

Amodel®



**SOLVAY**

asking more from chemistry®

**Amodel® PPA**

设计指南

**SPECIALTY  
POLYMERS**



引言.....	1	蠕变.....	31
<b>Amodel 高性能聚对苯二酰胺 (PPA) 塑料</b> .....	<b>1</b>	拉伸蠕变.....	32
化学.....	1	同步应力/应变曲线.....	34
结晶性.....	2	拉伸蠕变断裂.....	34
水分的影响.....	3	挠曲蠕变.....	35
<b>产品资料</b> .....	<b>4</b>	压缩蠕变.....	36
<b>Amodel 塑料特性表</b> .....	<b>4</b>	耐疲劳性.....	36
命名法.....	5	Amodel 塑料的疲劳强度.....	37
产品选择.....	5	水分的影响.....	38
<b>特性数据</b> .....	<b>6</b>	水分吸收的意义.....	38
<b>典型特性</b> .....	<b>6</b>	吸水和玻璃转化温度 (T <sub>g</sub> ).....	38
<b>加速水分处理</b> .....	<b>6</b>	吸水量.....	39
<b>机械特性</b> .....	<b>19</b>	水分对强度和刚性的影响.....	39
短期机械特性.....	19	由于吸水造成的尺寸变化.....	40
拉伸特性.....	19	与 PA 6,6 相比的尺寸变化.....	41
试验方法.....	19	<b>热特性</b> .....	<b>42</b>
拉伸特性的比较.....	21	热变形温度 – HDT.....	42
GR PPA 的拉伸特性与温度的关系.....	21	Amodel 塑料的变形温度值.....	43
A-1000 GR 牌号在高温下的拉伸特性.....	22	线性热膨胀系数.....	43
挠曲特性.....	23	导热率.....	45
试验方法.....	23	比热.....	46
挠曲特性比较.....	24	热稳定性.....	47
高温下的挠曲特性.....	24	热重分析 (TGA).....	47
剪切特性.....	26	热老化.....	47
压缩强度和压缩模量.....	27	相对热指数 (UL).....	48
冲击强度.....	27	燃烧特性.....	50
伊佐德 (悬臂梁) 冲击.....	28	发光金属丝试验.....	50
伊佐德冲击特性的比较.....	28	烟气密度试验 (NBS).....	51
卡毕 (支撑梁) 冲击.....	29	按照 UL 94 的垂直可燃性.....	51
落锤冲击特性.....	30	水平燃烧试验.....	51
泊松比.....	30	50 W (20 mm) 垂直燃烧试验.....	51
长期机械特性.....	31	500 W 垂直燃烧试验.....	52

电特性 .....	<b>53</b>	装配件的设计 .....	<b>73</b>
介电击穿电压和强度 – ASTM D149 .....	53	过盈配合或压配 .....	73
体积电阻率 – ASTM D257 .....	53	容许过盈量的计算 .....	73
表面电阻率 – ASTM D257 .....	53	机械紧固件 .....	74
介电常数 – ASTM D150 .....	54	自动攻丝螺钉 .....	74
损耗因子 – ASTM D150 .....	54	改善转矩保持力 .....	74
UL 746A 短期特性 .....	54	紧固转矩 .....	75
高压、低电流、干态耐电弧性 – ASTM D495 .....	55	拔出力的计算 .....	75
相对漏电起痕指数 (CTI) – ASTM D3638 .....	55	螺纹嵌入件 .....	75
高压电弧起痕率 (HVTR) .....	55	注塑螺纹 .....	76
热丝点燃 (HWI) – ASTM D3874 .....	56	采用搭扣配合的设计 .....	76
大电流电弧点燃 (HAI) .....	56	直悬臂梁方程式 .....	76
抗高压电弧点燃性 .....	56	锥形悬臂梁方程式 .....	77
Amodel 塑料的 UL 746A 特性 .....	57	配合注塑的设计 .....	<b>78</b>
UL 相对热指数 .....	57	壁厚 .....	78
环境性 .....	<b>58</b>	壁厚变化 .....	78
耐化学性 .....	58	脱模角度 .....	78
化学相容性 .....	62	加强筋结构 .....	79
伽马辐射 .....	62	抽芯 .....	79
设计信息 .....	<b>63</b>	凸台 .....	79
机械设计 .....	<b>64</b>	咬边 .....	80
使用典型应力/应变方程式 .....	<b>67</b>	二次加工 .....	<b>81</b>
设计计算的局限性 .....	67	焊接 .....	<b>81</b>
挠曲的计算 .....	67	热板焊接 .....	81
应力的计算 .....	67	振动焊接 .....	81
增强纤维取向的考虑 .....	67	旋转焊接 .....	82
等同部件刚性的设计 .....	68	超声焊接 .....	82
改变截面厚度 .....	68	粘合剂粘合 .....	<b>83</b>
加筋以维持刚性 .....	68	涂覆和表面光泽性 .....	<b>84</b>
可承受持续载荷的设计 .....	69	真空金属喷镀 .....	84
挠曲的计算 .....	69	激光打标 .....	85
容许应力的计算 – 蠕变断裂 .....	70	喷墨打印 .....	85
应力集中的考虑 .....	<b>71</b>	上漆 .....	85
热应力的考虑 .....	<b>71</b>	两次注塑 .....	85
由于蠕变造成的螺栓紧固性丧失 .....	72	索引 .....	<b>87</b>

## 表

表 1: Amodel PPA 基体树脂的特性.....1	表 36: 大电流电弧点燃的性能级别分类.....56
表 2: Amodel 塑料命名系统.....4	表 37: 抗高压电弧点燃性的性能级别分类.....56
表 3: 主要 Amodel PPA 牌号部分特性的 相对排名.....5	表 38: Amodel PPA 牌号的 UL 746A 特性 PLC...57
表 4: 玻纤增强牌号 – 机械特性 (美制单位).....7	表 39: 耐化学性等级的符号说明.....58
表 5: 玻纤增强牌号 – 机械特性 (国际制单位).....8	表 40: 耐化学性筛选试验 – 有机物.....59
表 6: 玻纤增强牌号 – 热特性、电特性和一般特性...9	表 41: 耐化学性筛选试验 – 化学品水溶液.....60
表 7: 增韧的牌号 – 机械特性 (美制单位).....10	表 42: 耐化学性筛选试验 – 运输领域相关流体...61
表 8: 增韧的牌号 – 机械特性 (国际制单位).....11	表 43: Amodel PPA 塑料的一般化学相容性指南...62
表 9: 增韧的牌号 – 热特性、电特性和一般特性...12	表 44: 伽马辐射对 Amodel AS-1133 HS 的影响...62
表 10: 增韧的玻纤增强牌号和阻燃牌号 – 机械特性 (美制单位).....13	表 45: Amodel 塑料胜过金属的设计优势.....63
表 11: 增韧的玻纤增强牌号和阻燃牌号 – 机械特性 (国际制单位).....14	表 46: 最大应力和挠曲方程式.....65
表 12: 增韧的玻纤增强牌号和阻燃牌号 – 热特性、电特性和一般特性.....15	表 47: 部分断面的面积和力矩方程式.....66
表 13: 矿物和矿物/玻纤填充牌号 – 机械特性 (美制单位).....16	表 48: 为悬臂搭扣配合所建议的应变.....77
表 14: 矿物和矿物/玻纤填充牌号 – 机械特性 (国际制单位).....17	表 49: 适合的汽车底漆.....84
表 15: 矿物和矿物/玻纤填充牌号 – 热特性、电特性和一般特性.....18	表 50: 激光打标设备供应商.....84
表 16: 伊佐德试样的尺寸.....28	表 51: 喷墨打印设备供应商.....85
表 17: 耐冲击改性 PPA 的穿透冲击 (ASTM D3763) 试验.....30	
表 18: Amodel 产品的泊松比.....31	
表 19: 线性热膨胀系数.....44	
表 20: Amodel PPA 塑料的导热率.....45	
表 21: Amodel PPA 牌号的相对热指数.....49	
表 22: GWIT 和 GWFT 的 UL 定义.....50	
表 23: 发光金属丝试验结果.....50	
表 24: 烟气密度.....51	
表 25: UL 对 V-0、V-1 或 V-2 材料分类的标准...52	
表 26: 5VA 或 5VB 材料的 UL 分类标准.....52	
表 27: Amodel PPA 牌号的 UL 94 等级.....52	
表 28: 部分 Amodel 牌号的介电强度.....53	
表 29: Amodel 塑料的体积和表面电阻率.....54	
表 30: Amodel 塑料的介电常数.....54	
表 31: Amodel 塑料的损耗因子.....55	
表 32: 高压、低电流、干态耐电弧性的性能级别 分类 (PLC).....55	
表 33: 相对漏电起痕指数的性能级别分类.....55	
表 34: 高压电弧起痕率的性能级别分类.....56	
表 35: 热丝点燃的性能级别分类.....56	

图 1: 模量随温度变化的情况.....	2	图 34: ET-1000 HS 和 PC 的缺口半径敏感度.....	29
图 2: Amodel 基体树脂的模量与温度的关系.....	2	图 35: Amodel PPA 牌号的低温伊佐德特性.....	29
图 3: 水分对 $T_g$ 的影响.....	3	图 36: 卡毕 (Charpy) 冲击试样.....	29
图 4: 尺寸变化与在水中浸渍时间的关系.....	3	图 37: 30%-33% GR 塑料的缺口卡毕冲击强度.....	30
图 5: Amodel ET-1000 典型应力/应变曲线.....	19	图 38: 23°C 和 13.8 MPa 时的表观模量.....	33
图 6: Amodel A-1933 典型应力/应变曲线.....	20	图 39: 23°C 和 34.5 MPa 时的表观模量.....	33
图 7: 模量估算的割线法和切线法.....	20	图 40: 125°C 和 13.8 MPa 时的表观模量.....	33
图 8: 30%-33% GR 塑料的拉伸强度.....	20	图 41: 125°C 和 34.5 MPa 时的表观模量.....	33
图 9: 30%-33% GR 塑料的拉伸模量.....	20	图 42: 175°C 和 13.8 MPa 时的表观模量.....	33
图 10: 30%-33% GR 塑料的延伸率.....	21	图 43: 175°C 和 34.5 MPa 时的表观模量.....	33
图 11: 33% GR PPA 的拉伸强度与温度的关系.....	21	图 44: A-1133 HS PPA 的同步应力-应变曲线.....	34
图 12: 33% GR PPA 的拉伸模量与温度的关系.....	21	图 45: A-1145 HS PPA 的同步应力-应变曲线.....	34
图 13: 33% GR PPA 的延伸率与温度的关系.....	21	图 46: AS-1133 HS 的拉伸蠕变断裂.....	35
图 14: GR A-1000 PPA 牌号的拉伸强度与温度的关系.....	22	图 47: 23°C, 69 MPa 下的表观挠曲模量.....	35
图 15: GR A-1000 PPA 牌号的拉伸模量与温度的关系.....	22	图 48: 83°C, 14 MPa 下的表观挠曲模量.....	35
图 16: GR A-1000 PPA 牌号的延伸率与温度的关系.....	22	图 49: AS-1133 HS 的表观压缩模量.....	36
图 17: 矿物/玻纤增强 PPA 牌号的拉伸强度与温度的关系.....	22	图 50: GR 塑料在 23°C 和 32 Hz 时的挠曲疲劳.....	37
图 18: 矿物/玻纤增强 PPA 牌号的拉伸模量与温度的关系.....	23	图 51: AS-1145 塑料高温时的挠曲疲劳.....	37
图 19: 30%-33% GR 塑料的挠曲强度.....	24	图 52: GR 树脂的水分吸收.....	39
图 20: 30%-33% GR 塑料的挠曲模量.....	24	图 53: 水分对 GR 塑料拉伸强度的影响.....	40
图 21: GR PPA 塑料的挠曲强度与温度的关系.....	24	图 54: 水分对 GR 塑料挠曲模量的影响.....	40
图 22: GR PPA 塑料的挠曲模量与温度的关系.....	24	图 55: 33% GR PPA 的尺寸变化.....	40
图 23: GR A-1000 PPA 牌号的挠曲强度与温度的关系.....	25	图 56: 40% 矿物填充 PPA 的尺寸变化.....	41
图 24: GR A-1000 PPA 牌号的挠曲模量与温度的关系.....	25	图 57: 100% RH 下 GR PA 6,6 与 GR PPA 的尺寸比较.....	41
图 25: 矿物/玻纤增强 PPA 塑料的挠曲强度与温度的关系.....	25	图 58: 模具温度和退火对 Amodel AS-1133 HS 的 HDT 的影响.....	42
图 26: 矿物/玻纤增强 PPA 塑料的挠曲模量与温度的关系.....	25	图 59: 30%-33% GR 塑料的 HDT.....	43
图 27: 30%-33% GR 塑料的剪切强度.....	26	图 60: 玻纤增强 Amodel PPA 的导热率.....	45
图 28: 30%-33% GR 塑料的压缩强度.....	27	图 61: Amodel A-1000 PPA, 比热与温度的关系.....	46
图 29: A-1000 树脂的压缩强度与温度的关系.....	27	图 62: Amodel A-4000, 比热与温度的关系.....	46
图 30: A-1000 树脂的压缩模量与温度的关系.....	27	图 63: Amodel A-5000, 比热与温度的关系.....	46
图 31: 伊佐德 (Izod) 冲击试样.....	28	图 64: Amodel A-6000, 比热与温度的关系.....	46
图 32: 30%-33% GR 塑料的伊佐德冲击强度 (ASTM D256).....	28	图 65: 空气中 A-1000 的热重分析.....	47
图 33: Amodel ET-1000 与 PA 和 PC 的伊佐德冲击特性比较.....	29	图 66: 热老化比较 - 拉伸强度.....	47
		图 67: 热老化比较 - 伊佐德冲击.....	48
		图 68: 加筋以提高刚性.....	69
		图 69: 悬臂梁, 弯曲载荷实例.....	69
		图 70: 拉伸蠕变断裂, Amodel A-1133 HS 塑料.....	70
		图 71: 内拐角的应力集中因子.....	71
		图 72: 热应力实例.....	71
		图 73: 螺栓转矩保持力.....	72
		图 74: 适合机械紧固件的设计.....	74

图 75: 自动攻丝螺钉的凸台设计.....	74
图 76: 在螺钉安装期间所产生的转矩.....	75
图 77: 超声嵌入件的凸台设计.....	75
图 78: 悬臂式搭扣配合.....	76
图 79: 悬臂梁 – 载荷集中在自由端 .....	76
图 80: 采用锥形梁的搭扣配合设计.....	77
图 81: 锥形梁的比例常数 (K) .....	77
图 82: 壁厚的转变.....	78
图 83: 脱模角度 – 为脱模而设计.....	78
图 84: 脱模角度 – 建议的加强筋设计.....	79
图 85: 凸台设计 – 一般原则.....	80
图 86: 显示凸缘的恒温器外壳.....	80
图 87: 咬边示意图.....	80
图 88: 热板焊接的接头设计.....	81
图 89: 搭接剪切接头构型.....	82
图 90: 剪切接头构型.....	82
图 91: 典型的能量引导接头构型.....	83
图 92: 搭接剪切粘合强度.....	84
图 93: 侧面冲击粘合强度.....	84





## Amodel 高性能聚对苯二酰胺（PPA）塑料

Amodel 高性能聚对苯二酰胺（PPA）塑料于 1991 年商业化。高性能聚对苯二酰胺塑料技术可以生产范围广泛的各种聚合物，包括半结晶性塑料和无定形塑料。自 1991 年以来，为了满足特定的工业需求，已经开发了多种基体聚合物配方。所有的商用 Amodel 产品均是半结晶性产品。

半结晶性牌号的 Amodel PPA 塑料具有优异的机械特性、突出的尺寸稳定性、卓越的高温性能和良好的加工特征。Amodel 塑料填补了诸如热塑性聚酯和脂肪族尼龙等大批量、中等性能工程塑料与诸如聚醚醚酮（PEEK）等小批量、高成本专用热塑性材料之间的成本/性能空白。

Amodel 产品组合包括 100 多个不同牌号。每种牌号均设计具有对特定应用和加工要求非常重要的独特特性平衡。Amodel PPA 已经开发用于范围广泛的各种工业应用，包括汽车/交通、工业设备、水处理、电信、电气/电子、涂料和复合材料、食品服务和消费性产品。

本手册旨在为那些对采用 Amodel PPA 来满足其材料需要的解决方案感兴趣的设计人员和制造者提供简单易懂的参考工具。手册中包括用于选择组合牌号的特性数据以及部件设计和加工建议。

## 化学

Amodel 塑料被归为聚酰胺这一普通化学品类型。聚酰胺可采用二元有机酸与二元胺反应制得或由  $\omega$ -氨基酸或内酰胺自缩合制得。聚酰胺可以采用多种酸和胺来制得，商业上重要的聚酰胺品种众多。

人们已经建立了聚酰胺的命名方法。该命名方法首先是根据单体中的碳原子数和二胺成分进行命名。因此，由己二胺和己二酸制得的聚酰胺被称为聚酰胺 66 或尼龙 66，由己二胺和十二酸制得的聚酰胺被称为尼龙 6,12。

表 1: Amodel PPA 基体树脂的特性

基体树脂	T <sub>g</sub>		T <sub>m</sub>	
	°C	°F	°C	°F
A-1000	123	253	313	595
A-4000	100	212	325	617
A-5000	89	192	294	561
A-6000	88	190	310	590

当使用芳香族二元酸而不是脂肪族二元酸时，命名法有所改动，以反映芳香族二元酸的异构体形式，术语高性能聚对苯二酰胺用于将这些聚合物与那些只采用脂肪族原材料的产品区分开来。

因其优异的尺寸稳定性、较低的吸水性、高强度和耐热性，由己二胺和对苯二甲酸制得的聚酰胺 6,T 长期以来已得到人们的认可。妨碍它商业化的基本问题是它的结晶熔点高，达到 370°C，高于其热分解温度。因此，它无法采用诸如注塑成型法或挤塑法等最常见的熔融加工方法进行加工。此外，其熔点及其它诸多因素，使聚合过程变得复杂。

基础聚酰胺 6,T 技术已经通过加入共单体得到了改进，可生产由具有专利的成分组成的 Amodel 高性能聚对苯二酰胺（PPA）系列塑料。改变共单体的用量和性质，可以得到一系列塑料。所有这些塑料的熔点均比聚酰胺 6,T 低，而且，它们均能够快速结晶。Amodel PPA 基体树脂的热特性见表 1。

这些基体树脂与矿物、玻璃纤维和/或其它共混成分混合时，可提供范围广泛、具有优异的加工、热/机械性能平衡的注塑成型复合物。基于 A-1000 基体树脂的复合物要求采用油温控制的模具，而基于其它基体树脂的复合物则可采用水温控制的模具进行加工。

### 结晶性

热塑性材料通常分为两类：无定形和半结晶性。无定形聚合物与半结晶性聚合物之间的主要差别之一是其特性随温度变化的方式不同。图 1 显示了无定形聚合物和半结晶性聚合物的模量随温度的典型变化情况。

当温度升高时，无定形聚合物的模量一般缓慢降低，直至达到玻璃转化温度 ( $T_g$ )。在温度高于  $T_g$  时，模量迅速下降。因此，无定形热塑性材料很少在温度高于其玻璃转化温度的条件下使用。

而对半结晶性聚合物来说，模量也随温度升高而逐渐下降。但达到玻璃转化温度或附近时，其模量迅速降低到较低但仍然可用的水平。继续升高温度，模量保持在此新水平或接近此新水平（结晶平台），直至达到熔点温度 ( $T_m$ )。在  $T_m$  时，模量重新迅速下降。半结晶性聚合物通常在高于其玻璃转化温度，但低于其熔点条件下使用，尤其当它们采用玻璃纤维和/或矿物填料改性时。

加工半结晶性聚合物时，其结晶量可受加工条件的影响。例如，基于 Amodel A-1000 PPA 的产品要求模具表面温度至少为  $135^{\circ}\text{C}$ ，以在注塑成型期间达到最大结晶量。基于 Amodel A-4000 或 A-6000 基体树脂的产品，在模具温度大约  $80^{\circ}\text{C}$  时具有较高的结晶度。

当温度高于  $T_m$  时，半结晶聚合物熔化，从固态转化为液态。

半结晶性聚合物的热性能在很大程度上由其  $T_g$  和  $T_m$  决定的，因为这些值表明了聚合物具有高刚性（低于  $T_g$ ）、中等刚性（ $T_g$  与  $T_m$  之间）或没有刚性（高于  $T_m$ ）时的温度范围。图 2 显示了 Amodel 基体树脂的模量与温度行为的关系，是采用动态机械分析法（DMA）测定的。

图 1：模量随温度变化的情况

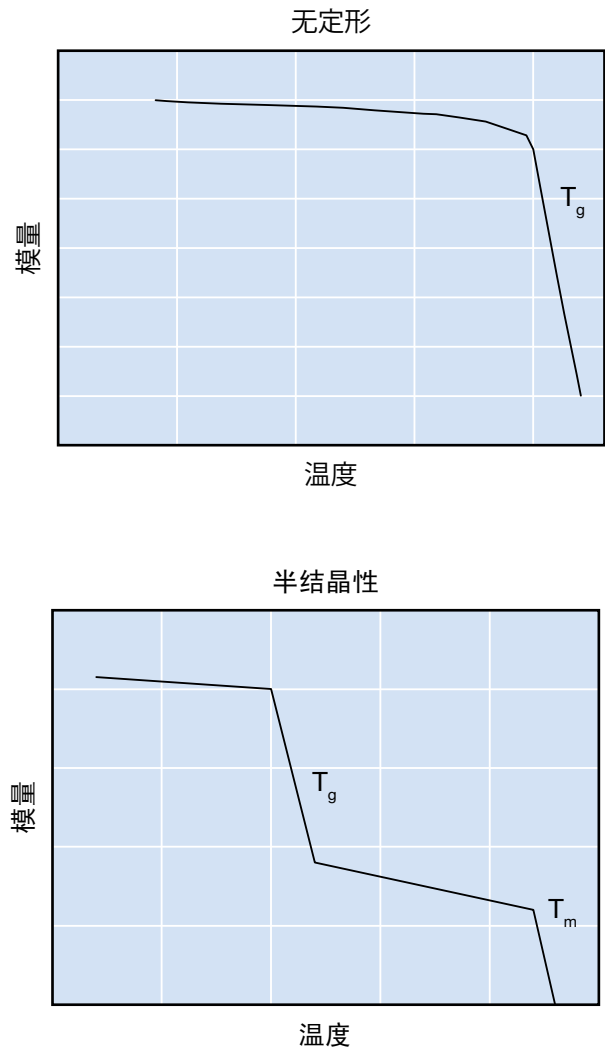
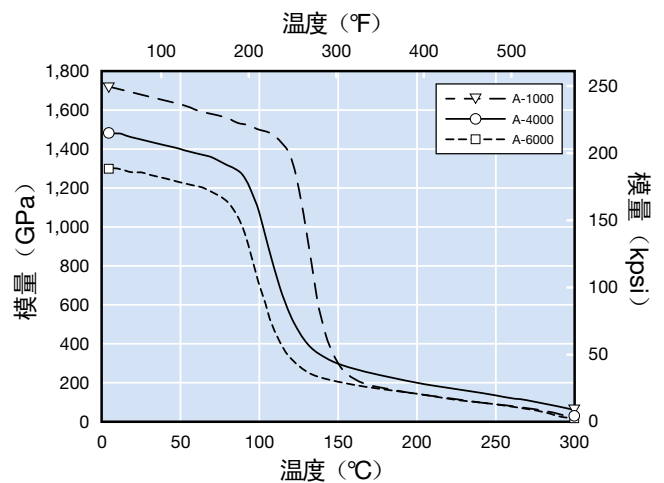


图 2：Amodel 基体树脂的模量与温度的关系



## 水分的影响

与其它聚合物一样，高性能聚对苯二酰胺（PPA）塑料会从环境中吸收水分。一般而言，高性能聚对苯二酰胺吸收的水分比脂肪族聚酰胺（如 PA 6,6）要少，而且它们的吸水速率更慢。

当采用基于 A-1000 基体树脂的 Amodel 牌号制得的物品与 100% 相对湿度（RH）环境达到平衡时，由于吸水造成的重量增加大约是高性能聚对苯二酰胺重量的 5% - 6%。

图 3 比较了一系列水分含量条件下 Amodel A-1000 树脂和 PA 6,6 的玻璃转化温度。这些材料以不同的速率吸收水分，而且它们的最大吸水量不同。将  $T_g$  与不同相对湿度下的平衡水分含量作图，可以得到最有用且最实际的对比。

将干燥 PA 6,6 和干燥 Amodel A-1000 树脂进行比较可知，Amodel 塑料具有大约 60°C 的  $T_g$  优势。如果在相当于 50% 相对湿度的水分含量下进行比较，Amodel 塑料的  $T_g$  优势大约是 89°C。Amodel 高性能聚对苯二酰胺卓越的尺寸稳定性和特性保持率，在很大程度上是由于其  $T_g$  较高，而且，即使在相当于 100% RH 的水分含量时其  $T_g$  仍然远高于室温。另一方面，在相当于 50% - 60% RH 下的平衡水分含量时，PA 6,6 的  $T_g$  则降到了 -15°C。

图 4 比较了 Amodel A-1000 树脂和 PA 6,6 在浸到 23°C 的水中后的尺寸变化情况。图中示出的是采用 3.2 mm 厚板的结果。一年（大约 8,800 小时）后，PA 塑料的尺寸变化大约是 PPA 塑料的三倍。

高性能聚对苯二酰胺不仅吸收的水分比典型聚酰胺少，而且，它们吸收水分的速率也慢得多。在 23°C 时，水在 Amodel A-1000 树脂中的扩散系数大约是其 PA 6,6 中的 20%。

图 3：水分对  $T_g$  的影响

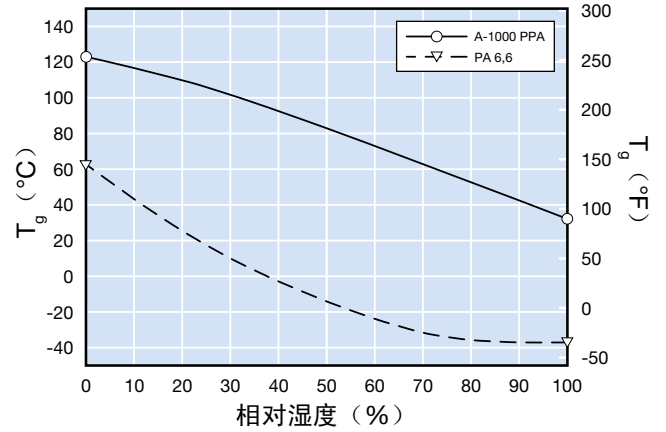
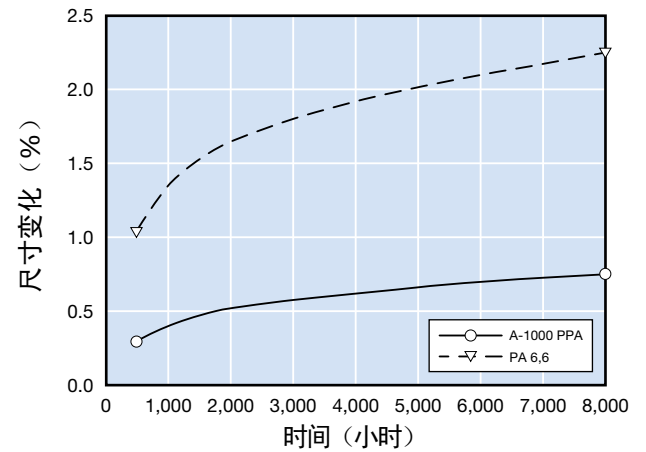


图 4：尺寸变化与在水中浸渍时间的关系



# 产品资料

## Amodel 塑料特性表

Amodel PPA 塑料通常是与增强物、填料、耐冲击改性剂、阻燃剂、着色剂及其它添加剂结合在一起，以实现宽广的性能范围。该系列目前有超过 100 个商品牌号。本文提供了该产品系列中具有代表性的 12 个牌号的详细特性资料。Solvay 的代表可以帮助您为您的具体应用选择最具成本效益的材料。

受结晶的影响，基体聚合物是白色透明的，而特定产品的自然色则会因所使用的添加剂不同而异。大多数牌号都有自然色和黑色可供选择。通常也可以提供其它颜色。请与 Solvay 的代表讨论您对颜色的要求。

表 2: Amodel 塑料命名系统

位置	特征	含义/实例
第一个字母	产品系列	A = Amodel E = 额外
下一个（或几个）字母	可选描述符	E = 电气/电子 F = 防火 P = 可喷涂/可电镀 S = 厚壁部件 (>3 mm) T = 增韧
-	连字符	
第一个数字	基体树脂	1 = A-100x 基体树脂 4 = A-400x 基体树脂 5 = A-500x 基体树脂 6 = A-600x 基体树脂 9 = A-900x 基体树脂
第二个数字	填料或增强类型	0 = 未填充 1 = 玻纤 2 = 矿物 A 3 = 矿物 A + 玻纤 4 = 矿物 B 5 = 矿物 B + 玻纤 6 = 碳纤维或石墨纤维 9 = 耐乙二醇
第三和第四个数字	填料或增强的量	33 = 33% (重量比) 45 = 45% (重量比), 等等
空格		
下一个（或几个）字母	后缀	HN = 热稳定, 未润滑 HS = 热稳定 HSL = 热稳定及润滑 L = 润滑, 未热稳定 NL = 既未润滑也未热稳定 V0 Z = 在 0.8 mm 时具有 UL 94 的 V0 等级
空格		
下 2 个字母	颜色代码	NT = 本色、未着色 BK = 黑色 WH = 白色, 等等

## 命名法

Amodel® PPA 牌号的命名中包含重要的成分信息，表 2 对此作了概要说明。这一命名法有少数例外的情况，例如 ET 代表额外增韧牌号，HFZ 代表高流动性牌号。

下面以 Amodel AFA-6133 V0 BK324 为例具体说明，这是一种阻燃产品（AFA），它采用了 A-600x 基体树脂并含有占重量 33% 的玻璃纤维（6133）。它在 0.8 mm 时具有 UL 94 的 V0 等级，而且它是黑色的，其颜色配方代号为 324。

## 产品选择

Solvay Specialty Polymers 拥有全行业品种最广泛、产品组合最全面的 PPA 塑料。表 3 列出了几种 Amodel 产品的相对性能情况，以便于您为具体的应用选择合适的产品。这里所列出的产品比较好地代表了我们的产品组合。然而，我们还有许多没有在此列出的其它牌号，这些未列出牌号中的某个产品或许可完美匹配您的应用要求。我们建议您在作出最终的产品选择决定之前，与 Solvay Specialty Polymers 的代表联系。您还可以在我们的网站上找到更多的产品选择资源和技术数据。

表 3: 主要 Amodel PPA 牌号部分特性的相对排名<sup>(1)</sup>

	室温时的 强度	室温时的 刚性	100°C 时的 刚性	冲击 - 有缺口	变形 温度	比重
<b>玻纤增强牌号</b>						
A-1133 HS	9	6	8	4	7	6
A-1145 HS	9	8	8	7	7	7
A-6135 HN	8	7	6	5	8	4
A-4133 HS	7	6	5	4	9	4
<b>增韧的牌号</b>						
AT-1002 HS	2	2	2	8	2	1
ET-1000 HS	1	1	1	9	1	1
<b>增韧的玻纤增强牌号</b>						
AT-1116 HS	5	4	4	7	4	3
AT-6115 HS	4	3	3	6	4	3
<b>阻燃牌号</b>						
AFA-6133 V0 Z	6	8	7	5	6	8
<b>矿物和矿物/玻纤填充牌号</b>						
A-1240 L	3	4	4	2	3	6
A-1565 HS	4	9	9	1	5	10
AS-1566 HS	8	9	9	3	6	9

<sup>(1)</sup> 特性的排名次序从 1 到 10，10 表示最高

# 特性数据

## 典型特性

下列各短期特性表中的典型特性数据均处在产品特性的正常范围内。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。

