北方民族大学 North Minzu University 宁夏机械工程学会

宁夏装备制造业数字化转型急需紧缺人才培训

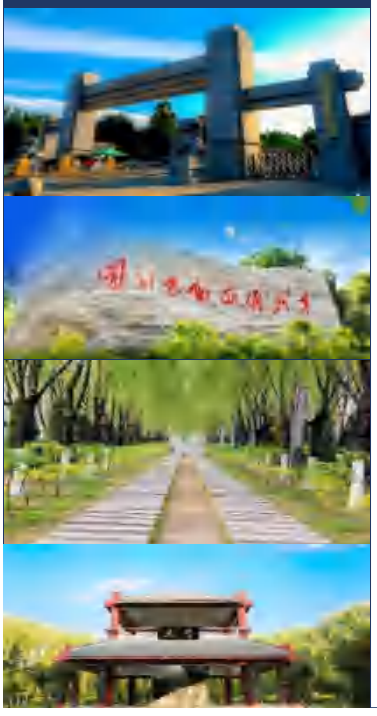
智能制造加工技术及典型应用

主讲人：王富伟 副教授

北方民族大学机电工程学院、人工智能与装备制造技术研究院

2026年11月21日 银川

目录



一、智能制造加工技术概述

二、智能制造加工工艺

三、制造加工过程中的智能预测

四、智能制造专家系统设计

五、典型应用案例

北方民族大学 North Minzu University

1 智能制造加工技术概述

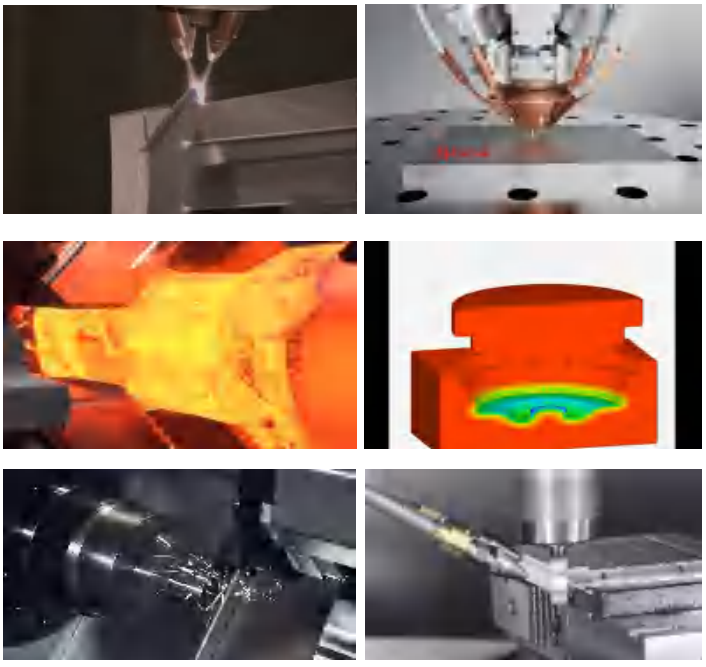
1. 概述

北方民族大学 North Minzu University

智能制造加工技术（主要是智能切削技术）是智能制造技术的核心。

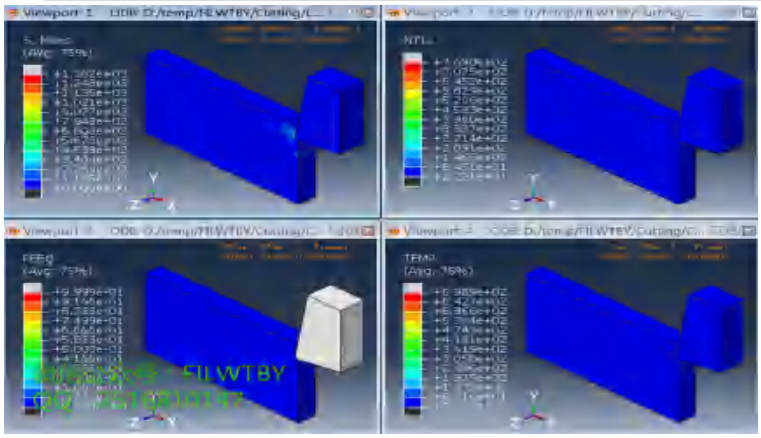
原材料或毛坯的加工有三种形式：

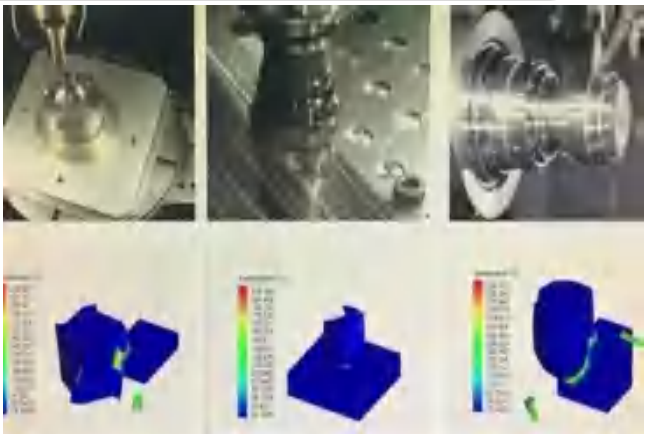
- **增材制造：**（通过焊接、镀层、快速原型等方法来实现）
- **等材制造**（通过铸造、锻造、粉末冶金等材料变形方法来实现）
- **减材制造**（主要通过各种切削加工来实现），而减材制造目前仍然是制造零件和产品的主要方法



1. 概述

切削过程是非常复杂的加工过程，在切削过程中涉及物理学、化学、力学、材料学、振动学、摩擦学、传热学等多学科、多领域的相关知识与理论，对于切削过程的控制一直以来是切削研究的重点。随着加工技术不断发展与工业4.0时代的到来，切削过程的智能加工技术已经成为切削研究的热点，在切削过程中应用智能加工技术是必然的发展趋势。



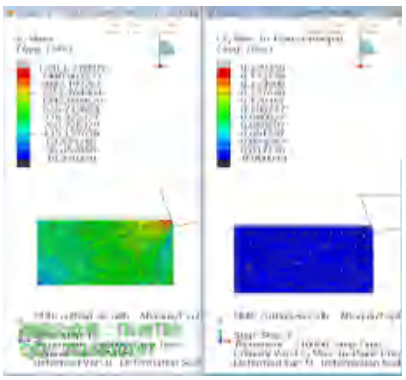


1. 概述

高性能、难加工材料（如钛合金、、复合材料及它们的结构件）零件的加工过程中必须采用智能加工工艺，对加工系统、时变工况进行在线监测，以获取加工过程的状态信息。在此基础上，针对实时工况变化采用智能化方法对工艺过程进行自主学习及决策控制，实现高品质零件制造过程的智能决策和自主控制。采用智能制造加工技术，可最大限度地提高难加工材料及其结构件的加工质量、加工效率、减少或者避免不必要的损失、降低生产成本。







1. 概述

北方民族大学 North Minzu University

现阶段常规数控加工技术的不足

1. 在常规数控加工过程中，数控机床只是根据零件的几何形状与给定切削参数生成数控加工程序，并按照已定的数控程序进行加工，没有把加工过程中机床、刀具、工件的状态变化一并纳入加工过程进行考虑。

2. 工件材料去除加工过程中存在着非常复杂的状态变化，其中包括机床位姿变化、机床功率变化、机床刚度变化、刀具的空间位置变化、刀具受力情况变化、刀具变形情况变化、刀具磨损状态变化、刀具温度变化、工件的受力情况变化、工件的变形情况变化、工件材料的去除程度、机床、刀具及工件的振动情况等。

3. 常规的数控加工技术只是按照给定的工件几何轮廓、加工参数、刀具路径进行加工，对于加工过程中出现的“突发”状况不能进行实时处理，不能根据加工过程中状态的变化采取相应的应对措施，也不能实现对加工状态的实时优化，设备加工能力得不到充分发挥，同时也难以保证零件的最终加工质量。

北方民族大学 North Minzu University

2 智能制造加工工艺

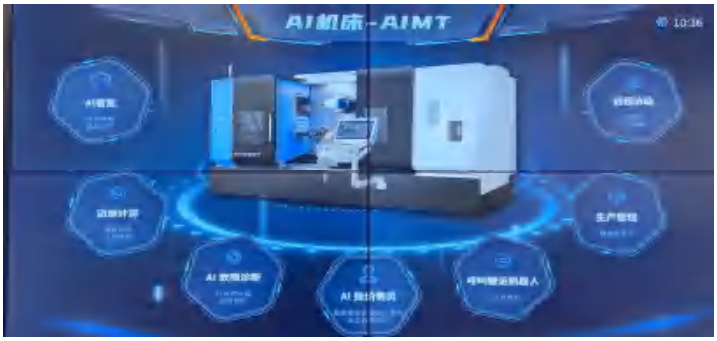
- 1智能切削技术的内涵与流程
- 2智能切削加工过程中的基础关键技术
- 3智能加工技术在切削过程中的应用
- 4高端制造装备及智能制造加工技术

1. 智能切削技术的内涵与流程

1、智能切削加工技术内涵

智能切削加工是基于切削理论建模及数字化制造技术，对切削过程进行预测及优化，在加工过程中采用先进的数据监测及处理技术，对加工过程中机床、工件、刀具的状态进行实时监测与特征提取，并结合理论知识与加工经验，通过人工智能技术，对加工状态进行判断，通过数据对比、分析、推理、决策、实时优化切削参数、刀具路径，调整自身状态，实现加工过程的智能控制，完成最优加工，获得理想的工件质量及加工效率。





1. 智能切削技术的内涵与流程

2、智能切削加工流程

(1) 整体工艺规划

在零件进行实际加工之前首先需要对零件的几何特征进行分析，综合考虑机床参数、工件参数、刀具参数与技术要求等对零件的加工工艺进行规划，通过运用大数据技术，结合以往理论知识与加工数据确定相应的加工参数与流程。



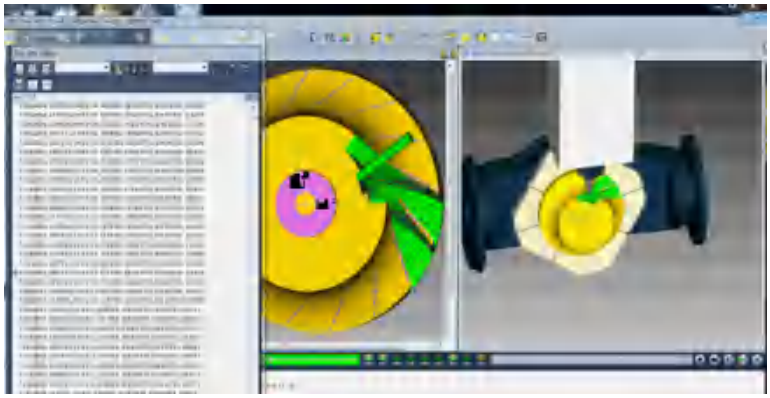
1. 智能切削技术的内涵与流程

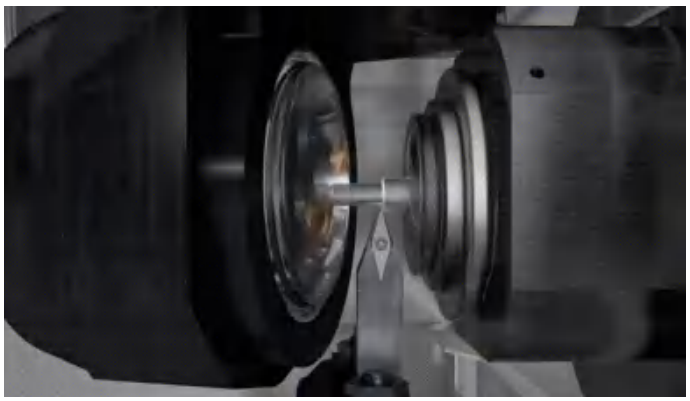
北方民族大学 North Minzu University

2、智能切削加工流程

（2）基于仿真的切削过程预测与优化

在机床、刀具、切削参数选取之后，通过数控加工仿真、切削过程物理仿真、数值仿真等手段对切削过程进行仿真，在实际加工之前预测加工过程机床、刀具、工件的状态变化情况。并通过优化算法对刀具路径，加工参数等进行优化，通过仿真分析使加工参数达到最优状态。





