

基于 UG 的型腔铣削套件的数控编程与加工

摘要

本论文是一副对典型型腔铣削套件进行工艺分析、数控编程及完成加工，主要运用所学知识对零件图进行工艺分析、制定工艺路线、确定工艺方案。并运用 UG 软件进行造型和自动编程，最终完成零件的加工。论文表明：通过对该零件的工艺分析、造型、加工，深入了解了零件制造的全过程，加工完成后零件也达到了加工要求。造型、轨迹及 G 代码的生成也以最简洁的方式做出，达到了预期的要求。

关键词：型腔铣削套件，自动编程，数控加工，工艺分析

目 录

摘要.....	I
1 绪论.....	1
1.1 数控加工技术的发展趋势.....	1
1.1.1 继续向开放式、基于 PC 的第六代方向发展.....	1
1.1.2 向高速化和高精度化发展.....	1
1.1.3 向智能化方向发展.....	1
1.2 UG 软件在行业中的应用.....	2
1.2.1 CAD/CAM 的发展.....	2
1.2.2 UG 概念.....	3
2 对零件图纸进行工艺分析.....	4
2.1 零件图分析.....	4
2.1.1 读图和审图.....	4
2.1.2 数控加工的内容选择.....	6
2.1.3 零件结构的工艺性.....	6
2.2 关键部位加工精度分析.....	7
2.3 毛坯、余量分析.....	8
2.3.1 毛坯的种类.....	8
2.3.2 毛坯种类的选择.....	8
2.3.3 毛坯形状和尺寸的选择.....	9
2.3.4 加工余量.....	9
3 加工准备及工艺路线的确定.....	14
3.1 基准的选择.....	14
3.1.1 基准的分类.....	14
3.1.2 定位基准的选择.....	14
3.2 确定装夹方法.....	16
3.3 机床及工艺装备的选择.....	20
3.3.1 夹具的选择.....	20
3.3.2 刀具选择.....	21

3.4 确定工艺路线.....	22
3.5 确定进给路线.....	23
3.6 切削用量及切削液的选择.....	26
3.6.1 切削参数对机械加工的影响.....	26
3.6.2 背吃刀量 a_p （端铣）或侧吃刀量 a_c （圆周铣）.....	27
3.6.3 进给速度 v_f	28
3.6.4 切削速度 V_c	29
3.6.5 切削液的选择.....	30
4 UG 造型与加工.....	31
4.1 实体造型.....	31
4.1.1 件一的实体造型.....	31
4.1.2 件二的实体造型.....	34
4.2 加工并生成程序.....	36
4.2.1 工艺参数设定.....	36
4.2.2 生成加工轨迹.....	37
4.2.3 生成部分程序.....	41
5 零件加工.....	43
6 结论.....	44
参考文献.....	45
致谢.....	45
附录.....	46

1 绪论

数控技术是用数字信息对机床运动和工作过程进行控制的技术，它是集传统的机械制造技术、计算机技术、现代控制技术、传感检测技术、网络通信技术和光机电技术等于一体的现代制造业的基础技术，具有高精度、高效率、柔性自动化等特点，对制造业实现柔性自动化、集成化和智能化起着举足轻重的作用。数控装备则是以数控技术为代表的新技术对传统制造产业和新兴制造业的渗透而形成的机电一体化产品。数控技术是制造自动化的基础，是现代制造装备的灵魂核心，是国家工业和国防工业现代化的重要手段，关系到国家战略地位，体现国家综合国力水平，其水平的高低和数控装备拥有量的多少是衡量一个国家工业现代化的重要标志。

1.1 数控加工技术的发展趋势

1.1.1 继续向开放式、基于 PC 的第六代方向发展

基于 PC 所具有的开放性、低成本、高可靠性、软硬件资源丰富等特点，更多的数控系统生产厂家会走上这条道路。至少采用 PC 机作为它的前端机，来处理人机界面、编程、联网通信等问题，由原有的系统承担数控的任务。PC 机所具有的友好的人机界面，将普及到所有的数控系统。远程通讯，远程诊断和维修将更加普遍。

1.1.2 向高速化和高精度化发展

这是适应机床向高速和高精度方向发展的需要。

1.1.3 向智能化方向发展

随着人工智能在计算机领域的不断渗透和发展，数控系统的智能化程度将不断提高。

(1) 应用自适应控制技术

数控系统能在运行过程中检测一些重要信息，并自动调整系统的有关参数，

达到改进系统运行状态的目的。

(2) 引入专家系统指导加工

将熟练工人和专家的经验，加工的一般规律和特殊规律存入系统中，以工艺参数数据库为支撑，建立具有人工智能的专家系统。

(3) 引入故障诊断专家系统

在设备故障诊断系统中借助多种数学原理和系统理论，形成了多种不同的诊断方法。

(4) 智能化数字伺服驱动装置

可以通过自动识别负载，而自动调整参数，使驱动系统获得最佳的运行状态。

1.2 UG 软件在行业中的应用

1.2.1 CAD/CAM 的发展

随着我国改革开放步伐的进一步加快，中国正逐步成为全球制造业的基地，特别是加入 WTO 后，作为制造业基础的模具行业近年来得到了迅速发展。模具是工业生产的基础工艺装备，在电子、汽车、电机、电器、仪表、家电和通信等产品中，60%—80%的零部件都依靠模具成型。国民经济的五大支柱产业，即机械、电子、汽车、石化、建筑，都要求模具工业的发展与之相适应。模具是“效益放大器”，模具生产的最终产品的价值，往往是模具自身价值的几十倍、上百倍。模具生产水平的高低，已成为衡量一个国家产品制造水平高低的重要标志，在很大程度上决定着产品的质量、效益和新产品的开发能力。因此，我国要从一个制造业大国发展成为一个制造业强国，必须要振兴和发展我国的模具工业，提高模具工业的整体技术水平。同时，模具工业的发展也日益受到人们的重视和关注，国务院颁布的《关于当前产业政策要点的决定》也把模具列为机械工业改造序列的第一位，生产和基本建设序列的第二位。

随着 CAD/CAM 软件加工及快速成型等先进制造技术的不断发展，以及这些技术在模具行业中的普及应用，模具设计与制造领域正发生着一场深刻的技术革命，传统的二维设计及模拟量加工方式正逐步被基于产品三维数字化定义的数字化制造方式所取代。在这场技术革命中，逐步掌握三 CAD/CAM 软件的使用，

并用于模具的数字化设计与制造是其中的关键。我国模具工业发展前景非常广阔。国内外模具及模具加工设备厂商已普遍看好中国市场。随着对模具设计质量与制造要求的不断提高,以及 CAD/CAM 技术在模具制造业中的大规模推广应用,急需大批熟悉 CAD/CAM 技术应用的模具设计与制造的技术人才。这是企业最为宝贵的财富,也是企业走向世界、提高产品竞争力最根本的基础。而目前这方面的专业人才非常缺乏。

1.2.2 UG 概念

UG 是目前市场上功能最极致的产品设计工具。它不但拥有现今 CAD/CAM 软件中功能最强大的 Parasolid 实体建模核心技术,更提供高效能的曲面建构能力,能够完成最复杂的造形设计。它不但拥有现今 CAD/CAM 软体中功能最强大的 Parasolid 实体建模核心技术,更提供高效能的曲面建构能力,能够完成最复杂的造形设计。UG 提供工业标准之人机介面,不但易学易用,更有无限次数的 undo 功能、方便好用的弹出视窗指令、快速图像操作说明、自订操作功能指令及中文化操作介面等特色,并且拥有一个强固的档案转换工具,能转换各种不同 CAD 应用程序的图档,以重复使用旧有资料。

Unigraphics (UG) 是一套复杂产品设计制造的最佳系统,从概念设计到生产产品,UG 广泛的运用在汽机车业、航太业、模具加工及设计业、医疗器材产业等等,近年来更将触角深及消费性市场产业中最复杂的领域—工业设计。运用其功能强大的复合式建模工具,设计者可依工作的需求选择最适合的建模方式;关联性的单一资料库,使大量零件的处理更加稳定。除此之外,组立功能、2D 出图功能、模具加工功能及与 PDM 之间的紧密结合,使得 UG 在工业界成为一套无可匹敌的高阶 CAD/CAM 系统。

2 对零件图纸进行工艺分析

在数控铣削加工中，对零件图进行工艺分析的主要内容包括零件结构工艺性分析、选择数控铣削的加工内容、零件毛坯的工艺性分析和加工方案分析。

2.1 零件图分析

2.1.1 读图和审图

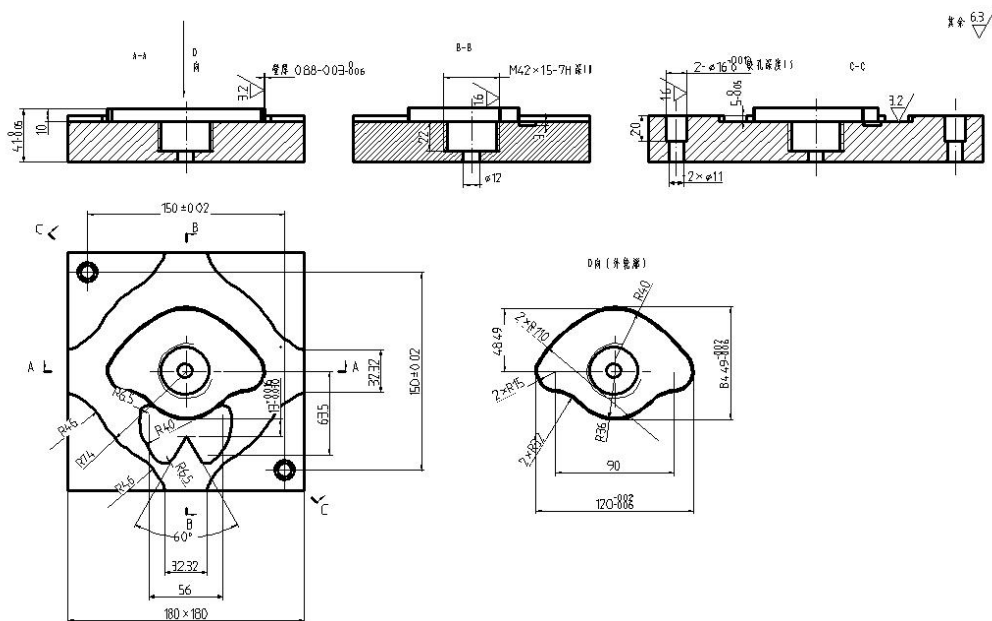


图 2-1 件一结构简图

首先要认真分析与研究整台产品的用途、性能和工作条件，了解零件在产品中的位置、装配关系及其作用，弄清各项技术要求对装配质量和性能的影响，找出主要的和关键的技术要求，然后对零件图样进行分析。

(1) 该零件视图表达完整、清晰，尺寸、公差、表面粗糙度及有关技术要求齐全、明确。

(2) 该组合件加工表面粗糙度为 $Ra6.3\mu m$ ， $2-\phi 16^{+0.018}_0$ 的表面粗糙度为 $Ra1.6\mu m$ ，其余为 $Ra3.2\mu m$ 。参数合理，便于加工。

(3) 该组合件的定位基准为 $2-\phi 16^{+0.018}_0$ 的孔，必须先满足该孔的配合精度，尺寸偏差在 $\pm 0.1mm$ 。

(4) 该组合件选用的材料为 45 钢，价格低廉，加工难度不大，能够保证零

件的各方面要求。

件一（图 2-1）的技术要求有未注公差 $\pm 0.1\text{mm}$ （不含 180×180 外形）；D 向外轮廓曲线形状公差 $_{-0.06}^{-0.03}\text{mm}$ 。加工要素有平面、曲线、腔槽和孔类加工。主要加工项目包括上下平面、D 向视图壁厚 $0.88_{-0.06}^{+0.03}\text{mm}$ 内外型腔、曲线 b 内腔槽曲线 c 内腔槽、槽深 $5_{-0.05}^0\text{mm}$ 、工件高度 $41_{-0.05}^0\text{mm}$ 、螺孔 $M42 \times 1.5-7H$ 、销孔 $2-\phi 16_{+0.018}^0\text{mm}$ 、位置尺寸 $150 \pm 0.02\text{mm}$ 、主视图中腔槽 60° 上侧至 D 向外轮廓下侧 $13_{-0.030}^{+0.046}\text{mm}$ 尺寸。

