

环境地质

济南北跨地区浅层地下水水化学多元统计分析

袁春鸿,李念春

(山东省地矿工程勘察院,山东 济南 250014)

摘要:根据浅层地下水的水流特征和人类活动影响,将研究区进行了水文地质单元分区,应用因子分析法对各分区浅层地下水水化学特征进行研究。结果表明:黄河沿岸(Ⅰ区)浅层孔隙水形成过程中经历了蒸发浓缩作用、混合作用和溶滤作用,以蒸发浓缩作用为主;径流条件差的引黄灌溉区(Ⅱ区),浅层孔隙水形成过程中经历了混合作用和蒸发浓缩作用,以混合作用为主;径流条件较好的地下水开采区(Ⅲ区),浅层孔隙水形成过程中经历了蒸发浓缩作用和溶滤作用,以蒸发浓缩作用为主。

关键词:浅层地下水;水化学;多元统计;济南北跨地区

中图分类号:P641.42

文献标识码:B

引文格式:袁春鸿,李念春.济南北跨地区浅层地下水水化学多元统计分析[J].山东国土资源,2018,34(2):29-34.
YUAN Chunhong, LI Nianchun. Groundwater Trace Test and Analysis on Leakage Area in Daxinhe River in Eastern Jinan City[J]. Shandong Land and Resources, 2018, 34(2): 29-34.

0 引言

济南北跨地区位于济南市北部,地处黄河冲积平原,面积645 km²,在行政区划上隶属济南市天桥区和济阳县,包括天桥区桑梓店镇、大桥镇和济阳县孙耿镇、崔寨镇、回河镇及城关镇部分地区^①。地下水类型以浅层孔隙水为主,水化学类型复杂,TDS一般1~3 g/L,最高达5.284 g/L,属微咸水—咸水分布区。研究区绝大部分浅层孔隙地下水水质较差,较差区占总面积的76%,极差区占24%,超标项目主要有总硬度、TDS, SO₄²⁻, Na, Cl, Mn, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺, Fe, F等。研究北跨地区浅层地下水水质对提高济南北跨地区地下水供水能力、保障供水安全、促进北跨新城区的可持续发展具有重要意义。

多元统计方法是数理统计的一种常用方法,是从经典统计学中发展起来的一个分支,在地下水化学特征的研究过程中,能够在大量复杂数据中提取一些主要信息,分析多个相互关联指标间的统计规律^[1-7],归纳出影响水化学场的主要因素。

1 研究区概况

济南北跨地区地处黄河冲积平原,地势较平坦,地面坡度0.1%~0.3%,地面标高16~30 m,由东南、西北向中部东盐场—回河镇—济阳县一带倾斜。按微地貌分类原则,可分为决口扇形地、缓平坡地和河漫滩高地3种微地貌类型。1940—2012年多年平均气温14.2℃,多年最高气温为42.7℃(1942年7月6日),多年最低气温-19.7℃(1953年1月17日)。据1956—2010年降水资料,多年平均降水量703.43 mm,年最大降水量1 064.5 mm(1964年),年最小降水量342.85 mm(1968年)。降水在年内分配不均,多集中在5~9月份,占全年降水量的85.27%。研究区地表水系较发育,有黄河、齐济河、牧马河、大寺河、垛石河等5条河流,黄河为主要河流,对沿途地下水有较强的补给作用。水库有鹊山水库,属黄河水系。地下水类型以浅层孔隙水为主,富水性受古河道控制,研究区有2条古河道带,自西南向东北分别斜贯研究区的中部和北部边缘(图1),水量丰富;两古河道中间为古河道间带,水量贫乏。

