

东北大学

---

硕士学位论文

---

DCS在首钢干熄焦自动化系统中的应用

---

姓名：高炳志

---

申请学位级别：硕士

---

专业：控制工程

---

指导教师：王福利;李道森

---

2002. 3. 1

## 声 明

本人声明所呈交的学位论文是在导师的指导下完成的。论文中取得的研究成果除加以标注和致谢的地方外，不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包括本人为获得其他学位而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示感谢。

本人签名： 

日 期： 2002.3.8

## 摘 要

(干熄焦工艺是乌克兰首先提出的现代化熄焦方式, 这项熄焦工艺由于具有环保和节能的双重意义, 因此在国际上这项工艺发展较快。) 首钢引进的干熄焦设备是日本新日铁九十年代中期的设备, 自动化装置主要是日本横河电机产品, 自动化系统十分完善, 整套干熄焦设备在国内是最先进的。(目前, 干熄焦这类环保节能项目是国家大力推广应用的技术, 在国内的应用前景十分看好。现在国内几大型家钢铁企业都在探讨对原有的湿熄焦进行干熄焦改造和调研工作。因此, 首钢的干熄焦设备在国内有很大的推广价值。在此深入研究本设备的自动化系统具有较大意义。) 6

本套自动化系统装置是采用日本横河电机的 $\mu$  XL分散控制系统, 本文中对分散控制系统进行一定的剖析。主要分析讨论了DCS的组成、发展及应用, 特别是在选型方面、技术对比等综合论述了操作站的发展前景。

本文针对首钢焦化厂干熄焦设备的自动化系统进行了阐述, 对压力、料位、排焦量等方面的自动化控制系统加以分析。干熄槽压力控制是采用常规PID加系统状态自动切换手动方式的非常规控制; 料位检测是利用间接测量的方法进行测量; 排焦量控制系统中, 由于存在着纯滞后问题, 因此采用了史密斯预估器的方法进行补偿。

由于预估器模型不易准确的掌握, 系统中仍然存在不稳定的现象。本文中又提出了解决纯滞后问题的新方案, 即通过双控制器方案, 采用两个独立的控制器分别控制设定值响应和负载响应, 从而解决这一问题。实践证明这一方案在实际的应用过程中起到了良好的效果。

**关键词** DCS 干熄焦 双控制器

## ABSTRACT

In this paper, DCS has been introduced about its constituting, development and application. And analyzing the foreground of DCS by dint of the other control ways.

Then the paper analyzes the automatic system detailedly in allusion to CDQ(Dryiy Put Out Coke) equipment, and brings forward the way of dealing with the control system lag. In fact, the control of coke discharging uses Smith predictor to make compensation for delay. The control of the boiler, including the three-impulse serial control system, that is, steam flow, desuperheated water flow, boiler exhausting water flow use serial control system.

The paper introduces steam pressure, exhaust pressure, oxygen remover pressure and level control system control way also. All of them use traditional single-loop control ways. In the end of the paper, twin controller has been introduced detailedly.

The results of application of the above ways in shougang CDQ control project proved that the set value and the load homologizing have been controlled successfully.

**KEY WORDS: DCS, CDQ, twin controller**

# 第一章：DCS 的发展及应用问题讨论

## 1.1 绪论

DCS 从 1975 年问世以来，大约有三比较大的变革，七十年代操作站的硬件、操作系统、监视软件都是专用的，由各 DCS 厂家自己开发的，也没有动态流程图，通讯网络基本上都是轮询方式的；八十年代就不一样了，通讯网络较多使用令牌方式；九十年代操作站出现了通用系统，九十年代末通讯网络有部份遵守 TCP/IP 协议，有的开始采用以太网。总的来看，变化主要体现在 I / O 板、操作站和通讯网络。控制器相对来讲变化要小一些。操作站主要表现在由专用机变化到通用机，如 PC 机和小型机的应用。但是目前它的操作系统一般采用 UNIX，也有小系统采用 NT，相比较来看 UNIX 的稳定性要好一些，NT 则有死机现象。I/O 板主要体现在现场总线的引入 DCS 系统。

从理论上讲，一个 DCS 系统可以应用于各种行业，但是各行业有它的特殊性，所以 DCS 也就出现了不同的分支，有时也由于 DCS 厂家技术人员工艺知识的局限性而引起，如 HONEYWELL 公司对石化比较熟悉，其产品石化行业应用较多，而 BAILEY 的产品则在电力行业应用比较普遍。用户在选择 DCS 的时候主要是要注意其技术人员是否对该生产工艺比较熟悉；然后要看该系统适用于多大规模，比如 NT 操作系

统的就适应于较小规模的系统；最后是价格，不同的组合价格会有较大的差异，而国产的 DCS 系统价格比进口的 DCS 至少要低一半，算上备品备件则要低得更多。

DCS 由四部份组成：I/O 板、控制器、操作站、通讯网络。I/O 板和控制器国际上各 DCS 厂家的技术水平都相差不远，如果说有些差别的话是控制器内的算法有多有少，算法的组合有些不一样，I/O 板的差别在于有的有智能，有些没有，但是控制器读取所有 I/O 数据必须在一秒钟内完成一个循环；操作站差别比较大，主要差别是选用 PC 机还是选用小型机、采用 UNIX 还是采用 NT 操作系统、采用专用的还是通用的监视软件，操作系统和监视软件配合比较好时可以减少死机现象；差别最大的是通讯网络，最差的是轮询方式，最好的是例外报告方式，根据我们的实验，其速度要相差七八倍。

## 1.2 DCS 在选型中的几个问题

被控制对象确定以后，选用什么样的控制系统就成为重要问题。主要是根据项目规模和投资预算来考虑的，以数字技术为基础的 DCS 系统和早期的模拟仪表组成的控制系统，从工程项目的实施来看，本质差别不大，主要考虑项目规模和投资预算，但 DCS 与模拟仪表相比，它更为复杂，技术性要求更高，下面我来谈谈 DCS 系统选型中的几个问题。从理论上讲，DCS 可以用与不同的工艺过程，它是通用的，

但是，DCS 的制造厂家专长与某一领域。如：HONEYWELL 主要用于石化部门，BAILEY 公司的 N90、INFI90 主要用于电力系统，ROSEMOUNT 的 RS3、 $\Delta$ -V 大多用于化工系统。但也不能否认不同工艺过程会有一些特殊要求，如：电厂一定要有电调设备和 SOE，石化部门一定要有选择性控制，水泥行业一定要有大纯滞后控制补偿等，选型时也要考虑这些因素。

第二点就是经济性，应该从 DCS 本身价格和预计所创效益角度考虑。DCS 有国产的和进口的，对相同档次而言，进口的控制功能强一些，有一些先进的控制算法，如 Smith 预估、三维矩阵运算等，国产 DCS 价格要比进口的低很多，也能满足技术要求。从结构上来看，国外 DCS 的控制器各厂家差别不太远，控制器的预置算法稍有差别，控制器与 I/O 板的连接方式也有所不同。而操作站区别较大。有以 PC 机为基础的，有以小型机为基础的，操作系统一般选用 UNIX 类系统。小型机的价格要比 PC 机高很多，进口小型机操作站的价格要高于四万美金，而且许多机型已经停产（如 DEC 公司的 VAX 机和  $\alpha$  机）。PC 机的操作站不到三万美金，它的操作系统采用 NT，其稳定性没有 UNIX 好。小型机的接口采用 SCSI，传输速率是串行的 8 倍之多。以 NT 操作系统作为操作站的，点数要少一些，不然会频繁死机，国产的 PC 机更便宜得多，采用 PC 机操作站，可以采用最新的机型，操作人员对软

件的安装、调试、联网和开发也要熟悉得多。监视软件有专用的也可以用通用的，通用的监视软件开放性要好一些，用户应按照项目的规模大小和预算资金来选择使用。

DCS 比较贵的原因，除了上述理由外，还有控制器的电源系统，通常采用冗余供电，电源的引入和散热是价格贵的主要原因，各个 DCS 系统在这方面差别比较大。

把控制器和工作站联系起来的通讯网络也要考虑，如果采用通用的以太网，则网卡等价格很低，专用的网络接口很贵，最贵可以达到 20000 美金。

因此，经济性与很多因素有关，有时外商给你报价降下来，实际是改变了一些结构而已，并没有给你什么优惠，甚至他的利润还增加了。这时可取的办法是联系国内类似的单位和请教有经验的专家。

第三点就是承包方的技术力量，也就是承包方对哪一工艺过程和 DCS 本身比较熟悉。如经常做化工控制系统的承包商来做轧制的控制系统，他对活套的控制、卷曲的控制和张力的控制等就不太熟悉，做的工程就不会太好。如果承包方对 DCS 本身不熟悉，控制器做的太大时会产生死机。不少工厂都购买了不同厂家的 DCS 系统，我们称之为“八国联军”状态，此时更要选择技术力量比较强的单位抓总，而不宜选择某一个国外厂商作为承包商，

第四点是售后服务，国外厂商通常情况下配品、备件供应价格高，且不能及时提供。DCS 用户应选择厂商实力雄厚的，技术力量强的、境内技术支持好的厂家。计算机技术发展很快，DCS 厂家也会不断更新它的产品，新旧产品兼容性要好才行，个别厂家新旧系统不兼容，系统升级时造成很大损失。国内的 DCS 厂家配品、备件供应比较及时，售后服务方面做的也比较好。

第五点是关于 DCS 的技术先进性，指系统采用了经过验证的最新技术，并有发展前途和生命力，包括 DCS 系统的开放和互联，现场总线的应用，第三方软件的支持等。这里要注意的一点是：有些厂家为了占领市场，把一些不成熟的产品推到第三世界，如五、六年前 DCS 缺少小型系统，有的厂家把不太成熟的小型系统推到用户，结果这 270 多套系统基本都已经提前退役。早在 1983 年，某外国公司推销的 DCS，在电源出现故障并复电后，控制器的输出是任意的，此时阀门的位置就很危险，这种产品本不能出厂，但还是卖给了我们国家，结果购买单位基本上没有运行。

总之，DCS 从七五年到现在已经有二十多年的应用历史了，可靠性方面基本都能达到要求，建立系统时选型是一个非常重要的环节，我们不但主要考虑项目规模和投资预算，还要考虑到一系列其它的因素，选型是否恰当往往从一开始就决定了该系统今后的命运，万万不可掉

以轻心。

### 1.3 DCS 操作站

DCS 系统包括三大部分：带 I/O 部件的控制器、通讯网络和人机接口。人机接口包括操作站、工程师站和历史站。控制器 I/O 部件和生产过程相联接，操作站和人相联系，通讯网络把这两部分联成系统。所以操作站是 DCS 的重要组成部分，工程师站给控制器和操作站组态，历史站记录生产过程的历史数据。

一个 DCS 系统控制器和 I/O 部件通常可以运行 16-20 年，而操作站因为有活动部件，还有一些相互的电磁干扰，所以比较容易损坏，如：硬盘、键盘、CRT、软驱等，运行 6-8 年后出现故障的概率就比较大，据初步统计最长的也只能运行十年左右。所以在 DCS 运行过程中，更新操作站的情况比较多。

DCS 的控制器变化较小。其变化表现在控制算法的安排、控制算法的多少，存取的 I/O 点数的多少和内存的大小等，它随着硬件的进步而做相应的更改，操作系统一般都是专用的。操作站的变化就很大，八十年代以前的操作站，一般没有硬盘及动态流程图，能显示的标签数比较少，例如 500 个标签（标签指的是 AI、DI、回路、开关量的逻辑关系等），八十年代出现了能显示 5000 个标签的操作站，九十年代出现了能显示 30000 个标签的操作站，同时，也出现了在微软的

NT 通用平台上运行的通用显示软件，开始，通用软件只在 PLC 的操作站上使用，后来也逐渐应用在 DCS 上，它的标签量可以达到 10000 个。

DCS 操作站发展的过程（以 BAILEY 的操作站为例）如下：

一. 八十年代初，N90 的操作站是 OIU 系列，当时是无硬盘、无动态流程图的，标签量 500。后来增加了硬盘和流程图，标签量 1400-5000 点。八十年代中期推出了 MCS 系列，标签量 10000，特别是 MCSPULS，它是 SCSI 接口，可以有 30000 个标签点，当时在 DCS 市场上处于领先地位。1986 年，BAILEY 产品占世界 DCS 市场的 1/3。到 1988 年，共有 8500 套在世界各国运转。到了 90 年代，DCS 市场争夺激烈，BAILEY 无论在技术上还是在销售方面都不象 80 年代那样令人瞩目，于是 BAILEY 公司欲通过收购 FISCHER&PORTER、HARTMANN&BRAUN 等公司销售他们的系统来重铸辉煌。

BAILEY 的控制器和通讯网络都比较好，但在操作站上面，不能与竞争者相比，BAILEY 最新的操作站是以 WINDOWS NT、通用微机为基础的 Conductor NT。实际上，该操作站不是为 INFI-90 开发的，它是 FISCHER-PORTER 的系统 6 的操作站，用它的监控软件嵌入和 INFI-90 通讯的驱动软件而成。由于销售量不大，磨合的机会少，问题比较多，死机现象严重。OIS40 系列的操作站运行在 DEC 的 VMS 平台上。实际上，它仍然是在 MCS 操作站的 MTOS 操作系统平台上，开发

了一个与 VMS 通讯的驱动软件，因为 80 年代的 OIU 和 MCS 在 80 年代末都已经停止销售。BAILEY 只卖 OIS20 系列和 OIS40 系列。

OIS20 系列是 90 年代初推向市场的，它本质上是 MCS，但它们能与 INFI-90 通讯。它的开发、制造成本都比较低，性能也比较好。OIS20 系列的辅站不是用网络来传输信息的，只是在主站上多加了 1 块显卡来实现辅站的功能。后来因维护成本很高，硬盘和软驱都难以买到，用户反映不太好。

继 OIS20 系列，BAILEY 公司推出了 OIS41、OIS42，在操作站之间增加了以太网卡，组成后门网络，可以实现打印机共享。把图形传给不同主站的能力也有所增强，也给用户提供了开发打印系统的空间，这是后话。由于 OIS40、OIS41、OIS42 主机性能较差，所以操作站的性能提高不明显。直到 OIS43 Alpha 芯片的出现，性能才得到提高。

