

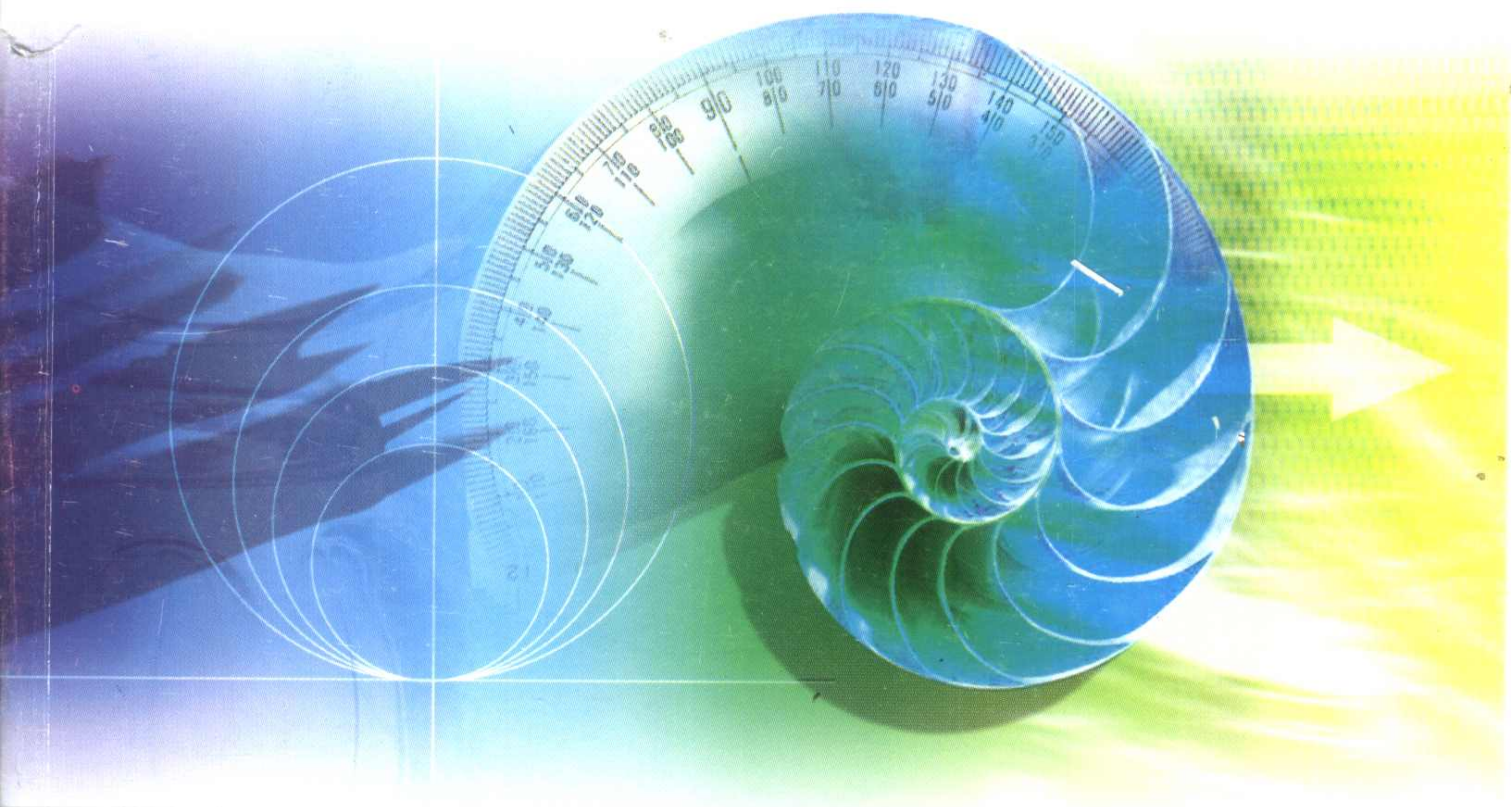


21 世纪普通高校包装科学与技术系列教材

Fundamentals of Packaging Design Engineering

包装设计工程基础

向 红 编著



2-43

国防科技大学出版社

TB48243
F41

包装设计工程基础

向 红 编著

国防科技大学出版社

· 湖南长沙 ·

图书在版编目(CIP)数据

包装设计工程基础/向红编著. —长沙:国防科技大学出版社,
2002.7

ISBN 7-31024-872-3

I. 包… II. 向… III. 包装—设计—高等学校—自学参考
资料 IV. TB482

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 046082 号

国防科技大学出版社出版发行

电话:(0731)4555681 邮政编码:410073

E-mail:gfkdcbs@pubic.cs.hn.cn

责任编辑:文 慧 责任校对:何 晋

新华书店总店北京发行所经销

国防科技大学印刷厂印装

*

开本:850×1168 1/32 印张:9 字数:226千

2002年7月第1版第1次印刷 印数:1—3000册

*

定价:14.00元

总 序 一

时光荏苒，我们已迈入 21 世纪。作为新世纪的“包装人”，展望未来，我们对包装产业充满了希望和信心。寄语未来，我们更想说的是：“十年树木，百年育人，振兴包装，教育为本”。

我国包装业有着悠久的历史，但长期散落、依附于其他行业。伴随着改革开放，我国现代意义上的包装产业从“一等产品、二等包装、三等价格”的落后状态起步，经历了一个快速、健康发展的历程：据统计，1980 年，我国包装工业产值仅为 72 亿元，到 2001 年，包装工业产值迅速上升到 2600 亿元，年递增速度达到 20% 以上，已初步建立了独立、完备的包装工业体系，在国民经济各行业中的排位已上升到第 14 位，在国民经济建设及人民生活中发挥着至关重要的作用。

