



EVERFLON^{ACADEMIC}



— 注塑成型手册 —

EVERFLON

FEP
PFA

ETFE
PVDF

可熔性氟塑料

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 Everflon™ 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。

氟聚合物树脂与其他大多数热塑性塑料不同，其熔点和熔体粘度更高。因此，恒氟隆™ 氟聚合物树脂需要相对较高的加工温度和较慢的注射速率。由于这些树脂的成型特性，模具设计需要特别考虑；此外，加工设备也需要采用耐腐蚀材料制成。

恒氟隆™ 氟聚合物注塑成型性能

性能	单位	ASTM standard	FEP 4610	PFA 410	ETFE 4010
熔点	°C	DSC	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 (艾氏硬度)	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	Ω -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	

设备

虽然可以使用冲压式设备对恒氟隆™ 氟聚合物树脂进行注塑成型，但建议使用往复式螺杆机，因为螺杆可产生完全塑化的均匀熔体，并能更有效地将压力传递到流入模具的熔融树脂中。

结构材料

由于熔融的恒氟隆™ 氟聚合物树脂对大多数金属具有腐蚀性，因此与熔融树脂持续接触的所有部件必须使用耐腐蚀金属。金属表面积聚的腐蚀产物可能会脱落，污染成品，并可能对其物理性能产生不利影响。建议螺杆、接头和喷嘴使用 Hastelloy C、Hastelloy C-2761、Duranickel 或 Monel 合金。

对于气缸衬里，建议使用 Xaloy 309、Brux、Reiloy 或 Bernex 合金。

由于工作温度较高，建议使用耐高温螺纹润滑剂，例如 Never Seez，以便于拆卸机器部件。

由于模具温度保持在树脂熔点以下，因此模具表面的腐蚀速率将低于机器的其他部件。除大批量生产外，使用未经镀层的硬化工具钢、硬化不锈钢或优质镀铬/镀镍材料制成的模具即可满足要求。对于大批量生产，则可能需要使用更耐腐蚀的材料。

螺杆设计

该螺杆为计量型螺杆，计量段长度占总长度的 25%。螺杆应具有恒定的螺距，且从进料段到计量段的螺纹深度比为 3:1。对于恒氟隆™ ETFE 树脂，建议使用 3 圈过渡段；而对于 Everflon™ 氟聚合物树脂，建议使用 1/2 圈过渡段。虽然其他螺杆设计也曾成功应用，但建议采用上述两种设计。

喷嘴

喷嘴孔径应尽可能大，并采用锥形设计，以防止出现死角或树脂流速的剧烈变化。浇口应延伸至喷嘴内 13 至 25 毫米，以防止形成冷塞。建议喷嘴锥形部分内的树脂与注塑液的夹角为 4° ，以便树脂能够随注塑液一起排出。为降低喷嘴孔内壁被挤压变形的可能性（挤压变形可能导致喷嘴内冷却树脂无法排出），建议喷嘴孔口的半径为 0.25 毫米。为确保流畅无阻的流路，喷嘴孔径必须与适配器匹配，并配备独立的加热器和温度控制装置。

止回阀

止回阀或单向阀可防止熔融树脂在注塑过程中沿螺杆/螺纹倒流。流路必须流线型设计，阀门与螺杆之间的连接必须光滑紧密，以避免树脂流动停滞或滞留。螺杆尖端应呈尖状，以便为树脂提供流线型的流动路径，并减少注射后螺杆前方的自由体积。阀门泄漏会导致零件填充控制不佳，并影响公差。

涂抹头

涂抹头可替代止回阀，它利用与气缸之间较长的径向间隙，限制螺杆注射行程期间熔体的回流。当螺杆在回退过程中旋转时，熔体被迫向前通过狭窄的环形通道；这种剪切或涂抹作用可提高熔体温度，改善混合效果，并降低有效填充压力。与止回阀相比，涂抹头可能更受欢迎，原因如下：

- 树脂滞留的可能性更小
- 模具过填充的可能性更低（对于 Everflon™ 氟聚合物树脂而言，过填充会导致分层）
- 成型件中出现条纹的可能性更小
- 对相对较软的耐腐蚀合金的磨损更小

建议在注塑低粘度树脂时使用带止回环的止回阀。注塑恒氟隆™ PFA 和 FEP 或 ETFE 4010 时，通常使用涂抹头代替止回阀。

止回环可采用 Hastelloy C 或 Monel 400 制造。由于目前尚无已知的坚不可摧的止回环材料，因此应监测止回环的磨损情况。

温度控制

建议气缸使用三个独立控制的加热区，适配器使用一个加热区。喷嘴应使用单独的控制器。加热控制器必须能够精确控制温度，恒氟隆™ ETFE 最高温度可达 371°C ，Everflon™ FEP 和 PFA 最高温度可达 427°C 。这种控制精度要求加热器功率密度为 4.6 至 6.2 W/cm^2 。