同时，加拿大 BAILEY 公司开发了 PCV，它是以 PC 为基础的操作站，采用 QNX 操作系统。因为它的标签量较少，价格低廉，运行稳定，故适用于小系统的使用，这就是 BAILEY 的 OIS10 系列，版本 5 以前，只有文本没有图形。版本 5 以后既有文本也有图形。OIS11 操作站后门之间用 ARCNET 联网。OIS12 既可用 ARCNET 也可用以太网联网。

由于 OIS40 系列软件结构复杂，故价格较高，更重要的一点是 DEC

公司被 COMPAQ 公司兼并, Alpha 机 255/233 停止生产, 这给 BAILEY 公司和用户无疑是雪上加霜。

二. 八十年代中期, 因为 PLC 操作站的开发都不太成功, 一些软件公司就开发了通用的监控软件, 且很快就被 PLC 制造厂家所采用。如: FIX、INTOUCH、ONSPEC 等 (一共有上百种), 由于市场前景较好, 所以软件开发商又开发了许多 PLC 的驱动软件。到了九十年代, 又开发了 DCS 的驱动软件。最早采用通用工控监控软件的是 MOORE 公司的 APEC 系统, 它既可以用 INTOUCH 也可用 FIX, 以 FIX 软件为基础的操作站也应用在 Fisher Rosmont DeltaV and Toshiba DCS 系统上, 由于 INFI-90 系统在九十年代一直没有推出比较优秀的操作站, 故 PREVISE 公司推出了 OPsCon 操作站。

OPsCon 操作站运行在 PC 硬件平台, NT 操作系统下。把 FIX 作为监控软件, 并开发了能与多种 DCS 通讯的对应驱动软件, 标签量为 10000 个。因为 FIX 软件在世界各地已经销售了 90000 套, 它与各种 PLC、DCS 和 NT 系统磨合较好, 这种监控软件只要开发出多种 PLC、DCS 的驱动软件就可以成为通用操作站。2000 年开始应用在 INFI-90 系统上。如: 新西兰的一家造纸厂, 原来已经运行有 CONDUCT NT, 后来还是改用 OPsCon。

通用操作站的功能不仅具备专用操作站的功能, 如: 绘制动态流程

图、报警、实时趋势和历史趋势，DCS 参数调整、模件诊断、模件编程等。如：OPsCon 的工程师站新增的功能在于不仅能给模件编程，还可以读取模件的编程。通用操作站的出现，给 DCS 用户带来了以下方便：

- 1、 不必再为原 DCS 生产厂家是否倒闭、被兼并。该型产品是否已经停产、备件是否能够找到而操心。
- 2、 由于通用操作站的适用面广，相对生产量大，成本下降，因而可以节省用户的经费。维护费用也比较少。
- 3、 采用通用系统要比使用各种不同的专用系统更为简单，用户也可减少人员培训的费用。
- 4、 更新和升级容易。
- 5、 开放性能好，很容易建立生产管理信息系统。

因此，通用操作站是 DCS 的发展方向。

## 1.4 动态数据服务器

DCS 系统属于基础自动化，MIS 系统侧重于办公自动化。这两者在反映速度上的区别很大，DCS 是属于秒级的，而 MIS 是以小时或更长时间为单位的。所以这两者之间必须要有隔离设备，这个隔离设备

就是动态数据服务器。它的功能是生产过程监控；历史数据的存储及管理；统计质量控制；设备预防性维护；设备故障诊断；生产优化等。

DCS、PLC 采集现场的生产过程数据通过通讯网络把数据传给操作站和动态数据服务器。动态数据服务器是采集生产全过程的模拟信号或逻辑信号，所以它的采集速度是海量的。要经过数据淘金，将信号送到生产管理部门。

通常情况下，一个企业往往有几种不同牌号的 DCS、PLC，要把这几种信号都集中到动态数据服务器中，最好要选择一个通用显示平台。在这个平台上来显示不同型号的 DCS、PLC 的信号。通用显示平台可采用 FIX、INTOUCH、组态王、Synall 等软件，开发各种 DCS 和 PLC 的驱动软件。

最近出厂的 DCS 采用通用操作站，它采用 NT 操作系统，监控软件就是 FIX、INTOUCH。不同 DCS 型号采用不同的驱动软件。各种 DCS 之间信号传输采用 OPC 服务器联接，也可以把少量的信号送到 MIS 系统的服务器中。FIX、INTOUCH 等软件都能存储历史数据，几十个信号可存储 280 天之多。如要存储更多的历史数据，可以采用 OSI 历史数据库，它可以存储三年以上。这些通用监控软件都有 OSI 的接口。老一代的 DCS 系统的操作站无论操作系统还是监控软件都是专用的，和其它系统通讯都非常困难。如要建立系统间的互联，通过计算机接

口单元建立动态数据服务器，监控软件仍然可以使用通用的，在 NT 平台上运行，但它的只能上行，不能下行。在设计 MIS 系统过程中，最好使用动态数据服务器，不要把 DCS 和 PLC 数据直接送到 Web 否则会影响到 DCS、PLC 的正常运行。至于究竟需要建立多少个动态数据服务器，由所需采集的数据量和数据安全决定。一般情况下，可达 10000 点。

### 1.5 DCS 的通讯网络堵塞和人机界面死机现象

在 DCS 的通讯网络上连接有几种不同的结点，它通常分为两大类。一类是直接与生产过程通过 I/O 板连接起来的结点，我们称之为控制器。控制器根据功能不同又可以分为数据采集控制器和回路控制器，两者可以合为一个结点。另一类结点是与人机相连的，称为人机界面。它们通过通讯网络采集控制器中的数据。根据功能又分为操作站，这是工厂运营的主要设备，它既要从控制器中读取数据，又要将运营人员的意图送给控制器，所以数据传输是双向的。人机界面的另外几种结点分别是工程师工作站、历史趋势站和动态数据服务器。工程师工作站通常只在系统投运前，把存储在控制器中的各种算法按照生产要求连接起来，并填进参数最后下装给控制器，它是组态用的工具，系统投运以后可以离线。工程师站的工作区别于用算法语言编程，称之为组态。

控制器的存储器中存有各种控制算法，如：PID、加、减、乘、除、三角函数、矩阵运算、先进算法史密斯预估器，与 BASIC、C 语言接口等。如果操作站中的监控软件作图功能不能满足要求，也可由工程师站做动态流程图，然后装载给操作站。

为了 DCS 的控制器和操作站的升级，不改变组态，由逆向工程师站读取控制器组态。然后下装给升级后的控制器。逆向工程师站的另外一个功能是为了查找故障，读取控制器组态供分析使用。

人机界面的另一个重要结点是动态数据服务器，它是 DCS 和 MIS 系统的接口，是 DCS 和 Web 的隔离设备。它的特点是数据只能上行，不能下行，而且存储的数据量是海量的。历史趋势站和动态数据服务器类似，它的功能可以合并到动态数据服务器上，也可以单独成为一个结点。

在系统刚投入运行时，由于系统组态不完善，经常发生网络堵塞。但投运一段时间后，就很少发生网络堵塞。

近来，由于 MIS 系统需要从 DCS 中读取生产实时数据。在网络中接进动态数据服务器，网络堵塞现象就变得十分频繁，并使得各种人机界面的结点死机现象很严重。网络堵塞现象的严重程度与多种因素相关。

当结点连到 DCS 的通讯网络上时，通常有一个网络接口，控制器把数据送到接口。人机界面从网络接口读取数据，读取数据应遵守网络通讯协议。网络物理结构有环形和总线两种，总线网络在逻辑上也是环形的。星形网络只用于小系统（100 个 I/O 点内）。常用的通讯协议是广播式的，在网络上的结点，只要把数据送到网络上，它就要不断广播数据，需要数据的结点就接收数据。广播式协议的网络除了这种方式以外，还有一种方式：一个结点向网上的其他结点询问数据，但如果其他结点没有这个数据，它就反复进行询问工作，直至读取到这个数据。那么如果网络上根本没有这个数据，就会造成网络堵塞。

操作站死机现象，不管何种 DCS 系统，在 DCS 七十年代问世以来，都不同程度的存在死机现象。操作站主要软件是操作系统、监控软件和控制器的驱动软件。早期的 DCS 系统，所有这三个软件都是由 DCS 厂家自行开发的，或者说是专用的。这三个软件可能有不相配的地方，所以在运行时产生死机，特别是键盘操作时几个特殊键按下时，就会产生死机。另外一种情况是：有的 DCS 系统、监控软件从其它系统移植过来，DCS 制造厂家只开发一个驱动软件。这种情况下，由于 DCS 销售量小，软件之间配合问题没有得到充分暴露，死机就更为频繁。

动态数据服务器不是系统刚投运时就存在的，许多 DCS 用户是最

近几年根据需要才添加的。DCS 运行时间比较长的情况下，工厂的维护人员不断更替，控制器的组态也不断变化，但有一个现象是：组态只加不减，有一部分组态实际上已没有与真正的 I/O 点相连。而动态数据服务器接入时，欲将 DCS 上所有数据点都读上去，而其中有很大数量的数据点是无效的，因而造成网络堵塞，所以人机界面就发生死机现象。这时可以用逆向工程师站读取控制器中的组态，与正向工程师站的内容进行比较，删除无效点，就可以避免网络堵塞和死机现象。

另一个应注意的问题是在接入动态数据服务器时，应检查所有接口的软件版本是否一致。否则也会影响数据的传递。

解决网络堵塞的第三种方法是：如果采用例外报告的方式，可将例外报告的区域加大一些，以减少网络的通讯量。例外报告的意思是现场的某点只在发生变化时把数据送到网络上，如果不发生变化就不会传送。但为了防止点已经坏而人机界面不知道的情况。所以，即使点不变化，超过一段时间也要报告。为了减少网络上的数量，把例外报告的二个参数都适当加大，也能达到减少数据量的目的。

最近几年推出的通用操作站，大多采用 NT 操作系统，监控软件也采用通用的，如：FIX、INTOUCH 等。由于软件的销售量大，软件存在的问题较少。通用操作站的开放性能好，死机现象会大大减少。无论维护成本、备件采购都不受 DCS 制造厂家的限制。这是 DCS 的一大进步。

## 1.6 DCS 操作站部件更换技巧和 DCS 的打印系统

1995 年以前从国外进口的 DCS 系统据不完全统计, 大约近 3000 套、20 多种不同型号的 DCS 系统, 它们分别来自于美国、日本和欧洲。有的系统是专用的, 它随主设备一起进入我国。如造纸厂的一些控制系统如 Measurex ODX, 它可能随造纸主设备进入我国。大部分 DCS 是直接进入我国。又如欧陆的系统 6000, 它是集成的 DCS 系统。回路控制器作过程控制用, 人机界面采用 PARAGON 软件作为监控软件。利用 PC 机的串行口, 把 PLC 也接进 HMI 中。同一厂家又有几种不同型号的 DCS, 这是由于系统升级或系统规模不同而设计的不同型号的系统。把同一厂家的放在一起, 观察几种 DCS 系统在中国的使用情况。用户有几十套以上的有以下几种系统: TDC3000 (TDC2000、R150、S9000)、 $\mu$  XL、(CENTUM)、I/A (SPECTRUM)、N90 (INF190)、PROVAX、RS3( $\Delta$ V)、APACES、MOD300 (MODIII)、AC450 (AC210、AC500)、WDPF、HIACS、TELEPUM 和 MAX-1 (MAX-1000)。还有一些系统不到 10 个用户的, 如 PROCONTROL P14, 全国只有 4 套, D/3 只有 5 套, TOSDIC 系统在全国的用户也不多。无论在中国的用户多还是少, 这些 DCS 系统的共同特点是人机界面的许多部件也都是从第三方购买的, 不是自己生产的, 现在大部分部件都已经停止生产。如有的 DCS 操作站主机采用 DEC 公司的 VAX 机或  $\alpha$  机, 在 96 年 DEC

已被 COMPAQ 公司兼并，到现在已经停产 5 年，不仅机器不生产，而且连芯片也不生产。如果现在仍然进口这样的 DCS，备件将会成为很困难的事情。

又如操作站使用的硬盘，与硬盘的接口大都是 ST412 接口(像 ST225、ST4096、ST4097、XT1085 等)或 IDE 接口，这种硬盘体积大，但容量小。目前已停产多年。当操作站的硬盘损坏时，购买原配硬盘会比较困难，只能用与原硬盘同系列的，BIOS 稍加修改后的硬盘代替。少量的 SCSI 接口的硬盘购买要容易一些。还有低分辨率的 CRT，一般都是 RGB 输入，目前市场上的 CRT 无法与大部分 DCS 操作站相连，一旦 CRT 发生故障，操作站无法发挥作用。解决的办法是需要接一个转换器后才能用现在的显示器和 DCS 操作站相连，用来显示 DCS 系统的信息。又如 ARCHIVE 磁带机，TEAC 软驱等都无法买到。寻找旧产品是很困难的事情。即使找到，也不一定用的上。如硬盘还需要低格或初始化等。

如果还想用原来的操作站主机，就需要配上能兼容的硬盘、CRT、键盘等。80 年代进口的 DCS，即使是 DCS 的生产厂家，有时也无法供应部分备件。有时能供应，但到货的时间特别长，无法满足紧急要求。其价格可以说是天价。因为这些部件 DCS 厂家也是从第三方购进的，也需要去寻找，使的供货时间很长。每个部件如硬盘、CRT、磁带机等

都要在几万甚至十几万人民币。如换主机，就需要几十万人民币。所以说，购买这些部件还需要有新的思路。更换主机的话，有时甚至不如把原来操作站去掉，换上新的通用操作站。

值的一提的是各 DCS 系统的专用打印机，像能打图形的 GENICON 打印机，它的打印头、色带等很难买到。又如原 DCS 配的报警打印机，系统中只要有报警发生，打印机就会不停的打印，而且报警的产生次序没有存储，不能查出哪一个报警是最先发生的，一些有用的信息淹没在海量的无用的信息中。不仅浪费大量的打印纸，而且有用信息很难提取出来。

打印系统就是在上述背景下开发的，打印软件用于各类 DCS 系统的打印管理系统。该打印系统可以与各类 DCS 系统的操作站相联，构成打印信息管理系统，包括在线报警记录，屏幕拷贝及事件列表等。不仅可以完全替代专用打印机，而且还兼有存储、查询等功能，从而更适合现场应用。每一套打印系统可以与 4 台 DCS 操作站相联。

