



EVERFLON™ FEP

技术性能手册

聚全氟乙丙烯树脂

EVERFLON ACADEMIC

引言

恒氟隆™ FEP（氟化乙烯丙烯）是一种六氟丙烯和四氟乙烯的共聚物。它与 PTFE（聚四氟乙烯）树脂的不同之处在于，它可以通过传统的注塑成型和螺杆挤出工艺进行熔融加工。

恒氟隆™ FEP 可以制成各种产品，其机械性能、化学性能、电气性能、耐高温性能和耐磨性能的组合是其他任何材料制成的产品都无法比拟的。

本出版物中提供的设计和工程数据旨在帮助最终用户确定恒氟隆™ FEP 的最佳应用场景和方式。与其他产品一样，建议设计工程师与经验丰富的加工商密切合作，因为加工方法不仅会显著影响生产成本，还会影响成品的性能。

本手册中提供的所有性能数据均应视为典型值，不应用于产品规格制定。

市售 恒氟隆™ FEP 氟聚合物

恒氟隆™ FEP	树脂特性	应用
4601/4603	粘度良好，抗应力开裂性能极佳	化工行业用挤出或模压件 电线电缆用护套
4608/4610	通用型树脂，熔体流动速率适中	电线电缆绝缘层 小管材 注塑件
4622/4630	高生产率等级	小直径细线和电缆绝缘层 注塑成型复杂/薄壁件
4603X	改性低熔体流动速率树脂，具有高工作温度和抗应力开裂性能	化工行业用挤出或模压件 电线电缆用护套
4610X	抗应力开裂性能极佳	适用于各种线径和壁厚的护套树脂
4622X	中等熔体流动速率树脂，在特定钢丝绳作业工艺条件下对铜线具有更佳的粘合性	小直径薄壁电线电缆绝缘层 工业薄膜 注塑成型复杂/薄壁件
4630X	高频 (> 10 GHz) 下具有同类最佳的损耗因子。熔融挤出过程中具有显著的抗沉积性能	小直径薄壁电线电缆绝缘层 工业薄膜 注塑成型复杂/薄壁件
PF/CF 4610	可发泡树脂	同轴电缆
PF/CF 4622	可发泡树脂，生产速度更快	中大型同轴电缆
PF/CF 4630	高熔体流动速率可发泡树脂，具有优异的衰减性能和更高的生产速度	薄壁电线绝缘层
CC46	含FEP原生树脂的色母	各种颜色的电缆、管材、衬里和模压件
JP46	特种应用粉末	适用于混炼和压缩成型
D50	50%固含量乳液	涂层

恒氟隆™ FEP 氟聚合物的一般特性

热稳定性

在从低温到高温（-200~+200°C）的宽广温度范围内，具有卓越的可靠性和性能保持性。

化学惰性

适用于大多数暴露条件，包括热、天气、光照和潮湿环境。

不粘性

具有所有塑料中最低的临界表面能；优异的防水防油性能，适用于不粘涂层和脱模剂。

电气可靠性

在宽广的频率和温度范围内，具有低介电常数和损耗因子以及高介电强度。

长期耐候性

具有优异的耐臭氧、耐日光和耐候性。

高透明度

透明，对紫外线和可见光具有良好的透过率；折射率是所有塑料中最低的；具有极低的反射率。

阻燃性

在大气中不会燃烧。（氧指数 > 95%）

恒氟隆™ FEP 的材料特性

	性能	单位	ASTM standard	4601/4603	4608/4610	4622/4630
物理特性	熔点	°C	--		260-270	
	熔体流动速率 (MFR)	g/10min		1-4	6-12	20-30
	比重	--	D792		2.12-2.17	
机械特性	23°C拉伸强度	MPa	D2116	28	24	22
	23°C延伸率	%	D2116	380	330	300
	冲击强度 (艾氏硬度)	kg-cm	D256A		No Break	
	硬度 (度计硬度)	--	D2240		D56	
	弯曲模量	Mpa	D790	550	620	650
	23°C下5%应变压缩强度	Mpa	D695		15.2	
	摩擦系数	--	D1894		0.25	
	载荷下变形	%	D621		0.5	
热特性	导热系数	W/m·°C	C177		0.2	
	比热容	cal/°C.g	DSC		0.25	
	热膨胀系数	1/°C	D696		(8~15)×10 ⁻⁵	
	熔化热	kJ/kg	DSC	9.8	10	11.6
	最高使用温度	°C			200	
电特性	体积电阻率	Ω-cm	D257		>10 ¹⁷	
	表面电阻率	Ω	D257		>10 ¹⁷	
	介电常数	1 MHz	D150		< 2.1	
		1 GHz				
	介电系数	1 MHz	D150		0.00061	
		1 GHz			0.00094	
	介电强度	kV/mm	D149		78	
耐电弧性能	sec	D495		165		
阻燃性	--	UL94		V-0		
其他特性	氧指数	--	D2863		>95	
	耐溶剂性		D543		Excellent	
	耐化学性	--			Excellent	
	吸水率	%	D570		< 0.03	

