

发展汽车产业绿色、低碳、循环、智能的新质生产力

陈 铭

上海交通大学

1、引言

在当今世界，随着经济的快速发展和科技的不断进步，汽车产业已成为推动全球经济增长的重要力量。然而，这一发展同时带来了严峻的环境挑战，尤其是气候变化问题，对人类社会和自然生态系统构成了巨大威胁。在这样的背景下，汽车产业的绿色、低碳、循环、智能化发展成为了全球共识和迫切需求，也是实现可持续发展的关键路径。

本文旨在探讨汽车产业在新时代背景下的发展新质生产力，即如何通过技术创新和产业转型，实现汽车产业的绿色、低碳、循环和智能化发展。我们将从人与自然关系的哲学转向出发，分析环境责任的转向和汽车行业的新发展趋势，进而深入探讨汽车产业面临的挑战和机遇，以及如何通过发展新质生产力来应对这些挑战，实现产业的转型升级。

通过对汽车产业绿色、低碳、循环、智能化发展的深入分析，本文将提出一系列创新性的思路和策略，旨在为汽车产业的可持续发展提供理论指导和实践路径。同时，本文还将重点关注人工智能技术在绿色制造中的应用，特别是动力电池拆解智能化的案例分析，展示人工智能如何赋能绿色制造，推动产业向更高效、环保的方向发展。

在全球化和信息化时代，汽车产业的转型升级不仅关乎一个国家的经济社会发展，更关乎全球生态环境的保护和人类未来的福祉。因此，本文的研究具有重要的现实意义和深远的战略影响，期待能够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。

2、人与自然关系的哲学转向

2.1 哲学的转向

人与自然的关系，在历史的长河中经历了深刻的变迁。最显著的变化，便是从过去那种“征服自然、改造自然”的二元对立观念，逐步演变为追求人与自然的和谐共生。这一转向并非一蹴而就，它是内生性的自我觉醒，是自下而上的民众推动，更是系统性的社会变革。如今，“绿水青山就是金山银山”的理念已经从政策宣传深化为公众的共识，化作全民的自觉行动，体现了人们对生态环境的敬畏与珍视。

这一转向也已成为全球治理的重要一环。面对气候变化这一全人类共同的挑战，中国积极承担国际责任，提出“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”的宏伟目标。这不仅是中国对构建人类命运共同体的庄重承诺，更是人与自然和谐相处的具体实践。

在新时代背景下，这种转向体现了生态文明的全新价值观。它代表了人民对美好环境的深切向往，对高品质生活的执着追求，同时也指明了高质量发展和高水平保护环境的根本路径。这一价值观的转变，不仅关乎我们这一代人的生存环境，更影响着未来世代的命运。因此，必须坚定不移地推动这一人与自然哲学的转向，为子孙后代留下一个绿色、生态、可持续发展的家园。

2.2 环境责任的转向

随着全球环境问题日益严峻，产品环境责任的转向变得至关重要。首先，必须认识到环

境责任的分配应当体现公平性，即环境责任应当与其获得的经济利益相匹配。过去，我们常常陷入生产者责任原则或消费者责任原则的片面思维，将所有经济主体的环境责任归咎于部分经济主体，这种做法显然是不公平的，也无法从根本上解决问题。

以生产者延伸责任制度为例，尽管它在一定程度上推动了报废产品的回收，但仅凭这一制度还不足以完全解决报废产品回收率低和由此产生的环境问题，需要进一步拓宽视野，赋予各利益相关方明确的回收责任，形成一个多元共治的环境责任体系。

因此，共担责任原则，即经济主体在获得各自利益的同时，也应承担相应的环境责任。生产者、消费者、政府部门等都对相关产品生产所引起的环境污染问题负有责任。在这种原则下，每个利益相关方都需要积极参与到产品生命周期价值链的各个环节中，共同提高整体环境绩效。

这样的转向不仅有利于促进各利益相关方的协调与对话，更能调动各方承担环境责任、提高环境绩效的积极性。通过共同努力，可以实现更高的回收率，减少环境污染，同时也为企业带来更高的利润。因此，产品环境责任的转向是实现可持续发展、构建绿色经济的重要一步。

2.3 汽车行业的转向

面对全球气候变化挑战，绿色低碳循环已经成为全球汽车产业不可回避的发展方向。这一趋势不仅是对外部环保要求的响应，更是中国汽车产业追求高质量发展的必由之路。在这个背景下，电动化浪潮汹涌而至，它不仅是技术进步的象征，更代表着新一轮产业竞争的制高点。以碳减排为基准的技术和贸易壁垒正在逐步构建，汽车产业绿色低碳循环的发展层次将直接影响其在全球市场的竞争力。

