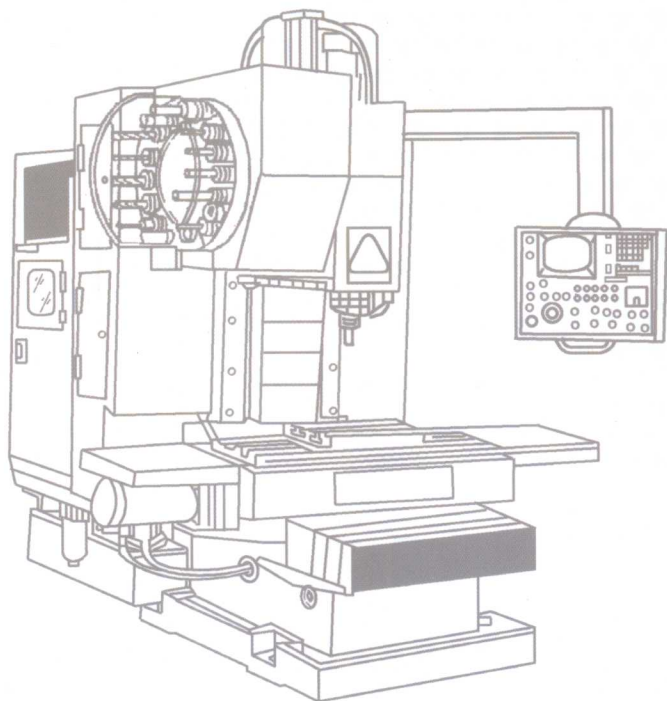




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机械制造工程学

李伟 谭豫之 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机械制造工程学

主 编 李 伟 谭豫之
副主编 张 康 刘景云
参 编 朱红梅 张 宾 张俊雄
主 审 王先逵 于骏一



机械工业出版社

本教材围绕机械制造工程各主题,系统构筑机械制造基础知识体系结构,从金属切削基本规律的认识到工艺系统的构建以及典型零件加工,最后介绍了特种加工与先进制造技术。全书共分9章,主要内容包括:金属切削加工的基础知识、金属切削过程的基本规律、机床与刀具、机械加工精度、机械加工表面质量、机械加工工艺规程的制订、机器装配工艺、工件的安装与夹具、特种加工与先进制造技术。

本书可作为机械工程及自动化专业主干技术基础课程教材,也可作为机械工程类研究生辅助课程教材,也可供制造企业工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造工程学/李伟,谭豫之主编. —北京:机械工业出版社,
2009.4

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-26515-3

I. 机… II. ①李…②谭… III. 机械制造工艺-高等学校-教材
IV. TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第041080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:倪少秋 责任编辑:章承林

版式设计:霍永明 责任校对:申春香

封面设计:王伟光 责任印制:李妍

北京汇林印务有限公司印刷

2009年7月第1版第1次印刷

184mm×260mm·22印张·541千字

标准书号:ISBN 978-7-111-26515-3

定价:38.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379724

封面无防伪标均为盗版

前 言

机械制造工程学是研究机械加工系统的组成与功能的一门科学，是一门将传统制造技术与现代制造技术相联，并与实际生产技术紧密结合的应用技术，是面向机械工程学科各专业的一门重要的专业基础课。本书紧紧围绕课程内容从培养综合素质与应用能力出发，以机械制造工艺为主线，将机械设备、刀具、夹具、加工质量有机地结合在一起，形成“低重心、宽结构、重素质、强实践”的结构体系。

本书第1章为金属切削加工的基础知识，在本章中扩充了刀具新材料的内容；第2章为金属切削过程的基本规律；第3章为机床与刀具；第4章为机械加工精度；第5章为机械加工表面质量；第6章为机械加工工艺规程的制订，增加了典型零件先进制造工艺；第7章为机器装配工艺；第8章为工件的安装与夹具；第9章为特种加工与先进制造技术。

本书由中国农业大学李伟组织编写。第1、2章由谭豫之编写；第3章由刘景云编写；第4章由朱红梅编写；第5~7章由张康编写；第6章第七节及绪论由李伟编写；第8章由张宾编写；第9章由张俊雄编写。

全书由李伟、谭豫之担任主编，张康、刘景云担任副主编，由谭豫之统稿。

本书承蒙清华大学王先逵教授、吉林大学于骏一教授担任主审。在审阅过程中，王先逵教授、于骏一教授提出了很多珍贵的建议和意见，在此表示衷心的感谢。

本书是国家级精品课程、北京市精品课程“机械制造工程”立项项目，是国家“十一五”规划教材。在编写过程中，得到了国家教育部、北京市教育局及中国农业大学教务处的支持，并得到机械工业出版社的大力协助，在此谨向有关老师与同志表示诚挚的感谢。在编写过程中，参阅了韩秋实教授主编的《机械制造技术基础》等大量的文献与资料，但限于篇幅，没能一一附列，在此向原作者表示歉意与感谢。本书配套的CAI课件得到了长春第一汽车集团发动机分公司技术人员的大力支持，其中的大量图片与资料属于现场录制，在此向多年来支持机械工程生产实践的一汽集团公司表示真诚的感谢。

