



文章栏目：“无废城市”建设专题

DOI 10.12030/j.cjee.202311063

中图分类号 X32

文献标识码 A

祁诗月, 郑睿颖, 兰孝峰, 等. “无废指数”评价方法研究——基于浙江“无废指数”探索实践[J]. 环境工程学报, 2023, 17(12): 3774-3787. [QI Shiyue, ZHENG Ruiying, LAN Xiaofeng, et al. Research on evaluation method of “zero-waste index”--based on the exploration practice of “zero-waste index” in Zhejiang Province[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2023, 17(12): 3774-3787.]

“无废指数”评价方法研究——基于浙江“无废指数”探索实践

祁诗月, 郑睿颖, 兰孝峰, 滕婧杰✉

生态环境部固体废物与化学品管理技术中心, 北京 100029

摘要 为反映“无废城市”建设和固体废物治理成效, 可构建定量、客观、科学、系统、简明的综合性指数, 即“无废指数”。目前, 城市发展程度差异大, 人口数量、经济发展、产业情况、固废处置压力等方面的不同导致了“无废城市”建设成效和固体废物治理成效难以实现城市之间横向比较, 城市管理部门难以对比衡量与其他城市的管理差距。基于我国“无废城市”建设指标体系和浙江省“无废城市”建设水平和任务安排, 在前期“无废指数”研究基础上, 聚焦固废管理中能反映固废管理难易程度的指标项。通过开创性新增综合统领性分指标, 关注城市固废管理在全省的贡献度、固体废物利用处置设施的兜底保障能力等管理指标; 优化分指数计算方法, 剔除不同城市间产业结构、经济发展水平等不可比因素, 统一测算原则; 完善数据来源, 选取数据基础较好、尺度一致的数据来源; 调整分级标准, 以全国数据为分级方案测算依据, 综合考虑浙江省固废管理在全国所处水平, 提高对实际治理效果反馈的客观性及与全国数据的衔接性等方面将固废管理难易程度融入到“无废指数”的方法构建中, 使其方法更科学合理。基于该方法测算得到的浙江省 2022 年某季度“无废指数”结果显示, 不同固废管理难度的城市排名和得分更加合理, 调整的分指数经验证设置科学, 实现了对不同固废管理难易程度的统一表征。该“无废指数”构建方法是更加合理的差异化评价方法, 进一步深化了“无废指数”多维度比较分析和研判的应用功能, 对固废管理难度大的城市的“无废城市”建设成效给予肯定和鼓励。

关键词 “无废城市”; “无废指数”; 指标体系; 固体废物管理; 城市横向比较

在全球资源紧缺以及环境污染日益严重的背景下, 各国在固体废物管理方面均开始了积极的探索。“无废”理念形成于 20 世纪 70 年代, 目的是通过负责任的生产、消费、再利用和回收产品、包装和材料, 不燃烧, 不排放到土地、水或空气中, 对环境或人类健康构成威胁, 从而保护所有资源^[1]。1989 年, “无废”首次进入美国地方法案, 设立废物填埋减量目标。1996 年, 澳大利亚首次将“无废”设立为城市目标, 2019 年, “无废”首次成为联合国环境大会决议内容, 标志着“无废”理念已被世界广泛认可。当今“无废”建设的发展趋势逐渐由理论研究迈向实践发展, 欧盟提出了循环经济发展^[2], 通过深化循环经济, 推动产品、材料和资源经济价值维持时间最大化、废物产生量最小化。日本提出建设循环型社会^[3], 通过促进生产、物流、消费以至废弃的过程中资源的有效使用与循环, 将自然资源消耗和环境负担降到最低程度。新加坡提出“无废”国家愿景^[4], 通过减量、再利用和再循环, 努力实现食物和原料无浪费, 并尽可能将其再利用和回收。英国、法国、芬兰、美国等国家的多个城市已明确提出“无废城市”战略, 将实现垃圾零填埋、充分资源化利用作为“无废”目标。我国的生态文明建设也一直在推进中。2021 年 12 月, 生态环境部会同 17 个部门和单位联合印发《“十四五”时期“无废城市”建设工作方案》^[5], 明确“十四五”时期, 国家将协同推进“无废城市”建设与深入打好污染防治攻坚战、碳达峰碳中和等国家重大战略, 2022 年 4 月, 生态环境部发布了“十四五”时期“无废城

收稿日期: 2023-11-11; 录用日期: 2023-12-10

基金项目: 国家重点研发计划资助项目 (2019YFC1908500)

第一作者: 祁诗月 (1990—), 女, 博士, 助理研究员, qishiyue@meescc.cn; ✉通信作者: 滕婧杰 (1982—), 女, 博士, 高级工程师, tengjingjie@meescc.cn

市”建设名单^[6]，确定推进“113+8”个地级以上城市和地区开展“无废城市”建设，比学赶超创建氛围已初步形成。因此，建立一套对“无废城市”建设进展跟踪、成效评估和政策指引的方法势在必行，构建定量、客观、科学、系统、简明的综合性指数，即“无废指数”就成为大势所趋，可通过“无废指数”明确目标引领、推动工作进展，直观反映“无废城市”建设程度和固体废物治理成效。然而，由于人口数量、经济发展、产业布局和固体废物的产生有高度相关性，会直接影响产生固体废物的种类、产量和利用处置等情况，固体废物管理极为复杂，而各城市发展程度差异大，数据基础、数据质量等差异较大，固废管理难易程度的差异也很大，很难准确评判固废管理成效，“无废指数”在不同城市间的横向比较难度也非常大，特别是与地方发展阶段和管理水平高度相关的指标，横向比较可能导致评价结果偏颇。因此，建立科学的指标体系意义重大，将直接决定“无废指数”的应用功能，能否客观反映管理成效，能否直观表达综合引领、横向比较、动态监测的管理功能，能否为识别目标、发现短板、规划路径、动态优化、考核评估等提供支撑。

针对上述问题，本研究聚焦“无废城市”建设中工业、农业、生活领域重点类别固体废物产生、回收利用、贮存处置等关键环节，通过指标构建优化、指标计算方法优化、数据来源优化、分级方案优化等方面来提升“无废指数”在城市横向可比性方面的应用。本研究具有 4 个创新点。1) 指标构建方面，开创性新增综合统领性分指标（“生活垃圾分类处理率”“危废填埋占比”和“固废处置能力占比”），分别表征各城市垃圾分类处理水平、危险废物“趋零”填埋进度、主要固废处置兜底保障能力。2) 指标计算方法方面，对部分指标增加核算方法剔除不同地区间产业结构、经济发展水平等不可比因素，平衡因城市体量和经济发展不同造成的固废管理难易程度不同，将测算参数调整为地方经济社会发展因素，统一了不同经济社会发展情况下的固废指标测算原则，提高了指标的可比性。3) 数据来源方面，充分应用数字化改革成果，采用已具备实时更新的数据，排除区域产业结构影响，选取数据基础较好、尺度一致的数据来源，进一步提升数据可靠性、稳定性和准确度。4) 分指数分级方案方面，以全国数据为分级方案测算依据，综合考虑浙江省固废管理在全国所处水平，进一步提高了数据结果对实际治理效果的客观性以及在全国数据的衔接性。本研究进一步深化了“无废指数”多维度比较分析和研判的应用功能，可形成各地“无废城市”画像，可作为城市间整体情况、专项领域间发展趋势、相对优势和差距比较分析的参考。依托各城市分指数，展示不同城市“无废城市”建设成效，推动形成比学赶超工作局面。

