



高等职业教育“十一五”规划教材
高职高专机电类教材系列

孙庆群 周宗明 / 主 编
续永刚 / 主 审

金属切削加工

原理及设备

 科学出版社
www.sciencep.com

● 高等职业教育“十一五”规划教材

高职高专机电类教材系列

金属切削加工原理及设备

孙庆群 周宗明 主 编

马红英 李 明 副主编

续永刚 主 审

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是为适应高职高专机械制造及自动化专业教学体系改革,满足机电一体化、数控技术及应用、模具设计及制造、内燃机制造与维修、汽车(或拖拉机)制造与维修等专业方向教学的需要,将“金属切削原理及刀具”和“金属切削机床”等机械专业课程中的核心内容进行有机地整合,以金属切削加工基本原理及设备为主线而编写的一门机械制造专业的系统专业课教材。全书共分11章,主要包括金属切削加工的基本知识、金属切削加工过程的基本规律、金属切削加工理论的应用、金属切削机床基本知识、车床及车刀、铣床及铣刀、齿轮加工机床及切齿刀具、磨床及砂轮、其他类型通用机床及刀具、先进加工设备简介等内容。

本书既是高职高专机电类教材,也可供普通高等院校师生及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属切削加工原理及设备/孙庆群,周宗明主编. —北京:科学出版社,2007
(高等职业教育“十一五”规划教材·高职高专机电类教材系列)

ISBN 978-7-03-020711-1

I. 金… II. ①孙…②周… III. ①金属切削-加工工艺-高等学校:技术学校-教材 ②金属切削-设备-高等学校:技术学校-教材 IV. G5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 185479 号

责任编辑:何舒民 张雪梅 / 责任校对:柏连海
责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

骏杰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008年1月第一版 开本:787×1092 1/16
2008年1月第一次印刷 印张:22
印数:1—3 000 字数:500 000
定价:28.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换<环伟>)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62147541

前 言

为了加快我国“十一五”期间高等职业教育的发展步伐,国家教育部对大力推进高职高专教育人才培养模式的改革、加强学校教学基本建设提出了一系列要求。教材建设是教学基本建设的重要组成部分,本教材是根据教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》精神,在吸收了近年来各高职高专院校教育教学改革经验的基础上,根据企业生产一线在机械制造技术方面对高技能应用型人才的培养要求编写的。本教材将机械类专业传统的专业主干课“金属切削原理及刀具”和“金属切削机床”进行有机地整合,形成了一门新的课程——金属切削加工原理及设备。

本书共 11 章,适合在 60~80 学时(包括实验学时)内实施教学。本书第 1、3、4 章由孙庆群编写,第 2、10 章由李明编写,第 5、6 章由马红英编写,第 7、8 章由周宗明编写,第 9 章由徐晓东和孙庆群共同编写,第 11 章由姜德编写。孙庆群对本书提出编写大纲并进行统稿。

本教材的编写力求做到结构体系清晰、取材新颖、密切联系生产实践、深入浅出、文字简练、易读易懂、便于施教。本教材在编写过程中,参考了大量的文献资料,得到了不少兄弟院校同行的支持和帮助,在此一并致谢。由于编者水平所限,加之编写时间较仓促,书中缺点和不足在所难免,敬请广大读者不吝指正。

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 我国切削加工技术发展概况	1
1.1.1 我国金属切削加工技术的发展历史	1
1.1.2 近年来我国切削加工技术的发展水平与展望	2
1.2 金属切削加工在我国国民经济中的地位	4
1.2.1 机械制造业在国民经济中的地位和作用	4
1.2.2 金属切削加工技术在国民经济中的地位和作用	4
1.2.3 金属切削机床在国民经济中的地位和作用	5
1.2.4 机床的发展概况和我国机床工业的现状	6
1.3 本课程的性质、内容、学习要求和方法	6
1.3.1 本课程的性质	6
1.3.2 本课程所包含的内容	7
1.3.3 本课程的学习要求	7
1.3.4 本课程的学习方法	8
小结	8
第2章 金属切削加工的基本知识	9
2.1 切削运动与切削要素	9
2.1.1 切削运动	9
2.1.2 切削加工过程中的工件表面	11
2.1.3 切削要素	12
2.2 刀具切削部分的几何参数	14
2.2.1 刀具的构成	14
2.2.2 刀具切削部分的基本定义	15
2.2.3 刀具角度	16
2.2.4 刀具角度标注实例	21
2.3 刀具角度的换算及工作角度	22

