



EVERFLON<sup>ACADEMIC</sup>



— 挤出手册 —

EVERFLON

FEP  
PFA

ETFE

可熔性含氟聚合物

---

# 介绍

熔融加工型氟聚合物树脂扩展了产品线，使产品具备了恒氟隆™ PTFE 的优良性能，并可通过注塑和挤出等传统热塑性加工技术进行加工。

其应用范围涵盖了设计人员和最终用户需要一种具有优异化学稳定性、介电性能、防粘性和机械强度的热塑性材料，以用于极端高低温环境的场合。

恒氟隆™ 提供一系列用途广泛的熔融加工型氟聚合物树脂，以满足特定的最终用途要求和加工需求：

恒氟隆™ FEP 的额定使用温度为 200 ° C，并保持了恒氟隆™ PTFE 氟聚合物树脂的耐化学性和介电强度。

恒氟隆™ PFA 是一种高性能树脂，具有良好的熔融加工特性和独特的热稳定性。它具有高温强度和刚度、优异的抗应力开裂性、高弯曲寿命和优异的电气性能。其最高使用温度为 260 ° C，并且几乎耐所有化学品。

恒氟隆™ ETFE 是一种强度高、韧性强的材料，其耐化学性、电性能和耐老化性能接近其他恒氟隆™ 氟聚合物树脂。恒氟隆™ ETFE 的额定使用温度为 150 ° C，采用传统热塑性塑料加工技术即可实现优异的加工性能。

恒氟隆™ 氟聚合物树脂的熔点和熔体粘度均高于大多数热塑性塑料。采用本指南中所述的加工技术，可获得极佳的产量和生产效率。

## 恒氟隆™ 氟聚合物挤出性能

性能	单位	ASTM standard	FEP	PFA	ETFE
熔点	°C	D5C	260	310	260
熔体流动速率 (MFR)	g/10min		6-12	6-14	6-12
比重	--	D792	2.15	2.15	1.7
23°C拉伸强度	MPa	D2116	24	26	45
23°C延伸率	%	D2116	330	350	400
冲击强度	kg-cm	D256A		No Break	
硬度 (邵氏硬度)	--	D2240	D56	D60	D70
弯曲模量	Mpa	D790	550	580	1200
体积电阻率	$\Omega$ -cm	D257		$>10^{17}$	
介电常数	1 MHz	D150	$< 2.1$	$< 2.1$	$< 2.6$
介电系数	1 MHz	D150	0.0007	0.0001	0.0007
介电强度	kV/mm	D149	78	78	70
阻燃性	--	UL94		V-0	
氧指数	--	D2863		$>95$	
耐化学性				Excellent	
吸水率	%	D570		$< 0.03$	

## 色浆

恒氟隆™ FEP 和 PFA 以及 ETFE 可使用市售色浆进行着色，这些色浆可从恒氟隆+™ 购买。添加量各不相同，但通常比例很小，不会对氟聚合物的最终机械性能产生明显影响。然而，重要的是，色浆必须与稀释过程中使用的基础树脂混合。

大多数现代连续挤出机都使用商用色浆计量添加系统。如果使用此类系统，请遵循计量器制造商的操作说明。如果无法获得制造商的操作说明，可以使用以下步骤。

以下步骤用于将色浆颗粒干混或“稀释”到恒氟隆™ 氟聚合物树脂颗粒中。

1. 将色浆在通风或真空烘箱中于 95 ° C 下干燥数小时。无需干燥本体树脂；然而，值得注意的是，冬季从未加热的储存区域取出的树脂，一旦进入温暖的挤出区域，可能会出现冷凝现象。使用前，请让树脂达到平衡状态。
2. 将浓缩液称重至所需树脂的比例（例如，1%）。
3. 将色料浓缩液加入装有树脂的干净干燥容器中。
4. 将树脂和色料浓缩液混合或翻滚至少15分钟，直至充分混合。将混合物送入挤出机料斗。使用过程中，请用盖子或铝箔盖好。
5. 未使用的色料浓缩液颗粒应储存在密封容器中。否则，在使用前应重新干燥。

# 设备

## 挤出机

挤出机的功能是将热塑性颗粒转化为熔融树脂，并以均匀的速率和温度输送熔体。传统的单螺杆挤出机用于加工含氟聚合物。长径比 (L/D) 通常在 20/1 到 30/1 之间。然而，研究发现，长径比为 28/1 或更长的挤出机效果最佳。这些更长的机器能够在高生产率下实现更稳定的输出。

树脂塑化所需的能量来自螺杆旋转产生的粘性阻力以及来自料筒加热器的传导热量。螺杆旋转混合熔体，并与计量段的尺寸共同决定挤出机的熔体输出量。选择合适的挤出机尺寸以获得所需的充分混合的熔体输出量至关重要。

较小直径的机器需要更高的螺杆转速才能达到与转速较低、尺寸较大的挤出机相同的输出量。然而，20 至 50 转/分钟的合理转速效果最佳。

小型短挤出机为了达到理想的产量，必须在高温高转速下运行，这会导致熔体强度下降等加工问题。同样，大型机器低速运行也会出现类似问题。混合不充分和停留时间过长会导致熔体不稳定，从而影响拉伸性能。

