

# 烟叶复烤设备电控系统的设计开发

## 摘要

烟叶复烤是烟叶初烤后的再调制加工过程,这直接关系到卷烟工业的生产。本文中设计了两套独立的控制系统,采用以 PLC 控制为主、万用数字控制器(UDC)控制为后备的方式。

通过对控制系统功能的分析,确定了控制系统的配置,利用热电偶、湿度传感器、压力传感器等,使用西门子 PLC 和 UDC,采用 PID 调节的控制方法,对生产过程参数进行控制;本控制系统使用了当前流行的 Profibus 总线,将变频器与 PLC 的数据交换通过总线来实现,节约了成本,使得系统扩展不受现场状况的限制。

具有友好的人机界面,通过各种监控画面,使操作人员可以现场监控设备的工作状况并实时做出调整。

使用 S7-PLC SIM 仿真软件和 ProTool/Pro RUN 运行软件,对生产现场设备进行了模拟运行,测试了 PLC 程序的可执行性,预先估算出 PID 调节的比例、积分参数,加快了现场对控制系统调整的进度。

关键词: 烟叶复烤, 电控系统, 可编程控制器, 软件, 仿真

# **The Design and Development of the Electric Control System for Tobacco Redrying Machines**

## **Abstract**

Tobacco redrying is a re-curing process after the tobacco drying for the first time, which has direct impact on the production of cigarette industries. This thesis designs two separate control systems, applying the PLC control as chief means and the UDC control as stand-by.

By analyzing the function of control systems, the configuration of the control systems is determined to control parameters in the production process, in which thermocouples, humidity sensors and pressure sensors are used, the PLC from Siemens and UDCs are utilized, and the control of the PID adjustment is adopted. The control systems make use of the currently popular Profibus, by which the exchange of data between inverters and PLC is achieved, thus the cost can be saved, and the system extension will not be confined by conditions on the spot.

With a friendly man-machine interface, an operator can monitor and control the running of the machine and make real-time adjustment on the spot by every monitoring and control interface.

The simulation running of the machine was performed on the spot by using the S7-PLC SIM Emulation Software and the ProTool/ Pro RUN running Software, performability of the PLC Program was tested, the ratio and integral parameters of the PID adjustment were estimated in advance, and the adjustment schedule of the control systems on the spot was quickened.

**Keywords:** Tobacco redrying, Electric control system, PLC, Software, Emulation

## 插图清单

图 2-1 电控系统框图 .....	6
图 2-2 工作模式转换控制接线示意图 .....	7
图 2-3 电机控制回路接线 .....	8
图 2-4 温度控制信号示意图 .....	9
图 2-5 CAMFLEXR II 气动阀简图 .....	10
图 2-6 UDC3300 操作面板 .....	10
图 2-7 UDC3300 控制器输入端子接线 .....	11
图 2-8 UDC 控制器 4-20mA 信号输出端子接线 .....	12
图 2-9 水份控制信号流程 .....	12
图 2-10 FB41 功能块图 .....	13
图 2-11 模拟信号标准化 .....	14
图 2-12 死区宽度对误差信号的影响 .....	15
图 2-13 主屏幕菜单显示 .....	20
图 2-14 PLC 模块配置 .....	22
图 2-15 主机架模块配置 .....	23
图 2-16 PLC 通讯配置 .....	24
图 3-1 STEP7 操作界面 .....	25
图 3-2 CPU 程序框图 .....	26
图 3-3 设备启停控制画面 .....	26
图 3-4 设备工作模式控制块调用 .....	27
图 3-5 2 号电机自动模式下控制程序 .....	28
图 3-6 2 号电机控制块 .....	28
图 3-7 模拟信号控制流程 .....	29
图 3-8 模拟量地址分配和信号转换 .....	30
图 3-9 FB102 中时间单位转换 .....	31
图 3-10 烤片机模拟控制程序块 FC10 .....	32
图 3-11 PROFIBUS 通讯网络结构 .....	33
图 3-12 FB56 功能块的调用 .....	33
图 3-13 FB56 功能块中读取变频器数据程序 .....	34
图 3-14 故障报警信号程序段 .....	35
图 4-1 ProTool 典型应用 .....	36
图 4-2 设备状态画面 .....	37
图 4-3 设备状态与地址关系 .....	38
图 4-4 干燥区 1 温度设定 .....	38

图 4-5 主网筛自动加油器控制按钮组态 .....	39
图 4-6 烤片机电机启停控制画面 .....	40
图 4-7 模拟量控制管理画面 .....	40
图 4-8 烤片机干燥区 1 的温度 PID 控制界面 .....	41
图 5-1 S7-PLC SIM 操作界面 .....	42
图 5-2 仿真功能块 FC1 .....	43
图 5-3 设备启停模拟控制 .....	44
图 5-4 比例系数 P 的估算 .....	45
图 5-5 积分时间常数 I 的估算 .....	46
图 5-6 P、I 参数值较小时温度曲线 .....	47
图 5-7 P、I 参数值较大时温度曲线 .....	48

## 表格清单

表 2-1 FB41 功能块的输入参数 .....	15
表 2-2 FB41 功能块的输出参数 .....	16
表 2-3 S7-300 模块的电流耗量和功率损耗（24VDC 负载电源） .....	23

## 独 创 性 声 明

本人申明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得合肥工业大学或其它教育机构的学位或证书而使用过的材料，与我一同工作过的同志所做的任何贡献已经在论文中做了说明并表示谢意。

学位论文作者签名：胡发运 签字日期：2007年1月13日

## 学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解合肥工业大学有关保留、使用学位论文的规定，有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅。本人授权合肥工业大学可以将学位论文的全部或部分内 容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文。

(保密的学位论文在解密后使用本授权书)

学位论文作者签名：胡发运

导师签名：尹. S. 洪

签字日期：2007年1月13日

签字日期：2007年1月13日

学位论文作者毕业后去向：

工作单位：华环国际烟草有限公司

电话：0550-6676081

通讯地址：安徽凤阳门台子

邮编：233121

## 致 谢

对于本论文的各项工 作，我的导师尹志强教授和李涛高级工程师给予了热情的关怀和悉心指导，课题实施过程中得到了华环国际烟草有限公司全体员工的大力协助，得到了爱人及家中其他人员的大力支持，在此表示深深的谢意。

最后向百忙中评审本论文的各位专家、教授以诚挚的谢意！

# 第一章 绪论

## 1.1 项目来源

项目来源：华环国际烟草有限公司 2003 年“烟叶复烤机改造项目”。

## 1.2 烟叶复烤简史

烟叶复烤是烟叶初烤后的再调制加工过程。烟叶经过复烤加工，进一步促使其理化性质发生变化，提高烟叶内在品质，有利于烟叶的长期贮存和适应卷烟工业的使用需要<sup>[2]</sup>。

复烤工业是与烤烟生产同时发展起来的，复烤技术由外国传入中国。1915 年山东建成国内第一座干燥、回潮的土烤房，以后经过进一步发展、完善，形成挂杆复烤工艺。国际上从 20 世纪 60 年代起开始将挂杆复烤改为打叶复烤，即将卷烟厂切丝前的工艺，如回潮、摆把、切尖、喂料、打叶、贮叶等，全改在打叶复烤厂进行，从而为卷烟厂工艺改革、减少厂房提供有利条件。现今打叶后叶片的复烤方法主要采用网带式复烤工艺，具有工艺简单、运行可靠、节省能源、烟叶破碎率低、烟叶大片率高等优点，自 20 世纪 60 年代我国开始探索打叶车复烤技术，90 年代开始全面推广应用。<sup>[1][3][4][5]</sup>

叶片复烤电气控制系统用于叶片复烤机械动作的控制、叶片流量的控制、叶片复烤干燥段内气流温度控制、冷房温度控制、叶片水分的监测和控制等，控制范围从叶片进入复烤机直到烤后烟叶向包装工段输送为止，它是打叶复烤线控制最为复杂的工段之一，它不仅涉及逻辑变量的控制，而且还需要对温度、压力、湿度、水分等模拟量进行调节。在 90 年代前，由于我国在复烤设备方面的水平较低，许多厂家仍在使老式的挂杆复烤工艺，因此控制水平较低，许多挂杆复烤设备采用人工调节阀门的方式控制，国内带试验性质的打叶复烤新工艺也只是增加了部分仪表。而 90 年代以后，随着老式的挂杆复烤设备开始淘汰，从国外引进先进的生产设备和技术上国内的消化，打叶复烤行业的设备和控制技术逐步提升，从人工阀门控制到仪表控制，然后逐步向 PLC 控制发展，最近又开始向网络方面发展。

### 1.1.1 复烤的作用

#### (1) 调整烟叶水份

复烤的目的之一是进一步排出和调整烟叶水份，使之达到国家标准规定的水份含量 11—13%，并且均衡一致，既可防止烟叶霉变，又有利于烟叶的自然

发酵，提高烟叶品质。<sup>[6]</sup>

(2) 排除烟叶杂质和杂气

通过复烤的风力和高温的作用，去除烟叶表面的灰尘、杂质、茸毛等，游离烟碱的挥发和生青气、氨气、辛辣气味的散发，使烟叶的刺激性减少，香味变纯，吸味改善，烟质得到提高。

(3) 杀死烟叶害虫和病菌

原烟在复烤高温的作用下，不仅附着在烟叶表面的霉菌和害虫被杀死，而且由于烤后水份的降低，使烟叶中的菌虫失去滋生的条件。即使是将要霉变的烟叶，也会因为高温杀菌而得到抑制，有利于安全贮存。

(4) 有利于烟叶的自然醇化

复烤后的烟叶吸湿性有所减弱，有利于在低湿条件下缓慢发酵，既可保持烟叶原有色泽，又可使烟叶品质得到好转。

### 1.1.2 改造前公司烟叶复烤机概况

华环国际烟草有限公司打叶复烤生产线是1994年从国外引进，打叶设备和打包设备均是当时最新设备，叶片复烤机属于二手设备，是20世纪70年代产品，由著名的生产商普劳克特公司生产，虽经过不断改进，但由于总体性能较落后，已不能很好地适应新的工艺和生产指标要求，主要表现在以下几个方面：

(1) 烤房的温度过高

旧烟叶复烤机的烤房（即干燥区）由五部分组成，第一间烤房的温度在80—90摄氏度范围内，第二间烤房的温度在100—120摄氏度范围内，第三间烤房的温度在95—110摄氏度范围内，第四间烤房的温度在90—105摄氏度范围内，第五间烤房的温度在80—100摄氏度范围内。由于复烤中叶片的温度超过70—75摄氏度时，烟叶的内部组织发生明显变化，理化特性变差，有效成份损失严重，体积收缩加剧，故旧烟片复烤机已不适应现代低温慢烤的工艺要求。

(2) 烤房的排湿仅人工调节

烟叶经过复烤机的烤房后，会失去水份，为取得良好的干燥效果并节约能源，需对各烤房内空气湿度进行调节。由于无湿度检测和自动调整装置，因此只能靠工作人员凭经验调整。

(3) 回潮前叶温较高

在烤房后是冷房（冷却区），其作用是将烘烤后的烟叶温度降低，以利于在回潮时调整烟叶中的水份。由于烤房温度过高，使得烟叶经过冷房的冷却后，其叶温仍很高，不利于后续工段的控制。

(4) 下机叶温过高

烟叶的回潮在潮房（回潮区）中进行，利用水与蒸汽的混合物，通过风力

的输送，使烟叶经过潮房后其水份含量达到长期贮存的要求。由于回潮时加水量是由手动阀门控制，一般不做经常性调整，烟叶含水量的调整是通过控制蒸汽的流量实现。同时，在潮房无温度控制设备，这就使得烟叶温度的降低面临更大的困难，在夏季，受环境温度和散热条件的限制，烟叶离开复烤机后其叶温经常在 55 摄氏度以上，虽采取了加装风扇等降温措施，使叶温降到 52 摄氏度以下，但同时烟叶变脆，表层烟叶损失水份严重，使烟叶包装中破碎率加大。

### 1.1.3 设备的调整

鉴于原复烤设备已不能很好地适应现在生产的实际需要，而进一步改造不能从根本上解决问题，故采取更换设备的方法，由此需要重新设计一套电气控制系统。

## 1.3 课题的任务与实现方法

本课题涉及到引进的美国普劳克特公司的叶片复烤机，复烤机的工艺参数要求为：

进入叶片复烤机烟片水份：  $19 \pm 1\%$

离开烤房（即冷房中）烟片水份：  $9 \pm 1\%$

离开潮房烟片水份：  $12\% \pm 1\%$

烤房最佳烘烤温度：  $70^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ （平均  $75^{\circ}\text{C}$ ）

冷房温度：  $45^{\circ}\text{C} \sim 55^{\circ}\text{C}$

潮房温度：  $55^{\circ}\text{C} \sim 65^{\circ}\text{C}$

本课题的任务是设计一套电控系统，能满足现叶片复烤机的各项控制要求，其主要控制功能要求如下：

1、PLC 或触摸屏故障时，使用 UDC3300 控制器、按钮、继电器等实现烟叶复烤机的各项控制功能，即以 PLC 控制系统为主，UDC 控制系统作为紧急后备。

2、PLC 控制时，系统应能分别对烤房各区温度、冷房温度、潮房各区温度进行控制。

3、PLC 系统能实现对各烤房湿度进行自动控制。即烤房的每一个排湿风口都安装一个相对湿度传感器，PLC 系统通过相对湿度传感器来使每一间烤房进气和排气风门自动调节，以实现湿度控制。

4、PLC 系统应能对下机烟叶水份进行自动或手动控制。

5、PLC 系统控制时，控制参数的输入和显示可以通过 MP370 触摸屏进行。

6、PLC 系统应能实现各电机的启停控制并显示设备运行状况。

7、同时，原来已有的烟梗复烤机的控制任务也由上述系统实现，故在 PLC

系统的设计中考虑到了烟梗复烤机的需求。

鉴于上述控制要求，为了简化 PLC 程序设计、满足备用 UDC 控制系统的要求，并使系统具有一定的扩展能力，控制系统选用西门子 S7 系列具有 PROFIBUS 接口<sup>[7][8][9][10]</sup>的 315-2DP 型 PLC 与 MP370 触摸屏（12"），变频器使用具有通讯能力的西门子 MM420 系列<sup>[45][46][47]</sup>，利用 PROFIBUS 总线实现 PLC 与变频器的通讯。另外，配置 UDC3300 控制器，在 PLC 系统或触摸屏故障时用于紧急后备。

对于电机的控制，在 PLC 模式下，通过触摸屏上按钮，可以选择自动启动或手动单台启动工作方式。

对于温度的控制，选用热电偶测量各烤房、冷房、潮房温度，采取合适的接线方式与执行机构进行温度控制。

为控制各间烤房湿度，在各烤房的排湿管道中安装湿度传感器，并在各烤房的出风管道上加装调节风门，以控制进出风量大小，从而调节湿度。

烤后烟叶水份的控制是通过 TM710 红外水份仪和高压喷雾泵实现。TM710 红外水份仪将探测到的回潮后烟叶在线水份，以 4-20mA 信号送到 PLC 或 UDC 控制器，通过变频器，实现对高压喷雾泵速度的自动或手动调节，以调节加水量的大小，从而调节烤后烟叶中的水份含量。

MP370 的作用是在使用 PLC 控制时，从触摸屏上输入控制参数，并对各测量值以一定时间段内的曲线形式进行趋势显示。同时 MP370 使用四种图案颜色显示各电机的运行状态。

#### 1.4 本文内容安排

本文共分七章。主要内容是围绕烟叶复烤机的控制要求，选用合适的控制元件，达到正确控制生产的目的，重点讨论了烤片机 PLC 控制原理、模拟量的控制和程序设计，最后给出现场运行数据。

第一章“绪论”，主要介绍了选题的背景、课题的任务和实现方法。首先介绍了烟叶发展简史和复烤的作用，进而介绍了华环国际烟草有限公司中旧烟叶复烤机的缺点和对新复烤机的工艺参数要求，最后概略介绍了对电气控制功能的要求和实现方法。

第二章“电控系统组成与工作原理”，是本文的重要部分之一，主要分析了控制系统的组成、功能需求，着重介绍了 PLC 系统的配置和模拟信号的控制原理与 PID 算法。

第三章“西门子 S7-315-2DP CPU 程序设计”，主要介绍 PLC 中程序结构，说明了控制机理。

第四章“人机界面的软件设计”，主要介绍触摸屏具有的功能和人机界面的软件设计。

第五章“程序仿真与结果分析”，介绍了仿真软件的使用，并对仿真结果进行了初步分析，最后对现场测试结果进行了分析。

第六章“结论”，总结了控制系统的仿真和现场使用效果，给出了系统存在的不足和下一步研究方向。

## 第二章 电控系统组成与工作原理

叶片复烤机电控系统的主要任务是实现开关量和模拟量信号的检测与控制，重点是对温度、压力、湿度和烟叶水份的的测量与控制，系统组成的核心是 PLC 和 UDC 控制器。在正常情况下，主要使用 PLC 实现各种信号的控制和显示，对于车间跟机维修人员来说，由于掌握 PLC 的使用较困难，为避免 PLC 故障时导致长时间停机，故另外设置了 UDC 控制系统，以迅速恢复生产，减小经济损失，为 PLC 故障排除创造有利条件。

### 2.1 电控系统组成

电控设备主要由 PLC 模块、UDC 控制器、触摸屏、继电器线路、各测量元件、执行器、电机和通讯总线等组成。电控系统框图如图 2-1 所示。

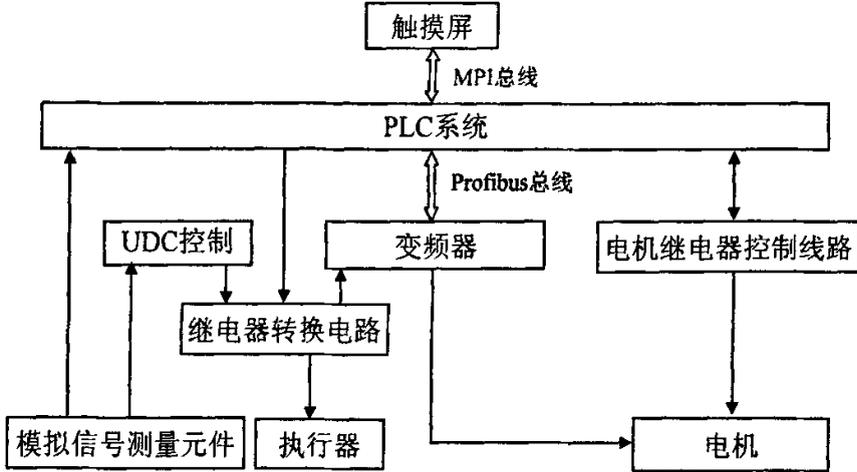


图2-1 电控系统框图

PLC 系统主要由电源和各模块组成，CPU 模块选用 S7 系列 315-2DP，具有分布式 Profibus 接口和 MPI (multipoint interface) 接口，使用 Profibus 数据总线将变频器连接到 CPU 模块的 Profibus 接口，通过 PLC 程序，实现相互数据的传递，连接中使用 T 型接头，保留一 Profibus 接口，使得编程设备可以通过 Profibus 接口在线监测 PLC 的运行。CPU 模块的 MPI 接口与触摸屏 MP370 连接，通过触摸屏，操作人员可以实时监视设备的运转状况，监视温度、压力、水份等测量值实时值，通过曲线图（30 分钟和 24 小时）了解一定时间内工艺参数的实际情况。



