

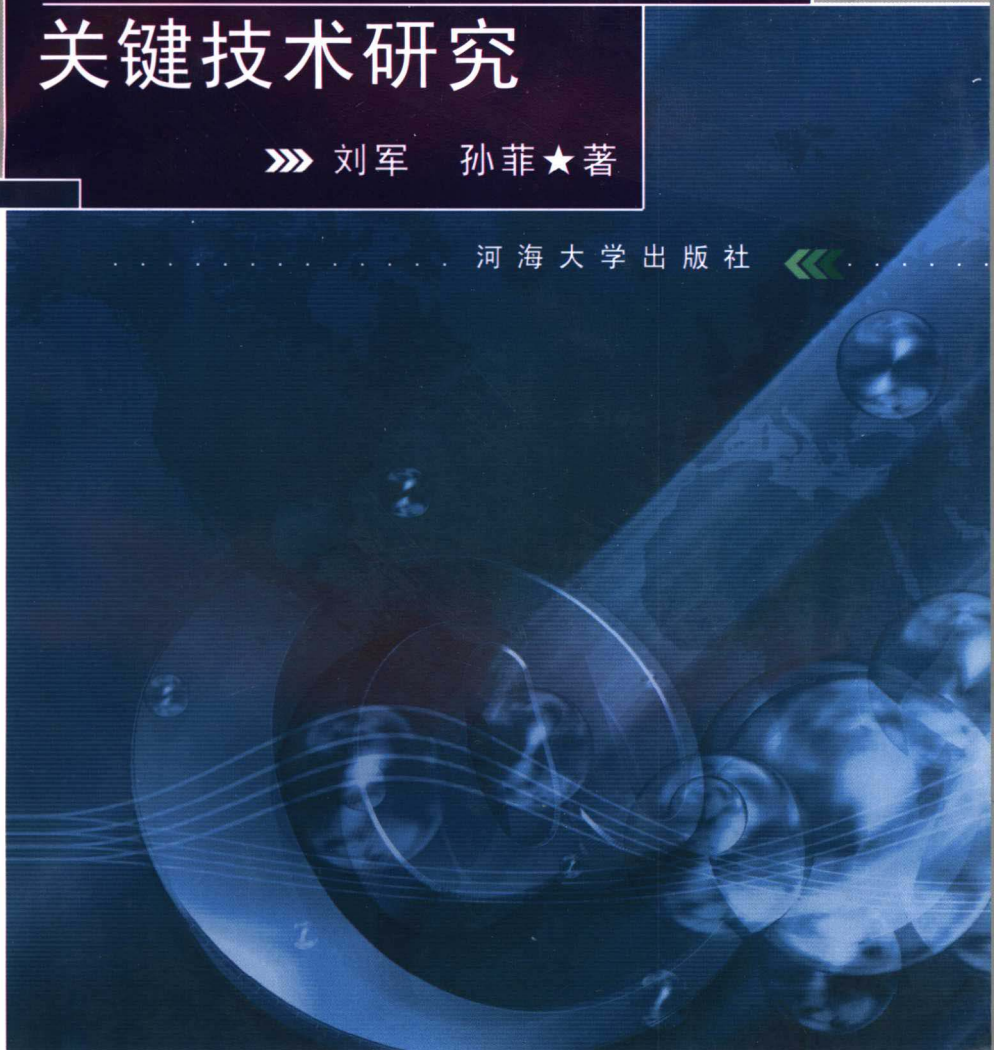
FUNDAMENTAL RESEARCH ON CAPP IN CE



面向并行工程的 CAPP 关键技术研究

» 刘军 孙菲★ 著

河海大学出版社



本书由南京财经大学学术出版专项基金资助

面向并行工程的 CAPP 关键技术研究

FUNDAMENTAL RESEARCH

ON CAPP IN CE

刘军 孙菲 著

河海大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

面向并行工程的 CAPP 关键技术研究/刘军, 孙菲著.
南京: 河海大学出版社, 2005. 12
ISBN 7-5630-2192-2

I. 面... II. ①刘... ②孙... III. 机械制造工艺—
计算机辅助设计—研究 IV. TH162

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 156978 号

书 名/面向并行工程的 CAPP 关键技术研究

书 号/ ISBN 7-5630-2192-2/TP•101

责任编辑/代江滨 周萍

封面设计/步江华

出 版/河海大学出版社

地 址/南京市西康路 1 号 (邮编: 210098)

