

高等学校教材

● 包装工程专业系列教材

运输包装学

YUNSHU BAOZHUANGXUE

汤伯森 主编



化学工业出版社

高等学校教材

● 包装工程专业系列教材

运输包装学

YUNSHU BAOZHUANGXUE

汤伯森 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

前言

Preface

运输包装学是研究产品外包装和集合包装的结构与设计方法的一门学问。运输包装的主要功能是方便运输。产品流通过程对运输包装的要求是：①运输包装要提供方便货物搬运、起吊、叉举和堆码的各种装置；②运输包装要有足够的强度，运输包装没有足够的强度，在流通过程中，一旦发生事故，不但危及货物本身，严重者还会成为运输系统正常运行的障碍，甚至给人民生命财产造成重大损失；③运输包装要有条形码，能适应物流信息系统现代化的要求；④运输包装要实现包装尺寸标准化，使货物能充分利用车辆、船舶、仓库的有效空间，促进车辆、船舶的满装满载；⑤运输包装要有规范的运输包装标志，方便货物在流通过程中的收发、清点和计量，促进货物在流通过程中各种操作的安全。国家标准将运输包装分为八类：箱类、桶类、袋类、裹包类、夹板轴盘类、筐篓类、坛类、局部包装及捆扎类。从国标的分类看，运输包装内涵相当广泛，内容相当丰富。吃透这八类运输包装的包装标准，搞清这八类运输包装的设计理论和设计方法，并将这些理论和方法灵活运用 to 生产实践中去，绝非易事。所以运输包装学是一门值得学习和研究的学问。

将产品外包装和集合包装编成一本教材《运输包装学》，这在国内还是首次。本书的这种做法能否得到包装学术界的共识，本书的内容和编写质量能否为包装教育界所接受，还有待教学实践的考验。

对于本书不足之处，欢迎有关专家批评指正。

编者

于湖南工业大学

2011年8月25日

Contents

第一章 运输包装学概论	1
一、运输包装件	1
二、外包装和内包装	1
三、运输包装学的研究对象	2
四、运输包装分类	2
五、运输包装标准	2
第二章 瓦楞纸箱	4
第一节 瓦楞纸板	4
一、瓦楞纸板的原纸	4
二、瓦楞纸板的抗弯机理	5
三、瓦楞纸板的结构	7
四、瓦楞纸板的技术指标	8
五、瓦楞纸板的种类	9
六、瓦楞纸板的选用	10
七、箱板纸的选配	10
第二节 瓦楞纸箱的箱型	12
一、开槽箱	12
二、套装箱	13
三、木材加固箱	13
第三节 瓦楞纸箱的结构	14
一、箱坯	14
二、手孔与通风孔	14
三、接合与封箱	15
四、瓦楞纸箱的捆扎	17
第四节 瓦楞纸箱的内装物	17
一、箱内产品的数量	17
二、内装物的三维尺寸比	18
三、箱内产品的缓冲与固定	19
四、内装物的外廓尺寸	20
第五节 瓦楞纸箱的尺寸	20
一、瓦楞纸箱的内尺寸	20

二、瓦楞纸箱的制造尺寸	20
三、瓦楞纸箱的外尺寸	21
第六节 瓦楞纸箱的抗压强度	23
一、瓦楞纸箱的压缩试验	23
二、抗压强度的实验研究	23
三、抗压强度的经验公式	26
四、瓦楞纸箱的堆码强度条件	28
第七节 瓦楞纸箱性能试验	28
一、耐破强度试验	28
二、边压强度试验	29
三、黏合强度试验	29
四、空箱承压强度试验	29
五、跌落冲击试验	30
第八节 瓦楞纸箱设计举例	30
第九节 蜂窝纸箱	32
一、蜂窝纸板	32
二、蜂窝纸板制造	35
三、蜂窝纸箱	36
第三章 木箱	38
第一节 木材	38
一、树种	38
二、木材的物理性质	38
三、木材的缺陷	39
四、木材的试验强度	40
五、木材的许用应力	40
六、木材的选用	42
七、胶合板	42
八、竹编胶合板	43
第二节 压杆截面尺寸的图解法	45
一、压杆的稳定条件	45
二、压杆的许用压力公式	45
三、压杆截面尺寸的图解法	47
第三节 滑木箱	48
一、滑木箱的结构	48
二、滑木箱的尺寸	49
三、滑木箱的箱挡布置	50
四、滑木箱的起吊强度	51
五、滑木箱的堆码强度	54
六、滑木箱的构件尺寸	57

