

循环汽车蓝皮书

从零到无穷大——小循环撬动无限循环

 中汽中心 | 数据

 NIO

 TÜVRheinland®

2025



绿色、低碳、循环、智能——汽车产业新质生产力发展之道

在全球气候变化挑战加剧的背景下，汽车产业正经历一场深刻的变革。汽车产业的绿色、低碳、循环、智能化发展成为全球共识与迫切需求，这是实现可持续发展的关键路径。

人与自然关系的哲学转向是这一变革的起点。人类对自然的态度已从“征服与改造”走向“和谐共生”，这一理念在中国“绿水青山就是金山银山”政策倡导下深入人心，并成为全球治理的重要一环。中国提出 2030 年前碳达峰、2060 年前碳中和的目标，体现了大国责任担当。在汽车行业，这意味着环境责任共担原则的建立，即生产者、消费者和政府等各利益相关方需共同承担环境责任，推动产品全生命周期的绿色化。

然而，汽车产业在这一转型过程中面临着诸多挑战。绿色制造要求实现低消耗、低排放、高效率和高效益的生产模式。尽管中国汽车产业在碳排放控制上取得了显著进展，但随着汽车保有量的不断增加，碳减排的压力依然巨大。汽车回收利用产业近年来虽增长迅速，法规标准不断完善，回收拆解企业数量增加，但报废汽车回收量仍有待提升。智能化方面，汽车产业正从单车智能向车路网云协同跨越，生产智能化和物流智能化虽有显著成果，但数据安全和隐私保护等问题亟待解决。

为应对这些挑战，发展新质生产力成为关键。新质生产力强调新技术与高素质劳动者、现代金融、数据信息等要素的结合。政策层面，中国政府出台了多项规划和路线图，明确发展目标，如新能源汽车推广、智能化技术突破等。产业深度转型升级方面，需推动传统能源动力系统向低碳化、零碳化转型，扩大电动汽车市场规模，推动绿色供应链管理和制造环节的清洁化、数字化。产业链协同方面，需加强车用燃料低碳转型、新能源汽车与电网融合互动等。

人工智能在绿色制造中的赋能作用不容忽视。以动力电池拆解智能化为例，随着新能源汽车市场的快速发展，动力电池退役量激增，传统拆解方式难以满足需求。智能化拆解可提高效率、降低成本、减少污染，但面临非结构化拆解环境和多品种小批量产品的挑战。从 L0 到 L4 的拆解智能化升级，以及神经符号具身智能技术在其中的应用，如动力电池拆卸自主复合型机器人，展示了人工智能如何推动动力电池回收利用产业的可持续发展。

以蔚来汽车为例，其在循环汽车领域的实践为发展新质生产力提供了生动案例。蔚来通过一体化压铸技术，将多个零部件整合，不仅减少了生产时间提升生产价值，还提高了原材料回收利用率；其电池包的易拆卸设计，方便电池的更换、升级和回收，提高了电池的使用效率和资源循环利用率；蔚来换电站的智能化管理，通过大数据分析建立电池健康度预测模型，延长了电池的使用寿命，优化了资源配置，实现了自然资源的集约利用；此外，蔚来还积极建设循环经济产业园，推进近地化供应，打造了拆解、熔炼、压铸等企业紧密协作的循环供应链，有效提升了物流效率，降低了供应链风险。

总之，汽车产业的绿色智能化转型是应对气候变化、推动产业高质量发展的必然选择。它与其他传统产业提供了宝贵经验，通过人工智能赋能绿色制造，推动制造业向高端化、智能化和绿色化方向发展，为实现碳达峰和碳中和目标奠定基础。未来，我们需要抓住机遇，积极应对挑战，推动汽车产业实现全面绿色转型和智能化升级，为全球汽车产业的绿色智能化转型提供有益的启示和参考。

陈铭 研究员
上海交通大学

参编人员

共编单位 蔚来公司 中汽数据有限公司 TÜV RHEINLAND

执行编辑 黄敏学 孟大海 陶冶源 张绍卿 伏明嘉 杨宛儒 张晨星

编委会

沈峰 周欣 曲玉 潘昱 Danilo Teobaldi 童威 王犟 臧海菲
叶青 郭宇竹 朱清 王宁波 Gary Hughes 冯屹 张鹏 王秀旭
王攀(中汽数据) 石晓磊 孙一航 陆勋海 许秋明 李波 刘龙
程帅 陈楠 臧永兴 叶珍 王攀(玉成有限公司) 胡冬祥 李洋
龚淑娟 谈兵

参编单位

中国有色金属工业协会再生金属分会 中国循环经济协会新能源
汽车循环利用专委会 帅翼驰新材料集团 立中四通轻合金集团
股份有限公司 玉成有限公司

知识合作伙伴

陈铭 研究员(上海交通大学) 杜欢政 教授(同济大学)
《汽车制造业》编辑部

目录

1. 循序渐进：从“0”到“∞”？	1
1.1 “1”、“0” & “∞”	2
1.1.1 线性经济和“飞船理论”	2
1.1.2 “掰弯”线性经济，塑造循环经济	3
1.1.3 循环汽车：循环经济的重要抓手	4
1.2 $x \rightarrow 0$ & $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1}{x} = \infty$	6
1.2.2 循环经济全视图	6
1.2.3 循环汽车全视图	7
2. 一叶知秋，“循”风而至	8
2.1 政策引领，势在必行	9
2.1.1 国内：规划完整，路径渐显	9
2.1.2 海外：因地制宜，各有千秋	10
2.2 汽车循环，产业新星	13
2.2.1 供给侧：整车报废东风将至	13
2.2.2 需求侧：材料再生需求提升	14
2.2.3 再制造：零件利润增值秘诀	17
2.2.4 产业园：循环模式极佳载体	17
2.3 环境收益，凸显价值	19
2.3.1 循环，汽车减碳的桥头堡	19
2.3.2 循环，绿色发展的排头兵	20
3. 投石“循”路：如何实现“0”→“∞”？	21
3.1 千里之行，始于足下	22
3.1.1 应用先进可持续材料	22
3.1.2 开发绿色易循环设计	25
3.1.3 普及智能化与数字化	26
3.1.4 变革服务与商业模式	28
3.1.5 整车厂商的全局思考	29

3.2 长坡厚雪，久久为功.....	31
3.2.1 打破创新壁垒，直面技术挑战	31
3.2.2 完善政策体系，加强区域协同.....	33
3.2.3 普及循环观念，建立消费认同.....	33
4. 从“0”到“∞”，我们在路上.....	35
参考文献	37



循序渐进：从“0”到“∞”？

1.1 “1”、“0” & “∞”

当我们在讨论循环时，我们在讨论什么？

1.1.1 线性经济和“飞船理论”

自工业革命以来，线性经济发展成为主要的经济模式，以“资源-产品-废弃物”为其主要特征，以大量消耗自然资源为基础，追求经济的快速增长和规模扩张。但高增长意味着高消耗和高排放，以及对资源的强烈依赖。随着世界人口的持续增加，资源紧张和环境污染问题日趋严重。

1966 年，美国经济学家肯尼斯·波尔丁发表了一篇名为《地球与宇宙飞船经济学》的论文，提出了著名的“宇宙飞船理论”。在这篇论文中，波尔丁将地球形象地比喻为一艘封闭的“宇宙飞船”，其资源是有限的，无法无止境地获取外部供应，也无法无限制地向外排放废弃物。该论文中指出，人类过去的经济模式是一种以掠夺式、消耗式发展为特征的经济模式，在广阔的空间中可以随意开发资源、排放废弃物，仿佛资源是无限的。然而，随着人口增长、科技进步和资源过度消耗，我们开始面临资源枯竭、生态系统破坏等问题。因此，人类需要转变思维，像管理宇宙飞船一样管理地球，珍惜有限资源，实现可持续发展。

联合国可持续发展目标于 2016 年开始在全球推广，呼吁所有国家在促进经济繁荣的同时，遏制气候变化、关注环境保护。这与新时代中国特色社会主义价值观强调“深化生态文明体制改革，聚焦建设美丽中国”的重大战略不谋而合，任何以牺牲环境、浪费资源换取的经济增长是不可持续的，循环正是实现可持续的重要途径。

图 1.1 | 联合国可持续发展目标^[1]

1.1.2 “掰弯”线性经济，塑造循环经济



循环经济正是应对资源和环境问题的重要解决方案，它不仅能够保护资源和环境，还能为经济发展提供新的动力（参阅表 1.1）。全面推进落实循环经济，不仅是一种经济选择，更是一种对未来负责的生活方式。只有发展循环经济，人类才能在这艘“宇宙飞船”上实现长期生存和可持续繁荣。

表 1.1 | 循环经济的优势^{[2][3]}

循环经济的优势	
 资源节约	- 减少开采：通过资源的回收利用，减少对不可再生资源（如矿石、化石燃料等）的消耗，延缓资源枯竭。 - 提高资源利用率：通过重复使用、再制造和再循环，最大限度地延长资源的使用寿命。 - 降低进口依赖：循环经济可以提高资源的自给率，减少对稀缺资源的进口依赖，增强供应链韧性。
 环境保护	- 减少废弃物产生：通过优化产品设计和生产流程，减少废弃物的产生量，降低垃圾填埋和焚烧的需求。鼓励资源回收和再利用，减少废弃物对自然环境的污染。 - 降低排放：减少资源开采和废弃物处理过程中的能源消耗，降低了温室气体的排放；通过减少工业废水、废气和固体废弃物的排放，改善水体、土壤和空气质量。
 经济增长	- 降低成本：通过资源循环利用和废弃物再加工，企业可减少对新原材料的采购需求，通过最大限度地挖掘资源价值，企业可以降低成本，减轻与供应链中断和材料价格波动相关的风险^[2]。 - 缓解资源价格波动风险：减少对一次性原材料的依赖，降低因资源价格波动或短缺导致的生产风险。提高供应链的稳定性和韧性，增强经济体系对外部冲击的抵御能力。 - 创造新经济增长点：发展循环经济相关产业（如废弃物回收、再制造、资源管理等），带动经济增长；推动清洁生产技术、绿色产品设计和资源再利用技术的研发，为企业创造新的竞争优势；激励新商业模式的涌现，如共享经济、租赁服务、产品服务化等。
 社会效益	- 社会公平：通过资源的循环利用和共享经济模式，优化资源配置，有助于缓解社会不平等，提高经济的整体效率^[3]。 - 提升公众环保意识：通过教育和政策引导，让更多人认识到循环经济的重要性，提高社会责任感。 - 支持全球可持续发展目标（SDGs）：循环经济与联合国可持续发展目标（如负责任的消费和生产、气候行动、保护陆地生态系统等）高度契合，助力全球社会的可持续发展。

1.1.3 循环汽车：循环经济的重要抓手

汽车是我国国民经济的重要支柱性产业，汽车及其制造、服务产业链增加值占 GDP 比例约为 6-7%，是对经济带动最大的少数几个产业之一^[4]。汽车产业链条长、关联度高、带动性强、贸易规模大、就业人口多，且具有很强的技术创新特质，对国家和区域经济发展具有重要影响。一辆汽车的全生命周期几乎串联了现代工业所有关键环节，其循环化改造将系统性推动上游原料供应、中游制造工艺、下游回收体系的协同变革。因此，汽车工业的循环成为了当代循环经济转型的重要抓手。

根据循环经济的系统分级，可以将循环经济分为以下几个维度^[5]：大循环指的是国家和地区层级的循环，中循环指的是产业网络及企业层级的循环，小循环则关注产品层面，主要涉及公司及消费者之间的循环。循环汽车主要焦于循环经济的中循环和小循环，探索汽车产业价值链上的伙伴们如何践行循环经济。

如果说线性经济是“1”，那么循环汽车中的每一个小循环和中循环就像一个个小小的“0”，如果能将这些低层级中的循环做到极致，撬动全社会各方的大循环，最终就能实现循环经济的“∞”。

