

焊接结构件装焊 CAPP 系统的研究与开发

朱志明, 张崇轲, 陈丙森

(清华大学, 北京 100084)



朱志明

摘 要: 在简单介绍计算机辅助工艺规划(CAPP)系统发展的基础上, 首先分析了当前 CAPP 系统的几个主要发展方向——集成化、通用化和对象化, 并对焊接结构件装配、焊接加工工艺的特殊性进行了剖析, 然后根据装焊 CAPP 系统的研究开发现状, 结合焊接结构件加工工艺的特征以及 CAPP 系统的发展趋势, 提出了进行实用的焊接结构件装焊 CAPP 系统研究开发的原则和方法。

关键词: 装焊; CAPP; 焊接结构件; 软件开发技术

中图分类号: TG457 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2001)04-87-06

0 序 言

在现代工业生产中, 新产品的开发和生产包括三个主要阶段: 产品设计、产品工艺规划、产品制造。由于科学技术的飞速发展, 产品更新换代的速度越来越快, 多品种、小批量的生产模式已占重要地位, 传统的产品设计、工艺规划方法以及生产模式已经不能适应现代机械制造业的发展需要。计算机技术的发展, 使得利用计算机来辅助进行生产的时代已经到来, 针对产品设计、产品工艺规划和产品制造分别形成了计算机辅助设计(CAD: Computer Aided Design)、计算机辅助工艺规划(CAPP: Computer Aided Process Planning)和计算机辅助制造(CAM: Computer Aided Manufacture), 其中计算机辅助工艺规划(CAPP)是联接 CAD 和 CAM 的桥梁^[1,2]。工艺过程设计是企业各部门信息交叉汇集的重要环节^[1,3], 生产管理和设计调度等部门也必须依靠 CAPP 系统的输出数据。为了使 CAD 和 CAM 两者之间在信息提取、交换、共享和处理上实现集成, 实现真正的计算机集成制造系统(CIMS: Computer Integrated Manufacture System), CAPP 是必不可少的环节。因此, CAPP 是企业逐步推行 CIMS 应用工程的重要基础之一。

CAPP 不仅可以显著缩短工艺设计周期, 保证工艺设计质量, 而且可以提高产品工艺的继承性, 最大限度地利用现有资源, 从而降低生产成本, 提高产品的市场竞争能力。同时, CAPP 可以使工艺设计人员摆脱大量、繁琐的重复劳动, 将主要精力转向新

产品、新工艺、新装备和新技术的研究和开发。CAPP 还可以使没有丰富经验的工艺师设计出高质量的工艺规程, 缓解当前机械制造业工艺设计任务繁重, 但又缺少有经验的工艺设计人员之间的矛盾。此外, CAPP 也有助于推动企业开展工艺设计标准化和最优化工作。因此 CAPP 受到工艺设计领域的重视, 以 CAPP 代替传统手工编制工艺过程文件的方法得到了的大力发展。

1 计算机辅助工艺规划系统的发展

计算机辅助工艺规划(CAPP)系统的研究始于 60 年代后期, 第一个 CAPP 系统是挪威 1969 年推出的 AUTOPROS 系统, 美国国际计算机辅助制造公司在 1976 年推出了自动工艺设计系统 CAM-1 APP。国内的 CAPP 研究虽然从 80 年代初期才开始, 但是涌现出了许多优秀的 CAPP 系统, 如 APPAS 系统、TOJICAP 系统等等^[1,4]。1985 年和 1986 年, 美国机械工程师协会(ASME)连续两年召开 CAPP 的学术研讨会, 1985 年和 1987 年, 国际生产工程研究会(CIRP)连续两次召开 CAPP 专题讨论会。目前, 国内外各类生产(制造)自动化学术会议、计算机集成制造技术学术会议等都设有 CAPP 或 CAD/CAPP/CAM 或人工智能技术在 CAPP 中的应用等专题。