液压系统

注塑成型恒氟隆™ 氟聚合物树脂时，通常需要使用极慢的注射速度，以避免表面或内部熔体破裂。因此，液压系统应能够提供非常均匀且可控的推杆速度，最低可达每次注射 60 秒。

流线型设计

树脂在机器内的整个流动路径必须流线型，避免出现任何停滞区域，这一点至关重要。往复式螺杆注塑机的止回阀中可能存在局部滞留，这会导致树脂热降解，从而造成产品质量不合格。

注塑机尺寸选择

在正常加工条件下，应结合零件和流道的重量，考虑以下熔体密度，以确定合适的注塑机尺寸：

- 恒氟隆™ FEP 和 PFA: $\sim 1492 \text{ kg/m}^3$
- 恒氟隆™ ETFE: $\sim 1298 \text{ kg/m}^3$

锁模力应与型腔压力和承受锁模力的型腔面积相匹配。通常情况下，对于恒氟隆™ 氟聚合物零件的成型，5 吨/平方英寸投影面积的锁模力即可满足要求。

模具设计

模具材料

模腔可采用耐腐蚀材料制造，例如哈氏合金C、蒙乃尔合金或杜拉镍合金，但这些材料的耐腐蚀性远超通常所需。

如果使用未保护的工钢或硬化不锈钢，则在存放前应使用弱碱性物质（例如氨水）彻底清洁模具，干燥后涂覆防锈剂，以防止生锈和点蚀。在高湿度环境下，此步骤尤为重要。可通过在模具上镀镍或镀铬（Everflon™ PFA 不应使用镀铬）来防止生锈和点蚀，镀层厚度为 0.013 至 0.025 毫米；为避免镀层脱落，请使用无针孔的高质量镀层。

浇口衬套

浇口衬套的直径应比主流道直径至少大 1.6 毫米，并略大于喷嘴孔径。通常采用 4 或 6 mm/m 的标准锥度。

流道

为了最大限度地减少热量和压力损失，应使用直径大、长度尽可能短的全圆形流道。其次是梯形流道，梯形流道通常比圆形流道更容易加工。流道壁应畅通无阻，并与浇口平滑过渡。一般来说，模塑件越厚，流道就应该越大越短。厚度约为 12.7 mm 的中等厚度零件需要 6.4 mm 或更大的流道直径。更厚的零件需要流道直径为零件厚度的 1/2 到 1 倍。流道长度或布局决定了废料的产生量和压降。当型腔和浇口之间的树脂流动距离相等时，流道系统是“平衡的”。当型腔数量导致树脂流动复杂或过长时，不建议使用“平衡”流道系统。在大多数情况下，侧向流道系统可以用于短距离和长距离树脂流动。

浇口

浇口应尽可能大，或完全取消。浇口的浇口长度应尽可能短。矩形浇口或扇形浇口（其开口向模腔内充分展开）优于圆形浇口，因为它们能更有效地降低树脂应力。圆形浇口通常更容易从零件上移除，但与矩形浇口相比，它们无法像矩形浇口那样独立控制模腔填充和浇口冻结时间。浇口直径应为零件厚度的 1/2 至 1 倍。流道、浇口和零件之间的过渡应平滑，树脂流动方向不应发生突变。

对于同心度要求极高或不允许出现熔接线的圆柱形零件，可以使用隔膜浇口或环形浇口。除使用 Tefzel™ 氟聚合物树脂等高速注塑成型小型零件外，应避免使用针尖浇口。隧道式浇口。

浇口位置应位于以下点：

- 零件在使用过程中不会因弯曲或冲击而承受过大应力的位置
- 使熔接线位于非关键区域
- 浇口处无需或无需进行后续加工成本过高的位置
- 位于或靠近最厚截面处，以最大程度地减少缩痕，并避免树脂从薄截面挤压到较厚截面
- 符合排气要求的位置（通常需要在熔接线处或盲孔底部设置排气口）
- 位于圆形零件的中心

其他注意事项

在确定零件的必要功能和外观要求后，最终零件设计应考虑以下因素：

- 充足的圆角
- 流线型的角度和交点
- 均匀的壁厚（如果需要不同的壁厚，应尽可能平滑过渡）
- 简洁性（整体设计应尽可能简洁）

此外，以下是一些值得考虑的良好实践：

- 通常优先选择后成型操作，例如在零件上钻孔，而不是直接在零件上进行成型销钉数量。
- 随着零件复杂程度的增加，型腔数量应减少。
- 应避免喷射成型，即稀薄树脂流快速流过模腔。

