

· 调查与评价 ·

雄安新区资源环境承载力评价与提升对策研究

王秦, 杨博*

(北京联合大学, 北京 100101)

摘要:从资源、环境、生态(绿色生态)和社会经济4个维度,运用SPSS的相关性分析法和主成分分析法筛选评价指标构建符合区域特征、科学合理的雄安新区资源环境承载力评价指标体系,基于模糊综合评价法对2014—2018年新区资源环境承载力进行评价。结果表明:新区资源环境承载力呈现稳步增长的趋势,年均增长率为8.32%。由于2016—2017年新区加大了资源与环境保护力度,提升了经济建设与社会发展速度,2018年新区的资源环境承载力比2016年、2017年分别提高26.24%、15.19%。从土地资源的开发利用、水资源的开发利用与水环境的保护利用等方面,提出了新区资源环境承载力提升的主要对策。

关键词:资源环境承载力;评价指标体系;模糊综合评价;雄安新区

中图分类号:X171.1;F062.2

文献标志码:B

文章编号:1006-2009(2022)06-0031-06

Study on Evaluation and Improvement Countermeasures of Resources and Environment Carrying Capacity in Xiong'an New Area

WANG Qin, YANG Bo*

(Beijing Union University, Beijing 100101, China)

Abstract: From the four aspects of resources, environment, ecology (green ecology) and social economy, SPSS correlation analysis method and principal component analysis method were used to screen evaluation indexes to construct a scientific and reasonable evaluation index system of resource and environment carrying capacity of Xiong'an New Area in line with regional characteristics. Based on fuzzy comprehensive evaluation method, the resources and environment carrying capacity of the New Area was evaluated from 2014 to 2018. The results showed that the resources and environment carrying capacity of the New Area showed a steady growth trend, with an average annual growth rate of 8.32%. As the New Area strengthened the protection of resources and environment and improved the speed of economic construction and social development from 2016 to 2017, the resources and environment carrying capacity of the New Area in 2018 increased by 26.24% and 15.19% compared with that in 2016 and 2017, respectively. The main countermeasures for the improvement of resources and environment carrying capacity in the New Area were put forward from the aspects of land and water resources development and utilization, water environment protection and utilization.

Key words: Resources and environment carrying capacity; Evaluation index system; Fuzzy comprehensive evaluation; Xiong'an New Area

区域资源环境承载力评价是在确保生态弹性(可恢复)与可持续的前提下,对一定时期内区域资源环境系统承载社会经济发展需求的能力进行评估^[1]。通过评价区域资源环境承载力,可以综合衡量区域经济社会与资源环境系统间的协调性,定量地揭示区域社会经济发展存在的资源环境约

束问题,为实施区域可持续发展战略提供操作性较

收稿日期:2021-10-08;修订日期:2022-10-30

基金项目:北京市社会科学基金资助项目(18LJB004);北京联合大学高水平孵化科研基金资助项目(SK80202103)

作者简介:王秦(1973—),男,吉林梨树人,副教授,博士,主要从事环境经济分析与评价工作。

*通信作者:杨博 E-mail: yb2050@aliyun.com

强的调控对策。

国内外学者主要从宏观(指全球、国家、综合经济区、省域),中观(指城市群地区、二级流域区)和微观(指市域、县域、城市单体、产业园区)的空间尺度,基于压力-状态-响应(PSR)^[2-3]、驱动力-状态-响应(DSR)^[4-5]、驱动力-压力-状态-影响-响应(DPSIR)^[6-7]、驱动力-压力-状态-影响-响应-管理(DPSIRM)^[8-9]模型,或遵循系统论,从资源、环境和社会经济3个条件^[10-11],社会、生态环保和经济3个子系统^[12-13],社会资源、自然资源、社会环境和自然环境4个维度^[14-15]构建区域资源环境承载力评价指标体系,并运用系统动力学法、生态足迹法、模糊综合评价法、状态空间法、主成分分析法、GIS空间分析法等进行区域资源环境承载力评价。今在初步选择与雄安新区(以下简称新区)资源环境承载状况相关的104项评价指标的基础上,运用相关性分析与主成分分析的定量方法筛选出影响新区资源环境承载状况的49项主要特征性指标来构建评价指标体系,基于模糊综合评价法对2014—2018年新区资源环境承载的变化情况进行客观评价并提出提升对策。

