



清华大学基础工业训练中心

高速高精度多轴数控铣 加工工艺探究

学习、自主制作与研讨

清华大学基础工业训练中心

先进制造实验室

王德宇 张余益



内容大纲

- 数控铣加工基本概念
- 数控铣加工工艺发展历程
- 高速微小型数控铣加工演示与体验
- 高速切削技术研讨
- 多轴加工技术研讨



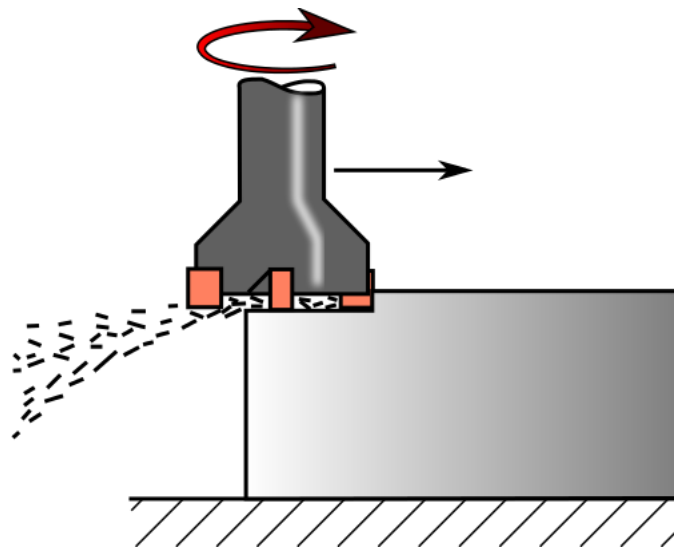
清华大学基础工业训练中心

数控铣加工基本概念



何谓“铣”

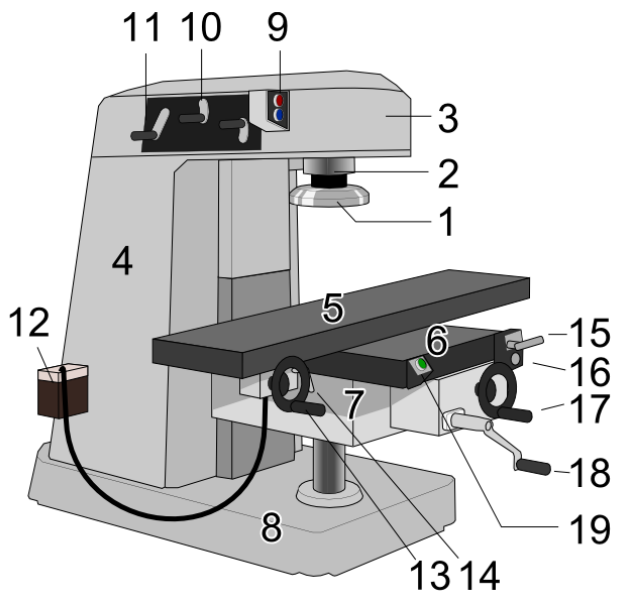
- 一种切削加工方式——刀具与工件相对运动
- 刀具的高速旋转实现切削
- 从毛坯到工件，通过切削去掉材料



