

可发性聚苯乙烯 包装设计与生产

张荣祥 编著



上海科学普及出版社

TB48

Z23

413545

可发性聚苯乙烯包装 设计与生产

张荣祥 编著

上海科学普及出版社

DZ52/12

责任编辑 毛增南
特约编辑 缪惟民

可发性聚苯乙烯包装设计与生产

张荣祥 编著

上海科学普及出版社出版发行

(上海曹杨路500号)

各地新华书店经销 上海长鹰印刷厂印刷

开本787×1092 1/32 印张6.75 字数151000

1990年6月第1版 1990年6月第1次印刷

印数 1—5000

ISBN 7-5427-0210-6/TS·12 定价: 3.45元

前 言

EPS, 英文全称: Expandable Polystyrene。译名为: 可发性聚苯乙烯, 一般简称为: EPS。

EPS包装是当前较为常见的一种包装, 使用范围甚广。人们几乎可以在所有的家电产品包装中见到EPS包装。例如在电视机、电冰箱、洗衣机等产品的包装中都有广泛的应用。因而, EPS包装已广为人们所熟悉。

随着商品经济的蓬勃发展, 人们的物质、文化水平不断提高, 人们对产品质量也不断地提出新要求, 各种新型、高档、实用的新产品也大量产生。这样, 产品的包装也必须与之相适应。那么, 产品包装应该如何改进才能适应产品的更新、换代呢?

概括地说, 产品的包装有二个方面的作用。其一就是实用性, 除了产品包装能使产品运输、携带方便以外, 就是要设法保护产品本身, 使之在搬运的过程中免遭损坏, 从而让顾客得到满意的产品; 其二则是装饰性, 即通过产品包装来美化产品, 并起到宣传产品的作用, 使顾客产生美的享受。因而美观的包装也能提高产品本身的价值。

本书的内容主要讲的是前者, 着重介绍EPS包装的缓冲性能, 从理论上为EPS缓冲包装的科学设计提供依据。为了对EPS包装进行科学设计, 本书也对EPS的成型工艺、EPS包装模具的构造和制作作了较详细的介绍。当然, 本书也涉及到EPS其它方面的性能和作用。

EPS的用途很广，有的已为人们所熟悉，有的则鲜为人知。而EPS的新用途还会不断出现。

目前我们把EPS的主要用途归纳如下：

1. 制成各种成型EPS包装缓冲垫。有些缓冲垫，我们可以直接用EPS板材切割制成。EPS缓冲包装具有良好的缓冲性能，能在很大程度上起到防止产品损坏的作用。

2. 制成各种EPS衬垫。由于EPS板材具有隔热、隔音的特点，加之其价格相对较低，重量较轻，所以常被用作各种衬垫。当然它本身还存在着强度不高、密封性能较差等弱点，因此可以与其他材料复合起来以相互取长补短。常见与之复合的材料有石膏、纸、各种金属薄板等。这种复合板材可广泛地应用在建筑行业以及用作装潢建筑材料。如天花板、隔墙板等，特别可用作冷库、冷藏车的绝热隔板。

3. 直接制成各类盛器。如鱼箱、冷冻箱、周转箱等，具有隔热、保鲜、防损之效用。

4. 由于其重量轻(比重约为 $0.015\sim 0.20\text{g/cm}^3$)，故可做成各类救生用具，也可做成各种漂浮物，这些漂浮材料在水面养殖业上大有用武之地。

5. 由于加工容易、成本低，故可部分地代替木模，在铸造、建筑等行业也能大显身手。

EPS除了上述用途外，还可直接使用EPS预发后的珠粒作为水处理的过滤材料；也可与水泥等混合后，用作轻质建材等。

可发性聚苯乙烯泡沫塑料，在我国已有20多年的生产历史。随着整个国民经济飞速发展，EPS的应用范围不断扩大，EPS生产正是方兴未艾。以全国EPS总产量而言，已经从十多年前年产不足万吨，上升到目前的4万吨左右。当然，从人

均数字来看,我国的生产量仍然很低。年人均消耗EPS量不到0.03公斤。显然比起发达国家人均2公斤多来说仍有极大差距。因此,只要国产原料得到比较充分的解决,年产20万吨EPS制品,以至更高的数量,也不是遥远的事情。为了迎接EPS生产的更大发展,完全有必要总结国内现有的生产经验,特别是总结在使用引进设备中的经验和存在问题。从目前的实际对照来看,我国设备利用率低,能耗是国外发达国家的4倍,劳动生产率只是他们的五分之一。除了生产布局、技术和管理方面存在差距外,其中包装设计和模具制造也是我们很明显的薄弱环节,而这正是本书要重点论述的内容。