在国外, CAPP 的发展已有 30 多年的历史, 国内也进行了近 20 年的研究与实践。在设计方法上出现了人机交互式、检索式、派生式、创成式、专家系统式^[2,5]等基本类型, 以及它们的衍生和综合。在工艺分析、建模和规划自动化方面也作了许多工作,

已经成功开发出许多 CAPP 系统,在实际应用中显示出了巨大的潜力和明显的社会效益,反过来,CAPP 系统的研究在工业应用的推动下得到了进一步的发展。

国内外 CAPP 研究的重点有所差异。国外制造业的自动化进程开始较早,程度也较高,相应的计算机辅助体系较为健全。因此国外 CAPP 的研究比较注重 CAPP 作为子系统,与其它计算机辅助环节的结合。例如对 CAPP 在柔性制造系统(FMS: Flexible Manufacture System)与计算机集成制造系统(CIMS)中的应用做了相对较多的研究。就其类型而言,国外 CAPP 研究中用于创成(或半创成)机加工工艺的系统居多^[1]。而国内由于工业自动化水平较低,因此 CAPP 的研究内容主要集中在 CAPP 的若干相关关键技术,如零件的建模与结构编码^[6,7]、CAPP 开发工具^[8,9]、CAPP 工艺生成的智能化方法^[10,11]等方面。

在 CAPP 发展初期,其主要模式是派生法。80 年代,随着人工智能技术的发展,以人工智能为基础的创成式 CAPP 系统成为研究热点。以基于知识表示及推理的专家系统技术为代表的人工智能技术能够在一定程度上满足 CAPP 系统对横跨多学科、灵活性和适应性的要求。因此人工智能技术在 CAPP 的研究中得到了广泛的应用,包括基于知识的各种工程数据、产品设计信息、决策模型的表示以及推理决策方法的智能化等^[1,2]。然而专家系统技术存在工艺知识获取“瓶颈”问题与推理过程中出现的“匹配冲突”或“组合爆炸”等问题。至于应用人工神经网络(ANN)技术所能建立的神经网络的结构(包括网络层数、输入、输出及隐节点的个数),由于局限于现有的技术条件,也往往无法满足实用的要求。因此,目前 CAPP 技术的研究与开发重点正逐步从 CAPP 的智能化转向 CAPP 的集成化、通用化和对象化等方面,从注重工艺过程的自动生成,转向为工艺设计人员提供软件工具,同时为企业的信息化建设提供服务,以满足企业 PDM(Product Data Management)、MRPII(Manufacture Resource Planning)或 ERP(Enterprise Resource Planning)等信息系统的需要。

2 集成化与产品数据交换标准

CAPP 作为连接产品设计与制造的桥梁,需要与产品设计与制造的各个环节交换大量的数据,是企业信息化建设的关键和核心之一,因此 CAPP 与其它软件的集成化研究越来越受到重视。随着

CAD、CAM、CAPP 系统的应用逐步增多,企业迫切需要将这些孤立的系统整合成一个整体以发挥更大的效益^[12,13]。由于企业越来越意识到计算机在日常生产规划和管理中的巨大潜力,MRPII 和 PDM 也为越来越多的企业所采用,CAPP 如何与它们进行有效的集成也成为了当前 CAPP 系统研究的一个重要内容。

CAPP 与 CAD 和 CAM 的集成一般称为局部集成。CAPP 系统向前与 CAD 集成,以解决 CAPP 系统的零件信息输入问题;向后和 CAM 集成,为 CAM 提供加工信息。但是由于 CAD 系统千差万别,用户应用水平参差不齐,全面、准确地从设计图纸中获取信息是 CAPP 技术的难点之一。为了克服这个难题,一般的解决方法是采用自定义的接口,有的 CAPP 系统与自身开发的 CAD 系统相衔接^[14,15],而有的 CAPP 系统则是通过自定义的规则与 AutoCAD 等商用 CAD 相衔接^[16]。这样做都能在一定程度上实现 CAD/CAPP 的衔接,但接口规范的各异限制了企业用户对 CAD/CAPP 系统的自由选择,也不利于集成化技术的标准化。

