

数控编程技术

—— 高效编程方法和应用指南

CNC Programming Techniques

An Insider's Guide to
Effective Methods and Applications

[美] 彼得·斯密德 (Peter Smid) 著
黄明吉 董秀萍 唐英 等译



化学工业出版社

TG659/253

2008

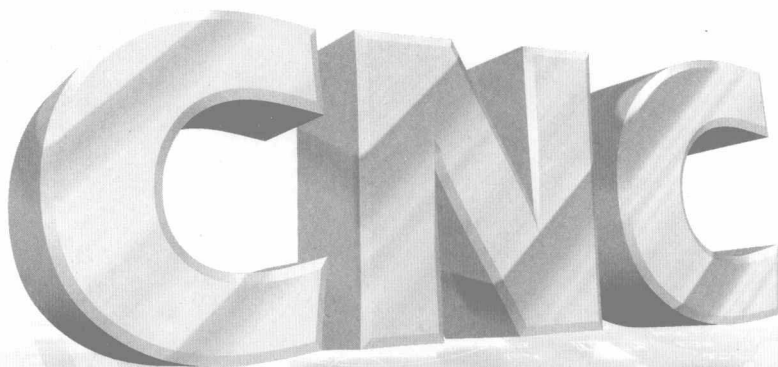
数控编程技术

—— 高效编程方法和应用指南

CNC Programming Techniques

An Insider's Guide to
Effective Methods and Applications

[美] 彼得·斯密德 (Peter Smid) 著
黄明吉 董秀萍 唐英 等译



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

数控编程技术——高效编程方法和应用指南/[美]
斯密德 (Smid, P.) 著; 黄明吉等译. —北京: 化学工
业出版社, 2008. 4

书名原文: CNC Programming Techniques: An In-
sider's Guide to Effective Methods and Applications

ISBN 978-7-122-02420-6

I. 数… II. ①斯…②黄… III. 数控机床-程序设
计 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 037828 号

CNC Programming Techniques: An Insider's Guide to Effective Methods and Applica-
tions

ISBN 0-8311-3185-3

Copyright 2006 by Industrial Press, Inc.. All rights reserved.

Authorized translation from the English language edition published by Industrial Press,
Inc.

本书中文简体字版由美国 Industrial Press, Inc. 出版公司授权化学工业出版社独家出版
发行。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2006-3958

责任编辑: 张兴辉

装帧设计: 史利平

责任校对: 徐贞珍

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 装: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 19 1/4 字数 485 千字 2008 年 7 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: 48.00 元

版权所有 违者必究

译者序

目前,随着国内数控技术在制造业的快速发展,数控技术专业人才培养的工作得到不断的扩展。中国正在逐步变成“世界制造中心”。为了增强竞争能力,实现从制造大国向制造强国的转变,中国制造业开始广泛使用先进的数控技术。同时,劳动力市场数控技术应用型人才的严重短缺已成为全社会普遍关注的热点问题,教育部、劳动与社会保障部等政府部门正在积极采取措施,加强数控技术应用型人才的培养。

本书内容具有很高的实用价值。书中从数控技术的基本编程技术讲起,内容涉及轮廓点的基本计算方法、轮廓点的公式计算方法、刀具半径补偿、零件反转铣削、使用锥铣刀加工、特殊功能 G 指令、刀具长度偏置、程序段跳过功能、攻丝、极坐标编程、子程序编程、车削和镗削编程、凹槽加工编程、螺纹加工编程、4 轴车削编程、托盘变换装置、凸轮加工编程、宏编程及其他先进技术;书中还提供了很多例题,并有详细的程序清单及注释,使读者可以通过这些实际例子很快掌握数控加工和编程的知识,帮助读者在实战中更好地理解多种数控编程方法和技巧。

本书作者 Peter Smid 具有 30 多年丰富的工作经验,多年来专门负责数控技术人员的培训工作。书中涉及内容和大量实例均来自作者多年的实际经验,是作者多年工作经验的积累和总结。因此,不论是数控技术的初学者还是本领域的专家,都可从本书中受益。

本书可作为相关专业的数控课程教材或数控专业的编程教材。作为数控专业的编程教材时,由于本书内容全面并包含了大量例题,因此篇幅较大。建议将本书作为教材使用时,应突出培养学生的分析问题和解决问题的能力,适当进行上机加工验证。

本书由北京科技大学黄明吉组织翻译,参加翻译的有北京工商大学的董秀萍和北京科技大学的唐英、刘荣峰、张海霞等。在此,译者向给予本书的出版提供帮助各位老师 and 朋友表示衷心的感谢。

由于本书涉及的 CNC 知识相当宽广,内容也比较新,译者限于专业和文字水平,难免存在不足之处,欢迎广大读者批评指正。

译者

前 言

我向参与编写以前出版的关于数控技术的两本书的所有程序员、机械师、操作工、工程师、学生以及其他读者和用户表示最真挚的感谢！这两本书都取得了很大成功。它们都是由工业出版社（Industrial Press, Inc）出版的：

《数控编程手册》

CNC Programming Handbook, Second Edition with CD-ROM

A Comprehensive Guide to CNC Programming ISBN: (0-8311-) 3158-6

和

《FANUC 数控系统用户宏程序与编程技巧》

Fanuc CNC Custom Macros, with CD-ROM

Practical Resources for Fanuc Custom Macro B Users ISBN: (0-8311-) 3157-8

第三本书也是与数控编程有关的，但是是从不同的角度来写的。首先，有一些编程方法几乎不可能在其他地方找到，例如，怎样进行凸轮或者圆锥铣削编程加工。另外，其他一些通用的编程方法介绍也非常深入，例如刀具半径补偿或螺纹铣削。

