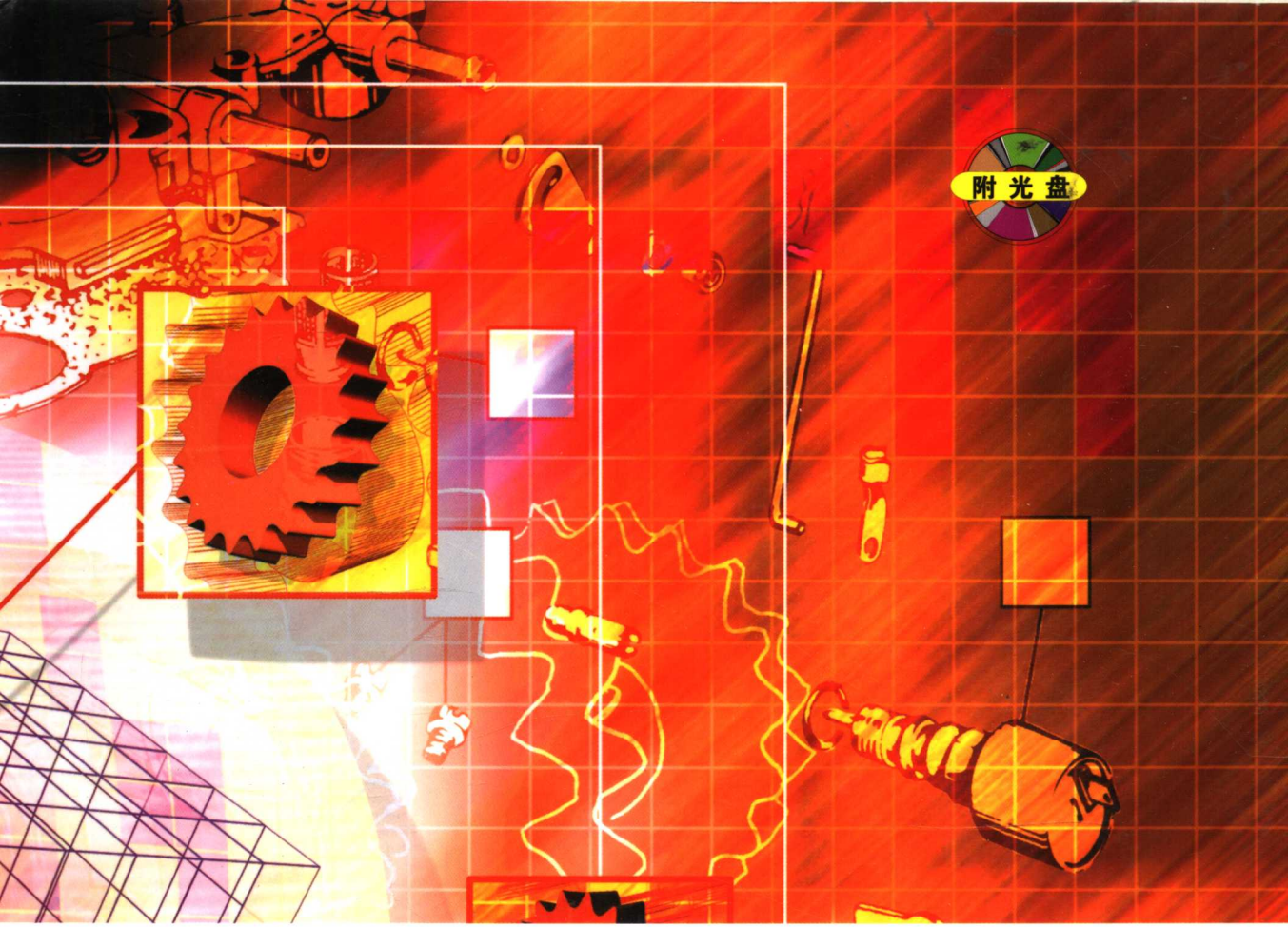




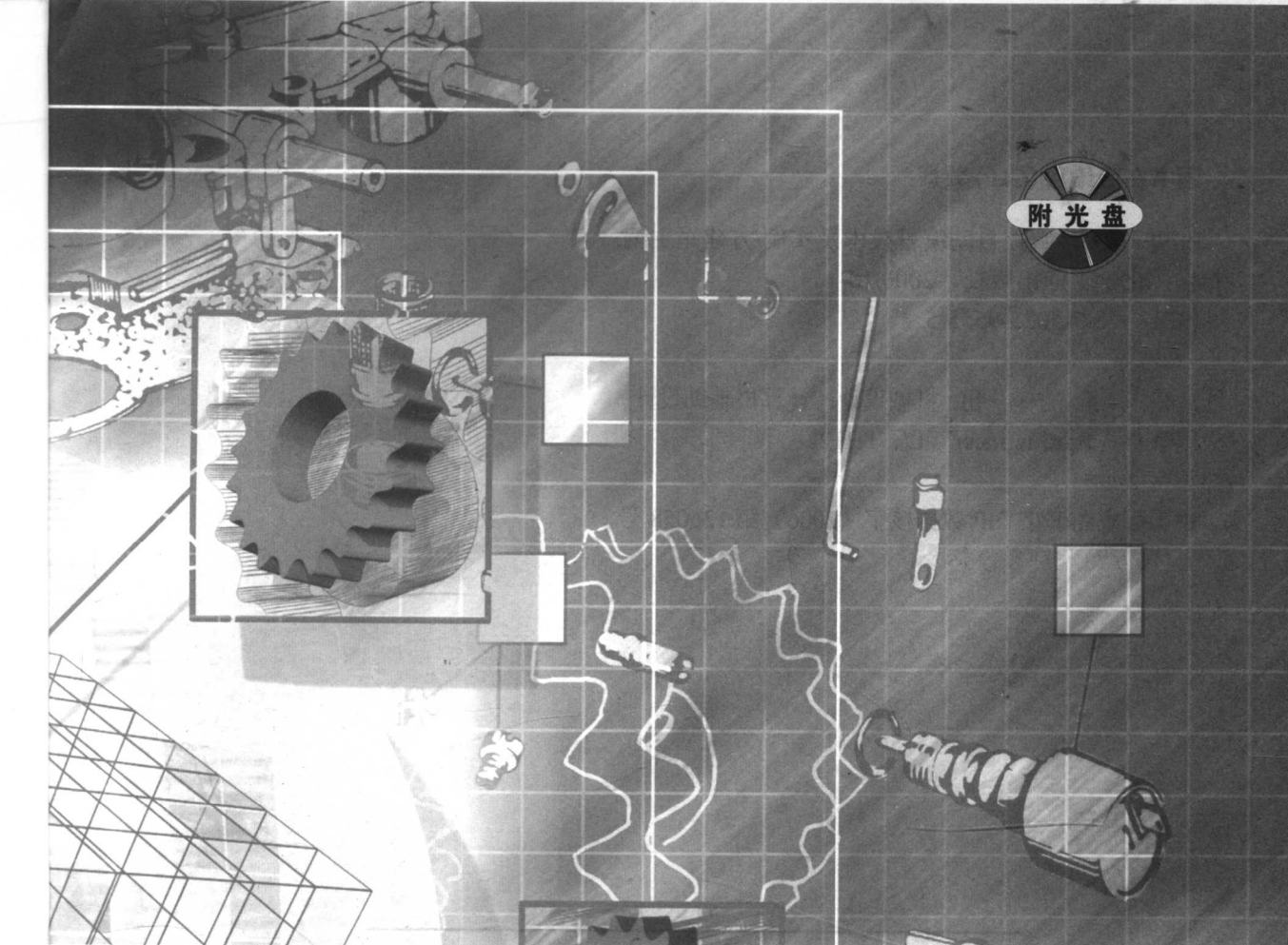
Pro/Engineer

数控自动编程技术及实例

● 方建军 主编



化学工业出版社



附光盘

Pro/Engineer

数控自动编程技术及实例

方建军 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

Pro/Engineer 数控自动编程技术及实例/方建军主编.
北京: 化学工业出版社, 2006.10
ISBN 978-7-5025-9555-5

I. P… II. 方… III. 机械设计: 计算机辅助设计-
应用软件, Pro/Engineer IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 126058 号

Pro/Engineer 数控自动编程技术及实例

方建军 主编

责任编辑: 张兴辉 王 烨

责任校对: 郑 捷

封面设计: 韩 飞

*

化学工业出版社出版发行

(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

购书咨询: (010) 64518888

购书传真: (010) 64519686

售后服务: (010) 64518899

[http:// www.cip.com.cn](http://www.cip.com.cn)

*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 17½ 字数 435 千字

2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-5025-9555-5

定 价: 39.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

中国正成为世界制造业的中心，迫切需要大量掌握先进制造技术的实用技能型人才。数控技术作为先进制造自动化技术的核心，得到普遍的应用。数控机床是集精密机械、计算机、自动控制和自动检测等高新技术于一身的高技术产物，要操控这样的高科技制造工具，需要熟练掌握它的编程技术和操作技能。数控自动编程技术是用计算机软件来帮助用户编写零件数控加工程序，完成大量的计算数据。随着 CAD/CAM 技术的发展，有很多著名的软件，如 MasterCAM、Pro/ENGINEER、UG、CATIA 等具有 NC 功能。Pro/ENGINEER 是美国 PTC 公司推出的一款集 CAD/CAM/CAE/CAPP 于一身的高度集成软件，其全参数化思想关联产品开发的每一个环节。