上述集成还可以通过将 CAPP 系统扩大到与制造资源计划 MRP II 或 PDM 集成来实现。MRP II 是指以物料需求计划 MRP(Material Requirement Planning)为核心的生产计划与控制系统,主要强调对人、财、物等制造资源的管理^[17]。CAPP 系统与 MRP II 集成的内容包括: CAPP 系统从 MRP II 系统中提取产品“设计 BOM”中的相应信息以进行新工艺的制定;从由 CAPP 系统制定完成的工艺中提取相应的工艺信息输入到 MRP II 系统中形成或修改“工艺 BOM”。PDM 是管理所有与产品相关的信息和过程的技术^[18]。CAPP 系统的输入和输出都是 PDM 的管理对象,因此 PDM 与 CAPP 的集成即 PDM 为 CAPP 提供 CAD 的设计信息,并接纳和管理 CAPP 输出的工艺信息,同时传递到下一个环节。

CAPP 与其它系统的信息集成方式主要包括三种。初期采用的方式是通过专用数据格式文件进行产品信息交换,在这种方式中,相互间的数据交换存在于两个系统之间,当子系统较多时,不仅接口程序增多,而且编写接口时需要了解的数据结构也较多,当一个系统的数据结构发生变化时,引起的接口程序的修改量较大。

目前广泛采用的集成方式是通过标准数据格式的文件交换产品信息,系统中存在一个与各子系统无关的标准格式,各子系统的数据通过前置处理转换成标准格式的文件,各子系统也可通过后置处理将标准格式的文件转换成本系统所需要的数据。这

种集成方式,每个子系统只与标准格式文件发生联系,而不需了解其他系统的数据结构,接口数目显著减少,为开发者和使用者提供了较大的方便,降低了接口的维护工作量。但并没有解决各子系统间的模型统一问题,并且运行效率较低,还不是一种十分理想的集成方式。

为了提高数据交换的速度和效率,保证数据交换的完整性和可靠性,必须在集成化的系统中采用统一的数据规范,以便于对各种数据的统一处理,从而大大减少输入/输出时间,提高系统的自动化水平。为此,建立 CAD/CAPP/CAM 范围内相对统一的基于特征的产品定义模型,并在此基础上运用产品数据交换技术,可以有效地实现 CAD、CAPP、CAM 之间的数据交换和共享。产品数据交换标准 STEP 即是以此为基础进行产品信息交换,它采用统一的产品数据模型,统一管理产品数据,各子系统间直接进行信息交换,而不是将产品信息转换成数据,再通过文件来交换,从而大大提高了系统的集成性。

3 通用化和面向对象开发技术

3.1 通用化

随着 CAPP 被越来越多的企业所应用,以往量体裁衣式的“一对一”开发方式已经渐渐无法满足 CAPP 市场快速增长的需要,而且传统 CAPP 相对漫长的软件开发周期以及缺乏专业化的软件培训和软件维护队伍往往使得 CAPP 的作用无法得到完全的发挥,阻碍了 CAPP 在企业中的应用。同时,企业面对快速变化的市场,也要求 CAPP 系统能适应快速、多变的产品柔性开发的要求,而传统的专用型 CAPP 系统很难满足要求。由于上述原因,CAPP 的通用化^[19]研究得到广泛重视,并得到很多企业的认同。适合多个企业应用的通用化的 CAPP 系统除了在功能上必须具备 CAPP 必需的基本功能以外,应该包括软件开发规范化和工具化两个特点。

