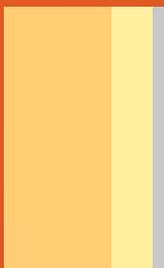


# 杜邦™ Nomex® 助力航空和高速运输



Nomex.



## 简介

当设计上要求重量轻、强度高、刚度高的材料解决方案时，杜邦™ Nomex® 蜂窝结构的芯材都能有效满足。随着航空燃油成本的飞速增长，航空业率先开发和使用 Nomex® 材料的蜂窝夹板，以期达到减低重量，提高燃油效率的目的。例如，波音公司 23% 的外层材料和 100% 的内室饰材料都使用了 Nomex® 蜂窝材料以减轻重量。本手册旨在帮助您享受到采用杜邦™ Nomex® 蜂窝板带来的独特之处。

### 什么是 Nomex®？

Nomex® 是美国杜邦公司的注册商标。在这一品牌下有具有高强度耐高温特性的片材、短纤维和长丝。Nomex® 产品耐高温，而且机械和化学性能俱佳，可满足工业、航空航天、航海、军事以及娱乐业的广泛需求。

### 什么是蜂窝结构？

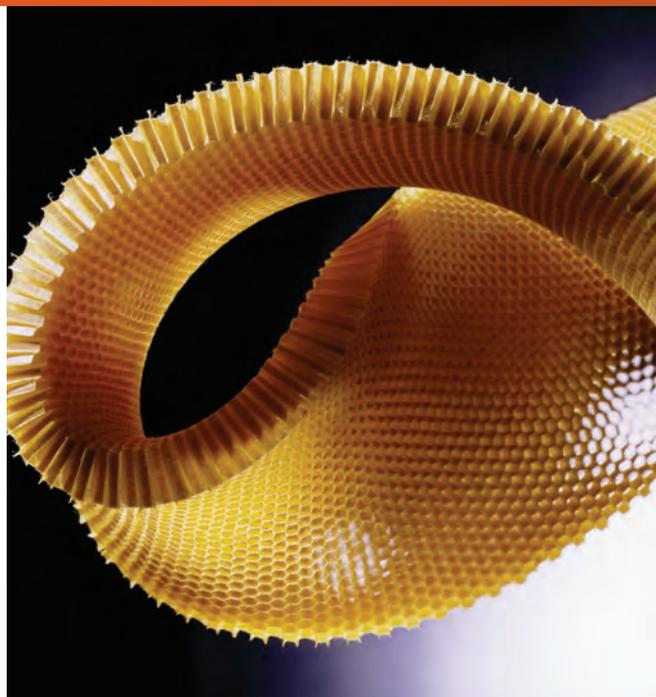
蜂窝是由多个六角形单元构成的结构体，外观类似蜂箱的横截面。蜂窝的 90% 到 99% 是空的。蜂窝的最佳应用是结构制造，同时也能满足非结构件制造的需要。

### 蜂窝结构的制作

Nomex® 蜂窝通常用拉伸扩展形成。在 Nomex® 纸上用胶印上结点线，切割片材并层层堆叠，胶线固化后，形成 HOBE 膨胀前的蜂窝结构块。把 HOBE 块拉伸扩展到所需大小的单元，经稳定和树脂浸渍（用酚醛树脂或其他合适的树脂）。然后，把 HOBE 块片切成厚度合适的板。

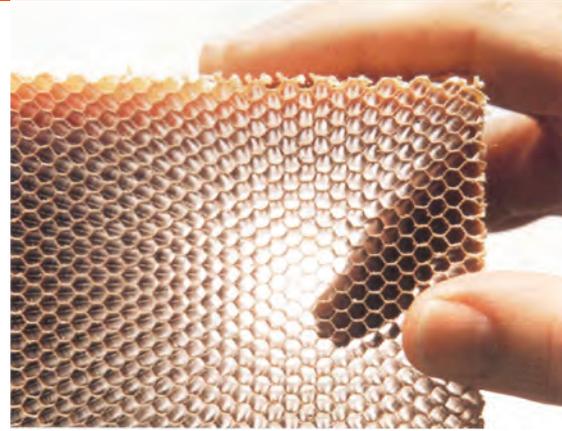
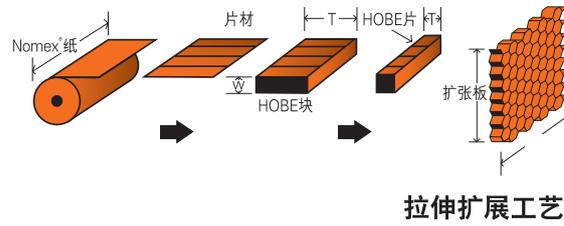
### 为何使用 Nomex® 蜂窝结构？

