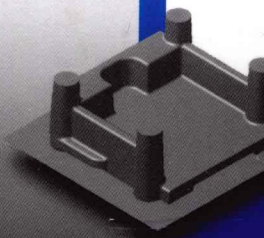
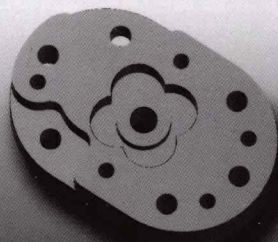
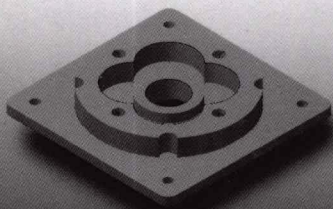
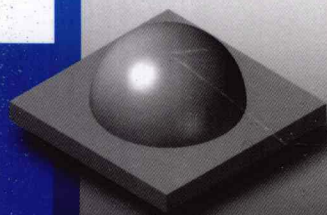


附光盘



数控自动编程 参数设置技巧

阎红娟 刘东 方建军 等编著



化学工业出版社

TG659
Y088

数控自动编程 参数设置技巧

阎红娟 刘东 方建军 等编著

TG659
Y088



化学工业出版社

·北京·

本书详细介绍了数控自动编程中的核心环节——参数设置，基于通用软件 Mastercam X2 通过大量典型的实例，详细介绍了各关键工艺参数设置的原则和技巧。在简要介绍数控加工工艺、数控自动编程流程的基础上，重点以二维铣床加工系统、三维铣床加工系统、车削加工系统等典型实例为主介绍参数设置技巧。

本书可供数控机床操作、编程技术人员，高等院校、职业院校师生学习和参考，也可作为高校 CAM 专业以及各种 CAM 培训班的教材。

图书在版编目(CIP)数据

数控自动编程参数设置技巧 / 阎红娟, 刘东, 方建军等编
著. —北京: 化学工业出版社, 2009.8

ISBN 978-7-122-06050-1

I. 数… II. ①阎…②刘…③方… III. 数控机
床-程序设计 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 102239 号

责任编辑: 张兴辉

装帧设计: 关 飞

责任校对: 宋 玮

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 13³/₄ 字数 354 千字 2010 年 1 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: 36.00 元

版权所有 违者必究

前 言

数控自动编程目前应用非常广泛，因为许多复杂零件、曲面、型腔的加工手工编程很难实现，只能通过自动编程。数控自动编程的程序是计算机经由人工参数设置环节自动生成，所以程序的正确与否与参数设置密切相关。

目前市场上已经有许多数控自动编程方面的图书，并列举有许多实例，但是这些实例只是按照流程一步步地走下来，对其中的细节没有进行介绍。许多读者来电话希望我们能在图书中增加参数设置的详细介绍。本书希望能帮助读者解决参数设置中的困惑，让读者明白各个关键参数是基于什么缘由、何种条件设置的，最终能够在工作中灵活运用。

本书基于通用软件 Mastercam X2 并通过大量典型的实例，详细介绍了各关键工艺参数设置的原则和技巧。在简要介绍数控加工工艺、数控自动编程流程的基础上，重点以二维铣床加工系统、三维铣床加工系统、车削加工系统等典型实例为主介绍参数设置技巧。

本书面向 Mastercam X2 的中级用户，内容丰富，结构合理，实例均来自工程实践，适合作为高校 CAM 专业以及各种 CAM 培训班的教材，也可作为在职数控机床操作、编程人员的参考资料。

本书是集体智慧的结晶，除了阎红娟、刘东、方建军外，参编人员还有徐宏海、谢富春、李功一、赵玉侠、郑青、高德文、曹默、刘进宝、李凯、刘瑛等，此外赵长友和张利对本书中的大量实例进行了验证。

由于编者水平有限，不足之处在所难免，欢迎广大读者批评指正。

编者

目 录

第1章 数控机床加工工艺基础	1
1.1 数控加工概述	1
1.1.1 数控加工定义	1
1.1.2 数控加工的工艺设计	2
1.2 数控加工工艺分析	2
1.2.1 确定数控加工的内容	2
1.2.2 零件的工艺性分析	2
1.3 数控加工工艺路线设计	4
1.3.1 选择加工方法	4
1.3.2 划分加工阶段	7
1.3.3 划分工序	7
1.4 工件的装夹和换刀点位置的确定	8
1.4.1 工件的装夹	8
1.4.2 换刀点的确定	8
1.5 数控加工工序设计	9
1.5.1 确定走刀路线和安排工步顺序	9
1.5.2 刀具的选择	13
1.5.3 切削用量的确定	15
1.6 数控加工工艺设计实例	16
1.6.1 数控车削加工典型零件工艺分析实例	16
1.6.2 数控铣削加工典型零件工艺分析实例	18
1.7 小结	19
第2章 数控自动编程基本流程及技术要点	21
2.1 Mastercam 自动编程流程	21
2.1.1 数控自动编程技术	21
2.1.2 编程流程	22
2.2 关键参数设置	22
2.2.1 刀具参数设置	22
2.2.2 材料参数设置	24
2.2.3 加工属性设置	26

