

即时作废

目录

1. 泡沫芯材的储存与加工

1.1 储存与加工

1.2 机械加工

1.3 热成型

2. 夹层结构的生

2.1 泡沫准备

2.2 铺放泡沫

2.3 UP/VE 树脂成型

2.4 EP 树脂成型

2.5 树脂灌注和注射

2.6 预浸料成型

2.7 不同面板材料与泡沫的粘合

2.8 真空袋压成型

欧洲/中东/非洲:

Airex AG

Industrie Nord

CH-5643 Sins,瑞士

电话: +41 41 789 66 00

北美/南美:

Baltek Inc.

108 Fairway Court

Northvale, NJ 07647,美国

电话: +1 201 767 14 00

亚洲/澳大利亚/新西兰:

中国上海市浦东新区上丰路955号6幢

邮编: 201201

电话: +86 21 585 86 006

传真: +86 21 338 272 98

1.1 储存条件

储存

所有泡沫材料应存放在温度为 10°C-30°C (50°F-86°F), 相对湿度为 50% 的封闭式储藏室内。不可与有机溶剂混合存放, 否则, 泡沫材料可能会吸收有机溶剂的挥发物。长期存放可能会导致最高达 3-5% 的收缩。长期储存精确尺寸的泡沫材料时, 须充分考虑上述现象。泡沫材料保存期为一年。

为防止出现异常收缩及变色, 应避免直接曝晒泡沫。正式使用前, 建议将泡沫材料在车间存放至少 24 小时。储存温度偏低或湿度偏高时, 更应如此。泡沫材料表面受潮可能会抑制树脂的化学反应, 而且不同的温度还会对固化时间造成影响。

AIREX®泡沫的除气

受化学性质和生产工艺的影响, 在树脂固化时, 交联 PVC 泡沫会释放出少量气体。为防止出现分层等不良情况, 须予以除气处理。时间、温度和压力是影响交联 PVC 泡沫芯材脱气的三大主要参数, 泡沫的密度对此影响不大。

除气量的多少主要取决于在泡沫块或泡沫板厚度方向的位置。任何 2 毫米以上的切割或打磨作业都会改变大气与泡沫微孔间的压力平衡。泡沫材料由此即会释放气体, 直至再次达到平衡, 因此, 不可能以热处理方式对交联 PVC 泡沫块或泡沫板进行彻底除气。每次切割材料时, 都会发生一次除气过程。

最常用的除气方法是热处理, 或控制储存条件:

热处理

通过热处理, 可在很短时间内对材料进行有效除气。实验证明, 在 40° C 进行 7 天左右的热处理, 是最安全的加速脱气措施, 尽管可能会产生微小变形或收缩,

控制储存

控制储存不会引起变形, 收缩率也极低, 但材料储存时间相对较长。要与热处理取得相同效果, 须将材料在室温 (23°C) 下至少储存一个月。经验表明, 温度每变化 10°C, 相应的处理时间则变化一倍。

例如: 50°C => 3 天, 60°C => 1.5 天或 10°C => 2 个月

基本规程

1. 为避免造成过量放气，成型时泡沫材料须处于平衡状态。材料切割至所需大小或尺寸后，可通过热处理或储存控制以达到最佳状态。详情请询 AIREX 技术服务。
2. 层压板的树脂含量越高，与 PVC 芯材粘合的速度越快，抗剥离强度过低或表层起泡的风险也就越小。
3. 为复合材料层板固化而进行的热处理会引发放气，尤其是紧靠泡沫的第一层。充分粘合后，再进行后固化热处理对夹层不会产生不良影响。
4. 在 90°C-120°C 的预浸料工艺条件下，C71.75 几乎不会产生放气现象。在 60°C 使用低温固化船用预浸料时，泡沫放气会影响粘接效果，因为需要更长的时间以达到必要的粘合强度。
5. 使用环氧树脂预浸材料时，建议用一层较薄的室温固化树脂对芯材进行密封，防止因二氧化碳（温度升高后可能由芯材释放）对固化造成抑制。更多详情，请咨询 AIREX 技术服务。

若还有其它问题，敬请联系 Alcan Airex AG 技术服务人员。

1.2 加工

概述

表观密度小于 200kg/m³的 AIREX 硬质泡沫可以很容易的通过机械方法加工。一般的木材加工设备都可以用来加工泡沫。处理表观密度超过 200kg/m³的硬泡沫（特别是热塑性泡沫）时，必须选择合适的工具且要达到一定的切削速度，否则会造成局部过热而达不到理想效果。

此处说明信息均基于我们的经验，供大家参考。对特殊的个案，我们可进行试验，以确保最佳效果。

重要注意事项!

硬质泡沫的机械加工可能会产生悬浮尘埃和泡沫粒子而引发环境和健康问题。因此，适当的通风和真空辅助除尘是必不可少的。关于浮尘方面的规定以及有关人身安全的防范措施，请参阅材料安全数据表。

切割方法

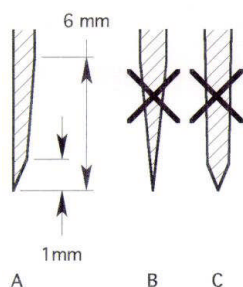
以下有关建议针对 AIREX R63、R82、C70.40-C70.90、C71 和 C51。

刀割

厚度不足 10mm (3/8") 的薄板用一般的如 Stanley 美工刀即可切割。AIREX R63 薄板韧性较强，不易切割，而 AIREX C70 薄板，其密度范围较低时，易切割。

钢模冲压

钢模冲压简单易行，且价格低廉，可用以切割各种大小、形状、材质、厚度适中或偏薄的薄板。建议的最大厚度列表如下：



AIREX [°] R63	25mm
AIREX [°] R82	20mm
AIREX [°] C70 / C71	15mm

钢模切口几何形状

刀片形状多样，对钢模切口我们推荐使用 A 型。

低密度热塑性泡沫
机械加工方法

对于 AIREX R63、R82、C70.40 至 C70.90, C71 和的 C51, 几乎所有高速木材加工机械或设备都能对其进行加工, 且效果都不错。工具及其相应配置都是常规的。

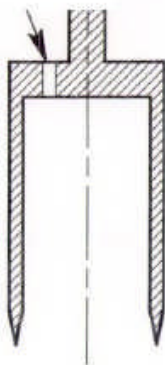
泡沫类型	加工操作			
	砂磨	钻孔	铣	车削
R63	●	□	○	
R82	●	□	●	
C51	●	□	●	
C70.40	●	□	●	
C70.55-90	●	●	●	●
C71	●	●	●	●
T90/92	●	●	●	○

- 方法适用
- 方法适用, 但需格外注意切削速度和工具配置
- 方法可行, 但不是最佳选择

砂磨

进行砂磨时要格外注意。速度过快, 或使用砂粒的等级与品种不当都易产生问题。对泡沫板进行砂磨主要是为了让板的表面参数符合公差要求。使用 60 至 80 号标准砂纸、速度在 20 至 30m/s, 效果最好。

使用旋转刀具钻孔



对中低密度的泡沫, 若需加工直径较大的孔、圆盘和塞子, 用旋转刀具即能切割。为了切割效果理想, 切割材料的厚度的选择很重要, 而该最大厚度由材料的密度和切割工具的直径决定, 通常不能超过 35mm。

切削速度大约应在 100 到 250rpm 之间(或者 280m/min 左右), 这样能避免摩擦热过高。掘进速度应为 0.5 至 2mm/sec 左右。冷却液的效果显著, 建议使用。

重要注意事项!

在进行以下层压和粘结操作时, 必须先清除附着在表面的粉尘。真空设备必压缩空气设备效果好。

高密度热塑性泡沫的加工方法

以下建议针对 AIREX° C70.130 和 C70.200。

相比固体塑料 100N/mm² (1500 psi) 左右的切削力，其切削力相对较低，在 30 至 50N/mm² (4300 至 7300psi) 之内。可建立整体轴承式的高速切削设备，这类设备常用于加工轻质合金，在加工高密度（热塑性）泡沫材料板时，允许在最低进给情况下保持高速切割是必不可少的，倾角也会比较小，高切削速度和较小的倾角有助于把热量的产生减小到最低程度，避免泡沫软化甚至熔化。人工冷却是个好的方法，但实用性有限。例如，空气射流就不适用。

砂磨

在使用砂带打磨时，与 40 - 100kg/m³ 的泡沫一样，针对不同情况，要选择适当的砂磨速度和砂砾的品种。

切削塞子和大直径孔



借助特殊套的切割气缸，能从高密度泡沫板（AIREX°C70.130 - 200）上切割出塞子或大直径孔。刀头的数量不宜过多（4 个左右）。建议使用硬质点工具。切削速度和进刀速度取决于材料的特点，需视情况而定。

夹层板成品的加工

根据面板材料（FRP、金属、塑料等）以及期望达到的表面的切割质量来选择切削工具。选择切削速度和进刀速度时须避免芯材温度高于 50°C。建议使用冷却液。

为了防止夹层的下部面板受力而出现分层或遭到损坏，我们强烈建议使用经过硬化处理的刀具和坚固的支撑材料，比如使用胶合板。

1.3 热成型

概述

热成型过程中，泡沫在压力的作用下会依次经历升温、成型和降温等阶段。只有泡沫的部分组分为热塑性聚合物时，才具有这种热成型性能，AIREX®泡沫产品即是如此，因此，理论上说，它们都可以进行热成形。泡沫的类型及厚度是决定其热成形性能的关键因素。

通过热成形，上述泡沫可加工成现代夹层结构所需的三维复杂形状，同时保持夹芯的完整性。因此，对于常用的贴膜轮廓板来说，热成型是一个很好的替代方案。对于轮廓板，夹芯和载荷传递路径都会被中断，而热成型可以在减轻结构重量的同时，减少腻子、粘合剂或树脂的用量。