1. 智能切削技术的内涵与流程

北方民族大学 North Minzu University

2、智能切削加工流程

（3）加工过程在线监测与优化控制

加工过程的在线监测与优化是智能加工技术的核心技术，主要包括：在线监测模块、优化决策模块、实时控制模块，涉及到在线监测、数据处理、特征提取、智能决策与优化、在线实时控制等多项技术。





1. 智能切削技术的内涵与流程

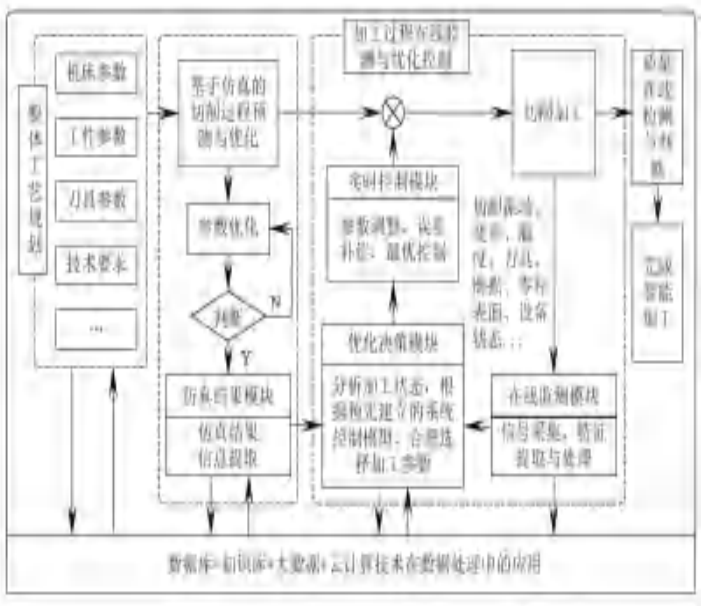
北方民族大学 North Minzu University

(4) 质量检测与判断

质量检测环节为加工的最后环节，通过对零件加工质量的在线监测，完成对零件几何外形轮廓、加工尺寸精度、表面质量等的检测，最终完成零件加工质量检测。

(5) 智能加工中的数据处理

数据处理贯穿于智能加工的整个过程，加工中涉及的数据包括：机床、夹具、刀具、工件的基本参数数据、切削参数数据、加工过程中所测得的状态参数数据、优化参数数据、控制参数数据、检测数据等一系列数据。



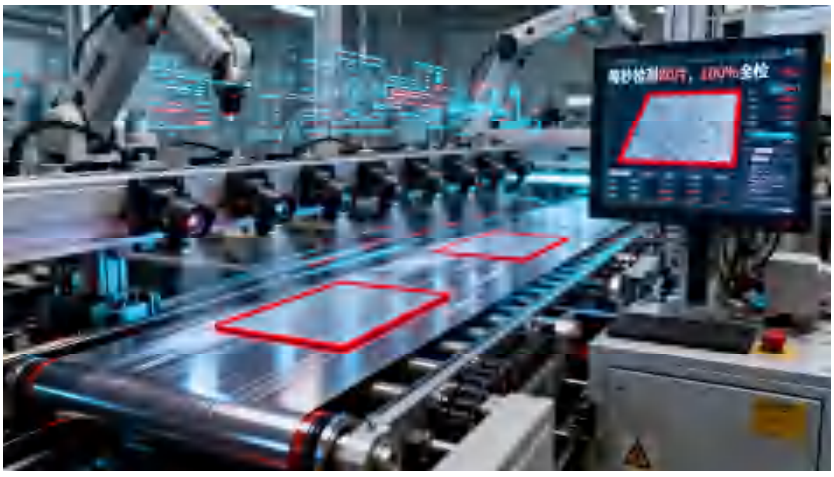
智能切削加工流程图

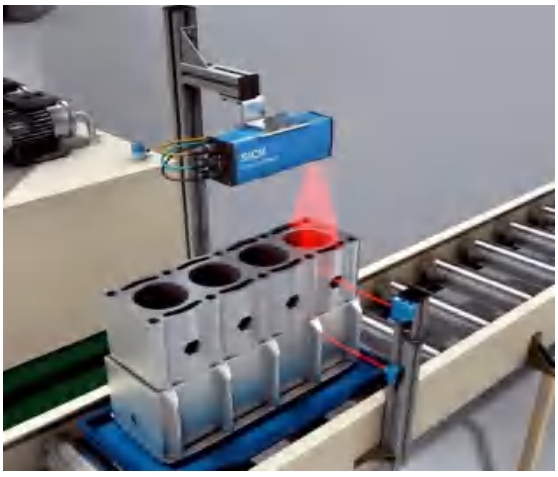
1. 智能切削技术的内涵与流程

北方民族大学 North Minzu University

(4) 质量在线检测与智能判断

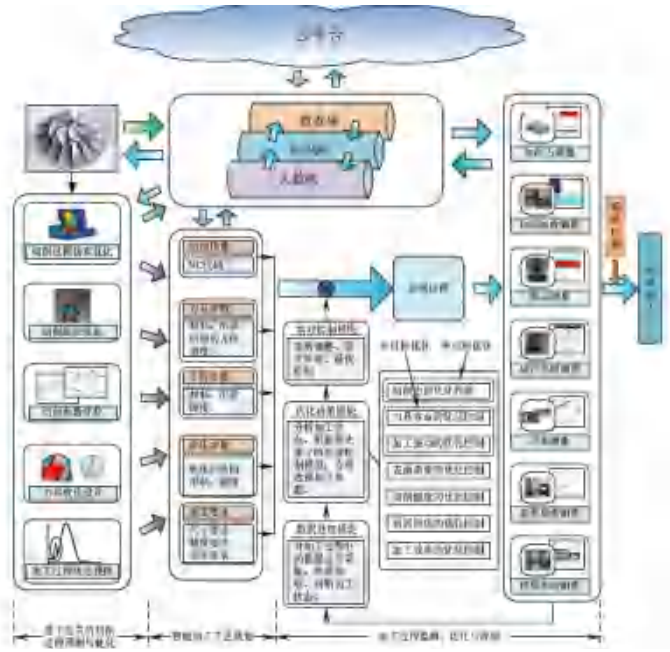
质量检测环节为加工的最后环节，通过对零件加工质量的在线监测，完成对零件几何外形轮廓、加工尺寸精度、表面质量等的检测，最终完成零件加工质量检测。





2. 智能切削加工过程中的基础关键技术

智能切削加工过程所涉及的关键技术主要包括：智能加工工艺规划、通过仿真手段对切削过程进行预测与优化、在加工过程中对于状态变化的监测、加工过程中的智能决策与控制、贯穿于整个加工过程的数据处理技术。



智能加工具体技术路线

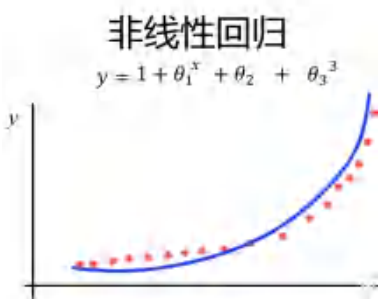
2. 智能切削加工过程中的基础关键技术

1、基于试验的切削过程预测与优化技术

（1）正交试验设计及多元非线性回归分析

加工过程中，影响加工过程参量（如加工表面质量、刀具磨损、切削力和切削温度、切削振动等）的因素较多，常常需要同时考察3个或3个以上的试验因素，若进行全面试验，则试验的规模将很大，往往因试验条件的限制而难于实施。正交设计是安排多因素试验、寻求最优水平组合的一种高效率试验设计方法。

因子 实验	A	B	C		水平 组合
	1	2	3	4	
1	1	1	1	1	A1B1C1
2	1	2	2	2	A1B2C2
3	1	3	3	3	A1B3C3
4	2	1	2	3	A2B1C2
5	2	2	3	1	A2B2C3
6	2	3	1	2	A2B3C1
7	3	1	3	2	A3B1C3
8	3	2	1	3	A3B2C1
9	3	3	2	1	A3B3C2



2. 智能切削加工过程中的基础关键技术

北方民族大学 North Minzu University

1、基于试验的切削过程预测与优化技术

（2）均匀试验设计

均匀试验设计是一种只考虑试验点在试验范围内均匀散布的试验设计方法，由于均匀试验只考虑试验点的“均匀散布”而不考虑“整齐可比”，因此可以大大减少试验次数，这是它与正交试验设计的最大不同之处。

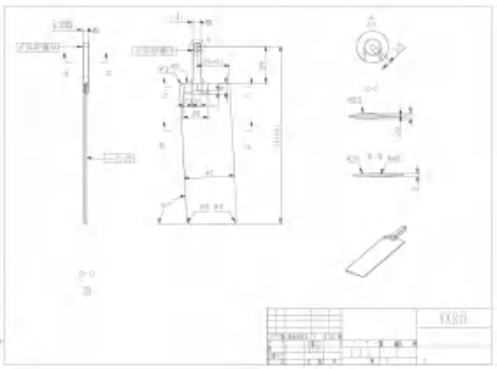
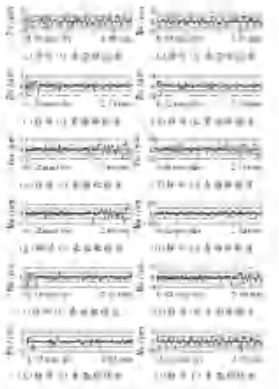


表 1 磨粒流加工试验参数对照表

Fig.1 Abrasive flow machining parameters table

序号	磨料浓度(%)（因素 1）	磨粒粒径(μm)（因素 2）	研磨液 PH 值（因素 3）	加工时间(s)（因素 4）
1	2	5.5	8	150
2	4	8	10	300
3	6	28	4	120
4	8	2.5	7	270
5	10	6.5	11	90
6	12	10	4	240
7	14	40	8	60
8	16	3.5	12	210
9	18	7	5	30
10	20	14	9	180



2. 智能切削加工过程中的基础关键技术

北方民族大学 North Minzu University

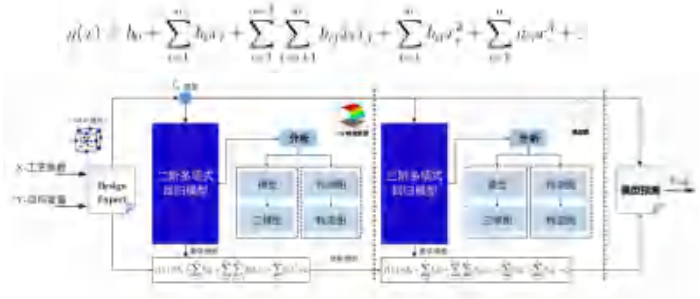
（3）多目标优化（multi-objective optimization）

工程实际中的许多问题都是多目标优化设计问题。多目标优化可以描述为：一个由满足一定约束条件的决策变量组成的向量，使得一个由多个目标函数组成的向量函数最优化。

目标函数组成了性能标准的数学描述，而性能标准之间通常是互相冲突的，优化意味着要找到一个使得所有目标函数值都可接受的解。

各个目标间的竞争性和复杂性，使得对其优化变得困难，在多目标优化问题中寻求单一最优解是不太现实的，而是产生一组可选的折中解集。

目前，求解多目标优化的方法分为多目标决策（Multiple Criteria Decision Making，MCDM）法和Pareto优化法。

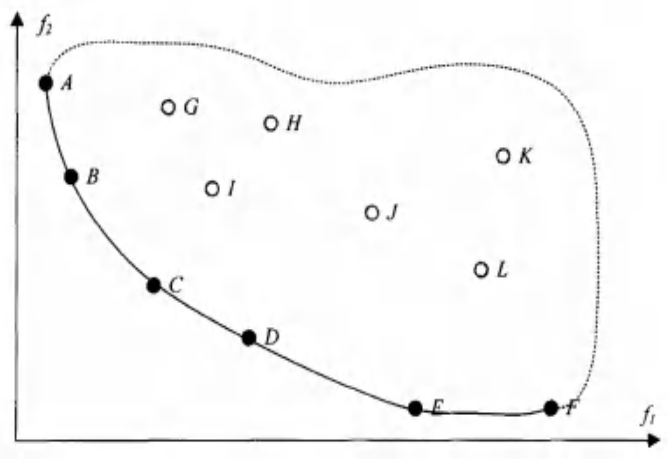




2. 智能切削加工过程中的基础关键技术

4）最优边界（Pareto Front）

最优解是目标函数的切点，它总是落在搜索区域的边界（面）上。如图3.4所示，粗实线段表示二个优化目标的最优边界。三个优化目标的最优边界构成一个曲面，三个以上的最优边界则构成超曲面。图中，实心点A、B、C、D、E、F均处在最优边界上，它们都是最优解，是非支配的（non-dominated）；空心点G、H、I、J、K、L落在搜索区域内，但不在最优边界上，不是最优解，是被支配的（dominated），它们直接或间接受最优边界上的最优解支配。