由于机械制造工程学是一个内涵广阔、学科交叉、并不断发展的学科，加之笔者资料与水平有限，书中难免有不足与错误之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言	
绪论	1
0.1 课程任务与教材特点	1
0.2 制造业历史	1
0.3 制造业发展与展望	2
第1章 金属切削加工的基础知识	5
1.1 金属切削基本知识	5
1.2 刀具材料	11
第2章 金属切削过程的基本规律	18
2.1 金属切削过程	18
2.2 切削力与切削功率	22
2.3 切削热和切削温度	29
2.4 刀具的磨损与刀具使用寿命	33
2.5 切削条件的合理选择	37
2.6 工件材料的切削加工性	46
第3章 机床与刀具	49
3.1 金属切削机床基本知识	49
3.2 车削	57
3.3 钻削、镗削、拉削	70
3.4 铣削	81
3.5 磨削	86
3.6 齿轮加工	98
第4章 机械加工精度	114
4.1 概述	114
4.2 工艺系统的几何误差	116
4.3 工艺系统的受力变形	120
4.4 工艺系统受热变形引起的误差	129
4.5 内应力对加工精度的影响	134
4.6 加工误差的统计分析法	137
4.7 提高加工精度的途径	142
第5章 机械加工表面质量	145
5.1 表面质量的含义及其对零件使用性能的影响	145
5.2 表面粗糙度及其影响因素	149
5.3 控制加工表面质量的措施	159

5.4	振动对表面质量的影响及其控制	161
第6章	机械加工工艺流程的制订	167
6.1	基本概念	167
6.2	机械加工工艺流程制订的原则、步骤及原始资料	175
6.3	零件的工艺分析	176
6.4	毛坯的选择	178
6.5	定位基准的选择	181
6.6	工艺路线的拟定	185
6.7	确定加工余量、工序尺寸及公差	190
6.8	机床及工艺装备的选择	194
6.9	工艺尺寸链	195
6.10	工艺过程的生产率和经济性	205
6.11	典型零件(发动机连杆)先进制造工艺	210
第7章	机器装配工艺	227
7.1	装配工作的基本内容	227
7.2	装配精度与装配尺寸链的建立	229
7.3	装配方法及装配尺寸链的计算	231
7.4	装配工艺流程的制订	243
第8章	工件的安装与夹具	255
8.1	概述	255
8.2	工件定位原理	257
8.3	定位方式与定位元件的选择	259
8.4	定位误差	264
8.5	工件的夹紧	267
8.6	基本夹紧机构	269
8.7	联动夹紧机构	275
8.8	定心夹紧机构	280
8.9	夹紧动力源装置	283
8.10	典型夹具	285
8.11	车床夹具	294
8.12	现代机床夹具	299
8.13	数控机床夹具特点	306
第9章	特种加工与先进制造技术	307
9.1	概述	307
9.2	电火花加工	309
9.3	电化学加工	313
9.4	超声波加工	316
9.5	激光加工	318
9.6	电子束加工	320

9.7 离子束加工	322
9.8 水射流加工	324
9.9 超精密加工技术	326
9.10 纳米加工技术	328
9.11 超高速加工技术	332
9.12 快速原型技术	336
参考文献	342

绪 论

0.1 课程任务与教材特点

机械制造工程学是研究机械加工系统的组成与功能的一门科学，是一门将传统制造技术与现代制造技术相联并与实际生产技术紧密结合的应用技术。本教材从培养学生综合素质与应用能力出发，以机械制造工艺为主线，将机械设备、刀具、夹具、加工质量有机地结合在一起，全面系统地介绍金属切削原理、金属切削机床与刀具、机械制造工艺学与机床夹具设计及特种加工与先进制造技术等内容。本教材的特点：

(1) 现代制造技术与传统制造技术有机结合 目前该课程同类教材体系结构中较注重传统加工技术的整合，强调制造基础知识。但是在近年的教学实践中，我们明显感觉到制造企业的生产模式正在发生巨大变化，比如，生产纲领的概念、大批量定制的概念、自动化生产模式的概念已远远领先于教材内容。如果教材中不系统地融入先进制造技术、设备及工艺内容，那么课堂教学内容将永远落后于现代化企业的生产模式与技术。随着现代加工技术的进展，工艺集成度很高的自动化生产线、大量的数控机床与设备、先进的工艺模式已在制造企业中大量展现，传统的机械加工工艺概念发生了极大的变化。这就要求课堂所学习的知识与生产实际不能脱节，所以将先进制造技术有机地引入课堂是新的教材体系设计中的重要特色之一。

(2) 突出工程实践 机械制造工程学是一门实践性强、与实际生产技术紧密结合的课程，其教材也应在注重基础理论的基础上，紧密与生产实际结合，找出生产中的工程实例加以分析，使课程更接近于工程背景。教材编写组教师近几年以长春第一汽车集团公司为实践基地收集近千幅设备、工装、现场图片，将紧密融于教材课件中，使教材突出工程实践性。

(3) 配套 CAI 课件 根据本课程的特点，部分内容的实验设备造价相当昂贵，很难组织现场实验环境，所以动态 CAI 课件将极大地弥补这一不足。

(4) 精品课程教材 中国农业大学“机械制造工程学”课程是国家级精品课程，《机械制造工程学》教材被列为国家“十一五”规划教材。

0.2 制造业历史

纵观 200 年制造业发展的历史，是科学技术不断进步、制造产业不断发展创新的历史。18 世纪以蒸汽机和工具机的发明为标志的英国工业革命，揭开了工业经济时代的序幕，开创了以机器占主导地位的制造业新纪元，造就了制造业企业雏形工场式生产。19 世纪末 20 世纪初，交通与运载工具对轻高效发动机的要求是诱发内燃机发明的社会动因，而内燃机的发明及其宏大的市场需求继而引发了制造产业的革命。人类社会对以汽车、武器弹药为代表

