

# RP 技术与 快速模具制造

Rapid Prototyping & Rapid Tooling

主 编 卢秉恒

副主编 唐一平

王 平

陕西科学技术出版社

PDG

發展高新技術  
振興模具工業

楊鏗

一九九六年  
三月

# 序

RP 技术从诞生到现在不过十年左右，我国开始这项技术的开发与研制也才几年时间。因此，对不少人而言，RP 还是一件新鲜事物。既然国外制造业将这项技术看作是近 20 年来制造技术的一项重大突破，甚至将其同 60 年代初的 NC 技术相比，那么，将此项新技术在我国进行大力推广应用自然是一项十分迫切的任务。

在国家科委等十多个部门的支持下，由西安交大承办召开了'98 全国快速成型与模具快速制造会议。来自全国各有关高校、院所和企业部门的代表给会议带来了近百篇论文，广泛交流了近年来在 RP 技术及模具制造方面的科研成果。这对我国制造业在 21 世纪的腾飞将是一种有力的推动与促进。RP 技术同传统的生产工艺相结合，可以大大缩短产品研制周期，降低生产成本，尤其适合于批量小、品种多、改型快的现代制造模式。

无疑，这次学术界盛会的召开和大会论文集的出版，将对我国 RP&M 技术的发展、传播及推广应用起到积极的作用。

祝愿 RP&M 技术这朵制造领域的奇葩开得更艳！

陆燕荪

1998 年 4 月于西安

# 前 言

快速原型制造（又称 RP 技术）是诞生于 80 年代后期，基于材料累加法的一种高新制造技术，被认为是近 20 年来制造领域的一次重大突破，其对制造行业的冲击可与 50～60 年代的数控技术相比。

RP 综合了机械工程、CAD、数控技术、激光技术及材料科学技术，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，从而可以对产品设计进行快速评估、修改及功能试验，大大缩短产品的研制周期。而以 RP 系统为基础发展起来并已成型的快速工装模具制造（Quick Tooling/Molding）、快速精铸技术（Quick Casting）则可实现零件的快速制造（Quick Manufacturing）。

我国从 90 年代初开始引进和开发这项技术。国家将 RP 技术作为“九·五”攻关和自然科学基金资助项目进行了重点扶持。华中理工大学、隆源公司、清华大学、西安交通大学等单位分别研制成功了各具特色的快速成型设备和材料，而且已逐步将此项技术开始应用于生产实际。海信集团、深圳生产力促进中心、殷华公司等单位也将这一技术应用于各工业领域的许多方面，作出了开拓性的工作。

国家科委还正在全国倡办第一批快速原型制造应用服务中心，示范推广这项技术，以期增强我国企业的产品开发能力。为进一步加速 RP 技术在全国的推广与应用，在西安交通大学举办了'98 全国 RP 与模具快速制造会议。本次会议由国家科委、国家自然科学基金委、中国机械工程学会、中国模具协会、陕西省科委主办，中国机械科学研究院、清华大学、华中理工大学、中国机械工程学会模具制造技术委员会及电加工分会快速成型制造技术委员会、西安市科委、西安市模具协会、隆源公司和陕西省激光快速成型与模具快速制造工程研究中心等单位协办。来自全国各高校、科研院所和企业部门的代表们济济一堂，就我国近几年 RP 技术及其在模具制造方面的应

用成果进行了广泛的交流和探讨。与会代表共提交了百余篇学术论文,内容包括了 RP 技术开发及应用、RT 研究、CAD/CAM、反求工程、CNC 加工等,汇编成了《RP 技术及快速模具制造》一书,希望能对从事本项技术研究和应用的科技人员有所裨益。

全书清样完成后,又承蒙中国机械工程学会名誉理事长陆燕荪教授审阅并赠以序言,中国模具协会理事长杨铿又赐题词。唐一平、王平两位副教授等同志,对本次会议的组织及本书的编辑出版作了大量工作。在此,我们对上述单位和专家表示衷心的感谢。

由于时间仓促,本书在编印过程中难免会有疏漏和错误之处,敬请各位专家同行不吝赐教!



