



UDEL® 聚砜

设计指南

version 11/05

SOLVAY
Advanced Polymers



MORE PLASTICS WITH MORE PERFORMANCE

引言

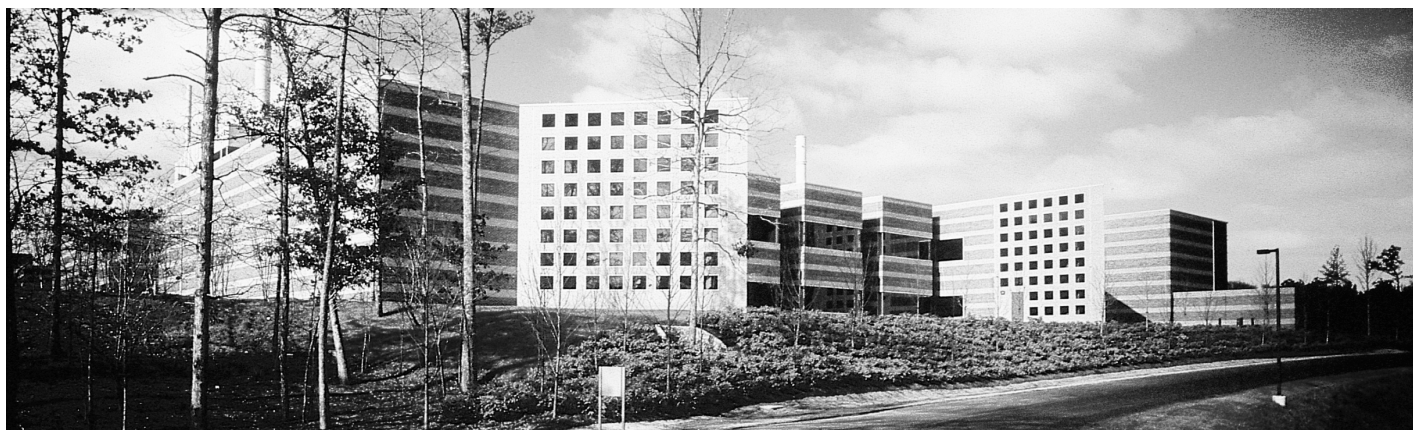
苏威高性能塑料公司生产并提供具有优异性能的各种系列工程塑料。我们的无定形砜聚合物包括 **RADEL® R** 聚亚苯基砜、**RADEL® A** 聚醚砜、**UDEL®** 聚砜、**ACUDEL™** 聚亚苯基砜共混体和 **MINDEL®** 改性聚砜系列。我们的半结晶性聚合物包括 **AMODEL®** 聚对苯二酰对苯二胺、**IXEF®** 聚芳香酰胺、**PRIMEF®** 聚苯硫醚和 **XYDAR®** 液晶聚合物。

另外还提供两种在特定领域具有非常优异性能的塑料。这两种超高性能工程聚合物分别是 **KADEL®** 聚酮树脂和 **TORLON®** 聚酰胺-酰亚胺树脂。

UDEL 聚砜塑料综合了多项高性能特性，包括：

- 优异的热稳定性
- 高的韧性和强度
- 良好的耐环境应力开裂
- 高的热变形温度， 174 °C
- 阻燃性
- 透明
- 经过认证可与食品和饮用水接触
- 低蠕变性。

本手册的编辑目的是为了给设计工程师提供有效使用 **UDEL** 聚砜所必需的资料。它包括了这些材料的机械特性、热特性和化学特性，同时提供了部件设计和加工的有关建议。



苏威高性能塑料公司的总部位于美国佐治亚州亚特兰大市郊的阿尔法瑞塔。苏威高性能塑料公司及其下属机构还在南美洲、欧洲及亚洲设有办事处。

目录

引言	1	热稳定性	30
化学	6	热重分析	30
化学结构 — 特性关系	6	热老化	31
产品信息	7	UL 相对热指数	31
材料选择	7	电特性	32
命名法	7	介电强度	32
包装	7	体积电阻率	32
认证	8	表面电阻率	32
饮用水标准	8	介电常数	32
食物接触	8	损耗因数	32
医疗	8	保险商实验所 (UL) 相对热指数	32
NSF 国际标准	8	UL 746A 短期特性	32
保险商实验所 (UL) 认证	8	高压、低电流干态耐电弧性 (D495)	32
获得认证的牌号列表	8	相比漏电起痕指数 (CTI)	33
特性指标	9	高压电弧起痕率 (HVTR)	33
机械特性	9	热丝点燃 (HWI)	33
典型特性表	9	大电流电弧点燃 (HAI)	33
拉伸特性	12	耐环境性	35
应力 — 应变曲线	14	耐候性	35
挠曲特性	14	水解稳定性	35
压缩特性	15	长期暴露于热水	35
剪切特性	15	含氯热水	37
冲击特性	16	蒸汽消毒分析	37
缺口伊佐德 (Izod)	16	抗辐射性	38
缺口敏度	17	耐化学性 (无应力)	38
卡毕 (Charpy)	17	耐应力开裂	40
拉伸冲击	18	有机物	41
抛落冲击	18	无机物	42
泊松比	19	汽车工作液	43
长期蠕变特性	20	食品相关产品	44
拉伸蠕变	20	物理特性	45
水中的拉伸蠕变	21	吸水性	45
表观模量或蠕变模量	21	耐磨损性	45
热特性	22	耐磨性	45
玻璃转化温度	22	渗透性	45
机械特性的变化	22	洛氏硬度	46
热塑性树脂的分类	22	光学特性	47
温度对拉伸特性的影响	23	设计信息	48
温度对挠曲特性的影响	23	机械性能设计	48
载荷下变形温度	24	应力水平	48
热膨胀	24	应力 — 应变的计算	48
导热率	26	弯曲应力	48
维卡软化点	26	拉伸应力	48
比热	26	刚度设计	51
比容	27	增加截面厚度	51
燃烧特性	28	加加强筋维持刚度	51
UL 94 可燃性标准	28	可承受持续载荷的设计	52
氧指数	29	挠曲的计算	52
自燃温度	29	设计极限	53
骤燃温度	29	应力集中	54
烟气密度	29	螺纹	54
灼热丝测试	29	过盈配合	55
		容许过盈量的计算	55

配合注塑的设计	56	热成型.....	69
壁厚.....	56	压塑成型.....	69
壁厚变化.....	56	二次加工	70
脱模角度.....	56	清洗和脱油.....	70
加强筋.....	57	退火.....	70
抽芯.....	57	低残余应力处理	70
凸台.....	57	在空气中退火.....	70
拉扣配合.....	58	快速退火.....	70
加工	59	机加工.....	71
干燥.....	59	冷却液.....	71
流变性能.....	60	钻孔.....	71
注塑.....	61	攻丝.....	71
注塑设备.....	61	锯切.....	71
螺杆设计.....	61	车削.....	71
螺杆末端和止逆阀	61	铣和特形铣.....	71
喷嘴.....	61	抛光和装饰.....	72
模具.....	61	上漆.....	72
脱模角度和顶出	61	电镀.....	72
浇口.....	61	热压印.....	72
排气.....	61	印刷.....	72
模具温度控制	61	真空金属喷镀.....	72
机器设置.....	62	装配和接合.....	73
注塑温度.....	62	超声焊接.....	73
模具温度.....	62	热板焊接.....	73
料管温度.....	62	溶剂粘结.....	74
料管中的滞留时间	62	旋转焊接.....	74
注塑成型过程	62	粘合剂粘合.....	74
进料特征.....	62	机械紧固件.....	75
背压.....	62	模塑螺纹.....	75
螺杆速度.....	62	螺纹嵌入件.....	75
注塑速率和排气	62	自动攻丝螺钉.....	75
脱模.....	63	超声嵌入件.....	76
脱模剂.....	63		
收缩率.....	63		
故障排除指南	64		
回用料.....	65		
残余应力的测量	65		
挤出吹塑.....	66		
干燥.....	66		
设备.....	66		
加工条件.....	66		
挤塑.....	67		
预先干燥.....	67		
挤塑温度.....	67		
螺杆设计建议	67		
模口设计.....	67		
挤塑成型产品的类型	67		
线缆.....	67		
薄膜.....	67		
薄片.....	68		
管材和管路	68		
起动、关机及清料管	68		
起动步骤.....	68		
关机步骤.....	68		
清料管.....	68		

表

一些工程材料的温度极限值	7	部分断面的面积和力矩方程式	50
UDEL 聚砜树脂的典型特性 *（美制单位）	10	间歇载荷的设计容许应力， psi（MPa）	53
UDEL 聚砜树脂的典型特性 *（国际制单位）	11	恒定载荷的设计容许应力， psi（MPa）	53
UDEL 聚砜的压缩特性	15	拉扣配合设计的最大允许应变	58
UDEL 聚砜的剪切强度	15	注塑成型起始点条件	61
UDEL 聚砜的泊松比	19	经过四次模塑后的 UDEL P-1700 特性	65
线性热膨胀系数	24	残余应力试验所用试剂	65
导热率	26	在 165 °C 丙三醇中的退火时间	70
维卡软化点	26		
PSU 的比容（cm ³ /g）在液相时与温度和压力的 关系	27		
UL 对 V-0、V-1 或 V-2 材料分类的标准	28		
UDEL 聚砜的 UL 94 等级	28		
UDEL 树脂的氧指数	29		
UDEL 聚砜的烟气密度	29		
玻纤填充聚砜的灼热丝测试结果	29		
UDEL 聚砜的部分 UL RTI 等级	31		
高压、低电流干态耐电弧性的性能级别分类 （PLC）	32		
相比漏电起痕指数的性能级别分类	33		
高压电弧起痕率的性能级别分类	33		
热丝点燃的性能级别分类	33		
大电流电弧点燃的性能级别分类	33		
UL 746A 的短期电特性	34		
在含氯静水中的重量变化	37		
在含氯流动水中的重量变化	37		
暴露在高压蒸汽消毒锅中之后的特性保持情况	37		
UDEL 聚砜的抗伽马辐射性	38		
聚砜耐化学性的一般指标	38		
在室温下将 UDEL P-1700 塑料浸渍 7 天的耐化学 性	39		
计算得到的有应变的耐环境应力开裂能力试棒 的应力	40		
耐环境应力开裂能力表中的符号说明	40		
暴露 24 小时后对有机物的耐环境应力开裂能力 ..	41		
暴露 24 小时后对无机物的耐环境应力开裂能力 ..	42		
暴露 24 小时后对汽车工作液的耐环境应力开裂 能力	43		
暴露 24 小时后对食品相关产品的耐环境应力开 裂能力	44		
UDEL 聚砜对各种气体的渗透性	45		
UDEL P-1700 NT11 聚砜的光学特性	47		
UDEL P-1700 NT11 与波长有关的特性	47		
最大应力和挠曲方程式	49		

图

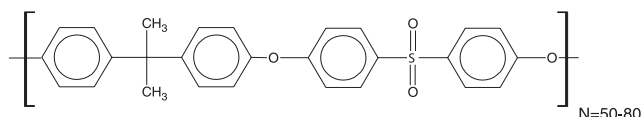
典型应力 — 应变曲线.....	12	UDEL 聚砜的吸水性	45
应力 — 应变曲线插图割线与切线模量的关系....	12	洛氏硬度, M 尺度	46
玻璃纤维可提高拉伸强度	13	UDEL P-1700 NT11 在不同波长和厚度时的透光率..	47
玻璃纤维可提高 UDEL 聚砜的硬度	13	UDEL P-1700 NT11 的折射率随波长变化的情况	47
UDEL 树脂的拉伸应力 — 应变曲线.....	14	加加强筋以获得刚度.....	52
挠曲试验装置.....	14	在持续载荷实例中所用的梁	52
玻璃纤维可提高挠曲强度	14	内拐角的应力集中因素.....	54
玻璃纤维可提高挠曲模量	14	正确设计拐角以降低应力.....	54
UDEL 树脂的压缩强度	15	正确的螺纹设计	54
压缩模量	15	压配实例	55
伊佐德 (Izod) 冲击测试装置.....	16	UDEL P-1700 PSU 流程与厚度的关系	56
UDEL 聚砜的伊佐德 (Izod) 冲击	16	壁厚的转变	56
UDEL P-1700 聚砜在不同缺口半径时的伊佐德		利用脱模角度帮助脱模.....	56
(Izod) 冲击	17	建议的加强筋加强筋设计.....	57
卡毕 (Charpy) 冲击试验.....	17	凸台设计的一般原则.....	57
UDEL 聚砜的卡毕 (Charpy) 冲击强度.....	17	采用直梁的拉扣配合设计.....	58
UDEL 聚砜的拉伸冲击	18	采用锥形梁的拉扣配合设计	58
加德纳冲击详图.....	18	锥形梁的比例常数 (K).....	58
UDEL PSU 在 99 °C 空气中的拉伸蠕变.....	20	Udel 聚砜的干燥	59
UDEL PSU 在 149 °C 空气中的拉伸蠕变.....	20	UDEL P-1700 塑料的流变性能	60
UDEL PSU 在 23 °C 水中的拉伸蠕变.....	21	UDEL P-3500 塑料的流变性能	60
UDEL PSU 在 60 °C 水中的拉伸蠕变.....	21	配合注塑的螺杆设计	61
未填充 UDEL 聚砜的蠕变模量	21	能量导向头设计	73
模量随温度的典型变化.....	22	粘合剂粘合的接头设计.....	74
拉伸强度与温度的关系.....	23	为使用机械紧固件而设计.....	75
拉伸模量与温度的关系.....	23	自动攻丝螺钉的凸台设计.....	75
挠曲强度与温度的关系.....	23	超声嵌入件的凸台设计.....	76
挠曲模量与温度的关系.....	23		
UDEL 树脂的热变形温度	24		
UDEL P-1700 的线性热膨胀系数与温度的关系	25		
UDEL GF-110 的线性热膨胀系数与温度的关系	25		
UDEL GF-120 的线性热膨胀系数与温度的关系	25		
UDEL GF-130 的线性热膨胀系数与温度的关系	25		
UDEL 聚砜的比热	26		
UDEL 聚砜的比容与温度和压力的关系.....	27		
氮气中的热重分析.....	30		
空气中的热重分析.....	30		
热老化后 UDEL P-1700 的拉伸强度	31		
热老化后 UDEL GF-130 的拉伸强度	31		
暴露于 90 °C 水之后的拉伸强度.....	35		
暴露于 90 °C 水之后的伸长率	36		
暴露于 90 °C 水之后的拉伸模量	36		
暴露于 90 °C 水之后的缺口伊佐德 (Izod) 冲击 ..	36		
暴露于 90 °C 水之后的熔合线强度	36		

化学

化学结构 — 特性关系

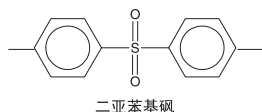
UDEL 聚砜是一种高强度、刚性、高温非结晶性热塑性塑料，可利用注塑、挤塑或热成型等工艺来制成各种形状。

UDEL 聚砜具有如下重复结构或基本单元：



此结构单元由多个亚苯基单元构成，其为三个不同的键合化学基团，它们是异亚丙基、醚和砜。这三种基团都分别为此聚合物提供了特定的特性。这个复杂的重复结构赋予此聚合物一些内在固有特性，这些内在固有特性在以往只有通过使用稳定剂和改性剂才能得到。

该聚合物主链最与众不同的特征是二亚苯基砜基团：



自二十世纪六十年代初以来，二亚苯基砜对树脂特性的影响一直被热烈深入地研究。通过检查其电子特征，此基团的作用显而易见。（每个基团中的）硫原子处于其最高氧化态。此外，该砜基团具有从相邻苯环上吸引电子的趋势，从而令这些苯环的电子数不足。二亚苯基砜基团的高共振结构也提供了热稳定性。此高共振亦令其具有高强度化学键。此物质在氧化环境下的稳定性使其具有强劲的抵抗失去电子而变成氧化物的趋势。这样一来，整个二亚苯基砜基团就具有内在固有的抗氧化能力。

因此，大量伴随而来的热量或电离辐射可以被耗散掉，而不引起断链或交联。非芳香族主链聚合物无法以相似方式共振，不能藉此机构吸收能量，因此稳定性较差。

所以，二亚苯基砜基团赋予了整个聚合物分子热稳定性、抗氧化能力及刚性等内在固有特征，即使在高温下亦不例外。

为了在热塑性树脂中充分发挥二亚苯基砜结构的潜力，这些单元必须与其他基团键合，后者需对热解和水解稳定且将提供理想的加工性与最终使用特性。

为了得到韧性，聚合物的主链应具一定柔性。这由醚键提供，并由异亚丙基键合加以补充。这些醚键亦会改善热稳定性。与此相似，醚键和异亚丙基键均会提供一定的链柔性，从而令此材料在实际温度下更易于加工。

即使不添加改性剂，聚砜的化学结构依然会为此塑料直接带来极好的内在固有特性组合。聚砜刚硬、牢固且坚韧。其正常形式是透明的，并且可在宽广的温度范围内维持其物理特性和电特性。此材料的熔体稳定性令其可借助常规热塑处理和加工技术进行加工。它耐氧化且具有热稳定性，因此能够长时间承受高使用温度。

产品信息

材料选择

UDEL 树脂属于无定形聚醚，具有多项理想特性，例如耐水解能力、热稳定性、高温下的机械特性保持、清晰度及透明性。

此材料可以供应多种未填充牌号和玻纤增强牌号。未填充牌号可有多种熔体粘度。

UDEL 聚醚适用于要求高耐热、高阻燃性、耐化学性和高机械性能的场所。表 1 中列有其推荐最高使用温度，可助用户将聚醚与其他工程材料加以比较。

表 1
一些工程材料的温度极限值

工程材料	最高使用温度	
	°F	°C
酚醛树脂 — 通用级	300-350	149-177
聚醚	284-320	140-160
聚碳酸酯	250	121
锌压铸合金	250	121
改性聚苯氧化物	200-220	93-104
聚丙烯	225	107
聚酰胺	170-240	77-116
聚缩醛	185-220	85-104

由于在热、机械及耐化学性能方面具有优于通用树脂的优越性能，因而 UDEL 聚醚是许多应用中的最佳解决方案。这些应用包括：医疗设备、电子产品、电气装置、器具、管道装置及通用处理设备。请访问本公司网站 <http://www.solvayadvancedpolymers.com>，您将找到 UDEL 聚醚应用的更多实例。

玻纤增强牌号具有更高的刚度和尺寸稳定性，并且具有抗蠕变性、耐化学性及较低热膨胀率等优点。

UDEL 聚醚可配成透明和不透明的各种颜色。

命名法

UDEL 树脂的命名系统使用前缀 **P** 表示未增强牌号。玻璃纤维增强牌号使用前缀 **GF** 加以表示。**P** 后面的数字串为熔体粘度（分子量）的指示，其中 **P-3500** 为粘度最高的商品牌号。**P-3500** 很适合挤塑和微孔薄膜等应用。**P-1700** 是一种中等粘度材料，主要用于注塑成型。

就玻纤增强树脂的命名而言，前缀 **GF** 后面的数字串的最后两位数字用于表示该产品的玻璃纤维含量。举例来说，UDEL GF-120 为 20% 玻璃纤维增强的聚醚树脂。

本公司可提供多种颜色的 UDEL 树脂现货并可订制颜色。颜色标记为 **YY XXX** 后缀格式，其中 **YY** 为颜色指示，**XXX** 为表明色调的数字串。例如，**BK 937** 表示该塑料为黑色，并且 **937** 指明特定配方。

包装

UDEL 聚醚为粒子包装，有 25 公斤袋装和 500 公斤箱装两种。

认证

为了确保与饮用水和食物直接接触的材料不会造成有害健康影响，世界各地目前已建立了一些组织和标准。其中许多组织通过检查和其他监督方式来确保表列产品始终符合该产品经测试所达到标准的具体要求。此类标准包括：

饮用水标准

- ANSI/NSF 61 号标准 — *Drinking Water System Component — Health Effects*。
- 水质规范参照表 (Water Regulations Advisory Scheme) — *Items Which Have Passed Full Test of Effect on Water Quality — BS6920*。
- 饮用水塑料用品推荐 (Kunststoff Trinkwasser Empfehlungen、KTW) — 德国联邦卫生部。
- DVGW Arbeitsblatt W 270 1990 年 12 月 — *Micro Organism Growth in Drinking Water*。

食物接触

- 美国食品与药物管理总局 (FDA) — 符合 FDA 21CFR177.1655 关于在其所规定的使用条件下与食品接触的重复使用或一次性使用材料的规定要求。
- 3A 卫生标准 — *Plastic Materials Used in Dairy Equipment*。
- NSF 51 号标准 — *Plastic Materials and Components Used in Food Equipment*。
- 欧洲委员会标准 90/128/EEC — *Commission Directive Relating to Plastic Materials and Articles Intended to Come in Contact with Foodstuffs*。

医疗

- 美国药典 (U.S.P.) — 符合 U.S.P. 对第六类 (Class VI) 塑料的标准。

NSF 国际标准

可从 NSF 网站查找经核准符合 NSF 标准的产品：
<http://www.NSF.org>。

保险商实验所 (UL) 认证

保险商实验所 (UL) 是一家独立的非盈利性的产品安全测试和认证组织。它收列了多种规格的 UDEL 聚砜。在其网站 <http://data.ul.com/iqlink/index.asp> 上可查找详细的清单。

获得认证的牌号列表

UDEL 聚砜有多种型号获得了以上认证。详细的牌号清单请向苏威高性能塑料部门的代表索取。



内插接头

Vanguard Piping Systems 公司使用 UDEL 聚砜制造与交联聚乙烯管配用的内插接头系列产品。该公司之所以选择 UDEL 聚砜，是因为此材料能够长期承受与加压含氯热水的接触，并且已由 NSF 国际标准列为可用于与热饮用水接触的材料。自 1989 年以来，该公司根据“美国”住宅与城市发展总局的条例制造的数百万个接头，已安装于为数众多的住宅。

特性指标

材料的机械特性为零部件设计的重要基础。设计者采用的材料，其机械特性需要符合部件的应用要求，才能获得最佳的零件设计。

与金属相比，聚合物材料的机械特性更依赖于其使用时间和温度。它们也更容易受环境因素的影响。要想将聚合物材料成功地应用于产品设计中，设计者不仅需要材料的短期机械特性，而且还要考虑其在各种应用中的使用时间、使用温度和使用环境上的要求。

机械特性

材料供应商提供的物性表上的机械性能通常是指短期机械性能。在某些情况下，可以把这些数据视为该材料的最大值。

获得这些数据的方法为：准备一些特殊的试样，然后让这些试样承受不断增大的载荷直至试样遭到破坏（通常为断裂）为止。试样都是专门设计的，在理想条件下进行试验时可得到重复的结果。由于试验进行得很快，可以视为时间的影响极小。

通过在受控的环境下进行试验，可以消除环境影响的因素，从而避免了由于接触化学品而造成其机械特性的降低。

短期机械特性通常包括：

- 拉伸强度和拉伸模量
- 挠曲强度和挠曲模量
- 缺口伊佐德（Izod）冲击和无缺口伊佐德（Izod）冲击
- 压缩强度
- 剪切强度
- 表面硬度

典型特性表

UDEL 聚砜塑料的典型短期特性分别列于表 2（美制单位）和表 3（国际制单位）中。



水龙头阀芯

Moen 公司选择了 UDEL 聚砜作为其 PureTouch™ 水龙头部件的材料。对该材料的要求包括耐净化水的能力和可与饮用水接触的认证。可以准确模塑成非常复杂而又具有精密公差部件的能力也是一个非常重要的因素。

表 2

UDEL 聚砜树脂的典型特性 *（美制单位）								
特性	ASTM 方法	单位	P-1700	P-1720	P-3500	GF-110	GF-120	GF-130
机械性能								
拉伸强度	D 638	kpsi	10.2	10.2	10.2	11.3	14.0	15.6
拉伸模量	D 638	kpsi	360	360	360	540	870	1,260
断裂伸长率	D 638	%	50-100	50-100	50-100	4	3	2
挠曲强度	D 790	kpsi	15.4	15.4	15.4	18.5	21.5	22.4
挠曲模量	D 790	kpsi	390	390	390	550	800	1,100
伊佐德（Izod）冲击强度	D 256	ft-lb/in						
缺口			1.3	1.3	1.3	0.9	1.0	1.3
无缺口			NB**	NB**	NB**		9	
拉伸冲击	D 1822	ft-lb/in ²	200	160	200	48	52	54
压缩强度	D 695	kpsi	13.9		13.9	17.8	22.0	25.6
压缩模量	D 695	kpsi	374		374	590	840	1,160
洛氏硬度	D 785		M69	M69	M69	M80	M83	M86
热性能								
热变形温度	D 648	°F						
压力为 264 psi			345	345	345	354	356	358
热膨胀系数	E 831	ppm/°F						
流动方向			31	31	31	22	13	10
横向			31	31	31	27	27	27
导热率	C 177	BTU-in/ft ² hr°F	1.8	1.8	1.8			
氧指数	D 2863	%	26	32	30	31	31	32
UL94 可燃性等级（0.059"）	UL94		HB	V-0		HB	HB	V-1
电性能								
介电强度	D 149	V/mil	425		425	475	475	475
体积电阻率	D 257	ohm-cm	3 x 10 ¹⁶		3 x 10 ¹⁶	3 x 10 ¹⁶	2 x 10 ¹⁶	2 x 10 ¹⁶
表面电阻率	D 257	ohm	4 x 10 ¹⁵		4 x 10 ¹⁵	4 x 10 ¹⁵	4 x 10 ¹⁵	6 x 10 ¹⁵
介电常数	D 150							
在 60 Hz			3.03		3.03	3.18	3.31	3.48
在 1 kHz			3.04		3.04	3.19	3.31	3.49
在 1 MHz			3.02		3.02	3.15	3.28	3.47
损耗因数								
在 60 Hz			0.0007		0.0007	0.0007	0.0008	0.0007
在 1 kHz			0.0010		0.0010	0.0011	0.0014	0.0014
在 1 MHz			0.0060		0.0060	0.0060	0.0060	0.0050
一般性能								
比重	D 792		1.24	1.24	1.24	1.32	1.39	1.48
吸水性 ***	D 570	%						
24 小时			0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1
30 天			0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.2
熔融指数，650 °F，2.16 kg	D 1238	g/10 min	7.0	7.0	4.0	6.5	6.5	6.5
模塑收缩率	D 955	%	0.7	0.7	0.7	0.4	0.3	0.2

* 各批次产品的实际特性会在规格所要求的范围内有所变化。 **NB = 不断裂。 *** 相对于 “刚完成模塑时处于干燥状态” 进行测量。

表 3

UDEl 聚砜树脂的典型特性 *（国际制单位）

特性	ASTM 方法	单位	P-1700	P-1720	P-3500	GF-110	GF-120	GF-130
机械性能								
拉伸强度	D 638	MPa	70.3	70.3	70.3	77.9	96.5	107.6
拉伸模量	D 638	GPa	2.48	2.48	2.48	3.72	6.00	8.69
断裂伸长率	D 638	%	50-100	50-100	50-100	4	3	2
挠曲强度	D 790	MPa	106	106	106	128	148	154
挠曲模量	D 790	GPa	2.69	2.69	2.69	3.79	5.52	7.58
伊佐德（Izod）冲击强度	D 256	J/m						
缺口			69	69	69	48	53	69
无缺口			NB**	NB**	NB**		477	
拉伸冲击	D 1822	kJ/m ²	420	337	420	100	110	109
压缩强度	D 695	MPa	96		96	123	152	176
压缩模量	D 695	GPa	2.58		2.58	4.07	5.79	8.00
洛氏硬度	D 785		M69	M69	M69	M80	M83	M86
热性能								
热变形温度	D 648	°C						
压力为 1.8 MPa			174	174	174	179	180	181
热膨胀系数	E 831	ppm/°C						
流动方向			57	57	57	40	23	19
横向			57	57	57	49	49	49
导热率	C 177	W/mK	0.26	0.26	0.26			
氧指数	D 2863	%	26	32	30	31	31	32
UL94 可燃性等级（1.5 mm）	UL94		HB	V-0		HB	HB	V-1
电性能								
介电强度	D 149	kV/mm	17		17	19	19	19
体积电阻率	D 257	ohm-cm	3 x 10 ¹⁶		3 x 10 ¹⁶	3 x 10 ¹⁶	2 x 10 ¹⁶	2 x 10 ¹⁶
表面电阻率	D 257	ohm	4 x 10 ¹⁵		4 x 10 ¹⁵	4 x 10 ¹⁵	4 x 10 ¹⁵	6 x 10 ¹⁵
介电常数	D 150							
在 60 Hz			3.03		3.03	3.18	3.31	3.48
在 1 kHz			3.04		3.04	3.19	3.31	3.49
在 1 MHz			3.02		3.02	3.15	3.28	3.47
损耗因数								
在 60 Hz			0.0007		0.0007	0.0007	0.0008	0.0007
在 1 kHz			0.0010		0.0010	0.0011	0.0014	0.0014
在 1 MHz			0.0060		0.0060	0.0060	0.0060	0.0050
一般性能								
比重	D 792		1.24	1.24	1.24	1.33	1.40	1.49
吸水性 ***	D 570	%						
24 小时			0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1
30 天			0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.2
熔融指数, 343 °C, 2.16 kg	D 1238	g/10 min	7.0	7.0	4.0	6.5	6.5	6.5
模塑收缩率	D 955	%	0.7	0.7	0.7	0.4	0.3	0.2

* 各批次产品的实际特性会在规格所要求的范围内有所变化。 **NB = 不断裂。 *** 相对于“刚完成模塑时处于干燥状态”进行测量。

拉伸特性

拉伸特性是将试样两端夹在试验机的夹头内进行拉伸来测定的。依照美国材料试验协会（ASTM）的试验方法 D 638，拉伸试验机以特定的速率向试样施以单向的轴向力。将分离这两个夹头所需的力除以试样的最小横截面积就是拉伸应力。试样在应力的作用下会伸长，用所伸长的量除以试样的原始长度就是应变。

如果把所施加的应力和所产生的应变作图，对于类似聚砜的韧性聚合物就可以得到与 图 1 所示相似的曲线。

如图 2 所示的应力 — 应变曲线的初始部分具有特殊的意义，因为在该区域内应变与应力成正比，其斜率决定着弹性模量的大小。要精确测量曲线的斜率事实上是很困难的，因此逐渐发展出各种标准化测试，以降低试验结果的可变性。其中的一种方法是用沿曲线所画切线的斜率来表示，另一种方法是用通过原点和某个任意指定的应变值所画切割线的斜率来表示。本手册中所采用的拉伸模量数据是采用切线法得到的。

韧性聚合物在断裂前都会经过**屈服点**。在夹头开始分离前，应力（即为了伸长试样所需要的力）与伸长率（应变）成正比。随着试验的继续进行，试样会表现出较大的永久形变，直至达到一个临界点，在该点只需使用比按比例小一点的应力就可以得到额外的伸长率。这个点即称为**屈服点**，其应力值常被叫作**屈服拉伸强度**。此处的伸长率称为**屈服伸长率**或**屈服应变**。随着试验的进行，试样会继续被拉长，直至断裂为止。该点的应力值称为**断裂拉伸强度**或**极限拉伸强度**。用来确定拉伸特性的试验方法，ASTM D 638，将屈服应力与断裂应力中的较大值作为**拉伸强度**值。

