

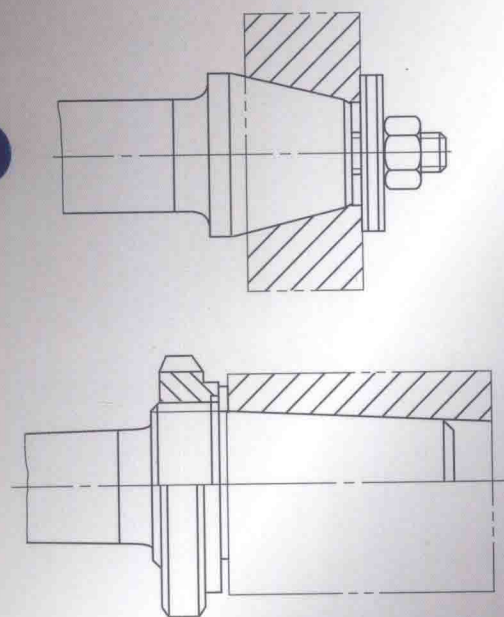


赵战峰 战祥乐 著



数控编程高级应用教程 (基于德国标准)

SHUKONG BIANCHENG
GAOJI YINGYONG JIAOCHENG



化学工业出版社

赵战峰 战祥乐 著



数控编程高级应用教程 (基于德国标准)

本书是作者在长期从事数控编程教学和科研工作的基础上，结合多年的实践经验编写而成的。本书主要介绍数控编程的高级应用，包括数控编程的先进方法、数控编程的优化设计、数控编程的仿真与验证、数控编程的现场应用等。本书可作为高等院校机械类、机电类、自动化类等专业及相关工程技术人员的学习和参考。



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

数控编程高级应用教程: 基于德国标准/赵战峰,
战祥乐著. —北京: 化学工业出版社, 2015.9
ISBN 978-7-122-24661-5

I. ①数… II. ①赵… ②战… III. ①数控机床-程
序设计-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 152009 号

责任编辑: 贾 娜
责任校对: 吴 静

文字编辑: 张绪瑞
装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 10 $\frac{3}{4}$ 字数 154 千字 2015 年 10 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 46.00 元

版权所有 违者必究

广东是职业教育大省，具备良好的职业教育发展环境和氛围。近年来，广东适应经济发展方式转变和产业转型升级的要求，稳步推进现代职业教育建设，取得明显成效。现代职业教育是构建现代产业体系的重要支撑，产业转型升级的成败取决于对先进技术的自主创新能力和应用开发能力，取决于是否拥有一大批具备对先进技术自主创新能力和应用开发能力的高素质技术技能人才。为此，广东省委省政府提出了构建现代职业教育体系的战略目标。为实现这一战略目标，必须加快职业教育的国际化，学习借鉴国际先进的职业教育理念和方式，引进吸收国际先进技术、标准，深化教育教学改革，培养产业转型升级迫切需要的高素质技术技能人才。2010年6月，粤德高层互访后广东省领导强调广东要与德国加强“双向交流”，加快引进德国先进技术，助推广东省产业转型升级。此后，广东省在职业教育领域更加注重与德国同行的交流与合作，开展了一系列卓有成效的活动，把重心放在引进德国先进技术标准上，以适应广东省先进制造业的发展需要。

德国数控标准采用的是 DIN 66025，是整个欧盟国家普遍采用的数控标准。近年来，广东轻工职业技术学院战祥乐老师及其团队在繁忙的教学工作之余，对这一标准作了深入研究，形成了《数控编程基础应用教程（基于德国标准）》、《数控编程高级应用教程（基于德国标准）》、《数控编程工作任务（基于德国标准）》系列图书。该系列图书以图解和项目的形式全面讲解了德国标准 DIN 66025 的内涵，引进了德国近年来在数控技术职业教育方面的成功经验，结合目前广东省职业院校比较普遍使用的 FANUC 数控系统，以编程对比的形式进行了详细的阐述。该系列图书内容全面，涵盖了数控车、数控铣、车铣复合、3+2 轴编程，全面讲解了 DIN 66025 的通用编程方法，也专门讲述了 FANUC、SINUMERIK、HEIDENHAIN 数控系统的编程。该系列图书分基础编程、高级编程，同时配有德国标准 DIN 66025 工作任务，基础应用教程和高级应用教程形成梯次递进的体系，有助于全面提高学生的数控编程能力。

据本人所知，该系列图书是我国首套全面讲解德国数控编程标准的专业书籍，为广东省职业教育引进德国先进标准迈出了可贵的第一步，是粤德职业教育合作和现代职业教育教学改革的重要成果。相信随着该丛书的出版，将有力地推动广东省数控技术专业职业教育，进一步提升教学水平和人才培养质量。



2015 年 5 月

随着经济结构调整、产业转型升级的深入，广东省积极借鉴欧盟国家特别是德国在自主创新、培养和使用人才等方面的经验与做法，引进更多的德资企业，加强双向交流合作，推动经济发展。因此，广东省与德国的合作呈不断上升的趋势。