2.3.1	正交平面参考系和法平面参考系的前、后角换算	22
2.3.2	垂直于基面的任一剖面与正交平面前、后角的换算	23
2.3.3	刀具工作角度	24
2.4	刀具材料	29
2.4.1	刀具材料的基本要求	29
2.4.2	常用刀具材料及其选用	30
	小结	36
	思考题与习题	36
第3章	金属切削加工过程的基本规律	37
3.1	切削变形与切屑的形成	37
3.1.1	金属切削层的切削变形	37
3.1.2	切屑的形成与切屑类型	39
3.1.3	变形程度的表示方法	41
3.1.4	刀具前面上的摩擦特点	43
3.1.5	积屑瘤	44
3.1.6	已加工表面变形和加工硬化	46
3.1.7	影响切削变形的主要因素	48
3.2	切削力	50
3.2.1	切削力的来源、合力及其分解	50
3.2.2	分力的作用	51
3.2.3	切削功率	52
3.2.4	车削力的实验公式	53
3.2.5	影响切削力的主要因素	55
3.2.6	车削力计算举例	59
3.3	切削热与切削温度	62
3.3.1	切削热的来源与传散	62
3.3.2	切削温度的测定原理与切削温度分布	62
3.3.3	影响切削温度的主要因素	64
3.4	刀具磨损与刀具寿命	67
3.4.1	刀具磨损	67
3.4.2	刀具寿命	71
3.5	磨削	77
3.5.1	磨削原理及磨削特点	77
3.5.2	磨削运动与磨削用量	80

小结.....	82
思考题与习题.....	82
第4章 金属切削加工理论的应用.....	84
4.1 切屑的控制.....	84
4.1.1 切屑形状的分类.....	84
4.1.2 切屑的流向.....	85
4.1.3 切屑的折断.....	86
4.1.4 断屑措施.....	87
4.2 工件材料的切削加工性.....	88
4.2.1 切削加工性的评定指标.....	88
4.2.2 影响材料切削加工性的因素.....	90
4.2.3 改善难加工材料切削加工性的途径.....	91
4.3 切削液及其选用.....	92
4.3.1 切削液的作用.....	92
4.3.2 切削液的种类及其应用.....	93
4.3.3 切削液的使用方法.....	95
4.4 加工表面质量.....	95
4.4.1 表面粗糙度的形成.....	95
4.4.2 影响表面粗糙度的因素.....	99
4.5 刀具几何参数的合理选择.....	103
4.5.1 前角和前面型式的选择.....	103
4.5.2 后角 α_o 的选择.....	105
4.5.3 副后角 α'_o 的选择.....	106
4.5.4 主偏角 κ_r 的选择.....	106
4.5.5 副偏角 κ'_r 的选择.....	107
4.5.6 倒角刀尖和修圆刀尖.....	107
4.5.7 刃倾角 λ_s 的选择.....	108
4.6 切削用量的合理选择.....	109
4.6.1 切削用量的选择原则.....	109
4.6.2 切削用量的合理选择.....	109
4.6.3 车削用量的合理选择例题.....	111
4.6.4 高性能刀具材料的切削用量.....	115
4.6.5 切削用量的优化概念.....	116
小结.....	118

思考题与习题	118
第5章 金属切削机床基本知识	120
5.1 机床的分类和型号编制	120
5.1.1 机床的分类	120
5.1.2 机床型号的编制	121
5.2 机床的运动	124
5.2.1 表面成形运动	124
5.2.2 辅助运动	129
5.3 机床的传动联系和传动原理图	130
5.3.1 机床传动的组成	130
5.3.2 机床的传动联系和传动链	131
5.3.3 传动原理图	131
5.4 机床的传动系统与运动的调整计算	132
5.4.1 机床的传动系统	132
5.4.2 机床的转速分布图	133
5.4.3 机床运动的调整计算	135
小结	137
思考题与习题	137
第6章 车床及车刀	139
6.1 车床的用途、运动和分类	139
6.1.1 车床的用途	139
6.1.2 车床的运动	139
6.1.3 车床的分类	140
6.2 CA6140 型卧式车床的工艺范围及其主要组成部件	140
6.2.1 CA6140 型卧式车床的工艺范围与运动	140
6.2.2 CA6140 型卧式车床的主要组成部件	140
6.2.3 CA6140 型卧式车床的主要参数	142
6.3 CA6140 型卧式车床的传动系统	142
6.3.1 CA6140 型卧式车床的传动链	142
6.3.2 CA6140 型卧式车床的分级变速传动系统的转速图	150
6.4 CA6140 型卧式车床主要部件的结构	150
6.4.1 CA6140 型卧式车床的主轴箱	150
6.4.2 CA6140 型卧式车床的进给箱	155