1 指数建设方法分析

1.1 生态文明建设目标年度评价和绿色发展指数

生态文明建设目标年度评价体系是按照绿色发展指数的指标体系进行评价的，主要评估资源利用、环境治理、环境质量、生态保护、增长质量、绿色生活、公众满意程度等领域的管理成效和变化趋势，以动态实时的指数形式生成绿色发展指数。绿色发展指标体系不是一成不变的，地方政府管理部门可以基于各地的国民经济和社会发展规划纲要以及当地生态文明建设情况的不同进行微调。省市层面的指标体系框架应与国家绿色发展指标体系的基本框架保持一致，指标筛选、权重设置和目标值设置可按实际情况调整，兼顾通用性和差异性。数据来源为各地区、各部门的年度统计数据^[7-8]。

绿色发展指标体系指标筛选：按照类别分可分为 3 类：一是资源环境约束性指标，权重为 2.75%；二是主要监测评价指标权重为 1.83%；三是绿色发展重要监测评价指标，权重为 0.92%。三类指标的权重之比大致为 3:2:1，权重可根据其重要程度进行微调。二级指标的权重数之和等于一级指标的权重，一级指标的权重之和为 100%。另外增加主观调查指标公众满意程度，通过国家统计局抽样调查法获得数据。该指标不设权重，得分纳入生态文明建设考核目标体系。按评价作用分可分为正向指标和逆向指标，按指标数据性质可分为绝对数和相对数指标。

计算方法：各个指标通过无量纲化处理计算分指数。绿色发展指数由“公众满意程度”之外的分指数取平均值得到，指数得分一般在〔60,100〕之间。

生态文明建设目标评价考核选用评价结合考核的方式，每年评价+每五年考核。年度评价主要评价上一年在生态文明领域的建设成效。每个五年规划期结束后进行考核，主要考核生态文明建设领域的重点目标任务完成情况。每年发布生态文明建设年度评价结果及排序和绿色发展指数。

1.2 环境质量指数

我国借鉴国际经验,建立了以单因子综合评价为主的水、气环境质量指数,并开展全国城市环境质量状况发布和排名。2000年开始发布全国空气质量指数,其后相继提出和发布全国地表水环境治理评价及排名等技术规定,实现了以定量、客观反映和评价环境质量状况的工作机制,可用于开展环境现状评价、回顾性评价和趋势评价等,具有如下特点。

1) 建立单因子为核心的评价方法。空气质量指数(AQI)包括6项指标;水质指数(CWQI)包括地表水、湖库两类共21项指标。以简明单一的数值形式,对环境质量状况进行表征,同时报告单一因子及其污染状况。

2) 依据水、大气环境质量标准对水质指数、空气质量指数的分指数进行去量纲、等标化分级,明确分级指数对应区间含义及其对应管理措施。指数的分级方案稳定,并可根据质量标准变化进行调整。

3) 以单因子为主报告评价结果并实现排名,同时报告重点污染物及其分级评价结果。其中空气质量指数报告首要污染物及其分级评价结果;地表水质指数以两类分指数加权平均值做最终结果报告,以采样点位数(断面数)作为加权重。

4) 环境空气质量指数基于在线监测技术,建立了实时发布、日报机制,水质指数基于监测数据建立周、旬、月评价机制,均具有较高时效性。

从应用情况来看,依托环境质量标准实时监控数据建立的空气质量指数、地表水水质指数,使公众能够及时、准确、易于理解城市地区空气、水质量状况;并可用来进行环境现状评价、回顾性评价、趋势评价,方法学和技术规范体系成熟。目前全国339个地级及以上城市开展了地表水、环境空气质量状况,生态环境部按月发布相关结果及城市排名。环境质量指数结果已经纳入地方政府生态环境领域目标考核、年度及规划工作内容,很多城市将优良天数作为环境管理目标,管理基础较好。从2000年在全国开展城市空气质量日报、2011年开展城市地表水环境质量报告、2017年开始发布城市地表水环境质量排名,社会关注度高,也促进了公众环境意识的提升,对提升政府环境信息公开做出了重要贡献,社会认可度较高。

1.3 “无废城市”建设试点成效评价

2021年,财政部会同生态环境部出台《“无废城市”建设试点成效评价暂行办法》,设置了一套“无废城市”建设试点成效评价指标。评价指标由4个一级指标和9个二级指标组成。

在评价标准设置上,坚持约束与激励相结合的原则,在考核指标绝对值的同时,将指标提升情况作为重要参考。根据各类固体废物利用处置全国平均水平,以及“无废城市”建设的预期目标,将每个指标设置3~4档,每档根据指标年增长率情况设置2~3级,年增长率按照每5年提升1档的标准计算得出。凡出现指标值下降的,得分下调2档。

在权重设置上,考虑到生活垃圾、厨余垃圾、市政污泥主要与城市人口规模相关,对该类指标的考核要求,不同城市间差异不大,因此设置固定权重,总分值25分。工业固体废物贮存处置趋零增长、建筑垃圾源头减量与资源化利用、农业废弃物全量利用,总分值75分,考虑到这3类固体废物与城市产业结构密切相关,其指标权重根据工业、建筑业、农业产值比例分配。同时综合考虑各项二级指标所表征工作的重要性,确定其权重。

1.4 其他方法讨论

涉及多类别、多指标的评价评估指数建设,较常采用的方法还包括2类^[9-18]。

一类是以各项指标达成情况作为评估结果,不做归一化处理。其优点是可以直观反映各项任务目标及其达成情况;缺点是难以形成量化的综合评价结果,不能适应“无废城市”大量城市横向比较、纵向分析需求。

一类是依托指标体系,通过专家打分形式对各指标权重进行赋值后形成综合量化指数。其优点是可以综合不同领域专家意见。缺点一是受限于参加打分的专家个人判断,难以形成共识度高的权重赋值;缺点二是指标体系开放性不足、调整难度大,各地不能根据实际需求对指标及其权重做调整,难以实现差异化管理需求。目前国家及生态环境领域作为管理应用的各类指数,均以客观数据作为加权重,未采用专家打分确定权重的形式。

1.5 “无废指数”适用方法分析

前期研究探索表明,当前各类固废都有一定的统计基础,但是由于人口数量、经济发展、产业布局、工

农业生产活动和固体废物的产生有高度相关性，会直接影响产生固体废物的种类、产量和利用处置等情况，目前单个指标没有和经济挂钩，数据零散无法形成统一目标，现有统计调查无法支撑“无废城市”建设。结合上述对生态文明建设考核指数、环境质量指数和“无废城市”建设试点成效评价等同类指标及指数建设方法的分析表明，“无废城市”建设以推动工作成效为核心，综合指数的建设应以明确目标引领、推动工作进展为核心目标。为此，以有成熟统计调查制度保障的客观量化指标为核心，建立开放式综合指数，能够更好的服务于管理决策需求。

2 “无废指数”方法构建

2.1 “无废指数”方法构建

参照环境空气质量指数 AQI 计算“无废指数”的方法，采取单一因子为主的综合指数法，对分指数去量纲、等标化，采用分指数加和取平均值的方式计算“无废指数”。首先基于《“无废城市”建设指标体系(2021 版)》(以下简称《指标体系》)，结合不同地区管理实际需求，筛选、优化关键指标，构建“无废指数”指标体系；然后基于固体废物信息发布、环境统计调查、城市固体废物管理现状等样本数据，建立指标值分级方案，对多个单项指标的原始数值进行去量纲、等标化处理，得到各项分指标的百分制结果；之后加权计算“无废指数”^[19]。

将“无废城市”指标体系拆解到可采集可溯源的统计调查数据，从中筛选出工业、农业、建筑、生活领域重点类别固体废物产生、利用、处置等关键环节的核心指标作为分指标，分领域分层级分参数构建不同维度框架，通过对分指标去量纲、等标化，将各项分指标数值转化为可统一比较、可加权归一、易于理解的无量纲数据，并弱化经济社会发展、生活习惯等客观差异对固废管理成效的影响，构建兼顾全国、省域的通用性和地区差异性的分级标准，以百分制数值的指数形式科学客观反映不同城市现阶段固废减量化、资源化、无害化水平(图 1)。

