结果作为一个图层,在GIS中将符合标准的区域进行叠合分析,叠合分析的结果就是找水靶区。分别对不同的含水岩组做叠合分析得到3种找水靶区:浅层孔隙水找水靶区、深层孔隙水找水靶区及岩溶水找水靶区(见图4)。

#### 3.2 找水靶区

浅层孔隙水找水靶区主要分布于研究区西部沿黄地区,面积约2631 km<sup>2</sup>。该区浅层水径流条件较好,地下水交替循环较快,水化学类型主要为HCO<sub>3</sub>-Na·Mg型,总溶解固体小于1.0 g/L,氟离子含量小于1.2 mg/L,局部甚至小于0.5 mg/L。含水介质主要以粉砂、粉细砂为主,古河道密集带浅层水富水性较好,单井涌水量大多大于500 m<sup>3</sup>/d,部分地区大于1000 m<sup>3</sup>/d。该靶区补给资源丰富,浅层孔隙水开采利用程度较低,可

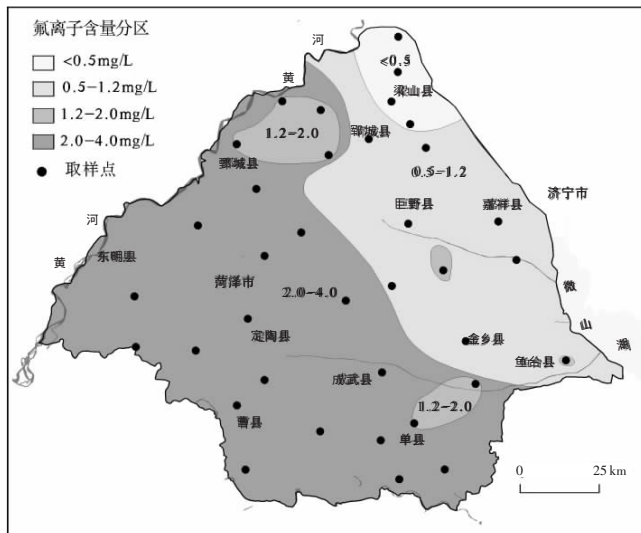


图3 深层孔隙水氟离子浓度分区图

Fig.3 Distribution of F<sup>-</sup> in the deep aquifer

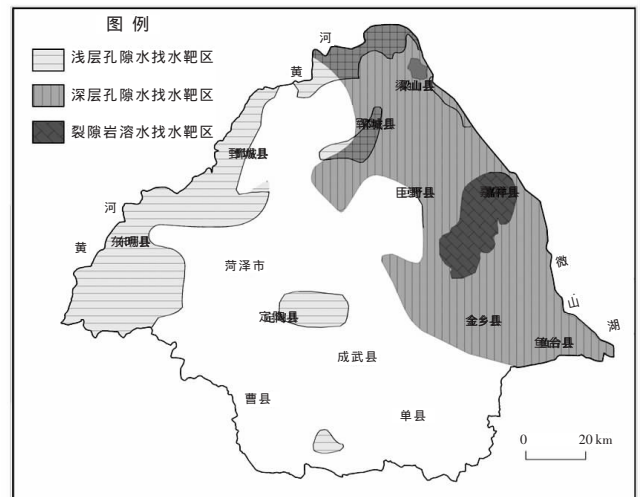


图4 鲁西南地区找水靶区图

Fig.4 The target areas for drinking water source in the southwest of Shandong province



开采模数 $(15\sim 20)\times 10^4\text{ m}^3/\text{km}^2\cdot\text{a}$ ,可以满足该区生活饮用水供水需求。

深层孔隙水找水靶区主要分布于研究区东北部,面积约 $4\,396\text{ km}^2$ 。该区受泗汶河冲洪积扇的影响,沉积环境与地下水径流特征决定了其水质相对较好,水化学类型主要为 $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4\text{-Na}$ 型水,总溶解固体为 $0.7\sim 1.3\text{ g/L}$ ,氟离子含量为 $0.2\sim 1.1\text{ mg/L}$ 。东侧京杭运河至鱼台县附近深层水富水性较好,单井涌水量大于 $1\,000\text{ m}^3/\text{d}$ ,金乡周围富水性一般,为 $500\sim 1\,000\text{ m}^3/\text{d}$ 。该区深层孔隙水允许开采量约为 $1.5\times 10^8\text{ m}^3$ ,但深层孔隙水补给资源量有限,应谨慎且有计划地开采。