图 1

典型应力 — 应变曲线

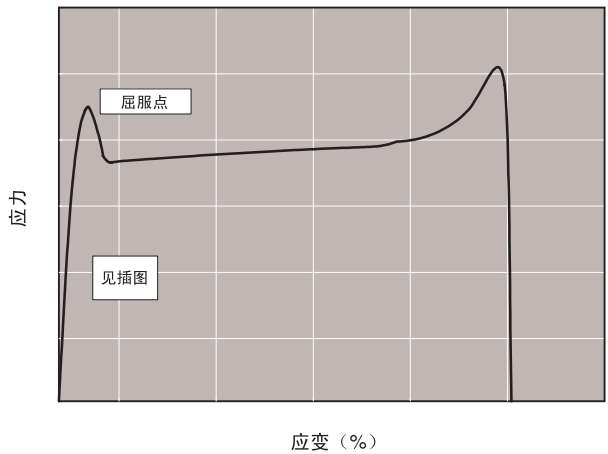


图 2

应力 — 应变曲线插图割线与切线模量的关系

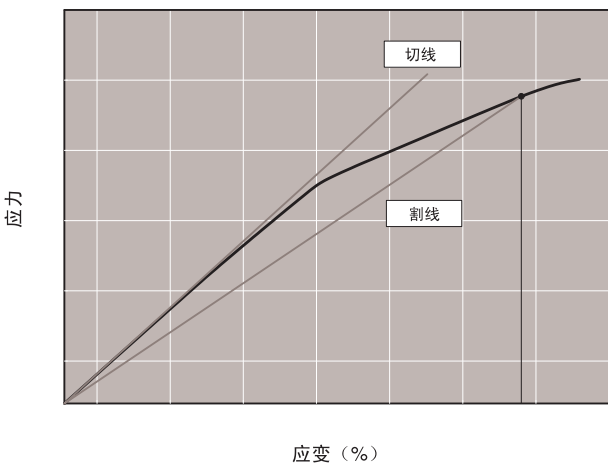


图 3 和 4 显示了未填充和玻纤增强 UDEL 聚砜的拉伸强度和模量。正如所预料的，添加玻璃纤维可同时提高强度和刚度。

图 3

玻璃纤维可提高拉伸强度

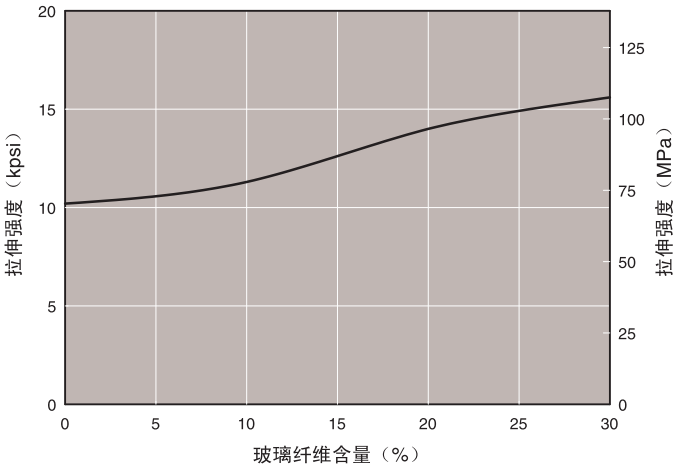
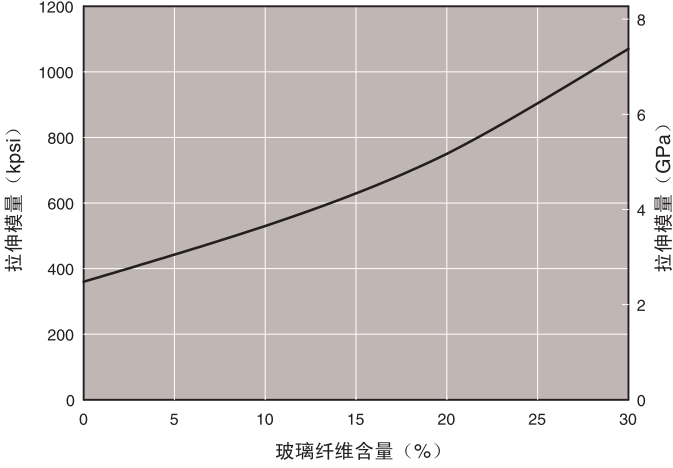


图 4

玻璃纤维可提高 UDEL 聚砜的刚度



咖啡煮滤壶部件

UDEL P-1700 聚砜使 Keurig Premium Coffee Systems™ 专利煮滤系统的生产成为可能。采用 UDEL 树脂制作的内部部件（加热壶盖、计量杯、配盖、漏斗和 K-Cup 支架）可长期承受高温环境，防止由于自来水中的酸、碱性矿物质和盐等典型杂质所导致的结垢现象。

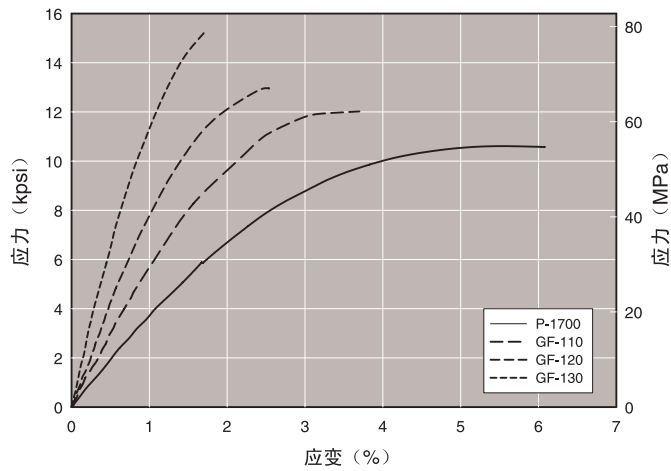


应力 — 应变曲线

纯 UDEL 聚砜和玻纤增强 UDEL 聚砜的拉伸应力 — 应变曲线如图 5 所示。

图 5

UDEL 树脂的拉伸应力 — 应变曲线



挠曲特性

挠曲特性的测量是按照 ASTM D 790 的方法 I，使用如图 6 所示的三点载荷法进行的。在该方法中，127 x 13 x 3.2 mm 的试样以两点支撑，而载荷被加在中间。试样会发生挠曲直至断裂或者其外层纤维应变达到 5%。

挠曲试验可为材料的弯曲行为提供信息。在该试验中，试棒同时受到张力和压缩的作用。

图 6

挠曲试验装置

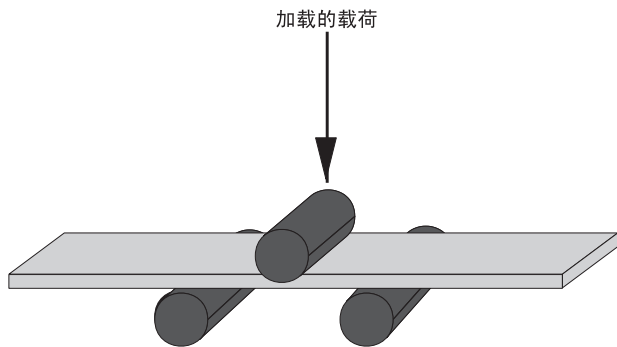


图 7

玻璃纤维可提高挠曲强度

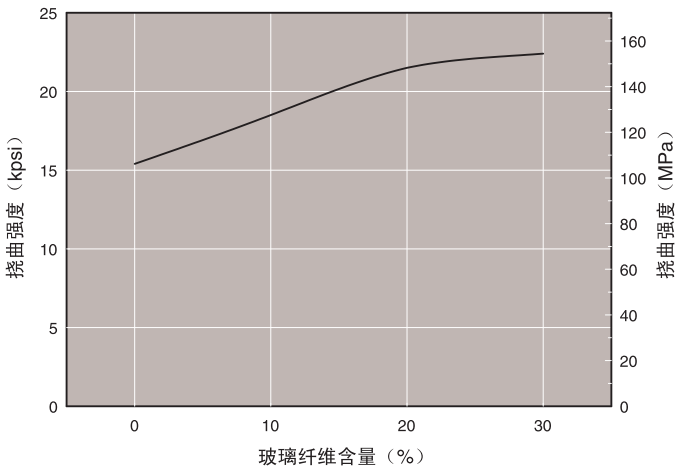
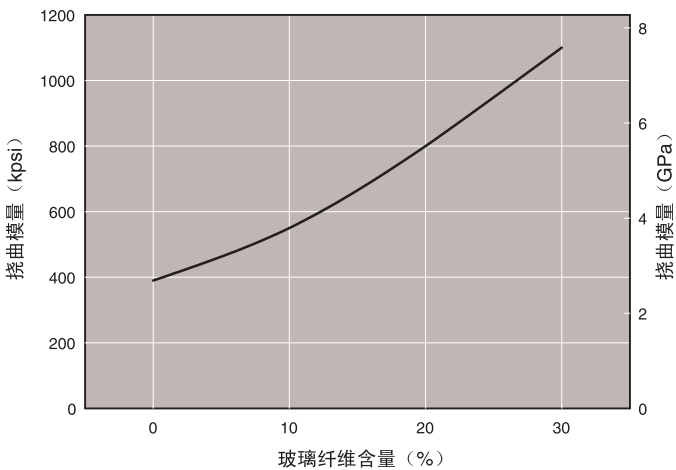


图 8

玻璃纤维可提高挠曲模量



压缩特性

压缩强度和压缩模量的测量都是按照 ASTM D 695 进行的。在此试验中把试样放在两块平行的金属板之间。对这两块金属板施加载荷，使金属板之间的距离逐渐减小，同时记录金属板之间的应力以及金属板之间的距离。该试样所能承受的最大应力（通常是断裂点的载荷）就是压缩强度，而应力－应变曲线的斜率则是压缩模量。

图 9

UDEL 树脂的压缩强度

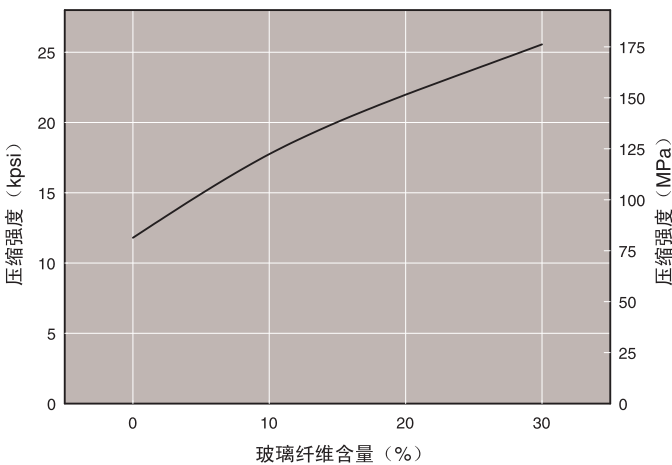


图 10

压缩模量

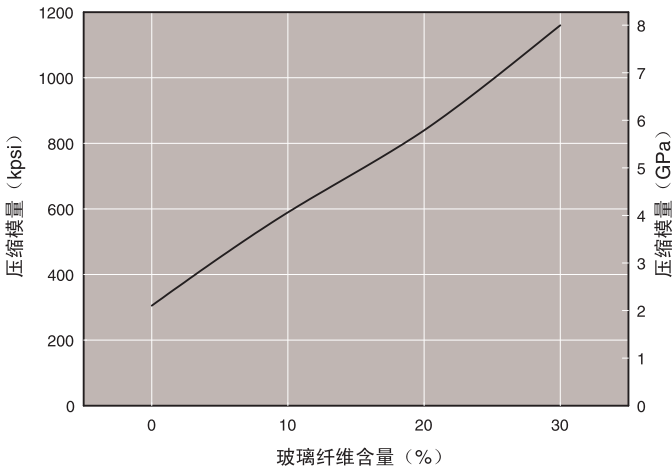


表 4

UDEL 聚砜的压缩特性

牌号	强度		模量	
	kpsi	MPa	kpsi	GPa
P-1700 / P-3500	13.9	96	374	2.58
GF-110	17.8	123	590	4.07
GF-120	22.0	152	840	5.79
GF-130	25.6	176	1,160	8.00

剪切特性

剪切特性的测量是按照 ASTM D 732 的测试方法进行的。该试验中把一张试样薄板放在一块钻孔的金属板上。将直径比金属板上的孔径稍小的冲子推过该材料，使能冲打出一个圆盘。其最大应力就是剪切强度。

表 5

UDEL 聚砜的剪切强度

UDEL 牌号		剪切强度	
		kpsi	MPa
P-1700	屈服点	6.0	41
P-1700	断裂点	9.0	62
GF-110	断裂点	8.1	56
GF-120	断裂点	8.4	58
GF-130	断裂点	8.6	59

冲击特性

由于聚合物是粘弹性体，它们的各种特性与载荷的加载速率有关。当加载速率很快时，称零部件遭受到的是冲击载荷。

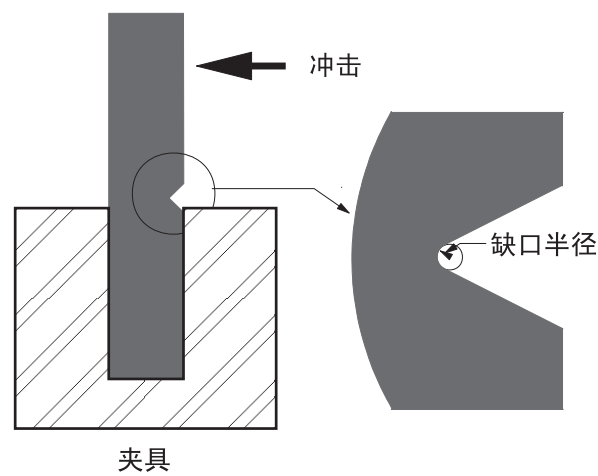
常见冲击载荷实例为坠落试验。在该试验中将一个塑料件从已知高度坠落到一个坚硬平坦的表面（如混凝土地面）上。如果塑料件在碰撞后不受损害，那么它就必须能够吸收由于冲击而迅速传递到部件的能量。吸收能量的能力是由塑料件形状、大小、厚度及塑料本身的特性所决定的。目前所用的耐冲击性试验方法并不能提供设计者可用来进行分析的资料。这些试验只能用来确定相对耐冲击性以及比较材料的相对缺口敏感度。

缺口伊佐德（Izod）

缺口伊佐德（Izod）试验（ASTM D 256）是最广泛使用于聚合物材料比较的方法之一。该试验中的试样上有一个符合规定尺寸的机械加工的缺口。然后如图 11 所示用摆锤击打该缺口试样。

图 11

伊佐德（Izod）冲击测试装置



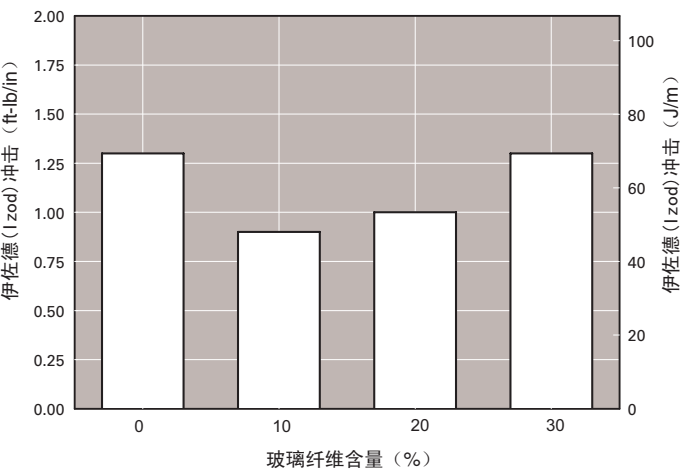
摆锤在冲击之后会继续摆动，但由于撞击作用会使其能量减小。所失去的能量就是伊佐德（Izod）冲击强度，其单位为焦耳 / 米板厚。

要让材料在冲击条件下受到破坏，就需要有一道裂缝形成，然后从这道裂缝向试样内蔓延。在缺口伊佐德（Izod）试验中，缺口就是起着裂缝的作用，而试验所主要测量的是材料的耐龟裂蔓延性。如果进行试验时试样上没有缺口，那它肯定会先形成裂缝然后再蔓延。

缺口伊佐德（Izod）冲击试验的结果如图 12 所示。

图 12

UDEl 聚砜的伊佐德（Izod）冲击



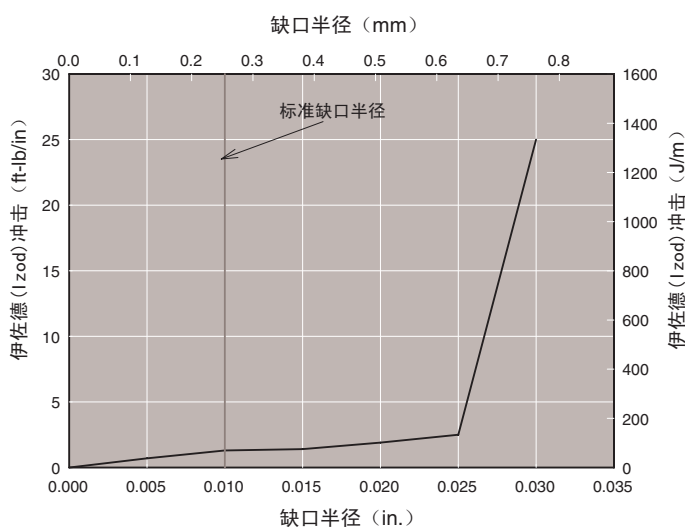
缺口敏感度

伊佐德 (Izod) 冲击试验的标准缺口半径为 0.254 mm。为了评估缺口的锐度对 UDEL 聚砜冲击强度的影响，试验中准备了多种不同缺口半径的试样。然后依照 ASTM D 256 对试样进行测试。如图 13 所示的结果清楚地表明，缺口半径小于 0.76 mm 会造成脆性破坏，而半径大于 0.76 mm 时材料不仅延展性很好，而且韧性好。

一般而言，要尽可能让拐角半径大于 0.76 mm，以避免由于应力高度集中而造成脆性破坏。

图 13

UDEL P-1700 聚砜在不同缺口半径时的伊佐德 (Izod) 冲击



卡毕 (Charpy) 冲击

卡毕 (Charpy) 冲击试验是按照 ISO 试验方法 179 进行的。该试验与缺口伊佐德 (Izod) 试验类似，其试样上也有机械加工生成的缺口。两者的主要区别在于：在卡毕 (Charpy) 试验中，试棒在两端受支撑，所冲击的是试棒的中部；而在缺口伊佐德 (Izod) 试验中则夹住试棒的一端，冲击其另一端。这两个试验的装置状况分别显示在图 11 和 14 中。在计算方式上两者亦不同。在伊佐德 (Izod) 缺口试验中，用能量除以试样的厚度，所得结果以英尺磅 / 英寸或者焦耳 / 米为单位来表示。在卡毕 (Charpy) 试验中，是以能量除以试样的横截面积，所得结果以英尺磅 / 平方英寸或者焦耳 / 平方米为单位来表示。

图 14

卡毕 (Charpy) 冲击试验

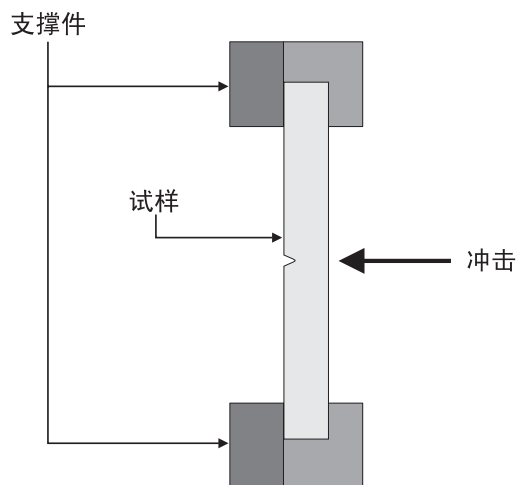
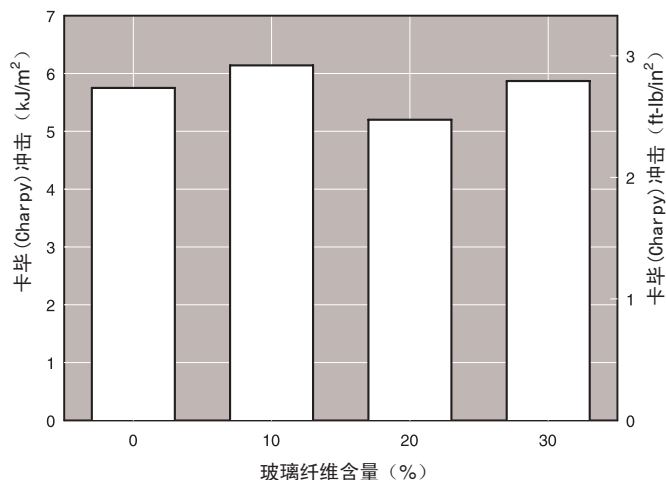


图 15

UDEL 聚砜的卡毕 (Charpy) 冲击强度



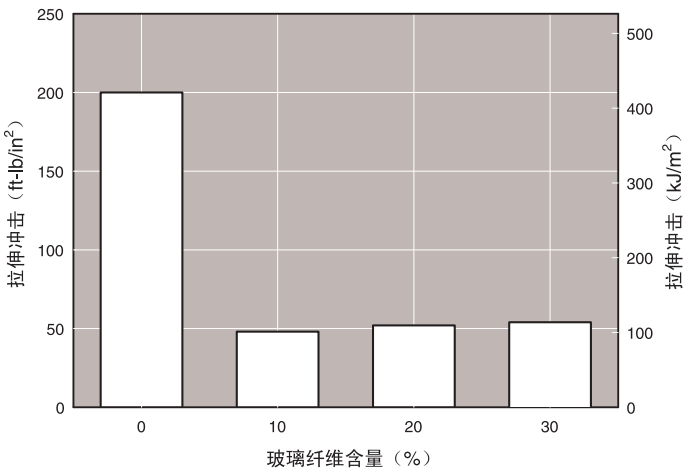
拉伸冲击

拉伸冲击试验与伊佐德（Izod）冲击试验类似，两者都使用摆锤。把有缺口试样的一端固定在底座而代替为固定在悬梁上，以高速弯曲或挠曲击打另一自由端试验，主要给试样施加高速的拉伸载荷。该试验所测量的是塑料内在固有的耐冲击性。试样上没有缺口或其它可使其产生裂缝的地方。

该试验所采用的是 ASTM D 1822 中所描述的方法，试验结果如图 16 所示。

图 16

UDEL 聚砜的拉伸冲击



抛落冲击

另一种测定相对耐冲击性的方法就是把一个物体抛落到试样上，然后记录碰撞时是否对试样产生损害。多种不同的标准试验方法，它们分别使用不同的试样、试样支撑以及不同大小和形状的落锤。这里所采用的试验方法是 ASTM D 5420，即抛落重锤冲击平坦刚性的塑料试样耐冲击性（加德纳冲击）试验。

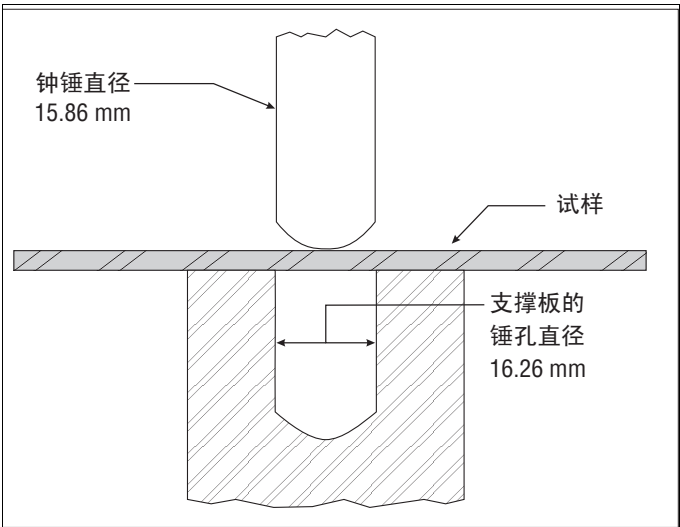
试验中把试样放在支撑板上，然后把钟锤放在试样上。让加重重锤从不同高度下落到试样上，然后记录撞击对试样所产生的作用。如果试样上出现可见的裂缝，则表明试样遭到破坏。50% 试样破坏的能量定义为平均破坏能。平均破坏能等于物质常数与平均破坏高度的乘积。

所用试样的厚度为 3.2 mm。在试验方法所列出的诸多可选几何形状中，选用了 GC。图 17 显示了几何形状 GC 的详细情况。

采用该试验方法所测得的 UDEL P-1700 聚砜的耐冲击性为大于 20 焦耳。

图 17

加德纳冲击详图



泊松比

泊松比是指在比例极限内横向应变与纵向应变的比值。例如，考虑一个受到拉伸应力的圆柱体。在长度（L）增加的同时其直径（D）会减小。泊松比（ ν ）可以通过下列公式计算出来：

$$\nu = \frac{-\frac{\Delta D}{D}}{\frac{\Delta L}{L}}$$

泊松比的测量是按照 ASTM 试验方法 E 132 进行的。

表 6

UDEL 聚砜的泊松比

UDEL 牌号	泊松比
P-1700	0.37
GF-110	0.43
GF-120	0.42
GF-130	0.41



打印机墨盒

采用 UDEL® 树脂可使喷墨打印机墨盒享有多重的性能优势。该材料卓越的耐化学性使墨盒能经受住与打印墨水的接触，而其可用超声焊接的能力和耐高温性则是能制造出结构坚固的墨盒所用生产技术的關鍵。此外，UDEL 树脂优良的尺寸稳定性可确保制造这些精密部件所需的精密公差。

长期蠕变特性

材料对机械载荷的反应，受应变施加速率和载荷的施加状态影响。聚合物材料比大多数金属材料表现出更大的非线性特征。设计者必须注意到，持续的应力所产生的形变会比由短期模量所预测的形变更大。

当一根棒状聚合物材料受到持续应力的作用时，其尺寸会由于受应力的作用而产生变化。载荷瞬时的尺寸变化可通过弹性模量估算出。如果持续施加应力，尺寸会继续改变。这种连续对应力的反应通常称为蠕变，可通过测量应变随时间的变化而得到。

在拉伸状态下，试棒在应力下会随作用时间而伸长。应变此名词就是用来描述这种情况的，它的数值等于长度的增加量或长度的增加量除以原始长度。

蠕变也可以在弯曲或挠曲状态下，或者在压缩状态下观察到或测量到。在挠曲状态下，应变是指弯曲的外层表面所伸长的量。在压缩状态下，试棒实际上会缩短，而应变值就是指缩短的量。

在设计部件时，常考虑到材料的强度、刚度及耐冲击性等短期特性。通常会计算出最大形变量，因为形变会影响部件的功能。当部件持续或长期受到应力的作用，其形变程度会比根据短期特性预测的值要大。

应用表观模量或蠕变模量可以更准确地预测形变。表观模量值为，让试样受力一定时间后，把所施加的应力除以测得的应变即得此数值。使用表观模量可以更准确地预测材料在长期受力后的形变值。

拉伸蠕变

图 18 显示了纯聚砜在 99 °C 空气中测得的拉伸蠕变。

图 19 显示了在 149 °C 测得的该特性。

图 18

UDEl PSU 在 99 °C 空气中的拉伸蠕变

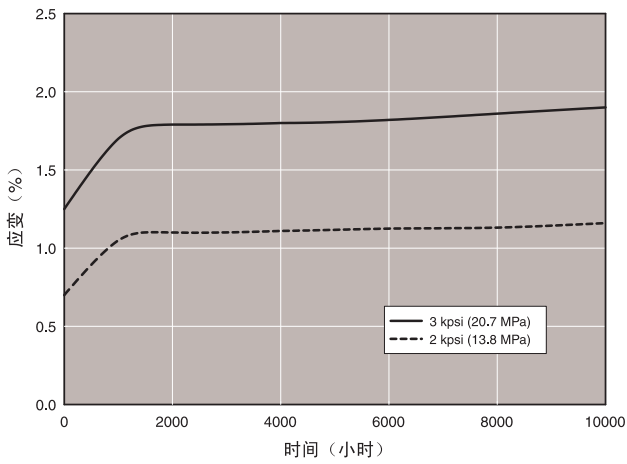
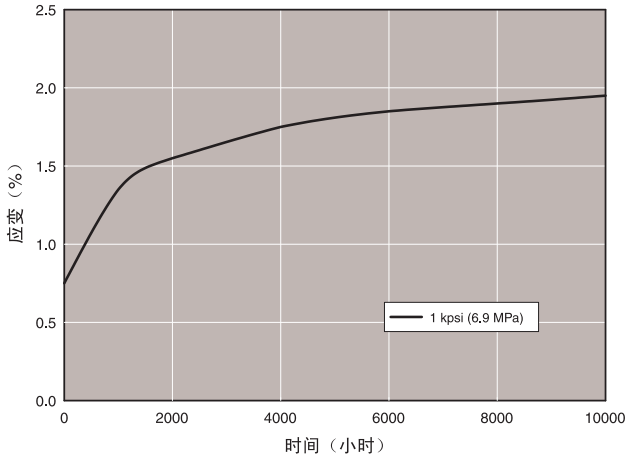


图 19

UDEl PSU 在 149 °C 空气中的拉伸蠕变



水中的拉伸蠕变

图 20 和 21 显示了聚砜浸入在水中的抗蠕变性。在室温下施加恒定 13.8 MPa 应力下持续 20,000 小时后，其蠕变为 1.17%。当将应力增大到恒定 20.7 MPa 时，其 20,000 小时后的蠕变也只有 1.55%。

此极佳的抗蠕变性同样可以在 60 °C 观察到，当施加恒定 10.3 MPa 的应力，作用 10,000 小时后其蠕变为 1.19%。在 60 °C 时，施加恒定 13.8 MPa 的应力作用，10,000 小时后蠕变也只有 1.7%。