收稿日期:2016-09-09;修订日期:2017-10-11;编辑:曹丽丽

作者简介:袁春鸿(1979—),女,山东曹县人,高级工程师,主要从事水工环地质工作;E-mail:58076206@qq.com

①山东省地矿工程勘察院,山东省济南北跨新城城市地质调查报告,2015年。

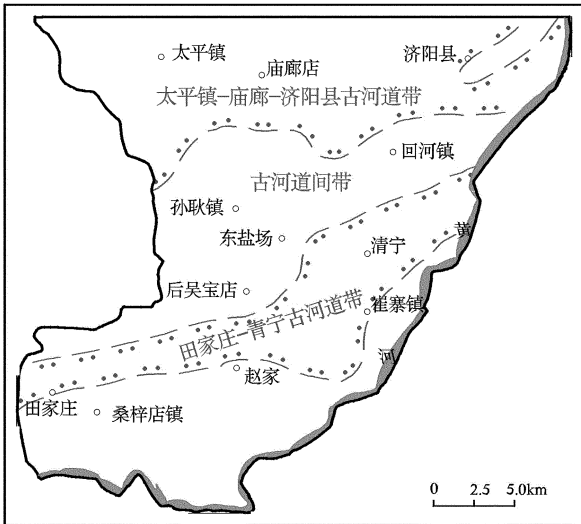


图 1 研究区古河道分布图

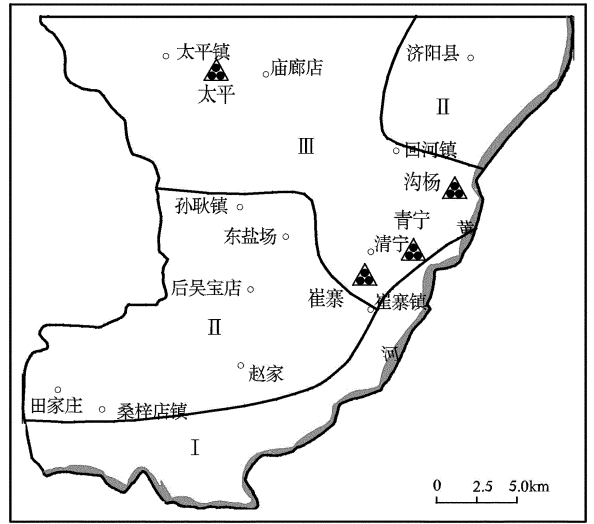


图 2 研究区水文地质分区图

依据地下水的水流特征和人类活动影响,将研究区浅层孔隙水划分为 3 个区(图 2):黄河沿岸(I 区)、田家庄—后吴宝店和回河镇—济阳县(II 区)、引黄灌溉区和太平镇—回河镇—崔寨镇地下水开采区(III 区)。

I 区:位于黄河沿岸桑梓店镇—大桥镇—崔寨镇—范家铺一带,属于黄河冲积平原的前沿地带。单井涌水量小于 500 m³/d,水位埋深<1 m,TDS 小于 2 g/L,水化学类型为 HCO₃⁻-Ca·Mg 或 HCO₃⁻-Mg·Ca。补给来源为黄河的侧渗补给和大气降水入渗补给;浅层孔隙水垂直黄河向研究区径流;排泄方式为垂直蒸发和向下游的侧向径流。

II 区:位于田家庄—后吴宝店和济阳县 2 个地段,引黄灌溉是该区的唯一灌溉水源,古河道内单井涌水量 1 000~3 000 m³/d,古河道间带及边缘地带小于 1 000 m³/d,水位埋深 1~3 m,TDS 一般 1~3 g/L,后吴宝店—东盐场一带 3~5 g/L。II 区阴离子类型复杂,阳离子多为 Na·Ca·Mg 型或 Na·Mg 型。该区接受大气降水补给和引黄灌溉补给;浅层孔隙水由西南、南向北径流,回河镇—济阳县一带向西北方向径流;主要排泄方式为垂直蒸发和向下游的侧向径流。

III 区:位于太平镇—回河镇—崔寨镇一带,古河道内单井涌水量 1 000~3 000 m³/d,古河道间带及边缘地带小于 1 000 m³/d,水位埋深一般 2~5 m。浅层地下水水质较好,TDS 一般 1~3 g/L,阴离子为 HCO₃⁻型或 SO₄·HCO₃⁻型,阳离子为 Na·Mg 型或 Na·Mg·Ca 型。补给来源为大气降水入渗补给、