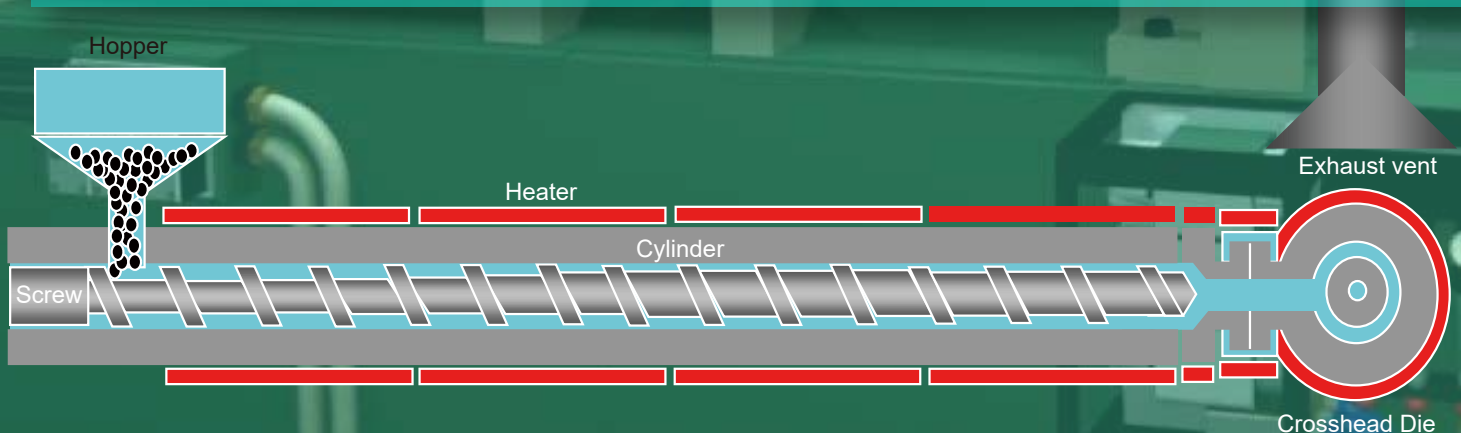
## 结构材料

热塑性聚合物的熔融加工会导致部分树脂分解并生成副产物。熔融氟聚合物的副产物对大多数金属具有腐蚀性。树脂分解会加速腐蚀，可通过以下方法最大限度地减少腐蚀：

避免过高的操作温度和使用流线型树脂流道。堵塞点、死角等会滞留树脂，使其在高温下长时间暴露而降解。

因此，必须使用由耐腐蚀、高镍、低铁合金制成的挤出设备。

所有接触设备，例如筒体衬套、筛网、断路器板、适配器、十字头和工装，都必须采用这些合金制造。裸露设备，例如夹具，必须采用高质量的镀镍工艺进行保护。市面上有各种此类设备可供选择，供应商可以就其与含氟聚合物的正确配合使用提供建议。



## 螺杆设计

大多数传统的单螺杆设计都能很好地适用于含氟聚合物。性能会因螺杆设计而异。

具有长进料段、压缩比约为 3:1、芯部渐进式轮廓和低剪切熔体混合元件的螺杆设计已被广泛应用，并且是首选。有限的经验表明，变螺距和阻隔式螺杆也可以用于含氟聚合物。但是，挤出机操作人员应谨慎对待此类设计。

在“方螺距螺杆”中，螺旋旋转一周相当于螺杆向下移动一个螺杆直径。常见的方螺距螺杆的螺距角为 17.7 度。

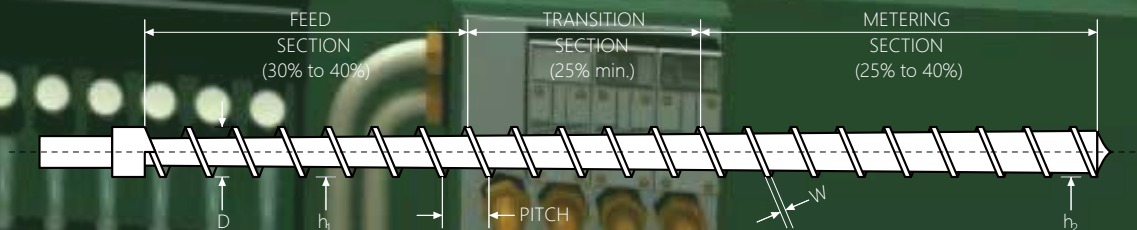
这意味着长径比 (L/D) 等于分配到螺杆各段 (进料段、过渡段、计量段和混合段) 的圈数。例如，长径比为 28:1 的方螺距螺杆需要分配 28 圈。

树脂块的输送、熔化和混合在进料段进行。至少8圈的长进料段可提供所需的停留时间。机械粘性阻力和筒体加热器提供的能量输入必须保持良好的平衡。这可以通过螺杆转速来实现。螺旋线的深度必须足够，以使树脂颗粒能够压实，同时还要保留足够的芯径以保证机械强度。

芯部渐进过渡段连接进料段和计量段。过渡或压缩过程在3到4圈螺旋线内完成。随着螺旋线深度逐渐变浅，熔化过程完成，空气或气体被向上驱回筒体，并通过进料喉排出。这形成了一个充满液体的螺旋通道，进入计量段。这对于实现稳定的熔体输出至关重要。

熔体通过表面摩擦力沿螺杆的计量段输送。输出量与螺杆转速成正比。5到7圈的计量段通常能产生足够的压力，使熔体能够通过筛网、头部和模具。计量段的螺旋线深度较浅，以最大化表面积与体积之比。这也能最大限度地减少因压力积聚导致的熔体回流。需要注意的是，这是一个体积过程。产量取决于计量段的横截面尺寸和螺杆转速。

大直径、深计量通道的设计所需的转速远低于小直径、浅计量通道的机器。在为新机器或现有机器选择新螺杆时，首先要计算中等转速下满足应用所需产量的计量段尺寸。以此为基础，使用典型的压缩比 (例如 3:1)，即可轻松确定其他螺杆尺寸。



## 料斗干燥机

氟聚合物树脂不吸水。但是，它们会吸收表面水分，尤其是在从冷库转移到温暖的加工车间时。由于色浆可能具有吸湿性，因此树脂和色浆的干燥已被证明能有效消除与水分相关的缺陷。挤出前进行批量干燥是有效的，但处理大量树脂时可能比较繁琐。

氟聚合物不需要除湿空气。一次性热风即可去除表面水分。通常，120 至 160 °C 的温度，保持 1 至 2 小时即可有效。料斗的废气应安全排放。市面上有用于氟聚合物的成套料斗加热器。

## 筛网组件和挡板

挡板组件和筛网组件可用于氟聚合物的挤出。它们产生额外的背压，使颜料或填料更好地分散到熔体中。该工艺应足够清洁，无需通过筛分去除污染物或色浆团聚物。挡板孔两侧应倒角，以消除树脂滞留和锋利边缘造成的剪切力。典型的配置是在两层 80 目筛网（0.177 毫米）之间夹一层 120 目筛网（0.125 毫米）。筛网应采用氟聚合物级耐腐蚀合金制成。

## 适配器

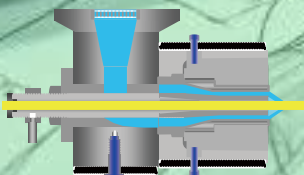
连接十字头和挤出机机筒的适配器内部必须采用流线型设计，以确保熔体顺畅流动。锥形截面缩减的最大夹角应为 30°。适配器还必须配备带温度控制器的加热带。如果适配器温度不足，则应提高机筒温度以补偿，否则可能导致适配器性能下降，并在启动过程中造成安全隐患。适配器内部固化的树脂会限制熔体从挤出机的流动。

## 十字头

传统的挤出机十字头设计较为常用。此外，还有其他设计可供选择。挤出连续型材（例如管材）时，通常使用直通式或直通式十字头。市面上有许多商业型号可供选择。

挤出头的流线型必须简洁流畅，避免出现堵塞点。挤出头的尺寸取决于所需的最终产品。然而，在满足最终产品需求的前提下，尽可能减小挤出体积并缩短停留时间是最佳选择。熔体断裂（本文稍后将讨论）可能会限制生产速率。但是，Everflon™ 氟聚合物具有良好的熔体强度，允许使用较大的拉伸比，从而最大限度地减少熔体断裂的影响。