岩溶裂隙水找水靶区主要分布于嘉祥附近,面积约为 $709\text{ km}^2$ 。水化学类型主要为 $\text{SO}_4\cdot\text{HCO}_3\text{-Na}\cdot\text{Mg}$ 型,总溶解固体为 $0.5\sim 1.3\text{ g/L}$ ,氟离子含量为 $0.5\sim 1.2\text{ mg/L}$ ,由于离煤层较近,局部地区岩溶裂隙水 $\text{SO}_4^{2-}$ 含量超标,但超标不严重。该区岩溶裂隙发育不均,在有利的地貌、构造条件下,单井涌水量可达 $500\sim 1\,800\text{ m}^3/\text{d}$ 。目前岩溶水的开采总量为 $9.6\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,小于该区岩溶水的补给量 $15.85\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ ,仍具有一定开采潜力。

## 4 生活饮用水供水模式

### 4.1 供水及改水现状

鲁西南地区是我国重要的粮食生产基地,农业人口占绝大多数,其中菏泽市农业人口占总人口的 $80\%$ (2010年)。鲁西南地区生活饮用水主要来源于地下水,特别是占有口大多数的农村地区,生活饮用水基本全部来自地下水。鲁西南地区广泛分布高氟水与苦咸水,虽然从20世纪80年代开始实施了一系列的改水措施,但目前仍有部分地区受高氟水的危害影响,调查显示,嘉祥地区 $8\sim 12$ 岁儿童氟斑牙患病率高达 $73.5\%$ <sup>[10]</sup>。由于缺少科学合理的水资源开发利用规划,盲目改水不仅降低了改水效果,而且引起了一系列地下水环境问题。因此有必要结合鲁西南供水现状与水资源分布情况,因地制宜,采取不同的供水方式,制定经济可行、可持续的生活饮用水供水模式。

### 4.2 供水水源

供水水源可分为地表水源与地下水源。如前所述,鲁西南地区可用作生活饮用水供水水源的地下水包括:浅层孔隙水、深层孔隙水及岩溶裂隙水。其中浅层孔隙水开采潜力较大,岩溶裂隙水有一定开采潜力。

地表水源主要为引黄客水。鲁西南地处黄河沿岸,每年有一定的引黄用水指标,且主要作为农业灌溉用

水,可用浅层地下水置换出一部分黄河水,通过与地表水库的联合调蓄,经处理后作为生活饮用水供水水源。目前菏泽城区已经开始将引黄客水作为生活饮用水。引黄客水作为生活饮用水具有很大开发利用潜力。

### 4.3 供水方式

供水方式分为集中式供水与分散式供水。城区人口稠密,适宜采用集中式供水。乡村人口呈片状分布,适宜采用农村小型集中式供水。另外,大部分农村家庭都有自备井,分散式供水仍可作为一种重要的供水方式。根据不同的水资源分布情况及居民分布情况,可选择不同的供水方式,也可以选择两种方式相结合。

### 4.4 供水模式

综上所述,鲁西南地区供水形势不容乐观。为保障城镇及乡村居民的供水安全,可利用不同的水源采取不同的供水方式来满足供水需求,即供水模式,如图5所示。对不同地区来讲,不同的供水模式所产生的社会效益、需要的经济投入及带来的环境影响不同,供水模式的合理选择,应使以上目标最优化。综合权衡以上几点,针对不同地区,提出了3种最优化供水模式(见图6、表1)。

(1)模式。以浅层孔隙水或岩溶裂隙水为水源的集中供水模式。主要分布于菏泽西部沿黄地区以及嘉祥附近岩溶裂隙水分布区(见图6),即找水靶区中的浅层孔隙水找水靶区及岩溶裂隙水找水靶区,分布面积约 $0.33\times 10^4\text{ km}^2$ 。

该区浅层孔隙水或岩溶裂隙水水质较好,满足《地下水质量标准》III类水质要求;含水层的富水性较好,单井出水量较大达到 $500\sim 1\,800\text{ m}^3/\text{d}$ ,且具有一定开采潜力<sup>[11]</sup>,因此可作为生活饮用水水源。浅层孔隙水区,含水层底板埋深较浅,含水层厚度较薄,且主要

