

高职高专系列教材



# 化工单元仿真 与单元操作实训

王宏 李薇 主编

HUAGONG DANYUAN FANGZHEN  
YU DANYUAN CAOZUO SHIXUN

(第二版)

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

高职高专系列教材

# 化工单元仿真与单元操作实训

(第二版)

王宏李李薇 主编

中国石化出版社

## 内 容 提 要

本书内容分为两部分：第一部分利用北京东方仿真软件公司的化工单元仿真软件，对学生进行化工基本单元的DCS仿真操作技能训练；第二部分利用化工单元实验设备，对学生进行化工基本单元设备的实际操作技能训练。通过计算机仿真操作与真实设备操作的多角度的操作技能训练，以期使学生熟练掌握化工基本单元设备的开车、停车、控制调节以及处理常见事故能力，培养学生的化工职业基本技能。

本书适用于从事石油化工生产、石油化工科研工作的实验人员以及石油化工类大专院校相关专业的师生使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

化工单元仿真与单元操作实训 / 王宏, 李薇主编.  
—2版. —北京: 中国石化出版社, 2013. 2 (2015. 1 重印)  
高职高专系列教材  
ISBN 978-7-5114-1895-1

I. ①化… II. ①王… ②李… III. ①化工单元操作 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①TQ02

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第292627号

未经本社书面授权，本书任何部分不得被复制、抄袭，或者以任何形式或任何方式传播。版权所有，侵权必究。

### 中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街58号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

\*

787×1092毫米16开本11印张296千字

2015年1月第2版第3次印刷

定价:28.00元

# 前 言

中国石化出版社2007年8月出版了《化工单元仿真与单元操作实训》(第一版)教材,该书由兰州石化职业技术学院的王宏、李薇主编。出版以来,在化工基本单元过程的操作技能培训中,该书在各职业院校教学及企业培训中被广泛使用。

五年来,随着职业院校教学改革的推进,课程建设的深入,化工单元过程操作技能的培训一直是化工类职业院校学生职业核心能力培养的重点,化工企业员工岗位技能培训的基本组成部分,受到广泛的关注。为了满足职业技能培训的需要,化工单元仿真软件的内容和功能在不断更新完善;化工单元实验设备也从原来单纯的理论验证型实验设备向技能培训型综合实训装置拓展。为了适应教学发展需求,我们组织编写了《化工单元仿真与单元操作实训》(第二版),本书仍将仿真操作与单元设备操作作为化工单元过程技能培训的核心,力求通过真实设备的操作,实现学生对单元过程的感性认知学习,利用DCS模拟控制使学生掌握设备生产过程的操作流程,虚实结合,突出技能培训。

本书共分为三章,第一章主要介绍化工单元仿真软件的功能与使用方法,第二章主要介绍离心泵、换热器、加热炉、压缩机等12个典型化工仿真培训单元的操作要点,第三章主要介绍离心泵、换热器、精馏塔等8个化工单元操作实训项目。

本书由兰州石化职业技术学院王宏编写第一章和第二章,李薇编写第三章。编写过程中得到兰州石化职业技术学院孟宁、高永利、王舜平老师的大力支持,北京东方仿真软件技术有限公司提供了部分插图,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,错漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

# 目 录

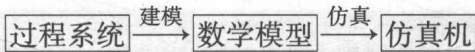
<b>第一章 单元仿真基础知识</b> .....	( 1 )
第一节 概述 .....	( 1 )
第二节 仿真培训系统学员站的使用方法 .....	( 1 )
第三节 评分系统使用方法 .....	( 12 )
<b>第二章 单元仿真操作实训</b> .....	( 17 )
实训一 离心泵单元 .....	( 17 )
实训二 换热器单元 .....	( 24 )
实训三 液位控制单元 .....	( 31 )
实训四 管式加热炉单元 .....	( 39 )
实训五 精馏塔单元 .....	( 47 )
实训六 吸收解吸单元 .....	( 55 )
实训七 单级压缩机单元 .....	( 66 )
实训八 间歇釜反应器单元 .....	( 74 )
实训九 固定床反应器单元 .....	( 81 )
实训十 流化床反应器单元 .....	( 89 )
实训十一 锅炉单元 .....	( 97 )
实训十二 CO <sub>2</sub> 压缩机单元 .....	( 111 )
<b>第三章 单元操作实训</b> .....	( 125 )
实训一 流体流动类型与雷诺准数的测定 .....	( 125 )
实训二 流体机械能的变化 .....	( 128 )
实训三 流体流动阻力的测定 .....	( 131 )
实训四 离心泵操作 .....	( 139 )
实训五 空气 - 蒸汽给热系数测定 .....	( 144 )
实训六 筛板塔精馏过程 .....	( 151 )
实训七 吸收操作 .....	( 158 )
实训八 干燥特性曲线测定实验 .....	( 165 )
<b>参考文献</b> .....	( 170 )

# 第一章 单元仿真基础知识

## 第一节 概 述

仿真是对代替真实物体或系统的模型进行实验和研究的一门应用技术科学，按所用模型分为物理仿真和数字仿真两类。物理仿真是以真实物体或系统，按一定比例或规律进行微缩或放大后的物理模型为实验对象，如飞机研制过程中的风洞实验。数字仿真是以真实物体或系统规律为依据，建立数学模型后在仿真机上进行的研究。与物理仿真相比，数字仿真具有更大的灵活性，能对截然不同的动态特性模型做实验研究，为真实物体或系统的分析和设计提供了十分有效而且经济的手段。