进行联锁，即在 UDC 工作模式下，PLC 输出模块无 220VAC 电源供应，则开关量输出信号和模拟输出信号被禁止输出，KA2—KA10 是继电器，利用其触点组成各台电机的继电器控制回路。

数字量信号的控制。数字量控制的主要范围是电机的顺序控制，此外考虑对其它设备状态的监控，如系统电源等。

启停控制原理。PLC 控制时，每台电机的继电器控制回路均使用一常开继电器触点，用于 PLC 数字量信号的输入，PLC 检测输入信号的状态，并结合输出信号状态，以判定电机的三种工作状态，即停止、运转和故障，同时对应应在触摸屏上以不同的颜色进行显示，供操作员监测设备运转情况用。电机控制回路接线原理如下图 2-3 所示。

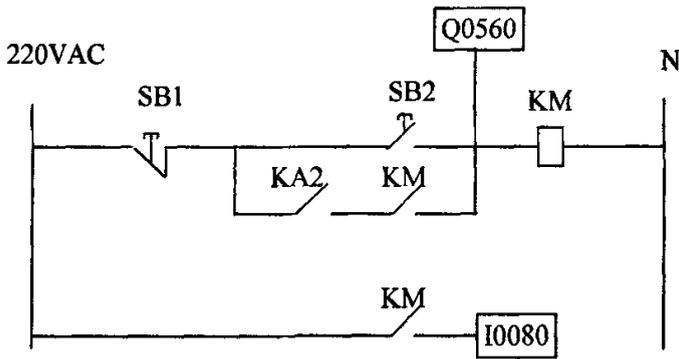


图2-3 电机控制回路接线

图中，I0080 为 PLC 输入信号，Q0560 为 PLC 输出信号。当选择 UDC 工作模式时，KA2 触点处于吸合状态，使用 SB1、SB2 按钮启停电机；在 PLC 模式下，KA2 触点断开，SB2 按钮仅可用于点动功能，电机的启停通过触摸屏上设置的相应功能按钮进行，根据实际需要，可以进行电机的连续自动启动或单台手动启动。

PLC 控制方式。在 PLC 控制模式下分手动和自动两种，可以通过触摸屏上功能按键选择。第一种是手动，操作人员从触摸屏进行单台电机控制，操作人员根据实际需要自由启动或停止某台电机，并且不影响其它电机的运转状态；第二种自动启停控制，操作员只需按下自动启动按钮即可，电机按要求的顺序逐一启动，运行中，某一电机因各种原因停止运行后，为防止堵料的发生，相关连的电机会自动停止运行。对于上述两种启动方式，任意设备故障时，在触摸屏上将会显示相应的故障信息通知操作员处理，同时控制柜上的电笛发出声响警报。

## (2) 模拟量的控制

模拟量的控制，是本电气控制系统的核心任务，主要对叶片复烤机的温度、压力、湿度、烟叶水份、速度等模拟信号进行测量与控制。在 PLC 模式下，通过

标准功能块 FB41 实现各模拟量的控制<sup>[27][43]</sup>；在 UDC 模式下，由具有 PID 计算功能的单个 UDC 通用控制器分别对各模拟量进行控制。

### 1) 温度控制

与温度控制相关的电气设备有继电器组成的信号转换装置、热电偶、CamflexR II 控制阀、UDC3300 控制器、PLC 系统的模块等，共有九处需要进行温度控制（烤房五处，冷房一处，潮房三处）。信号传输与控制框图如图 2-4 所示。

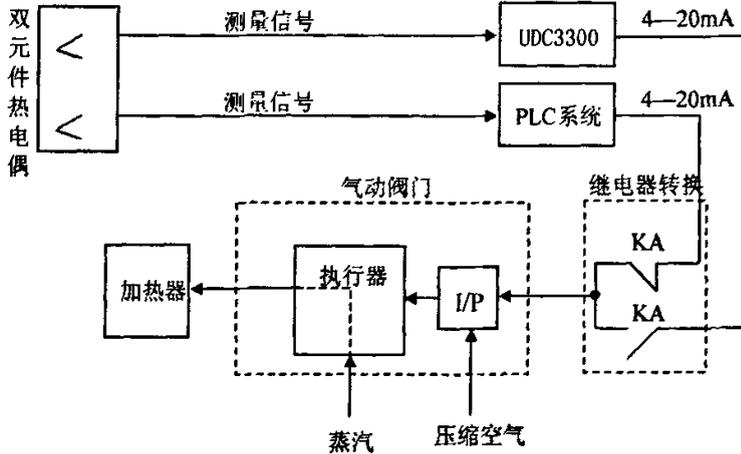


图2-4 温度控制信号示意图

图 2-4 中，双元件热电偶内部有两个独立测量元件，温度信号用专用补偿导线分别接到 UDC3000 控制器和 PLC 的热电偶信号输入模块上，根据选用的控制方式的不同，通过继电器转换装置，PLC 或 UDC 的输出 4-20mA 信号送至 CamflexR II 气动控制阀的 I/P 转换器上，从而控制进入加热器的蒸汽流量，达到使烤房温度稳定的目的。

气动执行阀。35002 系列 CamflexR II 气动执行阀由美国 DRESSER INDUSTRIES INC. 生产，主要用于控制进入散热器的蒸汽流量大小。CamflexR II 气动控制阀的基本设计思想是基于包含在为自由流体设计的 ANSI 600 等级阀体中的球形偏心旋转柱塞之上。柱塞和轴与弹簧反作用的薄膜传动装置及手动转盘相连接以实现转动。其工作过程如图 2-5。

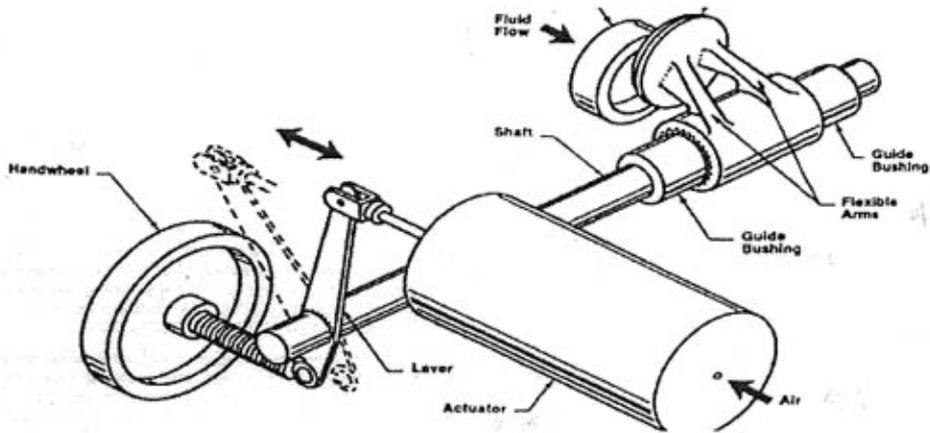


图2-5 CAMFLEXR II 气动阀简图

与阀配套的执行器安装有压缩空气，以反向抵消柱塞上受到的动态力矩。图中，流体要顶开柱塞，而执行器通过压缩空气压力的增加使柱塞定位。在无压缩空气时，弹簧的作用力使阀心翻转过来以关闭阀门。气动阀上装有配套的 I/P 转换器，将 4-20mA 控制信号转换成压力信号，以控制开启度大小，从而控制进入加热器的蒸汽流量。

UDC3300 通用数字控制器。UDC3300 通用数字控制器由 Honeywell 公司生产，有完整的 PID 控制功能，操作简单，运行可靠。操作面板如图 2-6 所示。

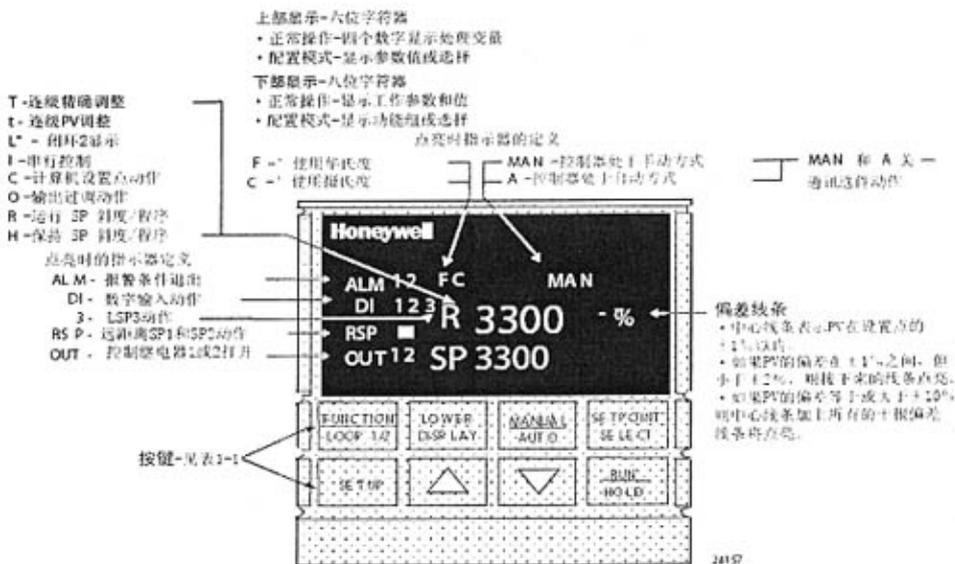


图2-6 UDC3300 操作面板

UDC3300 控制器接收热电偶测量信号，与设定值比较，经过 PID 计算，从而输出 4-20mA 信号控制执行设备。UDC3300 控制器输入信号端子接线如图 2-7。

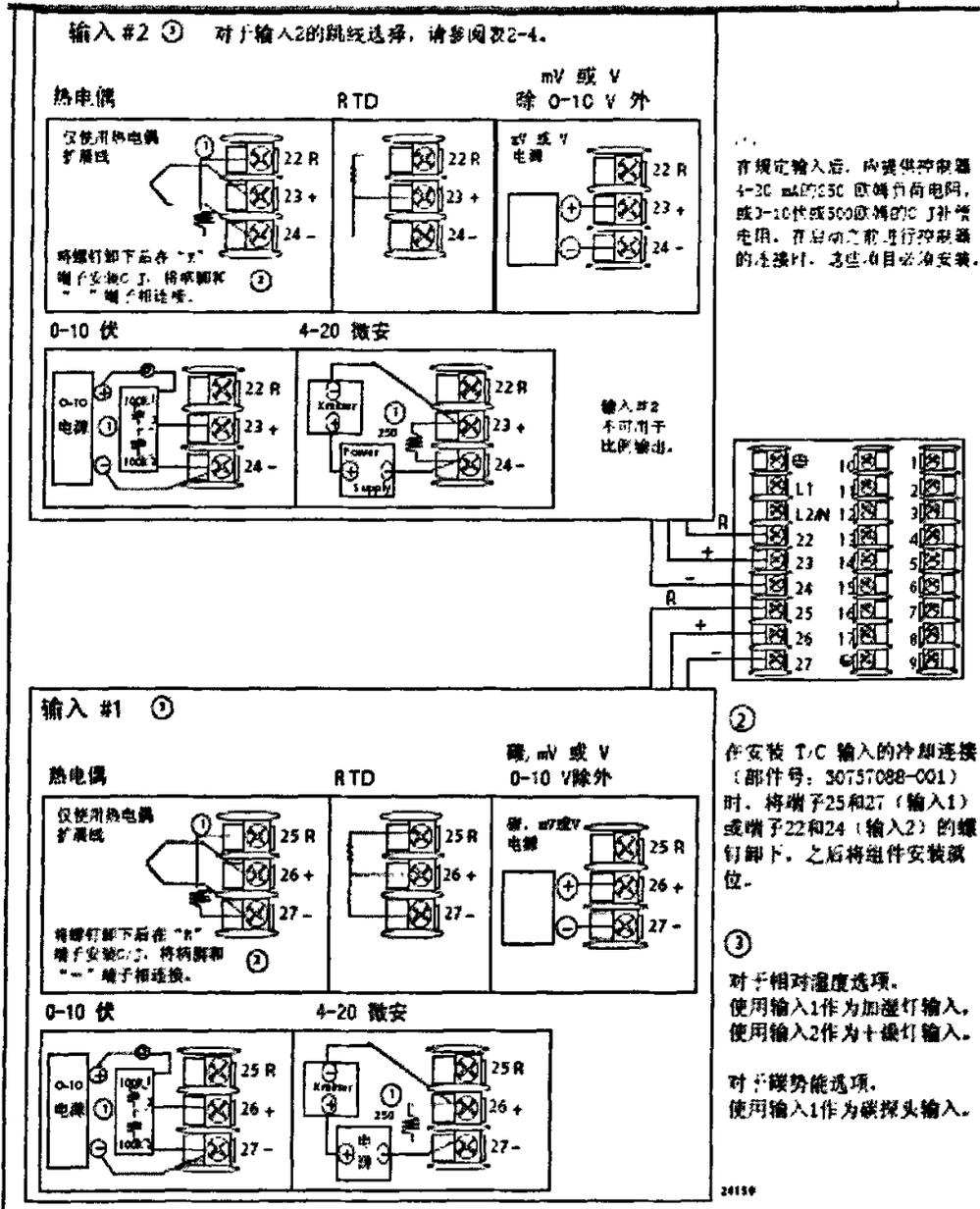


图2-7 UDC3300 控制器输入端子接线

热电阻信号用专用补偿导线接至端子 26 和 27 上, 并按要求并接 500 欧电阻, 热电阻的分度号、PID 控制参数均通过操作面板在 UDC 控制器中进行选择或调整。UDC 控制器的输出为 4-20mA 信号, 从端子 2 和 3 引出, 如图 2-8。

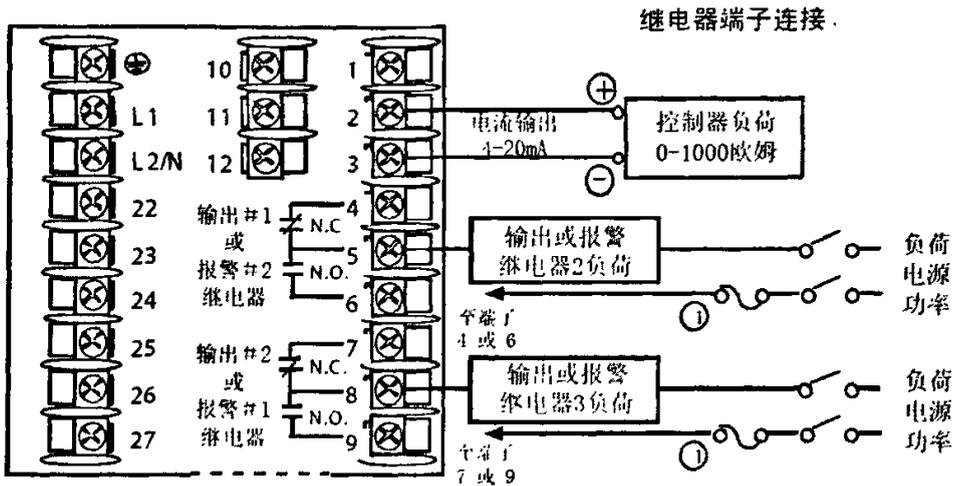


图2-8 UDC 控制器 4-20mA 信号输出端子接线

## 2) 烟叶水份控制

烤后烟叶水份的大小直接影响烟叶的贮藏,当烟叶中水份在合适范围内时,既可防止烟叶霉变,又有利于烟叶的自然发酵,提高烟叶品质。烟叶经烤房烘烤后,在冷房中降温并使叶片中水份均衡,离开冷房时烟叶水份在  $9 \pm 1\%$ , 然后进入潮房加湿,信号的传输与控制框图如图 2-9 所示。

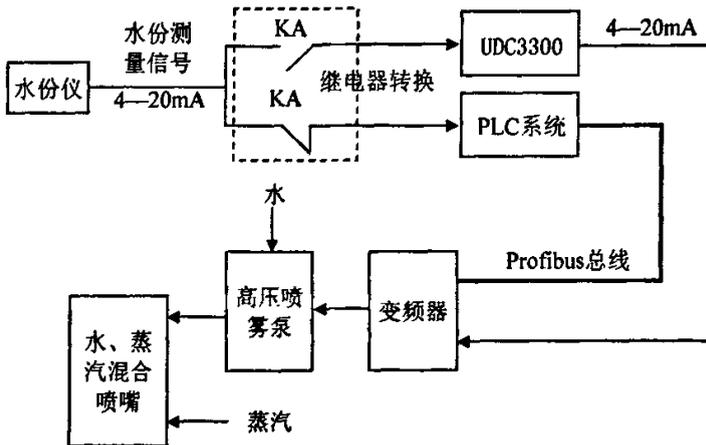


图2-9 水份控制信号流程

烟叶水份的控制主要通过高压泵速度的自动调整来实现,高压泵转速的高低决定了加水量的大小。为实现 PLC 和 UDC 控制的转换,输入信号通过继电器触点送给 PLC 或 UDC,输出信号通过不同的通道送至变频器来控制高压泵速度。

## 3) 其它模拟量的控制

湿度控制主要是为了控制各间烤房的湿度,在使烟叶达到规定水份要求的情况下,尽可能提高烤房湿度,以减少能耗。此外,还有压力、速度等控制,

它们的控制原理与烟叶中水份的控制相同。

(3) FB41 功能块的 control 功能

FB41 功能块是一标准的、通过软件实现的 PID 控制功能块<sup>[36][43]</sup>，以标准块的形式随 STEP7 软件一起安装，可以直接调用。在 PLC 模式下，FB41 用于对模拟信号控制，功能块相当于一个子程序，在 PLC 程序中可以多次调用，只要 PLC 存储器运行速度允许，不受调用次数限制。调用 FB41 功能块后，可以预先设定输入和输出参数的初始值，也可以在使用中通过触摸屏等设备改变 PID 参数值。FB41 功能块由许多下一级功能组成，如设定值的输入，比例、积分、微分作用均可以启用或关闭，以组成 P、PI、PD、PID 控制器，模拟信号的输出可以选择来自于 FB41 功能块或人工输入等，功能块图如图 2-10 所示。

