

陶瓷学院科技艺术学院

本科生毕业设计（论文）

中文题目： 人造金刚石压机温度智能控制系统设计

英文题目： Intelligent Control System
of Diamond Cubic Press

院 系： 科技艺术学院

专 业： 自动化

姓 名： 冯绍年

学 号： 201030455127

指导教师： 肖绚

完成时间： 2014-5-23

| | |
|-------------------------|----|
| 1 引言..... | 1 |
| 1.1 课题的背景..... | 1 |
| 1.2 控制的研究方向..... | 3 |
| 1.2.1 控制设计的技术参数..... | 3 |
| 2. 压机温度控制模型设计..... | 4 |
| 2.2 实验方案的初步拟订..... | 6 |
| 3. 压机温度控制设计的组成..... | 7 |
| 3.1 整体设计方案..... | 7 |
| 3.1.1 整体设计..... | 7 |
| 3.1.2 抗干扰的设计..... | 8 |
| 3.2 硬件设计方案..... | 9 |
| 3.2.1 温度走势图..... | 10 |
| 3.2.2 显示面板的设计..... | 10 |
| 3.2.5 工艺流程..... | 11 |
| 3.2.6 键盘及显示电路设计..... | 11 |
| 3.2.7 硬件电路的设计..... | 12 |
| 4. 硬件设备的选用..... | 14 |
| 4.1 CPU 的选用..... | 14 |
| 4.2 存储器的选用..... | 14 |
| 4.3 8051 的地址分配..... | 14 |
| 4.4 数据采集电路的设计..... | 15 |
| 4.5 硬件连线..... | 16 |
| 4.5.1 I/O 口的连接..... | 16 |
| 4.5.2 AD 转换器的连接..... | 16 |
| 4.5.3 8255A 的连接..... | 17 |
| 4.5.4 串行口的连线..... | 17 |
| 4.5.5 8051 的连线..... | 17 |
| 5. 软件的设计方案..... | 18 |
| 5.1 软件设计整体思路..... | 18 |
| 5.2 智能控制介绍..... | 19 |
| 5.3 智能 PID 控制器..... | 22 |
| 5.3.1 PID 控制原理..... | 22 |
| 5.3.2 位置式 PID 控制算法..... | 23 |
| 5.3.3 增量式 PID 控制算法..... | 26 |
| 5.4 专家 PID 控制..... | 29 |
| 6. 结论与展望..... | 34 |
| 6.1 设计的结果..... | 34 |
| 6.2 理想实验曲线..... | 35 |
| 6.3 结论..... | 37 |
| 6.4 展望..... | 38 |
| 致 谢..... | 40 |
| 参考文献..... | 41 |

摘 要

目前在我国人造金刚石的生产一直都采用六面顶压机。然而六面顶压机的控制系统一直比较落后,虽然近几年有所改进,但对各种工艺参数的控制仍没多大改善。压力和加热控制现状很难满足金刚石生产工艺的要求,无法实现变压力生长工艺控制、变温工艺曲线的程序控制,精度很低,必然影响到产品的品级。

采用计算机控制技术对 Y-500 型六面顶压机生产人造金刚石的整个工艺过程进行全方位控制和监测,大大提高了压机运行的可靠性和生产效率。根据工艺要求采用智能 PID 和模糊 PID 控制技术及 PID 自整定技术对重要工艺参数温度和压力实现精确控制,大大提高人造金刚石产品的质量和品位。

设计一套新型金刚石压机交流加热系统,建立了加热系统的模型,详细阐述了恒平均电压、恒有效电压及恒功率三种加热方式的特性及差别,在此基础上选择了恒有效电压交流加热方式。深入分析系统脉冲控制环节和检测环节的原理及特点,采用 P I 控制器作为控制核心,同时论述了该控制器的参数设计原理及步骤。仿真和实验结果表明,所设计的加热系统具有实时性强、

控制精度高、动静态特性优良、易于实现等特点,能较好地满足金刚石生产工艺的要求。

关键词:金刚石压机;晶闸管;调功器 P I D

ABSTRACT

At present, China 's production of synthetic diamond has been to use more cubic press . However, six of the top press control system has been relatively backward, though improved in recent years , but for various process parameters still have not improved much control . Status and heating control pressure is difficult to meet the requirements of the diamond production process , change can not be achieved growth process pressure control , variable temperature control technology curve procedures , accuracy and low, will inevitably affect the product grade.

Computer control technology for Y-500 type cubic press the entire process of production of synthetic diamond for all-round control and monitoring , greatly improving the reliability and productivity of the press run . According to process requirements using intelligent PID and fuzzy PID control technology and PID self-tuning technology to the important process parameters to achieve precise control of temperature and pressure , greatly improving the quality of synthetic diamond and taste .

Design of a new diamond press exchange heating system, the establishment of a model of the heating system , elaborated constant average voltage , constant voltage and constant power effectively three plus

Thermal characteristics and differences in the way , on this basis, select the constant voltage AC effective heating . Depth analysis of the principles and characteristics of the system to detect the pulse control links and links, using

PI controller as the control core , and discusses the parameters of the controller design principles and procedures . Simulation and experimental results show that the heating system is designed with real-time,

High control accuracy , good dynamic and static characteristics , easy to implement features, can better meet the requirements of the diamond production process .

Keywords : diamond press ; thyristor ; power regulator PID

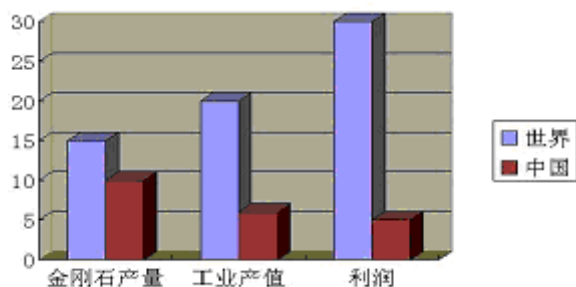
1 引言

1.1 课题的背景

金刚石作为当前一类重要的工业用原材料,它的应用范围几乎渗透到社会生产的各个领域,特别是近几年随着国内外工业、采矿和建筑行业的飞速发展,对金刚石的需求更是与日俱增。

当今世界工业金刚石产量约 15 亿克拉,中国的产量高达 10 亿克拉以上(甚至有资料统计达 12 亿克拉之多)我国产量约占世界产量的 2/3,而国产金刚石工业产值约占世界工业产值 1/3(利润不足总利润的 1/5),要改变这一现状,提升国内人造金刚石质量刻不容缓。

当前,我国是人造金刚石生产大国,总产量居世界前列。但国外一般是采用年轮式的目前,我国是人造金刚石生产大国,总产量居世界前茅。而国外一般是采用年轮式的超高压设备、 $\Phi 80\text{mm}$ 以上的合成腔体生产 SDA 高品级金刚石,而我国基本上是采用六面顶的压机、 $\Phi 30\text{mm}$ 下的合成腔体,生产中、低档的金刚石,相对来说技术落后于国外。国产人造金刚石的品级较低,世界高档人造金刚石的市场被国外少数公司垄断,我国人造金刚石产品国际竞争力较为缺乏。现在,我国的金刚石正在向设备大型化、合成腔体大型化的合成工艺发展,以提高金刚石的品级,缩短与国外的差距,进一步打开金刚石的出口渠道



我国的人造金刚石工业正发展兴旺,并正着眼于高品位人造金刚石的生产。1999 年 7 月 5 日,黄河旋风技术中心成功地在 UDS—II 型压机上进行了 $\Phi 40\text{mm}$ 腔体的人造金刚石的合成实验。有关专家指出,该项技术的成功,为中国人造金刚石工业跻身世界人造金刚石强国奠定了基础,是中国人造金刚石行业发展史上的一个重要的里程碑。 $\Phi 40\text{mm}$ 腔体的单次产量可达到 50 克拉/块左右,且金刚石品位也大大提高,其产品已可以进入国际市场竞争,单克拉成本也已由于产量的提高和工艺的完善而降低,因此经济效益特

别显著。

目前我国人造金刚石的生产一直多采用六面顶压机。然而六面顶压机的控制系统一直比较落后，虽然近几年有所改进，但对各种工艺参数的控制仍没多大改善。压力与加热控制现状很难满足金刚石生产工艺的要求，不能实现变压力生长工艺控制、变温工艺曲线的程序控制，精度又低，必然影响到产品的品级。

人造金刚石的合成效果（产量、质量）受诸多因素影响，一定条件下，主要受温度、压力的影响，取决于温度、压力的合理匹配。金刚石合成经历形核、长大这两个阶段，压力是金刚石合成的驱动力，它影响金刚石形核，也就是影响了金刚石的产量，转化率，而温度主要是影响金刚石质量。顶锤的位移检测控制和各种故障的自动分析处理，以及计算机生产管理等方面的技术在人造金刚石生产中也起着非常重要的作用，但这些技术的应用在人造金刚石行业中目前还很少。

人造金刚石的应用领域十分广泛，几乎涉及国计民生的各个领域，小到家庭装修，大到微电子及航空航天等高新技术领域均有其用武之地。有的甚至是非其莫属，如用量最大的石材工业离开人造金刚石及其工具就极难发展。可以说人造金刚石的推广应用开创而且推动了石材工业的蓬勃发展，它在光学玻璃冷加工、地质钻探、陶瓷、汽车零件等机械加工、金属拉丝等方面引起了革命性的工艺改革。使得加工效率、加工精度几十倍甚至上百倍地提高，使得一些过去难加工甚至无法加工的材料能顺利、高精度地加工。人造金刚石和制品基本能满足国内各个工业部门的需要，为整个国民经济发展做出了不可磨灭的贡献。

| 国内外金刚石样品性能对比 | | | | |
|---|-------|---------|-----|-----|
| 金刚石 | 粒度 | 静压强度 | Ti | TTi |
| 国内六面顶样品 | 40/50 | 12kg | 23% | 5% |
| 国内两面顶样品 | 40/50 | 12kg | 65% | 50% |
| DeBeers 样品 | 40/50 | SAD55+ | 68% | 56% |
| G. E 样品 | 40/50 | MBS-940 | 68% | 58% |
| 备注：（1）试验参数：冲击频率：2400 次/分；冲击时间：50 秒；TTi：在 1100℃，加热 30 分钟，有保护气体（N ₂ ）。 | | | | |

国内外金刚石样品性能对比表

Y—500 型六面顶压机是在借鉴和总结我国前三代压机的基础上开发出来的新一代金刚石生产的顶压设备。该设备在结构刚度、运行平稳性、几何精度、同步精度、保压精

度等方面都有重大突破。经中科院院士及湖南省科委鉴定认为，该压机已达到了人机最佳协调，它的性能处于国际领先水平。生产金刚石工艺是国内领先水平。另据统计资料显示，世界工业金刚石消费每年以 7% 左右的速度递增，应用领域也日益扩大，特别是被誉为“21 世纪高新材料”的化学气相沉积金刚石膜，正处于方兴未艾的开发应用阶段，预计到 2020 年，其产值将达到 100 亿美元。

采用计算机控制技术对 Y-500 型六面顶压机生产人造金刚石的整个工艺过程进行全方位控制和监测，大大提高了压机运行的可靠性和生产效率。根据工艺要求采用智能 PID 和模糊 PID 控制技术及 PID 自整定技术对重要工艺参数温度和压力实现精确控制，大大提高人造金刚石产品的质量与品位。

人造金刚石产业前景诱人，市场前景广阔。只要占有技术工艺先进优势，产品质量优势，完全可以占领较大的市场份额，各行业“后来居上”者比比皆是，关键是成熟技术的应用带来巨大的效益。



1.2 控制的研究方向

1.2.1 控制设计的技术参数

人造金刚石生产工艺需要控制系统各种技术指标如：压机加热电压控制范围和稳态控制精度为 0V 到 10V，动态响应时间应小于 2S。压机加热电流控制范围及稳态控制精度为 0~30mA，动态响应时间小于 2S。在这次论文中负责温度控制的项目。论文设计具备的功能压机的温度给定值可任意设计。压机的有关参数可设定和修改。可以显示压机的温度值。动态打印控制回路的温度值。本课题控制需要控制回路采用 PID 调节规律。采用防干扰措施。课题选用 MCS-51 单片机，用来设计专用控制的系统控制。

