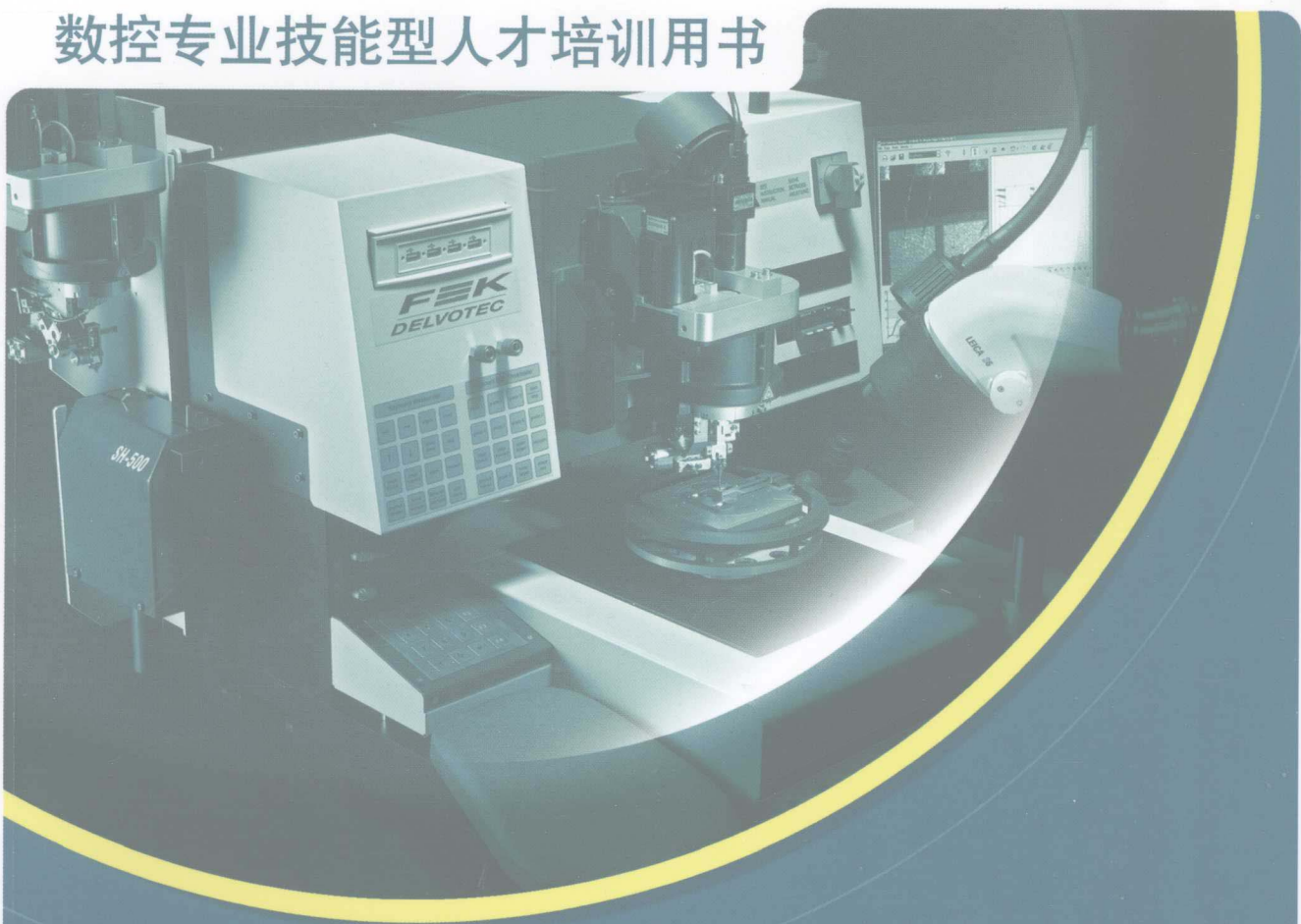


数控专业技能型人才培养用书



数控铣削技术 与技能训练

(提高篇)

周晓宏 主编

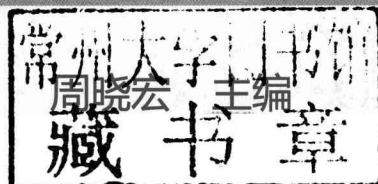


中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

数控专业技能型人才培养用书

数控铣削技术 与技能训练

(提高篇)