过程系统仿真是指过程系统的数字仿真，它要求描述过程系统动态特性的数学模型，能在仿真机上再实现该过程系统的实时特性，以达到在该仿真系统上进行实验研究的目的。过程系统仿真由三个主要部分组成，即过程系统、数学模型和仿真机。这三部分由建模和仿真两个关系联系在一起。



过程系统仿真技术的工业应用大约始于 20 世纪 60 年代，并于 20 世纪 80 年代中期随着计算机技术的快速发展和广泛普及取得很大进展。过程系统仿真技术在工业领域中的应用已涉及辅助培训与教育、辅助设计、辅助生产和辅助研究等方面，其社会效益日趋显著。

采用过程系统仿真技术辅助培训，就是用仿真机运行数学模型建造的一个与真实系统相似的操作控制系统（如模拟仪表盘、仿 DCS 操作站等），模拟真实的生产装置，再现真实生产过程（或装置）的实时动态特性，使学员可以得到非常逼真的操作环境，进而取得非常好的操作技能训练效果。

近年来，过程系统仿真技术在操作技能培训方面的应用在世界许多国家得到普及。大量统计结果表明，这种仿真培训系统能逼真地模拟工厂开车、停车、正常运行和各种事故状态的现象。它没有危险性，节省培训费用，可以使学员在数周内取得现场 2~5 年的经验，大大缩短了培训时间。

化工仿真培训系统是过程系统仿真应用的一个重要分支，主要用于化工生产装置操作人员的操作方法和操作技能培训，是一种为绝大多数化工企业和职教部门认同的、先进的、高效的现代化培训手段。


## 第二节 仿真培训系统学员站的使用方法

### 一、程序启动

学员站软件安装完毕之后，软件自动在“桌面”和“开始菜单”生成快捷图标。

#### 1. 学员站启动方式

软件启动有两种方式：

(1) 双击桌面快捷图标“CSTS2007”：

(2) 通过“开始菜单→所有程序→东方仿真→化工单元操作”启动软件。软件启动之后弹出运行界面(如图 1-1 所示)。



图 1-1 系统启动界面

## 2. 运行方式选择

系统启动界面出现之后会出现主界面(如图 1-2 所示), 输入“姓名、学号、机器号”, 设置正确的教师指令站地址(教师站 IP 或者教师机计算机名), 同时根据教师要求选择“单机练习”或者“局域网模式”, 进入软件操作界面。