Pro/NC 是 Pro/ENGINEER 软件中用于数控加工自动编程的模块，可以实现数控车削、铣削、线切割等加工的自动编程。由于 Pro/ENGINEER 具有强大的三维造型能力，各个模块之间是无缝连接和切换的。因此，选择 Pro/ENGINEER 进行数控加工自动编程是明智的选择之一。国内数控机床用量剧增，急需培养一大批能够熟练掌握现代数控机床编程、操作和维护的应用型高级技术人才，为了适应我国职业技术教育发展及应用型技术人才培养的需要，决定编写这本著作。

本书以 Pro/ENGINEER Wildfire 中文版为平台，详细介绍了 Pro/NC 模块在数控加工自动编程方面的应用。全书以实例为主线，详细讲解 Pro/NC 模块数控加工编程的思路、方法和工艺处理。在介绍如何使用 Pro/NC 模块的同时，对加工零件的加工工艺、刀具选择、刀具轨迹等进行了详细的分析，重点用实际例子讲解如何进行零件建模、数控机床设置、加工模拟以及数控自动编程，每章附有一个综合性实例。在书的最后一章，全部介绍综合性实例，力争让读者通过实例学习，尽快掌握 Pro/NC 的自动编程技术。所有实例都在数控机床上都进行了验证。本书读者应该具有一定的 Pro/ENGINEER 基本知识和应用技巧。

本书附带光盘中包括了书中讲解的所有实例，便于读者调用练习。

本书适用于数控机床编程人员的学习和参考，也可作为高等院校 CAD/CAM 专业教材。

本书由方建军主编，钟伟伟、林涉参加编写。齐晶、张虎、肖中凯、李惠平、莫妙桃等参加资料收集、整理和实例的加工检验。全书由方建军统稿。

由于作者水平有限，加之时间仓促，书中有不妥之处，希望广大用户和同行批评指正，并提出宝贵的意见。

编者
2006.11

目 录

第 1 章 数控加工编程基础	1
1.1 数控加工工艺	1
1.1.1 数控加工工艺特点	2
1.1.2 数控加工工艺分析	2
1.1.3 数控加工工艺路线设计	5
1.1.4 数控加工工序设计	8
1.2 数控编程技术	10
1.2.1 手动编程	10
1.2.2 自动编程	10
1.3 数控机床坐标系	10
1.4 Pro/NC 数控加工模块	14
1.4.1 Pro/NC 的基本概念	14
1.4.2 Pro/NC 的工艺参数	15
1.4.3 Pro/NC 模块的组成	17
1.4.4 Pro/NC 的操作流程	17
1.4.5 Pro/NC 的操作实例	18
第 2 章 数控后处理系统	29
2.1 后置处理系统	29
2.2 初始化后处理文件	30
2.3 后置处理文件的参数设置	33
2.3.1 机床类型设置	33
2.3.2 数控文件格式	36
2.3.3 机床指令设置	43
2.3.4 数控代码描述	47
2.4 铣削加工数控程序的生成	53
第 3 章 铣削加工	59
3.1 铣削加工基础	59
3.1.1 数控铣床的类型	59
3.1.2 数控铣削的加工对象	60

