

循环经济助力碳达峰研究报告

1.0 版



Research Report on
Circular Economy Supporting
Peak Carbon Dioxide Emissions



中国循环经济协会

二〇二一年九月

中国循环经济协会

循环经济助力碳达峰研究报告

Research Report on Circular Economy Supporting
Peak Carbon Dioxide Emissions

(1.0 版)

中国循环经济协会



中国循环经济协会

二〇二一年九月



中国循环经济协会

电话 / 010-8229 0313 8833 4644

传真 / 010-8229 1231 8833 4622

网址 / www.chinacace.org

地址 / 北京市西城区阜成门外大街一号四川大厦东塔楼28层

邮编 / 100037

本报告中图片为中国循环经济协会主办的“绿色发展·循环无限”摄影大赛获奖作品。本报告知识产权归中国循环经济协会，未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本报告之部分或全部内容，侵权必究。

编委会

顾 问：刘燕华 杜祥琬 殷瑞钰 左铁镛 金 涌

王 毅

主 任：朱黎阳

副 主 任：郭占强

委 员：赵 凯 李边卓 原庆丹 魏玉梅 管世翾

课 题 组

成 员：（按姓氏笔画排序）

上官方钦 王学军 朱黎阳 刘君霞 吴玉锋

邸敬涵 张文俊 张德元 范莹莹 顾明明

翁智雄 郭占强 温宗国

主 笔：郭占强 范莹莹 刘君霞

鸣 谢

（按姓氏笔画排序）

么 新 马淑杰 王卫权 王永刚 王海风 木其坚

朱 兵 李会泉 杨飞华 杨春平 张 琳 张 嫒

张彦林 张晶杰 陈吕军 罗恩华 胡山鹰 贺志强

秦文臻 谢元博 谢海燕

前言

气候变化是当今人类社会面临的共同挑战。2020年9月22日，习近平总书记在第七十五届联合国大会一般性辩论中明确提出：“中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和”。习总书记的重要讲话体现了我国一贯高度重视积极应对气候变化的立场和坚定走绿色低碳循环发展道路的战略定力，以及积极推动构建人类命运共同体的大国担当。

作为全球最大的发展中国家，我国要在未来40年内完成从碳达峰到实现碳中和的转型，挑战巨大，既需要付出艰苦卓绝的努力，更需要采取科学有效的措施。实现碳达峰碳中和目标，不仅要加快调整能源结构、着力提升能效水平，还要全面提高资源利用效率，推动经济社会发展全面绿色转型。循环经济是一种以资源高效利用和循环利用为核心，以“减量化、再利用、资源化”为原则，符合可持续发展理念的经济增长模式，已被美国、日本及欧盟等主要发达国家和经济体纳入应对气候变化挑战的工具箱，也必将在我国实现碳达峰碳中和的历史进程中发挥重要作用。

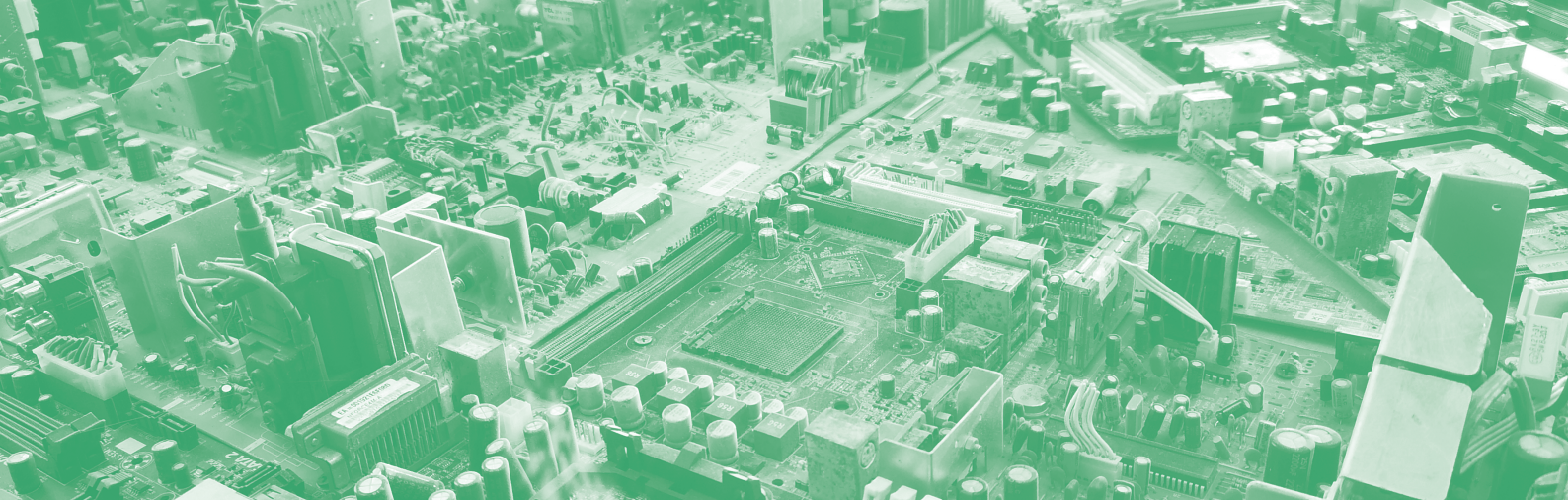
为进一步明确循环经济在实现碳达峰碳中和进程的重要作用，2021年中国循环经济协会根据国家发展改革委环资司工作部署，组织有关专家、联合相关机构，开展了《循环经济应对气候变化贡献研究》，参考CDM及CCER项目方法学，以国家统计局等有关部门、相关行业年度报告和权威学术文献等已公开发布的数据为基础，就资源再生循环利用、大宗固废综合利用、生物质废弃物能源化利用、余热余能回收利用、园区循环化改造、再制造等循环经济重点领域对我国碳达峰碳中和的贡献进行了量化研究，形成了《循环经济助力碳达峰碳中和研究报告（1.0版）》。

需要特别说明的是，循环经济作为一种新的经济增长模式，内涵十分丰富，涉及生产生活的方方面面。一方面，考虑到基础数据的可得性，本报告仅对循环经济部分重点领域和部分重点环节进行了量化研究，结论相对保守，未能全面反映所有循环经济活动对碳减排的贡献。另一方面，当前我国和国际学术界就循环经济对碳减排贡献的量化研究还处于探索阶段，缺少可参考借鉴的权威文献，加之受测算模型的科学性、基础数据的准确性，以及课题组知识结构的局限性等多种因素制约，本报告尚存在诸多不足之处，诚请各界批评指正。

中国循环经济协会将围绕此重要课题，继续组织力量持续深化研究，听取各方宝贵意见建议，不断提升报告质量，陆续推出报告的 2.0 版、3.0 版，力争提供更准确、更全面的循环经济碳减排贡献的研究成果，以飨各界读者，共同为促进循环经济发展和实现碳达峰碳中和目标贡献力量！

编者

2021 年 9 月



CONTENTS

目 录

内容摘要

核心观点	1
研究边界	2
数据来源	3
测算方法	3

第一部分

资源再生循环利用	4
一、废钢铁	4
01 减碳原理	4
02 减碳贡献	4
03 减碳潜力	5
04 对策建议	6
二、再生有色金属	6
01 减碳原理	6
02 减碳贡献	7
03 减碳潜力	7
04 对策建议	7
三、废纸	8
01 减碳原理	8
02 减碳贡献	8

第二部分

03 减碳潜力	9
04 对策建议	9
四、废塑料	9
01 减碳原理	9
02 减碳贡献	10
03 减碳潜力	10
04 对策建议	10
五、废橡胶	11
01 减碳原理	11
02 减碳贡献	11
03 减碳潜力	12
04 对策建议	12
六、废旧纺织品	13
01 减碳原理	13
02 减碳贡献	13
03 减碳潜力	14
04 对策建议	14
七、小结	14

大宗固废综合利用

16

01 减碳原理	16
02 减碳贡献	17
03 减碳潜力	18
04 对策建议	18

第三部分

生物质废弃物资源化利用

19

01 减碳原理	19
02 减碳贡献	19
03 减碳潜力	20
04 对策建议	20

目录 | CONTENTS

第四部分	余热余能回收利用	21
	01 减碳原理	21
	02 减碳贡献	21
	03 减碳潜力	22
	04 对策建议	22
第五部分	园区循环化改造	23
	01 减碳原理	23
	02 减碳贡献	23
	03 减碳潜力	23
	04 典型案例	24
	05 对策建议	24
第六部分	再制造	25
	01 减碳原理	25
	02 减碳贡献	25
	03 减碳潜力	26
	04 对策建议	26
第七部分	总结与展望	27
	主要参考文献	29