同样重要的是，需要指定氟聚合物等级和耐腐蚀的结构材料。供应商使用不同的合金，以平衡耐腐蚀性、易加工性和氟聚合物使用后的外观。



## 加热带

加热带应具有足够的功率，以确保运行期间最高温度达到  $425^{\circ}\text{C}$ 。可使用  $4.65\text{ W/cm}^2$  或更高的功率密度。比例积分微分 (PID) 温度控制器或同等控制器是稳定熔融挤出输出的必要条件。

## 局部排气通风

所有热塑性聚合物（包括热塑性含氟聚合物）的熔融加工都会产生一定的降解，并可能释放出对健康有害或产生难闻气味的气体、蒸汽或烟雾。控制这些排放物的最有效方法是在源头“捕获”它们，并通过排气通风将其去除，防止其扩散到工作场所空气中。这种“捕获”技术称为局部排气通风 (LEV)。

LEV 的有效性在于，与更换整个工作场所或工厂空气所需的大量空气相比，只需相对较少的空气即可“捕获”和去除塑料释放的空气中的化学物质。此外，从源头“捕获”污染物可以有效地消除工人接触化学品的风险。

# 挤出机操作

成功的挤出操作需要密切关注诸多细节，例如：进料的质量和流动性、启动和关闭过程不会对聚合物造成降解或危及设备和操作人员安全、挤出机温度曲线能够以所需的生产速率在所需的熔体温度下实现并控制工艺、足够的局部排气通风系统以及树脂处理。

## 树脂处理

应注意防止树脂表面凝结水汽。某些添加剂（例如颜料或成核浓缩物）可能会吸收水分。使用前，应将树脂在工作场所静置最多 24 小时以适应环境。

强烈建议保持树脂清洁，避免污染。树脂袋和其他容器在使用前应保持密封。使用带盖料斗和储料箱可避免污染。污染物通常会导致挤出产品出现缺陷，例如电线绝缘层出现火花放电现象。

## 熔体流动

氟聚合物树脂在推荐加工温度下的粘度远高于大多数其他热塑性树脂。熔体粘度和熔体流动速率（MFR）是描述聚合物熔体流动性的术语，熔体流动速率是指在恒定压力和温度下，10 分钟内通过给定孔口的熔体量（以克为单位）。这些性能是在标准的、规定的剪切和温度条件下测量的。

ASTM 标准定义了这些值及其测量方法。这些氟聚合物树脂的粘度（在恒定剪切应力下）与其温度成反比。恒氟隆™ FEP 和 PFA 氟聚合物通过小模口或类似轮廓模具的熔体流动受到聚合物高熔体粘度和低“临界剪切速率”的限制。然而，它们具有足够的熔体强度，可以通过更大的模具挤出，并随后拉伸至所需尺寸。恒氟隆™ ETFE 氟聚合物的熔体强度低于恒氟隆™ FEP 和 PFA，因此不能拉伸到相同的尺寸。然而，恒氟隆™ ETFE 氟聚合物熔体的“临界剪切速率”较高，因此可以实现相当的挤出速率。

## 熔体断裂

当热塑性树脂流经模具或型材喷嘴时，熔体表面光滑。随着产量的增加，流速达到一定程度后，表面粗糙度就会显现出来。这种粗糙度被称为“熔体断裂”，是由熔体与模具壁面之间的摩擦引起的。在较低的产量下，摩擦力会减缓熔体在模具壁面处的流动速度。在较高的产量下，摩擦力会试图“阻止”熔体的流动；但是，工艺压力会推动熔体向前流动，从而克服这种阻力。最终形成不稳定的或“表面湍流”的流动，导致表面粗糙。挤出速率过高，超过了熔体粘度、模具尺寸和设备温度的限制，是造成熔体断裂的最常见原因。

熔体断裂发生在流速高于聚合物熔体的“临界剪切速率”时。临界剪切速率与温度有关，因此通常可以通过提高熔体温度来提高产量。但是，熔体温度必须始终低于导致聚合物降解的温度。

当使用颜料或成核剂时，挤出锥体是不透明的；因此，熔体断裂只能在外表面观察到。重要的是，挤出过程必须在不会导致熔体断裂的条件下进行。

使用未着色树脂进行实验有助于初步确定这些条件。检查挤出产品的内外表面也有助于判断是否存在熔体断裂。

水分、污染物或填料造成的粗糙度可能被误认为是熔体断裂。如果表面粗糙是由熔体断裂引起的，短暂降低产量可以减少或消除熔体断裂。相反，如果即使在低产量下粗糙度仍然存在，则应针对水分或污染物进行相应的校正。



典型的管材挤出件被拉入真空定径机。管材表面光亮光滑，清澈透明。未发现熔体裂纹。



在更高的吞吐量下进行相同的挤出，锥体中出现明显的熔体断裂。

## 剪切应力和剪切速率

图示为在熔体和模头温度恒定的情况下，恒氟隆™ FEP&PFA 氟聚合物树脂可能的流动状态分布图。恒氟隆™ ETFE 氟聚合物不具备这种区域分布模式。该图绘制了剪切应力与剪切速率的关系，并展示了剪切应力如何随剪切速率的增加而增加。

该图定义了四种可能的挤出行为区域。在极低的输出速率下，可能会发生热致树脂降解。

区域 I 是正常的宽广操作区域，几乎所有挤出都在此区域进行。

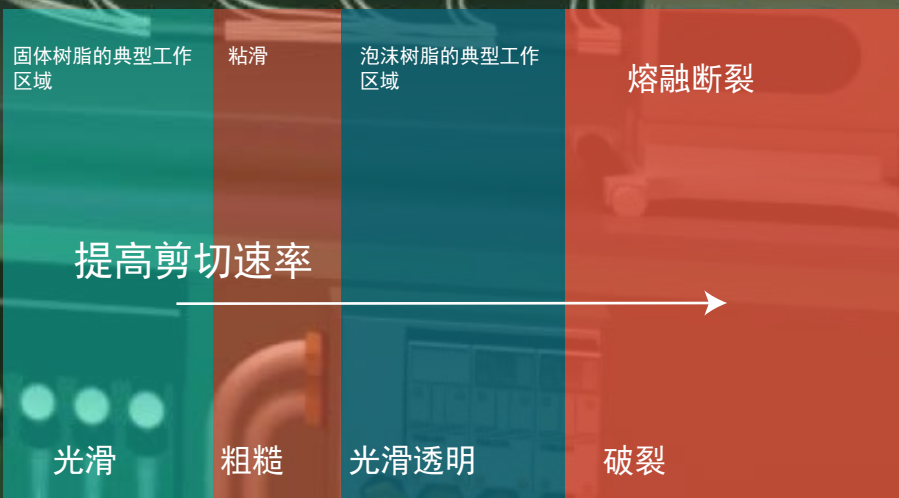
区域 II 表示通过增加树脂在模具中的流量，挤出物从光滑状态转变为粗糙的“熔体破碎”状态。在此转变过程中，聚合物熔体达到其“临界剪切速率”。该临界剪切速率适用于特定的挤出条件。