3.1.3	铣削加工的刀具选择	60
3.2	三轴铣削实例	63
3.2.1	平面铣削实例	63
3.2.2	体积块铣削实例	67
3.2.3	曲面加工实例	69
3.2.4	腔槽加工实例	83
3.2.5	凹槽加工实例	84
3.2.6	轮廓加工	88
3.2.7	局部铣削实例	92
3.2.8	螺纹加工实例	94
3.2.9	轨迹加工实例	103
3.2.10	雕刻	106
3.3	铣削加工综合实例——型腔模具加工	108
第4章	车削加工	119
4.1	车削加工基础	119
4.1.1	车削加工对象	119
4.1.2	车刀主要角度选择	120
4.1.3	车床坐标系的确定	125
4.2	车削参数与车削轮廓	126
4.2.1	切削选项与切削参数	126
4.2.2	车削轮廓	134
4.3	车削加工	135
4.3.1	轮廓加工	135
4.3.2	轮廓车削实例	136
4.3.3	区域车削实例	139
4.3.4	凹槽车削实例	145
4.3.5	螺纹车削实例	149
4.3.6	四轴区域车削实例	151
4.3.7	内轮廓加工实例	158
4.4	车削加工综合实例——阶梯轴加工	160
第5章	孔加工	174
5.1	孔加工基础	174
5.2	三轴孔加工	176
5.2.1	钻孔加工实例	176
5.2.2	钻孔组实例	180
5.2.3	沉头孔加工实例	187
5.2.4	盲孔加工实例	190
5.3	五轴孔加工实例	197

第 6 章 线切割加工	201
6.1 线切割加工概述	201
6.1.1 线切割加工的原理和应用	201
6.1.2 线切割加工参数	203
6.2 两轴线切割加工	207
6.2.1 两轴线切割加工的基本方法	207
6.2.2 轮廓切割实例	208
6.2.3 无芯切割实例	217
6.2.4 四轴线切割加工实例	220
6.3 线切割加工综合实例（五角星）	225
第 7 章 数控加工自动编程综合实例	232
7.1 铣削加工综合实例	232
7.2 车削加工综合实例	244
7.3 线切割加工综合实例	254
7.4 数控加工综合实例	263

第 1 章 数控加工编程基础

1952 年,美国 Parson 公司与麻省理工学院(MIT)成功研制了世界上第一台数控三坐标铣床,实现了利用不同数控程序对不同零件的加工。为了适应数控铣床加工各种复杂形状零件的需要,麻省理工学院又开始研制数控自动编程系统。1954 年,MIT 研制成功了批处理语言系统的数控自动编程系统 APT (Automatically Programming Tool)。APT 程序语言系统主要包括主程序、工件程序和后处理程序 3 个部分。相应地,数控编程的计算机处理器分主处理器和后处理器。主处理器用专用语言描述加工零件的几何形状及进刀和走刀方法,并添加大量的辅助语句用于描述加工过程的各种工艺参数,如进给率、加工余量等。用 APT 语言描述零件的几何形状及加工过程的程序称为零件源程序。这种源程序经过批处理运行后可以输出刀位点数据。后处理器将刀位数据转换为可供数控机床执行的控制代码。用 APT 语言来编写数控程序,直观性差,工作量大。20 世纪 90 年代之后,CAD/CAM 技术向标准化、集成化、智能化的方向发展。为了实现系统集成、资源共享和产品生产与组织管理的高度自动化,提高产品的竞争力,CAD/CAM 系统之间和各个子系统之间可以进行统一的数据交换。从狭义上讲,NC 编程就是 CAM 的同义词。利用 NC 加工技术,可以快速应对市场的变化、提高产品的竞争力。同传统的机械加工相比,NC 加工具有如下优势。

① 缩短了产品加工时的辅助时间,提高了加工效率 利用数控机床,特别是数控加工中心进行 NC 加工,基本上一次装夹,减少夹具设计与制造以及工件定位与装夹时间。

② 加工精度高、安全可靠 利用数控机床和 NC 加工技术,可以在制造前进行加工路径的模拟和仿真,减少加工过程中的误差,并能进行干涉检查,能够及早发现加工过程中的问题并加以改正。

③ 可以加工复杂的零件 一般机床不能加工的零件,都可以在数控机床上进行加工,并且加工的精度高,可重复性好。

1.1 数控加工工艺

数控加工工艺是以数控机床加工中的工艺问题为研究对象,运用机械制造中的工艺理论基础并结合数控机床的特点,综合应用多方面的知识来解决数控加工中的工艺问题。数控加工过程包括:

- ① 根据零件的加工图纸进行工艺分析,确定加工方案、工艺参数和位移数据;
- ② 用手工或 CAD/CAM 软件编写数控加工程序;
- ③ 将编写好的数控加工程序输入到数控机床的控制器中;
- ④ 为了检验数控程序的正确性和确保安全,可以进行试运行和刀具路径模拟;
- ⑤ 操作数控机床,完成零件的加工。

从数控加工过程看,数控技术的应用使机械加工的全过程产生了很大的变化。它不仅涉及到数控机床,还包括数控加工工艺和加工过程的自动化等。其中,数控加工工艺是进行数控加工的一项基础性工作。

