

高等农林院校精品课程建设教材

GAO DENG NONG LIN YUAN XIAO JING PIN KE CHENG JIAN SHE JIAO CAI

机械制造

JIXIEZHIZHAOGONGYIJI

工艺基础

刘存祥 康 敏 主编



中国农业大学出版社

ZHONGGUONONGYEDAXUE CHUBANSHE

责任编辑：洪重光
封面设计：郑 川

GAO DENG NONG LIN YUAN XIAO JING PIN KE CHENG JIAN SHE JIAO CAI



工 科 类 教 材

CAD/CAM 技术及应用

普通测量学

机械设计基础

材料力学

工程力学

理论力学

机械原理

机械制图与计算机绘图

机械制图与计算机绘图习题集

工程热力学与传热学

机械制造与工程实践

材料成形工艺基础

机械制造工艺基础

工程材料

土木工程材料

农业装备系统优化（国家十五规划教材）

定价：20.00 元

ISBN 978-7-81117-261-4



9 787811 172614 >

0

机械制造技术基础概述

0.1 机械制造工业的地位与作用

工程技术是人类认识世界和改造世界的重要手段,是将科学、技术等智力成果结合起来,并使它们直接为人类服务的催化剂,在推动经济与社会发展中发挥着极其重要的作用,翻开一部文明史,我们可以总结出人类文明有三大物质支柱:材料、能源和信息。这三大支柱都离不开人类的制造活动。制造是创造物质财富的一种非常重要的生产活动。制造是用物理或化学的方法改变原材料的几何形状、性质和外观,制成零件以及将零件装配成产品的操作过程。通过这样的过程将原材料转变成具有使用价值和更大经济价值的产品。制造是人类社会生存发展的基础,可以形象地讲,人的历程是从制造第一把石刀开始的,制造业是“永远不落的太阳”,是人类财富在 20 世纪空前膨胀的主要贡献者,是现代文明的支柱之一。它是工业的主体,是提供生产工具、生活资料、科技创新、国防装备等的手段以及它们发展进步的依托,是现代化的动力源之一。

机械制造工业是制造业最重要的组成部分之一。它担负着向国民经济的各个部门提供机械装备的任务。机械制造工业的发展水平很大程度上决定了我国现代化的发展速度。

中国是世界上文化、科技发展最早的国家之一。在中国,甚至世界的一些博物馆里都能找到祖先应用各种机械作为生产工具的证据。从纺织机械、木制齿轮轮系到铣削加工方法,中国都对人类文明做出了贡献。然而,后来由于长期的封建统治,中国落后了。资本主义的生产方式使得欧洲一些国家通过财富的积累从资本主义迅速发展 to 具有垄断性质的帝国主义阶段,科学技术的发展减缓了帝国主义灭亡的速度。而中国的机械制造工业则长期处于停滞状态。

新中国 50 多年的发展,已经建立了一个比较完整的机械加工体系,走过了工业发达国家 200 年的历程,成就举世瞩目;但与世界先进水平相比,中国机械制造工业的整体水平和国际竞争能力仍有较大差距。一是具有自主知识产权的高新技术产品少;二是企业对市场需求的快速反应能力不高,我国新产品开发周期平均为 18 个月,日本、美国、德国等工业发达国家新产品开发周期平均为 4~6 个月;三是制造业的人均生产率比较低,仅为美国的 1/25,日本的 1/26,德国的 1/20。

当前,全球经济正处于一个根本性的变革时期,人类社会正在由工业经济时代步入知识经济时代,在以高科技产业为主要支柱,以智力资源为主要依托的知识经济条件下,制造业正在发生革命性的变化,制造技术正在发生质的飞跃。没有先进的制造业,无论哪一个产业都将失去存在和发展的条件,世界各国经济发展的历史也证明了这一点。20 世纪七八十年代,依靠制造业的迅速发展,日本的经济出现了举世瞩目的腾飞;瑞士经济以制造业为主体,人均产值高达 4 万多美元,居世界第一。美国经济发展的历史教训则是一个反面的典型:20 世纪七八十年代,受“第三次浪潮”的负面影响,制造业在美国曾经一度被忽视,甚至把制造业看成“夕阳

产业”(但制造技术中却有“夕阳技术”,这些技术同信息化大潮格格不入,同高科技发展不相适应,缺乏市场竞争力,甚至可能危及到生态环境),不重视继续投资及用高新技术来改造传统产业,以至使美国的汽车、钢铁、电子等支柱产业不但失去了大部分的国际市场,而且还丢掉了大部分国内的市场份额,造成严重的经济衰退,引起美国国内朝野各界的强烈不满,纷纷要求政府调节经济政策,大力发展先进制造技术。美国制造工程师学会 1993 年撰文呼吁全社会“重新发现制造业”,并用最简单的数字告诉美国人民:美国 1992 年的国民经济总产值和经济活动的一大半是来源于制造业!其后,在美国克林顿总统执政时期,由于大力推动信息产业和传统产业相结合,重振了制造业的雄风,使美国经济连续八年保持高增长率,夺回了失去的国内外市场。

另一个反面的例子是东南亚经济危机。长期以来,东南亚许多国家只注重发展旅游、股票和房地产等第三产业,忽视制造业的发展,动摇了国民经济的根基,出现了典型的“泡沫经济”特征,以至在发生经济危机时,整个国家的经济生活受到了巨大冲击,国民经济几乎滑到崩溃的边缘,而新加坡由于制造业基础较好,东南亚经济危机对它的冲击就小得多。

在信息技术飞速发展的今天,制造业仍然是国民经济的支柱。信息技术是重要的发展手段,制造技术才是创造财富的基础。高新技术的产业化、商品化、国际化推动了制造技术的发展,市场竞争为先进制造技术的普及起了牵引作用。

0.2 我国制造技术与发达国家的差距

我国制造技术与发达国家相比,存在三大差距。

一是制造创新能力不强。航天设备、轨道交通设备、炼油技术设备等以自主创新为主,但水平与国外仍有较大差距;通信、家电、发电设备、船舶、军用飞机、载重汽车及钢铁制造等在经历了引进之后,国内企业自主研发、创新能力有明显提高;轿车、大型乙烯成套设备、计算机系统软件等处于引进技术消化吸收过程,尚未掌握系统设计与核心技术;大型飞机、半导体和集成电路专用设备,光纤制造设备,大型科学仪器及大型医疗设备等要依赖购买国外产品。

