

PACKAGING · PRINTING



包装与材料工程学院
COLLEGE OF PACKAGING AND MATERIALS ENGINEERING



瓦楞纸箱强度设计



瓦楞纸箱强度设计

- ▣ 第一节 瓦楞纸板的抗压机理
- ▣ 第二节 瓦楞纸箱的抗压强度
- ▣ 第三节 影响瓦楞纸箱抗压强度的因素
- ▣ 第四节 瓦楞纸箱的抗压强度计算
- ▣ 第五节 瓦楞纸箱的抗压强度设计举例

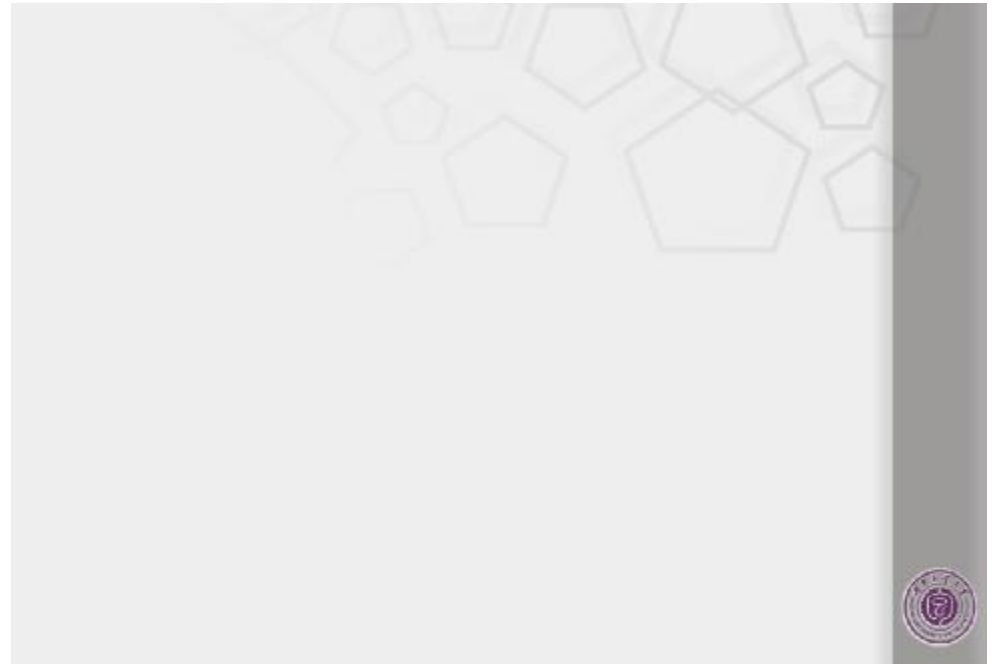
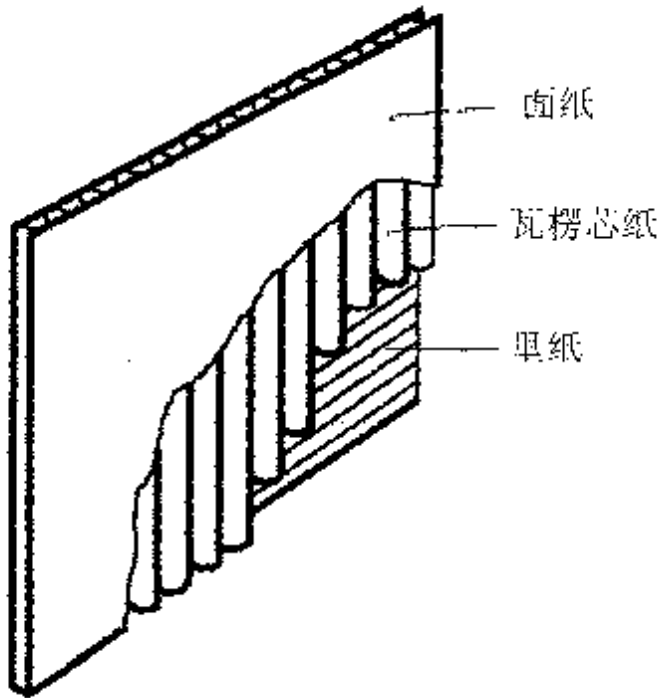
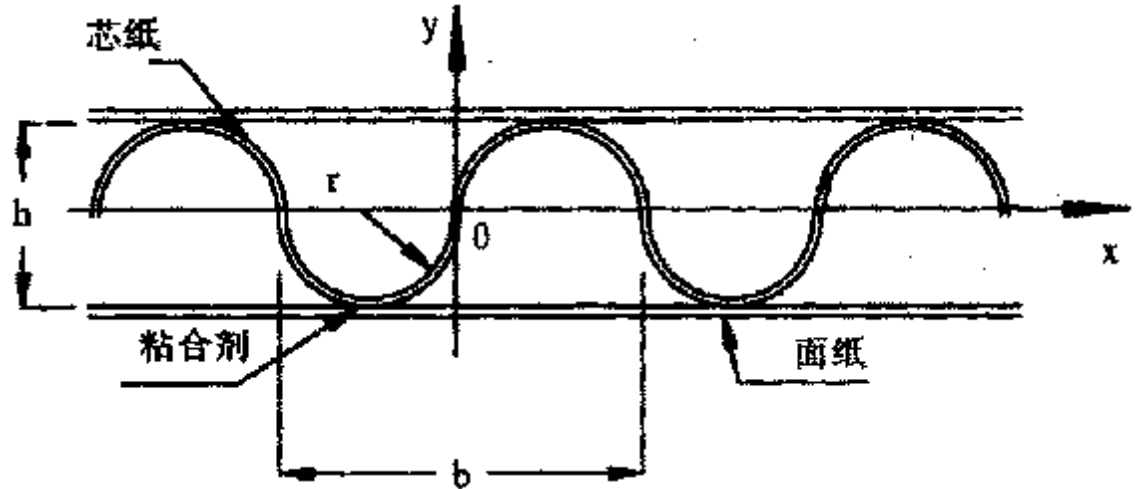




一、瓦楞纸板的抗压机理

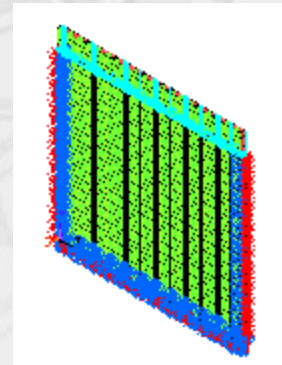
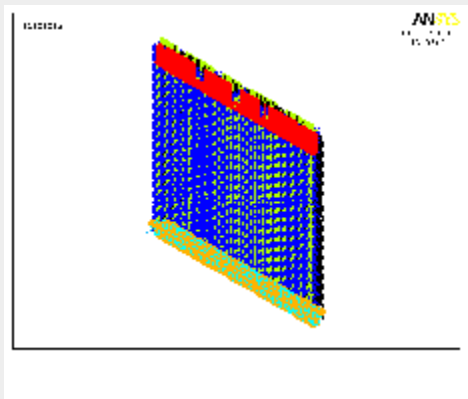
p 材料本身

p 结构的影响





一、瓦楞纸板的抗压机理



楞型	楞高	样品重量	第一种约束方式		第二种约束方式	
			屈曲载荷	克重材料抗压效率	屈曲载荷	克重材料抗压效率
A	5mm	28.256g	243N	8.6N/g	488N	17.3N/g
C	4mm	27.816g	157N	5.6N/g	449N	16.2N/g
B	3mm	26.888g	85N	3.2N/g	397N	14.8N/g