打印管理系统其核心是打印管理软件，把它安装在普通 PC 机上，在 WINDOWS 平台上运行。为保证数据安全，采用 RAID 技术，双硬盘冗余运行。该软件是为改善计算机自动控制（DCS）操作站的打印功能，加强信息的存储、查阅和拷贝能力而开发的一套打印信息管理软件，具有功能强，界面友好，操作方便等特点。使用它可以从根本上

上避免过去只使用打印机时，由于打印机故障而经常造成信息丢失的现象，也可以从根本上避免有用信息淹没在大量无用信息中。使用可以将操作站的打印输出信息长期地以文件形式保存在硬盘上（视硬盘容量及打印信息量的大小，可达数月甚至数年），也可将其拷贝到其它存储设备（如：光盘等）上。

打印系统可以自动识别操作站信息中的报警记录、控制操作、统计报表、事件触发报表、画面拷贝及组态列表等内容，并分别进行处理。使用它可以实时地观察到操作站的报警记录、控制操作、统计报表、事件触发报表、画面拷贝及组态列表等内容，并分别进行处理；并可以实时地观察到操作站的报警记录和控制操作等需要即时响应的数据和状态，也能方便地查阅已经接受到的所有记录。既可以使用“离线打印”对已经接收到的信息进行有选择地打印，又可以使用“在线打印”将操作员站的打印内容立即输出到打印机上。

打印系统的工作原理是：各个打印机厂商生产的打印机都有与 WINDOWS 操作系统相联的驱动程序。而原 DCS 的大部分操作站的操作系统是专用的，它们只有特殊几种打印机的驱动程序。市场上常用的打印机他们没有驱动程序，所以是连不上的。实际上，打印系统软件的任务是编写 WINDOWS 操作系统的反驱动软件，就是使 DCS 操作站来的信号能在 WINDOWS 环境下识别。然后通过 WINDOWS 的驱

动程序去连接常用的打印机。打印系统软件要识别不同的数据格式，因为原连接不同型号的 DCS 操作站的打印机有它们自己的数据格式，如 ANSI 格式、IBM 格式等，在打印系统连接到操作站之前，弄清它的数据格式，使这种数据格式在 WINDOWS 环境下工作。打印系统软件应编写多种数据格式的反驱动软件。另外，打印图形和打印文本的软件差别很大。仅打印文本，其软件比较简单，打印图形比较复杂。比如采用 HP 打印机打印图形，首先弄清是点阵格式还是页扫描格式。大部分 Hp 打印机是页扫描方式，软件要解释 PCL 指令，打印机就能打印操作站屏幕上的图形。如果不是 HP 打印机，就要解释别的指令。

打印系统软件国外和国内都有产品，经使用运行都很好。

## DCS 打印系统

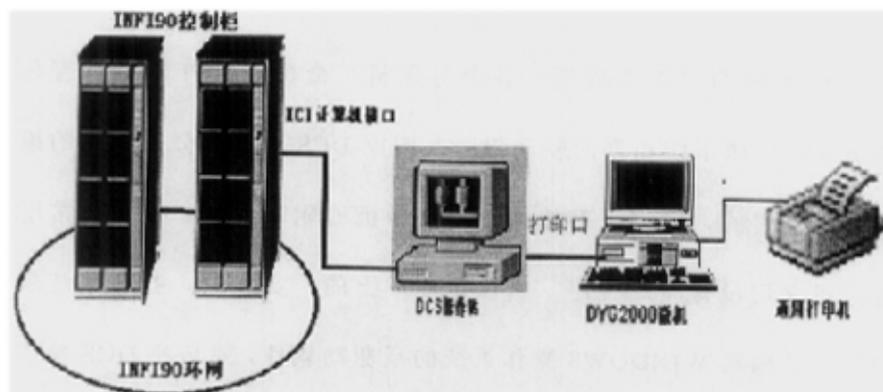


图 1-1

## 1.7 DCS 的基本结构和 PLC 的区别

DCS 为分散控制系统的英文 (TOTAL DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM) 简称。指的是控制危险分散、管理和显示集中。60 年代末有人研制了作逻辑运算的可编程序控制器 (Programmable Logic Controller)。简称 PLC。主要应用于汽车制造业。70 年代中期以完成模拟量控制的 DCS 推向市场, 代替以 PID 运算为主的模拟仪表控制。首先提出 DCS 这样一种思想的是原制造仪表的厂商, 当时主要应用于化工行业。后又有计算机行业从事 DCS 的开发。

70 年代微机技术还不成熟, 计算机技术还不够发达。工作站、控制器、I/O 板和网络接口板等都是 DCS 生产厂家自行开发的, 也就是所有部件都是专用的。

70 年代初, 有人用如 PDP/1124 这样的小型机代替原来的集中安装的模拟仪表控制。连接到中央控制室的电缆很多。如用小型机既作为控制器、同时把连接小型机的 CRT 又作为显示设备 (即人机界面)。一台小型机需接收几千台变送器或别的传感器来的信号, 完成几百个回路的运算。很显然其危险有点集中。和模拟仪表连接的电缆一样多, 并且一旦小型机坏了, 控制和显示都没有了。数字控制没有达到预期的目的。

后有人提出把控制和显示分开。一台计算机完成控制计算任务,

另一台计算机完成显示任务。另外，一个工艺过程作为被控对象可能需要显示和控制的点很多，其中有一些还需要闭环控制或逻辑运算，工艺过程作为被控对象的各个部分会有相对独立性，可以分成若干个独立的工序，再把在计算机控制系统中独立的工序上需要显示和控制的输入、输出的点分配到数台计算机中去，把原来由一台小型机完成的运算任务由几台或几十台计算机（控制器）去完成。其中一台机器坏了不影响全局。所谓“狼群代替老虎”的战术，这就是危险分散的意思。把显示、操作、打印等管理功能集中在一起，用网络把上述完成控制和显示的两部分连成一个系统。当时有人把这种系统称为集散系统。

危险究竟要分散到多少算合适呢？这与当时的计算机技术的发展水平有关。70年代中期，彻底分散就是一个控制器完成一个回路的运算。当时由于人们对数字技术不太熟悉，习惯于模拟仪表，70年代末、80年代曾经风行回路控制器，把数字控制器做成和原来模拟仪表在外观上几乎完全一样，不改变操作习惯，内部把PID运算数字化。一块仪表（一台计算机）完成一个回路的控制任务。其价格较为昂贵，但危险是分散了。然后用通讯网络把各个控制器和以CRT为基础的人机界面连成一个系统。这时网络结构通常都是星形结构。回路的控制器的制作成本太高，价格/性能比不好。后来为了降低成本，就有两回路

的、四回路的控制器，它的价格/性能比稍好一些。对于一个大中型系统来说，DCS 的价格/性能比比回路控制器组成的系统要好。有些特殊地方还是要用到一些回路控制器。

如果所要完成的回路太多，如一个控制器采集几千点、完成几百个回路的运算，危险又太集中。在这种情况下，危险必需分散。随着计算机技术的发展，计算机的运算能力、存储容量和可靠性不断提高，一台计算机所完成的任务也可以增加。完成的任务也可集中一点。另外，控制器、网络等冗余技术也得到了发展，控制运算也可集中一些。

从目前的 DCS 来看，一个控制器完成几十个回路的运算和几百点的采集、再加适量的逻辑运算，经现场使用，效果是比较好的。这就产生控制器升级的问题了。有时控制器和检测元件的距离还是比较远，这就促进现场总线的发展。如 CAN、LOONWORKS、FF 等现场总线，以及 HART 协议接收板等都用到 DCS 系统中。

DCS 分为三大部分，带 I/O 板的控制器、通讯网络和人机界面（HMI）。由 I/O 板通过端子板直接与生产过程相连，读取传感器来的信号。I/O 板有几种不同的类型，每一种 I/O 板都有相应的端子板。

- 模拟量输入，4-20 毫安的标准信号板和用以读取热电偶的毫伏信号板；4-16 个通道不等；

- 模拟量输出，通常都是 4-20 毫安的标准信号，一般它的通道比较少，4-8 个个通道；
- 开关量输入；16-32 个通道；
- 开关量输出，开关量输入和输出还分不同电压等级的板，如直流 24 伏、125 伏；交流 220 伏或 115 伏等；8-16 个通道不等；
- 脉冲量输入，用于采集速率的信号；4-8 通道不等；
- 快速中断输入；
- HART 协议输入板；
- 现场总线 I/O 板；

每一块 I/O 板都接在 I/O 总线上。为了信号的安全和完整，信号在进入 I/O 板以前信号要进行整修，如上下限的检查、温度补偿、滤波，这些工作可以在端子板完成，也可以分开完成，完成信号整修的板现在有人称它们为信号调理板。

I/O 总线和控制器相连。80 年代的 DCS 由于控制器的运算能力不强，为了增加 I/O 点数，把控制器的任务分开，实际上是有三种类型的控制器。即：完成闭环运算的控制器、模拟量数据采集器和逻辑运算

器。它们分别有自己的 I/O 总线，各种 DCS 的 I/O 总线各不相同。如果要求快速，最好采用并行总线。一般采用串行总线比较多。尤其是 RS485 总线较多，模拟量数据采集器和逻辑运算器的 I/O 点数可以多一些。

闭环控制器、模拟量数据采集器和逻辑运算器可以和人机界面直接连在通讯网络上，在网络上的每一个不同的控制器作为网络上的一个独立结点。每一个结点完成不同的功能。它们都应有网络接口。有的 DCS 为了节省网络接口，把所有的过程控制用的设备即闭环控制器、模拟量数据采集器和逻辑运算器预先连在控制总线上，称为过程控制站。这可以增加过程控制站能接收的 I/O 点数，又能节省接口。然后再通过接口连到网络上，与人机界面相连。随着计算机技术的发展，控制器的运算能力不断增强，如 PC 机做的一个控制器能力很强，既可接收模拟量运算，也接收开关量逻辑运算。一个控制器成为网络上的一个结点。通过网络与人机界面相连。

控制器是 DCS 的核心部件，它相当于一台 PC 机。有的 DCS 的控制器本身就是 PC 机。它主要有 CPU、RAM、E<sup>2</sup>PROM 和 ROM 等芯片，还有两个接口，一个向下接收 I/O 总线来的信号，另一个接口是向上把信号送到网络上与人机界面相连。ROM 用来存贮完成各种运算功能的控制算法（有的 DCS 称为功能块库）。在库中存功能块，如控制算法

PID、带死区 PID，积分分离 PID，算术运算加、减、乘、除、平方、开方、函数运算一次滤波、正弦、余弦、X-Y 函数发生器、超前-滞后；比较先进的算法有史密斯预估，C 语言接口、矩阵加、矩阵乘；逻辑运算有逻辑与、逻辑或、逻辑非、逻辑与非等。通常用站功能块不仅把模拟量和开关量结合起来，还与人连系起来。功能块越多，用户编写应用程序（即组态）越方便。组态按照工艺要求，把功能块连接起来形成控制方案。把控制方案存在 E<sup>2</sup>PROM 中。因为 E<sup>2</sup>PROM 可以擦写，组态要随工艺改变而改变，所以把组态存在 E<sup>2</sup>PROM 中。不同用户有不同组态。组态时，用户从功能块库中选择要的功能块，填上参数，把功能块连接起来。形成控制方案存到 E<sup>2</sup>PROM 中。这时控制器在组态方式，投入运行后就成为运行方式

控制器中安装有操作系统，功能块组态软件和通讯软件。

为了系统安全运行，闭环控制器一定是冗余运行的，一用一备，并且是热备。为了使冗余成功，应注意以下几点：两个控制器的硬件、软件版本必需一致；检查发送-接收的芯片是否完好；冗余的芯片是否完好。两个模块的设定是否一样、还要检查有没有带手操站等。

通讯网络把过程站和人机界面连成一个系统。通讯网络有几种不同的结构行式。如总线式、环形和星形（见图）。总线形在逻辑上也是环形的。星形的只适用于小系统。不论是环形还是总线形，一般都采

用广播式。其它一些协议方式已用的较少。通讯网络的速率在 10M 和 100M 左右。

人机界面有 4 种不同形式的结点，它们是操作站、工程师工作站、历史趋势站和动态数据服务器。

- ◆ 操作站安装有操作系统、监控软件和控制器的驱动软件。显示系统的标签、动态流程图和报警信息。
- ◆ 工程师工作站给控制器组态 (CAD)，也可以给操作站组态 (作动态流程图)。如果监控软件作图能力很强，作图工作可以由监控软件独立完成。工程师站的另外一个功能是读控制器的组态，用于控制器升级，查找故障。我们称之为逆向工程师站。
- ◆ 历史趋势站用于存储历史数据，一般用磁盘阵列 (称为 RAID 技术)。
- ◆ 动态数据服务器是 DCS 和 MIS 系统的接口，也是 DCS 和 Web 的隔离设备。

DCS 和 PLC 的设计原理区别较大，PLC 是由模仿原继电器控制原理发展起来的，70 年代的 PLC 只有开关量逻辑控制，首先应用的是汽车制造行业。它以存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和运算等操作的指令；并通过数字输入和输出操作，来控制各类机械或生产

过程。用户编制的控制程序表达了生产过程的工艺要求，并事先存入 PLC 的用户程序存储器中。运行时按存储程序的内容逐条执行，以完成工艺流程要求的操作。PLC 的 CPU 内有指示程序步存储地址的程序计数器，在程序运行过程中，每执行一步该计数器自动加 1，程序从起始步（步序号为零）起依次执行到最终步（通常为 END 指令），然后再返回起始步循环运算。PLC 每完成一次循环操作所需的时间称为一个扫描周期。不同型号的 PLC，循环扫描周期在 1 微秒到几十微秒之间。程序计数器这样的循环操作，这是 DCS 所没有的。这也是使 PLC 的冗余不如 DCS 的原因。DCS 是在运算放大器的基础上得以发展的。把所有的函数、各过程变量之间的关系都作成功能块（有的 DCS 系统称为膨化块）。70 年代中期的 DCS 只有模拟量控制。如 TDC2000 系统，一个控制器一秒钟内能完成 8 个 PID 回路的运算。首先应用的是化工行业。DCS 和 PLC 的表现的主要差别是在开关量的逻辑解算和模拟量的运算上，即使后来两者相互有些渗透，但是还是有区别。80 年代以后，PLC 除逻辑运算外，也有一些控制回路用的算法，但要完成一些复杂运算还是比较困难，PLC 用梯形图编程，模拟量的运算在编程时不太直观，编程比较麻烦。但在解算逻辑方面，表现出快速的优点，在微秒量级，解算 1K 逻辑程序不到 1 毫秒。它把所有的输入都当成开关量来处理，16 位（也有 32 位的）为一个模拟量。而 DCS 把所有输入都当成模拟量，1 位就是开关量。解算一个逻辑是在几百微秒至几毫

