

关于 CAPP 的实践与思考

李培根, 张国军

(华中科技大学, 武汉 430074)

[摘要] 制造底层信息化是制造业信息化的薄弱环节, 计算机辅助工艺规划 (CAPP) 不仅是制造底层信息化的重要研究领域之一, 也是联系底层信息化与上层信息化的桥梁。工艺设计具有范围广、内容多以及个性化强等特点, 因此难以实现通用化及商品化; 而工艺设计是许多制造活动的交汇点, 是与其他信息系统集成困难的主要原因之一。文章介绍了在 CAPP 方面的研究特色, 包括应用框架技术实现开放式 CAPP 平台, 通过 BOM 转换实现集成化, 以及通过解决行业问题加强 CAPP 的推广实施等; 指出了量化 CAPP、基于 3D 模型的 CAPP 以及车间级 CAPP 将是 CAPP 的重要发展方向。

[关键词] 制造业; 信息化; 计算机辅助工艺规划

[中图分类号] TP391.7 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742 (2005) 03-0013-04

1 引言

“制造”是人类文明的基石, 是创造人类赖以生存与发展的物质财富的最基本、最重要的手段之一。数千年来, 人类一直致力于借助各种手段提高制造的技术与水平。自第一次工业革命以来, 全球制造业通过机械化、电气化等手段得到了飞速的发展。而信息技术的出现与发展, 则为发展中国家快速实现工业化带来新的机遇^[1]。

我国制造业信息化工作虽然起步较晚, 但是得到了全国上下的高度重视, 取得了一定的成绩。其发展历程基本上可以从两方面加以概括: 在产品研发方面, 先后实现了技术手段的信息化 (CAD/CAM 等) 以及设计管理手段的信息化 (PDM 等); 在生产管理方面, 先后经历了 MIS, MRP/MRP II 以及 ERP 等阶段。

然而, 通过对我国制造业信息化发展历程及现状的分析, 不难发现也存在一些问题。近 20 年来, 我国在产品研发及生产管理等方面的信息化工作投

入了大量的人力、物力和财力, 取得了一定的成果, 但是在很多企业, 信息化并未取得预期的效果。其中原因很多。笔者认为, 制造底层信息化水平不高, 使上层工作的信息系统缺乏相应的支持, 是重要原因之一。以当前制造业信息化的热点之一 ERP (enterprise resource planning, 企业资源计划) 为例, 绝大多数企业实施 ERP 时都面临无法从产品研发系统获取足够信息源的问题。由于大多数企业的生产现场没有实现信息化, ERP 系统无法及时获得所需的现场信息, 导致难以获得合理的生产计划。由此可见, 底层信息化薄弱已成为阻碍制造业信息化向前推进的拦路虎。我国在制造底层信息化方面, 无论是理论、方法, 还是系统实现技术的研究, 都显得薄弱, 更谈不上大范围实施与应用。因此, 大力开展制造底层信息化的研究, 对进一步推进我国制造业信息化具有重要意义。

笔者主要介绍在制造底层信息化的一个研究方向——计算机辅助工艺规划 (CAPP) 方面的主要研究成果, 并分析其发展趋势。

[收稿日期] 2004-08-30; **修回日期** 2004-09-06

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目 (50275056)

[作者简介] 李培根 (1948-), 男, 湖北武汉市人, 中国工程院院士, 华中科技大学教授, 博士生导师

2 工艺设计特点及CAPP面临的困难

CAPP在理论、方法和技术方面虽有进展,但其系统开发和推广应用一直非常困难,至今没有出现在全世界广为普及的CAPP商品化软件,与CAD系统相比,差距较大。CAPP研究面临的困难,与工艺设计的特点是分不开的。