在区域 III（通常称为“超剪切”区域）中，挤出物再次变得光滑。当聚合物熔体失去与模具表面的粘附力时，就会发生超剪切。这种现象伴随着挤出头压力的显著下降，从而降低了熔体流动的阻力。通过这种方式可以实现更高的输出速率，但通常会导导致所得产品的机械性能发生变化。

在区域 IV 中，挤出物再次变得过于粗糙。

对于给定的型材模具几何形状，剪切速率随熔体输出量的增加而直接增加。剪切应力随压力的增加而增加。

与许多非氟聚合物热塑性熔体一样，恒氟隆™ ETFE 氟聚合物树脂的剪切应力几乎随剪切速率的增加而直接增加。根据分子量和加工温度的不同，这些 Everflon™ 氟聚合物树脂在低至 10 至 100  $s^{-1}$  的剪切速率下即可开始熔体断裂。熔体流动速率为 22 的恒氟隆™ FEP 4622 在 400 °C 的熔体温度下挤出时，大约在 500  $s^{-1}$  时发生熔体断裂。同样，各种等级的恒氟隆™ ETFE 氟聚合物将在 200 到 3,000 倒易秒之间发生熔断。



流动区域 I、II、III、IV 中挤出物的外观

## 拉伸断裂

当聚合物熔体被推过模具时，会受到剪切作用，当剪切速率超过临界值时，熔体就会发生断裂。熔体离开模具后会立即在锥体中向下拉伸。这种拉伸作用会产生额外的剪切力。

当剪切力超过极限时，锥体看起来会变得浑浊（如果未使用颜料），熔体流动中会出现针孔和/或撕裂。在极端情况下，锥体会断裂。

拉伸速率也很重要。拉伸过快也会导致孔洞、撕裂和锥体断裂。

聚合物在此过程中能够承受的总剪切力可以称为其“剪切预算”。该预算一部分被影响剪切力的三个工艺阶段所消耗：模具剪切、拉伸剪切和拉伸剪切速率。当这三个阶段中的任何一个或所有三个阶段的组合超过聚合物熔体承受剪切力的能力时，工艺就会变得不稳定。然而，可以通过一定的灵活性，将熔体上的功从模具剪切转移到拉伸剪切。拉伸剪切和拉伸速率剪切的加入有效地降低了“工艺临界剪切速率”。

熔体流动速率为 22 的 恒氟隆™ FEP 4622 在 400 ° C 下熔融挤出时，在从模具中排出时（即仅施加模具剪切），大约在 550 倒数秒时会发生熔体断裂。当拉拔到线材上时（即施加模具剪切、拉伸剪切和拉伸速率剪切），该工艺的吞吐量被限制在相当于 350 倒数秒的水平。这解释了为什么氟聚合物加工商很少能达到聚合物临界剪切速率所描述的潜在挤出吞吐量。

## 拉伸比

拉伸比（DDR）定义为模具间隙的横截面积与成品型材横截面积之比。

电线电缆的绝缘层或护套大多采用拉拔管挤出工艺。管材成型是最常见的氟聚合物挤出装置，管材和软管的制造属于拉伸管工艺。在这种管材成型工艺中，圆形喷嘴（或芯轴）安装在圆形模具内，形成一个中心相同的环形间隙。因此，横截面积等于模具周长减去喷嘴周长。类似地，产品轮廓（管材或导线上的管状绝缘层）的横截面积等于外周长减去内周长。这四个面积都可以通过基本的几何公式轻松计算。然而，由于常用项相互抵消，拉拔比（DDR）可以通过直径的平方项轻松计算。

提高拉伸比可以降低模具中的剪切力。只有达到更高的产量才会发生熔体断裂。这使得该工艺具有提高生产线速度的潜力。更高的拉拔比还可以降低喷嘴滴料的风险。在一些有限的实验中，较高的拉延比（DDR）由于聚合物更紧密地贴合在导线上，因此能带来更好的电气性能。

较低的拉延比会增加模具中的剪切力，导致熔体更早断裂。然而，较低的拉延比能形成更稳定的拉延锥。这降低了锥体断裂的倾向，并提高了直径控制的一致性。

实际生产速度需要在生产线速度和最终产品质量之间取得可接受的平衡。细导线结构的生产速度通常比粗导线结构更快，而管材制造（直径控制和壁厚同心度至关重要）始终采用较低的拉延比和较慢的生产线速度。

# 启动

## 启动前

1. 除非机器内已有上次运行留下的相同树脂，否则应彻底清洁挤出机，包括进料斗、料筒、螺杆、挡板、十字头、模头和喷嘴。如果使用筛网组件，请在清洁时更换。注意：务必确保所有这些部件均采用耐腐蚀的氟聚合物合金制成。
2. 检查所有加热带和电气连接的状况和“连接”情况。
3. 检查热电偶是否正确安装且连接牢固。
4. 检查压力传感器，并确保已设置高压联锁停机装置。
5. 确保熔体流经喷头的通道畅通无阻。
6. 确保局部排气通风（LEV）系统有足够的空气流量。
7. 准备一个装有部分清水的冷却槽，用于收集排出的挤出物。

## 启动程序

1. 将所有温度控制器设置为  $177^{\circ}\text{C}$ ，并等待所有加热器达到平衡。
2. 确保所有温度以正常速率上升。检查是否存在偏差，这些偏差可能表明加热器烧毁或失控。使用条形图记录仪可以有效地观察温度控制器和循环情况。
3. 将所有温度控制器设置为  $288^{\circ}\text{C}$ ，并再次等待所有加热器达到平衡。
4. 检查以确保所有温度均已正常上升。
5. 将各个温度设置为所需的温度曲线，并等待其达到平衡。注意：此曲线是在运行速度下进行微调以获得所需的熔体温度。请勿将此曲线用作“控制”。在给定的曲线下，熔体温度会随吞吐量（RPM）而变化。
6. 在所有温度达到设定值后，至少等待 15 分钟的“热浸”时间。这样做是为了确保所有聚合物都已熔化，从而最大限度地减少螺杆转动时不必要的压力升高。
7. 螺杆启动时，请勿站在挤出机正前方。切勿直视进料斗，以免发生回流。
8. 启动螺杆，并将转速调整至约 10 转/分。吹扫约 10 分钟。注意压力或电流峰值，如果出现峰值，请立即停止操作。
9. 将转速提高至约 25 转/分，并调整模头使其位于螺杆尖端中心。注意：对于自定心模头，此步骤无需进行。
10. 开始生产产品，并调整温度曲线，以在计划的生产速率下达到所需的熔体温度。