和我以前出版的两本图书一样，这本书中涵盖了大量的、详细的插图，可帮助读者理解内容和程序。文中提供了大量完整的编程实例，或者至少也给出了最关键的部分。

由于近来出现的公制体系（metric system）对北美工业特别是美国工业具有相当重要的意义，所以我在较多的例子中重点采用了公制单位（metric units）而没有采用旧英制单位（imperial units）。即使一个专业的编程人员采用两种单位制编程都没有问题，但是这本书中的许多实例还是强调使用公制体系。基于平衡考虑，本书也包括了相当数量的英制单位的实例。本书使用的旧英制单位（imperial units），我在以前的书中则是用英制单位（English units）代替。这似乎有些不严肃，但实际上现代英国已经采用公制体系，那所谓的英制单位（English units）已经是那个时代——英国历史上帝国时期（imperial era）的事了。

我觉得应该提到这本书和《数控编程手册》一书的关系。在侧重点方面，它们很不相同。《数控编程技术》不是替代我以前的图书，而是另一种形式的补充。在内容方面，一些章节有较少的相似，每个主题都是新的，并且介绍更加详细。在这本书的最后，我附加了《数控编程手册》中的参考资料。我感觉需要一些附加背景的读者将能从这些参考资料中获益。另一方面，不需要的读者也可以忽略这些内容，只要学习本书正文内容即可。

我真诚地希望这本书能帮助您成为一个更好的数控编程员（甚至是一个较好的数控操作工），不只是知道怎么做（How），也要知道许多编程技术是为什么（Why）。非常感谢您一贯的支持！

彼得·斯密德（Peter Smid）

作者简介

Peter Smid 是一位专业顾问、教育家和演讲家，在工业和教学领域中具有多年实际经验。在工作中，他搜集了 CNC 和 CAD/CAM 在各个层面上应用的大量经验并向制造业及教学机构提供计算机数控技术、编程、CAD/CAM、先进制造、加工、安装以及许多其他相关领域的实际应用方面的咨询。他在 CNC 编程、加工以及企业员工培训方面有着广阔的工业背景，数百家公司从他渊博的知识中获益。

Smid 先生长年与先进制造公司及 CNC 机械销售人员打交道，并且致力于大量技术院校和机构的工业技术规划以及机械加工厂的技术培训，这更扩展了他在 CNC 和 CAD/CAM 培训、计算机应用和需求分析、软件评估、系统配置、编程、硬件选择、用户化软件以及操作管理领域的专业和咨询技能。多年以来，Smid 先生在美国、加拿大和欧洲国家的大中专院校给成千上万的老师和学生讲授过数百个用户化程序，同时也给大量制造公司、个体机构和个人授过课。

他活跃于各种工业贸易展、学术会议、机械加工厂以及各种研讨会，包括提交论文、会议报告以及为许多专业机构做演讲。他还发表了大量 CNC 和 CAD/CAM 方面的文章和内部参考资料。作为 CNC 行业和教学领域的专家，他制作了数万页高质量的培训材料。

目 录

第 1 章 零件程序的编制	1	2.2.3 步骤 3——划分轮廓计算区间	23
1.1 编程用零件图	1	2.2.4 步骤 4——几个有帮助的方法	23
1.1.1 图纸分析	1	2.2.5 步骤 5——计算区间 1 的轮廓点	24
1.1.2 材料和毛坯	2	2.2.6 步骤 6——计算区间 2 的轮廓点	26
1.2 零件设定	3	2.2.7 更新点表	27
1.2.1 零件坐标系原点	3	2.2.8 编写 CNC 程序	27
1.2.2 零件定位	3		
1.2.3 零件坐标原点的选择	3		
1.3 刀具选择	4	第 3 章 通过公式计算轮廓	28
1.3.1 加工方法确定	4	3.1 两条直线间的轮廓点 (车床)	28
1.3.2 平面铣削	4	3.2 直线和圆弧间的轮廓点	28
1.3.3 轮廓铣削	5	3.2.1 相交轮廓点	29
1.3.4 圆弧槽铣削	5	3.2.2 相切轮廓点	29
1.3.5 槽的铣削	6	3.3 尖点计算	33
1.3.6 中心钻	6	3.4 两条圆弧间的轮廓点	34
1.3.7 钻削	7	3.4.1 圆弧相交	34
1.3.8 攻丝	8	3.4.2 圆弧相切	34
1.3.9 刀具使用小结	8		
1.4 加工参数	8	第 4 章 刀具半径补偿	37
1.4.1 主轴速度	9	4.1 基本概念	37
1.4.2 切削进给速度	9	4.1.1 刀具半径偏置的优点	38
1.4.3 刀具参数	9	4.1.2 控制刀具半径	38
1.5 操作的一些细节	9	4.2 半径补偿命令	38
1.5.1 1 号刀——平面铣刀	9	4.2.1 命令 G40-G41-G42	38
1.5.2 2 号刀——外轮廓铣削	10	4.2.2 使用 D 补偿数	39
1.5.3 2 号刀——圆弧槽铣削	12	4.3 基本编程技术	39
1.5.4 3 号刀——槽的切削	13	4.3.1 激活刀具半径	39
1.5.5 4 号刀——中心钻	14	4.3.2 刀具半径应用	40
1.5.6 5 号刀——钻孔	16	4.3.3 取消刀具半径	40
1.5.7 6 号刀——攻丝	17	4.4 D 补偿存储值	40
1.5.8 完整程序	17	4.5 轮廓导入和导出	41
		4.5.1 导入方法——直线模式	42
第 2 章 轮廓点计算	20	4.5.2 导入方法——弧形模式	44
2.1 工具和相关知识	20	4.5.3 导出方法——直线模式	44
2.1.1 数学知识	20	4.5.4 导出方法——圆弧模式	45
2.1.2 组织方法	21	4.5.5 编程实例	45
2.2 计算 XY 坐标的步骤	22	4.6 内轮廓加工	46
2.2.1 步骤 1——求出主要轮廓点	22	4.6.1 直线槽加工	46
2.2.2 步骤 2——填写坐标点表	22	4.6.2 圆弧槽加工	47