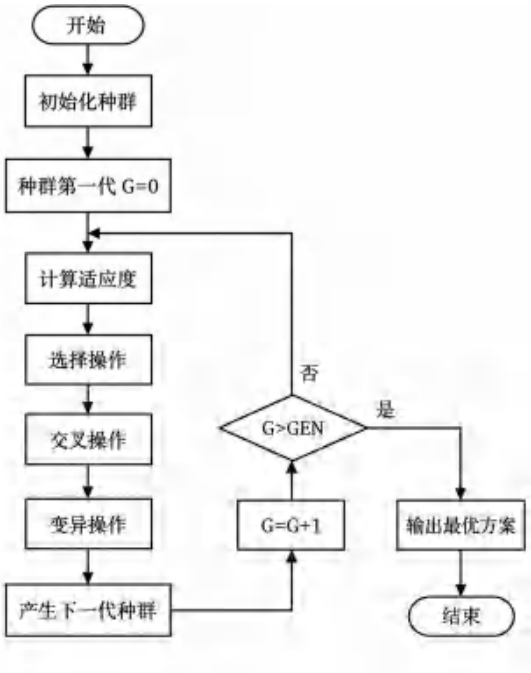
两个目标的最优边界

2. 智能切削加工过程中的基础关键技术

5）遗传算法

遗传算法（Genetic Algorithm，GA）于1975年由Holland提出，它借鉴了生物界中“优胜劣汰，适者生存”的进化规律，本质上是一种进化算法。由于其具有较好的全局搜索能力在多个领域得到广泛应用，目前在机器学习、图像处理、函数优化领域应用较多。

遗传算法的基本思想是：将给定问题的解集初始化为一个种群，结合生物界中的优胜劣汰规则对初始种群进行淘汰选择，随后对选择后的种群个体进行交叉、变异，随着进化代数的增加，优良种群（即原问题的解）得以保留，进化结束后则获得对应优化设计问题的最优解。因此，遗传算法包括三个基本操作：选择、交叉、变异。



遗传算法概述图

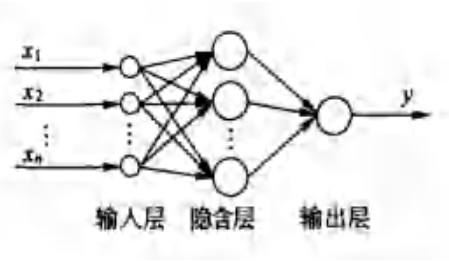
2. 智能切削加工过程中的基础关键技术

6）人工神经网络（Artificial Neural Network，ANN）

人工神经网络模型是一种模仿人类大脑神经元之间信息处理特性的网络，由输入层、隐含层、输出层组成，层与层之间通过神经元进行连接，通过不断地调整神经元间连接权值和阈值来进行学习。

近年来，人工神经网络因其强大的非线性映射能力、高容错性、鲁棒性，被广泛应用于板料成形优化领域。

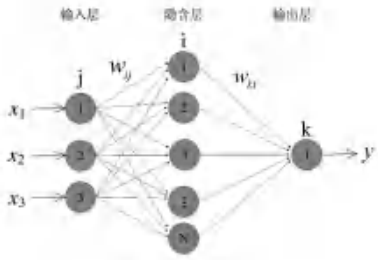
BP神经网络（Back Propagation Neural Networks，BPNN）于1986年由Rumelhart等研究人员提出，是一种根据误差反向传播不断自我训练的神经网络，它适用于各种复杂非线性问题。



人工神经网络概述图

BP神经网络结构包括3层，从第1层到第3层分别为输入层、隐含层和输出层，每一层包含若干个神经元，层与层之间通过权值进行连接，隐含层和输出层的每个神经元上分别对应一个阈值。

有学者通过理论已经证明，含有3层结构的神经网络能够以任意精度逼近任意函数。图为输入层包含3个神经元和输出层包含1个神经元的三层结构的BP神经网络。图中w_{ij}为网络输入层与隐含层的连接权值，w_{ki}为网络隐含层与输出层的连接权值。



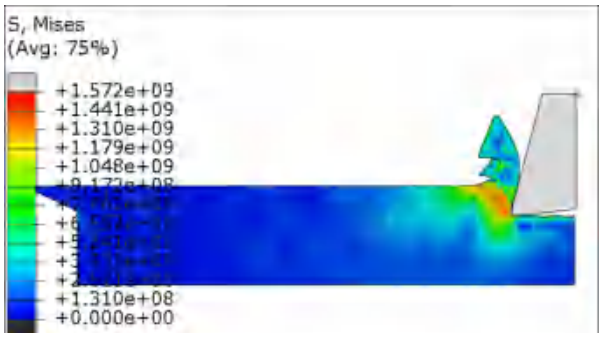
三层BP神经网络结构图

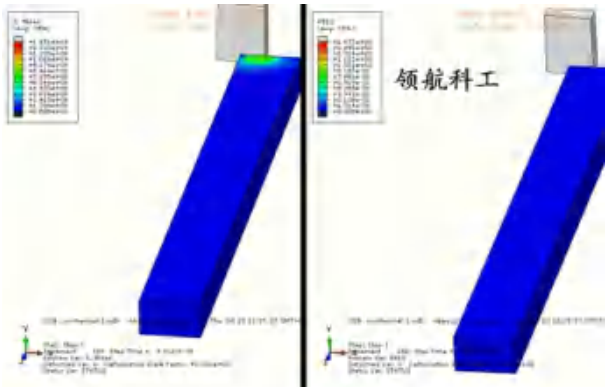
2. 智能切削加工过程中的基础关键技术

2、基于仿真的切削过程预测与优化技术

基于仿真的切削过程预测与优化技术主要是在实际切削前通过几何仿真、切削过程物理仿真、数值仿真等手段对加工过程进行仿真，通过仿真分析获得加工过程中物理量的状态变化情况，从而对实际加工过程进行预测，通过仿真手段对切削参数进行优化，指导实际加工参数的选择，并发现加工过程中可能存在的问题。

通过对切削过程的物理仿真，可以对切削过程的切削力、切削温度、刀具磨损、切屑形状等状态进行预测，并通过对获得的仿真结果数据进行分析及时发现在切削过程中可能出现的载荷过大、温度过高、磨损严重等问题，从而提出解决方案，改变加工参数。通过对切削过程的物理仿真优化，可以对切削参数与刀具角度进行优化，从而获得使加工状态最好的切削参数及刀具角度。





2. 智能切削加工过程中的基础关键技术

北方民族大学 North Minzu University

3、智能加工工艺规划

传统的零件加工工艺规划，主要是根据工艺工程师的个人经验对所要加工的零件进行工艺分析，对加工机床、工装夹具与刀具进行选取。智能加工的工艺规划主要特点在于对机床、工装夹具、刀具及加工参数的选择过程中引入数据库、知识库、大数据、云平台等数据处理技术。

	传统工艺规划	智能加工工艺规划
规划依据	工艺工程师的个人经验与知识	数据库、知识库、大数据、云平台
决策过程	工程师分析零件，人工选择机床、工装夹具、刀具和切削参数	参考同类零件历史加工参数，对大量参数进行提取与分析
优化手段	依据个人经验制定工艺参数	结合仿真对工艺规划进行优化
加工结果	人为因素影响大，不同工程师制定的工艺参数不同，零件质量不一致	为新零件选择更合适的加工参数

以数据处理技术与仿真优化工艺规划，为新零件选择更合适的加工参数

2. 智能切削加工过程中的基础关键技术

北方民族大学 North Minzu University

4、数据挖掘（Data Mining，DM）

智能设计的目的是利用计算机延伸以创造性思维为核心的人的设计能力，从而尽可能地实现设计自动化，设计的自动化实际上就是对知识的自动化处理，其中知识是实现这一过程的载体。数据挖掘就是实现数据到知识转化的有力工具。

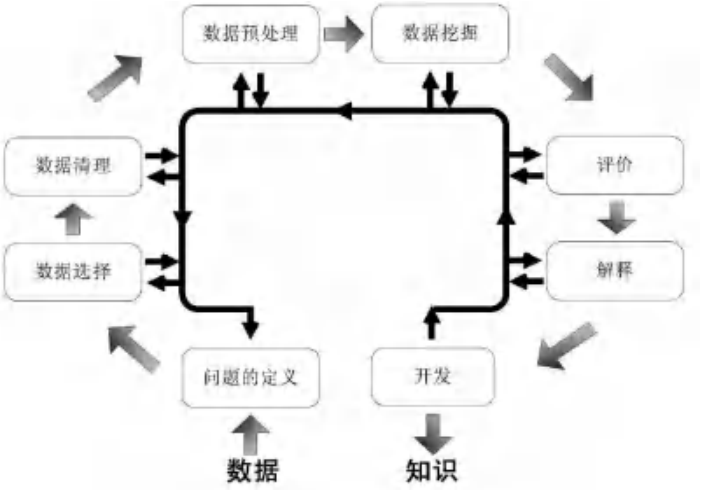
在智能设计系统中，如何对大量、复杂和抽象的产品、工艺、制造等数据、信息进行处理，提取高层次的信息和有价值的知识，成为一项新的挑战和课题。数据挖掘作为一种实现数据深化到知识的新的技术，正成为当前研究的热点。



2. 智能切削加工过程中的基础关键技术

数据挖掘的定义与内涵

知识发现（Knowledge Discovery in Database，KDD）是从大量数据中提取可信的、新颖的、有效的并能被人理解的高级处理过程“模式”可以看作是知识的雏形，经过验证、完善后形成知识。KDD是一个高级的处理过程，它从数据集中识别出以模式来表示的知识。高级的处理过程是指一个多步骤的处理过程，多步骤之间相互影响，反复调整，形成一种螺旋式的上升过程。



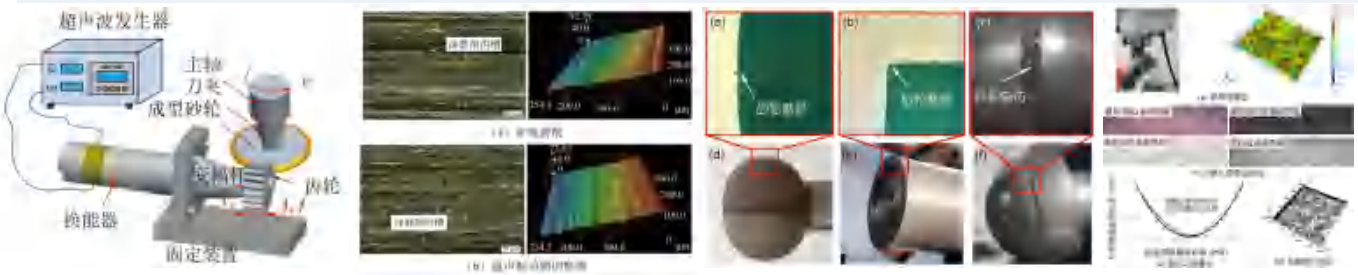
数据挖掘的主要步骤

2. 智能切削加工过程中的基础关键技术

5、加工过程检测技术

通过对加工过程中机床、刀具、工件进行状态监测是“感知”加工状态最直接的手段。切削过程是一个非常复杂的过程，在切削过程中涉及机床、刀具、工件的状态变化。例如机床的变形与振动，刀具的磨损与破损，材料的形变与相变等，所涉及的学科包括：材料学、力学、摩擦学、传热学、动力学等多门学科，所能监测的状态量多而复杂，主要包括：机床、刀具位置；切削力、刀具温度、刀具磨损、机床与工件及刀具的振动、声发射信号、机床功率、工件表面质量、切屑形状等信息。

