

工业母机与新能源汽车产业协同发展战略研究

赵世佳¹, 周 岩¹, 刘辰璞^{1,2}, 刘双虎³

(1. 工业和信息化部装备工业发展中心, 北京 100846;

2. 北京理工大学管理与经济学院, 北京 100081;

3. 中汽研汽车工业工程(天津)有限公司, 天津 300399)

摘要:工业母机包括金属切削机床等减材制造装备, 铸造、锻压、焊接、热处理等等材制造装备, 以及增材制造装备, 是“制器之器”和“自强之基”, 是现代化产业体系的核心枢纽和制高点。新能源汽车是全球汽车产业转型升级、绿色低碳发展的主要方向, 是工业母机应用最广泛的领域, 世界主要国家和地区纷纷提出发展新能源汽车产业的战略导向。我国新能源汽车产业蓬勃发展, 在全球形成先发优势。系统阐述工业母机与新能源汽车协同发展的形势和意义, 深入分析面临的问题, 提出工业母机与新能源汽车协同发展战略和举措建议, 对推动工业母机高质量发展、构建新能源汽车全产业链优势具有一定参考价值和意义。

关键词:工业母机; 新能源汽车; 协同; 发展战略

中图分类号: U46

文献标识码: A

文章编号: 1005-0566(2024)10-0010-08

Research on the collaborative development strategy of machine tools and new energy vehicle industry

ZHAO Shijia¹, ZHOU Yan¹, LIU Chenpu^{1,2}, LIU Shuanghu³

(1. Ministry of Industry and Information Technology Equipment Industry Development Center, Beijing 100846, China;

2. School of Management and Economics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

3. CATARC Automotive Industrial Engineering(Tianjin) Co., Ltd, Tianjin 300399, China)

Abstract: Machines tools include metal cutting machines, casting, forging, welding, heat treatment, and additive manufacturing equipment, industrial machines are the tools of production and the foundation of self-improvement, and are the core hub and commanding heights of modern industrial systems. New energy vehicles are the main direction for the transformation and upgrading of the global automotive industry, as well as the green and low-carbon development. They are the most widely used field of machines tools. Major countries and regions around the world have proposed strategic directions for the development of the new energy vehicle industry. China's new energy vehicle industry is flourishing, forming a first mover advantage globally. Therefore, this article systematically elaborates on the situation and significance of the coordinated development of machines tools and new energy vehicles, deeply analyzes the challenges and problems faced, and proposes strategies and measures for the coordinated development of machines tools

收稿日期: 2024-05-30 修回日期: 2024-09-10

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(71403142); 工业和信息化部重大研究项目(ZBYS-TYC-2023-1); 工业和信息化部装备工业发展中心重大研究课题“新时代汽车产业现代化战略研究”。

作者简介:赵世佳(1985—), 女, 吉林长春人, 工业和信息化部装备工业发展中心副处长, 博士, 研究员, 研究方向为装备及汽车产业战略、规划、政策等。通信作者: 周岩。

and new energy vehicles. It has certain reference value and significance for promoting the high-quality development of machines tools and building advantages in the entire industry chain of new energy vehicles.

Key words: machine tools; new energy vehicle; collaboration; development strategy

汽车产业作为制造业的典型代表,规模大、产业链长、涉及面广、带动性强、国际化程度高,在全球主要经济大国的产业体系中占据重要地位,汽车制造装备涵盖金属切削机床、铸造、锻压、焊接、热处理及表面处理、增材制造装备等,汽车制造是工业母机应用最广泛的领域^[1]。当前,新能源汽车已成为全球汽车产业转型升级、绿色发展的主要方向,我国新能源汽车产业蓬勃发展,连续9年位居全球第一,正形成持续引领全球的发展态势。发挥新能源汽车的牵引带动作用,加快工业母机与新能源汽车产业协同发展,不仅为汽车产业高质量发展和汽车强国建设增添新的动力,而且对提高我国工业母机产业核心竞争力具有重要意义^[2]。

首先,工业母机与新能源汽车协同发展是加快推动工业母机产业高质量发展的关键路径。汽车生产制造集成了大量先进制造技术和工艺方法,是工业母机最大的应用领域。新能源汽车融合新能源、新材料和人工智能等多种变革性技术,推动整车和动力电池、电机、电控等关键零部件制造工艺向集成化、柔性化转变,带动工业母机高质量跃升。其次,工业母机与新能源汽车协同发展是增强新能源汽车全产业链竞争优势的内在要求。工业母机发展水平在一定程度上决定了新能源汽车的生产制造竞争力和产品质量^[3]。加快提

