

## 平原河网地表水空间分布特征——以嘉兴市为例

祝新明, 李莉, 王翡, 王伟超 (浙江省嘉兴生态环境监测中心, 浙江嘉兴 314000)

**摘要** 以布设在嘉兴市主要水系 32 个水质自动监测站 2019 年水质监测数据为基础, 综合运用主成分分析和聚类分析等多元统计分析方法, 对嘉兴市平原河网地表水的空间分布特征进行分析。结果表明, 主成分分析表明嘉兴市平原河网地表水主要受总磷、氨氮、总氮等指标的影响, pH、溶解氧、电导率、高锰酸盐指数等指标的影响较小。聚类分析表明嘉兴市平原河网水系主要分为 3 类, 第 1 类以澉荡塘为代表的河道, 水质较好; 第 2 类为南部排入钱塘江、东部排入黄浦江、中部环嘉兴市区河道, 水质次之; 第 3 类为西部和北部入境河道, 水质最差; 聚类分析结果与主成分综合评判结果基本一致。

**关键词** 地表水; 空间分布; 主成分分析; 聚类分析; 嘉兴市

中图分类号 X 832 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)02-0038-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.02.012



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Characteristics of Spatial Distribution of Surface Water in Plain River Networks—Taking Jiaxing City as an Example

ZHU Xin-ming, LI Li, WANG Fei et al (Jiaxing Eco-environmental Monitoring Center of Zhejiang Province, Jiaxing, Zhejiang 314000)

**Abstract** Based on the water quality monitoring data of 32 automatic water quality monitoring stations deployed in the main water systems of Jiaxing City in 2019, the spatial distribution characteristics of surface water in plain river networks of Jiaxing City were discussed by using the methods of principal component analysis (PCA) and cluster analysis (CA). PCA showed that surface water in plain river networks of Jiaxing City was mainly affected by total phosphorus, ammonia nitrogen and total nitrogen. pH, dissolved oxygen, conductivity and permanganate index had little influence. CA showed that the plain river networks of Jiaxing City were mainly divided into three clusters. The first cluster was the river represented by Lanxintang River, with good water quality; the second cluster was discharged into Qiantang River in the south, discharged into Huangpu River in the East and around Jiaxing Rivers in the middle, followed by water quality; the third cluster was imported river in the west and the north, with the worst water quality. The results of CA were basically consistent with the results of PCA evaluation.

**Key words** Surface water; Spatial distribution; Principal component analysis; Cluster analysis; Jiaxing City

近几十年经济飞速发展和城市化造成的水体污染, 严重制约了高质量发展和美丽中国生态目标的实现。影响河流水体水质的因素是多方面的, 通过对河流的持续监测和评价, 摸清其空间分布特征, 有利于管理部门分区分类开展水环境管理<sup>[1-2]</sup>。聚类分析、主成分分析、方差分析、判别分析等多元统计方法, 已广泛应用于识别不同水体时空分布特征和污染源<sup>[3-6]</sup>。黄金良等<sup>[7]</sup>借助主成分分析、聚类分析和一元线性回归等方法, 识别九龙江流域水质的时空分布和影响因素; 李典宝等<sup>[8]</sup>利用聚类和判别分析, 研究了上海河流秋季水质在空间分布的相异性、差异性, 并表征了空间差异性的显著水质指标; 唐玉兰等<sup>[9]</sup>综合运用方差分析、聚类分析和多维多尺度分析方法, 对浑河流域沈抚段水质时空变化特征进行了分析。

嘉兴市是典型的江南水乡, 自 2013 年实施“五水共治”、剿灭劣 V 类水体、碧水行动等一系列举措, 水环境质量得到明显改善, 但根据 2018 年嘉兴市生态环境局公布的地表水监测断面结果, IV~V 类断面占比依然过半<sup>[10-11]</sup>。因此笔者以分布在嘉兴平原河网上的 32 个自动监测断面监测结果为基础, 采用主成分分析和聚类分析等多元统计方法, 对平原河网开展空间特征分析, 解析主要污染源, 为地表水治理提供一定的科学依据。