电 话/(025) 83737852 (总编办) (025) 83722833 (发行部)

经 销/江苏省新华书店

印 刷/南京工大印务有限公司

开 本/850 毫米×1168 毫米 1/32 5 印张 165 千字

版 次/2005 年 12 月第 1 版 2005 年 12 月第 1 次印刷

印 数/1~500 册

定 价/20.00 元 (册)

前言

自 20 世纪 80 年代美国防御分析研究所提出并行工程的定义以后,并行工程发展很快。并行工程(Concurrent Engineering, CE)就是集成地、并行地设计产品及其相关的各种过程(包括制造过程与支持过程)的系统方法。这种方法要求产品开发人员从设计的一开始就考虑产品生命周期中从概念形成到产品报废处理的各种因素,包括质量、成本、进度计划和用户需求。并行工程的思想其实在许多工业领域很早就已经实施,例如最典型的是飞机制造行业,早在 20 世纪 60 年代就已尽量按“并行工程”的模式工作。

并行工程强调设计过程的并行作业和协同工作,最终目标是缩短产品开发周期,降低生产成本,提高产品质量。并行工程要求产品开发与过程设计的各环节能在计算机网络和数据库的支持下进行顺利的信息交换,实现信息的集成,达到产品开发集成化、并行化的目的。作为 CIMS 信息集成桥梁的 CAPP,在并行工程环境下,必须具有新的体系结构以实现其与产品开发上下游功能模块的信息集成与功能集成。

零件工艺过程设计是从产品设计向产品制造过渡的桥梁,是制造企业生产准备工作的首要步骤。工艺规程是其他一切生产准备工作的依据和原始资料,是产品制造的法规性文件。传统的手工编制工艺规程方法存在着许多缺陷和不足之处,主要表现在:需要经验丰富的制造工艺师;工艺规程一致性差;质量难以保证;设计效率低;大量的重复劳动。计算机辅助工艺过程设计(CAPP-Computer Aided Process Planning)作为 CIMS 信息集成系统的桥梁,根据 CIMS 环境下信息集成的要求,CAPP 的集成化研究也取得了一些重要成果。但传统的 CAPP 系统的工作模式

是静态的,形成的工艺规程是固定的,对制造环境的变化不能敏捷地、动态地生成最佳的制造工艺,同时,也缺乏 CAD 系统所需的产品工艺性分析等功能。这样就不能在产品设计的早期阶段,改进产品设计的可制造性,优化工艺方案,以缩短产品开发周期,减少制造成本。

本书第一章讨论了在并行工程环境下的 CAPP 应具有的特点,并讨论了构建 CAPP 软件涉及的关键技术。第二、三章在分析传统的结构化软件工程和面向对象的软件工程的基础上,详细地介绍了统一建模语言 (Unified Modeling Language, 简称 UML)。针对复杂的软件系统提出了一种详尽的软件的开发过程——迭代增量式开发过程。在第四章系统地讨论了如何建立 CAPP 系统中涉及的信息模型,包括产品特征模型、制造资源模型、工艺过程模型以及生产数据模型,并提出了面向 CAD/CAPP/PPS 集成的统一数据模型 (Unified Data Model, UDM)。第五章从实例的应用记录、基于神经网络的实例动态分类、工艺路线规划实例神经索引和工艺路线规划实例推理等方面,讨论了基于神经网络的工艺路线规划实例推理。第六章讨论应用模糊技术从产品可制造性模糊综合评价方法以及产品可制造性功能结构等方面对产品可制造性评价进行探讨,同时研究了 CAPP 和 PPS 集成的方法、模型。