二是制造基础薄弱。设计技术、可靠性技术、制造工艺流程、基础材料、基础机械零部件和电子元器件、基础制造装备、仪器仪表及标准体系等发展滞后,制约了制造业的发展。

三是制造技术创新体系尚未形成。绝大多数企业技术开发能力薄弱,尚未成为技术创新的主体;缺乏一支精干、相对稳定的力量从事产业性技术的研究与开发;科技中介服务体系尚不健全,没有充分发挥作用。

当前,大力提升我国制造业的技术创新能力迫在眉睫。

0.3 现代制造业的特征

现代的制造业市场可归纳如下五大特征:第一是买方市场。在制造技术中,伴随着信息技术的发展,一方面是发展了以数控机床为基础的加工自动化技术;另一方面,在加工工艺和加工方法上也发展了许多新工艺、新技术,比较典型的有高速加工技术、精密和超精密加工技术、高能束加工技术(激光、水射流、离子和电子流等)以及虚拟制造技术等。上述先进制造技术的发展改善了产品质量,降低了生产成本,大幅度提高了劳动生产率。这是科学技术与生产力发

展的必然结果。第二是多变性市场。随着商品经济的发展,市场竞争越来越激烈,不确定因素猛增,企业为了生存和发展,为了抢占更大的市场份额,要求加快产品更新换代的速度,加快技术更新,缩短新产品开发周期,紧跟快速的市场变化。第三是国际化市场。市场打破国界,走向区域化,走向国际化,WTO与各种区域经济组织应运而生、而兴,网络技术的发展更进一步加快了国际化市场的形成,使企业致力于自己的核心业务,在世界范围内实现资源优化动态组合与共享,实现优势互补。第四是新兴产品市场。这不仅涉及对传统产品用高新技术加以改造和发展而成的产品,而且更涉及前所未有的新类型的“产品”,从而导致如技术、软件、环保等产业的出现,特别在第三产业中更是如此。第五是虚拟市场。信息化发展在市场上的表现为电子商务,网上的产品广告、商品展示、商品交易、客户关系和代理制等均属于虚拟市场。

与现代的制造业市场相对应,制造业企业将大致呈现如下六大特征:第一是满足“客户化”要求,按需生产,这是最根本的,也是“买方市场”必然导致的结果;第二是对市场的快速反应,对生产的快速重组,从而要求生产模式必须有高度柔性,有足够敏捷性,这是“客户化”必然导致的结果,而信息技术和管理科学为此提供了重要保证;第三是既竞争又合作的参与市场,走向“双赢”,“多赢”,而不一定是“鱼死”或“网破”,或两败俱伤,网络化为提供了更有利的条件;第四是本土化与国际化交互,走向全球化,既竞争又合作,资源互补、技术互补、市场互补;第五是应用虚拟技术,以加快企业有关活动的节奏,提高产品质量,节约成本,及时适应市场变化;第六是以人为本,加强企业人文文化建设,增强企业的凝聚力,这是企业成败的关键之所在。

对于机械制造业,特别是对于装备制造业而言,除了上述六大特征外,还有四大变化:第一是产品本身的变化,质与量均如此。机械产品在性质上不仅取代、加强或延伸人的体力劳动,而且首先由于信息化,还有了一定智能,即信息感知功能、信息处理功能、信息贮存和显示功能以及功能整体的集合。第二是增产方式的变化。过去采用粗放方式增产,现在主要以开发知识资源这种集约方式作为主要的增产方式。计算机集成制造 CIM(computer integrated manufacturing)的采用使得工业产品的生产周期大幅度的降低,自动生产系统可加工多品种,小批量。第三是对产品要求的变化。开始是“物美”、“价廉”,后来加上了“交货期短”、“服务好”,现在还要加上“文化含量高”,产品不仅是一个工业产品,还要经得起“看”与“想”。第四是学科基础的变化。过去制造业的基础在理论上是靠力学,在实践上是凭经验,而现在制造业是以多学科,新成就作为基础,在实践上实现仿真。而且人们正努力将制造技术发展上升为制造科学,以利于制造业进一步高速高效地发展。

0.4 先进制造技术的发展趋势

先进制造技术是制造技术的最新发展,它早已超越了传统的制造技术和工厂与车间的边界,它是包容了市场需要、创新设计、工艺技术、生产过程组织与监控、市场信息反馈在内的工程系统。先进制造技术是以先进制造工艺技术,计算机应用技术为核心的信息技术,设计方法、工艺技术、物流工程及相应的管理工程集成的现代制造工程,是不断更新发展的高技术体系,也就是“先进制造工艺技术”加“信息技术和综合自动化技术”加“先进管理技术”再加上有关的科学技术而交融形成的制造技术。

先进制造技术,特别是先进机械制造技术概括起来有如下 8 个方面的发展趋势和特色:

“数”是核心,“精”是关键,“极”是集点,“自”是条件,“集”是方法,“网”是道路,“智”是前景,“绿”是必然。

“数”是指制造领域的数字化。它包括以设计为中心的数字化设计,以制造为中心的数字化制造,以控制为中心的数字化控制,以管理为中心的数字化管理。

“精”是指加工精度及其发展。20 世纪初,超精密加工的误差是 $10\text{ }\mu\text{m}$,20 世纪七八十年代为 $0.01\text{ }\mu\text{m}$,现在仅为 $0.001\text{ }\mu\text{m}$,即 1 nm 。

“极”就是极端条件,是指生产特需产品的制造技术,必须达到“极”的要求。例如,能在高温、高压、高湿、强冲击、强磁场、强腐蚀等条件下工作,或有高硬度、大弹性等特点,或极大、极小、极厚、极薄,奇形怪状的产品等,都属于特需产品。“微机电系统”就是其中之一。

“自”就是自动化。它是减轻、强化、延伸,取代人的有关劳动的技术或手段。自动化总是伴随有关机械或工具来实现的。自动化已成为先进制造技术发展的前提条件。机器人技术也是一种综合计算机、控制论、机械学、信息和传感器技术,人工智能、仿生学等多学科而集成的一项高新技术,机器人应用情况是一个国家工业自动化水平的重要标志。

“集”就是集成化。一是集成电路制造在高纯度的硅薄片上,在 $0.414\text{ in}\times 0.649\text{ in}$ ($10.516\text{ mm}\times 16.485\text{ mm}$)的面积上包含了百万个晶体管,它的制作处理序列是所有制造产品中最复杂的;二是具有代表性的是现代集成制造系统 CIMS (contemporary integrated manufacturing systems),它是计算机集成制造系统的扩展,它包括信息集成、过程集成、企业集成。