## 1 材料与与方法

**1.1 研究区域概况** 嘉兴市位于太湖流域东南部、杭嘉湖平原腹地, 市境介于 30°21'~30°01'N、120°18'~121°16'E, 陆域

东西长 92 km, 南北宽 76 km。市内河道交错, 湖荡众多, 河道总长 1.38 万 km, 骨干河道 57 条, 河道密度 200 m/km<sup>2</sup><sup>[12]</sup>。市域水系总体属太湖流域, 京杭大运河纵贯其间, 其余各水系如长山河、海盐塘、嘉善塘、平湖塘等河道与之相连, 形成网状水系。

根据水质研究的需要, 确定了嘉兴市域范围内 32 个地表水自动监测断面, 其中国家环境质量监测网站点 13 个、省级水站 19 个, 除湘家荡外均设在市域县区交界断面上, 具体如图 1 所示。

**1.2 数据来源** 地表水自动监测站可实时连续监测, 及时反映流域内主要断面水体水质状况的优势。该研究采用 2019 年 32 个地表水水质监测断面的月均值数据, 监测指标包含水温、pH、溶解氧、浊度、电导率、高锰酸盐指数、氨氮、总磷、总氮共 9 个指标, 数据描述见表 1。

## 1.3 评价方法

**1.3.1 主成分分析法。** 主成分分析法通过降维处理技术, 客观确定各个指标的权重, 用少数指标代替原来指标, 使评价结果更加客观。主要步骤如下: 对相关原始数据进行标准化变换, 求解相关系数矩阵, 计算特征值和特征向量, 解释方差, 确定主成分, 对各主成分进行评价<sup>[13-14]</sup>。

**1.3.2 聚类分析法。** 聚类分析是按照某些数量特征将观察对象进行空间分类的一种统计方法<sup>[15]</sup>。层次聚类分析又是其中一种常用水质空间分析的方法, 其实质是根据变量或观察对象的相似程度, 以逐次聚合的方法, 将最相似的对象结合在一起, 直到聚成一类<sup>[16]</sup>。

该研究在数据标准化的基础上, 采用常用的欧氏距离平

**作者简介** 祝新明(1983—), 男, 浙江兰溪人, 工程师, 硕士, 从事环境监测与评价研究。

**收稿日期** 2020-05-30

方和离差平方和法开展各监测断面的空间相似性分析<sup>[17]</sup>。析和聚类分析。应用 SPSS 22.0 软件对地表水自动站监测结果开展主成分

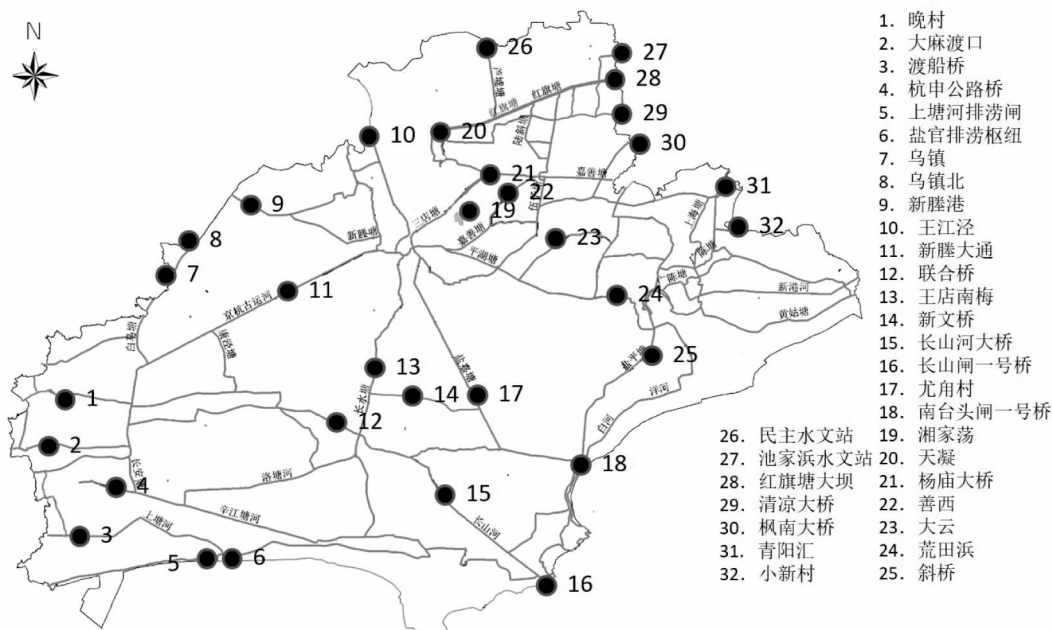


图 1 嘉兴市地表水自动监测站分布

Fig.1 Distribution of automatic monitoring stations of surface water in Jiaxing City