1998 年 4 月于西安交通大学

# 目 录

|                                         |                     |       |
|-----------------------------------------|---------------------|-------|
| RPM 技术在我国的发展与对策.....                    | 陈贤杰 李晓蓓 李敏贤         | (1)   |
| 基于 RP 的快速制造技术.....                      | 卢秉恒 唐一平 王 平         | (7)   |
| 虚拟公司理论与组织.....                          | 汪应洛 王端民 孙林岩         | (12)  |
| 快速成型工艺集成研究.....                         | 颜永年 曾 光 卢清萍 张人佶     | (17)  |
| 快速成型技术在香港应用的概况.....                     | 朱锦标                 | (24)  |
| 一次成功设计及快速产品制造集成系统.....                  | 张根保                 | (28)  |
| 快速成型系统中 STL 文件的容错切片算法研究.....            |                     |       |
| .....                                   | 张李超 韩 明 肖跃加 黄树槐     | (35)  |
| 基于 WWW 的远程快速成型与模具制造服务中心——功能设计与实现技术..... |                     |       |
| .....                                   | 丁玉成 胡德州 洪 军 卢秉恒     | (40)  |
| 应用快速成型方法的探索和实践.....                     | 卢 晨 丁文江             | (46)  |
| 快速原型制造技术的魅力困惑和发展.....                   | 焦向东 佟泽民 邓双成 贾永田     | (51)  |
| 基于快速成型技术的大型模具制造新途径.....                 | 朱东波 李涤尘 章 正 卢秉恒     | (56)  |
| 基于快速成型制造技术的瓦片原型制造.....                  | 罗成明 汪发根 郭九生 吴永辉 李涤尘 | (59)  |
| 微型机械零件的机械加工与 SL 法快速制造.....              | 王 平 和克智 唐一平 卢秉恒     | (62)  |
| 提高分层制造精度方法的研究.....                      | 易树平 张根保             | (66)  |
| RP 技术在海信.....                           | 于庆燕 李明华             | (72)  |
| 逐层粘合快速原型制造中与带材有关的几个问题的探讨.....           |                     |       |
| .....                                   | 张祥林 胡福泰 黄 谨 李 焰 黄树槐 | (76)  |
| 激光参数对选区激光烧结的影响.....                     | 冯 涛 吴晓林 袁晓鑫         | (81)  |
| 选择性激光烧结金属粉末制造微型机械.....                  | 李宝明 郭九生 李涤尘 卢秉恒     | (86)  |
| 快速原型制造(RPM)技术应用案例浅析.....                | 李晓蓓 安桂华             | (89)  |
| 反求工程与快速成型.....                          | 冯 涛 吴晓林 王 亚 陈 先     | (94)  |
| 快速成形的误差分析和精度定义的探讨.....                  | 王运贇 林国才             | (98)  |
| 快速成型技术在汽车外型设计中的应用.....                  | 孙 琨 马 雷 卢秉恒         | (102) |
| 激光烧结快速成型系统 RAP-1.....                   | 赵剑锋 唐亚新 余承业 花国然 罗新华 | (105) |
| 快速成型与材料.....                            | 曹瑞军 王素琴 卢秉恒         | (109) |
| 快速成型误差分析.....                           | 陈绪兵 萧跃加 夏 华 王从军 黄树槐 | (114) |

|                                    |                     |       |
|------------------------------------|---------------------|-------|
| 快速造型中材料的研究及发展.....                 | 樊自田 黄乃瑜 李 焰         | (119) |
| 一种低成本的光固化快速成型系统的研究.....            | 李彦生 李涤尘 卢秉恒         | (124) |
| 快速成型制造数据库系统的研究与设计.....             | 朱 君 郭 戈 卢清萍 颜永年     | (127) |
| 产品样模快速成型技术的发展.....                 | 王卫荣 江擒虎 柯尊忠         | (130) |
| 快速造型系统的轮廓误差模糊控制.....               | 刘爱林 肖跃加 韩 明 黄树槐     | (134) |
| 快速成型技术的新发展.....                    | 李涤尘 洪 军 赵万华 唐一平     | (139) |
| 激光粉末选区烧结技术在新产品开发上的应用.....          | 孙建民 李抚光 薛 强         | (143) |
| 多功能快速成型系统中 CAM 的集成研究.....          | 王 峰 鲍 莉 颜永年         | (147) |
| 自由曲面激光扫描反求系统的开发.....               | 王志涛 周利民 李涤尘 丁玉成 卢秉恒 | (151) |
| 国内外 RPM 技术的应用及新进展.....             | 罗新华 花国然 唐亚新 赵剑锋 余承业 | (154) |
| 动态联盟集成制造环境的研究.....                 | 梁正和 卢秉恒 李涤尘 李宝明     | (159) |
| 熔融挤出堆积成型的温度条件及其优化控制研究.....         |                     |       |
| .....                              | 吴良伟 洪国栋 邹清泽 吴任东 颜永年 | (163) |
| 分层方向的连续优化模型及其求解方法研究.....           | 李占利 胡德州 李涤尘 卢秉恒     | (168) |
| 反求工程中测量数据的处理技术.....                | 吴晓林 吴林波 冯 涛         | (172) |
| 激光快速成型中的光化学过程及应用.....              | 王素琴 曹瑞军 段玉岗         | (176) |
| WINDOWS95 下基于三角形面片特征的快速分层软件研究..... |                     |       |
| .....                              | 胡德州 李占利 丁玉成 卢秉恒 李涤尘 | (181) |
| 反向工程中自由表面重构的神经网络方法.....            | 邢 渊 周雄辉 王毅坤 阮雪榆     | (184) |
| 光固化快速成型中支撑的结构策略研究.....             | 洪 军 王军杰 李涤尘 丁玉成 卢秉恒 | (188) |
| 快速成型的精度评价问题研究.....                 | 赵万华 李涤尘 卢秉恒         | (191) |
| 等离子熔射成形法快速制造陶瓷零件.....              | 徐文骥 邓琦林 方建成 金沐吉 卢毅申 | (194) |
| 三维几何重构中切平面法矢的取向算法.....             | 王 素 颜永年 郑卫国 林丽华     | (198) |
| 光固化成型中的翘曲变形的动态分析.....              | 吴懋亮 诸文俊 李涤尘         | (201) |
| 基于 RP 的快速模具制造.....                 | 唐一平 王 平 丁 浩         | (204) |
| 模具设计中分型面的确定原则.....                 | 郭九生 李涤尘 丁玉成 卢秉恒     | (208) |
| EDM 石墨电极研磨精度损失的计算及误差补偿.....        |                     |       |
| .....                              | 杨来侠 刘 群 李涤尘 卢秉恒 王 平 | (211) |
| 基于模具加工工艺的刀位轨迹优化.....               | 李发致 卫原平 曾令寿 阮雪榆     | (214) |
| 用铸造方法制造艺术洁具的注塑模具.....              | 丁 浩 袁镇沪 王 平 唐一平 卢秉恒 | (217) |
| 基于 LOM 原型的金属模具快速铸造.....            | 樊自田 叶升平 宋象军 黄乃瑜     | (219) |
| 超塑成形技术在注射模型腔制造中的应用.....            |                     |       |
| .....                              | 黄明宇 王典钧 姚兴田 顾卫标 朱 昱 | (224) |
| 一种快速制造冲压模具及产品的方法.....              | 马 雷 孙 琨 卢秉恒         | (229) |