升工业母机供给能力,是构筑新能源汽车全产业链竞争优势的关键之举,是汽车强国建设的重要支撑。最后,工业母机与新能源汽车协同发展是探索装备制造业自立自强创新机制的重要举措。工业母机和新能源汽车是装备制造业的重要组成部分。推动工业母机与新能源汽车产业协同发展过程中,不断总结经验,探索出可复制、可推广的协同创新机制,将为我国推动装备制造业实现自立自强积蓄经验和力量。

一、工业母机与新能源汽车协同发展的形势

(一)汽车百年变局加速重构工业母机产业生态

工业母机按照工艺类别主要分为减材制造装备、等材制造装备和增材制造装备,作为制造业的基础,是汽车生产制造的关键装备,如图1所示。全球汽车工业发展逾百年,每一次汽车产业变革都伴随着工业母机产业转型升级。过去,德国、日本、美国等国工业母机企业基于对传统燃油汽车企业应用场景的长期、深刻理解,形成以创新、效率和可靠性为根本的竞争壁垒,牢牢掌控汽车制造领域工业母机生态主导权。如今,汽车产业迎来百年未有之大变局,电动化转型成为全球汽车产业发展的潮流和趋势。随着新能源汽车产业快速发展,工业母机产业生态出现一定的重构趋势,产业链供应链和价值链正在重新调整,工业母机产业发展迎来重要机遇期,如图2所示。



图1 工业母机产品图谱

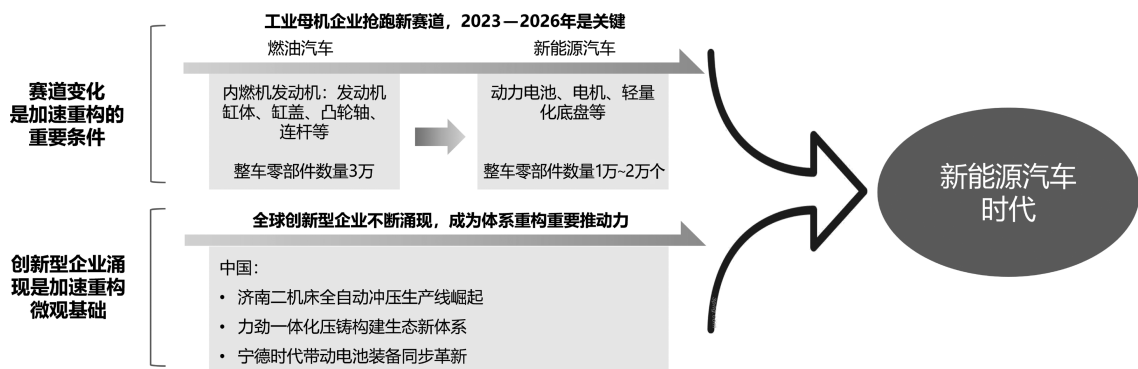


图2 汽车变革重构工业母机产业生态

赛道变化是工业母机产业生态重构的重要条件。一方面,与传统燃油汽车相比,新能源汽车的动力系统发生重大变革,动力电池、电机、电控“三电”系统及工艺技术、材料、结构变革对制造装备提出新需求,削弱了传统燃油汽车时代的工业母机竞争壁垒。另一方面,新能源汽车整车零部件数量由原来的3万个减少到1万~2万个,动力总成零部件数量由1000~1200个减少到100~150个,适应这部分零部件加工的复杂切削工艺需求将逐渐萎缩。创新型企业涌现工业母机产业生态重构的微观基础。近年来,全球创新型企业特别是专精特新企业不断涌现,成为工业母机产业生态重构的重要推动力。我国工业母机企业供给能力、快速响应及服务能力持续提升,在整车冲压、一体化压铸、动力电池壳体制造等领域形成一定优势。例如,重点企业在汽车冲压领域持续创新与迭代升级,在新能源汽车一体化压铸方面积极构建创新生态新体系。同时,中国成为世界最大的动力电池生产制造基地,有力带动电池壳体加工机床、搅拌摩擦焊、电池隔膜拉伸等相关装备技术创新和产业化应用。面对这一确定性的重构过程,依托超大规模市场优势和新能源汽车先发优势^[4],我国工业母机产业发展具备创新发展的基础和条件。