由于著者水平有限,书中难免还存在一些不妥之处,殷切希望广大读者批评指正。同时,周萍编辑在书稿的编辑过程中提出了宝贵的意见,并进行十分认真仔细的校正,在此表示诚挚的感谢。

第一章 绪论	1
1.1 面向并行工程 CAPP 研究的回顾与评述	2
1.1.1 面向并行工程的 CAPP 系统的体系结构	3
1.1.2 PPS 和 CAPP 的集成	4
1.2 智能化 CAPP 系统研究的回顾与评述	5
1.2.1 人工智能技术	5
1.2.2 人工神经网络与 CAPP	6
1.3 面向对象建模技术	9
1.4 异构系统集成技术	12
1.4.1 基于分布式对象的分布式计算技术	13
1.4.2 基于消息的分布式计算技术	17
第二章 面向对象可视化建模语言	22
2.1 复杂系统建模技术的讨论	22
2.1.1 传统的软件工程方法	22
2.1.2 面向对象的软件工程方法	25
2.2 统一建模语言	29
2.2.1 版型	30
2.2.2 静态图	31
2.2.3 动态图	36
2.2.4 实现图	41
2.2.5 标准建模语言 UML 的主要特点	42
2.3 本章小结	43
第三章 迭代增量式软件开发流程	44
3.1 迭代增量式开发过程简介	44
3.1.1 高层次的开发步骤	44
3.1.2 迭代开发	45

3.2	计划与构思阶段	46
3.2.1	了解需求	47
3.2.2	用例: 描述流程	48
3.2.3	开发流程中的用例	50
3.2.4	分级与排程用例	51
3.3	启动一个开发循环	52
3.4	分析阶段	53
3.4.1	概念模型	53
3.4.2	系统行为	55
3.4.3	更新数据字典	57
3.4.4	状态图	57
3.5	设计阶段	58
3.5.1	描述实际性用例	60
3.5.2	交互图	60
3.5.3	设计模式	61
3.5.4	设计类图	62
3.5.5	系统设计	63
3.6	多层分布式的系统框架设计	64
3.6.1	典型的三层架构	64
3.6.2	CORBA 体系结构框架概述	66
3.6.3	基于 CORBA 的分布式系统分析与开发	70
3.7	建构阶段	72
3.8	本章小结	73
第四章	并行 CAPP 中的信息模型	74
4.1	产品信息模型	75
4.1.1	特征信息	76
4.1.2	零件的特征模型	78
4.2	制造资源模型	81
4.2.1	制造资源的共性结构	82
4.2.2	制造资源分析	84
4.2.3	制造资源建模	87

4.3	工艺规程模型	90
4.3.1	工艺规程建模分析	91
4.3.2	面向对象的工艺规程模型	93
4.4	生产数据模型	97
4.4.1	生产计划数据建模	97
4.4.2	计划执行情况分析	98
4.5	产品/工艺/资源/生产集成数据模型	98
4.6	本章小结	100
第五章	基于神经网络的工艺路线实例推理	102
5.1	工艺路线规划现状	102
5.2	实例的应用记录	103
5.3	基于神经网络的工艺路线实例动态分类	103
5.3.1	基于自适应共振神经网络的动态分类	105
5.3.2	基于 ART1 神经网络动态分类	106
5.4	工艺路线规划实例推理的神经索引	108
5.4.1	神经索引模型和传统索引模型的比较	108
5.4.2	神经索引模型	109
5.4.3	基于 B-P 网络的实例索引	110
5.5	工艺路线规划实例推理及实例提取	113
5.6	基于实例的工艺知识获取	114
5.7	本章小结	116
第六章	产品可制造性及 CAPP 与 PPS 集成	118
6.1	产品可制造性因素分析	118
6.2	产品可制造性模糊综合评价方法	120
6.3	产品制造性评价功能结构	123
6.3.1	功能分析与实现方法	123
6.3.2	产品可制造性评价模型	125
6.4	CAPP 与 PPS 集成的关键技术问题	126
6.5	CAPP 与 PPS 多层并行分布式集成方法	127
6.5.1	多层分布集成	127
6.5.2	动态反馈机制	131