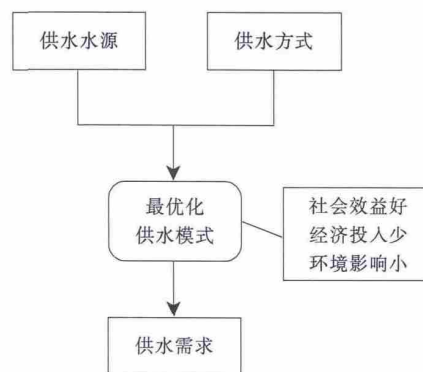


图5 供水模式流程图

Fig.5 Flow diagram of drinking water supply mode

是农村分布区,适宜采用农村小型集中供水方式,应尽量进行单村供水<sup>[12]</sup>。岩溶裂隙水分布区,含水层顶板埋深较大,为了节约成井与取水成本,可尽量采取联村供水方式,在富水性较好的区域应尽量扩大单个井的供水覆盖范围。

综上所述,该模式分区内分布有水质较好且水量充足的地下水供水水源,基本无需增加额外投入。只要做好地下污染防护工作即可保证该区居民的供水安全。

(2) 模式。以深层孔隙水为饮用水水源集中供水、浅层孔隙水为生活用水水源分散供水模式。主要分布于鲁西南中东部地区(见图6)。分布面积约 $1.21 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,其中包括东部深层孔隙水找水靶区。

该区大部分浅层孔隙水氟离子含量超标严重,且很多地区浅层孔隙水人为污染严重,不适宜直接作为饮用水,若人工处理浅层孔隙水,需要多个处理工序,代价较高。深层孔隙水除部分地区氟离子含量超标外,其他指标基本达到《生活饮用水标准》要求,经人工除氟处理后可作为生活饮用水水源。但由于深层孔隙水补给途径远,补给资源量有限,不可能完全满足生活饮用水需求。又考虑到人体主要通过饮食及饮水方式摄入过量的氟<sup>[13]</sup>,因此,建议有限的深层孔隙水以小型集中供水的方式供给村镇居民,主要用作与饮食相关的烹饪、洗涤食物和餐具及饮用水。与生活相关的洗衣、淋浴、清洁、饲养牲畜等用水仍可采用分散供水的方式抽取浅层孔隙水<sup>[14]</sup>。广大农村家庭一般都建有自备井等简易取水设施,无需铺设供水管线,就地取水,浅层孔隙水量丰富,可以满足生活用水需求。

如前所述,部分地区深层孔隙水氟是超标的,因此在集中供水水源进入用户之前应采取适当的除氟措施。这些地区氟含量一般为小于 $4.0 \text{ mg/L}$ ,可采用沸石

吸附法。该除氟方法操作工艺简单,价格低廉,处理费用为 $0.278 \text{ 元/m}^3$ <sup>[15]</sup>,且沸石无毒无害,不会产出次生污染,适用于农村乡镇地区。

模式 即可保证供水安全,又不会因大量处理高氟水而增加太多的经济投入,还可减轻因过量开采深层孔隙水所引起的次生环境地质问题<sup>[16]</sup>。根据实地调研情况,鲁西南部分地区已经实施了小型集中供水工程措施,但遗憾的是很多小型集中供水工程重建轻管,很多未进行除氟处理,造成水质达标率低与预期,影响了工程效益的发挥。因此,要保障广大农村地区的供水安全,不仅要选择合适的供水模式,更重要的是要提高供水工程的维护与管理水平,保障供水工程长期有效运行。

(3) 模式。以地表水为主要水源的集中供水模式。主要分布于菏泽、鄄城等城镇分布区及其城乡结合部(见图6),分布面积约 $0.37 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

该分布区浅层和深层地下水水质均较差,氟离子超标较严重,如进行水质处理需增加大量专门处理设备,资金投入较高,且地下水富水性弱,不适宜作为生活饮用水水源。值得注意的是,该分布区内或周围有可利用的地表水体,如鲁西南西侧的黄河、曹县南的浮岗水库、巨野北在建的大野水库等,上述水利设施的水源来源于黄河水或雨洪水,处理过程简单,成本相对较低。因此,该分布区可将处理后的地表水作为供水水源,采取集中供水的方式,以城区为中小向周

表1 供水模式简表

Table 1 Summary of water supply mode

	模式	模式	模式
分布面积	$0.33 \times 10^4 \text{ km}^2$	$1.21 \times 10^4 \text{ km}^2$	$0.37 \times 10^4 \text{ km}^2$
供水水源	浅层孔隙水 岩溶裂隙水	深层孔隙水 浅层孔隙水	地表水
供水方式	小型集中供水	小型集中供水 分散供水	集中供水
供水对象	乡村	乡村	城镇及周边
人工除氟	不需要	局部需要	不需要
水质处理	不需要	局部需要	需要
经济投入	较小	一般	较大

