

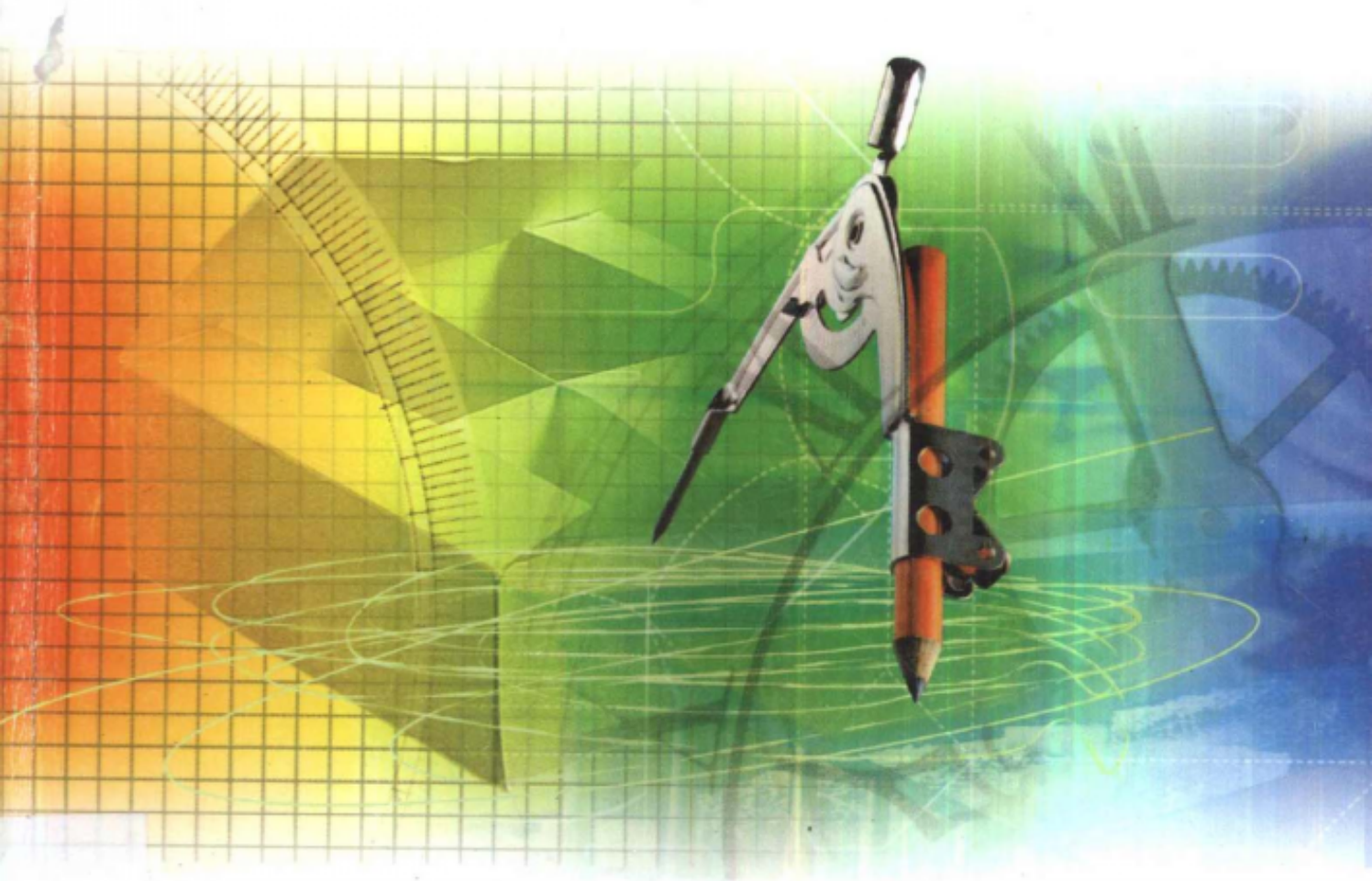


21 世纪普通高校包装科学与技术系列教材

Product Fragility Theory and Application

产品脆值理论与应用

宋宝丰 著



国防科技大学出版社

Product Fragility Theory and Application

责任编辑: 文 慧 封面设计: 熊玉心

ISBN 7-81024-863-4



9 787810 248631 >

ISBN 7-81024-863-4/TB · 14

定价: 18.00 元

105

TB 48
586

产品脆值理论与应用

宋宝丰 著



A1065421

国防科技大学出版社
·湖南长沙·

图书在版编目(CIP)数据

产品脆值理论与应用/宋宝丰著. —长沙:国防科技大学出版社, 2002.6

ISBN 7-81026-863-4

I. 产… II. 宋… III. 脆性-理论-应用-产品-包装
IV. TB489

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 038970 号

国防科技大学出版社出版发行

电话:(0731)4572640 邮政编码:410073

E-mail: gfkdcbs@public.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:11.75 字数:295 千

