



# 正确认识与使用具有隔热功能的夹层玻璃中间膜

武爱平

南京亚鼎光学

**摘要：**随着材料与工艺技术的进步以及对提高舒适性和节能减碳的追求，企业对有阻隔太阳辐射热作用的夹层玻璃越来越关注，并且很多产品已悄然进入市场，使用的行业包括汽车前挡玻璃、建筑夹层玻璃以及中空（安全）玻璃等。本文就掺入纳米陶瓷材料的隔热 PVB 中间膜的光学性能进行分析和讨论，希望可以澄清一些认识误区，以推动隔热夹层玻璃的广泛使用、技术进步和产品升级。

夹层玻璃是两片玻璃及放在中间的中间膜胶片，通过热压粘合在一起形成的组合玻璃，做好的夹层玻璃可以视为一片玻璃。掺入某些纳米复合金属氧化物（纳米陶瓷材料）的聚乙烯醇缩丁醛中间膜胶片，可使夹层玻璃对太阳光谱具有选择性透过，因此夹层玻璃的光热学特性也因选用的中间膜材料不同而不同。

## 1. 应用领域

ACP 夹层玻璃中间膜是亚鼎公司最新向全球推出的汽车与建筑夹层玻璃节能技术解决方案，有多种产品系列可应用于以下用途：

- 欧洲、北美汽车前窗玻璃；
- 亚洲、中国汽车前窗玻璃；
- 公共建筑外窗与幕墙玻璃；
- 居住建筑外窗玻璃；
- 建筑外窗与幕墙安全玻璃；
- 建筑天窗玻璃；

## 2. 技术特点

亚鼎公司在 ACP 中间膜制造流程中，利用其顶尖的纳米陶瓷分散技术，将复合氧化钨纳米陶瓷分散液掺入可塑剂中，与聚乙烯醇缩丁醛合成中间膜，使其除保留 PVB 所有的物理、化学、光学、力学优越性能外，增加了对太阳辐照中近红外热能的阻隔，采用

ACP 合成的夹层玻璃对近红外线的吸收与反射率合计可高达 90%。大大改善了使用 PVB 中间膜合成的夹层玻璃的节能功效，对推动汽车、建筑等安全、节能玻璃的技术进步和产品升级具有重要贡献。

利用 ACP 中间膜合成的夹层玻璃对太阳光谱具有极高的选择性，可以最大程度的通过可见光，合成的夹层玻璃可见光透射比可达 75%以上，可以满足欧洲汽车前窗对透光率最高的要求和法规；对紫外线、红外线具有最高的吸收率，紫外线透射比低于 1%，近红外透射比低于 10%。

由于采用 ACP 制造的夹层玻璃具有较高的光谱选择和低反射特性，使之在进一步降低近红外透过率时，可以拥有更多的解决方案，例如阻隔太阳光谱中的短波部分--紫色及蓝色。根据最新的医学报告，蓝色光线对人眼的黄斑部具有较大的伤害，而且被伤害后不可逆转。将紫色及蓝色隔除，不仅同样起到牺牲部分可见光来降低遮阳系数的目的，同时还增加保护眼睛等市场卖点。

## 第二部分 解决方案

### 1. 采用普通白玻的夹层玻璃组合结构

- 方案 1：夹层玻璃组合 3c+0.76 ACP 中间膜+3c；

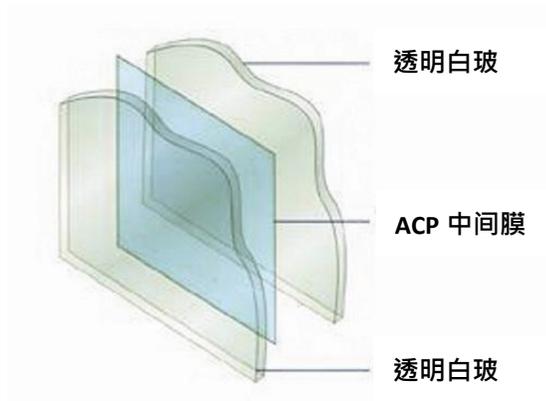


图 1：双面均为透明白玻的夹层玻璃



如图 1 所示：采用 ACP 中间膜与普通白玻粘合制成的夹层玻璃，利用 PVB 中间膜中的纳米陶瓷粒子实现对紫外、红外等选择性光谱的吸收，大幅降低紫外、红外热能穿透夹层玻璃，使其具有隔热功效。以下为实际检测数据：

