



# 共塑价值链 再生铝产业的协同与突破





## 落基山研究所（RMI）

落基山研究所 (Rocky Mountain Institute, RMI) 成立于1982年，是一家立足市场、独立运作的专业智库，致力于通过经济可行的市场化解决方案推动全球能源转型，构建繁荣、韧性、清洁的低碳未来。落基山研究所与企业、政策制定者、科研机构、创业者及跨领域伙伴广泛协作，推动战略性投资，以扩大清洁能源解决方案的规模化部署、减少能源浪费、并提升可负担清洁能源的可及性，在保障能源安全 and 经济效益的同时，携手共创可持续的美好愿景。目前，落基山研究所的研究和实践已覆盖全球50余个国家和地区。



## 中国有色金属工业协会再生金属分会（CMRA）

中国有色金属工业协会再生金属分会（简称：再生金属分会，英文缩写：CMRA）成立于2002年5月，隶属于中国有色金属工业协会，是由我国再生有色金属行业中，从事生产、科研、设计、应用、设备制造、商贸及相关领域的企、事业单位、社团组织等相关单位自愿组成，为实现共同意愿，并经原国家经贸委和民政部批准设立的全国性社会组织，现有会员单位500多家、国外重点联系企业200多家。再生金属分会始终遵循为“政府、产业、企业”服务的宗旨，秉承“会员是亲人，促进产业发展是我们天职”的理念，不断推进产业进步和规范化规模化发展，持续推动国际合作和原料保障，积极协助并参与国家有关产业战略规划和政策制定。每年定期举办再生金属国际论坛及展览交易会，已经成为全球最具影响力的再生有色金属产业品牌会展。

# 作者与鸣谢

## 作者

落基山研究所      中国有色金属工业协会再生金属分会

|     |     |
|-----|-----|
| 李抒苒 | 李波  |
| 李婷  | 刘龙  |
| 闫榕  | 刘巍  |
|     | 于昱龙 |
|     | 张琳  |

作者按姓名拼音顺序排列。

## 联系方式

李抒苒, [sli@rmi.org](mailto:sli@rmi.org)

刘龙, [liul@chinacmra.org](mailto:liul@chinacmra.org)

## 引用建议

落基山研究所, 中国有色金属工业协会再生金属分会, 共塑价值链: 再生铝产业的协同与突破, 2024, <https://rmi.org.cn/insights/collaboration-and-breakthroughs-in-the-recycled-aluminum-industry/>

RMI 重视合作, 旨在通过分享知识和见解来加速能源转型。因此, 我们允许感兴趣的各方通过知识共享 CC BY-SA 4.0 许可参考、分享和引用我们的工作。 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

除特别说明, 本报告中所有图片均来自iStock。

## 鸣谢

特别感谢汇丰气候解决方案伙伴计划对本报告的支持。

# 目录

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 前言 .....                       | 5  |
| 一、再生铝规模化应用：铝行业碳减排的关键手段 .....   | 6  |
| 1.1 应用扩展与低碳趋势推动铝需求持续上升 .....   | 6  |
| 1.2 再生铝成为铝行业绿色转型的重要途径 .....    | 8  |
| 二、从资源到市场：再生铝产业链构成和关键挑战 .....   | 9  |
| 2.1 再生铝产业链的构成及运作机制 .....       | 9  |
| 2.2 再生铝产业发展瓶颈与挑战 .....         | 16 |
| 三、推动规模化：再生铝应用的典型模式 .....       | 19 |
| 3.1 铝水直供：生产链一体化与效率提升 .....     | 19 |
| 3.2 联合研发：攻克再生铝高性能应用的技术难题 ..... | 21 |
| 3.3 闭环回收：构建产业链深度协同发展 .....     | 24 |
| 四、结语 .....                     | 27 |

# 前言

当前，全球气候治理和低碳转型步伐加快，我国也正处于气候行动的关键时间节点和战略窗口期。一方面，“十五五”规划即将启动，其政策导向和产业布局规划将深刻影响未来十年我国低碳发展的路径选择。其中，“加快经济社会发展全面绿色转型”这一明确要求，不仅涉及能源结构调整，还涵盖生产方式、消费模式等诸多方面，标志着一场全局性、系统性的深刻变革。在这一变革中，废弃物循环利用成为推动绿色转型的关键环节。与此同时，我国已向联合国提交 2035 年国家自主贡献（NDC）目标，首次提出覆盖全经济领域、涵盖所有温室气体的绝对量减排承诺，标志着我国碳排放治理从以往的强度控制迈向总量控制的重大跨越。这一转变也意味着对产业减排路径提出了更高要求。

在此背景之下，再生铝产业正处于前所未有的战略机遇期。它不仅是铝行业实现深度减排的关键路径，直接支撑我国碳排放总量控制的目标，更是循环经济和资源高效利用的典型代表，成为推动经济社会绿色转型的重要力量，并将在这一进程中迎来更广阔的发展空间。近年来，我国再生铝产业发展迅速，政策目标不断提升。《“十四五”循环经济发展规划》明确提出，到“十四五”末再生铝产量达到 1150 万吨。截至 2024 年，产量已接近目标，达到 1055 万吨。今年 3 月，工业和信息化部发布《铝产业高质量发展实施方案（2025—2027 年）》，进一步提高要求，提出到 2027 年再生铝产量达到 1500 万吨以上。可以预见，未来政策将继续强化再生铝产业的高质量发展方向，推动规模提升、技术创新和绿色低碳转型，为行业实现可持续发展奠定基础。未来，汽车、建筑以及计算机、通信和消费类（Computer, Communication, Consumer Electronics; 3C）电子产品等下游行业对低碳材料的需求持续攀升，也将成为驱动再生铝产业发展的强劲引擎。

经过长期市场实践，再生铝行业的技术和经济可行性已得到验证，产业模式也在持续优化；行业产能稳步扩张，产业链加速延伸，技术装备和产品创新不断取得进展。再生铝行业在不断发展中迎来了关键阶段：一方面，铝需求量持续攀升，在电解铝产能受限的背景下，再生铝替代原铝的需求显著增加，并向高端应用转移；另一方面，我国即将进入废铝集中释放阶段，原料供给潜力巨大。这为行业突破传统路径、探索新模式提供了条件和必要性，尤其是在技术实现难度大、经济性存在挑战的领域。对于企业而言，这不仅有助于实现产品低碳价值、抢占市场先机，更是推动铝行业整体减排、提升产业形象的重要契机。

然而，要实现这一目标，再生铝行业仍面临三大核心挑战：第一，“原料供给—产能布局—下游需求”之间的协调性不足，导致中游生产环节承受原料端与需求端的双重压力，利润空间被挤压，制约技术升级；第二，技术、装备与产品结构仍需突破，包括分选与熔炼设备水平、预处理与工艺集成能力，以及高性能产品开发等方面；第三，标准体系与认证机制亟待完善，需要加快国内标准更新与落地，并推动与国际标准的互认接轨。

值得关注的是，行业内已出现新的探索与实践，如通过上下游协同实现材料加工 - 设计生产 - 回收利用的全过程协同，构建绿色闭环绿色供应链体系，解决原料和技术问题，提升铝水直供比例、推动终端深度参与合金研发，以及前端精细化保级回收等。这些模式不仅为行业创新提供了有益经验，也在一定程度上回应了当前的三大挑战，为再生铝行业突破传统路径、实现高质量发展提供了实践支撑。

本报告首先对再生铝行业的重要性与发展成果进行了回顾，以帮助读者建立对再生铝行业的整体认知；在此基础上，深入剖析行业实现突破性发展的核心挑战，并总结和评估已有的先进协作模式，探讨这些模式如何在助力企业成长的同时，推动行业发挥更大减碳效能，力求为政策制定、行业规划及企业实践提供参考，推动再生铝行业迈向高质量、低碳、可持续发展。

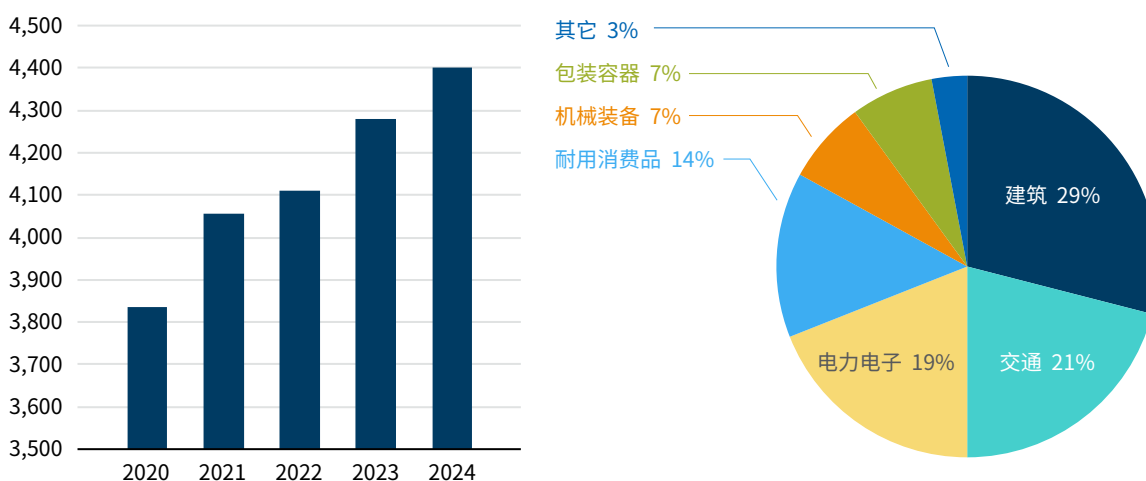
# 1. 再生铝规模化应用：铝行业碳减排的关键手段

## 1.1 应用扩展与低碳趋势推动铝需求持续上升

铝是重要的战略性金属资源，广泛应用于建筑行业的结构材料、汽车制造业的轻量化部件、航空工业的耐用合金、电讯领域的导电材料、生活中的食品饮料包装等多个关键领域，在国民经济转型升级中发挥着不可或缺的关键作用。同时，铝也是未来最具应用潜力的金属之一，随着全球范围内轻量化和绿色低碳转型发展理念深入人心，铝材料将为相关制造业的高质量发展提供有力支持。

2020 年至 2024 年间，我国原铝消费量由 3835 万吨稳步攀升至 4518 万吨，实现了年均 4.18% 的复合增长率。预计到 2030 年，我国铝消费将保持在 5300 万吨左右，其中原铝消费量或将逼近 4500 万吨，较 2023 年增长 5%。从消费结构看，建筑领域的消费占比最高，2024 年达到 23%，用铝量为 1205 万吨。而从增长速度的角度看，交通运输领域对铝的需求增速较快且仍持续攀升，2022 至 2024 年复合增长率达 11.3%。以汽车行业为例，2024 年国内新能源单车用铝量约 230kg，根据《节能与新能源汽车技术路线图》中规划，到 2025 年与 2030 年我国单车铝合金将分别达到 250 kg、350 kg。未来，随着中国快速城市化进程的放缓，铝消费结构将逐步转向交通运输领域为主。此外，包装容器领域增速也超过 4%。新能源汽车、光伏、3C 电子、电力的需求快速增长也促进了铝应用扩大。