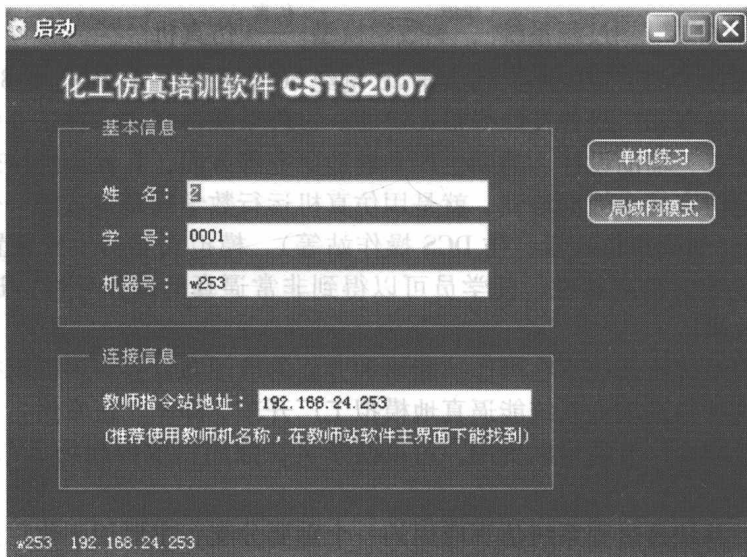


图 1-2 PISP.net 主界面

**【单机练习】**是指学生站不连接教师机, 独立运行, 不受教师站软件的监控。

**【局域网模式】**是指学生站与教师站连接, 老师可以通过教师站软件实时监控学员的成绩, 规定学生的培训内容, 组织考试, 汇总学生成绩等。

## 3. 工艺选择

选择软件运行模式之后, 进入软件“培训参数选择”页面(图 1-3)。

**【启动项目】**按钮的作用是在设置好培训项目和 DCS 风格后启动软件, 进入软件操作界面。

**【退出】**按钮的作用是退出仿真软件。

点击“培训工艺”按钮列出所有的培训单元, 根据需要进行选择相应的培训单元。

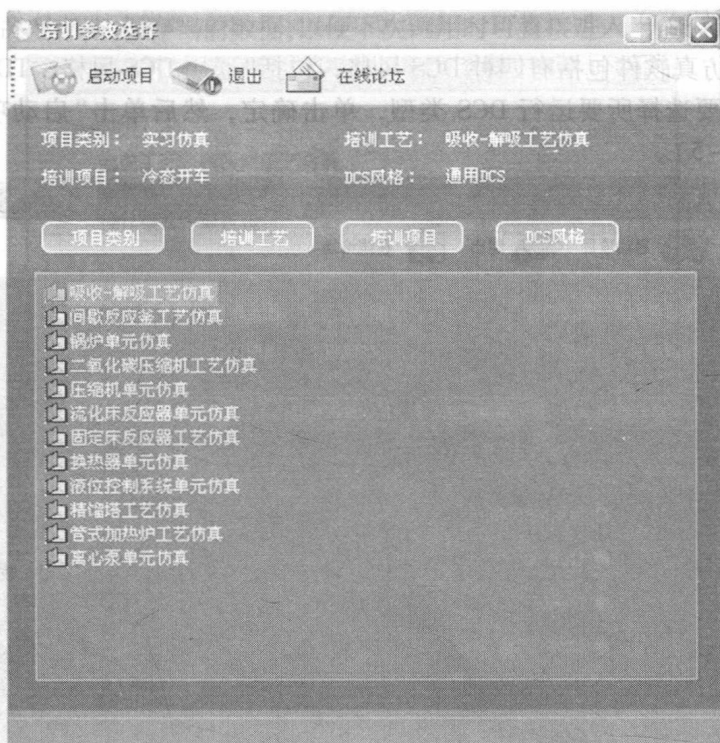


图 1-3 工艺选择

#### 4. 培训项目选择

选择“培训工艺”后，进入“培训项目”列表里面选择所要运行的项目，如冷态开车、正常停车、事故处理。每个培训单元包括多个培训项目(图 1-4)。

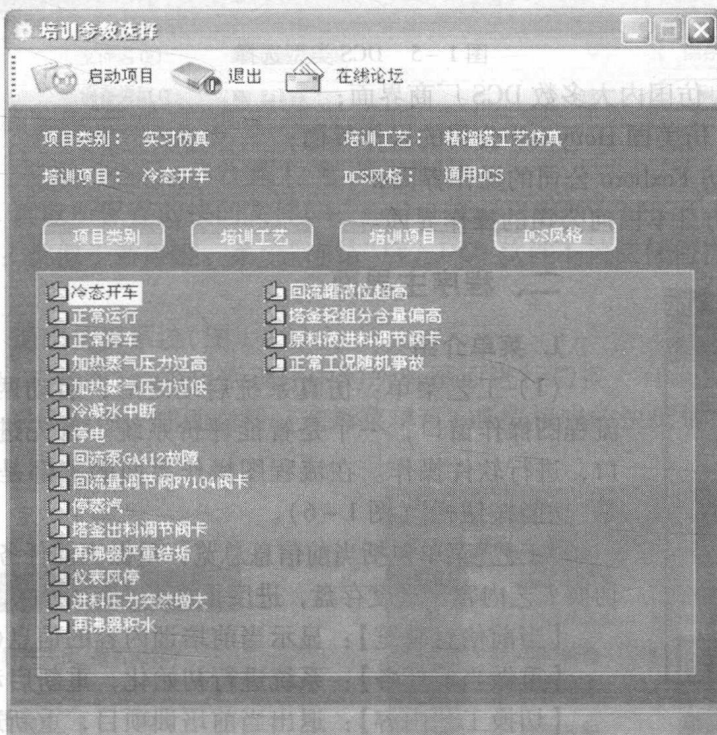


图 1-4 培训项目选择



## 5. DCS 类型选择

ESST 提供的仿真软件包括有四种 DCS 风格, 包括“通用 DCS 风格、TDC3000、IA 系统、CS3000”。根据需要选择所要运行 DCS 类型, 单击确定, 然后单击“启动项目”进入仿真软件操作画面(图 1-5)。

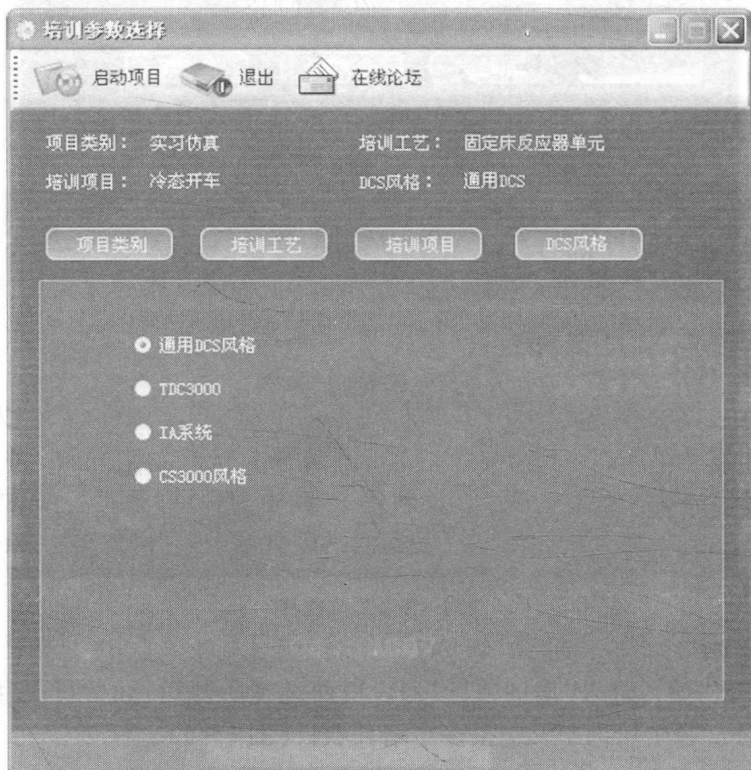


图 1-5 DCS 类型选择

- 【通用 DCS】: 仿国内大多数 DCS 厂商界面;
- 【TDC3000】: 仿美国 Honeywell 公司的操作界面;
- 【IA 系统】: 仿 Foxboro 公司的操作界面;
- 【CS3000】: 仿日本横河公司的操作界面。

## 二、程序主界面

### 1. 菜单介绍

(1) 工艺菜单: 仿真系统启动之后, 启动两个窗口, 一个是流程图操作窗口, 一个是智能评价系统。首先进入流程图操作窗口, 进行软件操作。在流程图操作界面的上部是“菜单栏”, 下部是“功能按钮栏”(图 1-6)。

