

图6 壳体类结构加工工艺流程图

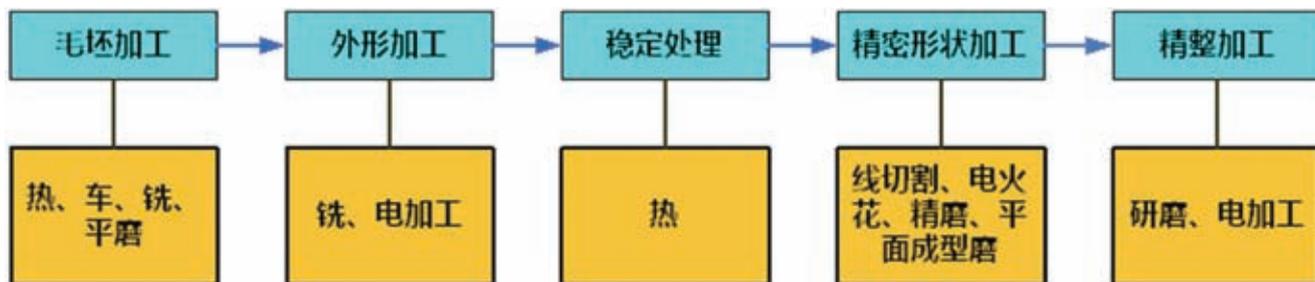


图7 异型件类结构加工工艺流程图

表2 零件特征加工单元

序号	单元类型	单元名称	主要加工对象	主加工设备	辅助设备
1	特征加工单元	壳体类	壳体、导磁体、端盖、阀套径向孔、喷嘴座、衔铁等零件	3轴/3轴半铣加工中心、平面磨、快走丝线切割、普通电火花	刻字/激光打标机、去毛刺设备、高度规、对刀仪、砂轮磨刀机
2	特征加工单元	轴套类	阀套、阀芯、弹簧管等零件	车加工中心、精密手动车	高度规、对刀仪、砂轮磨刀机、去毛刺设备
3	特征加工单元	小孔类	喷嘴、节流孔等零件	小型精密手动车、小孔射流研磨机、小孔流量检测台	光学显微镜、超声去毛刺及清洗机、小型手动精密刀具刃磨机
4	共性加工单元	精密磨	阀套、阀芯、弹簧管、反馈杆等零件	精密外圆磨床、刚度检测仪、搭接量检测台、抛光去毛刺设备	显微镜、光学影像测量仪
5	共性加工单元	精密电加工	阀套方孔、精密小孔	精密慢走丝线切割、精密小孔电火花或具有精密小孔加工能力的电火花机	高度比较仪、纯水机
6	共性加工单元	精密珩研	精密孔、精密小球、精密平面	涨刀式珩磨机、定尺寸珩磨机、平面研磨机、台式车床	高度比较仪、显微镜、气电量仪超声去毛刺及清洗机

衔铁等零件。异型件类结构加工工艺流程见图。

### 5.5 优化考虑要点

生产线年可生产伺服阀数量取决于年工时需求大小和年可完成定额工时能力,提高能力,就是要从这两个方面开展工作:

一是降低年产2000台套伺服阀工

时需求大小,在零件加工不扩散协作下,途径有降低修正系数,即降低筛选件、提高合格率,生产投产安排上减少多余生产;

二是提高各单元年可完成定额工时能力,途径包括引进自动化作业手段,淘汰部分手工作业效率低工艺,适当增加设备、提高生产/管理效率等。

从这两个方面统筹考虑,要点包括:

- (1) 关键技术梳理及瓶颈环节分析,提出工艺改造设备需求、工艺改进计划;
- (2) 存在的能力短板环节;
- (3) 信息化管理需求。

### 5.6 关键制造精度和设备保证能力

表3 关键制造精度和设备保证能力

序号	关重件	项目内容	数量(32)	是否满足
1	关重件精密加工(制造精度和设备保证能力)	内外圆,内锥面,内外环槽窄缝,弹性薄壁件,平面	7	满足
2	滑阀副偶件分组互换加工工艺(关键工艺)	孔径,外圆直径	2	满足
3	滑阀副搭接量微米级测量技术	测量精度,夹具设计,准确性,检测规范	4	满足
4	弹性零件刚度测量技术	重复性误差,弹性零件刚度测量,检测规范	3	满足
5	壳体类零件精密高效数控加工技术	复杂壳体高效加工,数控加工,加工效率,工艺规范	4	满足
6	多余物预防与控制技术(关键工艺)	1份顶层制度、5份管理文件、12份产品类和方法类技术规范的体系文件	12	满足

### 5.7 多余物预防与控制技术(关键工艺)

建立了包括设计、制造全过程的伺服机构多余物预防与控制体系,制定了包括1份顶层制度、5份管理文件、12份产品类和方法类技术规范的体系文件,伺服产品多余物控制的问题得到了有效控制。

### 5.8 智能制造

人工智能技术、机器人技术和数字化制造等技术相结合的智能制造技术开始贯穿于设计、生产、管理和服务等制造业的各个环节,正催生智能制造业,引领新一轮制造业变革。

(1) 人工智能与机器人加工技术  
工业机器人应用领域不但从搬运、码垛、喷漆、焊接工作范围扩展到了

机床上下料、换刀、测量、切削加工、装配及抛光领域,而且从减轻劳动强度的繁重工种发展到提高劳动效率的IC封装、颜色分检、视觉跟踪等领域。机器人之间的协同作业也大量出现,如FANUC用2台机器人协同完成弧焊作业,安川用1台人形机器人的2只机器手协同完成模型飞机的加工装配。搬运超重物体的FANUCM-2000iA系列机器人,运动范围达到4.6m×6.2m,一次最大可举起1350kg的重物。

(2) 数字化制造技术——超高性能精密复杂曲面加工技术

2010芝加哥IMTS展会上,奥地利林茨的WFL机床可以一次装夹完成飞机起落架等大型圆柱形零件的车铣复合加工。

日本、德国推出多任务车铣复合机床,采用多主轴,多塔式刀架结构,可一次装夹完成复杂零件加工,具备高复合加工能力。



图8 生产线建设实践结果



图9 FANUC多机器人协同弧焊



图10 多任务车铣复合机床

## 6 完善和建立工艺技术基础

工艺规范是信息化基础，工艺文

件是整改最多的文件，是企业最核心的载体和研究对象。建立工艺技术文件规范体系包括：

- (1) 机械、机电、电子装配规范；
- (2) 以设备为基础规范；
- (3) 以材料为基础规范；
- (4) 以典型零件（结构件、功能件、活动部件）规范。

## 7 总结

零部件制造企业需要抓住以下重点：智能引领、创新驱动、抓住关键、优化结构、节能减排、质量为主、能力提升。**T**

（上接10页）

“三基”规划当中明确提出了要围绕重大装备和高端装备的发展急需，集中优势资源来开发20种标志性的机械基础件，15项标志性的基础制造工艺和12种标志性的基础材料。在今天的强基工程当中已经安排了一些，明年的强基工程这些示范性、标志性的“三基”产品仍将是支持的重点。行业协会要充分发挥桥梁纽带作用，加强和政府部门、上下游企业的联系，争取获得项目的更大支持。

二是加强产需对接，着力建设一批“三基”产业产需对接平台。通过工程机械高端液压件和仪器仪表的试点工作，我们感觉从用户的需求入手，依托行业协会，建设跨行业跨地区的产需对接平台，是当前形势下推进“三基”产业发展的有效途径，通过平台的工作，将上下游的企业与科研院所紧密结合，加快产业化攻关的进度，降低成本，分散风险，分工合作，有利于引