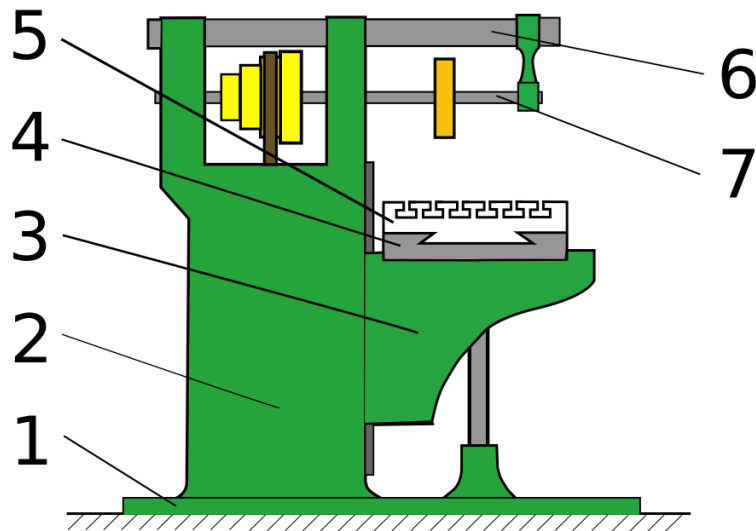


铣削加工分类

- 立铣



- 卧铣





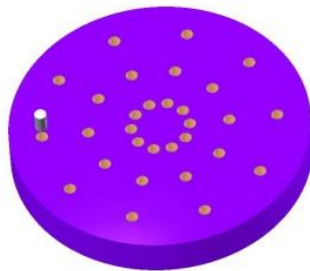
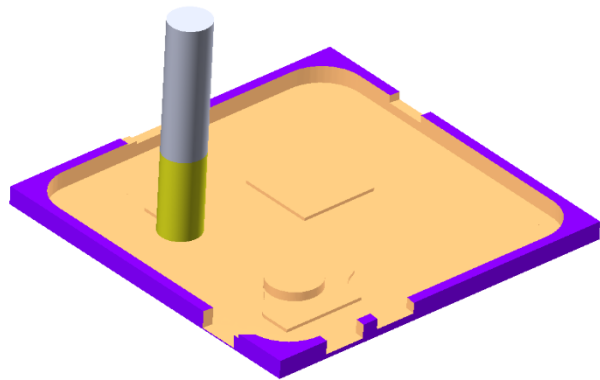
高速高精度三轴数控铣（精雕机）





常用的数控铣加工方式

- 区域加工：常用于加工内腔或凹槽等形状
- 轮廓切割：常用于加工外形轮廓
- 单线切割：常用于加工图案，刻字等
- 孔的加工：可分为钻孔、扩孔和螺纹孔加工
- 多轴侧铣加工：4-5轴加工方法，可加工空间曲面或雕像





可以通过数控铣加工的产品

- 模具





可以通过数控铣加工的产品

- 小型精密工件





可以通过数控铣加工的产品

- 工艺品——复杂曲面类





可以通过数控铣加工的产品

- 大型工件





身边的数控铣加工产品

- 消费电子类产品成形加工——三轴精雕机【视频】
- 工艺品“鸡蛋刻地图”——五轴精雕机床加工【视频】
- 航空部品部件——五轴精雕机床加工（海外）【视频】





挑战一：一个典型的三轴加工案例

- 如果你是一家生物医药企业的工程师，你的工作需要一种特殊材料：带有直径为0.1mm微孔的硅胶薄膜。由于市面上采购不到这种特殊薄膜，你必须专门为此加工制造。
- 你可以选择怎样的加工方式？



挑战一：一个典型的三轴加工案例

- 如果你是一家生物医药企业的工程师，你的工作需要一种特殊材料：带有直径为0.1mm微孔的硅胶薄膜。由于市面上采购不到这种特殊薄膜，你必须专门为此加工制造。
- 购置薄膜，然后在上面钻孔（铣削加工的一种）？
- 这种加工方法会有什么弊端？
- 是否有更巧妙的办法？



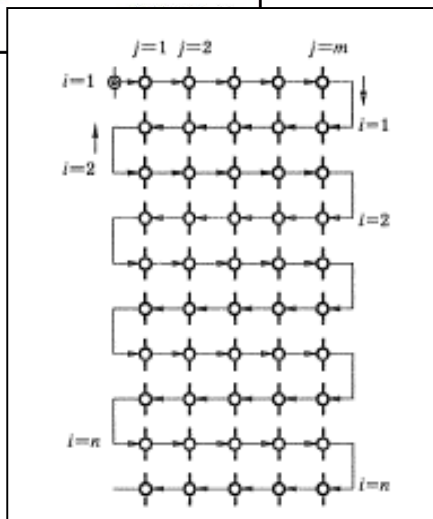
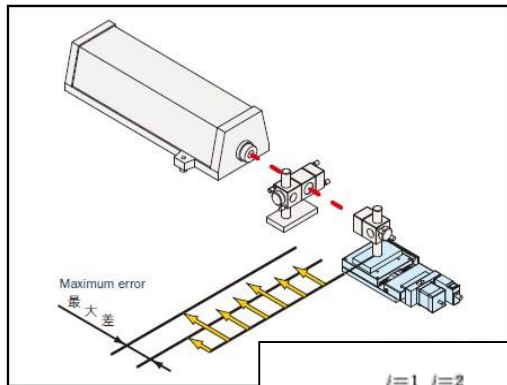
挑战二： 金刚石毛针固定板