广东省作为国家高技能人才培养的先进地区，在我国率先以数控技术专业为试点，制定实施职业教育等级证书制度。在该制度的制定实施过程中，充分参考德国先进的职业教育理念、标准和资源，积极探索国际合作培养高端技能人才的路径。这样既有助于提高广东省职业教育的整体教学水平，又可以引发我们对现有教育模式的反思，改变现有的不适应新形势的旧观念和做法，促进职业教育的教学改革。德国标准 DIN 66025 是国际上最先进的数控标准之一，编写本书的目的在于将其引入我国高职、中职学校数控技术专业的教学中。同时，有利于培养实用型高技能人才，提高数控技术专业教师的教学能力。

数控 PAL (prüfungsaufgaben und lehrmittelentwicklungsstelle) 是德国工商会 DIHK (Deutscher Industrie-und Handelskammertag) 应用数控标准 DIN 66025 进行数控编程教学及考核的简称。本书以图解配以项目的形式全面讲解数控车铣复合编程、数控铣 3+2 轴编程。同时，将 PAL 数控编程与 SINUMERIK、FANUC 数控编程进行对比，从而使读者更容易掌握与过渡。

本书所有项目均通过德国 KELLER 软件的验证，所有编程项目通过机床实际加工验证。

本书由广东轻工职业技术学院赵战峰、战祥乐著。特别感谢德国 Keller SYMplus CNC 公司、Chinawindow 公司及德国工商会上海分会 AHK (Deutsche Auslandshandelskammern) 对本书提供的帮助与支持。感谢广东省教育厅魏中林副厅长为本书的出版作序，感谢广东省教育厅吴念香调研员为本书提出的大量指导性建议。

由于著者的水平所限，不足之处在所难免，请广大读者斧正。

著者

2015 年 5 月

第一章 数控车铣复合编程项目

第一节 车铣复合编程基础	1
例一 数控车铣复合编程（一）	3
例二 数控车铣复合编程（二）	6
第二节 车铣复合编程项目	9
项目一 轴向孔加工	11
项目二 轴向沟槽加工（一）	18
项目三 轴向沟槽加工（二）	25
项目四 轴向钻孔及铣方台	32
项目五 轴向钻孔及铣六方	39
项目六 圆柱面钻孔	46
项目七 圆柱面上沟槽加工（一）	52
项目八 圆柱面上沟槽加工（二）	59
项目九 综合加工（一）	66
项目十 综合加工（二）	72
项目十一 综合加工（三）	80
第三节 车铣复合编程练习题	83

第二章 多轴加工（3+2 轴）编程项目

第一节 图解 PAL 数控系统多轴（3+2 轴）指令	91
第二节 SINUMERIK840D 数控系统多轴(3+2 轴)指令	93
第三节 FANUC 31i-A 数控系统多轴(3+2 轴)指令	93
第四节 多轴加工数控编程项目	94
项目一 定位加工（一）	95
项目二 定位加工（二）	105
项目三 定位加工（三）	117
项目四 综合加工	143
第五节 多轴铣削编程练习题	160
参考文献	165

第一章

数控车铣复合编程项目

第一节 车铣复合编程基础

车铣复合机床是车削工艺与铣削工艺的复合体，相当于一台数控车床和一台加工中心的复合。复合加工是机械加工领域的发展趋势之一，是一种先进制造技术，应用越来越广泛。通常的车铣复合机床以数控车削功能为主，可以实现部分数控铣削功能。车铣复合机床实现的数控铣削一般可分为图 1-1 所示的两种。