2.2.4	刀具路径模拟与仿真	32
2.2.5	机床后处理	36
2.3	加工参数设置实例	37
2.3.1	车削类零件参数设置实例	37
2.3.2	铣削类零件参数设置实例	43
2.4	小结	49
第3章 铣床二维加工系统		50
3.1	铣床加工的特点	50
3.2	铣床二维加工系统刀具参数设置	51
3.3	铣床二维加工系统	55
3.3.1	外形铣削刀具路径	55
3.3.2	平面铣削刀具路径	65
3.3.3	挖槽加工刀具路径	68
3.3.4	钻孔加工	73
3.4	铣床二维加工实例	76
3.4.1	生成刀具路径	76
3.4.2	刀具路径模拟	99
3.4.3	生成数控代码	100
3.5	小结	101
第4章 铣床三维加工系统		103
4.1	共同参数	104
4.2	曲面粗加工	106
4.2.1	平行铣削加工	106
4.2.2	放射状粗加工	110
4.2.3	投影粗加工	111
4.2.4	流线粗加工	111
4.2.5	等高外形粗加工	113
4.2.6	挖槽粗加工	114
4.2.7	钻削粗加工	116
4.2.8	残料粗加工	116
4.3	曲面精加工	118
4.3.1	平行铣削精加工	118
4.3.2	平行陡斜面精加工	119
4.3.3	放射状精加工	120
4.3.4	浅面精加工	121
4.3.5	交线清角精加工	122
4.3.6	残料精加工	123
4.3.7	环绕等距精加工	124

4.4	三维铣削加工实例 1	125
4.4.1	粗加工零件曲面	125
4.4.2	精加工零件曲面	129
4.4.3	精加工投影加工	132
4.5	三维铣削加工实例 2	134
4.5.1	粗加工零件曲面	135
4.5.2	精加工零件曲面	138
4.5.3	平面加工	141
4.6	小结	144
第 5 章 车床加工系统		145
5.1	车床加工特点	145
5.1.1	数控车削加工的对象	145
5.1.2	数控车床的组成	146
5.2	基础知识	147
5.2.1	车床坐标系	147
5.2.2	刀具参数设置	149
5.3	车削加工方法	150
5.3.1	粗车加工	151
5.3.2	精车加工	155
5.3.3	车削螺纹方法	155
5.3.4	切槽方法	160
5.3.5	端面车削方法	165
5.3.6	截断车削方法	165
5.3.7	钻孔方法	167
5.4	车削加工实例 1	168
5.4.1	车端面	168
5.4.2	钻中心孔	170
5.4.3	镗孔	172
5.4.4	粗加工内表面	175
5.4.5	精加工内表面	178
5.4.6	粗加工外表面	178
5.4.7	精加工外表面	184
5.4.8	刀具路径模拟	188
5.4.9	生成数控代码	189
5.5	车削加工实例 2	190
5.5.1	精车外轮廓	191
5.5.2	切槽	193
5.5.3	螺纹加工	197
5.5.4	截断	200

数控机床加工工艺基础

1.1 数控加工概述

1.1.1 数控加工定义

数控加工是指在数控机床上进行自动加工零件的一种工艺方法。数控机床加工零件时,将编制好的零件加工数控程序,输入到数控装置中,再由数控装置控制机床主运动的变速、启停、进给运动的方向、速度和位移大小,以及其他诸如刀具选择交换、工件夹紧松开和冷却润滑的启停等动作,使刀具与工件及其他辅助装置严格地按照数控程序规定的顺序、路程和参数进行工作,从而加工出形状、尺寸与精度符合要求的零件。数控加工流程如图 1-1 所示。