软件开发规范化:软件的生命周期为越来越多的企业所重视,企业除了关注 CAPP 软件本身功能之外,越来越重视软件的可维护性以及软件开发者的软件维护能力,以保证实现计算机辅助工程的可持续发展。只有保证规范化开发,才能保证 CAPP 软件可以快速适应不同企业的要求,并持续、有效地在多个企业发挥作用。

工具化:由于不同企业的产品、同一企业不同时期的产品等差异很大,而要求 CAPP 给出的输出内容和格式也千差万别,因此很难要求通用化的 CAPP 对企业的具体特点做到面面俱到,因此工艺

制订阶段的一部分甚至大部分内容就必须交由工厂的工艺人员通过人机交互来完成,而此时的 CAPP 则在更大程度上起到一个工艺编辑工具的作用。

通用化是 CAPP 走向实用的一个重要标志,它将 CAPP 在企业中的应用提高到一个新的层次。

3.2 面向对象开发技术

面向对象(O-O: Object Oriented)的开发方法是目前软件开发技术的主流,研究如何利用面向对象的开发方法来帮助开发 CAPP 系统是 CAPP 软件逐步完善的要求。面向对象的开发方法结合其它的新技术,成为解决开发 CAPP 系统时所遇到困难的一个重要推动力。例如,由于传统的 CAD 软件不能直接连接属性数据,而目前的 CAPP 大多数都基于关系数据库,两者之间难以实现数据交换和共享。新近发展的部件式模型技术(COM)提供了解决的方案,开发出了基于 COM 技术^[20]的 CAPP 系统。

对象化是一种思维抽象的模式,CAPP 的对象化研究包括面向对象的建模、面向对象的工艺管理模式和面向对象的开发方法等内容。面向对象的 CAPP 建模基于实体特征模型,集成了 CAPP 环境的结构特性、行为特性及知识规则,扩充了数据抽象性、封装性、继承性以及执行时的信息传递等面向对象的特征。知识规则建模类似于一般的创成式系统,行为特征包括基本的数据库知识操作和复杂的机械加工操作、工艺设计中的各种操作等。这样数据和程序被封装在一起形成对象,对象可以分类,CAPP 应用中的对象和子类形成树状结构,自然地表达了 CAPP 系统中相关工艺的继承性。

目前多数 CAPP 系统的工艺管理功能均采用了以产品作为着眼点来组织工艺文档的面向对象(即产品)的工艺管理模式^[21]。这种模式将文档按照所属产品构成的产品树状结构来进行创建和管理,不仅直观,而且高效、不易出错,受到广大工艺管理人员的欢迎。

4 焊接结构件装焊工艺的特征

焊接结构件的装配焊接工艺主要是指组成焊接结构件的零部件装配、焊接的先后次序及相应的内容,也就是一个焊接结构件的实际生产过程,通常不含零部件本身的具体加工,如:下料、成型等。而焊接结构件装配焊接工艺的设计,就是通过对焊接结构件的结构和功能分析,对其整体装配焊接工艺进行规划,确定具体的加工工艺路线和内容,包括工装夹具、焊接设备和方法、焊接参数等,从而保证整体装配焊接工艺的完整性和有效性的过程。

焊接结构件的装配焊接工艺设计相对于机加工的工艺设计而言具有以下几个特征。

(1) 焊接结构件形状复杂、特征变化很多, 结构特征的表述难度很大。相对而言, 冷加工零件几何形状比较有规律, 相互之间有很多相似之处, 容易利用成组技术, 通过分类编码或是其它方法, 可以较完全地覆盖零件的结构和工艺信息, 并借此生成完整的工艺。

(2) 焊接结构件的制造是装配和焊接的组合加工过程。它们既有一定的独立性, 又有极为密切的联系。装配过程将焊接结构件的各零部件按工程要求进行合理的排列, 结构件的结构越复杂、零部件数量越多, 其构成的解空间就越复杂。而且相同的结构采用不同的焊接顺序, 也会产生不同的结果, 这些都增加了解决问题的难度。

