

第三章

喷射成型工艺



第一节 概述

一. 定义

喷射成型一般是将分别混有促进剂和引发剂的不饱和聚酯树脂从喷枪两侧（或在喷枪内混合）喷出，同时将玻璃纤维无捻粗纱用切割机切断并由喷枪中心喷出，与树脂一起均匀沉积到模具上。待沉积到一定厚度，用手辊滚压，使纤维浸透树脂、压实并除去气泡，最后固化成制品的工艺。



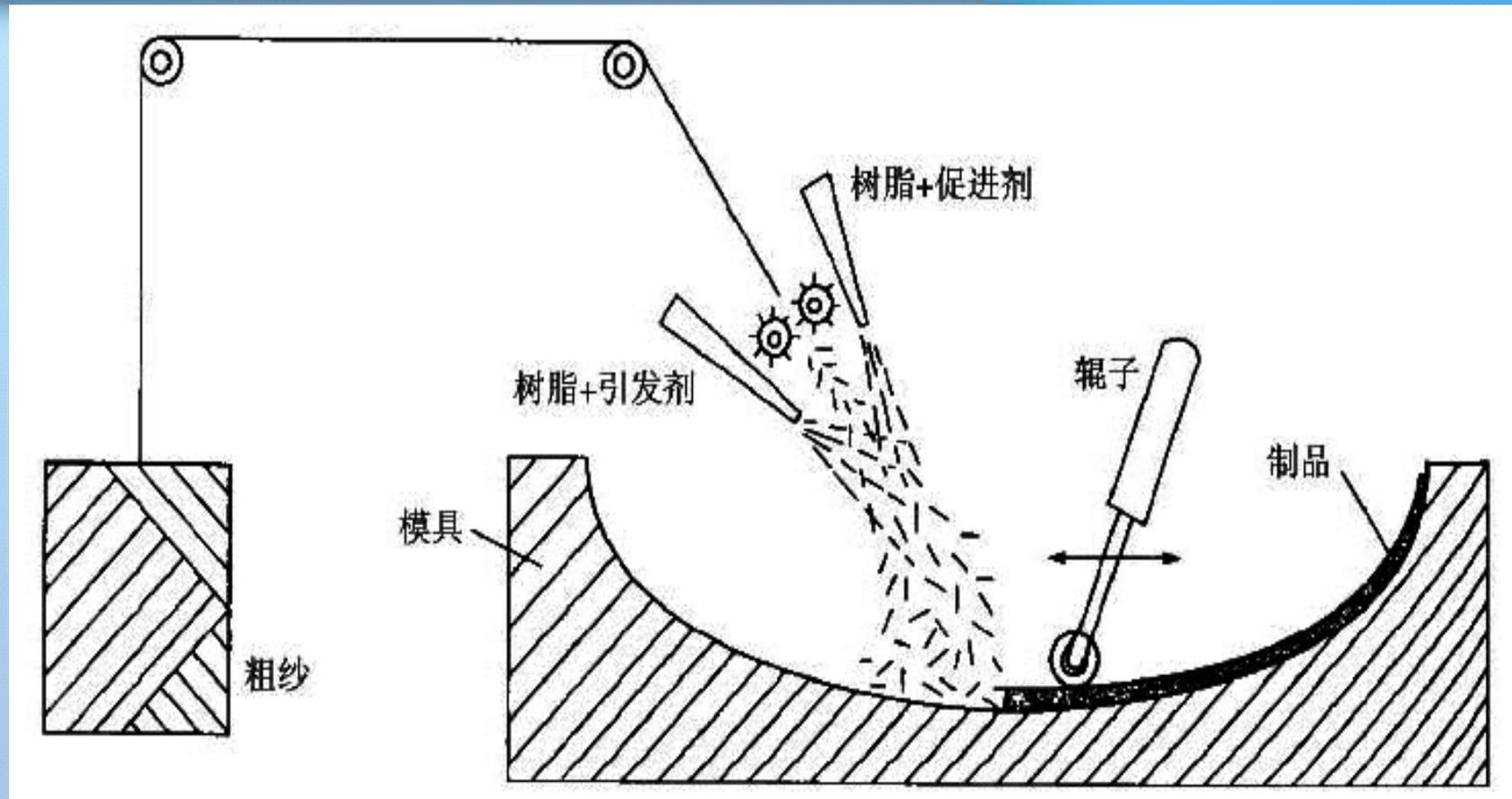


图3-1 喷射成型工艺示意图（两罐系统）

二. 发展概况及特点

喷射成型是为改进手糊成型而创造的一种半机械化成型工艺。国外在20世纪60年代发展了喷射成型并有成套喷射设备出售，例如美国的格拉斯科·拉福特公司。目前喷射成型在各种成型方法中所占比重较大，美国占27%，日本占16%，用以制造汽车车身、船身、浴缸、异形板、机罩、容器、管道与贮罐的内衬层等。



