

高等院校教学用书

包装 动力学

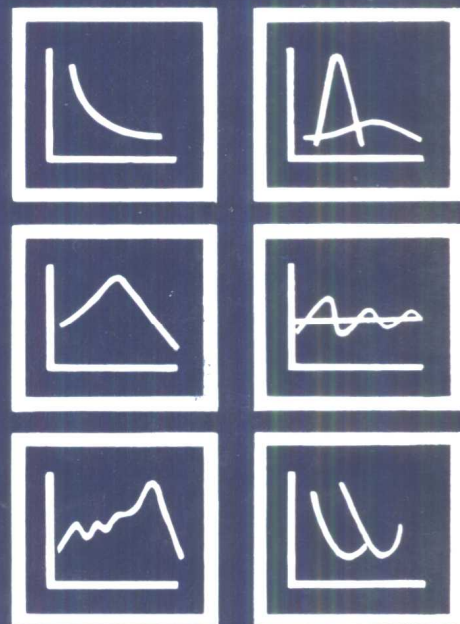
与

结构设计

王瑞栋 编著
苏鹏福 主审



DYNAMICS OF
PACKAGE AND
STRUCTURE
DESIGN



包装动力学与结构设计

重

482

版社

重庆大学出版社

TB482

1

包装动力学与结构设计

王 瑞 栋 编著
苏 鹏 福 主审

重 庆 大 学 出 版 社

内 容 简 介

本书贯彻了高等院校包装工程专业教学大纲,注重理论与实践相结合,列举了大量例题和设计示例。全书用振动工程的基本理论,把工业包装的五个基本要素,即:流通环境、产品脆值、材料动力特性、包装设计和包装测试,作为一个系统进行全面阐述,并把包装动力学的研究成果延伸,应用到包装结构的优化、改进和设计,包括缓冲包装结构、防振包装结构、滑木木箱和框架木箱、高强度瓦楞纸箱、重型托盘的设计和改进行中,通过科学、规范的设计,实现包装减损。

本书可供高校包装专业作教材,也可供工业、交通、商业、物资、外贸部门的包装技术人员参考。

包装动力学与结构设计

王瑞栋 编著

苏鹏福 主审

责任编辑 曾令维

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

威远县印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:15.75 字数:393千

1993年11月第1版 1993年11月第1次印刷

印数:1—13000

ISBN 7-5624-0445-3/TB·5 定价:12.00元

(川)新登字 020 号

序

《包装动力学与结构设计》一书的出版问世,是包装科技界一件值得庆贺的事。很高兴在包装的学术园地里又增添了一支新葩。

包装科学是随着产业发展和科技进步而形成的一门新兴学科。长期以来,人们关注包装,不仅因为包装是商品经济发展必不可少的环节,也是社会发展和物质文明的一大标志。

从远古时代开始,有了产品交换就有了包装,直到现在,包装仍然以保护商品、减少破损,保证有效供给为自己最基本的目标。包装动力学正是基于这一目标而发展的学问。最近一些年来,包装破损、包装索赔的事故屡屡发生,不仅造成重大的经济损失,也在对外的商务交往中产生许多不良的影响。国家每年花费巨大的人力、物力开展包装大检查,旨在控制并扭转这种局面。人们看到,包装破损除了人为因素(如野蛮装卸、流通损伤)以外,更多的是包装本身的技术原因。流通的环境条件,被包装产品的易损性,包装材料、包装设计、试验方法等等,都对包装破损有直接或间接的作用。这些因素互相制约,互相影响,形成一个系统;因而包装减损是一个系统问题。包装动力学的任务,就在于研究这个系统,用一系列的力学模型和数学模型,量化地去分析和解决包装设计、包装改进的诸多问题,正是凭借包装动力学的这种理论和方法,人们对包装破损的认识将从感性上升到理性,从静止的、孤立的、被动的破损事故分析,上升到动态的、系统的、主动的破损事故防治。从这个意义上讲,奉献在读者面前的这本《包装动力学与结构设计》,无疑是一种有益尝试。这本书将从理论和实践两个方面阐述治理包装破损的系统技术,也将为包装管理工作提供科技决策的依据。