Nomex® 蜂窝是公认的用途多样的出色的蜂窝芯材。Nomex® 蜂窝极易制成比传统金属结构更轻的结构。Nomex® 蜂窝芯材用上下两个蒙皮粘合后，形成的夹芯板材具有极高的比强度，同等重量的强度是实心钢的 10 倍以上。Nomex® 蜂窝拥有独特的综合性能。当设计要求复杂时，就会发现 Nomex® 蜂窝能提供比其他任何蜂窝都轻的结构。



### Nomex® 蜂窝的优点

- 耐高温，因此可在 200°C (~400°F) 以上的温度下进行热压罐成形
- 密度范围广，从 24-160 千克/米<sup>3</sup>，可满足不同的容量结构要求
- 具有极高的剪切强度，尤其与泡沫芯材相比，更适合在轻质结构中使用
- 高韧性，与其他蜂窝芯材相比，抗损性能高
- 阻燃、低烟、低毒性（符合航空最严格的阻燃和烟毒标准）
- 优异的蠕变和疲劳性能，可在要求苛刻的应用中长期使用
- 极高的湿强度，可在高湿度环境中使用
- 易于加工，降低生产成本
- Nomex® 蜂窝具有耐腐蚀性，这在芯材要接触碳纤维增强的板材的应用中尤为重要，因为碳纤维面层与铝总会形成电位差，产生电化学腐蚀。当芯材与层面之间出现密封开裂，芯材会接触水分或其他腐蚀性介质。这方面，Nomex® 蜂窝也表现出优异的耐腐蚀性。
- 出众的隔热隔音性，相对于金属和玻璃纤维材料而言在相同重量下有更好的隔热和隔音性能，更舒适和节能环保
- 易成型易加工，和金属蜂窝板相比，Nomex® 蜂窝可弯曲，加工更方便，操作更便捷



## 蜂窝夹芯板的制作

图1显示如何制作蜂窝夹芯板。用胶膜把蒙皮与芯材粘在一起。Nomex®蜂窝芯与上下蒙皮紧密粘合就形成蒙皮夹芯板结构。这种结构实现了板材刚度和强度的完美结合。Nomex®蜂窝芯材可显著提高弯曲刚度和强度，刚度提高了37倍，强度提高了9倍，而总重量仅增加6%（图2）。而且Nomex®蜂窝结构的比强度和比刚度优于同等密度的其他材料（图3）。

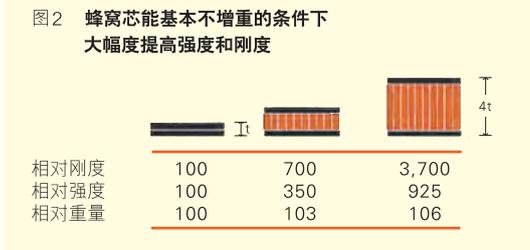
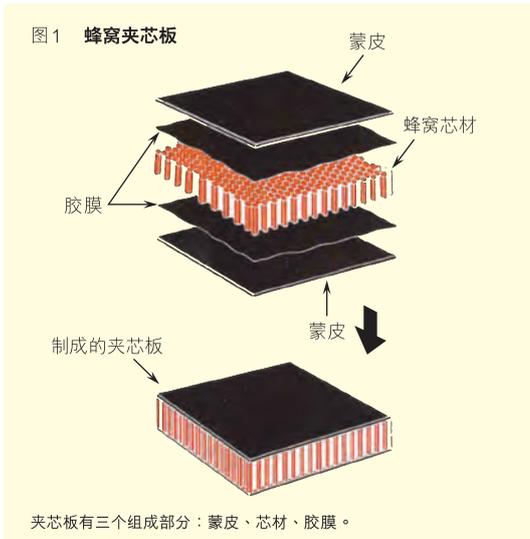