2002 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数:1-2500 册

*

定价:18.00 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。

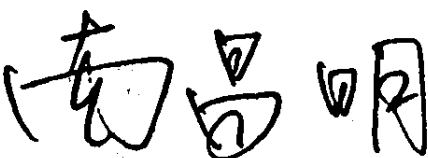
我国加入 WTO 后，包装产业面临着新的机遇和挑战，包装教育也面临着新的课题。可以预测的是，随着国民经济的发展和人民生活水平的提高，包装产业将继续保持快速发展的势头，人世将为我国包装产业提供更多的发展商机和良好的发展前景。但也要看到，我国包装产业也有着诸多隐忧和一些不容忽视的问题，如包装过度、包装粗放、包装污染及包装设计落后，入世后，又产生了技术性的非关税壁垒等问题。这些问题，将对我国

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

A handwritten signature in black ink, appearing to read '陈昌明' (Chen Changming), written in a cursive style.

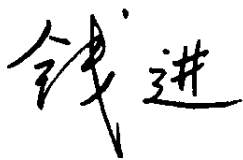
2002 年 4 月 15 日

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。



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, 研究员)

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)

黄涣然 (中山张家边企业集团副总经理)

曾仁侠 (株洲工学院教授)

序 一

随着经济的全面、持续增长,我国科学技术、生产和人民生活水平都在不断提高,而包装工业与包装学科正如雨后骄阳,方兴未艾。包装学科是艺术与科技融合的最为得意的一门学科。包装品是艺术品,它常常给人以美的享受,又从其形态和画面感受到商品的内涵和时代气息。包装又是现代科技的结晶,好的包装设计和包装材料能保证商品在各种条件(有时是恶劣的条件)下存储、运输完好无损。

包装动力学是运输包装的理论基础之一,而产品脆值问题是包装动力学的核心内容之一。对产品脆值的深入研究,不但在促进包装学科建设、完善学科理论方面具有重要意义,而且对于包装企业开展技术创新、实施合理包装设计方面具有实用价值。本书的出版,表明多年来关于产品脆值问题的研究工作可以总结成一个初步的理论体系。特别是本书著者在总结阐述机械冲击脆值基础上,首次提出了机械振动脆值的概念和定义及其第二类破损边界,此外,关于包装动力可靠性理论、两类脆值的异同点分析及其在结构设计中应用等,都是具有新的见解的。所有这些研究和探讨,促进了产品脆值理论体系的形成,同时,本书也为尚待深入研讨的论题指出了某些研究途径和方法。

本书在撰写过程中,注意概念的清晰、论述的简要、主题的突出、结论的明确。可作为高校运输、物流、轻工和包装及相关专业的研究生和高年级本科生的教材或参考书,本书同样适合与上述行业有关的企事业单位工程技术人员和管理人员阅读和使用。

包装工程是高等教育中的新型专业。早在十多年前,本人赴美讲学期间,就曾专门考察过美国包装教育和包装企业,深感改革

开放的祖国非常需要发达的包装工业,而市场经济下的包装工业必须有大批高素质的包装人材。株洲工学院是我国最早全面设立包装学科的高等学校,为我国包装工业培养了大批人才。宋宝丰教授在该院建立原包装工程系之初就已投入包装教育和科学研究,并多年担任包装工程系教学和科研管理方面的负责工作。他潜心总结十多年来从事运输包装及包装结构设计领域的科研与教学经验,写成本书,这是他长期忠诚教育事业、热爱科学技术和勤奋钻研的具体成果和回报。愿借宋教授的《产品脆值理论与应用》一书出版,预祝在加入 WTO 之后,我国包装工业和包装学科如虎添翼,飞速发展,为振兴我国民族工业起到应有的作用。