科技工作者必须面向经济,面向实际,才能在科技进步的大潮中有所作为。我赏识本书作者的努力,他在繁忙琐碎的管理岗位上,始终不忘科技工作者的本职,积极钻研,注重实践,认真总结,得以使这部有一定篇幅的专业著作完成出版。现代化包装事业,需要一大批懂科技,懂经营的专家,我期望更多的学者参与包装的经营和管理,成为包装企业家,也期望更多的包装企业家钻研学术理论,成为精通专业的学者。我想,科学和经济的完美结合,科学家和企业家的完美结合,定能使我们的包装事业更加兴旺发达,无往而不胜。

倪松仙

一九九三年九月一日

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 包装与包装动力学	(1)
第二节 包装破损特性分析与统计	(2)
第三节 包装动力学的研究对象和方法	(4)
第四节 包装动力学在国外的发展与成就	(6)
第五节 包装动力学在国内的发展和成就	(8)
第二章 流通环境条件	(10)
第一节 流通与流通环境	(10)
1.1 装卸搬运过程	(10)
1.2 运输过程	(11)
1.3 贮存过程	(11)
第二节 装卸搬运环境特性	(12)
第三节 公路运输的环境特性	(14)
3.1 公路运输的冲击	(14)
3.2 公路运输的振动	(15)
第四节 铁路运输环境特性	(17)
4.1 铁路运输的冲击	(17)
4.2 铁路运输的振动	(18)
第五节 空运环境特性	(19)
5.1 空运的冲击	(19)
5.2 空运的振动	(20)
第六节 海运环境特性	(20)
第七节 贮存环境特性	(22)
第八节 气象环境特性	(23)
8.1 温度和湿度的影响	(23)
8.2 温度变化的影响	(24)
8.3 水分的影响	(25)
第九节 环境条件的测量	(26)
9.1 环境条件的简化	(26)
9.2 环境参数的测量	(27)
第十节 环境条件标准化	(29)
10.1 环境条件分类	(30)
10.2 环境条件的量化标准	(30)
第三章 产品脆值及其评价	(34)
第一节 破损与破损率	(34)

第二节 脆值的一般定义	(34)
第三节 脆值的边界条件	(38)
3.1 冲击传递过程	(38)
3.2 破损因素	(39)
3.3 冲击谱	(40)
3.4 破损极限	(41)
3.5 任意波形的破损极限曲线	(44)
第四节 脆值的冲击测试	(45)
4.1 冲击波形	(45)
4.2 基本试验程序	(46)
4.3 参数设定	(46)
4.4 冲击试验装置	(49)
第五节 脆值的缓冲跌落测试	(50)
5.1 跌落试验程序	(50)
5.2 跌落试验装置	(51)
第六节 脆值测试示例	(52)
第七节 脆值的经验评估	(53)
第四章 缓冲材料的动力学特性	(56)
第一节 缓冲材料基本分类	(56)
第二节 缓冲材料的弹性	(57)
第三节 弹性系数的确定	(60)
3.1 线型弹性体	(60)
3.2 三次函数型弹性体	(60)
3.3 正切曲线型弹性体	(62)
3.4 折线型弹性体	(63)
第四节 组合材料的弹性系数	(64)
4.1 线型弹性体组合	(64)
4.2 非线性弹性体组合	(65)
第五节 缓冲特性与缓冲系数	(67)
5.1 缓冲过程	(67)
5.2 缓冲系数	(68)
第六节 缓冲系数的静态测试	(69)
第七节 缓冲系数的动态测试	(70)
第八节 影响缓冲系数的因素	(73)
第九节 阻尼与防振特性	(74)
第十节 回弹性	(75)
第十一节 抗蠕变性	(76)
第五章 缓冲包装系统	(77)
第一节 动态环境的一般特性	(77)
第二节 线性弹性体缓冲系统	(78)
2.1 最大变形量	(78)

