

基于环境承载力的长江经济带城市群发展战略研究

王金南¹, 蒋洪强¹, 刘年磊^{1*}, 扈茗², 汪淳², 钟奕纯², 蔡宏钰², 吴文俊¹

(1. 生态环境部环境规划院国家环境保护环境规划与政策模拟重点实验室, 北京 100012; 2. 北京清华同衡规划设计研究院有限公司, 北京 100085)

摘要: 长江经济带是我国重要的生态安全屏障, 也是我国经济发展的重心所在。推进长江流域城市群建设, 对于加快长江经济带发展意义重大。本文以长江经济带五大城市群为研究对象, 对其环境承载能力进行评价, 采用四象限分析方法探究城市群发展与环境承载力之间的耦合关系, 并将城市群划分为三大类别。研究表明, 长江三角洲城市群属于成熟期-环境超载型, 成渝和长江中游城市群属于高速发展期-环境超载型, 黔中和滇中城市群属于培育期-环境不超载型。进一步从生态空间管控、国土空间格局优化、城市群绿色发展、人居环境改善等方面提出了长江经济带城市群发展的战略建议, 以期强化环境承载能力在城市群发展中的前置性、基础性、引导性作用, 为推进长江经济带高质量发展提供基础支撑。

关键词: 环境承载力; 城市群发展; 耦合协调; 长江经济带

中图分类号: X24 文献标识码: A

Development Strategy for Urban Agglomerations in Yangtze River Economic Belt Considering Environmental Carrying Capacity

Wang Jinnan¹, Jiang Hongqiang¹, Liu Nianlei^{1*}, Hu Ming², Wang Chun², Zhong Yichun², Cai Hongyu², Wu Wenjun¹

(1. State Environmental Protection Key Laboratory of Environmental Planning and Policy Simulation, Chinese Academy of Environmental Planning, Beijing 100012, China; 2. Beijing Tsinghua Tongheng Planning and Design Institute Co., Ltd., Beijing 100085, China)

Abstract: The Yangtze River Economic Belt is a vital ecological security barrier and a focus of China's economic development. Promoting the construction of urban agglomerations in the Yangtze River Basin is of great significance for accelerating the development of the Yangtze River Economic Belt. Using the five urban agglomerations in the Yangtze River Economic Belt as the research object, we evaluate their environmental carrying capacities and explore the coupling relationship between urban agglomeration development and environmental carrying capacity using a four-quadrant analysis method. We categorize these urban agglomerations into three types. The results show that the urban agglomeration in the Yangtze River Delta belongs to a mature-environmental overload type, the urban agglomerations in Chengdu-Chongqing and the middle reaches of the Yangtze River belong to the high-speed development-environmental overload type, and the urban agglomerations in central

收稿日期: 2021-11-20; 修回日期: 2021-12-28

通讯作者: *刘年磊, 生态环境部环境规划院国家环境保护规划与政策模拟重点实验室副研究员, 主要研究方向为环境规划与政策模拟;

E-mail: liunl@caep.org.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“长江经济带生态文明建设若干战略问题研究”(2019-ZD-08)

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

Guizhou and central Yunnan belong to the cultivation–environmental non-overload type. Furthermore, we propose strategic suggestions for the development of urban agglomerations in the Yangtze River Economic Belt from the aspects of ecological space control, optimization of land spatial pattern, green development of urban agglomerations, and improvement of human settlement environment. These aim to strengthen the guiding role of environmental carrying capacity in the development of urban agglomerations and provide basic support for promoting the high-quality development of the Yangtze River Economic Belt.