产品的大批量需求促进了标准化、自动化的发展。福特、斯隆开创的大批量流水线生产模式和泰勒创立的科学管理理论导致了制造技术的分工和制造系统的功能分解,从而使成本大幅度降低。第二次世界大战后,市场需求多样化、个性化高品质趋势推动了微电子技术、计算机技术、自动化技术的飞速发展,导致了制造技术向程序控制的方向发展。柔性制造单元、柔性生产线、计算机集成制造及精益生产等相继问世,制造技术由此进入了面向市场多样需求的柔性生产新阶段,引发了生产模式和管理技术的革命。1959年提出的微型机械的设想,最终依靠信息技术、生物医学工程、航空航天、国防及诸多民用产品的市场需求推动才得以成为现实,并将继续拥有灿烂的发展前景。以集成电路为代表的微电子技术的广泛应用,有力地推动了微电子制造工艺水平的提高和微电子制造装备业的快速发展。20世纪末信息技术的发展,促成了传统制造技术与以计算机为核心的信息技术和现代管理技术三者的有机结合,形成了当代先进制造技术和现代制造业,从而为当今世界丰富多彩的物质文明奠定了可靠基础。激光的发明导致巨大的光通信产业及激光测量、激光加工和激光表面处理工艺的发展,无线通信、移动电话的发明诱发了人类对移动通信的新需求。

纵观人类社会的发展历史,无不记录着制造技术的发展历程。

0.3 制造业发展与展望

制造业是国民经济的支柱产业,是国家创造力、竞争力和综合国力的重要体现。它不仅为现代工业社会提供物质基础,为信息与知识社会提供先进装备和技术平台,也是实现中国特色军事变革和国防安全的基础。经过近30年的改革、开放、发展,中国制造业取得了举世瞩目的成就,我国已成为全球第三制造大国。2005年,制造业增加值占我国GDP的33.3%,工业制成品出口占我国出口贸易总额的94%。然而,我国制造业仍存在着能源资源消耗高、污染排放严重、自主创新能力薄弱、区域产业结构趋同、服务增值率低、高水平人才短缺等亟待解决的问题。我国装备制造业与工业发达国家仍存在阶段性差距,主要有:自主创新能力不强;核心制造技术基础薄弱;技术创新体系尚未形成。在核心制造技术方面,设计是产品创新的核心,制造及其控制是产品创新的保证。装备制造业主要有六大核心制造技术:网络化、协同化、开放式产品创新设计理论与技术;重大工程中的特大型及关键零部件的制造技术;精密及超精密制造技术与智能化装备;亚微米到纳米级的微细制造技术;基于模拟仿真的数字化、智能化制造技术;绿色制造技术,如优质、高效、节能、清洁制造技术等^①。实现由“世界工厂”向“制造强国”的跨越,自主创新与绿色制造成为必然。

0.3.1 自主创新^②

在经历了几十年主要依赖国外先进技术、进口先进装备消化吸收求发展的历程之后,我国制造业走自主创新、跨越发展之路是历史的必然选择。

1) 大力推进以企业为主体、以市场为导向、产学研相结合的技术创新体系建设。提升企业创新能力是健全国家创新体系的中心环节。企业对知识和技术的吸收、掌握、转化和创新能力决定了企业的核心竞争力,也决定了我国制造业在国际产业分工中的地位。产学研相

① 摘自柳百成《装备制造业需攻克六大核心技术》。

② 摘自路甬祥《坚持科学发展,推进制造业的历史性跨越》。

结合是提高企业创新能力的有效形式,这种结合可体现在制造企业与高校、研究单位的结合,制造企业与用户的结合,制造工艺创新与制造装备创新的结合,以及制造企业间的结合等方面。

2) 高度重视创新方法和手段的培育。自主创新,方法先行。创新方法的突破是科技发展和科技进步的重要基础和保证,这是为世界科技史所一再证明了的。据统计,从1901年诺贝尔奖设立以来,大约有60%~70%是由于科学观念、思路、方法和手段上的创新而取得的。科学思维的创新是科学研究取得突破性、革命性进展的前提,是创新的灵魂;科学方法的创新是取得创新突破和实现的途径;技术装备的创新是科学研究、技术开发和实现发明创造必要的手段和保证。不仅要着力提升创新科学思维,培育创新精神和创新能力,而且要善于把创新科学思维转变成创新的技术,开发出具有自主知识产权的仪器与装备。

3) 创造国际著名制造品牌。著名品牌是技术创新、经营管理创新、服务文化创新的集成,是企业及其制造产品的品质、信誉和价值的集中反映。我国不仅要建设世界一流的制造业,还应拥有世界一流的企业、世界一流的产品以及一批世界著名的品牌。要着力推进从原始设备制造(OEM)向原始设计制造(ODM)、进而向自主世界著名品牌的转变,提升我国制造业在全球制造产业链中的地位,提升我国产品在全球市场中的形象、声誉和价值。

