

引用格式:王敏晰, 马宇, 刘威, 等. 生态文明建设与资源循环利用耦合关系[J]. 资源科学, 2021, 43(3): 577-587. [Wang M X, Ma Y, Liu W, et al. Coupling and coordination relationship between resource recycling and ecological civilization construction[J]. Resources Science, 2021, 43(3): 577-587.] DOI: 10.18402/resci.2021.03.14

# 生态文明建设与资源循环利用耦合关系

王敏晰, 马宇, 刘威, 王亚杰, 李新

(成都理工大学, 成都 610059)

**摘要:**中国在资源、环境的约束下实现经济社会的发展,降低资源消耗,提高资源利用率是实现生态文明建设的重要策略之一,探索资源循环利用与生态文明建设的耦合关系对资源生命周期内的环境治理和绿色发展具有重要意义。根据资源循环利用与生态文明建设系统耦合机理,基于物质流分析方法和绿色发展指标构建两系统的评价指标体系,并运用耦合协调度模型,分析中国2007—2017年两系统综合发展水平以及耦合协调程度。结果表明:①资源循环利用综合发展评价指数先降低后增长,2015年受国内外政策、市场环境因素影响达到峰值,生态文明建设综合发展评价指数呈上升趋势,政策作用效果显著,环境治理成效明显;②两系统的耦合协调优化趋势不明显,分为2007—2010年的耦合改善阶段、2011—2014年的耦合降低和2015—2017年的耦合改善阶段,主要影响因素是资源循环利用中资源的高投入、废弃物的高排放以及低水平的资源循环。应从控制资源投入和废物排放量的层面完善资源全生命周期过程中的相关法律制度,加强节约集约利用资源,规范资源在生产系统和生活系统中的流动,进一步采取协调两系统的措施强化两者的耦合关系。

**关键词:**生态文明建设;资源循环利用;物质流分析方法;耦合关系;协调发展策略

DOI: 10.18402/resci.2021.03.14

## 1 引言

生态文明建设是关系中华民族永续发展的根本大计,要自觉把经济社会发展同生态文明建设统筹起来<sup>[1]</sup>。中国自改革开放以来,长期以GDP考核经济社会发展水平,资源的大量投入和消耗导致资源环境压力增加<sup>[2]</sup>,2010年全球生态足迹是生态承载力的1.5倍,而同时中国的生态足迹则是其自身承载力的2.4倍<sup>[3]</sup>,国家未来的生存和发展受到威胁。资源循环利用系统从资源的开采、流通、回收的全生命周期过程的角度建立,该系统同循环经济和生态环保紧密相关<sup>[4]</sup>,生态文明建设系统中不仅强调生态环境保护,也重视资源保护对经济社会发展的效应<sup>[5]</sup>,探究资源在经济社会中的流动情况以及对经济、社会、生态系统产生的影响,不仅是解决生态文明建设中资源浪费和环境污染两个关键问

题的有效途径,更有利于推动资源高效节约利用,对改善和提高生态文明建设水平具有重要意义。资源循环利用与生态文明建设两系统相互独立但息息相关,因此,本文探究资源循环利用与生态文明建设的耦合机理,试图利用中国物质流账户构建资源循环利用评价指标,参考绿色发展指标体系构建生态文明建设指标体系,借鉴物理学模型中的耦合模型,找出制约资源循环利用和生态文明建设耦合协调关系良好发展和相互促进的主要因素,从不同角度为资源管控和优化回收利用给出政策建议,为两系统耦合协调发展提供一定参考。

## 2 文献综述

生态文明建设和资源循环利用近几年已成为研究热点,衡量生态文明建设水平的评价指标较成熟,但是评价资源循环利用效果的指标较少。国外

收稿日期:2020-10-10,修订日期:2021-02-07

基金项目:成都理工大学2019年生态文明研究中心重点课题(ST2019-ZD004)。

作者简介:王敏晰,女,重庆人,教授,博导,研究方向为资源环境政策。E-mail: wangminxi@mail.cdut.edu.cn

通讯作者:李新,男,辽宁沈阳人,教授,博导,研究方向为循环经济。E-mail: lixin2012@cdut.cn

对循环利用程度的研究主要通过分析某一行业的物质流或对某行业进行全生命周期评价,量化各类行业对环境的影响以及对可持续发展的影响,例如皮革行业、水泥厂、成衣工厂等<sup>[6-8]</sup>。中国评价生态环境和经济社会关系发展的相关研究有以下几个方面:第一,利用物质流分析方法构建指标体系评价循环经济发展水平。在国家层面,构建循环经济评价指标时主要借鉴国际上常用的物质流分析方法<sup>[9,10]</sup>,例如参考日本对物质流理论的研究,将循环经济评价指标划分为输入、循环、输出3个维度,评价指标主要包括物质资源的直接投入量和废弃物处置阶段的产出量<sup>[11]</sup>。区域层面,对山东省和黑龙江省的循环经济发展进行评价,提出加速转变发展模式,节约一次性能源,大力推动清洁生产以降低资源消耗强度<sup>[12,13]</sup>。此外,物质流分析方法还广泛应用于分析工业园区或农业园区等园区的资源消耗、物质循环以及废物产生的动态变化情况<sup>[14-16]</sup>。第二,利用物质流分析方法研究区域或城市的经济、社会以及环境间的协调关系,通过构建物质流账户指标体系,对中国31个省市的资源利用效率进行分析,计算经济社会系统与环境的耦合程度<sup>[17,18]</sup>。区域层面,对京津冀3个地区内资源投入量、废物排放量进行计算,找到影响京津冀地区可持续发展水平的关键因素<sup>[19,20]</sup>。城市层面,以上海市、唐山市、广州市南沙区、北京市为例,利用物质流分析方法研究物质投入、废弃物排放与物质代谢效率对生态环境的影响<sup>[21-24]</sup>。第三,以城市或区域为研究对象,探究生态文明建设与区域经济社会的耦合协调发展程度,生态文明建设系统的指标一般包括生态环境、生态经济、生态社会和生态制度<sup>[25,26]</sup>;还有学者从不同角度对旅游产业与生态文明建设耦合协调发展进行评价并提出建议<sup>[27-29]</sup>,以及分析新型城镇化与生态文明建设耦合协调发展及动力因素<sup>[30,31]</sup>,生态文明建设系统的指标基本从人口、经济、社会、文化以及环境的层面构建。