Keywords: environment carrying capacity; urban agglomeration development; coupling coordination; the Yangtze River Economic Belt

一、前言

随着中国经济发展进入新常态，区域经济正以全新的理念，成为中国经济继续较快发展的重要抓手 [1]。而长江经济带作为区域经济战略布局中重要的一环，既占有推动区域协调可持续发展、促进国土资源开发的重大机遇，同时也面临着平衡生态环境保护与提高国土空间开发效率的挑战 [2]。21 世纪以来，长江经济带区域工业化和城镇化快速推进，城市人口和用地规模呈现快速扩张趋势，不仅蚕食和破坏了大量的生态空间和优质农业空间，同时导致区域污染物排放超出环境承载力，环境风险加剧，区域发展的协调性和可持续性受到严重威胁 [3]。因此，正确把握生态环境保护和经济发展的关系，探索协同推进生态优先和绿色发展新路子是促进长江经济带协调发展的正确途径。长江经济带经济环境协同发展需要以城市群为主体，辐射带动长江经济带整体的生态环境和经济协调发展。科学认知资源环境承载力已逐渐成为中央和地方政府确定区域战略和政策、研制发展和布局规划的基础性工作 [4]。在当前生态文明建设的时代背景下，探索研究环境承载力约束下的长江经济带城市群发展战略，对于优化长江经济带国土空间开发格局、推动完善生态环境治理体系、促进区域可持续发展具有重要意义。

我国以资源环境承载力为基础的国土空间规划体系研究刚刚起步，部分学者逐步尝试探索以资源环境承载力为抓手合理引导城市人口规模与产业布局 [5~9]，依据承载力区域空间异质性，提出城市发展的空间管控与准入措施。但目前这方面的研究成果还比较少，多数研究集中于大气、水、生态、水资源、土地资源等单因素承载力评价，而承载力与城市发展的耦合关系研究未得到充分和

系统的考虑；另外，基于资源环境承载力评价结果的城市管控从理论技术方法向落地应用手段的转化路径尚在探索过程中，导致难以对经济社会发展形成刚性约束。

本研究将在国家战略的大背景下，坚持“共抓大保护、不搞大开发”的发展导向，从生态环境保护与经济社会协调发展的角度出发，分析长江三角洲、长江中游、成渝、滇中和黔中五大长江经济带沿线城市群的空间布局，对长江经济带城市群环境承载能力进行评价，并采用四象限分析方法探究城市群发展与生态环境承载力之间的耦合关系，基于环境承载力以及生态环境空间管控要求，提出长江经济带城市群发展的战略建议。为加快实施长江经济带发展战略、推进长江经济带高质量发展提供基础支撑。

二、长江经济带城市群发展概况

（一）经济发展水平

长江经济带是我国人口和经济集聚的核心区域，以 20% 的国土面积，承载超过 40% 的人口和经济总量。在全国“十三五”规划确定的“19+2”城市群格局中，有长江三角洲、长江中游、成渝、滇中、黔中五大城市群分布于此，合计占全国城市群国内生产总值（GDP）总量的 40.8%，常住人口的 38.4%；占长江经济带土地面积的 51%，GDP 总量的 84% 和常住人口的 73%。长江经济带 80% 以上的地级市常住人口均超过 200 万，尤其以长江三角洲、长江中游、成渝城市群常住人口分布较多，而黔中、滇中城市群的人口规模较小。长江三角洲城市群经济发展水平均远高于其他城市群，长江中游、成渝城市群次之，滇中、黔中城市群经济发展仍有较大提升空间。经济人口数据来源于 2018 年长江经济带各省统计年鉴。

（二）一体化发展水平

从城市群内部的人口联系、经济联系和交通联系等方面对城市群一体化发展水平进行评价，人口联系强度为腾讯人口迁徙热度，经济联系强度为全行业企业资本互投总额，交通联系强度为城市间铁路客运列车班次，数据分别来源于腾讯迁徙大数据、龙信工商企业等级大数据、携程网铁路班次数据。

