



# 木质压杆许用压力及应用



炎姜包装技术培训咨询有限公司

YANJIANG PACKAGING TRAINING & CONSULTING CO.,LTD.

2020-03-28

Mar.28th, 2020



根据材料力学的临界应力公式，如果木质压杆的稳定许用压力为P，则

$$P = \frac{A}{n} \begin{cases} \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} & (\lambda > \lambda_1) \\ (a - b\lambda)\sigma_b & (\lambda_1 > \lambda > \lambda_2) \\ \sigma_b & (\lambda < \lambda_2) \end{cases}$$

式中：

A —— 压杆横截面积，m<sup>2</sup>

n —— 安全系数

$\lambda$  —— 压杆的柔度， $\lambda = 3.12L/\delta$ （L为压杆长度， $\delta$ 为压杆失稳方向的厚度）

E —— 材料的弹性模量，mPa

$\sigma_b$  —— 材料压缩时的试验强度，N

a、b、 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  —— 通过实验室试验测定的四个常数



## 1、木材的许用应力

为了保证木箱或木质压杆在正常工作时不致破坏，必须将木材的工作应力限制在安全范围内，这个安全范围内的应力就是它的许用应力。

木材的许用应力以试验强度为依据，在考虑四个影响系数以后确定的，其计算公式为

$$[\sigma] = K_1 K_2 K_3 K_4 \sigma_b$$

式中： $[\sigma]$  —— 木材许用应力，MPa

$\sigma_b$  —— 材料压缩时的试验强度，N

不同种类木材的性能如表1和表2所示：



**表1 木材的强度分级**

分级	基本密度 (g/cm <sup>3</sup> )	气干密度 (g/cm <sup>3</sup> )	干缩度 (%) (生材~气干)				顺纹抗压强度 (MPa)	抗弯强度 (MPa)	抗弯弹性模量 (GPa)	顺纹抗剪强度 (MPa)	端面硬度 (N)
			径向		弦向						
			生材~全干	生材~气干	生材~全干	生材~气干					
I	≤ 0.30	≤ 0.35	< 3.0	< 2.0	< 5.0	< 3.0	≤ 29.0	≤ 54.0	≤ 7.4	≤ 6.5	≤ 2500
II	0.31 ~ 0.45	0.351 ~ 0.55	3.0~4.0	2.0~2.5	5.0~6.5	3.0~4.0	29.1 ~ 44.0	54.1 ~ 88.0	7.5 ~ 10.3	6.6 ~ 9.5	2570 ~ 4000
III	0.46 ~ 0.60	0.551 ~ 0.75	4.0~5.0	2.5~3.0	6.5~8.0	4.0~5.0	44.1 ~ 59.0	88.1 ~ 118.0	10.4 ~ 13.2	9.6 ~ 12.0	4010 ~ 6500
IV	0.61 ~ 0.75	0.751 ~ 0.95	5.0~6.0	3.0~3.5	8.0~9.5	5.0~6.0	59.1 ~ 73.0	118.1 ~ 142.0	13.3 ~ 16.2	12.1 ~ 15.0	6510 ~ 10000
V	> 0.75	> 0.95	> 6.0	> 3.5	> 9.5	> 6.0	> 73.0	> 142.0	> 16.2	> 15.0	>10000



## 表2 不同种类木材的强度

树种	试验时含水率 (%)	气干密度 (g/cm <sup>3</sup> )	干缩率 (%) (生材~气干)		顺纹抗压强度 (MPa)	抗弯强度 (MPa)	抗弯弹性模量 (GPa)	顺纹抗剪强度 (MPa)	端面硬度 (N)
			径向	弦向					
银杏	15.0	II	II	II	II	II	III	III	III
冷杉	15.0	I	III	IV	II	III	II		II
落叶松	15.0	III	III, IV	V	III	III	IV	II	III
红松	15.0	II	II	III	II	II	III	II	I
马尾松	15.0	II, III	II, III	IV	II	III	II	II	II, III
白桦	15.0	III			II, III	II, III	II, III		II, III
杉木	15.0	II	II	III	II	II	III	II	II
香樟	15.0	II, III			II	II	II		II
槐树	15.0	III, IV			II, III	II, III	II, III		III, I
小叶杨	15.0	II			I, II	I, II	I, II		II
山杨	15.0	II			I,	I, II	III		I, II
苦楝	15.0	II, III			II	II, III	II		II, III
鹅掌楸	15.0	II, III			II	II	III		III



