

# 数控加工技术

SHUKONG JIAGONG JISHU

主编 李华志

主审 邱士安



电子科技大学出版社

ISBN 7-312-00001-1 000 101 10101 101010100 0 101 0111-14

001 10100001 1000 10

# 数 控 加 工 技 术

主 编 李华志

主 审 邱士安

电子科技大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

数控加工技术 / 李华志主编. —成都: 电子科技

大学出版社, 2013.1

ISBN 978-7-5647-1423-9

I. ①数… II. ①李… III. ①数控机床—加工—中等  
专业学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 001809 号

## 内 容 简 介

本书为职业学校机电类专业规划教材。全书共分 5 章, 分别介绍了数控加工技术的基本知识、数控加工方法、机床夹具设计、数控加工工艺、机械加工质量。各章末配有大量习题, 以巩固所学知识。

本书讲述深入浅出、易学易懂, 便于教学和自学, 适合中等职业学校机电类专业学生用作学习教材, 也可对相关工作和专业人员的参考用书。

## 数控加工技术

主 编 李华志

出 版: 电子科技大学出版社 (成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 罗 雅

责任编辑: 辜守义

主 页: [www.uestcp.com.cn](http://www.uestcp.com.cn)

电子邮箱: [uestcp@uestcp.com.cn](mailto:uestcp@uestcp.com.cn)

发 行: 新华书店经销

印 刷: 河北永清县晔盛亚胶印有限公司

成品尺寸: 170mm×240mm 印张 14 字数 282 千字

版 次: 2013 年 4 月第一版

印 次: 2013 年 4 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-1423-9

定 价: 44.00 元

■ 版权所有 侵权必究 ■

◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83201495。

◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

# 前 言

本书是根据《面向 21 世纪教育振兴行动计划》“职业教育课程改革和教材建设规划”项目成果、中等职业学校重点建设专业教学指导方案的要求而编写的。

本书的内容是根据当代现代制造技术进步的需要和专业的教改要求进行整合的，因此改革力度较大。内容选择上突出实用性、综合性、先进性；在编写方式上，注意简化基本理论的叙述，注重联系生产实际，加强应用性内容的介绍。书中列举了大量在生产实践中的典型零件，通过大量实例进行详细分析，使读者更容易掌握数控加工工艺的编制，以提高解决实际问题的能力。教材内容紧扣数控加工技术的岗位（群）需求，涵盖了数控加工技术基本工种所需的知识、技能和素质。本书的知识在生产过程中应用广泛，与学生岗位能力培养紧密相关。

本书依据中等职业教育的培养目标、教学要求和教育特点，以数控加工工艺为主线，从生产实际出发，将切削加工基本理论和知识，常用的数控加工方法，常用的刀具、夹具，常规的机械和数控加工工艺的基本知识以及机械加工质量分析等知识融为一体；注重理论知识的应用和实践能力的培养，以适应应用型人才的培养需求。教材内容丰富，实用性强，各章均附有习题，供教学参考。

全书由成都电子机械高等专科学校李华志编写、统稿和定稿，并由该校电气工程系邱士安教授主审。王付军同志为教材的文字及图形处理做了大量的工作，笔者在此表示感谢。

为了方便教师教学，我们免费为使用本套教材的师生提供了如下电子教学参考资料包：

- ◆ PowerPoint 多媒体课件；
- ◆ 习题参考答案；
- ◆ 教材中的程序源代码；
- ◆ 教材中涉及的实例制作的各类素材。

有需要的教师可以登录教学支持网站免费下载。在教材使用中有什么意见或建议也可以直接和我们联系，电子邮件地址：[scqcmh@163.com](mailto:scqcmh@163.com)。