不要将这些值用于制定规格要求，也不要单独基于它们进行部件设计。

## 加速水分处理

一般情况下，聚酰胺会从大气中吸收水分，所吸收的水分会影响某些特性。为了向设计工程师提供更有意义的特性资料，聚酰胺供应商通常会将刚完成注塑时（处于干燥状态）的特性和吸收水分后的特性都列出。习惯上是列出 50% 相对湿度（RH）值，这样做是为了提供材料与 50% 相对湿度的环境达到平衡后的特性值。这一习惯做法对于聚酰胺 6,6 是适当的，因为该聚合物会很快地吸收水分，而且其许多特性会由于吸水而发生显著变化。

而对于高性能聚对苯二酰胺而言，这种做法实际上并不适当。因为这些材料的吸水速率缓慢，而且其大多数特性不会由于水分含量的高低而发生显著变化。不过，为了与业界习惯保持一致，也列出了其吸水后的数值。准备吸水试样的正确方法是：将它们放置在 50% RH 的环境中，直至其达到恒重，即与环境中的水分达到了平衡。Amodel PPA 的吸水速率非常缓慢，需要两年才能达到平衡。为此，人们开发了一种可加速水分吸收的方法。

所采用的加速水分处理方法就是将试样放入每 100 克水含 80 克醋酸钾的水溶液中煮沸 96 小时。这一方法是凭经验开发的，以便与将试样放置在恒湿试验箱内直至达到平衡时的吸水量相近似。由于这一处理过程所用的温度是在 100°C 与 130°C 之间，因此会发生一定程度的退火，而且 50% RH 的模量值有时会比“刚完成注塑时处于干燥状态”的值高几个百分点。

此外，在如此高的温度下暴露在水溶液处理介质中长达 96 个小时，可导致玻璃/树脂基体界面发生一定程度的水解。在许多情况下，对于那些依赖于玻璃/树脂附着力的特性，诸如拉伸强度、缺口伊佐德等，这样做所得到的值会比在室温下、相对湿度为 50% 的空气中进行处理后所得到的值低 10% 左右。

表 4: 玻纤增强牌号 – 机械特性 (美制单位)

特性	温度	方法		单位	A-1133	A-1145	A-6135	AS-4133
		ASTM	ISO		HS	HS	HN	HS
拉伸强度	73°F	D638		kpsi	32.0	37.5	29.4	29.0
拉伸强度 (50% RH)	73°F	D638		kpsi	28.0	33.0	25.5	25.0
拉伸强度	73°F		527	kpsi	33.8	38.1	30.6	30.6
	212°F		527	kpsi	21.5	25.1	17.6	18.1
	302°F		527	kpsi	11.5	12.3	13.4	12.7
	347°F		527	kpsi	10.4	11.0	11.9	11.5
延伸率	73°F	D638		%	2.5	2.6	1.9	2.5
延伸率 (50% RH)	73°F	D638		%	2.1	2.1	2.1	2.2
延伸率	73°F		527	%	2.5	2.7	2.0	2.6
	212°F		527	%	2.9	2.5	4.3	4.3
	302°F		527	%	8.7	7.2	4.9	6.6
	347°F		527	%	8.5	6.5	4.7	6.6
拉伸模量	73°F	D638		Mpsi	1.90	2.50	2.00	1.70
拉伸模量 (50% RH)	73°F	D638		Mpsi	1.90	2.50	1.77	1.70
拉伸模量	73°F		527	Mpsi	1.94	2.44	1.67	1.83
	212°F		527	Mpsi	1.57	1.62	1.06	0.99
	302°F		527	Mpsi	0.97	1.16	0.91	0.77
	347°F		527	Mpsi	0.62	0.78	0.77	0.70
挠曲强度	73°F	D790		kpsi	46.0	52.6	45.0	42.0
挠曲强度 (50% RH)	73°F	D790		kpsi	36.9	42.7	36.1	35.0
挠曲强度	73°F		178	kpsi	46.3	54.7	43.5	42.9
	212°F		178	kpsi	33.0	38.7	24.7	25.6
	302°F		178	kpsi	13.5	16.1	17.8	16.1
	347°F		178	kpsi	11.5	13.7	16.2	14.4
挠曲模量	73°F	D790		Mpsi	1.65	2.00	1.65	1.60
挠曲模量 (50% RH)	73°F	D790		Mpsi	1.65	2.00	1.59	1.60
挠曲模量	73°F		178	Mpsi	1.68	2.31	1.65	1.51
	212°F		178	Mpsi	1.42	1.89	0.96	1.04
	302°F		178	Mpsi	0.58	0.78	0.71	0.67
	347°F		178	Mpsi	0.52	0.71	0.67	0.61
剪切强度	73°F	D732		kpsi	14.7	15.6	12.7	13.0
剪切强度 (50% RH)	73°F	D732		kpsi	12.9	13.3	10.7	11.0
压缩强度	73°F	D695		kpsi	26.9	28.1	21.4	26.0
泊松比	73°F				0.41	0.41	0.39	0.41
缺口伊佐德 (Izod) 冲击	73°F	D256		ft-lb/in	1.5	2.1	1.6	1.5
缺口伊佐德 (Izod) 冲击 (50% RH)	73°F	D256		ft-lb/in	1.1	1.9	1.3	1.5
无缺口伊佐德 (Izod) 冲击	73°F	D4812		ft-lb/in	14	21	15	19
缺口伊佐德 (Izod) 冲击	73°F		180/1A	ft-lb/in <sup>2</sup>	4.2	4.9	4.3	4.6
无缺口伊佐德 (Izod) 冲击	73°F		180/1U	ft-lb/in <sup>2</sup>	23	29	30	28
卡毕 (Charpy) 冲击	73°F		179/1eA	ft-lb/in <sup>2</sup>	4.5	4.9	4.4	5.1
无缺口卡毕 (Charpy) 冲击	73°F		179/1eU	ft-lb/in <sup>2</sup>	35	44	28	32
洛氏硬度	73°F	D785		R	125	125	125	124

表 5: 玻纤增强牌号 – 机械特性 (国际制单位)

特性	温度	方法		单位	A-1133	A-1145	A-6135	AS-4133
		ASTM	ISO		HS	HS	HN	HS
拉伸强度	23°C	D638		MPa	221	259	202	200
拉伸强度 (50% RH)	23°C	D638		MPa	193	228	178	172
拉伸强度	23°C		527	MPa	233	263	211	211
	100°C		527	MPa	148	173	121	125
	150°C		527	MPa	80	85	93	87
	175°C		527	MPa	72	76	82	79
延伸率	23°C	D638		%	2.5	2.6	1.9	2.5
延伸率 (50% RH)	23°C	D638		%	2.1	2.1	2.1	2.2
延伸率	23°C		527	%	2.5	2.7	2.0	2.6
	100°C		527	%	2.9	2.5	4.3	4.3
	150°C		527	%	8.7	7.2	4.9	6.6
	175°C		527	%	8.5	6.5	4.7	6.6
拉伸模量	23°C	D638		GPa	13.1	17.2	13.8	11.7
拉伸模量 (50% RH)	23°C	D638		GPa	13.1	17.2	12.2	11.7
拉伸模量	23°C		527	GPa	13.4	16.8	11.5	12.6
	100°C		527	GPa	10.8	11.2	7.3	6.8
	150°C		527	GPa	6.7	8.0	6.3	5.3
	175°C		527	GPa	4.3	5.4	5.3	4.8
挠曲强度	23°C	D790		MPa	317	363	310	290
挠曲强度 (50% RH)	23°C	D790		MPa	254	294	249	241
挠曲强度	23°C		178	MPa	319	377	300	296
	100°C		178	MPa	227	267	171	176
	150°C		178	MPa	93	111	123	111
	175°C		178	MPa	80	95	112	100
挠曲模量	23°C	D790		GPa	11.4	13.8	11.4	11.0
挠曲模量 (50% RH)	23°C	D790		GPa	11.4	13.8	10.9	11.0
挠曲模量	23°C		178	GPa	11.6	15.9	11.4	10.4
	100°C		178	GPa	9.8	13.0	6.6	7.2
	150°C		178	GPa	4.0	5.4	4.9	4.6
	175°C		178	GPa	3.6	4.9	4.6	4.2
剪切强度	23°C	D732		MPa	101	108	88	90
剪切强度 (50% RH)	23°C	D732		MPa	89	92	74	76
压缩强度	23°C	D695		MPa	185	194	148	179
泊松比	23°C				0.41	0.41	0.39	0.41
缺口伊佐德 (Izod) 冲击	23°C	D256		J/m	80	110	85	80
缺口伊佐德 (Izod) 冲击 (50% RH)	23°C	D256		J/m	60	100	70	70
无缺口伊佐德 (Izod) 冲击	23°C	D4812		J/m	770	1105	780	1030
缺口伊佐德 (Izod) 冲击	23°C		180/1A	kJ/m <sup>2</sup>	8.8	10.3	9.1	9.7
无缺口伊佐德 (Izod) 冲击	23°C		180/1U	kJ/m <sup>2</sup>	49	61	62	59
卡毕 (Charpy) 冲击	23°C		179/1eA	kJ/m <sup>2</sup>	9.5	10.3	9.2	10.7
无缺口卡毕 (Charpy) 冲击	23°C		179/1eU	kJ/m <sup>2</sup>	73	93	60	68
洛氏硬度	23°C	D785		R 标尺	125	125	125	124



表 6: 玻纤增强牌号 – 热特性、电特性和一般特性

特性	方法		单位	A-1133	A-1145	A-6135	AS-4133
	ASTM	ISO		HS	HS	HN	HS
<b>热</b>							
载荷下变形温度 (264 psi)	D648		°C	285	287	291	300
			°F	545	549	556	572
载荷下变形温度 (1.8 MPa)		75AF	°C	280	281	288	294
			°F	536	538	550	561
维卡软化温度	D1525	306	°C	303	304	301	314
			°F	577	580	573	597
熔点	D3418	11357-3	°C	313	310	310	327
			°F	595	590	590	620
可燃性 (3.2 mm 试棒)	UL-94			HB	HB	HB	HB
<b>电</b>							
介电强度 (3.2 mm)	D149		V/mil	533	584	—	510
			kV/mm	21	23	—	21
介电强度 (1.6 mm)	D149		V/mil	813	—	—	813
			kV/mm	32	—	—	32
体积电阻率	D257		ohm-cm	1x10 <sup>16</sup>	1x10 <sup>16</sup>	—	1x10 <sup>16</sup>
表面电阻率	D257		ohm	1x10 <sup>15</sup>	—	—	1x10 <sup>15</sup>
相对漏电起痕指数	D3638		伏	550	550	—	>600
介电常数 (60 Hz)	D150			4.4	4.6	—	3.8
介电常数 (100 Hz)	D150			5.1	—	—	4.6
介电常数 (10 <sup>6</sup> Hz)	D150			4.2	4.4	—	3.6
介电常数 (10 <sup>9</sup> Hz)	D150			3.7	—	—	3.6
损耗因子 (60 Hz)	D150			0.005	0.005	—	0.004
损耗因子 (10 <sup>6</sup> Hz)	D150			0.017	0.016	—	0.012
损耗因子 (10 <sup>9</sup> Hz)	D150			0.016	—	—	0.013
<b>一般特性</b>							
比重	D792	1183A		1.48	1.59	1.45	1.45
吸水性 (24小时)	D570	62	%	0.2	0.1	0.3	0.3
注塑收缩率 (流动方向)	D955	294-4	%	0.4	0.2	0.6	0.5
注塑收缩率 (横向)	D955	294-4	%	0.8	0.6	0.9	1.0

表 7: 增韧的牌号 – 机械特性 (美制单位)

特性	温度	方法		单位	AT-1002	ET-1000
		ASTM	ISO		HS	HS
拉伸强度	73°F	D638		kpsi	12.1	10.0
拉伸强度 (50% RH)	73°F	D638		kpsi	11.1	9.1
屈服拉伸应力	73°F		527	kpsi	10.9	10.2
断裂拉伸应力	73°F		527	kpsi	9.9	8.7
屈服拉伸应力	212°F		527	kpsi	5.6	4.9
断裂拉伸应力	212°F		527	kpsi		
屈服延伸率	73°F	D638		%	5.0	6.0
断裂延伸率	73°F	D638		%	10-12	20.0
断裂延伸率 (50% RH)	73°F	D638		%	30.0	18
屈服拉伸应变	73°F		527	%	5.0	5.0
断裂拉伸应变	73°F		527	%	10.0	7.0
屈服拉伸应变	212°F		527	%	3.7	4.3
断裂拉伸应变	212°F		527	%	>95	>95
拉伸模量	73°F	D638		kpsi	400	350
拉伸模量 (50% RH)	73°F	D638		kpsi	400	350
拉伸模量	73°F		527	kpsi	400	350
拉伸模量	212°F		527	kpsi	305	290
挠曲强度	73°F	D790		kpsi	14.9	15.8
挠曲强度 (50% RH)	73°F	D790		kpsi	10.6	12.4
挠曲强度	73°F		178	kpsi	11.5	10.2
挠曲强度	212°F		178	kpsi	7.2	6.4
挠曲模量	73°F	D790		kpsi	320	330
挠曲模量 (50% RH)	73°F	D790		kpsi	330	310
挠曲模量	73°F		178	kpsi	330	260
挠曲模量	212°F		178	kpsi	250	190
剪切强度	73°F	D732		kpsi	9.3	8.5
剪切强度 (50% RH)	73°F	D732		kpsi	8.3	
泊松比	73°F				0.38	0.39
缺口伊佐德 (Izod) 冲击	73°F	D256		ft-lb/in	2.4	17.0
缺口伊佐德 (Izod) 冲击 (50% RH)	73°F	D256		ft-lb/in	2.6	20.0
无缺口伊佐德 (Izod) 冲击	73°F	D4812		ft-lb/in	不断裂	不断裂
缺口伊佐德 (Izod) 冲击	73°F		180/1A	ft-lb/in <sup>2</sup>	6.0	34.9
无缺口伊佐德 (Izod) 冲击	73°F		180/1U	ft-lb/in <sup>2</sup>	84	不断裂
卡毕 (Charpy) 冲击	73°F		179/1eA	ft-lb/in <sup>2</sup>	6.4	36.9
无缺口卡毕 (Charpy) 冲击	73°F		179/1eU	ft-lb/in <sup>2</sup>	不断裂	不断裂
洛氏硬度	73°F	D785		R	119	120

表 8: 增韧的牌号 – 机械特性 (国际制单位)

特性	温度	方法		单位	AT-1002	ET-1000
		ASTM	ISO		HS	HS
拉伸强度	23°C	D638		MPa	83	69
拉伸强度 (50% RH)	23°C	D638		MPa	76	63
屈服拉伸应力	23°C		527	MPa	75	70
断裂拉伸应力	23°C		527	MPa	68	60
屈服拉伸应力	100°C		527	MPa	39	34
断裂拉伸应力	100°C		527	MPa		
屈服延伸率	23°C	D638		%	5.0	6.0
断裂延伸率	23°C	D638		%	10-12	20.0
断裂延伸率 (50% RH)	23°C	D638		%	30.0	18.0
屈服拉伸应变	23°C		527	%	5.0	5.0
断裂拉伸应变	23°C		527	%	10.0	7.0
屈服拉伸应变	100°C		527	%	3.7	4.3
断裂拉伸应变	100°C		527	%	>95	>95
拉伸模量	23°C	D638		GPa	2.8	2.4
拉伸模量 (50% RH)	23°C	D638		GPa	2.8	2.4
拉伸模量	23°C		527	GPa	2.8	2.4
拉伸模量	100°C		527	GPa	2.1	2.0
挠曲强度	23°C	D790		MPa	103	109
挠曲强度 (50% RH)	23°C	D790		MPa	73	85
挠曲强度	23°C		178	MPa	80	70
挠曲强度	100°C		178	MPa	50	44
挠曲模量	23°C	D790		GPa	2.2	2.3
挠曲模量 (50% RH)	23°C	D790		GPa	2.3	2.2
挠曲模量	23°C		178	GPa	2.3	1.8
挠曲模量	100°C		178	GPa	1.8	1.3
剪切强度	23°C	D732		MPa	64	59
剪切强度 (50% RH)	23°C	D732		MPa	57	
泊松比	23°C				0.38	0.39
缺口伊佐德 (Izod) 冲击	23°C	D256		J/m	130	905
缺口伊佐德 (Izod) 冲击 (50% RH)	23°C	D256		J/m	140	1065
无缺口伊佐德 (Izod) 冲击	23°C	D4812		J/m	不断裂	不断裂
缺口伊佐德 (Izod) 冲击	23°C		180/1A	kJ/m <sup>2</sup>	13	74
无缺口伊佐德 (Izod) 冲击	23°C		180/1U	kJ/m <sup>2</sup>	177	不断裂
卡毕 (Charpy) 冲击	23°C		179/1eA	kJ/m <sup>2</sup>	14	78
无缺口卡毕 (Charpy) 冲击	23°C		179/1eU	kJ/m <sup>2</sup>	不断裂	不断裂
洛氏硬度	23°C	D785			119	120

表 9: 增韧的牌号 – 热特性、电特性和一般特性

特性	方法		单位	A-1002 HS	ET-1000 HS
	ASTM	ISO			
<b>热</b>					
载荷下变形温度 (264 psi)	D648		°C	121	120
			°F	250	248
载荷下变形温度 (1.8 MPa)		75AF	°C	118	109
			°F	244	228
维卡软化温度	D1525	306	°C	286	283
			°F	547	542
熔点	D3418	11357-3	°C	315	310
			°F	599	590
可燃性 (3.2 mm 试棒)	UL-94			HB	HB
<b>电</b>					
介电强度 (3.2 mm)	D149		V/mil	431	—
			kV/mm	17	—
体积电阻率	D257		ohm-cm	1x10 <sup>16</sup>	—
表面电阻率	D257		ohm	8x10 <sup>13</sup>	—
相对漏电起痕指数	D3638		伏	>600	—
介电常数 (60 Hz)	D150			3.3	—
介电常数 (10 <sup>6</sup> Hz)	D150			3.3	—
损耗因子 (60 Hz)	D150			0.004	—
损耗因子 (10 <sup>6</sup> Hz)	D150			0.016	—
<b>一般特性</b>					
比重	D792	1183A		1.13	1.13
吸水性 (24小时)	D570	62	%	0.5	0.7
注塑收缩率 (流动方向)	D955	294-4	%	2.0	1.5
注塑收缩率 (横向)	D955	294-4	%	2.1	1.5

表 10: 增韧的玻纤增强牌号和阻燃牌号 – 机械特性 (美制单位)

特性	温度	方法		单位	AFA-6133		
		ASTM	ISO		AT-1116 HS	AT-6115 HS	V0 Z
拉伸强度	73°F	D638		kpsi	23.3	17.7	28.8
拉伸强度 (50% RH)	73°F	D638		kpsi	19.0	13.9	24.1
拉伸强度	73°F		527	kpsi	23.2	16.5	27.0
	212°F		527	kpsi	9.5	9.9	16.5
	302°F		527	kpsi			10.9
	347°F		527	kpsi			9.2
延伸率	73°F	D638		%	3.8	3.4	1.7
延伸率 (50% RH)	73°F	D638		%	2.8	5.3	1.7
延伸率	73°F		527	%	3.7	3.9	1.6
	212°F		527	%	4.2	7.7	2.4
	302°F		527	%			5.1
	347°F		527	%			4.9
拉伸模量	73°F	D638		Mpsi	0.94	0.78	2.33
拉伸模量 (50% RH)	73°F	D638		Mpsi	1.03	0.97	1.99
拉伸模量	73°F		527	Mpsi	1.00	0.78	2.10
	212°F		527	Mpsi	0.97	0.45	1.33
	302°F		527	Mpsi			0.86
	347°F		527	Mpsi			0.74
挠曲强度	73°F	D790		kpsi	32.8	24.0	32.5
挠曲强度 (50% RH)	73°F	D790		kpsi	29.1	16.7	33.2
挠曲强度	73°F		178	kpsi	28.6	24.7	37.6
	212°F		178	kpsi	20.5	9.7	23.3
	302°F		178	kpsi			14.6
	347°F		178	kpsi			12.7
挠曲模量	73°F	D790		Mpsi	0.87	0.64	1.90
挠曲模量 (50% RH)	73°F	D790		Mpsi	0.90	0.50	1.93
挠曲模量	73°F		178	Mpsi	0.97	0.62	1.83
	212°F		178	Mpsi	0.72	0.34	1.17
	302°F		178	Mpsi			0.72
	347°F		178	Mpsi			0.67
剪切强度	73°F	D732		kpsi	10.1	8.2	11.6
剪切强度 (50% RH)	73°F	D732		kpsi	9.5	6.4	9.0
压缩强度	73°F	D695		kpsi	18.0	14.5	21.1
泊松比	73°F				0.40	0.39	0.37
缺口伊佐德 (Izod) 冲击	73°F	D256		ft-lb/in	1.8	1.7	1.6
缺口伊佐德 (Izod) 冲击 (50% RH)	73°F	D256		ft-lb/in	0.9	1.5	1.5
无缺口伊佐德 (Izod) 冲击	73°F	D4812		ft-lb/in	18	16	13
缺口伊佐德 (Izod) 冲击	73°F		180/1A	ft-lb/in <sup>2</sup>	3.8	5.5	3.9
无缺口伊佐德 (Izod) 冲击	73°F		180/1U	ft-lb/in <sup>2</sup>	25	26	21
卡毕 (Charpy) 冲击	73°F		179/1eA	ft-lb/in <sup>2</sup>	4.3	5.2	6.6
无缺口卡毕 (Charpy) 冲击	73°F		179/1eU	ft-lb/in <sup>2</sup>	41	36	22
洛氏硬度	73°F	D785		R 标尺	124	116	125

表 11: 增韧的玻纤增强牌号和阻燃牌号 – 机械特性 (国际制单位)

特性	温度	方法		单位	AFA-6133		
		ASTM	ISO		AT-1116 HS	AT-6115 HS	V0 Z
拉伸强度	23°C	D638		MPa	161	122	199
拉伸强度 (50% RH)	23°C	D638		MPa	131	96	166
拉伸强度	23°C		527	MPa	160	114	186
	100°C		527	MPa	66	68	114
	150°C		527	MPa			75
	175°C		527	MPa			63
延伸率	23°C	D638		%	3.8	3.4	1.7
延伸率 (50% RH)	23°C	D638		%	2.8	5.3	1.7
延伸率	23°C		527	%	3.7	3.9	1.6
	100°C		527	%	4.2	7.7	2.4
	150°C		527	%			5.1
	175°C		527	%			4.9
拉伸模量	23°C	D638		GPa	6.5	5.4	16.1
拉伸模量 (50% RH)	23°C	D638		GPa	7.1	6.7	13.7
拉伸模量	23°C		527	GPa	6.9	5.4	14.5
	100°C		527	GPa	6.7	3.1	9.2
	150°C		527	GPa			5.9
	175°C		527	GPa			5.1
挠曲强度	23°C	D790		MPa	226	165	224
挠曲强度 (50% RH)	23°C	D790		MPa	201	115	229
挠曲强度	23°C		178	MPa	197	170	259
	100°C		178	MPa	141	67	161
	150°C		178	MPa			101
	175°C		178	MPa			88
挠曲模量	23°C	D790		GPa	6.0	4.4	13.1
挠曲模量 (50% RH)	23°C	D790		GPa	6.2	3.4	13.3
挠曲模量	23°C		178	GPa	6.7	4.3	12.6
	100°C		178	GPa	5.0	2.4	8.1
	150°C		178	GPa			5.0
	175°C		178	GPa			4.6
剪切强度	23°C	D732		MPa	70	56	80
剪切强度 (50% RH)	23°C	D732		MPa	66	44	62
压缩强度	23°C	D695		MPa	124	100	145
泊松比	23°C				0.40	0.39	0.37
缺口伊佐德 (Izod) 冲击	23°C	D256		J/m	95	90	85
缺口伊佐德 (Izod) 冲击 (50% RH)	23°C	D256		J/m	45	80	80
无缺口伊佐德 (Izod) 冲击	23°C	D4812		J/m	945	825	710
缺口伊佐德 (Izod) 冲击	23°C		180/1A	kJ/m <sup>2</sup>	8.1	11.6	8
无缺口伊佐德 (Izod) 冲击	23°C		180/1U	kJ/m <sup>2</sup>	53	54	44
卡毕 (Charpy) 冲击	23°C		179/1eA	kJ/m <sup>2</sup>	9.1	11.0	14.0
无缺口卡毕 (Charpy) 冲击	23°C		179/1eU	kJ/m <sup>2</sup>	85	75	47
洛氏硬度	23°C	D785		R 标尺	124	116	125

表 12: 增韧的玻纤增强牌号和阻燃牌号 – 热特性、电特性和一般特性

特性	方法		单位	AT-1116	AT-6115	AFA-6133
	ASTM	ISO		HS	HS	V0 Z
<b>热</b>						
载荷下变形温度 (264 psi)	D648		°C	254	271	277
			°F	489	519	531
载荷下变形温度 (1.8 MPa)		75AF	°C	258	265	282
			°F	497	509	540
维卡软化温度	D1525	306	°C	295	296	291
			°F	563	565	556
熔点	D3418	11357-3	°C	310	307	310
			°F	590	585	590
可燃性 (3.2 mm 试棒)	UL-94			HB	HB	V-0
<b>电</b>						
介电强度 (3.2 mm)	D149		V/mil	—	533	609
			kV/mm	—	21	24
介电强度 (1.6 mm)	D149		V/mil		711	686
			kV/mm		28	27
体积电阻率	D257		ohm-cm	—	1x10 <sup>16</sup>	1x10 <sup>16</sup>
表面电阻率	D257		ohm		1x10 <sup>15</sup>	1x10 <sup>15</sup>
相对漏电起痕指数	D3638		伏	—	—	—
介电常数 (60 Hz)	D150			—	—	—
介电常数 (100 Hz)	D150			—	4.0	4.8
介电常数 (10 <sup>6</sup> Hz)	D150			—	3.3	4.1
介电常数 (10 <sup>9</sup> Hz)	D150			—	3.1	3.7
损耗因子 (60 Hz)	D150			—	—	—
损耗因子 (100 Hz)	D150			—	—	—
损耗因子 (10 <sup>6</sup> Hz)	D150			—	0.013	0.011
损耗因子 (10 <sup>9</sup> Hz)	D150			—	0.011	—
<b>一般特性</b>						
比重	D792	1183A		1.28	1.22	1.68
吸水性 (24小时)	D570	62	%	0.2	0.2	0.2
注塑收缩率 (流动方向)	D955	294-4	%	0.6	1.0	0.3
注塑收缩率 (横向)	D955	294-4	%	0.6	1.1	0.6

表 13: 矿物和矿物/玻纤填充牌号 – 机械特性 (美制单位)

特性	温度	方法		单位	A-1240	A-1565	AS-1566
		ASTM	ISO		L	HS	HS
拉伸强度	73°F	D638		kpsi	15.0	19.0	30.0
拉伸强度 (50% RH)	73°F	D638		kpsi	13.5	17.9	25.4
拉伸强度	73°F		527	kpsi	15.1	20.0	29.0
	212°F		527	kpsi	10.1	13.3	18.4
	302°F		527	kpsi	4.2	6.7	7.6
	347°F		527	kpsi	3.5	4.7	6.3
延伸率	73°F	D638		%	1.6	1.2	1.7
延伸率 (50% RH)	73°F	D638		%	1.2	1.2	1.8
延伸率	73°F		527	%	1.6	1.0	1.4
	212°F		527	%	1.9	1.3	1.5
	302°F		527	%	9.1	2.4	3.4
	347°F		527	%	7.3	1.8	3.1
拉伸模量	73°F	D638		Mpsi	1.30	3.00	2.90
拉伸模量 (50% RH)	73°F	D638		Mpsi	1.20	3.02	3.03
拉伸模量	73°F		527	Mpsi	1.45	2.86	3.26
	212°F		527	Mpsi	0.81	2.23	2.49
	302°F		527	Mpsi	0.16	0.83	1.06
	347°F		527	Mpsi	0.13	0.74	0.90
挠曲强度	73°F	D790		kpsi	30.0	30.5	42.0
挠曲强度 (50% RH)	73°F	D790		kpsi	25.6	28.4	38.1
挠曲强度	73°F		178	kpsi	24.9	30.6	41.2
	212°F		178	kpsi	17.6	23.6	29.7
	302°F		178	kpsi	4.0	10.1	13.9
	347°F		178	kpsi	3.2	8.1	11.0
挠曲模量	73°F	D790		Mpsi	1.10	2.60	2.70
挠曲模量 (50% RH)	73°F	D790		Mpsi	1.00	2.61	2.88
挠曲模量	73°F		178	Mpsi	1.00	1.32	2.98
	212°F		178	Mpsi	0.87	0.99	2.44
	302°F		178	Mpsi	0.16	0.36	1.06
	347°F		178	Mpsi	0.13	0.33	0.93
剪切强度	73°F	D732		kpsi	13.9	10.3	11.6
剪切强度 (50% RH)	73°F	D732		kpsi	13.5	7.2	9.1
压缩强度	73°F	D695		kpsi	26.8	27.4	25.3
泊松比	73°F				0.29	0.31	0.35
缺口伊佐德 (Izod) 冲击	73°F	D256		ft-lb/in	0.9	0.7	1.2
缺口伊佐德 (Izod) 冲击 (50% RH)	73°F	D256		ft-lb/in	0.6	0.6	1.0
无缺口伊佐德 (Izod) 冲击	73°F	D4812		ft-lb/in	7	7	13
缺口伊佐德 (Izod) 冲击	73°F		180/1A	ft-lb/in <sup>2</sup>	2.2	1.9	3.1
无缺口伊佐德 (Izod) 冲击	73°F		180/1U	ft-lb/in <sup>2</sup>	11	15	21
卡毕 (Charpy) 冲击	73°F		179/1eA	ft-lb/in <sup>2</sup>	1.9	1.6	2.9
无缺口卡毕 (Charpy) 冲击	73°F		179/1eU	ft-lb/in <sup>2</sup>	14	21	16
洛氏硬度	73°F	D785		R 标尺	125	124	122



表 14: 矿物和矿物/玻纤填充牌号 – 机械特性 (国际制单位)

特性	温度	方法		单位	A-1240	A-1565	AS-1566
		ASTM	ISO		L	HS	HS
拉伸强度	23°C	D638		MPa	103	131	207
拉伸强度 (50% RH)	23°C	D638		MPa	93	123	175
拉伸强度	23°C		527	MPa	104	138	200
	100°C		527	MPa	70	92	127
	150°C		527	MPa	29	46	53
	175°C		527	MPa	24	32	44
延伸率	23°C	D638		%	1.6	1.2	1.7
延伸率 (50% RH)	23°C	D638		%	1.2	1.2	1.8
延伸率	23°C		527	%	1.6	1.0	1.4
	100°C		527	%	1.9	1.3	1.5
	150°C		527	%	9.1	2.4	3.4
	175°C		527	%	7.3	1.8	3.1
拉伸模量	23°C	D638		GPa	9.0	20.7	20.0
拉伸模量 (50% RH)	23°C	D638		GPa	8.3	20.8	20.9
拉伸模量	23°C		527	GPa	10.1	20.0	22.8
	100°C		527	GPa	5.6	15.4	17.2
	150°C		527	GPa	1.1	5.7	7.3
	175°C		527	GPa	0.9	5.1	6.2
挠曲强度	23°C	D790		MPa	207	210	290
挠曲强度 (50% RH)	23°C	D790		MPa	177	196	263
挠曲强度	23°C		178	MPa	172	211	284
	100°C		178	MPa	121	162	205
	150°C		178	MPa	27	70	96
	175°C		178	MPa	22	56	76
挠曲模量	23°C	D790		GPa	7.6	17.9	18.6
挠曲模量 (50% RH)	23°C	D790		GPa	6.9	18.0	19.8
挠曲模量	23°C		178	GPa	7.0	9.1	20.8
	100°C		178	GPa	6.0	6.8	16.8
	150°C		178	GPa	1.1	2.5	7.3
	175°C		178	GPa	0.9	2.3	6.4
剪切强度	23°C	D732		MPa	96	71	80
剪切强度 (50% RH)	23°C	D732		MPa	93	50	63
压缩强度	23°C	D695		MPa	185	189	174
泊松比	23°C				0.29	0.31	0.35
缺口伊佐德 (Izod) 冲击	23°C	D256		J/m	50	35	65
缺口伊佐德 (Izod) 冲击 (50% RH)	23°C	D256		J/m	30	30	55
无缺口伊佐德 (Izod) 冲击	23°C	D4812		J/m	345	395	700
缺口伊佐德 (Izod) 冲击	23°C		180/1A	kJ/m <sup>2</sup>	4.7	4.0	6.6
无缺口伊佐德 (Izod) 冲击	23°C		180/1U	kJ/m <sup>2</sup>	24	31	44
卡毕 (Charpy) 冲击	23°C		179/1eA	kJ/m <sup>2</sup>	4.1	3.4	6.2
无缺口卡毕 (Charpy) 冲击	23°C		179/1eU	kJ/m <sup>2</sup>	29	44	34
洛氏硬度	23°C	D785		R	125	124	122