图 20

UDEL PSU 在 23 °C 水中的拉伸蠕变

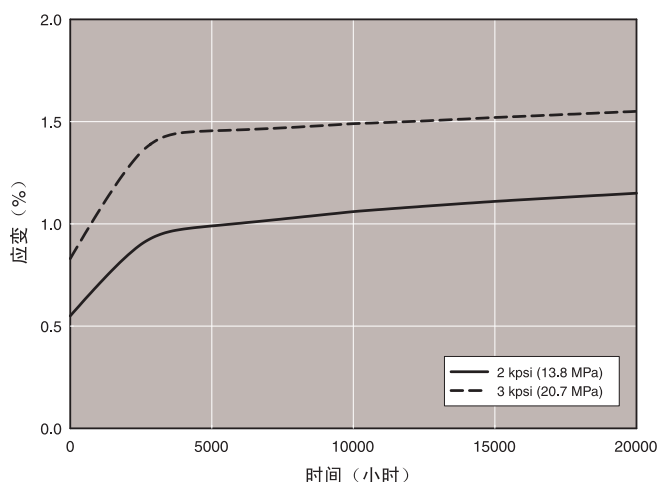
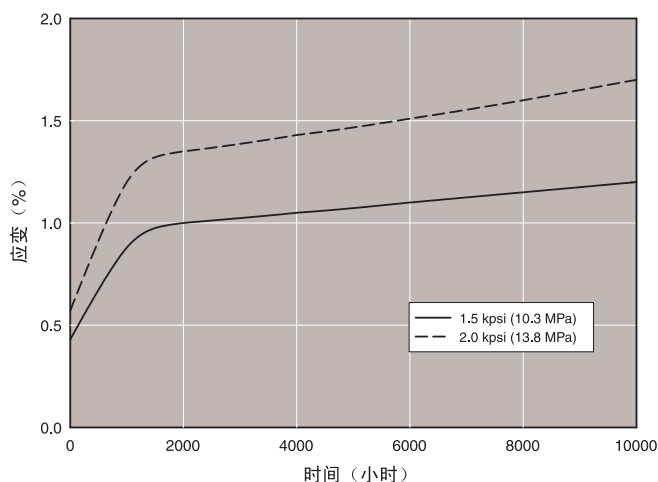


图 21

UDEL PSU 在 60 °C 水中的拉伸蠕变

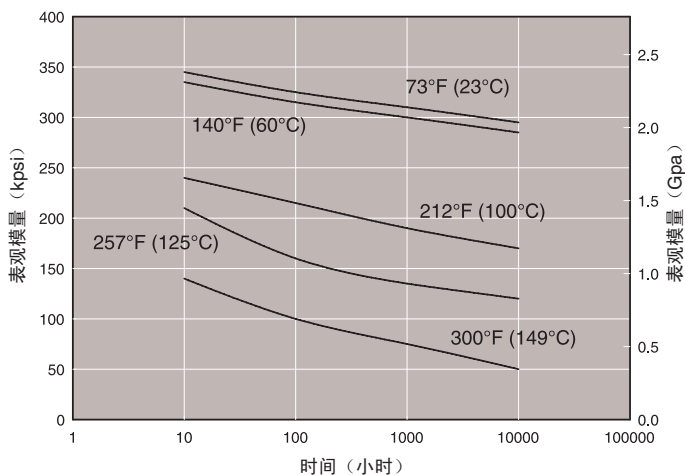


表观模量或蠕变模量

图 22 所示为聚砜在不同温度下的表观模量，这些曲线是由不同温度下拉伸状态和挠曲状态时受到应力而产生的应变计算得到的。

图 22

未填充 UDEL 聚砜的蠕变模量



热特性

材料受环境温度影响所产生变化的方式称为该材料的热特性。这些响应包括强度和刚度的变化，尺寸的变化，因热分解或氧化分解所造成的化学变化，软化、熔化或变形，因温度改变产生形态改变及一些简单变化。在本刊中的加工一节会讨论熔化后材料的各种特性。材料在燃烧时的各种状态则会在燃烧特性一节中讨论。

玻璃转化温度

一般情况下，聚合物材料在受热后刚度会逐渐降低，直到转变为橡胶态。材料从玻璃态转化为橡胶态的温度称为**玻璃转化温度** (T_g)。由于在该温度下材料会发生一些根本变化，所以该温度非常重要。这些变化包括聚合物的自由体积、折射率、焓及比热的变化。

玻璃转化温度是采用差示扫描量热法（DSC）测定的。采用此方法时，热容开始变化时的温度即为玻璃转化温度。通常将所测得的温度约到其最接近的 5 °C。用这种方法所测得的 UDEL 聚砜玻璃转化温度 T_g 为 185 °C。

另一种常用的方法是取 DSC 热容转变的中点作为 T_g 的值。用这种方法得到的 T_g 则是 190 °C。

机械特性的变化

随着环境温度的升高，热可塑性材料会越来越软，直至变成流体。在变成流体之前，可通过将弹性模量与环境温度作图来监测材料的软化情况。

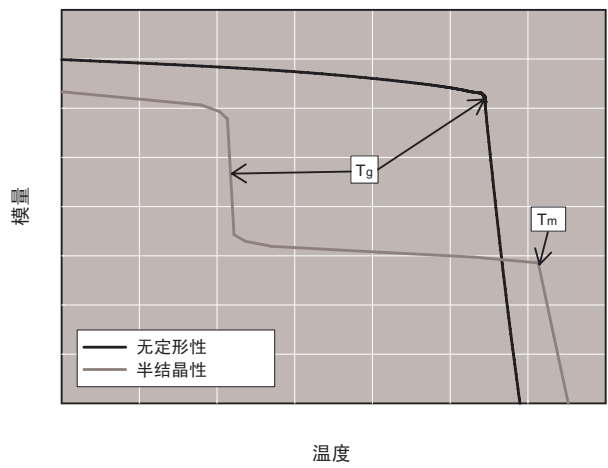
热塑性树脂的分类

热塑性树脂通常可分成两类：非结晶性和半结晶性。图 23 显示了这两种树脂通常随温度的变化有不同的反应。在到达玻璃转化温度 (T_g) 前，非结晶性塑料的模量随温度的升高慢慢减小。非结晶性塑料的使用温度一般不能高于其玻璃转化温度。

在到达玻璃转化温度前，半结晶性树脂模量的变化同非结晶性树脂类似。而在 T_g ，其模量很快降到一个较低的值，但会保持在这个新值附近直至到达其熔点 T_m 。半结晶性树脂通常都是经过增强的，常常会在环境温度高于其玻璃转化温度但低于其熔点的情况下使用。

图 23

模量随温度的典型变化



温度对拉伸特性的影响

图 24 显示了环境温度的上升对纯聚砜和玻璃纤维增强聚砜的拉伸强度的影响。图 25 显示了相同的变化对拉伸模量的影响。

图 24

拉伸强度与温度的关系

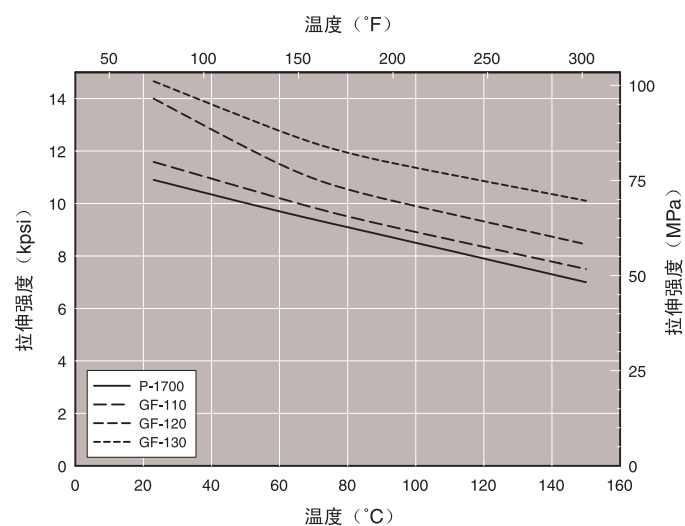
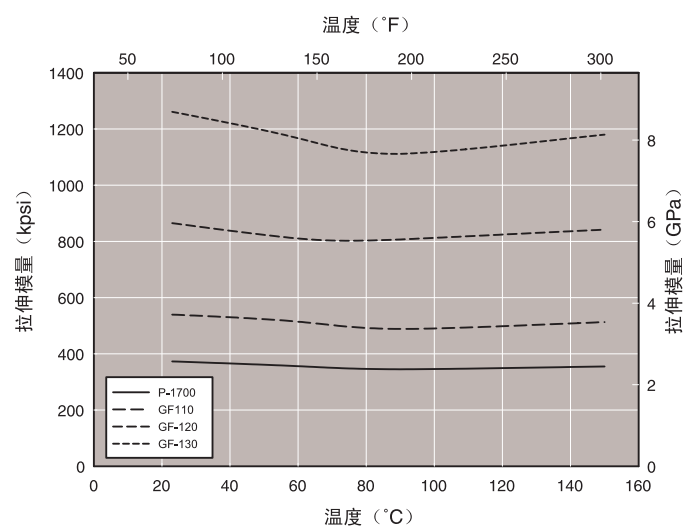


图 25

拉伸模量与温度的关系



温度对挠曲特性的影响

温度对纯聚砜和玻纤增强聚砜的挠曲强度的影响如图 26 所示。温度对挠曲模量的影响如图 27 所示。

图 26

挠曲强度与温度的关系

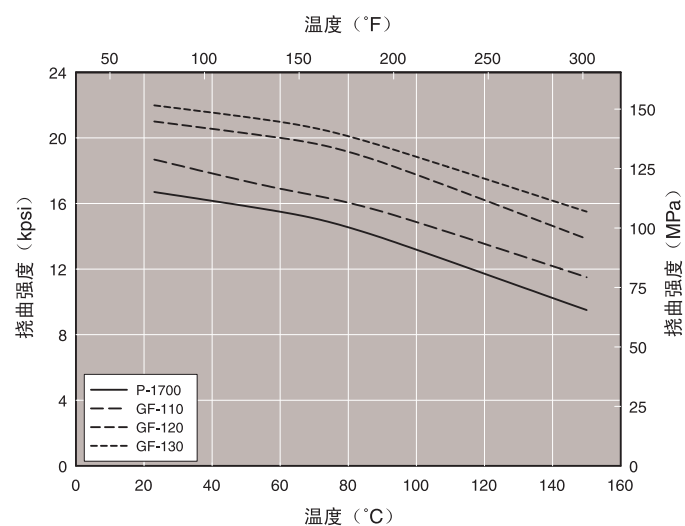
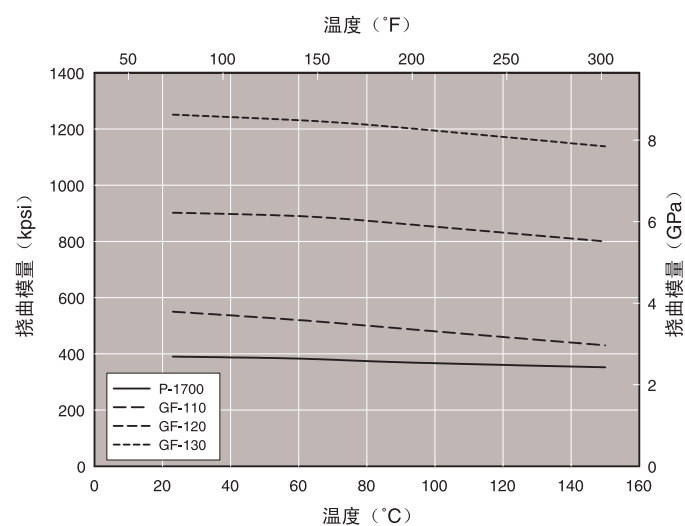


图 27

挠曲模量与温度的关系



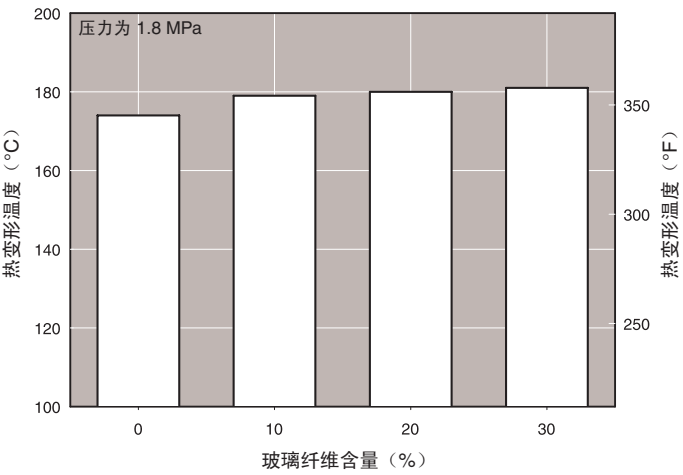
载荷下变形温度

短期热性能的一种量度是采用 ASTM 试验方法 D 648 方法中所描述的挠曲载荷试验所测得的变形温度。在该试验中，要求把长为 127 mm 的试棒放在两个相隔 102 mm 的支撑物上。给试棒施加载荷至其外层纤维应力达到 0.45 MPa 或 1.82 MPa。当温度以每分钟 2 °C 的速率升高时监测试棒的纵向形变。当纵向形变达到 0.25 mm 这个规定的终点时，记录下此时的温度。这个温度就是变形温度。变形温度也常常被称为热翘曲温度或热变形温度（HDT）。

该试验所测量的是当试验应力为 0.45 MPa 时材料的挠曲模量大约是 240 MPa 或者当试验应力为 1.8 MPa 时材料的挠曲模量大约是 965 MPa 的变形温度。

图 28 所示为四个牌号的 UDEL 聚砜在应力为 1.8 MPa 时的变形温度。

图 28
UDEL 树脂的热变形温度



热膨胀

随着温度的升高，大多数材料的尺寸都会增大。尺寸增大的量由下式给出。

ΔL = αL₀ΔT

其中：L₀ 是原始长度，而 ΔL 和 ΔT 则分别是长度和温度的变化值。线性热膨胀系数 (α) 的测量依照 ASTM D 696 进行。

表 7 所列为在室温附近测得的 UDEL 聚砜和一些普通金属的线性热膨胀系数（CLTE）。

表 7

线性热膨胀系数			
材料		ppm/°F	ppm/°C
UDEL P-1700	FD*	31	56
	TD	31	56
UDEL GF-110	FD	22	40
	TD	27	49
UDEL GF-120	FD	13	23
	TD	27	49
UDEL GF-130	FD	10	19
	TD	27	49
锌压铸合金		15	27
铝压铸合金		14	25
不锈钢		10	18
碳钢		8	14

*FD = 流动方向，TD = 横向

热膨胀系数受下列因素的影响：所测量的温度范围、所测量的尺寸以及在试样加工时材料的流动情况。图 29 显示了温度和流动方向对 UDEL P-1700 塑料的膨胀系数的影响。因为这是一种未填充的非结晶性塑料，所以其系数值基本上与流动方向无关，而只是与温度稍微有关。

图 30 显示了 UDEL GF-110（10% 玻纤增强）的这种关系。玻纤增强的作用主要体现在流动方向上，排列在这个方向上的玻璃纤维阻碍了热膨胀，使热膨胀系数减小。在同流动方向垂直的面上，也就是在横向上，热膨胀系数基本与未填充树脂相同。

UDEL GF-120（20% 玻纤增强）的热膨胀系数如图 31 所示。流动方向上的线性热膨胀系数（CLTE）有实质性减小，说明玻璃纤维在流动方向上的取向有明显的效果。

UDEL GF-130（30% 玻纤增强）的热膨胀系数如图 32 所示。玻璃纤维基本上将流动方向上的膨胀量减小到未填充树脂的一半。这些试样的几何形状有利于玻璃纤维朝着流动方向排列。而在实际部件中，流动方向可能会更复杂，因而实际的膨胀系数会处于所列出的各值之间。

当把具有不同热膨胀系数的材料连接组成构件时，就会产生热应力。通过图 29 至 32 中所给出这些数值，设计工程师能够计算出由于热膨胀所导致的任何热应力的大小。

图 29
UDEP P-1700 的线性热膨胀系数与温度的关系

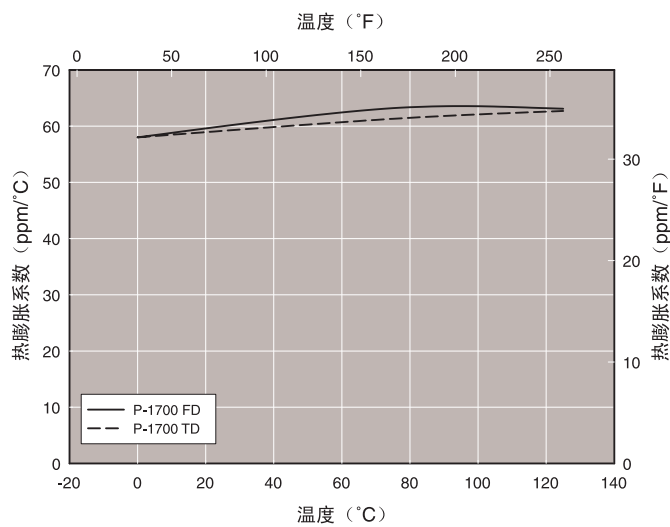


图 31
UDEP GF-120 的线性热膨胀系数与温度的关系

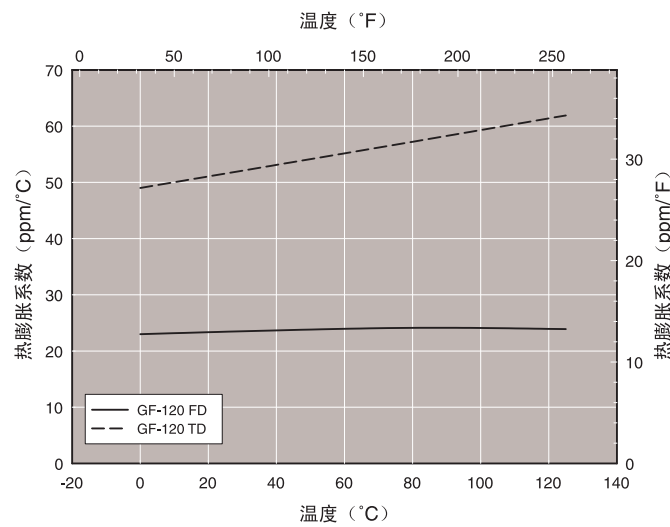


图 30
UDEP GF-110 的线性热膨胀系数与温度的关系

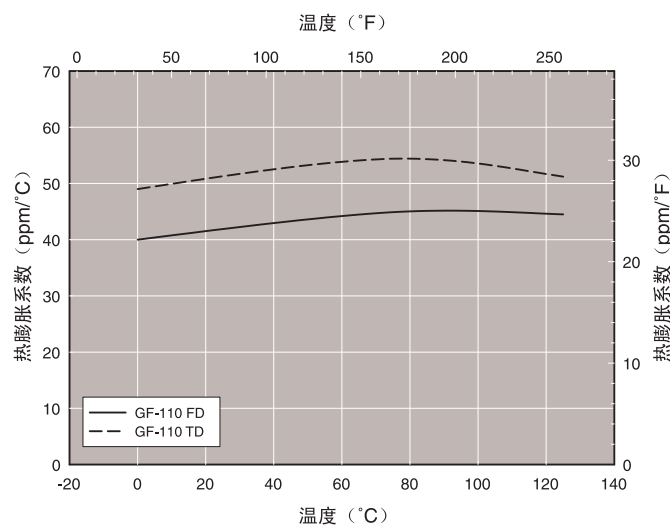
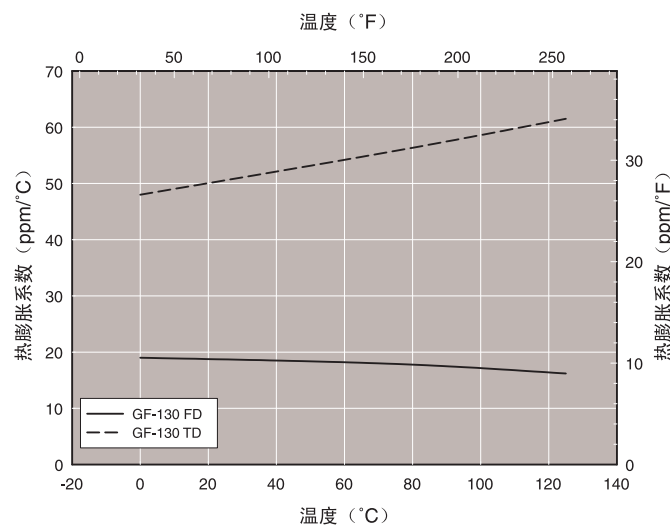


图 32
UDEP GF-130 的线性热膨胀系数与温度的关系



导热率

聚合物材料一般是热的不良导体。对于许多应用而言这是所期望的，因为聚合物材料可以被用于提供热绝缘。表 8 列出了 UDEL 聚砜塑料及一些其它常用材料的相对导热率，它们是采用 ASTM 试验方法 E 1530 测量得到的。

表 8

导热率

材料	导热率	
	Btu-in/hr-ft²-F	W/mK
UDEL P-1700	1.80	0.26
UDEL GF-110	1.32	0.19
UDEL GF-120	1.38	0.20
UDEL GF-130	1.52	0.22
不锈钢	140-250	20-37
碳	36-60	5-9
木料（碎木板）	12	1.7
橡胶	1.00	0.14

维卡软化点

该试验（ASTM D 1525）所测量的，是在以每小时 50 °C 的匀速加温的情况下，圆形截面积为 1 mm² 的平底针在 1 kg 的载荷下穿入试样 1 mm 深时的温度。对 UDEL 聚砜的测量结果列于表 9 中。

表 9

维卡软化点

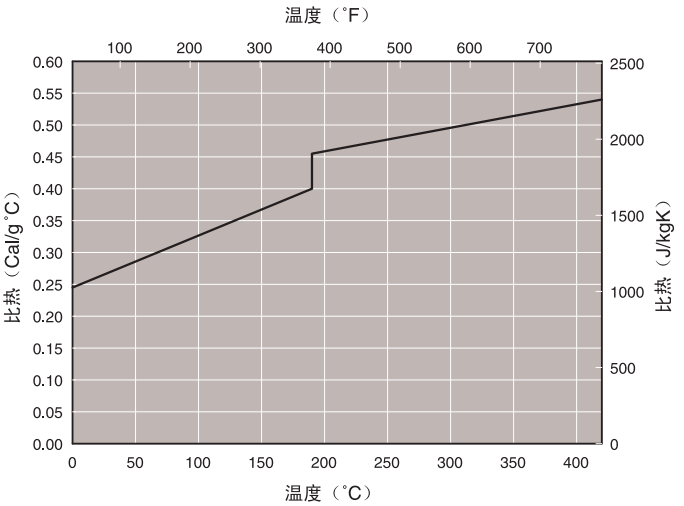
UDEL 牌号	维卡软化点	
	°F	°C
P-1700	370	188
GF-110	378	192
GF-120	378	192
GF-130	378	192

比热

比热是指将一个单位质量的物体的温度改变 1 °C 所需要的热量。聚砜的比热与温度的变化关系如图 33 所示。

图 33

UDEL 聚砜的比热



恒温水龙头阀芯

FM Mattsson 公司选择了 UDEL 聚砜取代黄铜作为其淋浴器和浴盆的恒温阀。这种恒温阀自二十世纪八十年代初开始生产，经验证可防止影响阀门操作的矿物质结垢和腐蚀。

比容

PVT（压力、体积、温度）数据是描述材料的可压缩性和体积膨胀系数的状态热力学平衡参数。当利用可压缩流体运动方程的算法进行充模分析时，通常要用到这些特性。

要测量试样在不同温度和压力下的体积变化情况时，最好选用膨胀测定法。在高压膨胀测定法的装置内，把模制的材料试样放在压力可变的流体中。用波纹管测量试样的体积随温度和压力的改变而发生的实际变化量。

UDEl 聚砜的比容数据列在表 10 和图 34 中。

图 34

UDEl 聚砜的比容与温度和压力的关系

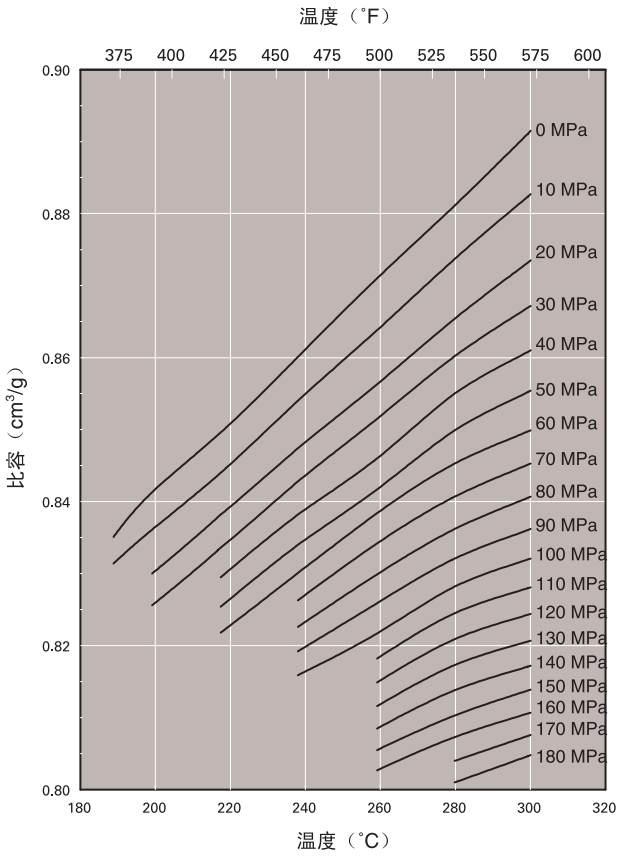


表 10

PSU 的比容（cm³/g）在液相时与温度和压力的关系

压力 MPa	温度（°C）						
	188.8	199.1	217.4	238.0	259.1	279.8	300.1
0	0.8351	0.8413	0.8496	0.8601	0.8710	0.8811	0.8915
10	0.8314	0.8361	0.8440	0.8540	0.8638	0.8737	0.8827
20		0.8300	0.8382	0.8474	0.8563	0.8654	0.8735
30		0.8256	0.8336	0.8428	0.8515	0.8602	0.8672
40			0.8295	0.8382	0.8443	0.8550	0.8610
50			0.8254	0.8340	0.8417	0.8499	0.8554
60			0.8218	0.8301	0.8384	0.8453	0.8499
70				0.8263	0.8347	0.8407	0.8453
80				0.8226	0.8299	0.8362	0.8407
90				0.8192	0.8259	0.8321	0.8362
100				0.8159	0.8217	0.8282	0.8321
110					0.8182	0.8245	0.8281
120					0.8149	0.8209	0.8244
130					0.8116	0.8171	0.8207
140					0.8085	0.8138	0.8172
150					0.8027	0.8103	0.8139
160						0.8073	0.8167
170						0.8040	0.8076
180						0.8010	0.8048
190							0.8020
200							0.7993

燃烧特性

UL 94 可燃性标准

由 UL 公司所制定的 UL 94 可燃性标准是一个可根据塑料材料的阻燃性能进行分类的体系。一种塑料材料的可燃性等级取决于该材料在受控实验室条件下对热和火焰的反应情况，可作为判定其可燃性是否适合某项特殊应用的初步指示。热可塑性材料对热与火焰的实际反应情况还取决于其产品的大小、形状以及其最终用途等其它因素。另外，诸如易点燃性、燃烧速度、火焰扩散、燃料贡献、燃烧强度以及所燃烧的产品等最终用途的应用特性，都会影响该材料的燃烧反应。

UL 94 标准由三种主要试验方法组成。它们分别为水平燃烧，20 MM 垂直燃烧试验及 500 MW 垂直燃烧试验。

水平燃烧试验

对于 94HB 分类等级，注塑试样的尺寸限制为长 125 mm，宽 13 mm，厚度为该等级所要求的最小厚度。把试样夹在水平位置，用 20 mm 的蓝火焰以 45 度角去接触未被夹住的试样另一端约 30 秒钟左右，直到燃烧锋面到达距离预先画好的离试条边缘 25 mm 处为止。移开火焰后，就可以计算出燃烧锋面从 25 mm 处燃烧到预先画好的 100 mm 处的燃烧速度。至少要用该方法测试三个试样。若一种塑料在试样厚度大于 3 mm 时的燃烧速度不超过 40 mm/min，或者采用厚度小于 3 mm 的试条时不超过 75 mm/min，则其就属于 94HB 等级。该等级也包括无法燃烧到 100 mm 参考标记的产品。

20 MM 垂直燃烧试验

根据对夹在垂直位置试样的试验结果，可将材料分类为 94V-0、94V-1 或 94V-2 级。

20 MM 垂直燃烧试验比 94HB 试验更严格。该试验采用长 125 mm，宽 13 mm 以及该等级所要求的最小厚度（一般为 0.8 mm 或 1.57 mm）的试样。

把试样夹在垂直位置，用 20 mm 高的蓝火焰去接触所夹试样的底边。在接触了 10 秒钟后把火焰移开。当试样停止燃烧时，再次用火焰去接触 10 秒，然后移开。用该方法测试总共五个试样。表 11 列出了采用该试验对材料进行分类的标准。表 12 列出了所选牌号 UDEL 聚砜的燃烧等级。UDEL 树脂的最新等级情况可以在 保 险 商 实 验 所 (UL) 的 网 站 <http://data.ul.com/iqlink/index.asp> 中找到。

表 11
UL 对 V-0、V-1 或 V-2 材料分类的标准

标准条件	94V-0	94V-1	94V-2
每种试样的余焰时间， (t ₁ 或 t ₂)	≤ 10s	≤ 30s	≤ 30s
任何条件下的总余焰时间 (5 种试样的 t ₁ + t ₂)	≤ 50s	≤ 250s	≤ 250s
再次用火点燃后，每种独立试样的余焰加余烬时间 (t ₂ + t ₃)	≤ 30s	≤ 60s	≤ 60s
任何试样的余焰或余烬到达 夹具	否	否	否
棉花指示物被火焰颗粒或掉 落物点燃	否	否	是

表 12
UDEL 聚砜的 UL 94 等级

UDEL 牌号	厚度		等级
	mm	英寸	
P-1700	1.5	0.059	HB
	3.0	0.118	HB
	4.5	0.177	V-0
P-1720	1.0	0.039	V-1
	1.5	0.059	V-0
GF-110	1.5	0.059	HB
	3.0	0.118	HB
	4.4	0.173	V-0
GF-120	1.5	0.059	HB
	3.0	0.118	HB
	4.4	0.173	V-0
GF-130	1.5	0.059	V-1
	3.0	0.118	V-0

氧指数

ASTM 试验方法 D 2863 方法将氧指数定义为：在该试验方法所规定的条件下，使处于室温下的材料维持有焰燃烧的氧氮混合气中氧气的最低浓度（以体积百分比表示）。

由于平常的空气中含有大约 21% 的氧气，如果一种材料的氧指数略高于 21，那么就可以认为这种材料具有耐火性，因为它只能在富氧的气氛中燃烧。

由表 13 所列的氧指数值可以看出， UDEL 聚砜是耐火性的。

表 13

UDEL 树脂的氧指数

UDEL 牌号	氧指数 (%)
P-1700	26
P-1720	32
P-3500	30
GF-110	31
GF-120	31
GF-130	32

自燃温度

材料的自燃温度是指：在没有点火源的情况下，由试样的自热特性引起点火或引起自身起火（表现为爆炸、火焰或持续发光）的最低环境空气温度。该特性是采用 ASTM D1929 方法测得的。

