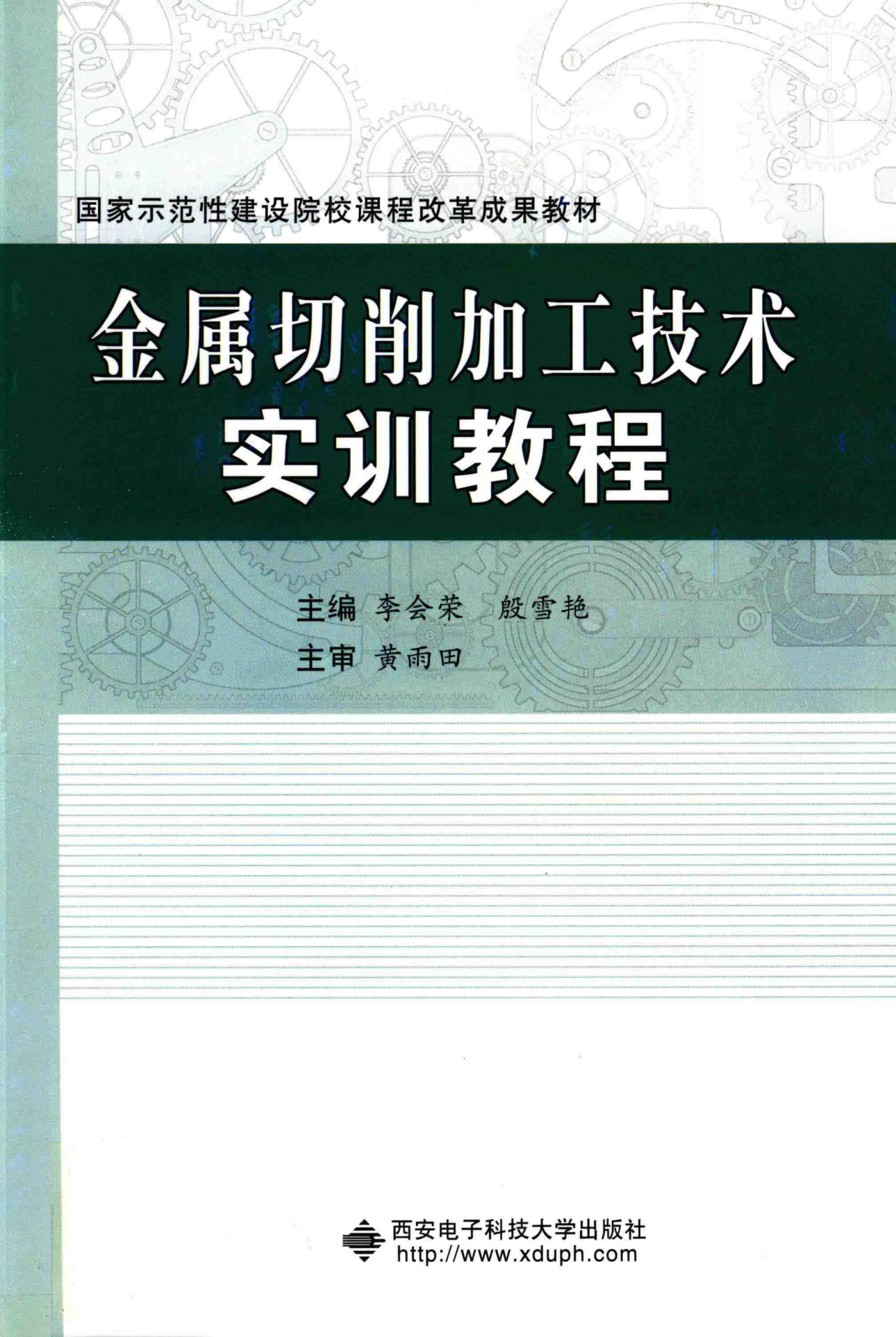




国家示范性建设院校课程改革成果教材

金属切削加工技术 实训教程

主编 李会荣 殷雪艳

主审 黄雨田



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

国家示范性建设院校课程改革成果教材

金属切削加工技术实训教程

主编 李会荣 殷雪艳

参编 郭 峰 王新海

主审 黄雨田



西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书以高职教育课程改革教、学、做一体化为指导思想编写。《金属切削加工技术》完成“教”与“学”，《金属切削加工技术实训教程》完成“做”，两本教材配合使用。

本书共设计五个项目，每个项目以典型零件表面的加工为载体，从零件图的分析、加工方法的确定、刀具的选择到切削用量的确定，一步一步教会学生如何做任务。通过拓展训练环节，使学生对相应知识有了更深的理解。每个项目完成后有项目评价。

本书可供机械制造与自动化专业学生使用，也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属切削加工技术实训教程/李会荣，殷雪艳主编. —西安：西安电子科技大学出版社，2017.2