是为序。

何继善 中南大学

2001 年 12 月 31 日

何继善,教授,中国工程院院士,著名地球物理学家,中南工业大学前校长,湖南省科技协会现任主席,中国地球物理学会副理事长,美国勘探地球物理学家协会(SEG)终身会员。曾被授予“全国有色金属工业劳动模范”称号,并获得过地质学界最高荣誉奖“李四光地质教师奖”等。

序 二

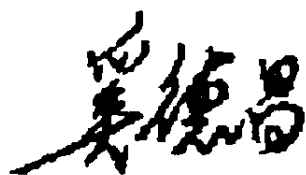
物品在流通过程中,经过储存、堆码、传递、装卸和运输等各个环节,都会受到冲击、振动等动态激励。为使物品安全可靠地到达消费者,就要对物品实施合理的防振缓冲包装结构设计。包装结构设计的理论基础就是包装动力学。包装动力学是一门探索物品包装在动态载荷激励下运动规律的应用技术科学。包装动力学涉及工程力学、工程材料、振动工程、测试技术、设计方法和计算机技术等多门学科知识。

包装结构设计是根据物品特性、环境参数、包装材料及社会 and 用户要求等进行合理结构的科学技术设计。物品特性的重要物理参数之一是物品的强度、变形和可靠性等。在包装中表征物品抵抗冲击激励的强度是用物品易损度(*fragility*,又称为脆值)来表示的。对于振动、随机振动激励下,如何表征物品的强度的方法,随着包装工程、包装动力学学科的发展正处在深入讨论中。

中国包装工业在改革开放大潮中得到令人瞩目的发展,包装科学技术水平随之迅速提高。1987年,浙江大学发起成立了包装缓冲防震研究会。1989年,在此会基础上成立了全国包装动力学专业委员会。以后,每隔两年举办一次全国学术讨论会,至今,已经召开过七次。本专业委员会的成立和各次学术讨论会、科技活动,促进了包装科技的发展,加强了学术界人士与企业界人士的联系,解决过不少包装生产中的具体实际问题,与国际包装学术团体加强了交流和联系,因此在国内外包装界引起较大反响。株洲工学院宋宝丰教授自本专业委员会成立以来一直是一位热心参与者,积极支持、推动学会活动的进展。在担任本专业委员会委员(常务理事)及学术委员期间,做出卓有成效的工作,在1999年召

开全国包装动力学专业委员会成立十周年暨第七届包装工程学术会议上,他被评为优秀工作者。他不但在教学第一线岗位上辛勤耕耘,而且在科研工作中刻苦钻研,不断开拓,这是很可贵的!

为适应包装教育的改革发展,宋宝丰教授的专著《产品脆值理论与应用》,以总结物品易损度(脆值)理论体系为主线,突出了理论的实际应用,介绍了研究的发展动态,具有较鲜明的特色。本书可作为包装行业及其他相关行业科技人员及管理人员的一本参考资料,是适合于研究生和高年级本科生的一本有益的参考书或专业教材。



2002年2月19日

奚德昌,浙江大学力学系教授,担任中国振动工程学会包装动力学专业委员会主任委员,中国包协包装工程与结构设计委员会(筹)主任委员,中文核心期刊《包装工程》编委会副主任,中文核心期刊《冲击与振动》编委等职。

前 言

在经济全球化的进程中,世界物流系统正在发挥出克服时间和空间阻隔的强大功能,而在现代物流系统中,运输包装是一个重要组成要素。由于全球物流运输距离长、运量大,运输过程中货物及产品需堆积存放,多次装卸,致使运输过程中商品损伤的可能性很大,造成破损率过高,这不利于降低运输成本。因此,在全球物流体系中,实施科学合理的运输包装设计至关重要。

运输包装的理论基础之一是包装动力学。从跨学科研究角度考虑,包装动力学就是应用动力学的基本原理与方法来研究包装件在运输流通过程中的受力及变形状态,达到实现合理包装设计、最大可能减少产品破损和达到最佳运输流通成本的目的。包装动力学已经成为动力学研究范畴中一个独特分支,这一分支学科的奠基人是美国学者 R.D.Mindlin,其基本理论于 1945 年首先在他的著名论文 *Dynamics of Package Cushioning* (《缓冲包装动力学》) 中被提出来。其内容背景是二次大战后期,美国为把各种机电设备和仪器等安全地运抵目的地,就要对产品进行缓冲包装设计。这位美国学者根据当时的力学基础理论,对多年实践结果展开了理论研究和实验测量,最后在这篇论文中发表了他的研究成果,这为后来包装动力学这门学科的确立和运输包装设计与试验方法的发展,完成了开创性工作。