二、瓦楞纸箱抗压强度

瓦楞纸箱的强度主要指的是抗压强度和耐破度，它们既是**评价**瓦楞纸箱的重要指标，又是**设计**瓦楞纸箱的重要条件。

1. 抗压试验：

经过纸箱抗压试验，可得到压力—变形量的关系曲线。



纸箱抗压试验机





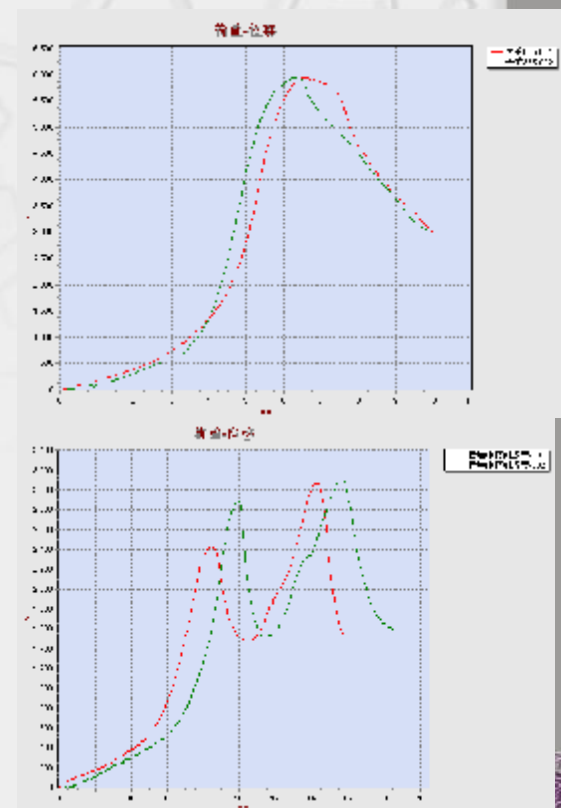
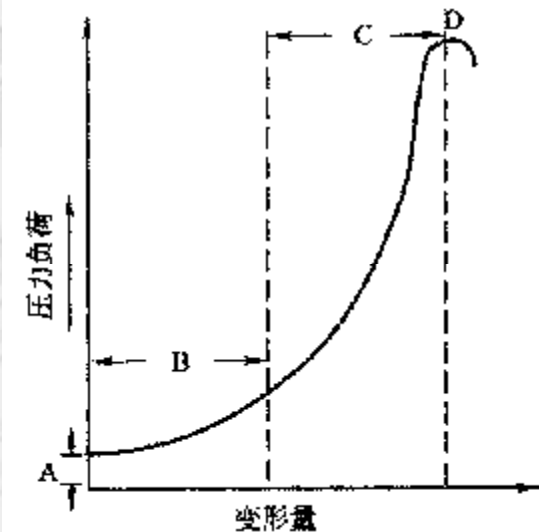
二、瓦楞纸箱抗压强度

由图可以看到：

- ①曲线A段为预加负荷阶段，以确保纸箱与抗压机压板接触；
- ②曲线B段为横压线被压下阶段，当负荷略有增加时，变形量变化很大；
- ③曲线C段为纸箱侧壁受压阶段，当负荷增加时，变形量增加缓慢；
- ④曲线D段为纸箱压溃点，此时纸箱被完全破坏。

2. 抗压强度评价应包括以下几方面：

- ▲最大负荷
- ▲变形量
- ▲测试值的离散程度





三、影响瓦楞纸箱强度的因素

- ρ 客观因素：取决于材料的先天条件，不可避免。
 - 1.原纸质量——原纸环压强度——纸板抗压强度
 - 2.瓦楞纸板的结构——瓦楞形状、楞型、层数、种类
 - 3.原纸含水率

- ρ 主观因素：取决于后期设计、制造，可避免
 - 1.箱型——沿瓦楞方向承受压力的能力大，抗压强度大
 - 受力的纸板层数越多，抗压强度越大
 - 多层纸板之间粘结比不粘结强度要高



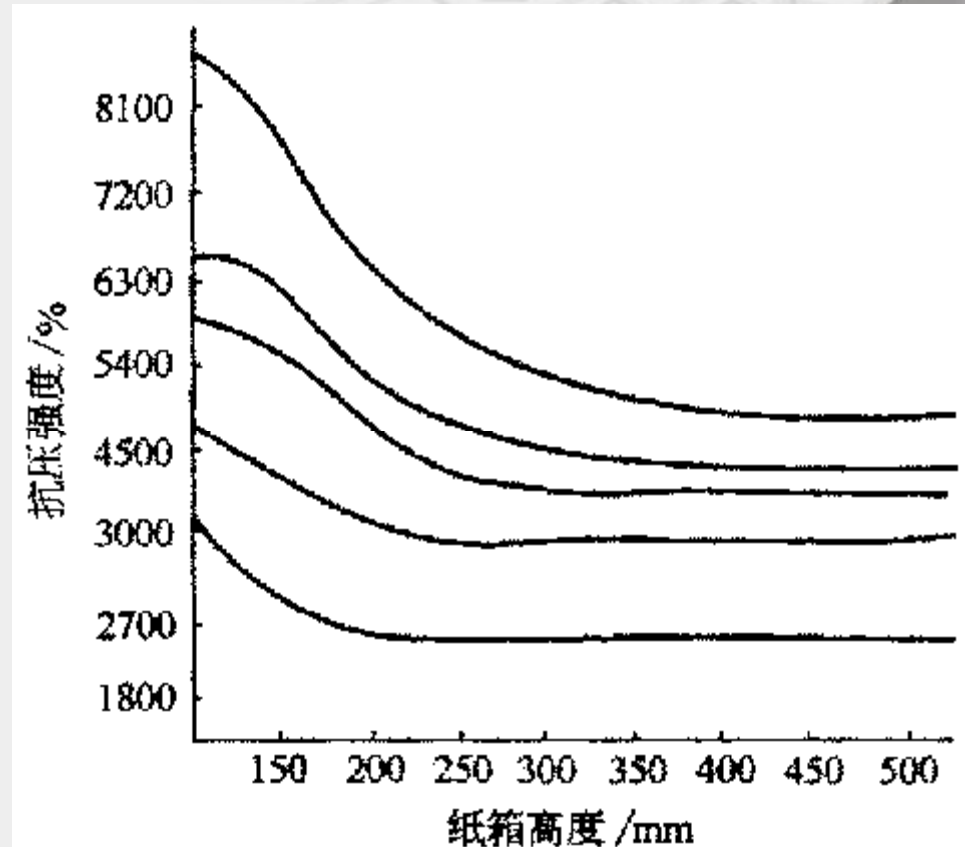


三、影响瓦楞纸箱强度的因素

2. 纸箱的形状:

① 纸箱的周长: 理论上周长越长, 抗压强度越好。但试验证明, 两者的增加不成比例。

② 纸箱的高度: 在瓦楞纸箱周长一定的情况下, 当纸箱的高度限定在一定范围内时, 纸箱的高度越高其抗压强度越低; 但当高度超出了一定的限定范围后, 随着纸箱高度的增加抗压强度下降的趋势不明显。