为了迎接这一挑战，汽车产业必须着力发展新质生产力，通过技术革命性突破来优化生产要素的创新性配置，推动产业深度转型升级。这一过程中，全要素生产率的显著提升将成为行业发展的新的增长点。

值得一提的是，电动化不仅局限于汽车产业内部的改革，它更强调能源、交通、环境的整体协调和可持续发展。这一变革远超单一产业的改良，它预示着社会能源结构和交通基础设施将发生根本性的转变。因此，汽车行业的绿色转向不仅是一次技术革新，更是一场深远的社会变革。

2.4 电动化（E-Mobility）的转向

我国出行方式正经历着一场电动化（E-Mobility）的转向，这一变革不仅局限于交通领域，还深刻影响着多个相关产业。在能源电力供给侧，智能电网与国家电力企业碳市场的建立，正积极推动清洁、可再生能源在整体能源结构中的占比提升，为电动化出行提供了更为绿色、可持续的能源支持。

同时，石化产业也在积极转型，探索氢、氨、先进生物液体燃料以及可再生合成燃料等低碳、零碳燃料的生产与应用，以减少对化石燃料的依赖，降低碳排放。

电动化已成为汽车产品低碳化发展的主要趋势。传统的内燃机汽车通过与电驱动技术、智能控制技术的深度融合，不断提升内燃-电力驱动系统的集成度、智能化水平和整体效率，以适应这一变革。

此外，汽车制造业本身也在经历着深刻的转型发展。通过推动用能结构的清洁化、生产方式的数字化以及资源利用的循环化，汽车制造业正努力实现绿色、高效、可持续的生产模式。

在电动化需求侧，变革同样显著。加油站与充电设施的重新规划正在进行中，以满足日益增长的电动汽车充电需求。智慧城市等数字基础设施的建设，为电动化出行提供了强大的

支撑。同时，政府和社会各界也在积极培养和鼓励可持续的消费习惯，提升消费者组织的参与积极性，共同推动电动化出行的普及和发展。

3、汽车产业绿色、低碳、循环、智能发展的挑战

3.1 绿色制造：低消耗、低排放、高效率、高效益的制造模式

绿色制造是一种低消耗、低排放、高效率、高效益的现代化制造模式。其本质是制造业发展过程中统筹考虑产业结构、能源资源、生态环境、健康安全、气候变化等因素，将绿色发展理念和管理要求贯穿于产品全生命周期中，以制造模式的深度变革推动传统产业绿色转型升级，引领新兴产业绿色发展，协同推进降碳、减污、扩绿、增长，从而实现经济效益、生态效益、社会效益协调优化。

3.2 汽车产业的碳排放

中国汽车产业已经连续 14 年稳坐全球产销量的头把交椅，年产销量稳定在大约 2700 万辆的水平。自 2000 年以来，该行业以年均 12.3% 的复合增长率迅猛发展。如今，中国的汽车保有量已超过 3 亿辆，高居世界榜首，这一庞大的数字意味着碳减排的压力空前巨大。

在汽车运行方面，尤其是商用车，它们成为当前主要的碳排放源，面临着严峻的减排挑战。相较于汽车运行阶段，汽车制造过程中的碳排放量相对较低。这部分碳排放主要以电能消耗产生的间接排放为主。值得一提的是，与 2005 年相比，单位增加值的碳排放已经降低了 70% 以上，这显示出中国汽车制造业在碳排放控制方面取得了显著进步。然而，尽管有这样的成绩，面对汽车保有量的持续增长，整个汽车产业仍需继续努力，以实现更为严格的碳减排目标。

3.3 汽车回收利用产业

我国汽车回收利用产业近年来呈现出稳步增长的态势。2022 年，随着中国汽车保有量超过 3 亿辆，稳坐全球第一的宝座，报废机动车的回收也成为了一个日益重要的问题。数据显示，2022 年报废机动车回收量达到了 399.1 万辆，同比增长率高达 32.9%，预示着这一市场的巨大潜力和增长空间。据预测，到 2027 年，报废机动车的回收量有望达到 1000 万辆，这将进一步提升回收利用产业的规模。

在法规标准方面，中国政府也在不断推进相关法规的升级和完善。例如，《报废机动车回收管理办法》（国务院 715 号令）、《报废机动车回收管理办法实施细则》等一系列法规的出台，为报废机动车的回收管理提供了更为明确的指导。同时，《报废汽车回收拆解企业技术规范》（GB 22128—2019）、《报废机动车拆解企业污染控制技术规范》（HJ 348—2022）等技术规范的升级，也进一步提升了回收拆解过程的规范性和环保性。

