

河南职业技术学院

国家示范性高职院校建设项目成果 机电一体化技术专业

省级精品课配套教材

数控铣削 (加工中心) 加工技术

SHUKONG XIXIAO JIAGONG ZHONGXIN JIAGONG JISHU

肖龙 赵军华 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

河南职业技术学院
国家示范性高职院校建设项目成果 机电一体化技术专业
省级精品课配套教材

数控铣削(加工中心)加工技术

主 编 肖 龙 赵军华
副主编 冯金广 谢 芳
参 编 李智明 董 延 程改兰
主 审 鲁宏勋

机械工业出版社

本书是根据数控技术领域职业岗位群的需求,以“工学结合”为切入点,以工作过程为导向,打破传统的学科型课程架构,突破定界思维,参照工学结合来确定课程内容的一体化任务驱动式教材,是根据高职高专数控技术专业课程标准,并参考国家职业标准《数控铣工》、《加工中心操作工》的理论知识要求和技能要求编写的。主要内容包括:数控铣削加工工艺的制定、典型零件的数学处理、简单零件的数控铣削编程与加工、复杂零件的数控铣削编程与加工、非圆曲线的变量编程、配合零件的数控铣削编程与加工。本书特点是借鉴德国“二元制”先进职业教育理念,拟对传统学科型教材进行整合,淡化学科体系,达到教—学—做一体化。

本书可作为高职高专、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院数控技术、机电一体化等专业的教材,也可作为工厂中主要从事数控铣削加工的技术人员和操作人员的培训教材,还可供其他有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控铣削(加工中心)加工技术/肖龙,赵军华主编.

—北京:机械工业出版社,2010.8

国家示范性高职院校建设项目成果 机电一体化技术专业.
省级精品课配套教材

ISBN 978-7-111-31363-2

I. ①数… II. ①肖…②赵… III. ①数控机床:铣床—高等学校:技术学校—教材②数控机床加工中心—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TG547②TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第141748号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:王英杰 责任编辑:王英杰

版式设计:霍永明 责任校对:张莉娟

责任印制:杨曦

北京京丰印刷厂印刷

2010年9月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·10.5印张·257千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-31363-2

定价:20.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

序

三载寒暑，数易其稿，我院国家示范性高职院校建设成果之一——工学结合的系列教材终于付梓了，她就像一簇小花，将为我国高职教育园地增添一抹春色。我院入选国家示范性高职院校建设单位以来，以强化内涵建设为重点，以专业建设为龙头，以精品课程和教材建设为载体，与行业企业技术、管理专家共同组建专业团队，在课程改革的基础上，共同编著了30余部教材，涵盖了我院的机电一体化技术、电子信息工程技术、汽车检测与维修技术、烹饪工艺与营养四个专业的30余门专业课程。在保证知识体系完整性的同时，体现基于工作过程的基本思想，是本批教材探讨的重点。

本批教材是学院与行业企业共同开发的，适应区域、行业经济和社会发展的需要，体现行业新规范、新标准，反映行业企业的新技术、新工艺、新材料。教材内容紧密结合生产实际，融“教、学、做”为一体，力求体现能力本位的现代教育思想和理念，突出高职教育实践技能训练和动手能力培养的特色，注重实用性、先进性、通用性和典型性，是适合高职院校使用的理论和实践一体化教材。

本批教材由我院国家示范性重点建设专业的专业带头人、骨干教师与相关行业企业的技术、管理专家合作编写，这些同志大都具有多年从事职业教育和生产管理一线的实践经验，合作团队中既有享受国务院政府特殊津贴的专家、河南省“教学名师”，又有河南省教育厅学术技术带头人、国家技能大赛优胜者等。学院教师长期工作在高职教育教学一线，熟悉教学方法和手段，理论方面有深厚功底，行业企业专家具有丰富的实践经验，能够把握教材的广度和深度，设定基于工作过程的教学任务，两者结合，优势互补，体现“校企合作、工学结合”的主要精髓。相信这批教材的出版，将会为我国高职教育的繁荣发展做出一定贡献。

河南职业技术学院院长 王爱群

前 言

本书是根据高职高专数控技术专业课程标准，并参考国家职业标准《数控铣工》、《加工中心操作工》的理论知识要求和技能要求编写的。

本书是根据数控技术领域职业岗位群的需求，以“工学结合”为切入点，以工作过程为导向，打破传统的学科型课程架构，突破定界思维，采用任务驱动模式编写的一体化工学结合教材。每个任务包括任务描述及目标、任务资讯、任务实施、任务评价与总结提高四个基本部分。

本书借鉴德国“双元制”先进职业教育理念，拟对传统学科型教材进行整合，淡化学科体系，以工作过程为导向，达到教—学—做一体化。在任务选取上，通过资讯、决策、计划、实施、检查以及评估六步法，选择企业中普遍应用或较先进的课题，确定适合教学应用的任务内容。本教材以实用性、科学性、针对性和趣味性为特色，根据基于工作过程系统化的专业学习领域的要求编写。本书整合数控铣削编程与操作实训、数控铣削加工工艺、数控刀具等内容，结合企业一线，选取企业中真实的零件为实例，通过一体化教学，培养学生的专业能力、方法能力以及社会能力。