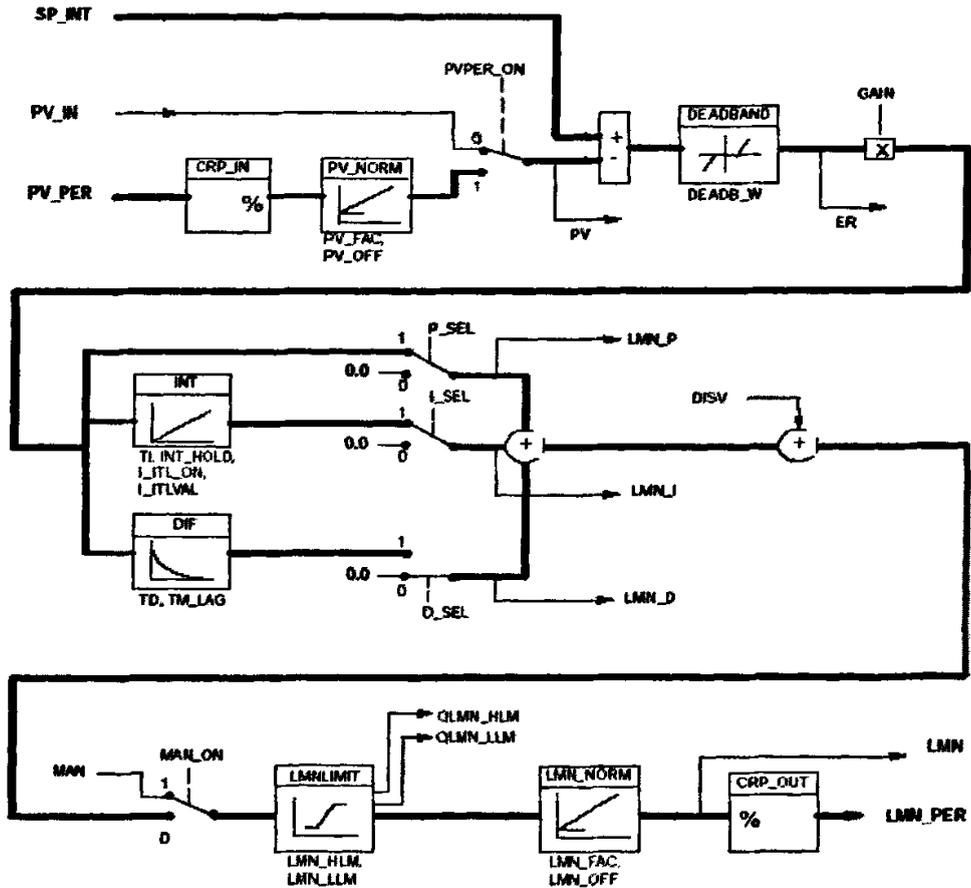


图2-10 FB41 功能块图

设定点分支：设定点在 SP\_INT (数据类型 REAL) 处以浮点数或百分数的形式输入，用于获得误差信号的设定点和过程变量值 (PV) 必须具有相同的量纲。

过程变量分支：过程变量的输入可以通过 PV\_IN (数据类型 REAL) 或 PV\_PER (数据类型 WORD) 输入，PV\_IN 可以给过程变量赋以初始值或输入浮点数形式

的变量值。外部模拟量信号接到 PLC 的信号模块，信号模块将其转换后数据存入 PLC 的 I/O 地址中（在配置时相应的 I/O 点分配给信号模块用于外围设备数据存取），利用转换功能 CRP\_IN 将相应 I/O 地址中存贮的数据转化为浮点数，其值范围为 -100%~+100%，计算公式为：

$$\text{CRP\_IN 输出} = \text{PV\_PER} \times 100 \div 27648$$

PV\_NORM 功能按下公式用于计算 CRP\_IN 功能的输出：

$$\text{PV\_NORM 输出} = \text{CRP\_IN 输出} \times \text{PV\_FAC} + \text{PV\_OFF}$$

式中 PV\_FAC—调节因子，

PV\_OFF—补偿量，用于调整过程变量的范围。

例如，一只传感器的测温范围为 -20~85℃，信号通过 PV\_PER 输入，而设定值的输入以百分数的形式输入（范围 0~+100%），那么必须利用 PV\_NORM 功能，将温度测量范围进行标准化，计算公式为：

$$\text{PV\_FAC} = \text{PV\_NORM 范围} \div \text{CRP\_IN 范围}$$

$$\text{PV\_OFF} = \text{PV\_NORM 下限} - \text{PV\_FAC} \times \text{CRP\_IN 下限}$$

计算结果如下图 2-11。

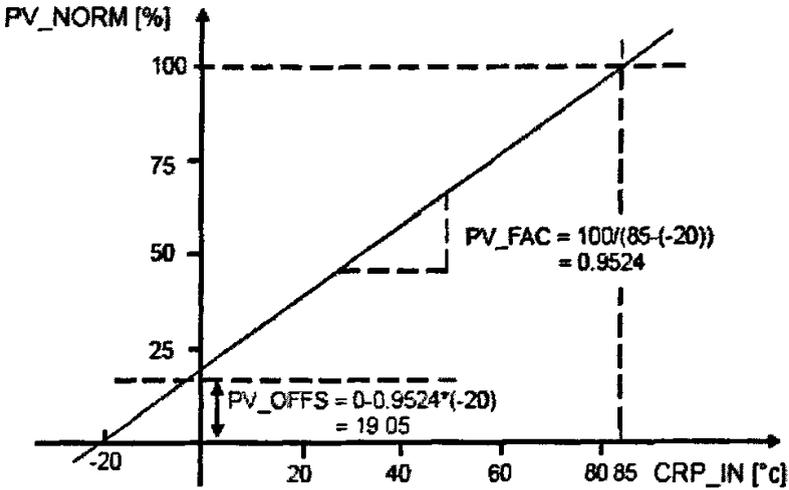


图2-11 模拟信号标准化

误差信号的产生：误差信号来自于设定点和过程变量的差值，为了抑制由于受控变量的波动引起的小范围内误差信号的波动，可以设置死区宽度 DEADB\_W，当 DEADB\_W=0 时，则功能 DEADBAND 被关闭。使用功能 DEADBAND 对误差信号的影响如下图 2-12。

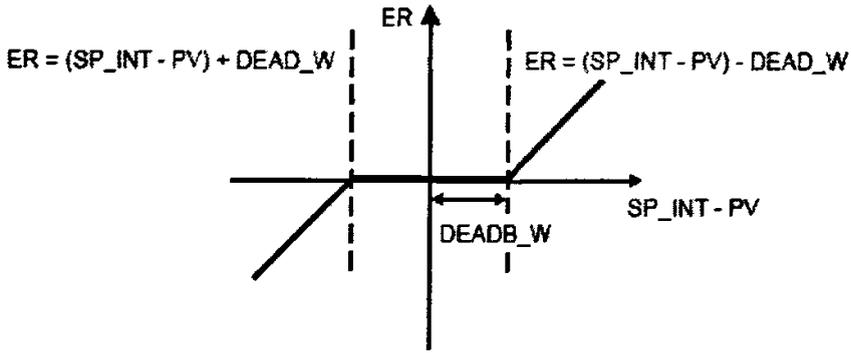


图2-12 死区宽度对误差信号的影响

PID 输出：如图 2-10，比例（P）、积分（INT）、微分（DIF）是并行连接，并且可以通过 P\_SEL、I\_SEL、D\_SEL 控制是否应用，从而可以构成 P、PI、PD 或 PID 调节器。除 PID 运算输出外，还可以手动输入相应数值代替 PID 的输出，图 2-10 中 MAN\_ON 参数用于选择是否 PID 输出，为“1”时，禁止 PID 输出，为“0”时，使用 PID 输出。当禁止 PID 输出时，积分的输出 LMN\_I 将自动等于 LMN-LMN\_P-DISV，而微分的输出 LMN\_D 自动变为 0，这样一来，从手动输出转换为 PID 输出时，不会导致 PID 控制器的输出突然性地改变，从而保证控制过程的稳定。

经过 PID 计算后的信号输出时，通过 LMNLIMIT 功能，使输出信号处于 LMN\_HLM（上限）和 LMN\_LLM（下限）之间，在输出环节中，LMN\_NORM 的作用是将输出信号标准化，计算公式为：

$$LMN = \text{输出} \times LMN\_FAC + LMN\_OFF$$

式中 LMN\_FAC—默认值为 1；

LMN\_OFF—默认值为 0。

CRP\_OUT 功能用于将浮点数 LMN 转换为 I/O 值，其作用与 CRP\_IN 功能正好相反，计算公式为：

$$LMN\_PER = LMN \times 27648 \div 100$$

FB41 功能块部分输入与输出参数如下表 2-1、表 2-2。

表2-1 FB41 功能块的输入参数

名称	数据类型	值范围	默认值	说明
MAN_ON	BOOL		1	禁止自动输出，手动输入值作为控制输出。
PVPER_ON	BOOL		0	如果过程变量从 I/O 地址中读入，那么 PVPER_ON 必须设置为“1”。
P_SEL	BOOL		1	P_SEL 为“1”时启用比例

				功能，为“0”时禁用。
I_SEL	BOOL		1	I_SEL 为“1”时启用积分功能，为“0”时禁用。
D_SEL	BOOL		0	D_SEL 为“1”时启用微分功能，为“0”时禁用。
CYCLE	TIME	$\geq 1ms$	T#1s	FB41 重复调用间隔时间为常数，由 CYCLE 参数决定。
SP_INT	REAL	-100~100% 或实数值	0.0	用于制定设定点。
PV_IN	REAL	-100~100% 或实数值	0.0	过程变量输入
PV_PER	REAL	-100~100% 或实数值	0.0	I/O 地址中存贮的过程变量
MAN	REAL	-100~100% 或实数值	0.0	禁用 PID 控制时手动输入值用于 FB41 的输出
GAIN	REAL		2.0	指定 FB41 控制增益
TI	TIME	$\geq CYCLE$	T#20s	积分时间
TD	TIME	$\geq CYCLE$	T#10s	微分时间
DEADB_W	REAL	-100~100% 或实数值	0.0	死区宽度
LMN_HLM	REAL	-100~100% 或实数值	100.0	输出上限
LMN_LLM	REAL	-100~100% 或实数值	0.0	输出下限
PV_FAC	REAL		1.0	过程变量调节因子
PV_OFF	REAL		0.0	过程变量的补偿量
LMN_FAC	REAL		1.0	输出量调节因子
LMN_OFF	REAL		0.0	输出量的补偿
DISV	REAL	-100~100% 或实数值	0.0	用于前馈控制

表2-2 FB41 功能块的输出参数

名称	数据类型	默认值	说明
LMN	REAL	0.0	有效输出值
LMN_PER	WORD	W#16#0000	从 I/O 地址中进行输出

LMN_P	REAL	0.0	比例输出
LMN_I	REAL	0.0	积分输出
LMN_D	REAL	0.0	微分输出
PV	REAL	0.0	过程变量
ER	REAL	0.0	误差信号

#### (4) FB41 块中 PID 算法

PID 算法主要用于模拟量的控制。根据实际的需要，可以组成 PI、PD、ID 控制器，以适应不同的控制情况。

##### 1) 算法分析

受控变量输出的计算：PID 控制器调节输出以保证偏差(e)为零，使系统达到稳定状态。偏差(e)是给定值(SP)和过程变量(PV)的差，PID 控制的原理基于下面的算式：输出 M(t)是比例项、积分项和微分项的函数。

$$M(t) = K_c \times e + K_c \times \int e dt + M_{initial} + K_c \times de/dt$$

式中 M(t)—PID 回路的输出，是时间的函数；

$K_c$ —PID 回路的增益；

e—PID 回路的偏差（给定值与过程变量之差）；

M<sub>initial</sub>—PID 回路输出的初始值。

为了能让数字计算机处理这个控制算式，连续算式必须离散化为周期采样偏差算式，才能用来计算输出值。数字计算机处理的算式如下：

$$M_n = K_c \times e_n + K_I \times \Sigma + M_{initial} + K_D \times (e_n - e_{n-1})$$

即：输出=比例项+积分项+微分项

式中  $M_n$ —在第 n 采样时刻 PID 回路输出的计算值；

$K_c$ —PID 回路增益；

$e_n$ —在第 n 采样时刻的偏差值；

$e_{n-1}$ —在第 n-1 采样时刻的偏差值；

$K_I$ —积分项的比例常数；

$\Sigma$ —积分项和；

M<sub>initial</sub>：PID 回路输出的初值

$K_D$ —微分项的比例常数。

从这个公式可以看出，积分项是从第 1 个采样周期到当前采样周期所有误差项的函数，微分项是当前采样和前一次采样的函数，比例项仅是当前采样的函数。数字计算机中不保存所有的误差项，其实也不必要。由于计算机从第一次采样开始，每有一个偏差采样值必须计算一次输出值，只需要保存偏差前值和积分项前值。利用计算机处理的重复性，可以化简以上算式为：

$$M_n = K_c \times e_n + K_I \times e_n + M_X + K_D \times (e_n - e_{n-1})$$

即：输出=比例项+积分项+微分项

式中  $M_n$ —在第  $n$  采样时刻 PID 回路输出的计算值；

$K_c$ —PID 回路增益；

$e_n$ —在第  $n$  采样时刻的偏差值；

$e_{n-1}$ —在第  $n-1$  采样时刻的偏差值；

$K_I$ —积分项的比例常数；

$M_X$ —积分项前值；

$K_D$ —微分项的比例常数。

对于 CPU 而言，实际上是使用以上简化后算式的改进形式计算 PID 控制器的输出。这个改进算式是：

$$M_n = MP_n + MI_n + MD_n$$

式中  $M_n$ —在第  $n$  采样时刻 PID 回路输出的计算值；

$MP_n$ —在第  $n$  采样时刻的比例项值；

$MI_n$ —在第  $n$  采样时刻的积分项值；

$MD_n$ —在第  $n$  采样时刻的微分项值。

## 2) 比例项 $MI_n$ 的计算：

比例项  $MP_n$  是增益  $K_c$  和偏差  $e$  的乘积，它其决定输出对偏差的灵敏度，偏差  $e$  是给定值  $SP$  与过程变量  $PV$  之差。CPU 执行的求比例项的算式是：

$$MP_n = K_c \times (SP_n - PV_n)$$

式中  $MP_n$ —在第  $n$  采样时刻的比例项值；

$K_c$ —PID 回路增益；

$SP_n$ —在第  $n$  采样时刻的给定值；

$PV_n$ —在第  $n$  采样时刻的过程变量值。

## 3) 积分项 $MI_n$ 的计算：

积分项值  $MI_n$  与偏差和成正比，CPU 执行的求积分项算式是：

$$MI_n = K_c \times T_s / T_I \times (SP_n - PV_n) + M_X$$

式中  $MI_n$ —第  $n$  采样时刻的积分项值；

$K_c$ —PID 回路增益；

$T_s$ —采样时间间隔；

$T_I$ —积分时间；

$SP_n$ —在第  $n$  采样时刻的给定值；

$PV_n$ —在第  $n$  采样时刻的过程变量值；

$M_X$ —第  $n-1$  采样时刻的积分项值（积分项前值）。

积分和  $M_X$  是所有积分项前值之和。在每次计算出  $MI_n$  之后，都要用  $MI_n$  去更新  $M_X$ ， $M_X$  的初值通常在第一次计算输出以前被设置为  $M_{initial}$ （初值）。积分项还包括其它几个常数：增益  $K_c$ ，采样时间间隔  $T_s$  和积分时间  $T_I$ ，其中

采样时间是重新计算输出的时间间隔，而积分时间控制积分项在整个输出结果中影响的大小。

#### 4) 微分项 MD<sub>n</sub> 的计算：

微分项 MD<sub>n</sub> 与偏差的变化成正比。其计算公式为：

$$MD_n = K_c \times T_D / T_s \times [(SP_n - PV_n) - (SP_{n-1} - PV_{n-1})]$$

为避免给定值变化的微分作用而引起的跳变，假定给定值不变 ( $SP_n = SP_{n-1}$ )。这样一来，可以用过程变量的变化替代偏差的变化，计算算式改进为：

$$MD_n = K_c \times T_D / T_s \times (PV_{n-1} - PV_n)$$

式中 MD<sub>n</sub>—第 n 采样时刻的微分项值；

K<sub>c</sub>—PID 回路增益；

T<sub>s</sub>—采样时间间隔；

T<sub>D</sub>—微分时间；

SP<sub>n</sub>—在第 n 采样时刻的给定值；

SP<sub>n-1</sub>—在第 n-1 采样时刻的给定值；

PV<sub>n</sub>—在第 n 采样时刻的过程变量值；

PV<sub>n-1</sub>—在第 n-1 采样时刻的过程变量值。

为了计算下一次微分项值，必须保存过程变量，而不是偏差，在前一时刻，初始化  $PV_{n-1} = PV_n$ 。

#### (5) 人机对话功能

应用西门子 MP370 触摸屏，在 PLC 控制模式下，操作人员通过触摸屏实现设备的启停控制、各测量参数的监视与控制、设备运转状况的监控趋势图显示。如图 2-13 所示为主菜单屏幕，其上设置了多个触摸按钮，通过这些按钮，操作人员可根据实际情况的需要，随时进入所选屏幕，检查设备运转的情况，并可监控、修改控制参数。



图2-13 主屏幕菜单显示

## (6) 信息处理功能

华环国际烟草有限公司的生产线于1995年建成投产,生产设备的控制未采用上位机控制的方式,因此在更换复烤设备时,根据现有实际状况,不考虑控制系统与上位机的通讯要求。

### 2.1.2 PLC系统的分析

系统分析的过程<sup>[19][20][21][22][23][24][29][30][31][32][33][34]</sup>,是在系统功能的基础上对系统要做的每一件事情和必须具备的每一项功能进行实现方法和所要求条件的分析,最终描述PLC系统的组成规模和地理分布。例如,电机的启动条件、正反转条件、是否人工干预等。

#### (1) 各种电压等级数字量输入点总数

控制系统除要控制烤片机的电机外,还需要控制烟梗复烤机的电机,一共是55台电机,同时,考虑到以后设备的改动,故将总电机数增加到67台,其中12台电机控制器作为备用,在控制柜内相应配置电机控制元件。每台电机用一个PLC的输入信号,用以检查电机的工作状态。考虑对其它设备状态的监控,如系统电源等,共需要75个数字输入信号,考虑到以后需要在烤片机前添加流量稳定设备需近20个开关量输入,另外预留10%的裕量,根据所PLC选型号,因此将PLC输入点确定为104个。