(3) 焊接加工中焊接材料种类多, 环境条件复杂, 而且它们的变化对焊接参数、焊接工艺流程的影响很大, 并且由于焊接属于热加工, 是一个经验性很强的技术, 难以找到实用、可行的规律, 也很难抽象出一个数学模型进行仿真。而冷加工机械自动化的实现相对较容易, 对机床等进行控制也比较实际, 加工参数和顺序容易确定。

(4) 在焊接结构件的制造过程中, 除了装配焊接以外, 与之相关联的还有很多辅助工序, 如油漆等。这些相关工序的加工顺序随机性很大。

然而, 焊接结构件作为一种机械结构件, 其本身具有相对的稳定性。考虑结构件的分类, 在同一类焊接结构件中, 无论结构, 还是功能, 都具有一定的相似性和继承性。根据结构、功能相似, 工艺相似的原则, 同一类焊接结构件的装配焊接工艺也具有一定的相似性和继承性。

5 装焊 CAPP 系统的开发方法

焊接领域的计算机应用研究国外始于 70 年代中期。如日本在 1976 年成立了“焊接数据库”工作委员会来组织进行焊接 CAD/CAM 的开发; 美国在 1986 年推出焊接工艺规程数据库、焊接成本计算等软件和焊接工艺选择专家系统; 英国于 1988 年推出了一些焊接工程数据库及专家系统软件等。但针对焊接结构件的 CAPP 研究较为少见。

国内从 80 年代后期开始研究计算机在焊接领域的应用。研究工作的重点也主要集中在焊接工艺评定数据库、材料定额计算、焊接工艺选择等几个方面^[22-23]。而焊接结构件的计算机辅助工艺规划(CAPP)则发展缓慢, 可以说还处于刚刚起步的阶

段, 如清华大学与张家口煤机厂合作开发的通用焊接结构件 CAPP 系统、清华大学为太原重型机械厂开发的起重机主梁装焊 CAPP 系统等。这些系统^[24-25]针对的主要是焊接生产中的下料和零件制造部分, 对于焊接结构件整体的装焊工艺涉及的较少。总的说来, 焊接结构件装焊 CAPP 系统的研究工作开展得还不是很深入, 相对于机加工 CAPP, 研究水平还有较大的差距。

焊接结构件装配焊接工艺的复杂性和特殊性给传统的 CAPP 系统研究与开发方法在焊接结构件 CAPP 系统中的应用造成了根本性的困难。然而企业信息化建设和 CAPP 的迅速发展和应用又对解决这一问题提出了迫切的要求。根据装焊工艺的特点, 结合传统 CAPP 系统的研究开发方法和 CAPP 发展趋势, 以及开发装焊 CAPP 系统的经验, 一个实用的焊接结构件装焊 CAPP 系统的开发应遵循以下原则。

5.1 加强 CAPP 系统与工艺人员的人机交互

CAPP 系统只是辅助工艺人员完成工艺设计的工具, 并不能完全取代工艺人员进行工艺自动化设计。工艺人员和计算机组成了“人机一体化”的智能系统^[26], 工艺人员仍是工艺决策的主体, 而 CAPP 系统只是利用检索原有数据和进行工艺的派生等技术进行局部而非全部工艺的自动化决策^[21]。因此加强 CAPP 系统与工艺人员之间人机交互能很好地弥补焊接结构件 CAPP 系统因其信息建模及智能化生成工艺困难而造成的缺陷。

强调人机交互一方面可以通过允许工艺人员干预工艺的制订以简化工艺生成过程, 从而简化 CAPP 系统的内部逻辑, 另一方面可以充分发挥计算机对文字、图形等处理速度快的特点, 从方便工艺人员使用的角度, 为工艺人员提供进行工艺决策以及工艺制订所需的数据, 大大提高工艺人员的工作效率, 达到“辅助”工艺制订的目的。