1 数据与方法

1.1 研究区域概况

新区位于河北省保定市内,距北京及天津均约105 km,主要涵盖雄县、容城县和安新县(含白洋淀水域)。2018年新区土地面积为1 556 km²,土地利用结构呈现“六田、二建、一水、半分林”的明显特征(耕地占比61.4%、城乡建设用地占比19.9%、以白洋淀为主体的湿地占比12.45%、林地占比6.25%)。新区具有广阔的水域面积和丰富的地热资源,水资源总量为1.73亿 m³/a,平均降水量为516 mm,被规划定位为“蓝绿交织、清新明亮、水城交融的生态城市”。从经济发展水平上看,2018年新区GDP约为200亿,不足北京的1%,经济基础、产业开发、城市建设等具有广阔的发展空间。

1.2 数据来源

以新区的雄县、安新、容城3县行政辖区(含白洋淀水域)为主要评价单元,研究数据主要来源于2014—2018年的《河北经济年鉴》《保定市统计年鉴》《河北生态环境质量状况公报》《保定水资源公报》《保定市环境质量公报》,2018—2019年的

《河北经济发展报告》,2017年的《雄安新区发展研究报告》(第一、四、五卷),新区官网,雄县、安新县和容城县官网,以及2018年11月—2019年1月、2019年5月—6月的两次实地调研。

1.3 研究方法

运用SPSS的相关性分析与主成分分析法构建新区资源环境承载力评价指标体系。基于模糊综合评价法,并结合熵值法与主成分分析法,评价新区资源环境承载力,其中,熵值法用于计算一级和二级评价指标的权重,主成分分析法用于计算三级评价指标的权重。

2 结果与讨论

2.1 雄安新区资源环境承载力评价指标体系构建

2.1.1 评价指标体系初步构建

基于新区“生态城市”的规划定位初步构建的新区资源环境承载力评价指标体系涵盖资源、环境、生态(绿色生态)和社会经济4项一级指标,土地资源、水资源及矿产资源,水环境、大气环境及地质环境等11项二级指标,土地总面积、水资源总量、矿山企业数、工业万元GDP废水排放量等104项三级指标,见表1。

2.1.2 筛选评价指标与构建评价指标体系

第一步,基于SPSS的相关性分析方法找出显著相关的指标(相关系数 $|r| \geq 0.8$),消除三级指标之间信息重叠的问题,结合专家打分法,实现评价指标的初次筛选,涵盖地表水资源量、单位用地矿产量、空气质量优良天数占比、平均地下水埋深度、单位面积农药化肥使用量、居民生活中清洁能源的比例等78项三级指标;第二步,基于SPSS的主成分分析方法,通过对数据的级差标准化处理、计算主成分和累计方差贡献率、求因子载荷矩阵,实现评价指标的二次筛选,提炼出主要影响新区资源环境承载力的人均耕地面积、人均建设用地面积、单位耕地生产力、土地利用效率、单位土地产出、人均水资源量、单位有效灌溉面积、水资源利用率、用水效益、单位用地矿产量、年产原油数量、天然气产量、地热田面积、工业万元GDP废水排放量、城市污水日处理能力、COD排放强度、生态用水率、空气质量综合指数、PM_{2.5}浓度、PM₁₀浓度、平均地下水埋深度、地下水超采量、地面沉降速率、建筑地基承载力、环保投入占财政支出的比例、人均造林面积、白洋淀水质达标率、生活垃圾无害化处理率、

表 1 初步构建的雄安新区资源环境承载力评价指标体系

Table 1 Preliminary evaluation index system of resources and environment carrying capacity of Xiong'an New Area