三. 分类

喷射成型工艺有多种分类方法。

1. 按胶液喷射动力可分为气动型和液压型。

气动型是空气引射喷涂系统，靠压缩空气的喷射将胶液雾化并喷涂到芯模上。液压型是无空气的液压喷涂系统，靠液压将胶液挤成滴状并喷涂到模具上。

2. 按胶液混合形式可分为内混合型、外混合型和先混合型3种。内混合型是将树脂和引发剂分别送到喷枪头部的紊流混合器内充分混合。



外混合型是引发剂和树脂在喷枪外的空气中混合。由于引发剂在与树脂混合以前必须与空气接触，而引发剂又容易挥发，因此，既浪费材料又引起环境污染。

先混合型是将树脂、引发剂和促进剂，分别送到静态混合器内充分混合，然后再送到喷枪喷出。



四. 喷射成型工艺的优缺点

1. 喷射成型工艺与手糊成型工艺相比具有以下优点:

- (1) 生产效益比手糊法提高2—4倍;
- (2) 利用粗纱代替织物, 降低了成本;
- (3) 成型过程中无接缝, 制品的整体性好;
- (4) 减少了飞边、裁屑和剩余胶液的损耗;
- (5) 可自由调节产品壁厚、纤维和树脂比例及纤维长度。



2. 喷射成型工艺的主要缺点

- (1) 产品的均匀程度很大程度上取决于操作工人的熟练程度；
- (2) 树脂含量高，增强纤维短，制品的强度较低，耐温性能差；
- (3) 因过量喷涂而造成的原材料的损耗大；
- (4) 阴模成型比阳模成型难度大，小型制品比大型制品难度大；
- (5) 现场粉尘大，工作环境恶劣；
- (6) 初期投资比手糊成型大。



第二节 喷射工艺的材料及模具

一. 原材料选择

合理的选择原材料是保证产品质量，降低产品成本的重要环节。原材料的选取必须满足以下要求：

1. 满足产品设计的性能要求；
2. 适应喷射成型工艺的特点要求；
3. 价格便宜，货源充足。



1. 符合喷射成型工艺的树脂

- (1) 粘度 对于喷射成型工艺，要求树脂易于喷射并易于雾化，易于浸润玻璃纤维，易于脱泡。树脂粘度过大，将使喷射成型工艺无法进行，一般树脂粘度应控制在 $0.300\text{—}0.800\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。
- (2) 触变性 对于喷射成型工艺，触变指数一般控制在 $1.5\text{—}4$ 。
- (3) 促进剂 促进剂采用钴盐时，可显著降低树脂的粘度触变性，同时也容易使树脂流失，作业时必须注意。



- (4) 固化特性 因制品的形状、大小、作业时的温度、树脂的粘度不同，树脂的喷射量、脱泡作业时间有变化，应该具有适合于固化特性的树脂；
- (5) 稳定性 对双喷头喷射机，树脂的稳定性特别重要，所以含有固化剂的料罐和含有促进剂的料罐要保持一定的温度；
- (6) 浸渍脱泡性 要求树脂对玻璃纤维的浸润性好、且易于脱泡。



2. 符合成型工艺的纤维

从成型工艺角度考虑，纤维应满足以下条件：

1. 硬挺度适当，切割性良好；
2. 不产生静电，分散性好；
3. 与树脂的浸渍性好，易于脱泡；
4. 高速开卷时不乱；
5. 脱附性良好。



二. 模具设计

模具是喷射工艺的主要工具之一，合理的设计模具是保证产品质量和降低成本关系极大。设计模具时，要综合考虑一下各主要因素：

1. 符合产品设计的精度，金属模具的变形小，精度高，可保证产品尺寸精确；
2. 有足够的强度和刚度，防止成型过程中外力对模具的损坏，延长模具的使用期；
3. 脱模难易是评定模具设计的重要指标，为了脱模方便，在模具的拐角处应尽量避免锐角；



4. 喷射成型制品的树脂含量较高，树脂固化具有一定的收缩率，所以在设计模具时要充分考虑制品尺寸及制品表面受收缩及缩皱现象的影响。
5. 喷射成型工艺所采用的增强纤维的长度一般为25—50mm。
6. 模具材料，应耐树脂和助剂的侵蚀，不影响树脂固化，能经受固化温度的影响。



