

卫星姿控发动机的CAD/CAM/CAT

周 樟 华

摘 要

本文叙述了卫星姿控发动机利用计算机进行设计、加工和试验的方法。根据卫星总体提出的各项指标要求,通过人机对话、输入到计算机,利用设计计算程序可把零件各个部位的尺寸计算出来,并在屏幕和绘图仪上画出设计图形,设计人员经过审核以后,即可进入工艺程序、计算机排出加工程序,并穿成加工纸带孔,送入数控机床进行加工,生产出所需要的产品,然后,把产品放在试验台上,利用快速数据采集和计算机数据处理系统,进行产品的性能验收、交付合格的产品。

一、前 言

计算机辅助工程(CAE)在工程技术中得到了广泛的应用,特别是七十年代以来,在各国以惊人的速度飞速发展,取得了巨大的进展,彻底改变了人们传统的设计方法、制造工艺和试验技术。这就是我们通常所说的计算机辅助设计(CAD),计算机辅助制造(CAM),和计算机辅助试验(CAT)。它与工程技术人员相结合,具有很好的决策能力和生产能力,成为当前现代化的重要标志。

如何在我们的工作中应用计算机辅助工程,是一个重要的研究课题。为了摸索它的规律性,我们对卫星姿控发动机的CAD, CAM 和 CAT 进行了初步的探讨。这里,我们以双元发动机作为范例来分析整个过程。

当卫星总体对双元发动机提出一系列性能指标以后,我们利用计算机辅助设计、得到发动机的各种数据和结构尺寸,并且由计算机辅助绘图系统自动绘制出总体图和部件图,生成发动机的数据文件和图形文件。根据这两个文件,计算机自动编制零件加工程序,通过接口电路,自动穿成纸带孔,提供给数控机床。发动机零件自动加工出来后,装配成发动机组件,进行发动机性能热试车。由计算机进行快速数据采集和处理,取得发动机各种性能指标,验证是否达到总体提出的各项指标。一旦符合设计要求,产品就可提供使用。由此可以看到,从开始设计到提交产品结束,这一系列过程是由计算机辅助完成、保证了产品的先进性、可靠性、稳定性,实现了CAD/CAM/CAT等一系列过程。

二、姿控发动机的CAD

姿控发动机的设计已相当成熟。实践证明,目前我们的设计方法是正确的、可行的,但是我们还不能说是最好的设计。巨大的工程计算在没有引入计算机以前是非常繁杂,非常困难的。采用计算机辅助设计后就可以对各种方案进行快速的计算、比较,由于采用人机对话,可以立即显示计算的结果。工程技术人员可以充分利用已有的经验和知识,选择较好的设计方案。

下面我们粗略阐述双元发动机的设计方法

1. 计算机硬件和系统软件:

我们采用MB-16007A微型计算机系统。主机为16位个人计算机, CPU为8088, 内存为RAM384K, 192K显示RAM, 2台5"软盘驱动器, 1台13兆温氏硬盘, 并配有彩色显示终端、图形输入板、X-Y绘图仪、打印机、键盘、穿孔机等外围设备。

本系统采用MS-DOS操作系统、并配有FORTRAN PASCAL等高级语言。用PASCAL和汇编语言编写而成的GMM绘图软件包, 它是功能较强的二维绘图软件, 有34类指令, 约130种绘图功能, 可以绘制机械、电子、建筑方面的各种图形。

本系统原来只是办公室绘图系统, 必须进行以下一些开发, 才能适用于工程系统。

首先, 开发FORTRAN语言, 可以直接调用各种绘图子程序, 生成BATCHINP文件(即作图文件)。在GMM绘图软件支持下, 可以直接绘出各种图形、尺寸、文字, 而尺寸的大小是由FORTRAN语言编写的程序计算出来的。这样, 程序本身可以将数据和图形联系起来, 实现了自动绘图。

其次, 开发了3500个汉字字库, 其原理与一般的汉字库不一样, 我们把汉字作为一种图形存入外存, 使用时随时作为汉字图形调出。因此, 在作汉字库时需要在方格纸上写上汉字, 编好坐标位置, 生成汉字图形, 存入外存。

第三, 配置穿孔机, 将穿孔纸带作为计算机与数控机床的媒介。由于主机上接口很少, 我们使用打印机接口通过一块TTL线路板与穿孔机相连接, 实行纸带穿孔。

2. 双元发动机CAD软件:

采用FORTRAN语言进行设计、计算、绘图和制造。用FORTRAN进行科学计算已是相当成熟的方法, 再利用软件接口可以直接调用绘图软件, 根据计算出来的尺寸, 按比例制成机械图形, 可以在终端上或绘图仪上绘制出来。

为了使用方便, 采用人机对话的方式。当调入程序名称后, 终端上显示出“双元发动机设计开始”, 计算机立即依次询问“设计推力是多少?”“燃烧室压力是多少?”“混合比是多少?”“设计高度是多少?(毫巴)”“燃烧效率是多少?”“喷管效率是多少?”等等, 设计人员一一作了回答以后, 计算机就进行设计, 将发动机的性能参数和图形尺寸计算出来。

根据发动机原理, 由混合比 γ , 燃烧室压力 p_c , 喷管出口压力 p_e , 可以计算出比冲 I_{sp} 和特征速度 C^* 。

$$I_{sp} = f_1(\gamma, p_c, p_e)$$

$$C^* = f_2(\gamma, p_c, p_e)$$

由发动机喷管效率 $\eta_{喷}$ 和燃烧效率 $\eta_{燃}$ 可以求出发动机总效率 $\eta_{总}$ 。

总之, 应用双元发动机设计原理可以计算出喷管和燃烧室的尺寸和坐标位置, 这里就不详细赘述了。

发动机的尺寸和坐标位置计算出来后, 调用绘图软件包就可以作出机械图形, 标注尺寸, 箭头、汉字等。设计的图形例子如图1所示, 此图由

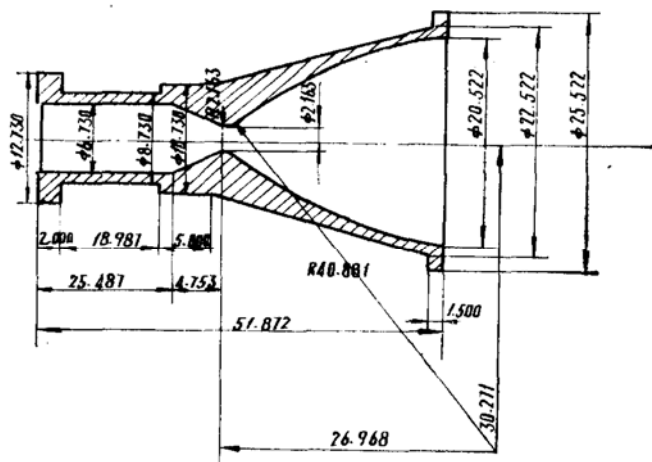


图1 计算机绘出图形

计算机自动绘出。发动机喷管喉部和出口段均为圆弧，圆弧半径和圆心位置，圆弧间相交点坐标均由CAD软件计算出来，由图中可以看到，它们的过渡是十分圆滑的。

三、姿控发动机CAM

我们选择不太复杂的轴对称型面的发动机作为CAD试例，便于用数控机床加工。

由上所述，设计人员通过计算机已经生成数据文件和图形文件，根据以上二个文件，必须继续编制零件加工程序。由于采用计算机辅助数控编程，可以节省大量的手工编程工作量。刀具运动轨迹可以利用已计算出来的尺寸数据，自动确定位置，并把编好的程序存入外存，以便以后修改。同时，编好的程序除穿成纸带孔外，还可在终端上显示出来，一旦编制错误，立即可以在终端上进行校对，检查出错误来。更受人们欢迎的是计算机可以计算出各种曲线的坐标位置，从而加工出各种曲面的零件。这对手工编程来说是十分困难的事情。综上所述，数控机床与计算机相结合形成CAM，具有更强的功能。