秒量级。对于 PLC 解算一个 PID 运算在几十毫秒，这与 DCS 的运算时间不相上下。大型 PLC 使用另外一个 CPU 来完成模拟量的运算。把计算结果送给 PLC 的控制器。不同型号的 DCS，解算 PID 所需时间不同，但都在几十毫秒的量级。如早期的 TDC2000 系统，1 秒钟内完成 8 个回路的控制运算。随着芯片技术的发展，解算一个算法的时间在缩短。解算一个算法所需时间与功能块的安排方式和组态方式有关。

在接地电阻方面，对 PLC 也许要求不高，但对 DCS 一定要在几欧姆以下（通常在 4 欧姆以下）。模拟量隔离也是非常重要的。在有爆炸危险的地方，应配置本质安全栅。

相同 I/O 点数的系统，用 PLC 比用 DCS，其成本要低一些（大约能省 40% 左右）。PLC 没有专用操作站，它用的软件和硬件都是通用的，所以维护成本比 DCS 要低很多。一个 PLC 的控制器，可以接收几千个 I/O 点（最多可达 8000 多个 I/O）。DCS 的控制器，只能几百个 I/O 点（不超过 500 个 I/O）。如果被控对象主要是设备连锁、回路很少，采用 PLC 较为合适。如果主要是模拟量控制、并且函数运算很多，最好采用 DCS。DCS 在控制器、I/O 板、通讯网络等的冗余方面，一些高级运算、行业的特殊要求方面都要比 PLC 好的多。PLC 由于采用通用监控软件，在设计企业的管理信息系统方面，要容易一些。

特别要指出的是，DCS 的专用操作站，不是天经地义的。它是由

历史原因形成的。DCS 厂家如再不开放操作站，与工厂的管理信息系统连网，个别 DCS 就有从市场中消失的危险。

随着新技术的诞生，负面影响也跟着而来。新操作站的开放，病毒和黑客容易侵入到系统。在设计时，在操作站上设置密码，系统多加隔离和防火墙。把负面影响减到最小。

### 总线网络 DCS

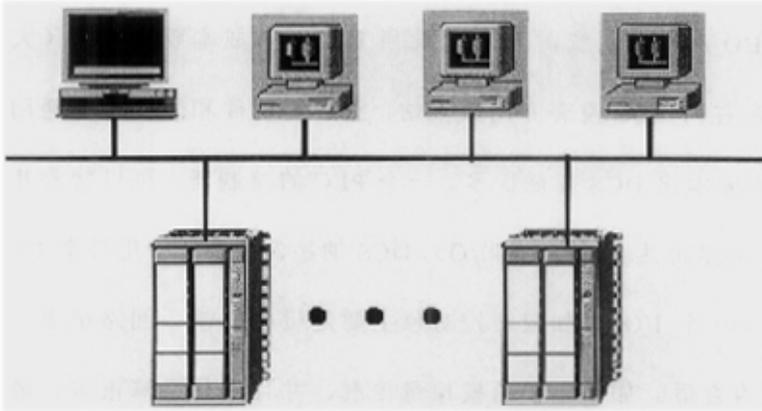


图 1-2

### 环形网络的 DCS

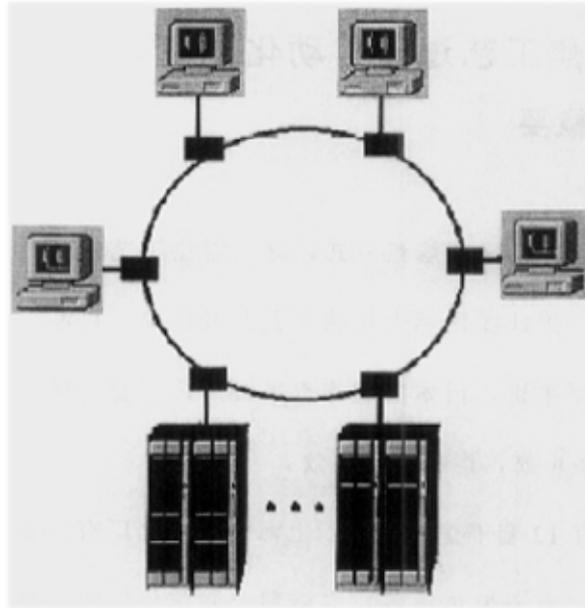


图 1-3

星型网络 DCS

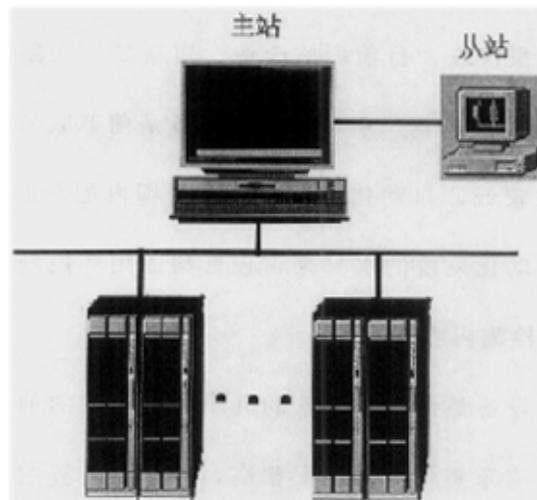


图 1-4

## 第二章：首钢干熄焦工艺过程自动化系统

### 2.1 首钢干熄焦系统概要

#### 2.1.1 干熄焦生产工艺

干熄焦工艺是乌克兰首先提出的熄焦方式，这项熄焦工艺由于具有环保和节能的双重意义，因此在国际上这项工艺发展较快。目前，从干熄焦工艺设备制造水平来讲，日本的制造水平最高，主要表现在整体系统的密封性好，设备可靠，运行稳定高效。

目前，国内只有宝钢有 12 套干熄焦设备，上海浦东焦化厂有 4 套干熄焦设备，济南钢厂有二套干熄焦设备。宝钢和上海焦化厂的干熄焦设备及自动化设备全部都是由日本引进，主体设备和自动化系统的水平均较高，但宝钢一期工程的四套干熄焦自动化装置和上海浦东焦化厂的自动化装置属三型仪表，目前面临改造，宝钢二、三期工程用的是 DCS 系统较为先进。济南钢厂引进的主体设备是前苏联乌克兰设备，主体设备水平相对较低，自动化设备采用的是国内配套的  $\mu X L$  分散控制系统，但从自动化系统的水平来讲较低构成闭环控制系统的内容很少，主要是开环检测内容。

首钢引进的干熄焦设备是日本新日铁的九十年代中期的的设备，设备水平较宝钢和上海浦东焦化厂的水平都高，自动化装置主要是日本横河电机产品（具体内容后述），自动化系统十分完善，与宝钢的干熄焦自动化系统相比控制内容更加完善，控制水平更加先进，整套干

熄焦设备在国内是最先进的。

目前，干熄焦这类环保节能项目是国家大力推广应用的技术，在国内的应用前景十分看好。现在国内几大型家钢铁企业都在探讨对原有的湿熄焦进行干熄焦改造和调研工作。首钢 2 号干熄焦项目也已确定将于 2002 年投产。国家有关部门也明确推荐我国的干熄焦项目，今后以日本型的干熄焦设备为主。因此，首钢的干熄焦设备在国内有很大的推广价值。在此深入研究本设备的自动化系统具有较大意义。

### 2.1.2 干熄焦工艺设备

首钢 1 号干熄焦是针对首钢焦化厂 1 号焦炉的熄焦设备。首钢焦化厂 1 号焦炉为 50 孔焦炉，每天焦碳产量为 1301 吨 / 天，每年焦碳产量为 475000 吨 / 年，每孔焦碳产量为 21.6 吨 / 孔，出焦时间为 12 分钟。

干熄焦生产设备主要包括四部分：干熄焦主体；干熄焦锅炉；除尘设备；锅炉辅助设施。

干熄焦工艺与设备的主要技术参数：

红焦投入温度：平均 1020℃，最高 1050℃。

红焦投入密度：约 500kg/m<sup>3</sup>

红焦的挥发成份：产生气体量：10Nm<sup>3</sup>/t coke(其中：H<sub>2</sub> 90% CO 10%)

冷焦排出温度：约 230℃ (或以下)

干熄焦设备最大处理能力：65 吨 / 小时

干熄槽预存段有效容积：200m<sup>3</sup>

干熄槽熄焦段有效容积：227m<sup>3</sup>

气体循环量：90000Nm<sup>3</sup>/小时

产生蒸汽压力：46kg/m<sup>2</sup>

产生蒸汽温度：450℃

产生蒸汽量：    焦碳量 65 吨/小时    36.6 吨/小时

                    焦碳量 54.2 吨/小时    30.5 吨/小时

## 2.2 自动化设备情况说明

这套引进的干熄焦自动化设备是日本横河电机生产的小型 DCS— $\mu$  XL。该套 DCS 目前在国内应用的十分广泛，介绍该系统的书籍也较多。本文在这里仅对一些本自动化系统应用的功能块的功能内容和与本系统相关的内容加以详细说明。

DCS 是七十年代中末期出现的以计算机为核心的分散控制系统，这种控制系统的出现，可以说在自动化控制历史上是一次质的飞跃，彻底改变了过去的传统模拟仪表的控制方式。比计算机直接控制又大大提高了控制系统的可靠性和实用性。DCS 具有如下的优点：

- 1、    自律性极强的单元结构——即单元功能齐全可靠性极高的自治小系统。

- 2、完善的控制功能——现代集散系统的控制单元具有连续、离散、批量控制功能并可实现高级控制。
- 3、统领全局的窗口功能——通过 C R T 操作站实现人机对话功能，可将总貌、分组、单元数据及时显现出来，操作灵活、方便、可靠。
- 4、局部网络通讯技术采用了工业局部网络技术进行通讯，实时地进行数据的传输。
- 5、强大的管理能力——当今的分散控制系统可以实现“4 A”目标，即生产过程自动化 P A；工厂自动化 P A；实验室自动化 L A；办公自动化 O A。
- 6、高可靠性系统——通过冗余技术，其平均无故障时间 M T B F 达了解 1 0 0 — 1 0 0 0 年，并具有自诊断、自检查、自修理功能。
- 7、系统构成灵活，扩展方便——系统模块、模件可灵活的组建系统

因此 DCS 在过去的二十年间得到了迅速的发展，每个 DCS 生产厂家基本上在 5 年左右对产品进行一次升级，目前在市场上应用的 DCS 大都是第四代或第五代产品。当然，现代的科学技术发展十分迅猛，目前 FCS 技术已经得到了应用，其特点是：

- 1、成本低。构成系统的硬件减少，节省工程设计费。

2、互操作性好。采用统一的技术规范，使任何生产厂商的现场总路线设备相互间都能连接在一起。

3、综合信息。现场仪表与此同时控制设备都采用全数字实现双向通信。数字技术可以实现多变量访问。

4、提高生产率。具有诊断数据和操作统计、自动故障通告。

5、提高产品质量。提高了系统信号的完整性和精确度；校验记录更于管理；远和诊断和性能评估，判明可变性产生的原因和位置。

6、减少维护费用。有可靠的论断、预估维护，复杂的系统极少。

7、系统扩充和修改投资少。FCS规模可以任意的，不必或很少增加新的硬件便可构成新的系统。

8、使用方便、操作更容易。

9、安全性提高。系统有更多的论断和状态信息，可快速通知故障，故障的定位点更精确。

本套DCS设备是九十年代中期的技术合同，因此它属于日本横河的第三代产品，在国内应用十分广泛。该设备的特点是：

1、以多年培育的过程控制机能为主体，对于和过程控制有密切关系的从原料管理到产品出厂的全部过程都能控制。

2、加强了对批量过程的适应性。

3、可灵活地构成从小规模系统到200回路的中规模系统。

4、通讯系统可采用光导纤维可构筑达15公里的光通讯网络。

5、操作站和控制单元都具有分散型实时 B A S I C。

6、具有品种管理程序软件包，各种 P L C 通信程序包，软件程序包能大幅度的加强。

#### 硬件配置情况

1) 硬件配置：本套 DCS 共有三个控制单元，两组操作站，通讯总线，设备的冗余方式——全部为双重化。

2) 1#控制单元内共设有一块 MAC2 卡，两块 VM1 卡，两块 ST5 卡

3) 2#控制单元内共设有两块 MAC2 卡，一块 VM1 卡，一块 VM4 卡，一块 ST5 卡。

4) 3#单元内共设有一块 VM1 卡，一块 VM4 卡，一块 ST5 卡。

5) 控制内容 1#控制单元内共设置内部仪表 73 块其中指示器 48 块调节器 3 块

2#控制单元共有内部仪表 59 块，其中指示计 28 块指示计，10 块调节器。

3#单元共设有 12 块内部指示仪表。

6) 本 DCS 的硬件配置共有三个控制单元，全部采用双重化系统，即 CPU 卡、通讯总线、电源卡、操作站均为双重化。

7) 每点温度均有温度转换器（有电偶型有电阻型），二线制变送器均配有配电器。

内部指示仪表

1#单元指示仪表

系统号	回路编号	回路名称	量程上限	量程下限	单位	备注
%LP0008	XX002	排焦量变换	750	0	t	
%LP0009	XX007	排焦量变换	750	0	t	
%LP0010	XX008	排焦量变换	750	0	t/h	
%LP0019	XX007	焦炭排出重量 1	75	0	t/h	
%LP0026	XX008	焦炭排出重量 2	75	0	t	
%LP0027	WX001	排焦量运算	750	0	t	
%LP0028	WI001	干熄槽料位	700	0	t	
%LP0031	GI001	干熄槽压力伐开度	100	0	%	
%LP0033	TI001	炉顶温度	1200	0	℃	
%LP0034	TI002A	中段温度	1200	0	℃	
%LP0035	TI002B	中段温度	1200	0	℃	
%LP0036	TI002C	中段温度	1200	0	℃	
%LP0037	TI002D	中段温度	1200	0	℃	
%LP0038	TI002E	下段温度	1200	0	℃	
%LP0039	TI002F	下段温度	1200	0	℃	
%LP0040	TI002G	下段温度	1200	0	℃	
%LP0041	TI002H	下段温度	1200	0	℃	
%LP0042	TI004	排焦着火温度	600	0	℃	
%LP0043	PI009	锅炉入口气体压力	0.00	-3.00	KPa	
%LP0044	PI032	锅炉出口气体压力	0.00	-3.00	KPa	
%LP0045	PI028B	循环气体压力	0.00	-5.00	KPa	
%LP0046	PI014	SECO 口气体压力	5.00	0.00	KPa	
%LP0047	PI013	循环气体出口压力	5.00	0.00	KPa	
%LP0048	DPI013	锅炉压损	3.00	-3.00	KPa	
%LP0049	DPI014	Sub Eco 压损	5.00	0	KPa	
%LP0050	DPI015	Chamber 压损	0	-10.00	KPa	
%LP0051	TI009	锅炉入口气体温度	1200	0	℃	
%LP0052	TI010	锅炉出口气体温度	250	0	℃	
%LP0053	TI012	循环气体 IN 温度	250	0	℃	