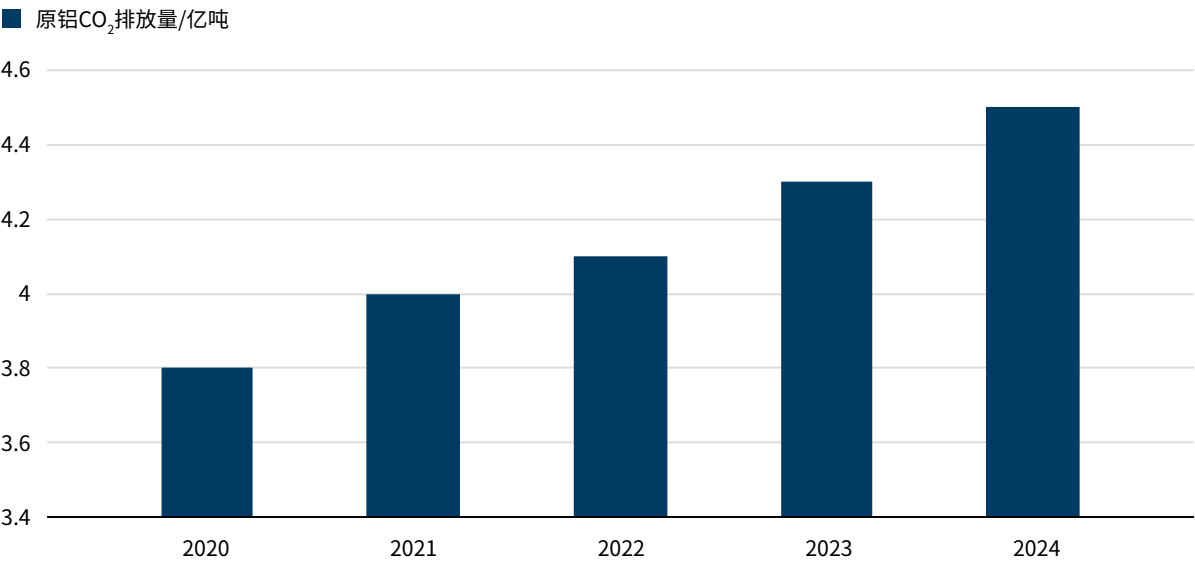
图表 1 我国原铝消费量变化图（2020~2024年）及各领域铝消费占比（2024年）



数据来源：中国有色金属工业协会（CNIA）

在铝应用进一步扩大，铝需求量不断攀升，在下游制造业加快绿色低碳转型的背景下，铝行业的碳减排工作面临着新的、更高的要求。2024 年，我国原铝冶炼能源结构中 73.8% 是火电，随着产量的增加，生产过程中的碳排放量也相应地呈现出上升的趋势。从 2020 年至 2024 年，原铝的碳排放量已经从 3.8 亿吨增长至 4.5 亿吨。预计在 2030 年前，我国原铝产量或将接近 4500 万吨的“天花板”水平。因此，铝行业的减碳进程对新能源、电动汽车等新兴产业的绿色发展至关重要，扩大再生铝快速应用与普及势在必行。

**图表 2**      **原铝CO<sub>2</sub>排放量（2020~2024年）**



数据来源：中国有色金属工业协会（CNIA）

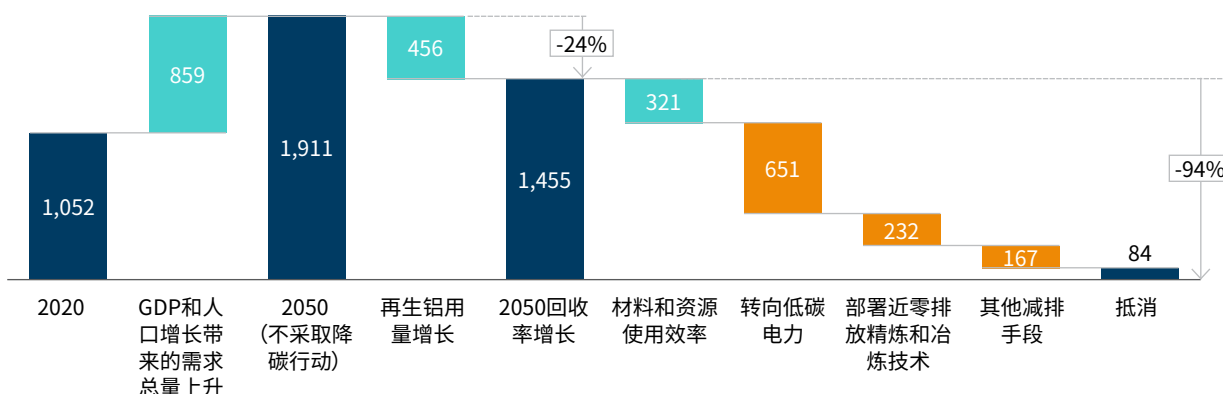
## 1.2 再生铝成为铝行业绿色转型的重要途径

在全球范围内，铝行业如何实现碳中和已形成了广泛共识，其核心策略聚焦于三大方面：电力脱碳、减少直接温室气体排放（使用绿氢燃料、碳捕集利用及储存技术、惰性阳极等）以及大力推动循环利用。铝行业要实现 2050 年达到净零排放的目标，有约 4.56 亿吨（占 24%）的减排量将由扩大再生铝的使用实现；此外，使用低碳电力和部署近零排放精炼和冶炼技术可以分别带来约 6.51 亿吨和约 2.32 亿吨的减排量。在我国，有效推进铝行业的绿色转型，构建一个涵盖“电力结构的深度转型、阳极技术的突破性进展，以及回收利用水平的大幅度提升”的三位一体综合战略，对铝工业在碳减排道路上取得决定性胜利具有至关重要的战略意义。

图表 3 全球铝行业实现2050年净零目标的路径

铝行业排放量,百万吨二氧化碳当量/年

■ 总排放量 ■ 需求变化 ■ 供给侧脱碳

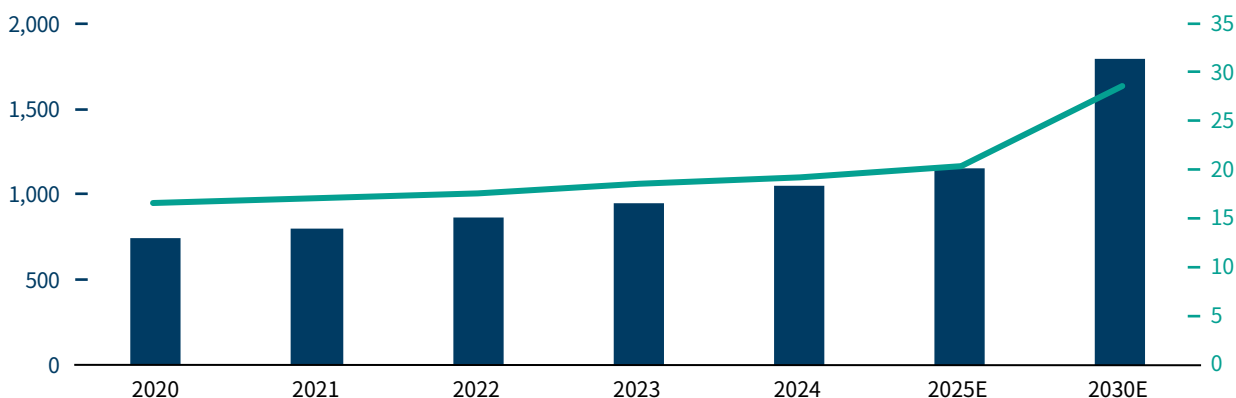


数据来源：可行使命伙伴关系 (Mission Possible Partnership, MPP)

再生铝生产流程相对较短，能源消耗以天然气为主，原料以回收铝为主，产品广泛应用于汽车、建筑、电力电子等国民经济重要领域。2020 年至 2024 年间，我国再生铝生产相比使用火电生产原铝减少二氧化碳排放 5.7 亿吨。再生铝产量在铝总产量的比例持续走高，从最初的 16.8% 上升至 19.34%，预计到 2030 年，这一比例将进一步提升至 28.6%，达到历史新高。原生铝企业和铝加工企业纷纷加速布局再生铝的回收利用，下游制造业对产品低碳、绿色属性要求不断加强。从重点行业看，再生铝使用量在燃油车中已达到整车用铝量的 60% 以上，在新能源车中约为整车用铝量的 20%，在易拉罐中超过 40%，在建筑装饰板材中占比近 15%。

图表 4 再生铝产量及在铝中占比变化图（2020~2024年及2025年、2030年预测）

■ 再生铝产量(万吨) — 再生铝达到铝总产量比例(%)



数据来源：CMRA

# 2. 从资源到市场：再生铝产业链构成和关键挑战

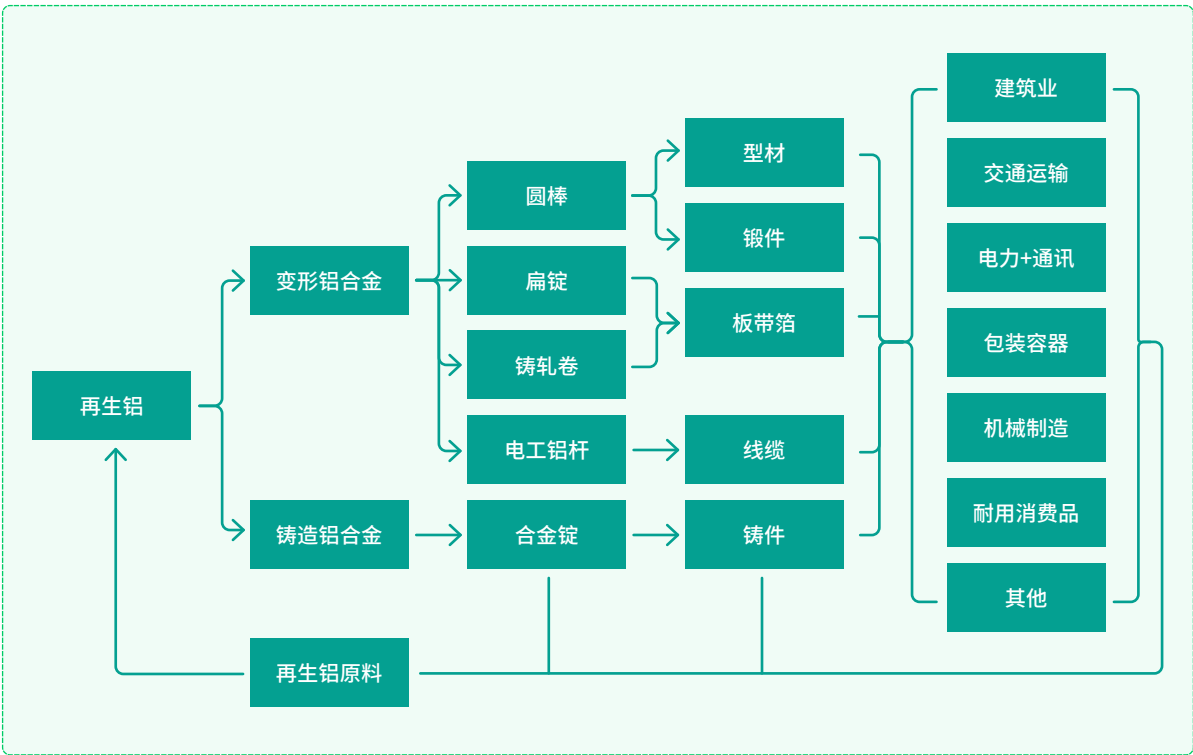
如前所述，作为铝工业绿色转型的关键载体之一，再生铝产业已成为推动资源循环利用和实现碳中和目标的重要抓手，在缓解原生矿产资源消耗压力、减少全产业链碳排放方面展现出显著优势。