6.5.3	适度自治原则	133
6.5.4	必要的工艺柔性	133
6.6	CAPP 与 PPS 多层并行分布式集成模型	134
6.6.1	多层并行分布式集成结构模型.....	134
6.6.2	多层并行分布式集成决策模型.....	136
6.7	资源决策模型	138
6.7.1	最短生产周期资源决策模型.....	138
6.7.2	最低加工费用资源决策模型.....	141
6.8	本章小结	143
参考文献.....		144

第一章 绪论

制造业是一个国家的工业基础，目前制造业正朝着以信息技术和先进制造技术为核心的新一代生产模式方向发展。1973年，美国 Harrington 博士在 *Computer Integrated Manufacturing* 一书中首次预言性地提出了计算机集成制造 CIM 的概念，到了 20 世纪 80 年代初，美、日、欧共体都把 CIMS 的研究与开发作为科技发展的一个战略目标。CIMS 就是在自动化技术、信息技术和先进制造技术的基础上，通过计算机及其软件，将制造工厂的全部生产活动所需的各种分离的自动化系统有机地集成起来，是适合于多品种、中小批量生产的总体高效益、高柔性的智能制造系统。CIM 的工作重点是企业内部的信息集成，强调技术支撑与管理。在实施过程中，CIMS 不断吸收新技术、新思想、新概念，发展形成多种新一代生产模式，其中具有较大影响的有：智能制造系统、并行工程、精良生产、敏捷制造、虚拟制造、全球制造等。

零件工艺过程设计是从产品设计向产品制造过渡的桥梁，是制造企业生产准备工作的首要步骤。工艺规程是其他一切生产准备工作的依据和原始资料，是产品制造的法规性文件。传统的手工编制工艺规程方法存在许多缺陷和不足之处，主要表现在：需要经验丰富的制造工艺师；工艺规程一致性差；质量难以保证；设计效率低；大量的重复劳动。作为 CIMS 信息集成系统的桥梁，根据 CIMS 环境下信息集成的要求，计算机辅助工艺过程设计（CAPP，Computer Aided Process Planning）的集成化研究也取得了一些重要成果。但传统的 CAPP 系统的工作模式是静态的，形成的工艺规程是固定的，对制造环境的变化不能敏捷地、动态地生成最佳的制造工艺。同时，在 CAD 系统当中也缺少产品工艺性分析等功能，这样就不能在产品设

计的早期阶段改进产品设计的可制造性,优化工艺方案,以缩短产品开发周期,减少制造成本。^{[30][31]}

自 20 世纪 80 年代美国防御分析研究所提出并行工程的定义以后,并行工程发展很快。并行工程(Concurrent Engineering, CE)就是集成地、并行地设计产品及其相关的各种过程(包括制造过程与支持过程)的系统方法^[2]。这种方法要求产品开发人员从设计的一开始就考虑产品生命周期中从概念形成到产品报废处理的各种因素,包括质量、成本、进度计划和用户需求。并行工程的思想其实在许多工业领域很早就已经实施,最典型的是飞机制造行业,早在 20 世纪 60 年代就已经尽量按“并行工程”的模式工作。

并行工程强调设计过程的并行作业和协同工作,最终目标是缩短产品开发周期,降低生产成本,提高产品质量。并行工程要求产品开发与过程设计的各环节能在计算机网络和数据库的支持下顺利进行的信息交换,实现信息的集成,达到产品开发集成化、并行化的目的。作为 CIMS 信息集成桥梁的 CAPP,在并行工程环境下,必须具有新的体系结构以实现其与产品开发上下游功能模块的信息集成与功能集成。

同时,在 CIMS 或者 CE 的实施过程中,不可避免地会遇到遗留系统的集成问题,如何将企业在以往的生产管理活动中构建的各种系统有机地集成起来也一直是信息技术的研究重点。