UDEL 聚砜 P-1700 的自燃温度是 550 °C，而 P-1720 的自燃温度是 590 °C。

骤燃温度

材料的骤燃温度是指：在规定的试验状况下，该材料释放出大量的可燃气体，在很小的外部引燃火焰的作用下可立刻点燃的最低温度。

UDEL 聚砜 P-1700 和 P-1720 的骤燃温度都是 490 °C。

烟气密度

材料在燃烧时会产生烟气。在许多应用中，所产生烟气的量和密度都是很重要的。

ASTM 试验方法 E 662 提供了一项相对烟气密度评估标准的技术。该试验最初是由美国国家标准局（NBS）开发的，因而常常被称为 NBS 烟气密度试验。

表 14 中的数据就是用该燃烧条件得出的。采用一个六管燃烧器让一排小火焰接触试样的整个底边。用一个垂直瞄准的光度测量系统，测量烟气积累时的透光率。从透光率即可计算出比光密度（ D_s ）。最大光密度用 D_m 表示。

表 14

UDEL 聚砜的烟气密度

测量参数	UDEL 牌号	
	P-1700	P-1720
1.5 分钟时的 D_s	1	2
4.0 分钟时的 D_m	65	16

灼热丝测试

塑料材料的支持点火和维持点火能力可以用标准的灼热丝测试来描述。该试验所模拟的，是在出现故障或过载操作期间，当裸露的带电导体与绝缘材料相接触时所出现的情况。所遵循的试验方法在 IEC 695-2-1/VDE 0471 的第 2-1 部分及 ASTM D 6194 中有介绍。

灼热丝测试的试验装置包括一个大规格的（10-14 AWG）镍—铬电阻丝回路、一根热电偶及一个试样安装架。

试验中电流通过镍—铬电阻丝回路，使其加热到预定的温度。然后将试样与电阻丝接触 30 秒钟。如果在两者分开后试样没有出现火焰或发光，或者即使出现火焰或发光但能在 30 秒钟后自动熄灭，则该试验通过。对材料周围各层的损害必须最小。

表 15

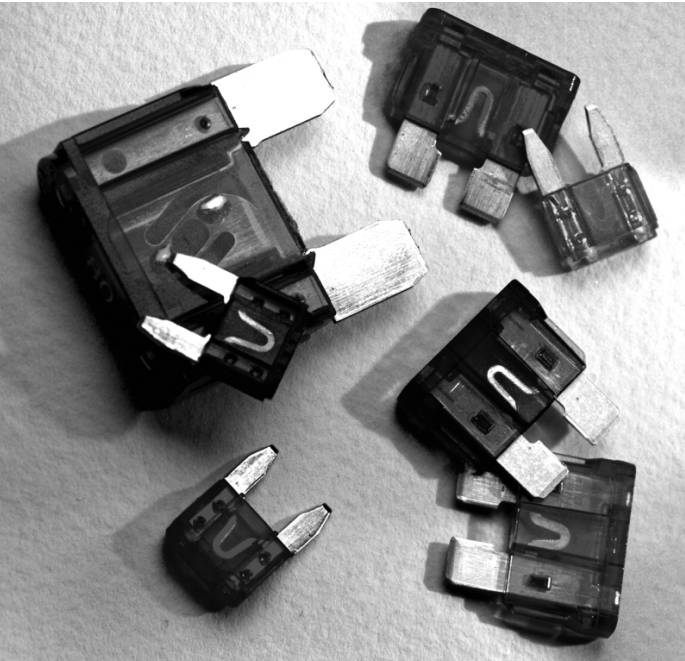
玻纤填充聚砜的灼热丝测试结果

UDEL 牌号	厚度 (mm)	点燃温度 (°C)
GF-120	0.8	875
GF-130	0.8	875

热稳定性

热重分析

热重分析（TGA）是评估材料热稳定性的方法之一。在该试验中，将少量的材料试样加热，同时持续监测其重量的变化。通常要进行两次试验，一次是在惰性的氮气中，另一次在空气中。两次试验结果之间的差异表明氧气在热分解中的重要作用。



汽车用插片式保险丝

插片式保险丝是汽车电路保护系统的关键部件之一。在出现异常的电力急剧上升或短路时，其工作的可靠性是保护汽车的电子和电气装置的关键。此外，保险丝盒通常位于汽车前盖的下面，那里的温度非常高，而且在有些情况下还会与具有化学腐蚀性的液体意外直接接触。用于制作插片式保险丝的塑料必须能够在汽车的使用寿命期间经受住这些条件而不会丧失其主要特征，如透明度、电绝缘体特性及韧度。

UDEL 聚砜是优良的插片式保险丝绝缘材料，尤其是较大电流的设计，对于这样的设计其它的非结晶性材料，如聚碳酸酯的热性能是无法满足要求的。此外，与昂贵的高温透明材料如聚醚酰亚胺相比，UDEL PSU 具有更大的成本效益优势。由于 UDEL P-1700 PSU 具有良好的透明性和高体积电阻率，以及其在高达 160 °C 的温度下连续使用不脆化并仍能保持这些特性的能力，因而它是全球普遍用于制作插片式保险丝的材料。

图 35 和 36 显示了 UDEL 聚砜具有内在固有的稳定性。在 426 °C 以下，没有明显的由于聚合物分解而产生的挥发性物质逸出。氮气中和空气中的 TGA 曲线在到达该温度之前是几乎一样的，表明通过氧化分解的途径几乎没有或非常有限。

图 35

氮气中的热重分析

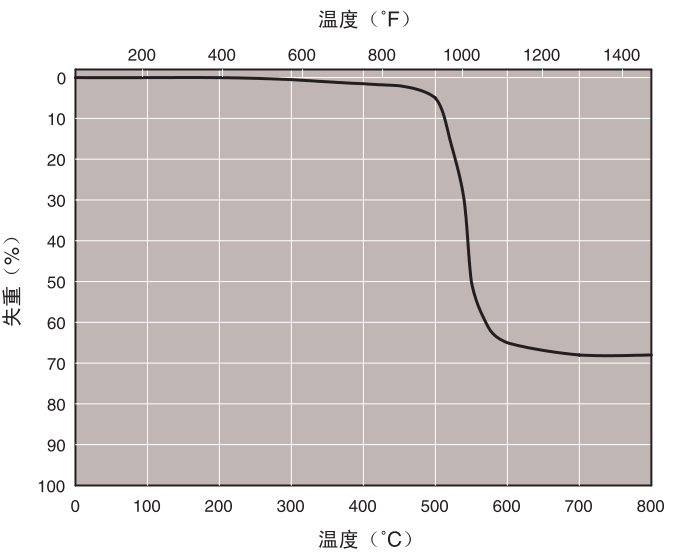
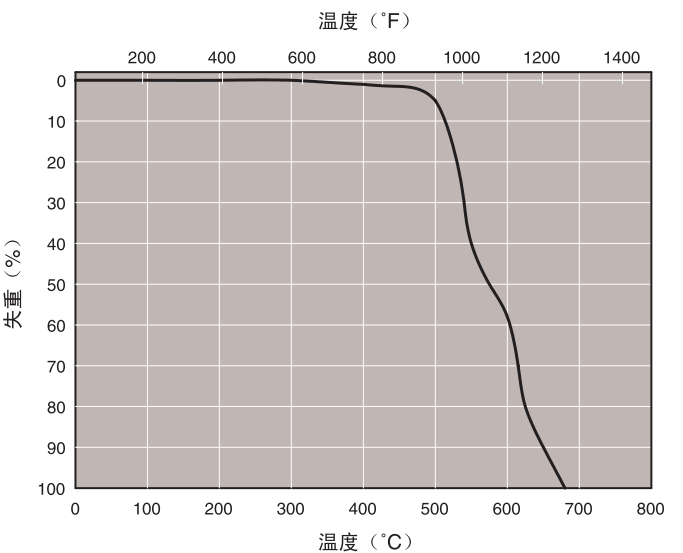


图 36

空气中的热重分析



热老化

聚合物的可承受长期使用温度受其热氧化稳定性的限制。为了评估高环境温度对 UDEL 聚砜特性的长期影响，在烘箱内对试样进行了多种不同温度的老化试验。周期性地将试棒取出，并在室温下测试其拉伸强度。

UDEL P-1700 塑料的热老化结果如图 37 所示，UDEL GF-130 的结果如图 38 所示。

图 37

热老化后 UDEL P-1700 的拉伸强度

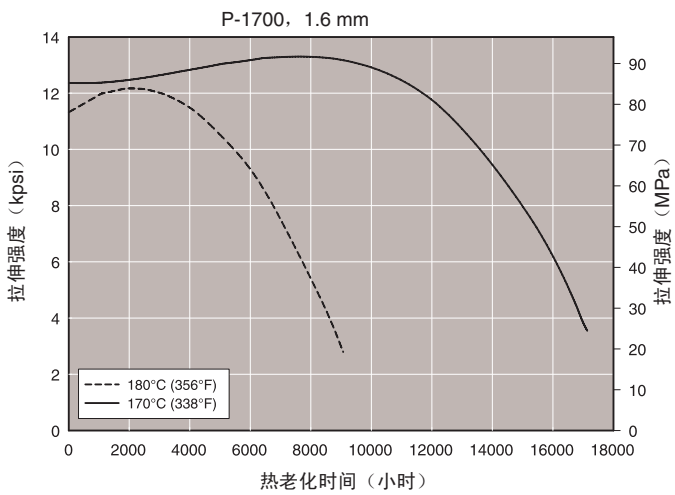
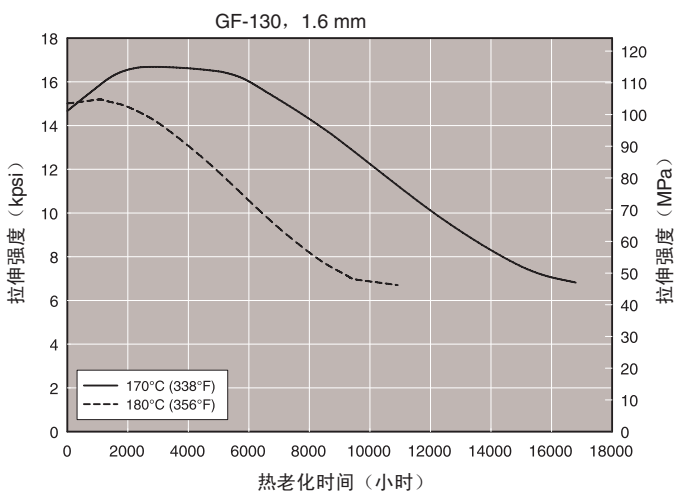


图 38

热老化后 UDEL GF-130 的拉伸强度



UL 相对热指数

按照保险商实验所 (UL) 的 746B 标准, 可利用与前面介绍类似的热老化数据来建立相对热指数。采用该方法可以确定材料在暴露 100,000 小时后仍然具有 50% 原始性能的温度。该指数温度通常被认为是最高连续使用温度。

UDEL 聚砜各主要牌号的相对热指数 (RTI) 如表 16 所示。最全面且最新的等级情况可从保险商实验所 (UL) 的网站上找到: <http://data.ul.com/iqlink/index.asp>。

表 16

UDEL 聚砜的部分 UL RTI 等级

牌号	厚度 (mm)	相对热指数 (°C)		
		电性能	机械性能, 有冲击	机械性能, 无冲击
P-1700*	0.51	160	140	160
P-1700**	1.5	160	140	160
P-1720*	0.51	160	140	160
P-1720**	1.9	160	140	160
P-3500*	0.51	160	140	160
GF-110**	1.5	160	140	160
GF-120**	1.5	160	140	160
GF-130**	1.5	160	140	160

*本色或无色

**所有颜色

电特性

热塑性树脂的许多应用依赖于其作为电绝缘体的功能。已有一些试验方法可供设计者对某一特定塑料绝缘功能的优劣进行判断。UDEl 树脂的电特性在第 10 和 11 页的表 2 和表 3 中列出。

介电强度

介电强度是材料抵抗高电压而不产生介电击穿能力的量度。将试样放置在电极之间，并通过连续步骤升高所施加的电压直到发生介电击穿，便可测得介电强度。尽管所得结果具有 kV/mm 的单位，但并不表明这与样品的厚度无关。因此，只有在样品厚度相同的条件下得到的各种材料数据才有可比性。

体积电阻率

体积电阻率的定义是材料每单位立方体积的电阻。该试验是按以下方式进行的：将材料在 500 伏特电压下保持 1 分钟，并测量所产生的电流。体积电阻率越高，材料用作电绝缘部件的效能就越高。

表面电阻率

材料的表面电阻率是指处在两电极之间的试样表面的电阻。将材料在 500 伏特直流电下保持 1 分钟，并测量所产生的电流。表面电阻率通常用欧姆或欧姆每平方表示。尽管材料的某一有限厚度确实导电，但该厚度是无法测量的，因此，该特性仅是一种近似的量度。

该数据最适合用于比较那些在不能有表面漏电情况下应用的材料。

介电常数

介电常数被定义为，用所试验材料作为电介质制得的电容器的电容与由真空取代电介质制得的相同电容器的电容之间的比率。绝缘材料有两种截然不同的使用方式：（1）用于支持部件并使它们相互隔离或与地隔离，以及（2）用作电容器的电介质。在第一种情况下，期望材料具有低的介电常数。在第二种情况下，高的介电常数则可使电容器的物理形体更小些。

损耗因数

损耗因数（也指损耗正切或 $\tan \delta$ ）用于测量交流电能被转换为热能的介电损耗（耗散的能量）。在一般情况下，都期望有低的损耗因数。

保险商实验所（UL）相对热指数

UL 相对热指数（RTI）通常是电气或电子装置需要考虑的内容之一。该指数并非是一种电特性，而是与材料的长期热稳定性有关。因此，材料的 UL RTI 等级在 31 页的表 16 中的热特性部分列出。

UL 746A 短期特性

标题为“聚合物材料短期特性评估标准”（*Standard for Polymeric Materials Short-Term Property Evaluations*）的保险商实验所（UL）746A 标准中包括了某些电特性，而这些电特性在性能级别分类表中也有所报告。对于每一试验，UL 都有特定的试验结果范围以及相应的性能级别分类。所期望的或最佳性能的 PLC 值被指定为 0。因此，该数值越低，材料的性能越好。UDEl 树脂的这些特性在 34 页的表 22 中列出。

高压、低电流干态耐电弧性（D495）

该试验是测量某一绝缘材料抵抗由局部的热分解以及化学分解和腐蚀形成导电通路的时间。该试验目的在于估计电流通常限制在 0.1 安培以下高压工作的交流回路中的工作条件。表 17 列出了耐电弧性与 UL 指定的性能级别分类之间的关系。

表 17

高压、低电流干态耐电弧性的性能级别分类（PLC）

数值范围（秒）		指定的性能级别分类
≥	<	
420		0
360	420	1
300	360	2
240	300	3
180	240	4
120	180	5
60	120	6
0	60	7

相比漏电起痕指数（CTI）

该试验所确定的是，试样在每 30 秒 1 滴的速率下经受 50 滴电解液的作用后，形成永久导电碳通路所需的电压。该试验被用来测量某一绝缘材料对起痕的敏感度。表 18 列出了相比漏电起痕指数与 UL 指定的性能级别分类之间的关系。

表 18

相比漏电起痕指数的性能级别分类

数值范围（伏特）		指定的性能级别分类
≥	<	
600		0
400	600	1
250	400	2
175	250	3
100	175	4
0	100	5

高压电弧起痕率（HVTR）

该试验所确定的是绝缘材料在高压、低电流电弧作用下表面起痕或形成明显碳化导电通路的敏感度。高压电弧起痕率是材料在标准试验条件下，表面能够产生导电通路的速率，其单位为每分钟毫米。表 19 列出了高压电弧起痕率与 UL 指定的性能级别分类之间的关系。

表 19

高压电弧起痕率的性能级别分类

数值范围（mm/min）		指定的性能级别分类
>	≤	
0	10	0
10	25.4	1
25.4	80	2
80	150	3
150		4

热丝点燃（HWI）

该试验所确定的是塑料材料抵抗被电热丝点燃的能力。在一定的操作或故障情况下，部件会变得异常热。当这些受热过度的部件与绝缘材料紧密接触时，绝缘材料可能会被点燃。试验的目的就是要确定在这种条件下绝缘材料抵抗被点燃的相对能力。表 20 列出了热丝点燃值与 UL 指定的性能级别分类之间的关系。

表 20

热丝点燃的性能级别分类

数值范围（秒）		指定的性能级别分类
<	≥	
	120	0
120	60	1
60	30	2
30	15	3
15	7	4
7	0	5

大电流电弧点燃（HAI）

该试验对绝缘材料抵抗电弧点燃的相对能力进行测量。在某些条件下，绝缘材料可能会处于电弧放电的环境中。如果电弧放电的强度剧烈并持久，绝缘材料会被点燃。表 21 列出了大电流电弧点燃值与 UL 指定的性能级别分类之间的关系。

表 21

大电流电弧点燃的性能级别分类

数值范围（秒）		指定的性能级别分类
<	≥	
	120	0
120	60	1
60	30	2
30	15	3
15	0	4

表 22

UL 746A 的短期电特性

PLC = 性能级别分类，0 为最好。

UDEL 聚砜牌号	厚度 (mm)	高压、低电流 干态耐电弧性	相比漏电起痕 指数	高压电弧起痕率	热丝点燃	大电流电弧点燃
		ASTM D495 秒 (PLC)	(CTI) 伏 (PLC)	(HVTR) mm/min (PLC)	(HWI) 秒 (PLC)	(HAI) 弧 (PLC)
P-1700	1.5	—	—	152 (4)	21 (3)	6 (4)
	3.0	39 (7)	(4)	—	21 (3)	6 (4)
	4.5	—	—	—	63 (1)	14 (4)
	6.0	—	—	—	91 (1)	16 (3)
P-1720	1.9	—	—	279 (4)	12 (4)	14 (4)
	3.0	61 (6)	135 (4)	135 (3)	27 (3)	19 (3)
	6.0	—	—	173 (4)	109 (1)	20 (3)
GF-110/GF-120	1.5	—	—	—	(3)	6 (4)
	3.0	(7)	165 (4)	—	97 (1)	7 (4)
GF-130	0.8	—	—	—	76 (1)	6 (4)
	1.5	—	—	—	98 (1)	6 (4)
	3.0	124 (5)	165 (4)	203 (4)	97 (1)	7 (4)
P-3500	0.5	—	—	—	—	—
	3.0	—	(4)	66 (2)	35 (2)	—
	6.0	—	—	71 (2)	101 (1)	—

耐环境性

耐候性

由于具有芳香醚主链，聚砜在室外暴露情况下易于化学分解。耐候性可以通过添加碳黑得以改进。

应该单独评估涉及在室外暴露条件下使用聚砜的情况，并考虑具体暴露条件和所需的材料特性。可使用保护性涂料或涂层以保持直接暴露在日光下的聚砜制品的特性。当应用对耐候性有特殊要求时，请与我们技术人员联系以获得帮助。

水解稳定性

水解稳定性可定义为耐水解或耐水侵蚀的能力，特别是耐热水侵蚀的能力。因此，水解稳定性是耐化学性中的一种特殊情况。由于水的普遍存在以及对许多聚合物的侵蚀性，水解稳定性就显得尤为重要。

长期暴露于热水

为了评估 UDEL 聚砜在热水管道系统中潜在的应用价值，就长期暴露于热水对聚合物物理和机械完整性的影响进行了测量。尽管大多数家用热水系统的最高使用温度为 60 °C，但试验同时还在 90 °C 下进行，以加速热水的作用。由于许多化学反应的速度每升高 10 °C 就增加一倍，因此在高于预期最高温度 30 °C 的条件下进行试验，可具有八倍的加速系数。

试验步骤

试验是在按传统方法注塑成型的标称厚度为 3.2 mm 的 ASTM D 638 (Type I) 拉伸试棒和 ASTM D 790 弯曲试棒上进行的。由模塑成型得到 102 mm x 102 mm x 3.2 mm 大小的薄板，以用于器械冲击试验。采用每端具有浇口的 ASTM D 638 Type I 拉伸试样的模具制得熔合线拉伸试样。该模具所制得的试样在测量区域的中心具有一条对接的熔合线。

将试样各自平放在恒温浴中的不锈钢丝盘上。所采用的水是美国佐治亚州阿尔法瑞塔市的市政供水。经加热后，该水是无氯的。

周期性地将试样从恒温浴中取出，不经干燥就进行试验。试验按照下列美国材料试验协会 (ASTM) 的试验方法在室温下进行。

- 拉伸强度、拉伸模量及伸长率 D 638
- 挠曲强度和挠曲模量 D 790
- 熔合线拉伸强度和伸长率 D 638
- 缺口伊佐德 (Izod) 冲击 D 256
- 拉伸冲击 D 1822
- 器械冲击能量 D 3763

试验结果

UDEL 聚砜材料拉伸强度的保持很好。UDEL P-1700 NT 和 UDEL GF-120 NT 拉伸强度的保持如图 39 所示。

如图 40 所示，UDEL P-1700 NT 断裂时的伸长率在早期有大的下降，而在整个余下的试验时间内仅有微小的变化。最初大的下降对韧性的非结晶性塑料比较典型，这是由于材料的物理退火或回火造成的。

图 39

暴露于 90 °C 水之后的拉伸强度

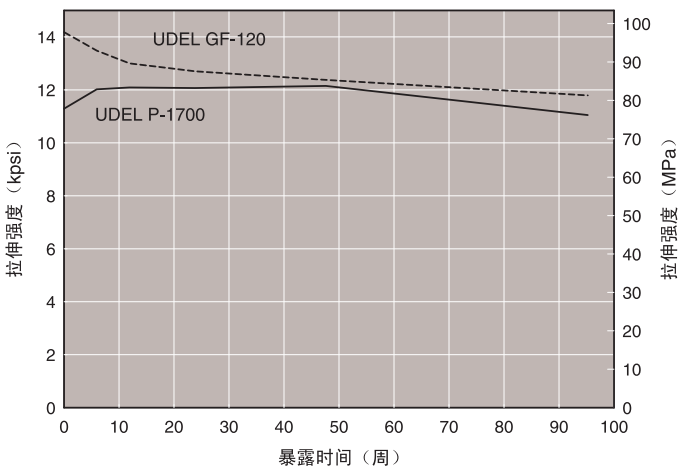
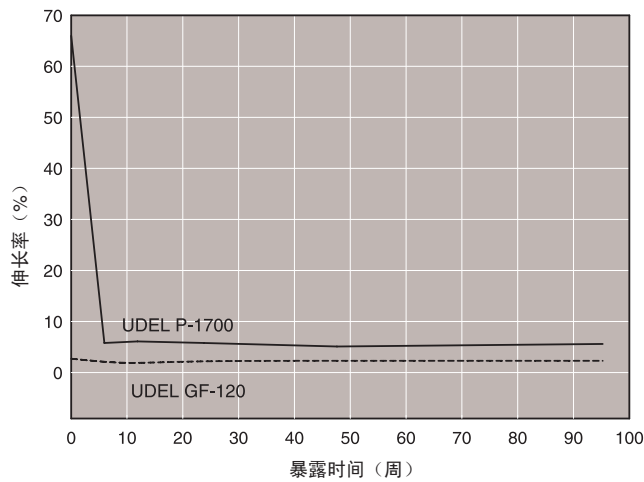


图 40

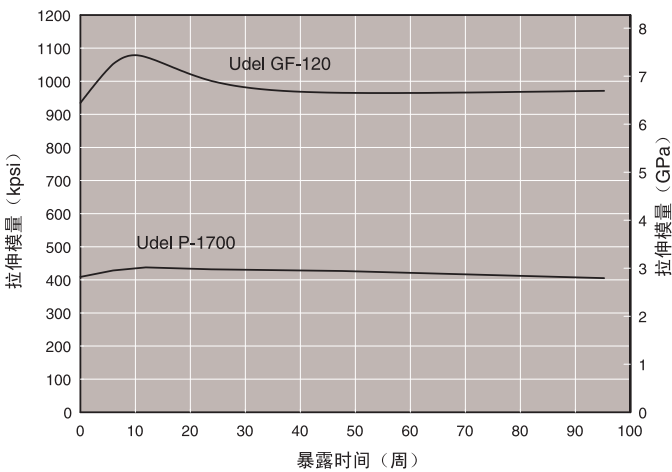
暴露于 90 °C 水之后的伸长率



暴露于热水对这些塑料的拉伸模量的影响如图 41 所示。暴露于热水中经过大约两年的时间后，模量的变化非常小。经暴露处理的试棒刚度和处理前基本上是一致的。

图 41

暴露于 90 °C 水之后的拉伸模量



通过缺口伊佐德 (Izod) 方法测得的暴露于热水对冲击强度的影响如图 42 所示。在暴露初期有较小的下降出现，随后逐渐变平。暴露于热水中经过大约两年的时间后，材料的冲击强度大概是未经暴露时的 80%。

如图 43 所示，UDEL 聚砜的熔合线强度非常好，这表明长期暴露于热水对该塑料的影响相当小。

图 42

暴露于 90 °C 水之后的缺口伊佐德 (Izod) 冲击

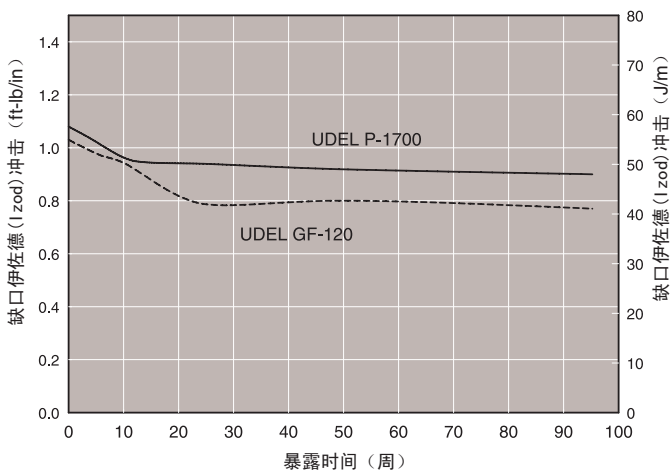
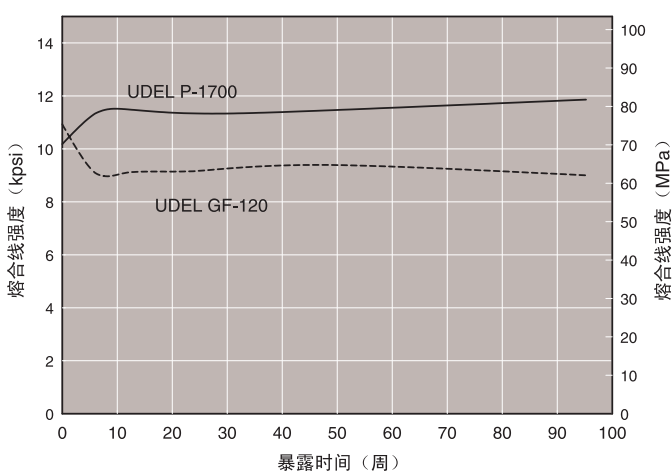


图 43

暴露于 90 °C 水之后的熔合线强度



含氯热水

因为水系统中残余氯加上高温的作用可以构成氧化环境，所以只是具有耐热水性通常还不够。由于多数塑料易受氧化和氧化剂的影响，这样的环境可能会急剧地缩短某些塑料部件的使用寿命。

美国大多数市政供水在用水处的典型无氯水平是 0.5 到 2 ppm 的氯含量范围，这是通过添加次氯酸盐或氯胺来实现的。

多项研究表明，基于 UDEL 聚砜的材料具有非常好的耐含氯热水能力。试验是在 60 °C 的温度下，氯含量为 30 ppm 的静水中进行的，时间为 6 个月。如表 23 所示，UDEL 聚砜没有明显的失重现象。

该试验同时在 90 °C 的温度下，氯含量为 5 ppm 的流动水中进行，时间为 2 个月。如表 24 所示，UDEL 聚砜同样没有明显的失重现象。

表 23

在含氯静水中的重量变化

在 60 °C 的含氯静水中 6 个月之后的重量变化 (%)

	氯含量 (ppm)			
	0	10	20	30
UDEL 聚砜	-0.02	-0.02	0.09	0.05
聚缩醛	-0.15	-2.96	-4.57	-5.47
CPVC	-0.64	-0.56	-0.04	0.08

表 24

在含氯流动水中的重量变化

在 90 °C 的含氯流动水中 2 个月之后的重量变化 (%)

	氯含量 (ppm)	
	0	5
UDEL 聚砜，未填充	0.0	0.1
UDEL 聚砜，20% 玻纤填充	0.0	0.0
氯化聚氯乙烯	-0.6	1.2

蒸汽消毒分析

高压蒸汽消毒锅被广泛应用于医疗装置的消毒。如果将聚砜塑料用于医疗装置，则将要求聚砜在蒸汽消毒的环境下具有耐热分解性。

为了评估耐蒸汽消毒的能力，将尺寸为 127 x 13 x 3 mm 的模塑试样放置到高压蒸汽消毒锅中。一次试验循环共持续 45 分钟：前 30 分钟的蒸汽压力为 0.18 MPa，温度为 132 °C，后 15 分钟则为大气压力。然后将高压消毒锅再加压到 0.18 MPa 进行下一次循环。完成预期的循环次数后，将试样从高压消毒锅中取出，冷却至室温，并在经过标准的处理后，用相应的美国材料试验协会 (ASTM) 的方法进行拉伸强度、伊佐德 (Izod) 冲击和拉伸冲击试验。

所得结果见表 25。

表 25

暴露在高压蒸汽消毒锅中之后的特性保持情况

特性	高压蒸汽消毒暴露时间 (循环次数)		
	0	50	100
拉伸强度			
ksi	10.8	12.6	12.8
MPa	74	87	88
缺口伊佐德 (Izod) 冲击			
ft-lb/in	1.0	0.9	0.8
J/m	53	48	43
拉伸冲击			
ft-lb/in ²	165	131	116
kJ/m ²	347	276	248

抗辐射性

将 UDEL P-1700 聚砜的模塑试样暴露于放射剂量分别为 50、75 和 100 kGy 的伽马射线下。对暴露后的试样进行特性测定，并将所得结果与未暴露试样的特性进行比较。将暴露后的值除以未暴露的值，再乘以 100，就得到保留率。

如表 26 所示，暴露于伽马射线后材料的机械特性几乎没有发生变化。但有变暗的现象发生。

表 26
UDEL 聚砜的抗伽马辐射性

伽马辐射剂量 * (kGy)	特性保持率 (%)		
	拉伸强度	拉伸模量	伊佐德 (Izod) 冲击
50	99	100	96
75	99	94	93
100	98	100	98

*1 兆拉德 = 10 kGy

表 27
聚砜耐化学性的一般指标

化学品类型	实例	等级 *	
		未填充牌号	玻纤填充牌号
脂肪族烃	正丁烷、异辛烷	E	E
芳香烃	苯、甲苯	A	G
醇类	乙醇、异丙醇	E	E
酮类	丙酮、丁酮	A	A
酯类	乙酸乙酯	A	A
氯化烃类	1.1.1 三氯乙烷、氯仿	A	A
非氧化性的酸	硫酸 (20%)、醋酸 (20%)	E	E
碱	氢氧化钠、氢氧化钾	E	G