## 线材预热

线材涂层工艺控制和后续电缆性能很大程度上取决于线材导体的温度，因为聚合物熔体会被拉到线材上。低温导体也会从尖端吸收热量，从而增加锥形涂层内部熔体破裂的可能性。

因此，建议对线材进行预热。这通常通过使用在线感应预热器来实现。

然而，经验表明，存在一个以 150 °C 为中心的最佳操作温度范围。可以通过真空和预热控制在一定程度上调节聚合物与导体的粘合力。

## 淬冷距离

管材型材在真空槽中冷却，通常通过循环可控温度的水进行冷却。线材涂层先在空气中冷却，然后使用淬冷水进行冷却。恒氟隆™ FEP、PFA 和 ETFE 在冷却成固体时会收缩。

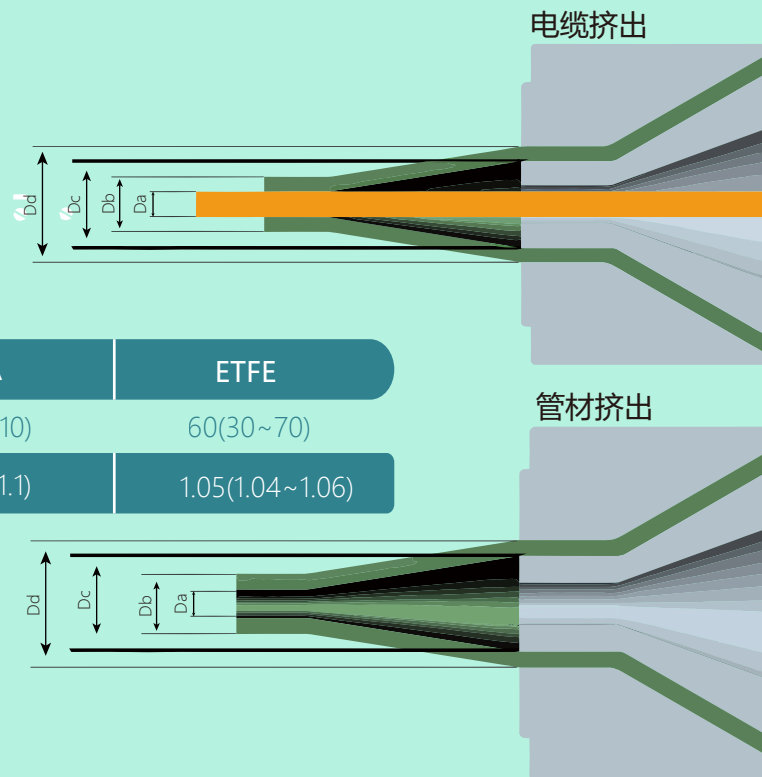
与大多数聚合物一样，恒氟隆™ FEP、PFA 和 ETFE 都是良好的绝缘体。如果将导线涂层的外部表面冷却以固化聚合物表面，内部涂层会因散热较慢而收缩，从而影响导线性能。这种沿导体形成的空隙变化会对电缆性能产生不利影响。防止这种冷却不均匀的最佳方法是在水淬之前，尽可能长时间地让涂层导线在空气中冷却。随着生产线速度的提高，大多数工艺中的“空气间隙”效果会降低。有时，可以通过在空气间隙之前使用一段短的热热水淬来控制水淬的影响。在空间受限、无法设置较长空气间隙的生产线配置中，需要通过实验来确定最有效的冷却系统，以防止沿导体形成空隙。

$$DDR = (D^2d - D^2c) / (D^2b - D^2a)$$

$$DRB = (D^2d - D^2b) / (D^2c - D^2a)$$

恒氟隆™ 氟塑料的推荐 DDR 和 DRB

	FEP	PFA	ETFE
DDR	100(90~110)	100(90~110)	60(30~70)
DRB	1.05(0.9~1.1)	1.05(0.9~1.1)	1.05(1.04~1.06)



# 前言

## 启动前

1. 除非机器内已有上次运行留下的相同树脂，否则应彻底清洁挤出机，包括进料斗、料筒、螺杆、挡板、十字头、模头和喷嘴。如果使用筛网组件，请在清洁时更换。注意：务必确保所有这些部件均采用耐腐蚀的氟聚合物合金制成。
2. 检查所有加热带和电气连接的状况和“连接”情况。
3. 检查热电偶是否正确安装且连接牢固。
4. 检查压力传感器，并确保已设置高压联锁停机装置。
5. 确保熔体流经喷头的通道畅通无阻。
6. 确保局部排气通风（LEV）系统有足够的空气流量。
7. 准备一个装有部分清水的冷却槽，用于收集排出的挤出物。

## 启动程序

1. 将所有温度控制器设置为  $177^{\circ}\text{C}$ ，并等待所有加热器达到平衡。
2. 确保所有温度以正常速率上升。检查是否存在偏差，这些偏差可能表明加热器烧毁或失控。使用条形图记录仪可以有效地观察温度控制器和循环情况。
3. 将所有温度控制器设置为  $288^{\circ}\text{C}$ ，并再次等待所有加热器达到平衡。
4. 检查以确保所有温度均已正常上升。
5. 将各个温度设置为所需的温度曲线，并等待其达到平衡。注意：此曲线是在运行速度下进行微调以获得所需的熔体温度。请勿将此曲线用作“控制”。在给定的曲线下，熔体温度会随吞吐量（RPM）而变化。
6. 在所有温度达到设定值后，至少等待 15 分钟的“热浸”时间。这样做是为了确保所有聚合物都已熔化，从而最大限度地减少螺杆转动时不必要的压力升高。
7. 螺杆启动时，请勿站在挤出机正前方。切勿直视进料斗，以免发生回流。
8. 启动螺杆，并将转速调整至约 10 转/分。吹扫约 10 分钟。注意压力或电流峰值，如果出现峰值，请立即停止操作。
9. 将转速提高至约 25 转/分，并调整模头使其位于螺杆尖端中心。注意：对于自定心模头，此步骤无需进行。
10. 开始生产产品，并调整温度曲线，以在计划的生产速率下达到所需的熔体温度。

## 停机程序

停机程序会根据机器是需要停机并进行后续生产准备，还是仅仅停止一段时间后再恢复生产而略有不同。

其目的是通过尽量减少树脂暴露于高温环境来避免聚合物降解，从而防止污染后续生产。然而，如果机器长期使用同一种树脂进行生产，则需要定期拆卸和清洁。

如果后续工序使用相同等级的树脂，并且设备中树脂的温度暴露控制在最低限度，则通常不需要清洁。更换树脂等级则需要拆卸并彻底清洁。切勿试图通过用另一种树脂清洗来“节省时间”。拆卸和清洁最好在设备仍处于高温状态时进行。