4.6.3 完成内部轮廓	48	6.2.2 材料去除	82
4.7 保证标注尺寸	49	6.2.3 具有标准半径的球头锥铣刀	82
4.7.1 基本法则	50	6.2.4 具有过渡半径的平底锥铣刀	83
4.7.2 处理尺寸公差	50	6.3 锥孔	84
4.8 处理刀具半径补偿错误	51	第 7 章 特殊功能 G 代码	85
4.8.1 通常出现的错误	51	7.1 单方向定位 G60	85
4.8.2 补偿太晚或太早编程	52	7.2 特殊切削模式	86
4.8.3 补偿在圆弧上开始或结束	53	7.2.1 精确停止检查 G09 和 G61	86
4.9 刀尖半径补偿	53	7.2.2 自动拐角超程模式 G62	87
4.9.1 参考点和半径中心	53	7.2.3 攻丝模式 G63	88
4.9.2 刀尖方向	54	7.2.4 正常切削模式 G64	88
4.9.3 常见的刀尖半径错误	55	7.3 存储行程开关定义指令 G22、G23	88
第 5 章 零件反转铣削	58	7.4 主轴功能指令 G25、G26	90
5.1 工程描述	58	7.5 机械原点指令 G27、G28、G29、 G30	91
5.1.1 材料和安装条件	58	7.5.1 第一个机床原点返回指令 G28	91
5.1.2 切削刀具	58	7.5.2 从机械原点的回退指令 G29	92
5.2 材料去除	59	7.5.3 机床原点回退位置检测指令 G27	93
5.3 加工过程	60	7.5.4 第二个机床原点回退指令 G30	94
5.4 程序原点选择	60	7.6 位置寄存器指令 G92/G50	94
5.4.1 第一次装夹	60	7.6.1 铣削用位置寄存器指令 G92	95
5.4.2 第二次装夹	61	7.6.2 车床位置寄存器指令 G50	96
5.5 编程方法	62	7.6.3 刀具交换位置	99
5.6 刀具长度设置	62	7.6.4 G50 改变到几何补偿	102
5.6.1 第一次装夹	62	7.7 跳过指令 G31	103
5.6.2 第二次装夹	63	7.8 其他不常用的 G 代码介绍	104
5.7 采用工件偏置方法 G54、G55	63	7.8.1 刀具长度负补偿指令 G44	104
5.8 公共的刀具路径	65	7.8.2 刀具长度补偿取消指令 G49	104
5.9 工件偏置方法 G54、G55 程序列表	66	7.8.3 结论	107
5.10 带子程序工件偏置方法 G54、G55 程序列表	68	第 8 章 刀具长度偏置	108
5.11 采用局部坐标系方法 G52	71	8.1 刀具长度偏置	108
5.12 局部坐标系方法 G52 程序列表	72	8.2 偏置设置	108
5.13 采用数据设置方法 G10	75	8.2.1 实际应用	108
5.14 数据设置方法 G10 程序列表	75	8.2.2 编程方法 1 (没有偏置 设置)	109
5.15 总结	78	8.2.3 编程方法 2 (有偏置调整)	110
第 6 章 使用锥铣刀	79	8.2.4 编程方法 3 (高级宏编程)	111
6.1 锥铣刀类型	79	8.3 偏置设置——作用在两个工件上	113
6.1.1 刀具材料	80	8.3.1 方法 1 (1 个工件偏置加 1 个 长度偏置)	113
6.1.2 锥度范围	80	8.3.2 方法 2 (2 个工件偏置加 1 个	
6.1.3 平底锥铣刀	80		
6.1.4 球头锥铣刀	80		
6.2 有效直径计算	80		
6.2.1 平面刀具	81		

长度偏置)	114
8.3.3 方法3 (2个工件偏置加2个长度偏置)	115

第9章 程序段跳过功能

9.1 典型应用	116
9.2 相似零件应用	117
9.3 试切编程	120
9.3.1 铣削试切	120
9.3.2 车削试切	121
9.4 不规则工件材料去除	123
9.4.1 铣削中不同的工件	123
9.4.2 车削中不同的工件	124
9.4.3 规则总结	125
9.5 程序段内跳过	125
9.5.1 容易冲突的关键字	125
9.5.2 一段程序两种材料	126
9.6 几个程序段跳过功能	127

第10章 标准攻丝和刚性攻丝

10.1 标准攻丝方法	128
10.1.1 基本原则	128
10.1.2 为何用进给不足	128
10.1.3 慢进快出	129
10.2 刚性攻丝方法	131
10.2.1 基本概念	131
10.2.2 优点	131
10.2.3 安装	131
10.2.4 可能的问题	131
10.2.5 编程方法	131

第11章 极坐标

11.1 定义和G代码	133
11.1.1 极坐标和极平面	133
11.1.2 G15-G16 极坐标	134
11.2 编程格式	134
11.2.1 刀具轨迹方向	135
11.2.2 在平面中的应用	136

第12章 子程序开发

12.1 定义和用法	138
12.2 图纸分析	138
12.3 子程序规划	139
12.3.1 切深控制	139
12.3.2 切削宽度控制	140
12.3.3 切削刀具的选择	140
12.4 程序开发	140

12.4.1 方法1——一次宽度进给和一次深度进给	140
12.4.2 方法2——一次宽度进给和多次深度进给	141
12.4.3 方法3——较小切削宽度和一次深度进给	142
12.5 圆形腔体子程序	144
12.5.1 单一深度的多次宽度切削型腔	145
12.5.2 深度方向多次进刀等宽型腔加工	146
12.6 用子程序进行粗加工和精加工	147
12.6.1 同一个刀具路径	147
12.6.2 导入和导出	148
12.6.3 通用的轮廓刀具路径	148
12.6.4 主程序	149