表 15: 矿物和矿物/玻纤填充牌号 – 热特性、电特性和一般特性

特性	方法		单位	A-1240	A-1565	AS-1566
	ASTM	ISO		L	HS	HS
<b>热</b>						
载荷下变形温度 (264 psi)	D648		°C	179	271	278
			°F	355	520	532
载荷下变形温度 (1.8 MPa)		75AF	°C	174	271	280
			°F	346	520	536
维卡软化温度	D1525	306	°C	302	296	298
			°F	575	565	569
熔点	D3418	11357-3	°C	310	311	311
			°F	590	592	592
可燃性 (3.2 mm 试棒)	UL-94			HB	HB	HB
<b>电</b>						
介电强度 (1.6 mm)	D149		V/mil	—	—	737
			kV/mm	—	—	29
体积电阻率	D257		ohm-cm	9x10 <sup>15</sup>	4x10 <sup>14</sup>	1x10 <sup>16</sup>
表面电阻率	D257		ohm	—	—	1x10 <sup>15</sup>
相对漏电起痕指数	D3638		伏	550	>600	—
介电常数 (60 Hz)	D150			—	—	—
介电常数 (100 Hz)	D150			4.2	—	5.7
介电常数 (10 <sup>6</sup> Hz)	D150			4.0	—	4.7
损耗因子 (60 Hz)	D150			—	—	—
损耗因子 (100 Hz)	D150			0.006	—	—
损耗因子 (10 <sup>6</sup> Hz)	D150			0.017	—	0.011
<b>一般特性</b>						
比重	D792	1183A		1.54	1.90	1.84
吸水性 (24小时)	D570	62	%	0.1	0.1	0.1
注塑收缩率 (流动方向)	D955	294-4	%	1.0	0.3	0.3
注塑收缩率 (横向)	D955	294-4	%	1.0	0.5	0.5

## 机械特性

材料的机械特性是工程师们进行零部件设计的重要基础。设计者必须将各种候选材料的机械特性同每种应用的性能要求相匹配，才能确定哪种材料适合于给定的部件设计。反过来，设计者可利用材料特性值来获得最优的部件设计。

为了便于设计者使用，本手册中所列出的材料特性已经分组为短期（或瞬时）特性和长期（或老化）特性。短期特性一般用于度量被破坏时的强度，而长期特性则指示材料特性是如何随着时间受温度、持续载荷或化学接触影响的。

### 短期机械特性

短期的机械特性通常包括拉伸强度和模量、挠曲强度和挠曲模量、多项冲击试验、压缩强度、剪切强度和表面硬度。这些特性通常是在室温下得到的，不过在适当时也适用于其它温度。由于一些聚合物会吸收大气水分，并会因此影响其特性，所以也要规定它们的水分含量。习惯上往往采用相对湿度（RH）来指示其水分含量。

由材料供应商提供的数据表一般都列出短期特性，其主要用途是便于与类似材料进行比较。在利用数据表来比较材料时，很重要的一点是确保它们采用了相同的试验方法而且所给出数据的单位是一样的。

短期机械特性在设计中的用途有限。一般而言，特性的测量是采用经过专门设计、能获得可重复结果的注塑试样，在精确控制的环境条件下以规定的加载速率进行的。这些测量结果所提供的往往是这些特性和材料可能具有的最高数值。

当采用注塑工艺制作部件时，它们可能会具有某些可降低其强度的特征，如应力集中、接合线、拐角或其它因素。实际部件中某种材料的强度可能也会由于增强纤维取向、相对结晶度或热历史（退火）而降低或（在一些情形下）增强。此外，短期特性并不反映任何与时间有关的影响或受化学环境的影响等信息。

## 拉伸特性

### 试验方法

有两种得到广泛认可的拉伸特性试验方法：ASTM 的 D638 方法和 ISO 的 527 方法。这些试验方法都测量相同的特性，但采用的试样和测试程序稍有不同。如果采用这两种程序测试了同一材料，则结果会相近但不相同。因此，只有采用同一种方法所获得的数值才可进行比较。本文中，凡是给出拉伸特性值的地方，也会给出其试验方法，而在许多情形下，两种方法的测量值都会给出。

无论采用何种试验方法，测定拉伸特性时都是将试样两端夹在试验机的夹头内，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与所产生的应变作图，就可以得到与图 5（Amodel ET-1000 HS 树脂）所示相似的曲线。这被称为“应力-应变”曲线，在确定某种材料在受力情况下的短期行为时非常有用。延展性金属的曲线具有与其类似的形状。

图 6 显示了一种非延展性材料 Amodel A-1933 PPA 的典型应力/应变曲线。其破坏应变远小于未增强牌号。玻璃纤维增强材料的添加改善了其强度和刚性，但降低了伸长率或破坏应变。

图 5: Amodel ET-1000 典型应力/应变曲线

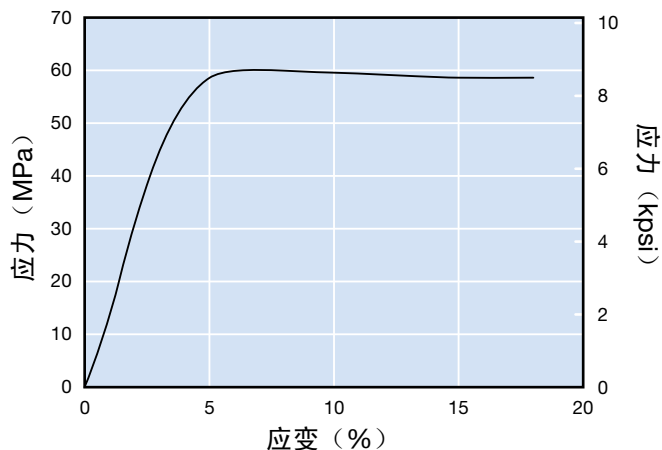


图 6: Amodel A-1933 典型应力/应变曲线

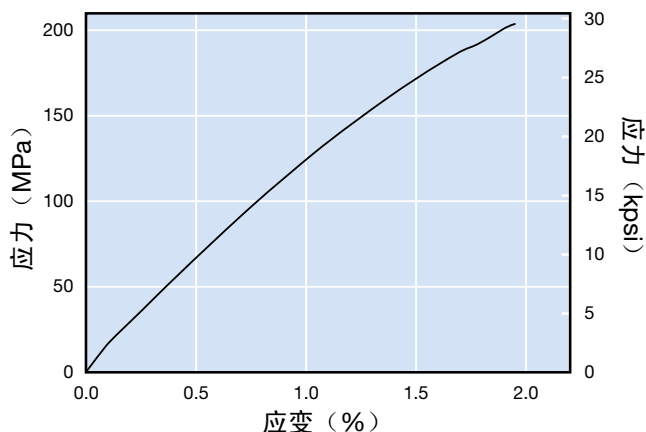
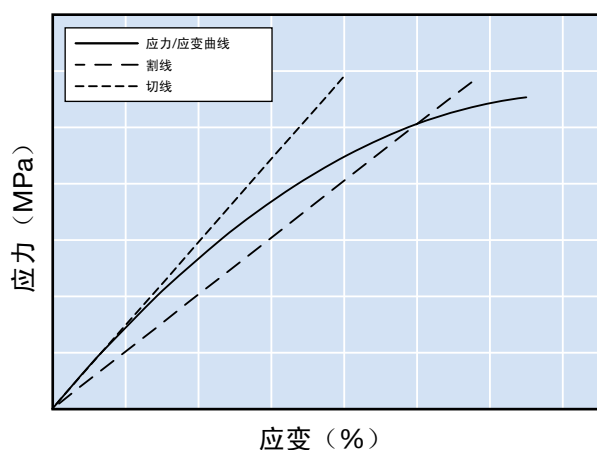


图 7: 模量估算的割线法和切线法



如图 7 所示，应力/应变曲线的初始部分也值得特别注意，因为其斜率与材料的刚性或模量有关。

此图表明，在一定的应力范围内，应变与应力成正比。该区域称为“虎克”或弹性区域。产生成比例应变的最大应力水平称为比例极限。

拉伸模量或弹性模量是当试样承受拉伸载荷时其应力/应变曲线的斜率。由于应力/应变曲线在比例极限以上是非线性的，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（一般取 1%）所画切割线的斜率来表示。ISO 试验方法已经删去了切线法，代之以根据所规定的应变值（0.0005 和 0.0025）而作的斜率计算。

图 8: 30%-33% GR 塑料的拉伸强度

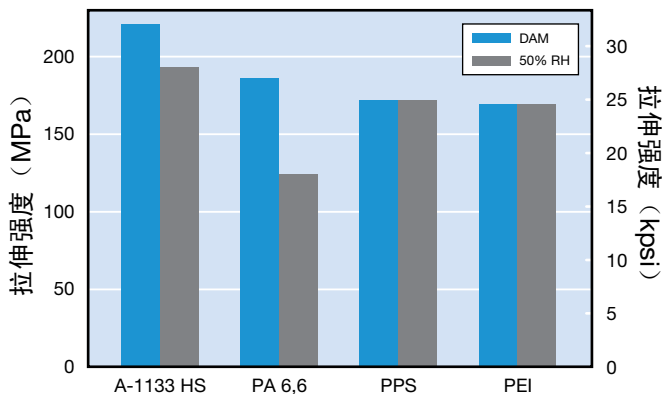
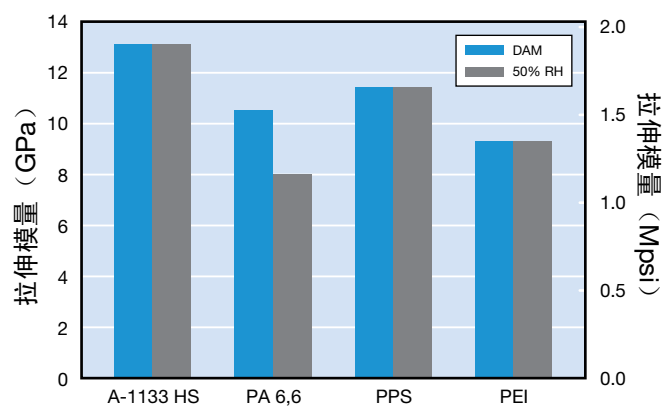


图 9: 30%-33% GR 塑料的拉伸模量



另外，采用计算机的设备可利用最小二乘法计算同一应变区的斜率。

本手册中，按照 ASTM D638 方法进行的拉伸数据测量是采用切线法进行处理的。

韧性聚合物在断裂前都会经过屈服点。在该点，无需增加应力就可以将材料进一步拉长。发生屈服时的应力水平常被叫作屈服拉伸强度或屈服拉伸应力。此时的伸长率称为屈服伸长率、屈服应变或屈服拉伸应变。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、极限拉伸强度或断裂拉伸应力。拉伸强度被定义为所测得的这两种应力（屈服应力或断裂应力）中的较大值。

图 10: 30%-33% GR 塑料的延伸率

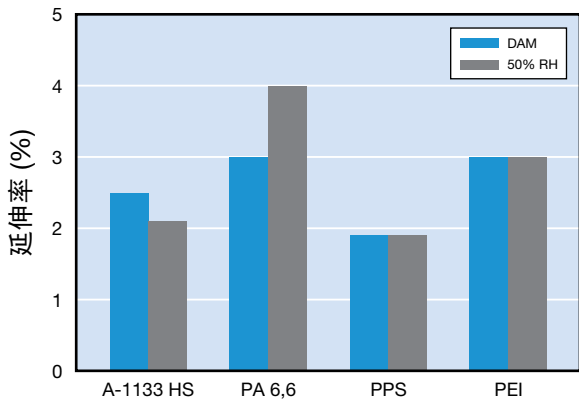
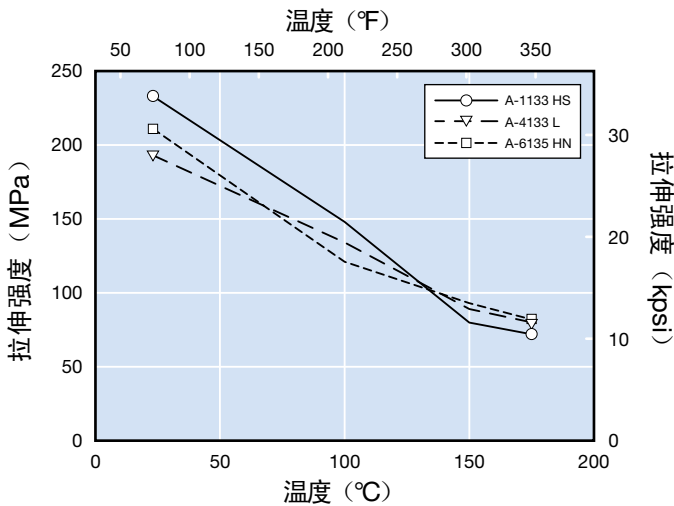


图 11: 33% GR PPA 的拉伸强度与温度的关系



### 拉伸特性的比较

室温下, Amodel A-1133 HS 塑料的拉伸强度高过 33% GR 聚酰胺 (PA) 6,6、30% GR 聚苯硫醚 (PPS) 和 30% GR 聚醚酰亚胺 (PEI), 如图 8 所示。即使经过水分处理后, Amodel PPA 的拉伸强度还是高于其它塑料。

图 9 比较了 33% GR Amodel PPA 和这几种塑料的拉伸模量。Amodel 塑料刚完成注塑时的模量较高, 而且在经过水分处理后没有下降, 而 PA 6,6 的模量下降超过 20%。

类似的延伸率对比如图 10 所示。因为采用玻璃纤维增强, 这些塑料的延伸率都较低。PA 6,6 的水分处理导致其  $T_g$  下降, 使得其伸长率增加。

图 12: 33% GR PPA 的拉伸模量与温度的关系

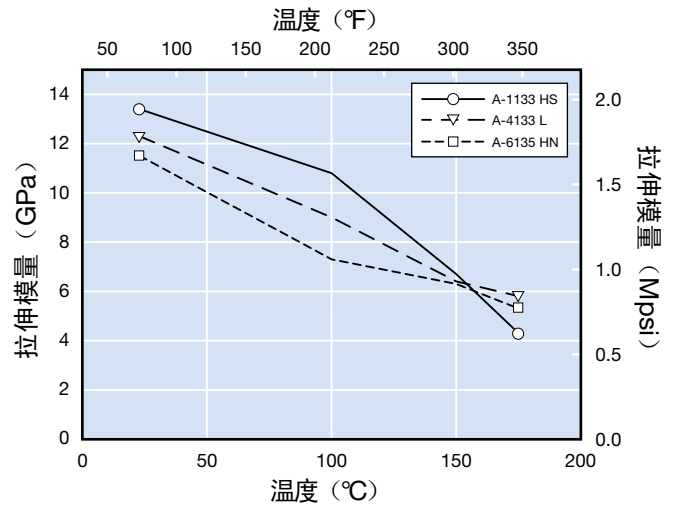
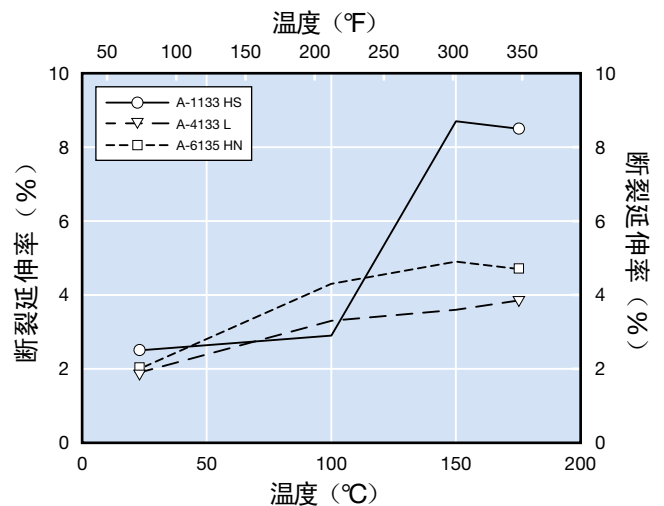


图 13: 33% GR PPA 的延伸率与温度的关系



### GR PPA 的拉伸特性与温度的关系

图 11 至图 13 显示了从室温至 175°C 温度下 Amodel PPA 的各 GR 牌号 (分别以 A-1000、A-4000 和 A-6000 为基体树脂) 的拉伸特性。Amodel A-1133 HS 在室温下的强度和刚性最高, 而 A-4133 L 和 A-6135 HN 在 150°C 以上时的强度和刚性较好。

图 14: GR A-1000 PPA 牌号的拉伸强度与温度的关系

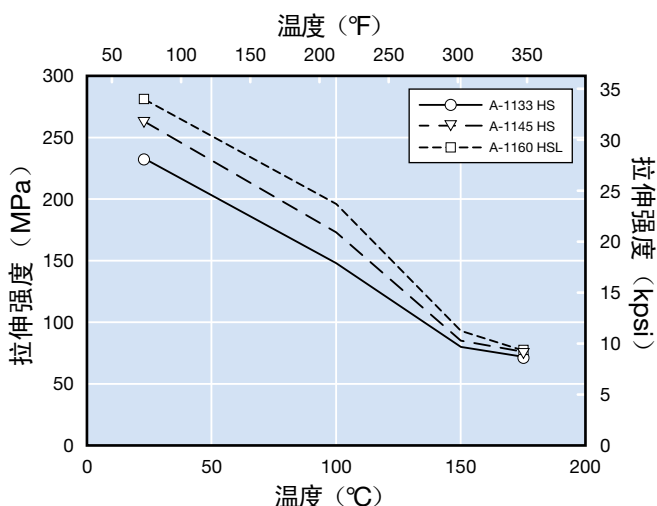


图 15: GR A-1000 PPA 牌号的拉伸模量与温度的关系

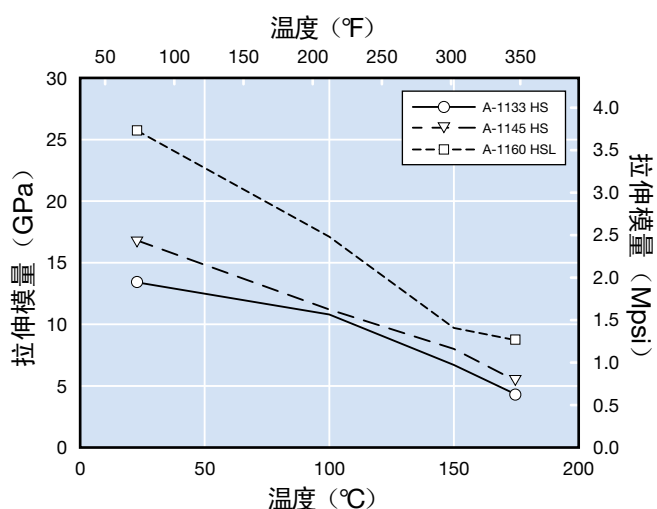


图 16: GR A-1000 PPA 牌号的延伸率与温度的关系

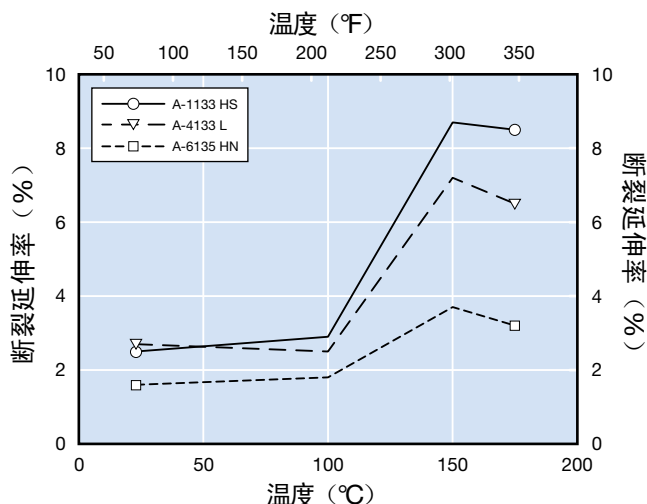
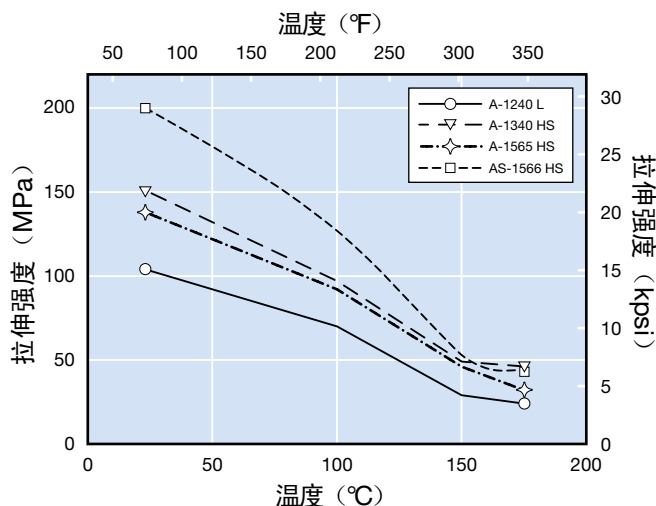


图 17: 矿物/玻纤增强 PPA 牌号的拉伸强度与温度的关系

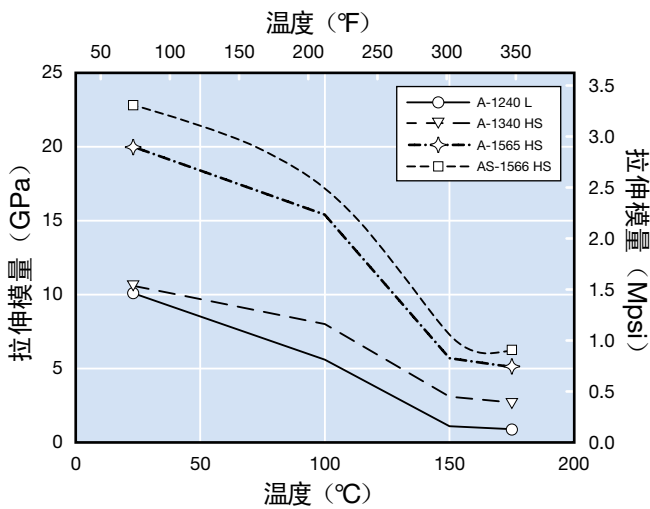


### A-1000 GR 牌号在高温下的拉伸特性

图 14 至图 16 显示了 Amodel PPA 的三种玻纤增强牌号从室温至 175°C 的温度范围内的拉伸特性，它们都以 A-1000 为基体树脂，分别含有 33%、45% 和 60% 的玻璃纤维。拉伸强度和拉伸模量均随玻璃纤维含量的增加而上升，这是半结晶热塑性材料的典型特点。

强度和模量均随温度升高而降低。伸长率随温度上升而增加。作为一种半结晶性材料，在环境温度升至玻璃转化温度 ( $T_g$ ) 的过程中，Amodel 塑料的机械特性呈现出缓慢而稳定的下降。在  $T_g$  处，机械特性在狭窄温度范围内下降更明显，随后又是渐渐下降。这是所有半结晶热塑性材料的典型行为。

图 18: 矿物/玻纤增强 PPA 牌号的拉伸模量与温度的关系



### 挠曲特性

像拉伸强度和拉伸模量一样，通过在塑料中添加玻璃纤维，可提高塑料材料的挠曲强度和挠曲模量。玻璃纤维处理可在塑料与玻璃之间形成强的化学键合，增强各种环境条件下的拉伸特性和挠曲特性。随着塑料中的玻璃纤维增强比例升高，其挠曲强度和挠曲模量都上升。

### 试验方法

热塑性材料的挠曲特性是按照 ASTM D790 或 ISO 178 测定的。ASTM D790 包括一个三点载荷试验（方法 I）和一个四点载荷试验（方法 II）。本文中，凡是引用了 D790，则采用方法 1。ISO 178（塑料 - 挠曲特性的测定）中规定了三点载荷。

这两种试验方法的不同在于试样尺寸、装置规格、最大挠曲和计算细节。三点载荷是指试样由两点支撑，这两点按规定的跨度分开，将一垂直载荷作用在这两支点间的中点处的试样顶部。在载荷作用下，试样变形或弯曲。试样会发生挠曲直至断裂或达到其最大纤维应变。挠曲强度被定义为断裂或最大应变时的最大纤维应力。最大应变按 ISO 178 方法规定是 3.5%，而按 ASTM D790 规定是 5%。

当某一材料的挠曲特性用上述两种方法测量时，ASTM 方法的测量结果不同于 ISO 方法的测量结果。采用这两种方法所测量的数据如各特性表所示。当比较材料时，要确保所对比的数据是采用同一试验方法并在相同的试验条件下测得的。

挠曲弹性模量是在弹性极限内受力物体的最外层纤维的应力与对应应变之比。与拉伸试验一样，挠曲模量根据载荷挠曲曲线的线性“虎克”区的斜率求得。

挠曲试验提供有关弯曲载荷下材料的相对强度和相对刚性的信息。挠曲强度较高的材料能耐受较高的弯曲载荷而不断裂。由挠曲模量较高的材料制成的部件在弯曲载荷下的挠曲度会小于由较低模量材料制成的部件。

与未填充塑料相比，玻璃纤维和矿物添加剂提高了 Amodel PPA 的挠曲强度和挠曲模量。所得的较高模量可充分满足许多应用的需求。

图 19: 30%-33% GR 塑料的挠曲强度

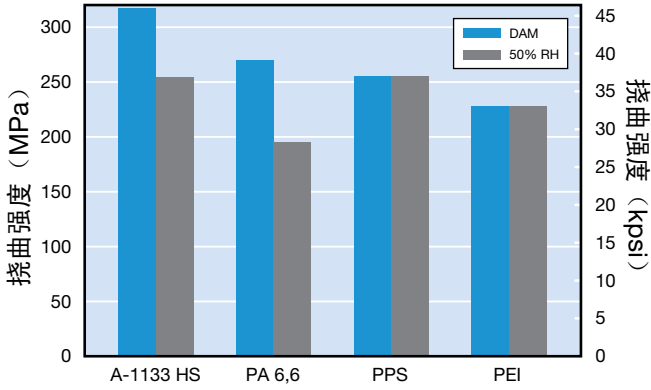
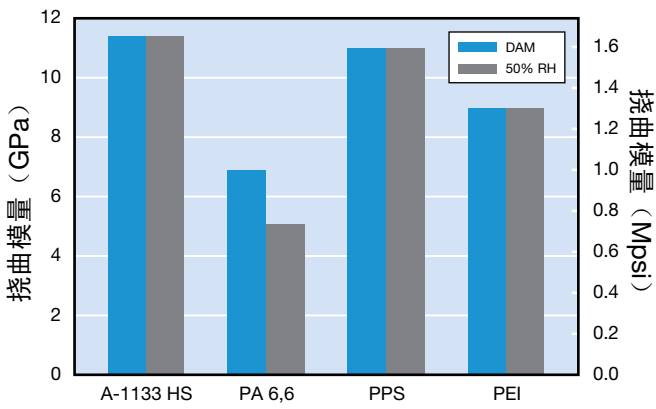


图 20: 30%-33% GR 塑料的挠曲模量



### 挠曲特性比较

图 19 比较了 33% GR Amodel PPA 的挠曲强度与相当的 PPS、PEI 和 PA 6,6 等材料的挠曲强度。Amodel PPA 的强度优于其它塑料，尽管其强度随着水分处理而有所下降，但其刚完成注塑时的强度仍比大多数其它材料高。

图 20 显示了它们的挠曲模量比较。所示 Amodel 塑料的挠曲模量非常高，且不受水分处理的影响。经过水分处理后，PA 6,6 材料的模量显著下降。

图 21: GR PPA 塑料的挠曲强度与温度的关系

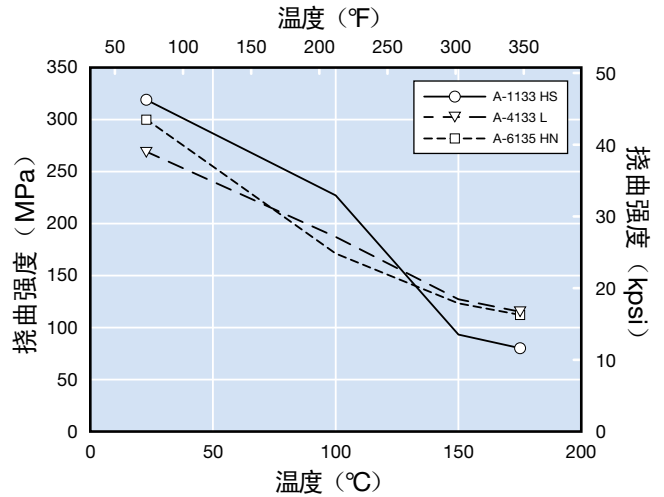
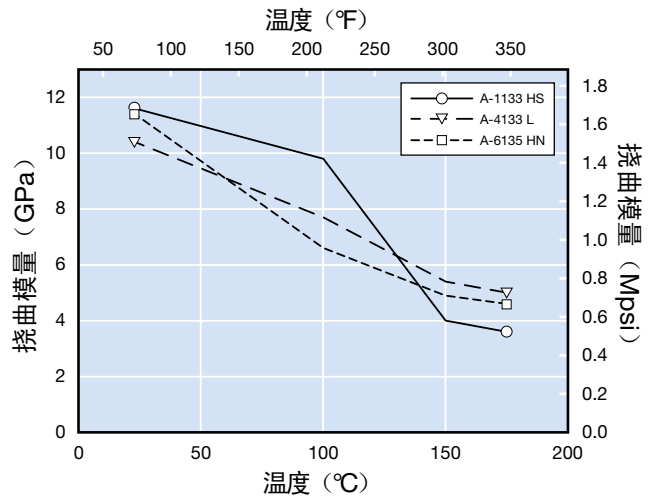


图 22: GR PPA 塑料的挠曲模量与温度的关系



### 高温下的挠曲特性

图 21 和图 22 显示了三种玻纤增强 Amodel 牌号（分别基于 A-1000、A-4000 和 A-6000 基体树脂）从室温至 175°C 的挠曲特性。基于 A-1000 的塑料在室温下的强度和刚性较高，但基于 A-4000 和基于 A-6000 的塑料在 125°C 以上性能更好。



图 23: GR A-1000 PPA 牌号的挠曲强度与温度的关系

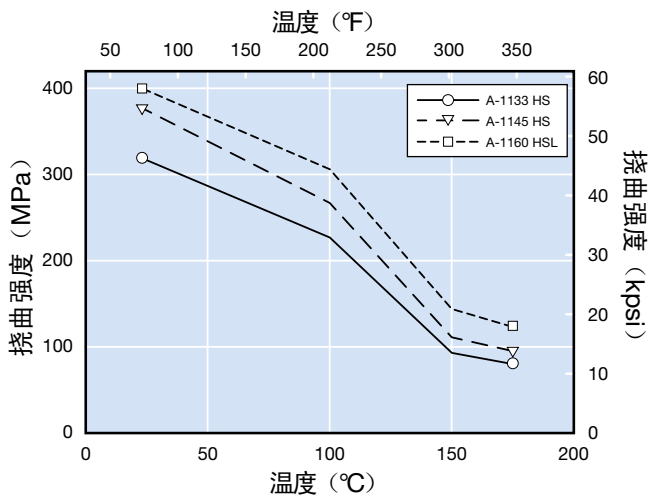


图 24: GR A-1000 PPA 牌号的挠曲模量与温度的关系

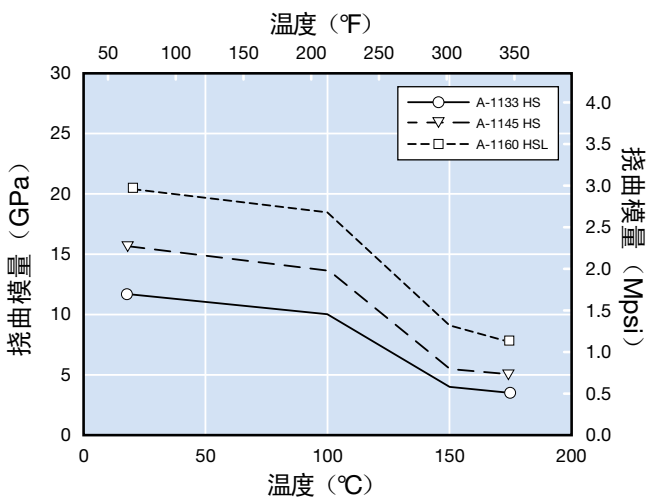


图 23 和图 24 代表了基于 A-1000 的 Amodel PPA 塑料含有不同玻纤增强水平时的挠曲特性。正如所预料的，玻璃含量较高的牌号在整个温度区间的强度和刚性更高。