1986年10月,笔者受中国科学技术协会的选派,赴新加坡大道(Broadway)企业私人有限公司进修。有机会取得学习和研究EPS包装生产与模具设计、模具制造方面的理论和实践。按企业的要求,曾编写《EPS缓冲防震包装设计手册》。该手册所取的资料,来自联邦德国巴斯夫(BASF)、美国阿科(ARCO)公司,以及日本、荷兰等国的有关资料。在工作、学习的基础上,利用计算机控制的跌落试验装置,对一系列包装产品进行了试验,从而对缓冲包装理论有了进一步的认识。该手册的内容,就是本书第一章的主要内容。它对EPS缓冲包装设计提供了理论依据。笔者希望通过本书能为国内同行进行“EPS缓冲包装设计”时,提供简便、科学的方法,以确定“EPS缓冲包装”的缓冲厚度和缓冲面积。只有明确了这两者,才能以较少的EPS原料消耗来达到良好的缓冲效果。

众所周知,EPS包装除了缓冲效果以外,还有其它多种用途。譬如,利用EPS的导热系数低的性能,可以做EPS鱼箱和其它保鲜箱。对于发达国家来说,EPS鱼箱已是司空见惯的事。如在日本,EPS鱼箱所消耗的EPS原料约占全日本EPS

产量的40%。显然，我国目前使用EPS鱼箱甚少。只有在某些较贵重的药品，如人体白蛋白上才使用EPS保鲜盒。但是，EPS保鲜盒和鱼箱的使用，一定会随着人民生活水平的提高而逐步得到推广。根据实际需要，应新加坡大道企业的要求，笔者编写了第二章“绝热、堆放和其它用途”。本章为EPS包装的其它用途提供了一些思路和部分依据。

包装设计之后，必然要制作模具。第三章EPS成型模具就是围绕国内实际情况并结合部分日本资料写成的。需要注明的是：本章也只是作些原则的论述。具体的制作工艺，则有待于同行依据各自的实际情况予以掌握。可以说，EPS成型模具与其它塑料模具相比较，只要模具结构合理，并在木模、翻砂上稍下功夫，还是比较容易制作的。为了便于同行业内，以及对外交流的方便，文中将模具的各部分名称用中英文同时标明，以求统一称呼。

考虑到包装行业涉及的面较广，为了有利于有关人员查考，还增补了第四章“EPS生产技术”。其中简要地介绍了EPS制品工艺流程，以及其物理、化学性能等等。

由于初次编写此书，难免会有谬误之处，诚望有关人士赐教，以待有机会再版时予以补正。

对于能完成本书的编写，首当感谢新加坡“大道企业私人有限公司”、“万和咨询服务公司”朋友们的友好接待和大力协助，以及“中国科学技术协会”、“上海市科学技术协会”国际部有关同志的卓越工作。同时还要感谢上海塑料制品七厂和国内同仁给予的指正。

作 者

目 录

| | |
|------------------------------|----|
| 第一章 缓冲防震 | 1 |
| 第一节 缓冲包装设计的理论基础 | 2 |
| 一、防止产品损坏的两个概念 | 2 |
| 二、缓冲包装设计中的两个参数 | 4 |
| 三、保护产品的两条途径 | 8 |
| 第二节 缓冲包装设计概要 | 9 |
| 一、EPS缓冲特性曲线 | 9 |
| 二、缓冲包装设计的一般要求 | 12 |
| 三、确定缓冲包装的缓冲厚度和缓冲面积 | 14 |
| 四、肋板、筋条的计算和设计 | 23 |
| 五、EPS缓冲包装设计的计算实例 | 24 |
| 第三节 跌落试验 | 27 |
| 一、跌落试验的特点 | 27 |
| 二、跌落试验方法 | 27 |
| 三、跌落试验报告 | 30 |
| 四、国外EPS缓冲包装实样分析 | 49 |
| 第二章 绝热、堆放和其它用途 | 55 |
| 第一节 绝热 | 55 |
| 一、用途 | 55 |
| 二、EPS的绝热特性 | 56 |
| 三、缓和剂 | 60 |
| 四、鱼箱设计实例 | 65 |
| 五、热量和传热的一些基本概念和换算单位 | 67 |

