



机械工业应对“双碳”的机遇与挑战

侯睿^{1,2}, 祁卓娅^{1,2*}, 王婧^{1,2}

1. 机械工业技术发展基金会, 北京 100045;

2. 机械工业节能与资源利用中心, 北京 100045

* 联系人, E-mail: qizy@cmtf.net.cn

为应对全球气候变化,我国积极行动,逐步构建了碳达峰碳中和(简称“双碳”)的政策体系,对我国工业绿色低碳发展提出了更高要求^[1-6]。机械工业是我国国民经济发展的基础性产业,为国民经济各行业提供技术装备,所提供技术装备的节能低碳化是各行业实现节能降碳目标的重要保障^[7,8]。在“双碳”目标约束下,机械工业面临诸多机遇与挑战。

1 机械工业碳达峰碳中和现状

1.1 机械工业碳达峰碳中和面临的形势

从国际来看,在应对全球气候变化的大背景下,绿色贸易壁垒已经成为新的贸易保护措施。例如,2023年5月,欧盟碳边境调节机制(俗称“碳关税”,以下简称“CBAM”)正式生效,其中2023年10月1日~2025年12月31日为过渡期,2026年1月1日起进入实质性实施阶段。目前欧盟征收“碳关税”的行业主要针对钢铁、水泥等重点高耗能行业生产过程中的直接排放和间接排放以及少量的下游产品。根据海关统计数据,2022年我国出口欧盟的钢铁约600万吨,出口额约800亿元,出口欧盟的铝约90万吨,出口额约300亿元。和欧盟相比,我国的钢、铝生产碳排放较高,并且钢、铝行业尚未纳入我国碳交易市场,在计算有关进口商品须购买的CBAM证书时没有可供抵减的已支付碳价,因此CBAM的实施会直接造成我国钢铁、铝等相关产品出口欧盟的成本上升,机械工业作为钢铁等原材料的下游产业,将面临碳成本传递的压力和挑战。

从国内来看,为应对“双碳”目标要求,履行大国责任担当,我国已逐步建立双碳“1+N”政策体系,包括能源、科技、交通以及钢铁、石化等在内的重点领域和行业都相继制定和发布了相应发展规划、指导意见或实施方案。这些政策的出台和实施,必将改变机械工业发展的宏观政策环境、自身发展方向和市场需求形势;政策提出的单位GDP能耗和二氧化碳排放量大幅下降等目标,将进一步加快机械工业在低碳发展所需要的基础/共性技术、传统制造业绿色优化和绿色低碳制造技术、新型绿色制造工艺技术装备、高性能产品/重大技术装备等领域的创新活动。

从机械工业产业链上下游来看,一方面,高耗能行业重



侯睿 机械工业技术发展基金会党总支部书记、秘书长,机械工业节能与资源利用中心主任,工信部机械工业节能技术装备标准工作组执行副主任委员,中国机械工业联合会专家委员会委员,正高级工程师。主要从事国家、行业科技政策研究、行业管理和管理工作,先后参与工信部、科技部、国家发改委等部门多项规划编制和政策研究,主持多项行业绿色节能标准研制工作。



祁卓娅 机械工业技术发展基金会科技管理部主任,高级工程师。主要从事机械行业及区域发展战略及规划编制、行业发展政策研究及科技管理。

点领域均出台和实施了严格的节能降碳行动方案,冶金、建材等机械工业上游产业提出的节能降碳的约束性指标,必将逐渐传递到机械工业进而影响机械装备产品的“绿色成本”;另一方面,作为机械工业下游产业的建材、石化、焦化以及农业等重点行业和领域,又对机械装备的节能降碳指标提出了更高要求,机械工业面临全产业链“牵一发而动全身”的节能降碳新形势。

从机械工业自身来看,一方面,国家层面的政策文件已明确对机械工业产品能效水平提升的要求,如《2030年前碳达峰行动方案》^[9]明确要以电机、变压器、工业锅炉等为重点推进用能设备节能增效。2015年以来,工业和信息化部陆

续开展了2轮变压器、电机等工业设备能效提升计划, 2022年发布了《工业能效提升行动计划》持续加强工业用能设备的能效提升, 高效节能设备的市场需求及份额将不断扩大(https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-06/29/content_5698410.htm). 另一方面, 机械工业自身也从不同角度加快制定出台相关方案, 如《机械工业“十四五”节能规划》提出, 到2025年, 规模以上单位工业增加值能耗比2020年下降13%, 高效节能产品与装备市场占有率达到60%, 发布60项节能技术装备标准、10项典型系统能效标准; 在机械工业热加工工艺领域, 发布了《关于推动铸造和锻压行业高质量发展的指导意见》, 提出到2025年铸造行业颗粒物污染排放量较2020年减少30%以上, 吨锻件能源消耗较2020年减少5%^[10]; 《机械行业稳增长工作方案(2023—2024年)》将推动制造业智能化、深入实施“机器人+”应用行动等作为行业转型升级的重要举措, 势必为机械工业应对“双碳”目标提供数字化新思路。