由于编者水平有限，加上时间仓促，错误与不足之处在所难免，敬请批评指正。

编 者

# 目 录

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 绪论.....               | 1  |
| 一、机械制造业的发展概况.....     | 1  |
| 二、数控加工技术的现状与发展趋势..... | 4  |
| 第1章 数控加工基本知识.....     | 8  |
| 【学习目标】.....           | 8  |
| 1.1 切削运动和切削用量.....    | 8  |
| 1.1.1 切削运动.....       | 8  |
| 1.1.2 切削表面.....       | 9  |
| 1.1.3 切削用量.....       | 9  |
| 1.2 刀具切削部分的基本定义.....  | 10 |
| 1.2.1 刀具切削部分的组成.....  | 11 |
| 1.2.2 刀具的静止角度参考系..... | 11 |
| 1.2.3 刀具的工作角度.....    | 13 |
| 1.3 切削层参数.....        | 15 |
| 1.3.1 车削切削层参数.....    | 15 |
| 1.3.2 铣削切削层参数.....    | 16 |
| 1.4 刀具材料.....         | 17 |
| 1.4.1 刀具材料的基本要求.....  | 17 |
| 1.4.2 普通刀具材料.....     | 18 |
| 1.4.3 特殊刀具材料.....     | 20 |
| 1.4.4 涂层刀具.....       | 21 |
| 1.5 切削加工中的各种物理现象..... | 22 |
| 1.5.1 切削变形.....       | 22 |
| 1.5.2 切削力与切削功率.....   | 29 |
| 1.5.3 断屑和排屑.....      | 34 |
| 1.6 工件的定位与夹紧.....     | 36 |
| 1.6.1 工件的定位.....      | 36 |
| 1.6.2 工件的夹紧.....      | 49 |
| 【习题】.....             | 56 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第2章 数控加工方法 .....             | 58  |
| 【学习目标】 .....                 | 58  |
| 2.1 车削加工 .....               | 58  |
| 2.1.1 车削加工的特点及工艺范围 .....     | 58  |
| 2.1.2 车削加工的安全生产要求和操作规程 ..... | 59  |
| 2.1.3 车刀 .....               | 60  |
| 2.1.4 车床附件 .....             | 65  |
| 2.1.5 车削加工参数的确定 .....        | 66  |
| 2.1.6 数控车削加工的常用方法 .....      | 68  |
| 2.2 铣削加工 .....               | 73  |
| 2.2.1 铣削加工的特点及工艺范围 .....     | 73  |
| 2.2.2 铣削加工的安全生产要求和操作规程 ..... | 74  |
| 2.2.3 铣刀 .....               | 75  |
| 2.2.4 铣床附件 .....             | 76  |
| 2.2.5 铣削加工方式与铣削加工参数的确定 ..... | 78  |
| 2.2.6 数控铣削加工的常用方法 .....      | 82  |
| 2.3 钻削加工 .....               | 85  |
| 2.3.1 钻削加工的特点及工艺范围 .....     | 85  |
| 2.3.2 钻削加工的安全生产要求和操作规程 ..... | 86  |
| 2.3.3 钻孔刀具及使用特点 .....        | 86  |
| 2.3.4 钻床附件 .....             | 87  |
| 2.3.5 钻削加工参数 .....           | 88  |
| 2.3.6 数控钻削加工的常用方法 .....      | 88  |
| 2.4 磨削加工 .....               | 92  |
| 2.4.1 磨削加工的特点及工艺范围 .....     | 92  |
| 2.4.2 磨削加工的安全生产要求和操作规范 ..... | 93  |
| 2.4.3 砂轮 .....               | 94  |
| 2.4.4 磨削运动及磨削加工参数 .....      | 99  |
| 2.5 特种加工 .....               | 100 |
| 2.5.1 电火花加工 .....            | 102 |
| 2.5.2 电火花线切割加工 .....         | 103 |
| 2.5.3 电解加工 .....             | 105 |
| 2.5.4 超声波加工 .....            | 106 |
| 2.5.5 激光加工 .....             | 108 |
| 【习题】 .....                   | 109 |