## 2、安全系数

影响木材许用应力的四个系数主要有：

(1) 强度降低系数 $K_1$ ：由于木材的非均匀性和干燥收缩造成的尺寸小于设计尺寸，取安全系数 $K_1=0.75$ 。

(2) 冲击载荷系数 $K_2$ ：试验时试样承受的是静载荷，试样起吊和运输时的载荷为动载荷，比静载荷大得多，考虑这个因素设定安全系数 $K_2=0.30\sim 0.35$ 。

(3) 木材缺陷系数 $K_3$ ：木材因为木节和斜纹等缺陷造成木材强度下降明显，考虑这个因素，设定安全系数 $K_3$ ，取值参考表3：



表3 木节和斜纹对木材强度的影响

受力种类木材缺陷		顺纹受拉	顺纹受压	受弯	
				径向	弦向
木节及群生节的直径	材宽的1/4	0.75	0.87	0.75	0.57
	材宽的1/3	0.67	0.83	0.67	0.47
	材宽的1/2	0.50	0.75	0.50	0.26
木材纹理倾斜度	1/20	0	0	0	0
	1/15	0.76	0	0.76	0.76
	1/10	0.61	0.74	0.61	0.61
	1/6	0.40	0.56	0.40	0.40

如果木材上既有木节，又有斜纹，先要比较两者的大小，然后按影响大的一个因素取K3的值，不可以将两个系数连乘。



(4) 承载时间系数 $K_4$ ：与建筑物中木结构的使用时间比较，包装用木箱的承载时间很短，设定这个安全系数 $K_4=1$ 。

表4是日本为包装箱规定的木材（松木）许用应力强度数据，可供参考：

表4 木材的许用应力强度(MPa)

抗弯强度		顺纹抗压强度	顺纹抗拉强度
径向	弦向		
10.49	8.04	5.88	12.75

影响木材的安全系数设为 $n$ ，则木材的许用应力

$$[\sigma] = \sigma_b / n$$
$$n = \frac{1}{K_1 K_2 K_3 K_4}$$





[例1] 湖南莽山马尾松顺纹压缩试验，许用应力强度为36MPa。已知这种材料的斜纹倾斜率为1/10，木节直径为板宽的1/3，试计算这种材料的许用压力。

解：取强度降低系数 $K_1=0.75$ ，取冲击载荷系数 $K_2=0.3$ 。根据表1，木节的影响系数为0.83，斜纹的影响系数0.74，因为斜纹的影响大于木节，所以取木材缺陷系数 $K_3=0.74$ 。取承载时间系数 $K_4=1$ 。所以这种木材的顺纹压缩许用应力为

$$\begin{aligned} [\sigma] &= \sigma_b / n \\ &= K_1 K_2 K_3 K_4 \sigma_b \\ &= 0.75 \times 0.3 \times 0.74 \times 1 \times 36 \\ &= 5.99 \text{ MPa} \end{aligned}$$



### 3、木质压杆的许用压力

木箱和纸木结合包装箱中经常使用到木质压杆，压杆许用压力的计算公式如下：

$$P=A \begin{cases} \frac{300[\sigma]}{(L/\delta)^2} & (28 < L/\delta < 46) & \text{细长杆} \\ (1.168-0.028L/\delta) [\sigma] & (6 < L/\delta < 28) & \text{中长杆} \\ [\sigma] & (L/\delta < 6) & \text{粗短杆} \end{cases}$$

式中：P —— 压杆许用强度，N  
A —— 压杆横截面积，m<sup>2</sup>  
[σ] —— 木材许用应力，MPa  
L —— 压杆长度，m；  
δ —— 压杆失稳方向的厚度，m



