



普通高等教育包装工程
本科专业规划教材

PACKAGING
PACKAGING
APPLIED MECHANICS
APPLIED MECHANICS

包装 应用力学

高德◎主编

王军 计宏伟 周建伟◎副主编



中国轻工业出版社

全国百佳图书出版单位

教育部包装教学分指导委员会/中国包装联合会包装教育委员会推荐教材
普通高等教育包装工程本科专业规划教材

包装应用力学

Packaging Applied Mechanics

		高德	主编
王军	计宏伟	周建伟	副主编
	王振林	卢立新	主审

 中国轻工业出版社

图书在版编目(CIP) 数据

包装应用力学/高德主编. —北京:中国轻工业出版社, 2013. 7

普通高等教育包装工程本科专业规划教材

ISBN 978-7-5019-9223-2

I. ①包… II. ①高… III. ①包装-应用力学-高等学校-教材 IV. ①TB48

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 084070 号

内 容 简 介

本书作为包装工程本科专业的《包装应用力学》核心课程教材, 包含了两部分的内容: 第一部分为包装动力学基础理论(第一章绪论、第二章包装固体力学基础、第三章包装产品的振动、第四章包装件的冲击); 第二部分为包装力学的应用(第五章包装件的损伤失效、第六章包装材料的力学模型基础、第七章包装工程中流体力学基础)。通过本课程的学习, 将为包装工程专业后续的包装结构设计、运输包装、包装测试等专业课程奠定力学基础。

本书可作为高等院校包装工程专业教材, 也能用于该学科方向的研究生教学, 并可供从事包装结构设计和科研人员参考。

责任编辑: 杜宇芳

策划编辑: 林 媛 杜宇芳

责任终审: 滕炎福

封面设计: 锋尚设计

版式设计: 宋振全

责任校对: 燕 杰

责任监印: 张 可

出版发行: 中国轻工业出版社(北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 三河市万龙印装有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2013 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 13.25

字 数: 303 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-9223-2 定价: 30.00 元

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

110344J1X101ZBW

普通高等教育包装工程本科专业规划教材（第四套）

编审委员会成员名单

顾问：奚德昌 潘松年 王振林 宋宝丰 戴宏民 金国斌

主任：张昌凡 王志伟 许文才

副主任：马 力 殷涌光 黎厚斌 王建清 卢立新 孙智慧

高 德 陈 彦 林 媛

委员：（按姓氏笔画）

丁 毅 王家民 王双飞 计宏伟 邓开发 向 红

刘跃军 刘宝顺 刘晋浩 杨福馨 张国强 张耀权

林 江 陈 洪 陈卫成 陈金周 陈璧辉 陈满儒

周云杰 姚齐水 钱成锡 徐伟民 唐全波 黄俊彦

龚发云 郭彦峰 曾克俭 霍李江

秘书处：曾克俭 罗亚明 张宇华 杜宇芳

“林中有路。这些路多半突然断绝在杳无人迹处。这些路叫做林中路。每条路各自延展，但却在同一林中……林业工和护林人识得这些路。他们懂得什么叫做在林中路上。”

教育是个行动链条，这个链条上的每一个环节都必须和谐地相互连接起来，如果零星地进行一些教育改革，而没有一个关于教育的目标与方式的整体观念，这个链条恐怕难以正常运转。但这并不是说，我们不能尝试一些新的变革。相反，我们必须清晰地思考如何为学习者的未来探索新的道路，一些传授知识、技能和思想的路径。当我们重组知识体系和改革教育方法时，我们没有忽视之前已有的各种经验，因为这些经验不仅使我们能够改进现有的方式和体系，而且还可以使我们能够在这些方面之外发现其他新的可供选择的路径。这种把寻求实际可供选择的新路径作为推进教育改革的做法，在我们看来，具有现实的价值与意义。