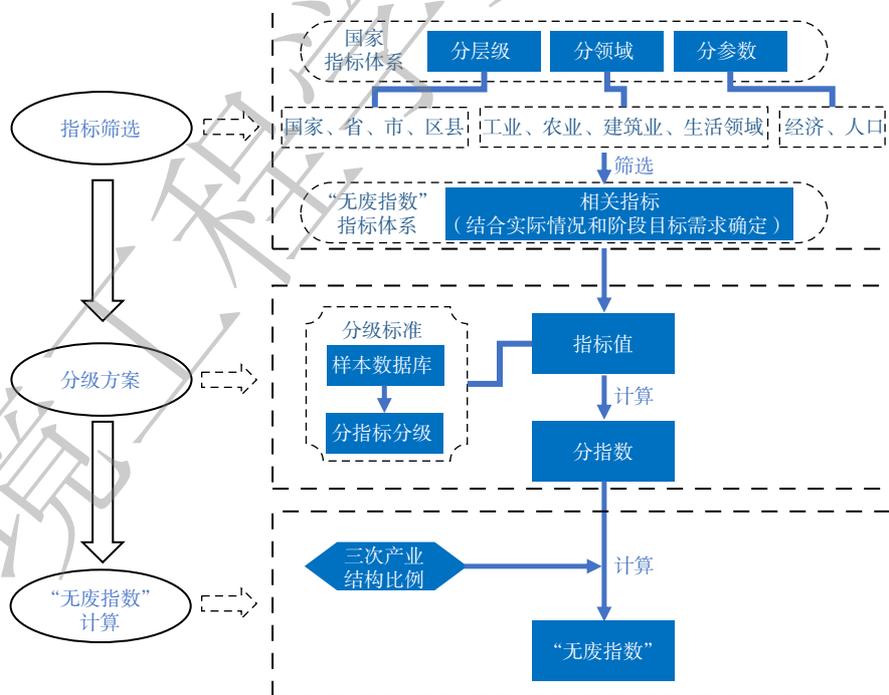


图 1 “无废指数”构建示意图

Fig. 1 Schematic diagram of “zero-waste index” construction

2.2 “无废指数”建设原则

1) 坚持科学客观。综合考虑不同区县经济社会发展、生活习惯等客观差异，强化指数的客观性和可量化

性。将“无废城市”建设指标体系及任务要求,拆解成可采集、可分解的统计调查数据,以及可量化、可赋分的标准化行为。

2) 强化结果感知。直观反映各目标任务的达成情况及其对区县“无废城市”建设总体效果的影响,实现多维度比较分析研判,快速识别比较优势、短板问题及其关联的建设任务及主体;让各主体易感知、易理解,助推全民共建、共治。

3) 实现开放扩展。构建开放式分级指标体系及计算方法,适应地区差异,特别考虑可根据区县实际情况增加特色指标,使指数结果更好地服务于基层管理决策。

2.3 指标筛选依据

1) 有成熟统计调查制度或计算方法。筛选的指标要有稳定的数据来源,有普遍的调查数据,具有较为完善的统计调查制度或常态化专项调查支撑的、可量化反映治理成效的、与城市经济社会和环境管理成效相关性较高的指标,可用于评估考核进展和成效,能够实现工作内容的直接反映,可作为建设目标设计和评估的主要抓手。而一些用于指导城市识别和推动重点领域工作任务的指标没有成熟统计调查制度和专项调查工作保障,只能通过管理措施保证城市层面调查渠道,将建设任务分解落实到具体部门和主体,不适用于指数化的评估方式。此外,数据采集方式不管是通过信息化还是台账,要有基本的数据质量保障和数据质量控制。

2) 能反映真实工作成效。例如生活垃圾清运量来源于进入生活垃圾焚烧处置设施的数据统计,数据结果受生活垃圾清运系统覆盖程度和覆盖范围直接影响。再如再生资源回收量等数据,来源于部分再生资源回收利用主体的填报数据,受地区回收利用设施建设运营情况、回收利用产业布局、填报主体规范性等影响,数据与地区再生资源产生情况、经济发展水平等存在较大偏差,数据质量难以保证。

3) 指标数据方便获取、应用难度不大。例如固体废物回收利用处置投资占环境污染治理投资总额占比、资源循环利用产业工业增加值占区域 GDP 的比重、“无废城市”建设相关项目绿色信贷余额等指标,没有统计调查制度支撑,涉及调查主体、调查范围等不明晰,数据获取难度较大,部分地区受限于工作难度,甚至未开展相关指标调查。固体废物回收利用处置骨干企业数量、开展“无废城市细胞”建设的单位数量等指标,没有统一建设或评估标准、规范,地方根据情况自行设置要求、标准进行评比,指标应用情况参差不齐。

4) 指标具有横向可比性。一是在指标体系建设方面,要有综合统领性指标用于直观表达。各地根据国家指标体系框架自主筛选、自主设定城市指标体系的工作模式,虽然体现了地方的实际管理需求,但也导致了各地选取的指标项目、目标值等差异较大,难以以绝对值数据开展横向比较。二是单项指标的数据基础、数据质量等差异较大,横向比较可能导致评价结果偏颇,特别是与地方发展阶段和管理水平高度相关的生活垃圾清运量、工业固体废物综合利用率等指标。

2.4 “无废指数”指标与建设任务的响应关系

“无废指数”指标体系构建要基于“无废城市”建设任务要求确定,将指标体系拆解到可采集、可分解的统计调查数据,通过实时数据的采集、分析,及时展示城市在各重点领域和关键环节的进展情况,实现数据调查、进展评估、结果反馈相互贯通,进一步强化各相关部门的固体废物管理目标衔接、责任分解和考核落实。

“无废指数”指标筛选要实现与固体废物源头减量、资源化利用、贮存处置等关键环节工业、农业、生活领域重点类别对应的目标任务的有效关联,使指数结果能准确识别“无废城市”建设过程中各关键环节的比较优势和差距,直观地反映需综合施力的目标、任务,以及具备比较优势和示范效应的任务措施,实现多维度比较分析和研判,便于地方管理部门及时优化“无废城市”整体推进策略,为政府相关部门提供决策指引。

“无废指数”可以识别无废城市建设不同领域的短板弱项,意味着考虑的范围和视野更宽,短板识别更加充分,更能反映客观事实。指标定位更明确的指向“无废城市”建设中的重点固体废物类别的建设任务,有明确的经济社会发展的关联关系(表1)。

2.5 “无废指数”指标参数筛选

由于单一因素指标缺少综合统领性指标用于直观表达,与地方发展阶段和管理水平高度相关的单项指标的数据基础、数据质量等差异较大,且没有将与经济社会发展高度相关的固废指标与经济社会影响因素复合起来,无法平衡因经济社会发展不同造成的城市间固废管理难易不同,无法实现指标体系在城市间横向可比性和全面反映真实工作成效。因此本研究构建综合指标,加入经济、人口、社会、管理等指标参数,对部分

表 1 浙江省“无废指数”指标体系与“无废城市”建设任务的响应关系

Table 1 Response relationship between “zero-waste index” indicator system and “Zero-waste city” construction task in Zhejiang Province

