

---

# 基于组态软件的蒸馏塔监控系统设计与仿真

## 中文摘要

原油蒸馏过程是大型炼油厂和石化企业的龙头工序。出于这种重要性，对其生产工艺和过程自动化的研究也已经相当深入。基于组态技术的 DCS 系统在我国炼油厂已得到较广泛的应用。利用组态技术对蒸馏塔装置实施过程控制和生产监控管理，实现了过程监控从控制室到办公桌面的延伸，大大提高生产管理和设备维护的实时性和效率。

本文是在前人研究的基础上，以原油蒸馏塔为具体的过程对象，将控制理论和实践相结合，运用一些适合于工业现场的建模、控制和优化策略，利用福大自动化开发的 IAP 组态软件平台，设计一个蒸馏塔监控系统和仿真模型。将蒸馏塔的设备模型、DCS 控制逻辑和蒸馏塔的实际运行操作人机界面三者相结合，进行运行监控，数据采集、存储，以及人机对话，构成体现现代工业控制水平的仿真系统。并通过仿真调试，以此来验证控制系统是否满足功能要求。

本文主要从以下几个方面进行探讨：

- 1 分析蒸馏塔的工艺流程和蒸馏塔常规过程控制策略，深入研究了蒸馏塔的建模问题；
- 2 探讨了组态软件的基本原理和结构，分析了组态软件在蒸馏塔监控系统中的应用；
- 3 学习和使用福大自动化开发的 IAP (Industrial Automation Platform) 工业自动化通用技术平台，包括实时数据库 RDB、人机界面 DEView 和 Logicad 组态逻辑 3 大部分；
- 4 对蒸馏塔监控系统中关键部分进行了控制方案的研究和实施，重点探讨了 PID 串级控制在塔顶温度流量控制方面的应用；
- 5 仿真模型的构建，以及利用仿真模型进行调试，优化控制策略。

**关键字：**组态软件，蒸馏塔，监控系统，PID，串级控制，仿真

---

# **The design and simulation for the Control System of distillation column based on Configuration Software**

## **Abstract**

Crude oil distillation process is a leading process of the large refinery and petrochemical enterprises. Important as it is , the research of its production processes and process automation has also been very in-depth. The DCS system based on the configuration technology has been more widely used in refineries in China. Using configuration technology to monitor the implementation of process control and production management of the distillation unit, has implemented the process control from the controlling room to the extension of the desktop office, which greatly improves the production management and equipment maintenance, real-time and efficiency.

This article is based on previous studies, crude oil distillation process for the specific object, combining the control theory with practice, using some suitable industrial site modeling to control and optimization strategy. Use the IAP configuration software platform designed by FuDa Automatic to design a distillation tower monitoring system. Build a link among the model of distillation tower, the DCS Logic and the operational HMI, to realize supervisory control, data acquisition and memory, human-computer interaction, thus can build the simulation system which can indicate the modern industrial controlling standard .Then, using the simulation debugging to verify the control system meets the functional requirements.

**Key words : Configuration Software, distillation column, Control System, PID, Cascade control, stimulation**





# 第一章 绪论

## 1.1 课题研究的背景和意义

中国是能源消耗大国。随着我国经济的快速发展,对能源的需求越来越强烈。国际能源市场的竞争日趋激烈。国内石化炼油企业面临新的挑战。对企业来说,除了改进生产工艺以外,加快生产管理自动化和安全监控系统的建设,也是提高竞争力的有效手段之一。

随着微型计算机技术和自动控制技术的不断进步与发展,许多领域中都引入了计算机自动检测与控制技术,而且随着各领域中研究内容的不断深入与发展,对计算机自动测控系统的要求也越来越高。作为其载体的现代工业控制的组态软件在我国也得到了极大的发展。

基于组态技术的DCS系统在我国炼油厂已得到较广泛的应用。利用组态技术对蒸馏塔装置实施过程控制和生产监控管理,实现过程监控从控制室到办公桌面的延伸,大大提高生产管理和设备维护的实时性和效率。

## 1.2 系统设计的总体方案

本课题研究的主要内容是将蒸馏塔的设备模型、DCS控制逻辑和蒸馏塔的实际运行操作人机界面三者相结合,进行运行监控,数据采集、存储,以及人机对话,构成体现现代工业控制水平的仿真系统。实现控制站与模型站之间的通信,人机界面同模型站之间的数据传送,有效完成数据输入输出的处理。

系统要求:实现监控系统的运行模拟,模拟设备启停操作、调节功能以及系统的一些参数离线设置和在线修改;模拟故障产生,实现故障报警;实现系统自动控制和实时监控功能。

## 第二章 蒸馏塔概述

### 2.1 蒸馏塔简介

石油蒸馏是大型石化企业中的重要生产环节,由于其过程是整个石化生产流程中的龙头环节,几乎在所有的石化企业中,第一个加工装置就是蒸馏塔装置,例如拔顶蒸馏、常减压蒸馏等就是借助蒸馏的过程,蒸馏过程所用到的装置就叫蒸馏塔。原油的一次加工不仅直接产出成品油,而且部分侧线抽出的产品还将作为后道工序的原料。因此,该蒸馏塔装置的生产水平的高低直接影响到原油的利用率和企业的经济效益。在炼油厂的各种二次加工中,蒸馏仍是不可缺少的组成部分。

### 2.2 工艺流程

目前炼油厂常采用的原油蒸馏流程是双塔流程或三塔流程。双塔流程包括常压蒸馏和减压蒸馏,三塔流程包括原油初馏、常压蒸馏和减压蒸馏。大型炼油厂一般采用三塔流程<sup>[4]</sup>。

依据原油加工成产品的用途不同,原油的蒸馏工艺流程大致可分为三类:

- 1) 燃料型,以生成汽油、煤油、柴油、减压馏分油以及重质燃料油为主;
- 2) 燃料—润滑油型,以生成汽油、煤油、柴油、减压馏分油以及重质燃料油为主,对减压馏分油的分离精度要求较高,减压塔侧线馏分的馏程相对较窄;
- 3) 化工型,以生成汽油、煤油、柴油、减压馏分油以及重质燃料油为主,汽油、煤油和部分柴油用作裂解原料,因此其分离精度要求较低。

上述三种类型的原油蒸馏流程基本相同,下面以燃料型来介绍原油蒸馏的基本流程,包括原油初馏、常压蒸馏和减压蒸馏三部分。

对原油蒸馏,国内大型炼油厂一般采用年处理原油 250~270 万吨的常减压装置,它由电脱盐、初馏塔、常压塔、减压塔、常压加热炉、减压加热炉、产品精馏和自产蒸汽系统组成。原油常减压蒸馏流程示意图如图 1-1 所示。

原油经过泵增压后首先进入电脱盐罐脱盐,然后经过预热进入初馏塔进行蒸馏,从塔顶获得蒸顶汽油,剩余的从初馏塔底部抽出;经过常压炉加热后,与汽提蒸汽一起进入常压塔进行蒸馏。从塔顶获得常顶汽油,在常压塔侧面按一定的回流比开一些侧线,从汽提塔侧面抽取航空煤油、轻柴油、重柴油等产品,剩余的部分从常压塔底部经过减压炉加热后进入到减压塔进行蒸馏。

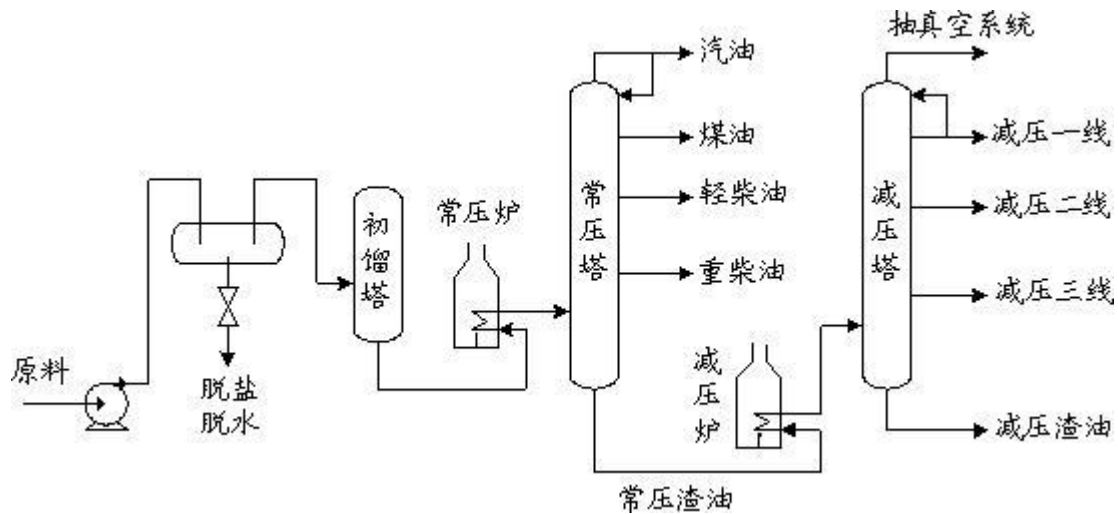


图 1-1 原油常减压蒸馏流程示意图

### (1) 初馏塔

初馏塔的主要作用是脱水，减少常压塔负荷，保证常压塔有良好的操作。一般初馏塔塔顶只出汽油或铂重整原料，不开侧线。但也有为了更好地减少常压炉和常压塔负荷开初馏一线，经冷却后进入常压一线抽出口附近的塔板。考虑操作上的便利，初馏一线还设有汽提塔。初馏塔的原油进料温度一般控制在  $200^{\circ}\text{C}$ – $240^{\circ}\text{C}$ 。初馏塔塔顶温度为  $60^{\circ}\text{C}$ – $100^{\circ}\text{C}$ 。初馏塔塔底温度为  $180^{\circ}\text{C}$ – $230^{\circ}\text{C}$ 。

### (2) 常压塔

常压塔的主要作用是切割  $350^{\circ}\text{C}$  以下的馏分，如汽油、煤油和柴油等，也切割一部分二次加工原料，如裂化原料或变压器油原料等。常压塔侧线开得比较多，一般开三至四个侧线。常压塔塔顶出汽油，常压一线出航空煤油，常压二线出轻柴油，常压三线出重柴油，常压四线出裂化原料或变压器油原料。除开侧线外，常压塔还设有一至三个中段循环回流，使塔的负荷分布均匀。常压塔侧线一般均设有汽提塔，以提高产品的闪点和分离效果。常压塔进料温度一般为  $360^{\circ}\text{C}$ – $370^{\circ}\text{C}$ ，塔顶温度为  $100^{\circ}\text{C}$ – $140^{\circ}\text{C}$ ，塔顶回流温度为  $40^{\circ}\text{C}$ – $70^{\circ}\text{C}$ ，常压一线温度为  $160^{\circ}\text{C}$ – $200^{\circ}\text{C}$ ，常压二线温度为  $230^{\circ}\text{C}$ – $270^{\circ}\text{C}$ ，常压三线温度为  $300^{\circ}\text{C}$ – $320^{\circ}\text{C}$ ，常压四线温度为  $320^{\circ}\text{C}$ – $340^{\circ}\text{C}$ ，常压塔塔底温度为  $350^{\circ}\text{C}$ – $355^{\circ}\text{C}$ 。

### (3) 气提塔

传统的原油蒸馏塔中常压塔的设计大多数都采用侧线汽提塔。在很少的情况下，如生产航空煤油等产品时才采用侧线再沸器。在侧线汽提塔的底部吹入少量的过热水蒸气，可以降低塔内的油气分压，使混入侧线产品中的较轻馏份汽化而返回常压塔。这样既可以达到分离的要求、简化了流程，又使现场操作变得比较简单，水蒸气经过冷凝冷却又可以很容易从塔项分离出来，这是目前常压塔的气

提塔广泛采用水蒸气汽提的原因。当然，采用蒸汽气提也存在的一定的缺陷：增水蒸气的冷凝潜热很大，增大了塔顶冷凝冷却器的负荷，增加了装置的含油污水排放量。

另外原油蒸馏塔底物料很重，不宜在塔底供热。但通常在塔底通入过热水蒸气，使较轻馏分蒸发，一般提浓段只有 3~4 块塔板。原油各馏分的平均沸点相差很大，造成原油蒸馏塔内蒸气负荷和液体负荷由下向上递增。为使负荷均匀并回收高温下的热量，采用中段回流取热（即在塔中部抽出液体，经换热冷却回收热量后再送回塔内）。通常采用 2~3 个中段回流。