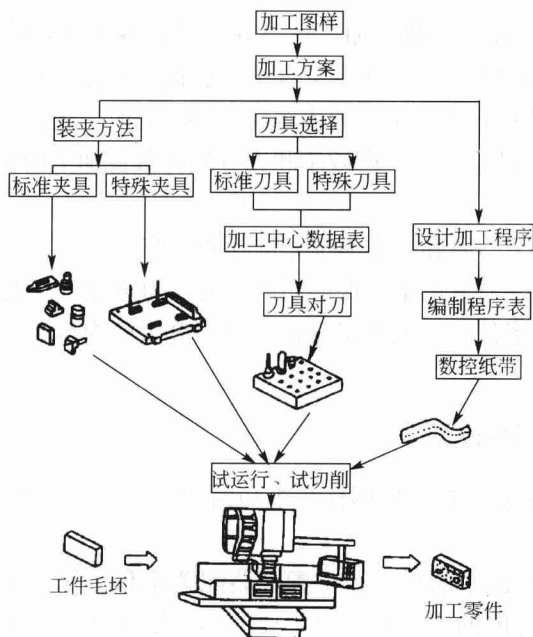


图 1-1 数控加工流程

一般来说,数控加工主要包括以下方面的内容。

- ① 选择并确定零件的数控加工内容;
- ② 对零件图进行数控加工的工艺分析;
- ③ 设计数控加工的工艺;
- ④ 编写数控加工程序单;
- ⑤ 数控程序的校验与修改;
- ⑥ 首件试加工与现场问题处理;
- ⑦ 数控加工工艺技术文件的定型与归档。

1.1.2 数控加工的工艺设计

在编制零件加工程序前,必须对所加工的零件进行工艺分析,拟定加工方案,选择合适的工具和夹具,确定切削用量。普通机床的工艺规程对工件的加工过程不必规定得很详细,一部分内容可由操作人员自行决定,如工序的安排、进给路线等。而数控加工程序必须包括工件加工的整个过程。数控编程中的工艺分析主要包括以下内容。

- ① 选择并确定零件数控加工内容;
- ② 对零件图纸进行数控加工工艺性分析;
- ③ 数控加工的工艺路线设计;
- ④ 数控加工的工序设计;
- ⑤ 数控加工专用技术文件的编写。

1.2 数控加工工艺分析

1.2.1 确定数控加工的内容

在选择并决定某个零件进行数控加工后,并不是说零件所有的加工内容都采用数控加工,数控加工可能只是零件加工工序中的一部分。因此,有必要对零件图样进行仔细分析,选择那些最适合、最需要进行数控加工的内容和工序。同时,还应结合本单位的实际情况,立足于解决难题、攻克关键、提高生产效率和充分发挥数控加工的优势,一般可按下列原则选择数控加工内容。

- ① 通用机床无法加工的内容应作为优先选择的内容;
- 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 通用机床加工效率低、工人手工操作劳动强度大的内容,可在数控机床尚存富余能力的基础上进行选择。

1.2.2 零件的工艺性分析

零件的工艺性分析主要包括零件图样分析和结构工艺性分析两部分。

(1) 零件图样分析

首先应熟悉零件在产品中的作用、位置、装配关系和工作条件,搞清楚各项技术要求对零件装配质量和使用性能的影响,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 尺寸标注方法分析 零件图上尺寸标注方法应适应数控加工的特点,如图 1-2 (a) 所示,在数控加工零件图上,以同一基准标注尺寸或直接给出坐标尺寸。这种标注方法既便于编程,又有利于设计基准、工艺基准、测量基准和编程原点的统一。另一种采用如图 1-2 (b) 所示的局部分散的标注方法,较多的是考虑装配、减少加工的累计误差等方面的要求,却给工序安排和数控加工带来诸多不便。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,可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。

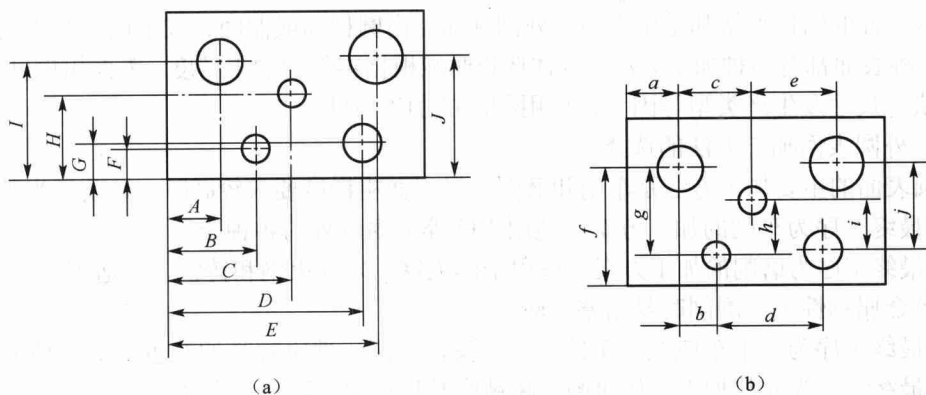


图 1-2 零件尺寸标注分析

② 零件图的完整性与正确性分析 构成零件轮廓的几何元素(点、线、面)的条件(如相切、相交、垂直和平行等),是数控编程的重要依据。手工编程时,要依据这些条件计算每一个节点的坐标;自动编程时,则要根据这些条件才能对构成零件的所有几何元素进行定义,无论哪一个条件不明确,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协商解决。

