

文章编号:1004—132X(2010)04—0379—08

# 走向绿色和智能制造

——中国制造发展之路\*

路甬祥

## 1 中国机械制造业 30 年成就回顾

改革开放 30 年来,我国机械制造业取得了巨大的成就,从引进消化吸收向自主创新迈出了坚实的步伐。我国的科技创新体系建设稳步推进,在全国范围内形成了以广东、沈阳、徐州、湖南、浙江为代表的、颇有影响力的产业集聚地。我国无论是大型装备、交通运输装备、制造装备,还是航天、海洋工程,其自主化水平都得到了全面提高。2008 年,我国作为世界机械制造大国,机械、电气与交通运输设备出口第二大国,已经屹立于世界机械制造大国之林。

### 1.1 从引进消化吸收走向自主创新

#### 1.1.1 科技创新体系建设稳步推进

我国科技创新相关法律法规和政策体系已逐步完善,科技投入亦实现较快增长。2008 年,全国研发经费支出达 4570 亿元,是 2005 年的 1.87 倍。世界知识产权组织(WIPO)数据显示,中国《专利合作条约》(PCT)申请量在 2005 年首次跻身十强的基础上,2008 年以全年 6089 件的申请量超越英国,跃居世界第六位,同比增幅为 11.9%。我国企业已成为投入和研发的主体,在全国范围内,大中型工业企业研发经费投入占总投入的比例达 50% 以上。截至 2008 年上半年,我国已建成国家重点实验室 220 个,覆盖了大部分学科领域,这些实验室已成为我国制造业创新和发展的坚强后盾。

#### 1.1.2 机械制造工业自主化水平显著提高

机械主导产品的技术来源于国内的比例已从 20 世纪 80 年代的 24.5% 上升到目前的 60%。在此基础上,我国机械产品国内市场自给率由改革开放之初不足 60% 升至 2008 年的 80% 以上。

##### 1.1.2.1 大型装备

(1)能源设备。截至 2008 年底,我国已制造

超临界机组 158 台,其中 600MW 超临界机组 107 台,1000MW 超超临界机组 51 台,火电装备水平有了很大提高。随着电力科技水平的迅速提升,我国超超临界机组技术的应用达到国际先进水平,大型空冷发电机组的开发应用居国际领先地位,同时我国也是世界上大型循环流化床锅炉应用最多的国家,整体煤气化联合循环发电技术(IGCC)的关键设备——气化炉的自主化研制也已进入工程试用阶段,F 级大型燃气轮机联合循环发电机组的整套设备已经实现国产化。我国已能独立设计制造三峡右岸单机容量 700MW 的水电机组,其容量和性能都代表了当今世界先进水平;在轴流式机组方面,国内制造的水口电站机组单机容量达到 200MW,这也是世界上同类机组中容量最大的;国内制造的贯流式机组最大单机容量为 45MW,最大转轮直径 6.9m,已具备自主设计制造大型贯流式机组的能力;在抽水蓄能机组方面,国内机组的制造水平与国外差距较大,但已引进了国外先进技术。秦山二期扩建工程 3 号机组堆内构件首次实现全部国产化,标志着我国核电反应堆关键设备的设计制造技术已达到国际先进水平。此外,体现国际最高锻造水平的核电关键部件——整体顶盖在中国第一重型机械集团公司 147MN 水压机上完成锻造,各项技术参数均达到了国际先进水平。2008 年中国新增风电装机容量 6300MW,新增量位列全球第二,截至 2008 年底风电总装机容量达到 12 210MW,同比增长 106%,总装机容量位列全球第四。最近,具有自主知识产权的国内首批 3 台国产化 3MW 海上风电机组在首个国家海上风电示范工程——上海东海大桥 100MW 海上风电场正式投入运行。中国有近 70 家企业涉足风电整机制造,中国风机已开始出口国际市场。

(2)石化设备。2009 年 1 月,我国首台百万吨级乙烯裂解气压缩机由沈阳鼓风机集团制造并试车成功,标志着我国已具备百万吨级乙烯“三机”制造能力。2009 年 3 月,由中国石油宝石机械公司研制的我国首台 12 000m 特深井钻机投入

\* 本文为全国人大副委员长、中国科学院院长、中国机械工程学理事会理事长路甬祥 2009 年 12 月 12 日在“中国创新论坛之从制造到创造——装备制造业振兴专家论坛”上所作的主旨报告。限于篇幅,刊出时有删节。

使用,标志着我国陆地和海洋深水油气田、大位移井及其他复杂油气田超深油气藏的勘探开发钻井水平已经提高到一个新层次。目前,我国 1000 万吨炼油设备国产化率已经达到 90%,30 万吨合成氨和 52 万吨尿素成套设备实现了国产化。

(3)冶金设备。我国冶金设备从引进消化吸收到自主创新,其技术水平现已跻身世界先进行列。宝钢的建设与发展,大力推动了国内冶金及装备工业的发展,参与宝钢工程设计、安装、设备制造和物资配套的企业通过消化宝钢的引进技术,大大缩短了与国际先进水平的差距。宝钢一期工程建设时,我国还不具备制造大型现代化冶金设备的能力,主体装备成套引进,少部分设备国内制造,设备国产化率只有 12%;宝钢三期工程以国内设计和制造的装备为主,部分设备采用“点菜式”引进并在国内总成,将设备国产化率提升到 80%以上,而且国产设备还进入了高难度、高技术的“心脏”部位;宝钢“十五”项目建设的国产化率则进一步上升到 88%。