伴随着包装工业的发展，包装业的科技、教育行业也经历了 10 多年的发展历程。在运输包装、销售包装和包装工程系统几大领域形成了如非线性缓冲包装动力学、货架寿命及循环寿命等基本理论，以及独特的包装技术与方法、包装过程工艺与设备、包装管理与法规。可以说，包装教育为包装工业的发展起到了有力的推动作用。

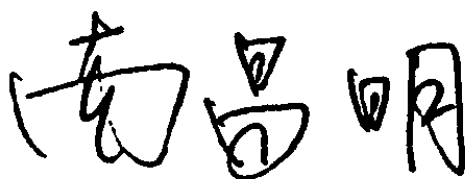
我国加入 WTO 后，包装产业面临着新的机遇和挑战，包装教育也面临着新的课题。可以预测的是，随着国民经济的发展和人民生活水平的提高，包装产业将继续保持快速发展的势头，人世将为我国包装产业提供更多的发展商机和良好的发展前景。但也要看到，我国包装产业也有着诸多隐忧和一些不容忽视的问题，如包装过度、包装粗放、包装污染及包装设计落后，入世后，又产生了技术性的非关税壁垒等问题。这些问题，将对我国

包装产业在加入 WTO 后的新形势下，能否继续保持持续、快速、健康发展，产生严重的制约。这些问题的产生，也与我国包装产业长期缺乏对国际化的标准和规范的研究，缺乏达到国际先进水平的包装工程基础和应用技术理论，有着密切的关系。

解决存在的问题，从根本上来讲，需要从科技、教育、培训的基础性工作做起，进而造就和培养一支国际化的、高水平的专业技术人才和管理人才队伍。科技、教育和培训，能否保持一种高水平、先进、高位运作的态度，其中一项基础性工作和重要环节是教材的编写。目前我国约有四十所高校开设有包装工程专业，每年为包装业培养 2000 名左右的包装工程技术人才，亟须编写一套适应 21 世纪包装工业发展的全国性包装工程课程教材。

“21 世纪普通高等学校包装科学与技术系列教材”应运而生。这套教材力求适应现代包装工业、紧密结合实际、反映当今最新科学体系理论，包含了若干包装行业专家、学者的辛勤和努力，是一项富有意义的工作。但教材的编写，由于时间所限，难免有粗疏之处，敬请诸位读者能提出宝贵的意见，以便我们修正。

