

化工仿真培训用书

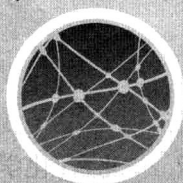
化工仿真 实习指南

第三版

吴重光 著



化学工业出版社



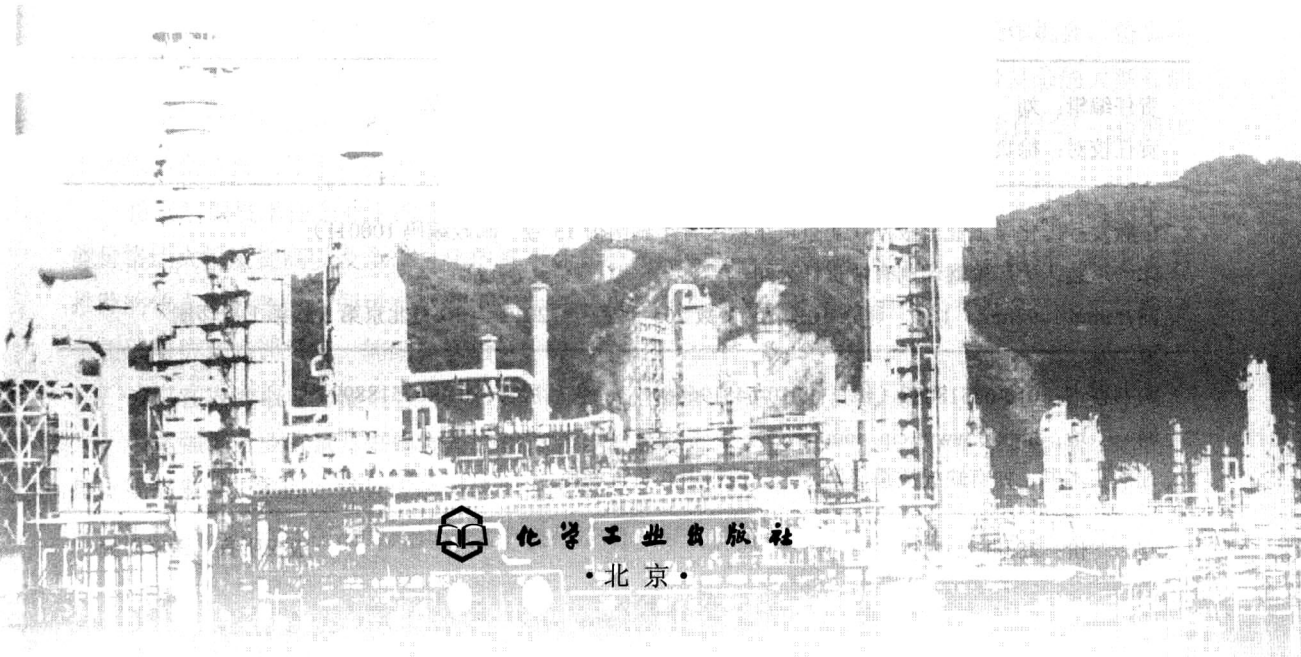
TQ015.9
5/-3

化工仿真培训用书

化工仿真 实习指南

第三版

吴重光 著



化学工业出版社
· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

化工仿真实习指南 / 吴重光著. —3 版. —北京: 化学工业出版社, 2012.7

ISBN 978-7-122-14262-7

I. ①化… II. ①吴… III. ①化学工业-计算机仿真
IV. ①TQ015.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 094800 号

责任编辑: 刘 哲

装帧设计: 张 辉

责任校对: 徐贞珍

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 10¼ 字数 265 千字 2012 年 10 月北京第 3 版第 1 次印刷