2. 压机温度控制模型设计

电气控制系统和液压体系是人造金刚石压机两个重要构成部分。其计算机节制系统关键作用是替代压机原先的重点监测。它由加压控制、加热控制、顶锤位移控制、综合分析处理、现场监测、监控中心包括几部分，拥有动态显示、状态检测、逻辑剖析、数理估算、最优化状况控制、极度分析及处理、工艺主动跟踪、人与机的友善界面等智能化功效。

压力控制是由 2 和 1 台直流-交流主油泵来调节，泵控制超压，直流侧泵控制补压力补偿。液压油通过油路管和增压器输入六面顶压机，油在油的开关阀通过管道向控制。温度控制是通过控制加热功率的变化来实现的。六面顶压机两个相对锤头电压，电流流过合成块，块由其合成电阻加热。因此，加热功率的大小可以控制温度合成块。如图 1 所示。

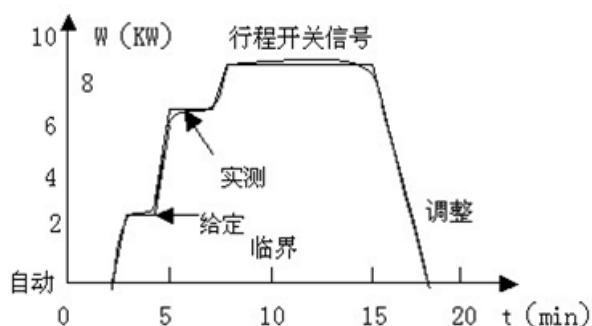


图 1 自动合成图

1

六面顶金刚石压机是由机、电、液组成的合成人造金刚石等超硬材料的机电一体化专用设备。主机由六只液压缸组成，其中三只为动缸，三只为定缸。根据液压控制系统和过程控制的电磁阀，顺序的要求，通过对碳膜合成腔压力的三缸同步液压驱动系统，同时通过碳膜电加热系统加热。这样，经过一定时间的高温、高压处理后，便生成了人造金刚石晶体。金刚石压机的行动进程分调解与主动两种状况，调整用于对压机用人为调整及维修，自动用于合成人造金刚石。砖石按顺序控制的严格控制，电接点压力表和行程开关发信号，直到一个完整的工艺过程结束。简单自动合成过程如图 2 所示。

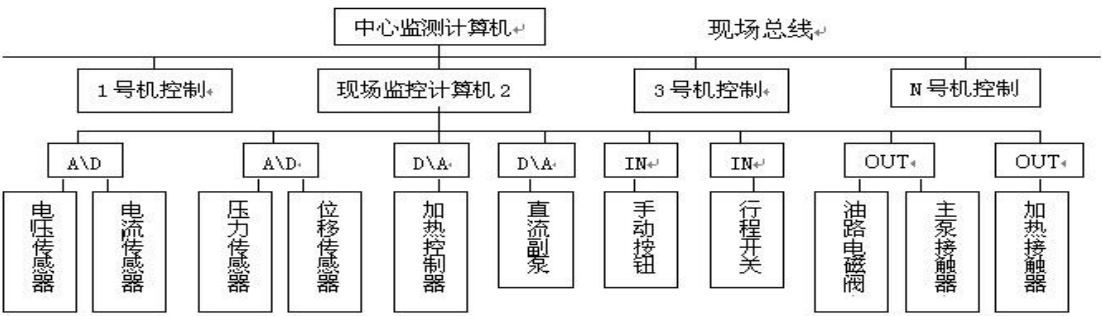


图1 人造金刚石控制结构示意图

六面顶压机为人造金刚石合成的关键性配置，它具备多样板、自动化水平较高的特色，以往采取继电器-接触器方法进行节制，其逻辑关系琐碎，继电器的数目（40），和溶胀率较高，常因继电器故障 LED 的压块破碎，甚至损坏了砧，增加原材料和辅助材料的消耗，影响到设备的正常运行。此外，六面顶压机对六只压缸的定位精度及同步机能也有必然请求，从前继电器-接触器控制方法存在着响应速度慢、行动缓慢、衔铁粘滞、接触不良等征象、使得六缸定位及同步机能变差，增添硬质和金顶锤毁坏的可能。人工金刚石的合成结果（产量、质地）受诸多要素感化，要紧条件下，主要受温度、压力的影响，取决于温度、压力的公道匹配。金刚石合成通过形核、长大这两个阶段，压力是金刚石合成的驱动力，它感化金刚石形核，也就是影响了金刚石的产量，变动率，而温度紧要影响金刚石质质料。

当六面顶压机采用自动合成程序时，压机会自动跳转到自动工作程序，如不采用自动合成，对于手动控制工艺要求可采用分段工作方式以及调整工作方式，这对于产品工艺参数的修改起到一定的调节作用，推广了压机控制的适用面以及影响金刚石的质量。如图 3 所示。

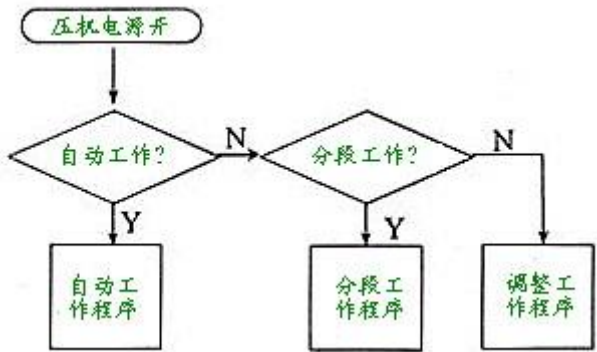


图3 压机启动工作示意图

2.2 实验方案的初步拟订

机计算机控制系统主要是以取代原来的压缩机控制系统。软件设计采用模块化，是处理模块参数设定模块、分析通信模块、数据采集与处理模块、手动调整模块、自动操作模块，故障。我在其中主要设计参数设定，PID 调整模块，数据采集模块。

在故障分析与状态预测函数处理模块的软件，可预测的顶锤位移的发展趋势，系统压力，加热功率运行趋势的发展，给计算机进行分析，所有执行系统的先进控制，保证设备运行的稳定性和安全性。控制系统软件是通过综合分析的方法，设备治疗。计算机按照人工金刚石合成工艺的需要，发挥智能 PID 控制理论、模糊 PID 控制理论和 PID 参数自整定技巧，将体系的各类消息综合分析，最佳工艺优化模型和优化过程控制故障的建立分析，分别发出加压、加热、位移的控制信号，在最佳工作状态的设备的运行控制。

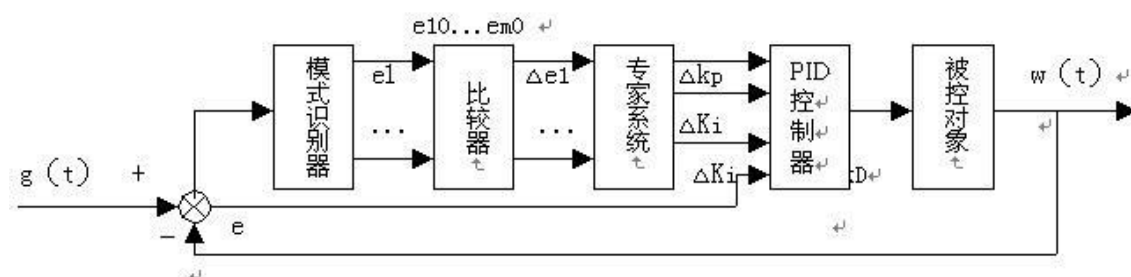


图4 加热功率控制策略

3. 压机温度控制设计的组成

3.1 整体设计方案

3.1.1 整体设计

以实用和易维护为出发点，我们确定了控制系统的设计原则：

软件和硬件模块化设计，方便了调试和升级；

采用了专用的温度测控模块和压力测量模块，与主控板以通讯方式连接，提高系统的可靠性和易维护；

采用人机化的界面，能在线调节工艺参数，动态显示工作曲线，提高可操作性和直观性；

在保证系统整体性能优良的前提下，适当选用性能价格比高的器件，以降低系统的成本；

以 8051 单片机为控制核心，整个系统，所有控制对象包括液压，温度和六个位移。该系统可以处理参数设置启动压缩机的运行，同时从温度测量和控制装置来发送一个中断装置和液压控制装置响应，分析和处理的速度，体积位移和温度等，根据温度，液压和处理时间，发送控制执行机构的运行机制，从而形成循环运行，并显示系统当前的工作状态。

金刚石压机是由电气控制体系和液压体系两个部份构成。机计算机控制系统主要是以取代原来的压机控制系统。它由一个加压控制、加热控制、顶锤位移控制、综合分析、现场监测、监控中心包括几部分，拥有逻辑剖析、数理估算、最优化动态控制、状况检测、极度分析和处理、工艺自动跟踪、动态显示、人机有爱界面等智能化功效。温度控制是通过控制加热功率的变化来实现的。六面顶压机两个相对锤电压，电流通过合成块，块由于其合成电阻加热。因此，加热功率的大小可控制温度的控制合成块。

每个压力场的控制和检测的可编程控制器和 I/O 扩展、A/D、D/A 接口模块、通信接口和各种传感器的场景、执行器的实现。经过 RS-232C 结合安置在现场控制台面上的触摸式图型表现掌握终端，进行现场监测和事情参数、工艺弧线设定。各个状态的压力场的现场总线传输和安装在中央监控计算机生产管理或技术部。

控制系统软件是通过综合分析方法制定的。计算机按照人工金刚石合成工艺的需要，发挥智能 PID 节制理论、模糊 PID 控制理论和 PID 参数自整定技巧，将体系的各类消息

综合分析，最好的工艺优化模型和优化过程控制故障的建立分析，分别发出加压、加热、位移的控制信号，在最佳工作状态的设备的运行控制。软件设计采用模块化，是处理模块参数设置模块、分析通信模块、数据采集与处理模块、手动调整模块、自动运行模块、故障分析处理模块。在故障分析与状态预测函数处理模块的软件，可预测出顶锤位移的发展趋势，系统压力，加热功率运行发展趋势，给计算机进行分析，所有执行系统的先进控制，保证设备运行的稳定性和安全性。

3.1.2 抗干扰的设计

在电子系统计划中，为了少走弯路和节省时间，应充分考虑并满意抗干扰性的请求，防止在设计实现再去采取抗干扰的补救措施。形成干扰的基本要素有三个：

（1）干预源，指发生干扰的元件、设配置或信号，用数学言语如以下： du/dt ， di/dt 大的地址便是干扰源。如：雷电、继电器、可控硅、电机、高频时钟等都可能成为干扰源。

（2）传布途径，指干预从干预源传播到敏锐器件的通路或前言。规范干预传播途径是经过导线的传导和空间的辐射。

（3）敏感器件，它可以很容易被干扰。

隔断干预传播途径的经常使用设施如下：

（1）充分考虑电源对单片机的感化。电源做得好，全部电路的抗干扰就完成了一大半。很多单片机的电源噪声很敏感，单芯机的电源滤波电路或调节器，以减小芯片的电源噪声干扰。例如，可以使用磁珠和电容 π 形滤波电路，当然要求不高也可使用 100 欧姆电阻代替磁珠。

（2）假如单片机的 I/O 口用来控制机电等噪声器件，在 I/O 口与噪声源之间应加阻隔（增添 π 形滤波电路）。控制机电等噪声器件，在 I/O 口与噪声源之间应加阻隔（增添 π 形滤波电路）。