|                                  |                         |       |
|----------------------------------|-------------------------|-------|
| NURBS 曲面的自动重构.....               | 曾建江 丁秋林                 | (233) |
| 集成化快速模具制造技术.....                 | 周雄辉 邢 渊 阮雪榆             | (238) |
| 模具制造 CIM 的 NCP 系统开发策略.....       | 张申林 张接信 杜志俊             | (242) |
| 模具加工中假废品分析判断.....                | 杜志俊 李振芳 张申林             | (246) |
| 型腔充填过程的数值模拟.....                 | 麻向军 黄延禄 杨秉俭 苏俊义         | (250) |
| 关于 EDM 整体石墨电极研磨廓型微细观特征遗失的探讨..... | 王 平 唐一平 丁 浩 袁镇沪         | (254) |
| 模具制造中直线与圆弧过渡段的速度规划和控制.....       | 陈 进 姚如飞 张容瑞             | (259) |
| 基于瓦片光固化快速原型的快速模具制造.....          | 罗成明 汪俊文 汪法根 郭九生 李涤尘 卢秉恒 | (265) |
| 模具集成技术应用研究.....                  | 秦 叶 何汉成 陈 新 周文超         | (269) |
| 模具型腔的挤压成形.....                   | 诸文俊 郭成 胡亚民              | (273) |
| 一模多用的技术在汽车拖拉机系列产品的应用.....        | 石永定 王春霞 王彤勇             | (278) |
| 壳类注塑件注塑流动模拟与工艺参数设置.....          | 付沛福 孙锡红 张美珍             | (281) |
| 基于 ICT 的 CAD 建模技术.....           | 王 广 张树生 谢 红 张定华         | (284) |
| 根据盘型凸轮的检测数据拟合凸轮的轮廓曲线.....        | 张申林 王 平 惠纪庄             | (287) |
| 树脂成型工艺设备的自动配比计量泵研究.....          | 温 何 李国锋 张 纯 王西虎         | (291) |
| 薄壁齿轮制造方法研究.....                  | 李振芳 王 平 张申林             | (295) |
| 一种机械结合面法向动刚度的实验获取与研究.....        | 张学良 黄玉美 付卫平 王效岳 刘永超 高峰  | (299) |
| 坐标测量机测量准确度直接法软件补偿.....           | 毛世民 姚 斌 周清芬 吴序堂         | (303) |
| 基于遗传算法的资源优化选择.....               | 李 言 肖继明 郑建明 王 平 洪 伟     | (308) |
| 反射式光纤表面粗糙度测量仪的研究.....            | 马淑华 赵一丁                 | (314) |
| 一种快速激光三维数字化仪.....                | 李根乾 赵宏 宋元鹤 谭玉山          | (318) |
| 振动研磨加工超硬模具材料研究.....              | 张广良 董 申 任敬心             | (322) |
| 非线性系统的直接自适应控制方法研究.....           | 刘廷章 卢秉恒 王 平 袁镇沪         | (326) |
| 复杂轮廓表面的光切法测量.....                | 黄惟公 胡 丹 张永相             | (330) |
| 基于模糊推理的激光快速扫描控制策略研究.....         | 曹 荃 杨 勇 谭 玮 韩 明         | (335) |
| 数控机床的无冲击进给插补及三角函数速算法.....        | 帅 梅 王小椿 吴序堂             | (340) |
| 机械加工目标尺寸的研究.....                 | 王效岳 黄玉美 张学良 高峰 刘永超      | (345) |
| 低频振动攻丝扭矩的研究.....                 | 郑建明 肖继明 李 言 陈瑞宁         | (349) |
| 空间编码高速三维轮廓测量技术.....              | 王 昭 谭玉山                 | (352) |
| 气动伺服控制系统研究现状与展望.....             | 姜 明 王 平 袁哲俊             | (357) |
| 基于 ICT 的自由曲面表面的三维重建.....         | 王 广 张树生 谢 红 张定华         | (360) |