1.2 机械工业在我国碳达峰碳中和过程中的作用

2022年底, 机械工业资产总额达到28.9万亿元, 规模以上企业达到11.1万家, 在全国工业营业收入和利润总额占比分别达到21%和21.6%(<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1757942363422240641&wfr=spider&for=pc>). 虽然机械工业的直接碳排放占工业碳排放的比例不高, 仅为5%左右, 但机械装备在运行使用过程消耗大量资源、能源, 从全生命周期角度看, 对整个社会节能降碳工作影响较大(http://www.cnenergynews.cn/fangtan/2022/07/29/detail_20220729125754.html). 机械工业肩负着为各工业行业提供技术装备的重任, 支持各工业企业的生产运转; 同时, 随着社会经济的发展、传统钢铁等行业的产能限制或淘汰, 公共机构和建筑所需用能设备增加也会成为一种发展趋势, 机械工业在建筑使用过程中的作用也将凸显. 图1为机械工业在我国碳达峰碳中和过程中的作用示意图, 可以看出, 机械工业为钢铁、有色、电力、交通、建筑建材、农业等行业领域提供节能低碳技术装备, 有效支撑其他行业实现清洁能源发展、能效提升、产业结构调整、产业碳汇等, 是各行业实现“双碳”目标的重要保障. 电机、变压器、风机、泵、压缩机等机械工业典型产品是主要的工业用能设备, 电机、变压器、风机等21类机电产品用电量约占全国总用电量的70%^[11]. 因此, 机械工业绿色低碳发展是实现我国“双碳”目标的关键所在。

1.3 机械工业典型产品节能降碳国内外情况

我国机械工业的范围覆盖了通用设备制造业、电气机械和器材制造业、专用设备制造业等多个行业, 许多重要产品产量已跃居世界首位, 部分行业技术装备达到甚至领先国际水平, 为我国经济发展和世界经济发展做出了重要贡献. 从全生命周期角度来评估机械工业典型产品的碳排放量, 制

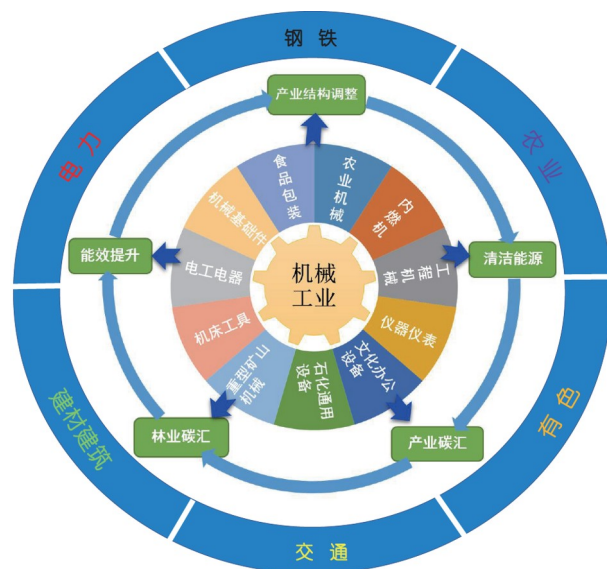


图1 机械工业在我国碳达峰碳中和过程中的作用

Figure 1 The important role of mechanical industry in the process of carbon peaking and carbon neutrality in China

造过程中的碳排放量相对较低, 产品使用和运行过程中的碳排放量巨大(一般占比超过90%); 而产品使用过程的碳排放量主要取决于产品能效水平, 因此高效节能是机械工业降碳工作的核心举措. 近年来, 我国致力于提升电机、变压器等用能设备的能效标准, 部分产品能效达到国际先进水平. 2023年《联合国气候变化框架公约》第二十八次缔约方大会上, 逾百国家签署了“全球可再生能源和能源效率承诺”, 同意2030年前将全球可再生能源发电装机容量增加两倍, 将全球平均年能源效率提高速度由2%提高至4%. 工业重点用能设备的节能降碳将在国内外得到更广泛的重视。

