

真空导入工艺的应用介绍

摘要：真空导入是最近兴起的复合材料加工方法，本文介绍了真空导入工艺的原理，并与其他工艺在力学性能上做了对比，阐述由真空导入工艺所制作的产品的优势，同时对生产工艺过程作了扼要的介绍。

关键词

真空导入 树脂 玻璃钢 玻璃纤维

在目前材料中，复合材料因其质轻高强而被广泛应用。针对复合材料的制造工艺也在不断的提高和创新。由起初的手糊，发展到机械化的喷射，拉挤，模压等工艺，都现在兴起的真空导入工艺，与真空导入相关的工艺还有树脂传递模塑（RTM），真空辅助 RTM (VARTM)，真空袋压，SCRIMP,SRIM(Structural Reaction Molding),RTI(resin film infusion).但都有一些差别，很多文章中都介绍过，这里就不赘述了。

1. 真空导入工艺 (Vacuum infusion process, VIP)

真空导入工艺 (Vacuum infusion process)，简称VIP，在模具上铺“干”增强材料（玻璃纤维，碳纤维，夹心材料等，有别于真空袋工艺），然后铺真空袋，并抽出体系中的真空，在模具型腔中形成一个负压，利用真空产生的压力把不饱和树脂通过预铺的管路压入纤维层中，让树脂浸润增强材料最后充满整个模具，制品固化后，揭去真空袋材料，从模具上得到所需的制品。VIP采用单面模具（就象通常的手糊和喷射模具）建立一个闭合系统。真空导入工艺公诸于世很久了，这个工艺在1950年出现了专利记录。然而，直到近几年才得到了发展。由于这种工艺是从国外引入，所以在命名上有多种称呼，真空导入，真空灌注，真空注射。

2. 理论

真空导入工艺能被广泛的应用，有其理论基础的，这就是达西定律（Darcy's Law）

$$t = \ell^2 h / (2 k DP)$$

t 是导入时间，由四个参数来决定。

h-树脂粘度，从公式上可以看出所用树脂的粘度低，则所需导入时间就短，因此真空导入所用的树脂粘度一般不能太高。这样可以使树脂能够快速的充满整个模具。

ℓ-注射长度，指的树脂进口与到达出料口的之间的距离，距离长当然所需的时间亦长。

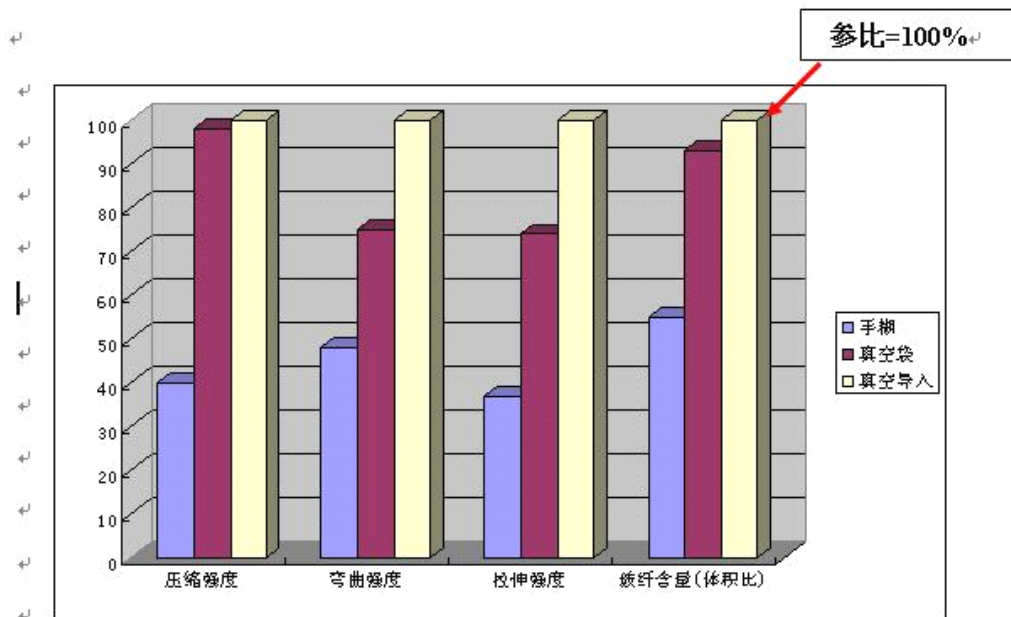
DP-压力差，体系内与体系外压力差值越大，对树脂的驱动力也越大，树脂流速越快，当然所需导入时间也越短。

k= 渗透性，指玻纤，夹心材料等对树脂浸润好坏的参数。k值大说明浸润好，象连续毡，多向毡要比方格布，短切毡易被树脂浸润。因此为了使得树脂在增强材料被压实的情况下能方便的充满体系，一般会人为设置一些导流槽，比如在夹心泡沫上下打孔等。