一级指标	二级指标	三级指标
资源	土地资源	土地总面积、人均耕地面积、人均建设用地面积、单位耕地生产力、万元 GDP 建设用地面积、建设用地新增率、土地利用效率、土地开发强度、单位土地产出、人均粮食占有量
	水资源	水资源总量、平均降水量、地表水资源量、人均水资源量、人均水资源需求量、农业用水占比、单位有效灌溉面积、水资源可持续度、水资源利用率、用水效益
	矿产资源	矿山企业数、年产矿量、单位用地产矿量、单位用地实际采矿能力、年产原油数量、天然气产量、地热田面积、地热水储量
环境	水环境	工业万元 GDP 废水排放量、城市污水日处理能力、湖泊综合营养指数、TP 排放量、NH ₃ -N 排放量、COD 排放强度、饮用水水质达标率、地下水开采率、劣质水占比、生态用水率
	大气环境	空气质量优良天数占比、空气质量综合指数、PM _{2.5} 浓度、PM ₁₀ 浓度、SO ₂ 浓度、PM _{2.5} 超标率、PM ₁₀ 超标率、SO ₂ 超标率
	地质环境	平均地下水埋深、地下水超采量、地面沉降速率、地下水矿化度、建筑地基承载力、高程、地震烈度等级、地下水可利用率
生态(绿色生态)	绿色治理	环保投入占财政支出的比例、科教文卫支出占财政支出的比例、城市污水集中处理率、人均造林面积、白洋淀水质达标率、生活垃圾无害化处理率、建成区绿化覆盖率、工业 SO ₂ 去除率、工业固废综合利用效率、工业废水排放达标率
	绿色生产	单位面积农药化肥使用量、第三产业占 GDP 比例、万元 GDP 能耗、万元 GDP 水耗、万元 GDP 电耗、工业废水排放强度、工业万元 GDP 固废排放量、单位工业 GDP 天然气使用率、万元工业增加值耗水量、工业污水集中处理率
	绿色生活	居民生活中清洁能源的比例、地热资源取暖覆盖率、液化石油气家庭用量、每万人拥有公共汽车、新能源汽车增长率、电动自行车的保有率、人均绿地面积、蓝绿空间占比、森林覆盖率、充电桩覆盖率
社会经济	经济	GDP 总量、人均 GDP、GDP 年增长率、规模以上工业总产值、第一产业占 GDP 比例、第二产业占 GDP 比例、城镇居民人均可支配收入、农村居民人均可支配收入、人均固定资产投资额、居民消费价格指数
	社会	人口总量、城镇化率、人口自然增长率、人口密度、农民平均受教育程度、恩格尔系数、人均城市道路面积、林草覆盖率、路网密度、千人医疗机构床位数

建成区绿化覆盖率、工业 SO₂去除率、工业固废综合利用效率、万元 GDP 能耗、万元 GDP 水耗、单位工业 GDP 天然气使用率、工业污水集中处理率、地热资源取暖覆盖率、每万人拥有公共汽车、蓝绿空间占比、人均 GDP、规模以上工业总产值、第二产业占 GDP 比例、城镇居民人均可支配收入、农村居民人均可支配收入、人均固定资产投资额、城镇化率、人口密度、恩格尔系数、路网密度、千人医疗机构床位数等 49 项三级指标,最终构建新区的资源环境承载力评价指标体系。

2.2 雄安新区资源环境承载力评价

以新区水环境为例,基于模糊综合评价法进行 2014—2018 年新区环境承载力评价。

(1) 制定评价指标分级标准。根据国际水环境评价标准、《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002),结合全国水环境状况、河北省保定市水环境状况、新区水环境状况及新区发展规划,参考相关文献制定新区水环境承载力各项评价指标的分级标准,见表 2。

(2) 确定评价指标权重。运用主成分分析法

确定三级评价指标的权重,得出新区水环境承载力评价指标的权重矩阵 $W = (0.227, 0.271, 0.231, 0.271)$ 。

表 2 雄安新区水环境承载力评价指标分级标准

Table 2 Evaluation index grading standard for water environment carrying capacity of Xiong'an New Area