国家示范性建设院校课程改革成果教材

ISBN 978-7-5606-4410-3

I. ① 金… II. ① 李… ② 殷… III. ① 金属切削—加工工艺—教材 IV. ① TG506

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 008430 号

策 划 云立实

责任编辑 韩伟娜 云立实

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西利达印务有限责任公司

版 次 2017年2月第1版 2017年2月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 9.25

字 数 213千字

印 数 1~3000册

定 价 17.00元

ISBN 978-7-5606-4410-3/TG

XDUP 4702001-1

如有印装问题可调换

本社图书封面为激光防伪覆膜，谨防盗版。

前 言

“金属切削原理与刀具”是培养机械制造与自动化专业高技能人才的一门专业核心课程。该课程的目标是培养学生具备机械切削加工基础理论知识和切削加工技术能力。本教材是“金属切削原理与刀具”课程的主要配套教辅资料。

高等职业教育不同于专业学科教育。专业学科教育注重学科理论的独立性和系统性，而职业教育则注重职业岗位工作能力的养成。职业能力养成的复杂性迫使我们必须对职业教育人才培养方案、课程设计、教学模式进行改革，而项目化课程及“教、学、做”一体的课程结构无疑是最佳的课程设计。以做为主线的“教、学、做”教学模式可使学生在完成一个个单一项目任务的过程中有目的地学习了解相关专业知识，一步步做任务，最后实现能力成长。本教材包含学(相关专业知识)、做(项目)两方面内容，是以学生为主、以老师为辅的融“学、做”于一体的教学过程的最佳脚本。

本教材也是陕西国防工业职业技术学院“国家示范骨干高职院校建设机械制造与自动化专业子项目”成果之一，具有以下特点：

(1) 系统性。本教材在内容设计方面，以车削加工为例，通过对典型轴类零件切削加工的介绍，学生可深刻理解金属切削加工原理，学会合理选择切削加工参数，掌握机床调整操控、刀具的刃磨对正、合格零件的切削加工和检测，建立初步的工艺条件概念和质量控制意识。同时，本教材(学做脚本)对铣削、钻削等加工也做了系统规范，便于指导学、做过程。

(2) 实用性。教材对教学过程中需要学生做的工作，比如磨刀、加工零件等，附有操作规范(工序卡片)，翔实具体，便于实施。

(3) 创新性。本教材首次提供了“教、学、做”一体化教学改革的课堂组织范本，使学做一体的课程设计真实可做，改变了过去老师课堂理论课是一套，切削加工实践课操作是另一套，理论不能指导实践，实践不能印证理论的弊端。本教材的设计理念是以做为先导，把以老师为主转换为以学生为主，把以讲解为主转换为以做为主，教材设计增加了课堂的活力。

李会荣、殷雪艳任本教材主编，郭峰、王新海任本教材参编，黄雨田任主审。殷雪艳编写项目1，郭峰编写项目2，李会荣编写项目3和项目4，王新海编写项目5，全书由李会荣统稿。

高级工程师王玉民为本教材的编写提供了大量的素材，在此表示感谢。

由于编者水平所限，书中难免有疏漏和不到之处，殷切希望读者和各位同仁提出宝贵意见。

编 者

2016年10月

目 录

项目 1 车削输出轴.....	1
1.1 案例分析.....	1
1.1.1 加工表面分析.....	1
1.1.2 加工方法选择.....	2
1.1.3 加工刀具选择.....	3
1.1.4 切削用量选择.....	13
1.1.5 车削输出轴实训内容及质量分析.....	24
1.2 项目实施.....	29
1.2.1 分析输出轴结构工艺性,拟定加工方法及顺序.....	29
1.2.2 选用车刀.....	32
1.2.3 刃磨并测量车刀的基本角度.....	34
1.2.4 安装车刀、调整车床并对刀.....	36
1.2.5 车削输出轴.....	38
1.3 拓展训练.....	40
1.3.1 分析输出轴结构工艺性,拟定加工方法及顺序.....	40
1.3.2 选用车刀.....	40
1.3.3 刃磨并测量车刀的基本角度.....	44
1.3.4 安装车刀、调整车床并对刀.....	46
1.3.5 车削输出轴.....	47
1.4 项目评价.....	63
项目 2 尖齿铣刀铣削箱体结合面.....	64
2.1 案例分析.....	64
2.1.1 加工表面分析.....	65
2.1.2 加工方法选择.....	65
2.1.3 加工刀具选择.....	67
2.1.4 切削用量选择.....	67
2.2 项目实施.....	68
2.2.1 分析箱体零件图,拟定合适加工方案,选用铣刀.....	68
2.2.2 安装铣刀,操作机床并对刀.....	71
2.2.3 铣削变速器箱体上结合面.....	73
2.3 拓展训练.....	75
2.3.1 分析箱体零件图,拟定合适加工方案,选用铣刀.....	75
2.3.2 安装铣刀、操作机床并对刀.....	78
2.3.3 铣削变速器箱体上结合面.....	79