包装动力学为缓冲减振包装设计提供理论基础,因为冲击和振动是产品运输过程中所经受的主要动态载荷,也是造成被包装产品发生失效和破损的主要外部因素。至今,由于包装不善致使产品在流通过程中造成很高的破损率,带来严重的经济损失。要有科学合理的缓冲减振包装结构,其前提条件主要有三项:第一,要了解产品的运输环境条件;第二,要熟悉所选取的缓冲材料的有

关特性;第三,要掌握被包装产品本身的各项性能。前两项是论及运输包装这一事件矛盾发展中的外部因素,第三项则是表明这一事件矛盾发展中的内部因素。按辩证唯物论的观点:事物的内部矛盾是事物发展的根本原因,外部矛盾是事物发展的第二位原因。外因是变化的条件,内因是变化的根据,外因通过内因而起作用。那么,从运输包装的角度出发,这一事物的内因就是被包装产品本身是否具有经得住运输环境下多种动态载荷作用的能力,而这一能力的特征主要反映的是产品的易损性如何,而产品的易损性在包装动力学中就是常以“脆值”表示的。因此,这一重要问题也就成了本专著集中讨论的内容。

“脆值”这一术语,译自英文“fragility”一词。在国内,除译为脆值外,还译成脆性、易损度和易损性等。为与我国国家标准所规定的术语名称一致,所以在本专著中统称为脆值。在我国国标 GB8166-87《缓冲包装设计方法》中,把脆值定义为产品不发生物理损伤或功能失效所能承受的最大加速度。需要注意的,不同的场合,脆值的意义有所区别,随着运输包装设计 & 包装动力学理论的进一步发展,关于脆值概念的内涵或外延都在不断地深入和升华。1968 年, R. E. Newton 发表 *Fragility Assessment, Theory and Test Procedures* (《脆价评价的理论与试验程序》)一文,首次提出了产品“破损边界曲线”(DBC)的概念,使得脆值理论及表达方式都有了新的进展,确立了现代运输包装结构设计的理论基础、各类产品的损伤边界所提供的脆值信息,为较合理地进行缓冲减振包装设计创建了基本条件。同时,美国 Lansmont 公司和 MTS 公司先后研制出可以确定产品破损边界曲线的冲击试验机。在可以测试评价产品脆值及破损边界理论基础上,20 世纪 70 年代末,美国密歇根州立大学包装学院和 MTS 公司共同制定出缓冲包装设计“五步法”,为提供合理的缓冲包装设计起到十分重要的作用,这一方法的基本原理与程序沿用至今。

上述有关缓冲减振包装设计的理论和方法不仅为美国工程界所应用,而且迅速在欧、澳、日等工业发达国家中广泛采纳。冲击脆值的概念和破损边界的理论已经被列入 ASTM(美国试验与材料协会)的标准中。此外,这些内容已经被列入美国的 *Handbook of Packaging Engineering*(《包装工程手册》),写入密歇根州立大学包装学院的教材 *Fundamentals of Packaging Dynamics*(《包装动力学原理》)。在国际振动领域学术界著名的 *Shock and Vibration Handbook*(《冲击和振动手册》)(C.M.哈里斯,C.E.克瑞德主编)中专门编入“包装设计”一章,应用了脆值理论;在篇幅很大、内容丰富的 *The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology*(《包装技术大全》)一书中详细介绍了脆值意义及破损边界曲线的具体应用等。最近,美国包装工作者协会(IOPP)的有关机构——计算机和电子产品防护包装委员会(P2C2 Committee),专门研究在运输流通中产品脆值数据的规范化及标准试验方法,推进了脆值理论的发展,并为企业界提供更加合理可靠的产品脆值测定方法。

