

# 蓟县盘山地区浅层地下水水质分布特征及影响因素识别

曹阳<sup>1,2</sup>, 李明明<sup>3</sup>, 杨耀栋<sup>1,2</sup>, 申月芳<sup>1,2</sup>, 马晗宇<sup>1,2</sup>

(1. 天津市地质矿产测试中心, 天津 300191; 2. 国土资源部天津矿产资源监督检测中心, 天津 300191;

3. 天津市地质调查研究院, 天津 300191)

**摘要:**针对天津市蓟县盘山地区官庄镇开展了丰水期(2013年7~9月)与枯水期(2014年3~4月)地下水水质取样与分析。利用多元统计法研究了该区地下水总硬度、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、TDS、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 和 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 等9项指标的季节变化。采用因子分析法对地下水水质影响因素进行了识别,并通过一元线性回归分析识别地下水水质因子与研究区人口密度、耕地比例、禽类养殖、农家院数量和工业产值等之间的相关性,识别出地下水污染源。结果显示:丰水期水质劣于枯水期水质,溶滤作用和生活污染是研究区水质的主要影响因素,工业污染和商业服务均对该区地下水造成明显影响。

**关键词:**地下水水质;一元线性回归;因子分析法;污染识别;蓟县盘山

**中图分类号:** P641

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-4135(2016)04-0305-06

地下水质的分布特征反映了地下水形成演化特征和水质变化情况,是自然因素和人为活动对地下水共同影响的直接表现。地下水由于其埋藏条件的特殊性,形成演化受含水层介质特性、化学组分、水动力条件以及人为因素等影响,是一个相对复杂的过程<sup>[1-2]</sup>。随着计算机技术和统计学的发展,因子分析法、主成分分析法和聚类分析法被广泛应用于水质成因分析、污染源及影响因素分析研究中<sup>[3-5]</sup>。开展相关研究不仅对揭示地下水化学特征和水化学形成作用具有重要的学术意义,同时对地下水水资源保护和可持续开发利用具有重要的实际价值<sup>[6-9]</sup>。

天津市蓟县盘山地区,蕴藏着丰富的饮用天然矿泉水资源,分布着多家矿泉水生产企业。该区浅层地下水赋存在第四系松散沉积层和花岗岩全风化裂隙含水层中,含水层底板埋深普遍小于60 m,是矿泉水主要补给来源之一。近年来人们一方面对矿泉水的需求量增加,另一方面对矿泉水水源地的人为干扰也逐渐增大。目前针对区内矿泉水开发利用与水质现状,开展了多项专题研究工作<sup>[10-13]</sup>,但研究集中在矿泉水成因及资源开发利用上,地下水水质污染调查和成因分析也以定性研究为主,忽略了浅层地下水水质季节性变化与人为活动的干扰。本文通过系统地采集研究区不同季节浅层地下水水质样

品,利用多元统计法和一元线性回归分析,对蓟县盘山浅层地下水水质时空变化进行研究,定量地研究了研究区水质影响因素,识别出浅层地下水污染源,可为该区地下水水质监测管理与矿泉水污染控制提供依据。

## 1 研究区概况

天津市蓟县盘山地区位于蓟县西部,区内自然条件优越、资源物产丰富,盛产优质低钠、低矿化度偏硅酸型矿泉水。工作区位于燕山山脉与华北平原交接地带,地势北高南低,主要地貌单元为侵蚀-剥蚀中低山丘陵和冲洪积扇(图1)。北部属盘山的一部分,侵蚀切割强烈,山势陡峭,沟谷狭窄,多呈“V”字型。山区与平原交接过渡带,发育坡残积洪积裙,宽度约1~2 km,第四系厚0~55 m,花岗岩全风化层平均厚度30 m,岩性以砂质粘土、亚砂土、粉细砂为主,夹卵砾石透镜体,冲洪积裙上发育有一系列冲沟,宽度由几米到几十米不等,切割深度1~5 m,冲沟两侧多为陡坎。研究区降水量主要集中在6~9月,达到全年降水总量的80%以上,多年平均降水量为627.2 mm。该区浅层地下水水位动态主要受降水影响,地下水丰水期一般出现在7~9月,枯水期出现在3~5月。