本章第一部分从再生铝产业链的上、中、下游三个环节入手，系统介绍各环节的基本情况与特征，并结合铝行业脱碳路径，明确各环节在绿色转型过程中亟需关注的关键议题，构建行业全景；第二部分则聚焦目前再生铝行业所面临的瓶颈与挑战，为后续的案例和进一步讨论奠定基础。

## 2.1 再生铝产业链的构成及运作机制

再生铝产业链由如下三个部分构成：上游以多元化再生铝原料回收体系为支撑，覆盖建筑拆解、交通工具报废、电力设施更新、包装材料回收及耐用消费品循环等多个领域；中游生产环节以再生铝资源化利用为核心，通过预处理、精细化分选、熔炼、合金化调配等工艺流程，将回收料转化为铝合金锭、铝液、铝棒等标准化产品；下游再生铝合金应用于汽车、建筑、包装、消费品等诸多领域，其中以交通装备制造和建筑领域为重点：在交通领域，再生铝合金广泛应用于汽车发动机缸体、轮毂、底盘构件等关键部件；在建筑领域，则重点开发装配式建筑构件等绿色建材产品。

图表 5 再生铝产业链构成

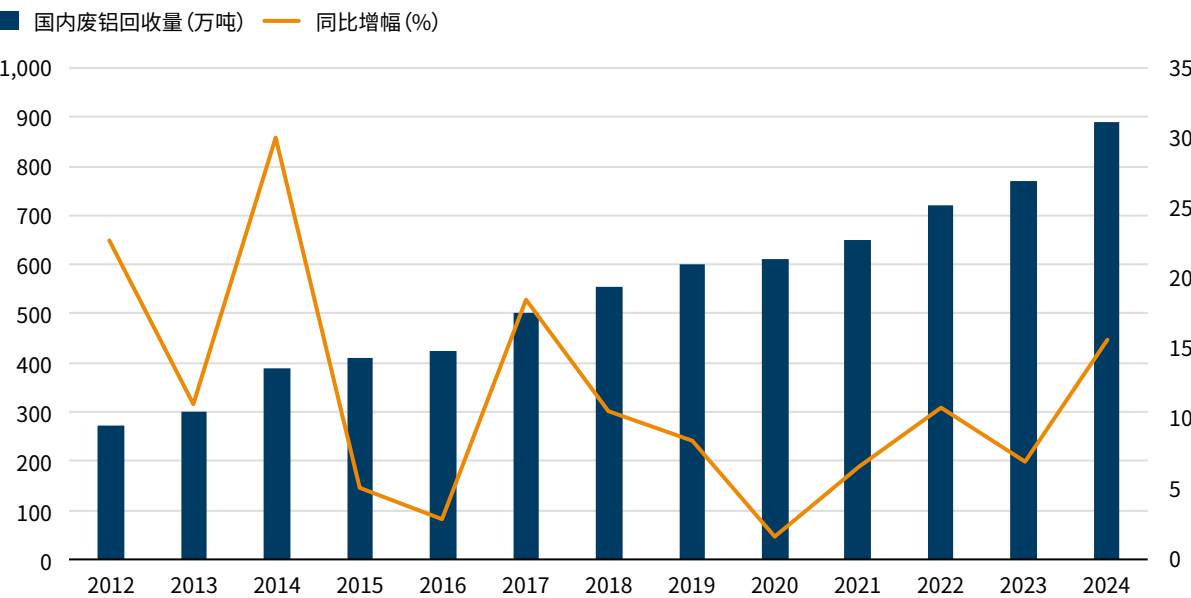


数据来源：CMRA

(1) 上游：再生铝原料回收体系

我国再生铝原料已形成“国内为主，进口作为重要补充”的结构，同时新料与旧料来源双轨并行发展。其中新料指在铝及铝合金材料加工过程中产生的工艺余料，以及报废品等，在我国再生铝原料总量中占比约为 17%；旧料指建筑材、汽车、包装物等终端产品生命周期结束后产生的回收铝，约占 83%。要更进一步推动再生铝行业对铝行业整体脱碳的重要作用，一方面应尽量提高再生铝原料保级利用水平；另一方面则需加快构建覆盖终端产品全生命周期的回收网络，扩大消费后再生铝原料的回收规模和应用领域，以支撑再生铝在深度减排中的核心作用。

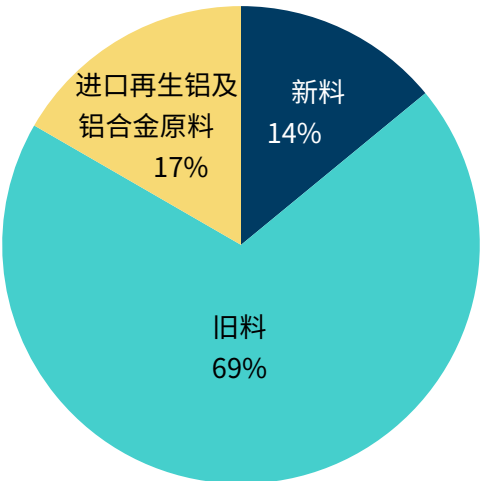
图表 6 国内再生铝原料回收情况（2012-2024年）



数据来源: CMRA

2012-2024 年间，再生铝原料国内回收量快速增长，年复合增长率 10.38%，累计回收量达 7157 万吨。2024 年，回收量达到 890 万吨，同比增长 14.1%，其中新料约 150 万吨，旧料约 740 万吨。再生铝原料国内回收量在总供应中占比达 83%。预计到 2030 年，国内回收量达 1513 万吨，较 2024 年增长 70%

图表 7 再生铝原料占比情况（2024年）



数据来源: CMRA

## ● 国内回收新料

新料主要产生于铝材加工及精密压铸工艺环节，具体包括机加工边角料、铸造废品等工艺废料，以及因成分偏差或性能不达标产生的报废制品。这类回收铝产生源头集中于铝板带箔生产企业、型材挤压企业、铝棒加工厂及精密压铸车间。由于我国铝加工行业的庞大体量，新料每年产量可达千万吨级规模。其中约 80% 的新料通过自有熔炼设备实现厂内自循环<sup>i</sup>，其余约占 20% 的工艺废料通过专业回收企业进入市场化流通渠道。这部分废料由于来源和记录清晰、渠道可控，通常为成分明确，洁净度好的较高品质废料；也有部分废料是加工企业通过逆向回收的方式从下游用户获得，形成闭环循环体系。

国际上，铝行业内部关于是否应该为消费前废铝分配负担的讨论日益激烈，但该问题目前还未达成广泛的共识。一般来说，产品碳足迹核算中计算消费前废料隐含碳的常见方法包括截断法和共生产品分配法。截断法要求产生消费前废料的铝生产商在核算中将所有的排放量计入其主要最终产品的碳足迹，因此生产过程中产生的废料的碳足迹可计为零。当回收利用时，废料的使用者在相应产品的碳足迹核算中也此废料计为零隐含碳。分配法则需要将原铝生产中的碳排放按质量分配给消费前废铝，这种方法需要更复杂的核算程序，并需要对废料具有一定程度的追溯性。需要指出的是，无论使用哪一种核算方法，只要在废铝的产生环节和使用环节间保持核算方法的一致性，就不会出现碳泄露的风险。<sup>ii</sup>

在铝行业推进低碳发展的整体框架下，新料的利用应从源头利用与末端回收两方面着力：一方面通过提升生产效率与工艺水平，尽可能在场内使新料得到充分利用；另一方面则需在现有基础上持续优化回收体系，提升精细化分选能力，尽可能将品质较好的新料保级利用。

## ● 国内回收旧料

旧料主要来自汽车、建筑、包装容器等终端产品生命周期结束后的回收，在经专业加工配送中心处理后，进入再生铝生产体系。与新料相比，旧料的回收网络更具社会化特征，其资源化利用的程度高度依赖废旧物资回收体系的完善程度。目前的政策引导与技术革新正逐步推动旧料回收实现规模化、高值化发展。

从市场层级看，旧料的回收体系包括三个层级，依次为个体回收网络（初级市场），区域集散枢纽（二级市场），以及专业分选基地（三级市场）。三级回收体系中的各层级在功能定位上各有侧重，同时存在一定的内部细分与相互交叉，彼此之间形成协同联动的回收网络。在实际运作中，过于复杂的流通链条可能导致信息传递效率降低，以及原料损耗和回收成本上升。

- 个体回收网络（初级市场）：以流动式收购为主体，通过社区化服务模式开展零散废旧物资收储。典型场景包括居民生活场景中的废旧门窗、退役家电等铝制品回收，计价机制采用件数计价与重量计价相结合的方式，回收价格通常较集中交易市场存在 10%–15% 的折价空间。
- 区域集散枢纽（二级市场）：个体回收商将零散废铝输送至区域性废旧物资集散中心，在此完成初步分选与品类归集。以建筑领域典型废铝—断桥铝合金为例，未经精细化分选的混合料交易价格约为同期铝锭现货价的 78%–78.5%，已包含基础材质分类成本。
- 专业分选基地（三级市场）：部分品类经集散中心转运至专业化拆解中心，通过物理分选、化学成分检测等技术手段实现材质提纯。实验数据显示，经三级市场深度处理的断桥铝合金，其材质纯度提升带来溢价效应，终端售价可达铝锭基准价的 80% 以上，较初级集散价格提升 1.5–2 个百分点。联动形成旧料市场的梯次网络。

<sup>i</sup> 对于内部废料与新废料的区分，在不同的方法学 and 标准里有不同区分方法。落基山研究所《铝产品碳足迹核算和报告方法学——基于国际实践》中推荐将新废料统一定义为在熔铸之后的加工过程中产生的废料，在熔铸环节产生的废料定义为内部废料，以保证不同整合程度的铝企之间废料比例的可比性。

<sup>ii</sup> 落基山研究所《铝产品碳足迹核算和报告方法学——基于国际实践》推荐对消费前废料的隐含碳采用双重报告法，即要求报告主体使用截断法计算和报告碳足迹数据，并在有能力时同时报告分配法计算的碳足迹信息，或使用国际铝协提供的背景数据替代计算，以适应不同的追溯能力和披露需求。

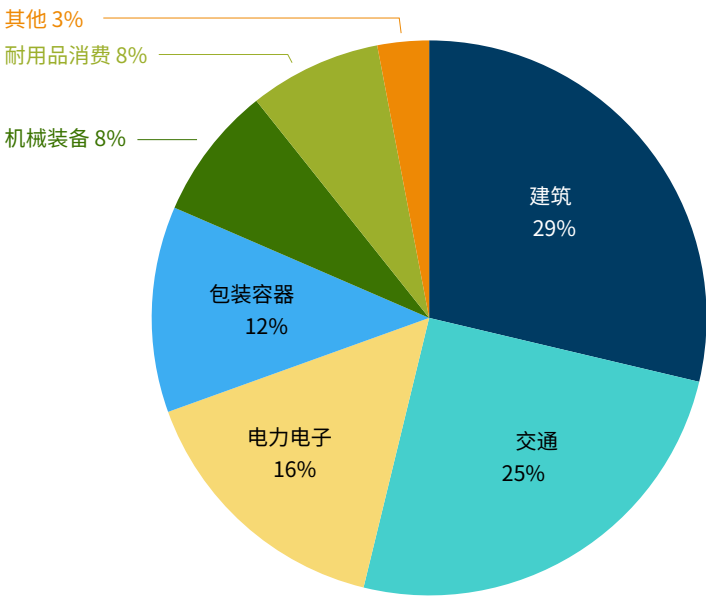
旧料主要来源于建筑、交通装备及民生领域。预计在近中期，建筑铝材的更新改造与交通装备报废潮将成为旧料的主要增长来源。一方面，回收企业应提前在相关领域进行系统性布局，推动旧料回收机制的创新与完善，以应对未来再生铝原料增量并提升回收效率；另一方面，也需要注意依赖单一行业所可能引发的原料价格波动风险。