表 1 2019 年嘉兴市地表水监测结果统计描述

Table 1 Statistical description of surface water monitoring results in Jiaxing City in 2019

项目 Item	水温 Water temperature °C	pH	溶解氧 Dissolved oxygen//mg/L	浊度 Turbidity NTU	电导率 Conductivity μS/cm	高锰酸盐指数 Permanganate index//mg/L	氨氮 Ammonia nitrogen//mg/L	总磷 TP mg/L	总氮 TN mg/L
最小值 Minimum	18.2	6.5	4.0	23.8	357.4	2.6	0.07	0.038	0.87
最大值 Maximum	21.8	7.9	8.1	278.3	753.5	5.5	0.91	0.280	4.70
平均数 Average	20.1	7.3	6.1	97.1	488.2	4.1	0.33	0.156	2.74
标准偏差 Standard deviation	0.78	0.33	0.98	64.62	79.01	0.78	0.16	0.05	0.70
变异系数 CV//%	3.9	4.5	16.0	66.5	16.2	18.9	49.2	31.0	25.6

## 2 结果与分析

2.1 基于主成分分析法的水质质量评价 在主成分分析法前,对数据的 KMO 检验结果为 0.579(>0.5),显著性为 0(Sig.<0.05),基本适合做主成分分析。对各水质自动监测站监测结果开展主成分分析,结果见表 2。以累计方差贡献率大于 85%的原则,提取前 4 个主成分因子(累计贡献率达 87.9%),可以代表原有监测项目的绝大部分信息。

第 1 主成分的方差贡献率为 40.5%,其中总氮、氨氮、总磷、溶解氧所占载荷因子较大,与第 1 主成分的相关系数的绝对值均超过 0.6,其中氨氮、总磷、总氮呈正相关,溶解氧呈负相关,表明监测点位所在河流营养盐浓度较高,而有机污染物的增加消耗了水中的溶解氧,反映人类活动(生活污水排放、农业面源污染、水产养殖等污染)的影响<sup>[18]</sup>。第 2 主成分的方差贡献率为 21.8%,其中电导率、高锰酸盐指数的所占载荷因子较大,与第 2 主成分的相关系数分别为 0.671 和-0.667,表明上游引钱塘江水冲刷河道和南排工程开闸放水引起的海水倒灌影响了所在水体的离子水平和河流的有机污染水平,其中电导率呈正相关,高锰酸盐指数呈负相关。第 3 主成分的方差贡献率为 13.4%,其中电导率所占的载荷

因子最大,与第 3 主成分的相关系数为-0.574,反映监测点位所在水体的离子水平。第 4 主成分的方差贡献率为 12.2%,其总磷所占的载荷因子最大,与第 4 主成分的相关系数为 0.562,反映了水体中磷的污染水平。

表 2 主成分载荷因子矩阵

Table 2 Principal component loading factor matrix

变量 Variable	主成分 1 Main component 1	主成分 2 Main component 2	主成分 3 Main component 3	主成分 4 Main component 4
pH	-0.597	0.539	0.343	-0.285
溶解氧 Dissolved oxygen	-0.687	-0.436	0.337	0.273
电导率 Conductivity	-0.070	0.671	-0.574	0.391
高锰酸盐指数 Permanganate index	0.479	-0.667	-0.353	-0.214
氨氮 Ammonia nitrogen	0.791	0.293	0.055	-0.420
总磷 TP	0.723	-0.058	0.243	0.562
总氮 TN	0.790	0.252	0.437	0.093
特征值 Eigenvalues	2.835	1.529	0.937	0.856
方差贡献率 Variance contribution rate//%	40.5	21.8	13.4	12.2
累计方差贡献率 Cumulative variance contribution rate//%	40.5	62.3	75.7	87.9

根据主成分载荷值除以对应特征值的平方根,并与相应的变量进行线性组合可得到对应各主成分的评价得分。各

主成分评价得分与相应特征值占提取主成分特征值之和的比重乘积<sup>[19]</sup>,求和后即为各断面的综合得分,结果见表3。

表3 嘉兴市各监测断面的水质综合评判结果

Table 3 Comprehensive evaluation results of water quality of each monitoring section in Jiaxing City

