



EVERFLON^{ACADEMIC}



— 加工手册 —

PTFE

聚四氟乙烯分散树脂

F100	F500
F1000	F2000

简介

恒氟隆™ PTFE 分散粉是一种乳白色聚合物，由乳液聚合形成的分散体分离而成。其分子结构仅由碳原子和氟原子组成，分子式为 $(CF_2-CF_2)_n$ 。

恒氟隆™ PTFE 分散粉具有所有塑料中最低的摩擦系数，以及最优异的耐热性、耐化学性、电性能和不粘性。

恒氟隆™ PTFE 分散粉易于吸收有机溶剂，形成糊状物，易于挤出成型。它广泛用于制造绝缘电线、软管、细棒和未烧结带。

市售 Everflon™ PTFE 细粉

性能	PTFE F100	PTFE F500	PTFE F1000	PTFE F2000
粒径 (μm)	500	500	500	500
表观密度 (g/ml)	0.45	0.45	0.45	0.45
熔点	328	328	328	328
比重	2.2	2.2	2.2	2.2
抗拉强度 (MPa)	25	25	25	25
伸长率 (%)	350	50	350	350
缩减率	100	600	1500	2000
	未烧结胶带；密封胶带	小直径和大直径管材； 热缩管； 大于 AWG 16 的粗电线以及带护套的电线管；	缠绕胶带 用于缠绕扁平电缆的胶带 管状胶带 低比重胶带 细于 AWG16 的电线	小直径管子 意大利面管 低比重胶带 细于 AWG12 的电线

绝缘电线

由于 恒氟隆™ PTFE 具有优异的电气性能，因此是理想的电线绝缘材料。它还兼具卓越的耐热性和耐化学腐蚀性。典型应用包括：

- 飞机、火箭和导弹的电线；
- 电路变压器和电动机的电线；各种类型的电子工业电线；
- 高温环境下的电线，例如发电站、电炉或真空管附近的电线；以及化学工业中受强化学品腐蚀的电线。

管道管材

恒氟隆 PTFE 优异的耐热性和耐化学腐蚀性以及不粘特性使其应用于以下领域：

- 喷气发动机燃料和火箭燃料管道；
- 化工厂或核电站中高温或腐蚀性流体的管道；
- 食品或化学品流体的管道；
- 蒸汽软管；粘性物质输送管道；
- 液压控制设备的软管；以及电子设备的绝缘材料。

细棒

恒氟隆 PTFE 优异的电气性能以及耐热耐化学腐蚀性能使其广泛应用于泵和阀门部件、端子、套管和外绝缘体的制造。

未烧结胶带

(1) 用于密封

未烧结胶带是螺纹连接的理想密封材料。缠绕在螺纹上，可形成紧密密封，并具有优异的耐化学腐蚀性和耐热性。其自润滑特性使其易于拆卸，并能完全防止管道内壁受到污染。

(2) 用于绝缘

将未烧结胶带缠绕在导线或线圈上，并在 330°C 的温度下加热，胶带有沿压延方向收缩约 33%，从而能够完全覆盖工件。胶带层熔合在一起，形成完全密封、无缝隙的绝缘层。未烧结胶带还可用于拼接或修复由 Everflon™ PTFE 细粉制成的挤出绝缘导线。

(3) 薄膜

当未烧结的带材在张力作用下烧结时，会形成一层薄膜，该薄膜可用作绝缘材料。

恒氟隆™ PTFE 分散粉的特性

热性能

恒氟隆™ PTFE 可在高达 260° C 的温度下连续使用，并可在更高温度下短时间使用。它还具有优异的低温强度。凭借这些卓越的热性能，采用恒氟隆™ PTFE 分散粉制成的产品，例如电气或电子机械部件、管道内衬、绝缘电线等，得到了广泛应用。

化学性能

恒氟隆™ PTFE 具有优异的耐化学腐蚀性能，几乎完全耐受所有常用化学品。在与某些特殊化学品在极端严苛条件下（例如熔融碱金属、高温高压氟气或三氯氟气）一起使用时，可能会发生轻微变化。在高温下与普通酸、碱和氧化剂接触时，恒氟隆™ PTFE 保持完全稳定。即使与有机化合物接触也不会导致溶解或膨胀。恒氟隆™ PTFE 之所以在化工行业中被广泛用于管道内衬、编织软管、垫片、管材和波纹管等，其根本原因在于其优异的化学惰性。