%LP0054	TI013	循环气体 OUT 温度	250	0	℃	
%LP0055	TI014	SECO 出口气体温度	250	0	℃	
%LP0056	FI011A	循环气体流量 A	50.00	0	KNM/h	
%LP0057	FI012A	循环气体流量 B	50.00	0	KNM/h	
%LP0058	FI013A	循环气体总流量	100.00	0	KNM/h	
%LP0059	FY006	空气导入流量差压	0.40	0	KPa	
%LP0062	TI007	排焦温度 1	300	100	℃	
%LP0063	TI008	排焦温度 2	300	100	℃	
%LP0063 4	DTI014	Sub-Eco 温损	250	-250	℃	
%LP0065	TI078	排焦温度	300	100	℃	
%LP0066	TI003	排焦机线圈温度	250	0	℃	
%LP0074	WX003	排焦量设定	75	0	t/h	
%LP0075	WX002	排焦量运算	750	0	t	
%LP0078	WQ078	排焦重量	150	0	t/h	
%LP0079	XX007A	排焦重量 1	75	0	t/h	
%LP0080	XX008A	排焦重量 2	75	0	t/h	

2#单元指示仪表

系统号	回路编号	回路名称	量程上限	量程下限	单位	备注
%LP0011	LI021	纯水箱水位差压	5000	0	mmH <sub>2</sub> O	
%LP0016	TI023	除氧器 SE 出口温度	200	0	℃	
%LP0017	TI024	除氧器给水温度	200	0	℃	
%LP0021	LI025	除氧器水位差压	0	-2998	mmH <sub>2</sub> O	
%LP0026	QI033A	炉水 PH 值	14	4		
%LP0027	QI033B	炉水导电率	1000	0	μs/cm	
%LP0029	PI027	给水压力	8	0	MPa	
%LP0030	TI030	省煤器出口温度	300	0	℃	
%LP0031	FI029	过热器注水流量	8	0	T/H	开方积算

%LP0032	FI034	汽包排污流量	2	0	T/H	开方积算
%LP0034	TI037A	主蒸汽温度 A 侧	600	0	℃	
%LP0035	TI038B	主蒸汽温度 B 侧	600	0	℃	
%LP0036	DI037	主汽温偏差	100	0	℃	
%LP0042	FI037	主蒸汽流量	50	0	T/H	
%LP0044	PI031	汽包压力	8	0	Mpa	
%LP0047	LI032A1	汽包水位差压 A	0	-814	mmH <sub>2</sub> O	
%LP0048	LI032A	汽包水位 A	450	-400	mm	
%LP0049	LI032B1	汽包水位差压 B	0	-814	mmH <sub>2</sub> O	
%LP0050	LI032B	汽包水位 B	450	-400	mm	
%LP0051	DI032	汽包水位偏差	200	-200	mm	
%LP0056	FY028B	给水流量设定运算	50	0	T/h	
%LP0060	FI029B	给水总流量	58	0	T/h	
%LP0061	FI032	锅炉循环水流量	300	0	T/h	
%LP0062	TI035	一次过热器出口温度	600	100	℃	
%LP0063	TI036	二次过热器出口温度				
%LP0066	FY029B	过热器减温水流量				
%LP0076	XX201	Rsngc 合	1	0		
%LP0077	LI032R	汽包未修正	450	--400	mm	
%LP0078	XX202	Range 合	1	0		
%LP0079	XX203	Range 合	100	--100		

3#单元指示仪表

系统号	回路编号	回路名称	量程上限	量程下限	单位	备注
%LP0011	QIA015A 1	CO <sub>1</sub> 浓度	5000	0	mmH <sub>2</sub> O	
%LP0012	QIA015A 2	CO <sub>2</sub> 浓度	200	0	℃	
%LP0013	QIA015B 1	H <sub>2</sub> 浓度	200	0	℃	
%LP0014	QIA015C	O <sub>2</sub> 浓度	0	-2998	mmH <sub>2</sub> O	
%LP0015	QIA015C 1	5% O <sub>2</sub> 浓度	14	4		

%LP0016	QIA015C 2	25% O <sub>2</sub> 浓度	1000	0	I.s/cm	
%LP0017	QI015C	O <sub>2</sub> 浓度	8	0	MPa	
%LP0021	TI016	中间 Bonker	300	0	℃	
%LP0023	FI015	低压蒸汽流量	8	0	T/H	开方积 算
%LP0026	FI040A	干燥 COG 流量 A	2	0	T/H	开方积 算
%LP0027	TI040B	干燥 COG 流量 B	600	0	℃	
%LP0028	TI0040	干燥 COG 合计流 量	600	0	℃	

由上表可以知三个单元的分工为

一号单元主要是针对干熄槽部分的工艺指示、控制，管理；二号单元主要是针对锅炉及辅机部分工艺的指示、控制和管理。三号单元主要是针对分析计和辅助工艺的指示管理。

### 2.3 干熄焦自动化系统分析

按照生产工艺划分，主要也是两大部分，干熄槽部分和锅炉部分。干熄槽部分的自动化内容主要有干熄槽压力控制、干熄槽料位测量计算设定、排焦量控制、排焦温度控制、空气导入量控制。检测内容主要是干熄槽各部温度干熄槽料位。

下面就干熄槽的主要的有特点的测量和控制方法进行分析。

(1) 干熄槽料位检测的测量是采用间接计算法测量，具体方法是干熄槽内的焦炭重量是装入干熄槽的焦炭的重量（设每次装入量为一定值  $W_{in}$ ），从干熄槽内排出的重量为  $W_{out}$ （由旋转密封伐计算得出）二者之差加上上次计料位计算值  $W_{n-1}$  及补偿值  $\alpha$ （通过操作员的判断得

出) 即干熄槽内的重量  $W_n = W_{n-1} + W_{in} - W_{out} \pm \alpha$  显然这种计算方法会产生误差,且误差会越来越大为了消除误差就需要对此值进行准确的修正。

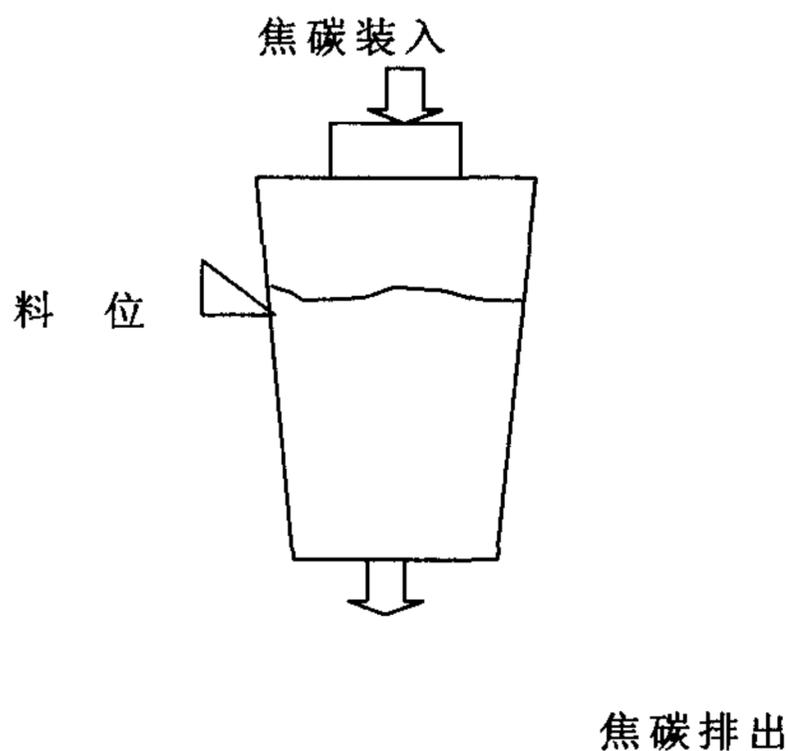


图 2-1

修正方法是通过干熄槽中部的料位计(放射性仪表)当干熄槽内的焦炭自高向低落下时,料位计得到一值,此值为运算式  $W_{n-1}$  值代入计算式这样就保证了误差得到了修正。

另外为了操作员可以得到较准确的补偿值  $\alpha$  应掌握如下值:校正前焦炭的重量值,过去操作员设定的校正值,料位计校正的误差,自上次校正后焦炭装入的次数和经过和经过的时间。

## (2) 干熄槽压力控制

为了保证干熄槽内熄焦过程的平稳和焦炭装入口的压力保持稳定进行的压力控制。

由于在装焦过程中干熄槽内的压力会产生剧烈的波动，采用常规  
 的连续 PID 控制方式就会使系统难以进行控制，因此本系统在进行装  
 焦时采用如下的方法进行控制。

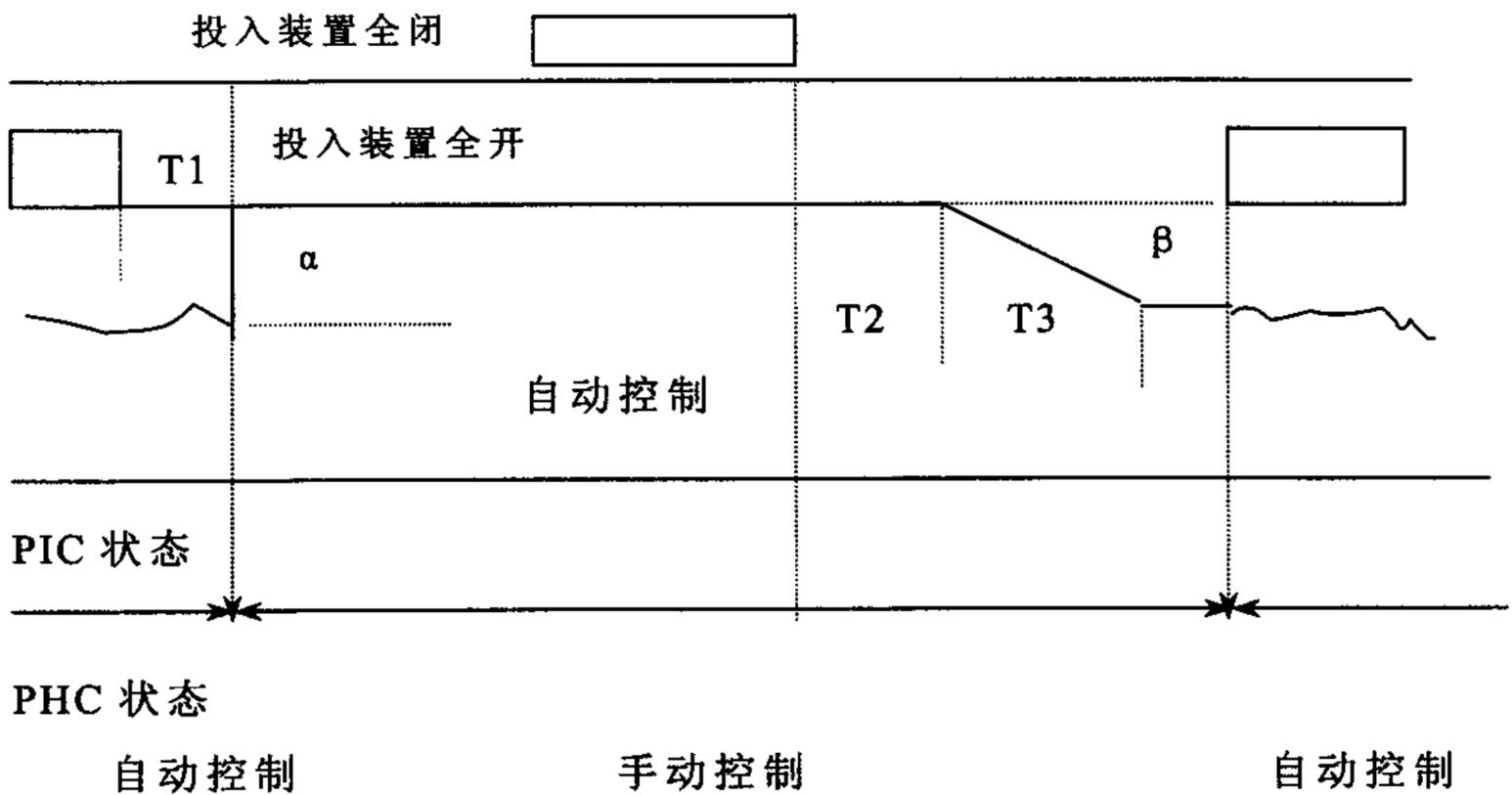


图 2-2

在正常状态下，即不装入焦炭时，PIC 和 PHC 均为自动状态由  
 PIC 调节器进行 PID 控制。PHC 手  
 操器处于随动状态。调节伐相当于  
 由 PIC 调节器直接控制。

在进行红焦装入时，即投入装置  
 不是全闭时经 T1 延时后 PHC 手操  
 器由外部信号切换为预置输出的

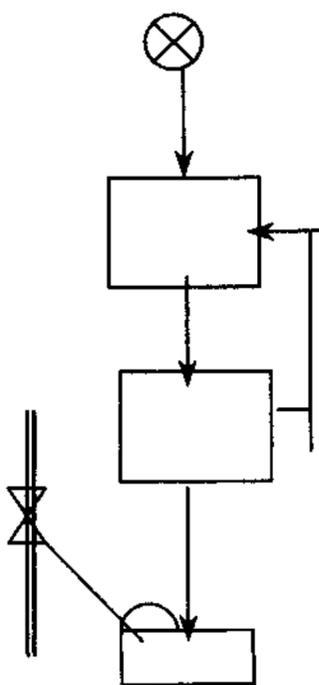


图 2-3

手动状态即在原自动状态输出的基础上再加大  $\alpha$  值,并保持此值输出不动。当投入装置为不是全开状态时经 T2 延时后 PHC 的输出经 T3 时间减少  $\beta$  值此时依然为手动状态,当系统中投入装置全闭信号产生后 PHC 变为自动状态即恢复正常状态。而 PIC 调节器在这一过程中的状态是 PHC 为自动是 PIC 也是自动,PHC 为手动是 PIC 为自动跟踪状态,使 PIC 的输出始终保持与 PHC 的输出一至,确保在状态切换时为无扰动切换。

