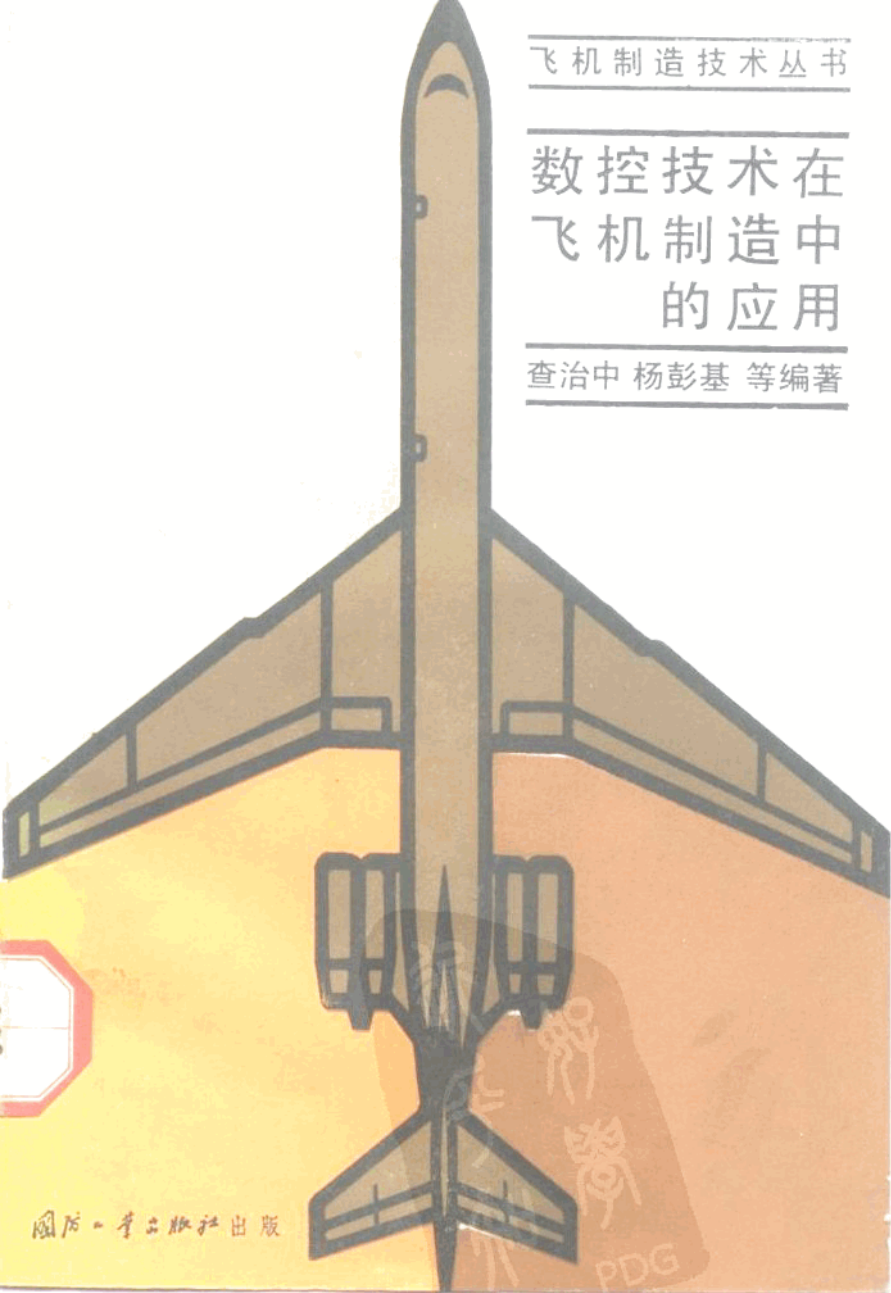


飞机制造技术丛书

数控技术在 飞机制造中的 应用

查治中 杨彭基 等编著



国防工业出版社出版

PDG

60
201
360557

飞机制造技术丛书

数控技术在飞机制造中的应用

查治中 杨彭基 等编著



国防工业出版社

(京)新登字106号

内容简介

本书从工程应用的角度出发,介绍了数控技术的基本概念、应用以及在飞机制造中的最新技术成就。

全书共四章,第一章概述了数控技术的基本概念、在飞机制造中的应用现状和发展;第二章介绍了飞机结构件数控机械加工工艺特点和编程方法;第三章介绍了机器人的基本概念、系统设计和在飞机制造中的应用;第四章介绍了柔性制造系统的基本概念、关键技术和在飞机制造中的应用实例。