3. 优势

在通常的手糊工艺(hand lay-up)中，增强材料铺于模具中，采用刷子，辊子或其它方式手工浸润增强材料。另外一种改进的方法是使用真空袋吸出手糊时积层中多余的树脂。这样提高的玻纤含量，得到更高强度和更轻的产品，VIP相对于传统的工艺具有很多优势。

如图以手糊，真空袋和真空导入为例。在力学性能上真空导入占有明显的优势。



注：树脂：Symolite 4082-G-22，
无玻纤：400g/m²方格布和 300 g/m²短切毡交替铺设共 8 层。室温固化 24 小时，80℃下 4 小时

由此可以看出真空导入的优势

a 更高质量制品：在真空环境下树脂浸润玻纤，与传统制造工艺相比，制品中的气泡极少。体系中不留有多余的树脂，玻纤含量很高，可达到时 70%，甚至更低。所得制品重量更轻，强度更高。批与批之间也非常稳定。

b 更少树脂损耗：用 VIP 工艺，树脂的用量可以精确预算，对于手糊或喷射工艺来说，会因操作人员的多变性而难于控制。VIP 可以使得树脂的损耗达到最少，更重要的是，这样可以节约成本。

c 树脂分布均匀：对于一个制品来说，不同部分的真空产生的压力是一致的，因此树脂对玻纤的浸润速度和含量趋于一致。这个对于重量要求稳定的 FRP 制品来是很关键的。

d 过程挥发更少：生产过程中没有刷子或辊子之类，不会造成树脂的泼洒或滴落现象发现，更不会有大量的气味出现。所以它能提供一个干净、安全和友好的工作环境，保护操作者的身心健康。

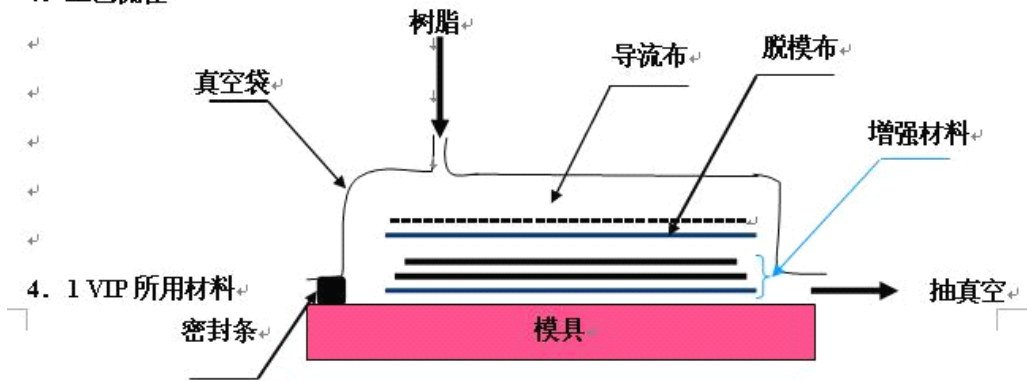
e 使用单面模具：仅用一面模具就可以得到两面光滑平整的制品，可以较好的控制产品的厚度。节约模具制造成本和时间。

正因为用 VIP 工艺所做产品有如些的优点，最早应用于航天航空等特种领域，后来慢慢应用于高要求的民用产品。

VIP 工艺的应用领域

- 1) 船艇工业--船体，甲板，方向舵，雷达屏蔽罩
- 2) 风电能源--叶片，机仓罩
- 3) 体育休闲--头盔，帆板
- 4) 汽车工业--各类车顶，挡风板，车厢
- 5) 建筑领域--建筑物顶部部件，建筑模板
- 6) 农业和园艺 --粮仓圆盖，农机保护盖

4. 工艺流程



4. 1 VIP 所用材料

4. 1. 1 树脂

当准备开始真空导入的试验时，首先要选用合适的树脂，是环氧树脂还是不饱和聚酯树脂。真空导入工艺的树脂，不能用普通的树脂来代替，它对粘度，凝胶时间，放热峰，浸润性等有特殊的要求，具体可咨询树脂供应商。

4. 1. 2 固化体系

如果是环氧树脂，要使用其相对应的专用固化剂；不饱和树脂常用的固化剂是过氧化甲乙酮。不同的厂家其质量是不一样的，选用时对其评价，不能因为用量少的材料而影响到整个制品的质量。

4. 1. 3 增强材料

增强材料一般常用的是玻璃纤维和碳纤维。比如连续毡，复合缝边毡，单布等，具体要根据力学设计。选用时最好做一下实验，渗透性如何，因为纤维在制造过程中选用的浸润剂，粘接剂的不同对树脂的浸润会不一样，导致最终制品的力学性能会有很大的差异。