长江经济带城市群间一体化发展水平差异较为明显，东部城市群内部各城市之间的联系紧密、要素往来频繁，而西部城市群内部缺乏联系，区域协同的壁垒和障碍较深。就城市群内部人口联系而言，长江三角洲、成渝城市群城市内部人口流动频繁，人口联系强度远高于其他城市群。长江中游人口流动次之，滇中、黔中城市群人口流动最低。就城市群内部经济联系而言，长江三角洲城市群经济联系频繁，联系强度远高于其他城市群，内部的经济联系规模大、强度高。长江中游、成渝、黔中城市群联系强度次之，滇中城市群经济联系强度最低。就城市群内部城市间交通联系而言，长江三角洲城市群与长江中游城市群的城市交通联系最强，形成“网格状”联系的空间格局，成渝、黔中、滇中城市群城市间交通联系相对较弱。

（三）国土空间开发格局

本文主要采用了40年（1978—2017年）不透水面变化数据、2010年GlobalLand30地表覆盖解译数据、2015年GlobalLand30地表覆盖解译数据和2017年GlobalLand30地表覆盖解译数据分析长江经济带城镇空间和生态空间的演化趋势。

研究表明，改革开放以来，长江经济带建设用地增长主要集中在下游城市群，长江三角洲城市群增长幅度较大，长江中游城市群次之，成渝、滇中、黔中城市群增长幅度较小。其中，长江三角洲城市群建设用地面积持续快速增长，新增建设用地分布较广，已从大都市周边向都市连绵区扩散，主要集中在城市间的联系通道上，上海市周围的城市密集地区已基本转化为建设用地。长江中游城市群2009年以来建设用地增长迅速，2012年起在较高水平波动，新增建设用地集中于武汉、长沙、南昌三大区域中心城市周围。成渝城市群两大核心城市仍处于各自发展都市圈的阶段，新增建设用地集中分布在成都和重庆，其他地区建设用地较少。黔中城市群建设用

地增长长期处于较低水平，2009—2011年间迅速上升，此后在高值波动，城市群内建设用地分布较散，集中连片的建设用地面积较小，常呈现狭长的形态。滇中城市群新增建设用地主要集中在昆明，环滇池地区新增建设用地较多，并沿交通走廊向玉溪和曲靖发展。

三、环境承载力评价

环境承载力评价主要表征区域环境系统对社会经济活动产生的各类污染物的承受与自净能力，采用污染物浓度超标指数作为评价指标，通过主要大气和水污染物的年均浓度监测值与国家现行的该污染物质量标准的对比反映[10]。采用极值法进行环境承载力综合评价，最终将评价结果分为不超载、临界超载、超载三种类型。评价数据来自2016年长江经济带各省（市）环境监测中心站的大气与水环境质量监测数据。

（一）大气环境承载力

通过计算大气污染物浓度超标指数衡量大气环境承载力状况。评价指标包括细颗粒物（PM_{2.5}）、可吸入颗粒物（PM₁₀）、二氧化氮（NO₂）、二氧化硫（SO₂）、一氧化碳（CO）和臭氧（O₃）等六项。不同地区各项大气污染物超标指数的计算公式如下：

$$R_{\text{气}ij} = C_{ij} / S_i - 1 \quad (1)$$

$$R_{\text{气}j} = \max_i (R_{\text{气}ij}) \quad (2)$$

式（1）、（2）中， C_{ij} 为j地区i项大气污染物的年均监测浓度， S_i 为该项污染物的空气质量二级标准限值， $R_{\text{气}ij}$ 为j地区i项污染物浓度超标指数， $i=1, 2, \dots, 6$ ，分别对应上述各项污染指标。 $R_{\text{气}j}$ 为j地区的大气污染物浓度超标指数，其值为各项污染物浓度超标指数的最大值。当 $R_{\text{气}j} > 0$ 、 $-0.2 < R_{\text{气}j} \leq 0$ 和 $R_{\text{气}j} \leq -0.2$ 时，分别表明大气环境处于超载、临界超载和不超载状态。

评价结果表明，长江经济带1069个区县中有761个区县大气环境都为超载状态，有136个区县临界超载，172个区县不超载，占比分别为71.2%、12.7%、16.1%。大气环境综合超载最严重的几个区县是江苏省徐州市的新沂市，四川省自贡市的自流