|                                                                                       |                          |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------|
| 五自由度机床运动规划方法.....                                                                     | 张广鹏 黄玉美 苏菊宁 李 艳 刘永超 高峰   | (364) |
| 小模数渐开线花键轴冷成形制造工艺.....                                                                 | 张接信 张中林                  | (369) |
| 逆向工程中的节点简化技术.....                                                                     | 洪国俊 陆修然                  | (373) |
| 层析三维数字化测量中断层零件边缘的小波多尺度检测.....                                                         | 杨玉孝 赵明涛 周 剑 谭玉山          | (377) |
| 薄壁齿圈的加工方法探析.....                                                                      | 李振芳 李淑娟 柴琳               | (383) |
| 基于铲削安全性的铲磨刀具容屑槽深度的合理计算.....                                                           | 聂 钢 帅 梅 毛世民 吴序堂          | (386) |
| 低频轴向振动钻削技术的研究.....                                                                    | 肖继明 郑建明 李 言 薛 峰 薛万夫      | (389) |
| 基于 Clothoids 曲线的切线与割线插补算法.....                                                        | 刘永超 黄玉美 张学良 王效岳 高峰       | (394) |
| 单片机在激光自动成型系统中的应用.....                                                                 | 袁晓鑫 吴晓林                  | (398) |
| 激光分区扫描路径的生成算法研究.....                                                                  | 赵 毅 洪 军 卢秉恒              | (401) |
| 分层实体制造技术中激光切割路径的优化.....                                                               | 刘 斌 阮 锋 黄树槐              | (406) |
| 激光线扫描高精度物体轮廓测量研究.....                                                                 | 乐开端 赵 宏 谭玉山              | (410) |
| 自由曲面的磁粒研磨技术研究.....                                                                    | 张 雷 周锦进 金洙吉 徐文骥 赵玉刚 方建成  | (415) |
| 层析三维数字化测量机研制.....                                                                     | 杨玉孝 赵明涛 周 剑 谭玉山          | (419) |
| 自动真空树脂灌注机控制系统.....                                                                    | 李国锋 温 何 张 纯              | (423) |
| 层去图像法反求工程的实现与应用.....                                                                  | 乔志林 吴永辉 丁玉成 卢秉恒          | (428) |
| 一种基于 AGI 三维图形加速卡的微机三维 CAD 系统.....                                                     | 杨 涛 高 瞻 王亚军 李向东          | (431) |
| PHM 技术初探及评价.....                                                                      | 杨 勇 肖跃加 韩 明 黄树槐          | (436) |
| 数控机床交流电动机驱动位置伺服系统的模型与分析.....                                                          | 毛军红 赵仲生 张润孝 林其骏          | (439) |
| 用分组修配的方法减少修配劳动量.....                                                                  | 李淑娟 陈祖安 李振芳              | (444) |
| 快速原型制造技术在工业产品开发中的应用.....                                                              | 高 瞻 陈向锋 任晓健 刘 琦          | (448) |
| Helisys LOM-1015 分层对象制造系统及调试经验.....                                                   | 许宏斌 黄永宣 胡保生              | (453) |
| 彩色显象管偏转线圈模具 CAD/CAM 的研究.....                                                          | 魏正英 唐一平 卢秉恒              | (456) |
| 基于表面工程技术的模具快速制造.....                                                                  | 王伊卿 赵文轸 卢秉恒              | (461) |
| 光固化成型中固化收缩的尺寸效应.....                                                                  | 诸文俊 李涤尘 王素琴 陈 浩          | (464) |
| 一个电涡流传感器实现两个参数测量的研究.....                                                              | 梁鸿生 方永兴 王新房 刘庆丰          | (467) |
| An Intelligent Manufacturing System for Rapid Manufacturing of Quality SL Models..... | Abdul Waheed Lu Bingheng | (472) |
| RPM 中 CAD 系统选择及 CAD 数据处理的研究.....                                                      | 邓朝晖 刘建宁 孙宗禹              | (478) |
| 附 录.....                                                                              |                          | (482) |

# RPM 技术在我国的发展与对策

陈贤杰      李晓蓓 李敏贤  
(国家科委工业科技司)    (机械部机械科学研究院)

**摘 要** 本文在叙述 RPM 技术在我国启动和发展的基础上, 分析了影响我国 RPM 发展的技术、应用及机制三方面问题, 提出了在我国发展 RPM 的途径与对策。

**关键词** 快速原型制造    发展    对策

## 1. RPM 技术在我国启动和发展

快速原型/零件制造技术 (RPM—Rapid Prototyping/Parts Manufacturing) 是八十年代后期在美国首先产生并商品化。当前世界上已形成强劲的 RPM 热, 发展十分迅猛。

RPM 技术已在我国开始启动进行研究, 并且获得应用与发展。

### 1.1 RPM 技术受到政府部门、科技界、企业界的重视

自 90 年代初在国家科委、国家自然科学基金委员会、机械工业部及部分地方政府与科委的支持下, 首先在西安交通大学、清华大学、华中理工大学等一些高等学校和高新技术开发公司开展了成形学理论、工艺方法、设备、软件、材料等配套技术的研究。

1994 年在北京举办的国际机床博览会上首次展出我国自己设计制造的 RPM 成型机。

1995 年在清华大学举办了第一次 RPM 学术会议。

1997 年中国机械工程学会电加工分会成立了快速成型技术委员会。

1998 年将在西安市召开 '98 全国快速成型与模具快速制造技术研讨会。

为了加快 RPM 技术在我国的发展, 国家已开始组织实施快速原型制造技术应用研究和推广服务工作。

### 1.2 科研工作有一个良好的开端

我国 RPM 的发展在工艺、设备、材料、RPM 前端数据转换和处理、RPM 后端应用技术等专业领域大致进展如下。

#### 1.2.1 工艺研究

清华大学、华中理工大学、西安交通大学、北京隆源公司、南京航空航天大学等对 SLA、LOM、FDM、SLS 等工艺进行研究开发, 并应用于不同对象。

#### 1.2.2 设备的研制

清华大学研制了基于 LOM 工艺、FDM 工艺及 LOM+FDM 工艺的 RPM 设备; 华中理工大学目前已开发出采用 LOM 工艺的两型号设备; 西安交通大学已经开发出一种 SLA 工艺的实验室样机和一种工业化样机; 北京隆源公司已经开发出基于 SLS 工艺的 AFS—300 型设备。

