

普通高等学校工业工程专业系列教材

工业工程系列实验

Laboratory Work for Industrial Engineering Curriculum

林亨 严京滨 王晓芳 编

Lin Heng Yan Jingbin Wang Xiaofang

清华大学出版社

内 容 简 介

本书是配合清华大学工业工程系开设的系列专业课程编写的。本书分为上、中、下3篇。上篇介绍了工业工程实验室建设的思路 and 原则,以及各实验室的功能。中篇介绍了工业工程系列实验,按物流方向、生产与制造方向和人因方向的顺序编写,每一个方向都包含一系列实验,每一个实验又有若干个单元实验。下篇每个方向实验选编了部分实验报告样例,供读者参考。

本书可作为高等院校工业工程本科、研究生和工业工程培训班的实验教材,也可供工业工程专业人士参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

工业工程系列实验/林亨,严京滨,王晓芳编.--北京:清华大学出版社,2011.5

(普通高等学校工业工程专业系列教材)

ISBN 978-7-302-23846-1

I. ①工… II. ①林… ②严… ③王… III. ①工业工程—实验—高等学校—教材
IV. ①F402-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 176903 号

责任编辑:张秋玲

责任校对:赵丽敏

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:三河市君旺印装厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×230 印 张:20.25 字 数:435 千字

版 次:2011 年 5 月第 1 版 印 次:2011 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:35.00 元

1957年,钱学森在《科学通报》“论技术科学”一文中指出,工业工程(当时称为“运用学”)是技术科学的重要发展方向;1987年,上海机械工程学会组织翻译了工业工程手册(当时翻译为《现代管理工程手册》);1989年,机械工程学会开会研讨工业工程;1993年,中国第一批工业工程专业在若干所高校设立;截至2010年,近200所院校开设了工业工程及其相关专业。今天,在中国经济发展的大环境下,专注生产率和质量,强调科学发展理念的工业工程学科迎来了发展的大好时机。

教材建设是学科发展的关键。为了促进工业工程专业人才培养体系的规范和完善,从2003年开始,清华大学出版社遵照教育部“大力提倡引进和使用先进教材”的精神,根据工业工程学科的特点和清华大学工业工程系课程设置的情况,在国内率先推出了一套“国外大学优秀教材——工业工程系列”的影印版和翻译版,满足了国内教育和行业的急需。

2009年,清华大学出版社针对国内高等教育需求,开始规划“普通高等学校工业工程专业系列教材”。在确定书目时,强调思想性、知识性和实践性的统一以及中西贯通的基本特色,希望能够吸取国外工业工程发展的精华,并融入对中国问题解决的思考。为此,本系列教材的作者大都具有国外教育或工作的经验,并在工业工程领域有着长期从事研究工作的经历。

“普通高等学校工业工程专业系列教材”共有11本主教材和1本实验教材,分别是《工业工程概论》、《生产计划与控制》、《统计质量控制》、《项目管理》、《制造系统》、《产品创意与创意过程管理》、《可靠性与安全工程》、《管理信息系统》、《信息系统设计》、《供应链管理》、《复杂系统仿真》和《工业工程系列实验》。在内容的组织和编排上,与学生已学过的工程管理(工业工程)类专业基础课程的内容呈先后关系,一般要求学生在进入本系列的专业课程学习之前,应先修诸如“运筹学”(数学规划、应用随机模型)、“人因工效学”、“应用统计学”、“试验设计”、“工程经济学”等课程。

这套教材基本涵盖了工业工程专业的主要知识领域,同时也反映了现代工业工程的发

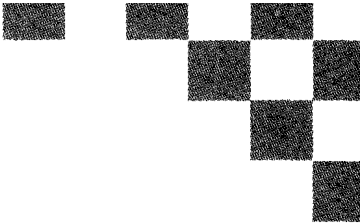


展趋势,不仅适用于普通高等学校工业工程、管理科学与工程等专业的本科生使用,对研究生、高职学生以及工业工程领域的研究与管理人员也有很好的参考价值。

因水平所限,加之工业工程专业发展迅速,教材中难免有不妥之处,欢迎批评指正。

清华大学

2011年4月于清华园



FOREWORD

前言

本实验教材是配合清华大学工业工程系开设的系列专业课程编写的。清华大学工业工程系自 2001 年正式成立以来,根据工业工程人才培养的要求,经过近 10 年的探索和努力,目前已经初步建成了一套比较完善的与国际一流大学工业工程学科接轨,并结合中国工业工程现状和发展的工业工程课程体系。这些课程体系包括了 3 个专业方向的课程:运筹与物流工程方向,生产工程与制造系统方向,人因工程与工效学方向。