建筑：包括既有建筑改造产生的铝合金门窗、幕墙系统，以及电力设施更新换代的架空导线、变电站导电母排等含铝部件，构成城市矿产中稳定的战略资源储备。

交通运输：主要来自达到强制报废标准的汽车、轨道交通装备，其铝制车身构件、发动机部件、轮毂单元等具备较高的再生利用价值，是移动源减排战略的重要资源保障。随着两新行动深入实施，报废机动车拆解技术规范升级，催生年增量废铝资源超 30 万吨。

民生领域消费后铝材：包含退役家电外壳、炊具餐具、包装容器（如铝易拉罐）等日用铝制品，形成多源异构的再生原料供给体系。

图表 8            旧料主要产出途径（2024年）



数据来源: CMRA

旧料回收利用率的提升是再生铝行业推动铝行业实现深度减排，并最终实现气候目标的关键所在。据国际铝业协会测算，如果实现 2050 年铝行业气候目标，在铝的总产量有所增加，消费前再生铝原料的比例维持在目前水平的基础上，全球使用的消费后再生铝原料须增至 6800 万吨，达到 2018 年水平 3 倍以上。从碳排放核算规则来看旧料因已完成其使用生命周期，其所对应的隐含碳排放被视为零，这一认定在行业内具有广泛共识。海德鲁推出的 CIRCAL、Reduxa 等低碳铝品牌也声明了产品中的消费后再生铝原料含量。

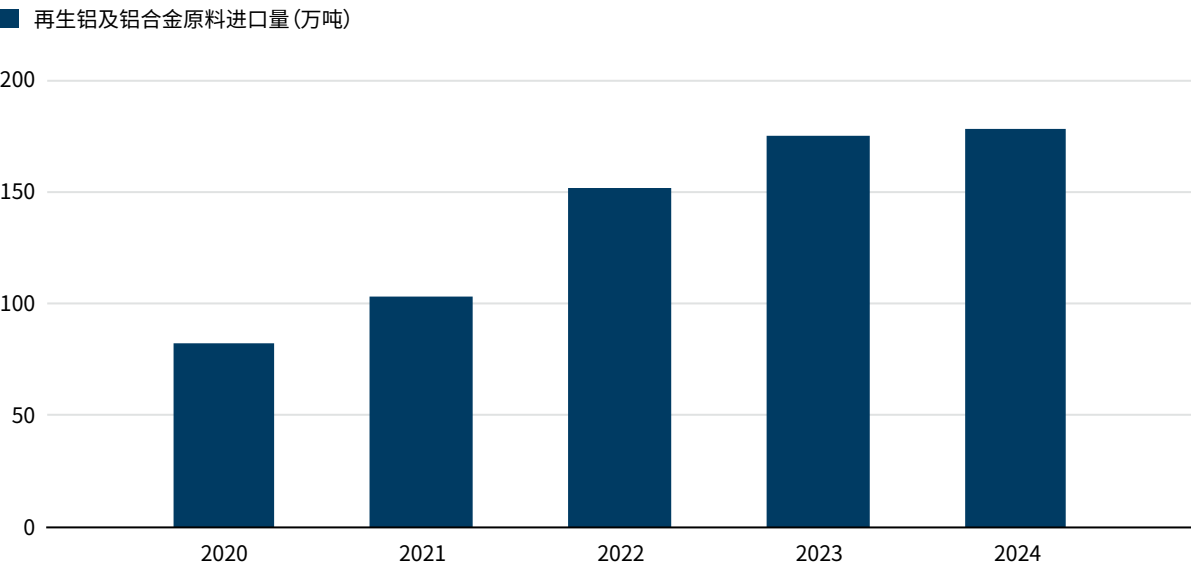
- 进口再生铝及铝合金原料

随着再生铝及铝合金原料进口管理公告发布并及时修订,《再生铸造铝合金原料》《再生变形铝合金原料》《再生纯铝原料》等国家标准实施,我国再生铝及铝合金原料进口从 2020 年的 82 万吨增长至 2024 年的 178 万吨,年均复合增长率达到 21.38%,跨境资源循环通道已全面重启。

我国再生铝及铝合金原料进口来源国相对分散,并未对单一国家形成严重依赖;而进口省份则相对集中。由海外政策变动驱动,2024 年泰国超越马来西亚成为我国再生铝及铝合金原料来源国第一位,进口量达到 29.82 万吨,占比达 16.74%;马来西亚和日本分别占比 11.8%、10.9%。广东省在进口省份中占据主导地位,2024 年进口量达到 126.8 万吨,占全国进口量的 71%;第二名浙江省占比为 18%。

随着全球对资源循环利用与碳排放控制的重视不断加深,叠加贸易政策的影响,主要地区正在酝酿调整原材料出口政策。美国正通过立法与税收激励提高国内再利用比例,降低对海外再生加工的依赖;欧洲铝行业则建议欧盟对废铝出口征收约 30% 的关税。在此背景下,构建多元化的再生铝原料进口渠道、推进全球化资源采购布局、有效规避地缘政治风险等策略的重要性将不断上升。

**图表 9** 中国再生铝及铝合金原料进口量走势图 (2020~2024年)



数据来源: 中国海关

## (2) 中游：再生铝生产与初级加工

我国再生铝产业呈现鲜明的区域集聚特征，产能高度集中于华东、华南、华中三大区域，建成产能合计超过 2000 万吨，占全国建成产能总和的 80% 以上。江苏省、广东省、河南省、山东省、安徽省等五省均形成 200 万吨级产能集群，形成多点支撑的产业格局。新疆、内蒙古、甘肃等西部省区也在加速构建再生铝生产基地，推动产业布局持续优化。在顺应已有产业集群发展趋势的基础上，还可以进一步加强规划与引导，构建高效协同的区域回收体系，在充分发挥规模效应与基础设施共享优势的同时，最大程度发挥再生铝的低碳属性，推动再生铝产业布局持续优化。

从企业空间分布演变来看，产业经历了“沿海集聚 - 内陆扩散”的转型路径。早期受原料供应半径限制，企业主要布局于沿海港口地区；近年来随着内陆汽车、电子等终端制造业崛起，重庆、武汉等内陆城市周边形成新的产业集聚区，构建起“原料 - 加工 - 应用”的区域协同网络。尽管企业总数持续扩张，但行业集中度偏低，产能 CR10 不足 35%。未来在碳排放约束趋严与环保标准持续提升的背景下，叠加规模经济效应，行业竞争格局有望逐步优化，产能将加速向具备技术、管理与资源优势的企业集中，有效推动铝行业的低碳发展。

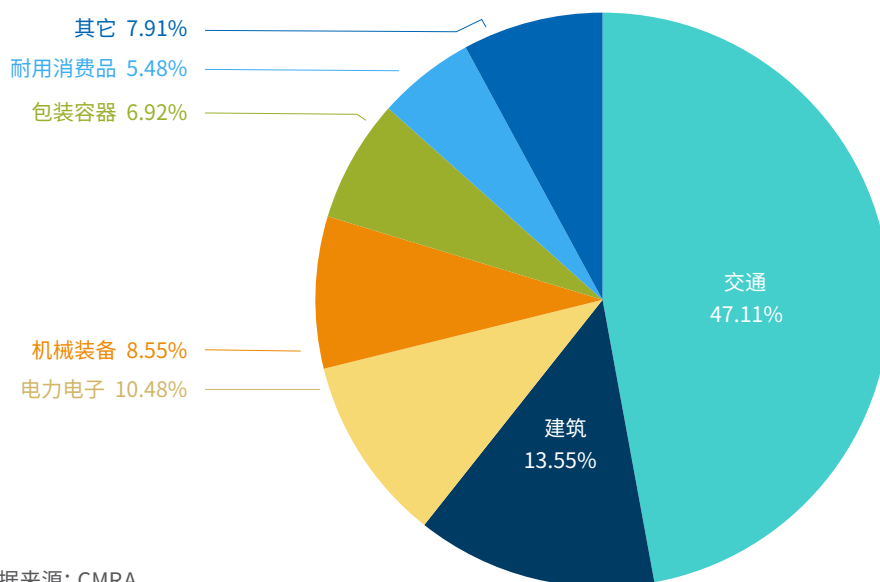
初级加工产品是再生铝中游生产环节的产品，从成品形态看分为铝合金锭、铝液、铝棒等，从加工产品看分为铸造铝合金和变形铝合金。其产品结构呈现“压铸主导、加工跟进”的特征，其中铸造铝合金占比约 60%，增长主要由新能源汽车平均用铝量增加驱动，据估计，每辆新能源汽车平均用铝量较传统燃油车提升 40%。在铝加工领域，再生铝占比也在不断提升。受铝消费持续扩大和电解铝产能“天花板”约束，铝棒、铝板带、铝箔等精深加工企业纷纷提升再生铝掺配比例。

然而，当前行业“内卷式”竞争加剧，产品单一化程度较高，合规成本不断抬升，利润空间不断收窄，技术创新动能不足，现场管理水平仍亟待提高，平均开工率较世界平均水平仍有较大提升空间。

## (3) 下游：重点领域应用

再生铝中铸造铝合金占比超 60%，主要应用于交通工具、机械制造、家电和五金等领域，汽车需求占比超过 60%，因轻量化和低碳需求，成为铸造铝合金未来需求的重要增长点。变形铝合金材料主要用在建筑、电子电器、家电等领域，光伏边框组件成为新增长点。再生铝的应用场景与未来铝消费主要增长点高度重合。据统计，在整个再生铝下游应用中，交通领域占比最高可以达到 47%，机械设备领域占比 8%，建筑领域用占比 14%，电子电力领域占比 11%。

图表 10 再生铝下游应用占比统计图



数据来源：CMRA

- **交通运输装备轻量化应用**

再生铝在传统燃油车和新能源汽车领域都有广泛应用：在传统燃油车中，再生铝合金广泛应用于发动机缸体、水箱框架、轮毂总成等核心部件，单台乘用车平均用铝量达 140-160kg；在新能源汽车中，尽管一体化压铸工艺对材料性能要求严苛，但再生铝应用比例正从当前的 20% 逐步提升至 70%，应用场景从轮毂、四门两盖向车身结构件延伸。例如，某头部供应商为宝马配套的再生铝轮毂已使用了 70% 的循环铝。

此外，再生铝在摩托车的应用已十分广泛，其中铝铸件占据了核心地位。主要应用部件包括气缸盖、气缸体、减震器、制动器、手把罩以及边盖等。

- **建筑领域绿色转型应用**

建筑行业是目前铝消费最主要领域，铝在建筑结构消费占比长期超过三分之一。再生铝在建筑行业主要用于建筑铝型材和建筑铝板带，建筑铝型材主要用于幕墙框架、门窗构件，2024 年每平方米铝合金门窗再生铝掺配率突破 15%；铝板带则以建筑铝模板、铝幕墙、铝单板等为主，其中铝模板系统凭借 300 次以上的周转次数，在装配式建筑领域加速替代木模板，建筑装饰用铝板带则产量达 190 万吨，其中再生铝应用占比提升至 14%。