## 2.3 常减压蒸馏常规过程控制

常减压蒸馏从工艺原理上分析并不复杂，只是不同沸点物质的分离过程，但装置结构是一个典型的复杂多侧线系统。多数装置为单回路或串级控制，以平稳操作作为控制指标。常规控制方案是在经典控制理论的基础上形成的，在实际生产过程中，一般的常规控制回路主要由测量单元、以 PID 为基础建立的常规调节器、调节阀、检测元件和工艺对象等几部分组成。从其结构来分，主要有单回路、串级控制回路和复杂控制回路等几种；其控制模式主要有手动、自动和串级控制等；控制对象一般为压力、温度、流量和液位四大参数。该方案能基本满足系统对三大平衡的控制。但由于控制作用的预知性差、抗干扰能力不强，从而不能达到使产品的产量和质量最优的效果。但其有实施简单、控制直接的优点。<sup>[1, 2, 3, 4]</sup>

### 2.3.1 加热炉的控制

加热炉主要的质量指标是炉出口温度，所以把炉出口温度作为被控变量，常采用的控制方案是把炉膛温度作为副变量，炉出口温度与炉膛温度构成串级控制。这样，燃料的压力、流量和热值等扰动因素的影响都反映在炉膛温度上，即炉膛温度比炉出口温度提前感受到扰动作用，因此把炉膛温度作为副变量可以起到超前调节的作用，克服炉出口温度的滞后。

处理量大常压炉、减压炉进料分为四个支路，对于进料的扰动，把进料量作为被控变量，采用定值控制。由于加热炉燃烧不均匀，造成各支路出口温度不同，把炉出口各支路汇合后进行控制，仅能控制温度在规定范围内，这时可以采用支路均衡控制，把各支路的出口温度和炉子总出口温度相比较，通过计算，自动控制各支路的进料流量，以维持各支路的温度均衡。

### 2.3.2 常压塔的控制

#### (1) 塔顶控制

常压塔系统生产燃料油，要求有严格的馏分组成，因此总体上采用的是蒸馏塔的精馏段控制方案。常用的是塔顶温度控制顶回流量，已达到间接平稳产品质量的目的。

常压塔塔顶馏出的是汽油馏分，塔顶温度决定了产品的质量，是产品质量间接控制指标。因此把塔顶温度作为主要的被控变量，与塔顶回流量组成串级控制，当塔顶回流量有较大波动时，副回路可以进行超前控制，把塔顶回流量的波动控制在一定范围内，减小对温度的影响。

由于工艺对塔顶产品质量要求较高，为了提高塔顶产品纯度，设塔顶循环回流定值控制，温差控制可以克服由于塔内压力波动引起的温度波动，进而消除对产品质量的影响。

#### (2) 侧线抽出控制

常压塔是主馏分塔，分离出常顶汽油组分、常一、二、三线组分和常底重油。掌握好物料平衡和热量平衡是保证常压塔产品质量和收率的关键。常压塔外设汽提作为常压塔的提馏段，抽出线温度是控制抽出线组分质量的关键指标，因此汽提塔液位采用单回路定值控制，以稳定抽出线温度不会大幅度波动；另外抽出线温度作为主要的被控变量与抽出量组成串级控制，这样又稳定了抽出线组分质量。

当扰动使侧线采出量增大时，侧线温度上升，汽提塔液位也随之上升，液位控制回路关小控制阀，减小了采出量，侧线温度也随之下降。当侧线产品中轻组分增加，侧线温度下降时，汽提塔的入塔流量虽然不变，但因轻组分增加而使汽提出来的量增加，并使液位下降，通过液位控制打开控制阀，加大采出量，从而保持侧线温度的稳定。

#### (3) 中段回流控制

常压塔中段回流量和温度是确保全塔汽液相负荷分布均匀，是获得理想分馏效果的关键参数。因此中段回流量采用了单回路定值控制，抽出与回流温差定值控制，较快克服了由于进料组分变化与蒸汽压力变化造成的常压塔压力波动对侧线产品质量的影响，以及通过改变换热效率稳定了侧线抽出温度，保证了侧线产品质量的稳定。

#### (4) 塔底液位控制

常压塔塔底产物为常压重油。常用的控制方案是把塔底液位作为主控变量，产品流量作为副变量的串级均匀控制。塔底液位作为主变量，可以使塔底储存的

油与蒸汽进行充分的接触，保证停留时间，有利于轻组分的吹出。常压塔塔底液位既不能太高，又不能太低，液位太高会造成重质馏分被上升蒸汽带走，影响邻近塔底的侧线抽出产品质量；液位太低则会造成轻质馏分被塔底油带走。塔底产品流量作为副变量，可使塔底产品及减压塔的进料量波动减小。另外，为了稳定塔的汽提作用对过热蒸汽的压力和流量进行定值控制。

### 2.3.3 减压塔的控制

减压系统主要生产裂化原料，对馏分要求不高，主要要求是在保证馏出油残碳合格的前提下提高拔出率，减少渣油量。因此提高减压塔汽化段真空度，提高拔出率是其主要控制目标。减压塔的控制策略和常压塔大致相同。下面分析下减压塔的中操作控制和塔顶温度的影响因素。

#### (1) 减压塔操作控制影响因素

影响减压塔操作的因素很多，但这些因素的变化都集中反映在塔顶真空度、塔顶温度和塔底液面这三个参数的变化上。而真空度是减压塔操作的核心。

#### (2) 减顶温度影响因素

1) 减顶真空度：真空度低，减塔汽化量小，减顶温度低；反之温度上升。

2) 减顶回流温度及回流量：减顶回流温度高及回流量过小，会造成减顶温度升高，反之，减顶温度低。

3) 进料量及进料性质：进料量增大或性质变轻，塔顶负荷增大，减顶温度高，反之温度低。

4) 减炉出口温度：减炉出口温度高，则塔顶负荷大，减顶温度上升，反之减顶温度下降。

## 第三章 组态软件概述

### 3.1 DCS 系统与组态软件的相关介绍

#### 3.1.1 DCS 系统简介

自二十世纪 30 年代来，自动化技术获得了惊人的成就，在工业生产和科学发展中起着关键的作用。目前，自动化装置已成为大型设备不可分割的重要组成部分，生产过程自动化的程度已成为衡量工业企业现代化水平的一个重要标志。

从 70 年代中期开始，针对工业生产规模大，过程参数和控制回路多的特点。为了满足工业用计算机应用具有高度可靠性和灵活性的要求，出现了一种分布式控制系统(DCS)，又称集散控制系统。它是一个由过程控制级和过程监控级组成的以通信网络为纽带的多级计算机系统，综合了计算机(Computer)、通讯(Communiacation)、显示(CRT)和控制(Contorl)等 4C 技术。然而，传统的 DCS 系统，其软件功能主要靠程序员编程实现，工作量惊人，对于每个不同的应用对象，都要重新设计或修改程序，从而导致软件系统的开发周期很长，且由于时间限制，常常未做充分的测试就投入现场，甚至出现在现场边调试边修改源程序的情况，根本无法保证软件系统的成熟可靠性。为了解决上述问题，提高软件生产率，人们纷纷寻找 DCS 软件开发的新途径，设计组态软件就是其中的一种简便实用的方法。

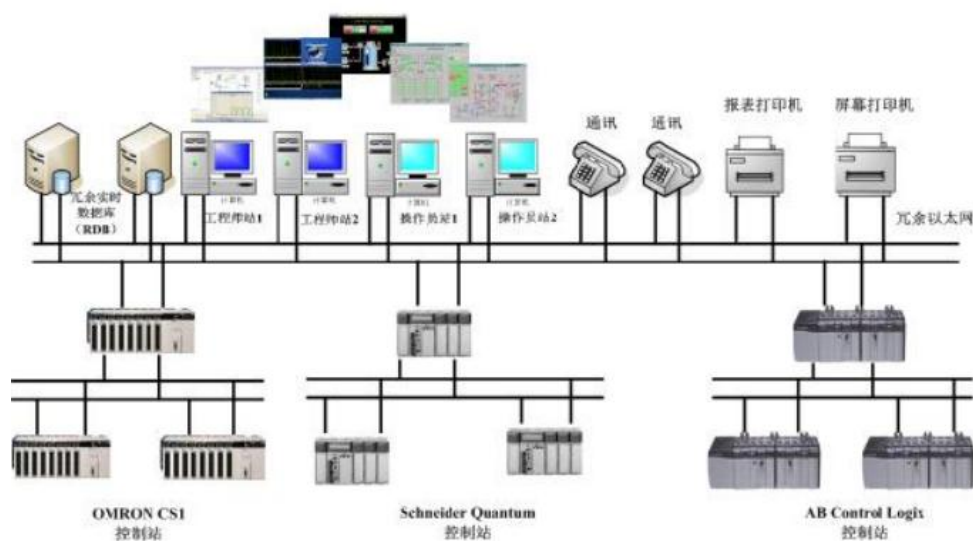


图 3-1 基于 IAP 的 DCS 系统结构图

为了使用户在不需要编代码程序的情况下，便可以生成适合需求的应用系统，每个 DCS 厂商在 DCS 中都预先安装了系统软件和应用软件，其中的应用软件实际上就是监控组态软件。

### 3.1.2 组态软件简介

组态的概念是伴随着集散型控制系统 DCS 的出现开始被广大技术设计人员所熟知的。其含义是指使用软件工具对计算机及软件的各种资源进行配置，达到使计算机或软件按预先设置，自动执行特定任务，满足使用者要求的目的<sup>[6]</sup>。

组态软件是指一些数据采集与过程控制的专用软件，它们是在自动控制系统监控层一级的软件平台和开发环境，使用灵活的组态方式，为用户提供快速构建工业自动控制系统监控功能的、通用层次的软件工具。组态软件是一种编程和组态的软件平台，支持多种通讯协议，为用户提供了多种硬件设备支持，如 PLC、板卡、智能仪表等；利用组态软件提供的图形、趋势曲线、报警、数据库、报表等功能模块，用户可以不用编程，通过“搭积木”的方式构建自己的系统，特别适合自动化工程人员，不需要编程基础就可以快速为用户构建出界面美观、功能强大的软件系统。另外，组态软件还提供了脚本功能，如类 C 语言、类 PASCAL 语言，有的甚至支持 VB Script。为深层次用户提供了更加灵活和强大的功能。随着 PC 技术向工业控制领域的不断渗透，组态软件占据的地位越来越重要。

#### (1) 监控组态软件的基本功能：

- 1) 监控功能即系统的实时测量和控制功能，包括对远程设备和仪表的开关量输入/输出、模拟量的输入/输出的测量、控制功能。
- 2) 组态功能即人机图形界面功能，包括根据实际控制网络及对象给出形象而具体的图形界面，方便操作人员进行实时监视和控制。
- 3) 数据库管理功能，要求监控组态软件应支持实时和历史数据库操作，即对现场全部运行当前及历史数据进行存储、查询和分析的功能。

#### (1) 组态软件结构

组态软件的结构划分有多种标准，这里以使用软件的工作阶段和软件体系的成员构成两种标准讨论其体系结构。

1) 以使用软件的工作阶段划分，也可以说是按照系统环境划分，组态软件是由两大部分构成的：

**系统开发环境：**系统开发环境由若干个组态程序组成，如图形界面组态程序、实时数据库组态程序等。设计工程师借助这些组态程序建立一系列用户数据文件，生成最终的图形目标应用系统，供系统运行环境运行时使用。

系统运行环境: 系统运行环境由若干个运行程序组成, 如图形界面运行程序、实时数据库运行程序等。在运行环境下, 目标应用程序被装入计算机内存并投入实时运行。

组态软件支持在线组态技术, 即在不退出系统运行环境的情况下可以直接进入组态环境并修改组态, 使修改后的组态直接生效。

2) 按照成员构成划分

组态软件因为其功能强大, 而每个功能相对来说又具有一定的独立性, 因此其组成形式是一个集成软件平台, 由若干程序组件构成。其结构如图 3-2 所示。

其中实时数据库在系统中处于中枢环节, 数据采集、传输、计算、存储都需要实时数据库的相应功能来支持。图形系统, 即人机界面, 是组态软件的重要组成部分。人机界面作为组态软件中用户直接面对的模块, 要完成在系统和用户之间的沟通桥梁的作用, 实现用户编辑监控界面, 画面显示, 图形文件管理等功能。