在数控加工程序编制中，按其功能分为四类：顺序号、控制功能、辅助功能和刀具功能。

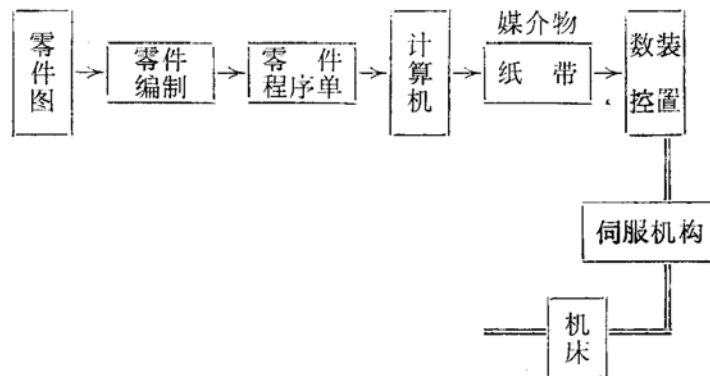


图2 计算机数控编程图

顺序号（N代码）通常用来辨别数控程序中的各个程序段，如N001，N002等。控制功能（G代码）用作使机床作好准备进行加工控制的功能，如G02为顺时针方向圆弧插补，G03为逆时针方向圆弧插补，G10为直线插补等。辅助功能（M代码）用以指定数控机床的特定操作方式，如M00为程序停止，M05为主轴停止。刀具功能（T功能）可以用来对新刀具寻址，若机床有转塔装置，则可转到需要的刀子上。根据以上四种功能，编制成加工程序清单，其刀具运动的坐标位置可由CAD数据来确定，由计算机自动编出的加工程序，经穿孔机接口穿成纸带孔后，输入到数控机床上，即可加工出合乎要求的发动机部件。

数控机床需要八单元穿孔纸带，我们利用打印机口作为并行输出口，它的输出码为ASCⅡ码，但数控机床上采用的是EIA码或ISO码，因此，必须进行码的转换。我们选用ISO码，它和ASCⅡ码基本相同，唯一的差别是ISO码第八码位是偶校验位，而ASCⅡ码的第8位均为0，因此在接口线路上，必须要加奇偶校验位。

作为一般微机系统，很少配有穿孔机接口。我们尝试用打印机接口连到穿孔机上去，除8根数据线外，还有READY线和PUNCH线，我们采用打印机的同步线DATA、STB作为PUNCH线，INPUT、BUSY作为READY线，由于PUNCH脉冲很狭（约1μs），一般不适合穿孔机要求，需要通过单稳线路把波形加宽至100μs，并经过驱动器连接到穿孔机上，如图3所示。

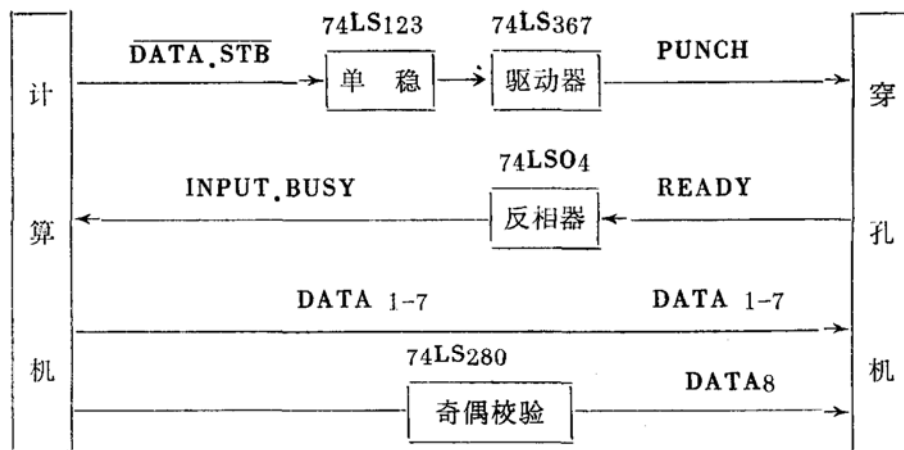


图3 穿孔机接口图

四、姿控发动机CAT

姿控发动机加工出来以后，必须经过发动机热试车，测定它的各项性能参数，验证它是否符合设计要求。我们使用NEC公司的PC-8000微机系统、主机的CPU为Z-80，配有二台软盘驱动器，打印机，彩色显示终端，扩展器等。计算机与快速检测装置、阀门驱动装置等相连，组成CAT系统。如图4所示。

发动机热试车的物理参数，如压力、流量等通过传感器转变成电量，经放大、采保、A/D变换后，由8255并行接口输入到计算机内。快速采集的数据存入内存，计算机进行数据处理以后，实时在终端显示和在打印机上打印出结果。利用计算机内部时钟（1.66ms）作为采集和阀开时间的基本单元。发动机电磁阀的开启和关闭就是利用中断来定时的，满足了自动试验的要求。