(二)汽车大国产业竞争加剧工业母机竞争态势

当前,为适应绿色低碳发展趋势,世界主要汽车大国纷纷加强新能源汽车战略谋划、强化政策支持,跨国汽车企业加大研发投入、完善产业布局,新能源汽车已成为大国竞争的焦点^[5-6]。工业母机作为制造装备,是新能源汽车生产的重要

技术装备基础。新能源汽车产业的竞争日益加剧,逐渐从产品和企业的竞争,演变为生态体系和上下游产业链的竞争^[7]。

从技术看,新能源汽车及关键零部件制造对工业母机协同响应能力和加工精度提出了更高的要求。一方面,新能源汽车新技术和新产品不断涌现,迭代周期加快,整车研发周期甚至压缩到传统燃油汽车的一半,对工业母机的快速响应能力提出巨大考验。另一方面,新能源汽车的性能日益提高对关键零部件加工制造要求大幅提升,不断抬高工业母机技术门槛。比如,齿轮精度从传统燃油汽车6~7级提高到4~5级,热处理和磨齿等关键制造技术更加严格。制动盘、超薄壳体、等速万向节等从性能、精度到表面光洁度需要更严格的技术指标,传统工业母机工艺技术适应性面临挑战。从市场看,过去的工业母机头部企业积淀深厚,能够更快满足新能源汽车市场需求,“强者恒强”局面持续。随着欧美加速本土化、区域化产业链建立,新能源汽车全产业链自主可控重要性不断凸显,高端制造装备将成为竞争焦点之一。这一过程,马扎克、西门子等一些头部企业优势显著,快速进入新市场。总的来看,无论是汽车产业还是工业母机产业,唯有提升技术创新力和市场竞争力,才能有机会抢占制高点。