**收稿日期:** 2016-04-29

**资助项目:**天津市矿产资源补偿费项目“天津市蓟县盘山地区矿泉水水源地水质评价研究(国土房任[2013]15号)”

**作者简介:**曹阳(1984-),女,工程师,2013年毕业于北京师范大学地下水科学与工程专业,主要从事水工环地质研究工作,E-mail:caoy84@163.com。

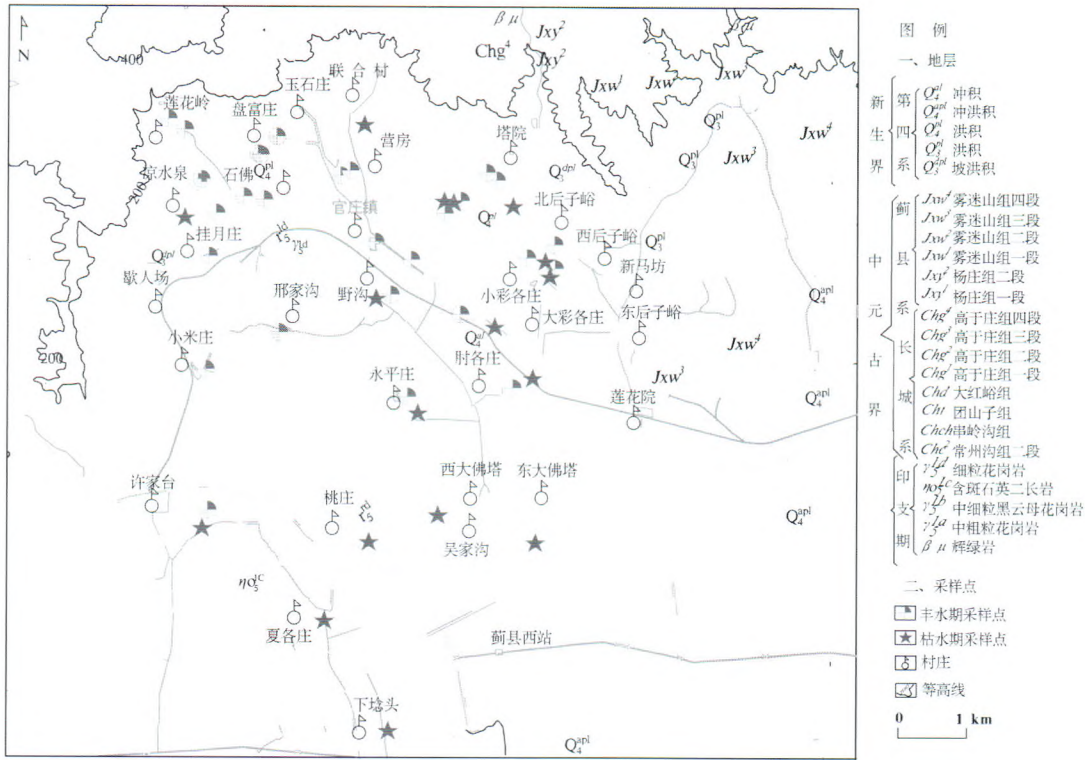


图1 研究区位置及采样点分布  
Fig.1 Location of the research area and distribution of the sampling points

2 采样与分析方法

2.1 采样与分析

本次研究对蓟县盘山地区浅层地下水进行了丰水期和枯水期采样与分析,时间分别为2013年7~9月和2014年3~4月。现场取样采用2 L塑料桶,取井、孔中水样时,先抽水10分钟左右再进行采样,采样前用去离子水清洗,待采水样润洗3遍。采样后样品置于4℃采样箱保存,24小时内送国土资源部天津矿产资源监督检测中心进行检测。检测的水质指标为总硬度、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、TDS(溶解性总固体)、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 和 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ (高锰酸盐指数)共9项。其中总硬度、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 采用ICP等离子体发射光谱法进行测定, $\text{NO}_3^-$ 采用紫外分光光度法进行测定, $\text{Cl}^-$ 采用硝酸银容量法进行测定,TDS采用重量法进行测定、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 采用高锰酸钾法进行测定。分析过程中进行质量控制,每一批次样品进行全流程空白分析2个,每10个样品进行加标回收率样品测试2个,每一批次样品选择10%的样品进行平行样分析,保证了测试结果准确可靠。

2.2 数据处理

采用单因子标准指数法评价水质现状,利用 $S=$

$C_i/C_s$ 计算标准指数,其中 $C_i$ 为调查点水质单因子实测值, $C_s$ 为地下水质量标准中三类水限值,单位均为 $\text{mg/L}$ 。

多元统计方法能够从统计数据中分析各水质点潜在相关信息,被广泛应用于水质时空变异性及污染源识别的研究中。本次研究利用因子分析法将原始变量和指标化为少数几个代表原变量信息的综合指标因子,达到降维和提取主要影响因素的目的,采用KMO和Bartlett球形检验数据运用因子分析的适用性。统计分析过程主要采用spss17.0完成。

利用线性回归分析方法研究地下水水质影响因素与区内人口、土地利用情况和工业产值的相关性,识别研究区地下水水质主要影响因素。

3 结果与分析

3.1 地下水水质及季节性变化特征

研究区浅层地下水取水段埋深均小于60 m,是该区自用民井的主要开采层位,根据《中华人民共和国地下水质量标准》(T14848-93)对区内46个采样点指标进行评价,总硬度、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、TDS、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 四项指标存在超过地下水Ⅲ类标准的情况,其中总硬度