图 25: 矿物/玻纤增强 PPA 塑料的挠曲强度与温度的关系

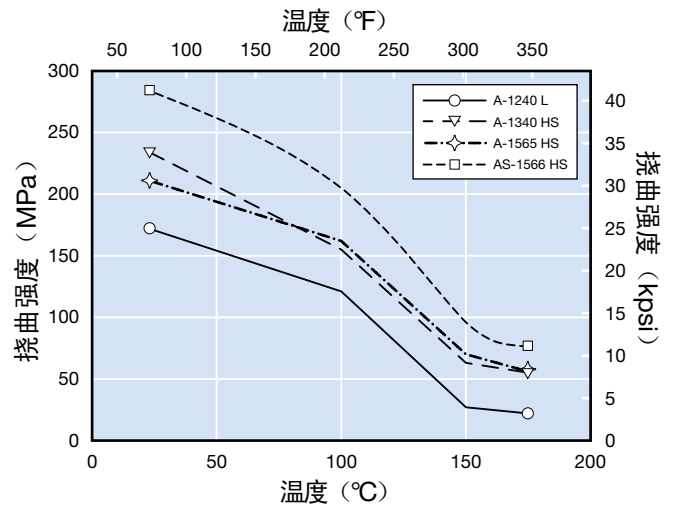
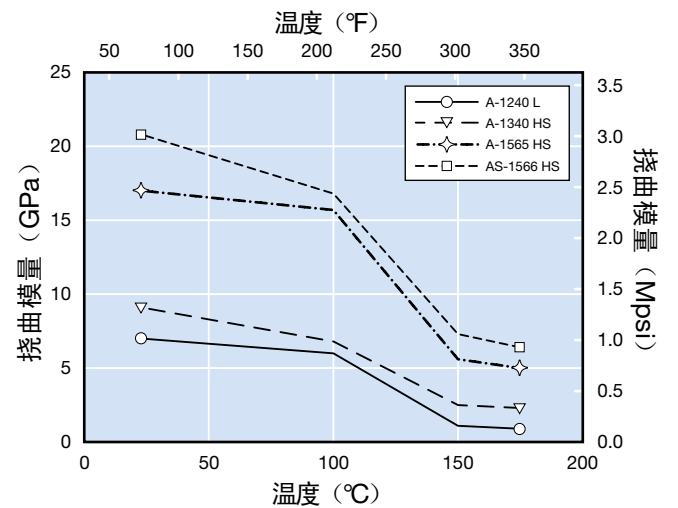


图 26: 矿物/玻纤增强 PPA 塑料的挠曲模量与温度的关系



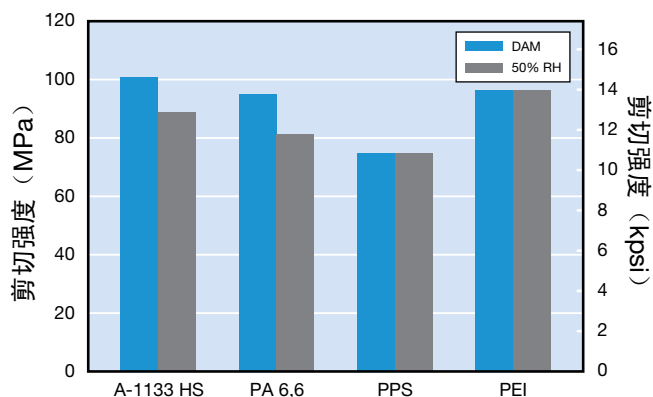
## 剪切特性

剪切强度是两个平面沿载荷方向相对移动时抵抗屈服或断裂的能力。剪切强度也可定义为通过切断剪切试样，使其移动平面完全与固定平面分离所需的最大载荷。在设计结构部件时，剪切强度值是很重要的，因为实际应用中作用于部件上的最大应力往往是剪切应力。

剪切强度的测量是按照 ASTM D732 进行的。该试验中，将一片由待测材料注塑的薄板放在一块带圆孔的金属板上。将直径比金属板上的孔径稍小的圆形冲头推过该注塑薄板，冲出一个圆盘。其最大应力就是剪切强度，将剪切试样所需载荷除以剪切面积即可计算出来，而剪切面积则是把板孔周长乘以薄板厚度求得。

图 27 比较了 Amodel PPA 与 PA 6,6、PPS 和 PEI 的剪切强度。Amodel PPA 的剪切强度与 PA 6,6 和 PEI 的剪切强度相当，而优于 PPS。

图 27: 30%-33% GR 塑料的剪切强度



## 压缩强度和压缩模量

压缩强度和压缩模量的测量都是按照 ASTM D695 进行的。用待测材料注塑出试样，然后把试样放在两块平行的金属板之间。然后由这两块平行板对试样施加压缩力，同时记录平行板之间的压力和距离。压缩应变由两块板之间的距离变化给出。将受力除以横截面面积而计算出来的破坏应力就是压缩强度，而应力/应变曲线的斜率则是压缩模量。

## 冲击强度

由于聚合物是粘弹性物，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。如果塑料件在碰撞后不受损害，那么它就必须能够吸收撞击所传递的动能。

吸收能量的能力是由塑料件形状、大小、厚度及用于制作该部件的塑料类型所决定的。目前最常用的耐冲击性试验方法可能不足以提供设计者可用来进行分析的资料。而在确定相对耐冲击性以及比较材料的缺口敏感度时，这些试验则非常有用。虽然试验结果可能不足以预测实际应用中的实际韧性，但可用于材料之间的比较。

图 28: 30%-33% GR 塑料的压缩强度

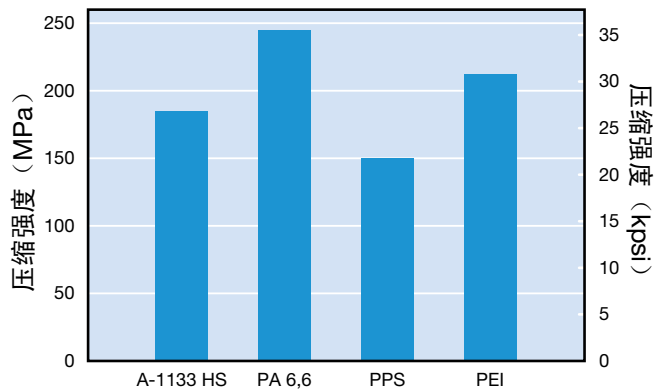


图 29: A-1000 树脂的压缩强度与温度的关系

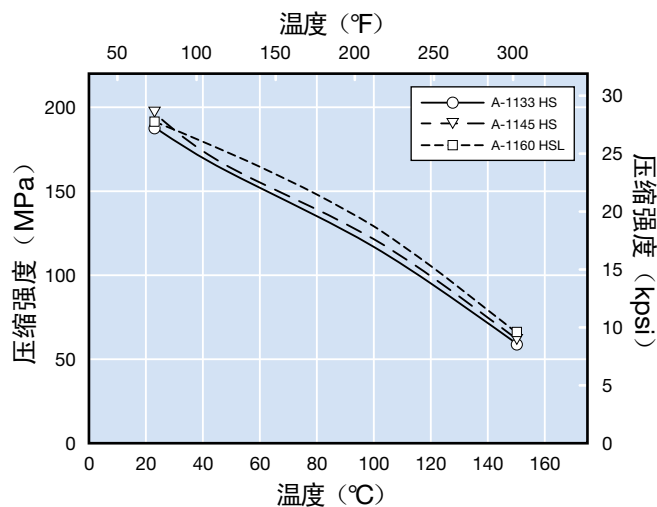


图 30: A-1000 树脂的压缩模量与温度的关系

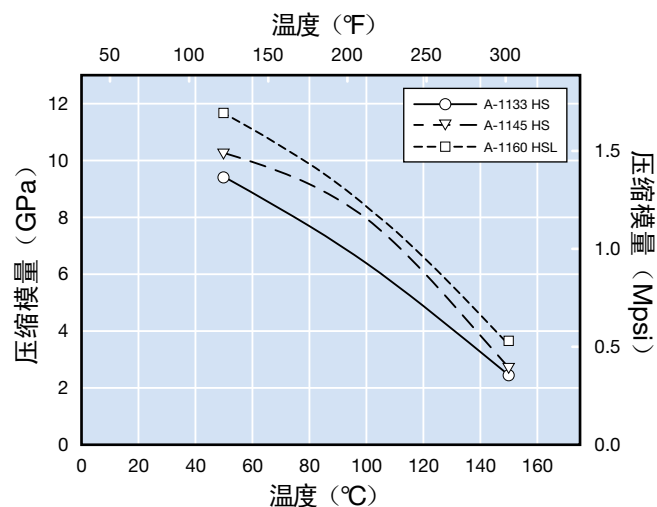


图 31: 伊佐德 (Izod) 冲击试样

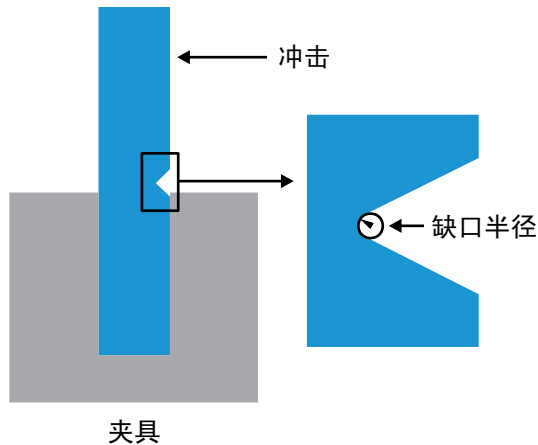


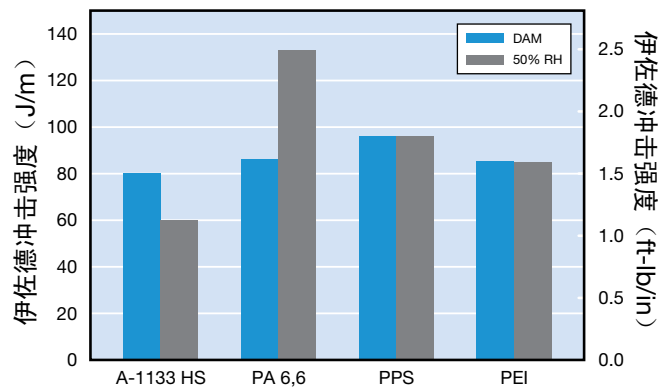
表 16: 伊佐德试样的尺寸

尺寸	ISO 180		ASTM D256	
	mm	inch	mm	inch
长度	80.00	3.150	63.50	2.500
宽度	10.00	0.394	12.70	0.500
厚度	4.00	0.157	3.20	0.125
缺口半径	0.25	0.010	0.25	0.010

### 伊佐德 (悬臂梁) 冲击

伊佐德冲击特性的测定可采用 ASTM D256 (塑料和电绝缘材料的耐冲击性) 或 ISO 180 (塑料 - 伊佐德冲击强度的测定) 试验方法进行。在这两种试验中, 都用摆锤击打一个边缘被切去规定半径缺口的试样 (如图 31 所示)。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。这两种方法的不同在于试样尺寸和结果计算方式。当采用 ASTM D256 时, 损失的能量要除以试样切去缺口后的剩余宽度, 其单位是焦耳/米 (J/m) 或英尺-磅/英寸 (ft-lb/in)。当采用 ISO 180 时, 损失的能量值要乘以 1,000 再除以试样剩余宽度和厚度之积, 其单位是千焦耳/平方米 (kJ/m<sup>2</sup>) 或英尺-磅/平方英寸 (ft-lb/in<sup>2</sup>)。

图 32: 30%-33% GR 塑料的伊佐德冲击强度 (ASTM D256)



无缺口试样也可进行伊佐德冲击试验。适用的试验方法是 ASTM D4812 或 ISO 180U。这两种方法与上述有缺口方法的主要区别在于, 其结果的计算中采用了试样的全宽度。

本文中包含了采用这两种方法的试验数据。表 16 给出了所用试样的尺寸。

### 伊佐德冲击特性的比较

图 32 显示了 33% 玻璃纤维增强的 Amodel PPA 塑料与 PA 6,6、PPS 和 PEI 塑料的玻璃纤维增强牌号在缺口伊佐德冲击强度上的对比。玻璃纤维增强提高了这些材料的强度, 但降低了伸长率, 且所有这些材料的伊佐德冲击值都较低。经过水分处理后, PA 6,6 的冲击强度呈现上升趋势。

图 33 显示了以下几种材料的伊佐德冲击强度: Amodel PPA 塑料的增韧牌号 ET-1000 HS、PA 6,6 和 PA 6 的高耐冲击牌号, 以及聚碳酸酯 (PC) 和聚碳酸酯-聚酯 (PC/PBT) 共混体。Amodel 牌号的冲击强度相当于或好过其它材料。如图 34 所示, 这种牌号的塑料对缺口半径的敏感度没有大多数无定形聚合物那么高。

图 35 显示了 ET-1000 HS 在低于室温的温度下有良好的伊佐德冲击特性, 而 Amodel AT-1001 L 在低至 -40°C 的温度下仍然具有优异的耐冲击性。

图 33: Amodel ET-1000 与 PA 和 PC 的伊佐德冲击特性比较

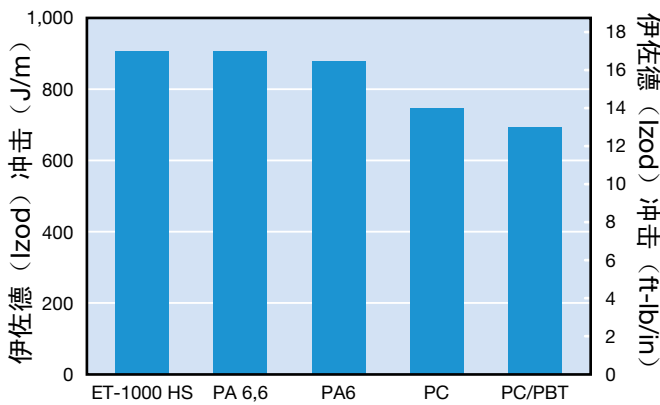
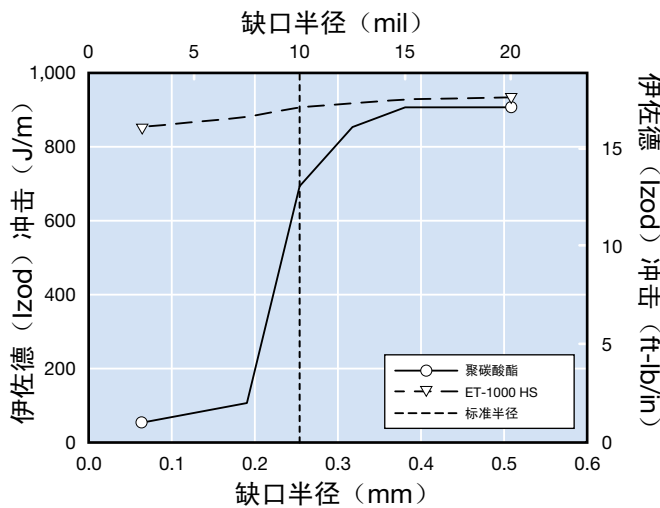


图 34: ET-1000 HS 和 PC 的缺口半径敏感度



### 卡毕（支撑梁）冲击

卡毕试验与伊佐德试验相似，因为都是由落锤冲击试样，并测量使试样断裂的能量。两者的主要区别在于：在卡毕（Charpy）试验中，试样在两端受支撑，所冲击的是其中部，如图 36 所示。所用的试验方法是 ISO 179/1eA 和 179/1eU。

图 35: Amodel PPA 牌号的低温伊佐德特性

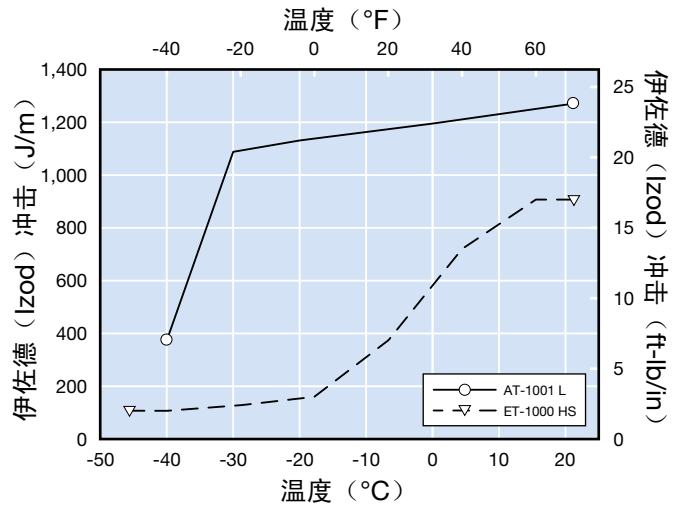


图 36: 卡毕（Charpy）冲击试样

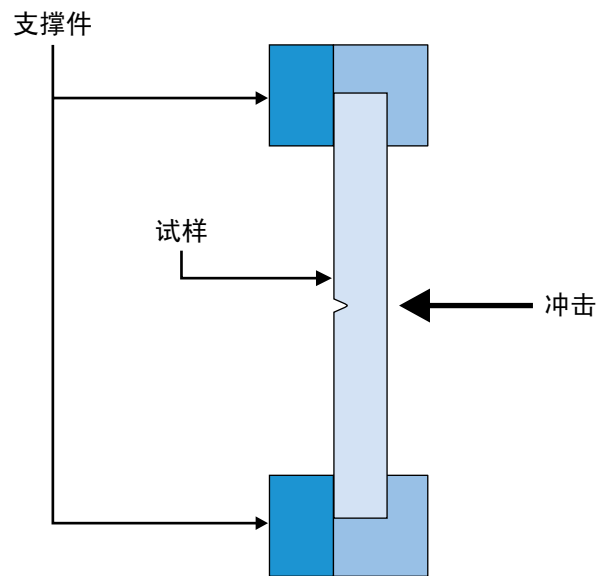
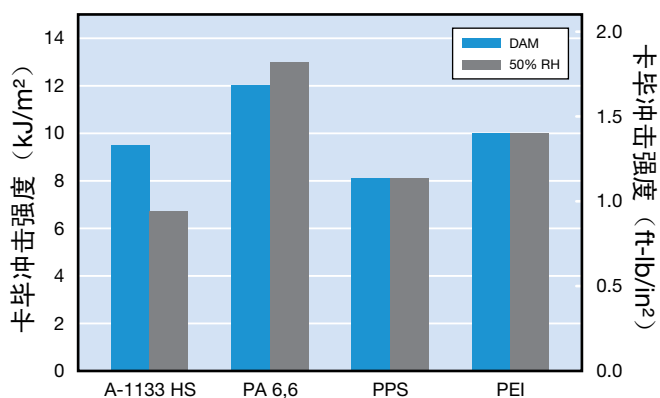


图 37: 30%-33% GR 塑料的缺口卡毕冲击强度



### 落锤冲击特性

Amodel 高性能聚对苯二酰胺塑料的实际韧性是采用 ASTM D3763 (用载荷和位移传感器测试塑料的高速穿孔特性) 方法进行测量的。

在该试验中, 将一个注塑成型试样夹紧在直径 76 mm 的孔中, 让一个配重冲杆从预定高度落下, 产生一个预定的冲击速率。冲杆组件包括一个一端为半球形的直径 12.7 mm 的钢棒。把冲杆组件连接到一个载荷传感器上, 由其测量导致试样破坏所需的能量。

试样可在脆性模式或韧性模式下被破坏。在韧性破坏模式下, 试样随冲杆外形而永久变形, 但在冲杆穿透后仍保持一个整体。在脆性破坏模式下, 试样的韧性不足以达到不破坏的变形, 因而当受到冲杆冲击时破裂成两个或更多的部分。

该方法比 ASTM D3029 方法要好, 因为尽管所得冲击值在本质上类似于“阶梯”式落锤冲击试验, 但其仪器的试验结果可通过微机化数据精简技术获得, 因而需要较少的试样。

表 17: 耐冲击改性 PPA 的穿透冲击 (ASTM D3763) 试验

牌号	条件	最大载荷		总能量	
		N	lb	J	ft-lb
AT-1001 L	DAM	4,900	1,100	54	40
AT-1002 HS	DAM	4,400	1,000	54	40
AT-1002 HS	50% RH	4,000	900	47	35
AT-5001	DAM	4,400	1,000	54	40
AT-5001	50% RH	4,000	900	50	37
ET-1000 HS	DAM	4,670	1,050	54	40
ET-1001 L	DAM	5,600	1,260	64	47

### 泊松比

泊松比是作用于材料上的垂直于所施加载荷的应变特征的度量。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形试棒, 在长度 (L) 增加的同时其直径 (D) 会减小。

在此情况下, 泊松比 (ν) 可以通过下列公式计算出来:

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

大多数塑料材料的泊松比介于 0.3 和 0.5 之间。

表 18 给出了各种 Amodel 配方在 23°C “刚完成注塑时处于干燥状态”时的泊松比。

表 18: Amodel 产品的泊松比

牌号	泊松比 ( $\nu$ )
ET-1000 HS	0.40
A-1115 HS	0.41
AS-1133 HS	0.41
AS-1145 HS	0.41
A-1230 L	0.31
A-1240 L	0.29
A-1340 HS	0.38

### 长期机械特性

为了让聚合物塑料制成的任何工程部件在其整个预期设计寿命期间都能在所规定的参数下工作，设计工程师必须考虑若干因素的长期影响。各种应力载荷以及环境因素所导致的特性变化是必须考虑的。为评估应力对聚合物材料行为随时间的影响，就要测量蠕变和疲劳特性。此外，各种各样的环境因素也可影响工程部件的性能，这一内容在第 58 页开始的题为“耐环境性”一节中作详细探讨。不过，由于有些环境因素的极其普遍性，我们必须在本节中予以阐述。它们是水分吸收的影响和长期接触高温环境的影响。

本节所提供的数据可帮助设计工程师进行设计寿命要求的分析。本节的数据包括：

- 拉伸模式、挠曲模式和压缩模式下的蠕变模量
- 拉伸蠕变断裂
- 耐疲劳性
- 由于吸水造成的特性变化
- 由于吸水造成的尺寸变化
- 长期接触高温导致的特性变化

本手册所提供的长期特性数据，反映了在各种代表性条件下若干 Amodel PPA 牌号的特性变化趋势和特性损失。由于获得数据需要耗费时间，此处并未包含所有的牌号或所有的条件。这些数据旨在显示特性变化趋势与填料/增强体系的关系，使得设计者可作出有根据的决定。

在一些情况下，采用了“加速”试验条件来加快数据采集的速度，从而获得某些长期特性的数据。对通过这种方式获得的数据进行评估时要谨慎，因为它们往往是非线性的。在测量特性损失与高温和/或化学接触的函数关系时尤其如此。这种非线性行为的主要来源是分子热运动的起点温度，诸如玻璃转化温度 ( $T_g$ ) 和最终温度，即熔点。

### 蠕变

当材料受到应力时，就会发生瞬时应变。对于小的应变，应变与应力成比例，可根据合适的模量计算出来。如果所施加的作用持续较长一段时间，可观察到额外的应变。该行为称为蠕变，这一额外的应变称为蠕变应变。

尽管蠕变可见于金属，但塑料的蠕变现象更为显著。塑料的模量较低，这意味着在同一应力水平下其应变幅度较大，而且占极限应变的比例较高。一般而言，初始应变越接近极限应变，则越可能发生显著蠕变。

必须将发生蠕变的情况作为设计因素进行考虑，以确保获得长期满意的性能。最先要考虑的任务是确定蠕变是否会对部件的尺寸或功能造成显著的影响。如果应力水平足够低，以至于尺寸变化并不明显，那么就可以忽略蠕变。然而，如果应力水平使得蠕变会造成不可接受的变形，则必须考虑采用其它的设计。这可包括使用其它具有较高蠕变模量的材料，或结合使用其它的设计，诸如加入金属嵌入件来作为承受载荷的部件。这方面的进一步论述请参阅“设计信息”部分。

一般而言，玻纤增强和矿物/玻纤增强牌号的蠕变要比未增强牌号小。观察未增强牌号产生可测量蠕变所需的时间也更短。在高温下，表观模量或蠕变模量将下降，而蠕变会相应增大。在玻璃转化温度 ( $T_g$ ) 以上，未增强牌号的表观模量可低至用相对较低的载荷就可造成显著蠕变的程度，因此通常不推荐将这些未增强牌号用于其玻璃转化温度以上的结构性应用。凡是需要接触高温的结构性应用，都应规定采用玻纤增强或矿物/玻纤增强牌号。

蠕变可在拉伸模式、压缩模式或挠曲模式下发生。因此，为了评估蠕变特性，需要在规定的条件下测量一个受到恒定的拉伸、压缩或挠曲载荷的试样的应变随时间的变化。所采用的试验方法在 ASTM D2990（塑料的拉伸、压缩和挠曲蠕变及蠕变断裂的标准试验方法）中有描述。ISO 方法 899（塑料 - 蠕变行为的测量）与其类似，但由于两者在试样上的不同，可能无法得到完全一样的结果。两种方法所呈现的总体趋势应是相似的，但是，在进行材料对比时，必须使用采用相同方法所获得的数据。

蠕变的正常演化过程可分为下列三个阶段：

初始快速变形

恒定慢速下的持续变形

韧性材料的屈服后断裂或非韧性材料的直接断裂

蠕变试验数据的意义在于，它们可用于计算老化蠕变应变和蠕变模量，以便用于应力计算和确定特定时间和温度条件下的安全应力水平。如果是在各种应力水平下进行蠕变试验直至发生破坏，则可得到一条蠕变断裂曲线。

蠕变的另一方面特性也许使分析进一步复杂化：一定应力下，蠕变将按照基于表观模量的预期速率发生。不过，取决于应力的施加方式，初始蠕变可造成应力松弛。例如，如果把一个塑料部件用一个螺栓紧固，螺栓被施加了转矩以获得对塑料部件的压缩应力。随着蠕变应变的发生，压缩应力将下降，造成蠕变减小。压缩应力将进一步下降，直至在一个低应力水平下达到平衡。若做“单点”分析，则转矩保持力会降至失效水平，而事实上，在出现失效水平前会达到一个可接受的平衡水平。

有关蠕变对部件设计影响的进一步论述（包括实例），请参阅第 70 页。

### 拉伸蠕变

拉伸蠕变测量的温度有三个：23°C、125°C 和 175°C；应力水平有两个：13.8 MPa 和 34.5 MPa。试样是 3.2 mm 厚的注塑成型 ASTM D638 I 型拉伸棒。试样以“刚完成注塑时处于干燥状态”下进行试验。需在两个较高温度下测试的试样则置于空气循环烘箱中。虽然测量的是应变，但结果一般以表观模量来表示，通过把应变除以所施加的应力求出。表观模量是设计工程师在设计那些必须在持续载荷下工作的部件时用在机械设计计算中的值。

所试验的材料是 A-1133 HS（33% 玻璃纤维）和 A-1145 HS（45% 玻璃纤维）。室温试验结果如图 38 和图 39 所示。

125°C 拉伸蠕变试验结果如图 40 和图 41 所示，175°C 试验结果如图 42 和图 43 所示。



图 38: 23°C 和 13.8 MPa 时的表观模量

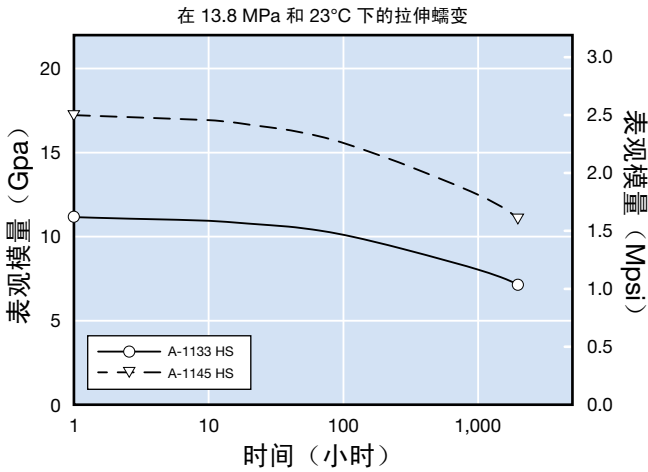


图 41: 125°C 和 34.5 MPa 时的表观模量

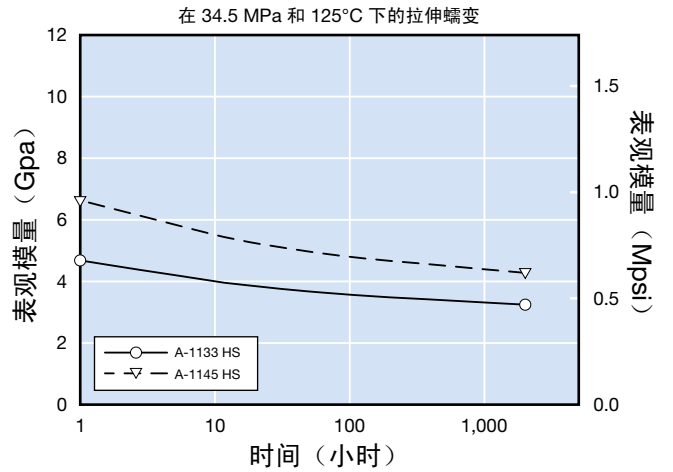


图 39: 23°C 和 34.5 MPa 时的表观模量

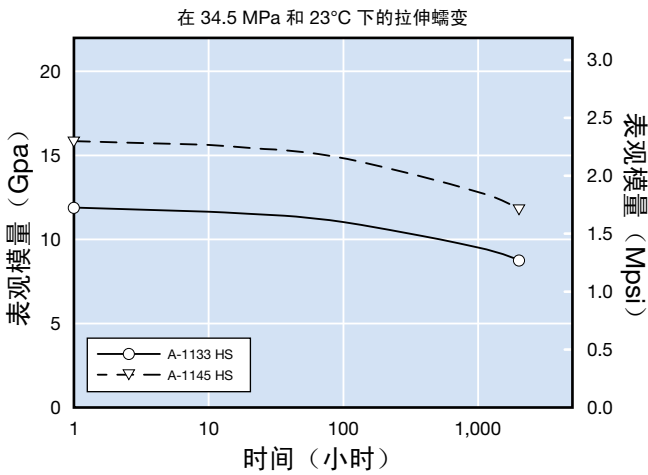


图 42: 175°C 和 13.8 MPa 时的表观模量

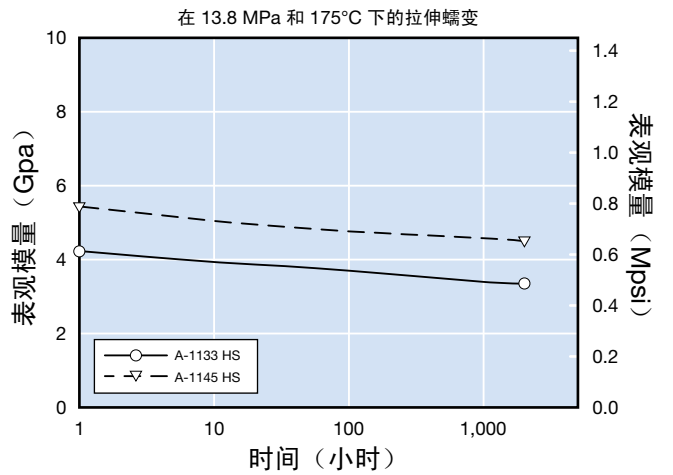


图 40: 125°C 和 13.8 MPa 时的表观模量

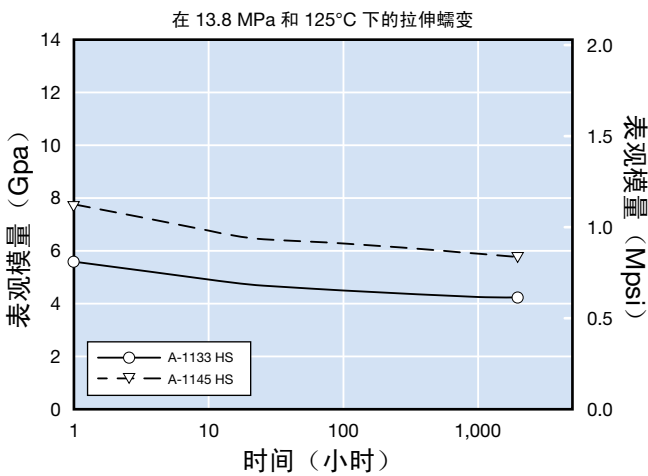
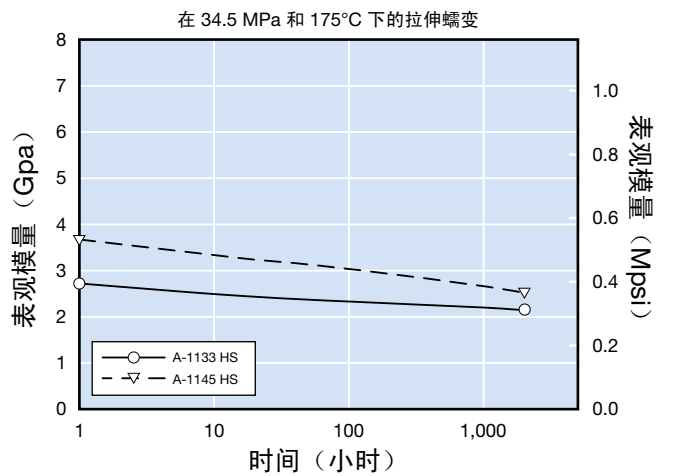