机械性能

采用 恒氟隆™ FEP 氟聚合物树脂制成的部件坚韧耐用，薄截面柔韧性好，厚截面刚性强。随着温度升高，刚度（以弯曲模量衡量）显著降低，直至达到最高连续使用温度 204°C。部件表面摩擦系数极低，略高于 Everflon™ PTFE。Everflon™ FEP 表面不易粘附其他物质，但可通过特殊处理使其能够粘附常规工业粘合剂。

拉伸性能

恒氟隆™ FEP 是一种工程材料，其在任何特定应用中的性能均可通过计算进行预测，方法与其他工程材料相同。根据本手册提供的数据，可以选择合适的数值，并结合适当的安全系数，即可使用标准工程公式进行零件设计。

恒氟隆™ FEP 4610 在常用设计温度范围内的应力/应变曲线表明，其屈服发生在相对较低的变形量下。与大多数塑料一样，其弹性响应在应变仅为几个百分点时就开始偏离线性关系。因此，在使用 Everflon 进行设计时，通常最好采用可接受的应变值并确定相应的应力。图示给出了恒氟隆™ FEP 4610、4603 和 4601 在 -52°C、23°C、100°C 和 200°C 下的典型应力/应变曲线，这些曲线显示了其极限拉伸强度。试样制备、几何形状和测试条件都会影响测试结果，因此在进行比较时必须保持这些变量不变。

温度对拉伸强度和极限伸长率的影响总结在图中。更具实际意义的是屈服强度。对于 Everflon™ FEP 材料，弹性响应在应变仅为几个百分点时就开始偏离线性关系。这被称为屈服强度。

弯曲模量

弯曲模量是衡量刚度的指标，也是 Everflon™ FEP 材料性能参数表中所列的特性之一。恒氟隆™ FEP 在极低温度下仍能保持柔韧性，因此适用于低温环境。温度对弯曲模量的影响如图所示。

压缩应力

在低应变值下，压缩应力/应变曲线与拉伸应力/应变曲线相似。图 显示了 恒氟隆™ FEP 4610 在三种温度下低应变水平的典型压缩曲线。

蠕变和冷流

塑料材料在持续载荷作用下，会随着时间的推移发生持续变形，这种现象称为蠕变或“冷流”。金属在高温下也会出现类似的现象。然而，对于大多数塑料而言，即使在室温或更低温度下，变形也可能非常显著，因此被称为“冷流”。

蠕变是指在特定环境下，经过特定时间后，材料在应力作用下产生的总变形量，该变形量超过了加载瞬间产生的瞬时应变。影响蠕变的独立变量包括载荷或应力水平、载荷作用时间和温度。当对 恒氟隆™ FEP 或任何其他塑料施加载荷时，会立即产生初始应变或变形。

初始应变之后，零件会经历一个持续变形但变形速率逐渐降低的阶段。可以通过拉伸、压缩或弯曲蠕变试验，在很宽的温度范围内获得蠕变数据。弯曲蠕变测量更容易进行，也是最常用的方法。然而，拉伸和压缩蠕变数据在零件设计中通常更有用。图 以图表形式展示了恒氟隆™ FEP 4610 在四个温度下的典型拉伸载荷数据。

图 展示了 恒氟隆™ FEP 4610 在两个温度下压缩载荷作用下的总变形随时间变化的典型曲线。

压力放松

当蠕变或冷流材料用作法兰连接垫片时，通常会遇到应力松弛现象。对于 恒氟隆™ FEP 氟聚合物树脂而言，在衬里阀门或三通中，这种现象尤为重要，因为衬里的延伸部分通常用作法兰垫片。在法兰螺栓连接中，部分材料会在法兰面之间发生冷流，导致螺栓压力下降。垫片材料的这种松弛可能导致连接泄漏。安装后的第一天拧紧法兰螺栓通常可以维持螺栓压力并防止泄漏；此后，应力松弛将可以忽略不计。图示为拉伸应力松弛的典型曲线，展示了试样在恒定应变下拉伸应力衰减的速率。