对于机床的状态进行监测，可以确保运行安全，防止运动干涉与碰撞、载荷及功率过大等问题。对机床位置监测是确保机床位置的正确性与实现机床误差补偿的基础。同时对机床的能耗进行监测是降低成本、提高效率、实现绿色生产的前提。



2. 智能切削加工过程中的基础关键技术

6、优化决策与控制技术

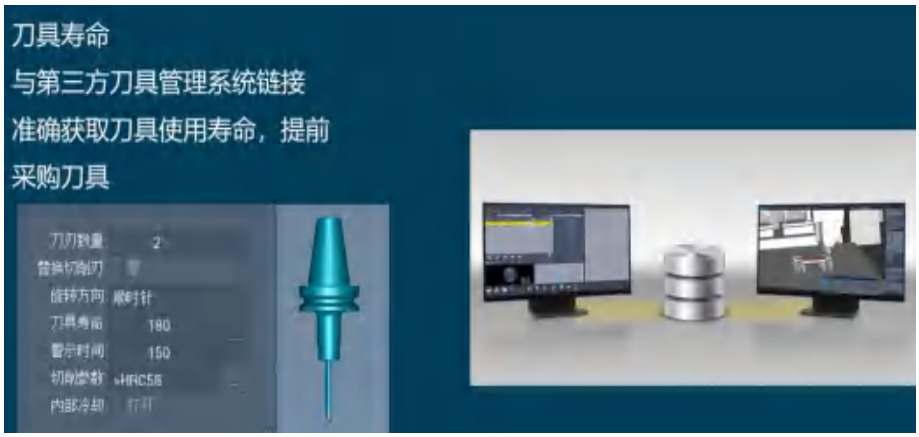
对于刀具、工件的状态变化进行监测可以实时掌握加工过程中刀具与工件相互作用及自身状态变化情况，是否存在切削力过大、刀具温度过高、磨损严重、振动剧烈等情况，从而判断加工状态是否正确，是否进行稳定切削，实现对切削过程进行“感知”。将所采集到的信号进行降噪、滤波后，通过多种信号处理手段对信号进行特征提取与分析，例如应用比较广泛的模糊神经网络处理技术、多传感器信息融合技术、支持向量机技术等实现对加工状态的在线监测，实时了解到加工过程的状态变化，为智能控制提供反馈。

优化决策模块通过在线监测模块所监测与提取的信息反馈，对加工过程进行单目标或多目标优化。可优化的目标包括：基于切削力的优化、基于刀具寿命的优化、基于加工振动的优化、基于工件表面质量的优化、基于切削温度的优化、基于切屑形态的优化、基于加工效率的优化、基于经济效益的优化等。优化完成后，将优化结果发送到实时控制模块，通过实时控制模块完成对机床相关参数的调整，包括改变切削参数、实时位置误差补偿、路径优化、刀具状态调整（更换刀具、改变刀具物理状态）等，完成切削状态的实时调整，实现最优加工。

2. 智能切削加工过程中的基础关键技术

7、智能刀具（系统）技术

刀具作为机床的“牙齿”在零件加工中占有非常重要的地位，零件的加工是通过刀具对工件进行切削作用完成的。智能切削加工技术不仅需要刀具具有切削功能，同时需要刀具具有自我感知、自我调节等智能功能，对于智能刀具的研制与研究已经成为刀具研究的热点。



2. 智能切削加工过程中的基础关键技术

7、智能刀具（系统）技术

智能刀具的感知功能主要集中在对切削力、切削温度、振动等的感知，通过在刀具上集成感知系统，实现刀具状态的自我识别，避免了在刀具上安装多种传感器的繁琐操作，同时节省了空间，利于生产与维护。对于刀具尺寸较小或由于某种原因无法将智能感知与控制系统安装在刀具上的情况，通过采用智能刀柄技术可以很好地解决上述问题。智能刀柄同样可以对切削力、扭矩、振动、AE声发射等信号进行监测。对于刀具的自我感知系统，进一步实现多传感器的集成与融合是智能刀具感知系统的发展方向。

智能刀具的自我调节功能体现在对刀具自身属性的调节，通过调节自身属性来适应生产需要，实现优化加工。例如：在镗削加工过程中，使用智能镗杆进行镗削，通过对刀具振动的识别与反馈控制，实时改变镗杆自身刚度、阻尼等，实现镗削过程的振动抑制。

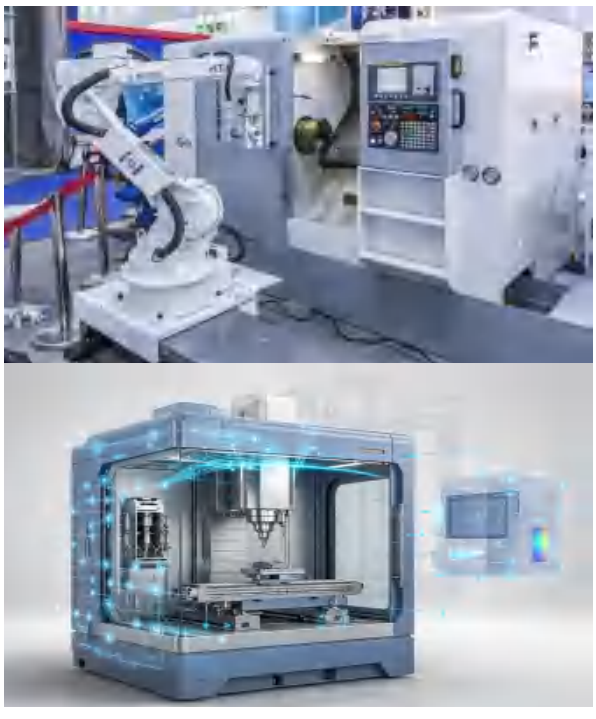


2. 智能切削加工过程中的基础关键技术

8、智能机床

智能化是数控机床的发展趋势，在现有数控技术的基础上，数控机床已经逐渐由机械运动的自动化向信息控制的智能化方向发展。智能机床不仅使机床操作变得简单、安全，而且借助现代传感技术、信息技术、自动化技术、网络技术、人工智能技术等已经部分实现了机床的智能化加工，确保加工的高精度与高效率。

智能机床的特点在于可以实现智能感知、智能决策、智能执行。智能机床所具备的具体功能包括：人机交互、加工仿真、自我监测、智能防碰撞、振动控制、自适应技术（负载自适应、位置自适应、主轴功率自适应、运动自适应）、误差测量与补偿（几何误差、温度误差）、智能主轴、刀具智能管理、文档管理、设备维护等。

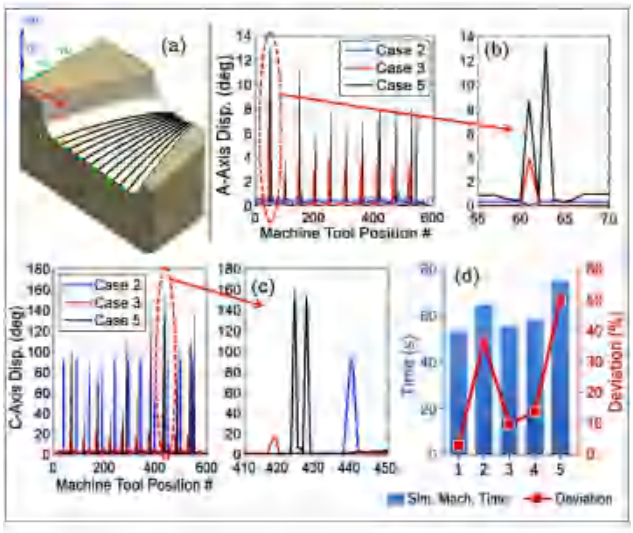


智能机床

3. 智能加工技术在切削过程中的应用

1、基于切削仿真的预测与优化

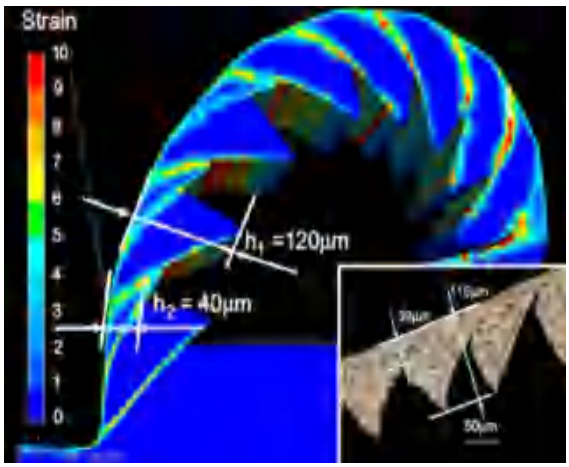
通过数字仿真手段对切削过程进行预测与优化是智能切削加工技术的重要组成部分，通过仿真可以对切削过程进行预测并发现切削过程中可能存在的问题并进行优化。例如通过仿真手段可以对工件装夹位置、刀具走刀路径、切削过程的切削力、表面质量、刀具磨损等进行预测，及时发现过切或欠切。通过走刀路径优化，切削参数优化可以提高加工效率，改善加工质量。



（a）表面几何形状 （b）*A* 轴角度变化 （c）C-轴角度变化 （d）仿真周期时间
刀具姿态对数控运动的影响

3. 智能加工技术在切削过程中的应用

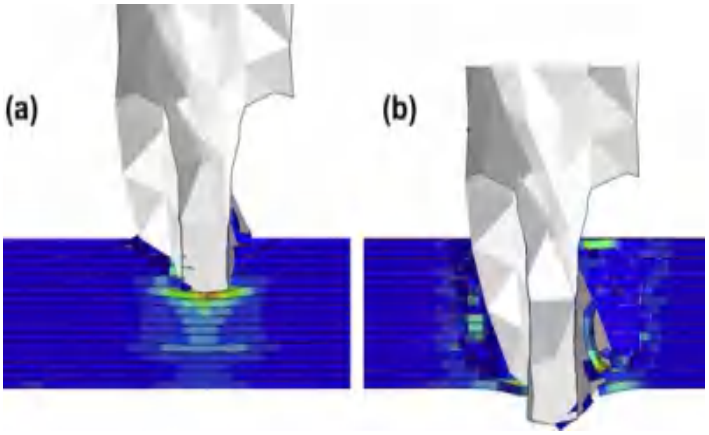
图为Ti6Al4V钛合金在高速铣削过程中切屑的生成过程锯齿状切屑的仿真结果与扫描电镜测试结果对比图，从仿真结果与试验结果对比可以发现通过仿真手段可以较好地预测切屑的形态。



切屑形态对比图（切削速度v 为180 m/min，进给量f为0.1 mm/r）

3. 智能加工技术在切削过程中的应用

图为有限元仿真方法对钻削碳纤维复合材料过程中的材料分层现象进行了模拟与预测，通过对比发现简化模型大大降低计算成本。通过仿真方法还可研究钻削力、纤维板的夹持面积、纤维的铺层方式对分层缺陷的影响规律。研究结果表明通过有限元仿真方法可以对碳纤维复合材料钻削过程中的分层现象进行模拟与预测，对加工参数的选择具有一定指导意义。