图3 弯曲载荷比较

设计	相对强度	相对刚度
蜂窝夹芯结构	100%	100%
泡沫夹芯结构	26	68
挤出型材	62	99
板筋结构	64	86
胶合板结构	3	17

Hexcel 公司统计

## 蜂窝夹芯层板的设计要求

从结构上来看，蜂窝夹芯板结构类似于二维的“工字梁”形状。上下蒙皮可承受弯曲时的压缩和拉伸载荷。蜂窝芯材类似于“工字形”梁二维的网状结构，可承受剪切载荷，使面板保持几何形状。这可给予面板连续可靠的支持，从而提高了结构刚度。夹层结构梁的总挠度是由弯曲应力和剪力引起的挠度的总和（图5）。弯曲挠度与蒙皮材料的模量有关，剪切挠度与芯材的剪切模量有关。因此，如跨度较大时，夹层结构梁弯曲会更多作用于上下面板的压缩和扩展变形。如跨度较小，夹层结构梁弯曲会作用于芯材的变形。

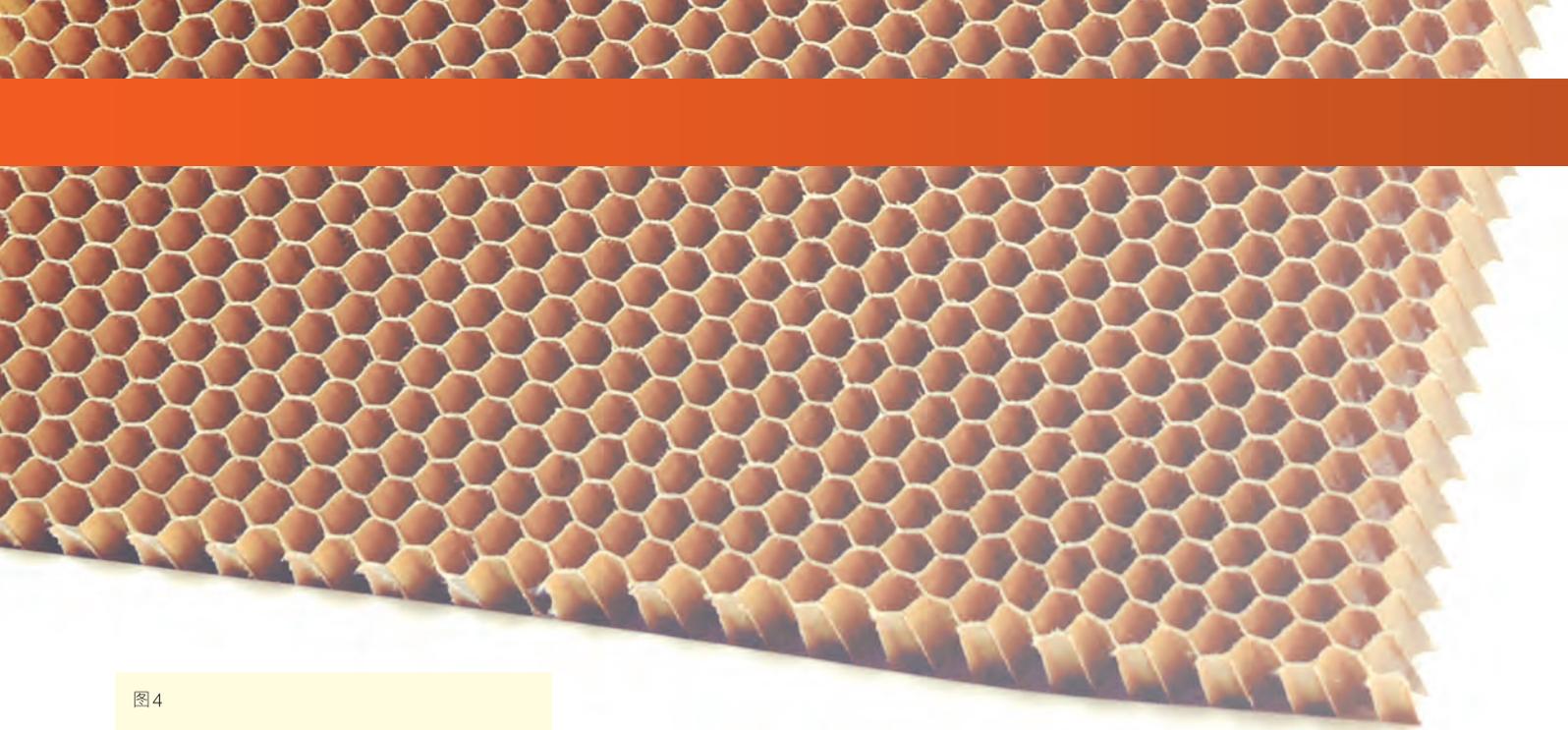
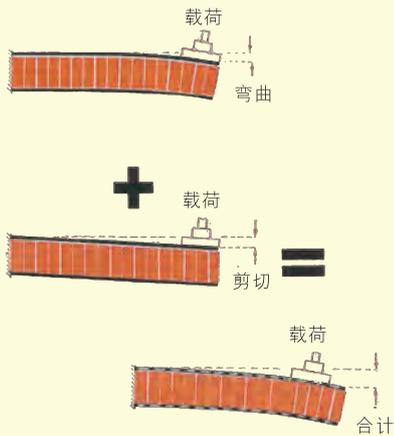