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 第3章 机床夹具            | 110 |
| 【学习目标】              | 110 |
| 3.1 机床专用夹具的设计       | 110 |
| 3.1.1 机床夹具设计要求      | 110 |
| 3.1.2 机床夹具设计的方法和步骤  | 111 |
| 3.2 数控加工常用夹具        | 112 |
| 3.2.1 组合夹具          | 113 |
| 3.2.2 拼装夹具          | 119 |
| 【习题】                | 125 |
| 第4章 数控加工工艺          | 126 |
| 【学习目标】              | 126 |
| 4.1 数控加工概述          | 126 |
| 4.1.1 数控加工工艺系统的基本组成 | 126 |
| 4.1.2 生产过程与工艺过程     | 128 |
| 4.1.3 数控加工的特点和适用范围  | 129 |
| 4.1.4 数控加工的工艺过程的组成  | 130 |
| 4.2 加工中心刀具          | 132 |
| 4.2.1 数控加工中心刀具的种类   | 132 |
| 4.2.2 数控加工中心刀具的选用   | 133 |
| 4.2.3 加工中心刀具系统      | 134 |
| 4.3 数控加工工艺规程制定      | 137 |
| 4.3.1 零件图的审查        | 137 |
| 4.3.2 毛坯的确定         | 138 |
| 4.3.3 定位基准          | 140 |
| 4.3.4 加工余量的确定       | 144 |
| 4.3.5 工序尺寸及其偏差的确定   | 147 |
| 4.3.6 加工工艺路线的制定     | 157 |
| 4.3.7 机床的选择         | 167 |
| 4.3.8 工艺装备的选择       | 168 |
| 4.3.9 确定切削用量        | 168 |
| 4.3.10 工艺规程         | 169 |
| 4.4 机械制造自动化的发展      | 183 |
| 4.4.1 数控加工的发展方向     | 183 |
| 4.4.2 柔性制造          | 183 |

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 4.4.3 计算机集成制造系统 CIMS .....      | 185 |
| 4.5 成组技术与计算机辅助工艺设计 (CAPP) ..... | 187 |
| 4.5.1 成组技术 .....                | 187 |
| 4.5.2 计算机辅助工艺设计 (CAPP) .....    | 191 |
| 【习题】 .....                      | 192 |
| 第 5 章 机械加工质量 .....              | 194 |
| 【学习目标】 .....                    | 194 |
| 5.1 机械加工精度 .....                | 194 |
| 5.1.1 加工精度的概念 .....             | 194 |
| 5.1.2 机械加工精度获得的方法 .....         | 195 |
| 5.1.3 影响加工精度的因素 .....           | 199 |
| 5.1.4 加工误差统计分析方法 .....          | 203 |
| 5.1.5 提高加工精度的工艺措施 .....         | 206 |
| 5.2 机械加工表面质量 .....              | 207 |
| 5.2.1 机械加工表面质量的含义 .....         | 207 |
| 5.2.2 加工表面质量对零件使用性能的影响 .....    | 209 |
| 5.2.3 提高机械加工表面质量的措施 .....       | 211 |
| 【习题】 .....                      | 214 |
| 参考文献 .....                      | 215 |

# 绪 论

## 一、机械制造业的发展概况

机械制造业是国民经济的基础产业，它为国民经济各部门的发展提供所需的机器、仪器、工具等机械装备。据统计，美国 68% 的社会财富来源于制造业，日本国民总产值的 49% 是由制造业提供的，中国的制造业在工业总产值中也占有 40% 以上的比例。可以说，没有发达的制造业，就不可能有国家的繁荣和富强；机械制造业的发展规模和水平，是反映国民经济实力和科学技术水平的重要标志之一。

目前，我国的机械制造业已有了相当的实力，逐步形成了一个具有相当规模和一定技术基础的机械工业体系。改革开放以来，我国制造业充分利用国内国外两方面的技术资源，有计划地推进企业的技术改造，引导企业走依靠科技进步的道路，使制造技术、产品质量和水平及经济效益发生了显著变化，为繁荣国内市场、扩大出口创汇、推动国民经济的发展做出了很大贡献。

我国的机械制造业虽已取得了很大成绩，但与工业发达国家相比，无论在生产能力、技术水平、管理水平和劳动生产率等方面都还有很大的差距。这些问题的主要原因在于机械制造技术水平的落后。因此，大力发展制造技术，已成为机械工业的当务之急。

