

机械制造工艺

2016年4月10日出版

2016年第2期·总第217期

编印单位：中国机械制造工艺协会
发送对象：中国机械制造工艺协会会员单位
印刷单位：北京印刷学院实习工厂
印 数：2000册
出 版：中国机械制造工艺协会
网 站：www.cammt.org.cn
电 话：010-88301523
传 真：010-88301523
邮 件：cammt_bjb@163.com

《机械制造工艺》编委会

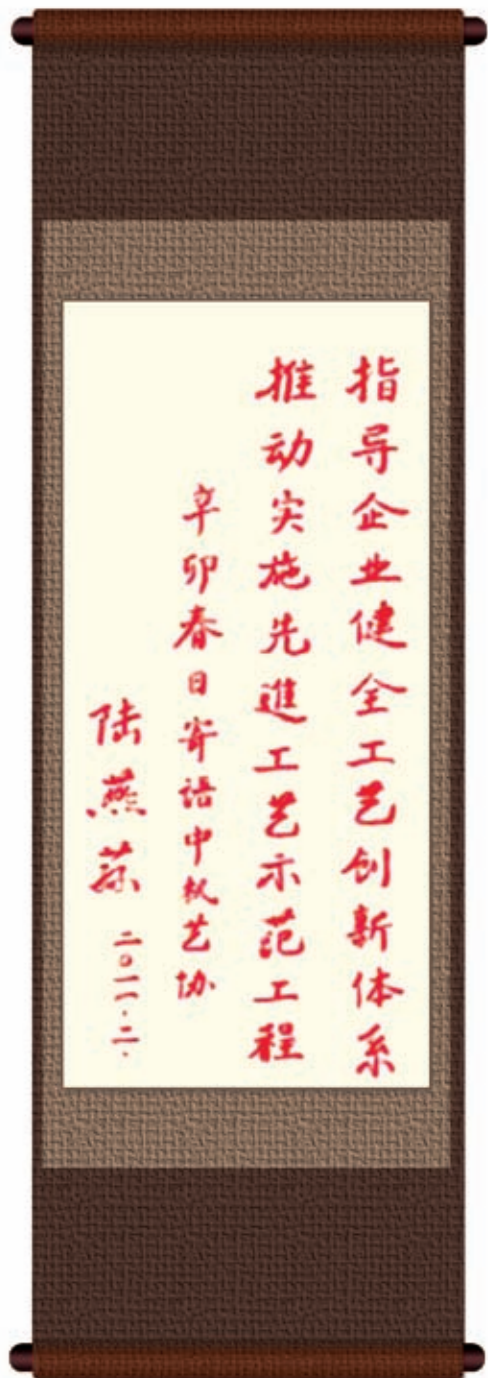
主任委员：王西峰
名誉主编：卢秉恒
副主任委员：单忠德 祝宪民
主 编：单忠德
责任编辑：徐先宜 田 媛 王争鸣

委员（按姓氏笔画排序）

王至尧 王绍川 龙友松 史苏存 刘泽林
李成刚 李敏贤 李维谦 朱均麟 杨 彬
杨尔庄 谷九如 张 科 张伯明 张金明
邵泽林 陈祖蕃 陈维璋 罗志健 周志春
郭志强 战 丽 费书国 夏怀仁 聂玉珍
徐先宜 蒋宝华 蔺桂枝 谭笑颖

中国机械制造工艺协会第五届理事会

名誉理事长：何光远 陆燕荪
高级顾问：张伯明 郭志坚 张德邻 曾宪林
朱森第 李 冶 王至尧
顾问：刘明忠 田东强 刘 红 史建平
郭恩明 徐域栋 周清和 庞士信
依英奇 朱 鹏 刘仪舜
理 事 长：王西峰
常务副理事长：单忠德
副 理 事 长：（排名不分先后）
卢秉恒 刘泽林 董春波 费书国
郭志强 李成刚 李维谦 龙友松
史苏存 王 政 张金明 张 科
祝宪民 陈宏志 梁清延 左健民
王继生 苗德华
秘 书 长：战 丽



<u>会员传真</u>	P01
<u>行业动态</u>	
机械工业经济运行速度减缓 结构调整步伐加快	P04
<u>协会动态</u>	
中国机械制造工艺“十三五”发展研讨会在京召开	P07
<u>专家视点</u>	
中国制造2025与3D打印	P08
绿色制造助推绿色发展	P13
低碳制造的关键技术及其应用	P15
<u>工艺创新</u>	
车辆辅助安全驾驶系统在重型车辆上的应用研究	P21
1000MW级汽轮发电机定子线圈模具研制	P25
精益设计在金刚镗床升级改造中的探索及应用	P30
<u>优秀成果</u>	
一种平板蒙皮胶粘结构高精度铝合金反射面板及其制造方法	P38
YT28K型中风压气腿式凿岩机	P39
<u>协会通知</u>	
关于组织2016年中国机械制造工艺终身成就奖、杰出青年奖、优秀工艺师奖评选活动的通知	P40
关于开展2016年度“百强制造工艺创新基地”评选活动的通知	P41
关于组织召开2016年全国机电企业工艺年会的通知（第一号）	P42

中信重工三个项目荣获2015年度国家科学技术奖

发布时间: 2016-01-10 文章来源: 中信重工机械股份有限公司网站

1月8日,中共中央、国务院在人民大会堂隆重举行2015年度国家科学技术奖励大会,习近平、李克强、刘云山、张高丽等党和国家领导人出席大

会,并向获奖者颁奖。中信重工机械股份有限公司申报的《中信重工高端矿山重型装备技术创新工程》、《12000吨航空铝合金厚板张力拉伸装备研制

与应用》两个项目获得国家科技进步奖二等奖,《年产千万吨级矿井大型提升容器及安全运行保障关键技术》项目获国家科技发明奖二等奖。

公司总经理俞章法和专员、总工程师王继生代表公司出席奖励大会。

国家科学技术奖是我国最高级别的科技奖项,公司三个项目同时获奖,不仅创造了公司获奖新纪录,更体现了公司的技术创新优势和研发实力。

陕鼓动力一项节能技术入选《国家重点节能低碳技术推广目录》

发布时间: 2016-01-22 文章来源: 陕西鼓风机(集团)有限公司网站

近日,国家发改委公布了“关于《国家重点节能低碳技术推广目录(2015年本,节能部分)》的公告”(2015年第35号),其中,陕鼓动力“硝酸生产反应余热余压利用技术”成功入选,位列目录第116项。之前,陕鼓动力的“冶金余热余压能量回收同轴机组应用技术”、“大型高炉长周期

高效运行的干式TRT装置”两项技术也已入选该目录。

硝酸生产反应余热余压利用技术是将硝酸生产工艺流程中产生的反应余热、余压进行回收,转化的机械能直接补充在轴系上,用于驱动机组,可减少能量多次转换损耗,提高能量利

用效率。同时,向装置外外送蒸汽,使余热余压最大化利用。该技术配合双加压法稀硝酸生产工艺,与采用综合法和中压法的硝酸生产相比,可显著降低生产电耗,此项技术已广泛应用于化工行业硝酸生产流程的能量回收应用领域。

陕鼓动力该技术打破了国外对硝酸装置的技术垄断,实现了硝酸生产流程余热余压回收装置大型化、国产化。预计未来5年,该技术在行业内可形成的年节能能力为50万吨标准煤,年碳减排能力为132万吨二氧化碳,将有力推动工业领域的节能减排。

锡柴CA6DLD机通过欧盟欧V排放认证试验

发布时间: 2016-01-25 文章来源: 一汽解放汽车有限公司无锡柴油机厂网站

近日,锡柴CA6DLD系列柴油机一次性通过了欧盟欧V认证试验,获得了英国交通部车辆认证署VCA颁发的欧盟欧V排放认证证书。

CA6DLD系列柴油机是锡柴出口智利等高端重卡市场的主流发动机,为满足锡柴出口市场需要,销售公司

海外市场部于2015年12月邀请英国交通部车辆认证署VCA的认证专家前来锡柴产品试验室进行欧V认证试验,最终,锡柴CA6DLD系列柴油机顺利通过了严格的认证试验,英国交通部车辆认证署VCA向锡柴颁发了欧盟欧V排放认证证书。

进军海外市场是锡柴十三五规划中的重要任务,在海外市场上推广锡柴奥威高端柴油机是向海外客户展示锡柴“动力超市”的高端形象的必要条件。目前锡柴稳步推进各类高端产品进入海外市场,逐步实现“出口高端产品,树立高端品牌”的出口策略。

哈电集团响水涧抽水蓄能机组 关键技术研究及设备研制整体达 国际先进水平

发布时间: 2016-02-17 文章来源: 国资委规划发展局信息中心网站

随着大型火电站、核电站、风电的集中投入和迅速发展,系统负荷的峰谷差日益增大,对电网的灵活性、安全性、稳定性和调节能力提出了更高的要求。抽水蓄能电站具有双倍调峰功能,可快速跟踪负荷,降低运行成本,为电网提供紧急事故备用和“黑启动”;还可承担调频、调相等任务,改善系统火电机组的运行条件,与核电和风电机组配合运行,使整个电网处于安全、经济、稳定运行状态。我国抽水蓄能机组技术开发起步较晚,与世界先进水平相比有较大差距,导致建成的大型抽水蓄能电站机组严重依赖

进口。

哈电集团所属哈尔滨电机厂有限责任公司瞄准技术难点,组织内部研发力量开展响水涧抽水蓄能机组关键技术研究及相关设备研制项目研究,取得重大成果。一是完成水泵水轮机总体设计,突破水泵水轮机系列关键核心技术,并开发出性能优良的HLNA999转轮。二是完善抽水蓄能机组发电电动机电磁设计理论,确定了较先进的发电电动机总体结构设计方案。三是自主开发了抽水蓄能机组控制系统装置和系统集成技术,填补国