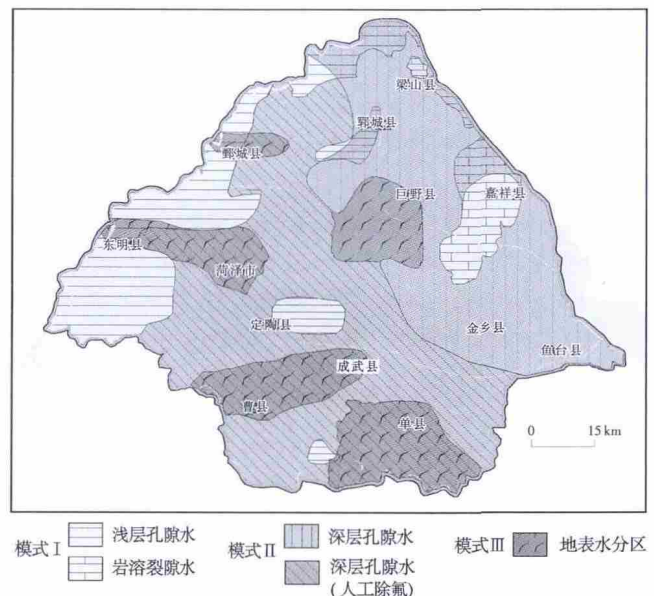


图6 生活饮用水供水模式分区图

Fig.6 Partition of drinking water supply mode in the southwest of Shandong province

围乡镇延伸,逐渐形成城乡一体化的供水格局。

虽然需要增加一定的水质处理成本,但是用地表水源替代已经超采的深层地下水,不仅可以有效减少地氟病的患病率,同时可将有效减缓城区地下水降落漏斗的下降速率。总之,该模式是一种社会效益与环境效益兼得的供水模式。正确处理好地下水与地表水之间的关系,不仅有利于解决日益复杂的水资源问题,也是事关区域经济社会可持续发展全局的重大战略问题<sup>[17]</sup>。

## 5 结果及结论

(1)鲁西南地区共有4个地下水含水岩组,现有经济技术条件下有3个含水岩组具有开发利用价值。调查分析结果显示,孔隙水中氟离子含量超标严重,且浅层与深层孔隙水中均有分布。进一步证明了鲁西南地区不仅是资源性缺水地区,更是水质型缺水地区,供水安全问题依然严峻。

(2)鲁西南高氟区分布3类找水靶区,分别为浅层孔隙水找水靶区、深层孔隙水找水靶区及岩溶裂隙水找水靶区,总面积7736 km<sup>2</sup>,占鲁西南地区总面积的49.6%。找水靶区的圈定将为高氟改水工作提供一定参考作用。

(3)在分析供水水源、供水方式等多个因素基础上提出的3种最优化供水模式,社会效益最好、经济投入最少及环境影响最少,具有可操作性。针对不同地区,应选择适宜的生活饮用水供水模式。不仅可以有效解决当地生活饮用水供水安全问题,而且可以有效缓解由于过量开采深层地下水造成的环境地质问题,进而产生较好的社会效益与资源环境效益。