无废指数	建设指标	建设目标	建设任务	管理部门
工业固体废物产生强度	1.一般工业固体废物产生强度 2.通过清洁生产审核评估工业企业占比 3.开展绿色工厂建设的企业占比 4.开展生态工业园区建设、循环化改造、绿色园区建设的工业园区占比 5.绿色矿山建成率 6.城市重点行业工业企业碳排放强度降低幅度	减源头：严控高耗能、高排放项目盲目发展，大力发展绿色低碳产业	1.推行产品绿色设计，构建绿色供应链，实现源头减量 2.加快钢铁、有色、化工、建材等重点行业固体废物减量化途径，全面推行清洁生产 3.全面推进绿色矿山、“无废”矿区建设	生态环境部门、工信部门、发改部门
工业危险废物产生强度	工业危险废物产生强度	减源头	研发推广减少危废产生量和降低危废危害性的生产工艺和设备	生态环境部门
工业固体废物综合利用率	1.一般工业固体废物综合利用率 2.一般工业固体废物贮存处置量下降幅度	促利用：完善回收体系，提高资源能源利用效率	1.推动大宗工业固体废物在提取有价值组分、生产建材、筑路、生态修复、土壤治理等领域的规模化利用 2.建设一体化废钢铁、废有色金属、废纸等绿色分拣加工配送中心和废旧动力电池回收中心 3.加快绿色园区建设，推动园区企业内、企业间和产业间物料闭路循环，实现固体废物循环利用	生态环境部门
工业固体废物贮存处置强度	完成大宗工业固体废物堆存场所(含尾矿库)综合整治的堆场数量占比	消存量：降低工业固体废物贮存处置压力	1.以锰渣、赤泥、废盐等难利用冶炼渣、化工渣为重点，加强贮存处置环节环境管理，推动建设符合国家有关标准的贮存处置设施 2.推动利用水泥窑、燃煤锅炉协同处置固体废物 3.开展历史遗留固体废物排查、分类整治，加快历史遗留问题解决	生态环境部门
固废处置能力占比	1.工业危险废物综合利用率 2.医疗废物收集处置体系覆盖率 3.社会源危险废物收集处置体系覆盖率	促利用：全过程管理	1.开展小微企业、科研机构、学校等产生的危险废物收集转运服务 2.开展工业园区危废集中收集贮存试点，推动收储运专业化 3.在环境风险可控的前提下，探索“点对点”定向利用豁免管理 4.完善医疗废物收运体系，保障重大疫情医疗废物应急处理能力	生态环境部门、卫生健康部门、住建部门
危废填埋占比	工业危险废物填埋处置量下降幅度	消存量：安全处置	1.强化危险废物利用处置企业的土壤地下水污染预防和风险管控 2.建立危险废物环境风险区域联防联控机制，强化部门间信息共享、监管协作和联动执法工作机制 3.严厉打击非法排放、倾倒、收集、贮存、转移、利用或处置危险废物等环境违法犯罪行为，实施生态环境损害赔偿制度	生态环境部门、卫生健康部门、住建部门
秸秆综合利用率 畜禽粪污综合利用率	1.秸秆综合利用率 2.畜禽粪污综合利用率 3.农膜回收率 4.农药包装废弃物回收率	促利用：促进农业固废综合利用，推进畜禽粪污和秸秆资源化，构建农膜、农药包装废弃物回收体系	1.加大畜禽粪污和秸秆资源化利用先进技术和新型市场模式的集成推广，推动形成长效运行机制 2.统筹农业废弃物资源化利用和农村清洁能源供应，推动农村发展生物质能	农业农村部门

续表1

无废指数	建设指标	建设目标	建设任务	管理部门
建筑垃圾产生强度	1.绿色建筑占新建建筑的比例 2.装配式建筑占新建建筑的比例	建筑垃圾源头减量	1.落实建设单位建筑垃圾减量化的主体责任 2.绿色设计、绿色施工等减少建筑垃圾产生、排放 3.政府投资为主的公建项目发展装配式建筑，提高绿色建筑比例 4.推行全装修交付，减少施工现场建筑垃圾的产生	住建部门
建筑垃圾综合利用	建筑垃圾资源化率	建筑垃圾资源化利用	1.加强收运、利用和处置管理，合理布局转运调配、资源化利用和消纳处置设施 2.鼓励建筑垃圾再生骨料及制品在建筑工程和道路工程中的应用 3.推动在林业土方、环境治理、烧结品及回填等领域利用建筑垃圾	住建部门
生活垃圾产生强度	1.生活垃圾清运量 2.快递绿色包装使用率	减源头	1.“无废”理念、绿色低碳的生活方式和消费模式 2.制止餐饮浪费，推广“光盘行动” 3.共享经济推动二手商品交易和流通 4.减少使用一次性塑料制品，推动可降解替代产品 5.快递包装绿色转型，推广可循环绿色包装 6.海洋塑料污染：沿海城市建立“海上环卫”制度	住建部门、商务部门
1.再生资源实际回收效率 2.垃圾分类处理率	1.城市居民小区生活垃圾分类覆盖率 2.农村地区生活垃圾分类覆盖率 3.生活垃圾回收利用率 4.再生资源回收量增长率 5.医疗卫生机构可回收物回收率 6.车用动力电池、报废机动车等产品类废物回收体系覆盖率	促利用	1.深入推进生活垃圾分类工作，建立完善分类投放、分类收集、分类运输、分类处理系统 2.构建城乡融合的农村生活垃圾治理体系，推动城乡环卫制度并轨 3.提升厨余垃圾资源化利用产品应用 4.推进垃圾分类回收与再生资源回收“两网融合”，促进废玻璃等低值再生资源回收利用，完善废家电回收处理管理制度和支持政策	住建部门、交通部门、商务部门

指标增加核算方法剔除不同地区间产业结构、经济发展水平等不可比因素，平衡因城市体量和经济发展不同造成的固废管理难易程度不同，将测算参数调整为地方经济社会发展因素，统一了不同经济社会发展情况下的固废指标测算原则，提高了指标的可比性。

2.6 “无废指数”分级方案

为实现“无废指数”对“无废城市”建设综合成效的直观评价，参照空气质量指数、水质指数，结合“无废城市”试点成效评价工作经验，对“无废指数”及分指数进行分级。分级标准以全国固体废物管理情况为基础确定。

分指数满分为100分，每20分值为1个档次，按分值等分为5个等级。分指数满分100，每20分值为1个等级，按分值分为5个等级，分为优秀(80~100分)、良好(60~80分)、中等(40~60分)、较差(20~40分)、很差(20分以下)5个等级。

每个分指数分别设定不同分值等级对应的限值划分。基于目前固体废物数据获取情况，现阶段分指数分级以2018—2020年全国大中城市信息发布数据、2020年国家和浙江省环境统计调查数据，以及“11+5”试点城市成效数据为基础，采取以下原则核定每个分指数分值等级的限值区间：1)以全国最低水平确定20分；2)以全国平均水平取整，确定40~50分对应限值区间；3)以高水平城市平均水平取整，确定80分对应限值区间；4)以全国开展无废城市建设的城市单项分指数的最好水平取整，确定对应单项分指数的90~100分对应限值区间。5)其他部分采取等分法确定对应分级的限值区间。据此建立治理成效分指数分级方案。

2.7 “无废指数”计算方法

对分指数去量纲、等标化，用插值法按式(1)逐一计算各项分指数。

$$IZWI_p = \frac{IZWI_{Hi} - IZWI_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (I_p - BP_{Lo}) + IZWI_{Lo} \quad (1)$$

式中： $IZWI_p$ 为固体废物单项指标 P 的无废指数分指数； I_p 为固体废物单项指标 P 的指标值； BP_{Hi} 为与 I_p 相近的固体废物单项指标限值的高位值； BP_{Lo} 为与 I_p 相近的固体废物单项指标限值的低位值； $IZWI_{Hi}$ 为与 BP_{Hi} 对应的无废指数分指数； $IZWI_{Lo}$ 为与 BP_{Lo} 对应的无废指数分指数。

本研究不设置权重，将各项分指数加和取算数平均值得到无废指数得分。

3 浙江“无废指数”探索实践

3.1 浙江“无废指数”指标体系构建依据

本研究在滕婧杰等^[19]构建的“无废指数”方法的基础上，根据上述指标体系建设原则和指标体系构建思路，将其包含 9 项分指数的“无废指数”指标体系进行优化，优化指标项是为了用更可靠数据让指标的代表性更加清晰，指征更加清晰。指数定位是指向识别“无废城市”建设的问题短板，把所有固体废物产生处置利用情况和社会经济最核心关联关系表达清楚。“无废指数”各项分指数指向“无废城市”建设的固废问题和所对应的经济社会发展问题。