内多项技术空白。经过持续努力,哈电集团成功开发出国内第一台具有自主知识产权的抽水蓄能机组。

该成果获得专利15项,制修订技术标准5项,发表论文48篇,其中SCI 7篇、EI 9篇,获省部级科技进步奖3项。响水涧抽水蓄能机组自投入商业运行以来,运行稳定可靠,各项运行指标均达到国际先进水平,打破了国外公司对蓄能技术的垄断状况,为国家节约了大量的外汇,标志着我国已经具备独立研发制造大型抽水蓄能机组的能力,为全面实现我国大型抽水蓄能机组国产化积累了宝贵的经验。

航天科工应用于航天通讯的某型 温补晶体振荡器实现自主可控

发布时间: 2016-02-18 文章来源: 中国航天科工集团公司网站

近日,由中国航天科工二院203所承担的应用于航天通讯的某型温补晶体振荡器研制项目顺利通过项目验收,标志着此型号晶体元器件实现国产化替代,具备自主可控能力。

该温补晶体振荡器研制项目是根据产品需求,比照国外某公司系列晶体振荡器的性能指标,开展实现插拔替换的国产化替代研制项目。该晶振采用全新的结构设计并对电路进行优

化,实现了温补晶体振荡器的小型化,产品的封装和安装面积与进口产品一致,可以实现与进口产品的插拔替换,而且高度相比进口同类产品降低了两毫米。该晶振的频率温度稳定性和稳态相位噪声都达到了较高的水平,还具有抗辐照、抗静电、抗振性好等特点,产品可靠性高,性能指标已经达到或超过了同类进口产品。

晶体振荡器作为卫星、火箭等的



频率源的“心脏”元件,对整机性能起着举足轻重的作用,该晶体振荡器可以广泛应用于航天飞船、卫星及电子通信、控制领域,为整机提供基准频率信号,具有广阔的应用价值。此产品研制成功为高端晶体振荡器实现自主可控迈出可喜的一步,从而进一步构建了航天元器件自主保障体系。

中国一拖里科公司“无轨胶轮车”产品再添新丁

发布时间: 2016-02-23 文章来源: 中国一拖集团有限公司网站

2月4日,中国一拖里科公司大院广场,5辆白色车身、造型独特的“无轨胶轮车”整装待发,这是该公司为陕西省神木地区中小型煤矿打造的“专属”车辆,不久将发往大柳塔煤矿。

“无轨胶轮车”是中国一拖里科公司三项主要发展业务之一,也是“十三五”期间重点发展的业务之一。针对该业务,2016年中国一拖里科公司将逐步丰富产品线,完善产品组合,全面满足煤矿辅助运输车辆需求。同时,中国一拖里科公司还将持续提升

产品价值,打造高端“悍马”型人车、液力变矩器人车及料车等产品,并通过技术及服务优势,进一步拓展市场。

据了解,本次将要发出的车辆,是中国一拖里科公司依据陕西省神木地区71家中小煤矿的运输需求,进行充分的市场调研,满足客户个性化需求,开发的“神木专用低煤层”车辆,车辆高度仅为1.4米,是国内最低的矿井巷道运输车辆。该车依据煤矿安全标准,在东方红工程车辆行走系统的基础上,嫁接、引用搬运机械液压转

向系统,改进驾驶操作系统,具有爬坡能力强、污染低、驾驶舒适等特点,满足2米以下高度的煤矿巷道运输。据统计,仅神木地区该类车辆的年需求就达800辆左右,具有较大的市场前景,预计2016年该产品订购量将达150余辆。

本次发出的5辆“无轨胶轮车”产品,仅是中国一拖里科公司实施创新驱动、以研发创新推动转型升级的前奏,后续20辆“无轨胶轮车”产品正在生产中。

搭载玉柴YC6K的柳汽乘龙H7在邕上市发布 现场售出130辆

发布时间: 2016-02-29 文章来源: 玉柴集团网站

2月27日,乘龙H7玉柴6K机上市发布会在南宁市隆重举行,延续了1月底在玉林市发布的火爆场面。仅仅半个小时,发布会现场斩获130台订单。

据了解,乘龙H7是乘龙汽车基于优势资源历时三年打造的高端重卡平台,它从设计之初就导入欧美先进设计理念,融汇多项国际先进卡车技术,搭载玉柴YC6K460发动机。这

款发动机是根据国内使用环境打造的一款高性能发动机,具有460马力的强劲动力输出,最大扭矩能够达到2200Nm,经济转速宽至1000转~1500转,低转速大扭矩为乘龙H7带来出色的起步加速以及爬坡能力。其匹配皆可博缸内制动,制动功率高达25kW/L,制动效率提高25%,缩短车辆制动距离,同时降低轮胎和刹车片磨损,使

刹车片使用寿命延长3~4倍,一年可节约成本1.5万元;采用凸轮轴顶置、滚轮摇臂等重型发动机高端技术,最低油耗、额定点油耗比世界先进水平低5~8%。

据介绍,玉柴与柳汽还将在湖南、江西、广东等地开展联合推广活动。

机械工业经济运行速度减缓 结构调整步伐加快

2015年全年机械工业经济运行形势信息发布会在京召开

发布时间: 2016-02-19 文章来源: 机经网

内容摘要: 2月19日, 2015年全年机械工业经济运行形势信息发布会在京召开, 中国机械工业联合会执行副会长陈斌、中国机械工业联合会副秘书长兼统计与信息工作部主任赵新敏、中国汽车工业协会副秘书长姚杰出席会议, 会上陈斌副会长通报了2015年以及“十二五”期间机械行业发展情况, 并在分析展望2016年机械工业经济运行情况时指出: 2016年机械工业将延续上年四季度以来的低位趋稳态势, 全年增速将与2015年相近。具体而言, 预计全年机械工业增加值增速在5.5%左右, 主营业务收入和利润增速在3.5%左右, 对外贸易出口有望实现正增长。

2015年, 在世界经济环境错综复杂、国内经济下行压力加大的背景下, 机械工业认真贯彻落实中央关于“稳增长、调结构”的工作要求, 努力拼搏、承压前行。全行业经济增长速度减缓, 但主要经济指标仍实现正增长; 在市场倒逼和政策引导下, 结构调整步伐加快, 转型升级力度加大。

展望2016年, 行业发展仍有较大下行压力, 困难和问题依然很多, 但信心和决心仍在。机械工业将全面贯彻落实党的十八大和十八届三中、四中、五中全会精神, 认真落实中央经济工作会议决策部署, 以实施《中国制造2025》为抓手, 以市场为导向、以企业为主体, 以创新为根本, 在保持机械工业平稳发展的基础之上, 推进机械工业结构调整、转型升级、降本增效, 努力实现行业的健康发展。

1 2015年机械工业经济运行情况

1.1 主要经济指标增速明显回落

(1) 发展速度低于工业平均水平

2015年机械工业增加值同比增长5.5%, 低于上年增速4.5个百分点, 低于同期全国工业平均增速(6.1%)0.6个百分点。机械工业增加值增速低于全国工业平均增速为近年来少有, 凸显了行业形势的严峻性。

(2) 主营业务收入增速回落明显

2015年机械工业累计实现主营业务收入22.98万亿元, 比上年增长3.32%, 增速比上年回落6.09个百分点, 但高于同期全国工业增速(0.8%)2.52个百分点。

(3) 七成产品产量下降三成增长

2015年国家统计局公布的64种主要机械产品中, 产量增长的仅有18种,

占比为28.13%, 产量下降的有46种, 占比为71.87%。具体分析表明, 大型投资类产品如冶金矿山设备、工程机械、常规发电设备等和产能严重过剩的普通机械产品如各类普通机床、交流电动机、电线电缆等产量下降较大; 大马力拖拉机、仪器仪表、环保设备仪器、电动叉车、风力发电设备、汽车中的运动型多用途乘用车(SUV)等与消费、民生、节能减排、产业升级密切相关的产品产量保持增长。

数控机床产量为23.5万台, 同比下降9.53%。

大型拖拉机产量为7.74万台, 同比增长33%。

发电设备产量1.1亿千瓦, 同比下降17.2%, 但保持了连续10年产量超过1亿千瓦。

汽车产销分别为2450.33万辆和2459.76万辆, 同比分别增长3.25%和

4.68%，产销双双突破2450万辆，再创历史新高，连续第七年居于世界第一。

1.2 利润增速低于主营业务收入增速

2015年机械工业经济效益增速低于主营业务收入增速，亏损企业和亏损额增加。全年累计实现利润总额1.6万亿元，比上年增长2.46%，增速比上年回落8.15个百分点，比同期主营业务收入增速低0.86个百分点。主营业务收入利润率为6.96%，较上年同期下滑0.06个百分点。全年实现税金总额8869亿元，比上年增长5.08%；企业亏损面12.82%，比上年上升2.85个百分点；亏损企业亏损额增长19.29%。

1.3 外贸进出口双双下降顺差加大

2015年机械工业对外贸易呈现减速下行趋势，全年累计实现进出口总额6665亿美元，同比下降8.13%。其中进口2777亿美元，同比下降14.06%；出口3888亿美元，同比下降3.36%，出现了自2009年国际金融危机以来少有的负增长。全年贸易顺差创1110亿美元的历史新高。

1.4 固定资产投资增速持续回落

2015年机械工业累计完成固定资产投资4.9万亿元，同比增长9.7%，增速低于全社会固定资产投资0.3个百分点，高于制造业1.6个百分点，与上年机械工业的增幅相比回落了3.02个百分点，增速已连续四年回落。