(三)新能源汽车加速发展带动工业母机需求扩张

工业母机是新能源汽车产业最重要、最基础的制造装备,如图3所示。过去20年,全球汽车与工业母机产业是密切合作、相互支持共同发展起

来的。当前,新能源汽车快速发展正带动工业母机新一轮需求扩张,动力系统、制造工艺、材料体系、生产方式变革逐步扩大工业母机细分领域产品需求^[8],如图4所示。

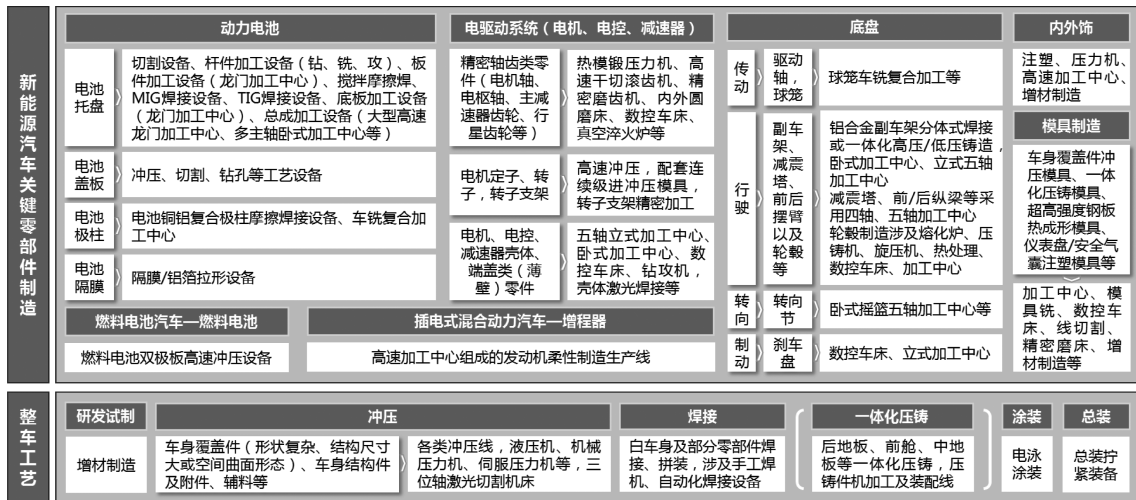


图3 新能源汽车及零部件制造用关键工业母机全景



图4 新能源汽车生产制造新变化扩大工业母机新需求

新能源汽车动力系统变革带动细分领域金属切削机床增长,以动力系统(动力电池、电机、电控)壳体为代表的加工制造是全新增量,多合一电驱动系统结构变化带来壳体加工工艺升级需求。比如,高强度钢电池拖盘、压铸铝合金电池拖盘、挤压铝合金摩擦焊接电池托盘、碳纤维复合材料电池盖、压铸铝合金电机壳体、变速箱壳体、电控箱体箱盖等均需定制化开发金属切削机床进行加工,适应新加工要求的车铣复合机床、立式加工中心、卧式加工中心、龙门加工中心等需求大幅增加^[9]。新能源汽车制造工艺变革为压铸产业链快速发展注入新动能,新能源汽车安全性、高效性、轻量化不断提升,促使车身、底盘结构件等广泛使用铝镁合金压铸件和一体化压铸件^[10]。特斯拉四大工厂共部署15台以上大型压铸机,并配备压铸件龙门加工中心等设备,年产能150万件左右。其

中,上海工厂在装配5台大型压铸机,用于ModelY后地板生产。美国德州工厂共装配6台大型压铸机,覆盖ModelY&Cybertruck等车型。国内蔚来、理想、极氪、小鹏等纷纷跟进。新能源汽车材料体系变革驱动工艺装备创新发展,新能源汽车由于动力电池以及结构件重量的提升,显著影响其电耗、动力性、制动性能、被动安全性、续航里程等,轻量化显得更为重要和迫切^[11]。工业母机需要满足轻量化材料和结构加工需求,并开发适用于特定材料的刀具、切削液和工艺参数等。新能源汽车生产方式变革对智能、低碳工业母机提出需求,以实现数据呈现、虚拟协同、闭环控制、智能预测以及节能减排^[12]。

(四)全球工业母机企业加速布局新能源汽车产业链

近年来,工业母机头部企业凭借敏锐的市场

嗅觉加快转型和布局,跟随布局中国、美国和欧洲等全球主要新能源汽车市场,争抢新能源汽车细分市场“大蛋糕”,构建与新能源汽车协同发展的应用生态。

从全球布局趋势看,我国超大规模市场优势吸引各国工业母机企业加速布局,众多企业纷纷在中国市场首发首展。比如,日本牧野在中国武汉建立全球首个汽车零部件高效加工中心生产基地。迪恩机床发布适应中国市场需求的新机型高生产性立式加工中心 SVM 5105L 用于汽车行业铝压铸、铝材质工件加工。美国、欧洲新能源汽车市场增长势头强劲,加之地缘政治影响,倒逼汽车制造业回归。比如,随着众多车企纷纷在墨西哥投资建厂,工业母机等产业链上下游企业跟随赴墨。从布局领域看,新能源汽车动力系统制造解决方案成为布局重点。比如,日本山崎马扎克推出电池托盘高速搅拌摩擦焊解决方案、变速箱、变频器壳体、电机壳体等产品系列加工机床。德国格劳博推出电池外壳等框架结构工件和底盘工件双主轴卧式加工中心。德国通快积极投身于新能源汽车、动力电池行业发展,推出飞行焊接等针对动力电池制造的激光解决方案。从布局经验看,开放创新是关键。一方面,无论是在传统燃油汽车时代还是在新能源汽车时代,工业母机头部企业一直将开放创新作为关键动力,如山崎马扎克提倡“永远与用户同在”;另一方面,汽车企业积极引入外部创新资源,寻求更多工业母机生态合作伙伴,