本书在内容上力求做到理论与实际相结合，按照循序渐进的要求，由简单到复杂，由易到难。内容丰富，实用性强。本书内容上包括八个任务：数控铣削加工工艺的制定、典型零件的数学处理、简单零件的数控铣削编程、复杂零件的数控铣削编程、非圆曲线的变量编程、简单零件的数控铣削加工、复杂零件的数控铣削加工、配合零件的数控铣削编程与加工。

本书可作为高职高专、成人高校及本科院校开办的二级职业技术学院数控技术、机电一体化等专业的教材，也可作为工厂中从事数控铣削加工的技术人员和操作人员培训教材，还可供其他有关技术人员参考。

本书由肖龙、赵军华任主编，冯金广、谢芳任副主编。其中任务1、任务2由赵军华、谢芳编写；任务3、任务4由冯金广、赵军华、程改兰编写；任务5由冯金广、程改兰编写；任务6、任务7、任务8由冯金广、李智明、肖龙、董延编写；全书由赵军华统稿。

洛阳空空导弹研究院鲁宏勋审阅了本书。在本书编写的过程中，得到了郑州煤矿机械股份有限公司、安阳鑫盛机床股份有限公司、郑州日新精工有限公司的大力支持，在此一并深表谢意。同时对本书所参考的有关资料、文献的作者表示衷心感谢。

由于编者水平有限，编写时间仓促，书中难免有疏漏、错误之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

序 前 言

任务1 数控铣削加工工艺的 制定

1.1 任务描述及目标	1
1.2 任务资讯	1
1.2.1 数控铣削的主要加工对象	1
1.2.2 数控铣削加工选择定位基 准应遵循的原则	2
1.2.3 对刀点与换刀点的确定	2
1.2.4 数控铣削加工的内容	3
1.2.5 数控铣削加工工艺性的分析	3
1.2.6 零件结构工艺性的分析及处理	4
1.2.7 零件毛坯的工艺性分析	5
1.2.8 加工工序的划分	5
1.2.9 选择进给路线	5
1.2.10 数控铣削加工工艺参数的 确定	7
1.3 任务实施	9
1.4 任务评价与总结提高	12
1.4.1 任务评价	12
1.4.2 任务总结	13
1.4.3 练习与提高	13

任务2 典型零件的数学处理

2.1 任务描述及目标	16
2.2 任务资讯	16
2.2.1 数值计算的内容	16
2.2.2 基点坐标的计算	17
2.2.3 非圆曲线节点坐标的计算	20
2.2.4 列表曲线型值点坐标的计算	22
2.2.5 数控机床使用假想刀尖点时 偏置的计算	22
2.2.6 简单立体型面零件的数值计算	22
2.3 任务实施	23

2.3.1 零件图上基点的计算	23
2.3.2 节点的计算	27
2.4 任务评价与总结提高	27
2.4.1 任务评价	27
2.4.2 任务总结	27
2.4.3 练习与提高	28

任务3 简单零件的数控铣削 编程

3.1 任务描述及目标	29
3.2 任务资讯	29
3.2.1 坐标系	29
3.2.2 数控加工程序的结构与格式	31
3.2.3 铣床数控系统的功能和指令 代码	35
3.2.4 常用指令功能的应用	38
3.3 任务实施	46
3.4 任务评价与总结提高	47
3.4.1 任务评价	47
3.4.2 任务总结	48
3.4.3 练习与提高	48

任务4 复杂零件的数控铣削 编程

4.1 任务描述及目标	51
4.2 任务资讯	51
4.2.1 数控铣床高级编程指令的 应用	51
4.2.2 数控铣床固定循环指令的 应用	61
4.3 任务实施	69
4.4 任务评价与总结提高	73
4.4.1 任务评价	73
4.4.2 任务总结	74
4.4.3 练习与提高	74