* 等级体系

E	优异	无变化
G	良好	少许受影响，特性丧失程度不严重
A	被侵蚀	断裂或溶解

耐化学性（无应力）

聚砜塑料对大多数溶液、腐蚀剂以及无机酸具有优异的耐化学性。

对脂肪烃、去污剂、肥皂以及某些醇也有良好的抗腐蚀性。已知的可溶解聚砜或导致聚砜部件应力开裂的试剂包括氯化烃族、芳香族以及氧化溶剂，如酮和醚。添加 10% 到 30% 的玻璃纤维会充分提高材料在更具腐蚀性的化学环境下的耐腐蚀性。

聚砜耐化学性的一般指标见表 27。通过在室温下将试棒放入各种介质中浸渍七天，对材料的耐化学性进行了评估。七天后取出试棒，进行称重并检查。所得结果见表 28。

聚砜对腐蚀环境的耐受性取决于：（1）作用介质是否是聚砜的非溶剂、弱溶剂或良溶剂；以及（2）部件中所存在的总应力。

为了达到最佳的耐化学性，从模塑到后处理的所有操作都必须确保所制得的部件具有最小的应力。在某些情况下，退火有助于释放残余应力。有关退火的优缺点会在第 70 页讨论。

表 28

在室温下将 UDEL P-1700 塑料浸渍 7 天的耐化学性

试剂	浓度 (%)	重量变化 (%)	注释
有机物			
丙酮 / 水	5	0.55	无变化
醋酸	20	-0.52	无变化
丁醇	100	-0.83	无变化
四氯化碳	100	0.24	无变化
柠檬酸	40	0.41	无变化
环己烷	100	0.22	无变化
二甘醇单乙醚	100	0.13	无变化
乙醇	100	0.08	无变化
乙酸乙酯	100	27.44	软化、膨胀
蚁酸	10	0.96	无变化
丙三醇	100	-0.15	无变化
十八烯酸	100	0.07	无变化
草酸	20	0.45	无变化
1,1,1 三氯乙烷	100	1.03	无变化
无机物			
铬酸	12	0.28	无变化
氯化钙	饱和	0.01	无变化
盐酸	20	0.40	无变化
氢氟酸	50	2.02	无变化
过氧化氢	100	0.51	无变化
硝酸	20	0.43	无变化
硝酸	40	0.33	无变化
硝酸	71	3.76	被腐蚀, 褪色
磷酸	100	-0.25	无变化
氢氧化钾	20	0.29	无变化
氢氧化钾	35	0.13	无变化
硫酸	40	0.19	略微变暗
功能性流体			
制动液	100	-0.04	无变化
柴油	100	0.00	无变化
汽油	100	0.05	无变化
液压油	100	0.35	无变化
JP-4 喷气发动机燃料	100	0.05	无变化
煤油	100	0.19	无变化
机油	100	0.01	无变化
润滑油	100	0.01	无变化

耐应力开裂

为了评估 UDEL 树脂耐环境应力开裂的能力，把 127 mm 长，13 mm 宽，3.2 mm 厚的试样夹在弧形的夹具上。夹具的半径诱使试样中产生应变。根据每一材料的拉伸模量所计算得到的相应应力如表 29 所示。然后将试剂施加于被夹具夹住的试样的中心部位。接触 24 小时后，检查试样被腐蚀的痕迹，并确定等级。表 30 定义了在随后的耐环境应力开裂能力表中所出现的等级。

环境应力开裂中重要的变量有：温度、应力水平、时间以及试剂。如果某一试剂在给定的时间、温度和应力水平下可导致应力开裂，通常可采用以下通则。在低应力水平下可能不会发生开裂。如果确实出现开裂，一般会需要较长的暴露时间。较高的温度通常会缩短出现开裂所需要的时间。取决于所用的试剂和稀释液，采用对聚合物呈惰性的液体稀释试剂常常可减少或消除应力开裂。

进行部件设计时，考虑化学环境是非常重要的，特别是当部件会处于应力条件下时。

表 29

计算得到的有应变的耐环境应力开裂能力试棒的应力

UDEL 牌号	模量 (GPa)	应力 (MPa)		
		应变 (%)		
		0.28	0.56	1.12
P-1700	2.48	6.9	13.9	27.5
GF-110	3.65	10.2	20.7	40.5
GF-120	5.17	14.5	28.9	57.4
GF-130	7.38	20.7	41.3	81.9

表 30

耐环境应力开裂能力表中的符号说明

符号	定义
OK	外观没有变化，不开裂、软化或褪色
D	溶解，有溶剂化、软化或膨胀的迹象
C	出现微裂纹
R	断裂

表 31

暴露 24 小时后对有机物的耐环境应力开裂能力

试剂	浓度 (%)	温度		UDEL 牌号	应变 (%)			
		°F	°C		0	0.28	0.56	1.12
丙酮	100	73	23	P-1700	R	R	R	R
				GF-110	D	D	D	R
				GF-120	D	D	D	R
				GF-130	D	D	D	R
2-乙氧基乙烯	100	73	23	P-1700	OK	C	C	C
				GF-110	OK	OK	OK	C
				GF-120	OK	OK	OK	C
				GF-130	OK	OK	OK	OK
乙酸乙酯	100	73	23	P-1700	R	R	R	R
				GF-110	D	D	D	R
				GF-120	D	D	D	R
				GF-130	D	D	D	R
异丙醇	100	73	23	P-1700	OK	OK	OK	C
				GF-110	OK	OK	OK	C
				GF-120	OK	OK	OK	C
				GF-130	OK	OK	OK	C
甲醇	100	73	23	P-1700	OK	OK	OK	C
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	OK	OK
				GF-130	OK	OK	OK	OK
二氯甲烷	100	73	23	P-1700	D	D	D	D
				GF-110	D	D	D	D
				GF-120	D	D	D	D
				GF-130	D	D	D	D
丁酮	100	73	23	P-1700	D	D	D	D
				GF-110	D	D	D	D
				GF-120	D	D	D	D
				GF-130	D	D	D	D
1,1,1-三氯乙烷	100	73	23	P-1700	OK	R	R	R
				GF-110	OK	C	C	R
				GF-120	OK	OK	R	R
				GF-130	OK	OK	C	R
甲苯	100	73	23	P-1700	D	D	D	D
				GF-110	D	D	D	D
				GF-120	D	D	D	D
				GF-130	D	D	D	D

表 32

暴露 24 小时后对无机物的耐环境应力开裂能力

试剂	浓度（%）	温度		UDEL 牌号	应变（%）			
		°F	°C		0	0.28	0.56	1.12
盐酸	20	73	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	OK	OK
				GF-130	OK	OK	OK	OK
		212	100	P-1700	OK	OK	OK	OK
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	OK	OK
				GF-130	OK	OK	OK	OK
氢氧化钠	20	73	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	OK	OK
				GF-130	OK	OK	OK	OK
		212	100	P-1700	OK	OK	OK	C
				GF-110	OK	OK	OK	C
				GF-120	OK	OK	C	C
				GF-130	OK	OK	C	C
次氯化钠（家用漂白粉）	5.25	73	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	OK	OK
				GF-130	OK	OK	OK	OK
		212	100	P-1700	OK	OK	OK	OK
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	OK	OK
				GF-130	OK	OK	OK	OK
硫酸	50	73	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	OK	OK
				GF-130	OK	OK	OK	OK
		212	100	P-1700	OK	OK	OK	C
				GF-110	OK	OK	OK	C
				GF-120	OK	OK	OK	R
				GF-130	OK	OK	OK	R

表 33

暴露 24 小时后对汽车工作液的耐环境应力开裂能力

试剂	浓度 (%)	温度		UDEL 牌号	应变 (%)			
		°F	°C		0	0.28	0.56	1.12
防冻液（乙二醇类）	50	73	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	OK	OK
				GF-130	OK	OK	OK	OK
		212	100	P-1700	OK	OK	OK	R
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	OK	R
				GF-130	OK	OK	OK	R
	100	73	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	OK	OK
				GF-130	OK	OK	OK	OK
		212	100	P-1700	OK	OK	OK	R
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	C	R
				GF-130	OK	OK	C	R
汽油（无铅）	100	73	23	P-1700	OK	R	R	R
				GF-110	OK	OK	OK	C
				GF-120	OK	OK	OK	R
				GF-130	OK	OK	OK	C
10W40 机油	100	73	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	OK	OK
				GF-130	OK	OK	OK	OK
		212	100	P-1700	OK	OK	OK	R
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	OK	OK
				GF-130	OK	OK	OK	OK
动力转向工作液	100	73	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	OK	OK
				GF-130	OK	OK	OK	OK
		212	100	P-1700	OK	OK	OK	OK
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	OK	OK
				GF-130	OK	OK	OK	OK
传动工作液（ATF）	100	73	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	OK	OK
				GF-130	OK	OK	OK	OK
		212	100	P-1700	OK	OK	R	R
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	OK	R
				GF-130	OK	OK	OK	R
浓的挡风玻璃喷洗液	100	73	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	OK	OK
				GF-130	OK	OK	OK	OK
		212	100	P-1700	OK	OK	OK	C
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	OK	R
				GF-130	OK	OK	OK	R

表 34

暴露 24 小时后对食品相关产品的耐环境应力开裂能力

试剂	浓度（%）	温度		UDEL 牌号	应变（%）			
		°F	°C		0	0.28	0.56	1.12
奶油	100	73	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	OK	OK
				GF-130	OK	OK	OK	OK
		302	150	P-1700	OK	OK	R	R
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	OK	R
				GF-130	OK	OK	OK	R
玉米油	100	73	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	OK	OK
				GF-130	OK	OK	OK	OK
		302	150	P-1700	OK	OK	R	R
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	OK	R
				GF-130	OK	OK	OK	R
人造奶油	100	73	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	OK	OK
				GF-130	OK	OK	OK	OK
		302	150	P-1700	OK	OK	R	R
				GF-110	OK	OK	OK	C
				GF-120	OK	OK	OK	R
				GF-130	OK	OK	OK	R
牛奶	100	73	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	OK	OK
				GF-130	OK	OK	OK	OK
		302*	150*	P-1700	OK	OK	OK	OK
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	OK	OK
				GF-130	OK	OK	OK	OK
橄榄油	100	73	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	OK	OK
				GF-130	OK	OK	OK	OK
		302	150	P-1700	OK	OK	OK	R
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	OK	R
				GF-130	OK	OK	OK	R
花生油	100	73	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	OK	OK
				GF-130	OK	OK	OK	OK
		302	150	P-1700	OK	OK	R	R
				GF-110	OK	OK	OK	R
				GF-120	OK	OK	OK	R
				GF-130	OK	OK	OK	R
植物油	100	73	23	P-1700	OK	OK	OK	OK
				GF-110	OK	OK	OK	OK
				GF-120	OK	OK	OK	OK
				GF-130	OK	OK	OK	OK
		302	150	P-1700	R	R	R	R
				GF-110	OK	OK	OK	C
				GF-120	OK	OK	OK	R
				GF-130	OK	OK	OK	R

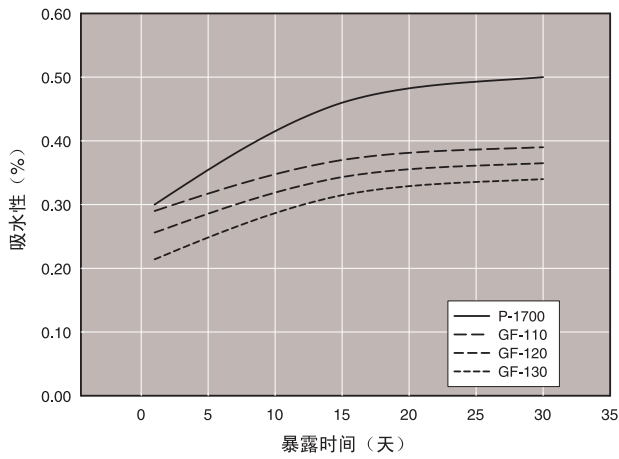
* 在此温度下 24 小时后，牛奶变为固体残渣。

物理特性

吸水性

按照美国材料试验协会（ASTM）的试验方法 D 570，在室温下浸渍 UDEL 聚砜塑料试样所测得的吸水性如图 1 所示。从图中可见，纯聚砜吸水量的重量百分比小于 0.6，而玻纤增强牌号聚砜的吸水量则更小。由吸水所引起的尺寸变化极小，在许多用途中可忽略不计。

图 1
UDEL 聚砜的吸水性



耐磨损性

UDEL 聚砜具有高温条件下的强度和刚度、长期耐热性、尺寸稳定性以及出色的耐酸性环境和耐碱性环境的能力。这些特性加上低的、各向同性的模塑收缩率，使 UDEL 聚砜成为精密部件的理想材料。

在滑动速度和载荷都低的应用中，标准的 UDEL 牌号（如 P-1700，GF-120 等）具有非常小的摩擦系数，可提供非常低的磨损。但对于需要载荷较高而且速度较快的应用，就有必要将材料改性以提高其摩擦特性。

通过添加剂对 UDEL 聚砜进行改性可明显改进材料的摩擦特性。有效的添加剂包括：增强纤维、某些颗粒填料、碳氟聚合物以及硅油和硅塑料。掺混这些添加剂可显著减小磨损系数和摩擦系数，并提高基于 UDEL 聚砜的复合物的极限压力 - 速度值。有许多独立制造商可提供掺混有这些添加剂的 UDEL 聚砜复合物。

耐磨性

采用具有 CS-17 磨轮的泰伯（Taber）研磨机在 1 kg 的载荷下对 UDEL P-1700 研磨 1,000 转进行试验。总的重量损失为 20 mg。

渗透性

根据美国材料试验协会（ASTM）的试验方法 D 1434 测量出 UDEL 聚砜对各种气体的渗透性。所有试验都在标准的温度和压力下进行。所得结果见表 2。

表 2
UDEL 聚砜对各种气体的渗透性

气体		渗透性	
		cc · mil	mm ³ · m
		100 in ² · 天 · atm	m ² · MPa · 天
氨气	NH ₃	1,070	4,160
二氧化碳	CO ₂	950	3,690
氦气	He	1,960	7,620
氢气	H ₂	1,800	6,990
甲烷	CH ₄	38	146
氮气	N ₂	40	155
氧气	O ₂	230	894
六氟化硫	SF ₆	2	7

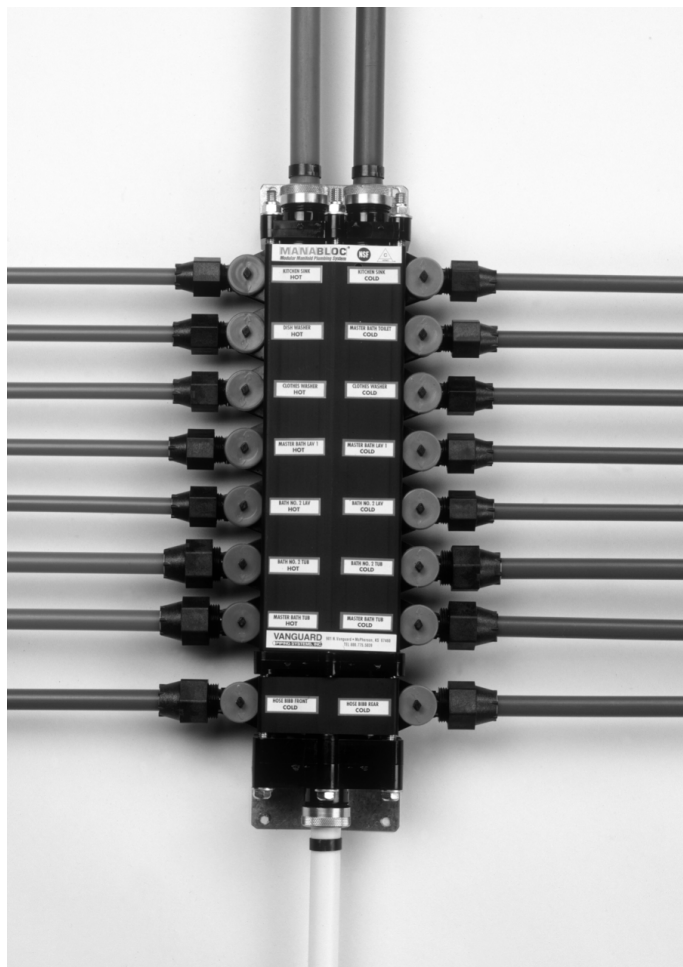
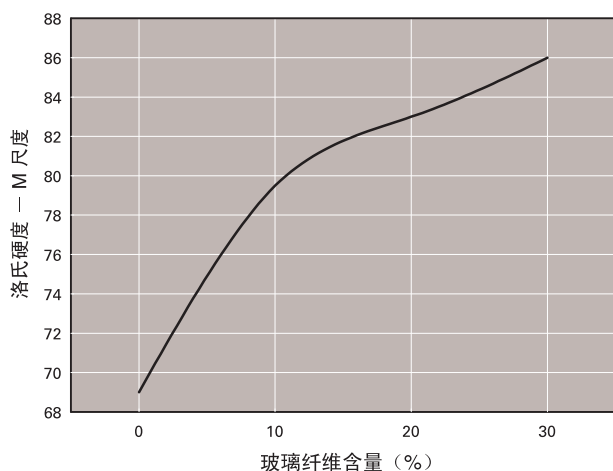
洛氏硬度

按照美国材料试验协会（ASTM）的试验方法 D 785 的程序 A，采用直径为 6.35 mm 的压头，100 kg 的主载荷，以及 10 kg 的次载荷，测定了 UDEL 聚砜的洛氏硬度。该试验所测量的是，在一定的时间和载荷条件下，材料抵抗被一具有特定直径的圆形钢球压出压痕的能力。在施加次载荷 10 秒钟后测量所产生压痕的深度，然后施加主载荷 15 秒钟。在 15 秒钟结束后，移开主载荷并测量压痕。用压痕测量值去减 150，就得到硬度值。因此，在同等尺度上，材料的洛氏硬度值越高表明其耐压痕能力越强。

纯的和玻纤增强聚砜的洛氏硬度如图 2 所示。正如所预期的，玻璃纤维的添加提高了耐压痕能力，而洛氏硬度值也更高。

图 2

洛氏硬度，M 尺度



配水歧管

Vanguard 管道系统有限公司选用 UDEL 聚砜制作其独特的 Manabloc® 配水系统的材料。UDEL 树脂的低蠕变性对歧管的设计相当重要。它有助于确保在产品的整个预期使用寿命中，O 型环上始终具有足够的压缩以维持模块组件之间的密封。

其它的关键设计因素包括：在住宅管道系统的典型使用温度下长期耐受静水应力及含氯饮用水的能力，以及 NSF/ANSI 61 号标准中有关与饮用水接触的认可情况。

光学特性

在自然状态下， UDEL 聚砜是一种呈淡黄色的透明材料。它具有相对高的透光率和低的光雾度。三种不同厚度的 UDEL 聚砜的典型透光曲线如图 3 所示。

UDEL 聚砜的透明度和其它的高性能工程特征使其在许多应用中处于有利的位置。实例包括：咖啡瓶、加工设备的观察窗以及宇航员太空服面罩的护目镜。表 3 列出了 UDEL 聚砜的部分光学特性。除具有良好的透明度特性外，聚砜还具有高的折射率。当应用于各种透镜时，高的折射率正是所期望的。因为它能获得比市场上由其它透明聚合物如聚碳酸酯和丙烯酸树脂所制得的透镜更薄和 / 或更高倍率的透镜。

聚合物的散射和阿贝折射值提供了材料的折射率随入射光波长变化的定量测量依据。该特性通常是通过测量在可见光谱的三个特征波长处的塑料折射率来获得的，这三个特征波长称为 F 线、D 线和 C 线。这些线的波长分别为 486.1、 589.3 和 656.3 纳米。为了获得表 4 中所列的数据，采用了阿贝折射计，由全内反射法测得这些波长下的折射率 n。然后由这三个折射率值计算得到散射、阿贝折射值（或称为阿贝色散系数 V）以及折射率与波长所作曲线的斜率。

表 3

UDEL P-1700 NT11 聚砜的光学特性				
特性	ASTM 方法	厚度, mm		
		1.78	2.62	3.33
透光率	D 1003	86	85	84
光雾度 (%)	D 1003	1.5	2.0	2.5
黄度指数	D 1925	7.0	10	13

图 3
UDEL P-1700 NT11 在不同波长和厚度时的透光率

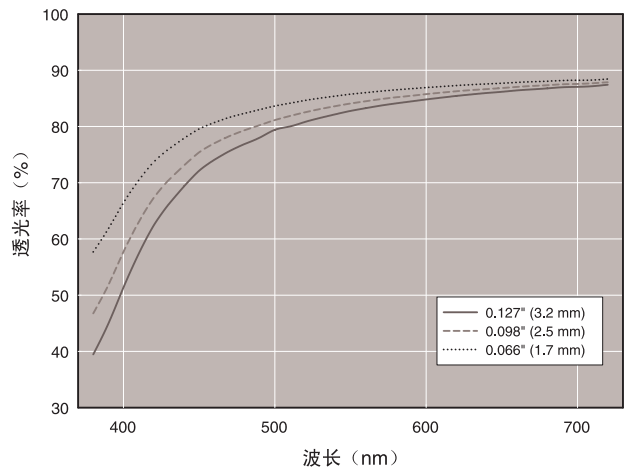


图 4
UDEL P-1700 NT11 的折射率随波长变化的情况

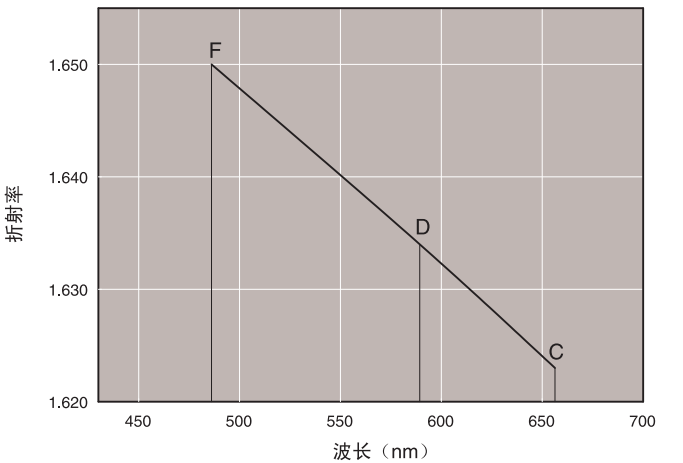


表 4

UDEL P-1700 NT11 与波长有关的特性		
特性	公式	值
散射	$n_F - n_C$	0.027
阿贝折射值	$\frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$	23.3
斜率	$\frac{n_C - n_F}{C - F}$	-0.160

设计信息

聚砜制品的设计准则与其它热可塑性材料的设计准则相似。优良的设计不仅可以制得较好的产品，还可以使产品易于制造并且成本较低。塑料部件的设计目的就是充分考虑到由于装配、温度改变、加工以及环境因素所引起的应力对部件的影响，以最小的材料体积满足在物理强度及形变上的要求。

机械性能设计

使用典型的应力和挠曲方程式是部件设计的第一步。除了所用的物理常数必须反映聚合物的粘弹性外，采用 UDEL 树脂的机械性能设计计算与采用其它工程材料的机械性能设计计算相似。材料特性会随应变速率、温度及化学环境的变化而变化。因此物理常数如弹性模量必须适合于所预期的工作条件。

例如，如果工作条件涉及到承受长时间的持续载荷，就应该用表观模量或蠕变模量，而不用短期弹性模量。如果是循环载荷和长期载荷，那么设计的产品寿命的疲劳强度即为限制因素。

应力水平

设计分析的初始步骤是确定部件将承受的载荷并计算所造成的应力和形变或应变。这些载荷可能是外部加载的载荷，也可能是由于温度改变或装配而使部件发生形变所产生的载荷。

外部加载载荷的例子之一就是作用在消毒盘上的医疗器械的重量。当用螺钉将开关盒固定在底板上，或是当温度升高时装配塑料部件的尺寸变化比与其固定在一起的金属部件的尺寸变化大时，就会引起形变载荷。

应力 — 应变的计算

在使用典型方程式时，需进行如下的简化假设：

1. 可将部件视为一个或多个简单的结构进行分析；
2. 可认为材料是线性弹性且各向同性的；
3. 载荷是单独集中的或是在短时间内逐渐施加的分布均匀的静态载荷；并且
4. 部件没有残余应力或模塑应力。

弯曲应力

采用梁弯曲模型可以对多种部件进行分析。表 5 列出了部分所选梁的最大应力和挠曲方程式。最大应力出现在离中性表面最远的梁面上，并可由下式给出：

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{M}{Z}$$

其中

M = 弯曲矩 (m.kg)

c = 与中性轴的距离 (mm)

I = 惯性矩 (mm⁴)

Z = $\frac{I}{c}$ = 断面模量 (mm³)

表 6 列出了几种常见断面的横截面积 (A)、惯性矩 (I)、与中性轴的距离 (c) 以及断面模量 (Z)。

拉伸应力

在应力 — 应变曲线的弹性区域，应变与所施加的应力之间的关系遵从虎克定律。虎克定律的表达式为：

$$\sigma = E\varepsilon$$

其中

σ = 拉伸应力

E = 弹性模量

ε = 伸长率或应变

拉伸应力被定义为：

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

其中：

F = 总的受力

A = 横截面积

表 5

最大应力和挠曲方程式

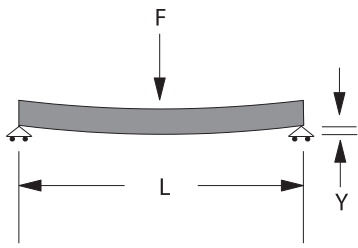
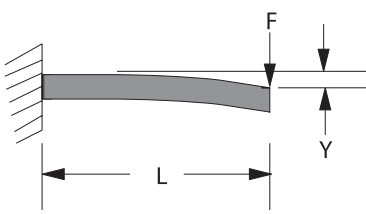
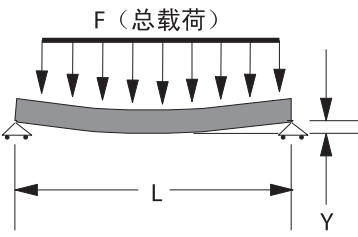
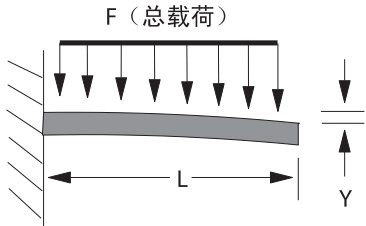
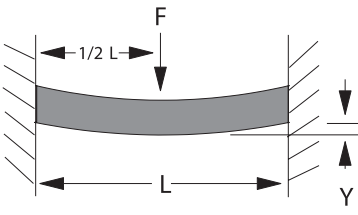
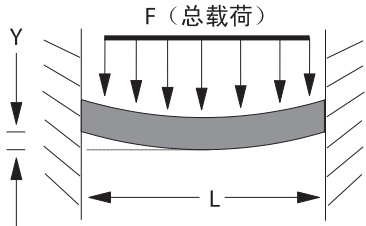
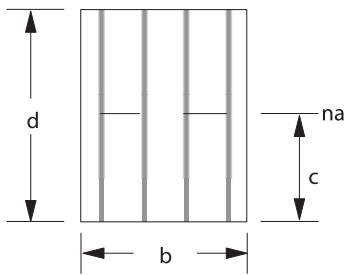
简单支撑梁 载荷集中在中间	 $\sigma = \frac{FL}{4Z}$ (在载荷处) $Y = \frac{FL^3}{48EI}$ (在载荷处)	悬臂梁（一端固定） 载荷集中在自由端	 $\sigma = \frac{FL}{Z}$ (在支撑处) $Y = \frac{FL^3}{3EI}$ (在载荷处)
简单支撑梁 载荷均匀分布	 $\sigma = \frac{FL}{8Z}$ (在中间) $Y = \frac{5FL^3}{384EI}$ (在中间)	悬臂梁（一端固定） 载荷均匀分布	 $\sigma = \frac{FL}{2Z}$ (在支撑处) $Y = \frac{FL^3}{8EI}$ (在支撑处)
两端固定 载荷集中在中间	 $\sigma = \frac{FL}{8Z}$ (在支撑处) $Y = \frac{FL^3}{192EI}$ (在载荷处)	两端固定 载荷均匀分布	 $\sigma = \frac{FL}{12Z}$ (在支撑处) $Y = \frac{FL^3}{384EI}$ (在中间)

表 6

部分断面的面积和力矩方程式

长方形



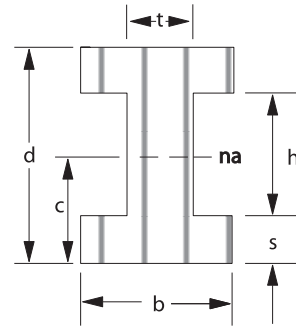
$$A = bd$$

$$c = \frac{d}{2}$$

$$I = \frac{bd^3}{12}$$

$$Z = \frac{bd^2}{6}$$

I 型梁



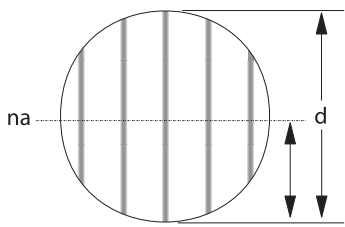
$$A = bd - h(b - t)$$

$$c = \frac{d}{2}$$

$$I = \frac{bd^3 - h^3(b - t)}{12}$$

$$Z = \frac{bd^3 - h^3(b - t)}{6d}$$

圆形



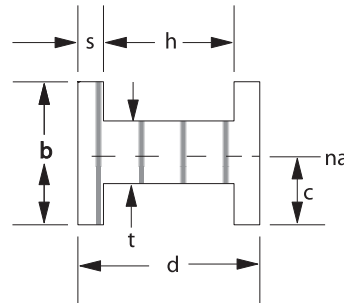
$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$c = \frac{d}{2}$$

$$I = \frac{\pi d^4}{64}$$

$$Z = \frac{\pi d^3}{32}$$

H 型梁



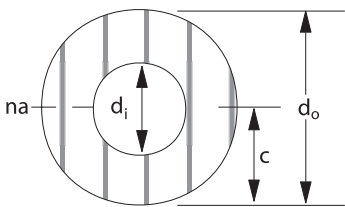
$$A = bd - h(b - t)$$

$$c = \frac{b}{2}$$

$$I = \frac{2sb^3 + ht^3}{12}$$

$$Z = \frac{2sb^3 + ht^3}{6b}$$

管形



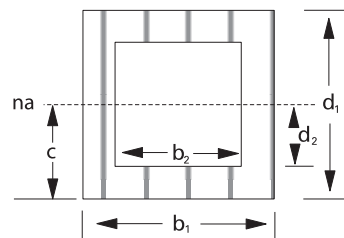
$$A = \frac{\pi (d_o^2 - d_i^2)}{4}$$

$$c = \frac{d_o}{2}$$

$$I = \frac{\pi (d_o^4 - d_i^4)}{64}$$

$$Z = \frac{\pi (d_o^4 - d_i^4)}{32d_o}$$

中空长方形



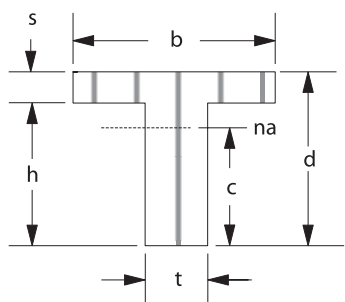
$$A = b_1d_1 - b_2d_2$$

$$c = \frac{d_1}{2}$$

$$I = \frac{b_1d_1^3 - b_2d_2^3}{12}$$

$$Z = \frac{b_1d_1^3 - b_2d_2^3}{6d_1}$$

T 型梁或加强筋



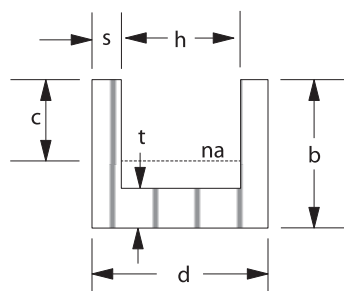
$$A = bs + ht$$

$$c = d - \frac{d^2t + s^2(b - t)}{2(bs + ht)}$$

$$Z = \frac{I}{c}$$

$$I = \frac{tc^3 + b(d-c)^3 - (b-t)(d-c-s)^3}{3}$$

U 型梁



$$A = bd - h(b - t)$$

$$c = b - \frac{2b^2s + ht^2}{2A}$$

$$I = \frac{2b^3s + ht^3}{3} - A(b - c)^2$$

$$Z = \frac{I}{c}$$

刚度设计

当设计工程师考虑使用塑料替代金属部件时，考虑因素之一是该部件的刚度或刚性。倘若有关应用要求将最大载荷挠曲维持在目前数值，那么该塑料部件就必须具有与金属部件等同的刚度。

