

DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20221868

承德地区主要水系水环境质量综合评价与分析

张 炜^{a,b,c}, 顾金洋^{a,b,c}, 孙 也^{a,b,c}, 代梦德^{a,b,c}, 张星辰^{a,b,c}, 负 茜^{a,b,c}, 李思敏^{a,b,c}

(河北工程大学 a. 河北省水污染控制与水生态修复技术创新中心; b. 污水处理及资源化利用河北省工程研究中心; c. 邯郸市水利用技术重点实验室, 河北 邯郸 056038)

摘要: 为探究承德地区主要水系水质状况及污染特征,选取承德市地表水水质监测站2017~2020年29个断面监测数据,采用单因子评价法、综合污染指数法和主成分分析法对承德地区主要水系水环境质量进行综合评价。评价结果表明,总体来看2017~2020年承德地区主要水系整体水质较好;从时间上来看,2019、2020年承德地区主要水系水质较2017、2018年有较为明显提升;从空间上来看,宫后和承钢大桥断面污染相对较为严重。承德地区水系水质主要受总磷、COD和高锰酸盐指数影响较大。

关键词: 承德市; 水质评价; 单因子评价法; 综合污染指数法; 主成分分析法

中图分类号: X824; [TV11]

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)07-0064-04

1 概况

承德市地处河北省东北部,位于东北和华北地带的交界处,境内有滦河、辽河、潮河和大凌河四个水系,是京津冀水源涵养核心区及水资源安全保障与生态环境安全的重要屏障。为有效开展承德地区水环境综合治理,水系水环境质量评价势在必行。目前,水质评价方法很多,每种水质评价方法侧重点不同,采用单一方法很难全面反映流域水环境质量状况。因此,在实际研究中,常常运用多种方法综合评价流域水环境质量。本文采用单因子评价法、综合污染指数法和主成分分析法综合评价与分析承德地区主要水系水环境质量,以期掌握承德地区主要水系环境特征和污染状况,为承德市推进流域水污染防治提供理论依据。

2 研究方法

2.1 单因子评价法

单因子评价法是依据《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)^[1]中水质指标浓度标准限值来划分水质类别,并用最差的水质单项指标类别作为断面水质类别。

2.2 综合污染指数法

综合污染指数法^[2]是水质评价中较为常用的评价方法,它在单因子评价法的基础上,赋予每个水质指标相同的权重,得到水体综合污染指数。计算公式为:

$$P_i = C_i / S_i \quad (1)$$

$$P = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_i \quad (2)$$

式中, P_i 为第*i*个水质指标单因子评价指数; C_i 为第*i*个水质指标的实测浓度,mg/L; S_i 为第*i*个水质指标的标准极限浓度,mg/L; P 为综合污染指数; m 为参评污染物指标数。

水质等级划分为 $P \leq 0.20$, I类(优良); $0.20 < P \leq 0.40$, II类(良好); $0.40 < P \leq 0.70$, III类(一般); $0.70 < P \leq 1$, IV类(较差); $P > 1.0$, V类(极差)。

为更清楚地了解各断面水质的主要影响因素,进一步计算污染负荷分担率,计算公式为:

$$K_i = (P_i / \sum_{i=1}^m P_i) \times 100\% \quad (3)$$

式中, K_i 为第*i*个水质指标的污染分担率。

2.3 主成分分析法

主成分分析法能在保留大量原始信息的前提下对数据进行降维处理^[3],将多个指标集成几

收稿日期: 2022-09-08, 修回日期: 2022-10-23

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFC1910601)

作者简介: 张炜(1981-),男,副教授,研究方向为海绵城市建设理论与技术,E-mail: zhangwei1981@hebeu.edu.cn

通讯作者: 李思敏(1968-),男,教授,研究方向为城镇水处理技术及流域水污染控制,E-mail: chyeli@126.com

个综合指标以提取影响水质的关键影响因子^[4,5],从而提高评价效率。综合变量可反映原始变量的大多数有效信息,且所包含的信息不会相互重叠。本文采用 SPSS24.0 软件分析影响水质的相关指标。