农田灌溉回渗补给和上游侧向径流补给;地下水自南向北径流,受人为开采活动的影响,在沟杨水源地周边形成较大浅层水降落漏斗,漏斗中心最大水位埋深 7 m,在太平水源地周边和清宁—崔寨附近形成小型降落漏斗;排泄方式为水源地开采和农田灌溉开采。

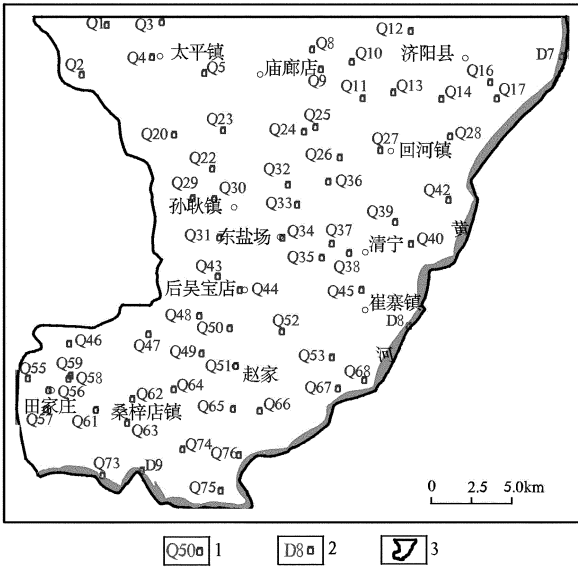
2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

共利用浅层孔隙水样品 62 组,为埋深小于 50 m 的机民井水样,分析资料来源于山东省地质勘查项目:山东省济南北跨新城区城市地质调查,取样时间 2013 年 5 月—2013 年 7 月,分析数据包括 K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻, Cl⁻, HCO₃⁻、总硬度、TDS、pH 值和 11 项微量元素测试结果。取样点分布见图 3,用 2.5 kg 的塑料桶,采样前先用待采水样冲洗 3 次,采样时确保采集的水样充满取样桶,样品的水质测试由山东省地矿工程勘察院实验室测试完成。

2.2 因子分析法

因子分析法是一种降维处理的多元统计分析方法,即用较少的几个主因子来代替原来较多的样品或变量,而且使这些主因子既能尽量多地反映原来较多样品或变量所反映的信息,同时它们之间又是彼此独立的^[8-14]。



1—浅层孔隙水取样点及编号;2—黄河水取样点及编号;
3—研究区范围

图 3 浅层孔隙水取样点分布图

2.2.1 原始数据选取

选用 Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- 等地下水中常见的 6 大水化学组分作为计算变量,在 SPSS 软件中进行因子分析。原始水化学数据矩阵如下:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2p} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{np} \end{bmatrix} \quad (1)$$

然而,从如此多的变量数据中找出事物的内在规律是比较复杂的。为了克服在 p 维空间中分析数据的复杂性,就需要进行降维处理,选几个彼此独立的综合指标代替原来较多的变量指标,同时也能较好地反映原来较多指标所反映的信息^[14-19]。数学模型如下:

$$\begin{cases} x_1 = a_{11}F_1 + a_{12}F_2 + \cdots + a_{1m}F_m + a_1\varepsilon_1 \\ x_2 = a_{21}F_1 + a_{22}F_2 + \cdots + a_{2m}F_m + a_2\varepsilon_2 \\ \cdots \\ x_p = a_{p1}F_1 + a_{p2}F_2 + \cdots + a_{pm}F_m + a_p\varepsilon_p \end{cases} \quad (2)$$

式中: x_i —第 i 个初始变量 ($i = 1, 2, \dots, p$); F_j —因子变量 ($j = 1, 2, \dots, m, m < p$); a_{ij} —因子载荷; ε —特殊因子。

因子载荷 a_{ij} 是反映 x_i 在第 j 个公共因子变量上相对重要性的相关系数。所以 a_{ij} 绝对值越大,因子变量 F_j 和原有变量 x_i 关系越强。

2.2.2 原始数据标准化处理

由于监测数据之间浓度相差较大,对原始监测数据作标准化处理,以清除数量级或量纲的影响。

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{S_{ij}} \quad (3)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (x_{ki} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_j) \quad (4)$$