模具加热

虽然通常可以使用高温循环油加热器加热模具，但当注塑成型工艺要求模具温度超过 191 °C 时，应使用电加热。模具的两半都应压板绝缘，以减少热损失。厚度为 6.4 毫米的“Transite”板材即可满足此要求。

尺寸方面的考虑

公差

实现高精度成型取决于对操作参数的精确控制，例如树脂送料速率、料筒和熔体温度、螺杆或推杆速度、压力以及整个成型周期；所有这些参数都必须保持恒定。模具设计也是满足规定公差的关键因素。

在任何制造过程中，随着公差要求的提高，工艺会变得更加复杂和昂贵。

通常，由于塑料具有更高的固有弹性，塑料零件比金属零件能够承受更大的公差。

以下是一些关于公差的一般性说明和注意事项：

- 公差的设定不应过于严格。
- 如果零件的多个尺寸都设定了严格的公差，则会增加成本。
- 对于壁厚变化较大的零件，不要设定过小的公差。
- 不建议在分型线上或由活动型芯或滑动凸轮控制的尺寸上设定过小的公差。

收缩率

以下列出了影响氟聚合物注塑件收缩率的基本因素：

- 增加零件厚度或模具温度都会增加零件收缩率，因为此类变化会导致零件冷却速度减慢，进而提高结晶度（有序度），并释放部分内应力。
- 大多数塑料零件的收缩率存在方向性差异；由于树脂流动方向上的分子取向度相对较高，因此零件沿树脂流动方向的收缩率最低。通常，流动路径越直，收缩率越低，因此建议在设计零件和设置浇口位置时，尽可能使流动路径沿该方向最直，从而最大程度地限制尺寸公差。
- 增加注射压力会降低收缩率。
- 通常，在较高原料温度下成型的零件会表现出更高的模具收缩率。
- 添加填料可以减少零件收缩率。

成型操作

停机和启动程序

如果注塑设备未按照正确的停机程序关闭，可能会导致树脂降解，如果设备由非耐腐蚀材料制成，还可能导致设备严重腐蚀。如果需要在不进行清理的情况下进行过夜停机，建议采用以下停机程序：

1. 将所有温度控制器的温度降至以下水平：
 - a) 恒氟隆™ PFA 或 FEP: 310 ° C
 - b) 恒氟隆™ ETFE: 280 ° C
2. 当所有温度均降至步骤 1 中所示的水平后，将机器吹扫至干燥状态，保持注射螺杆处于正向位置，最后关闭电源。

重启步骤如下：

1. 首先依次调整喷嘴、适配器、后筒、前筒和中筒的温度控制器，将各区域的温度控制器依次提升至以下温度：
 - a) 恒氟隆™ PFA 或 FEP: 310 ° C
 - b) 恒氟隆™ ETFE: 280 ° C

可能需要保温 1 小时，以熔化所有树脂并将所有金属部件加热至设定温度。

2. 待所有温度稳定后，缓慢启动机器，并将温度控制器设置为工作温度。
3. 达到工作温度后，开始生产。

清洗步骤

以下步骤概述了建议的清洗步骤：

1. 在保持工作温度的前提下，开始旋转螺杆，并持续旋转直至树脂不再从喷嘴流出。
2. 将料筒温度降低至以下水平：
 - a) 恒氟隆™ PFA 或 FEP：310 ° C
 - b) 恒氟隆™ ETFE：280 ° C
3. 关闭螺杆，并拆下喷嘴和适配器。务必趁热使用软金属刮刀和铜网清洁喷嘴。无需进行烘箱烧灼，应避免此操作。
4. 缓慢地将热螺杆从料筒中取出，并用钢丝刷清洁螺杆。
5. 用缠绕在锅炉管刷上的铜网清洁料筒内壁，确保其紧密贴合；然后用无绒布擦拭料筒。

在耐腐蚀金属制成的设备中操作时，允许将清洗材料（研磨后的丙烯酸树脂、浇铸丙烯酸树脂或聚乙烯薄膜）留在设备中过夜，而不会对金属造成损坏。

熔体温度（树脂离开喷嘴的温度）

- 随着停留时间的增加，应降低熔体温度。
- 流道、浇口和喷嘴孔径也是需要考虑的因素。

温度曲线

- 当熔体温度较高且停留时间较长（10 至 15 分钟）时，后区温度应低于前区温度，以最大程度地减少树脂降解。
- 当停留时间较短时，前后区温度应设置在同一水平。
- 加热器热电偶的位置、机器尺寸、注射螺杆的速度和类型、注射量和循环时间也是需要考虑的因素。
- 有时，熔体温度过高是由于树脂熔体的机械运动造成的。
- 如果后区温度过高，可能会发生架桥现象，导致进料不稳定。
- 如果后区温度过低，部分熔融的树脂产生的高扭矩载荷可能导致螺杆卡死，从而降低设备的塑化能力。