此外，随着市场的不断发展和法规的逐步完善，报废机动车回收拆解资质认定企业也在不断增加。截至 2023 年，已有超过 1460 家企业获得了相关资质，这标志着我国汽车回收利用产业正朝着更加专业化、规范化的方向发展。

2024 年 4 月 12 日，商务部、国家发展改革委、工业和信息化部、财政部等 14 部门联合发布《推动消费品以旧换新行动方案》，明确设定了汽车以旧换新的目标：通过加大政策引导支持力度，力争到 2025 年，实现国三及以下排放标准乘用车加快淘汰，报废汽车回收量较 2023 年增长 50%；到 2027 年，报废汽车回收量较 2023 年增加一倍，二手车交易量较 2023 年增长 45%。实施新一轮汽车以旧换新，是一次产品共担责任原则下的中国实践，对于扩大国内需求，畅通内循环，推动汽车产业转型升级意义重大。

3.4 汽车产业的智能化

我国汽车产业正迎来智能化浪潮，这一趋势不仅体现在汽车产品的智能化升级上，更贯穿于汽车生产的每一个环节。

在汽车产品智能化方面，我们见证了从单车智能到车路网云协同的跨越式发展。智能座舱的出现，使得驾驶体验更加便捷舒适；而智能驾驶技术的不断进步，更是将我们从繁琐的驾驶任务中解放出来。从驾驶辅助系统（L2）到有条件自动驾驶（L3），再到高度自动驾驶（L4），每一次技术跃升都标志着我国汽车产业智能化水平的显著提高。

在汽车生产智能化方面，同样取得了显著成果。生产线自动化和柔性化的实现，使得焊接、喷涂、装配、质检等环节高度自动化，大大提高了生产效率和稳定性。同时，物流智能化也取得了重要进展，通过自动化物料搬运系统、智能仓储管理系统等的应用，实现了零部件的精准配送和库存优化，进一步降低了生产成本。

此外，数字化赋能成为推动汽车生产智能化的关键力量。通过结合物联网、工业云等互联技术，能够对制造过程中的大数据进行精确采集、实时共享，实现从设计、生产到销售各环节的互联互通。这不仅提高了管理效率，更为企业决策提供了有力支持。

我国汽车产业的智能化发展正步入快车道，未来随着技术的不断进步和应用场景的拓展，我们有理由相信，汽车产业将迎来更加广阔的发展空间和更加美好的发展前景。

3.5 机遇与挑战

我国汽车产业在追求绿色、低碳、循环、智能化发展的道路上，既面临着重大机遇，也伴随着严峻挑战。随着汽车保有量的不断增加，如何在维持产业经济增长的同时，显著降低汽车的碳排放，实现环境保护与产业发展的双赢，成为了摆在我们面前的首要挑战。

技术创新是推动汽车产业转型升级的核心动力。为了应对这一挑战，产业亟需在动力电池、燃料电池、网联等关键技术领域取得突破。这些技术不仅有助于提高汽车的能效和降低排放，更能推动新能源汽车的推广和市场化进程，满足市场对高效能、低排放汽车的日益增长的需求。

然而，技术创新并非一蹴而就，需要行业内各方的共同努力和合作。产业协同发展是实现汽车产业全面绿色转型的关键。需要通过构建有效的跨行业合作机制，推动汽车与能源、材料、交通等产业的深度融合。这不仅是一个技术挑战，更是一个涉及政策、市场、产业链等多方面的复杂问题。同时，如何确保全产业链的绿色低碳转型，实现资源的高效利用和循环再利用，也是必须面对的挑战。

智能化和数字化技术的应用为汽车产业带来了前所未有的发展机遇。通过引入智能化和数字化技术，可以优化汽车制造过程，提高生产效率，降低能耗和排放。同时，这些技术还可以提升汽车的安全性、舒适性和便利性，为用户带来更好的驾驶体验。然而，智能化和数字化技术的应用也带来了数据安全、用户隐私保护、网络安全等挑战。在推动技术创新的同时，必须加强法规制定和风险管理，确保智能汽车生态系统的安全可靠。

我国汽车产业绿色、低碳、循环、智能化的发展，道阻且长，既有机遇也有挑战。我们需要抓住机遇，积极应对挑战，通过技术创新和产业协同发展，推动我国汽车产业实现全面绿色转型和智能化升级。