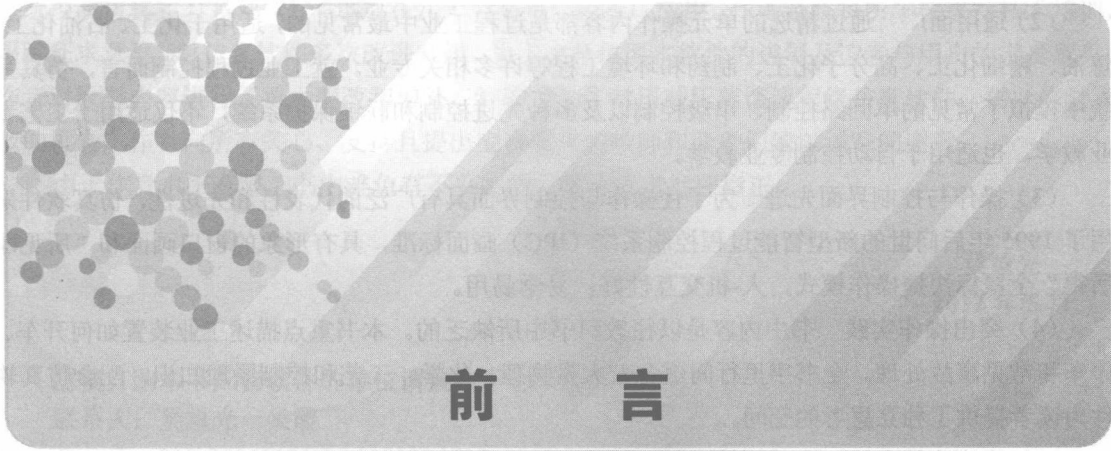
购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究



前言

计算机辅助教学 (CAI) 主要包含办公自动化、多媒体教学和仿真教学 (又称模拟教学) 三方面内容。其中仿真教学是运用实物、半实物或全数字化动态模型深层次揭示教学内容的新方法, 是计算机辅助教学的高级阶段。

本书是对作者开发的“化工过程及系统控制仿真实习系列软件”全面且详尽的说明。该软件采用先进的编程思想, 将复杂的化工过程, 包括控制系统的动态数学模型, 在微机中实时运行, 并通过彩色图形控制操作画面, 以直观、方便的操作方式进行仿真 (模拟) 教学的软件。软件能够深层次揭示化工过程及控制系统随时间动态变化的规律, 具有全工况可操作性。仿真软件将过程中典型的单元操作, 如离心泵、热交换器、压缩机、间歇反应、连续反应、加热炉、吸收、精馏等, 包括控制系统, 开发成一系列可独立运行的软件。此外还包括锅炉及常压减压蒸馏等流程级仿真软件。这些软件经过精选, 都有真实的工厂作背景, 已经成功地培训过我国化工、石油化工和炼油厂技术人员 100 万人。

仿真教学的一种重要用途是解决本科、高职和中职院校生产实习问题。长期以来, 由于学校缺乏经费, 难于承受实习费用, 工厂为了安全和效益不允许学生动手操作, 因此, 学生实习难成为普遍性问题。仿真实习可以使学生不进工厂就能得到开车、停车和事故处理操作机会, 仿真实习将会成为学校解决实践环节的主要手段。当前, 我国科技人员已有能力开发最复杂的大型石油化工全流程级仿真培训系统。二十多年来, 大约有 1000 多套国产化仿真培训系统在化工、石油化工和炼油企业投入使用, 有关科研成果多次获省部级和国家级科技进步奖。

仿真培训技术在企业中的成功应用, 为学校采用仿真实习技术创造了条件, 得益于微型机性能价格比大幅度提高以及全微机化仿真培训系统研制成功, 学校只要配置几十台微机, 装上本书推荐的仿真培训软件, 即可实现大批学生同时进行仿真实习。迄今, 国内约有百余所化工类院校争相采用仿真培训系统, 辅助教学效果非常显著。

本书在内容取材方面进行过广泛调研和优选, 概括起来有以下特点。

(1) 强调工业背景 书中涉及的仿真软件都具有真实的工业背景, 工艺流程、设备结构和自控方案都来源于实际, 并且成功地培训过大批学员, 通过部级技术鉴定。数学模型采用现场数据反复校核, 个别软件在离线操作调优中取得成功。可见仿真软件中包含有丰富的工业背景知识。

(2) 适用面广 通过精选的单元操作内容都是过程工业中最常见的,适用于化工、石油化工、炼油、精细化工、高分子化工、制药和环境工程等诸多相关专业。就工业过程控制而言,仿真系统中模拟了常见的单回路控制、串级控制以及多种先进控制和联锁保护系统,不仅适用于工艺专业教学,也适用于自动控制专业教学。