图4



图5 夹芯层压板结构梁的工作原理



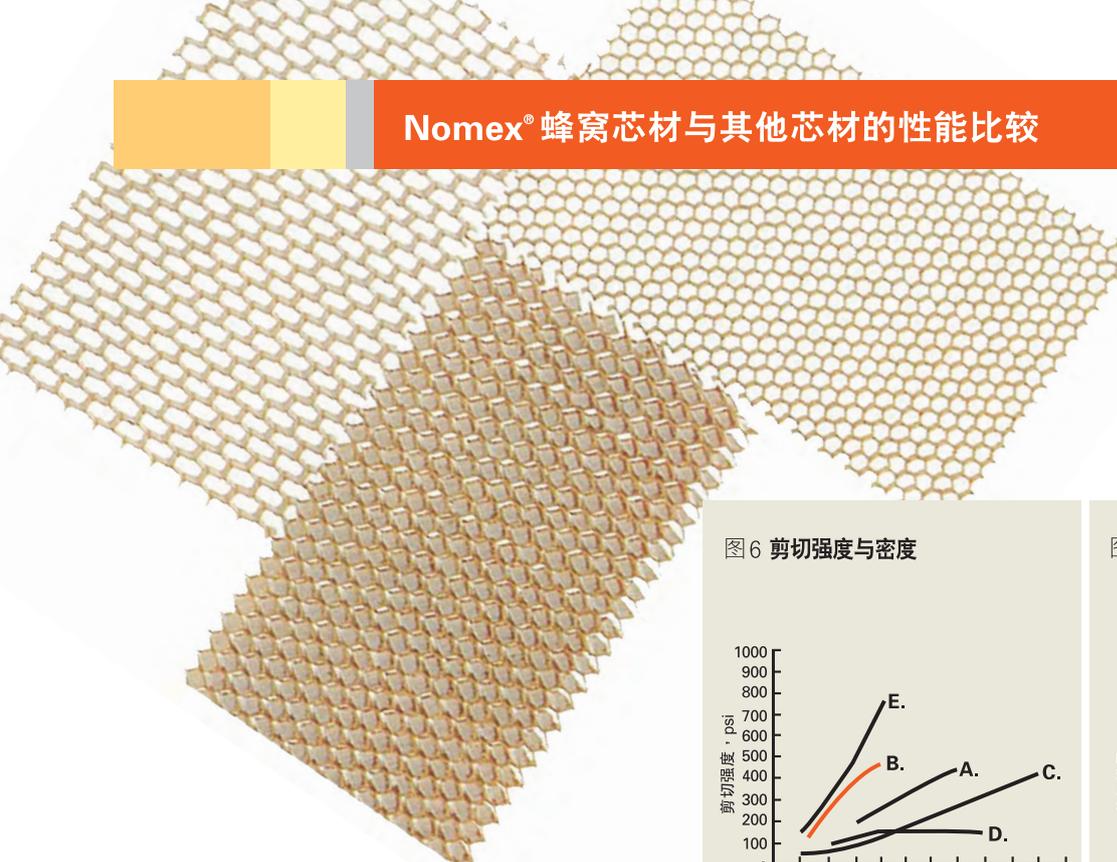
总挠度 = 剪切挠度 + 弯曲挠度。

蜂窝夹芯层压板的设计应符合一定载荷下基本结构的设计要求。这些夹芯层压板结构的设计要求包括：

- 蒙皮应足够厚，以承受载荷施加的拉伸和压缩应力
- 芯材必须有足够的强度，以承受载荷施加的剪切应力
- 夹芯层压板应该有足够的弯曲和剪切刚度，以防止载荷产生过大挠度
- 芯材必须有足够的抗压强度，以防止面板垂直方向的设计载荷使之破坏
- 芯材必须足够厚，有足够的强度、足够的硬度，以防止夹层结构在边缘受压时发生整体弯曲、剪切卷边、面板起皱和结构单元间凹陷
- 粘结必须足够强，以承受载荷施加的平面拉伸和剪切应力

夹层板材紧固件必须有足够的强度，并与芯材和面板结合，把载荷传递到结构的其余部分。

# Nomex® 蜂窝芯材与其他芯材的性能比较



## Nomex® 芯材与其他芯材的性能比较

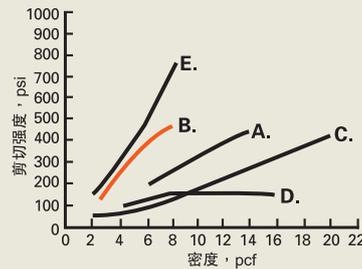
**剪切强度：**在任何特定密度下，Nomex®的剪切强度均超过硬质泡沫和轻木，类似于铝质和玻纤布蜂窝。图6比较了几种主要芯材在不同密度下的剪切强度。

**剪切模量：**图7比较了各种芯材的剪切模量与密度的关系。