梳理文献发现,学者们注重以区域、城市为单位展开对生态文明建设的研究,虽然借助物质流分析方法探讨经济社会与生态环境的研究逐步增多,但是主要以资源输入端和输出端构建物质流指标体系,缺少对资源循环利用指标的构建。为了探究

资源循环利用与生态文明建设之间的联系,本文通过构建生态文明建设系统和资源循环利用系统指标体系分析两系统的耦合协调程度,以期为推进资源循环利用和生态文明建设两系统耦合协调发展,推动资源高效节约利用和产业结构转型,实现绿色生产和绿色消费,切断生态恶化源头提供借鉴。

### 3 生态文明建设与资源循环利用的耦合指标选取和研究方法

生态文明建设与资源循环利用的耦合,是指两系统内各个要素通过相互作用、相互影响推动两个系统协调发展和共同联动。

#### 3.1 生态文明建设与资源循环利用耦合机理

3.1.1 资源循环利用是指再生的物质资源恢复使用价值的过程

在开采加工、原材料、产品制造、建筑、农业、林业、水产、运输等其他过程中,会产生废渣、废水、废气等工业废弃物,通过循环利用,可以为建材行业、农业、林业、渔业、原材料的生产等提供原材料。从消费环节中回收的废弃物,从开采、加工、使用环节产生的废弃物设备,及检测后可再利用或不能进一步处理的产品,可以经过再生处理后作为其他工业的原料进行再利用<sup>[32]</sup>。资源循环利用中的资源仅指物质资源,能够再循环利用的资源一般包括矿产资源、工业“三废”、农林废物以及再生资源<sup>[33]</sup>,在中国环境年鉴中将前两类资源称为一般工业固体废物。循环利用是“资源—产品—使用—废弃物排放—再利用”的封闭式的反馈经济流程,能够获得较大的经济效益与社会效益,如图1所示。

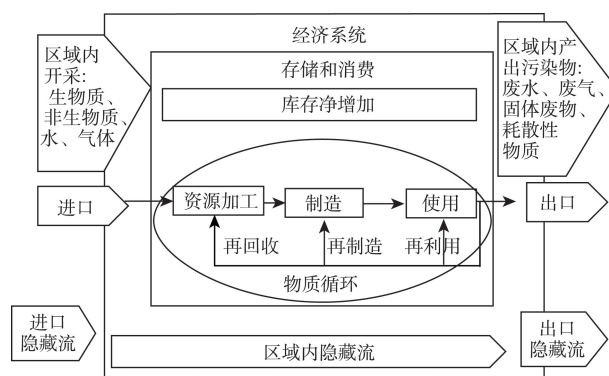


图1 物质流账户分析框架

Figure 1 Analytical framework of material flow accounting

2021年3月

### 3.1.2 生态文明建设与资源循环利用互利共生、相辅相成

20世纪环境问题频发,资源过度消耗、生态环境恶化和失衡、物种数量减少等问题要求我们必须从人类命运共同体的视角出发,推动生态文明建设。从党的十七大到十九大,生态文明建设在经济政策、法律法规和制度等方面的框架体系基本建立。在党的十九大报告中,“物耗”的提出说明中国节约资源和循环利用工作的进一步深入,节约资源是生态文明建设的重要工作部署,“节约优先”就要在生态文明建设思想的指导下实现资源的高效利用和重复利用来降低资源消耗,发展循环经济推动资源节约和环境保护。从这一角度说明,广义的资源循环利用包括物质资源的投入和产出,因为资源投入量和废弃物排放量能够展现资源循环利用程度,只关注资源循环利用量而忽视资源在开采阶段和处置阶段的情况,难以实现有效的资源循环利用。资源循环利用系统和生态文明建设系统的耦合机理如图2所示。

生态文明建设水平对提高资源循环利用水平最直接影响表现在,政府颁布相关政策推进循环经济规模的形成、建立资源循环利用体系,形成企业、园区、废物回收以及社会4个层面循环经济发展模式。从企业层面,在生态文明思想的指导下,率先发展具有先进水平的战略性新兴产业,努力实现经

济发展方式转变。加强企业与科研高校合作,开发新技术、新产品、新工艺、新设备,利用互联网技术提升企业技术创新、组织管理创新、运营模式创新能力,实现企业资源利用技术和管理水平的发展;对公民而言,通过广告宣传、公益活动等方式增强公民再利用资源的意识,使绿色生活内化为自觉行为<sup>[34]</sup>。资源循环利用理念的传播能够激发社会成员建设生态文明的自觉性。根据资源循环利用“3R”原则中的“减量化原则”,要求社会减少对资源的消耗,加强资源管控,严守资源环境生态红线,遏制生态系统退化以防范环境风险。实现资源“再使用”与“再循环”,要求资源必须从源头进行全生命周期管理,将产业链上下游进行整合,有利于绿色产业生产和发展,资源、能源集约利用<sup>[35]</sup>;企业与消费者之间通过共建协作桥梁,开发绿色产品促使绿色消费。

## 3.2 指标体系构建

### 3.2.1 评价指标的选取

政策支持、资源利用技术生态化以及内生动力生态化虽然能够表现出生态文明建设对资源循环利用的推动作用,但是依据这3个特性难以设置指标准确描述资源循环利用的特点,因此本文基于物质流分析框架,建立资源循环利用评价指标体系。物质流分析法通过量化经济活动中物质资源的消耗和流动,帮助我们认识到社会—经济系统和生态