式中:其中 x_{ij}^* —标准化处理后的变量; $i = 1, 2, \dots, n, n$ 为样本总数; $j = 1, 2, \dots, p, p$ 为样本初始变量个数。

从而得到原水化学数据矩阵的标准阵 $[x_{ij}^*]_{n \times p}$, 为了方便,仍然记为:

$$[x_{ij}^*]_{n \times p} = [x_{ij}]_{n \times p}$$

2.2.3 计算数据 $[x_{ij}]_{n \times p}$ 的相关系数矩阵 R

$$r_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \sum_{j=1}^n (y_j - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{j=1}^n (y_j - \bar{y})^2}} \quad (5)$$

相关系数的绝对值越大,相关性越强,绝对值越小,相关性越弱。相关强度的取值见表 1。

表 1 相关性分级

极强相关	强相关	中等程度相关	弱相关	无相关
0.8~1.0	0.6~0.8	0.4~0.6	0.2~0.4	0.0~0.2

2.2.4 计算 R 的 m 个特征值与特征向量

求特征方程 $|\lambda_i R - R| = 0$ 的特征值 $\lambda_i (i = 1, 2, \dots, m)$, 求出并使其按大小顺序排列,即 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m > 0$; 然后求出对应于特征值 λ_1 的特征向量 u_1, u_2, \dots, u_m , 他们标准正交。

2.2.5 计算因子变量的贡献率和累计贡献率 Q

$$Q = \frac{\sum_{j=1}^k \lambda_j}{\sum_{i=1}^m \lambda_i} \quad (6)$$

其中: $k \leq m$ 。

每一因子变量的贡献率为:

$$\frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^m \lambda_i} (i = 1, 2, \dots, m)$$

取累计贡献率达到 80% 以上的特征值 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ 所对应的第一,第二, ..., 第 $m (m \leq p)$ 个因子变量。

2.2.6 计算因子载荷

$$a_{ij} = u_{ij} \sqrt{\lambda_j} \quad (i = 1, 2, \dots, p; j = 1, 2, \dots, m)$$

得到因子载荷矩阵:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{p1} & a_{p2} & \dots & a_{pm} \end{bmatrix} \quad (7)$$

2.2.7 计算因子变量的得分

首先将因子变量表示为原有变量的线性组合,

即: $F_j = \beta_{j1}x_1 + \beta_{j2}x_2 + \dots + \beta_{jp}x_p \quad (j = 1, 2, \dots, m)$ (8)

然后通过回归法等求得因子得分。

3 数据分析与讨论

3.1 I 区

对 I 区的 9 个样本进行分析,选取特征值大于 1 的 3 个因子作为主因子:第一主因子的方差贡献率为 47.047%;第二个主因子的累计方差贡献率为 76.593%;第三个主因子的累计方差贡献率为 94.073%。I 区浅层孔隙水水化学成分相关系数见表 2,方差极大法旋转因子载荷矩阵及累计方差贡献率见表 3。

表 2 I 区浅层孔隙水水化学成分相关系数 R

R	Na	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃
Na	1.000	-0.055	0.371	0.442	0.666	0.075
Ca	-0.055	1.000	0.359	0.503	0.449	0.416
Mg	0.371	0.359	1.000	0.216	0.397	0.775
Cl	0.442	0.503	0.216	1.000	0.856	-0.241
SO ₄	0.666	0.449	0.397	0.856	1.000	-0.080
HCO ₃	0.075	0.416	0.775	-0.241	-0.080	1.000

表 3 I 区方差极大法旋转因子载荷矩阵及累计方差贡献率

项目	1	2	3
Na	0.934	0.175	-0.135
Ca	-0.052	0.334	0.915
Mg	0.351	0.867	0.170
Cl	0.641	-0.196	0.698
SO ₄	0.814	0.009	0.538
HCO ₃	-0.133	0.980	0.062
特征值	2.823	1.773	1.050
累计贡献率%	47.047	76.593	94.073