3 结果与分析

基于承德市地表水监测站 2017~2020 年的 29 个监测断面年平均监测数据,水质数据来源于承德市生态环境局,监测断面信息见图 1。



图 1 承德地区水系监测断面分布图

Fig. 1 Distribution map of water system monitoring section in Chengde area

3.1 单因子评价结果与分析

基于单因子评价法和平均综合污染指数法,选取高锰酸盐指数、BOD₅、NH₃-N、COD、总磷 5 项水质指标的年平均浓度对水质进行评价分析,依据承德市河流水质功能区划,以《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)^[1] III 类水体标准(以下简称“地表水 III 类标准”)为限值。

基于单因子评价法的评价结果见图 2。2017 年仅#26 大桥断面 COD 浓度高于地表水 III 类标准限值,上板城大桥断面 NH₃-N 浓度高于地表水 III 类标准限值,各监测断面中总磷浓度上板城大桥、李台、承钢大桥、郭家屯和乌龙砬大桥断面总磷浓度高于地表水 III 类标准限值。2018 年乌龙砬大桥、上板城大桥、偏桥子大桥、宫后和承钢大桥断面的总磷浓度高于地表水 III 类标准限值,其中宫后和承钢大桥断面的总磷浓度分别达到了地表水 IV 类和 V 类标准限值。乌龙砬大桥、偏桥子大桥、宫后和承钢大桥断面的 COD 浓度高于地表水 III 类标准限值,其中承钢大桥断面的 COD 浓度高于地表水 IV 类标准限值。2019 年仅承钢大桥断面的高锰酸盐指数和 COD 浓度高于地表

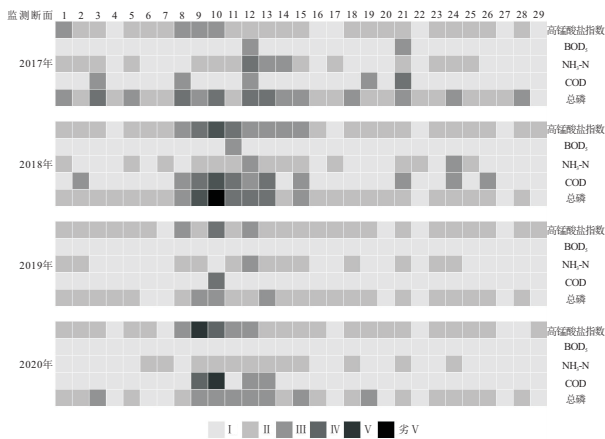


图 2 单因子评价结果

Fig. 2 Single-factorial evaluation results

水 III 类标准限值。2020 年承钢大桥断面高锰酸盐指数和 COD 浓度高于地表水 III 类标准限值,宫后断面高锰酸盐指数和 COD 浓度分别高于地表水 IV 类标准限值和地表水 III 类标准限值。

2017~2020 年 I 类断面数量占比分别为 3.44%、3.44%、13.79%、13.79%; II 类断面数量占比分别为 41.38%、51.72%、68.96%、55.17%; III 类断面数量占比分别为 34.48%、31.03%、13.79%、24.13%; IV 类断面数量占比分别为 20.68%、6.89%、3.44%、0%; V 类断面数量占比分别为 0%、3.44%、0%、6.89%; 2018 年承钢大桥断面的水质类别为劣 V 类,主要污染物为总磷。

通过单因子评价结果来看,2019、2020 年水环境质量较 2017、2018 年有较为明显的提升,其中需要重点关注的断面是承钢大桥和宫后断面。由此可见,2017 年来承德市建立河长制、河湖警长制和断面长责任制等制度,创新实行“一断面一策”精细化管控,加大推进重点流域水环境综合治理,巩固和提升区域内水环境质量,效果显著。

3.2 综合污染指数评价结果与分析

基于综合污染指数评价的水质分级见图 3。综合污染指数 I~IV 类断面占比分别为 3.44%、44.84%、44.84%、6.88%。墙子路断面四年平均综合污染指数为 0.18,达到综合污染指数水质分级中 I 类优良水体标准,丰宁上游、天桥、营盘、古北口、磷矿上游、上二道河子、旅游桥、兴隆上游、大杖子(二)、平泉上游、后杨树湾、墙子路、甸子和四道河断面四年平均综合污染指数满足综合污染指数水质分级中 II 类良好水体标准。而综合污染指数较高的区域主要为宫后和承钢大桥断面,四年平均综合污染指数分别为 0.71、0.81,均大于 0.7,属于综合污染指数水质分级 IV 类较差水体标准。主要是因为宫后和承钢大桥断面位于主城