#### 1.1.2.2 交通运输设备

我国汽车制造业实现了多领域、全方位的快速发展。2009 年 10 月,中国首次迈进千万辆级汽车生产大国的行列,中国汽车工业用最近 7 年的时间创造了过去 53 年的总产量。我国在新能源汽车的研制方面也取得了初步成就,北京奥运会有 350 辆各类车型是节能与新能源国产汽车,我国正在开展“十城千辆”(已增至 13 个城市)城市电动公共汽车运营试点。中国已成为世界上少数几个能制造时速 350km/h 高速列车的国家之一,已完全掌握了动车组列车的总成、车体、转向架、列车网络控制和制动系统等九大关键技术及 10 项主要配套技术。预计在 2011 年交付的京沪高铁采用的动车组的国产化程度将达 85%以上。我国船舶制造业已形成了一批标准化、系列化船型,而且在一些高度复杂的船舶和海洋工程装备方面也取得了重大突破,具备了自主设计大型自升式钻井平台和半潜式海洋平台的能力。我国率先开发的 17.5 万吨绿色环保好望角型散货船已成为国际品牌;自主开发的 30 万吨超大型油船(VLCC)的性能受到国内外船东的好评;具有自主知识产权的集装箱船已成系列。飞机制造业已逐步形成涡扇支线客机、涡桨支线飞机、中型货运飞机、小型直升机、中型直升机、大型直升机、客货混装多用途飞机、农林专用飞机、小型通用飞机、教练机十大自主产品系列,成为少数几个能够生产系列航空产品的国家之一。

#### 1.1.2.3 制造装备

高档数控机床和大型基础制造装备是工业现代化的基石,是高技术产业发展的支撑。我国数控机床产量从 2001 年的 1.7 万台增至 2008 年的 12.2 万台,数控机床产量跃居世界第一,95%的经济型数控系统和一些中高档数控系统由国内制造。精密加工技术有了新进展,数控金属切削机床的加工精度已提升到微米级,有些品种已达到 0.05 $\mu\text{m}$  左右。2009 年,中国兵器工业集团自主研制的 352.8MN 黑色金属垂直挤压机在北方重工公司成功完成热调试,标志着我国大口径厚壁无缝钢管制造技术打破国外垄断并达到世界领先水平。

#### 1.1.2.4 工程机械

目前,我国工程机械行业形成了独立自主的新产品研发体系和现代化研发手段,新产品开发周期缩短到 1 年左右,大大提高了应对市场的能力,每年有 70~80 个新产品投放市场,新产品产值平均每年达到 25%左右。重点骨干企业科研开发经费已经占到销售额的 2%以上,少数企业达到 5%的国际先进水平。2009 年公布的全球工程机械 50 强中,中国企业占有 8 席。

#### 1.1.2.5 航天工程

我国运载火箭和卫星技术已达到国际先进水平,先后研制了 14 个型号的长征系列运载火箭,具备发射各种轨道空间飞行器的能力,在可靠性、安全性、成功率和入轨精度等方面都达到了国际一流水平。我国在载人航天和深空探测领域也取得了重大突破,20 余项技术达到国际先进水平。我国航天技术应用达到新水平,在 1000 多种新材料中,近 80%是在航天需求的牵引下研制的,有近 2000 项航天科技成果已移植到国民经济各部门。航天科技工业的发展带动了微电子技术、计算机技术、光电技术、新材料技术、新能源技术、生物技术、纳米技术等高新技术产业群的崛起,有力地提升了我国科学技术的整体水平。

### 1.2 我国已成为世界制造大国和出口大国

#### 1.2.1 制造大国

(1)我国制造业增加值在世界的份额不断提高。按照 2000 年不变价计算,我国制造业增加值占世界的份额由 1995 年的 5.1%上升到 2007 年的 11.4%。在 22 个工业大类中,我国制造业占世界比重在 7 个大类中名列第一,在 15 个大类中名列前三。而在发展中国家中,除了一个大类名列第 11 位外,其他 21 个大类所占份额都名列首位。

(2)改革开放 30 年来,我国机械制造业取得了突飞猛进的发展。自 2003 年以来,我国机械工业产值增幅均在 20%以上。2008 年机械工业总产值 9.07 万亿元,为 1978 年的 80 多倍。

(3)我国机械制造业已形成门类齐全、具有相当规模和一定水平的产业体系。截至 2008 年,我国机械工业拥有规模以上企业 7.88 万家,资产总额 6.68 万亿元,从业人员 1466 万人,2008 年全年完成工业总产值突破 9 万亿元,完成工业增加值 2.28 万亿元,实现利润 4605 亿元,税金 2491 亿元,2008 年机械工业多项指标增速居全国工业各行业首位。

(4)我国已成为世界机械制造大国。德国机械设备制造业联合会公布的一项评估称,2008 年中国已超过德国成为世界机械制造大国。我国有 210 余种工业产品产量居世界第一。其中,发电设备产量、数控金属切削机床产量均位居世界第一。在常规发电设备、输变电设备、港口装卸机械、水泥成套设备等制造领域,不仅早已替代进口,并已占领了重要的海外市场。

### 1.2.2 出口大国

根据联合国的统计,2008 年,我国出口总额达 14 306.9 亿美元,位居全球第二,仅比第一位的德国低 354.5 亿美元,比第三位的美国高出 1307.9 亿美元。世界贸易组织(WTO)首席经济学家 Patrick Low 预测,中国可能会在 2009 年超过德国,成为世界第一出口大国。

