

# 数控加工刀具 材料、结构与选用 速查手册

陈为国 陈昊 编著

- 1 详细分析数控刀具结构及相应刀具国家标准
- 2 精选刀具制造商样本，快速查阅常用数控刀具结构与参数
- 3 成就数控刀具选用高手，赢得更好就业机会



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

# 数控加工刀具材料、结构与选用速查手册

陈为国 陈 昊 编著



机械工业出版社

全书共6章,第1章数控切削加工基础主要为后续学习提供基础知识;第2章数控刀具材料与选用,介绍与分析了数控加工刀具的材料与性能;第3~5章分别介绍了数控铣削刀具、数控车削刀具和数控孔加工刀具的结构与选用;第6章数控机床与刀具的接口技术主要介绍了数控机床的工具系统及其相关标准,为选用和使用工具系统提供必要的指导与数据。

本书适合数控技术人员及数控技术专业学生使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

数控加工刀具材料、结构与选用速查手册/陈为国,陈昊编著. —北京:机械工业出版社,2016.3

ISBN 978-7-111-53351-1

I. ①数… II. ①陈…②陈… III. ①数控刀具—技术手册  
IV. ①TG729-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第062688号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:周国萍 责任编辑:周国萍

版式设计:霍永明 责任校对:刘志文 张 征

封面设计:路恩中 责任印制:

印刷厂印刷

2016年6月第1版第1次印刷

169mm×239mm·42.5印张·2插页·950千字

0001— 册

标准书号:ISBN 978-7-111-53351-1

定价: 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

数控加工技术自 20 世纪 50 年代出现以来,以其实用性与先进性迅速被实际生产所接受,特别是计算机技术的出现与发展,为数控技术走向实际应用提供了技术与保证,数控加工技术逐渐成为当今机械制造技术的主流已经是不争的事实,各种机械制造装备的数控化发展也将会是今后发展的必然。

伴随着数控加工技术的发展,其基础与必备的刀具技术必须与其相适应的发展。数控加工技术改变了普通机床的加工特点,从传统加工的工件适应机床主轴的位置变化(更多依赖专用夹具)过渡到机床主轴上的刀具基于通用的刀具型式适应复杂加工表面与位置的变化,传统的专用夹具作用逐渐弱化,但刀具结构的复杂程度有所增加。数控加工的“三高一专”(即高效率、高精度、高可靠性和专业化)技术特点,对刀具材料与涂层技术、刀具结构、刀具生产模式等提出了新的要求,如粉末冶金高速钢、硬质合金材料刀具普遍应用,并大量采用涂层刀具,机夹可转位不重磨刀具型式成为数控刀具的主流,刀具的生产已逐渐过渡为专业厂生产,数控加工人员选用刀具以外购为主,终端用户自己刃磨刀具的模式已逐渐淡出。专业刀具制造商根据数控加工刀具强大的市场需求,专注研究、开发与生产适应数控加工的刀具,并在切削加工刀具体系中逐渐形成了适应数控加工的刀具体系——数控刀具。

从刀具制造商推出数控刀具之后,数控刀具的概念便逐渐为数控加工技术人员所接受,随着数控加工技术的推广与普及,数控刀具的概念必将为机械制造的从业人员所接受,正是基于这样一种发展的趋势,促使作者撰写本书,其目的就是希望更多的人能够接受数控刀具的概念,机械制造的专业人员必须了解数控刀具与传统刀具的异同点,并更好地应用数控刀具。

本书在介绍数控加工刀具基础知识上,从刀具材料、数控铣刀、数控车刀、数控孔加工刀具以及数控机床工具系统等方面,介绍了相关数控刀具的结构、相关国家标准、部分商品化刀具结构与参数等。本书编写的目标是增强数控从业人员数控刀具概念的认同感,掌握数控刀具的专业知识,能够快速地查阅到常用数控刀具的结构与参数,并为更好地使用数控刀具奠定基础。

全书分为 6 章编写。第 1 章数控切削加工基础主要为后续学习提供基础知识;第 2 章数控刀具材料与选用,介绍与分析了数控加工刀具的材料与性能;第 3~5 章分别介绍了数控铣削刀具、数控车削刀具和数控孔加工刀具的结构与选用;第 6 章数控机床与刀具的接口技术主要介绍了数控机床的工具系统及其相关标准,为选用和使用工具系统提供必备的指导与数据。

本书在编写过程中得到南昌航空大学科技处、教务处和航空工程学院、工程训

练中心，以及中航工业江西洪都航空工业集团有限公司等领导的关心和支持，得到航空制造工程学院数控加工技术实验室和工程训练中心数控技术教学部等部门相关老师的指导和帮助，在此表示衷心的感谢！

感谢书后所列参考文献中作者资料的帮助，以及未能囊括进入参考文献的参考资料的作者。他们的资料为本书的编写提供了极大的帮助。

本书文稿表述虽经反复推敲与校对，但因时间仓促，加之编者水平所限，书中难免存在不足和疏漏之处，敬请广大读者批评指正，并可通过书信或电子邮件给作者提出宝贵意见，作者联系方式如下。