挤出机无需清洁即可停机

### 请按照以下步骤正确停机：

1. 通过出料槽清空进料斗，并用吸尘器吸出剩余的树脂颗粒。
  2. 如果是涂覆线材，请剪断线材并将其从十字头上取下。如果是制作管材，请断开熔体与定径模头的连接。
  3. 将所有温度设置降低至最后加工树脂的熔点。
  4. 将螺杆转速降低至中等偏低的水平（10 至 20 转/分钟），并让熔体排入冷却水桶或其他用于收集或消除熔体挥发物的容器中。
  5. 当料筒压力显著下降或挤出机已排空时，将温度设置降低至 177 °C 并停止螺杆运转。
- 注意：步骤 4 和 5 必须在温度显著下降之前完成。
6. 如果使用挡板和筛网组件，请断开机头并将其拆下进行清洁。

### 挤出机停机及清洁

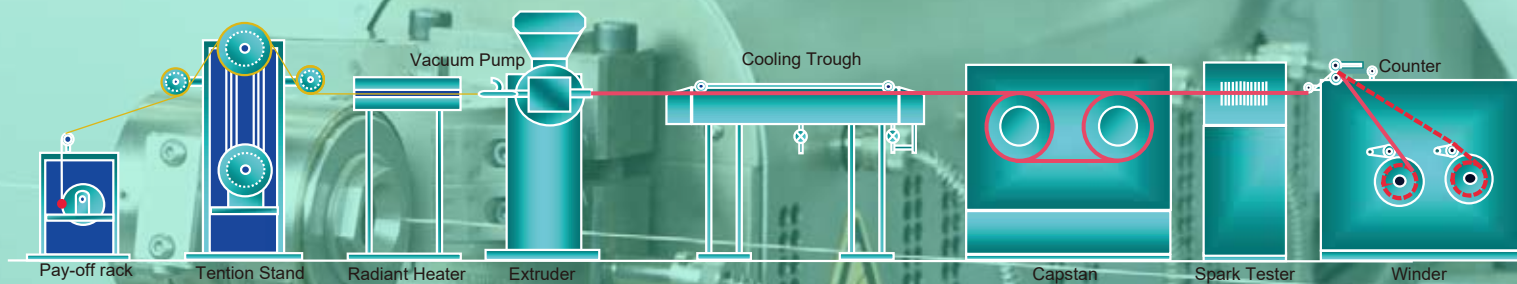
请按照以下步骤正确停机：


1. 如上所述清空进料斗。
2. 如果是涂覆线材，停止线材并将其从十字头上取下。如果是制作管材，断开熔体与定径模头的连接。
3. 降低所有温度设置：对于 Everflon™ FEP 和 PFA，调整至约 288 °C。对于 Everflon™ ETFE，调整至约 177 °C。将螺杆转速降低至中等偏低的水平（10 至 20 RPM），并让熔体流入冷却槽。
4. 当挤出机看起来已排空时，停止螺杆运转。
5. 关闭并断开头部加热器。
6. 拆卸头部，并在通风良好的工作台上趁热进行清洁。拆下模具和芯管，并用铜或黄铜刮刀和刷子进行清洁。拆下所有加热器和热电偶。小型部件可在合适的马弗炉中烧毁。切勿使用丙烷喷枪“烧除”树脂，因为加热不均匀可能会导致部件变形。
7. 用钢丝刷和铜丝绒清洁的同时，逐渐将螺钉推出。切勿使用丙烷喷枪“烧除”树脂。合金可能会失去部分回火或变形。重复此步骤，直至螺钉完全取出并清洁干净。
8. 用铜丝绒清洁螺纹孔，然后用包裹在铰刀刷头上的棉布进行抛光。
9. 关闭加热器并切断电源。

如上所述，可以使用设定温度为 540 °C 的通风式马弗炉来清洁小型零件。

# 电线涂层

图示为一条典型的电线包覆生产线。该生产线必须能够以所需的生产速率，在无偏差或漂移的情况下，保持电线张力均匀。电线放线装置、张力控制装置、预热器和收线装置通常针对多种线径进行设计。为了实现长时间连续的电线绝缘，采用了“飞线式”放线装置，其设计类似于从飞钓竿卷线器上放出钓线。许多新近安装的生产线都配备了在线拉丝机。当需要绝缘长度很长的同规格电线时，这是一种很好的方法。大型、较硬的电缆结构通常需要特殊的大半径拉丝设备。





## 大直径电缆的护套——多芯电缆

大直径电缆的护套需要特殊的工艺，原因如下：

- 由于长度有限且多芯芯线价值高，成品率至关重要。
- 电缆直径较大，限制了高拉伸比的使用。
- 电缆通常过于僵硬，无法使用传统的卷筒和张力控制装置进行操作。
- 主导体可以通过低温内带固定在一起。
- 通常需要较厚的壁厚。

大多数小直径导体在典型的电线包覆生产线中都能很好地绕过滑轮。对于大直径电缆，最佳方案是在挤出机之前和冷却槽之后、收线机之前各设置一个张力控制器。通常可以通过“切断”熔融挤出物并调整十字头模头螺母，直到挤出物在新的切断后笔直流出，来获得合理的居中效果。通过在与待包覆实际电缆直径相近的基板电缆或棒材上建立中心定位和线速度，可以进一步降低启动损耗。

模具尺寸的选择取决于电缆尺寸和十字头尺寸。DDR 通常非常小，因此生产速度也受到限制。模具的焊盘长度应足以产生足够的背压，从而消除护套中的焊缝。护套的松紧度通过在十字头芯管后部施加真空或气压来控制。如果电缆基板包裹有吸湿内带（例如芳纶纤维），则应将整根电缆在 130 至 150 °C 下干燥至少 10 至 12 小时，以防止在护套挤出过程中起泡。