本书可供航空、航天工业部门的工厂、设计所、研究所的工程技术人员参考,也可作为航空院校飞机制造专业师生的教学参考书,还可供其它有关的民用工业部门的工程技术人员参考。

《飞机制造技术丛书》
数控技术在飞机制造中的应用

查治中 杨彭基 等编著

责任编辑 余发禄

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号)

(邮政编码 100044)

新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168毫米 32开本 印张7¹/₄ 184千字

1992年9月第一版 1992年9月第一次印刷 印数: 0001—1,000册

ISBN 7-118-00983-0/V·81 定价: 6.80元

中国航空学会

《飞机制造技术丛书》编委会

主 编 罗时大

副 主 编 马业广

编 委	董 孝	程宝集	杨彭基	屠德彰
	陆颂善	唐荣锡	郭兴中	戴世然
	董德馨	孙肇卿	武厚忠	黄道宏

责任编辑 余发棟

秘 书 组 梁国志 张士霖 杨奇光

前 言

《飞机制造技术丛书》是中国航空学会组织编写的。编委会的委员们都是中国飞机制造技术专业的学者和专家，他们毕生从事飞机的生产、研究、教学、管理工作，有丰富的实践经验，在此基础上组织编写了这套丛书。

丛书编写目的是：既要总结我国 30 多年来飞机制造技术的经验，又要有选择地吸取国外飞机制造技术的先进经验，总结出一套具有中国特色的飞机制造技术的基本经验，为总结经验、积累资料、培育人才、发展新技术打下基础。可以说，这是一项基础工程建设，具有重大的意义。

数控技术在飞机制造中的应用，在国外只有 30 多年，在国内只有 10 多年历史。它是一门新的科学。但数控技术发展迅速，如在控制方面，由数字控制(NC)发展到计算机数字控制(CNC)和计算机直接数字控制(DNC)；在自动化规模上，从数控单机(NC)或(CNC)发展到柔性制造生产线(FMS)或(FML)，又向车间或工厂自动化的计算机集成制造系统(CIMS)发展，远远超出了孤立设备数控技术的范围；同时，由于计算机技术的发展，把计算机辅助制造(CAM)和计算机辅助工程(CAE)和设计(CAD)、计算机辅助工艺设计(CAPP)和成组技术(GT)、计算机辅助管理(CAP)有机地联系在一起，扩大了数控技术的应用范围，取得了很大的经济效益。

目前，国内各飞机工厂基本上已掌握了数控加工技术，还初步掌握了 CAD/CAM 技术，但还没有在整机研制中应用，还没有全面掌握 CAD/CAM 技术；FMS 和 CIMS 技术才刚刚开始应用。

本分册所有图中凡标注有尺寸而未标注单位的都是以“mm”为单位。

本分册由成都飞机制造公司查治中高级工程师、西北工业大学杨彭基教授担任主编；由成都飞机制造公司科技委员会主任戴世然担任主审。彭炎午、张恒新、钱应璋、王宗元、乐国际、王善国等参加编写。

由于编者水平有限，书中难免有错误，请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 概论	1
一、数控技术介绍	1
二、数控技术在飞机制造中应用的现状和发展概况	8
三、数控技术对飞机制造的影响	20
第二章 数控机械加工	27
一、飞机结构件的工艺特点	30
二、常规通用机床切削加工整体结构件及其存在的问题	36
三、数控加工飞机结构件	38
四、数控加工的编程方法	77
第三章 机器人	107
一、工业机器人概况	107
二、引入工业机器人的系统设计	114
三、机器人在飞机制造中的应用	124
第四章 柔性制造系统	139
一、柔性制造系统简介	139
二、柔性制造系统的发展及其在飞机制造中的应用	173
三、飞机制造业 FMS-CIAM 应用实例	179

第一章 概 论

一、数控技术介绍

1. 数控技术的基本概念

数控技术是一种自动控制技术，在生产过程中应用数字程序实现对生产设备的自动控制和操纵运行。数字程序控制的生产设备简称数控设备。目前应用于生产的数控设备有：

切削加工类：钻床、铣床、加工中心、车床、蒙皮铣床、下料铣床、磨床以及线切割机等；

钣金成形类：弯管机、旋压机、滚弯机、压弯机、冲床、拉伸机、喷丸成形机等；

装配类：钻铆机等；

焊接类：点焊机、电弧焊机、电子束焊机等；

复合材料制造类：布料剪裁机、铺布机、布线机、绕线机等；

特种工艺类：电加工设备、激光加工设备等；

其它类：精密平板型绘图机、测量机、机械手、工业机器人、运料车等。

这些数控设备的各种操作和运动参数都是由专用的电子计算机（通称控制机）以数字量的形式进行控制的。在产品制造过程中，根据加工对象的要求，按控制机规定能够识别的指令和格式编制数控程序。这个过程称为“程序编制”，简称“程编”。程编工作往往需要进行大量的计算工作，可借助电子计算机完成，对简单零件可以直接由人工计算进行，如图 1-1 所示。