- 目前在做的一个研究项目
 - 在 $24\text{mm} \times 42\text{mm}$ 大小，一套2mm和3mm的不锈钢片上制作孔阵列
 - 定位孔三个，直径1mm；小孔共341个，直径0.6mm
 - 要求两片上的孔阵同心，位置精度0.01mm，孔不能产生锥度
- 可选的加工方式有哪些？
 - 线切割、激光、数控铣.....
- 加工过程的关键因素有哪些？
 - 机床定位精度
 - 刀具寿命
 - 进给量、转速等加工参数
 - 加工效率（成本）



精雕机——高性能高精度数控铣床

- 主轴高转速
 - 可达20000转/分
 - 电主轴：特点是转速高，精度高；但径向受力有限
- 重复定位精度高
 - 可达0.005mm，即5 μ m
 - 高于国家标准GB/T 20958.2-2007的要求
 - 轴线行程500mm以下，精密级立铣床重复定位精度为0.008mm
 - 轴线行程500-800mm，精密级立铣床重复定位精度为0.010mm
- 全数字控制，便于进行企业数字化管理
 - 主控机为定制的Windows XP系统
 - 具备网络接口，利于部署远程控制系统
- 三轴数控加工
 - 有X、Y、Z三个自由度运动，由这三个轴执行加工指令（G代码）控制铣刀的切削路径，完成加工。





清华大学基础工业训练中心

数控铣工艺发展历程



从手动到数控到变革



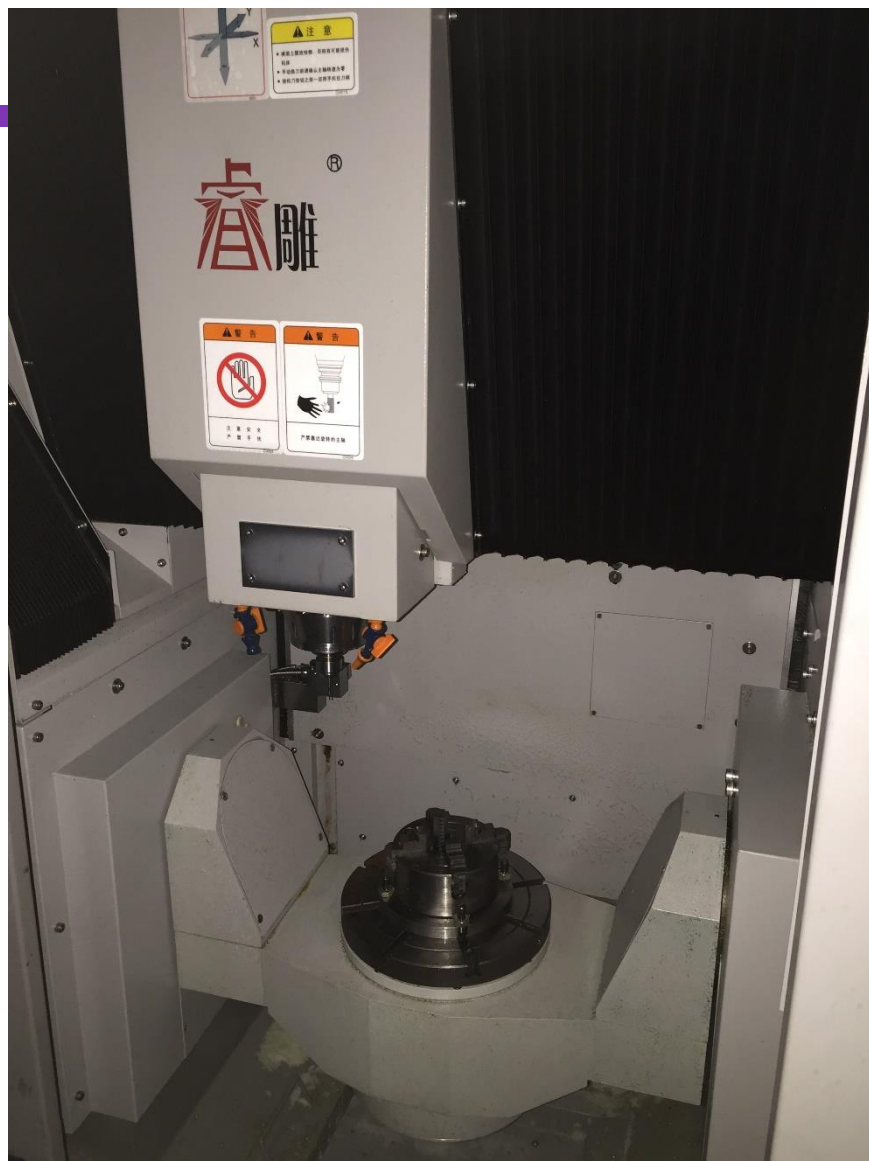
1959年，在MIT伺服机构实验室，用于演示打孔纸带控制的机床而加工的烟灰缸。该机床被认为是首台数控机床。