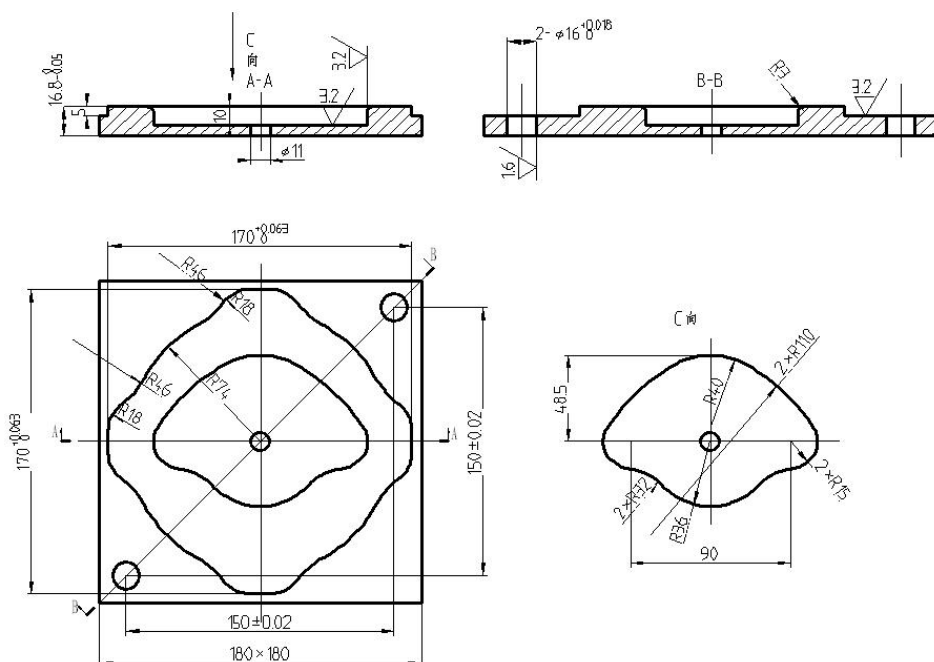


图 2-2 件二结构简图

件二（图 2-2）的技术要求有一项：未注尺寸允许偏差 $\pm 0.01\text{mm}$ 。（不含 180×180 外形）加工要素同伴一，主要加工项目包括上下平面、工件高度 $17_{-0.05}^0\text{mm}$ 、 $2-\phi 16_{+0.018}^0\text{mm}$ 销孔、位置尺寸 $150 \pm 0.02\text{mm}$ 、曲线外轮廓 $170_{+0.063}^0\text{mm}$ 、C 向视图中的曲线 C 内腔槽、曲线 b 外轮廓，应控制在 $\pm 0.01\text{mm}$ 之内，内腔槽上侧过渡圆弧 R3，组合件的图如 2-3 所示。

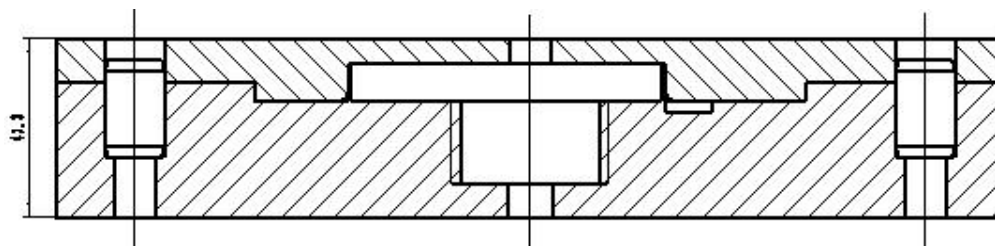


图 2-3 组合件结构图

2.1.2 数控加工的内容选择

对于某个零件而言，并非全部加工工艺过程都适合在数控机床上完成，而往往只是其中的一部分适合于数控加工。这就需要对零件图样进行仔细的工艺分析，选择那些最适合、最需要进行数控加工的内容和工序。在选择时，应考虑各方面因素，充分发挥数控加工的优势。选择时应考虑以下因素：

- (1) 通用机床无法加工的内容。
- (2) 通用机床难加工、质量也难以保证的内容应作为重点选择的内容。
- (3) 通用机床效率低、工人劳动强度大的内容。

该件一和件二加工时，加工内容全部采用数控机床加工。

2.1.3 零件结构的工艺性

零件的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可行性和经济性。它包括零件各个制造过程中的工艺性，如零件的铸造、锻造、冲压、焊接、热处理和切削加工工艺性能等。好的工艺性会使零件加工容易，节省工时，降低消耗；差的工艺性使零件加工困难，多耗工时，增大消耗。该组合件的加工各工艺性能良好，耗工不大。

该零件结构复杂，但就加工来说，还是易于加工的。在加工时要特别注意 0.88mm 薄壁的加工，以及内型腔的加工。在加工完成后，对零件的热处理应注意。45 钢是中碳结构钢，冷热加工性能都不错，机械性能较好，且价格低、来源广，所以应用广泛。它的最大弱点是淬透性低，截面尺寸大和要求比较高的工件不宜采用。

因为 45 钢淬透性低，故应采用冷却速度大的 10% 盐水溶液。工件入水后，应该淬透，但不是冷透，如果工件在盐水中冷透，就有可能使工件开裂，这是因为当工件冷却到 180℃ 左右时，奥氏体迅速转变为马氏体造成过大的组织应

力所致。因此，当淬火工件快冷到该温度区域，就应采取缓冷的方法。由于出水温度难以掌握，须凭经验操作，当水中的工件抖动停止，即可出水空冷（如能油冷更好）。另外，工件入水宜动不宜静，应按照工件的几何形状，作规则运动。静止的冷却介质加上静止的工件，导致硬度不均匀，应力不均匀而使工件变形大，甚至开裂。

2.2 关键部位加工精度分析

所谓加工精度，是指零件加工后的几何参数（尺寸、几何形状和相互位置）的实际值与理想值之间的符合程度，而它们之间的偏离程度（即差异）则为加工误差。加工误差的大小反映了加工精度的高低。加工精度包括了以下三个方面。

（1）尺寸精度：限制加工表面与其基准间的尺寸误差不超过一定的范围。

（2）几何形状精度：限制加工表面的宏观几何形状误差，如圆度、圆柱度、平面度、直线度等。

（3）相互位置精度：限制加工表面与其基准间的相互位置误差，如平行度、垂直度、同轴度、位置度等。

该零件结构虽然复杂，但是却易于加工。根据图纸上的标注，该组合件的尺寸精度为 IT12，位置精度是要保证两个 $\phi 16h7$ 圆柱销同时插入的精度。

从装配示意图来看，对件一和件二上下平面加工都提出了较高要求，即单件要厚度尺寸应控制在 -0.05mm 以内。两个 $\phi 16h7$ 圆柱销同时插入，即对孔尺寸精度和位置精度，都有要求。从圆柱销的尺寸 $\phi 16-0.01\text{mm}$ 来看，该项公差配合最大间隙 0.028mm ，最小间隙为 0 ，为了保证该项配合精度 $2-\phi 16_0^{+0.018}\text{mm}$ 销孔，尺寸应保证在 $+0.01\sim+0.018\text{mm}$ 。

零件一的加工是组合件是否配合的重点：

（1） 0.88mm 的薄壁，内外轮廓加工，为了保证配合精度，外轮廓尺寸 $120_{-0.06}^{-0.02}$ 和 $84.49_{-0.06}^{-0.02}$ ，应控制在 $-0.03\sim-0.05\text{mm}$ ；

（2） $2-\phi 16_0^{+0.018}$ 加工关键是要控制销孔前余量；

（3） $M42\times 1.5-7H$ 深 18 螺纹，加工关键是：螺纹加工进给方向和切削参数

的选择。

2.3 毛坯、余量分析

2.3.1 毛坯的种类

常用毛坯的种类有铸件、锻件压制件、冲压件、焊接件、型材和板材等。

(1) 铸件：适用于形状复杂的毛坯。薄壁零件不可用砂型铸造；尺寸大的铸件宜用砂型铸造；中、小型零件可用较先进的铸造方法。

(2) 锻件：适用于零件强度较高、形状较简单的零件。尺寸大的零件因受设备限制，故一般用自由锻；中、小型零件可选用模锻；形状复杂的零件不宜用自由锻。

(3) 型材：热轧型材的尺寸较大，精度低，多用作一般零件的毛坯；冷轧型材尺寸较小，精度较高，多用于毛坯精度要求较高的中、小零件，适用于自动机床加工。

(4) 焊接件：对于大件来说，焊接件简单、方便，特别是单件、小批量的生产可大大缩短生产周期；但焊接后变形大，需经时效处理。

(5) 冷压件：适用于形状复杂的板料零件，多用于中、小尺寸零件的大批量加工。

2.3.2 毛坯种类的选择

(1) 根据图纸规定的材料及机械性能选择毛坯。图纸规定的材料就基本确定了毛坯的种类。例如：材料是铸铁，就要用铸造毛坯；材料为钢材，若力学性能要求高则可选锻件，若力学性能要求低则可选型材或铸钢。

(2) 根据零件的功能选择毛坯。根据零件的工作条件、材料、结构特点三者综合考虑，如材料为 45 钢，则轴以锻件为主；中、小齿轮多用锻件做毛坯，大齿轮常用铸钢件做毛坯。

(3) 根据生产类型选择毛坯。大量生产应选精度和生产率都较高的毛坯制造方法。如铸件应采用金属模机器造型或精密铸造；锻件应采用模锻或冷轧、冷拉型材等；单件小批量生产则用木模手工造型或自由锻件。

(4) 根据具体生产条件选择毛坯。确定毛坯必须结合具体生产条件，如现

场毛坯制造的实际水平和能力、外协的可能性等。有条件时，应积极组织地区专业化生产，统一供应毛坯。

2.3.3 毛坯形状和尺寸的选择

选择毛坯形状和尺寸总的要求是：减少“肥头大耳”，实现少屑或无屑加工。因此，毛坯形状要力求接近成品形状，以减少机械加工的劳动量。但也有以下四种情况。

(1) 采用锻件，铸造毛坯时，因锻模时的欠压量与允许的错模量不等，铸造时也会因砂型误差、收缩量及金属液体的流动性差不能充满型腔等造成余量的不等，此外，锻造、铸造后，毛坯的挠曲与扭曲变形量的不同也会造成加工余量不充分、不稳定，所以，除板料外，不论是锻件、铸件还是型材，只要准备采用数控加工，其加工表面均应有较充分的余量。

对于热轧中、厚铝板，经淬火时效后很容易在加工中和加工后出现变形现象，因此需要考虑加工时是否分层切削，分几层切削，一般尽量做到各个加工表面的切削余量均匀，以减少内应力导致的变形。

(2) 尺寸小或薄的零件，为便于装夹并减少夹头，可将多个工件连在一起，由一个毛坯制出。

(3) 装配后形成同一工作表面的两个相关零件，为保证加工质量并使加工方便，常把两件合为一个整体毛坯，加工到一定阶段后再切开。

(4) 对于不便装夹的毛坯，可考虑在毛坯上另外增加装夹余量或工艺凸台、工艺凸耳等辅助基准。

由于该零件力学性能要求较高，故材料选用 45 钢。45 钢属于中碳钢，这类钢调质处理后具有良好的综合力学性能，即既具有较高的强度、硬度，又具有较好的塑性、韧性，是优质碳素结构钢中应用最广泛的一类。而该零件又有 0.88mm 的薄壁，不能使用铸件，所以只能选用锻件。而毛坯尺寸件一定为 $185 \times 185 \times 42$ （长 \times 宽 \times 高），件二定为 $185 \times 185 \times 19$ ，然后件一与件二通过圆柱销装配在一起。