几年来,清华大学工业工程系的教师在实验室建设方向不断开展创新性的教学实践,开发了 3 个方向的系列实验,取得了良好的效果。诸多国内外同行和学者来实验室参观访问,对于实验室的设计理念、实验的开发原理以及取得的成效给予了充分肯定。本实验教材就是在历年来开设课程实验的基础上精选出来进行编写的,它涵盖了工业工程 3 个主要学科方向的实验内容。希望通过本教材的编写,能对国内外兄弟院校工业工程学科的实践教学提供有益的帮助。

本实验教材分上、中、下 3 篇。上篇由林亨编写;中篇第 2 章由王晓芳编写;第 3,4 章由严京滨编写;下篇第 5 章由王晓芳编写,第 6,7 章由严京滨编写。全书由林亨统稿。

本教材可作为高等院校工业工程本科、研究生和工业工程短期培训班的实验教材,也可供从事工业工程教学、研究和实践的人士参考。

由于我们的学术水平有限,教材中难免存在各种不足,恳请读者批评指正。

作 者

2009 年 12 月于清华园

0 绪论	1
------------	---

上篇 实验室建设

1 工业工程实验室建设的原则	5
1.1 实验室建设的思路和实例	5
1.1.1 实验室建设思路	5
1.1.2 实验室建设实例——物流实验室建设	6
1.2 实验室建设的内容	11
1.2.1 物流系统实验室	11
1.2.2 先进制造与系统仿真实验室	12
1.2.3 人因工程实验室	14

中篇 工业工程系列实验

2 物流方向实验	21
2.1 设施规划与物流分析	21
2.1.1 椅子装配车间的规划设计	21
2.1.2 减速器工厂的规划设计	26
2.2 仓储管理	39
2.2.1 自动化立体仓库的盘库作业优化实验	39
2.2.2 自动化立体仓库的出入库实验	43
2.3 分拣管理	44
2.3.1 摘果式电子标签分拣系统设计	45
2.3.2 播种式电子标签分拣系统设计	51
2.4 物流配送中心管理	52

2.5	RFID 在物流系统中的应用	57
2.5.1	基于 RFID 的电子标签分拣系统设计	57
2.5.2	基于 RFID 的超市货品管理信息系统	64
2.6	供应链管理	66
2.6.1	牛鞭效应实验	66
2.6.2	多级库存管理实验	68
2.6.3	配送管理实验	71
2.6.4	物流网络博弈实验	74
2.7	物流信息化	77
2.7.1	基于地理信息的物流网络分析	77
2.7.2	物流信息数据挖掘	79
2.8	交通系统规划与控制	82
2.8.1	基于 Agent 的微观交通仿真	82
2.8.2	宏观交通仿真实验	89
3	生产与制造方向实验	92
3.1	设计与制造	92
3.1.1	NC 编程实验	92
3.1.2	基于 Pro/Engineer 的计算机辅助设计与制造	106
3.2	机器人编程实验	122
3.3	成形加工实验	137
3.4	布艺生产系统的设计和运行管理实验	139
3.5	生产计划与控制实验	152
3.5.1	产品结构分析、装配工艺规划与线平衡	154
3.5.2	混流装配生产实验	158
3.6	管理信息系统实验	163
3.6.1	数据库学习与练习——学分积管理信息系统初步设计	164
3.6.2	E-R 图设计与练习——设计人力资源管理系统数据库 人事基本信息的 E-R 图	167
3.6.3	功能模型、过程模型和数据流图设计与练习——设计 人力资源管理系统	171
3.6.4	workflow 模型设计与练习——用 Flash 建立业务过程的 workflow 模型	181
3.6.5	用面向对象方法建模——建立人力资源管理系统类模型	185
3.6.6	界面设计与练习——学分积管理信息系统的界面设计	189
3.7	项目管理的计划制定与分析——项目管理软件 Ms Project 的使用	191
3.8	建模与仿真	194