1.5 需求疲软导致订货下降、价格持续低迷

中低端产品产能过剩、市场需求不足导致机械产品订货下降、价格低迷。2015年机械工业重点联系企业累计订货延续了上年的疲软态势，且增速进一步回落，同比始终处于负增长，1-12月累计同比下降4.02%，预计未来

一段时间需求不旺仍是机械工业面对的重要挑战之一。

机械工业产品价格指数延续了上年低位运行的态势，至2015年底止，机械产品累计价格指数已连续48个月低于100%。142种主要机械产品中，累计价格指数同比下降的有103种，占比高达72.5%。

2 “十二五”机械行业发展情况

“十二五”是机械工业发展不平凡的时期，回顾五年来，机械工业是在复杂和困难环境中砥砺前行。

2.1 行业经济得到发展，但增长速度明显放缓

“十二五”期间，机械工业的规模进一步扩大，但主要指标增速持续下行。

规模上，总资产由2010年的10.97万亿元增至2015年的19.27万亿元，增速由“十一五”的年均增长23.55%回落至年均增长11.91%。

产出上，主营业务收入由2010年的13.96万亿元增至2015年的22.98万亿元，增速由“十一五”的年均增长27.9%回落至年均增长10.48%。

效益上，利润总额由2010年的1.17万亿元增至2015年的1.6万亿元，增速由“十一五”的年均增长30%以上回落至年均增长6.45%。

对外贸易上，出口总额由2010年的2585亿美元增至2015年的3888亿美元，年均增长8.51%；贸易顺差由2010年的31.36亿美元增至2015年的1110亿美元，增长35倍。

随着工业化初中期向中后期阶段转变，今后机械工业的发展已进入增长更趋平缓的新时期。

2.2 市场需求结构发生变化

与“十五”“十一五”期间全面快速增长不同的是，机械工业各分行业在进入“十二五”后期，市场需求结构发生了变化，变化的主要标志是分化加剧。

(1) 与民生、消费相关的产品或行业增长较快

以主营业务收入和利润增速为例，高于全行业平均水平的主要有运动型多用途汽车(SUV)、食品包装机械、农业机械、仪器仪表、环保机械等。

(2) 主要靠投资拉动的行业逐步回落

以主营业务收入和利润增速为例，低于全行业平均水平的行业主要是工程机械、石化通用、重型矿山、金切机床。这些行业均属机械工业中典型的投资类产品行业。

汽车行业内部也呈现“消费类子行业上升、投资类下降”的相同趋势。

(3) 与智能、绿色相关的行业产销形势比较好

与自动化、信息化和智能制造紧密相关的仪器仪表行业，保持较快的增长速度。电工行业中的特高压输变电设备形势明显好于常规产品；抽水蓄能机组形势好于常规水电机组；风电和光伏发电设备形势好于常规发电设备。

上述变化反映出，在我国经济结构加快调整，二产比重趋降、三产比重上升的背景下，机械工业逐步适应市场需求结构的变化，正在由以前主要服务于投资活动逐渐转向更多地关注和挖掘消费、民生和信息化、节能减排等领域的需求。

2.3 创新发展成果显著,产业结构调整步伐加快

在经济下行压力不断加大的背景下,“十二五”期间机械企业主动适应市场变化的能力不断提升、内生发展动力持续增强,产业结构调整持续推进。

(1) 自主研发成果频现

高端设备自主研发取得突破:大型核电、水电、火电和风电设备、特高压交直流及柔性直流输变电设备、油气长输管线关键装备、大型煤化工关键设备等高端装备自主研发成功。燃用准东煤350mw超临界锅炉研制成功并投入工程应用,对新疆经济发展意义重大。

高端控制系统国产化成果喜人:长期受制于进口的流程工业用DCS控制系统国产化取得成效,国产DCS系统市场份额已超越外资产品,并已具备参与国际竞争的實力。

(2) “三基”领域发展持续推进

一批长期依赖进口的关键基础件、核心零部件的国产化工作取得进展。高压绝缘套管、变压器出线装置、优质冷轧矽钢片、大型电站锻件、燃气轮机高温叶片、大型核电静密封装置、挖掘机配套高压阀、高端轴承、LNG低温高压铸造球阀等国产化水平显著提高。

(3) 创新助力发展

行业创新能力建设得到重视,对基础试验及试验能力建设的投入明显增大:制约新产品研发的基础试验检测平台建设取得进展,大型压缩机试验台、水轮模型试验台、电站安全阀试验台等平台相继建成,少数领域(如大电流和高电压试验能力)已达世界同行先进水平。

协同创新步伐加快:机械企业与企业、科研院所及设备研发工艺创新等领域的合作更加紧密、频繁。合作模式推陈出新,合作研发成效显著。

(4) 民营企业对行业发展的贡献不断加大

2015年民营企业实现主营业务收入13.57万亿元,同比增长6.48%,高于机械工业全行业平均增速3.16个百分点,占机械工业主营业务收入的比重达到59.05%,与2010年相比所占比重提高了7.79个百分点;实现利润总额为8860亿元,在机械工业实现利润中的比重已达到55.4%,比2010年提高8.94个百分点。

(5) 地区结构继续向预期方向调整

“十二五”期间机械工业区域结构继续向政策预期方向调整。2015年东、中、西部实现主营业务收入分别占机械工业总收入的65.02%、24.02%和10.96%,其中中西部地区比重较2010年提高了5.52个百分点;利润总额中,中西部地区的比重也由2010年的30.82%增至2015年的33.29%。

(6) 外延扩张趋缓,投资结构改善

“十二五”期间,机械工业固定资产投资增速逐年放缓,已由2010年增长30.35%回落至2015年的9.7%,表明行业前期快速扩张的趋势已经明显趋缓。同时投资结构有所改善,2015年用于改建和技术改造投资同比增速高于行业投资平均增速9.02个百分点。从比重看,2015年改建和技术改造投资占机械工业投资总额的27.9%,比2010年提高7.43个百分点。

(7) 对外贸易结构优化

“十二五”期间,机械工业对外贸易出口结构持续优化,一般贸易对

行业出口的支撑作用在增强。一般贸易出口在出口总额中的比重由2010年的52.3%增至2015年的60.51%,提高了8.21个百分点;一般贸易差额由逆差274.36亿美元,转变为顺差505.64亿美元。

(8) 积极探索转型发展新路径

智能制造、“互联网+”开始起步。自动生产线、数字化车间、现代物流等已在长三角、珠三角等地区形成一定规模;传统工程机械制造企业和农业机械制造企业已开展了“互联网+”的尝试,以开拓新的市场。

新业态、新模式不断出现。融资租赁营销模式在冶金、矿山等一批成套项目上开始探索;农机电子商务等新兴商业模式开始应用;传统企业向制造服务业的转型持续推进。

总之,近五年来机械工业积极调整、主动适应,在新常态中努力探索创新发展的道路。

3 2016年机械工业经济运行展望

2016年是“十三五”开局之年,标志着我国机械工业已经站在新的发展起点上。应该看到,由于国内外经济环境的变化,机械工业面对的矛盾与问题将更为复杂,结构调整与转型升级的任务将更加繁重。尽管如此,机械工业仍具备稳中有进的利好因素。一是中央经济工作会议明确了“稳中求进”的经济政策基调,强调了“去产能、去库存、去杠杆、降成本、补短板,提高供给体系质量和效益”等主要任务,并释放了保持宏观政策连续性和稳定性的信息,有利于机械行业推进结构调整与转型升级。二是《中国制造2025》以及相关配套政策相继

(下转07页)

中国机械制造工艺“十三五” 发展研讨会在京召开

2月1日上午,中国机械制造工艺“十三五”发展研讨会在机械科学研究总院召开,会议由中国机械制造工艺协会主办。原机械工业部副部长陆燕荪、中国机械工业联合会副会长、中国铸造协会常务副会长张立波、中国机械工业联合会副秘书长李冬茹、中国铸造协会副会长兼秘书长温平、中国锻压协会常务副理事长兼秘书长张金、中国热处理行业协会秘书长王晓明、中国模具工业协会秘书长武兵书,我会王西峰理事长、单忠德常务副理事长、刘泽林副理事长、张伯明高级顾问、王至尧高级顾问,以及各分支机构负责人等出席会议。会议由王西峰理事长主持。

会上,我会战丽秘书长介绍了中国机械制造工艺协会2015年工作情况及2016年工作计划,随后与会领导及专家就中国机械制造工艺“十三五”发展方向、重点等展开研讨,铸造协会、锻压协会、模具工业协会等负责



人分别介绍了各协会所涉及的制造工艺领域现状与存在问题、近期工作重点及下一步工作计划,单忠德常务副理事长表达了希望与各行业协会共同合作,群策群力为行业谋发展。

陆燕荪部长边听大家介绍情况边参与研讨,并指出希望各行业协会积极为中国机械制造工艺发展出主意、想办法,凝练成建议文本提交给国家有关部委,为国家政策制定当好参谋。

王西峰理事长总结讲话,他指出本次会议通过我会召集各兄弟行业协会共同研讨中国机械制造工艺发展问题,密切了兄弟协会间的关系,充分共享了各行业间的信息,与会专家为机械制造业发展建言献策,是一次成功而有效的会议。未来,我们愿意牵头组织各行业协会之间建立定期的沟通交流机制,团结协作,共同努力,为我国制造行业发展做出新贡献。7

(上接06页)

出台,为机械工业长期发展和短期调整指明了方向,提供了政策支持。三是行业协会正在配合国家有关部门抓紧研究机械工业稳增长、调结构、转型升级、降本增效的政策措施建议,争取从供需两侧发力,拉需求、推应用、促创新、补短板、调结构、夯基础、优环境、增效益,为机械工业发展