2.1 工艺设计工作范围广 内容多

工艺设计涉及的范围较广,内容很多,主要工作包括工艺评价、工艺规程设计、工序图设计以及工艺管理等。从工艺类型来看,工艺设计又可以分成冷加工、热处理及装配工艺等。不同类型的工艺,其工艺设计内容有较大的差异^[2]。由于涉及范围广、内容多,往往需要完成较多的文件。在我国颁布的“中华人民共和国机械制造行业标准”中,JB/T 5054.1-6-2000 产品图样及设计文件标准就规定了产品设计有32种图样及文件,而在JB/T 9165.1-4-1998 工艺文件完整性中规定有57种图样及文件。实际工作中产生的文件数量差别更大。例如产品设计出一种零件图纸,在工艺上就需要完成工艺路线、毛坯制造工艺(可能包括铸、锻、焊、冲压、热处理中的1至2项)、加工工艺(可能包括工艺过程卡及多道工序卡)、材料定额、工时定额等,每道工序又可能需要完成工装图纸及工艺等。据国外统计,设计图纸及文件与工艺图纸及文件之比为1:5~1:10^[3]。

工艺设计涉及多个学科领域,因此研究与开发CAPP需要具备机械、材料、管理、信息及图形学等多方面的学科知识。

2.2 工艺设计是个性化很强的工作

工艺设计的个性化体现在多方面。首先,工艺设计的对象不同,工艺方法差异很大。仅以机械产品为例,可以将零件按照其结构分成回转体与非回转体两大类。在不同类型的零件中,尽管回转体稍有共性(因此对这类零件的研究方法的探讨较多^[4]),但是用于不同行业、不同产品中的回转体工艺方法差别却很大。非回转体零件的工艺方法差别则更大。

其次,制造装备的不同也是导致工艺设计个性化的主要原因之一。例如,同样是完成一个零件的加工工艺,采用普通机床与数控机床,其工艺方法几乎完全不同。另外,不同企业的组织结构甚至工作习惯也是引起工艺设计个性化的重要原因。不同

企业的制造装备水平、组织结构及工作流程差异很大,在当前中国制造业快速发展的时期表现尤为明显。

工艺设计的个性化也是导致工艺设计标准化比较落后的主要原因之一,表现在难以建立统一的工艺信息模型、工艺管理模式及工艺设计流程等各个方面。这与产品设计标准化有较大的差距。而工艺设计标准化落后也是工艺设计信息化的困难所在。因为工艺设计的个性化往往需要针对行业或者产品特点设计专业化的CAPP。另外,工艺设计的个性化需要较长的CAPP开发周期,实施工作量大。而工艺信息的非标准化也使得不同CAPP系统之间,CAPP系统与其他系统之间的系统集成,以及系统的升级等都更加困难。

2.3 工艺设计是诸多制造活动的交汇点

工艺设计被称为连接产品设计与制造的桥梁^[5]。工艺设计与许多制造活动密不可分,是诸多制造信息的交汇点。与工艺设计相关的主要制造活动,以及工艺设计与其相互交换的信息如图1所示。工艺设计成为诸多制造活动的交汇点意味着工艺设计面临两方面的困难:一方面是工艺设计所依据的条件更加具有复杂性、不确定性和动态性等特点;另一方面是工艺设计的输出内容更多、形式更加复杂。这些困难在CAPP系统中表现为信息源更多、输出表格更多、系统集成更加困难等。