第三节 喷射成型设备及工具

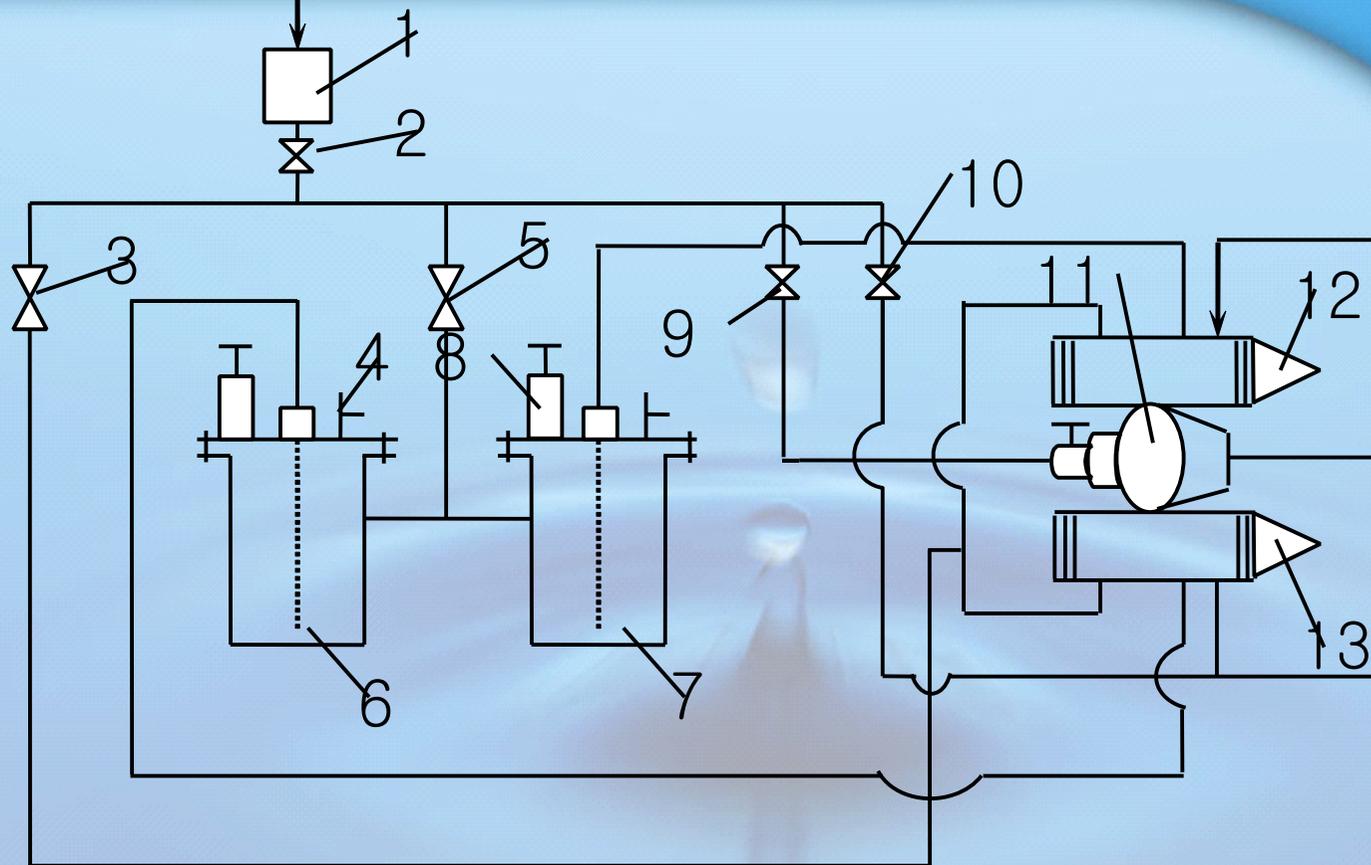
喷射成型设备，从简单的喷射成型机到自动化喷射成型生产线，经历了一个较长的发展过程。喷射成型工艺所用的主要设备是喷射机。我国在60年代已开始了喷射设备的研制开发工作。但目前国内生产的厂家极少，但这一技术是应该发展的。



喷射机主要是由树脂喷射系统和无捻粗纱切割喷射系统组成。其功能是由纤维切割器喷射出的、与树脂成一定重量比的、专用的短切玻纤无捻粗纱纱段，均匀的撒落在由树脂喷枪喷嘴喷射出的、具有一定速度、雾化的、含有各种助剂的树脂微粒形成的扇面上，然后二者同时喷射到模具型面上，经轧棍、挤压、固化、脱模而成型为玻璃钢制品。



压力罐供胶式喷射成型机



- 1: 气水分离器; 2: 气阀门; 3: 调压阀; 4: 放气阀; 5: 调压阀; 6、7: 压力罐; 8: 安全阀; 9、10: 调压阀; 11: 纤维切割喷射器; 12、13: 树脂喷射器