图3 综合污染指数分级图

Fig. 3 Comprehensive pollution index classification chart

区,水质可能会受到生活污水和工业废水排放的影响,其他断面符合综合污染指数水质分级Ⅲ类一般水体标准。

基于综合污染指数法的各断面污染分担率见图4,在各断面监测的水质指标中,COD 污染分担率介于 22.23%~34.08%,高锰酸盐指数污染分担率介于 18.56%~30.61%,BOD₅ 污染分担率介于 10.07%~28.89%,总磷污染分担率介于 6.35%~29.26%,NH₃-N 污染分担率介于 3.97%~18.56%。COD、高锰酸盐指数、BOD₅、总磷和 NH₃-N 的平均分担率依次为 28.45%、24.33%、21.25%、17.39%、8.58%。其中 COD 污染分担率相对较高的断面为郭家屯、宫后和承钢大桥;BOD₅ 污染分担率相对较高的断面为兴隆上游、大桑园和四道河;高锰酸盐指数污染分担率相对较高的断面为营盘、古北口和大杖子(二);总磷污染分担率相对较高的断面为李台、承钢大桥和乌龙矶大桥。从污染分担率来看,2017~2020 年间高锰酸盐指数对水质影响最大,其次为 BOD₅、COD 和总磷,NH₃-N 对水质影响最小。

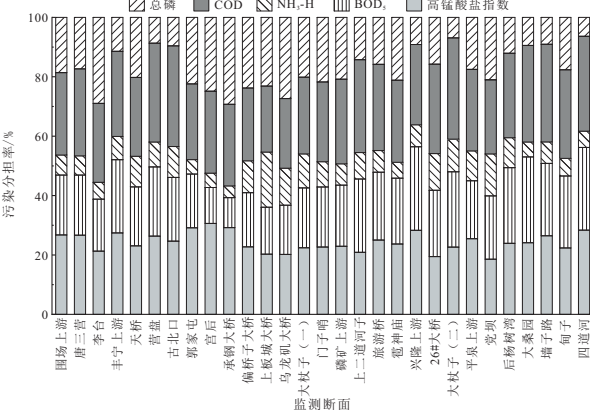


图4 污染分担率

Fig. 4 Pollution sharing rate

3.3 主成分分析结果与讨论

选取各监测断面的高锰酸盐指数、BOD₅、NH₃-N、COD、总磷、水温、溶解氧和 pH 值等 8 项水质指标数据进行主成分分析。将原始数据利用 SPSS24.0 软件进行标准化处理,以消除不同单位带来的影响,再对标准化后的数据进行 KMO 和 Bartlett 检验。KMO 值为 0.719 大于 0.5,Bartlett 球形检验显著性为 0.00 小于 0.01,所以各指标间存在一定的相关性,符合主成分分析要求。

主成分特征根分布见图 5。按照特征根大于 1 的原则提取主成分,前 2 个主成分特征值 $\lambda_1 = 3.808$ 、 $\lambda_2 = 1.835$ 均大于 1,即提取前两个主成分。

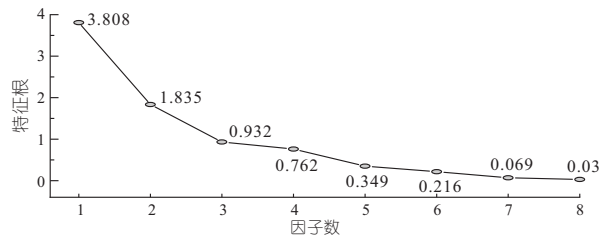


图5 主成分特征根碎石图

Fig. 5 Root gravel map of principal components characteristics

主成分方差和累积方差见图 6。由图 6 可知,前两个主成分方差分别为 47.6%、22.94%,累计方差贡献率已达 70.54%,说明筛选的 2 种主成分可反映原始水质数据 70.54% 的信息。