2.4 项目评价	82
项目 3 钻削箱体孔	83
3.1 案例分析	83
3.1.1 加工表面分析	84
3.1.2 加工方法选择	84
3.1.3 加工刀具选择	85
3.1.4 切削用量选择	94
3.2 项目实施	99
3.2.1 分析零件图,拟定孔加工方案,选用孔加工刀具	99
3.2.2 安装孔加工刀具、操作机床并对刀	101
3.2.3 钻削箱体孔	103
3.3 拓展训练	105
3.3.1 分析零件图,拟定孔加工方案,选用孔加工刀具	105
3.3.2 安装孔加工刀具、操作机床并对刀	107
3.3.3 钻削箱体孔	109
3.4 项目评价	112
项目 4 滚削圆柱齿轮	113
4.1 案例分析	113
4.1.1 加工表面分析	114
4.1.2 加工方法选择	114
4.1.3 加工刀具选择	114
4.1.4 切削用量选择	116
4.2 项目实施	118
4.2.1 分析零件图,拟定齿面加工方法及顺序	118
4.2.2 选用滚刀、安装滚刀并对刀	120
4.2.3 滚削圆柱齿轮	122
4.3 拓展训练	124
4.3.1 分析零件图,拟定齿面加工方法及顺序	124
4.3.2 选用滚刀、安装滚刀并对刀	124
4.3.3 滚削圆柱齿轮	126
4.4 项目评价	127
项目 5 钻削枪管孔	128
5.1 案例分析	129
5.1.1 加工表面分析	129
5.1.2 加工方法选择	129
5.1.3 加工刀具选择	129

5.1.4 切削用量选择 134

5.2 项目实施 135

5.3 拓展训练 137

5.4 项目评价 139

参考文献 140



项目 1 车削输出轴

1.1 案例分析

图 1-1 为输出轴，中批量生产。

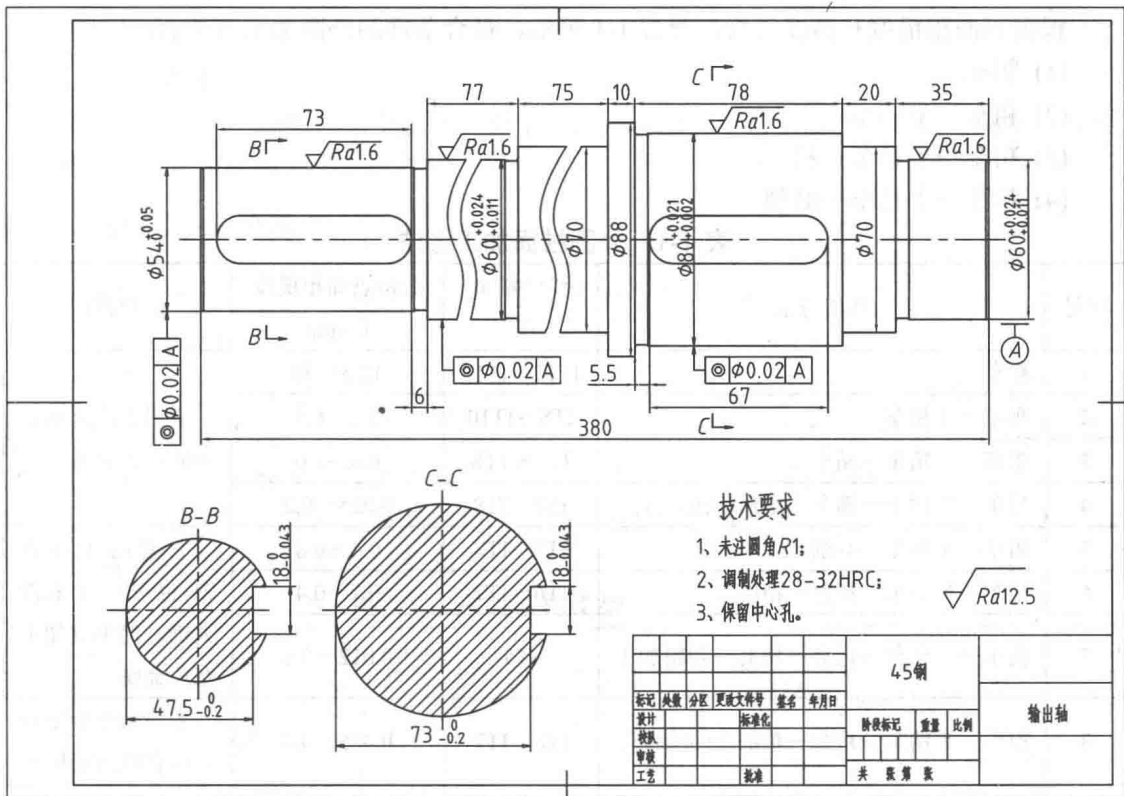


图 1-1 输出轴

1.1.1 加工表面分析

1. 功用

轴类零件主要起传递力和力矩的作用。

2. 结构特点

- (1) 加工表面：6 段外圆柱面，2 个键槽，其余为倒角和圆角。
- (2) 加工刚性： $L/d = 380/54 = 7.04 < 12$ ，为刚性轴。



3. 零件技术要求(外圆)