## (2) 各种电压等级数字量输出点总数

本控制系统中电机的控制、其它数字量输出一共需要 73 个，预留 7 个输出点用于以后增加的设备，故总体数字量输出点配置 80 个。

## (3) 各种模拟量信号输入输出点总数

烤片机、烤梗机有以下模拟信号需要进行测量：13 个温度信号，9 个 4-20mA 模拟信号，因此共配了 16 个热电偶信号输入点，10 个 4-20mA 模拟信号输入点。对于模拟量输出一共需 19 个，实际中配置了 24 个。

## (4) 通讯功能的要求

根据车间实际状况，PLC 控制系统不需与上位机通讯，只需与 MP370 触摸屏、西门子变频器进行通讯，并预留一 PROFIBUS 接口。因此，在选择 PLC 型号时，所选西门子 PLC 具有 MPI 接口和 PROFIBUS 接口。[35][36][37][38][39][40][41]

## (5) PLC 响应速度要求

PLC 的响应速度是 PLC 选型的一个重要因素。烟叶复烤机的控制中，主要是温度控制、烤房湿度控制、烟叶水份控制，这些控制都属于慢速控制过程，对控制时间要求不严格，在 PLC 具体选型中，选择处理速度中等的 PLC，以降低成本。

### 2.1.3 PLC 的机型和系统配置的确

#### (1) PLC 选型

根据上述系统功能设计和 PLC 系统要求，结合生产线控制系统现状，特定环境如温度、湿度、电源质量，价格，备品备件在购买，用户的熟悉程度，产品的信誉等，选择合适的 PLC 型号。

华环国际烟草有限公司实际中已使用的 PLC 型号以德国西门子公司产品为主，有 S7-200 型、S7-300 型、TI545 型，生产车间环境温度和湿度不高，电源质量良好。西门子公司产品是一个知名品牌，产品在国内使用广泛，国内各地经销商非常多，除了西门子公司在国内专门设立了多家技术咨询服务中心外，国内许多公司都从事技术方面的服务，因此，在实际选型时选用西门子 S7-300PLC，型号为 S7-315-2DP，以保证备件供应与技术支持。

S7-315-2DP<sup>[39]</sup>的程序存贮容量 96KB，工作存贮器 RAM 为 64KB，位操作时间 0.3-0.6us，字操作时间 1us，看门狗默认时间 150ms，并可在 1-6000ms 范围内自由选择，数字量输入输出总点数 8192，其中用于本机 PLC 的为 1024 点。内部使用的位存贮器有 2048 位。模拟输入输出总点数：256 输入/128 输出，具有 MPI 接口和 PROFIBUS 接口，并可以使用智能型模块，如通讯模块，记数模块等，除主机架外，还可以扩充 3 个扩展机架，每个机架可以配置 8 个控制模块。

#### (2) 系统配置

本控制系统的 PLC 模块采用了 4 机架安装<sup>[36]</sup>，全部模块安装于控制柜内。模块配置如图 2-14。在 PLC 模块选配中，首先应满足控制上对输入、输出点数

的要求，然后对各模块的电流耗量和功率损耗进行计算，应满足使用要求。下边以主机架为例进行验证。

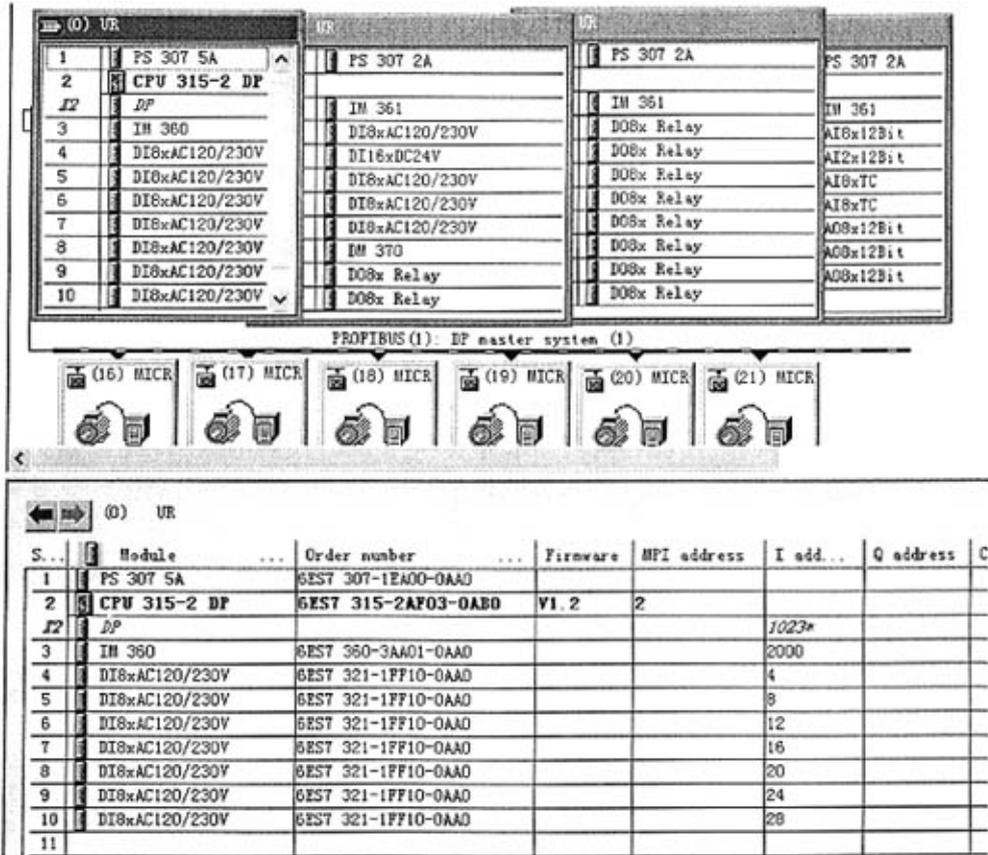


图2-14 PLC 模块配置

主机架的模块配置如图 2-15, 安装有 5A 电源模块 1 块, CPU 模块 1 块, IM360 扩展模块 1 块, 开关量输入模块 7 块。S7-300 模块使用的电源由背板总线提供, 部分模块如模拟模块还需从外部电源供电。在组建 S7-300PLC 系统或增加模块时, 必需考虑每块模块的电流耗量和功率损耗, 以不超过中央机架和扩展机架的能力。

S...	Module	Order number	Firmware	MPI address	I add...	Q address
1	PS 307 5A	6ES7 307-1EA00-0AA0				
2	CPU 315-2 DP	6ES7 315-2AF03-0AB0	V1.2	2		
	IM 360				1023*	
3	IM 360	6ES7 360-3AA01-0AA0			2000	
4	DI8xAC120/230V	6ES7 321-1FF10-0AA0			4	
5	DI8xAC120/230V	6ES7 321-1FF10-0AA0			8	
6	DI8xAC120/230V	6ES7 321-1FF10-0AA0			12	
7	DI8xAC120/230V	6ES7 321-1FF10-0AA0			16	
8	DI8xAC120/230V	6ES7 321-1FF10-0AA0			20	
9	DI8xAC120/230V	6ES7 321-1FF10-0AA0			24	
10	DI8xAC120/230V	6ES7 321-1FF10-0AA0			28	
11						

图2-15 主机架模块配置

表 2-3 为部分 S7-300 模块的电流耗量和功率损耗（24VDC 负载电源）的相关数据。通过计算，接口模块 IM360 和 7 块数字量输入模块从背板总线吸取的总电流为 1.05A，而 CPU315-2DP 向背板总线提供的的电流为 1.2A，可以满足使用要求。同样，可以验证扩展机架电流消耗满足要求。对于功率损耗，要求控制柜满足散热的需要，可以使用强制通风或安装空调来解决，考虑到生产现场灰尘的影响，采用窗式空调对控制柜进行降温的方案。

表 2-3 S7-300 模块的电流耗量和功率损耗（24VDC 负载电源）

模 块	S7-300 背板总线 供给或吸取电流 (最大值)	从 24VDC 电源吸 取电流 (不带负 载)	功率损耗 (正常运 行)
CPU315-2DP	1.2A 1)	1.0A	8.0W
接口模块 IM360	0.35A 2) 3)	—	2.0W
数字量输入模块 321-1FF10-0AA0 DI 8xAC120/230V	100mA 2)	—	4.9W

表 2-3 注释说明：

- 1) 向背板总线供电
- 2) 从背板总线吸取电流
- 3) 位于中央机架。

通讯网络方面，CPU 模块具有 MPI 接口和 PROFIBUS 接口，正常情况下，MPI 接口用于连接 MP370 触摸屏，在需对 PLC 内存进行清空の場合，需使用此接口进行程序的下载。PROFIBUS 接口主要用于编程设备监控和 PLC 与变频器的通讯连接。其通讯网络配置如下图 2-16。

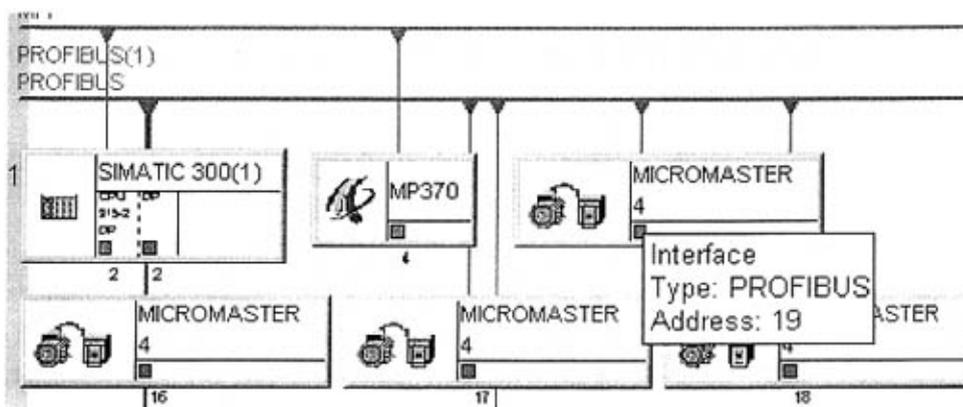


图2-16 PLC 通讯配置

## 第三章 西门子 S7-315-2DP CPU 程序设计

### 3.1 综述

STEP7 编程软件是西门子公司开发的、用于 S7-300 和 S7-400 系列 PLC 程序开发的专用软件<sup>[36][37][38][39][40][41][42]</sup>，采用类似如 Windows 操作系统的界面，操作简单，如图 3-1 所示。OB1 是主循环程序，由 CPU 循环执行，FB 是带有数据块的功能块，FC 为不带数据块的功能块，FB 和 FC 在 OB1 循环主程序中被调用，同时，FB、FC 控制块可以相互嵌套调用。



图3-1 STEP7 操作界面

本控制系统中 PLC 程序的设计采用模块化的形式，即同一类型的控制任务，如电机的单向启停，模拟信号的采集，模拟信号的控制等，可预先编制一标准模块（相当于子程序），在针对具体某一控制任务时，只需调用标准控制模块，同时将相应的控制条件和数据传送给标准控制模块即可，此种设计的方法，可以大大减少程序设计的工作量，利于控制功能的标准化。PLC 主要控制任务的程序框图如图 3-2 所示。

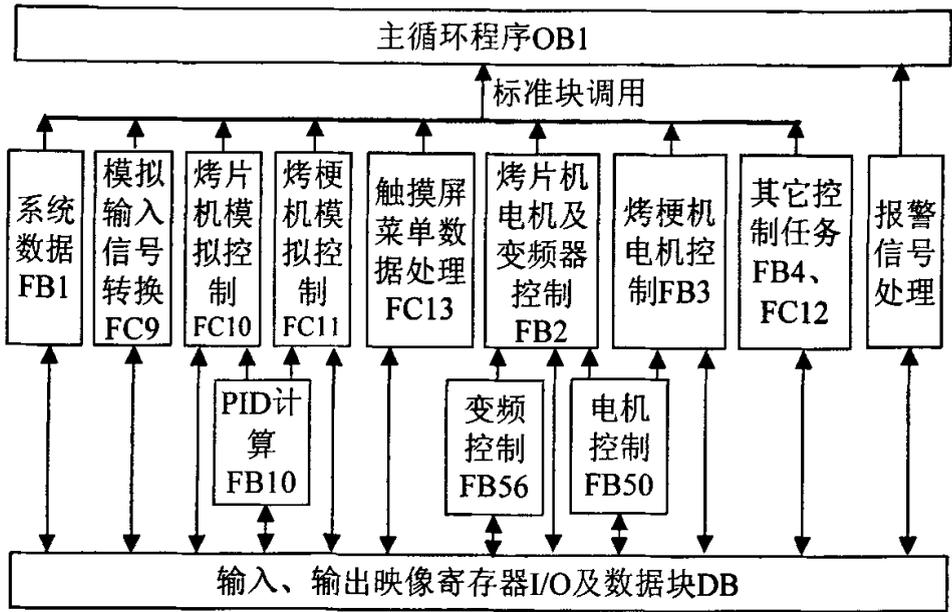


图3-2 CPU 程序框图

### 3.2 数字量信号控制程序的设计

数字量信号主要用于设备的启停控制及设备状况监测。在 PLC 模式下，分为自动和手动两种工作方式，其选择是通过触摸屏上设置的按键进行，如图 3-3 所示。

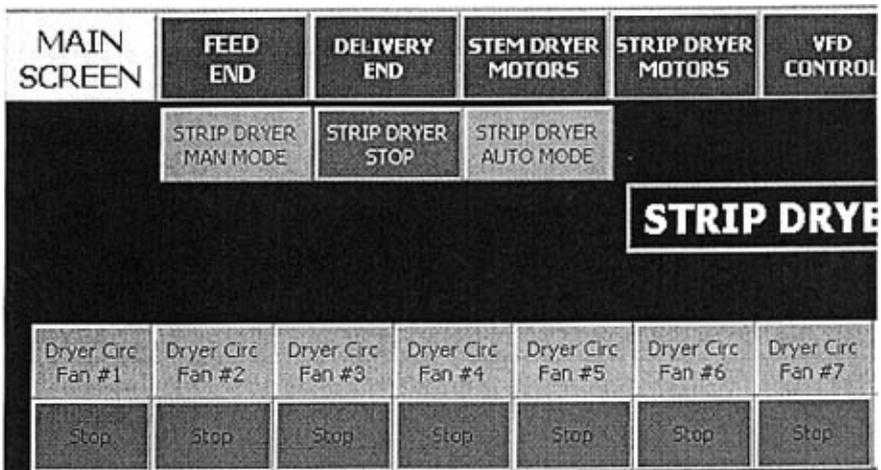


图3-3 设备启停控制画面

画面中，显示的是叶片复烤机的各台电机的控制按钮。当选择自动模式时，

只需点击自动启动按钮，电笛会自动发送断续声响警告 10 秒，然后间隔 5 秒钟自动逐台启动设备，直到全部设备完成启动为止，在此期间，任何一台设备因故未能启动时，电笛将以连续的声响提示操作人员，同时在触摸屏上显示相应的消息，提示操作人员故障部位，并且相应设备的启动按钮在两种颜色间闪烁变化，以进一步引起注意。当选择手动启动方式时，操作人员只需点击需要启动的设备按钮即可，启动前电笛不会发出声响警告。PLC 中工作模式控制程序块的调用如下图 3-4。

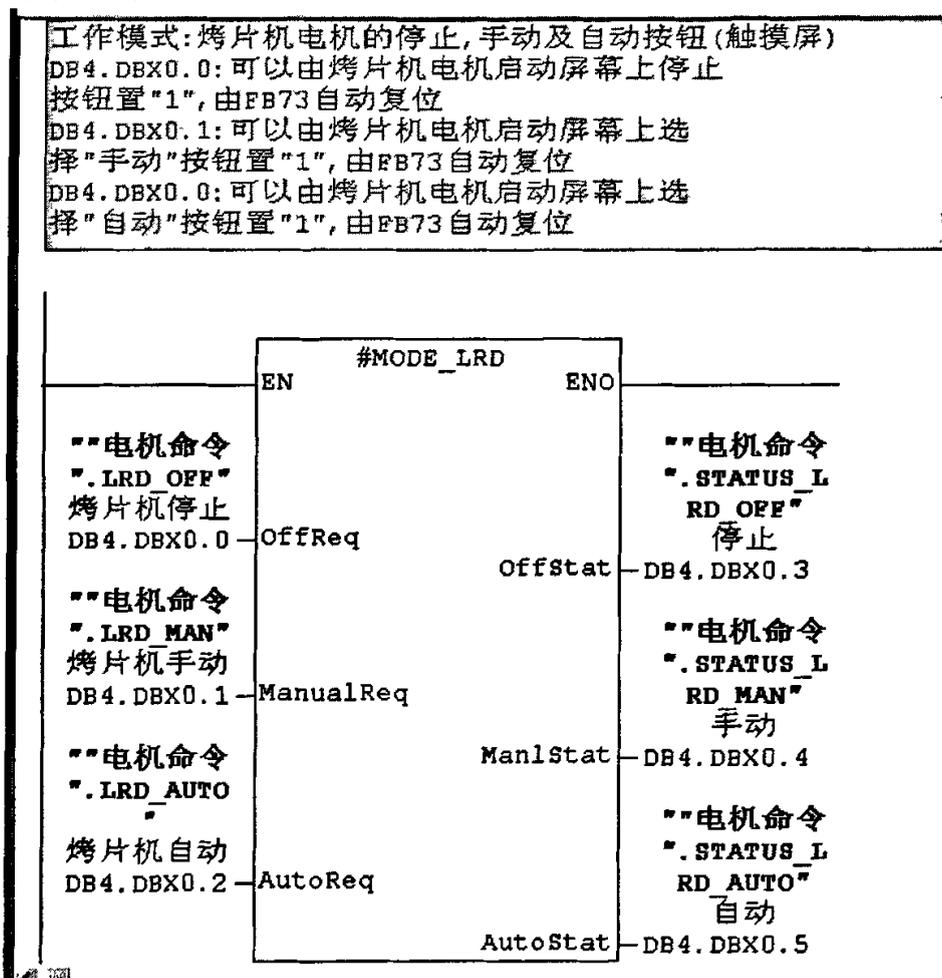


图3-4 设备工作模式控制块调用

对于电机的自动启动与停止 PLC 控制程序，见下图 3-5。

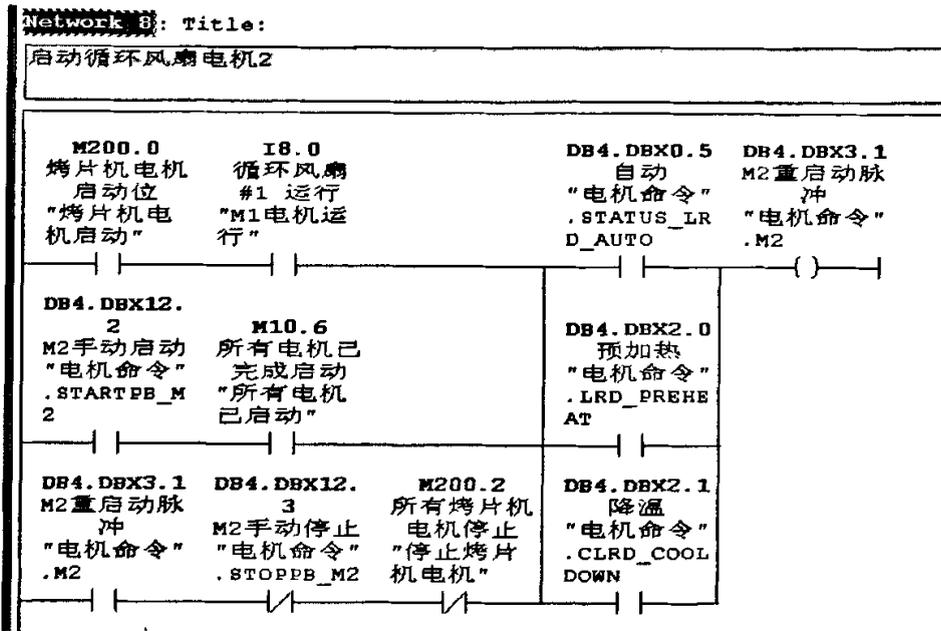


图3-5 2号电机自动模式下控制程序

图中，左边第一行为自动启动控制，在设备启动过程中，M200.0每隔5秒钟有一“1”脉冲信号，全部电机完成启动后M200.0始终为“0”，同时M10.6始终为“1”；I8.0是第一台电机启动器的状态信号，为“1”时允许第二台电机顺序启动。左边第三行是用于自动启动完成后，保持运转信号始终为“1”，第二行与第三行配合使用，在自动模式下电机完成启动后，允许单台电机在自动状态下单台启动与停止。