导各种优势资源形成合力，特别是基于用户需求开发的产品，容易在初期获得稳定的市场，推动“三基”企业与主机企业形成有效供应链，解决产业发展瓶颈问题。

三是统筹现有资源，着力建设一套完整的检测认证服务体系。检测认证服务体系是强化基础，推进转型升级的必备条件，也是提升“三基”产业可靠性、一致性和稳定性的重要手段。目前，行业的检测实验资源并不少，基于服务于“三基”产业的第三方质检机构有49家、计量机构7家，关键是要利用好现有的资源，形成完善的检测认证服务体系。另外一方面，还要加强标准体系的建设，发挥好标准化手段对规范市场的基础性作用，并且在这个基础上制定“三基”行业技术规范条件，开展“三基”产品质量认证工作，提高行业准入门槛，培育知名品牌，遏制低水平的重复建设。

四是要优化组织结构，着力打造一批大企业集团和专、精、特企业。目前国务院正在研究并且近期就要出台加快企业兼并重组的有关政策措施，我们将以这个为契机，直接推动企业的跨地区、跨所有制的兼并重组，提高“三基”产业集中度，形成若干个产值超过百亿的大型企业集团。其中，特别鼓励类似玉柴这样有实力的大企业跨出国门，收购有技术的外资企业，通过资本运作的方式来迅速掌握“三基”产品的关键核心技术，处于世界的领先地位。同时，也要积极培育掌握核心技术、专业化水平高、具有知名品牌的专、精、特的企业。

同志们，当前是落实“三基”产业“十二五”规划的关键时期，机遇和挑战并存，希望大家能够勇敢地承担起这项光荣的使命，群策群力，共同努力，为开创“三基”产业发展的新局面做出贡献！**T**

# 3D打印技术及其在电子产品制造中的应用研究探讨

周德俭

广西科技大学 校长/教授



**周**德俭，浙江大学博士毕业，现任广西科技大学校长，西安电子科技大学和桂林电子科技大学兼职博士生导师。兼任中国电子学会会士、电子机械工程分会副主任委员，《电子机械工程》副主任编委；中机艺协电子分会副理事长；国防科工委微电子组装开发应用中心理事；广西机械学会副理事长，广西电子学会副理事长，广西制造业信息化专家组组长。曾获机电部优秀科技青年、广西区有突出贡献科技人员等称号。

## 1 引言

当代科技发展速度迅猛，新工艺技术层出不穷，新一轮世界科技革命正在进行。以3D打印技术为代表的快速成型/堆积制造技术通过逐层堆积材料进行直接生产，带来制造工艺、制造模式的根本变革，对促进工业革命起到了积极的作用，受到世界各发达国家高度重视，技术快速进步，甚至被誉为第三次工业革命的重要标志。近些年欧、美等发达工业国家在快速成型(3D打印)技术创新及其应用方面都已经取得了显著进展。3D打印技术方兴未艾，4D打印技术已经登台。快速成型(3D打印)技术以逐步、分层、连续增加原材的“增材”形式进行零件快速制造，与传统的金属切削“减材”形式制造、电子产品制造中的层压“叠材”形式制造等形式截然不同。快

速成型(3D打印)制造的特性，尤其适用于高端电子产品研制中的单件、多品种小批量试制或制造，其技术的进步和应用，对电子装备制造及其减能增效具有极其重要的现实意义。快速成型(3D打印)技术的在电子产品制造中应用现状、应用前景、技术发展的趋势和方向如何?这是我们大家共同关心的问题。

## 2 快速成型(3D打印)技术的发展

### 2.1 快速成型(3D打印)技术基本概念

快速成型技术又称快速原型制造(RPM: Rapid Prototyping Manufacturing)技术，一般以全球首台快速成型设备诞生的1987年作为其技术应用起始年。它是基于材料堆积法的一种高新先进制造技术，所以又称为堆积制造(AM: Additive

Manufacturing)技术。快速成型/快速原型制造技术有光固法(SL: Stereo lithography)、叠层法(LOM: Laminated Object Manufacturing)、激光选区烧结法(SLS: Selective Laser Sintering)、熔融沉积法(FDM: Fused Deposition Modeling)、掩模固化法(SGC: Solid Ground Curing)、三维印刷法(3DP: Three Dimensional Printing)——即三维(3D)分层打印等方法。其中三维(3D)分层打印(印刷)成型技术应用最为普遍，所以快速成型/快速原型制造技术又俗称为3D打印技术。

快速成型技术是集机械工程、CAD、逆向工程、分层制造、数控技术、材料科学、激光技术、精密伺服驱动等技术于一身的综合性技术。它借助CAD或由实体逆向方法取得原型或零件几何形状(三维CAD的数据)，通

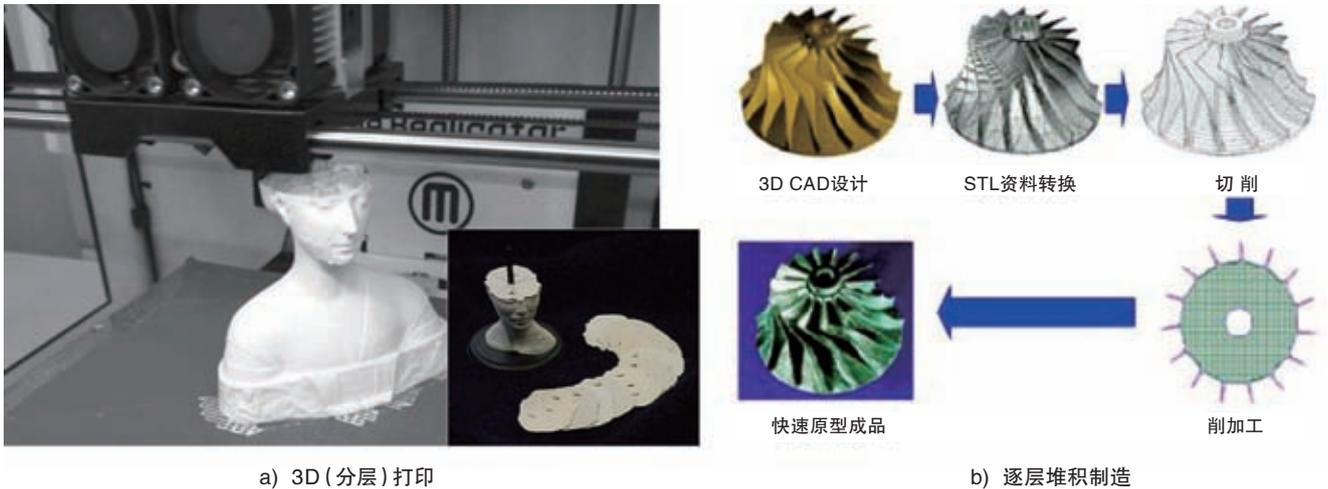


图1 快速成型(3D打印)原理示意图

过快速成型机,逐点、逐面地进行材料“三维堆积”成型,再经过必要的后处理,使其在外观、强度和性能等方面达到设计要求。可以自动、直接、快速、精确地将设计思想转变为具有一定功能的原型或直接制造零件(参见图1)。

通常将基于离散-堆积成型原理的先进制造技术总称为快速制造(RM: Rapid Manufacturing)技术,包含快速原型制造/快速成型制造等同类技术。快速制造技术的基本定义是:由产品的三维CAD模型数据直接驱动,组装(堆积)材料单元而制造出任意复杂且具有使用功能零件的科学技术。快速成型制造技术是快速制造大家族中最先产生的制造技术,在此基础上,又出现了快速工具、快速模具和快速生物支架制造等。

