

“十三五”国家重点出版物出版规划项目
中国工程院重大咨询项目 中国生态文明建设重大战略研究丛书(II)

第三卷

固体废物分类资源化利用 战略研究

中国工程院“固体废物分类资源化利用战略研究”课题组

杜祥琬 主编



科学出版社

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

中国工程院重大咨询项目 中国生态文明建设重大战略研究丛书(II)

第 三 卷

固体废物分类资源化利用战略研究

中国工程院“固体废物分类资源化利用战略研究”课题组

杜祥琬 主编

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是中国工程院重大咨询项目“生态文明建设若干重大战略问题研究”(二期)下设的第三课题“固体废物分类资源化利用战略研究”的研究成果。全书包括课题综合报告和专题研究报告两部分。其中,课题综合报告主要归纳了发达国家和地区固体废物分类资源化利用的经验与做法及对我国的启示,分析了我国固体废物分类资源化利用的现状、问题、挑战和重大意义,研究了固体废物分类资源化利用的潜力和潜在效益,提出了固体废物分类资源化利用的战略方针、战略目标、路线图、技术发展方向和重大工程,最后给出了相关政策建议。专题研究报告分别就“城市矿山”、乡村废物、工业固体废物三类固体废物分类资源化利用进行了更深入、更具体的研究。

本书可供从事固体废物分类资源化利用管理的各级政府部门工作者、关心固体废物分类资源化利用的科研工作者,以及相关专业的研究生和本科生参考使用,也适合大中型图书馆收藏。

图书在版编目(CIP)数据

固体废物分类资源化利用战略研究/杜祥琬主编. —北京:科学出版社, 2019.2

[中国生态文明建设重大战略研究丛书(II)/周济,刘旭主编]

“十三五”国家重点出版物出版规划项目 中国工程院重大咨询项目

ISBN 978-7-03-060517-7

I. ①固… II. ①杜… III. ①固体废物利用—研究 IV. ①X705

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 023609 号

责任编辑:马 俊/责任校对:郑金红

责任印制:肖 兴/封面设计:北京铭轩堂广告设计有限公司

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019 年 2 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2019 年 2 月第一次印刷 印张:24

字数:570 000

定价:210.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

丛书顾问及编写委员会

顾 问

徐匡迪 钱正英 陈吉宁 张 勇 沈国舫

主 编

周 济 刘 旭

副主编

郝吉明 杜祥琬 吴丰昌

丛书编委会成员

(以姓氏笔画为序)

丁一汇	丁德文	万东华	王 浩	王元晶
尹伟伦	曲久辉	朱广庆	刘 旭	刘克成
刘鸿亮	江 亿	严 耕	杜祥琬	李 阳
李文华	李德发	吴丰昌	张林波	陈 勇
金鉴明	周 济	郝吉明	段 宁	钱 易
徐祥德	凌 江	唐华俊	唐孝炎	唐海英
傅志寰	舒俭民	魏复盛		

“固体废物分类资源化利用战略研究”

课题组成员名单

课 题 组

- 杜祥琬 中国工程院原副院长，院士，课题组长
陈 勇 中国科学院广州能源研究所，院士，课题常务副组长
钱 易 清华大学，院士，课题副组长
凌 江 环境保护部固体废物与化学品管理技术中心，主任，课题副组长

专题一 “城市矿山”开发利用战略研究

- 钱 易 清华大学，院士，专题组长
李金惠 清华大学环境学院，教授
温宗国 清华大学环境学院，特聘研究员
刘丽丽 清华大学环境学院，副研究员
李晓东 浙江大学热能工程研究所，教授
杜欢政 同济大学循环经济研究所，所长
程会强 国务院发展研究中心资源与环境政策研究所，研究员
胡华龙 环境保护部固体废物与化学品管理技术中心，副主任
刘 强 中国物资再生协会，常务副会长
王 伟 清华大学环境学院，教授
邢 锋 深圳大学土木工程学院，教授
庄昌凌 格林美废钢循环利用研究中心，主任
张玉亭 河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所，所长
张天柱 清华大学环境学院，教授
王力红 国家开发银行专家委员会，高级工程师
高庆先 中国环境科学研究院，研究员
岳东北 清华大学环境学院，副教授
巢清尘 国家气候中心，副主任
张艳会 中国物资再生协会，副秘书长