（3）注意晶振布线。晶振与单片机引脚尽可能凑近，用地线把时钟区隔离起来，晶振外壳接地并牢固。此措施可解决许多疑难问题。

（4）电路板等大分区，如强、弱信号，数字、模拟信号。尽量把干预源（如电机，继电器）与敏锐元件（如单片机）隔离。

3.2 硬件设计方案

关于原理图的说明:根据自动控制反馈原理设计出如上原理图,先从合成块负载中进行采样分析,用户再根据所示温度进行所需温度值的设定,合成块负载的采样来自 A/D 转换器,经过单片机 8051 数据处理,存贮,输出给 D/A 转换器,进行 2 路输出,再由可控硅移相以及两个锤头输出,一个控制合成块的电压,一个控制合成块电流,合成块的功率(温度)经过变送器反馈到比较环节,进行比较.可控硅移相电路将 DA 输出信号取其差值对时间积分,以确定对可控硅触发的相移角,实现移相控制。变送是采样的一个紧要关键,温度变送器选用热电偶、热电阻为测温元件,从测温元件输出信号送至变送器模块,经由稳压滤波、运算放大、非线性校正、V/I 转变、恒流及反向保护等电路处置后,转换成与温度成线性关系的 4~20mA 电流信号输出。

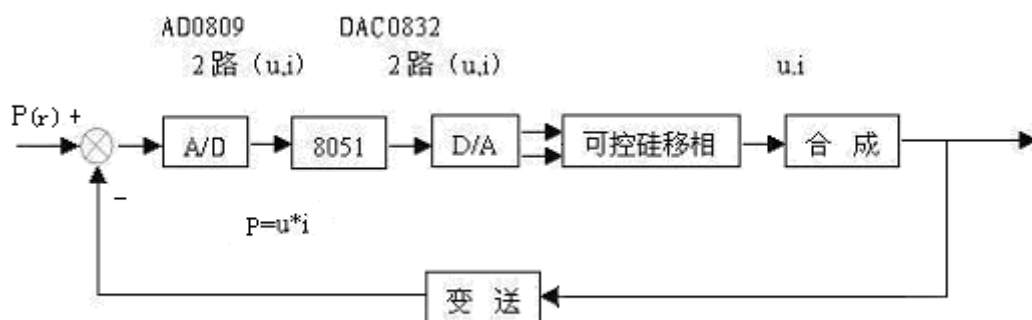


图5 压机温度控制框图

3.2.1 温度走势图

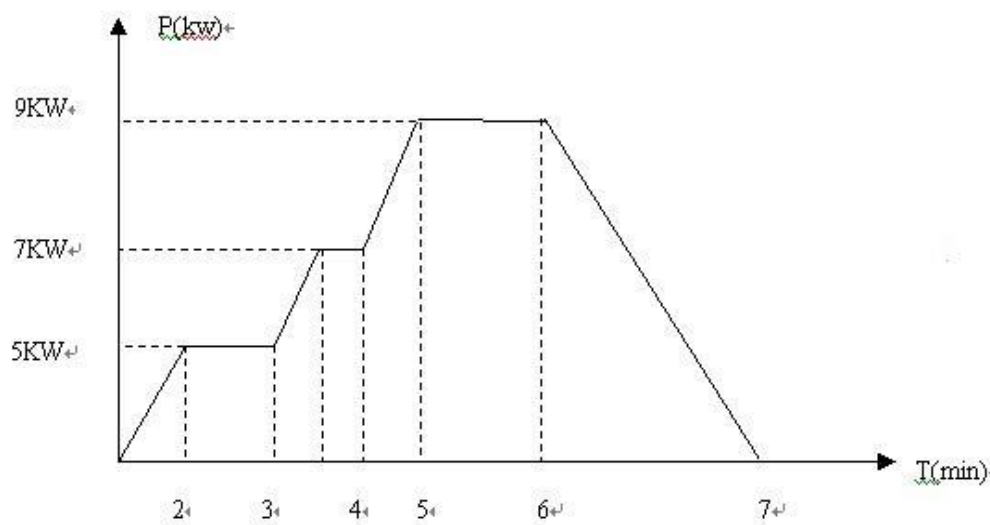


图6 温度走势图

关于温度走势图的说明:本题采用较为简单的温度走势,分别在 2~3, 5~6 时段内实施恒温控制,在其他时段分别由上升,下降温度控制.

3.2.2 显示面板的设计

| 显示部分 | | | |
|------|------|------|-----|
| 压力加 | 开 M1 | 开 M2 | 开加热 |
| 压力减 | 关 M1 | 关 M2 | 关加热 |
| 自 动 | 空 进 | 回 程 | |
| 手 动 | 超 压 | 卸 压 | |

图7 显示面板示意图

3.2.5 工艺流程

人造金刚石压机生产工艺请求加热节制是30Mpa以后起首的，加热控制也分加温、保进行，几分钟或十几分钟后完成加热。过图8中给出的加热功率。随机输入的人机界改。加热控制系统来控制加热电压乘以加采样信号到功率测量值与计算机预设的加

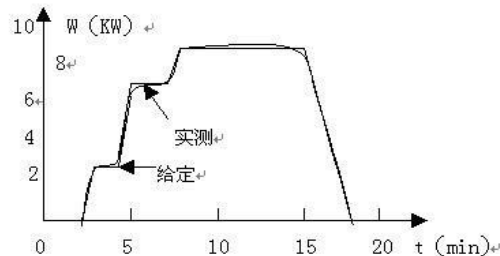


图8 加热功率工艺曲线

在超压达温几段程曲线面和修热电流热功率

工艺曲线进行分析进行比较，先进的控制算法，输出电压和输出电流通过控制晶闸管的导通功率控制放大电流加热变压器，加热功率系统满足工艺要求。叶腊石的对象作为含有石墨合成的催化剂，为电阻性负载。因为选用变压器降压和升流，串入了电感性负载，简易引发超调解振荡。块温度的合成是基于热的产生和计算力学等效原理，由于带的特点，合金顶锤、叶腊石编织的传热介质，温度滞后特性。由于被控对象合成块被六个顶锤全封闭，其温度测量用红外线测温仪实现，再送入计算机显示。为了详尽节制加热功率和温度，加热功率控制选用基于模式识别的专家智能自整定PID控制算法。如图9所示

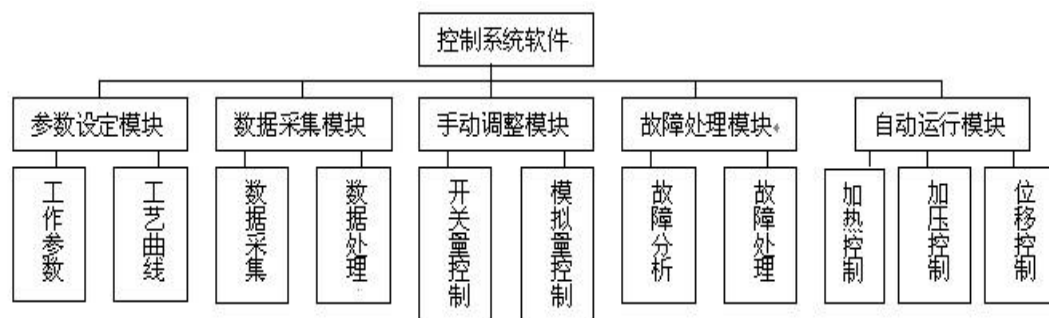
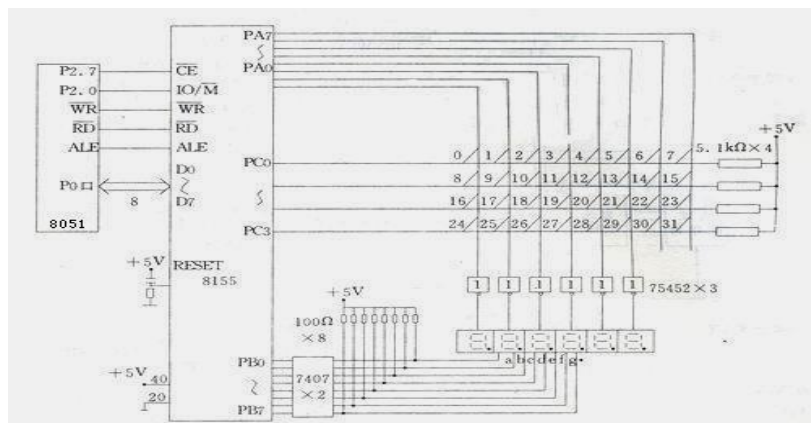


图9 控制系统软件结构示意图

3.2.6 键盘及显示电路设计

利用8255 芯片的英特尔公司生产的键盘及显示电路，该芯片内具有 256 字节的 RAM 2 个 8位,1 个 16 位的可编程 I / O 接口和1 个 14 位计数器，以及 PA,PB,PC 三个可用软件确定其输入/ 输出方式的并行接口。现定 PA, PB 为输出，PC 为输入，控制字为03H。

采用2*67段 LED 作为显示器的显示，显示范围为 0~9999℃ .PA为输出字形码，PB



键盘/显示器的接口电路

3.2.7 硬件电路的设计

图10 硬件框图

压机温度的控制实验是在北京理工大学的51实验板和伟福系列51仿真器上进行的。

液压机温度控制器的硬件电路是主控制器(即中央处理单位CPU,采用8051 单片机)、

总线（包括数据总线、地址总线、控制总线）、存储器、接口（即 I/ O 接口电路）、外围设备（键盘、显示器、DA, AD电路）等组成。其结构框图见上图，具体电路图。

4. 硬件设备的选用

4.1 CPU 的选用

一块 8051 的功能完全可以实现对压机温度的控制^[3]。8051 的连接电路有 8255、2732 及 ADC0809 等型号的芯片。8255 用于键盘/LED 显示器连接，2723 能够作为 8051 的外部 ROM 存储器，ADC0809 为温度检测电路的输入接口。由附录图可见，在 $P_{2.0}=0$ 和 $P_{2.1}=0$ 时，8255 选中它里面的 RAM 事情；在 $P_{2.0}=1$ 8255 选三 P2.1，I/O 端口。相应的地址分配

| | |
|-------------|-------------|
| 0000H-00FFH | 8255 内部 RAM |
| 0100H | 命令/状态口 |
| 0101H | A 口 |
| 0102H | B 口 |
| 0103H | C 口 |
| 0104H | 定时器低 8 位口 |
| 0105H | 定时器高 8 位口 |

$P_{1.0}-P_{1.2}$ 引脚用于警报，能够和报警电路连接。什么报警根据需要选定由设计师。

[3] 选自 MCS-51 单片机原理及接口技术 哈尔滨工业大学出版社 1998.6

4.2 存储器的选用

因为 8051 可扩展 64KB 的外部程序/ 数据存储器，考虑到市场价格，工作温度、容量等因素，现初选程序存储器 EPROM 为 2732(4K*8)，数据存储器 RAM 为 6264(8K*8)^[11]。8051 的读取速度约为 500ns，而 2732 的工作速度为 200~450ns，6264 工作速度为 150~200ns，所以选择合理。2732 是 4KB EPROM 型器件。8051 的 P_{SEN} 和 2732 的 OE 连接， $P_{2.4}$ 和 CE 连接，故 2732 的寻址地址空间如下：0000H-0FFFH

4.3 8051 的地址分配

关于 8051，因为里面有 4KB 的 ROM/EPROM，在外部扩展程序存储器时，一般情况下 EA 接高电平。此时 8051 里面 4KB ROM/EPROM 程序存储器寻址为 0000H~0FFFH，外部程序

存储器的地址为 $1000H \sim FFFFH$ 。在 $0000H \sim 0FFFH$ 计数器值，指向片上的存储器；如果 PC 值大于 $0FFFH$ 时，则指向片外程序。当 EA 接低电平时，8051 里面程序存储器失效，系统只要外部程序存储器，地址从 $0000H$ 起头，此时 8051 相当于 8031。

4.4 数据采集电路的设计

ADC0809 的 IN_0 与变送器输出端连接，故 IN_0 上输出的 $0V+5V$ 限度的模仿电压经 A/D 改变后可由 8051 经过程序从 P_0 口输入到它的里面 RAM 单位。在 $P_{2.2}=0$ 和 $WR=0$ ，8051 可使 ALE 和 START 在高电平而启动 ADC0809 开始；当 $P_{2.2}=0$ 和 $R_0=0$ ，8051 数字转换可以从 ADC0809 接收 A/D 转换后得到数字量。这就是说：ADC0809 能够视为 8051 的一个外部 RAM 单位，地点为 $03F8H$ （有很大的地址堆叠范畴）。因此，8051 执行如下程序可以启动 ADC0809 工作。

```
MOV DPTR, #03F8H
```

```
MOVX @DPTR, A
```