③ 零件技术要求分析 零件的技术要求主要是指尺寸精度、形状精度、位置精度、表面粗糙度及热处理等。只有在分析这些要求的基础上,才能正确合理地选择加工方法、装夹方式、刀具及切削用量等。

④ 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零件在满足使用要求的前提下制造的可行性和经济性。良好的结构工艺性可以使零件加工容易,节省工时和材料。零件各加工部位的结构工艺性应符合数控加工的特点。

① 零件内腔和外形最好采用统一的几何类型和尺寸,以减少刀具规格和换刀次数,便于编程,提高生产效率。

② 内槽圆角的大小决定着刀具直径的大小,因此内槽圆角半径不应太小。

③ 应采用统一的定位基准。在数控加工中若没有统一的定位基准,则会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。例如正反两面都要采用数控加工的零件,最好有合适的孔作为定位基准孔。若没有,则应设置工艺孔作为定位基准孔。若无法制出工艺孔,最起码也要用精加工表面作为统一基准,以减少二次装夹产生的误差。

1.3 数控加工工艺路线设计

工艺路线包括选择各种加工表面的加工方法、划分加工阶段、划分工序和安排工序的先后顺序等。

1.3.1 选择加工方法

机械零件的结构形状都是由平面、外圆柱面、内圆柱面或曲面、成形面等基本表面组成的。每一种表面都有多种加工方法，具体选择时应根据零件的加工精度、表面粗糙度、材料、结构形状、尺寸及生产类型等因素，选用相应的加工方法。

(1) 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。

- ① 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。
- ② 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。
- ③ 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。
- ④ 最终工序为光整加工，如研磨、超精磨及超精加工等，为提高生产效率和加工质量，一般在光整加工前进行精磨。
- ⑤ 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。

(2) 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、镗孔、拉孔、磨孔和光整加工。图 1-3 是常用的孔加工方案，应根据被加工孔的加工要求、尺寸、具体生产条件、批量的大小及毛坯上有无预制孔等情况合理选用。

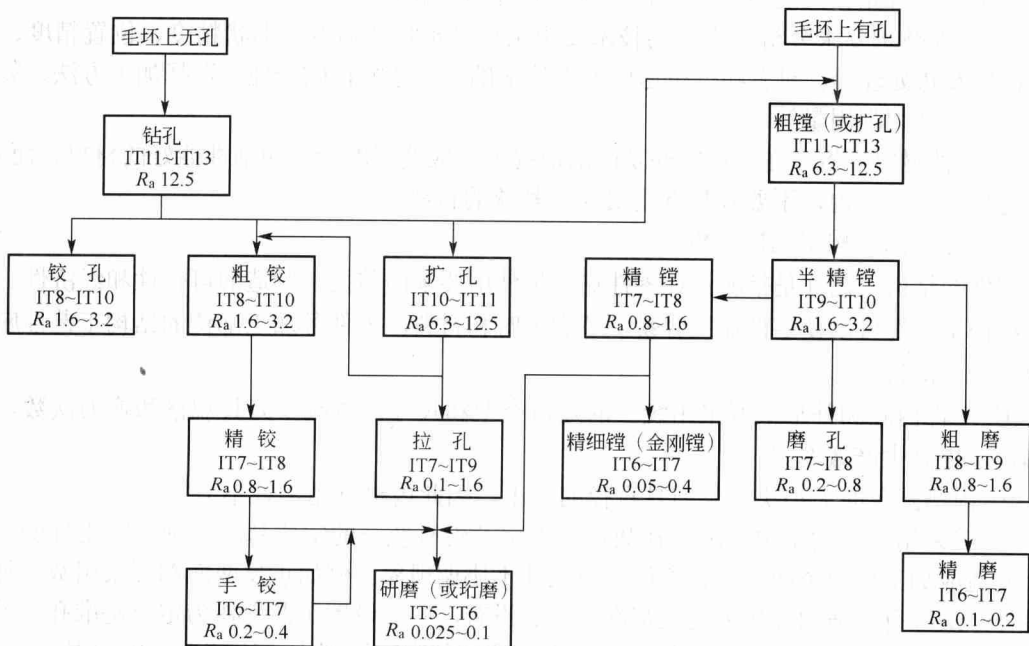


图 1-3 孔加工方案

① 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。工件材料为淬火钢以外的各种金属。

② 加工精度为 IT8 级的孔,当孔径小于 20mm 时,可采用钻→铰方案;当孔径小于 20mm 时,可采用钻→扩→铰方案,此方案适用于加工淬火钢以外的各种金属,但孔径应在 20~80mm 之间,此外也可采用最终工序为精镗或拉削的方案。淬火钢可采用磨削加工。