0.3.2 绿色制造^①

我国人均资源自然禀赋不足,高消耗将导致对资源的高依赖,将成为制约我国制造业发展的瓶颈,也会给国家的能源和资源安全带来严峻挑战。必须在制造业的发展中坚持贯彻“减量化、再利用、再循环、再制造”,大力发展绿色制造。20世纪90年代,国际上已经提出了绿色制造(Green Manufacturing, GM),又称清洁生产(Clean Production, CP)和面向环境的制造(Manufacturing For Environment, MFE)的概念。绿色制造指在保证产品的功能、质量、成本的前提下,综合考虑环境影响和资源效率的现代制造模式。它使产品从设计、制造、使用到报废整个产品生命周期中不产生环境污染或使环境污染最小化,符合环境保护要求,节约资源和能源,使资源利用率最高,能源消耗最低,并使企业经济效益和社会生态效益协调最优化。绿色制造体现了现代制造科学“大制造、全过程、学科大交叉”的特点。总的来说,绿色制造的内涵包括节约能源与资源、减少污染与废弃物、全生命周期循环三个方面,以及绿色设计、绿色生产、绿色使用、绿色回收等环节。

1) 节约能源与资源是绿色设计的重要目标。绿色制造要从产品设计做起,既要进行节能设计与回收性设计,又要大力开发应用绿色能源与绿色材料。绿色能源的技术创新主要体现在以风能、太阳能、生物能等为代表的可再生能源和逐步发展氢能体系。绿色材料包括低耗能、少污染、易加工的材料,可回收再利用的材料,再生材料,以及节能、自降解新材料等。

2) 减少污染与废弃物要落实到生产、使用与回收等全过程。其主要内容包括采用绿色工艺、绿色设备、绿色能源等。例如,采用消失模铸造、粉末冶金、快速原型成形等低污染的加工与成形工艺;应用绿色工艺装备,提高装备的能效,减少生产过程的废弃物,使工作环境符合环保标准;使用清洁的能源和原材料,依靠采用新技术和严格的科学管理,生产出清洁产品。

3) 要在全生命周期中体现循环经济的理念。为此既要考虑制造过程的小循环,又要考虑产品生命周期的大循环。在制造过程中,通过生态工厂的设计规划与运行管理,使工厂从

^① 摘自路甬祥《坚持科学发展,推进制造业的历史性跨越》。

设备的布局到工艺过程的规划都符合生态环保要求；通过应用再制造、回收处理等技术，形成资源、能源的全生命周期闭环循环，减少报废固体废弃物，提高资源与能源的利用率。

4) 要加速推进绿色制造的政策化、法律化、标准化、规范化进程。目前，国际组织和许多发达国家都纷纷推出绿色制造技术方面的标准、政策和法律，形成了当前国际市场的绿色贸易和技术壁垒，对绿色制造的发展有重要的引导和推动作用。从传统制造模式转变到绿色制造模式，需要全社会共同努力，尤其是通过法律法规的约束和规范，使企业管理者和经营者的观念从单纯的经济增长转变为可持续发展。

中国古代道家具有朴素的“天人合一、尊重自然”的哲学思想，许多伟大的工程之所以历经数千年而不朽，究其原因，乃是尊重自然规律的结果。其中一个杰出的代表是2000多年前李冰父子所筑的都江堰水利工程，它采用江中卵石垒成倾斜的堰滩，在鲤鱼嘴将山区倾泻下来的江水分流，冬春枯水时，导岷江水经深水河道，过宝瓶口灌溉成都平原的数百万亩良田；汛期丰水时，大水漫过堰滩从另一侧宽而浅的河道流入长江，使农田免遭洪涝之苦。其因势利导构思之巧妙，就地取材施工之便宜，水资源充分利用之合理，至今仍令中外水利专家赞叹不已，可以说是大禹治水以来，采用疏导与防堵相辅相成、辩证统一的典范，也是我国古代工程哲学思维成功的案例之一。在物质生产过程中，必须要考虑这一过程的环境影响及产品全生命周期的环境友好程度。必须要树立生态文明的现代工程意识。^①

总之，制造业要努力采用和发展绿色制造技术和产品，以产品的全生命周期为目标，致力发展循环经济，运用绿色设计与制造技术，实施“产品全生命周期环保策略”，发展废旧产品的回收利用和再制造。同时，通过应用各种先进设计、先进材料、先进工艺和先进管理，实施绿色制造、绿色运行。^②

当今时代，微纳制造、光电制造、精准制造、航空航天制造、生物制造等制造技术新领域，仿生机械学、纳米摩擦学、制造信息学、制造管理学等新兴科学，以及环境保护，产品安全性，材料和能源的节省，机电装备的再循环、再利用、再制造，可再生、可替代等，无不都是交叉学科和技术发展的前沿和方向。将交叉学科的新技术、新创造引入新装备、新系统，形成集成创新成为发展趋势。