中国包装总公司总经理



2002 年 4 月 15 日

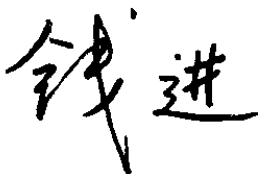
总 序 二

我国加入世贸组织后所面临的新形势，将给包装工业和包装教育的发展带来新的机遇与挑战。目前我国每年包装业要承担 3 万多亿元内销商品和千亿元的出口商品的包装任务；包装教育约有 40 多所高校开设有包装工程专业，每年为包装业培养 2000 名左右的包装工程技术人才。由此可见编写一套适应 21 世纪包装工业发展的全国性包装教材具有十分重要的意义。

近十多年来，中国包协包装教育委员会会同各相关院校和科研机构，编写了两套共 24 本包装工程教材，这些教材填补了我国包装工程教材的空白，为培养行业急需的包装人才做出了重要的贡献。受中国包协包装教育委员会的委托，株洲工学院以自己的实践经验和成果，组织专门力量对 21 世纪新教材建设进行了详细的研究与规划，编写了一套适应现代包装工业发展的、反映当今最新科学理论体系的包装工程系列教材，这是一件极有意义的工作。我欣慰地看到株洲工学院的发展和进步，感谢他们为包装事业所做的新贡献。

这套教材体系科学、规划全面、安排细致，充分注意了我国生产实际，既面向教育，也面向社会，为我国包装教育水平的提升开创了一个跨入 21 世纪的良好开端。我殷切期望全国包装界都关心教育，支持学校发展，共同创新，铸就包装事业的新篇章。

中国包装技术协会秘书长



2002 年 3 月于北京

21 世纪普通高等学校包装科学与技术系列教材

编审委员会

- 主任** 陈 洪 (株洲工学院包装与印刷学院院长)
- 副主任** 谢力健 (中国包装技术协会副会长, 中山张家边企业集团董事长兼总经理)
- 马 力 (中国包装总公司总经理助理)
- 王国钧 (深圳丰盛泰包装有限公司董事长兼总经理)
- 高云安 (湖南运达包装有限公司董事长兼总经理)
- 刘玉生 (中国包装协会包装教育委员会秘书长)
- 张昌凡 (普通高校包装工程专业教学指导分委员会秘书长)
- 委员** 孙 宏 (中国包装总公司科技部主任)
- 李名辉 (中山环亚塑料包装有限公司总经理)
- 刘 昕 (西安理工大学教授)
- 汤伯森 (株洲工学院教授)
- 宋宝丰 (株洲工学院教授)
- 杨 皋 (株洲工学院教授)
- 贺伦英 (株洲工学院教授)
- 黄焕然 (中山张家边企业集团副总经理)
- 曾仁侠 (株洲工学院教授)

前 言

包装是一个系统工程,完成一个产品的包装设计与制作需要多个学科领域人才的协调与合作。如一个简单的液体包装就涉及到容器结构设计、容器外观设计、选材、模具设计与加工,以及内装物的灌装、容器的封口、贴标、运输包装设计、外包装装潢设计等方面的知识;同时还要考虑环保、标准与法规等因素。可见包装设计与生产需要各种专业人才的协作,这就要求各个专业领域的包装设计人才除了精通自己专业知识外,还必须了解与熟悉相关学科的知识。因而,在包装设计人才的培养中,必须加强各专业的交叉与综合。

长期以来,产品的设计、包装装潢设计与运输包装设计严重脱节,这种状况已不适应现代商品经济社会的发展了。国外现在流行的“理想设计过程”(Ideal Design Process),提出了产品设计的一种新思路,即在新产品的图纸设计阶段就考虑产品的强度,在计算机中模拟运输与使用过程中的力学环境,对设计进行静、动态分析,并对产品结构进行优化设计,以提高易损部件的强度,增强产品整体抗破坏的能力。

将这一新的思路引入到包装设计中来,即运输包装设计应尽可能地从产品的设计开始,和包装装潢设计一起,将三者有机地结合起来,这样才能有效地提高产品强度,减少破损,降低包装用料,从而降低成本与减少环境污染;这一方法也强调了产品设计师与包装设计师、包装工程师之间的联系与相互合作,有利