作者邮编：330063

通讯地址：江西省南昌市丰和南大道 696 号南昌航空大学航空制造工程学院

电子邮件：wgchen0113@126.com

作 者

2016 年 3 月于南昌

## 前言

|                              |    |
|------------------------------|----|
| <b>第 1 章 数控切削加工基础</b> .....  | 1  |
| 1.1 数控切削加工概述 .....           | 1  |
| 1.1.1 数控加工技术的产生与发展 .....     | 2  |
| 1.1.2 数控加工技术的构成 .....        | 4  |
| 1.1.3 数控加工及其刀具的特点 .....      | 6  |
| 1.1.4 学习数控加工刀具知识的必要性 .....   | 7  |
| 1.2 必备的切削加工原理与知识 .....       | 8  |
| 1.2.1 切削运动与加工表面 .....        | 8  |
| 1.2.2 切削用量 .....             | 10 |
| 1.2.3 切削层参数 .....            | 12 |
| 1.2.4 金属切削过程的基本知识 .....      | 13 |
| 1.2.5 数控切削加工精度与表面粗糙度 .....   | 37 |
| 1.3 刀具几何参数基础 .....           | 41 |
| 1.3.1 刀具切削部分的结构组成 .....      | 41 |
| 1.3.2 刀具切削部分的几何参数 .....      | 42 |
| 1.3.3 数控加工典型刀具的主要几何角度 .....  | 46 |
| 1.3.4 刀具的工作角度及其变化规律 .....    | 49 |
| 1.3.5 数控加工刀具的结构特点 .....      | 55 |
| 1.4 切削液及其应用技术 .....          | 57 |
| 1.4.1 切削液作用与种类 .....         | 58 |
| 1.4.2 数控切削加工中切削液的应用 .....    | 60 |
| <b>第 2 章 数控刀具材料与选用</b> ..... | 63 |
| 2.1 概述 .....                 | 63 |
| 2.1.1 刀具材料金属切削加工的基本要求 .....  | 63 |
| 2.1.2 数控刀具材料应具备的特定要求 .....   | 64 |
| 2.1.3 数控刀具材料的种类、性能与特点 .....  | 65 |
| 2.2 高速工具钢的种类、性能和选用 .....     | 68 |
| 2.2.1 高速工具钢的种类与特点 .....      | 68 |
| 2.2.2 高速工具钢刀具材料的性能 .....     | 73 |
| 2.2.3 高速工具钢刀具材料的合理选用 .....   | 76 |
| 2.3 硬质合金的种类、性能和选用 .....      | 78 |
| 2.3.1 硬质合金的种类与特点 .....       | 79 |

|                                           |            |
|-------------------------------------------|------------|
| 2.3.2 常用硬质合金刀具材料的性能 .....                 | 83         |
| 2.3.3 硬质合金刀具材料的合理选用 .....                 | 92         |
| 2.4 其他先进刀具材料性能 .....                      | 99         |
| 2.4.1 陶瓷刀具材料 .....                        | 99         |
| 2.4.2 立方氮化硼刀具材料 .....                     | 109        |
| 2.4.3 金刚石刀具材料 .....                       | 114        |
| 2.5 刀具涂层技术应用 .....                        | 120        |
| 2.5.1 涂层刀具的概念 .....                       | 120        |
| 2.5.2 涂层刀具的种类与性能特点 .....                  | 121        |
| 2.5.3 涂层刀具的合理选用 .....                     | 124        |
| <b>第3章 数控铣削刀具结构分析与选用 .....</b>            | <b>127</b> |
| 3.1 数控铣削刀具基础 .....                        | 127        |
| 3.1.1 数控铣削刀具的特点 .....                     | 128        |
| 3.1.2 数控铣削加工方式分析 .....                    | 129        |
| 3.1.3 数控铣削加工刀具的种类与特点 .....                | 131        |
| 3.1.4 铣削刀具刀片型号表示规则 (GB/T 2076—2007) ..... | 133        |
| 3.1.5 机夹可转位铣刀刀片夹固方式分析 .....               | 139        |
| 3.1.6 铣削刀具与数控机床的连接技术——刀柄 .....            | 142        |
| 3.2 面铣削刀具结构分析与选用 .....                    | 143        |
| 3.2.1 面铣刀的种类、结构与参数 .....                  | 143        |
| 3.2.2 常用面铣刀的结构参数 .....                    | 155        |
| 3.2.3 面铣刀应用注意事项 .....                     | 165        |
| 3.3 立式铣刀结构分析与选用 .....                     | 168        |
| 3.3.1 立式铣刀的种类与结构 .....                    | 169        |
| 3.3.2 常用立铣刀的结构参数 .....                    | 180        |
| 3.3.3 立铣刀应用注意事项 .....                     | 226        |
| 3.4 圆盘型槽铣刀结构分析与选用 .....                   | 235        |
| 3.4.1 圆盘型槽铣刀的种类与结构 .....                  | 236        |
| 3.4.2 圆盘型槽铣刀的结构参数 .....                   | 241        |
| 3.5 螺纹铣削刀具结构与选用 .....                     | 251        |
| 3.5.1 螺纹铣削刀具的种类与结构 .....                  | 251        |
| 3.5.2 螺纹铣削刀具的结构参数 .....                   | 257        |
| 3.5.3 螺纹铣刀应用注意事项 .....                    | 264        |
| <b>第4章 数控车削刀具结构分析与选用 .....</b>            | <b>266</b> |
| 4.1 数控车削刀具概述 .....                        | 267        |
| 4.1.1 数控车削刀具的特点 .....                     | 267        |
| 4.1.2 数控车削刀具的加工特征及特点 .....                | 267        |
| 4.1.3 数控车削刀具的种类及特点 .....                  | 268        |
| 4.1.4 数控车削可转位刀片 .....                     | 269        |