2.2 最大负荷	(79)
2.3 最大加速度	(79)
2.4 固有频率	(79)
2.5 冲击作用时间	(80)
第三节 非线性弹性缓冲系统	(82)
3.1 三次函数弹性系统	(82)
3.2 正切曲线型缓冲系统	(84)
第四节 缓冲系统的阻尼	(86)
4.1 粘滞阻尼	(86)
4.2 阻尼状态下的加速度	(86)
4.3 阻尼状态下的位移	(87)
第五节 单自由度缓冲系统的受迫振动	(90)
5.1 传递率	(90)
5.2 传递率控制	(91)
第六节 二自由度缓冲系统的受迫振动	(92)
第七节 触底对缓冲系统的影响	(96)
第八节 包装箱空隙对缓冲系统的影响	(98)
第九节 包装箱重量对缓冲系统的影响	(99)
第六章 缓冲结构与设计	(102)
第一节 缓冲包装的一般形式	(102)
第二节 缓冲设计的基本方法	(104)
第三节 静态缓冲特性曲线的应用	(105)
3.1 缓冲系数—最大静应力($C-\sigma_m$)曲线	(105)
3.2 缓冲系数—应变率($C-\dot{\epsilon}$)曲线	(107)
3.3 缓冲系数—比能($C-E$)曲线	(109)
第四节 动态缓冲特性曲线的应用	(111)
第五节 缓冲衬垫的校核设计	(112)
5.1 产品支承面的应力校核	(112)
5.2 挠度校核	(112)
5.3 跌落姿态校核	(113)
5.4 蠕变量校核	(115)
5.5 温湿度校核	(116)
第七章 防振结构与设计	(117)
第一节 防振包装概述	(117)
第二节 防振包装系统	(118)
2.1 振动传递特性	(118)
2.2 二次传递特性	(118)
第三节 防振衬垫的传递率	(120)
第四节 包装系统的固有频率	(132)
4.1 线性系统的固有频率	(132)
4.2 非线性系统的固有频率	(133)

第五节 包装系统的外部激励	(138)
第六节 防振包装设计示例	(141)
第八章 重型木箱	(144)
第一节 木包装概述	(144)
1.1 一般评价	(144)
1.2 种类	(144)
1.3 木包装的设计要素	(145)
第二节 箱用木材	(145)
2.1 树种与品质特性	(145)
2.2 木材的机械强度	(146)
2.3 包装箱用木材的选择	(148)
第三节 木箱构件的受力分析	(149)
3.1 梁	(149)
3.2 柱	(151)
3.3 桁架	(154)
第四节 钉力设计	(157)
第五节 木箱设计的基本规定	(159)
5.1 许用强度	(159)
5.2 上部载荷	(159)
5.3 装箱间隙	(159)
5.4 尺寸表示方法	(159)
第六节 滑木箱	(160)
6.1 底座结构	(160)
6.2 侧壁结构	(165)
6.3 端壁结构	(168)
6.4 顶盖结构	(169)
6.5 滑木箱设计程序	(169)
6.6 滑木箱设计示例	(170)
第七节 框架木箱	(173)
7.1 底座结构	(174)
7.2 侧壁和端壁结构	(181)
7.3 顶盖结构	(185)
7.4 框架木箱设计程序	(186)
7.5 框架木箱设计示例	(186)
第九章 瓦楞纸箱	(191)
第一节 纸箱概述	(191)
1.1 纸箱的地位和发展	(191)
1.2 纸箱流通特性	(191)
第二节 瓦楞纸板	(192)
2.1 瓦楞纸板结构	(192)
2.2 瓦楞纸板质量指标	(193)

2.3 瓦楞纸板标准化	(194)
第三节 瓦楞纸箱	(194)
3.1 纸箱类别及其选择	(194)
3.2 纸箱型式及其选择	(196)
3.3 纸箱尺寸及其优化	(197)
3.4 展开图及其尺寸计算	(199)
3.5 纸箱的强度评价	(199)
第四节 凯里卡特公式及其应用	(200)
4.1 凯里卡特公式	(200)
4.2 公制单位下的凯氏公式	(201)
第五节 麦齐公式及其应用	(202)
第六节 影响瓦楞纸箱强度的几何因素	(203)
6.1 加压周边长度	(203)
6.2 箱高	(204)
6.3 纸箱方向与抗压强度的关系	(205)
6.4 箱型结构	(205)
6.5 手孔、通风孔位置与抗压强度的关系	(206)
第七节 影响瓦楞纸箱强度的物理因素	(207)
7.1 温度和湿度	(207)
7.2 印刷方式	(207)
7.3 接合方式	(209)
第八节 瓦楞纸箱设计方法	(209)
8.1 手工设计程序	(210)
8.2 计算机辅助设计	(210)
第九节 瓦楞纸箱设计示例	(211)
第十章 包装试验	(215)
第一节 包装试验概述	(215)
第二节 运输试验	(216)
第三节 试验过程的加速度控制	(218)
第四节 加速度计及其应用	(222)
4.1 加速度计结构类型	(222)
4.2 加速度计的应用	(224)
第五节 货物冲击试验	(226)
5.1 垂直冲击试验	(226)
5.2 水平冲击试验	(228)
5.3 多方向随机冲击试验	(231)
第六节 货物振动试验	(231)
6.1 定频试验	(232)
6.2 变频试验	(233)
6.3 随机振动试验	(235)
第七节 货物压缩试验	(236)