这次推出的普通高等教育包装工程本科专业统编教材就是一种为学习者的未来探索新路径的尝试，是对之前已有教材体系的续接与拓展，也是重组知识体系的新探究。

按照包装工程本科专业自身发展的流变脉络和理论类型，我们将此次的教材分为两个方面：规划教材和特色教材。各成系列，相得益彰。规划教材覆盖了《包装工程本科专业规范》涉及的知识领域中的全部核心知识单元及部分选修知识单元，包括《包装材料学》《包装工艺学》《包装印刷技术》《包装机械》等11本教材。特色教材反映的是各校特色，今后会随着社会需求的变动而适时推出。用“规划教材+特色教材”这样的方式推出统编教材，其目的是完整地呈现包装工程专业的知识体系，同时也是尽可能地体现高校的学术特色，尊重学习者的知识选择。

我们希望通过这次统编教材的出版，为广大读者增加一扇了解中国及世界包装教育改革的窗口，并通过教材这些林中路的探索，加速我国包装教育事业走向世界的步伐。

最后需要说明的是，由于编者自身的知识理解的局限，编著过程中难免存在不妥之处，诚盼学术界同仁及使用者不吝指教。

教育部包装教学分指导委员会

2010 年 12 月

前言

PREFACE

包装工程是一门多学科交叉的工程技术学科，具有以自然科学为基础，工程科学为主干，与社会科学相关联的特征。在这个伴随着现代包装产业发展形成的新学科中，数学、力学、材料科学及机械工程是其主要基础支撑学科。根据现代高等教育规律与国内外的实施经验，“厚基础”是实现包装工程“应用型、复合型、创新型”人才培养的必要条件。在与防护包装设计、包装材料研发、包装性能测试与质量控制相对应的一系列包装工程专业课程中，力学原理与分析方法是贯穿其中的最重要知识。

众所周知，力学是涵盖了自然界中从微观、细观到宏观乃至天体的一个经典大学科。包装工程范畴中的力学问题，有其应用性和针对性的特点。包装力学探索包装材料、包装产品与商品包装在静动态荷载激励下的响应规律，为寻求科学的包装保护原理，研究适用的防护材料、结构和包装设计技术，为保护商品、人与环境和谐，促进包装工程可持续发展提供理论基础。

基于我国包装工程本科专业基础教学和包装产业界广大科技工作者提升理论水平的需求，笔者在长期从事包装力学方向的教学与科研基础上编写了这本“包装应用力学”新教材。全书分七章阐述：在第一、二章介绍了包装应用力学的主要研究问题，并引述了固体力学在包装工程中典型运用的一些概念；第三、四章重点剖析了包装结构设计与应用中最重要的振动与冲击理论；第五章运用了力学中的损伤失效概念，有助于对包装破损现象进行规律分析；在第六章中，依托笔者团队及国内外相关学者的研究成果，专门介绍了包装材料的力学建模方法；最后基于包装保护因素的拓展需要，在第七章中首次引入包装流体力学基础理论，力求为食品、农产品、医药品等包装材料与产品的设计、开发提供帮助。

本书由高德任主编，王军、计宏伟、周建伟任副主编。其中第一、三、七章由高德编写，第二章由计宏伟编写，第四章

由周建伟编写，第五章由王军编写，第六章由王军与计宏伟协同编写。

中国振动工程学会包装动力学专业委员会理事长王振林教授、江南大学卢立新教授出任本教材的主审。两位教授在教材体系和特色凝炼中提供了有益的指导。本书编写中还得到了浙江大学力学系卢富德博士的帮助。

本教材参考借鉴了同方向的一些专著、教材和论文，特别是奚德昌、彭国勋、汤伯森、宋宝丰等知名专家的研究，给编者以可贵的启迪。中国轻工业出版社的鼎力支持，是本书能顺利与读者见面的重要因素，在此一并致以诚挚的感谢！

