

静脉产业园规划逻辑框架与重庆市实践

周路合, 刘亚丽, 孙黎, 何芹, 胡茂韬

【摘要】以“五级三类”的国土空间规划体系为切入点, 基于宏观、中观、微观 3 大视角, 解析静脉产业与循环经济、静脉产业与“无废城市”、静脉产业与国土空间 3 大关系, 围绕全域大循环、城市中循环、园区小循环 3 大循环, 提出国土空间规划视角下的静脉产业园规划方法: 在宏观视角下, 谋划全域静脉产业顶层设计; 在中观视角下, 预控城市静脉产业发展用地; 在微观视角下, 优化园区静脉产业循环布局。通过“全域—城市—园区”建立起 3 大层级的资源能源循环体系, 全领域、全方位、全过程推行国土空间绿色规划。

【关键词】国土空间规划; 静脉产业园; 3 大循环; “全域—城市—园区”

【文章编号】1006-0022(2024)07-0127-09 **【中图分类号】**TU984 **【文献标识码】**B

【引文格式】周路合, 刘亚丽, 孙黎, 等. 静脉产业园规划逻辑框架与重庆市实践 [J]. 规划师, 2024(7): 127-135.

Logical Framework of Venous Industrial Park Planning and Practice in Chongqing/ZHOU Luhe, LIU Yali, SUN Li, HE Qin, HU Maotao

【Abstract】 Based on territorial spatial planning with "five levels and three categories", from the macro, meso and micro perspectives, the three relationships of venous industry and circular economy, venous industry and "no waste city", venous industry and territorial space are analyzed. Based on the three circulations of whole area overall circulation, city level intermediate circulation, and park micro circulation, a planning approach is proposed from the perspective of territorial spatial planning: the top-level design for the whole area venous industry development is programmed from the macro perspective, land use for venous industrial development is controlled from the meso perspective, and the circulation layout of the venous industry in the park is optimized from the micro perspective. Through the "whole area-city-park", a three-level resource and energy recycling system is established, in order to promote the territorial spatial green planning in the whole field, all-round and whole process.

【Keywords】 territorial spatial planning; venous industrial park; three circulations; whole area-city-park

0 引言

静脉产业园通过资源循环利用、能量梯级配置、废物集中处置、设施共建共享 4 大核心要素的耦合, 将传统的“资源—产品—废弃物”灰色线性生产模式升级为“资源—产品—再生资源”的绿色闭环发展模式^[1-3]。这一转变不仅实现了废物的资源化利用, 还促进了产业内部的良性循环, 其运作模式如同将含有代谢废物的血液通过静脉系统送回心脏进行再处理的过程, 因此得名“静脉产业园”。

我国高度重视静脉产业的发展, 陆续出台系列文件。2018 年国务院办公厅发布《“无废城市”建设试点工作方案》, 确定深圳、包头、重庆等“无废城市”试点^[4]; 2021 年国务院印发《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》, 明确经济全链条绿色发展的要求^[5]; 2022 年国务院办公厅、国家发展改革委印发《关于加快推进城镇环境基础设施建设的指导意见》, 鼓励建设固废处理处置及资源化利用“多位一体”的综合处置基地, 推广静脉产业园建设模式^[6]。

【基金项目】 重庆市自然科学基金面上项目 (CSTB2023NSCQ-MSX0883)、重庆市建设科技计划项目 (城科字 2022 第 6-13 号)

【作者简介】 周路合, 正高级工程师, 注册城乡规划师, 重庆市规划设计研究院党委书记、副院长。

刘亚丽, 通信作者, 博士, 正高级工程师, 注册城乡规划师, 现任职于重庆市规划设计研究院。

孙黎, 正高级工程师, 重庆市规划设计研究院基础设施与防灾所副所长。

何芹, 高级工程师, 现任职于重庆市规划设计研究院。

胡茂韬, 高级工程师, 注册城乡规划师, 现任职于重庆市规划设计研究院。

当前,我国静脉产业园规划与建设仍处于起步阶段,已建静脉产业园项目大多孤立运行,远远未实现区域协同、产业耦合和资源循环利用的目标,国土空间规划视角下的静脉产业园规划研究与实践严重匮乏,相关法规标准仍属空白。因此,急需聚焦绿色循环经济发展目标,对标“五级三类”的国土空间规划体系,建立逻辑清晰、技术合理、科学实用的静脉产业园规划方法体系。

本文首先总结国内外静脉产业园的发展历程,探讨当前我国静脉产业园规划存在的问题;其次立足“五级三类”的国土空间规划体系,从宏观、中观、微观3大视角厘清静脉产业与循环经济、“无废城市”、国土空间的关系,构建基于“全域—城市—园区”3大循环与耦合共生的静脉产业园规划逻辑框架;最后聚焦资源高效循环、能源梯级利用、污废集中处置的目标,提出谋划全域静脉产业顶层设计、预控城市静脉产业发展用地、优化园区静脉产业循环布局的规划关键技术,以期全领域、全方位、全过程推行国土空间绿色规划。

1 国内外静脉产业园发展历程

静脉产业是以资源节约、环境友好、绿色发展为前提,将废物循环转化为可再生利用的产品,实现废物资源化、无害化的产业。静脉产业园是以从事静脉产业的企业为主体的生态工业园区,此类产业园既可以提升资源价值和经济效益,又有利于污染防治和环境管理,同时还有利于集约节约用地,是当今循环经济的重点发展领域。

1.1 国外静脉产业园发展历程

作为生态工业园的前身,国外静脉产业园的建设主要经历了5大发展阶段^[7]:一是萌芽阶段(20世纪60年代)。此时

为较单一的废旧物资回收利用阶段,相关产业未得到足够重视,与真正的静脉产业相距甚远。二是起步阶段(20世纪70年代)。受益于政府的资金投入、技术更新、设备改造,再生资源行业获得扶持与发展,生态工业园得以初步建成。这一阶段具有代表性的园区有丹麦卡伦堡生态园,其作为全球运行最早的静脉产业园,通过布局5家大型企业和10余家小型企业,链接发电、炼油、制药、建材等产业,实现资源能源共享、废物循环利用。三是探索阶段(20世纪80年代)。伴随全社会的广泛介入,再生资源产业经营模式逐渐放开、规模不断扩大,产业不断关联集聚、物质和能量循环水平不断提升,生态工业园不断改进。这一阶段具有代表性的园区是美国查塔诺加改造型生态工业园,其通过逐级建立企业间紧密关联的静脉产业网络体系,实现园区零排放。四是优化阶段(20世纪90年代)。这一时期,循环经济成为人们关注的焦点,静脉产业得到进一步发展,节能环保产业持续集群化,资源循环再生体系初步形成。这一阶段具有代表性的园区为日本九州生态园,其已实现对废物处理区、再生资源加工区、实验研究区3大功能区的优化布局。五是转型阶段(21世纪至今)。进入21世纪,伴随经济飞速发展,环境问题日益凸显,静脉产业得到高度重视,在政策、资金、技术等各方面得到广泛支持,静脉产业园项目得以转型发展,尤其在有色金属循环利用、固废综合分解与利用、废液废气无害化处理与利用等领域得到迅猛发展。