任务 5 非圆曲线的变量编程	79	6.4.2 任务总结	105
5.1 任务描述及目标	79	6.4.3 练习与提高	105
5.2 任务资讯	80	任务 7 复杂零件的数控铣削	
5.2.1 宏变量及常量	80	加工	108
5.2.2 运算符与表达式	80	7.1 任务描述及目标	108
5.2.3 条件判断语句	81	7.2 任务资讯	108
5.2.4 循环语句	82	7.2.1 数控铣削的加工特点	108
5.2.5 系统变量	82	7.2.2 零件几何尺寸的处理方法	109
5.2.6 HNC-21M 固定循环宏程序	82	7.2.3 刀具半径补偿修调	109
5.2.7 宏程序的调用	83	7.2.4 椭圆极角的计算	110
5.2.8 变量程序编制应用举例	84	7.2.5 球头铣刀	110
5.3 任务实施	86	7.2.6 合理选用切削液	110
5.4 任务评价与总结提高	88	7.3 任务实施	111
5.4.1 任务评价	88	7.3.1 零件分析	111
5.4.2 任务总结	89	7.3.2 装夹方式分析	111
5.4.3 练习与提高	89	7.3.3 工序分析	111
任务 6 简单零件的数控铣削		7.3.4 刀具及切削用量	112
加工	92	7.3.5 工件原点的选择及基点的	
6.1 任务描述及目标	92	计算	112
6.2 任务资讯	92	7.3.6 数控加工卡片	112
6.2.1 确定加工路线时应遵守的		7.3.7 参考程序	114
原则	92	7.3.8 试切加工	120
6.2.2 影响尺寸精度的因素	93	7.3.9 注意事项	120
6.2.3 影响形位精度的因素	93	7.4 任务评价与总结提高	120
6.2.4 薄壁零件的铣削	94	7.4.1 任务评价	120
6.2.5 确定刀具切入切出路线	94	7.4.2 任务总结	122
6.2.6 任意角度的倒角和倒圆	95	7.4.3 练习与提高	122
6.3 任务实施	95	任务 8 配合零件的数控铣削	
6.3.1 零件分析	95	编程与加工	125
6.3.2 装夹方式分析	96	8.1 任务描述及目标	125
6.3.3 工序分析	96	8.2 任务资讯	128
6.3.4 刀具及切削用量	96	8.2.1 表面质量对零件使用性	
6.3.5 工件原点的选择及基点的		能的影响	128
计算	97	8.2.2 进给路线的确定	129
6.3.6 数控加工卡片	97	8.2.3 对刀具的基本要求	129
6.3.7 参考程序	98	8.2.4 工件位置的找正方法	129
6.3.8 试切加工	102	8.2.5 配合加工	130
6.3.9 注意事项	103	8.2.6 配合件精度的保证	130
6.4 任务评价与总结提高	103	8.3 任务实施	130
6.4.1 任务评价	103	8.3.1 工艺分析	130

8.3.2 工艺制定	136	8.4.2 任务总结	156
8.3.3 加工程序	138	8.4.3 练习与提高	156
8.4 任务评价与总结提高	154	参考文献	160
8.4.1 任务评价	154		

任务1 数控铣削加工工艺的制定

1.1 任务描述及目标

数控铣削加工工艺问题的处理与普通铣削加工基本相同，但又有其特点。因此，在设计零件的数控加工工艺时，既要遵循普通加工工艺的基本原则和方法，又要考虑数控加工本身的特点和零件编程要求。

通过本任务内容的学习，学生了解有关数控铣削的主要加工对象等相关概念，让学生熟练掌握数控铣削加工工件的安装方式。掌握如何选择并确定数控铣削加工的内容，熟练掌握数控铣削加工工艺性的分析方法。理解制定数控铣削加工工艺时加工工序的划分方法，掌握进给路线选择方法、切入切出路径的确定、顺、逆铣及切削方向和方式的确定方法，了解反向间隙误差的存在原因和避免方式。

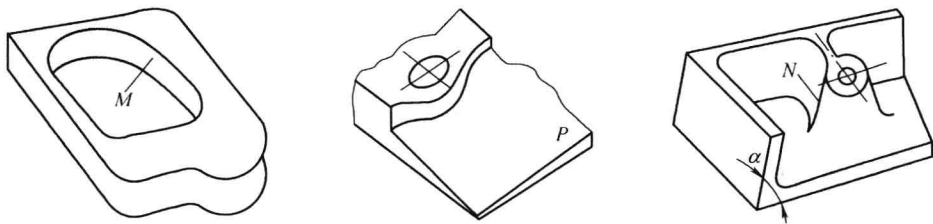
1.2 任务资讯

1.2.1 数控铣削的主要加工对象

铣削是机械加工中最常用的加工方法之一，主要包括平面铣削和轮廓铣削，也可以对零件进行钻、扩、铰和镗孔加工与攻螺纹等。适于采用数控铣削的零件有：

1. 平面类零件

平面类零件的特点是各个加工表面是平面，或可以展开为平面，如图 1-1 所示。目前在数控铣床上加工的绝大多数零件属于平面类零件。平面类零件是数控铣削加工对象中最简单的一类，一般只需用三轴数控铣床的两轴联动（即两轴半坐标加工）就可以加工。