图 43: 175°C 和 34.5 MPa 时的表观模量



## 同步应力/应变曲线

提供蠕变数据的另一种形式是通过采用同步（等时）应力-应变曲线。为了绘制同步曲线，要先画出单个时间间隔内的应力和所产生的应变对应的点，再通过这些点画出一条平滑曲线。对各个时间间隔，重复上述步骤。

这种方法的优点是它能够提供大量数据的简要总结。任意一点的表观模量都可通过将所指示的应变去除应力而获得。（请注意，图中以百分数显示应变；实际应变值等于图中数值除以 100。）

Amodel A-1133 HS 塑料在 23°C、125°C 和 175°C 时的同步应力/应变曲线如图 44 所示。

图 45 显示了 Amodel A-1145 HS 塑料的同样信息。正如所预料的，复合物中的玻纤增强比例越高，则抗蠕变性越好。

## 拉伸蠕变断裂

蠕变断裂被定义为持续载荷下发生的破坏或断裂。受持续载荷而发生断裂时的应力水平会低于短期强度，因此蠕变断裂可以是极限设计特性。

拉伸蠕变断裂试验的目的是确定持续载荷产生断裂所需的时间。应力与发生断裂的时间关系曲线通称为“蠕变断裂与温度关系曲线”。因为材料的强度会随温度而变化，所以每个温度下均可得到一条“蠕变断裂与温度关系曲线”。

蠕变断裂与温度关系曲线的制作是按照 ASTM D2990 方法进行的。拉伸试样是 3.2 mm 厚的注塑成型 ASTM D638 I 型拉伸棒。试验环境与上述拉伸蠕变试验一样。采用气动波纹管对试样施加张力，以维持所指示的应力水平。

Amodel AS-1133 HS 塑料在 65、100 和 150°C 时的拉伸蠕变断裂与温度关系曲线如图 46 所示。

图 44: A-1133 HS PPA 的同步应力-应变曲线

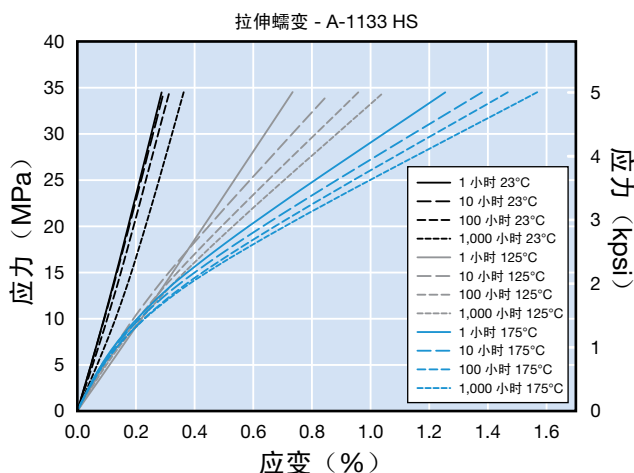


图 45: A-1145 HS PPA 的同步应力-应变曲线

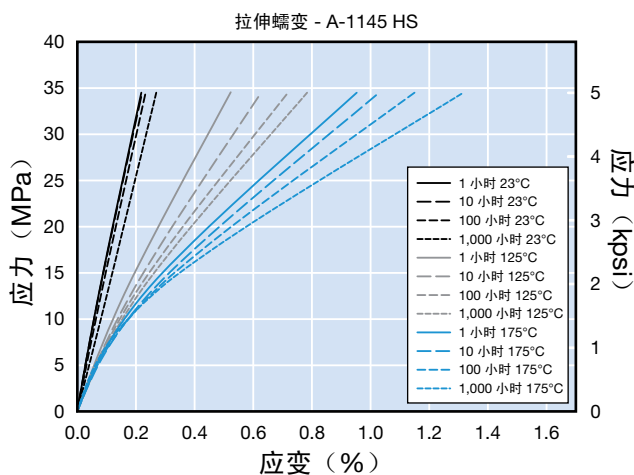


图 46: AS-1133 HS 的拉伸蠕变断裂

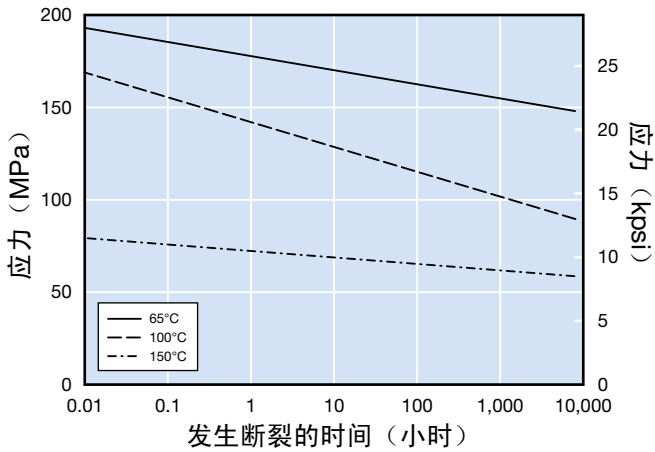


图 47: 23°C, 69 MPa 下的表观挠曲模量

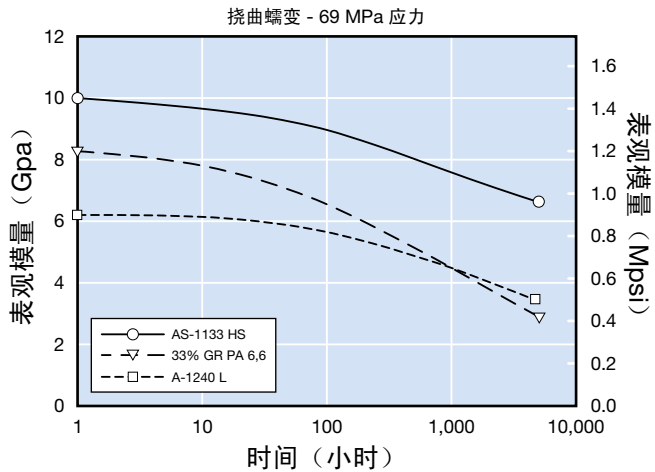
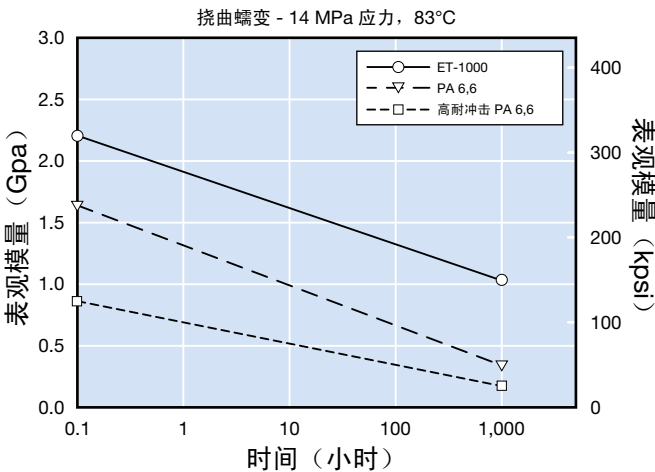


图 48: 83°C, 14 MPa 下的表观挠曲模量



## 挠曲蠕变

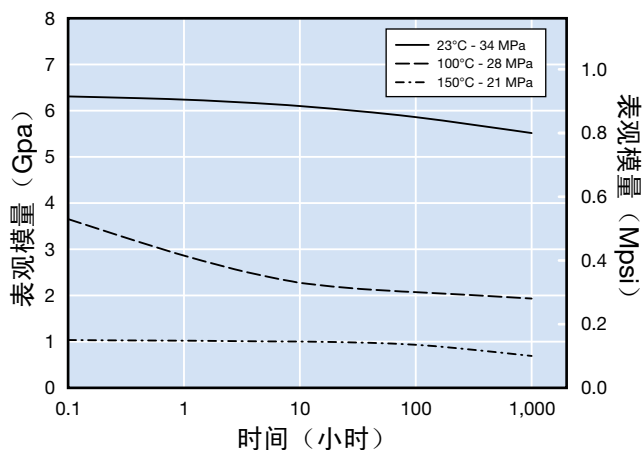
挠曲蠕变的测量是按照 ASTM D2990 方法采用三点弯曲模式进行的，跨度为 50.8 mm。试样是 127 mm x 12.7 mm x 3.2 mm 规格的注塑成型棒，在“刚完成注塑时处于干燥状态”下测试。试验环境维持在 50% 相对湿度和 23°C。应力水平从挠曲强度与温度的关系曲线上预先确定，选择在试验温度下材料极限强度的 25% - 35%。

抗蠕变性可大体上根据使用温度与材料的玻璃转化温度的关系进行预测。一般而言，在远低于  $T_g$  的使用温度时，抗蠕变性好，而当使用温度接近  $T_g$  时，抗蠕变性变差。因此，Amodel 塑料的抗蠕变性自然会优于许多传统的半结晶热塑性材料。例如，经差示扫描量热法（ASTM D3418）测定，Amodel A-1000 树脂的玻璃转化温度是 123°C。PA 6,6 的相应  $T_g$  是 65°C。在不超过  $T_g$  的各温度下，Amodel 塑料的确有优良的抗蠕变性。

图 47 比较了 Amodel AS-1133 HS 和 A-1240 L 塑料的表观挠曲模量与 33% 玻纤增强 PA 6,6 的表观挠曲模量。AS-1133 HS 塑料明显优于玻纤增强 PA，即使是矿物填充牌号，Amodel A-1240 塑料，在施加持续载荷 1,000 小时后仍有较高的蠕变模量。

图 48 比较了 Amodel ET-1000 塑料与未增强牌号和耐冲击改性牌号 PA 6,6 在 83°C 和 14 MPa 下的表观挠曲模量。

图 49: AS-1133 HS 的表观压缩模量



### 压缩蠕变

压缩蠕变的测量是按照 ASTM D2990 方法进行的。试样是 12.7 mm x 12.7 mm x 25.4 mm 规格的注塑成型棒。试棒的两个端部均经过机加工，使其相互平行度达到 0.025 mm 范围内并垂直于轴身。位移由所连接的应变仪监测。与挠曲蠕变实验一样，应力水平选择在试验温度下压缩强度的 35% 以下。

图 49 显示了 Amodel AS-1133 HS 塑料在 23°C、100°C 和 150°C 时的压缩蠕变模量。这些模量均低于图 47 给出的挠曲蠕变模量。这是因为纤维在诱导应变方向上的取向较少。

在需要以压缩方式给 Amodel 塑料施加载荷的大多数应用中，载荷的施加方向会垂直于流动方向，即纤维取向的方向。因此，这里给出的表观模量代表了典型应用中的材料性能。

### 耐疲劳性

当受循环应力作用时，材料会在远低于其短期极限强度的应力水平下发生破坏或断裂。循环应力的例子可包括：受严重振动的部件、循环施加载荷的往复式或旋转式设备上的部件，以及诸如齿轮等循环载荷随位置变化的机械部件。

这种现象在金属中众所周知。冶金学家已经定义了“疲劳耐受限度”这个术语来表示某种金属在不致被破坏的情况下可以承受的最大循环应力。这个应力水平通常对应于在 1000 万次 ( $10^7$ ) 循环之内不会导致破坏的最高应力水平。

尽管在涉及到塑料材料的设计讨论中会用到“疲劳耐受限度”这个术语，但塑料对循环应力的反应比金属复杂，因此该术语并非完全适用。疲劳数据一般通过将应力对断裂时的循环次数作图来给出。所得到的是一条与这些数据最佳拟合的平滑曲线。为了部件设计的目的，该 S-N（应力-循环次数）曲线给出了适合部件所需寿命的强度值。

当设计一个将受循环载荷影响的部件时，确立对疲劳强度的要求是可取的。不过，因其受影响的因素很多，使得对疲劳强度要求的分析变得复杂。其中一些因素包括：部件形状；应力集中因素；载荷的施加速率；施加载荷所引起的任何温度变化；载荷诱导应力的类型，即拉伸、压缩或剪切等；环境因素，诸如化学品、辐射、环境温度；残余应力；工作周期；期望的部件寿命。

图 50: GR 塑料在 23°C 和 32 Hz 时的挠曲疲劳

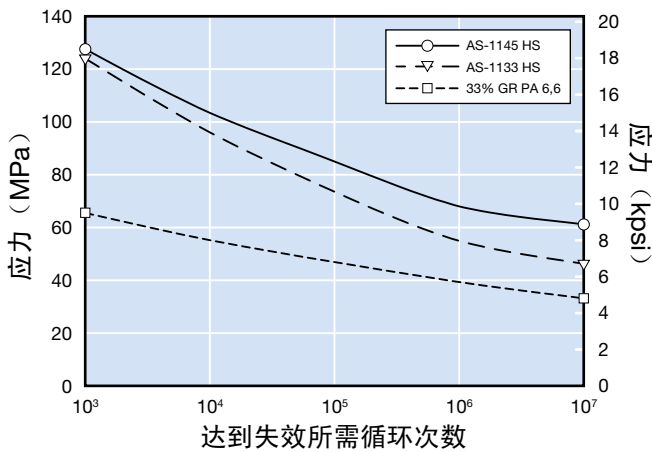
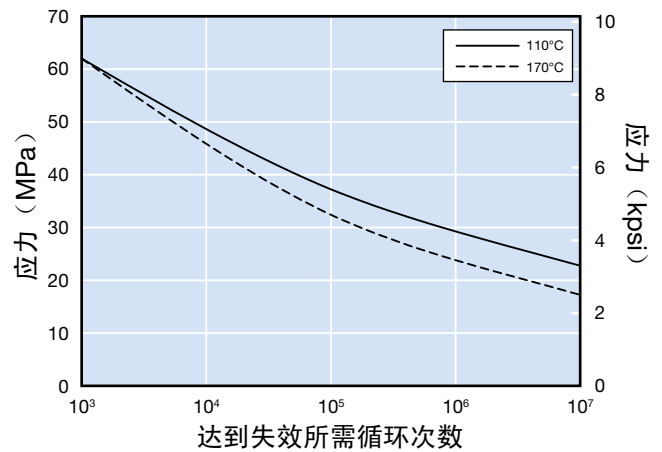


图 51: AS-1145 塑料高温时的挠曲疲劳



### Amodel 塑料的疲劳强度

当测量和/或比较塑料材料的疲劳强度时，指明状态（拉伸、压缩或挠曲）、频率以及应力情况很关键。

Amodel 塑料的疲劳强度按照 ASTM 试验方法 D671 测定。这种方法使用了恒定挠曲的悬臂梁构型。图 50 所示结果是在 32 Hz 频率下得到的。当应力水平衰减到其初始值的 90% 时，即定义为被破坏。Amodel 塑料耐受较高循环载荷的时间长于 PA 6,6。

图 51 给出了 Amodel AS-1145 HS 塑料在 110°C 和 170°C 时的疲劳行为。正如所预料的，温度提高，使得可耐受的循环应力下降。

涉及循环应力应用的一个典型范例是齿轮。当主动齿轮带动从动齿轮转动时，每个轮齿都会受到应力。然后是一段应力较低或者为零的时间。在设计齿轮齿时，合理的强度标准是在齿轮工作条件下的材料疲劳耐受限度。

完成所有计算后，可对部件设计进行修改，以便其能最好地利用所选材料的各种特性。相反地，也可更改材料牌号，以便能最好地适合应用要求。验证设计的一个极有用工具是有限元分析（FEA）。在有限元分析中，要对部件进行电子建模，并利用计算机程序来模拟预期的载荷和应力。可对所得到的应变水平进行评估，而且，如有必要，可变更部件设计或材料。显然，改变 FEA 模型要比改变制成的部件或模具要容易得多。

即使在完成了计算和 FEA 工作之后，评估某一材料是否适合受动态应力影响的部件时，其最佳方式还是进行实际的原型试验。原型部件可从现成的坯料加工而成，并按应用要求进行性能试验。坯料通常为挤塑板或挤塑棒，并一般呈现出稍低于注塑成型部件的机械特性。另外，机加工作业通常会诱发注塑成型部件一般没有的应力。因此，成功的原型试验赋予设计可靠性一个极高的置信水平。

## 水分的影响

与大多数热塑性材料一样，由 Amodel 塑料制成的部件可从大气中吸收水分。这种吸收是一个物理过程而非化学变化，因此是可逆的，表现在部件可在适当条件下“干透”。Amodel 高性能聚对苯二酰胺塑料的聚合物“主链”有显著的苯环结构，这使得它们的吸水性要远低于诸如 PA 6,6 和 PA 6 等脂肪聚酰胺。因此，Amodel 部件的尺寸、强度和刚性受水分吸收的影响将明显小于传统的脂肪聚酰胺部件。由于水分无处不在，水分对材料特性影响的知识对力图满足最终使用要求的设计工程师来说是至关重要的。

## 水分吸收的意义

当聚合物吸收大气水分时，会发生若干变化。显然，部件重量将增加，而这一重量增加一般可用于测量所吸收的水分。另外，还会有一些尺寸变化，通常是变大，即部件将变大。由于诸如玻璃纤维等增强填料的存在，可能会造成各向异性的尺寸变化，因为当树脂填充模具时，这些纤维会沿着聚合物的流向排列。与注塑收缩率类似，由于吸水造成的尺寸变化往往会给出在流向和横向两个方向上的值。

机械特性也会受吸水的影响。一般地，可见物理特性如拉伸强度和挠曲强度的轻微下降。相关模量也稍微下降。冲击强度值趋于稍微增大，因为水分的存在易使聚合物塑化。由于水是导体，吸收的水分会对注塑部件的介电特性有负面影响。

生产吸水性聚合物的厂家通常会发布两组数据，一组是无吸水试样的试验结果，通称为“刚完成注塑时处于干燥状态”（DAM），第二组数据是让试样在 50% 相对湿度的环境中达到重量平衡后的结果，称为“50% RH”。PA 6 和 PA 6,6 等聚合物吸收水分较快，在 50% 相对湿度环境达到平衡也快。为这些材料提供 50% RH 数据相对方便，其同设计的关联性也很高，在后续的论述中将会理解这一点。

另一方面，Amodel PPA 等聚合物吸水很慢，在 50% RH 下达到平衡会需要几年。为了提供 50% RH 数据，人们开发了一种可加速试样处理的方法。该方法把试样在醋酸钾水溶液中煮沸，直至试样恒重，一般需几天即可完成。正如所预料的，该加速程序有一些影响试验值的副作用。在该加速程序中，试样被退火，应力被释放，这实际上可能会导致特性试验结果的某种改善。反之，接触沸水又可使一些聚合物部分水解，引起某些特性的损失。另外，已经得到证明，接触沸腾的盐溶液会破坏聚合物与诸如玻纤等增强介质之间的键合，造成拉伸、挠曲和冲击等机械特性的损失。虽然如此，吸水对 Amodel 塑料的影响还是极小的。

## 吸水和玻璃转化温度 ( $T_g$ )

也许远比吸水对各种室温特性的影响更显著的是吸水对聚合物玻璃转化温度 ( $T_g$ ) 的影响。按定义，聚合物  $T_g$  是一个这样的温度，超过这个温度，聚合物基体里的结晶区不再多于无定形区。在  $T_g$  以上，材料以无定形区为主，如在机械特性与温度关系的论述中所见，显然会有机械特性的损失。对未增强牌号，这一点非常显著，其特性可下降到从机械设计角度来看基本无用的水平。而对增强牌号，尽管从设计角度来看  $T_g$  以上的特性仍然有用，但其机械特性的损失还是非常显著，需要在设计中予以认真考虑。

吸水对半结晶性聚合物的影响是降低玻璃转化温度。温度下降的严重程度取决于特定的聚合物和吸水量。

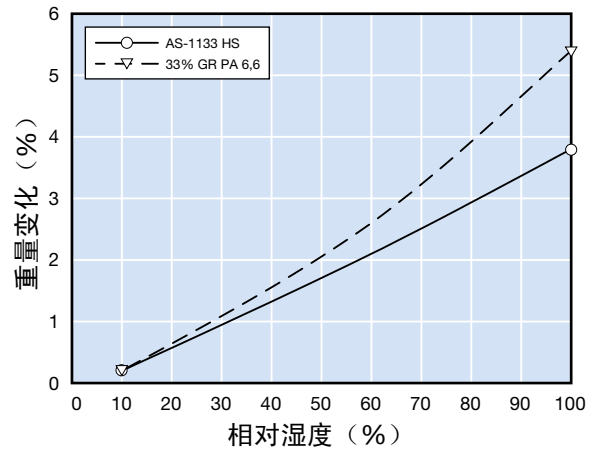
当利用一种  $T_g$  接近或低于  $100^\circ\text{C}$  的聚合物来设计时，这种现象就要引起重视。例如， $T_g$  为  $80^\circ\text{C}$ （刚完成注塑时处于干燥状态）的聚合物在吸水后或许  $T_g$  只有  $60^\circ\text{C}$ 。设计者在决策时必须考虑  $60^\circ\text{C}$  以上因  $T_g$  下降而引起的显著特性损失。干燥  $T_g$  更低的聚合物在吸水后，其  $T_g$  可降低到或接近于室温。这可成为一个重大的设计问题。

或者，考虑 Amodel A-1000 系列聚合物，其干燥  $T_g$  是  $123^\circ\text{C}$ 。室温吸水可减少该  $T_g$  至  $84^\circ\text{C}$ ，而且各“室温”特性会稍微下降。不过，由于吸水是一可逆现象（吸水是物理过程而非化学反应），在  $100^\circ\text{C}$  以上，该聚合物实际已干透，其  $T_g$  又回到原来的  $123^\circ\text{C}$  值。因此，对于 Amodel 塑料，由于吸水造成的  $T_g$  下降基本上不明显。以下所提供的数据可用于在环境温度下预计有吸水而且预计会有少许特性丧失的应用。由于聚合物在  $100^\circ\text{C}$  以上的温度时会“解吸”水分并恢复干燥特性， $100^\circ\text{C}$  以上的吸水试验数据与 Amodel 塑料无关，但对  $T_g$  接近或低于  $100^\circ\text{C}$  的聚合物很重要。

### 吸水量

上文已提到，吸水是一可逆过程。在每组规定的相对湿度和温度下，塑料将吸收水分直至建立一个平衡。平衡时，聚合物吸收水分的速率同其释放水分的速率一样，因而达到恒重。由于是聚合物而不是填料或增强添加剂吸收水分，吸水量与各牌号中聚合物的含量成正比，填充量较高的牌号会比未填充牌号吸水少。图 52 比较了在室温和所规定的相对湿度下，Amodel AS-1133 HS 塑料和 33% 玻纤增强 PA 6,6 由于吸水造成的重量增加。33% 玻纤增强 PA 6,6 吸收的水明显多过 Amodel AS-1133 HS 塑料。Amodel 塑料达到平衡所需时间也明显比 PA 6,6 长。

图 52: GR 树脂的水分吸收



### 水分对强度和刚性的影响

图 53 比较 Amodel AS-1133 HS 塑料与 33% 玻纤增强 PA 6,6 在  $23^\circ\text{C}$  和所规定水分含量下的拉伸强度。Amodel 塑料的拉伸强度优于“刚完成注塑时处于干燥状态”的 PA，而且，湿度越高，这一性能差异就越大。

图 53: 水分对 GR 塑料拉伸强度的影响

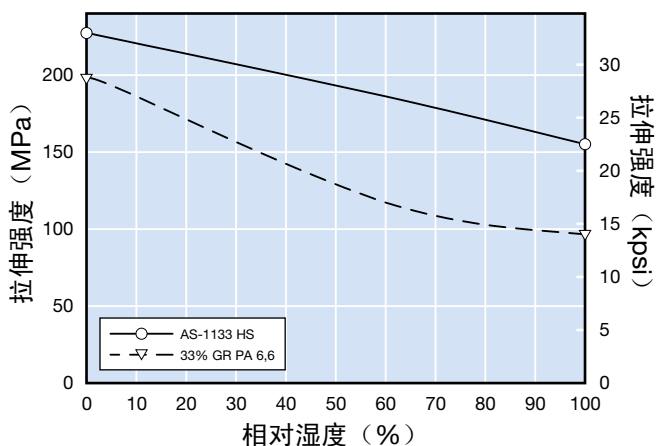


图 55: 33% GR PPA 的尺寸变化

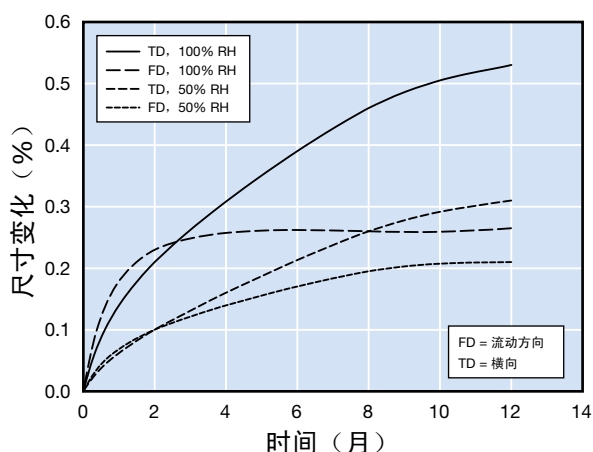
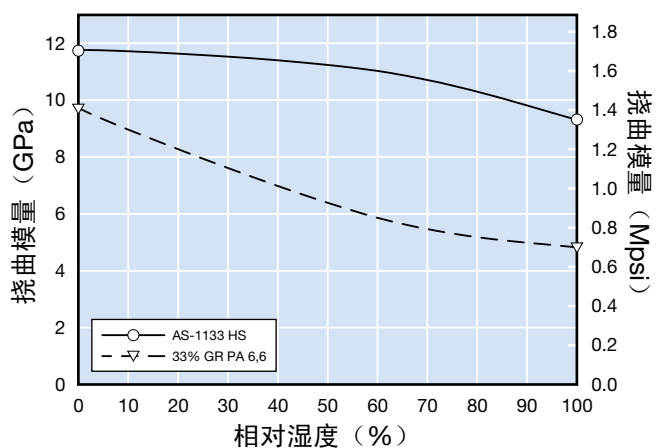


图 54: 水分对 GR 塑料挠曲模量的影响



### 由于吸水造成的尺寸变化

为了评估吸水对部件尺寸的影响，注塑并测量了规格为 102 mm x 102 mm x 3.6 mm 的薄板，然后将其置于 23°C 室温和 50% 或 100% 相对湿度的环境中。定时将薄板取出并测量。由于在注塑过程中记录了其流向，故可报告其流向和横向的尺寸变化数据。尺寸变化的计算方法是将最终长度减去初始长度，再将结果除以原始长度，然后乘以 100，以使用百分数表示其变化率。

图 55 显示了对 Amodel AS-1133 塑料进行测试所得到的结果。甚至在 100% 相对湿度时，尺寸还继续变化相当长的时间。这些曲线图表明，尺寸变化率在一年后大大减少，但尺寸仍在变化。流向上的尺寸变化小于横向，很可能是因为增强纤维排列在流向上。尺寸变化幅度相对较小（少于 0.6%），但对于需要极严格的尺寸公差和稳定性的应用，就可能是重要的。

图 54 比较了 Amodel AS-1133 HS 塑料与 33% 玻纤增强 PA 6,6 在 23°C 和各种水分含量下的挠曲模量。Amodel 塑料在刚完成注塑时的模量较高并维持相对恒定。PA 塑料的模量则随着水分含量和温度的增加而快速下降，因为 PA 6,6 的  $T_g$  低于 100°C，且随吸水而进一步下降。



图 56: 40% 矿物填充 PPA 的尺寸变化

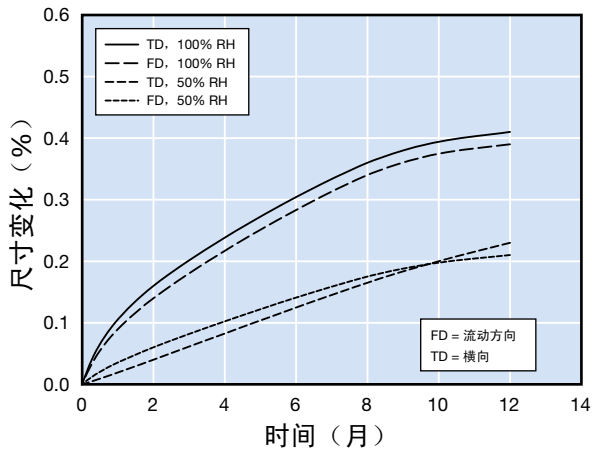
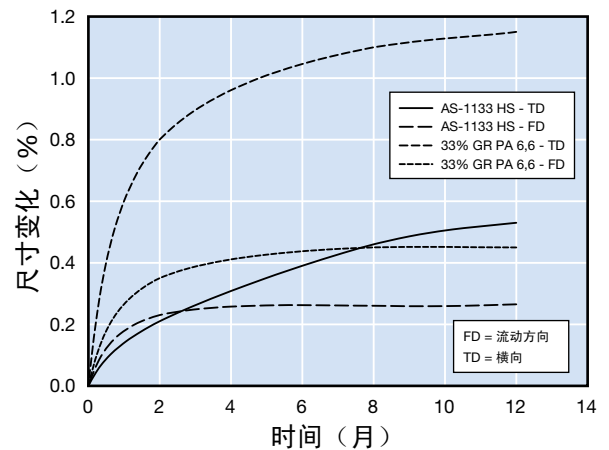


图 56 显示了 Amodel A-1340 PPA (一种 40% 矿物填充牌号) 的同样结果。不仅尺寸变化幅度较小, 而且流向和横向的差异几乎可忽略不计。

### 与 PA 6,6 相比的尺寸变化

图 57 比较了 Amodel AS-1133 HS 塑料和 33% 玻纤增强 PA 6,6 在 100% RH 下由于吸水造成的尺寸变化。为确保对比的有效性, 两种塑料均在有利于最大结晶度的条件下注塑。对于 Amodel 塑料, 所采用的注塑温度是 135°C。对于 PA 6,6, 其注塑温度为 93°C。然后将这些 3.2 mm 厚的薄板暴露于 100% RH 的室温中。