1.2 国内静脉产业园发展历程

我国静脉产业园发展进程与生态环境保护事业同步^[8-10]。2006年第一部静脉产业行业标准——《静脉产业类生态工业园区标准(试行)》的颁布与实施,标

志着我国静脉产业园建设的正式启动;同年,我国第一家静脉产业园——青岛新天地生态工业园区获得批准创建。随后,2009年国家颁布并实施《中华人民共和国循环经济促进法》,初步建立健全循环经济制度,为静脉产业园的进一步发展提供了法律保障。2018年随着国务院机构改革,“无废城市”建设的理念被明确提出并被倡导,静脉产业园的规划也进入了新的阶段,历经了“起步探索—初步突破—绿色转型”3个阶段。目前,我国静脉产业政策机制初步建立,北京、上海、广州、重庆等城市率先开展静脉产业园示范性规划,并从城市、园区、企业3个层级,尝试落实资源利用、节水节能、环境保护等相关政策,支持示范项目落地建设。

2 我国静脉产业园规划存在的问题

当前,作为绿色循环经济的重要一环,我国静脉产业园规划尚未真正融入国土空间规划体系,并存在以下问题:

(1) 全域静脉产业园规划仍属空白。综观各省市已批复的国土空间规划,全域国土空间静脉产业园规划仍显缺失,亟待深入开展静脉产业园区顶层设计,强化绿色循环经济全产业空间链接,构建废物处置与循环产业协同发展的静脉产业空间格局。

(2) “无废城市”空间规划有待规范。当前,我国各省市“无废城市”试点建设规划大多由发改、环保、住建等部门组织编制,主要针对发展目标、总体要求、主要任务、保障措施等提出原则性规定,未能将静脉产业园规划融入国土空间规划体系,同时也未能实现静脉产业园与循环经济发展、生态环境保护、基础设施建设等方面的空间衔接,尚不能有效指导静脉产业园的科学布局和落地。因

此，“无废城市”空间规划有待加强，亟须开展静脉产业用地布局，规范用地标准和空间管控。

(3) 静脉产业园规划亟待引导。当前，我国静脉产业园规划建设常常“就园区论园区”，对产业耦合关系、物流循环关系、空间互动关系的考虑不足。因此，需要在厘清区域、城市、园区、企业等循环产业链条的基础上，强化静脉产业园布局，优化布局固废资源化利用骨干企业、大宗工业固废处置设施等园区核心项目，有序推进电、热、冷、气等多种资源能源流向和流量相匹配、物质和能量协同互济，强化园区绿色循环转型的内生动力，有效提升固废减量化、资源化、无害化水平。

3 静脉产业园规划逻辑框架

3.1 厘清 3 大关系

静脉产业园强调物质有序循环、能量多级利用、污废无害处置，注重资源资本增值和绿色低碳循环，促进资源利用、生态保护、经济发展的高效统一。开展静脉产业园规划，必须厘清静脉产业与循环经济、静脉产业与“无废城市”、静脉产业与国土空间这 3 大关系（图 1）。

3.1.1 静脉产业与循环经济的关系

静脉产业既是循环经济产业链的末端，又处于引领资源能源循环利用的前沿，不仅能够有效减少“污染流量”和“污染存量”，科学解决废物处理、污染治理、环境保护等问题，还是实现资源开发、生产、消费、排放、处置、再生、回用闭环中最关键的一环，是建设生态文明、促进绿色发展、实现“资源—产品—再生资源”绿色闭环的关键。只有充分发挥静脉产业的链式连带关系，构建物质和能量流动、循环顺畅、动静融合的“一体化”全产业链，才能真正形成绿色循环经济，实现最佳的经济、社会和环境效益。

3.1.2 静脉产业与“无废城市”的关系

静脉产业是“无废城市”的重要支撑，对于推进城市高质量发展不可或缺。“无废城市”以创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念为引领，持续推进固废源头减量和资源化利用，是将固废对环境的影响降至最低的城市发展模式。静脉产业园规划则以绿色低碳、集约高效、循环发展理念，统筹环境基础设施布局，推进污水、垃圾、固废、危废、医废处理处置及资源化利用等设施的“多位一体”优化布局，推进再生资源加工利用园区建设，促进各类设施设备共用、资源能源共享、环境污染共治，全面支撑“无废城市”建设。

3.1.3 静脉产业与国土空间的关系

静脉产业是国土空间的重要组成部分，在全面推动国土空间绿色规划、绿色设计、绿色建设中发挥着不可替代的作用。静脉产业园规划致力于健全绿色低碳循环发展的生产体系、流通体系、消费体系，提升产业园区和产业集群循环化水平，推进垃圾分类回收与再生资源回收“双网融合”，以实现国土空间全域全要素全周期绿色转型。

3.2 构建 3 大循环

静脉产业园不仅需要实现项目内部的水、电、气、热、污、废等物质和能量循环，还需要带动园区、链接城市、联动区域，因此静脉产业园规划需要从全域大循环、城市中循环、园区小循环建立起 3 大层级的资源能源循环体系（图 2，图 3）。

3.2.1 全域大循环

全域大循环即静脉产业、城市、区域之间的资源能源大循环。应站在全域高度开展顶层设计，进行宏观引领，统筹处理工业固废、农业废弃物、建筑垃圾、生活垃圾，打破区域、领域协同处置的机制障碍，发挥绿色循环产业与环境基础设施的耦合功能，促进在全域国土空间生产、生活、生态各大领域的资源循环利用和能源梯级利用，共建绿色低碳循环经济，共建全域静脉大循环格局。