七、滑木箱的制箱	58
八、滑木箱设计举例	59
第四节 框架木箱	61
一、框架木箱的结构	61
二、框架木箱的尺寸	63
三、框架结构形式的选择	63
四、框架木箱的起吊强度	64
五、框架木箱的堆码强度	70
六、框架木箱的构件尺寸	73
七、框架木箱的防水与通风	75
八、箱内产品的固定方法	75
九、框架木箱的制箱	77
十、框架木箱设计举例	79
第五节 胶合板框架木箱	83
一、胶合板框架木箱的结构	83
二、胶合板木箱的名义内尺寸	83
三、胶合板木箱的侧面结构	83
四、胶合板木箱的端面结构	85
五、胶合板木箱的顶盖	86
六、胶合板木箱的布钉方法	87
第六节 木箱性能试验	87
一、起吊试验	88
二、喷水试验	88
三、堆码试验	88
四、公路运输试验	89
五、跌落试验	89
第四章 塑料箱	91
第一节 钙塑瓦楞箱	91
一、钙塑材料	91
二、钙塑瓦楞板	92
三、钙塑瓦楞箱	93
第二节 塑料周转箱	94
一、周转箱的种类	94
二、周转箱的结构	95
三、周转箱的尺寸	96
四、周转箱的技术要求	97
五、周转箱强度试验	98
第五章 桶类	100

第一节 钢桶	100
一、钢桶的主要材料	100
二、钢桶的分类	101
三、钢桶的容量和尺寸	102
四、钢桶的结构	104
五、钢桶的制造	106
六、钢桶的技术要求	109
七、钢桶的性能试验	109
第二节 塑料桶	110
一、桶的符号	110
二、桶的分类	110
三、桶的吹塑成型	112
四、桶的技术要求	112
五、桶的试验方法	114
第三节 钢塑复合桶	115
一、桶的分类	115
二、桶的结构	115
三、复合桶的技术要求	116
四、复合桶的性能试验	117
第六章 塑料袋	119
第一节 塑料编织袋	119
一、袋的分类	120
二、袋的型号与规格	120
三、袋的技术要求	120
四、拉伸试验与跌落试验	121
五、编织袋装货物的运输与储存	122
第二节 复合塑料编织袋	122
一、袋的分类	122
二、袋的技术要求	123
三、复合袋的三项试验	124
四、复合袋装货物的运输和储存	125
第三节 袋类运输包装举例：固体化肥袋类运输包装	125
一、常用化肥产品特性	125
二、产品在流通过程中的损坏	126
三、包装材料的选用	127
四、化肥运输包装的技术要求	127
五、化肥运输包装跌落试验	128
六、化肥运输包装的运输与储存	128

第七章 裹包与捆扎类	129
第一节 棉花裹包包装	129
一、棉包尺寸	129
二、棉包重量	130
三、棉包包布	130
四、棉包包索	130
第二节 钢板和钢带的捆扎包装	131
一、钢板和钢带的分类	131
二、热轧钢板的捆扎包装	132
三、热轧钢带的包装和标志	133
四、热轧钢板和钢带的防锈包装	135
第三节 钢管的捆扎包装	135
一、钢管的验收	135
二、钢管的捆扎包装	136
三、钢管表面保护层	137
四、钢管包装标志	137
第八章 集合包装	138
第一节 集合包装与流通合理化	138
第二节 集装器具	139
第三节 木制联运托盘	141
一、托盘的结构	142
二、托盘的尺寸	143
三、木质联运托盘	143
四、托盘的制作	145
五、托盘的试验	145
六、蜂窝纸托盘	146
七、托盘集装货物的固定	146
八、滑板	150
第四节 集装袋	151
一、散装货物 0.5~3t 集装袋	151
二、小包装袋货物 3~10t 集装袋	151
第五节 平板玻璃集装架	155
一、产品特性	155
二、集装架的技术参数	156
三、集装架的结构	156
四、集装架的装箱与开箱	158
五、集装架的套装堆码	159
六、集装架性能试验	159
第六节 集装箱	160