中国机械工业对全球机械产品出口贸易增长的贡献不断加大。据联合国统计,2008 年,我国机械、电气与运输设备出口额(按照联合国贸易标准分类的第三版格式,即 SITC-3,选择其中的一位数分类——7 大类之机械、电气与运输设备统计)达到 6740.65 亿美元,居全球第二位(德国第一,美国第三,日本第四)。

### 1.3 我国已形成了一批著名企业、制造产业集聚地

截至目前,我国装备工业领域已形成了一批具有综合实力的大型企业集团和专业化企业,如一汽等四大汽车企业集团、上海电气集团、南车集团、北车集团、中航工业集团、国机集团、通用集团等;一批具有较强综合实力的股份制企业 and 民营企业正在成长,如中联重科、三一重工、沈阳机床、大连机床、特变电工、天马轴承、万向集团等;一批由科研院所和大学创办的高科技企业正在崛起,如振华港机、南瑞继保、山河智能等。在国家大力倡导和推动下,我国各地及相关企业都在加快区

域布局调整,推进产业集聚。例如:广东省已成为全国最大的光电产业基地;沈阳市先进装备制造业基地建设取得新突破;以徐工集团为核心的徐州工程机械产业经济总量已经占到了全国同行业的 25%,工程机械企业已经发展到 1000 多家,形成庞大的产业集群,在技术、规模、品牌、配套能力 4 个主要方面,在国内均处于行业领先地位;长沙有 29 家规模以上工程机械企业,其中大中型企业 6 家,生产的产品涉及 12 个大类 100 多个小类 400 多个品种规格;浙江作为我国模具制造大省,2008 年,模具出口总额为 3.22 亿美元,占全国模具出口总额的 16.73%。

## 2 我国机械制造业面临的挑战

改革开放 30 年来,我国机械制造业取得了令人瞩目的成绩,但还面临着一些必须充分重视的挑战和问题。总体来看面临着以下几个关键性问题:首先,虽然自主创新能力得到稳步提升,但创新能力不强,导致核心竞争力不足;其次,长期的“世界工厂”的发展模式,导致了机械产品附加值低,忽视品牌价值;另外,能耗高、利用率水平较低,信息化程度不足,在未来的竞争中对我机械制造业的制约也将进一步凸显。

### 2.1 创新能力不强,核心竞争力不足

截至 2008 年底,我国有效专利共计 119.5196 万件,其中,国内权利人的有效专利(简称国内有效专利)92.3797 万件,国外权利人的有效专利(简称国外有效专利)27.1399 万件,分别占总数的 77.3%和 22.7%。

在国内有效专利中,有效发明专利 12.7596 万件,有效实用新型专利 46.3342 万件,有效外观设计专利 33.2859 万件。由此可以看出,国内有效专利以实用新型和外观设计专利为主,发明专利所占比重相对较低。而在国外有效专利中,发明专利 20.9619 万件,远高于国内有效发明专利数量;实用新型专利有 6387 件,外观设计专利共 5.5393 万件,分别低于国内有效实用新型和外观设计专利。

截至 2008 年,我国机械工程领域国内有效专利数量远低于国外在我国的有效专利数量。

按 WIPO 最新修订的技术领域分类标准,在 35 个技术领域,国内有效发明专利数量在食品化学、药品、材料冶金等 9 个领域占据优势,但在如光学、半导体、计算机技术等高新技术领域,国外有效发明专利数量仍高于国内有效发明专利数量。



## 2.2 产品附加值较低,品牌竞争力弱

由于我国制造业产品处于国际产业链的低端,所以往往依据客户提供的产品规格与制造规范进行生产与组装,在产品的设计、品牌经营、销售及售后服务等环节投入较少,致使我国制造业在品牌方面竞争力不足,目前,我国多数出口产品是贴牌生产,出口企业中拥有自主品牌的不足 20%。

由于我国产品附加值低,因而往往采用低价竞争和模仿国外新产品的方式来赢得订单,在国际市场上频繁遭遇贸易摩擦。2008 年,我国已连续 14 年成为反倾销调查的最大受害国;我国产品居美国 337 调查的被调查首位,居美国 CPSC(美国消费品安全委员会)召回首位,居欧盟 RAPEX(欧盟非食品类快速预警系统)通报首位。

## 2.3 能耗高、效率低

目前,我国的制造业整体一直未能摆脱高损耗和低效率的困局,这制约着我国制造业竞争力的提高。我国的传统制造业在创造巨大财富的同时,也已成为能源消耗的大户。我国的能源利用率是 33%,比发达国家低约 10 个百分点。

## 2.4 信息化水平较低

我国制造业企业的信息化水平在国内相对于其他行业较高。在 2008 年度中国企业信息化 500 强调查中,参评企业销售收入总额 11.6 万亿元,相当于当年 GDP 的 38.6%。2008 年入选企业中制造业企业的比例为 58.7%。而我国制造业的信息化整体水平与世界发达国家相比尚存一定差距。入选信息化 500 强的企业中,有 34.5% 达到中等发达国家水平,6.4% 居于国际领先水平。同时,大型企业信息化水平较高,民营企业水平较低。入选信息化 500 强的企业中,有 12 家是世界 500 强企业,174 家企业是中国 500 强企业,信息化 500 强覆盖了国民经济的骨干成分。信息化 500 强中民营企业的数量虽然比以往有所提高,但所占比例仅为 16.8%。