第13章 车削和镗削编程

13.1 编程原点选择	151
13.2 刀尖半径和后角的选择	151
13.3 刀具偏移	152
13.4 工件余量	154
13.4.1 轮廓造型	154
13.4.2 刀具使用	154
13.4.3 X轴和Z轴上的工件余量	154
13.4.4 磨削余量	155
13.5 刀具切入技术	156
13.5.1 切入前端面	156
13.5.2 切入直径	157
13.5.3 切入倒角	157
13.5.4 切入圆角	157
13.5.5 不可取的切入方式	159
13.6 刀具切出技术	159
13.6.1 从一个面切出	160
13.6.2 从直径切出	160
13.6.3 从倒角切出	160
13.6.4 从圆角切出	161
13.6.5 不可取的切出方式	162
13.7 同一工作两种操作	162
13.7.1 关于卡钳	162
13.7.2 一次安装两次装卡	163
13.7.3 两次安装两次操作	164
13.8 分多刀切削端面	164
13.9 清角处理	165
13.10 尾架应用	166

13.10.1 尾架类型	166
13.10.2 带有棒料停止器的尾架 编程	167
13.11 45°角刀具的应用	169
13.12 薄壁工件的车削	171
13.12.1 调节卡盘夹紧力	172
13.12.2 使用塞杆和套环	172
13.12.3 使用特殊的分离式的卡盘	172
13.13 G70/G71/G72 循环指令	172
13.13.1 G71 编程格式	172
13.13.2 G72 编程格式	173
13.13.3 G70——结束循环	175
13.13.4 G71 与 G72 的比较	175
13.14 底切编程	176
13.15 超硬车削	177

第 14 章 锥面编程

14.1 什么是锥面?	178
14.2 每英尺锥度	179
14.3 锥面比率	180
14.4 锥面定义为百分比	181
14.5 D-M-S 中定义的锥面角度	181
14.6 锥面长度和角度	182
14.6.1 倒角	182
14.6.2 45°倒角	182
14.6.3 有间隙的起始倒角	184
14.6.4 有间隙的末端倒角	184
14.6.5 其他倒角	185
14.7 带导入的锥面	186
14.7.1 带有倒角的锥面	186
14.7.2 带圆角的锥面	187

第 15 章 凹槽加工编程

15.1 凹槽加工用刀具	189
15.1.1 切削宽度	189
15.1.2 切削深度	189
15.1.3 凹槽位置	189
15.1.4 设置参考点	190
15.2 切入和切出方法	190
15.3 精确凹槽	192
15.3.1 加工过程	192
15.3.2 编程过程	193
15.4 深槽加工	194
15.5 带锥度的 O 形环槽	195
15.6 带锥度的 V 形滑轮槽	197

15.6.1 刀具选择	198
15.6.2 深度计算	198
15.6.3 刀具设置和编程	198

第 16 章 车螺纹编程技术

16.1 螺纹形状的种类	200
16.1.1 UN-美制螺纹和公制螺纹	200
16.1.2 其他螺纹形状	200
16.2 螺纹牙型高度计算	201
16.3 进给方式	202
16.4 切削条件	203
16.4.1 加速度和减速度	203
16.4.2 切削深度	204
16.5 螺纹旋向	204
16.5.1 外螺纹切削-右旋	204
16.5.2 外螺纹切削-左旋	205
16.5.3 内螺纹切削-右旋	205
16.5.4 内螺纹切削-左旋	205
16.6 螺纹计算举例	205
16.6.1 初始数据	205
16.6.2 切削条件	206
16.6.3 走刀次数	206
16.6.4 切削深度的分布	207
16.7 G32 加工方法	208
16.7.1 直进式示例	208
16.7.2 斜进式示例	209
16.7.3 使用 G32 攻丝	210
16.8 G92 螺纹车削方法	211
16.9 G76 螺纹车削方法	212

第 17 章 螺纹车削编程中的注意

事项	214
17.1 螺纹编程基础	214
17.2 标准螺纹举例	215
17.3 特殊螺纹举例	216
17.4 降低主轴转速	217
17.5 在公制螺纹中的应用	217
17.6 长螺纹车削加工编程	218
17.6.1 定义长螺纹	218
17.6.2 导程错误	219
17.6.3 小数位数	219

第 18 章 螺纹铣削编程

18.1 螺纹铣削概述	221
18.1.1 螺旋插补	221
18.1.2 螺旋插补功能存在吗?	222

18.2 螺纹铣削的优势	222	21.1 自动托盘的类型	249
18.3 刀具选择	223	21.1.1 回转式托盘	249
18.3.1 初始因素	223	21.1.2 往复式托盘	249
18.3.2 螺纹铣刀的类型	223	21.1.3 安装和加工区域	249
18.3.3 加工精度	224	21.2 编程方法	251
18.3.4 螺纹铣刀数据	224	21.2.1 M60 功能	251
18.4 切削方向	224	21.2.2 基本格式	251
18.4.1 外螺纹和内螺纹铣削	224	21.3 编程举例	252
18.4.2 顺铣和逆铣	225	21.3.1 初始条件	252
18.4.3 右旋螺纹和左旋螺纹的铣削	225	21.3.2 零件编程	252
18.4.4 外螺纹铣削示例	225		
18.4.5 内螺纹铣削示例	226	第 22 章 编程中的平面处理	255
18.5 螺旋-螺旋曲线	226	22.1 数学平面	255
18.6 外螺纹加工编程	227	22.2 加工平面	256
18.6.1 工具选择	228	22.3 程序中平面的作用	256
18.6.2 切削条件	228	22.3.1 平面和圆弧运动	257
18.6.3 进刀和退刀	228	22.3.2 比较平面内的圆弧运动	258
18.6.4 刀具半径补偿	229	22.3.3 平面和刀具半径补偿	258
18.6.5 编程——外螺纹加工	229	22.4 平面详细处理	260
18.7 内螺纹加工编程	232	22.4.1 G17 与 G41、G02 的组合	260
18.7.1 刀具选择	233	22.4.2 G17 与 G42、G03 的组合	261
18.7.2 切削条件	233	22.4.3 G18 与 G42、G03 的组合	262
18.7.3 切入和切出	234	22.4.4 G18 与 G41、G02 的组合	263
18.7.4 刀具半径补偿	234	22.4.5 G19 与 G41、G02 的组合	264
18.7.5 内螺纹加工程序编写	234	22.4.6 G19 与 G42、G03 的组合	264
18.8 管螺纹铣削	238	22.5 直角头附件	265
18.9 螺纹铣削加工软件	238	22.5.1 基本概念	266
第 19 章 CNC 车床滚花编程	239	22.5.2 侧面钻孔	267
19.1 滚花操作	239	22.5.3 侧平面铣削	268
19.1.1 刀具选择	239	第 23 章 凸轮加工编程	271
19.1.2 滚花螺距	240	23.1 凸轮概述	271
19.2 编程和加工方法	240	23.2 凸轮举例	271
19.2.1 刀具运动	241	23.3 上升部分	273
19.2.2 滚花深度和进给速度	241	23.3.1 计算半径方向上的长度	274
19.3 故障诊断	241	23.3.2 计算 XY 的坐标	275
第 20 章 4 轴车削编程	243	23.4 回程部分	275
20.1 一般设置	243	23.4.1 计算半径方向上的长度	276
20.2 编程方法	244	23.4.2 计算 XY 的坐标	276
20.2.1 主轴转速和进给速度	244	23.4.3 总结	277
20.2.2 M 指令	244	23.5 编写程序	278
20.2.3 同步功能	244	第 24 章 宏编程介绍	280
20.2.4 程序结构	245	24.1 特别介绍	280
第 21 章 托盘变换装置	249	24.2 要求的技能	280
		24.3 宏的选项性	281