李文龙 深圳大学土木工程学院，博士
单桂娟 清华大学环境学院，助理研究员
薛艳艳 清华大学环境学院，博士
孙笑非 清华大学环境学院，高级工程师
刘 雪 清华大学环境学院，工程师

专题二 乡村废物（含乡村生活垃圾）分类资源化利用战略研究

陈 勇 中国科学院广州能源研究所，院士，专题组长
呼和涛力 常州大学，研究员
雷廷宙 河南省科学院，副院长
李国学 中国农业大学，教授
陈汉平 华中科技大学，教授
陈 群 常州大学，校长
袁振宏 中国科学院广州能源研究所，研究员
张全国 河南农业大学，教授
赵立欣 农业农村部规划设计研究院，教授
肖 睿 东南大学，教授
刘晓风 中国科学院成都生物研究所，研究员
郭华芳 中国科学院广州能源研究所，研究员
孙永明 中国科学院广州能源研究所，研究员
袁浩然 中国科学院广州能源研究所，副研究员
郑 涛 中国科学院广州能源研究所，研究员
陈怡露 南京工业大学，教授
贺 超 河南农业大学，讲师
王龙耀 常州大学，副教授
陈开碛 河南桑达能源环保有限公司，董事长
晏宓宁 中兴能源（湖北）有限公司，副总经理
韩 旭 武汉凯迪控股投资有限公司，主任

专题三 工业固体废物分类资源化利用战略研究

凌 江 生态环境部环境工程评估中心，副主任，专题组长

徐滨士	装甲兵工程学院，院士
邵安林	鞍钢集团矿业有限公司，院士
臧文超	生态环境部固体废物与化学品管理技术中心，副主任
温雪峰	生态环境部固体废物与化学品管理司，研究员
王力红	国家开发银行专家委员会，高工
陈 瑛	生态环境部固体废物与化学品管理技术中心，副研究员
滕婧杰	生态环境部固体废物与化学品管理技术中心，工程师
于丽娜	生态环境部固体废物与化学品管理技术中心，高级工程师
王 芳	生态环境部固体废物与化学品管理技术中心，工程师
张明杨	生态环境部华南环境科学研究所，工程师
魏世丞	装甲兵工程学院，研究员
史佩京	装甲兵工程学院，副研究员
王玉江	装甲兵工程学院，副研究员
夏 丹	装甲兵工程学院，助理研究员
张文松	北京交通大学，教授
李博洋	工信部赛迪研究院，副研究员
杜根杰	中国工业固废网-工业固废综合利用科技成果转化平台，秘书长
杜欢政	同济大学循环经济研究所，所长
矫旭东	浙江省长三角循环经济技术研究院，博士
张洪国	中国有色金属工业协会，副秘书长、科技部主任
党积屯	中国铝业集团，安全环保健康部总经理
孙 毅	沈阳铝镁设计研究院有限公司，副总工程师
鲁 爽	沈阳银海再生资源科技有限公司，总经理
崔旭东	陕西有色榆林新材料有限责任公司，副总经理
邓鹏宏	鞍钢集团矿业有限公司，高工
马旭峰	鞍钢集团矿业有限公司，教授级高工
韦锦华	鞍钢集团矿业有限公司，教授级高工

课题报告执笔组

呼和涛力	常州大学，研究员
陈 瑛	生态环境部固体废物与化学品管理技术中心，副研究员

孙笑非 清华大学环境学院，高级工程师
杨 波 中国工程院战略咨询中心，副处长
刘晓龙 中国工程院战略咨询中心，副处长
葛 琴 中国工程院战略咨询中心，工程师
姜玲玲 中国工程院战略咨询中心，工程师