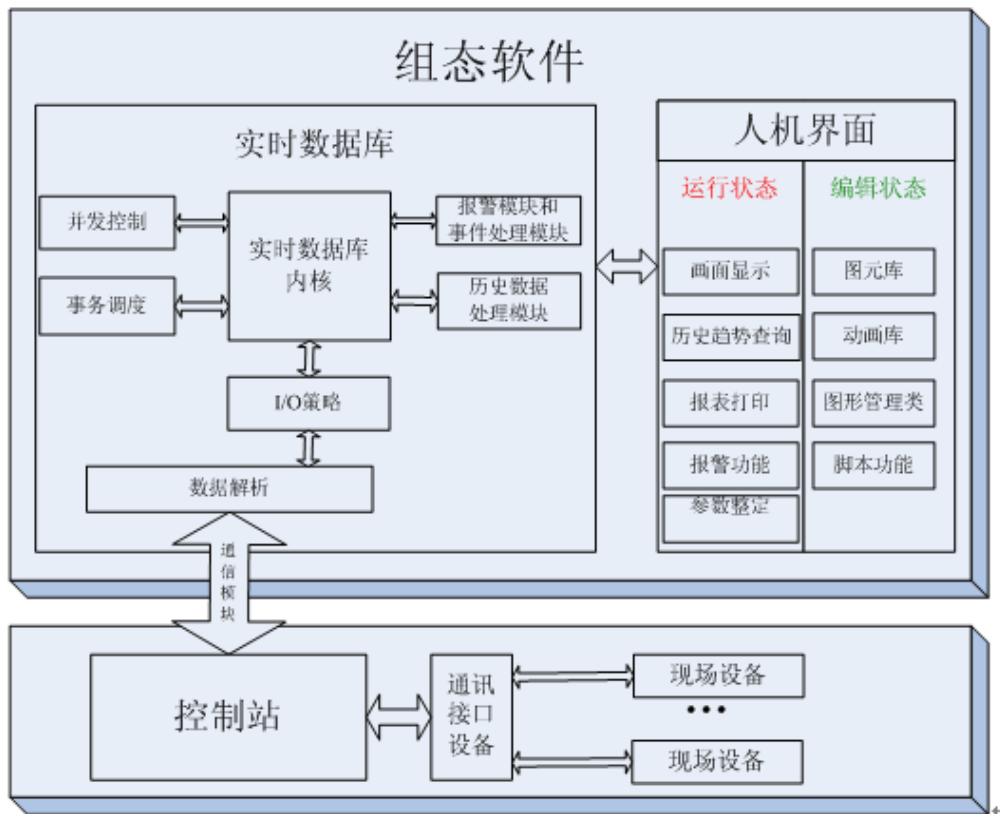


图 3-2 组态软件结构图

### 3.2 国内组态软件的发展历程

组态软件产品于 80 年代初出现，并在 80 年代末期进入我国。但在 90 年代中期之前，组态软件在我国的应用并不普及。

随着工业控制系统应用的深入，在面临规模更大、控制更复杂的控制系统时，人们逐渐意识到原有的上位机编程的开发方式。对项目来说是费时费力、得不偿失的，同时，MIS（管理信息系统，Management Information System）和 CIMS（计算机集成制造系统，Computer Integrated Manufacturing System）的大量应用，要求工业现场为企业的生产、经营、决策提供更详细和深入的数据，以便优化企业生产经营中的各个环节。因此，在 1995 年以后，组态软件在国内的应用逐渐得到了普及。

自 2000 年以来，国内监控组态软件产品、技术、市场都取得了飞快的发展，应用领域日益拓展，用户和应用工程师数量不断增多。从国内自动化行业学术期刊来看，以组态软件及与其密切相关的新技术为核心的研究课题呈上升趋势，众多研究人员的存在，是组态软件技术发展及创新的重要活跃因素，也积累很多技术成果。无论是技术成果还是研究人员，都会遵循金字塔的规律，由基础向高端形成过渡。这些研究人员和他们的研究成果为监控组态软件厂商开发新产品提供了有益的经验借鉴，并开拓他们的思路。

国内先进控制软件的标准化、商品化还有待起步，目前控制软件设计时还没有表达其内容的标准符号，这是一大障碍。这方面的研究开发工作对提高 DCS 应用水平和推广应用成果有着重要意义。

随着网络技术的发展，下一代的组态软件必将在网络技术上面有着突破性的进展。未来组态软件基于网络平台的运行如同目前基于单机平台的运行效果一样，能更好地适应大规模的重量级场合的应用。未来的组态软件仍将着力于目前的生产过程控制和管理；具有丰富的接口，可以与目前丰富的 PLC 设备、PAC 设备、智能仪表等各种设备链接，同时具有与上位 MIS 系统、ERP 系统交互数据的能力；在图像动画的表现上更加出色。

### 3.3 组态软件平台 IAP 概述

福大自动化科技有限公司提出了 IAP (Industrial Automation Platform)：工业自动化通用技术平台的概念。IAP 是一种工业控制软件系统，在各种不同构成的硬件环境下，为用户提供标准化、智能化、一体化的监控组态解决方案。

目前工业自动化市场上的 DCS 分布式控制系统普遍存在以下问题：其软硬件相关性强，互不兼容；技术上自成体系，标准化程度低，增加工业用户的学习难度与技术依赖性；控制、管理、仿真等任务难以采用统一技术平台构建一体化的控制系统，造成开发、运行、维护成本高。

工业自动化通用技术平台 (IAP) 是针对目前工业自动化产业存在的产品多但又缺乏技术标准, 技术变化多但又缺乏智能化的开发应用环境等问题而提出的。IAP 与传统的 DCS 系统相比, 具有以下特性:

(1) 结构上呈分布式组合, 系统规模具有极大的弹性, 采用 PLC 为控制系统的主流控制站, 确保了控制系统的高可靠性和高性价比, 并可适用于大型复杂连续生产过程; IAP 采用分布式数据库, 将一个大的数据库分程多个小规模的数据数据库分布在所有的控制站中, 并建立各控制对象的分布关系与网络通讯机制, 这样降低了系统的运行风险。

(2) 功能上覆盖现有的分布式控制系统, 以工具平台的形式提供给用户依照工业系统的工艺要求自由组织与设计控制规律的技术开发环境, 这是一个集成人机界面开发、控制逻辑组态、管理信息建模、设备仿真组态的通用开发环境。

(3) 性能上将超越现有工业自动化的技术水平, 基于数据引擎技术的通用数据模型, 并以实时数据库技术为基础的控制组态软件, 可在不同控制站运行并适用于不同的控制对象, 便可最大限度地实现控制资源的共享, 大幅度降低控制系统开发成本。IAP 平台基于数据引擎技术, 由数据引擎软件、逻辑组态、实时数据库以及人机画面软件等相关的组态工具软件共同构成 IAP 的技术体系, 实现了控制站平台和控制组态软件的相对独立性, 进而大幅度地降低工业控制系统开发的复杂性, 使工程技术人员不必学习和掌握多个厂家控制器的知识与技术, 用一个平台便能应对不同厂家的硬件设备, 轻松地完成应用系统的设计与开发。

IAP 平台基于数据引擎技术, 由数据引擎软件、逻辑组态、实时数据库以及人机画面软件等相关的组态工具软件共同构成 IAP 的技术体系, 实现了控制站平台和控制组态软件的相对独立性, 进而大幅度地降低工业控制系统开发的复杂性, 使工程技术人员不必学习和掌握多个厂家控制器的知识与技术, 用一个平台便能应对不同厂家的硬件设备, 轻松地完成应用系统的设计与开发。

IAP 平台的软件结构框架图如下, 逻辑组态软件主要实现对现场控制设备的逻辑控制, 实时数据库主要处理数据的交互, 人机界面则实现人与机的交互。

## 3.4 组态软件平台 IAP 的结构

### 3.4.1 RDB 实时数据库

实时数据库 (Real-time Data Base, 简称 RDB) 是工业组态软件的核心。实时数据库及时准确地获取现场数据是整个控制系统正常工作的基本前提, 同时实时数据库管理系统是实时数据库联系图形系统、历史数据系统、报表系统、报警

系统的桥梁和纽带。<sup>[7]</sup>在 IAP(Industrial Automation Platform) 计划中, 实时数据库占着极其重要的作用。实时数据库软件系统是控制系统软件组织中的关键部分, 它是支撑整个控制系统运行的软件基础。控制系统中的所有组态文件最终都将转化为实时数据库中的相关数据内容。控制系统将透过数据库形式的管理和实时事务处理等手段, 确保控制系统组态、执行和诊断等过程的有效性、准确性和实时性。因此, 实时数据库的研究和应用在 IAP 项目的研究中居于非常重要的地位。

### 3.4.2 DEView 人机界面

在 IAP 平台中, 人机界面软件为 DEVIEW<sup>[12]</sup>。人机界面 DEVIEW 主要是通过实时数据库提供的数据信息参数, 与实际控制对象进行数据交互, 为工程应用人员与现场设备之间传递信息, 保证监视与控制流程的畅通与稳定。人机界面 DEVIEW 以直观、便捷的人机交互模式给工业控制系统的现场运行人员提供了一个安全、可靠、高效的操作环境。控制系统的所有状态, 包括现场设备运行状态、控制过程状态、以及各种类型的故障或报警信息均通过这个软件及时地传达给运行人员。所以, 人机界面软件是确保工业控制系统安全、稳定和经济运行的重要工具。

### 3.4.3 Logiad 组态逻辑

逻辑控制组态软件工具 Logiad 作为 IAP 控制系统重要组成, 是一种控制逻辑组态编辑器。Logiad 软件是研发的适用于各种品牌硬件平台的控制策略组态软件工具。

在 IAP 控制系统中, 从硬件层面上来说, 其核心的控制器具有多样性, 如 SCHNEIDER、AB、SIEMENS、OMRON 等, 从软件层面上来看, 它们都采用同一个软件平台。Logiad 泛平台化的成功实现得益于数据引擎技术, 因此它与传统的控制组态软件相比更具有灵活性, 组态具有明显的优势。

Logiad 软件是一种基于功能块的图形化编程工具, 它是 IAP 平台中程序设计的主要工具, 具有使用简单, 调试方便等特点, 任何用户只要具备控制对象的特性和相应的系统工艺要求, 不必具备高深的计算机专业知识就能够轻松地运用这种组态软件。

## 第四章 蒸馏塔监控系统的分析

### 4.1 系统模型分析

纵观原油蒸馏过程的建模史，其发展主要得益于三门学科的发展。

首先是分离工程和物理化学学科的发展，使人们对蒸馏过程的内在机理有了进一步的认识，对各类工艺参数的计算日益成熟；

其次是计算机领域的日新月异，其硬件性能(包括速度、可靠性等方面)的突飞猛进以及应用软件的不成熟，使其在大型工业装置上的应用成为现实；

第三，现代控制理论的发展，特别是最优化理论和大系统理论的产生和发展，使原油蒸馏过程数学模型的开发和应用成为可能<sup>[2]</sup>。

从原油蒸馏过程建模的实现角度可以分为静态数学模型和简化数学模型两类。从原油蒸馏建模的意义这个角度出发，静态模型和简化模型也存在不同的侧重。静态模型更注重描述蒸馏过程的内在机理和模型的准确性，其主要目的是在设计蒸馏塔的工艺流程中作为参考依据，并对塔的静态优化起辅助作用；而简化模型则是一种以精度为代价换取计算速度的方法，其主要目的则是在控制要求允许的前提下，为过程的实时优化提供软检测的手段。

以下将从静态和简化两个角度探讨原油蒸馏的模型化问题。

#### (1) 静态角度分析

蒸馏塔的特性分析是进行自动控制系统设计的基础。和其他操作单元一样，蒸馏塔也是在一定的物料平衡和能量平衡的基础上进行操作的。一切影响因素均通过物料平衡和能量平衡影响塔的正常操作。

影响物料平衡的因素是进料量和进料组分的变化、塔顶采出量或塔底采出量的变化。影响能量平衡的因素主要因素是进料温度、冷凝器冷却量和气提蒸汽量以及环境温度的变化等。

综上所述，本文在建模过程中，参考了林世雄主编的《石油炼制工程》中的物料平衡关系和能量平衡关系的静态分析，以及第七章中所分析的各线流量和各段温度值为参考的基础数据<sup>[9]</sup>，如表 4-1 所示，根据表中数据来设置静态平衡状态蒸馏塔系统中的各个参数以及参数之前的动态关系。