### 2.2 快速成型(3D打印)技术特点

快速成型(3D打印)技术主要有如下特点:(1)快速、即时生产、零时间交付。可以减少企业的实物库存,并能最大限度地减少长途运输的成本。(2)设计空间无限、产品形状复杂度无限。甚至可以设计制作目前可能只存在于自然界的形状。(3)良好的视

觉效果和设计确认效果。设计人员能在短时间之内看到设计的雏形,可作为进一步研发的基石,并使设计人员有充分的时间对设计的产品做详细的检证。(4)节约时间、费用成本。省略开模、精磨等传统工艺,制造形状复杂的物品成本不增加,并可通过分层制造省略部件组装缩短供应链,减少成本和生产污染。(5)可以低技能制造高精度成品。数字设计和计算机控制降低了对技能的要求,能够将数字精度不依赖操作者技能扩展到实体世界,甚至能在远程环境或极端情况下,通过扫描、编辑和复制实体对象,创建精确的副本或优化原件。(6)制作材料的组合无限制。改变了传统的制造机器在切割或模具成型过程中不能轻易地将多种原材料融合在一起的状态,能将不同原材料融合在一起形成独特的属性或功能。

### 2.3 快速成型(3D打印)技术国内外研究发展概况

从1987世界首台快速成型设备问世,1998年全球快速原型协会联盟(简称GARPA,是在各国政府注册的RP协会、学会、技术委员会的联盟)成立,至今快速成型技术诞生和发展

才短短20余年,但其发展速度之快、涉及应用领域之广、参与研究国家之多,十分引人注目。尤其是近年来,随着相关材料技术、元器件和设备制造技术的进步,快速成型技术更是得到了长足的发展。

目前,以参与GARPA(全球快速原型协会联盟)的美国、英国、瑞典、德国、日本、中国、芬兰、法国、加拿大、丹麦、意大利、韩国、南非、新西兰、爱尔兰、澳大利亚、香港等17个成员国(地区)为代表,各国均有计划地在该技术领域展开了工艺、技术、材料、设备的研发工作。已经基本形成规模化的全球快速成型技术产业市场,而且其前景非常看好。据预测,2012年全球3D打印的产值为22.04亿美元,过去3年3D打印的市场规模年均增速超过了25%,而且可能会迎来几何级的爆发性增长。到2025年,3D打印技术潜在的经济影响将达到2300亿美元至2500亿美元。

以美国的Stratasys公司、比利时的Materilise公司等世界知名的3D打印设备制造商为代表,其技术研究、应用最早出现在工业设计、牙科和医疗、航空航天、汽车等领域。世界知名的3D

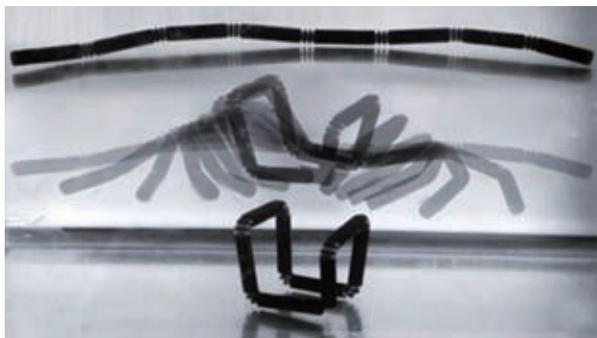


图2 4D打印物体

打印公司,除承接工业零件制造外,多数都有打印牙齿、骨骼或辅助临床医疗等类型的制造业务。如今,3D打印技术应用已遍及各领域,其研究已经开始向4D打印、5D打印发展。4D打印是通过智能材料打印成一个结构,在温度、环境发生变化以后,这种材料可以发生变形,变成在工作状态下需要的结构。5D打印是指细胞打印,活体器官以“打印”的方式,通过生长因子,由干细胞繁殖变成母体。有公开的资料显示,美国的3D打印已经能够生产出简单的组织结构,大约由20层细胞构成。麻省理工学院研究出首款可以自动组装的4D物体。该4D物体由数层塑料制成,外加一层“智能”材料,该“智能”材料能够在吸水时变形,按照产品的设计自动折叠成相应的形状(参见图2)。

快速成型材料和设备是快速成型技术水平的标志,目前,美国Stratasys公司已经拥有超过120种可供3D打印材料,并于2012年推出行业中尺寸最大的设备Objet1000,能够打印的最大尺寸是1000mm(x)×800mm(y)×500mm(z),无论是硬性材料(透明材料和不透明)材料还是柔性材料,这款机器都能使用。

目前,国外快速成型技术的研究

主要体现在几个方面:一是成型材料研究,如复杂结构件直接制造材料研究、医用生物材料研究、细胞打印组织存活方式研究等。二是适应不同成型材料和成型方法的各种类型成型设备研究。三是成型精度研究,如降低3D打印层厚技术研究、层与层之间黏结紧密度技术研究、提高加工精度(目前大多处于0.1-0.2mm/100mm水平)和表面粗糙度(目前大多处于Ra 5-20 $\mu$ m水平)研究等。四是复杂结构件直接制造工艺技术研究,如波音公司建立了一整套的“定制生产(POD: Production On Demand)”生产流程,可以在很短时间内制造传统加工方法很难加工的航空航天工业中的导风管道。五是各类新工艺、新方法的探索。

我国在该技术领域也较早地展开了研究,并取得了一批基础研究成果。以1992年清华大学机械系成立激光快速成形中心为代表,它与西交大、华中大学、隆源公司三个研究基地的发展一起,很快形成了业界公认的快速成型技术研究“四大天王”。1995年我国在清华大学召开第一届全国RPM会议。1997年国内快速成形技术委员会成立。1998年在清华大学召开第一届RPM国际会议。随后开始自然形成了该技术领域研究的分工协作,西交大以SLA(光固法)、清华大学以FDM(熔融沉积法)、华中科技大学以LOM(叠层法)、隆源公司以SLS(激光选区烧结法)研究见长,并先后推出了相应的RP系列机型。

除此之外,国内涉足快速成型(3D打印)技术研究的单位众多,例如,哈尔滨工业大学的微滴喷射与无模制造研究;南京航空航天大学的多重结构零件虚拟加工研究;上海交通大学的虚拟外科手术培训系统研究;中科院沈阳自动化所的基于STL模型的扫描轮廓的确定研究;中国机械科学研究所的数字化无模精密成形研究;华侨大学的316L不锈钢粉末的基于Mold DIS过程凝胶浇铸研究;沈阳航空工程研究所功能梯度材料激光RP技术研究;上海科技大学的基于统一实验的RP多目标优化研究;天津大学的基于IGES的三维成形和虚拟模型研究;广东理工大学的反求工程中的杂化面片法研究;上海交大的电子束熔化技术获得骨植入物研究;中山大学的三维修复时神经功能恢复(神经束制造)研究;第四军医大学的PLGA/TCP人工骨支架动物实验研究;上海大学的颅骨三维重建研究;北京航空航天大学假牙设计与制造研究;东北大学的人工膝关节设计与制造研究;北京科技大学的组织工程人工骨纤维素支架研究;等等。但与发达国家相比,我国快速成型(3D打印)技术的产业化进程相对缓慢,研究与应用面也不够宽。