我国2020年发布了GB 18613-2020《电动机能效限定值及能效等级》. 表1为电动机的国家标准与国际标准的效率对比, 可以看出, 我国新国标规定的1级能效与IEC 60034-30-1的IE5等同, 2、3级能效分别对应IEC 60034-30-1规定的IE4和IE3. 欧盟委员会最新法规(EC 2019/1781)针对电机和变速驱动器提出, 自2023年7月1日起, 容量大于等于75 kW、小于等于200 kW的2极、4极或6极的非制动电机、防爆电机或其他防爆电机的三相电机的能效应符合IE4效率水平. 我国电机能效水平与国际先进水平基本同步, 如果用现行能效标准3级(IE3)替换IE2电机, 则在全生命周期内碳排放将下降4%。

2015年以来我国实施了2轮变压器能效提升计划, 特别是2020年发布了GB 20052-2020《电力变压器能效限定值及能效等级》标准, 标准指标大幅提升. 欧盟2013年提出了Eco-design 2015和Eco-design 2021两步走变压器能效提升计划: 2015年7月1日以后, 欧盟区域内生产和采购的配电变压器能效必须达到Eco-design 2015的要求; 2021年7月1日以后, 欧盟区域内生产和采购的配电变压器能效必须达到Eco-de-

表 1 电动机国家标准与国际标准的效率对比**Table 1** Comparison of electric motors energy efficiency between national and international standards

GB 18613-2020	IEC 60034-30-1	平均效率(%)	对应的产品
1级效率	IE5	94.2	YE5
2级效率	IE4	93.0	YE4、YZTE4系列电机等
3级效率	IE3	91.5	YE3系列电机等
无(已废止)	IE2	90.0	YX3、YE2系列电机等
无(已废止)	IE1	87.0	Y、Y2和Y3系列电机

sign 2021的标准要求。我国1级能效标准的油浸式配电变压器空载损耗和负载损耗均优于欧盟2021标准，我国2级能效标准的油浸式配电变压器空载损耗和负载损耗优于欧盟2015标准，我国1级油浸式配电变压器的效率优于美国标准，我国2级油浸式配电变压器500 kVA以下的效率低于美国标准，但在500 kVA以上优于美国。按照我国2020年用电数据测算，如果将当年在网S13及以下配电变压器全部更换为新能效2级，则将节省电能225亿kWh，折合节省标准煤731万吨，折合减少CO₂排放2027万吨。

但是，我国机械热加工等工艺与国际先进水平相比还有较大差距。铸造、锻压、焊接、热处理等基础制造工艺及装备发展相对滞后，例如，热处理设备的能效水平与国际先进水平尚有10%~30%的差距，2022年制造并服役的高效节能热处理设备不足2%，飞机制造企业需要的大型真空热处理装备和汽车行业的数字化高效真空热处理生产线仍需从国外进口等。

2 机械工业应对碳达峰碳中和的发展方向

2.1 机械工业市场需求将向节能低碳领域倾斜

一是新能源装备及清洁能源装备需求旺盛。光伏发电、风力发电和智能电网发展迅速，将催生一系列新技术和产品，全产业链的创新和降低成本是未来的重要方向。此外，多能互补技术装备、低碳能源开发装备也将逐步推广应用。二是“双碳”重点领域对节能改造和适应能源调整的新工艺装备需求将会大幅增加。随着国家新基建、新能源建设，对各种储能(氢储能、热储能、压缩空气储能)设备，包括配套的储存、利用、分配等设备需求也会增加；公共机构和建筑所需要的用能设备需求也会增加，诸如制冷、供热等系统性节能改造等；清洁能源冶炼技术装备(氢能炼钢)、电动工程机械、电动矿山机械(纯电矿用电动轮车)等将会有较大的发展前景；氢能、生物质燃料、液态氨等新型零碳燃料等多燃料锅炉、内燃机及其运载设备将会有新的发展。三是高效用能设备需求将会大幅增加，根据国际能源署数据，节能对低碳

的贡献度可达37%，因此，提升设备的能效水平是机械工业降碳的主要途径。四是农机装备市场需求将发生变化，农业作为碳达峰碳中和的四大领域之一不容小觑，过去传统的农业精细化发展将逐渐转变为农业生态链、生态体系的构建，机械工业农机装备的市场需求必将往此方向转移。此外，根据碳达峰碳中和的要求，碳中和前必将限制甚至取消传统煤电，机械工业传统煤电机组的市场需求势必受到严重影响。同时，对于氢能等储能方式及其配套设备与装置市场，也值得我们提前思考和布局。

2.2 机械工业产品电气化水平将进一步提升

在“双碳”背景下，在能源消耗总量和强度“双控”向碳排放总量和强度“双控”的转向过程中，新能源、清洁能源等的使用比例将快速增加，工业电气化水平将进一步提升。例如，新能源汽车、电动工程机械等新能源机械产品与装备的发展速度将超越传统汽车、传统工程机械；储电设备、机械储能设备、储热设备等储能技术装备产业将快速发展；受新能源汽车发展的影响，汽车变速箱、轴承等产品结构也将受到冲击。此外，电动汽车中电气传动的大量应用，也将影响传统机械传动系统和部件的使用量及市场容量。