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书根据数控铣床操作工岗位的技术和技能要求,介绍了比较复杂的数控铣削技术和技能。本书按“项目”编写,精选了十四个“项目”,在“项目”下又分解为多个“任务”,是理论和实操结合的教材。本书按照学生的学习规律,从易到难,在“任务”引领下介绍完成该任务(加工工件、操作机床等)所需理论知识和实操技能。项目内容包括:复杂铣削零件的工艺分析,六方零件加工,心形槽加工,双半圆凸台加工,曲面零件铣削加工,宏指令编程及加工,复杂零件的铣削,西门子系统数控铣床的操作,西门子数控铣削系统的编程,运用西门子系统数控铣床加工零件,配合件加工,运用自动编程进行数控铣削加工,数控铣床中级操作工考核,数控铣床高级操作工考核。

本书所介绍的数控系统和数控铣床在生产实际中应用很广,书中实例丰富,图文并茂,通俗易懂,实用性强,适用面广,各项目都附有思考与练习。

本书适合作为学习数控铣床编程与加工技术与技能的教材,也可供各高等职业技术学院、技校、中职的数控技术应用专业、模具专业、数控维修专业、机电一体化专业学生阅读,还可供相关工种的社会化培训学员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

数控铣削技术与技能训练. 提高篇/周晓宏主编. —北京:中国电力出版社, 2011. 7

数控专业技能型人才培养用书

ISBN 978-7-5123-1919-6

I. ①数… II. ①周… III. ①数控机床: 铣削-技术培训-教材
IV. ①TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 141783 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 http://www.cepp.sgcc.com.cn)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 1 月第一版 2012 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 16.5 印张 401 千字

定价 34.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



前言



数控技术是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础；数控技术的应用是提高制造业的产品质量和劳动生产率必不可少的重要手段；数控机床是工业现代化的重要装备，是关系到国家战略地位和体现国家综合国力水平的重要标志。因此可预见 21 世纪机械制造业的竞争，其实质是数控技术的竞争。当前，中国正在逐步变成“世界制造中心”，为了增强竞争能力，制造业开始广泛使用先进的数控技术，数控机床在企业的使用数量正在大幅度增加，企业正急需大批数控编程与加工方面的技能型人才。然而，目前国内掌握数控编程与加工的技能型人才严重短缺，这使得数控技术应用技能型人才的培养显得十分迫切，为适应培养数控技术应用技能型人才的需要，我们总结了自己在生产一线和教学岗位上多年的心得体会，同时结合学校教学的要求和企业要求，组织编写了这套教材。

本套教材根据数控机床的种类和工种分为：数控车削技术与技能训练、数控铣削技术与技能训练、加工中心技术与技能训练、电火花加工技术与技能训练，每一类机床和工种又分为“基础篇”和“提高篇”，共计 8 本。

本套教材按“项目”来编写，“项目”下又分解为多个“任务”，是一种理论和实操结合的教材。每本教材都按照学生的学习规律，从易到难，精选了多个“项目”，在“任务”引领下介绍完成该任务（加工工件、操作机床等）所需理论知识和实操技能，符合目前我国职业教育界正大力提倡的“任务引领型”教学思路。“基础篇”介绍比较简单的数控加工的技术和技能，“提高篇”介绍比较复杂的数控加工的技术和技能。

本套教材的可操作性很强，读者按照该套教材的思路，通过书中项目的学习和训练，可很快掌握各种数控加工技术和技能。该套教材可大大提高学生学习数控加工技术和技能的兴趣和针对性，学习效率高。在编写过程中，突出体现“知识新、技术新、技能新”的编写思想，介绍知识和技能以“实用、可操作性强”为基本原则，不追求理论知识的系统性和完整性。本套教材是在作者多年来从事数控加工、编程方面的教学、科研、生产工作经验的基础上编写的，书中实例丰富，各项目都附有思考与练习。