还有一点很值得注意,即由生物技术与制造技术集结而成“微制造的生物方法”或所谓的“生物制造”,即依据生物是由内部生长而成的“器件”,而非一般制造技术那样由外加作用以增减材料而成的“器件”。例如,“胆结石”就是可以利用“生物制造”生产的一种工程材料。可以预期,这是一个崭新充满着活力的领域,其作用难以估量,其道路也将漫长。

“网”就是网络化。制造技术的网络化是先进制造技术发展的必由之路。制造业在市场竞争中,面临多方的压力:采购成本不断提高,产品更新速度加快,市场需求不断变化,全球化所带来的冲击日益加强等等。企业要避免这一系列问题,就必须在生产组织上实行某种深刻的变革,抛弃传统的“小而全”和“大而全”的“夕阳技术”,利用网络,在产品的设计、制造与生产管理等活动乃至企业整个业务流程中高效利用有关制造资源。企业要把力量集中在自己最有竞争力的核心业务上。科学技术特别是计算机技术、网络技术的发展,使这种变革的需要成为可能。

制造技术的网络化会导致一种新的制造模式,即虚拟制造组织。这是由地理上异地分布的、组织上平等独立的多个企业,在谈判协商的基础上,建立密切合作关系,形成动态的“虚拟企业”或动态的“企业联盟”。此时,各企业致力于自己的核心业务,实现优势互补,实现资源优化动态组合与共享。

“智”就是智能化。制造技术的智能化是制造技术发展的前景。近 20 年来,制造系统正在由原先的能量驱动型转变为信息驱动型,这就要求制造系统不但要具备柔性,而且还要表现出某种智能,以便应对大量复杂信息的处理、瞬息万变的市场需求和激烈竞争的复杂环境。因此智能制造越来越受到重视。

“绿”就是绿色制造。人类必须从各方面促使自身的发展与自然界和谐一致。制造业的产品从构思开始,到设计、制造、销售、使用与维修,直到回收、再制造等各个阶段都必须充分顾及

环境保护与改善。

显然,上面所述的数、精、极、自、集、网、智、绿,这8个方面,彼此渗透、相互依赖、相互促进,形成一个整体。同时,8个方面一定要扎根在“机械”和“制造”这个基础上,也就是说,要研究与发展机械本身与制造本身的理论与机理。8个方面的技术要以此理论与机理为基础来研究、开发、发展,要与此基础相辅相成,最终服务于制造业的发展。

在科学技术高度发达和高速发展的今天,先进制造技术如同一切先进技术一样,是不可能不以人为本的,不能见物不见人,见技术不见文化、不见精神。离开人,离开人的精神,先进技术就失去了灵魂,甚至造祸于民。我们的学生要把自己培养成合乎大潮流,合乎我国国情的制造业人才。把制造技术用于祖国的发展、民族的复兴,使中华民族屹立于世界民族之林。

思考题

1. 机械制造业在国民经济中占有怎样的位置?为什么说机械制造业是国民经济的基础?
2. 我国制造技术与发达国家相比存在的差距是什么?
3. 现代制造业市场的特征有哪些?现代制造企业呈现何种特征?
4. 先进制造技术有哪几个方面的发展趋势和特色?

1 切削加工基础知识

1.1 切削加工概述

切削加工是利用切削工具从工件上切除多余材料,使工件获得符合图样要求的形状、尺寸以及表面质量的加工方法。

1.1.1 切削加工的分类

切削加工分为钳工和机械加工两类。

钳工是工人手持工具对各种工件所进行的切削加工。其主要工作有锯切、钻孔、扩孔、铰孔、攻螺纹、套螺纹、锉削、刮削和研磨等。工件的划线、机器的装配以及设备的修理也属钳工的范围。

机械加工是利用机械力对各种工件所进行的切削加工。一般是通过工人操纵机床来完成。常见的机械加工有车削、钻削、镗削、刨削、拉削、铣削、磨削、珩磨、超精加工和抛光等。

1.1.2 零件表面的分类与成形原理

1. 几何表面的形成原理 机器零件的形状虽然多种多样,但分析起来,主要由外圆面、内圆面(孔)、平面和成形面等表面组成。因此,只要能加工出这几种典型表面,就基本上能完成所有机器零件的加工。而这些典型表面可以看作是一条母线沿着一条导线运动而形成的,如图 1-1 所示。

- 外圆面和内圆面(孔)是以某一直线为母线、以圆为导线作旋转运动所形成的表面。
- 平面是以一直线为母线、以另一直线为导线作平移运动所形成的表面。

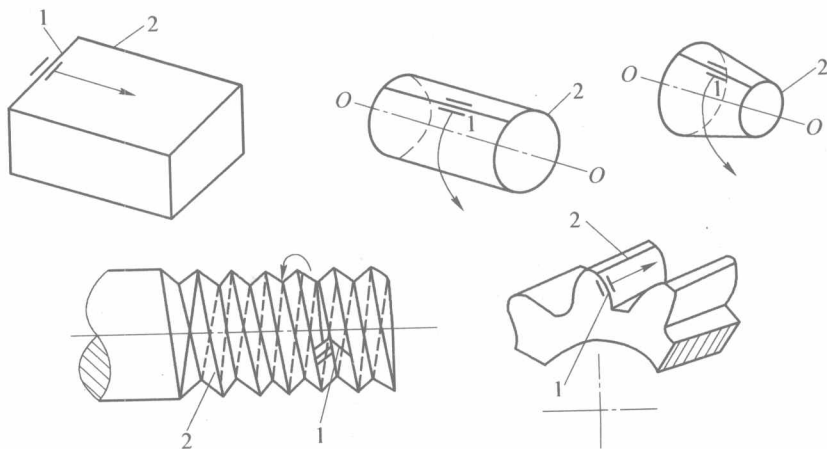


图 1-1 零件表面的成形

1. 母线; 2. 导线。

- 成形面可认为是以曲线为母线、以圆或直线为导线作旋转或平移运动所形成的表面。
- 母线和导线统称为发生线。

在机床上加工工件时,是由一定形状的切削刃和被加工表面之间的一定相对运动来得到所需的母线和导线,形成被加工表面形状的。

2. 发生线的形成 工件加工表面的发生线是通过刀具切削刃与工件接触并产生相对运动而形成的。有如下 4 种方法:

(1) 轨迹法(描述法) 如图 1-2a,发生线 1(直导线)是由点切削刃作直线运动轨迹形成的。因此为了形成发生线 1,刀具和工件之间需要一个相对运动。

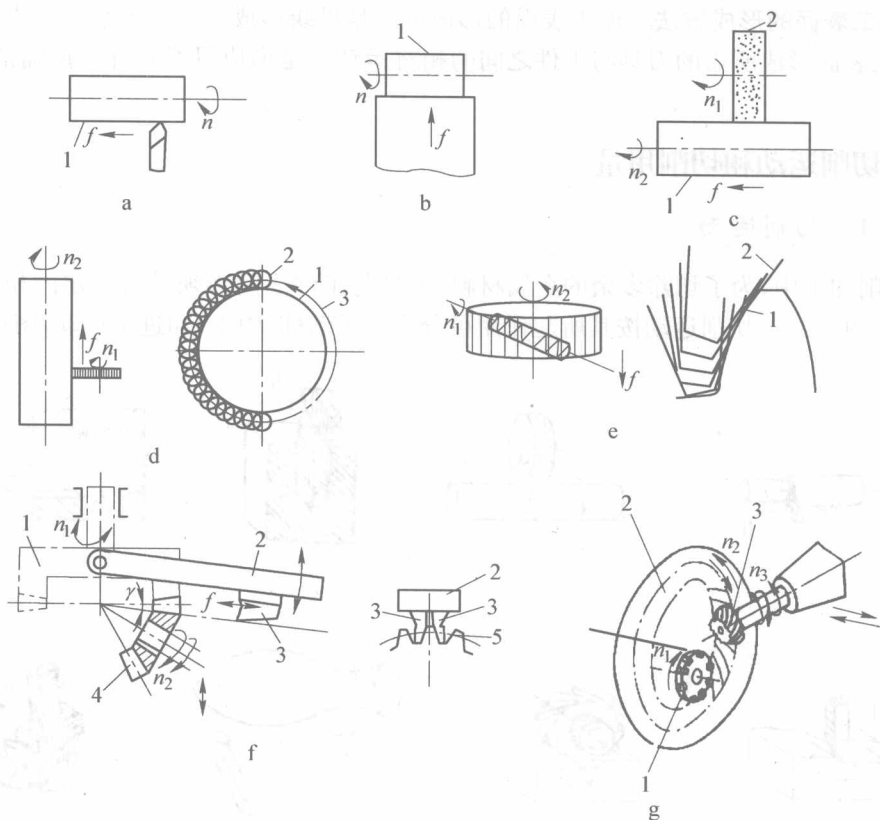


图 1-2 加工方法与形状创成运动的关系

- a. 点刃车刀车外圆柱面; b. 宽刃车刀车外圆柱面; c. 砂轮磨外圆柱面;
d. 盘铣刀铣外圆柱面; e. 滚齿加工; f. 刨直齿锥齿轮; g. 铣弧齿锥齿轮。

(2) 成型法(仿形法) 如图 1-2b,刀具是线切削刃,与工件发生线 1(直导线)吻合,因此发生线 1 由刀具实现,发生线 1 的形成不需要刀具与工件的相对运动。

(3) 相切法(旋切法) 如图 1-2c、d,当砂轮或圆柱铣刀旋转时,磨粒或切削刃形成回转面,面上任一点与工件接触均可发生切削,故称为面切削刃。发生线 1(圆母线)是面切削刃 2 运动轨迹的切线。因此为了形成发生线 1,刀具和工件之间需要两个运动:一个是刀具的旋转,形成面切削刃 2;另一个是刀具回转中心与工件之间按圆轨迹 3 进行相对运动。

(4) 展成法(范成法、滚切法) 如图 1-2e 所示,发生线 1(渐开线母线)是由切削刃 2(线切

削刃)在刀具与工件作展成运动时所形成的一系列轨迹线的包络线。这时刀具与工件之间需要一个相对运动(简称范成运动)。图 1-2f 为齿线是直线的锥齿轮刨齿加工,刨刀 2(由两个刀片 3 组成)的直线运动 f 创成假想齿轮的一个齿线为直线的齿廓面(面切削刃),刀具齿廓面与工件接触创成直线母线,假想齿轮摇架 1 的回转运动 n_1 与工件 4 的回转运动 n_2 组成展成运动,创成渐开线导线。图 1-2g 为齿线是圆弧线的弧齿锥齿轮铣齿加工,刀盘 1(盘上有内外刀片)的回转运动 n_1 创成假想齿轮的一个齿线是圆弧线的齿廓面(面切削刃),齿廓面与工件接触创成圆弧母线,假想齿轮摇架 2 的回转运动 n_2 与工件 3 的回转运动 n_3 组成展成运动,创成渐开线导线。

3. 加工表面的形成方法 加工表面的形成方法是母线形成方法和导线形成方法的组合。因此,加工表面形成所需的刀具与工件之间的相对运动也是形成母线和导线所需的相对运动的组合。

1.1.3 切削运动和切削用量

1.1.3.1 切削运动

在切削加工中,为了切除多余的金属材料,刀具与工件之间必须具有一定的相对运动,即切削运动(图 1-3)。切削运动按其所起作用可分为主运动(图中 I)和进给运动(图中 II)。