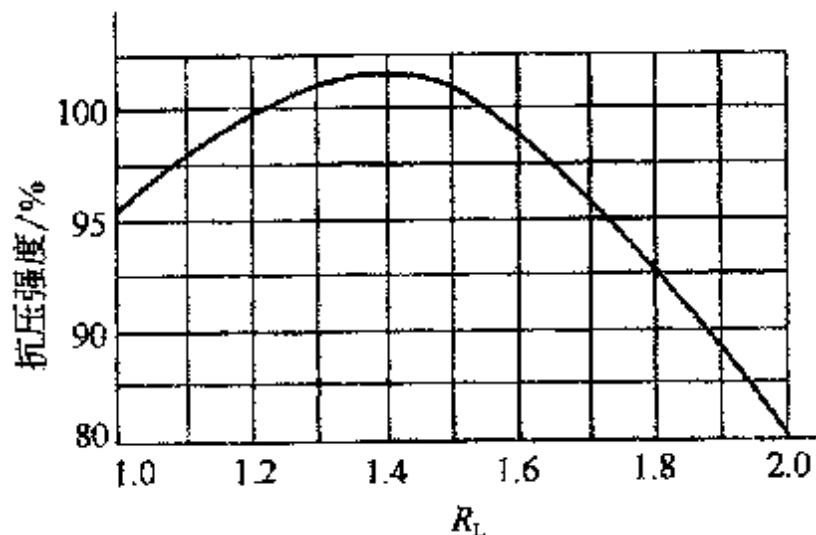


三、影响瓦楞纸箱强度的因素

③ 纸箱的长宽比 R_L ：一般箱角处的抗压强度最大，离箱角越远，抗压强度越低。但试验证明，抗压强度的峰值出现在 $R_L = 1.4$ 附近。

3. 纸板、纸箱的制造工艺：

影响最大的主要是纸板含水率和瓦楞制作成型引起的纸板厚度的变化。



瓦楞纸板制作成型与否对强度的影响

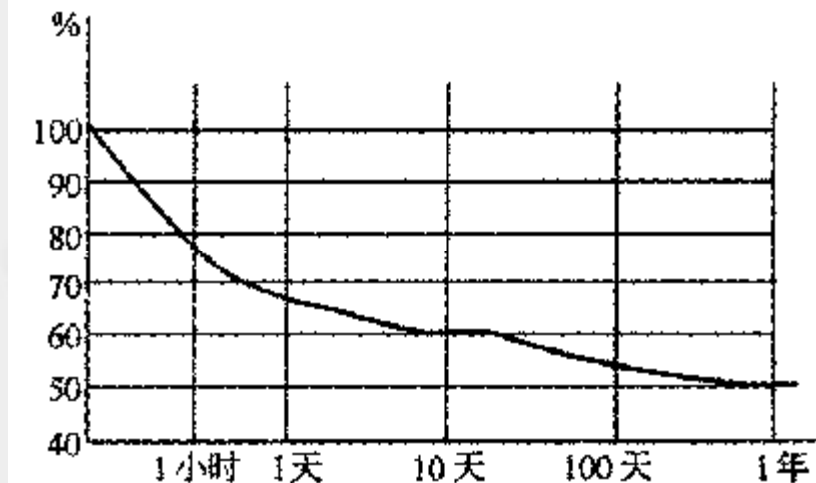
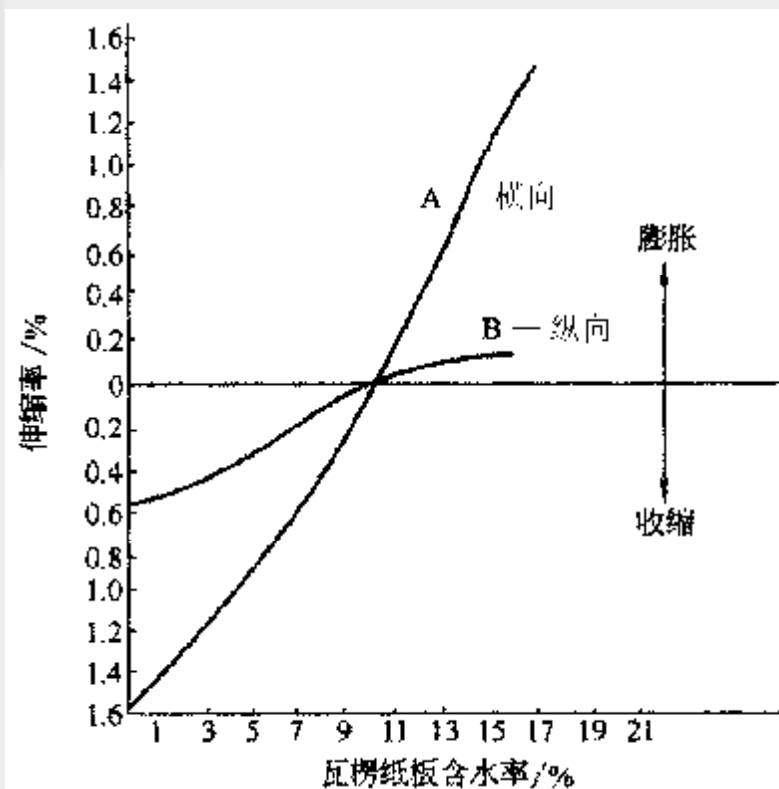
强度类别	完全成型/%	不完全成型/%	强度类别	完全成型/%	不完全成型/%
耐破强度	100	100	边压强度	100	85~90
冲击强度	100	80~85	纸箱抗压强度	100	70~85
平压强度	100	50~60			



三、影响瓦楞纸箱强度的因素

4.流通条件:

①储存时间: 仓储时间越长, 抗压强度损失越大。



②大气湿度: 大气相对湿度的变化影响纸箱的吸潮量; 而纸板的含水量影响纸板的收缩和膨胀。

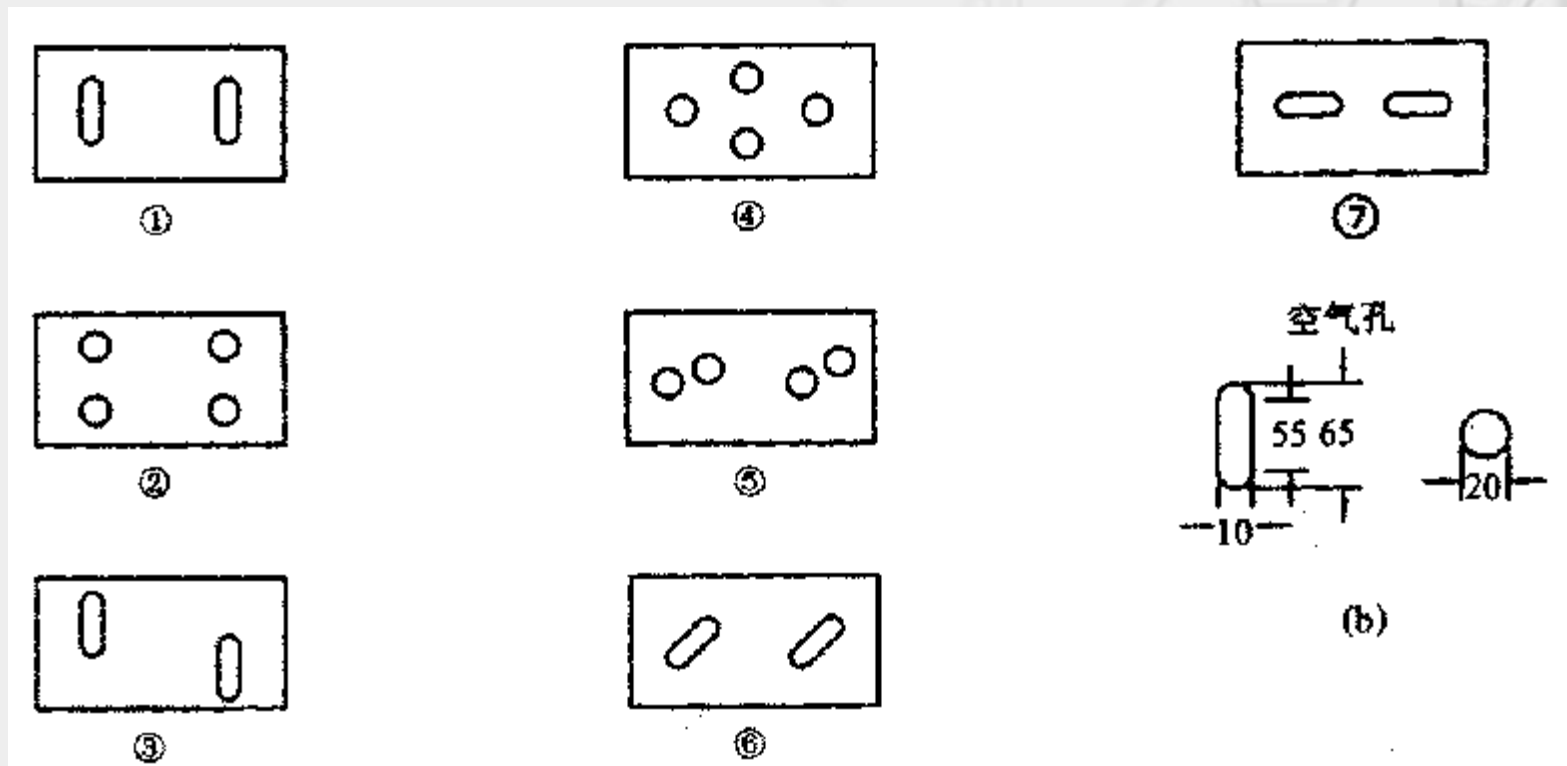


三、影响瓦楞纸箱强度的因素

ρ 手孔与通风孔:

一般手孔尺寸为 $100\text{mm} \times (30 \sim 40)\text{mm}$ 的腰圆孔, 有半切型和全切型。

通风孔一般为腰圆孔或圆孔, 尺寸为 $10 \times 65\text{mm}$ 或 $\phi 20\text{mm}$ 。





四 瓦楞纸箱的抗压强度经验公式

▲凯利卡特公式 (K.Q.Kellicutt)

$$P = P_x \cdot \left[\left(\frac{aX_z}{Z/4} \right)^{2/3} \cdot J \cdot Z \right] = P_x \cdot F \quad (1)$$

其中: P ——瓦楞纸箱的抗压强度, N

P_x ——瓦楞纸板原纸的综合环压强度, N/cm

aX_z ——瓦楞常数

Z ——瓦楞纸箱周边长, cm

J ——纸箱常数

F ——综合系数

$$P_x = \sum R_n + \sum CR_m \quad (2)$$

其中: P_x ——瓦楞纸板原纸的综合环压强度N/cm;

R_n ——面纸、里纸环压强度 N/cm;

R_m ——瓦楞原纸环压强度N/cm;

C ——瓦楞展开系数;





四、瓦楞纸箱的抗压强度经验公式

p 单瓦楞纸板的综合环压强度：

$$P_x = R_o + C \cdot R_m + R_i$$

(3)

其中， P_x ——瓦楞纸板原纸的综合环压强度，N/cm

R_o ——面纸环压强度， N/cm

R_i ——里纸环压强度， N/cm

R_m ——瓦楞原纸环压强度， N/cm

C ——瓦楞展开系数





四、瓦楞纸箱的抗压强度经验公式

如果选用的是双瓦楞纸板（如AB楞），则综合环压强度为：

$$P_x = R_o + C_A \cdot R_{mA} + R_c + C_B \cdot R_{mB} + R_i$$

(4)

其中， P_x ——瓦楞纸板原纸的综合环压强度，N/cm

R_o ——面纸环压强度，N/cm

R_c ——中纸环压强度，N/cm

R_i ——里纸环压强度，N/cm

R_{mA} 、 R_{mB} ——瓦楞原纸环压强度，N/cm

C_A 、 C_B ——瓦楞展开系数

如果选用其它楞型及组合的纸板，综合环压强度可类似求出。





四、瓦楞纸箱的抗压强度经验公式

p 综合系数

$$F = \left[\left(\frac{aX_z}{Z/4} \right) \right]^{2/3} \cdot J \cdot Z$$

(5)

aX_z ——瓦楞常数

Z ——瓦楞纸箱周边长, cm, $Z=2 \cdot (L'+B')$

L' ——纸箱长度外部尺寸, cm

B' ——纸箱宽度外部尺寸, cm

J ——纸箱常数

F ——综合系数

只要求出综合系数 F 与综合系数 F , 便可得出纸箱抗压强度:

(4)





四、瓦楞纸箱的抗压强度经验公式

上述各式中的 aX_z 、 J 、 C 等值可查下表

单瓦楞纸箱凯里卡特常数值

常数 \ 楞型	A	B	C
aX_z	8.36	5.00	6.10
J	1.10	1.27	1.27
C	1.532	1.361	1.477

双瓦楞纸箱凯里卡特常数值

常数 \ 楞型	AA	BB	CC	AB	BC	AC
aX_z	16.72	10.00	12.20	13.36	11.10	14.46
J	0.94	1.08	1.09	1.01	1.08	1.02

三瓦楞纸箱凯里卡特常数值

常数 \ 楞型	AAA	BBB	CCC	ABA	ACA	BAB	CAC	BCB	CBC	ABC
aX_z	25.08	15.00	18.30	21.72	22.82	18.36	20.56	16.10	17.20	19.46
J	0.89	1.02	1.03	0.93	0.94	0.98	0.98	1.02	1.02	0.98





四 瓦楞纸箱的抗压强度经验公式

▲马基公式

若已知瓦楞纸板的边压强度测定值时，0201型纸箱的抗压强度可采用马基公式计算：

$$P_m = 5.784P_c Z^{0.492} t^{0.508} \quad (3)$$

其中： P_c 为纸板的边压强度测定值（N/cm）； Z 为纸箱周长（cm）； t 为纸板厚度（cm）。

▲沃福公式：以瓦楞纸板的边压强度和厚度作为瓦楞纸板的参数，以箱体周边长、长宽比和高度作为纸箱结构参数计算纸箱抗压强度：

$$P_w = \frac{1.1772P_c \sqrt{tZ} (0.3228R_L - 0.1217R_L^2 + 1)}{100H_o^{0.041}}$$

式中： P_w 为利用沃福公式计算的抗压强度（N）； P_c 瓦楞纸板边压强度（N/m）； t 瓦楞纸板厚度（mm）； Z 纸箱周边长（cm）； R_L 纸箱长宽比； H_o 纸箱外高度尺寸（cm）