课题办公室

刘晓龙 中国工程院战略咨询中心，副处长
葛 琴 中国工程院战略咨询中心，工程师
姜玲玲 中国工程院战略咨询中心，工程师
崔磊磊 中国工程物理研究院，工程师

丛书总序

为积极参与生态文明建设研究,更好地发挥“国家工程科技思想库”的作用,中国工程院于2013年启动了“生态文明建设若干战略问题研究”重大咨询项目,对生态文明建设进行全局性系统研究,提出了中国未来生态文明建设的总体目标、战略部署和重点任务。为持续跟踪支撑国家生态文明建设,2015年中国工程院启动了“生态文明建设若干战略问题研究(二期)”重大咨询项目,项目由周济、刘旭任组长,郝吉明任副组长,20余位院士、200余位专家参加了研究。2017年12月,经过两年多的紧张工作,在深入分析和反复研讨的基础上,经过广泛征求意见,综合凝练形成了项目研究报告。研究期间,部分研究成果上报国务院,得到了有关领导的高度重视和批示。

项目在构建国家生态文明建设指标体系、综合评估我国生态文明发展水平的基础上,对我国环境承载力与经济社会发展战略布局、固体废物分类资源化利用、农业发展方式转变与美丽乡村建设等生态文明建设领域的重大战略问题开展研究。

项目全面客观评估我国生态文明发展水平与建设成效。以生态环境质量改善为核心,从绿色环境、绿色生产、绿色生活、绿色设施4个领域,构建包括10个目标、20个指标的评估体系。充分考虑城市的主体功能定位,按功能区发展要求确定差异化的指标权重,采用双基准渐进法,以2015年为评估年,以全国337个地级及以上城市(不含香港特别行政区、澳门特别行政区、台湾省及三沙市)为单元,从国家、省、市三个层次开展了评价。结果表明,2015年我国生态文明发展水平平均分为61.16,处于一般水平,与生态文明建设目标仍有一定差距,东南沿海地区的生态文明发展水平整体略高于中西部地区。具体指标结果表明,我国整体经济社会成果显著,在经济生活方面具有了一定基础,部分一线城市已达到国际中高收入或高收入国家水平,但是在生态环境保护、工业污染控制、产业优化、资源高效利用等领域,以及农业主产区生态文明建设等方面仍需进一步加强。

在此基础上,项目组提出了若干政策建议:一是基于资源环境承载能力优化产业发展布局,强化京津冀、西北五省(自治区)及内蒙古自治区的资源环境承载力约束,整治高污染、高耗能、高耗水企业,严控新增产能,强化产业调整和特别污染排放限值管理,运用行业排放标准推进产业技术进步,综合考虑水资源承载力 and 水资源效率进行农业布局;二是以“无废国家”为目标,促进资源充分循环,将固体废物资源化利用上升到国家战略高度,推动资源产出率、资源循环利用率等作为重要战略性量化指标,构建绿色消费模式,促进“城市矿山”开发,推动生态农业生态生产模式,促进乡村废弃物资

源化,加快工业发展绿色转型,提高资源利用效率;三是转变农业发展方式,建设美丽乡村,通过延伸农业产业链,构建一二三产业深度融合经营体系,探索新型高效生态农业,推进种养结合、农牧融合,提高村庄规划水平,加强宅基地和农村集体建设用地的规划管理,为未来发展留出空间,开展一批重点示范建设工程,推进美丽乡村建设。

项目提出了新时代生态文明建设的目标,即建议将生态资源资产与经济发展协同增长作为实现中华民族伟大复兴中国梦的目标之一,作为各级政府的工作任务,按约束指标列入年度发展计划,坚持人与自然和谐共生、物质精神同步、经济生态协调与坚持区域发展平衡;通过全社会不懈的努力,到21世纪中叶,基本实现人民群众物质财富与生态福祉的双重富裕,建成美丽中国;到21世纪下半叶,全面建成“零碳无废”社会,实现物质财富与生态福祉极大富裕。基于上述目标,提出了八大重点任务:一是培育生态产品生产成为新兴产业,将生态资源资产核算纳入国民经济核算体系,扩大生态生产产业的就业;二是坚持绿色驱动产业的生态化转型,以资源环境承载力约束、优化产业布局,推进传统产业生态化转型;三是深化美丽乡村建设,打造现代农业升级版,实现中国特色农业现代化;四是将建设“零碳无废”社会目标提升到国家战略高度,推动能源革命实现低碳发展,推进生产和消费领域的循环发展;五是培育全民生态文化自觉和绿色生活方式;六是健全绿水青山就是金山银山的法制保障,创新生态资源资产为核心的生态环境管理体系;七是引领全球治理,共同构建人类命运共同体,为发展中国家提供绿色发展中国智慧;八是实施绿色科技创新工程支撑生态文明建设。