本套书适合作为学习数控编程与加工技术与技能的教材，也可供各高等职业技术学院、

技校、中职的数控技术应用专业、模具专业、数控维修专业、机电一体化专业学生阅读，还可供相关工种的社会化培训学员阅读。

本套教材由深圳技师学院周晓宏副教授、高级技师主编，肖清、刘向阳参加编写。

由于编者水平有限，书中难免存在一些疏漏之处，恳请读者批评指正。

编 者

2011 年 6 月



目 录



前言

➤ 项目一 复杂铣削零件的工艺分析	1
任务一 平面凸轮的数控铣削加工工艺分析	1
任务二 箱盖类零件的数控铣削加工工艺分析	3
任务三 支架零件的数控铣削加工工艺分析	6
任务四 知识拓展: 工艺分析中的几项重要工作	11
任务五 复杂铣削零件工艺实训	23
思考与练习	24
➤ 项目二 六方零件加工	26
任务一 顺铣与逆铣	26
任务二 使用对刀工具对刀	28
任务三 六方零件铣削技能训练	32
任务四 凸台及槽加工实训	38
思考与练习	39
➤ 项目三 心形槽加工	42
任务一 形位公差及其测量	42
任务二 表面粗糙度及其测量	48
任务三 心形槽加工技能训练	52
任务四 圆台及棱形槽加工实训	55
思考与练习	56
➤ 项目四 双半圆凸台加工	59
任务一 比例缩放和镜像功能的使用	59

任务二	双半圆凸台加工技能训练	61
任务三	技能拓展:模具型腔加工实训	63
	思考与练习	65
➤	项目五 曲面零件铣削加工	67
	任务一 凹模加工	67
	任务二 曲面槽加工	70
	任务三 柱面铣削	72
	任务四 肥皂盒凹模加工实训	75
	思考与练习	77
➤	项目六 宏指令编程及加工	79
	任务一 宏指令编程方法	79
	任务二 宏指令的应用	87
	任务三 半圆球凸模加工	92
	任务四 椭圆锥台加工	94
	任务五 球面零件加工实训	96
	思考与练习	98
➤	项目七 复杂零件的铣削	100
	任务一 简化编程指令	100
	任务二 复杂零件一的加工	103
	任务三 复杂零件二的加工	108
	任务四 复杂零件三的加工	111
	任务五 复杂零件铣削实训	114
	思考与练习	115
➤	项目八 西门子系统数控铣床的操作	118
	任务一 认识机床操作面板	118
	任务二 开机和回参考点	121
	任务三 手动运行	122
	任务四 MDA 手动数据输入	123
	任务五 程序输入和编辑	125
	任务六 对刀及参数输入	127
	任务七 图形模拟	131
	任务八 自动加工	132

任务九 执行外部程序	135
任务十 技能拓展	136
思考与练习	139
➤ 项目九 西门子数控铣削系统的编程	141
任务一 编程指令及程序格式	141
任务二 编程方法	144
任务三 编程训练	165
思考与练习	168
➤ 项目十 运用西门子系统数控铣床加工零件	170
任务一 简单零件的加工	170
任务二 中等复杂零件的加工	171
任务三 复杂零件的加工	174
任务四 运用西门子系统数控铣床加工实训	183
思考与练习	184
➤ 项目十一 配合件加工	186
任务一 配合件的加工方法	187
任务二 凸模铣削加工	188
任务三 凹模铣削加工	190
任务四 配合件加工实训	192
任务五 技能拓展：翻面对刀方法	193
思考与练习	195
➤ 项目十二 运用自动编程进行数控铣削加工	199
任务一 MasterCAM 的基本功能	199
任务二 图形绘制与修整	201
任务三 刀具路径与后处理程序生成	203
任务四 典型零件自动编程与加工	214
任务五 自动编程数控铣削实训	217
思考与练习	218
➤ 项目十三 数控铣床中级操作工考核	220
任务一 数控铣床中级操作工实操考核一(FANUC 系统)	220

任务二 数控铣床中级操作工实操考核二(FANUC 系统)	223
任务三 数控铣床中级操作工实操考核三(西门子系统)	226
任务四 数控铣床中级操作工理论考核试题	228
思考与练习	234
项目十四 数控铣床高级操作工考核	236
任务一 数控铣床高级操作工实操考核一(FANUC 系统)	236
任务二 数控铣床高级操作工实操考核二(西门子系统)	241
任务三 数控铣床高级操作工理论考核试题	244
思考与练习	249
客观题参考答案	252
参考文献	255