尽管传统幕墙系统需求增速放缓，但光伏建筑一体化（BIPV）用铝型材则为再生铝应用开辟新赛道，其需求年均增速超 30%。

- **包装行业材料升级瓶颈**

保级利用技术是包装领域应用再生铝的破局关键。由于再生铝原料成分复杂性，包装领域的优质再生变形铝合金原料普遍降级用于铸造领域，材料价值损失超 30%。以易拉罐为例，我国易拉罐消费市场体量和增速非常可观，废旧易拉罐回收率也超 98%，但在闭环回收利用方面与国际先进水平仍有差距。

提升闭环利用水平，一方面需要建立覆盖主要城市的再生铝原料精细化分选网络，另一方面也需要配套建设专业化保级熔炼产线。

- **光伏行业低碳化突破**

再生铝材料在光伏行业的应用不仅能更好地满足力学性能和抗盐雾腐蚀等性能要求，完全满足沿海光伏电站 25 年寿命要求，也帮助实现产业链深度脱碳。目前头部企业已形成百万吨级再生铝产能布局，其中鑫铂股份 20 万吨再生铝棒项目已实现太阳能边框材料稳定供应，光伏产业链闭环循环取得实质性进展。

目前，在光伏产业高达 504 万吨的用铝量中，铝合金边框用量为 210 万吨，铝合金电缆 84 万吨，铝合金支架则为 210 万吨，而上述关键部件均可以有效引入再生铝，以进一步实现深度减排。

## 再生铝下游应用的国际前沿实践

- **一体化压铸用免热处理再生铝合金**

在高端制造领域，免热处理铝合金技术正引领材料科学革命。该材料通过精准的成分设计（如 Si、Mg、Cu 元素配比优化），突破传统 Al-Si-Mg 系合金性能瓶颈，实现无需固溶 + 时效处理即可达到 T6 状态力学性能。当前产业化瓶颈在于：大型薄壁压铸件（壁厚 < 3mm）对微量杂质元素（Fe < 0.12%）的严苛要求，迫使生产企业仍依赖电解铝原料。

立中集团开发的低碳再生免热处理合金实现关键突破，其自主研发的 LDHM-02 系列材料在保持抗拉强度大于 250MPa、延伸率大于 10% 的基础上，再生铝掺配比例突破 50%。特别是在奇瑞汽车全尺寸一体化底盘项目中，低碳再生免热处理合金再生铝添加量已达到 100%，解决了常规免热处理铝合金 Fe、Zn 等杂质元素容许范围偏低、合金制备时再生废铝的种类选择受限严重、难以添加更高比例的再生废铝等问题。

- **汽车用再生铝持续加码**

在性能与“双碳”的双轮驱动下，汽车用再生铝的应用正在快速发展，相较于传统钢材而言，铝具有显著的密度优势，可以通过降低车重提升汽车能效。对于燃油车而言，车身重量每减轻 100kg，每百公里油耗可降低 0.5 升。而对于新能源汽车，每减少 100kg 的重量，可以提升续航里程 10% - 11%，还可以减少 20% 的电池成本和 20% 日常损耗成本。而使用再生铝可以在轻量化的基础上，达到降低碳排放的效果，推动再生铝在汽车零部件中使用比例不断提高。

特斯拉 Cybertruck 后车体采用再生铝（AA6061-T6）整体压铸，较传统钢制结构减重 40%，单车型减少碳排放 2.3 吨；力劲科技研发 12000 吨压铸机，实现 1.8m×1.5m 超大型再生铝构件成型（公差 ±0.3mm），用于蔚来 ET9 电池底盘一体化结构；宁德时代麒麟 5.0 电池托盘采用再生铝蜂窝结构（密度 1.8g/cm<sup>3</sup>）；比亚迪刀片电池壳体 100% 使用再生铝，单套系统减少原生铝消耗 48kg，对应碳足迹降低 420kgCO<sub>2</sub>。

- **再生铝电缆技术创新**

在电力传输领域，再生铝材料正重塑产业生态。德国 Trimet 与 Nexans 联合开发的 RecAl® 电缆杆含 90% 再生铝成分，经 LCA 认证其碳足迹较原生铝降低 4.2 吨 CO<sub>2</sub>e/吨铝。该材料在 500kV 超高压电缆应用中，导电率达 61.5% IACS，弯曲半径突破 10D（D 为电缆直径），技术指标全面超越 IEC 60287 标准。

这项技术突破具有三重战略价值：一是能源效率提升，再生铝电缆传输损耗较铜缆降低 18%；二是资源循环，每公里电缆消耗再生铝 4.2 吨，相当于回收 12 万个易拉罐；三是标准引领，Nexans 已启动再生铝电缆 EN 50182 标准修订工作。值得注意的是，该材料在 -40°C 至 90°C 温区内保持稳定性能，特别适用于海上风电（湿度 95%RH）和沙漠光伏（昼夜温差 70°C）等极端场景，为全球能源转型提供关键材料支撑。

## 2.2 再生铝产业发展瓶颈与挑战

在“双碳”目标、资源循环利用政策以及市场需求的持续推动下，我国再生铝行业近年来产能持续增长，产业链不断延伸，技术装备应用和产品创新也得到不断发展。然而，随着行业进入新的发展阶段，再生铝行业要实现自身发展实现低碳价值，以及进一步帮助铝行业实现脱碳，仍面临着三重关键挑战：原料-产能-需求关系失衡，技术-装备-产品亟需突破，以及核算、标准、认证仍待统一与落地。

### • 原料 - 产能 - 需求关系失衡

首先，行业产能扩张的节奏与再生铝原料供给及回收体系能力之间仍存在一定的不协调。2022 到 2024 年，我国再生铝产能增长 460 万吨，年均复合增长率达到 11.8%，但同期再生铝原料增长仅 195 万吨，相对滞后于再生铝产能的增长。一方面，原料的供应受限于报废速度等客观条件，另一方面，目前可以实现精细化分选的回收体系尚不完善，也在一定程度上制约废料的有效供应。国内再生铝原料回收量难以与产能扩张同步匹配，导致再生铝原料供小于求，其价格呈现刚性上涨态势，原料成本占比已抬升至 93%。同时，再生铝原料供给结构对进口资源和特定行业报废料的依赖较高，我国进口再生铝及铝合金原料的超过 15%，对建筑、交通领域的依赖度则超过 50%。使得原料价格波动频繁，企业在原料采购上的不确定性显著增加。

其次，下游需求的增长节奏偏缓，短时间内无法及时消纳产能扩张。尽管再生铝在汽车、家电、机械等领域的应用不断拓展，但整体需求增速仍低于产能扩张速度。数据显示，主要下游行业的年均增长率约为 8.2%，与上游产能的 15.6% 复合增长率相比仍显不足。为争夺有限订单，企业被迫陷入“内卷式”竞争。

原料-产能-需求链条上的失衡使再生铝生产环节受到原料端与需求端的双重压力，行业利润中枢长期贴近成本线波动，部分企业利润甚至压缩至每吨 10-20 元，开工率持续徘徊在 50% 附近。在这种背景下，行业的创新能力和投入意愿也受到一定影响，在利润空间有限的前提下，资源更多被分配到维持日常运营，而非长期研发或技术升级。2024 年行业研发强度仅为 1.2%，低于制造业平均水平，保级利用技术、免热处理合金等关键领域突破进展缓慢。

### • 技术 - 设备 - 产品亟需突破

作为前述原料—产能—需求之间结构性失衡的结果之一，我国再生铝行业还面临着技术、装备与产品链条协同发展不足的挑战。当前，精细化分选和高效熔炼技术、先进适用成套装备，以及产品结构优化等方面仍存在提升空间，部分环节的技术基础尚不牢固，影响了资源利用效率和产品附加值的进一步释放，进而制约了再生铝行业替代部分原铝产品，更深入地推动铝行业脱碳的能力。

在装备方面，分选与熔炼设备的技术水平仍有待提升。目前超过 60% 的中小企业仍采用人工分选方式，难以实现合金牌号的精准识别与分选，产品成分波动较大，难以实现高成分要求、高附加值再生铝产品的原料供给。目前，智能分选装备的国产化率不足 40%，激光诱导击穿光谱技术仍依赖进口，制约了行业在分选效率和成本控制上的提升。在熔炼环节，杂质元素去除技术、能耗水平降低方面仍有较大空间，铝灰渣产生量高于欧洲同行。

在技术层面，预处理、成分调控和工艺集成能力仍显不足。当前再生铝原料预处理环节的油污去除率较国际先进水平仍有较大提升空间。此外，在工艺集成方面也尚未建立覆盖“分选—熔炼—精炼”全流程的数字化控制系统。

在装备和技术水平的双重制约下，再生变形铝合金原料的保级利用率不足 35%。这导致在产品结构方面，国内再生铝仍以中低端铸造铝合金为主，变形铝合金占比偏低，比例约为 6:4，具有原料保级利用能力和精深加工能力的企业相对较少。尽管我国再生铝产能产量已居全球首位，但与国际先进水平相比，在原料保级利用、产品深加工和高端应用方面仍存在明显差距。提升产品结构、向中高端延伸，已成为行业领先企业的共同目标，但当前整体技术基础仍需加强。

• **核算、标准、认证仍待统一与落地**

目前，我国再生铝产业亟需一系列标准规范的更新与落地。部分标准制定滞后于技术创新，如产品、检测、技术、核算、溯源等领域尚未建立国家标准体系，导致企业研发缺乏方向指引；与国际标准的互认接轨工作尚待进一步推进，影响了我国再生产品在国际上的竞争力提升。

在行业整体运行状况承压、企业投入能力有限的背景下，建立科学、可操作的碳足迹核算方法，明确“低碳”产品的定义，并在此基础上推动与国际标准的互认衔接，是推动再生铝的减排属性转化为经济价值的重要基础。一方面，从企业角度看，统一的核算方法和认证标准有助于降低报告负担，为生产决策提供参考依据，同时提升产品在国际市场上的认可度和议价能力；另一方面，从行业角度看，合理的核算方法学和认证机制能够确保真正具备减排效益的产品和实践得到确认与激励，引导资源向更具环境价值的方向配置，推动整个铝行业的绿色转型。

**图表 11      再生铝行业相关标准统计表**

| 序号 | 再生铝行业相关标准名称        | 标准号             |
|----|--------------------|-----------------|
| 1  | 《再生铸造铝合金产品碳排放核算方法》 | T/ZGZS0108-202  |
| 2  | 《再生铸造铝合金原料》        | GB/T38472-2023  |
| 3  | 《再生变形铝合金原料》        | GB/T40382-2021  |
| 4  | 《再生纯铝原料》           | GB/T40386-2021  |
| 5  | 《回收铝》              | GB/T8005.4-2022 |
| 6  | 《再生铝厂工艺设计标准》       | T/CNIA0067-2020 |
| 7  | 《绿色低碳铝评价导则及追溯指南》   | T/CNIA0245-2024 |
| 8  | 《铸造铝合金》            | GB/T1173-2013   |
| 9  | 《铸造铝合金锭》           | GB/T8733-2016   |