图3-2 双压力罐供胶式喷射成型机原理示意图

泵供胶式成型机以一台空气压缩机为气源，通过配气缸同时供给气缸、喷枪、纤维切割器一定压力的气体。

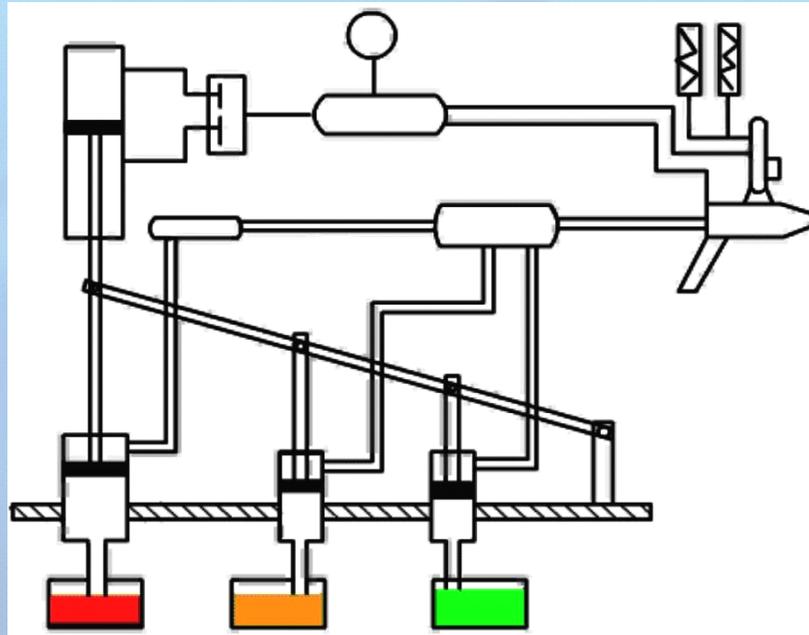


图3-3 泵供胶式喷射成型机原理示意图

第四节 喷射成型的操作工艺

一. 喷射成型工艺流程和工艺参数

1. 喷射成型工艺流程

喷射成型工艺流程如图3-4所示。

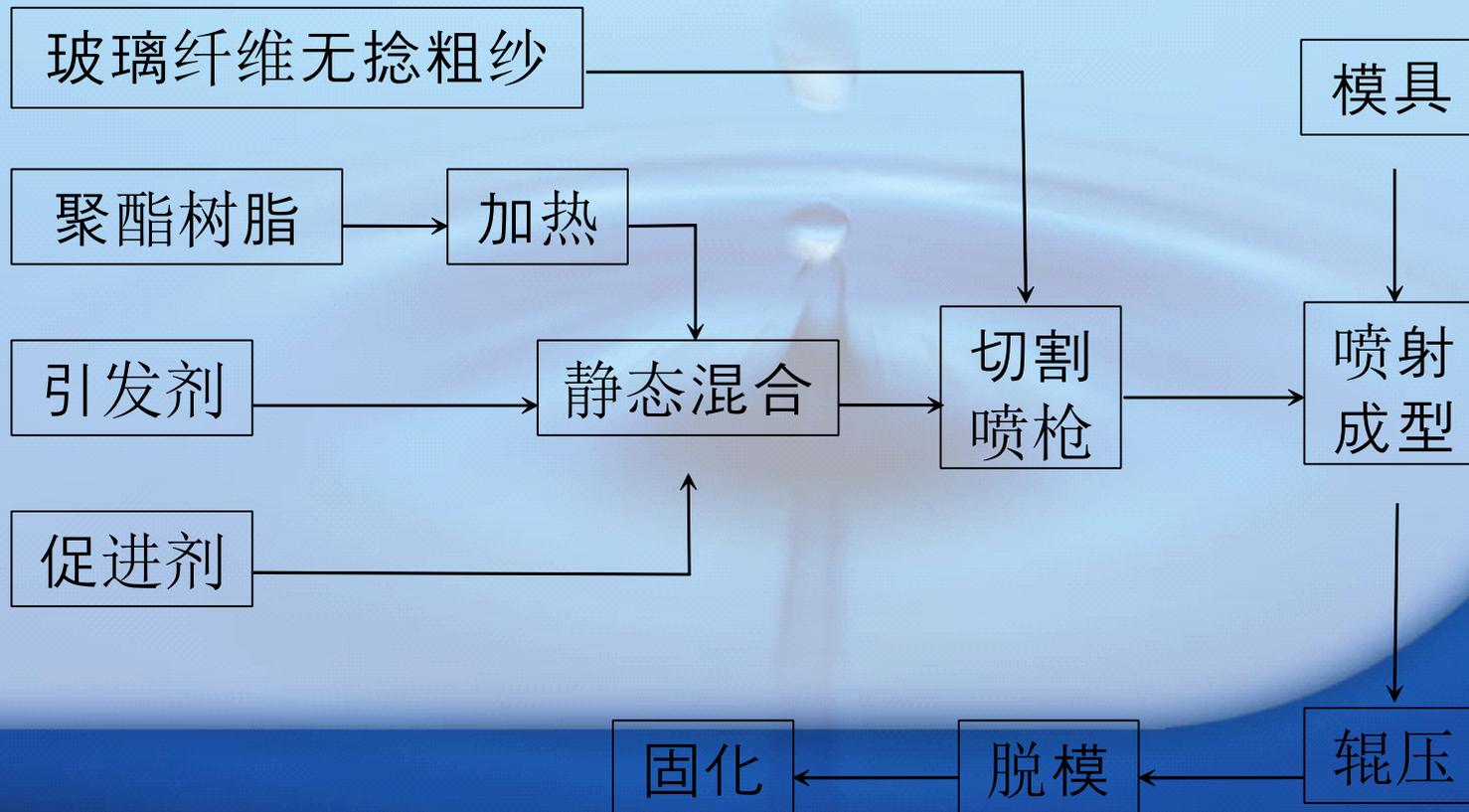


图3-4 喷射成型工艺流程

2. 喷射工艺参数

- (1) 纤维 选用前处理过的专用无捻粗纱。制品纤维含量控制在28%—83%。
- (2) 树脂含量 喷射制品采用不饱和聚酯树脂，含胶量约为60%左右。含胶量过低，含胶量不均，粘接不牢。
- (3) 胶液粘度 应控制在易于喷射雾化、易于浸渍玻璃纤维、易于排除气泡而又不易流失。粘度控制在0.3—0.8Pa. s，触变指数以1.5—4为宜。



- (4) 喷射量 在喷射成型中，应始终保持胶液喷射量与纤维切割量的比例适宜。柱塞泵供胶的胶液喷射量是通过柱塞的行程和速度来调控的。
- (5) 喷枪夹角 不同夹角喷射出来的树脂混合交距不同，为了操作方便，一般选用 20° 夹角为宜。
- (6) 喷雾压力 喷雾压力大小要能保证两种树脂组分均匀混合，同时还要使树脂损失最小。