工艺参数

泡沫加热

可通过以下方式对泡沫进行加热：

对流：通过循环空气炉或使用热鼓风机

传导：通过热板或使用热的水浴

辐射：通过热丝网台、卤素或红外加热器

由于泡沫表面的熔融材料可能会在加热后粘在加热板上，所以在进行传导加热时可能会出现一些问题。使用特氟龙表层或脱膜织物可缓解这一问题。采用热水浴时，建议对泡沫进行后干燥，因为残余水分会减弱泡沫夹芯和表层材料的粘合力。

辐射加热有时会导致泡沫表面过热，特别是当辐射通量过高，而热量又无法迅速转移到泡沫板内部时。这通常会导致表面细孔塌陷、材料分解以及该区域的机械性能不良。因此，应密切监测泡沫的表面温度，并相应控制辐射通量。

一般而言，对流是最安全的泡沫加热方法，因为它没有上述不足。不论选择哪种方法，都应注意均匀加热泡沫。否则，泡沫板可能会因为热膨胀不均而发生弯曲，因此，将边角靠近热源，会使加热不均的问题更加突出。可通过延长加热过程来缓解这些问题。

热成型温度

以下为热成型的建议炉温：

泡沫类型	热成型最佳炉温	
	(°C)	(°F)
C51	140-160	285-320
R63.50	90-95	195-205
R63.80	95-105	205-220
R63.140	100-110	210-230
C70.40-90	115-130	240-265
C70.130-200	120-135	250-275
C71	140-155	285-310
R82.60	205-210	400-410
R82.80	210-215	410-420
R82.110	215-220	420-430
T90/92.100	155-175	310-350
T90/92.130	155-175	310-350
T90.320	160-175	320-350

加热时间

加热所需时间取决于泡沫的热容量、厚度，及烤炉的设计、环境影响（阳光直射、通风、车间温度）等其它因素。预计加热时间为：

对流加热：0.5-1 分钟/毫米
(循环空气炉)

传导加热：0.2-0.5 分钟/毫米
(热板装置)

20 毫米厚板材通常需加热 2-10 分钟。

工具

如果仅有少量泡沫部件需要进行热成形，则可以使用相对简单的木制或复合材料工具。对于较大的产品，建议使用温控铝制工具。通过温度控制，可确保热成形条件始终处于加工要求的范围内。对于那些没有精确厚度要求的部件，可采用阳模或阴模进行热成形。

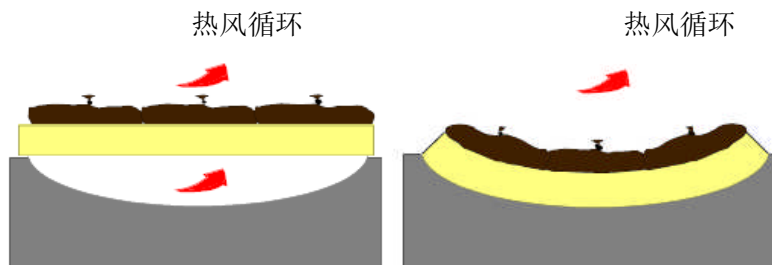
加压

可通过以下方式加压：

- 手动
- 通过重物，如沙袋等
- 真空袋法
- 模压

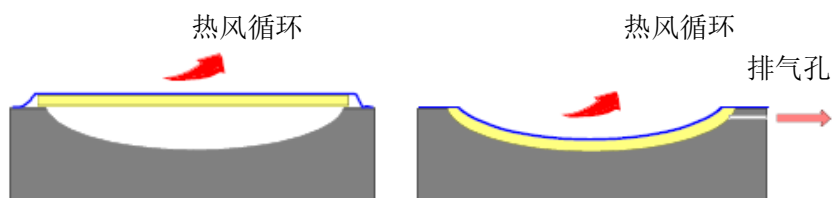
蠕变成形

蠕变成形时，将泡沫和模具一并放置到热风循环炉内。在加重（如沙袋）情况下进行加热和冷却。根据泡沫种类及厚度的不同，整个成形时间需 1-5 小时。



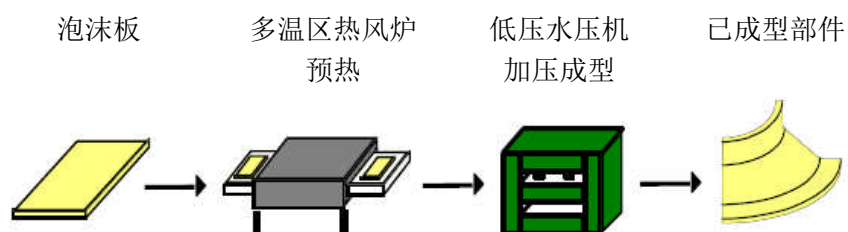
真空成形

可用热风循环炉或高压釜进行真空成形。要确保热空气在泡沫板和工具之间进行充分流通。应在真空条件下进行冷却。根据泡沫种类及厚度的不同，整个成形时间需 1-5 小时。



压模成形

对厚度公差要求精确时，应在封闭的模具内加热成形。可通过简易的闭合或钳夹装置或压模机板进行加压。



首先，将泡沫板预热至所需温度。通常，20 毫米厚板材需预热 10 分钟。应对成形用金属工具进行温度控制。整个加压时间为 2-2.5 分钟。

2. 夹层结构的生产

2.1 开槽和穿孔

目的

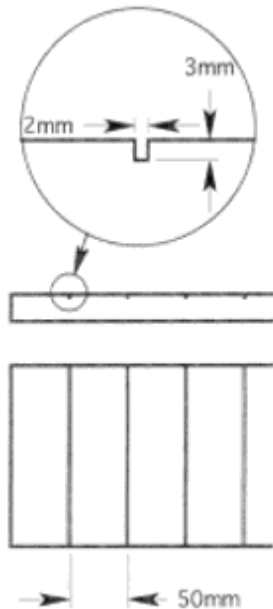
夹层结构包括夹芯和抗拉/耐压刚性面板，通过在两面板之间安装泡沫夹芯进行生产。然而，只有当面板和夹芯之间的粘合力在极度应力、过载或冲击下仍然有效时，这种轻型刚性设计才能保持其结构刚度。表层局部弯曲、脱粘都会明显减弱刚性和强度，使整个部件出现重大故障。因此，正确铺放泡沫夹芯是夹层制造过程中最重要、最关键的一步。

可按以下方式铺放夹芯：

- 湿法成型加真空袋压或沙袋加压（[详见 2.8 章](#)）
- 树脂注灌工艺（[详见 2.5 章](#)）
- 粘接泡沫和面板（[详见 2.6、2.7 章](#)）

制备工艺

铺放之前，应将泡沫板开槽或打孔。若对两面板进行同步粘接，则必须开槽。如在阴模中进行湿成型或采用树脂注灌工艺，则需打孔。开槽尺寸见左图所示。

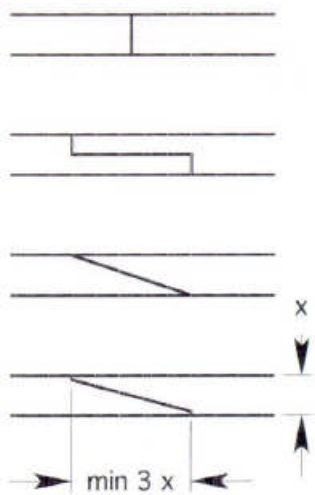


打孔时，建议孔径约为 2-3 毫米（mm），即 1/16-1/8 英寸（in），间距至少为 50 毫米（mm），即 2 英寸（in）。为确保钻孔能精准排布，强烈建议采用纸板或胶合板作为模板。

重要注意事项！

铺放前，必须用真空吸尘器清除泡沫板表面粉尘。

对接接头



泡沫板对接的方法有多种。应根据泡沫厚度和成品的性能要求，选择适当的几何形状。一般情况下，接头面积应足够大。左图列出了几种可能情况。有关粘合剂使用方面的建议可参见 [2.7 章](#)。

泡沫套材

泡沫套材在生产复杂的 2 维或 3 维部件（船体，风力机叶片...）时非常有用。事先将泡沫板材切割成可直接铺放入模具的套材，则在成型时泡沫套材能非常方便地放入模具。请注意以下几点：

- 采用真空灌注技术（详见第 [2.5 章](#)）时，需要开“十字”槽，保持树脂的流径通畅。邻近板材也需按同样方式切割，以保持沟槽畅通。
- 在泡沫板原尺寸上进行加工，以减少浪费。

可采用不同方式将泡沫套材置入模具。用于手糊工艺时详见第 2.3 章。用于预浸料和真空灌注工艺时，不同板块的泡沫之间应相互契合。为减少在两泡沫板块间形成导流通道的风险，需要契合模具表面角度以 45° 斜切泡沫板。基于以下原因，必须要避免上述的导流通道的形成：

- 透印影响，影响表面加工
- 固化过程中树脂释放高温，可能损毁泡沫
- 真空灌注时流向错误，导致空气进入层压板

建议在干燥时粘接泡沫板。[2.7 章](#)列出了各种可用的泡沫粘合剂。首次切割后，可用胶合板制作模板用以加工更多的泡沫套材。

重要注意事项！

在夹层结构过渡为单层板的部位（如船的龙骨或梯形脊），应将泡沫切成 30° 的倾角。

2.2 将泡沫放入模具

概述

可采用以下不同方法将泡沫板铺放入模具：

- 冷弯
- 热成形（详见 [1.3 章](#)）
- 使用贴膜轮廓板（ContourKore）

冷弯和热成形法的优点是，利用连续式泡沫夹芯优化夹层结构的重量。使用贴膜轮廓板无需特殊设备，是一项便捷的替代方案。

采用冷弯法安装平板

冷弯法尤其适用于 AIREX®R63，其它类型的 AIREX® 泡沫也可使用这一工艺成形。

最小弯曲半径取决于泡沫类型及板材厚度，在一定程度上还取决于泡沫的密度。利用下表，可轻松估算出最小弯曲半径：

最小弯曲半径=板厚*冷弯系数

泡沫类型	R63	R82	C70/ C71	C51	T92
冷弯系数	15	35	25	25	20

当弯曲半径很小时，可将两块或多块泡沫板层压（多层夹芯）在一个阳模上以增加夹芯的总厚度。

冷弯会引起泡沫夹芯的内应力，但随着温度和时间变化，此应力将逐渐减弱。

采用真空袋压时，将泡沫板以理想的形式固定，无需采取任何特殊措施。此外，也可以用螺丝、胶水或类似方式将泡沫固定。

如所需弯曲半径无法通过冷弯实现，则需对该部分进行热成形（详见 [1.3 章](#)）或切割处理。

贴膜轮廓板 与弯曲泡沫板的比较

利用冷弯或热成形法，夹芯内都不会形成间隙。由于必须用腻子或树脂填满所有缝隙，贴膜轮廓板的重量明显大于采用弯曲或热成形法的夹芯。这不仅涉及到成本问题，还关系到夹层复合材料结构的完整性。