3.2.2 城市中循环

城市中循环即静脉产业园与城市之间的物质和能量循环。应强化城市循环产业链关系，通过静脉产业科学布局与重大设施合理落地，构建静脉产业与循环经济产业以及与“无废城市”间的物质和能量循环体系，促进生产、生活

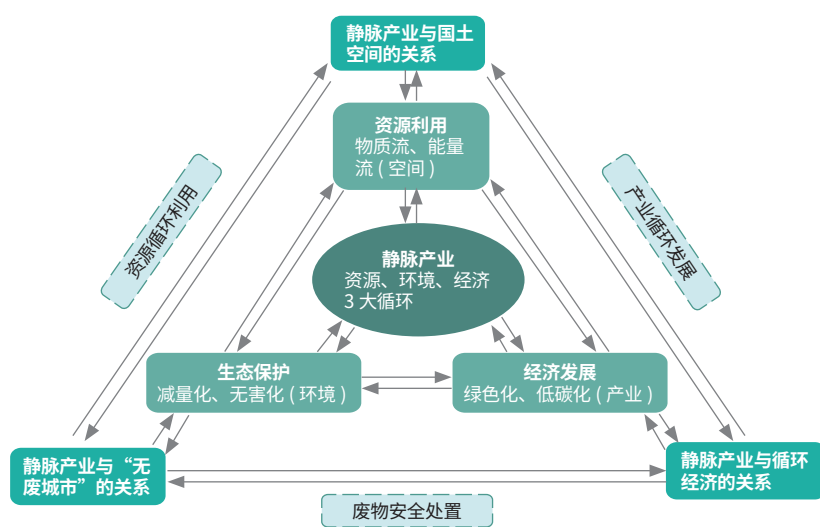


图 1 静脉产业与循环经济、“无废城市”、国土空间的关系解析

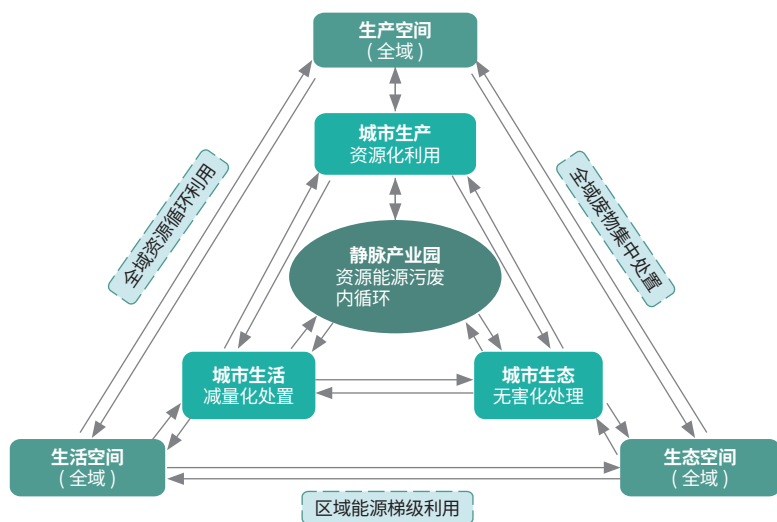


图2 静脉产业园3大循环

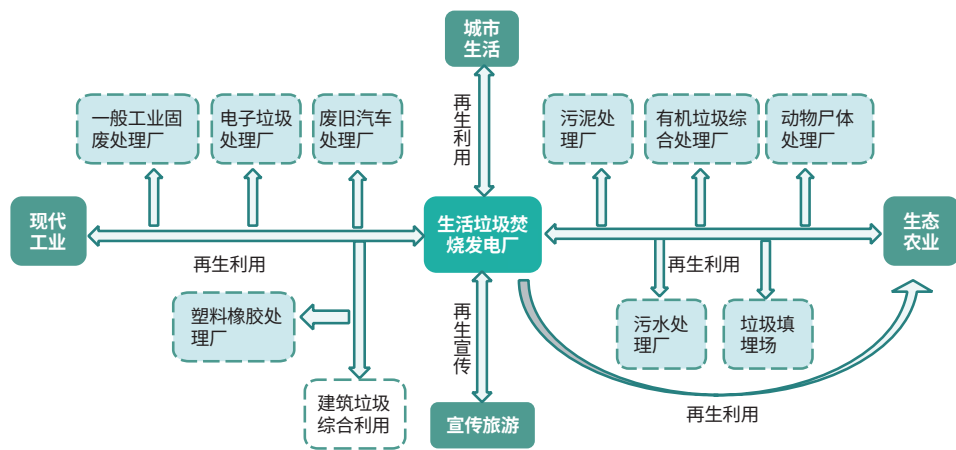


图3 “区域—城市—园区”的物质和能量循环

各个领域间资源能源梯级利用、循环利用，促进城市商品流通、消费、处理、再生，实现电力、燃气、热力、肥料、金属、原材料等再利用，全面提升经济、社会、环境综合效益。

3.2.3 园区小循环

园区小循环即园区内部及企业之间的物质和能量循环。以园区物质流—能量流分析为基础，优化构建静脉产业园区企业内、企业间的循环经济产业链。企业内循环即单个企业内部工艺衔接与物质和能量循环；企业间循环即园区内不同企业间的物质和能量循环，包括能源循环利用、有机质梯级利用、污水固废

集中处理等。应深入分析园区物质和能量的流向与流量，优化功能分区和核心布局，实现污废减量化、资源化、无害化。

3.3 构建耦合3大层级的静脉产业园规划逻辑框架

立足以上3大关系和3大循环，运用国土空间规划的系统思维，对标“五级三类”的国土空间规划体系，基于宏观、中观、微观3大视角，构建耦合3大层级的静脉产业园规划逻辑框架（图4）。在这一框架中，不同层级、不同尺度的静脉产业园规划侧重点各不相同，根据各级空间属性和主导功能，制定国土空间