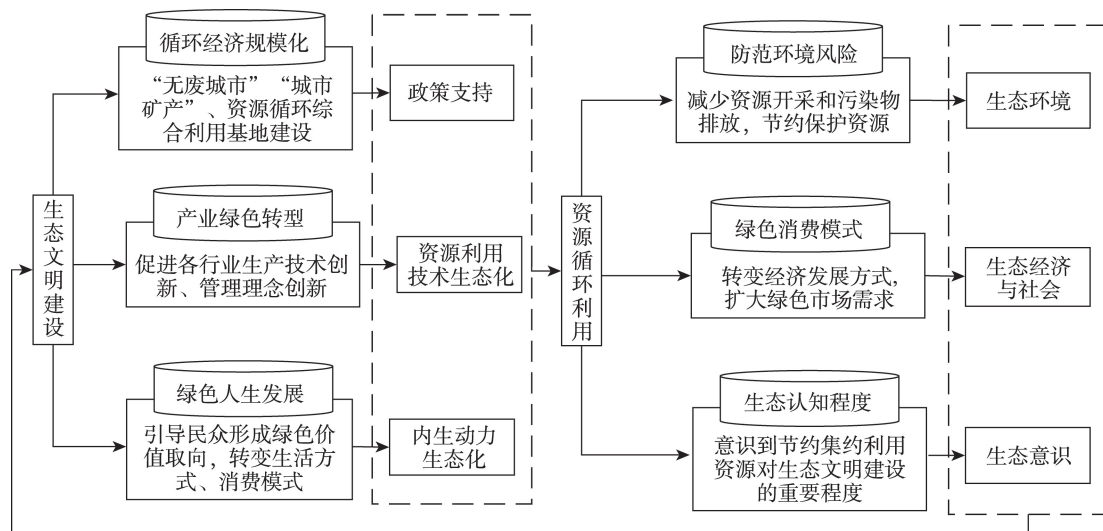


图2 生态文明建设与资源循环利用耦合协调机理

Figure 2 A diagram for the mechanism of the coupling and coordination degree of resource recycling and ecological civilization construction



—环境系统之间的物质交换,具有较强的政策导向性<sup>[36,37]</sup>。

分析中国生态文明建设水平与资源循环利用耦合协调发展关系,数据收集遵循科学性、完备性的原则,研究选取中国2007—2017年相关数据,如表1、表2所示。数据来源于《中国环境年鉴》《中国农村年鉴》和《中国循环经济年鉴》。

3.2.2 评价指标解释

按照物质流分析方法建立资源循环利用系统指标,包括投入、排放和循环三部分,如表2所示。资源的投入是经济发展的保证,排放能够衡量污染

物对环境承载力的影响,循环是衡量资源再利用水平的关键因素。由于只考虑物质的投入与产出,根据公式:直接物质投入=直接物质产出+净增存量,因此将净增存量归到资源排放指标中<sup>[38]</sup>,废旧资源综合利用量的划分依据《中国资源循环利用年度报告(2014)》。

生态文明建设方面,在全国生态环境保护大会上习近平强调优先解决突出的生态环境问题即民生关注的领域,因此生态环境从大气、水、土壤污染防治三大行动的层面选取指标。从经济社会角度来看,社会经济发展必须与生态文明相协调,从节

表1 资源循环利用和生态文明建设评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of resource recycling and ecological civilization construction

一级指标	二级指标	三级指标	权重	指标性质
资源循环利用R	资源投入R1	直接物质输入(DMI)R11	0.1132	负向
		国内物质隐藏流(HF)R12	0.0931	负向
		物质总投入(TMI)R13	0.0955	负向
		直接物质使用强度R14	0.0940	负向
	资源排放R2	物质直接排出量(DMO)R21	0.1196	负向
		物质总排出量(TMO)R22	0.0932	负向
		净增存量(NAS)R23	0.1143	负向
		物质直接排放强度R24	0.0620	负向
	资源循环R3	废旧资源综合利用量R31	0.0111	正向
		物质综合利用效率R32	0.0431	正向
		资源产出率R33	0.1611	正向
生态文明建设E	生态环境E1	能源消费总量E11	0.1717	负向
		二氧化硫排放总量E12	0.1928	负向
		河流达到或好于Ⅲ类水体比例E13	0.0962	正向
		地级以上城市环境空气质量达标(达到或优于二级标准)城市E14	0.0904	正向
		水土流失面积占国土面积比例E15	0.3019	负向
		森林覆盖率E16	0.1472	正向
		国内生产总值E21	0.1107	正向
		研究与试验发展经费支出占GDP比重E22	0.0834	正向
	生态经济与社会E2	第三产业增加值比重E23	0.1803	正向
		绿色出行E24	0.0475	正向
		农村卫生厕所普及率E25	0.0545	正向
		新能源汽车保有量市场占比E26	0.4378	正向
		生活垃圾无害化处理率E27	0.0858	正向
		环境污染治理投资占GDP比重E31	0.2308	正向
	生态意识E3	受理环境行政复议案件数E32	0.3262	正向
		各类环保培训人次E33	0.2602	正向
		开展污染源监督性监测的重点企业数E34	0.1828	正向

2021年3月

表2 中国物质流基本物质资源成分

Table 2 Composition of the basic material resources of China's material flow

指标内容	物质类别	物质流账户内容	数据源
投入	生物质	粮食类	《中国统计年鉴》
		水产品	《中国矿业年鉴》
		畜产品	肉类、牛奶、羊绒、禽蛋、蜂蜜
		林产品	木材
	非生物质	化石燃料	石油、煤、天然气
		金属矿物质	铁、铜、铝、铅、锌、镍、锡、锑、镁、钛、汞等10种有色金属矿
		非金属矿物质	水泥、石灰石、大理石、石膏
排放	进口量	生物质与非生物质进口量	
	隐藏流	生物质与非生物质的隐藏流	系数根据相关文献推算
	废水排放量	氨氮排放量、总磷排放量	《中国统计年鉴》《中国循环经济年鉴》
	废气排放量	SO <sub>2</sub> 排放量、NO <sub>x</sub> 排放量、烟尘排放量	
	固体废物排放量	工业固废处置量、生活垃圾清运量、粪便清运量	相关文献及各省统计年鉴
	耗散性物质	化肥、农膜、农药	《中国农村年鉴》
	出口量	生物质与非生物质出口量	《中国统计年鉴》
	隐藏流	生物质与非生物质隐藏流	系数根据相关文献推算
	净增存量	净增存量(NAS)=直接物质投入(DMI)-直接物质产出(DMO)	—
	循环	一般工业固体废物综合利用	尾矿、粉煤灰、煤矸石、冶炼废渣、炉渣
农林废物综合利用		秸秆	《全国农作物秸秆资源调查与评价报告》 <sup>[39]</sup> 、《秸秆资源评价与利用研究》
再生资源综合利用		废钢铁、废有色金属、废纸、废塑料、废旧纺织品、废旧轮胎、废弃电器电子产品、报废机动车、废电池、废玻璃	《中国再生资源回收行业发展报告》《中国循环经济年鉴》