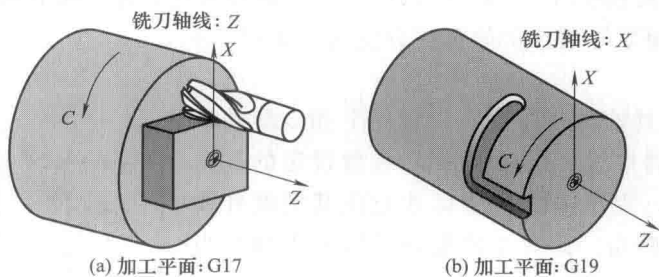


图 1-1 加工平面

1. 车铣复合机床的坐标系

车铣复合机床的坐标系如图 1-2 所示。

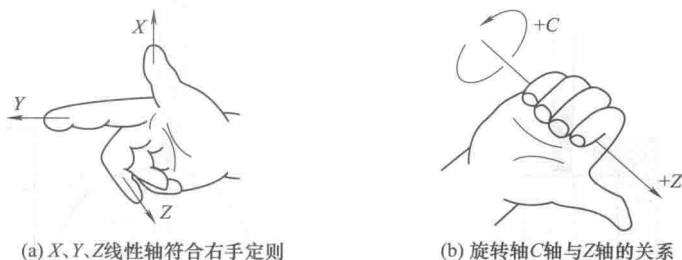


图 1-2 坐标系

2. DIN/PAL 标准中加工平面的定义

(1) G17C: 刀具轴线沿 Z 轴进行端面加工，可以用 C 指令驱动车铣复合机床主轴旋转

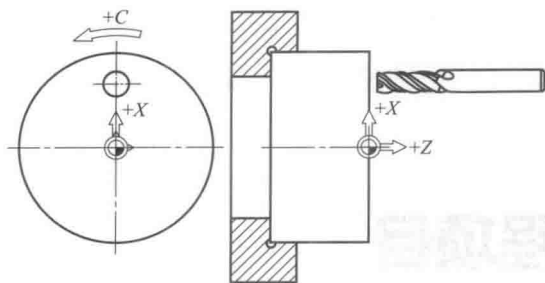


图 1-3 G17C 平面加工示意图

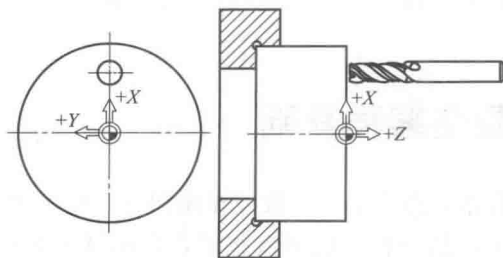


图 1-4 G17 平面加工示意图

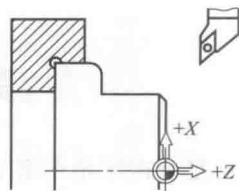


图 1-5 G18 平面加工示意图

(4) G19C: 刀具轴线沿 X 轴, 可以用 C 指令驱动车铣复合机床主轴旋转进给。此时车铣复合机床的主轴相当于数控铣的数控分度头。如图 1-6 所示。

(5) G19X: 刀具轴线沿 X 轴, 可以用 Y 指令驱动车铣复合机床主轴旋转进给。该指令的 X 参数设定的是圆周展开的基圆直径, 程序中的 Y 值即通过此基圆展开线按比例转换为 C 轴转角。此时车铣复合机床的主轴相当于数控铣的数控分度头。如图 1-7 所示。

(6) G19Y: 刀具轴线沿 X 轴, 用 C 指令驱动车铣复合机床主轴旋转进给, 利用 X 轴直线位移与 C 轴转角的配合虚拟 Y 轴直线进给。故此方式不允许 X 轴或 Y 轴与