电气性能

由于恒氟隆™ PTFE 的分子结构为非极性，因此它非常适合用作高频绝缘材料。这不仅是因为它适用温度范围广，还因为它在宽频率范围内具有低且均匀的介电常数和损耗因子。

恒氟隆™ PTFE 分散粉用于制造飞机、电线、小型同轴电缆、工业控制电缆、软管和缠绕胶带等的绝缘涂层。

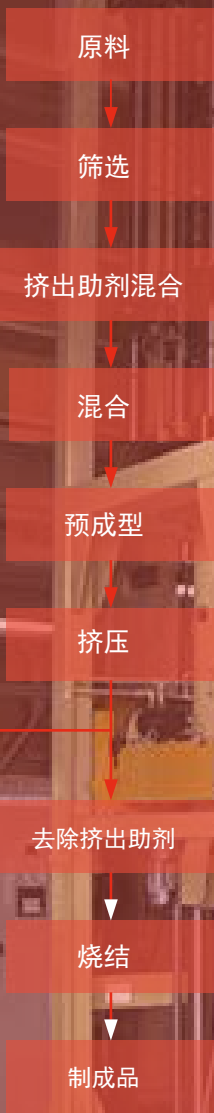
低磨损、不粘性

在正常使用条件下，恒氟隆™ PTFE 具有所有固体中最低的摩擦系数。此外，其卓越的不粘性可防止大多数粘合剂粘附在其上。因此，由恒氟隆™ PTFE 分散粉制成的管材可用作液体粘合剂的输送管、索道管道等，适用于汽车和其他机械行业以及其他类似应用。此外，由恒氟隆™ PTFE 分散粉制成的未烧结胶带非常柔软且具有延展性，能够紧密贴合螺栓的螺纹，从而提供极佳的密封效果。

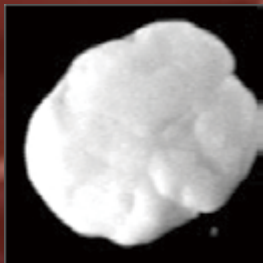
制造指南

糊状挤出

与普通模塑粉末相比，恒氟隆™ PTFE 分散树脂的分子量更小（3,000,000~5,000,000），且颗粒极其细小。因此，恒氟隆™ PTFE 分散树脂与有机溶剂的亲合力极佳，添加普通石油溶剂作为挤出助剂后，即可制成有机溶胶。恒氟隆™ PTFE 分散树脂的常规模塑工艺如下所示。



绝缘电线
细管
细棒

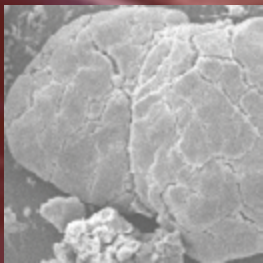


-200um-

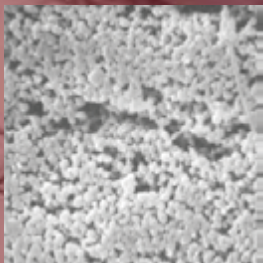
恒氟隆™ PTFE 分散树脂由直径约 500 μm 、比重 500 g/L 的“马铃薯状”二次颗粒组成。其空间填充率为 25 vol%，PTFE 细粉的空气填充孔隙率为 750 ml。

二次颗粒由约 10^{10} 个初级颗粒组成，这些初级颗粒以球形团聚体的形式进行统计堆积。堆积密度为 55 vol%。无论球体直径如何，相同尺寸的球体进行统计球形堆积，最大填充率可达 62 vol%。球形初级颗粒的粒径分布极其均匀。它们所含的 PTFE 呈高度结晶状态。

二次颗粒的“马铃薯状”形态确保了其良好的流动性。二次颗粒的颗粒状、岛状结构清晰可见，体现了其统计堆积的球形团聚体。这些颗粒是由 1010 个初级颗粒组成的“葡萄状聚集体”。