于设计出更合理的产品与包装,因而这一方法具有较大的经济意义和实用价值。

“理想设计过程”是随着计算机技术的不断进步、计算机辅助设计与辅助制造(CAD、CAM)、有限元分析(FEM)、模态分析、计算机辅助试验(CAT)等技术的迅速发展而发展起来的。具体说,“理想设计过程”是指在产品设计和样品试制阶段,借助CAD,FEM,CAT等先进技术对产品设计进行动态特性的分析及优化。从而以最小的周期设计出结构最佳、外形最美的产品。其主要思路是:

(1) 首先采用计算机辅助设计(CAD)手段对产品结构和外观进行设计。

(2) 然后,采用有限元(FEM)技术,对被分析的产品结构建立有限元模型,并进行静、动态分析。

(3) 制作产品模型,并对其进行计算机辅助试验(CAT),用实验结果对理论分析模型进行修改,使模型更准确。

(4) 在此基础上模拟力学环境,对产品结构进行动态、静态分析。采用灵敏度分析等手段优化产品结构。

(5) 重新修正有限元模型和实验模型。

(6) 进行缓冲包装的设计。

(7) 进行销售包装设计。

由这一过程可以看出,包装的设计需要多学科的人才共同合作,才能设计出好的、具有竞争力的产品。这就要求包装设计人才在熟悉自己的专业的同时,对包装设计的整个过程都有所了解。

株洲工学院作为以包装为特色的学院,特别注重学科的交流

叉与综合,如该院已为包装工程专业的学生开设了“工业设计”、“销售包装设计”等艺术类课程;为包装设计专业的学生开设了“包装技术与材料”、“包装测试技术”、“包装设计工程基础”等工科类课程,并在毕业设计中综合运用。所以,培养的学生具有较强的综合能力与创新能力,工作后能很快适应工作。

另一方面,包装企事业单位的职工也希望有一本内容通俗易懂、实用性强的包装设计工程基础方面的参考书,以便提高员工与包装技术人员的素质与水平。

本书正是基于以上考虑为包装学科相关的艺术类、文科类学生编著的,同时可供包装企事业单位有关技术人员作为参考资料。针对学习对象数学与力学知识薄弱的特点,本书由浅入深地讲述了必要的数学、力学基础知识和缓冲包装力学设计的方法,并注重实际应用。同时,本书借助国际著名的数学应用软件“Mathematica”进行有关计算与公式的推导,并在第九章中详细介绍了此软件的使用及其在包装力学中的应用,使读者在学习时能抓住主要内容,不必学习高深的数学知识就能解决运输包装设计中的数学、力学问题,这就为只有高中数学基础的文科或包装设计艺术类学生,或相当程度的包装技术与管理人员学习与应用运输包装设计理论提供了一种新的途径,而这在以前是无法实现的。

本书是作者十多年来从事包装工程教育与科研的积累,其初稿作为讲义为包装设计专业的学生讲授过多次,产生了良好的效果。本书在探索新的教育模式,培养综合型、创新型人才方面具有一定的创新。

本书在知识介绍中注重实用性,讲清基本概念,以能满足包

· 装工程设计应用的需要为目的进行编著。请有兴趣的读者参阅有关专业书籍。对本书中的错误和不合理处,请读者给予批评指正。

作者

2002年3月9日

目 录

第一章 绪 论

- 1.1 包装的主要作用和功能..... (1)
- 1.2 包装的分类..... (2)
- 1.3 缓冲防振包装研究的主要对象..... (3)
- 1.4 缓冲防振包装的经济意义..... (4)

第二章 包装设计数学基础

- 2.1 函数的基本概念..... (6)
 - 2.1.1 常量与变量 (6)
 - 2.1.2 函数的定义与图形 (7)
 - 2.1.3 函数的几个主要性质 (9)
 - 2.1.4 基本函数及其图形 (11)
- 2.2 导数与微分 (15)
 - 2.2.1 函数极限的概念 (15)
 - 2.2.2 导数 (17)
- 2.3 定积分 (23)
 - 2.3.1 由速度求位移的积分问题..... (24)
 - 2.3.2 曲边梯形的面积 (25)
- 2.4 常微分方程 (29)