4、发展新质生产力的绿色、低碳、循环、智能化途径

4.1 新质生产力

关于我国汽车产业如何通过绿色、低碳、循环、智能化途径，发展新质生产力，首先要

明确新质生产力的内涵。新质生产力，作为当代社会经济发展的重要引擎，是由大数据、人工智能、互联网、云计算等新技术与高素质劳动者、现代金融、数据信息等要素紧密结合而催生的新产业、新技术、新产品和新业态。在汽车产业中，这种新质生产力的形成与发展，对于推动产业绿色、低碳、循环、智能化升级具有重大意义。

近年来，我国政府和专业社团组织在汽车产业顶层设计方面下足了功夫，出台了一系列重要文件，如《新能源汽车产业发展规划（2021-2035年）》、《节能与新能源汽车技术路线图2.0》、《智能网联汽车技术路线图2.0》、《智能网联汽车电子电气架构产业技术路线图》、《智能网联汽车创新应用路线图》以及《汽车产业绿色低碳发展路线图1.0》等。这些文件不仅明确了汽车产业未来发展的目标和方向，更从政策层面催生了汽车产业新质生产力的形成。

在绿色、低碳方面，这些文件强调了新能源汽车的推广与应用，鼓励企业加大研发投入，提高电池能量密度和安全性，降低生产成本，推动新能源汽车的普及。同时，通过优化汽车制造流程，提高资源利用效率，减少生产过程中的废弃物排放，实现汽车产业的绿色低碳发展。

在循环方面，提出要构建汽车全生命周期管理体系，推动汽车废旧零部件的回收与再利用，实现资源的循环利用。此外，通过推广共享出行、绿色出行等新模式，减少汽车保有量，降低能源消耗和环境污染。

在智能化方面，明确提出了智能网联汽车的发展目标和路径，鼓励企业加大在自动驾驶、车联网等领域的研发力度，推动汽车与互联网、大数据、人工智能等技术的深度融合。通过智能化技术的应用，提高汽车的安全性能、驾驶体验以及运营效率，推动汽车产业向智能化、网联化方向发展。

此外，我国汽车产业发展新质生产力的绿色、低碳、循环、智能化途径，需要在政策引导下，充分利用新技术与高素质劳动者、现代金融、数据信息等要素的紧密结合，推动汽车产业实现转型升级和可持续发展。

4.2 我国汽车产业的绿色、低碳、循环、智能化发展目标

我国汽车产业设定了明确且富有挑战性的绿色、低碳、循环、智能化发展目标。首先，在降低碳排放方面，将致力于推广新能源汽车并提升传统汽车的能效，力争在2030年前达到碳排放峰值，2060年实现碳中和。这一目标不仅符合我国可持续发展的战略需求，更是对“双碳”目标的积极响应，体现了汽车产业绿色转型的决心。

其次，在新能源汽车的推广和应用方面，设定了到2025年新能源汽车占新车总销量的45%、到2030年提升至60%的具体目标。这一目标的实现将有力推动汽车产业的低碳转型，提升我国汽车产业的国际竞争力，为我国经济的绿色发展注入新的动力。

同时，将建立汽车产品全生命周期的绿色低碳转型体系，完善报废汽车和废旧动力电池的回收利用机制。这一举措旨在促进资源的高效利用和循环再利用，实现产业生态的闭环管理，从而推动汽车产业向更加环保、可持续的方向发展。

最后，在智能化方面，将加速智能网联汽车、自动驾驶等前沿技术的研发和应用，提升汽车产品的智能化水平。力争到2035年实现高度自动驾驶智能网联汽车的大规模应用，推动汽车产业向高端化、智能化方向迈进。这将大大提升出行效率和安全性，为我国汽车产业的未来发展开辟新的道路。

4.3 我国汽车产业新质生产力的发展途径——产业深度转型升级

关于如何通过产业深度转型升级，发展我国汽车产业的新质生产力，我们必须从多个维度出发，全方位推动汽车产业的低碳化、智能化发展。

首先，要推动以内燃机为核心的传统能源动力系统向低碳化、零碳化转型。这意味着需

要持续优化汽车节能技术，降低传统能源车的燃料消耗量，减少碳排放。同时，混合动力技术应成为传统能源乘用车市场的主流选择，通过混合动力的应用，降低单车碳排放强度。此外，还应积极探索低碳、零碳燃料内燃机技术的创新发展，为传统能源动力系统的转型提供更多可能性。

其次，扩大电动汽车市场规模，降低电动汽车百公里电耗是发展新质生产力的关键一环。这意味着需要以场景需求为核心驱动力，加快纯电动和燃料电池技术的普及应用，提高电动汽车的市场渗透率。同时，通过技术创新和产业升级，不断降低电动汽车的百公里电耗，提升电动汽车的经济性和竞争力。