Nomex®的剪切模量类似于轻木，远大于硬质泡沫，而且，由于密度低于轻木，如需考虑减重时，Nomex®通常是首选。铝质蜂窝的剪切模量约是Nomex®的六倍。然而，如挠度范围较大时，这可能并不会致使挠度发生显著变化(图7A)。如挠度范围较小，铝质芯材面板的挠度会有略微降低，但韧性会显著降低(图7B)。

**抗压强度：**在比较抗压强度和密度之间关系时，Nomex®蜂窝略优于铝质蜂窝和轻木，明显优于硬质泡沫。抗压强度/密度比较见图8。

**韧性：**Nomex®蜂窝芯材拥有独特的特性，可局部超载，而不会发生永久性损坏。与玻璃(脆)和铝(延伸)不同，Nomex®蜂窝具有极好的韧性。这种韧性使Nomex®蜂窝具有优良的抗机械损伤性，从而提高了可靠性(图9)。

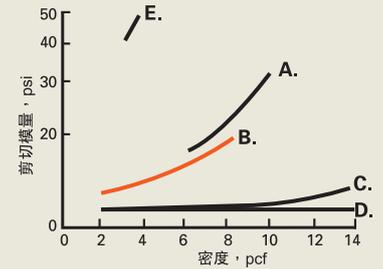
图6 剪切强度与密度



芯材

A. 轻木 C. 聚氨酯泡沫 E. 铝蜂窝  
B. Nomex® 蜂窝 D. PVC泡沫

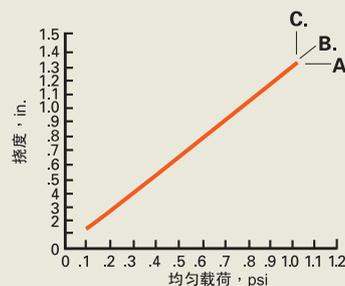
图7 剪切模量与密度



芯材

A. 轻木 C. 聚氨酯泡沫 E. 铝蜂窝  
B. Nomex® 蜂窝 D. PVC泡沫

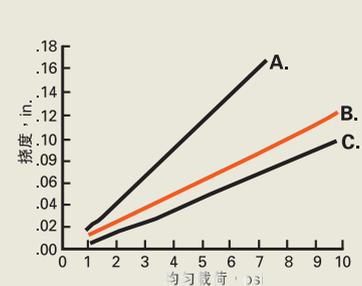
图7A S.S梁挠度计算结果 (长/薄梁)