提供良好的政策环境,提振全行业的信心和决心。

综合分析,预计2016年机械工业将延续上年四季度以来的低位趋稳态势,全年增速将与2015年相近。具体而言,预计全年机械工业增加值增速在5.5%左右,主营业务收入和利润增速在3.5%左右,对外贸易出口有望实现正

增长。

在新的一年里,全行业要坚定信心,积极推进结构调整和转型升级,将创新驱动作为解决当前和今后一段时期行业发展面临问题的主要抓手,实现机械工业“十三五”的良好起步。7

中国制造2025与3D打印

西安交通大学 卢秉恒

专家简介: 卢秉恒, 我国机械制造与自动化领域著名科学家, 现为中国工程院院士, 西安交通大学教授、博士生导师, 任快速制造国家工程研究中心主任、国务院机械学科评议组召集人、中国机械工程学会副理事长、中国机械加工工艺协会副理事长、全国高校金属切削机床学会理事长。主要从事快速成形制造、微纳制造、生物制造、高速切削机床等方面的研究, 先后主持20余项国家重点科技攻关项目。曾获“做出突出贡献的中国博士学位获得者”称号、获国家技术发明二等奖2项、国家科技进步二等奖1项、全国五一劳动奖章、全球华人蒋氏科技成就奖等奖项。

改革开放以来, 得益于巨大的市场, 我国制造业飞速发展。

目前, 中国制造业的增加值占全国工业收入的86.70%, 占出口总量的95.09%, 总产值占世界的20%, 位居世界第一位, 中国已成为制造业大国。

然而, 与世界先进水平相比, 我国制造业仍然大而不强。自主创新能力弱, 各行业核心技术仍需进口引进; 产品质量不高, 缺乏世界知名品牌; 资源利用效率、产业结构水平、信息化程度等方面与国际差距明显。

1 中国制造发展状况

按照德国人的定义: 工业1.0是机械化, 2.0是电气化, 3.0是自动化, 4.0是智能化。那么, 中国制造目前处于“工业3.0”和“工业4.0”并行发展阶段, 甚至某些“工业2.0”仍需补课。

1.1 CIMS与机器人研究

中国工业3.0始于国家863计划的实施。1987年国家863计划自动化领域专家委员会成立, 先进制造领域设立了CIMS与机器人两个主题组, 自此我国开启了自动化研究。多年实施表

明: CIMS计划具有前瞻性, 但缺乏针对性。该计划对制造业信息化有一定成效, 如甩图板工程、试点企业的信息化。但对制造工艺与装备未予充分重视, 如机器人关节减速器、驱动系统等成为机器人产业化瓶颈, 数控机床等工艺装备拉大了差距。

1.2 中国制造3.0与数控重大专项成果

2009年我国启动了数控机床专项研究, 实施六年以来, 高档数控重大专项取得重要成果: 五轴联动数控系统与五轴联动机床实现突破, 完成了世界最大的数控桥式龙门五轴联动车铣复合机床等一批标志性重大装备, 在发电和造船领域作为关键装备投入使用, 解决了领域需求; 开发的大型快速高效数控全自动冲压生产线在国际竞标中脱颖而出, 被美国本土汽车企业引进了8条; 04专项成果之一——精密卧式加工中心与国外产品同台竞技胜出; 华中数控对沈阳飞机公司30多台进口机床成功换脑。

但高档数控机床的产业化正处于艰苦攻关期, 我国应出台相应政策, 理顺成果推广渠道。

1.3 制造业成就显著, 但问题同样突出

我国制造业的问题主要存在以下几方面:

工业2.0阶段——产品与装备质量较差, 缺乏品牌战略意识, 处于低价位竞争阶段;

工业3.0阶段——自动化差距明显, 未掌控核心技术, 汽车、飞机、芯片、机床行业普遍患有“心脏病”;

究其原因: 制造业基础不强, 工作母机不能支撑制造业发展; 战略性新兴产业缺乏制造装备基础。

2 协同创新, 推进中国制造2025

我国虽然是制造业第一大国, 但非制造强国。按照人均计算, 我国制造业的能耗、材料消耗及空气污染是先进国家的2.2倍, 这是不可持续的发展, 成为发展中的突出问题。针对这种情况我国提出强国战略《中国制造2025》, 该规划由国务院于2015年5月8日公布, 它将推动中国制造向中国创造转变、中国速度向中国质量转变、中国产品向中国品牌转变。

2.1 中国制造2025路线图

中科院根据我国和国际的情况，把制造业分成四个方面评估：规模总量、质量效益、工业体系结构和可持续发展的能力。根据2012年各国的制造

业综合指数（见表1），全球制造业划分为三大方阵：美国处于第一方阵，德国、日本等国家处于第二方阵，中国处于第三方阵。通过综合打分，可以看出我国同美日德等国还有很大的差距。

表1 2012年九个国家制造业综合指数

美国	日本	德国	中国	法国	英国	印度	韩国	巴西
155.9	121.3	110.7	81.42	63.53	61.81	59.56	57.17	31.97

《中国制造2025》是中国版的“工业4.0”规划，规划提出了中国制造强国建设三个十年的“三步走”战略，中国将在2025迈入第二方阵，2045进入第一方阵，见图1。

2.2 “中国制造2025”内涵

一个目标：从制造业大国向制造业强国转变，最终实现制造业强国的目标。

两化融合：通过两化（信息化和工业化）融合发展实现制造业强国的目标。

三步走战略：大体上每一步用十年左右的时间。

四项原则：市场主导、政府引导；既立足当前，又着眼长远；全面推进、重点突破；自主发展和合作共赢。

五条方针：创新驱动、质量为先、绿色发展、结构优化、人才为本。

五大工程：制造业创新中心建设工程、工业强基工程、智能制造工程、绿色制造工程、高端装备创新工程。

“智能制造”被确定为中国制造的主攻方向。

十大重点领域：大力推动重点领域突破发展，聚焦“新一代信息技术、高档数控机床与机器人等”十大重点领域，见图2。



图1



图2

2.3 中国制造业发展策略——协同创新

中、德、美三国工业优势比较：

德国——质量过硬、基础雄厚、工艺严谨；

美国——创新能力强、科技发达、汇聚了全球资源与精英；

中国——工业体系完整、内需市

场巨大、人力资源丰富。

面对同发达国家的阶段性差距，我国需要在对工业2.0、工业3.0补课的同时发展工业4.0，这意味着追赶与跨越并举，需要发挥政府科学有效的调控作用，优化集成有限的社会资源，包括：科技计划的衔接、研发力量的汇

聚、市场的引导、资金的投入等。

中国制造2025的实现，创新人才目标的教育改革等必须通过全社会的协同。

（1）市场协同：我国需要大规模下的市场驱动；在信息、装备等国家脊梁领域，需要国家意志主导的市场引导，形成有利于科研计划成果的推广机制。在消费品领域，全体国民应该借鉴日、韩的立国精神。

（2）产学研协同：企业要成为投资研发、成果集成、成果应用的主体。形成产学研长效合作机制，把科研机构、科技人才与企业创新的积极性调动和发挥出来。

（3）创新平台建设：对于目前存在的共性技术缺乏问题，可借鉴德国、美国做法，创新思路，进行国家级创新中心建设。

德国弗朗霍夫研究院：德国工业创新的策源地，始建于1949年，现在有67个专业研究所，基本上均建在大学附近。每个研究所由2~3名曾任企业高管的教授领军，以研究生与工程技术人员为主力，以企业需求与前沿科技为引导，经费来源：政府资助、项目经费及企业委托，各占1/3。

美国制造创新网络研究院：旨在填补基础研究与企业技术之间的鸿沟。由美国国家标准与技术院（NIST）牵头，广泛收集社会建议与组织评审后逐步推进建设，成熟一个建设一个。目前已建有增材制造、轻量化、创新设计等网络。其特点是协调现有资源，快速组建创新链；课题实施时组合最优资源；合作方签订知识产权协议。依靠标准、参与权、信息三方面吸引企业投入。

我国可综合德国长期持续的科研

机构、美国组建创新网络的相关做法和路径，探索适于我国国情及能实现中国制造2025任务的道路，建设一批“协同社会创新资源，为产业提供核心技术与共性技术的”创新中心，避免科技资源的浪费和低水平技术的重复研究。

(4) 科技计划协同：按技术成熟度分工协作，形成基础前沿研究——原型研发——产业化技术的接力；对优秀团队持续稳定支持，克服过度竞争，实现强强联合，避免科技人员50%以上的时间跑课题的现象；重视在智能制造“新三基”——传感器、软件和大数据上的布局。

(5) 国际协同：打造科技合作的一带一路，形成亚欧科技合作的科技创新第二极。

(6) 金融与科技、产业的协同：改善制造业资金环境。目前，我国制造企业贷款利率往往达7-8%，而制造企业的纯利润率一般低于我国的贷款利率。引导金融资金更多更快地流向实体经济、流向有潜力的先进制造业，加强资金对创新的支持力度，让创新力量及时得到资金支持，是中国制造2025能否顺利实施的关键。

(7) 人才协同：建立正确的学科评估标准，引导创新与工程能力的培养。中国制造2025还需要培养一批工业4.0时代的企业家和科技领军人，既精通制造工艺，又具有互联网思维；需要充分利用社会创新资源。创新型社会还需要一大批创客、极客，需要马斯克式的人物，有浓厚的科学兴趣和强烈的创新欲望。

3 增材制造(3D打印)