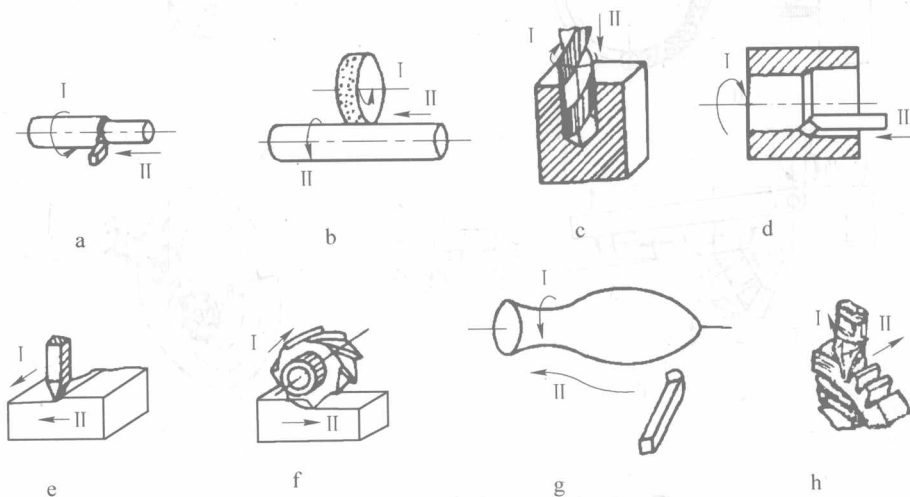


图 1-3 零件不同表面加工时的切削运动

a. 车外圆面; b. 磨外圆面; c. 钻孔; d. 车床上镗孔; e. 刨平面; f. 铣平面; g. 车成形面; h. 铣成形面。

1. 主运动 使刀具和工件之间产生相对运动以进行切削的最主要的运动,称为主运动。主运动的速度最高,消耗功率最大,它可以由工件或刀具来完成。其运动形式可以是旋转运动也可以是直线运动,如图 1-3 中 I 所示。通常每种切削加工方法的主运动只有一个。

2. 进给运动 使刀具与工件之间产生附加的相对运动,与主运动配合,不断地将多余金属层投入切削,以保证切削连续进行的运动,称为进给运动。进给运动速度较低,消耗的功率比主运动要小。进给运动可以由工件或刀具来完成。其运动形式可以是旋转运动也可以是直线运动或两者的组合,可以是连续的或间歇的。每种切削加工方法的进给运动可以是一个或

几个,如图 1-3 中 II 所示。

切削加工时,实际的切削运动是由同时存在的主运动和进给运动形成的合成运动,其方向是由合成切削速度角 η 确定的(图 1-4)。

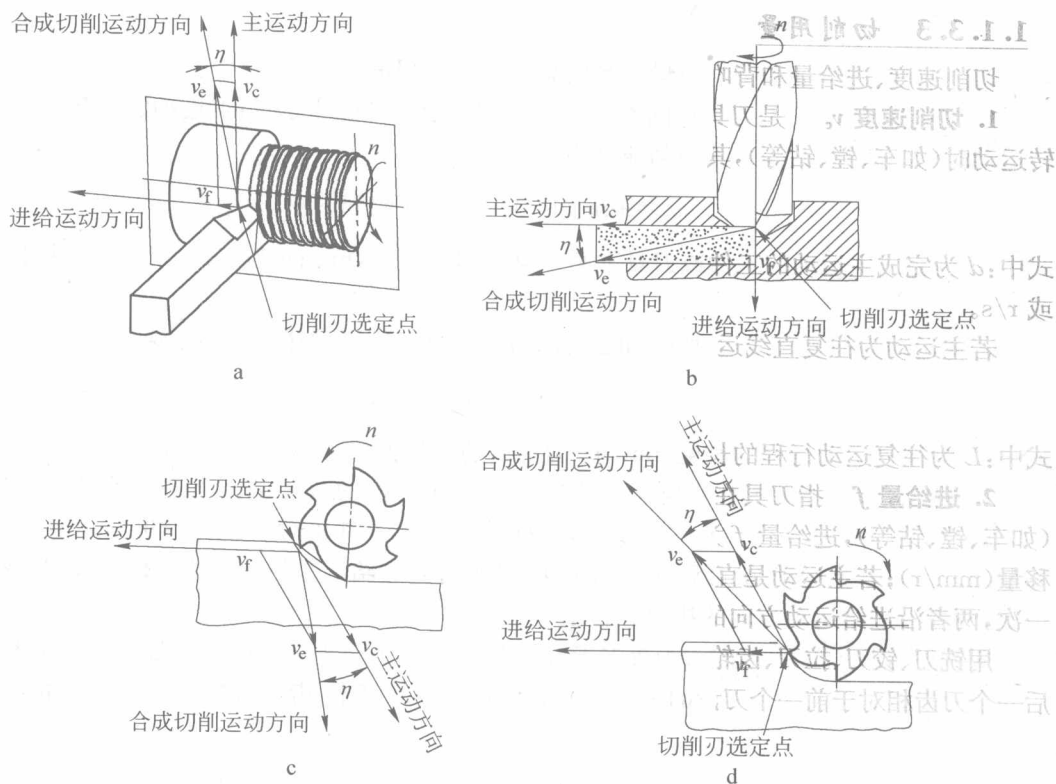


图 1-4 切削运动

a. 车削; b. 钻削; c. 逆铣; d. 顺铣。

1.1.3.2 工件上的加工表面

在切削过程中,通常工件上存在三个不断变化的表面(图 1-5):

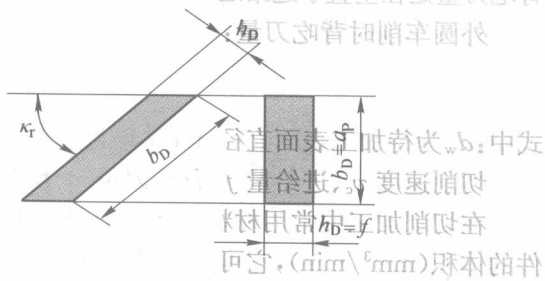
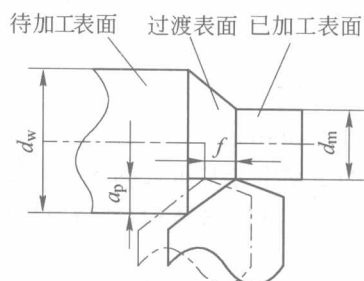


图 1-5 外圆纵车时切削层截面参数

- **待加工表面** 是工件上即将被切去多余金属层的表面;
- **已加工表面** 是工件上经过刀具切削后形成的新表面;
- **过渡表面** (亦称加工表面) 是工件上正在被刀具切削刃切削的表面。

1.1.3.3 切削用量

切削速度、进给量和背吃刀量三者的总称为切削用量。

1. 切削速度 v_c 是刀具切削刃上选定点相对于工件的主运动的线速度。若主运动为旋转运动时(如车、镗、钻等),其切削速度为

$$v_c = \pi d n / 1000 (\text{m/min 或 m/s}) \quad (1-1)$$

式中: d 为完成主运动的工件或刀具上某一点的回转直径, mm; n 为工件或刀具的转速, r/min 或 r/s。

若主运动为往复直线运动时(如刨、插、拉削),则以其平均速度为切削速度,即

$$v_c = 2 L n_r / 1000 (\text{m/min}) \quad (1-2)$$

式中: L 为往复运动行程的长度, mm; n_r 为主运动每分钟往复次数, str/min。

2. 进给量 f 指刀具在进给运动方向上相对于工件的位移量。当主运动是回转运动时(如车、镗、钻等),进给量 f 为工件或刀具每回转一周,刀具相对于工件沿进给运动方向的位移量(mm/r);若主运动是直线运动时(如刨、插削等),进给量是指刀具或工件每往复直线运动一次,两者沿进给运动方向的相对位移量(mm/str)。