24.4 基本特征和应用	281
24.5 宏程序的结构	282
24.5.1 宏程序的定义和调用	283
24.5.2 变量的声明和表达	284
24.5.3 宏函数	285
24.5.4 分支和循环	287
24.6 宏编程——螺栓循环加工	288
24.6.1 分析加工图纸	289

24.6.2 螺栓孔的宏特征	290
24.6.3 分配变量	290
24.6.4 内部计算	291
24.6.5 其他计算	291
24.6.6 最后的考虑	291
24.6.7 宏程序调用	293

第 25 章 你知道吗?

25.1 你知道吗?	294
25.1.1 你知道吗?	294
25.1.2 你知道吗?	294
25.1.3 你知道吗?	294
25.1.4 你知道吗?	294
25.1.5 你知道吗?	294
25.1.6 你知道吗?	294
25.1.7 你知道吗?	294
25.1.8 你知道吗?	294
25.1.9 你知道吗?	294
25.1.10 你知道吗?	294
25.1.11 你知道吗?	294
25.1.12 你知道吗?	294
25.1.13 你知道吗?	294
25.1.14 你知道吗?	294
25.1.15 你知道吗?	294
25.1.16 你知道吗?	294
25.1.17 你知道吗?	294
25.1.18 你知道吗?	294
25.1.19 你知道吗?	294
25.1.20 你知道吗?	294
25.1.21 你知道吗?	294
25.1.22 你知道吗?	294
25.1.23 你知道吗?	294
25.1.24 你知道吗?	294
25.1.25 你知道吗?	294
25.1.26 你知道吗?	294
25.1.27 你知道吗?	294
25.1.28 你知道吗?	294
25.1.29 你知道吗?	294
25.1.30 你知道吗?	294
25.1.31 你知道吗?	294
25.1.32 你知道吗?	294
25.1.33 你知道吗?	294
25.1.34 你知道吗?	294
25.1.35 你知道吗?	294
25.1.36 你知道吗?	294
25.1.37 你知道吗?	294
25.1.38 你知道吗?	294
25.1.39 你知道吗?	294
25.1.40 你知道吗?	294
25.1.41 你知道吗?	294
25.1.42 你知道吗?	294
25.1.43 你知道吗?	294
25.1.44 你知道吗?	294
25.1.45 你知道吗?	294
25.1.46 你知道吗?	294
25.1.47 你知道吗?	294
25.1.48 你知道吗?	294
25.1.49 你知道吗?	294
25.1.50 你知道吗?	294
25.1.51 你知道吗?	294
25.1.52 你知道吗?	294
25.1.53 你知道吗?	294
25.1.54 你知道吗?	294
25.1.55 你知道吗?	294
25.1.56 你知道吗?	294
25.1.57 你知道吗?	294
25.1.58 你知道吗?	294
25.1.59 你知道吗?	294
25.1.60 你知道吗?	294
25.1.61 你知道吗?	294
25.1.62 你知道吗?	294
25.1.63 你知道吗?	294
25.1.64 你知道吗?	294
25.1.65 你知道吗?	294
25.1.66 你知道吗?	294
25.1.67 你知道吗?	294
25.1.68 你知道吗?	294
25.1.69 你知道吗?	294
25.1.70 你知道吗?	294
25.1.71 你知道吗?	294
25.1.72 你知道吗?	294
25.1.73 你知道吗?	294
25.1.74 你知道吗?	294
25.1.75 你知道吗?	294
25.1.76 你知道吗?	294
25.1.77 你知道吗?	294
25.1.78 你知道吗?	294
25.1.79 你知道吗?	294
25.1.80 你知道吗?	294
25.1.81 你知道吗?	294
25.1.82 你知道吗?	294
25.1.83 你知道吗?	294
25.1.84 你知道吗?	294
25.1.85 你知道吗?	294
25.1.86 你知道吗?	294
25.1.87 你知道吗?	294
25.1.88 你知道吗?	294
25.1.89 你知道吗?	294
25.1.90 你知道吗?	294
25.1.91 你知道吗?	294
25.1.92 你知道吗?	294
25.1.93 你知道吗?	294
25.1.94 你知道吗?	294
25.1.95 你知道吗?	294
25.1.96 你知道吗?	294
25.1.97 你知道吗?	294
25.1.98 你知道吗?	294
25.1.99 你知道吗?	294
25.1.100 你知道吗?	294