物料		流率 kg/h	密度 g/cm <sup>3</sup>	操作条件		热焓, kJ/kg		热量 kJ/h
				压力, MPa	温度/°C	气相	液相	
入 方	进料	315700	0.8604	0.172	353.5	-	-	301.6×10 <sup>6</sup>
	气提蒸汽	6763	-	0.3	420	3316	-	22.4×10 <sup>6</sup>
合计		322464	-	-	-	-	-	324.0×10 <sup>6</sup>
出 方	汽油	11100	0.7037	0.157	105	611	-	6.78×10 <sup>6</sup>
	煤油	21040	0.7994	0.161	180	-	444	9.34×10 <sup>6</sup>
	轻柴油	21800	0.8265	0.166	256	-	654	14.06×10 <sup>6</sup>
	重柴油	30400	0.8484	0.170	315	-	820	24.93×10 <sup>6</sup>
	重油	23136	0.9416	0.175	346	-	858	198.5×10 <sup>6</sup>
	水蒸汽	6763	-	0.157	107	2700	-	18.26×10 <sup>6</sup>
	合计	322463	-	-	-	-	-	271.8×10 <sup>6</sup>

表 4-1 物料、流量平衡分析数据

## (2) 简化角度分析

通过综合分析蒸馏塔的生产工艺, 设定各个模块的静态参数。由于蒸馏塔是一个多变量、时变和非线性的对象, 各变量直接又存在相互关联的。因此定量分析动态影响, 建立其数学模型已成为一项相当复杂的专门课题。所以本文仅定性地从 2 个侧面分析塔的动态影响: 上升蒸汽和回流。在蒸馏塔内上升蒸汽流量变化的相应较快, 蒸汽量的变化几秒钟内就能影响到整个蒸馏塔的温度变化。另外回流量的大小首先影响的是塔顶的温度, 其次回流量的变化也会引起塔底液位的变化。因此在建模的过程中, 主要考虑这两者变化对系统带来的影响。

建模过程中简化了 2 个因素, 一个是进料组分中各类成分比例为定值, 第 2 个进料组分中汽化成分和液相成分比例恒定。由于简化了这 2 个因素, 从而保证了塔内气压只和温度相关, 另外侧线产品的产率也较稳定。

同时根据原油常压蒸馏塔设计和操作的特点, 本文提出了单元模块组合法, 该方法的基本思路是: 将原油常压蒸馏塔划分为多个功能模块, 则该塔可作为一般意义上的流程模拟。

- 1) 原油经常压加热炉加热后, 部分汽化, 生成的油气混合物后通过泵进入常压塔。
- 2) 入塔后汽相沿塔上升, 液相沿塔下降, 且含重组分较多。对常压塔底部来说, 塔底通入大量的过热水蒸汽以降低油气分压, 并汽提其中的轻组分; 重组分

进入塔釜，形成常底重油。

- 3) 常压塔的中上部上升的汽相含轻组分较多，塔中有多股侧线采出及中段循环回流取热。
- 4) 侧线汽提塔作为汽提模块处理。
- 5) 塔顶油气经过冷凝冷却换热，部分液化，在受液罐中再经液液分层使油水分离，液相水循环使用(常顶注水)，脱水后的常顶油冷回流入塔，移取大部分热量。未冷凝的油气再经冷凝冷却后形成产品油出塔。

## 4.2 系统功能分析

为了对蒸馏塔实施有效的自动控制，必须首先了解蒸馏塔的控制目标。一般来说，蒸馏塔的控制目标，应该满足产品质量合格的前提下，使总的收益最大或总的成本最低。因此，蒸馏塔的控制要求应该从质量指标、产品产量和能量损耗三个方面综合考虑。

蒸馏塔最直接的质量直接是产品的纯度。但对产品纯度的直接检测仍然存在一定的局限性，最常用的间接质量指标是温度。在一定的压力下，温度和产品的纯度间存在着单值的函数关系。

常压塔产品质量的变化主要体现在产品抽出温度和热焓变化上。温度的变化是热量传递过程，热焓的变化是物料传质过程，而控制这些变化的手段多为流量控制。由于常压塔侧线馏出温度可以在相当程度上反映产品组分的轻重，可以分析出各侧线流量对各侧线产品质量的影响。这样，根据工艺过程可以确定各个变量在控制器中的位置，作用以及相互关系。

因此在设计蒸馏塔监控系统的过程中，主要是通过监控蒸馏塔的温度，并对温度和流量的大小进行控制，从而控制蒸馏塔的稳定运行，保证各线产品质量。

蒸馏塔内可作为调节变量的只有循环回流量、塔顶冷回流量和侧线馏出量。造成这种状况的原因在于原油蒸馏塔内部温度高，处理量大，因而无法找到经济的载热剂和换热器进行塔底的再沸，而蒸馏操作的热量由进料直接带入塔内，这种能量的平衡关系极大的制约了质量控制的方案及性能。事实上，循环回流量由蒸馏塔能量稳态优化或工艺设计计算的取热比所确定，一般不用来进行动态控制；而侧线流量受质量指标的约束，可调节范围较小，因此，塔顶冷回流就成了调节全塔平衡的主要变量。

## 第五章 蒸馏塔监控系统的设计

利用 IAP 组态软件平台，设计蒸馏塔监控系统，包括 RDB 数据库、人机界面 DEView、组态逻辑 Lgicad 三大模块的设计。完成 3 大模块设计后将 3 部分进行联机通讯。

### 5.1 RDB 数据库

实时数据库(Real-time Data Base, 简称 RDB)是工业组态软件的核心。实时数据库及时准确地获取现场数据是整个控制系统正常工作的基本前提,同时实时数据库管理系统是实时数据库联系图形系统、历史数据系统、报表系统、报警系统的桥梁和纽带。

#### 5.1.1 RDB 的使用流程

使用 RDB 的大致流程如下:

- 1) 新建一个数据库工程;
- 2) 工程、环境参数设置;
- 3) 五级数据库(设备库)的建立与 IO 点信息设置;
- 4) 报警点建立与报警逻辑组态;
- 5) 通信驱动的建立与连接;

#### 5.1.2 设备库的创建

数据库中的分级机制将设备库分为 5 级:

- 第 01 级 机组;
- 第 02 级 系统;
- 第 03 级 级别;
- 第 04 级 设备;
- 第 05 级 元件。

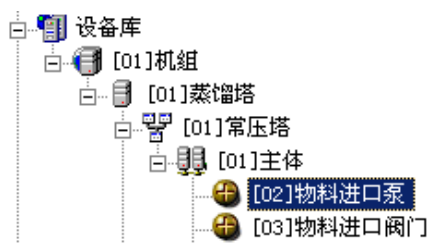


图 5-1 RDB 数据库 5 级 kks 码结构图

元件级别的 KKS 继承编码为 10 位数字编码，从高位到低位分别是 1-5 级的各级由 2 位编码组合而成。如上图所示的元件物料进口泵所属的机组、系统、级别、设备以及自身的编码分别为：01、01、01、01、02，则在实时数据库中，元件的全局 KKS 编码为：0101010102。这样便可以简洁明了地体现出该元件所属的各级分支的位置与编号，方便了对数据库各级的管理与查询。

根据第二章 2.2 节蒸馏塔工艺流程的分析和第 4 章 4.1 节中系统模型的分析，

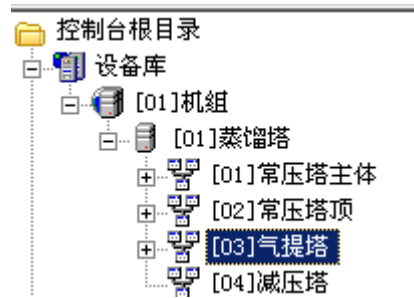


图 5-2 系统结构分支

结合 5 级 kks 码的分级编码机制<sup>[11]</sup>，创建蒸馏塔监控系统的数据库分支结构。由于系统结构不需要用到 5 级结构，因此创建分支的过程中从第 3 级级别开始创建下级分支。将第 3 级的分支结构设置为常压塔主体、常压塔塔顶、气提塔、减压塔 4 大分支。如图 5-2、图 5-3 所示。

按蒸馏塔系统结构，创建第 5 级分支元件。第 5 级分支是按照现场设备来划分，设计的原则是一个现场设备对应一个数据库元件，这样有利于设备库的管理，避免在做画面连接的过程中出现元件和设备的对应关系出错。有些情况下，可以将一类结构简单的元件整合到一个元件下，比如温度，温度一般情况下只有一个输入点，把几个温度整合到一个元件下，这样可以减少分支支数。



图 5-3 系统结构分分支

最后在第 5 级分支元件下，创建 IO 点。下面以物料进口泵元件为例介绍下的 IO 点的创建。如图 5-4 所示，物料进口泵的 IO 点主要包括手动/自动控制切换，自动控制状态，泵工作频率给定以及工作频率反馈，启动停止状态、故障状态，手动启动、停止控制，启动、停止命令输出等。其中有些 IO 点是没跟现场设备直接联系的，而是作为一些中间变量，在逻辑设计和画面关联中需要用到。

控制台根目录		10个项目				
No.	标签名	描述	当前值	通讯质量	类型	错误信息
001	蒸馏塔:LDY:121	蒸馏塔:手自动切换自动投入	0	0	LDY	
002	蒸馏塔:LDY:122	蒸馏塔:手自动切换手动投入	0	0	LDY	
003	蒸馏塔:LD:121	蒸馏塔:自动控制状态	1	0	LD	
004	蒸馏塔:AI:121	蒸馏塔:泵工作频率反馈	40.0	0	AI	
005	蒸馏塔:LAY:121	蒸馏塔:泵工作频率设定	40	0	LAY	
006	蒸馏塔:DI:121	蒸馏塔:启动状态	1	0	DI	
007	蒸馏塔:DI:122	蒸馏塔:停止状态	0	0	DI	
008	蒸馏塔:LDY:123	蒸馏塔:泵手动启动	0	0	LDY	
009	蒸馏塔:LDY:124	蒸馏塔:泵手动停止	0	0	LDY	
010	蒸馏塔:DI:123	蒸馏塔:故障状态	0	0	DI	
011	蒸馏塔:DO:121	蒸馏塔:泵启动命令输出	0	0	DO	
012	蒸馏塔:DO:122	蒸馏塔:泵停止命令输出	0	0	DO	
013	蒸馏塔:A0:121	蒸馏塔:泵工作频率输出	40	0	A0	

图 5-4 元件物料进口泵 IO 点结构

按 IO 点的数据类型又可分为模拟量和开关量。开关量包括输入 DI、输出

D0、中间变量 LD，模拟量包括输入 AI、输出 AO、中间变量 LA。其中手动/自动控制切换、手动启动、手动停止是开关量，这 3 种控制量的数据类型在 RDB 数据库中用 LDY 来定义，LDY 的特点是当把 LDY 置位为 1，4 秒后自动复位为 0。如果对启动命令需要锁存的话，那么需要通过再控制逻辑中增加自锁环节。泵的启动停止命令输出和工作频率输出分别用 D0121、D0122、 A0121 来表示。

每创建一个 IO 点时需根据 IO 点的结构特点在 IO 点创建窗口中，如图 5-5 所示，依次设定 IO 点的数据类型、功能描述、下标、数据格式、工程单位、历史记录开关、压缩偏移量、报警开关、量程转换相关参数（模拟量点），点击保存按钮，即完成对所选元件新增 IO 点的操作。



图 5-5 IO 点参数设定窗口

### 5.1.3 报警点的建立

生成报警站前要先对 RDB 的工具→选项→报警对应表进行设置，填上需要的报警信息。报警对应表共有 32 位，即可提供 32 个报警触发条件。修改好报警信息后，就在修改 IO 点，将处理报警那一栏打钩，然后点击“操作”→“生成报警站”，这样就生成了报警点。每个报警点可以设置的信息有：下标、报警区域、扩展域 1、扩展域 2、报警优先级。其中报警域、报警扩展域 1、报警扩展域 2 的内容都是来自工程参数的设置。另外报警功能还需要有报警逻辑组态，详见 5.3.3 逻辑组态的分析。

### 5.1.4 RDB 数据库中数据的存储方式

RDB 实时数据库对数据的存储方式的处理和其他组态软件中的实时数据库的存储方式差不多，对于每个采样周期都要更新的数据，通过使用外存数据库和内存数据库，既保证了数据的共享性、独立性、安全性、完整性，又节约了内存，保证了系统的响应速度。内存数据库中的数据一般是些要求实时刷新的，这些数据存储在内存数据库中，保证了数据的实时性。同时内存数据库中的数据每隔一个周期会被进行压缩处理，然后保存到外部数据库，作为历史数据，这样就可以长期大量的保存这些历史数据。实时数据转存为历史数据的周期可以手动设定。系统默认的周期为一个小时。

## 5.2 DEView 人机界面

人机界面是组态软件的重要组成部分。人机界面作为组态软件中用户直接面对的模块，要完成在系统和用户之间的沟通桥梁的作用，实现用户绘制监控界面，显示监控图形，文件管理等功能，重要性不言而喻。

