

6. 计算机技术在液压中的应用

电子计算机是现代化科学技术的重大成就之一,它是用电子技术及相应的数学方法实现数学运算的计算工具。除了完成数值计算之外,还可进行数据处理及自动控制方面的工作。在工业技术先进的国家中,计算机已普遍应用到各个科学和技术部门。它的应用不仅减轻了人的脑力劳动和体力劳动,而且完成了人所不能及的工作,促进了科学技术和生产的发展,所产生的影响已使现代社会的面貌发生了巨变,形成了强大的势不可挡的浪潮。

本章将概述有关 CAD 技术、计算机控制和计算机辅助测试(CAT)及人工智能与专家系统等方面基础理论知识及其在液压中的应用。

6.1 液压 CAD

CAD 是计算机与工程设计紧密结合的综合应用技术。尽管各学科领域的 CAD 都是采用数值计算方法解决高精度、高速度工程设计,但由于 CAD 是和各学科专业内容紧密相关的,因此其技术特点与侧重点又有很大不同。机械类学科领域 CAD 的重点在于图形设计,包括完成设计、计算数据传递、绘图(包括二维、三维)以及性能分析,并能利用屏幕显示及人机对话,实现二维、三维之间的转换。自动控制专业则需解决多变量图解及系统的动态过程的数字仿真。对于一个完善的液压 CAD 系统是一个以工程数据库为中心,以图形为主要手段,包括设计计算、绘图、工程数据处理、动态仿真和优化等功能在内的集成的、结构开放的系统。CAD 技术将计算机运算速度快、计算精度高、存储信息量大、逻辑运算能力强等优点和人具有创造性、组织能力的优势组合起来。

本节将介绍 CAD 技术的发展概况,CAD 系统的组成及类型,液压 CAD 的主要功能以及它在液压产品中的应用。

6.1.1 CAD 的发展概况

(1) 机械 CAD 的发展

CAD 技术是现代设计方法中极其重要的一种手段。它改变了传统的工程设计思想,在很大程度上替代了工程设计人员的劳动。CAD 技术的基本特点是利用计算机的图形显示功能和快速运算的性能,由设

计人员通过交互方式或批处理方式实现设计、分析和绘图一体化的全过程。CAD 技术是用计算机及其外围设备,辅助人们进行工程和产品设计的不技术。

计算机图形生成技术即计算机图形学是 CAD 技术的重要基础之一。因此,CAD 技术的发展和计算机图形学的发展密切相关的。整个 50 年代,大多采用电子管计算机,采用机器语言编程,计算机主要用于科学计算,配置的图形设备仅具输出功能,CAD 技术处于被动式的图形处理阶段。

60 年代初,麻省理工学院的 I. Esutherland 发表论文《Sketchpad: 一个人机通讯的图形系统》,首次提出计算机图形学(CG),交互技术,分层存储符号的数据结构等新思想,为 CAD 技术的发展和应用打下了理论基础。

由于交互式图形生成技术的出现和发展,60 年代中期以后,计算机辅助设计技术的发展及应用十分迅速。但由于初期开发费用和计算机的价格高昂,因此出现的第一代 CAD 系统只能进行简单的自动设计绘图,仅在美国少数大的飞机和汽车公司中应用。70 年代后,在计算机性能提高及小型化的基础上,外围设备得到更新,价格下降,优秀软件相继开发情况下,形成了第二代 CAD 系统——不仅硬件配备齐全,而且有较完备的 CAD 软件供用户使用,称为独立单机交钥匙系统。这种系统以小型机为主,价格便宜,维护使用也比较简单,很快形成市场主流。进入 80 年代,微机的出现给 CAD 技术的发展带来了重大影响,个人微机的 CAD 技术发展尤为迅速,CAD 技术由单纯的图形处理进入了实现全套设计过程的 CAD 化,产生了第三代 CAD 系统。用户可以根据设计条件所规定的要求,进行方案设计,确定系统原理图、对元件参数进行计算和分析、确定设计参数、决定选择元件的规格、型号或自行设计元件的结构,并绘制产品装配图及零件图。这中间,设计过程往往要经历简图—分析—判断—修正的多次反复,并可借助于数字仿真及优化方法,对元件性能进行评定,最后完成设计。目前大多数 CAD 系统如 AutoCAD 绘图软件系统,仅是提供一个开发环境,用户还需进行二次开发。CAD 发展的另一个趋势是 PC 机与工作站并存。工作站是 80 年代发展的一种高

标准微机系统,性能在小型机和 PC 机之间,为工程技术人员提供一个良好、得心应手、高效的工作环境。工作站具有速度快、存储量大、图形功能强、网络通讯功能强等特点。各厂商均有各自的软件包,而单用户的 CAD 工作站,由于价格低廉、功能强、灵活方便、易于掌握,深得中小设计单位的欢迎,因此也得到广泛的采用。

(2) 液压 CAD 的发展

液压 CAD 的研究开始于 70 年代,美国麦道飞机公司率先开发出预测液压元件和系统工作性能的 AFSS(Advanced Fluid System Simulation)仿真程序软件包,使液压设计从经验估计上升到定量分析的阶段。该包采用 FORTRAN 语言编程,可以用来分析飞机的液压系统,该包的功能包括:

- 液压系统稳态和准瞬态性能分析程序 SSFAN;
- 液压瞬态分析程序 HYTRAN;
- 液压系统频率响应程序 HSFRR;
- 液压瞬态热分析程序 HYTTTHA。

80 年代初,德国亚琛工业大学研制成功 DSH(Digital Simulation of Hydraulic System)仿真系统。该系统采用模型库解决液压系统各种常用液压元件的动态模型,用户使用该系统前应预先根据系统所规定的特殊规则,建立仿真对象的描述文件,输入到程序中,程序可根据描述文件自动建模,并完成模型求解、结果数据处理和输出曲线绘制等工作。同期另一个影响较大的仿真软件是英国巴斯大学的 HASP 软件包,该包除具有 DSH 所有的性能外,还可以进行静态仿真。进入 80 年代后,交互式图形学逐渐进入液压领域,在绘图方面取得了更大的进步。德国斯图加特大学首次推出计算机设计液压原理图的程序包。Gullick Dobson Ltd 推出了适用于采矿机械的液压 CAD 的专用软件包,该包除具有设计原理图功能之外,还可以生成三维阀块、绘制零件图及简单部件的装配图。亚琛工业大学还研制出一个设计液压阀块的 HYKON 软件包,包内含有一个有多种液压软件结构数据的数据库,能根据设计人员输入的信息,布置阀块上的元件及连接螺孔,自动进行阀块孔道的设计和校核。当设计有错时能提示“错误信息”,并可用人机对话方式进行修改,最后可得阀块的各种视图。美国威格斯(VICKERS)公司利用 CAD 技术进行液压系统原理图的绘制和计算,进行液压泵、马达、阀和集成阀块的方案设计及各零件绘制。

目前液压 CAD 软件的发展方向是设计、仿真、绘

图一体化。如以色列 Goldenberg 开发的液压 CAD 软件系列为 HydroCalc, HydroCAD, HydroSoft 等。芬兰的坦佩雷大学液压研究所研制了液压插装阀块的 CAD 软件包。一些公司、学校也相继开发液压元件和系统的 CAD 软件包,其中某些软件不仅能对某些液压元件进行设计计算、绘制二维图形,还能建立三维立体模型。

国内液压界的 CAD 研究起步约在 80 年代初开始。最初只是在用计算机对特定的液压系统或元件进行仿真,也有些研究涉及有限元分析、参数辨识和优化设计,后来才发展到设计和绘图。浙江大学 1984 年移植成功 DSH 程序并作了二次开发,扩充了液压管道静、动特性的功能,并对软件的算法,提高软件效率、本地化、国产化作了有效的尝试,推动了计算机 CAD 技术的进步。北京航空航天大学,西北工业大学在 80 年代初,对美国麦道公司的 AFSS 软件进行了移植取得了一定的成果。

七五期间,由机电部北京自动化所负责,联合浙江大学、大连理工大学、上海交通大学、甘肃工业大学和大连液压件厂共同完成了“液压元件及系统的计算机辅助设计”的攻关项目,该项目建立了一个基本的液压 CAD 系统,包括基础理论、液压元件设计、图纸管理及液压系统设计的液压 CAD 系统。

大连理工大学于 1980—1985 年间完成了液压系统原理图辅助设计软件包。随后结合“液压元件及系统计算机辅助设计(CAD)”的攻关项目,开发了集成式液压系统 CAD 软件,该软件中还包含有标准液压元件图形库及数据库,利用该包进行集成式液压系统的设计已正式在生产中运行。浙江大学、上海交通大学及哈尔滨工业大学等校均在插装阀三维实体造型、液压泵 CAD 等方面各自开发了相应的软件。

6.1.2 CAD 系统的组成及类型

(1) CAD 系统的组成

CAD 系统由设计人员、硬件系统和软件系统组成。其中硬件系统包含计算机及其外围设备。软件系统由系统软件、支持软件和应用软件组成。下面将分别简要介绍 CAD 的硬件系统及软件系统。

A. CAD 硬件系统

CAD 硬件系统与通用计算机的硬件系统略有差别。其主要不同之处是在 CAD 硬件系统中配置有较强的人机交互设备及图形系统。典型的 CAD 硬件系统如图 6.1-1 所示。

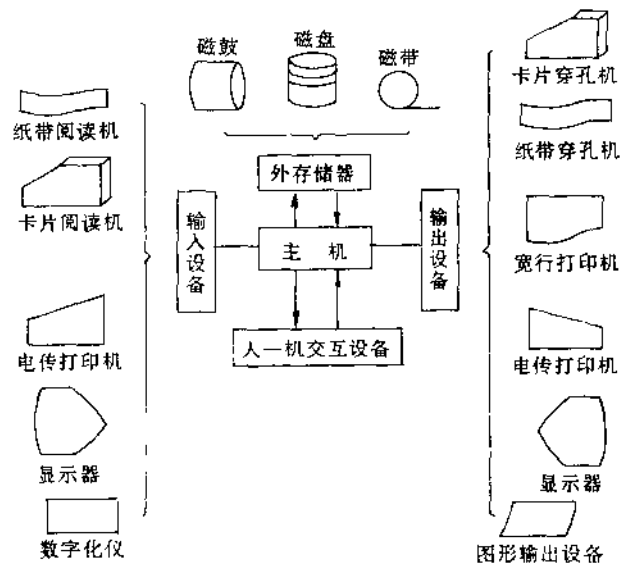


图 6.1-1 计算机辅助设计硬件构成图

(A) 主机

主机是指整个系统并执行实际运算、逻辑分析的装置,是系统的核心部分,包括中央处理器(CPU)和主存储器两部分。

中央处理器(CPU) CPU包括控制器和运算器两部分。

控制器是计算机的“大脑”,它指挥和协调整个计算机系统有条理地工作。具体功能是读取存在存储器内的指令,分析指令的操作类型,然后产生与操作类型相应的控制信号序列,控制各有关电路协调地工作。它包括输入和输出设备的起动、停止,控制数据在各部分之间的传送。

运算器执行控制器指令要求的计算和逻辑操作,对信息进行加工,完成加、减、乘、除等算术运算和逻辑运算(逻辑判断、比较等),提供用于完成各种数据处理与计算的电路。

在运算器和控制器中都使用寄存器来完成它们的功能。寄存器是一种接收存储与传送数据的小存储器,用来暂时存放信息。向寄存器写入和取出信息的速度都比主存储器存取速度要快。

主存储器 主存储器简称内存。主机中的内存用来直接存放指令、数据、中间结果和最终结果。它可以直接和运算器及控制器交换信息,存取速度快。内存的存储容量大小是以KB(千字节)为单位来表示的,内存容量越大,主机能够容纳和处理的信息量就越大。

微机的内存容量一般在512KB~64MB(MB:百万字节)。

(B) 外存储器

计算机的主存储器虽然能够快速直接存取,但是价格高昂,配置主存储器容量直接影响价格。为了保存程序和数据信息,大多数计算机配置了外存储器。外存储器是主存储器的补充存储装置,外存的存储速度较慢,但存储量可以很大,设计者把信息分为常用和缓用的两类,把缓用的信息存放在外存储器中,当程序执行到某一语句需要外存中的信息时,计算机中的操作系统及时地把它们从外存储器调入内存。当外存中的程序和数据需要输出时,也必须将它们从外存调入内存,才能输出。常用的外存储器有磁盘、磁带、磁鼓。目前的微机上主要配备了磁盘,磁盘有硬盘和软盘之分。硬盘的容量已由早期的10MB发展到540MB或4G以上。硬盘采用磁盘和磁头一体化的结构,可靠性高,硬盘存取速度虽不及内存,但比磁带快得多。软盘使用方便、价格低廉。目前常用的规格是3.5英寸盘和5.25英寸盘两种,前者容量为360KB或1.2MB,后者则是1.44MB。目前586的主机上已配置了光驱,所以外存储器是光盘,其容量已极大增加。

(C) 输入设备

输入设备是把外界的信息变成计算机能识别的信号,实现输入的装置。

键盘 从键盘上输入源程序或数据,立即在显示

器上显示相应的数据或指令。这是一种最直接的输入装置,也可以用键盘输入绘图指令,立即可以在显示器上显示绘图结果。

磁盘机(磁盘驱动器) 实现程序、数据的写入或读出。

字符图形显示器 通过主机将键盘的输入指令或软盘上的信息显示在屏幕上。这种显示器将完成图形及字符输入、输出的显示功能。

图形输入设备 在 CAD 过程中不仅要求快速输入图形,还要求对已输入图形进行图形变换(旋转、平移、缩放)。通过人和计算机的交互作用,将人的思维、判断和计算机的高速运行有机结合起来,将确认的图形输出或存储在外存储器中。仅以键盘方式输入图形是不能满足 CAD 高速设计要求的,理想的交互图形系统还应包括使用方便、质量可靠的图形输入设备。目前常用的有以下几种:

光笔——一种检测光信号的装置,外形象一支圆珠笔。光笔能接受屏幕上显示的光信号,通过光电元件转变为电信号,输入到计算机中去。利用光笔可以完成“点”操作,将光笔指定的点以坐标值的方式输入到计算机或完成点菜单的工作。也可以徒手作图,当光笔对准屏幕上的光标时,光标随光笔移动,光笔在屏幕上移动的轨迹显示输入信号,在计算机中完成作图。其价格低、使用方便,但受到图形显示器分辨率的影响及垂直屏幕作图范围的限制,应用受到了限制。

数字化仪(图形输入板)——由一块图形输入板及电笔组成。应用电磁感应、静电耦合的工作原理。使用时将电笔对准图形板移动即可将所绘图形输入计算机,也可采用点菜单及徒手作图方式进行工作,由于在水平板上作图,使用方便,提高绘图精度,是目前使用较广泛的输入设备之一。

扫描仪——在 80 年代初期出现的一种新型图形输入设备。它利用电子束扫描原理,将大量图片或图纸的图形输入到计算机中并显示在屏幕上。在屏幕上,可根据需要对图形进行修改编辑。扫描仪已由初期小型、手持式发展到台式甚至大幅面的扫描仪,形成并举的场面。其中大幅面扫描仪可达 A0 的宽度而长度不受限制。在 CAD 设计中,扫描仪由于分辨率高、图象清晰、性能价格比合适,已在一些大、中型企业中率先得到使用。

鼠标器——一种用于屏幕显示的输入装置。当它在平面上移动时,显示在屏幕上的鼠标也随之移动,它只能针对屏幕上指示的输入及点菜单进行选择、操作。

(D) 图形输出装置

绘图仪和打印机是常用的输出装置。

绘图仪与计算机 RS-232C 接口连接实现数据通讯,绘图软件均有专门的打印驱动程序支持。绘图仪外观结构型式有平板式和滚筒式,又有采用喷墨和机笔式两种绘图方式之别。绘图仪已成为 CAD 设计系统必备的硬件。

打印机也是常用的输出图形装置,一些通用绘图软件也配置打印机输出软件。打印机有针式、喷墨、及激光式。打印效果以激光最好,但是激光打印机的输出幅面有限,且价格较高。针对针式效果较差的情况,已开发仿绘图仪的打印机绘图软件,打印效果有了改善。

B. 软件系统

CAD 系统的软件系统包括系统软件、支撑软件和应用软件三大类。某些场合也可将支持软件和应用软件归属于应用软件。

系统软件是与计算机硬件直接关联的。一般是由专业软件工作者研制,它起着扩充计算机的功能和合理调度与运用计算机的作用。系统软件有两个特点:一是通用性,不同领域的用户都可以应用它;二是基础性,系统软件提供了支撑软件和应用软件的基础。应用软件借助于系统软件和支撑软件来编制和实现。支撑软件则是应用软件二次开发的基础。对于使用者更为关心的是研制和选用好的支撑软件和应用软件。

(A) 系统软件主要应用于计算机管理、维护、控制及运行,以及计算机程序的翻译、装入、管理控制和运行。系统软件可分为下面几种软件。

操作系统 操作系统软件是计算机系统中最主要的软件。它起着对计算机的软件、硬件资源进行统一的管理和控制的作用,控制数据的存储、指令的运行及输入、输出动作。其功能是过程管理、内存管理、外部设备管理和文件管理,如管理计算机的输入、输出设备如键盘、显示器、打印机等,操作系统是用户与计算机之间的桥梁。

微机上的操作系统的发展与 CPU 发展基本上同步。我国微机上常用的操作系统在 80 年代末期是以 286CPU 及 DOS 为代表的 DOS 操作系统,多用户则是 UNIX 系统。随着 CPU 的发展,我国微机上常用的操作系统增加了 WINDOWS 操作系统,据统计在 94 年 DOS, WINDOWS 操作系统的市场占有率,分别为百分之七十和百分之四十(有的微机装有两套操作系统)。随着 486CPU 在国内占有率上升,WINDOWS 操作系

统具有良好的图形界面,不仅易于使用,且能与其他已有的系统进行互操作,还可让用户自由选择应用程序而且具有丰富的可选择硬件的支撑程序。所以在95年国内市场占有率已达到66%,而DOS系统则下降到40%。

编译系统 编译系统是把高级语言编写的程序翻译成机器指令(目的程序),并经链接后由计算机直接执行这些指令。目前广为流行的编译系统有FORTRAN, BASIC, BORLANDC++, TURBO C等各种编译系统。随着操作系统的发展,一些编译系统均可由WINDOWS或DOS系统支撑。

数据库管理系统 它是在操作系统基础上建立的操作管理数据库的软件。这种系统除了保证数据资料共享、信息保密安全之外,还能尽量减少数据库内数据的重复,是用户和数据库之间的接口。目前的数据库管理系统有DBASE III, FoxDbase, FoxPro等多种软件。

通讯软件 完成数台微机经网络相连而成的CAD系统。可以共享网络中包括软件、数据库、硬件在内的各种资源。网络内各计算机终端之间通讯需要的软件即是通讯软件。

(B) 支撑软件是以系统软件为基础,用来开发CAD系统之间应用所需的一切通用软件,支撑软件是CAD系统中的核心软件。这一类软件大多由软件开发公司开发或用户自行开发,作为商品化软件提供。支撑软件系统主要包括设计、分析、绘图和数据库方面的软件,可供CAD系统在设计过程中选用。较常用的支撑软件有下面几种。

设计计算软件 这类软件可以用来解决各种数值计算,如常用数值分析软件用来解微分方程、线性代数方程、数值积分、有限差分及曲线曲面拟合等数学问题;工程设计用的几何建模软件能描述物体的几何形状,建立相应的数学模型,并把相应的结构类型数据存储于数据库中;结构分析用有限元结构分析软件和优化设计方法软件。

图形处理软件 图形处理软件包括图形软件包及交互式绘图系统软件。图形软件包一般以子程序形式提供一系列绘图或显示指令,为编制CAD图形程序提供方便,使用时,受到硬件的限制,通用性不强。交互式绘图系统可以用人机交互方式(如菜单系统)生成图形、进行图形编辑、标注尺寸、拼图等图形处理工作。AutoDesk公司的AutoCAD绘图软件就是其中的代表,在我国应用较为普遍。

(C) 应用软件。应用软件是以支撑软件为基础,针对各自领域的不同需要进行二次开发的软件。

CAD系统的应用软件采用模块化结构,在已有的交互式绘图系统支撑下编制高级语言与该系统接口,实现参数设计、结构设计、绘图、优化一体化的结构。如利用AutoCAD本身支撑的AutoLISP开发的CAD程序;采用AutoCAD支撑开发的AutoCAD与FORTRAN, C接口的包括标准图形库及参数化设计软件;也有一些独立用C语言编制的图形系统软件包,在国内CAD中属于新兴开发的事业。

(2) CAD系统类型

CAD系统的具体结构往往取决于应用的领域或使用者的环境条件,因此CAD系统类型有下面几类。

根据计算机辅助设计中所用计算机及外围设备的配置,可分为独立式和分布式CAD系统两种型式。根据系统工作方式有非人机交互及人机交互式两种型式。

A. 独立式CAD系统

- 具有一台主机、多个图形终端的、有公用数据库,可以资源共享的多用户CAD系统。当CPU有故障会影响所有用户,一个终端运行程序影响其他用户的速度。

- 工作站形式的单用户CAD系统,这是一种拥有32位微机工作站、有网络功能的计算机CAD系统,以SUN和APOLLO为代表,但投资成本大。

这类CAD系统配备大容量内存和外存以及图形交互设备,具有交互作用,响应时间短,联网后共享资源,具有便于逐步投资、逐步发展的优点。

- 微型机的CAD系统。由于微机的性能不断提高,功能日益扩展,价格逐步下降,以微机PC为基础的CAD系统得到广泛应用。当前微机CAD系统硬件的基本配置为:486CPU、彩色图形显示器(分辨率 1024×768)、双软驱(1.44MB及1.2MB)、硬盘容量210MB以上,4~8MB内存、时钟频率50~100MHz、鼠标、数字化仪、绘图仪。

软件配备有DOS高版本(6.0以上)及WINDOWS3.1以上版本的操作系统,以及AutoCAD12.0以上版本或其他绘图软件。

B. 分布式系统

将各独立式系统联网成一个多处理机系统,可以成为独立的操作系统,各机之间资源共享,提高了CAD系统的性能,有利于多专业同时进行复杂的、需要大量信息的工程设计,但费用较大。

C. 非人机交互式 CAD 系统

CAD 过程中,由计算机根据用户编制的程序自动完成设计、计算与绘图,适用于能够用明确的目标函数定量描述设计目标的设计问题。

信息检索型 CAD 系统 信息检索型 CAD 系统适用于标准化,系列化的设计。把已定型的产品资料(数据及图纸)变成一定的信息存入计算机内,在给定初始参数后,计算机可根据要求选定对应产品、给出图形及有关信息,这种系统只适宜于定型产品的信息输出,不具有修改功能,所以适用性差。

计算型 CAD 系统 计算型 CAD 系统由设计者根据设计要求找到目标函数,编成程序输入计算机,运行后得到结果。运行过程中不需人的介入自动进行寻优,作出决策,全过程由计算机自身完成,只适用于事先能够用数学形式描述的设计问题,对于不能用数学描述的设计就无法应用,所需硬件容量大,软件庞大,人机脱开,不能发挥人的作用。

D. 人机交互式 CAD 系统

通过人机对话方式实现交互方式,在系统进行了初步设计后,通过人机对话方式进行图形编辑以得到满意的结果。

这种方式是 CAD 系统的主要方式。在系统作业过程中,设计者可以随时对计算机设计的每一阶段提供的信息和图形进行分析、判断,提出要求,可使计算机再作修正,并显示新的信息和图形,经多次反复,直到满意为止。

交互式设计系统是把设计者的创造性活动、计算机的高速运算和处理机能有机地组合起来,以达到理想的最佳结果。

作为 CAD 系统的发展期望,还应加入智能化,目前正在一些 CAD 系统中开展。

6.1.3 液压 CAD 的功能

一般 CAD 系统应具备计算、存储、输入、输出、对话等几方面的基本功能。

就液压行业来说,近代 CAD 技术已能执行液压产品设计的任务,可以进行液压元件及系统的设计计算,包括参数设计、结构设计、应力分析、优化分析、结构综合、动态仿真、自动绘制工程图纸等。以下概述液压 CAD 技术的主要功能。

绘制液压系统原理图 为了绘制液压系统原理图,通常要调用液压元件图形符号库。液压元件图形符号库是根据国标液压气动图形符号(GB786-76)(新标准应为 GB 786.1-93)建立的。

液压元件及系统的设计、计算和信息存取 在设计液压元件时,根据确定的方案,采用常规算法进而确定元件的结构几何尺寸及材料选择。对于液压系统,根据液压系统原理图,选择标准元件和设计计算非标准液压元件以及管路系统、连接尺寸等。这些功能均通过编制相应元件的设计计算软件而完成。

此外,还可将现有产品的规格、数据及图纸存入计算机,构成图纸工程库、标准图形库、数据库,以供设计使用。

零、部件图自动绘制 可以采用人机对话方式或是参数化绘图方式,输出二维或是三维图形,并能完成标注尺寸、形位公差及表面粗糙度的工作。

液压集成块的辅助设计和校核 利用 CAD 技术,不仅可以绘制集成块图形,且可以自动设计和校核孔道,因此得到广泛的应用。

有限元分析和动态仿真 液压元件处于高压、高速和恶劣的环境条件下工作,对于有结构紧凑要求时,能将多种方案的数据,通过有限元分析得到的多种结果,进行分析、评比、优选,避免样机实验分析的工作。运用动态仿真程序能预测分析设计方案的动态性能,提高设计质量。

现已有多种仿真软件应用于液压 CAD。

6.1.4 CAD 软件设计

计算机辅助设计系统包括硬件和软件系统,开发一个 CAD 系统涉及到这两方面的设计问题。对于硬件部分,通常不是直接设计硬件设备,而是根据设计任务的要求确定所需硬件的功能,并提出配置什么样的硬件和如何使用硬件设备。软件设计是提出设计系统应包括的软件内容,主要是应用程序的设计和调试工作。研制 CAD 系统的软件设计工作过程,包括下面几个阶段:

- 程序系统分析
- 程序系统总体设计
- 程序系统的详细设计
- 编写程序
- 程序调试
- 程序的运算和维护

(1) 程序系统分析

这个阶段主要完成下面几方面的工作:

- 充分分析与明确设计任务与要求,了解该任务手工设计的内容、方法与步骤,明确设计的初始条件、技术要求、性能指标;
- 分析计算机上实现设计的可能性,选用现代设

计方法,如引入优化设计方法;

- 确定设计的系统采用哪种类型的 CAD 系统(如采用人一机交互式或非人一机交互式),系统具有哪些功能(如是否有工程数据库,图形输出方式选择),确定系统的输入、输出参数;

- 进行可行性分析。从现有的计算机设备、资金、人员技术水平及组成等,分析完成研制的条件,需要解决的技术关键,以及解决的途径,作出可行性分析报告;

- 论证可行性报告后,填写研制任务书。其内容包括研制任务与要求;程序系统的总功能及其组成;研制计划和进度;解决技术关键的途径;经费预算;研制人员组成等。

(2) 程序系统的总体设计

在这个阶段,将确定程序的总体结构设计,总体结构的设计方法,模块的功能,模块间参数传递的方式以及采用哪一种语言进行设计等内容。

A. 程序系统的结构设计

在进行总体设计时,首先考虑的是程序结构。为了使程序结构合理、清晰、容易阅读、不易出错、便于调试和维护,结构设计通常可采用自顶向下和模块化的设计方法。具体讲,就是将程序系统作为一个总功能模块,随后将该功能模块划分成多个层次,由若干个独立的小功能模块组成。对于最下层的功能模块,只完成单一的、定义明确的功能,称为单功能模块。为了表明组成程序系统的结构,可以画出功能模块结构图。结构图通常采用树结构,即一个模块只被一个高于它的模块调用,形成层次结构;也可采用网状结构,即一个模块由多于一个层次的模块调用,如图 6.1-2 所示的一个功能模块结构图。其中设计计算模块,对其上、下系统的模块均属于树状结构,而对于绘图模块,既受制于管理模块,同时也受设计模块输出数据的影响,当有新的设计数据输入,会改变绘图模块输出的图形,也就是属于网状结构形式。任一个程序系统结构的功能模块图可能会包括上述两种结构。

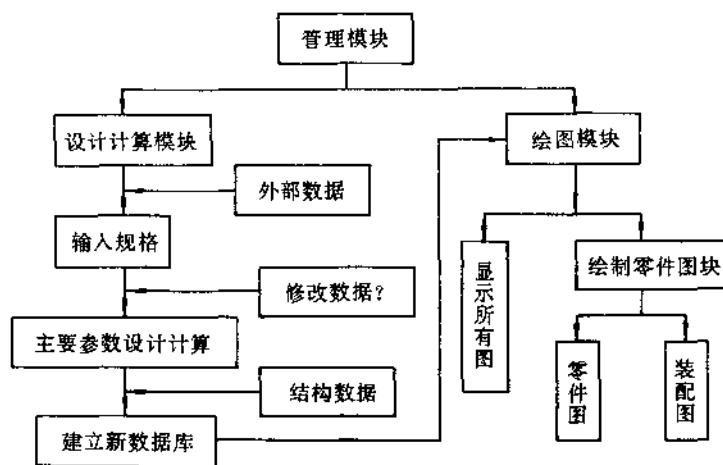


图 6.1-2 功能模块结构图

B. 确定数据的流通途径

设计系统的结构时,还要分析系统运行时数据的流通、设计系统外部数据输入与数据输出的次序和途径,数据流通较复杂时,最好用箭头标出数据的流向;