CONTENTS

图目录

图 1	2016–2020 年钢铁工业废钢利用情况和废钢比变化情况	5
图 2	2015–2020 年钢铁工业废钢利用情况和减碳量	5
图 3	2015–2020 年再生有色金属产量及减碳量情况	7
图 4	2015–2020 年废纸回收利用量及减碳量情况	8
图 5	2015–2020 年废塑料回收利用量及减碳量情况	10
图 6	各类废橡胶综合利用途径所占比重情况	11
图 7	2015–2020 年废橡胶回收利用量及减碳量情况	12
图 8	2015–2020 年废旧纺织品回收利用量及减碳量情况	13
图 9	2015–2020 年主要品类再生资源的减碳情况	14
图 10	大宗固废建材化利用结构	17
图 11	2015–2020 年大宗固废对碳减排的贡献情况（万吨）	18
图 12	各类生物质废物的碳减排贡献占比情况	20
图 13	2015–2020 年我国生物质发电量和碳减排情况	20
图 14	我国余热余能资源结构图	21
图 15	2015–2020 年我国工业余热资源量、回收利用量和碳减排情况	22
图 16	开发区内某能源公司的工艺流程图	24
图 17	再制造各领域的碳减排贡献比重	25

中国循环经济协会

内容摘要

核心观点

➤ 发展循环经济支撑碳减排的量化贡献和预测

研究表明，发展循环经济是实现碳达峰碳中和的重要途径，与开发利用原生资源相比：

- ◎ 2020年，我国通过发展循环经济，共计减少二氧化碳排放约26亿吨；
- ◎ 总结“十三五”，发展循环经济对我国碳减排的综合贡献率约为25%左右；
- ◎ 展望“十四五”，发展循环经济对我国碳减排的综合贡献率将达30%，到2030年达到35%。
- ◎ 受量化研究边界的制约，本报告的研究结果相对保守，未能反映所有循环经济活动对碳减排的贡献。

➤ 发展循环经济支撑碳减排的主要原理

- ◎ **材料替代**：通过利用粉煤灰等大宗固废替代石灰石等碳酸盐类高载碳原料，减少生产过程的碳排放。
- ◎ **流程优化**：通过回收利用废钢铁、废铝、废塑料等再生资源，缩短工艺流程，有效减少能源和资源消耗。
- ◎ **燃料替代**：利用生物质废弃物等碳中性燃料替代化石能源，减少化石能源消费带来的碳排放。
- ◎ **能效提升**：通过回收利用余热余能、产业园区能源基础设施共建共享等措施，大幅提高能源利用效率，有效减少化石能源消费带来的碳排放。
- ◎ **产品循环**：通过再制造、翻新、延寿等技术手段，大幅削减制造原型新品带来的碳排放。

➤ 发展循环经济支撑碳减排的重要领域

- ◎ **资源再生循环利用**：利用废钢铁、废有色金属、废塑料、废纸等再生资源，替代原生资源。
- ◎ **大宗固废综合利用**：利用粉煤灰、冶炼渣等大宗固废替代石灰石水泥熟料；生产固废基胶凝材料替代水泥；生产轻质节能免煅烧绿色建材替代传统烧结类建材等。
- ◎ **生物质废弃物利用**：多种形式实现生活垃圾、厨余垃圾、市政污泥、畜禽粪污、农作物秸秆、工业有机废水、轻工业生物质固体废物等生物质废弃物的清洁能源利用，替代煤炭、石油、天然气等传统化石能源。
- ◎ **余热余能回收利用**：回收电力、冶金、建材、化工等工业部门的余热余能，提高系统能效。
- ◎ **园区循环化改造**：通过能源基础设施共建共享、污水等污染物集中治理、主导产业与静脉产业循环链接、强化园区物质流管理等措施，大幅提高园区资源能源利用效率，有效降低碳排放强度。
- ◎ **废旧产品再制造**：通过再制造替代原型新品使用，最大限度保留产品部分零部件价值，延长产品的使用寿命，提高材料的利用效率，减少原型新品的重复制造，从而大幅降低碳排放。

研究边界

➤ 研究领域

- ◎ 本报告仅研究资源再生循环利用、大宗固废综合利用、生物质废弃物能源化利用、余热余能回收利用、园区循环化改造、再制造等六个重点领域，不含产品生态设计等减量化活动，以及绿色消费等社会生活领域的循环经济活动。

➤ 对比环节

- ◎ 对于再生资源循环利用、大宗固废综合利用、余热余能回收利用、和再制造的碳减排测算，因相关资源的开发利用活动均涉及开采、运输、消费、回收等环节，目前尚无可供借鉴的模型和系数，本报告仅对比生产环节。

数据来源

➤ 报告中引用的相关数据主要来源于：

- ◎ 国家统计局、能源局、商务部等公开发布的数据
- ◎ 中国循环经济发展报告
- ◎ 中国再生资源行业发展报告
- ◎ 其他协会或机构发布的年度报告
- ◎ 公开学术期刊的文献资料
- ◎ 骨干企业数据

测算方法

➤ 情景对比

- ◎ 重点对比发展循环经济与利用原生资源或化石能源的碳排放强度

➤ 模型选择

- ◎ CDM 方法学
- ◎ CCER 方法学
- ◎ 其他模型



资源再生循环利用

一、废钢铁

01 减碳原理

废钢铁（以下简称“废钢”）一般是指不能按原用途使用且必须作为熔炼原料回收使用的钢铁碎料及废旧钢铁制品。

以废钢和电力为原料的电炉“短流程”炼钢工艺与以天然铁矿石和煤炭等为原料的高炉-转炉“长流程”炼钢工艺相比，减少了烧结/球团、焦化、高炉等高能耗、高排放的工序，从而减少二氧化碳排放^[1]。

据测算，如仅对比生产环节，与利用天然铁矿石相比，每利用1吨废钢可减少二氧化碳排放约1.6吨。

02 减碳贡献

目前，我国废钢资源约90%用于钢铁工业，其余用于铸造、机械加工等。“十三五”以来，我国钢铁工业的废钢利用量大幅上升，2020年钢铁工业废钢利用量2.2亿吨，废钢比由10.4%提高到20.9%，转炉和电炉的废钢利用量、废钢比都有所增加。

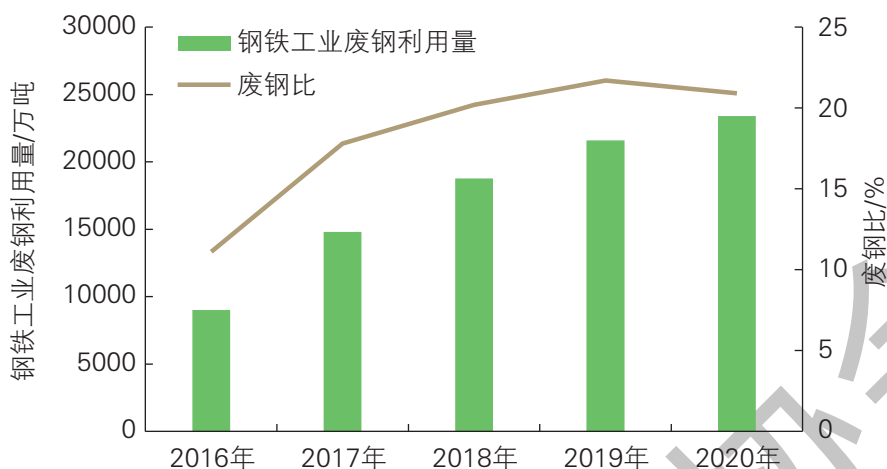


图1 2016-2020年钢铁工业废钢利用情况和废钢比变化情况

基于我国钢铁工业废钢利用量、碳减排系数等数据，可测算出，2020年我国以废钢和电力为原料的电炉“短流程”炼钢工艺与以天然铁矿石和煤炭等为原料的高炉-转炉“长流程”炼钢工艺相比，减少二氧化碳排放约3.5亿吨；“十三五”期间累计减少二氧化碳排放约13.8亿吨。

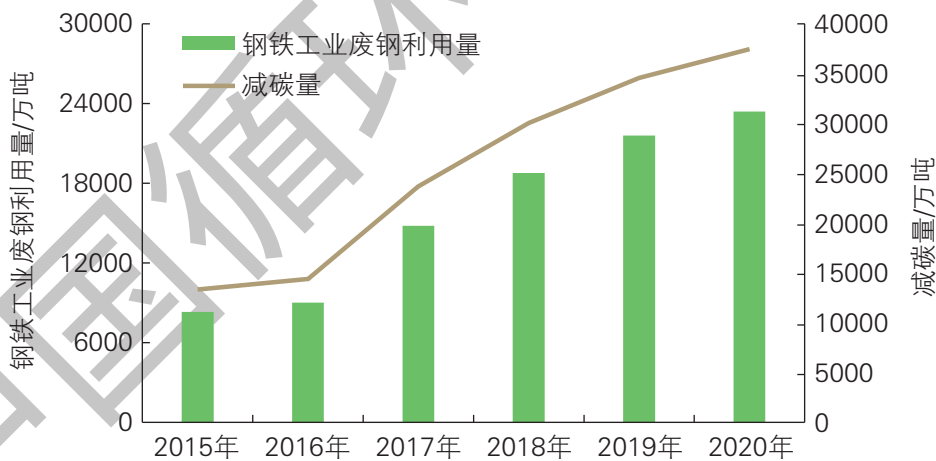


图2 2015-2020年钢铁工业废钢利用情况和减碳量

03 减碳潜力

预计到2025年，我国废钢资源的年产生量将达到3.2亿吨左右^[2]，其中约2.9亿吨被钢铁工业利用，与利用天然铁矿石炼钢相比，将减少二氧化碳排放约4.6亿吨/年。