[例2] 木箱中有一压杆，其长度为125cm，宽度为9cm，厚度为3cm，材料的许用应力为5.88MPa。试按公式计算压杆的许用压力。

解：压杆的长厚比为  $L/\delta=125/3=41.67$

压杆横截面积为  $A=9\times 3=27\text{cm}^2=27\times 10^{-4}\text{m}^2$

因为  $28 < L/\delta < 46$ ，所以压杆的许用压力

$$P=A\times \frac{300[\sigma]}{(L/\delta)^2} = 27\times 10^{-4}\times \frac{300\times 5.88\times 10^6}{41.67^2}$$

$$=2.74 \text{ kN}$$



[例3] 木箱中有一压杆，所用材料的许用应力为5.88MPa，其长度为125cm，宽度为9cm，实际承受的压力3.85kN。试计算压杆的厚度。

解：设压杆的厚度为d，实际承受压力P=3.85kN，材料许用应力 $[\sigma]=5.88\text{MPa}$ ，压杆长度L=1.25m，考虑压杆为细长杆，则有

$$3.85 \times 10^3 = 1.25d \times \frac{300 \times 5.88 \times 10^6}{(1.25/d)^2}$$

由此算得  $d=0.034\text{m}=3.4\text{cm}$



## 4、压杆在重型纸木包装中的应用

在一些体积较大且承重要求较高的纸箱中，通常配置木质压杆分担重量，结构如下图1和图2所示，木质压杆可以置于箱内，也可以置于箱外。



图1



图2



[例4] HSC型AA楞重型纸箱，纸箱箱体外尺寸2200×1100×900mm，纸板厚度为10mm，边压强度 22.1kN/m，纸箱外两个侧面和顶面各配置3根木质压杆，所用材料的许用应力为5.88MPa，侧面压杆长度为900mm，顶面压杆长度为1140mm，压杆宽度均为100mm，厚度均为20mm。试计算包装箱抗压强度。

解：压杆横截面积 $A=0.100 \times 0.020\text{m}^2$ ，许用应力 $[\sigma]=5.88\text{MPa}$ ，长度 $L=0.900\text{m}$ ，厚度为 $d=0.020\text{m}$ ， $L/d=45$ ，所以考虑压杆为细长杆，则实际承受压力

$$P=0.100 \times 0.020 \times \frac{300 \times 5.88 \times 10^6}{(0.900/0.020)^2} = 1742 \text{ N}$$



两个侧面共有6个压杆，总的承受压力 $P_0=1742 \times 6=10452 \text{ N}=1066 \text{ kgf}$

根据沃福公式，AA楞纸板边压强度22.1kN/m，所以压缩系数 $K=90$ ；根据纸板厚度为10mm可知，纸箱内尺寸=2180×1080×880mm，内周长 $Z=6520\text{mm}$ ，内高 $h=880\text{mm}$ ，所以纸箱抗压强度 $BCT_0=K \times Z^{0.501} \times h^{-0.117} \times 0.96=3184 \text{ kgf}$

包装箱抗压强度  $BCT=BCT_0+P_0=4250 \text{ kgf}$



[例5] SLV型ACB楞重型纸箱，纸箱外尺寸1500×1100×500mm，纸板厚度11.5mm，边压强度 23.6kN/m，纸箱内两个侧面各配置2根木质压杆，所用材料的许用应力为5.88MPa，压杆长度为500mm，压杆宽度均为100mm，厚度均为18mm。试计算包装箱抗压强度。

解：压杆横截面积 $A=0.100 \times 0.018\text{m}^2$ ，许用应力 $[\sigma]=5.88\text{MPa}$ ，长度 $L=0.500\text{m}$ ，厚度为 $d=0.018\text{m}$ ， $L/d=27.8$ ，考虑压杆为中长杆，则实际承受压力

$$P=0.100 \times 0.018 \times (1.168 - 0.028 \times 0.500 / 0.018) \times 5.88 \times 10^6 \\ = 4130 \text{ N}$$

两个侧面共有4个压杆，总的承受压力 $P_0=4130 \times 4=16520 \text{ N}=1685 \text{ kgf}$

根据沃福公式，ACB楞纸板边压强度23.6kN/m，所以压缩系数 $K=100$ ；根据纸板厚度11.5mm可知，纸箱内尺寸=1477×1077×500mm，内周长 $Z=5108\text{mm}$ ，内高 $h=500\text{mm}$ ，所以纸箱抗压强度 $BCT_0=K \times Z^{0.501} \times h^{-0.117} \times 0.96^0=3484 \text{ kgf}$

包装箱抗压强度  $BCT=BCT_0+P_0=5169 \text{ kgf}$





[例5] 客户出口产品净重为200公斤，使用有盖无底纸箱的外径尺寸为540×540×505mm，楞型ACB，厚度10mm，箱内端面各有两根100×20×490mm的胶合板木撑。堆码三层，产品不能承受压力。请给出设包装设计方案。