③ 加工精度为 IT7 级的孔,当孔径小于 12mm 时,可采用钻→粗铰→精铰方案;当孔径在 12~60mm 范围时,可采用钻→扩→粗铰→精铰方案或钻→扩→拉方案。若毛坯上已铸出或锻出孔,可采用粗镗→半精镗→精镗方案或粗镗→半精镗→磨孔方案。最终工序为铰孔,适用于未淬火钢或铸铁,对有色金属铰出的孔表面粗糙度较大,常用精细镗孔替代铰孔。最终工序为拉孔的方案适用于大批大量生产,工件材料为未淬火钢、铸铁和有色金属。最终工序为磨孔的方案适用于加工除硬度低、韧性大的有色金属以外的淬火钢、未淬火钢及铸铁。

④ 加工精度为 IT6 级的孔,最终工序采用手铰、精细镗、研磨或珩磨等均能达到,视具体情况选择。韧性较大的有色金属不宜采用珩磨,可采用研磨或精细镗。研磨对大、小直径孔均适用,而珩磨只适用于大直径孔的加工。

(3) 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。常见平面加工方式如图 1-4 所示,其中尺寸公差等级是指平行平面之间距离尺寸的公差等级。

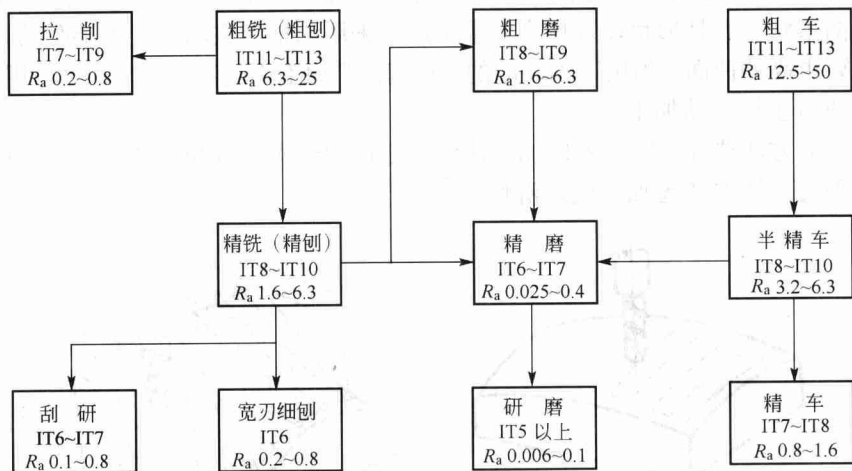


图 1-4 常见平面加工方案

① 最终工序为刮研的加工方案多用于单件小批生产中配合表面要求高,且非淬硬平面的加工。当批量较大时,可用宽刃细刨代替刮研,宽刃细刨特别适用于加工像导轨面那样的狭长平面,能显著提高生产效率。

② 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。

③ 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。

④ 拉削平面适用于大批量生产中的加工质量要求较高,且面积较小的平面。

⑤ 最终工序为研磨的方案适用于精度高、表面粗糙度要求高的小型零件的精密平面,

如量规等精密量具的表面。

(4) 平面轮廓和曲面轮廓加工方法的选择

① 平面轮廓常用的加工方法有数控铣、线切割及磨削等。对如图 1-5 (a) 所示的内平面轮廓,当曲率半径较小时,可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。对图 1-5 (b) 所示的外平面轮廓,可采用数控铣削方法加工,常用粗铣→精铣方案,也可采用数控线切割方法加工。对精度及表面粗糙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。

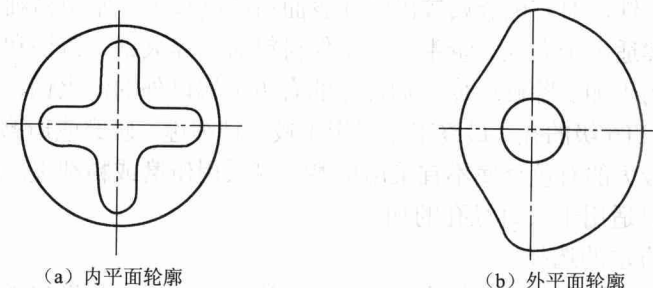


图 1-5 平面轮廓类零件

② 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,如图 1-6 所示。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。