- 可见光透射比  $T_{vis}$  : 0.767
- 遮阳系数  $S_e$  ( $S_e=SHGC/\text{航向比 } 0.87$ ) : 0.645  
绘制太阳能透射比曲线： $\Delta\lambda=10\text{nm}$ ；
- SHGC : 0.555  
SHGC 称为太阳能总透射比、太阳得热系数、得热因子、g 值；航向比：国际取值 0.87；国内取值 0.889
- 太阳光直接透射比  $T_{sol}$  : 0.390
- 太阳光直接反射比  $R_{sol}$  : 0.072
- 太阳光直接吸收比  $A_{sol}$  : 0.538  
 $T_{sol}+R_{sol}+A_{sol}=0.390+0.072+0.538=1$   
玻璃及中间膜吸收再传递到室内的部分： $SHGC - T_{sol}= 0.555 - 0.39 = 0.165$ ；
- 紫外线透射比  $T_{uv}$ ；
- 传热系数  $K$ ； $K(\text{冬})=5.621 \text{ W/m}^2\cdot\text{k}$ ； $K(\text{夏})=5.084 \text{ W/m}^2\cdot\text{k}$
- 太阳红外线直接透射比；
- 太阳红外热能总透射比；  
相对增热  $RHG$  :  $446\text{W/m}^2$   
在 ASHRAE 夏季标准条件下的相对增热： $RHG=7.78 \times K(\text{夏}) + 630 \times S_c=8 \times 5.084+630 \times 0.645=446\text{W/m}^2$ ；
- 光热比； $T_{vis}/SHGC=0.767/0.555=1.38$

## 2. 一面采用 Low-E 的夹层玻璃组合结构

方案 2：夹层玻璃组合 3c+0.76 ACP 中间膜+3Low-E

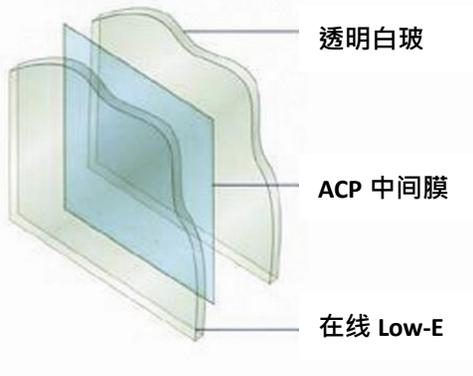


图 2：其中一面为在线 Low-E 的夹层玻璃

图 2 所示：一侧玻璃采用普通白玻，另外一侧采用在线 Low-E 玻璃的夹层玻璃，Low-E 膜面朝外（室内侧，不与中间膜粘合）。利用在线 Low-E 膜层坚硬、牢固、可清洗、不发生氧化反应、可直接面对室内使用环境等稳定特性，进一步降低太阳能对室内的增温，以及降低传热系数 K 值。

- 可见光透射比  $T_{vis}$ ；
- 遮阳系数  $S_e$  ( $S_e = SHGC / \text{航向比} \times 0.87$ )；包括太阳能透射比曲线
- SHGC：太阳能总透射比、太阳得热系数、得热因子、g 值；航向比：国内取值 0.889
- 太阳光直接透射比  $T_{sol}$ ；
- 太阳光直接反射比  $R_{sol}$ ；
- 紫外线透射比  $T_{uv}$ ；
- 传热系数 K；
- 太阳红外线直接透射比；
- 太阳红外热能总透射比；
- 相对增热 RHG
- 光热比；

### 3. 方案 1：中间膜对室内增热分析

相对增热公式： $RHG = K (T_e - T_i) + 630 \times S_c$ ；表示从室外空气到室内空气热量传递增加值，其中既包括太阳直接透射的部分，也包括经由玻璃（包括中间膜）吸收的热量再传递到室内的热量。传热系数 K、遮阳系数  $S_c$  代表了玻璃的热传递能力，对室内相对



增热 RHG 是 K 值与 Sc 的线性函数，因此无论是吸收型还是反射型膜层，对降低室内增热取决于能否降低系数 K 和 Sc。

对使用普通白玻制成的 ACP 夹层玻璃，太阳近红外线可以直接穿透室外侧玻璃透射到 ACP 中间膜层，并被膜层吸收和反射，直接反射越多则吸收越低。吸收的热量向两侧传递，传递热量的比例取决于两侧玻璃外侧面的表面换热系数，与两侧的空间、温度与环境有关。