约资源和保护环境的产业结构、生产生活方式的层面选取指标。2014年环保部公布的《全国生态文明意识调查》调研报告显示,公众对生态文明的总体认同度、知晓度、践行度呈现出“高认同、低认知、践行度不够”的特点。此外,大量企业在生产经营上积极推进节能减排,但是仍有企业生态文明意识淡薄。从政府、企业和公民三方面选取指标分析生态意识是否逐年提高。

### 3.3 研究方法

#### 3.3.1 熵权法

熵权法根据指标熵权判断不同指标对整个系统的影响程度。资源循环利用和生态文明建设的原始数据矩阵分别为 $X=\{x_{ij}\}$ ,  $Y=\{y_{ij}\}$ , 其中 $x_{ij}$ 是资源循环利用指标体系中第 $i$ 年的第 $j$ 个评价指标

样本值,  $y_{ij}$ 为生态文明建设指标体系中第 $i$ 年的第 $j$ 个评价指标样本值。

由于各指标的量纲、数量级均有差异,正向指标和负向指标因量纲差异会导致评价结果不准确,所以为了保证各指标具有可比性,通过分析各指标性质,对资源循环利用和生态文明建设的各指标进行无量纲和非负化的标准化处理。

正向指标和负向指标的计算方法为:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{1j}, x_{2j}, x_{3j}, \dots, x_{nj})}{\max(x_{1j}, x_{2j}, x_{3j}, \dots, x_{nj}) - \min(x_{1j}, x_{2j}, x_{3j}, \dots, x_{nj})} \quad (1)$$

$$x'_{ij} = \frac{\max(x_{1j}, x_{2j}, x_{3j}, \dots, x_{nj}) - x_{ij}}{\max(x_{1j}, x_{2j}, x_{3j}, \dots, x_{nj}) - \min(x_{1j}, x_{2j}, x_{3j}, \dots, x_{nj})} \quad (2)$$

熵权法指标赋值计算方法为:

(1)计算第 $j$ 项指标下第 $i$ 年占该指标的比重 $T_{ij}$ 。

$$T_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^M x_{ij}} \quad (0 \leq T_{ij} \leq 1) \quad (3)$$

(2) 计算第  $j$  项指标的信息熵值  $P_j$ 。

$$P_j = -\frac{1}{\ln M} \sum_{i=1}^M T_{ij} \ln T_{ij} \quad (4)$$

(3) 计算第  $j$  项指标信息效用值  $D_j$ 。

$$D_j = 1 - P_j \quad (5)$$

(4) 计算评价指标权重。

由此, 得到资源循环利用第  $j$  个评价指标的权重  $w_{ij}$ :

$$w_j = \frac{D_j}{\sum_{j=1}^n D_j} \quad (6)$$

(5) 两系统的资源循环利用和生态文明建设的综合发展评价指数分别为  $U_r$ 、 $U_k$ , 其中  $U_r$  如公式 (7),  $U_k$  同理。

$$U_r = \sum_{j=1}^n w_j x_{ij} \quad (7)$$

### 3.3.2 构建耦合协调评价模型

本文基于物理学中的耦合度模型分析资源循环利用系统和生态文明系统的相互关系, 如公式 (8)。

$$C = \left[ \frac{U_r \times U_k}{(U_r + U_k) \times (U_r + U_k)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

式中:  $C$  为耦合度,  $C$  的取值区间为  $[0, 1]$ ,  $C$  越大表明两者之间耦合程度越高, 相互作用和相互影响越

强。耦合协调模型如公式 (9)、(10)。

$$T = \alpha U_r + \beta U_k \quad (9)$$

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (10)$$

式中:  $T$  为两系统间的综合评价指数;  $D$  为资源循环利用系统和生态文明建设系统的耦合协调度;  $\alpha$ 、 $\beta$  为待定系数, 文章认为资源循环利用与生态文明建设重要程度相同, 因此  $\alpha = \beta = 0.5$ 。对资源循环利用和生态文明建设的耦合协调度进行等级分类, 如表 3 所示。

## 4 结果与分析

根据耦合协调度模型, 分别计算出 2007—2017 年中国资源循环利用系统与生态文明建设系统的综合评价指数  $U_r$ 、 $U_k$ 、耦合度及耦合协调度, 并以此划分耦合类型, 如表 4 和图 3 所示。

### 4.1 资源循环利用与生态文明建设发展水平

从表 4 和图 3 中可以看出, 2007—2017 年中国资源循环利用系统综合发展指数  $U_r$  较为平缓, 生态文明建设系统综合发展指数  $U_k$  稳步提高。从资源循环利用  $U_r$  发展来看, 2007 年的综合发展指数较

表 3 耦合协调度等级划分

Table 3 Classification of coupling and coordination degrees

耦合协调度	耦合协调等级	耦合协调度	耦合协调等级
0.000~0.099	极度失调	0.500~0.599	勉强协调
0.100~0.199	严重失调	0.600~0.699	初级协调
0.200~0.299	中度失调	0.700~0.799	中级协调
0.300~0.399	轻度失调	0.800~0.899	良好协调
0.400~0.499	濒临失调	0.900~1.000	优质协调

表 4 2007—2017 年中国资源循环利用与生态文明建设综合评价指数、耦合协调度数值及等级

Table 4 Comprehensive evaluation index values of resource recycling and ecological civilization construction and their coupling and coordination degrees and levels, 2007-2017

年份	$U_r$	$U_k$	$C$	$T$	$D$	耦合协调等级
2007	0.6433	0.4159	0.4454	0.7623	0.5827	勉强协调
2008	0.6004	0.8488	0.4983	0.9244	0.6787	初级协调
2009	0.5587	0.9400	0.5000	0.9288	0.6814	初级协调
2010	0.4715	1.2012	0.4869	0.9784	0.6902	初级协调
2011	0.3355	1.1338	0.4688	0.8413	0.6280	初级协调
2012	0.3200	1.3410	0.4438	0.9182	0.6384	初级协调
2013	0.2239	1.3773	0.3976	0.8574	0.5839	勉强协调
2014	0.1947	1.4371	0.3607	0.8491	0.5534	勉强协调
2015	0.7249	1.9930	0.4635	1.4496	0.8197	中级协调
2016	0.4299	1.8959	0.4040	1.1930	0.6942	初级协调
2017	0.3768	2.3137	0.3471	1.3452	0.6833	初级协调