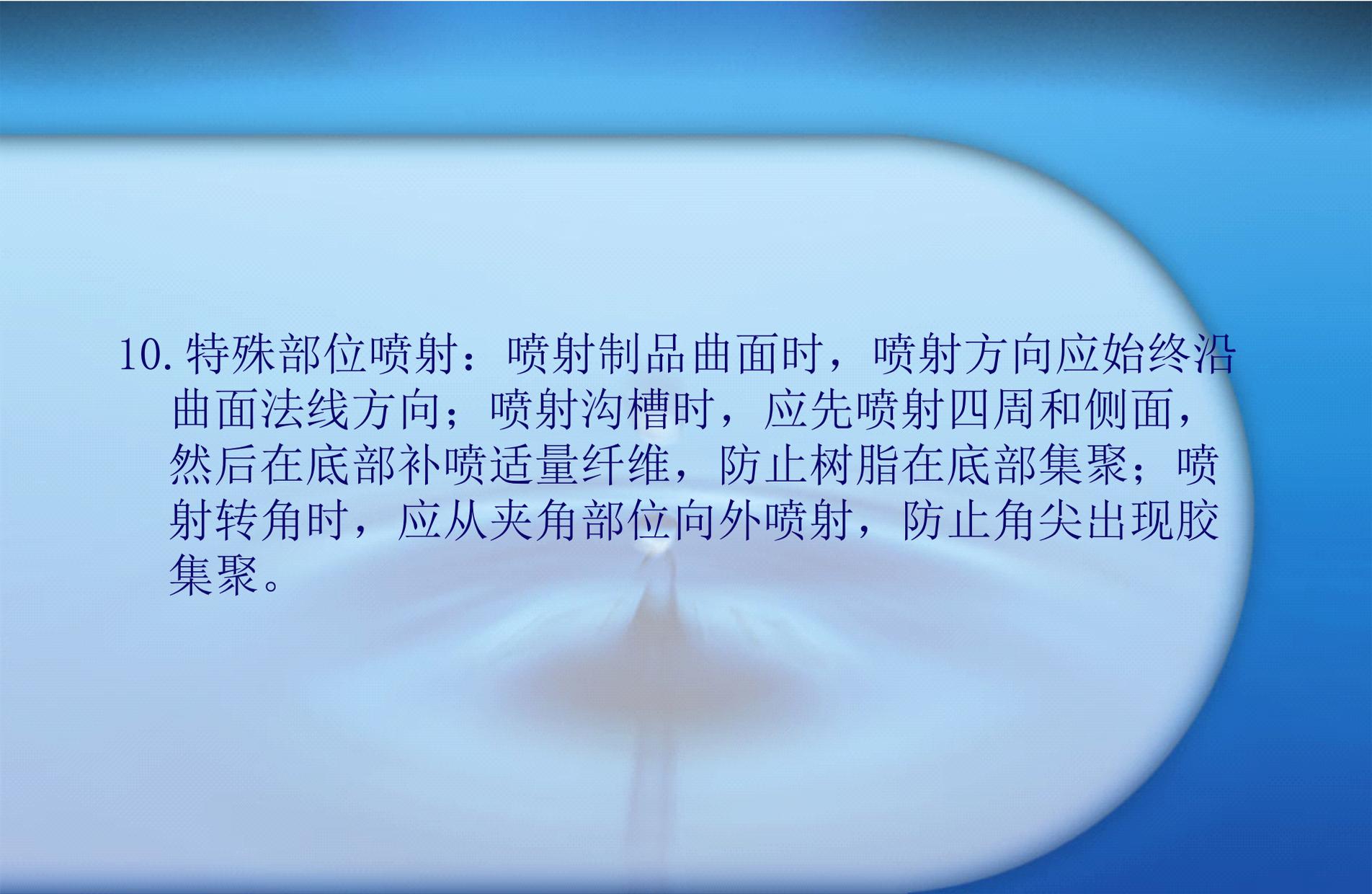
二. 喷射成型工艺要点

1. 成型环境温度 成型环境温度以 25°C — 50°C 为宜；
2. 制品喷射成型工序标准化，以免因人为因素而产生过大的质量差异；
3. 为避免压力波动，造成喷射量不稳定，喷射机应有独立管道供气。气体要彻底除湿，以免影响固化；
4. 树脂胶液罐内应有加热或保温系统，以维持胶液粘度适宜；



5. 喷射开始时，应注意纤维和树脂喷射量，调节气压，以达到规定的纤维含量；
6. 纤维切割不准时，要调整切割棍与支承辊间隙；
7. 喷射成型时，在模具上先喷射一层树脂，然后再开动纤维切割器。
8. 喷射移动速度均匀，不允许漏喷，不能走弧线、相邻两个行程间重叠宽度应为前一行程的 $1/3$ 宽度；
9. 每个喷射面喷完后，立即用压辊滚压，要特别注意凹凸表面；





10. 特殊部位喷射：喷射制品曲面时，喷射方向应始终沿曲面法线方向；喷射沟槽时，应先喷射四周和侧面，然后在底部补喷适量纤维，防止树脂在底部集聚；喷射转角时，应从夹角部位向外喷射，防止角尖出现胶集聚。



喷射成型制品存在的问题是离散系数大，其分散性比手糊成型工艺还高，在进行产品设计时应注意以下几点：

1. 提高设计安全系数，一般取10—13；
2. 在进行结构设计前，先进性工艺参数的确定，以确保产品达到设计要求；
3. 根据所定工艺参数，制作层合板试样，并进行各项性能测试，测试数据为结构的设计依据；
4. 在主要受力部位，可采用喷射短切纱与玻璃布结合使用的方法，来提高材料的机械性能，满足制品的使用条件。