序号 No.	点位 Point location	F1	F2	F3	F4	F(综合评价) F(comprehensive evaluation)
1	大麻渡口	2.561	0.166	2.497	0.780	1.707
2	渡船桥	3.388	1.376	-0.096	-2.252	1.572
3	斜桥	1.811	0.383	1.302	1.818	1.379
4	枫南大桥	1.588	1.236	-0.370	-0.647	0.891
5	尤角村	0.473	2.055	0.377	-0.475	0.719
6	联合桥	1.953	-0.184	-0.756	-0.227	0.706
7	南台头闸一号桥	-0.298	2.155	-0.093	0.908	0.510
8	杭申公路桥	2.265	-1.519	-0.209	-0.992	0.495
9	王江泾	1.113	1.343	-1.582	-1.259	0.430
10	王店南梅	0.835	0.388	-0.454	-0.432	0.352
11	荒田浜	0.327	0.082	-0.036	1.023	0.308
12	青阳汇	-0.002	0.209	0.148	0.908	0.200
13	大云	1.235	-1.254	-1.150	0.716	0.182
14	新文桥	0.049	0.379	0.445	-0.652	0.094
15	新塍大通	0.472	-0.795	0.553	-0.152	0.083
16	上塘河排涝闸	0.623	-0.972	-0.331	0.577	0.075
17	善西	0.394	-0.944	-0.070	0.826	0.051
18	长山闸一号桥	-1.907	3.405	-0.731	1.302	0.037
19	小新村	-0.873	0.983	0.084	1.029	-0.002
20	晚村	0.499	-1.604	1.407	-0.381	-0.007
21	红旗塘大坝	-0.411	0.435	-0.928	0.660	-0.131
22	长山河大桥	-0.647	0.302	0.928	-0.361	-0.132
23	天凝	0.574	-1.350	-1.434	1.106	-0.135
24	乌镇	-0.687	-0.463	1.229	-0.444	-0.306
25	杨庙大桥	0.567	-2.280	-2.048	0.711	-0.517
26	新塍港	-0.810	-1.165	0.946	-0.346	-0.566
27	盐官排涝枢纽	-1.156	-0.322	0.831	-0.838	-0.602
28	清凉大桥	-1.441	-0.790	-0.746	-0.652	-1.063
29	池家浜水文站	-2.622	0.580	-0.476	-0.718	-1.234
30	乌镇北	-2.896	-0.870	1.047	0.000	-1.389
31	民主水文站	-3.042	-0.245	-0.271	-1.507	-1.711
32	湘家荡	-3.939	-0.721	-0.016	-0.032	-1.998

综合评价得分反映了各断面所在河流的污染水平,得分越高说明污染越严重。由表3可知,嘉兴市水质大体呈出境水质好于入境水质。从入境看,入境断面大麻渡口、渡船桥和王江泾综合得分较高,表明上游京杭运河杭州塘、盐官下河和京杭运河苏州塘的入境水体污染水平较高,而晚村、新塍港、民主水文站综合得分较低,表明湖州入境长山河,苏州入境的新塍塘和芦墟塘水体污染水平较低。从出境看,枫南大桥、南台头闸一号桥综合得分较高,表明其所在嘉善塘和海盐塘出境水质较差,而乌镇北、池家浜水文站、清凉大桥和盐官排涝枢纽综合得分较低,表明其对应的澜溪塘、俞汇塘、清凉港和盐官下河出境水质得到改善。

**2.2 基于聚类分析地表水监测断面空间分布特征** 选择pH、溶解氧、电导率、高锰酸盐指数、氨氮、总磷、总氮等项目开展层次聚类分析,分析前对数据标准化并进行正态分布检验,结果峰度为-1.047~3.759,偏度为-0.691~1.546,除个别