在允许工艺人员干预工艺制订方面, 首先, 需要简化 CAPP 系统内部零件的表示。对于计算机难以表示或总结, 而实际上很直观或者利用经验可以解决的部分, 应充分利用工艺人员的经验和对零件的直观认识来做出工艺决策。其次, 要将工艺决策分成若干阶段, 保证工艺人员与计算机有充分的交互机会, 并且工艺人员应拥有足够的权力去接受、修改、或者推翻计算机的运算结果。第三, 应提供多种工艺生成方法(检索、派生等以及各种方法的综合)供用户选择。各种方法的自动化程度不同, 以满足新工艺相对已有工艺相似程度不同的各种情况。

在提高工艺人员工作效率方面, 将 CAPP 定位

为一个基于工艺文档编辑工具之上的系统。因此 CAPP 系统必须向用户提供功能足够强的工艺编辑工具,包括文档的处理(如检索、相关信息的同步更新等)、图形的处理(如从 CAD 图纸中截取工艺简图,提供绘制工艺简图的 CAD 子环境等)、工艺文档的管理(包括工艺文档的归类、增删改、打印等)工具等。

5.2 兼顾专业化和通用化

通用化是目前 CAPP 研究的一个重要方向,如前文所述,通用化使得软件品质得以保证,有助于加速 CAPP 系统及其相关技术的标准化,并且对 CAPP 系统在企业中的推广应用具有重要意义。与此同时,CAPP 的决策智能化要求 CAPP 系统具有较高的专业化程度。只有与企业特定应用环境牢牢结合在一起,形成专业化的工艺推理和决策模型,才有可能在当前的人工智能技术条件下,为工艺人员提供较实用的智能化工艺决策方案。两者的结合可以通过将专业化工艺决策工具嵌入通用化 CAPP 平台的方法来实现。

在通用化方面,首先应保证软件的规范化开发,以保证将来维护和升级的顺利进行。其次是提高软件的适应性,如提供可以修改格式的工艺文档模板以满足不同企业对工艺文档格式的要求,提供工艺文档管理和用户账号管理等通用管理工具^[27],采用科学的软件开发技术以提高软件对不同运行平台的适应能力等等。

在专业化方面,需要积极摸索焊接加工工艺的规律。针对装焊工艺条件复杂、多变,可变因素很多,工艺内容与生产实际环境联系非常紧密的特殊性,要获得适用性很强的装焊工艺的规律与机加工相比要困难得多。在现阶段只能先着眼于某一类产品,充分利用产品的特点,运用各种智能化技术,开发出适用于这一类产品的专业化的工艺辅助制订模块。尽管装配、焊接加工工艺比较复杂,但是针对较小范围的某几类产品,寻找出其中的规律并用以辅助工艺设计还是很有可能的,然后再通过逐步扩充来提高规律的适用面。这些模块与通用化的 CAPP 系统平台结合,既满足了特定产品工艺制订的需要,又提供了灵活的工艺制订平台^[28]。

5.3 CAPP 系统的柔性和集成性并重

CAPP 系统的柔性是为了满足企业快速变化的需求。一方面市场的快速变化要求企业迅速做出反应,利用包括 CAPP 系统在内的 CIMS 更改产品的设计或者开发新产品,另一方面企业内部规章制度、办公环境等的变动要求 CAPP 系统与之相关的内容必须快速更新。CAPP 系统的集成性是 CAPP 有效

性的前提,不能和其它系统进行集成(包括 CAD/CAM,MPRII,PDM 等),CAPP 就只能是信息的孤岛。CAPP 系统的柔性和集成性在某些方面是互相冲突的。要求 CAPP 系统适应一个特定的环境以保证其集成性,那么其柔性必然差,反之亦然。