根据分析,采取以下工艺措施:凸轮内、外轮廓面对 X 面有垂直度要求,只要提高装

二、选择设备

三、确定零件的定位基准和装夹方式

采用“一面两孔”定位，即用圆盘 X 面和两个基准孔作为定位基准。

1—开口垫圈；2—带螺纹圆柱销；3—压紧螺母；
4—带螺纹削边销；5—垫圈；6—工件；7—垫块

四、确定加工顺序及进给路线

五、刀具的选择

数控加工刀具卡片

产品名称或代号		×××		零件名称	槽形凸轮	零件图号	×××
序号	刀具号	刀具规格名称		数量	加工表面		备注
1	T01	φ18 硬质合金立铣刀		1	粗铣凸轮槽内、外轮廓		
2	T02	φ18 硬质合金立铣刀		2	精铣凸轮槽内、外轮廓		
编制		×××	审核	×××	批准	×××	共×页 第×页

六、切削用量的选择

凸轮槽内、外轮廓精加工时留 0.2mm 铣削量，确定主轴转速与进给速度时，先查阅切削用量手册，确定切削速度与每齿进给量，然后利用公式 $v_c = \pi dn/1000$ 计算主轴转速 n ，利用 $v_f = nZf_z$ 计算进给速度。

七、填写数控加工工序卡片

数控加工工序卡片见表 1-2。

表 1-2 数控加工工序卡片

单位名称	×××		产品名称或代号		零件名称		零件图号	
			×××		槽形凸轮		×××	
工序号	程序编号		夹具名称		使用设备		车间	
×××	×××		螺旋压板		XK5025		数控中心	
工步号	工步内容		刀具号	刀具规格	主轴转速 (r/min)	进给速度 (mm/min)	背吃刀量 (mm)	备注
1	来回铣削，逐渐加深铣削深度		T01	φ18	800	60		分两层铣削
2	粗铣凸轮槽内轮廓		T01	φ18	700	60		
3	粗铣凸轮槽外轮廓		T01	φ18	700	60		
4	精铣凸轮槽内轮廓		T02	φ18	1000	100		
5	精铣凸轮槽外轮廓		T02	φ18	1000	100		
编制	×××	审核	×××	批准	×××	×年×月×日	共×页	第×页

任务二 箱盖类零件的数控铣削加工工艺分析

泵盖零件如图 1-3 所示，材料为 HT200，毛坯尺寸（长×宽×高）为 170mm×110mm×30mm，小批量生产，试分析其数控铣床加工工艺过程。

一、零件图工艺分析

该零件主要由平面、外轮廓以及孔系组成。其中φ32H7 和 2-φ6H8 三个内孔的表面粗糙度要求较高，为 1.6μm；而φ12H7 内孔的表面粗糙度要求更高，为 0.8μm；φ32H7 内孔表面对 A 面有垂直度要求，上表面对 A 面有平行度要求。该零件材料为铸铁，切削加工性能较好。根据上述分析，φ32H7 孔、2-φ6H8 孔与φ12H7 孔的粗、精加工应分开进行，以保证表面粗糙度要求。同时以底面 A 定位，提高装夹刚度以满足φ32H7 内孔表面的垂直度要求。

二、选择加工方法

(1) 上、下表面及台阶面的表面粗糙度要求为 3.2μm，可选择“粗铣—精铣”方案。

(2) 孔加工方法的选择。孔加工前，为便于钻头引正，先用中心钻加工中心孔，然后再钻孔。内孔表面的加工方案在很大程度上取决于内孔表面本身的尺寸精度和表面粗糙度。对于精度较高、表面粗糙度 R_a 值较小的表面，一般不能一次加工到规定的尺寸，而要划分加工阶段逐步进行。该零件孔系加工方案的选择如下。