规划统筹下的静脉产业园规划策略，通过各层级、各尺度规划层层嵌套、相互协调、协同作用，实现全域统领、城市预控、园区优化。

3.3.1 宏观视角：谋划全域静脉产业顶层设计

一是根据全域经济结构、产业布局、发展阶段，按照生态文明建设和循环经济发展要求，协调区域产业发展规划、基础设施建设规划、生态环境保护规划，统领全域静脉产业发展，建立以固废资源化、减量化、无害化为核心的绿色循环产业体系。二是以创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念为引领，明确目标、细化任务、精准发力，构建全域静脉产业目标指标体系。三是重点识别静脉产业主要固废在产生、收集、转移、处置、利用等过程中的关键环节，锚固固废减量化、资源化、无害化，打破跨领域机制障碍，构建全域静脉产业格局。

3.3.2 中观视角：预控城市静脉产业发展用地

一是从城市系统出发，推进静脉产业循环链接，加强空间预研预控，优化“无废城市”布局，引导城市生产、流通、消费各环节绿色化、循环化。二是坚持系统集成，注重协同联动，提出静脉产业园区选址原则，指导重大环境基础设施落地，推进资源合理利用、污染物有效处置、环境风险可控。三是统筹城市安全，协调“三区三线”，规避敏感地区，规划“多位一体”的城市污水、垃圾、固废、危废、医疗废物处理处置的静脉产业园区，提出静脉产业园用地规划标准，指导集约节约用地。

3.3.3 微观视角：优化园区静脉产业循环布局

一是编制静脉产业园区开发建设规划，以物质流、能量流分析为基础，完善循环产业链条，优化静脉产业功能分区。二是以固废重点领域和关键环节的骨

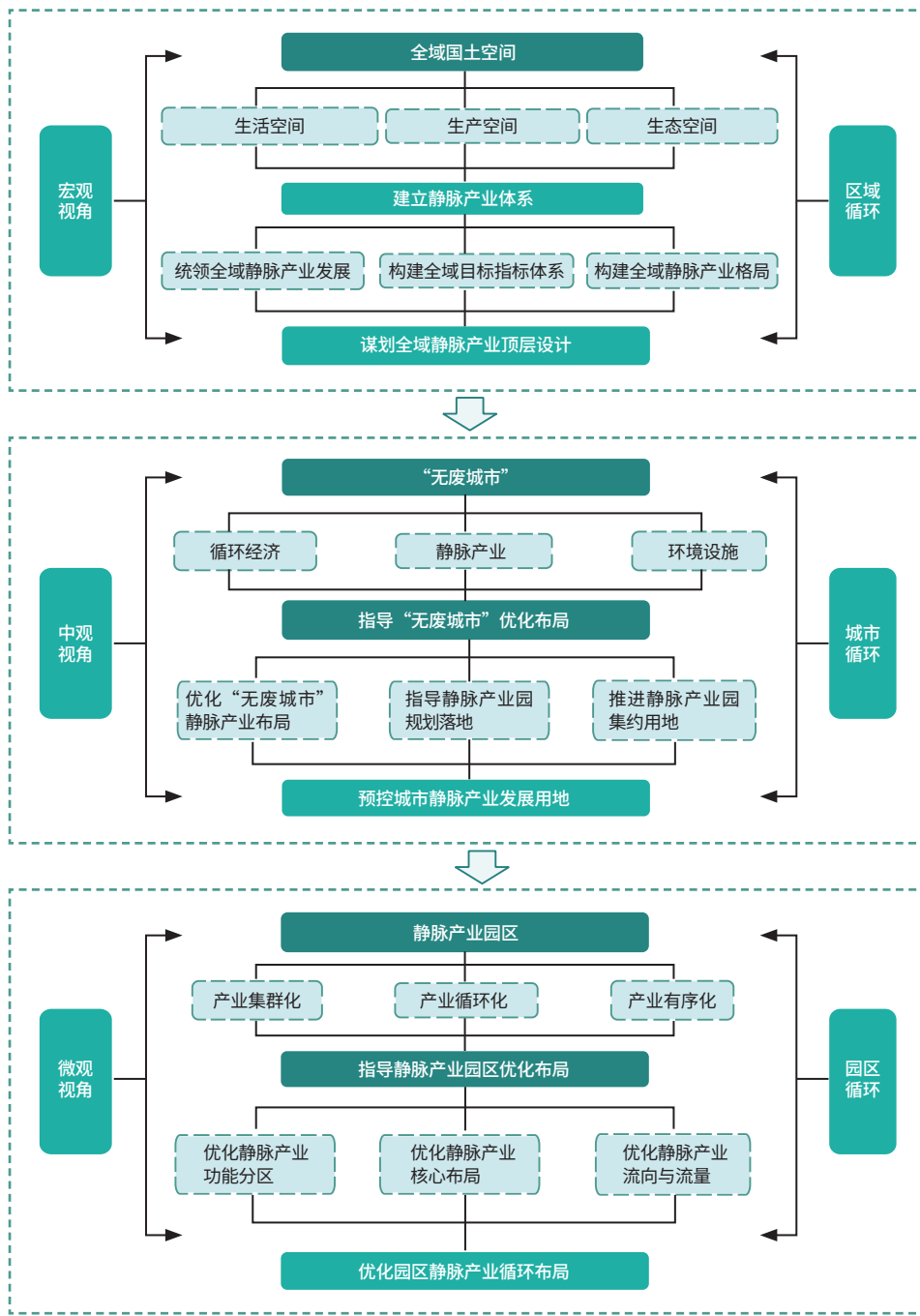


图4 国土空间规划视角下的静脉产业园规划逻辑框架

干静脉企业为核心，优化园区布局，构建企业内、企业间的循环经济产业链，推进静脉产业集群化、循环化、有序化。三是优化园区物质和能量的流向顺序，科学布局电、热、冷、气等多种能源协同互济的综合能源项目，促进静脉产业物质和能量持续顺畅流动，实现能源梯级利用、资源循环利用、设施共建共享

和污染物集中安全处置。

4 重庆市静脉产业园规划案例

基于以上方法框架，以国家循环经济示范城市、“无废城市”试点——重庆市为例，开展国土空间规划视角下静脉产业园规划实证研究。重庆市地处三

峡库区、武陵山区、秦巴山区等国家重点生态功能区，是长江上游生态屏障的最后一道关口，肩负保护与发展的双重使命，在国家绿色循环经济示范中作用突出，极具典型性和代表性。近年来，重庆市积极践行生态文明思想和绿色发展理念，深入探索静脉产业园规划模式，大力推进国家循环经济示范城市、“无废城市”试点建设，着力提升资源循环利用水平，努力将“双碳”目标要求融入循环经济的关键领域和重点环节。