---

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 4.1.5 机夹可转位车刀刀片的夹紧方式分析 .....    | 284        |
| 4.1.6 车削刀具与数控车床连接技术简述 .....     | 288        |
| 4.2 外圆车刀结构分析与选用 .....           | 289        |
| 4.2.1 外圆车刀的结构与类型 .....          | 289        |
| 4.2.2 常用外圆车刀的结构参数 .....         | 295        |
| 4.2.3 外圆车刀应用注意事项 .....          | 317        |
| 4.3 内孔车刀结构分析与选用 .....           | 324        |
| 4.3.1 内孔车刀的结构与类型 .....          | 325        |
| 4.3.2 常用内孔车刀的结构参数 .....         | 328        |
| 4.3.3 内孔车刀应用注意事项 .....          | 343        |
| 4.4 切断与切槽车刀结构分析与选用 .....        | 347        |
| 4.4.1 切断与切槽车刀的结构与类型 .....       | 348        |
| 4.4.2 常用切断与切槽车刀的结构参数 .....      | 357        |
| 4.4.3 切断与切槽车刀应用注意事项 .....       | 374        |
| 4.5 螺纹车刀结构分析与选用 .....           | 385        |
| 4.5.1 螺纹车刀的结构与类型 .....          | 386        |
| 4.5.2 常用螺纹车刀的结构参数与选用 .....      | 394        |
| <b>第5章 数控孔加工刀具结构分析与选用 .....</b> | <b>404</b> |
| 5.1 孔的几何特征分析与加工刀具 .....         | 404        |
| 5.2 整体式钻孔加工刀具的结构分析与选用 .....     | 405        |
| 5.2.1 整体式钻孔刀具的种类与结构 .....       | 406        |
| 5.2.2 常用整体式钻孔加工刀具的结构参数 .....    | 416        |
| 5.2.3 整体式孔加工刀具应用注意事项 .....      | 435        |
| 5.3 机夹可转位式钻孔加工刀具的结构分析与选用 .....  | 450        |
| 5.3.1 机夹式钻孔刀具的种类与结构分析 .....     | 451        |
| 5.3.2 常用机夹式钻孔加工刀具的结构参数 .....    | 452        |
| 5.3.3 机夹式钻孔加工刀具应用注意事项 .....     | 459        |
| 5.4 铰孔加工刀具的结构分析与选用 .....        | 468        |
| 5.4.1 铰孔加工刀具的种类与结构 .....        | 468        |
| 5.4.2 常用铰孔加工刀具的结构参数 .....       | 470        |
| 5.4.3 铰孔加工刀具应用注意事项 .....        | 474        |
| 5.5 铰孔加工刀具的结构分析与选用 .....        | 476        |
| 5.5.1 铰孔加工刀具的种类与结构 .....        | 476        |
| 5.5.2 铰孔加工刀具应用注意事项 .....        | 480        |
| 5.5.3 常用铰孔加工刀具的结构参数 .....       | 487        |
| 5.6 镗孔加工刀具的结构分析与选用 .....        | 492        |
| 5.6.1 镗孔加工刀具的种类与结构 .....        | 492        |
| 5.6.2 常用镗孔加工刀具的结构参数 .....       | 506        |
| 5.6.3 镗孔加工刀具应用注意事项 .....        | 516        |

---

|                                          |            |
|------------------------------------------|------------|
| 5.7 螺纹孔加工刀具的结构分析与选用 .....                | 520        |
| 5.7.1 螺纹孔加工刀具的种类与结构 .....                | 521        |
| 5.7.2 常用螺纹孔加工刀具的结构参数 .....               | 525        |
| 5.7.3 螺纹孔加工刀具应用注意事项 .....                | 539        |
| <b>第6章 数控机床与刀具的接口技术 .....</b>            | <b>542</b> |
| 6.1 数控机床与刀具的接口概述 .....                   | 542        |
| 6.2 数控机床与刀具的接口技术分析 .....                 | 543        |
| 6.2.1 镗铣类数控机床与刀具接口技术分析 .....             | 543        |
| 6.2.2 车削类数控机床与刀具接口技术分析 .....             | 544        |
| 6.2.3 模块式刀具系统接口技术分析 .....                | 546        |
| 6.3 数控机床工具系统基础标准 .....                   | 555        |
| 6.3.1 工具与数控机床主轴相连的接口标准 .....             | 555        |
| 6.3.2 切削刀具接口（夹持部分）相关国家标准 .....           | 569        |
| 6.4 镗铣类数控机床工具系统及实例 .....                 | 585        |
| 6.4.1 整体式工具系统介绍与选用 .....                 | 585        |
| 6.4.2 模块式工具系统介绍与选用 .....                 | 605        |
| 6.5 车削类数控机床工具系统及实例 .....                 | 643        |
| 6.5.1 圆柱柄刀夹车削工具系统（GB/T 19448—2004） ..... | 643        |
| 6.5.2 部分商品化圆柱柄刀夹车削工具系统摘录 .....           | 657        |
| <b>参考文献 .....</b>                        | <b>670</b> |