图 1.2 | 循环经济系统分级方法^[5]

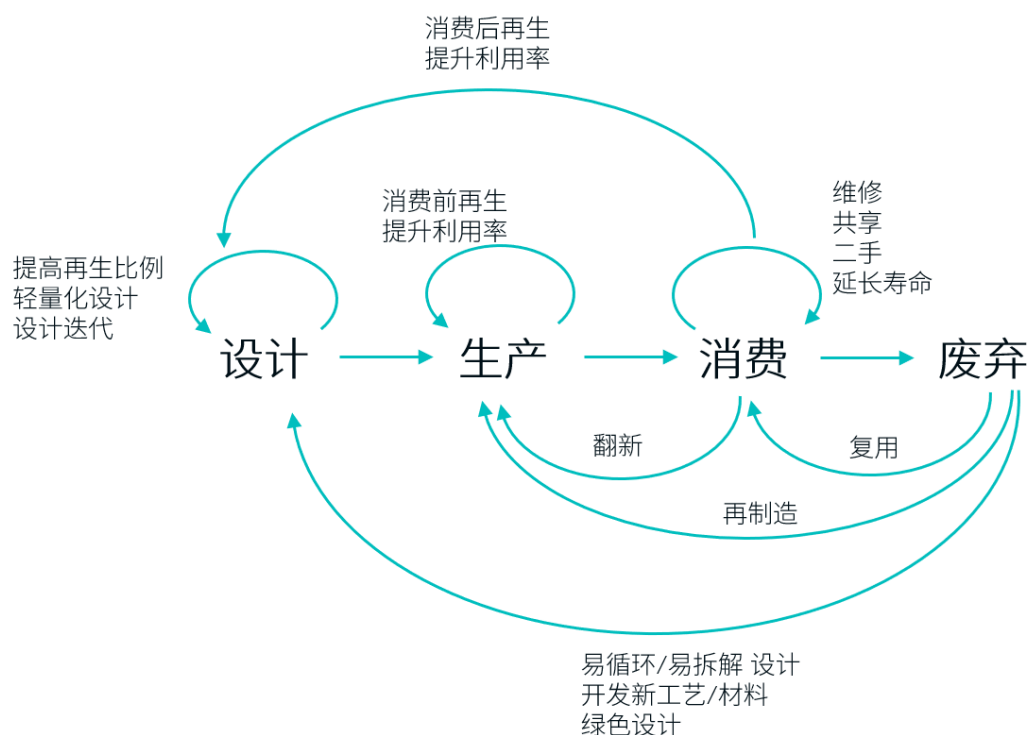
1.2 $x \rightarrow 0$ & $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1}{x} = \infty$

每一个小循环的极限，就是极限的大循环。

1.2.1 循环经济全视图

线性经济以“设计→生产→消费→废弃”为主要流程，循环经济则是考虑在每一个环节闭环的基础上，将整个资源的流通形成一个巨大的闭环。

图 1.3 | 无穷大循环 - 循环经济

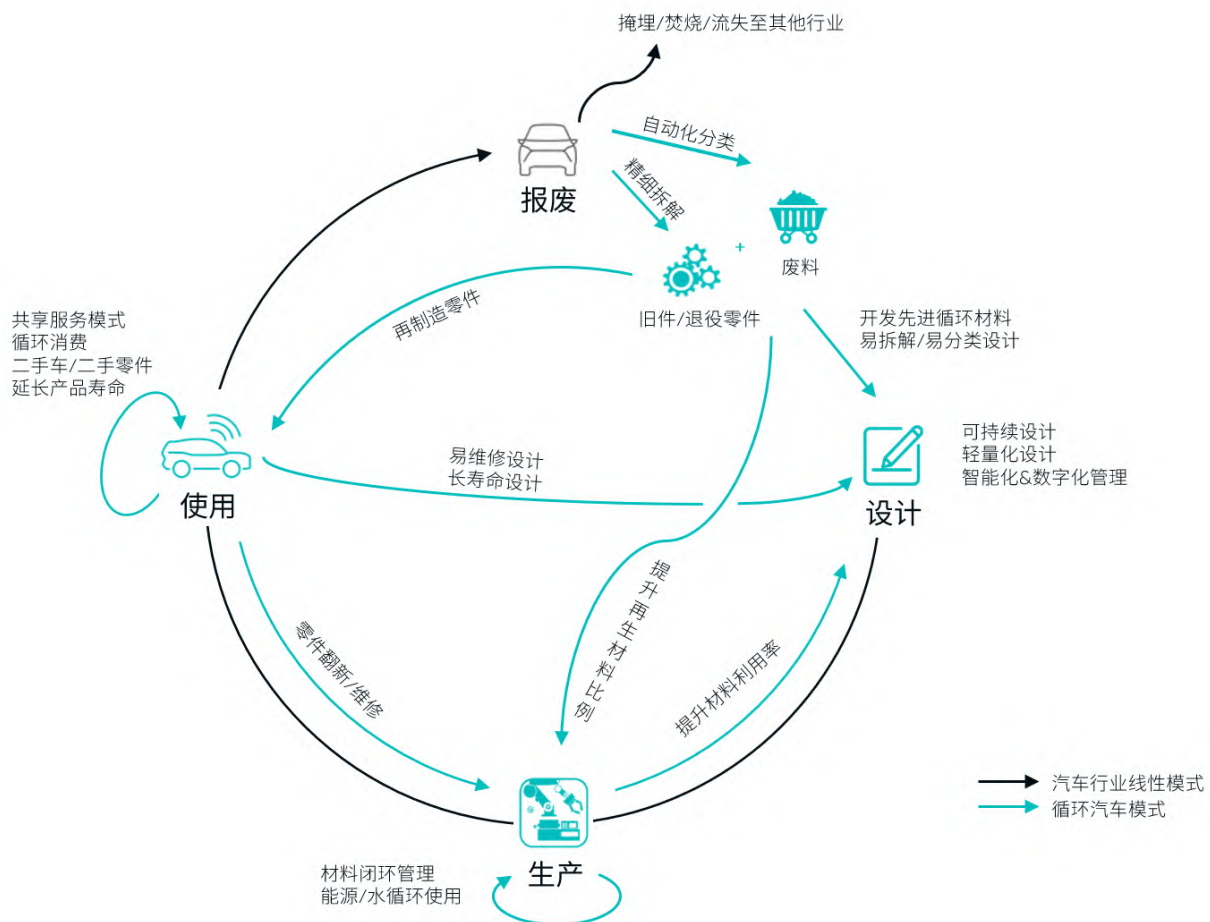


1.2.2 循环汽车全视图

蔚来汽车基于国内外资源循环利用大趋势，旨在从全局出发，将整车设计、生产、使用、报废的生命周期全流程都纳入循环体系，图 1.4 是蔚来对于循环汽车的全局思考。

在设计阶段，通过可持续设计、循环材料的使用来减少矿产的开发和使用，增加新车中的可循环比例；在生产阶段，在提升材料利用率的同时，循环使用生产过程中的废料；在使用阶段，通过电池包的“可充可换可升级”的共享模式优化资源配置，延长产品寿命；在汽车的生命周期末端，通过将报废车进行精细化的拆解及高价值、可循环原材料的分拣，配以可循环的熔炼材料技术，完成原材料的再生及车到车循环。利用报废的试验工程车，蔚来与上下游合作伙伴一起验证“车到车”循环利用的技术和工业化可行性，并已完成 1000 台车的“车到车”级别闭环。这些尝试为汽车全产业链的循环模式，为汽车产业的循环奠定了坚实的基础，也为撬动循环经济的无限大循环提供了新助力。

图 1.4 | 中小循环 - 循环汽车



一叶知秋
“循风而至”



2.1 政策引领，势在必行

**全球范围内正经历政治经济的巨大变革，
以中国、欧盟为代表的主要经济体正在加大循环政策推动力度
及模式落地，循环汽车成为汽车产业绿色转型的关键方向。**

2.1.1 国内：规划完整，路径渐显

汽车产业的循环，是落实循环经济战略、提升资源利用率、减少环境污染的重要举措。汽车产业作为国民经济支柱产业，循环模式作为其绿色转型的关键方向，更将成为资源内循环的极佳落地载体。中国循环经济政策法规具有系统性和协同性，以资源的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，以低消耗、低排放、高效率为基本特征，强调政府引导与市场机制相结合，注重全过程控制并明确各方责任，同时采取激励与约束并重的措施。中国循环经济政策法规制定主要分为3个阶段（参阅图2.1）。

图 2.1 | 中国循环经济政策法规制定发展阶段



2.1.2 海外：因地制宜，各有千秋

当我们把视角转向海外，会发现不同区域循环政策有着巨大差异。以欧盟和美国为例：双方在推进循环经济、循环汽车产业的出发点大相径庭。欧盟专注法规驱动，优先聚焦立法，制定“硬约束”标准，在循环经济政策体系经历了从废弃物管理到全产业链循环经济的转变，展现出战略性和系统性、全面性和综合性。而美国则主要采用市场驱动+联邦与州政府立法相结合，强调企业层面的灵活性和创新性。形式上，注重企业自主创新，通过税收减免、投资激励等方式推动企业发展循环经济。

表 2.1 | 欧盟与美国的循环政策对比

对比维度	欧盟	美国
底层逻辑	法规驱动：优先立法，制定标准	市场驱动 + 强调灵活性：联邦与州政府立法结合，注重企业自主创新，价值链上各方责任共担
核心法规及标准制定	《欧盟新循环经济行动计划》（2020） 《汽车循环经济的政策建议》（2023） 《欧盟电池法规》（2023） 《关键原材料法案》（2023）	《国家回收战略》（2021） 《通货膨胀削减法案》（2022） 《锂离子电动汽车电池回收政策框架》（2022）
覆盖范围	- 原材料层面：对动力电池镍、钴、锂，以及车内材料材料循环均提出循环比例 - 零部件层面：全球首个提出对电池生命周期管理的区域	更多依托企业自主创新，如福特再生塑料应用、通用电池再利用
区域内外部影响	碳边境调节机制（CBAM）避免碳泄露，通过法规输出影响全球供应链	在环境维度较少对海外市场提出需求
行动模式	- 强调跨行业协同，如电池护照 - 强调上下游协同，如电池生产者责任延伸制	通过税收减免、投资激励等方式推动企业发展循环经济

欧盟硬法规

2023 年 7 月欧盟委员会提出汽车循环经济的政策建议，推动汽车产业走向更加可持续的循环经济模式。该提案将当时的“报废汽车指令”（2000/53/EC）和“再利用与再生利用指令”（2005/64/EC）进行整合，旨在通过设立新的循环设计、收集和回收标准，提升汽车产业的资源利用效率。