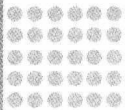
3.8.1	基本仿真模型的建立	195
3.8.2	仿真输入分析	196
3.8.3	服务系统仿真	198
4	人因方向实验	200
4.1	人体测量	200
4.1.1	测量与设计评估	200
4.1.2	三维人体测量	214
4.2	环境照明测量与评价	217
4.3	环境噪声测量与评价	220
4.4	交通标志设计与评估	223
4.5	地面光滑度对手工物料搬运者的心理物理和生理影响	227
4.6	网站可用性评测	233

下篇 实验报告选编

5	物流方向实验报告样例	239
5.1	《减速器工厂的规划设计》实验报告	239
5.2	《自动化立体仓库盘库作业优化》实验报告	253
5.3	《牛鞭效应》实验报告	260
5.4	《多级库存管理》实验报告	264
6	生产与制造方向实验报告样例——《混流装配生产》实验报告	268
7	人因方向实验报告样例——《交通标志设计与评估》实验报告	288



绪 论



工业工程在国外已经有上百年的历史,它融工程和管理于一体,对工业发达国家的经济与社会发展作出了巨大的贡献。工业工程是关于复杂系统有效运作的科学,它将工程技术与管理科学相结合,从系统的角度对制造业、服务业等企业或组织中的实际工程和管理问题进行定量的分析、优化和设计,是一门以系统效率和效益为目标的独立的工程学科。

工业工程专业培养既懂工程技术又掌握管理科学知识的高素质人才,具有对复杂生产系统、服务系统进行分析、规划、设计、管理和运作的的能力。因为工业工程是来自于生产实践的工程学科,所以培养学生的实践能力十分重要。工业工程的专业课包括物流系列课程、生产系列课程和人因系列课程。清华大学工业工程系从本科生专业基础课开始,就强调培养学生面向真实的实践环境,发现问题、解决问题的能力,主要体现在以下几个环节上:

(1) 设计了系列化的综合性、创新型、开放式的专业课程实验,让学生自主地发现生产、物流、服务等系统运作中的问题,提出独立的见解,设计解决方案,并进行实验付诸实施。

(2) 在各专业课程中后期,开展专题(project)训练,培养团队协作和综合应用所学知识的能力。

(3) 在大学三年级暑假,组织学生到各类制造业、物流业、服务业等企业进行生产实习,一方面体会各种生产一线操作的特点与问题,另一方面针对企业生产运作的难点问题,进行数据收集与设计分析,提出可行的解决方案,付诸实施并监测绩效。

(4) 在大学四年级最后一个学期的综合论文训练中,面向主流研究方向确定选题,强调对学术前沿的探索和脚踏实地地解决工程实际问题。

本书主要针对以上4个环节中的第一个环节内容进行编写。即设计系列化的综合性、创新型、开放式的专业课程实验,以及配合该系列课程实验,建设相应的实验室,使之成为学生实践能力培养和创造性发挥的重要平台。

上篇

实验室建设

工业工程实验室建设的原则

1.1 实验室建设的思路和实例

1.1.1 实验室建设思路

根据工业工程学科三大研究方向(即运筹与物流、生产工程与制造系统、人因工程与工效学)和开设的课程要求,工业工程专业建设 3 个实验室,即物流系统实验室、先进制造与系统仿真实验室、人因工程实验室。在实验室建设和实验设计中应遵循如下原则。

1. 实验与教学相结合

所有实验的设计都紧密结合课程教学体系,成为课程教学不可分割的组成部分。

2. 实验与实践相结合

实验的设计不仅局限于加强学生对课本知识的理解,而且更强调紧密结合工业界的实际。通过将实验设计成为工业工程理论与工业实践相联系的桥梁,使学生通过实验切实体验到将课本知识转化为实践的过程中会遇到的问题和需要进行的思考,在寻求解决实际问题的过程中加深对理论的理解。