“工艺”菜单包括当前信息总览, 重做当前任务, 培训项目选择, 切换工艺内容, 进度存盘, 进度重演, 冻结/解冻, 系统退出。

【当前信息总览】: 显示当前培训内容的信息(图 1-7)。

【重做当前任务】: 系统进行初始化, 重新启动当前培训项目。

【切换工艺内容】: 退出当前培训项目, 重新选择培训工艺。

【培训项目选择】: 退出当前培训项目, 重新选择培训工艺。

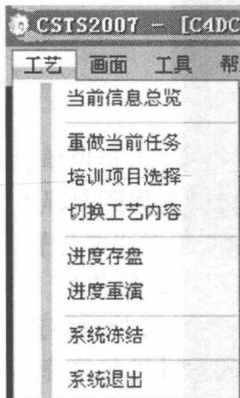


图 1-6 工艺菜单

【进度存盘】：进度存档,保存当前数据,以便下次调用时可直接进入当前工艺状态(图1-8)。

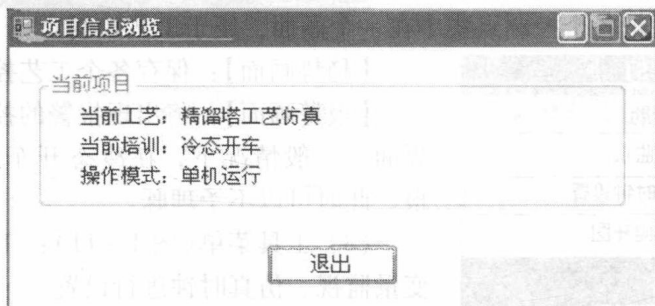


图 1-7 信息总览



图 1-8 保存快门

【进度重演】：读取所保存的快门文件(\*.sav)，恢复以前所存储的工艺状态。

【冻结/解冻】：类似于暂停键。系统“冻结”后，DCS软件不接受任何操作，后台的数学模型也停止运算。

【系统退出】：退出仿真系统(图1-9)。

(2) 画面菜单：“画面”菜单包括程序中的所有画面进行切换，有流程图画面、控制组画面、趋势画面、报警画面、辅助画面。选择菜单项(或按相应的快捷键)可以切换到相应的画面(图1-10)。

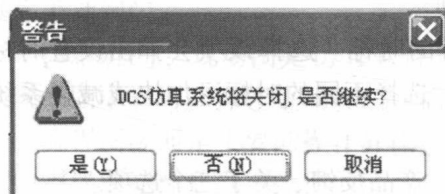


图 1-9 退出仿真系统界面

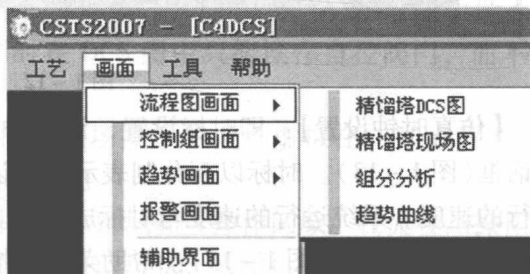


图 1-10 画面菜单

【流程图画面】：用于各个 DCS 图和现场图的切换。

【控制组画面】：把各个控制点集中在一个画面，便于工艺控制。

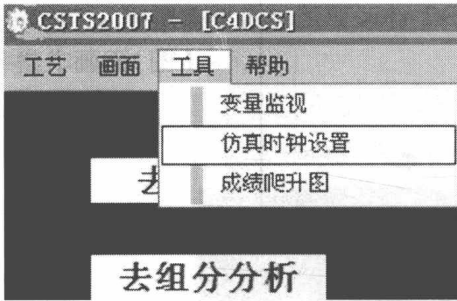


图 1-11 工具菜单

【趋势画面】：保存各个工艺控制点的历史数据。

【报警画面】：将出现报警的控制点集中在同一个界面。一般情况下，在冷态开车过程中容易出现低报，此时可以不予理睬。

(3) 工具菜单(图 1-11)：工具菜单可以用来对变量监视、仿真时钟进行设置。

【变量监视】：监视变量。可实时监视变量的当前值，察看变量所对应的流程图中的数据点以及对数据点的描述和数据点的上下限(图 1-12)。

ID	点名	描述	当前点值	当前变量值	点值上限	点值下限
1	P3	DISD	0.000000	0.000000	8.500000	0.000000
2	FS	DISF	0.000000	0.000000	10.000000	0.000000
3	HX1	DISB	0.000000	0.000000	100.000000	0.000000
4	HX2	FA-408	0.000000	0.000000	100.000000	0.000000
5	HX3	FA-414	0.000000	0.000000	100.000000	0.000000
6	TX3	DISD	25.000000	25.000000	100.000000	25.000000
7	TX27	DISB	25.000000	25.000000	200.000000	25.000000
8	TX10	FA-408	25.000000	25.000000	100.000000	0.000000
9	TX31	DISF	25.000000	25.000000	100.000000	0.000000
10	TI101	FA-408	25.000000	25.000000	100.000000	0.000000
11	TI102	BOTTOMS TEMPERATURE	25.000000	25.000000	200.000000	25.000000
12	TI103	FEED TEMPERATURE	25.000000	25.000000	100.000000	0.000000
13	TI104	REFLUX TEMPERATURE	25.000000	25.000000	100.000000	0.000000
14	TI105	OVERHEAD TEMPERATURE	25.000000	25.000000	100.000000	0.000000
15	FT101		0.000000	0.000000	28000.000000	0.000000
16	FT101	DISD	0.000000	0.000000	8.500000	0.000000
17	FT102	DISD	0.000000	0.000000	8.500000	0.000000
18	TI101	DISF	25.000000	25.000000	190.000000	25.000000
19	LT101	DISB	0.000000	0.000000	100.000000	0.000000
20	LT102	FA-414	0.000000	0.000000	100.000000	0.000000
21	LT103	FA-408	0.000000	0.000000	100.000000	0.000000
22	FT102	DISB	0.000000	0.000000	14898.000000	0.000000
23	FT103	DISD	0.000000	0.000000	13418.000000	0.000000
24	FT104	DISB	0.000000	0.000000	19000.000000	0.000000
25	WPC2	CEC3	0.227700	0.227700	100.000000	0.000000
26	WPC4	FA	0.233100	0.233100	100.000000	0.000000