### 参考文献:

- [1] 朱华般,刘表成,常家忠.浅析菏泽市地下水资源开发利用现状[J].水利建设与管理,2007,(7):77-78. (ZHU Huaban, LIU Biao Cheng, CHANG Jiazhong. Status of development and utilization of groundwater resources in Heze [J]. Water Resources Development and Management, 2007,(7):77-78. (in Chinese))
- [2] 鲁孟胜,吴恩江,李明建.鲁西南浅层高氟地下水成因的水文地球化学研究[J].煤田地质与勘探,2001,29(5):39-42. (LU Mengsheng, WU Enjiang, LI Mingjian. Study on the hydrogeochemistry genesis of high fluorine shallow-bed groundwater in southwestern Shandong province [J]. Coal Geology & Exploration, 2001, 29 (5):39-42. (in Chinese))
- [3] 万继涛,石建,刘增珉,等.山东鲁西南高氟区地下水调查与供水评价示范[R].济南:山东国土测绘院,2012. (WAN Jitao, SHI Jian, LIU Zengmin, et al. Groundwater survey and water supply evaluation demonstration in high-fluoride region in the southwest of Shandong province [R]. Jinan: Shandong Provincial Institute of Land Surveying and Mapping, 2012. (in Chinese))
- [4] 陈平,姜明丽,王淑霞.南四湖流域水文地球化学环境分析[J].中国煤田地质,2008,20(11):26-29. (CHEN Ping, JIANG Mingli, WANG Shuxia. Hydrogeochemical environment analysis of the "four south lakes" watershed [J]. Coal Geology of China, 2008, 20(11): 26-29 (in Chinese))
- [5] 杨培英,房宏.菏泽市水资源可持续利用的思考[J].现代农业科学,2009,16(2):78-79. (YANG Peiying, FANG Hong. Thinking about the sustainable utilization of water resources of Heze city [J]. Modern Agricultural Sciences, 2009, 16(2):78-79. (in Chinese))
- [6] 姜明丽,汤振清.综合勘探方法评价鲁西南煤田奥灰水[J].中国煤田地质,2001,13(2):73-75. (JIANG Mingli, TANG Zhenqing. Evaluation on water richness of ordovician limestone in south-western Shandong coal-field with comprehensive prospecting method[J]. Coal Geology of China, 2001, 13(2):73-75. (in Chinese))
- [7] 万继涛,郝奇琛,巩贵仁,等.鲁西南地区高氟水分布规律与成因分析[J].现代地质,2013,27(2):448-453. (WAN Jitao, HAO Qichen, GONG Guiren, et al. Distribution and genesis of high-fluorine groundwater in the southwest of Shandong province [J]. Geoscience, 27(2):448-453. (in Chinese))
- [8] GB 5749-2006,生活饮用水卫生标准[S].(GB 5749-2006, Standards for Drinking Water Quality[S]. (in Chinese))
- [9] GB/T 14848-93,地下水质量标准[S].(GB/T 14848-93, Quality Standard for Ground Water[S]. (in Chinese))
- [10] 陈培忠,云中杰,马爱华,等.山东省地方性氟中毒病情现状调查分析[J].中国预防医学杂志,2006,7(4):254-255. (CHEN Peizhong, YUN Zhongjie, MA Aihua, et al. Survey analysis on prevalent status of endemic fluorosis in Shandong province [J]. China Preventive Medicine, 2006, 7(4):254-255. (in Chinese))
- [11] 山东省鲁南地质工程勘察院.山东省嘉祥县红运水源地供水水文地质详查报告[R].2005. (Lunan Geological Engineering Survey Institute of Shandong Province. Report of detailed water supply hydrogeology survey on Hongyun groundwater field, Jiaxiang, Shandong[R]. 2005. (in Chinese))
- [12] 葛伟亚,叶念军,龚建师,等.淮河流域平原区地下水资源合理开发利用模式研究[J].地下水,2007,29(5):37-40. (GE Weiya, YE Nianjun, GONG Jianshi, et al. Rational development and utilization of groundwater resources in the plain of the Huaihe River basin[J]. Ground Water, 2007, 29(5):37-40. (in Chinese))
- [13] 龚建师,叶念军,葛伟亚,等.淮河流域地氟病环境水文地质因素及防病方向的研究[J].中国地质,2010,37(3):634-638. (GONG Jianshi, YE Nianjun, GE Weiya, et al. The relationship between fluorine in geological environment and endemic fluorosis in Huaihe River basin [J]. Geology in China, 2010, 37 (3):634-638. (in Chinese))
- [14] 赵宇,周律,金菁,等.高氟地下水源农村地区的分质供水模式分析[J].节水灌溉,2009,(4):33-35. (ZHAO Yu, ZHOU Lv, JIN Jing, et al. Analysis of water supply based on quality mode in rural areas with fluoride-rich groundwater [J]. Water Saving



- Irrigation, 2009,(4): 33–35. (in Chinese))
- [15] 张素芳, 蒋白懿, 李亚峰. 村镇高氟水处理技术及其应用[J]. 水资源与水工程学报, 2010, 21 (6):143–145. (ZHANG Sufang, JIANG Baiyi, LI Yafeng. High fluoride water treatment technology and its application in villages and township[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2010, 21(6):143–145. (in Chinese))
- [16] 杨湘奎, 孔庆轩, 李晓抗. 三江平原地下水水资源合理开发利用模式探讨 [J]. 水文地质工程地质, 2006,(3):49–52. (YANG Xiangkui, KONG Qingxuan, LI Xiaokang. Discussion of reasonable exploration and use pattern of groundwater resources in the Sanjiang plain[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2006, (3):49 –52. (in Chinese))
- [17] 董秀颖, 王振龙. 淮河流域水资源问题与建议[J]. 水文, 2012, 32 (4):74–78. (DONG Xiuying, WANG Zhenlong. Questions and suggestions on water resources in Huaihe River basin [J]. Journal of China Hydrology, 2012, 32(4):74–78. (in Chinese))