6.4.3 瓦楞纸箱的抗压强度经验公式

ρ 利用瓦楞纸箱抗压强度计算公式的运算方法有两种：

校核：按预定条件计算出瓦楞纸箱的抗压强度，看其是否能满足堆码强度要求；

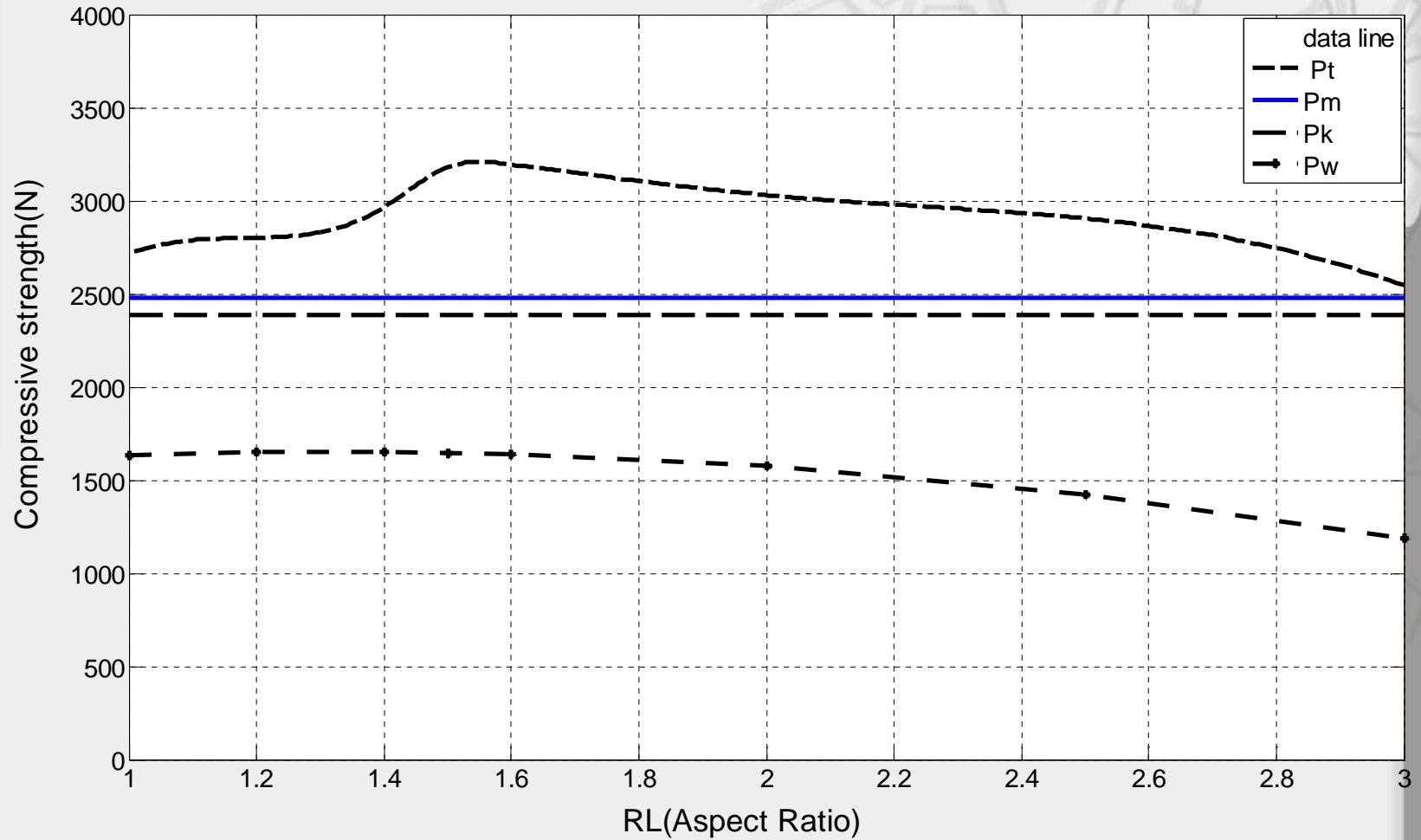
设计：根据所定的抗压强度要求来选择一定的瓦楞纸板，进而选择一定的瓦楞原纸。

根据试验证明：增加瓦楞原纸克重，瓦楞纸板的边压强度会随之增加，但对耐破强度影响甚微；而增加面纸克重时，瓦楞纸板的边压强度和耐破强度都会有所增加。故应先采用低克重的瓦楞原纸，而主要靠增加里、面纸的克重来增加瓦楞纸板的强度。





6.4.4 某长宽比系列纸箱抗压强度与计算值与测试值的比较





GB-T 6543-2008 运输包装用单瓦楞纸箱和双瓦楞纸箱

表 1 瓦楞纸箱的种类

种类	内装物最大质量/kg	最大综合尺寸 ^a /mm	1类 ^b		2类 ^c	
			纸箱代号	纸板代号	纸箱代号	纸板代号
单瓦楞纸箱	5	700	BS-1.1	S-1.1	BS-2.1	S-2.1
	10	1 000	BS-1.2	S-1.2	BS-2.2	S-2.2
	20	1 400	BS-1.3	S-1.3	BS-2.3	S-2.3
	30	1 750	BS-1.4	S-1.4	BS-2.4	S-2.4
	40	2 000	BS-1.5	S-1.5	BS-2.5	S-2.5
双瓦楞纸箱	15	1 000	BD-1.1	D-1.1	BD-2.1	D-2.1
	20	1 400	BD-1.2	D-1.2	BD-2.2	D-2.2
	30	1 750	BD-1.3	D-1.3	BD-2.3	D-2.3
	40	2 000	BD-1.4	D-1.4	BD-2.4	D-2.4
	55	2 500	BD-1.5	D-1.5	BD-2.5	D-2.5

^a 综合尺寸是指瓦楞纸箱内尺寸的长、宽、高之和。
^b 1类纸箱主要用于储运流通环境比较恶劣的情况。
^c 2类纸箱主要用于流通环境较好的情况。

注：当内装物最大质量与最大综合尺寸不在同一档次时，应以其较大者为准。





瓦楞纸板种类 (GB/T6544-2008)

表 1

代号	瓦楞纸板最小综合定量/ (g/m ²)	优 等 品			合 格 品		
		类级代号	耐破强度 (不低于)/ kPa	边压强度 (不低于)/ (kN/m)	类级代号	耐破强度 (不低于)/ kPa	边压强度 (不低于)/ (kN/m)
S	250	S-1.1	650	3.00	S-2.1	450	2.00
	320	S-1.2	800	3.50	S-2.2	600	2.50
	360	S-1.3	1 000	4.50	S-2.3	750	3.00
	420	S-1.4	1 150	5.50	S-2.4	850	3.50
	500	S-1.5	1 500	6.50	S-2.5	1 000	4.50
D	375	D-1.1	800	4.50	D-2.1	600	2.80
	450	D-1.2	1 100	5.00	D-2.2	800	3.20
	560	D-1.3	1 380	7.00	D-2.3	1 100	4.50
	640	D-1.4	1 700	8.00	D-2.4	1 200	6.00
	700	D-1.5	1 900	9.00	D-2.5	1 300	6.50
T	640	T-1.1	1 800	8.00	T-2.1	1 300	5.00
	720	T-1.2	2 000	10.0	T-2.2	1 500	6.00
	820	T-1.3	2 200	13.0	T-2.3	1 600	8.00
	1 000	T-1.4	2 500	15.5	T-2.4	1 900	10.0