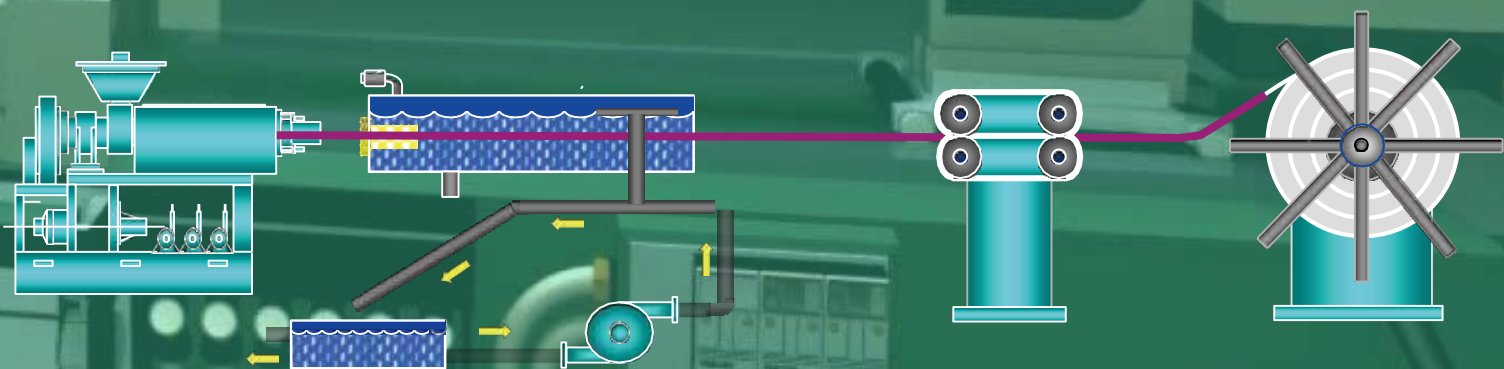
# 管道和管材

管材挤出工艺与线材涂层工艺类似。然而，具体的工艺技术有所不同，并且取决于所生产管材的尺寸和类型。可以使用十字头式模具，但更常用的是直列式模具。

管材和管道可由恒氟隆™ 氟塑料挤出而成。这些挤出件通常用于输送腐蚀性化学品，其次用作衬里。

管材挤出与线材绝缘工艺非常相似。加工细节取决于管材的尺寸和类型。管材可以使用直列式模具和十字头式模具进行生产。恒氟隆™ FEP 管材的外径范围可小至 1 毫米，大至 20 毫米以上。

根据外径大小，该范围可分为三个加工区域：小、中、大。定径模具决定挤出产品的外径，而生产线速度决定内径。通过卷取速度、模具间隙以及模具内径与刀尖外径之差来决定壁厚。



## 小管（意大利面管）

小管（外径 $<5$  mm，壁厚 $<1$  mm）通常采用自由挤出法生产。这类似于线材涂覆法，但无需线材。尺寸和壁厚取决于模具尺寸以及挤出机输出量和管材卷取量之间的平衡。模具的选择可以与线材涂覆法类似，但拉伸比要低得多。通常的拉伸比在7:1到10:1之间。

位于淬火槽入口处的定径模可用于控制外径。有时，在工作台内施加轻微气压有助于确保定径模“充满”。

## 中管

直径为10 mm或更大的管材通常采用真空定径法生产。

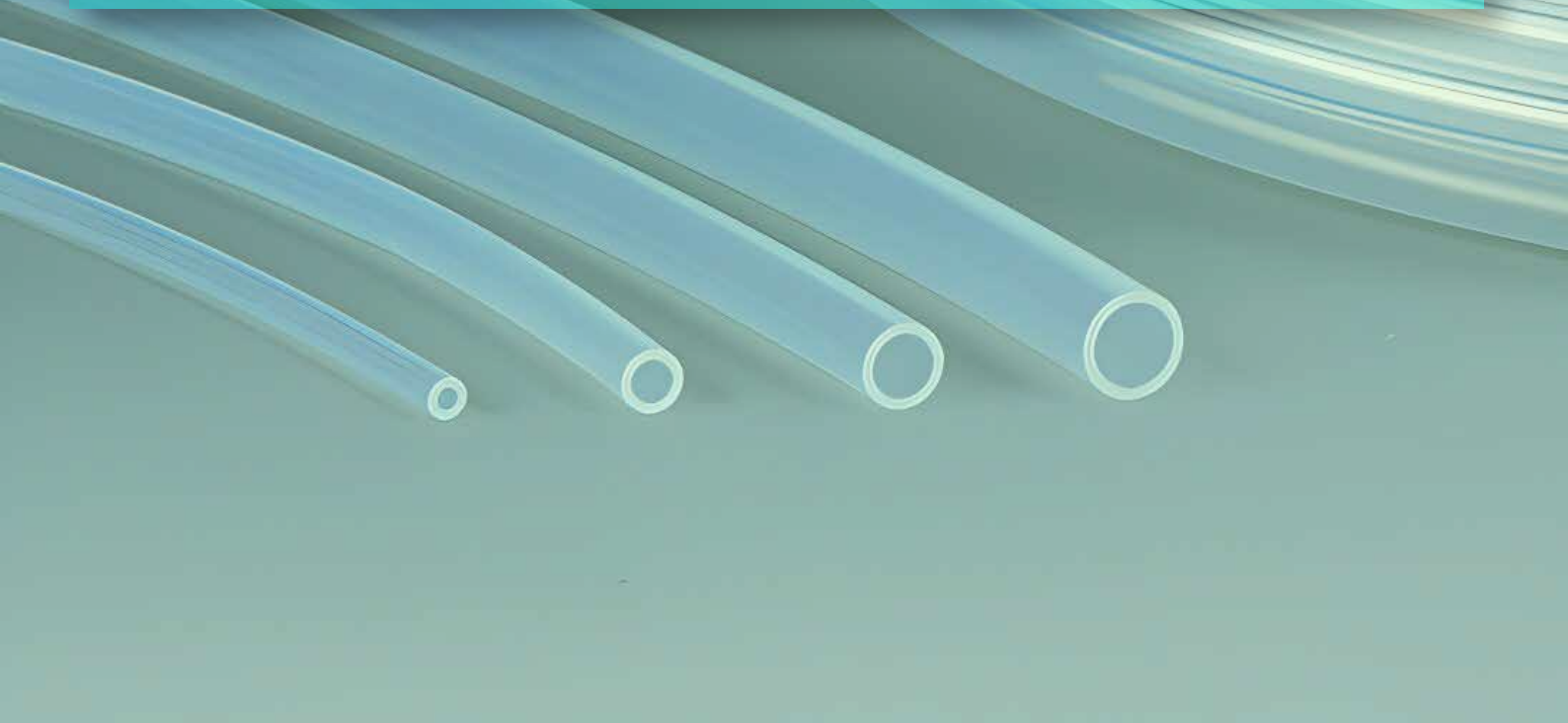
该工艺无需在管内施加额外压力来“填充”模材，因为模材周围的真空即可完成此操作。因此，所制造的管材是开口的，可以切割成任意长度而不会影响成型过程。此处可以使用与小型管材类似的模具尺寸。如果管材需要在后续工序中进行尺寸调整，则较低的DDR值（即较低的熔体取向度）尤为重要，因为它可以降低管材在锥形结构中的取向度。