1) 尺寸精度分析

$\phi 54_{+0}^{+0.05}$ 、两段 $\phi 60_{+0.011}^{+0.024}$ 和 $\phi 80_{+0.002}^{+0.021}$ 外圆均为 IT6; $\phi 70$ 、 $\phi 88$ 外圆为自由公差。

2) 形位精度分析

$\phi 54_{+0}^{+0.05}$ 外圆、 $\phi 80_{+0.002}^{+0.021}$ 和左端 $\phi 60_{+0.011}^{+0.024}$ 轴对右端 $\phi 60_{+0.011}^{+0.024}$ 轴线的圆跳动为 0.02。

3) 表面粗糙度分析

$\phi 54_{+0}^{+0.05}$ 、两段 $\phi 60_{+0.011}^{+0.024}$ 和 $\phi 80_{+0.002}^{+0.021}$ 外圆 Ra 为 $1.6\ \mu\text{m}$; 其余表面 Ra 为 $12.5\ \mu\text{m}$ 。

1.1.2 加工方法选择

1. 表面加工方法

根据表面粗糙度和精度等级, 查表 1-1 可知, 符合条件的外圆加工方法有:

- (1) 粗车。
- (2) 粗车一半精车。
- (3) 粗车一半精车一精车。
- (4) 粗车一半精车一磨削。

表 1-1 外圆柱面加工方法

序号	加工方法	经济精度 /IT	经济表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	适用范围
1	粗车	IT11~IT13	12.5~50	适用于淬火钢以外的各种金属
2	粗车一半精车	IT8~IT10	3.2~6.3	
3	粗车一半精车一精车	IT7~IT8	0.8~1.6	
4	粗车一半精车一精车一滚压(或抛光)	IT7~IT8	0.025~0.2	
5	粗车一半精车一磨削	IT7~IT8	0.4~0.8	主要用于淬火钢,也可用于未淬火钢,但不宜加工有色金属
6	粗车一半精车一粗磨一精磨	IT6~IT7	0.1~0.4	
7	粗车一半精车一粗磨一精磨一超精加工	IT5	0.012~0.1	
8	粗车一半精车一精车一精细车(金刚车)	IT6~IT7	0.025~0.4	主要用于要求较高的有色金属加工
9	粗车一半精车一粗磨一精磨一超精磨(或镜面磨)	IT5 以上	<0.05	用于极高精度的外圆加工
10	粗车一半精车一粗磨一精磨一研磨	IT5 以上	<0.1	

车削加工是机械加工中最基本、最常用的加工方法。原因有: 第一车削适应范围广, 主要用于加工不同材质、不同精度的各种回转体表面; 第二生产成本低, 车刀是刀具中最简单的一种, 制造、刃磨和安装较方便, 车床附件较多, 生产准备时间短; 第三生产率较高, 车削加工一般是等截面连续切削, 切削力变化小, 切削过程平稳, 可选较大的切削用量, 生产率较高; 第四加工精度高, 表面质量好, 加工的尺寸公差等级为 IT11~IT6, 表面粗糙度 Ra 为 $12.5\sim 0.8\ \mu\text{m}$, 且易保证零件各加工表面的位置精度, 如同轴度、平行度、垂



直度等，尤其是对不宜磨削的有色金属进行精车加工可获得更高的尺寸精度和更小的表面粗糙度。

磨削不仅可以加工一般的金属材料，如碳钢、铸铁及一些有色金属，而且可以加工硬度很高的材料，如淬过火的钢件、各种切削刀具以及硬质合金等。由于磨削时每次磨去的金属层很薄，因此只适用于精加工，工件经过磨削后加工精度可达 IT7~IT5，表面粗糙度可达 $0.8\sim 0.1\text{ }\mu\text{m}$ 。磨削主要用于零件的内外圆柱面、圆锥面、平面、成形表面(螺纹、齿轮等)的精加工。

(1) 通过分析知， $\phi 54^{+0.05}_{+0}$ 、两段 $\phi 60^{+0.024}_{+0.011}$ 、 $\phi 80^{+0.021}_{+0.002}$ 外圆表面(IT6, $Ra\ 1.6\mu\text{m}$)有圆跳动要求，且输出轴为中批量生产，工件材料为 45 钢，故采用粗车一半精车一磨削方法。

(2) $\phi 70$ 、 $\phi 88$ 外圆(IT13, $Ra\ 12.5\mu\text{m}$)和端面，加工精度低，表面质量要求不高，故采用粗车就能达到加工要求。