抗疲劳性

表中列出了最常用的注塑成型用氟聚合物树脂——恒氟隆™ FEP 4610 的典型疲劳数据。恒氟隆™ FEP 4603 和 4601 是分子量更高的树脂，预计在任何给定的应力水平下，需要更高的循环次数才会发生失效。

摩擦

恒氟隆™ FEP 具有光滑的表面和顺滑的触感。由于其摩擦系数低，许多实用的无润滑和微润滑机械系统已被开发出来。

恒氟隆™ FEP 树脂在无润滑应用中表现出极低的摩擦系数，尤其是在低表面速度和高于 34 kPa 的压力下。在所有压力条件下，摩擦系数均随滑动速度的增加而迅速增加，直至约 30 m/min。

这种特性可防止“粘滑”现象的发生。此外，即使在最低速度下，也不会产生“吱吱声”或噪音。当速度高于约 45 m/min 时，在低于 PV 极限的压力和速度组合下，滑动速度的影响相对较小。

图示表明，恒氟隆™ FEP 的静摩擦系数随压力的增加而降低。填料的加入不会显著改变摩擦系数。

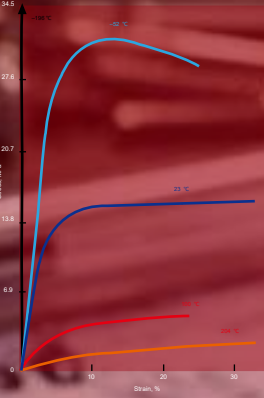
表中所示的PV极限定义了这些材料在无需润滑的情况下能够连续运行的最大压力组合。由于PV极限的确定过程中未考虑磨损，因此它并不一定能定义有用的压力和速度组合。

材料的实际PV极限不能超过PV极限，并且必须考虑材料的磨损特性以及应用允许的磨损量。树脂的熔点也是一个限制因素。

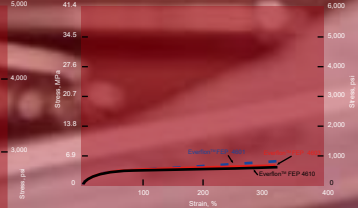
抗冲击性

恒氟隆™ FEP 在很宽的温度范围内都具有优异的冲击强度。在缺口 Izod 冲击试验中，恒氟隆™ FEP 4610、4603 或 4601 在低至 -60°C 的温度下均未发生断裂。

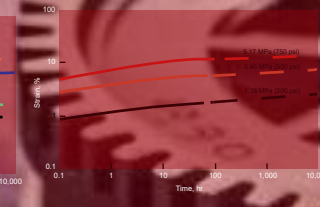
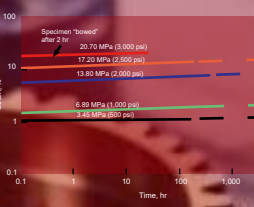
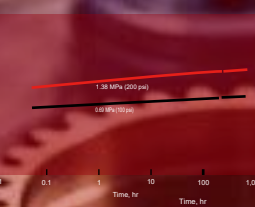
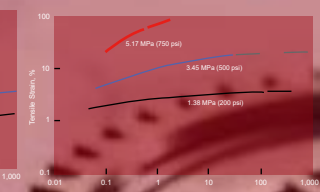
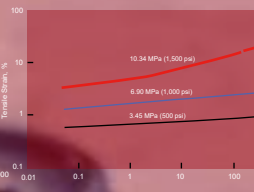
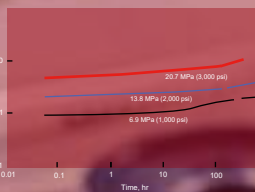
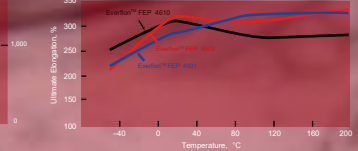
Tensile Stress, Based on Original Cross Section



