山西省忻州盆地地下水污染特征研究

文_李鹏强　山西省煤炭地质资源环境调查院

摘要：为了探究山西省忻州盆地地下水的污染特征状况，采用主成分分析法、聚类分析法以及相关分析法，对收集到的盆地区地下水水质数据进行分析。结果表明：地下水主要影响因素为 TDS、总硬度和硝酸盐氮；TDS 和总硬度升高主要由于地表污染物淋滤入渗和氮素迁移转化造成，而硝酸盐氮污染主要来源于农业区氮肥的使用。

关键词：多元统计；地下水；水质；污染；忻州盆地

Characteristics of Groundwater Pollution in Xinzhou Basin, Shanxi Province

LI Peng-qiang

[Abstract] In order to explore the pollution characteristics of groundwater in Xinzhou basin of Shanxi Province, the principal component analysis, cluster analysis and correlation analysis were used to analyze the collected groundwater quality data in the basin. The results show that the main influencing factors of groundwater are TDS, total hardness and nitrate nitrogen; the increase of TDS and total hardness is mainly caused by the leaching and infiltration of surface pollutants and nitrogen migration and transformation, while nitrate nitrogen pollution mainly comes from the use of nitrogen fertilizer in agricultural areas.

[Key words] multivariate statistics; groundwater; water quality; pollution; Xinzhou Basin

1 数据与方法

1.1 数据来源

此次研究数据来源于 2019 年忻州市地下水动态监测工程，由于人口和工农业主要分布在盆地区，所以选择监测井的原则是尽量覆盖盆地区，然后选择了 17 口符合要求的浅层监测井的水质数据进行分析，各监测井井深均小于 120m。本次研究中的水质检测指标共 22 项，包括 pH、溶解性总固体 (TDS)、总硬度、悬浮物、氨氮、铁、氯化物、硫酸盐、硝酸盐、亚硝酸盐、氟化物、氰化物、挥发酚、汞、砷、六价铬、铜、铅、锌、锰、镉、高锰酸盐指数。

1.2 研究方法

对水质的分析采用多元统计方法，包括主成分分析、聚类分析和相关分析。主成分分析用于提取水质主要影响指标；聚类分析是根据主成分分析提取出的指标，计算 17 口监测井的水质相似程度，进而对监测井进行分类；相关分析是通过计算指标之间的关联度，以识别各指标在水质演化过程中的联系。通过多元统计分析结果，并结合水文地球化学理论来探讨不同聚类地下水污染的特征因子及来源，进而对水质分布区域进行划分。

主成分分析是通过线性变换将多个变量简化为少数几个变量的一种方法，该方法可以识别水质指标中的信息重叠，从而减少不必要的信息干扰，在筛选水质指标方面应用很多；聚类分析是根据类之间的相关性，将相似度最高的因子结合为一类，并且不断反复，直到所有分类聚合成一类；相关分析是通过变量间的相关性计算，研究变量间关联方向及关联度的一种方法。

2 多元统计分析结果

2.1 主成分分析结果

从检测后的水质结果来看，浅层地下水中悬浮物未见异常，氨氮、铁、氰化物、挥发酚、汞、铜、锌、镉 8 项指标均低于检出限，对水质的影响可忽略。因此，选取剩下的 13 项指标进行主成分分析，得到相应的成分矩阵，见表 1。

表1 成分矩阵

水质指标	成份			
	1	2	3	4
TDS	0.976	0.040	0.149	0.010
硫酸盐	0.942	0.033	0.242	−0.056
总硬度	0.932	−0.243	−0.083	0.137
氯化物	0.870	0.038	0.397	0.043
硝酸盐	0.816	−0.019	−0.507	−0.063
氟化物	0.754	0.427	0.189	0.017
亚硝酸盐	0.706	−0.121	−0.585	−0.147
六价铬	−0.320	0.804	−0.116	−0.254
砷	0.178	0.784	−0.412	−0.270
pH	0.126	0.534	0.280	0.615
锰	−0.059	0.890	0.106	0.209
铅	−0.043	−0.387	−0.106	0.487
高锰酸盐指数	0.080	−0.138	0.571	−0.697

由表 1 可看出，共提取出 4 个主成分，成分 1 主要与 TDS、硫酸盐、总硬度、氯化物、硝酸盐、氟化物六项指标相关，总方差达到 41.234%；成分 2 主要与锰、六价铬相关，总方差为 21.293%；成分 3 和成分 4 分别与亚硝酸盐和高锰酸盐指数相关，总方差分别为 11.456%、10.248%。4 个主成分累计方差为 84.231%。

2.2 聚类分析结果

利用主成分分析方法筛选出的 10 项主要水质指标，可以构建出表征研究区地下水水质的 17×10 水质矩阵，然后进行聚类分析。由于事先不确定分成几类，所以选择系统聚类中的个案聚类对研究区水质监测井进行分类，研究区中的监测井被明显划分为两个聚类。第一聚类超标情况比较复杂，有 TDS、总硬

度、氯化物、硝酸盐、氟化物等超标项；第二聚类主要以硝酸盐氮超标为特征。

2.3 相关性分析结果

为了更进一步探寻两种聚类地下水水质形成原因，这里采用双变量相关分析方法对系统聚类分析中的10项水质指标进行相关性分析，得到各水质指标的pearson相关系数，见表2。