较高的熔体取向度加上后成型可能会接近聚合物的延伸极限，从而导致失效或断裂。

## 大型薄壁管材

直径为12至30毫米、壁厚为0.3至0.8毫米的薄壁管材有时采用加长芯轴法制造。

锥形黄铜芯轴延长件连接到导向器或尖端。导向器通常采用电加热以防止熔体破裂，芯轴则通过油冷却或轻微加热来固化氟聚合物熔体并防止粘连。



# 薄膜和片材

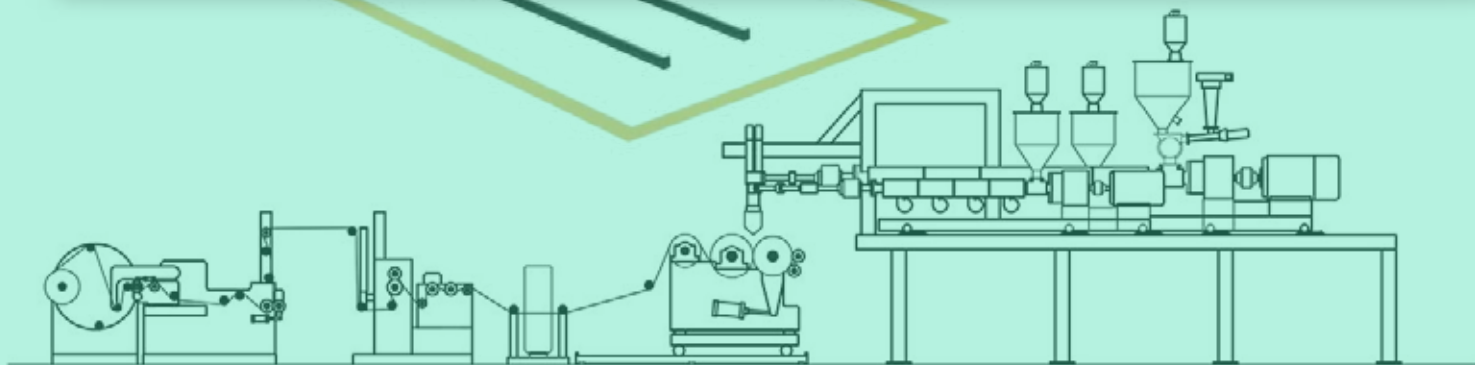
恒氟隆™ 氟聚合物薄膜已应用于极端高温、低温和腐蚀性化学品环境。例如，这些薄膜可用作环氧树脂和酚醛树脂高温部件压缩成型的脱模层。另一个常见应用是用作衬垫。例如，在造纸等化工行业中，可用作卷材保护罩，防止金属卷材腐蚀。其他应用包括太阳能集热器的玻璃、气体和液体样品袋以及药品和食品包装。部分氟化的 恒氟隆™ 氟塑料薄膜具有特别优异的拉伸强度和模量，适用于对机械强度要求较高的应用。

恒氟隆™ 氟聚合物的单轴和双轴取向薄膜是通过熔融挤出树脂制成扁平网状或管状的。取向的主要作用是增强薄膜的机械性能，例如拉伸断裂强度和抗撕裂性。取向的选择通常取决于最终用途对机械性能的要求。

挤出扁平氟塑料薄膜最常用的模具是衣架形模具。图示为衣架式模头的示意图。恒氟隆™ 氟聚合物熔体从模头侧中心附近进入，并被引导至模头的两端。熔体流经朝向模头出口侧倾斜的通道，从而均匀分布在模头的宽度上。恒氟隆™ 熔融聚物流经模头间隙，最终到达出口槽（也称为模口）。该间隙由两块扁平金属板构成，与其他类型的模头一样，被称为“模口区域”。这两块金属板通常由多个部分组成，可以独立调节，从而更好地控制挤出薄膜/片材的厚度。

模头的设计使得通道能够限制熔体的流动，从而使所有熔体受到相同的剪切力。通道内的约束装置使熔体的流动距离相等。

最终效果是模头中心和两端的流速相等，从而获得均匀的膜厚。这意味着模头中心的流动受到的限制最大。这种方法的一个优点是熔体在模具中的停留时间均匀。这种流动状态被称为活塞流，因为熔体在流经模具时不会产生内部剪切力。



# 故障排除指南

## 加工差异

熔体断裂  
挤出速度过慢  
火花放电故障  
起泡  
卡尺偏差  
中心定位不良或不圆  
针孔、撕裂  
锥体断裂

可能的原因

问题

污染			●				●	●	
树脂温度过低	●	●					●	●	
模具温度过低	●	●					●	●	
挤出速度过快	●		●				●	●	
锥长过短							●	●	
熔体中有气泡			●				●	●	
基材脏污、潮湿或粗糙			●				●	●	
拉伸过度			●				●	●	
冷却水飞溅			●					●	
导丝头未居中			●			●			
导丝头中心孔过大						●			
水淬不足						●			
熔体张力不足						●			
拉伸比不平衡						●	●	●	
树脂输送不稳定					●	●			
螺杆设计不当		●			●				
送丝速度波动					●				
真空度波动					●				
锥长过长					●				
线径波动					●				
后筒温度过低		●							
拉伸过度	●	●							
气隙过长				●					
基材脱气			●	●					
树脂停留时间过长				●					
树脂温度过高				●					
模具或导丝头设计不当								●	
树脂或颜料过湿			●	●			●	●	

# 故障排除指南

## 挤出物外观

变色  
表面粗糙  
着色不良  
绝缘层开裂  
气泡  
污染

可能的原因

问题

有腐蚀物						●
局部树脂滞留	●				●	●
树脂温度过高	●		●	●	●	●
挤出机料斗未清洁						●
不当处理或储存				●		●
滞留时间过长	●			●	●	
张力过大				●		
断线或尖锐表面					●	
空气滞留					●	
芯线预热过度					●	
树脂有水					●	
基材污染					●	
S淬火不当造成的收缩空隙						
芯模过冷		●		●		
芯模限制		●				
熔体温度低		●		●		
污染		●				
芯模表面不光滑		●				
芯模设计不当		●				
熔体设计不当		●		●		
树脂受潮		●				
芯线粗糙		●				
模具具有缝隙		●		●		
色母比例错误			●			
色母分散性差			●			
挤出速度过快		●				
色母问题			●			

# 故障排除指南

## 挤出物性能

耐热老化性能差

切割性能差

剥离力高

剥离力低

介电强度低

拉伸强度或延伸率低

可能的原因

问题

可能的原因	耐热老化性能差	切割性能差	剥离力高	剥离力低	介电强度低	拉伸强度或延伸率低
焊丝加热不足						●
气泡或空隙	●				●	●
同心度差	●	●				
污染					●	●
锥体长度过短			●			
锥体长度过长				●		
气隙过短，无法满足线速度要求				●		
气隙过长，无法满足线速度要求			●			
过度劣化	●					●
涂层过薄或不均匀	●	●			●	●



## 恒氟隆 学术中心

Tel: +86-185-7168-9228

info@everflon.com

www.everflon.com

如需了解更多关于我们公司、产品和服务的信息，请访问我们的网站 [www.everflon.com](http://www.everflon.com) 或 [www.everflon.com.cn](http://www.everflon.com.cn)