C. 确定编程的设计语言

CAD 的设计与绘图两大部分,对支撑软件的功能要求很不相同,通常设计部分要求支撑软件的数值计算功能很强,而绘图部分则对支撑软件的绘图功能要求高些。所以对于 CAD 开发人员在确定编程语言时,常选择有较强数值计算功能的 BASIC、C 及 FOR-

TRAN 等语言作为设计的支撑软件,而在绘图部分则选用有优秀屏幕操作功能、图形编辑、修改功能及众多硬件支持的绘图软件,如 AutoCAD 绘图软件及大恒机械 CAD 软件或 MegaCAD 软件。

(3) 程序系统详细设计

详细设计的目的是将总体设计中描述的每一模块的功能具体化,设计出每一模块的内部细节,包括程序模块过程、算法描述和数据结构,以及各程序模块间接口信息的描述,为编写源程序作好必要的准备。

A. 建立数学模型

计算机通过数值运算和逻辑判断解决问题,需要把设计的问题归纳为明确的数学问题,用数学计算式表示设计问题,即通常的数学模型。

一般的工程设计中的某些设计问题已经有现成的、公认的计算公式(包括理论公式、经验公式),可以直接引用来建立数学模型。但在实际的工程设计中,往往一些设计问题没有现成的计算公式,这时设计者可以通过理论研究,推导或由实验数据通过辨识拟合方法,求出符合实际的数学模型。建立数学模型时可根据 CAD 现代设计方法,引入优化设计方法。即确定合适的设计变量,给出约束条件的表达式,确定达到设计预期目标要求的目标函数。

B. 确定算法,画程序框图(流程图)

数学模型确定之后,便要制定问题求解的一个算法,并按算法步骤画出流程图。

结构化程序设计方法要求人们按照一定的规则编写程序,一个结构化程序由若干个基本结构顺序构成。写程序时,一个结构、一个结构顺序地写,看程序时也

是从上而下,一个结构、一个结构地读,每一个基本结构可以包含一个或若干个语句。每种基本结构只有一个入口,一个出口,它从顶部进入,底部出去,有三种基本结构:顺序结构,选择结构,循环结构。顺序结构是最简单的一种结构,如图 6.1-3(a)所示。先执行 A 操作,再执行 B 操作,两者是顺序执行的关系;选择的结构是单分支结构,如图 6.1-3(b)所示,图中 P 代表一个条件,当 P 条件成立(或称为“真”)时执行 A,否则执行 B。注意,只能执行 A 或 B 之一,两条路径汇合在一起后,然后出口。此外,还有一个多分支选择结构,如图 6.1-3(c)所示,根据数据 K 值(K_1, K_2, \dots)决定执行 A_1, A_2, \dots ;循环结构中又有“当型循环结构”及“直到型循环结构”两种结构形式。当型循环结构,如图 6.1-4(a)所示。先执行 A 操作,再判断 P 是否为“假”,若 P 为“假”,再执行 A 操作,直到 P 为“真”时为止;直到型循环结构,如图 6.1-4(b)所示。当 P 条件成立(“真”)时,反复执行 A 操作,直到 P 为“假”时才停止循环。

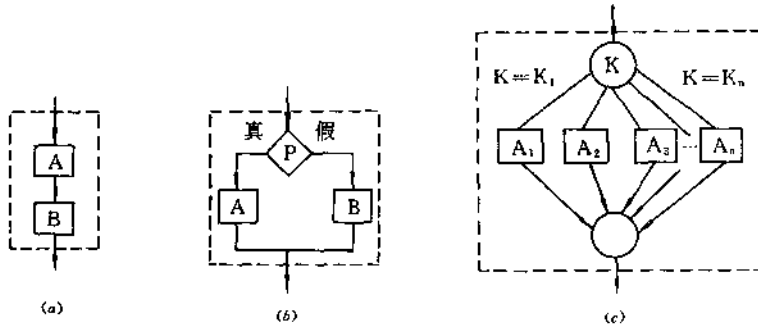


图 6.1-3 顺序结构、选择结构和多分支选择结构

由以上基本结构组成的程序可以处理任何复杂的问题,如把上述的基本结构连续组合起来构成的程序,使一个结构的出口联接下一个结构的入口点,也可以采用嵌套方式组成程序,如图 6.1-5 所示,这是一个顺序结构,由两个基本结构顺序组成,虚线框内是一个当型循环结构,可以用一个“B”表示,流程图画得越详细,下面的工作就越做好。

一般是先画程序系统的总流程图,再画各功能模块的流程图。然后根据流程图中的各功能模块划分成若干个程序模块,对每一个程序模块进行描述,描述程序模块的输入、输出和处理功能;给出功能模块和程序模块数据出入和控制的方向,说明该功能的实现过程;确定模块内的数据结构,描述各程序模块接口信息,各

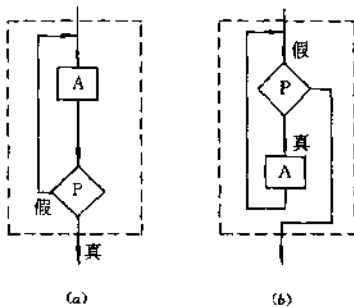


图 6.1-4 循环结构

程序模块间的接口包括参数的形式和传送方式,各层调用关系;组织数据信息的输入和输出,要确定输入哪些数据和输入的顺序,同时要根据计算机的设备情况和计算过程的需要,确定数据输入的方法,如键盘输入、文件输入等。根据使用要求及设备情况确定输出的数据方式及形式。

(4) 编写程序

编写程序是将上述的要求转化为设计语言,在编写程序时,要求结构清晰,可读性好,可维护性强,易于修改,语句简明、直接了当。尽量利用现成的函数或子函数,输入、输出格式尽可能简洁统一。具体编写程序时,因使用设计语言的不同,要求也将会有所不同,此处不再多述。

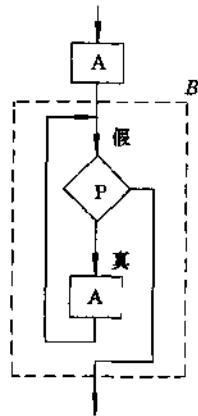


图 6.1-5 嵌套式结构

(5) 程序调试

一般来说,源程序的编辑只是研制工作的第一步,大量的研制工作将是进行程序的调试,通过不断的修改、完善,以达到正常工作,达到预定的功能要求。工作的次序是先对模块进行调试,然后再将各部分组装,以至整个程序的编译。

(6) 程序系统的运行和维护

运行程序只是系统设计工作初步完成的标志,对调试的系统程序有正确的维护,保证在出现不正常情况后,能及时改正,迅速恢复正常。

6.1.5 CAD 动态仿真理论基础

所谓仿真是指用模型(数学模型、物理模型)代替实际系统进行实验研究。根据选用模型形式的不同,有物理仿真和数学仿真。用计算机进行数学模型研究,加速了计算机在数学仿真的应用,当前数学仿真高

不开计算机,数学仿真又称为计算机仿真。

根据计算机的类型划分,又有数字机仿真和模拟机仿真之分,习惯上把数字机仿真称为数字仿真;模拟机仿真称为模拟仿真。由于微型数字机的普及,仿真时,若不特别指明,一般是指数字仿真,即是用数字机对代表实际系统的数学模型进行实验研究。

液压元件及系统作为一个实际物理系统,在实际工作情况下发生振动冲击和噪声,有时还出现爬行和响应缓慢的问题,通过计算机对反映其本质的数学模型进行分析和求解,找出产生问题的根源,并寻找解决问题的对策,这些都是仿真也就是 CAD 所面临的设计要求。这种设计方法将大量节省设计周期,提高设计质量,目前已成为 CAD 设计的重要内容之一。仿真是研究系统普遍采用的先进方法,进行动态仿真研究可以用图 6.1-6 所示的数字仿真流程图表示。

建立系统的数学模型 建立数学模型的一般方法是根据一些基本定律,如牛顿定律和克希霍夫定律来解决力学和电路的模型,而对于液压控制系统将根据流量平衡方程、流量连续性原理和负载力平衡方程来确定元件和系统的输出与输入之间的关系。为了使问题易于求解,可以略去一些次要的因素而保留主要特征以便得到简单而概括的数学模型。

建立仿真模型 一般的数学模型都不能直接编程并用计算机求解,通常必须把数学模型转换成适宜编程,并能在计算机上运行的模型——仿真模型。对于连续系统就是建立相应的差分方程。

编制仿真程序 对于实时仿真往往采用汇编语言编程,而对于非实时仿真,一般用中、高级语言,依据相应的算法编程。

程序调试 先检查程序是否有错误,及时纠正错误使程序在计算机上运行时处于正确的工作状态,随后运行程序,把数字仿真的实验结果与实际系统运行所获得的数据进行比较,根据比较后的情况来修改仿真模型或数学模型或程序,使我们能用较少的时间获得所希望的结果。

从仿真程序的流程图可以看出,数字仿真是一个动态迭代的过程,通过迭代过程逐步获得系统特性的信息。其中的关键就是对系统建立数学模型,使之构成仿真模型,并对模型求解。

定常连续系统采用的数学模型在时域中是微分方程、传递函数和状态空间表达式,而在频域中是频率特性。此外,在数学模型中,还包含了大量的系统参数信息,例如元件质量、流体粘性、摩擦系数、弹簧刚度、油

腔容积、油液弹性模数等,有些参数往往难以精确给定,因此往往需要通过实验得到数据,依据参数辨识技术来进行确定。另一方面分析液压系统的动态特性时,往往会涉及到液压技术中普遍存在的非线性因素,如流量阀的流量特性中的饱和特性、阀口重迭引起死区或泄漏、机构中的齿轮传动中齿隙引起空回。此外液压系统描述工程用常微分方程组,有时为刚性方程(Stiff)即病态方程,这是由于小质量、小容腔引起大数

量级特征根造成的,因而求解困难,凡数学模型是微分方程、传递函数和状态空间表达式这几种形式时,采用时域分析法。其模型在计算机上的实验研究称为时域仿真,而用频率特性数学模型表示时,采用的数字仿真为频域数字仿真。通常动态特性分析时,认为输入阶跃函数是最恶劣的条件,如能满足稳定要求,对其它输入函数时一般也能满足要求,因此这里我们只介绍时域仿真。

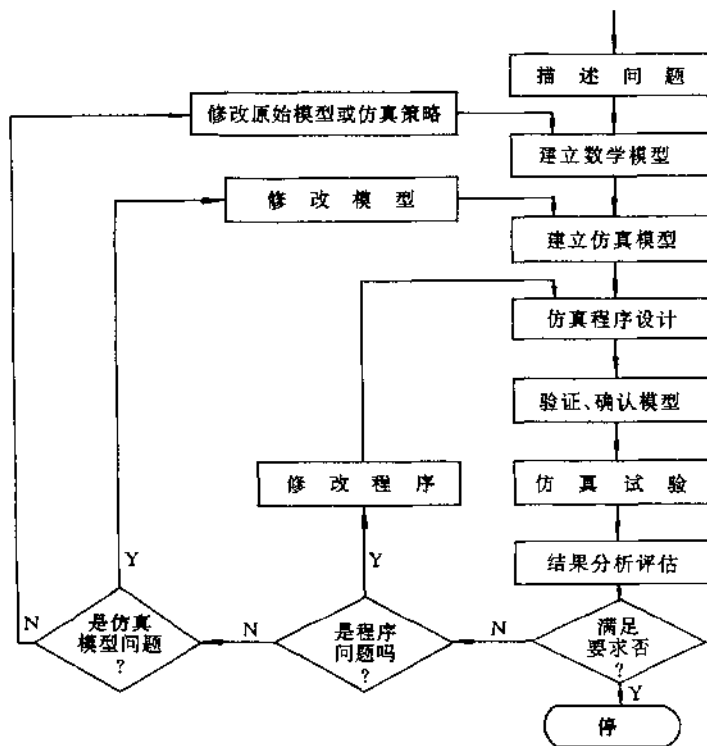


图 6.1-6 数字仿真流程图

(1) 数学模型的形式

时域仿真常用的数学模型的形式有微分方程、传递函数和状态空间表达式。

A. 微分方程

设连续系统的输出量为 $y(t)$, 输入量为 $u(t)$, 则系统用微分方程表示为

$$\begin{aligned} \frac{d^n y}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + a_2 \frac{d^{n-2} y}{dt^{n-2}} + \cdots + a_{n-1} \frac{dy}{dt} + a_n y \\ = c_0 \frac{d^{n-1} u}{dt^{n-1}} + c_1 \frac{d^{n-2} u}{dt^{n-2}} + \cdots + c_{n-1} u \end{aligned} \quad (6.1-1)$$

式中 $a_1, a_2, \dots, a_{n-1}, a_n, c_0, c_1, \dots, c_{n-1}$ 为常数。

B. 传递函数

对式(6.1-1)等号两边逐项进行拉氏变换,并考虑初值为零时,可得到

$$\begin{aligned} s^n Y(s) + a_1 s^{n-1} Y(s) + a_2 s^{n-2} Y(s) + \cdots + a_n Y(s) \\ = c_0 s^{n-1} U(s) + c_1 s^{n-2} U(s) + c_2 s^{n-3} U(s) + \\ \cdots + c_{n-1} U(s) \end{aligned}$$

系统的传递函数

$$\begin{aligned} G(s) &= \frac{Y(s)}{U(s)} \\ &= \frac{c_0 s^{n-1} + c_1 s^{n-2} + \cdots + c_{n-1}}{s^n + a_1 s^{n-1} + a_2 s^{n-2} + \cdots + a_{n-1} s + a_n} \end{aligned} \quad (6.1-2)$$

微分方程或传递函数是用系统的输入输出之间的关系来描述系统的,表示了系统的外部特征,所以称其为外部模型。

用微分方程表示的系统可以是非线性或线性系统,而对于传递函数表示的系统,只适用于单输入—单输出的线性定常系统,所以传递函数的模型表示有一定的局限性。

C. 状态空间表达式

状态空间表达式可以由三个途径获得,由微分方程、系统结构图及液压系统功率键合图导出,本节将仅对微分方程推导作简单说明。

设系统由不含输入量导数项的 n 阶微分方程表示

$$\frac{d^n y}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_{n-1} \frac{dy}{dt} + a_n y = u \quad (6.1-3)$$

定义 n 个状态变量为 x_1, x_2, \dots, x_n , 令

$$x_1 = y$$

$$x_2 = \dot{x}_1 = \frac{dy}{dt}$$

$$x_3 = \dot{x}_2 = \frac{d^2 y}{dt^2}$$

$$\dots \dots \dots$$

$$x_n = \dot{x}_{n-1} = \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}}$$

写出各个状态变量的一阶微分方程形式

$$\dot{x}_1 = x_2$$

$$\dot{x}_2 = x_3$$

$$\dot{x}_3 = x_4$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\dot{x}_{n-1} = x_n$$

$$\dot{x}_n = -a_1 x_n - a_2 x_{n-1} - \dots - a_{n-1} x_2 - a_n x_1 + u$$

将上述 n 个一阶微分方程写成矩阵向量形式

$$\dot{x}' = Ax + Bu \quad (6.1-4)$$

$$y = Cx \quad (6.1-5)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ -a_n & -a_{n-1} & -a_{n-2} & \dots & -a_1 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad C = [1 \ 0 \ 0 \ \dots \ 0]$$

A, B, C 为系数矩阵。式(6.1-4)为状态方程,式(6.1-5)为输出方程,两式合称状态空间表达式。

由于状态空间表达式,反映系统内部特性又称为内部模型。这是一个由外部模型转化为内部模型的例子。实际上,外部模型与内部模型是可以相互转化的。

(2) 模型转化——实现问题

状态方程是一阶微分方程组,适宜于数字计算机求解。对于一个用状态空间表达式描述的方程,其数学模型和仿真模型是一致的,不需要转换。对于许多实际系统,特别是比较复杂的系统,其数学模型往往是通过实验、经过参数辨识,得到传递函数形式。为了便于数字仿真,就必须把它们转换成状态空间表达式,将传递函数或微分方程转换成等效的状态空间表达式,称为实现问题。

(3) 数值解法

液压系统的动态仿真一般可归结为用数值解法求解状态方程的初值问题,也即是一阶微分方程组的初值。数值解法是求出在给定区间 $[a, b]$ 内若干个离散点 $a \leq t_0 < t_1 < \dots < t_n \leq b$ 处的近似值 $x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_n)$ 。常用的数值解法有龙格库塔法、吉尔(Gear)法等。用龙格库塔法求解一阶微分方程组初值问题的公式是通过用多项式近似泰勒级数而推出的。最常用的多项式包含直至四阶导数的泰勒级数,这时的龙格—库塔法就称为四阶龙格—库塔法。

对于一阶微分方程组的初值问题:

$$\dot{x} = F(x, y), x(t_0) = x_0 \quad (6.1-6)$$

它的解可用四阶龙格—库塔递推公式计算

$$x_{n+1} = x_0 + \frac{h}{6} [K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4] \quad (6.1-7)$$

以上求出的数值解是近似解,与泰勒级数展开的精确解相比有一个误差 $O(h^5)$,称之为截断误差。截断误差表示数值方法的精度。

利用数值解法求一阶微分方程组的初值问题存在计算稳定性问题,通常一个微分方程或传递函数表征

的系统利用稳定性理论可以明确地判断该系统的稳定性。可是如果一个稳定的系统进行数值解可能发生计算结果不收敛,产生的原因是数值解是一个近似积分方法,在反复计算中误差的积累会使计算出现不稳定,导致错误的结果。影响稳定性的因素是步长的正确选择,对于四阶龙格-库塔法,只具有有限的稳定范围,即 $h\lambda|\leq 2.8$, λ 是特征方程的根, λ 的实部 $\text{Re}\lambda < 0$,均在 s 平面的左半部时,系统是稳定的。

(4) 液压系统的刚性(Stiff)问题

液压系统在数值积分中常遇到系统或方程的病态问题或称数学刚性问题。

A. 刚性系统和刚性方程的基本概念

一个系统由若干个元件或环节组成,不同元件或环节有不同的时间常数 T 。时间常数 T 即指衰减速度,如方程 $y = \lambda y$ 的解为 $Ce^{\lambda t}$,若 λ 为负值,则 y 在 $t = 1/|\lambda|$ 时衰减 e^{-1} 倍,这个 $1/|\lambda|$ 即为时间常数 T 。

当一个系统有几个时间常数分别为 $T_{\max}, T_1, T_2, \dots, T_{\min}$,令 $\frac{T_{\max}}{T_{\min}}$ 之比为刚度,且 $T_{\min} < h$ 。

若 $\frac{T_{\max}}{T_{\min}}$ 比值很大,刚度达到几个数量级,计算达到 T_{\max} 需很多次数,计算时间很长,而且舍入误差增大,这是病态问题或刚性问题。该方程为刚性方程,系统是刚性系统。

B. 液压系统数学刚性问题

液压仿真时,常遇到下述问题,如小容腔问题,由

于小的受压容腔在流量有微量阶跃变化时,会使压力上升率达到 10kMPa/s ,计算步长取 10^{-6}s 时,计算时间很长。其他如溢流阀在开阀时速度很快,按此选择步长, h 很小,也会使计算时间加长。又如液压系统中节流口及长管道系统的存在,均使液压系统会成为刚性系统,对于刚性问题的处理方法,一般可将某些因素略去,简化模型,在不能略去的情况下,则采用其他数值算法。如Gear法是数值积分法中针对Stiff问题的最好解法。此外,对于线性系统单输入情况下,采用增广矩阵法将是解决Stiff问题的最好解法。

(5) 一般数字仿真程序的主要功能和结构

数字仿真程序是实现计算机求解微分方程组或其他形式数学模型的程序。数字仿真程序有下述功能:

- 能将使用者输入的系统模型转变成仿真模型;
- 能给使用者提供一种或多种积分算法;
- 能显示、打印仿真结果,绘制图形曲线;
- 能提供多次仿真运行控制,以便研究参数变化对系统性能影响和进行优化设计。

仿真程序结构如图6.1-7所示。仿真程序分为三层,由主程序、功能程序、基本子程序组成。主程序是仿真程序的上层,由它进行仿真逻辑控制,调用下面的功能块:输入块、运行块和输出块完成仿真的过程控制及输出仿真结果。其中输入块完成系统参数初值及仿真参数的设定及修改;运行块完成方程参数计算及显示;输出块完成文字图形的输出。

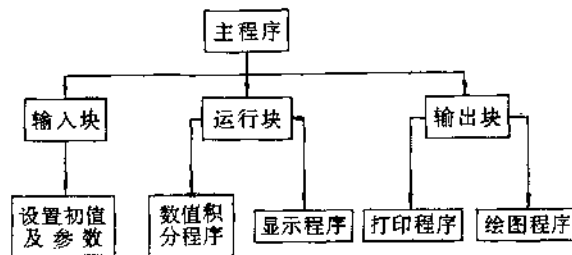


图 6.1-7 仿真程序结构

(6) 时域仿真系统的分类

因为采用数字模型的形式不相同,数字仿真程序将分为微分方程组、传递函数、结构图这几种形式。

微分方程组,即一阶微分方程组,可直接进行数值积分,后两种都需要进行模型转化。工程上的结构图形式的数学模型应用更为广泛,图6.1-8就是结构图

系统的框图。所谓结构图,即将一个系统看成由一些典型环节,如积分环节、惯性环节、比例环节、振荡环节等组成,各环节之间由连接矩阵连接。为了编程方便,可以用 $\frac{C_i + D_i s}{A_i + B_i s}$ 表示上述典型环节,通过模型转化,对状态方程 $\dot{x}' = Ax + Bu$ 求解。

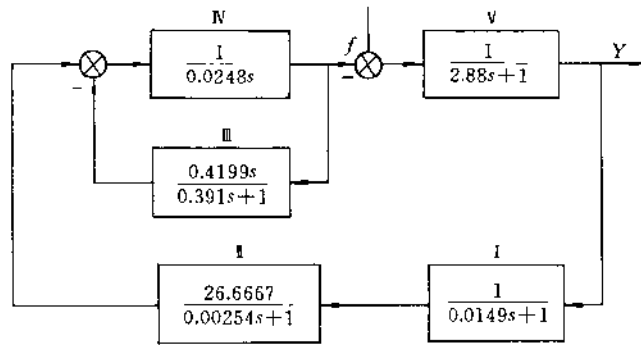


图 6.1-8 结构图系统框图

三种仿真程序的具体使用可参看有关仿真书籍。此外还有按环节离散化的数字仿真,其数学模型类似结构图法,但求解状态方程是采用离散化后的差分方程求响应,即

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

离散后得

$$x[(n+1)T] = G(T)x(nT) + H(T)u(nT) \quad (6.1-8)$$

$G(T)$, $H(T)$ 分别为离散系数矩阵。

该式是在系统入口设置一个虚构采样器及一个零阶保持器后得到的,有关典型环节的状态变量方程、传递函数及函数 $G(T)$, $H(T)$ 可参见有关文献。

这种系统在环节的入口或出口可以加上非线性环节,因此适用于线性和非线性系统。针对线性典型输入的情况,为了提高仿真精度,缩短仿真时间,宜采用快速数字仿真方法,如增广矩阵法。这种方法除了具有上述优点外,对于液压系统中常出现的刚性系统的求解具有更明显的优点。

6.1.6 计算机绘图与参数化绘图

(1) 计算机绘图

计算机绘图是液压 CAD 中不可缺少的重要组成部分。实现计算机绘图,一般包括图形信息的输入、输出、显示图形的变换及交互式绘图。除了配备有图形显示器的计算机及必要的硬件设备(包括输入、输出图形设备或的硬件系统)外,还配有能够进行编辑、编译、计算和实现图形输入、输出信息加工处理的软件。软件由系统软件、支撑软件及图形软件组成。

计算机绘图使绘图工作脱离了手工方式,利用计算机具有存储量大,及编辑、修改的功能,在计算机控制下由绘图机自动绘制。绘制图纸的速度、质量及复杂程度大大超过人工操作。对于一些标准产品的图

纸,可根据存储的图形迅速地绘制,而对于单件或非标准的产品图纸也可通过编辑、修改,生成新的图纸。

A. 图形软件的类型

绘制图纸仅有硬件是不够的,还必须有相应的图形软件,提供计算机进行绘图工作的指令和功能。目前已研制了一些图形软件。

根据图形软件的功能可分为绘图指令软件、图形支撑软件及专用图形软件。

绘图指令软件 这类软件常用汇编语言,甚至用机器语言编写。通常是一些基本的绘图指令,如画点、线、弧、圆等。这些基本绘图功能由计算机厂家或公司编写,提供给用户,如 BASIC 语言、C 语言都提供了简单的绘图指令,但距离 CAD 系统的要求相差很远。

图形支撑软件 这类软件可用汇编语言编写,也可用高级语言编写。除提供基本绘图指令外,还可以对图形进行编辑、修改控制等,功能较强、适应范围广。

这类软件工作方式有两种形式,一种是子程序软件包的形式,用户通过调用功能子程序来实现绘图。属于该类工作方式的软件有 GIS 图形软件及 Calcomp 图形软件,它们都是在 FORTRAN 程序中调用子程序。使用的优点是没有给用户增加新的语种,用户使用方便,修改或补充也很方便。另一种是交互式绘图系统,用户可以通过输入、输出装置与计算机交流信息,采用人机对话方式绘图及对图形进行变换操作,如变比例、旋转、平移、改变颜色等操作,此类系统在国内、外使用范围较宽。美国 AutoDesk 公司开发的 AutoCAD 图形软件就属于此类。该软件从 1983 年问世以来,经历多次版本修改,已发展到 13.0,而且版本可以分别采用 DOS 操作系统或 WINDOWS 操作平台。比外国国内一些单位,如北京大恒公司和凯恩公司相继开发了 CAD 产品,基本上也适用于液压 CAD。CAD

人员通常在此类系统的支持下开发自己的图形系统。

专用图形软件 专用图形软件是在某种基本绘图指令软件或支撑软件基础上开发的,针对某种特定领域、特定专业或特定用途的图形软件,如标准机械零件图形软件、机械装配图绘制软件、电子线路板绘图软件等。

B. 图形软件的功能

不同的图形软件系统,功能不完全相同。一般说来,系统提供的子系统及命令语句多,功能就强些。通常有以下几方面功能:

- 定义窗口与视区,即定义用户作图区域与屏幕显示区域或绘图机绘图区域;
- 图形描述,包括点、线、圆、圆弧、矢量、字符文本等最基本的功能以及相应的多边形、椭圆、曲线;
- 图形编辑与变换,对已有图形进行删除、修改、完善,实现对图形的各种几何变换,如放大、缩小、平移、旋转等;
- 图形控制,包括显示控制、图形输出控制等;
- 图形文件处理,对于一些比较复杂的图形的集合,如某个零件的某一个视图,或典型的三角形、多边形等,可分别将它们定义成文件(或块)然后进行处理,并可进行调度管理,提高图形处理效率;
- 数据交换功能,图形存储方式应该便于和其他软件交换。如 AutoCAD,以 *.DWG 方式存储也可转换成 *.DXF 形式(图形内部更换文件)或其他存储方式,如 *.BMP(位图)方式等;
- 交互处理图形功能,CAD 软件设计的图形需要人工判断和修改,目前广泛应用的菜单技术,具有命令显示清晰、人机界面良好的特点。

C. 绘图程序编制方法

有了图形软件就可以进行应用程序的开发。一般,一个二维图形都是由点、线、弧等最基本的图形元素组成,而任何复杂图形又是由简单图形构成。在编制一个绘图程序之前,应对绘制图形进行分析,确定绘

制的途径或方法。常用绘图程序编制方法有:

- 调用基本绘图指令画图。这种方式只适宜于结构形状简单的图面;
- 调用图形元素指令画图,图形元素是构成图形的最小实用单元。通过对图形元素的拼接变换,可以形成复杂的图形;
- 装备专用图形库,将某些常用的图形作为一个子程序存入图形库,根据需要调用图形库。这种方法针对性强、效率高,但通用性差。

(2) 参数化绘图程序设计

CAD 的实际工程设计中,60%~80%的图形是通过修改已有的设计而形成新设计。而且多数是通过修改设计参数(如参数优化)来实现,所以参数化绘图程序设计具有广阔的应用领域。