## 3 全球机械制造业的发展趋势

当今社会,环境和能源问题已成为大家所关注的焦点。全球范围内环境、能源约束与经济社会发展之间的矛盾进一步凸显,由此决定了制造业必须改变以往粗放式发展方式;环境和能源问题所带来的不仅是挑战,也是机遇,战略性新兴产业在金融危机助推下将应运而生,谁抓住了机遇,谁将在未来竞争中取得主动地位,而任何战略性新兴产业的发展都离不开机械制造业的进步,这

也向机械制造业提出了更高的要求。

## 3.1 环境对机械制造业提出更高要求

### 3.1.1 世界范围内环境与经济社会发展间的矛盾突出

世界 200 多年的工业化历程,仅使不到 10 亿人口的发达国家实现了现代化,但资源和生态却付出了沉重的代价。世界上 3/4 以上的人口生活在生态环境退化速度超过自我更新速度的国家。全球环境资源消耗速度超过地球生态自我更新速度达 30%。美国和中国排在全球资源消耗最大的国家之列。

2008 年,我国 CO<sub>2</sub> 排量占世界总量的 21.8%,美国占 20.2%,我国已成为世界上排放 CO<sub>2</sub> 最多的国家。

可持续发展是现代化的永恒主题,这要求制造业再也不能延续传统的经济增长方式和发展模式,而要体现循环经济的可持续发展理念,走一条科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源得到充分发挥的新型工业化道路。中国的有限资源难以支撑传统工业粗放型增长方式。综合世界银行、中国科学院和国家环保总局的测算,我国每年因环境污染造成的损失约占 GDP 的 10% 左右。目前,我国所有造成环境污染的排放物中,70% 来源于制造业。

### 3.1.2 各国纷纷制定绿色计划和减排目标

美国奥巴马政府已把新能源的创新和发展作为国家优先战略,制定了一揽子政策,重点资助清洁能源和可再生能源技术开发与产业发展。

2008 年 1 月,欧盟委员会提出了欧盟能源气候一揽子计划,这将有助于实现到 2020 年的减排目标;欧盟将在今后 6 年内投资约 10 亿欧元用于燃料电池和氢能源的研究和发展。

日本早在 1991 年就推出了“绿色行业计划”,致力于资源保护、减少能源和材料消耗、减少固体废弃物和温室气体,通过公共教育、环境先导、节能建筑、全生命周期评价以及 DFE 和 ISO14000 认证系统实现绿色制造以提升企业竞争力。2008 年 7 月,日本政府公布了为实现低碳社会而制订的行动计划草案。

### 3.1.3 环境法规、标准和绿色壁垒日益增多

欧盟关于环境方面的立法较早、较多,影响较大的有 WEEE 指令(自 2005 年 8 月 13 日起,欧盟市场上流通的电子电气设备的生产商必须在法律意义上承担起支付自己报废产品回收费用的责任),RoHS 指令(自 2006 年 7 月 1 日起,所有在欧盟市场上出售的电子电气设备必须禁止使用

铅、水银、镉、六价铬等重金属,以及聚溴二苯醚(PBDE)和聚溴联苯(PBB)等阻燃剂),以及 EuP 指令(关于制定用能产品生态设计要求框架的指令)。

日本较早就制定了一系列相关的法律法规,形成了较为完善的循环型社会的法律保障体系。主要法规包括:①2000 年制定的《循环型社会基本法》,提出了建立循环型经济社会的基本原则;②固体废弃物管理法,在一定程度上执行了“污染者付费原则(PPP)”;

③促进资源有效利用法,要求行业主体将 3R 原则(减量化、再利用和再循环)从产品的生产贯穿至回收处理;④家用电器回收法;⑤绿色采购法;⑥J-MOSS 法规。

美国已经建立了一个庞大的联邦环境法规体系。截至 2009 年 6 月,美国有 20 个州颁布了电子废弃物回收的法案/法律,主要针对电视机、笔记本电脑、台式电脑、计算机显示器等视频显示设备,有些也包括其他音视频产品以及计算机外围设备。

可以看出,为应对环境和能源问题,各国环境法规和标准日益严格,国际绿色贸易壁垒不断增多。绿色贸易壁垒对我国对外贸易的影响巨大。因不符合环保要求,中国每年有 74 亿美元的商品出口受阻。我国出口贸易相当部分是初级低附加值产品,而产品的出口市场又主要集中在发达国家和部分新兴工业国家。由于这些国家在绿色贸易壁垒方面制定了苛刻的标准和严格的合格评定程序,因而严重影响了我国产品市场的范围和产品出口增长速度,尤其在农产品、食品、机电产品、纺织、服装、纸张、服务贸易、产品包装等方面的影响更大,涉及到的主要标准有食品中的农药残留量、陶瓷产品中的含铅量、皮革的 PCP 残留量、机电及玩具产品的安全性指标、包装物的可回收性指标、纺织品染料指标、保护臭氧层受控物质等。

### 3.1.4 “绿色标志”逐渐被消费者所认识

尽管遭遇了金融危机,欧洲消费者对绿色产品的需求仍在增长。波士顿咨询公司于 2009 年 1 月发布的报告显示,在对欧洲 2000 名年收入在 35 000 美元以上的消费者的调查中,经常购买绿色产品的消费者比例由 2007 年的 32% 增加到 2008 年的 34%,可以接受绿色产品价格较普通产品高的消费者比例由 2007 年的 20% 增加到 2008 年的 24%。

在欧盟和美国最近购买过绿色产品的消费者中,认为绿色产品比普通产品质量要好的消费者分别占 41% 和 43%,而认为质量要差的消费者分

别只各占 5%;可以接受绿色产品价格较普通产品高 10% 以内的消费者分别占 58% 和 59%,另外还各有 23% 的消费者可以接受绿色产品价格较普通产品高 10% 以上。