预计到 2030 年，我国废钢资源的年产生量将达到 3.5 亿吨左右，其中约 3.2 亿吨被钢铁工业利用，与利用天然铁矿石炼钢相比，将减少二氧化碳排放约 5.1 亿吨/年。

04 对策建议

- ◎ 优先发展电炉“短流程”炼钢
- ◎ 进一步健全废钢回收利用体系
- ◎ 依法扩大再生钢铁原料进口规模

二、废有色金属

01 减碳原理

废有色金属一般是指生产与消费过程中已完成使用寿命的器件中所含有的有色金属部件及材料。

有色金属冶炼的能耗和碳排放主要来自焙烧、熔炼、电解以及使用化学药剂等，其中焙烧、熔炼和电解等环节是有色金属冶炼过程中能耗的主要组成部分。再生有色金属生产过程减少了焙烧环节和化学药剂使用，有效降低了能耗和二氧化碳排放。

据测算，如仅对比生产环节，与利用天然矿石资源相比，每生产 1 吨再生铜可减少二氧化碳排放约 2.8 吨，每生产 1 吨再生铝可减少二氧化碳排放约 14.6 吨，每生产 1 吨再生铅可减少二氧化碳排放约 1.75 吨，每生产 1 吨再生锌可减少二氧化碳排放约 2.43 吨。

02 减碳贡献

“十三五”以来，我国再生有色金属产量不断上升，铜、铝、铅、锌四类主要再生有色金属产量从2015年的1167万吨^[9]上升到2020年1450万吨^[2]，年均增速约5%。

基于我国四类主要再生有色金属产量、碳减排系数等数据，可测算出，2020年我国废有色金属再生利用与利用天然矿石资源生产有色金属相比，减少二氧化碳排放约1.25亿吨；“十三五”期间累计减少二氧化碳排放约5.9亿吨。

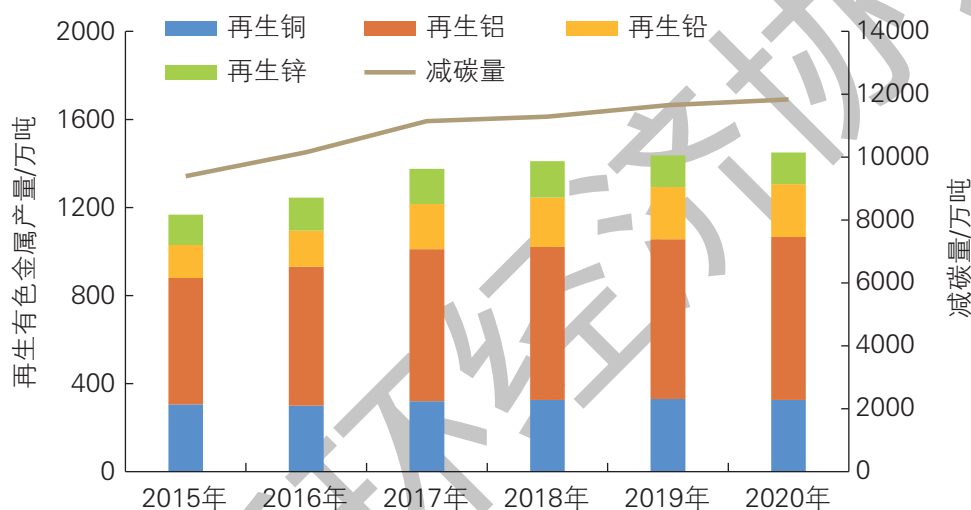


图3 2015-2020年再生有色金属产量及减碳量情况

03 减碳潜力

预计到2025年，我国四类主要再生有色金属产量将达到2000万吨左右^[2]，与利用天然矿石资源生产有色金属相比，将减少二氧化碳排放约1.9亿吨/年。

预计到2030年，我国四类主要再生有色金属产量将达到2660万吨左右，与利用天然矿石资源生产有色金属相比，将减少二氧化碳排放约2.6亿吨/年。

04 对策建议

- ① 健全废有色金属回收体系
- ② 提高废有色金属利用水平
- ③ 依法扩大再生有色金属原料进口规模



三、废纸

01 减碳原理

废纸一般是指来源于生产生活各领域，不能按原用途使用的纸类废弃物，根据国家相关标准，包括废瓦楞纸箱类、废纸盒及废卡纸类、包装废纸类、废新闻纸类、废书刊杂志类、办公废纸类、特种废纸类、混合废纸类等 8 类^[3]。

废纸回收利用可减少木材消耗，简化造纸工艺流程，避免废纸进入填埋或焚烧等处置环节，从而减少二氧化碳排放。

据测算，如仅对比生产环节，与生产原生纸相比，每利用 1 吨废纸生产再生纸可减少二氧化碳排放约 4 吨。

02 减碳贡献

“十三五”期间，我国废纸年回收利用率总体稳定在 5000 万吨左右^[9]。

基于我国废纸回收利用率、碳减排系数等数据，可测算出，2020 年回收利用废纸与生产原生纸相比，减少二氧化碳排放约 2.2 亿吨；“十三五”期间累计减少二氧化碳排放约 10.4 亿吨。

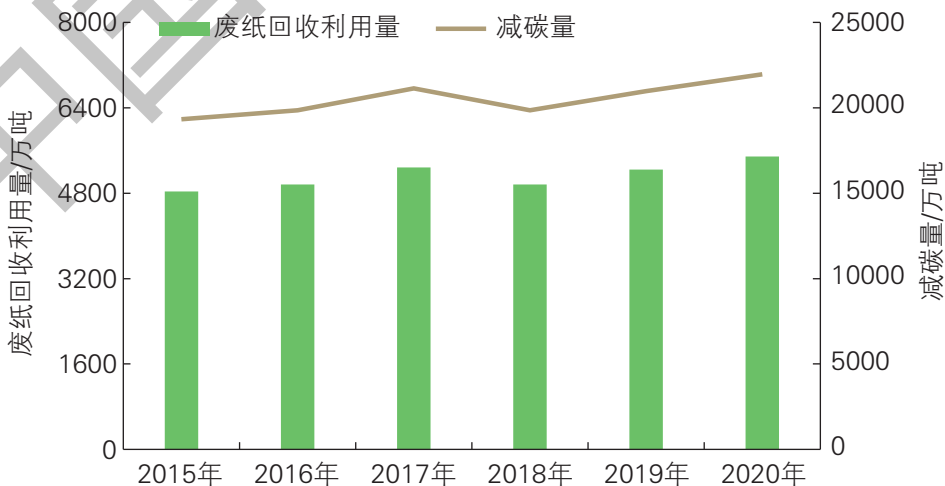


图 4 2015-2020 年废纸回收利用率及减碳量情况

03 减碳潜力

预计到 2025 年，我国废纸回收利用量将达到 6000 万吨，回收利用率达到 65%，与生产原生纸相比，将减少二氧化碳排放约 2.4 亿吨 / 年。

预计到 2030 年，我国废纸回收利用量将达到 6700 万吨，回收利用率达到 70%，与生产原生纸相比，将减少二氧化碳排放约 2.7 亿吨 / 年。

04 对策建议

- ◎ 稳步提高废纸回收利用率
- ◎ 布局建设区域废纸分拣加工中心
- ◎ 提升废纸分拣加工企业规范化水平

四、废塑料

01 减碳原理

废塑料一般是指来源于工农业生产、生活消费中产生的边角料、塑料瓶、包装物、农膜及其他废弃塑料制品^[4]。

塑料的生产过程包括采油、运输、炼油、化工等环节，流程长、能耗高；废塑料再生利用的能耗主要来自于分拣、破碎、挤压等环节，与生产原生塑料相比，缩短了工艺流程，减少了能源消耗，进而产生碳减排效益。

废塑料种类繁多，如仅对比生产环节，与生产原生塑料相比，每利用 1 吨废塑料生产再生塑料可减少二氧化碳排放约 2.9 吨左右。



02 减碳贡献

“十三五”以来，国内废塑料回收利用率总体稳定在 1600–1900 万吨之间^[9]。

基于废塑料回收利用率、碳减排系数等数据，可测算出，2020 年利用废塑料生产再生塑料与生产原生塑料相比，减少二氧化碳排放约 4700 万吨；“十三五”期间累计减少二氧化碳排放约 2.6 亿吨。