计算

可按下列公式轻松估算因贴膜轮廓板出现开口而产生间隙的总体积：

$$V \approx d^2 * 29 * \arcsin 3/r$$

V: 每平方米的间隙体积[cm³]

d: 泡沫夹芯的厚度[cm]

r: 弯曲半径[cm]

arcsin 以度为单位计算（圆周=360°）

示例

泡沫夹芯的厚度	2.5 cm
弯曲半径	100 cm
→间隙体积	311 cm³/m²

安装贴膜轮廓板

对于采用阴模技术的 FRP 夹层结构中的二维和三维形状，大多数 AIREX®泡沫都可采用贴膜轮廓板：将泡沫板切割成小方块（如 30 毫米），并在背面粘接玻璃纤维织物以保持泡沫板的完整性。

重要注意事项！

为确保夹层部位的质量达到最佳，必须符合下列要求：

- 保证面板和泡沫的有效粘接
- 用树脂或腻子填满间隙

将贴膜轮廓板铺放入阴模的方法很多，常用的有：

首先，用通用的预促进树脂对贴膜轮廓板打底。苯乙烯单体含量最高为 40%左右的中等粘度邻苯树脂是较理想的用料。最好在弯曲夹具上进行打底，这样，可使单个泡沫块之间的切口稍稍张开。

用手辊将树脂压入开口内。将泡沫板转 90° 后，重复该步骤以填满另一半切口。树脂预促进应确保凝胶时间达 20-40 分钟（在泡沫的薄层中进行测量）。

继续在弯曲夹具上用腻子或粘合剂尽量填满缝隙。为确保树脂涂层均匀，应用铲刀或手术刀将腻子均匀地涂抹在泡沫上。

有不少现成的化合物可供选用，尤其是那些能给泡沫夹芯/FRP 接口提供一定弹性的化合物。一般是含有不饱和聚酯或聚氨酯丙烯酸成份的填充树脂化合物，并通过添加过氧化硬化剂进行固化。固化化合物密度约为 650-850 公斤/立方米（约 40-53 磅/立方英尺）。

将经过表面处理的贴膜轮廓板放到固化的复合材料面板上。为确保面板和芯材之间得到最佳粘合，必须保持面板干燥、无尘。以标准轧辊轻柔均匀地碾压芯材表面，直至轮廓板各个泡沫方格缝隙内出现腻子或树脂。

用沙袋或真空袋对（详见 [2.8 章](#)）泡沫加压。由于树脂可能会透过方格之间的间隙，所以，最好在制品和沙袋之间使用脱膜布。

是否保留轮廓板上的织物是首先需要考虑的问题。如需清除，可用树脂充分浸润表面，待 10-15 秒后，将织物剥离。

面板紧贴泡沫芯材的内侧一般用 300 或 450 克/平方米（1 或 1.5 盎司/平方英尺）的短切毡（CSM）。面板以常规方式成型。

为了使芯材能适用于各种异型模具，还可选用其它泡沫加工方式。欲了解更多信息，请直接联系 AIREX 的技术服务部门。

2.3 UP/VE 树脂成型

概述

纤维增强塑料有一个基于不饱和聚酯（UP）树脂的聚合基，目前仍是硬塑料泡沫夹层结构中应用最为广泛的面板材料。生产面板的主要方法有：

- 手糊
- 喷射法
- 预浸料（详见 [2.6 章](#)）
- 树脂灌注/注射（详见 [2.5 章](#)）

湿法手糊和喷射法仍被各行业，尤其是造船业广泛应用。在应用得当的情况下，以 AIREX®泡沫为芯材可获得良好的粘接效果。

将不饱和聚酯树脂基 FRP 层压板与硬质泡沫粘合有几种不同的方法。常用方法的步骤如下：

- 将泡沫夹芯铺放在未固化（湿）的层压板中
- 用粘合剂、UP 树脂或 UP 基腻子将泡沫芯材粘接在已固化的层压板中（详见 [2.7 章](#)）
- 手工成型

所有上述方法的目标一致：

- 确保 FRP 面板和夹芯之间形成彻底、牢固的粘接
- 避免苯乙烯从未固化的树脂转移到泡沫中来

打底和密封

概述

所有 UP 和 VE 树脂都含有活性有机溶剂，大多数情况下是苯乙烯。若苯乙烯转移至泡沫夹芯中，可能会引起：

- 泡沫软化
- 树脂固化延迟或有瑕疵
- 泡沫在高温下性能下降
- 泡沫蠕变增加

为避免上述问题，应在夹层结构制作前，预先将泡沫夹芯打底密封，以便使层压板和夹芯实现最佳粘结。

密封

AIREX®泡沫夹芯，特别是 R63 系列的线性 PVC 材

料和 C70 系列的低密度材料，在某些工作条件下，会显现出对苯乙烯的敏感性。有利于限制苯乙烯转移的条件和工作参数如下：

条件/参数	安全限制
树脂的苯乙烯含量	小于 42% (v/v)
车间或环境温度	小于 25° C (77° F)
树脂粘度	高于 500mPas
树脂放热量	尽量低
树脂凝胶时间	<ul style="list-style-type: none"> • 低于 20° C • 低于 25° C
单步层压厚度	约 3 毫米
泡沫的表观密度	
• 线性 PVC R63	高于 75 公斤/立方米
• 交联 PVC C70	高于 50 公斤/立方米

限制苯乙烯转移的条件和工作参数

重要注意事项!

市场上存在大量未改性和改性聚酯树脂，因此，在苯乙烯转移方面对泡沫夹芯的影响大不相同。乙烯酯也是如此。除非树脂产品公认达到标准品级，且用户熟悉同类材料的性能，否则最好进行简单测试以检查苯乙烯是否转移至泡沫夹芯：将 25 毫米（1 英寸）左右的泡沫小方块压入平面上未催化的树脂中，观察其软化进度。

密封层有助于保护泡沫表面不受苯乙烯单体迁移以及不受层压板释放出热量的影响。涂敷薄薄的一层催化树脂，待其固化后，即可对泡沫表面进行密封。当然，泡沫板的两面都必须进行处理。

密封涂层对单体苯乙烯的抗性绝不是毫无限制的，它会根据单体含量和层压用树脂的放热反应的不同，持续约 1-3 个小时。

打底

对泡沫夹芯打底属于即时操作。安装前，用常规或快速固化树脂对泡沫表面进行处理，可确保粘合剂，即粘结化合物与暴露切口的接触面积最大。需特别注意的是：只有树脂保持未凝胶状态，打底才是有效的。打底树脂必须充分浸润。

泡沫类型	密封	打底
R63	●	●
R82	●*	○
C51		○
C70.40, C70.55		●
C70.75 – C70.200	○	●
C71		●
T90/92		○

打底及密封的必要性

●基本操作

○建议操作

*适用于 RTM 和树脂灌注的建议操作

选择树脂

一般而言，可选择不饱和聚酯树脂用于打底和密封，具体选用由各车间视情况而定。通常首选预促进树脂。

如需对 AIREX®R63 进行打底和密封，建议采用固化放热量低、中等粘度的邻苯二甲酸基树脂。

促进剂

使用未促进树脂时，根据树脂生产指南，必须添加促进剂（环烷酸钴或邻苯二甲酸增塑剂或脂肪烃辛酸盐溶液），可在 12-25 分钟的凝胶时间内进行密封；在 20-40 分钟的凝胶时间内进行打底。

预促进树脂

预促进不饱和聚酯树脂被广泛应用于层压板。树脂制造商提供的说明书表明，在这类情况下，凝胶时间将受过氧化催化剂含量的控制。

重要注意事项!

催化剂的比例一般为树脂量的 1%-2.5%。

标记颜料

为了更好地控制打底和密封树脂的均匀性，建议在树脂中添加 0.1-0.5% 的颜料膏，如矿物赭石。

用钴促进剂打底

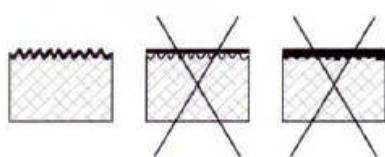
密封泡沫表面的另一种方法就是使用钴促进剂乳液或溶液打底。这种打底方式特别适合于泡沫芯材的重密封，例如由于打磨而破坏掉部分保护性树脂涂层的部位，或对开放式接口、间隙和边缘施以保护。

泡沫类型	树脂类型				
	邻苯二甲酸	异酞酸	NPG	NPG/己二酸	乙烯基酯
R63	●				
R82	●				
C51	○	○	○	○	○
C70.40	●				
C70.55	●				
C70.75	●	○			
C70.90	○	○			○
C70.130	○	○	○	●	○
C70.200	○	○	○	●	○
C71	○	○	●	●	○
T90/92	○	○	○	○	○

建议用于打底和密封的树脂类型

- 最佳选择
- 可用选择

密封树脂的应用



最好用轧辊或喷枪装涂密封树脂。泡沫切孔表面必须浸湿，且不得填满树脂，以形成粗糙，而非光滑的表面。鉴于此，喷涂后，树脂必须均匀分布，并用尼龙硬毛轧辊将树脂轧入切孔的底部。

密封硬质泡沫时，必须双面涂抹树脂，并在铺放芯材前留有足够的时间（至少 3-4 小时）进行适当固化。

密封树脂所需用量如下：

泡沫类型	所需树脂	
	(克/平方米)	(盎司/平方英尺)
R63	200	0.66
R82	220	0.72
C51	250	0.82
C70.40, C70.55	220	0.72
C70.75, C70.90	180	0.59
C70.130, C70.200	150	0.49
C71	200	0.65
T90/92	250	0.82