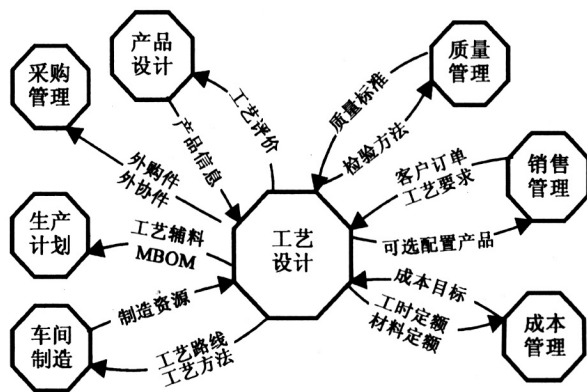


图1 工艺设计是诸多制造活动的交汇点

Fig.1 Process planning is a cross point of many manufacturing activities

3 在CAPP方面的研究特色

笔者所在的课题组从20世纪80年代末开始CAPP的关键技术研究,后来致力于CAPP系统开

发及推广应用工作。

3.1 应用框架技术实现开放式 CAPP 平台

如前所述, 由于工艺设计具有个性化的特点, 要开发出既有一定通用性, 又具有完善功能的 CAPP 系统是非常困难的。一些针对具体的行业或者工艺问题开发的派生式、创成式或者智能式 CAPP, 尽管功能较为强大, 但是由于专业性强而缺乏通用性。一些商业化 CAPP 软件为了实现通用性, 大大简化其功能, 最后往往只剩下填表功能。在这样的背景下, 课题组于 20 世纪 90 年代中期开始应用框架技术开发开放式 CAPP 平台。该平台由系统外壳、基础工具和开发工具三个部分组成, 如图 2 所示。系统外壳提供系统入口及功能框架。基础工具是工艺设计的主体, 能够完成工艺信息的输入、处理及输出。开发工具用于功能定制及系统改造。用户可以应用平台的外壳、基础工具和开发工具定义其特有的信息模型、决策逻辑和功能模型, 将平台定制成具有不同功能、适应不同范围的系统。该平台在一定程度上解决了 CAPP 系统的通用性与功能完备性之间的冲突, 实现了系统的可定制、易扩充和开放性。

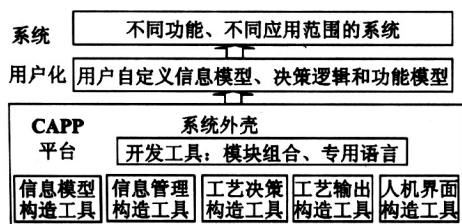


图2 基于框架技术的开放式 CAPP 平台

Fig.2 Framework-based open architecture CAPP platform

3.2 通过 BOM 转换实现集成化

如上所述, 工艺设计是诸多制造活动的交汇点, 因而工艺设计信息化对于集成不同的制造信息系统具有重要意义。实现信息集成的基础是信息标准化。但是, 由于工艺设计信息内容广泛, 而且难以统一, 因而目前对所有的工艺信息进行标准化还不太现实。为此, 有必要寻求在不同制造活动中联系最为密切的信息, 将其作为不同系统信息集成的主线。显然, 物料单 (bill of material, BOM) 是一个最好的选择。课题组提出了面向 BOM 的工艺设计, 将工艺设计理解成为 BOM 的演变过程, 并将面向设计的工程 BOM (EBOM) 向面向生产的

制造 BOM (MBOM) 转换作为 CAPP 的主要功能之一。EBOM 与 MBOM 的差别体现在多方面, 包括物料演变、物料增加以及结构调整等。CAPP 将 EBOM 转换为 MBOM 后, 能够为生产管理提供更加准确的、符合实际制造情况的产品结构信息和物料信息, 从而真正发挥信息桥梁的作用。

3.3 通过解决行业问题加强推广实施

基于框架技术的开放式 CAPP 具有一定的通用性, 但是在实施和推广应用过程中还有大量的工作要做。经过几年摸索, 笔者认为要以解决行业问题作为 CAPP 推广应用的起点, 将 CAPP 平台的通用性与行业工艺的特殊性结合起来, 注重总结不同行业工艺设计的特点, 挖掘并解决行业的共性问题, 这样做不仅能加快 CAPP 的推广应用, 还能达到行业知识共享的目的。课题组经过长时间在企业进行 CAPP 的业务调研和需求分析, 先后完成了针对汽车、家电、工程机械、机车等行业的 CAPP 系统的定制与开发, 使开放式 CAPP 系统在数百家企业得到成功应用。

4 关于 CAPP 发展趋势的思考

4.1 定量化 CAPP——注重解决微观工艺问题

CAPP 研究可以分为三个层次: a. 宏观层——包括工艺设计信息管理、工艺设计流程以及系统集成等; b. 中观层——包括工艺方案评价、工艺路线决策、工艺规程设计等; c. 微观层——包括公差确定、工序图生成以及切削用量确定等。宏观层关注的对象往往是整个企业或者系统, 注重系统模型的建立; 中观层关注的是产品或者零部件, 注重工艺路线与工艺方法的确定; 微观层关注的则是以工序为单位的具体的工艺问题, 注重工艺参数的确定。前两者研究的问题往往是定性的, 而后者需要定量化。早期的 CAPP 研究的多是中观的问题, 当前研究的重点则是宏观和中观问题。对于微观的工艺设计问题却始终没有解决, 而越是这些微观的问题, 越是工艺设计的本质问题, 就越需要综合利用制造技术、信息技术和智能技术进行定量化解决。