井区、贡井区、大安区、沿滩区、荣县、富顺县，湖北省潜江市、天门市，超标指数大于 1；其余综合超载较为严重的区县也多分布在江苏省、四川省东部、湖北省等地。云南省迪庆族自治州的香格里拉市、德钦县、维西傈僳族自治县的大气环境综合承载形势较好，超标指数在 -50% 左右。其余不超载的区县大部分位于云南省、四川省、贵州省山区，安徽省黄山市大部分区县不超载。

(二) 水环境承载力

通过计算水污染物浓度超标指数衡量水环境承载力状况。评价指标包括化学需氧量 (COD_{Cr})、氨氮 (NH₃-N)、总氮 (TN)、总磷 (TP)、高锰酸盐指数 (COD_{Mn}) 和五日生化需氧量 (BOD₅) 等六项。不同地区各项水污染物超标指数的计算公式如下 [11]：

$$R_{水ijk} = C_{ijk} / S_{ik} - 1 \quad (3)$$

$$R_{水ij} = \sum_{k=1}^{N_j} R_{ijk} / N_j, i = 1, 2, \dots, 6 \quad (4)$$

式 (3)、(4) 中， C_{ijk} 为 j 地区 k 断面 i 项水污染物的年均监测浓度， S_{ik} 为 k 断面 i 项水污染物的水功能区水质目标值， $R_{水ijk}$ 为区域 j 第 k 个断面第 i 项水污染物浓度超标指数， $R_{水ij}$ 为区域 j 第 i 项水污染物浓度超标指数； $i=1, 2, \dots, 6$ ，分别对应上述各项污染指标； k 为控制断面， $k=1, 2, \dots, N_j$ ， N_j 为 j 地区的控制断面数量。不同地区水污染物浓度超标指数计算公式如下：

$$R_{水jk} = \max_i(R_{ijk}) \quad (5)$$

$$R_{水j} = \sum_{k=1}^{N_j} R_{jk} / N_j \quad (6)$$

式 (5)、(6) 中， $R_{水jk}$ 为 j 地区 k 断面的水污染物浓度超标指数， $R_{水j}$ 为 j 地区的水污染物浓度超标指数。

当 $R_{水j} \leq -0.3$ 时，表明水环境处于不超载状态；当 $-0.3 < R_{水j} \leq 0$ 时，表明水环境处于临界超载状态；当 $R_{水j} > 0$ 时，表明水环境处于超载状态。

研究表明，长江经济带整体水环境处于临界超载状态。其中江苏省、浙江省和上海市的水环境处于超载状态，其超标指数分别为 0.23、0.06 和 0.10，其他省市的水环境处于不超载或临界超载状态，水环境承载形势相对较好。从 126 个地市 / 地州情况

来看，水环境呈超载状态的地市有 44 个，占比为 35.0%，呈临界超载状态的地市 / 地州有 41 个，占比为 32.5%，呈不超载状态的地市 / 地州有 41 个，占比为 32.5%。从参与评价的 892 个区县来看，水环境呈超载状态的区县有 210 个，占比为 23.5%，呈临界超载状态的区县有 273 个，占比为 30.6%，呈不超载状态的区县有 409 个，占比为 45.9%。

(三) 环境综合承载力

采用极大值法对污染物浓度的综合超标指数进行计算，公式如下：

$$R_j = \max(R_{气j}, R_{水j}) \quad (7)$$

式 (7) 中， R_j 为 j 地区的污染物浓度综合超标指数。

当大气、水环境要素任意一项超载时，认为综合评价结果为超载；两项要素中有一项临界超载，另一项为不超载或临界超载时，认为综合评价结果为临界超载；仅当两项要素均不超载时，认为综合评价结果为不超载。