一、集装箱定义	161
二、集装箱运输的优越性	161
三、集装箱的分类	162
四、集装箱的结构	164
五、集装箱的尺寸	166
六、集装箱运输系统	167
七、集装箱内货物的固定	171
八、钢制通用集装箱的性能试验	172
第九章 物流运输包装设计	176
第一节 物流环境	176
一、物流的概念	176
二、物流的三个基本环节	176
三、物流环境	177
四、物流现代化对物流环境的影响	177
第二节 包装的功能	177
一、保护产品	177
二、方便运输	179
第三节 条形码	180
一、EAN-13 码	180
二、条码自动识别技术	181
三、条形码在物流管理系统中的作用	182
第四节 包装尺寸标准化	183
一、包装尺寸的现状	183
二、确定包装尺寸的基数	183
三、包装件基本尺寸的国家标准	184
四、物流模数	188
五、包装尺寸标准化的意义	189
第五节 运输包装标志	190
一、收发货标志	190
二、储运作业标志	194
三、危险货物标志	195
参考文献	198

第一章

运输包装学概论

20 世纪 80 年代，我国的包装工程教育处于开创时期，以工程力学为基础的课程只有包装动力学，没有运输包装。到 90 年代，受日本运输包装设计手册的启发，将包装动力学扩展为运输包装，增加了外包装和集合包装。各种各样的工农业产品都要经过包装形成运输包装件才能投入流通过程。运输包装指的是外包装和集合包装，它的主要功能是方便储运，同时保护外包装及其内装产品，使其在装卸、运输和储存过程中免受机械损伤。包装动力学是研究缓冲包装的理论基础，缓冲包装则是防护包装的一个部分。相对于运输包装来说，防护包装是另一门专业课程，其重要性不亚于运输包装。为了不致混淆运输包装的研究对象，挤占运输包装的内容和篇幅，所以我们将包装动力学从运输包装中分离出来，使其独立成册。

一、运输包装件

将各种工农业产品由生产者输送给消费者的过程称为产品流通过程。不论流通过程多么复杂，它总是由装卸、运输和储存三个基本环节组成的。为了方便装卸、运输和储存，绝大多数工农业产品都要经过包装形成包装件后才能投入流通过程。包装件是由内装产品、包装容器及其附属物经过封合和捆扎组成的物体系统。例如电视机包装件，就是由内装电视机、缓冲衬垫、瓦楞纸箱以及封箱和捆扎材料组成的物体系统。能以单元货物投入流通过程的包装件称为运输包装件。所谓单元货物，意思是它的体积、重量、形状和包装的牢固程度使它能作为一件独立的货物投入流通过程，而且它有适合搬运、起吊和堆码的装置。前面讲的电视机包装件就是运输包装件。

二、外包装和内包装

运输包装件最外层的包装容器、材料和辅助物称为外包装，外包装以内的包装容器、材料和辅助物称为内包装。因此，可以说运输包装件是以产品为核心，由内包装和外包装组成的物体系统。

电视机包装箱内除了缓冲垫外，只有一件产品，是最简单的运输包装件。即便如此，箱内的缓冲垫也可以称为内包装。一般工农业产品的包装结构远比电视机包装复杂。以香烟包装为例，它包括个包装、中包装和外包装三个部分。个包装和中包装就是内包装。香烟个包装称为盒，每盒 20 支，它是香烟销售的基本单位。对于生产厂家和批发商来说，盒这个单位太小，所以又以 10 盒为一条，条就是中包装。对于货物的储运来说，条这个单位还是太小，所以，又以条为单位，装入瓦楞纸箱，形成香烟的运输包装件。香烟的运输包装件有外包装和内包装的区别，形成盒和条的纸盒就是内包装，瓦楞纸箱就是外包装。

电视机包装箱内的缓冲垫是内包装，其功能是减轻电视机在流通过程中的振动与冲击，

防止电视机破损。香烟的内包装（盒与条）除了镀铝防潮纸和纸盒外，盒与条外面都套有密封的塑料薄膜，其作用是使烟丝保持干燥状态，抑制微生物的生长繁殖，防止香烟发霉。电视机和香烟内包装的这种功能称为防护功能，所以将这类内包装又称为防护包装。