（a）钻入材料　　（b）钻出材料
采用完整仿真模型模拟的钻削过程

3. 智能加工技术在切削过程中的应用

◆工件表面质量监测

工件表面质量是指零件加工后表面的形态，主要包括的指标有表面粗糙度、表面层残余应力、表面层加工硬化成度等。加工表面的质量会对工件的性能产生很大的影响。如表面粗糙度对零件的耐磨性、耐腐蚀性、配合精度以及接触刚度等影响较大。表面残余拉应力会使零件表面产生微小的裂纹，降低疲劳强度，还可能会使零件的形状发生改变。表面加工硬化程度虽然可以增加零件的耐磨程度，但硬化往往不均匀，且会增加材料的脆性，使工件更容易产生裂纹。

利用智能插补方法的软计算系统可对钢铁部件高速深钻过程中的表面粗糙度进行预测，以切削参数和轴向力为输入量，以钻孔的表面粗糙度预测值为输出量。

在对表面粗糙度预测的过程中，研究者通过人工神经网络或其它方式建立起预测模型，以一系列加工参数如切削力、振动、进给量、切削速度等作为输入量，以表面粗糙度作为输出量，对表面粗糙度进行预测。

3. 智能加工技术在切削过程中的应用

3、加工过程中智能控制

智能控制是智能切削加工的关键技术，在加工过程中通过智能控制可以实现加工状态的在线调整。通过调节切削参数（转速、切深、进给）、刀具位置姿态，刀具刚度、角度、机床夹具补偿位置等实现切削过程的智能调整，从而使加工过程始终处于较为理想的优化状态。例如对切削过程的振动控制可以实现稳定切削。对切削力进行控制可以保护刀具、延长刀具寿命、提高加工效率等。



3. 智能加工技术在切削过程中的应用

◆加工过程中振动的控制

切削过程中由于振动的存在对加工过程的影响很大，往往会导致以下不良的后果：导致工件表面出现明显的波纹，影响工件表面质量，甚至导致工件报废，带来经济损失；加速刀具磨损，缩短刀具寿命，甚至导致刀具破损，引发安全事故；引起机床各部件连接部分松动，影响运动副（齿轮、轴承等）的工作性能，造成机床故障，缩短机床的寿命；为了防止颤振的发生，通常不得不减小切削用量，增加走刀次数，以牺牲加工效率为代价保证加工正常进行，导致机床的加工能力无法充分发挥；加工过程中的噪声使工作环境恶化，增加工人的疲劳程度，影响其身心健康。

切削过程中的振动与加工系统以及切削过程密切相关，具体包括加工系统的动、静刚度，刀具以及工件的固有频率，刀具几何参数，刀具与工件的材料特性，切削参数，润滑条件等因素。

3. 智能加工技术在切削过程中的应用

采用基于动力吸振器原理设计了可变控制力的智能式减振镗杆，并采用基于事件驱动的网络控制系统与基于H∞控制的网络控制系统可实现智能减振镗杆的控制。

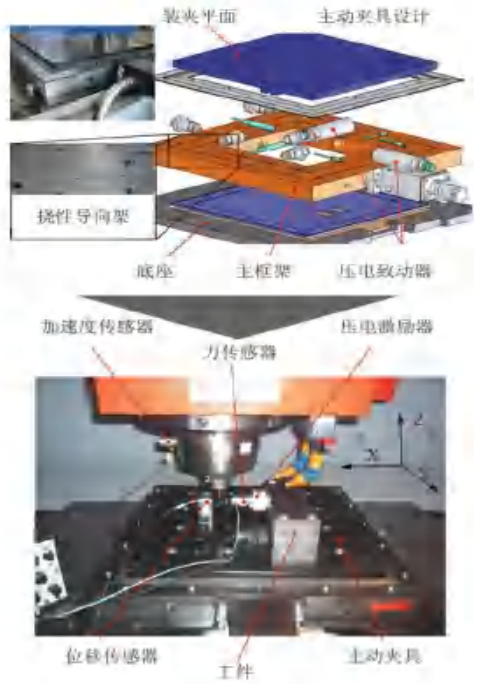
在此基础上人们提出了变刚度-约束阻尼型减振镗杆，建立了变刚度-约束阻尼减振镗杆动力学模型，并根据模型进行了结构设计、仿真及刚度调节与控制，所设计的变刚度-约束阻尼型减振镗杆结构如图所示。



变刚度-约束阻尼型减振镗杆结构示意图

3. 智能加工技术在切削过程中的应用

图为一种采用在铣床上安装主动夹具的方式对加工中的颤振进行抑制。所设计的主动夹具由两个压电致动器控制的高动态轴驱动。每个动态轴上都具有位移传感器与力传感器。采用加速度信号作为反馈信号，使用闭环位置控制方法对工件的位置进行动态补偿，从而对颤振进行抑制。



主动夹具结构示意图与试验现场

北方民族大学 North Minzu University

3 制造加工过程中的智能预测

- 智能预测系统
- 基于加工误差传递网络的工序质量智能预测
- 基于磨削加工的智能预测系统
- 基于人工神经网络的切屑形态的预测
- 制造加工过程中的仿真和预测实例

1. 智能预测系统

北方民族大学 North Minzu University

从预测的观点来看，以前的预测方法中各有自己的优势和不足，如何保持优点，克服不足，自然成为需要考虑的问题。特别是经验预测方法，大量的手工操作与信息的高速传输很不相适应，经验性知识的客观表示和系统化则是另一个问题，这两个问题在各类预报专家系统的实践中已日益暴露出其矛盾的尖锐性。

在人工智能方面，过去知识工程的三大课题是分别加以研究的，尽管也都取得了相当的进展，获得了一些有实用价值的成果，但“难于在实际中应用”仍然是人工智能工作所面临的难点。学习是人工智能中的难点，进展不快，但如果这个问题不解决，智能就难以达到高水平。



基于人工智能的股票预测系统

1. 智能预测系统

◆智能模拟——预测系统

目前设计的系统对预测问题只是考虑基于知识的推理，对动力、统计预测方法只是综合应用了它的预测结果。很明显，无论哪一种预测方法，在知识这一点上是共同的，仅是表述形式不同，进一步实现在知识这公共基点上的结合，扩展知识表示和知识利用的内容，无疑将会提高预测能力，并将提高整个系统的效率。

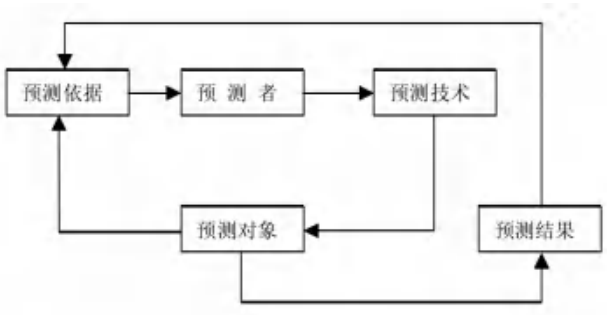
预测系统设计的另一个限定是有关基础知识的，无论是基础知识的提供，还是修改，大都由人来完成，机器学习也只是在基础知识上对应用性知识的获取。其所以如此，是由于没有充分发挥分析与综合的能力，模拟则是突出了分析，将来随着动力与智能模拟的进展，特别是智能模拟与智能预测的进一步结合，相当一部分基础性知识将可以通过模拟，由机器来获得，到那时，模拟将与预测一起组成一个综合的智能模拟——预测系统。

1. 智能预测系统

◆智能预测的基本原理

所谓预测就是鉴往知来,借对过去的探讨以求对未来的了解,其目的是获取未来的信息。

现代预测理论是建立在定量分析为基本内容的现代科学管条件下的,它由五个基本要素组成：人（预测者）、知识（预测依据）、手段（预测方法）、事物未来或未知状况（预测对象）、预先推知和判断（预测结果）。预测理论的五大基本要素的关系如图所示。



预测基本要素关系

1. 智能预测系统

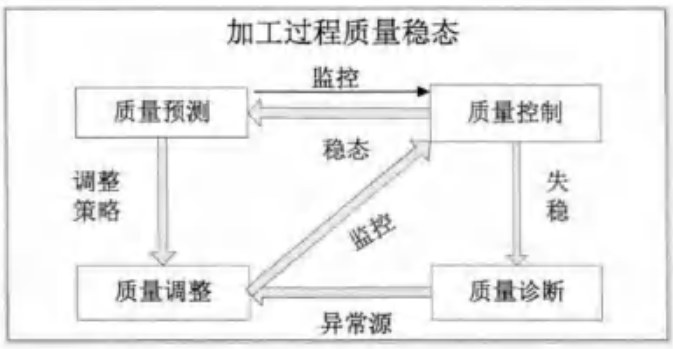
基于加工误差传递网络的工序质量智能预测

随着多品种、小批量为代表的柔性生产模式和数字化、信息化制造成为离散制造业发展的趋势，在提高生产效率的同时，也给过程有效质量管理提出了新的挑战和机遇。

从过程质量保证来看，一个关键环节是及时、准确的揭示过程质量的异常状态，即能够对加工过程的工序质量波动实施控制以及对加工质量进行预测，为质量优化决策奠定基础。因此，如何充分利用制造过程中产生的加工工件、加工工艺以及生产执行过程等多方面的静态和动态有关过程量信息，运用现代质量控制和质量预测技术实现对制造过程的“精确质量控制与预测”，因此实现企业产品质量的持续改善和提升具有重要的理论和现实意义。

2. 基于加工误差传递网络的工序质量智能预测

任何制造加工过程都存在波动，剔除或减小波动使过程趋向稳态才能保证高质量的产品。因此，对加工质量进行精确、有效的控制是目前研究的热点。实现加工过程中的质量稳态保证是一项周而复始、持续改善的工程，重点涵盖以下四个环节：质量控制（Quality Control，QC）、质量预测（Quality Prediction，QP）、质量诊断（Quality Diagnosis，QD）、质量调整（Quality Adjustment，QA），如图所示。



加工过程质量控制示意图

2. 基于加工误差传递网络的工序质量智能预测

实现过程质量预测控制的核心也是构建高效、精确的预测模型。早期的预测算法以时间序列预测法、统计回归预测法为主，此类方法运算量小、操作方便、效率高，但是模型简单且对复杂多变的环境下其鲁棒性差、泛化能力不强。

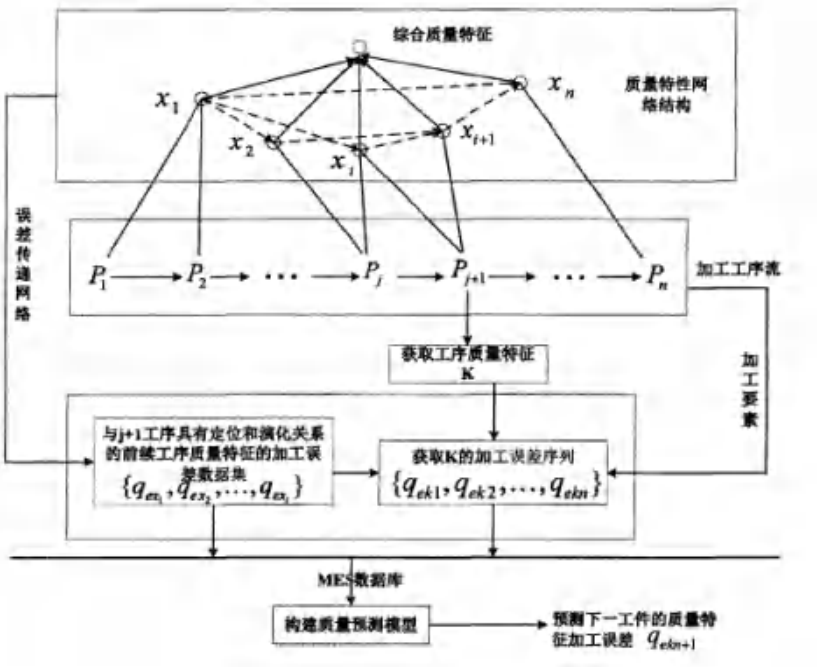
近几年来，新的理论和技术的出现促进了新的预测算法的出现，成为了目前质量预测的主流工具，主要有：灰色（GM）预测模型、人工神经网络（ANN）预测模型、支持向量回归（SVR）预测模型、模糊预测控制模型等以及多种算法的混合模型，主要预测模型见表。