综合评价结果表明，2016 年长江经济带环境承载力整体上处于超载状态，其环境综合超标指数约为 0.28。在参与评价的 1069 个区县中，799 个区县超载，153 个区县临界超载，117 个区县不超载，占比分别约为 74.7%、14.3%、11.0%。环境综合超载最为严重的区县主要集中在安徽、江苏、湖北、上海及重庆等省（市），超标指数均在 1 以上。环境综合超载较为严重的区县主要分布在安徽、湖北、四川、江苏、重庆等省市，超标指数介于 0.5~1。不超载区县主要分布于云南、贵州两省，以及湖北、湖南、四川、浙江等下辖的少部分地市。

四、城市群发展与环境承载力耦合关系评价

从经济发展水平、环境承载力两个维度，采用四象限分析法分析长江经济带各城市的发展水平与生态环境承载力的耦合关系。经济发展水平维度选用 2016 年各地级市人均 GDP 指标进行评价，以长江经济带整体人均 GDP 为界，城市人均 GDP 高于长江经济带人均 GDP 则为高经济质量，人均 GDP 低于长江经济带人均 GDP 则为低经济质量。环境承载力以前文中的环境综合超标指数等于零为界，环境综合超标指数为负则为环境超载，环境综合超

标指数为正则为环境不超载。由经济发展水平、环境承载力两个维度构成四个象限,将长江经济带城市划分为低经济质量-环境不超载、高经济质量-环境超载、高经济质量-环境不超载、低经济质量-环境超载4个类型,在此基础上叠加重点生态功能区,形成5个类别。

各类城市的特征及分布情况如下:①高经济质量-环境超载的城市以上海、杭州、武汉、长沙、重庆、成都等城市为代表,主要分布在长江经济带下游地区和中上游城市群核心区。这类城市的快速发展对生态环境产生了较大的破坏,以较高的资源消耗和较大的环境污染为代价。②低经济质量-环境超载的城市以黄冈、九江、益阳、遵义等城市为代表,主要分布在长江经济带中游地区和都市圈外围地区。这类城市大多有较强城镇化发展动力和潜力,但目前开发方式较为粗放,对生态空间和乡村地区的蚕食现象较为严重,带来较大的生态环境保护压力。③低经济质量-环境不超载的城市以毕节、楚雄、丽江等城市为代表,主要分布在长江经济带上游地区。这类城市生态环境条件较好,社会经济发展对生态环境的破坏较小。④高经济质量-环境不超载的城市为玉溪市和攀枝花市,均分布在长江经济带上游,为资源型城市。这类城市的发展对资源高度依赖,对环境有一定破坏性,但自然本底条件优越,尚未出现环境超载的问题。⑤以重点生态功能区为主的城镇主要分布在长江经济带上游地区,以张家界市、黔南州、凉山州等地区为代表,此外重庆、丽江、大理等城市有部分区县也为重点生态功能区。

基于长江经济带五大城市群内部各城市的耦合分析结果对长江经济带城市群进行分类。通过采用GDP、常住人口、人口密度、人均公园绿地面积、人口联系强度、中心城市2h交通圈覆盖率等指标,对城市群整体经济水平、生态环境水平、内部联系程度等方面进行评价,将城市群分为成熟期城市群(长江三角洲城市群)、高速发展期城市群(长江中游城市群、成渝城市群)和培育期城市群(滇中城市群、黔中城市群)。根据城市群内各城市生态环境承载力评价结果,若50%以上的城市环境超载,则认为城市群存在环境超载的问题,若50%以上的城市环境不超载,则认为城市群环境不超载。将城市群整体发展水平评价结果与生态环境承载力评