评价指标	评价分级 v		
	v_1	v_2	v_3
工业万元 GDP 废水排放量 / [t · (万元) ⁻¹]	< 1.5	1.5 ~ 3.5	> 3.5
城市污水日处理能力 / (万 t)	> 300	150 ~ 300	< 150
COD 排放强度 / (mg · L ⁻¹)	< 3.5	3.5 ~ 10	> 10
生态用水率 / %	> 30	10 ~ 30	< 10

(3) 水环境承载力评价。通过计算隶属函数评判矩阵,以及进行模糊变换,求得 2014—2018 年新区水环境承载力的评价结果分别为 0.216 1、0.213 0、0.220 0、0.267 9、0.318 2。

同理,求得 2014—2018 年新区大气环境承载力的评价结果分别为 0.129 6、0.121 4、0.119 0、

0.158 9、0.183 2,地质环境承载力的评价结果分别为0.312 3、0.296 2、0.302 1、0.271 3、0.256 3。

运用熵值法求得新区水环境、大气环境、地质环境3个二级指标对应的权重分别为0.473、0.258、0.269,计算得出2014—2018年新区环境承载力评价结果分别为0.219 7、0.211 8、0.216 0、0.240 7、0.266 7。同理,求得2014—2018年新区资源承载力评价结果分别为0.537 1、0.544 2、0.554 7、0.553 3、0.571 3,生态承载力评价结果分别为0.226 1、0.255 1、0.278 2、0.361 0、0.449 1,社会经济承载力评价结果分别为0.308 6、0.330 7、0.359 6、0.384 6、0.489 4。

2.3 雄安新区资源环境承载力评价结果及分析

运用熵值法求得新区资源、环境、生态、社会经济4个一级指标对应的权重分别为0.256、0.247、0.270、0.227,计算得出2014—2018年新区资源环境承载力评价结果分别为0.322 9、0.355 6、0.352 1、0.385 9、0.444 5,数值在0.32~0.45之间,年均增长率为8.32%。2014—2016年,新区资源环境承载力年均增长率仅为4.42%,2016年后增速变大,主要是由于2016年新区加大了资源与环境保护力度,提高了经济与社会发展速度,尤其是2017年绿色生产与绿色生活的投资水平明显增强,与2016年相比,2017年、2018年新区资源环境承载力分别增长9.60%、26.24%。

(1)从资源的维度上,2014—2018年新区资源承载力评价结果在0.53~0.58之间,年均增长率为1.56%,资源承载状况良好。新区拥有丰富的土地资源,人均建设用地面积、单位耕地生产力、单位土地产出等指标均高于全国同期平均水平;作为华北油田的主产区,雄县拥有产油井1 266多口,年产原油48万t、天然气1 800万 m^3 ,同时,地热流体总储量377亿 m^3 ,适宜规模化开发利用。在水资源上,虽然坐拥华北地区最大的淡水湖(白洋淀),但新区水资源赤字显著(2018年水资源赤字为0.85亿 m^3),人均水资源量明显低于京津冀平均水平(2018年新区为144 m^3 /人、京津冀为248 m^3 /人),地下水资源超采严重(每年实际超采地下水1.5亿 m^3 ~2亿 m^3),可持续度较低。

(2)从环境的维度上,2014—2018年雄安新区环境承载力评价结果在0.21~0.27之间,年均增长率为4.97%,环境承载状况较差。新区水环境

污染严重,工业万元GDP废水排放量、COD排放强度均高于全国同期平均水平,而城市污水日处理能力则远低于全国平均水平。河北省是全国空气污染的重灾区,2018年新区 PM_{10} 、 SO_2 、 $PM_{2.5}$ 浓度均高于全国平均水平。2018年新区地质环境承载力较2014年降低17.93%,主要由于新区地下水超采使得平均地下水埋深度、地面沉降速率等指标持续增加。