参数化绘图又称程序自动绘图。就是根据设计者设计的几何参数自动绘图。在 CAD 过程中,一般设计部分(包括参数设计、结构设计)要求软件具有较强分析计算数值的功能,以及逻辑判断功能,所以采用中、高级程序设计语言如 BASIC, FORTRAN, C 语言,而绘图部分要求支撑软件有较强的图形编辑处理能力,为了实现这两部分相互之间数据传递,必须解决两者之间的连接问题。AutoCAD 由于其优异的图形处理功能,已成为绘图的主要支撑软件。下面以 AutoCAD 绘图软件为例,说明 AutoCAD 与其它语言之间的连接。

A. 利用图形交换文件(*.DXF)实现连接

图形交换文件简称 DXF 文件,这是具有专门格式的 ASCII 码,能描述 AutoCAD 的图形的文本文件。

图形交换文件相当于一个媒介,当 AutoCAD 与高级语言程序连接时,首先将其内部图形数据库格式(*.DWG 格式)转换为 DXF 格式,然后由高级语言来读取,将结果写成 DXF 格式文件,返回 AutoCAD 中转换为内部图形数据库格式生成图形。图 6.1-9 表示了与 AutoCAD 的连接示意图。



图 6.1-9 高级语言与 AutoCAD 连接

图中接口程序作用就是对一种指定格式的文件进行读写操作,能够按高级语言的格式进行输入,由 DXF 文件实现高级语言与 AutoCAD 的连接。DXFIN 是将 DXF 文件格式转换成 DWG 格式。在 AutoCAD

中生成图形。DXFOUT 则是将 DWG 格式转换成 DXF 格式,再由高级语言读取数据。

B. 用 AutoLISP 实现联接

AutoLISP 是内嵌在 AutoCAD 绘图软件中的 LISP

语言,具有 LISP 语言特点,擅长处理具有不同存储量的数据对象,是一个面向对象、求值的语言,而不是过程的语言。具有简洁的语法,编程简便,程序尺寸短小,它可以把 AutoLISP 程序和 AutoCAD 的绘图命令结合起来,使设计和绘图完全融为一体,还可以编程,实现对图形数据库的直接访问、修改、屏幕实时修改、实现交互设计。

AutoCAD 利用 AutoLISP 提供的文件操作函数对数据文件进行读写操作,因而可自动读取其他高级语言程序,运行后产生数据文件中的数据,并且将数据输入 AutoLISP 绘图程序中,从而实现参数化绘图。

C. 用命令组文件(.SCR)实现联接

若 AutoCAD 具有命令组功能,则可执行用户用若干个 AutoCAD 命令及选择项缩写的命令序列,命令序列称为命令组,把命令组以文件的形式存储称作命令组文件,代号为 .SCR。

在这几种联接方法中,后两种在参数化绘图中使用较多,而且往往将这两种方法联接起来。如对于一个有几个视图组成的图形,为简单起见,可将每一个视图编写一个 LISP 程序,然后用 SCR 文件将这几个程序联系起来生成一个图形。

6.1.7 液压 CAD 应用软件简述

液压 CAD 应用软件,目前正从只能进行简单的设计计算的低档专用软件转向开发具有较高级功能的软件。与此同时,从国外引进了一些有较高性能的软件,主要有液压系统原理图的绘图软件、液压元件及系统参数设计和元件造型软件、动态仿真软件、结构设计及零、部件自动绘图软件。应用软件绝大部分具有上述的一个或几个功能。

(1) 仿真软件

A. DSH 程序系统

DSH 程序系统是德国亚琛工业大学液压气动传动及控制研究所开发的液压系统动态数字仿真专用程序系统。浙江大学流体传动及控制研究室于 1981 年引进、消化、移植和改进后已在国内推广。

DSH 程序系统具有自动建立数学模型时域阶跃响应,过渡过程的积分计算和绘制曲线的功能。同时也可完成频率响应的计算、线性化、根轨迹分析和参数优化等工作。

使用时只需将仿真液压系统的物理模型,按规定格式输入计算机,即可自动完成建立数学模型的工作。输入仿真参数结构、参数等参量后,即可显示或打印输出结果或曲线。该系统的数据库存储内容充实,并可

扩大采用模块化结构,模块所占内存小,除适用 PDP-11/24 小型计算机外,也可用于 IBM-PC 微机。该系统对我国开展 CAD 工作起了先导和示范作用。

B. 自动从图形编程的液压系统仿真软件包 HY-CAD

该软件包是由上海交通大学机械系液压教研室于 1985 年研制并推广应用。

该软件能够从用户输入的一张液压系统原理图,自动生成描述系统的仿真程序,简化了使用者掌握编程的困难。仿真程序经编译后,在连接时,可把元件和算法调进,组装成所需的仿真程序。修改或增加算法方便,不必改动仿真程序。软件采用菜单提示、选择,适合于不同层次使用者的要求。软件图形功能丰富,满足不同输出显示的要求,可以输出频率特性、根轨迹及时域响应曲线。输出方式灵活多样,既可屏幕显示,也可用打印机或绘图仪输出曲线。软件设计用模块化结构,结构清晰,程序可读性好。仿真结束后,生成标准液压系统原理图。软件应用面广,既可用元件仿真也适用于系统仿真;既面向生产设计人员,也面向学校教育,是课程辅助教学的良好工具。

C. HYPNEU 软件包

该软件包由美国 BARDYNE 公司研制,于 1993 年引进国内。该软件设计具有 90 年代初的流行风格。采用 C 语言编制窗口界面、菜单选择,可视性强。该软件具有元、部件设计、系统图设计、系统设计、系统静态分析、极限工况分析、频率性能分析等功能,是一个集设计、仿真于一体的综合软件。具有丰富的元件数据库,提供元件模型及参数模块。参数模块向计算机输入产品目录、设计参数值或实验数据的信息,同时由系统数据库提供选择元件、运行环境、输出参数等信息。在元、部件设计时,既可以运用软件提供的 180 种基本元件模型和图形,不需要编程就可以建立具体元件模型,也可根据需要建立专门的元件模型。

系统原理图可在屏幕、打印机或绘图仪上绘制;系统输出为 BODE 图形时,可用其进行频响分析;适用于线性、非线性系统;分析评估系统,同时考虑了温度、流体物理性、化学性、磨损、漏损、空穴、机械污染等因素的影响。

(2) 液压系统原理图绘制软件

这类软件具有液压系统图形符号库,有的还能进行文字标注,绘制出完整的液压系统原理图。

A. 液压系统图形符号库组成

通常液压系统图形符号库包含液压元件基本图形子图库及常用典型图形块子图库。

液压元件基本图形子图库定义了绘制液压系统原理图中常用的液压元件图形符号,它包含有:

- 基本图形元素图形符号。有液压图形符号中最基本最常用的图形单元,如圆、菱形、方形、箭头;
- 常规液压元件图形符号。如泵、马达、液压缸、压力表等;
- 常用标准组合液压元件图形块。如压力阀、方向阀、流量阀。

常用典型图形块子图库是参考国内常用液压系统,以实现典型功能的图形块为基础建立的子图库,它包含有:

- 常用典型液压系统回路图形块;
- 叠加阀式液压系统叠加阀图形块;
- 集成式液压系统常用集成块图形块;
- 插装阀液压系统插装阀块图形块。

对于液压元件常用典型图形块子图库的组合中,软件开发者选用的侧重将会有所不同。如大连理工大学开发的液压系统 CAD 原理图、图形库 HGCAD 软件系统中,就没有插装阀块的图形块,而上海交通大学开发的 HCD 绘图软件,则主要侧重于插装阀组合单元的图形块。

B. 绘制液压系统原理图

有了图形库,只为绘制液压系统原理图提供了方便的条件。在图形库支持下实现绘制液压系统原理图的方法,有实时交互方式、编写专用的绘图程序两种方法。

实时交互方式是最简单的方法。通过人机交互,利用菜单直接在屏幕上调用图形符号库,经过编辑、连接和添加必要的注释就可完成,但对用户配合操作要求太高。编写专用的绘图程序是按一定规律编写专用的绘图程序,通过调用标准的元件库或标准功能回路图形块,实现自动检索、逻辑设计。这种方法对于处理插装阀、集成块、叠加阀等规范化的原理图比较方便,而不宜绘制非规范的系统图,因此两种方式均有较大的局限性。

(3) 设计软件

CAD 的设计软件通常包括参数设计、结构设计、仿真和绘图这几部分。其中绘图,还有三维图和二维图。

A. 液压泵的 CAD

(A) 斜轴式轴向柱塞的 CAD 软件

哈尔滨工业大学液压教研室在对斜轴泵特性进行理论分析后,建立了设计模型,并对球面配流盘、缸体组件的优化进行了研究。开发了液压元件数据库系统,并用 BASIC 语言开发了二维机械绘图软件包 MAKEDRWING,实现了液压泵零件的参数化绘图,以及装配图的自动绘制。该软件包具有下列内容:泵特性计算机辅助分析;优化设计模块;元件数据库系统,尺寸公差数据库、优化系数数据库以及压力、排量系列、阀直径和泵的模型系数的数据库。本软件包适用于液压元件及一般机械零、部件的零件图和装配图的绘制。

(B) 液压泵的 CAD 研究

航天部一院在 APOLLEO 工作站上进行泵 CAD 工作。采用 IDEAS 和 DDM 作为液压泵 CAD 支撑软件。IDEAS 是美国 SDRC 公司的大型实时三维软件,具有设计和工程分析功能。把实体造型、有限元分析、计算机绘图、实验数据分析、数控编程、运动学分析融为一体。在液压泵三维实体造型中,对液压泵实体造型的计算机表示法中,采用目前比较先进和定型的构造主体法(Constructive Solid Geometry)简称为 CSG 和边界表示法(Boundary Representation)简称为 B-Rep。前者用于液压泵的实体组合编辑,具有简单、可靠等优点,但耗机时多。后者用于实体造型中边界固定的边界计算,具有便于拼合运算的优点,但运算复杂,实体图形绘制则采用编程或交互式绘图方式。实体图形有下述功能:

- 可以将零、部件图形进行总体模装,代替实物模型;
- 得到的三维表面、二维图形能提供工程分析;
- 求出液压泵及零、部件的表面积、体积质量和惯性矩等物理量;
- 提供有限元分析。

在液压泵的结构分析中使用有限元分析软件,对缸体和其它几何相似结构施加不同的内压、外压、温度等边界条件,进行优化和解算。并用数据分析软件完成分析结果的数据的处理。

对液压泵柱塞连杆的静,动力学的运动分析。在确定柱塞连杆机构的模型后,根据对运动规律分析,确定柱塞连杆机构的受力函数,对仿真模型进行解算,在屏幕上绘制运动过程,并将运动仿真后的数据进行处理。

DDM 软件是美国 CALMA 公司一个大型交互式软件。它能进行三维实体绘制与数控 AC 软件配合,

产生数控文件,输送到数控加工中心,加工零、部件,实现液压泵设计、制造一体化。

利用这两个软件的各自特色,使液压泵 CAD 工作,摆脱了分散、局部,仅能绘制二维图形或简单计算的水平;摆脱了手工作坊式、繁琐、重复、低效率的设计方式,实现设计、分析、实验、制造一体化。

B. 各种系统设计的软件

目前在实践中推广应用较多和较普遍的系统设计软件是液压阀集成块 CAD 系统、插装阀液压阀块 CAD 系统、叠加集成块液压系统 CAD。

(A) 二维插装阀系统计算机辅助设计——SCV-CAD 软件

软件由上海 704 所设计研制。软件是根据冶金系统插装阀使用日益普遍,为了提高插装阀系统设计效率、水平和规范化;开发液压控制技术,扩大插装阀的应用领域而研制的。

由于插装控制技术从回路到系统设计,元件、组件到控制块的设计,都是若干标准的符号以及标准零、部件的组合,十分有利于建立“要素—元件—组件—系统”的层次结构,通过上述树型结构,建立有专门数据库的数据模式。所以插装阀系统软件设计中建立了图形符号、要素及元件和组件(含扩展组件)的图形库,并采用人机交互方式进行工业系统中插装阀的绘制。

图形库中基本图形符号有插件、控制盖板(含叠加阀)及先导阀的符号。图形库中还有基本回路模块和基本图形符号,根据不同需要,可以编辑和组合各种系统。除了生成集成液压系统原理图,还必须根据原理图形成控制块和集成块的图纸。控制块的设计是插装阀设计中的难点,本系统提供了泵系统块、四通块、三通块、附加块、功能块和功能附加块、顶块等图形,可以组合各种工业系统的控制阀块体。

本软件提供了插装阀系统从原理图绘制到控制块图形的绘制以及集成块系统的自动生成软件。

(B) 二通插装阀集成系统——CV-CAD 软件

该软件是由一汽自行开发的二通插装阀集成系统 CAD 软件,可与 704 所的插装阀集成系统设计技术图纸互换,具有液压系统设计的标准化、通用化、系列化性能,适用于机床行业,大流量液压设备(拉床、压床、锻压机)液压系统设计。

软件采用交互式对话或编制 SCR 文件方式,能自动完成插装阀集成系统液压原理图、集成块装置装配图及零件图的绘制。软件具有丰富的图形库,可以根据系统需要,输入泵控制底块、中间块、二通、三通、四

通、回路块、集成块顶盖、液压缸、泵—电机、滤油器型号,以及集成块、功能扩展块,自动完成液压原理图的绘制,包括连线、编号、明细表及技术条件的输入。软件设计程序采用 C 语言;绘图程序用 AutoLISP 语言编制,自动生成 SCR 文件,可自动绘制上千种液压系统原理图、集成块装置、装配图及零件图,可以一次性完成液压设备的各种图纸,提高了自动化的程度,软件具有很高的应用价值。

(C) 二通插装阀块计算机辅助设计软件

本软件是由大连理工大学开发的软件。通过插装阀液压原理图设计插装阀块结构。该软件采用人机对话方式和菜单提示方式运行。利用程序库自动完成阀块体设计和孔道校核工作,所建立的数据库包括插装阀垫片、盖板以及元件结合面数据库和安装阀孔,插装阀件孔数据库。依据工厂设计经验构成了阀块体设计知识库,阀块体设计时,由设计人员输入信息,查询数据库内结构数据,确定阀块体连通孔道、销钉孔、工艺孔和螺钉孔的布置并对孔道校核。

阀块设计程序中遵循了孔道之间不干涉、工艺孔最短、最少的设计原则,并对可能产生的重复孔道进行了处理。

孔道校核模块把阀块内部油孔、螺钉孔等孔道校核归纳为空间几何学中研究圆柱体的相对位置问题,引出计算机分析阀体内部孔道关系的数学模型,较好地解决了阀体内部孔道的校核难题。

软件采用模块化结构,使用维护方便,操作简便,并结合了工厂实际。

(D) 二通插装阀块三维 CAD 设计

本软件是由大连理工大学和首钢液压机械厂联合开发的,针对插装阀结构的特点,采用三维空间设计阀块,使结构直观明了,便于调整插装件位置及孔道大小、位置。软件系统将插装阀设计技术和二维、三维图像处理技术、计算机辅助设计技术相结合,实现了下述功能:

- 采用交互式设计方法拟定插装阀块设计方案和调整方案;
- 交互式和自动式设计阀块孔道和调整孔道,对设计完毕的阀块进行孔道校核;
- 实现了阀块设计中图形与数据的自动转换。借助于 AutoCAD 高级造型扩展功能,生成阀块体逼真三维图、浓淡渲染图、消隐视图及任意位置剖面图。用软件生成的阀块三维立体图形,自动输出阀块方案参数和孔道数据文件,依据上述数据又可自动生成三维立

体图形。三维立体图形显示能综观全局,观察到相邻两侧元件的位置、外形及各面孔道相互连通情况,因而可避免元件外形干涉;

• 根据设计结果绘制插装阀块零件图和装配图。实现了三维图形和二维图形的自动转换。二维图形清晰显示某一平面视图,有利于调整、修改阀块尺寸及元件安装位置参数。软件结合工厂生产实际,已基本满足工程应用。

(E) 叠加式液压系统集成化软件包

叠加式液压系统具有结构紧凑、体积小、配置灵活和安装维修方便的优点。在数控机床设备中应用日益广泛,大连理工大学和银川长城机床厂联合开发了叠加式液压系统集成化软件。

软件包结构由图形库、数据库和知识库、油路块设计和校核模块、自动绘制装配图模块、自动绘制零件图模块构成。

图形库包括原理图图形库及装配图图形库。原理图图形库包含有:

- 液压元件职能符号图形子库;
- 叠加式液压系统原理图图形子库;
- 常规式液压系统原理图图形子库。

装配图图形库包含有:

- 叠加阀外形子库;
- 板式阀外形子库;
- 联接件图形子库。

用三维图形方式建立装配图图形库。

数据库内存储板式和叠加式液压元件的型号、规格和尺寸参数,以及与图形库相对应的图形信息。知识库内存储油路块设计、自动生成原理、装配图、零件图的知识规则信息。

油路块设计和校核模块。叠加式液压系统是由一组或几组叠加阀和其它元件组成叠加阀组,一般安装到一个或几个油路块上。采用交互方式拟定正确油路设计方案,自动进行孔道设计和校核。

自动绘制装配图模块。根据原理图和油路块提供的信息,自动生成叠加阀组和油路块的三维图形,再转换成二维装配图视图。

自动绘制零件图模块。根据需要选择油路块,零件图视图也显示出内部通道的连接关系。

软件采用模块化结构,菜单控制,使用简便、维护扩充方便,适用于叠加式液压系统和常规式液压系统的设计。

(F) 液压阀集成块计算机辅助设计系统

本软件是由北京液压技术研究所开发。该软件是在 AutoCAD 支持下的二次开发,使用了 AutoCAD 的菜单功能、绘图功能以及 LISP 语言,还使用 NFOXBAS+ 多用户数据管理系统及汇编语言。其主要功能是设计板式液压阀、液压系统,绘制液压系统原理图并完成液压阀块结构设计,校核阀内油路相通与误通情况。并画出零件图及装配图。

(G) 液压阀集成块的计算机辅助设计

本软件是由机电部北京自动化研究所开发。该软件适用于安装所有板式阀、叠加阀和插装阀。液压阀集成块 CAD 软件由 5 个模块组成:交互式阀块设计、孔道输入、孔道校核、工程图纸生成、设计与校验结果信息输出组成。

交互式阀块设计模块是在 AutoCAD 软件支持下开发的,由安装面图库、数据库、AutoLISP 设计程序和高级语言的接口组成。用屏幕菜单方式调用图库、数据库,进行阀块外形设计与板式阀、插装阀和自定义安装联接面的设计、工艺孔设计以及上述步骤的修改。设计完成后,设计信息输入孔道校验程序。

孔道信息输入模块是在 C 语言支持下工作,当构思阀块草图后,将阀块的孔道信息输入程序,用于孔道校验及生成工程图纸。

这两个模块提供了两种应用方式。一种是交互方法,直接进行阀块设计,孔道校验,依次循环直到合格,再输出图纸及其它设计信息。另一种是通过孔道信息输入模块输入孔道信息,然后进行孔道校验,依次循环直至输出设计图纸。

孔道校验模块用 C 语言编写。校验阀体中各种直孔和空间斜孔的通断关系,并校验两孔之间壁厚,给出通孔之间联线的最短距离,以便校核过流面积能否满足要求。孔道模型不作简化,采用网络逐点布尔运算算法,对孔道计算通断结果精确度高,可保证校核的正确。

阀块工程图纸生成模块是在 AutoCAD 支持下开发的,在输入阀块信息后,自动绘制加工图纸,给出全部标注。

设计与校验结果信息输出模块用 C 语言编写,用于输出设计与校验结果信息。并可将信息经转换输入加工数控中心的加工指令,准备加工之用。联通孔及危险孔道信息可以用文件形式存储备用,也可屏显或打印机输出。

本软件侧重于实用性、通用性,依靠计算机完成重复计算,但又能进行逻辑关系和数学关系描述的工作,

如交互式设计、显示和删改,元件安装联接面输入、孔道校验和绘图。对于创造性的思维,如孔道的自动布置和连接仍由设计者完成。

(H) 液压泵站 CAD 软件

液压泵站 CAD 内容涉及到许多相对独立,又分别自成体系的设计,如液压系统原理图设计、液压泵站设计计算,阀块设计管道布置。软件有原理编辑系统 SGS,通用数据管理软件 YYDBG、阀体设计系统 CVS/VRS,以及液压泵 CAD 软件。该软件包括三维布局、总图生成、零、部件选型、变参库、管道布置、泵站及部件装配图及零件图等功能块。在此,仅就泵站设计计算及有关问题进行介绍。三维布局是要得到泵站部件布置、示意外形图。在零、部件选型、变参库支持下,建立油箱体立体草图,然后在油箱上布置组、部件,并确定部件定位空间位置。

在液压泵站及其部件装配图设计中,采用结构描述法和程序装配法得到总图装配图、机油箱体和泵组装配图。应用三维技术解决了管道布置。

由浙江大学开发的液压泵 CAD 软件,遵循总体、部件、零件的自上而下设计原则,用交互方式完成总体布局设计得到三维布置草图,再进行结构设计生成总装配图,再绘制零、部件图。

此外,上海交通大学、浙江大学、北京理工大学、北京航空航天大学等院校均在插装阀系统三维软件、单级电液伺服阀、航空液压元件和系统 CAD 方面进行了开发,并取得了相应的成果。

6.2 液压系统的计算机控制

随着科学的发展,技术的进步,自动控制系统日益复杂,由早期的单输入、单输出的单变量线性自动控制系统发展了多输入、多输出、多变量的线性系统、非线性系统、分布参数控制系统及最优控制系统。与此同时,数学理论的发展、自动控制理论中现代控制理论的形成以及数字计算机的发展为自动控制系统的设计创造了良好的条件。利用计算机具有精度高、速度快、存储量大以及逻辑判断的功能,可实现先进、高级、复杂的控制方法及算法,以便获得快速、精密的控制效果;自动控制技术利用计算机的信息处理能力,把生产控制和管理结合起来实现管理自动化。在液压系统中,采用计算机进行控制的也日益增多。

本节将主要介绍计算机控制液压系统的方法及控制规律;数字控制器的设计方法以及计算机控制在液压系统中的应用等有关内容。

6.2.1 计算机控制液压系统的结构和组成

计算机控制的领域是非常广泛的,控制对象从小到大,从简单到复杂都可以用计算机控制。计算机既可以控制单个液压元件的运动方向,也可以调节液压系统的压力或流量。既可完成对单个回路参数的简单控制,也可进行复杂规律和多变量解耦控制、最优控制和自适应控制等。下面介绍几个典型例子,从而能对计算机控制有一个概貌性认识,了解计算机控制液压系统的结构及组成。

(1) 逻辑控制系统

在液压传动系统中,往往要求几个执行元件按照一定顺序动作或要求它们同时动作,所以在自动化过程中对发出的各种信号需要进行综合和加工,形成所需要的控制信号去控制执行元件。信号的综合和加工就是逻辑运算,逻辑运算可以通过电路或流体回路实现。逻辑控制系统中的液压部分是用电磁换向阀或电液换向阀来控制液压缸或马达的动作,其控制部分则用微机来代替常规的逻辑电路或流体逻辑回路。如图 6.2-1 所示的液压系统具有四个输入信号 a, b, c, d , 按其不同的组合来控制电磁阀 f_1, f_2 及液压缸 e_1, e_2 的动作。其动作要求为:当 b, c, d 无信号时或有信号时,或仅 b 有信号时,电磁阀 f_1 通电,液压缸 e_1 伸出,液压缸 e_2 保持收缩状态;当 d 有信号时,电磁阀 f_2 通电,液压缸 e_1 缩回, e_2 伸出;当 c 有信号时, f_1, f_2 通电,液压缸 e_1, e_2 均伸出; a 有输入信号时,电磁阀 f_1, f_2 断电,液压缸 e_1, e_2 均收缩。

采用微型计算机进行控制时,要解决输入、输出信号与计算机匹配的问题。当输入信号为机械或压力信号时,可通过行程开关、按钮或压力继电器等转换元件,将它们转换为电信号后再接入计算机的输入接口,将计算机的输出接口接到电磁阀的输入电路,控制换向阀的动作。由于计算机的输出电平低于触发电磁阀所需的电压,所以计算机与电磁阀之间还需要装继电器或固态开关。计算机内部则通过编制软件来实现逻辑控制。

(2) 开环控制系统

一般的开环控制系统如图 6.2-2 所示。控制器根据输入值去控制执行机构完成被控参数的要求。

在计算机控制中将控制器用计算机替代,计算机的输出信号是数字信号,如果执行机构是数字式元件,如:高速开关阀或数字式比例阀,就可以直接接到液压缸或液压马达上。如果是常规的比例阀或电液伺服阀就需要在计算机输出口接一个数-模转换器(D/A)。

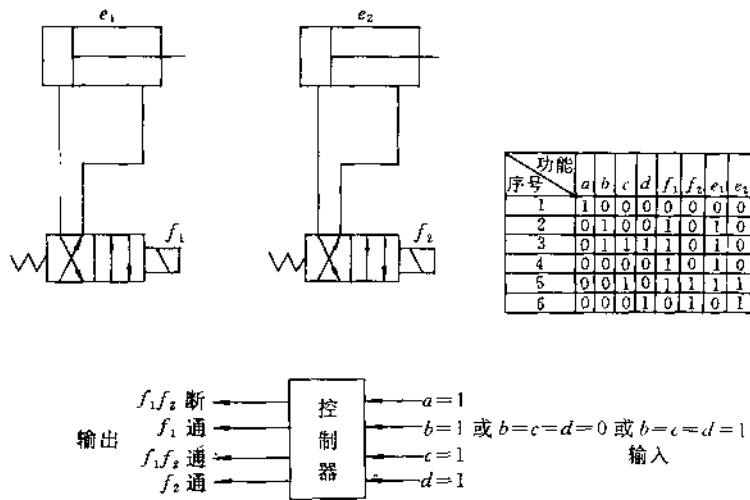


图 6.2-1 液压逻辑控制系统

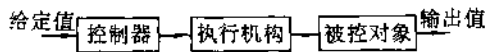


图 6.2-2 开环控制系统

(3) 闭环控制系统

闭环控制系统是将输出信号反馈后和输入信号比较再进行控制的系统,因此具有控制精度高的优点,适合于控制性能要求高的系统。由于计算机完成控制功

能的不同,有下列几种形式。

A. 计算机作输入信号处理器的控制系统

图 6.2-3 所示的一个闭环连续控制系统,系统的输入、输出均是模拟量,计算机接收从键盘、数据存储装置或是更高级管理计算机中获得的原始数据,数据输入该系统前必须经过数-模转换(D/A),转换成模拟量才行。因此,计算机的作用是电液系统的指令信号发生器。

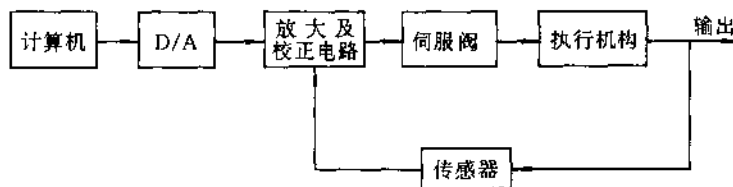


图 6.2-3 计算机作输入信号处理器的控制系统

B. 计算机闭环控制系统(数字控制系统)

图 6.2-4 中所示的是一个轧钢厚度控制系统。图中,计算机和数-模转换器及模-数转换器等作为一个数字控制器,代替连续式闭环系统中的求和点和校正电路组成的模拟式控制器,除了实现校正电路功能之外,通过软件还能实现比一般模拟式电路难以实现的功能,获得比较优良的控制功能。为了实现数字信号与模拟信号之间的转换,在计算机输出端采用数-模转换器(D/A),在反馈回路的厚度传感器后面增加一个模-数转换器(A/D),以便在计算机上方便地