4.2 基于 3D 模型的 CAPP——与 CAD/CAM 一体化

在当前的制造信息系统中, CAD/CAM 通常是建立在统一的信息平台的基础上 (例如三维设计软件)。由于 CAPP 缺乏通用性, 因而是专门的、单独运行的系统; 信息集成往往是通过中间文件 (例

如 STEP, DXF 等) 进行的^[6]。随着产品更新换代的加快, 产品设计与工艺设计的并行化要求越来越高, 这种方式已经越来越不适应现代产品开发的要求。尤其是当前的 CAPP 注重文本数据的处理而不是图形数据的处理, 对于解决微观的工艺设计问题(例如公差及工序图生成等) 构成了巨大的障碍。因此, 研究与开发基于三维 CAD 的 CAPP 系统, 使 CAD, CAPP 及 CAM 共享统一的三维产品模型, 并充分利用 CAD/CAM 的设计与分析功能, 将是 CAPP 发展的一个重要方向。

4.3 车间级 CAPP——注重与车间信息化紧密结合

在当前车间信息化不够充分的情况下, 由工艺设计确定制造设备的类型、工艺路线和工艺方法; 车间调度则确定具体的制造设备, 并根据车间实际情况对工艺路线和工艺方法进行微调(实际上完成了部分工艺设计工作)。随着车间信息化工作的深入, CAPP 有可能依据实时的车间制造资源信息(资源类型及使用状况等)、制造过程信息(生产计划及在制状态) 等, 生成更加符合实际制造状态的工艺文件; 车间调度也可以利用 CAPP 提供的辅助工具进行工艺调整。这些功能就是车间级 CAPP 要实现的目标。为此, 必须加强车间信息化的研究与开发。车间信息化一个主要的研究方向是制造执行系统(manufacturing execution system, MES), 它是面向车间的生产过程管理与实时信息系统, 填补了计划管理与底层控制的“鸿沟”, 是车间信息化的核心。课题组在这方面已经开展了部分研究工作, 在 MES 信息系统建模、车间调度与决策算法、车间制造资源集成以及敏捷化系统开发等方面, 取得了初步成果。随着 MES 的深入研究和推广应用, CAPP 对连接工程设计、生产管理与制造执行将发挥更大的作用。

5 总结

总结这些年来在 CAPP 的研究与开发工作, 笔者有以下体会:

1) CAPP 应触及物料变化这一实质问题, 工艺设计实际上完成的是从原材料(毛坯) 到产品的物料演变过程, 因此 CAPP 的实质是物料信息的生成、表达、变化及管理。

2) 应该高度重视 CAPP 在信息集成中的桥梁作用, CAPP 对于联系上游的设计与下游的制造, 上层的企业生产管理与底层的制造执行等都具有重要意义。

3) CAPP 系统必须工具化、平台化; 工具化解决工艺设计的专业问题, 平台化能够将众多的工艺设计工具进行集成与融合; 平台化与工具化的结合是解决 CAPP 通用性和商品化问题的根本所在。

4) CAPP 研发不能盲目地追求智能化。具有一定的智能性是 CAPP 的发展方向, 但是不能片面追求 CAPP 的智能化, 而忽视其实用性。

5) 只有面向行业、面向车间, CAPP 在企业才有生命力; 只有解决了行业共性问题, 并且能够支持制造执行, CAPP 才能真正为企业带来增值。

在 CAPP 未来的工作方向上, 可以用三个层次的“下沉”进行概括:

1) 制造底层的信息技术研究仍然薄弱, 信息技术在制造中的应用研究应下沉到底层;

2) 企业制造底层的信息化已经成为阻碍制造业信息化深入的瓶颈, 企业的信息化工作要下沉到制造底层;