我们利用这套自动实验装置，进行发动机的稳态和脉冲试验，取得了各项重要的数据，

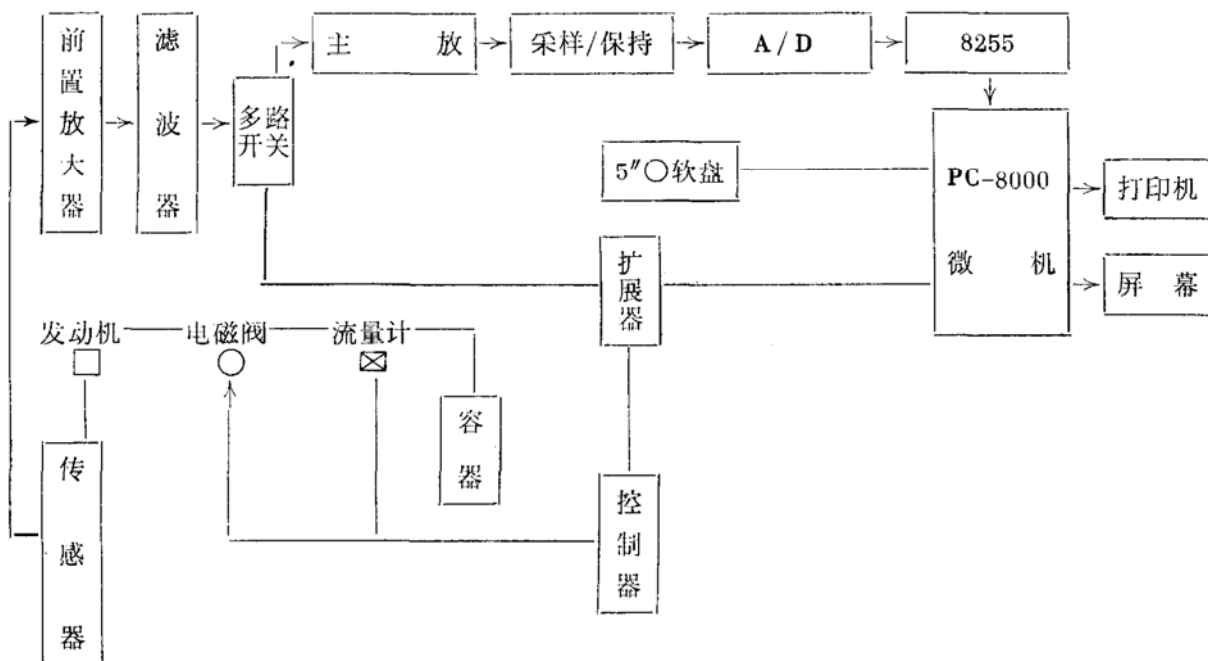


图4 CAT基本框图

在脉冲试验中,取得了燃烧室压力、混合比、冲量、质心、 t_{90} 、 t_{10} 等数据。在稳态试验中我们除了得到燃烧室压力、流量外,还可计算出特征速度、燃烧效率、满足了设计的要求。由于实时处理出各种数据,大大减少数据整理的工作量。整个测试系统自动化程度高,可靠性好,维护方便。

五、结 论

从上面的论述中,可以看到,任何一个工程技术问题,只要经过CAD、CAM和CAT等过程,就可提供高质量的产品。实践证明有如下优点:

1. 加快设计、加工、试验的过程和周期,减低设计、加工、试验人员的技术水平。只要把丰富的设计经验,加工方法,试验技术总结到CAD, CAM, CAT中去,一般人员就可完成这些任务。

2. 提高产品质量。由于设计、加工规范化产品按计算机程序进行加工,质量稳定。特别是在人员流动的情况下,不会因工作人员的变动使质量下降。

3. 减低费用。由于采用计算机辅助工程节省了人力,特别是节省了高级技术人员和熟练工人的工时,使整个成本下降。特别是加工一些特殊型面,CAM系统可以迎刃而解。

4. 提高了整个系统的自动化程序,为今后大规模应用CAD/CAM/CAT摸索出一些经验。

通过上述初步的工作,我们打算在设计方面把卫星执行机构的各个部件都进行计算机辅助设计,全套图纸存入计算机内。在加工方面,首先把各种数控机床和计算机连接起来,实现CNC,然后采用较大的计算机系统,组成柔性生产系统(FMS)。在条件可能的情况下,由机器人(ROBOT)或机械手实现工件传送。在试验方面应该进一步提高测量精度和试验自动化程序。随着CAD、CAM和CAT等研究工作的不断深入,将有力促进科研工作现代化。

参 考 文 献

(1) GMM配合编:五〇二所情报室译,1985年。

(2) 普雷斯曼、罗杰,维廉斯·约翰:数字控制与计算机辅助制造,北航制造工程教研室译。