1) 农业领域。加大畜禽粪污和秸秆资源化利用是农业领域“无废城市”建设核心任务。因此，选取《指标体系》中“秸秆综合利用率”“畜禽粪污综合利用率”2 项必选指标作为“无废指数”指标，直接反映农业领域“无废城市”建设成效。

“秸秆综合利用率”“畜禽粪污综合利用率”是农业领域生态环境保护核心指标，在国家生态文明建设示范市县建设指标、国家绿色发展指标体系（仅列入秸秆综合利用率）等相关指标体系中均有采用。在《“十四五”全国农业绿色发展规划》《“十四五”土壤、地下水和农村生态环境保护规划》《“十四五”全国农业农村科技发展规划》等相关国家规划中均明确提出到 2025 年全国“秸秆综合利用率”大于 86%、“畜禽粪污综合利用率”达到 80% 的目标要求。

2) 工业领域。加快探索重点行业工业固体废物减量化路径、推动大宗工业固体废物规模化利用、加强贮存处置环节环境管理是工业领域“无废城市”建设的核心任务。因此，选取“工业固体废物产生强度”“工业固体废物综合利用率”“工业固体废物贮存处置强度”反映工业领域源头减量、综合利用、末端处置全链条控制成效。在 2021 年浙江省“无废指数”指标体系的基础上^[19]，增加了固废处置兜底保障能力，“危废填埋占比”和“固废处置能力占比”分别用于表征评价各设区市危险废物“趋零”填埋进度、主要固废处置兜底保障能力。共计选取 5 项作为“无废指数”指标。

“工业固体废物产生强度”在《指标体系》中必选指标“一般工业固体废物产生强度”“工业危险废物产生强度”基础上形成；“工业固体废物综合利用率”在《指标体系》中必选指标“一般工业固体废物综合利用率”“工业危险废物综合利用率”基础上形成；“工业固体废物贮存处置强度”在《指标体系》中必选指标“一般工业固体废物贮存处置量下降幅度”和“工业危险废物填埋处置量下降幅度”基础上，增加“工业增加值”核算，降低城市产业结构、发展水平对贮存处置量的影响，提高不同城市及地区间该指标的可比性。3 项指标基于一般工业固体废物及危险废物的产生量、综合利用量、贮存处置量计算得出，这几项数据是固体废物领域核心数据，早在 2003 年就开始列入《中国统计年鉴》，在《中国环境统计年报》也有列入，数据可获得且具有连续性。工业增加值数据是工业领域和国民经济领域常规指标，已经纳入统计调查制度。根据《2020 年中国环境统计年报》，2020 年，全国一般工业固体废物产生量为 36.8×10^8 t。综合利用量为 20.4×10^8 t，处置量为 9.2×10^8 t，全国工业危险废物产生量为 7281.8×10^4 t，利用处置量为 7630.5×10^4 t。根据《关于加快推动工业资源综合利用的实施方案》，计划 2025 年大宗工业固体废物综合利用率达到 57%。第一批试点城市中东部地区城市普遍能达到 90% 左右，盘锦达 76%、包头达 47.7%。

“危废填埋占比”为危险废物无害化处置领域的代表指标，用于推动各市加快实现危险废物综合利用和“趋零”填埋，也和浙江省危险废物综合利用攻坚行动相关工作有机衔接。分级标准以浙江省内水平为主，综合考虑国家数据情况。

“固废处置能力占比”用于综合评价各市对全省固体废物无害化处置的贡献水平。基于目前数据基础，先采用数据可信度较高的危险废物利用处置能力占比和生活垃圾处理能力占比，今后可拓展到建筑垃圾等领域。其中，危险废物利用处置能力占比的分级标准以各市工业增加值占全省比例为参考，生活垃圾处理能力占比的分级标准以各市常住人口占全省比例为参考。计算方法与经济社会发展客观指标挂钩，具备全国复制

条件。

3) 建筑领域。推动建筑垃圾源头减量、深入推进建筑垃圾资源化利用是“无废城市”建设的核心任务。因此,选取“建筑垃圾产生强度”“建筑垃圾综合利用率”2项指标,反映建筑领域源头减量、综合利用2个主要环节的建设成效。

“建筑垃圾产生强度”为基于未来需求以及现有工作推进情况前瞻性设计的新增指标。目前国家在降低建筑垃圾产生量方面没有成熟指标来表征,仅在2020年住房和城乡建设部印发的《关于推进建筑垃圾减量化的指导意见》中有类似含义的表述:到2025年底,实现新建建筑施工现场建筑垃圾(不包括工程渣土、工程泥浆)排放量每 10^4 m^3 不高于300 t,装配式建筑施工现场建筑垃圾(不包括工程渣土、工程泥浆)排放量每 10^4 m^3 不高于200 t。设计“建筑垃圾产生强度”指标,可以更精准反应建筑垃圾减量化成效。“建筑垃圾产生强度”的计算方法由建筑垃圾产生量/当年房屋建筑施工面积调整为建筑垃圾产生量/建筑业总产值。主要原因是原指标数据中房屋建筑施工面积的数据难以获取、准确度和规范性难以保障,数据结果与经济发展关联度不高。该指标以“建筑垃圾产生量”为基础,通过增加统计调查数据“建筑业总产值”核算后形成;“建筑垃圾产生量”“建筑业总产值”已有相应统计制度,在2021年中华人民共和国住房和城乡建设部制定、国家统计局批准的《城市(县城)和村镇建设统计调查制度》及国家统计局发布的《建筑业统计报表制度》中有相关要求。且基于浙江省“无废城市”信息化平台已可以实现数据的及时采集和更新。

“建筑垃圾综合利用率”以“建筑垃圾产生量”“建筑垃圾综合利用量”为基础计算得出,为建筑领域内具有指引意义的指标,在国家及各地相关专项工作、重点任务目标中均有具体要求。2021年,国家发展改革委印发《“十四五”循环经济发展规划》,明确提出到2025年,建筑垃圾综合利用率达到60%。浙江省住房和城乡建设厅发布的《关于进一步规范建筑垃圾治理工作的实施意见》也提出,到2025年底,浙江省建筑垃圾综合利用率达90%以上。

4) 生活领域。在生活领域,推动形成绿色低碳生活方式,促进生活垃圾减量化、促进再生资源回收利用和生活垃圾分类是“无废城市”建设的核心任务及目标。因此,选取“生活垃圾产生强度”、“再生资源实际回收效率”和“生活垃圾分类处理率”3项作为“无废指数”指标。

“生活垃圾产生强度”是在2021年浙江省“无废指数”指标体系^[19]“人均生活垃圾日产生量”的基础上调整计算方法得到的。计算方法由生活垃圾日产生量/城乡常住人口调整为生活垃圾产生量/人均地区生产总值。“生活垃圾清运量”是现有成熟统计指标,从2002年开始,住房和城乡建设部在每年发布的《城市建设统计年鉴》中列“生活垃圾清运量”,2004年该指标列入《中国统计年鉴》。该指标可获得且数据具有连续性。将测算参数调整为地方经济社会发展数据,可以剔除不同地区间社会人口发展、产业结构、经济发展水平等不可比因素,修改后均与可季度发布的相应领域代表性经济指标挂钩,提高了数据准确性和实效性,使指标更加客观科学。并考虑了指标计算统一性,实现生活源指标均与反映地区经济社会发展程度的指标挂钩。