### (3) 排焦温度控制

正常排焦应在  $230^{\circ}\text{C}$  以下当高于此温度时说明焦炭没有完全熄灭,应进行喷水处理。测量焦炭采用红外温度计,控制实际上是一个两位式控制器。

原理如下图

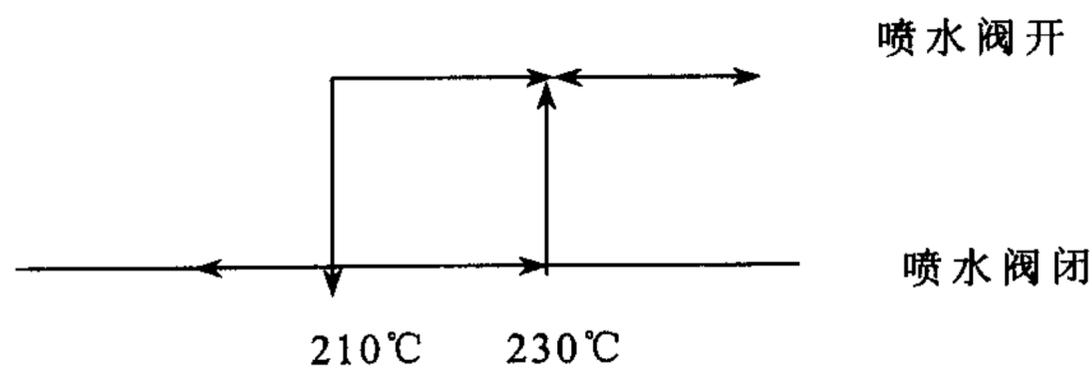


图 2-4

### (4) 排焦量控制

本控制系统在整个干熄槽的控制系统中是最有特色的控制系统,由于排焦过程存在着纯滞后现象采用常规的控制方式难以进行控制,

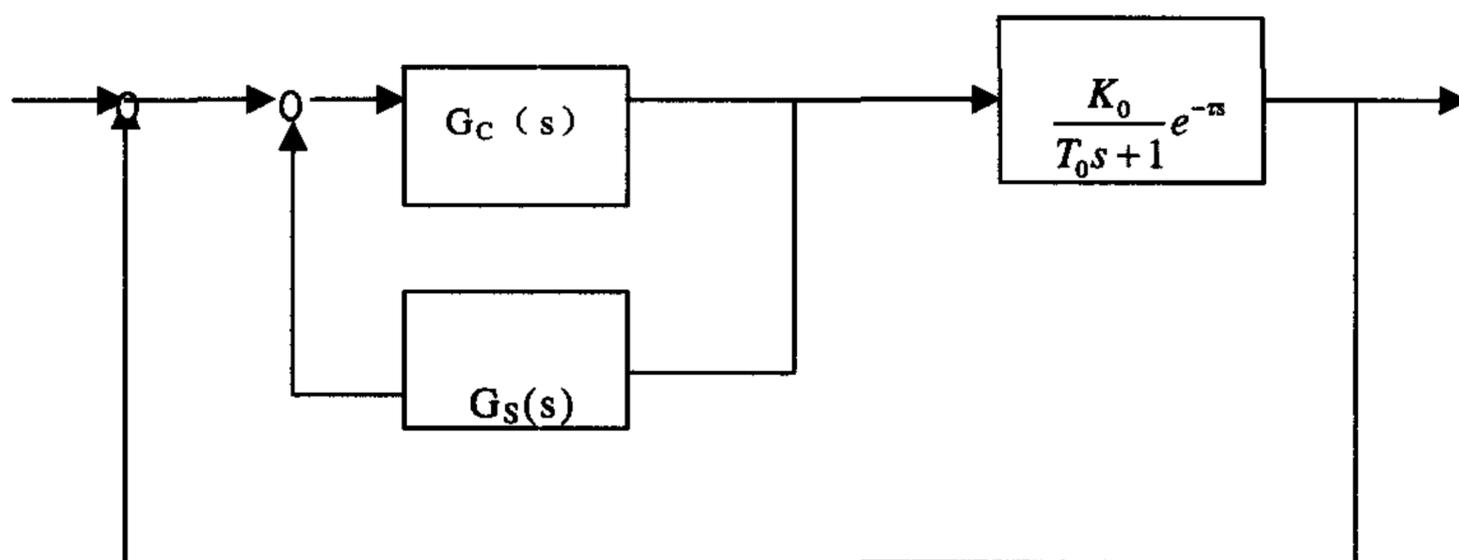
在国内引进的同类设备中均没此系统的控制，为了克服纯滞后的本系统中采用史密斯预估器的方法进行补偿。从理论上讲此方法较为简单，但该理论诞生以来在实际中应用并不广泛，原因就对控制对象的模型要求十分高。必须非常准确地掌握对象的数学模型，而在热工控制过程准确地掌握对象的模型本身就有一定的难度，加之对象模型又具有时变性，这就为该理论的应用带来了很大的困难。

首先对史密斯预估器的原理进行说明：

设控制对象的数学模型为：

$$G_0(s) e^{-\tau s} = \frac{K_0}{T_0s+1} e^{-\tau s}$$

设调节器的传递函数为  $G_C(s)$



如能构造出一个函数加入到系统中使系统中的纯滞后部分解消掉，则系统便是可控制的了，即构成

$$G_S(s) = \frac{K_0}{T_0s+1} (1 - e^{-\tau s})$$

由系统框图推导出的整个系统传递函数为不带纯滞后环节的系统了,关键是准确地掌握  $K, T, \tau$  这些参数.通过现场考察这些参数的确定与旋转密封阀的高度,有关与皮带运行速度和皮带称测点有关,基本可以推断旋转密封阀高度(距皮带称)决定了  $T$ 。皮带的测点与焦炭落点的距离/皮带称的速度决定了  $\tau$ 。这就是确定这个模型的基本思路。

## 第三章 控制系统的改进方法

### 3.1 使负载阻尼与设定值跟踪相分隔的双控制器方案

#### 3.1.1 古典控制系统存在的问题

控制系统设计存在两个主要问题：设定值跟踪和负载阻尼。这些问题分别为伺服和调节问题。在古典的单回路反馈控制系统中，如图一所示，一个控制器要同时解决伺服问题和调节问题。符号  $R$  和  $L$  分别代表设定值和阻尼。当设定值变化时，控制器送出信号使过程跟踪设定值。当负载变化时，有一个控制器在固定的设定值处调节过程以抵消负载扰动。

在古典控制系统中，期望这一个控制器将这两个问题都解决好，如：设定值跟踪及负载阻尼。这个要求是冲突的。最佳设定值跟踪和最佳负载阻尼无法用单个控制器得到。这种冲突可由 ITAE（对绝对误差的时间积分）、PID（比例、积分、微分）控制器的一阶加延迟过程来演示。PID 控制器的最佳设定值跟踪还是负载阻尼。除非是一个纯调节问题，否则就要考虑设定值跟踪与负载阻尼问题之间的折中。这是一个非常困难的问题，因为没有一个是清晰和简化的折中方法。况且，折中意味着在既得不到设定值跟踪也没有负载阻尼的情况下获得最佳运行。

为了说明这个固有的缺陷，考虑控制过程：

$$P(S) = \frac{4}{7S+1} e^{-3.5S} \quad (3-1)$$

这里假设用 PID 控制上述过程。ITAE PID 控制器的参数设定为： $K_c=0.435$ ， $T_i=9.69$ ， $T_d=1.13$  用于设定值跟踪； $K_c=0.654$ ， $T_i=4.98$ ， $T_d=1.34$  用于负载阻尼。这里  $K_c$ ， $T_i$  和  $T_d$  分别为控制器增益，积分时间和微分时间。这两组控制器参数明显不同。为了说明这两组参数在系统运行中所起的不同作用，分别在  $t=0$  和  $t=100$  处加入一个正阶跃信号和一个负阶跃信号于设定值上，作为激励信号。图 3-2 所示为这个闭环系统在两组“最佳”参数下的响应。实线所示为控制的设定值，而虚线为控制器的负载设定。很明显，控制器的设定值的设定要比负载设定的响应稳。用于设定值的参数对于负载响应太慢，而用于负载的参数对于设定值的变化又有明显的过冲。在现实中，设定值变化和负载扰动都有可能发生，所以必须考虑两者的折中。没有明确和系统的方法运行或限定这种折中。

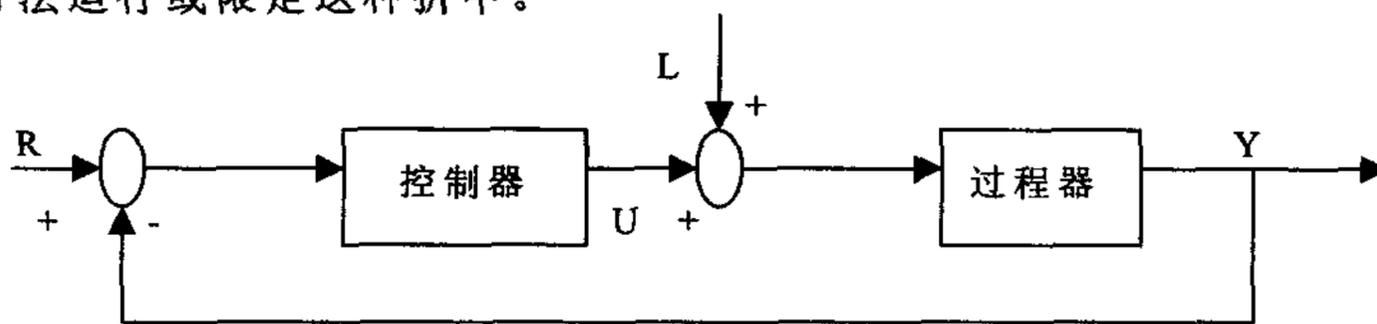


图 3-1:常见的单控制器反馈系统

本文的目的试图提出一个新的控制结构，这个结构是一个双控制器方案，在一个闭环系统中将负载响应与设定值响应分开。这个方案包括两个控制器，一个设定值控制；一个负载控制器。用这种双控制

器方案，最佳设定值响应运行和最佳负载响应运行可同时得到，方法是独立地设计设定值控制器和负载控制器。运行的折中不再需要。这种双控制器方案的效率取决于两个困难的控制问题：

- (1) 在过程不确定性情况下的设定值跟踪；
- (2) 带明显时间延迟的过程控制。

### 3.1.2 双控制器方案

本方案的主要特点是用两个独立的控制器分别控制设定值响应和负载响应。用于设定值控制的是设定值控制器；而用于负载的控制器是负载控制器。为了确保这两个响应的分离，控制方案应有如下结构特点：

- (1) 负载阻尼环应不包含设定值控制器。
- (2) 设定值控制器不使用过程输出或受负载阻尼回路的负载变化影响的变量作为其反馈信号。
- (3) 与(2)中叙述相反，负载控制器要使用过程输出作为其反馈信号。

考虑上述三个要求，设定值控制器的理想反馈测量应是无负载过程输出，这是不可能的。然而，理想的反馈信号可由过程模型产生。过程模型的输入是设定值控制器的输出。图 3-3 给出双控制器方案的结构图。其中  $Y$  和  $Y^*$  分别过程输出和模型输出。从图上看，过程模型输出也给入负载控制器作为它的设定值而在负载阻尼回路中限制系统设

定值的效果及补偿不可避免的模型不匹配。

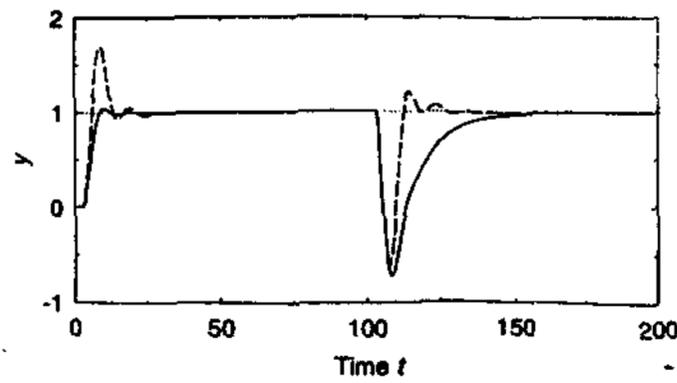


图 3-2

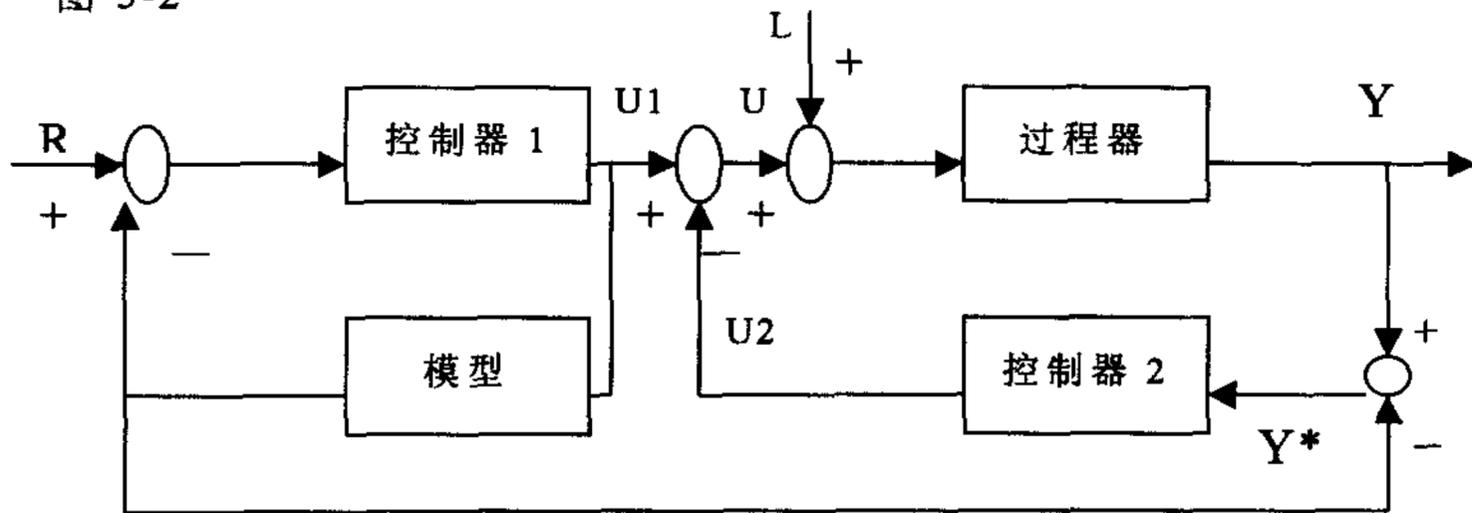


图 3-3 双控制器方案

为了量化分析双控制器，从系统输出到设定值和负载的完整的传递函数如下所示：设  $G_{c1}$  和  $G_{c2}$  分别代表控制点 1（设定值控制器）和控制器 2（负载控制器）如图 3-3 所示。 $P$  和  $P^*$  分别代表过程及其模型，则：

$$\frac{Y(S)}{R(S)} = H_r(S) = \left( \frac{G_{c1}(s)P(s)}{1+G_{c1}(s)P^*(s)} \right) \left( \frac{1+G_{c2}(s)P^*(s)}{1+G_{c2}(s)P(s)} \right) \quad (3-2)$$

$$\frac{Y(S)}{L(S)} = H_l(S) = \frac{P(S)}{1+G_{c2}(s)P(s)} \quad (3-3)$$

等式 (3-3) 明确地指出闭环系统的负载响应仅由负载控制器  $G_{c2}$  并与设定值响应分开了。因此，负载控制器可独立设计以达到良好的负载阻尼运行的目的。这是双控制器方案中重要的一点。