表 5 列出了多种梁的挠曲方程式。选取两端固定且具有均匀分布负载的梁，其挠曲（Y）的公式为：

$$Y = \frac{FL^3}{384EI}$$

如要就特定零件设计取得等同的刚度，首先如下所示令塑料零件和金属零件的挠曲方程式相等：

$$\left[\frac{FL^3}{384EI}\right]_{\text{金属}} = \left[\frac{FL^3}{384EI}\right]_{\text{塑料}}$$

假设负载和长度为常数，由此方程式的两侧消除公因子，则控制方程为：

$$[EI]_{\text{金属}} = [EI]_{\text{塑料}} \tag{1}$$

鉴于这些材料的弹性模量（E）大不相同，为了调整惯性矩（I），显然需要改变零件的尺寸。

例如，假设使用镁制作的金属零件之模量为 44.8 GPa，而作为替换的塑料是模量为 7.38 GPa 的 UDEL GF-130，那么由方程（1）可计算所需的惯性矩增加。

$$\begin{aligned} (44.8 \text{ GPa})(I_{\text{镁}}) &= (7.38 \text{ GPa})(I_{\text{UDEL}}) \\ I_{\text{UDEL}} &= 6.07 I_{\text{镁}} \end{aligned} \tag{2}$$

增加截面厚度

提高惯性矩的方式之一是增加截面厚度。

根据表 6，长方形截面的惯性矩公式为：

$$I = \frac{bd^3}{12}$$

其中（b）为宽度，（d）为截面厚度。

将该公式代入方程（2），并消去相同系数：

$$d_{\text{Udel}} = \sqrt[3]{6.07d_{\text{镁}}^3}$$

假设镁的截面厚度为 2.54 mm，那么

$$d_{\text{Udel}} = \sqrt[3]{6.07(16.38)}$$

$$d_{\text{Udel}} = 4.63 \text{ mm}$$

为了实现等同的刚度，只需将截面厚度提高 82%。

加加强筋以维持刚度

实现刚度的另一个方法是通过加加强筋来提高惯性矩。加加强筋可在提供所需刚度的同时降低壁厚和重量。

鉴于材料与前例所用相同，加加强筋设计的惯性矩等于 4.63 mm 厚板的惯性矩。该板的惯性矩公式为：

$$I_{\text{板}} = \frac{bd^3}{12}$$

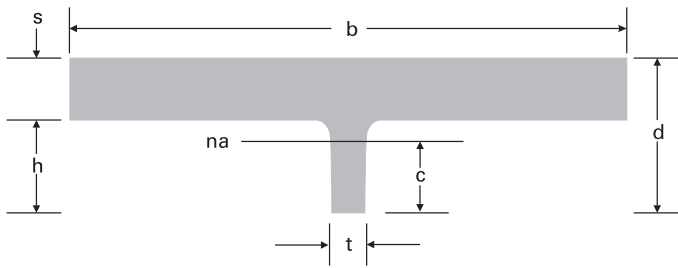
如果指定宽度为 25.4 mm，得到 I = 5.02 x 209 mm⁴。

利用中性轴至边层纤维距离（c）、惯性矩（I）及面积（A）的下列方程式，可以计算能够提供相同惯性矩的加强筋和壁厚。

$$\begin{aligned} c &= d - \frac{d^2t + s^2(b-t)}{2(bs + ht)} \\ I &= \frac{tc^3 + b(d-c)^3 - (b-t)(d-c-s)^3}{3} \\ A &= bs + ht \end{aligned}$$

图 5

加加强筋以获得刚度



典型的加加强筋设计如图 5 所示。

经验表明，加加强筋设计的某些约束条件从加工的角度讲正是所期望的。这些约束条件是：

$$t \leq 0.6s$$

$$h = 1.5s$$

采用每 25 mm 一条加强筋，用经典的迭代法来为提供与原始金属部件或 4.63 mm 厚板的惯性矩相同的加加强筋几何形状解这些方程，可得到下列结果。

$$\text{壁厚 (s)} = 3.2 \text{ mm}$$

$$\text{加强筋宽 (t)} = 1.9 \text{ mm}$$

$$\text{加强筋高 (h)} = 4.8 \text{ mm}。$$

每 25 mm 加一条加强筋，即可将获得相同刚度所需的横截面积从 117 平方毫米降低到 90 平方毫米。

可承受持续载荷的设计

典型的应力应变计算描述的是对载荷当时或短时的反应。如果所承受的载荷要持续很长时间，那么由于聚合物的粘弹性本质所引起的挠曲会大于预期的程度，这将导致蠕变现象的发生。为了更准确地预测承受持续载荷情况下的挠曲，可以用表观模量和蠕变模量来代替弹性模量。对所受持续载荷进行计算的实例如下。

挠曲的计算

如果图 6 所示的梁上加载分布均匀的 13.8 Pa 的载荷，要计算其中部的瞬时挠曲和受到 10,000 小时持续载荷之后的挠曲，请参见表 5。载荷分布均匀的简单支撑梁的挠曲方程式为：

$$\gamma = \frac{5FL^3}{384EI}$$

长方形截面梁的惯性矩列于表 6，其方程式为：

$$I = \frac{bd^3}{12}$$

梁宽为 25.4 mm。将梁的尺寸代入方程式，即可得到：

$$I = \frac{(1)(0.182)^3}{12}$$

$$I = 209 \text{ mm}^4$$

如果采用 UDEL P-1700 制作，那么该梁的短期挠曲为：

$$\gamma = \frac{5FL^3}{384EI}$$

其中 $F = 68.9 \text{ Pa}$

$$L = 127 \text{ mm}$$

$$E = 2.48 \text{ GPa}$$

$$I = 209 \text{ mm}^4$$

$$\gamma = \frac{(5)(10)(5)^3}{(384)(360,000)(0.00050238)} = 2.3 \text{ mm}$$

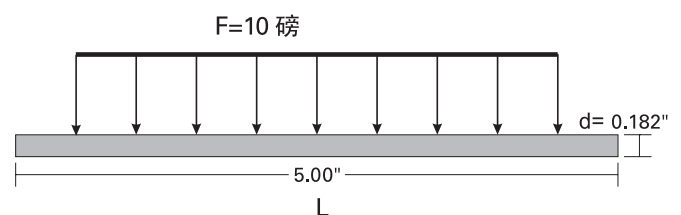
如果载荷持续 10,000 小时，那么就应该用列在 21 页的图 22 上的表观模量或蠕变模量，而不用拉伸模量。

$$\gamma = \frac{(5)(10)(5)^3}{(384)(290,000)(0.00050238)} = 2.8 \text{ mm}$$

由于蠕变而产生的额外形变为 0.5 mm。

图 6

在持续载荷实例中所用的梁



设计极限

设计者在计算出最大应力水平和挠曲后，即可将该应力值与适当的材料特性，如拉伸强度、压缩强度或剪切强度等进行比较。然后对其设计是否具有足够可用的安全系数进行判断，或者决定是否需要通过改变壁厚或添加加强筋或异形结构增加断面模量来改善设计。

术语“设计容许值”定义为对所预期的载荷方式具有足够的安全系数的预测材料强度。表 7 列出了短期间歇载荷的设计容许值。表 8 列出了恒定载荷情况下的设计容许应力。在这种情况下，蠕变是主要的设计考虑因素。这些表没有考虑除温度之外的其它环境因素。而化学品的存在则会大大降低设计容许值。

应用机械性能设计方程式所给出的设计在初始阶段是很有用的，但这种分析没有考虑到一些关键因素。例如，一种设计的耐冲击性与其吸收冲击能量而不破裂的能力直接相关。增加壁厚通常可提高模塑部件的耐冲击性。然而，壁厚的增加会使部件变得太硬而不能弯曲和分散冲击能量，从而可能降低耐冲击性。因此，设计的耐冲击能力必须通过对原型部件的耐冲击性进行试验来加以检查。

表 7
间歇载荷的设计容许应力， MPa

UDEl 牌号	温度 (°C)		
	23	93	149
P-1700	36.3	31.2	25.1
GF-110	40.5	33.6	28.3
GF-120	50.2	38.0	33.6
GF-130	55.9	33.6	41.8

表 8
恒定载荷的设计容许应力， MPa

UDEl 牌号	温度 (°C)		
	23	93	149
P-1700	17.6	13.2	8.7
GF-110	19.5	14.8	10.9
GF-120	24.1	17.3	14.1
GF-130	26.9	20.8	18.8



工业蓄电池容器

Saft 公司选择 UDEl 聚砜作为在其 SRM F3 蓄电池中盛放电池单元的蓄电池容器或“罐”的材料。该蓄电池的典型应用是在铁路运输系统中作为电气系统的备用电源。电池单元中充满了氢氧化钾电解液，并要求在无须补给电解液的情况下工作两年。UDEl 聚砜的不吸水性、耐冲击性及抗振动性是保持蓄电池长期稳定性的关键。由于该材料是透明的，因此不用打开排气盖即可监视液位。

应力集中

传统的机械性能设计方法所产生的部件设计可能会由于应力集中的原因而导致所设计的部件过早失效，或所能承受的应力比预计的要小。应力集中通常会在尖角处、孔的周围或其它的特征部位。冲击和疲劳情况对应力集中特别敏感。

减少尖角可以降低应力集中并使部件具有更高的结构强度。为避免应力集中问题，内拐角半径应至少等于底壁厚的一半。0.4 mm 的倒角半径应被认为是最小值。

图 7 所示为内拐角半径对应力集中因子的影响。例如，如果底壁厚（t）是 2 mm，并且内拐角半径（r）为 0.5 mm，那么半径与厚度之比（r/t）为 0.25，而应力集中因子约为 2。这样，一个 x 的应力在拐角处的作用就相当于 2x 的应力。

要使壁厚保持均匀，外拐角的半径应等于内拐角半径与壁厚之和。

图 7

内拐角的应力集中因素

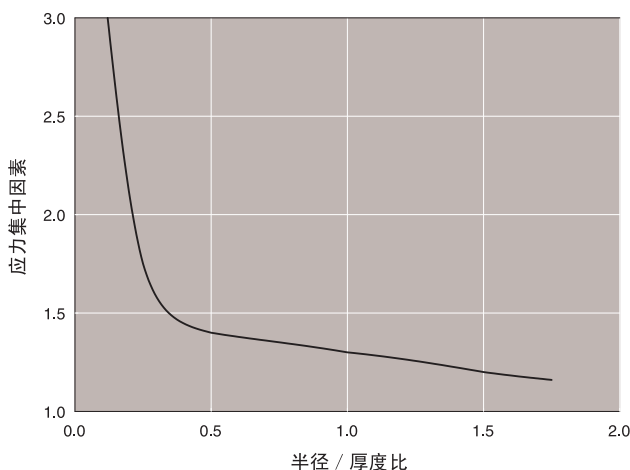
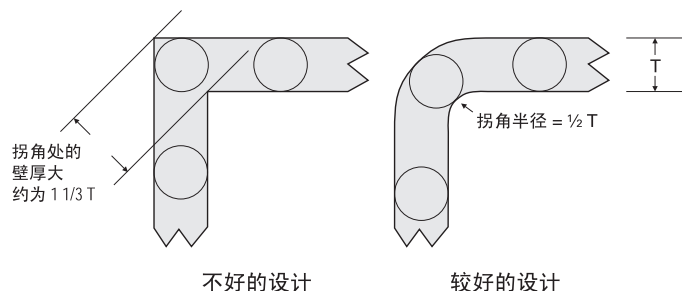


图 8 举例说明了正确的拐角设计。

图 8

正确设计拐角以降低应力

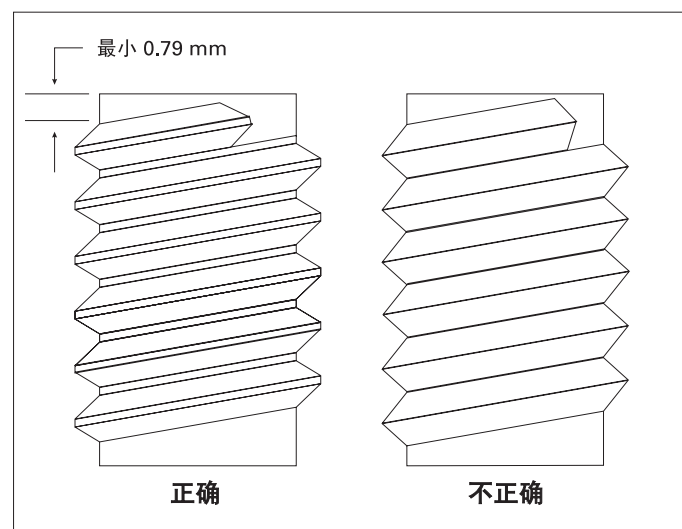


螺纹

应采用具有圆形齿根的统一螺纹标准系列。螺纹不应顶到螺纹面的端点处。应至少留出 0.79 mm 的空白区。不建议使用管螺纹，因为它们会产生严重的楔作用。

图 9

正确的螺纹设计



过盈配合

用于装配两个部件的最经济方法之一就是压配。它利用轴和毂将两个部件接合在一起，无须使用螺钉、粘合剂、金属嵌入件或者进行超声焊接等。通过加压或强迫让轴进入直径比其小的孔内即可达到接合的目的。孔和轴的直径差异称为径向干涉。维持接合处的力主要是轴上的压缩应力，这是轴插入后在毂内产生的环向应力所导致的。取决于轴和毂材料的相对模量，轴内的压缩应力对维持接合也会有所贡献。因为聚合物材料的表观模量随时间下降，所以维持过盈配合的应力会随时间发生松弛，其形式与蠕变相似。

容许过盈量的计算

轴和毂之间的容许过盈量可通过下列方程式进行确定：

$$l = \frac{S_d D_s}{F} \left\{ \frac{F + \nu_h}{E_h} + \frac{1 - \nu_s}{E_s} \right\}$$

其几何因子则由下式给出：

$$F = \frac{1 + \left(\frac{D_s}{D_h} \right)^2}{1 - \left(\frac{D_s}{D_h} \right)^2}$$

其中：

- l = 径向干涉， mm
- S_d = 工作应力， MPa
- D_h = 毂的外径， mm
- D_s = 轴的直径， mm
- E_h = 毂材料的弹性模量， MPa
- E_s = 轴材料的弹性模量， MPa
- ν_h = 毂材料的泊松比
- ν_s = 轴材料的泊松比
- F = 几何因子

如果轴和毂都采用相同牌号的 UDEL 树脂制作，那么：

$$E_h = E_s = E$$

过盈量则为：

$$l = \frac{S_d D_s}{E} \left(\frac{F + 1}{F} \right)$$

如果毂用 UDEL 树脂制作，而轴用金属制作，那么过盈量为：

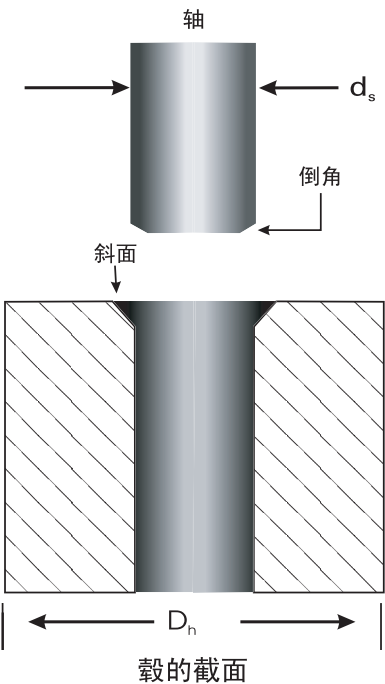
$$l = \frac{S_d D_s}{F} \frac{F + \nu_h}{E_h}$$

采用两种不同的材料进行压配时，两者之间的热膨胀差异既可提高，也可降低两个配合部件之间的过盈量。从而增强或降低影响接合强度的应力。

压配会随时间发生蠕变或应力松弛。这样就会降低装配件的保持力。因此，强烈建议在所预期的操作条件下对装配件进行试验。

图 10

压配实例



配合注塑的设计

由于 UDEL 树脂的许多应用都是将其注塑成部件，因此在部件设计中必须考虑可模塑性的影响因素。这些因素包括壁厚以及壁厚的转变、脱模角度、加强筋、凸台以及抽芯。

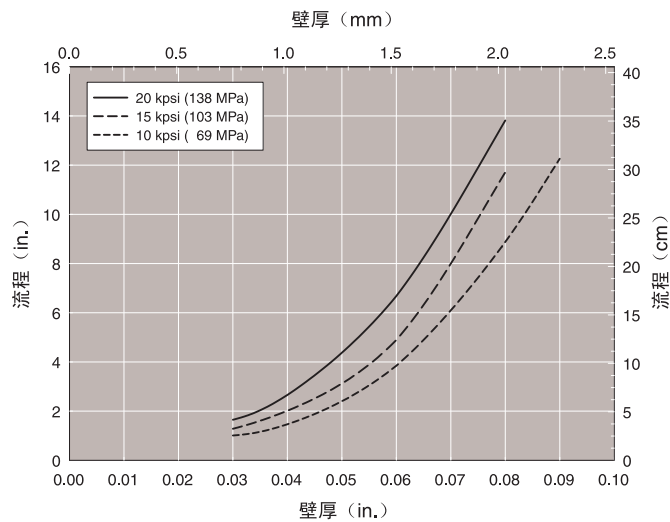
壁厚

在一般情况下，进行部件设计时应采用可达到承受所预期的载荷所需的足够结构强度的最薄壁厚，并将挠曲控制在设计的标准限度内，具有充分流动性，而且满足对可燃性及冲击性的要求。采用这种设计方式所得到的部件将具有最轻的重量、最短的成型周期，并因此具有最低的成本。

有时，模塑所需的壁厚要大于机械性能设计分析所需的壁厚。与其它热可塑性材料一样，UDEL 树脂的流动性不但与壁厚有关，也与模具设计及加工变数，如注塑速率、模具温度、熔融温度以及注塑压力有关。通常壁厚的实际限度在 0.8 mm 到 6.5 mm 之间。如果流程很短则可模塑出 0.3 mm 厚的壁部。图 11 所示为模具温度为 93 °C 时，在不同壁厚和注塑压力下获得的流程。

图 11

UDEL P-1700 PSU 流程与厚度的关系



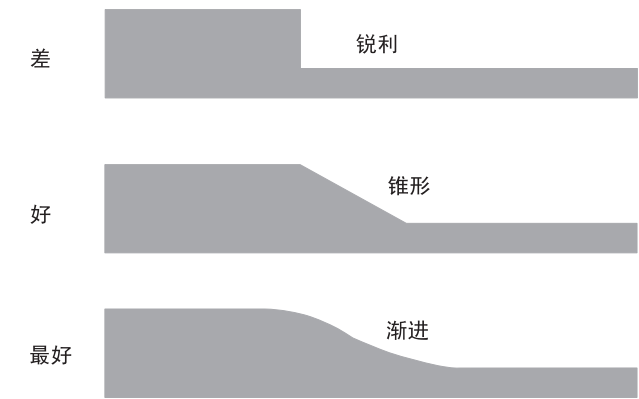
壁厚变化

尽管均匀的壁厚是理想情况，但考虑到结构、外观以及脱模角度等因素，可能有必要让壁厚有所变化。当需要改变壁部的厚度时，设计者应考虑采用一个逐渐的转变，例如图 12 所示的 3 比 1 的锥度比。由于冷却速率的差异及湍流的产生，壁厚的急剧转变会导致外观及尺寸稳定性方面的问题。

此外，从结构的角度来说，急剧转变会引起应力集中，从而影响部件在承受载荷及冲击时的性能。

图 12

壁厚的转变

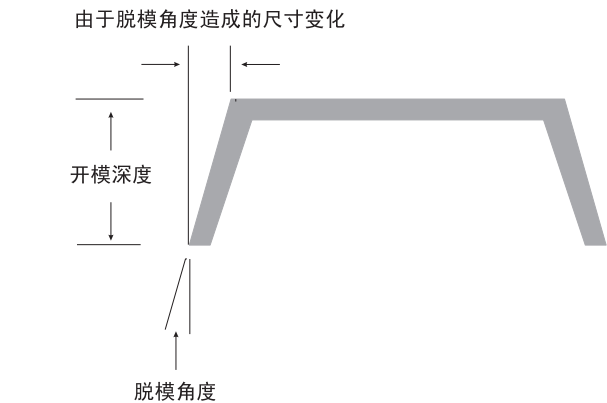


脱模角度

为了有助于将部件从模具中取出，通常在部件沿模具运动的方向上设计一个锥度。只要模具开始移动，该锥度就产生一个间隙，使部件可以自如脱模。锥度通常被称为“脱模斜度”，而锥度的量则称为“脱模角度”。图 13 举例说明了脱模角度的使用。

图 13

利用脱模角度帮助脱模



为使部件易于从模具中取出，必须设计足够的脱模角度。对于 UDEL 树脂，通常在其内外壁上设计每侧具有 1/2° 到 1° 的脱模角度。在一些特殊情况中，由于模具表面的拉伸抛光，还可用到小至 1/8° 到 1/4° 的脱模角度。

对于深撑压或使用模芯时，则应采用更大的脱模角度。纹理装饰会对脱模角度的要求有所提高，每 0.025 mm 的纹理深度在每侧要至少增加 1° 的脱模角度。

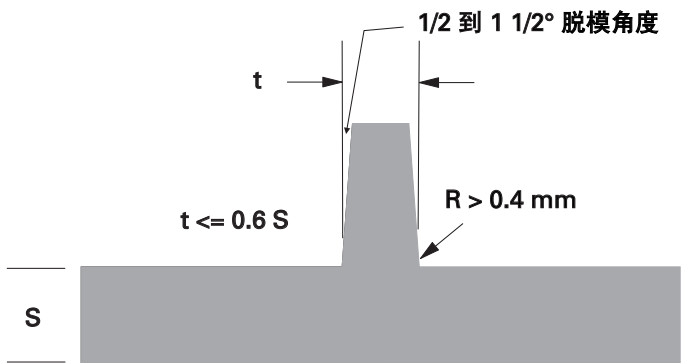
加强筋

通过对加强筋的适当设计及布置，无须增加壁厚就可增强部件设计的结构刚度。适当的加加强筋设计可以减小壁厚，从而节省材料及重量、缩短成型周期并消除厚壁，而厚壁则容易产生凹陷等模塑问题。正确布置的结构还可以具有内部流道的作用，帮助材料在注塑过程中流动。

在一般情况下，对加强筋进行设计时要遵循以下的指导准则。加强筋底部的厚度应为与其相邻壁厚的一半。当加强筋与外观区域相对时，其宽度应尽可能的小。如果模塑部件上的某些区域的结构比外观更重要，那么其加强筋通常是外壁厚度的 75% 甚至是 100%。只要可能，加强筋应与其它结构部件如侧壁、凸台及装配垫等平滑相连。加强筋的高度或宽度不必固定，通常与部件上的应力分布相匹配。所有加强筋都应有一个每侧最小为 1/2° 的脱模角度，并在底部有一个最小为 0.4 mm 的半径。图 14 所示为建议的加强筋尺寸间的关系。

图 14

建议的加强筋设计



抽芯

恰当的设计应使整个部件的壁部具有均匀的厚度。部件中的厚断面会延长注塑的循环时间、引起凹陷并增大模塑应力。

应对厚断面进行抽芯以使壁厚均匀。为了模塑的简便性及经济性，模芯应与模具的开模方向相平行。置于任何其它方向上的模芯通常需要某种侧向动作或需要人工装上或卸下松开的模芯。

伸入模穴中的模芯要承受较高的压力。对于直径大于 1.5 mm 的暗芯，其长度不应超过直径的三倍；对于直径小于 1.5 mm 的暗芯，其长度不应超过直径的两倍。对于通芯，这些建议值则可加倍。为了能更好地脱模，所有的模芯都要有脱模角度，而所有的模具都要进行抛光处理。

凸台

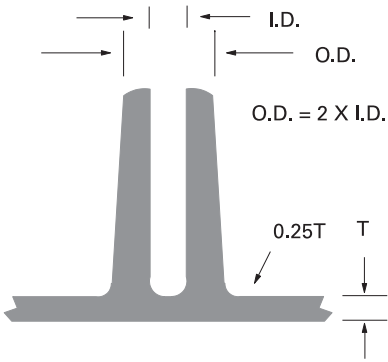
凸台是突出部件底壁的部分，通常用作装配点或扣固点。凸台的设计在很大程度上取决于其在给定部件中的作用。抽芯的凸台可与压配、自动攻丝螺钉或超声嵌入件配合使用。这些紧固件会对凸台的壁部施加不同程度的环向应力。

作为一般性的设计原则，每个凸台的外径应是其孔内径的二倍，而且每个凸台的壁厚不应超过部件的壁厚。图 15 举例说明了这些设计原则。

作用在凸台上的附加力会传递到凸台下并进入底壁。由于这一原因，对凸台底座的设计要求其最小半径是壁厚的 25%，从而提供足够的强度并减少应力集中。在凸台周围利用角撑板进行支撑可以进一步加固凸台，还可以利用设计得当的加强筋将凸台与附近的壁相连接。为防止部件表面出现凹陷，应避免厚断面。

图 15

凸台设计的一般原则



拉扣配合

UDEL 工程树脂的延展性及其强度使得它们非常适合用于制作拉扣配合的装配件。在所有的拉扣配合设计中，模塑部件的某些部分必须象弹簧一样可弯曲，经过所设计的扰动后返回其不可弯曲的位置，从而将两个或更多个部件装配在一起。拉扣配合设计的关键是在不超过材料弹性或疲劳限度的条件下使设计具有足够的握持力。

最常见的两类悬臂梁的拉扣配合是直梁和锥形梁。图 16 和图 17 所示的是这些典型的拉扣配合设计及计算装配过程中最大应变的相应方程式。图 18 给出了锥形梁设计所用的比例常数。设计的最大应变不应超过表 9 中所列的允许应变。

表 9

拉扣配合设计的最大允许应变

UDEL 牌号	最大允许应变
P-170	5.5
GF-110	3.0
GF-120	1.5
GF-130	1.0

图 16

采用直梁的拉扣配合设计

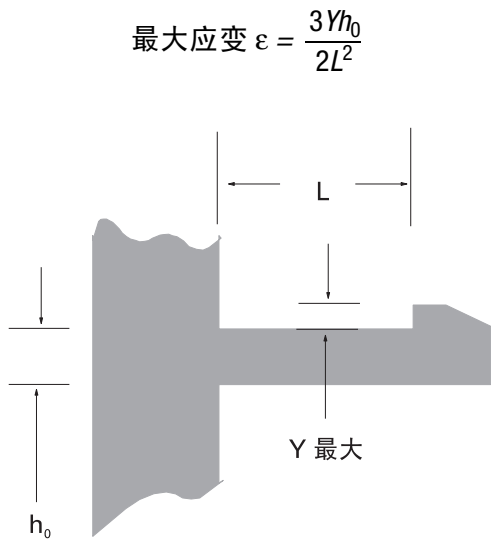


图 17

采用锥形梁的拉扣配合设计

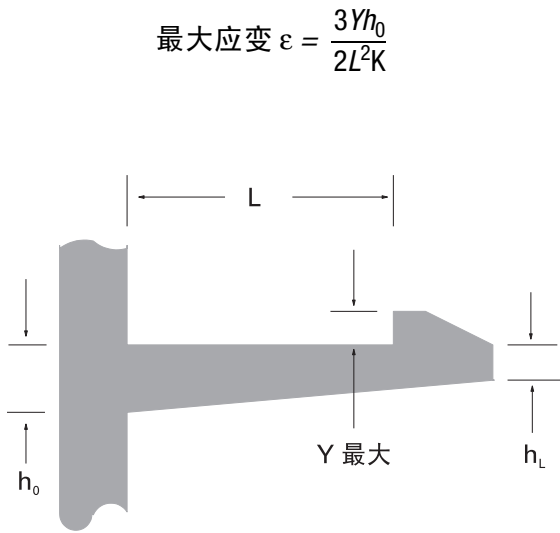
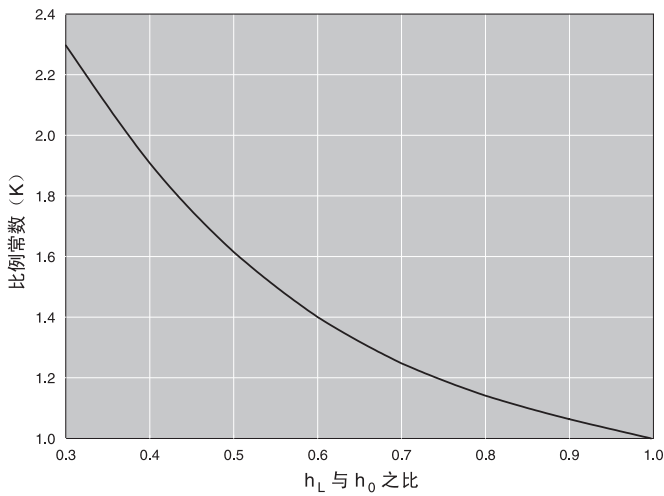


图 18

锥形梁的比例常数 (K)