(3) 操作与控制界面先进 为了使操作与控制界面具有广泛的代表性和先进性,仿真软件采用了1995年后问世的新型智能过程控制系统(IPC)画面标准,具有形象的窗口画面和“所见即所得”全鼠标快捷操作模式,人-机交互性好,易学易用。

(4) 突出操作实践 书中内容是以往教科书中所缺乏的。本书重点描述工业装置如何开车、停车和常见事故处理。全书字里行间蕴含着大量物理、化学、工艺和控制原理知识,配合仿真软件为读者提供了独立思考的空间。

(5) 内容由浅入深,由简到繁,相互呼应,相互补充 初学者可以先从简单的仿真实习软件入手,逐步掌握较为复杂的软件。选用65t/h一氧化碳锅炉仿真软件并非针对热能专业的学生,其目的是给学生一个适中的全流程级装置,在熟悉了基本操作后,能在2~3天内独立地完成开车操作。书中前面已经提到的基本单元操作,在后面复杂装置开车步骤中适当简化处理。

(6) 附有大量思考题 思考题涉及到工艺流程、操作原理、设备原理、控制原理、事故现象、产生原因和排除方法等多方面知识,有利于启发学生理论联系实际以及更深刻地理解本书的内容。

(7) 实用性强 全书每一章节的内容都有仿真软件与之配套,是仿真实习教学过程中教师和学生时刻不能离手的指导书。

(8) 提倡新的教学方法 千百年来,传统的教学方法是“老师讲、学生录”的方式,而且这种教学方法直到今天仍未改变。然而中外教育学家一致认为:传统的教学方法教学效果差,已经到了非改不可的地步。因为人类接受知识的过程是一种多通道综合作用的过程,这些通道主要有感觉通道,包括视觉、听觉、触觉、平衡感觉、嗅觉和味觉;运动通道,包括手、眼、足、身体和语音;思维通道,包括大脑的记忆、分析、联想和决策。传统的教学方法只利用了较少的通道,如视觉、听觉等,因此教学效率不高。仿真训练是一种多通道综合作用的教学方法。学员置身于仿真环境之中,可以充分调动感觉通道、运动通道和思维通道的学习机能,接受知识的效率明显提高。

此外,仿真训练系统是一种能够充分发挥学生创造意识的环境。学生可以在没有教师的情况下自学,并反复试验自行设计的开车方案、停车方案和事故排除方案。

根据人类的记忆规律,为了将所学内容长期保持,必须经历一个反复学习的过程。而传统课堂教学,主讲教师授课是一次性的,所以效果不好。仿真训练可反复进行,直到将所学知识烂熟于心。

综上所述,仿真训练对于学生了解化工过程的工艺和控制系统的动态特性、提高对工艺过程的运行和控制能力具有特殊效果。这种运行、调整和控制能力集中反映了学生运用理论知识解决实际问题的水平。所以,仿真训练是运用高科技手段强化学生掌握知识和理论联系实际的新型教学方法。随着信息时代到来,仿真技术已成为改革千百年来传统的“老师讲、学生录”教学方法的重要手段。期望本书除了用于仿真实习之外,能够在推广现代化教学技术方面起到抛砖引玉之作用。

本书是《化工仿真实习指南》的第三版,第一版发行后得到广大读者的厚爱,“化工过程及

系统控制仿真实习系列软件”迅速在几十所高等院校推广应用。作者亲临每所学校进行技术培训，跟踪征求意见，对仿真软件多次改进升级。为了充分体现本软件的进展及读者与用户的宝贵意见，作者对原书内容进行了重大删改和增补，特别增加了常压减压蒸馏流程级仿真软件。借此修订再版的机会，作者向所有关心、支持且提出宝贵意见的教师和读者们致以诚挚的谢意。