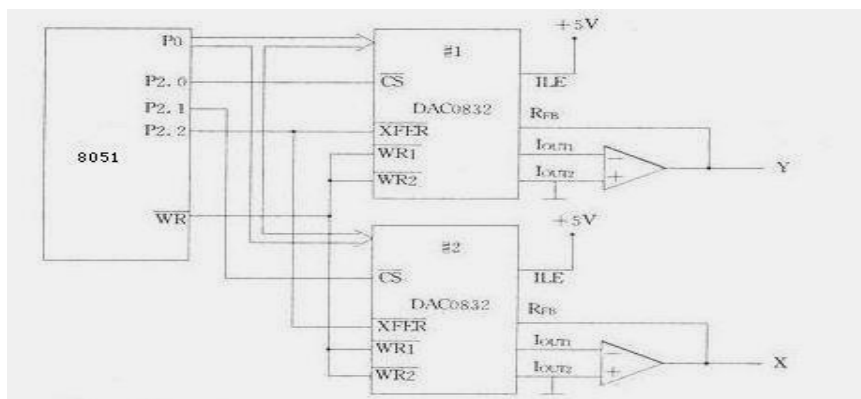
若 8031 改为执行：

```
MOV DPTR, #03F8H
```

```
MOVX A, @DPTR
```

则可以从 ADC0809 输入 A/D 转换后的数字量输入。

数据收集电路通过 ADC0809（8 位）（A/D）转换成计算机 8051 确定等效数字字量，并为计算机计算，处理。首先通过温度传感器把非电量（温度）转换成电量，经过放大器或变送器变成标称电压/ 电流信号，然后经过 ADC0809（A/D）转换器转换成计算机 8051 能够识别的等效数字量，并送入计算机进行计算、处理。ADC0809 的时钟信号用 8031 的 ALE 上到 2 分频的规定，EOC 逆变器用作 8051 的 INT_1 中断请求输入线，对于数字 A/D 转换从 P_0 口 CPU 提取的要求。



8051与DAC0832双缓冲器的接口电路

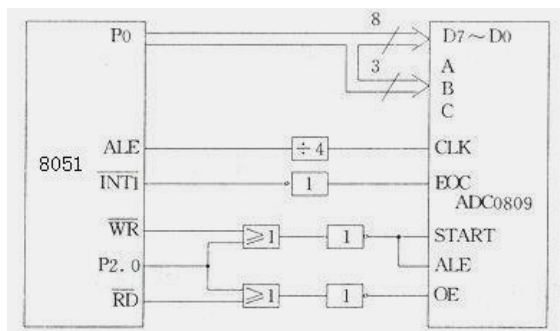
4.5 硬件连线

4.5.1 I/O 口的连接

1. 将 8051CPU 模板上的 P1.0~P1.7 引脚接 SWIC1H 硬件中的开关 K1-K8, I/O 硬件块 74LS273S00—S07LED 硬件块 L1-L8, 74LS273 的选中记号 CSUB 接 DRIVER 硬件块中的 Csi (Csi 可为 CS0-CS7 中的任一个)
2. 进入调试环境, 运行程序, 置开关 K1-K8 为全开或全关状态, 观察 LED 管全亮或全灭的状况。

4.5.2 AD 转换器的连接

1. ADC0809 的选中记号 CS0809 接 CS0, EOC 接 8051CPU 板上的 INT0, IN0-IN2 电位器的输出信号 KB1-KB3
2. 8279 的 RL0-RL7 接 KA0-KA7, KS0-KS3 接 KB0-KB3。
3. 通过旋转电位器调节输入电压大小的观察 LED 上显示的数字。



8051 与 AD0809 的接口电路

4.5.3 8255A 的连接

1. 将第一键盘部分与 8279 的连线拉出，然后将键盘矩阵的 KA0-KA7 接 8255APA0-PA7；KB0-KB3 的 8255Apb0-pBb3；PC0-PC7 接发光二极管的 L1-L8；8255 芯片的选中记号 CS8255 接 CS0
2. 键盘监测状态中，应首先将程序输入到试验板系统上全速奔跑，然后拔掉键盘部分和 8279 的接口。

4.5.4 串行口的连线

8051 串行数据接收端，74LS273 的 CSU8\，CS0，S00~S07 接发光二极管 L1-L8 8279 键盘连接。

EL1 型：RL0~RL7 接 KA0~KA7，KS0~KS3 接 KB0~KB3，KS0~KS5 接 S0~S5 OUTB0~BOUTB3 接 A~D，OUTA0~OUTA3 接 E~DP，S0~S5 接 LD1~LD6 EL2 型：RL0~RL7 接 KA0~KA7，KS0~KS3 接 KB0~KB3。

4.5.5 8051 的连线

1. D0~D7 2732 记忆 1.8051 大 P0.0~P0.7 数据线连接 74LS373 D0~D7 端口，端口 6116~D7D0，8255 的 D0~D7 口以及 8279 的 DB0~DB7 口。
2. 8051 的 P2.0~P2.3 接 2732 存储器的 A8~A11，6116 存储器的 A7~A10 和 W 口，8255 的 WR 口。8051 的 P2.7 口接 8255 的 RESET 和 74LS2543 的 CLK 口。
3. 8051 的 ALE/P 接 74LS373 的 LE 口和 74LS2543 的 ICS 口，8051 的 PSEN 口接 2732 存储器的 UE/VPP 口。
4. 8051 的 RD，WR 分别接 6116 存储器的 W，G 口以及 8255 的 RD，WR。
5. 8051 的 RESET 来自清“0”触发电路 MAX813 的 RST 端，INT1 和 T1 引脚接时钟电路芯片的 RST 和 I/O 口
6. 8051 的 P1.6 和 P1.7 口接清“0”触发电路的 MK 和 DI 端
7. 8051 的其余端口接空。

5. 软件的设计方案

5.1 软件设计整体思路

[5] 选自计算机控制技术课程设计指导书 东华大学自动化系 2004. 4

本课题主要采用的MCS51汇编语言对压机温度进行控制, 由于使用了伟福系列51仿真器, 所以主要就对压机温度的控制算法进行详细设计, 省去了部分器件如: 显示, 键盘之类的编程处理.

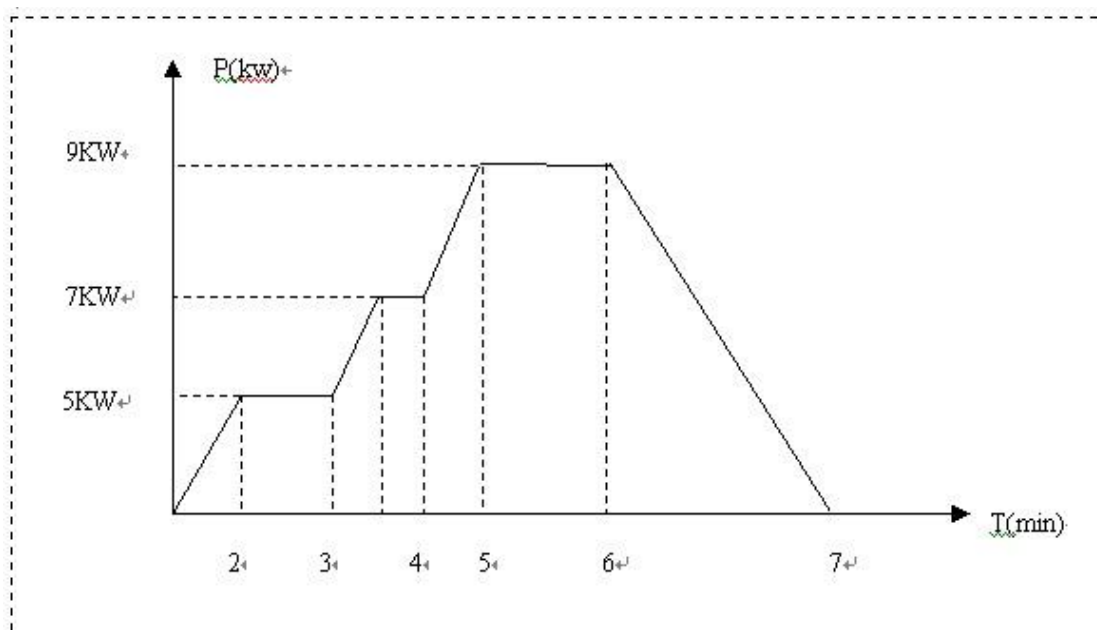


图 11 软件控制温度走势图

如上图所示, 我们可以看见温度的控制主要来自于功率的控制, 功率主要又电流, 电压提供, 这在前面的原理图中已有所提及. 当我们给于被控对象一个指定的或者说是由程序控制的值时, 我们希望压机的温度先在达到 5KW 这个点, 接着恒温保持 1 分钟, 再接着到达第二 7KW 的节点, 继续向前者一样保温 1 分钟, 同样达到第三 9KW 的节点时恒温保持 1 分钟, 最后进行降温也就是减小电流, 电压的过程.

而我们选择的控制算法也是时下较为流行的PID控制算法. 由于PID的算法较多, 其中又以增量式, 位置式以及智能式较我们所熟悉. 所以比较下来决定综合采用以上 3 种.

正如下图所示在所有的斜坡部分我们采用PID控制, 其中最为重要的便是PI 参数的选择, 这直接决定了积分的时间与过程. 在所有恒温部分我们采用常数或是 PD 控制, 使其走势趋于平稳, 最后的下降部分我们采用负的 PI 参数进行控制.

以下一张图便是整个设计软件的流程图大致思想.

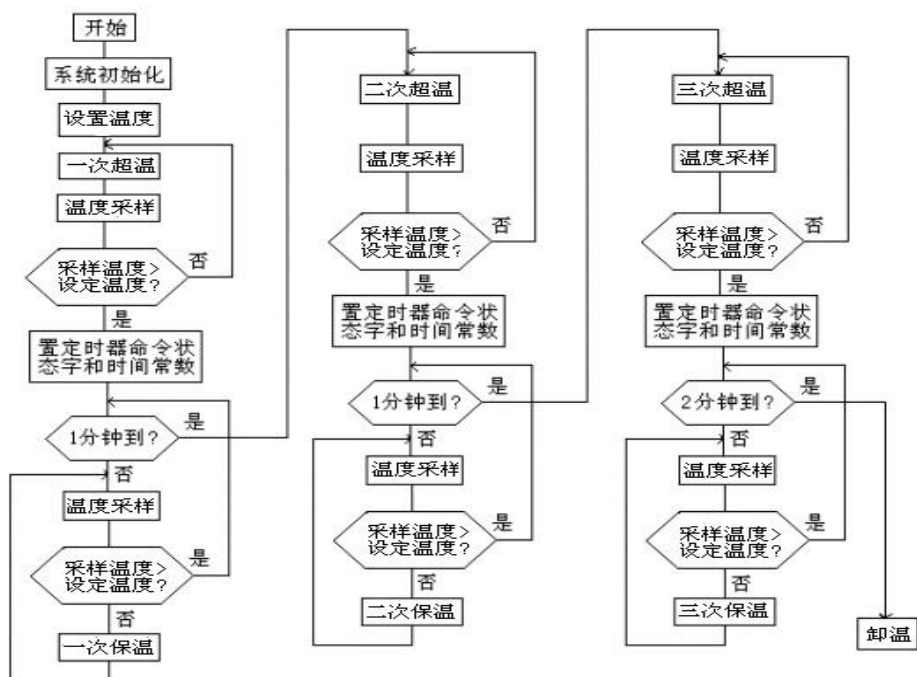


图 12 软件控制流程示意图

5.2 智能控制介绍

本节描述的含义和智能控制类型, 着重对智能 PID 控制器的应用设计、PID 参数自整定专家系统, 和一个应用实例。

◆ 智能控制的含义^[6]

智能控制(Intelligent Control-----IC)是一门新兴的理论和技巧, 它是古老的控制发展的高级阶段, 重要用来先容那些用传统方法难以解决的繁杂的系统控制, 且包含智能机器人系统、复杂产业进程系统、航空航天控制系统、交通运输系统等。近几年