从等式 (3-2)，假设过程模型良好，如  $P^*(S) = P(S)$ ，则设定值响应成为：

$$H_r(S) = \frac{G_{c1}(s)P(s)}{1+G_{c1}(s)P^*(S)} \quad (3-4)$$

上式表示，设定值响应独立于负载控制器并仅由设定值控制器确定。于是，设定值控制器也可独立设计。这是对控制器另一个重要之处。设定值控制器的设计目标是得到一个良好的设定值跟踪状态。

通过适当的设定值控制器和负载控制器设计，可得下式：

$$\lim_{S \rightarrow 0} H_r(S) = 1 \quad \lim_{S \rightarrow 0} H_l(S) = 0 \quad (S \neq 0) \quad (3-5)$$

这些等式表示过程输出将跟踪在稳定状态下的设定值，对设定值和负载变化没有误差。比如：在两个控制器中都使用 PID 调节，如果这个闭环系统是稳定的，则对于大多数化工过程它都成立。除了 PID 调节之外，其它复杂控制算法也可以在对控制器方案中使用以改进系统运行。

在下面的章节中，双控制器的效果将通过解决两个困难控制问题来展示其效果。

### 3.1.3 在不确定过程中设定值跟踪的应用：

不确定过程中设定值跟踪问题在过程行业中是个重要问题，如：设定值调节为过程最佳，这可能由于催化剂的作用而发生变化。在发射模型中，发射速度设定值要与飞行器外型协调。在冷轧带钢退火时，退火炉的设定值温度要根据带钢温度测量结果而连续地变化。所有这些例子都需要闭环系统快速地跟踪设定值以确保产品的生产率和/或质量。

不确定系统中的设定值跟踪在传统的单控制器系统中也是一个困难问题，因为一个良好的设定值跟踪状态不能同时满足良好的负载阻尼要求。然而，这个限制可容易地被双控制器方案解决；因为双控制器方案将负载阻尼响应与设定值跟踪响应分开了。由于设定控制器的设计，可得到良好的设定值跟踪状态，而负载阻尼运行也可独立地最佳化，仿真表明，即使是不确定过程，双控制器方案的设定值跟踪也优于传统的单控制器方案。

让我们考虑式(3-1)，过程由一个单控制器控制，使用双控制器，ITAE PID 设定值控制器设定为： $K_{c1}=0.435$ ， $T_{i1}=9.69$ ， $T_{d1}=1.13$ ，而ITAE PID 负载控制器设定为： $K_{c2}=0.654$ ， $T_{i2}=4.98$ ， $T_{d2}=1.34$ 。这两个控制器单独设计，无须在二者之间折中。这个结果可与单控制器系统比较。为了在相同条件下比较，传统的单控制器系统设计为与双控制器方案有相同的设定值响应或负载响应。在本节中，过两个方案中的设定值响应在相同的负载阻尼下比较。

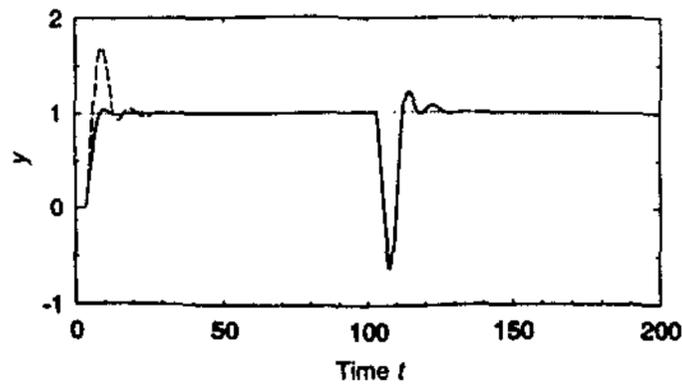


图 3-4

图 3-4 所示为在完整过程模型下双控制器方案（实线）与单控制器（虚线）的仿真结果。激励信号与引言中介绍的一样。如：在设定值  $t=0$  处有一个阶跃信号；在负载  $t=100$  处有一个负阶跃变化。不出所料，双控制器方案和单控制器方案的负载响应相互交织在一起，这说明这两系统具有同样的负载阻尼行为。因此，这两系统的负载运行情况就不在下面的仿真中展示。从图 3-4 和图 3-2 中可看出，双控制器方案在设定跟踪和负载阻尼两方面的最佳运行均明显优于单控制器方案。

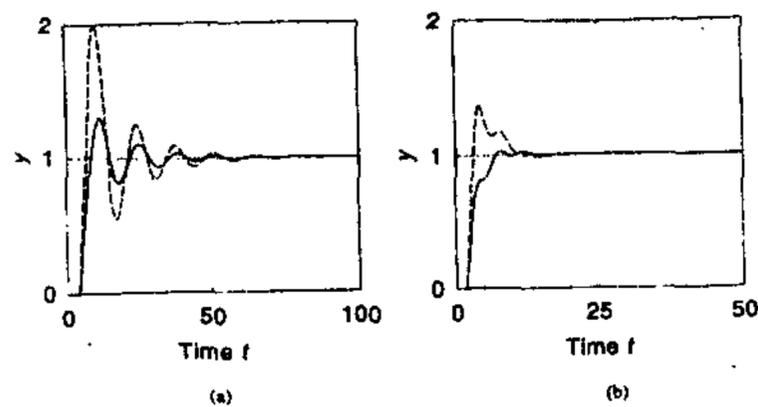


图 3-5

不确定过程运行效果在闭环系统中均在控制器参数保持不变的情况下研究。首先考虑过程延迟时间的变化。延迟在其初始值 3.5 周围

变化 $\pm 20\%$ 。对于这种正负变化，图 3-5 (a) 和 (b) 给出了双控制器方案（实线）的设定值响应和单控制器（虚线）的响应。可以看出，双控制器方案的振荡小些而且跟踪更快些。

过程增益的变化强烈地影响闭环系统的行为。假设过程增益从初始值 4 开始变化。双控制器和单控制器的设定值响应在图 3-6 (a) 和 (b) 中显示为实线和虚，过程增益变化为 5 和 2 之间。显然双控制器的设定值跟踪趋于稳定时间短些，过冲也小些。

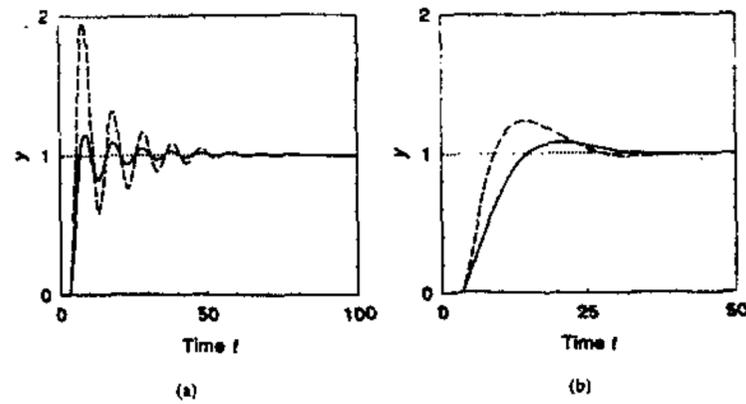


图 3-6

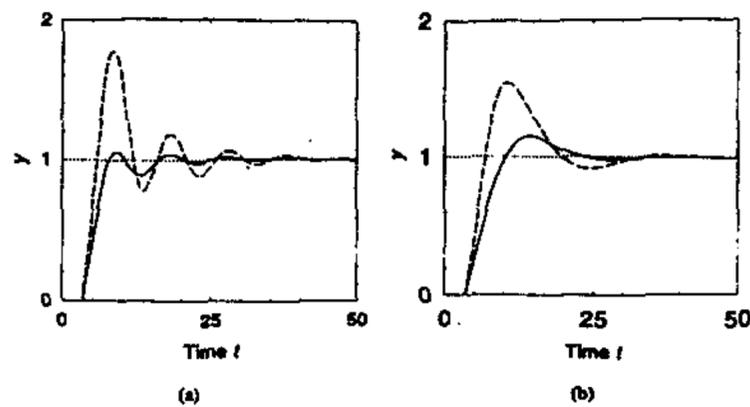


图 3-7

过程时间常数的变化也影响闭环系统行为。假设过程时间常数从

初始值 7 变化为 6 和 10 之间。则相应设定值响应在图 3-7 (a), (b) 中表示, 实线为双控制器, 虚线为单控制器。很明显, 双控制器的设定值跟踪性能要优于单控制器。

上述仿真显示, 由于最佳负载阻尼的良好设计, 在没有良好的过程模型的情况下, 双控制器比单控制器的设定值跟踪性能要好。在同样条件下, 以同样的最佳设定值跟踪为目标, 在不确定过程中, 双控制器的负载阻尼比单控制器要好。为篇幅所限, 不多叙述。

### 3.2 固有延迟过程的应用

时间延迟是工业过程中很普遍的现象。同样, 许多高阶无延迟过程可由低阶有延迟过程所近似。因此, 时间延迟过程的控制就成为过程工业中一个重要的课题。然而, 由于时间延迟, 尤其是固有时间延迟产生的严格的限制, 在控制行为和系统稳定性是个困难的问题。史密斯预估器在具有良好模型的情况下是个补偿固有延迟的有效控制方案。但史密斯预估器的固有缺点是对模型敏感, 特别是对延迟时间敏感。过程动态中与过程模型的偏差会使闭环工作很差甚至不稳定, 而过程模型又是史密斯预估器设计的基础。下面介绍的双控制器方案用于带固有时间延迟的过程中, 在有效性和鲁棒性两个方面都比史密斯预估器好得多。这是双控制器方案在困难的控制问题的又一应用。

在任何闭环系统中, 以图 3-3 中可看出, 如果过程其模型中存在纯滞后, 则设定值跟踪速度将受设定值控制器设计限制, 特别是受固有

时间延迟限制。为了进一步改进闭环系统中设定值的跟踪，将图 3-3 中的双控制器方案略加改动，如图 3-8 所示。

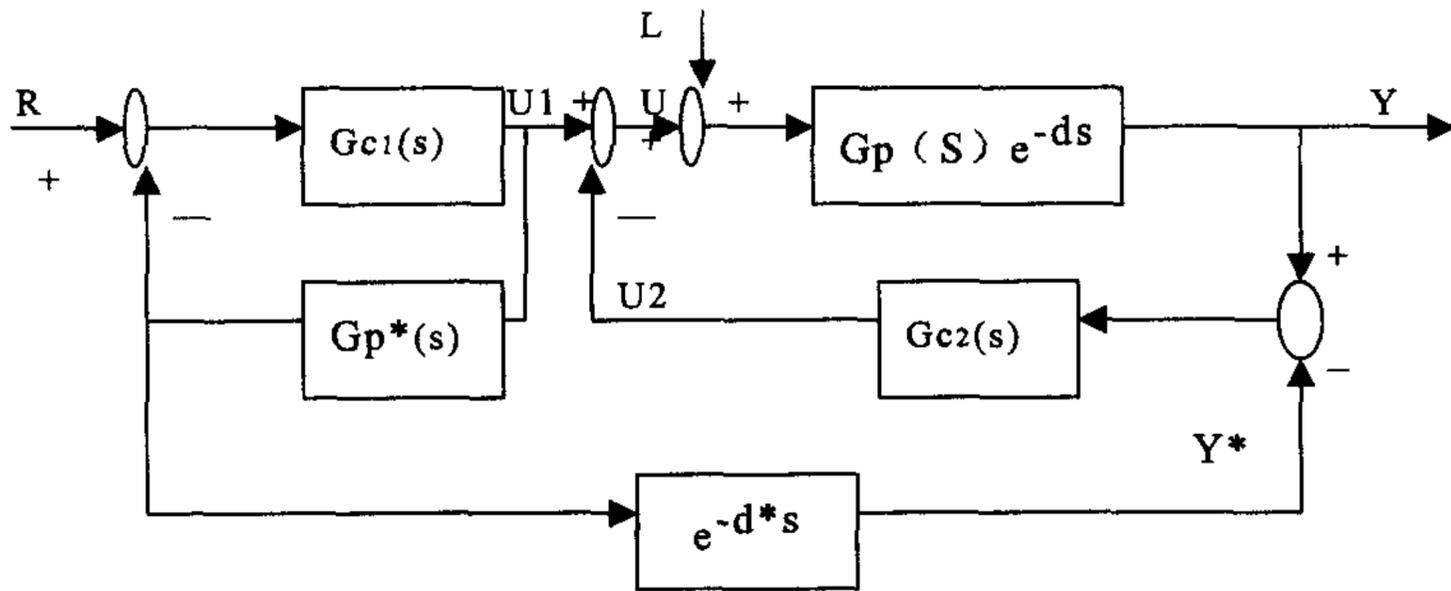


图 3-8

从图示中可看出，过程模型的延迟项已经移至设定值控制器的反馈信号与负载控制器的设定值之间。如果，设定值控制回路不再包含任何时间延迟并因而可成为快速设定值跟踪速度的设计。本节中将始终使用这种改进型设计。如果延迟不是固有的，则延迟可包含在设定值控制回路而没有任何明显的变化。