数据来源：行业标准统计

### 3. 推动规模化：再生铝应用的典型模式

过去很长一段时间，再生铝的生产应用主要遵循两条较为基础的传统路径。其一，将再生铝熔铸成铸造合金锭，进而供给下游压铸零部件生产企业使用；其二，铝加工企业利用自身生产过程中产生的部分加工边角料或切削料，回炉熔炼加工成材。再生铝生产的传统路径在长期的市场实践中已经得到了不断优化，也被证实具有技术和经济可行性。然而，部分市场主体对再生铝的印象依然停留在成本低、质量差、有污染等误解上；在同等质量和性能的前提下，再生铝产品的价格也往往低于原生产品。

为应对供应端原料品质波动显著、供应不稳定，需求端标准不统一、碳核算存在差异导致协同困难，企业低碳价值未获认可、利润微薄致使转型动力不足等问题，同时打破产业壁垒，促进资源有效整合，实现材料加工—设计生产—回收利用的全过程协同作业，构建闭环绿色供应链体系，再生金属绿色供应链合作伙伴计划已经在 2024 年 11 月启动。该计划积极构建产品、技术、智慧、标准认证、回收和金融等六大链条涵盖研发、生产、销售、服务、创新、可持续等六大领域，吸引了 50 余家知名企业参与。在产融发展方面，2025 年 6 月 10 日，中国首个再生品种—铸造铝合金期货及期权在上海期货交易所挂牌交易，截至 10 月 31 日，累计成交金额 987.34 亿元，部分企业已经开始利用期货价格开展基差贸易，多家企业积极申请套保，对于助力产业构建完善风险管理体系，满足企业多元化风险管理需求，扩大再生铝应用，推进产业高质量发展意义重大。

目前，在先进再生铝企业的努力和下游前沿需求的不断推动下，市场上已经出现了新的尝试与实践，主要体现在铝水直供比例提升、应用终端深度参与合金材料研发以及前端精细化保级回收等方面。本章意在对这些新模式进行总结和分析，希望为政策制定、行业发展和企业的经营实践提供参考，共同开启讨论和探索创新。

#### 3.1 铝水直供：产业链一体化与效率提升

铝水直供是一种新型再生铝生产与供应模式，其核心在于将再生铝生产企业与下游铝加工企业紧密连接，形成一体化的生产链条。在这种模式中，经过熔炼、精炼和成分调整后的铝水，通过专业的转运设备（如铝水包）运输至下游企业的生产车间。下游企业接收到铝水后，将其直接导入压铸机或其他铸造设备，进行零部件的生产。铝水直供模式省略了传统的铝锭重熔工序，减少了能源消耗和材料损耗，通过优化生产流程，减少中间环节，提高生产效率，降低成本，并提升产品质量。

与传统的再生铝生产与供应模式相比，铝水直供的优势体现在：

**成本低：**再生铝水直供下游厂家，最大的优势在于成本节约。图表 12 为 30 公里范围内的再生铝水配送距离估算的成本对比。以能源为例，熔炼 1 吨铝锭需要消耗 70–90 立方米天然气、90–100 千瓦时电，而使用铝水可以节约能源成本约 300 元 / 吨。此外，二次熔炼过程中会出现 2% 的烧损，而使用再生铝水直接生产时烧损仅为 0.9%，远低于 2–2.5% 的铝锭重熔烧损率。按照 ADC12 价格 2 万元 / 吨计算，可以节省成本 200 元 / 吨。再加上省去压铸工厂内熔解炉的运行成本（每吨 80–100 元），使用铝水的成本包括：铝水运输费用 150 元 / 吨，铝水保温费、熔解区域杂费及铝水处理折旧等，共计 600 元 / 吨，总共降低成本 300 元 / 吨。

**效率高：**铝液直供是将温度超过 700℃ 的铝水放入特殊的“转运包”，再通过专业车辆直接运输至下游企业的压铸车间定量保温炉。这一流程省略了“再生铝水冷凝固成铝锭、重新热熔成再生铝水”的环节，既缩减了生产时间，又节约了大量能源成本。采购再生铝水只需要提前 4 小时下单，而采购再生铝锭则需要提前进行库存。

**质量好：**由于采用大容量的熔解炉型、合金炉中再生铝水采用变质细化处理技术，以及更先进的炉前质量过程控制手段，炉与炉之间材料的均匀性和一致性更好，效果稳定。

图表 12      铝锭与铝水成本比较

| 铝锭项目                  | 费用(元) | 铝水项目           | 费用(元) |
|-----------------------|-------|----------------|-------|
| 能耗费用(天然气70-90立方、电90度) | 400   | 铝水保温费          | 70    |
| 熔解设备折旧费               | 50    | 铝水设备折旧费        | 50    |
| 铝锭烧损消耗(铝锭2-2.5%)      | 400   | 铝水烧损及运输费(30公里) | 350   |
| 熔解人工费                 | 50    | 其余特种车辆费用       | 100   |
| 杂费                    | 30    | 杂费             | 30    |
| 合计                    | 930   | 合计             | 600   |

数据来源: CMRA

### 铝水直供的技术与设备要求

铝水直供模式对生产设备提出了较高的要求,主要包括以下几个方面:

熔炼炉:需要具备高效熔炼能力,能够快速将废铝熔化成铝水,同时配备先进的温度控制和废气处理系统,以确保生产过程的稳定性和环保性。

精炼设备:用于去除铝水中的杂质和气体,提高铝水的纯净度。常见的精炼设备包括旋转喷吹装置、电磁搅拌器等,能够有效改善铝水的质量。

铝水包:作为铝水转运的关键设备,铝水包必须具有良好的保温性能和足够的容量,以保证铝水在运输过程中的温度和流动性。此外,铝水包还需要具备可靠的密封性和安全性,防止铝水泄漏和意外事故的发生。

运输车辆:专业运输车辆应配备专用的铝水包支架和保温设施,确保铝水在运输过程中的稳定性和安全性。车辆的行驶速度和路线也需要经过精心规划,以减少运输时间,降低铝水温度损失。

运输距离:结合各个再生铝水直供企业来看,当前再生铝水直供多是在有下游企业配套的情况下才可以进行,并且距离多以 30-50 公里为最佳,最远可达 120-160 公里。

目前我国再生铝水产量约为 300 万吨,占再生铝总产量的 30% 左右。随着技术的不断进步和市场需求的增長,预计未来几年铝水直供的市场规模有望进一步扩大。

从区域分布来看,铝水直供企业多集中在经济发达、铝加工产业集中的地区,如长三角、珠三角和环渤海地区。这些地区不仅拥有丰富的铝加工企业资源,而且交通便利,便于铝水的运输和供应。此外,随着国家对产业园区建设的重视,越来越多的铝水直供企业选择与下游企业共同入驻产业园区,实现产业集聚和协同发展,进一步推动了铝水直供模式的发展。

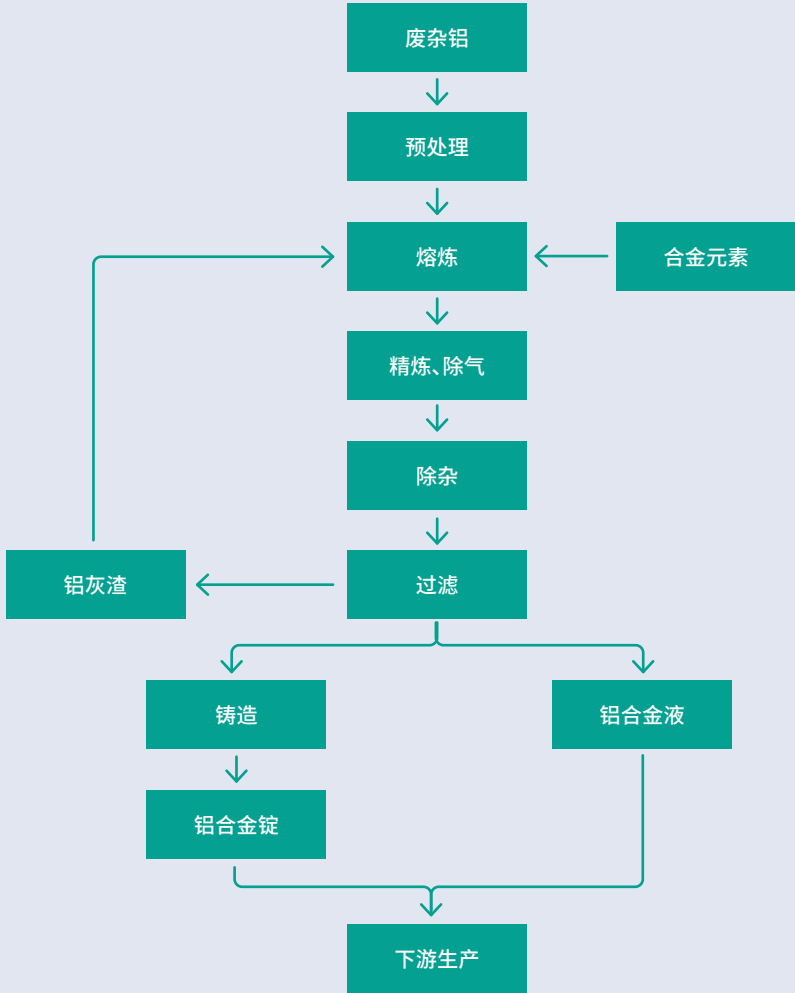
## 鸿劲新材铝水直供案例

广东鸿劲新材料集团股份有限公司（简称“鸿劲新材集团”）始建于 1996 年，是专业从事铝基新材料研发、铝液配送直供以及再生铝回收处理、保级还原的集团化企业。经过近 30 年的不断发展，鸿劲新材集团已经成为行业内综合实力排名前列、再生铝液配送规模全国前三的企业。

2023 年 8 月广东鸿图以自有资金出资，参与广东鸿劲铝业投资有限公司增资扩股项目。广东鸿图通过投资持股鸿劲铝业，与上游合作伙伴共同形成优势产业集群，致力于打造铝合金成型产业链链主地位，巩固并提升自身在汽车零部件行业的领先地位，在新能源汽车传感器等压铸件上延伸应用领域，开拓新赛道，拓宽产业链。2024 年 8 月 5 日，鸿劲下属子公司广东华劲向肇庆本田鼎湖新工厂 ZL114A 缸盖铝液直供配送实施。

2024 年，鸿劲新材集团产量达到 65 万吨，其中铝液占比稳定在 70%、铝液配送规模突破 45 万吨。鸿劲新材集团大力推广铝液运输与销售以降碳：相较传统铝锭，铝液直供可省去铸锭环节的多次熔炼、铸造等高耗能步骤，大幅降低天然气、电力消耗，其生产过程无铝灰渣等危废产生，并且合金离散度减少了约 20%，减少附加碳排放；同时能缩减运输体积与重量，降低运输能耗及对应碳排放。