随着科学技术的发展，尤其是计算机技术的发展，促使常规机械制造技术与精密检测技术、数控技术等相互结合。机械产品的结构越来越合理，其性能、精度和效率日趋提高，更新换代频繁，生产类型由大批大量生产向多品种小批量生产变化。这些变化对机械制造技术提出了更高的要求，使机械制造技术不断向着高柔性、高度自动化、高精度和高速高效率的趋势发展。

进入 21 世纪以来，世界机械制造业进入前所未有的高速发展阶段，以信息技术为代表的现代科学技术的发展对装备制造业提出了更高、更新的要求，更加体现了机械制造业作为高新技术产业化载体在推动整个社会技术进步和产业升级中不可替代的基础作用。作为国民经济增长和技术升级的原动力，机械工业将伴随高新技术和新兴产业的发展而发展，并充分体现先进制造技术向柔性化、敏捷化、智能化和信息化方向发展的总趋势。

### （1）柔性化

使工艺装备与工艺路线能适应于生产各种产品的需要，能适用于迅速更换工艺、

更换产品的需要。

## (2) 灵捷化

使生产推向市场准备时间缩为最短,使机械制造厂机制能灵活转向。

## (3) 智能化

柔性自动化的重要组成部分,它是柔性自动化的新发展和延伸。人类不仅要摆脱繁重的体力劳动,而且要从繁琐的计算、分析等脑力劳动中解放出来,以便有更多的精力从事高层次的创造性劳动,智能化促进柔性化,它使生产系统具有更完善的判断与适应能力。

21 世纪初,产品的更新换代不断加快,各种各样的需求不断增加。据美国、日本和欧洲等发达国家的统计表明,1975~1995 年机械零件的种类增加了 40%~50%,而 75%~85%的工作人员不直接与材料打交道,80%~88%的活动不直接增加产品附加值,产品工艺过程组织管理日益复杂化。设计、工艺准备等工作约占去为完成用户订货总时间的 60%以上。另一方面,在激烈的市场竞争中,供货期与产品质量往往起着比价格更为重要的作用。时间就是金钱,时间抢先就能赢得竞争的主动权。灵捷化已是摆在机械制造业面前的头等重大课题。在技术上要实现柔性化,在生产组织上要实现变革。这些都是机械制造企业刻不容缓的大事。

## (4) 信息化

机械制造业将不再是由物质和能量借助于信息的力量生产出价值,而是由信息借助于物质和能量的力量生产出价值。因此,信息产业和智力产业将成为社会的主导产业。机械制造也将是由信息主导的,并采用先进生产模式、先进制造系统、先进制造技术和先进组织管理方式的全新的机械制造业。

和其他行业相比,当前机械制造业的发展具有以下几大特征:

### (1) 地位基础化

发达国家重视机械制造业的发展,不仅在于其在本国工业中所占比重、积累、就业、贡献均占前列,更在于机械制造业为新技术、新产品的开发和生产提供了重要的物质基础,即使是迈进“信息化社会”的工业化国家,也无不高度重视机械制造业的发展。

20 世纪 80 年代,美国由于缺乏对制造科学的重视,使他们的许多产品缺乏竞争力。为此,美国政府于 1990 年、1993 年和 1997 年分别实施了“先进技术计划”、“先进制造技术计划”和“下一代制造行动框架”,以推动美国机械制造业的进一步发展。德国制造业在 90 年代中期也出现了竞争力明显下滑的趋势,德国政府于 1995 年提出了实施“2000 年生产计划”以推动信息技术促进制造业的现代化和提高制造领域的研究水平;2002 年又分别推出了“IT2006 研究计划”和“光学技术—德国制造”计划,投资 30 多亿欧元,研究电子制造技术和设备、新型电路和元件、芯片系统以及下一代光学系统。日本早在 1989 年就发起过“智能制造系统”计划,研究开