3.1 3D打印简介

(1) 3D打印——工艺方法的大变革
3D打印，也称增材制造，它实现了制造从等材、减材到增材的重大发展。

等材制造以铸、锻、焊等为代表，减材制造则主要指车、铣、磨等，而3D打印则是增材制造技术，可以一次制造任意复杂的零部件。即：

$\Delta M = 0$ ：等材制造（铸锻焊）

$\Delta M < 0$ ：减材制造（车铣磨）

$\Delta M > 0$ ：增材制造

(2) 3D打印几种主流技术

光固化SL：材料为光敏树脂，主要应用于设计验证。

粉末选择烧结SLS：材料为塑料、砂、粘合金属，用于塑料样件、铸造砂型、金属零件的制造。

熔融堆积法(FDM)：小型设备用于教育、创客，大型设备可用于汽车、无人机。

还有SLM法、DLP法等工艺。

(3) 3D打印的特点——带来制造业的颠覆性变革

① 支持产品快速开发。3D打印直接由设计数据驱动，不需要传统制造必须的工装夹具模具制造等生产准备，编程简单。在产品创新设计与设计验证中，特别方便。

② 节材制造。3D打印属于增材制造，仅在需要的地方堆积材料，材料利用率接近100%。而传统制造业材料利用率低下，如航空航天等大型复杂结构件采用传统切削加工，往往有95%-97%的昂贵材料被切除。

③ 个性化制造。可以快速、低成本实现单件制造，使单件制造的成本接近批量制造。特别适合个性化医疗和高端医疗器械，如人工骨、手术模型、骨科导航模板等。

④ 再制造。用于修复磨损零部件的再制造，如飞机发动机叶片、轧钢机轧辊等，以极少的代价，获得超值。应用在军械、远洋轮、海洋钻井平台、乃至空间站的现场制造，具有特殊的优势。

⑤ 开拓创新设计的新空间。可以制造传统制造技术无法实现的结构，为设计创新提供了非常大的创新空间。可以将数十个、数百个甚至更多的零件组装的产品一体化一次制造出来，大大简化了制造工序，节约了制造和装配成本。以3D打印新工艺的视角对产品、装备再设计，可能是3D打印为制造业带来的最大效益所在。

⑥ 3D打印支持新科技革命。“增材制造”的远景是“创材”，还可以从“创材”发展到“创生”。

从“增材”到“创材”：目前3D打印已制造出了耐温3315℃的合金，用于“龙飞船2号”，大幅增强了飞船推力。利用3D打印高能束的集中能量，以3D打印设备作为材料基因组计划的研制验证平台，可以开发出超高强度、超高韧性、超高耐温、超高耐磨的各种优秀材料，增材制造变成为创材技术。

从“创材”到“创生”：应用于组织支架制造、细胞打印等技术，实现生物活性器官的制造，一定意义上的创造生命，为生命科学研究和人类健康服务。

创材与创生，将为材料科学、为生命科学和医疗技术、为制造业带来巨大的颠覆性变革。我们需要即刻布局，争取抢占这一战略性高地。

⑦ 3D打印开启了个性化商品制造的商业模式，是大众创新、万众创业的最佳途径。

3D打印“热在今天，造就明天”。未来制造业将是“互联网+先进制造业+现代服务业”，大致会呈现这样一个网络服务云平台：收集众需——创客设计——3D打印验证设计——虚拟制造——生产分包——物联网配送（图3）。

因此，3D打印展现了一个全民创新的通途。在大众创业、万众创新的当代，创客们设计出来的某些产品，可能传统制造业无法实现，或者成本很高。而3D打印可以从技术上、成本上、快捷程度上予以支持，使之变成现实。

以3D打印为代表的“增材制造”尽管只有30年的历史，但已被权威机构列入了对人类生活具有颠覆性影响的12项技术之一，是极具前景的制造技术，最符合工业4.0的制造工艺。

3.2 3D打印的现状与发展

(1) 3D打印的现状

目前，中国的3D打印在研究方面处于国际前列，论文和申请专利的数量处于世界第二。在应用方面，我国工业级设备装机量居全世界第四，但金属打印的商业化设备及国产工业级装备的关键器件还主要依靠进口；

工业级3D打印材料的研究刚刚起步，除了个别研发能力强的公司研发了少量材料外，3D打印的材料基本依靠进口。

从产业发展速度来看，我国3D打印技术发展缓慢。美国两家最大的3D打印公司，今年达到近10亿美元的规模。而我国相关企业基本是校办企业起家，最多1个多亿人民币产值。

现在进口设备正在大举进攻中国市场，在金属打印装备领域，国外采用



图3

材料、软件、设备、工艺一体化捆绑销售。中国必须研发核心技术与原创技术，打造自己的创新链与产业链。

(2) 3D打印的发展目标

未来5年、10年目标：见表2。

2013年麦肯锡报告列举12大颠覆技术中，3D打印名列第九，排在新材料和页岩气之前；预测到2030年3D打印的效益将达到0.6-1.2万亿美元，占据高端价值，与铸锻焊、切削加工三分天下。

表2 未来5年、10年目标

5年目标	10年目标
形成直接产值（装备与服务）达200-300亿元，制造业扩散效益达1500亿元。	形成直接产值（装备与服务）达1000-1500亿元，制造业扩散效益达6000-10000亿元。
基本形成产业链：完成主要材料及关键元器件开发；树脂类、金属类装备的国产化率达到60-80%；面向3D打印的软件行业开始形成；在航空航天等领域重大装备的结构、材料的优化和创新中发挥重大作用，各制造领域均有应用，形成示范效果；形成3D打印高技术服务业；一批制造企业开始把3D打印作为产品开发的必由之路；产品开发周期节约一半、费用降低一半；成为国家3D打印前三国家。	功能梯度材料结构大量应用；打印材料的基本供应，价值大的元器件的国产化供应；形成2-3家产业规模、技术水平达到国际前列的企业；基于3D打印的再设计普及；成为航空航天领域复杂零件的小批量制造手段。

(3) 发展对策——培育和发挥3D打印在创新驱动中的牵引作用

3D打印是从质和量两方面对国家战略地位和今后的科技发展都产生重大影响的技术。

目前，3D打印正处于一个技术的井喷期、产业发展的起步期、企业的

跑马圈地期。

技术发展的井喷期——学科交叉发展原创；

产业发展的起步期——尽快构建创新链、产业链；

企业的跑马圈地期——培育竞争力企业。

针对我国3D打印发展情况，要加强基础研究，发展原创技术，显著提升打印件的质量和打印效率等方面有创新技术；要建立创新体系，为企业提供核心技术和共性技术；要攻克关键核心器件，打造产业链；要引导金融资本，助推3D打印企业做大做强，形

成若干个具备国际竞争规模的企业。

具体建议措施如下：

启动计划，避免在论证中落后；

培育3-5个大型3D打印装备企业及5-8个专业服务型企

业；建设若干产业化技术研究基地，提供共性技术；

开展学科交叉的基础研究，提供原创技术。

此外，3D打印的任意性为产品和装备的创新设计开辟了巨大的空间，为各行业会带来巨大的效益。中国应该抓紧标准的研究，3D打印的数据标准可能影响到装备和应用两个方面。在航空件和高端医疗器械方面，要积极研究面对3D打印个性化制造产品准入的标准，以有利于新技术的应用。

4 智能制造

4.1 互联网+智能制造

机器人、智能装备、3D打印是支撑智能制造的三大技术。互联网与智能制造技术融合，可极大的促进制造业提质增效、转型升级，促进服务型制造业发展。

“互联网+机器人”可以提高柔性、提高效率、降低成本；

“互联网+智能机床及成套生产线”，数控机床按程序加工，智能系统按目标制造，不增加硬件成本，即可提升效率及制造品质2-3倍；

“互联网+3D打印”可以说“热在今天，造就明天”，引领制造业的创新。

4.2 智能制造如虎添翼，而工艺研究是根本

对比数控一代和智能一代的特点，见表3。

智能机床=信息获取+工艺优化软件+加工过程智能控制，见图4。

智能装备将实时监控，根据机床、刀具、工件的实时状态，实现工艺优化，成倍提高加工质量、加工效率及价值。

智能机床关键技术，见图5。

4.3 智能制造—制造大数据

“中国制造2025”中，智能制造是抓手，大数据贯穿智能制造的全过程；

中国制造强基工程中，大数据、传感器、软件应该是新三基；

新硬件时代：以软件、互联网、大数据为基础，创客与极客为新产品研发的主体，3D打印为工具，产出“品质性能数一数二，外形可能不三不四”新产品。

制造大数据可实现：①工艺更优化：记录装备的工作状态，分析装备的效率，优化刀具，优化工艺，提升机床效率。②预测装备故障，制定维修计划，寻求最佳维修方案，保证开工率；③采集分析运行、维护、采购等信息，获取市场定位，改进机床设计，让用户真正成为实验室。

为此，需要建设更多的数据源：更多传感器，信息的无线传输；更完善的记录、报告功能一停机及其原因。需要能智能解释、能反馈控制的智能数控系统，智能数控系统软件的解释功能：加工案例说明，机床状态及其解释，对比分析；需要工艺知识指导下的大数据分析：传感器最优布局，知识引导的数据挖掘与提取。智能数控系统可以使用户真正成为制造装备企业的最佳实验室。7

表3

数控一代(自动化)	智能一代(智能化)
程序按照图纸编制； 加工过程变形及振动时无法调整； 加工质量取决于编程者的经验、水平及装备的刚度。	实时检测加工过程变形及振动； 按照质量目标及机床状态调整加工参数； 获得高速、优质的产品。