| | |
|--------------------|------------|
| 第二节 堆放 | 73 |
| 一、包装(周转)箱的堆放问题 | 73 |
| 二、周转箱设计和计算实例 | 74 |
| 第三节 其它用途 | 75 |
| 一、隔板和衬垫 | 76 |
| 二、防静电 | 79 |
| 三、阻燃性能 | 81 |
| 四、EPS的一些其它用途 | 84 |
| 第三章 EPS成型模具 | 99 |
| 第一节 成型模具的概况 | 99 |
| 一、成型工艺的特点和要求 | 99 |
| 二、成型模具的一般要求 | 100 |
| 第二节 模具制造 | 105 |
| 一、成型机种类 | 105 |
| 二、模具的种类及其组成 | 108 |
| 三、模具制造工艺 | 120 |
| 第三节 模具的附件 | 122 |
| 一、加料枪 | 123 |
| 二、顶杆 | 126 |
| 三、联结件 | 129 |
| 第四章 EPS生产技术 | 131 |
| 第一节 EPS工艺流程 | 131 |
| 一、EPS原料的来源 | 131 |
| 二、EPS原料的等级和牌号 | 141 |
| 三、EPS制品生产工艺 | 155 |
| 第二节 EPS生产中的辅助设备及配管 | 179 |
| 一、一般要求 | 179 |
| 二、几个不可忽视的辅助设备 | 181 |
| 三、配管 | 186 |

| | |
|----------------------|-----|
| 第三节 EPS的一些特殊性能 | 191 |
| 一、主要物理性能..... | 191 |
| 二、几种隔热材料导热系数的对比..... | 192 |
| 三、化学稳定性..... | 193 |
| 四、粘结剂..... | 193 |
| 附 录 | 195 |
| 编后语 | 204 |

第一章 缓冲防震

在包装行业中经常习惯使用“防震包装”一说，实际此说法并不妥当，特别是用于EPS包装产品。因为EPS包装不仅是防震、更主要的是防止冲击所造成的商品损坏。确切地说，EPS包装能减少冲击所造成的外力影响，并在一定条件下（如一定的跌落高度、运输条件等）起到保护商品的作用。因此，将习惯上称之为“EPS防震包装”，改称为“EPS缓冲包装”更为符合实际情况，也能与国外的名称(Cushioning)统一。至于“习惯成自然”则另当别论，但至少应该明确的是包装的主要功能是缓冲。

当然，EPS的防震作用也是存在的。相对地讲，EPS包装是一种受压时变形量较大，而消除外力后回弹量（即弹性）较小的一种泡沫塑料。其防震性能明显地优于刚性较大的其它防震材料，如金属弹簧等。一般地讲，只要能满足缓冲条件（个别的、在一定条件内的冲击），对于振幅不大、不在共振频率范围内的震动是可以不予考虑的。因此，包装设计重点是要解决EPS包装的缓冲问题。进行EPS的包装设计，首先要明确的是：怎样的包装厚度和缓冲面积最为合适，这就是本章所要解决的问题。为了便于研究，我们先讨论EPS缓冲包装的理论基础。

第一节 缓冲包装设计的理论基础

我们知道,飞机着陆时有个落地速度,为了减少飞机和机场跑道的冲力,除了减小飞机的落地分速度外,飞机上必须安装缓冲器。缓冲器的主要作用,是使飞机与跑道接触时,减少冲击力。当然,飞机的充气轮胎本身就有缓冲作用。而缓冲器内原有一定压力的压缩空气,更可以在着落的瞬间被进一步压缩,从而大大地减少了飞机的冲击力,从而保证飞机的着陆安全。

但是,缓冲器被压缩以后,随着飞机落地分速度的减小,缓冲器内压缩空气贮藏的能量会释放出来。缓冲器就象是一根被压缩的弹簧。这样光有缓冲器的飞机,着落以后会产生严重的颠簸。所以,现代飞机被安装上缓冲防震器。其一般防震的原理是,让缓冲器中装有压缩空气和液压油。在压缩过程中,缓冲防震器的液压油通过大孔,比较容易压缩其中的空气;而在膨胀过程中,液压油只能通过小孔,从而阻缓了缓冲防震器的膨胀过程。由于液压油通过小孔,液压油受磨擦阻力的作用而升温。这样,实际是将飞机着陆过程中的动能变成热能散发到空气中去。飞机上的“缓冲防震器”就是如此来保证飞机着落时具有良好的缓冲、防震性能的。