1.1.1 数控加工工艺特点

数控加工与通用机床加工相比较,许多方面遵循的原则基本一致。但由于数控机床自动化程度高,设备费用也高,使数控加工工艺相应形成了以下几个特点。

(1) 内容具体

在传统机械加工中,工艺中各工步的划分与安排、刀具的几何形状、走刀路线及切削用量等,都是由操作工人在加工过程中灵活掌握并适时进行调整。但在数控加工中,所有的工艺必须事先设定好,在加工过程中操作人员是无法进行修改的。

(2) 设计严密

数控机床虽然自动化程度较高,但自适应性差。所以在数控加工的工艺设计中必须注意加工过程中的每一细节。在图形进行处理、计算和编程时,都要求准确无误。因数控机床和加工零件的价格高,如有损坏就会造成较大的损失。

(3) 注重加工的适应性

注重加工的适应性,就是要根据数控加工的特点,正确选择加工方法和加工对象。由于数控加工自动化程度高、质量稳定、可以多轴联动、便于工序集中,但价格昂贵、操作技术要求高等特点较突出。如果加工方法和加工对象不当,往往会造成较大的损失。因此在选择加工方法和对象时,要特别慎重。

1.1.2 数控加工工艺分析

规定零件制造工艺过程和操作方法的工艺文件,称为工艺规程。用数控机床加工零件时,由于整个加工过程是自动进行的,因此必须将零件加工的全部工艺过程、工艺参数等编制到程序中。因此,在编写程序前,需要对数控加工工艺进行认真分析。

(1) 选择合适的加工零件

虽然数控机床加工的自动化程度高、加工精度高,但不是所有的零件都适合在数控机床上加工。根据国内外大量的实践经验,归纳以下零件类型适合于数控加工。

- ① 用通用机床无法加工或很难保证加工质量或精度的复杂零件;
- ② 具有复杂曲线或曲面轮廓的零件;
- ③ 为了保证加工精度,要求必须在一次装夹中完成多道加工工序的零件;
- ④ 具有难测量、难控制进给、难控制尺寸型腔的壳体或盒型零件;
- ⑤ 零件价值较高,在通用机床上加工时容易受人为因素干扰而影响加工质量,从而造成较大经济损失的零件;
- ⑥ 在通用机床上加工需要做长时间调整的零件;
- ⑦ 需要多次更改设计后才能定型的零件;
- ⑧ 在通用机床上加工时必须制造复杂专用工装的零件;
- ⑨ 用通用机床加工时,生产率很低或工人体力劳动强度很大的零件。

同通用机床相比,数控加工机床的加工成本高,考虑到成本和效率,有些批量生产的零件不适合用数控机床进行加工。以下几种类型的零件不适合数控加工。

- ① 生产批量大的零件；
- ② 装夹困难或完全靠找正定位来保证加工精度的零件；
- ③ 必须用特定的工艺装备协调加工的零件。

(2) 选择数控加工的工序

在考虑数控加工时，一定要考虑加工的效率和经济性，切忌将数控机床当作普通机床来使用。选择一个零件进行数控加工，并不意味着所有的工序都用数控机床进行加工，而是在仔细分析零件图样的基础上，选择那些最适合、最需要进行数控加工的工序，其他工序则用普通机床进行加工。一般情况下，选择那些通用机床无法加工、加工质量难以保证、加工效率低、工人劳动强度大的工序用数控机床加工。

(3) 零件数控加工工艺性分析

零件数控加工工艺性分析包括零件图样分析、结构工艺性分析和零件安装方式的选择等内容。

① 零件图分析

a. 尺寸标注方法分析。为了便于数控编程，零件图应用同一个基准标注尺寸或者直接给出坐标尺寸，这种标注方法可以做到设计基准、工艺基准、测量基准和编程原点的统一。图 1-1(a) 是零件的设计图纸。由于零件设计人员较多地考虑装配等使用方面特性，因此采用分散基准来标注尺寸。如果按照这种尺寸标注方法来编写数控程序，给工序安排和数控加工带来很多不便。因此在编写数控程序前，将图(a) 的尺寸标注方法改成图(b) 所示的标注方法，即采用同一个基准来标注尺寸。由于数控加工精度和重复定位精度都很高，不会因产生较大的累积误差而破坏零件的使用特性，因此，将局部的分散标注法改为同一基准标注或直接给出坐标尺寸的标注法是可行的。

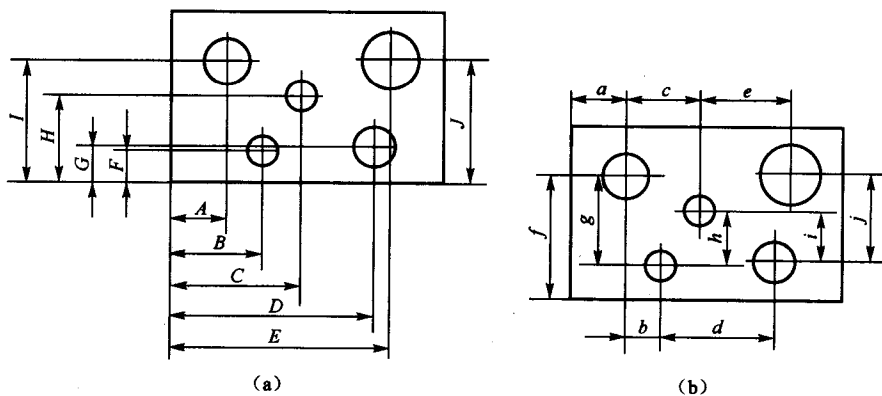


图 1-1 零件尺寸标注分析

b. 分析零件图的完整性。手工编程时要计算构成零件轮廓的每一个节点坐标；自动编程时要对构成零件轮廓的所有几何元素进行定义。无论哪一条件不明确，编程都无法进行。因此，在分析零件图样时，务必要分析几何元素的给定条件是否充分，发现问题及时与设计人员沟通解决。