此外，推动汽车制造企业绿色供应链管理也是至关重要的。这意味着需要推动车用材料的低碳化发展，提高零部件的再生原料利用比例，从而提高汽车产品资源循环利用水平。同时，探索建立核心供应商碳减排成效报告制度，通过协同合作，推动企业供应链全链条的绿色低碳发展。

最后，促进汽车制造环节的用能结构清洁化、生产方式数字化也是发展新质生产力的必然要求。这意味着需要提升汽车制造厂区的能源利用效率，实施能源替代降碳改造，推动生产工艺与装备的绿色改造升级。同时，通过数字化技术的应用，实现汽车制造过程的智能化、精益化，提高生产效率，降低能耗和排放。

4.4 我国汽车产业新质生产力的发展途径——产业链协同

关于如何通过产业链协同，发展我国汽车产业的新质生产力，需要从车用燃料低碳转型、新能源汽车与电网融合互动、汽车产业与交通融合低碳发展，到汽车产业循环发展体系建设等多个维度进行深入推进，各个环节相互衔接、相互促进，共同推动汽车产业向更加绿色、低碳、智能的方向发展。

首先，推动车用燃料低碳转型是关键一步。这意味着需要加快氢、氨、先进生物液体燃料、可再生合成燃料等低碳燃料的研发应用，提高这些低碳燃料替代传统汽油、柴油的比例。这不仅能减少汽车尾气排放，降低碳排放量，还有助于推动能源结构的优化和转型。

其次，加强新能源汽车与电网的融合互动也至关重要。这意味着需要提高电网运行效率，促进可再生能源的消纳，支持新型电力系统的绿色低碳转型。同时，探索适应未来出行模式的汽车与能源融合发展体系，实现新能源汽车与电网的双向互动和智能调度，为构建清洁低碳的能源体系贡献力量。

此外，推动汽车产业与交通融合低碳发展也是不可或缺的一环。这意味着需要构建绿色公共交通出行体系，加快推广智能共享出行等新一代智能出行模式，降低交通领域的碳排放。同时，促进智能电动汽车与智慧交通、智慧城市的深度融合，实现交通出行的智能化、绿色化和高效化。

最后，推动汽车产业循环发展体系建设同样重要。这意味着需要推行汽车产品责任共担制度，围绕报废汽车、废旧动力电池等构建回收利用体系，提高车用材料与零部件的高附加值再利用水平。这不仅能降低资源消耗和环境污染，还能推动汽车产业向循环经济的方向发展。

4.5 我国汽车产业新质生产力的发展途径——智能网联化

汽车产品的智能网联化，是一场深刻的技术革命和产业创新。在智能网联汽车技术创新与突破方面，通过不断攻克车载感知定位、车载计算芯片、底盘线控制动、线控转向等关键技术，推动汽车产业向智能化、网联化方向迈进。同时，我国确立了依托 C-V2X 发展车路云一体化融合的中国方案，形成了全球领先的产业体系，为我国汽车产业的可持续发展奠定了坚实基础。

在构建产业生态与基础设施建设方面，以智能网联汽车为核心，推动产业链上下游及跨行业合作，共同打造新型产业生态。通过加快基础设施建设步伐，推动车路网云一体化的落地应用，建设高精动态地图基础平台，为智能网联汽车的广泛应用提供有力支撑。

同时，我国政府高度重视安全与数据保护问题。在推动智能网联汽车发展的同时，通过加强相关法规建设，确保用户数据安全得到充分保障。采取一系列措施，包括加强数据监管、推动数据共享和隐私保护技术的研发应用等，为智能网联汽车的健康发展提供有力保障。

人工智能技术是智能网联汽车发展的核心驱动力。通过智能化与网联化的深度融合，推动智能网联汽车在自动驾驶、车路网云一体化、仿真测试与数据处理、智能座舱等方面取得突破和应用。此外，还积极探索智能网联汽车与智慧城市、智慧交通等领域的融合发展，为构建智能交通体系贡献力量。

4.6 我国汽车产业新质生产力的发展途径——推动消费者向电动化过渡

为了推动消费者的出行向电动化过渡，需要从多个角度出发，构建全面而富有激励性的政策体系。首先，完善政策激励机制是关键。应该继续实施新能源汽车免征车船税等优惠政策，同时优化新能源汽车减免车辆购置税政策，进一步降低消费者购买新能源汽车的经济负担。此外，探讨将碳排放量指标纳入汽车税制，可以更有效地引导消费者选择低碳排放的新能源汽车。

在金融支持方面，需要推动银行业金融机构创新金融产品，为新能源汽车购买提供更多灵活的贷款和融资方案。同时，鼓励保险行业完善新能源汽车商业保险制度，确保新能源汽车用户在使用过程中得到充分的保障，从而增强消费者对新能源汽车的信心。