6.4.3	CA6140型卧式车床的溜板箱	155
6.4.4	CA6140型卧式车床的刀架	158
6.5	其他类型的车床	159
6.5.1	立式车床	159
6.5.2	回轮车床	160
6.5.3	滑鞍转塔车床	160
6.5.4	单轴纵切自动车床	161
6.6	车刀及其选用	163
6.6.1	焊接车刀及其选用	163
6.6.2	机夹车刀及其选用	165
6.6.3	可转位车刀及其选用	166
6.6.4	成形车刀的用途及设计方法	167
小 结		170
思考题与习题		171
第 7 章	铣床及铣刀	173
7.1	铣床的用途、运动和分类	173
7.1.1	铣床的用途	173
7.1.2	铣床的运动	173
7.1.3	铣床的分类	174
7.2	X6132 型铣床的工艺范围及其主要组成部件	178
7.2.1	铣床的工艺范围	178
7.2.2	铣床的主要组成部件	178
7.3	X6132 型铣床的传动系统	179
7.3.1	主运动传动链	179
7.3.2	进给运动传动链及工作台快速移动	180
7.4	X6132 型铣床主要部件的结构	182
7.4.1	主轴部件	182
7.4.2	孔盘变速操纵机构	183
7.4.3	顺铣机构	185
7.5	铣床辅件	187
7.5.1	万能分度头的用途和传动系统	187
7.5.2	万能分度头的分度方法	188
7.5.3	铣螺旋槽的调整计算	191

7.6 铣刀及其选用	195
7.6.1 铣刀的几何参数	195
7.6.2 铣削用量和铣削层参数	197
7.6.3 铣削力	198
7.6.4 铣削方式	200
7.6.5 铣刀的磨损与铣刀寿命	204
7.6.6 铣刀的重磨	206
7.6.7 铣刀的合理选用	207
小结	208
思考题与习题	209
第8章 齿轮加工机床及切齿刀具	210
8.1 概述	210
8.1.1 齿轮加工机床的工作原理	210
8.1.2 齿轮加工机床的类型及其用途	212
8.2 Y3150E 型滚齿机	213
8.2.1 滚齿原理	213
8.2.2 滚齿机主要组成部件	213
8.2.3 滚齿机传动系统及其调整计算	214
8.2.4 滚刀刀架结构和滚刀的安装调整	221
8.3 其他齿轮加工机床	226
8.3.1 插齿机工作原理	226
8.3.2 直齿锥齿轮刨齿机	228
8.3.3 剃齿机	228
8.3.4 磨齿机	229
8.4 切齿刀具	231
8.4.1 切齿刀具的分类	231
8.4.2 齿轮铣刀	232
8.4.3 插齿刀	233
8.4.4 齿轮滚刀	236
8.4.5 蜗轮飞刀	241
8.4.6 剃齿刀	241
小结	243
思考题与习题	243

第9章 磨床及砂轮	245
9.1 概述	245
9.1.1 磨床的用途	245
9.1.2 磨床的分类	246
9.2 外圆磨床	246
9.2.1 M1432A型万能外圆磨床	246
9.2.2 普通外圆磨床	257
9.2.3 半自动宽砂轮外圆磨床	257
9.2.4 端面外圆磨床	257
9.2.5 无心外圆磨床	258
9.3 其他磨床	260
9.3.1 内圆磨床	260
9.3.2 平面磨床	261
9.4 磨削砂轮及其选用	263
9.4.1 砂轮的组成要素	263
9.4.2 砂轮的形状、尺寸和标志	265
9.4.3 超硬性能的砂轮	266
9.4.4 砂轮的选用	267
9.5 磨削加工的发展趋势	267
9.5.1 提高磨削效率	267
9.5.2 提高机床的自动化程度	267
9.5.3 精密及超精密磨削	268
小结	268
思考题与习题	268
第10章 其他类型通用机床及刀具	270
10.1 钻床与钻头	270
10.1.1 钻床	270
10.1.2 钻削刀具	274
10.1.3 铰削及铰刀	282
10.2 镗床与镗刀	284
10.2.1 卧式铣镗床	284
10.2.2 坐标镗床	286
10.2.3 金刚镗床	288