2.3 机械工业技术工艺创新将更加激烈

机械工业为了应对“双碳”目标约束以及上下游产业的变化和需求，低碳技术创新活动必将更加活跃，先进储能技术装备、智能电网等关键技术装备研发将加快推进，低碳技术装备的开发、装备产品能效的提升以及工艺性能的改进等都将成为技术创新的重要方面。“双碳”目标的实现将对机械工业制造工艺带来深刻影响，尤其是依靠传统能源加热的热加工工艺将面临挑战。我国是机械工业基础零部件，特别是热加工机械部件，诸如铸铁、铸钢件等的产量最大国，出口量也很大，“十三五”期间我国铸件产量约占全世界铸件总产量的45%。随着能源结构调整和碳达峰碳中和的目标约束，占机械制造过程能耗近50%的热加工工艺(铸造、锻压、热处理等)将面临能源达峰的巨大挑战，势必会倒逼部分工艺制造前移或向外转移，基础产品(零部件)也将面临限产萎缩的风险。同时，机械工业排放较大的工艺也将面临调整，酸洗、喷漆、电镀、电解等工艺将不断更新技术。此外，机械制造将更加重视近净成形等工艺技术，通过提高材料利用率，推进产品设计和工艺改进，降低机械工业技术装备产品的“碳”含量。

2.4 机械工业产品竞争要素将发生变化

在工业节能绿色低碳约束不断加强的大背景下，机械工业产品绿色设计的范围不断扩大。随着国家大力推进绿色低碳工厂和供应链等绿色制造体系的建设，机械工业企业产品竞争要素的构成必将逐渐改变。例如，受碳达峰碳中和影响，

作为机械工业上游的钢材等材料的“碳”含量及价格将会上涨,从而对机械工业技术装备产品的碳足迹和成本等竞争要素造成影响。据有关机构估算,我国2019年钢铁行业碳排放量达15.4亿吨,其中高炉吨钢碳排放达1.68 t,电炉吨钢碳排放达0.39 t;据测算,钢铁行业实现零排放需依赖碳捕捉,绿色溢价可达695元/吨粗钢,较实现碳中和前成本增加22%。

2.5 机械工业技术装备新的国际贸易壁垒将出现

国际上应对气候变化的行动正全面加速,发达国家都力争将先进低碳技术掌握在自己手中,且部分国家已提前一步实现了碳达峰,与我国有几十年的差距。在今后的国际贸易中,低碳指标势必会成为一些发达国家制约我国机械工业技术装备出口的新的国际贸易壁垒。随着CBAM的正式生效,作为钢铁、铝等行业的下游产业,同时作为水泥、铝、电力等的技术装备供给行业,机械工业技术装备产品必然也会受到CBAM的影响。

3 机械工业应对碳达峰、碳中和的措施

机械工业产品种类多、辐射面广、带动性强,是我国实现碳达峰碳中和的关键和根本。分析钢铁、有色金属、石油石化、建筑、交通、农业等重点行业领域对机械工业产品结构和技术创新的影响及需求,梳理“双碳”目标下机械工业低碳发展的新思路新思维,提出机械工业应对碳达峰碳中和的思路措施,可为我国实现“双碳”目标提供低碳技术装备保障。

3.1 机械工业节能降碳现有措施

3.1.1 发布行业五年规划,全面推进节能绿色发展

机械工业发布了《机械工业“十四五”发展纲要》(<https://weibo.com/ttarticle/p/show?id=2309404636752441901288>),将绿色发展作为行业重要战略任务之一。一方面,强调加快新能源装备、智能电力控制设备等战略性新兴产业的发展,推动机械工业数字化、信息化深度融合,加快新能源汽车、服务机器人、节能环保设备等领域的发展。另一方面,强调全面推进行业节能与绿色制造,加强节能技术装备的研发及推广,针对重点用能企业开展节能诊断,开展生产过程清洁化改造、资源循环利用,加快推动绿色低碳能源消费等,从各环节入手,覆盖行业生产制造全过程。

3.1.2 实行业绿色制造专项和绿色制造体系建设

2006~2015年,科技部实施了“绿色制造关键技术与装备”国家科技支撑计划重大项目和《绿色制造科技发展专项规划》,通过连续10年科技项目支持,初步构建了以共性关键技术为基础,以传统产业绿色转型为抓手,以新兴产业绿色技术为突破口,以行业区域绿色技术产业化为重点的绿色制造技术支持体系^[12]。2016年以来,机械行业积极落实工信部绿色制造体系建设,开展了7批绿色工厂、绿色供应链、绿色工业园区、绿色设计产品的能力提升,行业绿色制造水平