本套丛书汇集了“生态文明建设若干战略问题研究(二期)”项目的综合卷和4个课题分卷,分项目综合报告、课题报告和专题报告三个层次,提供相关领域的研究背景、内容和主要论点。综合卷包括综合报告和相关课题论述,每个课题分卷则包括课题综合报告及其专题报告。项目综合报告主要凝聚和总结各课题和专题中达成共识的主要观点和结论,各课题形成的其他观点则主要在课题分卷中体现。丛书是项目研究成果的综合集成,是众多院士和多部门多学科专家教授、企业工程技术人员及政府管理者辛勤劳动和共同努力的结果,在此向他们表示衷心的感谢,特别感谢项目顾问组的指导。

生态文明建设是关系中华民族永续发展的根本大计,更是一项巨大的惠及民生福祉的综合性建设。由于各种原因,丛书难免还有疏漏和不够妥当之处,请读者批评指正。

中国工程院“生态文明建设若干战略问题研究(二期)”

项目研究组

2018年11月

前 言

我国是人口大国，也是世界上固体废物产生量最大的国家，每年来自各类经济活动和生活过程的固体废物近 120 亿 t。随着人民生活水平的提高和城镇化的快速发展，固体废物产生量呈现逐年增长态势。并且估计“城市矿山”的累积堆存量已达 230 亿 t，全国包括废石在内的工业固体废物堆存总量已达 600 亿 t。如此巨大的废物产生量和累积量，如不进行妥善处理，将对环境造成严重污染，对资源造成极大浪费，对社会造成恶劣影响；但“废物是放错位置的资源、宝贵财富”，如果对固体废物进行分类资源化利用，且从源头上进行减量化，就可以显著减少原生资源的使用量，提高资源利用率，从而带来显著的环境效益、经济效益和社会效益。

为了认真学习贯彻落实“十八大”关于大力推进生态文明建设的精神，中国工程院于 2015 年初启动了“生态文明建设若干重大战略问题研究”（二期）重大咨询项目，由第十届全国政协副主席徐匡迪院士、国家环境保护部陈吉宁部长等任顾问，中国工程院周济院长和刘旭副院长任组长。项目下设的“固体废物分类资源化利用战略研究”课题由杜祥琬院士任组长，分设“‘城市矿山’开发利用战略研究”“乡村废物分类资源化利用战略研究”“工业固体废物分类资源化利用战略研究”三个专题和一个课题综合组开展研究，有十多位院士、近百位专家参加。经过两年的深入研究和广泛调研，课题组取得了一系列重要成果，撰写完成了 3 份专题研究报告，为国家多项文件报告的出台提供了重要支撑，并在此基础上凝练形成了本课题研究报告。

首先，本书系统分析了欧盟、美国、日本和我国台湾地区固体废物分类资源化利用的战略定位、法规政策、技术、市场和宣传教育及民众参与等层面的差异，梳理了我国固体废物分类资源化利用的现状、问题和挑战，并分别对我国“城市矿山”、乡村废物和工业固体废物的产生情况、资源化利用潜力和潜在效益进行了估算。预测到 2030 年，我国主要“城市矿山”的回收价值可达 2.14 万亿元，乡村废物的资源化利用产生 3.97 万亿元投资效益，重点工业固体废物资源化经济效益可达 1.35 万亿元。分析认为我国固体废物分类资源化潜力和潜在效益巨大，我们要总结借鉴发达国家和地区的经验，尽快化解目前存在的问题，加快推进固体废物分类资源化利用产业发展。