来，国内外的理论研究和应用研究特别的活跃。自动控制技术发展快速，已提出了很多建议，例如专家控制、模糊控制，神经网络控制，分层递阶控制、拟人智能控制及基因控制等。其目标是提升体系的鲁棒性、容错性和解决具有严重非线性和不确定性系统的节制疑问。在应用方面，着重研究了实时智能控制元件、系统的智能控制方法及智能控制器。

智能控制的研究对象具备以下三个特点：

- （1） 模型不确定性。智能控制的对象往往是不准确的。
- （2） 高度非线性。智能控制技术是解决复杂非线性对象控制问题。
- （3） 复杂的任务要求。比如，自动机器人体系中，要求系统对繁杂的职责拥有自行计划和决定的能力，有主动避免障碍活动到期望目的地方的能力。选取智能控制技巧可以满足繁杂的任务请求。

自动控制是一项无需人的干扰就可以单独启动智能机器而完成它的目的智能控制。在这里“智能的观念是一个更具工程实际意义的观念，是对系统的智能化程度、范畴及所能完成繁杂控制能力的功能的表征。在繁杂状况下，大范围的迅速自适应和构造是智能控制系统最明显的特点。

“智能控制“应当有两方面的含义：

1. “人工智能“的理论，方法和技术的广义的”人工智能“(人工智能——AI) 包括一个启发程序（启发式编程）、专家程序(专家系统)、知识工程（知识工程）、模式（文字、图像、声音、物景）识别（模式识别）、自然语言解释、定理证明（定理）、机器学习（机器游戏）、机器博弈（游戏机）、人工神经网络（人造神经网络）、智能机器人（自动化机器人）和其他有关的理论、方法和技术，是智能自动化的技术基础。

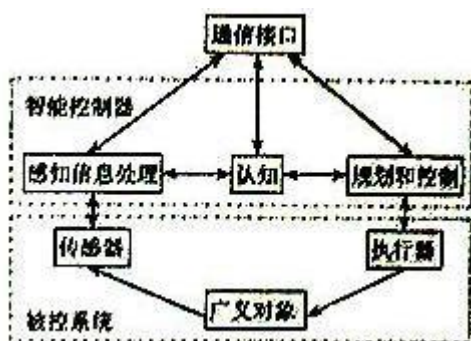
2. 是“智能“的字符或功能 的宇宙智能的一部分，人是智能水质量最高的生物。在长时间天然进化、优化的结果。所以，”自动控制“系统理当具备一些拟人的智能特征或效力。例如自适应（自我适应）、自学习（自我认识）、自协调（自我协调）、自镇定（字稳定）、自校正（自我调整）、自诊断（自检）、自修复（自还原）、自繁殖（繁殖）等。它可以用来作为衡量性能的标准是不聪明的装置、设备、系统。

智能控制是一门交叉学科。付景逊和莎丽（G..N.Saridis）以为，智能控制是三元的构造，即把 IC 看做为自动控制、运筹学和人工智能的联系物。另一方面，表明人工智能研究的定量优化的方法（如：线性规划、网络规划、多目标优化技术等）与控制系统

相结合，逐步为智能控制基础，也为控制论发展开辟了新的方向。另一方面，指出 IC 的意义，优化理论与技术和业务应用人工智能理论与控制理论和技术的结合，在未知的复杂环境里，智能拟人化，实现对广义对象的有效控制。四元结构出现后，增加了系统的理论，认为 IC 的重点不在于对传统的控制器，智能机模型，在上限的 IC 的核心，即组织控制，高层系统控制的任务在于对现实情况及过程进行构造、决定与计划，以实现广义题目的解答。

◆ 智能控制系统原理结构

萨蒂斯的定义，由独立的情报来实现其目的没有系统需要的运营商称为智能控制系统的参与。典型的原理框图如图 3—1 所示。其中，“广义对象”包括在一般的控制对象，和外部环境。例如智能机器人体系中，机器人手臂、被操纵物体及所处情况统称为广义目标。“传感器”包含关键所在地方的传感器，力传感器，触觉传感器，视觉传感器等。“信息处理”将原始信息通过传感器获得的，例如，视觉信息进行处理来获得复杂的有用信息。“认知”重要的是用来接收和储存消息、常识、履历和数字信息，并对它们进行剖析、判断，作出动作的决定，送至计划和控制部位。“通信连接”除了对人机之间关系的建立，而且在系统中建立各个模块之间的连接。“计划和节制”是全部体系的重心，它按照所给的任务请求，发应的讯息和经验常识，进行主动搜寻，推理计划、行动规划，最终产生具体的控制功用，经过“执行器”作用于对象。



智能控制系统典型原理结构图

◆ 功能特点

面对现代化的特点和要求，一个理智的智能控制系统应具备以下一些功能特点：

1. 学习系统有自身的能力，提高其性能，正在发生某种变化，系统的性能应优于变化前。
2. 适应功能的体系应具有适应受控目标动力学的特征转变，情况变化和运转变化的

实力。

3. 组织具有自行组织和协调的功能复杂任务的功能和分布式传感信息。该构造功效还体现为体系拥有响应的自动性和灵活性，并满意多指标和高性能指标的请求。
4. 鲁棒性系统性能应答环境干预及不确定性等诸环境不敏感。
5. 容错性 系统对各类故障具有屏蔽和自修复的功能。
6. 实时性 实时智能控制生活，系统必须有相当的实时响应的能力在线。智能控制系统需要实时监控、实时处理，实时学习和实时动态推理。

5.3 智能 PID 控制器

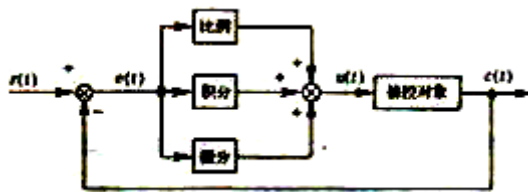
模糊控制，神经网络控制和专家控制为当前智能控制研究中最有前途的范畴。近 10 多年来，智能控制与常规 PID 控制相互连接，构成称为智能 PID 控制，这类新型控制器已引发了人们的广泛关注和极大兴致，并已得到较为宽泛的使用。它拥有不依赖体系明确的数学模型的特征，对系统的参数转变具有较好的鲁棒性。

智能 PID 控制器包括基于规则的智能 PID 自学习控制器、加辨识信号的智能自整定 PID 控制器，专家式智能自整定 PID 控制器，模糊 PID 控制器，基于神经网络的 PID 控制器、自适应 PID 预测智能等多种类型。其中部分内容将在下面相关章节介绍。

智能控制器的自调谐，集成和三种运行状态监测。自整定是指控制器目标特征变化自动整定 PID 参数，使控制系统拥有巩固鲁棒性；由于集成，保证控制系统的性能鲁棒性的监测，以确保安全和可靠的运行状态控制。按照频域理论，只需了解一个受控目标的临界振荡参数，就可以为它设计一个 PID 控制器，使它们构成的闭环体系具备指定的增益裕度和相位裕度。这意味着，临界振荡参数的实际对象是相同的，其近似模型，可以使用 PID 控制器来获得相同的稳定裕度。按照下面的方法来实现自动调谐的真实对象的 PID 参数。

5.3.1 PID 控制原理

在模拟控制系统中，控制器最常用的控制规律是 PID 控制^[2]。常规 PID 控制系统原理框图如图所示。系统由模拟 PID 控制器和被控对象组成。



模拟 PID 控制系统原理图

PID 控制器是一种线性控制器，它按照给定值 $r(t)$ 与现实情况输出值 $c(t)$ 组成控制过失

$$E(t) = r(t) - c(t)$$

将过失的比例 (P)，积分 (I) 和微分 (D) 经过线性组合组成控制量，目标控对象进行控制，故称 PID 控制器。对于类型 3-1 或类型 3-2 传递函数形式的控制律式中 K_p -----比例系数

T_i -----积分时间常数

T_d -----微分时间常数

简单来说，该校正环节的 PID 控制器的功能：

1. 比例关键 及时成比例地反应控制系统的偏差信号 $e(t)$ ，偏差一旦产生，控制器当即发生控制作用，以缩小偏差。
2. 积分关键 中心用于解除静差，升高体系的无差度。积分作用取决于积分时间常数 T_i 的强度， T_i 较高，整体效果更明显，而更强大。
3. 微分关键 能反应偏差信号的变化趋向（转变速率），并能在偏差信号值变得太大以前，在体系中引入一个有效的初期修改信号，从而加速系统的动作速度，减小调节时间。

在计算机控制体系中，利用的是数字 PID 控制器，数字 PID 控制算法通常又分为位置 PID 控制算法及增量式 PID 控制算法。

5.3.2 位置式 PID 控制算法

因为计算机控制是一种选用控制，它只可按照采样时刻的偏差值计算控制量^[3]，是以式 (3-2) 中的积分和微分项不能直接利用，必需进行分离化处理。按模拟 PID 控制算法的算式 (3-2)，现以一系列的采样时候点 kT 代表持续时间为 t ，以和式取代积分，以增量代替微分，则可作以下近似变更：

$$\int_0^t e(t)dt \approx T \sum_{j=0}^k e(jT) = T \sum_{j=0}^k e(j) \quad |$$

$$\frac{de(t)}{dt} \approx \frac{e(kT) - e[(k-1)T]}{T} = \frac{e(k) - e(k-1)}{T} \quad (3-4)$$

式中 T-采样周期

明显，上述分离化过程当中，采样周期必需足够短，能够保障有足够的精度。为抄写便利，将 $e(kT)$ 简化示意成 $e(k)$ 等，即省去 T。式（3-4）为式（3-2），可用于离散 PID

的表达 $u(k) = Kp\{e(k) + \frac{T}{T_i \sum_{j=0}^k e(j)} + \frac{T_d}{T[e(k) - e(k-1)]}\}$ 式 3-5

或

$$u(k) = Kpe(k) + K_I \sum_{j=0}^k e(j) + K_D [e(k) - e(k-1)]$$

式 3-6

式中 k-采样序号，k=0, 1, 2…….

U (k) - K 采样时间计算机输出值；

E (k) - K 采样时间的输入偏置；

E (k-1) -第 (k-1) 偏置采样时间的输入值；

Ki-积分系数， $K_i = K_p T / T_i$

Kd-微分系数， $K_d = K_p T_d / T$.