完成数控程编后所产生的数控程序信息，可记录在介质（如穿孔带、磁盘或磁带等）上，也可直接送入数控设备的控制机以控制数控设备的运行，完成对产品的加工、搬运、传递、测量和检验等工作。

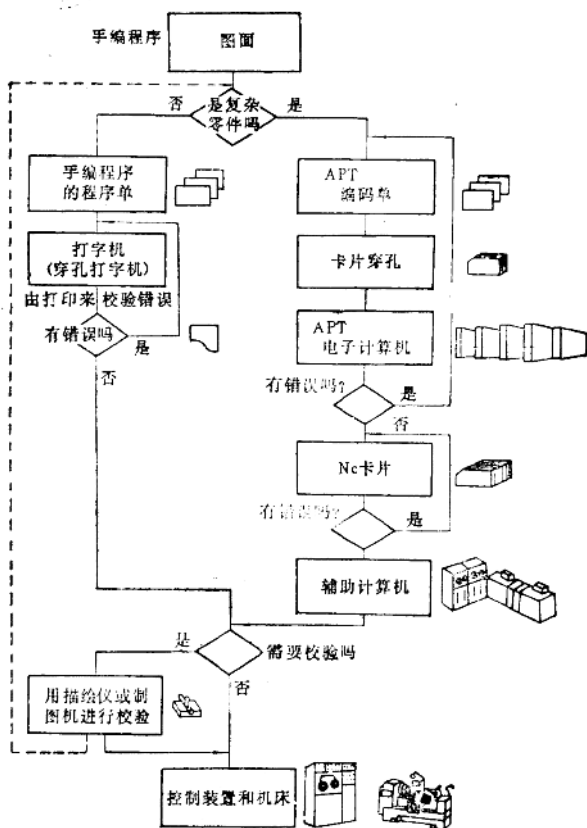


图1-1 数控编程工作流程图

2. 数控设备的组成及其基本工作原理

数控设备一般由输入装置、信息处理、伺服驱动系统和设备本体等四个部分组成，如图 1-2 所示。

输入装置的作用是将数控程序信息通过传递介质送入专用的读数装置——读穿孔带的光电输入机（或磁带阅读器），如图

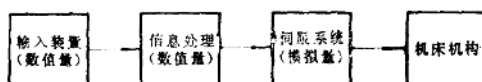


图1-2 数控设备组成框图

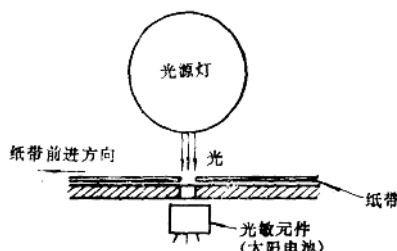


图1-3 光电纸带输入机

1-3 所示。

光电输入机将穿孔带有孔或无孔形式的信息变成“1”或“0”二进制的电频信号送给信息处理部分。也可将电子计算机形成的数控程序信息（其信息状态就是二进制码的信息）直接送入数控设备控制机的信息处理部分。

信息处理部分是数控设备的控制装置，它的作用是将读数装置送来的数据和指令信息加以变换、运算和控制，然后输出控制机床运动的信息送给伺服驱动装置，以控制数控设备的动作。数控装置的组成框图，如图 1-4 所示。

以切削机床为例，信息在控制装置中的一般传递过程是这样的：按下数控装置启动按钮，输入控制电路发出命令使读数装置工作（如阅读纸带）并将纸带上的有孔和无孔信号变成电频信息，然后送给译码器。译码器对这些信息进行文字码和数字码判别。把数字码送给运算器，把文字码送给指令译码器和辅助功能寄存器（即辅助输出）。同时将文字指令送给主控制器，以发出各种控制信息，操纵数控装置各部分协调工作，例如控制运算器进行必要的运算；输入控制电路以控制读数装置的启停；输出控制器