#### 1.2.3 材料研究

国内在 RPM 用材方面起步较晚, 但已给予极大关注。浙江大学较早在国家自然科学基金会支持下开展了光固化纤维树脂材料和精度研究; 西安交通大学开发出光敏树脂材料, 在粘度、收缩率、光敏性、成型后的机械性能等方面已与国外树脂相近; 清华大学除进行光固化树脂研究, 已经成功地解决了 FDM 用蜡丝材制备, 并正在进行 ABS 丝材的研制工作; 华中理工大学开展了 LOM 用叠层材料研究, 研究出多种纸为基底的纸及粘结剂并进行了优选; 北京隆

源公司研制的用于 SLS 工艺的蜡基材料已商品化。

### 1.2.4 RPM 前端数据转换处理及 RPM 后端应用技术

这两方面均取得实验室研究结果，部分已在生产实际中得到应用。

清华大学进行了图象反求、CT 反求，西安交通大学进行了 CT 反求，开发出激光扫描测量原型系统一套；北京隆源公司则利用激光三角形法和自动断层扫描仪进行反求工程。

RPM 后端技术是使 RPM 技术转换成快速制模技术关键，目前各有关研究单位都在开展这方面研究，力图使 RPM 发挥更大作用。

### 1.3 推广应用已有基础

作为服务机构向企业提供 RPM 技术服务的目前有深圳生产力促进中心、深圳殷华快速模具制造有限公司等。除此之外，一批高等学府和高新技术开发公司也分别根据各自的技术特点和应用研究的经验积累，开始向社会提供 RPM 技术服务。

### 1.4 生产示范应用已初见成效

#### 1.4.1 工业造型设计

某公司希望开发一种新型报警器，但设计师不能提出确切的设计图纸，殷华快速模具制造有限公司根据客户意念，采用三维 CAD 工业设计技术进行外观设计 → 结构设计 → 模拟装配 → 设计方案及尺寸确认 → 快速成型 → 装配验证 → 样件后处理的方法，为客户提供了二款报警器新型样品。从工业造型到样品全过程仅用了七天的时间，如用传统设计制造技术是无法实现的。

#### 1.4.2 新产品样件制造

某公司为参加国际订货会，设计了一款空调机，如果采用传统方法，不仅制造周期长，赶不上订货会，而且风险极大。深圳市生产力促进中心采用 FDM 工艺，使用 ABS 材料，仅用 20 天的时间为该公司制造了全部外观件和内部结构件，不仅使该公司拿出样品及时参加国际订货会，得到订货单，而且通过装配检验、功能试验发现了四处设计问题，为产品正式投产减少了设计、生产准备时间，节约了大量费用。

#### 1.4.3 单件、小批量金属零件制造

某单位需试制发动机涡轮二个，采用传统工艺方法，开模具需 4 个月。北京隆源自动成型系统有限公司采用 SLS 快速成型 → 失蜡铸造方法仅用 2 天时间就完成了用于失蜡铸造的蜡模。

#### 1.4.4 快速注塑模具制造

应某厂商要求，清华大学根据北海公园的白塔模型，采用 CAD 建模 → SLA 工艺快速成型 → 硅胶模 → 陶瓷型壳 → 浇筑的方法制得合金铸铁注塑模具，时间为 2 周，模具制造成本仅 1000 元，模具寿命达 10 万件。如果采用传统方法，仅白塔的测量问题就难以解决。

## 2. 影响在我国 RPM 技术发展的主要问题

尽管 RPM 技术已引起国人的极大关注，但当前仍存在着制约发展的一些问题，当前影响我国 RPM 技术发展的主要问题是可以归纳为技术、应用以及体系机制三方面的问题。

### 2.1 目前我国 RPM 技术不够系统配套，设备尚未达商品化程度，工艺材料急需国产化

### 2.1.1 RPM 设备的可靠性、稳定性以及功能尚不能适应需要

我国已进行了 SLA、SLS、LOM 以及 FDM 设备的开发,并已初步应用到工业生产。然而目前 RPM 设备达到商品化、能投入市场并稳定应用尚需一段时间,必需努力提高其稳定性、可靠性。

### 2.1.2 RPM 所用工艺材料亟待国产化

目前我国绝大多数使用的工艺材料(如 SLA 用光固化树脂, FDM 用的蜡、尼龙和 ABS, LOM 用纸, SLS 用的树脂蜡、工程塑料等)需从国外进口,价格昂贵,致使生产成本提高,导致产品制造商,尤其是国内中小型企业难以接受。开发国产工艺材料已是影响 RPM 技术应用的当务之急。

### 2.1.3 RPM 前端数据转换与处理技术尚有较大差距

CAD 建模软、硬件,尤其是三维造型软件、测试数据反求软件及配套的模具设计软件在国内开发及推广不够,绝大部分生产厂家没有使用这些软件从事设计,增加了 CAD 建模时间与费用,削弱了 RPM 的技术优势;此外,在制作一些复杂 CAD 模型,如发动机缸体,还需开发高水平复杂三维 CAD 建模软件。目前国际上采用 STL 数据文件进行分层切片,制作过程往往达不到精度要求。开发新的分层切片软件成为 RPM 技术扩大应用的一个重大课题。激光精密测试及高精度反求系统是 CAD 建模的重要手段,现有的技术与装备还远远不能满足 CAD 建模的需要。