CAPP 与其它系统的集成是通过数据交互实现的,因此保证 CAPP 的集成性就必须满足特定的数据格式要求。这就要求对与 CAPP 进行集成的系统数据格式进行分析,并分别提供不同的接口。通过在同一数据源上提供对应不同系统(CAD/CAM 等)的多种接口,同时保证接口的可扩充性,就可以同时满足集成性和柔性的要求。

在设计用户管理模块、工艺文档管理模块、卡片格式定义模块等可能随企业要求不同发生较大调整的模块时,应该保证用户管理策略、工艺文档管理策略、卡片格式表示等是可以更改的,这样才能满足企业不断发展的要求。当然,这将给软件的开发带来一定的难度。

6 结束语

CAPP 系统是制造自动化的重要一环,它的研究与发展经历由单一智能化,到结合集成化、通用化、对象化等特征,向多样化、实用化方向逐步发展的过程。焊接结构件装焊 CAPP 系统作为 CAPP 的一个分支,由于其适用的焊接结构件装配、焊接加工的特殊性所带来的困难,其研究开发工作开展得还很不充分。在吸取传统 CAPP 研究经验的基础上,顺应 CAPP 研究发展的趋势,焊接结构件 CAPP 系统的研究与开发正积极探索新的道路,逐步走向成熟。

参考文献:

- [1] Mani H B, Gunasekaran A, Grieve R J. Computer-aided process planning a state of art [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1998, 14(4): 261 ~ 268.
- [2] Dimitris Kiriatsis. A review of knowledge-based expert systems for process planning [J]. Methods and Problems. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1995, 10(4): 240 ~ 262.
- [3] 白英彩,唐治文,余巍.计算机集成制造系统: CIMS 概论 [M]. 北京:清华大学出版社,1997.
- [4] 王先逵.计算机辅助制造 [M]. 北京:清华大学出版社,1999.
- [5] 赵良才.计算机辅助工艺设计 [M]. 北京:机械工业出版社,1995.
- [6] 王治森,褚学宁.解决 CAPP 零件信息输入的根本方法——产品特征建模技术 [J]. 机械工业自动化,1992,14(1): 1 ~ 5.

[7] 白万民, 何博雄, 周志友. CAPP 系统中零件信息的输入方法[J]. 机械设计与制造, 1992, (4): 10 ~ 11.

[8] 赵良才, 唐文献, 蒋祖华. CAPP 开发工具设计和实现[J]. 计算机集成制造系统 CMIS, 1998, 4(12): 12 ~ 15.

[9] 董家骧. 计算机辅助工艺过程设计系统智能开发工具[M]. 北京: 国防工业出版社, 1996.

[10] 王先逵, 段广洪, 毛周杰. Fuzzy Method in CAPP[J]. 清华大学学报, 1996, 36(10): 67 ~ 72.

[11] 王春山. 专家系统在 CAPP 中的应用[J]. 机械设计与制造, 1992, (6): 16 ~ 17.

[12] 迟青枫, 郭 庆, 宋 敏. CAD/ CAPP/ MRP II/ GT 信息集成的探讨[J]. 计算机辅助设计与制造, 1999, (10): 20 ~ 22.

[13] 夏 欣, 陈丙森, 杨 勇, 等. 工程机械焊接结构件装焊工艺计算机辅助设计[A]. 第九届全国焊接会议论文集[C]. 天津: 中国焊接学会, 1999.

[14] 卢 军. 开目 CAPP 系统[J]. 计算机辅助设计与制造, 2000 (5): 11 ~ 12.

[15] 何 田. 让工艺师“放下钢笔”的 InteCAPP[J]. 计算机辅助设计与制造, 2000, (5): 16 ~ 17.

[16] 方 毅. SGD2000CAPP——集成化工艺设计与工艺管理系统[J]. 计算机辅助设计与制造, 2000, (5): 18 ~ 19.

[17] 周玉清. MRP II 原理与实施[M]. 天津: 天津大学出版社, 1994.

[18] 李龙梅. PDM 技术应用分析[J]. 计算机辅助设计与制造, 1997, (10): 27 ~ 30.