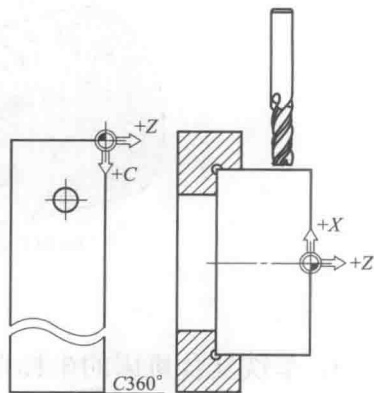


图 1-6 G19C 平面加工示意图

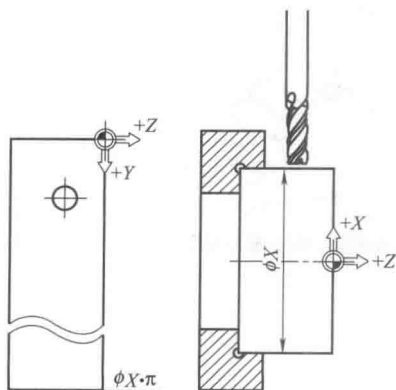


图 1-7 G19X 平面加工示意图

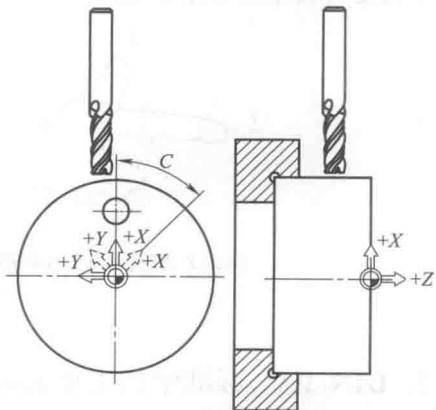


图 1-8 G19Y 平面加工示意图

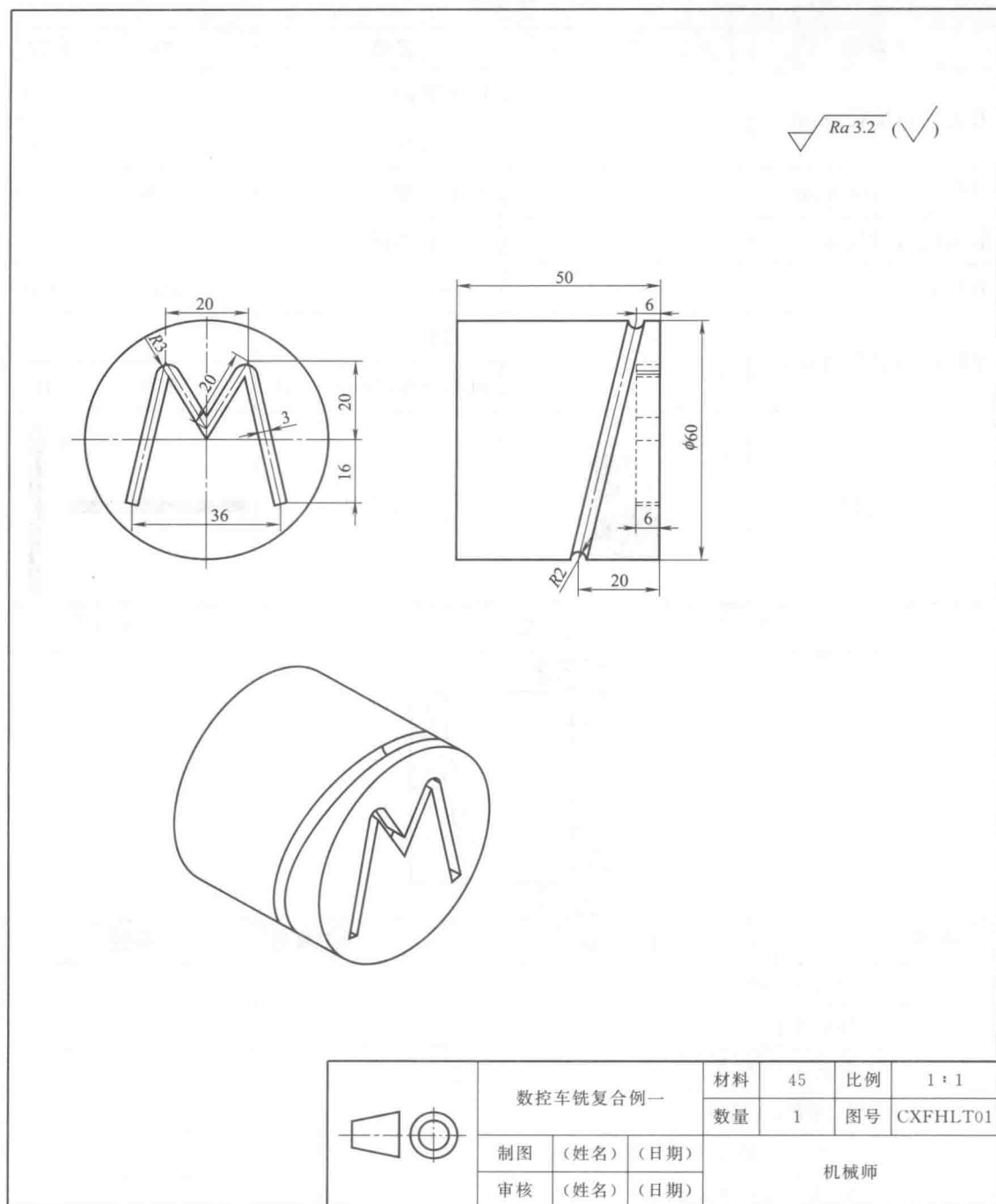
进给。此时车铣复合机床的主轴相当于数控铣的回转工作台。如图 1-3 所示。

(2) G17: 刀具轴线沿 Z 轴进行端面加工, 利用 X 轴直线位移与 C 轴转角的配合虚拟 Y 轴直线进给。此时车铣复合机床的主轴相当于数控铣的线性工作台。如图 1-4 所示。

(3) G18: 车削加工平面, 为机床缺省状态。如图 1-5 所示。

C 轴联动。C 指令只能独立实现转位。此时车铣复合机床的主轴相当于数控铣的数控分度头。如图 1-8 所示。

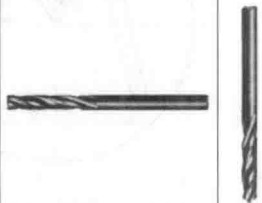
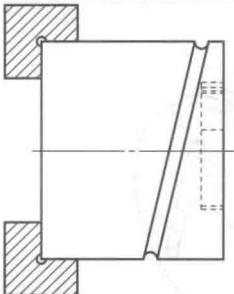
例一 数控车铣复合编程（一）



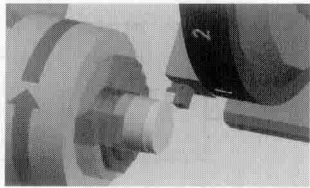
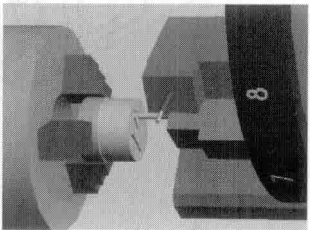
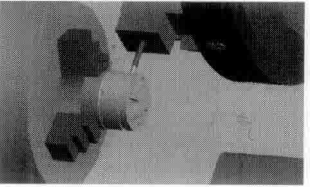
学习目的：理解车铣复合机床 G17、G18、G19X 加工平面。