1) 孔φ32H7，表面粗糙度为 1.6μm，选择“钻—粗镗—半精镗—精镗”方案。

2) 孔φ12H7，表面粗糙度为 0.8μm，选择“钻—粗铰—精铰”方案。

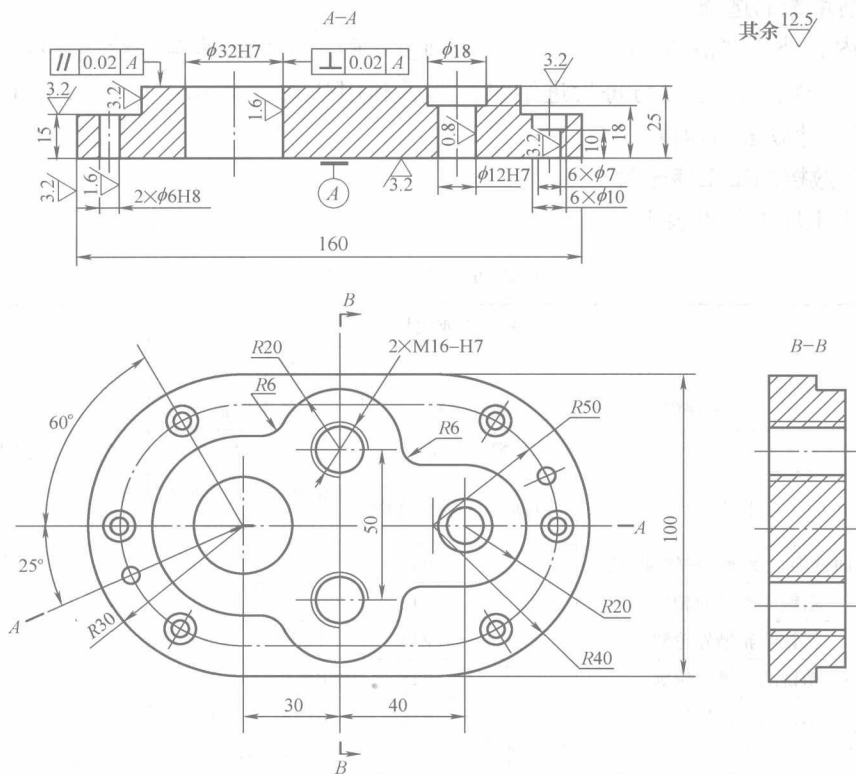


图 1-3 泵盖零件

- 3) 孔 6- $\phi 7$, 表面粗糙度为 $3.2\mu\text{m}$, 无尺寸公差要求, 选择“钻—铰”方案。
- 4) 孔 2- $\phi 6\text{H}8$, 表面粗糙度为 $1.6\mu\text{m}$, 选择“钻—铰”方案。
- 5) 孔 $\phi 8$ 和 6- $\phi 10$, 表面粗糙度为 $12.5\mu\text{m}$, 无尺寸公差要求, 选择“钻孔—铰孔”方案。
- 6) 螺纹孔 2-M16-H7, 采用先钻底孔, 后攻螺纹的加工方法。

三、确定装夹方案

该零件毛坯的外形比较规则, 因此在加工上、下表面、台阶面及孔系时, 选用平口虎钳夹紧; 在铣削外轮廓时, 采用“一面两孔”定位方式, 即以底面 A、 $\phi 32\text{H}7$ 孔和 $\phi 12\text{H}7$ 孔定位。

四、确定加工顺序及进给路线

按照基面先行、先面后孔、先粗后精的原则确定加工顺序。外轮廓加工采用顺铣方式, 刀具沿切线方向切入与切出。

五、刀具选择

(1) 零件上、下表面采用端面铣刀加工, 根据侧吃刀量选择端面铣刀直径, 使铣刀工作时合理的切入切出角; 且铣刀直径应尽量包容工件整个加工宽度, 以提高加工精度和效率, 并减小相邻两次进给之间的接刀痕迹。