“再生资源实际回收效率”是在《指标体系》中现有三级指标“再生资源回收量增长率”数据基础上,通过用人均地区GDP进行核算得出。再生资源回收量来源包括工业企业和社会公众两个主要来源,再生资源回收量是调查数据,从2016年开始,商务部联合中国物资再生协会对外发布《中国再生资源回收行业发展报告》,对我国废钢铁、废有色金属、废塑料、废轮胎、废纸、废弃电器电子产品、报废机动车、废旧纺织品、废玻璃、废电池十大品种再生资源回收利用情况进行调查统计分析(在此之前中国物资再生协会已开展数年再生资源调查统计工作),再生资源回收量可获得且已有多年调查统计基础。而且考虑到浙江省实际情况,报废机动车、废弃电器电子产品、废动力电池等产品类统计难度大、质量保障弱,剔除工业企业来源的生产性范围,只统计社会公众来源的生活源再生资源回收量。该指标在循环经济领域具有指引意义,早在2013年《循环经济发展战略及近期行动计划》确立的“十二五”时期循环经济发展主要指标中,就设有主要再生资源回收利用总量、主要再生资源回收率等相关指标来表征再生资源回收利用水平。

“生活垃圾分类处理率”是省建设厅推荐的浙江省特色指标,用于对各地城乡生活垃圾治理成效进行综合评估,评估内容包括生活垃圾资源化利用率、无害化处理量、城镇分类收集覆盖面、人均生活垃圾量增幅等,与住建部生活垃圾分类评估考核工作有一定衔接。表达形式为百分数,可以实现季度更新,分级标准采用直接去百分号量化为分指数得分。

3.2 指标参数选择依据

1) “工业固体废物产生强度”在“一般工业固体废物产生量”“工业危险废物产生量”基础上增加“工业增加

值”核算,降低城市产业结构、发展水平对贮存处置量的影响,提高不同城市及地区间该指标的可比性。

2)“建筑垃圾产生强度”为基于未来需求以及现有工作推进情况前瞻性设计的新增综合性指标。目前国家在降低建筑垃圾产生量方面没有成熟指标来表征,仅在 2020 年住房和城乡建设部印发的《关于推进建筑垃圾减量化的指导意见》中有类似含义的表述:到 2025 年底,实现新建建筑施工现场建筑垃圾(不包括工程渣土、工程泥浆)排放量每 10^4 m^3 不高于 300 t,装配式建筑施工现场建筑垃圾(不包括工程渣土、工程泥浆)排放量每 10^4 m^3 不高于 200 t。设计“建筑垃圾产生强度”指标,可以更精准反应建筑垃圾减量化成效。“建筑垃圾产生强度”的参数筛选有“建筑垃圾产生量/当年房屋建筑施工面积”和“建筑垃圾产生量/建筑业总产值”。若参数筛选以房屋建筑施工面积为分母,其数据难以获取、准确度和规范性难以保障,数据结果与经济发展关联度不高。参数筛选以“建筑垃圾产生量”为基础,通过增加统计调查数据“建筑业总产值”核算后形成;“建筑垃圾产生量”“建筑业总产值”已有相应统计制度,在 2021 年中华人民共和国住房和城乡建设部制定、国家统计局批准的《城市(县城)和村镇建设统计调查制度》及国家统计局发布的《建筑业统计报表制度》中有相关要求。

3)“生活垃圾产生强度”的参数筛选有生活垃圾日产生量/城乡常住人口和生活垃圾产生量/人均地区生产总值。测算参数选择“城乡常住人口”作为分母是地方人口数据,理由有 2 点。①由于人均 GDP 包含多个行业,生活垃圾产生量不应该跟农业工业服务业挂钩。②分母是人均,人口数就变成了分子,跟强度的含义背道而驰。测算参数选择“人均地区生产总值”作为分母是地方经济社会发展数据,理由有 3 点。①生活垃圾原指标以人口为基数表征生活垃圾产生情况时,代表的是绝对量的下降,适用于发展阶段是均衡稳定没有差别的发达国家城市。但是结合我国的国情和中国特色发展阶段,目前我国还处在快速发展阶段,每个城市的发展阶段不同发展速度不均衡生活习惯不同,生活垃圾日产生量数据缺乏规律,并且城市管理部门无从下手,无法分解落实到社会管理任务上。而用人均 GDP 反映的是经济社会发展阶段水平对生活垃圾产生量的核心影响,可以分解到社会管理建设任务上,可以相应的找到工作的抓手,更适合我国现阶段的发展现状。②人口为年度更新数据,时效性不足。③不能综合反映社会发展水平和消费能力等对生活垃圾产生情况的客观影响,数据认可度与实效性弱。将与人口数量经济水平相关的生活源固废指标加入人口和经济双重因素可以剔除不同区间社会人口发展、产业结构、经济发展水平等不可比因素,提高了数据准确性和实效性,使指标更加客观科学。并考虑了指标计算统一性,实现生活源指标均与反映地区经济社会发展程度的指标挂钩。

4)“再生资源实际回收效率”是在《指标体系》中现有三级指标“再生资源回收量增长率”数据基础上形成,分子参数有“再生资源回收量”和“生活源再生资源回收量”,分母参数有“地区生产总值(GDP)”和“人均地区生产总值(人均 GDP)”。再生资源回收量来源包括工业企业和社会公众两个主要来源,测算参数选择“生活源再生资源回收量”作为分子的理由有 4 点。①由于工业来源的再生资源回收体系已成熟并已实现体内运转,回收效率很高。对于像电子产品、报废汽车等这些可以按照生产者责任延伸制去开展统计,不是直接的材料品类。②目前重点推进的工作是在生活领域,聚焦社会源,社会源的重点是提升整体的资源循环效率,那关注的就是废钢铁废塑料、废纸这些材料类的资源品类。指标可聚焦到无废城市建设任务,与城市生活垃圾分类治理、两网融合回收体系建设进展等工作相关度高,且排除了部分区域产业结构影响。③生活源数据基础较好、尺度一致,指标里的数据来源清晰,指向也清晰,对应的资源回收效率也清晰。可与国家重点城市生活源再生资源回收相关评估工作相衔接。④通过“无废城市”信息化平台已可以实现指标数据的及时采集和更新。测算参数选择“人均 GDP”作为分母的理由有 2 点。①考虑指标计算统一性,实现生活源指标与反映地区经济社会发展程度的指标挂钩(生活垃圾已采用人均 GDP),工业源指标也已与相应领域代表性经济指标挂钩(工业固体废物采用工业增加值、建筑垃圾采用建筑业总产值),故建议再生资源也采用人均 GDP。②生活源再生资源回收情况与地区经济社会发展水平高度正相关,人均 GDP 已纳入城市经济水平、人口数量等因素,以人均地区 GDP 作为核算依据能更全面综合反映城市实际情况。

3.3 浙江“无废指数”指标体系构建

最终形成了以“秸秆综合利用”“畜禽粪污综合利用”“工业固体废物产生强度”“工业固体废物综合利用”“工业固体废物贮存处置强度”“建筑垃圾产生强度”“建筑垃圾综合利用”“生活垃圾产生强度”“再生资源实际回收效率”“生活垃圾分类处理率”“固废处置能力占比”“危险废物填埋占比”等 12 个核心指标,作为“无废指数”指标体系(表 2)。

表 2 浙江省“无废指数”指标体系优化情况

Table 2 “Zero-waste index” indicator system and calculation method in Zhejiang Province