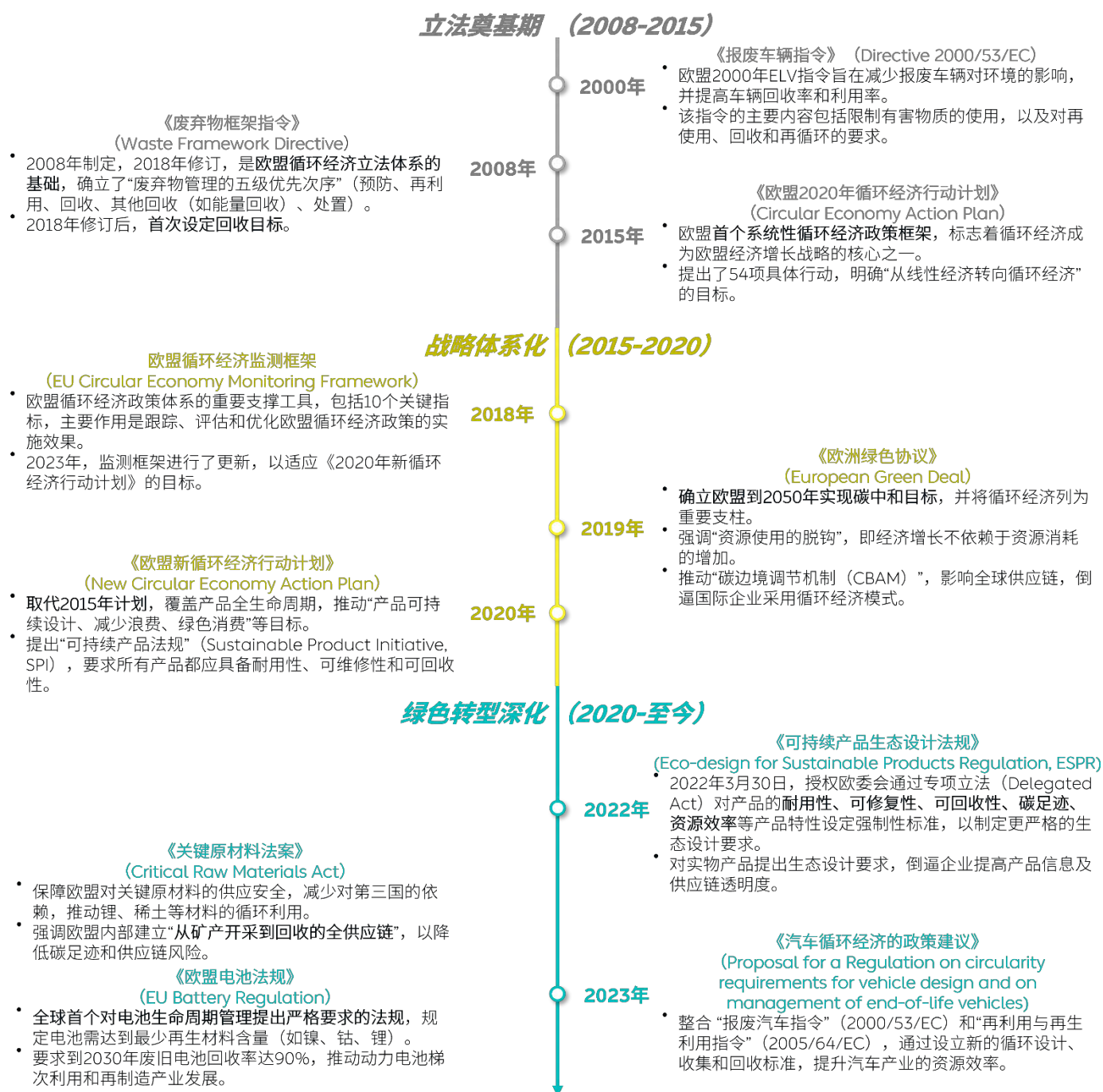
欧盟在立法的同时，也强调全生命周期管理，设定量化目标，建立产业链透明化标准及工具。

全生命周期管理：引入生产者责任延伸（EPR：Extended Producer Responsibility），要求制造商为废弃车辆的处理提供资金支持，确保报废处理合规性。鼓励制造商与回收处理机构合作，提升回收效率和材料质量。

量化目标设定：欧盟《车辆设计和报废车管理的循环要求》提案中提出，新车生产必须使用至少 25% 消费后再生 PCR 材料，其中 25% 来自车到车闭环材料（2023 年 7 月版本）。欧盟新电池法规中也对电池中再生钴、锂和镍的使用比例提出了明确要求，并在不同时间段设定了不同的目标^[6]。

产业链透明化标准及工具：推行数字产品护照（Digital Product Passport），追踪汽车电池及零部件的碳足迹和回收路径，确保数据透明化。2024 年开始，针对车用动力电池，率先推进落地电池护照。

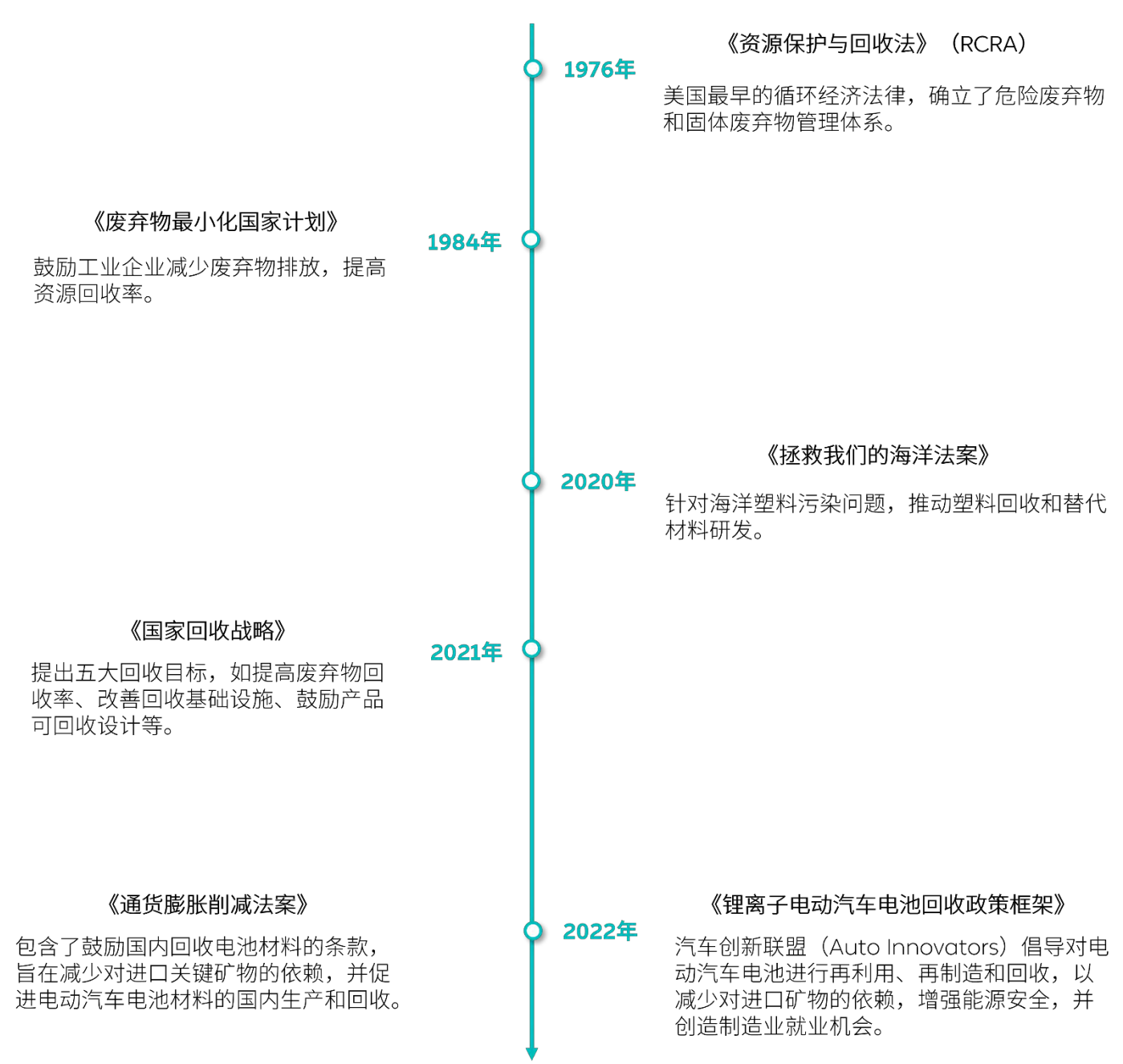
图 2.2 | 欧盟循环经济政策发展时间轴



美国软激励

相比于欧盟，美国则主要由市场驱动+联邦与州政府立法相结合，推动资源回收和循环再利用。形式上，注重企业自主创新，通过税收减免、投资激励等方式推动企业发展循环经济；内容上，强调塑料污染治理、电子废弃物管理、建筑废弃物循环利用等重点领域。

图 2.3 | 美国循环经济政策发展时间轴



2.2 汽车循环，产业新星

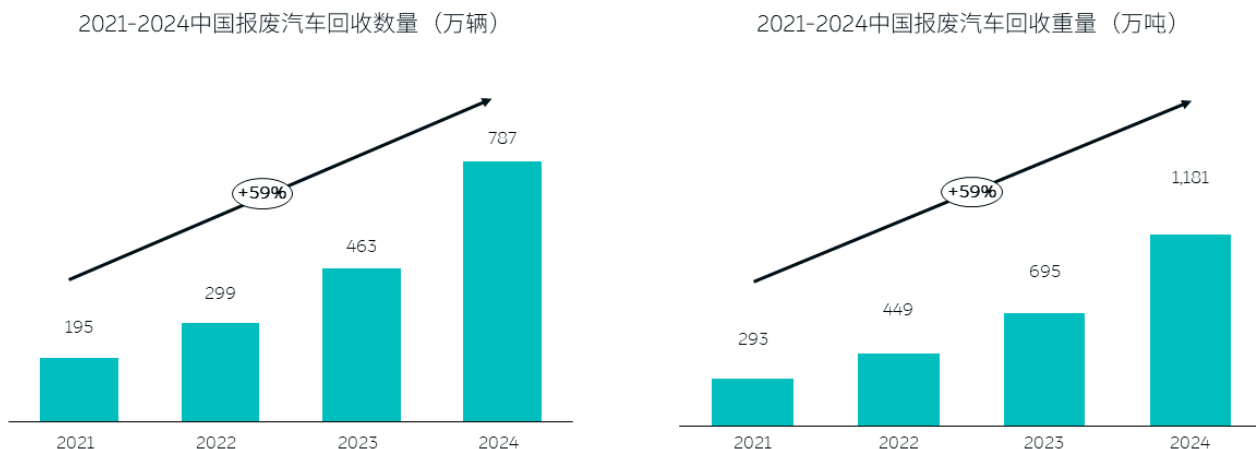
**循环汽车产业带来的巨大增值，
成为行业内卷形势下新的‘增量赛道’。**

2.2.1 供给侧：整车报废东风将至

循环汽车产业是撬动循环经济万亿市场的新动能。循环汽车所带动的产业涉及面广，产业体量大。根据埃森哲预测，全球循环经济市场的整体规模有望在 2030 年达到 4.5 万亿美元，整体市场或将以超 10% 的复合年均增长率保持高速增长^[7]。

截至 2025 年 6 月底，据公安部统计，全国汽车保有量达 3.59 亿辆，新能源汽车保有量达 3689 万辆，占汽车总量的 10.27%。其中，纯电动汽车保有量 2553.9 万辆，占新能源汽车总量的 69.23%^[8]。随着保有量基盘的不断扩增增加，以及国三报废等法规的实施，叠加以旧换新行动方案的强劲助推，报废汽车机会窗口来临。2024 年，我国报废汽车回收量约为 787 万辆（同比增长 64%），创历史新高。预计到 2025 年，中国实际报废汽车数量将达到 1500 万至 2000 万辆^[9]（根据全国汽车流通管理信息系统统计预估）。

图 2.4 | 国内整车报废窗口已至^[10]



目前国内汽车产业进入存量市场，叠加智能电动车渗透率快速上升等因素，新车销售中的增购+换购比例已接近 60%。2025-2030 年，随着需求端用户对智能电动车的接受度不断增加，以及智能新能源车丰富产品的不断供给，新能源车替代传统燃油车的速度将不断加快。随着大批量燃油车的退役报废，整体报废机动车数量将保持持续快速上升。

图 2.5 | 国内汽车行业进入存量替换期，报废潮临近^[1]