带平面轮廓的平面类零件

带斜平面的平面类零件

带正台和斜肋的平面类零件

图 1-1 平面类零件

2. 变斜角类零件

加工面与水平面的夹角成连续变化的零件称为变斜角类零件，如图 1-2 所示。加工变斜

角类零件最好采用四轴或五轴数控铣床进行摆角加工，若没有上述机床，也可在三轴数控铣床上采用两轴半控制的行切法进行近似加工，但精度稍差。

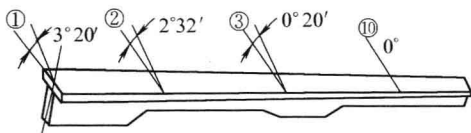


图 1-2 飞机上变斜角梁缘条

3. 曲面类（立体类）零件

加工面为空间曲面的零件称为曲面类零件。

曲面类零件的加工面与铣刀始终为点接触，一般采用三轴联动的数控铣床加工，常用的加工方法主要有两种：

(1) 采用两轴半联动行切法加工 行切法是在加工时只有两个坐标联动，另一个坐标按一定行距进行周期的行进给。这种方法常用于不太复杂的空间曲面的加工。

(2) 采用三轴联动方法加工 所用的铣床必须具有 X 、 Y 、 Z 三轴联动加工功能，可进行空间直线插补。这种方法常用于发动机及模具等较复杂空间曲面的加工。

1.2.2 数控铣削加工选择定位基准应遵循的原则

1) 尽量选择零件上的设计基准作为定位基准，选择设计基准作为定位基准定位，不仅可以避免因基准不重合引起的定位误差，保证加工精度，而且可以简化程序编制。在制定零件的加工方案时，首先要按基准重合原则选择最佳的精基准来安排零件的加工路线。这就要求在最初加工时，就要考虑以哪些面为粗基准把作为精基准的各面加工出来。

2) 当零件的定位基准与设计基准不能重合，且加工面与设计基准又不能在一次安装内同时加工时，应认真分析零件图样，确定该零件设计基准的设计功能，通过尺寸链的计算，严格规定定位基准与设计基准间的公差范围，确保加工精度。

3) 当在数控铣床上无法同时完成包括设计基准在内的全部表面加工时，要考虑用所选基准定位后，一次装夹能够完成全部关键精度部位的加工。

4) 定位基准的选择要保证完成尽可能多的加工内容。为此，需考虑便于各个表面都能被加工的定位方式。对于非回转类零件，最好采用一面两孔的定位方案，以便刀具对其他表面进行加工。若工件上没有合适的孔，可增加工艺孔进行定位。

5) 批量加工时，零件定位基准应尽可能与建立工件坐标系的对刀基准（对刀后，工件坐标系原点与定位基准间的尺寸为定值）重合。批量加工时，工件采用夹具定位安装，刀具一次对刀建立工件坐标系后加工一批工件，建立工件坐标系的对刀基准与零件定位基准重合可直接按定位基准对刀，减少定位误差。

6) 当必须多次安装时，应遵从基准统一原则。

1.2.3 对刀点与换刀点的确定

对于数控机床来说，在加工开始时，确定刀具与工件的相对位置是很重要的，它是通过对刀点来实现的。“对刀点”是指通过对刀确定刀具与工件相对位置的基准点。在程序编制时，不管实际上是刀具相对工件移动，还是工件相对刀具移动，都把工件看作静止，而刀具在运动。对刀点往往也是零件的加工原点。

选择对刀点的原则是：

- 1) 方便数学处理和简化程序编制。
- 2) 在机床上容易找正，便于确定零件的加工原点的位置。

- 3) 加工过程中便于检查。
- 4) 引起的加工误差小。

对刀点可以设在零件、夹具或机床上，但必须与零件的定位基准有已知的准确关系。当对刀精度要求较高时，对刀点应尽量选在零件的设计基准或工艺基准上。对于以孔定位的零件，可以取孔的中心作为对刀点。

对刀时应使对刀点与刀位点重合。所谓刀位点，是指确定刀具位置的基准点，如平头立铣刀的刀位点一般为铣刀端面中心；球头铣刀的刀位点取为铣刀球心；钻头的刀位点为钻尖。

“换刀点”应根据工序内容来作安排，其位置应根据换刀时刀具不碰到工件、夹具和机床的原则而定。换刀点往往是固定的点，且设在距离工件较远的地方。

1.2.4 数控铣削加工的内容

数控铣削加工有着自己的特点和适用对象，若要充分发挥数控铣床的优势和关键作用，就必须正确选择数控铣床类型、数控加工对象与工序内容。通常将下列加工内容作为数控铣削加工的主要选择对象：

- 1) 工件上的曲线轮廓，特别是有数学表达式给出的非圆曲线与列表曲线等曲线轮廓。
- 2) 已给出数学模型的空间曲面。
- 3) 形状复杂、尺寸繁多、划线与检测困难的部位。
- 4) 用通用铣床加工时难以观察、测量和控制进给的内外凹槽。
- 5) 以尺寸协调的高精度孔或面。
- 6) 能在一次安装中顺带铣出来的简单表面或形状。
- 7) 采用数控铣削后能成倍提高生产率，大大减轻体力劳动强度的一般加工内容。

此外，立式数控铣床和立式加工中心适于加工箱体、箱盖、平面凸轮、样板、形状复杂的平面或立体零件，以及模具的内、外型腔等；卧式数控铣床和卧式加工中心适于加工复杂的箱体类零件、泵体、阀体、壳体等；多坐标联动的卧式加工中心还可以用于加工各种复杂的曲线、曲面、叶轮、模具等。