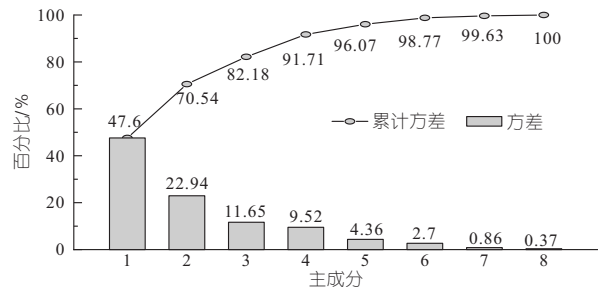


图6 主成分方差和累积方差图

Fig. 6 Principal component variance and cumulative variance plots

主成分因子载荷见图 7,第一主成分上 COD、总磷和高锰酸盐指数载荷较大,因子载荷值分别为 0.95、0.93、0.89。其中总磷升高的主要原因可能是由于农田径流和水土流失^[6]。COD、高锰酸盐指数是水体有机物污染参数,表明水体可能受农业、工业及生活有机物污染的影响较大。水温和 pH 值在第二主成分上载荷较大,因子载荷值分别为 0.87、0.76,表明河流水质在一定程度上会受到水体温度和 pH 值变化的影响。

设水温为 X_1 、pH 值为 X_2 、溶解氧为 X_3 、高

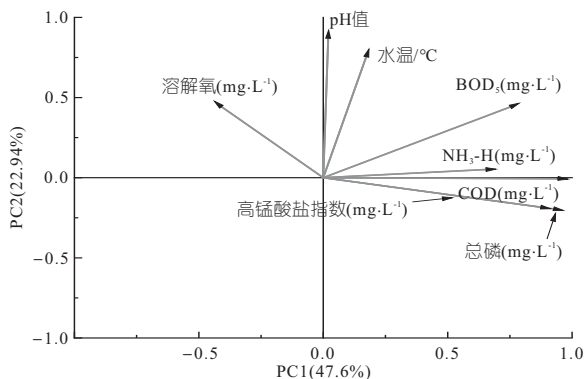


图 7 因子载荷图

Fig. 7 Factor load map

锰酸盐指数为 X_4 、 BOD_5 为 X_5 、 NH_3-H 为 X_6 、 COD 为 X_7 、总磷为 X_8 ，根据各指标因子载荷值和特征根 $\lambda_1=3.808$ 、 $\lambda_2=1.835$ 可得主成分得分表达式：

$$F_1=0.046X_1+0.005X_2-0.107X_3+0.234X_4+0.203X_5+0.176X_6+0.25X_7+0.245X_8 \quad (4)$$

$$F_2=0.419X_1+0.477X_2+0.24X_3-0.102X_4+0.247X_5+0.028X_6-0.004X_7-0.107X_8 \quad (5)$$

而主成分综合得分表达式为：

$$F=(0.476/0.705)F_1+(0.229/0.705)F_2 \quad (6)$$

在主成分分析中，监测点位主成分得分越高，说明该监测点位水质相对较差。各监测断面主成分得分见图 8，丰宁上游、平泉上游、磷矿上游和四道河断面主成分综合得分分值分别为 -1.40、-1.09、-0.92、-0.86，得分较低，水质较好；官后、#26 大桥、偏桥子大桥、大桑园、上板城大桥和承钢大桥断面主成分综合得分分别为 0.87、0.89、0.96、1.04、1.12、1.13，得分较高，水质相对其他断面较差。官后、承钢大桥和上板城大桥断面的 F_1 显著高于 F_2 ，表明这些断面水质受总磷、