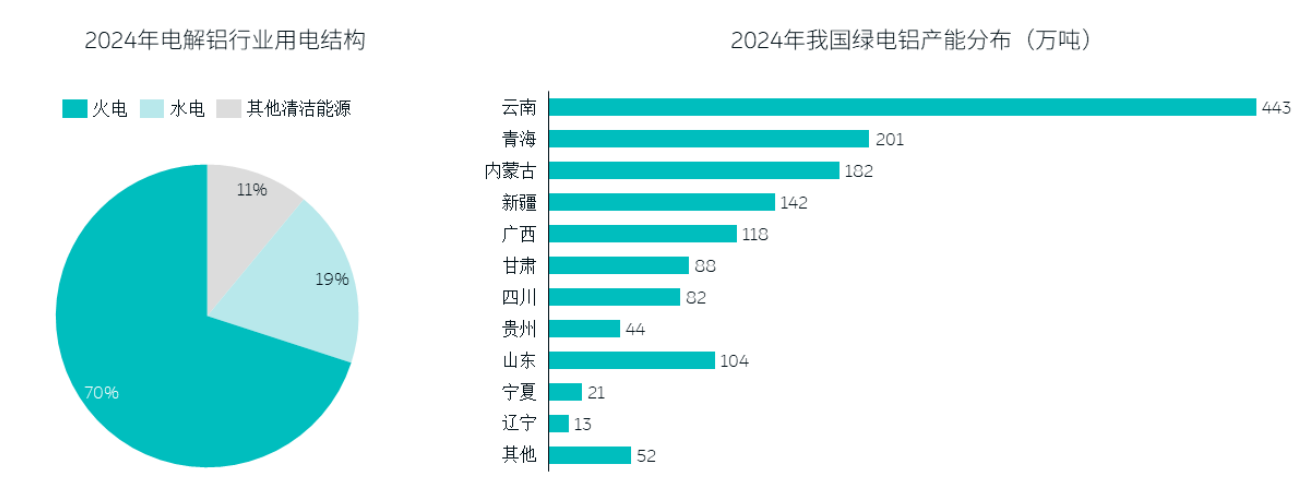
2.2.2 需求侧：材料再生需求提升

从上述分析的供给端来看，随着汽车报废潮的到来，车用再生材料的供应大大丰富。车用再生材料的需求，成为循环模式能否稳定工业化落地闭环的关键。

智能电动车所带来的不仅是技术和用户体验的革新，对材料的需求也同传统燃油车有着明显区别。整车轻量化及结构强度的需求，带动全车用铝量快速上升^{[12][13][14]}。动力电池带动镍、钴、锂等材料的大量使用与消耗。全球塑料公约的提出，也提升了整车再生塑料的循环和使用。同时，伴随着对整车可持续属性的进一步提升，对低碳原材料长期稳定供应，带来全新挑战。

铝材料是汽车产品车辆周期碳足迹的主要贡献者之一。但汽车产品不断低碳化的趋势，对汽车铝材料成本也造成明显影响。以水电铝为代表的低碳铝，市场上显性溢价普遍在 2-4%^[15]。这主要是由国内低碳铝的供应紧缺所带来的。我国 2024 年的原铝产量中，非火电铝占比 30%，其中水电铝占比 63%。从地区分布上看，国内的绿电铝供应主要集中在水电资源丰富的西南地区，当地绿电铝产量占全国的 40%以上。资源禀赋的地理稀缺性，直接决定了绿电铝的相对稀缺性及溢价^[14]。

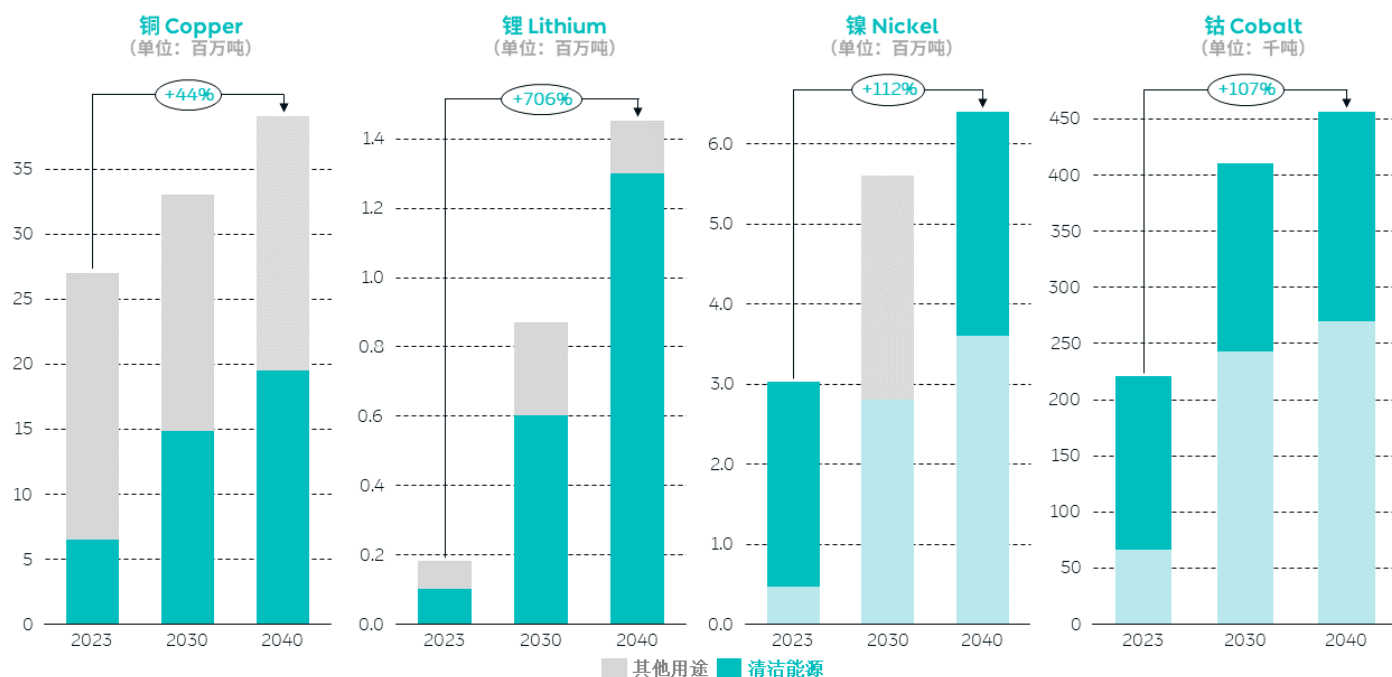
图 2.6 | 2024年电解铝行业用电结构和绿电产能分布^[16]



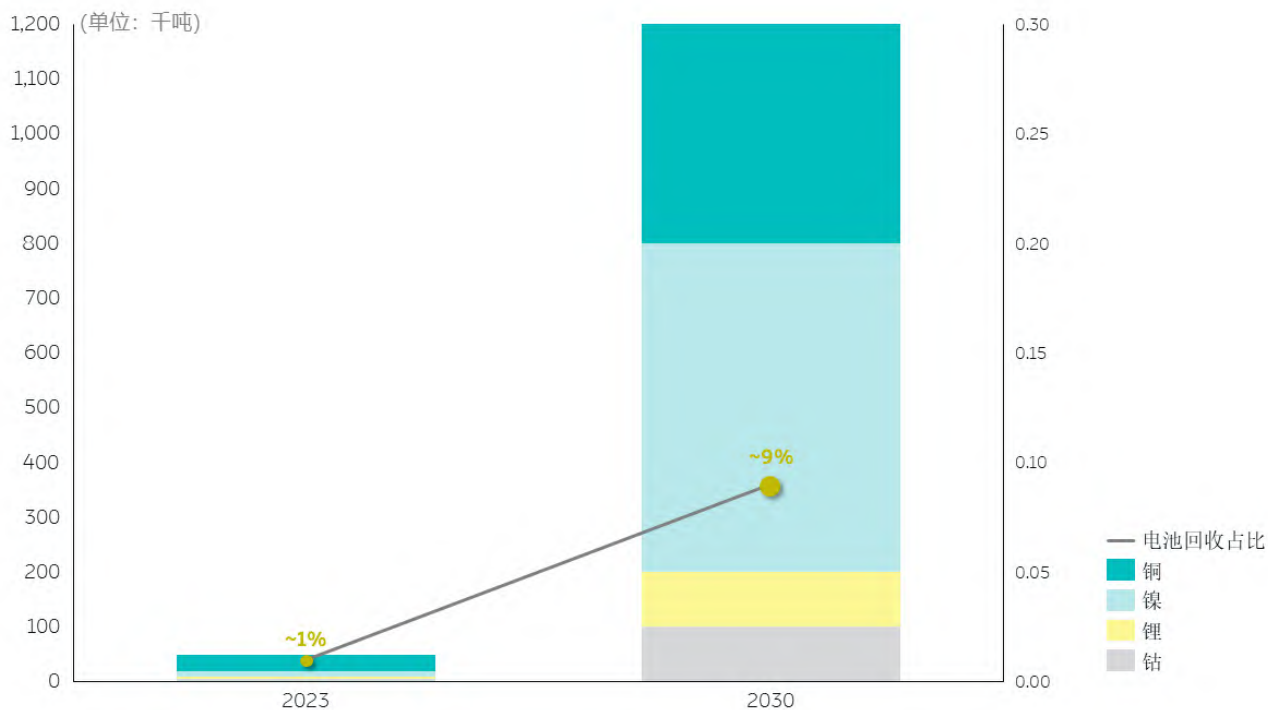
相比于绿电铝，循环铝是新能源汽车供应链实现降碳高效、循环经济的关键途径之一。铝核心生产步骤占据铝直接碳排放量约 85%，再生铝的能耗仅为原铝 5%（0.6 吨二氧化碳）^[17]。这使得循环铝材料在零部件碳排放维度有着火电铝无可比拟的优势。

除了铝以外，智能电动车也极大的带动了动力电池产业的发展。随着第一批电动车报废周期来临，大批量报废的动力电池面临再生利用和梯次利用。我国动力电池回收再利用技术目前已达到世界领先，并还在不断进步。

相比于循环铝所带来的低碳优势，电池材料的循环，更大的意义是缓解资源供应的压力。根据国际能源署的预测：到 2040 年，全球对于铜、锂、镍和钴的需求，相比于 2024 年，将增加 1-7 倍（参阅图 2.7）；从废旧电池中回收的铜、锂、镍和钴可使这些矿物的一次供应总需求减少约 12%。通过电池回收矿物可使原矿开采的需求量减少，2040 的需求量减少程度较 2030 的需求量减少程度提高十倍（参阅图 2.8）。这将有望大幅缓解资源供应压力^[18]。

图 2.7 | 全球变暖 1.5°C 场景下各类关键矿物需求的快速增长情况^[18]

注：铜的统计基于精炼铜；蓝色标注的“增长比例”为 2023-2040 年需求变化幅度（基数为 2023 年）。

图 2.8 | 2030-2040 年电池回收再利用对降低部分矿物初级供应需求的贡献^[18]

2.2.3 再制造：零件利润增值秘诀

相比于材料回收和再生业务，零部件再制造产业发展更加成熟。对于传统整车产业，零部件再制造业务具备更高的利润率，能显著增加企业盈利能力。这也是传统车企的利润拓展渠道之一。

以大豪国际汽车零件股份有限公司 (LKQ Corporation) 为例，LKQ 的主营业务包括报废汽车回收拆解、零部件再制造、替代件分销、废旧金属回收等。根据 LKQ 2024 年财报，其北美分部（涵盖再制造业务，如发动机和变速箱）的息税折旧及摊销前利润率为 16.6%。LKQ 的再制造业务利润率远超传统整车企业，体现了循环经济模式（回收、翻新、再制造）的差异化竞争优势，包括较低的原材料成本、供应链整合能力以及市场需求稳定性。这一差异凸显了再制造业务在汽车后市场的高盈利潜力^[20]。

图 2.9 | 大豪国际汽车零件股份有限公司（LKQ）2023-2024年北美分部收入分析（单位：百万美元）^[20]