解：产品不能承受压力，根据ASTM D4169相关条款，安全系数取K=7.0，产品净重200kg，连托盘和包装箱及辅助材料的毛重G设定为220kg，包装箱连托盘的高度650mm，所以堆码层数 $N=2400/650=3$ ，所以抗压强度

$$BCT=K \times G \times (N-1)=7.0 \times 220 \times (3-1)=3080 \text{ kgf}$$

### 1、木撑的抗压强度：

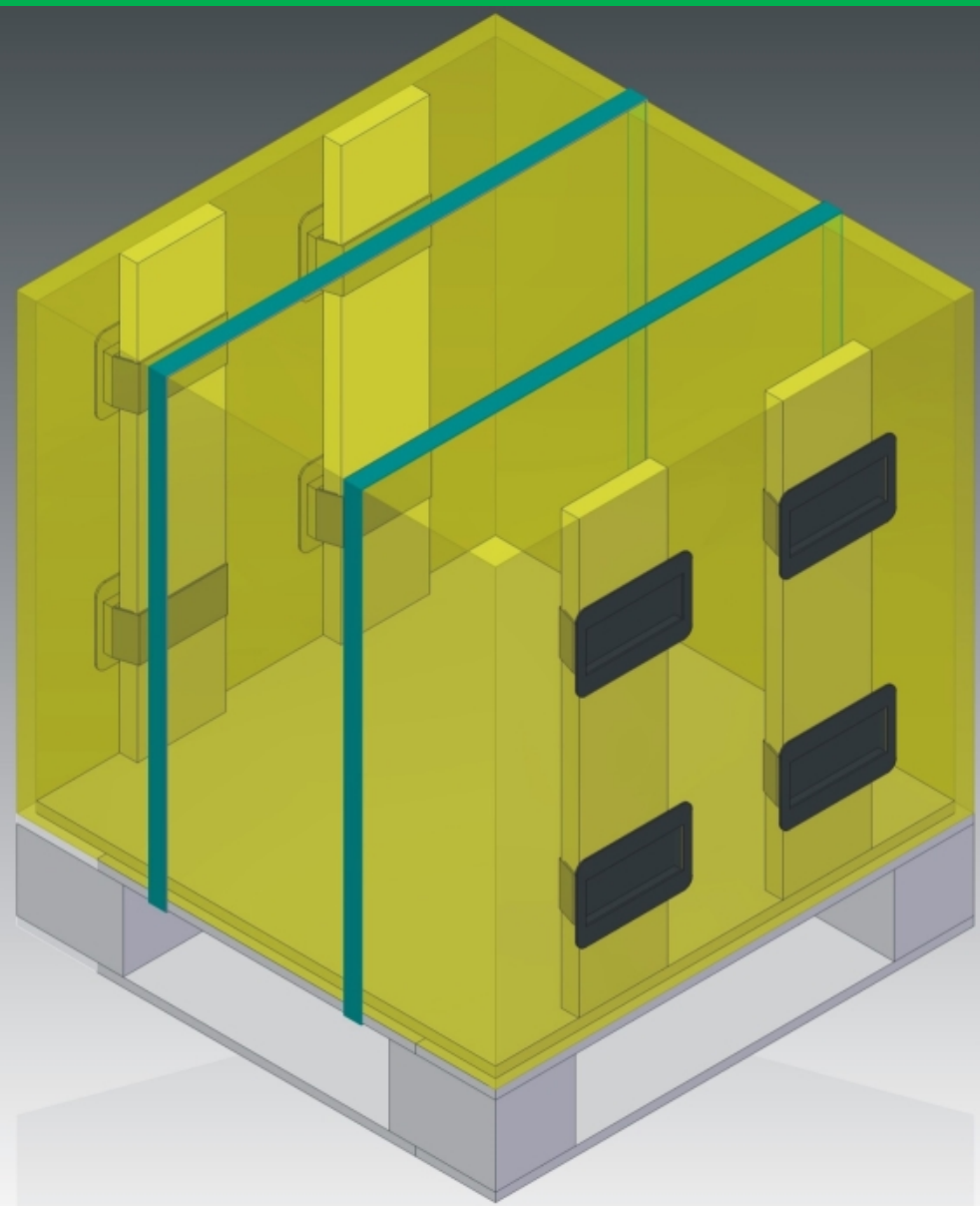
木撑横截面积 $A=100 \times 20 \times 10^{-6} \text{m}^2$ ，许用应力 $[\sigma]=5.88 \text{MPa}$ ，长度 $L=0.490 \text{m}$ ，厚度为 $d=0.020 \text{m}$ ， $L/d=24.5$ ，所以考虑压杆为中长杆，则实际承受压力

$$P=A (1.168-0.028L/\delta) [\sigma]$$

$$=100 \times 20 \times 10^{-6} \times (1.168-0.028 \times 24.5) \times 5.88 \times 10^6=5668.32 \text{ N}=578 \text{ kgf}$$