泡沫芯材打底和密封所需树脂量

轧辊的应用

需手动涂装密封层时，建议使用硬毛轧辊。此外，还需额外准备约 50-100 克（2-4 盎司）树脂用于湿润轧辊。绝对不能先将树脂倒在泡沫表面，然后再用轧辊将其抹开，这种做法会使树脂分布极不均匀，而且会加快苯乙烯在局部的迁移。

打底树脂的应用

打底溶液中应含有约 0.5-1% 的钴，按以下方法制备：

- ◆ 用蒸馏水或软化温水稀释乳化钴辛酸盐浓缩物（钴含量约 6-8%）
- ◆ 用低沸点烷烃（最好是石油溶剂）稀释环烷酸钴促进剂浓缩物（钴含量约 6%）。注意：此为易燃液体。

打底时，小部件可用刷子，而面积较大的，则采用喷涂法。经过处理的泡沫表面必须晾干，水乳剂的晾干时间比烃类溶液更长。务必保持工作区的通风状态良好。

芯材的铺放

将夹芯铺放于未固化（湿）层压板

此方法适用于较薄的层压板（两到三层加固层）以及中小面积区域。把泡沫压入未固化层压板，通常以沙袋重压。为确保彻底排除较大平面或成型件中滞留的空气，必须对泡沫板开槽和/或打孔（详见 [2.1 章](#)）。

铺放轮廓板时，则不需要开槽。但是，应注意，为填满泡沫块之间的缝隙，树脂的消耗量会有所增加（详见 [2.2 章](#)）。

将夹芯铺放于固化层压板

所有相对较新的固化层压板（不超过 72 小时）都可以用于立即安装夹芯。时间较长及工厂生产的层压板则需要进行表面处理。通常，只需要进行一次简单的溶剂处理（建议把抹布浸泡在苯乙烯中）。某些情况下，必须进行机加工，如打磨。请注意，由此产生的所有粉尘都应妥善清理（建议使用真空吸尘器）。

用粘合剂粘接夹芯

详见 [2.7 章](#)

夹芯用 UP 树脂

粘合层应含有短切毡 (CSM)，最好为 300-450 克/平方米 (1-1½ 盎司/平方英尺)，树脂与玻璃的重量比值为 2。如果不需要单独对夹芯表面进行预处理，则应在铺放前用轧辊将粘合树脂彻底浸湿泡沫。安装至层压板上后，用砂袋或真空装袋重压夹芯，直至树脂固化。

使用粘结化合物 安装夹芯 (腻子)

此方法尤其适用于芯材为“曲面”和“轮廓板”的各类 AIREX®材料 (详见 [2.2 章](#))。通常，本方法也可用于平板夹芯的安装。这种情况下，建议以常规冲压孔代替开槽。

a) 衬垫、粘接化合物 或腻子

通常为 UP 或改性 UP 树脂。可使用轻质填料，如玻璃微球，也可以使用增稠剂，如硅化物，有时还会使用短切玻璃纤维。固化化合物的密度范围为 400-800 公斤/立方米 (25-50 磅/立方英尺)。某些车间更愿意自行制备腻子。为了确保质量统一，建议避免采用这一做法，因为很难保证混合物的质量一致。市面上有很多适用的优质产品，其中一些还附有详细的芯材安装说明。

b) 用腻子铺放时 泡沫的表面处理

用腻子铺放夹芯有很多优点，如减轻重量，显著降低苯乙烯排放量，进而减少苯乙烯的迁移。使用苯乙烯敏感芯材时，这一优势将更加明显。

使用腻子通常会遇到需要清除滞留空气及保证层压板和芯材之间粘结的问题。所以，除非需要对泡沫进行特殊的表面处理 (详见本章其它部分)，否则应在泡沫芯材表面辊刷一层未催化的 UP 树脂。

c) 固化工艺

腻子非常适用于真空装袋法 (详见 [2.8 章](#))。此外，也可以在一定压力下对其进行固化。

手糊法

在硬质泡沫夹芯上成型 FRP 面板的手糊法相对简单，通常能实现良好的粘合效果（泡沫表面必须干净、无尘）。较高密度的极细闭孔泡沫，则容易出现质量问题。这种情况下，建议在层压前涂抹一层底料（详见 2.3 章）。在在泡沫板临近处一定要使用短切毡（CSM），切勿使用粗纱布或玻璃纤维方格布。

与其它夹芯相比，某些泡沫夹芯（特别是较低密度的）对苯乙烯的迁移更加敏感。为防止泡沫夹芯软化及层压板接合处受到苯乙烯的侵害，必须采用本章其它部分列举的预防措施。

另一种方法就是使用短切毡（CSM）和适当的催化树脂手糊作为第一层，并在下一铺层前进行固化。本方法尤其适用于厚层压板的手糊。

RTM 法 (树脂转移模塑法)

可采用从简易到高科技的多种方法。

由于采用了各种不同的技术，有时甚至还会使用特殊配方的树脂，所以，很难说明适用于各种 Airex 泡沫的通用准则。技术服务部门会就 Airex 硬质泡沫夹芯和 RTM 法为的客户提供必要指导。

2.4 EP 树脂成型

概述

由于环氧（EP）树脂具有长期稳定性，固化后收缩率低，适合真空袋压，且有预浸料形式，所以，经常优先于不饱和聚酯系统用于夹层结构（见 2.6 章）。环氧树脂通常不含溶剂，不存在溶剂迁移的问题。所以，一般不必进行泡沫密封。另一方面，也缺乏能与泡沫结构进行良好（化学）粘合的试剂。环氧层压板与泡沫夹芯的粘合强度取决于环氧树脂系统的相容性和粘合度。强烈建议对泡沫夹芯进行打底，尤其是纤维含量高的极干层压板。此外，请注意，并非所有的环氧层压树脂系统都能直接与塑料泡沫夹芯粘合。

某些环氧树脂会导致 AIREX®R82 出现溶解现象，尤其是低粘度和固化温度相对较高时。由于这些现象会因树脂和生产工艺的不同而有所差异，所以不提供通用建议。如有具体问题，请联系 Airex 的技术服务部门，我们将十分乐意为您解答。

泡沫夹芯打底

建议用冷固化和快速固化树脂打底。树脂制造商通常会提供特殊配方树脂用以粘合泡沫夹芯与环氧树脂层压板。请关注此类建议。这尤其适用于粘合纤维含量高而树脂组分相对较低的层压板。建议打底用量如下：

泡沫类型	打底用量	
	(克/平方米)	(盎司/平方英尺)
R63.50	80-120	0.26-0.39
R63.80, R63.140	50-100	0.16-0.33
R82	200-300	0.65-1.00
C51	200-300	0.65-1.00
C70.40-C70.90	200-300	0.65-1.00
C70.130-C70.200	100-200	0.33-0.65
C71	150-200	0.50-0.65
T90/92	200-300	0.65-1.00

建议打底用量

对打底树脂进行着色有助于确保泡沫表面得以均匀涂抹。可使用约 0.6-1% 的红赭石进行着色，价格低廉。根据树脂系统的不同，打底后，泡沫板须固化 3-6 小时，甚至整个晚上。

固化

为使环氧复合材料获得最大机械强度，树脂制造商通常建议在高温下进行固化或后固化。从泡沫夹芯来考虑，应遵循以下最高温度：

泡沫类型	温度			
	固化		后固化	
	°C	°F	°C	°F
R63	40	100	60-80	140-180
R82	80-130	180-270	130-180	270-360
C51	80-100	180-210	100-120	210-250
C70	60	140	60-90	140-190
C71	60-80	140-180	100-120	210-250
T90/92	150	300	140	280

最高固化温度

2.5 树脂灌注和注射

概述

在灌注过程中，可将干纤维（毡、编织品、缝合毡和泡沫夹芯）放在模具上，通过模具或真空袋加压。随后，将混合树脂压入层压板内，直至所有纤维被树脂充分浸润。树脂固化后，方能整体脱模。

真空灌注的优势——与手糊相比

在夹层部件生产过程中，真空灌注工艺产生的溶剂排放量相对较少。若采用聚酯或乙烯基酯树脂，这种优势较手糊工艺更加明显。此外，真空灌注零件的重复生产性强，不合格品的数量则可降至最低水平。采用真空灌注工艺，夹层部分的纤维含量一般较高，从而使机械性能得以提高。夹层上的缺陷点和针孔数量可降至最低水平，而表层与夹芯的粘合力却可得到增强。可降低生产大型夹层部件的人工成本，使生产的成本效益更加优化。

真空灌注工艺

真空灌注的方法多种多样，其不同之处在于树脂穿过干的层压板的方式，以及是否需要树脂额外施加压力。下表为不同工艺方法和工艺参数：

	树脂流 真空	树脂 压力	闭模
弹性袋真空灌注	0.5-1bar	-	真空袋
FRP 模具真空灌注 (轻型 RTM)	0.3-0.6bar	小于 1bar	真空/机械
树脂转移模塑 (RTM)	小于 1bar	2-12bar	机械

对树脂施加的压力越大，模具需要的刚度则越大。RTM的模具由钢或铝制成，通常配有加热系统，以确保生产周期持续、快速。真空灌注模具一般由木头或玻璃纤维增强塑料制成，可加热。

用柔性袋进行真空灌注

本方法不仅能满足那些需要从手糊成型转变为真空灌注工艺的客户的需求，还可用于单件或原型的生产。现有模具仍可继续使用，只须对法兰进行一些改进，以便能够在模具上放置真空袋。此外，还需配备真空泵，低密度聚乙烯（或其它半刚性塑料）材质的软管、树脂收集器及制造真空袋的标准设备（粘性胶带、真空袋、外层）。随后，即可开始真空灌注。2.8章详细介绍了真空袋的装配。