由 z 变换的性质

式（3-6）Z 变换公式（3-7）

$$U(z) = KpE(z) + K_I \frac{E(z)}{1-z^{-1}} + K_D [E(z) - z^{-1}E(z)] \quad \text{式 3-7}$$

由式（3-7）就可获得数字 PID 控制器的 z 传递函数为

$$G(z) = \frac{U(z)}{E(z)} = Kp + \frac{K_I}{1-z^{-1}} + K_D (1-z^{-1})$$

式 3-8

$$G(z) = \frac{1}{1-z^{-1}} [K_P (1-z^{-1}) + K_I + K_D (1-z^{-1})^2]$$

式 3-9

数字 PID 控制器示于

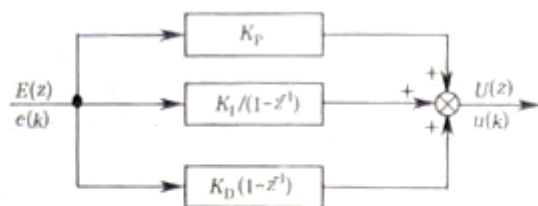


图 1-2 数字 PID 控制器的结构图

数字 PID 控制器的结构图

由于计算机输出 $u(k)$ 直接控制执行器（如阀门）， $u(k)$ 值和致动器的位置（如开阀）是一一对应的，所谓的类型（3-5）或（3-6）为位置式 PID 控制算法。图 1-3 给出了位置式 PID 控制系统示意图。

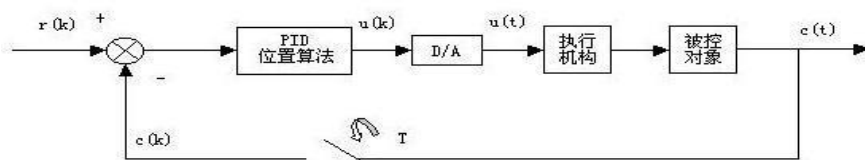


图 1-4 给出了位置式 PID 控制算法的程序框图

这类算法的弊端是，因为全量输出，所以每次输出均与以前状况相关，估算时要对 $e(t)$ 进行累加，计算机运算工作量大。并且，由于计算机输出的 $u(k)$ 对应的是执行机构的现在的位置，如计算机出现的妨碍， $u(k)$ 的大幅度转变，会引起执行机构位置的大幅度变化，这种情况往往是不允许的做法，在某些情况下，它可能会导致致命的事故，造成一种增量式 PID 控制算法。所谓增量式 PID 是指数字控制器的输出仅仅是控制量的增量 $\Delta u(k)$ 。图 1-4

5.3.3 增量式 PID 控制算法

当执行机构必需的是控制量的增量（比如启动步进电动机）时，可由式（3-6）导出供给增量的 PID 控制算法式。根据递推原理可得。

$$u(k-1) = K_p e(k-1) + K_I \sum_{j=0}^{k-1} e(j) + K_D [e(k-1) - e(k-2)] \quad \text{式 3-10}$$

用式（3-6）减式（3-10），可得

$$\begin{aligned} \Delta u(k) &= K_p [e(k) - e(k-1)] + K_I e(k) + \\ &K_D [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] = K_p \Delta e(k) \quad \text{式 3-11} \\ &+ K_I e(k) + K_D [\Delta e(k) - \Delta e(k-1)] \end{aligned}$$

$$\text{式中} \quad \Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$$

这种情况往往是不允许的做法，在某些情况下，它可能会导致致命的事故，造成一种增量式 PID 控制算法。

可以将式（3-11）进一步改写为

$$\Delta u(k) = A e(k) - B e(k-1) + C e(k-2)$$

式 3-12

式中 $A = K_p (1 + T/T_i + T_d/t)$

$$B = K_p (1 + 2T_d/T)$$

$$C = K_p T_d/T$$

它们都是与选用周期、比例系数、积分时间常数、微分时间常数相关的系数。

能够看出，因为正常计算机控制系统采用恒定的采样周期 T ，一旦肯定了 K_p, K_i, K_d ，只须使用先后 3 次测量值的偏差，式（3）或（3）解决控制增量。

运用增量式算法时，计算机输出的控制增量 $\Delta u(k)$ 对应的是本次执行机构位置（比方阀门开度）的增量。对应阀门现实情况位置的控制量，即控制量的累积 $u(k) = \sum \Delta u(j)$ 需要采用一定的办法来解决，比如用有积累功用的元件（如步进电动机）来实现；而当前大多是使用算式 $u(k) = u(k-1) + \Delta u(k)$ 经过执行软件来实行。

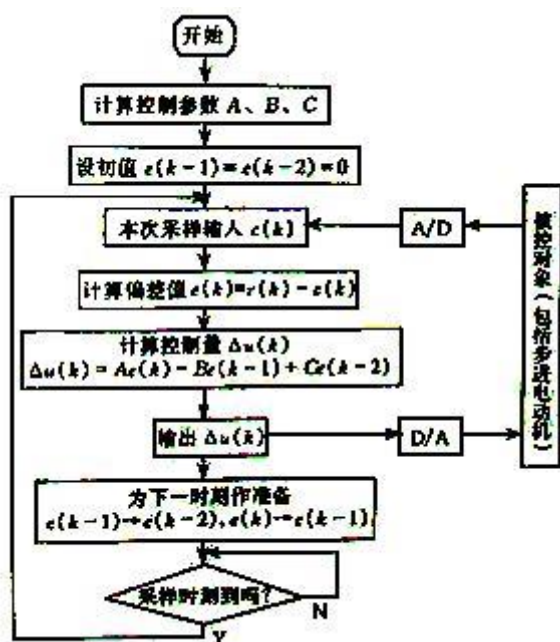
从图 3，你可以看到在图 1-5 中，整个系统，位置和增量控制算法没有本质的区别，或仍然承担着计算机计算，或由其他组件完成的一部分。

增量式控制虽然只是算法上作了一点改进，却带来了不少优点：

- (1) 因为计算机输出增量，是以误动作时影响小，必要时可用逻辑判别的方式去掉。
- (2) 影响很小的手动/自动切换，容易实现无扰动切换。另外，当计算机产生故障时，因为输出通道或执行装置拥有信号的锁存功能，故能依然保持原值。
- (3) 算式不需要累加。把持增量 $\Delta u(k)$ 的确定仅仅只是与最近 k 次的采样值相关，因此较便于经过加权处理而得到比较好的控制效益。

但增量式控制也有其不足之处：积分截断效应大，有静态误差；溢出的影响大。因此，在选择时不可一概而论，一般认为在

图 1-6



增量式 PID 算法控制流程图

以晶闸管执行器或在控制精度请求高的系统中，可选用位置控制算法，然而在以步进电动机或者是电动阀门作为执行的系统当中，则可运用增量控制算法。

1. 自整定方法之一

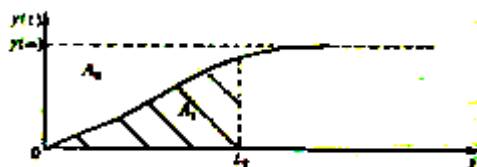
- (1) 得到实际被控对象的阶跃响应特性。对被控对象的输出 (Y) 的典型步骤输入 $u(t) = U01$ (T) 反应中所示。

根据地区特点的计算方法，在 3-6 标注特征参数的方法

$$(2) \quad \text{检测报告由 PaperTest} \quad A_0 = \int_0^{\infty} [y(\infty) - y(t)] dt \quad \text{式 3-13}$$

$$t_T = \frac{A_0}{y(\infty)} \quad \text{式 3-14}$$

$$A_I = \int_0^{t_T} y(t) dt \quad \text{式 3-15}$$



所以，当经过实验得到在实践中阶跃响应特征后，就可由式（3-13）～式（3-15）算出各特征参数。

假设实际受控对象的一阶近似模型为

$$Gp(s) = Ke^{-\gamma s} / (T_p s + 1) \quad \text{式 3-16}$$

式中 K ——对象的静态增益

T_p ——对象的时间常数；

γ ——对象的滞后

因此，可以证明，当测量特征参数的 A_0 ， A_I 和 Y 对象的实际（ ∞ ），然后由方程（3-17）得到的近似模型的对象类型（3-16）参数。

$$K = \frac{y(\infty)}{u_0} \quad T_p = \frac{eA_I}{y(\infty)} \quad \gamma = \frac{A_0}{y(\infty)} - T_p \quad \text{式 3-17}$$

式中 e —自然对数的底

（3）按式（3-17）算出一阶近似模型参数。根据阶跃响应确定对象特征参数的方法的公式较多，读者可查阅刘宏才教授主编的《系统辨识与参数估计》一书中经典的辨识方法一节。

（4）而不是与 TCA 和 KCA 实际对象的振荡 T_c 和临界增益 K_c 的关键时期，改性齐格勒-尼克尔斯整定表（表 3-1），

- (5) 用 T_{ca} 和 K_{ca} 代替实际对象的临界振荡周期 T_c 和临界增益 K_c ，由修正后的 Ziegler-Nichols 整定表（见表 3-1），得到保证闭环系统稳定的 PID 参数。

表 3-1

表 3-1 Ziegler-Nichols 闭环整定参数值

| 控制器 | K_p | T_I | T_D |
|-----|-----------|----------|-----------|
| P | $0.5K_c$ | — | — |
| PI | $0.45K_c$ | $0.8T_c$ | — |
| PID | $0.6K_c$ | $0.5T_c$ | $0.12T_c$ |

Ziegler-Nichols 闭环整定参数值

- (6) 将 (4) 所得 PID 参数用于实际对象。

2. 自整定方法二

- (1) 按自整定方法一得到 PID 参数。
- (2) 将 (1) 得到的 PID 参数作为初值，在近似模型上按 ITAE 准则测优，得到一组新的 PID 参数
- (3) 将 (2) 所得 PID 参数用于实际受控对象。

对于比较复杂的受控对象，当用上述自整定参数无法达到满意的控制性能时，可利用几条基于误差导数的控制规则来动态修正 PID 参数，以获取更佳的控制品质。

为了保证系统安全，当系统有失稳趋势时，PID 参数立即恢复到自整定参数值。

5.4 专家 PID 控制

专家控制 (Expert Control) 的本质就是受控对象与控制规律的各类常识，并且要以智能的方法来运用这类知识，所得受控系统尽量地优化和实用化，它反应智能控制的很多重要特点和功效。

人工智能范畴内发展起来的专家系统是一种由知识的、智能的计算机程序为基础的系

统。专家系统有两个要点：

- （1）知识库——存储后的专家级表示根据一些现有的格式在专业领域知识的总结。
- （2）推理机制——根据解决问题的类似于专家级的方法，存储在推理的入门知识，判断和决策。

专家控制的理想目标是要实现这样一个控制器或控制器系统：

- （1）为了满足复杂动态过程的控制，控制的过程，如任何随时间变化的，非线性的，受到各种干扰。
- （2）控制系统的运转可以采用少许先验知识，并且只需要最起码的知识。
- （3）控制过程的知识可以增加，积累，以提高控制性能。
- （4）用户可以进行定性分析，对控制系统的性能的描述，如“尽快，“过冲”小”等。
- （5）能对控制性能与控制闭环中的单元进行诊断，包含传感器和执行机构的故障诊断等。
- （6）在一个透明的方式来存储控制知识的潜力，易于修改和扩充。
- （7）用户可以访问的信息，相互作用。例如，控制过程控制性能分析的统计特性，控制性能的限制因素，并解释的控制作用。

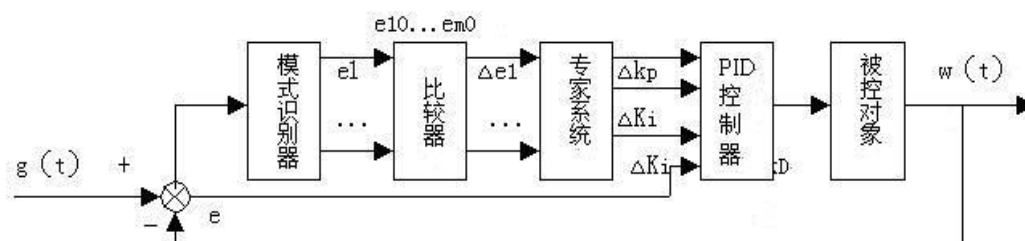
专家控制是一个比较模糊的概念，涵盖了传统的控制可以实现在一定程度上，但比传统的控制技术。作为一个比喻，专家控制是试图添加控制回路中的一个经验丰富的工程师，该系统可以为他提供一个“控件工具箱”，即可对控制、辨识、测量、监视等各种方法的算法选择方便、调用自如。因此，专家控制专家在本质上是一个“控制专家”的想法，经验，策略模拟，延伸和扩展。

专家控制是智能控制技术的基础知识，也被称为控制或专家知识为基础的控制。专家控制技术是对被控对象或过程的必然是复杂的，与工业控制的各种实用，具有广泛的应用前景。

◆ 基于模式识别的专家式 PID 自整定控制器

图 3-9 所示是基于模式识别的拥有专家式 PID 自整定控制器的自动控制系统的正常原理框图。在这个控制系统当中，有广义被控对象，还有专家式 PID 自整定控制器。该自整定控制器的运行的经过是在闭环系统受到扰动时，对系统误差 e 的时间特征进行模式判别，划分辨别出该过程响应曲线的多个曲线的多个特征参数 $e_i (i=1, 2, 3, \dots, m;$

如超调量，阻尼比，阻尼振荡周期，上升时间）。与用户设定的参数值的测量值的特征参数进行了比较，胶印进入专家系统，专家系统的在线推断的参数从不同的特征参数，消除和控制器出发，应该有 ΔKJ 校正（ $J = P, I, D$ ），将他们送往常规 PID 控制器，用改进的 PID 控制器的参数，同时，根据系统误差和参数整定控制器操作，输出控制信号 U 广义对象控制，直到被控进程的响应曲线的特征参数满意用户愿望的请求。