第一主因子 F₁ 主要由 Na⁺, SO₄²⁻, Cl⁻ 构成, SO₄²⁻ 和 Cl⁻ 具有极强正相关性, 两离子与 Na⁺ 之间也具有

较好的正相关性, 说明了离子来源的一致性。该区位于黄河沿岸, 由于黄河是地上河, 浅层孔隙水常年接受黄河的侧渗补给, 黄河水的水化学类型为 SO₄ · HCO₃ · Cl - Na · Ca · Mg 型, 浅层孔隙水接受黄河水的侧渗补给后, 由于该段水位埋深浅, 蒸发浓缩作用非常强烈, 地下水中的 HCO₃⁻ 和 Ca²⁺, Mg²⁺ 在水中相继达到饱和而沉淀析出, 蒸发浓缩作用是影响该段地下水化学成分的主要作用。

第二主因子 F₂ 主要由 HCO₃⁻, Mg²⁺ 构成; HCO₃⁻ 与 Mg²⁺ 有强正相关性。大气降水是该区的补给来源之一, 根据雨水水质分析资料, 研究区雨水水化学类型为 HCO₃-Mg · Ca 型, 该段水位埋深浅、大气降水的入渗过程短, 入渗后与原有地下水混合, F₂ 主因子反映了混合作用对该区地下水化学组分的影响。

第三主因子 F₃ 主要由 Ca²⁺, Cl⁻ 构成, 两离子之间具有中等相关性。该区位于黄河冲积平原的前沿地带, 水动力条件较好, 水循环交替较好, 地下水在循环过程中发生一定的溶滤作用, 土壤中 Ca 可溶盐得以溶解进入地下水, 可见溶滤作用对地下水化学成分也有一定影响。

3.2 II 区

对 II 区的 27 个样本进行分析, 选取特征值大于 1 的 2 个因子作为主因子, 第一主因子的方差贡献率为 63.270%, 第二个主因子的累计方差贡献率为 85.559%。II 区浅层孔隙水水化学成分相关系数见表 4, 方差极大法旋转因子载荷矩阵及累计方差贡献率见表 5。

表 4 II 区浅层孔隙水水化学成分相关系数 R

R	Na	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃
Na	1.000	0.229	0.730	0.681	0.760	0.684
Ca	0.229	1.000	0.723	0.478	0.677	-0.106
Mg	0.730	0.723	1.000	0.803	0.881	0.297
Cl	0.681	0.478	0.803	1.000	0.547	0.158
SO ₄	0.760	0.677	0.881	0.547	1.000	0.368
HCO ₃	0.684	-0.106	0.297	0.158	0.368	1.000

第一主因子 F₁ 主要由 Mg²⁺, Ca²⁺, SO₄²⁻, Cl⁻ 等成分构成, 离子之间具有较好的正相关性。引黄灌溉是该区浅层孔隙水的主要补给来源, 黄河水的水化学类型为 SO₄ · HCO₃ · Cl⁻ Na · Ca · Mg, 由于该区浅层孔隙水水位埋深较浅, 黄河水灌溉后经过简短的入渗快速与地下水混合, 地下水以 Mg²⁺, Ca²⁺,

SO₄²⁻、Cl⁻等成分为主。可见混合作用是影响该区地下水化学成分的主要因素。

表 5 II 区方差极大法旋转因子载荷矩阵
及累计方差贡献率

项目	1	2
Na	0.536	0.808
Ca	0.890	-0.239
Mg	0.926	0.318
Cl	0.769	0.272
SO ₄	0.829	0.392
HCO ₃	-0.003	0.939
特征值	3.796	1.337
累计贡献率%	63.270	85.559

第二主因子 F₂ 主要由 HCO₃⁻、Na⁺ 构成; HCO₃⁻ 和 Na⁺ 无相关性。该区水位埋深较浅, 蒸发浓缩作用较强烈, 且径流缓慢、水动力条件较差、水循环交替弱, 使得矿化度不断升高。Ca²⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻ 等离子在水中相继达到饱和而沉淀析出, 使得地下水以 HCO₃⁻ 和 Na⁺ 为主。F₂ 主因子反映了蒸发浓缩作用对地下水的影响。