4.1 谋划全域静脉产业顶层设计

立足重庆市的资源禀赋和发展基础，进行全域静脉产业顶层设计，构建全域目标指标体系，构建都市区低碳引领，山区、库区绿色支撑的全域静脉产业格局。

4.1.1 统领全域静脉产业发展

一是全域统筹。站在全域高度，结合绿色循环经济发展态势、产业布局、固废分布，指导、引领静脉产业园的规划和发展。二是区域协同。站在区域视角，识别资源流、能源流、物质流集中以及产业类型相近、固废种类相似的地区，结合生活垃圾、工业固废、建筑垃圾、医废等处置项目布局，形成废物处置与循环产业协同发展的静脉产业体系。三是绿色循环。坚持绿色低碳和循环发展，完善上下游产业链，推进静脉产业毗邻布局，并根据类别进行合理分区，既保证循环顺畅，又保障基础设施共建共享，实现资源流、能量流、物质流绿色循环。四是耦合共生。厘清绿色循环经济与静脉产业园区的耦合关系，以产业专业化、集群化为主要发展导向，引领全域静脉产业布局，共建循环经济体系。

4.1.2 构建全域目标指标体系

基于绿色循环经济发展需求，开展全域静脉产业顶层设计，从动静循环、固废资源化、固废减量化、固废无害化4个维度构建重庆市静脉产业发展目标指

标体系(表1),充分发挥静脉产业绿色循环主导功能,有效促进资源高效循环、能源梯级利用、污废集中处置、温室气体管控,科学指导静脉产业园的规划和发展。

4.1.3 构建全域静脉产业格局

以落实“双碳”目标、推进生态文明、助力绿色发展为导向,立足全域资源禀赋、国土空间开发保护格局、循环经济产业发展需求,综合考虑人口分布、产业布局、功能定位、固废产量,按照“全域统筹、区域协同、绿色循环、耦合共生”的原则,构建“三区、八园、二十四点”的全域静脉产业格局。

(1)“三区”。统筹协调主城都市区、渝东北三峡库区、渝东南武陵山区的绿色循环产业功能布局,因地制宜优化静脉产业体系,引导主城都市区静脉产业集聚集群发展,推进山区、库区资源、能源、环境等基础设施优化整合、互联互通、共建共享,塑造“一区带两区、两区托一区,绿色发展、三区循环”的静脉产业格局(图5)。

(2)“八园”。充分考虑全域固废处置中心规模化、产业化、集约化发展需求,结合市域绿色循环产业发展布局,对循环经济产业进行引导,重点培育8大综合型静脉产业园(图6),形成绿色、循环、示范效应。其中:主城都市区结合区域协调发展需求,按照2~3个毗邻区县固废协同处置的原则,重点围绕支点城市,布置长寿—涪陵片区、璧山—江津片区、綦江—万盛—南川片区、合川—潼南—铜梁片区、永川—大足—荣昌片区5大综合型静脉产业园,注重提升规模效应,承接中心城区固废处置设施和配套产业转移;山区、库区整合固废处置设施,承接配套产业转移,在渝东北三峡库区布置万州—开州—云阳片区、垫江—梁平—忠县片区2个综合型静脉产业园,在渝东南武陵山区布置黔江—酉阳片区1

表1 重庆市静脉产业发展目标指标体系(2035年)

指标维度	指标	单位	目标
动静循环	单位 GDP 能耗	t 标煤 / 万元	0.30
	单位 GDP 水耗	m ³ / 万元	10
	能源加工转换总效率	%	80
	重要矿产资源回收率	%	90
	金属再生利用率	%	90
	工业固废综合利用率	%	85
	工业用水循环利用率	%	100
	静脉产业对园区工业增加值的贡献率	%	70
固废资源化	生活垃圾资源化利用率	%	75
	主要农业废弃物利用率	%	100
	废旧家电资源化率	%	80
	报废汽车资源化率	%	90
	电子废物资源化率	%	90
	废旧轮胎资源化率	%	90
	废旧塑料资源化率	%	70
	其他固废资源化率	%	—
固废减量化	生活垃圾回收利用率	%	60
	大宗工业固废贮存增长率	%	0
	工程垃圾、拆除垃圾、装修垃圾分类收集率	%	95
固废无害化	危险废物安全处置率	%	100
	生活垃圾无害化处理率	%	100
	污染物排放达标率	%	100
	污水排放达标率	%	100
	垃圾焚烧处置占比	%	85

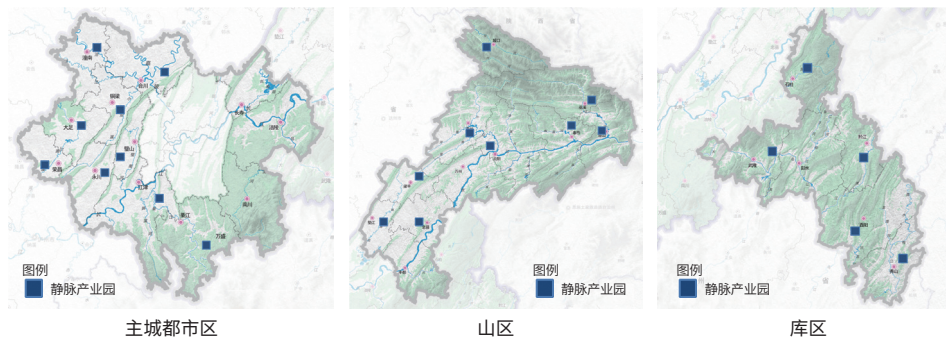


图5 重庆市域静脉产业园空间分布

个综合型静脉产业园。

(3)“二十四点”。以生活垃圾焚烧设施为主导,优化整合全市固废处置设施,打造24个以生活垃圾焚烧为核心,建筑垃圾、医废、农业固废、一般工业固废、工业危废等多种固废处置设施协同,各类绿色循环产业耦合的环境型静