① 摘自徐匡迪《工程师要有哲学思维》。

② 摘自路甬祥《坚持科学发展，推进制造业的历史性跨越》。

第1章 金属切削加工的基础知识

1.1 金属切削基本知识

1.1.1 切削运动

要使刀具从工件毛坯上切除多余的金属，使其成为具有一定形状和尺寸的零件，刀具和工件之间必须要有一定的相对运动，这种相对运动称为切削运动。切削运动根据其功用不同，可分为主运动和进给运动。这两个运动的矢量和，称为合成切削运动。图 1-1 表示了切削运动及工件上形成的表面。待加工表面指工件上即将被切除的表面；过渡表面是工件上由切削刃正在切削的表面；已加工表面指工件上切削后形成的表面。

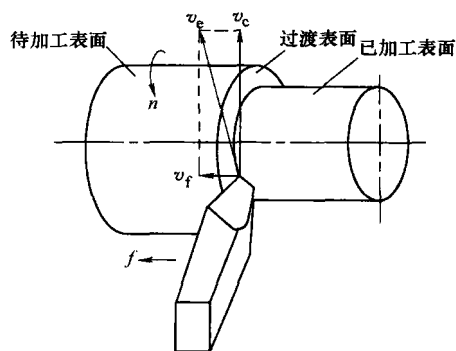


图 1-1 切削运动与工件表面

(1) 主运动 主运动是使刀具和工件之间产生相对运动，以进行切削的最基本运动。主运动的速度最高、消耗的功率最大。在切削运动中，主运动只有一个。如图 1-1 所示，在外圆车削时，工件的旋转运动是主运动。

(2) 进给运动 进给运动是不断地把待切金属投入切削过程，从而加工出全部表面的运动。在车削加工中，车刀的纵向或横向移动，即是进给运动。进给运动一般速度较低、消耗的功率较少，可以由一个或多个运动组成。它可以是间歇的，也可以是连续的。

(3) 合成切削运动 如图 1-1 所示，合成切削运动是由主运动和进给运动合成的运动。刀具切削刃上选定点相对工件的瞬时合成运动方向称合成切削运动方向，其速度称合成切削速度。

1.1.2 切削用量

(1) 切削速度 v_c 切削刃选定点相对于工件主运动的瞬时速度，单位为 m/s 或 m/min 。计算时，应以最大的切削速度为准。车削外圆的计算公式如下：

$$v_c = \pi d_w n / 1000 \quad (1-1)$$

式中 d_w ——工件待加工表面直径 (mm)；

n ——工件转速 (r/s 或者 r/min)。

(2) 进给量 f 工件或刀具每转一转时，两者沿进给方向的相对位移，单位为 mm/r ，如图 1-2 所示。进给速度 v_f 是单位时间的进给量，单位为 mm/s 或 mm/min 。即

$$v_f = fn \quad (1-2)$$

对多点切削刀具，如钻头、铣刀还规定每一个刀具的进给量 f_z (后一个刀具相对于前一

个刀齿的进给量), 单位为 mm/z 。即

$$f = f_z z \tag{1-3}$$

式中 z ——刀齿数。

(3) 背吃刀量 (切削深度) a_p 工件上已加工表面和待加工表面间的垂直距离, 单位为 mm , 如图 1-2 所示。车削外圆时有

$$a_p = (d_w - d_m) / 2 \tag{1-4}$$

式中 d_w ——待加工表面直径 (mm);

d_m ——已加工表面直径 (mm)。

1.1.3 刀具切削部分的基本定义

金属刀具的种类很多, 但它们切削部分的几何形状与参数都有着共性, 即不论刀具结构如何复杂, 它们的切削部分总是近似地以外圆车刀的切削部分为基本形态。

1. 车刀的组成

车刀由刀柄和刀头组成, 如图 1-3 所示。刀柄是刀具上的夹持部位, 刀头则用于切削。切削部分的结构及其定义如下:

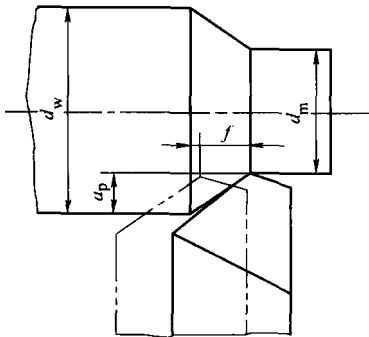


图 1-2 进给量与背吃刀量

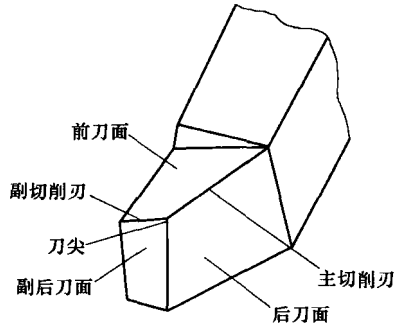


图 1-3 车刀切削部分结构要素

- (1) 前刀面 A_f 刀具上切屑流过的刀面。
- (2) 后刀面 A_a 与工件上过过渡表面相对的刀面。
- (3) 副后刀面 A'_a 与工件上已加工表面相对的刀面。
- (4) 主切削刃 S 前刀面与后刀面的交线。
- (5) 副切削刃 S' 前刀面与副后刀面的交线。
- (6) 刀尖 主切削刃与副切削刃的连接部分, 它可以是曲线、直线或实际交点 (见图 1-4)。

2. 刀具角度的参考系

刀具必须具有一定的切削角度才能从工件上切除金属。刀具作为一个三维几何体, 要确定其切削部分各表面和切削刃的空间位置, 需要建立三维平面参考系。按构成参考系时所依据的切削运动的不同, 参考系分成刀具标注角度参考系和