表1 研究区采样点水质数据结果

Tab.1 The results of water quality data of sampling points in the study area

| 样品<br>编号 | 总硬度    | SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Cl <sup>-</sup> | TDS     | Ca     | Mg    | Na    | COD <sub>Mn</sub> | 采样<br>时间 |
|----------|--------|-------------------------------|------------------------------|-----------------|---------|--------|-------|-------|-------------------|----------|
| GZ-05    | 394.90 | 73.40                         | 38.99                        | 63.80           | 603.60  | 109.60 | 29.40 | 38.60 | 0.97              | 丰水期      |
| GZ-08    | 242.70 | 90.00                         | 6.42                         | 35.40           | 337.80  | 67.80  | 17.90 | 22.15 | 0.97              | 丰水期      |
| GZ-11    | 244.20 | 76.00                         | 14.64                        | 23.00           | 374.60  | 67.00  | 18.70 | 18.90 | 3.74              | 丰水期      |
| GZ-14    | 188.20 | 53.00                         | 11.31                        | 28.40           | 309.00  | 56.40  | 11.50 | 19.50 | 0.45              | 丰水期      |
| GZ-18    | 180.20 | 109.80                        | 0.15                         | 12.40           | 281.20  | 51.80  | 12.40 | 17.30 | 2.62              | 丰水期      |
| GZ-19    | 233.20 | 90.90                         | 12.31                        | 39.00           | 411.40  | 68.00  | 15.50 | 40.80 | 2.17              | 丰水期      |
| GZ-23    | 68.60  | 22.30                         | 6.63                         | 8.90            | 163.60  | 20.20  | 4.40  | 16.60 | 0.52              | 丰水期      |
| GZ-25    | 460.90 | 133.00                        | 32.03                        | 76.20           | 689.80  | 122.50 | 37.70 | 46.50 | 1.05              | 丰水期      |
| GZ-28    | 337.30 | 65.60                         | 18.19                        | 65.60           | 509.60  | 103.80 | 19.00 | 34.40 | 0.97              | 丰水期      |
| GZ-36    | 229.20 | 32.30                         | 12.24                        | 46.10           | 348.00  | 68.20  | 14.30 | 22.90 | 0.52              | 丰水期      |
| GZ-03    | 137.10 | 82.70                         | 6.03                         | 21.30           | 246.20  | 38.70  | 9.80  | 16.39 | 0.75              | 丰水期      |
| GZ-46    | 572.50 | 41.90                         | 73.46                        | 180.80          | 922.60  | 174.90 | 32.90 | 41.10 | 0.60              | 丰水期      |
| GZ-52    | 943.80 | 128.40                        | 42.71                        | 223.30          | 1227.00 | 237.20 | 85.40 | 61.80 | 0.75              | 丰水期      |
| GZ-55    | 249.20 | 26.60                         | 12.45                        | 21.30           | 335.10  | 62.30  | 22.80 | 9.90  | 0.38              | 丰水期      |
| GZ-57    | 436.90 | 114.80                        | 17.25                        | 63.80           | 643.80  | 114.00 | 37.00 | 44.10 | 1.06              | 丰水期      |
| GZ-37    | 360.30 | 71.00                         | 11.70                        | 28.40           | 473.90  | 77.90  | 40.20 | 27.90 | 2.62              | 丰水期      |
| GZ-39    | 446.90 | 53.80                         | 29.17                        | 81.50           | 677.00  | 118.10 | 37.00 | 53.50 | 0.90              | 丰水期      |
| PF-02    | 663.60 | 113.80                        | 59.38                        | 129.40          | 975.20  | 190.30 | 45.70 | 53.00 | 1.12              | 丰水期      |
| GZ-56    | 248.20 | 71.60                         | 9.10                         | 31.90           | 368.40  | 63.80  | 21.70 | 28.50 | 0.89              | 丰水期      |
| GZ-93    | 90.60  | 52.50                         | 7.38                         | 14.20           | 219.00  | 31.10  | 3.20  | 24.30 | 0.75              | 丰水期      |
| GZ-97    | 476.40 | 137.70                        | 51.96                        | 78.00           | 851.50  | 119.50 | 43.30 | 68.20 | 1.96              | 丰水期      |
| GZ-113   | 278.30 | 31.20                         | 25.26                        | 78.00           | 427.40  | 75.40  | 21.90 | 20.80 | 1.06              | 丰水期      |