# 第 1 章

## 数控切削 加工基础

### 1.1 数控切削加工概述

数控切削加工（Numerical Control Machining）指在数控机床上进行金属切削加工的加工技术。数控加工技术的产生是传统加工技术一次革命性的变革，也是传统加工技术发展至今的必然。

数控加工改变了传统加工以人工直接操纵机床各部分运动为主体，借助于某些机床的机械结构设计功能实现多种几何特征（直线、平面等）加工。传统的切削加工过程，机床的大部分功能与机床结构和功能关系极大，各种加工方法相对独立，必须由操作者进行切换（如主轴转速的变换、进给量的调整、加工表面的变化等），甚至要对机床进行少量的配置（如挂轮的计算、选配与调整等）。传统加工的刀具运动轨迹相对简单，各种几何特征加工所对应的刀具运动轨迹相对固定，如车削外圆、内孔、端面、沟槽和切断与螺纹车削，铣削平面、阶梯面、规则轮廓面、沟槽等，其刀具功能相对简单和固定。传统切削加工很难应用于曲线轮廓的车削，复杂零件工序相对集中的铣削，对三维轮廓曲面的铣削基本无法进行。传统切削加工对刀具材料的要求相对较低，刀具工作部分较多采用手工刃磨，刀具结构相对简单，甚至整体式刀具应用较多。传统加工的普通机床机械结构相对复杂，电气控制以开关量控制为主。

数控加工技术是基于数字信息控制零件和刀具动作与位移等的机械加工方法，数控机床的机械结构相对简单，但电气控制技术部分却变得相当专业与复杂，其以专业的数控系统为核心，可通过数控程序控制刀具完成复杂的轨迹运动，其主轴速度与进给速度变换方便，且为无级调速，可在加工过程中用数控程序改变参数，并可用相应的倍率调节开关在一定的范围内进行修调。加工过程中对操作者的体力消耗降至最低，转为以脑力劳动为主，并且在加工之前就已预设完成，数控机床除具备传统加工的基本功能外，还更多地满足了现代金属切削加工的要求，如刀具的自动更换，刀具运动轨迹程序控制，同一把刀具要应付多种几何特征表面的加工要求，如外圆表面车削刀具往往必须同时具备加工端面、外圆、锥面和圆弧面等功能；铣削刀具往往是同一个加工程序同时用到圆柱切削刀与端面切削刀，甚至广泛地采用圆角铣刀（又称圆鼻铣刀）和球头铣刀。

数控加工的自动化特性,要求刀具寿命尽可能高。现代切削加工的高速加工要求,对刀具材料、刀具结构与装刀刀柄等均提出了特定和更高的要求,如装刀刀柄已出现工具系统的型式。以上种种特点表明,数控加工技术与传统加工技术相比有其自身特点与规律,其不仅具备传统机床加工的功能,还对加工功能进行了较大的延伸,有必要进行单独和深入的研究。

在学习数控加工的同时,还需注意,数控加工技术虽然被冠以现代制造技术的美誉,但其本质仍然是金属切削加工,其切削原理与规律仍然与传统加工理论相仿,其刀具几何角度的定义并没有什么新的变化,虽然其对新型刀具材料有极强的需求,但传统的刀具材料仍然被大量采用,虽然机夹可转位刀具结构被普遍采用,但传统的整体结构式刀具仍未被抛弃。而且,要进行数控切削加工的学习与应用,没有传统切削加工基础是很难学好与精通的。基于这些学习规律,笔者有意告诫年轻的数控切削加工技术从业者,不要将数控切削加工与传统切削加工割裂开,在学习数控加工刀具时,不能忽视金属切削原理与刀具基本知识的学习。当然,学习数控加工刀具还必须注重相关数控加工技术知识的学习,掌握数控加工的原理与特点。

### 1.1.1 数控加工技术的产生与发展

#### 1. 数控加工技术的产生与标志

采用数字技术进行机械加工,可追溯到20世纪40年代,由美国密歇根州北部的一个小型飞机工业承包商帕森斯公司(Parsons Corporation)实现的。他们在制造飞机的框架及直升飞机的旋翼时,利用全数字电子计算机对机翼加工路径进行数据处理,并考虑刀具直径对加工路线的影响,使得加工精度达到 $\pm 0.0381\text{mm}$  ( $\pm 0.0015\text{in}$ ),达到了当时的最高水平,这可认为是数控加工技术的起源。1949年,该公司与美国麻省理工学院(MIT)开始共同研究,并于1952年试制成功了第一台三坐标数控铣床,这是目前公认的数控机床产生的标志。这台机床是一台试验性机床,到1954年11月,在帕森斯专利的基础上,第一台工业用的数控机床由美国本迪克斯公司(Bendix Corporation)正式生产出来。