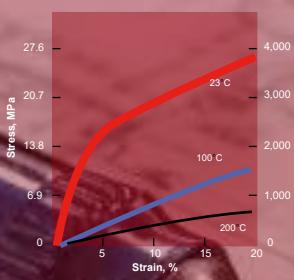
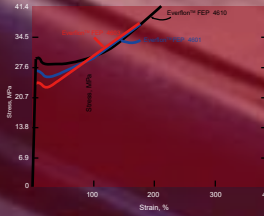
Tensile Stress versus Strain at 200°C



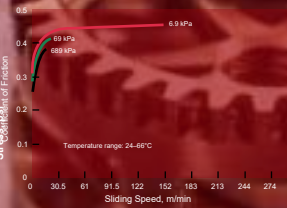
Ultimate Elongation versus Temperature



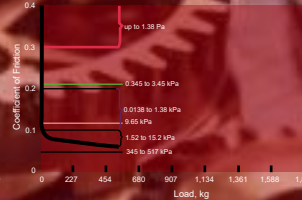
Tensile Stress versus Strain at -52°C



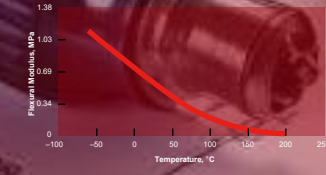
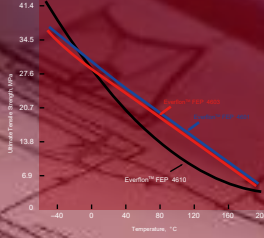
Coefficient of Friction versus Sliding Speed



Coefficient of Friction versus Load (at <2 μm/rin and room temperature)



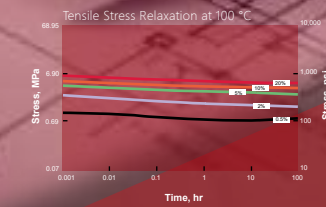
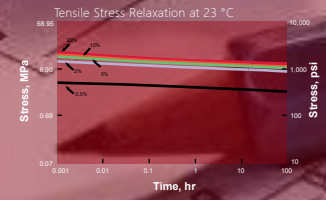
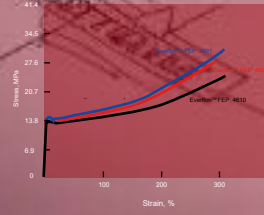
Tensile Strength versus Temperature



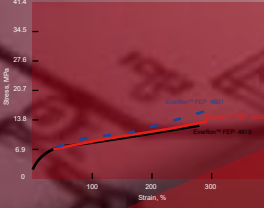
Effect of Temperature on Yield Strength

Temperature		Yield Strength	
°C	°F	MPa	psi
-251	-420	165	24,000
-196	-320	131	19,000
-129	-200	97	14,000
-73	-100	62	9,000
-56	-68	28	4,000
0	32	14	2,000
23	73	12.4	1,800
70	158	6.9	1,000
121	250	3.5	500

Tensile Stress versus Strain at 23°C



Tensile Stress versus Strain at 100°C



数据库

化学性质

恒氟隆™ FEP 氟聚合物树脂具有极强的化学惰性。在最高使用温度 200°C 以内，已知能与这些树脂发生化学反应的化学物质寥寥无几。少数能与之发生反应的物质包括熔融碱金属、氟以及一些氟化物，例如三氟化氯 (ClF₃) 或二氟化氧 (OF₂)，这些物质在高温下容易释放出游离氟。

恒氟隆™ 氟聚合物树脂独特的惰性源于其化学结构。恒氟隆™ FEP 氟聚合物树脂的分子结构简单，仅由强碳-碳键和超强碳-氟键构成；此外，氟原子在每个分子的碳核周围形成一层保护层。

这种结构也赋予了它其他特殊的性能，例如不溶于水、低表面张力（使其对许多溶剂不具有润湿性）、低摩擦系数以及优异的不粘性能。例如，可以使用熔融的 Everflon™ FEP 将 Everflon™ PTFE 树脂片材或部件粘合到金属上。

吸收性

与其他热塑性塑料相比，恒氟隆™ FEP 的吸水率极低。即使在高达 200°C 的温度下暴露一年，它也几乎不吸收常见的酸或碱。即使是溶剂的吸收量也极小。在高温下长期暴露，重量增加通常小于 1%。恒氟隆™ FEP 对水溶液的吸收量也极低。在常温常压下，其吸湿率通常低于 0.01%。