对于电机的启停控制程序块，如图3-6所示。

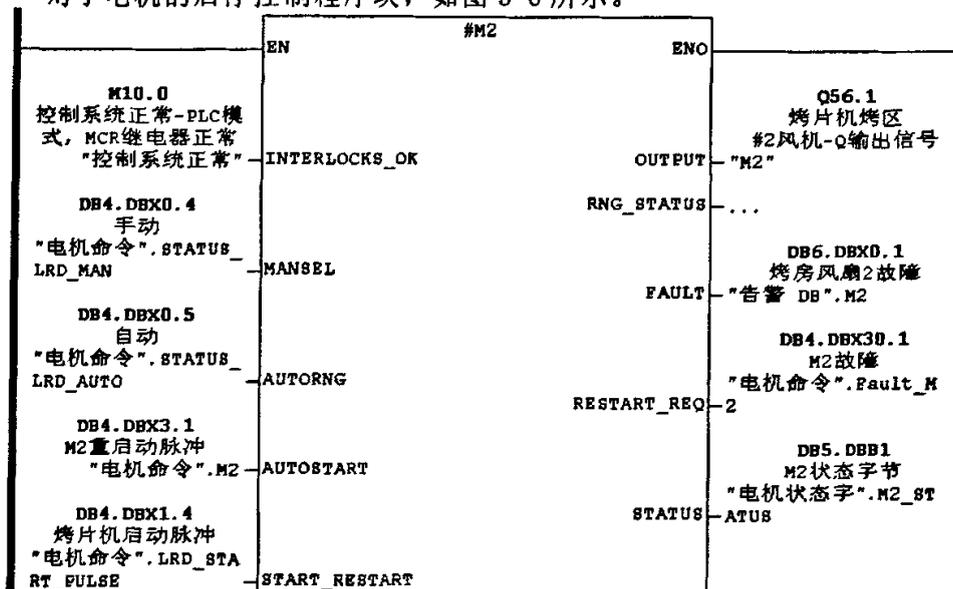


图3-6 2号电机控制块

上图中，#DC2 是一标准块 FB50，FB50 是预先编制好专用于电机单向启动与停止的功能块，块左边为条件输入信号，图 3-4 中的 DB4.DBX3.1 自动运转信号送到块输入“AUTOSTART”，手动启动信号 DB4.DBX12.2 送到输入“MANSTART”，停止信号 DB4.DBX12.3 送到输入“MANSTOP”；块右边为结果输出信号，“OUTPUT”用于 PLC 输出点，以控制对应电机的接触器是否工作，“FAULT”输出用于在触摸屏显示电机是否因故障停机；“STATUS”输出用于表明电机现在的工作状态，并启动警笛发出声响报警，操作人员可以选择声响报警消音，然后选择消除报警信号，或直接选择消除报警信号。其它的输入主要是控制柜电源是否正常、工作模式是否为自动、电机是否已经正常运转等。由于篇幅限制，标准功能块 FB50 程序在此不详细列举出来。

### 3.3 模拟量信号控制程序的设计

模拟量的控制，是本电气控制系统的核心任务，主要对叶片复烤机的温度、压力、湿度、烟叶水份、输送速度等模拟信号进行测量与控制，同时控制烤梗机各干燥区的温度。

为了达到使用 PLC 输出信号控制执行机构的目的，PLC 首先应检测受控量的实际值，根据设定值与实际值的大小，利用 FB41 块进行 PID 计算，从而得出 PLC 输出控制信号的大小，通过输出模块控制执行机构进行相应调整。信号控制流程如下图 3-7。

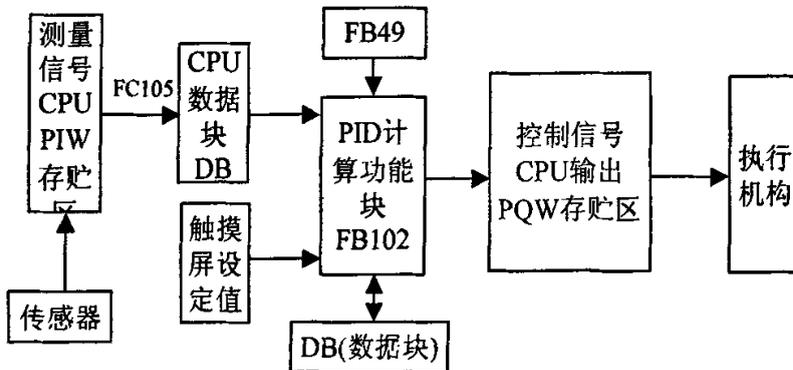


图3-7 模拟信号控制流程

图 3-7 中，FC105 是一标准功能，专用于数值范围的转换，在下边将有详细的叙述；FB102 是用于 PID 计算的功能块，根据测量信号和设定值，利用 PID 算式计算输出信号以进行控制，此功能块可以重复调用，用于不同的模拟信号控制；FB41 是西门子公司预先编好的功能块，编程人员只需将相应的值赋给功能块的输入端即可，其控制功能在 § 2.2.1 节中有详细的叙述。

### 3.3.1 测量信号的转换

热电偶、湿度传感器等测得的信号属于电压信号或电流信号，通过 PLC 系统的模拟量输入模块转换为 CPU 可以进一步处理的数字量信号，储存在外围设备存贮区 PI 地址中，对于每一路模拟信号，CPU 的存贮器都分配有相应的唯一地址，在程序中可以直接调用。地址 PI 中存贮的是模拟信号数字化后的值，需要进一步转换为实际值，用于触摸屏显示和程序处理。下边以烤区温度为例说明转换程序。如图 3-8。



图3-8 模拟量地址分配和信号转换

上图中，中间是硬件组态中温度测量模块的地址分配情况，每一个热电偶测量所得温度信号转换后存入相应的 PIW 字中，如烤区 1 的为 PIW688，数据类型为整数。图中 FC105 是标准功能块，用于将输入端“IN”数值转换后存入“OUT”指定的地址中，其计算公式为：

$$OUT=(IN-K1)/(K2-K1)*(HI\_LIM-LO\_LIM)+LO\_LIM$$

式中：

OUT：转换后的结果，实数类型。

IN：输入数值，整数类型。

K1 与 K2：系数。当 IN 为双极性时，即 IN 的范围为 -27648~27648，则 K1=-27648, K2=27648；当 IN 为单极性时，即 IN 的范围为 0~27648，则 K1=0, K2=27648。

HI\_LMN：测量上限。

LO\_LMN：测量下限。

根据温度测量模块的使用规定，其 PIW 值是实际值的 10 倍。因此上图中使

用 FC105 功能进行转换时，与转换结果相关的输入端“HI\_LMN”和“LO\_LMN”的值分别为 2764.8 与 0，也就是说将 PIW 值除以 10，即可得到实际温度测量值。对于其它的模拟信号，如湿度、水份等同样处理，需要变更的是“HI\_LMN”和“LO\_LMN”的值。

### 3.3.2 积分、微分时间常数单位转换

FB102 功能块是事先编制好的程序，用于模拟量控制的 PID 计算，在程序中调用了西门子公司编制的标准功能块 FB41。由于习惯上使用的时间单位为秒，而 FB41 要求的时间单位是毫秒，故在 FB102 程序中设置了相应的转换，用于转换积分、微分时间常数的单位。如下图 3-9 中积分时间单位的转换。图中 #I\_TERM\_MULTI 是 FB102 的输入参数，其值为 1000，#I\_VAL 同样是 FB102 的输入参数，在触摸屏上设定，单位是秒，转换后的结果存入 #TI 中，单位是毫秒，用于 FB41 的积分时间输入。对于微分时间常数单位同样使用相同方法进行转换。

Network 9: 预设定的TI积分时间转换

实际从触摸屏上输入的积分时间转换为(us)用于送到FB41块上使用,若为0则积分不起作用

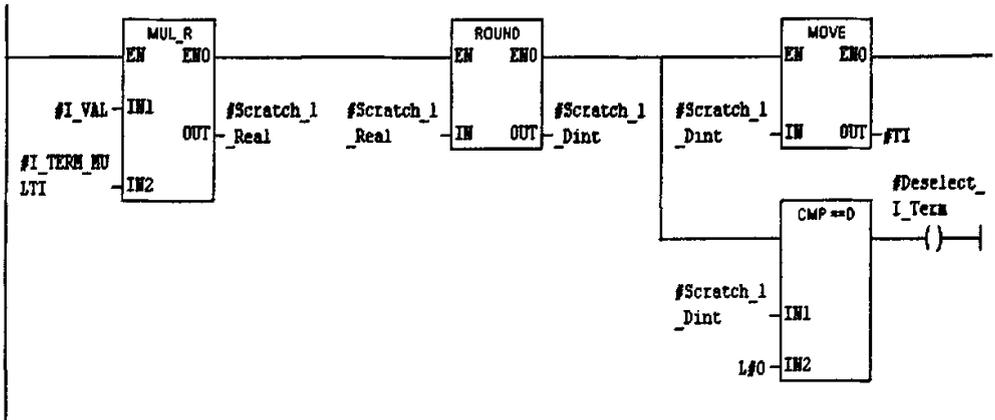


图3-9 FB102 中时间单位转换

### 3.3.3 模拟控制程序设计

烤片机和烤梗机所有模拟信号的控制程序分别在功能块 FC10 和 FC11 中，在 FC10 和 FC11 中通过重复调用 FB102 功能块，完成相关的计算，所有的控制参数及设定值、信号值均通过 FB102 的输入端口送给 FB102，以进行相应计算，计算后的结果通过 FB102 的输出端口送到 PLC 模拟量输出模块的相应地址中，以此产生控制信号来控制执行机构的运行。如图 3-10 所示。

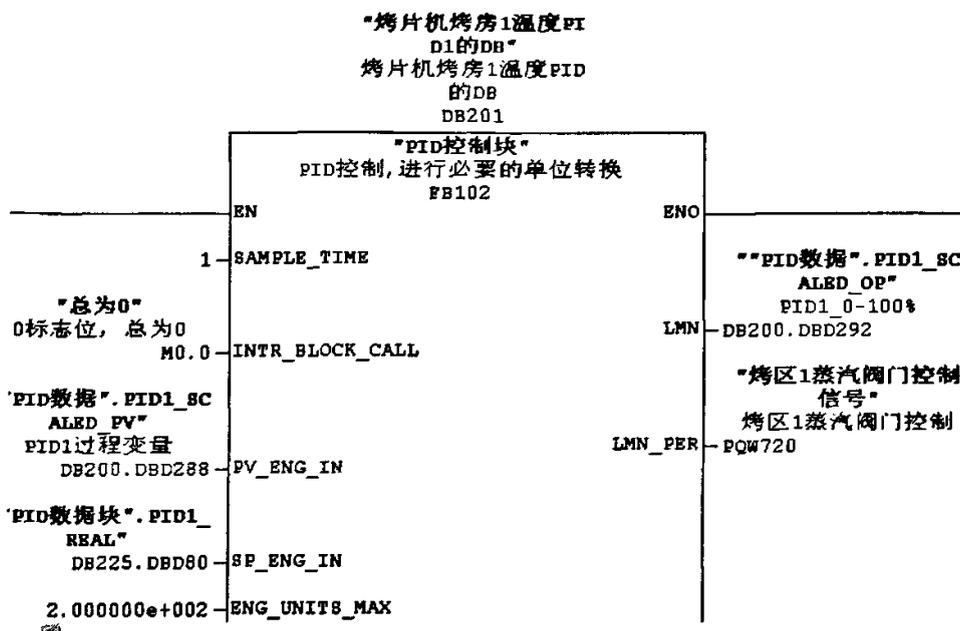


图3-10 烤片机模拟控制程序块 FC10

上图显示的是烟叶复烤机烤区1的温度控制功能块,图中FB102的输出LMN送到DB200.DBD292中,用于在触摸屏上显示输出信号百分比,LMN\_PER值直接送入地址PQW720中,由模拟模块转换成相应的模拟控制信号。

### 3.4 PROFIBUS 通讯

本控制系统中 PROFIBUS 网络<sup>[35][36][46][47]</sup>的主要作用是实现 PLC 和西门子变频器之间的通讯,PLC 可以向变频器发送启动和停止运行的命令,并发送变频器运行频率参数,同时 PLC 可以接受变频器的工作状态数据,包括变频器现在的实际运行频率、运行状况等。

#### 3.4.1 PROFIBUS 通讯网络构成

PROFIBUS 通讯网络结构如下图 3-11,在网络上一共有 6 台变频器,图中显示的是第一台变频器的通讯方式和地址,通讯字采用 PPO3 结构,在 PLC 接收数据时,PIW93 中的内容是变频器发送的工作状态,PIW95 中的内容是变频器的实际运行频率;在 PLC 发送数据时,PQW93 中内容是控制字,用于控制变频器的工作状况,PQW95 中内容是变频器的频率设定值,此设定值由触摸屏上输入。

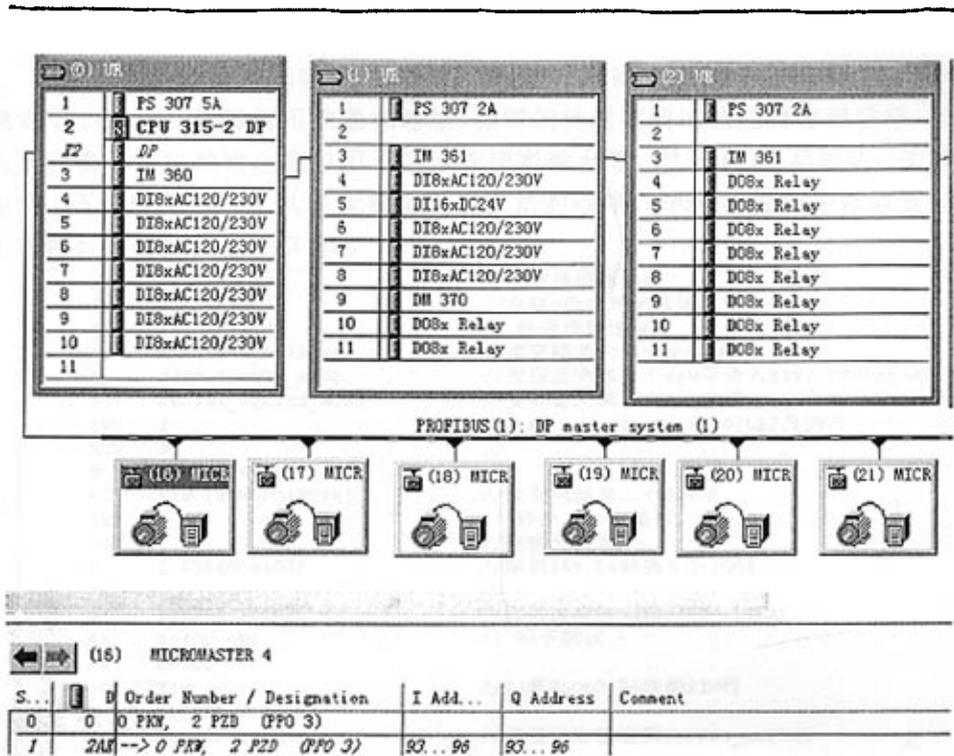


图3-11 PROFIBUS 通讯网络结构

### 3.4.2 PROFIBUS 通讯程序设计

由于 6 台变频器与 PLC 的通讯机理一样，故程序中也采用标准化设计，6 台变频器共用同一功能块 FB56，不同的是在重复调用时输入与输出分配不同的数值或地址，FB56 在 FB2 中调用如下图 3-12 所示。