脉产业园(图7)。

4.2 预控城市静脉产业发展用地

落实生态文明建设和绿色循环经济发展要求,统筹固废处理处置和环境基础设施,优化“无废城市”静脉产业布局,指导静脉产业园规划落地。

4.2.1 优化“无废城市”静脉产业布局

基于“无废城市”试点建设要求，统筹城市循环经济产业，以兜底性终端处置设施为核心，综合考虑各区县城市地理区位、功能定位，结合人口、产业、固废产量分布情况，预研静脉产业园规划，优化城市静脉产业布局。主城都市区在现状洛碛、正兴、关坝、广富等资源循环利用基地的基础上，结合能源建材、电子信息、装备制造等循环经济产业，重点优化渝北、璧山、潼南、綦江、荣昌、垫江综合型静脉产业园布局；山区、库区以垃圾焚烧设施为核心配套建设厨余垃圾、建筑垃圾处置设施，重点优化开州、垫江、黔江等综合型静脉产业园区布局，完善工业固废、装修垃圾、废旧塑料、应急填埋等静脉产业处理处置和循环利用功能。见图8。

4.2.2 指导静脉产业园规划落地

统筹国土空间“三区三线”，协调固废处置设施，开展静脉产业园用地预研预控，积极引导静脉产业园优化选址、科学落地(图9)。一是科学避让生态保护红线。静脉产业园以公用设施用地和工矿用地为主，选址应避开具有水源涵

养、生态保护、水土保持等生态功能极重要区，以及水土流失、石漠化等生态环境极敏感脆弱区域，严禁侵占生态保护红线。二是合理避让基本农田。在规划静脉产业园时，应严格遵循土地利用政策，确保未利用地得到优先利用，避免占用农用地，同时应优先利用劣质土地，而非优质土地。在选址与定线过程中，应避开永久基本农田、高标准农田建设区域、保障保供基地、农业特色产业基地、一般耕地中的水田。三是协调好与各类城镇建设用地的关系。静脉产业园规划应结合生活垃圾焚烧设施建设，优先在“三废”排放集中的工业园区周边布局，充分考虑邻避效应，合理规避居住、公共管理与公共服务等用地，并为未来发展预留余地。

4.2.3 推进静脉产业园集约用地

为有效解决分散布局带来的土地浪费及选址困难等问题，最大限度地节约用地，静脉产业园应尽量集中布局，突出产业化、规模化、集约化(图10)。一是明确静脉产业用地规划标准。其中：综合型静脉产业园以工矿用地为主，在避让生态保护红线与基本农田的同时，尽量毗邻固废处置中心和既有工业园区，

优先利用荒地劣地，因其产业循环配套区用地需求大、变化浮动大，用地规模宜按1.0~3.0km²预控；环境型静脉产业园以公用设施用地为主，依托固废处理设施布置在城镇开发边界边缘，并与城市保持一定距离，用地规模宜按0.1~1.5km²预控。二是充分利用既有设施，防止重复建设、盲目建设，同时综合各类固废处置设施，加快用地整合与释放。三是结合社会发展、工艺改造、技术创新和服务条件，对目前分散布局的91处固废处置设施进行整合，推动它们入驻静脉产业园区。同时，针对37处生活垃圾填埋场，推进其规范封场工作，加快这些场地的用地释放进程，从而整合并释放出共计93km²的城乡建设用地。

4.3 优化园区静脉产业循环布局

针对静脉产业园区物质和能量循环，优化静脉产业的功能分区、核心布局、流向与流量，提出分区管控、循环利用、梯级耦合的规划建议。

4.3.1 优化静脉产业功能分区

基于物质流和能量流两条主线，根据园区物质流绿色循环与能量流梯级循环要求，进行合理功能分区，将静脉产

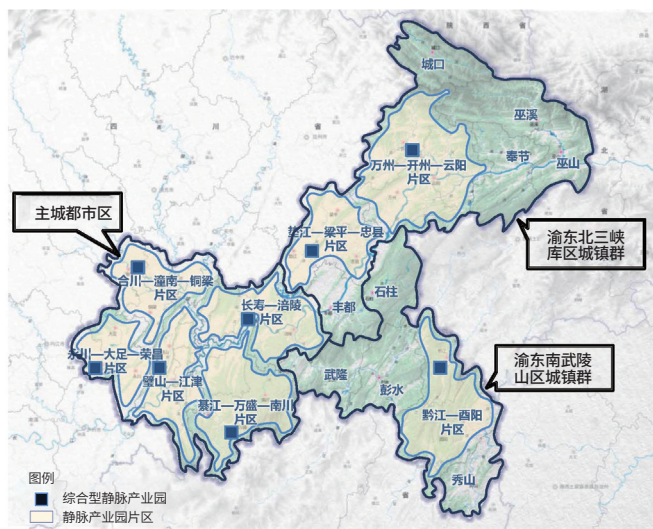


图6 重庆市域综合型静脉产业园分布

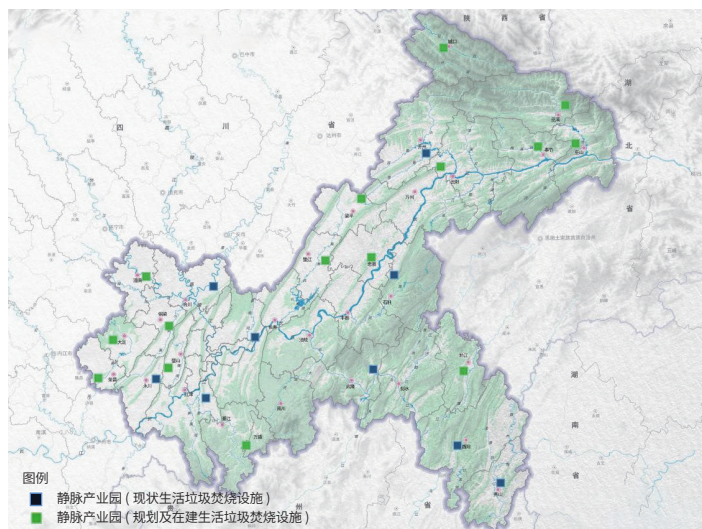


图7 重庆市域环境型静脉产业园分布

业园划分为固废综合处理区(固废处置核心区)、循环产业配套区(资源循环综合利用区、生态景观综合区、科教研发管理区)(图11)。其中:固废综合处理区以各类固废的终端处理处置为主,包括焚烧(生活垃圾、危废、医废)、填埋(装修垃圾、一般工业固废)、生物处理(餐厨垃圾、病死病害动物)等核心功能;循环产业配套区以资源循环利用为主,兼顾配套技术研发、综合管理等功能。通过合理的功能分区,实现物质流、资源流、能量流最佳耦合,指导静脉产业园优化布局,推进废物、废水、废气、资源能源等的绿色循环及梯级利用。