注：各类级的耐破强度和边压强度可根据流通环境或客户的要求任选一项。



堆码强度

堆码强度条件
$$P_c \geq K \cdot G \cdot \frac{H-h}{h} \quad (8)$$

式中, P_c ——纸箱的抗压强度, N

K ——安全系数

G ——包装件的重量, N

h ——包装件高度, cm

H ——堆码高度, cm

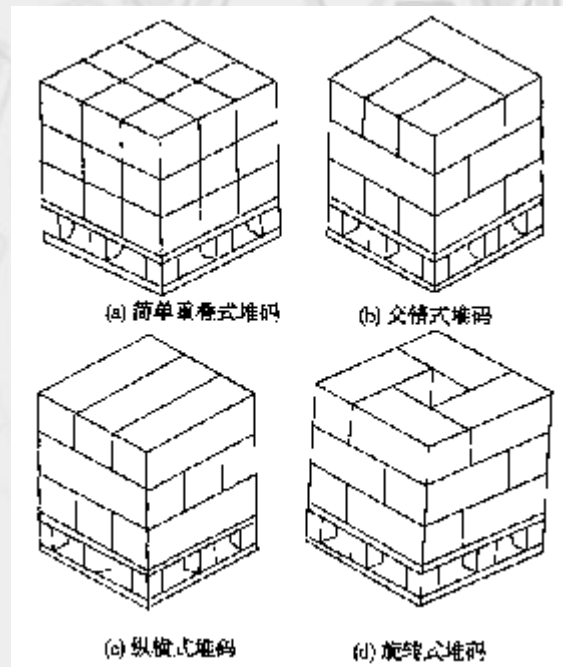
确定安全系数一般有两种方法:

▲经验法—储存期少于30天, $K = 1.6$

储存期30~100天, $K = 1.65$

储存期在100天以上, $K = 2$

▲计算法—取决于产品的价值、环境条件、堆码时间、堆码尺寸、印刷开孔状况、装卸与搬运次数等。





堆码强度

计算公式为
$$K = \frac{1}{\prod a_i}$$

其中 a_i ——安全影响因子

例：某产品出口，其纸箱的内尺：500mm×350mm×250mm，产品及内衬的总质量19kg，堆码9层，库存时间10天，库存时最高湿度75%RH，采用柱形错位堆码，采用1200*800托盘集装，托盘有间隙，纸箱有手孔，小面积印刷。试计算纸箱在贮存期间所需的抗压强度。

表9-34 估算安全系数的参考数据

	抗压强度损失	乘子 a_i	
载荷下堆放时间	10天-损失37%	0.63	
	30天-损失40%	0.6	
	90天-损失45%	0.55	
	180天-损失50%	0.5	
载荷下相对湿度RH (RH周期性的变化会进一步加剧损失)	50%-损失0%	1	
	60%-损失10%	0.9	
	70%-损失20%	0.8	
	80%-损失32%	0.68	
	90%-损失53%	0.48	
	100%-损失85%	0.15	
托盘码垛方式		高质量箱	低质量箱
柱型，对齐	损失忽略		
柱型，错位	9%-15%损失	0.9	0.85
互锁式	40%-60%损失	0.6	0.4
超出托盘	20%-40%损失	0.8	0.6
托盘板间隙	9%-25%损失	0.9	0.75
野蛮装卸	9%-40%损失	0.9	0.6
印刷与开孔	9%-20%损失	0.9	0.8

预计纸箱质量1kg，堆码载荷为： $P = (19+1) * (9-1) * 9.81 = 1569N$

安全系数：
$$K = \frac{1}{\prod a_i} = \frac{1}{0.63 \times 0.74 \times 0.9 \times 0.9 \times 0.8 \times 0.9 \times 0.9} = 4.1$$

则纸箱抗压强度 $P = K * P_{堆码} = 6432.9N$





四、瓦楞纸箱的抗压强度经验公式

ρ 利用瓦楞纸箱抗压强度计算公式的运算方法有两种：

校核：按预定条件计算出瓦楞纸箱的抗压强度，看其是否能满足要求；

设计：根据所定的抗压强度要求来选择一定的瓦楞纸板，进而选择一定的瓦楞原纸。

根据试验证明：增加瓦楞原纸克重，瓦楞纸板的边压强度会随之增加，但对耐破强度影响甚微；而增加面纸克重时，瓦楞纸板的边压强度和耐破强度都会有所增加。故应先采用低克重的瓦楞原纸，而主要靠增加里、面纸的克重来增加瓦楞纸板的强度。



PACKAGING · PRINTING



包装与材料工程学院
COLLEGE OF PACKAGING AND MATERIALS ENGINEERING



五、瓦楞纸箱校核实例



五、瓦楞纸箱校核实例

- 某一产品要出口，外包装容器为单瓦楞纸箱，包装件质量为18kg，纸箱的内尺寸为长400mm、宽300mm、高250mm。若选用牛皮箱纸板优等品180 g/m²和瓦楞原纸AAA160g/m²，即原纸的构成为“牛优180/AAA160/牛优180”，楞型为A楞。该包装件采用1200*800标准托盘组成包装单元，交错堆码，仓库存放30天，堆8层，最大相对湿度70%RH，小面积印刷。问该纸箱能够满足堆码强度要求？





五、瓦楞纸箱校核实例

Ⓟ 纸箱满足堆码强度要求的条件为： $P \geq K \cdot G \cdot \frac{H-h}{h} \times 9.81$

Ⓟ 本例中： $G \cdot \frac{H-h}{h} \times 9.81 = 18 \times 7 \times 9.81 = 1236.1(N)$

Ⓟ 安全系数 $K = \frac{1}{\prod a_i}$

Ⓟ 上式中 a_i 从表9-34中选择：仓库存放30天，则 $a_1=0.6$ ，最大相对湿度70%RH， $a_2=0.8$ ，存在超出托盘现象， $a_3=0.8$ ，交错堆码， $a_4=0.9$ ，小面积印刷 $a_5=0.9$ 。

Ⓟ 则 $K = \frac{1}{\prod a_i} = \frac{1}{0.6 * 0.8 * 0.8 * 0.9 * 0.9} = 3.21$

Ⓟ 则 $P=3.21 * 1236.1=3974.1 (N)$





五、瓦楞纸箱校核实例

表9-34 估算安全系数的参考数据

	抗压强度损失	乘子 a_i	
载荷下堆放时间	10天-损失37%	0.63	
	30天-损失40%	0.6	
	90天-损失45%	0.55	
	180天-损失50%	0.5	
载荷下相对湿度 RH (RH周期性的 变化会进一步加 剧损失)	50%-损失0%	1	
	60%-损失10%	0.9	
	70%-损失20%	0.8	
	80%-损失32%	0.68	
	90%-损失53%	0.48	
托盘码垛方式		高质量箱	低质量箱
	柱型, 对齐	损失忽略	
柱型, 错位	9%-15%损失	0.9	0.85
互锁式	40%-60%损失	0.6	0.4
超出托盘	20%-40%损失	0.8	0.6
托盘板间隙	9%-25%损失	0.9	0.75
野蛮装卸	9%-40%损失	0.9	0.6
印刷与开孔	9%-20%损失	0.9	0.8





五、瓦楞纸箱校核实例

利用凯利卡特公式 (K. Q. Kellycutt) 计算纸箱抗压强度

$$(1) \quad P = P_x \cdot \left[\left(\frac{aX_z}{Z/4} \right) \right]^{2/3} \cdot J \cdot Z = P_x \cdot F$$

其中， P ——瓦楞纸箱的抗压强度，N

P_x ——瓦楞纸板原纸的综合环压强度，N/cm

aX_z ——瓦楞常数，参见表一

Z ——瓦楞纸箱周边长，cm

J ——纸箱常数，参见表一

F ——综合系数





五、瓦楞纸箱校核实例

表一 不同楞型的瓦楞常数 aX_z 和瓦楞纸箱常数 J

单瓦楞纸箱凯里卡特常数			
楞型 \ 常数	A	B	C
aX_z	8.36	5.00	6.10
J	1.10	1.27	1.27
C	1.532	1.361	1.477