3. 实验与科研相结合

实验室的建设目标不仅是服务于教学,还包括为科研和创新提供平台。教师和学生可以在系统的实验平台上测试、修改和验证自己的创新点,从而推出有价值、创新性的研究。

以物流系统实验室为例,通过混流组装生产线、自动化立体仓库、电子分拣中心和自主开发的教学实验软件平台四大模块,运用将实物系统与虚拟现实相结合的手段,覆盖物流系统的全部重要环节。在此基础上设计的 7 个实验与 4 门课程(生产计划与控制、物流概论、

库存管理、物流网络规划)有机结合,使学生充分体验物流系统中物料流、服务流、信息流互相影响、互相制约的关系,将课本知识在实践中加以验证。

此外,实验设计时不仅要考虑对学生运用工业工程理论知识解决实际问题的能力进行培养,还要对其沟通、协作和竞争意识进行培养。进而在开放式的实验设计理念指导下,同学们不是机械地重复呆板的实验操作,而是通过自己在实验前对实验内容的理解和应用各种所学工具,在实验中成为主导,实时解决遇到的各种问题,实验室也因此成为启发学生创造性的摇篮。

1.1.2 实验室建设实例——物流实验室建设

1. 概述

根据供应链管理协会的定义,物流是供应链的重要组成部分,是为了满足消费者需求,有效地计划、管理和控制原材料、中间库存、最终产品及相关信息从起始点到消费地的流动过程。

基于以上定义及观点,可以将组成一条供应链上的基本元素分为以下5种:供应商、制造商、分销商、零售商及顾客(见图1-1)。在物流管理专业方向的课程设置上,我们设有若干辅助实验,分别面向“生产计划与控制”、“库存管理”和“物流网络规划”等课程,展示了整个物流系统及其元素与相关课程和辅助实验之间的关系。

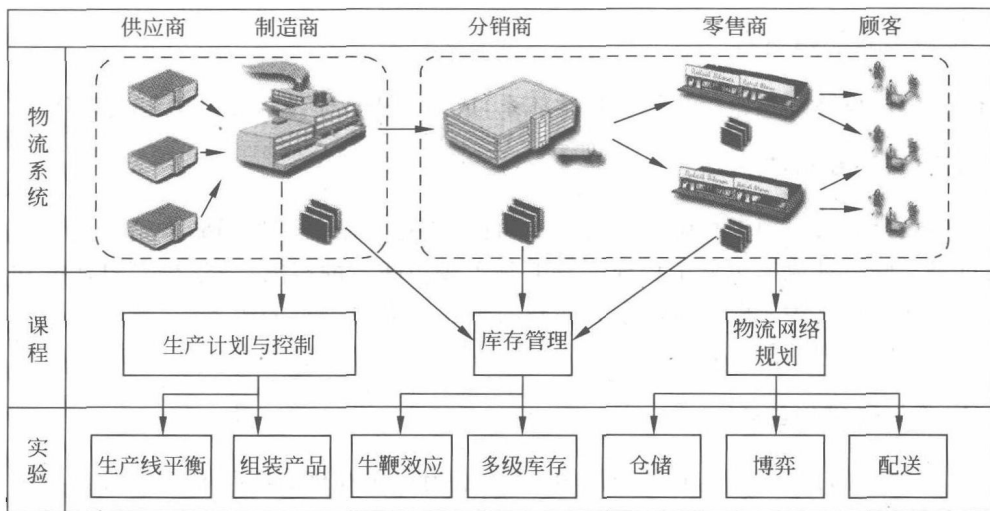


图 1-1 物流系统整体框架图

为了培养学生关于现代物流系统实践操作的知识和技能,实验室的相关建设是整个物流课程教学的基础和重点。图1-2所示为物流实验室的整体结构布局及4个主要组成部

分：混流组装线，自动化立体仓库，分拣中心，网络平台。



图 1-2 物流实验室的整体布局示意图

2. 实验设计

物流实验室是物流课程教学内容的综合体现。它可以针对本科生的一些专业课程，提供以下辅助实验。

1) 混流组装线实验

混流组装线实验(MMAL)的主要设备是一个设有 8 个工位的传送带。传送带的向前移动或停止等动作均通过一个综合信息系统(自主开发)来控制,这个综合信息系统包括电子看板系统、制造执行系统等。该实验可以帮助学生把他们之前设计预想的多品目产品在混流组装线中的排产计划与活动付诸实践,例如产品选择、组装线的平衡与排序、看板系统设计、生产计划制定、原料采购计划制定等。