梁尺寸

长 96" 蒙皮 20 mil 玻纤/环氧复合材料 芯材 A. 3 pcf PVC泡沫 B. 3 pcf 1/8" Nomex® 蜂窝 C. 3 pcf 1/8" 铝蜂窝

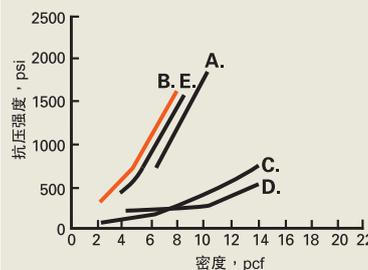
图7B S.S梁挠度计算结果 (短/厚梁)



梁尺寸

长 18" 蒙皮 20 mil 玻纤/环氧复合材料 芯材 A. 3 pcf PVC泡沫 B. 3 pcf 1/8" Nomex® 蜂窝 C. 3 pcf 1/8" 铝蜂窝

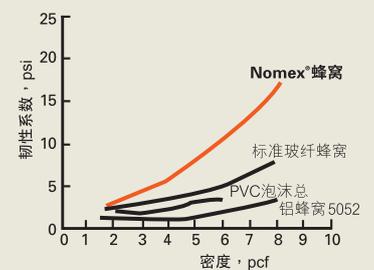
图8 抗压强度与密度



芯材

A. 轻木 C. 聚氨酯泡沫 E. 铝蜂窝  
B. Nomex® 蜂窝 D. PVC泡沫

图9 韧性系数与密度



定义和数据由Hexcel公司提供

## 用Nomex® 蜂窝芯材制造夹芯板

制造蜂窝夹芯板应满足三个条件：

- 模具或夹具必须保持所需的形状
- 应力必须均匀，在固化过程中使结构结合在一起
- 加热必须均匀，以均匀固化树脂

制造Nomex® 夹层结构有很多步骤。我们接下来将概述符合上述要求的典型的预浸料热压罐固化。

1. 取一块干净、光滑的工具板。注意：工具板上的任何缺陷或不规则形状将显示在固化层压板上。
2. 用1英寸宽的胶带把工具板固定好。在准备封边胶带时，保持干净，无任何脱模剂。
3. 在工具板表面直接涂上脱模剂。
4. 剥离预浸料上的聚乙烯膜，再把预浸料铺在工具板上。
5. 把第一层放在工具板中心，确保光滑、无皱纹、未变形。

### 第1步



### 第4步

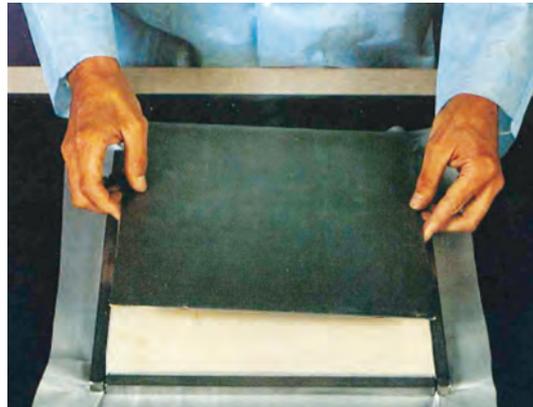


6. 把此后各层直接放在第一层上，对齐边缘。确保纤维方向正确。如果预浸料不能相互粘附，添加胶膜。
7. 可用滚筒去除气泡和皱折。
8. 芯材放置方式与预浸料相同，边缘与预浸料对齐。
9. 后续预浸料以同样的方式铺在芯材上。同样，滚筒可用于去除气泡和皱折，使之平整。
10. 在层压板上放置离型膜。这一层膜至少每侧突出层板3-4英寸（8到10厘米）。防粘膜需既不影响挥发份挥发，又包住树脂。
11. 围绕层压板边缘放置支撑物，防止芯材在真空和压力下破损。支撑物应放置在防粘膜上，这样才不会粘住层压板。此处使用1/2英寸金属条（扁材）。
12. 在层压板上放置平整的隔板。与工具板一样，此板应既干净又光滑。