1.2.5 数控铣削加工工艺性的分析

1. 检查零件图的完整性和正确性

- 1) 各图形几何要素间的相互关系（如相切、相交、垂直、平行和同轴（心）等）应明确。
- 2) 各种几何要素的条件要充分，应无引起矛盾的多余尺寸或影响工序安排的封闭尺寸等。

2. 检查自动编程时的零件数学模型

建立复杂表面数学模型后，须仔细检查数学模型的完整性、合理性及几何拓扑关系的逻辑性。

完整性指是否表达了设计者的全部意图。

合理性指生成的数学模型中的曲面是否满足曲面造型的要求。

几何拓扑关系的逻辑性指曲面与曲面之间的相互关系（如位置连续性、切失连续性、

曲率连续性等）是否满足指定的要求，曲面的修剪是否干净、彻底等。

要生成合理的刀具运动轨迹，必须首先生成准确无误的数学模型。因此，数控编程所需的数学模型必须满足以下要求：

- 1) 数学模型是完整的几何模型，不能有多余的或遗漏的曲面。
- 2) 数学模型不能有多义性，不允许有曲面重叠现象存在。
- 3) 数学模型应是光滑的几何模型。
- 4) 对外表面的数学模型，必须进行光滑处理，以消除曲面内部的微观缺陷。
- 5) 数学模型中的曲面参数曲线分布合理、均匀，曲面不能有异常的凸起或凹坑。

1.2.6 零件结构工艺性的分析及处理

1. 零件图样上的尺寸标注应方便编程

在实际生产中，零件图样上尺寸标注对工艺性影响较大，为此对零件设计图样应提出不同的要求。

2. 分析零件的变形情况，保证获得要求的加工精度

过薄的底板或肋板，在加工时由于产生的切削拉力及薄板的弹力退让极易产生切削面的振动，使薄板厚度尺寸公差难以保证，其表面粗糙度值也增大。零件在数控铣削加工时的变形，不仅影响加工质量，而且当变形较大时，将使加工不能继续下去。

预防措施：

- 1) 对于大面积的薄板零件，改进装夹方式，采用合适的加工顺序和刀具。
- 2) 采用适当的热处理方法：如对钢件进行调质处理，对铸铝件进行退火处理。
- 3) 粗、精加工分开及对称去除余量等措施来减小或消除变形的影响。

3. 尽量统一零件轮廓内圆弧的有关尺寸

(1) 轮廓内圆弧半径 R 常常限制刀具的直径 在一个零件上，凹圆弧半径在数值上一致性的问题对数控铣削的工艺性显得相当重要。零件的外形、内腔最好采用统一的几何类型或尺寸，这样可以减少换刀次数。

一般来说，即使不能寻求完全统一，也要力求将数值相近的圆弧半径分组靠拢，达到局部统一，以尽量减少铣刀规格和换刀次数，并避免因频繁换刀而增加了零件加工面上的接刀阶差，降低表面质量。

(2) 转接圆弧半径值大小的影响 转接圆弧半径大，可以采用较大直径的精铣刀加工，效率高，且加工表面质量也较好，因此工艺性较好。

铣削面的槽底面圆角或底板与肋板相交处的圆角半径 r 越大，铣刀端刃铣削平面的能力越差，效率也越低。当 r 达到一定程度时甚至必须用球头铣刀加工，这是应当避免的。当铣削的底面面积较大，底部圆弧 r 也较大时，我们只能用两把 r 不同的铣刀分两次进行切削。

4. 保证基准统一原则

有些零件需要在加工中重新安装，而数控铣削不能使用“试切法”来接刀，这样往往会因为零件的重新安装而接不好刀。这时，最好采用统一基准定位，因此零件上应有合适的孔作为定为基准孔。如果零件上没有基准孔，也可以专门设置工艺孔作为定为基准。

1.2.7 零件毛坯的工艺性分析

1. 毛坯应有充分、稳定的加工余量

毛坯主要指锻件、铸件。锻件在锻造时欠压量与允许的错模量会造成余量不均匀；铸件在铸造时因砂型误差、收缩量及金属液体的流动性差不能充满型腔等原因造成余量不均匀。此外，毛坯的挠曲和扭曲变形量的不同也会造成加工余量不充分、不稳定。

为此，在对毛坯的设计时就加以充分考虑，即在零件图样上注明的非加工面处增加适当的余量。

2. 分析毛坯的装夹适应性

主要考虑毛坯在加工时定位和夹紧的可靠性与方便性，以便在一次安装中加工出较多表面。对不便装夹的毛坯，可考虑在毛坯另外增加装夹余量或工艺凸台、工艺凸耳等辅助基准。

3. 分析毛坯的变形、余量大小及均匀性

分析毛坯加工中与加工后的变形程度，考虑是否应采取预防性措施和补救措施。如对于热轧中、厚铝板，经淬时效后很容易产生加工变形，这时最好采用经预拉伸处理的淬火板坯。

对毛坯余量大小及均匀性，主要考虑在加工中要不要分层铣削，分几层铣削。在自动编程中，这个问题尤为重要。

1.2.8 加工工序的划分

在数控机床上特别是在加工中心上加工零件，工序十分集中，许多零件只需在一次装夹中就能完成全部工序。但是零件的粗加工，特别是铸、锻毛坯零件的基准平面、定位面等的加工应在普通机床上完成之后，再装到数控机床上进行加工。这样可以发挥数控机床的特点，保持数控机床的精度，延长数控机床的使用寿命，降低数控机床的使用成本。在数控机床上加工零件其工序划分的方法有：