10.2.4 镗刀	289
10.3 直线运动机床及其刀具	291
10.3.1 刨(插)床及其刀具	291
10.3.2 拉床及拉刀	295
10.4 螺纹加工及其刀具	298
10.4.1 丝锥	299
10.4.2 拉削丝锥	300
10.4.3 挤压丝锥	300
10.4.4 板牙	301
10.4.5 螺纹铣刀	301
10.4.6 螺纹板牙头	302
10.4.7 螺纹滚压工具	302
小结	304
思考题与习题	304
第 11 章 先进加工设备简介	305
11.1 特种加工设备	305
11.1.1 电火花加工机床	305
11.1.2 电解加工设备	307
11.1.3 超声波加工设备	309
11.1.4 激光加工设备	310
11.1.5 电子束加工设备	311
11.1.6 离子束加工设备	313
11.2 组合机床	315
11.2.1 概述	315
11.2.2 组合机床的通用部件	316
11.2.3 组合机床自动线概述	317
11.3 数控加工设备	318
11.3.1 数控车床	318
11.3.2 数控铣床	321
11.3.3 加工中心	324
11.4 其他加工技术	326
11.4.1 柔性制造技术	326
11.4.2 高速切削机床	326
11.4.3 数控齿轮加工技术	328

目 录

11.5 数控机床刀具及刀库.....	329
11.5.1 数控机床刀具.....	329
11.5.2 加工中心刀库.....	332
小结.....	334
思考题与习题	334
参考文献.....	335

通过本章的学习,学生可简要了解我国切削加工技术发展概况和金属切削加工在国民经济中的地位,同时了解本课程的性质、内容及在本专业中的重要性;学生要明确本课程的学习要求和学习方法,以便为学好本门课在思想上打下一定的基础。

1.1 我国切削加工技术发展概况

金属切削加工是机械制造业最主要的加工方法,是指利用金属切削刀具,在工件表面上切除多余的材料,使工件达到规定的几何形状、尺寸精度和表面质量的一种机械加工方法。它是机械制造业中最基本的也是最重要的加工方法,在国民经济和社会发展中占有十分重要的地位。

1.1.1 我国金属切削加工技术的发展历史

金属切削加工技术在我国古代就有着辉煌的成就。早在公元前两千多年的青铜器时代就已出现了金属切削的萌芽。当时的青铜刀、锯、锉等刀具就很类似于现代的刀具。在现存最早的一部春秋中晚期时的工程技术著作《考工记》中,就介绍了木工、金工等三十多个专业的技术知识。书中指出,“材美工巧”是制成良器的必要条件。“材美”就是采用优良的加工材料,“工巧”就是利用合理的制造工艺和方法。从大量的出土文物和文献中均可推测,在8世纪(唐代)我国就已有了最原始的车床。公元1668年(明代)已经能够加工直径为2m的天文仪器上的铜环,其外圆、内孔、端面及刻度的加工精度与表面粗糙度均已达到相当高的水平。图1.1所示是当时采用畜力带动铣刀进行铣削和用磨石进行磨削的情景。当时的铣刀已类似于现代的镶片铣刀,刀片磨钝后可用图1.2所示的人力脚踏刃磨机进行刃磨。在长期的生产实践中,古人已非常注意总结制造、使用和刃磨刀具的经验,强调刀刃的作用,正确阐述了刀刃利与坚之间的关系,对切削原理进行了朴素的唯物辩证的论述。