2.3.4 加工余量

加工余量是指加工过程中所切去的金属层厚度，加工余量有工序余量和加

工总余量（毛坯余量）之分。

(1) 工序余量

工序余量是指某一表面在一道工序中切除的金属层厚度。

① 工序余量的计算

工序余量等于相邻两工序的工序尺寸之差。

对于外表面（见图 2-4a）

$$z=a-b$$

对于内表面（见图 2-4b）

$$z=b-a$$

式中 z ——本工序的工序余量（mm）；

a ——前工序的工序尺寸（mm）；

b ——本工序的工序尺寸（mm）。

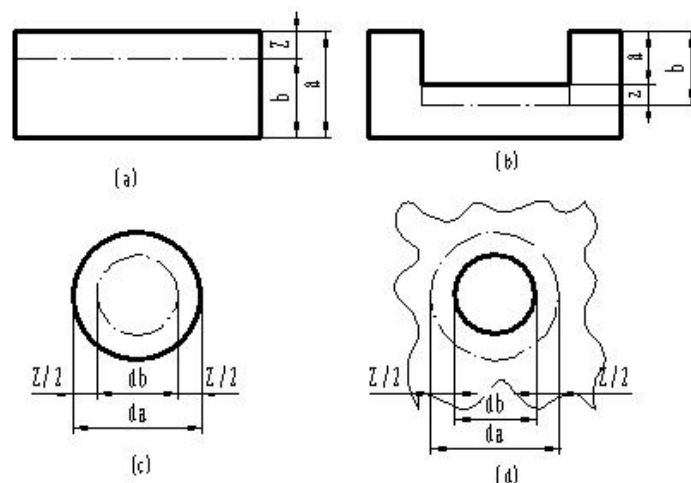


图 2-4 加工余量

上述加工余量均为非对称的单边余量，旋转表面的加工余量为双边对称余量。

对于轴（图 2-4c）

$$Z=d_a-d_b$$

对于孔（图 2-4d）

$$Z=d_b-d_a$$

式中 Z ——直径上的加工余量（mm）；

d_a ——前工序的加工直径（mm）；

d_b ——本工序的加工直径（mm）。

当加工某个表面的工序是分几个工步时，则相邻两工步尺寸之差就是工步余量。它是某工步在加工表面上切除的金属层厚度。

② 工序基本余量、最大余量、最小余量及余量公差

由于毛坯制造和各个工序尺寸都存在着误差，加工余量也是个变动值。当工序尺寸用基本尺寸计算时，所得到的加工余量称为基本余量或公称余量。

最小余量 Z_{\min} 是保证该工序加工表面的精度和质量所需切除的金属层最小厚度。最大余量 Z_{\max} 是该工序余量的最大值。下面以图 2-5 所示的外圆为例来计算，其它各类表面的情况与此相类似。

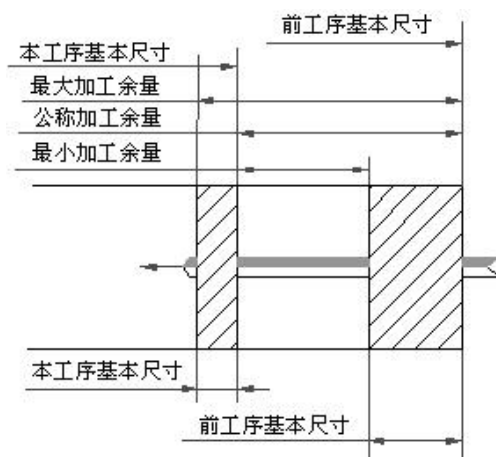


图 2-5 加工余量及其公差

当尺寸 a 、 b 均为工序基本尺寸时，基本余量为

$$Z = a - b$$

$$\text{则最小余量 } Z_{\min} = a_{\min} - b_{\max} \quad (2-1)$$

$$\text{而最大余量 } Z_{\max} = b_{\max} - b_{\min} \quad (2-2)$$

图 2-4 表示了工序尺寸公差与加工余量间的关系。余量公差是加工余量间的变动范围，其值为

$$T_z = Z_{\max} - Z_{\min} = (a_{\max} - a_{\min}) + (b_{\max} - b_{\min}) = T_a + T_b \quad (2-3)$$

式中 T_z ——本工序余量公差（mm）；

T_a ——前工序的工序尺寸公差（mm）；

T_b ——本工序的工序尺寸公差（mm）。

所以，余量公差为前工序与本工序尺寸公差之和。

工序尺寸公差带的分布，一般采用“单向入体原则”。即对于被包面（轴类），基本尺寸取公差带上限，下偏差取负值，工序基本尺寸即为最大尺寸；对于包容面（孔类），基本尺寸为公差带下限，上偏差取正值，工序尺寸即为最小尺寸但孔中心距及毛坯尺寸公差采用双向对称布置。

（2）加工总余量

毛坯尺寸与零件图样的设计尺寸之差称为加工总余量。它是从毛坯到成品时从某一表面切除的金属层总厚度，也等于该表面各工序余量之和，即

$$Z_{\text{总}} = \sum_{i=1}^n Z_i \quad (2-4)$$

式中 Z_i ——第 i 道工序的工序余量（mm）；

n ——该表面总加工的工序数。

加工总余量也是个变动值，其值及公差一般可从有关手册中查得或凭经验确定。如图 2-6 表示了内孔和外圆表面经多次加工时，加工总余量、工序余量与加工尺寸的分布图。

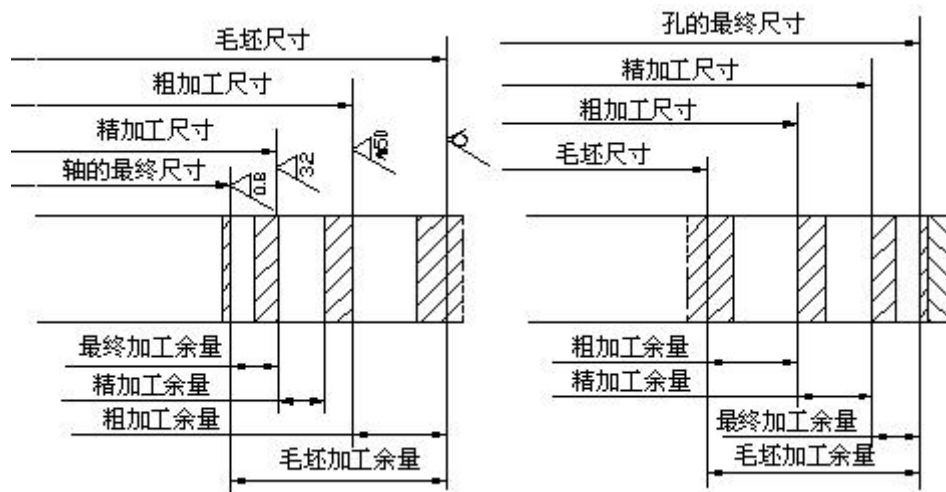


图 2-6 加工余量和加工尺寸分布

（3）影响加工余量的因素

影响加工余量的因素如下：

- a) 前工序的表面质量（包括表面粗糙度 H_a 和表面破坏层深度 S_a ）；
- b) 前工序的工序尺寸公差 T_a ；
- c) 前工序的位置误差 ρ_a ，如工件表面在空间的弯曲、偏斜以及空间误差等；
- d) 本工序的安装误差 ε_a 。

所以本工序的加工余量必须满足下式：

$$\text{用于对称余量时 } Z \geq 2(H_a + S_a) + T_a + 2|\rho_a + \varepsilon_a|$$

$$\text{用于单边余量时 } Z \geq H_a + S_a + T_a + |\rho_a + \varepsilon_a|$$

（4）确定加工余量

加工余量大小，直接影响零件的加工质量和生产率。加工余量过大，不仅增加机械加工劳动量，降低生产率，而且增加材料、工具和电力的消耗，增加成本。但若加工余量过小，又不能消除前工序的各种误差和表面缺陷，甚至产生废品。因此，必须合理地确定加工余量。其确定的方法有：经验估算法、查表修正法、分析计算法。首先根据工艺人员的经验来确定加工余量。为避免产生废品，所确定的加工余量一般偏大。要准确余量则需要根据有关手册，查得加工余量的数值，然后根据实际情况进行适当修正。

该零件的加工余量如下：粗加工上平面余量 0.1mm，精加工 0.05mm。半精加工曲线 C 单边余量 0.3mm。半精加工曲线 a 外轮廓单边余量 0.3mm。粗加工 a 曲线内腔槽单边余量 2mm，半精加工曲线 a 内腔槽单边余量 0.5mm。

3 加工准备及工艺路线的确定

在对零件进行加工前要对零件进行许多分析，如装夹方式、基准选择、确定坐标零点、刀具选择及机床选择等。

3.1 基准的选择

基准就是确定生产对象上的某些点、线、面的位置所依据的那些点、线、面。

3.1.1 基准的分类

基准分为设计基准和工艺基准两大类。

(1) 设计基准是设计工作图上所采用的基准

(2) 工艺基准是加工过程中所采用的基准。又分为有工序基准、定位基准和测量基准等。

①工序图上用来确定本工序所加工表面加工后的尺寸、形状和位置的基准叫做工序基准。

②定位基准是在加工中用作定位的基准。

③测量基准是测量时所采用的基准。此外还有装配过程中用于确定零、部件间相互位置的装配基准。要求掌握基准的分类，定义，同等重要的是在训练中提高选择基准的能力。

3.1.2 定位基准的选择

正确选择定位基准是制订机械加工工艺规程和进行夹具设计的关键。定位基准分为精基准和粗基准。在起始工序中，只能选用未经加工过的毛坯表面作为定位基准，这种基准称为粗基准。用加工过的表面所作的定位基准称为精基准。

在设计工艺规程的过程中，当根据零件工作图先选择精基准、后选粗基准。结合整个工艺过程要进行统一考虑，先行工序要为后续工序创造条件。

在加工中，首先使用的是粗基准，但在选择定位基准时，为了保证零件的

加工精度，首先考虑的是选择精基准，精基准选定以后，再考虑合理地选择粗基准。

选择精基准应掌握五个原则：

（1）基准重合原则

以设计基准为定位基准，避免基准不重合误差，调整法加工零件时，如果基准不重合将出现基准不重合误差。所谓调整法，是在预先调整好刀具与机床的相对位置，并在一批零件的加工过程中保持这种相对位置的加工方法。与之相对应的是试切法加工，即试切一测量一调整一再试切，循环反复直到零件达到尺寸要求为止。试切法适用于单件小批生产下的逐个零件加工。

（2）基准统一原则

选用统一的定位基准来加工工件上的各个加工表面。以避免基准的转换带来的误差，利于保证各表面的位置精度，简化工艺规程，夹具设计和制造缩短生产准备周期。典型的基准统一原则是轴类零件、盘类零件和箱体类零件。轴的精基准

为轴两端的中心孔，齿轮是典型的盘类零件，常以中心孔及一个端面为精加工基准，而箱体类常以一个平面及平面上的两个定位工艺孔为精基准。

（3）自为基准原则

当某些精加工表面要求加工余量小而均匀时，可选择该加工表面本身作为定位基准，以提高加工面本身的精度和表面质量。

（4）互为基准原则

能够提高重要表面间的相互位置精度，或使加工余量小而均匀。

（5）装夹方便原则所选定位基准应能使工件定位稳定，夹紧可靠，操作方便，夹具结构简单。

以上每项原则只能说明一个方面的问题，理想的情况是使基准既“重合”又“统一”，同时又能使定位稳定、可靠，操作方便，夹具结构简单。但实际运用中往往出现相互矛盾的情况，这就要求从技术和经济两方面进行综合分析，抓住主要矛盾，进行合理选择。

还应该指出，工件上的定位精基准，一般应是工件上具有较高精度要求的重要工作表面，但有时为了使基准统一或定位可靠，操作方便，人为地制造一

种基准面，这些表面在零件的工件中并不起作用，仅仅在加工中起定位作用，如顶尖孔、工艺搭子等。这类基准称为辅助基准。

选择粗基准时，重点考虑如何保证各个加工面都能分配到合理的加工余量，保证加工面与不加工面的位置尺寸和位置精度，同时还要为后续工序提供可靠精基准。具体选择一般应遵下列原则：

(1) 为了保证零件各个加工面都能分配到足够的加工余量，应选加工余量最小的面为粗基准。

(2) 为了保证零件上加工面与不加工面的相对位置要求，应选不加工面为粗基准。当零件上有几个加工面，应选与加工面的相对位置要求高的不加工面为粗基准。

(3) 为了保证零件上重要表面加工余量均匀，应选重要表面为粗基准。零件上有些重要工作表面，精度很高，为了达到加工精度要求，在粗加工时就应使其加工余量尽量均匀。

以重要表面作粗基准，在重要零件的加工中得到较多的应用，例如机床主轴箱箱体的加工，通常是以主轴孔为粗基准先加工底面或顶面，再以加工好的平面为精准加工主轴孔及其他孔系，可以使精度要求高的主轴孔获得均匀的加工余量。