换热边界条件按 GB 10264 取值：

室外侧（给热）换热系数： $23\text{W/m}^2\text{K}$ ；

室内侧（给热）换热系数： $8.7\text{W/m}^2\text{K}$ ；

#### • 基于中间膜吸热的计算：

对于吸收型的 ACP 中间膜夹层玻璃，根据测试结果；玻璃+中间膜吸收再向室内传递的热量对总太阳辐照太阳占比为： $0.165$ ；

根据给热换热边界条件，吸热传递热量到室内/外之比为： $8.7/23=1/2.64$ ，就是说太阳辐照热传递到室外的热量是传递到室内热量的 2.64 倍。如中间膜吸热按 43%，吸收部分传递到室内的热量为  $630 \times 0.43/3.64 = 74.42\text{W/m}^2$ ；占总辐照强度  $630\text{W}$  的 12%，与测试值 0.165 之差 0.045 为玻璃吸热再传热部分。

#### • 基于中间膜吸热温升的计算：

设室内温度  $C_i=26^\circ\text{C}$ ；室外温度为  $C_e=36^\circ\text{C}$ ；

室内侧： $74.42=8.7 \times \Delta t$ ；室内增温  $\Delta t=74.42/8.7=8.6^\circ\text{C}$

室内侧玻璃温度= $8.6+26=34.6^\circ\text{C}$ ；

室外侧： $196.45=23 \times \Delta t$ ；室内增温  $\Delta t=196.45/23=8.6^\circ\text{C}$

室内侧玻璃温度= $8.6+36=44.6^\circ\text{C}$ ；

#### 4. 方案 2：中间膜对室内增热分析

根据辐射系数公式： $Q=\varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_i^4 - T_e^4)/(T_i - T_e)$ ：

$\sigma = 5.67 \times 10^{-8}\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ ，为 Stefan-Boltzmann 常数；

$T_i$ 、 $T_e$  分别为室内、室外（绝对）温度 K；

$\varepsilon$  为室内 Low-E 玻璃半球辐射率；



采用辐射率 0.15 的玻璃时，辐射传热为  $0.95\text{W}/\text{m}^2$ ，占比较低，因此向室内的传热的主要表现是对流换热。

室内、外玻璃换热系数采用如下简化计算公式（陈启高. 建筑热物理基础. 西安交通大学出版社. 1991）

$$\alpha_i = 6.12 \times \varepsilon_i + 3.6$$

$$\alpha_e = 6.12 \times \varepsilon_e + 17.9$$

$\varepsilon_i$ - 室内侧玻璃辐射率：取 0.15；

$\varepsilon_e$ - 室外侧玻璃辐射率：普通白玻取 0.84；

计算出：

**室内侧玻璃（给热）换热系数  $\alpha_i=4.52$ ；**

**室外侧玻璃（给热）换热系数  $\alpha_e=23$ ；**

• **基于中间膜吸热的计算：**

吸热传递热量到室内与室外之比为： $4.52/23=1/5$ ，也就是说太阳辐照热传递到室外的热量是传递到室内热量的 5 倍。设中间膜吸收占比为 43%，中间膜吸收部分传递到室内的热量为  $630 \times 0.43/6=45.15\text{W}/\text{m}^2$ ，仅占总辐照强度  $630\text{W}/\text{m}^2$  的 7.2%。传递到室外侧为  $225.75\text{W}/\text{m}^2$ ，占总辐照强度 43%。

• **基于中间膜温升的计算：**

设室内温度  $C_i=26^\circ\text{C}$ ；室外温度为  $C_e=36^\circ\text{C}$ ；

室内侧： $45.15=4.52 \times \Delta t$ ；室内增温  $\Delta t=45.15/4.52=10^\circ\text{C}$

室内侧玻璃温度为： $10+26=36^\circ\text{C}$ ；

室外侧： $225.75=23 \times \Delta t$ ；室内增温  $\Delta t=225.75/23=10^\circ\text{C}$

室内侧玻璃温度= $10+36=46^\circ\text{C}$ ；

**5. 光吸收型与光反射型中间膜的比较**

根据测试及分析：ACP 吸收型中间膜吸收再传递到室内侧的热量，相对总辐照强度的比值为 7.2%（方案 2）~12%（方案 1）；如光反射型中间膜红外反射率 70%，红外透射率相同，在双面白玻的情况下，光反射型中间膜吸收再传递到室内侧的热量相对总辐照强度比约为 6%。