自改革开放以来,中国包装工业取得了迅速发展,包装科技水平也不断提高,同时推进着包装教育事业和包装学科建设。1989年,在包装缓冲防振研究会基础上,正式成立了全国包装动力学专业委员会,并成为中国振动工程学会的一个分会,吸引了全国几十所高校和多家企业与研究机构的代表参加。浙江大学奚德昌教授担任此专业委员会主任委员。至今,该委员会已经召开过七次包装工程及包装动力学学术研讨会,为全国包装行业展开学术交流、为企业界提供先进包装技术信息,以及与工厂技术部门合作进行合理的包装结构设计等都起到突出作用,在全国包装界的影响是相当大的。本人投入包装教育事业十多年来,一直从事运输包装及结构设计方面的科研和教学工作,并当选为全国包装动力学专业委员会理事,在参与全国性包装学术交流方面深得专家们的帮助,又通过本人的包装科研实践,觉得很有必要对包装动力学这门

学科作出进一步总结和提高,特别是对于应用前景十分看好的专题内容或分支学科更需要加以系统化和深化,这是作者撰写本书的动力所在。

纵观五十多年来包装动力学的发展情况,其研究工作主要放在缓冲理论及缓冲设计方面,发表的文章和公布的资料颇多,就以产品脆值问题而言,大量的实验和理论分析都是针对机械冲击脆值(mechanical shock fragility)的。但是,从学科发展角度上看,这是不完整的,因为产品在运输流通过程中,冲击和振动等均是产生破损现象的主要根源。甚至在一定条件下,振动造成的破坏程度更加突出,所以,对运输包装件实施全面结构设计时,应把这两者都考虑在内。尽管国内外一些资料上也提到了机械振动脆值(mechanical vibration fragility)这一术语,但都未对此提出相应合理的概念、定义及确定方法等,而这些问题正是本专著所重点探讨并加以总结的,以图填补包装动力学关于产品脆值问题研讨中的空缺,并且,由此可以初步形成产品脆值的理论体系。

本专著包括五章。第一章引论,共有四节。从产品损伤模式开始,结合工程力学中动荷系数的概念引伸出产品脆值的概念,讨论了研究产品脆值问题的重要意义,并介绍国内外脆值理论研究的简史和现状。第二章为机械冲击脆值,共有四节。从实际存在的冲击现象出发,导出冲击脆值的概念与定义,本章系统的讨论了 G 值方法,强调说明了各类 G 值的实际意义及其区别。在此基础上,论述产品的第一类破损边界曲线即冲击破损边界曲线,并且介绍了如何确定冲击脆值以及主要测试方法。本章较全面地论述了冲击脆值方面的理论系统。第三章为机械振动脆值,共有四节。从实际存在的振动现象出发,参照冲击脆值理论的分析方法,首次引出振动脆值定义及其表示方式,特别是产品的第二类破损边界曲线即振动破损边界曲线,属于新概念,为探讨产品的减振包装设计提供了较系统的理论基础,也论述了振动脆值的确定方法及其

测试手段。第二、三章为本专著第一个核心内容,较完整地论述产品脆值的全部理论体系。第四章为产品脆值理论的应用。这一章成为本专著的第二个核心内容,共有五节。每一节都突出地介绍脆值理论在某一领域的具体应用,以几个典型实例及案例说明了脆值理论系统在包装技术创新方面所起到的重要指导作用和具体设计方法。第五章为脆值理论的发展动态,共有四节。本章指明了当前国际国内所开展的有关脆值理论的研究项目及发展趋势,论述了克服脆值数据的保守性,并在整理分析大量实践结果基础上,建立了运输包装数据库和产品脆值的先进预测方法(非破坏性测试)等,介绍了迅速发展的计算机技术在确定产品脆值中应用情况和计算机辅助测试脆值的方法。最后一章的内容,可为进一步思考产品脆值理论问题及其实际应用方面提供某些研究方向及课题,这些内容在包装动力学与运输包装研究领域处于选题阶段时,具有广泛的参考价值。

在撰写本专著时,尽量介绍著者在该学术领域内研究的内容,但作为总结一个学科知识系统而言,必然也应该要引用或摘录其他研究者的理论成果,故在书后列举了本书著者曾阅览过的诸多重要参考文献。在此,谨向这些研究者和作者们致以感谢,若有遗漏不全或引用不当,敬请批评指正,以促进本研究领域的学科理论体系日臻完善。

著 者

2001 年 12 月