(1) 刀具集中分序法 即按所用刀具划分工序，用同一把刀加工完零件上所有可以完成的部位，再用第二把刀、第三把刀完成它们可以完成的其他部位。这种分序法可以减少换刀次数，压缩空程时间，减少不必要的定位误差。

(2) 粗、精加工分序法 这种分序法是根据零件的形状、尺寸精度等因素，按照粗、精加工分开的原则进行分序。对单个零件或一批零件先进行粗加工、半精加工，而后精加工。粗精加工之间，最好隔一段时间，以使粗加工后零件的变形得到充分恢复，再进行精加工，以提高零件的加工精度。

(3) 按加工部位分序法 即先加工平面、定位面，再加工孔；先加工简单的几何形状，再加工复杂的几何形状；先加工精度比较低的部位，再加工精度要求较高的部位。

总之，在数控机床上加工零件，其加工工序的划分要视加工零件的具体情况具体分析。许多工序的安排是综合了上述各分序方法的。

1.2.9 选择进给路线

1. 确定进给路线的原则

进给路线是数控加工过程中刀具相对于被加工工件的运动轨迹和方向。进给路线的确定

非常重要,因为它与零件的加工精度和表面质量密切相关。确定进给路线的一般原则是:

- 1) 保证零件的加工精度和表面粗糙度。
- 2) 方便数值计算,减少编程工作量。
- 3) 缩短进给路线,减少进退刀时间和其他辅助时间。
- 4) 尽量减少程序段数。

2. 选择进给路线应注意的问题

(1) 避免引入反向间隙误差 数控机床在反向运动时会出现反向间隙,如果在进给路线中将反向间隙带入,就会影响刀具的定位精度,增加工件的定位误差。例如精镗图 1-3 中

所示的四个孔,由于孔的位置精度要求较高,因此安排镗孔路线的问题就显得比较重要,安排不当就有可能把坐标轴的反向间隙带入,直接影响孔的位置精度。这里给出两个方案,方案 a 如图 1-3a 所示,方案 b 如图 1-3b 所示。不难看出,方案 a 中由于 IV 孔与 I、II、III 孔的定位方向相反, X

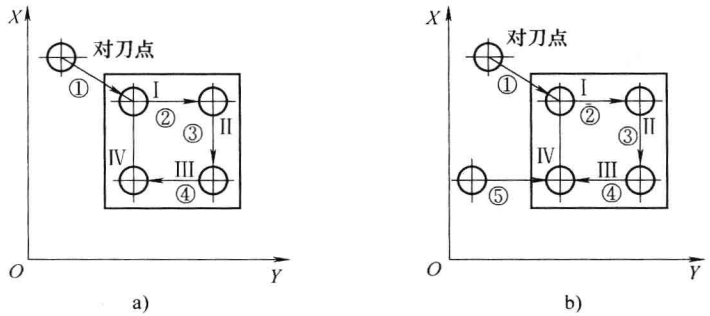


图 1-3 镗铣加工路线图

向的反向间隙会使定位误差增加,而影响 IV 孔的位置精度。在方案 b 中,当加工完 III 孔后并没有直接在 IV 孔处定位,而是多运动了一段距离,然后折回来在 IV 孔处定位。这样 I、II、III 孔与 IV 孔的定位方向是一致的,就可以避免引入反向间隙的误差,从而提高了 IV 孔与各孔之间的孔距精度。

(2) 切入切出路径 在铣削轮廓表面时,一般用立铣刀侧面刃进行切削,由于主轴系统和刀具的刚度变化,当沿法向切入工件时,会在切入处产生刀痕,所以应尽量避免沿法向切入工件。当铣切外表面轮廓形状时,应安排刀具沿零件轮廓曲线的切向切入工件,并且在其延长线上加入一段外延距离,以保证零件轮廓的光滑过渡。同样,在切出零件轮廓时也应从工件曲线的切向延长线上切出,如图 1-4a 所示。