7.1 堆码试验.....	(236)
7.2 压力试验.....	(236)
第八节 货物喷淋试验.....	(237)
第九节 试验方法规范化.....	(237)
参考文献.....	(241)

第一章 绪 论

第一节 包装与包装动力学

包装是伴随人类生产活动和物质文明的进步而发展起来的一种技术。包装的发展源远流长,很自然地经历着自然包装、传统包装、近代包装和现代包装几个历史阶段。

自然包装产生于人类最早的生产活动。人类祖先用树皮、藤条把吃剩的食物捆包起来贮藏,或运到其他部落去进行交换,已经产生了事实上的自然包装。随着制陶技术的出现,容器就变得更为普遍。从半坡村发掘的文化遗址来看,在六千年前的新石器时代,就出现了瓶、壶、钵、盆等陶器,人们用它来贮存食物和饮水,也用它作运输器具。到了唐、宋时期,已经能制作十分精致的陶瓷和金属器皿。这种以手工和作坊式劳动为标志的传统包装,绵延了几个世纪。直到现在,在一些僻远的山乡,仍不难看到传统包装的踪迹。

使用机器进行包装作业,是近代包装的特征。近代包装的历史应追溯到18世纪的工业革命。资本主义商品经济的发展,促进了世界范围的贸易发展,对商品的运输首先是以解决包装为前提的。这一时期,包装的形式(箱、瓶、罐、盒)、包装的质量(密封、缓冲)和包装批量都是对传统包装的飞跃。包装不仅是一种技术,本身也成为一种产品。

现代包装的主要特征是工业体系的形成。在生产方式上,摆脱了传统的小批量、作坊式生产,而具有庞大的工业规模;包装已不再依附于内容产品而成为独立的商品;包装工业部门能形成内部的配套能力,成为国民经济中有影响的产业。

包装技术由起源到发展的全过程,也是包装动力学形成和发展的全过程。从祖先开始到现在,人们发现小心翼翼地包装和运输,还是难以避免容器的破坏和损失;越是贵重的物品,越是长距离的运输,破损的可能性越大。人们逐渐摸索并且学会了在物品和容器之间用棉花、草之类松散的介质来填充空隙,用扁担来搬运货物,这就是现代缓冲包装和防振包装的雏形。

作为包装学科的一个分支,包装动力学要研究产品在流通过程中发生破损的机理,以及避免破损而应采取的对策。

包装破损是严重影响商品流通、影响有效供给的一种因素。无论是发达国家或是发展中国家,经验都证明,在发展生产的同时,只有注重包装,不断改进包装才能获得预期的经济效益。由于包装不善而导致的商品损失,不啻是抵消了成千上万人的劳动,或成百个工厂的生产。据国家有关主管部门1983年对全国80个大宗商品进行包装大检查的结果统计,其中20种商品的包装破损损失达27.9亿元,其中量大面宽、损失严重的商品是:水泥、化肥、农药、平板玻璃、鲜蛋、鲜果、粮食、民用陶瓷。上述数字如果再包括机械、仪表、电子等昂贵产品的破损损失,将超过140亿元。而且,随着经济的增长,上述数字有增无减。

包装的破损直接降低企业的经济效益,也给消费者带来不利影响。好的包装给消费者一种安全感、信任感和美学享受。包装质量和包装形象在一定程度上反映出企业的管理水平和科技

水平,也是社会发展中物质文明和精神文明的重要标志。

包装动力学是指导包装设计和包装改进的专门学问。包装动力学要从理论上揭示包装破损的力学本质,以及制约这些力学现象的其他环境因素;在实践上指导科学地进行包装设计。可以说,包装动力学推动着包装质量和包装水平的提高,是支撑包装进步的主要的基础学科之一。

第二节 包装破损特性分析与统计

大量的破损事故,给人们以深刻的经验教训。包装动力学研究破损规律、制定减损对策,首先是从分析、统计破损事故开始的。

不同的商品有不同的破损形式。有些商品会破裂(粉碎、折断),有些商品会变形(塌陷、扭曲),有些商品会变质(霉烂、锈蚀),有些商品会失效(失灵)。凡此种种,由于包装不善而导致的商品价值或使用价值下降,统统称为包装破损事故。