#### 2. 数控加工技术的发展

数控加工技术的出现,以其可编程加工的特点迅速被世界所关注,工业发达国家争相加紧研究与试验。

1960年以后,点位控制的数控机床得到了迅速发展。因为比起轮廓加工控制的数控系统,点位控制的数控系统要简单得多。因此,数控铣床、冲床、坐标镗床大量发展,据统计资料表明,到1966年实际使用的约6000台数控机床中,85%是点位控制的机床。

加工中心是数控机床中的亮点之一,它具有自动换刀装置,能实现工件一次安装完成多工序的加工。它最初是在1959年3月,由美国卡耐 & 特雷克公司(Keaney&Trecker Corp.)开发出来的。这种机床在刀库中装有丝锥、钻头、铰刀、铣刀等刀具,根据穿孔纸带的指令自动选择刀具,并通过机械手将刀具装在主轴上,对工件进行加工。它可缩短机床上零件的装卸时间和更换刀具的时间。如今,加工中心已经成为数控机床中一

种非常重要的品种,不仅有立式、卧式等用于箱体零件加工的镗铣类加工中心,还有用于回转整体零件加工的车削中心、磨削中心等。目前,数控机床已进入多工序复合的车铣复合数控阶段。

早期的数控系统是硬件连线的数控系统,其对应的机床称为 NC 机床。20 世纪 70 年代数控系统进入了 CNC 时代,这之后的数控机床可以称为 CNC 机床。

1967 年,英国首先把几台数控机床连接成具有柔性的加工系统,这就是所谓的柔性制造系统 (Flexible Manufacturing Systems, FMS)。之后,美、欧、日等也相继进行开发及应用。

20 世纪 80 年代,国际上出现了 1~4 台加工中心或车削中心为主体,再配上工件自动装卸和监控检验装置的柔性制造单元 (Flexible Manufacturing Cell, FMC)。这种单元投资少,见效快,既可单独长时间少人看管运行,也可集成到 FMS 或更高级的集成制造系统中使用。

20 世纪 90 年代,出现了包括市场预测、生产决策、产品设计与制造和销售全过程均由计算机集成管理和控制的计算机集成制造系统 (Computer Integrated Manufacturing System, CIMS),它是在信息技术自动化技术与制造的基础上,通过计算机技术把分散在产品设计制造过程中各种孤立的自动化子系统有机地集成起来,形成适用于多品种、小批量生产,能实现整体效益的集成化和智能化制造系统。

数控机床的发展,依赖于数控技术或称数控系统的发展,其大致经历了 2 个阶段 6 个时代。

第 1 阶段:硬件数控 (NC) 阶段。在这个阶段,受技术发展的限制,数控系统的数字逻辑控制主要是靠硬件连接而成,即常说的硬件连线系统 (HARD-WIRED NC),简称为数控 (NC)。随着电子元器件的发展,这个阶段大约历经了 3 个时代的发展,即 1952 年的第一代——电子管,1959 年的第二代——晶体管,1965 年的第三代——小规模集成电路。第 1 阶段硬件连线的硬逻辑数控系统目前已基本淘汰。

第 2 阶段:计算机数控 (CNC) 阶段。随着计算机技术的发展及其向数控领域的渗透,在 20 世纪 60 年代末,先后出现了由一台计算机直接控制多台机床的直接数控系统 (简称 DNC),又称群控系统;以及采用计算机软件程序代替硬件连线逻辑电路的计算机数控系统 (简称 CNC)。这个阶段的发展目前认为大致经历了 3 个时代的发展,即 1970 年开始的小型计算机为特征的第四代,1974 年开始的以微处理器为核心的第五代,1990 年开始的基于 PC (PC-BASED) 的第六代。

以上 6 代数控机床的发展具体表述是:

1952 年,采用电子管元件连线构成数控系统逻辑元件。

1959 年,采用了晶体管元件和印制电路板,出现带自动换刀装置的数控机床,称为加工中心 (Machining Center, MC),使数控装置进入了第二代。

1965 年,出现了第三代的集成电路数控装置,不仅体积小,功率消耗少,而且可靠性提高,价格进一步下降,促进了数控机床品种和产量的发展。

20 世纪 60 年代末,先后出现了由一台计算机直接控制多台机床的直接数控系统

(简称 DNC), 又称群控系统; 采用小型计算机控制的计算机数控系统 (简称 CNC), 使数控装置进入了以小型计算机化为特征的第四代。

1974 年, 研制成功使用微处理器和半导体存储器的微型计算机数控装置 (简称 MNC), 这是第五代数控系统。

20 世纪 80 年代初, 随着计算机软、硬件技术的发展, 出现了能进行人机对话式自动编制程序的数控装置; 数控装置趋于小型化, 可以直接安装在机床上; 数控机床的自动化程度进一步提高, 具有自动监控刀具破损和自动检测工件等功能。

20 世纪 90 年代后期, 出现了 PC + CNC (国外称为 PC-BASED) 智能数控系统, 即以 PC 为控制系统的硬件部分, 在 PC 上安装 NC 软件系统, 此种方式系统维护方便, 易于实现网络化制造。