箱内有4根支撑，所以4根支撑的抗压强度 $P_1=578 \times 4=2312 \text{ kgf}$



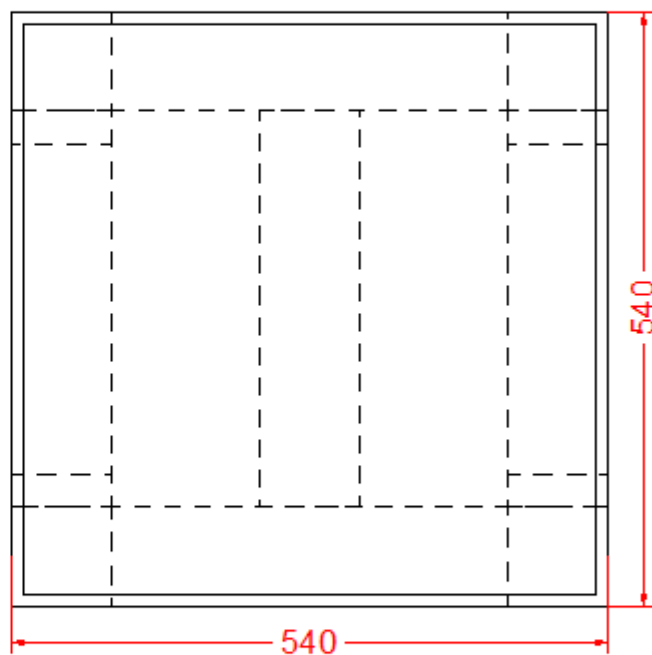
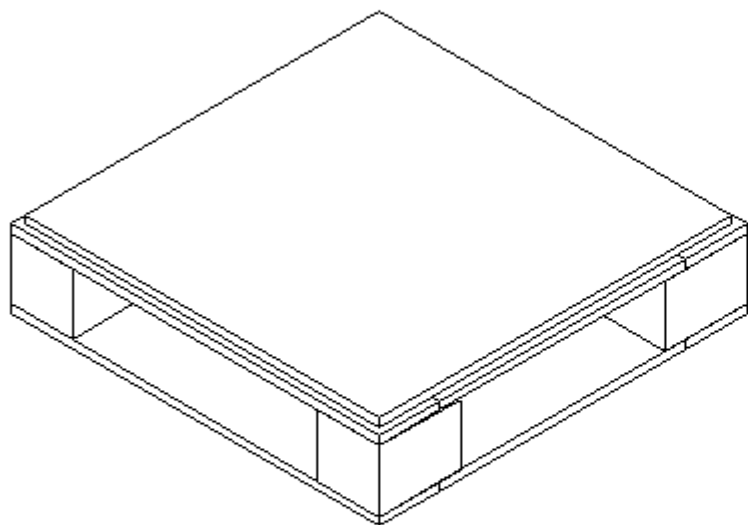
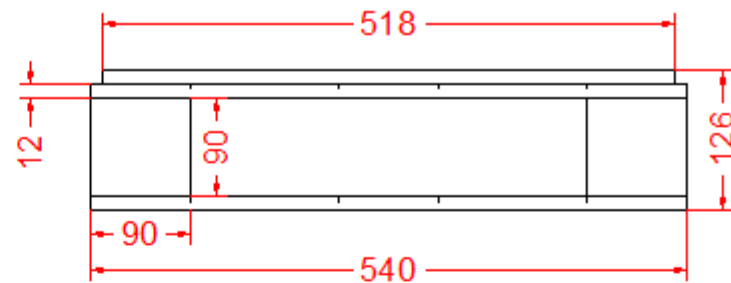
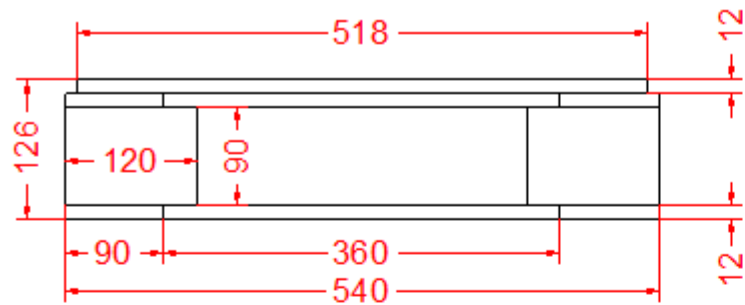