### 3 快速成型(3D打印)技术在电子产品制造中的应用研究

#### 3.1 快速成型(3D打印)技术在电子产品制造中的应用研究现状

快速成型(3D打印)技术主要应用于工业设计、模具制造、牙科和医疗配件、航空航天和汽车零件等方面。近年来,在电子产品制造中的应用也有了比较长足的发展。除了快速制造塑

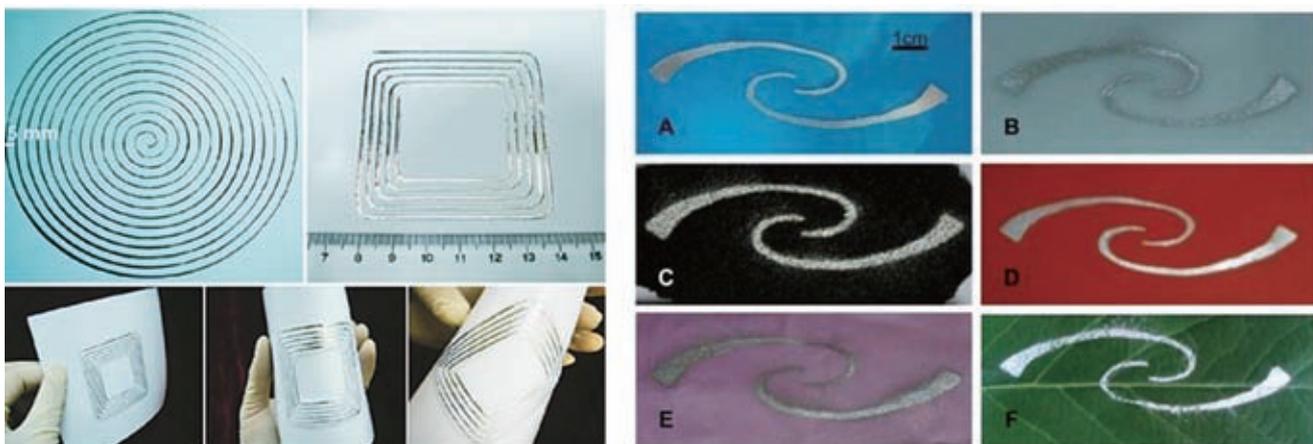


图3 “打印”在铜版纸(左图)和树叶(右图)上的电路(中科院理化所供图)

料、石蜡、树脂、合成材料绝缘件和接插件外,快速成型(3D打印)技术在印制电路制造、微电子器件制造、电子产品组件制造中的应用研究也开始不断见诸报道。

剑桥大学研发出喷墨打印机打印电路技术,仅需要使用电脑喷墨打印机,再利用石墨烯本身的特性,就能打印出透明薄膜晶体管。同时他们还认为,利用石墨烯材料也可能打印出

标准CMOS晶体管。中科院理化所对该项技术也进行了研究,他们采用常温下的液态金属电路3D打印机打印电路,“墨水”就是液态金属,电路直接打印在承载体上。镓和铟两种金属的合金产物在室温条件下通常呈现的是液体形态,而利用这种特性可以用普通的喷墨打印机直接打印出电路板。这种打印方式可以在包括纸张、塑料、玻璃、橡胶、棉布甚至是树叶等任

公司早在2010年就提出了“喷墨”打印屏幕的概念设计,而就在最近该公司终于让“梦想照进了现实”,推出了世界上第一款能打印OLED屏幕的“喷墨”打印机,并将其命名为“YIELDJetOLED”,或许这将带来屏幕制造工艺上的一次全新革命(参见图4)。

由哈佛大学和伊利诺伊大学的一支团队研发的3D打印电池技术,所打印的电池仅有1毫米宽,将被应用于微型计算机。电池的制造工艺非常精细,纳米颗粒糊状物从喷嘴喷出,形成1毫米宽的梳状沉积层。第二个梳状沉积层依偎第一个沉积层,牙齿互锁——作为导电的两极。打印后的电极层会迅速硬化,并放置在一个特殊的小箱内(参见图5)。



图4 YIELDJetOLED屏幕“喷墨”打印机

何表面上通过液态金属喷墨的方式打印出电子电路板(参见图3)。

美国加利福尼亚Kateevas

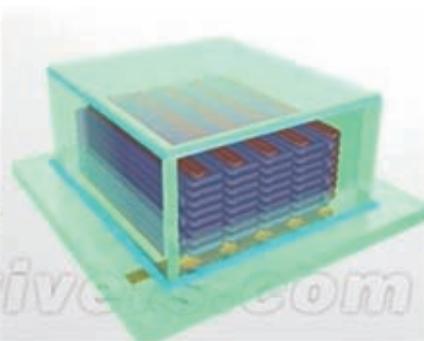
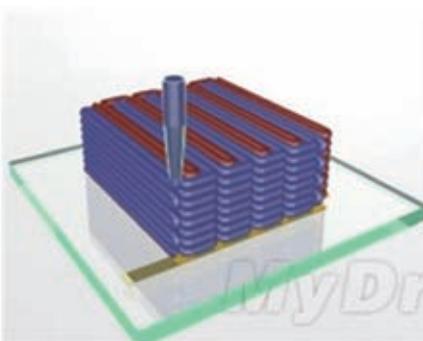
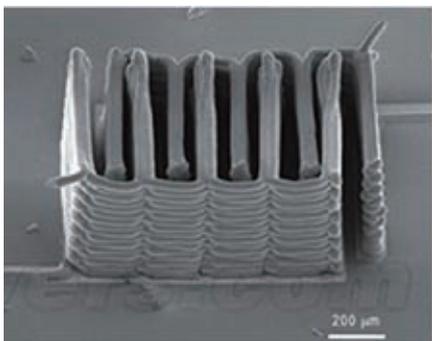


图5 3D打印电池样品及其打印原理示意图

在微电子器件制造、电子产品组件制造方面开展应用研究的,有日本大阪大学的光子晶体用于微区光固化技术研究,英国诺丁汉大学的微区光固化用于电子微器件RM研究,英国伦敦大学Evans等的微米波带隙光子晶体的挤出RP研究,等等。在近年来的慕尼黑上海电子展上,电子元器件制造商TE Connectivity公司推出了可打印元件的3D打印机模型。W.M.凯克3D打印创新中心报告称已经把电子元器件和电器互联技术嵌入到3D打印结构件中。然而,这些3D打印制造的电子设备仅限于使用导电油墨作为连接电路,通常表现为导电性不足。该中心研究人员利用单层处理技术进行增材制造,使用成本相当低的uPrint Plus打印机,通过单层混合3D打印指令,制造出高电流(>1安培)电子组件。此外,他们还展示了直接将高效能导体嵌入到热塑性熔融沉积成型(FDM)基板的新颖集成工艺。他们的研究证实了采用多种技术、使用多种材料进行3D打印制造的可能性。

位于加州帕洛阿尔托的施乐PARC研发中心正在开发使用油墨的方式。这类油墨可以被用来印制多种部件的电路,包括柔性显示屏、传感器和射频防盗标签天线。随着添加制造业技术的出现,在产品上直接印制这类部件开始变成现实。位于新墨西哥州阿尔布开克的Optomec公司开发出

了可用于多个行业的添加制造系统。该系统可以直接在一副眼镜上印制“现实增强”电子设备;可以制作使用内嵌电子设备测量水位并控制水泵开关的塑料水箱;还能印制军用装甲中的传感器;或是手机外壳上的天线。

### 3.2 快速成型(3D打印)技术在电子产品制造中的应用研究特点与思考

快速成型(3D打印)技术在电子产品制造中的应用研究有如下特点:

- (1) 打印成形原材料一般为单一材料;
- (2) 大多采用通用成形设备制造;
- (3) 成形精度有限;
- (4) 成形原材注射头一般为单个;
- (5) 技术还不成熟;
- (6) 研究才起步,应用面很小,国内更加如此。

这种现状与电子产品制造中对快速成型(3D打印)技术的应用需求有明显差距,除了借鉴在其它领域已经成熟应用的快速成型(3D打印)普适性技术外,在电子产品制造领域中还

需要侧重研究的主要内容有:具有复杂形体的单一材料微型腔体构件制造(一般制造工艺难以实现);普通形体的多种材料组合件制造(一般制造工艺实现过程复杂);具有复杂形体的多种材料组合件制造(一般制造工艺难以实现);具有电性能要求的成形精

度和可靠性研究等方面的内容。

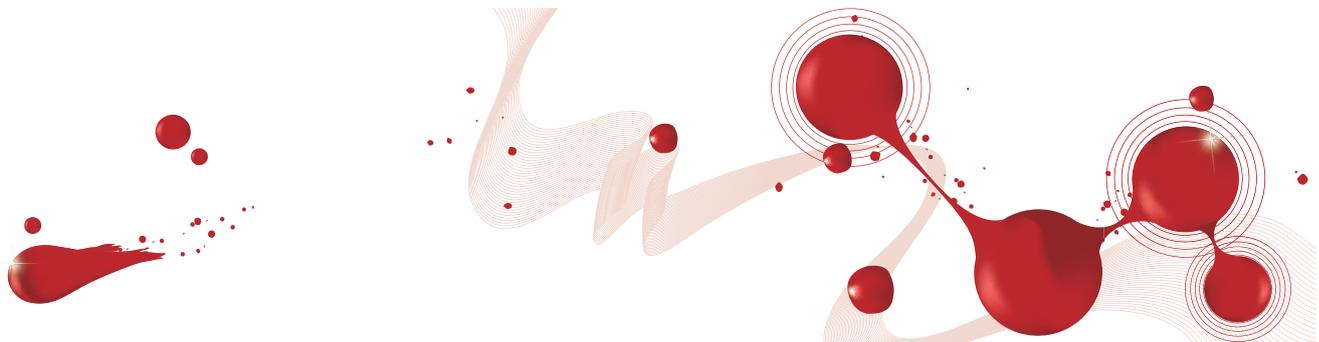
以曲面多层印制板3D打印快速制造研究为例,它由传统工艺难以实现,需要研究解决的问题主要有:

- (1) 原材多注射头机构及其3维驱动控制系统;
  - (2) 多种不同性质原材应用研究及其同台设备供料技术;
  - (3) 不同性质原材层与层之间的结合可靠性控制技术;
  - (4) 电路布线精度及其电性能可靠性控制技术;
  - (5) 同层异材的打印成形技术。
- 这些研究内容都有相当大的技术难度。

## 4 结语

快速成型(3D打印)技术具有其它技术无法替代的优势,正逐渐成为一项具有变革意义的制造技术,并将成为第三次工业革命的一项代表性技术。国内外对其都具有相当高的关注度,目前该技术的研究、应用进展很快。

电子产品制造行业、电子先进制造技术领域也必然会卷入快速成型(3D打印)技术快速发展的潮流,并且有所作为。如何应用快速成型(3D打印)技术,取代传统电子制造、微组装、立体组装等技术难以达到的复杂形体产品的快速制造,还有待我们共同积极探索。**7**



## 大型、复杂、高寿命压铸模具开发

发动机缸体、变速器壳体等大型、精密压铸模具的核心技术被发达国家垄断，成为制约我国汽车发动机关键部件国产化、轻量化和汽车更新换代速度提升的一个重要因素。

本项目主要科技内容如下：

1. 开发出了红旗H平台6档自动变速器壳体压铸模具、J6重型卡车16档变速器和EA111缸体，打破了发达国家在此类大型精密压铸模具上的长期垄断。与进口模具相比，成本降低30%以上，制造周期缩短20%以上。

2. 采用新的合金成分设计 and 新的强韧化热处理工艺的新方法，发明的新型高性能“热作模具钢”。

3. 开发出了大型压铸模具真空等温热处理专利技术，HHD刚淬火前组织为AS4级，淬火后组织达到了QS2，达到了北美和欧洲大型压铸模具热处理的组织要求。

4. 开发出了氮化+氧化压铸模具

表面处理新专利技术，HHD钢氮化处理后热融损降低54%，氮化氧化复合处理后热融损降低90%。

5. 通过压铸过程数值模拟和有限元结构分析，优化大型压铸模具结构和压铸工艺。

6. 在Chaboche疲劳损伤模型的基础上，引入了循环温度范围 $\Delta T$ ，结合Tira等温度模型建立了预测热机械疲劳寿命模型。建立了具有强大数据和丰富信息的压铸模具设计、选材和报价专家系统。

7. 建立了CAD/CAM/CAE/CAPP为一体的信息化平台，有力的提高了压铸模具设计、制造、分析和工艺技术水平，提高了模具开发速度和开发质量。

经济效益：2010、2011、2012三年期间，共新增产值约为三亿三千万人民币，利润约一千两百万人民币，税收两千万人民币。

社会效益：红旗H平台6档自动变速器壳体压铸模具、J6重型卡车16档变速器和EA111缸体等为标志的大型、复杂、高寿命压铸模具的开发成功，打破了发达国家在这方面的长期技术垄断和技术封锁，促进了汽车轻量化技术和节能减排技术的发展。将有力的促进中国压铸行业技术水平的提升，促进我国由压铸大国向压铸强国发展。T

主要完成人：方建儒，孙晔，孙锋，熊守美，褚作明，姚杰，刘兴富，贾相武，张宏军，林慧，李志刚，曹帅

主要完成单位：一汽铸造有限公司

联系人：方建儒

联系电话：0431-85759532

Email: jjk-zm@faw.com.cn

联系地址（邮编）：吉林省长春市东风大街153-1号（130011）



# 电站锅炉集箱成套制造装备及 绿色工艺技术开发与应用

上海锅炉厂有限公司(以下简称“上锅厂”)是电站锅炉及成套、大型重化工设备、电站环保设备以及特种锅炉、锅炉改造、建筑钢结构等产品和服务的重要提供商之一,年销售收入超百亿元,电站锅炉年制造能力达2500万千瓦。

集箱是电站锅炉设备重要受压部件之一,其金属重量占整合锅炉受压部件约三分之一。集箱设计结构在各种型号及等级的锅炉中比较类似,由筒体、端盖、大小直径管接头、三通、弯头、吊耳、附件等不同零件组成。其制造工艺流程复杂,目前所使用的工艺技术及装备比较传统、落后,因此制造集箱的成套装备及工艺发展水平直接制约着产品的生产周期、质量、生产效率,成为上锅厂及整个锅炉行业制造系统难以逾越的瓶颈。

随着社会的进步、科学的发展,节能减排、智能装备、绿色制造等发展理念,已上升为国家战略。为此,上锅厂肩负重任,在制造工艺技术及装备创新上不断突破,成为国家和行业的排头兵。集箱制造关键装备不断研发成功,并将其科学布局,形成了一条绿色工艺生产流程。这种流程的构建,将机械自动化装备、新型燃烧加热与热处理设备、信息化应用与管理系统等先进软、硬件技术融合在一起,使