图 57: 100% RH 下 GR PA 6,6 与 GR PPA 的尺寸比较



Amodel 塑料吸收水分的速率要比 PA 6,6 慢得多, 这是因为室温下水在 PA 6,6 中的扩散系数要比在 Amodel 塑料中大将近五倍。因此, 就这些薄板而言, PA 6,6 大约要四个月达到平衡, 而 Amodel AS-1133 HS 塑料需要两年以上。

## 热特性

一般而言，热特性是材料对短期和长期的温度影响所产生变化的方式。热特性包括温度对以下几个方面的影响：

强度和刚性

尺寸

由于热分解或氧化分解造成的聚合物本身的化学变化  
软化、熔化或变形

形态

材料在熔融状态下的性质会在 Amodel PPA 加工文献中论述。材料在燃烧时的各种行为则会在燃烧特性一节中讨论。

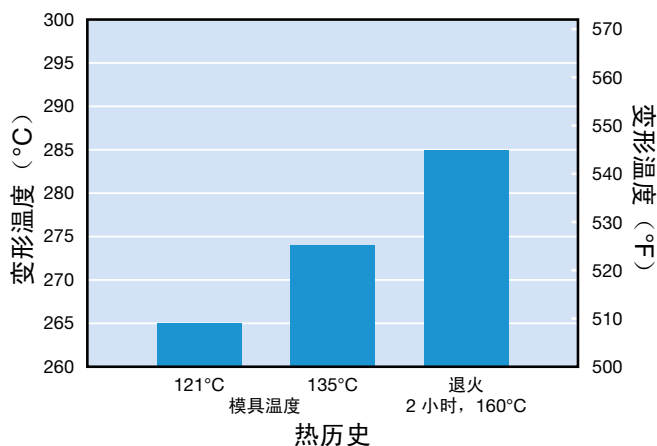
### 热变形温度 – HDT

塑料行业测量短期热性能的最常用试验方法是 ASTM D648（挠曲载荷下塑料热变形温度的标准试验方法）以及 ISO 75（塑料 – 载荷下变形温度的测定）。这些试验通常称为热变形温度（HDT）或者载荷下变形温度（DTUL）。这两种试验方法的相似之处在于：试样支撑在两点上而载荷施加在中心。温度以恒定速率升高，直到试样挠曲一个规定的量（由测微仪指示）。

虽然这两种方法在试样几何形状、挠曲终点、试样取向以及支撑点之间的距离等细节上有所不同，但是它们所要求的应力水平都包括 1.8 MPa 和 0.45 MPa 载荷。当比较从多种来源得到的数据时，一定要确认所比较的全部数据是采用相同的试验方法测得的。在第 6 页开始的产品特性表中列出了使用这两种方法所采集的数据。通过对比数据可以看出，一些牌号的数值之间存在相当大的差异。

某些试验参数会对试验中所获得的结果有重大影响。设计者应确定从多种来源得到的数据是可比的。最常见和最严重的错误是，将在 1.8 MPa 下试验的结果与在 0.45 MPa 下获得的结果进行比较。除非另有说明，所有 Amodel 塑料都是在 1.8 MPa 下进行试验的。应该注意的其它试验参数包括试样厚度和热历史。本试验可以在刚完成注塑时或者是在稍高于玻璃转化温度的某个温度（或者对 Amodel PPA 而言大约 160°C）下热处理或退火几小时之后进行。

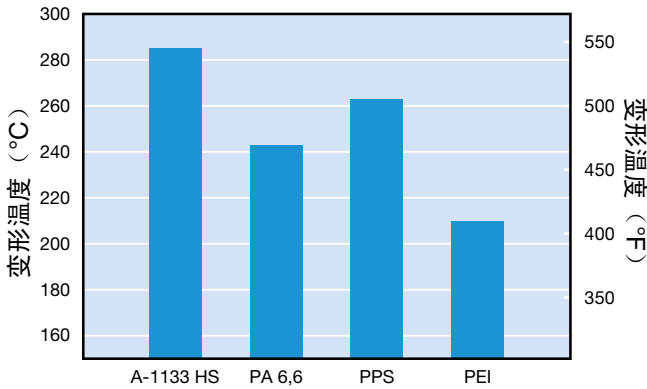
图 58：模具温度和退火对 Amodel AS-1133 HS 的 HDT 的影响



一般而言，退火可减少变形温度测量值的变动，并稍微提高其数值。图 58 显示了 Amodel AS-1133 HS 塑料在 1.8 MPa 下模具温度和退火对变形温度的影响。正如所见的，模具温度和/或退火的影响可造成变形温度相差高达 17°C。本手册中的变形温度数据都是在 160°C 退火两小时的试样上测得的。

变形温度是温度测量时的一个模量。传统的应力/应变分析表明，ASTM D648 试验实际所测量的是，当施加的应力为 0.45 MPa 时材料的挠曲模量是 240 MPa，或者当施加的应力为 1.8 MPa 时材料的挠曲模量是 965 MPa 的情况下的变形温度。由于该试验方法要求在五分钟后将指针重新置零，所以最初五分钟内发生的任何蠕变应变实际上是从终点应变中减去，从而降低了在试验终点的实际模量。初始模量可以与蠕变应变相关。

图 59: 30%-33% GR 塑料的 HDT



总之，变形温度不是热性能的量度，它仅仅表示模量与温度关系曲线上的一点。

一般而言，HDT 仅可用作短期热性能的一个普通指标。它对比较类似材料有所帮助，但是如果进行例如无定形材料与半结晶性材料之间的比较，则会造成误解。它不提供任何关于长期热稳定性的信息。实际载荷和性能要求将会决定材料的适用性。许多半结晶性塑料可以用于实际经受的温度比其变形温度值高的应用中。

### Amodel 塑料的变形温度值

在第 7 页开始的表中列出了 Amodel PPA 的 19 种具有代表性的牌号按照 ASTM D648 和 ISO 75Af 方法所测定的变形温度值。

图 59 比较了 Amodel AS-1133 HS 塑料和 33% 玻璃纤维增强的 PA 6,6、30% 玻璃纤维增强的聚苯硫醚、以及 30% 玻璃纤维增强的聚醚酰亚胺在 1.8 MPa 下的变形温度。Amodel 塑料比 PEI 具有 75°C 的 HDT 优势，比 PA 6,6 具有 42°C 优势，比 PPS 具有 22°C 优势。

### 线性热膨胀系数

大多数材料的尺寸会随着温度的升高而增大。线性热膨胀系数 ( $\alpha$ ) 是长度变化与温度变化之比。

如果系数  $\alpha$  已知，则可以根据以下公式计算出温度升高到  $T_f$  时均匀直棒的长度变化：

$$\Delta L = \alpha L (T_f - T_o)$$

其中

$\Delta L$  = 长度变化

$L$  = 原始长度

$\alpha$  = 线性热膨胀系数

$T_f$  = 最终温度

$T_o$  = 起始温度

表 19 给出了根据 ASTM E831 方法测量的几种 Amodel 牌号和一些普通金属的线性热膨胀系数 ( $\alpha$ )。此方法所给出的是某一温度范围内膨胀系数的平均值。

金属的热膨胀行为在有关温度范围内是一致的。如表 19 所示，聚合物材料的热膨胀系数则是随所测量的温度范围变化的。一般而言，聚合物材料在其玻璃转化温度之上比在其玻璃转化温度之下膨胀稍微大些，而且在  $T_g$  附近的行为也有几分非线性。然而，在大的温度范围内，其变化通常并不明显，并且可以使用表中提供的值很好地预测其尺寸特性。此外，添加玻璃纤维及其它增强添加剂可导致热膨胀变得有方向性。由于纤维倾向于在流动方向上取向，而且由于玻璃比聚合物具有较低的热膨胀系数，所以在流向上的膨胀系数一般会比横向低。

表 19 所列的数值可使设计工程师能够估算出用 Amodel 塑料注塑的部件中由于热膨胀所造成的热应力大小。

表 19: 线性热膨胀系数

数值均为  $10^{-6}$  L/L 每度, 其中 L 为长度

温度	0-50°C				50-100°C				100-150°C				150-200°C			
	FD <sup>(1)</sup>		TD <sup>(2)</sup>		FD		TD		FD		TD		FD*		TD	
方向																
单位	/°C	/°F	/°C	/°F	/°C	/°F	/°C	/°F	/°C	/°F	/°C	/°F	/°C	/°F	/°C	/°F
<b>玻纤增强牌号</b>																
A-1133 HS	24	13	50	28	24	13	60	33	27	15	99	55	27	15	130	72
A-1145 HS	22	12	49	27	21	12	58	32	27	15	88	49	15	8	122	68
A-6135 HN	23	13	59	33	21	12	63	35	16	9	96	53	15	8	109	61
AS-4133 HS	20	11	64	36	20	11	87	48	20	11	114	63	9	5	126	70
<b>增韧的牌号</b>																
AT-1002 HS	70	39	84	47	85	47	101	56	145	81	126	70	112	62	153	85
ET-1000 HS	68	38	80	44	85	47	81	45	147	82	97	54	142	79	113	63
ET-1001 L	71	39	69	38	94	52	80	44	167	93	88	49	170	94	118	66
AT-5001	93	52	106	59	136	76	144	80	184	102	184	102	153	85	142	79
<b>增韧的玻纤增强牌号</b>																
AT-1116 HS	20	11	72	40	23	13	77	43	16	9	116	64	16	9	133	74
AT-6115 HS	23	13	83	46	21	12	97	54	34	19	116	64	26	14	121	67
<b>阻燃牌号</b>																
AFA-1633 V0 Z	18	10	56	31	16	9	72	40	11	6	93	52	3	2	120	67
<b>矿物和矿物/玻纤填充牌号</b>																
A-1240 L	26	14	68	38	19	11	91	51	18	10	117	65	15	8	121	67
A-1340 HS	34	19	50	28	42	23	60	33	51	28	103	57	19	11	103	57
A-1565 HS	20	11	34	19	20	11	39	22	20	11	72	40	14	8	89	49
AS-1566 HS	17	9	36	20	17	9	44	24	17	9	59	33	16	9	85	47
AP-9240 NL	54	30	48	27	87	48	61	34	110	61	81	45	87	48	110	61
<b>常见金属</b>																
锌合金	27	15	27	15	27	15	27	15	27	15	27	15	27	15	27	15
铝合金 A-360	21	12	21	12	21	12	21	12	21	12	21	12	23	13	23	13
不锈钢	17	9	17	9	17	9	17	9	17	9	17	9	18	10	18	10
碳钢	11	6	11	6	11	6	11	6	11	6	11	6	12	7	12	7

<sup>(1)</sup> FD = 流动方向

<sup>(2)</sup> TD = 横向或垂直于流动方向

表 20: Amodel PPA 塑料的导热率

牌号	添加剂	添加量 (%)	平均温度					
			40°C		100°C		150°C	
			W/ mK	Btu in/ hr ft <sup>2</sup> °F	W/ mK	Btu in/ hr ft <sup>2</sup> °F	W/ mK	Btu in/ hr ft <sup>2</sup> °F
A-1115 HS	玻纤	15	0.289	2.00	0.307	2.13	0.324	2.25
AS-1133 HS	玻纤	33	0.341	2.37	0.360	2.50	0.376	2.61
AS-1145 HS	玻纤	45	0.372	2.58	0.393	2.73	0.409	2.84
A-1240 L	矿物	40	0.377	2.62	0.388	2.69	0.399	2.77
A-1340 HS	矿物/玻纤	25/15	0.422	2.93	0.430	2.98	0.436	3.02

### 导热率

导热率是热能流过某种材料的速率。在聚合物材料用作热绝缘体的应用中或者在需要注意热耗散的应用中，此特性是非常重要的。

导热率的测量是按照 ASTM F433 方法进行的。试验时，将试样放置在两块分别控制在不同温度下的板之间，然后监测通过该试样的热流。在三个平均温度下进行导热率的测定：40°C、100°C 和 150°C。测量时将热板设置在平均温度以上大约 7°C，而将冷板设置在平均温度以下大约 7°C。

在所规定的每个温度下都测量了各种牌号 Amodel 塑料的导热率，相关结果如表 20 所示。较高的导热率数值表明热流较大，而较低数值表明较好的热绝缘特性。

图 60 显示了导热率随着玻璃含量和温度而上升。

图 60: 玻纤增强 Amodel PPA 的导热率

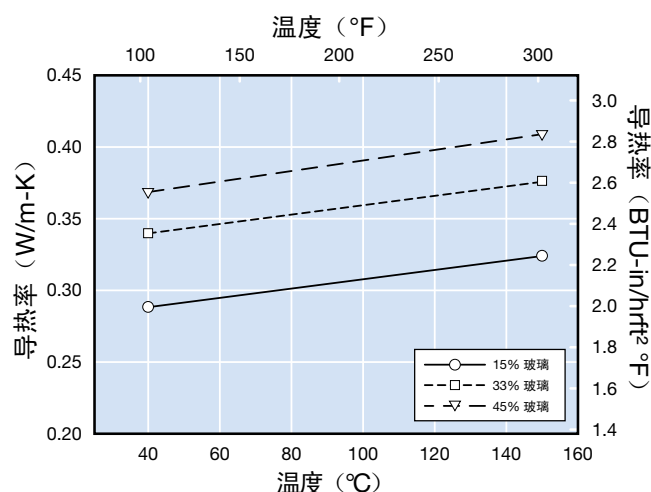


图 61: Amodel A-1000 PPA, 比热与温度的关系

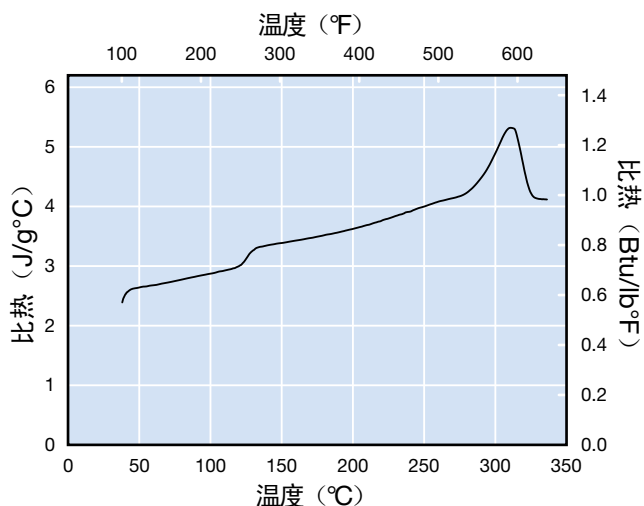


图 63: Amodel A-5000, 比热与温度的关系

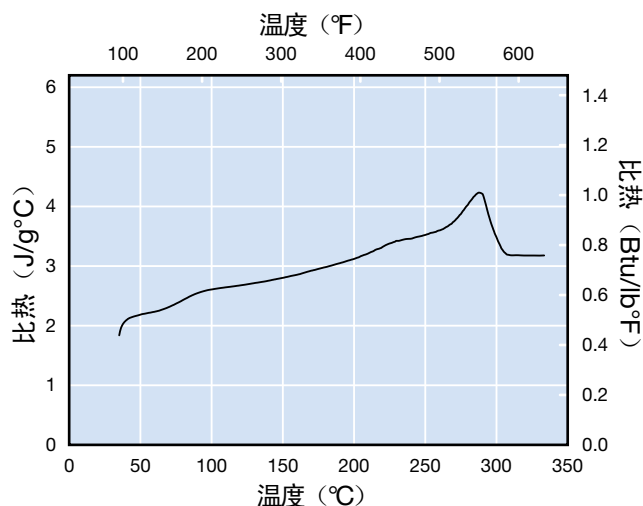


图 62: Amodel A-4000, 比热与温度的关系

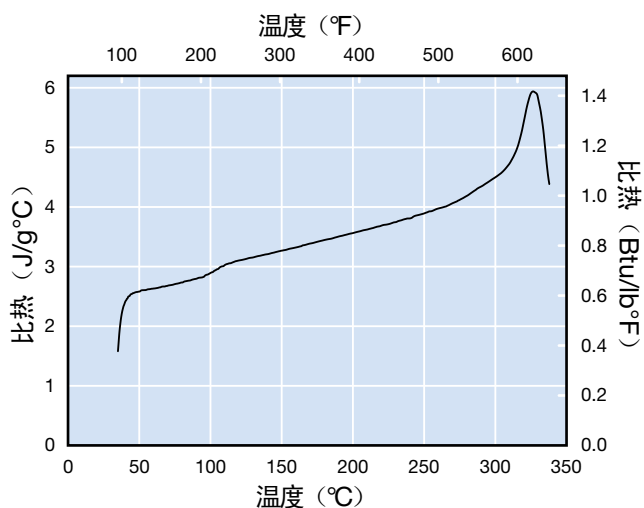
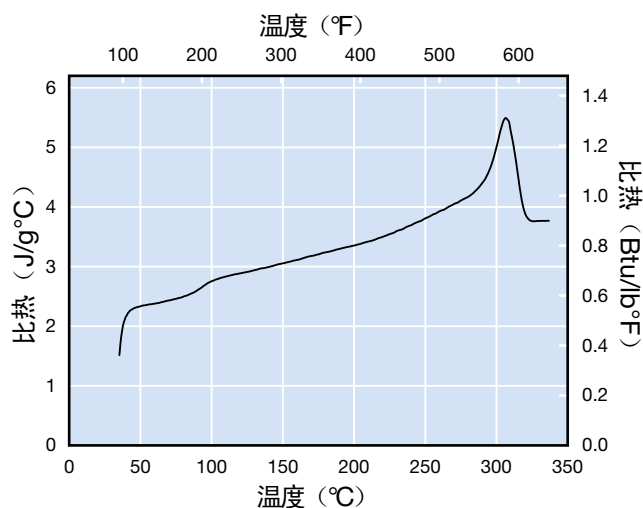


图 64: Amodel A-6000, 比热与温度的关系



## 比热

比热是指将一个单位质量的物体的温度改变 1 所需要的热量。图 61 至图 64 列出了 Amodel 基体树脂的比热随温度的变化情况。请注意比热在熔点时的显著变化。这是半结晶热塑性材料的典型行为。

工艺工程师可以使用这些信息来计算在诸如挤塑机或注塑机等设备上加工 Amodel 塑料时所需要的热输入。

## 热稳定性

热稳定性这一普通术语用于描述材料抵抗由于热而造成的特性丧失的能力。可以使用各种方法来评估此趋势。在下一节中，我们将讨论其中的几种方法，包括热重分析和长时间热老化。

## 热重分析 (TGA)

进行热重分析时，按恒定速率将所试验材料的小试样加热，同时监测其重量的变化。试验的气氛是受控的，而且可以使用空气或惰性气氛（例如氮气）进行试验。图 65 显示了在空气中以 10°C/min 的加热速率得到的 Amodel A-1000 树脂的重量损失随温度的变化情况。该曲线图显示，超过所建议的 350°C 加工温度上限后，Amodel PPA 塑料仍然是热稳定的。

## 热老化

几乎所有聚合物材料在长期暴露于高温后均呈现一定的性能特性损失。尽管有些聚合物会比其它聚合物更稳定，但是它们的特性损失一般都是所暴露的时间和温度的函数。因为这些特性损失是由氧化侵蚀和热分解造成的，所以经常使用术语“热氧化稳定性”。

某些聚合物的可承受长期使用温度受其热氧化稳定性的限制。为了评估对 Amodel 高性能聚对苯二酰胺特性的这些长期影响，将 Amodel 塑料的注塑试样放置在多个控制在不同高温下的空气循环烘箱中。每隔一定时间从烘箱中取出试样，然后在室温下试验其拉伸强度和耐冲击性。

一般而言，这些老化试验要在所监测的特性已降低到其起始值的一半时才结束。老化试验要在多个不同的老化温度下进行，然后绘制出“阿累尼乌斯曲线图”。“阿累尼乌斯曲线图”是将某一特性降低到其起始值的一半时所需的热老化时间（有时称为其半衰期）与老化温度（开氏度）的倒数作图得到的。以此方式分析数据的优势是，所得到的曲线图在理论上是一直线，因此，易于进行外推。

图 65: 空气中 A-1000 的热重分析

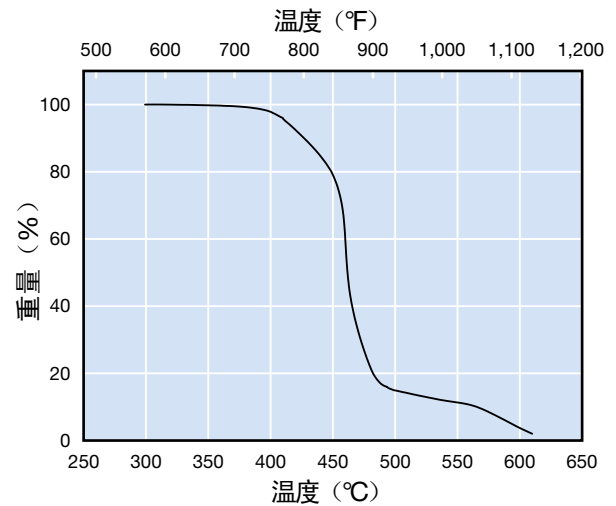


图 66: 热老化比较 – 拉伸强度

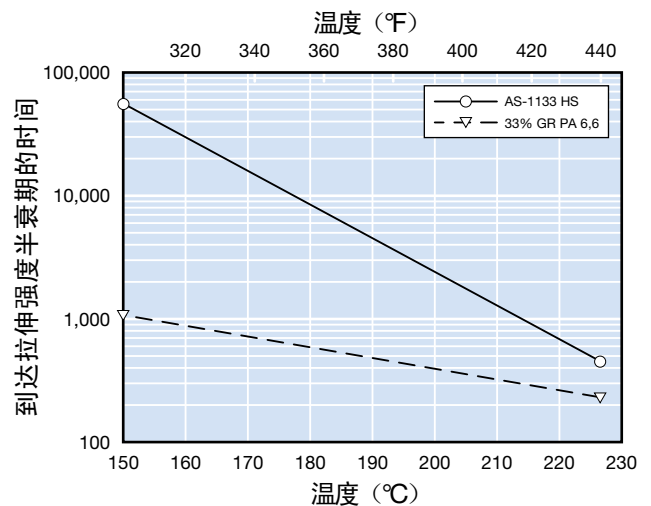


图 66 显示了 Amodel AS-1133 HS 塑料和 GR PA 6,6 的拉伸强度半衰期与老化温度的关系曲线。Amodel PPA 保持其拉伸强度的时间要比 PA 6,6 长。

图 67: 热老化比较 – 伊佐德冲击

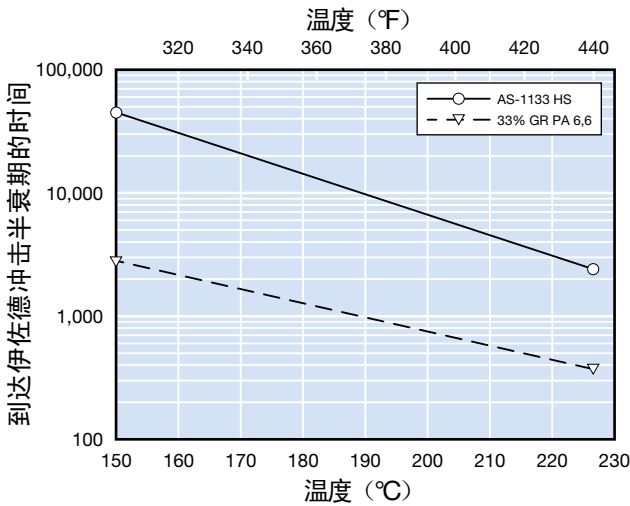


图 67 显示了 Amodel AS-1133 HS 塑料和 GR PA 6,6 的缺口伊佐德半衰期与老化温度关系的热老化曲线。Amodel PPA 在发生耐冲击性损失之前所需的老化时间也比 PA 6,6 塑料长。

类似这样的热老化试验可用来比较不同的塑料和估算它们的使用寿命。材料在特定的最终使用温度下的使用寿命将主要取决于其应用要求，因而应当根据其热老化数据和实际或模拟的最终应用试验来判断。

### 相对热指数 (UL)

保险商实验所 (UL) 的一个主要职能是帮助评估与电气装置有关的火灾风险。因为绝缘材料可能会随着时间的过去而发生退化，所以需要方法评估这种趋势并向电气装置设计者和用户提供指导。保险商实验所 (UL) 已经为此目的开发了一种测试方法和等级体系。此方法就是 UL 标准 746B (聚合物材料的长期特性评估)。一种类似的方法是 ASTM D3045 (无载荷下塑料热老化标准规范)。

根据上一节中所描述的老化试验结果，保险商实验所 (UL) 可为绝缘材料指定一个等级，称为“相对热指数”。因为材料的各种特性不是按相同速率衰减的，所以材料的电特性、无冲击的机械特性以及有冲击的机械特性等可能会有不同的相对热指数。

相对热指数 (或 RTI) 是通过对被评估特性的热老化数据进行统计分析来确定的。RTI 可预测材料能够承受 100,000 小时而且其一个或多个被测的初始特性仍然保持至少 50% 的老化温度。

因为较薄试样的衰减速率较大，所以 UL 为每种试样厚度给出 RTI 等级。

为了获得 UL RTI 等级，必须进行长时间热老化试验。由待试验材料注塑的多套试样被放入预先设定不同温度的多个烘箱中。定时将试样取出并进行测试。对每个老化温度下的试验结果，都绘制相应的时间与特性关系曲线图，直到被测特性衰减到其初始值的 50% 或更小。这种时间和老化温度的组合可以称为该特性、材料和厚度的“半衰期”。

通过实验在四个老化温度下测得某一具体特性的半衰期 (衰减至 50% 或更小所需的时间)，然后将它们与相应绝对老化温度的倒数作图。从这几个点应当可以确立一条直线，沿着这条直线外推，即可预测该材料的这一具体特性在其它温度下的半衰期。这就称为“阿累尼乌斯曲线图”。

为了估算材料的 RTI，通过拉伸强度的这四个半衰期点作最佳拟合直线，然后将其延长至 100,000 小时。此直线与 100,000 小时直线交叉时的温度就是该材料的 RTI 估计值。如果仅有三个半衰期点可用，例如当第四个温度的数据仍在测试时，则可以得出一个临时的 RTI 值。由 UL 指定的 RTI 值可能会稍微低一些，因为他们使用了统计方法来补偿实验结果的可变性。

通过试验来确定各种 Amodel 塑料的 UL 相对热指数是一项仍在继续的长期工作。表 21 列出了本手册印刷时已经得到的一些 Amodel 塑料的 UL 等级。因为这项试验正在进行中，所以请查阅保险商实验所 (UL) 网站 (<http://data.ul.com>) 了解其最新的 RTI 值。



表 21: Amodel PPA 牌号的相对热指数

牌号	颜色	厚度 (mm)	电	相对热指数 (RTI), °C	
				机械	
				有冲击	无冲击
AFA-4133 V0 Z	所有	0.75	130	130	130
		1.5	130	130	130
		3.0	130	130	130
AFA-6133 V0 Z	所有	0.75	130	130	130
		1.5	130	130	130
		3.0	130	130	130
AFA-6145 V0 Z	所有	0.75	140	—	130
		1.5	140	—	130
		3.0	140	140	140

## 燃烧特性

本节描述 Amodel 塑料的耐燃烧和耐点燃特性，以及点燃时材料的烟气密度特性。以下描述了发光金属丝试验结果、根据 UL 94 和 ASTM 烟气密度试验结果的分类。

### 发光金属丝试验

塑料材料的支持点火和维持点火能力可以用标准的发光金属丝试验来描述。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 695-2-1/3 中有介绍。

发光金属丝试验的试验装置包括一个大规格的镍-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。

该试验可在一个或多个建议温度下，采用所需的任何壁厚进行。所建议的试验温度是 550°C、650°C、750°C、850°C 和 960°C。其厚度通常要按照设计或根据装置的具体要求来确定。在较高的发光金属丝温度下和采用较薄的壁部时，一般都很难抵抗点燃。

表 22 列出了对通常所报告参数的 UL 定义。

如表 23 所示，Amodel 塑料已经通过了发光金属丝试验。

表 22: GWIT 和 GWFT 的 UL 定义

#### IEC 发光金属丝可点燃温度 (GWIT)

按照 IEC 695-2-1/3 规定，用温度（单位为 °C）来表示，是比在三次连续试验中未造成材料点燃的发光金属丝头端最高温度热 25°C 的温度。

#### IEC 发光金属丝可燃性温度 (GWFT)

按照 IEC 695-2-1/2 规定，用满足以下要求的最高温度（°C）来表示：在三次连续试验中，试样出现的火焰或发光在移去发光金属丝后能在 30 秒内熄灭，而且其燃烧熔滴或颗粒没有点燃指示物。

表 23: 发光金属丝试验结果

牌号 <sup>(1)</sup>	GWIT		GWFT	
	°C	°F	°C	°F
A(AS)-1133 HS	725	1,337	725	1,337
AT-6115 HS	750	1,382	800	1,472
AT-6130	725	1,337	750	1,382
AS-1566 HS	775	1,427	800	1,472
AS-4133 HS	750	1,382	750	1,382
AFA-6133 V0 Z	960	1,760	960	1,760

<sup>(1)</sup>所试验的所有试样厚度均为 0.8 mm

表 24: 烟气密度

牌号	4 分钟时的 $D_s$	$D_m$	校正后的 $D_m$
燃烧方式			
AS-1133 HS	565	510	469
非燃烧方式			
AS-1133 HS	3	162	162

### 烟气密度试验 (NBS)

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 E662（由固体材料产生的烟气比光密度的标准试验方法）提供了用于评估相对烟气密度的标准方法。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 24 中的数据是在燃烧和非燃烧方式下得到的。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。

### 按照 UL 94 的垂直可燃性

由保险商实验所 (UL) 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。热塑性材料对热与火焰的实际反应情况还取决于使用该材料的产品的大小、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试验，50 W (20 mm) 垂直燃烧试验及 500 W (125 mm) 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 HB 等级。该等级也包括无法燃烧到 100 mm 参考标记的产品。

Amodel AS-1133 HS 塑料已在水平燃烧试验中获得 94HB 等级，厚度低至 0.8 mm 而且呈黑色。

### 50 W (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 V-0、V-1 或 V-2 级。50 W (20 mm) 垂直燃烧试验比 HB 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 25 列出了采用该试验对材料进行分类的标准。

表 25: UL 对 V-0、V-1 或 V-2 材料分类的标准

标准条件	V-0	V-1	V-2
每种独立试样的余焰时间, ( $t_1$ 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

### 500 W 垂直燃烧试验

符合由 500 W 垂直燃烧试验所规定可燃性要求的材料可获得 5VA 或 5VB 等级。此特殊试验是所述三种试验中最严格的。本试验中使用的注塑试条与 20 mm 垂直燃烧试验所使用的试条相同。此外, 还需要以下尺寸的薄板: 150 mm x 150 mm x 应用所要求的最小和最大厚度。将试条夹在垂向位置, 用 125 mm 高火焰点燃试条五次, 每次五秒, 两次点燃之间有五秒时间间隔。将薄板夹在水平的平放位置, 用 125 mm 高火焰成 20° 角去点燃其底面, 所点燃的次数与上述的试条点燃次数相同。表 26 列出了获得 5VA 或 5VB 等级必须满足的标准。

表 27 列出了一些 Amodel 塑料的当前 UL 94 等级。因为这些等级可能会变化而且可能会有其它产品也获得评级, 所以请浏览保险商实验所 (UL) 网站了解最新信息。

表 26: 5VA 或 5VB 材料的 UL 分类标准

标准条件	5VA	5VB
第五次用火点燃后, 每种独立试条的余焰时间加余烬时间	≤ 60s	≤ 60s
棉花指示物被来自任何试条的火焰颗粒或掉落物点燃	否	否
任何薄板试样上有烧穿 (小孔)	否	是

表 27: Amodel PPA 牌号的 UL 94 等级

牌号	颜色	厚度 (mm)	UL 94 等级
AFA-4133 V0 Z	所有	0.75	V-0
		1.5	V-0
		3.0	V-0
AFA-6133 V0 Z	所有	0.75	V-0
		1.5	V-0
		3.0	V-0
AFA-6145 V0 Z	所有	0.75	V-0
		1.5	V-0
		3.0	V-0