c. 零件技术要求分析。在保证零件使用性能的前提下，合理确定零件的技术要求，做到经济合理。不恰当的技术要求会使工艺过程复杂、加工困难、成本提高。

d. 零件材料分析。在满足零件功能的前提下、应选用廉价、切削性能好的材料。而且，

材料选择应立足国内，不要轻易选用贵重或紧缺的材料。

② 零件的结构工艺性分析 零件的结构工艺性是指所设计的零件在满足使用要求的前提下制造的经济性和可行性。良好的结构工艺性，可以使零件加工效率高、加工容易。否则将导致加工困难、效率低且浪费材料。因此，在结构工艺性分析时，需要遵循以下的原则。

a. 零件的内腔与外形应尽量采用统一的几何类型和尺寸。尤其是加工面转接处的凹圆弧半径，阶梯轴上直径差值不太大的各轴肩处，退刀槽宽度最好统一尺寸。这样可以减少刀具规格和换刀次数，方便编程。

b. 圆角大小决定刀具直径的大小，而刀具直径的大小与被加工工件轮廓的高低影响着工件加工工艺性的好坏，因此内槽及缘板之间的转接圆角半径不应过小。图 1-2 (a)、(b) 比较了不同内槽结构工艺性分析。经过仔细分析后，图(a) 的结构工艺性较差，而图(b) 的结构工艺性较好。在图(b) 中，转接圆弧半径大，可采用较大直径的铣刀来加工。这样加工其腹板面时，进给次数减少、表面加工质量也好，所以工艺性较好。通常当 $R < 0.2H$ 时，可以判定零件的该部位工艺性不好。

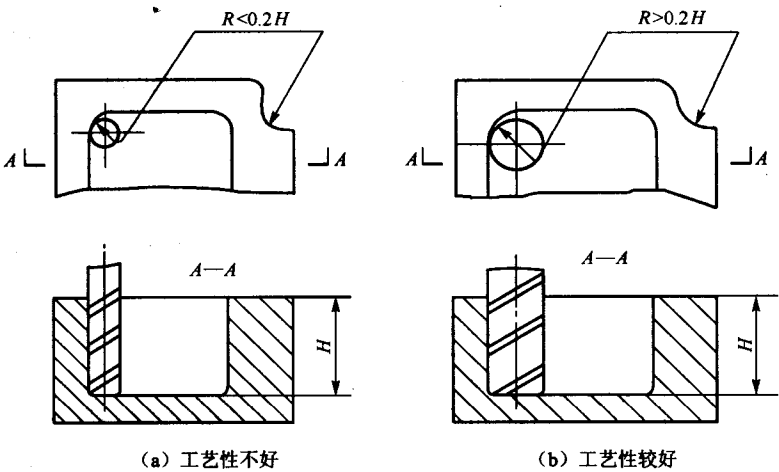


图 1-2 内槽结构的工艺性分析

c. 铣削零件底平面时，槽底圆角半径 r 不应过大。根据图 1-3 表示的几何关系，铣刀与铣削平面接触的最大直径 $d = D - 2r$ ，其中 D 为铣刀直径。如果圆角半径 r 越大，则铣刀端

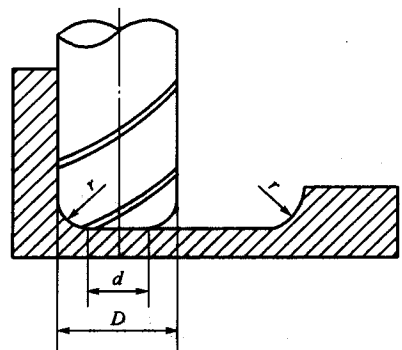


图 1-3 底面圆角半径对加工工艺的影响

刃铣削平面的能力就越差，因而效益就越差。甚至当 r 增大到一定程度时，必须用球头铣刀来加工，这是应该尽量避免的。

d. 采用统一的基准定位。在数控加工过程中特别强调加工基准的统一性，避免因工件的二次装夹而造成加工后两个面上的轮廓位置及尺寸不协调现象。如果零件上有合适的孔或工艺孔，则将其作为工艺基准；如果没有，则选择精加工表面作为统一基准。这样，可以最大限度地减少二次装夹导致的误差。

(4) 选择合适的装夹方式

数控机床加工时，应尽可能做到一次装夹，完成零件

多道工序的加工。夹具尽量采用通用或组合夹具,在特殊情况下才考虑设计和使用专用夹具。

1.1.3 数控加工工艺路线设计

数控加工工艺设计与普通加工工艺设计基本相似。数控加工工艺路线的主要内容包括:选择定位基准;确定所有加工表面的加工方法和加工方案;工序划分;插入必要的普通加工工序、辅助工序和热处理工序等,并衔接于数控加工工序序列之中。这样就构成了待加工零件的数控加工工艺路线。

(1) 定位基准的选择

数控加工零件的加工精度、夹具结构的复杂程度以及加工效率等因素,在很大程度上取决于定位基准的选择。

① 粗基准的选择 粗基准的选择主要影响不加工表面与加工表面之间的相互位置精度以及加工表面的余量分配。选用粗基准应遵循的原则如下。

- a. 粗基准一般只使用一次;
- b. 粗基准表面应尽量平整光洁;
- c. 选择能够保证工件加工余量均匀的重要表面;
- d. 如果必须保证加工表面与不加工表面之间的相互位置精度要求,则以不加工表面为粗基准;如果工件上有多个不加工表面,则应以其中与加工表面位置精度要求较高的表面作为粗基准。