第三章 静力学基础

| | |
|------------------------------|------|
| 3.1 力学基本概念 | (33) |
| 3.1.1 国际单位制 | (33) |
| 3.1.2 矢量的概念 | (34) |
| 3.1.3 矢量的表示和运算 | (35) |
| 3.2 力的基本概念 | (37) |
| 3.2.1 力的概念 | (37) |
| 3.2.2 力的表示方法和合成 | (38) |
| 3.2.3 平衡的概念 | (38) |
| 3.3 力矩和力偶 | (39) |
| 3.3.1 力矩的概念与计算 | (39) |
| 3.3.2 力偶的概念与计算 | (41) |
| 3.4 约束、约束反力和受力图 | (42) |
| 3.4.1 约束和约束反力 | (43) |
| 3.4.2 受力分析和受力图 | (45) |
| 3.5 平面力系的平衡方程 | (45) |
| 3.5.1 力在坐标轴上的投影 | (45) |
| 3.5.2 平面力系的平衡方程及未知力的求解 | (46) |
| 3.6 物体的重心 | (49) |
| 3.6.1 重心的概念 | (50) |
| 3.6.2 重心位置的确定 | (50) |
| 习题 | (53) |

第四章 包装设计动力学基础

| | |
|---------------------|------|
| 4.1 运动学基本概念 | (55) |
| 4.1.1 参照物与坐标系 | (55) |

| | | |
|-------|--------------------|------|
| 4.1.2 | 位移、速度、加速度 | (56) |
| 4.1.3 | 自由落体运动 | (62) |
| 4.2 | 牛顿三定律 | (65) |
| 4.2.1 | 牛顿第一定律(惯性定律) | (65) |
| 4.2.2 | 牛顿第二定律 | (66) |
| 4.2.3 | 牛顿第三定律(作用力与反作用力定律) | (71) |
| 4.3 | 动量与动量守恒定律 | (72) |
| 4.3.1 | 动量和冲量 | (73) |
| 4.3.2 | 动量定理 | (75) |
| 4.3.3 | 动量守恒定律 | (77) |
| 4.4 | 功和能 | (78) |
| 4.4.1 | 功的概念及常见力做的功 | (78) |
| 4.4.2 | 能的概念 | (83) |
| | 习题 | (89) |

第五章 包装件的力学模型

| | | |
|-------|--------------------|------|
| 5.1 | 包装件的结构 | (90) |
| 5.1.1 | 包装件的结构 | (90) |
| 5.1.2 | 产品中的易损部件 | (92) |
| 5.2 | 缓冲材料力学特性与等效刚度 | (93) |
| 5.2.1 | 材料的弹性 | (93) |
| 5.2.2 | 材料的粘性 | (94) |
| 5.2.3 | 缓冲材料的等效弹性刚度 | (96) |
| 5.3 | 包装件的力学模型 | (97) |
| 5.3.1 | 无阻尼单自由度线性模型 | (97) |
| 5.3.2 | 粘弹性阻尼单自由度模型 | (98) |
| 5.3.3 | 考虑易损零件的粘弹性阻尼二自由度模型 | (98) |

| | |
|----------------------------|-------|
| 5.3.4 考虑缓冲垫的串、并联的力学模型····· | (99) |
| 习题····· | (102) |

第六章 包装设计振动理论基础

| | |
|-------------------------------|-------|
| 6.1 无阻尼单自由度自由振动运动····· | (105) |
| 6.1.1 无阻尼单自由度自由振动过程····· | (105) |
| 6.1.2 包装件无阻尼单自由度模型的自由振动····· | (108) |
| 6.1.3 无阻尼单自由度自由振动的运动方程····· | (109) |
| 6.2 有阻尼单自由度系统的自由振动····· | (115) |
| 6.3 无阻尼单自由度系统受迫振动····· | (122) |
| 6.3.1 强迫振动的基本概念与运动方程····· | (122) |
| 6.3.2 强迫振动的振幅放大系数····· | (124) |
| 6.4 有阻尼单自由度系统的受迫振动····· | (128) |
| 6.4.1 运动方程····· | (128) |
| 6.4.2 受迫振动的放大系数与幅频曲线····· | (132) |
| 6.4.3 有阻尼受迫振动的相频曲线····· | (135) |
| 6.5 考虑易损部件的受迫振动····· | (137) |
| 6.5.1 考虑易损部件包装件系统的受迫振动模型····· | (137) |
| 6.5.2 产品-衬垫系统受迫振动响应····· | (139) |
| 6.5.3 易损零件系统对产品激励的响应····· | (139) |
| 6.5.4 易损零件系统振动环境的响应····· | (140) |
| 6.5.5 易损零件共振时的最大加速度····· | (142) |
| 习题····· | (148) |