第1章 零件程序的编制

本章将介绍计算机数控编程的技巧，它体现了在通常情况下怎样编制零件程序的最基本的技巧。内容包括工程图分析，以及在编写最终程序前需要的步骤。

严格地说，采用一步接一步的零件编程模式不是最合适的方法，因为它默认完成步骤 1 后开始步骤 2。然而在计算机数控编程里完全不是这样的，因为许多任务是相互关联的。比如，参数设置里一个改动就可能影响诸如切削宽度、深度等切削用量的选择。在学习这一章时务必记住这些。

1.1 编程用零件图

图 1-1 这幅工程图所有的细节描述，以及按照计算机数控编程所要求的各个步骤的说明计算将会在整个章节中用到，该图包含了一些最常用的机械加工操作：平面的加工、孔的加工、轮廓加工、环形均布孔的加工、沟槽的铣削等。这个零件比较简单。

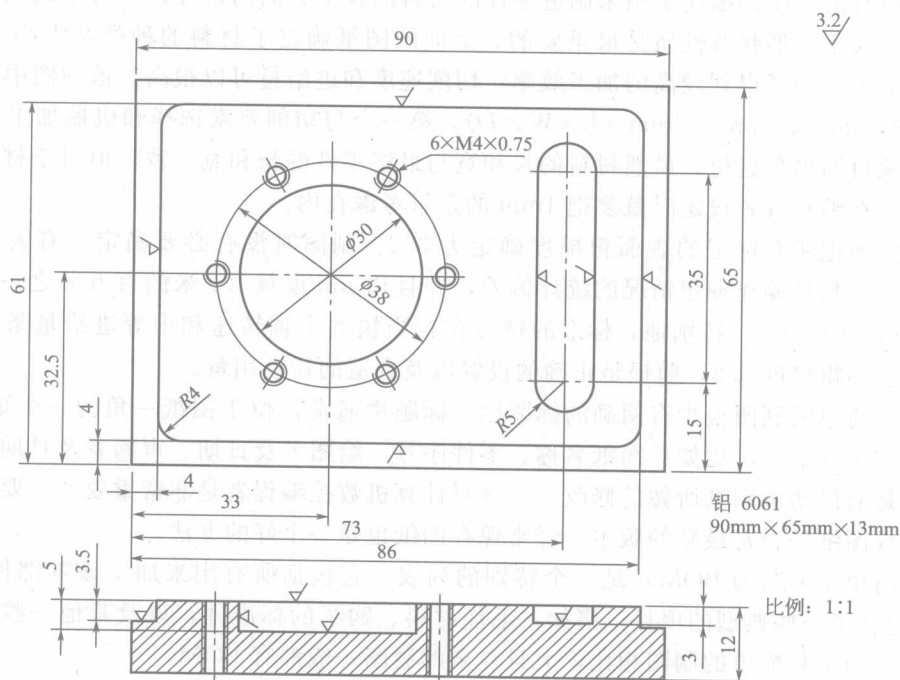


图 1-1

1.1.1 图纸分析

一个计算机数控编程者在编写程序前要做的第一件事是图纸分析，目的是对零件有一个全面的了解。这种分析通常包括如下内容：

◆ 制图单位和比例

- ◆ 尺寸基准
- ◆ 公差
- ◆ 材料种类、尺寸、形状及性质
- ◆ 表面粗糙度
- ◆ 标题栏
- ◆ 制图审阅
- ◆ 材料清单（如果能弄到的话）
- ◆ 遗漏及其他错误

在图纸中，制图单位不是直接确定的，但是从制图中可以明显知道其使用的是公制单位毫米。在制图中比例通常不是确定的，往往由于经过多次复制图纸比例可能与原始比例不匹配。图 1-1 展示的是与原始尺寸完全大小的制图，即比例定为 1:1。

对于计算机数控程序员来说，制图尺寸往往很重要，至少是由于两个原因。第一，尺寸确定了零件的重要特征；第二，尺寸是确定零件坐标原点的最重要根据。在该图中，所有尺寸由零件的左下角确定——在这种情况下，左下角将是零件坐标原点的最佳基准。务必记住：并不是总是这样的。

公差与尺寸关系最为密切。前面提到的图纸不包含任何公差，因此程序员（以及操作者）的任务就与公司的规范有关了。

不是所有的制图都描述了用来制造零件的材料的各个方面的特性，但对于编程过程，毛坯的种类、大小、形状及性质是最重要的。上面的图纸确定了材料的种类及大小。铝 6061 容易切削加工，为了得到较高的加工效率，切削速度和进给量可以很高。该制图中材料大小确定为：90mm×65mm×13mm (L×W×D)。第一个与切削要素选择和机械加工操作有直接关系的项目即出自这里。虽然材料的长和宽与最终零件的长和宽一致，但对于材料的厚度却不一致。在编程或者设定时就要把 1mm 的余量考虑在内。

该制图还把所有标记的表面粗糙度确定为 3.2。制图时没有必要确定所有表面的粗糙度。数字 3.2 只是偏离理想情况的统计偏差，并且用 μm 度量（1 米的百万分之一， $1\mu\text{m}=0.000001\text{m}=10^{-6}\text{m}$ ）。特别地，标准的铣刀在相当快的主轴转速和中等进给量条件下就可以达到要求的粗糙度 3.2，前提是正确的设置以及合适的切削用量。

小的、简单的制图很少有明确的标题栏。标题栏通常是位于图纸一角的一个矩形区域，它包含了文字和数据，比如：图纸名称、零件序号、绘图者及日期、审阅者及日期、材料等等。审阅是对最初版图纸所做的修改——这对计算机数控编程者是非常重要的。要经常确定所用的编程图纸是否是最新的版本。经常保存图纸也是一个好的办法。