北美 Wholesale业务	单位	2024金额	2023金额
板块总营收(Revenue)	M USD	5,763	5,282
- 零部件及服务收入	M USD	\$5,465	\$4,974
- 其他收入	M USD	297	307
- 内部部门间收入	M USD	1	1
销货成本(Cost of Goods Sold)	M USD	3,252	2,796
毛利润(Gross Profit)	M USD	2,511	2,486
毛利率(Gross Margin)	%	43.60%	47.00%
销售、一般及管理费用	M USD	1,567	1,535
减：其他板块项目	M USD	(15)	(24)
板块息税及折旧摊销前利润(EBITDA)	M USD	\$959	\$975
息税及折旧摊销前利润率(EBITDA margin)	%	16.60%	18.50%

2.2.4 产业园：循环模式极佳载体

循环经济产业园区是指依据循环经济理论而设计，通过模拟自然生态系统“生产者-消费者-分解者”的循环途径改造产业系统，建立产业系统的“生态链”而形成产业共生网络，以实现园区成员之间的副产物和废弃物的交换，能量和废水的原级利用，基础设施和信息资源、园区管理系统的共享，从而建立园区经济效益和环境方面协调发展的可持续的经济系统^[19]。

根据产业研究院的研究统计，目前国内已经建立的大小循环园区，市场估计已超过 10,000 家。其中，国家级的循环园区超过 100 家，省级园区超过 300 个。全国范围内，循环产业园区已经可带动超过万亿的市场规模。循环产业园的模式，为循环链条商业化跑通提供极佳的载体。主要体现在以下几点：

第一，循环园区的组织形态，可以最大化循环链条上各环节的物流效率，减少物质流的价值损失。循环产业的一大特征，是上下游需要建立非常紧密的互联及互动，首尾相连。以整车循环为例，整车要经历报废车回收、拆解、熔炼、压铸等环节，才可完整地实现循环材料上车闭环。可以想象，一台报废车被拆解后，若将不同的材料、零部件运输至距离极远的下游再生、处置厂家，将产生极大的物流距离，且对最终的材料回收不产生直接增值。若关键环节都聚集在同一园区内，可以形成“门到门”的流转形态，最小化物流成本。

第二，整车的拆解循环过程，是新车制造的逆过程，相比于新车制造的熵减，整车拆解是一个熵增的过程。在整车的拆解环节，很难拆解出高纯度的原材料，拆解形成的废料往往是含杂质的状态；而且，相比于新车制造的原材料，拆解废料的一致性较差。给下游的金属再生、熔炼、提取环节带来了额外的工艺、成本及质量管控需求。循环园区的形态，有助于下游消费方更直接、高效的对上游进行反馈及管理，提高信息传递效率的同时，增加质量管控的效率。

第三，循环园区的形态更有助于实现循环链条的上下游追溯。供应链追溯是汽车行业的长期挑战。随着国内车企大力出海，对于供应链的可持续合规、追溯，也成为各车企的必选项。循环园区的形态下，可以最小的代价对报废材料流转、加工的监管及追溯，确保循环全链条的合规性及准确性。

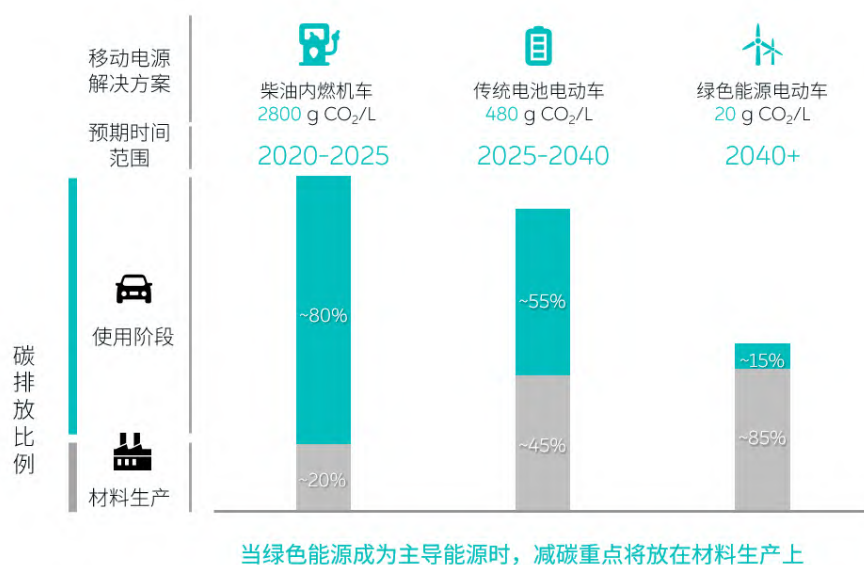
2.3 环境收益，凸显价值

汽车行业在双碳目标下面临更多减排压力，
循环将成为汽车行业绿色低碳战略的前沿阵地。

2.3.1 循环，汽车减碳的桥头堡

麦肯锡预测，现有及未来 5-10 年的电动车中来自上游供应链的碳排放，接近整车碳排放贡献的 50%。纯电车在使用阶段的碳排放，主要来自产生电能所消耗的上游化石燃料。随着全球能源结构不断向新能源转变，发电所需消耗的化石燃料用量不断下降，进而直接降低汽车使用阶段的碳排放贡献。预计到 2040 年前后，汽车上游供应链将贡献超过 80% 的整车碳排放（参阅图 2.10）。

图 2.10 | 汽车工业材料生产环节的排放 vs. 新车销售后实用阶段的排放（按百分比计算）



汽车行业若要实现商业上可持续的低碳，循环或许是最终的解决方案。铝材对汽车行业的脱碳具有重大的意义，原生铝材的碳排放因子很高，而再生铝的能耗仅为原铝 5%，仅产生 0.6 吨二氧化碳^[21]。根据国际铝

业协会研究，截至 2050 年，通过对 100% 的铝回收、改进废料分类、消除对消费前废料和金属的损耗，可将原铝需求降低 20%，在 2050 年额外减少 3 亿吨绝对二氧化碳当量的排放^[22]。在惰性阳极技术仍未实现工业级应用的情况下，原铝生产过程降碳短期难以在量产阶段实现，循环铝成为更具有现实可行性的铝材减碳路径。

就市场体量来看，在国际能源署 2050 净零排放情景中，到 2030 年二次生产将扩大到铝产量的 40% 以上^[23]。对于中国市场来说，2024 年再生铝产量突破 1055 万吨，首次突破千万吨大关，再生铝与原铝比例已逼近 1：4，正向着 1：2 快速迈进^[24]。随着循环产业的演进，预计到 2027 年，再生铝产量将突破 1500 万吨，占铝行业总产量的比重提升至 30%^[25]。

2.3.2 循环，绿色发展的排头兵

低碳与可持续产业的一个关键属性是“外部性”。这里的外部性，首先指碳排放等对环境的影响，并非局限在单个企业的微观层面，而是对全社会产生影响，即全社会需要为企业对环境造成的负担及影响买单。同时，外部性还意味着需要全产业链条上的所有企业合作，建立可真正运转的商业模式及技术合作模式，才可以真正收获环境效益，将“负外部性”，转变成为“正外部性”。

在此背景下，整车循环的概念及实践，天然的通过循环模式，在物质流、信息流上面将全链条的参与者（拆解、材料回收、合金熔炼、零部件制造、整车厂）链接到一起。这将更有助于对于链条上全生命周期碳排放数据的收集验证、碳排放指标的分配以及环境收益的分配。同时，这些信息也将反哺价值链上的伙伴，更加有的放矢的提升企业碳排放控制能力。

循环汽车产业作为循环经济的具体场景，已具备实现大规模、工业化落地的条件。法律法规层面，随着国内法规顶层建筑搭建完成以及更详细立法与资环集团的成立，标志着循环汽车产业即将迎来拐点式快速发展。商业模式层面，随着整车报废体量进入放量阶段，以及整车智能电动化浪潮所带来对循环材料的高确定性需求，循环汽车产业也迎来了供与需的双向奔赴。随着循环汽车产业规模的不断增大，长期来看也将成为汽车产业脱碳愈发核心的抓手，并为全社会带来脱碳经济性及可追溯性的提升，最终实现“正外部性”。

投石“循”路：

如何实现“0”→“∞”？



3.1 千里之行，始于足下

**汽车行业价值链上的合作伙伴已经识别到了循环的巨大潜力，
并做了诸多尝试，为循环汽车打下了基石。**

3.1.1 应用先进可持续材料

天然材料

福特通过自主研发以及与可口可乐、耐克、亨氏、宝洁等公司的合作，研发了大量用于汽车制造的天然可持续材料。福特汽车是全球首个采用小麦秸秆纤维增强塑料的汽车制造商。与传统材料相比，小麦秸秆纤维增强塑料的空间稳定性更好，重量更轻，且由于秸秆供应量充足，可有效减少生产耗能。福特在业界首先推出小麦秸秆制成的储物盒、稻壳制成的电气接线盖、木质纤维素制成的扶手骨架和中控骨架^[26]。

延锋尝试将竹元素全方位植入汽车内饰的设计。其 BASSI 竹元素门板在嵌饰板的位置使用了竹皮装饰件，并在门板上装、扶手、地图袋及门板骨架采用了多种竹纤维复合材料。竹子质硬韧性强，生长周期短，在我国南方地区盛产，与生长周期缓慢的树木相比对生态非常友好，可大面积应用在座舱内饰各种产品的表面。通过将竹纤维按照 5%-50% 等不同比例添加到不同材料中混合使用，可最多减重 17%，减少碳排放 30%。提升产品质感的同时，又能实现天然抑菌，降低气味^[27]。

图 3.1 | 福特小麦秸秆纤维

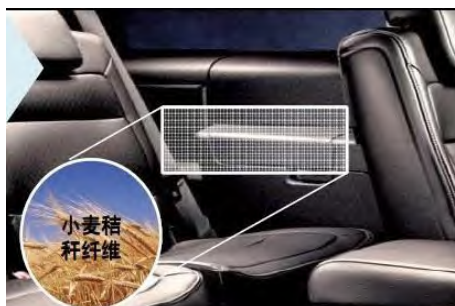


图 3.2 | 延锋可持续材料内饰



图 3.3 | 竹纤维复合材料



蔚来 Clean+材料

“Clean+”材料是蔚来和合作伙伴一起探索的一系列环保材料的合集，包括可再生、循环、用户健康保护等更低碳的环境友好材料，以期给用户提供更安全、更健康、更绿色的“第二起居室”。蔚来 EC7 车型 C 柱下装饰板采用消费后水桶、光碟等制成的再生 PC（Polycarbonate，聚碳酸酯），替代了传统生产过程中的部分石油基 PC 原料，实现了 65% 的再生材料占比。该 PCR（Post-consumer recycled，消费后再生）材料同时具备第三方验证的碳足迹声明，并已通过全球回收标准（GRS，Global Recycled Standard）的再生材料溯源认证。蔚来 ET5T 车型中使用 Clean+环保织物作为其主要内饰材料之一，该织物 100%由以 PET（Polyethylene terephthalate，聚对苯二甲酸乙二醇酯）瓶为原料的再生材料制成，能够减少塑料对于海洋、土地的污染；ET5T 车型的中控台使用了蔚来与普利特共同开发的生物基复合 PP（Poly Propylene，聚丙烯）塑料，使用了来自可再生森林的木纤维低浆，其碳排放较石油基原生 PP 材料降低 72%，在实现物料循环的基础上，更为绿色低碳^[28]。蔚来 ES8 车型的仪表台骨架采用了以再生 PP 材料替代 25% 的原生石油基 PP，并实现材料级别约 15% 的碳减排。蔚来萤火虫车型也在多个零件中使用了再生材料。

图 3.4 | 蔚来 Clean+内饰



图 3.5 | 蔚来 Clean+内饰



图 3.6 | 蔚来萤火虫 Clean+材料



图 3.7 | 蔚来萤火虫 Clean+材料



轻量化复合材料

采用高强度钢、铝合金、镁合金等代替传统钢材料，通过降低密度和用量可实现整车减重，材料、结构、工艺轻量化为汽车减重三大着手点。其中铝合金因其轻质高强的特性，在汽车制造中得到了广泛应用。通过