然后，本书科学规划了我国固体废物分类资源化利用的发展路径，并提出了总体战略目标和分阶段目标。作者认为：2020 年前是战略攻坚期，我国资源循环回收发展将取得可观效益，固体废物环境风险得到有效控制；2020~2025 年是转型关键期，我国将初步形成资源高效循环的发展模式，经济社会发展与资源能源消耗相对脱钩；2025~2030 年是可持续发展期，经济社会发展与资源能源的消耗、固体废物的产生实现脱钩，届时我国固体废物分类资源化利用将达到世界先进水平，产值规模达到 7 万亿~8 万亿元，带动 4000 万~5000 万个就业岗位，将成为我国战略性新兴产业的重要支柱。为了实现提出的战略目标，作者分别从“城市矿山”、乡村废物、工业固体废物三个方面分析了

我国固体废物分类资源化利用技术的发展趋势,提出了“十三五”时期的重点技术方向和重大工程。

最后,作者认为,“十三五”时期是我国大力发展固体废物分类资源化利用的战略攻坚期,要深入贯彻落实“创新、协调、绿色、开放、共享”的发展理念,通过政策、管理、模式、技术的组合拳来大力推动产业化进程。为此建议:一要夯实法律、经济政策基础,健全技术标准体系,建立部门联合监管惩戒机制,构建健康市场环境;二要加强国家顶层设计,实施综合管理战略,提升全民资源环境意识水平,构建有效的社会监督机制;三要改革生产、生活模式,构建固体废物资源多级循环模式,促进资源充分循环;四要强化科技支撑,加强信息技术与固体废物分类资源化利用的深度融合,推进固体废物分类资源化市场配置的智慧管理,提速产业高端发展。

为了落实上述建议,课题组提出了开展“无废城市”试点的建议,通过若干有基础城市的试点,积累发展循环经济的经验,实现固体废物的源头减量化和分类资源化,并向全国逐步推广,经多年努力,最终实现“无废国家”的长远目标。

目 录

丛书总序

前言

课题综合报告

第一章 我国固体废物分类资源化利用面临的机遇与挑战	3
一、固体废物分类资源化利用意义重大	4
二、发达国家和地区固体废物分类资源化利用的经验与启示	8
三、我国固体废物分类资源化利用的现状及机遇	12
四、我国固体废物分类资源化利用的突出问题与挑战	16
第二章 我国固体废物分类资源化利用的潜力和潜在效益	20
一、我国固体废物总体情况	20
二、我国固体废物分类资源化利用的潜力评价	34
三、我国固体废物分类资源化利用的效益分析	42
第三章 我国固体废物分类资源化利用的战略方针、目标和路线图	61
一、我国固体废物分类资源化利用的战略方针	61
二、我国固体废物分类资源化利用的战略目标	62
三、我国固体废物分类资源化利用的发展路线图	68
第四章 我国固体废物分类资源化利用的技术发展方向及重大工程	73
一、国外固体废物分类资源化利用的技术发展趋势	73
二、我国固体废物分类资源化利用的技术发展方向	74
三、“十三五”时期我国固体废物分类资源化利用的优先发展重大工程	80
第五章 对我国加强固体废物分类资源化利用的建议	84
一、提升战略地位，夯实政策与制度基础，构建健康市场环境	84
二、加强顶层设计，实施综合管理战略	85
三、改革发展模式，促进资源充分循环，确立“无废国家”的长远目标	86
四、强化科技支撑，提速产业高端发展	87
附录一 国内固体废物分类资源化利用的领军企业和典型案例	89
一、“城市矿山”分类资源化利用的领军企业和典型案例	89
二、乡村废物分类资源化利用的领军企业和典型案例	95
三、工业固体废物分类资源化利用的领军企业和典型案例	98