基础设施的建设也是推动电动化出行的重要一环。应该加大充电设施建设补贴和运营奖励力度，同时完善充换电设施的行业准入、建设运营和安全监管制度，确保充电设施的便捷性、安全性和可靠性，从而消除消费者对新能源汽车续航里程和充电便利性的顾虑。

此外，完善绿色交通支持政策也是必不可少的。建设新能源汽车专属充电车位，可以为新能源汽车用户提供更加便捷的充电服务。同时，探索设立低排放、零排放区域等差异化路权政策，可以进一步鼓励消费者选择新能源汽车，减少对传统燃油车的依赖。

最后，完善汽车产品回收利用体系也是推动电动化出行的重要环节。通过构建责任共担原则下的汽车产品全价值链回收利用体系，支持和鼓励汽车产业链上下游主体优势互补、加强合作，提升新能源汽车循环利用发展水平，确保新能源汽车在使用寿命结束后能够得到合理的回收利用，从而降低对环境的影响，实现可持续发展。通过这些综合措施的实施，可以有效地推动消费者的出行向电动化过渡，为构建绿色、低碳、可持续的交通体系做出积极贡献。

5、人工智能赋能绿色制造：以动力电池的拆解智能化为例

5.1 可信人工智能

随着人工智能的爆发式发展，当前我们正处于一个前所未有的时代交汇点。可信人工智能与绿色制造的深度融合，将为我们打开一扇通往更加美好未来的大门。可信人工智能，是指那些能够像人类一样处理现实世界的问题，同时又不会带来伤害的程序或系统。这样的智能体系不仅拥有强大的处理能力，更在道德和伦理层面具备了高度的责任感，确保了人类福祉、安全公平、可解释性、可问责性以及隐私保护等多重维度的平衡。

我国政府高度重视人工智能的发展，相继发布了《新一代人工智能发展规划》(国发〔2017〕35号)、《新一代人工智能治理原则》以及《新一代人工智能伦理规范》等文件，为可信人工智能的发展提供了坚实的政策基础。在这些文件的指导下，我们致力于通过价值对齐，使人

工智能系统能够真正理解和实现人类的价值判断，从而确保技术的正向发展。

当我们将可信人工智能与绿色制造相结合时，这一融合模式高度契合了新质生产力“高科技、高效能、高质量”的特征。它不仅是符合新发展理念先进生产力质态，更是推动制造业转型升级、实现可持续发展的关键力量。通过引入可信人工智能，我们可以实现对制造过程的精准控制，优化资源配置，降低能耗和排放，从而推动绿色制造向更高水平迈进。

然而，没有信任，就会阻碍技术进步。在推动可信人工智能赋能绿色制造的过程中，我们必须始终坚守伦理底线，确保技术的健康发展。同时，还需要加强国际合作，共同制定和完善相关标准和规范，为全球范围内的可信人工智能和绿色制造发展贡献中国智慧和方案。

5.2 动力电池的拆解智能化：行业背景

动力电池拆解智能化的行业背景深刻且紧迫。随着新能源汽车市场的迅猛发展，我国新能源汽车产销量已连续九年稳坐全球第一的宝座。至 2023 年，我国纯电动汽车保有量已高达 1552 万辆，这一数字不仅彰显了我国新能源汽车产业的强大实力，也预示着动力电池退役高峰的即将到来。

我国动力电池产业链完整，全球 70% 的产能集中在中国，这既是我国在全球新能源领域的竞争优势，也带来了大规模动力电池退役处理的挑战。若动力电池得不到规范处理，不仅会造成严重的环境安全风险，还可能引发战略性矿产金属资源的“卡脖子”问题，危及我国新能源产业的持续健康发展。

面对如此巨大的退役动力电池处理压力，传统的人工拆解和机械化拆解方式已难以满足需求。由于人口结构变化、劳动力转移、劳动力供需失衡以及工资调整等因素，报废产品回收利用产业正迫切需要从传统方式向自动化、智能化拆解方式转变。这不仅能提高拆解效率，降低人工成本，还能有效减少拆解过程中的环境污染和安全风险。

然而，实现动力电池的智能化拆解并非易事。非结构化拆解环境和多种不确定条件下，结构和拆解工艺相似的多品种小批量复杂退役产品，给拆解工作带来了极大的挑战。因此，亟待解决如何在这些复杂条件下实现动力电池的柔性、高效、绿色拆解问题，这不仅是当前动力电池回收利用产业面临的重要课题，也是推动新能源产业可持续发展的关键所在。