注意, 虽然国外早已改称为计算机数控 (CNC), 而我国仍习惯称数控 (NC)。所以, 若粗略理解, NC 和 CNC 的含义基本相同。

### 3. 数控技术在现代机械制造业中的地位

现代制造技术 (Modern Manufacturing Technology, MMT) 又称先进制造技术 (Advanced Manufacturing Technology, AMT), 是指制造业不断吸收机械工程技术、电子信息技术 (包括微电子、光电子、计算机软硬件、现代通信技术)、自动化技术生产设备、材料、能源及现代管理等方面的成果, 并将其综合应用于产品设计、制造、检测、管理和售后服务以及对报废产品的回收处理这样一个制造全过程; 实现优质、高效、低耗、清洁和灵活的生产, 提高对动态、多变市场的适应能力和竞争能力, 并取得理想的技术经济效果的制造技术的总称。其可简称为 “信息技术 + 传统制造技术的发展 + 现代管理技术”。现代制造技术是一个不断发展、动态变化的技术, 这种现代制造技术的概念是一个广义的概念。

在机械制造业中, 现代制造技术还可狭义地理解为与机械加工相关的一些先进制造技术, 如: NC (数控)、CAD (计算机辅助设计)、CAM (计算机辅助制造)、CAE (计算机辅助工程, 其主体是有限元技术)、FMS (柔性制造系统)、CIMS (计算机集成制造系统)、AM (敏捷制造)、IMS (智能制造系统) 等先进加工技术。

在狭义的现代加工技术中, 数控技术是基础核心。数控技术的出现, 为现代机械制造装备的变革提供了基础与保证, 计算机技术的出现, 推动了数控加工技术的广泛应用。CAD 与 CAM 的集成系统, 使得数控加工技术成为普及型的制造技术, 使其走出了高新技术的象牙塔, 为大多数机械制造企业接受, 并使得普通的机械制造技术人员可轻易掌控。可以看到, 企业的技术改造, 在机械制造装备更新换代过程中普遍选择采用数控机床, 而新企业在机械制造装备选择上, 数控机床已成为首选。走进当今的机械制造企业, 数控机床比比皆是, 可以预计在不久的将来, 数控机床将成为普遍采用的通用的机械加工设备, 甚至, 在专用机床方面, 数控化设计与改造也将是一种必然。可以说, 数控加工技术是现代化工厂的主体加工制造技术。

#### 1.1.2 数控加工技术的构成

在机械制造行业, 通常意义上的数控加工技术一般包含三个层次的内容。

首先是基础知识,包括数控技术的概念、数控系统的基本原理与实现方法,数控机床的基本构成、基础部件与连接等,这部分内容目前统称为数控技术,但笔者认为这种称呼过于笼统,在数控技术还未广为普及的早期,作为普及数控加工技术的称呼还可以接受,但在当今数控加工技术广为普及的今天,有必要细分,因此,这部分内容称之为数控技术理论或数控技术基础更为贴切。

其次是数控加工应用技术,其目标主要是数控机床的使用,就机械加工而言,其内容包括必须掌握的金属切削原理和刀、夹、量具基本功能,数控加工惯用的刀具结构,数控加工编程代码与编程技能,这部分内容统称为数控加工编程技术。这里主要讨论数控加工编程技能,不同的数控系统,其指令代码(或称指令集)有所差异,甚至相差很大,即使是同一品牌的数控系统,不同的产品系列,其指令也有所差异,因此,使用数控机床加工,首先必须明确所使用数控机床的数控系统是什么,必须先预览随机附带的编程与操作手册,重点注意其与你原先学习和掌握的数控系统的指令差异部分,必要时上机床测试含义,深入体会与掌握。

第三部分内容包括数控机床的设计、调试与维修技术。数控机床的调试多指专业的数控机床生产企业制造数控机床的范畴,其内容包括数控机床机械部分的设计,数控机床控制系统的选型与设置,数控机床的总体调试技术等。数控机床机械部分的设计是在传统机床结构基础上,不断接受数控技术的新技术,摒弃传统机床中与现代数控技术不相符的一些设计技术,如传统机床中典型的复杂齿轮传动与变速技术、复杂的闭式传动链技术等,而转为直接利用现代的伺服控制技术、数字化的位置检测技术,闭环或半闭环的电子控制技术等。可以看到传统机床的齿轮传动技术已逐渐淡出现代的数控机床,并且可以预见不久的将来,目前还广为使用的滚珠—丝杠机械传动也将被现代的直线运动电动机所取代,目前还广为使用的主轴电动机与机床主轴的分离式设计也将广泛地转为电动机与主轴集成一体的电主轴结构模式。现代的数控机床可谓是一个典型的机—电一体化的楷模,其机床制造的装配与调试技术也将是一个机械、电子控制、数控系统的设置等多种技术为一体的综合技术。既然数控机床是一个典型的机—电一体化产品,其维护、保养、维修与个性化设置将与传统的普通机床有所不同,这个过程的技术内容,有些是机床操作者必须掌握的,而有些还是由专业的机床维修人员进行为佳。如数控机床的日常维护与保养则是机床操作者的基本工作。数控机床的维修一般建议由专业人员实施,当然,少量简单的故障,特别是一些简单的报警处理,机床操作者应该会处理。而对于数控系统个性化的设置(主要指数控系统的参数设置),则要区分对待。与加工相关的参数修改,只有机床操作者才会有所需求,但对于涉及数控机床运行的一些参数,一般由专业维修人员设置,新购进的数控机床参数的备份也是机床维护与维修的必备工作,操作者个别参数的修改,应做好记录,必要时可以随时恢复,这是修改数控系统参数的良好习惯。由于数控机床的核心——数控系统多为专业化厂家生产,加之专业知识要求高,数控系统生产厂家的保密与市场垄断意识,导致国内这部分人才较为匮乏,这个问题这里不展开讨论,只能说国人当努力啊!