(4) 为了使定位稳定、可靠，应选毛坯尺寸和位置比较可靠、平整光洁面作粗基准。作为粗基准的面应无锻造飞边和铸造浇冒口、分型面及毛刺等缺陷，用夹具装夹时，还应使夹具结构简单，操作方便。

(5) 粗基准应尽量避免重复使用，特别是在同一尺寸方向上只允许装夹使用一次。因粗基准是毛面，表面粗糙、形状误差大，如果二次装夹使用同一粗基准，两次装夹中加工出的表面就会产生较大的相互位置误差。

本套件件一和件二的上、下平面都要加工，基准选择原则是互为基准。即上平面为基准加工下平面，工件重新装夹后，已加工的下平面为基准加工上平面。

3.2 确定装夹方法

(1) 找正法

找正是用工具（或仪表）根据工件上的有关基准，找出工件在加工（或装配）时的正确位置的过程。用找正法装夹工件称为找正装夹。找正装夹又可分为划线找正法和直线找正法。

①划线找正法。如图 3-1 所示，划线找正法是用划针根据毛坯或半成品上所划分的线为基准找正它的机床上的正确位置的一种装夹方法。划线找正法定位精度低，一般在 $0.2\sim 0.5\text{mm}$ 之间，因为划线本身有一定的宽度，划线又存在划线误差。

划线找正法广泛用于单件小批生产中，尤其适用于形状复杂而笨重的工件，或毛坯的尺寸公差很大、无法采用夹具装夹的工件。

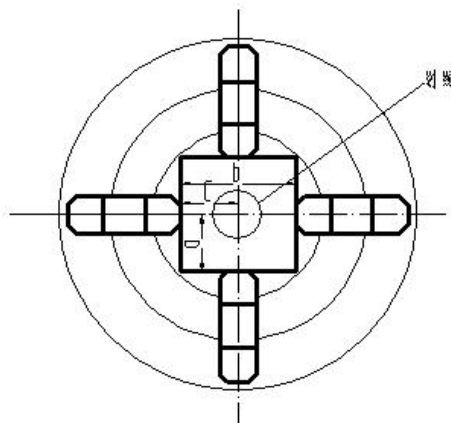


图 3-1 划线找正法

②直接找正法。如图 3-2 所示，直接找正法是用划针或仪表直接在机床上找正工件位置的装夹方法。例如，用千分尺找正套筒零件的外圆，使被加工的内孔与外圆同轴。直接找正法生产效率低，对工人的技术水平要求高，一般只适用于单件小批生产中。

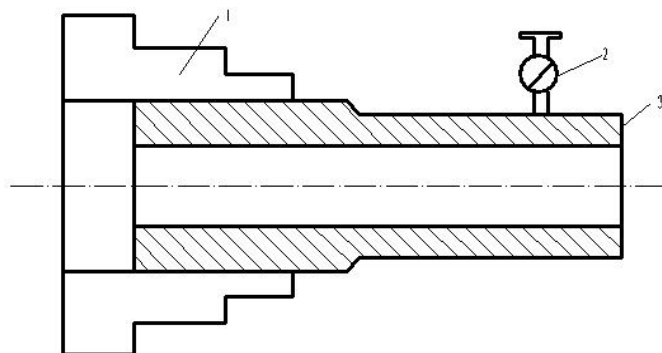


图 3-2 直接找正法

（2）用夹具装夹

夹具是用以装夹工件（和引导刀具）的装置。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；二是要能保证零件与机床坐标系之间的准确尺寸关系。依据零件毛料的状态和数控机床的安装要求，应选取能保证加工质量、满足加工需要的夹具。除此之外，还要考虑以下几点：

①当零件加工批量不大时，应尽量采用组合夹具、可调夹具和其他通用夹具，以缩短生产准备时间，节省生产费用。在成批生产时可以考虑采用专用夹具，同时要求夹具的结构简单。

②装夹零件要方便可靠，避免采用占机人工调整的装夹方式，以缩短辅助时间，尽量采用液压、气动或多工位夹具，以提高生产效率。

③在数控机床上使用的夹具，要能够安装准确，能保证工件和机床坐标系的相对位置和尺寸，力求设计基准、工艺基准与编程原点统一，以减少基准不重合误差和数控编程中的计算工作量。

④尽量减少装夹次数，做到一次装夹后完成全部零件表面的加工或大多数表面的加工，以减少装夹误差，提高加工表面之间的相互位置精度，达到充分提高数控机床效率的目的。

（3）工件的定位

工件定位，就是要使工件在夹具中占据某个确定的正确加工位置。

①六点定位原理

工件在空间有六个自由度，即沿 X、Y、Z 三个坐标方向的移动自由度和绕 X、Y、Z 三个移动轴的旋转自由度 A、B、C，如图 3-3 所示。

要确定工件在空间的位置，需要按一定的要求安排六个支撑点也就是通常所说的定位元件，以限制加工工件的自由度，这就是工件定位的“六点定位原理”。需要指出的是，工件形状不同，定位表面不同，定位点的布置情况也各不相同。

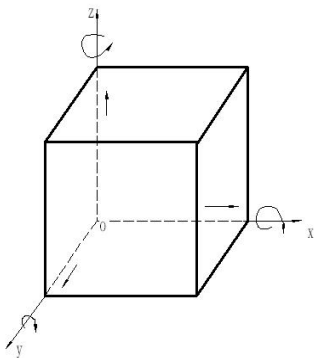


图 3-3 工件在空间的六个自由度

②限制自由度与工件加工要求的关系

根据工件加工表面的不同加工要求，有些自由度对加工要求有影响，有些自由度对加工要求无影响，对加工要求有影响的自由度必须限制，而不影响加工要求的自由度不必限制。

③完全定位与不完全定位

工件的六个自由度都被限制的定位成为完全定位，工件被限制的自由度少于六个，但不影响加工要求的定位，成为不完全定位，完全定位和不完全定位是实际加工中工件最常用的定位方式。

④工件安装的基本原则

在数控机床上工件安装的原则与普通机床相同，也要合理地选择定位基准和夹紧方案。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注意以下几点：

- a) 力求设计基准、工艺基准与编程计算基准的统一。
- b) 尽量减少装夹次数，尽可能在一次定位和装夹后就能加工出全部待加工表面。
- c) 避免采用占机调整式方案，以充分发挥数控机床的效能。

(4) 工件的夹紧

金属切削加工过程中，为保证工件定位时确定的正确位置，防止工件在切削力、离心力、惯性力或重力等作用下产生位移和振动，必须将工件夹紧。这种保证加工精度和安全生产的装置称为夹紧装置。

①对夹紧的基本要求

- a) 工件在夹紧过程中，不能改变工件定位后所占据的正确位置。

b) 夹紧力的大小适当，既要保证工件在加工过程中的位置不能发生任何变动，又要使工件不产生大的夹紧变形；同时也要使得加工振动现象尽可能小。

c) 操作方便、省力、安全。

d) 夹紧装置的自动化程度及复杂程度，应与工件的批量大小相适应。

② 夹紧力方向和夹紧点的确定

a) 夹紧力应尽可能朝向主要定位基准，这样可以保证夹紧工件时不破坏工件的定位，影响工件的加工精度要求。

b) 夹紧力方向应有利于减少夹紧力，要求能够在最小的夹紧力作用下，完成零件的加工过程。

c) 夹紧力的作用点应选在工件刚性较好的方向和方位上，这一原则对刚性较差的零件特别重要，可以保证零件的夹紧变形量最小。

d) 夹紧力作用点应尽量靠近零件的加工表面，保证主要夹紧力的作用点与加工表面之间的距离最短，可有效提高零件装夹的刚性，减少加工过程中的振动。

e) 夹紧力的作用方向应在定位支撑的有效范围内，不破坏零件的定位要求。

3.3 机床及工艺装备的选择

在对机床的选择中，我们应该考虑一些因素：

(1) 机床规格应与工件的外形尺寸相适应，及大件用大机床，小件用小机床。

(2) 机床精度应与工件加工精度要求相适应。

(3) 机床的生产效率应与工件的生产类型相适应。

在确定数控机床加工时应注意不同类型的零件应选用不同的机床，该零件属于组合件。本零件选择大连数控铣床 XD-40，而数控系统是使用 FANUC 0i Mate-MB。由于选择的是铣床，加工坐标系容易产生偏差，所以在加工中对刀要特别注意对刀精度。

3.3.1 夹具的选择

机床夹具的种类很多，按使用的机床类型分为车床夹具、铣床夹具、钻床

夹具、镗床夹具、加工中心夹具等。而按专门化程度划分来说，该零件使用的是立式加工中心。零件又属于平面类零件，应使用通用夹具，通用夹具是已经标准化、无需调整或稍加调整就可以用来装夹不同工件的夹具。这里我们使用的是精密平口虎钳，型号为 CV-160V，适用于铣床、立式加工中心。参数如下：钳口宽度 B 为 160mm 左右，钳口高度 H 为 63mm，钳口最大张开度 L 为 200mm，定位键槽宽度 A 为 18mm。

3.3.2 刀具选择

选择合适的刀具和参数，对于金属切削加工，能起到事半功倍的效果。刀具材料选用硬质合金，钻头和铰刀选用高速钢。且切削速度比高速钢高 4~10 倍，但其冲击韧性与抗拉强度远比高速钢差。而铣刀种类繁多，在使用时要根据加工部位、表面粗糙度、精度等来选用，根据图形的精度和加工部位来看，所选刀具卡见附录。

Φ12 整体合金刀具为精加工用刀具，一般情况下不做粗加工，如果加工中出现尖叫，或者是连续冲击声，这种现象表明切削参数选用不合理，充分冷却在整个过程中是必不可少的。

Φ32 的立铣刀应采用侧固刀柄，Φ25 内螺纹孔单刃镗刀应采用侧固刀柄或强力弹簧夹套刀柄；Φ20 的立铣刀应采用强力弹簧夹套刀柄；Φ16H 的铰刀应采用弹簧夹套刀柄；Φ12 整体硬质合金立铣刀和 Φ8 球头刀可采用热装刀柄；Φ11 钻头和 Φ14 扩孔钻应采用弹簧夹套刀柄。

对于刀具使用，要兼顾粗、精加工分开原则，防止精加工刀具尽早磨损。机夹立铣刀，由于有螺旋升角，铣刀侧刃直线性不好，不适合精加工。整体硬质合金刀侧刃直线性好，精度高，适合精加工使用，粗加工阶段，应尽可能不用 Φ12 的整体硬质合金铣刀，以备精加工使用。

Φ32 立铣刀，用于平面粗、精加工，外轮廓粗加工，M42×1.5 螺纹底孔铣孔。

Φ20 立铣刀，用于内外轮廓半精加工，腔槽底面精加工，M42×1.5 螺纹底孔粗铣。

Φ12 整体硬质合金立铣刀，用于内外轮廓精加工 2-Φ16₀^{+0.018}，铰前精加工，

M42×1.5 螺纹底孔精加工。

Φ8 球头刀，用于圆弧面加工。

Φ11 钻头，用于预钻 2-Φ16₀^{+0.018} 孔和 Φ12 孔。

Φ14 扩孔钻，用于扩 2-Φ16₀^{+0.018} 孔。

Φ16H7 铰刀，用于铰 2-Φ16₀^{+0.018} 孔。

Φ25 镗刀，用于螺纹加工。

3.4 确定工艺路线

(1) 工序的划分

在数控机床上加工零件与普通机加工相比，工序可以比较集中。根据数控加工的特点，数控加工工序的划分有几种方法。

加工该零件按粗、精加工划分工序，根据工件的加工精度要求、刚度和变形等因素，将零件的粗、精加工分开，先粗加工，后精加工。

(2) 工步的划分

划分工步主要是从加工精度和效率方面考虑。合理的工艺不仅要保证加工出符合图样要求的工件，同时应使机床的功能得到充分发挥。因此，在一个工序内往往需要采用不同的刀具和切削用量，对工件的不同表面进行加工。对于比较复杂的工序，为了便于分析和描述，常在工序内又细分工步。就本工件的加工而言，划分时应注意以下几点原则：

①同一加工表面按粗加工、半精加工、精加工依次完成，还是全部加工表面都先粗加工后精加工分开进行，主要依据零件的精度要求考虑。

②对于既要加工平面又要加工孔的地方，可以采用“先面后孔”原则划分工步。先加工面可提高孔的加工精度，因为铣平面时切削力较大，工件易发生变形，而先铣平面后镗孔，则可使其变形有一段时间恢复，减少由于变形引起的对孔的精度影响。反之，如先镗孔后铣面，则铣削平面时极易在孔口产生飞边、毛刺，进而破坏孔的精度。