指标外,数据大体呈正态分布。

基于水质指标的监测断面的聚类分析结果见图2。依据监测断面水体理化性质的相似性,监测断面聚类分析结果在空间上可划分为3类。第1类包括斜桥、大麻渡口、王店南梅、枫南大桥、王江泾、杭申公路桥、渡船桥、联合桥8个监测断面,对应盐平塘、京杭运河杭州塘入境、长水塘、枫泾塘、京杭运河苏州塘入境、盐官下河入境、上塘河入境、长山河中段,水质污染水平较高,主要污染物为耗氧型有机污染物。第2类包括尤角村等20个断面,其中尤角村、南台头闸一号桥和长山河大桥、长山闸一号桥分别对应为排入钱塘江的海盐塘和长山河;荒田浜、青阳汇、小新村和红旗塘大坝分别对应为以上海塘、广陈塘为骨干排入黄浦江河道和经红旗塘入浦的河道,其中长山河和海盐塘开闸后受海水倒灌影响导致电导率水平较高;善西、大云、天凝、杨庙大桥、新塍大通、新文桥对应为嘉善塘、大云市河、红旗塘入口、三店塘、运河嘉

兴段等环市区河道;盐官排涝枢纽、上塘河排涝闸对应为排入钱塘江的盐官下河和上塘河;清凉大桥、乌镇、新塍港、晚村对应为清凉港、双林塘、新塍塘和长山河入境。第2类河道污染水平相较第1类有明显降低,表明水体自入境后经过各河道净化后,消耗了一部分污染物。第3类包括民主水文站、池家浜水文站、湘家荡、乌镇北4个监测断面,表明芦墟塘入境、俞汇塘、三店塘支流和澜溪塘的水体总体污染水平较低;其中氨氮、总磷和总氮平均浓度低于其余各组,且水体中溶解氧浓度较高。

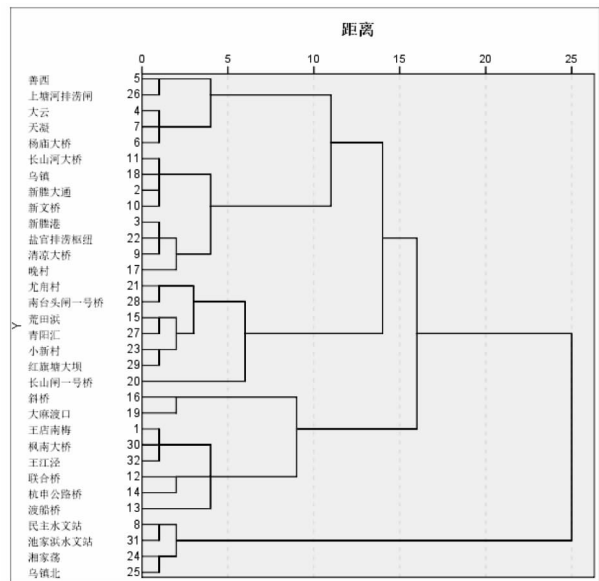


图2 基于水质指标各站点聚类分析结果

Fig.2 Cluster analysis results of each station based on water quality indicators

聚类分析结果与主成分分析所得结果基本一致。嘉兴市平原河网水质大体分为3类,第1类为澜溪塘、俞汇塘、芦墟塘和湘家荡,水质最优;第2类为东部入黄浦江河道、南部排入钱塘江河道、中部环嘉兴市各河道,水质次之;第3类为北部入境的京杭运河苏州塘(引长济太后因太湖水位抬升,王江泾出境改为入境)、西部入境的京杭运河杭州塘、上塘河和盐官下河,水质较差。

随着“五水共治”“河长制”“污水零直排区”创建等措施的推进,目前工业企业污水均已入网排放,嘉兴平原河网各水系中西部和北部入境的京杭运河杭州塘、盐官下河、上塘河、京杭运河苏州塘均为受上游来水较差影响。市区内主要河道主要受城镇和农村生活污水、农业种植业、养殖业和航道污染等影响。河道两侧分布各式居民区,部分尚未实现污水管网全覆盖,或虽经纳管,但雨污分流不彻底,导致雨天生活污水外溢情况的发生。沿河大部农村生活污水虽经微动力等终端处理设施集中处理,但处理后大多排入平原河网各水系。嘉兴素有鱼米之乡的美誉,根据2019年嘉兴统计年鉴,现有耕地面积 $204\ 897\ \text{hm}^2$ <sup>[20]</sup>,基本沿河分布,由于化肥利用率不高,大部分肥料随着雨水冲刷,进入河道,造成磷氮