图表 13 铝液 / 铝锭生产流程图



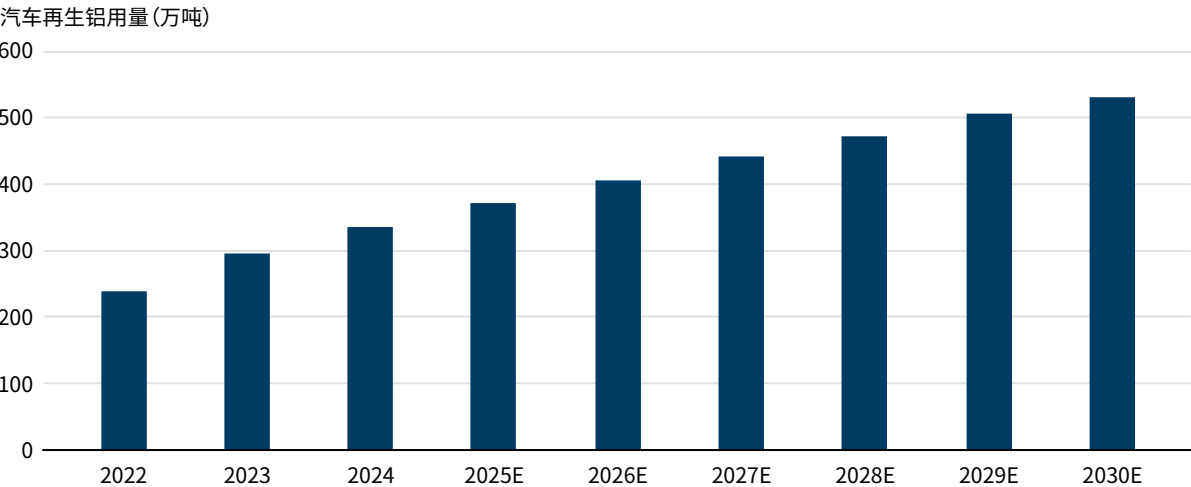
数据来源: CMRA

### 3.2 联合研发：攻克再生铝高性能应用的技术难题

随着新能源汽车产业的快速发展，以及一体化压铸技术的广泛应用，汽车制造行业对铝合金材料提出了更高的性能要求：既要实现轻量化以提升车辆续航能力，又需要具备高强度、高韧性特征以满足一体化压铸技术要求，即铝合金材料需要能在大型、薄壁结构件中实现免热处理，同时保证材料的力学性能和一致性。目前，免热处理铝合金仍以原铝为主，应用再生铝仍受到纯度控制、杂质容忍度及力学性能稳定性等技术难点的制约。

在此背景下，再生铝企业、汽车制造商、科研机构等多方主体之间的深度协同合作、联合研发成为必要。在联合研发模式中，再生铝企业利用其在再生铝生产、材料研发和杂质控制等方面的技术专长，主要为联合研发提供基础材料和工艺支持。汽车制造商则依托其在汽车设计、制造和应用方面的经验，为联合研发提供应用场景和性能指标等需求。科研机构在先进材料研发、工艺创新和技术验证等方面的提供专业支持。上述三方通过资源共享与长期紧密合作，构建从材料研发到产品应用的完整链条，共同攻克再生铝在高性能材料研发、技术应用和产业链整合中的关键问题。联合研发模式在提升材料性能、逐步提高再生铝的比例，在推动再生铝材料高端应用的同时，也为汽车产业的绿色低碳转型提供了重要助力。

**图表 14** 汽车用再生铝量走势预测图（2022-2030年）



数据来源：IAI、CMRA

#### 联合研发模式的重点与技术突破

纯度控制：提高再生铝的纯度，减少杂质对材料性能的影响。

杂质容忍度：开发对 Fe 等杂质更容忍的合金配方，降低生产成本。

力学性能稳定性：确保材料在不同批次和生产工艺下的性能一致性。

免热处理铝合金材料：开发适用于一体化压铸车身结构件的免热处理铝合金材料，重点提升材料的机械性能和再生铝的添加比例。

在联合研发模式下，车企和再生铝企以及科研机构在材料研发初期即可协同发力，充分考虑后续回收的便利性，避免因设计不当而增加回收难度。同时，从优化产品设计、提高再生金属使用比例、研发性能更优的新型再生材料等多个维度发力，不仅让材料更加适配终端产品的生产需求，还从源头打破了技术与应用的壁垒，为终端产品更高比例使用再生金属奠定了坚实基础。

**协同创新优势：**通过车企、再生铝企业及科研机构的协同合作，整合多方专业优势，形成强大的创新合力。这种协同机制能够加速材料研发进程，实现技术突破。例如，再生铝企业凭借其在材料生产与杂质控制方面的技术积累，与汽车制造商对汽车零部件性能需求的深刻理解相结合，能够更精准地开发出符合市场需求的高性能铝合金材料。同时，科研机构的加入为研发提供了先进的技术支持与理论基础，有助于攻克再生铝在纯度控制、杂质容忍度及力学性能稳定性等关键技术难题，推动再生铝材料性能的持续提升。

**资源优化配置优势：**联合研发模式促进了资源的高效整合与优化配置。各方共享研发资源，包括资金、设备、技术人才等，避免了重复投入与资源浪费。以研发设备为例，再生铝企业与科研机构可共享先进的材料检测与分析设备，降低了单个企业的设备购置成本。此外，通过合理分工与合作，各方能够充分发挥自身的核心优势，专注于擅长的研发环节，从而提高研发效率，加速成果产出。同时，这种资源共享与协同合作的模式还有助于提升整个研发链条的灵活性与适应性，使各方能够更快地响应市场变化与技术发展趋势。

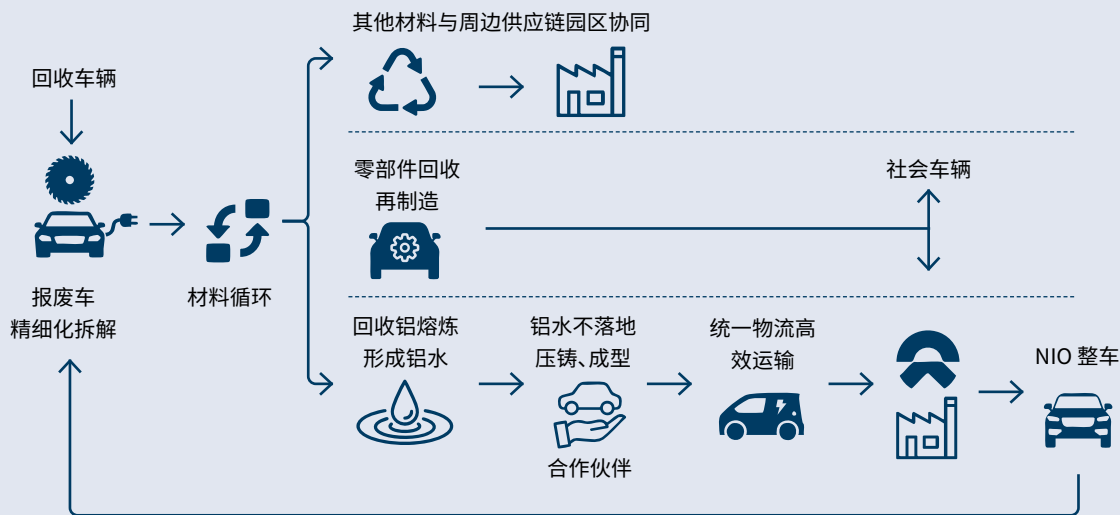
**市场导向研发优势：**联合研发模式紧密围绕市场需求，确保研发成果具有实际应用价值与市场竞争力。汽车制造商作为终端产品生产企业，对市场需求变化最为敏感。在联合研发过程中，汽车制造商能够将市场需求信息及时反馈给再生铝企业与科研机构，使得研发工作从一开始就紧密贴合市场需求。例如，随着新能源汽车一体化压铸技术的广泛应用，对大型、薄壁压铸件用免热处理铝合金材料的需求日益增长。通过联合研发，各方能够迅速聚焦于该领域，共同开发出满足市场需求的高性能铝合金材料，从而提高再生铝材料在汽车制造领域的应用比例，为各方带来实际的经济效益与市场回报。

**产业链协同发展优势：**联合研发模式促进了再生铝产业链上下游企业之间的紧密合作与协同发展。从废铝回收、再生铝生产到终端产品应用，各环节企业通过联合研发建立起更加稳固的合作关系，实现了信息共享、技术交流与业务协同。这种协同效应有助于优化产业链布局，提高产业链的整体效率与竞争力。例如，通过联合研发，再生铝企业能够更好地了解下游汽车制造商对材料性能的要求，从而优化生产工艺，提高产品质量与稳定性。同时，汽车制造商也能够更深入地参与到再生铝材料的研发过程中，推动材料的定制化开发，满足其特定产品的性能需求。此外，产业链协同发展还能够带动相关配套产业的发展，如废铝回收预处理、材料检测与认证等，形成更加完善的产业生态系统，为再生铝产业的可持续发展奠定坚实基础。

## 蔚来整车循环联合研发案例

2024 年 1 月 2 日，立中集团宣布与帅翼驰新材料集团有限公司签署战略合作协议。双方拟通过对下属子公司武汉隆达和重庆帅翼驰交叉持股的方式，进一步加强战略协同合作，加强双方在再生铸造铝合金领域的业务合作和技术交流，全方位推进包括业务、技术和股权在内的全面战略协同。2024 年 4 月，蔚来与立中集团、帅翼驰新材料集团正式签署整车循环备忘录。签约各方将在整车拆解循环、低碳材料、低碳零部件及可持续性维度进一步加深合作。蔚来供应链发展及整车工程团队已与包括立中集团和帅翼驰新材料集团在内的铝材料熔炼企业，共同探索出了一条整车拆解和铝相关材料回收全链条循环闭环的可行路径。

图表 15 蔚来“cartocar”铝循环体系流程图



数据来源：蔚来汽车

2023 年起三方合作开展整车拆解循环项目，并在 2024 年初步实现铝材料循环闭环落地。立中集团已实现蔚来汽车拆解件到蔚来汽车铝轮毂及电机壳体的循环落地。帅翼驰新材料集团在免热处理铝合金材料的开发和应用方面取得显著进展，其 C611 免热处理材料已成功应用于新能源车一体化压铸后底板和前仓，并实现量产。蔚来将整车设计、生产、使用、报废回收的生命周期全流程纳入循环体系，利用报废的试验工程车，与上下游合作伙伴共同验证了“车到车”循环利用的技术和工业化可行性。

### 3.3 闭环回收：构建产业链深度协同发展

闭环回收作为废铝资源化的高级模式，通过将下游制造废料及消费后废铝转化为同牌号铝合金，实现资源的循环利用。在闭环回收模式中，回收企业与再生铝生产企业紧密合作，形成了一条完整的“回收 - 加工 - 再利用”产业链。回收或下游企业按照再生铝生产企业的质量要求，对废旧铝进行分类、整理和预处理，然后将其直接供应给生产企业。这种合作模式减少了中间环节的损耗和质量风险。生产企业则根据原料供应情况，合理安排生产计划，从而提高生产效率和产品质量。

借助精细化分选和先进的杂质控制技术，闭环回收可以最大限度保留材料原有性能，显著提升资源利用效率，在有效降低下游企业对高价原生铝的依赖，节约原料和能源成本的同时提供突出的环境效益。此外，采用闭环回收模式的企业更能响应市场对绿色、可持续产品的需求，增强市场竞争力。

逆向回收合作是实现闭环回收的关键方式，既保障了再生铝企业的原料稳定供应，又帮助终端企业降低环保压力与成本，实现双赢。逆向回收主要包括终端产品逆向回收和残次品逆向回收两种形式。前者适用于铝模板、汽车等易于构建循环体系的产品，产品在报废后经分类、预处理和精细化分选后，定向回流至再生铝企业进行除杂和再加工，制成新产品；后者则是再生铝企业与下游工厂的直接合作模式，下游工厂通过支付加工费或以物易物的方式将残次品返还给上游熔炼企业，由其再处理后返还使用，实现资源的高效闭环流转。