表面加工的方法选择,除了考虑加工质量、零件的结构形状和尺寸、零件的材料和硬度以及生产类型外,还要考虑加工的经济性。

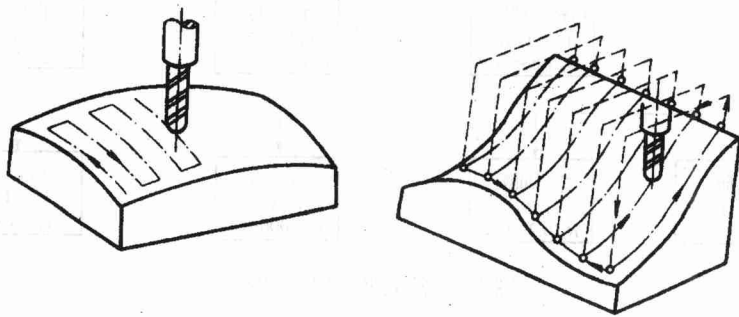


图 1-6 曲面的行切法加工

各种表面加工方法所能达到的精度和表面粗糙都有一个相当大的范围。当精度达到一定程度后,要继续提高精度,成本会急剧上升。例如外圆车削,将精度从 IT7 级提高到 IT6 级,此时需要价格较高的金刚石车刀,很小的背吃刀量和进给量,增加了刀具费用,延长了加工时间,大大地增加了加工成本。对于同一表面加工,采用的加工方法不同,加工成本也不一样。例如,公差为 IT7 级、表面粗糙度 R_a 值为 $0.4\mu\text{m}$ 的外圆表面,采用精车就不如采用磨削经济。

任何一种加工方法获得的精度只在一定范围内才是经济的,这种一定范围内的加工精度即为该加工方法的经济精度。它是指在正常加工条件下(采用符合质量标准的设备、工艺装备和标准等级的工人,不延长加工时间)所能达到的加工精度,相应的表面粗糙度称为经济粗糙度。在选择加工方法时,应根据工件的精度要求选择与经济精度相适应的加工方法。常用加工方法的经济度及表面粗糙度,可查阅有关工艺手册。

1.3.2 划分加工阶段

为保证加工质量并合理地使用设备、人力,零件的加工过程通常按工序性质不同,可分为粗加工、半精加工、精加工和光整加工四个阶段。

(1) 粗加工阶段

粗加工阶段切除毛坯上大部分多余的金属,使毛坯在形状和尺寸上接近零件成品,主要目标是提高生产率。

(2) 半精加工阶段

半精加工阶段使主要表面达到一定精度,留有一定精加工余量,为主要表面的精加工做好准备,完成次要表面加工,如铣键槽、扩孔等。

(3) 精加工阶段

精加工阶段保证各主要表面达到规定的尺寸精度和表面粗糙度要求。

(4) 光整加工阶段

光整加工阶段对零件上精度和表面粗糙度要求很高的表面,进行光整加工。

加工阶段的划分应根据零件的质量要求、结构特点灵活掌握。对加工质量要求不高、工件刚性好、加工余量小的零件,可以不划分加工阶段。对于刚性好的重型工件,也常在一次装夹下完成全部粗、精加工。

1.3.3 划分工序

工序划分主要考虑生产纲领、所用设备及零件本身的结构和技术要求等。大批量生产时,若使用多轴、多刀的高效加工中心,可按工序集中原则组织生产;若在由组合机床组成的自动线上加工,工序一般按分散原则划分。随着现代数控技术的发展,特别是加工中心的应用,工艺路线的安排更多地趋向于工序集中。单件小批生产时,通常采用工序集中原则。成批生产时,可按工序集中原则划分,也可按工序分散原则划分,应视具体情况而定。对于结构尺寸和重量都很大的重型零件,应采用工序集中原则,以减少装夹次数和运输量。对于刚性差、精度高的零件,应按工序分散原则划分工序。

在数控机床上加工的零件,一般按工序集中原则划分工序,划分方法如下。

① 按所用刀具划分 以同一把刀具完成的那一部分工艺过程为一道工序,这种方法适用于工件的待加工表面较多,机床连续工作时间过长,加工程序的编制和检查难度较大等情况。加工中心常用这种方法划分。

② 按安装次数划分 以一次安装完成的那一部分工艺过程为一道工序。这种方法适用于加工内容不多的工件,加工完成后就能达到待检状态。

③ 按粗、精加工划分 即粗加工中完成的那一部分工艺过程为一道工序,精加工中完成的那一部分工艺过程为一道工序。这种划分方法适用于加工后变形较大,需粗、精加工分

开的零件，如毛坯为铸件、焊接件或锻件。

④ 按加工部位划分 即以完成相同型面的那一部分工艺过程为一道工序，对于加工表面多而复杂的零件，可按其结构特点（如内形、外形、曲面和平面等）划分成多道工序。

1.4 工件的装夹和换刀点位置的确定

1.4.1 工件的装夹

在数控机床上工件定位安装的基本原则与普通机床相同，需要特别考虑以下几个因素。

① 尽量采用组合夹具，必要时才设计专用夹具。

② 工件的定位基准应与设计基准保持一致，应防止欠定位，箱体工件最好选择一面两销作为定位基准。

③ 通常采用一次装夹完成工件的全部工序。如工件需要二次装夹时，应尽量采用同一定位基准以减少定位误差。

1.4.2 换刀点的确定

换刀点是指数控加工时，刀具相对工件运动的起点（如图 1-7 中的 R_0 ），这个起点也是编程时程序的起始点，因此“换刀点”也称为“起始点”和“对刀点”。在编程时应正确选择换刀点的位置，设定时应考虑以下几个因素。