预测模型比较分析

预测模型	主要人物	预测理论支撑	预测能力	时间代价	局限性
GM模型	邓聚龙	对原始时间序列作序列算子生成新序，建立离散数据微分方程动态模型，实质是一种曲线拟合过程，具有偏差的指数模型	一般	一般	适于过程基本呈指数规律变化且变化不是很快
ANN模型	Necat/Specht/Portillo E/Sun J	学习训练网络，不断调整权值及阈值，得到具有非线性关系的最优拟合预测模型，主要有：反向传播(BP)/径向量函数(RBF)/Elman/概率等神经网络模型	较强	较高	精度和收敛速度存在矛盾，存在局部极小点，计算量大，调整参数等，网络结构难定，需要大量样本等
SVR模型	Vapnik/Muller/Francis	基于SLT理论，综合衡量了ERM和SRM原则，最佳平衡模型的复杂性，学习能力和泛化水平	较强	一般	最优参数选择，训练学习网络维数的确定
模糊预测模型	Wong/Fisher/张化光/李少远	利用模糊推理改善传统预测控制算法在不确定信息处理上的不足；根据预测输出对控制参数进行模糊决策优化调整	较强	较高	业模复杂，对多步预测缺乏有效方法，训练和实时修正耗时多

2. 基于加工误差传递网络的工序质量智能预测

支持向量回归（SVR）算法比较适合小批量生产过程工序质量预测模型的建立。基于MES环境的车间信息化系统能够实时获得每道工序结点的输入与输出质量特征参数序列，进而得到加工误差序列，通常这些数据序列会间接反映出工艺系统对加工工件质量特征影响的某种规律，因此，通过运用适当的数据挖掘技术对数据序列进行分析就能够实现在一定精度下的质量预测。

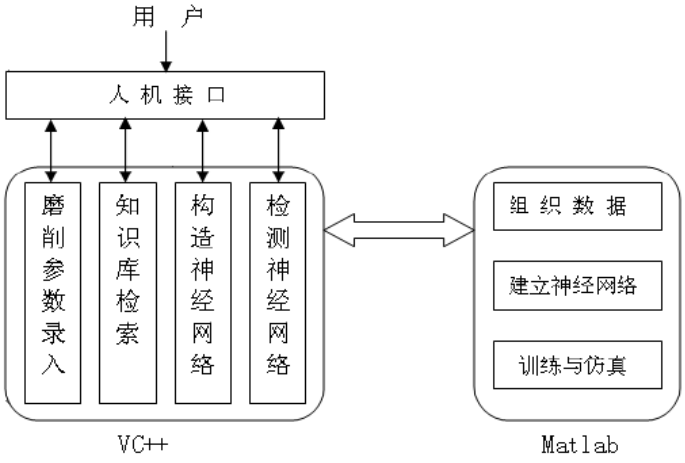


基于加工误差传递网络的工序质量预测模型

3. 基于磨削加工的智能预测系统

◆磨削智能预测系统的结构

首先将外圆纵向磨削过程中的初始磨削参数和通过传感器所检测的在线参数载入到预测系统中，根据所建立的外圆纵向磨削预测模型对所要预测的参数进行预测。将预测的数值与加工要求的期望值进行比较，如有偏差，则调整切削用量，使磨削加工达到要求，实现预测。



外圆纵向磨削智能预测系统的结构框图

3. 基于磨削加工的智能预测系统

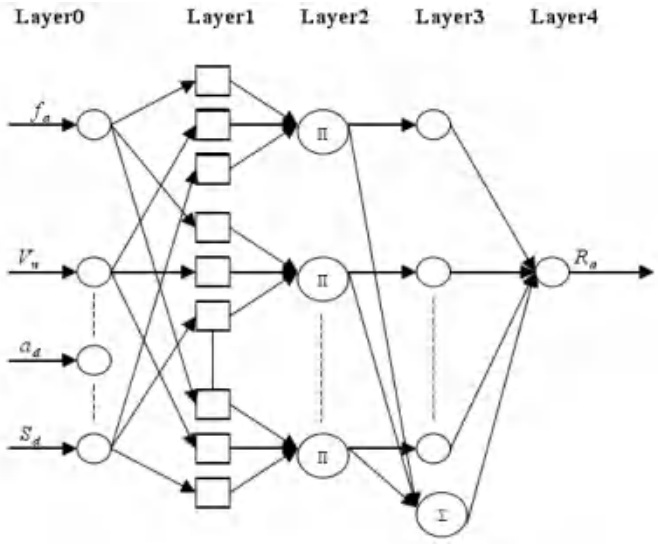
◆表面粗糙度预测

工件的表面粗糙度是衡量工件质量的一个非常重要的指标。目前对工件表面粗糙度的检测主要是停机检测，利用接触法或对比法得到粗糙度的具体值，在线检测表面粗糙度虽然在理论上有所突破，但在实际加工中未达到应用。

如果能够得到输入变量和粗糙度之间的关系，利用类似专家系统的方法对粗糙度能够预测，就能够取代传统的离线测量方法。由于模糊基函数网络（FBFN）和径向基神经网络（RBFN）在结构上非常相似，同时弥补了RBFN不能表达复杂磨削过程中模糊知识的能力以及具有以任意精度逼近任意连续非线性函数的能力。

3. 基于磨削加工的智能预测系统

表面粗糙度的FBFN模型如所示，在FBFN模型中，采用产生式模糊推理方法，以singleton作为输出成员函数，以质心法进行反模糊化，以Gaussian函数作为输入成员函数。在外圆纵向磨削粗糙度的分析模型中，实验表明：在精磨时，砂轮的磨削深度对粗糙度R_a的影响不大，这种结果和前人的研究成果吻合。

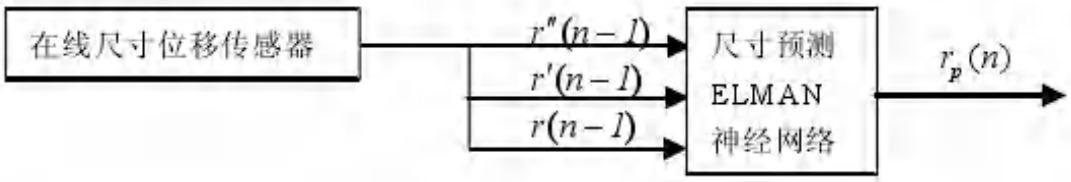


FBFN的网络结构模型

3. 基于磨削加工的智能预测系统

◆尺寸预测

采用具有动态记忆能力的Elman神经网络建立纵向磨削尺寸预测模型，可实现轴类零件尺寸的智能预测。尺寸预测模型如图所示。



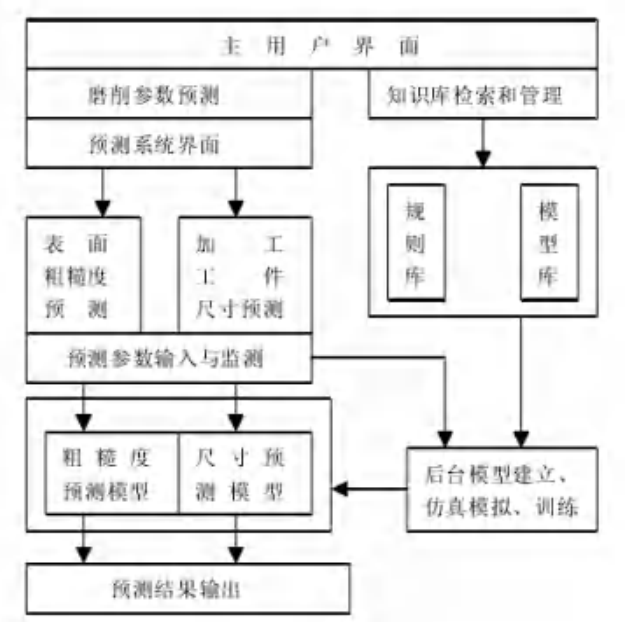
外圆纵向磨削尺寸预测模型

3. 基于磨削加工的智能预测系统

◆智能预测系统工作流程图

如图所示，通过外圆纵向磨削智能预测系统的人机界面，用户进入磨削参数预测系统，首先用户输入磨削加工的条件、参数，同时通过检测仪表检测的参数也显示在用户界面上。接下来可以通过后台功能模块对知识库中的相关知识进行检索，寻找到合适的规则和模型，结合用户输入和仪表检测的参数分别对表面粗糙度预测模型和加工工件尺寸预测模型进行建立、仿真和训练，后台模块是通过接口程序所驱动的仿真软件。

当仿真和训练达到良好的效果时，就可以进行真实的加工，在真实的加工过程中，运用训练好的预测模型对参数进行预测，实现智能预测的过程。



外圆纵向磨削智能预测系统的总体工作流程

4. 基于人工神经网络的切屑形态的预测

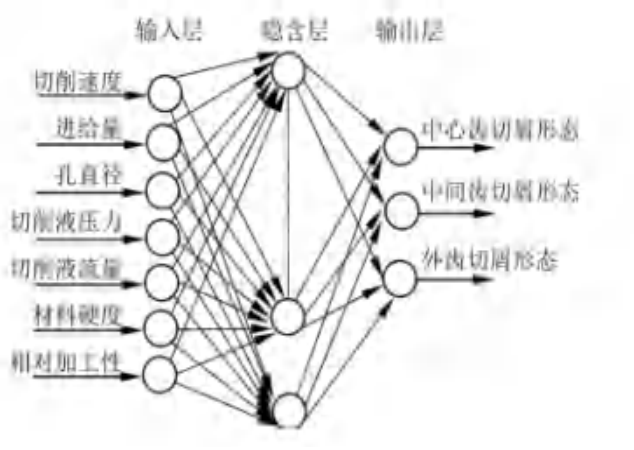
人工神经网络（Artificial Neural Networks，ANN）是人工智能领域中的一个重要分支，它借鉴人脑的结构和特点，对人脑若干基本特性通过数学方法进行的抽象和模拟，组成大规模并行分布式信息和非线性信息处理系统，具有高度并行性、结构可变性、容错性、高度非线性、自学习性和自组织性等特点。神经网络反映了人脑对信息的处理、知识与信息的存储、学习和识别及联想记忆等功能的相似特性，其应用已经渗透到各个领域，如智能控制、模式识别、信号处理、计算机视觉和工程设计。

生产的自动化、柔性化和集成化已成为加工制造领域发展的方向，为保证制造系统的正常运行，切屑控制问题已成为能否有效的发挥机床能力、使生产正常进行的关键问题，并且机械加工过程中的切屑形态是影响被加工零件精度和表面质量的重要因素。高速车削钢件等韧性材料时，连绵不断的带状切屑会烫伤或划伤操作工人。带状切屑若缠绕在工件上，会破坏工件的已加工表面，若堵塞在工件与刀具间，可迫使加工停止或损伤刀具的切削刃。

4. 基于人工神经网络的切屑形态的预测

如何实现切屑形态的预测并对其进行有效的控制已成为制约生产率、加工质量和提高生产自动化水平的重要因素，被认为是CIMS中的一项尚未解决的重要难题。

借助于人工神经网络的非线性映射能力、较强的鲁棒形和容错性、自适应自组织自学习的能力和虚拟现实技术的人与环境的一体化和人与环境的交互性的特点，将它们应用于切削过程的预测、仿真与控制中构建加工过程的智能预测仿真模型进而完成在虚拟切削环境中对切削进程中的切屑等的模拟预报。