人机界面系统主要是通过将各种绘图基本组件，进行不断组合实现复杂的静态与动态图形效果，并需要根据实际需要设置组件运用方式与接口数据即可以被应用到各种工程设计与监控之中。

人机界面软件 DEView 中包含了 3 个部分:DESIGN (元件设计器)、DEView (组态软件)、RunView (系统运行)。按工作阶段来划分，DESIGN 和 DEView 属于开发环境，RunView 属于系统运行环境。

元件设计器 DESIGN 用于设计元件，将元件的图形和算法打包在一起，同时给元件设置通讯点。DESIGN 设计出来的元件根据类型进行分类，并保存到元件库中。DESIGN 设计出来的元件包括了一些简单的元件，如按钮、文本框、指示灯等，同时也包括了复杂的阀门、操作窗之类的。在 DEView 界面使用元件的过程中，可以直接调用元件库的元件，实现拖拽式组态画面。

这些元件的动态属性的实现首先由 DESIGN 设计提供算法接口通讯点，通过通讯连接将数据库读取上来的值与算法中变量或表达式相连，然后通过逻辑来判断后给出相对应的动态效果。实现与控制对象进行数据交互，为工程应用人员与现场设备之间传递信息，

在 DEView 界面的图形可以分为静态图形和动态图形。

静态图形一般用于表示一些现场设备或一些现场画面连线等，这些静态图形所表示的设备往往不包含在自动监控环节。静态属性在 DEView 界面运行期间保

持和开发环境中设计的一样。

动态元素则是从元件库中调用出来的,动态元素包括一些常规的按钮、阀门、风机等等。这些动态元素具有各种影响其外观的属性,这些属性包括线色、填充色、角度等等。在 DView 运行期间,动态属性则与表达式的值有关;表达式可以是来自 I/O 设备的变量,也可以使用由变量和运算符组成的数学表达式,这种动态属性随表达式的值的变化而实时改变。

例如,用一个矩形填充体模拟现场液位,在组态这个矩形填充体的属性时,首先在 RDB 数据库中创建一个液位的 IO 点,并对液位的量程进行设置后,接着在画面中创建一个液位动态元素,设置下对应的 kks 编码,最后设置通讯列表的通讯点序,这样就完成了对液位图形组态。这种组态过程一般被称为动画连接。

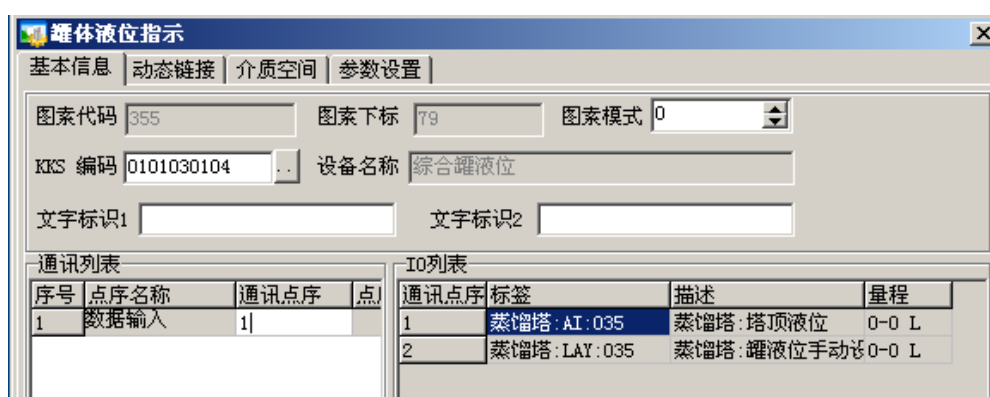


图 5-6 动画连接

DView 中还有些比较复杂的图形对象,复杂图形对象的“复杂性”是相对简单图形对象而言的。复杂图形对象或是由简单图形对象组合而成,或者是为完成特定功能而设计的组件、控件。复杂图形对象包括报警、事件、趋势图、历史报表等图形对象。

通过以上的操作步骤,根据第 4 章蒸馏塔监控系统的分析,设计出监控系统画面,如图 5-7 所示,并对监控画面中的各个元素进行动画连接。

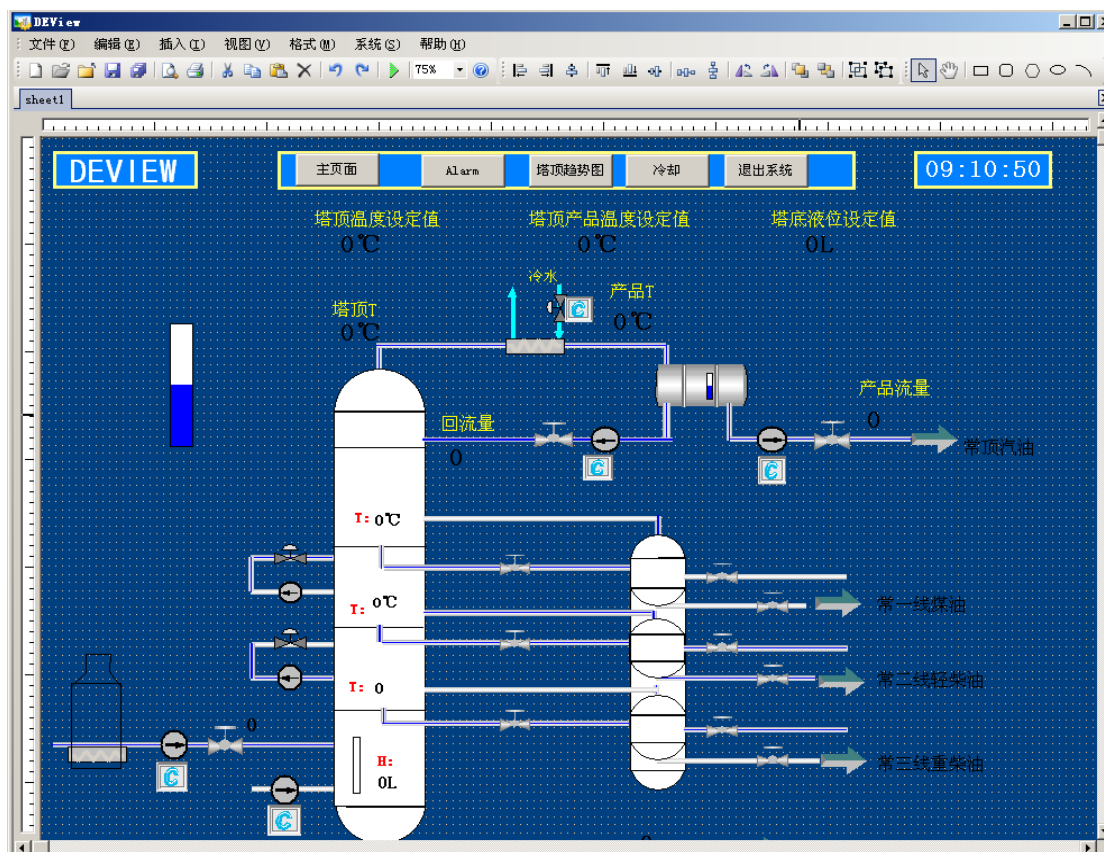


图 5-7 监控画面的创建

## 5.3 Logiad 控制逻辑组态

Logiad 是 FDControl 分布式控制系统的控制组态软件。Logiad 软件由 4 部分组成，即控制逻辑组态编辑器、控制过程实时监控器、离线传送模块和在线传送模块。控制逻辑组态编辑器用于实现对控制对象的控制逻辑的组态。控制过程实时监控器是在执行控制过程时给系统管理人员提供的跟踪调试工具。在线和离线传送模块则用于将控制逻辑传送到控制站中。

### 5.3.1 Logiad 的相关介绍

如图 5-8 所示，Logiad 中的元件大致可分为 3 类：第一类基本输入\输出功能元件，如 AI、AO 等；第二类是联系元件，如信号线等；第三类是计算元件，如 AND、OR、NOT 等计算元件。

另外逻辑页（或称逻辑图）即每个控制站逻辑单页；回路是多个逻辑页组成的一组逻辑；系统树（或称工程）是指某个控制站的控制逻辑，由多个回路组成。

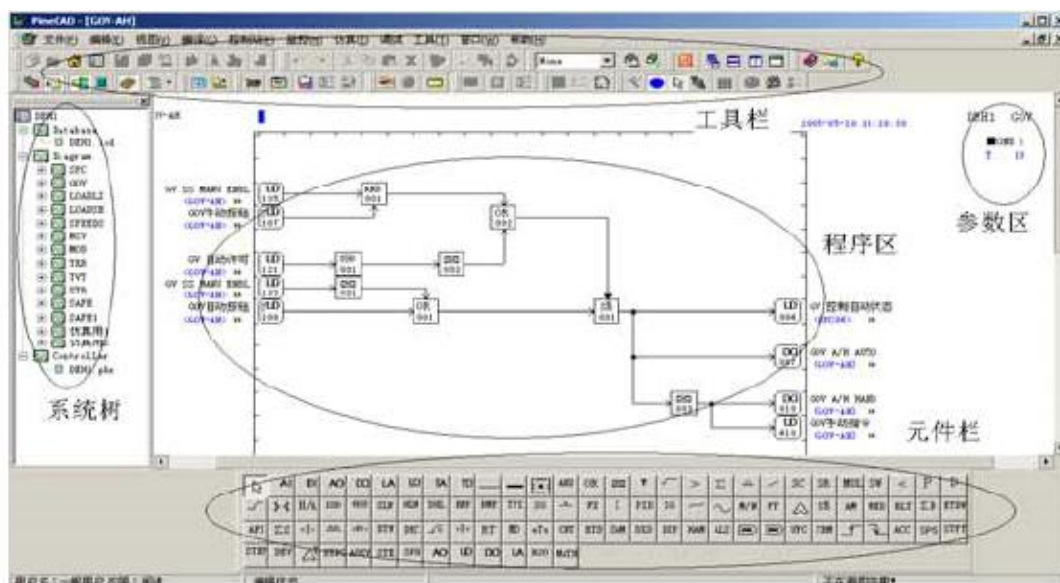


图 5-8 Logicad 界面

### 5.3.2 控制逻辑的创建

#### 5.3.2.1 串级控制的应用

由第二章系统工艺分析结果得知常减压装置测线产品多,为保证测线产品质量,提高拔出率,各段温度控制要求高,而影响各段温度的因素较多,如进料量温度、组分变化、各段抽出量、回流量大小等等。因此在常减压装置中,串级控制回路较多。

串级控制系统采用两套检测变送器和两个调节器,前一个调节器的输出作为后一个调节器的设定,后一个调节器的输出送往调节阀。

串级控制的作用:

- 1) 由于副回路的快速作用,发生于副回路的扰动,在影响主变量之前即可由副控制器予以校正;
- 2) 串级系统对副对象及控制阀的特性的变化具有较好的鲁棒性;
- 3) 副对象的相位滞后,由于构成了副回路而显著减小,从而改善了主回路的响应速度,这对克服进入主、副回路的扰动都是有利的;
- 4) 当副变量为流量时,副回路可以按照主回路的要求对质量流和能量流实施精确控制。

下面以常压塔塔顶温度与塔顶回流量串级控制系统为例研究串级控制系统在 Logicad 中的应用及其仿真研究。

塔顶温度直接受塔顶回流量影响较大，所以将塔顶温度作为主参数，塔顶流量为副参数组成串级调节系统。其中塔顶温度为主变量，保持温度平稳是控制的主要目标；塔顶回流量是副变量，它是被控过程中引出来的中间变量。控制方框图如图 5-8 所示。