材料清单（缩写为 BOM）是一个特别的列表，它包括所有用来加工该零部件的项目。BOM 还包含了一些典型的项目，诸如：毛坯材料、购买的标准件，以及其他一些装配所需要的零件。与小且简单的制图相比，大且复杂的制图一般都有 BOM。

即使是最优秀的工程师和制图者都可能出错。审阅制图的一个重要的部分就是找出其中的错误，遗漏之处，以及其他不符合的地方。仅仅为了找出其中缺少的一个重要的尺寸而检查众多计算是最令人生气的。最后，评价一个制图时，不要试图通过比例缩放线和圆弧来确定它们的尺寸，不要任意假定某个尺寸或者特征。如果存在疑义，最好是询问他人。

1.1.2 材料和毛坯

虽然例子中确实包括了用来制造零件的材料，但还存在一些与机加工（以及编程）之前

的材料相关的问题。除了材料的大小外，材料的形状和形态也同等重要。其形状可以是一个简单的方块或是圆柱，它可以是空心的或是实心的，它可以是一个复杂的铸件或是锻件，等等。材料的形状对编程中的设定、切削用量以及刀具路径选择最重要。而材料的性质包括了一般的质量，例如：毛刺、表层、预处理、硬度等，还包括了形状的精度。举个例子，提供给样品测绘的材料精确尺寸是长×宽：90mm×65mm，全都为直角过渡，这些是很重要的——因为这些大小是最终需要的并且是不需要机加工的。材料的厚度就存在一点灵活性，因为其顶部将被铣平使其适合绘图时零件的高度尺寸。

1.2 零件设定

一个高质量的虎钳，尤其是专用于立式加工中心上用计算机数控加工中小型零件设计的虎钳是最常见的夹具（零件固定装置）。

1.2.1 零件坐标系原点

零件坐标系原点即是零件零点或是零件原始点的常见名称。在刀具轨迹以坐标系的形式确定之前，计算机数控程序员必须选择零件坐标原点。按照一般规则，在设定虎钳零件坐标原点时，一般把原点取在不动的虎钳爪（固定爪）上，挡板或是类似的装置也可以采用同样的设定。如图 1-2 所示。

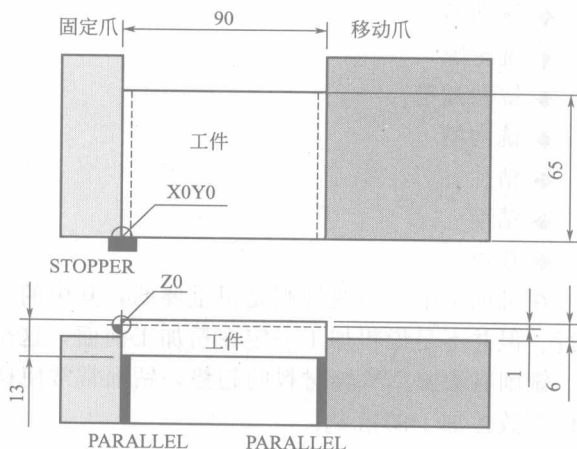


图 1-2

1.2.2 零件定位

零件毛坯是怎样在虎钳上定位的这往往影响加工的方法。请看看样图，从计算机数控操作者的方向看，毛坯可以水平或是垂直定位。水平定位具有被加工零件与图纸基准匹配的好处。另外一个优点是，零件左下角将可以定位在虎钳固定爪和挡板相交处。垂直定位的唯一优点是把手的宽度是 65mm，而水平定位则为 90mm，从而减小了由于虎钳爪的压力引起的弯曲效应。综上所述，我们选择水平定位，而 25mm 的宽度差距则没有实际的用处。

1.2.3 零件坐标原点的选择

基于本节前面的考虑，零件的 X、Y 轴坐标原点选择没有任何问题。把零件的坐标原点选在左下角，这也是用来设定工件坐标偏置 G54 的基准点。

给零件设定 Z 轴零点需要考虑及评价几个可能性。除了某些机床采用机床偏离预设置来设定刀具长度外，最常见的刀具长度设定方法是点触法。Z0 的选择对零件的设定很重要。最常见的方法是 Z0 悬在已加工好零件的顶部，但零件的底部或是其他定位基准也可以考虑在内。在这个例子中，已加工好的零件顶部将作为 Z0，这也带来一个问题——怎样处理额外的 1mm 高度差？上表面将被铣平，1mm 的高度差可以在该操作中得到解决。所有刀具长度将以铣平后的表面为基准设定。本章的后面内容将会对这些知识作详细介绍。看看前面所提到的说明。

1.3 刀具选择

刀架和切削刀具的选择是零件编程过程的另一个非常重要的部分。刀架一般与切削刀具一起使用，并且在一定时间内不会变动。像钻头、铰刀、丝锥、端铣刀、渗碳刀具等等，都是非常好的刀具。一些刀架只是在特殊的刀具上使用，例如，有缝夹套是端铣刀的最好的夹头，Weldon 系列的夹头可以防止刀具转动，Jacobs 系列夹头常用于钻头上，等等。一些刀具，像丝锥，则需要特制的刀架，只为单一用途设计。

刀具选择往往与设定和切削状态有密切关系，在选择刀具时，务必记住要考虑这两个方面。当零件设定方法确定后，刀具就可以在绘图尺寸和机加工要求的基础上选择。通常刀具是在机加工要求的基础上选择的。

1.3.1 加工方法确定

从样图可以看出，只要稍微看一下图纸就可以确定应该用哪些方法加工出该零件——都是一些常见的并且可以应用到其他零件上的方法。

- ◆ 铣端面
- ◆ 铣轮廓
- ◆ 铣圆弧槽
- ◆ 铣沟槽
- ◆ 钻孔
- ◆ 钻削
- ◆ 攻丝

在机加工中，一些规则是很重要的，其中的一个是大量切削加工应该在轻量加工的前面进行。但并不是说粗加工一定在精加工前面，这是一个常识，例如铣削也可以在钻削前面进行。铣削有去除 XY 轴材料的趋势，钻削常常使材料往 Z 轴上方推。上面所列这些操作都适合作为数控加工的指令。