## 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。为了测量电气应用中材料性能的各个方面，人们已经开发出了各种各样的试验。以下简要描述一些比较常见的试验：

### 介电击穿电压和强度 – ASTM D149

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。测量时，将试样放置在两个电极之间，然后升高所施加的电压直到发生介电击穿。按破坏前的最高电压报告介电强度。在 ASTM D149 所包含的各种方法中，UL 746A 规定了利用每秒 500 伏均匀升压速率的短时试验。

尽管所得结果以 kV/mm 为单位报告，但介电强度却是厚度、水分含量和温度的函数。因此，不同材料的数据只有在相同的试样厚度、水分含量和试验温度条件下才可进行比较。

表 28 列出了几种 Amodel 牌号的介电强度。经过 50% RH 处理的试样的介电强度与刚完成注塑时处于干燥状态的试样相同。

### 体积电阻率 – ASTM D257

材料体积电阻率的定义是材料每单位立方体积的电阻。将材料在 500 伏特直流电下保持 1 分钟，并测量通过该材料的电流。具有较高体积电阻率的材料，其用作电绝缘部件的效能就越高。

UL 746A 规定在两组试样上运行此试验：一组在 23°C 和 50% 相对湿度下老化 48 小时；而另一组在 35°C 和 90% 相对湿度下老化 96 小时。

体积电阻率对温度变化和湿度变化均特别敏感。不同材料的数据只有在相同的水分含量和温度条件下才可以进行比较。电阻率超过  $10^8$  ohm-cm 的材料被认为是绝缘材料，而电阻率数值为  $10^3$  至  $10^8$  ohm-cm 的材料属于次导体。

表 28: 部分 Amodel 牌号的介电强度

牌号	条件 <sup>(1)</sup>	厚度			
		3.2 mm		1.6 mm	
		kV/mm	V/mil	kV/mm	V/mil
A-1133 HS	干燥	21	533	32	813
A-1133 HS	50% RH	21	533		
A-1145 HS	干燥	23	584		
A-1145 HS	50% RH	23	584		
AS-4133 HS	干燥	21	533	32	813
AS-4133 HS	50% RH	21	533		
AT-1002 HS	干燥	17	432		
AT-1002 HS	50% RH	17	432		
AT-5001	干燥	17	432		
AT-5001	50% RH	17	432		
AT-6115 HS	干燥			28	711
AFA-6133 V0 Z	干燥	24	610	27	686
A-1340 HS	干燥			32	813
AS-1566 HS	干燥			29	737

<sup>(1)</sup> 条件：干燥是指刚完成注塑时处于干燥状态；50% RH 是指按照第 6 页上所述进行水分处理。

### 表面电阻率 – ASTM D257

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，并测量沿着材料表面所通过的电流。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。表面电阻率受表面污染的影响，因此不认为是一种基本材料特性。UL 有关试样处理的规定与体积电阻率测量时的试样处理相同。从该试验所得到的数据最适合用于比较那些在不能有表面漏流情况下应用的材料。

表 29: Amodel 塑料的体积和表面电阻率

牌号	条件 <sup>(1)</sup>	体积电阻率	表面电阻率
		(ohm-cm)	(ohm)
A-1133 HS	干燥	1 x 10 <sup>16</sup>	1 x 10 <sup>15</sup>
A-1133 HS	50% RH	2 x 10 <sup>15</sup>	
A-1145 HS	干燥	1 x 10 <sup>16</sup>	
A-1145 HS	50% RH	2 x 10 <sup>15</sup>	
AS-4133 HS	干燥	1 x 10 <sup>16</sup>	1 x 10 <sup>15</sup>
AS-4133 HS	50% RH	5 x 10 <sup>14</sup>	
AT-1002 HS	干燥	1 x 10 <sup>16</sup>	8 x 10 <sup>13</sup>
AT-1002 HS	50% RH	7 x 10 <sup>14</sup>	2 x 10 <sup>13</sup>
AT-5001	干燥	4 x 10 <sup>15</sup>	4 x 10 <sup>15</sup>
AT-5001	50% RH	2 x 10 <sup>15</sup>	2 x 10 <sup>15</sup>
AT-6115 HS	干燥	1 x 10 <sup>16</sup>	1 x 10 <sup>15</sup>
AFA-6133 V0 Z	干燥	1 x 10 <sup>16</sup>	1 x 10 <sup>15</sup>
A-1240 L	干燥	9 x 10 <sup>15</sup>	
A-1240 L	50% RH	2 x 10 <sup>15</sup>	
A-1340 HS	干燥	1 x 10 <sup>16</sup>	
A-1340 HS	50% RH	1 x 10 <sup>16</sup>	1 x 10 <sup>15</sup>
A-1565 HS	干燥	4 x 10 <sup>14</sup>	
AS-1566 HS	干燥	1 x 10 <sup>16</sup>	1 x 10 <sup>15</sup>

<sup>(1)</sup> 条件: 干燥是指刚完成注塑时处于干燥状态; 50% RH 是指按照第 6 页上所述进行水分处理。

### 介电常数 – ASTM D150

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。绝缘材料用于两种截然不同方式。首先, 用于支持部件并使它们相互之间隔离或与地隔离; 其次, 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。介电常数会随着温度或水分含量增加而迅速变化, 因此不同材料的数据只有在相同的水分含量和温度条件下才可以进行比较。

表 30: Amodel 塑料的介电常数

牌号	条件 <sup>(1)</sup>	频率			
		60 Hz	100 Hz	10 <sup>6</sup> Hz	10 <sup>9</sup> Hz
A-1133 HS	干燥	4.4	5.1	4.2	3.7
A-1133 HS	50% RH	4.7		4.3	
A-1145 HS	干燥	4.6		4.4	
A-1145 HS	50% RH	4.9		4.5	
AS-4133 HS	干燥	3.8	4.6	3.6	3.6
AS-4133 HS	50% RH	4.3		3.4	
AT-1002 HS	干燥	3.3		3.3	
AT-1002 HS	50% RH	3.8		3.8	
AT-5001	干燥	3.2		3.2	
AT-5001	50% RH	3.6		3.6	
AT-6115 HS	干燥		4.0	3.3	3.1
AFA-6133 V0 Z	干燥		4.8	4.1	3.7
A-1240L	干燥		4.2	4.0	
A-1240L	50% RH		4.4	4.0	
A-1340 HS	干燥		4.5	4.3	
A-1340 HS	50% RH		4.5	4.3	3.8
AS-1566 HS	干燥		5.7	4.7	4.5

<sup>(1)</sup> 条件: 干燥是指刚完成注塑时处于干燥状态; 50% RH 是指按照第 6 页上所述进行水分处理。

### 损耗因子 – ASTM D150

损耗因子 (也指损耗正切或  $\tan \delta$ ) 是交流电的能量流到绝缘体时的介电损耗或耗散的能量的量度。在一般情况下, 期望损耗因子低, 因为低的损耗因子对应于较好的绝缘材料。污染、试验频率、温度和湿度都会影响损耗因子。

### UL 746A 短期特性

标题为“聚合物材料短期特性评估标准”的保险商实验室 (UL) 746A 标准中包括了某些电特性, 而这些特性在“性能级别分类” (PLC) 中也有所报告。对于每一特性, 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 PLC 值被指定为 0。因此, 该 PLC 值越低, 其在试验中的性能越好。

表 31: Amodel 塑料的损耗因子

牌号	条件 <sup>(1)</sup>	频率			
		60 Hz	100 Hz	10 <sup>6</sup> Hz	10 <sup>9</sup> Hz
A-1133 HS	干燥	0.005		0.017	0.016
A-1133 HS	50% RH	0.009		0.022	
A-1145 HS	干燥	0.005		0.016	
A-1145 HS	50% RH	0.009		0.021	
AS-4133 HS	干燥	0.004		0.012	0.013
AS-4133 HS	50% RH	0.020		0.019	
AT-1002 HS	干燥	0.004		0.016	
AT-1002 HS	50% RH	0.018		0.035	
AT-5001	干燥	0.004		0.016	
AT-5001	50% RH	0.012		0.027	
AT-6115 HS	干燥			0.013	0.011
AFA-6133 V0 Z	干燥			0.011	
A-1240L	干燥		0.006	0.017	
A-1240L	50% RH		0.007	0.019	
A-1340 HS	干燥		0.005	0.017	
A-1340 HS	50% RH		0.008	0.017	0.014
AS-1566 HS	干燥			0.011	0.011

<sup>(1)</sup> 条件: 干燥是指刚完成注塑时处于干燥状态; 50% RH 是指按照第 6 页上所述进行水分处理。

表 32: 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

表 33: 相对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、低电流、干态耐电弧性 – ASTM D495

该试验所测量的是, 按照规定试验程序逐渐增加苛刻度, 直到在材料表面上的两个钨棒电极之间形成导电通路或起痕, 使得 12,500 伏电弧能够行进 (即电弧消失) 所需的时间 (以秒为单位)。该试验意指在于接近电流通常限制在 0.1 安培以下的高压下工作的交流回路的工作条件。表 32 列出了耐电弧性与 UL 指定的性能级别分类之间的关系。

### 相对漏电起痕指数 (CTI) – ASTM D3638

相对起痕指数的定义是: 当试样在每 30 秒 1 滴的速率下经受 50 滴电解液的作用后, 形成永久导电通路所需的电压。该试验所测量的是绝缘材料对起痕的敏感度。表 33 列出了所得到的电压与 PLC 之间的关系。

### 高压电弧起痕率 (HVTR)

该试验测量绝缘材料在高压、低电流电弧反复作用下在其表面形成明显碳化导电通路 (起痕) 的敏感度。高压电弧起痕率是材料在标准试验条件下, 表面产生导电通路的速率, 其单位为每分钟毫米。该试验所模拟的是有故障的高压供电, 其值越低性能越好。表 34 列出了 HVTR 值和相应的 PLC。

## 热丝点燃 (HWI) – ASTM D3874

该试验测量塑料材料抵抗被电热丝点燃的相对能力。在规定条件下，将部分试样用加热丝包绕，然后让电流以 2.6 W/mm 的线功率密度通过加热丝。保持该电流直到点燃，然后记录点燃时间。

在一定的操作或故障情况下，部件会变得异常热。如果这些受热过度的部件与绝缘材料紧密接触，绝缘材料可能会被点燃。此试验的目的就是要确定在这些条件下绝缘材料抵抗被点燃的相对能力。表 35 列出了热丝点燃时间和指定的性能级别分类。

### 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。该试验测量导致点燃或形成小孔所需的这些作用在材料表面上的 240 伏 32.5 安培电弧的数量。电极间的距离以每秒 254 mm 的速率增加。所用的最大电弧数量为 200。

该试验所测量的是靠近电弧处的绝缘材料的性能。

表 36 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。

### 抗高压电弧点燃性

该试验测量材料在高压、低电流电弧作用下抵抗点燃的程度或形成明显碳化导电通路的敏感度。持续施加高压电弧直到试样点燃、试样上被烧穿一小孔，或者达到五分钟。如果发生点燃，则报告点燃时间。如果未点燃，则报告其值 >300。

表 37 给出了平均点燃时间与性能级别分类之间的关系。

表 34: 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

表 35: 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

表 36: 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	7	4
7	0	5

表 37: 抗高压电弧点燃性的性能级别分类

HVAR – 平均点燃时间 (秒)		指定的性能级别分类
<	≥	
	300	0
300	120	1
120	30	2
30	0	3



## Amodel 塑料的 UL 746A 特性

表 38 列出了部分 Amodel 牌号的部分 UL 746A 特性。所选择的牌号是电绝缘应用中最常使用的。

### UL 相对热指数

UL 相对热指数是热老化试验的结果，因此出现在第 49 页上的“热稳定性”一节中。

表 38: Amodel PPA 牌号的 UL 746A 特性 PLC

牌号	mm <sup>(1)</sup>	HWI	HAI	HVTR	CTI
A(AS)-1133 HS	0.80	0	0	4	0
AT-6115 HS	0.80	0 <sup>(2)</sup>	0	1	0
AT-6130	0.80	4	0	1	0
AS-1566 HS	0.80	—	0	0	0
A-1340 HS	0.80	0 <sup>(2)</sup>	0	1	1
AS-4133 HS	0.80	0 <sup>(2)</sup>	0	1	0
AFA-4133 V0 Z	0.75	0	0	1	1
AFA-6133 V0 Z	0.75	0	0	1	1
AFA-6145 V0 Z	0.75	0	1	—	1

<sup>(1)</sup> 最小厚度, mm

<sup>(2)</sup> 此值的测量厚度是 1.5 mm

## 耐环境性

如前所述，各种环境因素可降低聚合物材料的性能。本节讨论各种环境因素对 Amodel 塑料性能的影响，例如化学接触、可促进水解的条件、对伽马和/或紫外线辐射的暴露。适当时，也包括了这些环境因素对竞争对手的塑料性能的各种影响，以便于比较。

### 耐化学性

Amodel 塑料是半结晶性高性能聚对苯二酰胺，与半结晶性聚酰胺族的其它材料一样，它们表现出优良的耐常见有机溶剂的化学特性。然而，Amodel 塑料的化学结构是高度芳香化的，这赋予其更强的耐化学性，使其耐更大范围的化学品种类。

要预测化学接触对聚合物部件的精确影响是非常困难的，因为试剂类型、试剂浓度、接触时间、试剂温度、聚合物部件的温度、以及部件上的应力均影响侵蚀的程度以及任何性能上的变化。虽然评估化学侵蚀对聚合物部件性能影响的唯一可靠方法是进行原型试验，但往往还是要进行一些筛选试验，以便提供一般性指南和进行材料的比较。

进行耐化学性能筛选试验时，在所指示的试验温度下将 ASTM D638 I 型拉伸试条浸入各种化学品中 30 天。所使用的 Amodel 塑料是 33% 玻纤增强牌号 Amodel AS-1133 HS。为了便于比较，同时提供了 33% 玻纤增强 PA 6,6 和 30% 玻纤增强聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 的数据。

表 39: 耐化学性等级的符号说明

符号	等级	拉伸强度的损失率 (%)
E	优异	≤ 10
A	可接受	≤ 50 但 ≥ 10
U	不可接受	> 50

材料性能等级如表 39 所示。除了性能等级之外，还报告了拉伸强度、长度和重量百分比变化的数据。

用于筛选试验的化学品被分为三组：

有机溶剂（表 40）

水溶液（表 41）

汽车工作液（表 42）

利用高温水溶液进行的筛选评估显示，所有三种受试塑料均出现拉伸强度损失。此现象为所有玻纤增强热塑性材料所共有。在 93°C 去离子水中 Amodel AS-1133 HS 塑料的拉伸强度损失最初是快速的，这是由于玻璃纤维与树脂基体之间的界面粘力损失的原因，然后减慢到逐渐变化的速率，反映出水解的侵蚀。防冻剂或氯化锌的水溶液产生类似影响。PA 6,6 被氯化锌溶液严重侵蚀。PET 被防冻液严重侵蚀，甚至被高温的蒸馏水严重水解。

表 40: 耐化学性筛选试验 – 有机物

浸渍 30 天 (23°C)

试剂	树脂	等级	拉伸强度保持率 (%)	长度变化 (%)	重量变化 (%)
丙酮	Amodel AS-1133 HS	E	97	0.1	0.2
	33% 玻纤增强 PA 6,6	E	99	0.2	0.2
	30% 玻纤 PET	A	72	0.3	3.2
异丙醇	Amodel AS-1133 HS	E	99	0.0	0.2
	33% 玻纤增强 PA 6,6	E	112	0.0	0.3
	30% 玻纤 PET	E	109	0.0	0.3
甲醇	Amodel AS-1133 HS	A	83	0.1	2.9
	33% 玻纤增强 PA 6,6	A	68	0.5	5.6
	30% 玻纤 PET	E	96	0.1	0.5
二氯甲烷	Amodel AS-1133 HS	E	94	0.0	1.1
	33% 玻纤增强 PA 6,6	E	90	0.1	2.4
	30% 玻纤 PET	A	71	2.0	9.5
丁酮	Amodel AS-1133 HS	E	103	0.0	0.1
	33% 玻纤增强 PA 6,6	A	113	0.0	0.1
	30% 玻纤 PET	A	72	0.1	3.0
甲苯	Amodel AS-1133 HS	E	101	0.0	0.1
	33% 玻纤增强 PA 6,6	E	109	0.1	0.2
	30% 玻纤 PET	E	91	0.1	1.6
1,1,1-三氯乙烷	Amodel AS-1133 HS	E	99	0.0	0.2
	33% 玻纤增强 PA 6,6	E	110	0.0	0.2
	30% 玻纤 PET	E	100	0.0	2.3
三氯乙烯	Amodel AS-1133 HS	E	102	0.0	0.3
	33% 玻纤增强 PA 6,6	E	97	0.0	0.4
Freon® 113	Amodel AS-1133 HS	E	96	0.0	0.1
	33% 玻纤增强 PA 6,6	E	99	0.0	0.2
正庚烷	Amodel AS-1133 HS	E	104	0.0	0.1
	33% 玻纤增强 PA 6,6	E	96	0.0	0.2

Freon 是 E. I. duPont de Nemours 公司的注册商标。

表 41: 耐化学性筛选试验 – 化学品水溶液

浸渍 30 天 (所指示的温度)

试剂	浓度	温度		树脂	等级	拉伸强度 保持率 (%)	长度 变化 (%)	重量 变化 (%)
		°C	°F					
氨水	10%	23	73	Amodel AS-1133 HS	E	96	0.1	0.8
				33% 玻纤增强 PA 6,6	A	61	0.2	4.5
				30% 玻纤 PET	E	95	0.2	0.4
去离子水	100%	93	200	Amodel AS-1133 HS	A	69	0.2	3.4
				33% 玻纤增强 PA 6,6	A	62	0.2	5.0
				30% 玻纤 PET	U	19	0.0	2.4
氯化钠	10%	23	73	Amodel AS-1133 HS	E	97	0.1	2.1
				33% 玻纤增强 PA 6,6	A	67	0.2	3.3
				30% 玻纤 PET	E	98	0.0	0.3
氯化锌	50%	93	200	Amodel AS-1133 HS	A	66	0.1	4.8
				33% 玻纤增强 PA 6,6	U	0	*	*
				30% 玻纤 PET	A	54	-0.1	0.6
硫酸	36%	23	73	Amodel AS-1133 HS	E	92	0.0	1.8
				33% 玻纤增强 PA 6,6	U	0	*	*
				30% 玻纤 PET	E	94	0.0	0.3
氢氧化钠	10%	23	73	Amodel AS-1133 HS	E	93	0.0	1.6
				33% 玻纤增强 PA 6,6	A	62	0.0	3.1
				30% 玻纤 PET	A	70	0.0	-4.2
次氯化钠	5%	23	73	Amodel A-1133 HS	E	94	0.0	1.4
				33% 玻纤增强 PA 6,6	A	57	0.0	-1.5
				30% 玻纤 PET	E	94	0.0	0.4

\* = 被侵蚀

表 42: 耐化学性筛选试验 – 运输领域相关流体

浸渍 30 天 (所指示的温度)

工作液	温度		树脂	等级	拉伸强度 保持率 (%)	长度 变化 (%)	重量 变化 (%)
	°C	°F					
50% 防冻液	104	220	Amodel AS-1133 HS	A	77	0.2	5.6
			33% 玻纤增强 PA 6,6	A	54	0.3	8.3
			30% 玻纤 PET	U	0	*	*
制动液	49	120	Amodel AS-1133 HS	E	99	0.0	0.4
			33% 玻纤增强 PA 6,6	E	105	-0.1	0.2
			30% 玻纤 PET	E	97	0.0	1.0
柴油	23	73	Amodel AS-1133 HS	E	98	0.0	0.1
			33% 玻纤增强 PA 6,6	E	100	0.0	0.3
			30% 玻纤 PET	E	100	-0.1	0.0
酒精-汽油混合燃料 (10% 乙醇)	23	73	Amodel AS-1133 HS	A	86	0.0	1.4
			33% 玻纤增强 PA 6,6	A	65	0.1	3.5
			30% 玻纤 PET	E	93	-0.1	0.7
液压液	49	120	Amodel AS-1133 HS	E	92	0.0	0.3
			33% 玻纤增强 PA 6,6	E	103	0.0	0.3
			30% 玻纤 PET	E	105	-0.1	0.1
JP-4 喷气发动机 燃料	23	73	Amodel AS-1133 HS	E	95	0.0	0.4
			33% 玻纤增强 PA 6,6	E	100	0.0	0.3
			30% 玻纤 PET	E	100	0.0	0.1
机油	121	250	Amodel AS-1133 HS	E	100	0.0	0.1
			33% 玻纤增强 PA 6,6	E	106	0.0	-0.2
			30% 玻纤 PET	E	91	-0.1	-0.6
动力转向工作液	49	120	Amodel AS-1133 HS	E	97	0.0	0.1
			33% 玻纤增强 PA 6,6	E	106	0.0	0.2
			30% 玻纤 PET	E	108	0.0	0.0
变速器油	121	250	Amodel AS-1133 HS	E	97	0.0	0.1
			33% 玻纤增强 PA 6,6	E	105	-0.1	-0.2
			30% 玻纤 PET	A	64	0.1	-0.5
无铅汽油	23	73	Amodel AS-1133 HS	E	96	0.1	0.0
			33% 玻纤增强 PA 6,6	E	99	0.1	0.1
			30% 玻纤填充的 PET	E	99	0.0	0.1

\* = 被侵蚀

表 43: Amodel PPA 塑料的一般化学相容性指南

试剂	等级
脂肪族烃	E
芳香烃	E
油类	E
油脂	E
氯化烃类	E
二氯甲烷	A
含氯氟烃	E
酮类	E
酯类	E
高级醇	E
甲醇	A
酚	U
强酸	A
碱	E

表 44: 伽马辐射对 Amodel AS-1133 HS 的影响

保持率 (%)	5 mrad 暴露量
拉伸强度 (kPa)	620
延伸率 (%)	100

### 化学相容性

表 43 可以作为 Amodel 塑料耐化学性的一般指南。然而，此数据应仅仅用于筛选目的。如前所述，在实际化学接触条件下 Amodel 塑料的性能将随机械应力、浓度、时间和/或温度的不同而变化。建议在与实际应用中预期的情况相接近的条件下进行这些试验，以便获得可靠的性能信息。

### 伽马辐射

Amodel AS-1133 HS 塑料具有优良的抗伽马辐射性。在暴露于 5.0 兆拉德伽马辐射的注塑成型拉伸试条上进行的试验表明，其对 Amodel AS-1133 HS 塑料的机械特性基本上无显著影响。表 44 给出了相关的结果。

本节介绍基本的设计原则和一般性建议，以帮助设计工程师设计出满足其应用的成本和性能要求的塑料部件。并提供由于装配、温度改变、环境因素以及与蠕变有关的时间所引起的应力对部件的影响方面的指南。

在设计工程师可利用的各种材料中，热塑性材料的种类最多、功能性最广而且设计时的选择余地最大。塑料可以是透明或不透明的、刚性或柔性的、坚硬或柔软的。塑料材料具有广泛的耐化学性可供选用，从化学惰性到在特定环境下的选择性溶解。在其它特性方面，如强度、刚性和耐冲击性、润滑性和热性能等，塑料也具有广泛的多功能性。而各种共混体和合金，则进一步扩大了设计时针对特殊应用的材料选择范围。

有时，利用塑料进行设计可能会显得比利用金属更复杂。但是，由于塑料在产品种类、转化工艺和二次加工（焊接、嵌入件、印刷、上漆、喷镀）方面具有多样性，所以可为设计者提供前所未有的自由度，如表 45 所示。

设计者可能更愿意在制造塑料部件时仅仅复制金属部件的尺寸，而没有充分利用塑料材料的多功能性或其所提供的设计自由度等优点。这种态度可导致低效的设计或难以生产的部件，或部件的性能达不到最佳。

以下几节将通过比较金属与塑料的差别并讨论各种仅塑料特有的因素，论述在利用塑料进行设计时所涉及的相关机械设计和应力分析。

表 45: Amodel 塑料胜过金属的设计优势

Amodel 塑料的特点	设计中的优势
Amodel 塑料是通过注塑成型工艺制造的，具有相当大的设计自由度	可轻易加入各种加强筋、凸台、或抽芯的断面。 搭扣配合可以注塑，简化了组装。 省去了许多二次加工，例如钻孔、攻丝、镗孔、去毛刺和磨削。 在必要处可以容易地使用金属嵌入件来优化部件强度。 可以将一个装配件的几个金属部件的特征合并到单个部件中，简化了组装并且降低了成本。
Amodel 塑料是热塑性材料	部件可以采用超声焊接或振动焊接，而不必采用紧固件连接。 颜色可以在注塑时加入，而不必在成型后再上漆。
Amodel 塑料耐各种化学品	部件不会生锈且耐腐蚀。

# 机械设计

使用典型的应力和挠曲方程式是部件设计的第一步。采用 Amodel 塑料的机械设计计算与采用其它工程材料的机械设计计算相似。然而，与所有塑料一样，所用的分析必须反映该材料的粘弹性。此外，材料特性会随应变速率、温度及化学环境或者纤维增强塑料的纤维取向而变化。因此，其分析必须适合于所有预期的工作条件。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，那么设计寿命中的疲劳强度将成为限制因素。

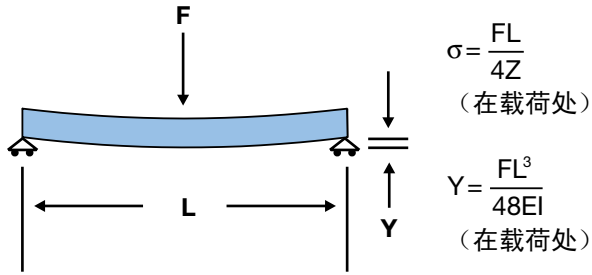
任何部件设计分析的初始步骤都是确定部件将承受的载荷并计算所造成的应力和形变或应变。这些载荷可能是外部加载的，也可能是由于温度改变或装配而导致的应力产生的。

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。装配载荷的实例有：当将外壳法兰用螺栓固定到发动机时在外壳法兰上的载荷，或者当将轴承压入滑轮毂内时在毂上的载荷。当装配件的温度增加而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或小时，则可产生热诱导应力。

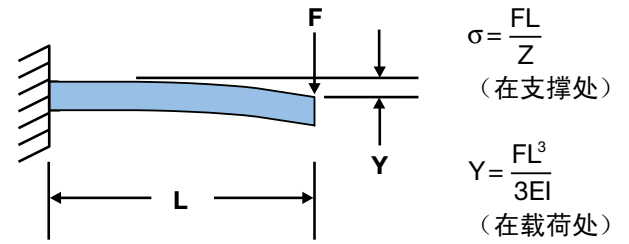


表 46: 最大应力和挠曲方程式

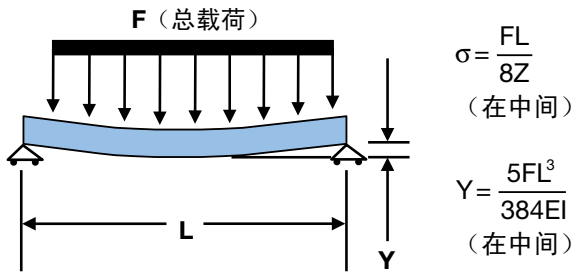
简单支撑梁载荷集中在中间



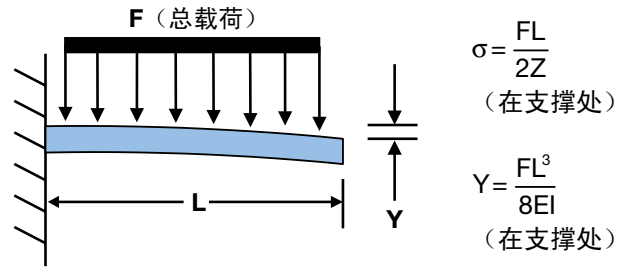
悬臂梁 (一端固定) 载荷集中在自由端



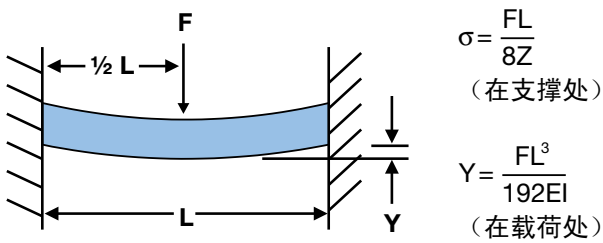
简单支撑梁载荷均匀分布



悬臂梁 (一端固定) 载荷均匀分布



两端固定载荷集中在中间



两端固定载荷均匀分布

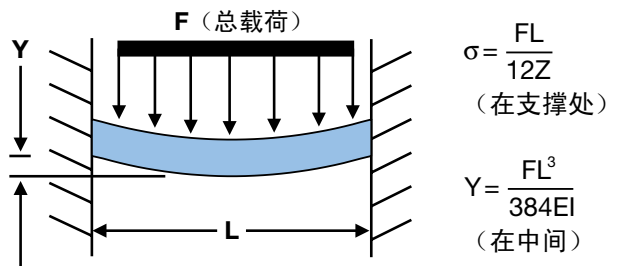
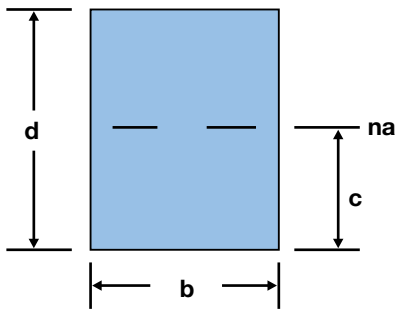


表 47: 部分断面的面积和力矩方程式

长方形



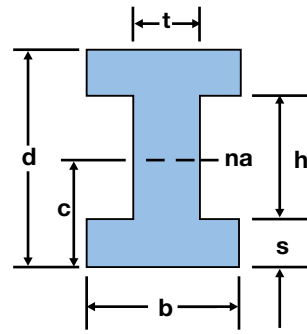
$$A = bd$$

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

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

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

I 型梁



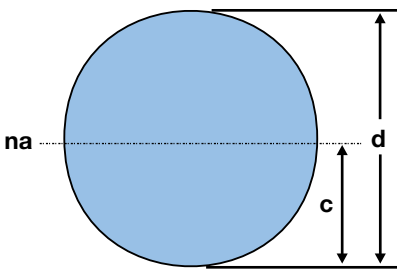
$$A = bd - h(b-t)$$

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

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

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

圆形



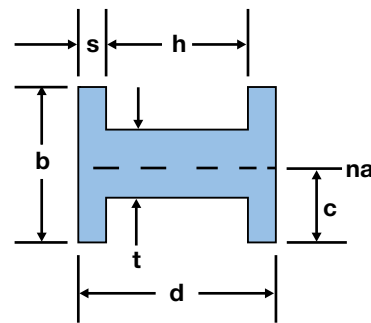
$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

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

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

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

H 型梁



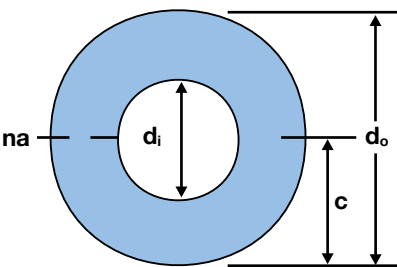
$$A = bd - h(b-t)$$

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

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

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

管形



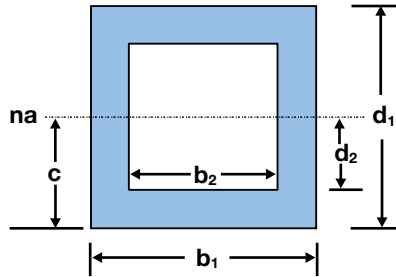
$$A = \frac{\pi(d_o^2 - d_i^2)}{4}$$

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

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

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

中空长方形



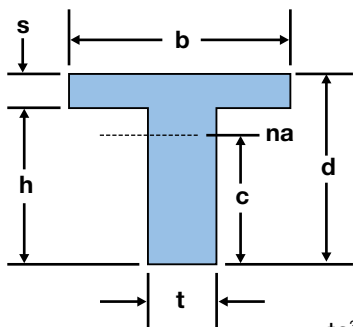
$$A = b_1d_1 - b_2d_2$$

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

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

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

T 型梁或加强筋



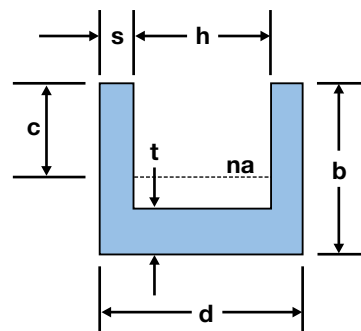
$$A = bs + ht$$

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

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

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

U 型梁



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

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

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

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

# 使用典型应力/应变方程式

在使用典型方程式时，需进行如下的简化假设：

- 可将部件视为一个或多个简单的结构进行分析
- 可认为材料有线性弹性且是各向同性的
- 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
- 部件具有低残余应力或注塑应力