### Study on Drinking Water Supply Mode in High-fluoride Groundwater Areas in Southwest Shandong Province

HAO Qichen<sup>1</sup>, SHI Jian<sup>2</sup>, SU Chen<sup>1,3</sup>, JIANG Shan<sup>2</sup>, SHAO Jingli<sup>1</sup>, WAN Miao<sup>2</sup>

(1.School of Water Resources and Environment, China University of Geosciences, Beijing 100083 China; 2.Shandong Provincial Institute of Land Surveying and Mapping, Jinan 250102 China; 3.Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Shijiazhuang 050061 China)

**Abstract:** In order to ensure the safety of drinking water in the southwest Shandong Province where residents use high-fluoride groundwater as drinking water. Target areas where groundwater matches the drinking water standard was delimited based on hydrogeological survey, analysis of water quality and comprehensive evaluation of water quality. According the water target areas and combing the distribution of other water resource, water supply status and type of water supply, three kinds of water supply modes were developed in different areas. The first one is centralized water supply mode which use shallow porous water or karst fissure water as drinking water and domestic water. The second one is dual water supply mode which use deep porous water as drinking water and supply shallow porous water as domestic water. The last one is centralized water supply mode which use surface water as the main resource of drinking water and domestic water. These water supply modes could be referred by future detailed projects to prevent resident from suffering high-fluoride water.

**Key words:** aquifers; high-fluoride groundwater; target area for drinking water; water supply mode

(上接第 33 页)

### Monthly Variation of Nitrogen and Phosphorus Volume in Taihu Lake, China

ZHAO Linlin<sup>1,2</sup>, ZHU Guangwei<sup>1</sup>, GU Zhao<sup>1</sup>, ZHU Mengyuan<sup>1</sup>, LI Wei<sup>1</sup>, QIN Boqiang<sup>1</sup>, CHEN Yuanfang<sup>3</sup>

(1. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2.Yangzhou Hydrology and Resources Survey Bureau of Jiangsu Province, Yangzhou 225002, China; 3. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** Based on the monthly data of chlorophyll-a, nitrogen forms, phosphorus forms and water depth observed by the Taihu Lake Ecosystem Research Station under Chinese Academy of Sciences from 2005 to 2009, and the daily water level data from the Dapu Station, the daily water quantity of the Taihu Lake from 2005 to 2009 was estimated, and the Tyson polygon method was used to estimate the monthly variation of total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), total dissolved nitrogen (TDN), total dissolved phosphorus (TDP), nitrate nitrogen (NO<sub>3</sub>), ammonium nitrogen (NH<sub>4</sub>), nitrite nitrogen (NO<sub>2</sub>), reactive phosphorus(PO<sub>4</sub>), total particulate nitrogen (TPN), total particulate phosphorus (TPP), planktonic algae chlorophyll-a (Chl-a) in the Taihu Lake. The results show that: (1) The average volumes of TN, TDN, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, TP, TDP, PO<sub>4</sub>, TPN, TPP, Chl-a are respectively 1.36×10<sup>4</sup>t, 1.02×10<sup>4</sup>t, 0.02×10<sup>4</sup>t, 0.37×10<sup>4</sup>t, 0.25×10<sup>4</sup>t, 514.34t, 147.30t, 51.44t, 0.34×10<sup>4</sup>t, 367.04t, 7.92t in the Taihu Lake during 2005–2009. The monthly and annual change are violent. The relative amplitude are respectively 106%, 142%, 657%, 252%, 233%, 95%, 196%, 276%, 236%, 131%, 276%. (2) Since the Wuxi water crisis in June 2007 untill the end of 2009, the decline trend of various nitrogen forms and total phosphorus in the Taihu Lake is not obvious, and the volume of dissolved phosphorus and reaction activity of phosphate increased. This study shows that as for large lakes with great change amplitude of water quantity, the volume of lake nutrient is a valuable indicator in the assessment of nutrient pollution. In the view of pollution control, it is not perfect only to evaluate the concentration, and it is necessary to pay attention to nutrient volume changes.

**Key words:** Taihu Lake; water quantity; nutrient volume; geochemical forms; Thiessen polygon method