锅炉集箱产品在制造上,彻底改变了电站锅炉行业几十年来落后的面貌。且锅炉集箱制造工艺和装备的技术创新点极具典型性,在化工容器、石油管道、造船等其它制造行业均有推广应用价值,能够为国民经济的发展作出广泛的贡献。

开发应用电站锅炉集箱制造新工艺新装备,其目的是要突出节能减排、机械自动化装备、绿色制造创新性及应用性,解决整个工艺流程中最关键工序难点与瓶颈,形成整套先进工艺流程。因此,本科研项目关键技术创新点之一是,针对上锅厂集箱车间每年约40万个短管接头角焊缝,研发了国内外第一台小车式集箱小管座角焊缝埋弧自动焊机,彻底改变了几十年来手工焊接的传统作业方式,在生产环节上排除了人为不确定性因素的影响,确保焊缝成型均匀、美观,无损检验一次合格率100%。

采用此焊接方法的产品在电厂运行中无一发生泄漏质量事故。且该设备的应用使产品制造周期缩短、成本下降、效率提高、质量稳定的同时改善了作业环境。本科研项目关键技术创新点之二是,在集箱制造过程中,焊前环缝预热和焊后消氢同样是一道关键工序,尤其在集箱筒体材料趋向高端化(如SA335-P91、SA335-P92等)的

情况下,对预热、消氢温度和时间的控制,显得格外重要,直接关系到产品质量。为此研发出国内外第一台用于厚壁集箱的新型金属纤维加热设备,代替传统“大炮筒”加热方式,实现预热、消氢自动精确控温、加热均匀、能效极高、节能环保的同时确保产品质量,改变了国外客户长期对中国重型装备企业粗放加热方式的不良印象。

电站锅炉集箱成套装备及绿色工艺技术的应用,突破了长期固化的传统工艺,多项科技进步的优化组合为企业创造了丰厚的经济效益,赢得了客户美赞,提升了公司品牌,扩大了市场份额,创造了良好的社会效益,实现了大型国企应尽的社会责任。

另外,该课题的部分科研成果已在锅炉行业中推广应用。例如,集箱小管座埋弧焊机已在川锅、申港重工等公司采用,同时该设备已逐步走向国门,拓展到印度、印尼等海外市场,展现了中国企业的创造力;金属纤维新型加热装置也获得了国内外同行的青睐,该装置用于环缝预热及消氢,极具推广价值,在石油管道、化工装备、航天军工等行业均有旺盛的生命延伸力。

每一项发明创造所产生的火花,支撑起一揽子绿色制造工艺。本项目的切入点在解决局部制造难题,但发

力点却是形成了成套的新型工艺装备及工艺流程。对产品落料、坡口加工、预热、焊接、消氢、热处理、水压试验等关键工序改革创新，汇聚所形成的绿色制造工艺流程，其经济效益、社会效益和推广价值是不可估量的。T

主要完成人：刘国平，李忠杰，辛炜，惠晓涛，唐伟，初若安，卢征然，郭江轩，沙万华，邓建国，叶上云，赵华生，陈力，叶伟民，蒋秀华

主要完成单位：上海锅炉厂有限公司，北京中电华强焊接工程技术有限公司，成田

燃具（上海）有限公司

联系人：李忠杰

联系电话：021-64302391-8268

Email: lizhj@shanghai-electric.com

联系地址（邮编）：上海市华宁路 250 号（200245）

## 泵车臂架焊接柔性生产线

工程机械领域，臂架类大型结构件（包括泵车、挖掘机等）普遍采用工位法作业方式，单工位作业内容繁多，对工人的劳动技能要求高，容易产生人员“窝工”现象，生产管理困难。

由于存在泵车生产小批量、多品种的生产模式如何适应，薄板长箱体零件的变形如何控制等多方面的技术难点，臂架焊接柔性流水线生产，目前仅有国内少数企业在做此方面的研究与探讨。泵车臂架焊接柔性生产线，存在如下攻关难点。

1. 适应所有在制泵车臂架铆焊生产的模块化工装技术；

2. 高效、自动化、智能化物流技术：承载25吨以上的自动导引车及其控制技术，复杂环境下多系统自动化控制技术的集成应用；

3. 窄空间三维自动焊接技术及二次定位技术。

本项目开展了通用化、模块化、集成功装技术，高效物流及自动

化、智能化物流技术，窄空间三维自动焊接技术的研究，攻克相关技术难点，并在如下几个方面取得了重大突破和创新。

1. 臂架焊接工装能够很好的控制焊接变形，保证产品质量；采用通用化技术，适应多品种小批量的产能要求；采用模块化设计技术，工装满足所有在制产品的不同尺寸规格、结构形式的要求；集成化的工装同时满足了新产品开发周期较短的要求；

2. 首台（批）载重达25吨的自动导引车，重点攻克了多项技术难题，建立了不均衡工序节拍下的流水线控制逻辑，实现了铆焊的流水回转作业；生产线自动控制技术的集成应用需适应结构车间复杂工作环境对设备控制系统、通讯系统、定位系统等不良影响，并解决物流运输不畅的问题，从而实现复杂环境下多系统自动化控制技术的集成应用；

3. 首台（批）臂架内腔自动焊机器人的投入，保证了臂架内腔焊接的工艺性能。综上所述，泵车臂架柔性生产线项目攻克了众多技术难题，对生产工艺流程进行了重新设计和布局，开发先进的工艺装备和物流设备，全方位提升了公司泵车臂架的制造工艺水平。

泵车臂架焊接柔性生产线稳定投产后，臂架铆焊生产现场操作人员减少了20%，制作周期缩短了30%，日产能增加20%，返修率降低58%；生产效率、产品质量大幅提高，降低了产品制造成本及对工人劳动技能的依赖性。泵车臂架焊接柔性生产线拥有完全自主知识产权，获得专利11项，其中发明专利4项。T

主要完成人：吴斌兴，张海涛，殷磊，余彪，易伟，王丽霞，蓝才红，成腾龙，万伟雄，王雪云，刘斌，刘昌，马启武，张建华

主要完成单位：中联重科股份有限公司

联系人：殷磊

联系电话：0731-88788510

Email: yinleihust@126.com

联系地址（邮编）：长沙市岳麓区麓谷大道677号（410205）

# 先进快速无模化制造技术在 柴油发动机开发中应用的可行性

吕登红 陈金源 周梁坚

广西玉柴机器股份有限公司 广西玉林 537005

**摘要:** 先进快速制造技术是发动机等领域急需关键部件快速精密的制造技术,本文简述了该技术在柴油发动机领域实施的可行性及必要性,结合铸造企业在柴油发动机核心部件制造流程的实例,说明了该技术运用在节能、降耗、减排、效率方面取得的成效,使用这新技术能提高国内企业的核心竞争能力,促进机械装备制造行业节能减排和可持续发展具有重要战略意义。

**关键词:** 先进快速制造技术;柴油发动机;新产品;应用可能性

## Application Feasibility of Advanced Rapid Manufacturing Technology on New Product Development of Diesel Engine

Denghong LV, Jinyuan CHEN, Liangjian ZHOU

Guangxi Yuchai Machinery Co., Ltd, YuLin 537005, China

**Abstract:** Feasibility and necessity of advanced rapid manufacturing technology in the field of diesel engine was described in the paper. Combining with instance of casting enterprises in manufacturing process of diesel engine core components, improving core competitiveness of enterprises and promoting energy-saving were illustrated by application of the technology. Emission reduction and sustainable development induced by this technology for the machinery and equipment manufacturing industry has important strategic significance.