(3)从生态的维度上,2014—2018年雄安新区生态承载力评价结果在0.22~0.45之间,年均增长率为18.72%,生态承载能力提升较快。自2017年成立后,新区实施了白洋淀治理、“千年秀林”等环境保护工程,较2016年,2017年、2018年人均造林面积分别增长55.38%、100%,蓝绿空间占比增长21.50%、41.28%,白洋淀水质达标率增长43.14%、78.43%,每万人拥有公共汽电车增长近50%、67%。同时,新区对工农业能耗、水耗及污水处理、固废利用等进行了严格的规范与限定,万元GDP能耗、万元GDP水耗等指标均有较大幅度的降低,而单位工业GDP天然气使用率、工业污水集中处理率、工业 SO_2 去除率、工业固废综合利用率等指标也有了一定程度的提升。由于万元GDP能耗、万元GDP水耗、单位工业GDP天然气使用率、工业 SO_2 去除率4个指标与新区规划和国家相关标准尚有一定的差距,导致生态承载力整体水平不高,未来还需要加大绿色生产的力度。

(4)从社会经济的维度上,2014—2018年雄安新区社会经济承载力评价结果在0.30~0.49之间,年均增长率为12.22%,社会经济承载能力居于中等水平。在经济发展上,与2016年相比,2017年、2018年人均固定资产投资额增长9.21%、29.46%,城镇居民人均可支配收入增长7.97%、15.63%,农村居民人均可支配收入增长8.74%、15.49%。同时,新区对部分高污染、高消耗的第二产业(如塑料包装、有色金属加工等)进行了限制性发展,导致2018年人均GDP、规模以上工业总产值、第二产业占GDP比例等指标明显下降,影响了社会经济承载力的提升。在社会发展上,新区基础设施建设速度明显加快,2014—2018年路网密度分别为0.98 km/km^2 、0.98 km/km^2 、1.00 km/km^2 、1.12 km/km^2 和26.65 km/km^2 ,千人医疗机构床位数分别为2.36个/千人、2.83个/千人、3.07个/千人、3.49个/千人和4.02个/千人,而城镇化率、人口

密度、恩格尔系数等指标变化相对较少。

2.4 雄安新区资源环境承载力提升对策

从生态上,增加绿色治理的环保投入,推进白洋淀环境治理与生态修复、“千年秀林”工程等;调整优化产业结构、严格控制污染排放,形成绿色生产方式,同时积极推广“绿色交通+清洁能源”的绿色生活方式。从社会经济上,推动产业结构转型,积极发展技术含量高、产品附加值高、低耗环保的产业,提高经济发展水平,增加人均GDP、居民可支配收入,同时加快社会基础设施建设,提高城镇化水平。今重点从土地资源、水资源和水环境3个方面提出新区资源环境承载力的提升对策。

2.4.1 土地资源承载力的提升对策

(1)保护优质耕地资源,提高单位耕地生产力。新区发展规划要求耕地面积占比为18%,而目前耕地面积占比为60%。容城、安新县耕地质量较好,土地利用强度较大、单位耕地生产力较高。因此,尽可能开发占用等级较低的耕地,保护优质的高产耕地。

(2)严控建设用地面积,提高土地集约利用程度。通过调研发现,新区具有一定数量的空闲地与存量建设用地,可以考虑适时盘活。在新区产业用地规划上,保障低能耗低污染、高附加值的产业优先用地,同时提高土地使用标准,实现土地的集约高效利用。

(3)合理规划土地利用规模,提高单位土地产出。2014—2018年新区土地资源承载力评价结果分别为0.522 0、0.529 5、0.551 1、0.516 2、0.555 4,在0.52~0.56之间,土地资源承载状况良好。新区土地资源中耕地较多,而地势低洼、海拔10 m以下的土地面积占比较大(3/4左右),需要合理规划耕地资源的征收征用、灵活确定建设用地规模,提高单位土地产出效益。

2.4.2 水资源承载力的提升对策

(1)在水资源的需求端,提高水资源利用率。一方面加快构建技术含量高、产品附加值高、低耗环保的高新技术产业集群,设立用水效益的准入标准,普及居民节水器具等控制水资源需求增量;另一方面,实施工农业节水,压缩水资源需求存量。农业种植面积减少会大幅降低农业用水总量(估计每年减少1亿 m^3),调整“冬小麦-夏玉米”复种的高耗水种植结构。逐步淘汰塑料包装、压制延革等高耗水产业,注重提升与改造留存产业的节水