在很多情况下，光反射型中间膜的红外吸收率较低，而反射率又影响并受限于可见光反射率的法规，一般在 70%左右，因此红外直接透射率高于光吸收型的夹层玻璃，如



高于 6%，则反射型中间膜夹层玻璃对室内增热，反而超过双面白玻的吸收型中间膜夹层玻璃。

为提高红外反射率，反射型中间膜一般采用 PVB 夹反射膜的做法，不仅成本高昂，其力学强度也多为业界存疑。

## 第三部分 生产体系

### 1、简述

亚鼎公司在光学节能、纳米技术等领域拥有完整和独立的知识产权体系。目前 ACP 纳米陶瓷夹层玻璃中间膜、K5G 外贴膜等产品。

ACP 聚乙烯醇缩丁醛中间膜 ( Polyvinyl Butyral Film )，是将特殊的可塑剂、添加剂与 PVB 树脂混合后，经由押出加工成厚度均匀的 PVB 膜，WINLITE 具有优异的黏弹性、透明性、低温耐冲击性、光学性质且对玻璃具有适中的接着性，故广泛应用于汽车及建筑用胶合安全玻璃的中间膜。

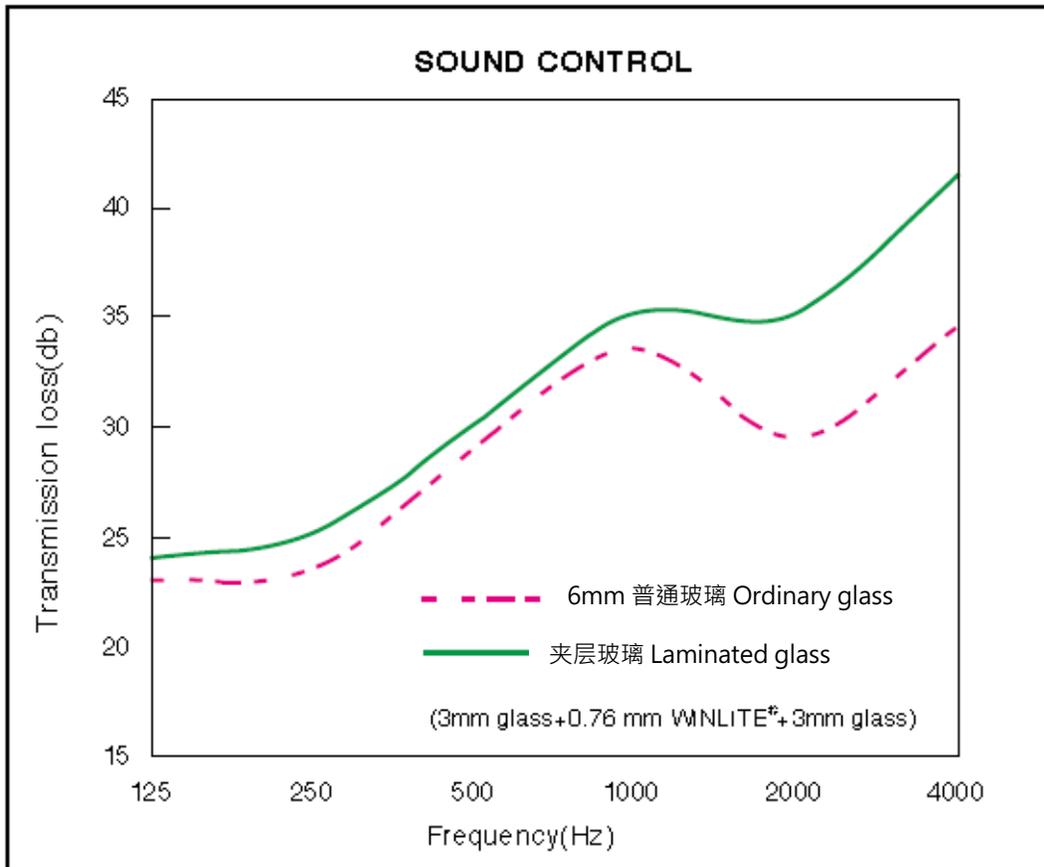
ACP 是专为阻隔太阳辐射热设计的产品，可以最大程度通过太阳辐照中的可见光，同时最大限度阻隔太阳辐照中红外和紫外热能通过。汽车前窗玻璃透光率可以满足欧洲 75%及中国 70%的安全法规要求，以及其他光学、物理、化学、力学等要求；针对建筑玻璃有更多的应用组合，包括与在线 Low-E 玻璃的夹层玻璃组合，以及各种透光率和遮阳比 Se 的节能应用。