### 3.2 机械制造业向能源节约型转变成为当务之急

随着全球经济的飞速发展,人类对于能源的需求正以惊人的速度上升。可用的能源(包括自然资源和能源物质)的自然增长已经远远落后于需求。能源问题越来越受到各国政府的重视,全球范围内能源安全观随着时代发展也在发生着深刻变化,正由过去主要应对市场短期供应中断,向能源供应的长期可持续性转变。

我国能源利用率不高,导致了能源消费量大。2008 年我国能源消费总量相当于 2002.5Mt 油当量,位居世界第二。国际能源署(IEA)在 2009 年 11 月公布的全球能源展望年度报告中称,到 2025 年,中国将超越美国成为全球最大的能源和天然气消费国,届时能源消费的前三大国将依次为中国、美国和印度。

(1)我国能源结构短期内难有较大改变。我国能耗结构以煤炭为主,而煤炭在多种能源中利用率最低。煤炭在我国能源结构中所占比例最大,达 70.2%,接下来依次是石油(18.8%)、水电(6.6%)、天然气(3.6%)、核电(0.8%)。至少到本世纪中叶,我国仍要以煤炭、石油等传统能源为主,这使得提高能源利用率、实现向能源节约型增长方式的转变已成为当务之急。我国《可再生能源中长期发展规划》指出,力争到 2010 年使可再生能源消费量占能源消费总量的 10% 左右,到 2020 年达到 15% 左右。按照规划和目前可再生能源发展速度推算,到 2020 年可再生能源消费量将达到能源消费总量的 15%~20%,届时,传统能源发电所占比例将为 80%~85% 左右,仍以传统能源为主。目前,我国正处在工业化和城镇化的加速发展时期,以资金密集型和资源消耗型的重工业为主的产业结构短期内难有较大幅度改变。因此,降低重工业的能源消耗、提升能源利用率已成首要任务。

(2)我国油气进口依存度大,易受国际市场价格冲击。我国油气资源的进口依存度较高,这在一定程度上制约了我国制造业的发展。2008 年,我国石油对外依存度已达 51.3%。2009 年,据中国能源蓝皮书预测,在石油消费需求快速增加和国内资源限制的共同影响下,2020 年中国石油对外依存度将上升至 64.5%。由于石油进口依存

度大,石油价格波动对中国经济安全性影响较大,因此需要对制造业的结构进行调整,在大力推进科技创新的基础上,降低单位 GDP 能源消耗,从根本上减小国际能源价格波动对我国经济的影响,从而加强和提高我国经济的安全性。

### 3.3 战略性新兴产业对机械制造业提出新要求

全球科技将进入一个新的创新时代,各国都把争夺经济科技制高点作为战略重点,把科技创新投资作为最重要的战略投资,把发展高技术及产业作为带动经济社会发展的战略突破口,这将加速相关新兴产业的发展。

新能源及新能源所催生的新产品(如新能源汽车产业)、生物医学等领域成为各国竞相发展的重点领域。美国总统奥巴马 2009 年 2 月签署的总额为 7870 亿美元的经济刺激方案中约有 1200 亿美元投向科技领域用以支持高新产业发展,其中,新能源和提升能源利用率占了 468 亿美元,生物医学领域的基础性投入也占到了 100 亿美元。欧盟下属的融资机构欧洲投资银行(EIB)连续 5 年对新能源汽车产业给予优惠贷款。2009 年上半年,该银行又向欧盟汽车业发放了 70 亿欧元的贷款,用于环保汽车的研发和推广。日本对新能源开发、试验、推广普及的预算投入逐年增加,在本轮的新车销售刺激计划中投入了 40 亿美元扶持节能型汽车,提出到 2020 年实现半数新车转换成电动车的目标。

我国也在 5 个领域提出了大力发展战略性新兴产业的要求:①新能源产业发展,创新发展可再生能源技术、节能减排技术、清洁煤技术及核能技术,大力推进节能环保和资源循环利用,加快构建以低碳排放为特征的工业、建筑、交通体系;②着力发展传感网、物联网关键技术;③加快微电子和光电子材料和器件、新型功能材料、高性能结构材料、纳米技术和材料等领域的科技攻关;④运用生命科学推动农业和医药产业发展;⑤大胆探索空间、海洋和地球深部,促进海洋资源合理开发和海洋产业发展,努力提高地球深部资源探测水平,充分挖掘和利用好各种资源。

战略性新兴产业对制造业提出了新的要求,要求机械制造业能够为其提供高效率、高精度、环境友好型和能源节约型的装备和产品。

## 4 走向绿色制造和智能制造

当前,环境对制造业提出了更高的要求,能源紧缺对制造业的制约日益加剧,中国制造业必须要增强自主创新能力,以人为本,实现人与自然协

调发展,提升附加值和国际品牌竞争力,实现由制造大国向制造强国的历史跨越。而发展绿色制造和智能制造则是实现该历史跨越的关键所在。

### 4.1 绿色制造

绿色制造(green manufacturing, GM),是在保证产品的功能、质量和成本的前提下,综合考虑环境影响和资源效率的现代制造模式。绿色制造使产品在从设计、制造、使用到报废的整个产品生命周期中不产生环境污染或使环境污染最小化,符合环保要求;绿色制造节约资源和能源,使资源利用率最高,能源消耗最低,并使企业经济效益和社会生态效益协调最优化。绿色制造已成为 21 世纪机械制造业的发展趋势,是实现资源和能源高效清洁循环利用与环境影响的最小化,有效保障我国现代化进程与装备制造的有效供给与有效利用,建立资源节约型、环境友好型社会的重要途径,且具有相当的紧迫性。