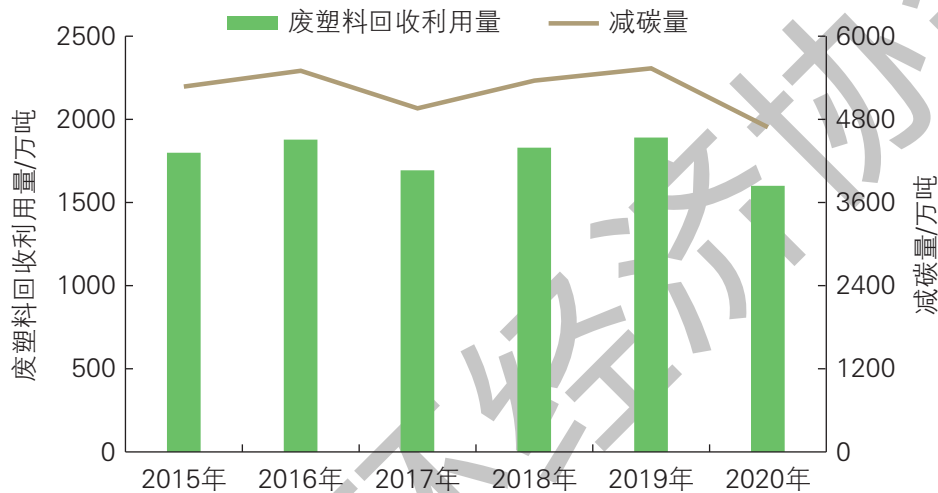


图 5 2015–2020 年废塑料回收利用率及减碳量情况

03 减碳潜力

预计到 2025 年，我国废塑料回收利用率将提升到 2600 万吨左右，与生产原生塑料相比，利用废塑料生产再生塑料将减少二氧化碳排放约 7600 万吨 / 年。

预计到 2030 年，我国废塑料回收利用率将提升到 3400 万吨左右，与生产原生塑料相比，利用废塑料生产再生塑料将减少二氧化碳排放约 9900 万吨 / 年。

04 对策建议

- ① 持续推进废塑料规范加工利用
- ② 完善农村废塑料收运处置体系
- ③ 突破膜袋类废塑料再生利用技术瓶颈
- ④ 提高废塑料材料化利用比例

五、废橡胶

01 减碳原理

废橡胶一般是指失去了原有使用价值的橡胶制品及橡胶，以及橡胶生产中的橡胶废品及边角料。废橡胶综合利用主要通过废旧轮胎翻新、生产再生橡胶、再生胶粉和热裂解四类途径实现二氧化碳减排^[5]。

据测算，如仅对比生产环节，每翻新 1 吨废旧轮胎可减少二氧化碳排放约 0.45 吨；每利用 1 吨废旧轮胎生产再生橡胶可减少二氧化碳排放约 0.37 吨，生产再生胶粉可减少二氧化碳排放约 0.5 吨，热裂解可减少二氧化碳排放约 1.1 吨。

如仅对比生产环节，基于当前废橡胶各类利用途径所占比例及碳减排系数，与生产原生橡胶相比，综合测算得出，每综合利用 1 吨废橡胶可减少二氧化碳排放约 0.54 吨。

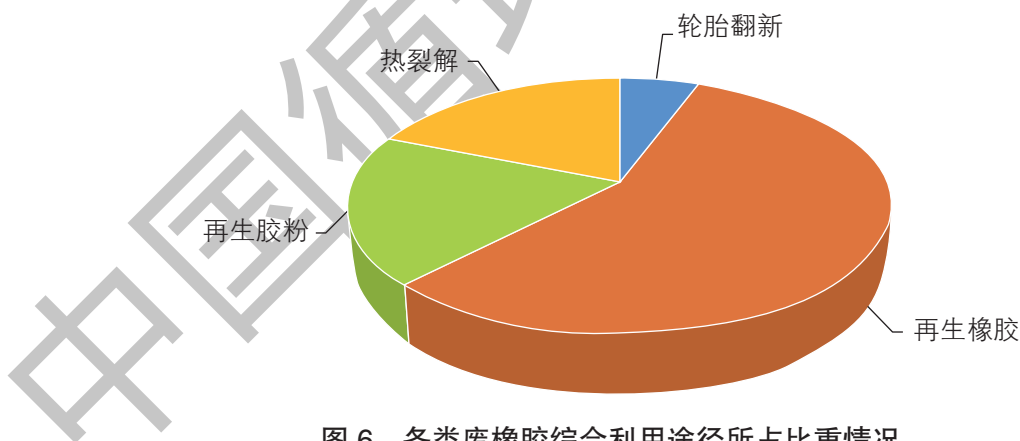


图 6 各类废橡胶综合利用途径所占比重情况

02 减碳贡献

近年来，随着我国汽车保有量的增加，我国废旧轮胎数量也持续增加，目前我国废旧轮胎产生量已超过 3.5 亿条，废橡胶产生量超过 1280 万吨。2020 年，我国废橡胶回收利用量为 625 万吨，仅占产生量的 50%。



基于我国废橡胶的回收利用总量、碳减排系数等数据，可测算出，2020年，通过废旧轮胎翻新、生产再生橡胶、再生胶粉和热裂解等综合利用途径，与生产原生橡胶相比，减少二氧化碳排放约340万吨；“十三五”期间累计减少二氧化碳排放约1600万吨。

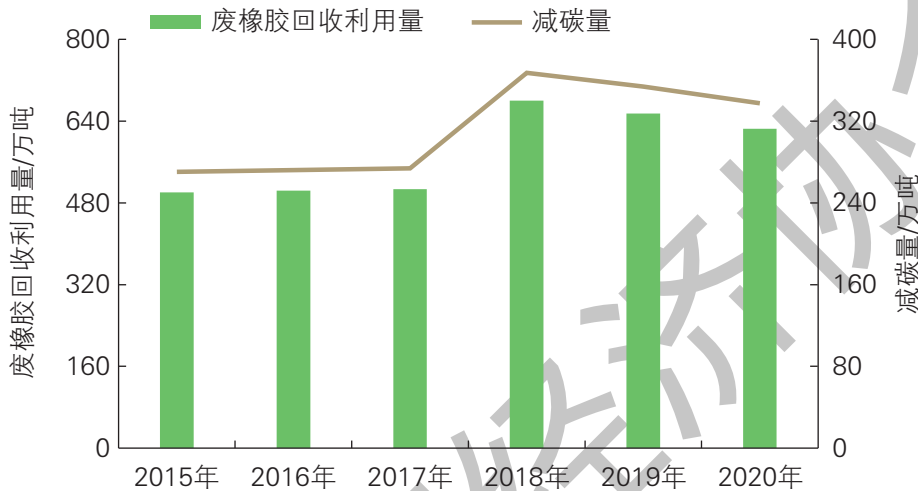


图7 2015-2020年废橡胶回收利用率及减碳量情况

03 减碳潜力

预计到2025年，我国废橡胶回收利用率将达到805万吨左右，通过废旧轮胎翻新、生产再生橡胶、再生胶粉和热裂解等综合利用途径，与生产原生橡胶相比，将减少二氧化碳排放约430万吨/年。

预计到2030年，我国废橡胶回收利用率将达到1012万吨左右，通过废旧轮胎翻新、生产再生橡胶、再生胶粉和热裂解等综合利用途径，与生产原生橡胶相比，将减少二氧化碳排放约550万吨/年。

04 对策建议

- ① 提高废橡胶回收利用率
- ② 加强关键技术与设备创新
- ③ 完善轮胎翻新技术质量标准体系

六、废旧纺织品

01 减碳原理

废旧纺织品主要来源于纺织材料及其制品在生产加工过程中（如纺丝、纺纱、织造、印染、裁剪等）产生的废料和淘汰的纺织制品，包括服装、家用纺织品、产业用纺织品及其他纺织制品等^[6]。

废旧纺织品回收利用有利于减少原生纺织品的生产和消费。根据有限文献资料，如仅对比生产环节，初步估算，每回收利用1千克废旧纺织品，可减少二氧化碳排放3.6千克。

02 减碳贡献

基于我国废旧纺织品回收利用率、碳减排系数等数据，可测算出，2020年，我国生活源废旧纺织品回收利用率约400万吨，约减少二氧化碳排放1450万吨；“十三五”期间累计减少二氧化碳排放约6500万吨。

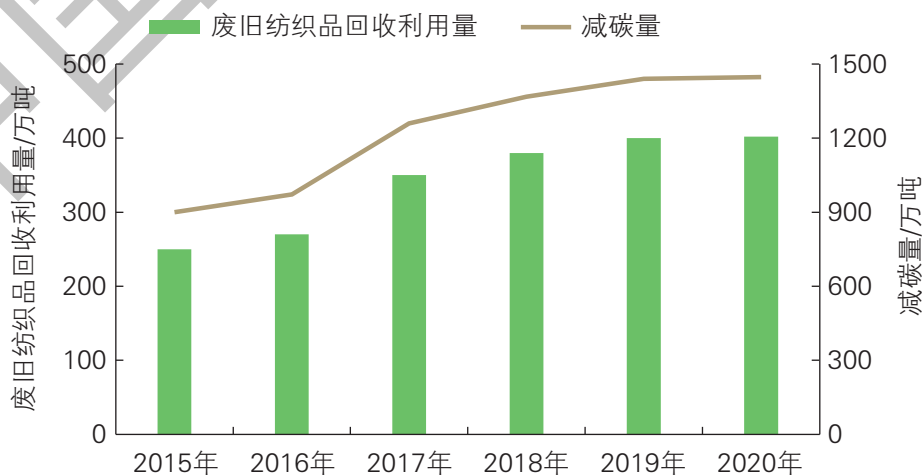


图8 2015-2020年废旧纺织品回收利用率及减碳量情况



03 减碳潜力

预计到 2025 年，我国生活源废旧纺织品回收利用率将达到 460 万吨左右，结合废旧纺织品回收利用的减碳能力，将减少二氧化碳排放约 1700 万吨 / 年。

预计到 2030 年，我国生活源废旧纺织品回收利用率将达到 530 万吨左右，结合废旧纺织品回收利用的减碳能力，将减少二氧化碳排放约 1900 万吨 / 年。

04 对策建议

- ◎ 健全废旧纺织品回收利用体系
- ◎ 完善废旧纺织品综合利用标准体系
- ◎ 健全废旧纺织品回收利用产业链

七、小结

2020 年，废钢铁、废有色金属、废纸、废塑料、废橡胶和废旧纺织品六类主要再生资源循环利用，仅对比生产环节，与利用原生资源相比，可减少二氧化碳排放约 7.6 亿吨；“十三五”期间累计减少二氧化碳排放约 33 亿吨。