灌入树脂的方法很多，如：使用金属或塑料螺旋管或开式三角形塑料条。另一种方法是使用专门的介质（Enkamat），可最为板材的一部分融于一体。

可采用三种不同的方法来分散已经灌入层板的树脂，其不同之处在于树脂的流动方式。

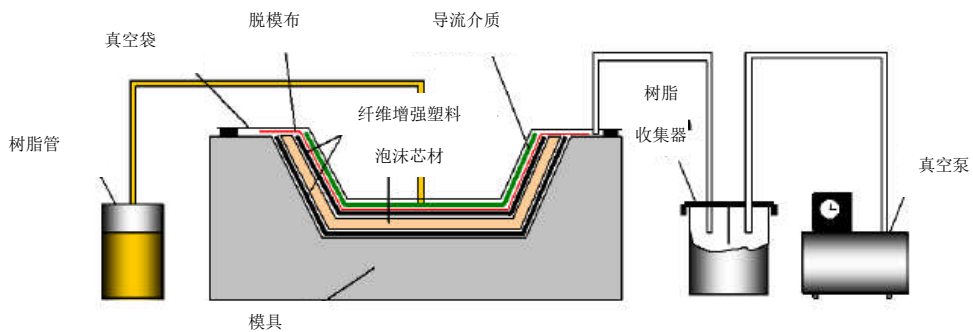
**SCRIMP™: Seamann
树脂灌注工艺
(通过层压板外部
导流介质)**

SCRIMP™工艺的特点在于夹层外还有额外的树脂导流介质。灌注过程中，树脂导流介质将树脂迅速分布于整个表面，使树脂从表面注入夹层部件内。

由于树脂导流介质并不够称夹层结构的一部分，所以在导流介质和夹层部件的之间放置了脱模布或带孔的箔片，这种材料都是一次性使用，在树脂固化后要清理掉。

SCRIMP™是 TPI 的专利工艺。

下图为 SCRIMP™工艺真空灌注的装配图。由脱模布（红色）将树脂导流介质（绿色）与夹层部件隔开。真空泵在真空袋内产生压力，对树脂形成抽吸作用。本例中使用的是打孔的泡沫芯材，它使树脂顺利流向泡沫夹芯的另一面，形成闭式树脂回路。



SCRIMP™工艺有以下不足：导流介质和其它辅料会产生大量废弃物；部件所需树脂用量增加。

已开发出可反复使用的新型硅真空袋，以减少废弃物的数量。但是，新设计的模具需要做些特殊处理。在中小批量生产部件时比较有优势。

重要注意事项！

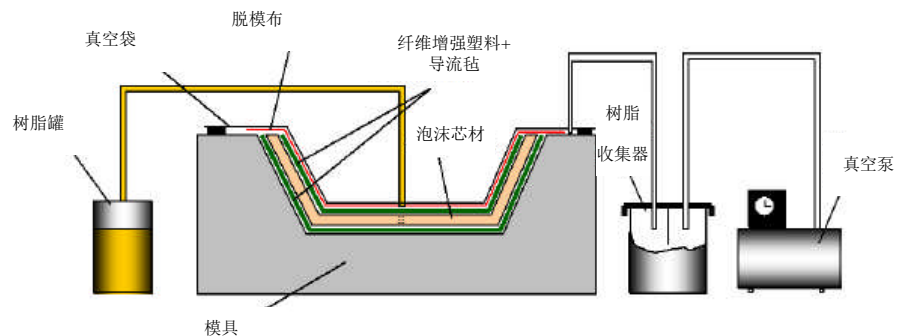
SCRIMP™为 TPI 的专利工艺。使用此工艺生产 FRC 零部件，须持有许可证。欲了解更多有关工艺及专利的情况，请登录 <http://www.tpicomposites.com>。

导流介质

可以将导流毡直接作为流介质。连续纤维毡，如 Saint-Gobain Vetrotex 生产的 Unifilo 或 Rovicore 这类玻璃和聚酯纤维混合毡（聚酯纤维毡外覆有两层 CSM 毡）就是两个很好的例子。使用这种毡可减少废弃物排放，但会增加复合材料中的树脂含量，进而降低纤维含量。

使用前，这些纤维毡仅几毫米厚。利用真空，可大大压缩毡子，使树脂流明显减少。因此，以纤维毡作为流介质时，不要将真空压力开到最大。根据部件的不同，最佳压力范围为 0.3-0.5 巴 (bar) (4-7 磅/平方英寸)。

下图为使用导流毡（深绿色）时的装配图。与 SCRIMP™ 工艺一样，必须对泡沫夹芯穿孔，以均匀浸润夹层两侧。



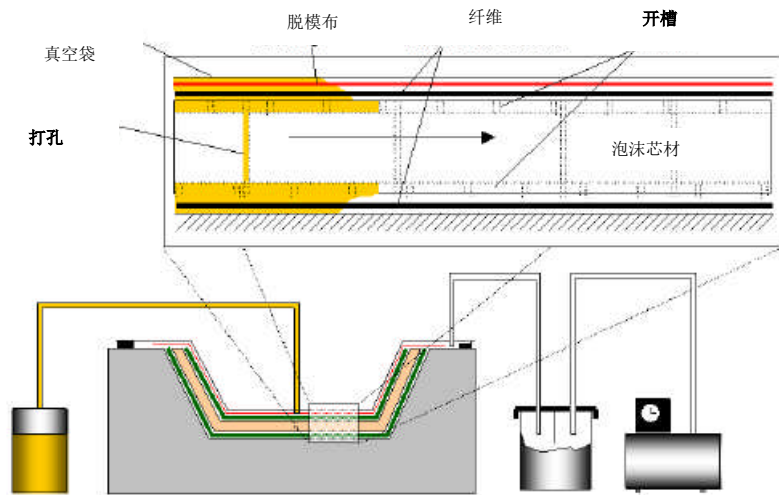
流动毡的不足是产生树脂丰厚的表层。纤维含量降至 20%，甚至更低。

开槽泡沫

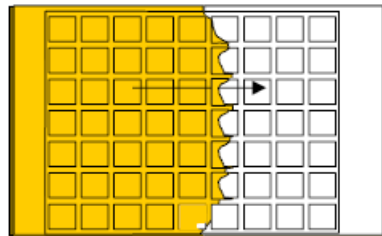
经过开槽的泡沫便于使树脂快速流过槽孔，并均匀分布在夹层结构中。泡沫经开槽后，不必额外加用流动毡或流介质。建议所有应用都采用如下槽型。

为方便树脂流动，可在泡沫的一侧或两侧铣出方形槽。槽的宽度-深度比应相当小，深度大于宽度，使透印到胶衣层的风险降至最低。孔间距应能保证不会出现干燥和树脂浸渍不充分的区域。此外，泡沫穿孔的直径约为 2 毫米，间距约为 50 毫米。打孔能确保树脂充分流动，使泡沫夹芯两侧均匀浸润。

下图为泡沫芯材作为树脂传递介质进行灌注的原理。



截面

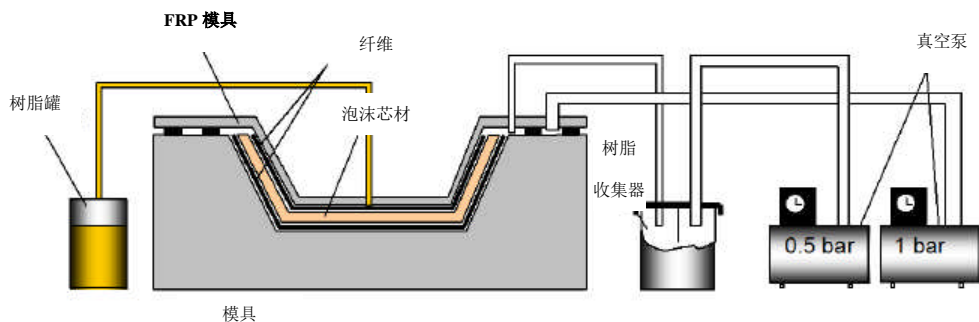


俯视图

**使用闭式 FRP 模具
(轻型 RTM)真空灌注**

闭式模塑真空灌注能够在复合材料的两边一次性形成可直接使用的表面。此工艺中，以几毫米厚的 FRP 反向模具替代柔性真空袋。必须用夹具或另外一套真空系统将反向模具固定在基模上（见图纸）。采用与柔性袋灌注法相同的方式对层压板施压。

通过 FRP 薄板可轻松检查树脂的流动。通过真空将树脂压入模具内，并使其均匀分布。若真空水平过高，树脂的通道就会闭合，树脂流大大减少。因此，本工艺中真空水平不得超过 0.5 巴（7 磅/平方英寸），具体根据纤维的种类确定。对树脂施压适当压力，可以减少灌注时间。但须谨记，通过施压进行灌注时，要保证反向模不会被损坏或推开。



RTM 法

树脂传递模塑法利用高压将树脂压入模具中。可用于单层板或夹层结构板。由于本工艺会用到高温、高压，所以，泡沫须具备更高的机械性能和热性能。本指南不对 RTM 法进行详尽说明。有关 RTM 法的更多信息和文章，请参阅相关文献资料。

灌注工艺要求

真空灌注技术对树脂、纤维毡、纤维及泡沫夹芯提出了新的要求。

树脂

与手糊工艺不同，本工艺要求树脂粘度极低，以便轻松穿透干式纤维织物中的空隙。为避免操作不当，树脂的凝胶时间应长于手糊树脂的时间。通常：

粘性	< 300 mPas
凝胶时间	50 - 90 分钟或更长

大部分树脂生产商都会生产此类树脂。此外，他们还能提供协助，在不改变树脂最终性能的情况下，延长凝胶时间。

纤维毡

CSM（短切原丝毡）、织物和缝编毡也可用于灌注工艺，但是通过这些毡的树脂流却非常慢，这也是需要开发特殊导流织物的原因所在，可以将这些织物混入层压板，以加速树脂流动。不同导流织物的排序如下：

- 连续纤维垫
如 Saint-Gobain Vetrotex 生产的 Unifilo
- 有增强效应的导流织物
如 Rovicore、Chomarat
- 无增强效应的导流织物
聚酯织物