### 1.1.3 数控加工及其刀具的特点

数控加工与传统加工相比,有其自身特点,因此,数控加工刀具必须适应这些特点与要求。

数控加工具有以下特点:

(1) 自动化程度高 数控机床是由数控程序基于数控系统进行工作,其加工过程中切削参数设定与转换全自动化,包括刀具的选择与更换也大部分自动完成,因此,其加工效率极高。据统计,数控铣床的切削加工时间占总加工时间的70%左右,加工中心可达90%以上,最新的车铣复合数控加工机床的加工效率更高。

(2) 加工精度高 数控机床加工不仅在曲线与曲面加工上的加工精度远高于普通机床加工,即使在普通机床加工工艺适用范围内,数控加工的加工精度仍然高于传统加工。数控加工由于加工过程程序控制的特定性,使其在加工质量的稳定性与加工精度的重复再现性远高于传统加工。

(3) 加工适应性强 数控加工改变了传统加工通过机床专用夹具使工件位置适应刀具位置的特点,转而以刀具位置的变化适应工件表面复杂性的变化,这一点在多轴加工机床上效果更为明显。因此,数控加工不仅可用于批量生产替代传统的专用机床加工,而且还非常适用于单件、小批量生产和新产品试制。其加工过程的机床夹具与切削刀具普遍采用通用性较好的结构型式。

(4) 适应高速加工新技术的要求 高速切削加工技术的出现,对加工机床提出了新的要求,数控机床的电主轴技术,摒弃了传统的齿轮传动,极大地提高了主轴转速,且转速的转换可无级调速、平稳过渡;数控机床的进给轴伺服控制与联动技术,使得进给速度可做得更高、进给速度的转换更为平稳和可控,切削厚度的控制变得更为方便与可靠,这些适用于高速加工的特点是传统加工机床所不可能实现的。

为适应数控加工的特点,数控刀具也必须有其特点,通常可简称为“三高一专”(即高效率、高精度、高可靠性与专用化),具体如下:

(1) 数控刀具必须具有尽可能高的刀具寿命 刀具材料对刀具寿命的影响极大,数控加工普遍采用硬质合金刀具材料,并大量应用表面涂层技术。虽然整体式复杂刀具还广泛应用高速工具钢刀具材料,但随着粉末冶金材料制备技术被大量地用于高速工具钢的改性,近年来整体式硬质合金材料的圆柱立铣刀也大量出现,大大提高了刀具寿命。为适应高速加工的特点,各种新型刀具材料(如PCD、PCBN、陶瓷刀具材料等)也被采用。

(2) 机夹可转位刀具结构成为数控刀具的主流 机夹可转位刀具结构,其刀杆与刀片分开制造,且基本是由专业化刀具厂家生产,其不仅可降低刀具成本,而且使加工精度提高和刀片切削性能稳定,应用机夹可转位刀具,当刀具磨损后,可通过刀片转位迅速地转换新的切削刃,即使全部切削刃磨损后,也可迅速更换新的刀片,转换后的刀位点位置变化极小,基本不需重新对刀,仅需改变刀具的补偿即可,极大地减少了对刀调整时间。数控加工基本不再需要自己刃磨刀具(刀片),即使重磨,也交由刀具制造商进行。

(3) 通用性刀具成为主选刀具 数控加工过程中,加工表面的形状与位置变化较大,加工夹具的通用性要求刀具要适应工件的变化,因此,数控铣刀的切削部分尽可能选用通用的圆柱、球头与圆角(又称圆鼻)形状,数控车刀很少采用成形切削刃刀具,基本为单尖的刀头,通过轨迹控制适应曲面车削加工。复合式刀具结构应用不多。

(4) 专业化生产 专业化刀具生产,符合现代制造社会化协作大生产的特点,其刀具研制针对性更强,并可极大满足市场的需求,保证刀具加工质量,降低加工成本,同时,刀具工作的可靠性也能得到保证。刀具专业化生产的特点,使得数控刀具准备阶段由自制、自己刃磨转变为选型与外购为主,基本不重磨的特点。这就要求数控加工从业人员要更加关注刀具市场的各种信息,如主流的刀具生产商有哪些,各有什么性能与价格优势,当地市场是否可以方便购得,经常与刀具供应商保持联系与信息的畅通,及时获取最新的刀具产品样本等。

刀具的专业化生产,催生了专用数控刀具及其相关技术的出现,各种适用于数控加工的刀具技术不断出现,如数控机床专用的7:24锥柄刀柄结构与高速切削的刀柄结构(HSK刀柄)、整体与模块化的工具系统、内冷却式机夹刀具、高精度刀具装夹的液压夹柄与热缩夹柄、高速切削加工的刀具动平衡技术、机外刀具预调仪等。