优化其微观结构，可以进一步提升铝合金的性能。例如，通过控制铝合金的晶粒大小和相组成，可以显著提高其强度和耐腐蚀性。铝合金材料在汽车中的应用可实现整车减重 20-30%，对应燃油车油耗降低 14%-21%，新能源车提升续航里程约 12%-18%。目前铝合金件已在电池箱体、液冷板、汽车前后防撞梁、减震件、新能源汽车电器支架、CCB 仪表盘支架等汽车零件中广泛应用^[29]。

高强度钢和超高强度钢具有更高的屈服强度和抗拉强度，能够减小构件尺寸和结构重量，节约钢材用量。蔚来乐道 L60 采用高强度钢、超高强度钢、铝合金材料等先进轻量化材料的混合使用方案，叠加结构拓扑优化和仿生设计，在保障领先安全性能的前提下，打造兼具轻量化的“钢铝混合双舱车身”。蔚来 ET9 综合运用一体式大铸件集成工艺（部件减重 21%）、一体式门环工艺（部件减重 10%）、自主知识产权轻质合金及复合材料等轻量化技术，使整车扭转刚度提升 18%的同时，车型轻量化系数降低至 1.70，达到行业领先水平。

除铝合金以外，蔚来电池系统所选用的材料兼顾轻量化性与可回收利用性。对于上盖、内部支架等非主要承载结构件，采用轻质塑料不仅可以降低电池系统重量，更能够改善其保温性能，提高车辆在低温环境中的续航里程。底板涂层选用低密度、高耐磨材料，较传统 PV 涂层可减重 25%。

图 3.8 | 乐道 L60 车身

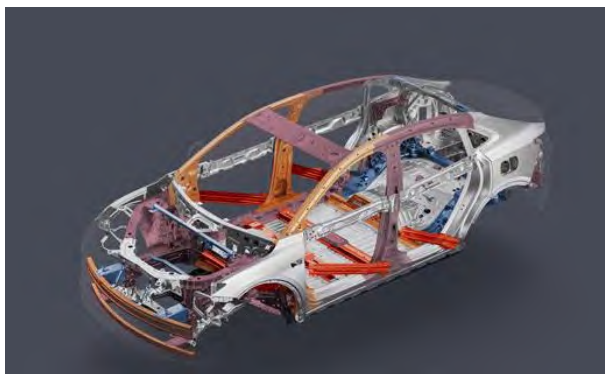


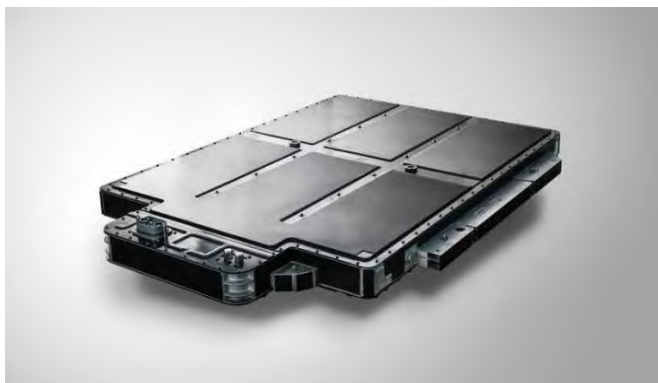
图 3.9 | 蔚来 ET9 车身



图 3.10 | 75kWh 电池上盖的轻量化复合材料



图 3.11 | 轻量化电池包



3.1.2 开发绿色易循环设计

模块化设计

模块化设计是一种通过标准化设计和通用组件实现产品开发和制造的创新方法。它将整车分解为多个功能模块，各模块可独立设计、生产并灵活组合。这种设计理念在实现环保和可持续发展方面 also 具有重要意义，通过优化资源利用和减少浪费来降低对环境的影响。车身的模块化设计可通过一体化压铸工艺实现^[30]。

蔚来车型通过结构设计优化，将后地板的纵梁、地板横梁等多个零件集成为单一铸件，一体压铸技术将传统造车工艺中的冲压和焊装合并，在优化生产制造效率的同时，缩短加工时间。这种模块化的结构设计可使硬件的标准化程度更高、开发周期更短，匹配软件更新速度，适应电动智能时代车型快速迭代的特性^[29]。如蔚来 ET5 的后地板采用一体化压铸工艺，将原有的 56 个钢制冲压件集成优化为 2 个零件，帮助 ET5 减少自冲铆接点 30 个，对应部件减重 25%。特斯拉 Model 3 后地板的 70 个多个零部件通过一体压铸，整合为 Model Y 的 2 个大件，生产制造成本节省约 20%，焊压时间从 2h 缩短为 90s，同时还有提升精度级别、提高原材料回收利用率 and 缩短车型开发周期的优势。

图 3.12 | 蔚来 ET5 一体化压铸大铸件



图 3.13 | 特斯拉一体化大铸件



一体化和模块化的设计还能显著减少材料种类，简化汽车回收过程，降低分离和处理的成本。统一材料不仅有助于实现高效的分类和回收，还有利于报废车辆回收过程中的拆解，在可回收材料能被高效回收的同时，减少拆解过程中对环境的污染。这种结构化的设计能大幅提升报废车辆的实际回收利用率，促进循环经济的发展。

易拆卸设计

易拆卸设计强调在汽车设计中考虑零部件的拆卸和更换，以便在车辆生命周期结束时能够方便地进行拆解和回收。通过使用标准化的设计方法，可以显著提高拆卸效率，降低回收成本。

蔚来打造的“可充可换可升级”能源服务体系，并以持续的投入开发高效安全的电动汽车换电关键技术，如蔚来电池包的易拆卸设计使电池包能够独立于车辆进行灵活更换和升级，显著提高了电池的使用效率；易拆卸设计的电池包使电池的回收和梯次利用更加便捷。此外，通过蔚来自研发的 BSEI 系统，可精准估测老化电池残值并进行评分，对退役电池进行集中筛查和分类处理，并依据系统评分，将这些电池用于储能、物流等生产场景，或直接予以拆解，对其中的金属元素开展回收再利用。

宝马 i Vision Circular 概念车，持续贯彻 BMW i 品牌哲学中的极简主义，减少零部件、材料种类和工艺流程的数量，在设计中避免了粘合连接和复合材料的使用，使得整车在生命周期结束时更加便于拆解，以满足对回收和再利用的需求^[31]。

图 3.14 | 蔚来可拆卸电池包

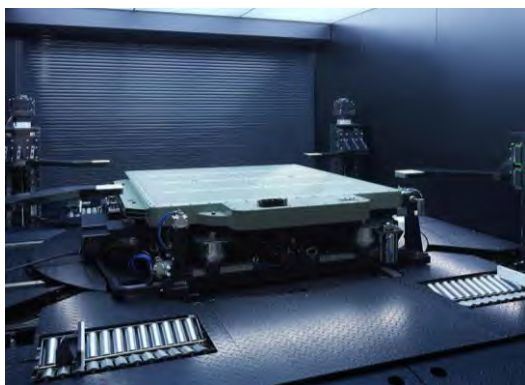


图 3.15 | 蔚来可拆卸电池包



3.1.3 普及智能化与数字化

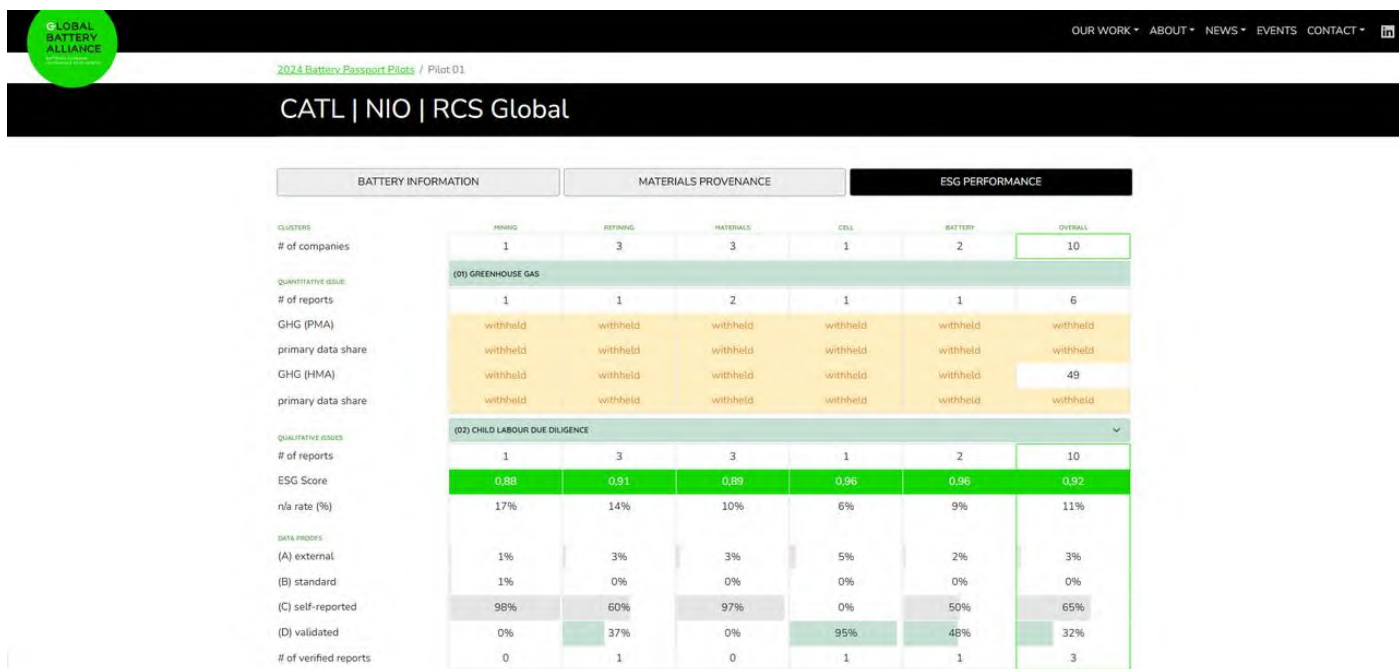
大数据驱动全生命周期管理

全球电池联盟（GBA）开展的电池护照试点项目标志着推动全球电池价值链可持续发展的重要里程碑。电池护照（Battery Passport）数据架构通过整合电池的生产、使用和回收数据，实现了电池全生命周期的数字化管理，使用数字电池护照可以提高透明度，打造可持续和循环的价值链。此外，该平台也能够对电池的健康状态进行实时监测和评估，为电池的梯次利用和回收提供数据支持^[32]。

蔚来参与 GBA 电池护照第二期试点项目，对电池的整个生命周期进行全方位数字化跟踪，并与合作伙伴围绕碳足迹、尽职调查、环境和人权等多项议题开展全方位合作。

北奔集团基于车辆全生命周期管理系统将车辆生产、发运、销售、服务整个流程中的业务状态与车辆运行数据进行融合分析，实现了从出厂到报废的全程数字化管理。通过车联网终端实时采集的车辆运行参数、位置信息、驾驶行为等数据，企业能够优化物流路线、预测维护需求，提高全生命周期车辆使用效率^[33]。