ACP 中间膜夹层玻璃具有以下特性：

- ◆ 安全性
- ◆ 防盗性
- ◆ 隔音性
- ◆ 隔离太阳红外线
- ◆ 隔离太阳紫外线
- ◆ 美观性

## 2、隔音性能

ACP夹层玻璃与普通玻璃相比，更能有效地降低噪音值，因为ACP膜能使音波振幅在穿透玻璃时得以减弱，故有隔音的效果。一般公共场所或是噪音大的场所，皆可使用夹层玻璃以达到隔音的效果。单层玻璃6mm 与使用ACP夹层玻璃3mm 玻璃+0.76mm ACP中间膜+3mm 玻璃，其隔音效果比较如下图：



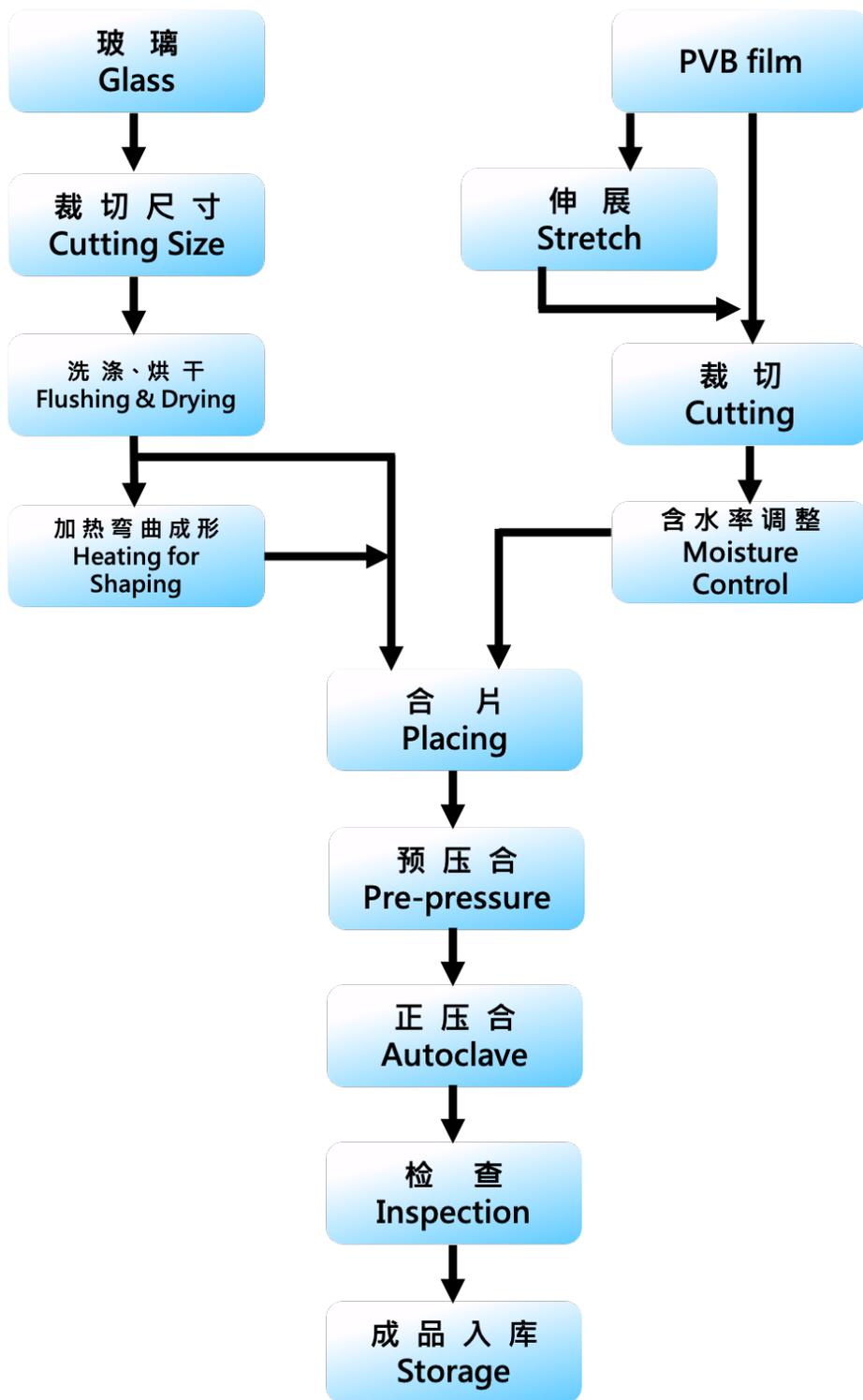
## 3、隔离紫外线

紫外线是造成家具、图画、涂料、纺织品等物品变色的主因。使用ACP中间膜制成之夹层玻璃，能几乎完全阻隔紫外光，防止家具等物品变色。单层玻璃(6mm)与使用ACP夹层玻璃(3mm 玻璃+0.76mm ACP中间膜+3mm 玻璃)。