| GZ-111   | 361.30 | 24.60                         | 10.73                        | 60.30           | 428.60  | 81.40  | 38.40 | 12.30 | 1.06              | 丰水期      |
| GZ-102   | 346.80 | 61.10                         | 17.99                        | 124.10          | 547.30  | 105.80 | 20.10 | 47.30 | 1.14              | 丰水期      |
| XJT-01   | 312.80 | 64.20                         | 29.92                        | 63.80           | 510.40  | 83.70  | 25.20 | 31.10 | 1.14              | 丰水期      |
| XJT-06   | 414.40 | 117.90                        | 11.70                        | 118.80          | 617.80  | 121.80 | 26.80 | 46.20 | 1.14              | 丰水期      |
| GZ-110   | 461.90 | 74.10                         | 49.33                        | 95.70           | 753.00  | 120.10 | 39.40 | 53.90 | 1.07              | 丰水期      |
| GZ-100   | 295.80 | 59.00                         | 5.08                         | 56.70           | 409.20  | 93.60  | 15.10 | 26.60 | 0.91              | 丰水期      |
| GZ-105   | 386.80 | 127.90                        | 15.66                        | 79.80           | 603.10  | 107.00 | 29.10 | 37.30 | 1.21              | 丰水期      |
| GZ-115   | 573.00 | 121.00                        | 72.51                        | 109.90          | 932.40  | 167.60 | 37.60 | 45.00 | 0.96              | 枯水期      |
| GZ-128   | 263.20 | 50.40                         | 16.49                        | 47.90           | 407.60  | 76.20  | 17.80 | 21.00 | 0.42              | 枯水期      |
| GZ-141   | 257.20 | 28.50                         | 15.62                        | 46.10           | 370.80  | 75.90  | 16.40 | 13.30 | 0.50              | 枯水期      |
| GZ-144   | 164.10 | 19.20                         | 13.12                        | 24.80           | 292.90  | 54.60  | 7.40  | 18.20 | 0.50              | 枯水期      |
| GZ-145   | 178.70 | 46.20                         | 14.33                        | 35.40           | 333.80  | 50.90  | 12.50 | 26.30 | 0.42              | 枯水期      |
| SK-053   | 452.90 | 60.30                         | 34.57                        | 81.50           | 628.00  | 126.30 | 33.50 | 18.30 | 0.72              | 枯水期      |
| SK-084   | 366.30 | 69.20                         | 18.39                        | 184.30          | 641.90  | 110.20 | 22.10 | 65.10 | 0.84              | 枯水期      |
| GZ-63    | 349.80 | 142.90                        | 30.94                        | 63.80           | 566.80  | 91.80  | 29.30 | 27.50 | 1.14              | 枯水期      |
| GZ-154   | 139.60 | 54.80                         | 15.30                        | 39.00           | 318.80  | 45.60  | 6.20  | 34.50 | 0.76              | 枯水期      |
| GZ-165   | 334.80 | 52.80                         | 15.16                        | 99.30           | 499.80  | 101.90 | 19.60 | 30.30 | 0.75              | 枯水期      |
| GZ-104   | 204.70 | 54.60                         | 17.39                        | 35.40           | 349.50  | 61.20  | 12.60 | 18.40 | 0.59              | 枯水期      |
| GZ-166   | 270.20 | 64.70                         | 26.14                        | 58.50           | 431.80  | 82.20  | 15.80 | 16.30 | 0.66              | 枯水期      |
| SK052    | 138.60 | 17.20                         | 7.77                         | 21.30           | 239.80  | 54.00  | 7.80  | 16.50 | 0.22              | 枯水期      |
| ZD108-2  | 222.70 | 44.80                         | 11.29                        | 31.90           | 347.20  | 54.00  | 17.10 | 23.90 | 0.33              | 枯水期      |
| ZD309-1  | 128.60 | 8.00                          | 8.90                         | 26.60           | 226.60  | 54.00  | 7.90  | 15.20 | 0.30              | 枯水期      |
| GZ-167   | 231.70 | 6.00                          | 16.99                        | 26.60           | 332.30  | 62.40  | 18.50 | 9.90  | 0.55              | 枯水期      |
| GZ-168   | 622.10 | 46.80                         | 51.26                        | 157.80          | 919.60  | 151.40 | 59.40 | 53.50 | 0.70              | 枯水期      |