② 精基准的选择 精基准的选择应从保证零件的加工精度,特别是加工表面的相互位置精度来考虑,同时也必须尽量使装夹工具结构简单可靠。精基准的选择应遵循如下原则。

- a. 基准重合原则。尽可能选用设计基准作为精基准;
- b. 基准统一原则。加工工件的多个表面时尽可能使用同一组定位基准作为精基准,以此避免因基准变换所产生的误差,并能简化夹具的设计和制造;
- c. 互为基准原则。当两个加工表面相互位置精度以及它们自身的尺寸与形状精度都要求很高时,以采用互为基准的原则,反复多次进行加工;
- d. 自为基准原则。有些精加工或光整加工工序要求加工余量小且均匀,在加工时就应尽量选择加工表面本身作为精基准,而该表面与其他表面之间的位置精度则由先行工序保证。

(2) 加工方法的选择

机械零件的种类多种多样,但都是由平面和曲面组成。每一种表面有多种加工方法,选择加工方法的原则是保证加工表面的加工精度和表面粗糙度的要求。由于获得同一精度和表面粗糙度的加工方法有许多,因而在实际选择时,要结合零件的结构形状、尺寸大小和热处理要求等全面考虑。

① 平面加工方法的选择 平面的主要加工方法有铣削、刨削、车削、磨削和拉削等,精度要求高的平面还需要经研磨或刮削加工。车削主要用于回转零件端面的加工,以保证端面与回转轴线的垂直度要求。磨削适用于直线度及表面粗糙度要求较高的淬硬工件和薄片工件、未淬硬钢件上面积较大的平面的精加工,但不宜加工塑性较大的有色金属。拉削适用于加工大批量生产中加工质量要求较高且面积较小的平面。研磨用于精度高、表面粗糙度要求高的小型零件的精密平面加工。

② 平面轮廓和曲面轮廓加工方法的选择 平面轮廓常用的加工方法有数控铣、线切割及磨削等。平面轮廓的曲率半径较小时,采用数控线切割方法加工。若选择铣削的方法,因

铣刀直径受最小曲率半径的限制,直径太小,刚性不足,会产生较大的加工误差。对精度及表面粗糙度要求较高的轮廓表面,在数控铣削加工之后,再进行数控磨削加工。数控铣削加工适用于除淬火钢以外的各种金属,数控线切割加工可用于各种金属,数控磨削加工适用于除有色金属以外的各种金属。

立体曲面加工方法主要是数控铣削,多用球头铣刀,以“行切法”加工。根据曲面形状、刀具形状以及精度要求等通常采用二轴半联动或三轴半联动。对精度和表面粗糙度要求高的曲面,当用三轴联动的“行切法”加工不能满足要求时,可用模具铣刀,选择四坐标或五坐标联动加工。

③ 外圆表面加工方法的选择 外圆表面的主要加工方法是车削和磨削。当表面粗糙度要求较高时,还要经光整加工。最终工序为车削的加工方案,适用于除淬火钢以外的各种金属。最终工序为磨削的加工方案,适用于淬火钢、未淬火钢和铸铁,不适用于有色金属。因为有色金属韧性大,磨削时易堵塞砂轮。最终工序为精细车或金刚车的加工方案,适用于要求较高的有色金属的精加工。最终工序为光整加工,如研磨、超精密及超精加工等,为提高生产效率和加工质量,一般在光整加工前进行精磨。对表面粗糙度要求高而尺寸精度要求不高的外圆,可采用滚压或抛光。

④ 内孔表面加工方法的选择 内孔表面加工方法有钻孔、扩孔、铰孔、锪孔、拉孔、磨孔和光整加工。如要加工精度为 IT9 级的孔,当孔径小于 10mm 时,可采用钻—铰方案;当孔径小于 30mm 时,可采用钻—扩方案;当孔径大于 30mm 时,可采用钻—镗方案。

(3) 工序的划分

① 工序划分原则 工序的划分可以采用不同的原则,即工序集中原则和工序分散原则。

a. 工序集中原则。每道工序包含尽可能多的工步,从而使工序的总数减少。工序集中原则有利于高效地利用数控机床,提高生产率并缩短工艺路线;能够减少工件的装夹次数,保证各加工面的相互位置精度。工序集中原则也存在不足之处,即专用设备投资、调整都比较麻烦,生产准备的周期长。

b. 工序分散原则。总的工序多,每道工序包含的工步少。工序分散原则虽然使得工艺路线变长,所需要的设备和操作人员较多,但该原则有利于选择合理的切削用量,加工设备和夹具相对简单,调整和维修方便,便于转产。

② 工序划分方法

a. 按照所用刀具划分工序。有些零件虽然能在一次安装中加工多个待加工面,但为了减少换刀次数,压缩空程时间,可按刀具集中工序的方法加工工件,即在一次安装中尽可能用同一把刀具加工出可能加工的所有部位,然后再换一把刀加工其他部位。即以同一把刀具加工的内容划分工序,专用数控机床和加工中心上常用这种方法。

b. 按粗、精加工划分工序。考虑工件的加工精度要求、刚度和变形等因素来划分工序时,可按粗、精加工分开的原则来划分共序,即先粗加工后精加工。此时可用不同的机床或不同的刀具进行加工。一般来说,在一次安装中不允许将工件的某一表面粗、精加工不分地加工至精度要求后,再加工工件的其他表面。

c. 按加工部位划分工序。有些零件加工内容很多,构成零件轮廓的表面结构差异较大,可按其结构特点将加工部位分成几个部分,如内形、外形、曲面或平面等。

d. 按照安装次数划分工序。以一次安装完成的那一部分工艺过程作为一道工序。这种方法适用于工件加工内容不多,加工完成后就能进入待检状态。

综上所述,在划分工序时,一定要根据零件的结构与工艺性、机床的功能、零件数控加工内容的多少、安装次数以及生产组织状况等实际情况灵活掌握。

(4) 加工顺序的安排

加工工序安排得是否合理,将直接影响到零件的加工质量、生产率和加工成本。因此,安排数控加工顺序时应遵循以下原则。

① 合理进行工序组合,尽量采用工序集中,即将工件的加工集中到少数工序中完成,每道工序的加工内容较多;

② 首先进行定位基准面的粗、精加工,然后再加工其余表面;