### 包装方案

序号	名称	材料	尺寸外径	数量
1	有盖无底箱	CBA楞	540*540*505mm	1
2	支撑条	胶合板	490*100*20mm	4
4	托盘	胶合板	540*540*126mm	1
5	卡扣			8
6	打包带			2

包装外尺寸：540\*540\*619

**包装设计方案**



### 托盘结构

客户	设计	变更信息
品名	校对	A0:
规格	审核	A1:
比例	批准	A2:
材质	单位	A3:
页数	共__页第__页 日期	A4:

序号	构件名称	材料	长度 (mm)	宽度 (mm)	高度 (mm)	数量
	尺寸		540	540	126	
1	面板	胶合板	518	518	12	1
2	连接板1	胶合板	540	90	12	2
3	连接板2	胶合板	360	90	12	3
4	垫块	胶合板	120	90	90	4
5	底铺板1	胶合板	540	90	12	2
6	底铺板2	胶合板	360	90	12	3



## 2、纸箱的抗压强度和材质

纸箱的抗压强度 $P_0 = BCT - P_1 = 3080 - 2312 = 768 \text{kgf}$

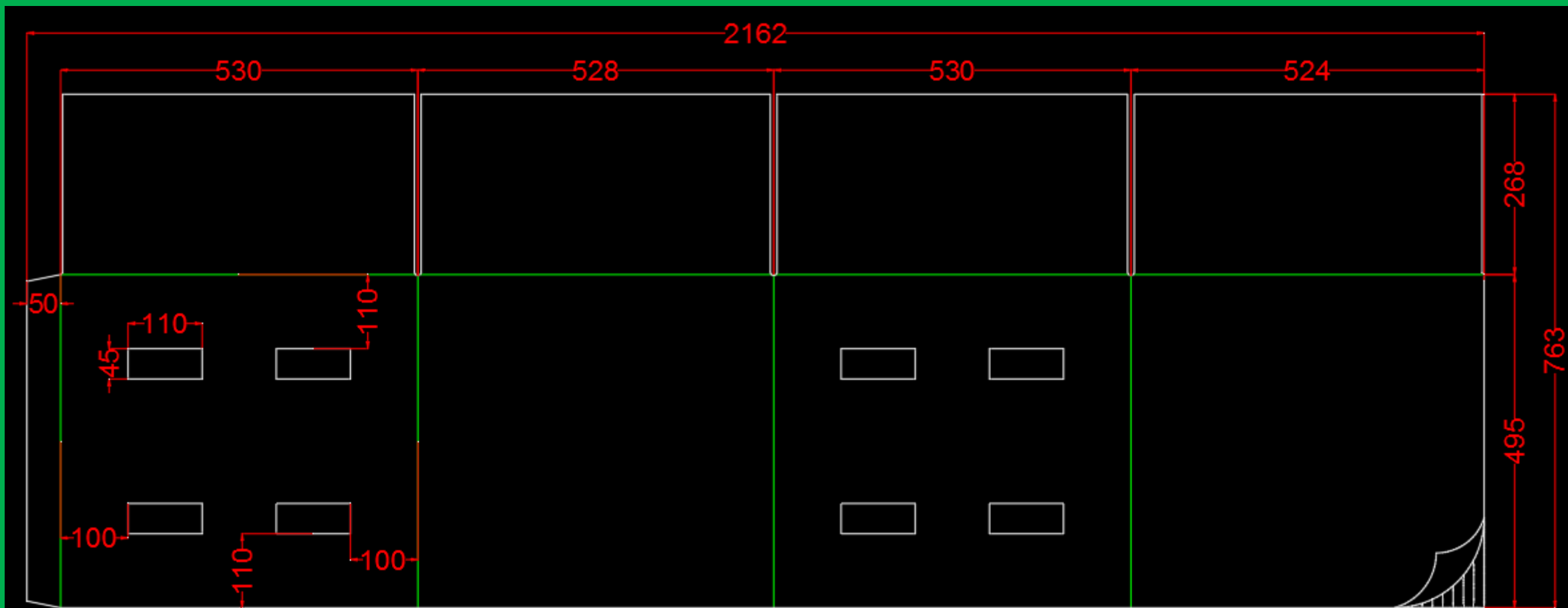
ACB楞有底无盖纸箱的外径尺寸 $540 \times 540 \times 505 \text{mm}$ ，纸板厚度 $10 \text{mm}$ ，由此得到纸箱内径尺寸为 $520 \times 518 \times 485 \text{mm}$ 。所以纸箱内周长 $Z = 2076 \text{mm}$ ，内高 $H = 485 \text{mm}$ ，根据沃福公式可知，纸箱压缩系数  $K = P_0 / (Z^{0.501} \times H^{-0.117} \times 0.96) = 36$