专 题 研 究

专题一 “城市矿山” 开发利用战略研究	105
一、概述	105
二、开发“城市矿山”的概念及其开发利用的战略意义	107
三、主要发达国家“城市矿山”开发利用的现状与经验	112
四、我国“城市矿山”开发利用的现状	128
五、我国典型“城市矿山”开发潜力及资源环境效益估算	165
六、“城市矿山”开发利用需要技术创新	194
七、对我国“城市矿山”开发利用的相关建议	199
附录一 我国“城市矿山”的相关示范、试点名单	205
附录二 我国“城市矿山”的开发潜力估算和预测方法	225
专题二 乡村废物分类资源化利用战略研究	228
一、概述	228
二、乡村废物分类资源化利用的研究任务及重要意义	228
三、我国乡村废物分类资源化利用的发展形势	234
四、国外乡村废物分类资源化利用的管理及发展	243
五、我国与发达国家乡村废物分类资源化管理的差异	249
六、乡村废物分类资源化利用的需求与趋势	253
七、乡村废物分类资源化利用的技术方向	260
八、战略目标及重点任务建议	267
附录一 乡村废物分类资源化利用的领军企业和典型代表	271
附录二 我国各地区固体废物的相关数据	274
专题三 工业固体废物分类资源化利用战略研究	278
一、概述	278
二、我国工业固体废物的产生利用情况	279
三、我国工业固体废物分类资源化利用发展情况	296
四、发达国家和地区固体废物分类资源化的管理模式及其发展情况	304
五、我国工业固体废物分类资源化管理存在的突出问题	325
六、工业固体废物分类资源化是可持续发展战略的必然选择	340
七、战略目标与指导方针	347
八、工业固体废物资源循环战略重点任务及实施路线	352
九、“十三五”重点领域和重点行业资源循环策略	353
附表	360
附图	363
主要参考文献	364

课题综合报告

第一章 我国固体废物分类资源化利用 面临的机遇与挑战

固体废物主要来源于工业生产、社会生活和农业生产,根据《中华人民共和国固体废物污染环境防治法》(以下简称《固体法》)规定:“固体废物,是指在生产、生活和其他活动中产生的丧失原有利用价值或者虽未丧失利用价值但被抛弃或者放弃的固态、半固态和置于容器中的气态的物品、物质以及法律、行政法规规定纳入固体废物管理的物品、物质。”在《固体法》中,同时采用了两种分类方法,一种是按产生源将固体废物分为工业来源和社会生活来源两类;另一种是按其对物质环境的危害程度将其分为一般固体废物和危险废物两类。在综合考虑《固体法》及我国固体废物来源的基础上,本课题将从“城市矿山”、乡村废物、工业固体废物三个方面开展固体废物分类资源化利用战略研究。

工业固体废物是工业生产活动中产生的固体废物,包括一般工业固体废物和工业危险废物。产生量较大的一般工业固体废物主要有尾矿、冶炼废渣、粉煤灰、炉渣、煤矸石、脱硫石膏、污泥、赤泥、磷石膏等。危险废物是指列入《国家危险废物名录》或者根据国家规定的危险废物鉴别标准和鉴别方法认定的具有危险特性的固体废物。危险废物主要来源于工业,包括废碱、废酸、石棉废物、有色金属冶炼废渣、无机氰化物、废矿物油等。另外,在工业生产活动中报废的工业装备也是工业固体废物的重要组成部分。

“城市矿山”尚未建立统一定义,一般指来源于城市社会生活的、可以提取有价值资源或转化为能源的固体废物。2010年5月,国家发展改革委、财政部联合下发的《国家发展改革委 财政部 关于开展城市矿产示范基地建设的通知》提出:“‘城市矿产’是指工业化和城镇化过程产生和蕴藏在废旧机电设备、电线电缆、通讯工具、汽车、家电、电子产品、金属和塑料包装物以及废料中,可循环利用的钢铁、有色金属、稀贵金属、塑料、橡胶等资源,其利用量相当于原生矿产资源。”随着经济和技术的发展,城市生活消费过程产生的生活垃圾、餐厨垃圾、建筑废物等含有可提取资源或可转化为能源的废弃物,被广泛认可为具有潜在资源开发价值的“城市矿山”。

乡村固体废物来源于农村生产生活,主要包括农村生活垃圾、农业废物、林业剩余物及畜禽粪便等四类。其中,农村生活垃圾主要包括餐厨垃圾、废旧塑料、废纸及灰渣等;农业废物主要包括农作物秸秆与农产品加工剩余物等;林业剩余物主要包括森林采伐剩余物、木材加工剩余物及育林剪枝等(统称林业“三剩物”);畜禽粪便是指牛、羊、猪、家禽等畜禽排出的粪便、尿及其与垫草的混合物。