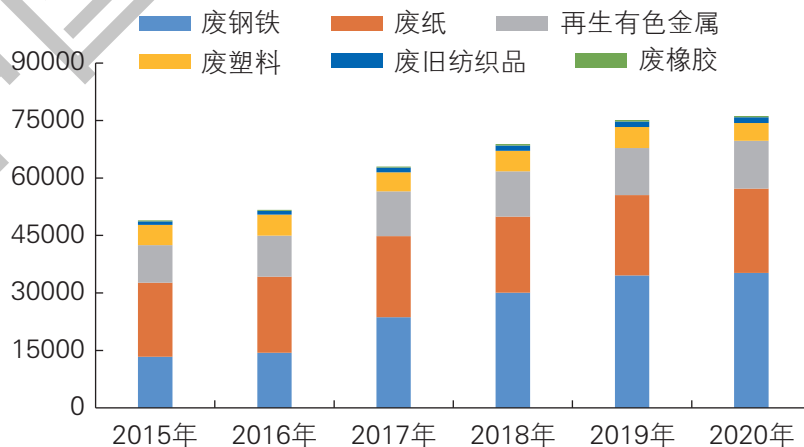
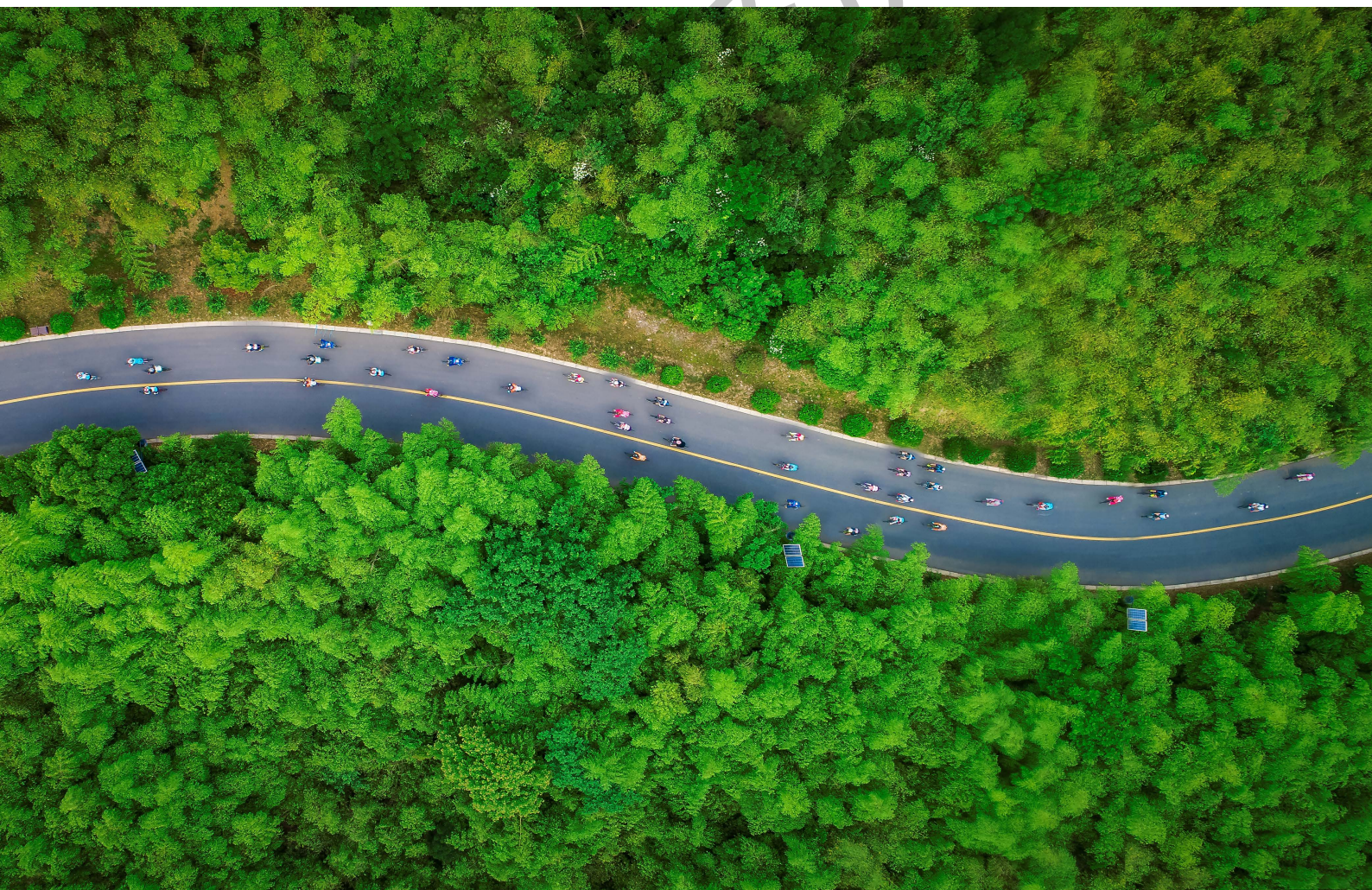


图 9 2015-2020 年主要品类再生资源的减碳情况 (万吨)

随着垃圾分类工作全面深化、再生资源行业稳步发展，预计到 2025 年，仅对比生产环节，与利用原生资源相比，资源再生循环利用将减少二氧化碳排放约 9.9 亿吨；2030 年，将减少二氧化碳排放约 11.6 亿吨。





大宗固废综合利用

01 减碳原理

大宗固体废弃物（以下简称“大宗固废”）指年产生量在1亿吨以上的单一种类固体废弃物，包括煤矸石、粉煤灰、尾矿、工业副产石膏、冶炼渣、建筑垃圾和农作物秸秆等七大类。

大宗固废的综合利用途径主要有两个方面：一是提取各类有价元素，二是替代天然矿产资源生产各类建筑材料。其中，大宗固废提取有价元素，由于其采取的工艺路线等方面与利用天然矿产资源相比并没有根本变化，在多数场景下，节能降碳效果并不明显；而利用大宗固废替代天然矿产资源生产建筑材料，则可有效减少天然矿石开采、优化技术工艺流程、提高系统能效水平，节能降碳效果十分显著。

大宗固废替代天然矿产资源生产建筑材料的减排途径主要有四个方面，如仅对比生产环节：

一是替代天然砂石骨料，通过优化工艺流程，减少天然矿石开采和破碎环节，每综合利用1吨大宗固废生产砂石骨料可减少二氧化碳排放约3.75kg；

二是减少或替代水泥熟料，通过减少煅烧石灰石的量，降低煅烧环节能耗和石灰石分解产生的二氧化碳排放，每综合利用1吨大宗固废可减少二氧化碳排放约850kg；

三是生产固废基胶凝材料替代水泥，通过减少天然石膏及石灰石的开采、破碎、煅烧等环节，与生产水泥相比，每利用1吨工业副产石膏生产石膏基胶凝材料可减少二氧化碳排放约504kg，每利用1吨大宗固废生产其他固废基胶凝材料可减少二

氧化碳排放约 594kg；

四是生产新型墙体材料，通过减少天然矿石的开采、破碎、烧结等环节，每利用 1 吨煤矸石生产烧结砖可减少二氧化碳排放约 3.75kg，每利用 1 吨工业副产石膏生产石膏板可减少二氧化碳排放约 32.8kg，每利用 1 吨粉煤灰生产加气混凝土可减少二氧化碳排放约 363kg。此外，利用大宗固废筑路、回填也可以减少二氧化碳排放，每利用 1 吨大宗固废可减少二氧化碳排放约 2kg。

02 减碳贡献

2020 年，我国用于生产各类建筑材料、筑路、回填的各类大宗固废（农作物秸秆除外）约 28.47 亿吨^[10]。

基于我国大宗固废综合利用率、各类利用方式的减排系数等数据，可测算出，2020 年通过大宗固废综合利用与利用天然矿石资源相比，减少二氧化碳排放约 7.5 亿吨；“十三五”期间累计减少二氧化碳排放约 31.5 亿吨。