基于模式识别的专家式 PID 自整定控制器示意图

图 3-9

由图 3-9 可见，在控制系统的专家 PID 自整定控制器，除了一个根据系统误差的控制，由传统的 PID 控制器和广义内传统的闭环控制对象，这里是一个多输入单输出回路，外回路。此外回路中，一般 PID 控制器和原本的广义对象组成被控对象，模式识别器是该外回路的一个单输入，多输出测量装配。具有多个输入，是外环控制器输出的多专家系统。

基于模式识别的专家式 PID 自整定控制器的计划，重要是解决两方面的问题，即响应曲线特征参数的选用与专家系统中专家学问的获得。专家系统所需完成的功能是：根据控制系统中专家知识的获取。专家系统所需实现的功效是：按照控制系统闭环运转过程当中系统误差期间特性来判定是不是必需校正，则肯定该组参数的校正量各为几许。所以，核心设计专家自整定控制器在运行过程中，闭环系统，如何得到一组特征参数和适量的 ΔKP ， KI PID 控制器 Δ 纠偏， ΔKd 的关系。

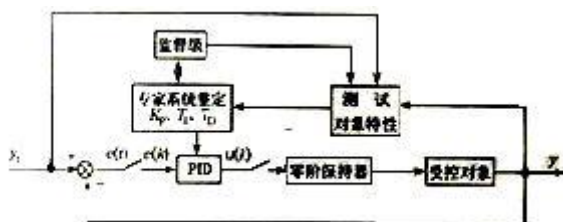
基于模式识别的专家式 PID 自整定控制器，无须详尽辨识被控目标的数学模型，也不必对被控进程加上任何激励信号，就能够对 PID 参数进行自整定。组成的稳定，可靠的运行控制系统，有效的。使用在控制系统创建过程当中能够得到的被控目标的验前信息，可加快

自整定进程的抑制速率，减少自整定控制器进而改造，便可完成控制器参数的自整定。

◆ 专家系统智能自整定 PID 控制器

专家系统智能自整定 PID 控制器的原理框图如图 3-10 所示。专家系统应包括专家知识库，数据库和逻辑推理机三部分。专家系统可视为作为广义调节器，专家知识库中已经把熟练操作工或专家的经验 and 知识，构成 PID 参数选择手册，这部手册记载了各种工况下被控对象特性所对应的 P, I, D 参数，数据库根据被控对象的输入与输出信号及信号提供给知识库和推理。推理机能进行启发式推理，决定控制策略。优秀的专家系统可对已有知识和规则进行学习和修正，这样对被控过程对象的知识了解可大大降低，仅根据输入，输出信息，就能实现智能自整定控制。

带专家系统整定 PID 控制器参数的原理框图可用图 3-11 表示。其算法包括三部分：



专家系统智能自整定 PID 控制器示意图

- (1) 使用单片机测试对象的阶跃响应，按照科恩—库恩（Cohn-Coon）公式计算得到受控对象特征参数 K, T_p, τ 。从阶跃响应提取对象特征参数的 Cohn-Coon 公式如下：

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta R} = (y_2 - y_1) / (R_2 - R_1)$$

$$T_p = 1.5(t_{0.632} - t_{0.280})$$

$$\gamma = 1.5(t_{0.28} - t_{0.632} / 3) \quad \text{式 3-18}$$

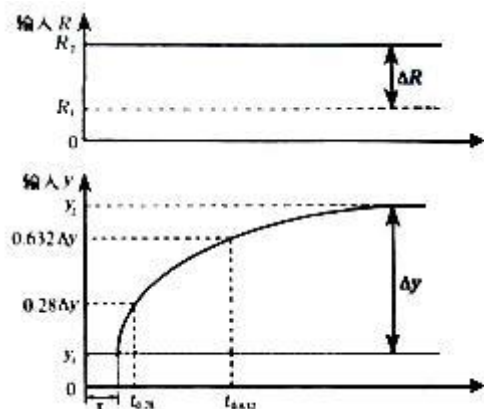
式中 ΔR —系统阶跃输入。

Δy —系统输出响应。

该 $t_{0.28}$ ---对象对应的 Y 曲线 0.28 的水平上升的时候。

该 $t_{0.632}$ ---对象对应的时间的 0.632 的水平上升曲线。

将在线丈量的特征参数输入专家系统控制里，在知识库内进行搜寻盘查，作出推理计划，从新整定 PID 参数。在自综合状态下，仅需几条控制规



一阶纯滞后阶越相应曲线

则就能保证系统的性能鲁棒性。

- (1) 监督级的主要作用是保证微机测试对象特性及专家系统整定 PID 参数的正常进行，并用来确保控制系统的安全可靠运行。专家系统智能自整定算法已在电阻加热炉温系统中获得了成功应用。

6. 结论与展望

6.1 设计的结果

4. 1. 1 PID 子程序数据(详细程序代码见附录)

- 双字节加法程序 $r5r4+r3r2=r7r6$
输入数据: R2=34H, R3=12H, R4=78H, R5=56H

寄存器

| | | | |
|------|------|------|------|
| PC | 4106 | DPTR | 0000 |
| ACC | 68 | B | 00 |
| SP | 60 | PSW | 01 |
| R0 | 00 | R1 | 00 |
| R2 | 34 | R3 | 12 |
| R4 | 78 | R5 | 56 |
| R6 | AC | R7 | 68 |
| IE | 60 | IP | EO |
| TMOD | 00 | TCON | 00 |
| TH0 | 00 | TLO | 00 |
| TH1 | 00 | TL1 | 00 |
| SCON | 02 | SBUF | FF |

- 双字节带符号乘法子程序 $r7r6*r5r4=r5r4$ (高位双字节)
输入数据: R4=AAH, R5=ABH, R6=ACH, R7=ADH

内部存储器

| 地址 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B | C | D | E | F |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 00 | 0F | 00 | 12 | 38 | 1F | 1B | 54 | 52 | 7C | 08 | 00 | 79 | 18 | 00 | 1F | 1B |
| 10 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |
| 20 | 06 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |
| 30 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |

寄存器

| | | | |
|------|------|------|------|
| PC | 4000 | DPTR | 0000 |
| ACC | 1B | B | 1A |
| SP | 60 | PSW | 01 |
| R0 | 0F | R1 | 00 |
| R2 | 12 | R3 | 38 |
| R4 | AA | R5 | AB |
| R6 | AC | R7 | AD |
| IE | 60 | IP | EO |
| TMOD | 00 | TCON | 00 |
| TH0 | 00 | TLO | 00 |
| TH1 | 00 | TL1 | 00 |
| SCON | 02 | SBUF | FF |

输出结果

| 内部存储器 | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| 地址 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B | C | D | F |
| 00 | 0F | 00 | 12 | 38 | 1F | 1B | 54 | 52 | 7C | 08 | 00 | 79 | 18 | 00 | 1F 1B |
| 10 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |
| 20 | 06 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |
| 30 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |

| 寄存器 | | | |
|------|------|------|------|
| PC | 416C | DPTR | 0000 |
| ACC | 1B | B | 1A |
| SP | 62 | PSW | 01 |
| R0 | 0F | R1 | 00 |
| R2 | 12 | R3 | 38 |
| R4 | 1F | R5 | 1B |
| R6 | 54 | R7 | 52 |
| IE | 60 | IP | 00 |
| TMOD | 00 | TCON | 00 |
| TH0 | 00 | TL0 | 00 |
| TH1 | 00 | TL1 | 00 |
| SCON | 02 | SBUF | FF |

● 双字节无符号数乘法子程序

输入数据 R4=12H, R5=35H, R6=56H, R7=78H

| 内部存储器 | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 地址 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B | C | D | F |
| 00 | 09 | 00 | EE | 57 | 7C | 08 | 6A | 14 | 7C | 08 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |
| 10 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |
| 20 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |
| 30 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |

| 寄存器 | | | |
|------|------|------|------|
| PC | 4000 | DPTR | 0000 |
| ACC | 08 | B | 08 |
| SP | 60 | PSW | 00 |
| R0 | 09 | R1 | 00 |
| R2 | 12 | R3 | 57 |
| R4 | 12 | R5 | 34 |
| R6 | 56 | R7 | 78 |
| IE | 60 | IP | 00 |
| TMOD | 00 | TCON | 00 |
| TH0 | 00 | TL0 | 00 |
| TH1 | 00 | TL1 | 00 |
| SCON | 02 | SBUF | FF |

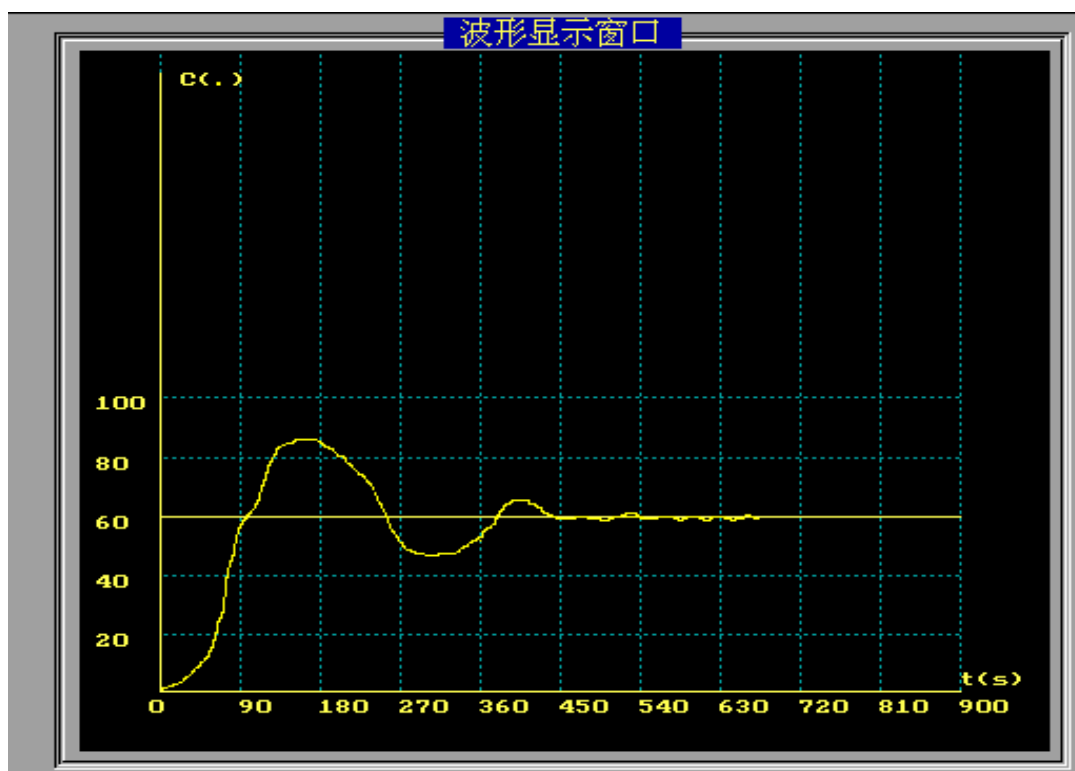
输出数据

| 内部存储器 | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 地址 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B | C | D | F |
| 00 | 0C | 00 | 12 | EE | 79 | 18 | 56 | 78 | 7C | 08 | 00 | 79 | 18 | 08 | 00 |
| 10 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |
| 20 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |
| 30 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 |