第五节 喷射成型制品的质量控制

一. 喷射成型制品的缺陷与防治

1. 挂流现象（垂流）

（1）挂流现象产生的原因

- ①树脂粘度，触变指数低；
- ②喷射时玻纤体积大；
- ③纤维含量低。



(2) 挂流的防治措施

- ①提高树脂的粘度和触变指数（厚度大于5mm时效果不大）；
- ②提高树脂喷出压力，缩短玻璃纤维切割长度，使枪接近成型面进行喷涂；
- ③提高纤维含量。



2. 浸渍性差

(1) 浸渍性差产生的原因

- ①树脂与玻璃纤维比例不当，树脂含量低；
- ②树脂粘度过大；
- ③粗纱质量不好；
- ④树脂凝胶快。



(2) 防治浸渍性差的措施

- ①增加树脂量或减少纤维量;
- ②把粘度调至0.800Pa. s以下;
- ③改变处理剂或更换粗纱牌号;
- ④改变树脂的固化性能。



3. 脱落现象

(1) 产生脱落现象的原因

- ①树脂和纤维比例不当，树脂过量；
- ②树脂的粘度，触变度低；
- ③喷枪与成型面距离小；
- ④粗纱的切割长度不适合。



(2) 防止脱落的措施

- ①减少树脂喷出量，增加粗纱量；
- ②提高树脂的粘度和触变度；
- ③控制喷射的距离预防性；
- ④按制品的大小和形状，改变纤维的切割长度。



4. 固化不足及固化不均匀

(1) 产生固化不足及固化不均匀的原因

- ①固化剂分布不均匀；
- ②喷出的树脂没有形成适当的雾状；
- ③树脂反应性高；
- ④压缩空气内混有水凝气。



(2) 防治固化不足及固化不当的措施

- ①调整固化剂喷嘴，使用稀释的固化剂，增加喷出量；
- ②调整雾化，使树脂呈雾状；
- ③降低树脂的反应性；
- ④定期排放空压机的冷凝水。



5. 粗纱切割不良

(1) 产生粗纱切割不良的原因

- ①切割刀片磨损；
- ②支承辊磨损；
- ③粗纱根数太多；
- ④切割器空气压低。

(2) 防治粗纱切割不良的措施

- ①按刀片的材质，使用一定时间后更换；
- ②视磨损程度而更换；
- ③通常以切割2—3根粗纱为宜；
- ④提高空气压，视情况可增大空压机容量。



6. 空洞、气泡

(1) 产生空洞和气泡的原因

- ①脱泡不充分；
- ②树脂浸渍不良；
- ③脱泡程度难以判断；
- ④纤维含量高。



(2) 防治空洞和气泡的措施

- ①加强脱泡作业，使脱泡工序标准化；
- ②增加消泡剂，再次检查树脂和纤维质量；
- ③成型模具做成黑色或近似黑色，以便容易观察脱泡和浸渍情况；
- ④降低纤维含量。



7. 玻璃纤维堆积

(1) 产生玻璃纤维堆积的原因

- ①树脂粘度大；
- ②粗纱粘结剂太软；
- ③喷出的纤维量不均。



(2) 防治玻璃纤维堆积的措施

- ①重新评价树脂的粘度、触变性、浸渍性及固化特性；
- ②选择更硬的粘结剂；
- ③使树脂和纤维喷射速度一致，能进行均匀的喷射。



8. 厚度不均

(1) 产生厚度不均的原因

- ①未掌握好喷射操作工艺；
- ②脱泡操作不熟练；
- ③树脂的固化性能不好；
- ④纤维的切割性不好；
- ⑤纤维的分散性好。



(2) 防治厚度不均的措施

- ①制定成型面与喷枪间的距离、喷射方向、树脂和纤维的粘结剂的一致性等操作标准，并通过训练以提高熟练程度；
- ②购置合适的脱泡工具，并进行训练；
- ③根据产品的复杂程度及产品设计的积层，选择合适的树脂固化时间；
- ④调整及更换切割机；
- ⑤检查粗纱的质量。



9. 白化及龟裂

(1) 产生白化和龟裂

- ①使反应活性高的树脂在短时间内固化（固化时发热量大，引起树脂和纤维的界面剥离；
- ②纤维表面附有妨碍树脂浸渍的不均匀性表面处理剂、水、油、润滑脂等；
- ③积层时一次层积太厚；
- ④使用双头喷枪时，树脂喷出量不均；
- ⑤树脂中混有水；
- ⑥苯乙烯含量过大；
- ⑦树脂与纤维折射率不匹配。



(2) 防治白化与龟裂的措施

- ①选择反应性合适的树脂，调整固化剂的种类、用量和固化条件；
- ②注意纱布的保管和使用，先进行测试以确保质量；
- ③采用层积法，控制固化发热量；
- ④调整树脂喷出量；
- ⑤改善树脂的存放和使用条件，定期排放空压机内的冷凝水，不用混有水的树脂；
- ⑥减少苯乙烯的用量，加热树脂降低粘度；
- ⑦调整选材使树脂的折射率接近玻璃纤维。