1.3.2 平面铣削

由于零件比最终要求厚 1mm，因此需要使用平面铣削刀具来加工顶面使其达到最终要求的 12mm 厚。1mm 的尺寸意味着一个很小的铣削余量，因此一次走刀就可以铣削完成。为了选择最好的平面铣削半径，同时也要考虑零件的长和宽。在很多情况下，零件的长或者是宽决定了切削的方向。该零件的长是 90mm，宽是 65mm，如果哪个方向都可以接受的话，那最好选择直径为 100mm 的标准铣削面积，而直径为 75mm 的铣削面积则只能沿着 X 轴铣削。如果两个铣削方向都可取的话，哪一种更好呢？为了同时加工尽可能多的边，刀具的出屑槽数也应该要考虑。如果直径为 100mm 的铣削面积可以同时加工更多的边的话，那它将是更好的选择，它也将是该道工序的最佳选择。

切削方向也很重要。虽然直径为 100mm 的铣削面积可以同时沿两个轴有四个切削方向，比如选择 X 轴方向时，从 X 轴正向到 X 轴负向（即从右到左）都可以考虑，原因是刀具工作时将被推向虎钳固定爪，形成有利的切削环境。沿 Y 轴切削会使零件被卡住。最后，相对零件来说，面的铣削中心的定位也是同样值得考虑的一点。切削中心取在零件正中是不可取的，但可以稍偏离中心。这样的刀具定位将很好地控制切入切出时切屑离开或是向着工件。这也可以减少噪声。

用 Y 轴定位时，所选的面铣削中心必须保证零件的 65mm 宽度能被加工到。可以这样估算最大的铣削直径：取长和宽之差的一半，即：

偏离零件中心的最大距离 = $(100 - 65) / 2 = 17.5\text{mm}$

选择 Y 轴定位时，稍微取得靠下一点，目的是使刀具能够完全加工零件表面。举个例子，15mm 是一个较好的偏离，还有 2.5mm 边缘重叠量。参见图 1-3。

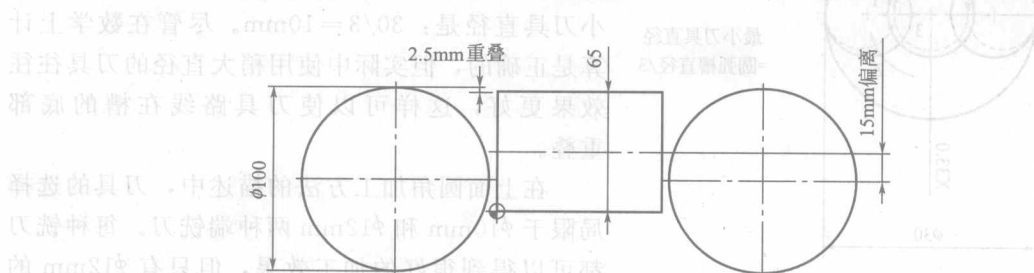


图 1-3

1.3.3 轮廓铣削

图 1-4 所示圆角矩形零件是在离所有边 4mm 的位置定位的，在圆角处该距离要大一些。在选择切削半径时过渡圆角长度非常重要。如果想一次走刀完成，切削半径应该比过渡圆角长度 C 要大（请看图例）。如果过渡圆角长度相对于任何规格的刀具都要大，这就需要两次或更多次的走刀，或者另选其他的加工方法。

在刀具选择后还应考虑单步走刀切深（都为 3.5mm）。该值并不难选择，而是可以在一次走刀中得以加工完成。

在该例子中，步宽 S 是 4mm，圆角半径 R 也是 4mm。利用图中的公式，C 值（最大过渡圆角长度）是 7.31371mm。实际情况中，任何半径为 8mm 或更大的端铣刀都可以在一次走刀中加工完圆角。该计算是正确的，但实际切削条件也必须考虑到。直径为 8mm 的端铣刀将不是好的选择，因为端铣刀的半径是

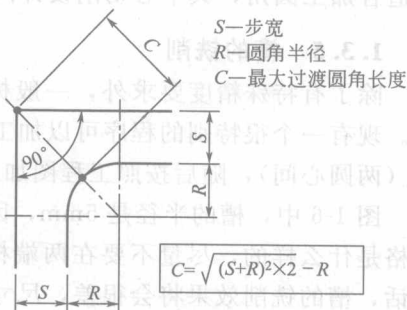


图 1-4

跟步距宽度一样的（4mm）。刀具的中心将精确地与零件的边一致，但这不是最好的加工条件。另外，大一点的刀具直径将可以有更大的灵活性以防止出现误差。两个或三个出屑槽的端铣刀，尤其是专为切削铝质材料设计的铣刀将会是最好的选择。至于直径的选择，不应该总是按照当前的操作，也要考虑其他一些操作。直径为 10mm 或者 12mm 的端铣刀将是一个好的选择——最终的决定将根据加工圆弧槽的刀具要求来定。槽的宽度是 10mm，所以刀具直径必须小于理想的切削条件。

1.3.4 圆弧槽铣削

图 1-5 中的圆槽的直径是 30mm，深度是 5mm。与铣圆角的端铣刀相比，为了切入材料，铣圆弧槽的端铣刀必须是中心切削。中心切削端铣刀也叫槽钻头，因为这些刀最初是专为铣标准槽而设计的。较长的螺旋线，3 个出屑槽的精磨中心切削端铣刀是切削铝材的最好选择。3 个出屑槽的端铣刀常被冠以超精确的称号，因为其不能用游标卡尺或是千分尺来度量。但是使用它们可以得到较大的刚度、流畅的切屑流和较好的表面粗糙度，这些都是许多铝质零件所需要的。当然，其他两个出屑槽的端铣刀也是合适的选择。