某电器公司对其所销产品的跟踪调查表明,电器产品破损通常表现为以下形式:

- 脆弱零件因振动、冲击而断裂;
- 装配联接松脱,发生相对位移;
- 元器件失效,性能下降;
- 因应力集中造成的局部裂纹;
- 凸缘、边角处塌陷、变形;
- 与容器发生摩擦的伤痕;
- 与填料发生粘结,拆箱时表面涂层剥落;
- 因潮湿而发生锈蚀。

北京铁路分局对9万批到站货物的调查^①,发现由于包装破损而与始发站交涉的达5700批,占6.4%。其破损的表现形式及原因可归纳如下:

1. 包装及包装工艺方面的问题

(1) 纸箱包装

- ①有的箱子钉距过大,超过80mm,致使抗压强度降低;
- ②封箱不好,舌盖未被胶带粘合,胶带在箱端不下垂,或下垂长度未达到规定的50mm;有些胶带基材太差,采用普通包装纸,涂以普通胶水,粘合强度不够。
- ③箱内底垫和插板不合格,底垫不够厚,插板不够高;
- ④用旧纸箱作包装,强度已大部损失;
- ⑤无内盒;
- ⑥装灯管的纸箱太长,只用两道腰带,中间变压,纸箱易开;
- ⑦普通纸箱装很重的货物,如电动机、水泵、台虎钳等,纸箱强度远远不够。

(2) 包裹

- ①布包内无内衬,或内衬不严;

^① 见《中国包装报》1993年8月30日第三版。

- ②搭边太窄,货物外露;
- ③缝线针脚距离不均;
- ④捆包带间距太大;
- ⑤捆包带太少又未扎紧。

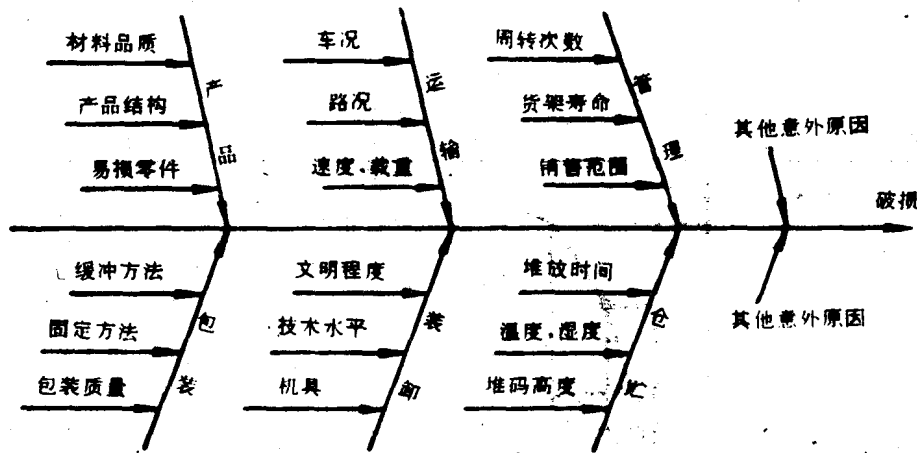


图 1-1 破损特性因素图

(3)木包装

①小型木箱

铁皮腰带太短,两端未用钉子固定,长木箱腰带太少,有的 2.8m 长的木箱只用两道腰带;横挡与箱侧面不齐,往往被碰掉;五金器材、金属坯件装木箱后,由于内装件未固定而与箱壁碰撞;衬垫不好,未卡紧衬垫;……

②大型机电产品木箱

顶部油毡只用一层,且未搭接;木板的面积太小,未达到箱体面积 60%;箱子无支柱;地脚螺钉数量不够,有的未拧紧,有的以小代大,联结强度不够;钉箱时有虚钉和弯钉;……

4. 桶包装

①用旧桶包装液体渗漏较多;

②塑料桶受热变形,密封处开裂;……

2. 搬运中的问题

(1)按规定应平稳堆码,如果包装件太重或堆码太高,则不易做到这一点;

(2)装卸时按规定不能翻垛,但有的装卸工图省事,经常踩垛,产品堆垛往往倾倒;