双瓦楞纸箱凯里卡特常数						
楞型 \ 常数	AA	BB	CC	AB	BC	AC
aX_z	16.72	10.00	12.20	13.36	11.10	14.46
J	0.94	1.08	1.09	1.01	1.08	1.02

三瓦楞纸箱凯里卡特常数										
楞型 \ 常数	AAA	BBB	CCC	ABA	ACA	BAB	CAC	BCB	CBC	ABC
aX_z	25.08	15.00	18.30	21.72	22.82	18.36	20.56	16.10	17.20	19.46
J	0.89	1.02	1.03	0.93	0.94	0.98	0.98	1.02	1.02	0.98





五、瓦楞纸箱校核实例

ρ 综合系数
$$F = \left[\left(\frac{aX_z}{Z/4} \right) \right]^{2/3} \cdot J \cdot Z$$

本例中: $Z=2(40+30)=140\text{cm}$

查表可得: $aX_z=8.36$, $J=1.10$, 则有:

$$F = \left[\left(\frac{aX_z}{Z/4} \right) \right]^{2/3} \cdot J \cdot Z = \left[\left(\frac{8.36}{140/4} \right) \right]^{2/3} \cdot 1.10 \cdot 140 = 59.3$$

下一步只要求出 P_x , 便可得出纸箱抗压强度。





五、瓦楞纸箱校核实例

ρ 单瓦楞纸板的综合环压强度：

$$P_x = R_o + C \cdot R_m + R_i$$

若选用牛皮箱纸板优等品180 g/m²和瓦楞原纸AAA160g/m²，即原纸的构成为“牛优180/AAA160/牛优180”，[查表二](#)可知：

牛皮箱纸板优等品180 g/m²环压强度为17.1N/cm

AAA160g/m²瓦楞原纸环压强度为16N/cm, A楞展开系数1.532，则：

$$P_x = R_o + C \cdot R_m + R_i = 17.1 + 1.532 \cdot 16 + 17.1 = 58.7(N/cm)$$

本例瓦楞纸箱的抗压强度为：

$$P = P_x \cdot F = 58.7 \cdot 59.3 = 3481(N)$$





五、瓦楞纸箱校核实例

▫ 本例

$$P = \left[\left(\frac{aX_z}{Z/4} \right) \right]^{2/3} \cdot J \cdot Z = 3481(N) < K \cdot G \cdot \frac{H-h}{h} \times 9.81 = 3974.1(N)$$

▫ 因此，该纸箱不满足仓储堆码要求，如果考虑到运输过程中的振动冲击，装卸时有可能存在野蛮装卸等现象，那么纸箱需要更大的抗压强度，因此要选配抗压能力更好的面纸、原纸，或考虑用双瓦楞纸板代替单瓦楞纸板。



PACKAGING · PRINTING



包装与材料工程学院
COLLEGE OF PACKAGING AND MATERIALS ENGINEERING



六、瓦楞纸箱设计实例



六瓦楞纸箱抗压强度的计算

瓦楞纸箱在流通过程中所需的抗压力通常由下式求得：

$$(9) \quad P \geq P_c = K \cdot G \cdot \frac{H-h}{h} \times 9.81$$

式中：P — 瓦楞纸箱设计的抗压力，N；

P_c — 瓦楞纸箱所需的抗压力，N

K — 安全系数；

G — 一个瓦楞纸箱连同所装货物的总质量，kg；

H — 堆码高度，m；

h — 一个瓦楞纸箱的箱高，m





六、瓦楞纸箱设计实例

上式安全系数K后面的部分，即堆码时作用于最下层纸箱的载荷，令其为X，再考虑到纸箱堆码时往往使用托盘等工具，则：

$$(10) \quad X = (G \cdot \frac{H - h}{h} + a) \times 9.81$$

式中：X— 堆码时作用于最下层纸箱的载荷，N；

a — 托盘及其他分配给最下层每一个纸箱的质量kg。





六、瓦楞纸箱设计实例

则式（9）可简化为：

$$(11) \quad P_C = K \cdot X$$

式中： P_C — 瓦楞纸箱所需的抗压力，N；
K— 安全系数；
X— 堆码时作用于最下层纸箱的载荷，N。
利用此式可以计算瓦楞纸箱在流通过程中所
需的抗压力。





六、瓦楞纸箱设计实例

例：

某产品出口，其纸箱的内尺寸：
500mm×350mm×250mm，产品及内衬的总质量
19kg，堆码9层，采用柱型错位堆码方式，库存时
间10天，库存时最高湿度75%RH，有手孔，小面积
印刷。试计算这纸箱在贮存期间所需的抗压力，
并确定纸箱纸板的原纸构成。





六、瓦楞纸箱设计实例

解：先估计纸箱质量为1kg，则堆码时作用于最下层纸箱的载荷X可为：

$$X = [(19+1) \times (9-1)] \times 9.81 = 1569 \text{ (N)}$$

由式（2）算出安全系数，式中各项抗压力降低率：

堆码10天， $a_1=0.63$ ，湿度75%RH， $a_2=0.74$ ，柱形错位堆码 $a_3=0.9$ ，超出托盘 $a_4=0.9$ ，托盘有间隙 $a_5=0.8$ ，印刷开孔影响 $a_6=0.9$ 。则安全系数为：

$$K = \frac{1}{\prod a_i} = \frac{1}{0.63 \times 0.74 \times 0.9 \times 0.9 \times 0.8 \times 0.9 \times 0.9} = 4.1$$

因此，纸箱在贮存期间所需的抗压力P可由式（4）算出：

$$P = P_c = KX = 4.1 \times 1569 = 6432.9 \text{ (N)}$$





六、瓦楞纸箱设计实例

若按耐破度选择纸板原纸的构成：

内装物的最大质量不会超过19kg，再根据纸箱的综合内尺寸为1100mm，[查表1](#)可选择单瓦楞纸板第二种（耐破度1180kPa）或双瓦楞纸板第一种（耐破度1180kPa），适合的原纸构成可根据[表2](#)进行选择。

但这只是对耐破度进行的选择，并不能保证其对堆码的抗压能力，所以还必须对其抗压力进行核算。以下分别按单瓦楞纸箱和双瓦楞纸箱进行设计，而双瓦楞纸箱又分两种情况：中纸采用瓦楞原纸或箱纸板。





六、瓦楞纸箱设计实例

(1) 单瓦楞纸箱，A楞，用AA160瓦楞原纸，面纸和底纸选同样的纸。查表2，AA160瓦楞原纸的环压强度 $\geq 14.4\text{N/cm}$ ；周边长为170cm时的A楞得 $F=63.2$ 。则这单瓦楞纸箱的面纸和底纸所需的环压强度 R_0 ：

$$\begin{aligned} R_0 &= (P/F - R_m \cdot C) / 2 = (6432.9 / 63.2 - 14.4 \times 1.532) / 2 \\ &= 39.87(\text{N/cm}) \end{aligned}$$