### 第8步



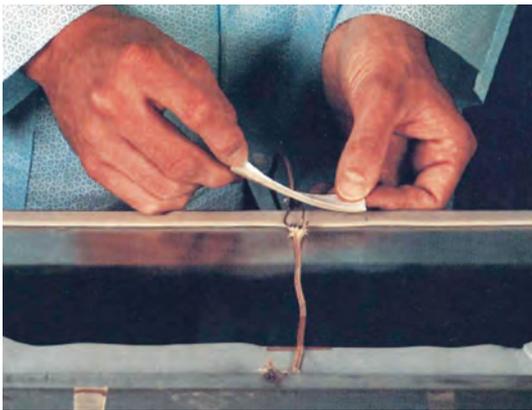
### 第12步



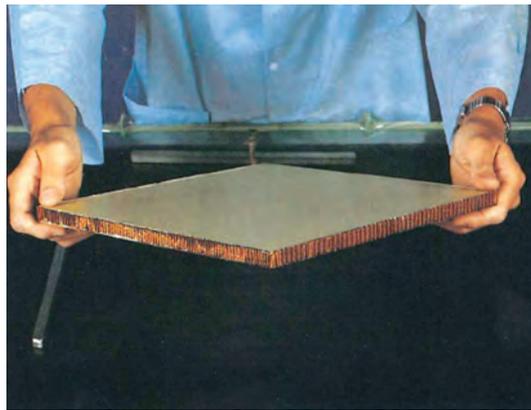
13. 把4-6层的透气材料放置顶部，以保证夹芯板固化的空气流通，挥发物挥发。
14. 取下工具板边缘的胶带。
15. 更换密封条，去除密封条隔膜。
16. 在密封带上部插入热电偶。必须剥除热电偶护套与密封带的接触处的防护套以防止漏气。在热电偶上放置密封带，以确保密封完整。
17. 把真空袋材料放在组件上。真空袋层应足够大，可以装下组件。
18. 把真空袋材料向下按在密封带上，以确保密封良好。

19. 检查确认无泄漏后，打开真空泵，连接真空管线。抽气至5英寸汞柱（17千帕），并保持20至30分钟。不可超过5英寸汞柱时界限制，高真空可能会使面板在蜂窝单元上出现微凹。在抽气之前20至30分钟，必须检查泄漏。
20. 把零件放入热压罐，接通真空管线。启动热压罐。
21. 固化后，从热压罐取出零件。
22. 清除真空袋、透气层和离型膜。
23. 蜂窝夹芯层合板制件完成成型。

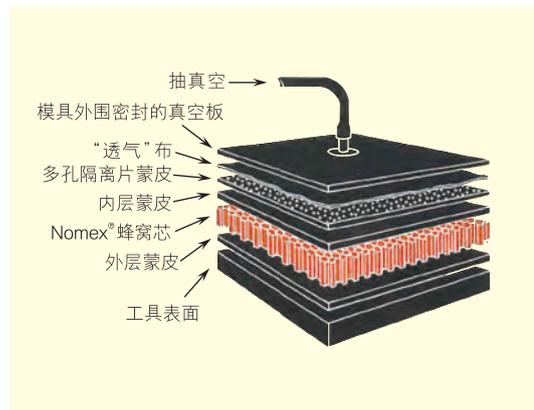
第16步



第23步



第20步



## Nomex®蜂窝，适用任何要求低重量、高强度的应用

除了航空应用外，杜邦™ Nomex®在列车上也成功应用了20年。到目前为止，在世界各地Nomex®蜂窝板已成功应用在高速列车、双层列车、地铁、轻轨等5000多辆客车上。除此之外，国际知名的客车制造商Alstom, Fiat, Breda, Rotem和中国长春客车厂都普遍采用了Nomex®蜂窝板作为列车的顶部、窗框、行李架、隔板，地板和橱柜等内饰部件。