学习重点：理解车铣复合机床 G17、G19X 加工平面。

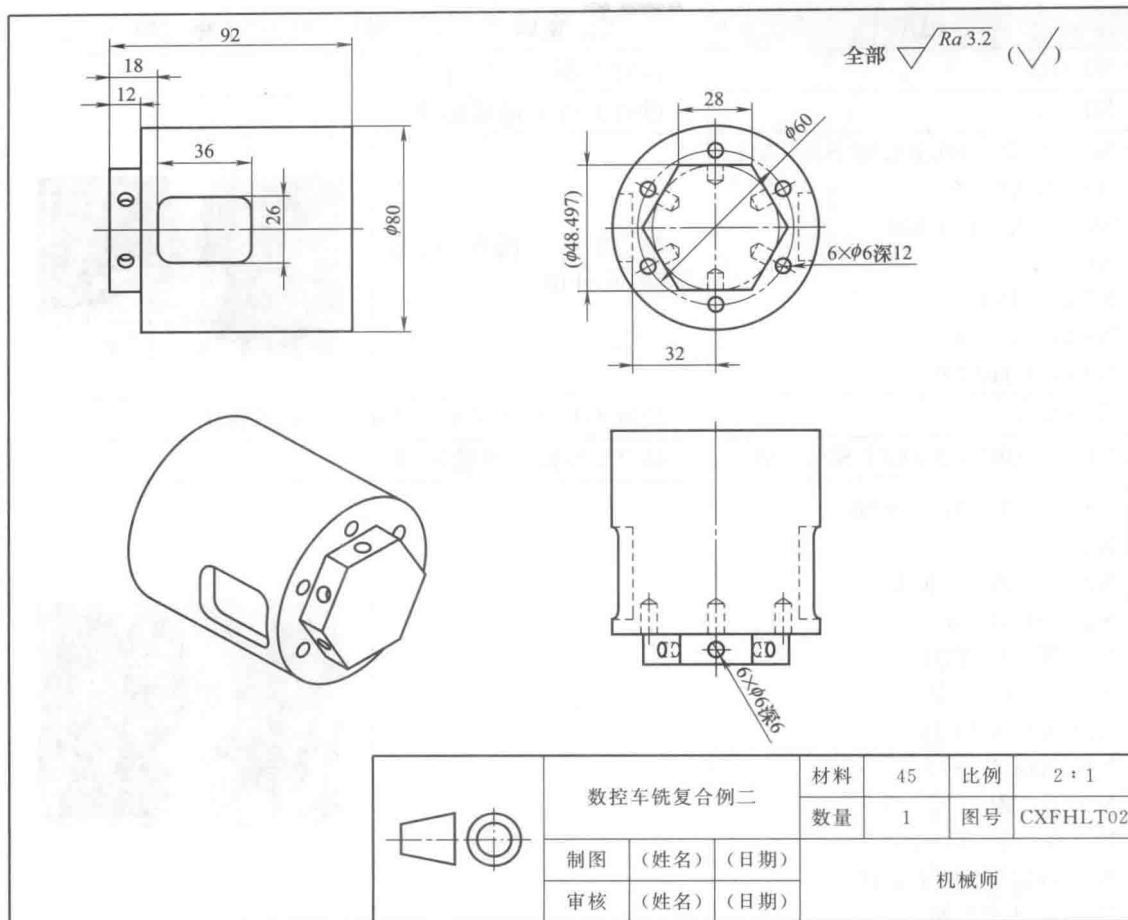
1. 数控车铣复合加工工艺

材料:中碳钢		毛坯:φ62×51		程序号:	
刀具表					
刀具号	T1	刀具号	T2	T4	
刀尖圆角半径/mm	0.8	加工平面	G17	G19	
		刀具直径/mm	6	4	
切削速度/(m/min)	200	主轴转速/(r/min)	5000	6000	
最大吃刀量/mm	2.5	最大吃刀量/mm			
刀具材料	P10	刀具材料	P10	P10	
每转进给量/(mm/r)	0.1~0.3	刀刃数	2	2	
		进给速度/(mm/min)	200	100	
示意图		示意图			
工艺卡					
					
序号	内 容		刀具号	备注	
1	检查毛坯尺寸				
2	装夹工件				
3	设置工件零点				
4	车端面,车外圆		T1		
5	铣削端面的文字		T2		
6	铣削圆柱面上的槽		T4		
7	检测				
8	拆卸工件				