3) 在 CAPP 领域应着重解决微观的工艺设计问题, CAPP 的研发工作应下沉到量化的工艺问题。

参考文献

- [1] 李健. 大力推进制造业信息化[J]. 求是, 2003, (1): 51~53
- [2] Kamrani A K, Sterro P, Handelman J. Critical issues in design and evaluation of computer aided process planning systems [J]. Computers and Industrial Engineering, 1995, 29(1): 619~623
- [3] 陈宗舜. 关于 CAPP 发展方向的探讨[J]. 成组技术与生产现代化, 2000, (2): 11~13
- [4] Younis M A, Wahab M A A. A CAPP expert system for rotational components [J]. Computer and Industrial Engineering, 1997, 33(3-4): 509~512
- [5] Cay F, Chassapis C. An IT view on perspectives of computer aided process planning research [J]. Computers in Industry, 1997, (34): 307~337
- [6] Zheng Lianyu, Du Pei. A STEP-based CAD/CAPP integration [J]. CADDM, 1994, 4(1): 37~42

(下转第 34 页)

Principle of Laser Nano-meter Measurement Ruler

Zhang Shulian

(*The State Key Laboratory of Precision Measurement Technology and Instruments, Tsinghua University, Beijing 100084, China*)

[Abstract] In the past applications saw laser as light source only, did not involve in internal structure and physical phenomena of lasers. The efforts had been done to transform single HeNe laser into a sensor, but ceased before great breakthrough. This paper reports the progress in investigating Laser Nano-meter Measurement Ruler, which is just the laser itself. The principle is based on the frequency splitting, mode competition, cavity tuning, etc., of laser, which are done or found by the author and colleagues. The configuration is that employing an inter-cavity birefringence element to split a laser frequency into two frequencies, $\perp$ light and $\parallel$ light; alternately occurring of strong and medium mode competition as the cavity being tuned, dividing the lasing bandwidth to three equivalent parts; again making the laser longitudinal separation being $4/3$ of lasing bandwidth. The consequence is that $\perp$ light suppressing $\parallel$ light dying out in the first $\lambda/8$ of mirror displacement, $\perp$ light and $\parallel$ light oscillating together in the second $\lambda/8$, $\parallel$ light suppressing $\perp$ light dying out in the third $\lambda/8$, $\perp$ light and $\parallel$ light dying out together in the fourth $\lambda/8$; with one time of repetition of the four regions the displacement of the mirror is $\lambda/2$. Calculating the number of polarization regions the displacement is known. The direction of displacement can be judged by the difference of polarization of each region. The cavity mirror of movement is joined with the object to be measured by a guide. The measurement range: 12 mm, resolution: 79.08 nm, linearity: 5×10^{-6} , $2\sigma = 0.314 \mu\text{m}$. This achievement is significant for both fields of lasers and metrology.

[Key words] displacement measurement; HeNe laser; mode competition; frequency splitting; cavity tuning; longitudinal mode; birefringence

(cont. from p.16)

Practice and Consideration on CAPP

Li Peigen, Zhang Guojun

(*Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China*)

[Abstract] Computer aided process planning (CAPP) has been regarded as not only an important research area for the informatization on shop-floor level, which presently remains a relatively weaker sector in information-based manufacturing, but also a bridge across the informatization of shop-floor and enterprise levels. For its wide spectrum of tasks with vast amount of contents involved, as well as for its strong necessity in customization to different manufacturing sectors and various manufacturing processes, CAPP has met with difficulties in generalization and commercialization. On the other hand, due to its position as cross point among various manufacturing activities, it has been proven difficult in integrating with other enterprise application systems. This paper introduces some advancements in the R&D of CAPP, including the application of framework technology in the development of an open architecture CAPP platform, system integration based on BOM transformation, as well as promoting the application of CAPP thorough solving typical problems for some specific industries. In addition, some trends in the R&D of CAPP are also pointed out, i.e., quantified analysis and parameter setting, CAPP based on 3D models and CAPP for shop-floor applications are important directins for further R&D in this area.

[Key words] manufacturing; informatization; CAPP