三、运输包装学的研究对象

电视机和香烟是两种性质根本不同的产品，它们的内包装虽然不同，但它们的外包装却都是瓦楞纸箱。这些纸箱都方方正正，有利堆码，便于运输和储存；这些纸箱大小和重量适当，而且都开有手孔，便于人力搬运。除了方便储运以外，对电视机和香烟的外包装都有相同的要求：具有足够的强度，能防止装卸、运输和储存过程中各种机械作用伤及外包装和内装产品。分析各种工农业产品的运输包装件的外包装，能得到与电视机和香烟外包装相同的结论。虽然各种工农业产品的性质和外包装各不相同，产品在流通过程中的损坏也有各种各样的形式，但它们的外包装却有相同的功能，即方便储运、保护产品。这里讲的保护产品指的是外包装要有足够的强度，能保护内包装及内装产品，免受来自流通过程中的各种机械损伤。这些外包装就是本书所要讨论的运输包装。或者说以方便储运、保护内装产品免受外界机械损伤的各种工农业产品的外包装统称为运输包装。

第二次世界大战以后，随着经济的不断发展，各种货物的运量急剧增加，装卸费用大幅度上升，装卸人力不足逐渐成为一些发达国家的突出问题。集合包装就是在解决这个问题过程中产生和发展起来的。集合包装意思是将许多小件的有包装或无包装货物通过集装器具集成一个可以起吊和叉举的大型储运单元，使用机械进行装卸和搬运作业。

运输包装学是专门研究运输包装（包括外包装和集合包装）的一门学问。具体地说，这门学问从既安全又经济的原则出发，研究外包装和集合包装结构的设计原理与设计方法。

四、运输包装分类

GB 9174—88《一般货物运输包装通用技术条件》将运输包装分为以下8类。

1. 箱类

木箱、花格木箱、胶合板箱、瓦楞纸箱、钙塑瓦楞箱。

2. 桶类

钢桶、胶合板桶、硬纸板桶、琵琶形木桶、硬塑料桶。

3. 袋类

麻袋、布袋、纸袋、聚丙烯编织袋、复合袋。

4. 裹包类

布包、麻包、席包、纸包、塑料编织布包。

5. 夹板、轴盘类

6. 筐篓类

7. 坛类

8. 局部包装及捆绑类

五、运输包装标准

保护产品、方便运输是包装的基本功能，也是物流系统对包装的基本要求。包装能不能保护产品，能不能方便运输，要从两个方面分析：一是物流系统的环境条件；二是包装的质量好坏。同样的包装，物流系统的环境条件好，就能将产品安全而又顺利地输送到消费者手中；物流系统的环境条件差，产品就有可能损坏，或者在物流系统的某些环节造成麻烦甚至

发生事故。谈到包装质量的好坏,情况也是这样。所以,包装标准包括包装质量标准和物流环境标准。

现以瓦楞纸箱为例,说明包装标准的概念。作为外包装的瓦楞纸箱,在物流系统的各个环节(装卸、运输、储存)会受到振动、碰撞、挤压、堆码和潮湿大气的影响,如果瓦楞纸箱没有足够的强度,纸箱就会破损,不但没有能力保护内装产品,还会在流通过程中造成许多麻烦(如堆垛的倒塌、货物的散包等)。对纸箱强度起决定性作用的因素是瓦楞纸板的耐破强度、戳穿强度、边压强度和含水率。瓦楞纸板的这些性能指标与流通环境的严酷程度有关。环境中的机械作用愈是强烈,瓦楞纸板的这些性能指标就定得愈高;否则,就要降低。所以这些关键因素是与流通环境相关的因素。与产品相关的因素是纸箱内装物重量^①和最大综合尺寸。因此,对这些关键因素作出限制性规定,这些限制性规定就是瓦楞纸箱标准。

包装标准是在包装科学技术原理指导下,在总结长期的生产实践经验的基础上,通过利益相关的各个方面充分协商后制定出来的。包装标准从各种工农业产品的产品特性和流通环境出发,对各种运输包装的包装材料、包装结构、技术规范、技术要求和检验规则都有周密而明确的规定。这些标准就是设计人员设计各种运输包装的科学依据。产品外包装的功能是方便储运、保护产品及其内包装免受外来的机械损伤。外包装的这些功能决定了运输包装设计的理论基础主要是工程力学。运输包装主要有箱、桶、袋,其形状比材料力学研究的直杆复杂得多,涉及的力学问题的难度也比材料力学大得多,远远超出材料力学的研究范围。离开包装标准,设计人员怎么能独立地完成各种工农业产品的运输包装设计呢?可以说,离开这些包装标准,运输包装设计将无从下手。所以,设计人员必须认真学习、熟悉和实施这些包装标准,不断提高自己的能力,进而提高运输包装的设计水平。