③按所用刀具划分工步。某些机床工作台回转时间比换刀时间短，可采用刀具集中的方法划分工步，以减少换刀次数，缩短辅助时间，提高加工效率。

④在一次装夹中，尽可能完成所有能加工的表面，有利于保证表面相互位置精度的要求。

(3) 加工顺序的安排

加工顺序的安排应根据零件的结构和毛坯状况，结合定位和夹紧的需要一起考虑，重点应保证工件的刚性不被破坏，尽量减少变形。加工顺序的安排应遵循一些原则：

①基准先行。上道工序的加工能为后面的工序提供精基准和合适的夹紧表面。

②先面后孔，先简单后复杂。

③先粗后精，粗、精分开。

④减少安装次数。以相同定位、夹紧方式安装的工序，最好接连进行，以减少重复定位次数、换刀和夹紧次数。

该零件中 $2-\phi 16_0^{+0.018}$ 的孔既是加工尺寸，又是工件自检中尺寸传递基准。由于工件在一次装夹中要完成铣、钻、铰、外形和螺纹加工等工序，粗、精加工又不可能截然分开，再加上平口钳夹紧力有限，毛坯经过调质后有一定的硬度，粗加工过程中，可能有微量位移现象发生。为了保证 $2-\phi 16$ 孔对型面位置精度，正确的做法是各个加工部位粗、精加工完成后，再进行 $2-\phi 16$ 孔的精加工，这样有利于保证整个零件的位置精度，工艺文件见附录。

3.5 确定进给路线

在数控加工中，刀具刀位点相对于工件运动的轨迹称为进给路线。进给路线不仅包括切削加工时的进给路线，还包括刀具到位、对刀、退刀和换刀等一系列过程的刀具运动路线。进给路线不仅反映了几个内容，也说明了加工顺序。

确定进给路线。主要是确定粗加工及空行程的进给路线，因为精加工的进给路线基本上是按零件的轮廓进行的。在确定时还要注意一些问题：

- (1) 选择工件刚性破坏小的路线，以减少加工变形对加工精度的影响。
- (2) 寻求最短的进给路线，以提高加工效率。
- (3) 切入和切出的路线应考虑外延，以保证加工的表面质量。
- (4) 完工时的最后一刀应一次走刀连续加工，以免产生刀痕等缺陷。

此外，确定进给路线时，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，确定刀具的切入与切出方向以及在铣削加工中试采用顺铣还是逆铣的铣削方式等。

对件一的加工路线按照上面的原则，首先我们要保证内外型面 $2-\phi 16_0^{+0.018}$ 位置精度。

铣端面：粗精铣下端面→工件翻身→粗精铣上平面，上平面留余量 0.1mm→粗铣零件周围→铣肩面尺寸，深度 $10.1-5-0.05\text{mm}=5+0.15\text{mm}$ 。（ $\phi 32$ 立铣刀）

钻：预钻 $2-\phi 16_0^{+0.018}$ 、 $\phi 12$ 、 $\phi 11$ 的孔。（ $\phi 11$ 钻头）

铣孔：铣 $M42\times 1.5\text{-H7}$ 螺纹底孔，铣孔深 $22+10=32\text{mm}$ （ $\phi 32$ 立铣刀）

半精铣：半精铣 C 曲线底面至尺寸，曲线 C 单边留余量 0.3mm→半精铣曲线 a 外轮廓，单边留余量 0.3mm→粗铣 a 曲线内腔槽，单边留余量 2mm。（ $\phi 20$ 立铣刀）

铣端面：铣上端面至尺寸。（ $\phi 32$ 立铣刀）

精铣：曲线 a 外轮廓至尺寸→半精铣曲线 a 内腔槽，单边留余量 0.5mm 分层铣（每次 2mm）→高速精铣曲线 a 内腔槽→铣 b 曲线内腔槽至尺寸→铣 C 曲线内腔槽至尺寸。（ $\phi 12$ 合金立铣刀）

铣孔：铣 $\phi 12$ 孔→铣 $M42\times 1.5\text{-H7}$ 螺纹底孔至 $\phi 41.5$ 。（ $\phi 12$ 合金立铣刀）

扩孔：扩 $2-\phi 16_0^{+0.018}$ 为 $2-\phi 16-0.05$ 。（ $\phi 14$ 扩孔钻）

铰孔：铰 $2-\phi 16_0^{+0.018}$ 孔。（ $\phi 16\text{H7}$ 铰刀）

镗螺纹：镗 $M42\times 1.5$ 螺纹至尺寸。（单刃螺纹镗刀）

件一的曲线 a 薄壁加工时，采取的措施是：内腔槽留 2mm 余量，增加精铣外轮廓时加工部位刚性，用 $\phi 12$ 合金立铣刀，高速精铣外轮廓至尺寸，用杠杆表检测薄壁曲线对基面的垂直度。外轮廓到尺寸后，用 $\phi 20$ 立铣刀，采用钻铣方式，对内腔槽做半精加工，留余量 0.3mm。最后用 $\phi 12$ 合金立铣刀，精铣内腔槽至尺寸。各部分的走刀示意如图 3-4、3-5、3-6 所示：

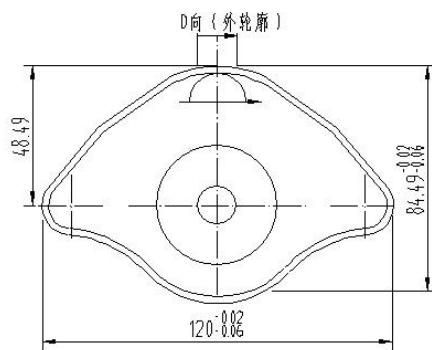


图 3-4 件一走刀示意图

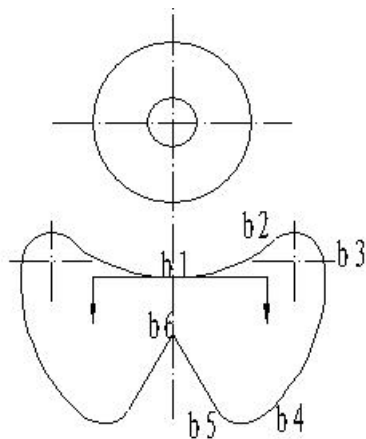


图 3-5 精铣 b 曲线内腔槽走刀示意

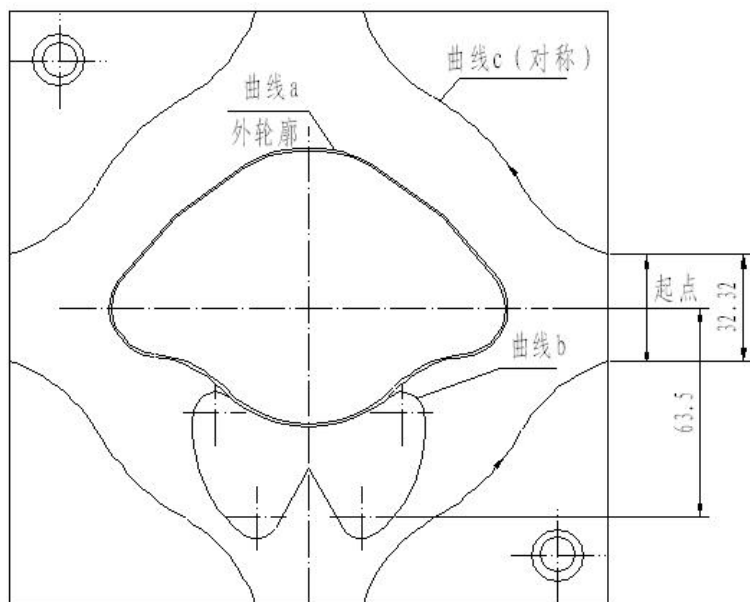


图 3-6 精铣 c 曲线内腔槽示意

对于件二的加工路线,首先我们也要保证内外型面对 $2-\phi 16_0^{+0.018}$ 位置精度。

铣端面：粗精铣下平面→工件翻身→粗精铣上平面，留余量 0.1mm→粗铣零件周围。（ $\phi 32$ 立铣刀）

钻：预钻 $2-\phi 16_0^{+0.018}$ 、 $\phi 11$ 的孔。（ $\phi 11$ 钻头）

半精铣：半精铣 a 曲线底面至尺寸，内腔槽单边留余量 0.3mm，内端面 10.2 保证 10.3。（ $\phi 20$ 立铣刀）

铣端面：精铣上平面。（ $\phi 32$ 立铣刀）

精铣：精铣外轮廓 $2-\phi 170_0^{+0.063}$ ，保证 $2-\phi 170+0.02 \rightarrow$ 精铣内腔槽保证尺寸 $48.49_{+0.03}^{+0.06}$ 、 $90_{+0.03}^{+0.06}$ 。（ $\phi 12$ 合金立铣刀）

扩孔：扩孔 $2-\phi 16_0^{+0.018}$ 至 $2-\phi 16_{-0.05}^0$ 。（ $\phi 14$ 扩孔钻）

铰孔：铰 $2-\phi 16_0^{+0.018}$ 的孔。（ $\phi 16$ 铰刀）

铣：精铣 R3 圆弧。（ $\phi 8$ 球头刀）

件二由外轮廓型面和内腔槽组成。外轮廓型面有两个 $170_0^{+0.063}$ mm 尺寸外轮廓曲线由多个圆弧构成，整个曲线加工，都应该控制在此公差范围内，由于该型面壁厚较厚，具有一定刚性，所以粗精铣均采用顺铣方式进行。走刀示意可以参照件一的走刀路线图。

3.6 切削用量及切削液的选择

在一定切削条件下，合理选择切削用量是提高切削效率、保证刀具耐用度和加工质量的主要手段。

数控铣床的切削用量包括切削速度 V_c 、进给速度 v_f 、背吃刀量 a_p 和侧吃刀量 a_c 。切削用量的选择方法是考虑刀具的耐用度，先选取背吃刀量或侧吃刀量，其次确定进给速度，最后确定切削速度。

3.6.1 切削参数对机械加工的影响

（1）对加工质量的影响

① V_c 的影响。因为 V_c 对切削温度 θ 影响最大，所以 V_c 主要是通过 θ 来影响加工质量。随着 V_c 的增加， θ 上升，工件的温升变形和刀具磨损加快，使误差加大。同时，工件表面层的热应力。金相组织也发生变化，使工件表面质量下降。

② f 的影响。 f 主要是通过已加工表面的残留面积来影响表面粗糙度的。在中等以上 f 时，降低 f 可降低表面粗糙度值；但当低速切削（ $0.05 \sim 0.15 \text{mm/r}$ ）时，由于存在塑性变形故可使 R_a 增大。

③ a_p 的影响。 a_p 主要是通过切削力来影响加工质量的。随着 a_p 的增大，切削力成正比的增加，工艺系统发生变形、振动等，使加工精度和表面粗糙度下降。

（2）对刀具使用寿命的影响

刀具耐用度 T 与刀具总刃磨次数 n 的乘积称为刀具寿命。它是一把刀从开始到完全报废所经过的切削时间。对刀具寿命的影响主要从耐用度的影响来分析。

V_c 、 f 、 a_p 增加时，刀具磨损加剧，耐用度降低，其中影响最大的是 V_c ，其次是 f ，影响最小的是 a_p ，因此，贵重、精密的刀具是不宜采用高速切削和大进给量切削的。

（3）对生产效率的影响

在一定的切削条件下，合理选择切削用量是提高切削效率、保证刀具耐用度和加工质量的主要手段。

3.6.2 背吃刀量 a_p （端铣）或侧吃刀量 a_c （圆周铣）

如图 3-7 所示，背吃刀量 a_p 为平行于铣刀轴线测量的切削层尺寸，单位为 mm，端铣时 a_p 为切削层深度，圆周铣削时 a_p 为被加工表面的宽度。侧吃刀量 a_c 为垂直于铣刀轴线测量的切削层尺寸，单位为 mm，端铣时 a_c 为被加工表面宽度，圆周铣削时 a_c 为切削层深度。端铣背吃刀量和圆周铣侧吃刀量的选取主要由加工余量和对表面质量要求决定。