笔者在编写中力求在基础课程中引入一些当代研究的新成果。为了结构、内容的完整性、系统性，并在适应不同层面受体中找到“平衡点”，某些章节用“*”标示，可供不同学时的课程教学取舍，也为研究生教学及相关科技人员参阅预留了空间。

学科理论向教材转化是现代高等教学的需要，然而有着诸多难点。限于编著者水平，本书第一版必定在内容编选及论述方式上存在疏漏与偏颇，切盼广大师生、读者与专家斧正。

作者

2013年1月

印刷包装专业 新书/重点书

本科教材

1. 印刷原理与工艺——普通高等教育“十一五”国家级规划教材 魏先福主编 16开 36.00元 ISBN 978-7-5019-8164-9.
2. 印刷材料学——普通高等教育“十一五”国家级规划教材 陈蕴智主编 16开 47.00元 ISBN 978-7-5019-8253-0.
3. 印刷质量检测与控制——普通高等教育“十一五”国家级规划教材 何晓辉主编 16开 26.00元 ISBN 978-7-5019-8187-8.
4. 包装印刷技术——普通高等教育“十一五”国家级规划教材 国家级精品教材 许文才编著 16开 49.00元 ISBN 978-7-5019-8134-2.
5. 包装机械概论——普通高等教育“十一五”国家级规划教材 卢立新主编 16开 43.00元 ISBN 978-7-5019-8133-5.
6. 数字印前原理与技术(带课件)——普通高等教育“十一五”国家级规划教材 刘真等著 16开 32.00元 ISBN 978-7-5019-7612-6.
7. 包装机械——普通高等教育“十一五”国家级规划教材 孙智慧 高德主编 16开 48.00元 ISBN 978-7-5019-7150-3.
8. 数字印刷——普通高等教育“十一五”国家级规划教材 姚海根主编 16开 28.00元 ISBN 978-7-5019-7093-3.
9. 包装工艺技术与设备——普通高等教育“十一五”国家级规划教材 金国斌主编 16开 44.00元 ISBN 978-7-5019-6638-7.
10. 包装材料学(带课件)——“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材 国家精品课程主讲教材 王建清主编 16开 42.00元 ISBN 978-7-5019-6619-6.
11. 印刷色彩学(带课件)——普通高等教育“十一五”国家级规划教材 刘浩学主编 16开 40.00元 ISBN 978-7-5019-6434-7.
12. 包装结构设计(第三版)(带课件)——“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材 国家精品课程主讲教材 孙诚主编 16开 52.00元 ISBN 978-7-5019-6434-5.
13. 印后加工技术——普通高等教育“十一五”国家级规划教材 唐万有主编 16开 32.00元 ISBN 978-7-5019-6289-1.
14. 特种印刷技术——普通高等教育“十一五”国家级规划教材 智文广主编 16开 45.00元 ISBN 978-7-5019-6270-9.
15. 包装英语教程(第三版)(带课件)——普通高等教育包装工程专业“十二五”规划材料 金国斌 李蓓蓓 编著 16开 48.00元 ISBN 978-7-5019-8863-1.
16. 数字出版——普通高等教育“十二五”规划教材 司占军 顾翀主编 16开 38.00元 ISBN 978-7-5019-9067-2.
17. 印刷色彩管理(带课件)——普通高等教育印刷工程专业“十二五”规划材料 张霞编著 16开 35.00元 ISBN 978-7-5019-8062-8.
18. 包装CAD——普通高等教育包装工程专业“十二五”规划教材 王冬梅主编 16开 28.00元 ISBN 978-7-5019-7860-1.
19. 包装概论——普通高等教育“十一五”国家级规划教材 蔡惠平主编 16开 22.00元 ISBN 978-7-5019-6277-8.
20. 印刷工艺学——普通高等教育印刷工程专业“十一五”规划教材 齐晓堃主编 16开 38.00元 ISBN 978-7-5019-5799-6.
21. 印刷设备概论——北京市高等教育精品教材立项项目 陈虹主编 16开 52.00元 ISBN 978-7-

5019-7376-7.