由于作者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

吴重光
2012年5月

需要订购本书配套软件的单位请按如下地址联系

联系人：吴重光 吴霞

电 话：010-84963031、13901206387

E-mail: wucg169@163.com

本书常用单位换算

书中使用的非法定单位与法定单位的换算如下:

$$1\text{cal}=4.18\text{J}$$

$$1\text{mmHg}=133.322\text{Pa}$$

$$1\text{mmH}_2\text{O}=9.806\text{Pa}$$

$$1\text{kgf/cm}^2=9.806\text{Pa}$$

$$1\text{atm}=101325\text{Pa}$$

$$1\text{in}=25.4\text{mm}$$

$$1\text{rpm}=1\text{r/min}$$

$$1\text{Nm}^3/\text{h}=1\text{m}^3/\text{h} \text{ (标准状况)}$$

目 录

第一章 仿真实习技术	1
第一节 仿真实习技术简介	1
一、什么是仿真实习技术	1
二、仿真实习技术的产生背景	1
三、仿真实习的优点	1
四、仿真实习的作用	2
五、仿真实习软件的主要用途	2
第二节 仿真实习的教学规律	3
一、下厂认识实习	3
二、熟悉工艺流程、控制系统及开车规程	3
三、仿真实习操作训练	3
四、分析与讨论	3
五、安全教育	4
六、仿真优化生产试验	4
第二章 仿真实习软件界面操作方法及操作要点	5
第一节 智能控制 (IPC) 模式操作法	5
一、概述	5
二、画面中主要操作与显示位图说明	7
三、流程图画面	9
四、控制组画面	9
五、趋势组画面	9
六、报警组画面	10
七、指示组画面	11
八、帮助画面	12
九、评分记录画面	12

十、PS-2000 的新功能与新特点	13
第二节 化工过程操作要点	14
第三节 控制系统操作要点	22
一、控制器操作要点	22
二、串级控制的操作要点	22
三、复杂控制系统	22

第三章 离心泵及液位控制.....23

一、工艺说明	23
二、离心泵冷态开车	26
三、离心泵停车操作	26
四、测取离心泵特性曲线	26
五、事故设置及排除	26
六、开车评分信息	28
七、开车评分标准	28
思考题	29

第四章 热交换器.....31

一、工艺及控制说明	31
二、开车操作法	32
三、停车操作法	33
四、事故设置及排除	33
五、开车评分信息	33
六、开车评分标准	34
思考题	35

第五章 蒸汽透平与往复压缩机.....37

一、工艺流程简介	37
二、流程图及说明	37
三、操作说明	40
四、事故设置及排除	42
五、开车评分信息	42
六、开车评分标准	43
思考题	44

第六章 间歇反应.....45

一、工艺流程简介	45
二、流程图说明	46
三、操作说明	49

四、事故设置及排除	52
五、开车评分信息	53
六、开车评分标准	54
思考题	55

第七章 连续反应.....57

一、工艺流程简介	57
二、控制系统简介	57
三、主要画面说明	60
四、工艺操作说明	61
五、事故设置及排除	63
六、开车评分信息	63
七、开车评分标准	64
思考题	65

第八章 精馏系统.....67

一、工艺流程简介	67
二、流程图说明	68
三、自控系统简介	69
四、指示与控制仪表说明	69
五、操作说明	71
六、事故设置及排除	74
七、开车评分信息	75
八、开车评分标准	75
思考题	76

第九章 吸收系统.....79

一、工艺流程简介	79
二、操作画面说明	79
三、控制系统简介	81
四、操作说明	83
五、事故设置及排除	84
六、开车评分信息	85
七、开车评分标准	86
思考题	87

第十章 加热炉.....89

一、工艺流程简介	89
二、流程图说明	91

三、操作说明	92
四、事故设置及排除	94
五、开车评分信息	95
六、开车评分标准	95
思考题	96

第十一章 65t/h 锅炉 99

一、工艺过程简介	99
二、流程图说明	100
三、操作、指示与控制仪表说明	103
四、冷态开车操作说明	107
五、操作要点	110
六、停炉操作说明	112
七、事故设置及排除	113
八、开车评分信息	115
九、开车评分标准	116
思考题	117

第十二章 石油炼制常压减压蒸馏装置 119

一、常压减压蒸馏装置概述及工艺流程说明	119
二、控制器说明	122
三、手操器说明	125
四、开关说明	125
五、指示变量说明	126
六、报警限说明	129
七、冷态开车操作方法	130
八、正常操作	133
九、停车操作	133
十、事故设定及排除	134
十一、开车评分信息	134
十二、开车评分标准	135
思考题	136