（1）工件表面粗糙度要求为 $Ra3.2 \sim 12.5 \mu\text{m}$ ，分粗铣和半精铣两步铣削加工，粗铣后留半精铣余量 $0.5 \sim 1.0 \text{mm}$ 。

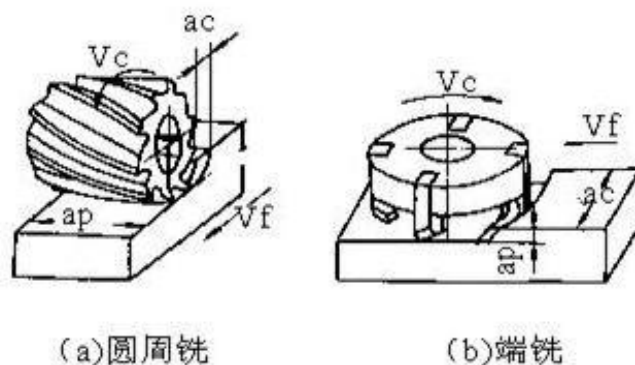


图 3-7 铣刀铣削用量

(2) 工件表面粗糙度要求为 $Ra0.8 \sim 3.2\mu m$ ，可分粗铣、半精铣、精铣三步铣削加工。半精铣时端铣背吃刀量或圆周铣削侧吃刀量取 $1.5 \sim 2mm$ ，精铣时圆周铣侧吃刀量取 $0.3 \sim 0.5mm$ ，端铣背吃刀量取 $0.5 \sim 1mm$ 。该工件的表面粗糙度为 $Ra3.2$ ，孔及型腔粗糙度为 $Ra1.6$ ，其余为 $Ra6.3$ 。应采用粗铣、精铣，件一总余量为 $1mm$ ，件二的总余量为 $2.2mm$ 。

3.6.3 进给速度 v_f

进给速度指单位时间内工件与铣刀沿进给方向的相对位移，单位为 mm/min 。它与铣刀转速 n 、铣刀齿数 Z 及每齿进给量 f_z （单位为 mm/z ）有关。

进给速度的计算公式：

$$v_f = f_z \cdot Z \cdot n$$

(3-1)

式中：每齿进给量 f_z 的选用主要取决于工件材料和刀具材料的机械性能、工件表面粗糙度等因素。当工件材料的强度和硬度高，工件表面粗糙度的要求高，工件刚性差或刀具强度低， f_z 值取小值，每齿进给量的选用参考表见表 3-1。

表 3-1 铣刀每齿进给量 f_z 参考表

工件材料	每 齿 进 给 量 f_z (mm/z)	
	粗铣	精铣

	高速钢铣刀	硬质合金铣刀	高速钢铣刀	硬质合金铣刀
钢	0.10~0.15	0.10~0.25	0.02~0.05	0.10~0.15
铸铁	0.12~0.20	0.15~0.30		

各刀具的每转进给量根据表查得如表 3-2。

表 3-2 铣刀每转进给量 f

刀具名称	$\phi 32$ 面铣刀	$\phi 20$ 立铣刀	$\phi 25$ 内螺纹孔单刃镗刀	$\phi 11$ 钻头
每转进给量 $f(\text{mm/r})$	0.09~0.15	0.07	0.035	0.1~0.2
刀具名称	$\phi 20$ 立铣刀（扩孔）	$\phi 16\text{H7}$ 铰刀	$\phi 12$ 整体合金立铣刀	$\phi 8$ 球头刀
每转进给量 $f(\text{mm/r})$	0.08	0.16	0.05	0.05

3.6.4 切削速度 V_c

表 3-3 铣削时的切削速度参考表

工件材料	硬度（HBS）	切削速度 V_c (m/min)	
		高速钢铣刀	硬质合金刀具
钢	<225	18~42	66~150
	225~325	12~36	54~120
铸铁	325~425	6~21	36~75
	<190	21~36	66~150
	190~260	9~18	45~90
	160~320	4.5~10	21~30

铣削的切削速度与刀具耐用度 T 、每齿进给量 f_z 、背吃刀量 a_p 、侧吃刀量 a_e 以及铣刀齿数 Z 成反比，与铣刀直径 d 成正比。其原因是 f_z 、 a_p 、 a_e 、 Z 增大时，使同时工作齿数增多，刀刃负荷和切削热增加，加快刀具磨损，因此刀具耐用度限制了切削速度的提高。表 3-3 列出了铣削切削速度 V_c 的参考值。

$$\text{而具体选用公式为 } V_c = \pi d \cdot n / 1000 \quad (3-2)$$

选用的参数如表 3-4。

表 3-4 铣削时的切削速度

刀具名称	$\phi 32$ 面铣刀	$\phi 20$ 立铣刀	$\phi 25$ 内螺纹孔单刃镗刀	$\phi 11$ 钻头
铣削速度 $V_c(\text{mm/min})$	160~250	200	70	25

刀具名称	Φ 20 立铣刀	Φ 16H7 铰刀	Φ 12 整体合金立铣刀	Φ 8 球头刀
铣削速度 V _c (mm/min)	100	15	150	150

3.6.5 切削液的选择

切削液是为提高切削加工效率而使用的液体。它可有效地减小摩擦，改善散热条件，从而降低切削力、切削温度和刀具磨损，提高生产率和加工表面质量。切削液具有冷却、润滑、清洗和防锈作用，常用的切削液有乳化液和切削油。

切削该工件时使用的是硬质合金刀具，由于它的耐热性好，所以一般不使用切削液。若要使用，则必须大量注射，以免硬质合金刀具因冷热不均产生裂纹。

4 UG 造型与加工

UG 是一种功能强大的软件，在本零件的造型中我们用到的是 UG 的建模和加工模块。

4.1 实体造型

首先我们要建立新文件，文件名只能是英文和数字组成。建好新文件后，分别对件一和件二进行线架造型。

4.1.1 件一的实体造型

件一的实体造型，首先为了便于做加工，所以新建一个平面，距 XY 平面 42mm。在此平面上绘制一个 180×180 正方形，完成草图后，向上拉伸 36mm。

以底板上平面为绘图平面，进入草图绘制图 4-1，完成草图后，向下拉伸求差 5mm。

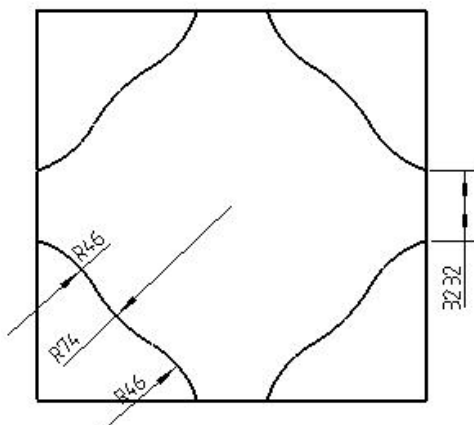


图 4-1 曲线 C 外轮廓

以 C 曲线上平面为绘图平面，绘制图 4-2 草图 D 向外轮廓，向上求和拉伸 10mm。

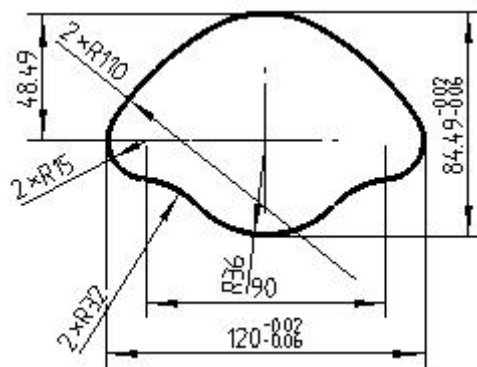


图 4-2 D 向外轮廓

以 C 曲线上平面为绘图平面, 绘制图 4-3 草图 b 向轮廓, 向下求差拉伸 3mm。

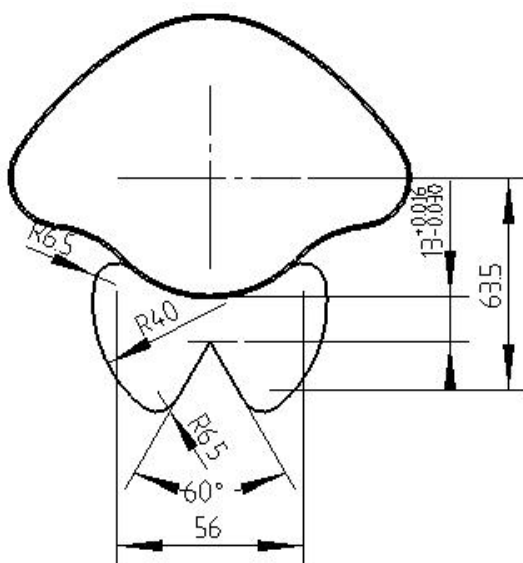


图 4-3 b 向轮廓

以底板上平面为绘图平面, 绘制草图 4-4, $2 \times \phi 16^{+0.018}_0$ 向下求差拉伸 20mm, $2 \times \phi 11$ 求和拉伸为通孔。

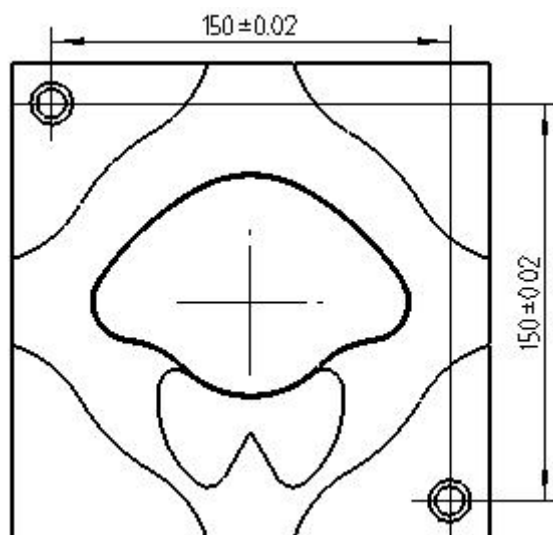


图 4-4 孔

以 D 向型腔为绘图平面，绘制草图 4-5 中心孔，并求差拉伸为通孔。

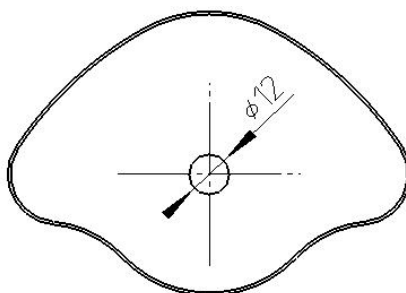


图 4-5 中心孔

以 D 向型腔为绘图平面，绘制草图 4-6，孔求差拉伸 22mm。单击螺纹指令，以该孔作为螺纹的生成目标，生成 M42×1.5-7H 深 18 螺纹，所有造型完成后，所生成的件一模型如图 4-7 所示。