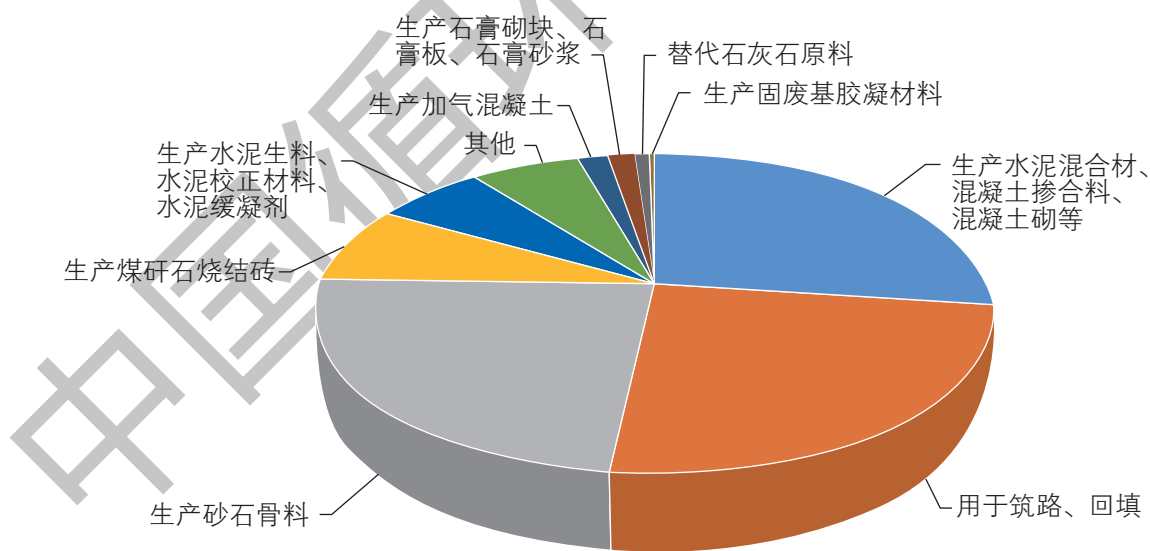


图 10 大宗固废建材化利用结构

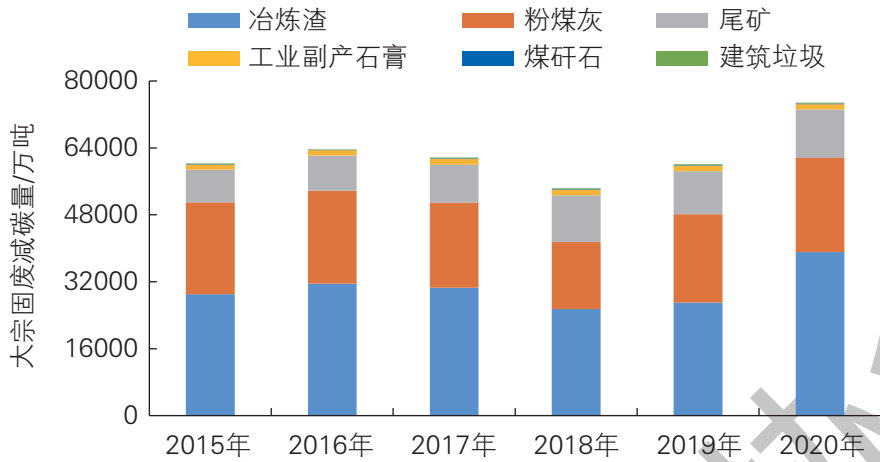


图 11 2015-2020 年大宗固废对碳减排的贡献情况 (万吨)

03 减碳潜力

预计到 2025 年，我国大宗固废综合利用量将达到 40.5 亿吨左右，与利用天然矿石资源生产建材相比，将减少二氧化碳排放约 9 亿吨 / 年。

预计到 2030 年，我国大宗固废综合利用量将达到 45.5 亿吨左右，与利用天然矿石资源生产建材相比，将减少二氧化碳排放约 9.7 亿吨 / 年。

04 对策建议

- ① 加强大宗固废低碳化利用科技创新
- ② 鼓励大宗固废综合利用模式创新
- ③ 提高大宗固废综合利用率



生物质废弃物能源化利用

01 减碳原理

生物质废弃物一般是指在现阶段具有可开发潜力的，来自于生产生活各领域的动物、植物、微生物的生存及衰亡过程中产生的废弃物，包括农作物秸秆、禽畜粪污、林业三剩物、工业有机废水、城镇生活垃圾和市政污泥等^[7]。本报告中主要包括生活垃圾、厨余垃圾、市政污泥、畜禽粪污、农作物秸秆、工业有机废水等。

生物质废弃物通过焚烧、厌氧消化、热解气化等生产电力、生物质燃气、热解气等多种能源和资源产品，可以实现对高碳能源和产品的替代，降低碳排放强度。根据有关标准测算，如仅对比生产环节，每利用生物质废弃物生产1万千瓦时电力可减少二氧化碳排放约8.113吨^[12]。

02 减碳贡献

“十三五”期间，我国生物质废弃物能源化利用量逐年增加，基于我国生物质废弃物能源化利用量、碳减排系数等数据，可测算出，2020年生物质发电量折合约1326亿千瓦时，与利用化石能源相比，减少二氧化碳排放量约1.08亿吨。

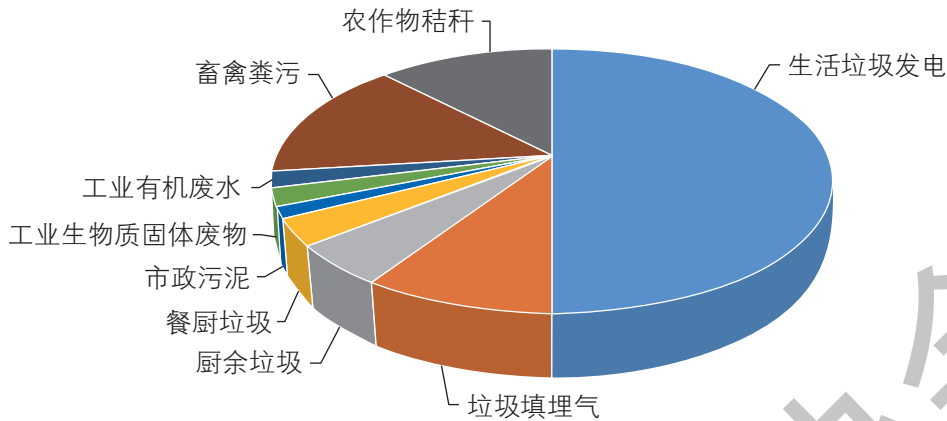


图 12 各类生物质废物的碳减排贡献占比情况

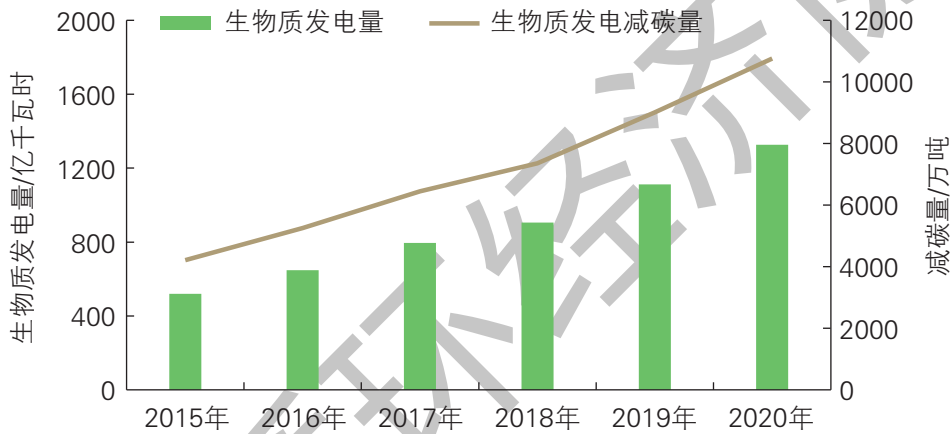


图 13 2015-2020 年我国生物质发电量和碳减排情况

03 减碳潜力

预计到 2025 年，各类生物质废弃物发电量约为 2200 亿千瓦时，与利用化石能源相比，将减少二氧化碳排放约 1.8 亿吨 / 年。

预计到 2030 年，各类生物质废弃物发电量约为 3000 亿千瓦时，与利用化石能源相比，将减少二氧化碳排放约 2.4 亿吨 / 年。

04 对策建议

- ① 持续推进生物质清洁能源利用
- ② 减少甲烷等温室气体逃逸
- ③ 大力发展“工农复合”“种养结合”等农业循环经济模式



余热余能回收利用

01 减碳原理

余热余能是指企业生产过程中释放出来多余的副产热能、压差能，主要包括高温烟气余热、冷却介质余热、废水废气余热、化学反应余热、可燃废气、废液和废料余热、高温产品和炉渣的余热等，其中高温烟气余热约占 50%。