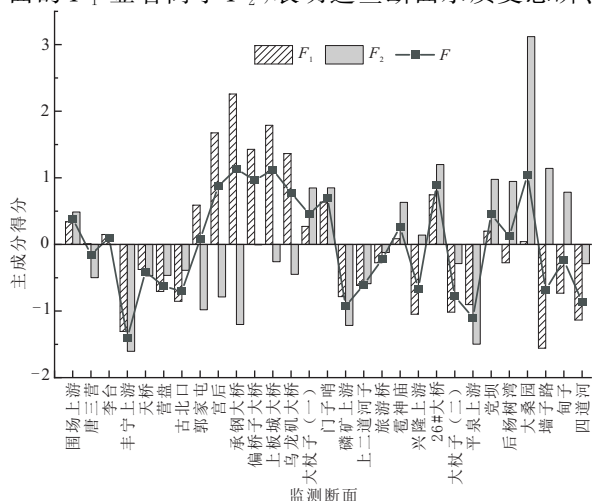


图 8 主成分得分图

Fig. 8 Principal component score plot

COD 和高锰酸盐指数影响较大；后杨树湾、大桑园、墙子路和甸子断面的 F_2 显著大于 F_1 ，表明这些断面的水质受温度和 pH 值变化影响较大。通过主成分分析可以看出承德市河流上游水质较好，得分较高的断面主要集中在主城区，可能是随着城市化进程的加快，雨水径流污染问题日益凸显，造成主城区河流断面水质相对较差。

4 结论

a. 承德地区主要水系水质总体达到水质功能区划水质目标。采用单因子评价法、综合污染指数法和主成分分析法对水系水质进行定性和定量相结合的评价，能够全面反映水系环境特征和污染状况。

b. 2017 年水质影响因子为总磷，2018 年则为总磷和 COD 。通过推进重点流域水环境治理，承德地区主要水系 2019、2020 年水质较 2017、2018 年提升效果明显。

c. 承德流域上游水质较好，官后和承钢大桥断面污染较为严重，主要污染物为高锰酸盐指数和 COD ，水温和 pH 值也对水质存在不同程度影响。

参考文献：

- [1] 国家环境保护总局. 地表水环境质量标准:GB3838-2002[S]. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [2] 彭小玉,周理程,吴文晖,等. 水污染指数法在湘江长沙段支流水质评价中的应用分析[J]. 四川环境, 2021, 40(2): 172-177.
- [3] 吴昊,陈珍,周军,等. 神定河支流水质时空变化特征[J]. 水电能源科学, 2016, 34(10): 32-35.
- [4] HE HUJUN, TIAN CHONG, JIN GANG, et al. Principal component analysis and Fisher discriminant analysis of environmental and ecological quality, and the impacts of coal mining in an environmentally sensitive area[J]. Environmental monitoring and assessment, 2020,192(4):207.
- [5] 廖宁,李洪,李嘉,等. 基于主成分分析的西南山区典型河道型水库富营养化评价讨论[J]. 中国农村水利水电, 2019(11):104-109.
- [6] LI QILING, ZHANG HAN, GUO SHANSHAN, et al. Groundwater pollution source apportionment using principal component analysis in a multiple land-use area in southwestern China[J]. Environmental science and pollution research, 2020, 27(9): 9000-9011.

均基流量为 $158 \text{ m}^3/\text{s}$,基流指数为 0.44;沙柳河年均径流量为 $105 \text{ m}^3/\text{s}$,年均基流量为 $47 \text{ m}^3/\text{s}$,基流指数为 0.44。布哈河流域和沙柳河流域的径流量均呈显著增加趋势,基流和基流指数均呈不显著增加趋势,且根据气候倾向率得布哈河流域基流的变化率大于沙柳河流域的变化率,可能与流域下垫面和流域面积相关。

b. 布哈河流域和沙柳河流域的基流序列与降水、流量、干旱指数均呈正相关关系,与蒸发序列呈负相关关系,沙柳河流域的基流序列更容易受到蒸发的影响。

c. 青海湖流域是高原上重要的水体,主要讨论了气象因子对流域基流的影响,未来应考虑气候变化和人类活动对流域基流的影响,引入多要素进行研究。

参考文献:

[1] 周一飞,陈慧颖,张淑兰,等. 基于 SWIM 模型模拟气候变化对青海湖布哈河流域水文过程的影响[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2017, 53(2):208-214.

[2] 王欢,刘九夫,谢自银,等. 青海湖流域径流变化趋势及归因分析[J]. 水电能源科学, 2018, 36(8): 18-21,32.