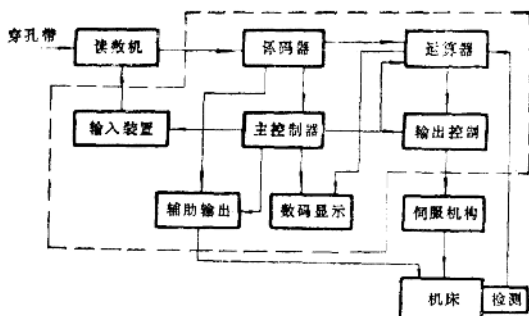


图1-4 数控装置组成框图

和辅助输出寄存器以输出各种辅助动作指令等。运算器对译码器送来的数码进行数字换算和刀具轨迹的插补运算，再将结果送给输出控制器。在输出控制器中进行脉冲分配或数字——模拟转换，然后将经过变换和一定规律分配的信息送给伺服机构，以驱动机床的运动。辅助功能寄存器输出的指令控制机床的辅助动作，如主轴变速、冷却液通断、刀具更换等。机床移动的坐标值和工作程序可以通过显示器在面板上显示出来。

伺服驱动系统的作用是根据输出控制器分配的脉冲或模拟信息，通过专用的马达（电气的或液压的）及减速齿轮、滚珠丝杠等传动机构去拖动机床运动，运动的距离和速度分别正比于输出控制器发出的脉冲信息的数量和频率。这样，机床运动的距离和速度完全取决于控制信息给定的数字信息。

3. 数控设备的控制方式

（1）按设备伺服系统的驱动方式

按设备伺服系统的驱动方式一般可分为开环和闭环两种。

① 开环方式 开环控制方式（如图 1-5）采用功率步进电机作驱动元件，其转角和转速分别由输入的脉冲数目和脉冲频率决定。通过减速齿轮和滚珠丝杠驱动数控设备运行，它没有位置检测反馈元件；线路简单，调整方便，其精度取决于脉冲马达和

设备本体的精度。适用于一般要求的中小型切削机床和位置精度要求不高的设备。

② 闭环方式 闭环控制方式(见图 1-6)一般采用直流伺服和交流伺服电机作为驱动元件,并带有光栅、感应同步器、旋转变压器、编码器和磁尺等位置检测反馈元件。

根据数控设备各机械坐标运动的实际位置的反馈信息和程序中规定的位置信息相比较,以其差值来控制伺服电机驱动数控设备。如果

反馈信息不是直接取自工作台溜板,而是取自丝杠的转角,就称为半闭环伺服系统。这种系统的数控设备的控制精度高,但系统复杂,调整困难。

(2) 按设备机械系统的控制方式

按设备机械系统的控制方式一般可分为点位控制和轮廓控制两种。

① 点位控制 在点位控制的数控设备上,对各坐标轴的机械运动的轨迹没有要求,只保证由这一点移动到另一点最终位置的定位准确,如数控钻床、镗床、冲床、钻铆机、运输小车和拉伸机等。

② 轮廓控制 轮廓控制(又称连续轮廓控制)的数控设备如数控车床、铣床、磨床、加工中心等,用于加工直线和曲线表面。在这些机床上,刀具相对工件的运动轨迹必须符合工件表面的要求,数控系统应保证各坐标轴方向的运动距离和运动速度保

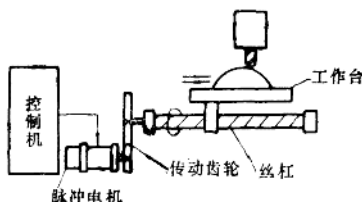


图1-5 开环系统示意图

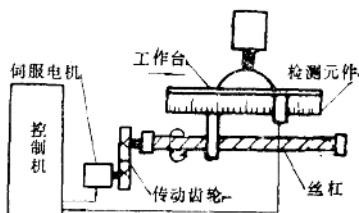


图1-6 闭环系统示意图

持规定的比例关系。根据使用时所控制的坐标轴数量还可分为：

a. 同时控制两个坐标的轮廓控制，又称两坐标联动。X、Y、Z三个坐标中同时控制X、Y两个坐标时，可以进行图1-7所示的曲线形状的加工。同时控制X、Z坐标又同时控制Y、Z坐标时，可以加工图1-8所示形状的零件。