-100um-



-1um-

糊状物挤出现象学

糊状物混合

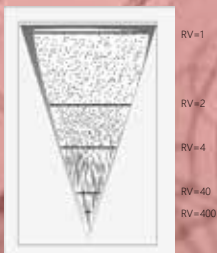
通过添加润滑剂，可以填充二次颗粒的孔隙空间。常用的润滑剂是有机聚四氟乙烯（PTFE）润湿液，主要是高沸点烃类（苯类）。实际应用中，将20份苯与100份PTFE混合。添加润滑剂后，二次颗粒内部的空气被置换出来。二次颗粒的马铃薯状形状不会因此而改变。添加润滑剂后的糊状物仍保持其自由流动性，比重增加至约700 g/L。二次颗粒之间的空气填充孔隙空间约为500 ml/L。

预成型件制造

通过在压力约为 30 至 50 巴的气缸中压缩二次颗粒，去除二次颗粒之间的空气，从而使含润滑剂材料的密度增加到 1650 克/升。二次颗粒和一次颗粒的形状得以保持。由此得到的圆柱形棒材称为预成型件或坯料。根据测得的密度，填充率约为 63 vol%。从流变学的角度来看，细粉在坯料中呈糊状。流变学上，这种糊状物可以定义为由固定流体和可塑性变形固体组成的非均相二元体系。当施加超过一定最小力时，该体系会发生流动并发生不可逆变形。由此，固定流体成为润滑剂（基体），而变形的一次颗粒则成为填充物质。

漏斗流设计中的糊状物挤出

坯料被送入圆柱形金属料斗，然后在一定压力（即所谓的糊状物挤压压力）下通过同样由金属制成的漏斗。漏斗横截面的收缩程度用收缩比（RR）来表征，收缩比是漏斗入口面积与出口面积之比。漏斗出口连接着一段很短的管道，即所谓的导向管，用于“引导流动的糊状物”。在料斗中，坯料呈现活塞流特性，因为它不会粘附在金属壁上。从流变学的角度来看，真正的流动过程仅从漏斗入口开始，如图所示，以流线的形式呈现。流速与收缩比（RR）的减小成正比。流线的密集排列会在流动方向上产生剪切梯度。这迫使糊状物发生不可逆的塑性变形。挤压后的材料通过这种变形获得机械稳定性，即所谓的“生坯稳定性”，无论是在含润滑剂的湿态还是干燥状态下。湿挤出材料的密度约为 1.8 g/cm³，而干燥挤出物的密度为 1.6 g/cm³，空间填充率为 70 vol%。这意味着相同尺寸球体的理论最大堆积密度已接近达到。



二次粒子的裂解

二次颗粒的破碎，也称为糊状纤维化。图中显示了漏斗锥的纵截面。在制备糊状物之前，将细粉与含有染色二次颗粒的润滑剂混合。所用染料不溶于苯。由此可见，随着缩减率 RR 的增加，染色二次颗粒变形为“纵向圆柱体”的程度也随之增加。

圆柱体的横截面积随着缩减率 (RR) 的增加而减小。横截面积的减小与 RR 成反比。这是由于较大的初级颗粒团簇在流动方向上被输送到纤维化二次颗粒的头部，并重新聚集成包状结构所致。团簇的输送不可避免地伴随着初级颗粒位置的改变。这导致初级颗粒呈串珠状排列。二次颗粒破碎。

理想情况下，初级颗粒的串珠状排列应均匀，且尺寸小于 $10\ \mu\text{m}$ ，应避免出现较大的、排列不规则的“葡萄状”团簇。这种团聚体导致烧结成品的表面不规则、不光滑（橘皮状）。

初级粒子的可逆形变

糊状物挤出过程中，挤出物会增大，即挤出物的直径大于导向器。这可以证明初级颗粒发生了弹性形变，因为只有初级颗粒才能储存弹性势能。流动方向上的剪切梯度会将球形初级颗粒变形为椭球形。初级颗粒被捏合在一起。离开导向器后，弹性张力释放，初级颗粒恢复到原来的球形。这意味着形变是可逆的。最终形成的是更紧密的结构。

恒氟隆™ PTFE

分散粉加工的基本原理

包装和储存

恒氟隆™ PTFE 分散树脂采用电子控制工艺（过程控制系统）生产，并在洁净室（100 级洁净室）条件下灌装。产品包装于 20 公斤装的密封塑料桶中。

恒氟隆™ PTFE 生产设施以及带盖密封的优质塑料桶，无需使用干燥袋，从而避免了干燥袋破损造成的污染。产品灌装和储存温度均低于 19° C。在一年中较热的月份，产品通常使用冷藏车运输，以避免因运输和/或高温导致结块，并保持细粉良好的流动性。