22. 包装动力学(带课件)——普通高等教育包装工程专业“十一五”规划教材 高德 计宏伟主编
16开 28.00元 ISBN 978-7-5019-7447-4.
23. 包装工程专业实验指导书——普通高等教育包装工程专业“十一五”规划教材 鲁建东主编 16开
22.00元 ISBN 978-7-5019-7419-1.
24. 包装自动控制技术及应用——普通高等教育包装工程专业“十一五”规划教材 杨仲林主编 16开
34.00元 ISBN 978-7-5019-6125-2.
25. 现代印刷机械原理与设计——普通高等教育印刷工程专业“十一五”规划教材 陈虹主编 16开
50.00元 ISBN 978-7-5019-5800-9.
26. 方正书版/飞腾排版教程——普通高等教育印刷工程专业“十一五”规划教材 王金玲等编著 16
开 40.00元 ISBN 978-7-5019-5901-3.
27. 印刷设计——普通高等教育“十二五”规划教材 李慧媛主编 大16开 38.00元 ISBN 978-7-
5019-8065-9.
28. 包装印刷与印后加工——“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材 许文才主编 16开 45.00
元 ISBN 7-5019-3260-3.
29. 药品包装学——高等学校专业教材 孙智慧主编 16开 40.00元 ISBN 7-5019-5262-0.
30. 新编包装科技英语——高等学校专业教材 金国斌主编 大32开 28.00元 ISBN 978-7-5019-
4641-8.
31. 物流与包装技术——高等学校专业教材 彭彦平主编 大32开 23.00元 ISBN 7-5019-4292-7.
32. 绿色包装(第二版)——高等学校专业教材 武军等编著 16开 26.00元 ISBN 978-7-5019-
5816-0.
33. 丝网印刷原理与工艺——高等学校专业教材 武军主编 32开 20.00元 ISBN 7-5019-4023-1.
34. 柔性版印刷技术——普通高等教育专业教材 赵秀萍等编 大32开 20.00元 ISBN 7-5019-3892-X.

高等职业教育教材

35. 印前图文信息处理(带课件)——教育部高职高专印刷与包装专业教学指导委员会二元制示范教材
诸应照主编 16开 42.00元 ISBN 978-7-5019-7440-5.
36. 包装印刷设备(带课件)——教育部高职高专印刷与包装专业教学指导委员会二元制示范教材 国
家精品课程主讲教材 余成发主编 16开 42.00元 ISBN 978-7-5019-7461-0.
37. 包装工艺(带课件)——教育部高职高专印刷与包装专业教学指导委员会二元制示范教材 吴艳芬
等编著 16开 39.00元 ISBN 978-7-5019-7048-3.
38. 现代胶印机的使用与调节(带课件)——教育部高职高专印刷与包装专业教学指导委员会二元制示
范教材 周玉松主编 16开 39.00元 ISBN 978-7-5019-6840-4.
39. 印刷材料(带课件)——教育部高职高专印刷与包装专业教学指导委员会二元制示范教材 艾海荣
主编 16开 39.00元 ISBN 978-7-5019-6762-9.
40. 印刷包装专业实训指导书——教育部高职高专印刷与包装专业教学指导委员会二元制示范教材 周
玉松主编 16开 29.00元 ISBN 978-7-5019-6335-5.
41. 印刷设备——普通高等教育“十一五”国家级规划教材 潘光华主编 16开 26.00元 ISBN 7-
5019-5773-6.
42. 印刷色彩控制技术(印刷色彩管理)——全国高职高专印刷与包装专业教学指导委员会规划统编教
材 国家精品课程主讲教材 魏庆葆主编 16开 35.00元 ISBN 978-7-5019-8874-7.
43. 运输包装设计——全国高职高专印刷与包装专业教学指导委员会规划统编教材 曹国荣编著 16开
28.00元 ISBN 978-7-5019-8514-2.
44. 印刷色彩——全国高职高专印刷与包装类专业“十二五”规划教材 朱元泓等编著 16开
49.00元 ISBN 978-7-5019-9104-4.