2. PAL 数控编程

程序	说明	工步简图
N1 G18	设置车削加工平面	
N1 G54	设置工件坐标系零点	
N3 T1 G95 F0.3 G96 S180 M4 N4 G0 X64 Z0 N5 G1 X-1.6 M8 N6 Z1 N7 G0 X60 N8 G1 Z-30 N9 G14 H0 M9	换 T1 号外圆车刀, 车端面、车外圆	
N10 G17	设置 G17 加工平面, 准备铣削端面形状	
N11 T2 G94 F200 G97 S5000 M3	换 T2 号轴向键槽铣刀	
N12 G0 X-18 Y-16 N13 Z8 N14 G0 ZI-7 M8 N15 G1 ZI-3 N16 X-10 Y20 N17 X0 D20 H2 N18 X10 D20 H1 N19 X18 Y-16 N20 G0 ZI8 N21 X-18 Y-16 N22 G23 N14 N21 H2 N23 G14 H2 M9	分 3 层铣削文字	
N24 G19 X60	设置 G19X 加工平面, 准备铣削柱面上的槽。X 参数为计算 Y 坐标的基准圆直径。Y 轴的直线移动量 Y_1 与 C 轴角位移 Y_a 、基准圆直径 X 的关系为: $Y_1 = \frac{X\pi}{360} Y_a$	
N25 T4 G94 F100 G97 S6000 M3	换 T4 号径向球头铣刀	
N26 G0 Y47.124 Z-6 X31 N27 G1 XI-2 M8 N28 YI94.248 Z-20 N29 YI94.248 Z-6 N30 XI1 N31 G23 N27 N30 N32 G14 H1 M9	C 轴要定位到 90° , 则对应的 Y 轴位移: $\frac{60\pi}{360} \times 90 = 47.124$ 分 2 层铣削槽	
N116 M30	程序结束	

例二 数控车铣复合编程（二）



学习目的：理解车铣复合机床 G17、G18、G17C、G19C、G19Y 加工平面。

学习重点：理解车铣复合机床 G17C、G19C、G19Y 加工平面。

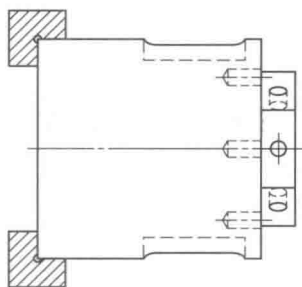
1. 数控车铣复合加工工艺

材料:中碳钢	毛坯:φ82×93		程序号:	
刀具表				
刀具号	T1	T3	T5	T7
刀尖圆角半径/mm	0.8			
切削速度/(m/min)	200			
最大吃刀量/mm	2.5			
刀具材料	P10			
每转进给量/(mm/r)	0.1~0.3			
示意图				

续表

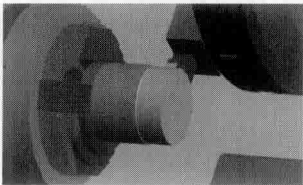
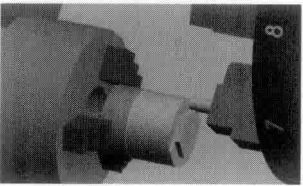
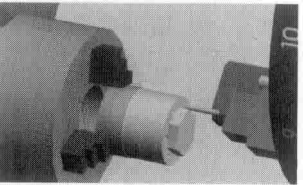
刀具号	T2	T4	T6	T8
加工平面	G19	G19	G17	G17
刀具直径/mm	10	6	12	6
主轴转速/(r/min)	4000	1000	3800	1000
最大吃刀量/mm				
刀具材料	P10	HSS	P10	HSS
刀刃数	2	2	2	2
进给速度/(mm/min)	200	100	200	100
示意图				

工艺卡

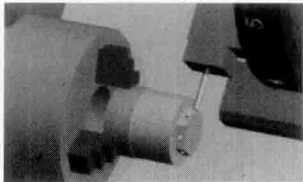
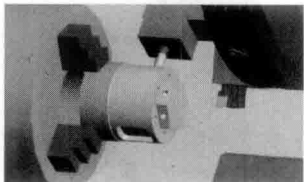


序号	内容	刀具号	备注
1	检查毛坯尺寸		
2	装夹工件		
3	设置工件零点		
4	车端面,车外圆	T1	
5	铣六方	T6	
6	钻轴向孔	T8	
7	钻径向孔	T4	
8	铣削柱面上的槽	T2	
9	检测		
10	拆卸工件		

2. PAL 数控编程

程序	说明	工步简图
N1 G18		
N1 G54	设置工件坐标系零点	
N3 T1 G95 F0.3 G96 S180 M4 N4 G0 X84 Z0 N5 G1 X-1.6 M8 N6 Z1 N7 G0 X80 N8 G1 Z-60 N9 G14 H0 M9	换 T1 号外圆车刀, 车端面	
N10 G17	设置 G17 加工平面, 准备铣削端面形状	
N11 T6 G94 F200 G97 S3000 M3	换 T6 号轴向铣刀, 铣削六边形台	
N12 G0 X45 Y20 N13 Z1 N14 G1 ZI-3 M8 N15 G41 G47 R12 X28 Y0 N16 G1 X14 D28 H2 N17 X-14 N18 D28 AS120 N19 D28 AS60 N20 X14 N21 X28 Y0 N22 G48 G40 R12 N23 G0 ZI1 N24 X45 Y20 N25 G23 N14 N24 H5 N26 G14 H0 M9	分 6 层铣削六边形台	
N27 G17 C	设置 G17 C 加工平面, 准备钻轴向孔	
N28 T8 G94 F100 G97 S1200 M3	换 T8 号轴向钻头	
N29 G0 C30 N30 X60 N31 Z5 N32 G83 ZI-12 D5 V2 M8 N33 G79 Z-12 W5 N34 G0 CI60 N35 G23 N32 N34 H5 N36 G14 H0 M9	G83 断屑钻孔循环 G79 调用 G83 钻孔循环钻孔	