(3)公路运输装车时勒绳无垫角,造成纸箱被勒破;货运时规定不准踩、扔、摔,实际上这些不文明操作时有发生。

(4)搬运时图省事,不带雨具,货物挨雨淋湿,强度下降。

综上所述,无论是产品的生产部门的调查统计,还是产品流通部门的调查统计,都反映出包装破损的现象是十分复杂的。如果对上述破损现象作深入的追究,发现破损的原因可以归纳以下三个方面,即:

(1)流通环境造就的外部侵袭,包括人为的(如野蛮装卸)和非人为的(如振动、冲击、气候)各种外力;

(2)产品本身抵抗外部侵袭的能力,包括强度、刚度等;

(3)包装的保护能力,包括包装材料的质量、包装结构的合理程度等。

为了了解产品包装的破损原因,寻求减少破损的对策,常常用图解的方法作系统的分析和评价。这种图称为包装破损特性因素图,如图 1-1 所示。该图用大小支流汇成江河的形象,比喻形成破损的全部过程。

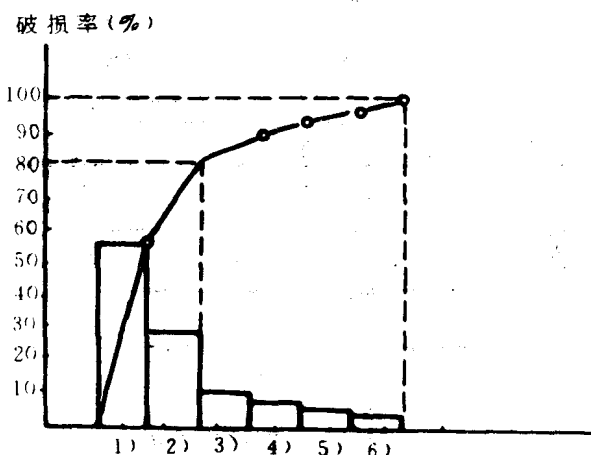


图 1-2 评价破损的帕里特曲线

1)缓冲设计不当; 2)运输事故; 3)容器质量不良;

4)野蛮装卸; 5)仓储堆码过高; 6)其他原因

破损特性因素图虽然比较直观,但要作定量的分析尚嫌不足。近年来,应用质量管理的帕里特曲线来定量地评价包装破损已日见普遍,收到很好的效果。图 1-2 所示,是某种商品包装破损的帕里特曲线实例。图中,横坐标表示各种破损原因,纵坐标表示这种破损发生的比例,称为单项破损率。在坐标图上,单项破损率按大小从左向右依次排列。直方图上面的折线,由单项破损率叠加而成。由上图所示的实际数据可以了解到,这种商品因缓冲不当造成的破损率为 55%,由搬运、运输事故造成的破损率为 30%。瞄准这一特点,如采取措施克服这两种事故,则破损率可降低 85%。

第三节 包装动力学的研究对象和方法

从以上对破损的研究中不难看出,造成破损发生的原因是很复杂的,有产品和包装的内部因素,也有包装以外的环境因素。这些内因和外因对包装破损既有独立的作用,又互相渗透、互相制约、互相影响,形成一个系统。导致包装物最终破损的这种系统,称为包装破损系统。为达到包装减损的目标,必须对这种系统作深入的研究,采用针对性措施,这个工作系统,就称为包装减损系统。概括起来,包装减损系统可以用以下的框图来说明,如图 1-3 所示。

这个框图既具有微观意义,又具有宏观意义。在微观方面,这个图指示了一件包装产品的设计过程。包装结构设计,必须具有环境条件参数、包装用材参数和被包装产品的易损特性参

数;而包装结构设计是否能达到预想的保护、减损目标,要对包装样件进行试验来判断。在设定的条件(试验大纲,试验技术要求)下,能通过试验,则可进入流通;达不到试验要求,缺陷信息应重新反馈,重新设计。由于环境参数和包装内容产品的脆值对于一个具体的设计命题应视为固定条件,故重新设计或修改设计通常从更换包装材料开始,或者改变材料品种,或者改变材料尺寸,直到达到试验要求为止。

这个框图的宏观意义在于,它体现了开发工业包装技术的主要环节和基本理论。工业包装技术的发展,远不止包装本身,必须同环境、材料、结构、测试、市场等要素联系起来,作为一个系统问题考虑。