产品的跌落过程同飞机的着落有相同之处。为了研究问题的方便,我们有必要了解缓冲和防震这两个概念。

一、防止产品损坏的两个概念

1. 缓冲:设法减少产品的冲击力。

正如飞机必定要着陆一样,产品在运输和储存过程中,总

是难免要受到不同程度的碰撞。

根据牛顿力学的原理，产品所受到的冲击力 F 的大小与其本身的质量 m 和其速度的变化率即加速度 a 成正比。即：

$$F = ma$$
$$F = m \frac{dV}{dt} \quad (1-1)$$

显然，通常情况下，冲击力并不大。但是当产品以一定速度与其他物品相碰撞时，其速度变化很大，有时产品还会即刻停止运动，甚至以反向速度回弹，这时产品就会受到很大的冲击力。更为常见的现象是产品在运输过程中碰到跌落现象。

若设跌落碰撞前，产品的瞬时速度为 V 。

若把产品的跌落过程看作是自由落体，那末产品碰撞前的速度 V 与其跌落高度 h 有关，即：

$$V = \sqrt{2gh} \quad (1-2)$$

其中 g 为重力加速度。

在碰撞的一刹那，产品速度很快降为零，产品将承受很大的冲击力，这对产品的安全带来极大的危害。对于EPS缓冲包装来说，就是增加冲击作用的时间，使 $\frac{dV}{dt}$ 值减小，使冲击力减小，从而可以保证产品在一定的跌落高度内免遭损坏。因为跌落高度过高，产品跌落着地的速度将增加，从而增加了冲击力。

目前，我们广泛地采用EPS(可发性聚苯乙烯)、EPE(可发性聚乙烯)、PU(聚氨酯)、PVC(聚氯乙烯)等发泡塑料用作缓冲包装材料，而EPS因其成型工艺简单、价格低廉而使用最为广泛。除了上述泡沫塑料外，凡是能增加冲击时间的包装材料，如瓦楞纸箱、气垫薄膜等，都可算作缓冲包装材料的

范围。

2. 防振:增加产品受振动时的阻尼。

产品在实际运输过程中,难免要受到颠簸。例如在汽车、火车、轮船等运输过程中,飞机在飞行和着陆滑行过程中,产品被装进这些运输工具,都将受到振动。若产品有缓冲性好的包装,就不仅能减少冲击力,也具备了防振的作用。当然,不可能通过缓冲包装将振动的能量全部吸收,但是缓冲包装能够通过它的变形而起到阻尼的作用,使产品免受振动的危害。

EPS缓冲包装和瓦楞纸箱组合以后,更具有较好的缓冲效果,同时这也使其增添部分减振效果。

对EPS缓冲包装而言,适当增加缓冲厚度,当然能增加其缓冲效果。但是,在保持原先的缓冲厚度时,若适当增加一些筋条*或肋板**的数量(缓冲面积保持原先的数值)EPS缓冲包装的防振性也能得到增强。当然由于受到成型工艺和模具制造等各方面条件的限制, EPS缓冲包装的筋条或肋板数量增加是有限的。

实际经验和理论分析都证明,在一般情况下,振动对产品的损害并不严重。特别是对EPS那种能产生较大变形的缓冲包装。所以,我们对防振的因素可不作重点考虑,而主要研究EPS包装的缓冲。为此,我们必须对EPS缓冲包装作跌落试验,以证实其缓冲效果。

二、缓冲包装设计中的两个参数

为了研究问题方便起见,我们有必要提出两个参数:载荷

* 筋条是指EPS包装缓冲垫的外侧凸起部分。

** 肋板是指EPS包装缓冲垫的内侧凸起部分。

因素和跌落高度。

1. 载荷因素(Loading factor)

定义：产品所受到的作用力与其自身的重力之间的比值。
用G作代号。

这样：
$$G = \frac{ma}{mg}$$

即：
$$G = \frac{a}{g} \quad (1-3)$$

从公式(1-3)可以看出，载荷因素G值只与其本身的运动方向的改变和速度大小的变化率有关，与产品的质量无关，而重力加速度g值可理解为一个常数。换句话说，产品在改变其运动方向或速度，都存在着载荷因素。对飞机来讲，其设计载荷因素是个非常重要的参数，它直接从飞机结构强度上限制了飞行速度、转弯半径、爬高和俯冲速度。如果飞行员操纵不慎，而使飞机的载荷因素超过其设计载荷因素，那将严重威胁飞行安全。同样道理，产品也有个“设计载荷因素”问题，即“脆值”问题。