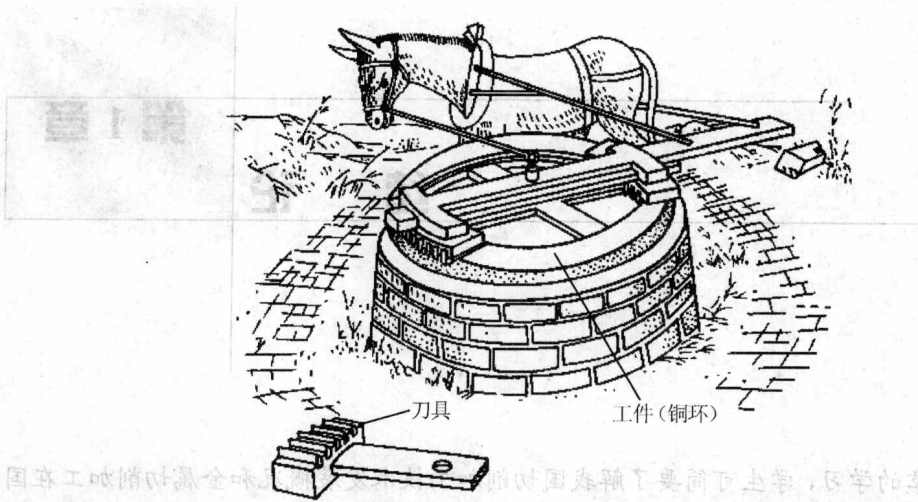


图 1.1 畜力铣磨机

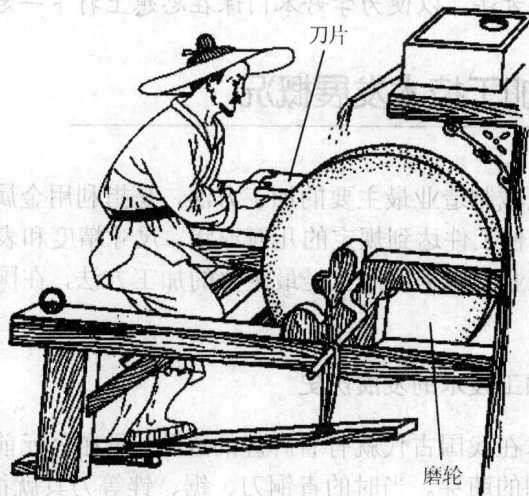


图 1.2 脚踏刃磨机

在近代历史中，由于长期封建主义的腐败统治和帝国主义的侵略与掠夺，我国的机械工业一直处于非常落后的状态。据资料记载，直到 19 世纪中叶起我国才开始有了少量的机械加工厂；到 1915 年，上海荣昌泰机器厂才制造出了第一台国产车床；到 1947 年，我国民用机械工业也只有三千多家，拥有机床仅两万多台，当时使用的最好的刀具材料是碳素工具钢，其切削速度不超过 16m/min ，切削效率很低。

1.1.2 近年来我国切削加工技术的发展水平与展望

新中国成立后，我国的切削加工技术得到了迅速发展。很显然，金属切削加工技术

水平的提高有赖于机床工业的发展和刀具材料的革新。解放后,我国的机床工业从无到有、从小到大、从仿造到自己设计、制造,扩建及兴建了一大批机床制造厂,开始了各种机床的研究和试制工作,使我国的机床工业逐步形成了一个布局日趋合理、产品门类日益齐全的完整体系,能够生产出从小型的仪表机床到重型机床的各类机床,从通用机床到各种精密、高效率、高度自动化的机床,机床年产量已达 13 万台,品种达 1 千多种。自 20 世纪 50 年代起,我国机械制造业开始广泛使用硬质合金刀具材料,大大提高了切削速度。1950 年上海机床厂首创了 550m/min 的切削速度。与此同时,大力推广高速切削、强力切削、多刀多刃切削,兴起了改革刀具的热潮,各地劳模和先进工作者成功研制出了一大批先进刀具,如在 1965 年召开的全国工具展览会上推出的群钻、75° 强力车刀、高速螺纹刀、细长轴车刀、宽刃精刨刀、强力铣刀、深孔钻等。另外,先进切削工艺、新型刀具材料不断涌现,如高性能高速钢、粉末高速钢、涂层刀具材料、复合陶瓷、超硬刀具材料等;切削机理得到了更加深入的研究,许多高等院校、研究所、工具刃具厂在切削加工技术和切削刀具的研究方面都取得了十分丰硕的成果。

改革开放以来,尤其是 20 世纪 80 年代后,机械行业注意从国外引进先进技术,通过与国际学术组织、专家学者的学术与技术交流,促进了我国的金属切削加工设备及切削技术水平的进一步提高,并逐步缩小了我国与国际先进水平的差距。当今需要切削的材料十分广泛,除传统的金属材料之外,非金属材料也愈来愈多,包括从软的橡胶、塑料到坚硬的花岗岩石,从普通的钢材到高强度钢、耐热钢、钛合金、冷硬铸铁、淬硬钢等。切削技术不仅能够解决各种硬、韧、脆、粘等难加工材料,而且能够解决各种特高精度、特长、特深、特薄、特小等特形零件的加工。