反求工程是发挥 RPM 技术的关键技术之一。目前 RPM 反求工程中采用的测量方法主要是激光三角形法、投影法、光栅法以及自动断层扫描仪法,我国这方面与国外相比差距较大,仅属刚刚起步开发与研制阶段,没有成熟的产品可以供应企业与科研单位使用,远远不能满足 RPM 反求工程的需要。

### 2.1.4 与 RPM 技术配套的后续技术尚需迅速跟上

我国目前后续工艺技术与 RPM 还不配套,影响 RPM 技术的推广使用。必需加强各种后续工艺如硅胶模、铸模、注塑模、快速铸造等与制模(RT)联接起来,充分发挥 RPM 技术的潜力,形成快速制造能力。

## 2.2 RPM 技术在企业中未能得到有效应用

RPM 技术未能在企业中得到有效应用,未能真正发挥 RPM 技术在缩短产品开发周期、降低产品生产成本、快速响应市场、增强企业竞争能力的作用。

### 2.2.1 已引进 RPM 装备企业未能充分发挥作用

目前我国已有 10 余家企业引进了约 20 余台 RPM 系统,但这些企业花巨资引进国外成型设备后,普遍存在着设备利用率不足的现象,其主要原因是缺乏全面掌握这项技术的人员,技术不配套和成本费用过高,这种现象急待解决。

### 2.2.2 广大中小企业未能得到 RPM 技术的服务

广大中小型企业,特别是模具行业数千个企业,由于 RPM 投资费用高,不会轻易引进 RPM 系统。目前又未能在社会上得到这种服务。

### 2.2.3 企业对 RPM 技术的优越性认识不足

### 2.2.4 缺乏全面掌握 RPM 技术的人才

## 2.3 缺乏发展 RPM 技术的有效体系和结构,以利于有限的投入发挥更大的作用

### 2.3.1 现有研究力量未能得到有效集成

我国 RPM 的研究目前主要集中在高等院校及个别高新技术企业。大家都在跟踪国际前

沿,发挥各自的特长,发展 RPM 技术,但在一定程度上存在着低水平的重复研究,影响了我国有限的研究力量的发挥。

### 2.3.2 研究资金不足,且未能充分有效使用

国家科委、国家自然科学基金会、各有关高等学校、高技术新企业以及应用 RPM 的企业及研究单位都纷纷投资支持这项技术的发展。但相对于国外,其投资力度远远不足。此外,由于缺乏有效体系开展这项研究、开发及应用,这些资金利用的综合效果亦有待提高。

### 2.3.3 产、学、研、用结合不够,影响科研成果快速投入应用

RPM 技术自其诞生之时,就开始在制造业得到应用。国外迅速发展促使产、学、研、用相结合的良好循环,在美国和欧盟共产生了约近 300 个服务中心。我国目前也正在注重于产、学、研、用的结合,但仅属起步阶段,与国外工业发达国家有较大差距。

## 3. 加快 RPM 技术在我国发展的途径与对策

为促进 RPM 技术在我国加速发展,应采用以下措施。

### 3.1 加速开展 RPM 的系统配套技术研究开发,加快其商品化的进程

鉴于 RPM 技术的高度综合性,必须加速其系统配套的研究。当前应主要开展的工作是:

- (1) 提高 RPM 装备的稳定性、可靠性,达到商品化,以适用于各用户。
- (2) 开展 RPM 所用工艺材料国产化研究,以降低 RPM 的成本。
- (3) 开发三维曲面造型软件,特别是从国情出发开发出基于微机平台的复杂三维 CAD 建模软件。
- (4) 开展快速反求工程研究与应用,包括反求工程所用的软件以及测量技术。
- (5) 开发提高 RPM 原型质量与精度的软件,以满足市场需求。
- (6) 提高 RPM 制件生产效率以降低 RPM 制件的成本。
- (7) 开展大型复杂 RPM 制件的研究,解决大型复杂原型三维 CAD 建模、制件拼接精度与强度问题。
- (8) 开展 RPM 后续应用技术研究。

### 3.2 组建 RPM 技术服务中心,加速 RPM 的推广应用

#### 3.2.1 成立 RPM 技术服务中心的意义与作用

成立 RPM 技术服务中心是加速 RPM 技术研究、开发与推广应用的一种有效的组织形式,是技术研究、开发与推广应用之间的桥梁。

成立 RPM 技术服务中心有利于将 RPM 应用于广大企业,特别是中小企业。RPM 技术需要投资较大、要求技术人员有多方面的专业知识,中小企业不可能也没必要自行购置并应用此项技术,“中心”则引导企业、示范应用,以利针对性地满足这些企业的要求。

成立 RPM 技术服务中心有利于加速 RPM 配套技术的研究,为了达到缩短产品开发周期的目的,成立“中心”后,必须要在技术上从三维建模、反求工程、原型制造直到快速制模全面配套。成立“中心”可以加速对系统配套技术的研究、开发与推广应用。

成立 RPM 技术服务中心可以促进产、学、研、用的结合。通过这种方式,将研究单位、技术应用单位及用户结合在一起,及时总结应用经验,并反馈用户对技术与装备发展的建议和意见。根据制造业实际应用的需要,能进一步明确研究与开发的方向。

成立 RPM 技术服务中心有利于多渠道筹措资金,它包括了从政府、地方有关部门、RPM 技术研究单位、RPM 反求技术应用单位、用户共同筹措资金,同时也有利于有效地利用这些

投资, 发挥更大作用。

### 3.2.2 组建 RPM 技术服务中心的原则:

结合我国国情, 组建 RPM 技术服务中心可以按以下原则进行:

#### 1) 按地区、按行业组建 RPM 技术服务中心

按地区: 即按目前我国经济发展现状, 选择工业基础好、需求迫切的地区组建 RPM 技术服务中心, 可在地区内跨行业服务。如深圳、武汉、天津、北京、陕西、浙江等。

按行业: 按照行业需求, 如机械行业、轻工行业、电子行业对 RPM 需求量大, 可组建行业 RPM 技术服务中心, 以对行业需求进行跨地区的服务。

#### 2) 注重产、学、研、用的联合以及地区内力量的联合

在组建 RPM 技术服务中心时应注意 RPM 技术研究力量、设备开发单位、技术需求单位的联合, 形成产、学、研、用结合的中心。在同一地区内从事 RPM 研究、应用的单位联合组建, 以形成优势互补、分工合作、协调发展。

#### 3) 采用适合地区及行业情况的多种机制运行

可以采用股份制, 以资金为纽带, 将入股单位的利益紧密结合在一起, 以最大限度地激励入股各方的积极性。

可以采用会员制形式广泛组织用户, 使用户了解最新技术动态, 采用最新技术, 提高自身产品的竞争力, 也可以采用多种机制结合的运行模式。

#### 4) 注重 RPM 技术的配套性

要充分发挥 RPM 技术服务中心的作用, 拟根据不同地区及行业的需求, 应至少具备两种类型的 RPM 设备。考虑我国已自行开发了 SLA、SLS、LOM、FDM 的设备, 购置 RPM 设备时, 在同等条件下优先选择我国自行开发的设备。

### 3.2.3 RPM 技术服务中心的任务:

#### 1) 按用户图纸要求承接原型制造业务

#### 2) 承接工业造型设计及原型制造业务

#### 3) 承接反求设计和原型制作业务、

#### 4) RPM 技术与铸造相结合, 直接生产模具和铸造用模型

#### 5) RPM 与塑料成形技术结合, 小批量快速生产塑料零件

#### 6) 开展技术咨询、人员培训等业务

根据目前已具备的条件, 建议在“九五”期间按地区及行业成立 8 个左右的 RPM 技术服务中心, 作为推广应用示范, 以此来带动我国 RPM 的发展。

## 3.3 加强 RPM 技术的宣传及应用示范

为了加速 RPM 技术的发展, 必须大力加强对 RPM 技术的宣传及应用示范。

### 3.3.1 以 RPM 技术服务中心为示范窗口

通过宣传、咨询、培训、服务等多种方式, 并通过实际案例, 让各级领导、企业的决策人员认识这项技术, 同时将应用中遇到的技术问题及时反馈给制造商与科研单位, 促进这项技术在我国的发展。

### 3.3.2 采用专题报告、展览会、学术研讨、考察参观等多种形式进行宣传, 让更多的人认识这项技术。

### 3.4 注重 RPM 技术信息的收集、交流

必须充分利用信息高速公路等各种现代手段收集国际最新信息, 要加强与国外的合作与交流, 密切注视国外的最新动向, 要结合我国国情确定我国发展 RPM 技术的目标与方向。

要加强国内在发展 RPM 技术方面的交流, 以利于信息共享, 在一定程度上避免在 RPM

技术与开发方面低水平重复，使得有限的资金投入发挥更大的作用。

### 4. 结束语

RPM 技术已在我国得到各个方面的重视并取得了不少成绩，但在我国发展中在技术、应用以及体系机制方面还存在着制约其发展的一些问题。为此必须加速 RPM 系统配套技术研究开发，加快其商品化进程；加强 RPM 技术的宣传与交流；注重 RPM 技术信息的收集、交流；尤为值得重视的是借鉴国外成功的经验，组建 RPM 技术服务中心以加速 RPM 的推广应用。

# 基于 RP 的快速制造技术\*

卢秉恒 唐一平 王 平  
(西安交通大学)

**摘 要** 本文介绍了基于快速原型制造的集成制造系统，介绍了系统的几个主要技术组成部分，即快速原型、快速模具制造、快速反求工程及基于 INTERNET 网的 RP 远程制造服务。文章介绍了 RP/RT 技术在国内外的发展现状、经济效益及对增强企业产品开发能力的重要作用。

**关键词** 快速成型 快速模具制造 反求工程 远程制造

科技的进步、信息时代的到来、人们消费的个性化，导致市场的快速多变。只有具备对市场迅速响应能力的企业，才能生存发展。快速原型（Rapid Prototyping）快速模具（Rapid Tooling）快速反求工程（Reverse Engineering）在信息互联网（Internet）支持下，便形成一套快速响应制造的系统技术，可以给企业带来一种加快产品开发，迅速响应市场的能力。