第十三章 化工仿真实验 139

第一节 仿真实验技术及 PS-2000E 软件系统	139
第二节 热交换器系统仿真实验	141
一、设备参数和工艺数据测试	141
二、热交换器总传热系数的测试和计算	141
三、实验数据测试画面	143
四、热交换器动态特性测试实验	143

第三节 间歇反应系统仿真实验.....	144
一、间歇反应动力学模型.....	144
二、间歇反应设备尺寸和批量用料量.....	149
三、实验数据测试画面.....	149
四、全屏高分辨率记录曲线画面.....	150
第四节 连续反应系统仿真实验.....	150
一、单釜连续反应系统工艺过程简介.....	150
二、连续反应过程特性.....	151
三、连续反应平均停留时间及转化率测试实验.....	152
四、全屏高分辨率记录曲线画面.....	154

附录
仿真软件安装步骤说明及运行方法
155

一、PS-2000 仿真软件安装步骤.....	155
二、PS-2000 仿真软件运行方法提示.....	157

第一章 仿真实习技术

第一节 仿真实习技术简介

一、什么是仿真实习技术

仿真实习技术是以仿真机为工具,用实时运行的动态数学模型代替真实工厂进行教学实习的一门新技术。

仿真机是基于电子计算机、网络或多媒体部件,由人工建造的,模拟工厂操作与控制或工业过程的设备,同时也是动态数学模型实时运行的环境。

动态数学模型是仿真系统的核心,是依据工业过程的数据源由人工建立的数学描述。这种数学描述能够产生与工业过程相似的行为数据。动态数学模型一般由微分方程组成。用于仿真实习的动态数学模型应当满足:数值求解的实时性、全量程随机可操作性、逼真性和高度可靠性。

二、仿真实习技术的产生背景

20 世纪 80 年代中期以来,由于国产化化工过程仿真培训系统的研制成功,采用仿真技术解决生产实习的化工类本科、高职、中职院校迅速增多。1995 年以后,随着微型计算机性能大幅度提高,价格下降,以及国产化仿真培训系统日趋成熟,为仿真实习技术广泛普及创造了条件。

在仿真实习技术尚未出现之前,学校只有下厂实习一条路可走。工厂由于顾及安全和效益,一般不允许学生动手操作,因此下厂实习效果普遍不好。学校由于缺乏经费,难于承受不断上涨的实习费用,学生实习难已经成为长期困扰学校的普遍性问题。仿真实习技术是解决以上难题的最佳选择和理想方法。目前,仿真实习技术已成为一种国际公认的高效现代化教学手段。

三、仿真实习的优点

与传统的下厂实习相比,仿真实习有如下优点。

① 为学生提供了充分动手的机会,学生可在仿真机上反复进行开车、停车训练,这在真实工厂中是难以实现的。

② 高质量的仿真器具有较强的交互性能,使学生在仿真实习过程中能够发挥学习主动性,实习效果突出。

③ 仿真软件提供快门设定、工况冻结、时标设定、成绩评定、趋势记录、报警记录、参数设定等特殊功能,便于教师实施各种新的教学与培训方法,真实工厂无法实现。

④ 可以设定各种事故和极限运行状态,提高学生分析能力和在复杂情况下的决策能力,真实工厂根本不允许进行。

⑤ 在仿真机上,学生变成学习的主体。学生可以根据自己的具体情况有选择地学习。例如自行设计、试验不同的开、停车方案,试验复杂控制方案、优化操作方案等。真实工厂考虑到生产安全及正常生产计划,决不允许这样做。

⑥ 仿真实习软件具有自动评价功能,对学生掌握知识的水平随时进行测评。在下厂实习中,一位教师无法同时跟踪众多学生进行测评。

⑦ 安全性。其一是指学生在仿真器上进行事故训练不会发生人身危险;其二是不会造成设备破坏和环境污染等经济损失,因此,仿真实习是一种最安全的实习方法。

⑧ 节省开支。采用仿真实习技术解决实习教学,可以节省设备运行费、物料能量损耗费、实习人员下厂经费等大量开支。

综上所述,仿真实习与传统的下厂实习相比,在许多方面具有更好的效果。

四、仿真实习的作用

任何一项新的技术都有其局限性。由于高档图形工作站价格昂贵,当前的仿真实习系统还难于实现化工过程三维动态视景功能,无法产生真实化工生产过程的临境感受,也无法实现对不同设备的拆装技能和力度训练。这些功能可能将来部分由虚拟现实(VR)技术实现。