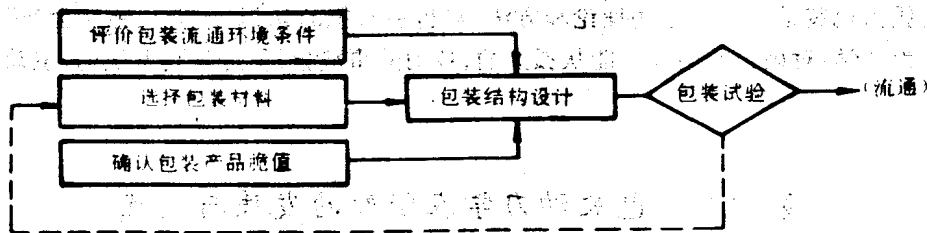


图 1-3 包装减损系统

包装动力学正是以这一系统作为自己的研究对象的。包装动力学研究包装系统中各个要素的特征,以及各要素之间相互影响、相互制约的关系。在动态条件下确定“环境—商品—包装”之间的力学特性,探索避免破损或减少破损的规律,找出改进包装的办法。具体说来,包装动力学要研究解决以下五个问题:

(1) 商品的流通环境条件

包括:从产品包装出厂到用户消费为止的全过程中,导致包装可能破损的所有力学环境条件和生物化学环境条件的种类;各类环境条件的严酷程度;各类环境条件的定量描述方法和相应的测试方法。从对环境条件的研究中,寻求改善流通环境的对策和措施。

(2) 包装产品的脆值

产品的脆值是同产品强度和刚度紧密联系的一个包装概念。研究脆值的特性,研究脆值的评价方法和试验技术,有助于从产品的角度完善包装。多数情况下,改进包装要从改进产品本身的结构开始。

(3) 包装材料的力学特性

包括:静态的力学特性和动态的力学特性;这些特色的描述方法和相应的测试方法,以及这些特性在包装设计中的应用。通过对包装材料的研究,为选择使用材料建立依据,同时也为开发新的材料制订目标。

(4) 包装结构设计

包装结构设计要运用对“环境—产品—包装”这个系统的研究成果,确定产品的包装方式,包装的形状和尺寸;具体地说,包括包装容器的强度设计,补强方式,缓冲和防振填料的种类、形状和尺寸。包装结构设计,是包装动力学研究的核心问题,也是包装动力学作为一门理论科

学在生产实践中的应用。

(5) 包装试验方法

包括包装容器试验和包装货物试验。在试验原理上有动态试验也有静态试验;在试验方式上有现场(随车)试验,也有实验室模拟试验。包装动力学要研究试验技术的机理、设备和操作程序,以寻求最经济、最有效的试验方法。包装试验是工业化包装生产和包装流通必不可少的环节。

包装动力学在研究方法上的特点是它的动态性和随机性。包装动力学不仅研究破损结果,更重要的是研究破损过程。包装动力学要借助大量的力学模型和数学模型,分析“环境—产品—包装”系统中各要素的运动状况及其相互作用。流变学、分析力学的发展以及高速数字计算机的广泛应用,为包装动力学的开拓奠定了技术基础。

正是凭借包装动力学的这些理论和方法,对包装减损的认识,才能从感性上升到理性,从经验上升为科学;对破损的治理才能从孤立的、被动的事态分析,上升到系统的、主动的综合防治。

第四节 包装动力学在国外的发展与成就

包装破损和包装防治由来已久,但作为一门学科,包装动力学的正式形成却是近四五十年的事。1945年,美国学者 R. D. 闵德林发表了其著名论文《缓冲包装动力学》,奠定了现代包装动力学的基础,在闵德林以前的时代,为了保护商品,用刨花、纸屑、矿渣、棉等作包装箱填料,特别贵重的仪器则采用弹簧支架悬挂,完成缓冲包装。第二次世界大战期间,为了把军需品,尤其是各种军用电子设备运送到各地战场,保障有效的供给,闵德林建立了若干种包装模型,并试图用计算机对模型进行精确的动力分析。闵德林的目标很明确,他要用量化的参数设计,取代过去的经验设计;为此,他开展了系统的试验和研究。