2021年3月

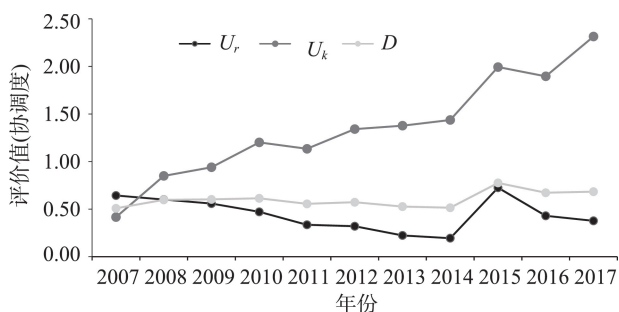


图3 2007—2017年资源循环利用与生态文明建设综合发展水平及耦合协调度

Figure 3 Comprehensive development levels of resource recycling and ecological civilization construction and their coupling and coordination degrees, 2007-2017

高,为0.6433;随着2008年金融危机、汶川地震等事件的发生,中国增大了对基础建设的投资,由于资源投入不断增加,2014年降到谷底为0.1947,但2015年迅速实现反弹且达到0.7249。2015年是“十二五”的收官之年,结合政府“十二五”期间陆续出台的一系列资源循环利用扶持和污染防治的相关政策,工业固体废物和农林废弃物的综合利用得到提高,同时鼓励企业淘汰落后产能、更换老旧设备,大量老旧船舶和工业设备退出市场;另外,2015年网购处于上升趋势,废纸箱纸板回收量明显增加,全年回收总量为4832万t,同比增长9.3%。因此,中国资源循环利用综合发展水平提高,而在2016—2017年 $U_r$ 再一次下降,但是二级指标中的资源循环要比资源投入、废物排放高(图4),与2015年前相比,资源循环利用政策略显成效。自2012年以来,中国再生资源市场受国内外经济形势和大宗商品价格下降等的影响,经济下行压力加大,再生资

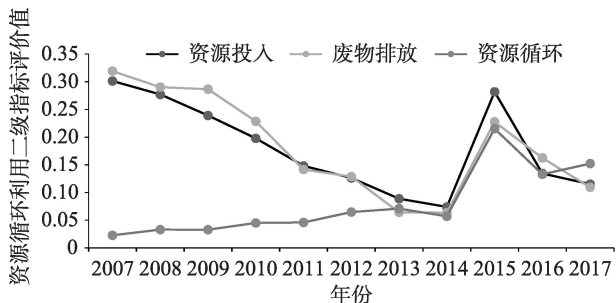


图4 2007—2017年资源循环利用系统的综合发展评价二级指标

Figure 4 Comprehensive development levels of resource recycling's level II indicators, 2007-2017

源行业的企业经营困难增加,虽然大量行业能够平稳运行,但是资源循环利用综合发展水平没有显著改善。

生态文明建设 $U_k$ 在2007年仅为0.4159,之后几年内 $U_k$ 稳定增长。2007年首次提出生态文明,在此之后第三产业发展迅猛,中央到地方通过颁布政策引导各行业向绿色转型。从2012年的1.341到2017年的2.3137之间生态文明建设得到快速发展,2012年党的十八大报告首次将“生态文明建设”单独列为一部分并进行详细阐述,之后建立了许多制度和机制完善生态文明制度体系,一些制度能够推动自然资源的合理开发和高效利用,不断强化生态文明领域统筹协调水平。各个省会、各级城市为更好发挥区域优势积极参与建设生态文明示范区,2014年福建省作为示范区率先成为生态文明先行示范区,2015年“两山论”成为治国理政的重要理念,同年中共中央、国务院出台《关于加快推进生态文明建设的意见》,为未来出台相关政策提供了指导方向。

#### 4.2 资源循环利用与生态文明建设耦合协调度

从表4和图3中可以看出,2007—2017年中国资源循环利用和生态文明建设的耦合协调发展趋势相对平缓,从2007年的勉强协调稳定到2017年初级协调,两者的相互促进作用不断加强但是不明显。整体来看,两个系统的耦合协调发展度可以分为3个阶段:2007—2010年的耦合改善、2011—2014年的耦合降低、2015—2017年耦合改善。

2007—2010年,耦合协调度由2007年的0.5827增至2010年的0.6902。2007—2008年间,产业结构优化水平稳步上升,在2008年金融危机后高耗能、高污染的传统产业又成为经济发展的主要力量,对两系统耦合度造成不利影响。但2008年国家完成了多项环境保护工作,并指出继续加强环保基础能力建设,提出了“以奖促治、以奖代补”等重要政策措施。2009年生态环境部颁布关于印发《2009—2010年全国污染防治工作要点》的通知中提到加快落实重点流域海域污染防治规划、全面推进大气污染防治工作、加强上市公司环保核查与监管等任务,促使生态文明建设稳步发展。2010年起,环境污染治理投资占GDP比重高达1.84%,部分环境质量指标持续好转,污染减排任务超额完成,同时财



政部加大中央财政投入力度支持矿山治理,农村环境治理投资继续增加,“以奖促治”和“以奖代补”政策实施3年来,环境综合整治效果明显,因此两大系统耦合协调度变化率缓慢增加。2011—2014年两系统耦合协调度由0.6280降低至0.5534。2011年中国城镇人口比例达到51.27%,为了满足城市的基础设施,PPP(政府与社会资本合作)工程在2011年后迅猛发展<sup>[40]</sup>,由于经济以及社会发展对资源的大量需求远超资源的循环利用量,大气、水、土壤污染状况严重,2013年多个地区出现高浓度、大范围雾霾。2012年党的十八大首次将生态文明建设正式纳入了中国特色社会主义“五位一体”总布局 and “四个全面”战略布局,并在十八届三中全会提出编制自然资源资产负债表,但是政策作用存在一定的滞后性效应。循环利用的资源不断增加,生态文明建设不断取得进步,由于资源投入以及废物排放远远多于可循环资源,污染形势严峻,资源循环利用综合评价价值持续降低,耦合协调程度大幅下跌。