[19] 白远檣. 焊接结构件 CAPP 系统的通用化[A]. 第三届计算机在焊接中的应用技术交流会论文集[C], 上海: 中国焊接学会, 2000.

[20] 杨建思. 软件设计的一种新模式[J]. 计算机辅助设计与制造, 1998, (8): 25 ~ 26.

[21] 张振明, 黄乃康, 桓永兴, 等. 面向产品的 CAPP 方法论及其智能化概念体系[J]. 中国机械工程, 2000, 11(7): 760 ~ 762.

[22] 陈丙森. 计算机辅助焊接技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.

[23] 袁崇福, 项 阳, 陈丙森. 长管道焊接专家系统[A]. 第九届全国焊接会议论文集[C], 天津: 中国焊接学会, 1999.

[24] 加国才. 焊接结构(起重机主梁) 制造工艺计算机辅助研究[D]. 北京: 清华大学, 1996.

[25] 毛周杰. 机械结构件 CAPP 系统研究与应用系统开发[D]. 北京: 清华大学, 1995.

[26] 王先逵, 蒲建, 吴 丹, 等. 智能技术与智能化 CAPP[J]. 中国机械工程, 1995, 6(6): 28 ~ 31.

[27] 白二平, 朱志明, 袁崇福, 等. 压路机装焊 CAPP 系统[A]. 第三届计算机在焊接中的应用技术交流会论文集[C]. 上海: 中国焊接学会, 2000.

[28] 成国庆, 夏 欣, 陈丙森, 等. 焊接结构件装焊 CAPP 系统的开发[J]. 焊接, 2000, (6): 18 ~ 22.

作者简介: 朱志明, 男, 1964 年出生, 山东威海人, 工学博士, 副教授。1997—1998 年在韩国浦项科技大学从事博士后研究工作, 研究领域为现代 PRT(Personal Rapid Transit) 公共交通系统的智能控制与管理。现任清华大学焊接中心副主任, 清华大学材料加工工程及自动化研究所材料加工过程控制研究室副主任, 中国焊接学会计算机应用技术(CAW) 专业委员会委员。主要从事弧焊工艺过程控制与设备自动化、现代功率电子技术理论与应用、计算机辅助(装配、焊接)工艺过程设计(CAPP)、计算机辅助装焊质量管理与控制以及人工智能应用技术的研究与开发工作。曾获国家教委科学技术进步二、三等奖, 国家科委九五国家重点科技成果推广计划项目主要实施者, 6 项科研成果通过省部级鉴定, 发表论文 40 余篇。

(编辑: 王 亚)

网站简介

中国教育信息网(www.CHEDU.COM)

中国教育信息网是由新宇集团与教育部信息中心合作创建的一个权威性的教育门户和应用平台网站, 其目标是成为中国最大的教育站点。

CHEDU.COM 通过国际互联网进行现代教育的普及推广和应用活动、促进我国教育水平的提高并引导教育产业面向世界, 参与国际竞争。

目前网站经营的主要内容包括服务于产业发展的教育法规、政策导航、教育资讯, 教育新闻等栏目; 服务于学生群体的学生之家、学生论坛、成材之路、人才市场等栏目; 服务于社会的社会焦点、热点专题。目前正在筹备的栏目包括电子商务、远程教育等。

中国教育信息网特点: 全方位的教育信息服务体系; 教育软件的引进、开发和推广中心; 有中国特色的网上教育应用平台; 为各种机构、企业和学校提供教育培训、管理服务。

网站正以充足的发展资金和良好的信誉开展电子商务活动, 联系众多的厂家和供货商, 为教育这个未来中国最大的产业服务。我们相信在教育部和合作伙伴的支持下, 我们网站必将在未来中国的教育市场中发挥日益重要的作用, 为消费者提供完善优质的服务。

(摘自《中国科技信息》)