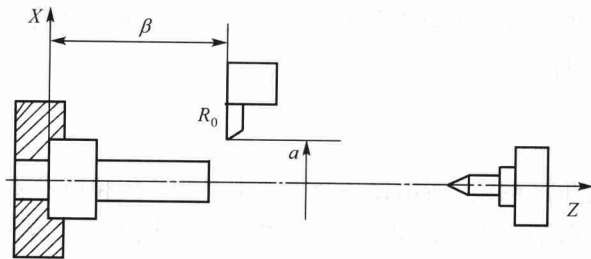


图 1-7 刀具换刀点

① 选定的换刀点位置应便于数学处理和使程序编制简单。

② 刀具在换刀点换刀时，不能与工件或夹具产生干涉。

③ 刀具退回到换刀点时，应能方便安装工件或能测量加工中的工件。

④ 换刀点可以选在工件上（如工件的设计基准或定位基准），也可选在夹具或机床上（夹具或机床上设相应的对刀装置）。若换刀点选择在夹具或机床上，必须与工件的定位基准有一定的尺寸联系（如图 1-8 所示），以保证机床坐标系和工件坐标系的关系。

⑤ 换刀时，应使刀位点与换刀点重合。“刀位点”是指车刀、镗刀的刀尖；钻头的钻尖；立铣刀、端面铣刀刀尖底面的中心；球头铣刀的球头中心。

换刀点不仅是程序的起点，往往也是程序的终点。因此在批量生产中，要考虑换刀点的重复定位精度。一般情况下，刀具在加工一段时间后或每次启动机床时，都要进行一次刀具回机床原点或操作点的校核，以减少换刀点累计误差的出现。

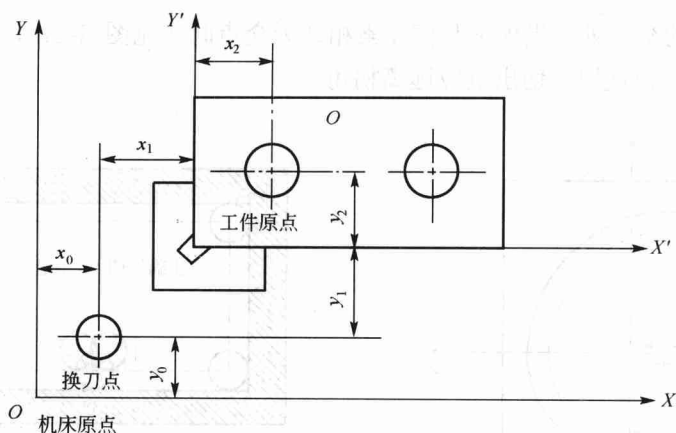


图 1-8 换刀点的确定

1.5 数控加工工序设计

数控加工工序设计的主要内容是进一步把本工序的加工内容、切削用量、工艺装备、定位夹紧方式及刀具运动轨迹都具体确定下来，为编制加工程序做好充分准备。在工序设计时应注意以下几个方面。

1.5.1 确定走刀路线和安排工步顺序

零件加工的走刀路线是刀具在整个加工工序中的运动轨迹，它不但包括了工步的内容，也反映出工步顺序，是编程的主要依据之一。因此，在确定走刀路线时最好画出一张工序简图，可以将已经拟定出的走刀路线画上去（包括切入、切出路线），这样可以方便编程。工步的安排一般可随走刀路线来进行。在确定走刀路线时，主要考虑以下几点。

- ① 确定加工路线应保证零件的加工精度和表面粗糙度。
- ② 为保证工件轮廓表面加工后的粗糙度要求，最终轮廓应安排最后一次走刀连续加工。
- ③ 刀具的进退刀路线必须认真考虑，要尽量避免在轮廓处停刀或垂直切入切出工件，以免留下刀痕（切削力发生突然变化而造成弹性变形）。

当铣削平面零件的外轮廓时，一般采用立铣刀侧刃切削。刀具切入工件时，应避免沿零件外轮廓的法线切入，而应沿外轮廓曲线延长线的切向切入，以避免在切入处产生刀具的刻痕，如图 1-9 所示。同理，在切出工件时，也应避免在工件的轮廓处直接退刀，应沿零件轮廓的延长线切向逐渐切离工件。