图 3.16 | 蔚来参与 GBA 电池护照第二期试点项目



2024 Battery Passport Pilot / Pilot 01

CATL | NIO | RCS Global

BATTERY INFORMATION		MATERIALS PROVENANCE			ESG PERFORMANCE	
CLUSTERS	MINING	REFINING	MATERIALS	CELL	BATTERY	OVERALL
# of companies	1	3	3	1	2	10
(01) GREENHOUSE GAS						
# of reports	1	1	2	1	1	6
GHG (PMA)	withheld	withheld	withheld	withheld	withheld	withheld
primary data share	withheld	withheld	withheld	withheld	withheld	withheld
GHG (HMA)	withheld	withheld	withheld	withheld	withheld	49
primary data share	withheld	withheld	withheld	withheld	withheld	withheld
(02) CHILD LABOUR DUE DILIGENCE						
# of reports	1	3	3	1	2	10
ESG Score	0.88	0.91	0.89	0.96	0.96	0.92
n/a rate (%)	17%	14%	10%	6%	9%	11%
DATA PROOF						
(A) external	1%	3%	3%	5%	2%	3%
(B) standard	1%	0%	0%	0%	0%	0%
(C) self-reported	98%	60%	97%	0%	50%	65%
(D) validated	0%	37%	0%	95%	48%	32%
# of verified reports	0	1	0	1	1	3

区块链构建可信闭环追溯网络

沃尔沃通过区块链技术建立钴材料的追踪系统，确保钴材料来源和流向的透明性和可追溯性^[34]。该系统通过智能合约，实现了钴材料的自动追踪和记录，确保了供应链的透明性和可靠性。沃尔沃还与追溯服务供应商 Circulor 合作，将这种新型可追溯供应链方案延伸至电池制造商处。这套端到端解决方案能够保证共享数据的透明度与可靠性，从而极大提高整体原材料供应的质量水平。

宝马、通用、福特、雷诺、博世、采埃孚等汽车制造商与零部件供应商企业建立了 Mobility Open Blockchain Initiative(MOBI)联盟，意在开发区块链技术的潜在用途，推动汽车行业的标准化和规范化^[35]。该联盟通过制定统一的标准和规范，促进了汽车行业的数字化和智能化发展。

3.1.4 变革服务与商业模式

共享模式——优化资源配置，延长产品寿命

共享模式通过优化资源利用、延长产品生命周期和减少闲置浪费，成为推动循环经济发展的重要机制。蔚来能源（NIO Power）是基于移动互联网的加电解决方案，拥有广泛布局的充换电设施网络，依托蔚来能源云技术，搭建“可充可换可升级”的能源服务体系，为车主提供全场景化的加电服务，让加电比加油更方便。NIO Power 通过大数据分析，建立了电池健康度预测模型；该模型能够实时监测电池的状态，预测其剩余寿命和性能变化，可显著提高电池的使用寿命和安全性，为用户提供精准的电池维护和更换建议。换电站的智能化运营会对每次更换的电池进行健康检测和维护，以延长电池的使用寿命。该模式下的电池包能够独立于车辆进行更换和升级，用户可以按需选择电池，无需长年采用大容量电池。日常用小电池，长途按需短租大电池，支持一地取全国还，像借充电宝一样方便。凭借少量大容量电池，不同行驶里程的电池可通过蔚来换电体系实现大均衡，满足大多数用户长途出行的使用需求，不仅显著提高了电池的使用效率，也避免了电池在使用寿命内由于行驶里程长而导致的提前退役。经测算，该模式下每年至少节约 17% 的电池资源，实现了自然资源的集约利用。

在新能源车型换电模式的生命周期末端，可以引入整车与动力电池的分离报废新模式，使未达到退役条件的动力电池经权威机构、主机厂或动力电池生产企业等检测确认满足安全使用的条件下重新投入市场流通，解决电池与整车寿命不同步的缺点，最大程度优化动力电池的资源配置。

图 3.17 | 电池包灵活升级

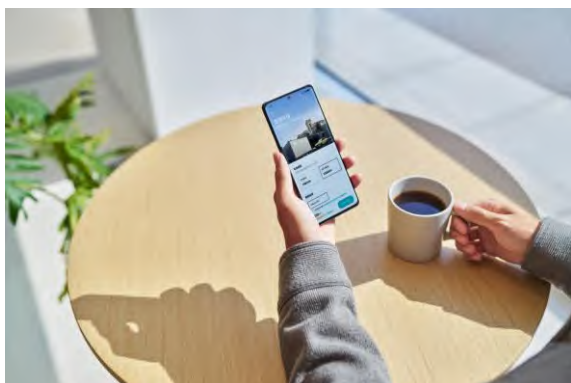


图 3.18 | 蔚来换电站



3.1.5 整车厂商的全局思考

宝马集团-拆解与回收中心

宝马集团 1994 年建立自有拆解和回收中心（BMW Group Recycling and Dismantling Center），覆盖 BMW、MINI、Rolls-Royces 品牌。宝马集团拆解和回收中心坐落在德国慕尼黑郊区下施莱斯海姆，该中心肩负着双重使命：成为德国领先的汽车回收商并引领该领域的进步。自成立以来，宝马拆解和回收中心一直专注于拆解量产前的车辆，精心提取有价值的见解，为未来提高回收过程的效率和可持续性提供参考。

宝马的循环策略中，明确提出从铝循环出发，优先聚焦轮毂的循环消纳^[36]。宝马集团 2023 年开始协同联邦政府与科研、产业企业，启动 Car2Car 项目，计划投资 640 万欧元，聚焦 5 大材料回收与再利用：铝、钢铁、铜、塑料与玻璃，并加入探索数字化与 AI 技术在汽车拆解及材料识别多维度的提效。同时，宝马协同全球合作伙伴建立超过 3000 个回收中心，大体量获取循环材料及部件。宝马 iX1 轮毂中可再生铝比例将高达 70%。目前，宝马集团生产的汽车平均使用近 30% 的回收和再利用材料，并设定了 2030 年逐步将这一数字提高到 50% 的目标。

蔚来循环汽车实验室 (NIO Circular Car Lab) —— 打造全链条循环经济模型

NIO Circular Car Lab 从设计、拆解、使用、回收等多个方面全局思考，对于生命周期末端的报废车辆进行回收规划，探索“车到车”全链条循环利用技术，以打造完整、闭环的循环经济模型。蔚来联合玉成有限公司、源件星球等整车拆解企业，通过技术创新、模式创新等方式，对报废车精细化拆解和分类，并按照各种细分种类流转至下游进行熔炼和生产，最终流转回新车的制造中。为了使更多的再生材料应用在零件中，蔚来主导开发了可用再生材料的高压压铸铝合金。2024 年，蔚来亦同立中集团、帅翼驰新材料集团就整车拆解循环达成备忘录协议，借助合作伙伴在材料循环熔炼及下游零部件铸造环节的能力与专业技术，形成全产业链闭环落地的“车到车”材料循环场景。通过与合作伙伴的协同，彻底打通了报废车高价值闭环回收产业链，最大程度获得报废汽车回收的经济效益，提高了材料效率，实现了报废整车回用的工业化落地。目前，已有 1000+ 台车的批量“车到车”闭环，通过实践证明了整车的循环利用大有可为。该项目获评 2023 年度“安徽省十大低碳应用场景”，开创了“车到车”闭环回收的先例。对于后续电动汽车全生命周期高价值利用的探索，有更加先进的认知和紧密的合作基础；也期待以此推动全行业整车报废回收利用行业的高质量发展，技术驱动新质生产力。

循环经济产业园 ——上下游紧密联动，助力循环产业发展

蔚来汽车从 2022 年开始，全面推进近地化供应，为搭建循环供应链提供了一个很好的机会窗口。根据最适合的形态，直接引入供应商，一步到位完成循环形态的搭建。为此，蔚来与六安市政府及合作伙伴共同签约，于 2022 年开始建设，2024 年陆续投产，目前六安园区及周边，报废车拆解厂、熔炼厂、压铸厂均已完成建设并投产，实现当年规划的完全落地。

蔚来汽车以“园区”为载体，以铝水熔炼为中心，同时引入上游的拆解合作伙伴及下游的铝压铸伙伴。直供铝水至周边压铸合作伙伴。兼具统一及高效的物流中心，打造透明供应链实时响应备库和出库，循环园区模式的优势如下：

1. 拆解、熔炼、压铸企业背对背，门靠门，将物流成本降到极致。经测算，以园区形式全体量运行，每年可实现物流成本降低约 1 亿 RMB；
2. 园区的形式，一站式集中了价值链所需关键要素（土地、额度、能源、原料、仓储等），从源头实现要素管控、优化和供应链赋能。通过工序减少，铝液直供，加工损耗减少，进一步降低加工链条成本；
3. 同一区域内的链条，减少了由于供应链分散所带来的不稳定风险。
4. 单个园区的设计及落地经验可复制，帮助其他区域循环园区快速扩展落地。同时，园区的形式也能够打造向往感，吸引更多强有力的合作伙伴加入。

图 3.19 | 蔚来 Car-to-Car 循环模式



图 3.20 | 六安市人民政府与蔚来签署框架合作协议



3.2 长坡厚雪，久久为功

种一棵树最好的时间是十年前，其次是现在。

尽早布局、持续创新，是企业向循环经济转型的关键。

3.2.1 打破创新壁垒，直面技术挑战

报废车拆解分类关键技术

现阶段，报废车的拆解工作主要依赖于人工操作，劳动强度大，效率低下。自动化拆解设备的发展相对滞后，尚未实现大规模应用，严重制约了拆解效率的提升；且不同品牌和车型的汽车在结构和材料使用上存在显著差异，不同车型缺乏统一的技术标准，使得拆解过程难以标准化和规模化。

汽车中含有各种金属、塑料、橡胶和玻璃等不同类别的材料，如何精确地识别和分类这些材料是拆解过程中的一大难题。目前的识别技术尚不够成熟，无法高效、准确地完成材料的分类工作，且回收后只能降级使用，材料价值损失巨大。

报废车精细化拆解、分类、回收的成本巨大，需要开发和引入先进的拆解、分选、质量检测技术，如 AI 拆解机器人、人工智能识别系统、陶朗开发的全自动化分选设备等，以提高拆解分类的效率和准确性。

图 3.21 | 陶朗分选设备



再生材料回用&回收标准化技术

由于社会回收料来源广泛，材料种类及分类方式各异，再生材料回收标准不统一，例如压铸铝、变形铝等 5 大系 20 余种铝合金材料，导致整车回收利用过程中材料复杂、难以区分，且材料中含有大量不能分离的钢、非金属等杂质，极大增加了再生材料的回收复杂性。再生材料的质量一致性和稳定性难以保证，这对再生材料的应用带来一定挑战。需要建立严格的质量控制体系，确保再生材料的可靠性。此外，再生材料在使用过程中会发生性能退化，再生后的材料性能往往不如原生材料。如何提升再生材料的性能并达到原生材料的同等水平以满足应用需求，是一个重要技术难题。

德国国际合作机构 GIZ 发起并携手科思创、蔚来、大众汽车、格林美以及德国莱茵 TÜV 大中华区联合开展了“中国报废汽车高值塑料闭环回收项目”。该项目将通过报废车上塑料回收过程的探索，建立起消费后再生塑料的材料跟踪系统和透明的含量验证方法，协助开发国家、行业和团体标准，如报废车辆拆解指导手册和回收塑料的质量认证标准。

图 3.22 | 中国报废汽车高值塑料闭环再生项目发布会合影



全生命周期透明追溯技术

“车-车”闭环循环模式历时长，环节流程繁杂，除原材料采购、零部件生产、整车制造、汽车销售外，整车使用、维护、回收等数据也需要全面收集，每个环节都包含大量数据，如何全面、准确地采集和整合这些数据，如何高效管理和存储这些海量数据，都是重大的挑战。

且“车到车”闭环循环模式涉及到的不同环节和系统的数据格式存在差异，缺乏统一的标准，导致数据难以整合和共享。需要建立统一的数据接口规范和数据格式标准，确保不同系统之间的数据可以互操作和互通，提升数据流通效率。

3.2.2 完善政策体系，加强区域协同

在推进循环经济的进程中，各国面临着诸多政策协调和标准化建设的挑战。这些挑战对政策与标准的制定，提出了更高的要求。在表 3.1中，我们列出了目前在政策协调和标准化建设过程中的目标和解决路径。