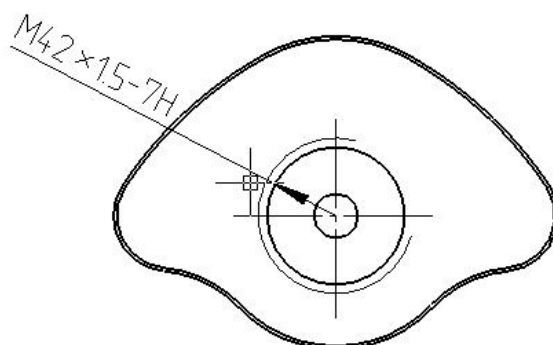


图 4-6 螺纹

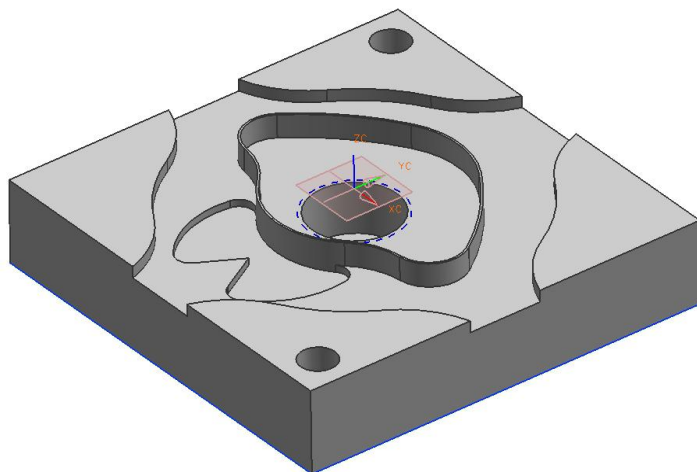


图 4-7 件一模型

4.1.2 件二的实体造型

件二的实体造型，在 XY 平面上绘制一个 180×180 正方形，完成草图后，向上拉伸 11.8mm 。

以底板上平面作为绘图平面，绘制草图 4-8 外轮廓图形。向上求和拉伸 5mm 。

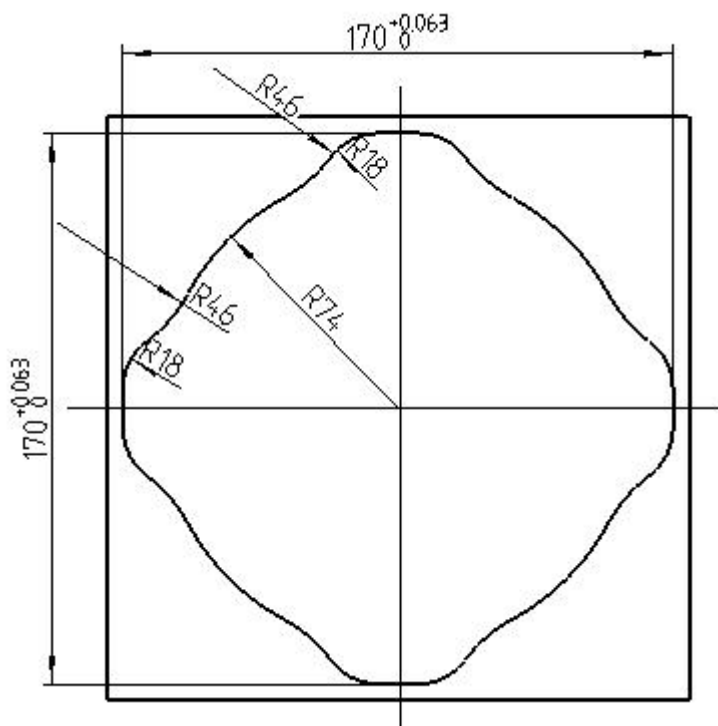


图 4-8 凸台外轮廓

以底板上平面为绘图平面，绘制孔 $2 \times \phi 16^{+0.018}_0$ ，草图如 4-9 求差拉伸成通孔。

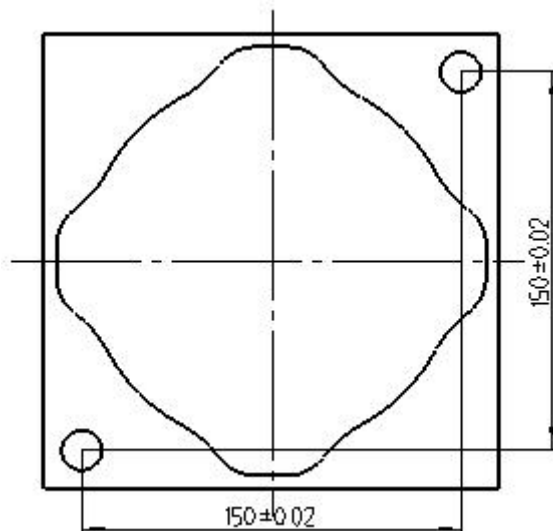


图 4-9 孔 $2 \times \phi 16$

以 C 曲线上平面为绘图平面，绘制图 4-10 草图 D 向外轮廓，向下求差拉伸 10.2mm。

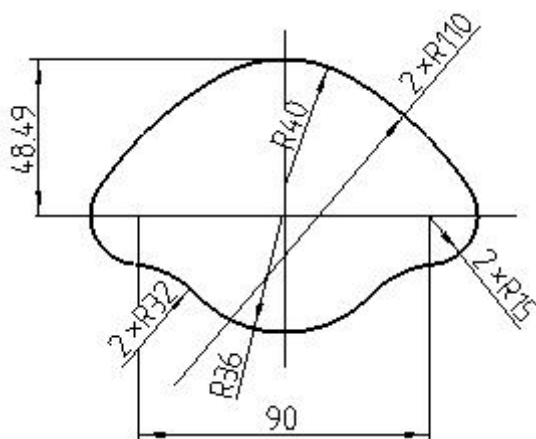


图 4-10 D 向外轮廓

以 D 向型腔为绘图平面，绘制草图 4-11 中心孔，并求差拉伸为通孔。

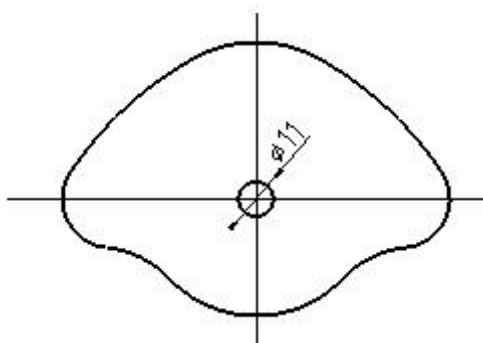


图 4-11 中心孔

完成上述造型后，D 向外轮廓进行边倒圆，半径 R3。所有造型完成后，所

生成的件二模型如图 4-12 所示。

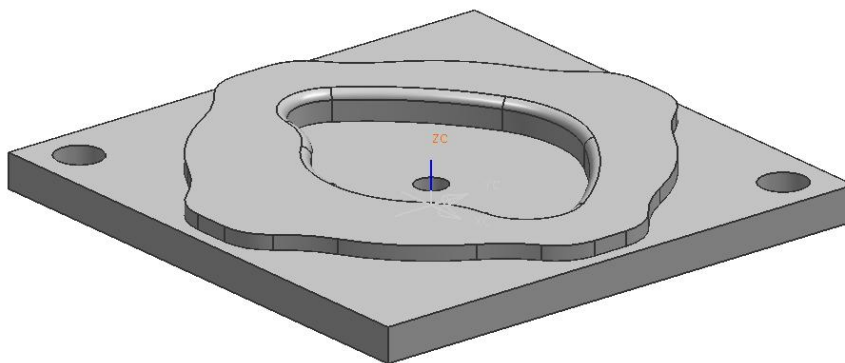


图 4-12 件二模型

4.2 加工并生成程序

通过草图拉伸对毛坯进行设定，同时要确定毛坯中心在系统坐标系（绘图坐标系）中的坐标值。因为该例绘图原点在图形的底平面上，所以毛坯中心的坐标值设定值为（0, 0, 0）。注意对刀时，刀具找正毛坯中心后，要按该坐标值设定毛坯中心。然后进入 UG 加工模块，首先设定加工坐标系、工件加工的安全平面，对工件进行加工。

4.2.1 工艺参数设定

首先我们定义刀具参数，根据列出的刀具清单。例如 $\phi 32$ 立铣刀参数及图形如图 4-13、4-14 所示，其它刀具按照各自参数设定。

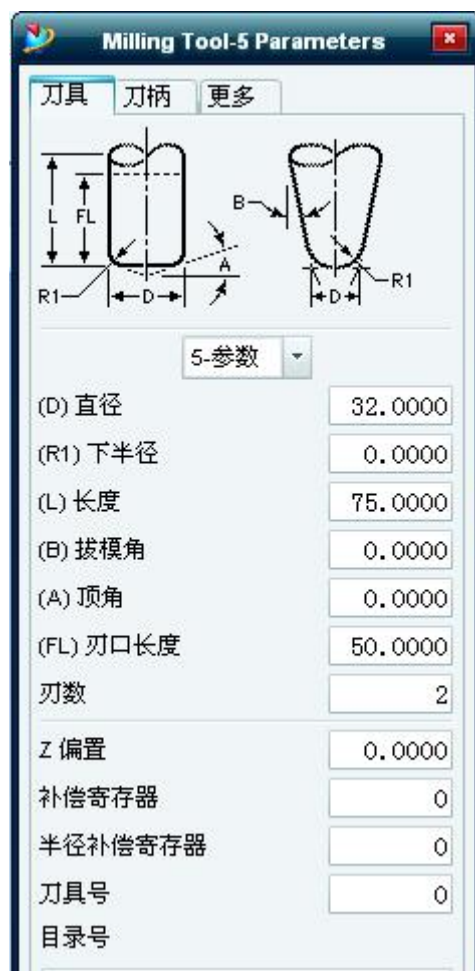


图 4-13 刀具参数

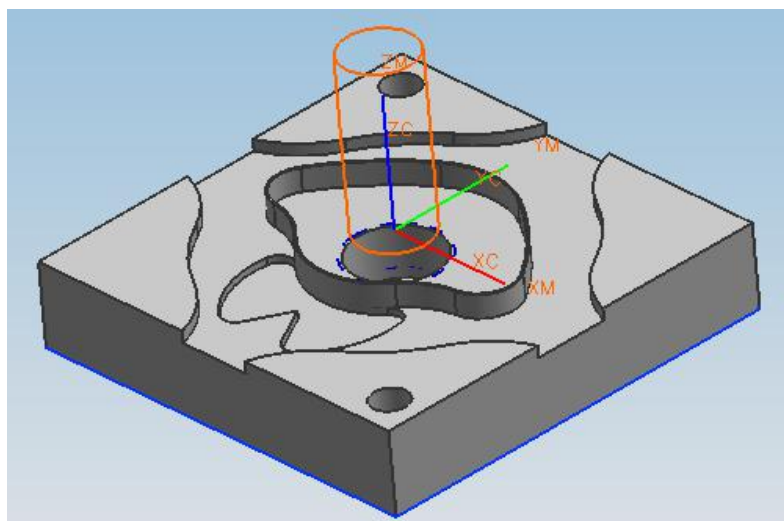


图 4-14 $\phi 32$ 刀具

4.2.2 生成加工轨迹

在加工中我们一般用到的加工方法有四种：mill planar（一般平面铣）、

mill contour (型腔铣)、fixed contour (固定轴铣)、drill (钻、镗孔)。在该零件的加工中，我们也用到上述四种加工方法。在这里我们例举件一薄壁 a 的加工进行说明，薄壁 a 分为内型腔和外轮廓，其加工路线是粗加工、半精加工、精加工。