显著提升。

3.1.3 开展节能技术装备遴选与推广交流

组织开展了多批国家工业节能技术装备遴选及“能效之星”产品推荐工作,在各工业行业遴选了一批可推广、可复制、节能潜力大的先进适用节能技术,评选出了一批量大面广、技术水平先进、能效领先的终端用能设备(产品),保障了当前和今后一个时期内我国节能降碳市场技术装备的有效供给。

3.1.4 持续完善绿色低碳标准体系建设

机械工业近年来结合工业和信息化部节能与综合利用标准体系、绿色制造标准体系,编制形成了《机械工业节能标准体系》《机械工业碳达峰碳中和标准体系》。2022年成立了工业和信息化部机械工业节能技术装备行业标准化工作组,加强综合性、系统性、交叉融合性节能低碳标准的编制工作。目前,机械工业节能绿色低碳标准共计548项,其中,节能绿色标准占主要内容,碳达峰碳中和方面的标准较少,《温室气体排放核算与报告要求:机械装备制造》国家标准正在报批阶段,有个别产品编制了碳足迹和全生命周期评价标准,如GB/T 40093-2021变压器产品生命周期评价方法、DB4403/T 286-2022产品碳足迹评价技术规范 印刷品等。机械工业双碳标准制定处于起步阶段,标准体系存在诸多空白,尤其是低碳技术装备标准、主要耗能产品碳足迹标准欠缺。未来将加大低碳技术装备、制造过程减碳、可再生能源装备等领域标准的制定。

3.2 机械工业应对碳达峰碳中和的总体思路

机械工业生产过程主要消耗能源以电能为主,经统计,部分机械工业企业的万元产值综合能耗值下降了34%,年均下降近10%(<https://www.163.com/dy/article/G86UR02B0511D0C3.html>)。按照目前对机械工业发展速度预测,机械工业年均总产值增长6%~8%,如果能实现万元产值能耗下降5.66%~7.41%,机械工业即可实现综合能耗进入平台期。

同时,机械工业装备在长期生产运行过程中的温室气体排放量也不容小觑。以变压器为例,表2为某变压器产品全生命周期碳排放量统计情况,可以看出,按照产品全生命周期计算产品碳足迹,产品使用环节对产品全生命周期温室气体排放影响最大,其次是原材料生产环节。

从机械工业的能源消耗和碳排放特点来看,机械工业应对碳达峰碳中和要兼顾自身制造端的节能降碳以及使用端技术装备的供给。图2为机械工业应对碳达峰碳中和的总体思路,一方面,要建立完善机械工业绿色制造体系,实现制造过程绿色化,不断提升行业自身节能效力、降低温室气体排放。具体包括:加强可再生能源的利用,加强余热余能利用、能源管控系统利用等;加强绿色产品设计,开展生态设计、轻量化设计、节材设计;加强绿色制造工艺的推广,比如无模铸造、一体化压铸成型、精密冷锻、激光热处理、高效节

表2 某变压器产品全生命周期碳排放量统计

Table 2 Carbon emissions throughout the entire life cycle of a transformer product

产品生命周期阶段	碳排放量(kg CO ₂ eq.)	占比(%)
原材料获取阶段	3769.03	0.80
生产制造阶段	72.60	0.02
运输销售阶段	0.045	0
使用阶段	465000	99.18
回收阶段	24.20	0
总计	468865.88	100

能表面处理技术、增材制造等；加强产品再制造和材料循环再利用；建立绿色供应链，加强产业布局生态化。另一方面，要加强产品供给低碳化，密切关注用户侧的节能降碳需求，在提高传统高效节能产品供给量的同时，也要加快新兴绿色低碳技术装备的供给。传统装备要实现高效低碳化，供给用户行业高效低碳用能设备，例如发展电动工程机械、生态农业装备、环保输变电设备、环保制冷设备等。同时，要加强可再生能源装备、储能技术装备等新兴低碳技术装备的发展。

3.3 机械工业应对碳达峰碳中和的主要措施

3.3.1 加快形成机械工业绿色、低碳、循环的产业体系

如图3所示，机械工业要加强绿色制造体系建设，通过绿色产品的设计制造，实现产品全生命周期的绿色化，进一步

创建绿色低碳工厂，实现制造过程的绿色化，然后对产业链的上下游企业加强协调，实现产业链的绿色化，最后从园区角度创建绿色园区，实现园区范围的绿色低碳协同发展。做好机械工业与上下游产业间的绿色协同，从原材料、产品、制造过程、绿色运输、产品回收与再制造等全生命周期加快形成绿色、低碳、循环的产业体系。