为了引出概念，我们将产品象飞机一样，作垂直水平面的匀速圆周运动。见图1-1。

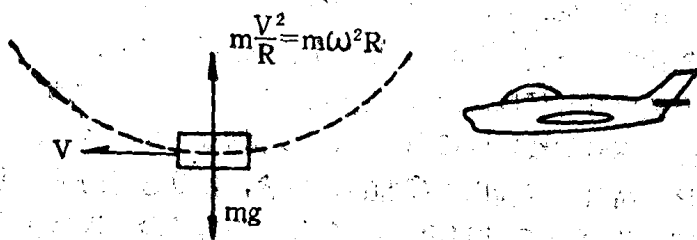


图1-1 飞机作垂直平面的圆周运动

其中：R为圆周半径；

V为运动线速度；

ω 为运动角速度；

m为产品质量；

这样，产品除了受重力作用以外，还受到向心力的作用。

其中重力为 mg ，向心力为 $m\frac{V^2}{R}$ 或 $m\omega^2R$ 。

根据载荷因素的定义，则其G值为：

$$G = \frac{V^2}{Rg} = \frac{\omega^2 R}{g} \quad (1-4)$$

我们规定，当G值足够大到能将产品损坏时，此时的G值，即产品能承受的最大G值，简写为 G_{max} 。在包装行业中，称 G_{max} 为产品的脆值。在以后的论述中，产品的G值，即指该产品的最大载荷因素，也就是该产品的脆值。

显然，我们在设计EPS缓冲包装时，首先需要了解产品本身所具有的脆值。其值愈大，则说明产品本身“愈结实”，即其抗冲击力、抗撞击力的能力愈大。而EPS缓冲包装的任务，就应在一定的条件(如某个跌落高度内)下，使实际产生的G值不超过产品本身的脆值(G_{max} 或G)。这样，我们可以认为这种缓冲包装是安全有效的。

还需指出，上述用垂直水平面上的圆周运动所得出的产品载荷因素公式(1-3)，只是一个特殊形式，它可帮助我们引出和理解“脆值”概念。我们也可将各类产品作这样的试验，从产品损坏时的线速度或角速度，以及圆周运动的半径，直接得出该产品最大载荷因素(脆值)。显然，要做这样的试验也是较困难的。在实际使用中，我们往往做跌落试验。因为在绝大多数的情况下，产品真正受到的作用力，通常是产品在跌落时受到的冲击力，而与其他物体相撞时所受的撞击力比较小。所

以,跌落试验是我们鉴定产品脆值和缓冲包装能达到的G值的主要试验手段。

2. 跌落高度 (Drop height)

定义,产品在跌落过程中(通常理解成自由落体),所走过的路程。

如上所述,产品的跌落高度越大,其所受的冲击力也越大。

在我们设计 EPS 缓冲包装时,必须根据产品的实际情况,以及产品的运输条件,确定一个合理的跌落高度 h 。因此,产品跌落高度 h 值,我们也可理解成人为的因素。所谓合理的跌落高度 h 值,本质上就是该值能够比较符合运输过程中的实际情况。

若我们将产品跌落高度 h 值定得过低,说明我们对人为条件要求较为苛刻,而实际的运输条件并不能做到。这样,显然要危及产品的安全,是不可取的。

若我们将产品跌落高度 h 值定得过高,说明我们对人为条件要求放松,在实际运输中,产品安全也更有保证。但是这必然使我们增加EPS缓冲包装的缓冲厚度,从而增加缓冲包装的成本和体积。因此,将 h 值定得过份高,也会给缓冲包装设计带来困难,也是不可取的。

综上所述,产品在多数情况下,它主要是由跌落时所受的冲击力而损坏的。故产品的脆值也可写为:

$$G = \frac{F_{\text{冲}}}{mg}$$

$$G = \frac{\sqrt{2gh}}{\Delta t \cdot g}$$

(1-5)

其中, $\sqrt{2gh}$ 反映了碰撞过程中的速度变化量, Δt 是产