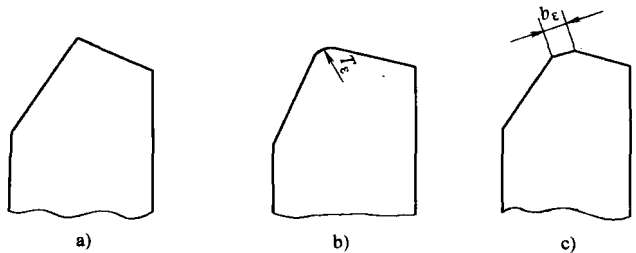


图 1-4 刀尖形状

刀具工作角度参考系。前者由主运动方向确定，后者由合成切削运动方向确定。

刀具标注角度参考系（又称刀具静止参考系）是刀具设计时标注、刃磨和测量的基准，用此定义的刀具角度称刀具标注角度。

刀具工作角度参考系是确定刀具切削工作时角度的基准，用此定义的刀具角度称刀具工作角度。

(1) 正交平面参考系 如图 1-5 所示，正交平面参考系由以下三个平面组成：

1) 基面 p_r 。过切削刃上选定点垂直于主运动方向的平面。它平行或垂直于刀具在制造、刃磨及测量时适合于安装的平面或轴线。

2) 切削平面 p_s 。过切削刃上选定点与切削刃相切并垂直于基面的平面。

3) 正交平面 p_o 。过切削刃上选定点并同时垂直于切削平面与基面的平面。

(2) 法平面参考系 如图 1-5 所示，法平面参考系由 p_r 、 p_s 、 p_n 三个平面组成。

法平面 p_n 为过切削刃上选定点并垂直于切削刃的平面。

(3) 假定工作平面参考系 如图 1-6 所示，假定工作平面参考系由 p_r 、 p_f 、 p_p 三个平面组成。

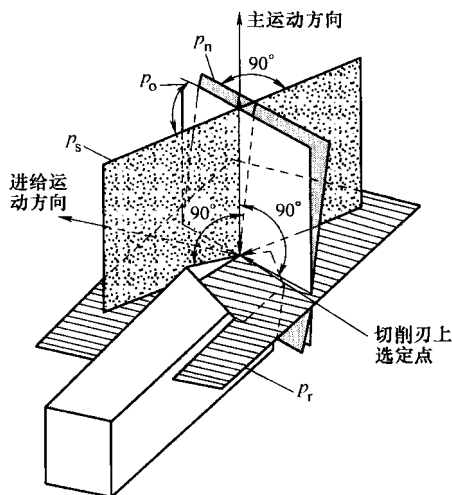


图 1-5 正交平面与法平面参考系

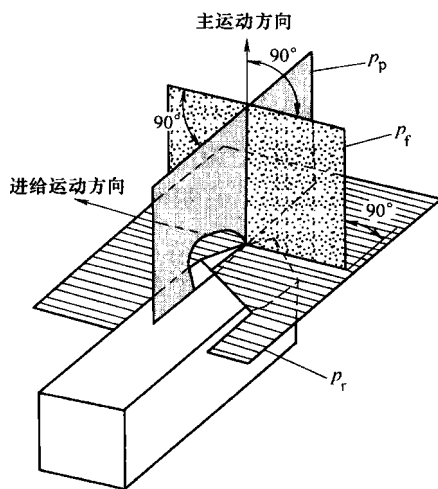


图 1-6 假定工作平面参考系

1) 假定工作平面 p_f 。过切削刃上选定点平行于进给运动方向并垂直于基面 p_r 的平面。

2) 背平面 p_p 。过切削刃上选定点同时垂直于基面 p_r 和假定工作平面 p_f 的平面。

3. 刀具的标注角度

(1) 在正交平面内标注的角度

1) 前角 γ_o 。在正交平面内度量的前刀面与基面之间的夹角。

2) 后角 α_o 。在正交平面内度量的后刀面与切削平面之间的夹角。

3) 楔角 β_o 。在正交平面内度量的前刀面与后刀面之间的夹角。由图 1-7 可知

$$\beta_o = 90^\circ - (\gamma_o + \alpha_o) \quad (1-5)$$

(2) 在切削平面内标注的角度 刃倾角 λ_s 。在切削平面内度量的主切削刃与基面之间的夹角。

(3) 在基面内标注的角度

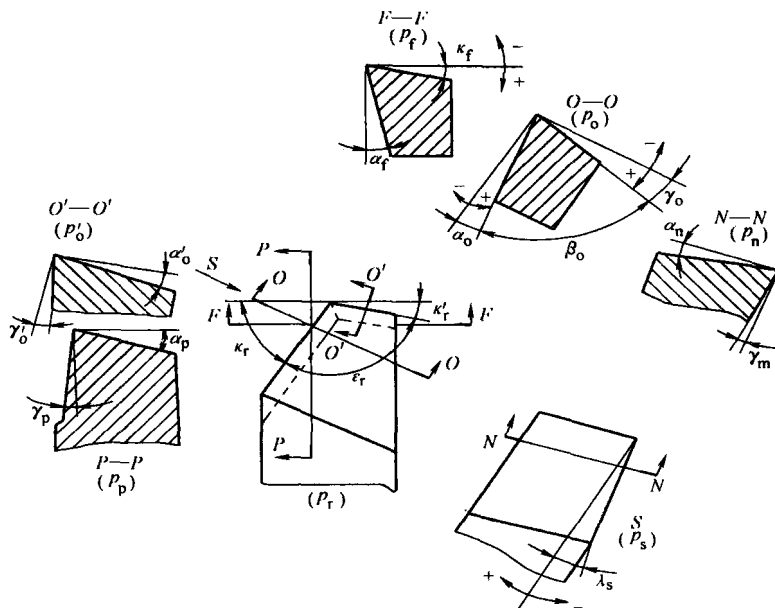


图 1-7 车刀的标注角度

- 1) 主偏角 κ_r 。主切削刃在基面上的投影与进给运动方向的夹角。
- 2) 副偏角 κ'_r 。副切削刃在基面上的投影与进给运动反方向的夹角。
- 3) 刀尖角 ϵ_r 。在基面内度量的主切削刃与副切削刃之间的夹角。由图 1-7 可知

$$\epsilon_r = 180^\circ - (\kappa_r + \kappa'_r) \quad (1-6)$$

上述角度中, β_o 和 ϵ_r 是派生角度, 由前、后刀面磨出的主切削刃只需四个基本角度即可确定它的空间位置, 即为 γ_o 、 α_o 、 κ_r 、 λ_s 。

对于副切削刃, 可采用与上述相同的方法, 在副切削刃的选定点上作参考系 $p'_r p'_s p'_o$ 。在过副切削刃作的正交平面 p'_o 内标出副前角 γ'_o 和副后角 α'_o 。如果车刀的主、副切削刃在同一个公共前刀面上, 则当主切削刃的四个基本角度 γ_o 、 α_o 、 κ_r 、 λ_s 以及副偏角 κ'_r 确定之后, 副前角 γ'_o 和副刃倾角 λ'_s 随之而定, 图样上也不用标注。这样, 一把三个刀面两个切削刃的外圆车刀标注角度只有六个, 即 γ_o 、 α_o 、 κ_r 、 λ_s 和 α'_o 、 κ'_r 。