1.1 面向并行工程 CAPP 研究的回顾与评述

计算机辅助工艺过程设计(CAPP)起源于 20 世纪 60 年代末,就其工作原理可以分为派生式、创成式和综合式 3 种。派生式是在成组技术与数据库技术基础上,利用零件的相似性,对零件族的标准工艺进行变异的设计;创成式是基于知识,由系统中的工艺决策逻辑与算法对加工工艺进行一系列的

决策, 从无到有自动地生成零件的工艺规程; 综合式是将派生式和创成式结合起来的设计, 采用各自的优点, 克服其缺点。计算机集成制造系统 (CIMS) 的出现与发展, 促使人们从信息集成的角度重新认识工艺设计, 认为工艺设计就是完成从产品设计数据到面向制造的数据转换过程。^{[30][31]}

并行工程中的 CAPP 系统应具有新的能力, 其工作进程应在 CE 产品开发过程动态模型的控制下与上下游功能模块协同作业, 在设计领域与 CAD, CAM 等进行信息和功能集成, 并与制造系统中 PPS 进行信息系统集成和功能集成零件信息并生成加工工艺。在传统的工作模式下, 如果在工艺设计和制造中发现设计上的缺陷, 则要重新返回设计修改, 并重新安排工艺, 造成了许多的时间及成本的浪费。而并行模式通过多个“产品设计—工艺设计”的微循环的迭代过程来并行地完成产品设计和工艺规程设计。

并行设计可以尽早发现设计中存在的与制造相关的问题, 从而保证产品的可加工性和经济性, 通过多次的“小循环”而避免了“大循环”的弊端。围绕并行工程这一 21 世纪的制造哲理, CAPP 系统的研究进入了一个崭新的时期, 与并行 CAPP 有关的研究方向包括: 面向并行工程的 CAPP 体系结构, CAPP 系统建模、分析与设计, CAPP 与 PPS 集成, 制造资源建模, 可制造性评价, 基于 STEP 的集成产品信息模型等。^{[24][66][70]}

1.1.1 面向并行工程的 CAPP 系统的体系结构

并行设计系统不能靠现存的 CAD 和 CAPP 系统简单叠加而成, 因为他们只涉及各自本领域的开发活动并遵循串行的模式, 没有考虑彼此之间的交互, 即不考虑并行交互建模。同时, CAPP 在制定零件工艺规程时, 应充分考虑机床、刀具等制造资源对工艺过程的动态约束, 实现工艺过程的动态优化。保证制造资源平衡的问题, 实际上是 CAPP/PPS 集成的核心。CAPP/PPS 集成对 CAPP 体系结构的要求在于分层、分阶段和适应性的工艺规划。

Lu 和 Subramun Yann 在 1988 年提出并实现了一个基于知识的并行设计环境,用以支持零件和工艺的并行设计。该环境由特征库、用户界面和可制造性咨询器组成,其中基于黑板结构的多知识源协同求解的可制造性咨询器是并行设计的核心,它在进行可制造性评价的同时生成加工工艺。在此基础上, Lu 于 1990 年提出将 CAPP 的功能模块化和分布化,以便在产品和工艺设计的任何阶段均能调用相应的 CAPP 功能模块对设计进行评价^{[63][64]}。D. S. Domazet 在 1992 年采用黑板结构作为产品设计、工艺设计和可制造性评价之间的公共领域存放产品模型和并行交互信息。黑板包含了所有的共享数据和知识并为执行工程活动的知识源之间提供通讯连接,所谓工程活动是指回转体零件的并行设计、工艺设计和可制造性评价等^[53]。

综上所述,并行工程环境下的 CAPP 系统的体系结构应是一种在产品的设计开发过程模型控制下的分层、分阶段的模块化结构。可制造性评价是产品设计与工艺设计并行交互的主要内容。并行工程环境下的 CAPP 在功能上不仅应能生成适应性加工工艺,同时也应能接收产品的阶段不完备信息,评价其可制造性并对产品建模实行反馈控制。