实验 1 产品结构分析,组装过程计划,生产线的平衡

学生们实验的产品是由他们自己选择的。他们把一个产品分解成若干模块或零件,再根据分解后的组件画出产品结构的物料需求清单(bill of materials, BOM)图(见图 1-3),之后进行任务分析,确定装配各个组件的任务之间的紧前工作关系。然后,学生就可采用不同的产线平衡方法来决定分配到混流组装线各个工位的具体装配任务。

实验 2 混流组装线生产

为了将 50~200 个零件组装成 3~5 种类型的产品,学生们需要确定将投送到混流组装线的不同产品零件的数量比例与投放顺序。他们也将会在实验中亲身经历到如何处理各种紧急意外情况,如设备损坏、原材料短缺或质量不合格、人工出错等。学生们还可以通过实验来比较不同的产线排序方法的优劣、不同的传送带传输速率的利弊以及相邻工位间不同的协调方式的优缺点。

2) 自动仓储系统及分拣中心实验

为了更加真实地模拟自动仓储与分拣系统的物理功能,物流实验室配置了一个 8×5 层的完全 AS/RS 系统,它由一个带有条码识别器和 RFID 识别器的自动识别系统组成。这个

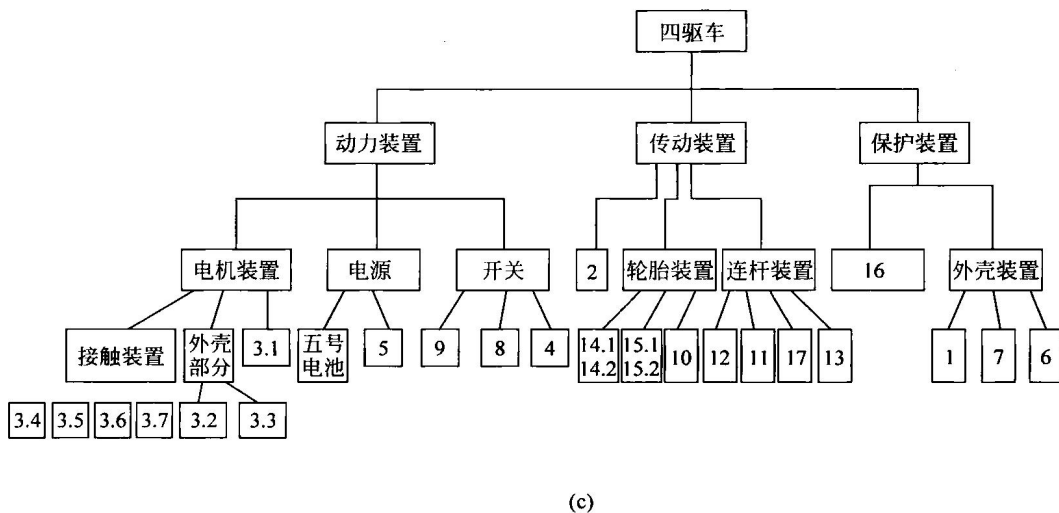
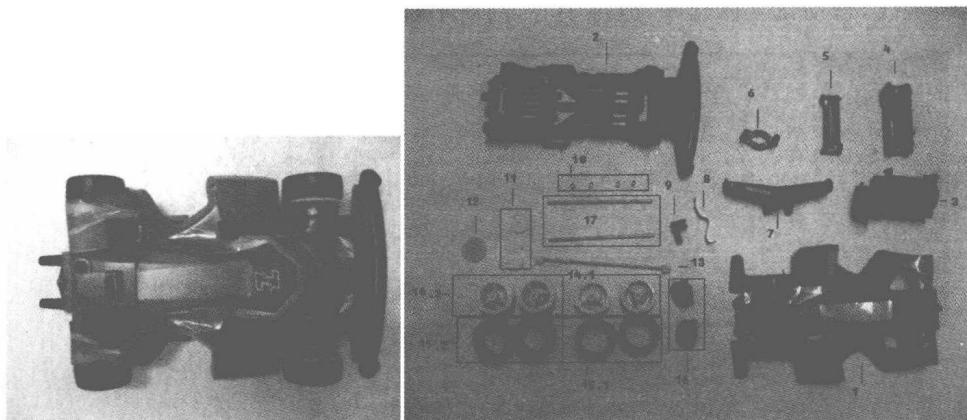