清华大学基础工业训练中心

高速高精度多轴数控铣





从三轴到多轴的演进

- 早在数控加工出现之前，多轴加工的机床就已经存在
- 早期的多轴加工利用杠杆和凸轮盘操作，有些机床甚至多达12轴
- 多轴加工的优势，结合数控技术的发展，逐渐体现出来
- 有哪些优势呢？



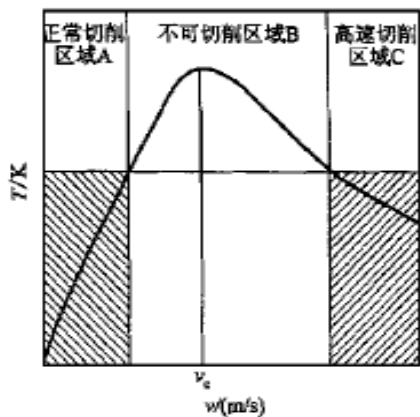
多轴加工的优势

- 减少工件装卡次数，提高加工效率
- 减少夹具间反复装卡，提高精度
- 多轴联动获得更好表面质量
- 对难于装卡对零件，扩展可加工区域



从低速到高速的发展

- 传统加工方式受机床结构、部件性能的限制，切削速度较低
- 早在1931年，德国科学家萨洛蒙提出切削温度并非随切削速度的增加而单调上升。
- 1977年，美国成功研制出了第一台高频电主轴机床，主轴最高转速达到18,000 r/min
- 1992年，国际生产工程研究会（CIRP，2006年更名为国际生产工程科学院）年会主题报告定义传统切削速度的5-10倍为高速加工。
- 2000年左右，日本已研制出主轴转速达150,000r/min的数控铣床。





高速切削的优势

- 加工效率高
- 主切削力减小
- 切削温度下降
- 刀具耐用度提高
- 工件温升小
- 加工表面质量提高
- 可应用于难加工材料，如钛合金、纤维增强材料等



清华大学基础工业训练中心

高速微小型数控铣加工 演示与体验



选择制作图形

- 城市主题钥匙牌
- 成品大小：约40mm×50mm
- 加工方式：单线切割





加工参数对产品成型品质的影响

- 毛坯
 - 首先要按照零件的最大轮廓确定毛坯尺寸，同时要兼顾装卡位置，必要时加大毛坯尺寸；
- 切削速度
 - 双色板一般用13000转/分钟；
 - 以使用0.5mm直径的刀具为例，13000转/分钟下，刀具切削线速度为20.42m/min
- 走刀速度
 - 决定了加工效率，但受到刀具尺寸、主轴转速、材料等因素的限制；
 - 影响加工表面成型的品质；
 - 不同条件下的走刀速度，常在1-3m/min左右



清华大学基础工业训练中心

高速切削技术研讨



实现高速切削对于机床技术有哪些挑战？

- 高速主轴单元
 - 电主轴结构：结构更加简单，消除齿轮传动误差
 - 冷却、润滑系统
- 快速进给系统
 - 进给速度、加速度
 - 伺服电机驱动滚珠丝杠、直线电机