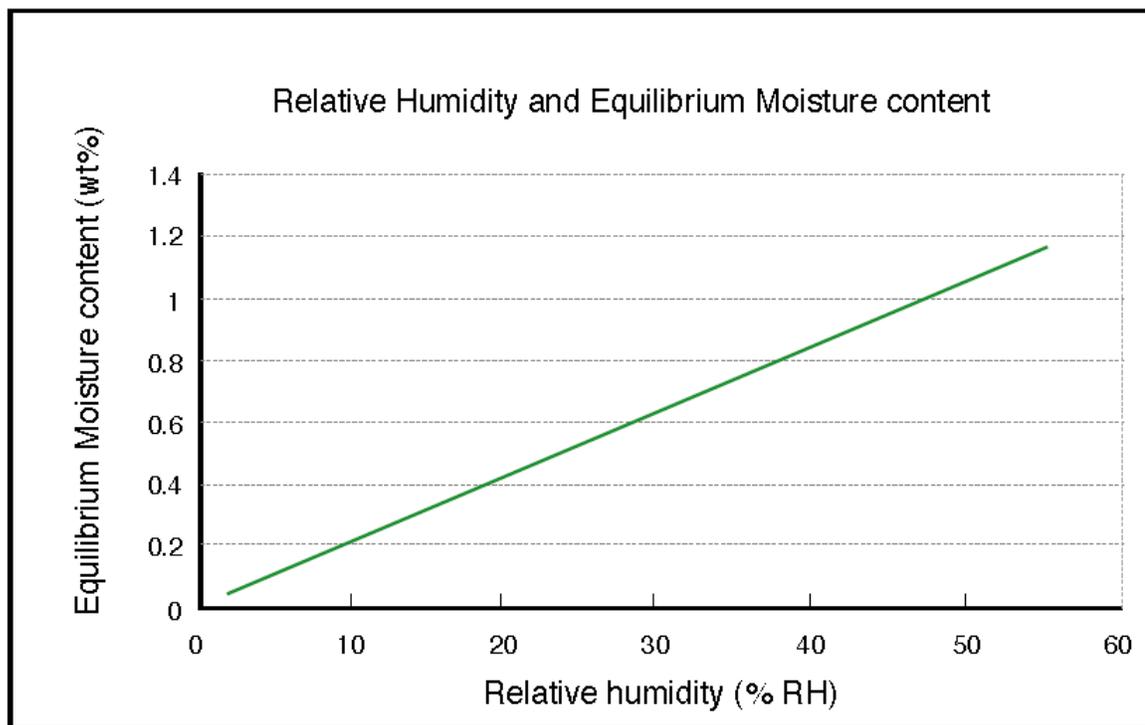
#### 4、生产制程（工艺）

##### 12.1 生产流程



## 12.2 准备程序

- A. 伸展：中间膜需按挡风玻璃的形状，做伸展加工，一般是加热中间膜使其成为扇形。而为了避免残存应力使中间膜伸展后有缩回现象，建议中间膜应在25°C以下贮存。若是平板玻璃则不需伸展加工。
- B. 裁切：考虑中间膜在夹层程序时的收缩率，裁切后中间膜之尺寸应略比玻璃大。
- C. 含水率控制：中间膜含水率对夹层玻璃的接着及耐贯穿性有决定性的影响。为了得到适宜的接着及好的耐贯穿阻力，中间膜含水率的控制是必须的，一般含水率范围0.3~0.6wt%。但含水率易受外在环境影响，而偏离此范围。当中间膜贮存在20相对湿度23%的条件之下，其平衡含水率约0.4%。