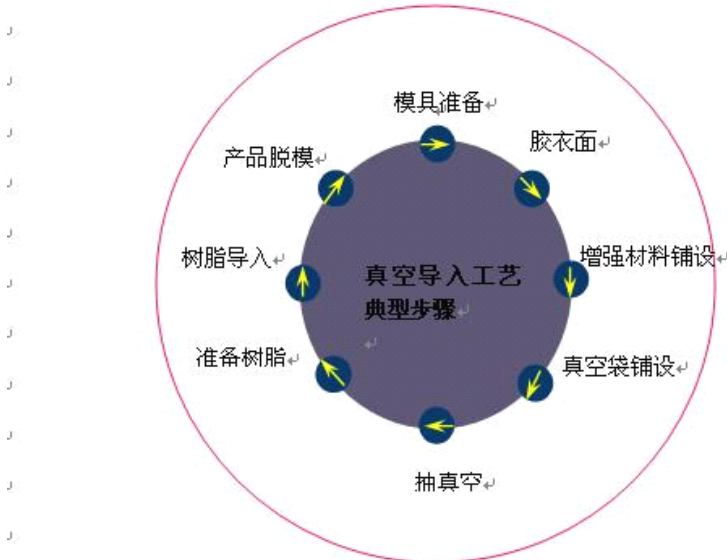
4. 1. 4 夹心材料

一般常用的是木板，Balsa 木，PVC 泡沫，PUR 泡沫，强蕊毡等。依据制品的需要选用合适的夹心材料。

4. 1. 5 设备、辅材

真空泵，接口，压力表，导流管，脱模布，导流布，真空袋等等。

真空导入工艺所用的材料不是随随便便拿来就能用，每种材料都要经过实验加以确认，以此判断是不是适用。这里就不详细阐述，作为专题在以后的文章中讨论。



4. 2 VIP 工艺流程

然后要了解材料如何使用和如何安排。为了解说方便，我们以如所例示意图为例子。

第一步：准备模具

和其它积层工艺一样，对 VIP 来说高质量的模具也是必须的。表面要有较高的硬度和较高的光泽，并且模具边缘至少保留 15 厘米，便于密封条和管路的铺设。对模具进行清理干净，然后打脱模蜡或抹脱模水。

第二步：施工胶衣面

可以根据制品的要求，可以用产品胶衣和打磨胶衣，选用类型有邻苯，间苯和乙烯基。用手刷和喷射的方法施工胶衣。

第三步：增强材料铺设

选用增强材料-玻璃纤维，碳纤维，夹心材料...这要依据制品强度要求来定。选择增强材料对积层工艺来说是很重要的一步，但对于 VIP 要多考虑几点。虽然所有织物都可以用，但不同的材料和织法会影响树脂流速。

第四步：真空袋材料铺设

先铺上脱模布，接着是导流布，最后是真空袋。在合上真空袋之前，要仔细考虑树脂和抽真空管路的走向，否则有的地方树脂会无法浸润到。铺设时要非常小心，以免一些尖锐物刺破真空袋。

第五步：抽真空

铺完这些材料后，夹紧各进树脂管，对整个体系抽真空，尽量把体系中空气抽空，并检查气密性，这一步很关键，如有漏点存在，当树脂导入时，空气会进入体系，气泡会在漏点向其它地方渗入，甚至于有可能整个制品报废。

第六步：配树脂

抽真空达到一定要求后，准备树脂。按凝胶时间配入相应的固化剂，切记不能忘加固化剂，否则很难弥补。不过一般真空导入树脂含有固化指示剂，可以从颜色上来判断是否加了固化剂。

第七步：导入树脂

把进树脂管路插入配好的树脂桶中，根据进料顺序依次打开夹子，注意树脂桶的量，及时补充。

第八步：脱模

树脂凝胶固化到一定程度后，揭去真空袋材料。从模具上取出制品并进行后处理。

5 结语

当然任何一个工艺不可能是十全十美的，目前来说 VIP 所需的一次性耗材很大一部分需要进口，提高材料成本，但这部分可以减少树脂用量上得到平衡。另外对操作人员的技能要求更高。每一过程都仔细按步骤做好才能进入下一步的操作，否则会造成不能逆转的损失。所以这种工艺目前用在附加值高的 FPR 部件和制品中，如体育用品配件，游艇，风力发电叶片等。但人们对更高性能材料的大量需要，真空导入工艺正被越来越多的人认识和采用。

参考文献

[1] Marco method, us patent No 2495640 (1950).

[2] 王继辉, 李新华. 复合材料液体模塑成型技术. 化学工业出版社, 2004.3

[3] Chris Kirschling, Stephen Brooks. Resin systems for Vacuum infusion Applications