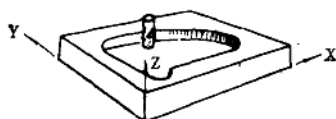


图1-7 同时控制两个坐标的轮廓控制

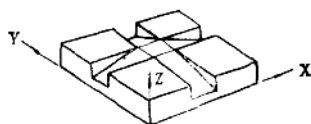


图1-8 同时控制两个坐标的轮廓控制

b. 同时控制三个坐标的轮廓控制，又称三坐标联动。同时控制X、Y、Z三个坐标时，可以加工图1-9所示的形状。在X、Y、Z三个坐标方向可以同时移动，即刀具在空间内的任意方向都可移动时，能够进行三维的立体型面加工。

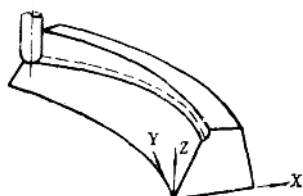


图1-9 同时控制三个坐标的数控装置进行的切削

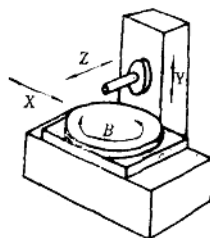


图1-10 同时控制四个坐标的数控机床

c. 同时控制四个坐标的轮廓控制，又称四坐标联动。所谓四个坐标，即在X、Y、Z直线坐标之外，再加一个旋转坐标，如图1-10所示。

d. 同时控制五个坐标的轮廓控制，又称五坐标联动。在直线坐标X、Y、Z以外，加上围绕这些直线坐标轴旋转的坐标

A、B、C中的两个坐标,形成了同时控制五个坐标的数控机床,如图 1-11 所示。

采用五坐标数控铣时,铣刀可以给定在空间内的任何方向。因而,可以进行图 1-12 所示零件的切削。对于如图 1-13 所示的曲面零件,若采用同时五坐标联动加工来代替同时三坐标联动加工,可以提高质量和效率。

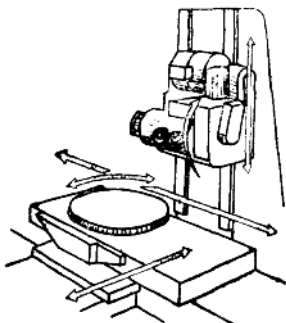


图1-11 五坐标数控铣床

(3) 按设备数控系统的插补方式

所谓“插补”,就是从当前位置将刀具移动到下一个位置的动作。根据动作的不同,可以分为直线、圆弧、螺旋线、抛物线和样条等插补方式。目前,在连续轮廓控制系统中,本身都带有插补运算装置。

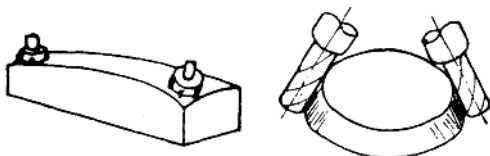


图1-12 同时控制五个坐标的控制例子



图1-13 同时控制五个坐标和同时控制三个坐标的比较

在连续轮廓控制系统的机床上要求刀具切削加工出符合给定直线和曲线形状的工件表面时,数控程编必须根据控制系统的插补方式计算出逼近工件形状的每个程序段的数据。此数据经译码

后送入插补运算装置按每个程序段进行刀具轨迹的插补运算，边运算边将运算结果向各坐标轴分配进给脉冲来控制机床运动。

二、数控技术在飞机制造中应用的现状和发展概况

1. 数控技术在飞机制造中的应用

数控技术是四十年代后期为适应加工复杂外形零件而发展起来的一种新型的自动化控制技术，因此，国外对于数控技术的研究和应用首先起源于飞机制造业。1952年美国麻省理工学院研制成功了第一台三坐标数控铣床，带动铣刀加工出连续的空间曲面。1955年美国空军订制了近百台数控铣床，其中有相当数量用于加工飞机机加结构件，最大的加工长度达到14m，1957年夏开始装备各个飞机工厂。随后又根据飞机制造生产的需要，产生了四、五坐标铣床，并向多功能、多主轴、大台面、大功率和高转速方向发展，从而进一步地推动了飞机制造业数控机械加工技术的发展。

同时，在1958年后又相继陆续制成了大型精密数控绘图机、三坐标数控测量机、数控钣金成形设备、数控自动钻铆机等，促进了数控技术在飞机制造中更广泛的应用。

(1) 数控绘图的应用

数控绘图是适应现阶段飞机制造的需要而发展起来的。目前，在飞机制造中主要采用的是大型精密平板式数控绘图机，如图1-14所示。

平板式绘图机在飞机制造中主要用于绘制飞机模线。飞机制造传统工艺方法中用手工绘制的理论模线和结构模线是飞机制造的标准原始依据。理论模线是根据飞机理论图纸1比1地全尺寸绘制的，用来检查、协调理论图纸数据是否正确，并作为飞机外形的制造依据。结构模线是根据飞机结构图纸和理论模线1比1地全尺寸绘制的，用来检查、协调飞机内部结构尺寸的，并作为飞机内部结构形状的制造依据。