为了保持粉末的这些特性，建议客户将产品储存在冷藏室中；尽可能将温度控制在 19° C 以下，因为 19° C 是晶体转变的温度。

建议室温为 15° C。尽管采取了上述预防措施，如果发现细粉仍然结块或含有团聚体，则可将团聚体筛除（注意：不要对颗粒施加压力，以免污染粉末）。分离出的团聚体应在 5 至 10° C 的温度下冷藏 2 至 3 天，然后摇晃以使其分散。

之后，应在低于 19° C 的温度下进行筛分，使团聚体分散成流动性良好的粉末。细粉需要 24 小时以上才能进行后续加工，冷却至 5° C 大约需要 3 天时间。更实际的方案

挤出混合物的制备

为避免成品出现缺陷，在加工细粉时必须格外小心，避免粉末受到任何过大的机械应力，因为这种粉末对剪切力非常敏感。建议轻轻摇晃粉末或用勺子舀取，以免压碎颗粒。

粉末筛选

在将细粉倒入混合容器之前，应先进行筛分，以打散结块并使其松散。筛网孔径应为 3 至 4 毫米。也可以使用旋筛，它可以打散较硬的结块。较大的未散开的团块应从筛网上移除，并收集在单独的容器中。分离出的结块颗粒可以通过冷却和再次筛分进行再加工。在开放式筛分过程中，保持极高的清洁度至关重要。必须将滚筒保持在环境温度下，并在取出粉末后立即重新密封，以避免因空气冷凝而吸收水分。聚四氟乙烯（PTFE）是一种良好的电绝缘体，因此在添加 PTFE 时，必须避免过高的倾倒速度，否则材料可能会带静电，并与润滑剂混合后发生爆炸。

与润滑剂混合

不同沸程的脂肪烃已被证明可用作糊状挤出的润滑剂。

润滑剂的选择取决于挤出材料的类型。沸程较高的润滑剂通常用于需要压延工艺的薄壁应用，例如薄膜。沸程较低的润滑剂则用于厚壁挤出材料，例如衬板。

所选润滑剂应能被细粉充分吸收，并在挤出后同样容易去除。此外，它也不应在烧结过程中引起变色。根据应用和润滑剂类型的不同，润滑剂的用量为100份恒氟隆™ PTFE细粉的17至25份（重量比）。为简便起见，润滑剂的用量以重量份表示。然而，更准确的说法是，应将最佳体积的润滑剂添加到PTFE细粉中，以填充初级颗粒之间的空隙。润滑剂的密度（可能相差约 10% 至 15%）在此起着重要作用。润滑剂应添加到混合容器中心的粉末中，而不是边缘。

混合过程应在低于 19° C 的温度下进行，因为细粉在此温度下流动性更好。根据混合机的类型（滚筒式或旋转式混合机），混合时间为 20 至 30 分钟，转速设定为每分钟 20 至 30 转。粉末混合物应在混合容器内流动，而不是飞溅。润滑剂应被粉末均匀吸收。混合容器必须密封，以避免蒸发损失。为了获得良好的混合效果，混合容器的填充量应不超过其容积的 2/3。

由于润滑剂蒸汽存在点燃风险（例如，静电荷引起的点燃），因此在将细粉与易燃润滑剂混合时，接地非常重要。必须借助合适的室内空气监测设备监测工作室内的苯浓度。同时，应确保良好的通风。

着色

以下步骤推荐用于粉末浆料的着色：使用液体色浆时，先将其加入润滑剂中，再与粉末浆料混合。如果颜料要以干态与粉末浆料混合（例如用于抗静电应用、炭黑染色），则将颜料直接筛到粉末上，然后通过轧制使混合物在干态下均匀化。

挤出混合物的成熟

通过让混合物“熟化”，可以使润滑剂在聚四氟乙烯（PTFE）中均匀分布。这个熟化过程最好在密封容器中放置过夜或24小时以上。无需更长时间。

预成型压缩

在此加工步骤中，将 Everflon™ PTFE 细粉和润滑剂的混合物送入预成型机，压制成圆柱形预成型件。

压缩的目的是去除粉末糊状物和润滑剂混合物中的空气，并使混合物成型，以便顺利送入挤出机。预成型机的滚筒长度应为预成型件长度的三倍，因为粉末会被压缩至其体积的三分之一。