价结果进行耦合,可以进一步将城市群划分为三类:培育期-环境不超载型、高速发展期-环境超载型、成熟期-环境超载型。

(一) 培育期-环境不超载城市群

黔中城市群、滇中城市群为培育期-环境不超载城市群,城市群整体生态环境压力较小,仅中心城市及发展走廊存在环境超载问题。

培育期-环境不超载城市群未来应以保护生态环境为主要任务,生态条件脆弱的地区坚决限制大规模城镇化开发;生态环境承载力较强、地势较平坦的地区,在不破坏自然环境和确保地质安全、生态安全的前提下可以进行适度开发。以打造我国西部地区具有一定带动能力的新型增长极为目标,建设生态宜居型城市群。近期以重点发展壮大中心城市,培育形成以中心城市为核心的都市圈为工作重心,进而提高中心城市的辐射带动能力,带动周边城市共同发展,实现与中心城市的交通设施互联互通与产业分工协作。

(二) 高速发展期-环境超载城市群

成渝城市群、长江中游城市群为高速发展期-环境超载城市群,城市群整体存在生态环境超载的问题,中心城市及都市圈范围内经济发展质量较高,外围地区发展质量较低。

高速发展期-环境超载城市群未来应调整经济结构,积极发展对生态环境干扰较小的新兴产业,大力推动科技创新,加强都市圈内一体化发展及都市圈对外围地区的带动作用。

其中,成渝城市群中心城市发展较好,其他地区经济质量较低,应以建设西部高质量发展增长极和打造内陆开放战略高地为目标,兼顾生态环境保护,强化成都和重庆双中心的综合服务功能和辐射带动能力,加强两地城市之间的协作交流和功能互补,同时培育次级节点城市和发展轴带,并注重提升区域内部的交通、生态、服务等一体化发展水平。长江中游城市群已形成长株潭(长沙、株洲、湘潭)等以中心城市为核心、联系密切的都市圈,都市圈以外地区经济质量较低,区域内湖泊众多,承担着洪水调蓄的重要生态功能。未来应重点保护洞庭湖、鄱阳湖等湖泊的生态环境,建设引领中部崛起的核心增长极和综合交通枢纽,加强武汉、长沙、南昌

等中心城市之间的协作交流和功能互补,分别培育壮大都市圈,形成更高能级的区域极核。

(三) 成熟期—环境超载城市群

长江三角洲城市群为成熟期—环境超载型城市群,综合发展实力和一体化发展水平居于全国前列,同时具备江海交汇的区位优势,广阔的平原地区和较高的生态承载能力为其提供了较大的发展空间。但是,近年快速的城镇化发展及较为粗放的环境利用模式也使其面临一定的生态环境问题,长江三角洲城市群全部城市均存在环境超载的情况,大部分地区经济发展质量高,仅滁州、安庆、池州、宣城等西部地区的部分城市经济发展质量较低。

长江三角洲城市群未来发展应以提高发展质量、减轻环境压力为总体目标。东部沿海发达地区应基于生态环境承载力划定城市发展底线,坚持效率优先,强化存量建设用地盘活利用;以建设具有全球影响力的世界级城市群为目标,充分发挥上海作为国际大都市的辐射扩散作用,进一步强化与周边区域的协同一体化发展,成为带动长江经济带崛起的龙头;注重土地等资源利用的节约集约,促进多功能混合布局和土地混合利用。西部经济发展质量较低的地区应积极承接其他城市外溢产业,以不破坏生态环境为前提发展经济。

五、环境承载力约束下的长江经济带城市群发展战略

长江经济带五大城市群中以长江三角洲城市群发育程度最高,但也面临着较大的环境超载问题;成渝和长江中游城市群处于高速发展阶段,同样面临一定程度的环境超载问题;黔中和滇中城市群尚处于城市群的培育阶段,生态环境本底和保护较好。未来应进一步优化城市群发展格局,践行绿色发展理念,改善提升人居环境。

(一) 建立长江经济带生态安全管控格局,分类管控生态保护红线、重点生态功能区等生态空间

对生态保护红线内的区域执行最严格的生态环境保护措施,红线内原则上应禁止工业化和城镇化活动,保持环境质量的自然本底状况,恢复和维护区域生态系统结构和功能的完整性,保持生态环境