图 1-12 变量监视界面

【仿真时钟设置】：即时标设置，设置仿真程序运行的时标。选择该项会弹出设置时标对话框(图 1-13)。时标以百分制表示，默认为 100%，选择不同的时标可加快或减慢系统运行的速度。系统运行的速度与时标成正比。

(4) 帮助菜单(图 1-14)：帮助菜单包括帮助主题、产品反馈、关于三个选项。

【帮助主题】：打开仿真系统平台操作手册。

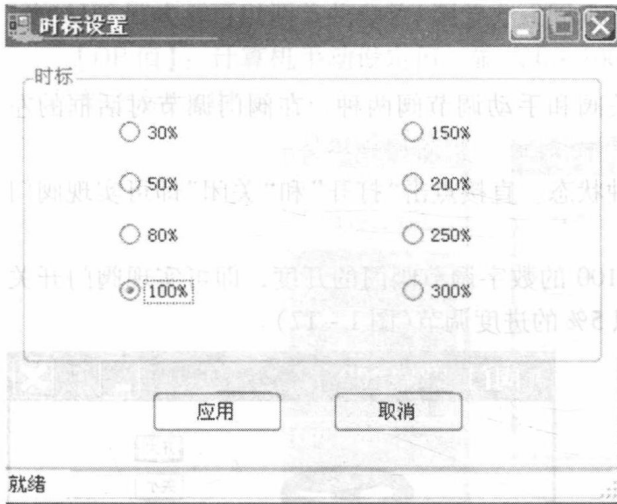


图 1-13 仿真时钟设置窗口



图 1-14 帮助菜单

**【产品反馈】：**您可以把对我们的产品的一些意见 e-mail 给我们，不管是赞成的还是提出批评的我们都将感谢您对我们产品的关注，并及时修正我们的缺点，给广大用户一个最满意的产品。

**【关于】：**显示软件的版本信息、用户名称和激活信息(图 1-15)。



图 1-15 关于内容

## 2. 画面介绍及操作方式

(1) 流程图画面：流程图画面有 DCS 图和现场图两种。

**【DCS 图】：**DCS 图画面和工厂 DCS 控制室中的实际操作画面一致。在 DCS 图中显示所有工艺参数，包括温度、压力、流量和液位，同时在 DCS 图中只能操作自控阀门，而不能操作手动阀门。

**【现场图】：**现场图是仿真软件独有的，是把在现场操作的设备虚拟在一张流程图上。在现场图中只可以操作手动阀门，而不能操作自控阀门。

流程图画面是主要的操作界面，包括流程图、显示区域和可操作区域。在流程图操作画面中当鼠标光标移到可操作的区域上面时会变成一个手的形状，表示可以操作。鼠标单击时会根据所操作的区域，弹出相应的对话框。如点击按钮 **TO DCS** 可以切换到 DCS 图，但是

对于不同风格的操作系统弹出的对话框也不同。

### ① 通用 DCS 风格：

a. 现场图：现场图中的阀门主要有开关阀和手动调节阀两种，在阀门调节对话框的左上角标有阀门的位号和说明：

【开关阀】：此类阀门只有“开和关”两种状态。直接点击“打开”和“关闭”即可实现阀门的开关关闭(图 1-16)。

【手动操作阀】：此类阀门手动输入 0~100 的数字调节阀门的开度，即可实现阀门开关大小的调节。或者点击“开大和关小”按钮以 5% 的进度调节(图 1-17)。



图 1-16 开关阀



图 1-17 手动操作阀

b. DCS 图：在 DCS 图中通过 PID 控制器调整气动阀、电动阀和电磁阀等自动阀门的开关关闭。在 PID 控制器中可以实现自动/AUT、手动/MAN、串级/CAS 三种控制模式的切换(图 1-18)。