#### 1.1.4 学习数控加工刀具知识的必要性

数控技术的普及性与专业性,要求数控加工技术的从业者必须面对数控刀具存在的现实,数控加工刀具是传统刀具的延伸,传统的刀具知识已远远不能满足数控刀具选用的需要,必须不断接受和更新观念,逐渐了解直至娴熟驾驭数控加工刀具。

(1) 机夹式与整体式刀具结构的选用 数控刀具广泛采用机夹式刀具结构,且机夹式结构方案较多,如何选用?机夹式刀具结构的应用要求刀片供应可靠,因此刀片供应是否当地化必须作为一个先决条件。数控加工整体式刀具结构并未摒弃,也不可能不用,但整体式刀具在材料与结构上有所变化。近年来,用于数控加工的圆柱式立铣刀已大量出现了硬质合金刀具材料,并且端面切削刃出现了延伸至中心的结构,这体现了数控刀具的特点。以上数控加工刀具的特点要求使用者研习刀具原理与结构的基础知识。

(2) 数控刀具材料选择 数控刀具材料以硬质合金为主流,并大量采用刀具表面涂层技术,新型刀具材料也会根据需要进行选用,而新型刀具材料与涂层技术在普通机床加工过程中用得并不多。

(3) 数控刀具的装夹要考虑数控机床主轴锥柄与装刀方式 数控机床刀具的装夹比普通机床刀具装夹的备选方案更多,如何更好的选用,值得研习。

(4) 数控刀具使用的周边技术与装备的选用 数控刀具周边技术相对较多,全部选用显然不现实,如何根据需要选用,最大限度地发挥数控机床的性能,需要多学习数控加工刀具方面的新技术。例如:数控刀具是否动平衡决定了数控加工是否可高速旋转,机外预调仪的使用可进一步提高机床的利用率,刀具液压夹紧与热缩夹紧是否采用,采用哪一种要根据实际需要考虑。

(5) 数控刀具选购性促使使用者必须研习刀具样本 数控刀具的专业化生产,使

得各刀具生产商具有各自的数控刀具结构系列,如何从这些庞大的刀具系列中选择符合自身使用需求的刀具品种,是值得深思的问题。笔者认为刀具样本在专业使用者手中的作用从某种意义上讲高于通用的刀具手册,当然,收集刀具样本别忘了其是否当地化,选得到而买不到也是不现实的。

种种因素说明,从事数控加工的人员必须学习数控刀具的相关知识,实际上,从事数控加工技术至一定阶段必然会产生这种想法,只是由于各种原因未能进行归纳,这也是笔者撰写本书的原因。

## 1.2 必备的切削加工原理与知识

数控加工技术是传统加工技术的延伸与发展,其基本的原理与相关知识还是相通的,为保持数控知识的连贯性与系统性,此处简要介绍金属切削原理与刀具的基础知识,对有一定基础的读者,可作为水平检测与知识总结,若需要深入研究,还是必须阅读相关专业书籍。

### 1.2.1 切削运动与加工表面

#### 1. 基本概念

切削运动的表述多以单刀的外圆车削加工为例,图 1-1 所示为外圆车削加工示意图,工件的旋转运动和刀具的进给运动共同作用完成了外圆表面的车削加工。

基本的切削运动按其作用不同可分为以下两种:

(1) 主运动 使工件与刀具产生相对运动以进行切削的最基本的运动。主运动的速度最高,功率消耗最大,在切削加工过程中通常只有一个。图 1-1 所示的外圆车削加工过程中的工件旋转(或称主轴旋转)运动是主运动。铣削与钻削加工的刀具旋转运动为主运动(见图 1-3 和图 1-4)。主运动的参数表述会因各种加工方式的需要而有所不同,旋转类的主运动以转速( $r/s$  或  $r/min$ )描述为主,但有时也用到线速度( $m/s$  或  $m/min$ )。主运动除了以旋转运动为主,还可能是直线运动,如刨削加工。

(2) 进给运动 使主运动能够连续切除工件上多余的材料,以便形成工件表面所需的运动。进给运动的速度较低,功耗比主运动小,加工过程中可能不止一个。进给运动的型式可以是直线运动、旋转运动或它们的组合,可以是连续的运动也可以是断续的运动。图 1-1 所示加工外圆柱面的进给运动只有一个直线移动,若加工斜面或曲面时则必须是两个运动的合成运动。进给运动参数的表述主要有以主轴运动转速为参照的转进给( $mm/r$ )和以时间为参照的分进给( $mm/min$ )

切削过程中,工件上通常存在三个动态变化的工件表面,如图 1-1 所示。

(1) 已加工表面 切削后在工件上形成的新表面,随着切削的进行逐渐扩大。

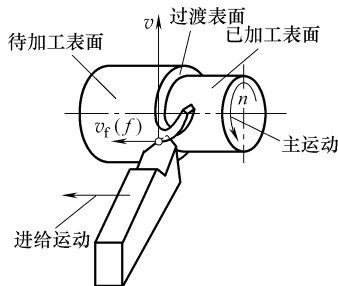


图 1-1 外圆车削加工示意图