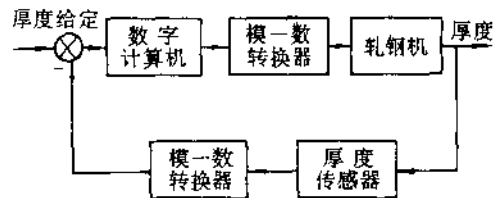


图 6.2-4 轧钢厚度计算机控制系统方框图

进行信号处理。

图 6.2-5 是具有不同采样周期的飞机自动驾驶

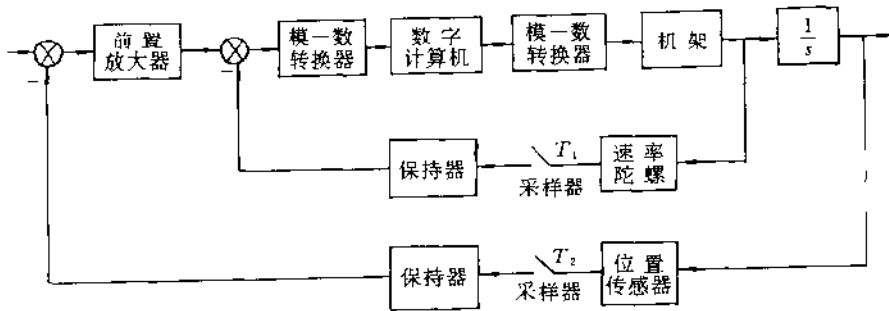


图 6.2-6 多天并用的飞机单轴自动驾驶仪计算机控制系统

仅计算机控制系统,系统中速度反馈和位置反馈采用不同的采样周期 T_1, T_2 。

由上述例子可以看出,控制对象可以不相同,控制参数也有千差万别的变化,但对于计算机数字控制系统都有共同的工作原理和结构。

C. 计算机最优控制和自适应控制

在最优控制中,由计算机组成最优反馈控制器,以受控对象的状态作为反馈,根据预先设定的性能指标,

使系统在随机干扰作用下,保持最优的性能指标。在自适应控制中,由计算机组成的控制器能够根据受控对象的外界环境和工作条件的变化,使控制器本身的参数或结构自动作出相应的变化,保持最优性能。这两种控制方法都比较复杂,采用模拟式控制器难以实现,而且价格昂贵,只有与计算机结合,控制方法才能得到广泛的应用。一个典型的状态反馈计算机控制系统如图 6.2-6 所示。

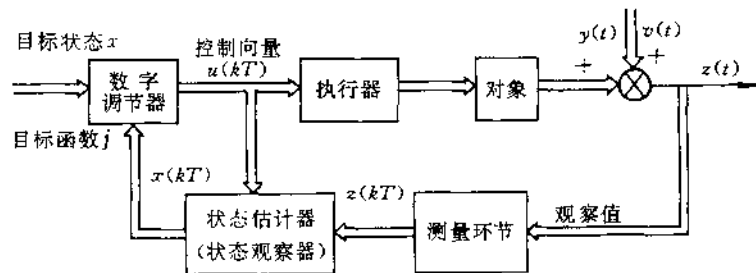


图 6.2-6 状态反馈计算机控制系统

对于上述的闭环控制系统和最优控制和自适应控制两类计算机控制系统,它们的基本组成都是由控制对象、执行器、测量环节和数字控制器(包括多路开关、采样保持器、模-数转换器、数字计算机、数-模转换器和保持器)组成。

下面以计算机闭环控制系统为例,说明如何用微机对液压系统进行控制。

6.2.2 计算机控制的液压控制系统

图 6.2-7 表示一个典型的计算机控制的位置液压控制系统的结构。

液压系统采用控制阀控制液压缸,并用直线位移传感器进行位置反馈。采样作用是用虚拟开关 S_1 ,

S_2, S_3, S_4 表示,计算机对输入信号和反馈信号经过采样周期 T 采样一次,经过比较后得出误差信号,再按控制算法进行运算,将得到的控制信号送到液压系统。这里,控制算法的作用相当于模拟式控制系统中的校正环节。因为计算机按采样周期进行控制,所以系统属于采样控制系统。系统的分析理论参阅第 5 章中有关部分。下面将介绍计算机控制系统中数字控制器的结构、信号传递的过程及采样系统的数学模型。

(1) 数字控制器

数字控制器的硬件结构及信息的变换和传递过程如图 6.2-8 所示。

A. 采样保持器

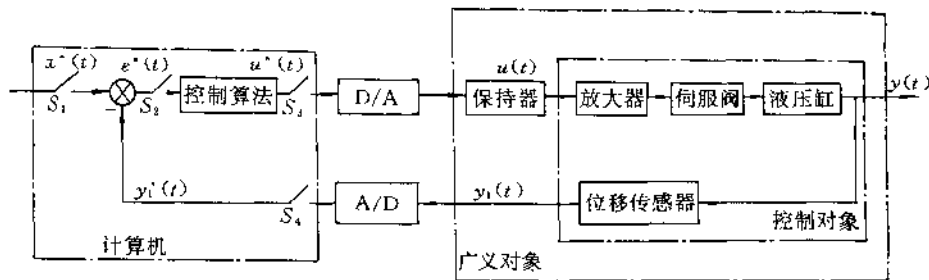


图 6.2-7 计算机控制的位置液压控制系统

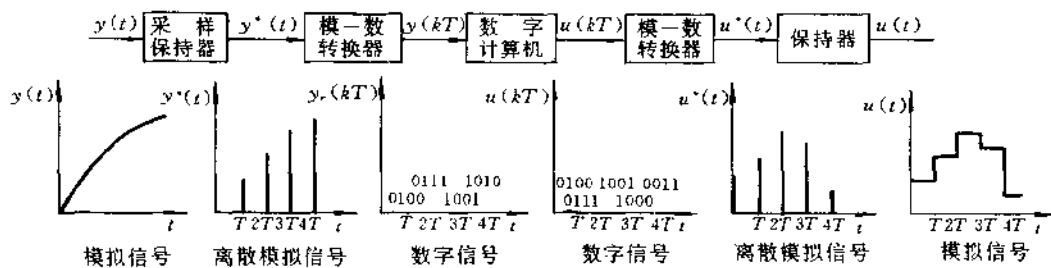


图 6.2-8 数字控制器结构及信息的变换和传递

采样保持器用来对模拟信号 $y(t)$ 采样, 并保持一段时间, 采样得到的是时间上是离散、幅值上是连续的离散模拟信号, 采样周期是每隔时间间隔 T 之后, 采样开关闭合一次。采样过程的数学表达式如下:

$$y^*(t) = \sum_{k=0}^{\infty} y(kT)\delta(t - kT) \quad (6.2-1)$$

式中 δ —脉冲函数

$$\delta(t) = \begin{cases} 0, & t \neq 0 \\ \infty, & t = 0 \end{cases}$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) dt = 1 \quad (6.2-2)$$

根据采样定理, 要使采样信号能够恢复原来的连续信号, 应使采样角频率 $\omega_s \geq 2\omega_{max}$, ω_{max} 是连续信号 $y(t)$ 频谱特性中的最高角频率

$$\omega_s = \frac{2\pi}{T}$$

B. 模-数转换器

由于离散模拟信号 $y^*(t)$ 仍是一个模拟量, 而计算机内运行的是二进制数字信号, 通过模-数转换器把离散的模拟信号转换成时间上、幅值上均为离散的数

字量, 这个过程称为量化。量化的精度取决于模-数转换器的位数 n , 当位数 n 足够多时, 转换可达到足够的精度。转换器末位(最低位)代表的数值称为量化单位 q

$$q = \frac{y_{max}^* - y_{min}^*}{2^n - 1} \approx \frac{y_{max}^* - y_{min}^*}{2^n} \quad (6.2-3)$$

y_{max}^* , y_{min}^* 分别代表转换器输入的最大值和最小值。

量化引起的误差是量化误差 ϵ

$$\epsilon = \frac{q}{2}$$

常用模-数转换器的位数 $n = 8$ 或更多, 量化误差与全量程 $(y_{max}^* - y_{min}^*)$ 之比很小, 计算中可忽略不计。

C. 数字计算机

数字计算机与外围设备一起构成数字控制器, 同时具有显示、打印、报警、制表等功能。控制计算机除主机外, 还有存储器、显示器、打印机、报警单元和操作控制台及比较完善的输入、输出通道, 如模拟量的输入、输出通道; 数字量的输入、输出通道; 开关量的输入、输出通道和相应的指令, 以及完善的软件系统以便控制输入、输出指令、完成信号的判断和计算, 并给出

二进制数字输出信号 $U(kT)$ 。

D. 数—模转换器和零阶保持器

从计算机输出的控制信号是二进制数字脉冲信号,需要经过 D/A 转换器和保持器的变换,才能输入到模拟式控制、执行机构。D/A 转换器的作用是将二进制数字信号 $U(KT)$ 转换成离散模拟信号 $u^*(t)$ 。因为 $u^*(t)$ 仍是离散的脉冲信号,还需经过保持器,将离散的电压信号变成连续的电压信号。通常保持器是零阶保持器,当采样周期 T 和量化单位都足够小时,可以将保持器输出的阶梯信号 $u(t)$ 近似当作连续变化的模拟信号。在实际结构中,D/A 转换器与保持器是合成一体的,而在分析计算时常将保持器与控制对象连在一起,合称广义控制对象。

(2) 差分方程和脉冲传递函数

对于采样控制系统,其输出与输入之间用线性常系数差分方程表示

$$y(k) + a_1 y(k-1) + \dots + a_n y(k-n) = b_0 u(k) + b_1 u(k-1) + \dots + b_m u(k-m) \quad (6.2-4)$$

式中 n, m —输出和输入的阶次,都是正整数,且 $n \geq m$,改写上式为

$$y(k) = \sum_{i=1}^n a_i y(k-i) + \sum_{j=0}^m b_j u(k-j) \quad (6.2-5)$$

对式(6.2-5)Z变换后,求零初始条件下线性系统的脉冲传递函数,并整理后得出脉冲传递函数为

$$G(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{\sum_{i=0}^m b_i z^{-i}}{1 + \sum_{j=1}^n a_j z^{-j}} \quad (6.2-6)$$

式中 $Y(z), U(z)$ 是 $y(k), u(k)$ 的 Z 变换。

当对一个连续的线性系统的输入和输出同时采样时,从连续系统的传递函数 $G(s)$ 求相应的采样系统的脉冲传递函数 $G(z)$,其步骤如下:

- 求传递函数 $G(s)$ 的拉氏反变换

$$\mathcal{L}^{-1}[G(s)] = h(t) \quad (6.2-7)$$

$h(t)$ 是连续系统的脉冲响应函数,是当系统输入脉冲函数 $\delta(t)$ 时的输出函数。

- 对 $h(t)$ 进行采样,即根据式(6.2-1)求得离散化的 $h^*(t) = h(k)$ 。
- 根据 Z 变换的定义,求得脉冲传递函数

$$G(z) = \sum_{k=0}^{\infty} h(k) z^{-k} \quad (6.2-8)$$

这些步骤简记为

$$G(z) = Z[G(s)] \quad (6.2-9)$$

也可以在表格中,从 $G(s)$ 直接查出相应的 $G(z)$ 。对于图 6.2-9 所示的由控制对象和保持器组成的串联环节的广义系统其传递函数为

$$G(s) = G_h(s)G_c(s)$$

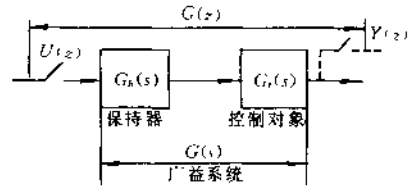


图 6.2-9 广义系统的脉冲传递函数

广义的脉冲传递函数为

$$G(z) = Z[G_h(s)G_c(s)] \quad (6.2-10)$$

采样开关在系统中的位置对系统的脉冲传递函数有重要影响,本书列举了几种闭环采样系统输出量的变换表达式,可供参考。求闭环系统脉冲传递函数时,应根据系统中串联环节的不同连接形式列写 Z 变换方程。

6.2.3 采样控制系统的设计和综合

采样控制系统中包含了数字控制器及控制对象两部分,所以采样控制系统的设计和综合将包含确定这两部分的结构和参数。通常,图 6.2-7 的计算机数字控制系统的反馈传感器是比例环节,在经过调整后得到图 6.2-10 所示的方框图。

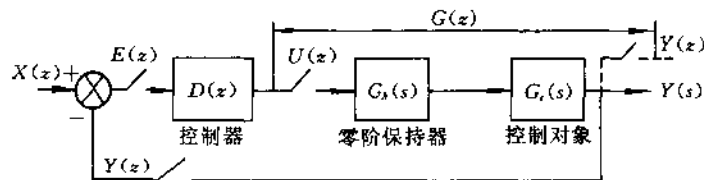


图 6.2-10 采样控制系统方框图

在采样控制系统中,零阶保持器的传递函数 $G_h(s)$ 是不变的,在液压系统控制对象的传递函数 $G_o(s)$ 确定后,通常也不会改变。因此系统的综合与设计任务,主要是在给定系统的性能品质指标下,设计数字控制器 $D(z)$ 以达到系统的性能指标。计算机控制系统的性能指标,在古典控制理论范围内,仍然可以沿用类似连续系统中的稳定性、稳态误差和动态性能指标。判断系统的性能常用的有两种方法,一种是稳定裕量、误差系数(位置、速度、加速度误差系数)和动态性能指标(谐振峰值、谐振频率、通频带、阻尼比、超调量)等,另一种方法是系统在单位阶跃、单位速度或单位加速度等典型输入作用下,具有最短的调节时间等。

开始设计系统时,可先将 $D(z)$ 作为比例环节,按上章采样周期的选择方法,选用适当的采样周期 T ,并进行稳定性判别,也可按分析系统的瞬态响应或进行系统仿真来检查系统的其他品质。

当系统的稳定性和其他品质不满足设计要求时,便要重新设计 $D(z)$ 。 $D(z)$ 的设计方法有两种,一种是模拟化设计方法,就是根据连续系统的理论,设计校正环节,然后用数字化离散化的方法得出 $D(z)$;另一种是离散化设计方法,又称直接设计法,该法是根据系统的性能要求,运用离散系统控制理论,直接进行数字控制器的设计。下面主要介绍模拟化设计方法,它是按连续系统控制理论得出的控制规律进行,先进行离散化得到计算机能实现的控制算式,然后在计算机上实现编程计算。我们将采用比例、积分、微分控制,即 PID 控制的离散化方法来确定参数及分析参数对性能的影响。同时也介绍用离散化设计方法如何对数字控

制器进行直接设计,主要介绍最少拍系统和快速无波纹系统的设计。

(1) PID 控制器数字化的设计及实现

在连续控制系统中 PID 控制器的控制规律为

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (6.2-11)$$

式中 $u(t)$ 、 $e(t)$ ——分别为控制器的输出、输入信号;

K_p 、 T_i 、 T_d ——分别为比例系数、积分时间常数和微分时间常数。

对 PID 控制器进行数字化,相当于对控制器进行采样,采用梯形近似计算,将式(6.2-11)写成近似的差分方程

$$u(k) = K_p e(k) + K_i T \times \left[\frac{e(0) + e(k)}{2} + \sum_{j=1}^{k-1} e(j) \right] + \frac{K_d}{T} [e(k) - e(k-1)] \quad (6.2-12)$$

式中 T 为采样周期, $K_i = \frac{K_p}{T_i}$, $K_d = K_p T_d$, K_i 、 K_d 分别为积分系数、微分系数,对上式进行 Z 变换,得出数字 PID 控制器的脉冲传递函数

$$D(z) = \frac{U(z)}{E(z)} = K_p + \frac{K_i T(z+1)}{2(z-1)} + \frac{K_d(z-1)}{Tz} \quad (6.2-13)$$

下面通过一个例子来说明如何选择控制器的参数,系统的方框图如图 6.2-11 所示。

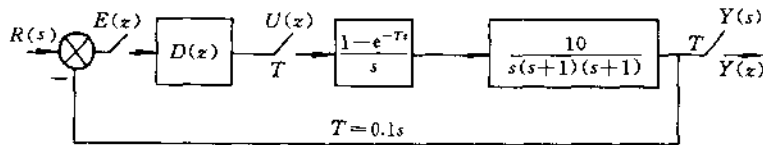


图 6.2-11 带数字控制器的计算机控制系统

广义系统的脉冲传递函数为

$$\begin{aligned} G(z) &= Z[G_h(s)G_o(s)] \\ &= Z \left[\frac{1-e^{-Ts}}{s} \cdot \frac{10}{(s+1)(s+2)} \right] \\ &= Z \left\{ (1-e^{-Ts}) \left[\frac{5}{s} - \frac{10}{s+1} + \frac{5}{s+2} \right] \right\} \end{aligned}$$

根据 Z 变换表,且当 $T=0.1s$ 时得

$$G(z) = \frac{0.0453(z+0.904)}{(z-0.905)(z-0.819)} \quad (6.2-14)$$

这个式子是未经校正的开环脉冲传递函数。

若数字控制器 $D(z) = K_p$, 则系统的闭环脉冲传递函数为

$$\Phi(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{D(z)G(z)}{1+D(z)G(z)}$$

$$= \frac{0.0453(z + 0.904)K_p}{z^2 - 1.724z + 0.741 + 0.0453K_p z + 0.04095K_p} \quad (6.2-15)$$

当 $K_p = 1$, 相当于无校正系统的闭环脉冲传递函数

$$\Phi(z) = \frac{0.0453(z + 0.904)}{z^2 - 1.679z + 0.782} \quad (6.2-16)$$

由于闭环脉冲传递函数的特征方程根为 $z_1 = 0.84 + j0.278$, $z_2 = 0.84 - j0.278$ 都在 z 平面的单位圆内, 因

此该系统是稳定的。

在单位阶跃输入时, 输出量的 Z 变换

$$Y(z) = \Phi(z)X(z) = \frac{0.0453(z + 0.904)}{z^2 - 1.679z + 0.782} \cdot \frac{z}{z-1} \\ = \frac{0.0453z^2 + 0.04095z}{z^3 - 2.679z^2 + 2.461z - 0.782} \quad (6.2-17)$$

由式(6.2-17)及 Z 变换性质, 可求出单位阶跃响应曲线如图 6.2-12 所示。

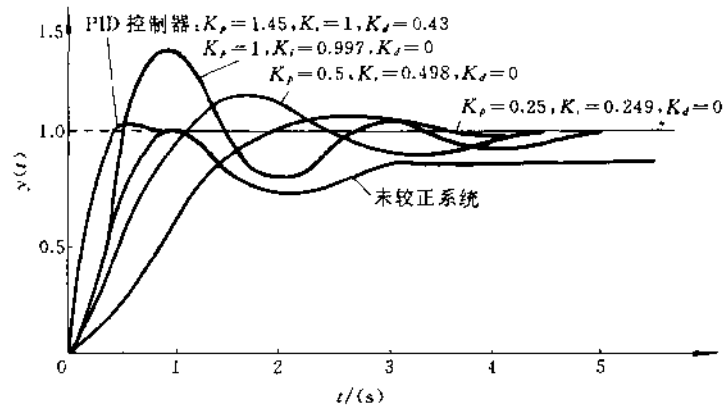


图 6.2-12 数字 PID 控制系统的单位阶跃响应曲线

因为系统的开环脉冲传递函数 $G(z)$ 不符合在 $Z=1$ 处的极点条件, 所以对于单位阶跃输入时系统的稳态输出值可根据 Z 变换的终值定理求得

$$y(\infty) = \lim_{z \rightarrow 1} (z-1)\Phi(z)X(z) \\ = \lim_{z \rightarrow 1} \frac{0.0453z(z + 0.904)K_p}{z^2 - 1.724z + 0.741 + 0.0453K_p z + 0.04095K_p} \\ = \frac{0.08625K_p}{0.017 + 0.08625K_p} \quad (6.2-18)$$

当 $K_p = 1$, $y(\infty) = 0.835$, 稳态误差 $e_{ss} = 0.165$

$K_p = 2$, $y(\infty) = 0.910$, 稳态误差 $e_{ss} = 0.09$

可见, K_p 增加, 系统的稳态误差将减少, 提高了系统的动态响应速度。 K_p 根据系统的速度静态误差系数 K_v 的要求来确定

$$K_v = \lim_{z \rightarrow 1} (z-1)G(z)K_p$$

在 PID 控制中, 积分控制用来消除系统的稳态误差, 因为只要存在偏差, 积分产生的信号总是用来消除稳态误差, 直到偏差为零, 积分作用才停止。

我们采用 PI 控制器, 令 $K_d = 0$, 由式(6.2-13)得

$$D(z) = K_p + \frac{K_i T(z+1)}{2(z-1)} \\ = \frac{(2K_p + K_i T) \left[z + \frac{K_i T - 2K_p}{K_i T + 2K_p} \right]}{2(z-1)} \quad (6.2-19)$$

式中 K_p, K_i 是可以自由选择的, 在设计 PI 控制器时, 使积分校正作用增加的零点与广义系统的一个极点相抵消, 即令

$$\frac{K_i T - 2K_p}{K_i T + 2K_p} = -0.905 \quad (6.2-20)$$

令 $T = 0.1s$, 则 $\frac{K_p}{K_i} = 1.0026$ (6.2-21)

若 K_p 由静态速度误差系数确定, 选定 $K_p = 1$, 则由式(6.2-21)可以确定 $K_i = 0.997$, 于是将 $K_p = 1$, $K_i = 0.997$ 代入式(6.2-19)后, 可得控制器的脉冲传递函数 $D(z)$ 为

$$D(z) = 1.05 \frac{z - 0.905}{z - 1} \quad (6.2-22)$$

带调节器的系统开环脉冲传递函数

$$D(z)G(z) = \frac{0.0475(z + 0.9041)}{(z-1)(z-0.819)} \quad (6.2-23)$$

由于开环脉冲传递函数具有一个在 $z=1$ 的极点,所以闭环系统对于阶跃输入的稳态误差为零。图 6.2-12 上也给出了具有控制器的系统的阶跃输出响应曲线。系统用数字积分校正消除了稳态误差,但从输出响应曲线看出系统的超调量达到 45%,且调节时间也加长了。为了缩小超调量,可以改变 K_p, K_i 。用上面同样的方法得到 $K_p=0.5, K_i=0.498$ 及 $K_p=0.25, K_i=0.249$ 两组数据后所绘制的阶跃输入响应曲线也在图 6.2-12 上。

为了改善动态性能,还必须加入微分校正,即采用 PID 控制。微分控制的作用与偏差的变化率有关,它能预测偏差,产生超前的校正作用。

采用 PID 控制,这时 PID 数字控制器的脉冲传递函数

$$D(z) = K_p + \frac{K_i(z+1)}{2(z-1)} + \frac{K_d(z-1)}{Tz} - \frac{(K_i T^2 + 2K_p T + 2K_d)z^2 + (K_i T^2 - 2K_p T - 4K_d)z + 2K_d}{2Tz(z-1)} \quad (6.2-24)$$

带 PID 控制器的系统的开环脉冲传递函数为

$$G(z)D(z) = \frac{(KT^2 + 2K_p T + 2K_d)z^2 + (K_i T^2 - 2K_p T - 4K_d)z + 2K_d}{2Tz(z-1)} \times \frac{0.0453(z+0.904)}{(z-0.905)(z-0.819)} \quad (6.2-25)$$

式(6.2-25)中的 K_p, K_i, K_d 三个参数值需要根据附加的设计条件来确定。

由于静态速度误差系数 K_v 确定涉及控制器两个零点与广义系统在 $z_1=0.905$ 及 $z_2=0.819$ 两个极点相抵消的情况,可以使我们得出三个独立的线性方程,因而可以求出调节器中的三个参数。如当 $T=0.1s$ 时,要求的静态速度误差系数 $K_v=5$,因为

静态速度误差系数 K_v 为

$$K_v = \frac{1}{T} \lim_{z \rightarrow 1} [(z-1)G(z)D(z)] = 5K_i \quad (6.2-26)$$

可见 K_v 与 K_p, K_d 无关。由 $K_v=5$,得 $K_i=1$

根据两个零点和两个极点抵消的条件,得到

$$z^2 + \frac{K_i T^2 - 2K_p T - 4K_d}{K_i T^2 + 2K_p T + 2K_d} z + \frac{2K_d}{K_i T^2 + 2K_p T + 2K_d} = (z-0.905)(z-0.819) \quad (6.2-27)$$

$$\frac{K_i T^2 - 2K_p T - 4K_d}{K_i T^2 + 2K_p T + 2K_d} = -1.724 \quad (6.2-28)$$

$$\frac{2K_d}{K_i T^2 + 2K_p T + 2K_d} = 0.7412 \quad (6.2-29)$$

由式(6.2-28),解得

$$K_p = \frac{0.552K_d - 2.724K_i T^2}{1.448T} \quad (6.2-30)$$

令 $K_i=1, T=0.1s$ 得

$$K_p = \frac{0.552K_d - 0.02724}{0.1448}$$

代入式(6.2-29)得 $K_i=0.43, K_p=1.45$ 。

将 K_p, K_i, K_d, T 代入式(6.2-24)得

$$D(z) = \frac{5.8z^2 - 10z + 4.3}{z(z-1)}$$

$$D(z)G(z) = \frac{0.2627(z+0.904)}{z(z-1)} \quad (6.2-31)$$

闭环脉冲传递函数

$$\Phi(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{D(z)G(z)}{1 + D(z)G(z)} = \frac{0.263(z+0.904)}{z^2 - 0.737z + 0.238} \quad (6.2-32)$$

方程的特征根为

$$z_1 = 0.369 + j0.319, z_2 = 0.369 - j0.319$$

系统的阶跃响应曲线见图 6.2-12。

系统在单位阶跃输入时,输出量的稳态值为

$$\begin{aligned} y(\infty) &= \lim_{z \rightarrow 1} (z-1)\Phi(z)X(z) \\ &= \lim_{z \rightarrow 1} (z-1) \frac{0.263(z+0.904)}{z^2 - 0.737z + 0.238} \frac{z}{z-1} \\ &= \lim_{z \rightarrow 1} \frac{0.263(1.904)}{1 - 0.737 + 0.238} \\ &= 1 \end{aligned}$$

稳态误差 $e_{ss}=0$,在 PID 控制作用下,积分作用使阶跃输入的稳态误差为零。微分控制作用改善了动态特性和降低了调节时间,也减小了超调量。

以上所讲的是属于 PID 控制算法中称为位置式算法的一种算法,其他还有速度式算法、增量式算法。有关这两种算法详情可参看其他有关书籍。

(2) 离散化设计数字式控制器

在图 6.2-10 的系统中,系统的闭环脉冲传递函数

$$\Phi(z) = \frac{D(z)G(z)}{1 + D(z)G(z)} \quad (6.2-33)$$

数字控制器的脉冲传递函数

$$D(z) = \frac{\Phi(z)}{G(z)[1 - \Phi(z)]} \quad (6.2-34)$$

若已知 $G(z)$,并根据性能指标要求定出 $\Phi(z)$,数字控制器 $D(z)$ 就可确定,设计数字控制器 $D(z)$ 的步骤

如下:

- 根据控制系统的性能指标要求及其它约束条件, 确定所需的闭环脉冲传递函数 $\Phi(z)$;

- 根据式(6.2-34)确定数字控制器脉冲函数 $D(z)$;

- 根据 $D(z)$, 编制控制算法的程序。

在这种设计过程中, 确定所需的闭环脉冲传递函数 $\Phi(z)$ 是最关键的, 下面结合具体系统来说明这种方法的设计过程。

A. 最少拍系统设计

最少拍设计是系统在典型输入作用下对数字控制器的设计, 使系统的调节时间最短或者系统在有限个采样周期内结束过渡过程。

系统的误差脉冲传递函数

$$\Phi_e(z) = \frac{E(z)}{X(z)} = \frac{X(z) - Y(z)}{X(z)} = 1 - \Phi(z) \quad (6.2-35)$$

系统的误差

$$E(z) = X(z)\Phi_e(z) = X(z)[1 - \Phi(z)] \quad (6.2-36)$$

根据最小拍系统的设计准则, 要求系统在某种典型输入作用下, 经过最少的采样周期, 稳态误差为零。

根据 Z 变换的终值定理, 系统的稳态误差为

$$e(\infty) = \lim_{z \rightarrow 1} (z-1)E(z) = \lim_{z \rightarrow 1} (z-1)X(z)[1 - \Phi(z)] = 0 \quad (6.2-37)$$

将 $E(z)$ 写成幂级数形式

$$E(z) = e(0) + e(T)z^{-1} + e(2T)z^{-2} + \dots + e(kT)z^{-k} \quad (6.2-38)$$

要使误差尽快为零, 就要求式(6.2-38)中的项数尽量少, 要使 $E(z)$ 项数尽量少, 对式(6.2-36)而言, 就要求 $X(z)[1 - \Phi(z)]$ 展开式的项数尽量少。对不同输入函数 $X(z)$ 这样才能满足上述要求的 $\Phi(z)$ 。

单位阶跃输入时 $x(t) = 1[t]$, $X(z) = \frac{1}{1-z^{-1}}$, 为满足 $e[\infty] = 0$ 的要求则 $X(z)$ 的分母项应与 $1 - \Phi(z)$ 相抵消, 则得 $\Phi(z) = z^{-1}$, $\Phi_e(z) = 1 - z^{-1}$ 。

单位速度输入函数

$$x(t) = t, X(z) = \frac{Tz^{-1}}{(1-z^{-1})^2}$$

$$\Phi_e(z) = 1 - \Phi(z) = (1-z^{-1})^2, \Phi(z) = 2z^{-1} - z^{-2}$$

单位加速度输入函数

$$x(t) = \frac{t^2}{2}, X(z) = \frac{T^2 z^{-1}(1-z^{-1})}{2(1-z^{-1})^3}$$

$$\Phi_e(z) = 1 - \Phi(z) = (1-z^{-1})^3, \Phi(z) = 3z^{-1} - 3z^{-2} + z^{-3} \quad (6.2-39)$$