① 即质量,本书为了与表示“品质”的质量相区别,仍沿用旧称重量。

第二章

瓦楞纸箱

用作运输包装的瓦楞纸箱于1907年出现于美国。第一次世界大战期间木箱在运输包装中占80%，瓦楞纸箱仅占20%。第二次世界大战时瓦楞纸箱的比例猛增到80%，它与木箱的位置恰好倒换过来，成为最重要的运输包装容器。瓦楞纸箱之所以能得到广泛的应用，不仅因为它以纸为原料，更因为它具有科学的结构。瓦楞纸箱主要用来包装食品、饮料、水果、家用电器、日用百货、玻璃及陶瓷制品等。瓦楞纸箱的主要优点是重量轻，成本低，容易加工，便于印刷。回收处理时无公害，且有再利用的价值。由于纸箱能够折叠，所以空箱所占空间很小，便于搬运和储存。瓦楞纸箱虽然有许多突出的优点，但其强度毕竟不高，如果不用木材加固，内装物重量最好不超过55kg，其长、宽、高之和不超过250cm。瓦楞纸箱吸水后强度剧烈下降，甚至破烂，这是设计和使用时必须注意的问题。

第一节 瓦楞纸板

瓦楞纸板是制作瓦楞纸箱的基本材料，它是以纸为原料在瓦楞纸板机上黏合而成的，其基本结构如图2-1所示。两个平行的平面纸页称为面纸，中间的波形纸页称为瓦楞，也称为芯纸或者称为楞芯。

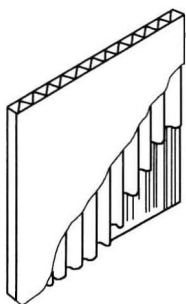


图2-1 瓦楞纸板的基本结构

一、瓦楞纸板的原纸

生产瓦楞纸板的原料纸称为原纸。不管是木材还是非木材（如稻草、麦草、芦苇等）造纸植物纤维材料，都是由纤维素、半纤维素、木素及少量树脂、果胶等组成的。木素存在于纸张中会使纸张变黄变脆，必须将它们除去。制浆时从浆料除去木素、树脂、果胶等有害成分的方法有三种，即机械法、化学法和半化学法。半化学法是将化学法与机械法相结合的方法。机械法是用皮原木压在磨石表面，旋转磨石将原木制成磨木浆。化学制浆法又分为亚硫酸盐和硫酸盐法。亚硫酸盐法就是用 H_2SO_3 和 $\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2$ 的水溶液与原木共同蒸煮而除去木素的方法。硫酸盐法是用 NaOH 和 Na_2S 的水溶液与原木共同蒸煮而除去木素的方法。硫酸盐法比较和缓，主要用来制造牛皮纸和强度较高的包装袋纸。半化学法一般是将木片在一定温度下用 NaOH 、 Na_2SO_3 、 Na_2S 进行预处理，然后再在一定温度下进行机械磨浆。草浆、苇浆也是用半化学法制取的。半化学法主要用于生产箱板纸和瓦楞原纸。用作瓦楞纸板面纸的原纸称为箱板纸；完全用硫酸盐纸浆制成的箱板纸称为牛皮箱板纸；中层为半化学浆而两面层为

牛皮纸浆的圆网纸称为圆网牛皮箱板纸；面层为牛皮纸浆而中间层为废纸浆的箱板纸称为黄麻箱板纸。用作芯纸的原纸称为瓦楞原纸。生产瓦楞原纸的纸浆有牛皮浆、半化学浆、草浆和废纸浆。出口包装常用的是半化学浆瓦楞原纸，它强度较高，而且比牛皮浆便宜。

按照我国规定的技术指标，箱板纸有 A、B、C、D、E 五个等级，见表 2-1。瓦楞原纸有 A、B、C、D 四个等级，见表 2-2。A、B 两个等级的适宜制造出口包装用瓦楞纸板，其中 A 等用于精细、贵重和冷藏物品的包装，C 等适宜制造大型产品包装用的瓦楞纸板，D 等适宜制造一般产品包装用的瓦楞纸板，E 等用来制造轻载瓦楞纸板。

表 2-1 箱板纸技术指标 (GB 13024—2003)