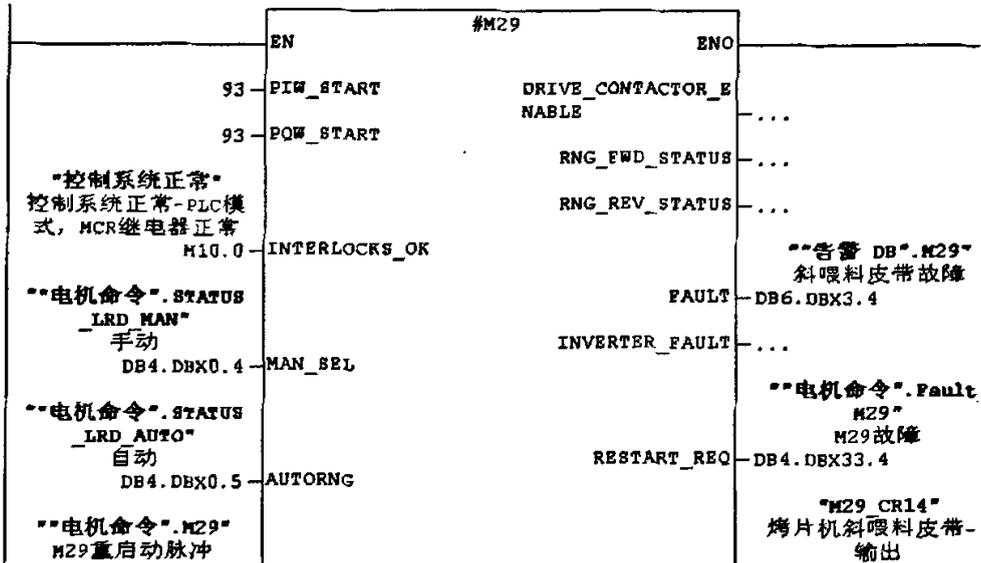


图3-12 FB56 功能块的调用

图中 FB56 的输入端口 PIW\_START 和 PQW\_START 用于输入 PIW 和 PQW 地址，确定了 PLC 和变频器使用的通讯地址，数据的传送都通过这些寄存器进行，FB56 的其它输入端口和输出端口用于信号连锁和输出等。对于 FB56 功能块，受篇幅限制，下边仅叙述 PLC 从变频器中读取数据的程序。FB56 功能块中读取变频器工作数据的程序如下图 3-13。

```

L    #PIW_START           //指定变频器地址
SLW  3                   //左移3位使用间接地址
T    #PW_POINTER         //  传送指针地址
L    PIW [#PW_POINTER]   //读变频器的第一个PIW字
T    #INV_STATUS_WORD    //变频器的第一个PIW字送入#INV_STATUS_WORD
T    #L_INV_STATUS_WORD  //变频器的第一个PIW字送
INC  2                   //入#L_INV_STATUS_WORD(LB2及LB3)
SLW  3                   //
T    #PW_POINTER         //
L    PIW [#PW_POINTER]   //读变频器第二个PIW字
ITD                               //转换为32位整数
DTR                               //转换为实数
L    1.638400e+002       //除以163.84转换为0-100%
/R                               //
T    #SPEED_ACTUAL      //实际速度送到#SPEED_ACTUAL
A    #BICO_ON           //用于测试
AN   #BICO_ON
JCN  SIM                //如果RLO=0则转到SIM行
L    #SPEED_SPT
T    #SPEED_ACTUAL      //速度设定值送到#SPEED_ACTUAL
SIM: NOP 0

```

图3-13 FB56 功能块中读取变频器数据程序

上图中，起始地址是在调用 FB56 功能块时指定，不同变频器其地址不同，具体各指令的含义在图中注释栏有明确的说明，在 FB56 中，除了有 PLC 读取变频器数据的程序外，还有对变频器各状态位的处理程序，相应的有控制变频器状态的程序，最后是将控制字和频率设定值通过输出地址发送到变频器，以控制变频器的实际工作状态。

### 3.5 OB1 程序设计

S7CPU 操作系统周期性地执行组织块 OB1，当 OB1 执行完成后，操作系统再次启动它<sup>[41]</sup>。OB1 的优先级最低，除了 OB90 外，其它任何组织块 OB 均可中断 OB1 的运行，对于其它 FB 功能块、FC 功能、系统功能块 SFB 和系统功能 SFC，需要使用时则在 OB1 中调用，系统功能块 SFB 和系统功能 SFC 是西门子编制好的预于 PLC 中的系统程序，用于处理各种常用功能，同时随 STEP7 软件的安装，还有部分标准 FB、FC 块一同安装，像系统功能一样，用于处理特定的任务，帮助设计人员减少编程时间。OB1 和其它组织块实际上是 PLC 操作系统和用户程序之间的接口，它们由操作系统调用并控制循环和中断驱动的程序执行，以及控制 PLC 的如何启动，它们还处理对错误的响应，也就是说，通过某些组织

块可以控制 PLC 对错误的反应。

本控制程序中，OB1 中除了正常调用上面所涉及到的功能块 FB 和功能 FC 外，还加入了用于报警信号处理的程序，操作人员可以通过触摸屏上设置的按钮进行报警消音、消除报警信号操作。下图 3-14 是 OB1 中用于产生报警信号的程序段。

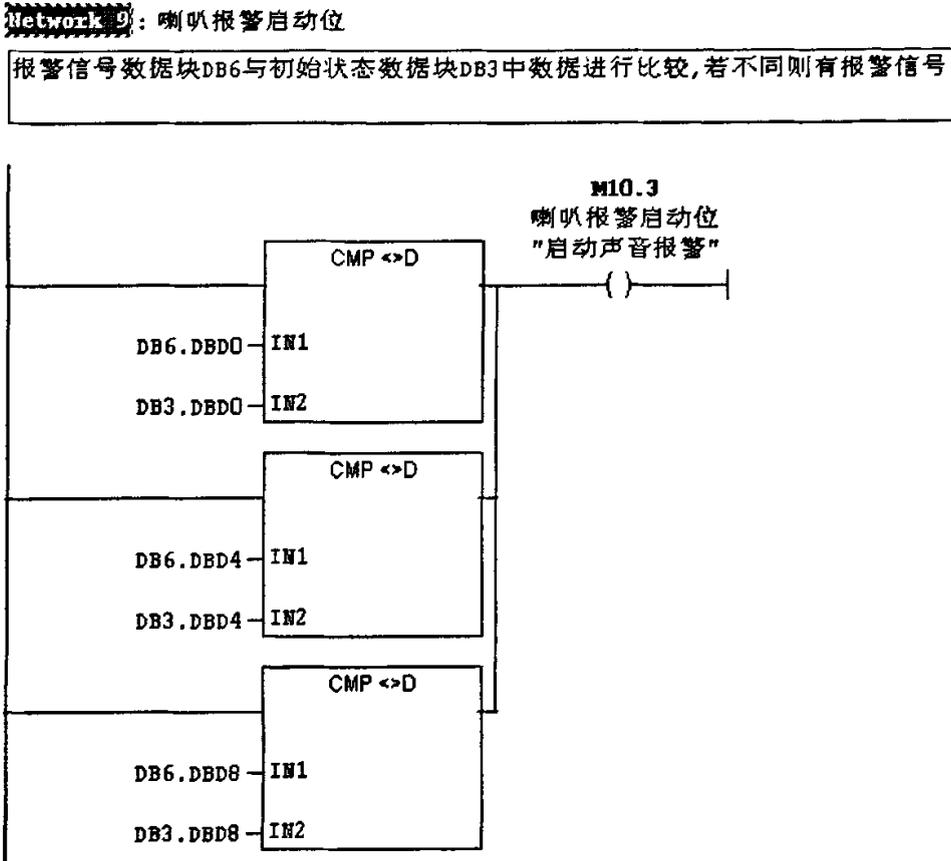


图3-14 故障报警信号程序段

图中，数据块 DB6 中存贮现设备的状态，而 DB3 数据块中存贮的是设备状态的初始值，当二者数据不相同，表示有设备故障停机，则 M10.3 为“1”，控制发出声响信号，同时在触摸屏上显示相关得故障报警信息，提醒操作者注意。

## 第四章 人机界面的软件设计

### 4.1 综述

MP370 是西门子公司开发的、用于在生产现场显示设备状况和建立与 PLC 通讯的多功能平台，在屏幕上可以显示设备的工作状态、当前 PLC 中数据，可方便地操作和监控相关的设备。为了使用 MP370，必须用 ProTool 软件<sup>[42]</sup>设计相关组态程序，并将序编译后下载到 MP370 中，设计者事先组态好的画面和相关控制功能就可以通过触摸屏来实现。

### 4.2 ProTool 组态软件简介

西门子 ProTool 软件由 CS 组态软件和可视化软件 ProTool/Pro RUN 组成<sup>[42]</sup>，这两个软件均可以在 Windows98、2000、XP 操作系统上使用，它们的作用是：使用 ProTool CS，在组态计算机上创建项目；使用 ProTool/Pro RUN，使项目在操作单元如 MP370 触摸屏上运行，使生产过程可视化，也可以在组态计算机上测试和模拟所编译的项目文件，但需要注意的是，模拟情况下不与 PLC 建立任何连接，仅供编程人员模拟运行，观察设计效果。测试状态下，必须与 PLC 连接，否则会显示“没有与 PLC 建立连接”故障信息。典型的应用如下图 4-1，在 PC 机中使用 ProTool CS 生成需要显示的画面和功能，然后下载到显示屏如 MP370，操作人员就可以通过显示屏监控设备的运转，从而控制生产过程。ProTool 软件的使用方法可参照西门子公司出版的相关手册。

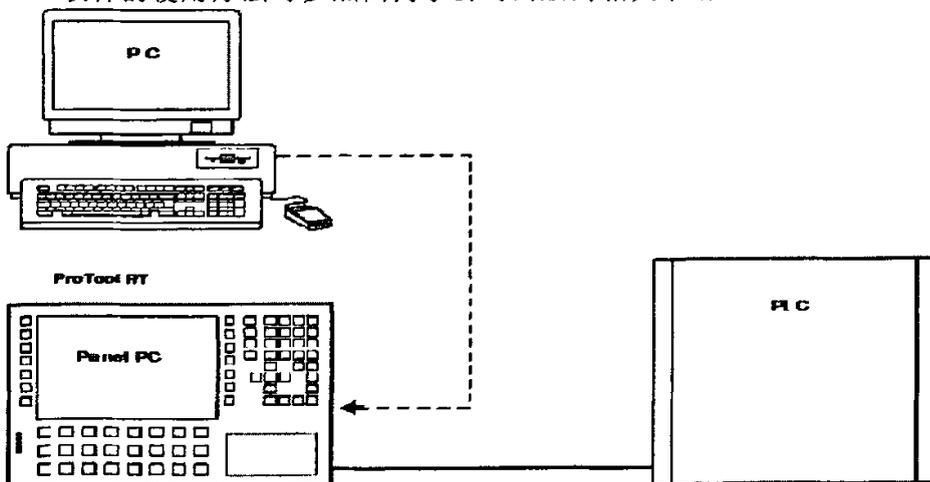


图4-1 PROTOOL 典型应用

### 4.3 触摸屏画面设计

本项目中与 PLC 连接的操作界面是西门子公司生产的 MP370 触摸屏，为了监控烤片机设备的运转状况，控制生产过程，就必须组态相关画面和控制功能，以下所描述的是设备状态画面和部分控制功能，从中也可以看出基本的组态过程。

#### 4.3.1 设备状态画面的组态

如下图 4-2，图中绿色线条表示的是设备的轮廓线，白色实心圆圈表示的是电机，根据电机运转状况的不同，实心圆圈在触摸屏可以显示为 4 种颜色，分别表示 4 种状态：红色表示处于停止，绿色表示正常运行，青色和黑色（触摸屏背景颜色）交替显示表示设备故障停机，红色和黑色（触摸屏背景颜色）交替显示表示设备在启动过程中，未在规定的启动时间内进入正常运转状态，操作者据此可以监视各台电机的运转状况。图中下方，是对应烤片机的各干燥区温度设定值，操作者可以在此直接改变设定值的大小，同时也可选择后边 § 4.1.3 节中叙述的“模拟量控制画面”来改变温度设定值，图中还有其它控制功能按钮，如最上边一排按钮用于选择不同的画面，以启动相关控制功能。

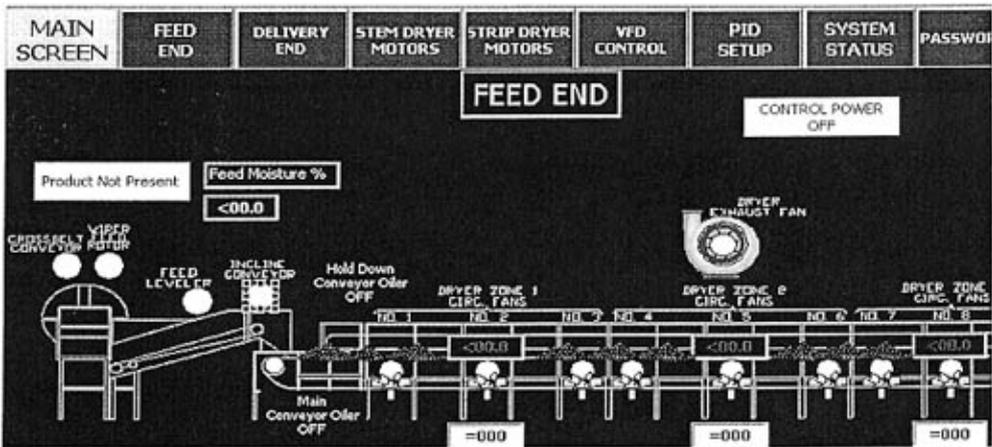


图4-2 设备状态画面

上图 4-2 所示意仅仅是部分设备图形，是烤片机进料和干燥区 1、2、3，对于烤片机其它设备和烤梗机设备图形这里不一一列出。为了使上图中的图形显示相应的颜色或可以输入设定值，就需要将图形和 PLC 中相关的地址建立起联系，根据地址中内容的不同，显示对应的颜色或向相关地址中写入需要的内容。如下图 4-3，以刮板底输送机电机为例，介绍设备状态（4 种颜色）和地址内容的对应关系，刮板底输送机电机状态对应的地址是 PLC 中数据块 DB5 的字节 DBB24，DBB24 是以二进制表示的整数类型数据，DBB24 中位 0 表示电机的状态，当 DBB24=0 时，即所有位为“0”时，表示电机的实心圆圈显示红色，表明

电机处于停止状态，当 DBB24=1 时，即位 0 为“1”，而位 1—7 均为零时，表明电机正常运转，颜色显示为绿色，同样道理可以定义故障、未完成启动等颜色，并且可以定义图形颜色是否在两种颜色间闪烁，以取得更好的显示效果。

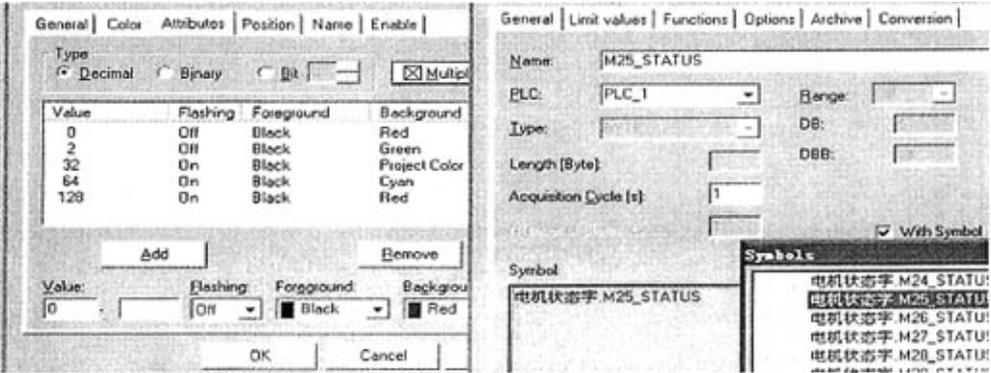


图4-3 设备状态与地址关系

干燥区的温度输入组态与上述设备状态显示原理基本相同，不同的是使用不同的组态功能，如下图 4-4 显示的干燥区 1 的温度设定值组态，使用的是“输入域”功能，在“输入域”功能的各选项上可以组态相关的内容，图中显示的是此输入域对应与 PLC 连接的地址为整数类型、数据块 DB220 中的字 DBW0。

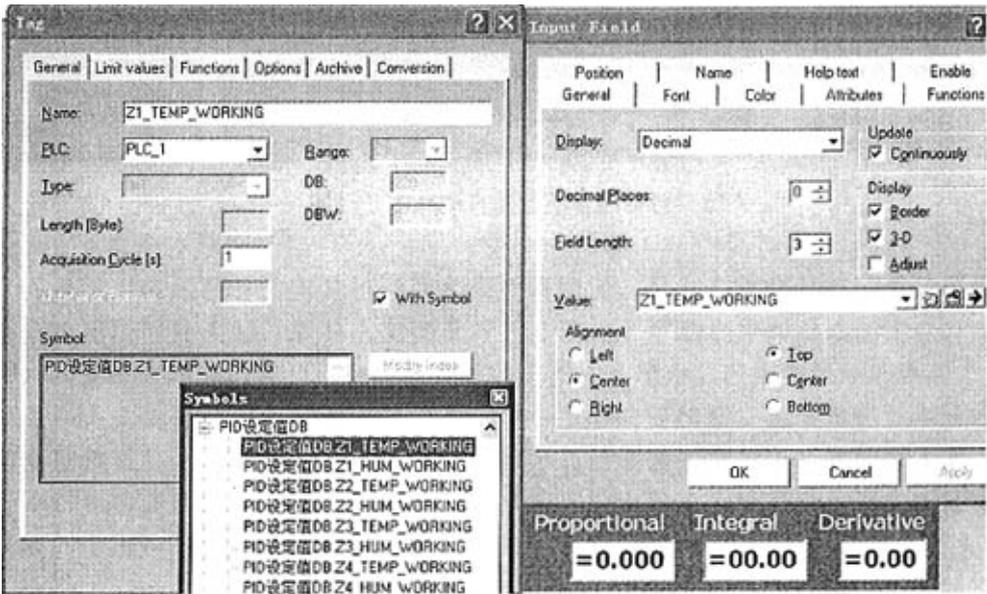


图4-4 干燥区 1 温度设定

按钮功能。触摸屏上设置的按钮相当于实物按钮，与按钮连接有 PLC 地址，可以定义在按钮按下或弹起时对地址写入相应的数值，PLC 中程序根据地址中值的不同，通过程序影响设备功能的执行。如下图 4-5，显示的是主网筛自动加油器对应的启动按钮，此按钮与 PLC 中数据块 DB4 中字节 28 的第 4 位，即

DBX28.4 地址对应,按钮功能设定的是当按钮被按下时,将其对应的地址置“1”,也即 DBX28.4=“1”,从而 PLC 中程序执行后,主网筛自动加油器将启动,给主网筛链条加油,当按下停止功能按钮后,停止加油过程。