图4



图5

绿色制造助推绿色发展

机械科学研究总院 单忠德

专家简介:单忠德,工学博士、研究员、博士生导师、国务院政府津贴专家,现任机械科学研究总院副院长、先进成形技术与装备国家重点实验室主任,兼任中国机械制造工艺协会常务副理事长、英国工程技术学会FELLOW、韩国浦项工业大学兼职教授,中国智能制造产业技术创新联盟专家委员会副主任委员等。入选中组部“万人计划”、科技部中青年科技创新领军人才、新世纪百千万人才工程国家级人选等。主要从事先进成形制造技术与装备、绿色制造工艺技术研究与装备研究,承担国家863计划、04重大专项等40余项,研制出数字化无模铸造成形机、复合材料柔性导向三维织造成形机、筒子纱数字化自动染色技术及装备,发表论文120多篇,出版著作4部,获授权发明专利52件(美国、日本等发明专利12件)。第一完成人获国家科技进步一等奖1项(2014年)、省部级科技奖一等奖3项。入选2015年度国家杰出青年科学基金,荣获2015年度何梁何利基金科学与技术青年创新奖,科研成果在100多家企业推广应用。

绿色制造是一种综合考虑面向材料、设计、生产制造、运行维护、循环再利用等产品全生命周期过程资源效率与环境影响的现代产品开发和制造模式。发展绿色经济、推进制造业可持续发展、重塑制造业竞争新优势、抢占未来经济竞争制高点成为发达国家的重要战略;同时,设立绿色贸易壁垒成为一些发达国家取得竞争优势的新措施。绿色发展、可持续发展日益成为全球共识。

1 绿色制造是建设制造强国的战略任务与重要标志

绿色制造技术代表未来制造技术的发展方向。绿色制造技术的内涵是在保证产品的功能、质量、成本的前提下,综合考虑环境影响、产品质量、资源消耗、生产效率、劳动条件等因素的现代制造模式。通过采用无毒、无害的原材料和辅助材料,清洁的能源以及高效、节能、降耗的先进制造工艺与设备,在整个制造过程中不产

生环境污染或环境污染最小化,符合环境保护要求,对生态环境无害或危害极少,节约资源和能源,使资源利用率最高,能源消耗最低,劳动环境宜人,大幅度降低劳动强度。绿色制造技术水平直接体现制造业的可持续发展能力,研究开发绿色制造技术成为世界工业发达国家强化制造技术创新的重要内容。美国将其列为《先进制造伙伴计划2.0》中11项振兴制造业的关键技术之一,德国将“资源效率(含环境影响)”列为“工业4.0”的八大关键领域之一。英国《未来制造》中提出实施绿色制造提高现有产品的生态性能,重建完整的可持续工业体系,实现节材75%,温室气体排放减少80%的目标。

转变经济发展方式、促进产业转型升级需要绿色制造。欧美发达国家积极研发绿色制造新技术,关注绿色制造发展模式,关注绿色产品开发,推进产业结构与生产制造模式变革。在绿色制造技术创新中,为了进一步提

高数字化工厂中水、能源和材料的利用率,2012年美国提出了到2020年原材料消耗量减少15%、加工废屑减少90%、能耗减少75%的目标。德国启动“Blue Competence”高效机电产品倡议,如要求机床减重50%以上、能耗减少30%~40%、报废后机床100%可回收等。其他措施如基于产业共生和闭环循环的工业生态模式,通过融合新能源和能量回收技术实现能源自主独立的生态工厂等绿色制造新技术、新模式,发展短流程、清洁化制造技术,推进制造过程节能减排等。

绿色制造是世界各国制造业未来发展的重要主题和技术创新领域。美国提出“无废弃物加工”的新一代制造技术,即加工过程中不产生废弃物,或产生的废弃物能被整个制造过程中作为原料而利用,并在下一个流程中不再产生废弃物。德国“工业4.0”的实质和特点是提高资源生产效率、减少污染排放、柔性个性化生产。世界机械工程技术未来发展主题是开发

绿色化新技术,以应对能源、环境、食品、住房、水资源、交通、安全和健康等挑战,创造全球性的可持续发展工程解决方案,满足全人类基本需要。

2 我国发展绿色制造存在的主要问题

与欧美发达国家绿色制造技术水平相比,我国绿色制造技术创新及生产应用存在较大差距。我国制造业规模自2009年以来位居世界前列,但是绿色化制造技术水平低,制造方式粗放,是大而不强的全球制造大国。中国单位能耗仍是世界平均水平的1.8倍,远远高于美国、欧盟及日本。以铸锻焊等热加工行业为例:我国铸件尺寸精度低于国际标准1~2个等级,废品率高出5%~10%,加工余量高出1~3个等级;每吨铸件能耗为0.55~0.7吨标准煤,国外为0.3~0.4吨标准煤;每吨锻件平均能耗约1.4吨标准煤,日本仅0.515吨标准煤;每吨工件热处理平均能耗约660千瓦时,发达国家平均在450千瓦时以下。资源、能源、环境、市场的约束不断加剧,长期依赖的低成本优势逐步削弱。与发达国家相比,还存在绿色化发展的核心技术和关键装备受制于人、资源利用率偏低、产业结构不尽合理等诸多问题,甚至发达国家设置绿色化水平指标已成为新贸易壁垒。

在生产过程中,我国企业目前更多关注效益和产值,对资源能源消耗相对关注少,更缺乏明确的资源能源消耗考核目标,缺乏绿色制造标准及规范。目前,我国经济发展进入新常态,资源和环境约束不断强化,更需要关注并推进绿色制造。近年来,我国成立了国家绿色制造标准化委员会,

制定并实施一批绿色制造相关标准,但相对量大面广的制造业,需要制定修订更多的绿色制造标准。目前国际上已形成了相对完善的绿色制造相关标准体系,如产品生命周期评价标准、能源管理体系标准、机床能效与生态设计标准、有毒有害物质限用指令等。同时提出了明确的能源效率计划目标,如德国在实施的资源效率生产计划中明确:到2020年,能源效率比1990年提高一倍,原材料效率比1994年提高一倍。

我国绿色制造发展起步晚,企业绿色化发展水平低,缺乏绿色装备、绿色生态车间、绿色生态工厂和绿色生态产业园。国际上,欧盟提出绿色生态工厂,关注产品全生命周期工程及其系统仿真、生产装备新型控制系统、绿色制造工艺及装备、物料资源优化利用生产模式、无害化替代材料制造工艺、工厂生态效率规划及能量管理系统等,以实现技术、经济、环境协调发展。我国绿色制造前景广阔,积极推进绿色制造技术及装备创新发展、建设绿色工厂和绿色产业园正当其时。

3 发展绿色制造大有可为

针对流程工业和离散工业绿色制造迫切需求,扎实推进并组织实施好国家绿色制造工程。在绿色制造工程实施中,推进传统制造业绿色化改造,实现生产过程清洁化、能源利用高效低碳化、水资源高效利用等;推进资源循环利用绿色发展,提高大宗工业固废资源综合利用水平,发展再生资源产业及绿色产业生态链接等;推进绿色制造技术创新及产业化,创新研究开发节材、节能、环保、资源综合

利用等降低资源消耗、减少污染排放的生产制造新工艺、新技术和新装备;构建绿色制造体系及基础能力,建立起绿色设计、绿色制造以及绿色工厂、园区等绿色制造标准、评价体系。创新开发出大批绿色制造共性关键技术及装备,扎实推进重点领域绿色制造的集成创新与示范应用,提高我国制造业绿色化制造能力和核心竞争力。

搭建绿色制造技术创新服务平台,建设国家绿色制造技术及装备制造业创新中心。近年来美国、欧盟等国家和地区积极推进绿色制造技术及装备创新研发、应用推广示范,提升制造业可持续发展能力。针对我国钢铁、有色等流程工业以及铸造、锻压、热处理等机械、汽车等离散工业绿色化技术发展急需,通过国家多部门和行业联合行动,加强绿色制造技术自主创新和集成创新,注重全工艺链、全产业链的系统性成套技术的研发和示范应用。增设绿色制造交叉学科,重视从事绿色制造技术人才培养培训,协同创新研究开发出传统制造业绿色化提升技术及装备、绿色制造新方法、新工艺和新装备,加快研究建立绿色制造标准体系和绿色制造评价机制,提供绿色制造系列化整体解决方案,推动建立绿色低碳循环发展产业体系。淘汰、关闭一批浪费资源、污染环境和不具备绿色、环保生产条件的企业,培育一批具有国际竞争力的绿色制造企业,缩小绿色制造技术水平差距,形成比较优势,产业核心竞争力大幅提升。通过建立多个绿色制造技术创新服务平台和创新中心,以行业级、区域级、国家级创新平台为依托,创新体制机制,统领、整合企业、高校以及科研院所的创新及服务资源并形

(下转20页)

低碳制造的关键技术及其应用

刘志峰¹, 洪军², 李新宇¹, 李宝童², 黄海鸿¹

1. 合肥工业大学, 安徽合肥
2. 西安交通大学, 陕西西安

专家简介: 刘志峰, 合肥工业大学副校长, 合肥工业大学智能制造技术研究院院长, 享受国务院政府特殊津贴。安徽省机械工业联合会副会长, 安徽省机械工程学会副理事长, 安徽省汽车行业协会副会长。

1 低碳制造的概念

制造业是国民经济的支柱产业,也是资源消耗和废物产生的主要来源之一,我国制造业的能源消耗占我国能源消费总量的60%左右(根据国家统计局2010年数据),全球环境污染的排放物70%以上来自制造业。制造业能耗占全球能量消耗的33%,CO₂排放的38%(IEA2009)。2009年11月25日国务院常务会议研究决定,到2020年我国单位国内生产总值CO₂排放比2005年下降40%~45%,并作为约束性指标纳入国民经济和社会发展中长期规划^[1]。

2013年全球CO₂排放量再创历史新高,达到361亿吨左右。其中,中国CO₂排放100亿吨,美国52亿吨,欧盟28国35亿吨,印度24亿吨。这意味着,当年中国的CO₂排放超过美国和欧盟的总合,占世界碳排放总量的近3成^[2]。因此,减少制造过程碳排放成为亟待解决的关键问题。