#### 4.1.1 改进制造工艺,减少资源消耗

改进制造工艺,开发新的工艺技术,采用能够使资源和能源利用率高、原材料转化率高、污染物产生量少的新工艺,以减少制造过程中资源浪费和污染物的产生,使中间废弃物能够回收再利用、最终废弃物可以分解处理,最大限度实现少废或无废生产。在机械加工中,铸造、锻造冲压、焊接、热处理、表面保护等过程都可以实行绿色制造工艺。具体可以从以下几方面入手:改进工艺,提高产品合格率,采用合理工艺,简化产品加工流程,减少加工工序,谋求生产过程的废料最少化,避免不安全因素,减少产品生产过程中的污染物排放,如减少切削液的使用或使用绿色切削液等。目前干式切削技术得到了较大发展。

#### 4.1.2 采用节能设备或改造老设备

要在生产加工过程中实施清洁生产,也需要从绿色制造设备与装备等入手。采用节能设备,研发新设备或改造老设备,实现节能降耗。在机械装备中,电气传动系统所耗费的电能占到了 60%~70%,采用节能的传动系统可以为机械装备降低更多的能源消耗。通过采用变频调速技术改变电机、风机及水泵的控制方式,能够产生十分可观的节能效果,这已成为当前广泛使用的节能方式。例如在一条纺织机械生产线上,变频器除调节生产线的电机运行速度外,还可以对生产环境进行恒温及恒湿控制,这种对工艺流程的改变不仅提高生产质量,还减少了故障率,降低了能耗。

在改造设备方面效果最为突出的是宝山钢铁



公司,宝钢是我国的超大型企业,是耗能耗材大户。为降低资源和能源消耗,宝钢制定了 19 项节能降耗的环境目标和 7 项节约材料的目标,使本来管理和技术水平已经属世界先进水平的宝钢又上了一个台阶。宝钢实施上述管理和技术体系的 11 个月中,降低原材料消耗的效益达 3700 万元,节能的效益为 1.25 亿元,使吨钢综合煤耗水平在原来已达世界先进水平的基础上再降 29kg。

#### 4.1.3 采用绿色设计与全生命周期评价方法

绿色设计从可持续发展的高度审视产品的整个生命周期,强调在产品开发阶段按照全生命周期的观点进行系统性的分析与评价,消除潜在的对环境的负面影响,力求形成“从摇篮到再生”的过程。

产品全生命周期评价(life cycle assessment, LCA)技术正在成为实施绿色设计和绿色制造的重要工具,是绿色制造前沿技术之一,同时也是实施绿色设计和制造的关键和共性基础技术。根据 ISO 的定义,产品全生命周期评价是对某一产品系统全生命周期的输入、输出及其潜在环境影响进行评价的过程。

生命周期评价提供了产品整个生命周期的能源、资源消耗和环境排放物的广泛信息,并可提出环境负荷改善的措施和建议,是一种具有巨大潜力的环境影响评价理论工具。

#### 4.1.4 采用回收再生和复用技术,实现可再生循环

可再生循环的制造过程主要应用拆卸技术和循环再利用技术。拆卸技术指依据最小附加成本及产品被拆卸后所能获取最大综合利用价值的原则,开发最佳的拆卸程序和方法。通过二次制造将已用过的产品的性能特征恢复到接近于新产品的状态,不仅延长产品寿命而且促进了部件和材料的循环再利用。循环再利用技术是对拆卸下来的零部件或者分解、还原的材料进行二次利用的技术,在产品的设计制造中考虑两个因素:回收和分解。回收设计致力于开发材料回收技术,如废弃金属粉碎重熔。分解设计是指通过将产品分解为最基本的组分而尽可能地使产品中几乎所有的材料能够循环利用,金属和非金属材料可通过分解而回收,避免废物产生污染环境。

#### 4.1.5 构建一体化循环经济产业链,促进资源节约和再利用

我国高度重视循环经济的发展,目前已被批准建立的国家生态工业示范园有 24 个。长沙黄兴生态工业园是我国第一个全新规划的综合类生

态工业园,主要发展电子信息产业、新材料产业、生物医药产业和环保产业。目前园内共有企业 34 家,分为物质生产者、技术生产者、消费者、分解者及虚拟企业。构建的多条产业链使园区内四大行业通过物质流、能量流和信息流相互连接在一起,形成了多种物质能量链接的生态链网络。在这个生态链网上,核心行业、附属企业和虚拟企业之间通过物质流形成了一个虚实结合的生态工业园区,每个核心行业的产业链以企业群落为主体,通过中间产品的交换,加强了工业小区中各个企业间的相互联系,有效延长产品链。同时四大行业间的物质流构成了横向连接,形成了产业链网,通过信息流加强同工业区外虚拟企业产业链条的对接,使物质集成的空间尺度扩大。

#### 4.1.6 加快节能减排核心技术的突破

采用绿色制造技术,在提高产品质量和附加值的同时,努力降低资源的能耗,这是未来制造业的发展方向。为此,我们需要加紧研制具有先进技术性能的能源技术装备,包括:煤的清洁高效开发利用、液化及多联产;复杂地质油气资源勘探开发利用;第三代 200MW 级高温气冷堆核电厂;提高可再生能源技术研发能力和产业化水平,包括风电机组、太阳能发电、生物质发电、地热利用等关键技术;节能工业设备和终端用能设备的开发。