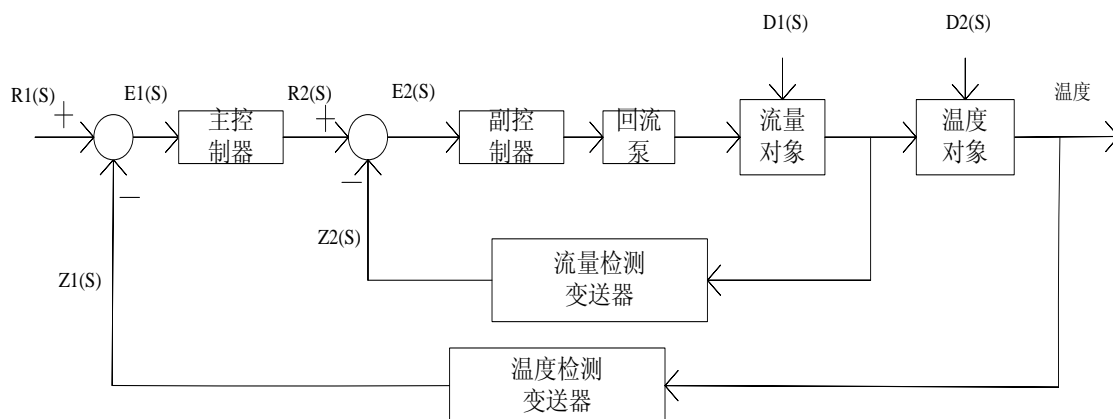


图 5-9 控制方框图

其中

R1: 塔顶温度设定值

Z1: 塔顶温度测量值

E1: 温度偏差值

R2: 塔顶回流量设定值

Z2: 塔顶回流量测量值

D2: 温度回路的主要扰动

D1: 塔顶回流控制阀前压力扰动

为了便于分析调节过程，首先对上述塔顶温度和塔顶回流量串级调节系统各控制方块的性能进行分析：

主对象：输入信号为塔顶回流量，输出信号为塔顶温度；输入信号增加，输出信号减小，是反作用单元。

副对象：输入信号为塔顶回流量，输出信号为减顶回流量，因此输入信号增加，输出信号也增加，是正作用单元。

主测量变送方块与副测量变送方块，均为输入信号增加，输出信号也增加，是正作用单元。

调节阀：选用反作用单元，当调节阀信号中断时阀门全开。

副调节器：当塔顶回流量增加时，因控制阀为反作用单元，副调节器输出信号应增加，所以副调节器为正作用调节器。

主调节器：当塔顶温度升高时，副调节器输出应减小以加大回流量，降低塔顶温度。因副调节器为正作用调节器，所以其测量值应减小，相当于给定值增大，即主调节器输出增大，所以主调节器亦为正作用调节器。

### 5.3.2.2 PID 控制的应用

PID 控制器是一个在工业控制应用中常见的反馈回路部件。这个控制器把收集到的数据和一个参考值进行比较，然后把这个差别用于计算新的输入值，这个新的输入值的目的是可以让系统的数据达到或者保持在参考值。和其他简单的控制运算不同，PID 控制器可以根据历史数据和差别的出现率来调整输入值，这样可以使系统更加准确，更加稳定。可以通过数学的方法证明，在其他控制方法导致系统有稳定误差或过程反复的情况下，一个 PID 反馈回路却可以保持系统的稳定。

PID 控制器(比例-积分-微分控制器)，由比例单元 P、积分单元 I 和微分单元 D 组成。通过  $K_p$ ， $K_i$  和  $K_d$  三个参数的设定。PID 控制器主要适用于基本线性和动态特性不随时间变化的系统。

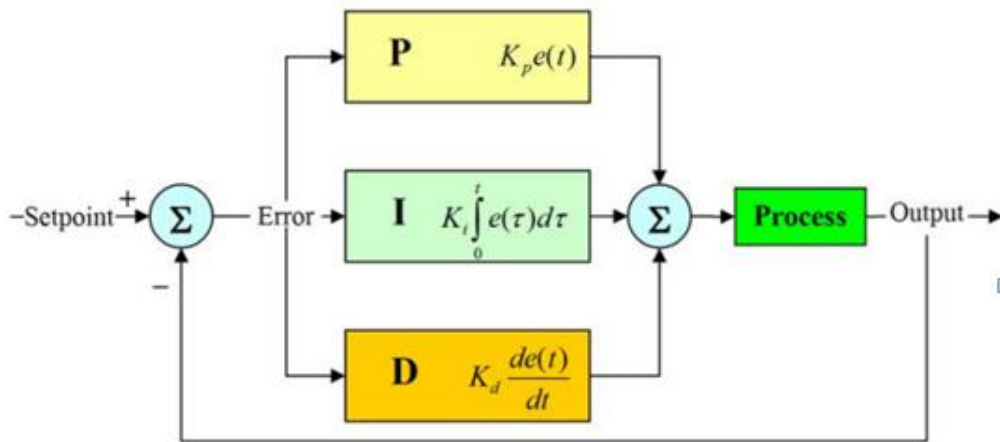


图 5-10 PID 控制器模型

PID 的公式可以表示为：

$$u = (K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt})$$

PID 运算器的元件属性可分为：输入属性、参数属性、输出属性。

输入属性：

输入 1：X1，误差输入；

输入 2：X2，跟踪信号；

输入 3: S, 跟踪切换开关;

输出属性:

输出 1: Y, PID 运算器输出;

参数属性:

参数 1: K, 比例系数;

参数 2: T, 积分时间;

参数 3: LL, PID 输出下限;

参数 4: HL, PID 输出上限;

参数 5: KD, 微分增益;

参数 6: TD, 微分时间;

该元件的图形表现为以下形式:

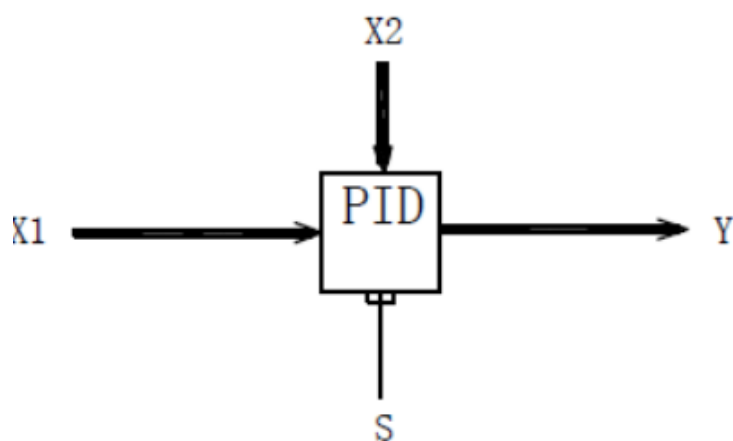


图5-11 PID元件示意图

PID 算法说明:

1) PID 在反作用时, X1 为反馈值—设定值

PID 在正作用时, X1 为设定值—反馈值

2) 调节趋势

K 增大, P 作用增强

T 增大, I 作用减弱

KD 增大, D 作用增强

TD 增大, D 作用增强

### 5.3.2.3 塔顶温度串级 PID 控制

串级 PID 控制是工业生产过程中经常采用而且十分有效的控制策略之一。塔顶温度主要受进料温度、塔顶蒸汽流量及塔顶回流量的影响。塔顶温度为被控变

量，塔顶回流量为操纵变量，主要干扰有进料流量、塔顶回流温度。采用塔顶温度与塔顶回流量组成的串级控制系统以提高控制系统的抗扰动性能。

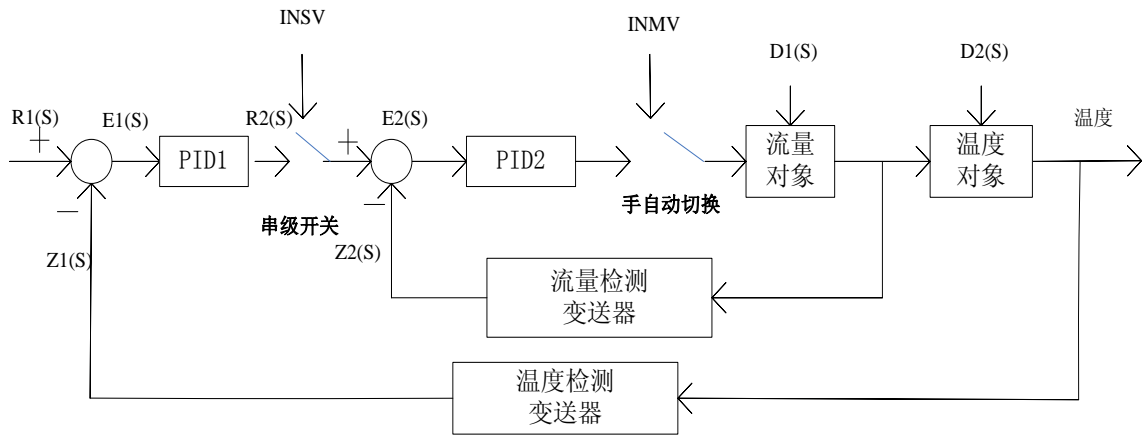


图 5-12 串级 PID 控制原理图

串级 PID 控制符号说明：

R1(S)：外环温度设定值

Z1(S)：外环温度测量值

E1(S)：外环温度偏差值

INSV：内部流量手动设定值

R2(S)：内部操纵变量

Z2(S)：内环流量测量值

E2(S)：内环流量偏差值

INMV：内环操纵变量手动设定值

PID 串级控制在 Logiad 中的应用，其控制逻辑程序如下：

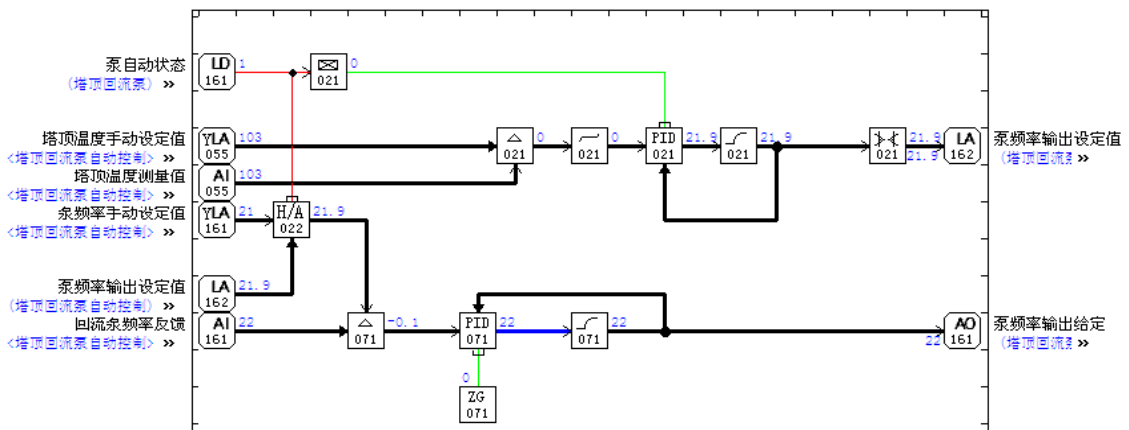



图 5-13 Logiad 控制逻辑程序

当泵出于自动控制状态下时，这时候串级控制开关投入，第一个 PID 控制器 [021]起作用，由于第一个 PID 控制器的正作用，所以温度偏差应该是由塔顶温度反馈值减去塔顶温度手动设定值。塔顶温度手动设定值 LAY055 和塔顶温度测量反馈值 AI055 通过比较器产生温度偏差信号，主控制器接收到温度偏差信号后，其输出值用来改变副控制器的设定值，即改变回流泵工作频率的设定值。副控制器处于串级控制内回路，其通过接受主控制器输出的设定值与流量反馈值产生的偏差，其输出去控制回流泵的工作频率。

手动控制状态下，可以直接手动调节回流泵的工作频率，操作者可结合工作经验和实际控制需要，手动设置回流泵的工作频率。

泵控制的手自动切换过程中用到了一个关键元件，那就是手自动切换器 ，在自动状态下，手自动切换器的状态输入值为 1，这时候手动信号设定值等于自动信号设定值。这样就保证了当从自动状态切换到手动状态时，不会因为偏差太大，从而保证系统的平稳过渡。

## 第六章 监控系统的仿真模型设计

仿真模型的设计即利用计算机资源，模拟蒸馏塔现场控制对象，在计算机上通过仿真模型对蒸馏塔的监控系统的功能进行模拟调试，可以帮助验证控制系统是否满足设计要求，可帮助对控制系统中程序的错误和缺陷进行修正，同时也可以对控制策略进行优化。通过仿真调试后，待程序满足性能要求后，再进行现场联机调试，将大大的提高现场调试的效率，降低系统调试的成本和风险。另外仿真系统可以很好的应用于岗前培训中。

本文基于福大自动化开发的 Simulator 仿真控制站和 Logicad 逻辑组态软件，通过设计仿真模型和控制逻辑，最后通过仿真模型逻辑和控制逻辑的联接，实现控制站与仿真模型之间各种状态的数据交换，可以逼真的观察到蒸馏塔系统的工艺流程和监控操作效果。

### 6.1 仿真模型的设计

仿真模型一般是根据一些现场设备的结构和功能特点，设计出设备的仿真模型。模型一般包括模拟量输入、开关量输入、模拟量输出、开关量输出 4 种参数。

下面以物料进口泵的创作为例子介绍仿真模型的搭建。首先根据泵的特性设置了启动和停止开关；其次建立泵的速度调节模块，其中速度调节模块中包含了泵的启动斜率为 500 和停止斜率 1000；最后设定泵的速度与通过泵的流量的关系，通过泵的物料流量与泵的转速成正比，同时设定了个泵前压力为 1948。通过控制站传送过来的控制命令，来控制泵的运行，并通过模型转换，给出对应的状态和反馈值。