查表2，满足要求的纸为：

360g/m²优等牛皮箱纸板，耐破度 $\geq 1080\text{kPa}$ 、环压强度 $\geq 41.1\text{N/cm}$

或360g/m²优等普通箱板纸和牛皮挂面箱纸板，耐破度 $\geq 1008\text{kPa}$ 、环压强度 $\geq 40.32\text{N/cm}$

如果不想用定量这么大的箱板纸，可考虑双瓦楞纸。





六、瓦楞纸箱设计实例

若只根据内装物重量和纸箱尺寸选择出纸板耐破度（1180kPa—面纸和底纸耐破度之和），然后就去查表2选择箱纸板，则

普通箱纸板和牛皮挂面箱纸板：

优等200g/m²，其耐破度 ≥ 600 kPa、环压强度 ≥ 18.40 N/cm；

一等品220g/m²，其耐破度 ≥ 605 kPa、环压强度 ≥ 17.6 N/cm；

合格品320g/m²，其耐破度 ≥ 608 kPa、环压强度 ≥ 22.4 N/cm；

或牛皮箱纸板：

优等品180g/m²，其耐破度 ≥ 594 kPa、环压强度 ≥ 17.1 N/cm；

一等品200g/m²，其耐破度 ≥ 600 kPa、环压强度 ≥ 18.4 N/cm均

可用，但一检查它们的环压强度都远小于39.87 N/cm。也就是说，用这几种箱纸板做的瓦楞纸箱，虽然其耐破度都没问题，但它们根本不可能承受贮存期间的堆码压力。





六、瓦楞纸箱设计实例

所以，只凭规定的耐破度选择瓦楞纸箱的种类和确定原纸的构成是危险的。还有边压强度的要求。





六、瓦楞纸箱设计实例

(2) 双瓦楞纸箱，AB楞，A楞用A160瓦楞原纸，B楞和中纸用A120瓦楞原纸。

查表2，A160瓦楞原纸的环压强度 ≥ 12.3 N/cm，A120瓦楞原纸的环压强度 ≥ 8.16 N/cm；周边长为170cm时的AB楞 $F=79.4$ 。

由式(11)求得这双瓦楞纸箱的面纸和底纸所需的环压强度 R_0 ：

$$\begin{aligned} R_0 &= [P / F - R_m \cdot (1 + T_A + T_B)] / 2 \\ &= [6432.9 / 79.4 - 12.3 \times 1.532 - 8.16(1 + 1.361)] / 2 = 21.46 (N / cm) \end{aligned}$$





六、瓦楞纸箱设计实例

查表2，可以选用的箱纸板有：

普通箱纸板和牛皮挂面箱纸板：

优等品 $250\text{g}/\text{m}^2$ ，环压强度 $\geq 26.5\text{N}/\text{cm}$ 、耐破度 $\geq 725\text{kPa}$ ，

一等品 $280\text{g}/\text{m}^2$ ，环压强度 $\geq 23.8\text{N}/\text{cm}$ 、耐破度 $\geq 742\text{kPa}$ ，

合格品 $320\text{g}/\text{m}^2$ ，环压强度 $\geq 22.4\text{N}/\text{cm}$ 、耐破度 $\geq 608\text{kPa}$ ，

或牛皮箱纸板：

优等品 $220\text{g}/\text{m}^2$ ，其环压强度 $\geq 22.0\text{N}/\text{cm}$ 、耐破度 $\geq 704\text{kPa}$ ；

一等品 $250\text{g}/\text{m}^2$ ，其环压强度 $\geq 25.0\text{N}/\text{cm}$ 、耐破度 $\geq 725\text{kPa}$ 。





六、瓦楞纸箱设计实例

但是，如果检查耐破度，根据式：

双瓦楞纸板的耐破度=面纸的耐破度+中纸的耐破度+底纸的耐破度

而双瓦楞纸板的中纸用瓦楞原纸时，其耐破度可按耐破指数 $1.3\text{kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$ 乘以瓦楞原纸定量进行粗略的计算。所以：

中纸的耐破度= $120\text{g}/\text{m}^2 \times 1.3\text{kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g} = 156$ (kPa)

当面纸和底纸用相同的箱纸板时，其耐破度必须 \geq
($1180 - 156$) / $2 = 512$ (kPa)。以上这五种箱纸板的耐破度均
超
过512kPa。所以，用它们制作的双瓦楞纸箱，不但其耐破度均
符

合SN/T 0262-1993《出口商品运输包装瓦楞纸箱检验规程》规定的1180kPa要求，而且还能承受流通过程中的堆码载荷。





六、瓦楞纸箱设计实例

(3) 双瓦楞纸箱，AB楞，A楞用A160瓦楞原纸，B楞用A120瓦楞原纸。中纸用与面纸底纸相同的箱纸板时，由式(12)得：

$$R_0 = [P / F - R_m \cdot (C_A + C_B)] / 3$$
$$= [6432.9 / 79.4 - (12.3 \times 1.532 + 8.16 \times 1.361)] / 3 = 17.01 (N / cm)$$

查表2，可以选用的箱纸板有：

普通箱纸板和牛皮挂面箱纸板：

优等品 $200\text{g}/\text{m}^2$ ，环压强度 $\geq 18.40\text{N}/\text{cm}$ 、耐破度 $\geq 600\text{kPa}$ ；

一等品 $220\text{g}/\text{m}^2$ ，环压强度 $\geq 17.6\text{N}/\text{cm}$ 、耐破度 $\geq 605\text{kPa}$ ；

合格品 $280\text{g}/\text{m}^2$ ，环压强度 $\geq 18.2\text{N}/\text{cm}$ 、耐破度 $\geq 546\text{kPa}$ ；

或牛皮箱纸板：

优等品 $180\text{g}/\text{m}^2$ ，环压强度 $\geq 17.1\text{N}/\text{cm}$ 、耐破度 $\geq 594\text{kPa}$ ；

一等品 $200\text{g}/\text{m}^2$ ，环压强度 $\geq 18.4\text{N}/\text{cm}$ 、耐破度 $\geq 600\text{kPa}$ 。





六、瓦楞纸箱设计实例

检查耐破度，当面纸、底纸与中纸使用同一种箱纸板时，其耐破度必须 $\geq 1180/3=393\text{kPa}$ 。这五种箱纸板的耐破度都大大超过这个要求，所以中纸没必要用箱纸板。

通过以上的分析，本例最后确定选用原纸构成为

“普优250/A120/A120/A160/普优250”

或“普一280/A120/A120/A160/普一280”

或“牛优220/A120/A120/A160/牛优220”

或“牛一250/A120/A120/A160/牛一250”

的AB楞双瓦楞纸箱。这四种纸箱既符合表1的耐破度要求，又具有足够的抗压力以适应贮存期间的堆码压力。





六、瓦楞纸箱设计实例

本例考虑的是库存期间的耐压能力，如果进一步考虑的运输环节对抗压能力的影响，则计算安全系数时，要计算因振动、冲击及装卸的抗压力降低率。如果库存时间很短，则库存期间的的抗压力降低率可以不考虑。

瓦楞纸箱在流通过程中所需抗压力的安全系数取决于环境的湿度、储存的时间、堆码的方式、储运条件、瓦楞纸箱的制造条件等因素。安全系数定得过高，成本会提高而不经济；定得过低，纸箱在储运过程中容易被压溃而致内装物发生破损。





六、瓦楞纸箱设计实例

基于这些考虑，瓦楞纸箱的安全系数大约设定在2~8，通常分下列三种情况：

- ① 一般情况下，安全系数约为3~3.5；
- ② 内装物本身可以承受部分载荷，运输条件及仓储情况良好时，安全系数约为2~2.5；
- ③ 环境湿度高，内装物具有放湿性时，安全系数约为4~8。

安全系数定得是否合适，可通过包装试验或实际储运进行验证。

可参考GB/T 4857 包装运输包装件系列标准。