(3) 切槽和倒角属于次要表面，穿插在半精车加工中完成。

2. 加工顺序

锻造—正火—车端面、钻中心孔—粗车外圆—调质—半精车外圆、切槽、倒角—铣两个键槽—磨削—去毛刺—清洗—检验—入库。

1.1.3 加工刀具选择

根据加工方法(粗车一半精车一磨削)选择刀具(车刀和砂轮)。

1. 车刀的选择

类型：车刀按用途分为外圆车刀、端面车刀、切断刀、内孔车刀、圆头车刀和螺纹车刀等类型， 90° 车刀(偏刀)用于车削工件的外圆、台阶和端面； 45° 车刀(弯头刀)用于车削工件的外圆、端面和倒角；切断刀用于切断工件或在工件上切槽；内孔车刀用于车削工件的内孔；圆头车刀用于车削工件的圆角、圆槽或成形面；螺纹车刀用于车削螺纹。另外可按车刀结构特点分为 4 种类型，见表 1-2。

表 1-2 车刀结构类型特点及用途

名 称	特 点	适 用 场 合
整体式	用整体高速钢制造，刃口可磨得较锋利	小型车床或加工非铁金属
焊接式	焊接硬质合金或高速钢刀片，刀杆材料为 45 钢，结构紧凑，使用灵活	各类车刀特别是小刀具
机夹式	避免了焊接产生的应力、裂纹等缺陷，刀杆利用率 高；刀片可集中刃磨获得所需参数；使用灵活方便	外圆、端面、镗孔、切断、螺纹车刀等
可转位式	避免了焊接刀的缺点，刀片可快换转位；生产率高；断屑稳定；可使用涂层刀片	大中型车床加工外圆、端面、镗孔，特别适用于自动线、数控机床

材料：刀具常用材料有高速钢和硬质合金，因车刀类型为焊接式，且工件材料为 45 钢，中批生产，故选用硬质合金刀片，查表 1-3，粗车应选牌号 YT5，半精车应选牌号 YT15。

规格：(1) 刀片。硬质合金车刀刀片的型号、尺寸及用途见表 1-4。刀片形状的选取主



要根据车刀用途而定,刀片尺寸的选择应根据切削深度与主偏角而定,而且参加切削工作的刀刃长度不能超过刀片全长的 60%~70%,故刀片型号选 A116。

(2) 刀柄。外圆车刀刀柄用于装夹,截面形状为矩形、正方形或圆形,一般选用矩形。其高度 H 根据机床中心高选择,如表 1-5 所示。当刀柄高度尺寸受到限制时,可加宽为正方形,以提高刚性。刀柄的长度一般为其高度的 6 倍。切断刀工作部分的长度需大于工件的半径。内孔车刀的刀柄,其工作部分截面一般做成圆形,长度大于工件孔深。故焊接式外圆车刀刀杆材料一般选 45 钢,刀杆截面形状选为矩形,断面 $B \times H$ 为 16×25 mm,高度 L 为 150 mm。

(3) 几何参数。车刀几何参数参考值见表 1-6。选择参考意见如下:

① 前角的大小决定着刀刃的锋利程度。前角增大,可使切削变形减小,切削力、切削温度降低,还可抑制积屑瘤等现象的产生,提高表面加工质量。但是前角过大,会使刀具楔角变小,刀头强度降低,散热条件变差,切削温度升高,刀具磨损加剧,刀具寿命降低。具体选择时应从以下几个方面考虑:加工塑性金属车刀前角较大,而加工脆性材料车刀前角较小;材料的强度和硬度越高,车刀前角越小,甚至取负值;高速钢强度、韧性好,可选较大前角车刀,硬质合金的强度、韧性较高速钢差,故选用车刀前角较小,陶瓷刀具前角应更小;粗加工和断续切削时选小值,精加工时选较大值。

② 选择主后角时要考虑以下因素:粗加工时,应选较小,精加工时选较大;加工塑性金属材料时,后角适当选大值;加工脆性材料时,后角选小值;加工高强度、高硬度钢时,后角也应选小值。

③ 副后角选择原则与主后角基本相同,对于有些焊接刀具,为便于制造和刃磨,取 $\alpha_o = \alpha'_o$ 。有的刀具,例如切槽刀和三面刃铣刀,取小后角 $\alpha'_o = 1^\circ \sim 2^\circ$ 。

④ 主偏角的选用与工艺系统刚性有关,刚性好时,常采用较小的主偏角,刚性差时要取较大主偏角;副偏角的大小主要影响已加工表面的粗糙度,为了降低工件表面粗糙度,通常取较小的副偏角。

⑤ 刃倾角的主要作用是控制切屑流出方向,增加刀刃的锋利程度,增加刀刃参加工作的长度,使切削过程平稳并保护刀尖。选择原则:粗加工时, λ_s 常取负值,虽然切屑流向已加工表面会划伤已加工表面,但保证了主切削刃的强度。精加工时常取正值,使切屑流向待加工表面,从而不会划伤已加工表面;加工断续表面、余量不均匀表面及有冲击载荷时,选择负刃倾角;一般情况下切槽刀和 45° 车刀 λ_s 为零度。

⑥ 刀尖过渡刃参数与选用见表 1-7。

综合考虑以上因素,查表 1-6 和表 1-7,合理选择粗加工车刀、半精加工车刀具的几何参数。

粗加工车刀选用: $\kappa_r = 90^\circ$, $\gamma_o = 15^\circ$, $\lambda_s = -5^\circ$ 、 $\alpha_o = 6^\circ$ 、 $\alpha'_o = 6^\circ$ 、 $\kappa'_r = 10^\circ$, 刀尖圆弧半径 $r_e = 0.5$ mm。