当前仿真实习在化工类学校主要起如下作用:

- ① 深入了解化工过程系统的操作原理,提高学生对典型化工过程的开车、停车运行能力;
- ② 掌握控制器的基本操作技能,进而熟悉 PID 参数的在线整定;
- ③ 掌握复杂控制系统的投运和调整技术;
- ④ 提高对复杂化工过程动态运行的分析和决策能力,通过仿真实习训练能够提出最优开车方案;
- ⑤ 在熟悉开、停车和复杂控制系统的调整基础上,训练识别事故和排除事故的能力;
- ⑥ 科学地、严格地考核与评价学生经过学习训练后所达到的操作水平以及理论联系实际的能力。

以上 6 种作用表明,仿真实习对于学生了解工艺和控制系统的动态特性,提高对工艺过程的运行和调整控制能力具有特殊的作用。这种运行、调整和控制能力集中反映了学生运用所学的理论知识分析和解决问题的水平。仿真实习是运用高科技手段强化学生理论联系实际的新型教学方法。

五、仿真实习软件的主要用途

大量的应用表明,仿真实习软件不单能解决生产实习问题,在工程教学中还有多种用途,例如:

- ① 认识实习 用于新入学的学生了解化工、石油化工及炼油过程的工艺与新型计算机控制系统;
- ② 课堂演示 结合工厂实际,在相关课程中由教师进行课堂动态模拟演示;
- ③ 课程设计 通过仿真操作,从动态模拟软件获取工业数据,将设计结果进行模拟检验;
- ④ 过程控制 掌握工业(PID)控制器的使用、参数调整及复杂控制系统的投运方法,这些技术对化学工程和过程控制专业的学生具有同等重要意义;
- ⑤ 化工安全 通过动态模拟试验,了解事故动态演变过程的特性,理解事故工况下的安全处理方法,理解安全保护控制系统的作用原理。

第二节 仿真实习的教学规律

一、下厂认识实习

为了加强仿真实习的效果,尤其对于从未见过真实化工过程的学生而言,仿真实习前先到工厂进行短期认识实习是十分必要的。通过认识实习,可以了解各种化工单元设备的结构特点、空间几何形状、工艺过程的组成、控制系统的组成、管道走向、阀门的大小和位置等,使学生建立起一个完整的、真实的化工工艺过程概念。

二、熟悉工艺流程、控制系统及开车规程

在认识实习的基础上,还需采用授课的方式使学生对将要仿真实习的工艺流程,包括设备位号、检测控制点位号、正常工况的工艺参数范围、控制系统的原理、阀门及操作点的作用以及开、停车规程等知识具有详细的了解。

必要时,可采取书面流程图填空的方法进行测验,以便了解学生对工艺流程的掌握情况。

如果不进行以上内容教学,就直接开始仿真实习,学生可能会无从下手,教师可能会面临学生的众多提问而忙乱不堪。

三、仿真实习操作训练

在下厂认识实习、熟悉流程和开停车规程的基础上,可以进入仿真实习阶段。为了达到较好的仿真实习效果,应本着由常见的典型单元操作开始,经过工段级的操作实习,最后进行大型复杂工艺过程的仿真开、停车及事故实习。越复杂的流程系统,操作过程中可能出现的非正常工况越多,必须训练出对动态过程的综合分析能力,各变量之间的协调控制(包括手动和自控)能力,掌握时机、利用时机的能力,以及对将要产生的操作和控制后果的预测能力等,才能自如地驾驭整个工艺过程。

这种综合能力(素质),只有通过反复多次训练才能获得。为了促进这种能力的获取,仿真实习系统数学模型的时间常数一般比真实系统小,因此,学生必须投入更大的注意力和反应速度。这也是仿真实习在教学中的优势所在。

对于复杂的工艺过程,尤其是首次仿真开车,学生难免出现顾此失彼的局面。教师可以实施“同步教学法”,即由教师统一指挥,全体学生跟踪老师的指挥,同时把各自的工艺过程开至正常工况。这种全过程由教师引导的“同步教学法”,可以增强学生的自信心,激发学生的学习兴趣,体会教师所策划的开车技巧,提高仿真实习效率。