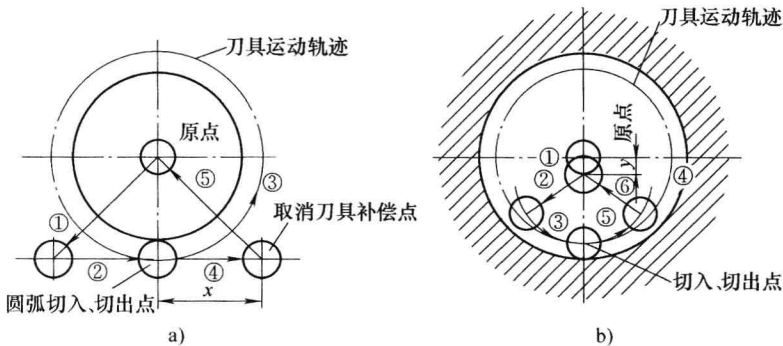


图 1-4 铣削圆的加工路线

a) 铣削外圆加工路径 b) 铣削内圆加工路径

当铣切内表面轮廓形状时,也应该尽量遵循从切向切入的方法,但此时切入无法外延,最好安排从圆弧过渡到圆弧的加工路线。切出时也应多安排一段过渡圆弧再退刀,如图1-4b所示。当实在无法沿零件曲线的切向切入、切出时,铣刀只有沿法线方向切入和切出,在这种情况下,切入切出点应选在零件轮廓两几何要素的交点上,而且进给过程中要避免停顿。

为了消除由于系统刚度变化引起进退刀时的痕迹,可采用多次进给的方法,减小最后精铣时的余量,以减小切削力。

在切入工件前应该已经完成刀具半径补偿,而不能在切入工件时同时进行刀具补偿,如图1-4a所示,这样会产生过切现象。为此,应在切入工件前的切向延长线上另找一点,作为完成刀具半径补偿点,如图1-4b所示。

例如:如图1-5所示,零件的切入切出路线应当考虑注意切入点及延长线方向。

(3) 顺、逆铣及切削方向和方式的确定 圆柱铣刀铣平面有顺铣和逆铣两种方式。在铣刀与工件已加工面的切点处,切削力的水平分力方向与工件进给方向相同的铣削称为顺铣,反之称为逆铣。

顺铣时,刀齿切入的切削厚度由大变小,易切入工件,工件受铣刀向下压分力,不易振动,切削平稳,加工表面质量好,刀具寿命长,有利于高速切削。但这时的水平分力方向与进给方向相同,当工作台丝杠与螺母有间隙时,此力会引起工作台不断窜动,使切削不平稳,甚至打刀。所以只有消除了丝杠与螺母间隙才能采用顺铣,另外还要求工件表面无硬皮,方可采用这种方法。

逆铣时,刀齿切入切削厚度是由零逐渐变到最大,由于刀齿切削刃有一定的钝圆,所以刀齿要滑行一段距离才能切入工件,切削刃与工件摩擦严重,工件已加工表面粗糙度值增大,且刀具易磨损。但其切削力始终使工作台丝杠与螺母保持紧密接触,工作台不会窜动,也不会打刀。因铣床纵向工作台丝杠与螺母间隙不易消除,所以在一般生产中多用逆铣进行铣削。

综上所述,从提高刀具寿命和工件表面质量以及增加工件夹持的稳定性等观点出发,一般以采用顺铣法为宜。但需要注意的是,铣床必须具备丝杠与螺母的间隙调整机构,且间隙为零时才能采取顺铣。目前,除万能升降台铣床外,尚没有消除丝杠与螺母之间间隙的机构,所以,在生产中仍多采用逆铣法。另外,当铣削带有硬皮的工件表面时,如对铸件或锻件表面进行粗加工,若有顺铣法,因刀齿首先接触硬皮将会加剧刀齿的磨损,所以应采用逆铣法。

1.2.10 数控铣削加工工艺参数的确定

1. 步长 l (步距)的确定

步长 l (步距)——每两个刀位点之间距离的长度,决定刀位点数据的多少。

曲线轨迹步长 l 的确定方法:

直接定义步长法:在编程时直接给出步长值,根据零件加工精度确定。

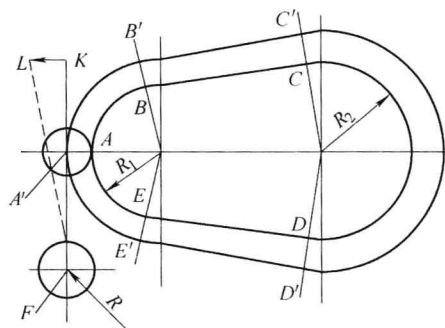


图1-5 切入切出路径

间接定义步长法：通过定义逼近误差来间接定义步长。

2. 逼近误差 e_r 的确定

逼近误差 e_r ——实际切削轨迹偏离理论轨迹的最大允许误差。

三种定义逼近误差方式：

- 1) 指定外逼近误差值（图 1-6a）：以留在零件表面上的剩余材料作为误差值（精度要求较高时一般采用，选为 0.0015 ~ 0.03mm）。
- 2) 指定内逼近误差值（图 1-6b）：表示可被接受的表面过切量。
- 3) 同时指定内、外逼近误差（图 1-6c）。