携手共赢,这也决定了汽车产业创新与转型的“时速”与“高度”。

二、工业母机与新能源汽车协同发展现状

(一)新能源汽车带动工业母机产业规模稳步增长

长期以来,工业母机重点产品与汽车产量增长趋势基本保持一致,如图 5 所示。2023 年,我国汽车产业发展迅猛,全年产销分别实现 3 016.1 万辆和 3 009.4 万辆,同比分别增长 11.6% 和 12%,连续 15 年位居全球第一。新能源汽车产销分别完成 958.7 万辆和 949.5 万辆,同比分别增长 35.8% 和 37.9%,新能源汽车新车市场渗透率达到 31.6%。汽车出口 491 万辆,同比增长 57.9%,跃居世界第一。机床领域,我国从 2009 年以来保持消费、生产第一大国位置。2023 年首次实现机床工具全部 9 个商品门类贸易顺差,其中金属切削机床首次实现贸易顺差。围绕汽车产业制造需求,我国已经初步形成机床主机、数控系统、功能部件产业链体系,汽车领域工业母机应用规模逐年增长。冲压领域表现尤为明显,重点企业冲压业务连续多年保持高速增长。总的来看,新能源汽车带动工业母机产业规模持续增长。预计到 2025 年,我国新能源汽车新车销量在当年占比 40% 左右,以工业母机为代表的制造装备投资在新能源汽车企业固定资产投资占比高达 50% 以上,随着新能源汽车及零部件企业加大投资,工业母机市场前景广阔。

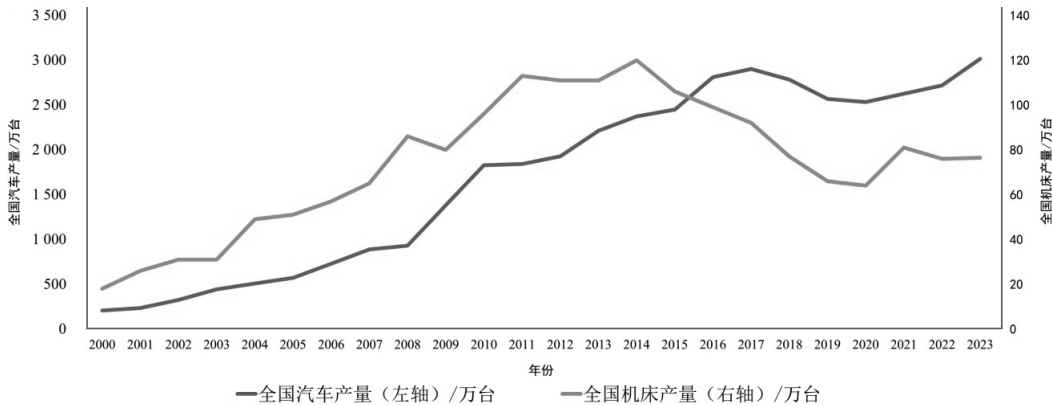


图 5 全国金属加工机床产量和汽车产量趋势

(二)新能源汽车高端工业母机供给能力持续提升

经过多年发展,我国工业母机产业竞争力显

著增强,高端供给能力持续提升,赋能新能源汽车产业高质量发展^[13]。等材制造领域培育形成优势产业,济南二机床大型冲压成形装备国内主机市

场占有率 85% 以上,全球主机市场占有率 35% 以上。一体化压铸成为领导型产业,力劲科技等大型智能一体化压铸单元服务于特斯拉、一汽集团等国内外整车及零部件企业。减材制造领域技术创新和应用水平不断提高,东风设备具备新能源汽车电机壳体、减震塔、后摆臂、电控盒等机加工整体交钥匙加工能力。科德数控高端数控机床用于新能源汽车传动部件、副车架、电机壳体加工超过 100 台。秦川机床数控蜗杆砂轮磨齿机满足新能源汽车和商用车领域齿轮加工要求。普什宁江加工中心系列产品在柳州五菱柔性制造系统、苏州绿控汽车变速器总成壳体类关键零件柔性加工线、上汽通用轿车动力总成关键零件国产加工柔性制造系统等实现进线应用。增材制造领域应用范围逐步拓展,铂力特为汽车用户提供工艺迭代方案,支持更自由、更前端设计落地,华曙高科增材制造技术应用于宝马、戴姆勒、一汽大众、法雷奥等汽车品牌 and 零部件厂商新产品研发验证及批量生产。

(三)工业母机企业抢抓新能源汽车机遇加快布局

我国工业母机企业结合自身发展优势,抢抓新能源汽车发展机遇,加大整车及关键零部件制造装备布局力度,与新能源汽车及零部件企业深度互联和共同协作,技术迭代实现新突破,转型升