目前，带有导流层的缝编毡已面市。适用于真空灌注的特殊织物还在不断开发中。除这些特殊的导流织物外，标准织物、缝编毡、复合毡和其它毡的使用仍十分普遍，它们具有超高克重，或额外的缝编纤维毡。

泡沫夹芯

夹层结构中，泡沫夹芯特别适合在真空灌注工艺中来导流树脂。泡沫表面的凹槽便于树脂流动，而且泡沫穿孔可使树脂在层压板两侧以相同的速度流动。泡沫应具备：

100%闭孔结构

耐苯乙烯（如果使用 UP 和 VE 树脂）

固化温度下耐真空

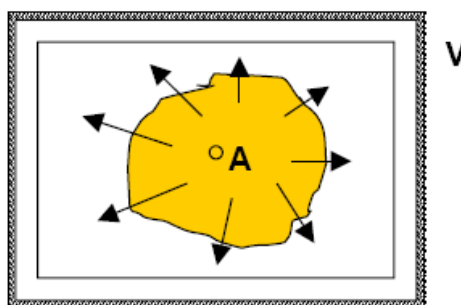
Alcan Airex AG 可提供泡沫用于真空灌注的优化槽型方案。几乎在所有应用中，这些凹槽都表现出良好的性能。其它槽型作用相似，视具体应用而定。如有何疑问，您的 Airex 分销商、中间商以及 Alcan Airex AG 的技术服务部门将为您提供咨询。

灌注方法

真空灌注最重要的问题之一就是灌注方法。树脂应从哪里开始渗透，又应在哪里施加真空？有几种方法可供选择。可根据产品的差异选用不同的方法。主要有：

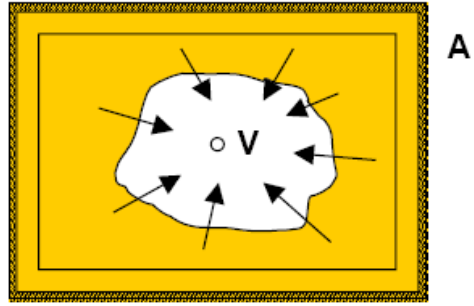
点式进料

将真空管线定位在夹层周围。树脂的进料点位于中心位置。采用本方法时，树脂流在灌注过程中将越来越慢。树脂流应保持恒定，使织物浸润面积更大。



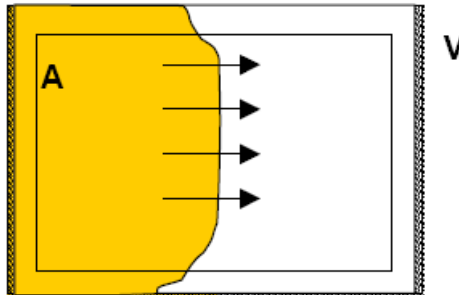
边式进料

将真空管线定位于夹层中心。树脂从部件边缘开始流动。本办法速度快，避开了未浸润区域。另外，被浪费的树脂最少。



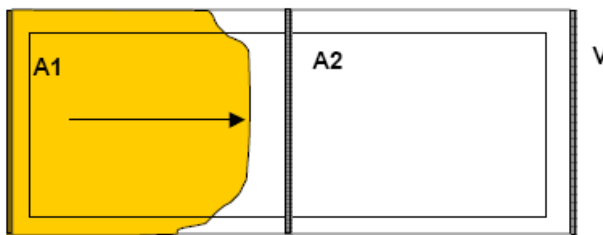
线式进料

这几乎是适用于所有形式的标准方法。真空管线和树脂进料点的间距会影响灌注质量，距离越短，装填部件的速度越快。真空管线与树脂进料点的间距最好不要超过 50-100 厘米。



多排进料

对于较大零部件来说，配备多个树脂进料管线将起到显著效果。每个点的开口应与树脂流向一致。按图例所示，先打开进料点 A1，待树脂前端到达 A2 后，打开 A2。本方法可与点式进料配合使用。



选用何种方法取决于许多不同的参数。边式进料尤其适用于尺寸小于 100 厘米的部件，点式进料则适用于 SCRIMP 工艺。若 FRP 部件内侧不得出现进料点痕迹，则首选线式进料。

更多指南

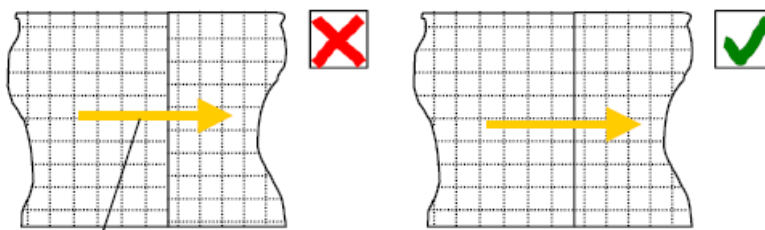
有关真空灌注，您需要注意以下几点：

在模具中铺放纤维

在模具中铺放干的织物和泡沫夹芯不是一件容易事，必须经过仔细考量后才能进行。在模具的垂直或倾斜位置，需用粘合剂或机械方式对各层进行固定。夹层结构成型后，其粘合部位为薄弱区域。用喷涂式粘合剂固定各层是一个有效的解决办法。

组装泡沫

在模具中组装泡沫必须特别仔细。泡沫板间不得存在任何间隙，否则它们形成树脂导流道。按树脂流动方向，泡沫板的槽型必须与下一块泡沫块匹配。



树脂流

组装泡沫板时不得留有任何间隙。两块泡沫板之间的空隙可在泡沫板边缘形成更大的树脂流。灌注过程中，该问题可导致空气滞留现象。

组装泡沫板的合格技术为：

斜接 45° 或 30° （有无粘结均可）

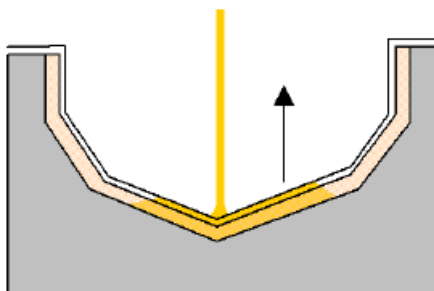
90° 对接（用腻子或热熔胶粘接）

表层较薄时，进行 90° 对接会透印表面。



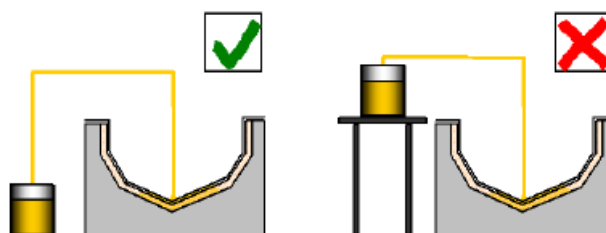
向上树脂流

对于三维夹层，树脂应始终向上流动。



树脂桶置于进料点下方

树脂槽须置于进料点下方，否则会形成树脂富集区域。

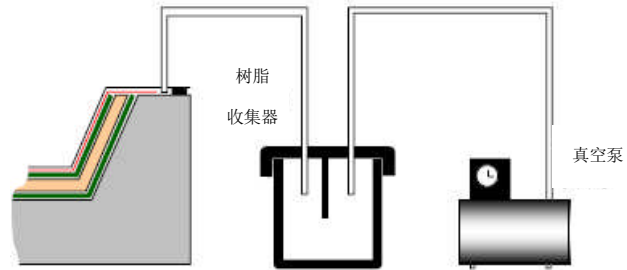


温度控制

为设置树脂的凝胶时间，必须知晓模具和树脂的温度。

树脂收集箱

为避免树脂流入真空泵，必须在真空泵和零件之间设树脂收集箱。



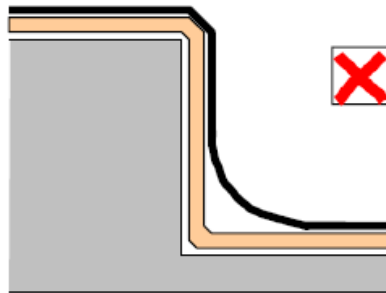
进料点数量

建议设置尽可能多的进料点。如果灌注过程中不需要进料点，那无问题可言。但如果急需进料点却没有，就会出现故障。

使用三维零件

在三维部件上铺设真空袋时，必须保证避免造桥。桥可用作树脂通道，快速被树脂填满。可预知树脂前端将受影响，零件中会形成干点。

确保不“造桥”



附加信息

可通过多种渠道了解更多有关真空灌注工艺的信息。

许多树脂生产商针对灌注技术提供特殊树脂及相关真空灌注的信息。此外，织物和缝编毡生产商也提供有关织物的信息及其在真空灌注过程中的使用方法。

可从多家经销商处购买真空灌注技术所需的真空消耗件。他们有一系列产品可供真空灌注时选用。

欲了解更多信息，请参阅专业文献。也可通过《professional boatbuilder》、《reinforced plastics》等期刊或登录互联网检索有关真空灌注技术领域的相关资料。

2.6 预浸料成型

概述

与湿法成型工艺相比，使用预浸料有很多优点：通过使用预浸料，可得到纤维含量较高、重量误差很小的层压板；机械性能更强、更稳定，从而减轻结构重量；此外，还可缩短手糊时间，降低人工成本，生产过程更加清洁，减少挥发物的排放。常用预浸料系统有环氧树脂和酚醛树脂。

工艺

预浸料的工艺方法主要有：

- 真空袋压
- 高压釜
- 模压

真空袋压

由于可在较低压力下成型，因此，真空装袋是最经济的办法。加工模具相对简单，可在标准热风循环炉内进行固化。

施加真空后，真空袋下的面板通常会显示出树脂富集的表面细线，这主要是由真空袋内形成皱褶所致。另外，铺设和密封真空袋也相当耗时。

高压釜和模压

为优化层压板的性能，预浸料供应商建议加大压力，在高压釜或压机中进行成型。如果夹层结构只有一面有光学要求，则可在高压釜中进行加工。这样，仅须一个模具。如果两面都必须满足光学要求，或者需要生产体积较大的产品，建议使用具有预热、温控功能，且带有阳/阴两个模具功能的压机。