45. 现代印刷企业管理——全国高职高专印刷与包装类专业“十二五”规划教材 熊伟斌等主编 16开 40.00元 ISBN 978-7-5019-8841-9.
46. 包装材料性能检测及选用(带课件)——全国高职高专印刷与包装专业教学指导委员会规划统编教材 国家精品课程主讲教材 郝晓秀主编 16开 22.00元 ISBN 978-7-5019-7449-8.
47. 包装结构与模切版设计(带课件)——全国高职高专印刷与包装专业教学指导委员会规划统编教材 国家精品课程主讲教材 孙诚主编 16开 48.00元 ISBN 978-7-5019-7040-7.
48. 纸包装设计与制作实训教程——全国高职高专印刷与包装类专业教学指导委员会规划统编教材 曹国荣编著 16开 22.00元 ISBN 978-7-5019-7838-0.
49. 数字化印前技术——全国高职高专印刷与包装专业教学指导委员会规划统编教材 赵海生等编 16开 26.00元 ISBN 978-7-5019-6248-6.
50. 设计应用软件系列教程 IllustratorCS——全国高职高专印刷与包装专业教学指导委员会规划统编教材 向锦朋编著 16开 45.00元 ISBN 978-7-5019-6780-3.
51. 包装材料测试技术——全国高职高专印刷与包装专业教学指导委员会规划统编教材 林润惠主编 16开 30.00元 ISBN 978-7-5019-6313-3.
52. 书籍设计——全国高职高专印刷与包装专业教学指导委员会规划统编教材 曹武亦编著 16开 30.00元 ISBN 7-5019-5563-8.
53. 包装概论——全国高职高专印刷与包装专业教学指导委员会规划统编教材 郝晓秀主编 16开 18.00元 ISBN 978-7-5019-5989-1.
54. 印刷色彩——高等职业教育教材 武兵编著 大32开 15.00元 ISBN 7-5019-3611-0.
55. 印后加工技术——高等职业教育教材 唐万有 蔡圣燕主编 16开 25.00元 ISBN 7-5019-3353-7.
56. 印前图文处理——高等职业教育教材 王强主编 16开 30.00元 ISBN 7-5019-3259-7.
57. 网版印刷技术——高等职业教育教材 郑德海编著 大32开 25.00元 ISBN 7-5019-3243-3.
58. 印刷工艺——高等职业教育教材 金银河编 16开 27.00元 ISBN 978-7-5019-3309-X.
59. 包装印刷材料——高等职业教育教材 武军主编 16开 24.00元 ISBN 7-5019-3260-3.
60. 印刷机电气自动控制——高等职业教育教材 孙玉秋主编 大32开 15.00元 ISBN 7-5019-3617-X.
61. 印刷设计概论——高等职业教育教材/职业教育与成人教育教材 徐建军主编 大32开 15.00元 ISBN 7-5019-4457-1.

中等职业教育教材

62. 印前制版工艺——全国中等职业教育印刷包装专业教改示范教材 王连军主编 16开 54.00元 ISBN 978-7-5019-8880-8.
63. 平版印刷机使用与调节——全国中等职业教育印刷包装专业教改示范教材 孙星 主编 16开 39.00元 ISBN 978-7-5019-9063-4.
64. 印刷概论(带课件)——全国中等职业教育印刷包装专业教改示范教材 唐宇平主编 16开 25.00元 ISBN 978-7-5019-7951-6.
65. 印后加工(带课件)——全国中等职业教育印刷包装专业教改示范教材 刘舜雄主编 16开 24.00元 ISBN 978-7-5019-7444-3.
66. 印刷电工基础(带课件)——全国中等职业教育印刷包装专业教改示范教材 林俊欢等编著 16开 28.00元 ISBN 978-7-5019-7429-0.
67. 印刷英语(带课件)——全国中等职业教育印刷包装专业教改示范教材 许向宏编著 16开 18.00元 ISBN 978-7-5019-7441-2.
68. 最新实用印刷色彩(附光盘)——印刷专业中等职业教育教材 吴欣编著 16开 38.00元 ISBN 7-5019-5415-5.
69. 包装印刷工艺·特种装潢印刷——中等职业教育教材 管德福主编 大32开 23.00元 ISBN 7-