指标名称		单位	规 定				
			A	B	C	D	E
定量	g/m ²	180±5%	200±5%	230±5%	310±5%	360±5%	
		250±5%	280±5%	300±5%	420±5%	475±5%	
		320±5%		340±5%	530±5%	0	
		360±5%		420±5%			
		420±5%		0			
紧度不小于		g/m ³	0.72	0.70	0.65	0.60	0.60
耐破指数 不小于	200~230g/m ²	kPa·m ² /g	3.00	—	—	—	—
	≥250g/m ²		2.80	2.70	1.53	1.12	0.92
环压指数 不小于	200~230g/m ²	N·m ² /g	9.20	—	—	—	—
	≥250g/m ²		10.6	9.2	6.5	5.7	5.3
横向耐折 度不小于	≤340g/m ²	次	55(80)	35(50)	14(18)	6	3
	360g/m ²		55(80)	35(50)	12(14)	5	2
	420g/m ²		55(80)	35(50)	8(10)	4	2
	475g/m ²		55(80)	35(50)		3	1
	530g/m ²		55(80)	35(50)		—	1
吸水性(正/反) 不小于		g/m ²	35.0/50.0	40.0/—	60.0/—	—	—
交货水分		%	8.0±2.0	9.0±2.0	11.0±2.0	11.0±3.0	11.0±3.0

表 2-2 瓦楞芯纸技术指标 (GB 13023—1991)

指标名称		单位	规 定			
			A	B	C	D
定量	g/m ²	112±6.0	160±8.0			
		127±6.0	180±9.0			
		140±7.0	200±10.0			
紧度不小于		g/m ³	0.50		0.45	
横向环压指数不小于	N·m ² /g	112g/m ²	7.10	5.50	3.80	3.30
		127~140g/m ²	7.70	6.30	4.40	3.50
		160~200g/m ²	9.20	7.70	5.50	3.50
纵向裂断长度不小于		km	4.30	3.75	2.70	2.15
交货水分		%	8.0±2.0	8.0 ^{+3.0} _{-2.0}	9.0 ^{+3.0} _{-2.0}	

二、瓦楞纸板的抗弯机理

瓦楞纸箱之所以得到广泛应用，根本原因是瓦楞纸板有科学的结构，能用较少的材料使

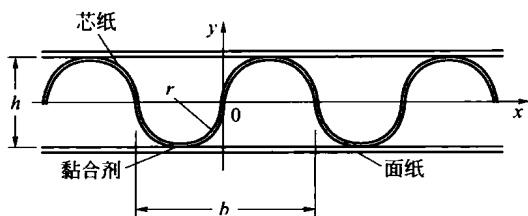


图 2-2 横截面惯性矩计算简图

纸和芯纸厚度很小，故一个瓦楞宽度的横截面惯性矩为

$$I_x = h^3 \left[\frac{1}{2}(\delta_1 + \delta_2) + \frac{1}{8}\pi\delta_3 \right] \quad (2-1)$$

一个瓦楞宽度的横截面积为

$$A = b \left(\delta_1 + \delta_2 + \frac{1}{2}\pi\delta_3 \right) \quad (2-2)$$

式中， δ_1 、 δ_2 为面纸厚度； δ_3 为芯纸厚度。

只要比较瓦楞纸板与同宽同面积的实心厚纸板的惯性矩，就能看出瓦楞纸板结构上的优越性。

瓦楞纸板中瓦楞的主要作用是支撑内、外面纸，使它们之间保持一定的距离，使横截面获得预想的惯性矩。一般来说，瓦楞纸板弯曲时外面纸受拉，内面纸受压。不论是外面纸还是内面纸，如果没有瓦楞的支撑力 [图 2-3(a)]，都不能保持平衡状态。根据作用与反作用定律，瓦楞支撑内、外面纸，内、外面纸必然会挤压瓦楞 [图 2-3(b)]，因此瓦楞芯纸必须有一定的抗压强度。这种抗压强度通常称为瓦楞纸板的平压强度。如果瓦楞纸板没有足够的平压强度，瓦楞就被压塌，内、外面纸就会靠拢，横截面的惯性矩就会急剧减小，瓦楞纸板就会丧失它原有的抗弯强度和刚度。