注:测试单位为国土资源部天津矿产资源监督检测中心

和NO<sub>3</sub>-N超标比例比较高,分别为19.6%和32.6%。超标项目中,利用地下水质量标准对总硬度进行评价,符合Ⅳ类水标准的调查点占8.7%,符合Ⅴ类水标准的调查点占10.9%,达到Ⅲ类及以上地下水标准的调查点占比为80.4%。若对NO<sub>3</sub>-N利用地下水质量

标准进行评价,符合Ⅳ类水标准的调查点占8.7%,符合Ⅴ类水标准的调查点占23.9%,达到Ⅲ类及以上地下水标准的调查点占比为67.4%。TDS、COD<sub>Mn</sub>超标率均为3.4%,为地下水Ⅳ类水。

分别对研究区丰水期29个浅层水水样和枯水期17个浅层水水样的9项指标进行了统计描述,9项指标平均浓度值均为丰水期大于枯水期;其中总硬度、NO<sub>3</sub>-N、Cl<sup>-</sup>、TDS、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>和Na<sup>+</sup>等7项指标的最小值和最大值均出现在丰水期;SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的最小值与最大值出现在枯水期,COD<sub>Mn</sub>最小值出现在枯水期,最大值出现在丰水期。根据地下水质量标准(GB/T-14848-93)超标的项目主要有总硬度、NO<sub>3</sub>-N、TDS和COD<sub>Mn</sub>,其中总硬度在丰水期超标率为20.7%,最大标准指数为2.1,枯水期超标率为17.6%,最大标准指数为1.4;NO<sub>3</sub>-N丰水期超标率为34.5%,最大标准指数为3.7,枯水期超标率为29.4%,最大标准指数为3.6;TDS和COD<sub>Mn</sub>均在丰水期单个点存在超标现象,超标率为3.4%,最大标准指数均为1.2。水质总体超标情况为丰水期超标率大于枯水期(图2)。

3.2 地下水主要污染因子识别

对调查点水质的9项指标进行数据检验,得到KMO(Kaiser-Meyer-Olkin检验统计量)值为0.7,Bartlett球形检验显著性水平sig为0.00,低于0.01的显著性水平,说明各因素具有一定相关性,适合运用因子分析法进行分析。利用主成分法计算载荷矩阵,最终选取3个因子作为主要影响因素,累计方差贡献率达到89.4%,可以解释研究区地下水约90%的影响因素(表2)。

经分析提取影响研究区水质的主因子F1,总方差贡献率为57.57%,综合主成分贡献率为64.4%,是该区水质的主要影响因子,因子载荷较高的水质因子主要为总硬度、Ca<sup>2+</sup>、TDS、Mg<sup>2+</sup>、NO<sub>3</sub>-N和Cl<sup>-</sup>;第二主因子F2,总方差贡献率为18.74%,综合主成分贡献率20.96%,因子载荷较高的水质因子主要为SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Na<sup>+</sup>;第三主因子F3,总方差贡献率为13.09%,综合主成分贡献率为14.64%,载荷因子主要为COD<sub>Mn</sub>。