续表

程序	说明	工步简图
N37 G19 C	设置 G19 C 加工平面, 准备钻径向孔	
N38 T4 G94 F100 G97 S1200 M3	换 T4 号径向钻头, 钻 径向孔	
N39 G0 Z-6 C30 X60 N40 G81 XI-6 V2 M8 N41 G79 X48.497 W60 N42 G0 CI60 N43 G23 N40 N42 H5 N44 G14 H0 M9	G81 钻孔循环 G79 调用 G81 钻孔循 环钻孔	
N45 G19 Y C0	设置 G19 Y 加工平面, 并 C 轴定位到 0°, 准备 铣槽	
N46 T2 G94 F180 G97 S2600 M3	换 T2 号径向键槽铣刀	
N47 G0 Y0 Z-36 X42 M8 N48 G72 XI-8 LP26 BP36 D2 V2 RN5 N49 G79 Y0 Z-36 X40 W42 N50 G19 Y C180 N51 G23 N47 N49 N52 G14 H0 M9	G72 定义槽参数 G79 调用 G72 铣削槽 将 C 轴定位至 180°, 铣 削另一槽	
N53 M30	程序结束	

第二节 车铣复合编程项目

本章以十一个项目, 循序渐进地、较全面地讲解了 PAL 数控车铣复合编程。项目的仿真结果如图 1-9~图 1-19 所示。

注意: 数控程序中的切削用量参考自德国的数控刀具及机床, 在实际生产或实训中, 应根据实际所使用的刀具及机床调整切削参数。

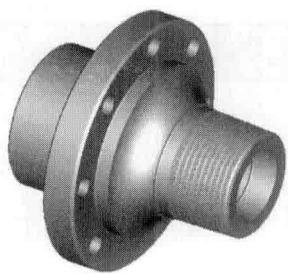


图 1-9 项目一 轴向
孔加工

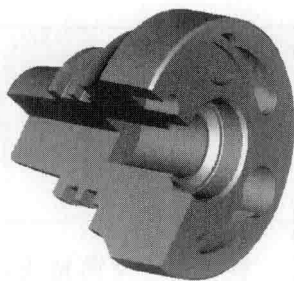


图 1-10 项目二 轴向沟槽
加工（一）