4.3.2 优化静脉产业核心布局

核心企业与其他各企业联系渠道最多、物质和能量交换量最大,因此优化核心企业布局是静脉产业园区规划的关键,对于保障园区绿色低碳循环至关重要。对于生活垃圾焚烧发电、餐厨垃圾无害化处理、污泥处理处置等核心项目,

可按照物质流、能量流和关联度进行统筹集中布局,以促进产业耦合与梯级循环。一是集中布局固废处理设施。餐厨处理后的废渣、渗滤液处理站和生活污水处理厂产生的污泥,经过初步干化后,将被送入焚烧炉进行集中焚烧处置,焚烧过程中产生的飞灰,则需经过“释酸、包盐、控碱”等无害化固化处理流程,最终实现循环利用,达到固废减量化和资源化的目的。二是集中布局污水处理设施。餐厨垃圾废水、生产废水、生活污水、垃圾填埋场和焚烧厂渗滤液等各类废水,需通过渗滤液处理中心进行集中净化处理,处理后形成的中水将被作为园区内企业生产用水和绿化用水,从而实现水资源零排放、全回用。三是集中布局废气处理设施。餐厨/粪便垃圾臭气、污泥干化厂臭气、填埋场臭气、渗滤液臭气、垃圾焚烧厂臭气、医疗/危废厂臭气等各类废气,需集中送入垃圾焚烧厂进行焚烧、净化,以实现废气综

合利用。

4.3.3 优化静脉产业流向与流量

优化流向与流量是静脉产业园规划的重点,也是保障物质流、能量流高效顺畅最重要的一环(图12)。一是优化物质和能量的流向,实现梯级利用。优化园区物质和能量的流向顺序,推进物质能量持续向前流动,尽量减少迂回和倒流,最大可能地实现循环利用和梯级利用。餐厨垃圾处理厂、垃圾填埋场、渗滤液处理站厌氧产生的沼气,经统一收集、净化处理后,送至垃圾焚烧厂、污泥干化厂、危废处理厂、餐厨/粪便垃圾处理厂进行热能利用,或送沼气发电机组发电,并与生活垃圾焚烧厂并网。通过能源正向梯级利用,推进静脉产业园绿色低碳发展。二是控制物质和能量的流量,保证循环畅通。根据物质流、能量流运行规律,对静脉产业园各企业间的物能流量传递强度进行评价、分析、平衡,合理分配园区物质和能量交换数