在式(6.2-39)中 $v=1, 2, 3$ 对应着阶跃, 速度, 加速度三种输入。

对于一个给定 $G_c(s)$ 特性的系统, 当采样周期 T 和保持器选定以后, 求得广义系统脉冲传递函数 $G(z)$, 再根据最少拍设计原理, 结合典型输入函数求得系统的闭环脉冲传递函数 $\Phi(z)$, 就可以按 $D(z)$ 的算式求出数字控制器 $D(z)$ 。

根据上述方法设计系统的适应性较差, 因为针对一种典型输入作用下得到系统闭环脉冲传递函数 $\Phi(z)$, 只适应于一种特定的输入而不能适用其他输入。

在上面设计中, 确定闭环脉冲传递函数 $\Phi(z)$ 的最少拍条件只适应于 $G(z)$ 在单位圆外无零、极点以及无纯延迟环节 z^{-1} 的情况, 如果不满足上述条件, 需要对设计作相应的限制。

通常 $G(z)$ 和 $D(z)$ 成对出现在 $\Phi(z)$ 中, 一般可以用 $D(z)$ 的零点对消 $G(z)$ 的极点, 但当 $G(z)$ 单位圆外有极点时, 采用这种零、极点对消方法会导致系统不稳定。

$\Phi(z)$ 设计时遵循下述原则:

- $\Phi(z)$ 的零点必须包含 $G(z)$ 在单位圆上和圆外的全部零点;

- $\Phi(z)$ 应有 z^{-1} 的因子, 且方次与 $G(z)$ 中分子的 z^{-1} 因子的方次相等;

- $1 - \Phi(z)$ 应该把 $G(z)$ 在单位圆外和圆上的全部极点作为自己的零点。

采用最少拍设计的系统只在采样点上保证稳态误差为零, 而在采样点之间的输出响应是有波动的, 即存在纹波。

B. 无纹波最少拍系统设计

最少拍无纹波系统就是要求系统在输入作用下, 经过尽可能少的采样周期之后系统达到稳定, 并且采样点之间没有纹波。

最少拍系统采样点之间存在纹波的问题是由于数字控制器 $D(z)$ 的输出不是在有限采样周期内结束动态过渡过程, 若能使它在有限拍数内结束, 纹波也就自然消除了。无纹波最少拍系统不仅要求系统的输出 $Y(z)$ 与输入函数 $X(z)$ 之间闭环脉冲传递函数 $\Phi(z)$ 是 z^{-1} 的有限项多项式, 而且要求数字控制器输出 $U(z)$ 与输入函数 $X(z)$ 之间的脉冲传递函数是 z^{-1} 的有限项多项式。因为

$$\frac{U(z)}{X(z)} = \frac{U(z) E(z)}{E(z) X(z)} = \frac{D(z)}{1 + D(z)G(z)} = \frac{\Phi(z)}{G(z)} \quad (6.2-40)$$

只要 $\Phi(z)$ 包含 $G(z)$ 的全部零点, 即可使 $\frac{U(z)}{X(z)}$ 为 z^{-1} 的有限项, 对于无纹波最少拍系统设计的附加

条件是: 系统闭环脉冲函数 $\Phi(z)$ 应包括广义系统传递函数 $G(z)$ 的全部零点。

下面举一例说明。图 6.2-13 所示系统中 $G_h(s)$ 是零阶保持器, $G_1(s) = \frac{1}{s(s+1)}$, 当输入为阶跃函数时, 要求按无纹波最少拍系统设计数字控制器 $D(z)$ 。

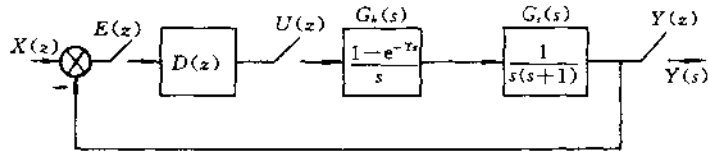


图 6.2-13 采样控制系统

$T=1$ 时

$$G(z) = \frac{0.368z^{-1}(1+0.718z^{-1})}{(1-z^{-1})(1-0.368z^{-1})}$$

$G(z)$ 有一个零点, $z=0.718$ 有一个 z^{-1} 因子, 在单位圆上有一个 $z=1$ 的极点。按最少拍设计原则及附加条件得

$$\Phi(z) = bz^{-1}(1+0.718z^{-1})$$

$$\Phi_p(z) = (1-z^{-1})(1+az^{-1})$$

b, a 为待定系数, 利用 $\Phi(z) = 1 - \Phi_p(z)$

$$b(z^{-1} + 0.718z^{-2}) = (1-a)z^{-1} + az^{-2}$$

$$a = 0.418 \quad b = 0.582$$

$$\Phi(z) = 0.582z^{-1}(1+0.718z^{-1})$$

$$D(z) = \frac{\Phi(z)}{G(z)\Phi_p(z)} = \frac{1.58 - 0.582z^{-1}}{1 + 0.418z^{-1}}$$

最少拍无纹波设计具有实用价值, 动态响应无超调, 调节时间也最快。

6.3 液压计算机辅助测试(CAT)

计算机辅助测试(Computer Aided Test, 简称 CAT)是一门新兴的综合学科, 它所涉及的范围除了微型计算机和测试技术外, 还有数字信号处理, 可靠性及现代控制理论等。

我国已研制出一些具有较高性能的液压计算机辅助测试系统, 如机械部北京自动化所研制的液压元件计算机辅助测试系统可完成多种阀及泵的性能; 北京理工大学研制的液压泵(液压马达、液压泵—液压马达传动系统)工作特性的计算机辅助实验系统; 上海交通大学及昆山液压件厂共同研制的液压阀特性试验系统等等。在一些测试系统中, 计算机不仅是数据采集和处理的中心, 而且完成控制试验条件、补偿传感器的非

线性、安排试验程序、完成输出特性曲线及数据文件等工作。

计算机辅助测试在液压领域中的应用主要包括以下几个方面:

产品质量的计算机辅助测试 现代科技对产品性能不仅有高的静态性能要求, 而且对动态性能也提出很高的要求, 只有配备有高速(A/D)转换装置及相应处理设备的计算机辅助测试系统才能得到合乎要求的静态性能及动态性能。

计算机测试在故障诊断中的应用 故障诊断技术是近年来计算机测量和信号处理技术发展而形成的新技术, 对设备进行故障监测和预报, 发现事故故障部位消除隐患。

计算机辅助监测和诊断系统是用计算机对输入过程通道选定的观测点进行数据采集分析和处理。常用的诊断方法之一是对振动、噪声和压力脉动等动态信号进行数据采集和分析处理。国内, 如华中理工大学、北京理工大学等一些单位, 对液压泵及电液伺服阀辅助监测和故障诊断均进行了大量工作。

计算机测试在系统辨识中的应用 在液压系统中, 一些实际的软参数(如摩擦系数、流量系数、阻尼系数)很难确定, 从理论上难以推导元件或系统的动态数学模型, 只有通过实验得到的数据, 经过系统辨识才能确定上述软参数以及系统的数学模型。

液压系统要求在线识别。在线识别时, 引入系统的输入信号幅值必须极小, 才不影响系统正常运行, 其产生的输出响应量变化也小, 往往淹没在噪声之中, 只有采用具有高精度(A/D)转换装置及相应的处理方法的计算机测试系统, 才能在噪声中提取出有用的信号, 得到较为准确的数学模型。

液压控制系统中的计算机测试 在计算机控制的液压系统中,复杂控制规律和精密控制效果的实现,都是计算机通过高速数据输入过程通道对被控对象的参数作巡回检测,根据检测结果,计算机将按照一定的控制规律和算法进行运算,将结果通过输出过程通道作用到控制对象,使被控参数达到要求的性能指标。

液压 CAT 是利用计算机建立一套数据采集和数字控制系统,与试验台连接起来,由计算机对各试验参数,如压力、温度、流量、转速、扭矩等参量进行数据采集、量化和处理并输出测试结果。在试验过程中,计算机还可根据数字反馈或人工输入要求,对测试过程进行控制,达到计算机密切跟踪和控制试验台及试件状态的目的,从而以高速、高精度完成对液压产品的性能

测试。

6.3.1 液压 CAT 的模式

液压 CAT 的发展,有下列模式。

A. 常规二次仪表 + 单板机 + 汇编语言

如图 6.3-1 所示,采用八位单板机,其结构简单、价格低廉,但内存小,功能低,仅能显示几个 16 进制数,可控外设少,使用 8~10 字符/行的微型打印机。只能使用汇编语言,不能使用高级语言,开发困难。使用常规二次仪表作为传感器与计算机之间的接口,利用 BCD 码传递数据,速度较慢,实际上只能起记录和简单运算的作用,适用对几个固定对象进行固定项目的测试,不能发挥 CAT 特长,用于科研性试验台是不理想的,这是早期的模式。

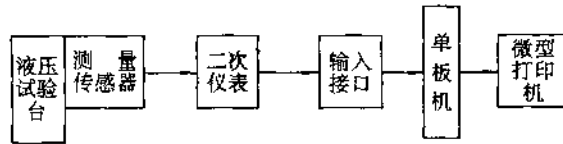


图 6.3-1 采用单片机的 CAT 系统

B. 常规二次仪表 + 专用接口 + 计算机 + 高级(或汇编)语言 + 输出设备

如图 6.3-2 所示,测试系统的核心由微机替代单板机,价格略高、功能更强。使用高级语言开发方便,控制的外设有打印机,也可以是绘图仪,在二次仪表和计算机之间采用专用接口电路。

C. 通用接口 + 微型机系统

如图 6.3-3 所示,与第二种不同的是,由于通用接口——标准系统(IEEE-488,又称 GP-IB)的出现,即世界各国,各个不同厂家都按同一标准设计可控仪器的接口,并配置在仪器内,然后用一根无源的标准母线电缆,将各种仪器互相联接起来组成系统。计算机也配置这种接口电路,作为一个仪器参加到系统中去,根据需要组成灵活适用的系统。

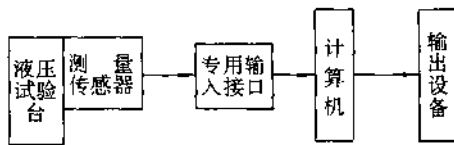


图 6.3-2 采用专用接口的微机数据采集系统

采用 IEEE—488 接口系统需要液压测试仪器都配置上 IEEE—488 标准接口,但国内一些测试仪器上只有 BCD 码输出,所以需要配置 BCD 码到 IEEE—488 标准接口的输出数据转换单元,目前国内,如北京理工大学、广州机床研究所等多家单位研制了 10 路 BCD 输出到 IEEE—488 标准接口的数据转换单元。

D. 兼有测试试验数据处理和计算机控制功能的

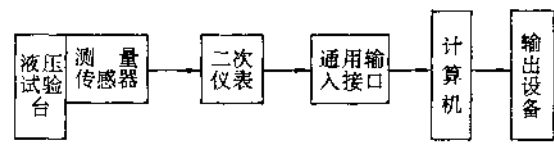


图 6.3-3 采用通用接口的微机数据采集系统

微机系统

如图 6.3-4 所示,这种系统除了进行数据采集处理外,还能用计算机控制温度、压力、流量等液压参数,由计算机控制测试过程不仅提高了测试的自动化程度,还可以模拟计算机开环或闭环控制的液压元件和系统。

6.3.2 液压 CAT 的特点

和液压常规的测试相比,液压 CAT 系统具有下列

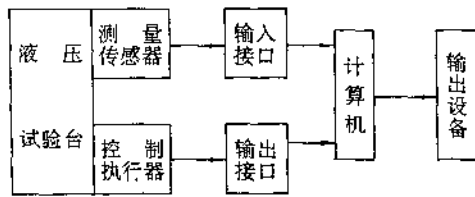


图 6.3-4 有试验数据处理和计算机控制功能的微机系统几个特点：

能提高测试精度 在减少测试系统的系统误差和消除偶然误差方面显示了极大的潜力，计算机对各参量信号的高速采样减少了不同时性误差；通过非线性校正，可以减少非线性误差；通过软件数据处理与分析，如：多次采样平均、数字滤波、回归处理可大大抑制随机误差以及系统误差；计算机连续自动测试克服人为误差，减少了瞬态信息丢失引起的误差和读数误差；通过数字运算，消除模拟运算误差，这些处理提高了测试系统的测试精度。

能提高测试速度 计算机采集存储数据的速度是非常快的，在较短时间内即可完成被测工况的数据采集、运算、储存，比人工测试要少很多时间。一个点数据的测试约为几毫秒到几十毫秒之间，比人工测试要快几十倍。此外利用软件的数据处理能力用较少点就可完成测试，提高了工作效率，缩短了测试时间。另一个好处是减少了试验设备磨损，节省动力消耗。

能增强数据处理能力 利用计算机能处理复杂数据的功能及时处理数据，处理结果精度高，并可以得到数据处理的各种误差参数及分布情况，既可提高处理质量，加快试验进程，又可完成人工处理难以完成的工作。

可开展综合研究 除可完成一般液压元件及系统的静态特性测试外，还可以对液压元件及系统数学模型的识别、特性预测以及计算机控制等进行多种项目的研究。

6.3.3 液压 CAT 硬件系统

CAT 系统的硬件系统主要完成数据采集和通讯的任务，硬件系统包括计算机、传感器、输入-输出接口电路，计算机外设等。

CAT 系统采用型式不同，相应配备的硬件设备也随之不同。硬件配置时应尽可能购买已有的产品，把精力放在选型上，购买的硬件要为软件开发留有余地，尽可能利用软件资源替代硬件。

(1) 计算机主机配置及外围设备

现有 CAT 系统的主机以 PC 机为主，硬盘容量为 250MB，内存为 1M~8M，两个软盘驱动器，显示器用 SVGA 或 TVGA，打印机或绘图仪可任选一个，打印机可用喷墨或针式，选择绘图仪时可选用平板式、A3 图面即可。

(2) 传感器

由于计算机能够进行非线性校正，因此选择传感器时，主要根据精度来选择传感器，而把传感器的线性度要求放在次位，同时应考虑传感器在动态性能上的工作频率是否能满足测试要求。

选择时最重要的是精密度(重复性)，由于 ISO 标准规定测量精度时，以读数值为基准，选择传感器要进行精度分析，对于大的量程测量可以采用多个不同量程的传感器，测试时根据测量的数值，分别选用合适量程的传感器进行测量，根据需要增加切换装置、切换电路。

(3) 输入-输出接口

数据采集的关键在于将传感器输出的电信号送入计算机，沟通计算机与传感器之间的桥梁就是输入接口。

数据采集有模拟量采集和数字量采集这两种方式，模拟量采集是将传感器的模拟量信号进行放大后，输入到计算机的 A/D 转换板，然后通过多路开关，按一定的采样速度将采样结果输入计算机，这种形式的数据采集是一个信号性质的转换，即由模拟量到数字量。其中既有放大又有转换，转换精度受各转换环节性能的影响大，再加电子信号容易受干扰，很难保证数据转换的绝对精度。它的突出优点是转换速度快，采取抗干扰、非线性校正、标定等措施，仍然能够获得足够的精度，因此多用于动态数据采集系统。数字量采集是采集测量系统二次仪表的 BCD 码输出或传感器的脉冲，因为采集的是数字量，转换过程不会产生任何信号失真，不会有附加误差，故具有良好的绝对精度，广泛用于采集静态数据。所以计算机要配备数字量及模拟量的输入接口。

液压 CAT 一般配有 16 路模拟量输入接口。数字量的采集有两种方式，一种是采集二次仪表的 BCD 码输出，因为计算机母线采用 IEEE-488 标准代码，所以 BCD 输出到计算机时，必须要有一个 BCD-IEEE 的代码转换单元或称数据转换单元，这种方式的采样速度慢。另一种是采集传感器的输出脉冲(如涡轮流量计)，此时计算机可通过定时/计数器及配置一些电

平转换及整形电路来进行,采样周期由计算机设定,因而采集速度较快。

计算机的输出接口应包括模拟量输出(D/A)转换,定时/计数器输出及数字量输出(A/D)。模拟量输出根据对象要求控制的参数而定,对于试验台的元件性能测试,模拟量输出用来控制比例阀、比例泵、冷却水电动调节阀及加热器等进而控制压力、流量、温度等参量;定时/计数器输出一定频率的脉冲控制步进电机;输出数字量是通过继电器放大后驱动液压系统的电磁阀或电机,也可用来控制数字阀、数字泵或液位、温度的上、下限报警。

数字量或模拟量的输入、输出路数根据实际需要确定,输入/输出接口通常选用现有的接口板,如一种用于IBM-PC机的接口板可读入16路模拟量,采样速度每秒2万次(12位),5路定时/计数器,两路模拟量输出、24位数字量输出,输入配上适当软件和绘图仪后,可同时作信号发生器、数字示波器、瞬态记录仪用,可满足液压试验台测量的控制要求。

其他硬件设备视测试对象的要求而定,如对于各种液压阀的实验台,根据ISO和国家标准关于液压阀试验方法的规定进行。A级精度测试,每次都要标定,B级和C级精度测试要定期标定,还要配置相应的压力、温度及流量的静态标定设备,此外还应配置数字频率计、五位数字电压表、低频信号发生器、示波器等作

为检查标定电系统的工具,对泵、马达性能的测试则要配置扭矩仪、测速仪等设备。

6.3.4 干扰与抗干扰

在液压数据采集系统、控制系统现场,计算机控制对象和测量信号分布在各处。信号线、控制线均可能是几十米的长线;其次,在现场强电设备的启动和工作将对计算机产生强烈的干扰。如,大功率电机、电气设备产生的磁场、高压电气设备的电场以及各种电磁波和其它辐射等。这些电磁场的存在和变化以不同途径和方式混入被测信号,使测试系统出现干扰。对计算机的干扰有传导和直接辐射两种途径。如通过输入、输出信号线、电源线和地线,把干扰传导进计算机系统。不采取抗干扰措施,计算机是无法应用于CAT系统现场的。

(1) 产生干扰的机理

A. 干扰的作用方式

按干扰作用方式不同,可分为串模干扰和共模干扰。串模干扰是指叠加在被测信号上的干扰噪声。被测信号是指有用的直流信号或变化缓慢的交流信号。干扰噪声是指无用的、变化很快的、杂乱的交变信号。串模干扰即是被测信号与干扰噪声之和作为计算机的输入信号,所以串模干扰和计算机系统的关系是在计算机的两个输入点之间串进一种电压干扰(图6.3-5)。

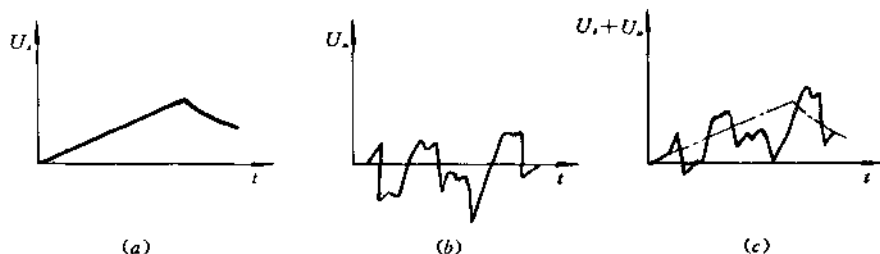


图 6.3-5 串模干扰

(a)被测信号的理想波形;(b)串模干扰信号波形;(c)实际测得的信号波形

另一种干扰就是在计算机两个输入端上共有相同的干扰电压称其为共模干扰。如图6.3-6所示。

在液压CAT系统中,传感器、被控制对象和计算机是分散的,通过长的电缆把计算机发出的控制信号传送到现场的控制对象,或把传感器的信号送到计算机,被测信号 U 的参数接地点和计算机端输入信号参数接地点之间存在一定的电位差 U_{cm} ,所以计算

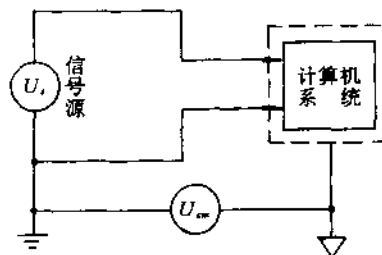


图 6.3-6 共模干扰

机两个输入端的电位分别是 $U_i + U_{cm}$ 和 U_{cm} ，显然 U_{cm} 是计算机上共有的干扰电压。这种干扰使直流或交流电压其幅值可达几伏或更高。所以共模干扰比串模干扰更严重。

B. 两种信号输入方式与干扰产生的机理

在计算机数据采集系统中，被测信号如有图 6.3-7 所示的单端对地输入和双端不对地输入两种输入方式。

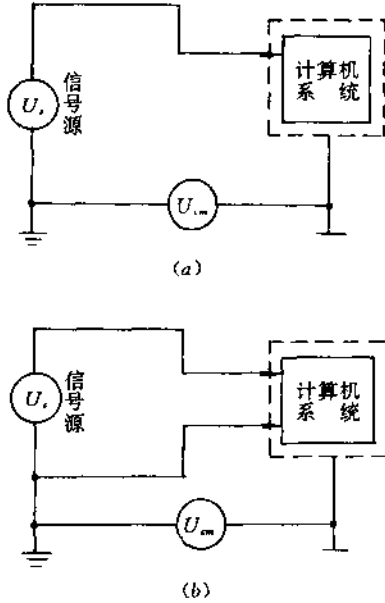


图 6.3-7 被测信号的输入方式

(a) 单端对地输入; (b) 对端不对地输入

存在共模干扰的场合，采用单端对地输入方式将使共模干扰电压全部成为串模干扰电压叠加到被测信号上。而对于双端不对地输入方式存在共模干扰电压 U_{cm} 的情况，仅考虑直流共模干扰电压，其实际系统的等效电路如图 6.3-8 所示。图中： U_i 为被测信号源； U_{cm} 为被测点与测量电路间的共模干扰电压。 R_1 、 R_2 为输入导线电阻； R_4 、 R_5 为测量电路正、负输入端对机壳的泄漏电阻； R_3 为测量电路正负输入端的输入阻抗。

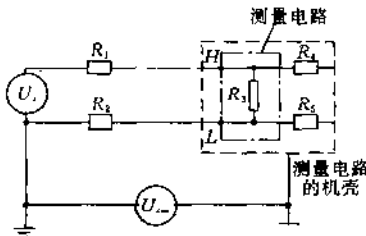


图 6.3-8 双端不对地输入系统的等效电路

如果只考虑共模干扰电压 U_{cm} 的影响，可将实际电路改成图 6.3-9 所示，其中， U_i 是共模干扰误差电压。

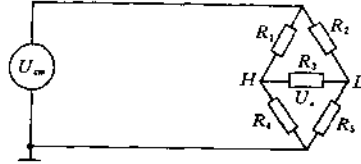


图 6.3-9 仅考虑共模干扰双端不对地输入系统的等效电路

此图就是常见的惠斯登电桥，当 $R_1 R_5 = R_2 R_4$ 时，则电桥平衡， $U_i = 0$ ，即没有电流通过 R_3 。共模干扰电压 U_{cm} 对测量电路没有影响。实际上，负端对机壳的泄漏电阻 R_5 较正端对机壳地的泄漏电阻 R_4 要小，传感器本身有内阻，这样使 R_1 、 R_2 也不相等，存在着共模干扰误差电压 U_i 。

C. 评价测量电路抗干扰能力的指标

测量电路抗共模干扰能力用共模干扰抑制比 CMR (Common Mode Rejection Ratio) 来表示

$$CMR = 20 \lg \frac{U_{cm}}{U_i} \text{ (dB)} \quad (6.3-1)$$

一般 CMR 是在输入导线电阻不平衡情况下给出的，即假定 $R_1 = 0$ ， $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ ，这时的等效回路如图 6.3-10 所示。

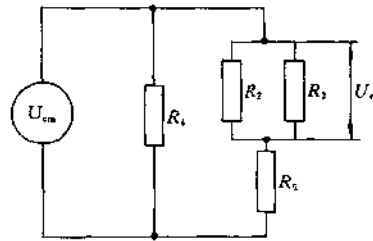


图 6.3-10 测量电路的等效回路

由于仪器的输入阻抗 R_3 很高，约 $100 \text{ M}\Omega \sim 10000 \text{ M}\Omega$ ，远远大于输入导线的不平衡电阻 R_2 ，因此 R_2 、 R_3 并联之值约等于 R_2 ，又由于泄漏电阻 $R_5 \gg R_2$ ，所以

$$\frac{U_{cm}}{U_i} = \frac{R_5 + R_2}{R_2} \approx \frac{R_5}{R_2} \quad (6.3-2)$$

可见，测量仪器输入端对机壳的泄漏电阻越大，输入导线之间的不平衡电阻越小，抗共模干扰性能也就

越好。

(2) 抗干扰

A. 干扰信号传播途径

抗干扰首先要了解干扰信号传播的途径。在现场,各种干扰可通过空间、地线、电源线和引线引入计算机系统,那么,究竟干扰信号的传播途径有哪些呢?