耐候性

恒氟隆™ FEP 在户外经受 25 年风化后基本保持不变。尽管极限伸长率似乎有所下降，但其抗拉强度并未受到影响。然而，该值仍然相当高。

低温服务

恒氟隆™ FEP 在低于液氮温度的低温环境下表现良好。
彻底清除所有有机物后，恒氟隆™ FEP 对液氧呈惰性，因此常用于液氧应用中。

抗霉性

经过湿度室测试、接种孢子悬浮液测试以及为期三个月的土壤掩埋测试，恒氟隆™ FEP 已被证明完全能够抵抗霉菌生长。

渗透性

许多气体和蒸汽透过 恒氟隆™ FEP 的速率远低于其他热塑性塑料。一般来说，渗透率随温度、压力和表面接触面积的增加而增加，随厚度的增加而降低。表列出了各种气体透过恒氟隆™ FEP E4610 薄膜的速率，表 则列出了恒氟隆™ FEP 的典型蒸汽透过率。请注意，每种材料的压力均为其在指定温度下的蒸汽压。

图 3 显示了 恒氟隆™ FEP 薄膜在 40°C 下的水蒸气透过率与厚度的关系。

FDA合规性

恒氟隆™ FEP 可用作拟与食品接触的物品或物品的组件，符合 FDA 法规 21 CFR 177.1550 的规定。

光学性质

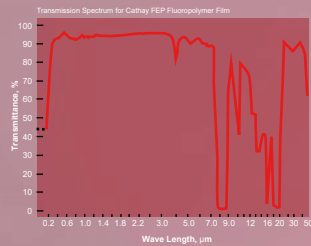
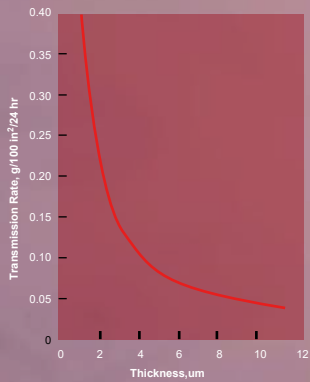
Everflon™ FEP 薄膜或薄片能透过高比例的紫外线和可见光。恒氟隆™ FEP 薄膜的太阳光透过率约为 96%。Everflon™ FEP 在红外光谱区域的透明度远高于玻璃。

典型蒸汽透过率

(1 mil film, ASTM E96 modified test)

蒸汽	温度		水蒸气透过率	
	°C	°F	g/m ² .d	g/100 in ² .d
乙酸	35	95	6.3	0.41
丙酮	35	95	14.7	0.95
苯	35	95	9.9	0.64
四氯化碳	35	95	4.8	0.31
乙酸乙酯	35	95	11.7	0.76
乙醇	35	95	10.7	0.69
F-12	23	73	372	24
己烷	35	95	8.7	0.56
盐酸	25	77	<0.2	<0.01
硝酸 (发红)	25	77	160	10.5
50%氢氧化钠	25	77	<0.2	<0.01
98%硫酸	25	77	2×10^{-4}	1×10^{-5}
水	39.5	103	7.0	0.40