质量、生物多样性状况和珍稀物种的自然繁衍,保障未来可持续生存发展空间。对于不在生态保护红线内的其他重点生态功能保护区,如水源涵养功能区、水土保持功能区、生物多样性功能区和石漠化防治功能区等,按照限制开发区要求进行管控,在保护优先的前提下,合理选择发展方向,发展特色优势产业,加强生态环境保护和修复,加大生态环境监管力度,保护和恢复区域生态功能 [12]。

(二) 分类引导城市群空间格局优化,梯次培育形成“两圈三群”的城镇化发展格局

建设长江三角洲和成渝两大世界级城市群,建设上海、成都、重庆三大世界级城市,提升杭州、南京、苏州等次级中心城市的综合承载能力,强化区域发展轴带建设,促进中心城市与周边地区的要素双向流动,形成网络化发展格局;建设长江中游国家级城市群,近期以壮大武汉、长沙、南昌三大都市圈为重点,远期建设区域发展走廊,沿线培育布局新兴功能增长极,强化区域间要素流动。在西部地区建设昆明和贵阳两大都市圈,提升昆明和贵阳的辐射带动能力,构建同城化交通系统,培育形成都市圈,外围地区则以提供生态服务价值和农产品供给功能为主。

(三) 加强区域城市群绿色发展,推进共建共治

共筑大尺度城市群绿色生态空间,打造城市群生态绿网体系。如长江三角洲依托太湖,长江中游依托洞庭湖、鄱阳湖、长株潭绿心,滇中地区围绕滇池,成渝城市群围绕龙泉山等建设生态绿心。协同开展长江三峡、葛洲坝、二滩等水利设施建设,建立上、中、下游饮用水水源地分级分区保护制度。深入推进长江干支流水环境协同治理,强化大气污染联防联控,协同开展土壤污染防治。探索多形式生态价值转化路径,完善绿色发展体制机制。创新环境资源权益交易市场化营商模式,建设碳交易和绿色金融体系;强化环境信用评价体系成果应用,完善跨区域生态补偿机制等。

(四) 加强绿色基础设施建设,改善提升人居环境

构建“污水集中与分散处理、污水管网与处理设施协调配套、污水处理出水标准差异化”的三位一体模式。构建以资源回收及能源利用为目标的污

泥无害化处理处置模式。统筹供热方式,以大型集中供热为主、分散供热为辅,实施多元化能源供应模式。将前端垃圾有效分类收运与末端综合处理相结合,推广静脉产业类生态园区建设。推动管线建筑信息模型(BIM)管理平台构建和综合管廊建设。推行电网智慧化运营管理模式,实现多种能源的优化配置。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: November 20, 2021; **Revised date:** December 28, 2021

Corresponding author: Liu Nianlei is a associate research fellow from the State Environmental Protection Key Laboratory of Environmental Planning and Policy Simulation, Chinese Academy of Environmental Planning. His major research field is environmental planning and policy simulation. E-mail: liunl@caep.org.cn

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Research on several strategic issues in the construction of ecological civilization in the Yangtze River Economic Belt” (2019-ZD-08)