用铣刀、铰刀、拉刀、齿轮滚刀等多齿刀具进行切削,还要规定出每一个刀齿的进给量 f_z 。即后一个刀齿相对于前一个刀齿的进给量。单位是 mm/Z(毫米/齿)。它与进给量 f 间的关系为:

$$f \leq Z f_z \quad (1-3)$$

式中: Z 为刀齿数。

切削加工中,也有用进给速度 v_f 表示进给运动的。进给速度 v_f 指切削刃上选定点相对于工件的进给运动的速度,是单位时间内的进给位移量(mm/min):

$$v_f = f \cdot n = f_z \cdot Z \cdot n \quad (1-4)$$

3. 背吃刀量 a_p 吃刀量有背吃刀量、侧吃刀量和进给吃刀量之分,本书只介绍背吃刀量。背吃刀量是在垂直于进给运动方向上测量的主切削刃切入工件的深度,用 a_p 表示,单位为 mm。

外圆车削时背吃刀量:

$$a_p = (d_w - d_m) / 2 (\text{mm}) \quad (1-5)$$

式中: d_w 为待加工表面直径, mm; d_m 为已加工表面直径, mm。

切削速度 v_c 、进给量 f 、背吃刀量 a_p 是金属切削运动中非常重要的 3 个参数。

在切削加工中常用材料切除率来衡量切削效率。材料切除率 Q ,是指单位时间内切下工件的体积(mm^3/min),它可用下式计算:

$$Q = 1000 v_c \cdot f \cdot a_p \quad (1-6)$$

由上式可见 v_c 、 f 、 a_p 的大小直接影响材料的切除率,因而影响切削加工的生产效率。

1.1.3.4 切削层截面参数

切削层是指在切削过程中,工件上正在被切削刃切削的那层材料,即两个相邻加工表面之间的那层材料。例如纵车削外圆时的切削层,就是工件转1转,主切削刃移动一个进给量 f 所切出的一层金属层(见图1-5)。当 $\kappa'_r=0$ 、 $\lambda_s=0$ 时,切削层的表面形状为一平行四边形。在特殊情况下($\kappa_r=90^\circ$)为矩形(κ_r 、 κ'_r 和 λ_s 的定义见下节)。

通常用通过切削刃上的选定点并垂直于该点切削速度 v_c 的平面内的切削层参数来表示切削层的形状和尺寸。

● **切削层公称横截面积 A_D** 指在给定瞬间,切削层在切削层尺寸平面里的横截面积。由定义知:

$$A_D = h_D \cdot b_D (\text{mm}^2) \quad (1-7)$$

● **切削层公称宽度 b_D** 在给定瞬间,作用主切削刃截形上两个极限点间的距离。在切削层尺寸平面中测量。

$$b_D = a_p / \sin \kappa_r (\text{mm}) \quad (1-8)$$

● **切削层公称厚度 h_D** 在同一瞬间的切削层公称横截面积与其公称宽度之比:

$$h_D = A_D / b_D (\text{mm}) \quad (1-9)$$

上面所计算的均为名义切削面积。实际切削面积等于名义切削面积减去残留面积。

1.2 刀具与刀具切削过程

1.2.1 刀具的几何结构

现在金属切削刀具的种类很多,但是它们参加切削的部分在几何特征上却具有共性。外圆车刀的切削部分可以看作是其他各种刀具切削部分的基本形态;其他各种刀具是在这个基本形态上演变出来的。因此下面以外圆车刀的切削部分为例,给出刀具的几何参数方面的有关定义。

图1-6所示是外圆车刀,其切削部分由下述表面和刀刃组成:

- **前刀面(A_f)** 刀具上切屑沿其流出的表面。
- **主后刀面(A_a)** 刀具上与工件上过过渡表面相对的表面。同前刀面相交形成主切削刃。
- **副后刀面(A'_a)** 刀具上与工件上已加工表面相对的表面。同前刀面相交形成副切削刃。
- **主切削刃(主刀刃)** 前刀面与主后刀面相交而得到的边锋,用来在工件上切出过渡表面。它完成主要的切削工作。

● **副切削刃(副刀刃)** 前刀面与副后刀面相交而得到的边锋,它协同主切削刃完成切削工作,以最终形成工件的已加工表面。

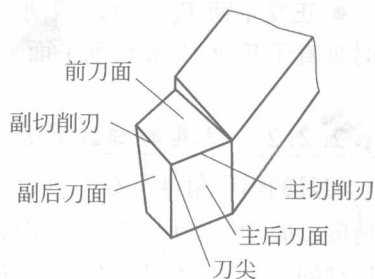


图 1-6 车刀的切削部分

- 过渡刃(刀尖) 主切削刃和副切削刃连接处的一段刀刃,它可以是小的直线段或圆弧。

1.2.2 正交平面参考系

构成刀具角度是确定刀具切削部分几何形状的重要参数。要确定和测量刀具角度,必须建立一定的参考系。

通常用于定义和规定刀具角度的各基准坐标平面,可分别组成不同的参考系:法平面参考系(图 1-7)、背平面与假定工作平面参考系(图 1-8)和正交平面参考系(图 1-9)等。在我国应用最广泛的是正交平面参考系。下面介绍正交平面参考系以及刀具角度。

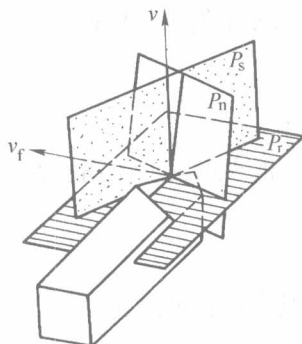


图 1-7 法平面参考系

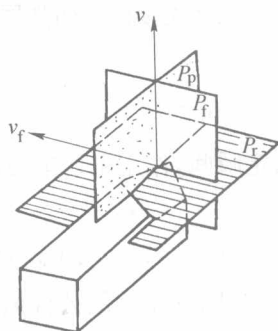


图 1-8 背平面与假定工作平面参考系

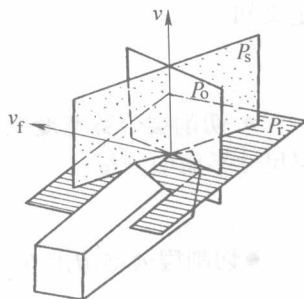


图 1-9 正交平面参考系

1.2.2.1 正交平面参考系

正交平面参考系是由三个相互垂直的参考平面构成(图 1-10):