2015年两系统为中级协调,耦合协调度为0.8197,生态文明建设发展以及资源循环利用都达到峰值;2016年和2017年耦合协调度降低,但是较为稳定,分别为0.6942和0.6833。2010年国务院提出的战略性新兴产业发展规划,资源循环利用产业于2012年归为其中,2014年国务院颁布壮大资源循环利用产业的政策,相关技术设施得到一定提升。各类循环经济试点在“十二五”期间不断增加,到2015年末资源循环利用产业产值超过1.5万亿元,由于绿色金融政策在2008—2017年间规模持续扩大,为资源循环利用产业未来发展提供有力的支持,2015年后该产业对生态文明建设作用显著。2015年9月国务院印发的《生态文明体制改革总体方案》提出完善资源总量管理和全面节约制度等内容,有效推动资源投入与排放减量化,资源循环利用在良好的政策环境下稳定发展,生态文明建设理念统领作用明显,两系统相互促进作用稳步提升。

## 5 结论及建议

### 5.1 结论

通过对基于耦合模型的资源循环利用与生态文明建设协调发展研究,本文得出了以下主要结论:

(1)中国资源循环利用系统综合发展评价指数增长缓慢,生态文明建设系统综合评价指数稳步增长。生态文明建设逐步完善,但是由于中国的资源循环利用仍然处于不成熟的阶段,资源循环利用效果不明显,资源全生命周期的管理体系不完善,导致资源的投入以及消耗量较大,排放的废弃物中包含可循环利用的资源较多,有效利用以及循环利用的量相对较少。

(2)中国资源循环利用和生态文明建设耦合协调程度由2007年的勉强协调逐步发展到2017年的初级协调,虽然2010—2014年为勉强协调但是在2015年达到中级协调,总体来看,两者间优化趋势不明显,相互促进作用效果较差,耦合协调发展趋势不明显,生态文明建设发展受低水平资源循环利用较大的牵制,两者耦合关系受资源的投入与废弃物排放影响较大。

### 5.2 建议

通过分析2007—2017年的资源循环利用和生态文明建设综合发展指数和两系统耦合关系,为进一步提高资源循环利用水平,促进生态文明建设提出以下建议:

(1)控制资源投入和废物排放。自然资源的过量投入和废弃物的过量排放对两系统耦合程度造成较大的影响。中央和地方政府层面,要完善自然资源国家所有权制度,合理分配对自然资源的处置权力,严厉打击非法开采矿山等活动,积极推动省域间合作,共同完善生态环境监管体制,建立健全省、市、县三级能耗、物耗目标责任分解机制。合理规划布局,积极推进大宗固体废弃物综合利用基地建设,加强技术创新、管理创新,提高大宗固体废弃物处置利用水平。企业层面,加强与高校合作,履行生产者责任延伸制度的责任与义务,在生态设计、回收利用等方面落实资源环境责任,研究中国电子电器、塑料、生活垃圾等产品在全生命周期范围内对环境造成的影响,提高废弃物使用率避免造成浪费。

(2)节约集约利用资源,构建生产系统和生活系统的循环链。整合规范生产生活系统内资源流动,发挥政府主导作用,发挥模范企业示范作用,统筹生产生活资源废弃物回收利用。合理规划循环



2021年3月

经济示范园区,将开采、流通、废弃的再生物质资源重新投入生产过程中,同时加快推进绿色出行和垃圾分类处置,构建再生资源回收体系。中国近些年资源循环利用产业缓慢发展,但是在国际上仍处于落后水平,需要加强汽车拆解、废旧轮胎无害化以及废弃电子电器产品的分解等回收技术、全生命周期管理的研究。