半精加工车刀选用: $\kappa_r = 90^\circ$, $\gamma_o = 20^\circ$, $\lambda_s = +5^\circ$ 、 $\alpha_o = 8^\circ$ 、 $\alpha'_o = 8^\circ$ 、 $\kappa'_r = 10^\circ$, 刀尖圆弧半径 $r_e = 0.5$ mm。



表 1-3 常用硬质合金牌号与性能

类型	牌号	成分(%)					物理力学性能					使用性能			对应 GB/T 2075—1998		
		w(WC)	w(TiC)	w(TaC) w(NbC)	w(Co)	w(其他)	密度/ (g/cm ³)	热导率 k (W·m ⁻¹ · K ⁻¹)	硬度 HRA (HRC)	抗弯 强度 /GPa	加工材料 类别	耐 磨 性	切 削 速 度	进 给 量	颜 色	代号	牌号
钨 钴 类	YG3	97	—	—	3	—	14.9~15.3	87	91(78)	1.2	短切屑的黑色 金属, 非铁金 属, 非金属材料	↑ ↓	↑ ↓	—	红	K 类	K01
	YG6X	93.5	—	0.5	6	—	14.6~15	75.55	91(78)	1.4							K10
	YG6	94	—	—	6	—	14.6~15	75.55	89.5(75)	1.42							K20
	YG8	92	—	—	8	—	14.5~14.9	75.36	89(74)	1.5							K3
钨 钛 钴 类	YT30	66	30	—	4	—	9.3~9.7	20.93	92.5(80.5)	0.9	长切屑的 黑色金属	↑ ↓	↑ ↓	—	蓝	P 类	P01
	YT15	79	15	—	6	—	11~11.7	33.49	91(78)	1.15							P10
	YT14	78	14	—	8	—	11.2~12	33.49	90.5(77)	1.2							P20
	YT5	85	5	—	10	—	12.5~13.2	62.8	89(74)	1.4							P30
添 加 (钽、铌) 类	YG6A	91	—	3	6	—	14.6~15	—	91.5(79)	1.4	长或短切屑的 黑色金属, 有色 金属	—	—	红	K 类	K10	
	YG8N	91	—	1	8	—	14.5~14.9	—	89.5(75)	1.5						K20	
	YW1	84	6	4	6	—	12.8~13.3	—	91.5(79)	1.2						M10	
	YW2	82	6	4	8	—	12.6~13	—	90.5(77)	1.35						M20	
碳化 钛基类	YN05	—	79	—	—	Ni17 Mo14	5.56	—	93.3(82)	0.9	长切屑的 黑色金属	—	—	蓝	P 类	P01	
	YN15	15	62	1	—	Ni12 Mo10	6.3	—	92(80)	1.1						P01	

注: Y—硬质合金; G—钴; X—细颗粒合金; A—含 TaC(NbC)的 YG 类合金; W—通用合金; N—不含钴, 用镍作黏结剂的合金。



表 1-4 常见硬质合金车刀刀片型号、尺寸及用途

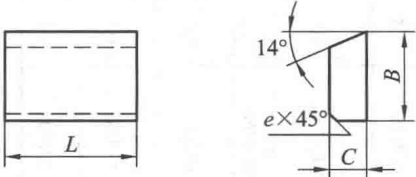
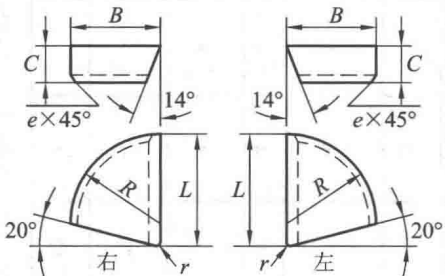
刀片形状	型 号		尺 寸						用 途
	右	左	L	B	C	R	r	e	
	A106		6	5	2.5				制造外圆(直头和弯头)车刀、镗刀及切槽
	A108		8	7	3				
	A110		10	6	3.5			0.8	
	A112		12	10	4			0.8	
	A114		14	12	4.5			0.8	
	A116		16	10	5.5			0.8	
	A118		18	12	7			0.8	
	A118A		18	16	6			0.8	
	A120		20	12	7			0.8	
	A122		22	15	8.5			0.8	
	A122A		22	18	7			0.8	
	A125		25	15	8.5			0.8	
	A125A		25	20	10			0.8	
	A130		30	16	10			0.8	
	A136		36	20	10			0.8	
	A208		8	7	2.5	6	0.5		镗刀和端面车刀
	A210		10	8	3	6	1		
	A212	A212Z	12	10	4.5	10	1	0.8	
	A216	A216Z	16	14	6	14	1	0.8	
	A220	A220Z	20	18	7	18	1	0.8	
	A225	A225Z	25	20	8	20	1	0.8	