表 3.1 | 政策协调与标准化建设的挑战和解决路径

挑战	路径
 再生产品应用、认证、 追溯等体系缺失	• 加快标准体系建设：从深度治理、智能化、精细化管控角度出发，制定覆盖资源回收利用全流程的技术规范和质量标准。尽快建立再生材料成分追溯和性能评估的认证体系，提升市场信心。 • 推行全生命周期碳管理：将材料生产、制造、使用和回收各环节纳入统一的碳排放核算体系，并基于此设计差异化的政策工具。 • 构建数据共享平台：在保护商业秘密和个人隐私的前提下，通过区块链等技术支持碳排放数据的可信共享，产品应用和认证提供平台。
 政策差异化 & 区域协同失衡	• 构建循环经济政策体系：制定覆盖产品全生命周期的综合性政策框架，明确各部门职责分工，避免政策真空和重复监管。 • 建立跨区域协同机制：推动相邻地区在废弃物管理上的协同作业，统筹协调处理设施布局和产能分配。同时建立城乡统筹的废弃物专用体系，实现资源互补和共享。 • 国际协调：未来应继续加强在智能网联、碳排放管理等新兴领域的国际合作，避免因标准差异造成市场分割和技术壁垒。
 循环市场机制不完善	• 完善经济激励机制：通过税收优惠、绿色采购、绿色金融等政策降低再生材料的使用成本，同时探索建立再生材料碳减排量的交易机制，将其环境效益转化为经济收益。 • 促进产业链协同创新：鼓励上下游企业组建产业联盟，共同开展再生材料研发和应用示范。政府可设立专项资金支持产学研合作项目，加速技术突破和商业化进程。

3.2.3 普及循环观念，建立消费认同

消费者宣贯

在电子、纺织、快消、包装等行业，循环材料已经被成熟且广泛地应用和推广，各奢侈品牌也越来越多地应用可持续实践、宣传循环理念等来提升其高端的形象。但是，在对安全性及可靠性要求更高的汽车行业，循环材料还在逐渐被消费者接纳的过程中。拉近消费者与循环汽车的距离，让消费者感受到自己的选择对社会的积极影响，是推广循环消费观的重要途径。

例如在进行循环汽车产品宣传时加强对循环汽车技术原理和环保价值的解释，将消费者对循环汽车“更环保”或“更节能”的表面认知具象化到“循环汽车的全生命周期到底能带来多少资源节约”，“循环汽车产业链的闭

环回收系统如何运作”，“循环汽车生产、使用和废弃环节减少了多少资源浪费和碳排放”，将循环汽车从一个“遥远”的概念变成能够融入生活的日常选择。

提高消费者认同感

传统汽车，无论是燃油车还是新能源车，除了代步工具，也是品味、身份、地位的象征，而循环汽车在文化和情感层面存在感较弱，消费者心中对这类新兴事物存在天然的距离感。要打破这个障碍，需要将循环汽车打造为一个有符号意义的产品，将其与“潮流”、“社会责任感”等联系起来，使循环汽车不仅是环保的选择，更是时尚和先锋的象征。此外，车用产品和日常消费品的相互融合，也是提升消费者参与感的必要途径。对于循环汽车而言，提供更便捷可靠的售后保障服务，打消消费者的后顾之忧，也可提升消费者选择循环产品的信心。

图 3.23 | NIO LIFE 具有可持续愿景的原创时尚品牌



图 3.24 | NIO LIFE 设计大奖



“政府+企业”共建循环消费观

循环汽车的推广需要一个生态系统，而不仅仅是企业的单打独斗。在推动可持续发展的背景下，“政府+企业”协同模式成为培育循环消费观的关键机制。政府可以通过政策激励（如税收优惠、生产者责任延伸制度等）降低循环经济实践门槛，而企业则通过技术创新和商业模式优化提升资源利用效率。研究显示，政企合作可使城市废弃物回收率提升 50% 以上，并显著提高消费者对再生材料的接受度^[37]。政府可通过购车补贴、税收优惠等方式降低消费者的使用成本，也让更多人有机会接触到循环汽车。政府和企业共同构建的支持体系能够帮助消费者建立起对循环汽车的信任感，使得消费者真正相信循环汽车是值得选择的产品，并将个人选择和社会责任紧紧联系在一起，真正实现社会消费观的转变。



从零到无穷大，我们在路上

从“0”到“∞”，我们在路上

作为推动绿色经济转型的重要抓手，循环汽车不仅在节能减排、资源循环利用上展现出巨大潜力，更为产业升级、技术革新和生态文明建设提供了崭新路径。毋庸置疑，这是一条正确的道路，正如其他的商业趋势一样，越早布局，越早加入循环汽车的建设，对提升企业在新循环趋势下的竞争力、树立品牌形象有颇多助益。

在该蓝皮书中，我们从政策引领、产业发展和环境收益的角度分析，说明汽车产业的循环势在必行。并同时，提供了大量的关于循环汽车如何从“0”到“∞”关键技术和创新实践的案例，如在设计制造时，使用可持续设计和先进材料，用智能化和数字化技术助力回收追溯流程、协同绿色制造和绿色能源技术.....希望读者能从大量行业先行者的实践案例中获得一些经验，并带来一些启发。

同时我们也意识到，现阶段企业在推进循环汽车的过程中，遇到了各种来自政策法规、技术创新、消费者意愿上的挑战。为此，我们也提供了可能的解决方案和愿景供读者参考：通过数字化智能化技术的创新、循环政策体系的完善、绿色可持续消费观念的普及，希望这些能成为实现真正意义上“车到车”循环的助力。“车到车”的循环不仅能成为未来经济的新增量，也为全产业链的脱碳提供了解决方案。

在循环经济转型的关键时刻，我们需要摒弃“开采 - 使用 - 丢弃”的线性经济模式，创造出一个个循环经济的可能性“X”；当每一个“X”都能做到小循环（形似于“0”）时，这每一个小小的“0”就能撬动整个行业的大循环，汇集成一个无穷大“∞”。循环汽车正是这样一枚激活循环经济的超级杠杆“X”——用一辆车的小循环，撬动全社会资源的再生，加速全球经济向“零废弃”转型。

从零到无穷大，我们在路上。

参考文献

- [1] 联合国. 可持续发展目标. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/zh/sustainable-development-goals/>.
- [2] Herbert, K. (2025). The Circular Business Model: Transforming Sustainability and Profitability.
- [3] 经济与管理战略研究.(2024).共享经济背景下资源有效利用研究.
- [4] 中国经济网. (2024). 吴松泉：把握好新能源车替代燃油车的速度和节奏.
- [5] Carus, M., Dammer, L., Essel, R. (2019). Bio-based circular economy in European national and regional strategies.
- [6] European Commission. (2023) Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on circularity requirements for vehicle design and on management of end-of-life vehicles, amending Regulations (EU) 2018/858 and 2019/1020 and repealing Directives 2000/53/EC and 2005/64/EC.
- [7] 埃森哲. (2022). 循环经济之道：通向可持续发展.
- [8] 中华人民共和国公安部. (2025). 全国机动车达 4.6 亿辆、驾驶人达 5.5 亿人.
<https://www.mps.gov.cn/n2254098/n4904352/c10143192/content.html>
- [9] 广州日报. (2024). 呼吁新能源汽车形成报废回收拆解“一条龙”.
- [10] 中国物资再生协会. (2024). 中国再生资源回收行业发展报告.
- [11] 汽车之家研究院. (2024). 2024 年增换购用户趋势洞察.
- [12] Sean, K., Diran, A. (2017). Automotive aluminum recycling at end of life: a grave-to-gate analysis.
- [13] The Aluminium Association. (2022). Roadmap for Automotive Aluminum.
- [14] 中国有色金属工业协会. (2023). 绿电铝评价及交易导则.
- [15] 中国有色金属工业协会. (2024). 绿色低碳铝评价导则及追溯指南.
- [16] 安泰科研究. (2025). “绿电直连”政策发布，利好电解铝行业能源转型.
- [17] 国信证券. (2021). 证券研究报告——深度报告 再生铝专题.
- [18] International Energy Agency (IEA). (2024). Recycling of Critical Minerals.
- [19] 中国循环经济协会. (2025). 循环经济产业园行业发展与盈利模式.
- [20] LKQ Corporation. (2024). 2024 年财报.
- [21] Aluminium China. (2023). 浅谈废铝绿色低碳回收利用的进展与挑战.
- [22] 国际铝协. (2021, April 24). 《2050 年铝业温室气体减排路径》.
- [23] International Energy Agency (IEA). (2023). Tracking Aluminium.
- [24] 中国有色金属报. (2024). 2024 年中国铝工业全景观.

- [25] 工信部联原〔2025〕62号. (2025). 铝产业高质量发展实施方案（2025-2027年）.
- [26] Ford. (2022). 福特绿色之道.
- [27] Yanfeng. (2024). 打造可持续移动未来.
- [28] NIO Inc.. (2023). NIO ESG Report.
- [29] 德邦证券. (2023). 汽车轻量化势不可挡，一体化压铸东风已至.
- [30] 侯亮, 唐任仲, 徐燕申. (2004). 机械工程学报. 产品模块化设计理论, 技术与应用研究进展.
- [31] 宝马集团. (2021). BMW i 循环概念车亮相：聚焦未来可持续.
- [32] CATL. (2024). 全球电池联盟公布 2024“电池护照”试点项目结果，宁德时代两项目在列.
- [33] 庞建中, 袁胜东, 于文明, 等. (2020). 基于车联网技术的车辆全生命周期管理系统开发及应用.
- [34] Drivingeco. (2019). 沃尔沃区块链技术：钴电池电动汽车.
- [35] 中国汽车质量网. (2018). 汽车界建立区块链技术联盟.
- [36] BMW Group. (2024). BMW Group Recycling and Dismantling Centre (RDC): 30 years of setting the pace for the circular economy.
- [37] World Bank Group. (2022). Solid Waste Management. <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/brief/solid-waste-management>.

特别鸣谢

在循环汽车项目推进的过程中，我们得到了很多内外部伙伴们的帮助，非常感谢大家与我们并肩作战、在循环这条泥泞的马拉松上披荆斩棘。他们是：

白光达 白云岭 白金帅 毕路 蔡金珀 陈昊昊 陈桥 陈倬 陈紫薇 邸昱淞 董波
段祯荣 高雅昕 龚诚 辜向利 顾元凯 郭吟竹 郭雨竹 韩香音 洪海涛 胡宇文 黄映文
黄珊丹 蒋廷威 鞠瑞芳 康雪云 李功明 李欢欢 李军 李桥 李硕 李文博 李小锐
梁国宗 刘海松 刘华初 刘可照 刘若禾 刘晓辉 罗婉琳 骆红伟 吕新春 马宁 彭伟
彭源丰 邱芸 容武俊 施珺珺 石春梅 舒戴龙 苏安琪 唐欣悦 唐振其 唐宗留 佟明智
王柏雨 王峰 王晶森 王鹏 王琼 王胜利 王斯捷 王文昊 王晓欣 王长江 王志明
魏晓伟 吴明明 吴鹏 吴越垚 夏晓宇 熊圆圆 徐晓 许以阳 闫占功 杨帆 杨仁
姚群飞 姚文亚 姚乙 叶云溪 尹长久 于淼 俞丹娜 俞艺艺 袁斌 曾澍湘 张楠
张书常 张朔 张希民 张逸晗 张岳宁 赵建智 赵亮 赵伟静 赵毅 郑望 周炯
周琳 周泽润 朱生霄 庄威阳

安徽雄邦压铸有限公司

长沙攢碳环保科技有限公司

湖州美欣达机动车回收拆解有限公司

江西格林循环产业股份有限公司

南京奥特佳新能源科技有限公司

上海伟翔众翼新能源科技有限公司

上海新金桥环保有限公司

苏州东山精密制造股份有限公司

鑫广绿环再生资源股份有限公司

按首字母排序，如有遗漏，敬请谅解。