## 参考文献(References):

- [1] 习近平. 推动我国生态文明建设迈上新台阶[R/OL]. (2019-01-31) [2020-04-20]. [http://www.qstheory.cn/dukan/qs/2019-01/31/c\\_1124054331.htm](http://www.qstheory.cn/dukan/qs/2019-01/31/c_1124054331.htm). [Xi J P. Promoting the Construction of Ecological Civilization to a New Level[R/OL]. (2019-01-31) [2020-04-20]. [http://www.qstheory.cn/dukan/qs/2019-01/31/c\\_1124054331.htm](http://www.qstheory.cn/dukan/qs/2019-01/31/c_1124054331.htm).]
- [2] 何克东, 邓玲. 我国生态文明建设的实践困境与实施路径[J]. 四川师范大学学报(社会科学版), 2013, 40(6): 101-105. [He K D, Deng L. The practical difficulties and the implementing way to ecological civilization in China[J]. Journal of Sichuan Normal University (Social Sciences Edition), 2013, 40(6): 101-105.]
- [3] 张玉林, 郭辉. 消费社会的资源-环境代价: “2019 中国人文社会科学环境论坛”研讨综述[J]. 南京工业大学学报(社会科学版), 2020, 19(1): 1-11. [Zhang Y L, Guo H. The resource and environmental cost of the consumer society: A review on the “2019 Chinese Humanity and Social Sciences Environment Forum” [J]. Journal of Nanjing University of Technology (Social Science Edition), 2020, 19(1): 1-11.]
- [4] 姚海琳, 张翠虹. 中国资源循环利用产业政策演进特征研究[J]. 资源科学, 2018, 40(3): 567-579. [Yao H L, Zhang C H. The evolution of China's resource recycling industry policy[J]. Resources Science, 2018, 40(3): 567-579.]
- [5] 诸大建. 解读生态文明下的中国绿色经济[J]. 环境保护科学, 2015, 41(5): 16-21. [Zhu D J. Interpretation of China's green economy under ecological civilization[J]. Environmental Protection Science, 2015, 41(5): 16-21.]
- [6] Joseph K, Nithya N. Material flows in the life cycle of leather[J]. Journal of Cleaner Production, 2008, 17(7): 676-682.
- [7] Chen C, Habert G, Bouzidi Y, et al. Environmental impact of cement production: Detail of the different processes and cement plant variability evaluation[J]. Journal of Cleaner Production, 2009, 18(5): 478-485.
- [8] Herva M, Alvarez A, Roca E. Combined application of energy and material flow analysis and ecological footprint for the environmental evaluation of a tailoring factory[J]. Journal of Hazardous Materials, 2012, 237: 231-239.
- [9] 诸大建. 最近 10 年国外循环经济进展及对中国深化发展的启示[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(8): 9-16. [Zhu D J. A review of circular economy development in European countries over the last decade and its implications to deepen Chinese's circular economy[J]. China Population, Resources and Environment, 2017, 27(8): 9-16.]
- [10] Wang H, Schandl H, Wang X, et al. Measuring progress of China's circular economy[J]. Resources Conservation and Recycling, 2020, 163: 105070.
- [11] 刘滨, 王苏亮, 吴宗鑫. 试论以物质流分析方法为基础建立我国循环经济指标体系[J]. 中国人口·资源与环境, 2005, 15(4): 32-36. [Liu B, Wang S L, Wu Z X. Exploration on founding the index system of circular economy of China on the basis of material flow analysis[J]. China Population, Resources and Environment, 2005, 15(4): 32-36.]
- [12] 耿殿明, 刘佳翔. 基于物质流分析的区域循环经济发展动态研究: 以山东省为例[J]. 华东经济管理, 2012, 26(6): 51-54. [Geng D M, Liu J X. Dynamic study of regional circular economy development based on material flow analysis: Take Shandong Province as an example[J]. East China Economic Management, 2012, 26(6): 51-54.]
- [13] 于波涛. 黑龙江省发展循环经济的资源消耗强度分析与预测[J]. 商业研究, 2008, (2): 29-33. [Yu B T. The analysis and forecast of the intensity of resources consuming for the recycling economy in Heilongjiang Province[J]. Commercial Research, 2008, (2): 29-33.]
- [14] 董芳青, 冯真真, 楚春礼. 适用于静脉产业园物质流分析的指标体系建设探讨及案例分析[J]. 未来与发展, 2019, 43(4): 41-47. [Dong F Q, Feng Z Z, Chu C L. Discussion on the construction of indicator system for MFA in venous industrial park and case analysis[J]. Future and Development, 2019, 43(4): 41-47.]
- [15] 曾辉祥, 王一羽, 王冬琳, 等. 基于分室模型的工业园区资源价值流分析[J]. 会计之友, 2019, (20): 40-47. [Zeng H X, Wang Y Y, Wang D L, et al. Resource value stream analysis of industrial park based on compartment model[J]. Friends of Accounting, 2019, (20): 40-47]
- [16] 员学锋, 姚一晨, 宋成军, 等. 基于物质流和能量流分析的循环农业园产业链优化[J]. 农业工程学报, 2018, 34(15): 228-237. [Yuan X F, Yao Y C, Song C J, et al. Industrial chain optimization of circular agricultural garden based on analysis of material flow and energy flow[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(15): 228-237.]
- [17] Fan Y P, Fang C L, Zhang Q. Coupling coordinated development between social economy and ecological environment in Chinese provincial capital cities—assessment and policy implications[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 229: 289-298.
- [18] 夏艳清, 李书音. 基于物质流分析的区域经济系统环境效率评

- 价[J]. 资源科学, 2017, 39(9): 1670–1681. [Xia Y Q, Li S Y. Environmental efficiency evaluation of regional economic systems based on material flow analysis[J]. Resources Science, 2017, 39(9): 1670–1681.]
- [19] 戴铁军, 安佰超, 王婉君. 基于物质流分析的京津冀生态质量空间耦合演化研究[J]. 生态经济, 2018, 34(5): 137–142. [Dai T J, An B C, Wang W J. Study on spatial coupling evolution of ecological quality in Beijing–Tianjin–Hebei based on material flow analysis[J]. Ecological Economy, 2018, 34(5): 137–142.]
- [20] 李健, 王尧, 王颖. 京津冀区域经济发展与资源环境的脱钩状态及驱动因素[J]. 经济地理, 2019, 39(4): 43–49. [Li J, Wang Y, Wang Y. Decoupling analysis and influence factors between resource environment and economic growth in Beijing–Tianjin–Hebei Region[J]. Economic Geography, 2019, 39(4): 43–49.]
- [21] 黄晓芬, 诸大建. 上海市经济–环境系统的物质输入分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2007, 17(3): 96–99. [Huang X F, Zhu D J. Material input analysis of Shanghai economic and environmental system[J]. China Population, Resources and Environment, 2007, 17(3): 96–99.]
- [22] 韩瑞玲, 朱绍华, 李志勇. 基于物质流分析方法的唐山市经济与环境关系的协整检验和分解[J]. 应用生态学报, 2015, 26(12): 3835–3842. [Han R L, Zhu S H, Li Z Y. Cointegration test and variance decomposition for the relationship between economy and environment based on material flow analysis in Tangshan City, Hebei, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(12): 3835–3842.]
- [23] 彭焕龙, 董家华, 曾思远, 等. 区域物质流的资源环境效率分析评价方法及应用研究: 以广州市南沙区为例[J]. 生态经济, 2017, 33(1): 38–42. [Peng H L, Dong J H, Zeng S Y, et al. Evaluation methods of resources and environment efficiency analysis and application of regional material flow: A case study of Nansha District, Guangzhou[J]. Ecological Economy, 2017, 33(1): 38–42.]
- [24] 戴铁军, 刘瑞, 王婉君. 物质流分析视角下北京市物质代谢研究[J]. 环境科学学报, 2017, 37(8): 3220–3228. [Dai T J, Liu R, Wang W J. Material metabolism in Beijing by material flow analysis[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2017, 37(8): 3220–3228.]
- [25] 王羽, 王宪恩. 基于生态文明理念的区域经济社会与资源环境耦合协调发展[J]. 环境保护, 2018, 46(6): 59–61. [Wang Y, Wang X E. The coupling and coordinated development between regional economic society and resource environment based on eco-civilization[J]. Environmental Protection, 2018, 46(6): 59–61.]
- [26] 刘松, 石宝军. 生态文明视域下雄安新区及其周边区域生态经济耦合协调分析[J]. 生态经济, 2018, 34(11): 227–231. [Liu S, Shi B J. Analysis on coupling eco-economic coordination of Xiong'an new district and its surrounding areas from the perspective of ecological civilization[J]. Ecological Economy, 2018, 34(11): 227–231.]
- [27] 程慧, 徐琼, 郭尧琦. 我国旅游资源开发与生态环境耦合协调发展的时空演变[J]. 经济地理, 2019, 39(7): 233–240. [Cheng H, Xu Q, Guo Y Q. Temporal and spatial evolution of the coupling coordinated development between tourism resources development and ecological environment in China[J]. Economic Geography, 2019, 39(7): 233–240.]
- [28] 杨承玥, 刘安乐, 明庆忠, 等. 资源型城市生态文明建设与旅游发展协调关系: 以六盘水市为实证案例[J]. 世界地理研究, 2020, 29(2): 366–377. [Yang C Y, Liu A L, Ming Q Z, et al. Association mechanism between ecological civilization construction and tourism development of resource-based city: Taking Liupanshui City as an example[J]. World Regional Studies, 2020, 29(2): 366–377.]
- [29] 时朋飞, 李星明, 熊元斌. 区域美丽中国建设与旅游业发展耦合关联性测度及前景预测: 以长江经济带11省市为例[J]. 中国软科学, 2018, (2): 86–102. [Shi P F, Li X M, Xiong Y B. Coupling measurement and prospect forecast of regional “Beautiful China” construction and tourism industry development: A case study of 11 provinces along the Yangtze River economic belt[J]. China Soft Science, 2018, (2): 86–102.]
- [30] 邓宗兵, 宗树伟, 苏聪文, 等. 长江经济带生态文明建设与新型城镇化耦合协调发展及动力因素研究[J]. 经济地理, 2019, 39(10): 78–86. [Deng Z B, Zong S W, Su C W, et al. Research on coupling coordination development between ecological civilization construction and new urbanization and its driving forces in the Yangtze River economic zone[J]. Economic Geography, 2019, 39(10): 78–86.]
- [31] 杨立, 黄涛珍. 基于耦合协调度模型的生态文明与新型城镇化作用机理及关系研究[J]. 生态经济, 2019, 35(12): 60–66. [Yang L, Huang T Z. Mechanism and interrelationship between ecological civilization and new urbanization based on coupling coordination model[J]. Economic Geography, 2019, 35(12): 60–66.]
- [32] 刘维平. 资源循环概论[M]. 北京: 化学工业出版社, 2017. [Liu W P. Introduction to Resource Circulation[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2017.]
- [33] 国家发展和改革委员会. 中国资源综合利用年度报告(2014)[R/OL]. (2014–10–15) [2020–04–20]. [https://www.ndrc.gov.cn/fggz/hjzy/zyzhly/201410/t20141015\\_1135513.html](https://www.ndrc.gov.cn/fggz/hjzy/zyzhly/201410/t20141015_1135513.html). [National Development and Reform Commission. The Annual Report of China Resources Comprehensive Utilization(2014) [R/OL]. (2014–10–15) [2020–04–20]. [https://www.ndrc.gov.cn/fggz/hjzy/zyzhly/201410/t20141015\\_1135513.html](https://www.ndrc.gov.cn/fggz/hjzy/zyzhly/201410/t20141015_1135513.html).]
- [34] 邓玲. 我国生态文明发展战略及其区域实现研究[M]. 北京: 人民出版社, 2014. [Deng L. China's Ecological Civilization and Regional Development[M]. Beijing: People's Publishing House, 2014.]
- [35] 张墨, 高帅, 陈静. 基于生态文明观的循环经济发展思路[J]. 生