接地系统 通常人们认为接地线不会产生干扰,实际上在大型电气设备中常有大的电流入入大地,还有电气设备漏电等都会造成地电流,而流动的地电流,使两处接地线的电位发生变形,形成地线间的电位差,而产生共模干扰电压。

测试电路(测量仪器)系统 测试电路的测量装置如电子开关、脉冲发生器等在工作中使电流发生突变,形成具有高能量和高次谐波分量的陡峭的电压,直接通过测试系统电源或以感应耦合方式产生噪声。

电位计、开关及继电器触点,由于两种材料间不完全接触,造成导电率变化而产生噪声。

信号的传送线路 在CAT系统中,传感器、执行机构与计算机之间的传送线路很长,容易产生和接收共模干扰电压或电磁感应电压。通常导线传送信号产

生的噪声是主要干扰来源。

电磁感应 电磁波存在的场合,通过感应形成干扰。

交流电源系统 交流电源受到负载变化的影响时,造成电源波形不稳定,如闪变、电压波形缺口、脉冲等。另外交流电源线本身就是干扰信号的途径。

抗干扰问题是一个比较复杂的问题,涉及面很广的问题,又是计算机应用中必须重视和解决的实际问题。抗干扰的措施将是不让干扰信号进入测试系统或注意抑制干扰发生源。

B. 共模干扰的抗干扰措施

共模干扰是常见的干扰方式之一,抑制共模干扰是关系到微机系统能否真正用于实际的关键。下面介绍几种常用的共模干扰抑制方法。

采用差动式双端输入 采用图 6.3-11 所示的双端输入差动的运算放大器作为测量电路的前置放大器,共模干扰电压的特点是同时加在输入信号正、负两端。这种放大器具有很强的抗共模干扰能力,同时还起隔离作用。

将“模拟地”和“数字地”隔离 采用磁耦合或电耦

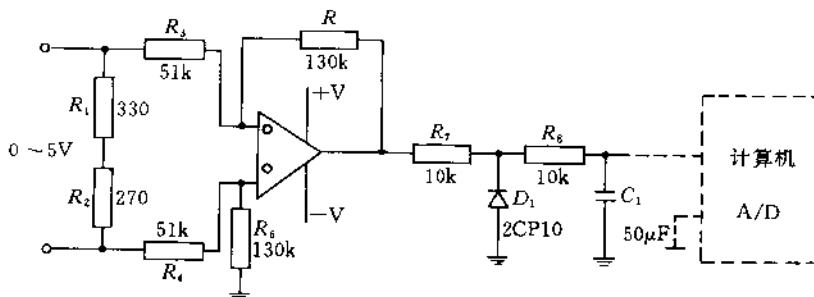


图 6.3-11 双端输入差动运算放大器

合技术,将被测信号的“模拟量地”和“计算机地”断开,被测信号通过磁耦合(如:变压器)或光电耦合(光电耦合器)获得通路。而共模干扰由于未构成回路而得到有效抑制。

采用线性耦合器、线性光电耦合器等器件构成回路时,以光电耦合器应用较多。

光电耦合器是把发光二极管和光敏三极管密封在一起,通过光为媒介传递电信号,具有工作频率高、可靠性好、耐振动、寿命长、无触点的优点。其工作原理图如图 6.3-12 所示。其输入端是电流驱动的发光二极管,输入阻抗仅为几百欧,而干扰源的内阻大于几百

千欧,即使有电平高的干扰,输出电流也很小,不足以点燃发光二极管,抑制干扰。

光电耦合器输入、输出间的极间电容很小,绝缘电阻极大,输出电路中各种干扰噪声不易反馈到计算机系统中,故在计算机输入、输出接口处均应采用光电耦合器。

采用屏蔽技术 信号传输采用带屏蔽层的同轴电缆,其他易产生电磁干扰的组件、器件如交流电源线、直流电源放大器等都加屏蔽罩。采用屏蔽接地来抑制电场干扰、电磁干扰和静电干扰。

用固态继电器驱动阀用电磁铁 液压系统中存

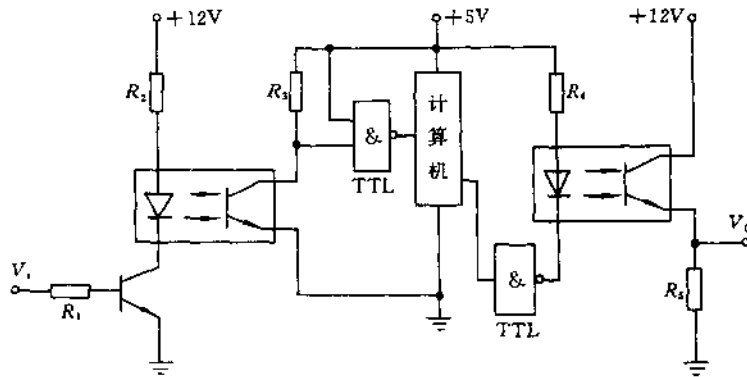


图 6.3-12 光电耦合器工作原理

在一定数量电磁阀,直接用电磁铁驱动阀所需电流较大,这种感性负载反抗电动势的泄放干扰幅值和脉冲宽度均很大,是一种干扰源。用继电器或接触器接通电磁阀也属于感性负载,干扰强烈。驱动电磁阀要用

大功率继电器,大电流会引起触点火花。所以计算机输出通过固态继电器 GTJ 再驱动阀用电磁铁 DT(图 6.3-13)的方法能成功地抑制输出噪声。

由于低压直流电磁铁比高压交流电磁铁产生的干

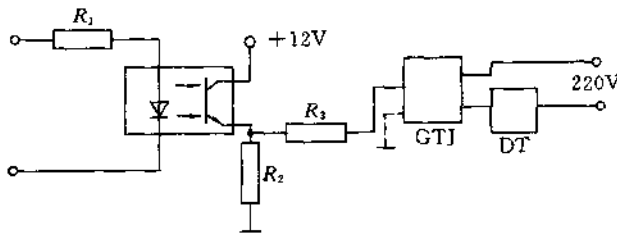


图 6.3-13 固态继电器驱动电磁阀

扰脉冲幅值为低。从抗干扰出发,各种电磁阀建议采用低压(24V、36V)直流电磁铁。

采用接地技术 接地线会产生共模干扰电压,采用正确的接地方法可以抑制共模干扰电压。目前在计算机系统中常用的接地线有下述几种:

- 信号源地线:包括传感器、信号、直流稳压电源等的地线;
- 信号地线:测试系统零信号电位基准线。包括计算机 TTL 逻辑电路和直流稳压电源(+5V)的地线;
- 交流供电电源地线;
- 机架、机壳、屏蔽层、屏蔽线、计算机壳保护接地线。

使用时将四种地线各自分别引出,连接在一起形成一个系统接地点(SGP)再将系统接地点,通过单线接在埋在地下的铜板或接地棒上,形成单点接地(图

6.3-14)。这种方法对消除共模干扰电压简便易行,效果良好,已成为广泛采用的方法之一。

C. 串模干扰抗干扰措施——滤波技术

串模干扰的频率一般比被测信号频率高,所以抑制串模干扰可采用滤波技术。

(A) 把低通阻容滤波器作为计算机 A/D 转换器的输入滤波器(图 6.3-15)。

这个方法简便易行,抗干扰效果较好,缺点是响应速度慢。因为阻容滤波器的时间常数 $T = RC$ 。电容器充电至稳态值的 99% 的时间需要 5 倍时间常数,通过调整 RC 来改变 T 以便减少稳态时间值。

(B) 在计算机 A/D 转换的输入电路中用积分器来抑制交流串模干扰。当积分时间是干扰信号周期的整数倍时,就可全部抑制干扰电压。实际上只能有部分抑制效果,但其到达输入信号稳态值的时间比低通阻容滤波器快。

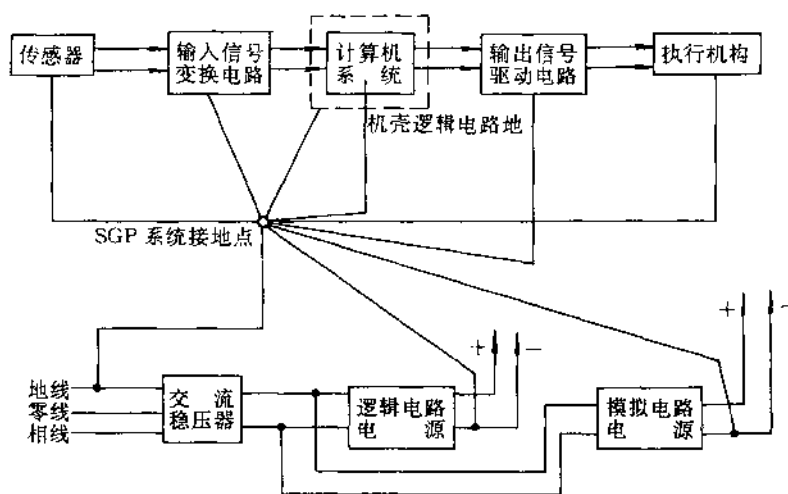


图 6.3-14 单点接地

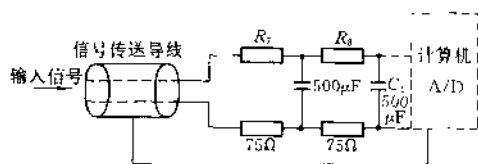


图 6.3-15 低通阻容滤波双卷

(C) 采用数字滤波技术。当串模干扰频率与被测信号频率相近时,很难用硬件电路抑制干扰。可用软件对带串模干扰的数据进行处理,即用数字滤波方法来削弱串模干扰。

数字滤波是一种程序滤波,与硬件模拟滤波相比,具有不增加硬设备、可靠性高、稳定性好、改变滤波参数灵活等优点。数字滤波有下列几种方法。

算术平均法

$$Y = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N X_k \quad (6.3-3)$$

式中 X_k ——第 k 次采样值;

Y ——数字滤波器的输出;

N ——采样次数。

这个方法适用于对流量、压力、温度等信号的平滑,因为此类信号的特点是在某一个数值范围附近作上下波动,有一个平均值。

中值滤波法 在三个采样周期内,连续采样读入三个检测信号 X_1, X_2, X_3 ,从中选择一个居中的数据作为有效信号。其算式表示为

当 $X_1 < X_2 < X_3$ 或 $X_3 < X_2 < X_1$ 时,则 X_2 为有效信号。

它能滤去偶然因素的波动或采样器不稳定引起的脉冲干扰,本法不宜用于过程参数快速变化场合。

防脉冲干扰平均值法 这个方法的算式为若 $X_1 \leq X_2 \leq \dots \leq X_N$ ($3 \leq N \leq 14$), 则

$$Y = (X_2 + X_3 + \dots + X_{N-1}) / (N - 2) \quad (6.3-4)$$

这个方法具有上述两个算法的优点,而且在快、慢速系统中均能削弱干扰,提高控制质量。

D. 其他抗干扰措施

(A) 抑制电源系统干扰

在计算机系统中有许多干扰来自电源或由电源回路产生的,因此向计算机系统提供优质电源是抑制电源系统干扰的关键。

- 在交流进线侧加一台电子交流稳压器,用来稳定单相交流进线电压,或采用直流稳压电源供电。
- 采用低通滤波器(图 6.3-16)的办法,滤去电

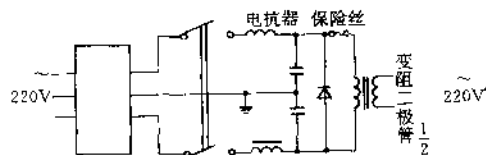


图 6.3-16 低通滤波器干扰

源进线中的高频分量和脉冲分量。其中低通滤波器抑制高频干扰,变阻二极管抑制尖脉冲干扰,隔离变压器原、副方可作为隔离静电屏蔽层。

- 选用供电比较稳定的进线电源。严禁将计算机系统的进线电源搭接到负载变化大(如大功率电气设备、可控硅整流设备)的电源线上。

- 自己安装设备,如果是多块逻辑电路板组成。在每块板上的电源和地线之间接一个 $10 \sim 100\mu\text{F}$ 的大电容和 $0.01 \sim 0.1\mu\text{F}$ 的无感瓷片电容,以防止板与板之间的相互干扰。

(B) 抑制信号传送线路的干扰

信号采用电流传递 采用电流传递信号,传感器输出是电流信号,负载串联在传感器内部的电路中,在传送线路上正好形成一个来回,电磁场相互抵消,干扰电压很难产生,大大提高了信息在传送信号中的信噪比。

采用电缆或专用同轴电缆传送信号 信号线不要和动力线靠近或平行铺设,并应远离大功率变压器和大电感线圈,以防止电磁感应产生的干扰。

(C) 屏蔽措施

电场屏蔽,利用与大地相连接的导电性良好的屏蔽障(如导电板、箔、网)隔离两根电力线,达到防干扰的目的;电磁屏蔽,利用高频干扰电磁场在屏蔽金属内产生的涡流磁场来抵消高频干扰磁场的影响;磁屏蔽,用高导磁材料作为屏蔽层,将干扰磁力线限制在很小的屏蔽体内部,避免它对其它部分的影响。

(D) 抗静电干扰

消除静电危害最简单和最基本的方法是接地。接地线不能太细。接地电阻越小越好,一般应小于 2Ω 。

设计不易产生静电的机房,面积过小的机房易产生静电积累。沙灰水泥材料对防静电干扰较好。房内还应保持一定的湿度,以减小静电积累。

(E) 抑制热噪声干扰

计算机房使用空调或风冷设备,保持房内温度 20°C ,以减小计算机系统内部电子元件热噪声的干扰。

6.3.5 液压 CAT 软件

CAT 软件和 CAD 软件一样,具有系统软件、支撑软件和应用软件。关于系统软件和支撑软件的形式和选择原则,可以依据 CAD 软件相仿的思想确定。在此要叙述的是 CAT 的应用软件。一般提到 CAT 软件就是指应用软件,因为应用软件是为适应某一领域而研制的软件,故液压 CAT 软件就是液压领域的应用软件。液压 CAT 系统的功能就确定了液压 CAT 软件的

设计要求,CAT 作用的发挥主要取决于软件的性能。CAT 软件主要完成实验数据的采集和处理,硬件系统完成现场数据采集,软件则将硬件采集的数据,通过数据采集程序输入计算机,存储到外部设备保存起来,并可随时供数据处理程序提取进行处理。软件的数据处理部分则要完成特性值计算、打印、绘图等功能。有的 CAT 系统中的软件还具有控制液压参量(如:温度、压力、流量)的功能。

CAT 软件的一般设计内容是:①性能测试系统应满足测试项目、内容,实验方法的要求,它们应符合有关标准,实验结果应满足精度要求;②如需要系统能控制液压参量,因此需要设计相应的采控软件;③数据采集和处理的功能指的是特性参数的计算、特性曲线的拟合、实验数据的建模、误差分析等;④测量传感器的标定方法应根据测量精度要求,进行联机标定后进行非线性校正;⑤有多种形式的输出结果、屏幕显示、打印、绘图、数据文件管理等。

上述第一项要求在有关标准中已有详细介绍,传感器的标定将在液压测试技术篇中介绍,有关软件编制的内容也不再重述。本节将就参量控制方法及数据采集和处理的若干问题进行说明。

(1) 液压参量的控制方法

要求液压 CAT 系统控制的液压参量有温度、压力和流量。这些参量是试验中的调节参数,常规试验时,一般直接控制压力、流量或温度的控制装置。如用溢流阀或比例压力阀控制压力,采用 CAT 系统时,由计算机 D/A 输出或用数字 PID 调节器控制比例压力阀。对于温度、流量也可参照相同的原理进行。

(2) 数据采集和处理

A. 实验数据的采集和存储

为了提高数据记录的速度和精度,CAT 首先要实现试验数据的采集并用文件的方式存储数据,根据所记录的物理量和所用传感器二次仪表的不同,采集有不同的技术方法。其一是利用传感器的二次仪表输出的 BCD 开关量,经过多通道的 BCD 到 IEEE-488 标准接口的数据转换单元,由软件实现从仪表 BCD 输出,在计算机为读取数据。另一种是传感器的输出经二次仪表转换成标准电压,然后输入微机的 A/D 通道,经过多路开关进行采集,再通过编程实现数据采集和存储。

B. 试验数据的处理

(A) 特性值的计算

对象的工作特性不同,测试的实验参数和输出数

据也不同,因此测试设备及试验方法也不相同,如对液压泵、液压马达、液压泵—液压马达系统的工作性能测试时,采用了工作特性分析法。工作特性是指这些对象的特性参数随工作点变化而变化的规律。进行工作特性分析首先必须知道的物理量是压力、流量、扭矩、转速这四个参数。根据采集的数据,液压泵工作特性参数的基本公式如下:

测试参数: Δp 、 Q 、 T 、 n 分别代表压力差、实际流量、扭矩和转速。

$$\begin{aligned} \text{理论排量} & q_0 \\ \text{实际排量} & q = \frac{Q}{n} \times 10^3 \quad (\text{mL/r}) \\ \text{输入功率} & P_i = \frac{Tn}{974} \quad (\text{kW}) \\ \text{输出功率} & P_o = \frac{Q\Delta p}{600} \quad (\text{kW}) \\ \text{容积效率} & \eta_v = \frac{q}{q_0} \\ \text{机械液压效率} & \eta_{mh} = \frac{q_0\Delta p}{20\pi T} \\ \text{总效率} & \eta_t = \frac{P_o}{P_i} = \eta_v\eta_{mh} \\ \text{流量损失} & Q_l = q_0 n \times 10^{-3} - Q \quad (\text{L/min}) \\ \text{扭矩损失} & T_l = T - \frac{q_0}{20\pi} \Delta p \quad (\text{N}\cdot\text{m}) \end{aligned}$$

根据以上公式计算出实验数据及特性,利用软件编程进行计算及打印,用表格形式给出格式。为了保证计算精度,对于采集到的间接测量数据通过程序转换为直接值,再按基本公式计算。如用低压流量计测出了流量值,采用压力补偿的办法,通过公式 $Q = Q_0(1 - \frac{\Delta p}{\beta_p})$ 将低压回油流量 Q_0 换算成泵出口高压流量。式中 β_p 为油的体积弹性模量, Δp 为泵的出口压力。对于液压阀或液压缸的性能特性测试将不一定采取上述方法。

(B) 工作特性曲线的拟合

用数据表格方式表示工作特性具有简捷、准确、速度快等特点,但它只是在有限个点上表示了特性。为了对被测对象工作特性作出全面的分析,需要绘制工作特性曲线。工作特性曲线直观明了,便于特性分析时使用。

由于实测的数据常带有随机误差,为了使这些数据更好地反映实际情况,采用数学方法进行平滑处理,例如用数学中的五点三次平滑公式进行平滑,然后再将实测点进行插值运算,使较少的实测点数据变成更多的实测点数据,这样绘制的曲线可以既真实又平滑。

插值方法常用的有线性插值、抛物线插值和三次样条函数插值,即分别取两个点作一条直线、取三个点作一条抛物线或取四个点作一条三阶抛物线来确定未知点的值,以求得光滑曲线。用插值法得到的结果并不是最好的结果,因为插值的结果通过所有实测点,而实测点的误差将使曲线波动。

通常采用最小二乘法来拟合实验点。拟合就是用一种形式已知,而系数待定的函数关系来逼近一组离散的实验数据。拟合的关键在于确定函数的形式,实践中常采用幂函数或样条函数。如对于实验点 $f(x_i, y_i)$, $i=1, 2, 3, \dots, m$ 用线性关系来拟合时将为 $y_i = a + bx_i = f(x_i)$, 也就是要确定系数 a, b 。

对于每一个实验点 i 上理论值与实验值的误差为

$$\epsilon = |y_i - f(x_i)| \quad (6.3-5)$$

m 个点上误差的平方和为

$$I = \sum_{i=1}^m [y_i - f(x_i)]^2 = I(a, b) \quad (6.3-6)$$

要使 $I(a, b)$ 最小,即 $I(a, b)$ 对 a, b 的偏导数为零

$$\frac{\partial I}{\partial a} = 0, \quad \frac{\partial I}{\partial b} = 0$$

来确定 a, b 。由式(6.3-6)得

$$\begin{aligned} I &= \sum_{i=1}^m y_i^2 - 2 \sum_{i=1}^m y_i(a + bx_i) \\ &\quad - \sum_{i=1}^m (a^2 + 2abx_i + bx_i^2) \end{aligned}$$

$$\frac{\partial I}{\partial a} = \sum_{i=1}^m 2(y_i - a - bx_i)(-1)$$

$$= -2 \left[\sum_{i=1}^m y_i - ma - \sum_{i=1}^m x_i \right] = 0$$

$$\frac{\partial I}{\partial b} = \sum_{i=1}^m 2(y_i - a - bx_i)(-x_i)$$

$$= -2 \left[\sum_{i=1}^m x_i y_i - a \sum_{i=1}^m x_i - b \sum_{i=1}^m x_i^2 \right] = 0$$

写成矩阵向量式

$$\begin{bmatrix} m & \sum_{i=1}^m x_i \\ \sum_{i=1}^m x_i & \sum_{i=1}^m x_i^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^m y_i \\ \sum_{i=1}^m x_i y_i \end{bmatrix}$$

(6.3-7)

解式(6.3-7)就得到 a, b 的值,以 $f(x) = a + bx$ 函数表示直线使误差平方和为最小,这就是用最小二乘

法进行直线拟合的原理,也可用这种方法进行抛物线拟合或更高阶函数的拟合。

有时会遇到二元函数或三元函数,例如液压系的输入扭矩 T 既是压力的函数又是转速的函数,就属于二元函数。对于这类函数的拟合问题可表达为:已知 $m \times n$ 个数据点 (x_i, y_i, z_i) , 要求出近似的函数关系 $z = f(x, y)$, 同样只要确定了 $f(x, y)$ 的形式也可以按最小二乘法的原则确定 $f(x, y)$ 中的待定函数。

由于总效率变化最为复杂,为了用绘图机准确绘制特性曲线,对总效率曲线采用分段曲线拟合,用数学条件的方法在各段之间加上衔接点,可以得到比较满

意的效果。

曲线拟合程序的框图如图 6.3-17 所示。调用曲线拟合程序可以得到总效率与输出压差(泵)或输出扭矩(马达系统)关系的特性曲线;流量(泵或马达恒转速下)与压差(泵)或输出扭矩(马达系统)关系的特性曲线。

为了绘制工作特性曲线,即输出量是二元(泵 $(\Delta p, Q)$ 马达 (n, T))工作面的特性曲线,研制开发了寻等值线程序,框图见图 6.3-18,调用该程序即可得到等总效率曲线、等输入功率曲线、等压差曲线和输入扭矩曲线等。以上这种方法称之为直接拟合法。

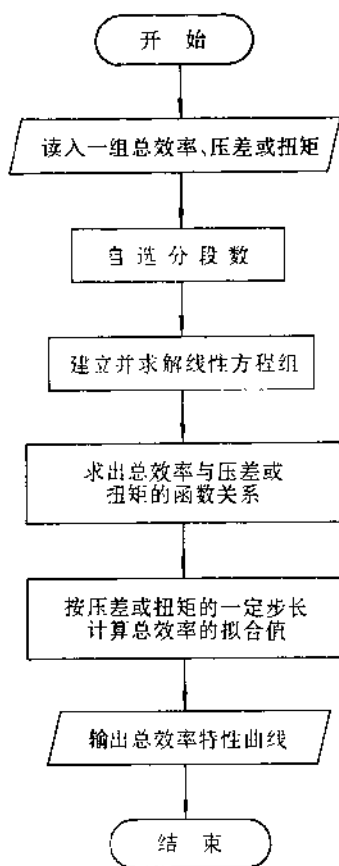


图 6.3-17 曲线拟合程序框图

C. 实验建模法及误差分析

由分段拟合法可以得到高精度的处理结果,但该方法要求有足够多的实验测试点,且对实验设备的转速稳定条件要求高。考虑到泵和马达的工作特性是由扭矩损失 T_i 和流量损失 Q_i 确定的。建立损失的数学

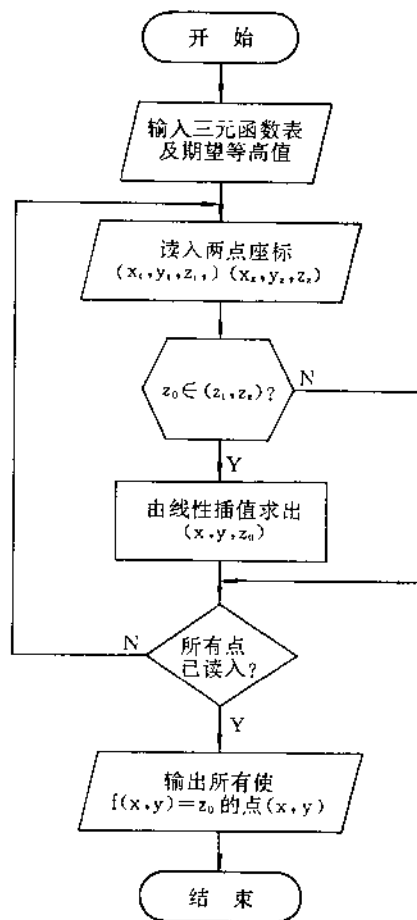


图 6.3-18 寻等值曲线框图

模型对于工作特性确定十分重要。经过对大量数据的分析研究,泵的扭矩损失规律可由下面形式的数学模型(双三次样条函数)来精确描述

$$T_i = a_1 + a_2 n_p + a_3 n_p^2 + a_4 n_p^3 + a_5 \Delta p + a_6 n_p \Delta p + a_7 n_p^2 \Delta p + a_8 \Delta p^2 + a_9 n_p \Delta p^2 + a_{10} \Delta p^3$$

式中 Δp ——工作压力;

n_p ——转速;

$a_1, a_2, a_3, \dots, a_{10}$ 为系数。

根据实验数据建立包含 $a_1, a_2, a_3, \dots, a_{10}$ 在内的 10 个线性方程组, 利用最小二乘法确定上述 10 个系数, 虽然计算量很大, 采用微机处理是很方便的。对于流量损失, 因为变化规律简单得多, 采用已有的模型能满足要求。

这种建模技术可以用较少的数据(约为常规点数的 1/5~1/3), 转速不必严格控制, 即可取得满意的结果, 省时、节能、而且曲线绘制方便, 不会出现畸形。根据损失模型, 还可合理预测在测试范围外工作区域的工作特性, 因而建模法是一个行之有效的方法。

误差分析: 为了验证上述两种方法的可靠性, 以实测计算数据为基础, 对直接拟合法和建模法计算的数据进行误差分析, 采用的误差分析参数定义为:

绝对误差

$\epsilon = |\eta - \bar{\eta}|$ η 为由实测值计算出的数值, $\bar{\eta}$ 为由直接拟合法或建模法得到的值。

均方根误差

$$d = g \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \epsilon_i^2}$$

m ——实验点总数

$$\bar{d} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \epsilon_i$$

$$\epsilon_m = \max\{\epsilon_i\} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

误差分析程序的框图如图 6.3-19 所示。

实验证明, 建模法所得到的总效率的均方根误差小于 1%, 未超过 B 级测试精度和测量随机误差的范围。

6.3.6 液压 CAT 实例

国内液压 CAT 实验台系统能测试液压泵、液压马达、液压系统、液压阀、液压缸及电液伺服阀系统的性能, 从测试系统功能来看, 有两种基本模式:

- 计算机对测试装置进行控制。系统可使整个测试过程自动化, 计算机不但能进行数据采集、信号处理、试验结果输出, 而且能控制试验进程。

- 计算机不对测试装置进行控制。该系统中的计算机只进行数据采集、信号处理和试验结果的输出。

(1) 计算机对测试装置进行控制并完成测试过程数据采集, 处理一体化的系统

目前国内已有的, 如机械部北京自动化所的液压阀、液压泵、液压缸、液压马达试验台计算机辅助测试系统; 上海交大和昆山液压件厂为武汉钢铁公司研制

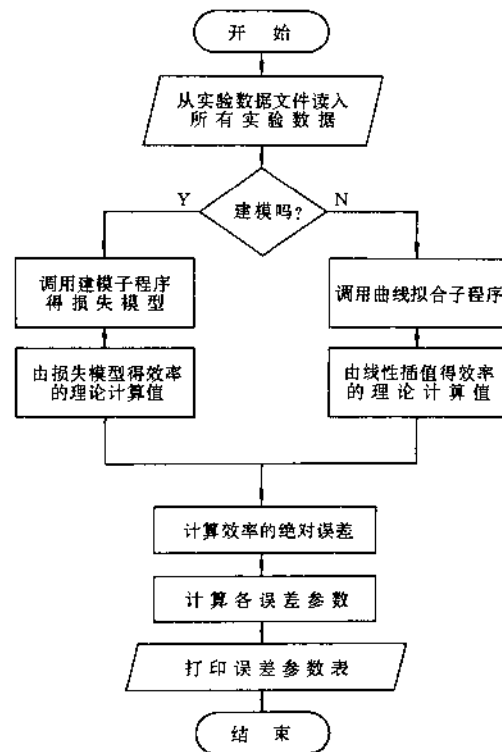


图 6.3-19 误差分析程序框图

的高压大流量新国际 B 级精度液压阀试验台的计算机辅助测试系统; 华中理工大学液压泵和马达特性智能测试系统、液压缸试验台 CAT 系统及电液伺服阀 CAT 系统等。

A. 高压、大流量新国际 B 级精度液压阀试验台的计算机辅助测试系统

设计的试验台工作压力为 0~31.5MPa, 流量为 0~100, 0~250, 0~500L/min, 要求测试方向阀、压力阀、流量阀三大类阀。

系统测试过程由计算机控制, 在自动测试过程中完成试验台初始工况设置和试验时工况切换; 试验过程中, 压力、流量、温度等参数控制; 试验数据自动采集处理及结果输出, 测试精度达到国际 B 级精度。

(A) 主机及硬件配置

计算机 该系统建造于 80 年代中期, 选用了 TSR-80 型中 MDR-Z80B 的 8 位微机, 能满足测试、控制、采集和处理要求, 属于当时较先进的机型。

输入—输出接口 提供 32 路开关量输入输出; 8 个独立可编程的定时器/计数器; 2 路标准 RS-232 串

行通讯口;16路模拟量输入;A/D转换为12位,7路模拟量输出。

(B) 控制功能 整个CAT系统的测试点和控制点很多,这些测试通道和控制通道的布局如图6.3-20所示。

试验台工况设置与转换 通过微机控制电磁阀来完成试验台工况设置与转换。微机发出开关量信号,

经光电隔离电路和驱动电路推动继电器,再由继电器控制电磁铁。

试验压力控制 由计算机的D/A输出模拟量信号,经电平转换和电控器控制液溢流阀来进行压力控制(图6.3-21)。为了在保证控制精度条件下缩短压力控制的响应时间,采用PID调节器及闭环控制。

温度控制 油温控制的关键是油源控制系统的合

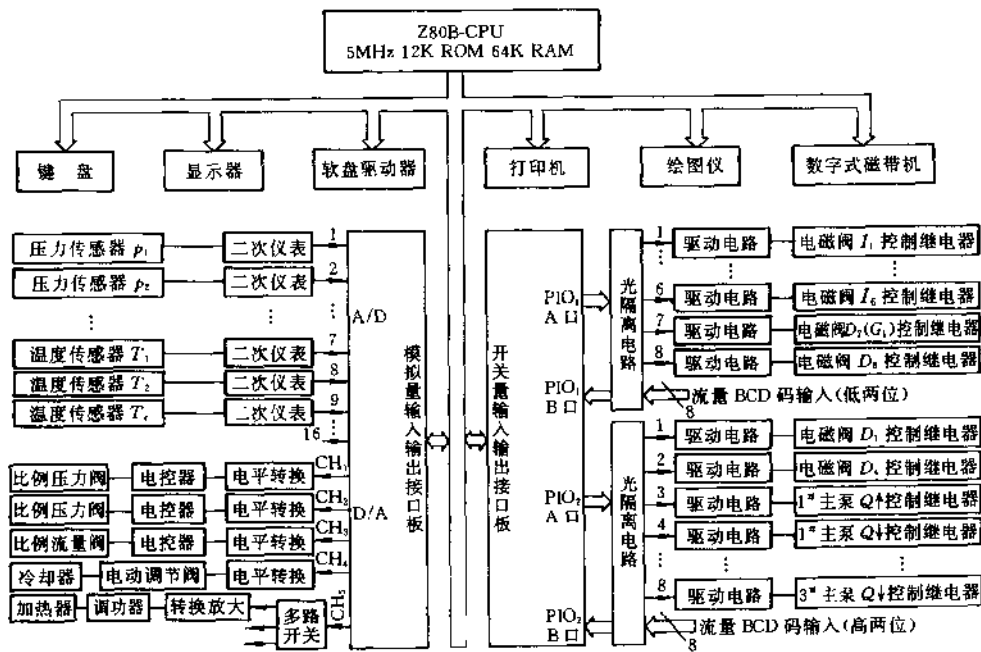


图 6.3-20 液压阀试验台计算机控制系统

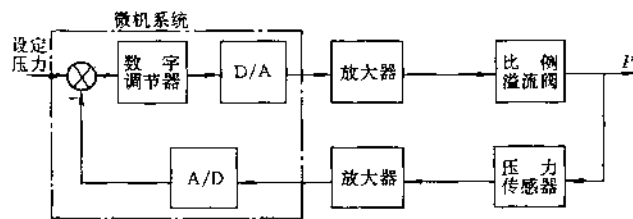


图 6.3-21 压力控制系统框图

理设计和合理选择温控系统的算法,采用对供油泵出口液流进行冷却和加热的方法控制系统的温度。油温系统的油路如图6.3-22所示。

试验台回油至大油箱,适当冷却后由供油泵打入冷却器进一步冷却,再经小油箱至主泵供应试验用油。

三个温度传感器设置在冷却器入口、小油箱入口及试验台上被试阀前。最后一个传感器处的油温测点是主控点,另外两个是参考点,这是为了提高系统的抗干扰能力。

温控系统原理框图如图6.3-23所示。

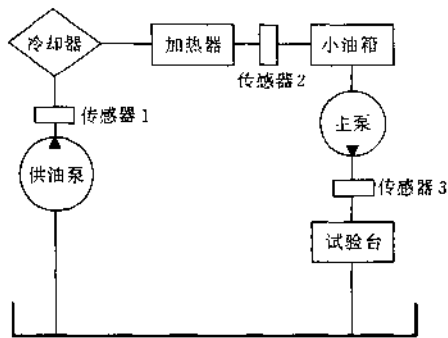


图 6.3-22 压温系统流程图

由微机经 A/D 转换装置采集被试阀前油温, 冷却

器入口的油温, 微机根据冷却器入口的油温值进行判断, 选择相应的 PID 算法, 经计算得到控制量, 然后将控制量经 D/A 转换成模拟控制电压去控制加热器或冷却器, 最终达到油温恒定。