FEP薄膜在40°C下的水蒸气透过率



数据中心

热性能

恒氟隆™ FEP 是六氟丙烯和四氟乙烯的共聚物，因此其熔点范围较宽，而非具有明显的熔点。差示扫描量热法 (DTA) 测得的熔融峰值温度为 257–263°C。

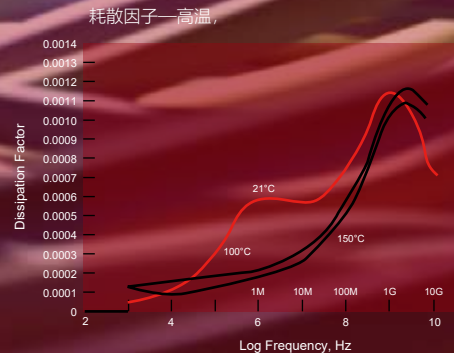
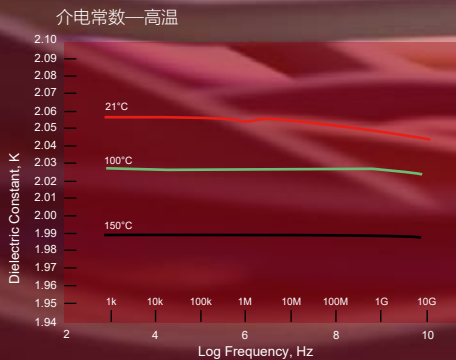
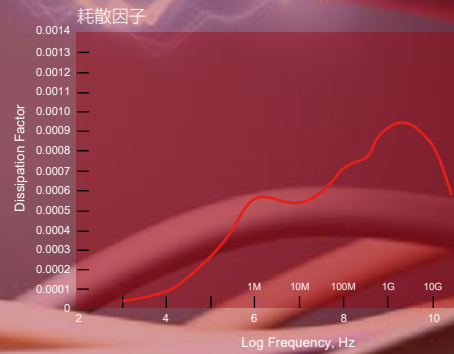
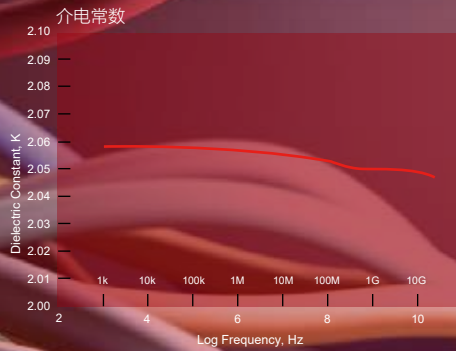
恒氟隆™ FEP 的燃烧热极低。这一特性，加上其极高的氧指数，使得该产品非常适用于必须将火灾风险降至最低的场所。

性能	测试方法	恒氟隆™ FEP	PTFE
380°C时的熔体粘度		$(1.5\sim60)\times 10^4$	$10^{11}\sim 10^{12}$
比热容 (J/kg·°C)		1.2×10^3	1.0×10^3
熔点 (°C)		265~275	327
导热系数 (W/m·°C)	ASTM C 177	0.2	0.23
热膨胀系数 (1/°C)	ASTM D 696 (-50°C~+100°C)	$(8\sim 15)\times 10^{-5}$	$(11\sim 14)\times 10^{-5}$

性能	FEP	ETFE	PVDF
氧指数 (体积百分比)	>95	31	43
UL 94 火焰等级	V-0	V-0	V-0
燃烧热 (焦耳/克)	7,700	15,620	18,300

电气特性

恒氟隆™ FEP 在 1 kHz 至 13 GHz 的宽频率范围内具有 2.04–2.05 的介电常数。损耗因子从 1 kHz 时的 0.00006 缓慢增加到 30 MHz 时的 0.0006，并在 1 GHz 时达到峰值 0.001。这些关系如图所示。温度对这些特性的影响也如图所示。观察这些图可知，温度对损耗因子有显著影响，但曲线形状相似。这些数据来自对 恒氟隆™ FEP 4610 的测量，但 恒氟隆™ FEP 4603 和 4601 的值也应类似。



制造指南

恒氟隆™ FEP 是一种热塑性聚合物，可采用大多数适用于该树脂类型的加工技术进行加工。根据牌号（即熔体粘度，熔体流动值），恒氟隆™ FEP 可通过注塑、压缩成型、传递成型或旋转成型进行加工。

它可以挤出成各种复杂形状，包括棒材、管材和薄膜，并可涂覆在电线上作为初级绝缘层或护套。恒氟隆™ FEP 4601 通常是衬里、管材等传递成型的首选材料，尤其适用于需要高抗应力开裂性能的应用。

然而，该产品极高的熔体粘度会导致生产速度显著降低，并限制其在某些加工类型中的应用。

恒氟隆™ FEP 4610 的粘度较低，因此更易于加工，是注塑成型和一般挤出应用的首选树脂。恒氟隆™ FEP 4603 具有中等粘度，通常用于需要适度提高抗应力开裂性能但可以容忍一定程度生产率降低的场合。

恒氟隆™ FEP 氟聚合物树脂的一个特性是其极低的导热系数。它不会迅速吸收和散发切削刃产生的热量。

如果切削区积聚过多的热量，会导致刀具钝化和树脂过热。因此，在加工过程中，尤其是在表面速度超过 150 米/分钟时，需要使用冷却液。

除了低导热系数外，恒氟隆™ FEP 氟聚合物树脂的高热膨胀系数（几乎是金属的十倍）也可能带来其他问题。任何过热的产生和局部聚集都会导致氟聚合物材料在该点膨胀。根据截面厚度和加工方式的不同，局部膨胀可能导致过切或欠切，以及钻出锥形孔。