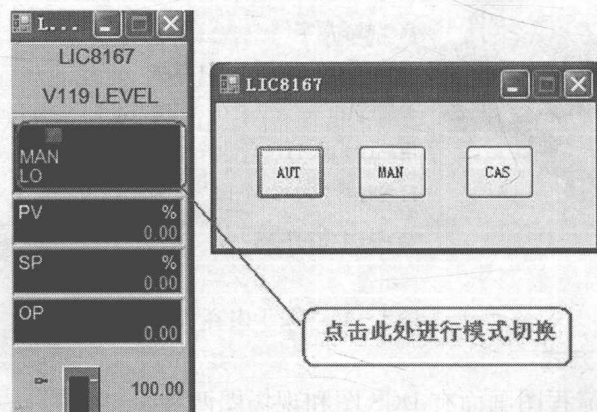


图 1-18 DCS 图

【AUT】：计算机自动控制。

【MAN】：计算机手动控制。

【CAS】：串级控制。两只调节器串联起来工作，其中一个调节器的输出作为另一个调节器的给定值。

【PV 值】：实际测量值。由传感器测得。

【SP 值】：设定值。计算机根据 SP 值和 PV 值之间的偏差，自动调节阀门的开度；在自

动/AUT 模式下可以调节此参数(调节方式同 OP 值)。

【OP 值】：计算机手动设定值。输入 0~100 的数据调节阀的开度；在手动/MAN 模式下调节此参数(图 1-19)。

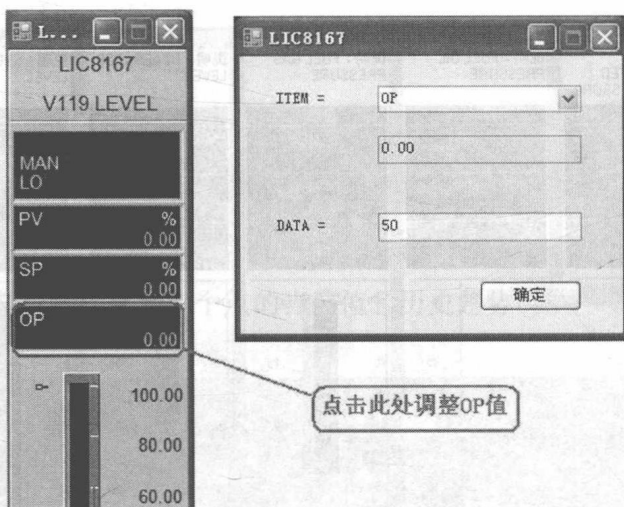


图 1-19 OP 值

② TDC3000 风格：

a. 现场图：对于 TDC3000 风格的流程图现场图中，有如下操作模式。操作区内包括所操作区域的工位号及描述。操作区有下面两种形式(图 1-20、图 1-21)。



图 1-20 操作区(1)

该操作区一般用来设置泵的开关、阀门开关等一些开关形式(即只有是与否两个值)的量。点击“OP”会出现“OFF”和“ON”两个框，执行完开或关的操作后点击“ENTER”，OP 下面会显示操作后的新的信息，点击“CLR”将会清除操作区。



图 1-21 操作区(2)

该操作区一般用来设置阀门开度或其他非开关形式的量。OP 下面显示该变量的当前值。点击“OP”则会出现一个文本框，在下面的文本框内输入想要设置的值，然后按回车键即可完成设置，点击“CLR”将会清除操作区。

b. DCS 图：在 DCS 图中会出现该操作区，该操作区主要是显示控制回路中所控制的变量参数的测量值(PV)、设定值(SP)、当前输出值(OP)、“手动 MAN”/“自动 AUT/串级 CAS”方式等，可以切换“手动”/“自动/串级”方式，在手动方式下设定输出值等，其操作方式与前面所述的两个操作区相同(图 1-22)。



图 1-22 DCS 图操作区

(2) 控制组画面：控制组画面包括流程中所有的控制仪表和显示仪表(图 1-23、图 1-24)，不管是 TDC3000 还是通用的 DCS 都与它们在流程画面里所介绍的功能和操作方式相同。