3.3 III 区

对 III 区的 26 个样本进行分析, 选取特征值大于 1 的 2 个因子作为主因子, 第一主因子的方差贡献率为 45.059%, 第二主因子的累计方差贡献率为 69.394%。III 区浅层孔隙水水化学成分相关系数见表 6, 方差极大法旋转因子载荷矩阵及累计方差贡献率见表 7。

表 6 III 区浅层孔隙水水化学成分相关系数 R

R	Na	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃
Na	1.000	0.033	0.147	0.330	0.605	0.767
Ca	0.033	1.000	0.280	0.730	0.221	0.111
Mg	0.147	0.280	1.000	0.522	0.134	0.435
Cl	0.330	0.730	0.522	1.000	0.303	0.239
SO ₄	0.605	0.221	0.134	0.303	1.000	0.163
HCO ₃	0.767	0.111	0.435	0.239	0.163	1.000

第一主因子 F₁ 主要由 Na⁺、HCO₃⁻、SO₄²⁻ 等成分构成; Na⁺ 和 SO₄²⁻、HCO₃⁻ 有强正相关性; SO₄²⁻ 和 HCO₃⁻ 无相关性。该区地下水的补给来源为大气降水入渗和农田灌溉回渗, 还有部分上游浅层孔隙水的径流补给, 该段浅层水水位年变幅较大, 丰水期水位埋深较浅, 蒸发浓缩作用强烈, 枯水期水位埋深较大, 蒸发浓缩作用相对较弱, 受蒸发浓缩作用影响, 地下水矿化度在一定程度上有所升高。地下水中

Ca²⁺、Mg²⁺ 饱和后沉淀析出; 地下水成分主要以 Na⁺、HCO₃⁻、SO₄²⁻ 等为主。可见蒸发浓缩作用是影响该区地下水化学成分的主要因素。

表 7 III 区方差极大法旋转因子载荷矩阵
及累计方差贡献率

项目	1	2
Na	0.969	0.046
Ca	-0.043	0.884
Mg	0.274	0.616
Cl	0.226	0.902
SO ₄	0.609	0.214
HCO ₃	0.827	0.133
特征值	2.704	1.460
累计贡献率%	45.059	69.394

第二主因子 F₂ 主要由 Cl⁻、Ca²⁺、Mg²⁺ 构成; 由于该区水源地开采和农田灌溉开采强度较大, 地下水动力条件较好, 水循环交替强烈, 水位年变幅较大, 地下水在循环过程中溶滤作用强烈, 土壤中 Ca、Mg 等可溶盐得以溶解进入地下水, 可见溶滤作用对地下水化学成分也有一定影响。

4 结论

利用济南北跨区浅层孔隙水和黄河水、雨水的水化学数据, 对济南北跨区浅层孔隙水水化学特征进行了因子分析, 得到以下结论:

(1) 黄河沿岸 (I 区) 浅层孔隙水形成过程中经历了蒸发浓缩作用、混合作用和溶滤作用, 以蒸发浓缩作用为主; 径流条件差的引黄灌溉区 (II 区) 浅层孔隙水形成过程中经历了混合作用和蒸发浓缩作用, 以混合作用为主; 径流条件较好的地下水开采区 (III 区) 浅层孔隙水形成过程中经历了蒸发浓缩作用和溶滤作用, 以蒸发浓缩作用为主。

(2) 在地下水径流条件较好地段, 当蒸发浓缩作用强烈时, 反映蒸发浓缩作用的因子主要由 Na⁺、SO₄²⁻、Cl⁻ 构成; 当蒸发浓缩作用强烈和较弱交替时, 反映蒸发浓缩作用的因子主要由 Na⁺、HCO₃⁻、SO₄²⁻ 构成。在地下水径流缓慢地段, 反映蒸发浓缩作用的因子主要由 Na⁺、HCO₃⁻ 构成。

(3) 在地下水径流条件较好地段, 地下水形成过程中均经历了一定程度的溶滤作用。以侧向径流为主的地段, 反映溶滤作用的因子主要由 Ca²⁺、Cl⁻ 构成; 地下水以垂直交替为主的地段, 反映溶滤作用的因子由 Cl⁻、Ca²⁺、Mg²⁺ 构成。