令  $P(S) = G(S) e^{-ds}$ ，于是  $P^*(S) = G^*(S) e^{-d^*s}$ ，这里  $G$  和  $G^*$  不包含任何延迟， $d^*$  是延迟  $d$  的估计值。则对于设定值变化的整个传递函数如下：

$$H_r(s) = \left( \frac{G_{c1}(s)G_p(S) e^{-ds}}{[1 + G_{c1}(s)G^*p(S)]} \right) \left( \frac{1 + G_{c2}(s)G^*p(s) e^{-d^*s}}{1 + G_{c2}(s)G_p(s)e^{-ds}} \right) \quad (3-6)$$

图 3-8 和图 3-3 对于负载变化的总传递函数与 (3-3) 式一样。因

而，图 3-8 和图 3-3 中的方案具有同样的负载阻尼行为。根据 (3-6) 式，如果过程模型是过程的良好描述，则：

$$H_r(s) = \frac{G_c(s)G_p(s)e^{-ds}}{1 + G_c(s)G^*p(s)} \quad (3-7)$$

与图 3-3 的 (3-4) 式对比，(3-7) 式的分母中不含任何延迟，这就意味着：图 3-8 中的双控制器改进方案所具有的设定值跟踪性能会优于图 3-3 中原来的双控制器方案。

假设过程动态性能为一阶加延迟，如下：

$$P^*(s) = \frac{k^*p}{T^*ps+1} e^{-d^*s} \quad (3-8)$$

这个假设是合理的，因为许多工业过程可近似为这种模型。如下所示，在一阶加延迟中设计的控制器同样也运用于高阶过程，包括欠阻尼过程。前面已提到，用于一阶加延迟过程的 (3-5) 式表示图 3-3 的结果，仍对图 3-8 中带 PID 型的控制器有效，这说明闭环系统仍不偏差地在稳定状态下跟踪设定值，条件是闭环系统是稳定的。下面讨论定值和负载控制器的设计。

(3-7) 式可视为一个纯滞后项与一个无延迟反馈系统带设定值控制器。设定值控制器则可设计为假设为完善模型的无延迟的过程。这与史密斯预估器是一样的。对一个无延迟的一阶过程模型，直接综合法对设定值控制器设计是直接了当的。设所需闭环系统的设定值响应

为  $H_{re}(S) = G_r(S) e^{-de}$ 。使 (3-7) 式等于  $H_{re}(S)$ ，则：

$$G_{c1}(S) = \frac{1}{G^*_{p}(S)} \frac{G_r(S)}{1 - G_r(S)} \quad (3-9)$$

对由 (3-8) 式描述的过程模型，所需  $G_r(S)$  可选为：

$$G_r(S) = 1/(T_e s + 1) \quad (3-10)$$

这里  $T_e$  为所需闭环时间常数。将 (3-10) 式代入 (3-9) 式，得：

$$G_{c1}(S) = \frac{T^*_{p}}{3k^*_{p}d^*} \left(1 + \frac{1}{T^*_{p}}\right) \quad (3-11)$$

(3-11) 式是一个 PI 控制器，带有控制器增益  $K_{c1}$  和积分时间  $T_{i1}$ ：

$$K_{c1} = T^*_{p}/(K^*_{p} T_e), \quad T_{i1} = T^*_{p} \quad (3-12)$$

选择  $0 < T_e < T_e^*$  或  $T_e \geq T_e^*$  则分别产生超前控制或滞后控制。当  $T_e = T_e^*$  时，开环时间常数保持在闭环系统中。

直接综合法不适用于负载控制器设计。因为负载响应  $T_e(S)$  中的分子分母都有延迟项。为简明起见，负载控制器设计中采用了 PI 型控制算法。但这并不意味着只能用 PI 控制来设计负载控制器。传统的 PI 调节方法不能直接用于带固有延迟的过程。尽管荷尔曼公式对于固有延迟过程保守了些，但是它的结果是可用的。现对荷尔曼公式作些改进，用于负载控制器。对一阶加延迟过程模型 (8)，荷尔曼的 PI 控制器参数为：

$$K_c = \frac{2 T^*_{p}}{3 k^*_{p}d^*}, \quad T_i = T^*_{p} \quad (3-13)$$

如果有固有时间延迟，对荷尔曼的控制器增益和积分时间引入修正因子  $\alpha$ ，以便加速负载响应：

$$K_{c2}=\alpha K_c, T_{i2}=\alpha T_i, \alpha \geq 1 \quad (3-14)$$

这里  $\alpha=1$  时，就与荷尔曼原式 (3-13) 一样，适当选择  $\alpha$  值，会产生大增益裕度和相裕度。

举例，设过程近似为模型 (8) 中的一阶加延迟，设  $K_p^*=2$ ， $T_p^*=0.8$ ， $d^*=4$ 。采用图 3-8 中的双控制器方案。为了调节 PI 设定值控制器，等式 (3-10) 中的闭环时间常数  $T_e$  设为与开环时间常数  $T_p^*=0.8$  一样。领先于 PI 设定值控制器设定的  $K_{c1}=0.5$  和  $T_{i1}=0.8$  (见式 (3-12))。对于负载控制器，修正因子  $\alpha$  先为 2.5。等式 (3-13) 和 (3-14) 的相应 PI 负载控制器设为  $K_{c2}=1/6$  和  $T_{i2}=2$ 。像先前的仿真例一样，在  $t=0$  处引入一个在设定值上的正阶跃变化；在  $t=100$  处引入一个负阶跃激励信号作为负载扰动。为对比在同一情况下的两种方案的行为，将它们调为在正常情况下有同一设定响应。这意味着，使用双控制器方案的设定值控制器和史密斯预估器具有相同的 PI 控制器设定。

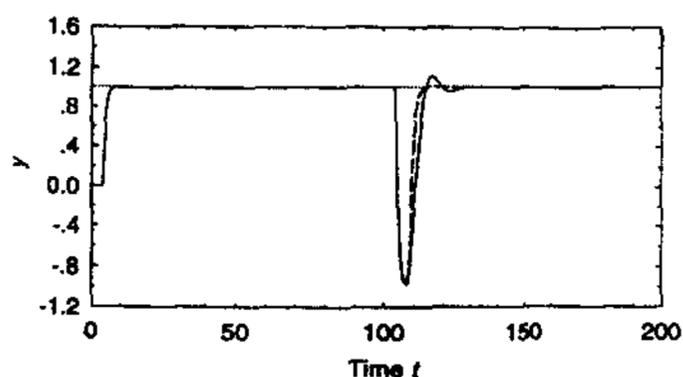


图 3-9

图 3-9 所示为在完善过程模型下，双控制器方案（实线）和史密斯预估器（虚线）的响应。这两系统的设定值响应互相交织在一起，这说明两系统具有相同的设定值跟踪性能。双控制器方案的负载响应稍微落后于史密斯预估器的响应，从而调合了不可避免的模型不确定性。

对所有下面的仿真，过程模型及其控制器设定均不改变；而过程动态则按系统的不确定性延时和动态情况变化。为节省篇幅，过程时间常数的变化和过程增益这两个影响闭环系统特性但又不像过程延迟和过程动态变化那样强烈的因素就不考虑了。对于延迟时间变化，仿真表明，史密斯预估器在  $d > 5.2$  或  $d < 2.7$  时不稳定，而双控制器方案则在  $0 < d < 9.9$  之间均稳定。图 3-10 所示为  $d=3$ ，双控制器方案（实线）和史密斯预估器方案（虚线）的响应。双控制器的设定值跟踪快，并且负载阻尼好，没有明显的振荡。这说明双控制器优于史密斯预估器。

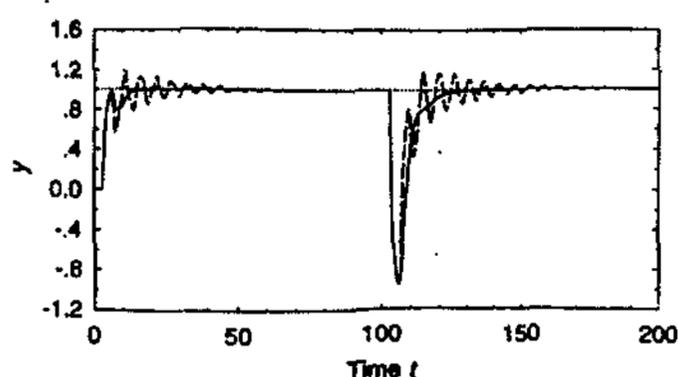


图 3-10

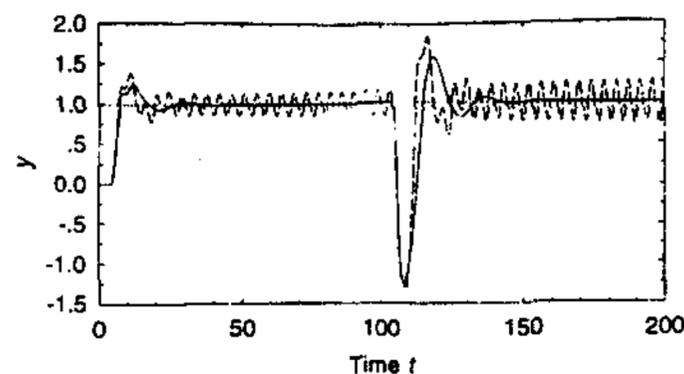


图 3-11

如图 3-11 所示, 如果过程动态从原来的一阶加延迟变化为欠阻尼高阶加延迟, 即:

$$P(S) = 2 / ((0.8S+1)(S^2+0.7S+1)e^{-4S})$$

则史密斯预估器变得不稳定以致不能工作。相反, 双控制器工作很好, 当过程动态变化也是如此。这些仿真结果表明, 双控制器方案可得到出色的鲁棒性, 快速设定值跟踪和良好的负载阻尼。这个方案使负载阻尼和设定值跟踪控制可以分开。这就可能设计一种负载控制补偿大系统的不确定性, 而同时一个分开的设定值控制器保持快速设定值响应。

### 3.3 讨论和结论

多控制器方案已在工业中应用。比如, 在多输入多输出系统中, 多控制器免去了不同控制回路的集成过程。串级控制也用了两个控制器, 主控制器在外环, 从控制器在内环, 压制了负载作用, 加速了设定值响应。然而, 这些多控制器方案不能将负载阻尼和设定值跟踪解耦。本方案可在一个系统中得到负载阻尼和设定值响应的最佳设计。

结论为: 一个简单实用的双控制器方案可在闭环系统中将负载阻尼响应与设定值响应分离。在传统的那种单控制器方案所需的两种响应的折中就不再需要。双控制器方案中有两个控制器, 一个设定值控制器和一个负载阻尼控制器。这两种性能可分别设计。本方案已应用于两个困难的控制问题:

- (1) 过程不确定性系统中的设定值跟踪;
- (2) 带固有延迟时间的过程控制。

在这两种情况下，双控制器方案均工作得很好，如果采用更复杂的控制算法，本方案可进一步改进，但本文仅讨论这一方案，作者相信，这一简单的控制方案可应用于许多工业系统。

## 结 束 语

随着计算机技术和网络技术的飞速发展，DCS 工作站必须采取全面开放的应用技术，并且在各应用领域考虑的问题不仅仅是控制问题，更多的是系统的稳定、安全和实用，只有这样才能在市场上站稳脚跟，以求进一步发展。

多控制系统在工业中的应用技术也将随着发展而不断地改进设计，从而取得更加良好的应用效果。

## 参 考 资 料

- |                 |               |              |
|-----------------|---------------|--------------|
| 《自动化仪表与过程控制》    |               | 电子工业出版社      |
| 《热工参数测量与仪表》     |               | 电力工业出版社      |
| 《集散型控制系统基础》     |               | 机械工业出版社      |
| 《自动化与仪器仪表》      |               | 重庆工业自动化仪表研究所 |
| 《热工仪表和控制设备的安装》  |               |              |
| 《自动化仪表》         |               |              |
| 《工业仪表与自动化装置》    |               |              |
| 《仪表控制》          |               |              |
| 《过程控制》          |               | 清华大学出版社      |
| 《过程控制系统》        | 涂植英编          | 机械工业出版社      |
| 《全程给水控制系统》      | 张琪琛编          | 华北电力学院       |
| 《过程控制系统工程设计》    |               | 工业出版社        |
| 《计算机控制原理及其应用》   |               | 浙江大学出版社      |
| 《微机控制仪表及系统》     |               | 陕西省科技出版社     |
| 《自动调节原理》        |               | 南京工学院出版      |
| 《自动控制原理》        |               | 冶金工业出版社      |
| 《自动化系统设计手册》     |               | 化工工业出版社      |
| 《自动化仪表常用数据》     |               | 化工工业出版社      |
| 《分散控制系统的工业过程应用》 |               | 石油化工出版社      |
| 《计算机新型控制策略及其应用》 | 袁南儿、王万良、苏宏业编著 | 清华大学出版社      |
| 《过程计算机控制》       | 王锦标 方崇智 编著    | 清华大学出版社      |
| 《自适应控制》         | 冯纯伯、史维        | 电子工业出版社      |
| 《现代控制理论》        | 刘豹 主编         | 机械工业出版社      |
| 《计算机控制理论及应用》    | 孙增圻           | 清华大学出版社      |
| 《工业自动控制系统》      |               | 华中工学院        |

## 作者从事技术研究和学习经历的简历

- 1990年—1994年 在大连理工大学电子工程系学习，毕业取得学士学位。
- 1994年—1998年 在首钢通讯设备公司工作，从事工业用程控交换机、对讲机 DKQ 系列产品的研制和开发。
- 1998年—现在 在首钢电讯公司工作，从事首钢电话交换机和拨号上网工程等科研项目的研究开发工作。