序号	筛选指标	计算方法	数据来源	优化内容
1	秸秆综合利用率	秸秆综合利用率 (%) = 秸秆综合利用量 ÷ 秸秆可收集资源量 (测算) × 100%	农业农村部门	无改变
2	畜禽粪污综合利用率	畜禽粪污综合利用率 (%) = 畜禽粪污综合利用量 ÷ 畜禽粪污产生总量 (测算) × 100%	农业农村部门	无改变
3	工业固体废物产生强度	工业固体废物产生强度 = (一般工业固体废物产生量 + 工业危险废物产生量) ÷ 工业增加值	生态环境、统计部门	数据来源优化
4	工业固体废物综合利用率	工业固体废物综合利用率 (%) = (一般工业固体废物综合利用量 + 工业危险废物综合利用量) ÷ (当年一般工业固体废物产生量 + 当年工业危险废物产生量 + 一般工业固体废物上年末贮存量 + 工业危险废物上年末贮存量) × 100%	生态环境部门	数据来源优化
5	工业固体废物贮存处置强度	工业固体废物贮存处置强度 = (一般工业固体废物贮存处置量 + 工业危险废物贮存处置量) ÷ 工业增加值	生态环境、统计部门	数据来源优化
6	危险废物填埋占比	危险废物填埋占比 = 危险废物总填埋量 ÷ 危险废物总产生量	生态环境部门	新增特色指标
7	建筑垃圾产生强度	建筑垃圾产生强度 = 建筑垃圾产生量 ÷ 当年建筑业总产值	建设、统计部门	指标计算方法优化
8	建筑垃圾综合利用率	建筑垃圾综合利用率 = 建筑垃圾综合利用量 ÷ 建筑垃圾产生量 × 100%	建设部门	无改变
9	生活垃圾产生强度	生活垃圾产生强度 = 生活垃圾产生量 ÷ 人均地区生产总值	建设、农业农村、统计部门	指标计算方法优化
10	生活垃圾分类处理率	生活垃圾分类处理率 = 无害化处理率 × 20% + 资源化利用率 × 35% + 城镇分类收集覆盖面 × 25% + 回收利用率 × 5% + 易腐垃圾处理量有效占比 × 15% + 有害垃圾处置量年增幅 10% 以上加 1% (封顶加 1%) - 每超标排放一次扣 0.5% - 人均生活垃圾量增幅每超 1 个百分点扣 0.5%	建设部门	新增特色指标
11	再生资源实际回收效率	再生资源实际回收效率 = 生活源再生资源当年实际回收量 ÷ 人均城市生产总值	商务、生态环境、经信部门	指标计算方法优化、数据来源优化
12	固体废物处置能力占比	固体废物处置能力占比 = (危险废物实际利用处置量 ÷ 全省危险废物利用处置总量 + 生活垃圾实际处理量 ÷ 全省生活垃圾处理总量) ÷ 2	生态环境部门	新增特色指标

3.4 “无废指数”测算结果

如图 2 所示, 根据浙江省各城市 2022 年某季度统计调查数据, 按照上述“无废指数”计算方法得出 2022 年某季度浙江省“无废指数”结果。浙江省各城市“无废指数”得分均在 60 分以上, 处于良好水平。

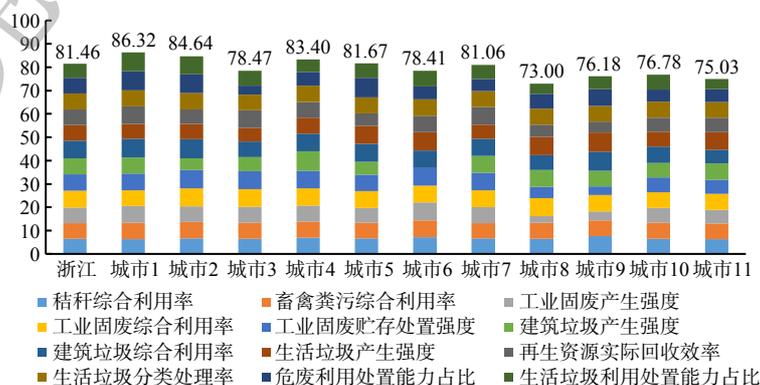


图 2 2022 年某季度浙江省及各城市“无废指数”

Fig. 2 “Zero-waste index” of cities in Zhejiang Province in some quarter of 2022

3.5 优化分指数合理性分析

为评估优化的分指数建立的科学合理性,根据浙江省各城市 2022 年某季度“无废指数”分指数结果,对修改调整的 6 项分指数“生活垃圾分类处理率”、“危废填埋占比”、“固废处置能力占比”、“建筑垃圾产生强度”、“生活垃圾产生强度”和“再生资源实际回收效率”分别做 11 个城市的区间分布图(图 3)。数据显示,各城市在这 6 项新增分指数的分布区间均符合正态分布,分项指标覆盖全面分层科学,表明新增指数的分级方案和分指数对应限值设置合理,能真实有效反映各城市在生活垃圾产生和分类、危废填埋、固废处置、建筑垃圾、再生资源回收等方面的固废管理成效。

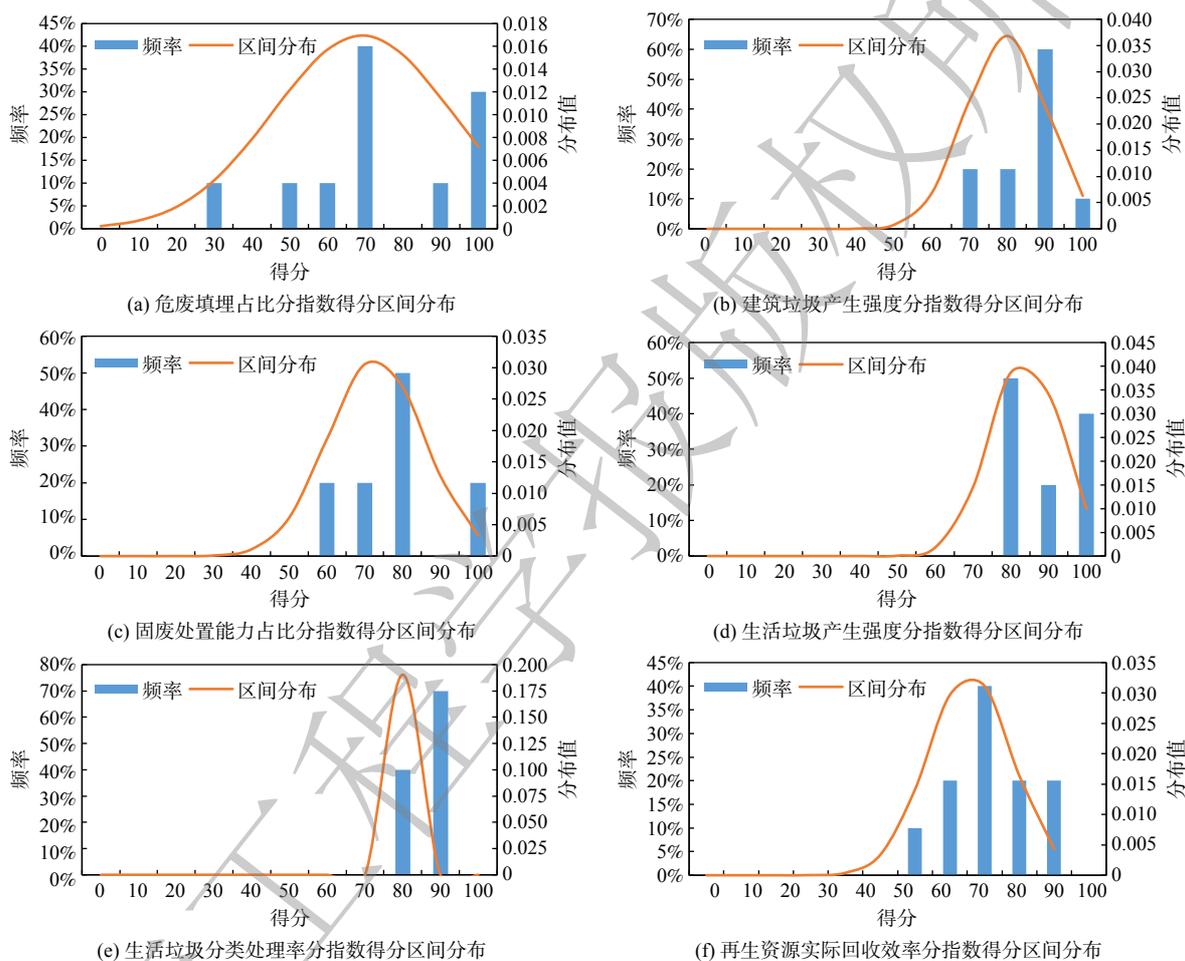


图 3 浙江省新增调整分指数区间分布图

Fig. 3 Sub-index interval distribution diagram

4 存在问题和建议

4.1 存在问题

- 1) “无废指数”分指数分级方案、分指数筛选仍需进一步论证。无废指数还未形成技术规范、发布指南、发布机制、编制说明等。
- 2) 固体废物统计调查制度不健全、调查范围不清晰、统计调查方法不规范,导致相关数据难以获取、数据质量不高。
- 3) 各地区、各部门信息化建设程度差异大,指标体系中相关数据获取性、更新频次差距较大,指数评价结果与各部门、相关市场主体等数据回流、反馈、考核评价等机制尚未建立。
- 4) 各类固体废物的规范性、标准化程度不足,难以支撑有效数据信息的标准化生成和采集,影响了采集数据的有效性和可靠性。