- 基面 P_r 通过切削刃上选定点与该点切削速度方向相垂直的平面。
- 切削平面 P_s 通过切削刃选定点与切削刃相切并垂直于该点基面 P_r 的平面。它包含了切削速度。
- 正交平面 P_o 通过切削刃上选定点并同时垂直于基面 P_r 和切削平面 P_s 的平面。

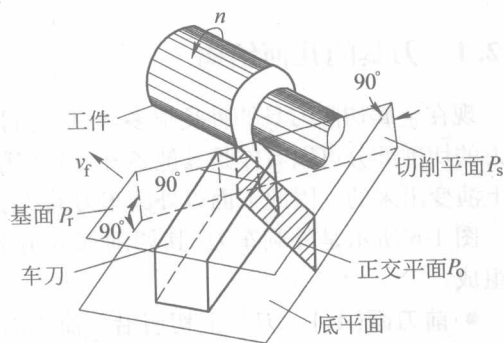


图 1-10 定义刀具角度的正交平面参考系

1.2.2.2 刀具的标注角度

刀具的标注角度是在刀具设计图样上标注的角度。通常是在假定刀尖与工件回转轴线等高、刀杆纵向轴线垂直于进给方向,而且不考虑进给运动的影响等条件下确定的。在正交平面参考系中刀具的标注角度主要有 6 个(图 1-11)。

- 前角 γ 。前刀面与基面之间的夹角,在正交平面内测量,分为正前角、负前角和零值前角,其符号规定如图 1-11 所示。前角愈大,刀刃愈锋利,且影响切削刃的强度、切削力及切削温度等。

- 后角 α 。后刀面与切削平面间的夹角,在正交平面中测量。后角一般为正值。后角主要影响刀具后刀面与工件之间的摩擦,通常配合前角调整切削刃强度和散热条件。

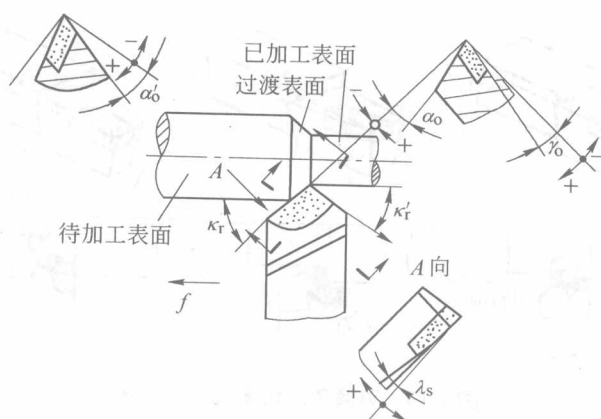


图 1-11 车刀的主要角度

● **主偏角 κ_r** 主切削刃在基面上的投影与进给运动方向之间的夹角,在基面中测量。主偏角主要影响已加工表面残留面积(图 1-12a)、切削层横截面的形状、切削分力的比例、刀头强度以及刀具使用寿命等。

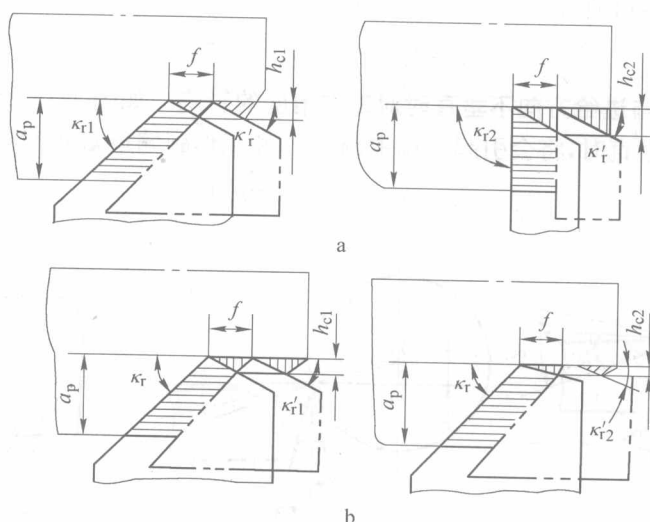


图 1-12 主、副偏角对残留面积的影响

a. 主偏角对残留面积的影响; b. 副偏角对残留面积的影响。

● **副偏角 κ'_r** 副切削刃在基面上的投影与进给运动反方向之间的夹角,在基面中测量。副偏角影响副切削刃与工件已加工表面之间的摩擦、刀尖强度以及已加工表面的粗糙度等(图 1-12b)。

● **刃倾角 λ_s** 主切削刃与基面间的夹角(图 1-11 中 A 向),在主切削平面中测量。如图 1-13 所示,当主切削刃呈水平时, $\lambda_s = 0^\circ$; 刀尖为主切削刃上最低点时, $\lambda_s < 0^\circ$; 刀尖为主切削刃上最高点时, $\lambda_s > 0^\circ$ 。刃倾角主要影响刀头强度以及切屑的流向。

1.2.2.3 刀具工作角度

上面所述的刀具角度,是在假定运动条件和安装条件下刀具的标注角度,如果考虑合成切

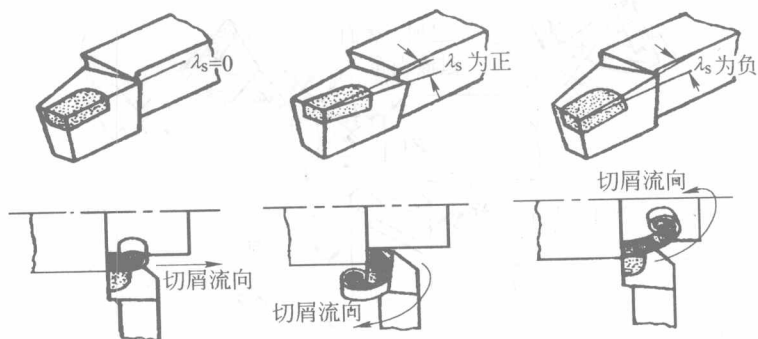


图 1-13 刃倾角对切屑流向的影响

削运动的合成速度方向和实际安装情况,则刀具的参考系将发生变化。按照实际切削工作中的参考系,即刀具工作参考系中所确定的刀具角度称为刀具的工作角度。

1. 刀尖安装高低对工作角度的影响 以车刀车外圆为例,若不考虑进给运动,当刀尖安装得高于或低于工件轴线时,切削平面和基面的位置发生变化,将引起工作前角 γ_{oe} 和工作后角 α_{oe} 的变化,如图 1-14 所示。