发全球化制造、下一代制造系统、全能制造系统等技术；1995 年日本通产省发起旨在推动工业基础研究的“新兴工业创新型技术研究开发促进计划”；2004 年又启动了“新产业创造战略”，为制造业寻找未来战略产业。这已引起美国、欧洲、日本在机械制造技术上新一轮的竞争。

## （2）产品高技术化

信息、生物、纳米、新能源和新材料等高新技术的迅猛发展，传统制造技术与高新技术的相互融合，对机械制造业的发展起到了推动、提升和改造的作用，导致了机械制造业传统生产方式的变革，并引发出精益生产、敏捷制造、虚拟企业等新的生产方式。随着信息装备技术、工业自动化技术、数控加工技术、机器人技术、先进的发电和输配电技术、电力电子技术、新型材料技术和新型生物、环保装备技术等当代高新技术成果在机械制造业中的广泛应用，使机械产品不断高技术化，其高新技术含量已成为市场竞争取胜的关键。

## （3）多方位全球化

近年来，由于高科技的重大突破，尤其是信息技术的飞速发展，世界制造业发生了重大变化，最突出的特征是制造业全球化趋势加强，制造企业竞争在全球多方位展开。制造业多方位全球化主要包括产品制造的跨国化迅猛发展；价值链中与制造紧密相连的各个环节朝着全球化方向迈进；制造业企业的跨国并购、重组和整合；制造资源在世界范围内的调剂、共享和优化配置；跨国界信息基础设施的建设和维护正日益受到各国政府和企业界的重视等，世界制造业正向生产全球化、销售全球化、融资全球化、服务全球化和研发全球化的方向发展，全球制造体系正在迅速形成等。

## （4）经营规模化

全球化的规模生产已经成为各大跨国公司发展的主流。一方面，规模化生产使得垄断性跨国公司的技术创新和市场主导作用日益增强。例如在汽车产业领域，目前年产超过 400 万辆的企业集团已有 6 家，产量占世界汽车产量的 80% 以上；在电力设备领域，世界前三大公司控制了全球大型电力设备市场的 70%。另一方面，各大跨国公司在不断联合重组，扩张竞争实力的同时，纷纷收缩战线，剥离非主营业务，以精干主业，提高系统成套能力和个性化、多样化市场适应能力。作为规模化生产的前提和条件，生产高水平零部件和配套产品的“中场产业”快速发展，社会化生产服务体系不断完善，产业的国际化步伐不断加快。

## （5）结构调整深化

经过多年的经济转型和产业升级，发达国家逐渐加大了产业转移的力度。发达国家逐渐着力于研发和品牌营销，控制核心技术和经营技巧，而把加工制造环节转移出去，机械产品中附加值低的产品被安排到有市场潜在需求的发展中国家生产。

而发展中国家则在全球产业链和价值链中,寻求自己的发展空间,明确自己的发展定位,承接某种产业环节转移,着力于加工制造环节。如耐克公司是一个典型的微观案例,它将掌握的产品设计、关键技术,授权给越南、中国等国外生产厂商按其产品规格、技术标准生产产品,自己则在全球建立营销网络,进行产品的广告宣传与销售及提供售后服务。

为适应市场需求的变化,各大生产商纷纷采取专业化生产,“单品种,大批量”已成为很多世界 500 强企业生产方式的新特色。同时,以生产者为主导的生产方式逐步向以消费者为主导的定制生产方式转变。

#### (6) 跨国并购加剧化

现代并购不再一味地强调对抗竞争,强强联合成为企业获得竞争优势的主要手段,这是机械制造业全球化过程中大公司谋求生存发展的一大特点。日趋饱和的市场、日渐激烈的市场竞争和投资建厂的风险增大,也使得更多的企业开始采用联合并购的手段。在建厂的前提下,优化企业产品结构,以达到提高生产能力、扩大市场份额,获取规模效益的目的。以高技术为内涵的行业来自技术创新的威胁,使跨国公司走上了联合之路,以形成强大的技术创新能力。机械制造业大企业间的战略并购,导致了机械工业资源的重新配置,使得世界机械工业的竞争格局出现了协作型的局面。