1.1.2 PPS 和 CAPP 的集成

在产品的设计和制造之间,存在着两个主要活动:工艺设计和生产计划调度。传统的 CAPP 和 PPS 之间的串行结构缺乏实用性,其原因是:①工艺是在不考虑车间动态信息的情况下生成的,因此是静态和刚性的。这种没有可选性的工艺其应用必然受到许多限制。②工艺设计时认为有无限的车间资源(如原材料、机床、刀具、夹具和操作工人等)可供使用,而实际上由于材料短缺、设备故障或是其他任务占用等原因,要求的制造资源可能无法得到保证。③一些性能价格比高的资源会重复选用,而另一些资源可能很少利用,造成负荷不平衡。由此可以得出一个结论:工艺设计中进行制造资源的分配时没有考

虑时间因素引起的资源状态变化情况, 这在一个随时间而变化的动态制造环境中是行不通的。

自 1985 年 Chrissolour 等人提出工艺过程设计与生产计划调度集成的概念以来^[36], 国外一些学者在这方面做了有益的探讨, 提出了许多与此有关的设计思想和概念, 如二者集成接口的研究, 非线性工艺计划, 动态工艺计划, 分布式工艺计划, 基于功能集成动态 CAPP 等等。上述一些方法从形式上看都可以实现工艺计划与生产计划调度的集成。这些集成方法大致分为两类: 一类研究工作主要属于接口方法的范畴, 没有达到功能上的更高层次的集成, 研究工作的重点放在工艺计划过程的柔性, 试图通过工艺的迭代方案以及实施过程的可变性来增加调度系统的柔性; 另一类研究工作其重点放在 CAPP 和 PPS 的功能集成上, CAPP 和 PPS 都存在制造资源的选择、分配这个共同点, 在 CAPP 和 PPS 分层规划的基础上, 通过建立制造资源模型和资源决策实现 CAPP/PPS 的真正集成。^{[[1][73][74][75]}

显然, 在强调功能集成的并行工程环境下, 以分层适应性规划和资源决策为核心的 CAPP/PPS 功能集成方法是今后研究的重点。

1.2 智能化 CAPP 系统研究的回顾与评述

1.2.1 人工智能技术

从信息处理的角度讲, 智能可以看成是获取、传递、处理、再生和利用信息的能力。而思维能力是整个智能活动中最复杂、最核心的部分, 主要是处理和再生信息的能力。这种信息处理过程是十分复杂和多样化的, 归纳起来, 大体可分为 3 种基本的类型, 即经验思维、逻辑思维和创造性思维。在工艺设计过程中, 这三种类型的思维都存在, 在不同层次的决策中起着重要作用。

对人工智能的不同研究来源于对人类智能的不同认识,并由此产生出两大学派:符号主义(symbolism)和连接主义(connectionism)。符号主义认为人类认识的基本元素是符号,认识过程就是一种符号处理过程。事实上,人类的语言本身就是用符号表示的,人类的很多思维活动如决策、计划、设计、诊断等在一定程度上都可以用语言来表示,因此也就可以用符号来表示。符号主义在人工智能走向实用化研究中最引人注目的一项成就是专家系统技术。而连接主义则根据对人脑的研究,认为认识的基本元素是神经元本身,人类的认识过程就是大量神经元的整体活动,从本质上讲是一种并行的分布式的处理模式。连接主义在应用智能技术方面最主要的形式是人工神经网络。

符号主义和连接主义在智能技术的发展史上曾经历了两个此消彼长的过程。近年来,人们逐渐认识到人类的思维过程是非常复杂的,符号主义与连接主义两种研究途径反映了人类思维的两个层次,彼此不能互相代替,而应当相互结合。基于连接主义的规则推理(Connexionistic Rule-Based Reasoning)和基于连接主义的实例推理(Connectionistic Case-Based Reasoning)是两者结合的研究方向。^[63]

1.2.2 人工神经网络与 CAPP

经过几番曲折的发展,人工神经网络(ANN)^[45]以其处理能力再次引起人们的注意,成为高技术研究领域中一门令人瞩目的新兴学科。它的应用在智能计算机、模式识别、语言理解、问题优化等方面已崭露头角,商品化成果也进入市场。