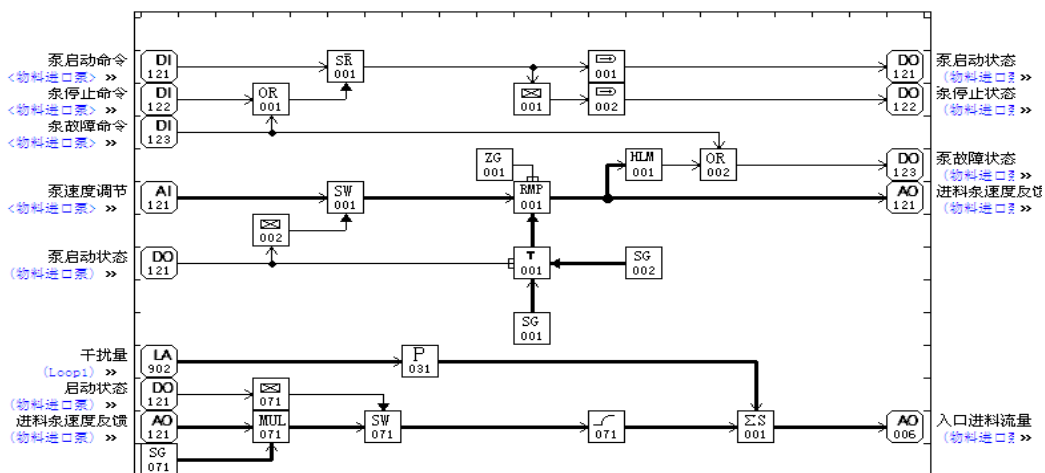


图 6-1 Logicad 仿真模型

按照上述的过程，结合各个模型自身的特点，设计仿真模型，并各个模型关联起来形成整个蒸馏塔的仿真模型。

## 6.2 通讯连接

在整个仿真系统的开发过程中，由组态软件编写的控制逻辑和设备数学模型生成的组态数据（包括数字量和模拟量），通过计算机网络，分别下载到虚拟的逻辑控制站和设备模型站中，再通过站与站之间的数据共享，实现控制逻辑和模型间的数据传递，而人机界面同虚拟控制站之间的数据交换，则由专门的数据通信软件实现。其基本关系如图所示，其中控制逻辑程序和模型组态数据都是用控制组态软件 LogicaD 来创建的。

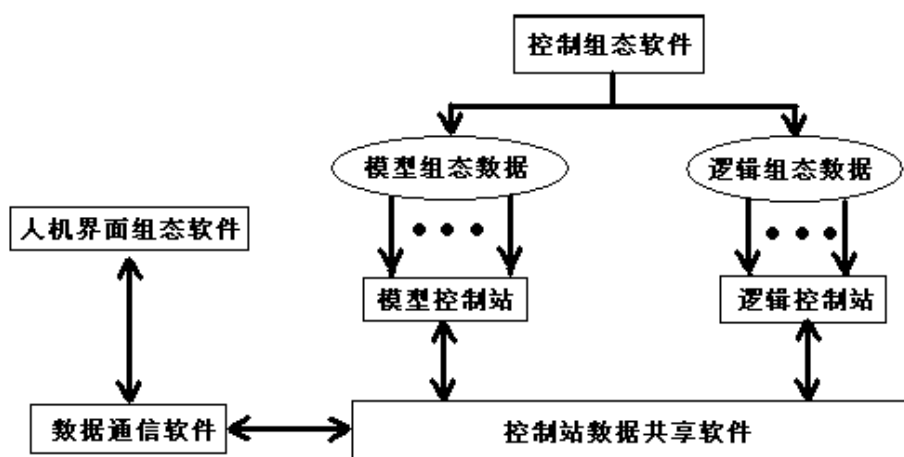


图 6-2 通讯连接

创建通讯连接的具体步骤如下：

首先打开已建好的仿真模型工程，将控制站的型号选定为 Simulator，网络类型选择以太网，并在配置中将控制站以太网节点号设置为 12 号。按一样的步骤设置好控制逻辑工程的控制站配置。将控制站的以太网节点号设置为 2 号。如图 6-3 所示。

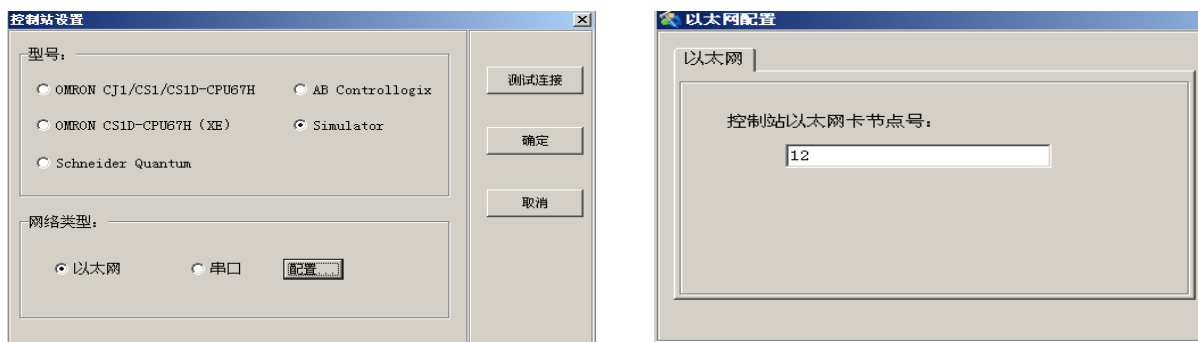


图 6-3 通讯设置

其次在仿真模型逻辑工程中选中一个图形文件，并在图形文件的输入侧选中输入量，如 AI、DI，并对这类元件进行参数设置，如图 6-4 所示，以物料进口泵的启动命令为例做详细介绍，其中 S 表示的控制站的节点号，s 参数设置为 2 表示元件 DI121 的输入命令来自于 2 号站，即控制逻辑所在的以太网节点号。ss 表示该控制站下对应的的 121 号节点 D0121，在 2 号站 121 对应的节点是控制逻辑中启动命令的输出 D0121。通过这样一个过程，建立起了仿真逻辑与控制逻辑的连接。这样把控制逻辑的操作指令传送到仿真模型的逻辑中，同时根据实际的需要把仿真逻辑反馈的信息传送到控制逻辑中去，设置方法同上述步骤。

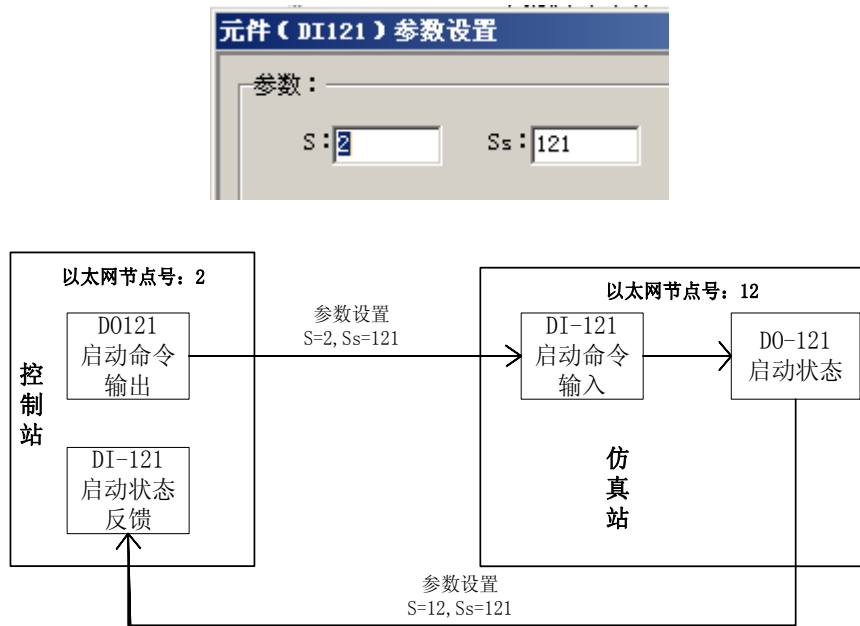


图 6-4 仿真站与控制站通讯关系举例

## 第七章 仿真与调试

### 7.1 人机界面的仿真与调试

当按第六章的操作步骤设计好 RDB 实时数据库、DEView 人机界面，把人机界面和实时数据库进行通讯连接，并设置好实时数据库中设备库对应的控制站节点号。最后把控制逻辑和仿真模型逻辑传送到想对应的控制站节点中。就大致完成了整个监控系统的仿真通讯联机操作。

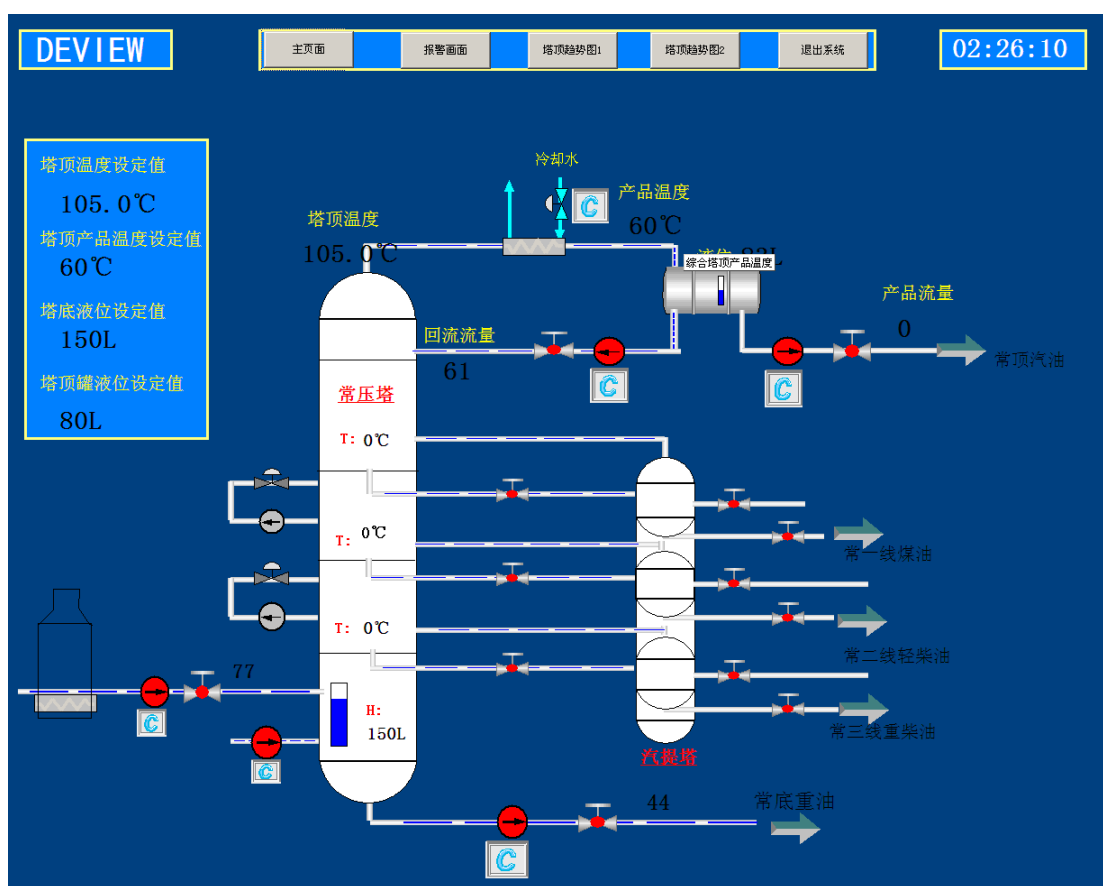




图 7-1 监控主页面

人机界面监控画面中，主页面显示了蒸馏塔的常压塔部门的仿真运行情况。人机界面中能够实时刷新蒸馏塔系统运行过程中的主要指标的参数，另外显示画面中各元件、设备的运行工况；例如图 7-1 中   两个不同颜色的泵分别表示泵的运行状态和停止状态。