#### (7) 服务个性化

为适应市场需求的不确定性和个性化的用户要求,先进的制造企业不断吸收各种高新技术和现代管理技术等信息,并将其综合应用于产品设计、生产、管理、销售、使用、服务乃至回收的全过程,以实现优质、高效、低耗、清洁、灵敏及柔性化生产。服务的个性化已成为竞争成败的重要因素。

## 二、数控加工技术的现状与发展趋势

我国目前已能生产 100 多种数控机床,并研制出六轴五联动的数控系统,可应用于更加复杂型面的加工。国产数控机床的分辨率已经提高到 0.001mm。我国生产的几种数控机床已成功地用于日本富士通公司的无人工厂。对齿轮加工、导轨加工和箱体加工三大关键工艺的攻关,正取得显著成效。

进入 20 世纪 90 年代以来,随着国际上计算机技术突飞猛进的发展,数控技术正不断采用计算机、控制理论等领域的最新技术成就,使其朝着高速化、高精化、复合化、智能化、高柔性化及信息网络化等方向发展。整体数控加工技术向 CIMS (计算机集成制造系统) 方向发展。

## 1. 高速切削

受高生产率的驱使，高速化已是现代机床技术发展的重要方向之一。机床高速化既表现在主轴转速上，也表现在工作台快速移动和进给速度的提高，以及刀具交换、托盘交换时间的缩短上，并且具有高加（减）速率。

高速切削机床主轴的高转速减少了切削力，也减小了切削深度，有利于克服机床振动，排屑率大大提高，热量被切屑带走，传入零件中的热量减低，热变形大大减小，提高了加工精度，也改善了加工面粗糙度。因此，经过高速加工的工件一般不需要精加工。当今数控系统的进给率有了大幅度的提高，目前的最高水平是在分辨率为  $1\mu\text{m}$  时，最大快速进给速度可达  $240\text{m/min}$ 。在程序段长度为  $1\text{mm}$  时，其最大进给速度达  $80\text{m/min}$ ，并且具有  $1.5\text{g}$  的加减速率。主轴高速化的手段是采用电主轴（内装式主轴电动机），即主轴电动机的转子轴就是主轴部件，从而可将主轴转速大大提高。目前日本的超高速数控立式铣床，主轴最高转速达  $100\,000\text{r/min}$ ，换刀时间可达  $0.9\text{s}$ （刀到刀）和  $2.8\text{s}$ （切削到切削），工作台（托盘）交换速度为  $6.3\text{s}$ 。

## 2. 高精度加工

高精度加工实际上是高速加工技术和数控机床的广泛应用的必然结果。以前汽车零件的加工精度要求在  $0.01\text{mm}$  数量级上，但随着计算机硬盘、高精度液压轴承等精密零件的增多，精整加工所需精度已提高到  $0.1\mu\text{m}$ ，加工精度进入了亚微米世界。提高数控设备的加工精度，除通过提高机械设备的制造精度和装配精度外，还可通过减小数控系统的控制误差和采用补偿技术来达到。在减小 CNC 系统控制误差方面，通常采用提高数控系统的分辨率、以微小程序段实现连续进给、使 CNC 控制单位精细化、提高位置检测精度以及位置伺服系统采用前馈控制与非线性控制等方法。在采用补偿技术方面，除采用齿隙补偿、丝杆螺距误差补偿和刀具误差补偿等技术外，近年来设备的热变形误差补偿和空间误差综合补偿技术的研究已成为世界范围的研究热点。研究结果表明，综合误差补偿技术的应用可将加工误差减少  $60\%\sim 80\%$ 。

## 3. 复合化加工机床高速化

主要是从提高机床的运行速度来提高机床的加工生产率，而机床的复合化加工则是通过增加机床的功能，减少工件加工过程中的多次装夹、重新定位、对刀等辅助工艺时间，来提高机床利用率的，因此复合化加工是现代机床技术发展的另一重要方面。