如图 1-7 所示, 在法平面、假定工作平面参考系中, 有法前角 γ_n 、法后角 α_n 、侧前角 γ_f 、侧后角 α_f 、背前角 γ_p 、背后角 α_p 。这些角度可以参照给正交平面参考系标注角度下定义的方法加以定义。

在法平面参考系中, 只需标注 γ_n 、 α_n 、 κ_r 和 λ_s 四个角度即可确定主切削刃和前、后刀面的方位。在假定工作平面参考系中, 只需标注 γ_f 、 α_f 、 γ_p 、 α_p 四个角度便可确定车刀的主切削刃和前、后刀面的方位。

4. 刀具的工作角度

刀具的工作角度是刀具在工作时的实际切削角度。由于车刀的标注角度是在进给量 $f=0$ 并假定刀杆轴线与纵向进给运动方向垂直以及刀尖与工件中心等高的条件下规定的角度, 如果考虑合成运动和实际安装情况, 则刀具的参考系将发生变化。在刀具工作角度参考系中所确定的角度称工作角度。工作角度反映了刀具的实际工作状态。

在一般条件下,刀具的工作角度与标注角度相差无几,两者差别不予考虑,只有在角度变化值较大时才需要计算工作角度。

(1) 进给运动对刀具角度的影响 图 1-8 所示为切断车刀加工时的情况。加工时,车刀作横向进给运动,切削刃相对工件的运动轨迹为一平面阿基米德螺旋线。此时,工作基面 p_{re} 和工作切削平面 p_{se} 相对于 p_r 和 p_s 转动一个 μ 角,从而引起刀具的前角和后角发生变化。其计算公式为

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \mu \quad (1-7)$$

$$\alpha_{oe} = \alpha_o - \mu \quad (1-8)$$

$$\mu = \arctan \frac{v_f}{v_c} = \arctan \frac{f}{\pi d} \quad (1-9)$$

式中 γ_{oe} 、 α_{oe} ——工作前角和工作后角;

f ——进给量 (mm/r);

d ——工件切削点处表面直径 (mm);

μ ——正交平面内 p_{re} 和 p_r 之间的夹角,即主运动方向与合成运动方向的夹角。

由式 (1-9) 可知,当进给量增大,则 μ 值增大;当瞬时直径 d 减小, μ 值也增大。因此,车削至接近工件中心时, μ 值增长很快,工作后角将由正变负,导致工件被挤断。

图 1-9 所示为纵车外圆车刀的工作角度。在考虑纵向进给运动时,切削刃相对于工件表面的运动轨迹为螺旋线。此时,基面 p_r 和切削平面 p_s 就会在空间偏转一个 μ 角,从而使刀具的工作前角 γ_{oe} 增大,工作后角 α_{oe} 减小。

在假定工作平面内的工作角度为

$$\gamma_{fe} = \gamma_f + \mu_f \quad (1-10)$$

$$\alpha_{fe} = \alpha_f - \mu_f \quad (1-11)$$

$$\tan \mu_f = \frac{f}{\pi d_w} \quad (1-12)$$

式中 γ_{fe} ——假定工作平面工作前角;

α_{fe} ——假定工作平面工作后角;

d_w ——工件待加工表面直径 (mm);