级取得新成效。在产品布局方面,通用技术机床公司针对汽车轻量化、电池系统结构件加工、底盘系统典型零件加工,打造上序成形+下序切削+检测+自动化的全链条解决方案。济南二机床、宁波海天、力劲集团、东风设备厂以及广东普拉迪等加速研发双主轴龙门加工设备,布局一体化压铸件机加工解决方案。广东创世纪、科德数控、北京精雕等针对新能源汽车电池托盘、壳体加工等强势布局。在项目投资方面,工业母机企业加快新能源汽车领域工业母机项目投资建设,2023 年投资总额超过千亿元。在市场拓展方面,北美、欧洲、东南亚等地成为我国工业母机企业“出海”主要目的地,服务汽车工业发展,比如格力智能装备电池壳加工项目推广至北美、欧洲,终端客户包括宝马、特斯拉等。在协同发展方面,如图 6 所示,秦川机床与法士特推动“秦—法协同”,持续优化提升机床精度、加工效率,开发三截面磨削、镜面磨削、双联齿轮相位磨削等工艺。山东豪迈凭借汽车轮胎模具丰富应用场景,构建起领先水平的五轴加工中心生产体系。天津天锻建立全产业链创新联盟,形成全产业链闭环研发模式,提升生产线成套设备全自动化和智能化。台州机床集群强调与汽车等产业集群耦合联动和产业链协同发展,形成产业集群环绕产业链韧性集聚的圈层式产业新生态。

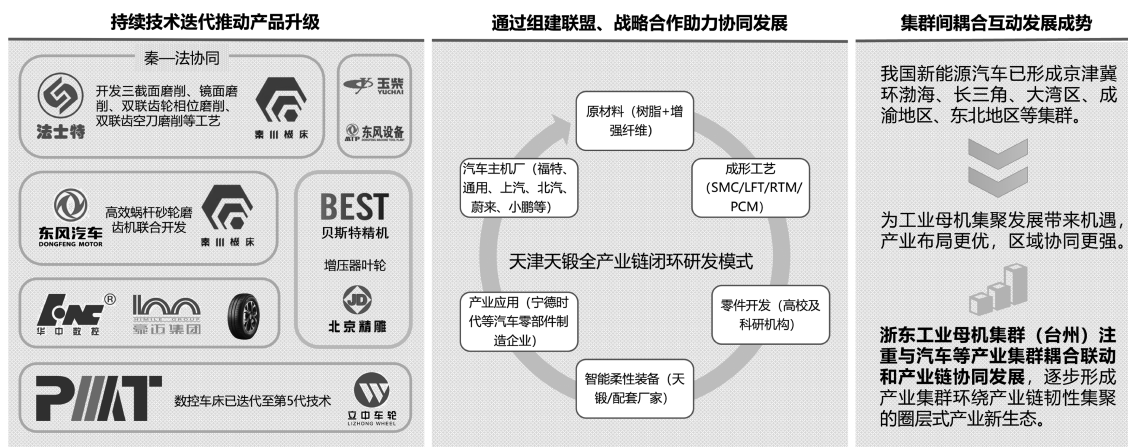


图 6 工业母机和新能源汽车产业协同发展案例

三、工业母机与新能源汽车协同发展存在的问题

(一)产业链协同创新能力不强

当前,我国工业母机链式攻关缺乏有机协同,攻关成果存在“碎片化”现象。联合体攻关主体实

施涉及多部门多区域多单位,政产学研用协同不够,研发投入及要素资源整合能力不足;部分联合体存在“形聚神散”的现象,没有将攻关成果在汽车生产线上进行有效应用;新能源汽车及零部件企业牵引作用发挥不够,工业母机创新产品缺乏

足够的应用场景驱动技术积累与迭代应用,导致高端产品研制与下游新能源汽车应用关联程度不够,难以形成反复迭代升级的良性循环。此外,很多工业母机企业以制造投资为主,不重视检测验证能力建设,第三方机构承接能力又非常有限,导致工艺数据积累参差不齐。

(二) 高端工业母机供给能力不足

我国高端工业母机产业链关键环节短板突出。在整机方面,金属切削机床可靠性、稳定性等存在差距,成组连线能力尤显不足。比如,高端机床产品尚不能完全满足高节拍、高柔性生产要求;精密磨齿机、高速车磨复合加工中心等规模化应用尚处于空白,不能满足新能源汽车精密轴齿类零件加工需要;高端模具精加工机床依赖进口。在零部件方面,大尺寸光栅尺、大功率大扭矩电主轴等核心零部件依然存在短板,刀具性能和寿命与国外产品存在代差。在智能化方面,国内工业母机企业在虚拟调试、数字孪生等能力建设上相对滞后^[14]。