5.3 动力电池的拆解智能化：行业需求

动力电池拆解智能化的行业需求日益迫切。随着拆解生产线系统的发展，我国已经从工业化流水线手工拆解迈向了精细化拆解线，但面对当前大规模动力电池退役的高峰，行业亟待向柔性混流智能拆解转型升级。这一转型不仅是为了提高拆解效率和精度，更是为了应对未来退役电池种类增多、批量减小、结构复杂化的挑战。

在机器人 4.0 时代，动力电池拆解智能化迎来了前所未有的发展机遇。通过云-边-端计算技术的充分运用，可以实现更高性价比的多模态感知融合、自适应交互和实时安全计算，为智能拆解提供强大的技术支撑。在这样的背景下，机器人不仅具备了感知能力以实现智能协作，还拥有了理解和决策的能力，能够自主提供服务。当面对某些不确定的拆解情况时，机器人能够呼叫远程人员进行增强或决策辅助，确保拆解过程的安全与高效。

最终，我们期望实现机器人即服务（RaaS）的愿景，让智能机器人在动力电池拆解领域发挥更大的作用。通过智能机器人的规模化部署和应用，将能够大幅提升拆解效率、降低成本、减少环境污染，并推动动力电池回收利用产业的可持续发展。因此，动力电池拆解智能化的行业需求不仅是对当前技术进步的回应，更是对未来产业发展的深刻洞察和前瞻布局。

5.4 拆解智能化：从 L0 到 L4

关于动力电池拆解的智能化，目前面临着拆解过程中的诸多不确定性。在动态、非结构化的拆解环境中，退役动力电池的机器人自主拆解是一项极具挑战性的任务。由于品牌型号众多、内部结构多样、退役状态各异，以及拆解目标的多样性和拆解深度的不确定性，我们需要寻找一种高效且可靠的智能化解决方案。

拆解智能化是实现这一目标的关键所在。通过对拆解对象的信息感知、推理、学习，我们可以形成决策、规划、控制、监督命令流，以大量数据的自主化流动来解决拆解过程的不确定性问题。这种高度自适应的拆解方式，能够根据不同的退役动力电池类型和状态，灵活调整拆解策略，实现精确、高效的拆解。

在拆解智能化的过程中，我们可以将其分为不同的层次。首先是**人工拆解-L0级**，这是完全依赖人工操作的阶段，适用于未知对象，人的决策起着决定性作用，例如：工人利用手动/电动/气动工具的拆解。接下来是**机器辅助拆解-L1级**，在这一阶段，机器开始辅助操作，但主要针对已知对象，人的决策仍然占据主导地位，例如：全自动轮胎拆卸设备。随着技术的进步，我们进入**自动化拆解-L2级**，此时人的辅助操作减少，机器开始辅助决策，适用于已知对象的拆解，例如：iPhone 全自动拆解线。

然而，真正的智能化拆解需要从**有条件智能拆解-L3级**开始。在这一阶段，机器能够实现自适应操作，针对已知对象进行感知、适应、交互、决策和互联。最终，我们追求的是**高度智能拆解-L4级**，即机器能够在未知对象的情况下进行自主操作，通过自主推理和自主决策实现拆解过程的完全智能化。

5.5 电池拆卸自主复合型机器人——BEAM-1

电池拆卸自主复合型机器人——**BEAM-1**，是融合了先进神经符号 AI 技术的具身智能系统。它拥有像人一样的思考能力，不仅清楚地知道自己的目的，还能准确判断当前的动作、理解行动的意义，并制定出最佳的执行方案。这种思考能力赋予了 **BEAM-1** 在动力电池拆解任务中的高度自主性，使其能够应对非结构化环境下拆解过程中的各种不确定性问题。

通过将神经符号人工智能应用于动力电池拆解任务规划中，**BEAM-1** 实现了自主、可解释、稳健的拆解。它不仅能够根据拆解对象的特点和状态，灵活调整拆解策略，还能在拆解过程中实时感知、学习和决策，确保拆解的高效性和准确性。

BEAM-1 所采用的知行合一、训推一体的神经符号 AI 框架，是一种可信的人工智能解决方案。这一框架将逻辑符号运算与神经网络深度融合，形成了感知、学习、决策、控制“**知行合一**”的机器人具身智能控制架构，实现了训练与推理“**训推一体**”的协同作用。这种架构支持 **BEAM-1** 在动态、非结构化拆解环境下进行实时拆解任务与运动规划，确保其能够在各种复杂环境中稳定、可靠地工作。

基于神经符号 AI 框架设计的具身智能拆解系统，是 **BEAM-1** 的核心组成部分。通过引入神经谓词，该系统将视觉、力觉信息和机器人位姿等连续空间状态映射到符号状态，使 **BEAM-1** 能够自主选择并执行动作原语，自主完成拆解任务。这一过程中，拆解任务的推理决策与机器人运动感知控制实现了统一，从而大大提高了拆解的效率和精度。