因此，加工程序，尤其是在加工速度下，必须考虑导热系数和膨胀效应。60 至 150 米/分钟的表面速度最适合精细车削加工；在这些转速下，无需使用冷却液。更高的转速可以配合极低的进给量或用于粗加工，但此时必须使用冷却液来去除产生的多余热量。理想的冷却液由水和水性油按 10:1 至 20:1 的比例混合而成。

转速在 60 至 150 米/分钟范围内时，进给量应为 0.05 至 0.25 毫米/转。如果高速加工的目的是进行精加工（例如，转速为 240 米/分钟的自动螺纹机床），则必须相应地降低进给量。建议的切削深度为 0.005 至 6.3 毫米。

恒氟隆™ FEP材料选择指南

加工方式	牌号			
	4630/4622	4610/4608	4603	4601
挤出成型				
电线电缆涂层				
薄壁型 (0.1~0.17mm)	Y			
薄壁型 (0.17~0.3mm)		Y		
薄壁型 (0.3~0.5mm)			Y	Y
护套			Y	
管材				
细管	Y	Y		
通用管材		Y	Y	
热缩管			Y	Y
衬里管				Y
薄膜和片材				
厚度<250μm	Y			
厚度250~2400μm				
棒材				
单丝	Y	Y		Y
传递成型				
管道衬里				Y
阀门衬里				Y
注塑成型				
压缩成型	Y		Y	Y

制造指南

挤出

如果在恒氟隆™ FEP加工过程中剪切速率超过临界剪切速率，则会导致熔体破裂，从而使成型表面粗糙。因此，所采用的成型方法必须使用低于上述临界剪切速率的剪切速率。

恒氟隆™ FEP 的临界剪切速率

(360~400°C)

Grade	临界剪切速率 (秒 ⁻¹)
4622/4630	60-130
4608/4610	20-40
4603	10-15
4601	1-5

恒氟隆™ FEP 电线电缆涂层加工条件

	4622	4610	4603
绝缘线径 (毫米)	0.51*0.86	0.7*1.4	1.0*2.4
挤出机			
料筒直径 (毫米)	50	30	40
螺杆长径比	32	22	20
压缩比	2.7	2.74	3.0
模头孔径 (毫米)	4.7*7.9	7*13	11*24
温度 (摄氏度)			
Z1	330	330	320
Z2	360	360	340
Z3	380	380	340
适配器	380	380	340
模头	380	380	370
螺杆转速 (转/分)	25	30	12
拉伸比 (DDR)	100	82	95.5
绝缘线速度 (米/分)	200	40	14

恒氟隆™ FEP 管材加工条件

	4610	4603	4601
管材尺寸 (外径x内径)	8x10mm	16x19mm	16x19mm
挤出机			
螺杆长径比	20	20	20
压缩比	2.85	2.85	2.85
模头孔径	4.5*8.5	13*17	13*17
温度			
Z1	320	320	320
Z2	350	340	360
Z3	350	340	360
模头	360	360	380
模头	370	370	370
螺杆转速 (rpm)	12	12	12
管材速度 (m/min)	4	2	1

制造指南

注塑成型

恒氟隆™ FEP熔体粘度高，与一般热塑性塑料相比，需要更高的加工温度。必须使用螺杆式注塑机，并尽可能缩短浇口与流道之间的距离，模具温度必须达到200~230°C。

对于恒氟隆™ FEP 颗粒的压缩成型，推荐壁厚为：

恒氟隆™ 4603 牌号，22 10mm 或更薄

恒氟隆™ 4601 牌号，40 10mm 或更厚

4610、4603 和 4601 牌号可在 330~350°C 下加工。如果温度高于 350°C，则难以脱模，或者模具表面会发生腐蚀。理想的成型压力为 4.9 至 7.8 MPa。冷却过程中，应保持此压力直至模具温度降至约 200°C；否则，成型件中可能会出现缩痕或空隙。

料筒温度

Z1 300°C

Z2 320~340 °C

Z3 340~360 °C

喷嘴温度 360~380 °C

模具温度 200°C

螺杆挤出速度 180rpm

注射压力 29.4~68.6 MPa

背压 2.9 MPa

保压时间 20 s

注射速率 9.5(scale)

冷却时间 60 s

循环时间 120 s/cycle

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.everflonultra.com