表 1-5 常用车刀刀柄截面尺寸

机床中心高 L	150	180~200	260~300	350~400
正方形刀柄断面 H^2	16^2	20^2	25^2	30^2
矩形刀柄断面 $B \times H$	12×20	16×25	20×30	25×40



表 1-6 外圆车刀几何参数参考值

工件材料	刀具材料	刀具几何参数						
		前角	后角	副后角	主偏角	副偏角	刃倾角	刀尖半径/mm
低碳钢 (A3)	YT5	20° ~	8° ~	6° ~	45° ~	6° ~	0° ~+5°	0.2~1
	YT15	30°	10°	8°	90°	10°		
中碳钢 (45 钢、正火)	YT5	15° ~	5° ~	5° ~	45° ~	6° ~	-5° ~ +5°	0.2~1
	YT15	20°	8°	8°	90°	10°		
中碳钢 (45 钢、调质)	YT15	10° ~	5° ~	5° ~	45° ~	6° ~	-5° ~ +5°	0.2~1
	YT30	18°	8°	8°	90°	10°		
合金钢 (40Cr、正火)	YT5	13° ~	5° ~	4° ~	45° ~	6° ~	0° ~-5°	0.2~1
	YT15	20°	8°	6°	90°	10°		
合金钢 (40Cr、调质)	YT15	10° ~	5° ~	4° ~	45° ~	6° ~	0° ~-5°	0.2~1
	YT30	18°	8°	6°	90°	10°		
钢锻件 (40Cr、45 钢)	YT5	10° ~	5° ~	4° ~	45° ~	6° ~	0° ~-5°	1~1.5
	YT30	15°	7°	6°	90°	10°		
不锈钢 (1Cr18Ni9Ti)	YG6	15° ~	6° ~	5° ~	45° ~	6° ~	0° ~-5°	0.2~1
	YA6	20°	8°	7°	90°	10°		
淬火钢 HRC40~50	YT5	-5° ~	8° ~	6° ~	45° ~	6° ~	-5° ~ -12°	1~2
	YT15	15°	12°	8°	75°	8°		
铸铁 (HT200)	YG6	5° ~	4° ~	4° ~	45° ~	6° ~	0° ~5°	0.5~1
	YG3	15°	8°	6°	90°	10°		
黄铜 (HPb59-1)	YG8	8° ~	6° ~	4° ~	45° ~	6° ~	0° ~5°	0.5~1
	YG6	12°	8°	6°	90°	10°		
铝合金 (LY12)	YG8	30° ~	8° ~	6° ~	45° ~	6° ~	5° ~10°	0.5~1
	YG6	40°	12°	10°	90°	10°		



表 1-7 刀尖过渡刃参数与选用

刀尖形状	简 图	用 途
尖 头		粗加工及弱刚性工件的加工
圆 头		各种材料粗加工， 一般 $r_ε=0.2\sim1.5$
直线过渡刃	 $\kappa_{re} = \frac{1}{2} \kappa_r$ $b_ε = (0.2\sim0.25)a_p$	硬材料的加工，刀尖强度要求较低，刀 具磨损较快的粗加工
过渡刃加修 光刃	 $b'_{ε} = 1.2\sim1.5$ $\kappa'_r = 0^\circ$	系统刚性较好的半精加工

2. 砂轮的选择

砂轮是磨削的切削工具，是由磨粒用结合剂黏结而成的多孔体。砂轮的切削性能与磨料、粒度、硬度、结合剂、组织及砂轮形状、尺寸等因素有关，根据以下五个方面选择砂轮。

1) 磨料

磨料具有很高的硬度，是起切削作用的。目前常用的磨料可分为刚玉系、碳化物系和超硬磨料系三类，其具体名称、代号、主要成分、性能和适用范围等见表 1-8。

2) 粒度

粒度是指磨料颗粒的粗细。粒度分磨粒与微磨粒两类：磨粒按筛选法分类，以一英寸长的筛子上的孔网数来表示；微磨粒按显微测量法实际量得的磨料尺寸来分类。粒度号小，磨粒粗，磨削效率高，加工表面粗糙；粒度号大，磨粒细，磨出工件的表面较光洁，但切削效率低。表 1-9 列出了不同粒度的使用范围。