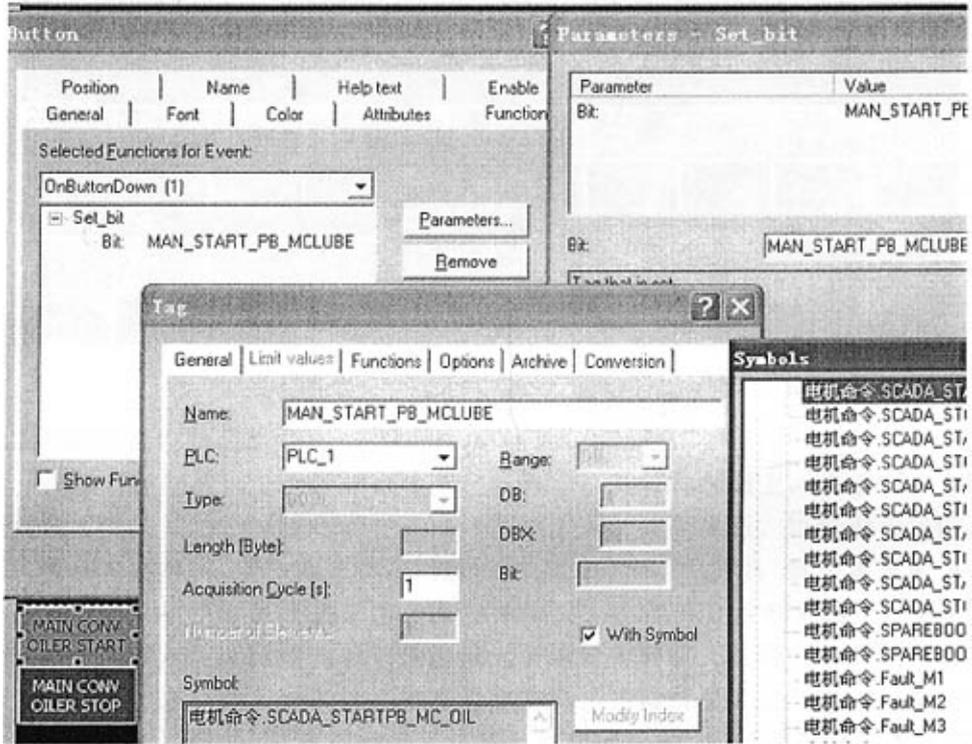


图4-5 主网筛自动加油器控制按钮组态

#### 4.3.2 电机启停画面

电机启停画面分为烤片机画面和烤梗机画面,分别用于烤片机和烤梗机设备上电机的启停控制,屏幕上主要设置 PLC 模式下手动启停和自动启停选择按钮,以及相应的手动和自动启停按钮,如下图 4-6 所示。在图中显示的画面上,有工作方式选择按钮、自动启停按钮、单台手动启停按钮、消音按钮和报警信号复位按钮。为了安全考虑,只有在工作方式已选择的情况下,操作者才能进行下一步启停操作,否则即使启动按钮被按下,设备也不能启动。图中各按钮功能的组态和图 4-5 所示类似,不同的是对应的 PLC 地址有所变化。

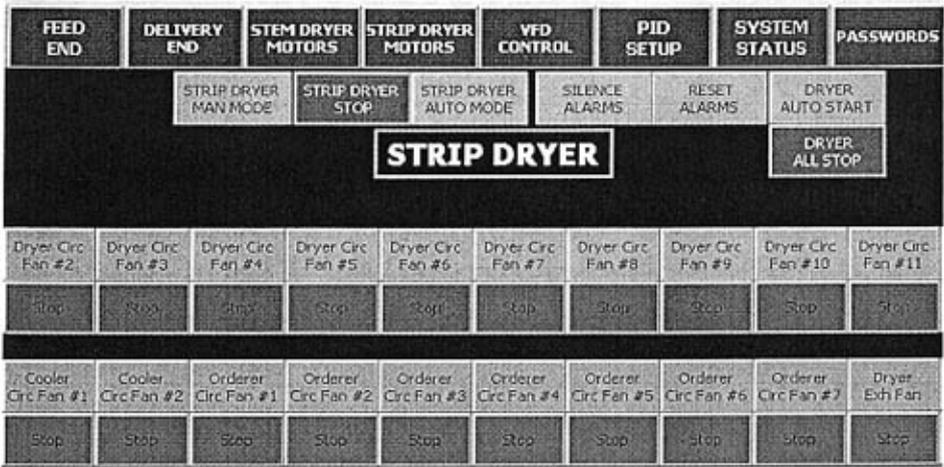


图4-6 烤片机电机启停控制画面

#### 4.3.3 模拟量控制画面

模拟量控制画面分为管理画面和控制画面，在管理画面上，设置有多个画面按钮，如下图 4-7，操作者在此选择需要进入的控制界面，以修改设定值、PID 控制参数等，例如按下“Z1 TEMPRETURE PID”按钮后，就可进入图 4-8 中显示的烤片机干燥区 1 的温度 PID 控制界面，在此 PID 控制界面上，有 PID 控制参数的输入域，此输入域只供编程人员或设备调试人员调整 PID 控制参数时使用，由于这些输入域的操作带有特定密码，正常情况下设备操作员是无权改变 PID 控制参数的，只有在相关人员输入授权密码时，才能通过它们改变 PID 参数，这就避免操作员去随意修改 PID 参数造成控制过程的不稳定。

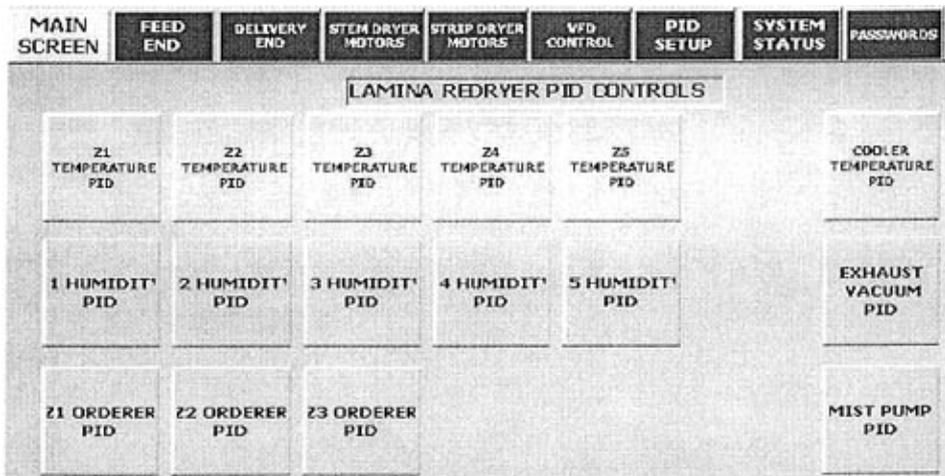


图4-7 模拟量控制管理画面

在下图 4-8 中，除上述可以改变 PID 控制参数外，图中还设置了两种显示

过程控制情况的画面。第一种是用条形棒图进行显示，黄色条形棒图代表的是温度设定值大小的图形，黄色条形棒图正下方分别为温度设定值的显示区域和输入区域，显示区域可以实时显示现在设定值的大小，输入区域用于操作者调整设定值的大小，可以直接输入想要的数值。蓝色条形棒图和正下方的显示区域用于显示测量值的大小。绿色条形棒图和正下方的显示区域显示的是阀门或其它执行机构的开启度大小，以百分数的形式表示，同时还有此PID控制选择，当选择自动时，由PLC的输出自动控制调整，若选择的是手动输出时，则PLC的输出不起作用，由操作员在屏幕上输入手动输出值。第二种是用趋势图进行显示，在趋势图上同样使用黄色、蓝色、绿色三种曲线表示设定值、实际测量值、开启度大小，图中可以显示30分钟内曲线的变化情况，便于操作人员从图上观察过去30分钟内变化情况，从而保证了及时进行正确的调整。

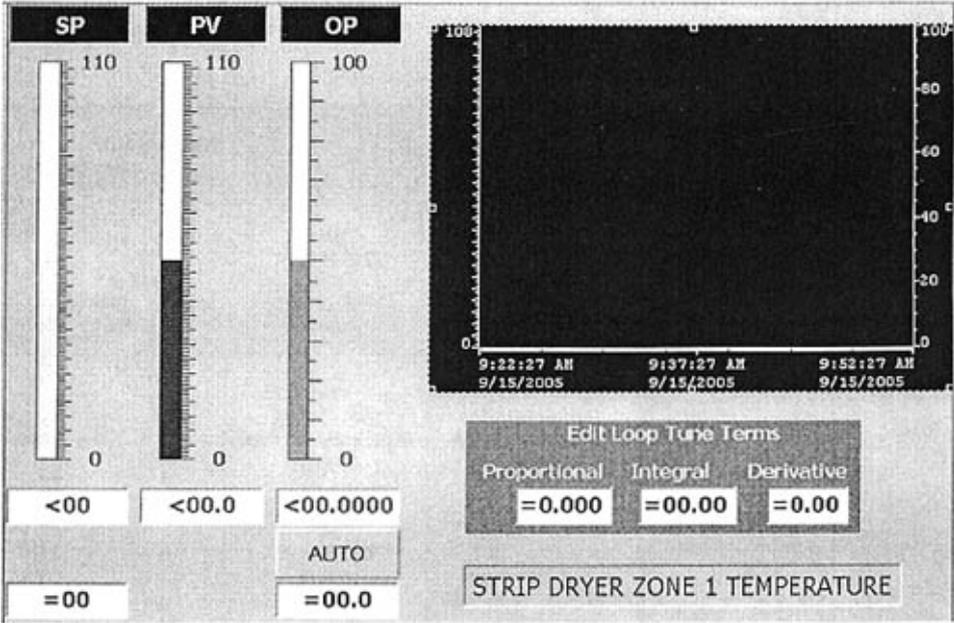


图4-8 烤片机干燥区1的温度PID控制界面

#### 4.3.4 其它画面

除上述主要监控画面外，组态的项目中还有口令管理画面、数据存取画面等，用于其它辅助控制管理。

## 第五章 程序仿真与结果分析

### 5.1 仿真软件简介

S7-PLC SIM 是一可选软件，由西门子开发的、专用于 S7-300 和 S7-400 系列 PLC 仿真软件<sup>[42]</sup>，可以在编程设备上使用，程序设计人员可以将编好的 PLC 程序下载到仿真 PLC 中用于测试的目的，由于该模拟功能由 STEP7 软件实现，故不需要任何 S7 硬件（CPU 或信号模块模板），其操作界面见图 5-1。这个应用程序提供了一个简单的用户界面，用户可以修改和监视程序中使用的参数、变量等，监控程序的执行。若结合 § 4.2 中所叙 Pro RUN 测试软件，完全可以模拟现场设备的运行与操作，在编程设备上就可以预先调整各模拟控制中的 PID 参数。

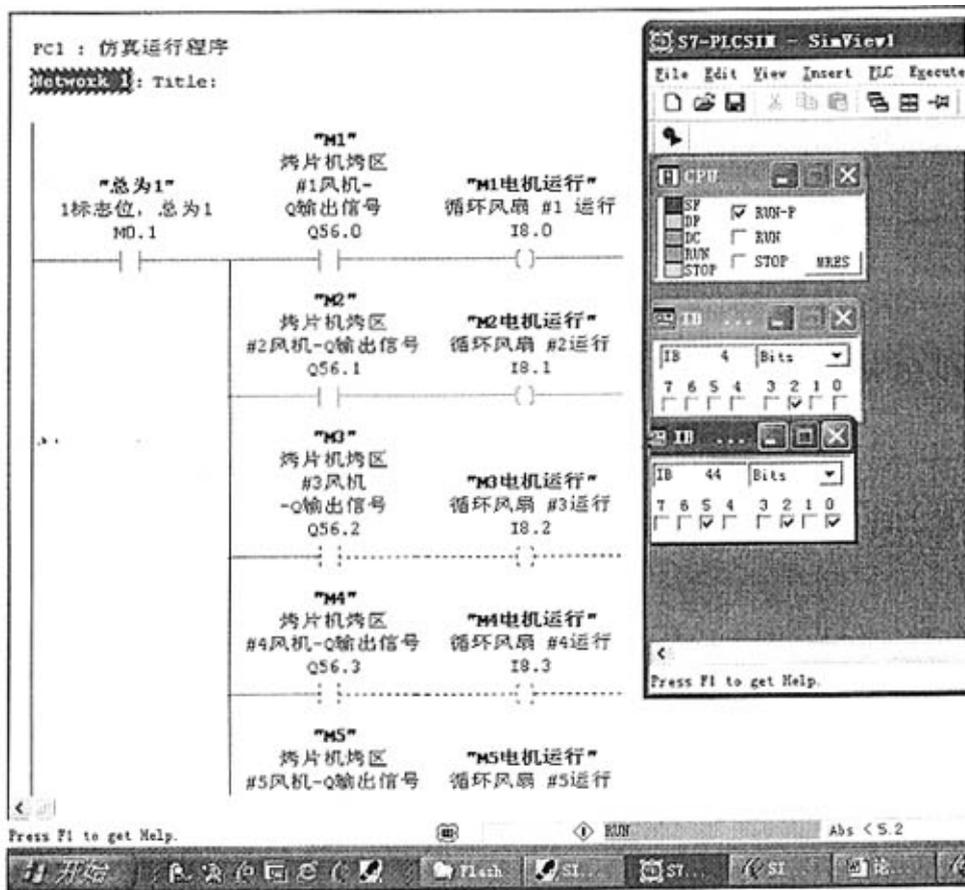


图5-1 S7-PLC SIM 操作界面

## 5.2 程序的仿真与分析

### 5.1.1 PLC 程序调整

为了进行仿真，PLC 程序需要做一调整，以在触摸屏上启动按钮按下后，使 PLC 可以检测到设备已处于运行状态。如下图 5-2 所示，增加了一功能块 FC1，专用于 PLC 的模拟。

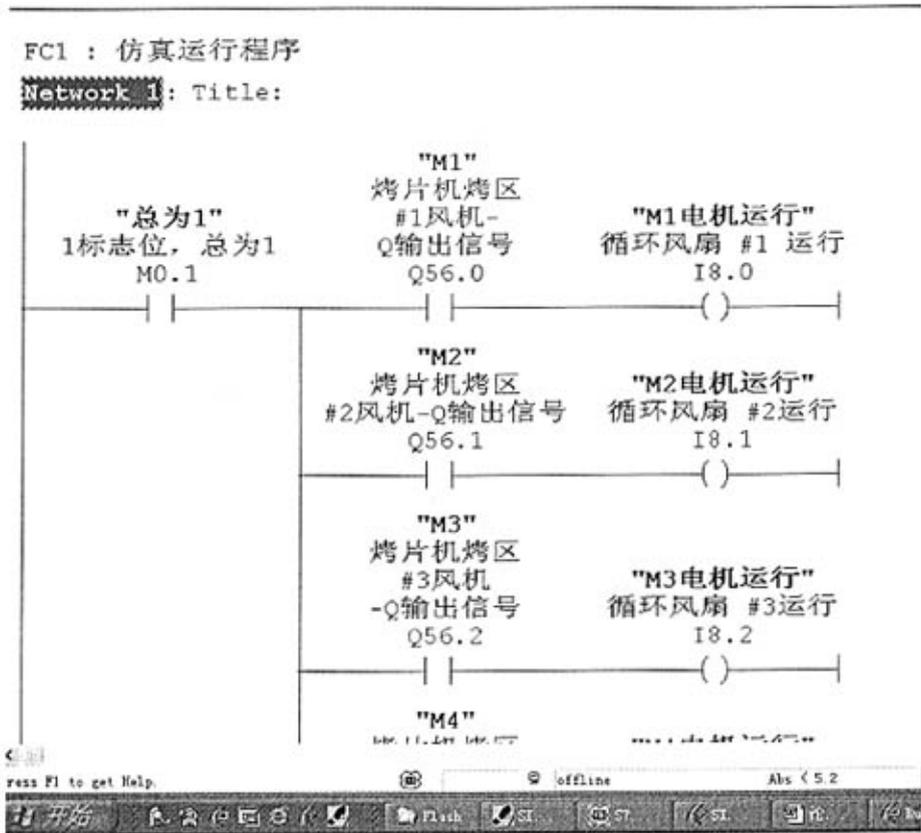


图5-2 仿真功能块 FC1

在此功能块中，PLC 的数字量 I 输入信号的状态由 PLC 的 Q 输出信号决定，这样一来，当模拟运行时启动设备后，也即 Q 信号为“1”时，对应的 I 输入信号也为“1”，PLC 就可以确认设备已正常运行，从而 PLC 可以执行下一步控制功能。FC1 功能块在 OB1 组织块中被调用，在模拟测试完成后，FC1 块和 OB1 中相应的调用命令将删除，以避免使现场设备不能正常运行。

## 5.1.2 程序的仿真

### (1) 设备启停模拟

在 PLC 程序设计完成后，启动 S7-PLC SIM 软件，在 STEP7 界面下，通过下载功能将硬件组态和相关程序下载到模拟 PLC 中，启动 § 4.2 中所叙 Pro RUN 测试软件，然后启动模拟 PLC，转到电机启动画面，选择手动启动模式，启动烤片机的干燥区 1 号、2 号、3 号、4 号电机，模拟的触摸屏画面如下图 5-3，图中最上边显示了烤片机设备处于手动工作模式，1 号、2 号、3 号、4 号电机的启动按钮由黑绿色转为绿色，说明电机已正常运转，而其它的电机未启动，故其对应的启动按钮为黑绿色。从 S7-PLC SIM 界面中的 PLC 输入信号 I8（字节）、输出信号 QB56（字节）也可以看出，对应的设备状态输入信号 I8.0—I8.3 和输出信号 QB56.0—QB56.3 全部为“1”。

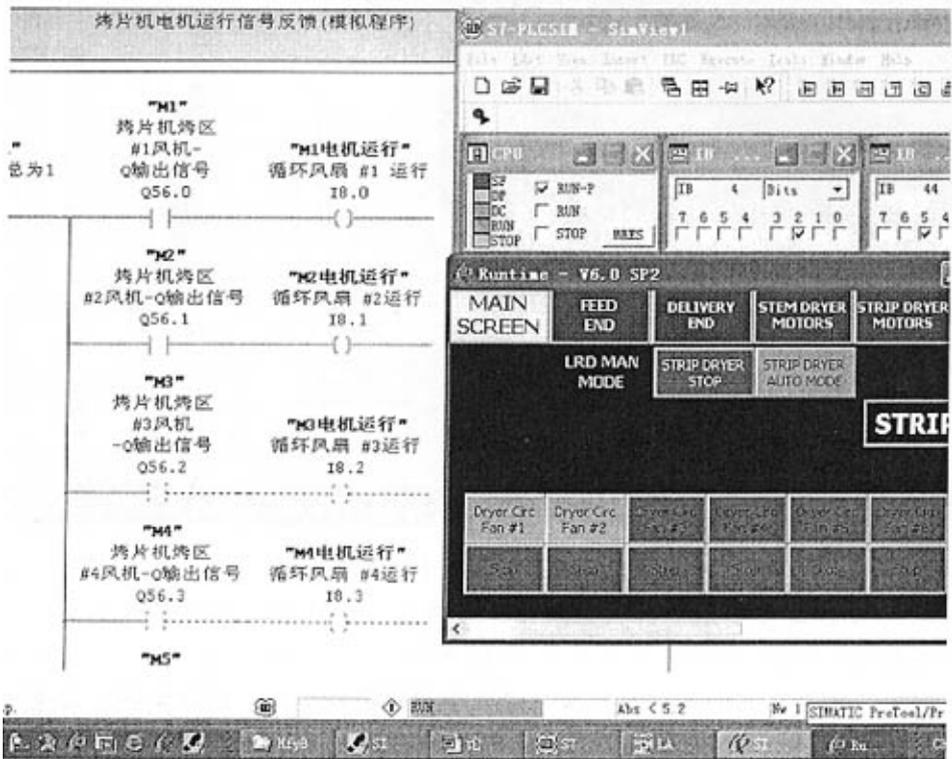


图5-3 设备启停模拟控制

### (2) PID 参数预调整

本项目中模拟量的控制主要是温度、压力、湿度、烟叶水份的控制，由于实际控制过程对动态快速调整要求低，故使用的是 PI 调节器。在参数设置中，微分参数全部为 0，实际上模拟量的控制使用的是 PI 运算，下边以干燥区 1 为例说明 PI 参数的预设过程。根据烤片机设备改造前的状况，正常情况下叶片