$$\gamma_{oe} = \gamma_o \pm \theta; \quad \alpha_{oe} = \alpha_o \mp \theta$$

2. 刀杆中心线与进给方向不垂直时对工作角度的影响 如图 1-15 所示当车刀刀杆的中心线与进给方向不垂直时,将会引起工作主偏角 κ_{re} 和工作副偏角 κ'_{re} 的变化,其工作角度为

$$\kappa_{re} = \kappa_r \pm \theta; \quad \kappa'_{re} = \kappa'_r \mp \theta$$

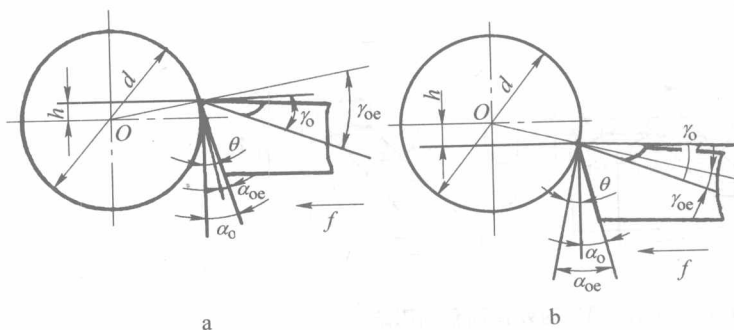


图 1-14 车刀安装高度对工作角度的影响
a. 刀尖高于工件轴线; b. 刀尖低于工件轴线。

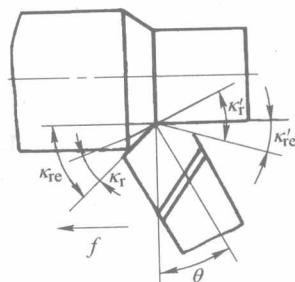


图 1-15 车刀安装偏斜对工作角度的影响
 θ 为切削时刀杆纵向轴线的偏转角。

3. 进给运动对工作角度的影响 车削外圆或车螺纹时,由于进给运动的存在,其过渡表面实际上是一个螺旋面(图 1-16);车端面或切断时,考虑进给运动后,切削刃上选定点相对于工件的运动轨迹是阿基米德螺旋线(图 1-17)。由于考虑了进给运动的影响,使切削速度方向发生变化。因此,实际的切削平面和基面都要偏转一个附加的螺旋升角 μ ,使车刀的工作前角 γ_{oe} 和工作后角 α_{oe} 发生变化。一般车削时的进给量值较小,螺旋角 μ 值很小,仅为 $30' \sim 40'$,它对车刀工作角度影响不大,通常忽略不计。当用较大进给量车端面、切断和车外圆时,或加工

螺纹的导程较大时,则应考虑螺旋升角的影响。

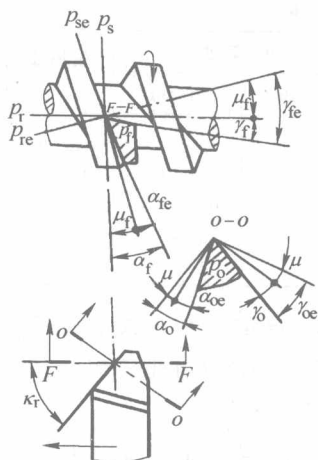


图 1-16 纵向进给对工作角度的影响

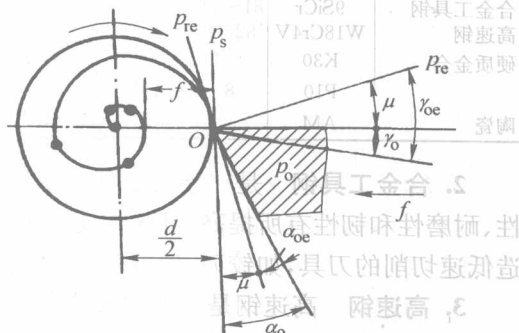


图 1-17 横向进给对工作角度的影响

1.2.3 刀具材料

刀具切削性能主要取决于构成刀具切削部分的材料、几何形状和结构尺寸。刀具材料的性能直接影响刀具使用寿命、生产率、加工质量和加工成本,为此必须合理选择。

1.2.3.1 刀具材料应具备的性能要求

刀具材料是指刀具切削部分的材料。它在切削时承受高温、高压、摩擦、冲击和振动。因此,刀具材料应具备以下基本性能:

- **高的硬度** 刀具材料的硬度必须高于工件材料的硬度,才能进行切削工作。常温时的硬度应在 60 HRC 以上。
- **高的耐磨性** 耐磨性表示刀具抵抗磨损的能力,使刀具维持一定的切削时间。一般刀具材料硬度越高,耐磨性越好。
- **足够的强度和韧性** 以便刀具材料承受切削力不变形,并在承受冲击载荷和振动时不断裂和崩刃。
- **高的耐热性(热硬性或红硬性)** 刀具材料应具有在高温下保持硬度、耐磨性、强度和韧性的能力,并有良好的抗扩散、抗氧化的能力。
- **良好的工艺性能和经济性** 要求刀具材料具有良好的锻造性能、热处理性能、焊接性能、磨削加工性能等。刀具材料应尽可能是我国资源丰富、价格低廉的品种,以利于推广应用。

1.2.3.2 常用刀具材料

常用的刀具材料有碳素工具钢、合金工具钢、高速钢、硬质合金、陶瓷、立方氮化硼、金刚石等。目前机械加工中用得最多的是高速钢和硬质合金。常用刀具材料的主要性能见表 1-1。

1. 碳素工具钢 碳素工具钢是含碳量较高的优质钢,碳的质量分数为 0.7%~1.2%。淬火后硬度达 HRC 61~65,但它的耐热性较差,允许切削速度低。目前仅用于低速手动工具,