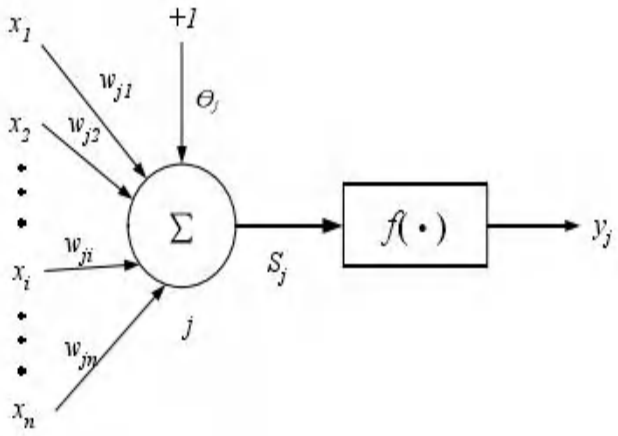


神经网络结构

4. 基于人工神经网络的切屑形态的预测

◆人工神经网络模型的数学描述

神经元是人工神经网络的基本处理单元，是生物神经元在功能上和结构上的一种数学模型。经典的神经元模型是一种多输入、单一输出的基本单元。如图所示这些神经元以并行方式排成像人脑神经系统那样的网络结构形式，包括三个基本元素：突触或连接链、加法器、激活函数。

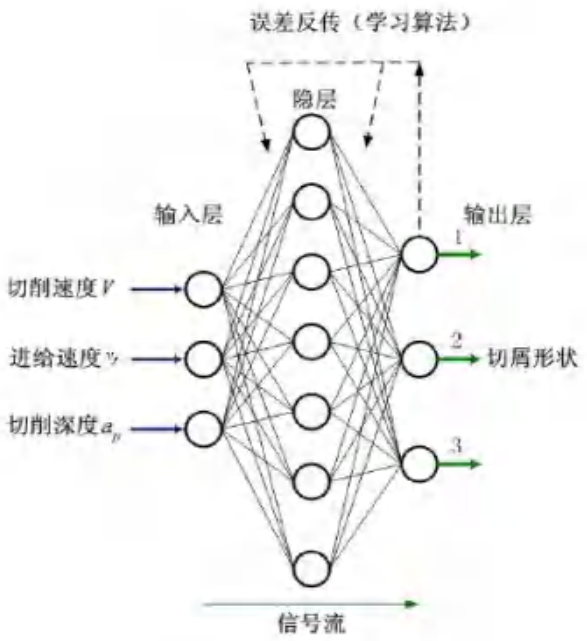


人工神经元结构

4. 基于人工神经网络的切屑形态的预测

◆基于人工神经网络思想的切屑形态预测仿真

采用的神经网络是基于误差反传递算法的BP网络模型。系统网络模型中采用单隐层结构，隐层神经元数为7个，隐层选用双曲正切Sigmoid函数。隐层的误差导数δ（Delta）矢量的反向传播是BP算法的基础，它利用网络误差平方和网络各层输入的导数来调整权值和阈值，从而降低误差平方和，使网络得到理想的输出。输出层选用线性神经元函数，使得输出值可以是任何数值，模型结构如图所示。

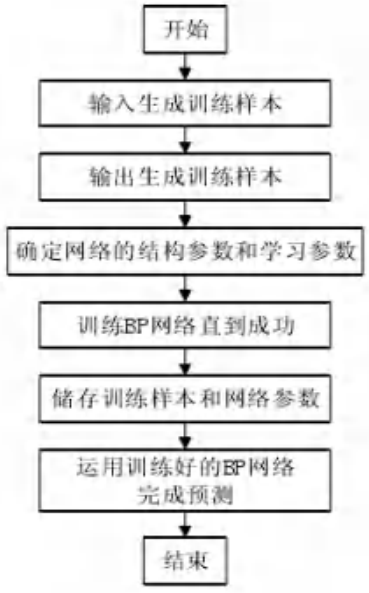


切屑形态预测网络模型结构

4. 基于人工神经网络的切屑形态的预测

◆切屑形态预测模块功能介绍

切屑形态预测模块分为两个主要部分，网络训练模块和仿真预测模块。网络训练模块主要是对BP网络进行初始化（包括对网络的输入层、隐含层、输出层各层的神经元点数等），以及对主要参数进进行输入（包括学习速率、目标误差、最大循环次数等），最后对BP网络进行训练、验证，存入数据库备用。仿真预测模块是运用训练好的BP网络，对新的数据进行预测，使其达到允许误差范围，结束预测。具体流程如图所示。



切屑形态预测模块

北方民族大学 North Minzu University

4 智能制造专家系统设计

1. 专家系统的功能设计

北方民族大学 North Minzu University

以智能制造领域中的高速切削系统为例，描述专家系统的设计及实例实现的过程。由于高速切削涉及的实体信息结构复杂，种类繁多，对其进行收集整理，建立高速切削数据库，形成有效科学的管理很有必要，有助于实现高速切削管理工作的系统化、规范化、智能化，从而提高切削管理效率，提高切削的质量。

高速切削专家系统的主要功能包括：针对高速切削实际生产需求，建立工件材料与刀具材料的匹配选取规则库，根据刀具材料选择刀具型号；建立切削用量的选用规则；进行规则推理；建立切削案例库；对机床、刀具、材料、加工工艺等实体进行管理，建立切削数据库等。

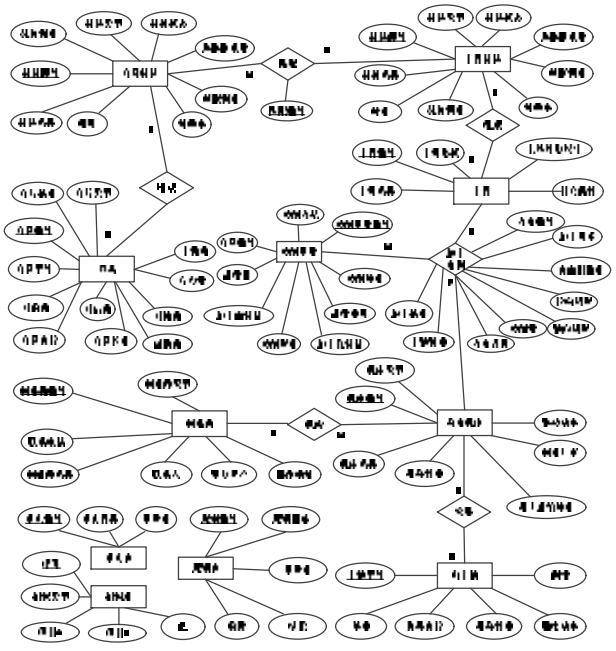


1. 专家系统的功能设计

（1）工件及材料管理子系统：实现对工件及其材料的增加、更改、删除及查询管理。
（2）高速切削刀具管理子系统：实现对高速切削刀具（分为转体式刀具及整体式刀具两种，转体式包括刀体、刀片等）及刀具材料的增加、更改、删除及查询管理。
（3）高速切削机床管理子系统：实现对高速切削机床的增加、更改、删除及查询管理。
（4）高速切削参数管理子系统：实现对高速切削参数的增加、更改、删除及查询管理，切削参数由切削刀具及切削的工件材料及机床等决定。
（5）加工案例管理子系统：实现对加工案例的增加、更改、删除及查询管理。
（6）规则库管理及推理：包括事实管理、规则库的管理及规则推理等功能。
（7）案例库管理及推理：包括加工方案的管理、相似度管理及实例推理等功能。

2. 专家系统的数据分析

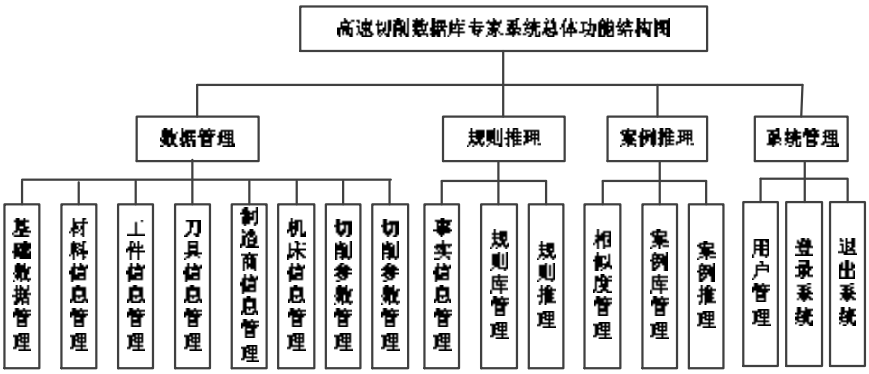
经过对高速切削专家系统的功能分析，查阅资料文献，涉及到如下的实体集：刀具材料、刀具及组成、工件、工件材料、刀具材料与刀具的匹配、切削参数、加工案例、规则表、事实表、机床与主轴等，如图所示描述了高速切削数据库的E-R模型。



高速切削专家系统数据库的E-R模型

3. 专家系统的功能结构

系统主要功能分为数据管理、规则推理、案例推理及系统管理四部分，其中数据管理主要功能是对存储在数据库中的若干表进行增加、删除、修改和查询操作；规则推理功能的核心是建立规则（知识）库，系统主要包括工件材料——刀具材料匹配知识库、工件材料与加工特征面——切削方法匹配知识库、工件材料与加工精度——切削深度匹配知识库、工件材料、刀具材料与加工精度——刀具几何参数匹配知识库、工件材料、刀具材料与切削深度——切削速度与进给速度匹配知识库。



高速切削数据库专家系统总体功能结构图

4. 编程语言及数据管理系统的确定

举例：刀具材料或工件材料信息管理模块的实现

材料维护模块的界面设计，如图所示。按照界面设计的原则，尽量让用户少输入，比如材料类别、材料状态及标志等字段的取值提供组合框进行选择或者输入，信息输入成功后要能立即在电子表格中显示出来，可以也可以在表格中选择一条记录进行编辑修改或者删除，其中材料类别、材料状态所选项来自于基础数据表中对应的材料类别及材料状态数据，标志设为该材料是工件材料还是刀具材料，其它字段为文本型，需要手工输入，对一些必填字段，使用程序代码进行检验。



材料管理模块设计界面

5. 专家系统知识库的建立与实现

由于产生式规则的数据结构是一种树形结构，不能直接用关系数据库表示，必须进行一些必要的转换处理才能存储到关系数据库中，具体转换处理方法如下：

（1）将产生式规则前提中具有“或”关系部分进行拆分，分解成只含有逻辑“与”关系的多个产生式规则。例如对于产生式规则：

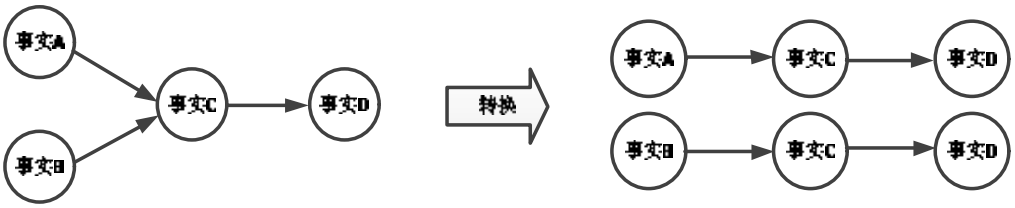
IF 前提1 and 前提2 or 前提3 and 前提4 THEN 结论1

则分解为下面两条产生式规则：

IF 前提1 and 前提2 THEN结论1

IF前提3 and 前提4 THEN 结论1

（2）对结点进行分离，结点分离原理如图所示，形成线性表。这样就将树形数据结构的产生式转换为线性数据结构，便于在关系数据库中存储、管理与组织。



结点分离存储的示意图

5. 专家系统知识库的建立与实现

（3）知识库建立的具体实现

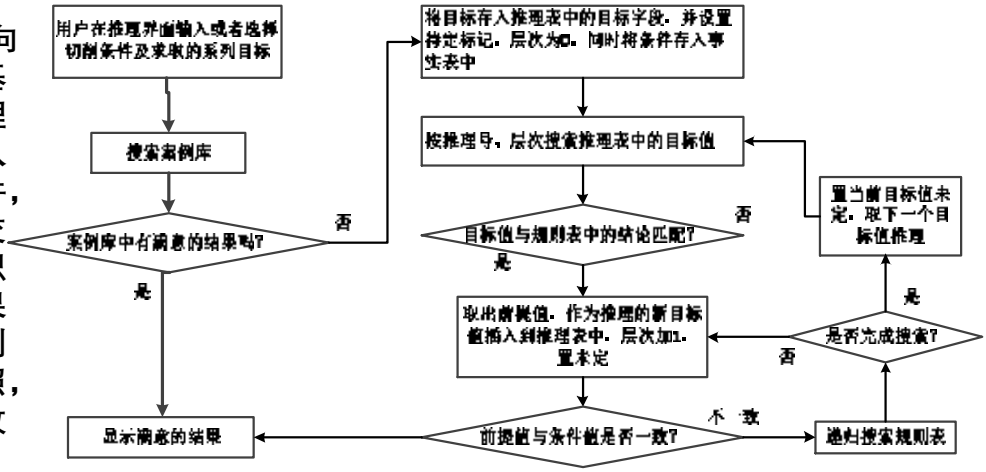
本专家系统采用事实及规则两张表进行知识的存储，其实不管是前提还是结论，都应当认为是一种事实，如刀具材料为金刚石就是一个事实，可以表示为“刀具材料=’金刚石’”，也可以表示为“刀具材料 is 金刚石”或“金刚石 is a kind of 刀具材料”，从数据库存储的角度来看，后两种都不太方便SQL的处理。