工艺。

(2)在水资源的供给端,提高人均水资源量。一是通过“南水北调”“引黄入冀补淀”等工程用好外调水;二是加大再生水处理基础设备与技术的投入,提高再生水利用率,用足再生水;三是用活地下水。2018年,新区利用引江水压缩地下水超采量0.15亿 m^3/a ,计划到2025年基本实现地下水的采补平衡。

2.4.3 水环境承载力的提升对策

在水环境的保护上,一是建立水环境保护与配套制度、水污染预警机制等,实施计划用水与超计划用水的累进加价管理,对高耗水行业的节水要求达到先进定额标准,同时实施严厉的水环境监察执法,控制工业万元GDP废水排放量;二是加大生态用水、提高生态用水率;三是建设科学全面的调水系统,形成地表水、地下水、再生水、雨洪水、外调水“五水联调”的供水格局,严控地下水超采量、降低地面沉降速率。

在水环境的治理上,一是排污治污、保障水环境,以实施工农业生产、社会生活等污染源整治为重点,加大对入淀河流、黑臭水体、纳污坑塘等的治理力度,提高工业污水集中处理率、降低COD排放强度;二是深化白洋淀流域综合整治与生态修复工作,全面消除白洋淀上游沿河污染隐患,提高白洋淀水质达标率、统筹淀区内外城镇(乡)村生活污水与垃圾处理系统建设,提高城市污水日处理能力与生活垃圾无害化处理率、加强白洋淀环淀大堤和淀区植被带建设,提高蓝绿空间比。

3 结论

(1)基于雄安新区的现实状况与发展定位,构建涵盖资源、环境、生态(绿色生态)与社会经济系统4个一级指标,土地资源、水环境、绿色治理、经济等11个二级指标,人均耕地面积、工业万元GDP废水排放量等49个三级特征指标,能够反映资源、环境、生态、社会经济系统之间协调发展程度的新区资源环境承载力评价指标体系。

(2)运用模糊综合评价法,对2014—2018年新区资源环境承载力进行了评价,结果分别为0.322 9、0.355 6、0.352 1、0.385 9、0.444 5,年均增长率为8.32%,呈现出稳步上升的趋势,主要是由于2016年新区资源与环境保护力度加大、经济与社会发展速度提升,2017年新区绿色生产与绿

色生活的投资力度显著增强。

(3)从土地资源、水资源与水环境3个层面提出新区资源环境承载力提升的主要对策:在土地资源的开发利用上,保护优质耕地资源,提高单位耕地生产力,合理规划土地利用规模,提高单位土地产出效益;在水资源的需求端与供给端上,提高水资源利用率和人均水资源量;在水环境的保护与治理上,有效开发利用新区水资源,充分发挥白洋淀的生态功能,严控地下水超采,进行白洋淀流域综合整治与生态修复等工程,保护新区水环境。

[参考文献]