闵德林在他的论文中指出:造成包装货物在流通过程中的机械损伤,不外乎是缓冲保护不当,包装容器不够坚固,或者产品过于脆弱。为了判断新的缓冲包装结构能否适应包装流通的要求,要靠作大量的跌落冲击试验,从比较中选定最合适的结构形式。这种对实物试样的跌落试验,是以损坏试样为代价的,对于昂贵或大型的商品来说,显然是不可取的。因此,必须从理论上探索环境冲击对包装件产生的响应,以及这些响应随时间变化的规律。这些数据就成为包装设计计算的依据。其中最突出的贡献之一,是闵德林提出的缓冲系数的概念,这一表征缓冲物理过程的特性参数,是时至今日广泛应用于缓冲包装设计的重要依据。

在随后的三十多年的时间里,各国学者和工程师们在包装理论、包装试验方面做了大量的工作,其中不少成果以标准的形式固定下来,全面推广。1949年,英国的包装与同业研究会建立起了第一个完整的包装试验站,进行了大量的研究,在试验方法和结果分析方面积累了许多经验。1973年,佩恩编著出版的《包装评价》一书,对此进行了全面的总结。

1961年,缓冲包装设计作为一个独立的章节,列入了美国的《冲击与振动工程手册》,标志着包装的缓冲防振引起了整个振动工程学界的重视,也标志着包装动力学作为一个分支,进入了动力学研究的范畴。

1964年,美国国防部制定的《军事标准手册》中,收集、介绍了缓冲包装设计的有关理论和

方法;1978年,这本手册修订时,又增列了缓冲和防振设计大量数据,这些数据可以作为数据库被计算机贮存。与此同时,美国出版了《缓冲设计的理论与实践》一书,对包装设计原理和包装设计规范作了进一步的全面总结。

1973年,日本包装技术协会组织了一批专家,汇集日本各大公司和研究机构的成果,出版了《缓冲包装设计手册》。此书在总结美国系统经验的基础上,融会了日本调查资料,成为内容最丰富、最细致的阐述包装动力学问题的专著。

由于包装件的结构比较复杂,缓冲材料的非线性特性又十分突出,传统的单自由度包装力学模型以及闵德林建立的二自由度包装力学模型,都只能近似地反映包装件的冲击响应。传统的跌落试验很难保持试样跌落的正确姿态,又很难控制冲击试验所用的波形,离精确化要求有不小的差距。70年代初R. E. 牛顿教授发表了《脆值评价的理论和试验程序》一文,第一次提出包装产品破损的边界条件理论。牛顿的边界条件理论指出,包装件的破损除了受其极限加速度的制约以外,还受其速度变化量的制约;同时指出了冲击脉冲波形是影响边界条件曲线形状至为重要的因素。由此,牛顿把破损极限的精确化理论推到了新的境界,打开了脆值冲击试验的大门,奠定了现代缓冲包装设计的基础。与此同时,美国拉斯蒙特公司和美国材料试验系统工程公司相继开发出与破损边界理论相适应的冲击试验机。这种冲击试验机具有可编程序器,能按需要调节冲击脉冲的波形和冲击持续时间,是目前评价产品脆值理想的试验机。

80年代初,基于产品脆值的边界条件理论,美国材料试验系统工程公司和密执安包装学院研制成功包装的五步设计法,这是包装动力学在设计上的具体体现。这种设计法的五个步骤是:

- 1) 确定环境特性:主要是确定冲击和振动环境条件;
- 2) 确定产品脆值:主要确定产品破损边界,即极限加速度和极限速度变化量;
- 3) 选择适当的缓冲衬垫;
- 4) 设计并制作原型包装;
- 5) 试验、测试原形包装。

五步设计法的研制成功,标志着科学的包装设计方法问世,迅速地在美国和世界各国推广使用。经过近十年的发展和完善,终于被美国国家标准学会列入美国试验与材料学会(ASTM)标准,成为具有法定意义的试验规范。

在五步设计法稍后,拉斯蒙特公司又提出了缓冲包装设计六步法,并列出了每一步骤应贯彻的 ASTM 标准:

- 1) 定义运输环境:冲击和振动,ASTM D4169;
- 2) 产品脆值估计:冲击,ASTM D3332;
- 3) 产品重新设计;
- 4) 缓冲衬垫计算:冲击(板型材料),ASTM D1596;冲击(现场发泡材料),ASTM D4168;
- 5) 设计包装系统,利用第1)、2)、4)步的数据作产品—缓冲介质—包装容器的系统设计;
- 6) 试验包装系统原型。

六步设计法较之五步设计法更为具体,可操作性更强。迄今为止,不仅被美国工程界采用,列入美国《包装工程手册》,而且被世界各国所接受,成为指导包装设计的经典性文件。