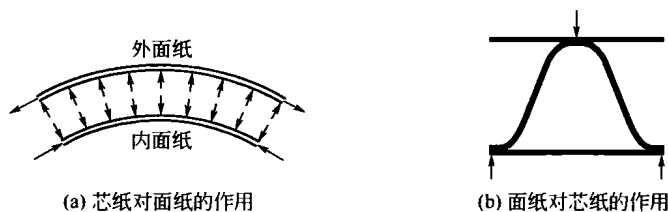


图 2-3 面纸与芯纸的相互作用

【例 2-1】 瓦楞高度为 4.8mm，内、外面纸厚度均为 0.41mm，芯纸厚度为 0.23mm，假设瓦楞为半圆弧形，试计算一个瓦楞宽度的横截面惯性矩。如果将同样横截面积的材料制成实心厚纸板，在同样宽度上的惯性矩又是多少？

解： 一个瓦楞宽度的横截面惯性矩为

$$\begin{aligned} I_x &= h^3 \left[\frac{1}{2}(\delta_1 + \delta_2) + \frac{\pi}{8}\delta_3 \right] \\ &= (4.8)^3 \left[\frac{1}{2}(0.41 + 0.41) + \frac{\pi}{8} \times 0.23 \right] \\ &= 55.33 \text{mm}^4 \end{aligned}$$

瓦楞宽度 $b = 2h = 9.6\text{mm}$ ，与它对应的横截面积为

$$\begin{aligned}
 A &= b \left[(\delta_1 + \delta_2) + \frac{\pi}{2} \delta_3 \right] \\
 &= 9.6 \times \left[(0.41 + 0.41) + \frac{\pi}{2} \times 0.23 \right] \\
 &= 11.34 \text{mm}^2
 \end{aligned}$$

如果将面积为 11.34mm^2 的材料制成宽度为 9.6mm 的实心纸板，其厚度为 1.18mm ，其横截面惯性矩为

$$I_x = \frac{b\delta^3}{12} = \frac{9.6 \times 1.18^3}{12} = 1.31 \text{mm}^4$$

两者对比，瓦楞纸板的惯性矩是同宽同横截面积的实心厚纸板的 42 倍。

三、瓦楞纸板的结构

1. 瓦楞的形状

瓦楞的基本形状有 U 形和 V 形，U 形的楞峰接近圆形，V 形的楞峰像三角形，如图 2-4 所示。U 形瓦楞的优点是：①柔软，富有弹性，只要变形不超出弹性范围，在撤去平面压力后 U 形瓦楞能迅速恢复原来的形状；②采用 U 形瓦楞，瓦楞纸板机的楞辊磨损较慢，制出的瓦楞纸板厚度比较稳定；③U 形瓦楞比较圆滑，几乎不会出现楞辊在楞峰处切断瓦楞芯纸的现象，因而可以提高瓦楞纸板机的轧速速度。U 形瓦楞的缺点是瓦楞原纸和黏合剂的用量较大，不够经济。平面压缩时的应力变形曲线（图 2-4）表明，V 形瓦楞比较坚硬，强度较高，但变形一旦超出弹性范围瓦楞就被压溃，完全丧失复原性。采用 V 形瓦楞，瓦楞芯纸和黏合剂的用量虽少，但楞辊容易磨损，使用寿命短，制出的瓦楞纸板厚度不稳定，且在楞峰处容易切断芯纸。

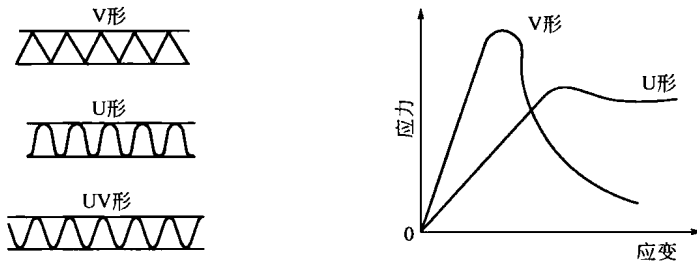


图 2-4 U 形、V 形瓦楞和平面压缩时的应力应变曲线

根据以上分析，我国规定的瓦楞形状介于 U 形和 V 形之间，称为 UV 形瓦楞，其弹性和加工性能优于 V 形，而平压强度和用料又优于 U 形。

2. 瓦楞纸板的楞型

瓦楞高度以及每 30cm 长度上的瓦楞个数称为瓦楞纸板的楞型。常用的楞型有四种：A 型、B 型、C 型和 E 型，其数值列于表 2-3。已知楞型，不难计算两个相邻瓦楞的间距。例如 A 型瓦楞，每 30cm 长度上的瓦楞个数为 30 ± 2 ，两相邻瓦楞的间距应该是 $8.82 \text{mm} \pm 0.49 \text{mm}$ 。已知瓦楞高度和间距，瓦楞的尺寸就完全确定。所以，楞型实质是对瓦楞尺寸的有关规定，而且这些规定已为整个行业所接受和采用。