加工

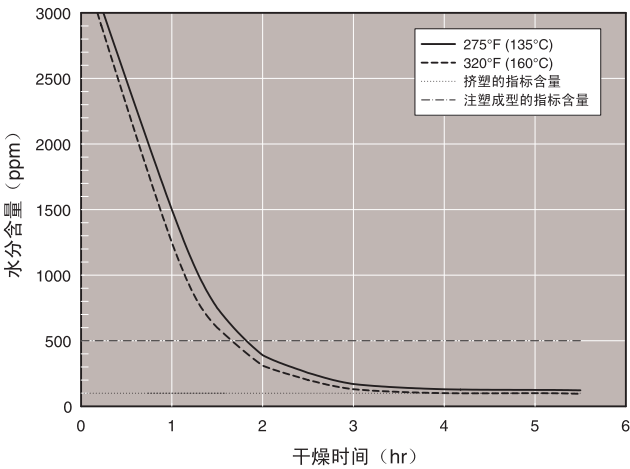
干燥

聚砒在模塑或挤塑前必须进行干燥。该材料在储存期间会吸收大约 0.3% 的大气水分。必须通过干燥将水分含量减小到 0.05%。否则，注塑部件会出现表面条痕或放射纹，而挤塑型材会严重起泡。但水分不会使聚砒水解或以某种形式与聚砒反应而导致材料褪色、化学分解或特性老化。由未经干燥的塑料制得的部件只是在外观上不令人满意，或在某些情况下由于内部气泡而变得不耐用。由水分引起的不符合要求的任何部件都可以通过重新磨碎、干燥，然后重新成型而不损失其原始特性。

聚砒塑料粒可在热空气循环的烘箱或除湿料斗干燥器中进行干燥。采用烘箱干燥时，可将塑料粒散布在盘子上，厚度为 25 至 50 mm，在塑料温度达到 135 °C 后干燥 3.5 小时，或是在 160 °C 的温度下干燥 2 小时。UDEl 聚砒的干燥曲线如图 62 所示。

图 62

UDEl 聚砒的干燥



由于聚砒不会“过分干燥”，所以图中所示的是最小建议值。事实上，它可在 135 °C 的温度下保持一周而不受影响损坏。如果初始材料在超过 166 °C 的温度下干燥，烘箱中的塑料粒可能会在 3 到 4 小时后发生粘结。

在高湿气候下，干燥时间可能有所增加。建议采用配有除湿单元的密封卧式干燥烘箱作为最一致和有效的干燥方法。干燥后的塑料应避免从大气中重新吸收水分。

如果在可排出挥发物的排气式挤塑机上加工聚砒，则无需进行预干燥。在其它所有模塑和挤塑的连续加工中，建议将除湿料斗干燥器直接安装到加工设备。有效地确保加工操作能连续进行，其干燥器尺寸的选择取决于材料的消耗速率。

聚砒通过在 135 °C 的进气温度下工作的料斗干燥器所需的滞留时间为 3.5 小时。应该对料斗进行保温，使平衡条件下温度下降不超过 15 °C。流经除湿卧式干燥烘箱后返回料斗干燥器的进口热气的最高露点应为 -32 °C。



实验室动物笼

实底的实验室动物笼要求材料具有各种独特的性能属性：高的清晰度、耐化学性以及冲击强度，以使其能经受住每周一次的清洗和蒸汽消毒处理。UDEl 树脂在经过至少 100 次循环后仍能保持高的冲击强度，这相当于大约两年的使用寿命，而且能耐受在这一要求苛刻的应用中常使用的碱性清洁剂。

流变性能

UDEL P-1700 和 UDEL P-3500 塑料的流变性能数据如图 63 和 64 所示。

图 63

UDEL P-1700 塑料的流变性能

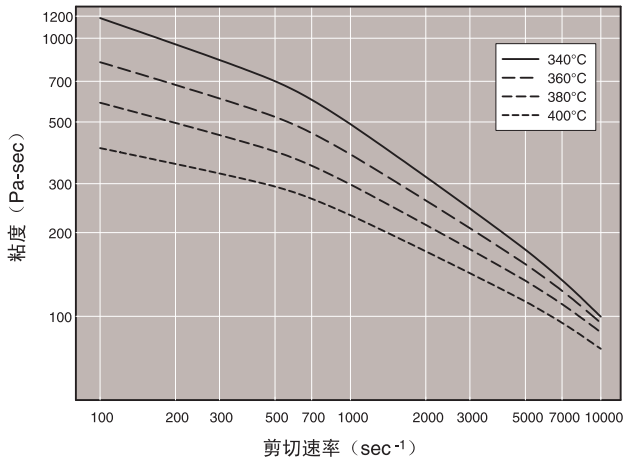
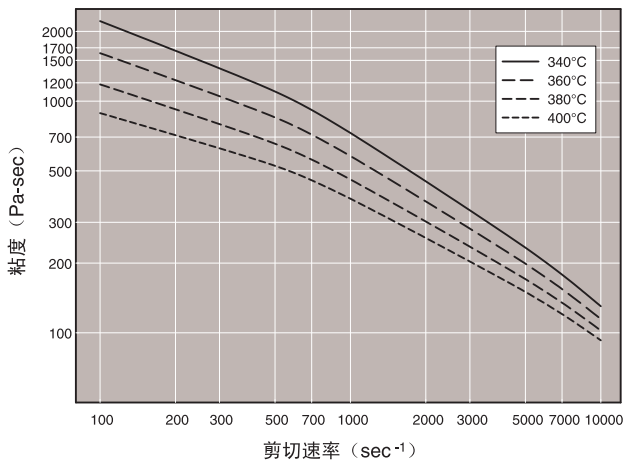


图 64

UDEL P-3500 塑料的流变性能



热水器汲取管

热水器汲取管用于使储水型热水器中的冷水输入从顶部流到底部，以防止冷水与热水混合。此外，许多汲取管还被设计用来在加热元件周围产生运动以防止在水箱底部聚集水垢。自二十世纪七十年代初，薄壁（0.5 mm）的 UDEL 聚砒管就已开始在该应用中使用。该材料的长期水解稳定性和耐受含氯热水氧化的性能减小了其出现产品故障的危险。而采用低成本、低性能材料（PP，PEX）制作的产品则常发生故障。

注塑

注塑设备

大多数螺杆注塑机都能很容易地将 UDEL 聚砜注塑成型。

螺杆设计

典型的通用螺杆就能很好地将 UDEL 树脂挤出。可用于加工这类塑料的典型螺杆设计如图 65 所示。

螺杆末端和止逆阀

螺杆末端及止逆阀的设计对进行正常的加工很重要。单向阀或止逆阀可防止熔体在注塑和保压过程中越过螺杆的螺槽向后流动。如果不使用止逆阀，要保持始终一致的缓冲是非常困难甚至是不可能的。

所设计的止逆阀或止逆环系统设计须适于平滑流动，避免死角或产生背压。不建议采用球型止逆阀。螺杆末端也应该进行改进以确保螺杆前的熔体滞留量最少。

喷嘴

建议采用通用喷嘴。在敞口喷嘴和阀式喷嘴中，优先选用敞口喷嘴。喷嘴的内孔构造应该与螺杆末端非常匹配。

模具

标准模具设计指南适用于 UDEL 树脂。

脱模角度和顶出

一般情况下，为 UDEL 树脂设计的注塑模具的脱模角度应该是 0.5° 到 1°。顶针或脱模板的接触面积应该尽可能的大，以避免顶出过程中的部件变形或被穿透。

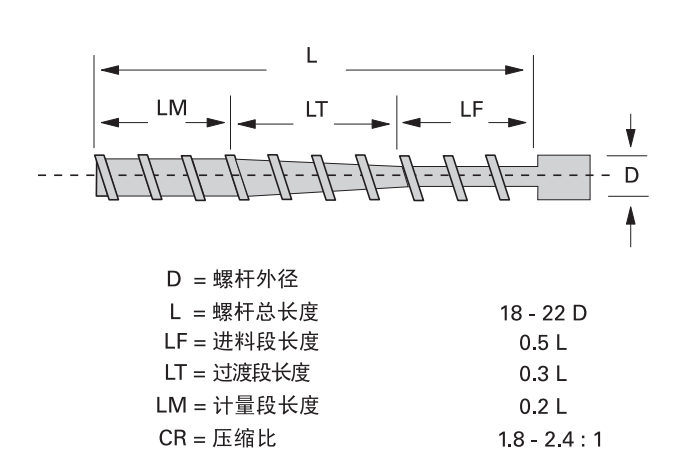
表 43

注塑成型起始点条件

UDEL 牌号	熔融温度 (°C)	模具温度 (°C)	收缩率 (%)
P-1700	350-390	138-160	0.6 - 0.7
P-1720	350-390	138-160	0.6 - 0.7
GF-110	360-390	138-160	0.5
GF-120	360-390	138-160	0.4
GF-130	360-390	138-160	0.3

图 65

配合注塑的螺杆设计



浇口

所有通用的浇口类型，包括热流道，都适用于 UDEL 树脂。有些热流道设计可能会出现一些问题，诸如滞留时间延长或出现使材料聚积并分解的死角。浇口必须具有足够大的尺寸，藉此无需特别高的注塑温度或压力就能充填部件。在填充完成之前就凝固的浇口可能会导致内部真空或凹陷。

排气

用于 UDEL 树脂的模具必须在流道的末端以及预期的熔合线位置进行排气。排气口应该具有 2 到 3 mm 的背长和最大 0.08 mm 的深度。

模具温度控制

控制模具温度对获得高品质的部件至关重要。对于特别复杂的部件，各模瓣可能需要单独的控制。采用以油为流体的流体传热系统或电加热器即可达到对 UDEL 树脂成型所需的温度。

相对于电加热器，通常优先选用流体传热系统。尽管电加热器有助于达到最低的模具温度，但它无法达到为模具排热的效果。特别是在成型较大部件时，模具温度有可能会高过所需的温度。

机器设置

注塑温度

建议使用的各种 UDEL 树脂注塑熔融温度见表 43。一般情况下，由于存在热分解的风险，不宜采用更高的温度。作为一条基本原则，应避免采用高于 390 °C 的注塑熔融温度。

模具温度

模具温度是一个重要参数，它决定着收缩率、翘曲、公差保持、模塑部件表面光洁度的品质以及部件内的模塑应力水平。

UDEL 树脂的模具温度通常设置在 120° 到 160 °C 的范围内。唯一需要较高温度来实现最佳光洁度的产品是玻纤增强牌号的 UDEL 树脂。表 43 列出了各牌号 UDEL 树脂的建议模具温度。

在模具和压板之间嵌入隔热板可减小热损失。高品质的模塑部件需要有设计良好的冷却流道系统和正确的模具温度设置。

料管温度

如果箍环式加热器所设置的温度是沿料斗到喷嘴的方向增加，那么 UDEL 塑料粒可在温和的条件下熔融，并可在料管内承受相对长的滞留时间。如果滞留时间短，可将所有的料管加热器设置为相同的温度。喷嘴至少需要一个箍环式加热器（额定值为 200 W 到 300 W）。由于辐射和传导的原因，模具在这里的热损失可能会很严重。通过对喷嘴进行保温，可以减小热损失。

应该对箍环式加热器的控温系统进行监控。例如，如果某段料管的加热器出现故障时，及时的警报可以避免螺杆破损。

将料斗附近的温度保持在大约 80 °C，可改善塑料粒的进料速度。

料管中的滞留时间

塑料在塑化筒内停留时间的长短对注塑成型质量具有显著影响。如果时间太短，塑料就不会充分熔融。如果时间太长，则有可能发生热分解，使模塑部件上出现褪色、黑纹甚至焦烧颗粒。通过配置一个较小的料管容量单元常常可以缩短滞留时间。如果注塑量为料管容量的 30% 到 70%，便可得到合适的滞留时间。在表 43 所列的熔融温度下，所有的 UDEL 树脂都能耐受长达 20 分钟的滞留时间，但最好是 10 分钟或更短的时间。

注塑成型过程

进料特征

第 61 页的图 65 所示的螺杆可让 UDEL 塑料平稳地沿料管移动并在所建议的温度下均匀地塑化。

进料段的温度不应设置太高，否则塑料粒可能会过早熔融而导致螺槽阻塞和堵死。

背压

背压常被用来维持恒定的塑化时间，以避免夹气，并可改善熔体的均匀性。对于 UDEL 树脂而言背压并不是绝对必需的。背压太高则会导致高摩擦热。

螺杆速度

只要可能，所设置的螺杆速度应使循环周期内的塑化时间得到充分利用。也就是说，循环时间越长，螺杆速度越低。例如，对于一个直径为 50 mm 的螺杆，60 到 100 rpm 的螺杆速度通常就足够了。当螺杆在高熔融温度下运转时这一点特别重要，以确保熔体不会在螺杆末端前面的空间停滞过长时间。低螺杆速度也可消除摩擦引起的温度升高。

注塑速率和排气

填充的注塑速率是决定模塑部件品质的另一重要因素。应采用中等的注塑速度。注塑速度应足够快，以实现熔体的均匀性；但也要足够的慢，以避免引起剪切焦烧。快速注塑可提供均匀的固化和良好的表面光泽性，尤其是针对玻纤增强牌号。

模具的设计必须能够使注塑过程中的气体轻易地排出模穴。如果不这样，模穴中气体快速压缩所产生的高温会引起局部过热和焦纹。为了消除内部真空，螺杆的前进时间和保压压力必须足够高，以抵消冷却过程中出现的体积收缩。

必须有足够大的浇口，这样聚合物在保压时间内才不会在其附近凝固。在浇口及其附近所形成的任何堵塞物会阻碍模具内部的填充。

脱模

UDEL 部件可轻易地脱模，不会粘在模具壁上，即使是在热的情况下。作为一项原则，用于 UDEL 树脂注塑的模具脱模角度应该在 0.5° 到 1° 的范围内。由于玻纤增强牌号产品的收缩率较低，需要稍大的脱模角度。顶杆和脱模板的面积应该尽可能的大。顶针不要太细，否则在快速循环或高的模具温度下有可能会压入部件内并使部件变形。

脱模剂

某些脱模剂混合物中含有载体，可能会引起 UDEL 聚砜部件应力开裂。建议用于聚碳酸酯的脱模剂一般都适用于 UDEL 树脂。但是，在使用前也同样应对这些混合物进行相容性试验。

当使用脱模剂生产需要保险商实验所（UL）认证的部件时，一定要注意选用经 UL 认可的、相容于所用产品认证要求的脱模剂。欲获取更多信息，请制造商访问 <http://www.ul.com> 与保险商实验所（UL）联系。

收缩率

室温下模具的尺寸和模塑部件之间的差别被定义为收缩率。这是热塑性树脂的一项基本特性，它是模塑产品在模具中冷却收缩而产生的。其它影响收缩量的因素有：部件的几何形状、壁厚、浇口的尺寸和位置以及加工参数。由于这些因素的相互作用，很难准确地预测收缩率，但还是有可能做近似的估计。一些典型值在 61 页的表 43 中列出。

回用料

浇道熔渣、流道结块以及不良品部件可以通过粉碎后与塑料粒混合，进行再利用。粉碎后的材料通常被称为回用料，它必须是干的。可按照塑料粒的干燥步骤对其进行干燥。聚砜具有优异的热稳定性，回用料可多次回用而不分解。典型的回用料利用方案是将 25% 的回用料与 75% 的新塑料粒混和。

为了证实该材料的稳定性，采用 100% 的回用料模塑成型制得试棒。然后将这些试棒粉碎后又重新模塑成型。直到将材料重复该过程成型四次为止。然后对试棒的拉伸强度、耐冲击性及变形温度进行试验。如表 44 所列的结果表明，材料的特性没有下降。

表 44

经过四次模塑后的 UDEL P-1700 特性

特性	首次模塑	四次模塑后
拉伸强度, MPa	68.9	71
伊佐德 (Izod) 冲击, J/m	69	69
变形温度, °C	175	173

残余应力的测量

当制造聚砜制品时，使残余应力或模塑应力最小化是很重要的。有一种方法可被用来评估残余应力的 大小。该方法必需将部件暴露于一系列的乙醇 / 乙酸乙酯混合物中。它采用已知应力水平的试样来确定在每种混合物中产生微裂纹所需的应力水平。这些混合物及其引起微裂纹的应力水平见表 45。

为了确定残余应力，先将部件浸入乙醇和乙酸乙酯分别占 75% 和 25% 体积的第一种混合物中一分钟。然后将部件从试剂中取出并让其干燥。可采用低压压缩空气吹向部件表面以加速干燥。

然后检查该部件是否有微裂纹。如果该部件有微裂纹，那么其残余应力大于 19 MPa。如果该部件没有微裂纹，那么其残余应力小于 19 MPa。采用下一种混合物继续进行试验。

将该部件浸入第二种混合物，一分钟后取出，让其干燥并检查是否有微裂纹。如果出现微裂纹，那么其残余应力在 15 和 19 MPa 之间。如果没有出现微裂纹，那么其残余应力小于 15 MPa。采用下一种混合物继续进行试验。

按类似的方式继续试验，直到出现微裂纹为止，或者直到该部件可耐受一分钟的乙酸乙酯浸渍而不出现微裂纹为止。

为了保证应力的读数准确，必须使用新配的试剂。随着时间的过去，试剂会吸水、蒸发或被污染，这些都会导致错误的应力指示。尽管可以通过采用已知应力水平的试样来校准试剂，但更实用的方法是定期用盛在密封容器中的试剂来替换。如果您想要校准试剂，请与苏威高性能塑料公司的代表联系以获得帮助。

表 45

残余应力试验所用试剂

混合物	混合物组成		临界应力	
	体积百分比	体积百分比		
	乙醇	乙酸乙酯	psi	MPa
1	75	25	2,800	19
2	50	50	2,200	15
3	43	57	1,700	12
4	37	63	1,300	9
5	25	75	800	6

挤出吹塑

挤出吹塑成型过程由以下步骤构成：

- 挤出的管坯称为“型坯”
- 模具包围该熔融的型坯
- 导入气压使该型坯膨胀并填充模具
- 冷却并让部件脱模

UDEL P-1700 和 P-3500 塑料都适合进行吹塑成型。但由于 P-3500 的熔融强度较高，经常被优先选用。

干燥

聚砜塑料在注塑成型前必须对其进行充分的干燥。有关干燥方面的建议，请参见 59 页。由于被挤出的热型坯是处于大气压力下的，其中所含的任何水分很容易来到表面，因此相对于注塑成型而言，进行干燥对吹塑成型更加重要。

设备

通用级吹塑成型设备，包括连续式和间歇式的挤出型设备，只要能达到 315° 至 345 °C 的熔融温度，都可用于聚砜。

挤出吹塑成型设备的螺杆结构对聚砜的吹塑成型很重要。具有低压缩比（2.0 到 2.5:1）的螺杆能实现熔融温度均匀性、温度控制及功率要求之间的最佳平衡。应避免使用那些通常用于聚烯烃的高压缩比螺杆。它们需要高的驱动转矩，用于聚砜会产生过量的摩擦热。

在挤出成型中，聚砜熔体的温度均匀性要比聚烯烃好一些。因此，一般就不再需要网叠及其它的压力限制。

与注塑成型一样，应采用油来控制模具温度以实现低的模塑应力。由于大多数部件都会有一些相对薄的壁部，模具温度应控制在 120° 至 150 °C 的范围内。

加工条件

用于吹塑成型的塑料温度要远低于用于注塑成型的温度：UDEL P-1700 为 315° 至 330 °C，P-3500 为 330° 至 345 °C。

但其它的吹塑成型条件与一般材料相类似。在成型瓶子时，合适的吹气压力在 0.28 至 0.48 MPa 的范围内。成型周期与聚碳酸酯所采用的相当。由于聚砜具有非结晶性和快速凝固的特点，其循环时间应该比聚烯烃所采用的短。

适当注意模头和模口的设计及温度的控制，会有助于聚砜的吹塑成型。一体化的模头和模口可减少挂料，并改善对熔体均匀性的控制。由于聚砜熔体对温度极其敏感，需要小心地保持模口和模头的表面温度一致。这些预防措施有利于更好地控制型坯。

聚砜吹塑成型的制品可具有平滑光泽的表面。采用表面抛光的模头、轴销以及模口有助于在成型制品中实现较高的固有光泽度。同时也建议采用抛光模具的表面，以使制品获得最佳的外观。聚砜不具有腐蚀性，不需采用镀铬的流面。但镀铬有利于维护轴销和模口高度光滑的表面。

聚砜的熔融粘度对剪切不敏感，使其在出模时的型坯膨胀要比其它大多数吹塑成型材料小。因此，型坯的壁厚通常接近轴销与模口间隙的尺寸。

材料的温度和从模口挤出的速度对控制聚砜型坯的垂伸相当重要。对大多数材料来说，如果材料温度过高或者型坯的挤出速率过慢，都会引起过度的垂伸。一般而言，最佳的结果是在型坯表面光滑的最低温度下快速挤出型坯。建议进行型坯设计，以获得最佳的壁厚均匀性。

挤塑

采用常规的挤出设备就可以将 UDEL 聚砜挤塑成型为各种产品，如薄片、薄膜，型条、棒材、板材及管材等。

预先干燥

进行挤塑之前必须将 UDEL 树脂彻底干燥，以防止挤出料中有气泡。59 页上的有关对材料进行干燥的建议都适用，只是要连续进行干燥直到水分含量低于 100 ppm 为止。若采用料斗进行干燥，则要求有足够的保温和最小程度的系统泄漏。进气温度必须足够高而进气水分含量要足够低，使聚合物塑料粒在 150 °C 以上的温度下保持于露点为 -40 °C 的空气中。必须在这样的条件下维持足够长的时间，才能将聚合物的水分含量降到 100 ppm 以下。

挤塑温度

取决于特定的挤塑操作，挤出料的熔融温度应该在 315 到 370 °C 的范围内。聚砜对剪切不敏感，这就意味着该材料的熔融粘度直接随温度的变化而变化。

对于大多数操作，建议将挤塑机进料端的料管温度设置为 300 °C，模头的料管温度设置增加至 315° 至 340 °C 的范围。如果料管温度的设置均匀维持在 315° 至 370 °C 的温度范围内，应该能挤出所要求的挤出料温度。如果所用螺杆具有相对浅的计量段，就可能需要设置为 315° 至 360 °C 的较高料管温度，以便在设备的压力和功率限制范围内更好地对操作过程进行控制。

螺杆设计建议

在一般情况下，建议采用长径比为 20:1 到 24:1 的螺杆。采用 2:1 到 2.5:1 的压缩比已被证明可得到合适的结果。螺杆的螺距应等于螺杆的直径，而且进料段应该逐渐过渡到计量段。过渡段和计量段都应该比进料段长。过渡段应该是最长的，以提供足够的时间和热量输入使塑料在被压出之前充分软化。一种基本的构型是：进料段 4 个螺槽，过渡段 14 个螺槽，而计量段 6 个螺槽。

也可采用两段式螺杆，以便在要求熔体具有最佳压实状态时进行真空排气。两段式螺杆设计包含一个减压段，藉此在第一个计量段之后进行真空排气。在减压段之后是另一个过渡区和计量区，这与一段式螺杆的设计原则一致。

模口设计

模口加热器必须能够达到并保持 315° 到 370 °C 的温度。由于聚砜的粘度对温度敏感，因此必须对模口温度进行精密控制，以得到均匀的挤出料。

可以采用聚碳酸酯的模口设计。模口通常应该是一体化的。流道的一体化设计与挤片模头两端的清机板（即渗料口塞头）相结合，消除了材料在模口中挂料的趋势，避免发生停滞和分解。

模口应该能够在高达 21 MPa 的压力下持续运作。

流道、模唇及接触面应该高度抛光并镀铬，以使挤出料具有最佳的外观。

聚砜的熔融粘度对剪切速率极不敏感，因此在挤出时几乎不发生离模膨胀。而且，该塑料的快速应力松弛时间使挤塑成型的产品几乎没有任何取向。

挤塑成型产品的类型

线缆

采用半管式或管十字模口可将 UDEL 聚砜挤出到线缆上。为达到良好的粘合效果，线缆的插入温度应该接近于聚合物熔体的温度。UDEL 树脂可实现聚合物熔体管的高垂伸。强烈建议在十字头上抽真空，这有助于提高聚合物管与线缆之间的粘合。不对包裹后的线缆进行淬火，最好是采用弥雾器或水浴进行缓慢地冷却。

薄膜

由于 UDEL 聚砜具有高的熔融强度，在制备薄膜时可表现出优异的垂伸特性。压延模铸薄膜在相当宽的温度范围内具有优良的光学特性、高模量、良好的冲击强度以及良好的电特性。这种薄膜可进行热接合，而且无需处理就可进行印刷。建议采用 P-1700 级 UDEL 树脂进行一般薄膜的挤塑。

一个 63 mm 挤塑机所用的典型薄膜挤塑设备的配置和工作条件是：

模口 可选用衣架式设计和直的异型节流杆设计的标准薄膜模口。对于厚为 0.025 到 0.25 mm 的薄膜，应采用 1 到 1.5 mm 的模唇开口。模口必须能够在 24 MPa 的压力下持续运作。

破料板 破料板是引起所谓的“模口条纹”的原因，应该用套筒将其替换。套筒可以使模头接套与挤塑机密闭。

压延辊 需要一台在 170 °C 温度下工作直径为 20 cm 的辊子来防止薄膜的起皱。

挤塑机温度 从后段到前段的料管温度应该是 300 到 330 °C。模口温度应该在 330 到 345 °C 的范围内。

输出率 在上述这些条件下，输出率应为 1.4 kg/hr/rpm。

薄片

可选用具有节流杆的标准圆球和泪珠状异型挤片模头。采用 3 mm 的模唇开口可制得厚度为 0.5 到 3 mm 的薄片。

薄片的挤塑过程中，引出辊的温度必须保持足够高，以防止卷曲并使薄片中的应变最小。倘若可以获得 165° 至 195 °C 的辊子温度，可对厚度高达 0.8 mm 的薄膜采用“S”缠绕技术。对厚度大于 0.8 mm 的薄膜，建议采用直通压延技术。这需要在跨过薄片的两辊之间的辊隙中维持一定的料堤，并保持辊子温度为 165° 至 195 °C。

厚度高达至 3 mm 的薄片可采用电动剪来切分薄片的长度。对于更厚的薄片，建议采用电锯来切分。

管材和管路

采用标准的轴销和模芯组件可挤出聚砜管材和管路。原料温度的控制对达到期望的熔融弹性非常关键。对于 UDEL P-1700，建议的原料温度为 305° 至 320 °C。对于 UDEL P-3500，熔融温度还应高 15 °C。

控制尺寸的定径板和真空槽法令人满意。不建议采用延长的内芯轴。为实现对熔体的最佳控制，挤塑模应比定径模大 70% 到 100%。

为获得高品质的挤塑产品，必须使加工所引起的应力减小到最低程度。要达到这一目的，必须在保证尺寸要求的同时使真空定径槽中的冷却程度尽量小。通常只需聚乙烯所用 1/4 到 1/5 的水浴长度就够了。

起动、关机及清料管

起动步骤

在无排气式挤塑机上，将预干燥的热塑料加到用水冷却进料口的料斗中。在螺杆的进料段被填满之前，螺杆速度应为 15 到 20 rpm。当进料段被填满之后，将螺杆速度减小至 5 到 10 rpm。这样可防止塑料粒过早熔融以及对螺杆后段的污损。材料出模后，停止进料口的冷却水，并将螺杆速率调节至所需值。

关机步骤

如果在聚砜的挤塑成型过程中需要关机，必须注意以下几点。如果是短时间关机，即最多几小时，只需让挤塑机排空塑料，然后采用空机加料方式重新起动就可以了。对于时间长于几个小时的关机，应让挤塑机排空，并且让挤塑机和模口尽快冷却到室温。起动时，模口加热器应比挤塑机的加热器先打开一个或两个小时。挤塑机的温度一旦达到 290° 至 350 °C，螺杆就可以周期性转动直至达到挤出温度为止。然后，在低螺杆速度下采用空机加料方式来完成起动，直到塑料从模口中挤出为止。

让热塑性树脂在挤塑机中长时间停滞在挤出温度下是不好的。在这种情况下可能会有一定程度的分解发生，而且会导致设备难以重新启动和清料管。

清料管

用低熔融指数的高密度聚乙烯或低熔融指数的聚丙烯很容易清洗聚砜。进行清料管时，要在机器内的聚砜排空之后将模口、接套和破料板拆卸下来。将设备冷却到大约 290 °C，然后用输气管吹气除去残余塑料。

然后将料管升温到 340 °C，并加入清机料运转，直到挤出料中看不见聚砜为止。然后将温度降到 150 °C。这时可将螺杆拆除，用刷子将螺杆和料管刷干净。如果聚砜塑料仍然粘在任何料管部件上，可将其放在氯化溶剂中浸渍一夜，然后刷洗干净。

热成型

UDEL 聚砜薄片在热成型前必须干燥。如果不经干燥，材料会在热成型过程中因受热而发生气泡。直接从挤塑生产线上得到的薄片是干燥的，可满足热成型的要求。因此，可使用一条集合挤塑和热成型为一体的生产线。而且，取决于湿度情况以及薄片在收卷工位的热度保持时间，紧密卷绕的薄片卷可以在 8 至 16 小时的时间内满足热成型条件。厚度为 0.2 mm 或更小的薄片不会起泡，在热成型前无需干燥。

UDEL 聚砜薄片卷可以成卷进行干燥。例如，卷芯厚度为 15 cm 的 0.5 mm 薄片需在 135 °C 的温度下干燥大约 20 小时。干燥料卷的时间取决于薄片卷绕的实际厚度，因为整个料卷的温度至少应达到 120 °C 以上。

厚度为 0.4 mm 到 0.5 mm 的 UDEL 聚砜单片薄片可在 135 °C 的烘箱中干燥 2 小时即可。对厚度为 0.8 mm 的薄片，干燥时间应延长至 3 小时。

在热成型过程中，薄片的实际表面温度必须在 230 °C 到 260 °C 之间。加热器的加热表面密度最小应为 20 kW/m²。加热器密度最好是在 40 到 50 kW/m²。放置在 0.5 mm 厚的 UDEL 聚砜薄片两侧 8 cm 之内，密度为 40 kW/m² 而且温度设定为 430 °C 的加热器，可在 15 秒的时间内将薄片加热。对于厚度高达约 2.3 mm 的薄片，可采用单面加热。

加热过程中，薄片会拉伸绷紧，然后会由于应变释放而在夹具间弯曲变形。然后，薄片又会均匀绷紧，接着就会下垂。这时，就可以进行成塑了。加热后的 UDEL 聚砜薄片下垂相对较快，特别是对于较重的厚料。必须迅速地将其引到模具上，而且一定要给低位加热器提供足够的空间。

大多数常规的热成型方法已成功用于 UDEL 聚砜薄片，如真空成型、压力成型、模塞助压和快速反吸等。已有面积比高达 9:1 的商品部件。

热成型的原型产品可采用多种类型的模具生产，例如木模具、金属填充的环氧模具或者铸铝模具。由于在高温条件下工作，硬木模具只能完成 10 到 30 个部件。金属填充的环氧模具可以完成 100 到 300 个部件。铸铝模具则可以生产几千个部件。

产品模具应该采用金属制作，而且内部由温度为 150 °C 的流体传热介质进行加热。可以采用铝制或钢制模具，其模具表面的再现性非常好。UDEL 聚砜的模塑收缩率始终为 0.7%。比较理想的情况是，让模具在 150° 至 165 °C 的温度下工作，以获得最小的残余应力。这样所制得的部件可具有最大的耐环境应力开裂的能力。UDEL 聚砜的凝固非常迅速。可在 150° 到 175 °C 的温度下将部件脱模。