(2) 台阶面及其轮廓采用立铣刀加工, 铣刀半径 R 受轮廓最小曲率半径限制, 取 $R=6\text{mm}$ 。

(3) 孔加工各工步的刀具直径根据加工余量和孔径确定。

该零件加工所选刀具详见表 1-3。

表 1-3 泵盖零件数控加工刀具卡

产品名称或代号		×××			零件名称	泵盖	零件图号	×××
序号	刀具编号	刀具规格名称			数量	加工表面		备注
1	T01	φ125 硬质合金端面铣刀			1	铣削上、下表面		
2	T02	φ12 硬质合金立铣刀			1	铣削台阶面及其轮廓		
3	T03	φ3 中心钻			1	钻中心孔		
4	T04	φ27 钻头			1	钻φ32H7 底孔		
5	T05	内孔镗刀			1	粗镗、半精镗和精镗φ32H7 孔		
6	T06	φ11.8 钻头			1	钻φ12H7 底孔		
7	T07	φ18×11 铤钻			1	铤φ8 孔		
8	T08	φ12 铰刀			1	铰φ12H7 孔		
9	T9	φ14 钻头			1	钻 2 - M16 螺纹底孔		
10	T10	90°倒角铣刀			1	2 - M16 螺孔倒角		
11	T11	M16 机用丝锥			1	攻 2 - M16 螺纹孔		
12	T12	φ6.8 钻头			1	钻 6 - φ7 底孔		
13	T13	φ10×5.5 铤钻			1	铤 6 - φ10 孔		
14	T14	φ7 铰刀			1	铰 6 - φ7 孔		
15	T15	φ5.8 钻头			1	钻 2 - φ6H8 底孔		
16	T16	φ6 铰刀			1	铰 2 - φ6H8 孔		
17	T17	φ35 硬质合金立铣刀			1	铣削外轮廓		
编制	×××	审核	×××	批准	×××	×年×月×日	共×页	第×页

六、切削用量选择

该零件材料切削性能较好，铣削平面、台阶面及轮廓时，留 0.5mm 精加工余量，孔加工精镗余量留 0.2mm，精铰余量留 0.1mm。

选择主轴转速与进给速度时，先查切削用量手册，确定切削速度与每齿进给量，然后计算主轴转速与进给速度（计算过程略）。

七、拟定数控铣削加工工序卡片

为更好地指导编程和加工操作，把该零件的加工顺序、所用刀具和切削用量等参数编入表 1-4 所示的泵盖零件数控加工工序卡中。

表 1-4 泵盖零件数控加工工序卡

单位名称		×××	产品名称或代号		零件名称		零件图号		
			×××		泵盖		×××		
工序号		程序编号		夹具名称		使用设备		车间	
×××		×××		平口虎钳和一面两销自制夹具		XK5025		数控中心	
工步号	工步内容			刀具号	刀具规格	主轴转速 (r/min)	进给速度 (mm/min)	背吃刀量 (mm)	备注
1	粗铣定位基准面 A			T01	φ125		40	2	自动
2	精铣定位基准面 A			T01	φ125	180	25	0.5	自动



续表

工步号	工步内容			刀具号	刀具规格	主轴转速 (r/min)	进给速度 (mm/min)	背吃刀量 (mm)	备注
3	粗铣上表面			T01	$\phi 125$	180	40	2	自动
4	精铣上表面			T01	$\phi 125$	180	25	0.5	自动
5	粗铣台阶面及其轮廓			T02	$\phi 12$	180	40	4	自动
6	精铣台阶面及其轮廓			T02	$\phi 12$	900	25	0.5	自动
7	钻所有孔的中心孔			T03	$\phi 3$	900			自动
8	钻 $\phi 32H7$ 底孔至 $\phi 27$			T04	$\phi 27$	1000	40		自动
9	粗镗 $\phi 32H7$ 孔至 $\phi 30$			T05		200	80	1.5	自动
10	半精镗 $\phi 32H7$ 孔至 $\phi 31.6$			T05		500	70	0.8	自动
11	精镗 $\phi 32H7$ 孔			T05		700	60	0.2	自动
12	钻 $\phi 12H7$ 底孔至 $\phi 11.8$			T06	$\phi 11.8$	800	60		自动
13	铰 $\phi 18$ 孔			T07	$\phi 18 \times 11$	600	30		自动
14	粗铰 $\phi 12H7$			T08	$\phi 12$	150	40	0.1	自动
15	精铰 $\phi 12H7$			T08	$\phi 12$	100	40		自动
16	钻2-M16底孔至 $\phi 14$			T09	$\phi 14$	100	60		自动
17	2-M16底孔倒角			T10	90°倒角铣刀	450	40		自动
18	攻2-M16螺纹孔			T11	M16	300	200		自动
19	钻6- $\phi 7$ 底孔至 $\phi 6.8$			T12	$\phi 6.8$	100	70		自动
20	铰6- $\phi 10$ 孔			T13	$\phi 10 \times 5.5$	700	30		自动
21	铰6- $\phi 7$ 孔			T14	$\phi 7$	150	25	0.1	自动
22	钻2- $\phi 6H8$ 底孔至 $\phi 5.8$			T15	$\phi 5.8$	100	80		自动
23	铰2- $\phi 6H8$ 孔			T16	$\phi 6$	100	25	0.1	自动
24	一面两孔定位粗铣外轮廓			T17	$\phi 35$	600	40	2	自动
25	精铣外轮廓			T17	$\phi 35$	600	25	0.5	自动
编制	×××	审核	×××	批准	×××	×年×月×日		共×页	第×页