③ 精度要求较高的主要表面的粗加工一般安排在次要表面粗加工之前,这样有利于及早发现毛坯的内在缺陷;

④ 对箱体类零件,为提高孔的位置精度,应先加工表面,然后加工孔;

⑤ 加工中容易损伤的表面(如螺纹等)应放在加工路线的后面;

⑥ 尽量使工件的装夹次数、工作台转动次数、刀具更换次数及所有主行程时间减至最少,提高加工精度和生产率。

以图 1-4 所示的零件为例,说明如何应用上述原则。按照先基准面后其他的原则,在普通机床上把零件的底面和四个轮廓面加工好,其余的顶面、孔及沟槽安排在立式加工中心上一次完成,体现工序集中原则。加工中心的工序按照“先面后孔”、“粗精分开”、“先主后次”等原则可以划分为如下 15 个工步。

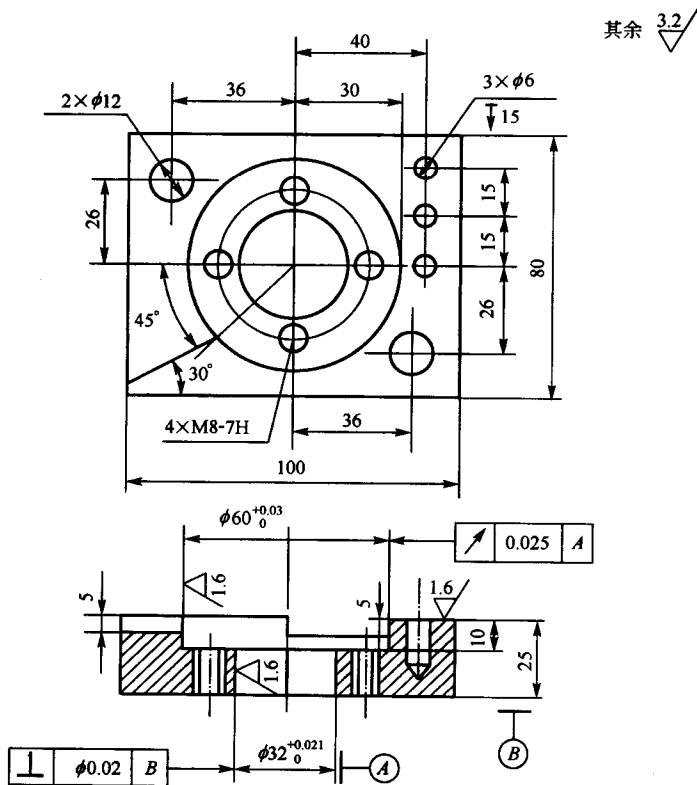


图 1-4 零件简图

- ① 粗铣顶面;
- ② 钻 $\phi 32$ 、 $\phi 12$ 中心孔;
- ③ 钻 $\phi 32$ 、 $\phi 12$ 孔至 $\phi 11.5$;
- ④ 扩 $\phi 32$ 孔至 $\phi 30$;
- ⑤ 钻 $3 \times \phi 6$ 孔至尺寸;
- ⑥ 粗铣 $\phi 60$ 沉孔及沟槽;
- ⑦ 钻 $4 \times M8$ 底孔至 $\phi 6.8$;
- ⑧ 镗 $\phi 32$ 孔至 $\phi 31.7$;
- ⑨ 精铣顶面;
- ⑩ 铰 $\phi 12$ 孔至尺寸;
- ⑪ 精镗 $\phi 32$ 孔至尺寸;
- ⑫ 精铣 $\phi 60$ 沉孔及沟槽至尺寸;
- ⑬ $\phi 12$ 孔口倒角;
- ⑭ $3 \times \phi 6$, $4 \times M8$ 孔口倒角;
- ⑮ 攻 $4 \times M8$ 螺纹完成。

1.1.4 数控加工工序设计

数控加工工序设计的主要任务是为每一道工序选择走刀路线、数控机床、工艺装备、定位夹紧方式等,为编制加工程序作准备。

(1) 走刀路线的确定

在数控加工中,刀具刀位点相对于工件运动的轨迹称为走刀路线,它反映出加工顺序,是数控编程的依据之一。在确定走刀路线时,主要考虑以下几点原则。

① 走刀路线应保证被加工工件的精度和表面粗糙度。如在最终轮廓形成前,安排一次走刀连续加工,确保表面粗糙度。

② 应使加工路线最短,以减少空行程时间,提高加工效率。

③ 刀具的进刀和退刀路线要仔细考虑,尽量避免在轮廓处停刀或垂直切入切出工件,以免在轮廓上留下刀痕,使表面粗糙度增大。图 1-5 (a) 采用径向切入切出来车削或铣削工件,会在工件表面留下伤痕,使表面粗糙度增大;图 1-5 (b) 的加工方式则会使表面粗糙度变小。

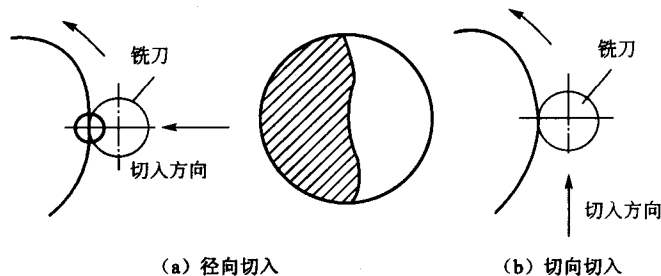


图 1-5 进刀路线

④ 当某段进给路线重复使用时,为了简化编程,缩短程序长度,应使用子程序。

在确定走刀路线时,还要考虑工件的形状与刚度、加工余量大小、机床与刀具的刚度等情况,确定是一次进给还是多次进给来完成加工,以及设计刀具的切入与切出方向和在铣削加工中是采用顺铣还是逆铣等。