近年来,随着计算机在切削研究、刀具设计与机械制造中的广泛应用,一批我国自行开发的先进制造技术已经得到社会的认可,有的已经接近或达到国际先进水平,如计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助工艺设计(CAPP)、计算机辅助工程(CAE)、计算机辅助质量管理(CAQ)、企业资源计划(ERP)、物料搬运等单元技术。在机床制造技术方面,我国现在已能生产包括数控加工中心、柔性制造单元在内的各种数控机床,并且研制出了柔性制造系统。新的刀具标准参照 ISO 也作了修订,已基本完成了与国际接轨。我国的切削加工技术在不久的将来一定能赶上发达国家的水平,并能同步增长。

随着科学技术和现代工业日新月异的快速发展,切削加工技术也正朝着高精度、高效率、自动化、柔性化和智能化的方向发展,主要体现在以下三方面:

1) 加工设备朝着数控技术、精密和超精密、高速和超高速方向发展。资料表明,目前数控技术、精密和超精密加工技术已得到进一步普及和应用。普通加工、精密加工和超精密加工的精度可分别达到 $1\mu\text{m}$ 、 $0.01\mu\text{m}$,逐步向 $0.001\mu\text{m}$ (毫微米,即纳米)和原子级加工逼近。

2) 刀具材料朝超硬刀具材料方向发展。目前我国常用刀具材料是高速钢和硬质合金,专家预计 21 世纪是超硬刀具材料的应用时代,陶瓷、聚晶金刚石(PCD)和聚晶立方氮

化硼 (PCBN) 等超硬材料将被普遍应用于切削刀具, 使切削速度可达到每分钟数千米。

3) 生产规模由目前的小批量和单品种大批量向多品种变批量的方向发展, 生产方式由目前的手工操作、机械化、单机自动化、刚性流水线自动化向柔性自动化和智能自动化方向发展。

未来的切削加工技术必将面临自动化制造环境的一系列新的挑战, 它必然要与计算机、自动化、系统论、控制论及人工智能、计算机辅助设计与制造、计算机集成制造系统等高新技术及理论相融合, 向着精密化、柔性化和智能化方向发展, 并由此推动其他各新兴学科在金属切削理论和加工技术中的应用。

1.2 金属切削加工在我国国民经济中的地位

1.2.1 机械制造业在国民经济中的地位和作用

在国民经济各部门和人们的日常生活中使用着各种各样的机器设备、仪器工具, 这些机器、机械、仪器和工具大部分是由一定形状和尺寸的金属零件组成的。生产这些零件并将它们装配成机器、机械、仪器和工具的工业, 即称为机械制造业。机械制造业为人类的生存、生产、生活提供各种设备, 是国民经济中极其重要的基础产业。所谓四个现代化, 从某种意义上讲, 就是用现代化设备去装备工业、农业、国防和科学技术事业, 使之达到先进的水平。可见, 机械工业对提高人民生活质量、推动科学技术进步起着十分重要的作用。

目前我国机械工业现有的企业数、职工人数、工业总产值和增加值、利税总额等指标, 占全国工业的比重分别达到 $1/5 \sim 1/4$; 固定资产占全国工业的比重为 15%; 机械工业的发展速度高于同期全国工业的平均增长水平。改革开放以来, 我国汽车年产量的世界排名逐年上升。1992 年汽车产量达到 106 万辆, 首次突破 100 万辆大关; 2001 年达到 230 万辆, 位居世界第八; 2004 年达到 507.05 万辆, 突破 500 万辆大关, 世界排名上升至第五位; 2005 年我国全年生产汽车 570.7 万辆, 销售汽车 575.82 万辆。我国机床的产量也连年增长, 2002 年我国的机床产量居世界第五位; 2004 年机床产量达 19.2 万台 (其中数控机床产量为 17 521 台), 上升为世界第四位; 2005 年我国机床产量达 45.07 万台。美国的机床消费量在不断下降, 中国的机床消费量在 2002 年就升居世界第一。近年来, 我国大量引进吸收国外先进技术, 再加上国内自行研究开发的成果, 大型成套装备生产能力和机械产品已经达到一定水平, 我国机械工业已经成长为产品门类比较齐全、具备相当生产规模和一定技术基础的最大产业之一。我们相信, 我国的机械制造技术在不远的将来一定能赶上或超过世界发达国家的水平。

1.2.2 金属切削加工技术在国民经济中的地位和作用

在机械零件的加工制造过程中, 采用铸造、锻压、焊接、冲压等制造方法可以获得