复烤机干燥区 1 的阀门开启度在 20%左右，设定温度在 70 摄氏度，根据实际使用情况，初步估计阀门开启度增加 1%时，温度提升约 3 摄氏度，由于蒸汽压力变化、进料流量和进料水份变化等因素的影响，实际温度在设定值的±2 摄氏度范围内变化，为了在温度变化时快速响应，根据第二章中分析的算法，调整 P 参数的大小即可调节快速响应，在模拟运行画面上，将 I 和 D 参数设为 0，输入温度设定值和实际值，使二者的差为 3，根据输出信号百分比大小就可以初步确定一合适的 P 参数值，如下图 5-4。

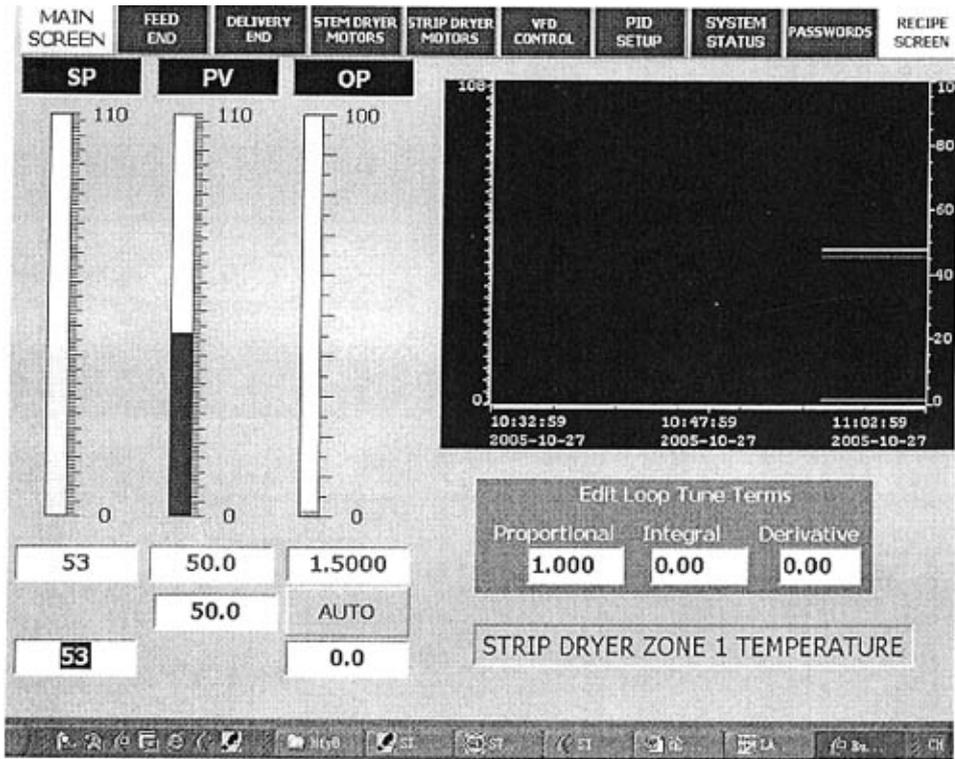


图5-4 比例系数 P 的估算

上图中，温度设定值为 53，实际温度值人为定为 50，P 参数等于 1，则为了升温，输出将立即增加 1.5%，比预测的 1%大 1.5 倍，这样可以保证快速响应，实际中 P 参数是否等于 1，需要根据现场运行状况进一步调整。

积分时间常数的确定。在确定积分时间常数时，可以让 P 和 D 参数的值等于 0，由于稳态状态下 PI 运算的输出实际上是以前积分值的积累，积分的作用是使控制过程趋向稳定，故积分时间常数不宜过大，考虑到干燥区实际温度在设定值的±2 范围内变化，为了估算积分时间常数，初步使设定值与实际温度值相差 1 摄氏度，P 值等于 1，D 值等于 0，然后输入不同的积分时间常数，根据模拟监控屏幕上输出值的变化，确定一合适的积分常数，在这里以 5 秒钟输出增加 0.1 为准初步确定得积分时间常数为 25，见图 5-5。

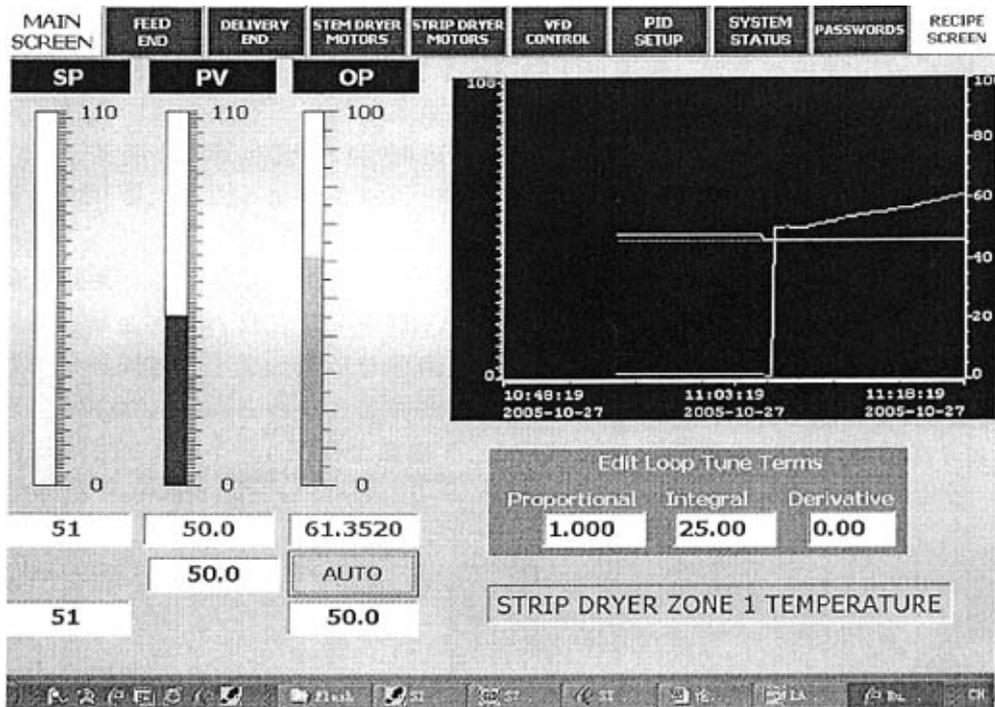


图5-5 积分时间常数 I 的估算

温度、压力、湿度、烟叶水份的控制过程全部是慢速控制过程，初步确定的干燥区 1 的 P、I 参数，实际上可以用于所有的模拟控制，在现场调试中可以根据实际控制情况进行进一步调整。

### 5.3 现场调试与结果分析

现场调试的目的，是进一步完善控制程序和调整 PID 参数，以符合实际使用情况。由于温度、蒸汽压力、烟叶水份、湿度控制全部是慢速控制，对动态快速调整要求低，故实际使用的是 PI 控制调整，而 D 参数为零，微分不起作用。

将 PLC 控制程序下载到 S7-300CPU 中，分别使用 UDC 模式和 PLC 模式启动设备，检查控制设备运行状况，要求继电器控制线路工作正常，PLC 工作正常，在两种工作模式下，模拟信号均可正常控制。对于数字量信号，是否带料生产，并不影响控制功能的执行，但对于模拟量控制，为了尽可能达到更好的控制效果，需要在带料生产中根据实际使用情况，逐步调整 PI 参数值。在生产中，最能反映实际使用效果的是在物料开始进入设备时的实际控制情况，因为物料从无到有时，温度、湿度等变化最大，能否及时使温度、湿度等很快稳定下来，对产品的质量有非常大的影响，稳定的时间越短，对产品质量越有利。以下仍以烤片机干燥区 1 为例，说明 PI 参数的调整。

为检验 § 5.1.2 中所述模拟运行预估计的 P、I 数值是否合理，在现场调试时首先使用较小的 P、I 数值，记录下实际工作曲线，然后再与较大 P、I 值情况下的工作曲线进行比较，以此来观察实际使用效果。

下图 5-6 是减小 P 参数值和积分时间常数后，物料从无到有时现场测得的温度曲线图，从图 5-6 中可以看出，温度的上下波动幅值较大，调整周期长，从物料开始进入到温度基本稳定耗费的时间长达近半个小时，在此期间操作人员难以很好地控制烟叶水份的大小。为加快调整过程，需要增加 P 的数值，将误差信号放大，根据第二章中对 PID 运算的分析，调整 P 数值的同时，实际上若积分时间常数不变，则积分的作用相应也被放大，这样一来可能造成控制过程的不稳定，因此在调整 P 值的同时，需要同步调整积分时间常数，若想保持积分作用的大小不变，则 P 值增加 X 倍时，积分时间常数也必须同时增加 X 倍。



图5-6 P、I 参数值较小时温度曲线

在实际调整中，将 § 5.1.2 中模拟运行时预计的比例系数 P 值 1 和积分 I 值 25 输入，以检查物料开始进入时温度曲线情况。下图 5-7 是初始 P=1、I=25 时，多次调整 P 和 I 值后得到的干燥区 1 的温度曲线图，其前提条件同上述得到图 5-6 时一样，即在物料开始进入后的一段时间内实际调节情况。实际上图 5-7 中的 P 值和 I 值已与 § 5.1.2 中模拟运行时预计的有所不同，这是综合考虑物料开始进入和物料稳定进入后两种情况下的控制状况而得到的 P 值和 I 值，从图中可以明显看出，较图 5-6 中曲线状况，温度的上下波动幅值明显减小，调整周期大大缩短，从物料开始进入到温度基本稳定耗费的时间大约为 10 分

钟，这说明 § 5.1.2 中分析得到的 PI 参数基本符合实际需要。



图5-7 P、I 参数值较大时温度曲线

实际上，上图 5-6 和图 5-7 虽然反映的是物料开始进入干燥区 1 时实际温度变化和调整情况，但这不过是为了更清楚、直观并尽可能在同等条件下对比 PI 参数值调整后前后效果的需要，而人为规定从物料开始进入后记录温度曲线。对于物料稳定进入干燥区时，因物料流量变化、水份含量变化、蒸汽压力变化等造成的温度波动，两套 PI 参数值情况下的 PI 控制调节效果完全可以根据图 5-6 和图 5-7 来判定好坏。

## 第六章 结论

本课题是华环国际烟草有限公司叶片复烤机项目改造的一部分，主要是设计叶片复烤机的电气控制系统，除具备基本的设备启动与停止控制功能外，还具有设备状态监控与故障报警功能，最主要的是使温度、水份等模拟量的过程控制平稳，误差小，满足了生产的需求。

根据技术要求，本课题设计了一套电气控制系统，主要成果如下：

1、具备两套独立的核心控制系统：一套 PLC 控制系统，一套紧急情况下使用的 UDC 控制系统，二者均可完成生产过程的控制，系统在国内同行业中处于先进技术水平。

2、具有友好的人机界面，操作人员可以现场直观地对设备控制状况进行调整，监控设备运转状态，获取故障信息，减轻操作人员的负担。

3、使用 S7-PLC SIM 仿真软件，在不使用实物 PLC 的情况下，模拟了 PLC 和设备的运行，结合可视化软件 ProTool/Pro RUN，预测了 PID 控制的效果和程序的运行，大大缩短了调试的时间。

4、本控制系统使用了当前流行的 Profibus 总线，将变频器与 PLC 的数据交换通过总线来实现，节约了成本，使得系统扩展不受现场状况的限制，可以在需要时增加变频器或分布式 I/O 设备。

该控制系统自 2005 年 8 月运行至今，实际使用效果良好，烤房温度偏差在士 1 摄氏度，水分稳定控制在生产技术指标内，但仍有部分问题需要进一步研究：

由于受原来生产线现状的制约，本控制系统与其它控制系统间无网络连接，使得信息相互不能共享，更不能用上位机统一监控整个生产线，因此通讯网络和上位机监控值得进一步研究。

## 参考文献

- [1] 胡开文.烟叶打叶复烤工艺与设备.北京:化学工业出版社,2002年
- [2] 宫长荣,于建军等.烟草原料初加工.北京:中国轻工业出版社
- [3] 国家烟草专卖局技工培训教材编写组.烟叶复烤工艺与设备.山东科学技术出版社,1985
- [4] 打叶复烤工培训讲义.北京:国家烟草专卖局职业技能鉴定指导中心,2001年
- [5] 陈家东,陶志麟,刘金喜.打叶复烤加工过程造碎及碎片处理工艺研究[J].郑州:烟草科技,2000年
- [6] 李跃峰,姜焕文,刘志平,徐若飞,林平.烟叶温度和含水率与打叶复烤质量的关系.郑州:烟草科技,2005年
- [7] 唐鸿儒.现场总线设备管理技术.上海:自动化仪表,2000年
- [8] 李兵.现场总线技术.上海:自动化仪表,2000年
- [9] 马伯渊,穆国华.SIEMENS S7-300/400 PLC的两种程序设计方法的比较分析.黑龙江:自动化技术与应用,2005
- [10] 辜新才.Profibus-DP 现场总线在卷接机组中的应用.黑龙江:自动化技术与应用,2005
- [11] 熊幸明.PLC控制系统的可靠性设计.上海:自动化与仪表,2004年
- [12] 周耀东.PLC与触摸屏在烟草制丝薄片线的应用.重庆:自动化与仪器仪表,2004
- [13] 郑晓峰.PLC控制系统故障诊断与排除的研究.北京:制造业自动化,2004年
- [14] 姜建芳,苏少钰,陈庆伟,周晓平.西门子S7-300系列PLC与PC机通讯实现的方法.北京:制造业自动化,2003年
- [15] 陈丹龙.PLC模拟量输入模块对电压和电流信号处理方式比较.南京:工业控制计算机,2005年
- [16] 刘善增.PLC控制系统的可靠性设计.南京:工业控制计算机,2004年
- [17] 刘汉林.基于西门子PLC控制的变频器驱动系统在冶金原料吊车中的应用.南京:工业控制计算机,2004年
- [18] 张万忠.可编程控制器逻辑控制类程序“经验法”编程思路的探讨.南京:工业控制计算机,2003年
- [19] 吴爱萍.PLC控制的设计技巧.南京:工业控制计算机,2003年
- [20] 吴宏岐.设计PLC控制系统时的I/O点节省方法.南京:工业控制计算机,2001年

- [21] 施晓红, 佘龙华. SIEMENS PLC 子网中的 PROFIBUS-FDL 服务的应用. 南京: 工业控制计算机, 2001 年
- [22] 安治水, 李颖辉, 吕永建. 可编程控制器在电器控制应用中的展望. 沈阳: 控制工程, 2003 年
- [23] 熊幸明. 减少 PLC 控制系统 I/O 点的研究与探讨. 天津: 电气传动, 2003 年
- [24] 段苏振. 提高 PLC 控制系统可靠性的设计因素. 天津: 电气传动, 2003 年
- [25] 赵荣祥, 胡赫尘, 盛苏. S7-300PLC 在智能锻件分选系统中的应用. 天津: 电气传动, 2003 年
- [26] 王平, 刘复玉. PLC 自动控制系统可靠性研究. 天津: 电气传动, 2001 年
- [27] 张文庆. 用 PLC 的软件实现 PID 闭环控制. 黑龙江: 自动化技术与应用, 2003 年
- [28] 杨叔子, 杨克冲, 吴波, 熊良才. 机械工程控制基础. 华中科技大学出版社, 2002 年
- [29] 汪志锋, 苏家健, 侯巧文. 可编程控制器原理与应用. 西安电子科技大学, 2004 年
- [30] 袁任光. 可编程控制器选用手册. 北京: 机械工业出版社, 2002 年
- [31] 宣练中, 王燕生等编. 可编程控制器及其应用. 北京: 机械工业出版社, 1993 年
- [32] 吕景泉. 可编程控制器技术教程. 北京高等教育出版社, 2001 年
- [33] 郑晟, 巩建平, 张学编著. 现代可编程控制器原理与应用. 北京科学出版社, 1999 年
- [34] 王亚星. 怎样读新标准实用电气线路图. 北京: 中国水利水电出版社, 2002 年
- [35] 西门子公司 Configuring Hardware and Communication Connections with STEP7 V5.1 手册. 北京: 西门子(中国)有限公司, 2000 年
- [36] 西门子公司 Working with STEP 7 V5.1 (Getting Started) 手册. 北京: 西门子(中国)有限公司, 2000 年
- [37] 西门子公司 S7-300 Instruction List. 北京: 西门子(中国)有限公司, 2003 年
- [38] 西门子公司 S7-300 产品目录. 北京: 西门子(中国)有限公司, 2003 年
- [39] 西门子公司 Ladder Logic for S7-300 and S7-400 手册. 北京: 西

西门子（中国）有限公司，2000年

[40] 西门子公司 Statement List for S7-300 and S7-400 手册. 北京：西门子（中国）有限公司，2000年

[41] 西门子公司 Programming with STEP 7 手册. [42] 西门子公司 ProTool/ProV6.0 How to configure Windows-based systems 手册. 北京：西门子（中国）有限公司，2001年

[43] 西门子公司 Standard Software For S7-300 and S7-400 PID Control 手册. 北京：西门子（中国）有限公司，2000年

[44] 西门子公司 S7ProSim 手册. 北京：西门子（中国）有限公司，2002年

[45] 西门子公司 MICROMASTER PROFIBUS Optional Board 手册. 北京：西门子（中国）有限公司，2002年

[46] 西门子公司 MICROMASTER 420 0.12-11KW Operating Instructions. 北京：西门子（中国）有限公司，2002年

[47] 西门子公司 MICROMASTER 420 Parameter List. 北京：西门子（中国）有限公司，2002年

## 在读期间发表的论文

### 一、发表论文

[1]胡发运.变频器的应用与维护.电气时代,2005

[2]胡发运.PLC控制系统的抗干扰方法.控制与传动,2005