图 1-3 产品结构分析

(a) 产品; (b) 分解的零件; (c) BOM

自动货架有 40 个仓位。分拣中心装备有一个钢辊传送带和一个可触发电子标识追踪系统指示灯的拣选器。

学生们可以通过这个 AS/RS 系统和分拣中心来学习有关库存和分拣管理的知识。这个系统的控制接口是对外开放的。不同的货物均可存放在 AS/RS 中,系统随机地产生不同产品需求订单。学生们可自行设计一段程序,通过使用 AS/RS 的接口来实现处理订单和完成分拣中心的工作。实验结束后,学生还可就程序的执行效果和效率进行分析和汇报。

实验室基于 TCP/IP 的计算机网络开发了物流实验网络平台。整个实验系统设计的技

术基础是基于一个可提供网络服务的框架,即由一台网络服务器向多个客户机提供访问等服务,如图 1-4 所示。学生可以通过在客户机端的操作登录到网络实验平台,参加各个实验。客户机端的用户界面设计模仿了真实生产活动中的订单到达界面。整个实验的各种配置和参数设置可以由实验管理员方便地管理。

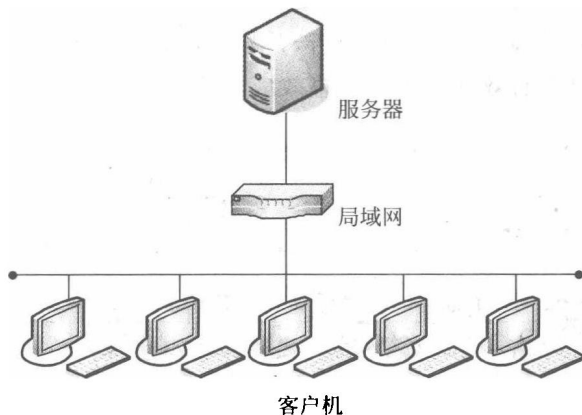


图 1-4 物流网络实验平台

实验 1 牛鞭效应

如图 1-5 所示,假定在一个串行系统中,每一台客户机扮演一条供应链中的某个特定角色,服务器负责统一管理它们的信息。该实验以“期”为单位进行。在每一期初,首先由服务器随机产生一个客户需求。通过从终端市场获得的顾客需求信息,零售商做出本期的订货决策,并通过服务器向分销商(DC)提交订单。分销商在从服务器端获知零售商的订货信息后,决定自己向下游发货和向上游订货的数量,并将这些信息通过服务器告诉其下游的零售商和上游的组装商。依此类推,这条供应链上的组装商、制造商、原料供应商等各个节点均会在每期做出订货和发货决策。每个学生可通过操作自己面前的客户机做出基于某种优化目标(如最小化单节点成本)的决策。在实验结束后,学生可通过对原始实验数据进行统计分析来观察牛鞭效应的发生情况。

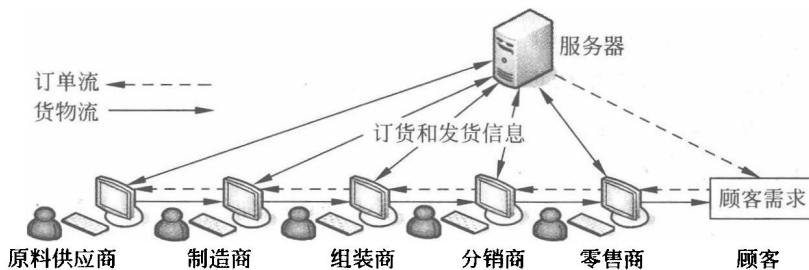


图 1-5 牛鞭效应实验原理图