表2 水质指标Pearson相关系数

	TDS	总硬度	氯化物	硫酸盐	硝酸盐氮	亚硝酸盐氮	氟化物	六价铬	锰	高锰酸盐指数
TDS	1	0.907**	0.937**	0.975**	0.713**	0.569*	0.733**	−0.256	0.013	0.149
总硬度	0.907**	1	0.782**	0.852**	0.793**	0.686**	0.540*	−0.455	−0.249	0.005
氯化物	0.937**	0.782**	1	0.921**	0.455	0.375	0.696**	−0.267	0.098	0.220
硫酸盐	0.975**	0.852**	0.921**	1	0.647**	0.517*	0.698**	−0.255	0.000	0.227
硝酸盐	0.713**	0.793**	0.455	0.647**	1	0.841**	0.517*	−0.206	−0.209	−0.144
亚硝酸盐	0.569*	0.686**	0.375	0.517*	0.841**	1	0.375	−0.258	−0.191	−0.159
氟化物	0.733**	0.540*	0.696**	0.698**	0.517*	0.375	1	−0.027	0.332	0.080
六价铬	−0.256	−0.455	−0.267	−0.255	−0.206	−0.258	−0.027	1	0.675**	0.041
锰	0.013	−0.249	0.098	0.000	−0.209	−0.191	0.332	0.675**	1	−0.247
高锰酸钾指数	0.149	0.005	0.220	0.227	−0.144	−0.159	0.080	0.041	−0.247	1

（注：**：在0.01水平（双侧）上显著相关；*：在0.05水平（双侧）上显著相关。）

从表2中的数据可知，TDS与总硬度呈极显著正相关（$p<0.01$），且二者与氯化物、硫酸盐、硝酸盐呈极显著正相关（$p<0.01$）；另外TDS与氟化物呈极显著正相关（$p<0.01$），而与亚硝酸盐呈显著相关（$p<0.05$），而总硬度则与TDS相反。除此之外，六价铬与锰呈极显著正相关（$p<0.01$）。

3 污染物来源分析

结合相关分析结果，由于TDS和总硬度两项指标与氯化物、硝酸盐、氟化物等指标相关性很强，可以看出第一聚类虽然超标项复杂，但以TDS和总硬度超标为特征。而由聚类结果，第二聚类主要以硝酸盐氮超标为特征。另外，氟化物超标仅出现在4口监测井中（最大超标倍数1.52倍），并且都集中在忻府区及定襄南部地区，主要由于当地特殊的地质构造等因素造成。下文将结合水文地球化学基本理论以及相关分析结果重点对TDS、总硬度和硝酸盐氮的超标原因进行分析。

3.1 TDS和总硬度

TDS和总硬度超标主要出现在XG21和XG36−1两处，二者呈极显著正相关关系（$p<0.01$），其浓度的增加主要受人类活动的影响，一般由于地表污染物淋滤入渗以及污水入渗引起。

两口井位于定襄县南部及东部附近，根据调查资料，近年来定襄周边各村经济增长迅速，锻造加工业发达，特征污染物废砂数量激增，并且由于锻造加工业发展迅猛，务工人口数量也不断增长，这些因素导致进入地下水中的污染物数量增加。表2显示出TDS和总硬度二者与氯离子呈极显著正相关关系，一般氯离子含量增加是人为输入的结果，氯离子迁移性很强且性质稳定，在下渗过程中很少因吸附或者化学反应而导致其质量减少，所以地下水中氯离子浓度变化常被作为评价地表污染物影响地下水水质的重要指标。由此推断研究区中TDS和总硬度升高的重要原因是地表污染物淋滤入渗。此外，TDS和总硬度与硝酸盐呈极显著正相关系，也有学者通过室内土柱试验证实了氮素转化迁移过程会影响地下水酸碱性条件，从而促进钙镁矿物从土壤中溶解或者通过置换反应进入地下水，导致地下水TDS和总硬度增加，由此推断两口井TDS和总硬度增加与硝酸盐污染也存在联系。

3.2 硝酸盐氮

硝酸盐氮是地下水中氮污染的主要形式，同时也是地下水中最普遍、污染面积最大的污染因子，其来源主要是人为来源，包括化学肥料、农家肥、生活污水及生活垃圾等，一般农业区中化肥或者农家肥是地下水的重要硝酸盐氮污染源，而城市地区硝酸盐氮污染源则主要是生活污水和生活垃圾。本研究第二聚类中的15口监测井覆盖了盆地区绝大部分范围，其中有11口井出现了硝酸盐氮超标情况，说明硝酸盐氮污染在盆地区比较普遍。从监测井分布的区域来看，这些井全部位于城市周边农村，并且忻州属于以农业为主的经济体系，农业用地占全市土地面积的80%以上，据此可推知硝酸盐氮超标与氮肥的使用有较大关系。另外，村民生活污水和生活垃圾也会对地下水硝酸盐氮超标有一定影响。

4 结语

鉴于忻州盆地当前的产业结构分布以及地下水的污染特征，建议今后加大对氮素空间分布特征以及迁移转化规律、大面积的农业区中氮肥合理使用和低污染新型肥料等的研究。除此之外，忻州盆地工业分布区政府应督促企业做好污染物无害化处置，严格控制污染物的排放，以减少人类活动对水资源的影响，最终实现地下水的可持续开发利用。

参考文献

[1] 韩冬梅．忻州盆地第四系地下水流动系统分析与水化学场演化模拟[D]. 武汉：中国地质大学，2007.

[2] 王建平．忻州市地下热水水质特征分析及评价[J]. 山西水利，2011,27(11):26-27.

作者简介

李鹏强（1985−），男，汉族，山西长治人，硕士研究生，研究方向为地质灾害防治、生态环境恢复、地下水污染防治及国土空间规划。