3.3 地下水主要污染源识别

利用一元回归分析对水质因子及特征进行分

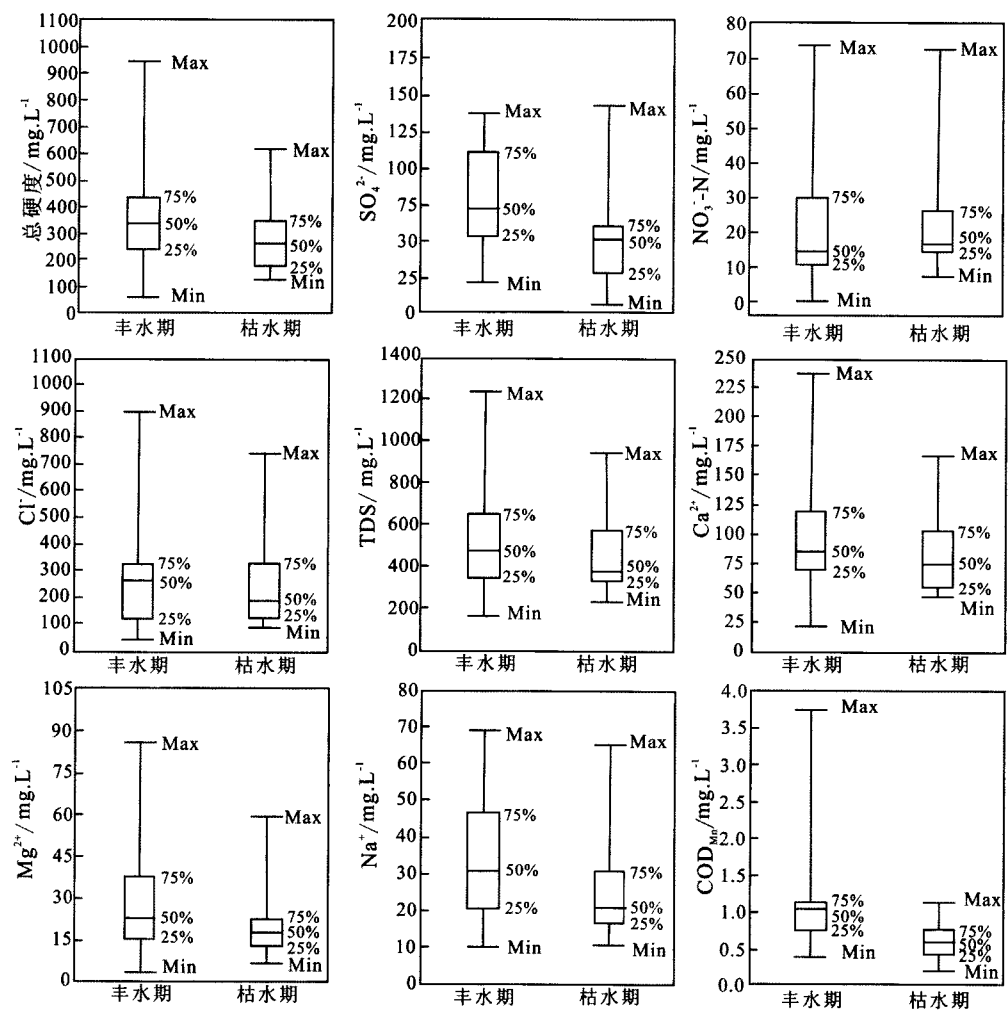


图2 浅层地下水水质季节分布特征

Fig.2 Seasonal variation of the water quality paramters in the shallow groundwater

表2 因子载荷矩阵

Tab.2 Factor loading matrix

| 水质指标                          | F1    | F2    | F3    |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| 总硬度                           | 0.94  | 0.29  | 0.08  |
| Ca <sup>2+</sup>              | 0.93  | 0.31  | 0.01  |
| TDS                           | 0.92  | 0.38  | 0.05  |
| Mg <sup>2+</sup>              | 0.88  | 0.22  | 0.19  |
| NO <sub>3</sub> -N            | 0.85  | 0.12  | -0.02 |
| Cl <sup>-</sup>               | 0.83  | 0.36  | -0.20 |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 0.25  | 0.80  | 0.42  |
| Na <sup>+</sup>               | 0.59  | 0.71  | -0.01 |
| COD <sub>Mn</sub>             | -0.01 | 0.16  | 0.96  |
| 方差贡献率(%)                      | 57.57 | 18.74 | 13.09 |
| 累计贡献率(%)                      | 57.57 | 76.31 | 89.40 |
| 综合主成分贡献率(%)                   | 64.40 | 20.96 | 14.64 |

表3 水质参数与影响因素的相关系数

Tab.3 The correlation coefficient of the water quality parameters and influencing factors

| 水质参数                          | 人口密度   | 耕地比例   | 畜禽养殖数量 | 农家院数量  | 工业产值   |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 总硬度                           | 0.385  | 0.081  | 0.034  | 0.217  | 0.516  |
| NO <sub>3</sub> -N            | 0.687  | 0.136  | -0.128 | -0.120 | 0.281  |
| TDS                           | -0.648 | -0.055 | -0.073 | -0.042 | -0.410 |
| COD <sub>Mn</sub>             | -0.373 | 0.030  | 0.170  | 0.477  | -0.094 |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 0.675  | -0.137 | -0.105 | -0.227 | 0.760  |
| Cl <sup>-</sup>               | 0.328  | -0.116 | -0.201 | -0.373 | 0.251  |
| Ca <sup>2+</sup>              | -0.253 | -0.182 | -0.150 | -0.213 | -0.513 |
| Mg <sup>2+</sup>              | -0.250 | -0.184 | -0.159 | -0.22  | -0.519 |
| Na <sup>+</sup>               | 0.391  | 0.149  | 0.302  | 0.215  | 0.604  |

析,研究各水质因子与各村庄的人口密度、耕地比例、畜禽养殖种类和农家院数量以及工业产值之间的相关性,相关系数结果见表3。结果显示研究区各水质参数与人口密度相关性明显,其中人口密度与NO<sub>3</sub>-N、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>具有强烈正相关,与TDS具有强烈负相

关,同时人口密度还影响到总硬度、COD<sub>Mn</sub>、Cl<sup>-</sup>和Na<sup>+</sup>,影响因子众多;畜禽养殖和农家院对水质各因子影响不明显,畜禽养殖与Na<sup>+</sup>有一定的正相关性,农家院数量与COD<sub>Mn</sub>呈正相关性,与Cl<sup>-</sup>呈负相关;工业产值与各因子相关性最大,其中影响最为明显的是SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>,与工业产值相关性达到0.76,其次为Na<sup>+</sup>和总硬度,相关系数分别为0.604和0.516。

4 讨论

研究区各离子季节性变化显示,总硬度、NO<sub>3</sub>-N、Cl<sup>-</sup>、TDS、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>和Na<sup>+</sup>最大值与最小值均出现在丰水期,该区丰水期降水量相对集中,随着降水入渗补给量的增加,各离子垂向淋溶补给量有所增加,导致地下水中各离子含量上升,同时该7项离子在空间分布上存在一定的差异性,部分地区离子富集,随着降水量增大浓度逐渐升高;局部地区上覆地层离子较贫乏,随着降水量增大浓度逐渐减小,影响因素主要呈面状分布。SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>最大值和最小值均出现在枯水期,说明该因素在区域上受到降水量影响较小,与地下水径流关系不明显,主要受到其他因素的影响;COD<sub>Mn</sub>最小值出现在枯水期,最大值出现在丰水期,表明COD<sub>Mn</sub>不仅受到季节性变化的影响,同时还受到面状分布趋势的影响,在枯水期地表污染物垂向补给量减小,COD<sub>Mn</sub>出现最小值,丰水期污染物随着雨水迁移到地下水中,导致地下水中COD<sub>Mn</sub>升高。