流量控制 流量控制采用下述方法:

- 控制主泵流量。控制电动伺服泵 DCY 泵的两相伺服电机正、反转和转动时间来控制泵流量。主泵的两相异步电机由微机的两个通道开关量控制输出(图 6.3-24);

- 控制旁通比例溢流阀。由计算机的模拟量输出经电控器和比例溢流阀来调节旁通流量大小(图 6.3-25)。

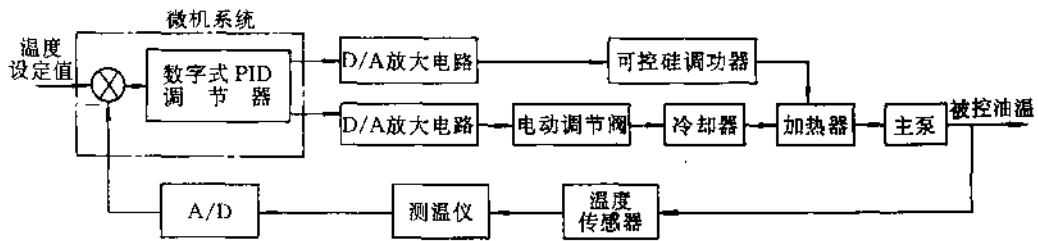


图 6.3-23 温控系统框图

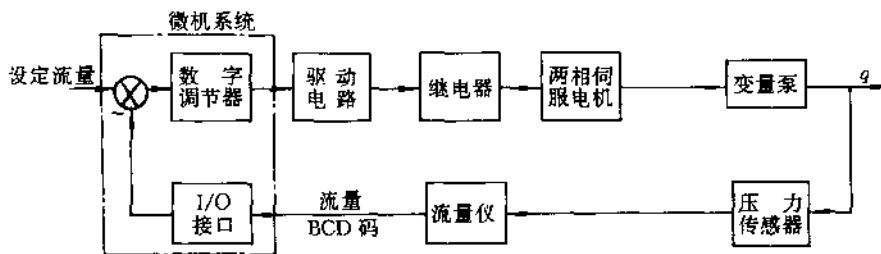


图 6.3-24 变量泵控制流量系统框图

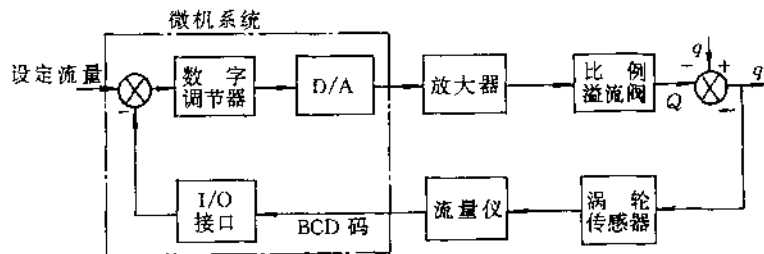


图 6.3-25 比例溢流阀控制流量系统框图

(C) 试验数据采集

压力、温度数据的采集是通过压力传感器和温度传感器,经二次仪表转换成标准电压输入到微机的相应 A/D 通道。流量信号由涡轮流量计发出模拟量输出并经二次仪表的 BCD 码输出到微机开关量输入、输出接口板。

(D) 试验数据处理

由软件编程实现,数据计算处理用 BASIC 语言,实时控制数据采集用汇编程序。

(E) 试验结果输出

可用多种方式输出:测试现场的实时屏幕显示;打印机输出数据表格和曲线;绘图仪绘出试验曲线;数据结果输入软盘或磁带机保存。

(F) 微机系统的工况显示口和测试口

由工况显示口显示试验台和微机工况,并提供测试接口。

(G) 测试软件包

液压阀测试软件包用汇编语言和 BASIC 语言混合编写,软件包采用模块形式,子程序模块形式;系统初始化;模拟量输入;模拟量输出;数字量输入;数字量输出;压力控制;温度控制;流量控制;压力采集;两点压差采集;平均压力采集;非线性校正、数据平滑;线性插值;曲线拟合;数字滤波;屏幕显示;打印机打印;绘图仪绘图。

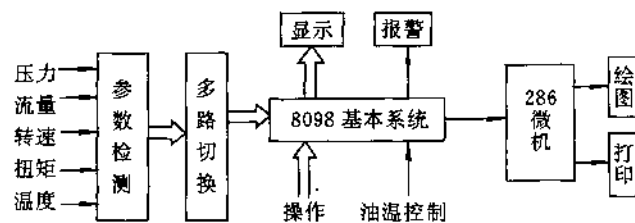


图 6.3-27 单片机系统框图

其中,温度控制功能由单片机控制加热器和冷却水阀的启闭,调节电热丝的电流和冷却水的流量来保持油温恒定。单片机控制步进电机改变水阀的开度来调节水的流量。数据采集是由 8098 单片机内有 4 路带保持器的 A/D 转换,进行模拟量的采集,数字信号经 8255 的 I/O 进入单片机总线,脉冲信号使用高速输入端 HS1,以定时器统计脉冲间隙时间,计算脉冲信号的数据。8098 机的不足是 A/D 通路较少,需增加模拟多路选择器。信号处理模块完成消除传感器及二次仪

以上程序可组成三大类阀静、动特性测试程序;测量系统标定程序;A/D、D/A 检查、I/O 通道检查的自检程序等实用程序。

B. 液压泵和马达特性智能测试系统

华中理工大学采用 8098 单片机组成了液压泵-马达特性智能测试系统。系统可测试各种条件下的等效率曲线,测试系统框图如图 6.3-26 所示。

系统由直流电源及电机、液压系统、测试部分及传

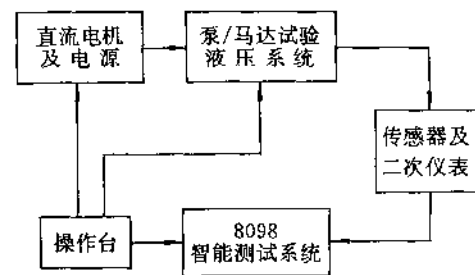


图 6.3-26 液压泵和马达特性的智能测试系统框图

感器二次仪表、单片机测试系统组成。其中直流电源及电机部分改变泵的转速;液压系统提供泵和马达的各种工作状态;测试部分及传感器二次仪表,完成 10 多种参数的检测;单片机测试系统完成温度控制、数据采集计算、显示记录和故障处理报警。单片机系统框图如图 6.3-27 所示。

表的部分误差,如非线性误差等;消除测试噪声干扰;令波动信号取有效值;数值采用二进制转换成十进制显示,这些处理工作均由软件完成。液晶显示输出的数据,并由 8098 串口与微机通讯,将结果输入微机绘制出曲线。

C. 液压缸 CAT 系统

由华中理工大学研制的液压缸 CAT 系统能够完成中高压液压缸试验项目、信号转换采集、信号分析处理和测试结果输出。测控系统原理如图 6.3-28 所示。

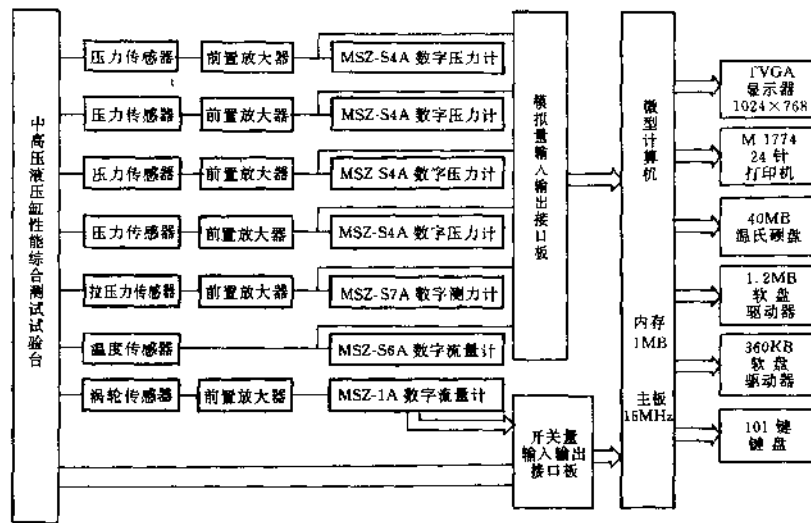


图 6.3-28 液压缸性能综合测试试验台测试系统原理图

系统主要由传感器、输入、输出中间转换接口单元、主机、外设等组成。

根据测试要求设置了压力传感器、拉压传感器、涡轮流量计、温度传感器，在选择传感器和测量放大器时，着重考虑了稳定性、重复性和迟滞等因素，对非线性采用软件补偿的方法加以处理。

上述各种压力、拉力、温度等信号通过传感器、测量放大器转换成0~5V电压模拟信号；流量则经涡轮流量计输出脉冲信号，经过前置放大和数字流量计变成计算机可接收的BCD码，并行输出到计算机TTL数字信号。

硬件接口配置了开关量输入、输出接口及模拟量输入、输出接口。以AT286作为测量、控制数据处理中心，配有打印机完成数据处理、显示、存贮、打印功能。

D. 电液伺服阀CAT系统

系统由386主机、两个8098单片机于系统及液压系统组成。386机为主控制器，通过串行通信实现对8098(I)、8098(II)两个子系统的控制，从而实现对试验过程控制。8098(I)为发讯于系统，它用来控制液压系统；8098(II)为采集子系统，它用来采集试验数据。8098(I)可通过控制线对8098(II)进行控制如图6.3-29所示。

该系统完成电液伺服阀试验项目，其主要功能为：

- 产生1~500Hz任一频率的正弦信号，用于动态频率响应试验；

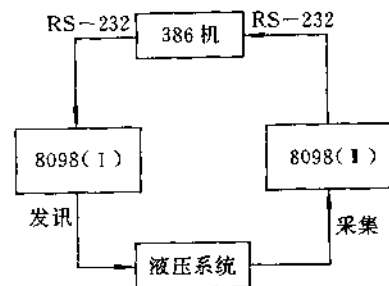


图 6.3-29 电液伺服阀 CAT 系统框图

- 产生缓变静态试验信号，用于静态项目试验；
- 多路模拟量采集，每次采集数据量为8K字节，用于测定压力；
- 多路脉冲量计数，用于静态流量；
- 两路A/D输出，用于试验前系统调压及试验各种信号；
- 8路数字输出，经光电耦合隔离器后功率放大，驱动电磁阀多路试验系统的切换。

- 过程显控；
- 用户自选输出方式：显示器、打印机、绘图仪。

(2) 计算机进行数据采集、信号处理和试验结果输出的CAT测试系统

国内目前大多数缸、泵的性能测试系统均属于此类。其中有北京理工大学的液压泵、液压马达、液压泵—液压马达传动系统工作特性的计算机辅助实验系

统;机械部北京自动化所和湘潭机电专科学校研制的液压泵出厂试验台系统;广州机床研究所液压泵性能和噪声计算机实时测试系统;徐州液压件厂液压缸 CAT 试验台系统。这些系统研制运行时间从 80 年代中期至今,反映了我国液压 CAT 发展的水平。

A. 液压泵、液压马达性能测试系统

各系统研制时间先后不同,选用的计算机硬件配置不全相同,采用的 CAT 形式也不相同,但都是因时、因地选用适合测试要求的方式来组成。下面对北京理工大学的液压泵、液压马达、液压系统工作特性计算机辅助实验系统进行介绍。

该系统研制于 85 年并已推广到北京液压件厂、宝钢等单位,运用效果良好。这个系统主要完成上述三个测试对象工作特性的实时数据采集和存贮、实验数据的处理与分析以及特性的输出。

CAT 系统结构框图如图 6.3-30 所示。

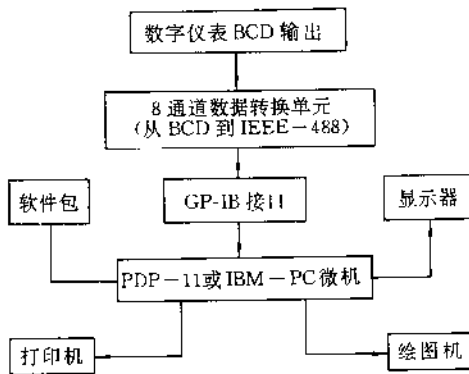


图 6.3-30 CAT 系统结构框图

硬件配置除系统的主机根据当时的机型并配置了绘图仪、打印机等输出设备,考虑到计算机配置了 IEEE-488 通用标准接口,二次仪表只有 BCD 输出,为了解决数据的传送,研制了 10 通道 BCD 到 IEEE-488 的数据转换单元,保证 BCD 输出数据正确输入计算机。

软件采用模块化结构,共有 10 个模块,按其功能分为:

(A) 数据采集和存贮模块。用 BASIC 语言编制,用高级 BASIC 语言调用 GP-IB 接口,实现数据采集和存贮:

(B) 各种特性参数打印与误差分析模块。由 4 个模块组成;确定空载排量模块;工作特性参数打印输出模块,对采集数据进行计算,并输出采集与计算特性参数的打印表格;建模误差分析模块,根据实测参数计算的各种效率和根据所建立的数学模型计算出的各种效率的绝对误差作为误差参数,计算平均误差,均方根误差和最大误差;并打印参数及绝对误差的分布以确定实测的精度;建模误差统计分析模块,对所建立的数学模型与实测参数做绝对误差或相对误差分析,并做出误差的点估计、区间估计、方差估计等统计分析结果。

(C) 根据实验数据建立了数学模型,在此基础上,以不同形式输出液压泵等的特性曲线,特性曲线输出模块由 5 个模块组成,它们的功能是:计算并输出固定转速下的容积效率、机液效率和总效率随压差变化的曲线;计算和输出屏幕绘制等效率曲线的坐标和曲线图形打印;计算和绘图仪绘制工作特性曲线坐标和绘制输出图形。后两个功能均由两个模块完成,将坐标计算和输出分为两个独立模块是因为建立坐标的运算比较费时,操作也比较复杂,这样分为两个模块后就可以运行一次建立的坐标模块,再运行几次输出模块,而得到几份特性曲线的拷贝结果。

B. 液压泵出厂试验台的 CAT 系统

该 CAT 系统是由机械部北京自动化所及湘潭机电专科学校合作研制。系统包括传感器及前置放大、多台 8098 单片机测试单元和 IBM-PC/XT 主机等三部分组成。系统结构见图 6.3-31。

传感器检测到的信号经放大或转换后输入 8098 测试单元,通过 RS-232 接口实现 8098 单片机与 IBM-PC/XT 主机的异步串行通讯。其中传感器需检测压力、温度、转速和流量。

8098 测试单元组成如下:从机箱采用总线结构,主板上除有通讯接口电路和复位电路外,并有 10 个通道的测试单元扩展插槽。为了用于不同目的的测试单元,采用了自行设计的数字量和模拟量的通用测试单元。数字量单元测定转速和流量,模拟量单元测定压力和温度。测试单元具有数据采集、滤波,数据处理,实时显示和主机通讯的功能,采用可靠接地、阻容滤波、数字滤波等防干扰措施。

主机具有数据处理、通道显示、数据库管理及控制试验进程等功能;软件具有人机对话、菜单选择功能及试验结果管理、查询、浏览、删除、统计、打印等功能。

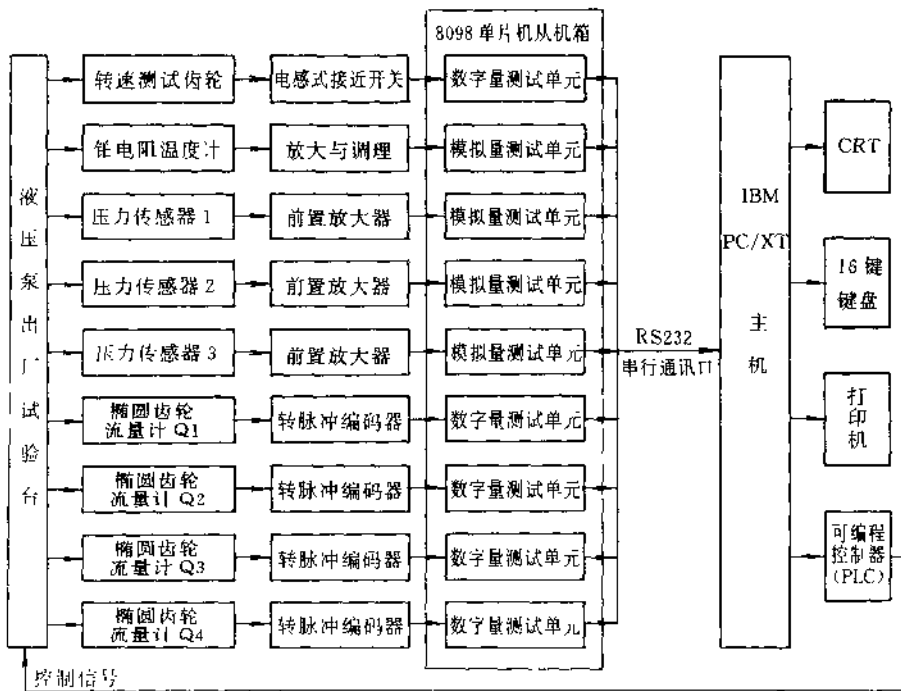


图 6 3-31 液压泵出厂试验台 CAT 系统结构图

6.4 人工智能与专家系统

6.4.1 概述

(1) 人工智能发展的简单回顾

“人工智能”与“空间技术”、“能源技术”并称为世界三大尖端技术。关于人工智能的定义并无确切的说法,但在实现人工智能的时候,推理、学习、联想三大功能是重要因素。人工智能是计算机科学的一个分支,它研究如何使计算机做事情,使计算机更有用、更灵活。1960年,美国麻省理工学院(MIT)John McCarthy 创立了第一个用于人工智能研究的 Lasp 语言。1961年(MIT)Marvin Minsky 在其“Steps Towards Artificial Interligence”论文中首次使用了 AI 这一术语,而第一个具有简单智能的被命名为 ELLZA 的程序系统由 MIT 的 Joseph Weizenbaum 在 1964 年写成。该系统象一个精神分析专家,它只起到一个被动的作用,而不能引导进行对话。60年代人工智能的研究重点由探索普遍的思维规律转向以知识为中心,即转到专家系统。专家系统是人工智能领域的一个重要分支,是利用专家知识解决复杂问题的计算机程序系统。第一个成功

的专家系统 DENDRAL 建立于 60 年代中期,这个系统是协助化学家从质谱数据来推断化合物结构的启发式系统。随后在 70 年代中期又研制成功了用于细菌感染性疾病诊断的 MYCIN 系统、评价矿藏的 PROSPECTOR 系统及用于配置计算机系统的 RI 系统。这些系统奠定了专家系统实际应用的基础,为人工智能走出实验室面向实际应用做出了突出贡献。

(2) 专家系统及其结构

A. 什么是专家系统

在说明专家系统之前,先看一下一个人成为专家具备的条件:必须具备某一领域的高深的知识与丰富的实践经验,能够以自己独特的经验,根据对象和环境,灵活运用自己的知识处理某一领域的困难问题。

研究专家系统的目的是在特定领域内使专家系统起该领域专家的作用,因此专家系统是一种计算机程序。通过合理的程序设计,使得计算机具有推理、理解、决策、学习和创造的智育行为,内部有大量专家水平领域的知识与经验,能够在专家水平之上工作。

一般专家系统具有下面几个特点:

- 具有启发性:能够运用专家的知识与经验进行推理和判断;

- 具有透明性:对推理得到的结论有一定的解释功能和从错误中学习的功能;

- 灵活性:能不断地接收新知识,修改旧知识,进行灵活的系统扩充;

- 容错性,

- 一致性:对知识进行检查,使其不致发生矛盾;

- 非冗余性。

B. 专家系统的基本结构

专家系统的一般结构是基于规则的专家系统结构,如图 6.4-1 所示。基于规则的专家系统它是由产生式系统(图 6.4-1 的虚线框内部分)发展出来的。

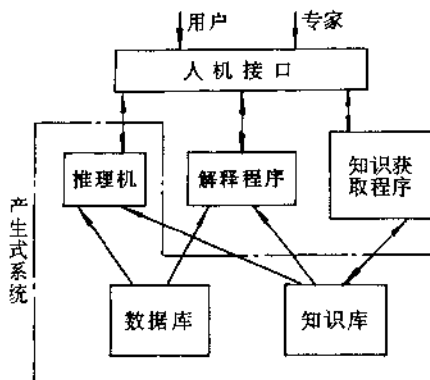


图 6.4-1 专家系统的一般结构

知识库 知识库贮存着大量特定领域内的知识,包括书本知识和实践经验。知识是决定一个专家系统是否优越的主要因素。专家系统的性能高低取决于知识库的三性:可用性、确实性、完善性。因此知识库的设计与建造是专家系统的一个关键性工作。知识的确实性与完善性决定了领域专家,知识的可用性与计算机工作者有关。建立知识库要首先完成从领域专家那里获得的知识,随后将获得的知识进行编排,进行知识表示,编排成数据结构存入计算机中形成知识库。知识获取与知识表示是人工智能研究的重点研究课题。

数据库 它用于存储领域内的初始数据和推理过程中得到的各种中间信息,也就是存放用户回答的事实、已知的事实和推理而得到的事实,与知识库不同,数据库内容是动态变化的,数据结构要符合推理的要求而且与知识表示是一致的。

推理机 这是一组用来控制、协调整个系统的一组程序。它根据当前输入的数据,利用知识库中的知识,按一定的推理策略去解决当前的问题。

解释程序 这是一组程序,它负责对推理结果给

出必要的解释,为用户了解推理过程,学习系统和维护系统提供方便。

知识获取程序 它为修改知识库中原有的知识和扩充知识提供手段,一般说,就是设计一组程序,其必备的功能是:能够删除知识库中原有的知识;能够将新知识加入到知识库中;最好还具有发现原知识库中不合适的规则和总结出新知识。

人机接口程序 它是用户与专家系统的窗口,能输入用户的问题和有关信息,输出供用户参考的方案和信息。

专家系统的一个重要特征是知识库与推理机分离,系统能够在运行过程中逐渐扩大知识库。由于推理机不适应知识库增加的需要,因而又构造新的更强大的推理机,以后又需要扩充知识。系统的发展过程就是一个扩充知识,强化推理机能的循环往复过程。扩充知识一般由专家系统承担,强化推理机能则由计算机工作者承担。

一个专家系统不仅能解答该领域的问题,而且也能回答用户的问题,能对系统本身的行为作出解释,同时还要有知识获取功能。

6.4.2 知识获取及表示方法

(1) 知识的获取

知识获取,就是把用于问题求解的专门知识从领域专家、书本文献、实验数据和经验数据等知识源中提炼出来的过程。主要知识源是领域专家。

获取知识采用的方法之一是通过知识工程师(即计算机工作者),从领域专家处获取知识,其工作如图 6.4-2 所示。

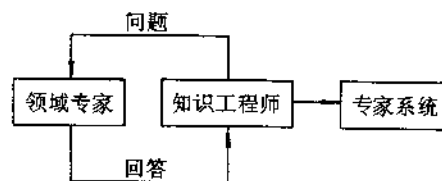


图 6.4-2 获取知识的主要方法

知识工程师通过和专家交谈以及阅读和分析资料可得到领域的各种知识,再借助于知识编辑系统把知识输入到计算机中,实际上是由知识工程师代替机器获取知识,再“传授”给机器,另一种途径是通过机器自己学习,从处理问题的过程中获取知识,积累知识。

一般来说,知识获取的步骤如下:

- 知识工程师与领域专家相互交流本领域的知

识。知识工程师讲解专家系统的工作原理、基本概念和应用实例,使专家了解这些知识和它们的特点,以便明确自己在建立专家系统中的作用。专家介绍本领域的基本概念、术语和理论体系。

- 根据实际问题,知识工程师请专家回想求解过程和所用的知识,从中提炼求解问题的关键知识。

- 针对专家系统所解决的问题,形成问题求解的过程和信息流、子问题的目标和相互关系以及求解策略、推理方式和主要知识。

- 选取知识表示方式,设计知识库的结构并能转换成计算机程序。

- 通过运行典型实例,考察知识的表示是否得当、数值是否合理、知识连接方式是否恰当等,不断修改、完善知识库。

(2) 知识表示方法

在专家系统中,知识表示就是研究如何用最合适的方式来组织知识,对所要解决的问题最为有利。一般说来,知识表示与所要解决的问题的性质以及解决的方法密切相关。在专家系统中知识表示总是与推理策略同时研究,使知识表示能适合解决该问题的推理与计算。通常知识表示法有逻辑表示法、语义网络表示法、产生式规则法、特性表示法、框架表示法以及过程表示法等。

A. 逻辑表示法

逻辑表示法是运用命题演算、谓词演算等知识来描述一些事实,从现有事实推导新事实的过程。命题是指具有“真假值”的活,命题演算是指用逻辑联接词:与、或、非、蕴含、等价把单个命题组合到一起使之成为较复杂的复合命题。谓词是刻划实体性质或关系的,谓词演算是除了命题还需要谓词。用逻辑关系表示的知识,依照一定的运算规律能进行一系列演绎、推理,是知识表示的基本方法。

B. 语义网络法

语义网络法是一个由表示实体、概念等的节点和表示节点之间关系的弧线所组成的“点有向图”。对于“车床是机床”,“车床是物体”,“镗床是机床”,“所有的机床都是切削机床”这些事实,用图来描述就形成了表示“事”和“物”相互关系的网状结构,如图 6.4-3 所示。在语义网络结构中,车床、机床等节点由一个弧 IS-A 联接起来,用这些节点和弧可以把一些独立的知识组成巨大的网络形式,并能从网状知识中组合新的知识。由于这种方法难于为人理解,局部修改易引起连锁反应,与其它方法结合困难,实用较少。

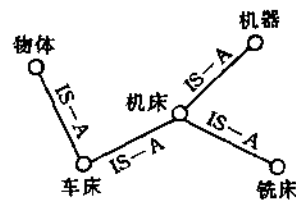


图 6.4-3 语义网络定义

C. 产生式规则表示法

规则表示法是专家系统领域内应用最广泛的知识表示法。它能表示各种知识,包括不确定和不完备的知识,用规则表示的知识结构容易模拟试探性推理的控制策略。规则表示还具有良好的模块化结构,易于理解和为用户提供解释。它是将专家的知识用被称作产生式表示的规则集合来表示,每一条产生式就是构成一个知识模块的规则,每一条规则由 IF-THEN 形式组成,可以写成 IF a THEN b 的形式。其中 IF 代表规则的前提部分,它可以是多个条件的逻辑组合,THEN 代表规则的结论部分。如在单级电液伺服阀知识库中有下列情况:

如果 单级阀体积有严格的限制;

圆柱滑阀的阀芯直径较大;

其它无特殊限制;

那么 力矩马达的气隙应取得较小。

运用产生式规则时,谓词逻辑可表示成如下形式:

```

HAS(SISTVASP, LIMIT) A IS(SPODIA, MO
LAG)
A ~ HAS(OTHER,
SPELIMIT)
-> TAKES(AIRGAP,
SMALLER)
  