清华大学基础工业训练中心

多轴加工技术研讨



议题一：五轴加工需要考虑哪些问题

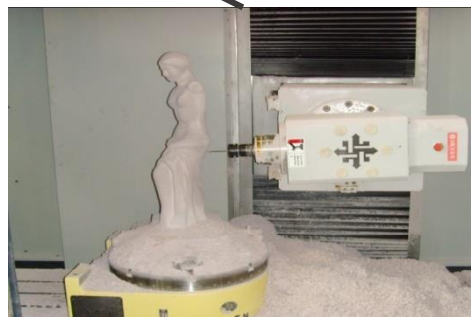
加工中心（3轴或多轴）



三轴加工



四轴加工



五轴加工



议题二：怎样对机床结构可以实现多轴加工？

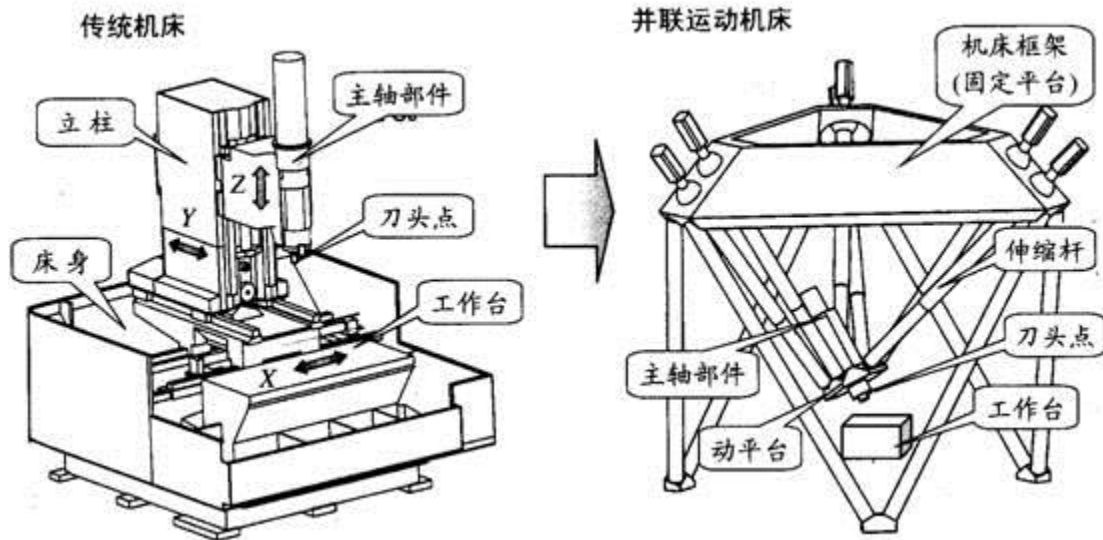
- 双转台
 - + 主轴刚性好，切削量可以比较大
 - 加工体积小、重量轻的工件
- 双摆头
 - + 可加工体积大、重量大的工件
 - 主轴刚性差，加工切削量较小
- 单转台单摆头
 - 性能均衡





议题三：同为五轴加工，技术有何本质差异？

- 早期利用杠杆和凸轮盘操作的机床也属于多轴机床，但有何局限？
- 多轴加工与数控加工如何有机结合？





清华大学基础工业训练中心

谢谢大家！



安全操作须知

Stick to this and don't try those dumb ways to die...

不能穿短裤，不能穿凉鞋，头发较长的同学必须戴工作帽，没戴眼镜的同学必须戴防护镜。

1. 正确穿着防护服



Dumb ways to die So many dumb ways to die

人至蠢则死 花样千奇百怪



安全操作须知

- 主轴运转时，操作台推拉门必须关闭！
 - 以下情形可开门操作：
 - 分中、定位时，主轴停转情况下
- 必须先试切再运行
 - 执行程序或执行MDI指令时，必须先进行手轮试切
 - 观察加工位置正确、程序运行正常后，再取消手轮试切使程序自动运行
- 装卡材料时一定要牢固，必须做到“装实、装正、装平”
 - 严禁在材料悬空的地方进行加工
- 加工金属时必须加切削液，切削液必须冲到刀具上；加工塑料时必须气冷排屑
- 加工过程中严禁伏在加工区域进行观察，严禁用手直接触碰加工表面。谨防异物入眼及高温烫伤！
- 请监督身边的每一个人，包括教师，一旦出现违反规程的操作及时指出