(2) 机床的选择

一旦确定了工件表面的加工方法,相应的加工机床也就基本上确定了。正确地为每一道工序选择机床,除了充分了解机床的性能外,还要参考以下原则。

① 机床的类型应与工序划分的原则相适应 数控机床或通用机床适用于工序集中的单件小批生产;对大批大量生产,则应选择高效自动化机床和多刀、多轴机床。若工序按分散原则划分,则应选择结构简单的专用机床。

② 机床的主要规格尺寸应与工件的外形尺寸和加工表面的有关尺寸相适应,小工件用小规格的机床加工,大工件用大规格的机床加工。

③ 机床的精度与工序要求的加工精度相适应 粗加工工序,应选用精度低的机床;精度要求高的精加工工序,应选用精度高的机床。机床精度过低,不能保证加工精度;机床精度过高,会增加零件制造成本。

(3) 定位与夹紧方案的选择

为了提高数控机床的效率,在确定定位基准与夹紧方案时应考虑以下几点原则。

① 力求设计基准、工艺基准与编程计算的基准统一,减少编程中的计算量和因基准不重合导致的加工误差。

② 尽量减少装夹次数,尽可能在一次定位装夹后就能加工出全部待加工表面,以充分发挥数控机床的效率。

③ 避免采用占机人工调整式方案,以免占机时间多,影响加工效率。

(4) 数控加工刀具的选择

刀具的选择是数控加工工序设计的重要内容之一,它不仅影响机床的加工效率,而且直接影响加工质量。另外,数控机床主轴转速比普通机床高1~2倍,且主轴输出功率大,因此与传统加工方法相比,数控加工时刀具的要求更高,不仅要求精度高、强度大、刚度好、耐用度高,而且要求尺寸稳定、安装调整方便。这就要求采用新型优质材料制造数控加工刀具,并合理选择刀具结构、几何参数。刀具的选择应考虑工件材质、加工轮廓类型、机床允许的切削用量和刚性以及刀具耐用度等因素。一般情况下应优先选用标准刀具(特别是硬质合金可转位刀具),必要时也可采用各种高生产率的复合刀具及其他一些专用刀具。对于硬度大的难加工工件,可选用整体硬质合金、陶瓷刀具、CBN刀具等。刀具的类型、规格和精度等级应符合加工要求。

(5) 夹具的选择

数控加工的特点对夹具提出了两个基本要求:一是要保证夹具的坐标方向与机床的坐标方向相对固定;二是要能协调零件与机床坐标系的尺寸关系。除此之外,还要注意以下几点。

① 单件小批量生产时,优先选择组合夹具、可调夹具和其他通用夹具,以缩短准备时间、节省生产费用。

② 大批量生产时,考虑采用专用夹具,并力求结构简单。

③ 夹具要开敞,加工部位开阔,夹具的定位、夹紧机构元件不能影响加工中的进给(如产生碰撞等)。

④ 装卸零件要快速、方便、可靠,以缩短准备时间,批量较大时应考虑采用多工位夹具、气动或液压夹具。

(6) 测量方法和量具

数控加工后工件尺寸的测量方法与普通机床加工后的测量方法几乎相同。对于单件小批量生产,采用通用的量具,如游标卡尺和百分表等。单件大批量生产(工件的某道数控加工工序),使用专用的量具,如量规。在特殊情况下,如加工面积较大的工件,其腔板中间的厚度,用通用量具已无法检测,加工后和加工中的测量都存在问题,此时需采用特殊测量工具来进行检测。量具精度必须与加工精度相适应。

1.2 数控编程技术

从 NC 编程的发展过程看,NC 编程有两种基本的方式,即手工编程和自动编程。

1.2.1 手动编程

手工编程是指由人工编制零件数控加工程序的各个步骤,即零件图纸分析,工艺分析,确定工艺路线和工艺参数,计算机数控机床所需要输入的数据,编写零件的数控加工程序直至程序的检验,均由人工来完成。对于点位加工或者零件的几何形状不太复杂的零件加工,数控编程较为简单,程序段少,可以用人工编程。对于复杂形状的零件,如具有空间复杂曲面的零件或者轮廓简单但程序量很大的零件,计算数值则相当烦琐,工作量大,容易出错,且很难校对,因此,为了缩短生产周期,提高生产效率,有效地解决复杂零件的加工问题,可以采用自动编程技术。

1.2.2 自动编程

自动编程是用计算机来帮助人们解决复杂零件的数控加工编程问题。计算机完成大量烦琐的数值计算工作,并省去了编写程序单的工作量,因而能大大提高编程效率。自动编程能够解决手工编程无法解决的许多复杂形状零件的编程问题。

自动编程按照编程方式的不同划分为 APT 语言和图形编程两种方式。APT 语言编程在前面介绍过,这里只讲图形编程。图形编程方式的主要特点是以图形要素作为输入对象,不需要使用数控语言。在图形交互方式下,用户输入加工零件的几何形状、选择刀具参数、定义机床、确定走刀轨迹等,计算机自动计算刀位数据,并能进行加工过程的模拟和仿真,最后生成数控程序。图形编程方式的优点是形象、直观、效率高。

随着 CAD/CAM 一体化技术的发展,很多著名的软件都具有很强的 NC 功能。在我国使用较为广泛的集成软件有 Pro/ENGINEER、UG II、MasterCAM 和 CATIA 等。Pro/ENGINEER 是集 CAD/CAM/CAPP/PDM 于一体的,具有完成制造业所需要的各方面功能设计的软件包。Pro/ENGINEER 具有铣削、车削、电火花线切割等加工编程能力。本书将力求比较全面地介绍 Pro/ENGINEER 在数控加工中的应用。

1.3 数控机床坐标系

数控加工是基于数字的加工,刀具与工件的相对位置必须在相应的坐标系下才能确定。数控机床的坐标系统,包括坐标系、坐标原点和运动方向,对于数控编程和操作,是一个很重要的概念。例如,在考虑装夹方案时,工件在机床上找正或定位,其目的是保证工件的定位基面与刀具的相对位置关系;在数控机床时找正或定位时,保证的是工件坐标系与机床坐