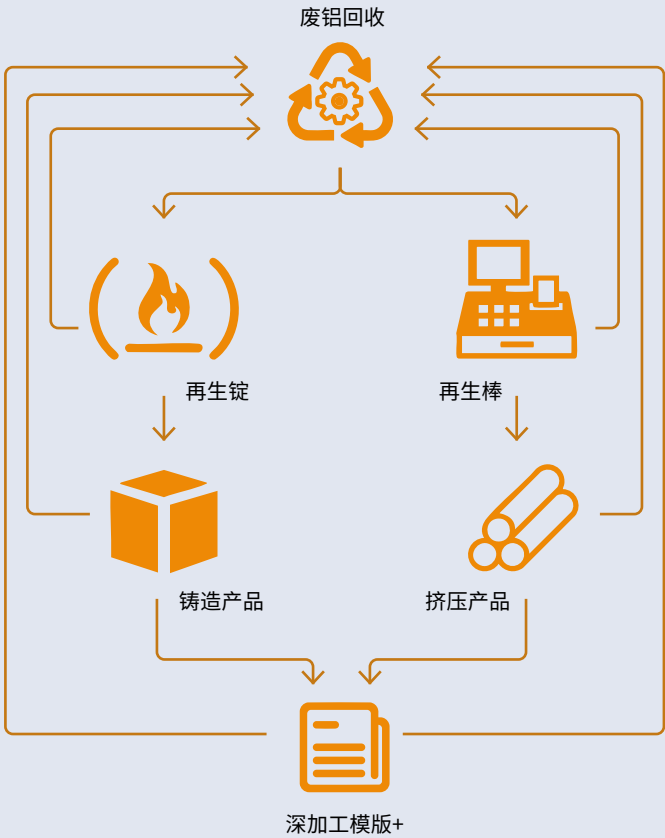
国际上已有闭环回收模式的大量实践，部分头部企业积极联动下游，构建从废料回收、提纯到再生合金生产的完整链条，并通过精准分拣、杂质控制技术，确保再生铝性能达标，直接反哺下游制造环节。2024 年，宝马成功实施了铝锭废料的闭环回收，并将再生铝锭在铝锭铸造车间中的使用率提高到了 65%；奔驰正与供应商合作，开发高价值回收的铝制部件，如车轮轮毂，还计划推出“从轮毂到轮毂”的闭环回收项目，以减少对原生资源的依赖；Novelis 与福特、沃尔沃等主机厂合作开展“汽车板—冲压废料—汽车板”的闭环回收体系建设，将主机厂冲压废料和回收的报废汽车板生产汽车板供应客户，可以显著减少对于原铝的需求和合金元素的添加。通过建立闭环回收系统，Novelis 能够将福特皮卡汽车车身 90% 的金属废料回收并重新利用。

## 华建铝业铝模板闭环回收案例

山东华建铝业集团有限公司是国内铝合金建筑型材和工业型材领域的重点生产科研企业，是以铝型材产业为主、其他相关产业协同发展的大型企业集团，铝型材年产能超过 80 万吨，再生铝设计产能 30 万吨。

在建筑施工中，铝模板因具有高强度、轻重量和可重复使用等优点而广泛应用。然而，大量报废铝模板却面临着回收利用难题。华建铝业抓住这一机遇，积极构建闭环回收体系。华建铝业与众多建筑企业建立合作关系，及时回收报废的铝模板，并对其进行分类整理与初步处理，以清除表面的杂质和污垢。此后，将经过回收预处理的铝模板运送至再生铝厂，利用先进的熔炼设备与精炼技术，将其熔炼成高质量的再生铝液，制成新的铝模板，并根据客户需求进行定制化生产。这些新铝模板在性能上与原铝模板相当，能够满足建筑施工的高标准要求，并最终返回建筑市场，实现资源的高效循环利用。

图表 16 华建铝业铝模板循环产业图



数据来源：华建铝业

## 创新新材保级利用案例

创新新材料科技股份有限公司是一家涵盖生产经营 3C 消费电子铝型材、汽车轻量化铝型材、板带箔、铝杆及线缆、铝合金棒材、结构件等为主的大型现代化综合企业。

某知名通讯电子公司致力于实现其产品的全生命周期碳中和目标，并计划在未来完全使用回收或可再生材料制造产品。为了实现这一目标，该公司与创新新材建立了长期合作，共同开发高性能再生铝材料，用于相关产品的外壳制造。该项目收集消费者回收计划中报废的产品，以及从生产线上回收制造过程中产生的废铝。这些废铝被分类、整理，并进行预处理，以确保其符合再生铝生产的质量要求。在此基础上，创新新材利用其先进的保级回收技术和提纯工艺，将回收的废铝转化为高性能的再生铝液，加工成符合需求产品要求的铝合金外壳和其他部件，用于该公司产品的制造。公司通过控制杂质，并提升再生铝的表面耐腐蚀性，使其性能达到或超过原生铝标准，还显著降低了碳足迹，符合该公司的可持续发展目标。

创新新材通过与该公司的合作，成为该公司在再生铝供应、技术方案和构件加工方面的三重核心供应商。该公司采用了更多的再生铝材料，性能和耐用性显著提升，同时为该公司产品大幅降低了碳足迹。创新新材凭借其技术壁垒和长期合作，不仅直接受益于该公司订单的增量，还助力其实现其 2030 年碳中和目标。

## 4. 结语

再生铝作为铝行业及社会经济各领域减排的关键支撑，面临复杂挑战与多重机遇。一方面，低碳已成为再生铝材固有属性，行业的技术与经济可行性在长期市场实践中已得到充分验证，并形成了相对成熟、稳定的商业模式；另一方面，行业整体运行承压，下游市场对材料减排的要求日益严格，传统路径下技术实现难度大，经济性存在挑战，亟需挖掘潜力，进一步探索实现从减排价值向商业价值的跃迁。

要在现有基础上实现突破、形成新的均衡，行业仍面临原料—产能—需求之间的结构性失衡，技术—装备—产品协同能力不足，以及统一、可操作的标准与认证体系尚待完善等关键挑战。这些问题远非单一企业或行业所能解决，而需依赖产业链上下游的整体协调，以及不同行业、不同环节之间合作模式的创新发展。

本报告所介绍的铝水直供、联合研发、闭环回收等模式已展现出显著成效，领先企业的探索与实践正在为行业突破既有路径、迈向更高水平的低碳发展提供有力支撑。我们希望，在这些实践的启发与催化下，伴随政策机制的完善与产业链各方的持续协同，再生铝行业能够真正实现绿色价值与经济价值的深度融合，成为中国铝工业高质量发展的重要引擎，也为全球工业体系的减排转型和气候目标的实现贡献更加坚实的支撑。



# 参考文献

- 1 铝产业高质量发展实施方案（2025—2027 年），工业和信息化部、国家发展改革委、自然资源部、生态环境部、商务部、应急管理部、国务院国资委、海关总署、市场监管总局、国家矿山安监局，2025.3.11，[https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202503/content\\_7016126.htm](https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202503/content_7016126.htm)
- 2 节能与新能源汽车技术路线图，中国汽车工程学会，2016.12.1
- 3 立中集团：2024 年年度报告，立中集团，2025.4.21，<https://www.cninfo.com.cn/new/fulltextSearch?notautosubmit=&keyWord=%E7%AB%8B%E4%B8%AD%E9%9B%86%E5%9B%A2>
- 4 顺博合金：2024 年年度报告，顺博合金，2025.4.25，<https://www.cninfo.com.cn/new/disclosure/detail?orgId=gfbj0833081&announcementId=1223268966&announcementTime=2025-04-25>
- 5 永茂泰：2024 年年度报告，永茂泰，2025.4.19，<https://www.cninfo.com.cn/new/disclosure/stock?stockCode=605208&orgId=9900039946#latestAnnouncement>
- 6 “十四五”循环经济发展规划，国家发展改革委，2021.7.7，[https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-07/07/content\\_5623077.htm](https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-07/07/content_5623077.htm)
- 7 2024—2025 年节能降碳行动方案，国务院，2024.5.23，[https://www.mee.gov.cn/zcwj/gwywj/202405/t20240530\\_1074495.shtml](https://www.mee.gov.cn/zcwj/gwywj/202405/t20240530_1074495.shtml)
- 8 推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动方案，国务院，2024.3.7，[https://www.gov.cn/zhengce/content/202403/content\\_6939232.htm](https://www.gov.cn/zhengce/content/202403/content_6939232.htm)
- 9 关于健全废旧家电家具等再生资源回收体系的通知，商务部、国家发展改革委、工业和信息化部、财政部、生态环境部、住房城乡建设部、市场监管总局、国管局、供销合作总社，2024.1.23，[https://www.mofcom.gov.cn/zcfb/gnmygl/art/2024/art\\_598cb2396316419fba6b7fb1f87b91e8.html](https://www.mofcom.gov.cn/zcfb/gnmygl/art/2024/art_598cb2396316419fba6b7fb1f87b91e8.html)
- 10 关于加快废旧物资循环利用体系建设的指导意见，国家发展改革委、商务部、工业和信息化部、财政部、自然资源部、生态环境部、住房城乡建设部，2022.1.17，<https://zfxgk.ndrc.gov.cn/web/iteminfo.jsp?id=18632>
- 11 2024 年中国再生有色金属产业发展报告，中国有色金属工业协会再生金属分会，2025.6
- 12 2024 中国有色金属发展报告，中国有色金属工业协会，2024.6
- 13 2024 中国有色金属发展见解，中国有色金属报社，2024
- 14 推动“回收 + 再生材料 + 绿色制造”融合发展，资源再生，2025.9.15
- 15 再生有色金属：为绿色发展注入新动力，资源再生，2025.8.7
- 16 再生金属驱动产业绿色转型发展，中国有色金属报，2025.7.15
- 17 再生铝助力铝产业资源保障 推动铝产业绿色转型发展，资源再生，2025.4.15
- 18 中国废铝合金再生铝资源回收利用现状及发展前景分析，有色金属加工，2024.12.13
- 19 进一步优化海关监管推动再生金属原料进口高质量发展，资源再生，2024.9.15
- 20 中国铝合金汽车轮毂的回收和再生现状，铝加工，2024.6.20
- 21 新能源汽车关键有色金属提取与回收技术发展分析，现代交通与冶金材料，2024.1.15
- 22 1.5 Degrees Scenario: A Model To Drive Emissions Reduction, International Aluminium Institute, 2021, <https://international-aluminium.org/resources/1-5-degrees-scenario-a-model-to-drive-emissions-reduction/>
- 23 Making Net-Zero Aluminium Possible, Mission Possible Partnership, 2023, <https://3stepsolutions.s3-accelerate.amazonaws.com/assets/custom/010856/downloads/Making-1.5-Aligned-Aluminium-possible.pdf>
- 24 铝产品碳足迹核算及报告方法学——基于国际实践，刘雯娟，Sravan Chalasani 等，2024, [https://rmi.org.cn/insights/aluminum\\_guidance/](https://rmi.org.cn/insights/aluminum_guidance/)

落基山研究所，共塑价值链：再生铝产业的协同与突破，2025，<https://rmi.org.cn/insights/collaboration-and-breakthroughs-in-the-recycled-aluminum-industry/>

RMI 重视合作，旨在通过分享知识和见解来加速能源转型。因此，我们允许感兴趣的各方通过知识共享 CC BY-SA 4.0 许可参考、分享和引用我们的工作。 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



除特别注明，本报告中所有图片均来自iStock。



**RMI Innovation Center**  
22830 Two Rivers Road  
Basalt, CO 81621

[www.rmi.org](http://www.rmi.org)

© 2025年11月，落基山研究所版权所有。  
Rocky Mountain Institute和RMI是落基山研究所  
的注册商标。