余热余能回收利用是节约能源的重要途径，可以直接减少化石能源消耗，从而减少二氧化碳排放。

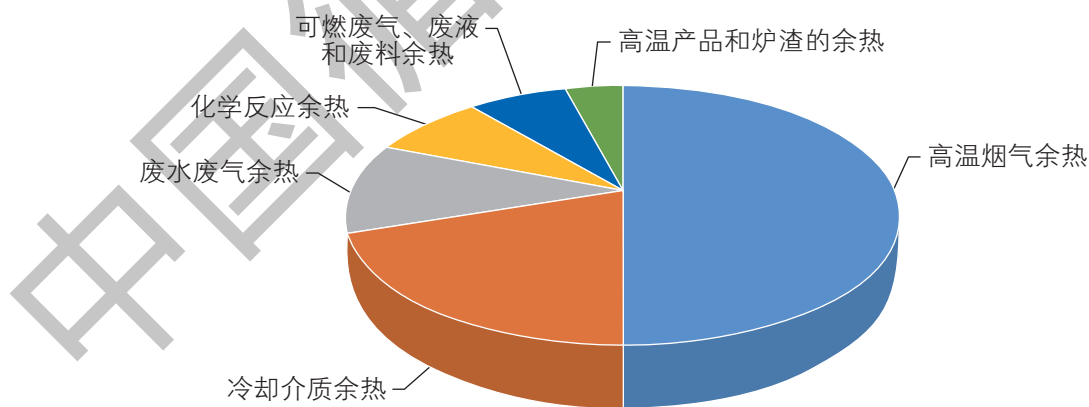


图 14 我国余热余能资源结构图

02 减碳贡献

基于我国余热余能回收利用量、碳减排系数等数据，可测算出，2020 年我国可



回收利用的余热总资源量约为 12.5 亿吨标准煤，实际回收利用的余热资源约为 3.75 亿吨标准煤，与利用化石能源相比，减少二氧化碳排放约 9.98 亿吨；“十三五”期间累计回收利用余热约 17.67 亿吨（以标准煤计），减少二氧化碳排放约 47 亿吨。

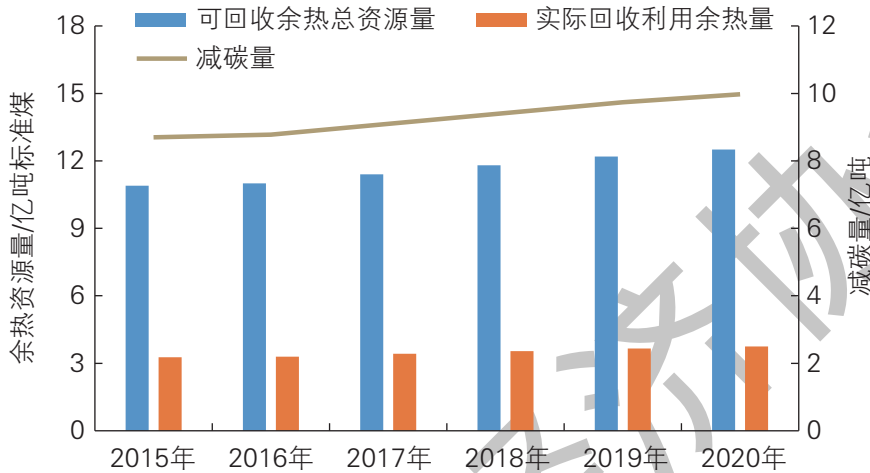


图 15 2015-2020 年我国余热资源量、回收利用量和碳减排情况

03 减碳潜力

预计到 2025 年，我国余热总资源量约 14.2 亿吨标准煤，若回收利用率达到 40%，则回收量可达 5.68 亿吨左右，通过回收利用余热余能将减少二氧化碳排放约 15 亿吨 / 年。

预计到 2030 年，我国余热总资源量约 16.1 亿吨标准煤，若回收利用率达到 50%，则回收量可达 8.05 亿吨左右，通过回收利用余热余能将减少二氧化碳排放约 21 亿吨 / 年。

04 对策建议

- ◎ 有效提高余热回收利用率
- ◎ 加大对余热余能回收利用的政策支持
- ◎ 加强余热余能回收利用技术研发力度



园区循环化改造

01 减碳原理

园区循环化改造可以大幅提升资源和能源利用效率，进而支撑二氧化碳减排，主要体现在以下几个方面：一是园区内产业补链延链，实现了项目间、企业间、产业间物料循环利用，推动原料投入和废物排放的减量化、再利用和资源化，减少了原料生产和废物处理过程的碳排放；二是余热余压的梯级利用，提高了能源利用效率，减少了能源消耗的碳排放；三是污染集中治理和设施改造升级，提高了各类设备的运行效率，降低运行成本，减少了电力等资源投入，从而减少基础设施运行过程中的碳排放。

02 减碳贡献

2011年-2017年，国家组织开展了七批共129个园区实施循环化改造，省级层面也积极推进相关工作，取得了显著进展。据统计，已通过验收的69个国家级园区循环化改造示范试点累计减少二氧化碳排放约3.5亿吨^[1]。

03 减碳潜力

按照国家相关规划，“十四五”期间，具备条件的省级以上园区将全部实施循环化改造。目前，纳入国家开发区目录的省级以上园区有近2000个，若全部实施循环化改造，预计可减少二氧化碳排放数十亿吨。



04 典型案例

某经济开发区以玻璃制造及玻璃深加工产业为主导，以陶瓷、炭黑、食品加工为支撑，同时大力发展先进装备制造、新材料等新兴产业。循环化改造过程中，园区建设了一批重点支撑项目，逐步形成了物质、能量在区域范围内的大循环，废物资源化利用，能源梯级利用，园区资源利用水平显著提升。

据测算，通过实施循环化改造，开发区单位 GDP 能耗由 2016 年的 3.05 吨标煤 / 万元下降至 2019 年的 1.53 吨标煤 / 万元，下降 49.8 个百分点，单位地区生产总值二氧化碳排放指标呈持续下降趋势，2018 年降低到 3.87 吨 / 万元。开发区内某能源公司 480 万标准立方米 / 日高效清洁燃气项目的实施，推动开发区实现了能源基础设施共建共享、能源梯阶利用。每年可节约 90 万吨煤，煤气转化率提升 30 个百分点，项目的实施可使全区每年节电 2.8 亿度，折合标煤约 10 万吨。

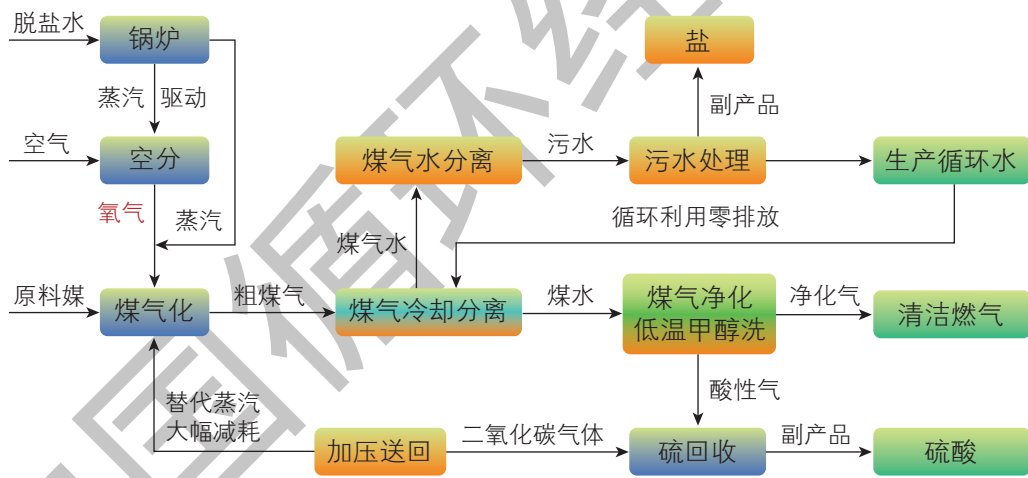


图 16 开发区内某能源公司的工艺流程图

05 对策建议

- ⊙ 集中建设园区冷热汽等能源基础设施
- ⊙ 引导园区产业横向链接耦合共生
- ⊙ 提升园区物质流管理水平



再制造

01 减碳原理

再制造是以旧的机器设备为毛坯，采用专门的工艺和技术，对毛坯进行专业化修复或升级改造，使其质量特性不低于原型新品水平的过程，包括恢复性再制造和升级性再制造^[8]。