[3] CUI B L, LI X Y. Stable isotopes reveal sources of precipitation in the Qinghai Lake Basin of the north-eastern Tibetan Plateau[J]. Science of the total environment, 2015, 527-528:26-37.

[4] 雷义珍,曹生奎,曹广超,等. 青海湖沙柳河流域不同时期地表水与地下水的相互作用[J]. 自然资源学报, 2020(10):2528-2538.

[5] 王志刚,曹生奎,曹广超,等. 气候异常年份青海湖沙柳河流域降水水汽来源对比研究[J]. 高原气象, 2022,41(5):1153-1160.

[6] MITCHELL T D, JONES P D. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids [J]. International journal of climatology, 2005, 25(6):693-712.

[7] 张泳华,刘祖发,赵钢铁,等. 东江流域基流变化特征及影响因素[J]. 水资源保护, 2020, 36(4): 75-81.

[8] ECKHARDT K. A comparison of baseflow indices, which were calculated with seven different baseflow separation methods [J]. Journal of hydrology, 2008, 352(1/2):168-173.

Study on Base-flow Evolution Law and Its Causes of Qinghai Lake Basin

JI Hai-juan^{1,2}, LI Xiao-dong^{1,2}, WANG Qing-xu³

(1. Qinghai Institute of Meteorological Sciences, Xining 810001, China; 2. Qinghai Key Laboratory of Disaster Prevention and Reduction, Xining 810001, China; 3. Qinghai Hydrological and Water Resources Measurement and Reporting Center, Xining 810099, China)

Abstract: Based on the runoff data of Buha River Basin and Shaliu River Basin in Qinghai Lake Basin, the annual base-flow index was obtained by using the filter smoothing minimum method. The temporal and spatial variation of precipitation and the evolution law of base flow in this basin were analyzed by TFPW-MK method, and the influencing factors of base flow were analyzed. The results show that the base-flow index of Buha River Basin first increases, then decreases and increases, reaching the maximum in May and the minimum in August; The base flow index of Shaliu River Basin fluctuates and reaches the minimum in April. The annual average runoff in the Buha River Basin and the Shaliu River Basin showed a significant increasing trend, and both the annual average base flow and base flow index showed an insignificant increasing trend; The base flow inclination rate of the Buha River Basin is twice that of the Shaliu River Basin. The base flow sequence of the Buha River Basin and the Shaliu River Basin is greatly affected by precipitation, flow, drought index and evaporation, and the Shaliu River Basin is more significantly affected by evaporation.

Key words: Qinghai Lake; Buha River; Shaliu River Basin; base flow; base flow index

(上接第 67 页)

Comprehensive Evaluation and Analysis of Water Environment

Quality of Main Water System in Chengde Area

ZHANG Wei^{a,b,c}, GU Jin-yang^{a,b,c}, SUN Ye^{a,b,c}, DAI Meng-de^{a,b,c},
ZHANG Xing-chen^{a,b,c}, YUN Qian^{a,b,c}, LI Si-min^{a,b,c}

(a. Hebei Technology Innovation Center for Water Pollution Control and Water Ecological Remediation;

b. Hebei Engineering Research Center of Sewage Treatment and Resource Utilization;

c. Handan Key Laboratory of Water Utilization Technology, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China)

Abstract: In order to explore the water quality and pollution characteristics of the main water system in Chengde area, the monitoring data of 29 sections of Chengde surface water quality monitoring station from 2017 to 2020 were selected, and the water environment quality of the main water system in Chengde area was comprehensively evaluated by single factor evaluation, comprehensive pollution index and principal component analysis. The evaluation results show that generally speaking, the overall water quality of the main water system in Chengde is good from 2017 to 2020; From the perspective of time, the water quality of the main water system in Chengde in 2019 and 2020 was significantly improved compared with 2017 and 2018; From the perspective of space, the section pollution of Gonghou and Chenggang bridges is relatively serious. The water quality of the main water system in Chengde is mainly affected by the total phosphorus, COD and permanganate index.

Key words: Chengde City; water quality evaluation; single factor evaluation method; comprehensive pollution index method; principal component analysis method