表 1-8 常用磨料

系别	名称	代号	主要成分	颜色	性能	适用范围
刚玉	棕刚玉	A	Al_2O_3 92.5%~97% TiO_2 1.5%~3.8%	棕褐色	硬度较低, 韧性较好	磨削碳素钢、合金钢、可锻铸铁与青铜
	白玉刚	WA	Al_2O_3 不少于 98.5%	白色	较 A 硬度高, 磨粒锋利, 韧性差	磨削淬硬的高碳钢、合金钢、高速钢, 磨削薄壁零件、成形零件
	单晶刚玉	SA	Al_2O_3 单晶体	浅黄色或白色	较 WA 硬度高, 韧性好, 磨粒棱角多, 更锋利	磨削不锈钢、高钒高速钢、其他耐磨削材料。内圆磨削等散热不良的磨削和高表面粗糙度磨削
	微晶刚玉	MA	Al_2O_3 小晶体	棕褐色	形成许许多多微刃, 韧性好, 自锐性好	磨削不锈钢、特种球墨铸铁高表面粗糙度磨削
	铬刚玉	PA	Al_2O_3 97.5%以上 Cr_2O_3 1.15%以上	玫瑰红色	韧性比 WA 好	磨削高速钢、不锈钢。成形磨削, 刀具刃磨, 高表面粗糙度磨削
	锆刚玉	ZA	Al_2O_3 77%以上 ZrO_2 10%~15%	灰色	韧性好, 耐磨性好, 硬度稍低	重负荷磨削, 特别是磨削合金钢和不锈钢
	黑玉刚	BA	Al_2O_3 77%~79% SiO_2 10.5%~12% TiO_2 2.75%~3.2% Fe_2O_3 6%~8%	黑色	硬度较高, 韧性、自锐性较好	抛光铝、不锈钢、电镀金属、光学玻璃
碳化物	黑碳化硅	C	SiC 97%~98.5% 以上	黑色带光泽	比刚玉类硬度高, 导热性能好, 但韧性差	磨削铸铁和青铜
	绿碳化硅	GC	SiC 97.5%~99% 以上	绿色带光泽	较 C 硬度高, 导热性好, 韧性较差	磨削硬质合金、宝石、光学玻璃
	立方碳化硅	SC	SiC 呈立方晶格	草绿色无光泽	硬度较 GC 高	超精磨削
	立方碳化硼	BC	B_4C	黑色	比刚玉、C、GC 都硬, 耐磨且温度高时易氧化	研磨硬质合金
超硬磨料	人造金刚石	JR	C	白色 淡绿 黑色	硬度最高, 韧性最差	磨削硬质合金、光学玻璃、宝石、陶瓷等高硬度材料
	立方氮化硼	CBN	BN	棕黑色	硬度仅次于 JR, 韧性较 JR 好	磨削高钒高速钢等难加工材料, 坐标磨床用



表 1-9 不同粒度的使用范围

砂轮粒度	使用范围
14~24	磨钢锭，切断钢坯，打磨铸件毛刺
36~60	磨平面、外圆、内圆以及无心磨等
60~100	精磨和工具刃磨等
120~W20	精磨、珩磨和螺纹磨
W20 以下	镜面磨、精细珩磨、超精磨等

3) 硬度

砂轮硬度是指砂轮工作表面的磨粒在外力作用下脱落的难易程度。砂轮硬度软的，磨粒易脱落；砂轮硬度硬的，磨粒不易脱落。硬度主要取决于结合剂的性能、数量及砂轮的制造工艺。表 1-10 列出了砂轮的硬度等级。

表 1-10 硬度等级及代号

等 级	大级	超软			软			中软		中		中硬			硬		超硬
	小级	超软			软 1	软 2	软 3	中软 1	中软 2	中 1	中 2	中硬 1	中硬 2	中硬 3	硬 1	硬 2	超硬
代 号	GB 2484—84	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R	S	T	Y

磨削硬质合金刀，可选软 2~软 3 的 GC 绿色碳化硅砂轮；磨削淬过火的碳素钢、合金钢、高速钢，可选用软 2~中软 1 砂轮；磨削未淬火钢，可用中软 2~中 2 砂轮；精磨与成形磨需保持砂轮的形状和精度，应选用较硬的砂轮。

4) 黏结剂

黏结剂(又称结合剂)是砂轮中用以黏结磨料的物质。砂轮的强度、抗冲击性、耐热性及抗腐蚀能力等，主要取决于结合剂的性能。常用结合剂的性能及用途见表 1-11。

表 1-11 常用结合剂

名称	代号	性 能	用 途
陶瓷结合剂	V	耐腐蚀性好，能保持正确的几何形状，气孔率大，磨削效率高，强度较大，韧性、弹性、抗震性差，不能承受侧向力	$v_c < 35 \text{ m/s}$ ，应用最广，能制作各种模具，适用于成形磨削和磨螺旋纹、齿轮、曲轴等
树脂结合剂	B	强度大，富有弹性，耐冲击，能够在高速下工作；耐热及耐腐蚀性能比较差，气孔率小	$v_c > 50 \text{ m/s}$ 的高速磨削。可制成薄片砂轮磨槽，刃磨刀具前刀面，高精度磨削。湿磨时，切削液中含碱量小于 1.5%
橡胶结合剂	R	弹性更好，强度更大，气孔率小，磨粒易脱落，耐热、耐腐蚀性差，有臭味	制造磨轴承槽和无心磨砂轮、导轮、薄片砂轮、柔性抛光砂轮
金属结合剂(青铜、电镀镍)	M	韧性、成形性好，强度大，自砺性能差	制造各种金刚石磨具，使用寿命长。制造直径 1.5 mm 以上的用青铜；直径 1.5 mm 以下的用电镀镍