用于 UDEL 聚砜热成型的模具设计应遵从下列刚性、非结晶性材料的常规标准：

- 在部件设计所允许的范围内尽可能将所有拐角修圆。
- 对于浅部件，脱模角度应至少为 3°；而对于深撑压的部件，脱模角度应至少为 6°。
- 避免咬边。
- 所钻真空孔的最大直径为 0.4 mm。

压塑成型

将 25 mm 厚，200 mm 长及 200 mm 宽的聚砜板材压塑成型以制作原型部件或形状时，建议按以下步骤进行。

1. 将 1,500 克的 UDEL P-1700 塑料粒装填入模穴内。
2. 将两个压板的温度升高到 290 °C。
3. 把一块 10 mm 厚的隔热板置于模具顶部。将模具放入加压机，然后合上加压机。⁽¹⁾
4. 施加 20 吨的压力，并保压 1 小时。
5. 打开加压机，取出隔热板，然后再施压 10 分钟⁽²⁾。
6. 将压板冷却到 120 °C，释放压力后将模具从加压机中取出并分开。

要制作厚度为 13 mm 而其它尺寸与前述相同的板坯，可采用上述步骤并进行下列修正：在步骤 1 中，使用 750 克的 UDEL P-1700 塑料。在步骤 4 中，将时间缩短为 30 分钟。

⁽¹⁾ 需要使用隔热板，这样才能保证从单侧加热。两侧加热会造成中间产生夹气。

⁽²⁾ 最后的两侧加热可消除气泡在顶部表面形成。

二次加工

清洗和脱油

推荐使用 E.I. DuPont 生产的 Vertrol® XF 进行聚砜部件的蒸汽脱油和清洗。

退火

与其它高性能的非结晶性热可塑性材料一样，暴露于某些侵蚀性环境中的聚砜在应力的作用下会出现微裂纹或开裂。例如，象丙酮和甲苯这样的溶剂会使存在高残余应力的聚砜出现微裂纹或开裂。实验室试验和现场实验都显示，如果在暴露于这些溶剂之前对聚砜部件采取退火处理以释放应力，在清洗时就能够耐受这些溶剂。但是，退火会增加额外的开支，并造成伸长率和冲击特性的降低。

低残余应力处理

在考虑进行退火处理前，应尽量在产生最低应力的操作条件下进行模塑或挤塑。由于缓慢冷却可以降低残余应力，在加工过程中应该在保证获得良好的部件成型所要求的尽可能高的温度下将部件取出。

为了在注塑时获得低的应力，请遵循所推荐的注塑成型条件，并采用 140° 至 150 °C 的模具温度。同样地，对于管材、软管和型条的挤塑，应尽量缓慢地后续冷却。

在空气中退火

如果必须要退火，建议在 165 °C 的温度下、空气循环烘箱中处理 30 分钟。这样的退火处理可除去大部分的残余加工应力而不会显著影响塑料的韧度性能属性诸如伸长率。在某些特殊情况下或者如果绝对需要将残余应力彻底消除，可在 170 °C 的温度下进行一小时的剧烈退火。要尽量避免更剧烈的退火条件，因为它们会降低塑料的韧度属性。

要评估部件在退火之后的应力水平，可将部件浸入乙酸乙酯一分钟。如果部件没有出现开裂，则可以认为其已基本没有应力。如果其在乙酸乙酯中出现了开裂，则可浸入 75/25（体积比）的乙酸乙酯 / 乙醇混合液中进行类似的试验。若在该混合液中没有出现开裂，说明应力水平小于 6 MPa。

由于退火是一个复杂的课题而且可导致意外的后果，建议您与苏威的技术服务代表联系以获得适合您的特殊情况的进一步指导。

快速退火

也可以通过将部件浸入温度为 165 °C 的液体（如丙三醇）中数分钟来完成退火。在放入丙三醇中之前，建议先在沸水中将部件浸泡 5 分钟。当退火完成后，将部件再放入沸水中浸泡 5 分钟。与暴露在空气中数小时相比，这种只需几分钟就完成的退火处理方法具有时间上的优势。表 10 列出了对各种厚度所建议的退火时间。

进行液体退火的缺点显然是需要对高温部件和高温液体进行操作。液体退火属于表面现象，在某些条件下是具有侵蚀性的介质，仍有可能侵蚀材料。

玻璃纤维增强级的材料可能更适合于那些对耐化学性或耐溶剂性有要求的应用。这些材料通常具有足够的耐应力开裂能力，无须进行退火处理。

表 10
在 165 °C 丙三醇中的退火时间

部件壁厚		退火时间（min）
in.	mm	
0.060	1.5	0.75
0.100	2.5	1.50
0.125	3.2	2.00
0.250	6.3	4.00
0.375	9.5	5.00

机加工

可用常规的金属加工工具对 UDEL 树脂进行机加工。由于其软化温度高，可用相对高的切削速度而不至于引起胶粘。

但是，当为了水解稳定性和耐化学性而要求所制得的部件具有低应力时，建议使用较慢的速度和非常尖锐的刀具。采用慢的速度和尖锐的刀具会使被加工的表面产生较少的热，从而使应力低一些。

所有的机加工操作都会使应力有所增加，取决于最终使用的环境，也可能需要对所制得的部件进行退火处理。

冷却液

如果需要冷却液，可以使用清水。大多数用于金属机加工的冷却液不能采用，因为它们与 UDEL 聚砒不相容。

有一种商品冷却液在所建议的浓度下使用时可以与 UDEL 聚砒相容，这就是 Milacron Marketing 公司的 Cimcool® Cimtech® 95 冷却液。

钻孔

常规的钢材加工工具十分适用于聚砒。任何钻孔操作都可使用 12° 至 15° 的间隙角、118° 的顶角和 5° 的刀面角。

可轻易扩大小孔，而不产生碎屑。当完全钻穿聚砒块料时，钻头有可能会使块料的底层破裂或者切削到孔的边缘。通过垫厚块料和减慢进料速度，可以消除这一问题。

建议使用标准的高速螺旋钻。建议采用 0.15 到 0.40 mm/rev 的进料速度和 90 m/min 的切削速度。

攻丝

加工钢材用的标准丝锥非常适合于聚砒。不需要使用润滑剂或切削油，但可使用少量的润滑油以减少丝锥的磨损。

使用速度为 10 至 20 m/min 的 2、3 个槽的丝锥，便可得到良好的效果。

锯切

可以用任何类型的锯条来锯聚砒。木锯锯条比金属锯条稍好。常规的每毫米 0.7 齿齿距的带锯锯条的切割效果好。10 齿距锯条的效果同样很好。锯切的条件一般不重要。

车削

可以使用常规变速的具有圆头或尖头刀具的金属车削车床。建议采用具有 3° 刀面角、10° 间隙角和 5° 侧角的尖锐刀具。采用圆头刀具一般能得到较平滑的成品。

可以在高达 4.5 至 5 m/sec 的高速下进行聚砒的车削，但在大约 1.5 m/sec 的速度下可获得最佳的效果。在车螺纹和车削时不需要冷却液或润滑剂。

以 0.05 至 0.1 mm/rev 的进料速度和 0.5 mm 的切削深度将可获得良好的切削效果和好的成品。

铣和特形铣

可在无冷却液或润滑剂的条件下高速完成铣和特形铣。用于铝材加工的刀具效果很好。例如，一个 13 mm 宽和 2.5 mm 深的槽可以 115 mm/min 的进料速度和 1,750 rpm 的转速进行端铣。

抛光和装饰

UDEL 树脂是极好的成品底物，几乎能满足任何装饰或功能抛光的要求。

上漆

采用有机涂料和常规的上漆技术可以给 UDEL 树脂涂上各种颜色。上漆可以是获得欲期外观的一种经济的方法。

对涂料的一项重要要求是必须粘合好而且不脆化。为获得合适的涂料粘合度，一定要将部件表面的外来物质如灰尘、油点、油脂和脱模剂等从表面除去。当存在污染物时，应先对部件进行清洗。操作得当的部件可能不用清洗，无需处理就可进行上漆。

尽管有时也用辊涂和浸渍，常用的上漆方法则是喷涂。

涂料的选择取决于对成品装饰或功能的要求以及所采用的上漆方法。用于涂敷的材料有：聚氨酯、聚酯、环氧树脂、丙烯酸树脂和醇酸树脂。

取决于所用的涂料，可以通过空气干燥或烘箱烘烤进行固化。如果需要烘烤，UDEL 树脂的高耐热性使其可采用相对高的烘箱温度。

电镀

电镀的塑料部件十分耐用，可作为压铸件和金属板的轻质替代品。经过特殊预处理在塑料部件上形成导电的表面后，就可以用与金属电镀类似的方法进行电镀加工。

热压印

热压印是一种一个步骤完成且经济的方法，用于将高品质的图像印到塑料部件上。加热的压模将图案从转印带上转印到平整的塑料表面上。图案可以是字母，也可以是有颜色的装饰性花样、木纹或金属修饰物。

可采用卷轧式或垂直式设备对 UDEL 树脂进行成功的热压印。进行热压印没有特殊的工艺要求，压模温度、压力和保压时间都在常规范围内。

印刷

可采用丝网印刷技术和墨滚传递印刷技术成功地对 UDEL 树脂进行印刷。墨滚传递印刷可进行高速复制生产，具有良好的经济性。使用多色同步印刷设备，还可以复制单色或多色的图像。丝网印刷主要用于有限批量的生产。虽然丝网印刷比墨滚传递印刷速度慢，但是它能对异型面进行装饰，从而成为模塑部件的理想印刷方法。

多数油墨对 UDEL 树脂有很好的粘合力。不需要象聚烯烃那样为提高粘合力而进行表面预处理。

因为聚砜有优异的耐水解性，所以常常在需要暴露于蒸汽、热水和化学品环境的应用中使用。如果要在这些应用中的外观和粘合性，就要求用于印制这些部件的印刷油墨也具有水解稳定性。基于双组分环氧树脂系列的油墨正成功地在这些应用中使用。通过热固化的配方可使环氧的交联最大化，因而具有最大化的耐外部环境能力。许多供应商都能提供用于丝网印刷和墨滚传递印刷的这类油墨。

其它适用的装饰方法包括热压印、苯胺薄膜印刷和激光蚀刻。

真空金属喷镀

UDEL 树脂曾成功地进行真空喷镀金属，用于获得装饰或功能性的金属涂层。虽然铝是最常用的涂层材料，但其它金属如金、银、黄铜和铜也可以采用。

对大多数热可塑性材料来说，真空喷镀工序的第一步是上釉或者打底漆，以平整部件表面并提高表面亮度。底层同时也有粘合剂功能，将模塑部件和金属涂层接合起来。

然后将部件放置在真空室内，金属蒸气在真空室内形成并沉积在部件上成为涂层。接着在薄薄的金属涂层外再涂上一层具有保护性的透明面层，以增加耐磨损性和耐环境性。由于 UDEL 树脂的高耐热性，使其可采用需要高温烘烤但耐用、耐磨的涂层。

在模塑部件上添加金属表面会使模塑件表面的缺陷更加突出，因此模具表面应该高度打磨抛光。

装配和接合

超声焊接

超声焊接是一种用来把塑料部件粘结在一起的装配技术。该技术非常快速，可全自动地获得高速、大批量生产。超声焊接需要注意的细节诸如接头设计、焊接参数、制具以及水分含量。

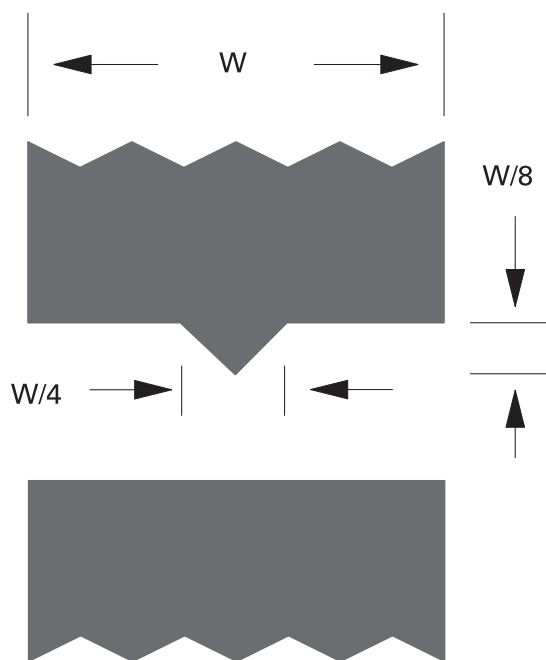
超声接头设计的原则是，一开始就将能量集中在一个小的接触面内。高频振动使材料熔融，在振动停止后熔体凝固期间需要保持压力。所形成的焊接可与原始材料一样坚固。

可焊性取决于单位面积上振动能量的强度。与聚碳酸酯相比，UDELM 树脂具有较高的熔融温度，因而需要更多的能量使材料在接头位置熔融并流动。

具有能量导向头的基本对焊接头如图 19 所示。V 形的能量导向头将能量集中到该区域，它会随着部件被挤压到一起而迅速熔融并产生一个熔融池。如果期望将接头密封，则应选用一个相配的流道。

图 19

能量导向头设计



有助于确保获得最佳结果的其它建议如下：

- 焊接角应该具有适当的接触面积
- 接点 / 焊缝区域应尽可能接近焊接角接触塑料部件的位置
- 接触面应该小
- 接头设计应允许熔融材料的充分流动。

热板焊接

该方法需要一个可达到 370 °C，且涂有不粘表面如聚四氟乙烯的热板或其它适用热源。将需要焊接的两个表面压到温度为 370 °C 的热板上大约 10 秒钟，然后立刻将它们接合在一起。由于聚砜含有少量的水分，在进行热焊接之前最好在 120 °C 的温度下干燥 3 至 6 小时。为了快速、正确的接合，有必要采用合适的夹具。加热到 175 °C 的金属夹具就可以顺利使用。

也可采用直接热焊接法将聚砜粘结到金属上。要将聚砜粘结到铝上，应把该金属加热到 370 °C，然后直接放置到干燥的聚砜部件上。当按照这种方法制得典型的搭接剪切样品并进行拉伸剪切强度试验时，出现破损的是聚砜试条而不是接头。

采用冷轧钢时，必须要先用 5% 到 10% 的聚砜溶液先涂抹金属表面。该底涂层应在 260 °C 的温度下干燥 10 分钟。在与聚砜进行粘结之前，应将具有底涂层的金属片加热到 260° 至 315 °C。

溶剂粘结

溶剂粘结法是粘接某些塑料的一种快速经济的方法。该方法涉及到在粘接面施用某种溶剂。溶剂使表面聚合物软化或溶解，然后将软化的表面压在一起直到溶剂蒸发为止。在理想情况下可形成真正的焊接。

对 UDEL 树脂模塑件一般不建议采用溶剂粘结。因为有效的溶剂，如二氯甲烷，会存在有害健康的问题。

旋转焊接

旋转焊接是一种快速粘接具有圆焊缝接口部件的方法。保持固定其中的一个部件，另一部件在特定压力下旋转并与其接触。于是在接口的界面间会产生摩擦热。发生熔融后即可停止相对运动，并在压力下使焊接处固化。

粘合剂粘合

可以采用市面上通用粘合剂，把 UDEL 树脂模塑的不同部件或把 UDEL 树脂模塑的部件与其它材料粘合起来。粘合剂粘合的成功取决于接头设计和所施加的应力，以及最终使用的环境因素如工作温度和所接触的化学品等。

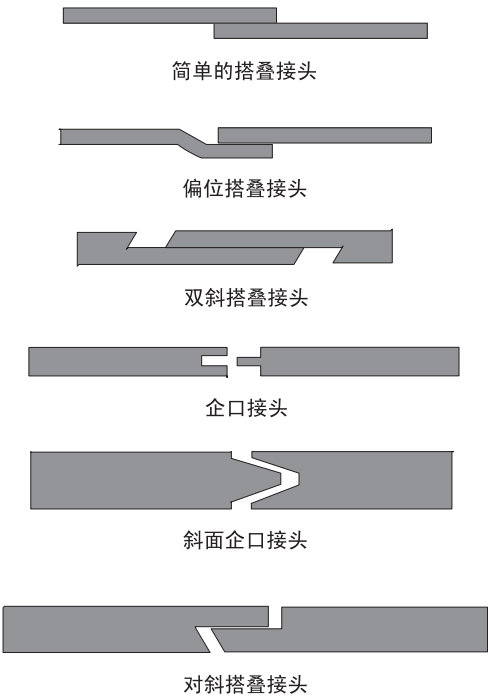
通常建议用于热可塑性材料的粘合剂有：环氧树脂、丙烯酸酯、酚醛塑料、聚氨酯、聚酯和乙烯树脂。有关粘合剂的详细建议可与粘合剂供应商联系获得。但是，设计者应该对实际的最终使用环境中其粘接处的性能进行试验。

同样重要的是，粘合面不能含有任何的污染物，如油脂、油点、指纹印和脱模剂等，这些污染物会削弱粘合强度。在某些情况下，要粘合的表面必须先进行化学刻蚀或机械糙化处理，使粘合剂具有坚固的粘着力。夹钳的压力需要够大，以确保界面的充分接触。但也不能过高以至于使部件变形或将粘合剂从粘接处挤出。

粘接区域的设计应使得两个部件能够准确地配合在一起。图 20 显示了所推荐的用于粘合剂粘合的接头设计。部件模塑应具有低残余应力以确保尺寸的精确。

图 20

粘合剂粘合的接头设计



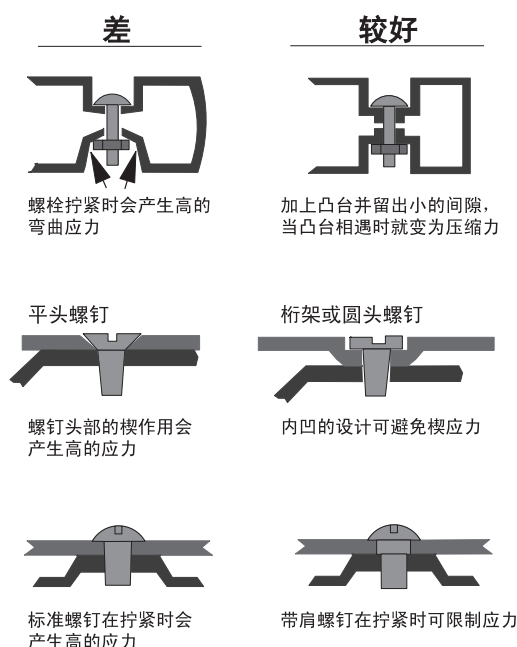
机械紧固件

常与注塑成型的塑料部件一起使用的紧固件包括螺钉、螺栓、螺母、防松垫圈和锁定螺母。在使用金属的机械紧固件时，应实行适当的设计以避免使装配件中的塑料部件应力超限。

避免高应力装配件最显而易见的方法是采用可调转矩限制的起子器来控制机械紧固件的紧固。在无法控制转矩的情况下，例如进行现场装配，可以用带肩螺钉来限制塑料部件上的受压。其它的可选方法有：使用凸头螺钉、大的垫圈或者带肩垫圈。图 21 所示为使用机械紧固件的一些首选设计。

图 21

为使用机械紧固件而设计



模塑螺纹

通过模塑螺纹，将内螺纹和外螺纹模塑到需要装配的部件上。模塑内螺纹通常要求模具具有某种旋松或倒螺机构。

在有些情况下，可沿合模线分割模塑成型外螺纹。通常不能应用于模塑非常细的、长度超过 28 齿距的螺纹。

螺纹嵌入件

金属螺纹嵌入件是在塑料部件中加入永久性的金属螺纹。嵌入件的尺寸和类型可以各种各样。嵌入件通常安置在具有专门为嵌入件设计内径的模塑凸台中。有些嵌入件要被强制压入凸台中，而另一些嵌入件则可采用较小应力但附着力更强的方法进行安置。

超声嵌入件的使用非常普遍。它们采用与超声焊接相同的设备进行安装。由于超声焊接是将金属嵌入件周围的材料熔融，所以这样的安装通常是既坚固又相对无应力。

除内螺纹外，嵌入件还可以是外螺纹、定位栓和轴衬。推荐的安装方法和凸台尺寸可与嵌入件供应商联系获得。

自动攻丝螺钉

自动攻丝螺钉适用于 UDEL 树脂。自动攻丝螺钉是连接塑料部件的一种经济的方法，因为它们省掉了模塑内螺纹或者进行另外的攻丝操作。

自动攻丝螺钉的主要类型是螺纹成型螺钉和螺纹切削螺钉。每种类型都有各自的优点和缺点。螺纹切削螺钉机械地除去材料而形成螺纹，与使用丝锥形成螺纹一样。螺纹切削螺钉所需的驱动转矩较小，因而凸台应力也小，而且其拆卸转矩和拔拉强度都较小。螺纹成型螺钉在拧入时使材料变形，从而在塑料部件中形成螺纹。螺纹成型螺钉产生较高的凸台应力，而且需要较高的驱动转矩，但也提供较高的拆卸转矩和拔拉强度。螺钉类型的选择最好由原型试验来确定。

图 22

自动攻丝螺钉的凸台设计

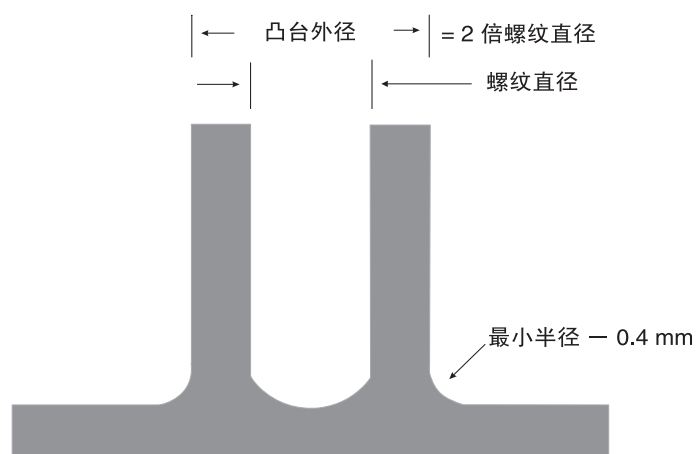


图 22 举例说明了配用自动攻丝螺钉的基本设计原则。它们包括：

- 使用直径等于螺纹中径的螺孔，以获得最高的拆卸转矩和驱动转矩比。
- 使用直径为螺钉直径两倍的凸台。太薄的凸台可能会开裂，而更厚的凸台也不会增加拆卸转矩。
- 采用长度等于螺钉螺纹中径 2.5 倍的螺纹啮合。拆卸转矩随着啮合长度的增加而迅速增大，直到啮合长度大约等于螺钉螺纹中径的 2.5 倍为止。
- 在装配线上采用可控制转矩的起子器，以避免出现部件脱离或高应力的装配件。

采用自动攻丝螺钉时，应避免反复装配和拆卸。如果需要反复装配，建议采用螺纹成型螺钉。

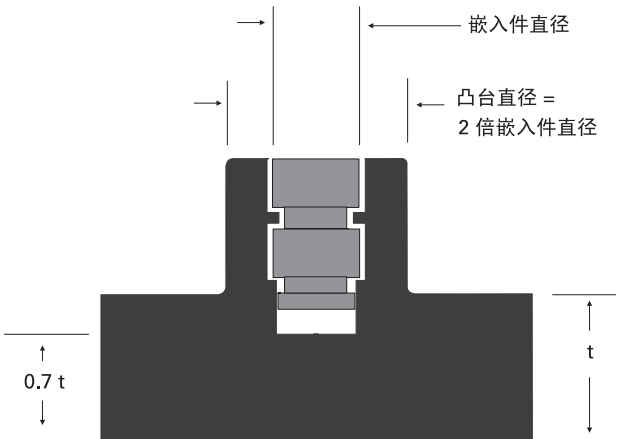
超声嵌入件

除了模塑嵌入件和压配嵌入件外，还可通过超声将金属件嵌入到塑料部件中。经过适当的设计，超声嵌入法可获得比其它嵌入法更小的残余应力。

超声嵌入件的类型很多，但它们的设计原则非常相似。都是通过嵌入件的压力和超声振动使金属与塑料界面的材料熔融，从而将嵌入件插入到模塑或已钻的孔穴中。塑料被熔融并被大直径的嵌入件挤出，然后流入一个或多个凹槽内固化并锁住嵌入件。

图 23 显示了推荐用于 UDEL 树脂嵌入件和凸台的设计。

图 23
超声嵌入件的凸台设计



索引

A

ASTM D 1822 18
ASTM D 256 16
ASTM D 638 12
ASTM D 695 15
ASTM D 696 24
ASTM D 790 14
ASTM E 132 19

B

保险商实验所 (UL) 31, 32
背压 62
壁厚 56
比热 26
比容 27
表面电阻率 32
丙酮 70
玻璃转化温度 22
薄膜 67
薄片 68, 69
泊松比 19

C

CLTE 24
残余应力的测量 65
长期暴露于热水 35
长期蠕变特性 20
超声焊接 73
超声嵌入件 76
车削 71
冲击特性 16
抽芯 57
垂直燃烧试验 — 20 MM 28

D

大电流电弧点燃 (HAI) 33
导热率 26
低残余应力处理 70
电镀 72
电特性 32
典型特性表 9

G

干燥 59, 66
刚度设计 51
高压电弧起痕率 (HVTR) 33
高压、低电流干态耐电弧性 (D495) 32
攻丝 71, 75
故障排除指南 64
管材和管路 68
关机 68
关机步骤 68
惯性矩 48
光学特性 47
过盈配合 55
过盈配合, 容许过盈量的计算 55

H

焊接
 超声 73
含氯热水 37
回用料 65

J

挤出吹塑成型 66
挤出温度 67

机加工 71
机加工冷却液 71
机器设置 62
挤塑 66, 67
挤塑成型产品的类型 67
机械紧固件 75
机械特性 9
机械特性的变化 22
机械性能设计 48
甲苯 70
加工条件 66
加加强筋以维持刚度 51
加强筋 57
剪切特性 15
浇口 61, 62
介电常数 32
介电强度 32
紧固件
 机械 75
进料特征 62
金属喷镀
 真空 72
锯切 71

K

抗辐射性 38
可承受持续载荷的设计 52

L

拉扣配合 58
拉伸冲击 18
拉伸蠕变 20
拉伸特性 12, 23
 温度的影响 23
拉伸应力 48
梁弯曲 48
料管温度 62
料管中的滞留时间 62
流变性能 60
螺杆末端和止逆阀 61
螺杆设计 61, 67
螺杆设计建议 67
螺杆速度 62
洛氏硬度 46
洛氏硬度值 46
螺纹 54, 75
螺纹嵌入件 75

M

密度 29
模具 61
模具温度 62
模具温度控制 61
模口设计 67
模塑螺纹 75

N

耐冲击性
 加德纳 18
 拉伸冲击 18
 抛落冲击 18
 卡毕 (Charpy) 17
 伊佐德 (Izod) 16
耐候性 35
耐化学性 38

耐环境性 35
耐磨损性 45
耐磨性 45
耐应力开裂 40
挠曲的计算 52
挠曲特性 14
 温度的影响 23
粘合
 粘合剂 74
粘结
 溶剂 74

P

排气 61, 62
抛光和装饰 72
抛落冲击 18
配合注塑的设计 56
喷嘴 61

Q

汽车工作液 — ESCR 43
起动步骤 68
起动、关机及清料管 68
卡毕 (Charpy) 17
清料管 68
清洗和脱油 70
缺口敏度 17
缺口伊佐德 (Izod) 35

R

燃烧特性 28
热板焊接 73
热成型 69
热老化 31
热膨胀系数 24
热水
 长期暴露的影响 35
热丝点燃 (HWI) 33
热塑性树脂的分类 22
热特性 22
热稳定性 30
热压印 72
热重分析 30
蠕变 20
蠕变模量 21

S

上漆 72
设备 61, 66
设计极限 53
设计容许值 53
渗透性 45
食品及相关产品 44
收缩率 63
水解稳定性 35
水平燃烧试验 28
水中的拉伸蠕变 21
丝 33
损耗因数 32

T

特形铣 71
体积电阻率 32
凸台 57
退火 70
脱模 63

脱模剂 63
脱模角度 56
脱模角度和頂出 61

U

UL 32
UL 746A 短期特性 32
UL 94 28
UL 热指数 31
UL 相关热指数 32

W

弯曲应力 48
维卡软化点 26
稳定性
 热 30
 水解 35
温度
 玻璃转化 22
 对拉伸特性的影响 23
无机物 42
物理特性 45

X

吸水性 45
铣和特形铣 71
线缆 67
相比漏电起痕指数 (CTI) 33
旋转焊接 74

Y

压塑成型 69
压缩特性 15
烟气密度 29
氧指数 29
乙酸乙酯 70
伊佐德 (Izod) 16
印刷 72
硬度
 洛氏 46
应力 — 应变的计算 48
应力 — 应变曲线 14
应力集中 54
应力水平 48
有机物 41
 耐应力开裂性 41
预先干燥 67

Z

载荷下变形温度 24
增加截面厚度 51
真空金属喷镀 72
蒸汽消毒分析 37
骤燃温度 29
注塑 56, 61, 62
注塑成型过程 62
注塑设备 61
注塑速率和排气 62
注塑温度 62
装配和接合 73
装饰 72
灼热丝测试 29
自动攻丝螺钉 75
自燃温度 29
钻孔 71

注意

Solvay Advanced Polymers, L.L.C.

4500 McGinnis Ferry Road
Alpharetta, GA 30005-3914
美国

电话: +1.770.772.8200
+1.800.621.4557 (仅限美国)
传真: +1.770.772.8454

中国上海

Solvay Shanghai Co Ltd.
Building 7, No. 899, Zuchongzhi Road,
ZhangJiang Hi-Tech Park,
Shanghai, China
苏威(上海)有限公司
上海市张江高科技园区祖冲之路 899 号 7 号楼
邮政编码: 201203
电话: +86-21-50805080
传真: +86-21-50805398

苏威高性能塑料公司及其下属机构还在美洲、欧洲及亚洲都设有办事处。要确定离您最近的办事处地址, 请访问我们的网站: www.solvayadvancedpolymers.com

产品和技术资料

据我们所知, 此处所包含的信息在编写本文件的当日是正确无误的。但是, 无论是苏威高性能塑料公司还是其任何下属机构均不对这些信息作出任何明示或暗示的保证, 也不承担与这些信息或其使用有关的任何赔偿责任。这些信息适合那些对技术熟悉的人员使用, 并由他们根据自己的判断进行使用及承担风险, 同时这些信息并没有涉及将本产品与任何其它物质或任何其它加工过程结合使用。这不是任何专利权或其它所有权的许可证。用户必须自己确定此处的任何信息或材料对其所预期的使用是否适合、应采取何种使用方式以及是否侵犯了任何专利权。

健康及安全信息

苏威高性能塑料公司备有其产品的材料安全数据表(MSDS), 请给本文档中所述地址写信或向销售代表索取。在使用我们的产品之前, 应先参阅适当的材料安全数据表。

UDEL 是苏威高性能塑料公司的注册商标。

Solvay
Advanced Polymers