有关最佳固化温度和压力，请参见预浸料制造商提供的加工指南，但指南中要求的压力通常较高，以确保在任何情况下都能生产出无空隙的层压板，包括相对较厚的层压板。因此，需要适当增加压力，以便通过挤出手预进料在铺设时夹带的空气。不过，夹层结构的面板通常较薄，只有几层预浸料层。这种情况下，使用较低压力，不会削弱机械性能。固化时，需调至最佳压力，以便与泡沫的收缩强度相匹配。

加工泡沫

真空袋压和高压釜加工时，通常只需预先切割出总尺寸，无须其他加工。

为了清除层压板内夹带的空气和多余树脂，可施加真空，并在预浸料的外层放置带孔的织物或膜。

对于模压，无法从层压板中抽出多余树脂，所以，需在泡沫表面铣出槽型。否则，泡沫与面板之间会形成较厚的接合面，从而影响泡沫的机械性能。欲了解有关开槽的注意事项，请参阅 [2.1 章](#)。此外，也可按常规进行打孔。不过，应实施检验，确保从打孔至深加工过程中，用泡沫的回弹不会导致孔洞重新闭合。

界面层

一方面，所提供的预浸料大都经过重量优化，不含过量树脂。另一方面，泡沫表面进行开式切孔，需取出大量树脂。为粘结牢固，须另加一层特殊的界面层。

高树脂含量预浸料

由于第一层直接放在泡沫顶部，建议使用树脂含量略微增加（占总体积的 5-10%）的预浸料，以补偿被芯材吸收掉的树脂。其他层可使用标准树脂含量的预浸料。

胶膜

也可以在泡沫夹芯和预浸料之间加一层胶膜，以弥补泡沫接合面无树脂的情况。不过，在这种情况下，首先应由预浸料供应商检验胶膜与预浸料树脂的相容性。加一层胶膜会带来更多的优点。如：使用断裂应变更高的粘性树脂（而不是面板树脂）可以显著增加夹层结构的抗撕裂强度。另外，在两种材料不相容时，胶膜可用作泡沫和预浸料之间的隔层。

根据泡沫密度的不同，胶膜的面积重量最好为 80-150 克/平方米（0.25-0.5 盎司/平方英尺）。泡沫的密度越低，表面开孔的体积更大，需要的粘性也越高。

泡沫与预浸料的相容性

固化过程中，预浸料中的树脂可将其直接粘合到泡沫上。这就是预浸料和芯材的共固化，是一种经济的生产方式。不过，在生产夹层之前，需检验泡沫和预浸料的相容性。

热塑性塑料通常可溶解为液体。Alcan Airex 生产的所有泡沫均具有热塑性，所以，某些液体树脂会导致溶解现象。当温度升至泡沫熔点且预浸料树脂粘性较低时，可能会出现这一现象。

固化时，预浸料树脂通常会经历低粘性阶段。树脂粘性增强前，可清除其间夹带的空气，然后充分固化。这种情况下，在与预浸料结合面处的泡沫孔可能会发生溶解。极端条件下，会导致夹芯厚度变小，夹层结构过薄。进而致使结构过于脆弱。

所以，检查是否发生溶解现象及其程度非常重要。受预浸料类型、树脂粘度等级、固化周期，贮存时间、泡沫类型及泡沫密度等诸多因素影响，具体问题得具体分析。

发生异常溶解现象时，可采取以下措施：

- 选择具有不同粘度/时间曲线的固化周期
- 成型前，在室温下老化预浸料（当然是在允许的剩余储存时间内）。这样通常会增加树脂的最小粘度。
- 在泡沫和未固化预浸料之间放置胶膜，形成阻隔层。

2.7 不同面板材料与泡沫的粘接

概述

通常，粘接的目的如下：

- 拼接相同材质的板
- 将泡沫夹芯与金属、塑料、复合材料或木质面板粘接在一起

如胶粘剂、粘结方法和设备选用得当，Alcan Airex 泡沫本身粘接或与其它材料粘接一般不会出现任何问题。

粘接泡沫与金属面板前，请预先咨询材料供应商，以了解面板材料需进行哪些表面处理。请咨询胶粘剂供应商，以了解所需的粘接事项。请注意，金属的某些表面处理储存时间有限。

各类粘合剂中，有两种适用于泡沫：

- 热固性粘合剂
- 热熔胶

重要注意事项！

由于挥发物无法透过泡沫或面板，所以不能使用含水或大量溶剂的粘合剂。因此，接触型粘合剂不适合进行大面积粘结，因为它们含有溶剂，须在粘结前蒸发。蒸发所需的时间参考粘合剂厂家的说明书。然而，其最大优势是可以通过将各部分紧压在一起而立即实现粘合。

热固性粘合剂

热固性粘合剂有薄膜、膏剂或液体三种，可在室温或高温下固化。应确保在高温条件下长时间进行固化或后固化时，工艺参数不会造成泡沫或夹层的变形。

下表为粘接泡沫和其它材料常用的粘合剂种类。

粘合物	泡沫类型					
	R63	R82	C51	C70	C71	T90/92
泡沫	PUR, UP, EP	EP, PF	PUR, UP, EP	UP, EP, PUR, VE	UP, EP, PUR, VE	UP, EP, PUR, VE
金属	PUR, EP	EP, PF	PUR, EP	PUR, EP	PUR, EP	PUR, EP, PF
固化的 FRP	PUR, UP, EP	EP	UP, PUR	UP, PUR, EP	UP, PUR, EP	UP, PUR, EP
木材 (胶合板)	EP, PUR	EP, PUR	EP, PUR	EP, PUR	EP, PUR	EP, PUR
塑料 (热塑料)	PUR, EP	PUR, EP	PUR, EP	EP, PUR	EP, PUR	EP, PUR

粘接泡沫和其它材料时常用的粘合剂种类

PUR: 热固性聚氨酯; UP: 不饱和聚酯; EP: 环氧树脂; VE: 乙烯基酯; PF: 酚类物质

聚酯(UP)和乙烯基(VE)树脂

特别适合于船舶制造, 所以, 造船业常用这两类粘合剂粘接泡沫与 FRP 面板。其价格相对低廉, 易于操作, 能在室温下固化, 防潮性能佳。

只要加工时不夹带空气, 且粘接面清洁, 成型用树脂和聚酯基腻子都可用作粘合剂。建议先在泡沫表面涂一层薄薄的预促进树脂 (详见 2.3 章)。

将粘接泡沫之前, 应先让阴模内的层板固化。否则由于泡沫和模具所形成的隔热效果, 树脂固化时释放出的强大热量, 会损坏模具和泡沫。

粘度和断裂伸长率是影响最终粘结效果的主要因素。

环氧树脂 (EP)

因环氧树脂具有长期稳定性、低收缩率以及可在真空下固化等特性，所以，可用湿法成型或膜的形式用于结构件。

后固化后，其具有较高的延展性和突出的机械性能。

AIREX®R63 和 AIREX®C70 泡沫材料可通过湿法成型树脂或低温固化粘合剂粘接。高温粘合剂可于 AIREX®C71、AIREX® R82 及 AIREX®T90/92。欲了解更多信息，可参阅第 2.4 章。

聚氨酯树脂 (PUR)

聚氨酯树脂能以适中的成本提供优良性能，因而应用广泛。

大多数聚氨酯树脂需热固化以获得合理的周期时间。如果需要暴露在潮湿环境下，则必须选择该类树脂。

酚醛树脂 (PF)

酚醛树脂可用于铝面板，具有防火或防腐性能。固化时应适当调整时间-温度-压力等参数，避免化学反应产生的水汽化而导致脱胶或产生气泡。

由于特定的化学性质，在合理的时限内，所有 AIREX®泡沫芯材都具有都不会吸收材料中的水份或逸出水蒸气。

重要注意事项!

在平衡的时间-温度循环内，可以在高于泡沫玻璃转变温度的温度下进行后固化。但必须提前进行试验以确认泡沫芯材的尺寸和机械性能不会发生变化。

热塑性热熔胶

热熔胶属于热塑性塑料，熔化时会有粘性。在室温条件下，与普通塑料膜在表面上并无二致，都没有粘性。为了实现粘结，胶膜必须加热到熔点以上，然后将各部分压在一起。

热熔胶只能用于将面板粘到泡沫上。不过，它们使聚烯烃或聚酰胺面板与泡沫粘结成为可能。

下表是粘接我们的泡沫和其它材料时，常用热塑性胶粘剂的种类用。

重要注意事项!

热熔胶的最高工作温度通常比其熔融温度低约 30° C (55° F)。

粘合物	泡沫类型					
	R63	R82	C51	C70	C71	T90/92
金属/木头	PE, PP	PE, PP	PE, PP	PE, PP	PE, PP	PE, PP
固化 FRP	TPU, PA	TPU, PA	TPU, PA	TPU, PA	TPU, PA	TPU, PA PU
塑料 (热塑料)	PE, PP, EVA, TPE	PE, PP, EVA, TPE	PE, PP, EVA, TPE	PE, PP, EVA, TPE	PE, PP, EVA, TPE	PE, PP, EVA, TPE

粘接泡沫和其它材料时，常用热塑性胶粘剂的种类

PE:聚乙烯; PP:聚丙烯; TPU:热塑性聚氨酯; EVA:乙基醋酸乙烯酯; PA:聚酰胺; TPE:热塑性聚酯

聚乙烯 (PE)

聚乙烯胶是通用型粘合剂，具有价格合理、加工迅速的特点。最高成型温度和剥离强度均为中等水平。

聚丙烯 (PP)

聚丙烯胶可用于实现更高的粘结强度和高工作温度。与泡沫粘结时，其面板材料的适用范围比 PE 粘合剂更为广泛。

热塑性聚氨酯 (TPU)

TPU 粘合剂能在合理的温度条件下实现面板和芯材良好的粘结强度。在使用酚醛预浸料工艺时，可以使用这种粘合剂用作防潮层，增加层板的剥离强度。使用铝面板时，可达到很高的剥离强度。

乙基醋酸乙烯酯 (EVA)