将一个或多个事实通过And组合就可以变成前提或者结论，一个拥有前提和结论的事实组合就是一条规则。如规则1描述为：IF 工件材料=’铸铁’ THEN刀具材料=’陶瓷’，当然也可能有规则2：IF 工件材料=’铸铁’ THEN刀具材料=’硬质合金’，如何选择有效规则，规则表给出了重要度的区分，重要度用数值表示，数值大的规则优先选用，具体描述如表3.3、表3.4所示。

6. 专家系统推理机制的实现

1、推理方法选择

本专家系统采用基于规则的反向推理方法进行实现，当然也可以基于实例的推理方法实现。实现原理如下：先由用户在运行界面上输入或者选择一个或者若干个前提条件，以及一系列推理实现的目标，提交给系统进行自动推理。系统在知识库中搜索与前提匹配的知识，如果搜索到一条结论或若干条结论，则返回最重要的结论给用户进行参照，用户如果觉得不满意，则进行修改后存入案例库，并保存新的规则，其原理图如图所示。



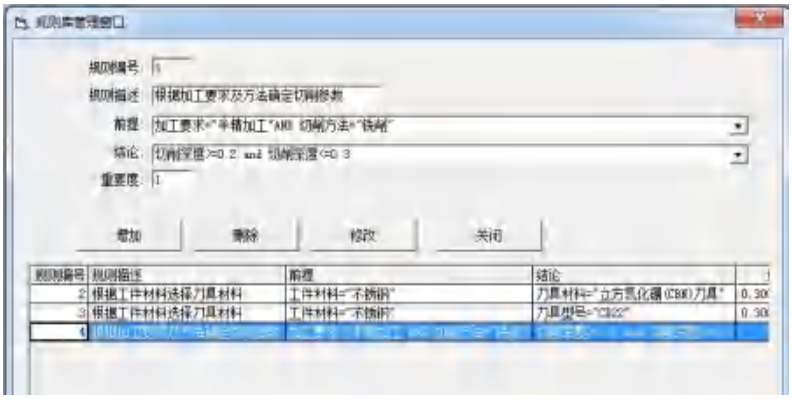
基于规则的反向推理原理图

6. 专家系统推理机制的实现

事实信息管理是单独维护一个前提或结论，是一种条件表达式或逻辑表达式，为了处理问题的方便，逻辑表达式只有AND运算符号。



事实表管理模块的运行界面



规则表管理模块运行界面

北方民族大学 North Minzu University

5 智能制造加工技术典型案例

案例1：新型绿色蒙皮镜像铣削技术

北方民族大学 North Minzu University

面向飞机大型双曲度蒙皮零件，镜像铣采用切削头与支撑头同步运动。可实现蒙皮法向支承和法向铣削，减少加工变形。

相比传统化铣，镜像铣污染小、装夹次数少、加工精度高。适用于航空大型薄壁蒙皮零件的绿色高效加工。

(a)





(b)



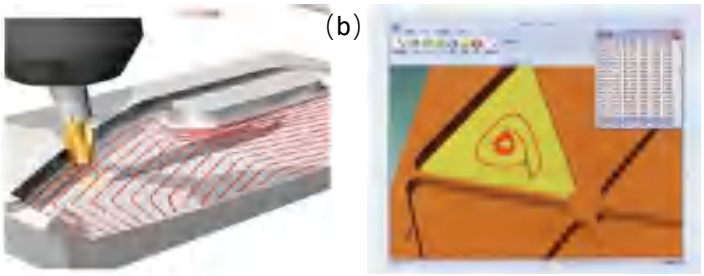


（a）法国杜菲工业公司和空客联合开发的蒙皮镜像铣系统
（b）西班牙M. TORRES公司的蒙皮镜像铣系统

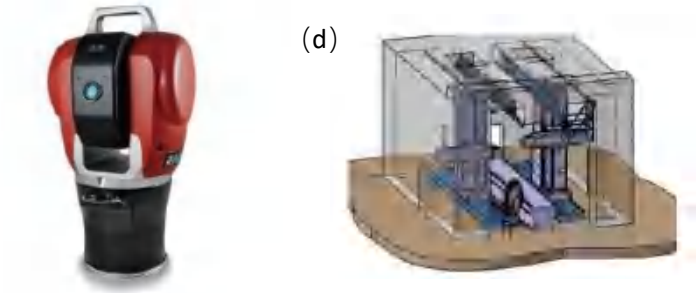
案例2： 蒙皮镜像铣关键技术

- 镜像铣加工需要解决刀具路径优化、快速数控编程、外形自适应和质量保障等问题。
- 通过扫描测量与数据修正，可提高复杂曲面蒙皮的加工适应性。
- 结合仿真、后置处理、超声检测和快速定位，可形成完整质量保障体系。
- 适合大型飞机蒙皮零件的精密制造。

(a) (b)



(c) (d)



（a）基于设备动态特性的刀具路径设计与优化研究
（b）面向蒙皮加工特征的快速数控编程技术
（c）面向蒙皮外形的自适应技术
（d）蒙皮加工质量保障技术体系研究

案例3： 航空航天3D打印轻量化设计

- 增材制造可突破传统加工对复杂结构的限制，实现轻量化设计。
- 通过拓扑优化和3D打印，可减少零件重量、提高材料利用率。
- 在飞机支架、安全带锁扣、发动机缸体等结构件中具有应用价值。
- 有助于降低制造成本、缩短制造周期。

(a)



- 零件减重55%
- A380需853个锁扣，整机减重72.5千克；
- 节省燃油330万升；
- 燃油成本节约16.5万欧元

（a）航空安全带锁扣轻量化

(b)



- 发动机缸体重量可以从5.1kg减少到1.9kg；
- 减重66%。

（b）仿生机构的发动机缸体

案例4： 柔性电子增材制造技术

- 飞机雷达罩、航空发动机涡轮叶片、高超声速飞行器气动表面等高温大曲率/复杂表面构件的表面工况参数实时检测，是国际公认的技术难题。柔性电子增材制造技术能实现曲面传感器打印，能有效破解上述难题。
- 在飞机雷达天线、精密齿轮、精密电主轴等零部件表面打印曲面传感器，可实时上述零件工作状态的在线检测，实现故障诊断、性能优化、智能控制。



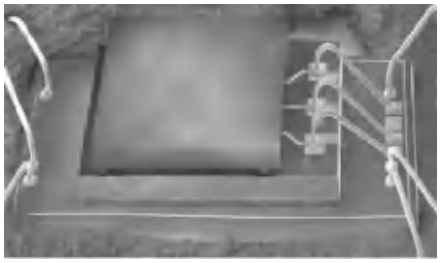




案例5： 微纳制造及检测技术

- 微纳制造可用于MEMS器件、微结构零件和高精度功能器件加工。
- 典型技术包括LIGA、电子束加工、扫描隧道显微加工等。微纳检测可实现纳米尺度下形貌、尺寸和物性特征分析。适合精密仪器、微电子和高端装备制造领域。

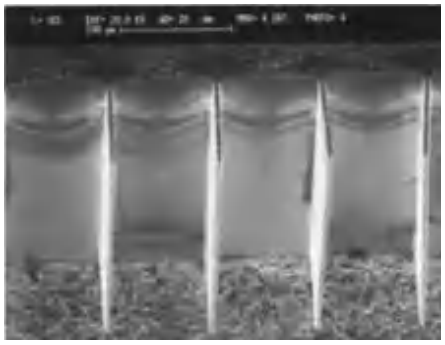
(a)



(b)



(c)



(d)



(a) 基于MEMS的振荡器组件

(C) 大高宽比镍结构，高宽比40

(b) 光刻和LIGA实验站——中国科学院高能物理研究所

(d) 大高度镍齿轮结构，高1毫米

案例6：微电子光刻制造技术

- 光刻机是大规模集成电路制造中的核心装备。
- 光刻工艺通过曝光、显影、刻蚀等过程将图形转移到硅片上。光刻精度直接决定芯片制造的特征尺寸和集成度。
- 体现了高端制造装备中精密运动、光学、控制与材料技术的综合应用。



主要光刻设备

案例7：航空航天精密锻造技术

- 精密锻造可用于航空发动机叶片、盘件等关键承力构件制造。
- 通过等温锻造、精密热模锻等方法，可提高零件成形质量。
- 精密锻造具有加工精度高、余量小、效率高和成本低等优点。
- 适合航空航天复杂结构件的高性能制造。

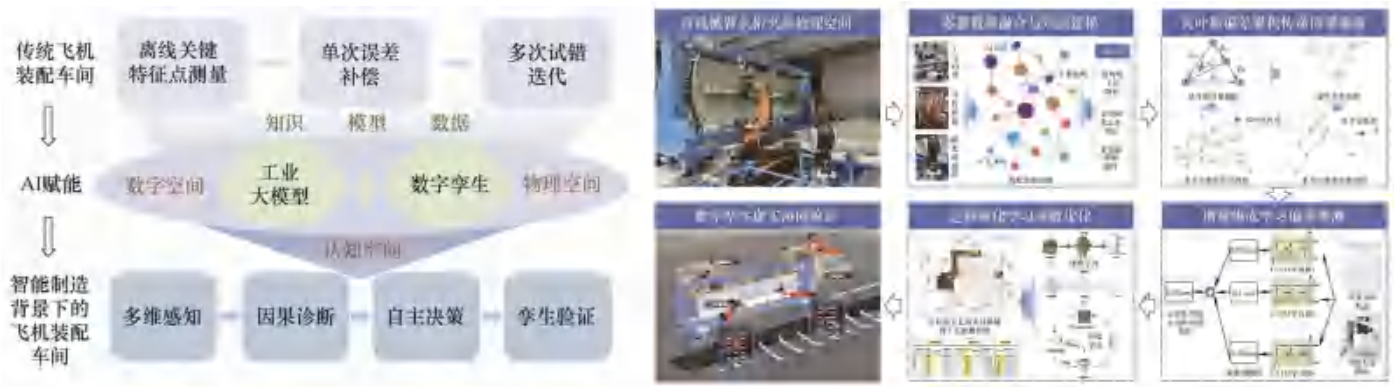


普通锻造与精密锻造对比



精密锻造的叶片

案例8：AI孪生控制方法在航空智能制造中的应用



- 飞机等大型装备装配需要高精度定位、自动钻铆和在线检测。
- 通过AI 孪生控制方法，构建覆盖“感知-诊断-决策-验证”的数字孪生闭环控制框架。
- 通过知识图谱网络化关联建模，实现多源异构数据的语义融合与动态推理，形成了航空制造工业大模型语料库和具备自主演化能力的专业知识底座。
- 数字化测量可对装配过程进行实时检测和误差补偿。
- 适合飞机机翼、机身、舱门等大型部件的智能装配。

北方民族大学 North Minzu University　宁夏机械工程学会

宁夏装备制造业数字化转型急需紧缺人才培训

敬请批评指正！

主讲人：王富伟 副教授

北方民族大学机电工程学院
人工智能与装备制造技术研究院