相对湿度与平衡含水率的关系图

The Chart of Equilibrium Moisture Content V.S. Relative Humidity

## 12.3 夹层程序

### A · 合片Placing

在二块已洗净并干燥的玻璃之间，将中间膜置于其中。合片作业应注意事项如下：

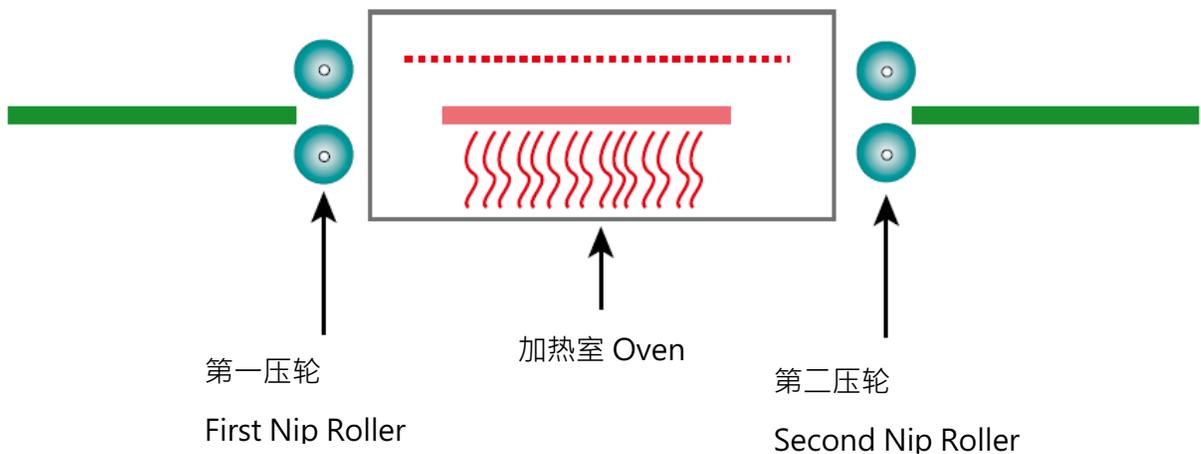
- 避色含水率变化最好在恒温恒湿(建议25℃·相对湿度23%)的房间内进行；
- 中间膜与玻璃的温度应尽量一致，以避免两者温差太大而导致空气不易排除造成粘合或收缩不良；
- 应避免任何的机械拉伸；
- 避免外物污染中间膜及玻璃；

### B · 预压合Pre-pressing

预压合工程主要目的如下：

- 将玻璃和中间膜之间的空气排出；
- 促进玻璃与中间膜间的密着性；
- 夹层玻璃边缘的密封，以避免在正压合时，空气浸入夹层玻璃中；

预压程序主要二种工法：压轮法与真空法。压轮法主要应用于平板夹层玻璃的制造，以“一加热室二压轮法”为例，建议操作条件请参考下表：





程序条件 Condition	第一压轮 First Nip Roller		第二压轮 Second Nip Roller	
	控制范围 Control Range	目标 Goal	控制范围 Control Range	目标 Goal
玻璃表面温度, °C Surface Temperature of Glass	室温 Room Temp.	~	60~90	75
压轮压力, kg/cm <sup>2</sup> Pressure of Nip Roller	2~5	3	3~10	6
目的 Purpose	消除空气 De-gassing		密封 Sealing	