### 4.2 智能制造

智能制造(intelligent manufacturing, IM)系统是一种由智能机器和人类专家共同组成的人机一体化智能系统,它在制造过程中能进行智能活动,诸如分析、推理、判断、构思和决策等。通过人与智能机器的合作共事,去扩大、延伸和部分地取代人类专家在制造过程中的脑力劳动。它对制造自动化的概念进行了更新,扩展到柔性化、智能化和高度集成化。智能制造系统最终要从以人为主要决策核心的人机和谐系统向以机器为主体的自主运行转变。

(1)智能化能够提升传统制造水平。智能化将进一步提高制造系统的柔性化和自动化水平,使生产系统具有更完善的判断与适应能力,也将会显著减少制造过程物耗、能耗,提升传统制造业的水平。

(2)智能化能够满足高技术发展要求。伴随着机械制造业用户行业的技术不断发展,对产品的质量要求也越来越高,对机械制造业提出了更高的要求。计算机技术、网络通信技术在装备上的迅速应用,使用户行业的工艺技术不断集成在装备中,与装备制造业的产品技术相结合,形成了

新的装备,满足了用户不断增长的需求。装备制造业的产品技术正向信息集成、接口集成、系统集成的方向发展,同时生产过程自动化、智能化水平不断提高。

(3)智能化有助于缓解环境和能源对机械制造业的瓶颈制约。智能化在提高专业化分工与协作配套,促进生产要素的有效集聚和优化配置,降低成本以及节约社会资源、能源等方面具有重要作用。例如,日本的 ICT 创新战略实际上是由信息化、智能化促进节能,推进绿色高附加值制造。

(4)信息化、智能化技术将推动机械制造业生产方式发生全新的改变。未来的机械制造将是由信息主导的,并采用先进生产模式、先进制造系统、先进制造技术和先进组织管理方式的全新的机械制造业。我国的离散型制造主要集中在机械加工、电子元器件制造、汽车等行业,信息化为具有离散特点的机械制造业进行协同制造创造了条件。信息技术将促进设计技术的现代化,加工制造的精密化、快速化,自动化技术的柔性化、智能化,整个制造过程的网络化、智能化、全球化。各种先进生产模式也无不以智能信息技术的发展为支撑。智能信息技术将改变机械制造业的设计方式、生产方式、管理方式和服务方式。

(5)信息化、智能化技术为现代制造服务业提供了技术保障。现代制造服务业是面向制造业的生产性社会化的服务业,已成为制造业增加值的主要来源。开展增值服务是机械制造业转型升级的重要途径。在德国机械设备制造企业中,服务收入在营业额中的比重从 1999 年的 13% 升至 2005 年的 20%,如蒂森克虏伯集团 2007 年的服务收入为 167 亿欧元,占集团销售收入的比例达 32.3%,而我国的制造服务业尚处于起步阶段。借助信息化技术手段,制造业服务的模式得以不断改进和优化,服务得以向业务链的前后端延伸,能够不断优化服务内容,持续改进服务质量。进入 21 世纪以来,发达国家纷纷调整其产业政策与技术政策,将高新技术的重点和科技发展的热点转向产业技术主要是智能化制造技术领域,使智能化制造技术由传统意义上的单纯机械加工技术转变为集机械、电子、材料、信息和管理等诸多技术于一体的先进制造技术,并加速用现代智能化制造技术改造和提升传统制造业,实现制造业的高技术化。当前,国际智能化制造业采用或准备采用的先进制造技术主要体现在:①新型(非常规)加工方法的发展,包括激光加工技术、电磁加工技术、超塑加工技术及两种以上加工方法复合

应用等;②专业、学科间交叉融合,冷热加工、加工过程、检测过程、物流过程、设计、材料应用、制造等方面,界限逐渐淡化;③工艺研究由“经验”走向“定量分析”;④高新技术与传统工艺紧密结合,使传统工艺产生显著的、本质的变化,极大地提高生产效率和产品质量;⑤常规制造工艺的优化,以形成优质高效、低耗、少污染的制造技术为主要目标;⑥以计算机与网络技术为核心。

(6)智能化与智能化。智能制造系统最终要从以人为主要决策核心的人机和谐系统向以机器为主体的自主运行转变,这就要求智能系统最终必须能够像人一样具备作出符合人文伦理和生态环境伦理的行为。因此,当前,在我国智能化发展初期就应当明确智能化(既智能又符合伦理标准)发展的大方向。

### 4.3 绿色和智能制造也要面向大多数人

收入结构决定了我国在发展绿色和智能制造的过程中,既要注重高端、高附加值产品的开发,同时也要大力发展面向大多数中低收入人群的高质量、低成本的产品开发。2007 年,我国的基尼系数为 0.48,已经超过了国际上 0.4 的警戒线。同时,研究发现,目前我国收入结构呈倒丁字形,上部是高收入和中高收入的人群,底部是大量的低收入和中低收入者。按照世界银行的划分标准,2008 年,我国人均国民总收入为 2770 美元,我国仍处于世界中等偏下收入国家行列。因此,制造业发展要有市场需求并且能为消费能力所接受,就不能只注重高端产品的开发,而忽视了大多数人的需求。