应缓慢压缩粉末和润滑剂的混合物，以便使预成型机滚筒内的混合物中的空气完全排出。此过程可通过在通风孔处施加真空来辅助。预压过程在约 30-50 巴的压力下持续数分钟。成品的质量取决于预成型件是否无裂纹。因此，压缩压力必须缓慢降低，并且在从预成型机滚筒中取出预成型件时必须格外小心。压实后的部件必须立即进行后续处理，以最大程度地减少润滑剂从表面的蒸发。

润滑剂分布不均匀会导致成品的质量和尺寸出现偏差。将预成型件送入糊状挤出机——挤出机的圆筒直径应比预成型件的外径大1毫米。

故障排除指南

问题	可能的原因	建议的补救措施
半成品受到污染	<ul style="list-style-type: none">添加受污染的润滑剂粉末桶开启过程中挤出前含有填料	<ul style="list-style-type: none">过滤润滑剂更换润滑剂批次打开前，清除滚筒外部的灰尘颗粒，避免污染将滚筒接地，避免静电荷产生清洁准备室清洁挤出机
半成品呈棕色	润滑剂未完全去除	<ul style="list-style-type: none">延长干燥时间提高干燥温度使用沸点较低的润滑剂改善烘箱内的吸力重复烧结，大多数情况下棕色会消失
挤出物易碎	挤出压力过低，生坯强度过低	<ul style="list-style-type: none">提高压下率减少润滑剂用量使用挤出压力更高的材料提高挤出速度
半成品沿挤出方向撕裂	生坯状态下存在机械损伤	<ul style="list-style-type: none">更仔细地处理挤出物使用沸点较高的润滑剂检查模头是否有机械损伤
烧结半成品抗撕裂强度低，但强度和断裂伸长率高	半成品烧结时间过长或温度过高	<ul style="list-style-type: none">检查烧结炉的温度曲线选择较低的烧结温度（360 至 380 ° C）检查烘箱是否存在故障
衬垫沿挤出方向纵向和横向撕裂	<ul style="list-style-type: none">内支撑管尺寸过大烧结后冷却不均匀冷却速度过快导致内部张力过大或收缩不均匀烧结过程中半成品粘附于接触面	<ul style="list-style-type: none">使用更小的内支撑管确保冷空气分布均匀检查烘箱或冷却装置是否存在故障减慢冷却速度检查烘箱或冷却装置是否存在故障检查接触面是否存在粗糙或缺陷

问题

可能的原因

建议的补救措施

半成品爆裂

干燥温度过高

- 将干燥温度降低至润滑剂沸点和烧结温度之间的范围
- 检查烘箱故障

水分

- 干燥润滑剂
- 打开粉末桶时出现水汽凝结，将桶冷却至室温

预成型过程中残留空气

- 检查机器参数（压力、时间、关闭速度）
- 钻通风孔

管径部分变细或挤出物呈波浪状（“蛇纹”）

润滑剂过多

- 降低润滑剂含量

半成品中出现白点

先前挤出过程中残留的污染物或聚四氟乙烯（PTFE）

- 清洁挤出机

挤压粉末糊状物

- 更仔细地处理粉末
- 检查润滑剂液位
- 筛除结块

部分出现条纹

润滑剂过量

- 降低润滑剂液位

挤压粉末糊状物

- 更仔细地处理粉末
- 筛除结块

润滑剂分布不均匀

- 延长混合时间
- 将润滑剂-粉末混合物在 30° C 下静置过夜

半成品表面呈鳞片状（橘皮状）

挤出模具剪切力过低

- 提高压下率
- 提高挤出速度

模具表面粗糙

- 抛光
- 如果进行横向抛光，则进行纵向抛光

润滑剂不足

- 增加润滑剂液位

表面不规则

润滑剂不足

- 增加润滑剂液位

润滑剂分布不均匀

- 将润滑剂/粉末混合物在 30° C 下静置过夜

干燥和烧结条件不一致

- 检查烘箱故障

干混细粉化合物中填料团聚

- 减小填料粒径
- 增大半成品尺寸
- 研磨、破碎或筛分填料q
- 填料或填料添加剂耐温性不足



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