5019-4406-7.

70. 包装印刷工艺·平版胶印——中等职业教育教材 蔡文平主编 大 32 开 23.00 元 ISBN 7-5019-2896-7.
71. 印版制作工艺——中等职业教育教材 李荣主编 大 32 开 15.00 元 ISBN 7-5019-2932-7.
72. 文字图像处理技术·文字处理——中等职业教育教材 吴欣主编 16 开 38.00 元 ISBN 7-5019-4425-3.
73. 印刷概论——中等职业教育教材 王野光主编 大 32 开 20.00 元 ISBN 7-5019-3199-2.
74. 包装印刷色彩——中等职业教育教材 李炳芳主编 大 32 开 12.00 元 ISBN 7-5019-3201-8.
75. 包装印刷材料——中等职业教育教材 孟刚主编 大 32 开 15.00 元 ISBN 7-5019-3347-2.
76. 印刷机械电路——中等职业教育教材 徐宏飞主编 16 开 23.00 元 ISBN 7-5019-3200-X.

研 究 生

77. 印刷包装功能材料——普通高等教育“十二五”精品规划研究生系列教材 李路海编著 16 开 46.00 元 ISBN 978-7-5019-8971-3.

科 技 书

78. 包装产业与循环经济——“十一五”国家重点图书出版规划项目 李沛生编著 异 16 开 35.00 元 ISBN 978-7-5019-6759-9.
79. 科技查新工作与创新体系 江南大学编著 异 16 开 29.00 元 ISBN 978-7-5019-6837-4.
80. 数字图书馆 江南大学著 异 16 开 36.00 元 ISBN 978-7-5019-6286-0.
81. 纸包装结构设计(第二版) 孙诚编著 异 16 开 35.00 元 ISBN 978-7-5019-5216-8.
82. 现代实用胶印技术——印刷技术精品丛书 张逸新主编 16 开 40.00 元 ISBN 978-7-5019-7100-8.
83. 计算机互联网在印刷出版的应用与数字化原理——印刷技术精品丛书 俞向东编著 16 开 38.00 元 ISBN 978-7-5019-6285-3.
84. 印前图像复制技术——印刷技术精品丛书 孙中华等编著 16 开 24.00 元 ISBN 7-5019-5438-0.
85. 复合软包装材料的制作与印刷——印刷技术精品丛书 陈永常编 16 开 45.00 元 ISBN 7-5019-5582-4.
86. 现代胶印原理与工艺控制——印刷技术精品丛书 孙中华编著 16 开 28.00 元 ISBN 7-5019-5616-2.
87. 现代印刷防伪技术——印刷技术精品丛书 张逸新编著 16 开 30.00 元 ISBN 7-5019-5657-X.
88. 胶印设备与工艺——印刷技术精品丛书 唐万有等编 16 开 34.00 元 ISBN 7-5019-5710-X.
89. 数字印刷原理与工艺——印刷技术精品丛书 张逸新编著 16 开 30.00 元 ISBN 978-7-5019-5921-1.
90. 图文处理与印刷设计——印刷技术精品丛书 陈永常主编 16 开 39.00 元 ISBN 978-7-5019-6068-2.
91. 印后加工技术与设备——印刷工程专业职业技能培训教材 李文育等编 16 开 32.00 元 ISBN 978-7-5019-6948-7.
92. 平版胶印机使用与调节——印刷工程专业职业技能培训教材 冷彩凤等编 16 开 40.00 元 ISBN 978-7-5019-5990-7.
93. 印前制作工艺及设备——印刷工程专业职业技能培训教材 李文育主编 16 开 40.00 元 ISBN 978-7-5019-6137-5.
94. 包装印刷设备——印刷工程专业职业技能培训教材 郭凌华主编 16 开 49.00 元 ISBN 978-7-5019-6466-6.
95. 特种印刷新技术 钱军浩编著 16 开 36.00 元 ISBN 7-5019-3222-054.
96. 现代印刷机与质量控制技术(上) 钱军浩编著 16 开 34.00 元 ISBN 7-5019-3053-8.