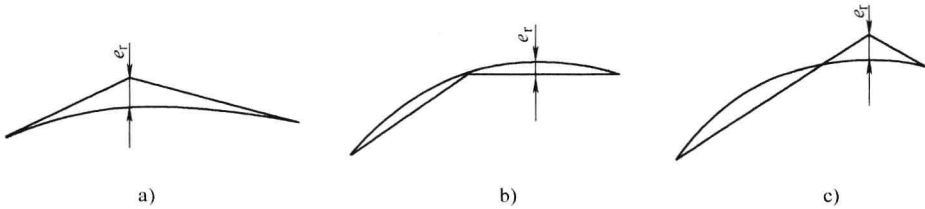


图 1-6 指定逼近误差

3. 行距 S （切削间距）的确定

行距 S （切削间距）——加工轨迹中相邻两行刀具轨迹之间的距离。

影响 $\left\{ \begin{array}{l} \text{行距小：加工精度高，但加工时间长，费用高。} \\ \text{行距大：加工精度低，零件型面失真性较大，但加工时间短。} \end{array} \right.$

定义行距有如下两种方法：

(1) 直接定义行距 算法简单、计算速度快，适于粗加工、半精加工和形状比较平坦零件的精加工的刀具运动轨迹的生成。

(2) 用残留高度 h 来定义行距 残留高度 h 是指被加工表面的法矢量方向上两相邻切削行之间残留沟纹的高度。

h 大：表面粗糙度值大。

h 小：可以提高加工精度，但程序长，占机时间成倍增加，效率降低。

选取考虑如下因素：

粗加工时，行距可选得大些，精加工时，行距选得小一些。有时为减小刀峰高度，可在原两行之间加密行切一次，即进行曲刀峰处理，这相当于将 S 减小一半，实际效果更好些。

4. 背吃刀量 a_p 与侧吃刀量 a_e

背吃刀量 a_p ——平行于铣刀轴线测量的切削层尺寸。

侧吃刀量 a_e ——垂直于铣刀轴线测量的切削层尺寸。

从刀具寿命的角度出发，切削用量的选择方法是：

先选取背吃刀量 a_p 或侧吃刀量 a_e ，其次确定进给速度，最后确定切削速度。

如果零件精度要求不高，在工艺系统刚度允许的情况下，最好一次切除加工余量，以提高加工效率；如果零件精度要求高，为保证精度和表面粗糙度，只好采用多次进给。

5. 与进给有关参数的确定

在加工复杂表面的自动编程中，有五种进给速度须设定，它们是：

(1) 快速进给速度（空刀进给速度）为节省非切削加工时间，一般选为机床允许的最大进给速度，即 G00 速度。

(2) 下刀速度（接近工件表面进给速度）为使刀具安全可靠地接近工件，而不损坏机床、刀具和工件，下刀速度不能太高，要小于或等于切削进给速度。对软材料一般为 200mm/min；对钢类或铸铁类一般为 50mm/min。

(3) 切削进给速度 切削进给速度应根据所采用机床的性能、刀具材料和尺寸、被加工材料的切削加工性能和加工余量的大小来综合确定。

一般原则是：工件表面的加工余量大，切削进给速度低；反之相反。

切削进给速度可由机床操作者根据被加工工件表面的具体情况进行手工调整，以获得最佳切削状态。切削进给速度不能超过按逼近误差和插补周期计算所允许的进给速度。其建议值如下：

加工塑料类制件为 1500mm/min；

加工大余量钢类零件为 250mm/min；

小余量钢类零件精加工为 500mm/min；

铸件精加工为 600mm/min。

(4) 行间连接速度（跨越进给速度）行间连接速度是指刀具从一切削行运动到下一切削行的运动速度。该速度一般小于或等于切削进给速度。

(5) 退刀进给速度（退刀速度）为节省非切削加工时间，一般选为机床允许的最大进给速度，即 G00 速度。

6. 与切削速度有关的参数确定

(1) 切削速度 v_c 。切削速度 v_c 的高低主要取决于被加工零件的精度和材料、刀具的材料和寿命等因素。

(2) 主轴转速 n 主轴转速 n 根据允许的切削速度 v_c 来确定

$$n = 1000v_c / \pi d$$

理论上， v_c 越大越好，这样可以提高生产率，而且可以避免生成积屑瘤的临界速度，获得较低的表面粗糙度值。但实际上由于机床、刀具等的限制，使用国内机床、刀具时允许的切削速度常常只能在 100 ~ 200m/min 范围内选取。

1.3 任务实施

加工如图 1-7 所示的零件，材料为 HT200，毛坯尺寸为长×宽×高为 170mm×110mm×50mm，试分析该零件的数控铣削加工工艺，如零件图分析、装夹方案、加工顺序、刀具卡、工艺卡等。

1. 工艺分析

(1) 零件图工艺分析 该零件主要由平面、孔及外轮廓组成，平面与外轮廓的表面粗糙度为 $Ra6.3\mu\text{m}$ ，可采用粗铣—精铣方案。

(2) 确定装夹方案 根据零件的特点，加工上表面、 $\phi 60\text{mm}$ 外圆及其台阶面和孔系时选用机用平口虎钳夹紧；铣削外轮廓时，采用一面两销的定位方式，即以底面， $\phi 40\text{H7}$ 和 $\phi 13\text{mm}$ 孔定位。