回归分析显示区内总硬度、NO<sub>3</sub>-N、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>和Cl<sup>-</sup>与人口密度具有正相关性,NO<sub>3</sub>-N、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>与人口密度呈强相关,说明研究区内各村落人口数量和人类活动对地下水水质造成十分明显的影响,尤其是生活污染源氨氮的排放导致地下水中硝酸盐含量显著升高,从研究区相同村落调查点NO<sub>3</sub>-N分布规律来看(表4),村内地下水NO<sub>3</sub>-N标准指数远远高于村落周边。其次工业污染源对地下水水质的影响较为明显,通过2013—2014年对工作区31处地表水的取样分析,根据《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)进行单因子指标评价,发现当地地表水总体水质状

况较差,达到或优于地表水Ⅲ类水标准的仅占25.8%,超过一半的地表水为劣Ⅴ类水。

当地主要影响地表水质量的指标为总氮,仅此一项就使51.6%的地表水成为劣Ⅴ类水。此外,COD<sub>Mn</sub>、COD<sub>Cr</sub>(化学需氧量)、氨氮和总磷也是主要的影响指标,本次研究中,4处食品厂附近的坑塘均是劣Ⅴ类地表水,其总氮、TDS等指标浓度较高,其中总氮最高可达23.05 mg/L,坑塘底泥中总氮含量也偏高,属于典型的食品工业废水污染。当地主要食品工业排污坑污水中Cl<sup>-</sup>含量都超过1 000 mg/L,而在地下水环境中,Cl<sup>-</sup>是保守离子,性质稳定,一般不参与水文地球化学反应。西后子峪和北小屯浅层地下水中Cl<sup>-</sup>含量偏高可以作为地下水受到食品工业污水影响的直接证据。同时,食品工业污水中同样含有大量的Na<sup>+</sup>,这些Na<sup>+</sup>大大增加了离子交换作用的强度,使更多的Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>进入地下水中,导致了硬度的升高。同时,据前人研究,区内部分地下水井水中的SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>等组分受到区内工业尤其是食品厂等企业排污影响,浓度存在不同程度的逐年增高的趋势<sup>[8]</sup>,从侧面反映了工业对SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>浓度变化的影响。虽然工作区浅层地下水中硝酸盐主要来自于生活污染源,但溶解性总固体含量和离子组分异常证明了食品工业污水对当地的地下水水质同样造成了污染;农家院数量与COD<sub>Mn</sub>呈正相关性,说明该区农家院对地下水中有有机物含量和还原性无机物含量造成一定的影响。

因此研究区主要的影响因素为以总硬度、Ca<sup>2+</sup>、TDS、Mg<sup>2+</sup>、NO<sub>3</sub>-N和Cl<sup>-</sup>为载荷的自然因子和生活污染因子,主要成因是研究区长期的地下水溶滤作用和生活垃圾及污水排放。其次是以SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Na<sup>+</sup>为主要荷载的工业污染,主要来源于工业废水排放和地下水自然成因。最后以COD<sub>Mn</sub>为载荷的商业服务因素也是造成研究区地下水水质变差的主要因素之一。研究区内耕地和畜禽养殖对地下水影响不明显。

5 结论

(1)研究区总体水质指标满足地下水Ⅲ类标准,但水质普遍较差,地下水中总硬度、NO<sub>3</sub>-N、TDS、COD<sub>Mn</sub>四项指标存在超标情况,其中总硬度和NO<sub>3</sub>-N超标比例分别为19.6%和32.6%,NO<sub>3</sub>-N最大超标倍数为3.7。研究区地下水水质总体表现为丰水期水质劣于枯水期水质,季节变化明显。

表4 研究区同村邻近调查井中硝酸盐标准指数差异  
Tab.4 The differences of nitrate standard survey index in study area near the village wells

| 村落   | 调查点野外编号 | 相对位置  | 标准指数 |
|------|---------|-------|------|
| 石佛   | GZ-05   | 村落内   | 1.95 |
|      | GZ-08   | 村落边缘  | 0.32 |
| 盘富庄  | GZ-23   | 村落边缘  | 0.33 |
|      | GZ-25   | 村落内   | 1.60 |
|      | PF-02   | 村落内   | 4.67 |
|      | GZ-52   | 两村交接处 | 2.14 |
| 西后子峪 | GZ-55   | 村外农地  | 0.62 |
|      | GZ-111  | 村外农地  | 0.54 |
|      | GZ-167  | 村落边缘  | 0.85 |
|      | GZ-168  | 村落内   | 2.56 |
| 塔院大庄 | GZ-37   | 村落边缘  | 0.59 |
|      | GZ-39   | 村落内   | 1.46 |
| 挂月庄  | GZ-110  | 村落内   | 2.47 |
|      | GZ-166  | 村落边缘  | 1.31 |