目 录

CONTENTS

第一章	绪论	1
第一节	包装应用力学的任务	1
第二节	包装应用力学的研究内容	1
一、	包装件	2
二、	物流过程	3
三、	振动与冲击	4
四、	包装件的损伤失效	5
五、	包装材料的力学模型	5
六、	流体力学在包装中应用	5
第三节	包装应用力学的发展	5
一、	包装应用力学的发展历史	5
二、	包装应用力学的发展趋势	7
	练习思考题	7
第二章	包装固体力学基础	8
第一节	固体力学中的若干定义和概念	8
一、	质量与惯性	8
二、	弹簧与弹性	10
三、	阻尼与黏性	14
四、	力、力偶与力矩	16
五、	应力、应变、应变率与应变能	17
六、	蠕变与松弛	20
第二节	材料与结构力学基础	21
一、	强度与刚度	21
二、	稳定性	23
三、	构件的基本变形	24
四、	断裂、冲击与疲劳	28
	练习思考题	33

第三章 包装产品的振动 34

第一节 概述	34
一、基本概念	34
二、振动系统及形式分类	35
三、振动问题的研究方法	36
四、包装件振动模型与运动方程	36
第二节 单自由度线性系统振动	37
一、单自由度线性系统无阻尼自由振动	37
二、单自由度线性系统有阻尼自由振动	39
三、单自由度线性系统强迫振动	43
第三节 两自由度线性系统振动	48
一、两自由度线性系统振动的模型及动力学方程	48
二、两自由度线性系统的自由振动	49
三、两自由度系统的强迫振动	52
第四节 多自由度线性系统振动	56
一、多自由度系统振动的模型及动力学方程	57
* 二、弹性体产品包装的振动分析	58
* 三、刚体产品包装的振动分析	65
练习思考题	72

第四章 包装件的冲击 74

第一节 概述	74
第二节 单自由度包装件跌落冲击	75
一、无阻尼包装件的跌落冲击	75
二、有阻尼包装件的跌落冲击	77
三、非线性特性包装件的跌落冲击	81
四、冲击回弹特性	85
第三节 考虑易损零部件时产品包装跌落冲击	87
一、考虑易损零部件时产品包装跌落冲击的动力学模型	87
二、运动方程及求解	88
三、作用力与加速度	89
* 第四节 多自由度包装件跌落冲击	90
一、刚体产品包装的冲击	90
二、刚体-弹性体产品包装的冲击	92
练习思考题	94

第五章 包装件的损伤失效 95

第一节 包装件损伤失效形式	95
---------------------	----

一、弹性失效和弹性失稳	95
二、脆性失效和脆性断裂	96
三、疲劳失效	96
四、过度变形	96
第二节 易损度	97
一、易损度的概念	97
二、易损度的理论描述	98
三、易损度的确定	99
第三节 冲击谱理论	104
一、冲击脉冲激励	104
二、冲击谱	106
第四节 典型包装致损的力学分析	116
一、包装箱、盒类的破损	116
二、包装袋类的破损	119
三、包装瓶罐类的破损	121
四、包装桶类的破损	122
练习思考题	125