低碳制造综合考虑了产品的全生命周期,强调从原材料获取、能源生产、产品设计、制造、使用、报废处理全生命周期中实施碳排放量的减量化与控制。低碳制造属于绿色制造与可

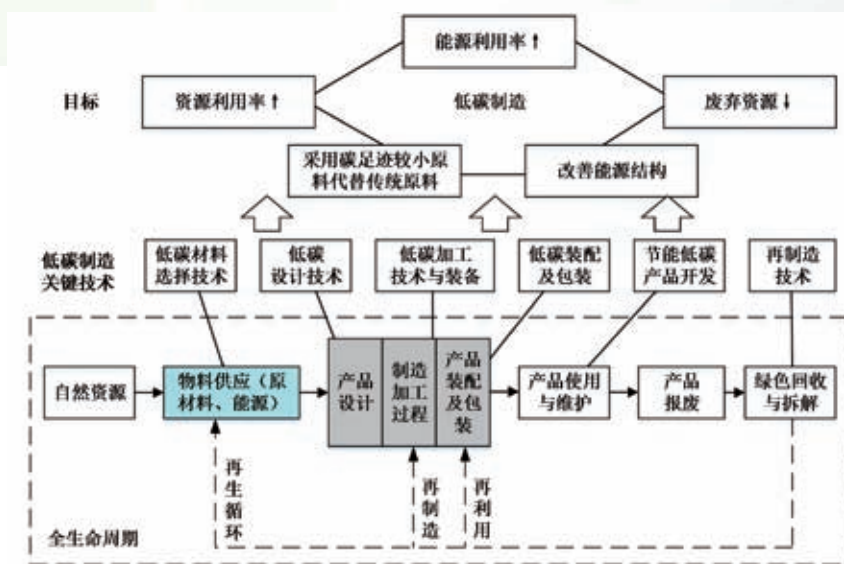


图1 低碳制造的技术体系框架

持续制造的范畴,但低碳制造更突出了碳排放量化的特征。低碳制造的技术体系框架如图1所示。

碳足迹(Carbon Footprint)是表征人类活动所产生的温室气体总量,是某一产品或服务系统在其全生命周期内的碳排放总量,或活动主体(包括个人、组织、部门等)在某一活动中直接和间接的碳排放总量,以CO₂等价物来表示。对制造过程的碳足迹进行追踪和评估是实现低碳制造的前提条件。

碳足迹的评估方法包括过程分

析法和投入产出法。过程分析法以过程分析为基本出发点,通过生命周期清单分析得到所研究对象的输入和输出数据清单,结合生命周期分析(LCA),进而计算研究对象全生命周期的碳排放,即碳足迹;投入产出法,利用投入产出表提供的信息,计算经济变化对环境产生的直接和间接影响。

2 低碳制造的关键技术

2.1 产品生命周期碳排放解算与计量技术
面向生命周期的碳排放解算方

法,描述“能量消耗——碳排放”、“材料消耗——碳排放”之间的映射关系,可通过建立“碳排放——物质流及能量流——性能需求——系统参数”层级模型(如功能层、行为层、载体层等),获得碳排放计算关键参数(如图2所示)。

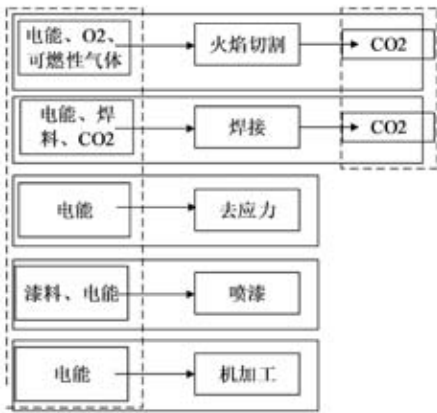


图2 制造过程碳排放分析

面向生命周期的碳排放计量技术,通过确定组织边界、运行边界和基准年,收集活动水平数据、确定排放因子,对数据质量进行不确定性分析,编制温室气体排放量清单,发布碳排放量报告。

2.2 产品低碳设计方法

采用面向承载结构优化的低碳设计方法,可降低运动部件的质量。以一台5000吨的液压机为例,降低移动部件10%的重量,十年内可减少93吨的碳排放;采用再生材料及轻质材料替代,如再生蜂窝材料,仅使用3%~5%的有效材料,即可达到较高的结构强度;提高结构模块化比例,通过模块更新可延长产品使用寿命,减少碳排放。

面向传动系统优化的低碳设计方法,通过应用低碳燃料(如生物柴油、纤维素乙醇、低碳氢比燃料等)、转变动力驱动类型(如采用高效率电动机代替低效率内燃机)、优化能量流环

节等,可减少能量转化环节及传递损耗。

面向控制系统优化的低碳设计方法,可通过伺服控制或自适应控制,减少冗余能量输入;采用能量回收技术,如将制动、卸荷、溢流等能量直接蓄能或用来发电;采用能量监控技术,如电动汽车的电池管理系统,发动机的热管理系统等,提高能量的有效利用。

2.3 制造系统碳效优化

制造系统碳效优化包括面向装备层的制造系统碳效优化、面向工艺层的碳效优化和面向车间层高效低碳综合优化。

面向装备层的制造系统碳效优化需要对制造过程资源消耗和环境影响分析模型及其评价方法、面向低碳制造的工艺规划决策技术、工艺路线对效率和能量流的综合影响规律进行系统研究。

面向工艺层的碳效优化包括切削参数和加工轨迹高效低碳优化及加工轨迹自适应优化、基于约束和面向能效提升的工艺参数优化、开发低碳工艺技术(如零废料加工技术、干式加工技术、超高速加工技术、短流程技术)等。

面向车间层高效低碳综合优化包

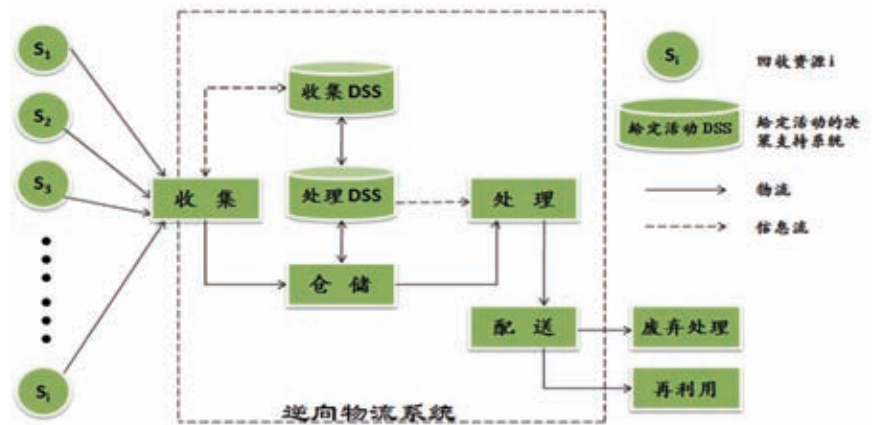


图3 逆向物流系统的概念化模型

括合理的车间调度方案、效率能耗的关联关系和作用规律、动态随机环境下制造系统运作控制和优化策略、高效低碳运行多目标综合优化方法等。

2.4 再资源化技术

再资源化技术主要包括逆向物流技术、再制造技术和材料回收技术等。

基于现有产品销售物流平台和回收网络体系(如图3所示),分析产品市场需求、不同逆向物流途径的特点,对现有的双向物流特性进行统计分析,确定退役和报废产品逆向物流技术。其内容之一包括:随机环境下的逆向物流库存低碳管理;模糊环境下的多方逆向物流库存低碳协调策略;低碳逆向物流信息平台。

再制造可使产品成本降低50%,节能60%,节材70%以上,其技术因素主要包括主动再制造时间区域抉择、低碳表面修复技术、剩余寿命评估、无损在线检测技术等。

材料回收技术主要包括高效拆解技术、材料识别与分离技术、无害化处理技术等。

3 低碳制造的实现案例

合肥工业大学多年来围绕家电产品对其绿色设计、低碳制造工艺、逆向

物流等进行了较为系统的研究。结合国家自然科学基金重点项目,与西安交通大学等,以金属成形装备为对象,结合低碳制造的关键技术进行了深入的研究。

3.1 金属成形装备的低碳制造

(1) 成形装备的碳排放和能耗分析

分析了成形机床的制造过程,确定了其碳排放评估边界,建立了火焰切割、焊接、去应力、喷漆、机加工等主要制造工艺的碳排放分析模型^[3](如图4所示)。

收集某款液压机机身制造过程的基础数据,计算了制造过程碳排放,并验证碳排放计算方法与计算系统的有效性。钢材消耗的碳排放占整个制造过程碳排放的主要部分(如图蓝色部分显示)约94%(如图5所示)。