**Keywords:** Application Feasibility; Advanced Rapid Manufacturing Technology; Diesel Engine; New Product Development.

### 1 引言

目前的柴油发动机生产企业之间竞争非常激烈,面对激烈的市场竞争和客户的不同需求,企业必须通过技术创新和降低成本以提高自身的竞争力。特别是现在国家对柴油发动机排放标准的要求不断提高,更要求柴油

发动机生产企业具备很强的技术研发能力和创新能力。

为了提高企业的竞争力,需要不断压缩产品的开发成本并提高开发效率,成本和效率成为了企业关注的焦点。其中模具设计及制造的时间长,模具开发费用占新品整机开发费用很大的比例。因此,在柴油发动机开发阶

段,取消或降低模具的投资成本,对新产品的开发成效具有非常重要的作用。

### 2 先进快速无模化制造技术的简述

先进快速无模化制造技术是将“数字化无模铸造精密成形”和“激

光烧结快速成形”两种新技术有机结合的复合创新技术，这种技术的优势是在样机开发阶段不需要“模具设计和模具制造”，具有开发时间短、速度快、价格低等三大优势。特别适用于新产品开发试制及技术工艺攻关试验。

“快速制造”是当今世界前沿的一种先进制造技术，是衡量一个国家是否拥有先进的快速三维制造技术水平的标尺。

快速无模化制造砂型铸造工艺流程见图1：

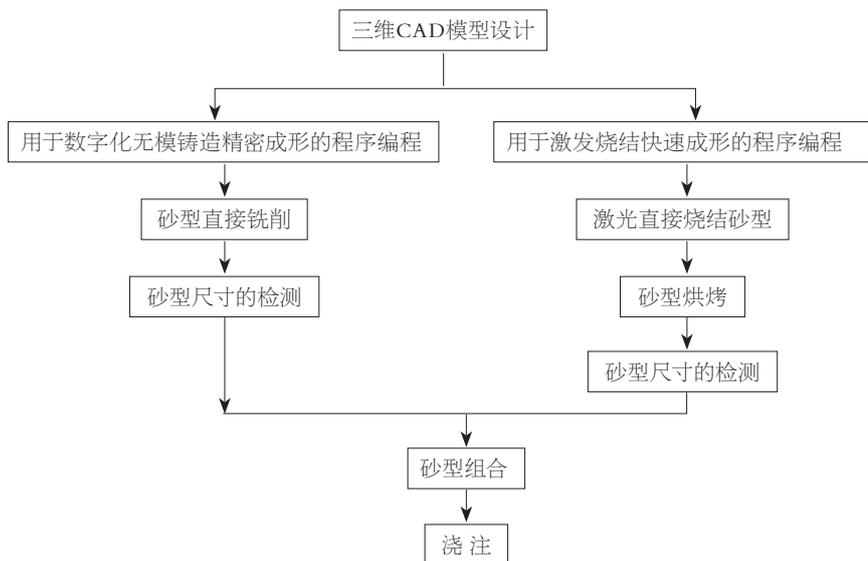


图1 快速无模化制造砂型铸造工艺流程图

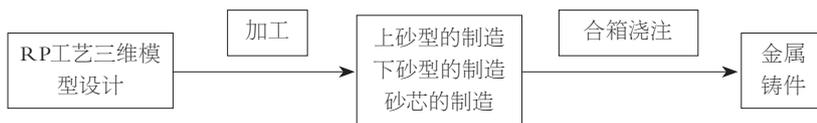


图2 先进快速无模化制造技术工序流程图

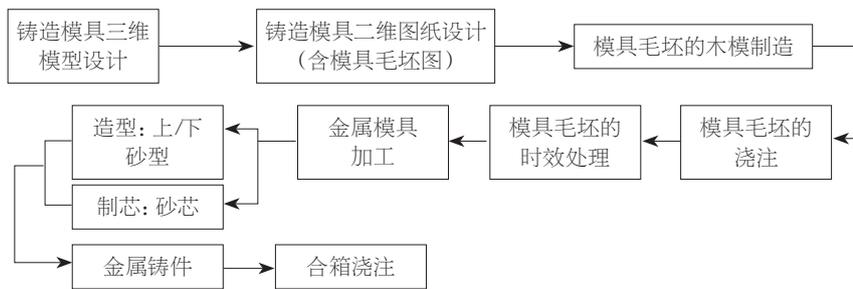


图3 传统铸造技术工序流程图

(1) 对于大型复杂的铸件及尺寸精度要求很高的铸件，用组芯的方法完成，并且砂芯能够分型，最好采用数字化无模铸造精密成形技术制造

砂型。

(2) 对于零件内部几乎无法用组芯的方法完成；将所有管路部分集中于一个芯体；砂芯无法分型；砂芯结构

壁厚偏薄并易断裂的；最好采用激光烧结快速成形技术制造砂型。

(3) 数字化无模铸造精密成形技术与激光烧结快速成形技术是相辅相成的，把这两种技术灵活的结合应用，取得的成效是非常显著的。这两种技术的优点如下：

① 数字化无模铸造精密成形技术的优点是：使用的材料成本低，制造的砂型形状尺寸精度高，制造砂型时间短，效率比较高。

② 激光烧结快速成形技术的优点是：砂芯无须分型，任何结构的砂型都能制造，适用性广。

### 3 先进快速无模化制造技术在柴油发动机新产品开发中应用的分析

#### 3.1 先进快速无模化制造技术与传统制造技术相比的优越性

在铸造生产中，先进快速制造技术对传统的铸造技术的影响很大，给传统的铸造技术带来了工艺革新，这两种技术相比，先进快速制造技术具有无与伦比的优势。

先进快速制造技术与传统的铸造技术从效率成本方面相比，先进快速制造技术开发时间缩短50%~80%，成本相应的降低30%~50%。同时使用先进快速制造技术，工艺流程简单。

#### (1) 铸造工艺流程的比较

先进快速无模化制造技术工序流程图见图2：

先进快速无模化制造技术特点：流程短、效率高、成本低、污染少。

传统铸造技术工序流程见图3：

传统铸造技术缺点：工序多、流程长、效率低、成本高、污染大。

#### (2) 应用效果的对比(见表1)

表1 先进快速无模化制造与传统铸造对比

项目	先进快速无模化制造技术	传统铸造工艺技术
模型设计	RP模型设计简单, 需要约3~6天	模具设计复杂, 需要20~30天
铸件制造时间	约15~20天	约120天
材料费用	低30%~50% (与传统技术比)	高
工人技能要求	普通的技能培训, 约14天左右, 可进行操作。	专业技能要求高, 一般要有3年以上的工作经验, 才能独立工作。
工艺适用性	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 无需拔模斜度, 减轻铸件重量。</li> <li>2. 可以制造任何形状的铸件, 尤其是形状复杂的精度要求高的自由曲面铸件, 能保证精度。</li> <li>3. 可以实现一体化铸造, 减少简化工序, 保证铸件的尺寸精度。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 需要拔模斜度。</li> <li>2. 对形状复杂的自由曲面铸件的精度很难保证。</li> <li>3. 复杂铸件只能采用多箱造型, 工序增加, 铸件尺寸产生偏差, 增加机加工的工作量。</li> </ol>
制造管理特性	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 铸件有问题易查找原因。</li> <li>2. 产品设计有问题, 修改三维模型即可进行砂型制造。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 铸件有问题难查找原因, 很难确定是设计问题或模具问题。</li> <li>2. 产品设计有问题, 修改三维模型, 再进行模具更改, 才能用于造型制芯, 模具更改花费时间很长, 而且更改花费成本很高。</li> </ol>