### 4.4 完善绿色和智能制造方面的相关政策措施

从各国的做法来看,绿色和智能制造成为机械制造业产业结构升级和优化的必由之路。要推动绿色和智能制造的发展,为其营造良好的政策环境是关键。首先是采取措施大力发展绿色和智能工程教育。创新是工程教育的本质属性,当前中国的工程教育多注重知识的传授,而忽视工程训练、解决问题和创新能力的培养,导致工程教育与市场需求脱节。可以在重点大学及其他工程技术教育单位建立培养创新能力的工程实验室和创新设计机构,作为学生工程创新基地。要鼓励企业建立工程教育基地,为学生提供优良的工程实践场所。其次,通过金融、税收和信贷政策方面的支持来鼓励绿色和智能方面的技术研发和创新。同时,应在绿色和智能制造方面,逐步建立和完善产学研相结合、以企业为主的自主创新体系,并建

(下转第 399 页)



均显著减小,且 A 柱左右参考点侵入量最大值减小了 1.0mm 以上。

表 3 100%RB 碰撞侵入量指标比较 mm

位置	左 A 柱	右 A 柱	仪表 管梁	加速 踏板	离合器 踏板	歇脚 踏板
原设计	6.9	4.8	148.8	76.9	70.4	77.8
修改后	5.1	5.9	111.6	44.7	55.3	55.1
减少量	-1.8	1.1	-37.2	-32.2	-15.1	-22.7

将修改后的模型进行模态、弯曲刚度、扭转刚度校核计算。计算结果如表 4 所示。各工况下整车性能均有较大提高,尤其是弯曲刚度提高了近 18%。

表 4 综合修改后模态、弯曲、扭转校核

	模态工况	弯曲工况	扭转工况
模型	12 阶模 态频率 (Hz)	左右前纵梁 前端 Z 向位 移平均值 (mm)	左右塔形 支座 Z 向位 移平均值 (mm)
原设计	42.9	0.72	1.67
修改后	45.3	0.59	1.51
提高百分比	8.37%	18.06%	9.58%

4 结论

(1)可以使用静态等效优化的方法来提高前舱大变形、高度非线性的碰撞安全性能。

(2)采用拓扑优化和结构尺寸优化相结合的方法进行前舱优化设计是有效的,较好地满足了多个学科对设计的要求,这对以后的车辆研发有较好的指导作用。

参考文献:

[1] 葛文杰,黄杰,杨方. 拓扑优化技术及其在汽车设计中的应用[J]. 机床与液压,2007,35(8):11-12.

[2] Pedersen C B W. Topology Optimization of Energy Absorbing Frames [C]//Proceedings of the Fifth World Congress on Computational Mechanics. Vienna,2002;1-17.

[3] Diaz A R, Ignatovich C L, Soto C A. Strategies in Design for Enhanced Crashworthiness[C]//Topology Optimization of Structures and Composite Continua. Budapest,2000;293-304.

[4] 肖凡. 桑塔纳 2000 前碰中成员运动响应的计算机模拟[D]. 上海:同济大学,2004.

[5] 王健,程耿东. 多工况应力约束下连续体结构拓扑优化设计[J]. 机械强度,2003,25(1):55-57.

[6] 高云凯,孟德建,姜欣. 电动改装轿车车身结构拓扑优化分析[J]. 中国机械工程,2006,17(23):2522-2525.

[7] 高云凯,杨欣,金哲峰. 轿车车身刚度优化方法研究[J]. 同济大学学报(自然科学版),2005,33(8):1095-1097.

[8] 高云凯,张荣荣,彭和东,等. 微型电动轿车车身骨架结构分析[J]. 汽车工程,2003,25(6):638-641.

(编辑 袁兴玲)

作者简介:高云凯,男,1963 年生。同济大学汽车学院教授、博士研究生导师。主要研究方向为车身结构设计与分析。发表论文 20 余篇。孙 芳,女,1980 年生。同济大学汽车学院博士研究生。程金山,男,1982 年生。同济大学汽车学院硕士研究生。余海燕,女,1976 年生。同济大学汽车学院讲师。

(上接第 386 页)

立产学研合作的工程创新中心,加快行业的技术与产品的升级换代。

4.5 绿色制造、智能制造是未来战略性新兴产业的“关键词”

绿色制造和战略性新兴产业密不可分。首先,战略性新兴产业离不开绿色制造技术,战略性新兴产业必须绿色化。在当前环境和能源约束趋紧的大趋势下,只有具备了资源和能源消耗低的特征,才有可能成为战略性新兴产业,才具有生命力。反过来,绿色制造技术从一定程度上催生和拉动了战略性新兴产业的发展。智能制造是发展战略性新兴产业的重要支撑。战略性新兴产业要发展,具备国际竞争力,智能制造技术是支撑其发展和提升其竞争力的核心。

目前,一些工业发达国家都把争夺经济制高

点作为本国的战略重点,把科技创新投资作为重要的战略投资,把发展以高科技为主要特征的战略性新兴产业作为带动经济社会发展的战略突破口。战略性新兴产业将成为推动世界经济发展的主导力量。

发展战略性新兴产业是我国转变发展方式、调整产业结构,抢占新一轮发展制高点的根本途径,也是立足当前、渡过难关,着眼长远、上水平的重大战略选择。发展战略性新兴产业,必须选择正确的方向,要选择具有市场前景、资源消耗低、带动系数大、就业机会多、综合效益好的产业。发展战略性新兴产业必须掌握核心关键技术,而绿色、智能制造与战略性新兴产业密不可分,智能制造又是发展战略性新兴产业的重要支撑! 为此,走向绿色制造和智能制造,是中国制造业发展的必由之路!

(编辑 卢湘帆)