污染。畜禽养殖和水产养殖也易导致水体富营养化污染。嘉兴地势平坦,平均海拔只有3.7 m,水体流动性差,污染物易累积,水体自净能力较差。河网密布,大多河道属“杭申线”或“湖嘉中线”航道,航运繁忙,船只来往航行搅动底泥,引起水体浑浊导致水质较差。城市化导致的水系变化剧烈<sup>[21]</sup>,部分水系水流不畅容易导致径流排泄能力不足。

### 3 结论

对2019年分布在嘉兴市平原河网的32个水质监测结果开展主成分分析表明,嘉兴平原河网水质主要污染物为氨氮、总磷、总氮,其中pH、溶解氧、高锰酸盐指数和电导率的影响较小。聚类分析结果表明嘉兴市平原河网水系主要可分为3类,其中澜溪塘等河道水质最优,水体污染较小,南部排入钱塘江、东部排入浦河道和中部环市区河道水质次之,西部和北部等入境河道水质最差。西部、北部等主要入境河道水质较差,主要受上游来水水质较差影响。市域河网各水系主要污染来源于城镇和农村生活污染源、农业面源污染、养殖业、航道污染等。

### 参考文献

- [1] 红梅,刘文治,张全发.多元统计方法在金水河水质时空变化分析中的应用[J].资源科学,2009,31(3):429-434.
- [2] 陈帅,莫彩芬,李艳蕾,等.洪湖水质时空特征及污染驱动力分析[J].环境污染与防治,2019,41(4):421-425.
- [3] 何万谦,黄金良.澳门半岛近岸海域水质时空变异分析[J].环境科学,2010,31(3):606-610.
- [4] 汪红军,颜昌龙,李嗣新,等.洪湖水水质空间特异性及主导因子分析[J].中国环境监测,2012,28(3):72-75.
- [5] 钱天鸣.杭州市钱塘江干支流水质多元统计分析[J].中国环境监测,2015,31(2):74-77.
- [6] 岳程鹏,李兴.基于聚类分析的乌梁素海水质因子研究[J].人民黄河,2019,41(5):67-70,76.
- [7] 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.
- [8] 李典宝,张玮,王丽卿,等.2013年上海市河流秋季水质空间分布特征[J].生态与农村环境学报,2015,31(1):50-58.
- [9] 唐玉兰,项莹雪,马甜甜,等.基于多元统计分析方法的浑河流域沈抚段水质时空特征[J].安全与环境学报,2018,18(5):2008-2012.
- [10] 嘉兴市生态环境局.嘉兴市2013年环境状况公报[EB/OL].(2014-06-06)[2020-01-15].http://www.jiaxing.gov.cn/art/2014/6/6/art\_1555291\_26762230.html.
- [11] 嘉兴市生态环境局.嘉兴市2018年环境状况公报[EB/OL].(2019-06-18)[2020-01-15].http://www.jiaxing.gov.cn/art/2019/6/18/art\_1555291\_34702773.html.
- [12] 叶永强.嘉兴年鉴(2017)[M].北京:方志出版社,2017.
- [13] 郝海,踪家峰.系统分析与评价方法[M].北京:经济科学出版社,2007.
- [14] 朱琳,王雅南,韩美,等.武水河水质时空分布特征及污染成因的解析[J].环境科学学报,2018,38(6):2150-2156.
- [15] 王昱,卢世国,刘娟娟,等.春季枯水期黑河水体理化性质的空间分布特征[J].生态与农村环境学报,2019,35(4):433-441.
- [16] 周丰,郭怀成,黄凯,等.基于多元统计方法的河流水质空间分析[J].水科学进展,2007,18(4):544-551.
- [17] 陈永娟,庞树江,耿润哲,等.北运河水系主要污染物通量特征研究[J].环境科学学报,2015,35(7):2167-2176.
- [18] 马小雪,王腊春,廖玲玲.温瑞塘河流域水体污染时空分异特征及污染源识别[J].环境科学,2015,36(1):64-71.
- [19] 吉祝美,方里,张俊,等.主成分分析法在SPSS软件中的操作及在河流水质评价中的应用[J].环境研究与监测,2012,25(4):68-73.
- [20] 嘉兴市统计局.嘉兴统计年鉴-2019[M].北京:中国统计出版社,2019.
- [21] 邓晓军,许有鹏,韩飞龙,等.城市化背景下嘉兴市河流水系的时空变化[J].地理学报,2016,71(1):75-85.