注射速度

- 允许的注射速度取决于熔融树脂必须通过的最小通道。
- 表面粗糙或波纹状表明注射速度不合适。如果表面粗糙或呈霜状，则注射速度过快；反之，如果表面呈波纹状，则注射速度过慢。
- 注射量、熔体温度和模具温度也是需要考虑的因素。

注射压力

- 通常情况下，注射压力应尽可能低。
- 低注射压力可降低冻结应力，提高尺寸稳定性。
- 为减少缩痕或改善熔接线，应提高注射压力。
- 还必须考虑设备和零件设计。

螺杆转速

- 通常情况下，螺杆转速应尽可能慢。
- 有时，为了获得成型长而薄零件所需的高熔体温度，会使用高螺杆转速并配合适当的背压。

模具温度

- 通常情况下，不应使用过高的模具温度来成型厚壁零件。
- 当树脂流动路径相对于零件厚度较长时，需要比正常更高的模具温度。
- 提高模具温度可降低分层的可能性。
- 调整模具温度时，应考虑相互关联的参数，例如零件几何形状、表面光洁度、压降、对成型周期的影响、应力、零件脱模性和收缩率。

背压

- 通常情况下，背压应尽可能低。
- 然而，有时增加背压可以有效提高坯料温度。

总循环时间

总循环时间受多种相互关联的制造变量影响，例如工艺温度和压力、零件几何形状、公差、翘曲和顶出性能。循环时间通常按每 3.2 毫米厚度 30 至 40 秒估算。除薄型材外，循环时间最长的部分通常用于活塞运动。

“填充”树脂（即在加压状态下将活塞保持在前进位置）应尽量减少。通常，填充仅在成型厚型材时使用，以减少缩痕或消除空隙。过度填充通常会导致恒氟隆™ FEP 和 PFA 零件分层，但通常不会导致恒氟隆™ ETFE 零件分层。使用涂抹头可以减少过度填充的可能性。

Everflon™ 氟聚合物的建议成型条件

Property	Unit	FEP 4610	PFA 410	ETFE 4010
后缸	°C	315–330	315–330	270–300
中缸	°C	330–345	330–345	270–320
前缸	°C	371	371	270–320
喷嘴	°C	371	371	345
模具温度	°C	>93	149–260	190
料温	°C	343–382	343–399	300–330
注射速度 (慢)	-°C-	Slow	Slow	Moderately Fast
注射压力	Mpa	21–55	21–55	21–100

TIPS

着色

恒氟隆™ 氟聚合物树脂可使用在树脂成型温度下具有热稳定性的 恒氟隆+™ 色浆进行着色；无机颜料是最佳选择。

最简单的树脂着色方法是将未着色的树脂与色浆混合，也可以通过以下步骤进行干混：

1. 将所需颜料在真空烘箱或非循环空气烘箱中于 150 ° C 下干燥过夜，以去除吸附的气体和水分。
2. 称量颜料，如果需要更高的遮盖力，则向颜料中添加并混合适量的二氧化钛颜料。
3. 将树脂颗粒放入干净的容器中，例如原包装纸箱，然后将颜料通过 100 目筛网直接筛到颗粒上。
4. 将颜料和颗粒干混，通过滚动或翻滚混合物至少 15 分钟。
5. 着色树脂颗粒应在 30 分钟内使用，或储存在密封容器中以防止吸湿。

薄截面成型

通常，使用大多数热塑性树脂注塑成型极薄截面较为困难，尤其是在涉及较大面积的情况下。对于 恒氟隆™ 氟聚合物树脂，厚度小于 2.5 毫米的截面均可视为薄截面。加工薄截面时，必须使用更快的注射速度，因为满注至关重要。然而，如何同时实现满注和无分层却是一个难题。

后者通常只能通过降低注射速度来实现，但这种操作条件通常会导致树脂在浇口或型腔内冻结，从而无法实现满注。

因此，需要使用 204 ° C 左右的较高模具温度来最大限度地减少分层倾向。不应使用填料，即模具注满后应立即缩回冲头。恒氟隆™ FEP 和 PFA 部件在经受热老化或反复弯曲后，表面光滑的部分可能会出现分层现象。如果部件在弯曲后要保持良好的光滑表面，则其厚度必须足够，以允许较低的冲头速度。

分层并非恒氟隆™ ETFE 的特性，因此在注塑 ETFE 时无需采取与 FEP 和 PFA 树脂相同的预防措施。



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 或 www.everflon.com.cn