- 态经济, 2014, 30(1): 45–46. [Zhang M, Gao S, Chen J. The development of circular economy based on the ecological civilization[J]. *Economic Geography*, 2014, 30(1): 45–46.]
- [36] 徐瑾, 于志昊, 李梅彤, 等. 以天津市为例的城市水代谢系统安全评价研究[J]. *中国给水排水*, 2018, 34(1): 77–81. [Xu J, Yu Z H, Li M T, et al. Research on safety evaluation of urban water metabolism system: Taking Tianjin as an example[J]. *China Water & Wastewater*, 2018, 34(1): 77–81.]
- [37] 毕军, 黄和平, 袁增伟, 等. 物质流分析与管理[M]. 北京: 科学出版社, 2009. [Bi J, Huang H P, Yuan Z W, et al. *Material Flow Analysis and Management*[M]. Beijing: Science Press, 2009.]
- [38] 王红. 物质流核算与分析: 理论方法与实际应用[M]. 北京: 经济管理出版社, 2019. [Wang H. *Material Flow Analysis*[M]. Beijing: Economy & Management Publishing House, 2019.]
- [39] 毕于运. 秸秆资源评价与利用研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2010. [Bi Y Y. *Study on Straw Resources Evaluation and Utilization in China*[D]. Beijing: Chinese Academy of Agriculture Sciences, 2010.]
- [40] 伍迪, 王守清. PPP模式在中国的研究发展与趋势[J]. *工程管理学报*, 2014, 28(6): 75–80. [Wu D, Wang S Q. Research development and trend of public private partnership in China[J]. *Journal of Engineering Management*, 2014, 28(6): 75–80.]

## Coupling and coordination relationship between resource recycling and ecological civilization construction

WANG Minxi, MA Yu, LIU Wei, WANG Yajie, LI Xin

(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** To achieve stable economic and social development under the current resource constraints, China must reduce resource consumption and increase resource use efficiency. As the core of a circular economy, resource recycling is closely related to the construction of ecological civilization. Exploring the coupling relationship between resource recycling and ecological civilization construction is of great significance for environmental governance in the resource life cycle and for green development. Based on the material flow analysis method and green development index, this study constructed an evaluation index system of the two systems, then used a coupling and coordination model to analyze the integration of the two systems in China from 2007 to 2017. The results show that: (1) The comprehensive development evaluation index of resource recycling first decreased and then increased during the study period, and the comprehensive development evaluation index of ecological civilization construction showed an upward trend; (2) The coupling and coordination and optimization of the two systems are not obvious, and the main influencing factors are resource input, waste production, and the low-level resource recycling. It is necessary to improve the relevant legal systems in the whole life cycle of resources from the level of controlling resource input and waste discharge, strengthen the conservation and intensive use of resources, regulate the flow of resources in the production system and the living system. Taking measures for coordinating the two systems and strengthen their coupling relationship.

**Key words:** ecological civilization construction; resource recycling; material flow analysis; coupling and coordination degree; coordinated development