4.2 建议

1) 加快制定“无废指数”建设技术规范, 强化“无废指数”指标体系政策导向性。深化指标体系与经济社会发展核心指标相关性研究, 优化分指数分级方案和核算方法、细化数据采集及发布要求等, 制定并试点“无废指数”建设和发布技术规范, 建立以综合指数、分指数的趋势分析、成效评价、目标预警预判为主的“无废指数”定期发布机制。加快推进符合管理实际需求的国家、省、市、区县、园区等四级“无废指数”指标库建设, 为各地提供适用性强、灵活度高、前瞻性好的备选指标。

2) 完善“无废指数”指标调查统计制度。逐步完善建筑垃圾、农业固体废物等特定类别固体废物的统计范围、调查和核算方法、数据管理等要求, 实现全品类、全过程固体废物相关统计调查数据采集标准化、制度化、数字化。

3) 建立“无废指数”反馈机制。强化指数结果对相关部门、责任主体的反馈机制, 提高指数对地方管理部门及相关主体的决策指导作用和时效性。

参考文献

- [1] BOGUSZ M, MATYSIK-PEJAS R, KRASNODĘBSKI A, et al. The concept of zero waste in the context of supporting environmental protection by consumers[J]. *Energies*, 2021, 14(18): 5964.
- [2] 滕婧杰, 赵娜娜, 于丽娜, 等. 欧盟循环经济发展经验及对我国固体废物管理的启示[J]. *环境与可持续发展*, 2021, 46(2): 120-126.
- [3] 王永明, 任中山, 桑宇, 等. 日本循环型社会建设的历程、成效及启示[J]. *环境与可持续发展*, 2021, 46(4): 128-135.
- [4] 于丽娜, 郭琳琳, 黄艳丽, 等. 新加坡可持续发展经验[J]. *世界环境*. 2018(6): 83-85.
- [5] 生态环境部. “十四五”时期“无废城市”建设工作方案[EB/OL]. [2023-11-10]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202112/t20211215_964275.html.
- [6] 生态环境部. 关于发布“十四五”时期“无废城市”建设名单的通知[EB/OL]. [2023-11-10]. https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202204/t20220425_975920.html.
- [7] 中共甘肃省委办公厅甘肃省人民政府办公厅关于印发《甘肃省生态文明建设目标评价考核办法》的通知. 甘肃省人民政府公报[Z]. 2017.07. 05.
- [8] 刘玉娟. 浙江省绿色发展的统计监测方法与实证分析[D]. 浙江工商大学硕士论文, 2018.
- [9] FEHR M, SANTOS F C. Landfill diversion: moving from sanitary to economic targets[J]. *Cities*, 2009, 26(5): 280-286.
- [10] YOSHIDA H, GABLE J J, PARK J K. Evaluation of organic waste diversion alternatives for greenhouse gas reduction[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2012, 60: 1-9.
- [11] ZAMAN A U, LEHMANN S. The zero waste index: a performance measurement tool for waste management systems in a ‘zero waste city’[J]. *Journal of cleaner production*, 2013, 50: 123-132.
- [12] ZAMAN A U. Identification of key assessment indicators of the zero waste management systems[J]. *Ecological indicators*, 2014, 36: 682-693.
- [13] RODRIGUES A P, FERNANDES M L, BORTOLUZZI S C, et al. Avaliação de desempenho das operações sustentáveis na gestão municipal de resíduos: análise das ferramentas e indicadores propostos da literatura[J]. *ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 2017, 37: 2-24.
- [14] RODRIGUES A P, FERNANDES M L, RODRIGUES M F F, et al. Developing criteria for performance assessment in municipal solid waste management[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 186: 748-757.
- [15] DEUS R M, MELE F D, BEZERRA B S, et al. A municipal solid waste indicator for environmental impact: Assessment and identification of best management practices[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 242: 118433.
- [16] 邹权, 王夏晖. “无废指数”: “无废城市”建设成效定量评价方法[J]. *环境保护*, 2020, 48(8): 46-50.
- [17] 高木杰. 多层次分析法在建设“无废城市”定量评价中的应用[J]. *有色设备*, 2021(1): 51-61.
- [18] 赵曦, 吴姗姗, 陆克定. “无废城市”固体废物综合处理产业园建设水平评价指标体系研究[J]. *环境工程*, 2021, 39(2): 1-9.
- [19] 滕婧杰, 祁诗月, 马嘉乐, 等. “无废指数”构建方法探究——以“浙江省无废指数”构建为例[J]. *环境工程学报*, 2022, 16(3): 723-731.

(责任编辑: 金曙光)

Research on evaluation method of “zero-waste index”--based on the exploration practice of “zero-waste index” in Zhejiang Province

QI Shiyue, ZHENG Ruiying, LAN Xiaofeng, TENG Jingjie*

Solid Waste and Chemicals Management Center, Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100029, China

*Corresponding author, E-mail: tengjingjie@meescc.cn

Abstract In order to evaluate the implementation of “Zero-waste city” construction and solid waste management, a quantitative, objective, scientific, systematic and concise comprehensive index, namely “zero-waste index”, can be constructed. At present, there are big differences in urban development, such as population, economic development, industrial conditions, and pressure of solid waste disposal, which make it difficult to achieve a horizontal comparison between cities about evaluating the implementation of “Zero-waste city” construction and the solid waste management. It is difficult for urban management departments to compare and measure the management gap with other cities. The research of “zero-waste index” should focus on the impact of the difficulty of solid waste management on the implementation of “zero-waste city” construction. Based on the construction indicator system of “Zero-waste city” in China and the construction level and task arrangement of “Zero-waste city” in Zhejiang province, based on the previous study of “zero-waste index”, this study focused on indicators that could reflect the difficulty degree of solid waste management. By pioneering new comprehensive leading sub-indicators to pay attention to the contribution of municipal solid waste management in the provincial department, solid waste utilization and disposal facilities to ensure the ability of management indicators; Optimize the calculation method of sub-index to eliminate incomparable factors such as industrial structure and economic development level among different cities, and unify the calculation principle; Improve data sources to select data sources with good data basis and consistent scale; Adjust classification standard to the national data for classification scheme was calculated on the basis of comprehensive consideration of solid waste management in Zhejiang province in the national level, the objectivity of feedback to improve the actual effect of governance and bridging with the national data will ease into the solid waste management in the process of constructing “zero-waste index”, the method was more scientific and reasonable. The “zero-waste index” in Zhejiang province in a quarter of 2022 calculated based on this method showed that the ranking and score of cities with difficulty in solid waste management were more reasonable. Adjust the partial set reasonable verification, to achieve the degree of difficulty of urban solid waste management, the method of building “zero-waste index” was more reasonable difference evaluation method, further deepen “zero-waste index” to multidimensional comparative analysis and the application of the function, of solid waste management was difficult “Zero-waste city” of the city construction results give affirmation and encouragement.

Keywords “Zero-waste City”; “zero-waste index”; indicator system; solid waste management; urban horizontal comparison