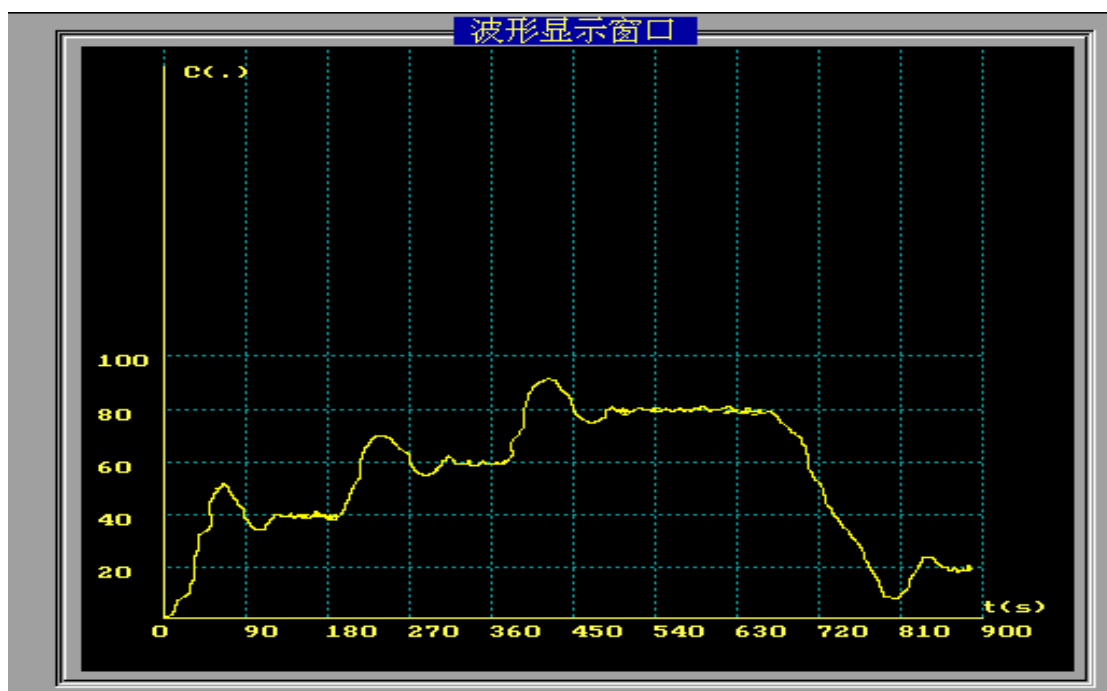
| 寄存器 | | | |
|------|------|------|------|
| PC | 4131 | DPTR | 0000 |
| ACC | 18 | B | 18 |
| SP | 60 | PSW | 00 |
| R0 | 0C | R1 | 00 |
| R2 | 12 | R3 | EE |
| R4 | 79 | R5 | 18 |
| R6 | 56 | R7 | 78 |
| IE | 60 | IP | 00 |
| TMOD | 00 | TCON | 00 |
| TH0 | 00 | TL0 | 00 |
| TH1 | 00 | TL1 | 00 |
| SCON | 02 | SBUF | FF |

6.2 理想实验曲线

一个阶跃响应的，设定温度为 60℃ 的温度扫描曲线，手动设定 $K_p=2.7$, $K_i=4$, $K_d=0.2$



理论上课题的实验曲线为：



6.3 结论

Y-500 型压机控制系统通过省级技术鉴定，确认该控制系统各项技术指标均达到了工艺设计要求。该项目获 2002 湖南省科技进步二等奖。通过在国内几家超硬材料厂推广使用几十台套 Y-500 型压机计算机控制系统，并进一步改进控制算法，证明该系统结构简单、操作方便、控制精确、运行可靠，为提高人造金刚石的质量和品位创造了非常有利的生产条件。该系统也可用于其它超硬材料的生产，具有广泛的应用前景。

一个好的应用系统，有一个完善的人机交互界面是非常重要的。现场监控采用的触摸式图型显示操作终端操作简便、显示清晰、画面丰富、安全可靠。动态彩色画面显示的运行工况包括开关量工况、模拟量工况、工艺运行曲线、故障报警类型等，工艺参数设定有工作参数、位移参数、PID 参数、温度工艺曲线、压力工艺曲线等。中心监测计算机汇总全厂或全车间各台压力的实时和历史数据，也可随时查看和打印某台压机的工作状况和历史数据，便于管理人员和工艺技术人员进行生产管理和技术分析、改进。中心监测系统软件采用 Kingview6.5 作为开发平台，它运行于 windows2000/xp/NT 平台，采用 32 位实施多任务多线程编程技术、动态优化读取技术、OEL 自动化技术，支持 Activex 控件，具有强大的图形功能、动画控制功能和硬件驱动功能，支持 RS232、RS485、RS422、TCP/IP 通讯协议，能方便地开发复杂的用户界面及采集数据，完全适合于搭建这样一个分布式的监测系统，完成数据采集、监测设备运行状态、生产过程可视化监测等任务。

传统控制方法(包括经典控制和现代控制)在处理具有非线性或不精确特性的被控对象时十分困难。而温度系统为大滞后系统，较大的纯滞后可引起系统不稳定。大量的应用实践表明，采用传统的 PID 控制稳态响应特性较好，但难以得到满意的动态响应特性。智能控制的优点是能够得到较好的动态响应特性，并且无需知道被控对象的数学模型，适应性强，上升时间快，鲁棒性好。但智能控制也存在固有的缺点，容易受智能规则有限等级的限制而引起误差。弥补了单纯采用 PID 算法的不足。对 PID 参数的模糊自适应整定进一步完善了 PID 控制的自适应性能，在实际应用中取得了很好的效果。设计目标是在同样的控制精度条件下，使系统的过渡时间尽可能短，改善控制效果。采用复合控制，使系统能有效抑止纯滞后的影响，而且鲁棒性强，当参数变化较大及有干扰时，仍能取得较好的控制效果。

单片机在电子产品中的应用已经越来越广泛，在很多的电子产品中也用到了温度检测

和温度控制，但那些温度检测与控制电路通常较复杂，成本也高，提供了一种低成本的利用单片机多余 I / O 口实现的温度检测电路，该电路非常简单，且易于实现，并且适用于几乎所有类型的单片机。

单片机是随着超大规模集成电路技术的发展而诞生的，由于它具有体积小、功能强、性价比高等特点，把单片机应用于温度控制中，采用单片机做主控单元，无触点控制，可完成对温度的采集和控制的要求。所以广泛应用于电子仪表、家用电器、节能装置、机器人、工业控制等诸多领域，使产品小型化、智能化，既提高了产品的功能和质量，又降低了成本，简化了设计。

此次毕业设计是继“计算机控制技术”、“微机控制系统硬软件分析和设计”课题之后的一次综合设计，它要求综合“单片机原理”、“智能控制”、“计算机控制技术”、和“PID 分析和设计”等课程的知识，结合压机的应用实例，进行一次全面的练习和工程训练，从而使学生掌握压机温度控制系统的基本原理，掌握并深入理解压机控制系统的组成，硬件和软件的设计方法，提高分析问题和解决问题的能力，培养设计压机控制系统的能力。

6.4 展望

最后一个学期的压机温度控制系统毕业设计，使我对自动控制这一概念有了更深入更具体的了解，提高了我对专业学习的兴趣，使我对专业的发展方向有了明确的了解，对专业的发展前景充满信心。

这次的毕业设计是继“计算机控制技术”、“微机控制系统硬软件分析和设计”课程之后的较大的一次综合训练，综合“单片机原理”，“计算机控制技术”，“智能控制”和“PID 技术”等课程的知识，结合压机的应用实例，进行一次全面的练习和工程训练，从而使我掌握了利用单片机模拟压机温度控制系统的基本原理，并深入理解压机控制系统的组成，硬件和软件的设计方法，提高分析问题和解决问题的能力，培养设计压机控制系统的能力。

在毕业设计过程中，我用 PROTEL 软件绘制硬件原理图，并要在北京理工大学 51 单片机教学实验系统上和伟福系列仿真器上模拟调试加热器 PID 控制程序和键盘显示操作面板处理程序。毕业设计为我们提供了一个很好的动手的机会，提高了我们的动手能力，

提高了我们发现问题、分析问题、解决问题的能力，因此，我觉得此次毕业设计受益非浅。

大学四年以来也做过不少的实验，不过那些实验，实验指导书上都写的很清楚，原理图都有，我们要做的只是测量一些数据，验证一些东西。而此次毕业设计却是自己设计，实验的难度显然加大了许多，由于实验的烦琐，做实验的时间又有限，我们的心理上不可避免的产生很大的压力。

完成本次毕业设计实验的过程中，我得到了老师悉心的帮助和指导。通过老师们的指导，我不仅解决了实验过程中碰到的问题，达到了预期的设计目的，更学会了怎样看问题，解决问题的思路和方法。

由于前 20 多年里，六面顶一直很难把腔体扩大，前几年人造金刚石生产数量很大，品级却较低，与国外两面顶生产差距甚大。业内一些人提出六面顶由于“密封形成原理限制”，腔体很难扩大，将来赶上国际水平只有走两面顶之路。一些人不同意这种意见，争论持续了近 30 年，不见分晓。六面顶大型化已是完全可能并且比较容易实现。我认为，现在国内六面顶扩大腔体的成功只说明六面顶合成金刚石的技术原理是科学合理的，也是完全适用大腔体的。经过行业许多厂家的不断摸索与实践，已经能够较成熟地掌握运用它了，从而证明大腔体，也并非只有两面顶才能实施；但从“大型化”的全部真正含意讲，并不只是大型六面顶压机和大腔体合成，而最终应该是高效生产高品级金刚石。所以现在还只能是六面顶大型化的开始，到真正实现六面顶大型化与国外两面顶旗鼓相当的水平，还有大量工作要做。六面顶压机在控制系统、加热系统，尤其是工艺、原材料方面还都比较落后。什么时候我们的金刚石品级质量与先进国家不相上下，那六面顶大型化才算真正成功。

人造金刚石单晶的生产将进一步朝着规模化、集约化发展，缺乏资金和技术支撑、没有特色的小企业生存将更加困难；金刚石行业属于高技术行业，从业人员的知识水平会有较大提高，更多的高智人才会加入本行业；利用 $6 \times 12\text{MN}$ 以上大压机生产高品级金刚石的工艺将在数年内得以完善，六面顶压机生产高品级金刚石的研发步伐将进一步加快，高品级金刚石的生产比例将大幅度提高。

致 谢

感谢肖绚老师对我的论文不厌其烦的细心指点。肖老师首先细致地为我解题；当我迷茫于众多的资料时，他又为我提纲挈领，梳理脉络，使我确立了本文的框架。论文写作中，每周都得到肖老师的指点。肖老师对此次毕业设计相当重视，对学生也非常关心，经常在百忙之中抽出时间来与我们讨论。另外，我还要感谢朱老师给我提供了一次难得的机会，使我能够接触到六面顶压机这一热门而有难度的领域。从框架的完善，到内容的扩充；从行文的用语，到格式的规范，朱老师都严格要求，力求完美。我再次为肖老师的付出表示感谢。

肖绚老师也曾对本文的完成提供了有力的帮助，文中压机温度控制数据由邵龙安老师测定，在此，一并表示感谢。

我要感谢学校给我提供了良好的学习环境。为了帮助我们按时完成毕业设计任务，学校特地向我们开放机房，方便我们使用电脑查找资料、编写程序、撰写论文。

参考文献

- [1]. 陶永华, 新型 PID 控制及其应用, 机械工业出版社, 2003
- [2]. 朱凌云, 人造金刚石压机计算机控制系统, 控制工程 2003. 4
- [3]. 张宇河, 计算机控制系统, 北京理工大学出版社, 1996 5.
- [4]. 付家才, 单片机控制工程实践技术, 化学工业出版社, 2004
- [5]. 王学武, 焦炉加热过程智能控制综述, 自动化仪表 2005. 2
- [6]. 嵇鹏, 一种基于单片机的称重控制器, 自动化仪表 2005. 2
- [7]. 沈红卫, 单片机应用系统设计实例与分析, 北京航空航天大学出版社, 2003
- [8]. Kevin M Passino, Fuzzy Control, <http://www.pearsoned.com>
- [9]. Karl J. Astrom, Bjorn Wittenmark, Computer-Controlled Systems Theory and Design, Tsinghua University Press Prentice Hall,
- [10]. Graham C. Goodwin, Stefan F. Graebe, Mario E. Salgado, Control System Design, <http://www.tup.tsinghua.edu.cn>
- [11]. MCS-51 单片机原理及接口技术 修订版 哈尔滨工业大学出版社 1998. 6
- [12]. 微机课程设计与实验指导书 东华大学信息学院 2004. 4
- [13]. 计算机控制技术课程设计指导书 东华大学自动化系 2004. 4