当铣削封闭的内轮廓时，若内轮廓曲线允许外延，则应沿切线方向切入切出。若内轮廓曲线不允许外延（如图 1-10），刀具只能沿内轮廓曲线的法向切入切出，此时刀具的切入切出点应尽量选在内轮

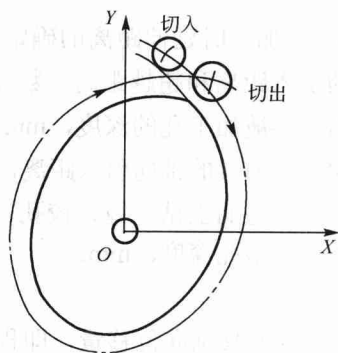


图 1-9 外轮廓加工刀具的切入和切出过渡

廓曲线两几何元素的交点处。当内部几何元素相切无交点时（见图 1-11），为防止刀具在轮廓拐角处留下凹口，刀具切入切出点应远离拐角。

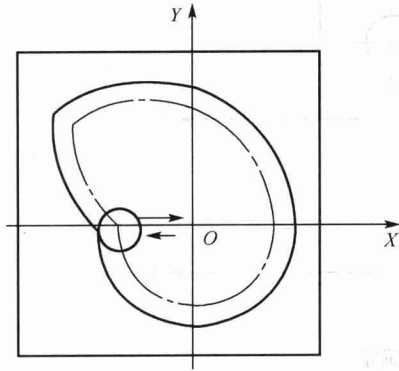


图 1-10 内轮廓加工刀具的切入和切出过渡

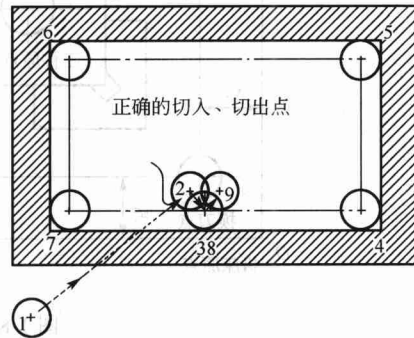


图 1-11 内轮廓加工刀具的切入和切出过渡

用圆弧插补方式铣削外整圆时（如图 1-12），当整圆加工完毕时，不要在切点处直接退刀，而应让刀具沿切线方向多运动一段距离，以免取消刀补时，刀具与工件表面相碰，造成工件报废。铣削内圆弧时也要遵循从切向切入的原则。最好安排从圆弧过渡到圆弧的加工路线（如图 1-13），这样可以提高内孔表面的加工精度和加工质量。

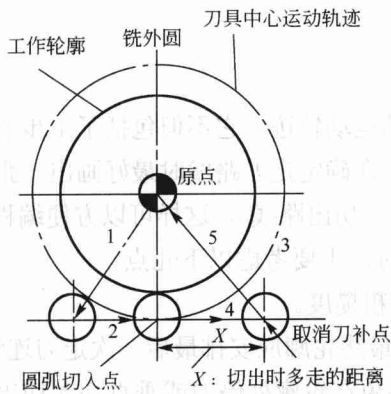


图 1-12 外圆铣削加工刀具的切入和切出过渡

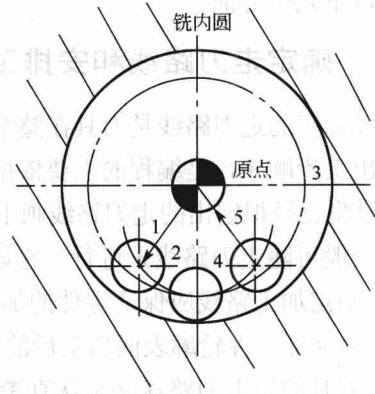


图 1-13 内圆铣削加工刀具的切入和切出过渡

④ 孔加工时延伸距离的确定。孔加工在确定轴向尺寸时，应考虑一些辅助尺寸，包括刀具的引入距离和超越距离。数控钻孔尺寸关系如图 1-14 所示，图中各参数含义如下。

Z_d ——被加工孔的深度，mm；

ΔZ ——刀具的轴向引入距离，mm，其经验数据为已加工面钻、镗、铰孔 $\Delta Z = 1 \sim 3$ mm；
毛面上钻、镗、铰孔 $\Delta Z = 3 \sim 5$ mm；铣削前攻螺纹时 $\Delta Z = 5 \sim 10$ mm；

Z_p ——钻孔深度，mm；

$$Z_p = D \cot \theta / 2 = 0.3D$$

Z_f ——刀具轴向位移量，即程序中的坐标尺寸，mm；

$$Z_f = Z_d + \Delta Z + Z_p$$

钻孔时刀具超越距离为 1~3mm。