采用计算机和数控技术后，飞机的理论外形由计算机建立数

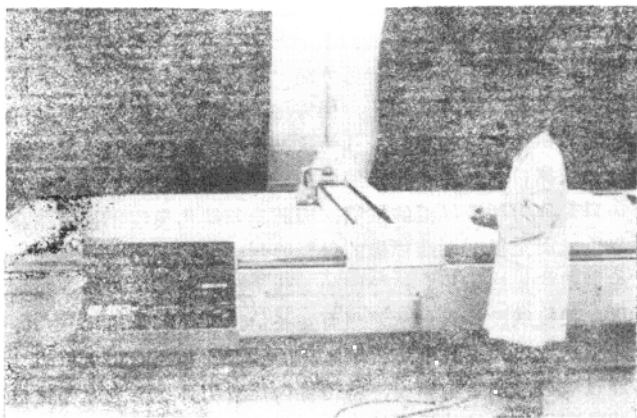


图1-14 大型精密平板式绘图机

学模型来定义，即飞机的外形线或外表曲面是由数字量表示的，作为飞机外形制造依据。因此，从制造角度考虑，理论模线可以不画。设计人员根据三面图和有关数据建立飞机外形数学模型的过程中，需要随时检查曲面造型的效果，观察外形是否光滑，这时可以用各种比例和从不同角度在绘图机上画出整架飞机或局部表面的轴侧图、透视图进行观察。

采用计算机和数控技术后，飞机结构可在计算机的图形终端或工作站上设计，其飞机外形部分调用数学模型数据。采用电子计算机和数控技术后结构模线的必要性也在消退，在利用结构图纸信息的基础上，补充结构模线所需的飞机制造工艺要求，就能使结构图纸与模线样板合二为一，而不需重复设计结构模线来检查、协调图纸了。

从目前国内外的情况看，在相当的时期以内，由于受到计算机设备能力的限制，不能全部采用计算机设计结构图纸，如1984年底美国波音公司新飞机采用计算机设计的零件占53%，因此还要绘制部分结构模线用来检查、协调结构图纸。

从长远角度看,随着计算机设备能力的不断增加,全部采用计算机设计飞机结构图纸以及结构图纸和模线全部合并完全是可能的。但在飞机制造中有很小一部分简单的、协调要求不高的零件,有时也不能采用数控方法加工,仍需将计算机中的结构信息传递给数控绘图机绘制结构模线,作为这部分零件和工艺装备生产样板的制造依据。此时的结构模线的主要任务不是检查协调结构图纸,而只是作为制造样板的依据,因此绘制结构模线不是以组合件为单位,而是根据制造样板的需要绘制。

绘制结构模线采用数控绘图的方法,可以提高工作效率和划线精度,使模线设计人员从繁琐而冗长的工作中解放出来。但是,数控绘图的意义并不只限于绘图本身的技术改造,而更主要的是能够通过数控绘制结构模线,将飞机内部结构外形信息在计算机内形成数字量为飞机结构零件和工艺装备进行数控加工提供数字化信息,简化了加工程编工作。

国外较先进的飞机公司在 1988 年前已取消了绘制模线这一环节。

此外,用数控绘图机还可以校验数控加工信息是否正确;利用绘图机读图功能(数字化系统)将图纸的模拟量信息转化成为数字量信息,再提供给数控加工程编使用。

(2) 数控技术在钣金零件加工中的应用

数控技术在钣金零件制造方面的应用有着广阔的前景。但目前尚不完善,应用不普遍。

由于钣金机床本身种类繁多,控制原理也各自不同。飞机钣金零件成形共同存在一个回弹量问题,解决回弹的途径,有的可用调试和修改成形模的方法,如冲压和橡皮囊液形成形等。这类设备采用数字控制较为容易;解决回弹的另一种途径是控制成形量的方法,如导管弯曲、型材滚弯、蒙皮压弯等;解决回弹的第三种方法是既修模又要控制成形量,如蒙皮拉伸成形、型材拉弯成形等。

钣金零件成形回弹后是否符合理论外形,在计算机控制的成