3.3.2 调整优化产业结构，持续开发推广高效节能设备(产品)

在“双碳”目标的背景下，机械工业能耗较大的装备产品生产和出口，将面临国家宏观政策的调控，必须及时进行产业结构的调整和优化：燃煤发电设备转型；风电、太阳能发电合理布局；氢能制备、存储、运输等技术装备的布局；轴承、齿轮箱、内燃机等面临新能源汽车快速发展形势下的布局和调整等。同时，高效节能产品、可再生能源利用产品将成为节能减碳、再电气化的主要载体，要加快量大面广的高效节能产品的研发与推广，尤其要推广通用高效节能设备，同时对用电设备的运行进行优化以实现节电，如提高电机功率因数以及实施节能管控等。

3.3.3 建设机械工业“双碳”服务平台，加快推进机械工业碳达峰碳中和标准体系建设

积极建设机械工业“双碳”服务平台，建立碳足迹核算基础数据库、绿色低碳技术装备数据库，加快推进节能低碳诊断、低碳技术装备推广、碳排放核算、企业低碳信息披露等低碳服务，开展节能技术装备能效标准提升行动，尤其要研究制定包括机械工业技术装备碳足迹、企业碳排放核查等相关的标准与评价指标体系构建、评价方法研究。2023年



图2 机械工业应对碳达峰碳中和的总体思路

Figure 2 The overall approach of mechanical industry to cope with carbon peaking and carbon neutrality



图 3 绿色制造体系

Figure 3 Green manufacturing system

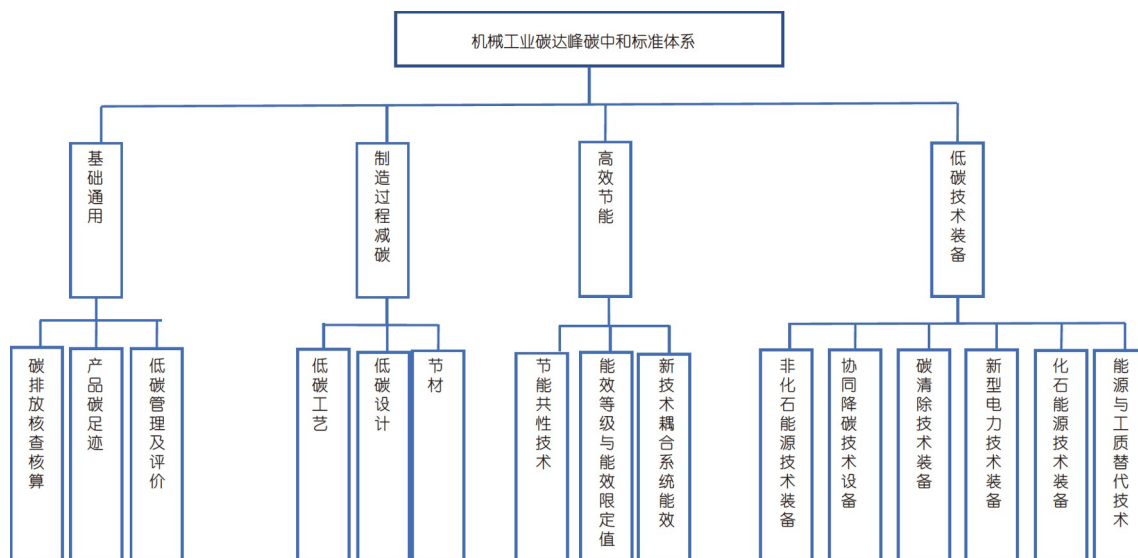


图 4 机械工业碳达峰碳中和标准体系

Figure 4 Standard system for carbon peak and carbon neutrality in mechanical industry

4月, 国家标准化委员会等11部门联合印发《碳达峰碳中和标准体系建设指南》, 提出到2025年, 制修订不少于1000项国家标准和行业标准(包括外文版本)。机械行业也开展了机械工业双碳标准体系研究, 图4为机械工业碳达峰碳中和标准体系框架, 提出从基础通用、制造过程减碳、高效节能、低碳技术装备等角度加强标准体系建设。

3.3.4 加强低碳科技创新, 完善“双碳”人才培养机制

依托国家重点研发计划及机械工业领域重大科技项目, 围绕研发先进深度脱碳技术、先进能源技术以及低碳技术装备、新材料技术、现代控制技术, 建立行业绿色低碳技术创新平台, 开展风电、光电、光热、核电配套技术装备以及能源互联技术装备的制造技术, 新兴动力技术装备、碳捕