```

D. 特性表表示法

对于知识比较固定且雷同的专业领域用这个方法来表示知识。特性是一个二元组或多元组的“特征值”,对于二元组将包括特性和值两部分。对于一组特性可以用特性表方便地表示一些类型知识。例如人事档案中一个人的登记表就是特性表:

特性	值
姓名	王和平
性别	男
民族	汉
出生	1976.10.5

对于不同对象,不同需求,其特性也不同。因此用特性表表示知识时,表示特征的选取应根据解决问题的性质而定。对于用特性表表示的知识,推理算法仅用检索就可以了。

E. 框架结构表示法

框架是一种数据结构,能描述知识之间的相互关系和相互作用。框架与规则结合起来是目前专家系统知识表示方法的趋势。

框架由一组槽组成。一个框架有如下形式:

```

<框架名>
<槽名 1> <侧面名 11> <值 111, 值 112, 值 113, ...>
          <侧面名 12> <值 121, 值 122, 值 123, ...>
          :
<槽名 2> <侧面名 21> <值 211, 值 212, 值 213, ...>
          <侧面名 22> <值 221, 值 222, 值 223, ...>
          :
    
```

一个框架可以有若干个槽,一个槽可以有若干个侧面,一个侧面又可以有若干个值。框架、槽、侧面可以描述各种信息,框架名可以是物体的名称;槽中可以是子框架名,也可以是事物的属性名。所有框架构成一个树状结构。

F. 过程模式表示法

过程表示法是用一段子程序块来表示某一类或某一个知识,把有关知识表示在若干个子程序块中。在推理过程中只要调用这些子程序块就行了。

知识表示在专家系统及人工智能中均是一个很重

要的问题,到目前为止,也只是一些经验性的东西,距离建立比较完整的知识表示理论也还有一段很长的路程。

6.4.3 专家系统的推理方法

推理机是专家系统的主要组成部分之一,它是运用特定的控制策略并利用知识库及数据库中的信息去求解实际问题。知识表示方法和知识库的结构不同,所用的推理方法也不同,应用较为广泛的是条件检索和执行型推理,这是一种适用于以规则方法描述知识的推理,由这种推理方法和规则表示组成的求解系统即是产生式系统。实际成功的专家系统大多数是产生式系统,在产生式系统中推理策略有正向推理、反向推理和正反向混合推理。

(1) 正向推理

正向推理是从原始数据出发,按一定策略运用知识库中专家的知识,推断出结论,这种推理策略是由数据到结论,也叫数据驱动策略或由底向上策略。

正向推理的过程是

- 用户先提供数据放到数据库;
- 将这些数据与规则的前提进行匹配;
- 把匹配成功的规则的结论部分作为新数据存到数据库;
- 将更新过的数据库中的数据再与规则匹配直至没有可匹配的规则为止,正向推理机的框图如图 6.4-4 所示。

正向推理的推理机要求做到:能根据数据库中的数据知道选用知识库中哪些知识;能将知识库中知识

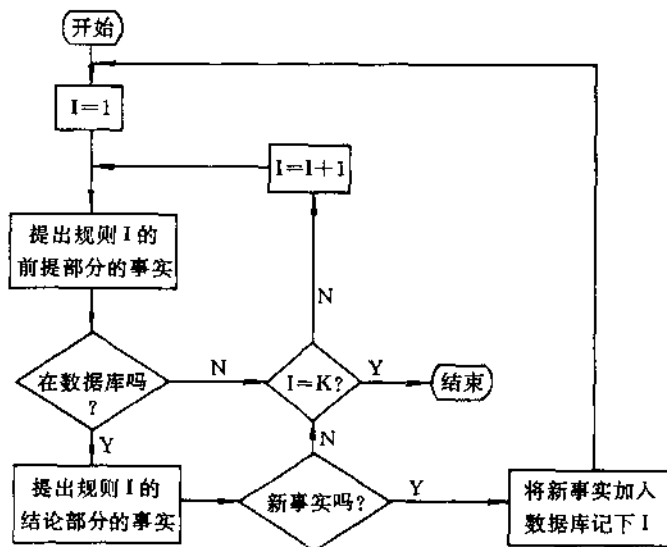


图 6.4-4 正向推理机框图

所得的结论存入数据库,并将用过的知识记录下来以备解释之用;能判断何时结束推理;必要时能向用户提问。

(2) 反向推理

反向推理是先提出结论,然后再找数据的推理,这种由结论到数据的策略称为目标驱动策略,也叫由顶向下策略。

反向推理过程是:

- ① 根据用户提供的信息作出一批假设;
- ② 判断假设是否在数据库,若在,则成功,否则;
- ③ 检查这些假设是否是证据节点,若是,则询问用户,否则;
- ④ 找出结论部分包含这个假设的那些规则,将这些规则的所有前提作为新的假设;
- ⑤ 重复②~④。反向推理机设计的示意图如图 6.4-5 所示。

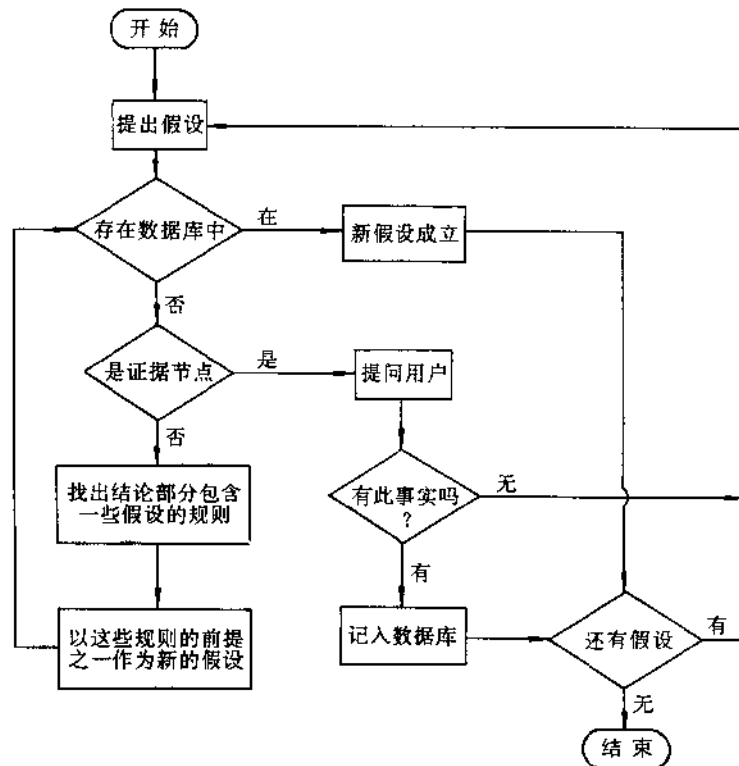


图 6.4-5 反向推理机框图

反向推理机是追踪一个指定目标或假设,询问用户查找证据及提出中间假设都是围绕目标进行,所以效率较正向推理高,但关键是选准并提出最有希望的假设这一步骤。

反向推理机要求做到:能提出假设,并能用知识库中的知识判断假设的真伪,若真,记录运用的知识并告诉用户;若假,应重新提出新的假设,再进行判断,必要时向用户询问。

(3) 正反向推理

先根据数据库中的原始数据,通过正向推理帮助系统提出假设,再运用反向推理进一步寻找支持假设的证据,如此反复这个过程。通常使用正反向推理是

在下列情况:

- 条件不足;
- 可信度不高;
- 怀疑有其它结论。

上述三种推理策略中都包含有精确推理与不精确推理两种方法。

(4) 精确推理

领域知识都表示成必然的因果关系和逻辑关系,推理的结论或是肯定或是否定的。

(5) 不精确推理

证据不一定是肯定的,而是给予某种“权”,推理的规则也不肯定,也给予某一种“权”,对于多个证据或多

条规则的推理要进行“权”的组合,由于组合的方法不同,就形成了各种不同的不精确推理。专家系统中不精确推理是不可避免的,也是一个应予以认真对待的重要问题。

6.4.4 专家系统与专家系统工具

专家系统是一个智能计算机程序,它利用知识和推理过程来解决需要大量经验才能求解的复杂问题。开发专家系统有两种方法:

(A) 运用面向人工智能的程序设计语言 LISP 和 PROLOG 等直接开发专家系统。早期的专家系统,例如 DENDRAL, PROSPECTOR 都是采用这种方法开发出来的,这种方法有较大的灵活性,但对于系统建造者的要求较高,开发的重复性工作多,周期长,所需人力资源巨大,不易推广普及。

(B) 运用专家系统开发工具软件辅助建立专家系统。专家系统开发工具又叫专家系统外壳,它能为专家系统开发者提供推理机、知识库、解释程序、用户界面等。工具内部定义好了知识表示方法,作好了开发机和推理机,开发机以交互方式帮助系统开发者生成所需知识库,推理机借助知识库通过人机交互方式向专家系统用户作出咨询。在此基础上专家系统开发者只要定义知识就可以进行推理,使专家系统开发者把主要精力用于知识获取和知识整理方面,可以大大提高研制专家系统的效率。目前比较成熟的专家系统开发工具有 KAS, AGE 等。专家系统的开发过程如图 6.4-6 所示。

6.4.5 人工智能及专家系统在液压技术中的应用

人工智能技术及专家系统应用在液压 CAD 方面,国内外大致起步均在 80 年代中后期。加拿大 Borton 等人在 1986 年就对专家系统在液压回路中的模块结构进行了研究,研制成功了液压系统状态检测自诊断的专家系统,在液压回路的设计、监控、维修中运用了专家系统。美国 VICKERS 公司将计算机与液压阀结合构成专家系列(Xpert, Family),用于重载车辆位置、速度、加速度的智能控制。国内大连理工大学实现了液压系统智能设计并对液压系统原理图、装配图的智能绘制作了深入研究;浙江大学对插装阀控制系统的智能 CAD 作了深入研究,提出了嵌入式知识基的控制策略;华中理工大学运用语义网络控制策略研制了液压原理图设计专家系统,同时运用信息分解与综合技术,根据用户输入条件和专家经验形成执行元件端口信息以及建立元件功能数据库,将两者适当配合完成了插装阀液压系统原理图的智能设计;大连组合机床

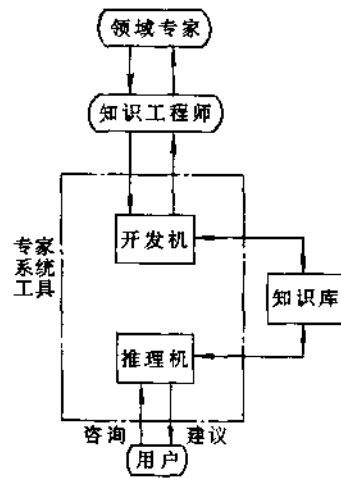


图 6.4-6 利用专家系统开发工具开发专家系统的过程

研究所研制了组合机床叠加式液压系统设计的专家系统;哈尔滨工业大学对斜盘型轴向柱塞泵智能 CAD 系统做了研究,开发了专家系统及工具;北京理工大学开发了单级电液伺服阀智能 CAD 系统及专家系统工具;安徽工学院借助于专家系统工具,研究了液压集成块孔道设计自动化问题,所建立的专家系统可自动完成从液压原理图到集成块零件图的全部工作;武汉钢铁设计院利用人工智能专家系统建立了液压系统动态仿真所需的数据库。

(1) 液压系统 CAD 专家系统软件包

这个专家系统是由大连理工大学研制的,他们在液压系统智能化设计中运用了“设计—评价—再设计”的设计方法作为控制策略,这个设计方法的结构框图如图 6.4-7 所示。其设计过程是从某种初始设计出

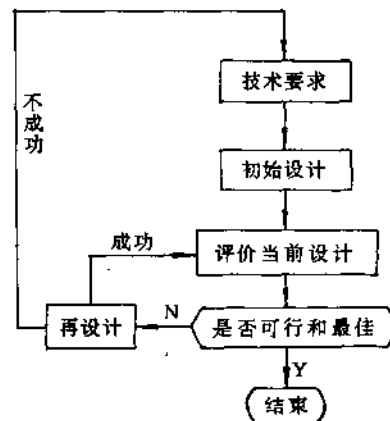


图 6.4-7 “设计—评价—再设计”的结构框图

发,经过分析、评价,不断提出改进设计,最终得到一个完善的设计成果。

对以上结构形式化后,设计过程概括为4个功能模块:初始设计、分析评价、决策、再设计。另外还有两个主控模块:控制模块和存放动态共用数据的存储器。图6.4-8表示了再设计的结构,

本专家系统软件包可以人机交互方式在微机上行,用来设计集成式、叠加式、插装式及常规式液压系统,可画出液压系统原理图、专用液压缸、油路块和液压系统装配图的设计图纸。软件包以 AutoCAD 绘图软件和 DBASE 数据库管理软件作支撑软件,软件包包括数据库、图形库、知识库、推理机和程序库等,其结构如图6.4-9所示。

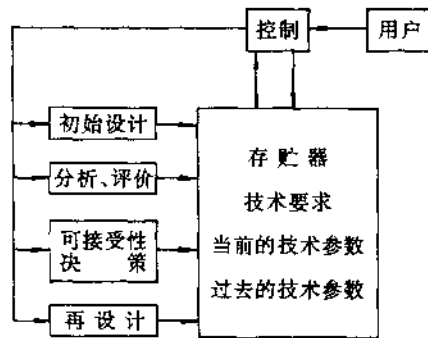


图 6.4-8 再设计的结构图

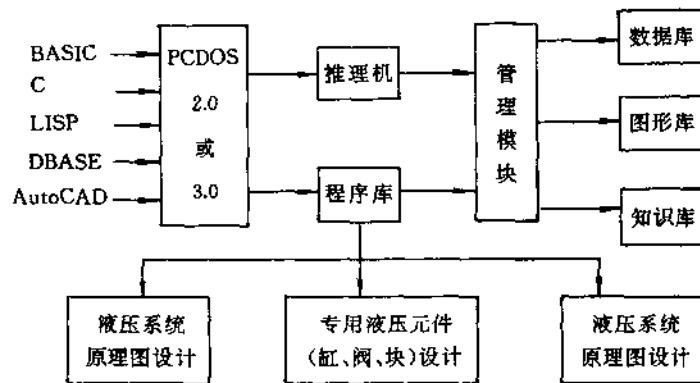


图 6.4-9 液压系统 CAD 专家系统软件包结构

专家系统主要用于设计方案的选择、常规液压系统原理图中液压元件的排序和油路的连接、原理图和装配图的图面布置、装配图和零件图的视图选择、工作图中自动标注尺寸及油路块的自动设计等。

(2) 插装阀控制系统智能 CAD 系统

这是由浙江大学研制的。浙江大学在工程软件的实际开发研制过程中提出“嵌入式知识基”这一方法。嵌入式知识基方法是在常规软件中加入判断和决策环节。该环节由一个知识库所支持,其示意图如图6.4-10所示。

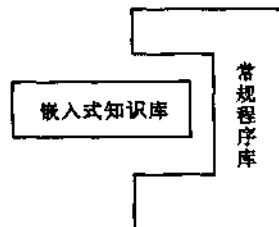


图 6.4-10 嵌入式知识基方法

知识基环节嵌入常规程序的方法分为“串式”和“并式”两种。串式嵌入时,知识基环节相对独立,即为整个程序流程中的一个独立环节,这样可单独对知识库进行设计。程序结构框图如图6.4-11所示。并式嵌入方式,是知识库作用于多个环节,这时的知识库结

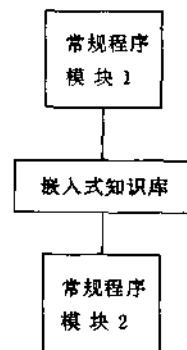


图 6.4-11 串式结构

构稍微复杂些,主要用于要求较多的判断和决策的场合,其程序结构如图 6.4-12 所示。

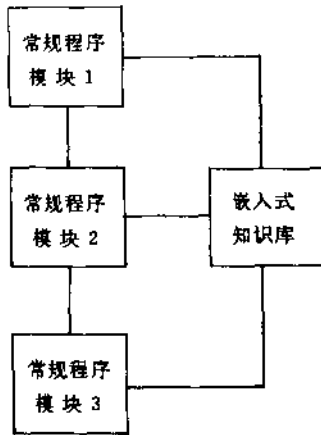


图 6.4-12 开式结构

嵌入式知识库建立的知识库通常由规则组成,称为规则库。实际应用中规则又可分为两类:

- 成熟的知识,以解析式或者算法的形式写入文献中;
- 逻辑推理知识,即各个专家所持有的非解析式的、直觉的经验。

采用嵌入式知识库方法所建立的知识库,其特点在于:

- 结合科研计算适合于 CAD 软件的开发使用;
- 知识库规模可根据需要来设计;
- 智能环节的结构简明,嵌入式知识库软件建立方法简单;
- 知识库中各条规则的设计可完全模仿设计者的思维。

由于知识库在软件中仅用作有限的判断分析,无需象一般专家系统那样配备完善的知识编辑系统、解释设备、人机接口等一整套设备,仅利用智能语言所具备的基本语句便可实现,有时也可用高级语言。

应用嵌入式知识库这一控制策略,在浙江大学开发的准三维插装阀液压系统 CAD 软件中,用规则库对三维阀块中的每一因素进行判断、分析、处理,能提供三维实体完整的几何模型,解决了三维图转化成工程零件图过程中判断推理断点问题从而保证绘制出正确的工程图纸。知识库的设计是阀块 CAD 建立过程的关键环节,知识库采用串式嵌入方式,将知识库分成常

规三视图处理规则部分和任意截面处理规则部分。后者包含了任意空间图象在三视图上和任意截面图上的表示形式的处理规则。

(3) 组合机床叠加式液压系统设计专家系统 ES-DMMTH

该系统是国家“七五”重点攻关项目,由大连组合机床研究所开发研制,采用人工智能技术,根据专家系统理论并结合组合机床经验和科研成果建立了可分解的产生式专家系统。专家系统包括液压系统方案设计

A. 液压系统方案设计

程序结构如图 6.4-13 所示。

知识库 采用层结构规划,引入从最高层到最低层空间规划的一般抽象方法,知识库共有 5 个方面一千多条规则。这 5 个方面是:基本设计要求;确定的规则及过程;启发性知识;解题的全局策略;某些基本回路。

数据库 存储液压系统设计原始数据和推理过程中产生的信息,如液压缸尺寸、机床型号等原始数据;泵的流量、控制方式等是中间信息。

推理机 推理机模拟专家的思维能力,本机采用正反向混合推理的控制策略,实现推理解算过程,控制使用知识库,解决设计中的问题。正反向混合推理方式由控制策略分析器及静、动态推理网络组成。

解释程序 将推理过程中匹配成功的规则记录在数据库中,为设计过程进行解释提供依据。

知识获取 系统根据实践结果自动发现原有知识,若原有知识错误,则不能自动修改,也不能自动增加新知识,需由专家进行扩充,此种方式称为半自动方式。

B. 液压传动装置智能绘图

软件系统地总结了人工设计液压传动装置的经验,采用了 IF—THEN 型的可分解产生式系统,建立了知识库及推理机等。其要点是:

(A) 在方案设计模块执行后,生成的一系列动态数据文件,作为总图设计和图面布置的依据;

(B) 模拟专家系统具有总图设计能力、智能绘图子系统有常识性知识和专家经验知识。系统作为一个模块,利用控制策略在知识库和数据库支持下产生一组动态推理网络,完成图面设计并能读取数据,绘制图形。建立数据库采用了与或图的搜索策略并引入了分层规则的方法,将人工设计的思路通过与或图的原理逐层分析、优选,寻找最佳路线。这部分的结构框图如

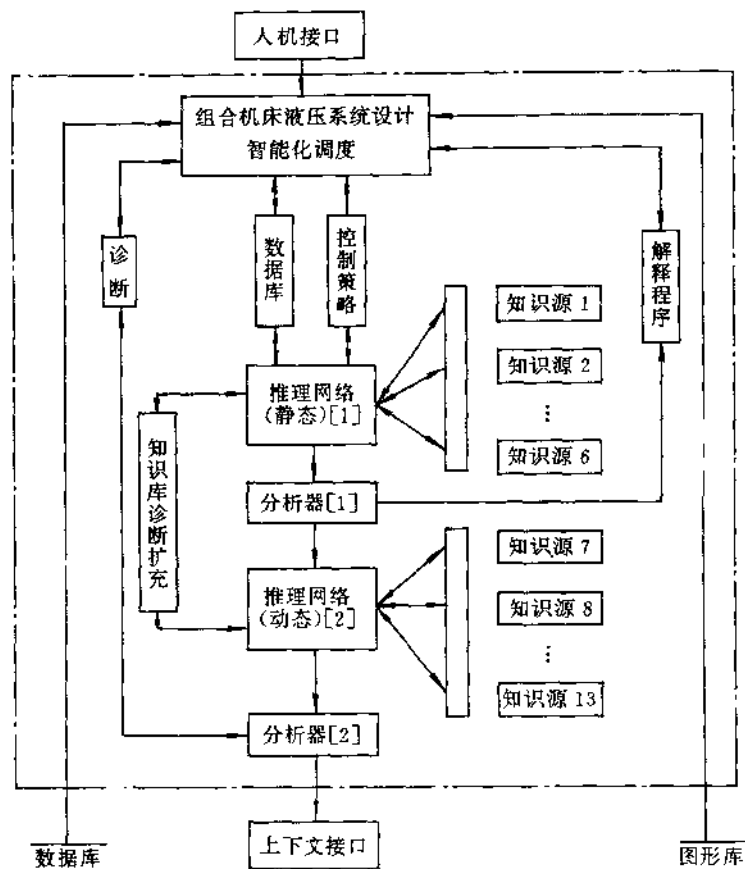


图 6.4-13 ESDMMTH 方案设计结构框图

图 6.4-14 所示。

知识库 采用层结构规划方法,依据专家及常识性经验,将总图设计分成多层。分成最高层空间及最低层空间,其中最高层空间是指有普遍意义的一般问题,如原理图、控制回路组成、采用的控制元件、辅件、通用件、标准件的型号,设计参数等,对它们进行划分和分类,总共划分出 18 种。在最高层划分的每一种中又可进行具体划分,把这种划分称为最低层空间划分,这时最多可划分 10 层。搜索则是先从最高层开始,尔后到最低层空间。采用产生式知识表示,共有 2700 多条规则,它们分属于陈述性、过程性及控制性三类别的知识。

推理机 采用正向推理策略。数据库采用文件传递和变量数组直接传递两种传输方式。推理机按照输入的数据,利用知识库中的知识逐层搜索进行推理,推理机采用静、动态推理网络,完成知识库与数据库的扩

充,从而完成绘图。

自动绘图子系统 这是将图形库技术、专家的经验与知识、人工智能理论有机结合起来程序系统。系统运行直接受控于推理机制与知识库、数据库,可自动读取数据,进行推理和决策,然后绘制标注完整的图形。

该专家系统能够完成叠加阀液压系统设计的 95% 以上的工作量;知识库贮存一万余条规则并可随机匹配数万种以上设计方案;在推理机支持下,实行控制策略生成图形;屏幕清楚直观;系统操作简单适宜于不太熟练的设计人员使用。

(4) 斜盘型轴向柱塞泵智能 CAD 系统及其开发工具

该系统由哈尔滨工业大学研制,将“设计—评价—再设计”控制策略与嵌入式知识基方法相结合,提出了斜盘型轴向柱塞泵智能 CAD 系统的总体结构方案并

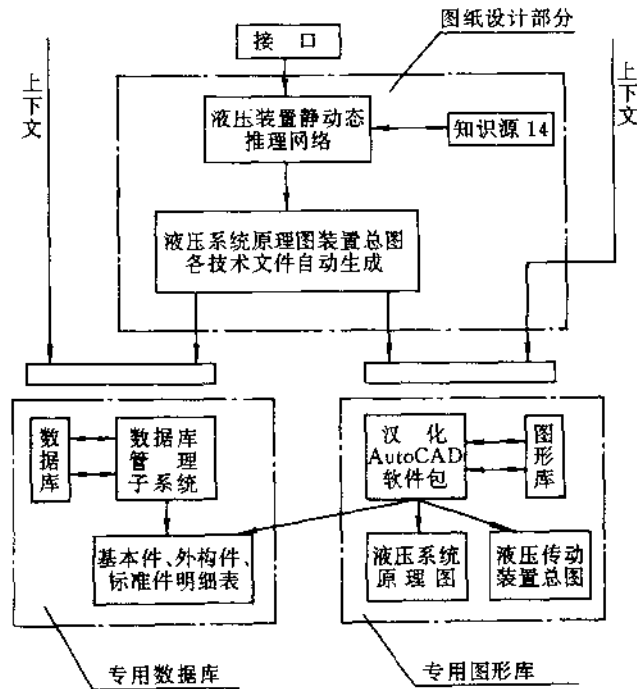


图 6.4-14 液压传动装置智能绘图结构框图

研制了一个基于规则的专家系统开发工具 RUBEST, 用于液压泵设计知识的收集和利用。

A. 斜盘型轴向柱塞泵智能 CAD 系统

对泵的结构设计包括由缸体、柱塞、主轴、斜盘等组成的主体部件设计和变量机构设计时。每一个零部

件都采用“设计—评价—再设计”的控制策略, 将控制策略的各个环节做成模块化结构进行设计并建立了知识库、图形库及数据库, 动用嵌入式知识基方法, 通过主控模块将推理机、知识库及图形库与设计过程各模块联接起来。其总体结构如图 6.4-15 所示。

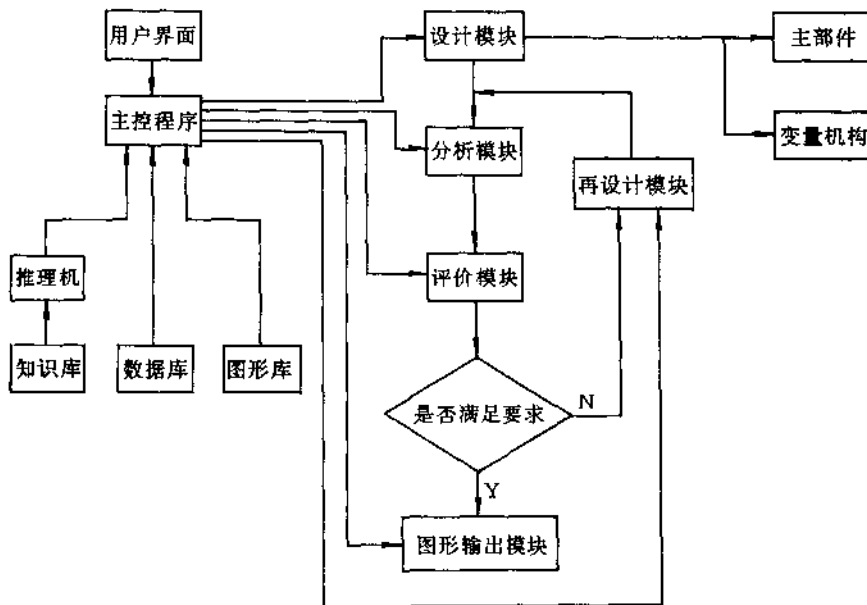


图 6.4-15 斜盘型轴向柱塞泵智能 CAD 系统总体结构图

B. 基于规则的专家系统开发工具 RUBEST

与专家系统所不同是在 RUBEST 中加入了开发机,其总体结构如 6.4-16 图所示。

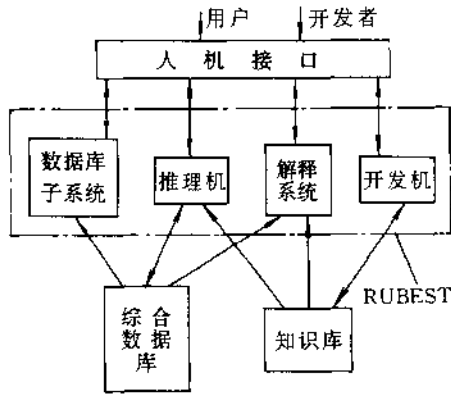


图 6.4-16 专家系统开发工具 RUBEST 结构图

知识表示 专家系统知识表示采用规则表示的产生式系统。

开发机 开发机是以交互方式帮助系统开发者生成所需要的知识库,开发者只需根据提示信息,按要求的形式输入规则,开发机便自动将其转换成推理机所能利用的内部形式,建立规则库,随后开发机以文件形式存入规则库,并可随时调用,进行编辑或推理。

数据库子系统 该系统是将其它程序中或用户输入的数据整理成推理机知识,存贮到综合数据库。

推理控制策略 RUBEST 提供正向推理控制策略。

解释方法 RUBEST 系统采用了追踪解释法,即在推理过程中,记录每个结论所用的证据和规则,并把它们存贮到动态数据库,当用户想知道这个结论的来源时,解释系统将取出该结论的推理依据并以用户易于接受的形式表示出来。