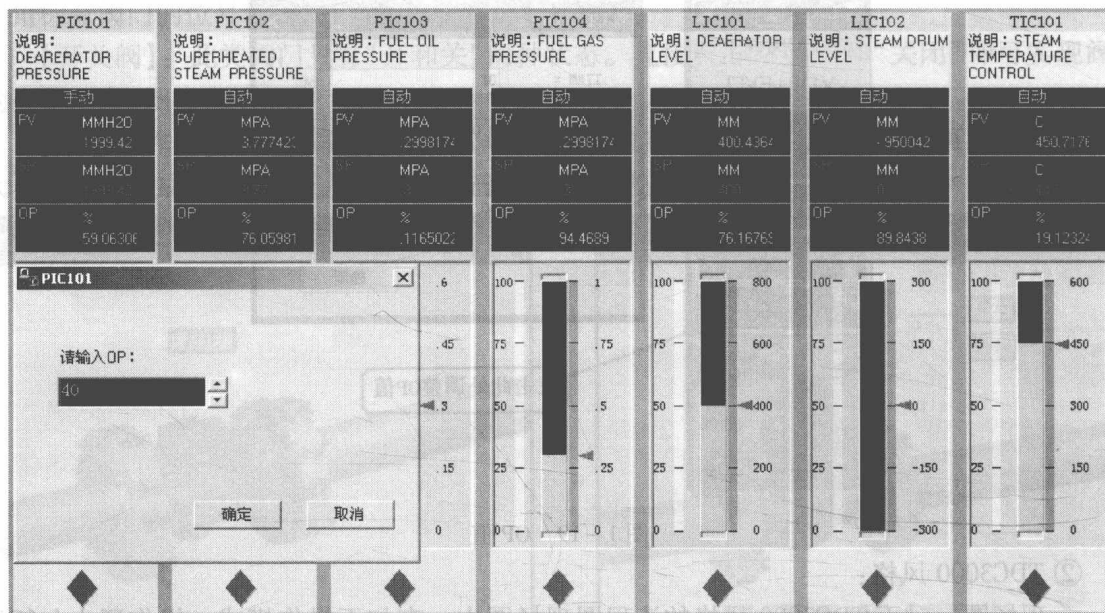


图 1-23 DCS 风格控制组

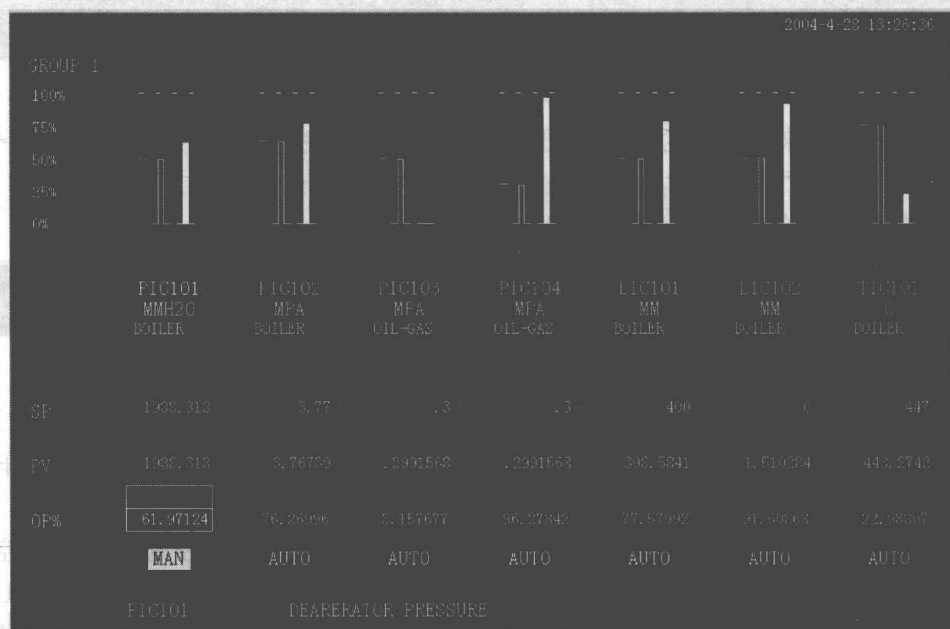


图 1-24 TDC3000 风格控制组

(3) 报警画面：选择“报警”菜单中的“显示报警列表”，将弹出报警列表窗口(图 1-25)。报警列表显示了报警的时间、报警的点名、报警点的描述、报警的级别、报警点的当前值及其他信息(图 1-25)。

(4) 趋势画面。通用 DCS：在“趋势”菜单中选择某一菜单项，会弹出如图 1-26 所示

CSTS2007 - [报警]					
工艺	画面	工具	帮助		
■	09-1-19	16:13:03	PIC8241	PVLO	15.00
■	09-1-19	16:13:03	PIC8241	PVLL	14.50
■	09-1-19	16:13:03	TIC8111	PVLO	50.00
■	09-1-19	16:13:03	TIC8111	PVLL	45.00
■	09-1-19	16:13:03	LIC8101	PVLO	10.00
■	09-1-19	16:13:03	LIC8101	PVLL	5.00

图 1-25 报警画面

的趋势图，该画面一共可同时显示 8 个点的当前值和历史趋势(图 1-26)。

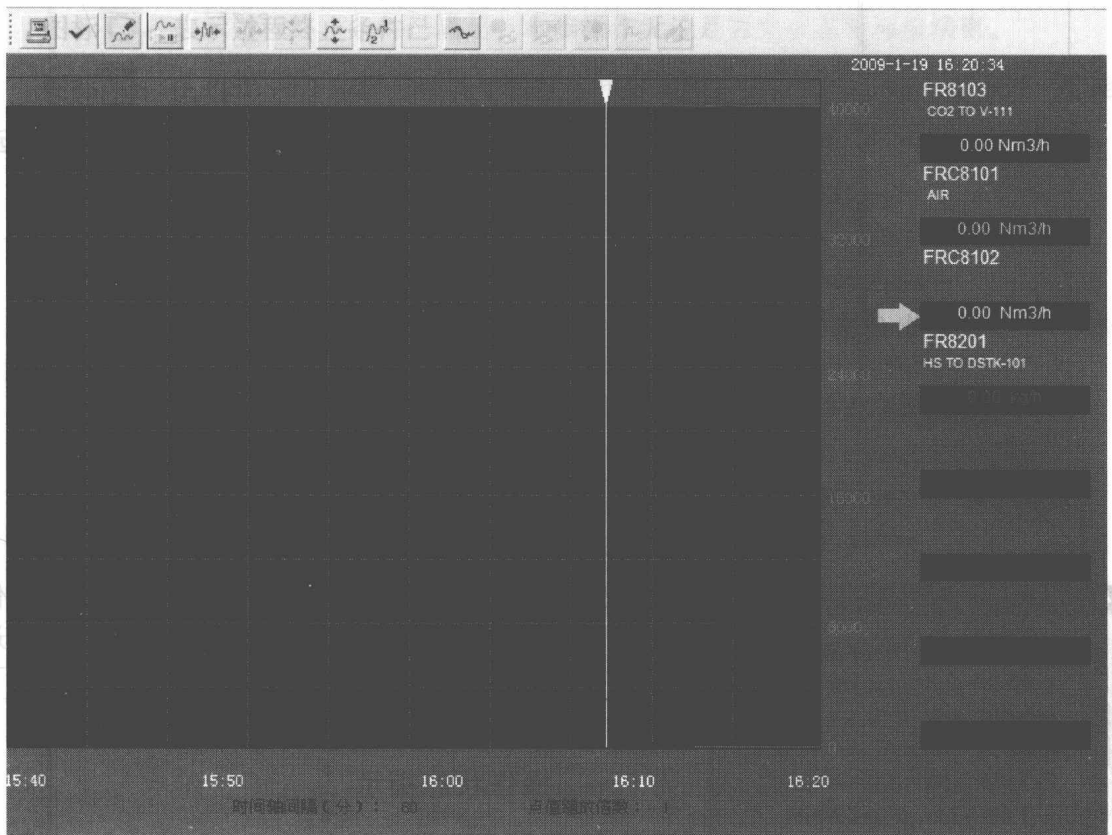


图 1-26 趋势画面

在趋势画面中可以用鼠标点击相应的变量的位号，查看该变量趋势曲线，同时有一个绿色箭头进行指示。也可以通过上部的快捷图标栏调节纵横坐标的比例；还可以用鼠标拖动白色的标尺，查看详细历史数据。