5.6 神经符号人工智能社区

神经符号人工智能社区是由上海交通大学、英特尔中国研究院等二十三家单位共同发起成立的，专注于神经符号人工智能领域的深入研究和应用，特别是在机器人自主拆解关键技术方面。社区致力于构建自主可控的可信人工智能技术体系，并不断完善相关标准、专利、人才支撑体系，以推动神经符号 AI 技术的创新与应用。

社区秉持创新、协作、绿色、开放、共享的新型产学研用协同创新范式，通过技术创新、应用示范、产业孵化的无缝对接，建立了成果转化新体制和新机制。作为赋能绿色制造的人

工智能引擎，神经符号 AI 在推动制造业转型升级方面发挥着重要作用。社区网站 <https://www.nsaishome.org.cn> 是神经符号人工智能领域为研究者、从业者、爱好者提供资源和交流机会的互动平台。

在机器人拆解智能化方面，社区组织编制了《基于神经符号 AI 的机器人拆解智能化技术路线图》，为行业提供了明确的发展方向。同时，社区还开展了标准化研究，制定了智能拆卸通用技术导则，规范了拆卸智能化中的多模态信息感知、自主决策控制、人机协同系统、动态规划、实时调度、检测维护、数据知识管理、安全管理等方面的技术要求。这些标准化工作作为行业的健康发展提供了有力保障。

展望未来，基于神经符号 AI 的动力电池自主拆解机器人具有广阔的产业化前景。通过建立知识驱动的柔性混流拆解系统，可以实现复杂动态拆解场景下的多品种、小批量退役动力电池的智能拆解。这不仅将提高拆解效率和精度，还将推动产品回收拆解行业的高端化、智能化、绿色化发展，为传统产业的绿色转型升级注入强大动力。

6、结束语

(1) 随着全球气候变化的挑战日益严峻，追求绿色、低碳、循环和智能化的发展已成为世界各国共同关注的焦点。汽车产业作为国民经济的重要支柱，其绿色智能化转型不仅是应对气候变化的必然选择，更是推动产业高质量发展的关键策略。这一转型为其他传统产业的绿色智能化升级提供了宝贵的经验和启示。

(2) 通过人工智能赋能绿色制造产业，以制造模式的深度变革推动传统产业绿色转型升级。这种以创新为驱动的制造模式转变，不仅加速了传统产业的绿色升级，而且促进了制造业向高端化、智能化和绿色化方向的发展。这一进程催生了新质生产力的形成，并为实现碳排放达峰和碳中和的宏伟目标奠定了坚实的基础。

名词解释

(1) **神经符号 AI**——一种结合逻辑符号推理和神经网络概率学习的规划方法。通过融合符号逻辑系统(第一代人工智能)的推理能力和神经网络系统(第二代人工智能)的感知、学习能力，形成感知、学习、决策、控制“知行合一”，训练与推理“训推一体”的机器人具身智能控制架构，具备自主性、可解释、可学习、可扩展的特征与优势。

(2) **神经谓词**——既是符号逻辑系统中的谓词，也是一个概率神经网络。视觉、力觉等多模态信息和连续高维空间状态，经过神经网络的映射，得到逻辑推理所需的符号状态，直接驱动动作原语，避免了定义复杂的逻辑规则。

(3) **动作原语**——是机器人任务规划问题中联系逻辑规划与机器人真实运动之间的桥梁。由若干条指令组成，用来实现某个特定的操作，通过一段不可分割的或不可中断的程序实现其功能。通过规划域定义语言，在逻辑规划空间中准确描述每个动作以及每个动作执行所需要的前提条件、执行动作后的状态、系统的初始状和目标状态。基于该描述，规划器在逻辑规划空间中通过推理，找出从目标状态到初始状态的动作原语序列，形成执行规划。

参考文献

- [1] 国务院办公厅. 新能源汽车产业发展规划(2021—2035年)(国办发〔2020〕39号).
- [2] 中国汽车工程学会. 节能与新能源汽车技术路线图 2.0. 2020.
- [3] 中国智能网联汽车产业创新联盟. 智能网联汽车技术路线图 2.0. 2020

- [4] 国家智能网联汽车创新中心. 智能网联汽车创新应用路线图. 2021.
- [5] 电动汽车产业技术创新战略联盟. 智能网联汽车电子电气架构产业技术路线图. 2023
- [6] 中国汽车工程学会. 汽车产业绿色低碳发展路线图 1.0. 2023.