如今，杜邦™ Nomex®在要求大幅度减低重量的应用中将继续发挥重要的作用，如下案例所示：

### 案例 1：法国 ANF 隧道列车

用穿越海峡的隧道将法国和英格兰连接起来的梦想随着运送乘客的列车的贯通而成为现实。整个车箱内部都采用了轻质的Nomex®蜂窝夹芯层和玻璃酚醛蒙皮的三明治复合结构以减轻重量。

### 案例 2：中国客车和谐号 5

和谐号 5 列车采用了 Nomex®蜂窝芯材的侧板、行李架、天花板、隔板和壁柜。

### 案例 3：德国 Transrapid 列车

磁悬浮列车对车体重量非常敏感。德国 Transrapid 列车的内饰，在车体的天花板和地板中采用了 Nomex®蜂窝。

### 案例 4：美国海湾高速列车 (BART)

著名的旧金山海湾高速列车 (BART) 其内饰和地板采用了 Nomex®蜂窝芯材和玻璃酚醛蒙皮。

此处将介绍Nomex®蜂窝典型的应用案例。它们都有一个共同点：Nomex®蜂窝使其在最轻的重量下，实现高强度与长寿命。

船艇制造商采用了Nomex®蜂窝结构。例如，船艇的船体用此高强度轻质材料进行加固。蜂窝不仅提高了船艇的性能，也有利于生产加工。它为生产加工提供了更好的操作性和一致性，使得生产加工更加方便简单。

新的美国海岸警卫队快艇的重量减少了9吨多，因为客舱隔板采用了Nomex®蜂窝结构取代了过去的石棉板，从而消除了可能出现的健康危害。



用Nomex®蜂窝制成的军用隐蔽所便于运输和搭建。蜂窝芯材结合铝制面板的夹芯结构，可用于制作天花板、地板和壁板。在给定密度下，Nomex®蜂窝结构的抗冲击性优于其它材料。

Nomex®蜂窝芯材可用于制成最坚韧、最有弹性且最轻的雪橇，以满足速降滑雪赛的高性能要求。



Nomex®蜂窝具有高度耐冲击、耐腐蚀和耐疲劳性，使之成为直升机螺旋桨的理想材料。它也可以用来制成直升机的许多非承重零件。

现代商业飞机的多处内板使用Nomex®蜂窝结构，包括地板、侧板、行李架、天花板、隔板、厨房和厕所。

用Nomex®蜂窝制作而成的航天飞机货舱门具有重量轻、高强度和高刚度的独特性能。Nomex®蜂窝也可用来制成航天飞机的外壳和储物箱。

用Nomex®制成的飞机外部蜂窝板可用于整流罩、尾翼、襟翼、副翼、盖板、舱门、补翼、扰流板、进气管道、缝翼、翼端、引擎罩、外挂架和雷达天线罩等。





**Nomex.**

**有关产品的安全资料，承索即寄。**

本资料反映了本公司在这一方面的现有知识。仅用于对您自己的实践工作提供可能的建议。但是，他并不旨在取代您根据特定的用途而可能需要进行的任何用于确定本公司产品的适用性的实验。在本公司获得了新的认识和经验后，可能会对本资料进行修改。由于我们无法预料最终用户的实际条件的各种变化，故杜邦公司不担保和承担与本资料的使用有关的任何责任。本资料中的任何内容均不应被作为使用任何专利或商标的许可或侵犯任何专利权或商标权的建议。

**杜邦中国集团有限公司**

**上海**

上海浦东新区张江高科技园  
科苑路399号11号楼  
邮编：201203  
电话：(86)21 3862 2888  
传真：(86)21 3862 2879

**北京**

北京朝阳区建国路91号  
金地中心A座18层  
邮编：100022  
电话：(86)10 8557 1000  
传真：(86)10 8557 1888/1999

**香港**

九龙尖沙咀广东道9号  
港威大厦第六座26楼  
电话：(852)2734 5345  
传真：(852)2734 5441  
<http://www.nomex.com.cn>

**客户服务热线:** (86)400 8851 888

© 杜邦公司2012版权所有。杜邦椭圆形标识、杜邦™、Nomex®均为美国杜邦公司及其关联企业的商标或注册商标。

DPT-XXX 04/2012 HK

**[www.nomex.com.cn](http://www.nomex.com.cn)**