- [1] 马海龙. 宁夏资源环境承载力研究[M]. 北京:科学出版社,2017.
- [2] 皮庆,王小林,成金华,等. 基于PSR模型的环境承载力评价指标体系与应用研究——以武汉城市圈为例[J]. 科技管理研究,2016,36(6):238-244.
- [3] 李丽红. 承载力评价及生态环境协同保护研究[M]. 保定:河北大学出版社,2017.
- [4] 谈迎新,於忠祥. 基于DSR模型的淮河流域生态安全评价研究[J]. 安徽农业大学学报(社会科学版),2012,21(5):35-39.
- [5] TEHRANI N A, MAKHDOUN M F. Implementing a spatial model of urban carrying capacity load number (UCCLN) to monitor the environmental loads of urban ecosystems. Case study: Tehran metropolis[J]. Ecological Indicators, 2013, 32(3):197-211.
- [6] 郑晶,于浩,黄森慰. 基于DPSIR-TOPSIS模型的福建省生态环境承载力评价及障碍因素研究[J]. 环境科学学报,2017,37(11):4391-4398.
- [7] SHAROMI O, TORRE D L, MALIK T. A multiple criteria economic growth model with environmental quality and logistic population behaviour with variable carrying capacity[J]. Information Systems and Operational Research, 2019, 57(3):379-393.
- [8] DORINI F A, CECCONELLO M S, DORINI L B. On the logistic equation subject to uncertainties in the environmental carrying capacity and initial population density[J]. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 2016, 10(33):160-173.
- [9] 郭倩,汪嘉杨,张碧. 基于DPSIRM框架的区域水资源承载力综合评价[J]. 自然资源学报,2017,32(3):484-493.
- [10] CHENG C, TONG S Y, PENG H Y, et al. Relation between economic development level and resource and environment carrying capacity of central area of Yunnan Province based on decoupling analysis[J]. Agricultural Science and Technology, 2015, 16(12):2829-2832.
- [11] 焦露,杨睿,郭琳. 国家级新区资源环境承载力评估研究——以贵安新区为例[J]. 四川理工学院学报(社会科学版), 2017, 32(5):87-100.
- [12] 王敏. 资源与环境综合承载力分析——以银川滨河新区总体规划为例[J]. 环境保护科学, 2016, 42(6):37-42.
- [13] 贾伟,高小红,谷晓天,等. 湟水流域土地资源环境承载力分析[J]. 环境监测管理与技术, 2020, 32(6):13-17.
- [14] SHRESTHA S, PANDEY V P, SHIVAKOTI B R. Water environment in central and East Asia: An introduction[J]. Groundwater Environment in Asian Cities, 2016, 12:339-343.
- [15] 张翊,李银富,茶增芬. 云南山区县域资源环境承载力评价研究——以陇川县为例[J]. 云南地理环境研究, 2016, 28(2):29-34.
- [16] XIE S D, LIU Z, CHEN T, et al. Spatiotemporal variations of ambient PM₁₀ source contributions in Beijing in 2004 using positive matrix factorization[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2008, 8(10):2701-2716.
- [17] 钱文惟,朱彬,王红磊,等. 使用RCFP-IC对南京市不同污染状况下PM_{2.5}中水溶性离子的观测分析[J]. 环境科学学报, 2015, 35(10):3300-3308.
- [18] CHOW J C, WATSON J G, LU Z Q, et al. Descriptive analysis of PM_{2.5} and PM₁₀ at regionally representative locations during SJAQS/AUSPEX[J]. Atmospheric Environment, 1996, 30(12):2079-2112.
- [19] WATSON J G, CHOW J C. Source characterization of major emission sources in the Imperial and Mexicali Valleys along the US/Mexico border[J]. Science of the Total Environment, 2001, 276(1/2/3):33-47.
- [20] LI X H, WANG S X, DUAN L, et al. Carbonaceous aerosol emissions from household biofuel combustion in China[J]. Environmental Science and Technology, 2009, 43(15):6076-6081.
- [21] HO K F, LEE S C, CAO J J, et al. Seasonal variations and mass closure analysis of particulate matter in Hong Kong[J]. Science of the Total Environment, 2006, 355(1/2/3):276-287.
- [22] GAO Y, NELSON E D, FIELD M P, et al. Characterization of atmospheric trace elements on PM_{2.5} particulate matter over the New York-New Jersey harbor estuary[J]. Atmospheric Environment, 2002, 36(6):1077-1086.
- [23] WANG Y, ZHUANG G S, SUN Y L, et al. The variation of characteristics and formation mechanisms of aerosols in dust, haze, and clear days in Beijing[J]. Atmospheric Environment, 2006, 40(34):6579-6591.
- [24] 陈旭华,杨玉军,袁福的,等. 安阳市大气PM_{2.5}中无机元素污染特征分析及来源解析[J]. 绿色科技, 2021, 23(6):122-124.

本栏目编辑 谢咏梅