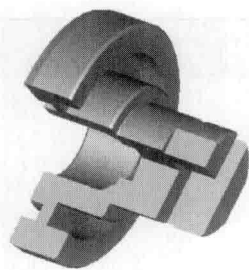


图 1-11 项目三 轴向沟
槽加工（二）

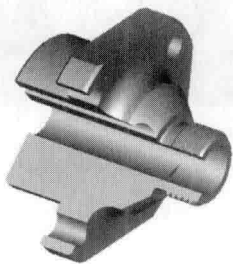


图 1-12 项目四 轴向钻
孔及铣方台

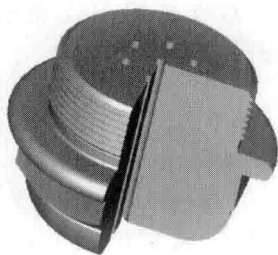


图 1-13 项目五 轴向钻孔
及铣六方

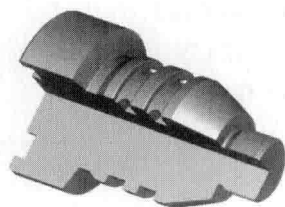


图 1-14 项目六 圆柱
面钻孔

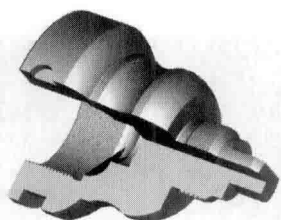


图 1-15 项目七 圆柱面
上沟槽加工（一）

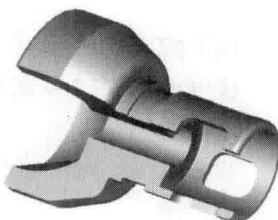


图 1-16 项目八 圆柱面
上沟槽加工（二）

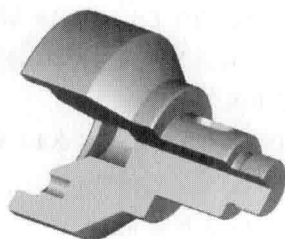


图 1-17 项目九 综合
加工（一）

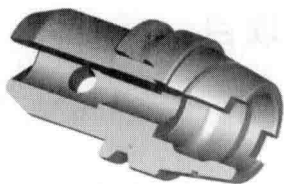


图 1-18 项目十 综合加工（二）

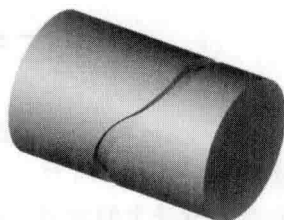
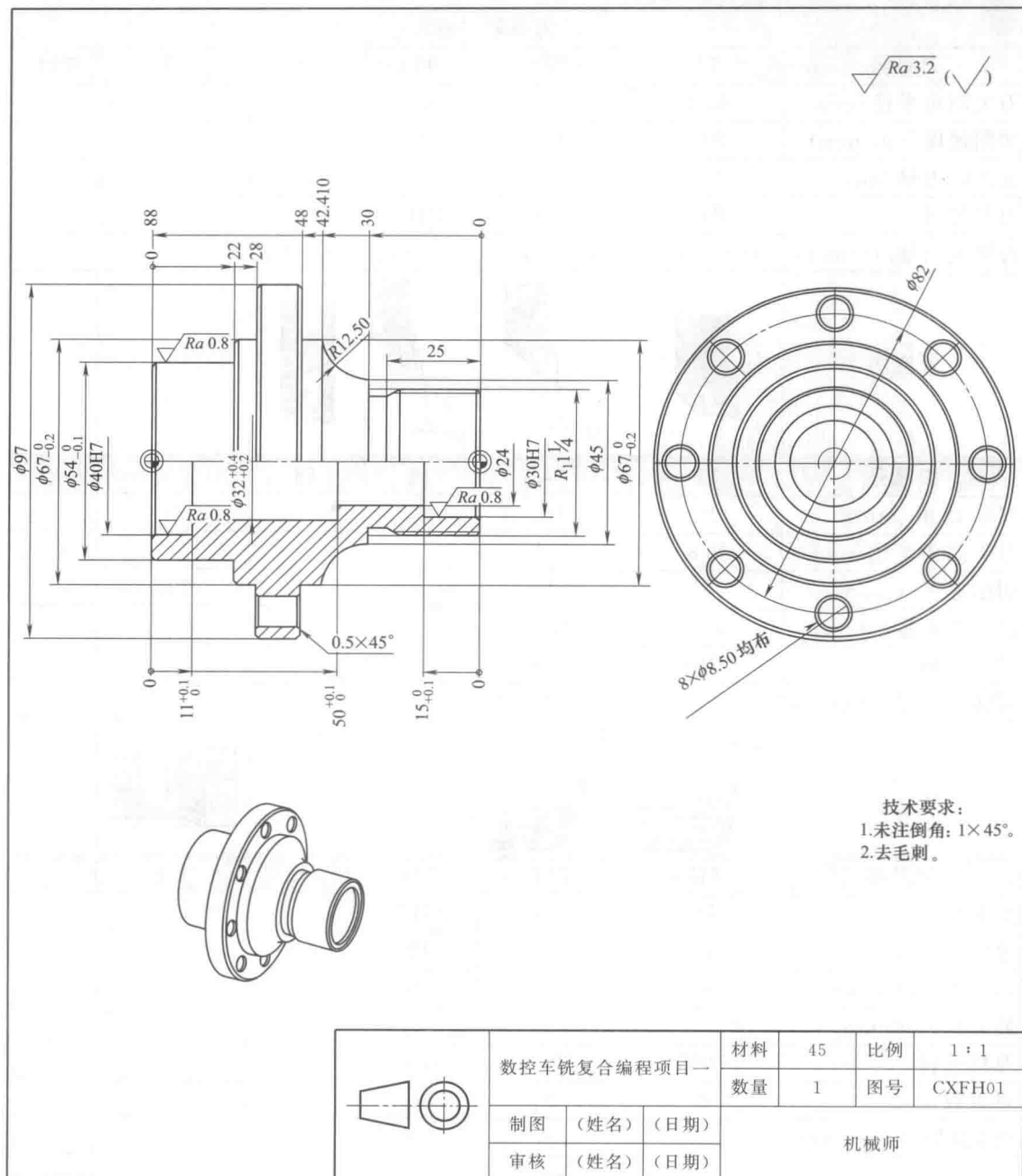


图 1-19 项目十一 综合加工（三）

项目一 轴向孔加工



学习目的: (1) 理解车铣复合机床 G17、G17C、G18 加工平面;

(2) 掌握在 G17 加工平面中加工圆周均布孔系的方法;

(3) 掌握 G81、G82 钻孔循环及在圆周上调用循环指令 G77。

学习重点: (1) 理解车铣复合机床 G17、G18 加工平面;

(2) 掌握 G81、G82、G77 指令。