在人机界面中的设备若带操作功能，则可通过连接操作窗来实现，本设计中用到的操作窗的类型主要有 3 个类型：开关量操作窗、模量量操作窗、数据输入

操作窗。如图 7-2 所示。操作者可以通过操作窗操作来给现场设备发出控制命令。

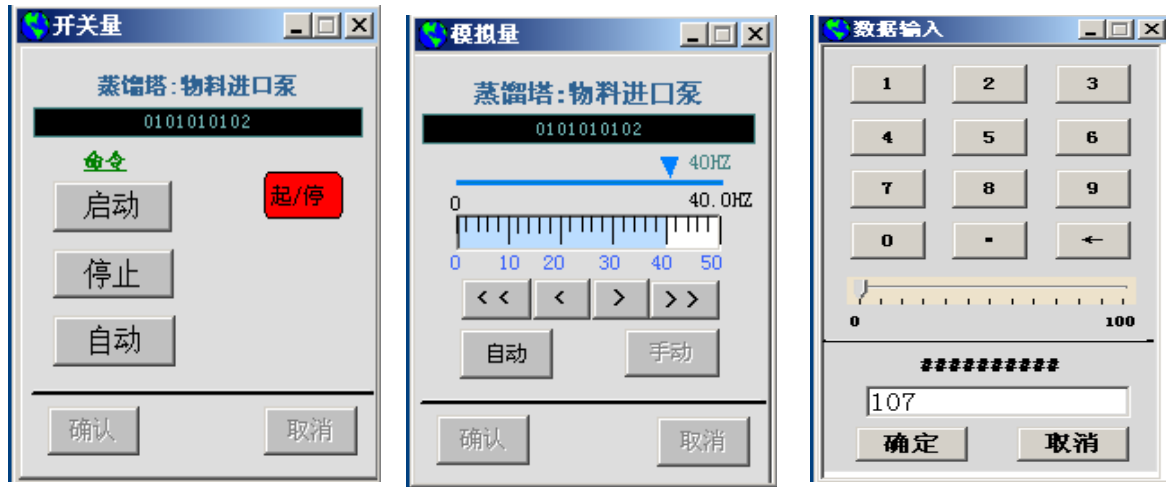


图 7-2 开关量操作窗、模量量操作窗、数据输入操作窗

## 7.2 PID 串级控制的仿真与调试

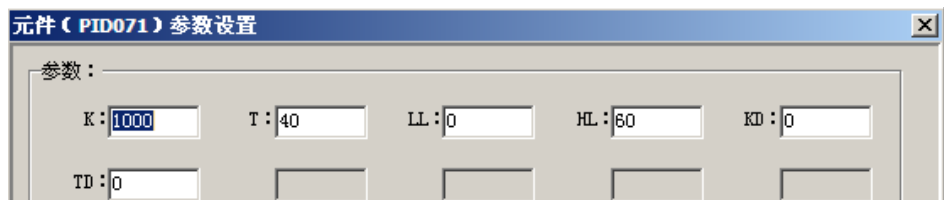
### 7.2.1 串级控制系统参数的整定

串级系统的整定要比简单系统复杂。由于两个调节器串接在一起，互相作用，影响参数的整定。所以在整定时，应尽量加大副调节器的增益以提高副环的频率，使主、副环的频率错开，减少相互之间的影响。

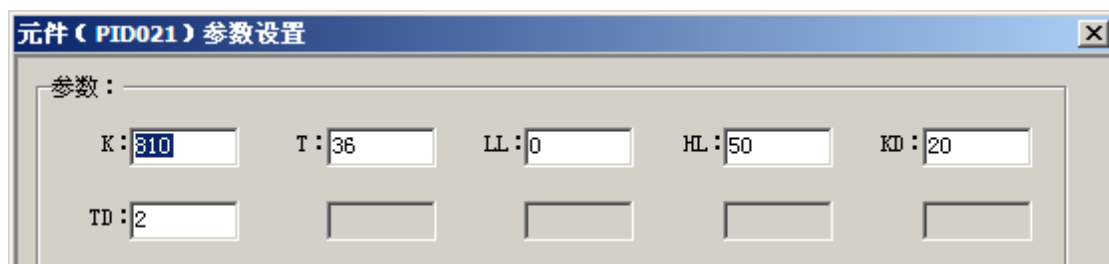
串级系统的整定采用两步整定法，第一步整定副回路的副调节器，第二步整定主回路的主调节器的串级系统整定方法。按照“先副后主，先比例次积分后微分”的原则，将计算得出的调节器参数置于各调节器之上。

加干扰实验进行验证，观察过程参数值，直至记录曲线符合控制要求为止。最整定的两个 PID 控制器的参数如下，副控制器副调节器 PID[071]的任务是要快动作以迅速抵消落在副环内的二次扰动，而且副参数并不要求无差，所以可选用调节速度较快的 P 调节器。

主调节器 PID[021]的任务是准确保持被调量符合生产要求，不允许被调量存在余差，因此，调节器必须具有比例积分微分作用。



图表 7-3



图表 7-4

### 7.2.2 性能分析

串级控制系统中，当塔顶回流量有波动时，副回路可以进行超前控制，把塔顶回流量的波动控制在一定范围内，减小对温度的影响。

当主回路中，温度给定值进行调节时，串级系统也能较快做出调节，当温度设定值变大时，主回路受到一个类似阶跃信号的作用，主控制器 PID[021]的输入偏差变大，主控制器的输出也变大，即副控制器的设定值变大，通过主、副控制器的作用使得回流量变小。最后实现温度趋于设定值。其趋势图如图 7-5 左半部分所示。

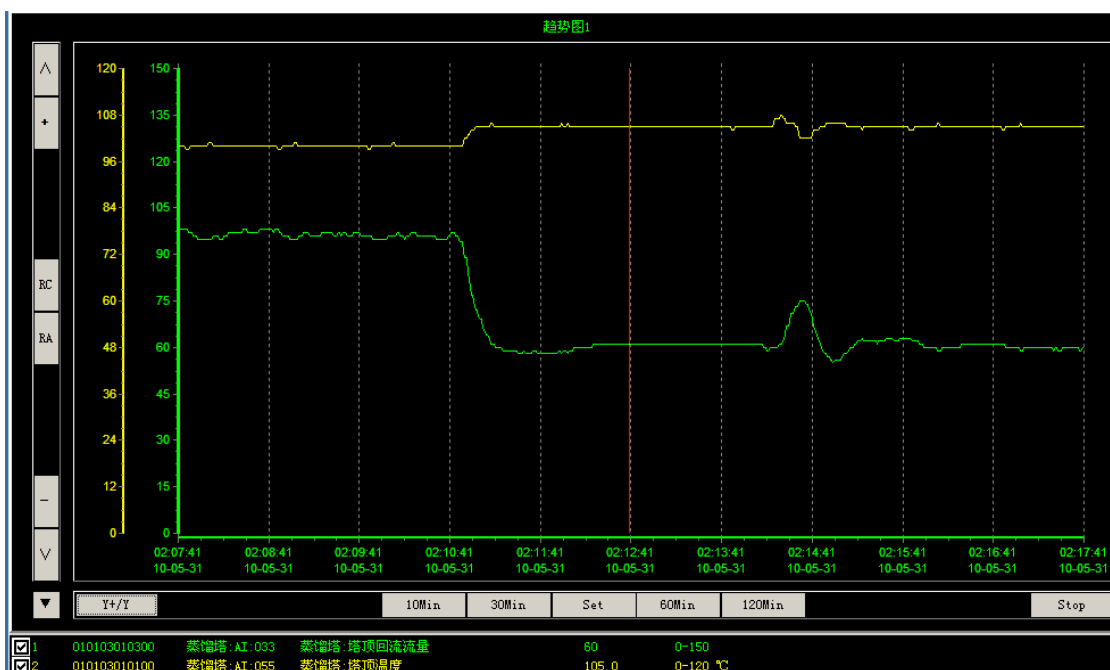


图 7-5

当主回路受到较大的扰动的时候，如受到塔底蒸汽流量突然变大的影响，塔顶温度受到干扰后迅速上升，主回路负反馈调节作用，主控制器输出增大，即副调节器的**给定值增大，输出值减小**，则增大塔顶回流流量以降低塔顶温度。最终

实现主回路中塔顶温度重新返回到与温度设定值附近，并稳定下来。其趋势图如图 7-5 右半部分所示。由此可见当有干扰作用于主回路是，串级控制能有效的克服，满足控制需求。

通过完整的联机调试，调试结果满足预期要求，能够实现监控系统的基本功能。至此，整个监控系统的设计和仿真任务完成。

## 结论

经过两个多月来的努力，通过查阅资料对蒸馏塔监控系统进行了理论分析，熟悉了蒸馏塔的工艺流程和控制要求，了解了组态技术在石油化工行业的应用情况。同时通过软件学习和设计实践，掌握了福大自动化开发的 IAP 中 RDB 实时数据库、DEVIEW 人机界面、Logicad 逻辑组态软件的使用。

结合蒸馏塔的工艺流程，设计出了基于组态软件的蒸馏塔监控系统。最后根据蒸馏塔结构和现场设备的工作原理，设计了仿真系统。通过仿真调试，测试出了所设计的蒸馏塔监控逻辑等存在的一些不足，并进行了加以修改。最终设计出来的蒸馏塔监控系统大致满足预期的要求，实现了仿真设备模型、DCS 控制逻辑和人机界面三者的有机结合，能够模拟系统的运行及协调控制。

(1) 该课题已经取得一定的成果，具体表现在以下几个方面：

- 1) 以原油蒸馏塔为具体的过程对象，着重分析了蒸馏工艺流程、蒸馏塔建模原理以及相应的监控原理；
- 2) 利用福大自动化开发的 IAP 组态软件平台，设计一个蒸馏塔监控系统（软件部分）和仿真模型，并进行仿真调试；
- 3) 实现监控系统的运行模拟，模拟设备启停操作、调节等功能，支持控制参数在线调节和离线调节；
- 4) 将控制理论和实践相结合，控制环节中引入各种控制算法，保证系统智能稳定运行，重点介绍了 PID 串级控制在本系统模型中的应用；
- 5) 保证了多媒体的支持，能够产生报警显示、实时曲线监控、数据显示等多种信息方式；
- 6) 从目前来看，基于组态软件的蒸馏塔监控系统模型的框架已基本建立，而且它还能够通过不断修改补充、完善和升级，使得系统模型的功能更加完整，仿真效果更加精确合理；最后应用于实际工程中或用作岗前培训教程，实现其应用价值。

(2) 存在的以下几点不足

- 1) 由于时间较紧，有些参数计算中，采用了一定的简化和拟合的方法，存在失真；接下去，需要将其进行改进，使之建立在理论公式的基础上；
- 2) 由于目前知识水平有限，对一些先进控制策略的掌握还不好，如侧线温度多变量约束控制、多变量预估控制等还没能用到监控系统中来。相信随着以后继续深入学习能取得新的进展。

## 参考文献

- [1]赵聪颖.常减压装置控制系统:[硕士学位论文].天津:天津大学.2006,8
- [2]胡真.原油蒸馏过程的建模与优化控制:[硕士学位论文].浙江大学:控制理论与控制工程,2000,7
- [3]陆德民.石油化工自动控制设计手册.北京化工出版社.2000,1:760-768
- [4]王虹,高劲松.常减压蒸馏塔的工艺分析.石化技术,2000,7(3):149-152
- [5]吴宁川,马俊英,潘立登.用FIX组态软件开发常减压蒸馏装置的SCADA应用.北京化工大学学报,2001,28(4):83-85
- [6]吕涌.组态化结构的组态软件的研究与开发.电气自动化.2000,22(5):44-48
- [7]张望.一种基于控制对象的工业实时数据库的研究与应用:[硕士学位论文].福州:福州大学,2010.
- [8]马翠红,张涌涛,纪玉荣.基于组态软件的加热炉生产过程的实时监控系统.自动化仪表,2004,25(11):60-63
- [9]林世雄.石油炼制工程(第3版).北京:石油工业出版社.2007
- [10]袁作林,季鹏.基于Unity Quantum热备的罐区监控系统设计.电气自动化,2009,31(1):64-66
- [11]福州福大自动化科技有限公司.RDB实时数据库产品操作手册.2009,08
- [12]福州福大自动化科技有限公司.DEVIEW人机界面产品操作手册.2009,08
- [13]Jianjun Meng,Chenghui Yang and Wenzhe Qi .Servicing Work Safety Supervision System for Electric Locomotive Based on Configuration Software.
- [14]Yu Zhang, Musheng Yang , Zhimin Jia and Xiaoqun Cao. Study on Real-time Monitoring System based on Configuration Software for Production of Infusion Solutions. 2009 IEEE International Conference on Control and Automation Christchurch, New Zealand, December 9-11
- [15]Liu Yan,Chen XianFeng. Design of Traffic Lights Controlling System Based on PLC and Configuration Technology . 2009 International Conference on Multimedia Information Networking and Security,2009,176 pp 561-563