μ_f ——主运动方向与合成运动方向的夹角。

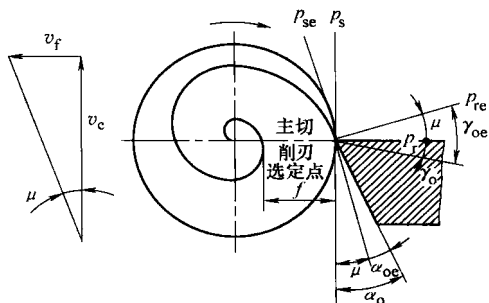


图 1-8 横向进给运动时的工作角度

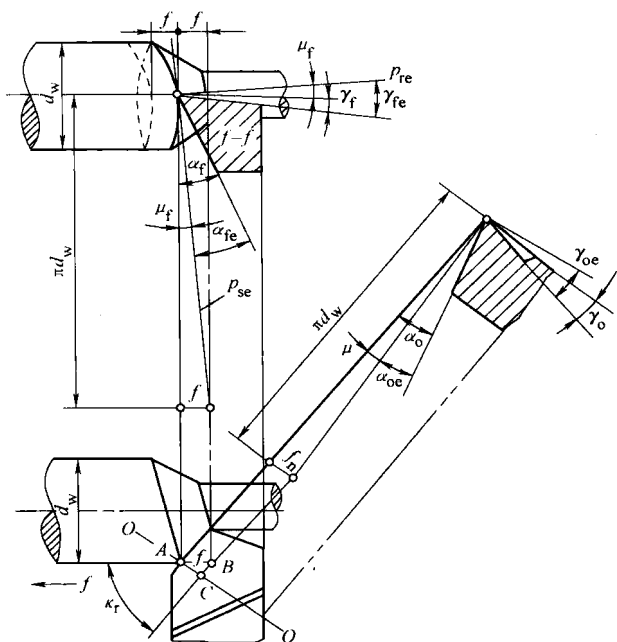


图 1-9 外圆车刀的工作角度

在正交平面内工作角度为

$$\gamma_{oe} = \gamma_o + \mu \quad (1-13)$$

$$\alpha_{oe} = \alpha_o - \mu \quad (1-14)$$

$$\tan \mu = \frac{f \sin \kappa_r}{\pi d_w} \quad (1-15)$$

式中 μ ——正交平面内 p_{se} 和 p_s 之间的夹角。

(2) 刀具安装对刀具角度的影响 如图 1-10 所示, 当刀尖安装高于或低于工件中心时, 则此时的切削速度方向发生变化, 引起基面和切削平面的位置改变。此时工作角度与标注角度的换算关系为

$$\gamma_{pe} = \gamma_p \pm \theta_p \quad (1-16)$$

$$\alpha_{pe} = \alpha_p \mp \theta_p \quad (1-17)$$

$$\tan \theta_p = \frac{h}{\sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 - h^2}} \quad (1-18)$$

式中 θ_p ——背平面内 p_r 与 p_{re} 的夹角;

h ——刀尖高于或低于工件中心的数值 (mm)。

d ——工件切削刃上选定点处直径 (mm)。

1.1.4 切削层参数

切削层为刀具切削部分切过工件的一个单程所切除的工件材料层。切削层形状、尺寸直接影响着刀具承受的负荷。为简化计算, 切削层形状、尺寸规定在刀具基面中度量。切削层的尺寸称为切削层参数。

现以外圆车削为例来说明切削层参数的定义。外圆车削时, 工件转一转, 主切削刃移动一个进给量 f 所切除的金属层称为切削层。如图 1-11 所示, 当主、副切削刃为直线, 且 $\lambda_s = 0^\circ$ 时, 切削层公称截面为平行四边形。

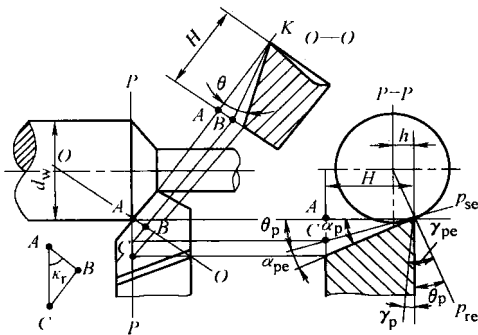


图 1-10 刀尖安装高低对工作角度的影响

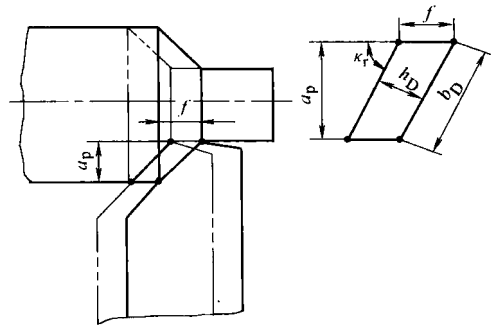


图 1-11 切削层参数

(1) 切削层公称厚度 h_D 垂直于过渡表面度量的切削层尺寸称切削层公称厚度。外圆纵车时

$$h_D = f \sin \kappa_r \quad (1-19)$$

由式 (1-19) 可知, f 或 κ_r 增大, 则 h_D 变厚。

(2) 切削层公称宽度 b_D 沿着过渡表面度量的切削层尺寸称切削层公称宽度。外圆纵