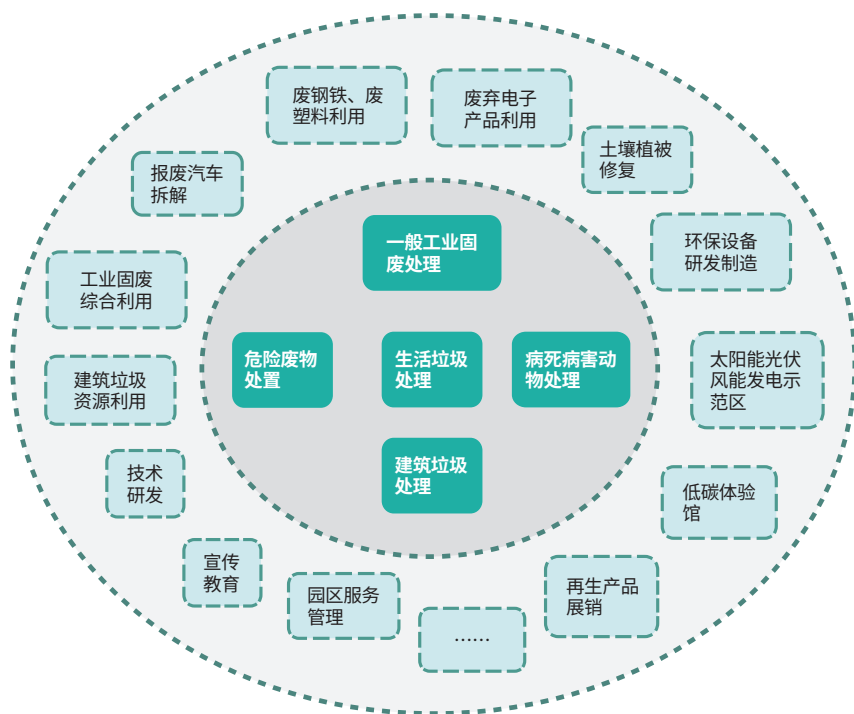


图8 城市综合型静脉产业园布局模式

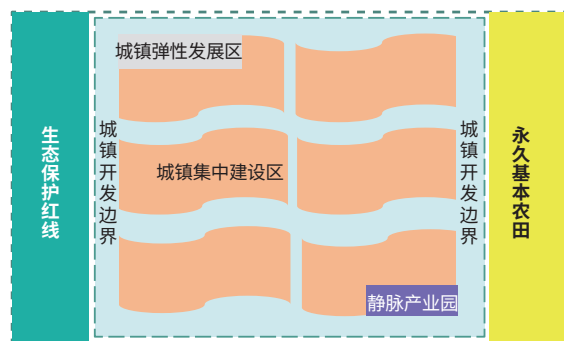


图9 静脉产业园选址示意

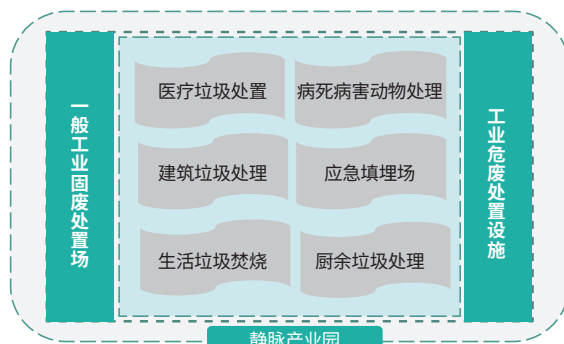


图10 静脉产业园集约用地模式

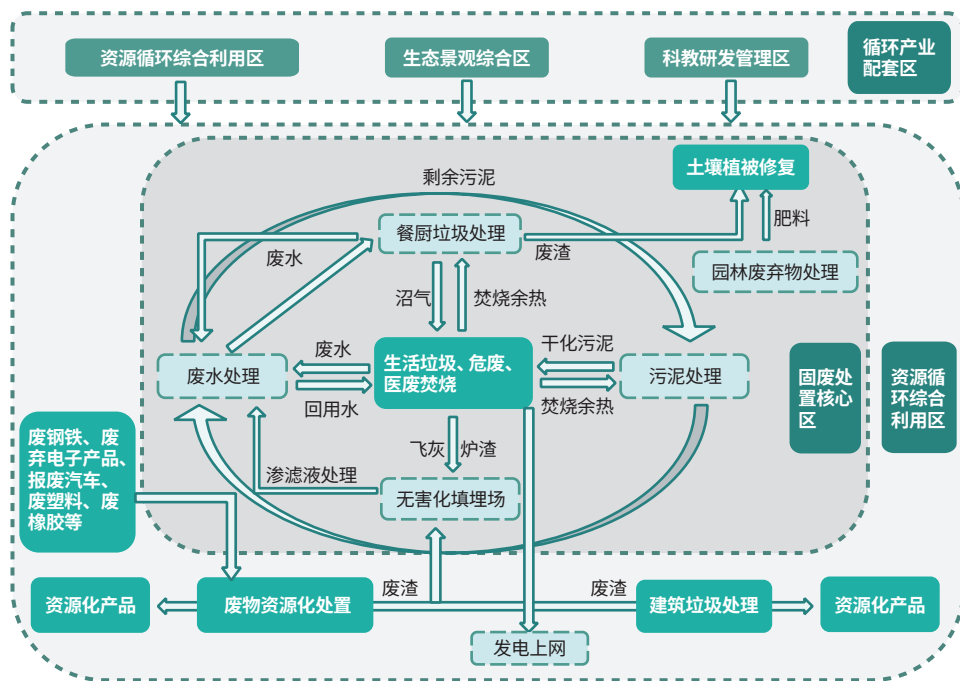


图 11 静脉产业园分区示意

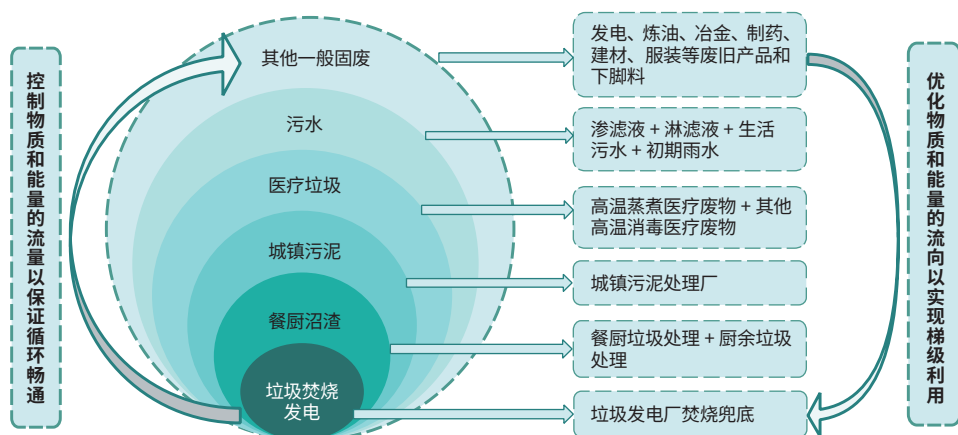


图 12 静脉产业园物质和能量的流向与流量优化

量、规模、强度，避免断流或囤积，促进整个动静产业链畅通、紧密，形成结构清晰、主次分明、功能明确、便捷通畅的静脉产业布局。

5 结束语

当前，静脉产业园规划尚未真正融入国土空间规划体系，相关领域研究空白亟待填补。需要运用国土空间规划的系统思维，综合考虑全域、城市、园区

各级空间属性和主导功能，因地制宜开展不同层级、不同尺度的静脉产业规划。本文归纳了国内外静脉产业园发展历程，厘清了静脉产业与循环经济、“无废城市”、国土空间的关系，立足“五级三类”的国土空间规划体系，构建了耦合全域大循环、城市中循环、园区小循环3大循环的静脉产业园规划逻辑框架，提出统筹全域静脉产业顶层设计、预控城市静脉产业发展用地、优化园区静脉产业循环布局的规划关键技术。站在全域

视角，应结合循环经济发展态势、产业布局 and 固废分布，构建全域目标指标体系及全域静脉产业格局；站在城市视角，应充分协调“三区三线”，合理规避敏感区域，优化城市静脉产业布局，指导静脉产业园规划落地，推进静脉产业集聚用地；站在园区视角，应优化静脉产业的功能分区、核心布局、流向与流量，推进固废减量化、资源化、无害化，实现国土空间静脉产业绿色引领，促进资源高效循环、能源梯级利用、污染联防联控，从而实现人居环境的全面提升。

[参考文献]

- [1] 何静. 共生视角下城市建设综合类静脉产业生态园研究[J]. 经济问题, 2021(8): 95-103.
- [2] 李干杰. 开展“无废城市”建设试点 提高固体废物资源化利用水平[J]. 环境保护, 2019(2): 8-9.
- [3] 秦琴. 对湖南省发展静脉产业园的思考[J]. 劳动保障世界, 2018(24): 64.
- [4] 国务院办公厅. “无废城市”建设试点工作方案[Z]. 2018.
- [5] 国务院. 关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见[Z]. 2021.
- [6] 国务院办公厅, 国家发展改革委. 关于加快推进城镇环境基础设施建设指导意见的通知[Z]. 2022.
- [7] 齐月, 陶中兰, 孙笛. 等. 国内外静脉产业发展现状分析及建议[J]. 环境保护与循环经济, 2023(4): 13-16.
- [8] 杨勇. 上海虹桥前湾地区“城水交融”的生态城市设计探析[J]. 规划师, 2023(4): 153-160.
- [9] 赵毅, 周秦, 周文. 等. 生态产品开发利用适宜性评价方法及引导策略[J]. 规划师, 2023(8): 32-39.
- [10] 潘悦, 朱雪莹, 程超. 等. 传统资源型产业园区“碳中和”实现路径研究[J]. 规划师, 2023(6): 99-105.

[收稿日期] 2024-01-31;

[修回日期] 2024-04-01