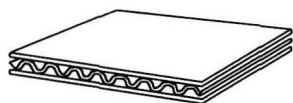
运输包装常用的楞型为 A 型和 B 型。A 型的瓦楞高度和间距最大，柔软且富有弹性，缓冲性能较好。B 型的平压强度较高，适合包装较硬的产品。由于瓦楞间距较小，面纸比较平坦，印刷效果较好，且容易裁切加工。C 型介于 A 型和 B 型之间，实际应用较少。E 型

表 2-3 瓦楞纸板楞型

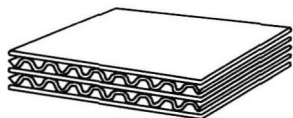
楞型	楞高/mm	楞数/(个/300mm)	楞型	楞高/mm	楞数/(个/300mm)
A	4.5~5	34±2	B	2.5~3	50±2
C	3.5~4	38±2	E	1.1~2	96±2

是美国开发的新楞型，目的是代替厚纸板。

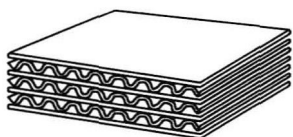
3. 瓦楞纸板的层数



(a) 单瓦楞纸板(三层板)



(b) 双瓦楞纸板(五层板)



(c) 三瓦楞纸板(七层板)

图 2-5 瓦楞纸板的层数

瓦楞纸板横截面上原纸的层数是它最重要的结构特征。就瓦楞芯纸的层数来说，运输包装常用的是单瓦楞纸板、双瓦楞纸板和三瓦楞纸板，见图 2-5。单瓦楞纸板有外面纸、内面纸和瓦楞芯纸，共计三层，所以又称为三层板。三层板在瓦楞纸板中所占比例最大，主要用来包装重量较轻的产品。双瓦楞纸板的面纸、中间垫纸和瓦楞芯纸共计五层，所以又称为五层板，主要用来包装重量较大的易损产品。双瓦楞纸板通常是由 B 型和 A 型瓦楞组合而成的，一般将 A 型瓦楞放在箱的内侧，用来缓冲，B 型瓦楞置于箱的外侧，使箱面印刷起来更美观。三瓦楞纸板的面纸、中间垫纸和瓦楞芯纸共计七层，所以又称为七层板，主要用来包装超重型产品。

瓦楞纸板的厚度是瓦楞高度、面纸及中间垫纸的厚度之和，其参考值如表 2-4 所示。表中的 A 表示单瓦楞纸板（三层板），楞型为 A 型。AB 表示双瓦楞纸板（五层板），其中一层为 A 型瓦楞，另一层为 B 型瓦楞。

表 2-4 一些瓦楞纸板的厚度参考值

瓦楞型	A	C	B	E	AA	AC	CC	AB	BC	AE	BB	BE
板厚/mm	5.5	4.3	3.3	2.3	10.4	9.4	8.4	8.1	7.1	7	6.1	5

四、瓦楞纸板的技术指标

1. 定量

瓦楞纸板单位面积上的重量称为定量，其单位为 g/m^2 ，其计算方法为：

$$\text{瓦楞纸板定量} = \text{内、外面纸及各中间垫纸定量之和} + \sum(\text{瓦楞芯纸定量} \times \text{瓦楞展开系数}) + \text{黏合剂定量} \quad (2-3)$$

式中的展开系数如表 2-5 所示，淀粉黏合剂的定量为 $80 \sim 100 \text{g}/\text{m}^2$ ，泡花碱黏合剂的定量为 $100 \sim 120 \text{g}/\text{m}^2$ 。

表 2-5 瓦楞纸板的瓦楞展开系数

楞型	A	C	B	E
展开系数	1.5~1.6	1.4~1.6	1.35~1.4	1.2~1.3

2. 耐破强度

将试片夹在两块环形金属压板之间，隔着胶膜对板面施加油压，试片破裂时单位面积上的压力就是瓦楞纸板的耐破强度 [如图 2-6(a) 所示]，其单位为千帕 (kPa)。耐破强度反