与制造原型新品相比，再制造产品保持不低于原型新品的质量水平，既延长了产品的使用寿命，又提高了材料的利用效率，进而减少了制造原型新品产生的碳排放。

根据公开文献，如仅对比生产环节，与制造原型新品相比，通过再制造可节约新材料 70%–80%，减少二氧化碳排放 79%–99%。

02 减碳贡献

基于我国再制造产业规模、各类再制造零部件和装备的碳减排系数，可测算出，2020 年，与制造原型新品相比，我国再制造产业减少二氧化碳排放约 1210 万吨。

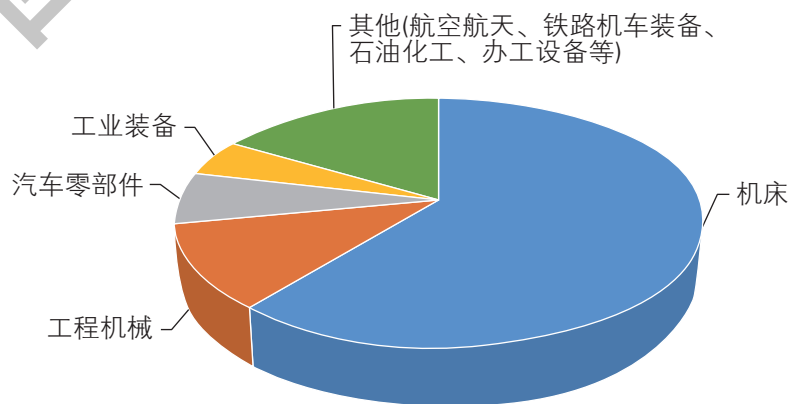


图 17 再制造各领域的碳减排贡献比重



03

减碳潜力

预计到 2030 年，工业装备、汽车零部件、工程机械、机床四个典型再制造领域碳减排量将大幅增长，与制造原型新品相比，将减少二氧化碳排放约 1.13 亿吨。

04

对策建议

- ① 创新再制造服务商业模式
- ② 建立健全旧件回收体系，建设逆向物流体系
- ③ 推进航空航天、高端医疗装备、国防装备等再制造
- ④ 加大再制造共性关键技术的研发力度





总结与展望

根据研究，我们认为发展循环经济对减少碳排放的支撑作用十分显著，部分重点领域对碳减排的贡献已得到国际社会认可，如，工业余热循环利用项目、生物质废弃物发电项目、水泥等工业过程减排项目等已纳入清洁发展机制（CDM）。同时，建筑垃圾制备低碳预拌混凝土、余能回收利用、非碳酸盐原料生产水泥、水泥生产中增加混材、生物质热电联产、秸秆生产人造板等已纳入 CCER 方法学备案清单。

课题组基于相关公开数据、公开文献等基础数据，并参考了相关方法学，对循环经济支撑碳减排的贡献进行了初步量化研究，我们认为：“十三五”期间，发展循环经济对我国碳减排的综合贡献率达到 25% 左右，并有望在 2025 年突破 30%，2030 年达到 35%。循环经济支撑碳减排的重点领域分别是：

◎ 资源再生循环利用，通过回收利用废钢铁、废塑料、废纸等再生资源，可简化工艺流程、降低生产过程能耗实现碳减排。2020 年，与利用天然资源相比，减少二氧化碳排放约 7.6 亿吨。

◎ 大宗固废综合利用，利用粉煤灰等非碳酸盐固体废弃物生产各类建筑材料，实现对天然矿产资源，特别是石灰石原料的替代，减少天然矿石开采、优化工艺流程、提高系统能效水平实现碳减排。2020 年，与利用天然矿产资源相比，减少二氧化碳排放约 7.5 亿吨。

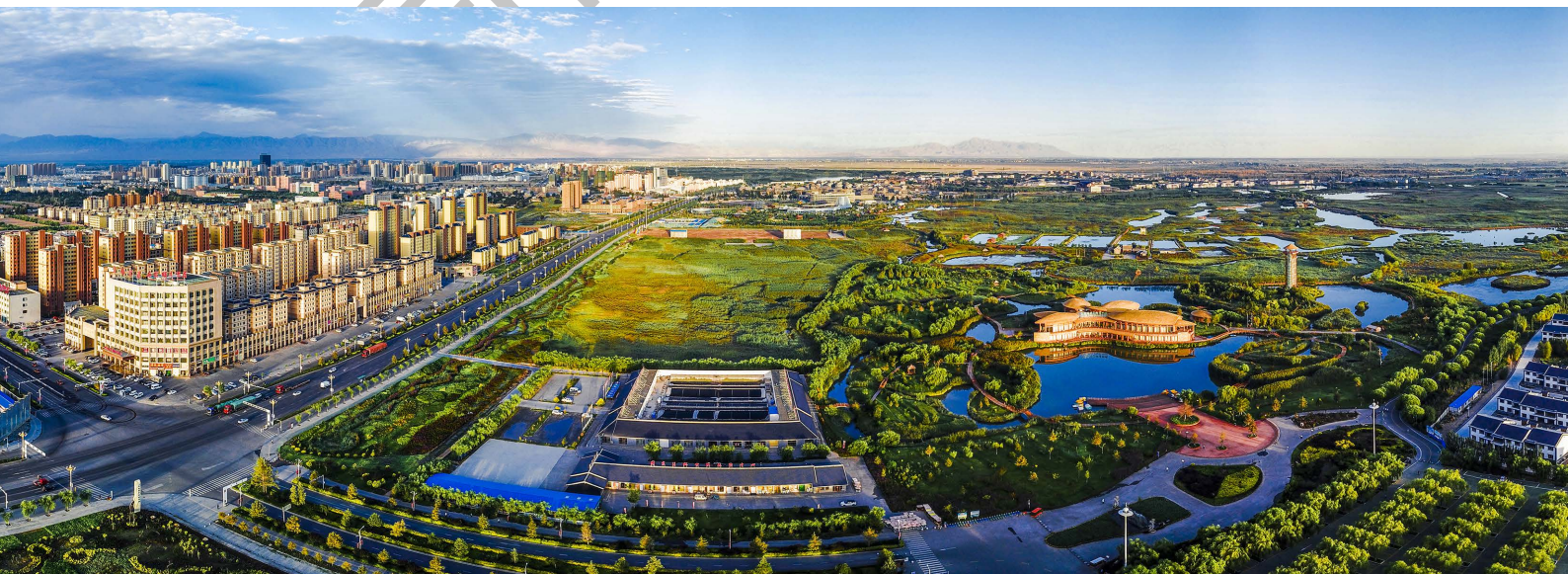
◎ 生物质废弃物能源化利用，可以直接减少化石能源消费带来的二氧化碳排放。2020 年，与利用化石能源相比，减少二氧化碳排放约 1.08 亿吨。

◎ 余热余能回收利用，可以直接减少化石能源消费带来的二氧化碳排放，提高能源利用效率。2020年，与利用化石能源相比，减少二氧化碳排放约9.98亿吨。

◎ 再制造，能够延长旧件产品使用寿命，又能实现产品部分零部件价值保留，提高材料利用效率，降低单位产品生产制造过程产生的碳排放。2020年，与制造原型新品相比，再制造可减少二氧化碳排放约0.12亿吨。

此外，产品生态设计等减量化活动，二手商品循环利用、园区循环化改造、推广绿色消费等循环经济的重点领域对碳减排也有较大贡献，但由于缺少相关数据和研究方法，课题组暂未对其进行量化研究。因此，本报告对循环经济支撑碳减排综合贡献率的结论相对保守，未能反映所有循环经济活动对碳减排的贡献。有国际组织提出，通过发展循环经济有望在2050年前减少全球水泥、钢铁、塑料和铝等材料生产过程中40%的二氧化碳排放量。

总之，国内外发展循环经济的实践证明，循环经济是对大量生产、大量消费、大量废弃的传统粗放型发展方式的根本变革；是实现资源永续利用，确保我国资源战略安全的重要保障；是从源头预防环境污染，有效化解环境风险的有效途径；是适应全球绿色发展趋势，积极应对气候变化的重要措施；是推进绿色化，加快建设生态文明，实现可持续发展的必然选择。



主要参考文献

- [1] 郦秀萍, 上官方钦等. 钢铁制造流程中碳素流运行与碳减排途径 [M]. 北京: 冶金工业出版社. 2021
- [2] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. “十四五”循环经济发展规划 [Z]. 2021-07-07.
- [3] GB/T 20811-2018. 废纸分类技术要求 [S]. 北京: 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会, 2018.
- [4] 中华人民共和国环境保护部, 中华人民共和国国家发展和改革委员会, 中华人民共和国商务部. 废塑料加工利用污染防治管理规定 [Z]. 2012-08-24.
- [5] GB/T 40009-2021. 废轮胎、废橡胶热裂解技术规范 [S]. 北京: 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会, 2021.
- [6] GB/T38923-2020. 废旧纺织品分类与代码 [S]. 北京: 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会, 2021.
- [7] 刘贞先, 伊晓路, 孙立等. 中国生物质废弃物利用现状分析 [J]. 环境科学与管理, 2007(02): 104-106.
- [8] GB/T 28619-2012. 再制造术语 [S]. 北京: 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会, 2012.
- [9] 中华人民共和国商务部. 中国再生资源回收行业发展报告 [R]. 2021-06-30.
- [10] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 关于“十四五”大宗固体废弃物综合利用的指导意见 [Z]. 2021-04-29.
- [11] 谢元博, 张英健等. 园区循环化改造成效及“十四五”绿色循环改造探索 [J]. 环境保护. 2021. 05.
- [12] GB/T 2589-2020. 《综合能耗计算通则》[S]. 北京: 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会, 2020.

中国循环经济协会



中国循环经济协会

电话 / 010-8229 0313 8833 4644

传真 / 010-8229 1231 8833 4622

网址 / www.chinacace.org

地址 / 北京市西城区阜成门外大街一号四川大厦东塔楼28层

邮编 / 100037