(2)将影响研究区地下水水质的主要因素概化为以总硬度、 $\text{Ca}^{2+}$ 、TDS、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和Cl<sup>-</sup>为荷载的自然因子和生活污染因子,综合主成分贡献率为64.4%;以 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Na}^+$ 为荷载的工业污染因子F2,总方差贡献率为18.74%;以 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 为荷载的商业服务污染因子,总方差贡献率为13.09%。

(3)研究区地下水水质总体为自然成因,同时受到人类活动影响,其中总硬度和硝酸盐受生活垃圾及污水排放影响,与人口密度密切相关,工业污水排放以及商业服务行业的发展均对该区地下水造成明显影响。

#### 参考文献:

- [1] 滕彦国,左锐,王金生,等.区域地下水演化的地球化学研究进展[J]. 水科学进展,2010,21(1):127-136.
- [2] 曹阳,滕彦国,刘昀竺.宁夏吴忠市金积水源地地下水水质影响因素的多元统计分析[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2013,43(1):235-244.
- [3] Shrestha S, Kazama F. Assessment of Surface Water Quality Using Multivariate Statistical Techniques: A Case Study of the Fuji River Basin, Japan [J]. Environmental Modelling and Software, 2007, 22(4): 464-475.
- [4] Zhou F, Huang G, Guo H, et al. Spatio-temporal Patterns and Source Apportionment of Coastal Water Pollution in Eastern Hong Kong [J]. Water Research, 2007, 41(15): 3429-3439.
- [5] 张妍,尚金城,于相毅.主成分-聚类复合模型在水环境管理中的应用:以松花江吉林段为例[J]. 水科学进展,2005,16(4):592-595.
- [6] 章光新,邓伟,何岩,等.中国东北松嫩平原地下水水化学特征与演变规律[J]. 水科学进展,2006,17(1):20-28.
- [7] 王文祥,王瑞久,李文鹏,等.塔里木盆地河水氢氧同位素与水化学特征分析[J]. 水文地质工程地质,2013,40(4):29-35.
- [8] 张婷,刘静玲,王雪梅.白洋淀水质时空变化及影响因子评价与分析[J]. 环境科学学报,2010,30(2):261-267.
- [9] 黄金良,黄亚玲,李青生,等.流域水质时空分布特征及其影响因素初析[J]. 环境科学,2012,33(4):1098-1107.
- [10] 李学美,赵子军,崔亚莉,等.盘山山前地下水与矿泉水污染成因分析[J]. 水文地质工程地质,2008(1):112-116.
- [11] 刘兆茂,沈键,郭晶.蓟县盘山花岗岩区天然矿泉水形成机理分析[J]. 勘察科学技术,2004(6):49-53.
- [12] 王作友,张伟,李希武.天津市蓟县盘山矿泉水形成机理、赋存规律及开发利用研究报告[R]. 天津:天津市蓟县水资源开发技术研究所,1993:1-10.
- [13] 马晗宇,杨耀栋,曹阳,等.天津市蓟县盘山地区矿泉水水源地水质评价研究成果报告[R]. 天津:天津市地质矿产测试中心,2015:5-12.

## Analysis of variation and its influence factors of the shallow groundwater quality in the Panshan area of Jixian, Tianjin

CAO Yang<sup>1,2</sup>, LI Ming-ming<sup>3</sup>, YANG Yao-dong<sup>1,2</sup>, SHEN Yue-fang<sup>1,2</sup>, MA Han-yu<sup>1,2</sup>

(1. Tianjin Geology and Mineral Testing Center, Tianjin 300191, China; 2. Tianjin Supervision and Inspection Center of Mineral Resources, Ministry of Land and Resources, Tianjin 300191, China; 3. Tianjin Institute of Geological Survey, Tianjin 300191, China)

**Abstract:** Water samples are collected in flood season (July, August and September) and average season (March and April) in the Panshan area of Jixian, Tianjin city in 2013. Multivariate statistics analysis are used to study the seasonal variation of the nine indicators of groundwater including of total hardness,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3$ , Cl<sup>-</sup>, TDS,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  and  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ . Influencing factors of groundwater quality variation are identified by factor analysis. The unitary linearity regression method are used to explore the correlation of groundwater quality and the population density, proportion of cultivated land, the number of livestock breeding, the number of farmyards and industrial production. This article shows the source of groundwater pollution. The results show that water quality in flood season is worse than that in average season. Leaching effect and domestic pollution are main influencing factors. Industrial pollution and commercial services have significant impact to the groundwater.

**Key words:** groundwater quality, unitary linearity regression method, factor analysis, identification of pollution source, the Panshan area of Jixian