(三) 工业母机与新能源汽车产业协同发展生态尚未有效建立

随着新能源汽车制造快速发展并逐步替代传统动力总成生产制造,以及工业母机技术进步,产业链上下游供需关系正发生大的转变,这一过程供需双方对接不畅现象明显,协同发展生态尚未有效建立。对于新能源汽车及零部件企业,缺乏对我国工业母机技术进步和实际能力的直观了解,高端用户不敢在已经设计完善的生产线上投入用,“不敢用”的情况较为突出。对于工业母机企业,缺乏对汽车制造工艺流程的深入理解和长期经验积累,难以提供个性化解决方案。同时,一些专注于燃油汽车产业链的工业母机企业一旦跟不上市场需求变化面临市场淘汰风险,但盲目涉足其中又面临过热和低端同质化竞争现象。

四、工业母机与新能源汽车协同发展战略及举措建议

推进工业母机与新能源汽车协同发展需充分发挥我国超大规模市场优势、新型举国体制优势和新能源汽车产业发展先发优势,以高质量协同发展为目标,以推进供需匹配为主线,以提高工业母机供给能力为主攻方向,坚持供给优化和需求牵引并重,着力强化结对攻关、应用示范,建立工

业母机与新能源汽车产业长效对接机制,增强新能源汽车全产业链竞争优势,全面提升产业协同发展水平,为加快推进新型工业化提供有力支撑^[15]。

(一) 强化新能源汽车领域工业母机系统谋划部署

工业母机与新能源汽车产业协同发展需要持续发力、久久为功,国家层面应进一步强化战略指引,明确推进机制、重点方向和保障措施等,探索符合国情的自强自立协同发展之路^[16]。建议制定工业母机与新能源汽车产业协同发展规划,强化国家层面战略指引。建立高层次协调推进和院士专家咨询机制,及时发现并协调解决发展中遇到的重大问题。研究新能源汽车领域工业母机技术发展路线图,明确重点发展方向,梳理产业链痛点和安全风险,为科学决策提供重要依据。加大政策系统支持力度,推进新能源汽车领域工业母机补短板和成组连线任务部署。用好首台套、财税政策,发挥政府引导基金作用,精准打好支持政策“组合拳”。

(二) 以新能源汽车为牵引加快工业母机链式攻关

开展“牵手”行动,围绕新能源汽车领域工业母机产业链痛点、难点开展链式攻关,提高工业母机供给能力,强化应用为要和链式攻关联合体高效协同。具体由新能源汽车领域用户企业牵头组建结对攻关队伍,牵手产业链下游开展工业母机主机、关键零部件攻关和产线智能化升级,将“用户思维”融入整个过程,强化结果考核。依托重点企业和研究机构加快建设工业母机中试验证基地,为新能源汽车领域工业母机首台套高端产品提供验证、改进的试验平台,提升产品精度保持性、可靠性、工艺适应性、产线集成性^[17]。支持各类市场主体平等参与,强化用户担当,压实主体责任,真正让攻关键链条“活起来”,让链上企业“链起来”,推动形成新能源汽车需求牵引工业母机攻关迭代、高端工业母机供给赋能汽车转型升级的高水平动态平衡。

(三) 推进新能源汽车领域工业母机应用示范

抓住新能源汽车领域工业母机规模化应用机遇,积极引导新能源汽车及零部件企业充分认识过去 10 多年来我国工业母机产业发展取得的显著成绩,与工业母机企业携手打造典型应用场景,提供更加丰富、更为广阔的工业母机创新产品试

练场。抓好一批效果突出、带动性强、关联度高的典型应用示范场景,支持开展工业母机成套、成组、成规模示范应用,支持建设工业母机创新产品应用对比验证线,加速技术创新成果向市场应用转化和推广,加大优秀应用场景中用户企业和工业母机企业的政策支持和宣传推广。推进制造方式智能化、绿色化转型,大力引导新能源汽车生产线及零部件制造用工业母机更新换代和升级。强化标准引领,开展工业母机创新产品应用评价标准体系研究,实现应用评价结论的互认、互信、互用。