参考文献

- [1] 张淑敏, 张宝雷. 国家战略背景下黄河三角洲地区国土开发适宜性格局[J]. 资源科学, 2016, 38(5): 837–846.
Zhang S M, Zhang B L. The suitability pattern of territorial development in the Yellow River Delta under national strategy [J]. Resources Science, 2016, 38(5): 837–846.
- [2] 于婧, 陈艳红, 唐业喜, 等. 基于国土空间适宜性的长江经济带“三生空间”格局优化研究[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2020, 54(4): 632–639.
Yu J, Chen Y H, Tang Y X, et al. Study on the pattern optimization of “production-living-ecological space” in the Yangtze River Economic Belt based on the suitability of land space [J]. Journal of central China Normal University (natural science edition), 2020, 54(4):632–639.
- [3] 高爽, 董雅文, 张磊, 等. 基于资源环境承载力的国家级新区空间开发管控研究[J]. 生态学报, 2019, 39(24): 9304–9313.
Gao S, Dong Y W, Zhang L, et al. Research on urban space development and control of national new areas based on environmental carrying capacity [J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(24): 9304–9313.
- [4] 樊杰, 王亚飞, 汤青, 等. 全国资源环境承载能力监测预警(2014版)学术思路与总体技术流程[J]. 地理科学, 2015, 35(1): 1–10.
Fan J, Wang Y F, Tang Q, et al. Academic thought and technical progress of monitoring and early-warning of the national resources and environment carrying capacity (V 2014) [J]. Scientia Geographica Sinica, 2015, 35(1): 1–10.
- [5] 樊杰, 周侃, 王亚飞. 全国资源环境承载能力预警(2016版)的基点和技术方法进展[J]. 地理科学进展, 2017, 36(3): 266–276.
Fan J, Zhou K, Wang Y F. 2017. Basic points and progress in technical methods of early-warning of the national resource and environment carrying capacity (V 2016)[J]. Progress in Geography, 2017, 36(3): 266–276.
- [6] 吕一河, 傅微, 李婷, 等. 区域资源环境综合承载力研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 2018, 37(1): 130–138.
Lyu Y H, Fu W, Li T, et al. Progress and prospects of research on integrated carrying capacity of regional resources and environment [J]. Progress in Geography, 2018, 37(1): 130–138.
- [7] 郝吉明, 王金南, 蒋洪强, 等. 环境承载力约束下的国家产业发展布局战略研究[J]. 中国工程科学, 2017, 19(4): 20–26.
Hao J M, Wang J N, Jiang H Q, et al. Strategies for industrial development layout in China within the constraints of environmental carrying capacity [J]. Strategic Study of CAE, 2017, 19(4): 20–26.
- [8] 武娟妮, 孙宁, 姚梦茵, 等. 城市环境总体规划的空间管控体系研究——以贵阳城市环境总体规划为例[J]. 中国环境管理, 2017, 9(6): 84–87.
Wu J N, Sun N, Yao M Y, et al. Research of urban environmental spatial management system of urban environmental master plan—Taking Guiyang urban environmental master plan as an example [J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2017, 9(6): 84–87.
- [9] 汪自书, 苑魁魁, 吕春英, 等. 基于资源环境禀赋与压力的城市综合承载力研究—以大连市为例[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(8): 64–69.
Wang Z S, Yuan K K, Lyu C Y, et al. Research of comprehensive carrying capacity based on the natural endowment and pressure: a case study on Dalian [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2015, 29(8): 64–69.
- [10] 刘年磊, 卢亚灵, 蒋洪强, 等. 基于环境质量标准的环境承载力评价方法及其应用[J]. 地理科学进展, 2017, 36(3): 296–305.
Liu N L, Lu Y L, Jiang H Q, et al. Environmental carrying capacity evaluation methods and application based on environmental quality standards [J]. Progress in Geography, 2017, 36(3): 296–305.
- [11] 胡溪, 刘年磊, 蒋洪强, 等. 基于环境质量标准的长江经济带水环境承载力评价[J]. 环境保护, 2018, 46(21): 36–40.
Hu X, Liu N L, Jiang H Q, et al. The water environmental carrying capacity assessment of yangtze river economic zone based on environmental quality standards [J]. Environmental Protection, 2018, 46(21): 36–40.
- [12] 环境保护部, 发展和改革委员会. 关于贯彻实施国家主体功能区环境政策的若干意见[EB/OL]. (2015-07-23) [2021-11-10]. https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201508/t20150803_307652.htm.
Ministry of Environmental Protection, Development and Reform Commission. Some opinions on implementing environmental policy of national main functional areas [EB/OL]. (2015-07-23) [2021-11-10]. https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201508/t20150803_307652.htm.