采用结构创成与节材设计方法,提出了利用载荷流的几何形态(疏密程度与弯曲程度)来定量表征支承件

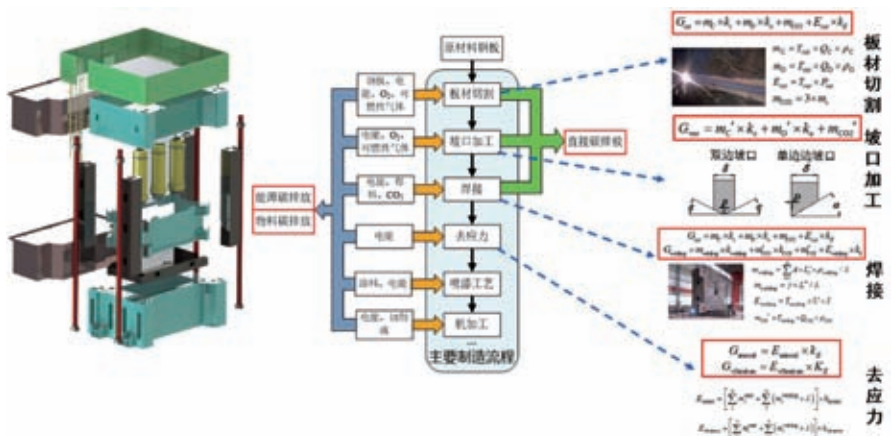


图4 制造工艺的碳排放类型及量化表征

结构效能的研究思路,建立了承载结构中骨架构型的通用力学模型,有助于把握装备支承件的载荷传递规律,合理优化了承载仿生结构布局。

搭建了低碳制造试验平台(如图6所示),对金属成形过程的压边力、主缸压力、主缸位移、电机能耗进行实时测量以实现系统服役过程的能量流可观和可控,为研究金属成形工艺与装备能量行为的耦合机理奠定了基

础。

分析了液压机系统单元的能量转化特征,建立了各个系统单元的能量损耗方程;分析大中型液压机系统结构的组成特征,提出了液压系统模型的简化方法,构建了大中型液压机服役过程的能量耗散模型^[4](如图7所示),掌握了液压机系统的能量流动基本规律。

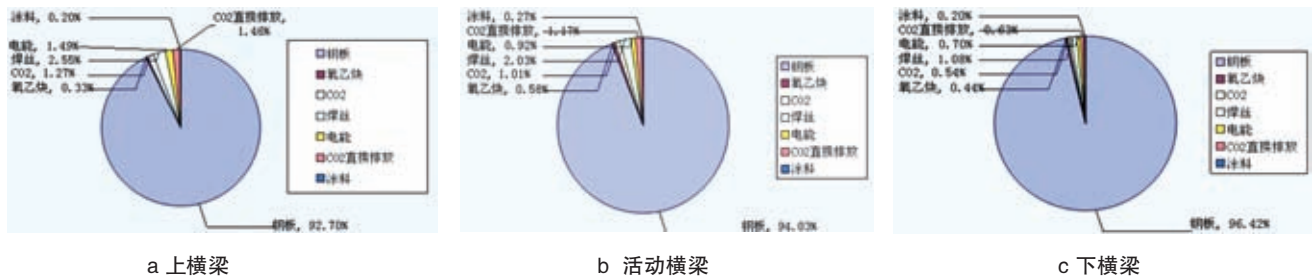


图5 某2000t液压机碳排放

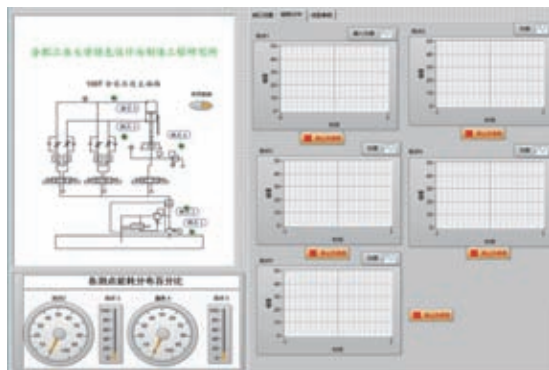


图6 能耗监测系统

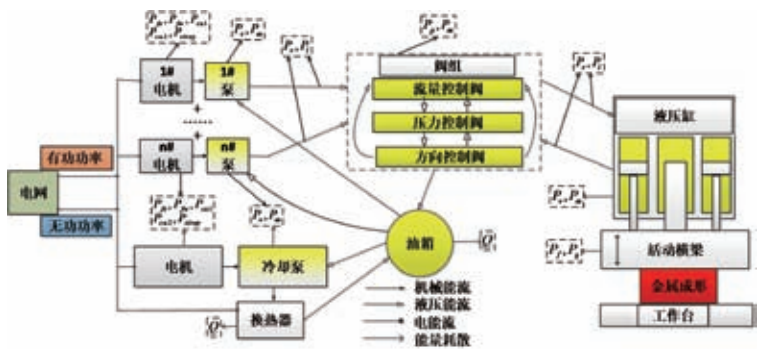


图7 液压机系统能量流动模型

结合上述方法，测试了某2000T液压机服役过程（加工汽车车门）能量流动状态，获得了各单元能量损耗分布特征，验证了能量耗散模型的可行性。

某款液压机系统电能-机械能转化率：70.35%；机械能-液压能的转化率：37.43%；液压能-成形能的转化率：27%即设备的能量利用率仅为7%。

由此可知，该设备目前成形装备能耗高、效率低的根本原因是负荷特性和驱动方式不匹配，导致液压泵与电机长期工作在低效率区域。

(2) 工艺能耗与工艺参数映射关系

结合热挤压工艺的特点，综合考虑挤压温度、挤压速度和摩擦，建立了热挤压工艺过程中的能量消耗定量分析模型，通过分析添加温度、速度和摩擦修正系数，获得了热挤压工艺过程的能耗修正模型。

采用主应力法，以半球形件拉深、

U形弯曲工艺为研究对象，综合考虑了压力、摩擦和弯曲效应的影响，获得了拉深过程外力做功随位移变化规律的理论计算模型。

3.2 家电产品的低碳制造

(1) 典型家电产品碳足迹评估

对家电产品碳足迹评估分析，收集数据后，通过该评估软件进行分析计算，即可得出该产品全生命周期碳排放指标是否合格，可回收率、可再生率及能耗指数是否达标。

(2) 节能技术

制冷系统的设计与制冷器具的实际工作工况往往有较大差别，因此设计时需匹配设计工况与实际使用工况。充分考虑制冷系统各部件间的匹配，可避免主要部件性能的较大差异，减小不可逆损失，提高制冷效率。

设计高效流道的截面结构有助于减小空气的流动阻力。利用计算流

体力学理论对冰箱的流道及冰箱冷冻室、冷藏室等空间内的流场进行仿真（如图8、9、10所示），规划合理的气流流动路径，平衡空气的流动参数与冰箱内部合理温度场间的相互关系，提高流动效率，降低能耗。

将风机P-Q特性与风道特性做集成分析，既提高了风机的运行效率，同时，考虑风门的开闭对冰箱风道阻力的影响，还可提高风机在不同工况下的运行效率（如图11、12、13所示）。

通过改进合适的蒸发器及蒸发室的结构，优化流动参数，提高流动效率，达到均匀结霜的目的；设置合理除霜参数，采用相应控制方法控制除霜切入点与退出点，实现按需除霜，提高除霜效率，降低除霜功耗占冰箱总功耗的比例，提高能量利用率。

集成应用蒸气压缩制冷和分离式热管传热技术，低温季节（春、秋、冬

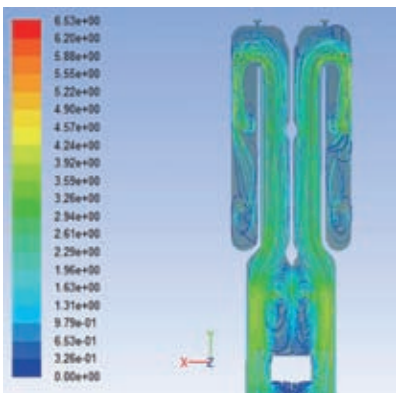


图8 冰箱风道内的气流流动

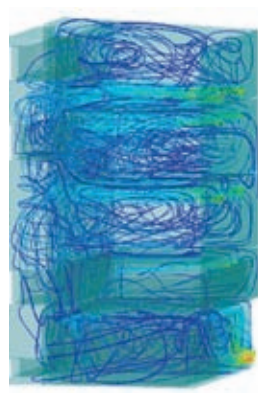


图9 冷藏室内的气流流动

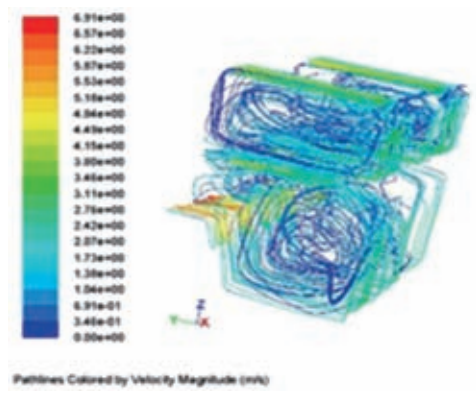


图10 冷冻室内的气流流动

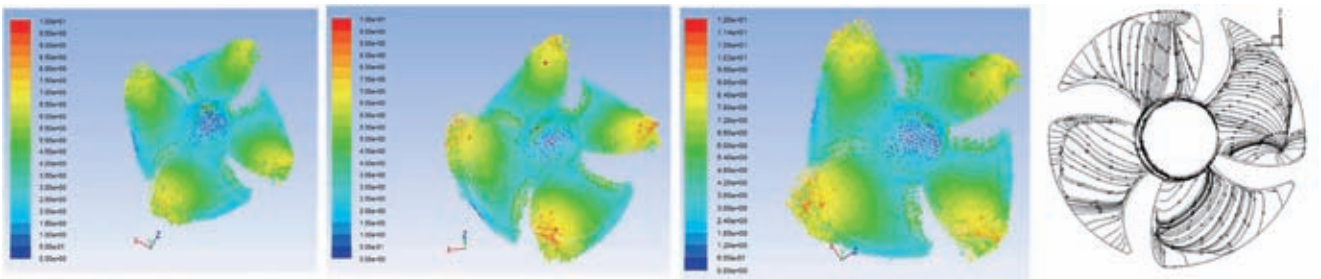


图11 叶片表面的速度及流线分布