复合化加工减少了辅助工序，减少夹具和所需机床数量，因此降低了整体加工和机床维护费用。复合化加工有两重含义：一是工序和工艺的集中，即在一台机床上一次装夹可完成多工种、多工序的任务。例如，数控车床普遍向车削中心发展，加工中心则趋向功能更多，五轴联动向五面加工发展，并增添铰孔、攻丝等功能。

二是指工艺的成套，即企业向着复合型发展，以便为用户提供成套服务。

#### 4. 控制智能化

随着人工智能技术的不断发展，并为满足制造业生产柔性化、制造自动化的发展需求，数控技术智能化程度不断提高，具体表现在以下几个方面：

##### (1) 加工过程自适应控制技术

通过监测加工过程中的刀具磨损、破损、切削力、主轴功率等信息并反馈，利用传统或现代的算法进行调节运算，实时修调加工参数或加工指令，使设备处于最佳运行状态，以提高加工精度和设备运行的安全性，降低工件表面粗糙度值。

##### (2) 加工参数的智能优化与选择

将加工专家或技工的经验、切削加工的一般规律与特殊规律，按人工智能中知识表达的方式建立知识库存入计算机中，以加工工艺参数数据库为支撑，建立专家系统，并通过它提供经过优化的切削参数，使加工系统始终处于最优和最经济的工作状态，从而达到提高编程效率和加工工艺技术水平，缩短生产准备时间的目的。目前已开发出带自学习功能的神经网络电火花加工专家系统。日本大隈公司的 7000 系列数控系统带有人工智能式自动编程功能。

##### (3) 故障自诊断功能

故障诊断专家系统是诊断装置发展的最新动向，其为数控设备提供了一个包括二次监测、故障诊断、安全保障和经济策略等方面在内的智能诊断及维护决策信息集成系统。

采用智能混合技术，可在故障诊断中实现以下功能：故障分类、信号提取与特征提取、故障诊断专家系统、维护管理。

##### (4) 智能化交流伺服驱动装置

目前已开始研究能自动识别负载，并自动调整参数的智能化伺服系统，包括智能主轴交流驱动装置和智能化进给伺服装置。这种驱动装置能自动识别电动机及负载的转动惯量，并自动对控制系统参数进行优化和调整，使驱动系统获得最佳运行。

#### 5. 互联网络化

随着信息技术和数字计算机技术的发展，尤其是计算机网络的发展，世界正在经历着一场深刻的“革命”。在以网络化、数字化为基本特征的时代，网络化、数字化以及新的制造哲理深刻地影响新世纪的制造模式和制造观念。作为制造装备的数控机床也必须适应新制造模式和观念的变化，必须满足网络环境下制造系统集成的要求。网络功能正逐渐成为现代数控机床、数控系统的特征之一。诸如现代数控机床远程故障诊断、远程状态监控、远程加工信息共享、远程操作（危险环境的加工）、远程培训等都是网络功能为基础的。如美国波音公司利用数字文件作为制造载体，首次利用网络功能实现了无图纸制造波音 777 新型客机。

## 6. 计算机集成制造系统 (Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)

近几十年来,特别是近 20 年来,微电子科学与技术、计算机科学与技术、控制科学与技术、信息科学与技术以及系统科学与技术等获得了迅速的发展,它们与机械制造相结合,为机械制造自动化提供了重要的系统理论、方法与实现的技术,使制造系统的各个子系统之间,可以用统一的数据形式、语义定义实现信息传递与信息资源共享,从而取代产品工程蓝图或其他技术文件。经自动化工厂“通信网络”连接的各个子系统,可构成一个有机联系的整体,即自动化工厂。计算机集成制造反映了制造系统的这一新发展。计算机集成制造系统则是技术上的具体实现,它能为现代制造企业追求在激烈变化中、动态市场条件下,具有快速、灵活响应的竞争优势提供所要求的战略性系统技术。

一般认为, CIMS 应由下列六个子系统组成:

- (1) 计算机辅助经营和生产管理系统。
- (2) 计算机辅助产品设计制造等开发工程系统。
- (3) 自动化制造加工系统。
- (4) 计算机辅助储运系统。
- (5) 全厂质量控制系统。
- (6) 数据库与通信系统。