人工神经网络是大量简单的处理单元(神经元、处理元件、电子元件、光电元件等)广泛连接组成的复杂网络,它初步模拟了人脑的神经结构和行为,具有记忆、学习、归纳和容错的特性,它完全有别于传统人工智能研究中普遍采用的基于逻辑与符号处理的理论和方法,而采用并行、分布式和自适应

的信息处理方式。它的研究成果显示了人工神经网络具有人脑功能的基本特征。

学习：神经网络可以根据外界环境修改自身的行为，这就使它比其他任何方法在接受自身感兴趣的外界信息时更敏感。这种学习机制基于网络组织形式，能适应各种学习算法。学习算法是指网络能通过训练实例来决定自身的行为。当出现一组输入信息（或附有所需的输出结果）时，神经网络能不断调整，产生一系列一致的结果，犹如人类的智能活动——习惯成自然一样，反映出网络的学习能力。

问题是网络可以被训练做什么事情，如何进行这种训练。应指出的是，术语“学习”是对大脑生理功能而言的，“训练”是对网络实现学习的手段而言的，两者是等价的。

概括：一旦训练后，神经网络响应能在某种程度上对外界输入信息的少量丢失或神经网络组织的局部缺损不再很敏感。这种机制与大脑每日有大量神经细胞死亡但并不影响大脑的功能或者大脑局部损伤会引起某些功能的逐渐衰退，但不会造成功能完全丧失一样，反映出网络的健壮性（鲁棒性）。用工程术语说，它具有容错能力。

抽取：神经网络还有一种抽取外界输入信息特征的特殊功能，如对它进行一张人像的一系列不完整的照片识别训练后，再任选一缺损的照片让神经网络识别，网络将会做出一个完整形式的人像照片的响应。在某种意义上可以说它能“创造”出以前从未见到的某些东西。

人工神经网络的这些基本特性反映了它所实现的是直觉形象思维的特性，而传统人工智能理论和方法实现的是逻辑思维的特性。他们有着互补的作用，而非简单的取代关系。

神经网络解决问题的方式不同于逻辑思维的“算法”，其“操作”具有形象思维的属性，必然将与逻辑思维方式的专家系统技术并存，这一点与实例推理系统的检索策略不谋而合。由神经网络所构成的识别网络，通过学习训练而达到检索目的，避免了繁琐的检索数学模型的建立，提高了检索系统的扩

充性。神经网络在智能控制、模式识别、图文识别、知识工程等领域进行的实践和取得的初步成果，预示着人工智能的应用不久将会有重大突破。这些都为本课题的开发与研究奠定了思想和理论基础。

将人工神经网络 (ANN) 应用于 CAPP 的优越性有：

由于自学能力是 ANN 的基本特性之一，在基于 ANN 的 CAPP 中，工艺知识的获取过程将大为简化。只要向 ANN 提供足够的典型工艺作为样本，经过多次训练后，工艺知识存储在 ANN 的互连结构中。当制造环境改变时，只要用新的样本重新训练，ANN 就能逐渐“遗忘”旧的工艺知识，“掌握”新的工艺知识。

在 ANN 系统中，工艺知识的表达不同于传统的专家系统中采用的显示表达（如一阶谓词逻辑、产生式规则等），而是把知识蕴涵在 ANN 的互连结构与连接权重中，是一种隐式表达，这种表达形式的优势在于可以反映难以形式化的工艺知识。而且，由于知识是分布式存储的，ANN 系统的容错能力很强。

基于 ANN 的知识处理系统的推理过程是一个并行计算过程，不同于专家系统的串行计算，也没有探索和匹配等问题，因此 ANN 系统的工艺设计速度是很快的。

但是，ANN 也有局限性：

由于受到当前理论水平和硬件工艺的限制，ANN 还只能解决一些规模较小的人工智能问题。ANN 的性能在很大程度上受到所选择的训练样本的限制。样本间的正交性和完备性如果不好，就会使系统的性能劣化或恶化。因此，在开发基于 ANN 的 CAPP 系统时，样本的选择是一个至关重要而困难的问题。ANN 用于知识处理的最大问题之一是解释自己的推理过程和推理依据的能力较弱。