内型腔加工粗加工时选择并输入图 4-15 的内容，选用一般平面铣，刀具选择 $\phi 20$ 的。



图 4-15 粗加工

然后点击确定，会出现图 4-16 对话框，参数设置如图所示。切削区域选择 a 曲线内型腔底面，刀具参数如图 4-17。



图 4-16 加工对话框



图 4-17 刀具参数

选择好刀具和正确的参数后确定生成刀具路径如图 4-18 所示：

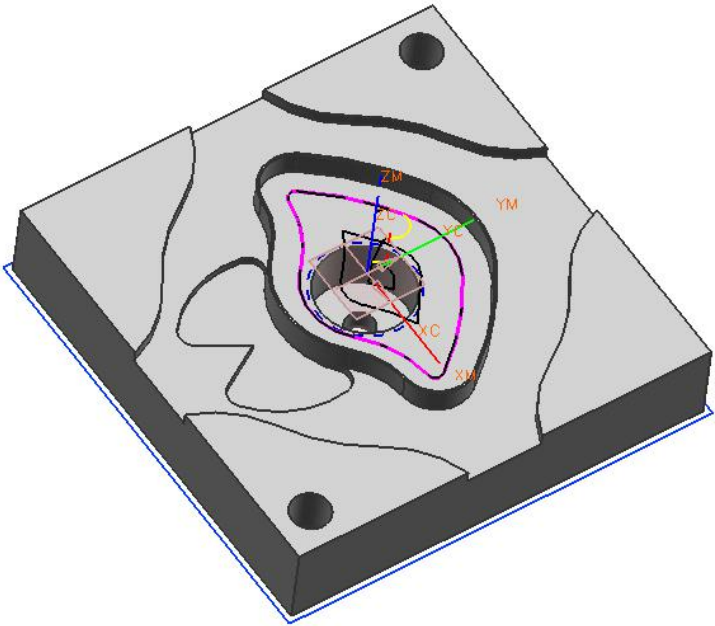


图 4-18 a 曲线内型腔粗加工刀具路径

半精加工和精加工步骤也是一样，只是选择刀具参数上不一样。各自的加工路径如图 4-19、4-20 所示：

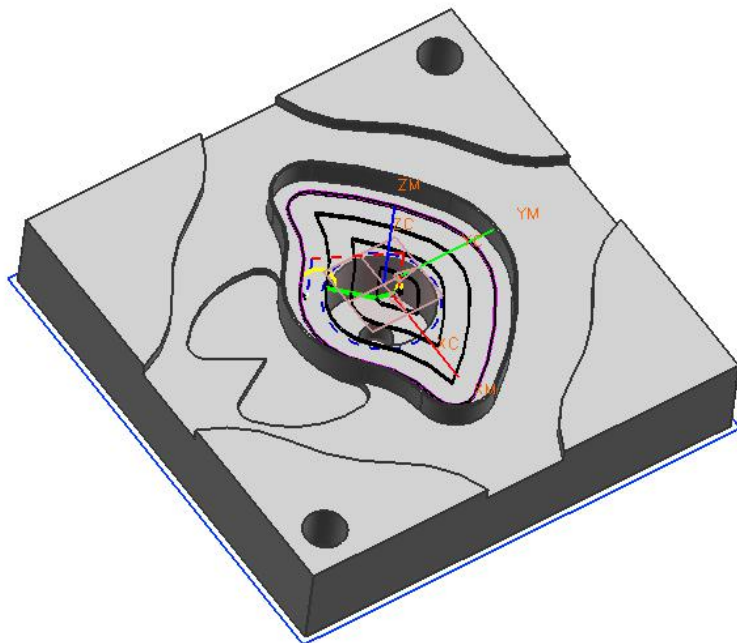


图 4-19 a 曲线内型腔半精加工

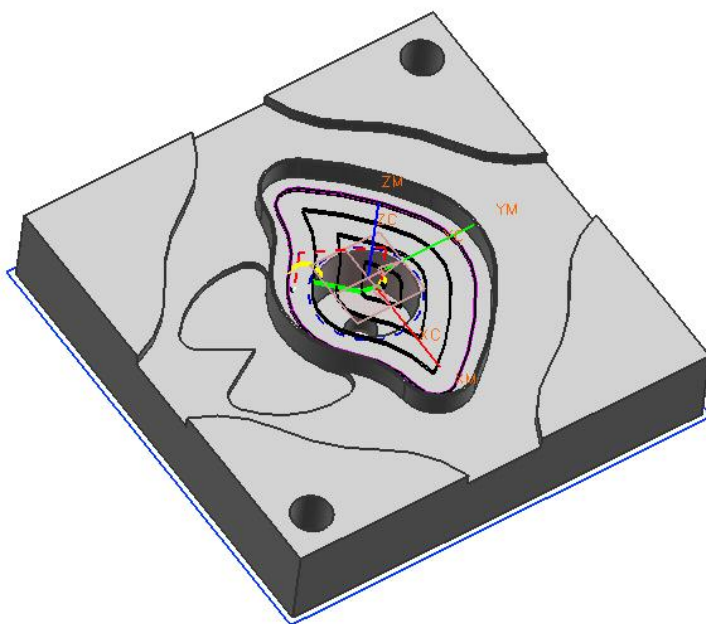


图 4-20 a 曲线内型腔精加工

件一、件二所有加工轨迹完成后如图 4-21、4-22 所示，并要对其轨迹进行 3D 仿真加工，看看还有哪些地方未加工到。是否产生刀具干涉，轨迹是否需要编辑，最后确定后即完成加工轨迹生成。

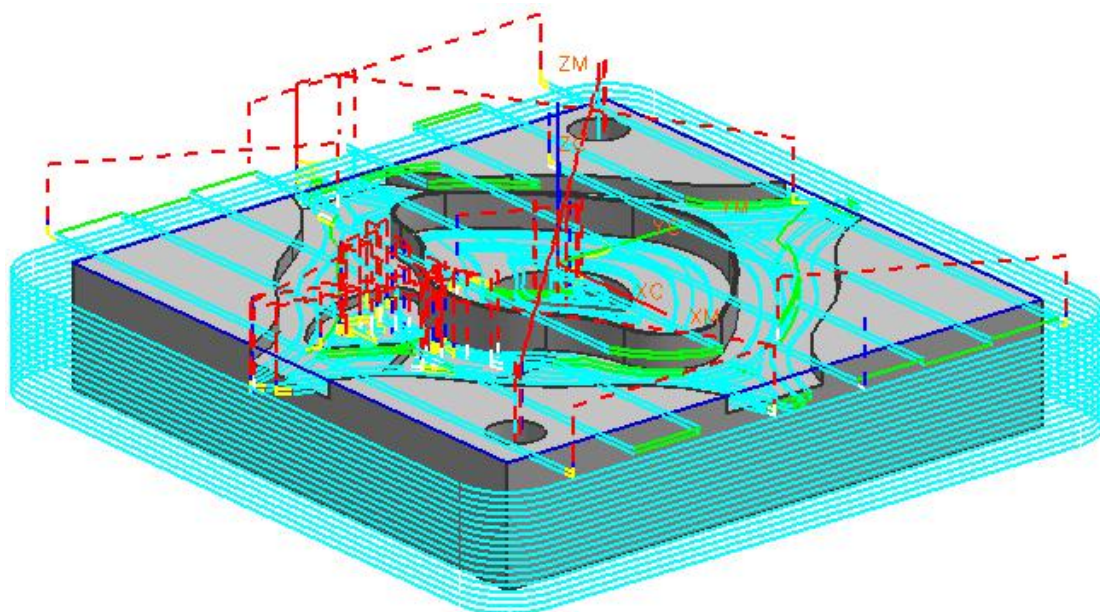


图 4-21 件一加工轨迹

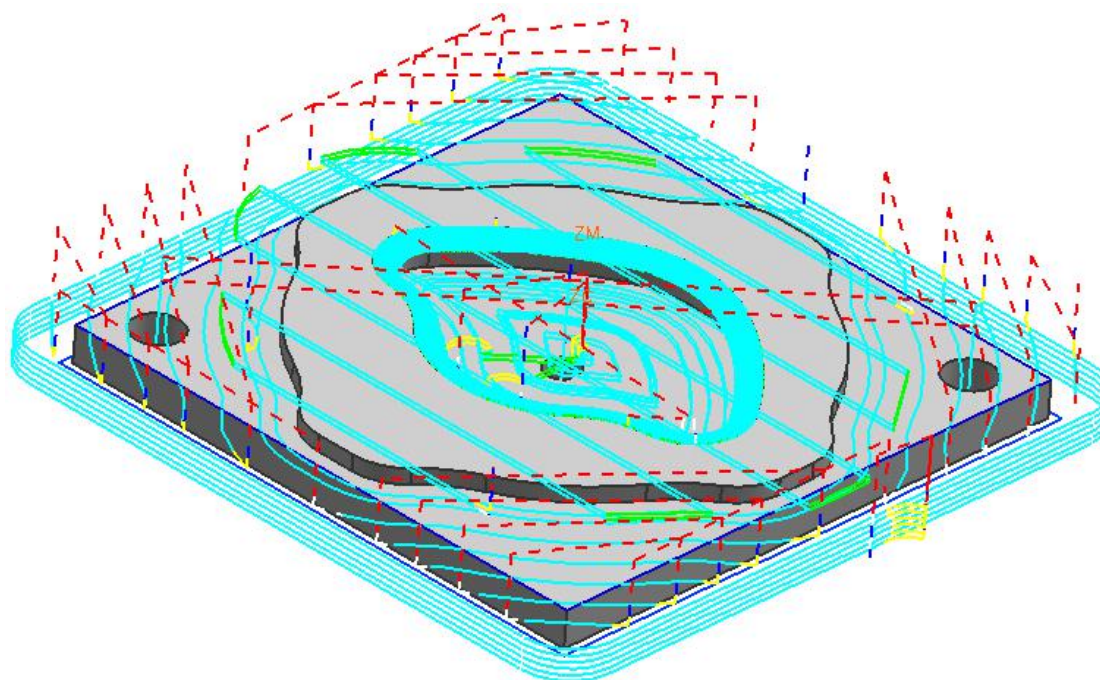


图 4-22 件二加工轨迹

4.2.3 生成部分程序

所有加工轨迹完成后，要对其进行后置处理，生成加工程序。首先选择要输出程序的项，再点击“输出CLSF”，设置好参数如图4-23自动即生成程序。



图4-23 后置处理

摘取a曲线内腔槽精加工程序如下：

```
%
N0010 G40 G17 G90 G70
N0020 G91 G28 Z0.0
N0030 T00 M06
N0040 G0 G90 X.3881 Y6.1849 S1048 M03
N0050 G43 Z15. H00
.
.
.
N1120 G3 X-20.4142 Y-20.4142 I20.9449 J19.8693
N1130 X-19.3264 Y-21.4468 I20.4142 J20.4142
N1140 X-13.4581 Y-22.6966 I4.0165 J4.4572
N1150 G0 Z15.
N1160 M02
%
```


5 零件加工

在加工零件时步骤如下：

(1) 回机床零点

开机首先检验机床主轴是否能正常的运转，检查各辅助功能是否正常，然后将各坐标轴回到机床零点。

(2) 建立工件坐标系

将夹具找正后，装夹工件。所谓建立工件坐标系就是将刀具在机床中具有正确的位置关系。该工件采用试切对刀法。

(3) 程序检验

将程序传入机床后进行相应的修改，在将机床处于单段运行状态，检验刀具在机床中运行的位置是否正确，主要是 Z 轴，当位置确定后释放单段运行状态。

(4) 自动运行

自动运行后，调节转速和进给量，让刀具拥有合适的切削参数，并且注意冷却液及其他辅助功能的正常运行。

产品在加工后进行了检验，产品在基本尺寸上能够保证。但还存在以下不足：从加工过的表面处留下明显的刀痕及在零件的轮廓处出现飞边等，分析结果是由于走刀方法等造成的。走刀路线应从外向里加工较合适，可以减小阻力，由于进给速度过快，吃刀量较大，这就对得到的精度要求带来影响，表面和孔的粗糙度不能得到很好的保证。加工零件是采用的是“试切法”对刀，凭的是眼睛去观察实现的对刀，这比采用机器对刀有很大的区别，还有其他对刀方式我们没有更多的了解，这也是误差原因的关键。

6 结论

本论文主要是利用对零件图形的结构分析，设计出适合其加工的最优工艺方案。在加工时要特别注意 0.88mm 薄壁的加工，以及内型腔的加工。在加工薄壁时容易出现工件变形问题，处理时应该内腔槽留 2mm 余量，增加精铣外轮廓，高速精铣外轮廓至尺寸，采用钻铣方式，对内腔槽做半精加工。精铣内腔槽至尺寸，则 0.88 薄壁加工完成。然后利用 UG 软件对其进行辅助造型和数控编程，以达到生产要求、提高生产效率的目的，在实际加工中遇到的许多问题也通过查阅资料找到了相应的解决措施。

参考文献

- [1] 赵长旭. 数控加工工艺. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2007. 9
- [2] 江洪. UG NX4 基础教程. 北京: 机械工业出版社, 2007. 1
- [3] 王甫茂. 机械制造基础. 上海: 上海交通大学出版社, 2005.
- [4] 吕思科. 机械制图. 北京: 北京理工大学出版社, 2007. 7
- [5] 艾兴. 切削用量简明手册. 北京: 机械工业出版社, 2007. 9
- [6] 章富安. 对我国数控技术发展的思考. 中国机械工程, 1999
- [7] 顾京. 数控加工编程与操作. 北京: 高等教育出版社, 2003. 9
- [8] 张德红. 数控铣削加工技术. 宜宾职业技术学院, 2009
- [9] 孟少农. 机械加工工艺手册. 北京: 机械工业出版社, 1991

致谢

这次毕业设计的完成，首先要感谢我的指导教师唐书林老师，在毕业设计零件仿真加工及其说明书编制过程中，给予了精心的指导，并讲解了各项专业要领，提出了宝贵的专业意见。还要感谢曾经的任课教师阳彦雄、黄河、张德红、刘学航、曾鹏、周文超等教师，是他们让我学到了很多知识才使我的毕业设计能够按期完成，感谢学校给予的支持和帮助，感谢同学们的无私帮助。同时要感谢在百忙之中来参加我毕业答辩的评审老师们。

附录

- (1) 工艺卡片 2 张 (A4 纸), 编号 1 号, 见附录 1。
- (2) 刀具卡片一张 (A4 纸), 编号 2 号, 见附录 2。
- (3) A3 图纸 3 张, 详见资料袋。