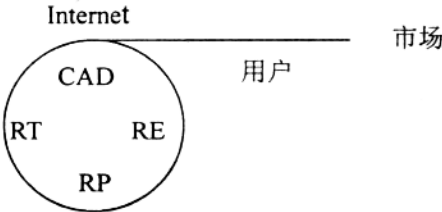


图 1. 快速响应制造系统技术

集成 RP&M 的技术构成如下：

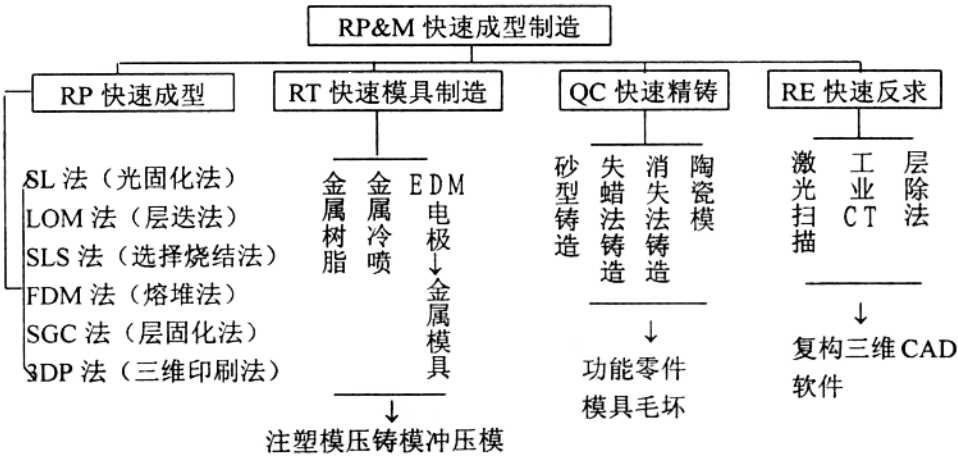


图 2. 集成的 RP&M 技术构成

\* 国家科委及国家自然科学基金资助项目

### 1. 快速原型制造 (RP)

在计算机控制下, CAD 数据驱动制作出来的模型比图纸和计算机屏幕提供了一个信息更丰富、更直观的实体。国际统计资料表明, RP 原型中 1/3 被用来作为可视化的手段, 用于评估设计、协助设计模具, 沟通设计者与制造商及工程投标, 1/3 被用来进行试装配和性能试验, 如空气动力学试验、光弹应力分析等, 1/4 以上用于协助完成模具制造。

原型制造的另一个重要应用领域是医疗。它用于制作教学或手术参考的模型, 或帮助制造假肢, 用于外科修复。

快速原型制造技术按成型材料及技术不同, 主要发展了光固化法 (SL), 粉末烧结法 (SLS), 熔堆法 (FDM), 层迭法 (LOM), 三维打印法 (3DP), 逐层固化法 (SGC) 等。截止 96 年, 全世界已安装了望 200 多台成型机, 97 年的销售超过了 1000 台, 预计 98 年将又有 1500 台成型机投入工作。目前, SL 成型机的总销售量为最大, 约占 50%。FDM 机的销售比例有所上升, 概念机异军突起, 呈现了高速上升的趋势。概念机主要以价位低为特征 (一般 5-9 万美元/台), 其生成原型的强度、精度均较差, 主要用于验证设计概念、培训人才, 大有成为 CAD 的一个终端机的趋势。

我国华中理工大学、隆源公司、清华大学、西安交通大学已分别开发出 LOM、SLS、FDM 及 SL 成型机。西安交通大学今年下半年将推出普及型成型机, 相应于国外的概念机, 售价在 30 万元以内, 使用成本将降为 SL 机的 1/10。

### 2. 快速模具制造技术 (RT)

这一技术是用高新制造技术改造传统技术的成功范例。它包括用硅橡胶、金属粉环氧树脂粉、低熔点合金等方法将 RP 原型准确复制成模具, 这些简易模具的寿命是 50-1000 件, 适宜产品试制阶段。

对制造长寿命的钢制模具, 一个成熟的工艺是 RP 原型  $\xrightarrow{\text{研磨}}$  整体石墨电极  $\xrightarrow{\text{电火花}}$  钢模。这一工艺的特点在于 RP 原型及振动研磨法, 它避开了 CNC 加工, 节约了 CNC 编程及加工时间。一个中等大小, 较为复杂的电极一般 4-8 小时即可完成, 复形精度也较高。这一工艺对制造注塑模、锻模、压铸模等型腔模均较适合。

运用 RP/RT 技术比传统的数控加工制造模具, 周期缩短为 1/3-1/10, 费用降低为 1/3-1/5。由于 RT 的显著经济效益, 近年来, 工业界对 RT 的研究开发投入了日益增多的人力和资金, 因而, RT 的收益也获得了巨大的增长。据 SME 统计, 四年来, RT 服务的收益年增长率均高于 RP 系统销售, 如 96 年比 95 年增长 62.7%, 而 RP 设备销售额的增长为 42.6%。

建立以 RP/RT 设备为主导的服务机构, 为大批中小企业服务, 已成为非常看好的行业。迄今为止, 全球已建立了近 300 家服务机构。96 年底, 其总收入达 2.864 亿美元, 占 RP&M 行业收入的 58.2%。

RP/RT 服务机构在开创阶段, 往往规模很小, 仅一台 RP 系统、一台 CAD 工作站、不到 10 名职工, 以 RP 原型制作为主。近年来, 由于服务机构的良好效益, 服务机构规模日益扩大, 出现了一批具有相当规模的 RP/RT 企业。如日本的 ARRK 创业网络公司, 有 15 个店面。日本 Compression 公司有 8 个店面、240 名员工、16 套 RP 系统、36 台 CNC 加工中心、15 台注塑机、65 台工作站。美国一家有雇员 210 名、28 台 RP 设备 (20 台 SL 机、6 台 SLS 机、2 台 FDM 机)、16 台 CNC 加工中心、5 台电火花机床、12 台注塑机。服务机构的业务范围扩展到硅橡胶软模、蜡芯、铸件、电极及各类模具。大部分服务机构还保持在 20 人左右的规模。

深圳股华公司, 固定资产投资 1000 多万元, 建立了以 SLA 机、石墨电极成型机、硅橡胶