### 3.2 先进快速无模化制造技术在柴油发动机新产品试制中的必要性

#### (1) 提高新产品试制的成效

在产品样机开发试制阶段, 数量一般在5台以内, 每一台的零部件有20多种, 而且每种零件都在产品设计阶段, 没有经过验证, 或多或少都存在一些缺陷, 在试制过程中都要修改完善。假如使用传统的铸造工艺技术, 必须要制作大量的模具, 而且在验证过程中不断要修改模具。这样新产品的试制阶段开发成本很高, 而且开发时间长, 新产品推向市场的速度是很缓慢的, 无竞争力。

使用先进快速制造技术, 不需要模具, 制造最复杂的核心部件, 时间最长不超20天, 这样制造一台柴油发动机的所有零部件只需20天, 而且成本也低。

这样使用先进快速制造技术, 不仅是时间节省和降低成本, 重要的是使用该技术抢占了市场的先机。

(2) 单件、小批量、个性化零件的灵活制造

使用先进快速制造技术, 设计简化, 制造时间短, 成本低, 容易满足顾客的需要, 在市场多元化竞争中, 具有很强的竞争力。

#### (3) 节能减排环保

节能降耗减少污染是现在企业的迫切要求, 使用的材料成本低, 容易取得, 又无需做模具, 节省大量资源, 是一种非常环保的制造技术。

提高人工效率, 降低劳动强度, 减少了粉尘排放, 废砂循环利用, 改变了传统砂型铸造脏乱差局面。

## 4 铸造企业先进快速制造技术应用实例

### 4.1 先进快速制造技术在柴油发动机核心铸件开发中具体应用

本课题结合柴油机发动机核心部件气缸体的结构, 开发了一套运用先进快速制造技术适合气缸体制造的技术工艺流程。

(1) 根据产品砂芯三维, 设计铸造工艺模型。

运用先进技术工具三维设计软件

UG进行铸造工艺三维模型设计,

使铸造工艺模型适用于传统的铸造技术, 也适用于先进快速制造技术。目的是验证铸造工艺各项参数的可行性, 特别是铸造收缩率的可行性参数。工艺模型如图4

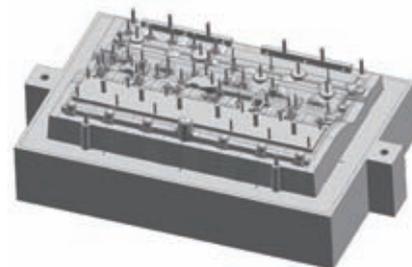


图4 气缸体的铸造工艺三维装配模型图

(2) 设计适用于先进快速制造技术的RP工艺模型

根据各砂芯及外形的结构特点, 选用不同的制造方法, 设计不同的RP三维工艺模型。

#### ① 上下外形RP工艺模型设计

采用砂芯直接铣削方法, 不需要进行重新设计, 直接运用铸造工艺模型的上下模型, 用UG软件进行数控编程, 直接进行铣削。外形见图5

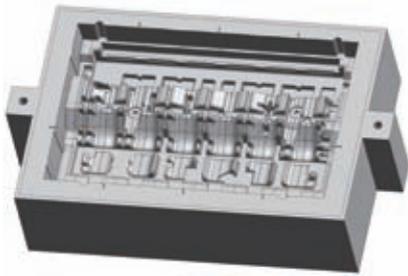


图5 机体下外形模型图

### ② 主体砂芯的RP工艺模型设计

采用砂芯直接铣削方法，设计原理：主体砂芯分为两块设计，每一块的形状上下面为：一面为砂芯形状面，另一面为砂芯掏空位形状。假如砂芯形状面部分形状无法用直接铣削方法解决，那此部分采用砂芯烧结方法，在砂芯本体必须设计配合位。每一块的工艺模型含有砂芯形状及掏空形状外，还必须有砂芯的合芯定位孔及排气孔。因为这样易于砂芯定位及铣削。在砂芯检测、组芯时，必须要把两块砂块粘结在一起，再粘上其它局部形状，保证主体砂芯的完整性，这样才能保证尺寸的精确度及防止浇注时铁水入芯。主体砂芯铸造工艺模型见图6。主体砂芯RP工艺模型见图7。

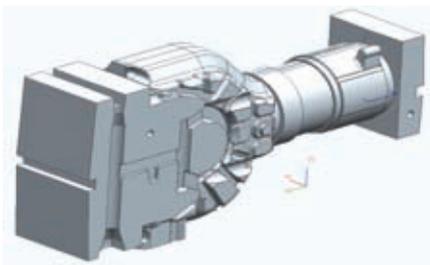


图6 主体砂芯铸造工艺模型

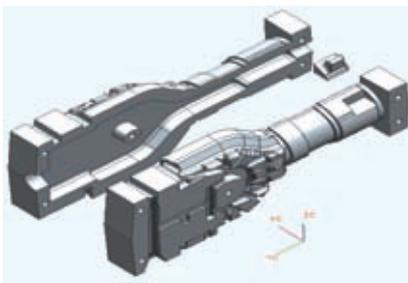


图7 主体砂芯RP工艺模型

### ③ 水道砂芯及顶杆室砂芯的RP工艺模型设计

采用激光烧结方法，设计原理：在铸造工艺模型的基础上，根据砂芯形状的具体结构，设计支撑、支撑板、加强筋等元素。水道砂芯铸造工艺模型见图8，水道砂芯RP工艺模型见图9。



图8 水道砂芯铸造工艺模型

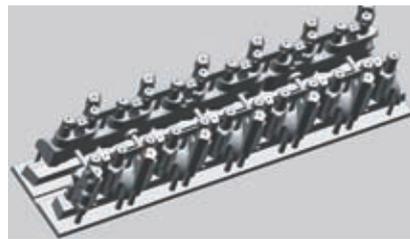


图9 水道砂芯RP工艺模型

### (3) 运用快速制造技术制造的砂型及铸件

外形见图10，主体砂芯见图11，水道砂芯见图12，砂型组件见图13，铸件见图14



图10 外形



图11 主体砂芯

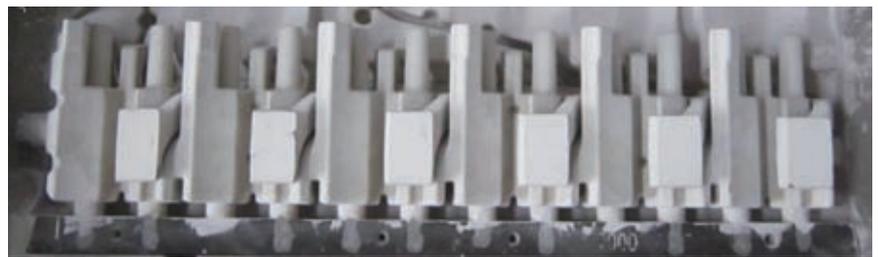


图12 水道砂芯



图13 砂型组件

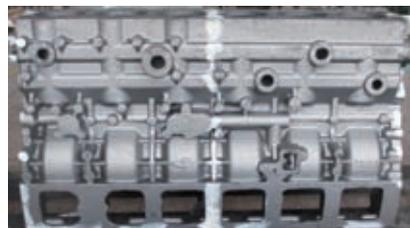


图14 机体铸件

### 4.2 铸造企业对先进快速制造技术的应用成果情况

某一大型的铸造企业应用先进快速制造技术后，完成了多种机型的机体、曲轴箱、缸盖、管壳类等柴油发动机铸件的制造。

#### (1) 某大型发动机的机体



图16 机体成品实物图