第七章 包装设计冲击理论

| | |
|------------------------|-------|
| 7.1 机械冲击的基本概念····· | (150) |
| 7.2 包装跌落冲击问题的力学模型····· | (151) |

| | | |
|-------|----------------------|-------|
| 7.3 | 产品对跌落冲击的响应 | (153) |
| 7.3.1 | 产品的跌落冲击过程 | (153) |
| 7.3.2 | 产品的无阻尼位移、速度和加速度-时间函数 | (154) |
| 7.3.3 | 用能量法求跌落冲击的最大加速度 | (159) |
| 7.3.4 | 有阻尼包装件的跌落冲击 | (162) |
| 7.4 | 非线性包装件的跌落冲击 | (164) |
| 7.4.1 | 用L-P摄动法求解非线性跌落冲击问题 | (164) |
| 7.4.2 | 用能量法修正L-P一次渐近解 | (169) |
| 7.4.3 | 非线性跌落冲击的一般规律 | (171) |
| 7.5 | 易损零件对跌落冲击的响应 | (174) |
| 7.5.1 | 易损零件的运动微分方程 | (174) |
| 7.5.2 | 易损零件对跌落冲击的响应 | (175) |
| 7.5.3 | 冲击过程中易损部件的最大加速度 | (179) |
| 7.6 | 易损零件系统的正弦半波冲击谱 | (183) |
| 7.6.1 | 正弦半波脉冲的冲击谱 | (184) |
| 7.6.2 | 跌落冲击的产品破损边界曲线 | (186) |
| 7.7 | 易损零件系统的矩形脉冲冲击谱 | (190) |
| 7.7.1 | 矩形脉冲激励的特点和速度改变量 | (190) |
| 7.7.2 | 易损零件对矩形脉冲的响应 | (192) |
| 7.7.3 | 矩形脉冲的冲击谱 | (193) |
| 7.7.4 | 矩形脉冲的产品破损边界曲线 | (195) |
| | 习题 | (199) |

第八章 缓冲包装设计理论

| | | |
|-------|--------------|-------|
| 8.1 | 产品的脆值理论 | (201) |
| 8.1.1 | 脆值的定义 | (201) |
| 8.1.2 | 包装件跌落冲击的强度条件 | (202) |

| | | |
|-------|----------------|-------|
| 8.1.3 | 破损边界曲线与产品脆值的测试 | (204) |
| 8.1.4 | 常见产品脆值的统计标准 | (206) |
| 8.2 | 包装件流通环境 | (208) |
| 8.2.1 | 装卸搬运过程 | (209) |
| 8.2.2 | 运输过程 | (211) |
| 8.2.3 | 储存过程 | (214) |
| 8.3 | 缓冲材料及特性 | (215) |
| 8.3.1 | 几种常见缓冲材料的特性 | (216) |
| 8.3.2 | 缓冲材料的缓冲系数 | (218) |
| 8.3.3 | 缓冲系数—最大动应力曲线 | (220) |
| 8.4 | 缓冲包装设计 | (221) |
| 8.4.1 | 缓冲包装设计五步法 | (223) |
| | 习题 | (234) |

第九章 Mathematica 数学软件及其在包装设计工程中的应用

| | | |
|-------|---------------------|-------|
| 9.1 | Mathematica 概述 | (235) |
| 9.1.1 | Mathematica 的特点 | (235) |
| 9.1.2 | Mathematica 运行和基本操作 | (236) |
| 9.2 | 数值计算与符号运算 | (242) |
| 9.2.1 | 数值计算 | (242) |
| 9.2.2 | 数学函数 | (244) |
| 9.2.3 | 符号运算 | (246) |
| 9.2.4 | 解方程 | (250) |
| 9.2.5 | 微积分 | (251) |
| 9.2.6 | 微分方程 | (253) |
| 9.3 | 绘图 | (254) |
| 9.3.1 | 平面图形 | (254) |