二. 质量控制

喷射成型工艺存在的问题是分散性大。为降低分散性，必须使材料、技术、设备维护、工艺管理制度化，标准化。

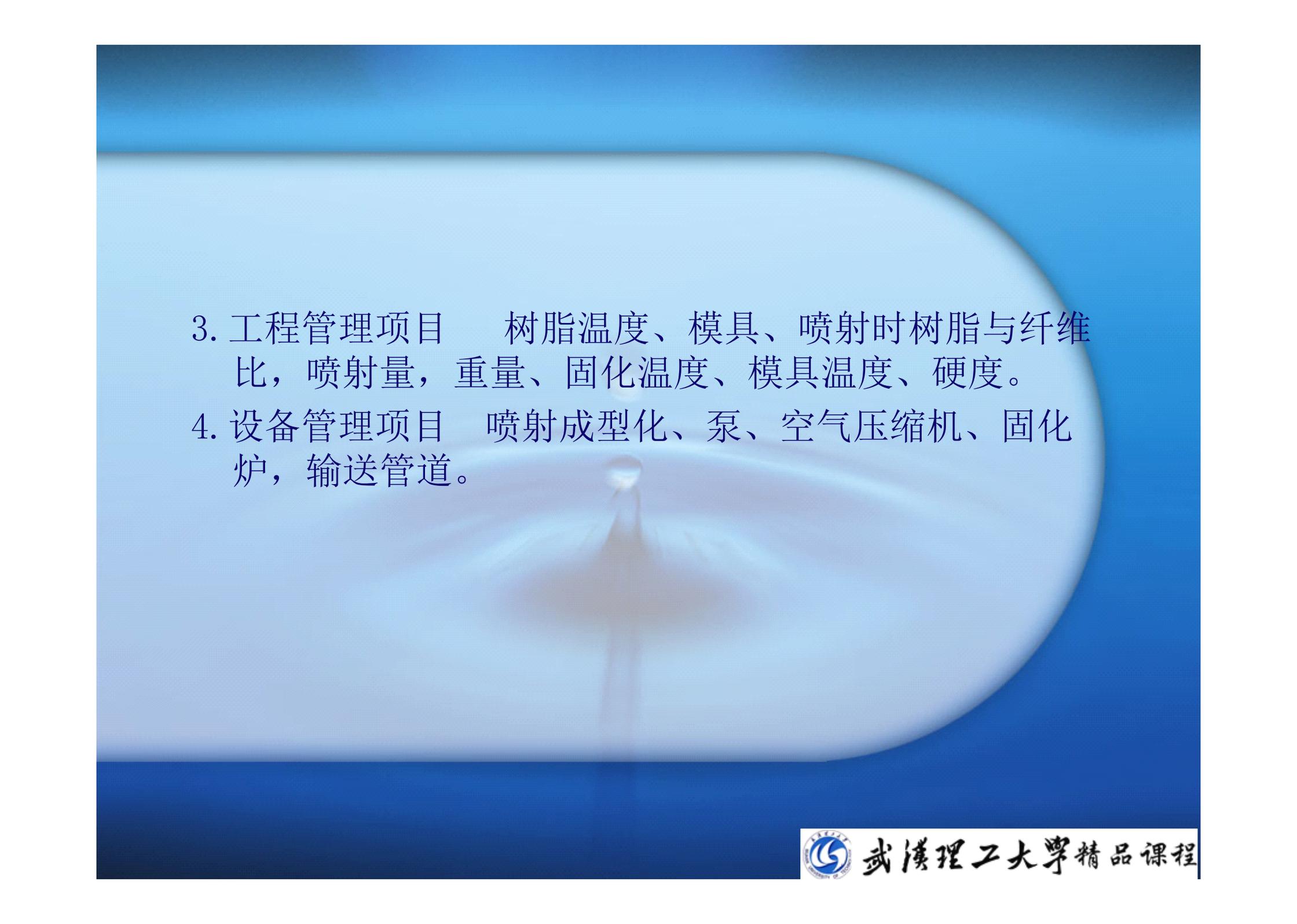
1. 验收材料的检验项目

树脂：固化特性、粘度、触变指数。

粗纱：硬挺度、浸渍性、切割加工性、分散性。

2. 操作标准 喷射参数及喷射方法、脱泡方法、缺陷的解决方法。



- 
3. 工程项目 树脂温度、模具、喷射时树脂与纤维比，喷射量，重量、固化温度、模具温度、硬度。
 4. 设备管理项目 喷射成型化、泵、空气压缩机、固化炉，输送管道。



三. 质量控制的主要检测指标

为了确保生产满足质量要求的制品，必须实施经过充分研究的管理系统，确定的生产管理。而产品检验这个生管理中十分重要的一项。产品检验，大致分为：常规检验和性能检验。

1. 常规检验 包括目测检验、重量检验、重量检验、厚度检验、水密性检验及其他项目如尺寸检查、功能检查、结构检查等。



2. 性能检验

性能检验的主要项目有：结构部件及重要组成部分的强度检验（拉伸强度，拉伸弹性模量，弯曲强度，弯曲弹性模量，硬度，耐腐蚀性等），还有对制品整体的强度试验。各项检测的控制指标，对于不同的产品来讲有不同的要求，检测时可根据适当的标准进行产品质量评定。



第六节 喷射成型工艺的最新成就

随着复合材料工业的迅速发展，成型设备也得到不断地改进和完善，喷射工艺也是如此。

美国格拉斯.科拉福特公司最新推出了第三代外混、节能型喷射IPA系列喷枪，其特点是维修简便、无需清洗，不易阻塞，提高了无聊的利用率。格拉斯公司生产的外混型喷枪，实现了固化剂和树脂完全的均匀混合，混合效果远远超过了内混合喷枪，同时还克服了内混合喷枪难以避免的腔内物料易固化、阻塞的缺点。



空气阻流包容喷枪的特点有以下几点：

1. 能有效解决外混型喷枪原料混合不均及原料分散等问题，而且喷枪的线型柔和而流畅，能有效节约原料和清洗剂的用量，创造安全的生产环境，明显减少气泡，提高产品质量。
2. 原料的混合效果好，两股固化剂在喷离枪体的瞬间即能与喷出的树脂均匀混合。
3. 在固化剂与树脂混合形成喷射线型的同时，在周围制造了空气障碍，防止材料的飞散，降低了环境污染，改变了工作环境。



本章结束