### 三、退出系统

直接关闭流程图窗口和评分文件窗口，弹出关闭确认对话框(图 1-27)，都会退出系统。另外，还可在菜单“工艺菜单”重点击“系统退出”退出系统。

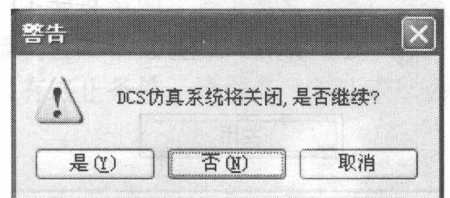


图 1-27 系统退出



### 第三节 评分系统使用方法

启动软件系统进入操作平台，同时也就启动了过程仿真系统平台 PISP 操作质量评分系统，评分系统界面如图 1-28 所示。

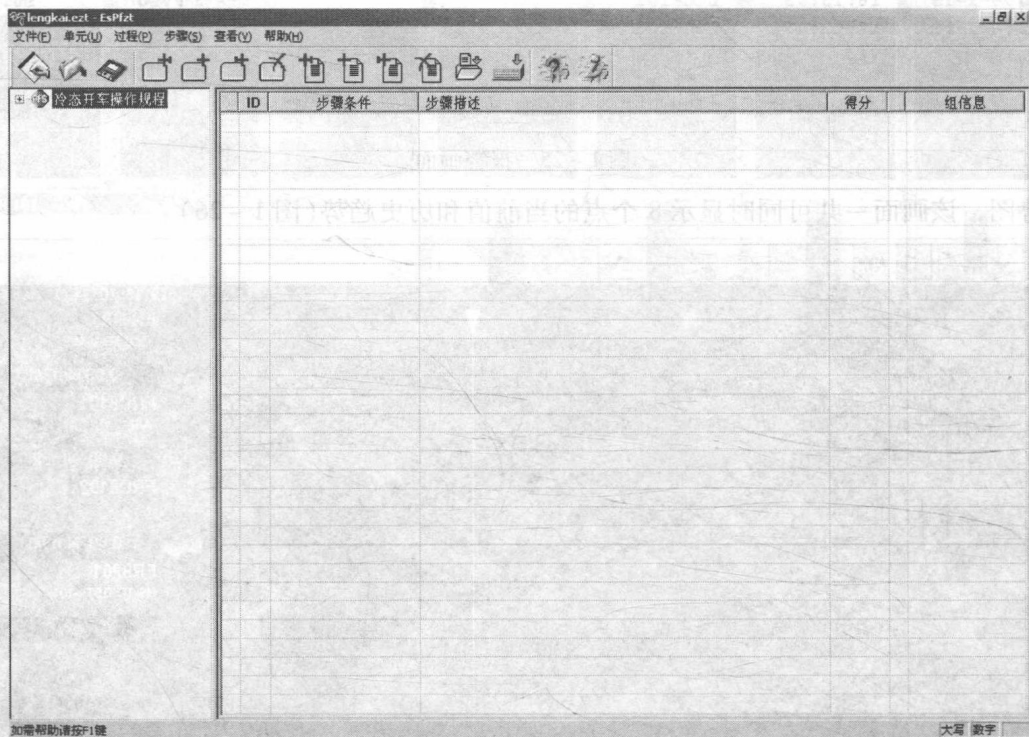


图 1-28 评分系统界面

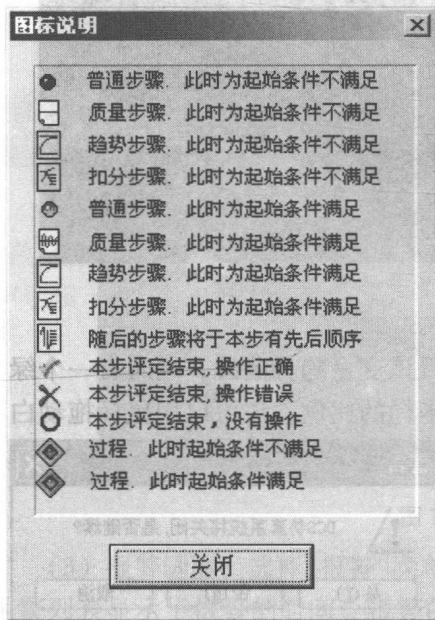



图 1-29 图标说明


过程仿真系统平台 PISP.NET 评分系统是智能操作指导、诊断、评测软件(以下简称智能软件)，它通过对用户的操作过程进行跟踪，在线为用户提供如下功能：


#### 一、操作状态指示

对当前操作步骤和操作质量所进行的状态以不同的图标表示出来(图 1-29 所示为操作系统中所用的光标说明)。

##### 1. 操作步骤状态图标及提示

图标 ：表示此过程的起始条件没有满足，该过程不参与评分。

图标 ：表示此过程的起始条件满足，开始对过程中的步骤进行评分。

图标 ：为普通步骤，表示本步还没有开始操作，也就是说，还没有满足此步的起始条件。