(4)在水位埋深浅的地段,混合作用是影响地下水化学成分的主要作用之一。

参考文献:

- [1] 向东进,李宏伟,刘小雅.实用多元统计分析[M].武汉:中国地质大学出版社,2005:37-42.
- [2] 吴启勋,张世芝,安燕.中国盐湖水化学类型的多元统计分类法[J].分析化学,2005,33(3):433.
- [3] 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.
- [4] 孙斌.多元统计方法在鄂尔多斯白垩系盆地都思兔河地下水系统水化学场空间分布规律研究中的应用[D].吉林:吉林大学,2007:40-49.
- [5] 周晓妮.华北平原东部典型区浅层地下水化学特征及可利用性研究[D].北京:中国地质科学院,2008:35-42.
- [6] 李俊霞,苏春利,谢先军,等.多元统计方法在地下水环境研究中的应用——以山西大同盆地为例[J].地质科技情报,2010,29(6):94-100.
- [7] 王红英,吴健华,李培月.泾源县地下水水质多元统计分析[J].宁夏工程技术,2011,10(4):368-372.
- [8] 吴春勇,苏小四,郭金森,等.鄂尔多斯沙漠高原白垩系地下水水化学演化的多元统计分析[J].世界地质,2011,30(2):244-253.
- [9] 黄支刚.四川安县某地水体地球化学特征研究[D].成都:成都理工大学,2012:30-33.
- [10] 沈杨,何江涛,王俊杰,等.基于多元统计方法的地下水水化学

特征分析:以沈阳市李官堡傍河水源地为[J].现代地质,2013,27(2):440-447.

- [11] 柳强.关于黄河三角洲浅层地下水补给及盐分来源的初步探讨[D].西安:长安大学,2013:44-46.
- [12] 程哲.盐池地区地下淡水形成机理研究[D].西安:长安大学,2013:32-38.
- [13] 魏印涛,何其芬,刘伟,等.R型因子分析和聚类分析在水系沉积物测量中的应用[J].山东国土资源,2014,30(10):49-52.
- [14] 杜小亮,刘广胜,崔庆岗,等.多元统计分析方法在莫桑比克穆卡拉金矿区的应用[J].山东国土资源,2016,32(1):47-50.
- [15] 李成路,张绪教,叶培盛,等.内蒙古河套平原现代湖泊的水化学特征及成因类型[J].山东国土资源,2016,32(12):30-36.
- [16] Laaksoharju M. Groundwater characterisation and modelling: problems, facts and possibilities[D].Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm,1999.
- [17] S. Adams, R. Titus, K. Pietersen, et al. Hydro chemical characteristics of aquifers near Sutherland in the Western Karoo, South Africa[J].Journal of Hydrology,2001(91):103.
- [18] Rajesh Reghunath, T.R. Sreedhara Murthy, B.R. Raghavan. The utility of multivariate statistical techniques in hydrogeochemical studies: an example from Karnataka, India[M].Water Research,2002:2437-2442.
- [19] A. E. Edet, B.J. Merkel, O. E. Offiong. Trace element hydrochemical assessment of the Calabar Coastal Plain Aquifer, south-eastern Nigeria using statistical methods[J]. Environmental Geology,2003(44):137-149.

Multivariate Statistical Analysis on Hydrochemistry of Shallow Groundwater in Northern Jinan City

YUAN Chunhong, LI Nianchun

(Shandong Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Jinan 250014, China)

Abstract: According to flow characteristics of shallow groundwater and human activities influence, hydrogeological unit partition has been carried out. By using factor analysis, chemical characteristics of shallow pore water in each partition has been studied. It is showed that shallow pore water along Yellow River area (I area) experiences evaporation concentration, mixing action and leached role, and evaporation concentration is main action. In Yellow River irrigated area (II area), runoff conditions are poor, shallow pore water experiences mixing action and evaporation concentration, mixing is main action. In groundwater mining area (III area), runoff conditions are good, shallow pore water experiences evaporation concentration, and leached role, evaporation concentration is main action.

Key words: Shallow groundwater water; water chemistry; multivariate statistics; Northern Jinan