厚度 $10 \text{mm}$ 的700G重型纸板边压强度 $22.1 \text{kN/m}$ ，压缩系数90，所以厚度 $10 \text{mm}$ 的ACB楞纸板边压强度  $ECT = 22.1 \times 36 / 90 = 8.84 \text{kN/m}$   
材质K170/G120/G100/G120/G100/G120/K170的边压强度 $8.86 \text{kN/m}$ ，符合要求。

3、校核：托盘重量 $7.1 \text{kg}$ ，支撑重量 $0.59 \times 4 = 2.36 \text{kg}$ ，纸箱重量 $1.78 \text{kg}$ ，产品重量 $200 \text{kg}$ ，毛重 $G = 7.1 + 2.36 + 1.78 + 200 + \text{其他} = 215 \text{kg}$ 。抗压强度 $BCT = 7 \times 215 \times (3 - 1) = 3010 \text{kgf}$ 。纸箱的抗压强度 $P_0 = 36 \times 2076^{0.501} \times 485^{-0.117} \times 0.96 = 770 \text{kgf}$ ，支撑抗压强度 $P_1 = 2312 \text{kgf}$ ， $P_0 + P_1 = 3082 \text{kgf} > BCT$ ，安全系数  $k = 3082 / (215 \times 2) = 7.17$ ，符合要求。



# 纸箱展开图



ACB楞有盖无底箱



若不使用木撑，纸箱内尺寸可调整为520×478×485mm。抗压强度仍按照

$$BCT = K \times G \times (N-1) = 7.0 \times 220 \times (3-1) = 3080 \text{ kgf}$$

使用全纸化AAA楞重型瓦楞围板纸箱（ $n=0$ ），纸板厚度15mm，根据纸箱内径尺寸得到内周长 $Z=1996\text{mm}$ ，内高 $H=485\text{mm}$ ，根据沃福公式 $BCT = k \times Z^{0.501} \times H^{-0.117} \times 0.96^n$ 得到纸箱压缩系数

$$k = 3080 / \{1996^{0.501} \times 485^{-0.117} \times 0.96^0\} = 141$$

AAA楞1300G强化芯重型瓦楞纸板的纸箱压缩系数145，所以符合包装要求。相关材质如下：

KL440/SCP160/KL200/SCP160/KL200/SCP160/KL440

校核：箱体材质定量 $2050\text{g/m}^2$ ，制造尺寸 $540 \times 493 \times 485$ ，重量 $2.1\text{kg}$ ；箱盖为CB楞纸板，材质为KL225/G120/G120/G160/KL225，制造尺寸 $565 \times 518 \times 120$ ，重量 $0.6\text{kg}$ ；托盘规格 $560 \times 510 \times 126$ ，托盘重量 $=7.1\text{kg}$ 。毛重 $G = 200 + 2.1 + 0.6 + 7.1 + \text{其他} = 210 \text{ kg}$ 。要达到的抗压强度 $BCT = 2940 \text{ kgf}$ ，实际抗压强度 $BCT_1 = 3166 \text{ kgf}$ ，安全系数 $k = 7.0 \times 3166 / 2940 = 7.54$ ，符合使用要求。



为了我们的美好未来，  
让我们一起努力奋斗！

**谢谢！**

**Thanks for your attention!**