四、分析与讨论

分析和讨论是仿真实习重要的环节。实习过程中所碰到的各种现象,只有通过讨论才能提高到理性上加以认识。为此,本书对于每一个仿真实习项目都给出了较多的思考题,目的在于启发学生理论联系实际,打开思路。

教师在分析讨论中具有主导作用,应启发学生有意识地联系相关课程所学的知识,如化工原理、物理化学、控制原理、化工机器、化工计算、化学反应工程以及相关专业课程等,进而,可以进行若干工艺过程测试及计算,例如加热炉总热效率的计算、离心泵特性曲线测取,或在线控制器参数整定等内容。

仿真实习完成后,学生必须做出详细的仿真实习报告,与仿真实习考试成绩一并存档。

五、安全教育

安全教育在化工类学生的实习中是必须进行的内容。仿真实习可以通过事故排除训练使安全教育具体化、实用化。通过仿真实习，学生可以了解事故产生的原因、危险如何扩散、会造成什么后果、如何排除以及最佳排除方案是什么。若配合网络多媒体设备演示典型事故案例的录像，同时辅以教师讲解和分析，效果会更好。

六、仿真优化生产试验

改革传统的“教师讲、学生录”的落后教育方式，仿真实习是一种很好的方法。除了以上所进行的各种基本教学内容和素质训练外，还可以锻炼学生的创新能力。例如，借助于仿真实习高效、无公害的特点，学生可以自己设计、试验最优开车方案，探索最优操作条件和最优控制方案，分析现有工艺流程的缺点和不足，提出技术改造方案，并通过仿真试验进行可行性论证等。

第二章 仿真实习软件界面操作方法及操作要点

第一节 智能控制（IPC）模式操作法

一、概述

1. 技术背景

20 世纪 90 年代以来, 微电脑的发展日新月异, 低价格、高性能、长寿命的工业微机 (IPC、PCC) 异军突起, 迅速占领工业控制市场。微机图形技术的发展, 使得操作画面直观、形象、容易掌握。工业过程计算机控制, 包括 DCS 系统 (集散型控制系统), 出现了硬件微机化、软件通用化的大趋势。例如, 目前国际上销量很大的 FIX、Intouch、Onspec 和 Citect 等微机工业控制软件, 具有功能强、价格低、通用性好、可以直接在 Windows 环境下运行、可共享 Windows 的软件资源、操作与控制画面形象细致、简便易学等优点, 正在大范围被用户接受。

基于 IPC 模式的仿真实习软件操作画面具有如下特点。

① 操作画面采用 Windows 风格, 直接在流程图画面上以“所见即所得”的新概念完成全部手动和自动操作。与传统的 DCS 相比, 更为直观、形象、快捷和简单。

② 操作画面的内容及分类与 DCS 具有相似性, 虽然不属于某种 DCS 模式, 但完全可以使学生得到 DCS 的概念。况且新型 DCS 产品亦转向 Windows 风格。

③ 画面操作无需特殊硬件, 仅靠一只鼠标就能完成各项操作。这一优点使得本仿真软件可以大规模在普通微机上推广应用。

④ 本仿真实习软件由开发平台支持。操作画面及画面中的操作对象由组态方法生成, 具有面向对象和信息驱动的特征。因此, 软件使用方法一致、开发重复劳动少、效率高。

⑤ 软件采用了作者提出的全程压缩及多种节省计算容量的技术。

⑥ 针对实习教学的特点, 操作画面增加了排液指示、火焰指示、特性曲线显示、设备局部剖面及动画显示等新功能。

2. 画面分类

本仿真实习软件根据操作需要, 设计了 6 种基本画面, 分列如下。

① 流程图画面 (G1~G4), 仿真实习的主操作画面 (详见本节三)。

② 控制组画面 (C1~C4), 集中组合控制器、手操器或开关的画面 (详见本节四)。

③ 指示组画面 (C1~C4), 集中组合重要变量棒图的画面 (详见本节七)。

④ 趋势组画面 (T1、T2), 集中组合重要变量趋势曲线的画面 (详见本节五)。