计算机集成制造系统的发展可以实现整个机械制造厂的全盘自动化,成为自动化工厂或无人化工厂,是自动化制造技术的发展方向。

# 第 1 章 数控加工基本知识

## 【学习目标】

1. 掌握金属切削过程的基本概念。
2. 掌握刀具切削部分的基本定义。
3. 掌握切削层参数的概念。
4. 了解刀具材料及选用。
5. 理解切削加工中的各种物理现象，了解切削中各种物理现象对加工质量的影响，掌握其控制的措施。
6. 掌握工件的定位原理，会选用定位元件，分析定位元件所限制的自由度，能分析定位方案的合理性；了解夹紧机构的组成和要求，会选用夹紧机构，会确定夹紧方案，能分析夹紧方案的合理性。

## 1.1 切削运动和切削用量

金属切削加工就是用金属切削刀具切除工件上多余的金属材料，使其形状、尺寸精度及表面质量达到预定要求的一种机械加工方法。在金属切削加工的过程中，刀具和工件必须具有相对运动，这种相对运动就称为切削运动。按切削运动在切削加工中的功用不同，可将其分为主运动、进给运动及合成切削运动。

### 1.1.1 切削运动

#### 1. 主运动

主运动是切除工件上多余金属，形成工件新表面所需的运动，是进行切削的最基本、最主要的运动。一般主运动速度最高，消耗功率最大，机床通常只有一个主运动。如车、镗削加工时工件的回转运动，铣削和钻削加工时刀具的回转运动等都是主运动。

#### 2. 进给运动

进给运动是配合主运动实现依次连续不断地切除多余金属层的刀具与工件之间

的附加相对运动。进给运动与主运动配合即可完成所需的表面几何形状的加工，根据工件表面形状成形的需要，进给运动可以是多个，也可以是一个；可以是连续的，也可以是间歇的。

### 3. 合成运动与合成切削速度

当主运动和进给运动同时进行时，刀具切削刃上某一点相对于工件的运动称为合成切削运动，其大小和方向用合成速度向量  $v_c$  表示， $v_c = v_c + v_f$ ，如图 1-1 所示。

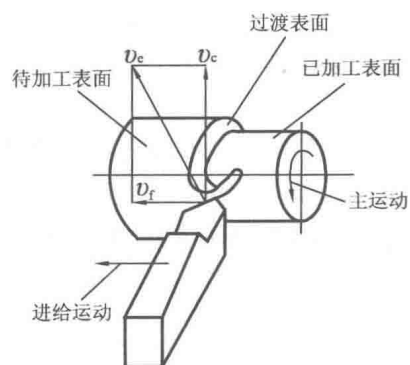


图 1-1 外圆车削的切削运动与加工表面

## 1.1.2 切削表面

切削加工过程是一个动态过程，在切削过程中，工件上通常存在着三个不断变化的切削表面，如图 1-1 所示。

(1) 待加工表面：工件上即将被切去金属层的表面。

(2) 已加工表面：工件上切去一层金属后形成的新的新表面。

(3) 过渡表面：工件正在被刀具切削的表面，介于已加工表面和待加工表面之间。

## 1.1.3 切削用量

### 1. 切削速度 $v_c$ (m/s 或 m/min)

切削刃选定点相对于工件主运动的瞬时线速度称为切削速度。

计算切削速度时，应选取刀刃上速度最高的点进行计算。主运动为旋转运动时，切削速度由下式确定：

$$v_c = \frac{\pi d n}{1000} \quad (1-1)$$

式中， $d$  为工件（或刀具）的最大直径，单位 mm； $n$  为工件（或刀具）的转速，单位 r/s 或 r/min。

### 2. 进给量 $f$

工件或刀具转一周（或每往复一次），两者在进给运动方向上的相对位移量称为进给量，其单位为 mm/r（或 mm/双行程）。对于铣刀、铰刀、拉刀等多齿刀具，还规定每刀齿进给量  $f_z$ ，即多齿刀具每转或每行程中每个刀齿相对于工件在进给运动