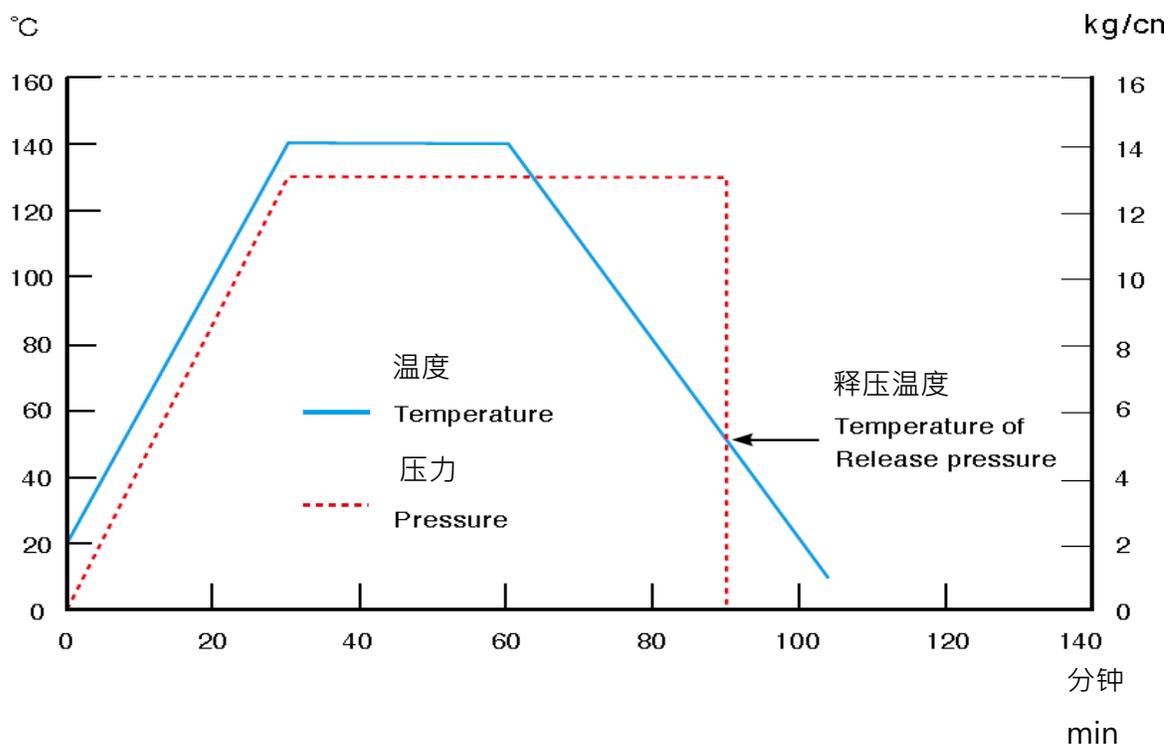
真空法：主要应用于弯曲夹层玻璃的制造，又分两种设胶袋法与圈环法。请参考下列建议操作条件：

程序条件 Condition	控制范围 Control Range	目标 Goal
玻璃表面温度, °C Surface Temperature of Glass	20~30	25
预备压时间, minutes Vacuum Time	>5	>5
真空度, mm Hg Vacuum Level	>650	650~700
胶袋、圈环温度, °C Temperature of bag / Ring	20~30	25
最终玻璃表面温度, °C Final Temperature	90~110	100

## C · 正压合 Autoclave Process

正压合程序一般使用气压式或油压式的高压釜。单层中间膜夹层条件，请参考下表与温度时间关系图：

程序条件 Condition	控制范围 Control Range	目标 Goal
最终温度 Final Temperature, °C	120~150	135
最终压力 Final Pressure, kg/cm <sup>2</sup>	10~15	13
温度、压力保持时间 minutes Holding Time for Temperature/Pressure	>20	30
释压温度, °C Temperature of Release Pressure	<50	35





注：愈多层胶合到达平衡，温度压力保持时间需愈长、压力移除温度需低于50℃，否则易生气、升压及升温之速率应相近。理想的升压及升温速率，需视高压釜热传及压传能力而定。

参考标准及资料：

- 1、 GB 9656-2003 《汽车安全玻璃国家标准》；
- 2、 GB/T 5137-2、-3 《汽车安全玻璃试验方法》；
- 3、 ECE R43-2003 (欧洲经济委员会)《安全玻璃材料的统一规定》；
- 4、 ANSI/SAE Z26.1-1996 《陆上公路运行的机动车车辆及机动车设备的安全窗用玻璃材料》；
- 5、 GB\_15763.3-2009 《建筑用安全玻璃第三部分：夹胶玻璃》；
- 6、 EN ISO 12543-1、-2、-3、-4 《夹层玻璃和夹层安全玻璃》；
- 7、 JIS R 3205 夹层玻璃；
- 8、 ANSI z 97.1 2004 《建筑用安全玻璃材料-安全玻璃性能规范及试验方法》。

声明：本研究文件所述部分是基于特定条件下的实验或计算结果，无法涵盖所有实践中的不确定因素，本文件仅供参考，公司仍有可能不经通知即修改本文件内容，且不对任何个人或企业基于本文件内容所做的其它行为承担责任。

版权所有©南京亚鼎光学有限公司    www.aetina.cn    引用本文，请注明出处。