(四)培育工业母机优质企业支撑新能源汽车快速发展

紧抓发展机遇培育工业母机一流企业,以及单项冠军和专精特新企业,引导工业母机企业强化新能源汽车应用细分领域的深耕细作。鼓励行业骨干企业和产业链上下游企业开展战略合作、资源整合,构建大中小企业相互依存、相互促进、创新协同的融通发展生态。加快建设工业母机先进制造业集群,强化与新能源汽车产业集群协同发展。加快提升优质企业开放合作水平,积极推动重点企业积极开展国际交流与合作,有效对接全球和利用全球资源,将国外先进技术和管理理念,转化为服务全球新能源汽车发展的硬本领。紧抓“一带一路”、中国—东盟等战略机遇,推动中国企业、标准、技术、产品“走出去”,开拓共赢之路。

(五)加快构建工业母机与新能源汽车协同生态

统筹行业资源,建立工业母机与新能源汽车产业协同发展公共服务平台,定期交流发布供给需求有效信息,为用户企业和制造企业提供对接服务,实现可视化宏观分析、资源互享、融合互动、技术服务保障,形成推进协同发展的中枢。建立工业母机与新能源汽车供需对接长效机制,开展“工业母机进车企”等精准对接活动,展示工业母机技术进步和场景价值,向新能源汽车及零部件企业讲好工业母机发展故事。深挖用户需求,提出需求清单,降低工业母机企业与用户间沟通门槛。通过舆论或政策导向规范工业母机市场秩序,避免恶性低价竞争,保护企业合理利润空间,营造创新活跃、优势互补、共享机遇的产业发展环境。牢固树立产业协同发展共同体意识,推动相关各方深入参与协同创新发展生态建设,凝聚起强大合力。

参考文献:

- [1]王磊,卢秉恒.中国工作母机产业发展研究[J].中国工程科学,2020,22(2):29-37.
- [2]国务院办公厅.新能源汽车产业发展规划(2021—2035年)[EB/OL].(2020-12-25)[2021-12-27].http://www.gov.cn/zhengce/content/2020-11/02/content_5556716.htm?trs=1General Office of the State Council.
- [3]赵福全,刘宗巍,郝瀚,等.中国实现汽车强国的战略分析和实施路径[J].中国科技论坛,2016(8):45-51.
- [4]罗重谱,李晓华.中国超大规模市场优势发挥与“双循环”新发展格局的构建[J].学习与探索,2021(11):89-98.
- [5]乔英俊,赵世佳,伍晨波,等.“双碳”目标下我国汽车产业低碳发展战略研究[J].中国软科学,2022(6):31-40.
- [6]ANDERSSON ÖIVIND,BÖRJESSON PÅL. The greenhouse gas emissions of an electrified vehicle combined with renewable fuels: life cycle assessment and policy implications [J]. Applied energy, 2021(289):116621.
- [7]欧阳明高.我国节能与新能源汽车发展战略与对策[J].汽车工程,2006(4):317-321.
- [8]陈清泉,高金燕,何璇,等.新能源汽车发展意义及技术路线研究[J].中国工程科学,2018,20(1):68-73.
- [9]单忠德,宋文哲,范聪泽,等.面向2035年复合材料构件精确制造发展战略研究[J].中国工程科学,2023,25(1):113-120.
- [10]罗婷瑞,樊振中,胡惠翔,等.新能源汽车用一体化压铸铝合金研究现状与发展趋势[J].特种铸造及有色合金,2023,43(11):1472-1478.
- [11]BLAŽ LUIN,STOJAN PETELIN,FOUAD AL-MANSOUR. Microsimulation of electric vehicle energy consumption [J]. Energy,2019(174):24-32.
- [12]臧冀原,刘宇飞,王柏村,等.面向2035的智能制造技术预见和路线图研究[J].机械工程学报,2022,58(4):285-308.
- [13]王德成.牢记科技创新初心使命 推动工业母机产业自立自强[J].表面工程与再制造,2022,22(4):17-18.
- [14]周济.智能制造:“中国制造2025”的主攻方向[J].中国机械工程,2015,26(17):2273-2284.
- [15]薛澜,魏少军,李燕,等.美国《芯片与科学法》及其影响分析[J].国际经济评论,2022(6):9-44.
- [16]尹西明,陈劲,贾宝余.高水平科技自立自强视角下国家战略科技力量的突出特征与强化路径[J].中国科技论坛,2021(9):1-9.
- [17]高伟,陈劲.中国工业母机产业基础能力、国家产业治理结构共同演化与“链创耦合”机理研究[J].中国软科学,2023(12):1-15.

(本文责编:润泽)