第六章 包装材料的力学模型基础 127

第一节 包装材料的力学模型基础	127
一、线性应力应变关系及本构模型的概念	127
二、弹塑性本构模型	129
三、黏弹性本构模型	131
第二节 常用缓冲包装材料的力学模型	134
一、发泡聚苯乙烯的力学模型	134
二、发泡聚乙烯的力学模型	135
三、瓦楞纸板的力学模型	136
四、蜂窝纸板的力学模型	137
五、缓冲气垫的力学模型	139
六、纸浆模塑的力学模型	139
第三节 模型参数的识别方法	139
一、最小二乘法及其原理	139
二、线性包装模型参数识别的最小二乘法	141
三、三次非线性包装材料模型参数识别的最小二乘法	143
第四节 力学模型的应用	144
练习思考题	146

第七章 包装工程中流体力学基础 147

第一节 包装工程中的流体力学问题	147
------------------------	-----

第二节 液体包装力学	149
一、流体力学基础	150
二、流体传递现象基础	160
第三节 气体包装力学	165
一、气体热力学基础	165
二、真空包装技术	168
第四节 迁移与扩散的力学问题	183
一、气体的迁移现象	183
二、气体的扩散现象	184
三、低压下气体的迁移	186
练习思考题	192
主要参考文献	195

第一章 绪 论

内容提要

包装应用力学作为教育部印刷与包装工程教学指导委员会确定的包装工程本科专业 8 门专业核心课程之一,在培养包装工程学生的包装应用力学知识和提高工程设计能力的同时,为后续各类专业课程的学习奠定了必须的力学基础。本章主要包括包装应用力学的任务、包装应用力学研究的主要内容以及包装应用力学的发展历史和发展趋势三节内容。主要讲授:包装应用力学的任务、包装件、物流过程、振动与冲击、包装件的损伤失效、缓冲防护包装中的力学问题、流体力学在包装中应用、包装应用力学的发展历史、包装应用力学的发展趋势。

基本要求、重点和难点

基本要求:掌握包装件的组成、各组成的基本要求,流通过程,熟悉包装件、内装物、缓冲衬垫、外包装、物流过程等一些基本概念,掌握包装应用力学在包装工程教育中的作用,强度与刚度、稳定性的知识,了解包装力学的现状及发展趋势。

重点和难点:重点掌握包装件、物流过程。

第一节 包装应用力学的任务

包装应用力学是包装工程专业的 8 门核心课程之一,同时又是一门重要的专业基础课程。包装应用力学的主要任务有以下几个方面:

① 随着现代科学技术的发展,力学的研究内容已渗入到包装工程学科涉及的知识领域,主要有包装结构设计、运输包装、包装机械、包装技术与方法等许多专业课程,都要以振动、冲击、破损机理、传递原理等力学知识为基础,而这些力学基础问题在大学物理和工程力学等基础课程中无法解决,而导致包装工程专业工程设计能力明显不足,为此,包装应用力学是学习一系列后续课程的理论基础。

② 包装件在物流过程中要经历搬运装卸、贮藏和运输等多个环节,有些工程问题可以直接采用包装力学的基本理论去解决,有些比较复杂的问题,需要综合运用包装力学和其他专门知识共同解决,才能建立科学合理的包装防理论。所以学习包装应用力学,是为解决工程问题奠定一定的基础。

③ 包装应用力学的研究方法,是数学与力学知识在包装工程知识领域的直接应用,因此充分理解包装应用力学的研究方法,不仅可以深入地掌握这门知识,而且有助于学习其他科学技术理论,有助于培养正确的分析问题和解决问题的能力与素质,为今后解决包装工程的生产实际问题,从事科学研究工作打下基础。

第二节 包装应用力学的研究内容

包装应用力学主要研究内容是以包装件的物流过程为背景,在宏观上应用力学的基本