集与利用技术装备等的前期预研及技术创新。

完善新技术人才培养和成长机制。聚焦“双碳”重点领域, 结合碳达峰碳中和新形势新要求, 组织开展大规模知识更新继续教育, 培养“双碳”专业急需紧缺技能人才; 加强能源管理、能源审计、碳排放权交易、碳排放统计核算、建筑节能降碳管理、绿色金融等专业技术技能培训; 加强先进制造“复合型”人才培养, 重视“工匠精神”和“工匠队伍”培育, 强化新能源、储能、氢能等技术装备领域人才队伍建设。

3.3.5 加快全球制造业合作, 加强低碳技术与标准的国际交流与合作

实现“双碳”目标重点是能源结构调整、产业结构调整, 需要围绕物质流、信息流、能量流等进行技术设备和匹配。目前全球制造业的格局已经多元化、系统化、网络化,

全球产业链的协同与技术信息的交流十分重要;而且,应对全球气候变化是一个世界性、系统性问题,要树立低碳技术与装备发展造福于全人类的理念,加强全球制造业合作,共同推进,形成合力。尤其要在“双碳”标准体系这一事关碳达峰碳中和目标实现的基础支撑性工作上,强化国际交流与合作,推动机械工业“双碳”领域国内国际标准对接,开展碳达峰碳中和国内国际标准比对分析,重点推动机械工业企业温室气体管理、技术装备产品碳足迹、清洁生产、节能等领域适用的标准转化与互认工作;加强与联合国政府间机构的合作对接,跟踪最新国际动态,通过产品与服务贸易、国际合作、海外工程等多种渠道扩大我国标准海外应用,争取机械工业“双碳”标准的国际话语权。

4 总结与展望

碳达峰碳中和目标实现的全过程离不开技术装备的支撑:一方面,能源结构的加速调整,需要从依靠资源向依靠技术装备转变;另一方面,高耗能高排放行业的低碳转型,碳捕集、碳封存、碳利用技术的发展等,都必须以相应的技术装备为载体。展望未来,实现“双碳”目标大致分为4个阶段:碳达峰阶段,机械工业低碳变革主要以节能提效为主;从相对减排向绝对减排快速平稳过渡阶段以及加速减排降碳阶段,这两个阶段机械工业重点要发展新能源装备和低碳技术装备;最后一个阶段为碳中和攻坚达标阶段,此阶段机械工业以发展零碳及负碳技术装备为主。

致谢 感谢机械工业技术发展基金(2021J022)资助。

推荐阅读文献

- 1 Wu Q, Tu K, Zeng Y F. Reflections on several issues concerning China's energy strategic situation under the vision of carbon peaking and carbon neutrality (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2023, 68: 1884–1898 [武强, 涂坤, 曾一凡. “双碳”目标愿景下我国能源战略形势若干问题思考. 科学通报, 2023, 68: 1884–1898]
- 2 He Y L, Li Y S. Frontiers and challenges in hydrogen energy (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2022, 67: 2113–2114 [何雅玲, 李印实. 氢能技术科技前沿与挑战. 科学通报, 2022, 67: 2113–2114]
- 3 National Bureau of Statistics. Bulletin on National Economic and Social Development of the People's Republic of China in 2021 (in Chinese). *China Stat*, 2022, (3): 9–26 [国家统计局. 中华人民共和国2021年国民经济和社会发展统计公报. 中国统计, 2022, (3): 9–26]
- 4 Du X W. Frontiers and future directions of energy science and technology (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2017, 62: 780–784 [杜祥琬. 能源科技发展前沿及未来方向. 科学通报, 2017, 62: 780–784]
- 5 Zou C N, Xiong B, Xue H Q, et al. The role of new energy in carbon neutral (in Chinese). *Pet Explor Dev*, 2021, 48: 411–420 [邹才能, 熊波, 薛华庆, 等. 新能源在碳中和中的地位与作用. 石油勘探与开发, 2021, 48: 411–420]
- 6 Su J, Liang Y B, Ding L, et al. Research on China's energy development strategy under carbon neutrality (in Chinese). *Bull Chin Acad Sci*, 2021, 36: 1001–1009 [苏健, 梁英波, 丁麟, 等. 碳中和目标下我国能源发展战略探讨. 中国科学院院刊, 2021, 36: 1001–1009]
- 7 Cai W C, Zhao X M, Yao Z J. Review and Prospects of China's Machinery Industry (in Chinese). Beijing: China Machinery Industry Press, 2013 [蔡惟慈, 赵新敏, 姚之驹. 中国机械工业回顾与展望. 北京: 机械工业出版社, 2013]
- 8 Wang R X. Continuously improving China's overall equipment level with new manufacturing forces—Speech at the Third China Manufacturing Summit Forum (in Chinese). *Pract Repl Enterpr Manag*, 2017, 12: 12–13 [王瑞祥. 以新制造力量不断提升我国整体装备水平——在第三届中国制造高峰论坛上的讲话. 企业管理实践与思考, 2017, 12: 12–13]
- 9 Notice of the State Council on Printing and Distributing the Action Plan for Carbon Peak by 2030 (GF [2021] No. 23) (in Chinese). *China Steel Industry*, 2021, (10): 10 [国务院关于印发2030年前碳达峰行动方案的通知(国发(2021)23号). 中国钢铁业, 2021, (10): 10]
- 10 China Foundry Association. The 14th Five Year Plan for the development of the foundry industry (in Chinese). *Foundry Eng*, 2021, 45: 1–14 [中国铸造协会. 铸造行业“十四五”发展规划. 铸造工程, 2021, 45: 1–14]
- 11 Hou R. Adhering to systematic concept and promoting energy efficiency improvement of industrial equipment (in Chinese). *China Tire Resour Compr Util*, 2022, (8): 2 [侯睿. 坚持系统观念, 推进工业装备能效提升. 中国轮胎资源综合利用, 2022, (8): 2]
- 12 Wang X G. Analysis of the current situation of China's industrial green manufacturing system (in Chinese). *Dev Innov Mech Electr Prod*, 2018, (4): 1–3, 23 [汪晓光. 我国工业绿色制造体系建设现状分析. 机电产品开发与创新, 2018, (4): 1–3, 23]