EVA 粘合剂能够抵抗增塑剂的迁移，实现聚烯烃面板和 AIREX®C51 的良好粘接。

聚酰胺 (PA)

在所有的粘接剂中，PA 粘合剂的工作温度最高，但适用材料的范围有限。

热塑性聚酯 (TPE)

TPE 粘合剂具有良好的耐清洁剂或其它介质的性能，可与 PVC 实现良好粘结，并抵抗增塑剂的迁移。

设备

设备检查清单包括以下各项：

- 轧辊、手术刀、刮刀或橡皮辊刷
- 喷射设备（如有）
- 真空袋设备，最好有但不是必需的
- 压机，最好配有加热和冷却装备
- 沙袋或铅坠

重要注意事项！

工艺质量是决定粘接质量高低的主要因素。辅助设备会有所帮助，但不能完全保证粘合质量。

粘结工序

粘结共分为三大步骤：

- 进行表面处理
- 施加粘合剂
- 将各部分压在一起

热固性粘合剂 进行表面处理

所有表面必须无尘、无油脂。复合层板或金属表面必须磨粗，铝材应事先打底。

如果同时将两个面板粘接到泡沫上，必须在泡沫表面的两侧开槽，以释放出夹带的空气。若使用压机同时粘接两个面板，也建议开槽。若在真空袋工艺下将泡沫粘结在固化的层板或金属面板上时，建议将泡沫打孔，孔径约 2-3 毫米（1/16-1/8 英寸），孔距 100 毫米（4 英寸）（见 2.1 章）。

应对泡沫进行打底，这样能增加剥离强度。粘结腻子不仅能粘结泡沫，还能填满夹芯内的空隙（曲面或泡沫轮廓板）。

芯材密度低于 100 千克/立方米（6.25 磅/立方英尺）和高于 100 克/平方米（9 克/平方英尺）时，打底树脂量不得超过 200 克/平方米（19 克/平方英尺）。

施加粘合剂

请注意，粘合剂的用量应遵循厂商建议。用辊子涂刷树脂使其均匀分布，橡皮辊刷可确保树脂沿切面泡沫孔壁涂抹。

下表为粘合剂的最小用量：

泡沫密度		粘合剂的最小数量	
公斤/立方米	磅/立方英尺	克/平方米	盎司/平方英尺
小于 50	小于 3.15	500	1.6
50-100	3.15-6.25	300	1.1
100-200	6.25-12.5	200	0.7
大于 300	大于 18.75	150	0.5

粘合剂的最小用量

将各部分压在一起

将各部分粘在一起时，须采取措施避免移位。可使用夹具或其它固定设备。

建议应在真空（0.2-0.3，绝对值为 3-4.5psi abs）下对粘合剂进行固化。这种粘合剂粘度应足够低，以便让树脂渗入表面切孔。如果使用了沙袋或铅坠，应确保它们之间不会出现粘接盲区。

如果在高温下对粘结剂进行后固化，那么各类泡沫的最高操作温度请参见下表。若在较低压力下进行固化，可将操作温度适当提高 20-30° C（65-85° F）。

泡沫类型	R63.50	R63.80	R82	C51	C70	C71	T90/92
温度 °C	40	50	160	110	100	130	150
°F	100	120	320	230	210	265	300

热固性粘合剂后固化的最高温度

重要注意事项！

谨记，泡沫在该温度范围内会损失一定的刚性。有必要在固化时使用撑杆以保证泡沫的尺寸。

粘结前，需要对胶膜加温。

在真空下胶合时，使用开槽板有利于排出挥发物和气泡。

重要注意事项！

粘接时务必避免气泡，否则会大大削弱粘接效果。

热熔胶

进行表面处理

所有表面必须无尘、无油脂。复合层板或金属表面必须磨粗，铝材应事先打底。

施加粘合剂

根据孔径大小，可使用 50-300 克/平方米 (0.16-1.0 盎司/平方英尺) 的胶膜。在胶膜上按一定间距打孔，以免形成气泡。粘结时，必须在泡沫表面开槽，以排出夹带的空气。如果先粘一个面板，则应对泡沫打孔，孔径约为 1-2 毫米 (1/32-1/16 英寸)，孔距均为 50 毫米 (2 英寸)。

将各部分压在一起

根据泡沫密度和加工温度，建议压力为 1-5bar。在预计成品泡沫厚度的基础上另加 1-2 毫米有助于增加粘结强度。这个额外的厚度可弥补厚度的生产公差，从而确保高压恒定可靠，并同时考虑到蠕变因素。可使用撑杆保证达到预想的厚度。

重要注意事项!

如果总操作时间不超过 40 秒，并使用定位棒防止泡沫过度压缩，可在如下高温下操作：

泡沫类型	R63	R82	C51	C70	C71	T90/92
温度 °C	150	250	180	150	180	200
°F	300	480	360	300	360	390

热熔胶的最高粘合温度

2.8 真空袋压工艺

概述

真空装压利用大气压力确保平面和三维面板上的压力均匀，且随时可控，这种方法效率高、成本低。最大理论压力约为 1bar (14.5psi)。使用标准设备获得的最大压力在 0.8-0.9bar (11.6-13psi) 之间。真空装压用于热成形 (见 1.3 章)、泡沫的简易粘接 (见 2.7 章)、泡沫夹芯的铺放 (见 2.3 章) 以及预浸料面板 (见 2.6 章)。具体工艺视工作性质而定。除了“湿法袋压”外，还可用“干式装压”与泡沫夹芯一起成型，用于制造纤维含量较高的增强塑料。

工艺耗材

真空袋膜

真空膜是仅次于真空泵的重要设备。真空袋膜必须有弹性、耐撕、无孔，而且能与树脂相容，尤其是苯乙烯。

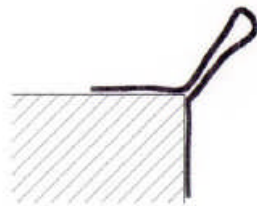
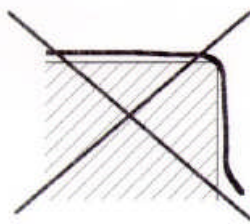
可回收真空袋由高弹性材料 (橡胶) 制成，而一次性真空膜袋由聚乙烯 (PE)、尼龙 (PA) 或硅酮制成。只要能轻松操作并保持真空，那么对薄膜的规格就没有任何限制。如果要求在高温下固化树脂，则需要使用耐热膜。

一次性装袋膜的处理

一次性装袋膜不能像高弹性材料那样被拉长，有时不能很好的贴服于制品形状。如果是塑料薄膜袋，可以采取打褶的方法，以避免低密度泡沫夹芯出现应力集中的情况。

边缘

转角



密封胶带

密封胶带必须柔韧，有粘性，以便能够在真空袋膜和制品表面之间形成真空密封。树脂固化过程中，密封胶带固化成坚韧的胶状物质。拆除真空袋时，要将密封胶剥离从模具表面剥离，不留任何残渣。

脱模布/透气毡

脱模布或透气毡有助于吸收过量的树脂，以便实现高纤维含量的层板。

对于常规泡沫夹芯的简单铺放，无须使用特殊的脱模布和透气毡，用普通的聚乙烯膜把层板和芯材包裹在一起即可。这种方法尤其适用于“轮廓板”和“带膜”夹芯材料。

通气层

通气层应包含一种在真空压力下不会完全被压缩，从而保证空气可以流通的材料。气泡塑料薄膜是一种可以现成利用的材料。必须注意的是，应将通气层铺放至真空阀下方，以确保气流不间断。

真空阀

真空阀由金属底板、垫圈、压力板和锁环构成。通过在真空袋切 X 口后安装在真空袋内。

下表为安装一定面积夹芯所需阀门数量：

面积	阀门数
<2m ²	1
2-10m ²	2-3
10-50m ²	4-6

安装一定面积芯材所需阀门数量

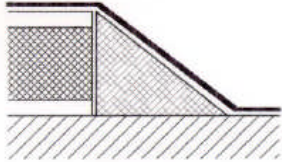
真空源

电动真空泵是最常用的真空来源。除真空泵外，文氏管也可以起到同样作用，尤其适用于小型作业。

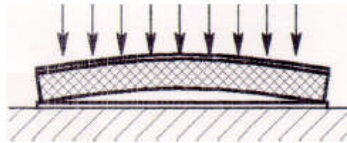
制造

粘接

对于以 FRP、热塑性平板或增强板为面板的平面、二维或三维形状的夹层板，其制造可参照上述章节所述的生产实践经验。



同时粘接两面板时，通常会出现三个面和夹芯之间夹带空气的现象。必须使用单一或交叉的开槽夹芯（见 [2.1 章](#)）。



夹层板的上边缘和转角，尤其是那些较厚的含低密度泡沫的夹层板，应使用木头或塑料泡沫制成外形合适的楔子将板框住，以保护泡沫夹芯免受应力集中的影响。

尤其需要注意的是，泡沫板，特别是厚度约 40 毫米（1½ 英寸）以上，与两面板同时粘结时，必须绝对平坦，无碟状变形。

有碟状变形的厚泡沫板在完全真空压力的条件下能完全被压平的可能性微乎其微。厚泡沫板有一定的抗弯刚度，在承受真空压力时往往难以压平，由此而产生的空隙将会形成气泡，尤其是使用含有苯乙烯的树脂或腻子用于粘接时，这种情况更容易发生。

可在高于软化温度的条件下通过加热使泡沫变软，然后将其压平，并在压机受压的情况下冷却。

预浸料工艺及真空袋压成型

利用真空装压工艺对泡沫夹芯进行预浸料成型或在环境温度或高温下对层板进行固化时，使用的技术比将泡沫夹芯筒装在预制或已固化层压板上，或对整个夹层结构进行粘合的方法更为先进。

首先应考虑成品板的表面质量，其次是层板和泡沫夹芯之间的粘结质量。详细内容，详见 [2.8 章](#)。

本文所述之内容正确有效，已达到当前最先进之科技水平。但是，不就本文正确性及由于采用文中所述内容而产品的结果给予任何正式或非正式保证。无任何蓄意或建议侵犯知识产权之意图。