任务三 支架零件的数控铣削加工工艺分析

图 1-4 所示为支架零件简图，结构形状较复杂，是适合数控铣削加工的一种典型零件。试分析其数控铣削加工工艺。

一、零件图工艺分析

由图 1-4 可知，该零件的加工轮廓由列表曲线、圆弧及直线构成，形状复杂，加工、检验都较困难，除底平面宜在普通铣床上铣削外，其余各加工部位均需采用数控机床铣削加工。

该零件的尺寸公差为 IT14，表面粗糙度均为 $6.3\mu\text{m}$ ，一般不难保证。但其腹板厚度只有 2mm，且面积较大，加工时极易产生振动，可能会导致其壁厚公差及表面粗糙度要求难以达到。

支架的毛坯与零件相似，各处均有单边加工余量 5mm（毛坯图略）。零件在加工后各处

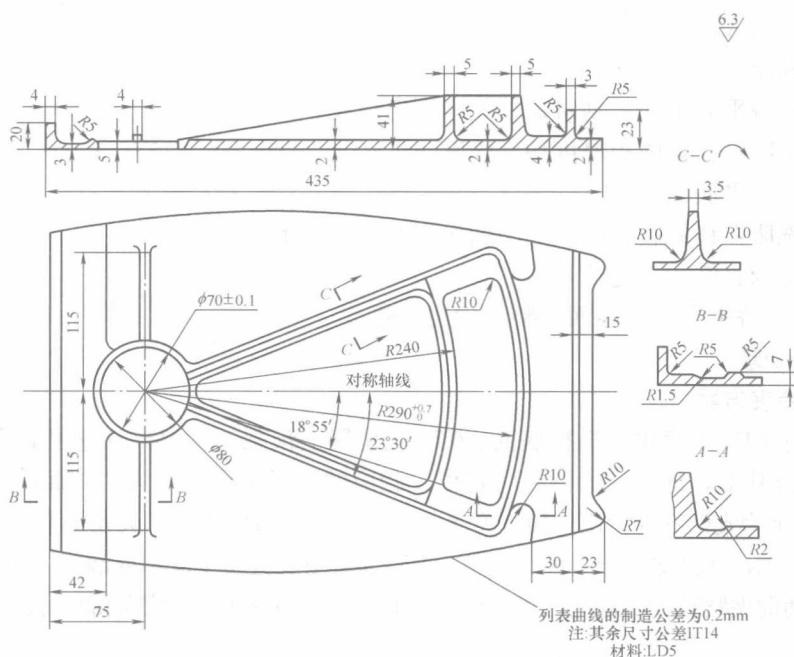


图 1-4 支架零件简图

厚薄尺寸相差悬殊,除扇形框外,其他各处刚性较差,尤其是腹板两面切削余量相对值较大,故该零件在铣削过程中及铣削后都将产生较大变形。

该零件被加工轮廓表面的最大高度 $H=41\text{mm}-2\text{mm}=39\text{mm}$, 转接圆弧为 $R10\text{mm}$, R 略小于 $0.2H$, 故该处的铣削工艺性尚可。全部圆角为 $R10\text{mm}$ 、 $R5\text{mm}$ 、 $R2\text{mm}$ 及 $R1.5\text{mm}$, 不统一, 故需要多把不同刀尖圆角半径的铣刀。

零件尺寸的标注基准(对称轴线、底平面、 $\phi 70$ 孔中心线)较统一, 且无封闭尺寸, 构成该零件轮廓形状的各几何元素条件充分, 无相互矛盾之处, 有利于编程。

分析其定位基准, 只有底面及 $\phi 70$ 孔(可先制成 $\phi 20\text{H}7$ 的工艺孔)可作定位基准, 尚缺一孔, 需要在毛坯上制作一辅助工艺基准。

根据上述分析, 针对提出的主要问题, 采取如下工艺措施:

- (1) 安排粗、精加工及钳工矫形。
- (2) 先铣加强筋, 后铣腹板, 有利于提高刚性, 防止振动。
- (3) 采用小直径铣刀加工, 减小切削力。
- (4) 在毛坯右侧对称轴线处增加一工艺凸耳, 并在该凸耳上加工一工艺孔, 解决缺少的定位基准, 设计真空夹具, 提高薄板件的装夹刚性。

(5) 腹板与扇形框周缘相接处的底圆角半径为 $R10\text{mm}$, 采用底圆为 $R10\text{mm}$ 的球头成型铣刀(带 7° 斜角)补加工完成。将半径为 $R2\text{mm}$ 和 $R1.5\text{mm}$ 的圆角利用圆角制造公差统一为 $R1.5^{+0.5}_0\text{mm}$, 省去一把铣刀。

二、制定加工工艺

根据前述的工艺措施, 制定的支架加工工艺过程为:

- (1) 钳工: 划两侧宽度线。
- (2) 普通铣床: 铣两侧宽度。

- (3) 钳工：划底面铣切线。
- (4) 普通铣床：铣底平面。
- (5) 钳工：矫平底平面、划对称轴线、制定位孔。
- (6) 数控铣床：粗铣腹板厚度型面轮廓。
- (7) 钳工：矫平底面。
- (8) 数控铣床：精铣腹板厚度、型面轮廓及内、外形。
- (9) 普通铣床：铣去工艺凸耳。
- (10) 钳工：矫平底面、表面光整、尖边倒角。
- (11) 表面处理。

三、确定装夹方案

在数控铣削加工工序中，选择底面、 $\phi 70$ 孔位置上预制的 $\phi 20H7$ 工艺孔以及工艺凸耳上的工艺孔为定位基准，即“一面两孔”定位。相应的夹具定位元件为“一面两销”。

图 1-5 所示为支架零件专用过渡真空平台。利用真空吸紧工件，夹紧面积大，刚性好，铣削时不易产生振动，尤其适用于薄板件装夹。为防抽真空装置发生故障或漏气，使夹紧力消失或下降，可另加辅助夹紧装置，避免工件松动。图 1-6 为支架零件数控铣削加工装夹示意图。

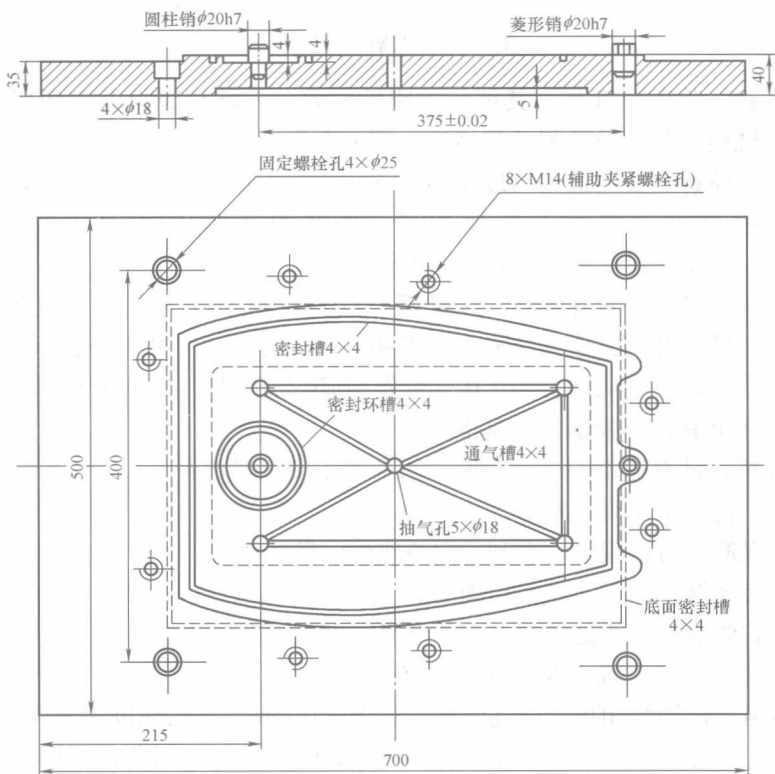


图 1-5 支架零件专用过渡真空平台

四、划分数控铣削加工工步和安排加工顺序

支架在数控机床上进行铣削加工的工序共有两道，按同一把铣刀的加工内容来划分工步，其中数控精铣工序可划分为三个工步，具体的工步内容及工步顺序见表 1-5（粗铣工