Summary for “机械工业应对‘双碳’的机遇与挑战”

Opportunities and challenges for the mechanical industry in response to carbon peaking and carbon neutrality

Rui Hou^{1,2}, Zhuoya Qi^{1,2*} & Jing Wang^{1,2}¹ China Machinery Technical Development Foundation, Beijing 100045, China;² Mechanical Industry Energy and Resource Conservation Center, Beijing 100045, China* Corresponding author, E-mail: qizy@cmtf.net.cn

The mechanical industry supplies required low-carbon technology and equipment to various industries which is an important guarantee for various industries to achieve the carbon peaking and carbon neutrality goal. Compared with the operational process of mechanical equipment, carbon emissions are less during the manufacture and installation of mechanical equipment. Therefore, from the viewpoint of the whole life cycle, the mechanical industry is as equally important as other energy-intensive industries for achieving the targets of Energy Conservation and Emission Reduction. The energy efficiency exhibited by machinery and equipment is the main factor affecting carbon emissions; hence, the main objective is to provide energy-efficient products. The machinery industry not only faces issues in terms of domestic and international competition but also encounters challenges for industry chain upgrading. Most areas in the machinery industry, such as the market demand, industrial structure, and manufacturing process, will be affected by China's Carbon Emission Peak and Neutrality. Low-carbon technology equipment will develop rapidly. Efficient energy consumption and new process equipment, which can adapt to energy adjustments, will increase significantly. Industries such as electric vehicles, electric engineering machinery, and energy storage technology equipment will develop rapidly. At the same time, the manufacturing process of the mechanical industry will undergo profound changes, especially the traditional energy heating process will face challenges. The competitive elements of mechanical industry products will change, and the competition for technological innovation will become more intense. Reducing carbon emissions in the manufacturing process and supplying low-carbon equipment to other industries are the optimal paths for the machinery industry to realize the targets of China's Carbon Emission Peak and Neutrality. First, completing the green manufacturing system is important to enhance the benefits of energy saving in the machinery industry. The measures for this purpose include using renewable energy and recycling waste heat, improving the green product design and green manufacturing process, product and material recycling and reusing, and establishing green supply chains. Second, advancements in green product should be realized to supply low-carbon products to satisfy the users' demands for energy saving and carbon reduction. Meanwhile, it is important to continue research and develop renewable energy equipment, energy storage equipment, and other low-carbon technology equipment. This article proposes the development of an advantageous circulation system for green low-carbon development in the machinery industry to realize carbon peak and neutralization. To achieve this target rapidly, this paper suggests optimizing the industrial structure and developing energy-efficient equipment. Moreover, the relevant organizations need to construct low-carbon service platforms to improve low-carbon standard systems, encourage related institutions to innovate in the field of advanced low-carbon technologies, and improve talents via suitable arrangements with educational institutions in the low-carbon field. Finally, this paper proposes promoting manufacturing cooperation on a global scale to communicate low-carbon technologies and standards.

mechanical industry, carbon peak and carbon neutrality, low carbon technology and equipment, structural adjustment, response measures

doi: [10.1360/TB-2023-0602](https://doi.org/10.1360/TB-2023-0602)