严格地讲，虽然所有这些假设对于某一具体情况未必正确，但是典型方程式可以提供分析起点。然后，设计工程师可以修正分析，以考虑简化假设的影响。

采用梁弯曲模型可以对多种部件进行分析。表 46 列出了部分所选梁的最大应力和挠曲方程式。

最大应力 ( $\sigma$ ) 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 ( $N \cdot m$ )

$c$  = 与中性轴的距离 ( $m$ )

$I$  = 惯性矩 ( $m^4$ )

$Z = \frac{I}{c}$  = 断面模量 ( $m^3$ )

表 47 给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 ( $Z$ )。

对于其它横断面和/或几何形状，设计工程师可以查阅应力分析手册或者使用有限元分析。

## 设计计算的局限性

应用典型机械设计方程式得出的设计在初始阶段是很有用的，但这些分析并没有考虑到一些关键因素。聚合物材料的粘弹特性将一些设计方程式的应用局限在了诸如低挠曲等情况。而最大应力的计算常常包括许多可削弱结果可靠性的简化假设，或者虽然预期的破坏模式是弯曲变形或剪切，但却缺乏适当的相应特性数据。

此外，一种设计的耐冲击性与其吸收冲击能量而不断裂的能力直接相关。要预测某一设计吸收能量的能力是非常困难的。此外，即使备有能量吸收的相关要求，也不存在实用的工程塑料韧性常数。实验室试验的结果会随冲击试验的类型和速度而变化，即使是固定的几何形状也是如此。因此，设计的耐冲击能力必须通过对原型部件进行耐冲击性试验来加以检查。

类似地，疲劳试验结果会因试验所选择的循环速率、试验的动力学特性、以及所使用的试样不同而异。因此，它们只应作为疲劳应用中材料性能的近似指示。

## 挠曲的计算

为了使用典型方程式来确定拟用部件设计的挠曲，需要提供弹性模量数值。而且一定要使用适当的数值。该数值必须代表材料在预期的应用温度和湿度下或其附近的模量。室温和高温下的数值请参阅第 7 至 20 页上的各特性表。如果载荷是持续的，则应使用表观模量或蠕变模量。第 34 页上的图 44 和 45 的同步应力/应变曲线中提供了相关数值。

## 应力的计算

设计者在计算出最大应力后，即可将那些数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。比较应在温度和湿度方面符合应用要求。

## 增强纤维取向的考虑

当利用塑料，特别是填充塑料进行设计时，设计者必须认识到填料和增强纤维对塑料机械特性的影响。填充塑料的加工往往会造成纤维或高长径比填料的取向平行于流动方向。在本手册中，只要是必要的地方，我们均提供了相关特性的流向和横向数据。

因为部件的设计和加工是相互关联的，所以设计者应考虑到部件的哪些部分可能会有取向的问题而且相关特性会受到怎样的影响。收缩、强度、刚性和热膨胀系数将根据纤维的长径比（其长度与其直径之比）以及纤维取向程度而不同。垂直于纤维取向时，纤维更多表现为填料，而非增强介质。

当注塑聚合物时，会出现熔体前端会合的情况（通常称为接合线），例如当塑料熔体围绕模芯轴销流动时。然而，如果塑料中有增强材料，则增强材料不会横跨接合线。因此，接合线不具有增强聚合物的强度，而且其强度有时甚至可能比基体聚合物本身还低。设计增强塑料部件时必须考虑这些因素。

## 等同部件刚性的设计

有时，设计工程师希望用由塑料制成的部件取代金属部件，但是仍然希望保持金属部件的刚性。当用一种材料取代另一种材料时，即使这两种材料的弹性模量不同，还是有两种相当简单的方法可用于保持部件的刚性。

第一种方法是通过增加截面厚度来满足刚性要求。第二种方法是通过加筋来达到更大的刚性。每种方法举例如下。

### 改变截面厚度

回顾表 46 中的挠曲方程式可以看出，挠曲始终与载荷和长度成正比而与弹性模量和惯性矩成反比。

选择一种情况，例如，两端固定且载荷均匀分布的情况，则其挠曲由以下方程式确定：

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

因此，在利用两种不同的材料时，为了使得到的刚性相等，则两个挠曲的等式如下：

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

因为载荷和长度将保持相同，所以  $FL^3$  在方程式两侧不变，因此等式剩余项为：

方程式 1

$$\{EI\}_{\text{金属}} = \{EI\}_{\text{塑料}}$$

这就是使部件刚性相同的控制方程。

如果金属部件是弹性模量  $E$  为 44.8 GPa 的镁，而为了取代它所选择的热塑性材料是弹性模量为 13.8 GPa 的 Amodel AS-1145 HS 塑料，则需要通过增加部件厚度或者加筋来增加塑料件的惯性矩  $I$ 。

在方程式 1 中代入  $E$  值，得到：

$$(44.8 \times 10^9)I_{\text{金属}} = (13.8 \times 10^9)I_{\text{Amodel}}$$

$$3.25 I_{\text{金属}} = I_{\text{Amodel}}$$

根据表 47，长方形截面的惯性矩为：

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

其中， $b$  是宽度， $d$  是截面厚度，为了确定要求的厚度，代入我们的方程式，得到：

$$3.25 d_{\text{金属}}^3 = d_{\text{Amodel}}^3$$

如果金属部件的  $d$  是 2.54 mm，则 Amodel 塑料的厚度为：

$$d_{\text{Amodel}} = \sqrt[3]{3.25(2.54)^3} = 3.76 \text{ mm}$$

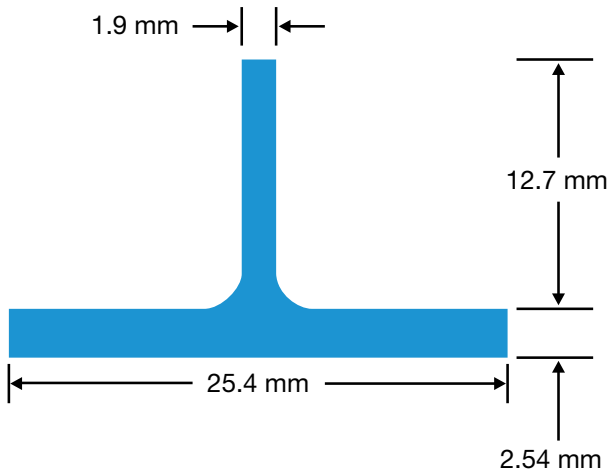
或者，比镁部件厚 48%。不过，如下一节中所述，可以使用加强筋来有效地增加惯性矩。

### 加筋以维持刚性

在上一节中我们确定了：如果用 Amodel AS-1145 HS 塑料注塑的部件取代金属部件，则为了得到 2.5 mm 厚镁部件的刚性，要求塑料部件的厚度为 3.7 mm。

在 Amodel 设计中加入筋可以非常有效地减少壁厚和重量，然而刚性却与镁部件一样。

图 68：加筋以提高刚性



为了证明这一点，新的加筋设计的惯性矩 (I) 可以与 3.7 mm 厚板设计的惯性矩相等。选择相同材料，Amodel AS-1145 HS，则两种情况下的弹性模量均为 13.8 GPa；因此，如果加筋设计的惯性矩等于板设计，则部件将具有等同的挠曲和/或刚性。

根据表 47，选择加筋断面的 I。假设断面宽度“b”在两种情况下均相同，则  $I_{筋}$  必须等于或者大于  $I_{板}$ 。让断面宽度“b”= 25.4 mm，则可以计算出满足该条件的加筋构造的惯性矩。

板设计的惯性矩为：

$$I_{板} = \frac{bh^3}{12} = \frac{25.4 \times (3.76)^3}{12} = 112.5 \text{ mm}^4$$

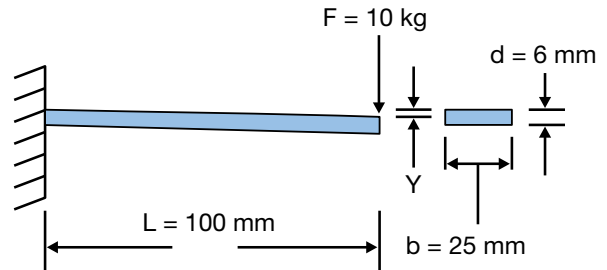
选择图 68 中显示的任意加筋设计，经过计算得到惯性矩为：

$$I_{筋} = 1379 \text{ mm}^4$$

因此，该加筋设计将比 Amodel 板设计或者 2.5 mm 厚的原始镁部件的刚性大 9.5 倍。

高度一半的相同加强筋仍将产生刚性是镁部件两倍的部件。所示的加筋设计要求每 25 mm 断面宽度设置一根加强筋。

图 69：悬臂梁，弯曲载荷实例



### 可承受持续载荷的设计

到现在为止，应力应变的计算和实例所针对的都是瞬时应力/应变反应，因此是短期特性。如果所讨论的部件必须长时间或者在高温下承受载荷，则必须使用表观（蠕变）模量值以考虑额外的应变和可能发生的部件挠曲。下面举例说明如何为持续载荷修正计算。

### 挠曲的计算

如图 69 所示，如果具有长方形横截面的悬臂梁在自由端承受 10 kg 载荷，1,000 小时之后的挠曲是多少？

根据第 65 页上的表 46，悬臂梁的挠曲可由下式给出：

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

其中，如表 47 所示，惯性矩 I 为：

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

E 是材料的挠曲模量。

计算本例中的惯性矩，即可得到：

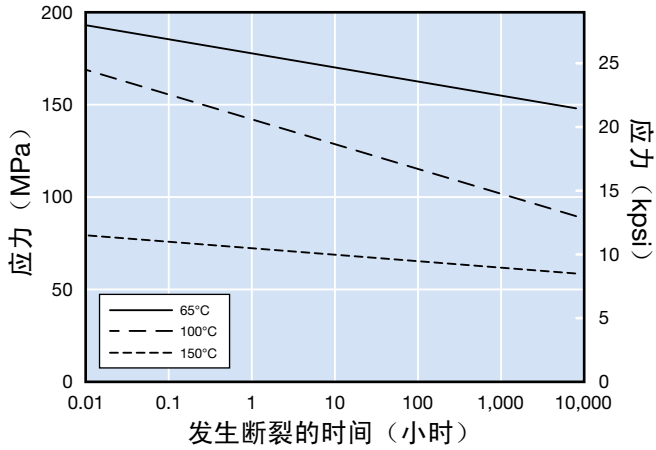
$$I = \frac{(25)(6)^3}{12} = 450 \text{ mm}^4$$

Amodel A-1133 HS 塑料的数据表给出的挠曲模量为 11.6 GPa。利用此数值和先前引用的方程式，可以由下式计算出短期室温挠曲：

$$Y = \frac{(10 \text{ kg} \times 9.8066)(0.1\text{m})^3}{3(11.6 \times 10^9 \text{ Pa})(4.5 \times 10^{-10} \text{ m}^4)}$$

$$Y = 6.3 \text{ mm}$$

图 70: 拉伸蠕变断裂, Amodel A-1133 HS 塑料



倘若有关应用要求长时间保持载荷, 则因为蠕变, 我们预期其挠曲会大于此值。为了在考虑蠕变条件下计算挠曲, 我们使用表观模量代替短期挠曲模量。图 70 中显示的 Amodel A-1133 HS 在 1000 小时的表观模量数值是 7.58 GPa。因此计算的挠曲是:

$$Y = \frac{(10 \text{ kg} \times 9.8066)(0.1\text{m})^3}{3(7.58 \times 10^9 \text{ Pa})(4.5 \times 10^{-10}\text{m}^4)}$$

$$Y = 9.6 \text{ mm}$$

当考虑持续载荷时, 挠曲大了大约 50%。

## 容许应力的计算 – 蠕变断裂

如果载荷长时间持续而且如果载荷和/或温度足够高, 则最终将因蠕变而发生部件断裂。

为了估算造成这类破坏的时间、温度和载荷的组合情况, 可在各种温度下进行蠕变断裂试验, 如图 70 所示。此图显示了在不同应力水平下发生破坏的实际时间, 以便能够得到蠕变断裂与温度关系曲线。根据此包络线, 可以为该具体温度确定时间或应力安全系数。

例如, 如果由 Amodel A-1133 HS 塑料注塑的部件在 65°C 的使用寿命是 1,000 小时, 则该曲线表明, 如果部件承受大约 158 MPa 的应力水平, 则断裂将在该时间范围内发生。

如果部件可以重新设计以将应力降低至 124 MPa, 则现在预测发生断裂的时间将远远超过 10,000 小时。这样做可自动给设计增加了一个安全系数。不过, 仍然建议进行实际部件试验, 以便确认这些结果。

对于与受试温度不同的工作温度, 通常可根据已知的蠕变断裂与温度关系曲线外推相关信息, 以粗略估计所需温度的包络线。

## 应力集中的考虑

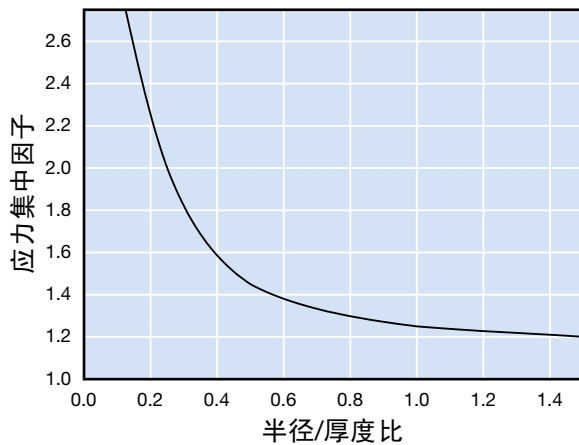
传统的机械设计方法所产生的部件设计可能会导致所设计的部件过早失效，或所能承受的应力比预计的要小。这可能是由于应力集中而造成的。应力集中通常可能会发生在尖角处、孔的周围或其它的特征部位。冲击和疲劳情况对应力集中特别敏感。

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标称壁厚的一半。0.4 mm 的倒角半径应被认为是最小值。

图 71 所示为内拐角半径对应力集中因子的影响。例如，如果标称壁厚是 2 mm，并且内拐角半径为 0.5 mm，那么半径与厚度之比为 0.25，而应力集中因子将超过 2。也就是说，一个大小为  $x$  的应力将对部件产生超过  $2x$  的作用。

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 71：内拐角的应力集中因子



## 热应力的考虑

当固定到金属上的塑料部件经受温度变化时，可能会导致应力，设计者在部件设计开发时应考虑该应力。

图 72 显示了通过钢螺栓固定到钢结构上的典型塑料法兰。因为塑料的热膨胀显著大于钢的热膨胀，所以温度上升将导致塑料的压缩应力上升以及螺栓拉紧。如果蠕变以及螺栓上的扭力损失值得关注，则必须考虑在垫圈下压缩应力的上升。

例如，当材料经受温度变化时，其长度变化可由下式给出：

$$\Delta L = L(T_F - T_O)\alpha$$

其中

$\Delta L$  = 长度变化

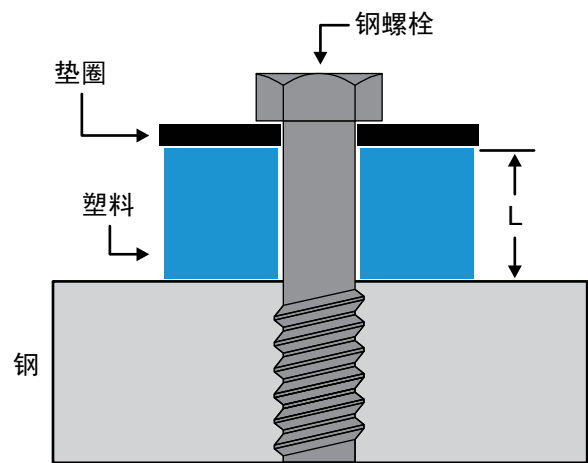
$L$  = 原始长度

$\alpha$  = 热膨胀系数

$T_F$  = 最终温度

$T_O$  = 起始温度

图 72：热应力实例



因为塑料被约束，结合了钢螺栓和塑料的热膨胀和应变的单位伸长率将是：

$$\alpha_s(T_F - T_0) + \frac{F}{A_s E_s} = \alpha_p(T_F - T_0) - \frac{F}{A_p E_p}$$

其中

$A_s$  = 螺栓的横截面积

$A_p$  = 垫圈的横截面积

$E_s$  = 钢的模量

$E_p$  = 塑料的模量

$\alpha_s$  = 钢的热膨胀系数

$\alpha_p$  = 塑料的热膨胀系数

$F$  = 螺栓的拉伸力增量

解出  $F$

$$F = \frac{(\alpha_p - \alpha_s)(T_F - T_0) A_s E_s}{1 + \frac{A_s E_s}{A_p E_p}}$$

而塑料的压缩应力增加将是：

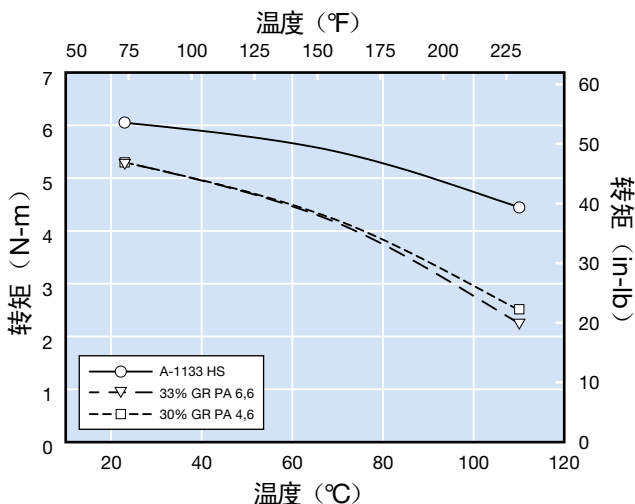
$$\sigma = \frac{F}{A_p}$$

### 由于蠕变造成的螺栓紧固性丧失

如果使用螺纹金属紧固件将塑料部件保持或固定到装配件上，而该装配件要经受温度变化时，金属和塑料热膨胀系数间的差异可造成各种问题。当拧紧螺纹紧固件时，紧固件会稍微伸长并且在基体上产生压缩应力。此压缩应力保持了螺栓的紧固性。

当装配件受热时，塑料部件和金属紧固件均膨胀。然而，塑料部件因受金属紧固件约束而不能膨胀。这导致塑料中压缩应力增加，并且相应增加了发生压缩蠕变或应力松弛的趋势。压缩应力的松弛将导致螺栓中转矩保持力降低。

图 73：螺栓转矩保持力



为了评估这种趋势，用钢制螺栓将 6.4 mm 厚的分别由 Amodel A-1133 HS、33% 玻纤增强 PA 6,6 以及 30% 玻纤增强 PA 4,6 制成的塑料板固定到金属表面，并且用转矩扳手拧紧至转矩为 6.8 N·m，以将塑料板挤压在螺栓面下。将用螺栓固定的装配件的温度提高到图 73 中指示的温度，保持一小时，然后冷却到室温。随即测量松开螺栓所需要的转矩。

图 73 比较了保持的转矩值与温度的关系。Amodel 塑料的线性热膨胀系数比受试的其它材料低，因此更接近钢。

由于热膨胀差异较小，所以因热偏差所产生受约束部件中压缩应变而导致的诱导应力较小。这说明蠕变较小，因此这种用螺栓固定的装配件转矩保持力更好。



# 装配件的设计

## 过盈配合或压配

用于装配两个部件的最经济方法之一就是压配。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

$S_d$  = 工作应力

$D_h$  = 毂的外径

$D_s$  = 轴的直径

$E_h$  = 毂材料的模量

$E_s$  = 轴材料的模量

$\nu_h$  = 毂材料的泊松比

$\nu_s$  = 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 Amodel 塑料制作，那么：

$$E_h = E_s = E$$

过盈量则为：

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

如果毂用 Amodel 塑料制作，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 74: 适合机械紧固件的设计

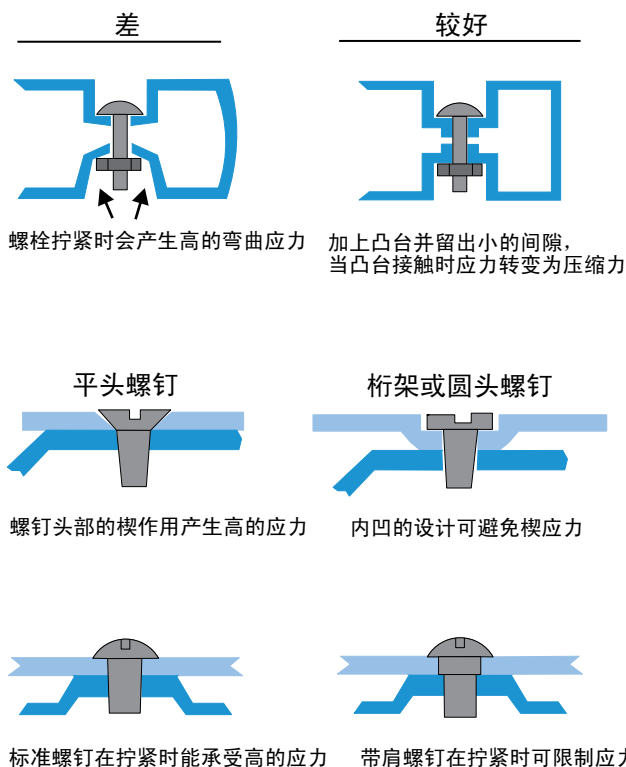
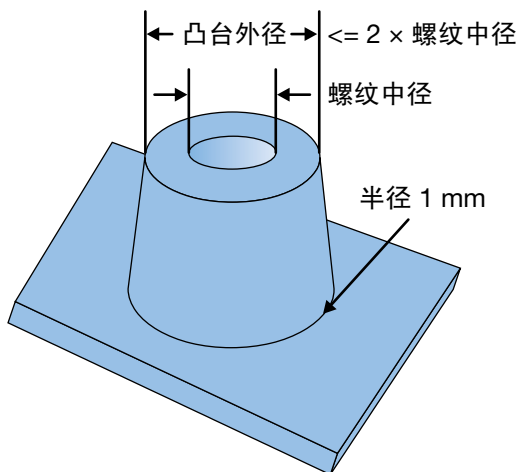


图 75: 自动攻丝螺钉的凸台设计



### 自动攻丝螺钉

一种与塑料一起使用的常见类型机械紧固件是自动攻丝螺钉。自动攻丝螺钉在被插入塑料中时切割或形成螺纹，从而不需要注塑内螺纹或者通过机械加工螺纹的二次加工。其主要类型是螺纹成型螺钉和螺纹切削螺钉。

塑料材料的弹性模量在决定什么类型的自动攻丝螺钉最适合于具体应用时起到重要作用。对于模量小于 3.0 GPa 的塑料材料，例如大多数未增强塑料，螺纹成型螺钉是最佳选择，因为塑料变形时韧性足够而不会破裂或切断。对于填充玻纤和矿物的牌号，则首选螺纹切削螺钉。

为获得最佳的拆卸转矩，凸台的孔径应等于螺钉螺纹中径。凸台的外径应等于孔径的二或三倍，而且凸台高度应超过凸台厚度的两倍。

图 75 举例说明了配用自动攻丝螺钉的基本凸台设计。

在装配线上采用转矩限制器，以避免出现部件脱离或高应力的装配件。

### 改善转矩保持力

为了使由于蠕变导致的转矩损失减至最小，可通过如下方法降低螺钉头下的压缩应力：

- 增加螺钉头直径
- 使用大直径平垫圈
- 降低夹紧转矩
- 使用弹簧或螺旋垫圈
- 使用带肩螺栓以降低塑料部件上的应力
- 使用金属衬套

### 机械紧固件

机械紧固件是连接异质材料的一种经济的方法。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，应采用适当的设计原则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转矩限制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 74 所示为使用机械紧固件的一些首选设计。

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。

图 76: 在螺钉安装期间所产生的转矩

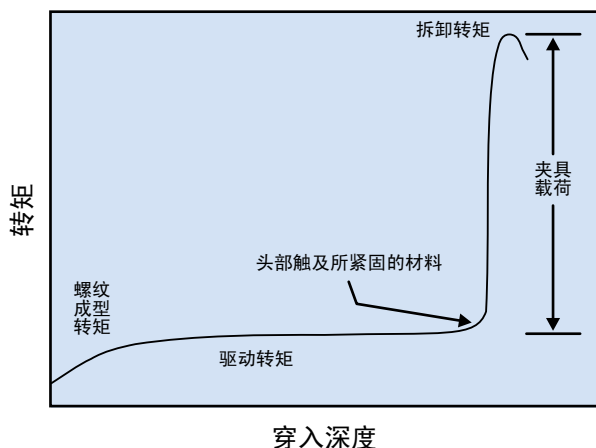
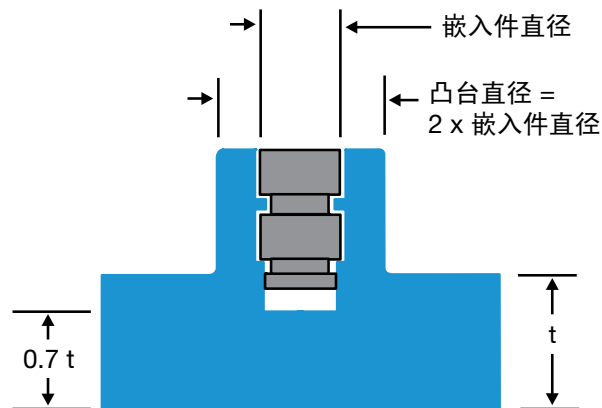


图 77: 超声嵌入件的凸台设计



### 紧固转矩

图 76 显示了转矩如何随螺钉穿入而变化。

紧固转矩是具体应用下的推荐安装转矩。它必须足够大以充分施加在螺钉头上产生紧固力，但是也要低于破坏螺钉头的转矩（即拆卸转矩）。

最佳紧固转矩数值可以使用以下方程式由平均驱动转矩和平均拆卸转矩计算。

$$T_T = \frac{1}{2} \left( \frac{3}{2} T_D + \frac{1}{2} T_S \right)$$

其中

$T_T$  = 紧固转矩

$T_D$  = 平均驱动转矩

$T_S$  = 平均拆卸转矩

有一些自动攻丝螺钉是专门设计来供塑料件使用，这些自动攻丝螺钉具有以下优点：其驱动和拆卸转矩之间的差异比那些为金属设计的一般螺钉要大。这些特殊紧固件可以为自动装配提供附加安全系数。

### 拔出力的计算

接合处的强度可以用拔出螺钉所需力量的大小来表示。拔出力可以利用以下方程式估算：

$$F = \pi S D L$$

其中

F = 拔出力

S = 剪切强度

D = 螺纹中径

L = 螺纹啮合长度

当要求或预期重复进行装配和拆卸时，应使用金属螺纹嵌入件代替自动攻丝螺钉。

### 螺纹嵌入件

可以使用金属螺纹嵌入件在塑料部件中加入永久性的金属螺纹；有各种各样的尺寸和类型的嵌入件可供选用。嵌入件通常安置在具有专门为嵌入件设计的内径的注塑凸台中。加入金属嵌入件的最常见方法是直接注塑到部件中，或者通过二次加工用超声焊接方式置入部件中。在直接注塑嵌入件的方法中，先将嵌入件放入模具中，然后围绕嵌入件注入塑料。当围绕嵌入件的塑料冷却时将产生应力。为了减小此应力，要将嵌入件加热到模具的温度。

超声嵌入件则是通过超声焊机所产生的高频振动熔化塑料后将其压入塑料中。在安装金属嵌入件时，超声焊接会熔化嵌入件周围的材料，使得嵌入件与塑料之间形成粘合，这种粘合通常是既坚固又相对无应力。

图 77 显示了推荐用于 Amodel PPA 塑料的嵌入件和凸台的设计。

图 78: 悬臂式搭扣配合

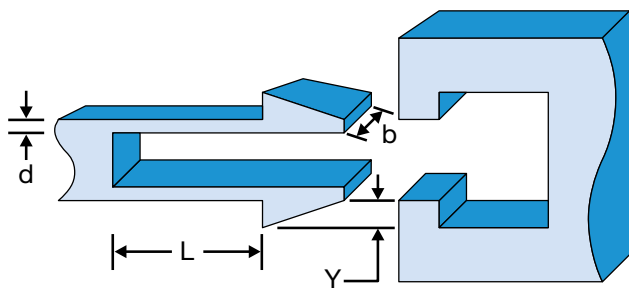
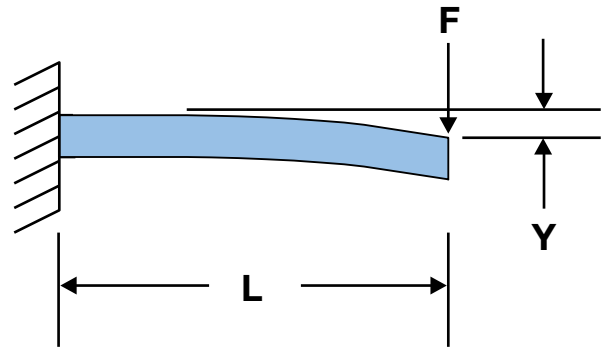


图 79: 悬臂梁 – 载荷集中在自由端



### 注塑螺纹

利用塑料材料代替金属的一个好处是能够将螺纹牙形直接注塑到部件中。这避免了在金属部件中形成螺纹时所需要的二次机械加工操作。注塑螺纹既可以是外螺纹也可以是内螺纹。在内螺纹情况下，要求模具具有某种可旋出或折叠的模芯。如果模具的分模线垂直于螺纹，则外螺纹的成型会更容易一些。

### 采用搭扣配合的设计

在塑料中使用搭扣配合非常普遍。所有的搭扣配合设计都要求塑料在通过其配合件上设计的过盈时，象悬臂弹簧一样挠曲。柔性臂一旦过了该过盈后，将返回其正常的未挠曲、无应力状态。通常会在悬臂上设计一个台阶或突出部，以使其与配合件啮合并锁入其中，这是一种简单而不需要增加部件的装配方法。如图 78 所示。

为了使其插入，每个悬臂都必须挠曲一个距离“Y”。正确搭扣设计的关键是不超过所用材料的应变/应力极限。用于韧性、低模量塑料的搭扣配合设计可能并不适合高增强、非常刚硬的塑料。

对于刚性材料，可以增加悬臂的长度或者减少干涉挠曲“Y”。增加“止动”可以防止在装配期间悬臂的过度挠曲。

### 直悬臂梁方程式

直悬臂梁的最大挠曲与应变之间的关系按如下公式计算：从表 46 选择悬臂梁，并且如图 79 所示将其重新画出。其最大应力由以下方程式给出：

$$\sigma = \frac{FL}{Z}$$

因为此梁有一个长方形断面，

$$Z = \frac{bd^2}{6} \text{ 和}$$

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

因此：

$$\sigma = \frac{FLd}{2I}$$

梁的挠曲 Y 由以下方程式给出：

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

表 48: 为悬臂搭扣配合所建议的应变

牌号	最大应变 (%)
ET-1000 HS	1.0
A-1230 L	0.5
AS-1133 HS	1.0

解该挠曲方程式，即可按如下计算出挠曲该梁所需要的力 F：

方程式 1

$$F = \frac{3YEI}{L^3}$$

弹性模量 (E) 定义为：

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad \text{从而} \quad \epsilon = \frac{\sigma}{E}$$

将其代入悬臂应力方程中：

方程式 2

$$\epsilon = \frac{FLd}{2EI}$$

利用方程式 1 的关系替换方程式 2 中的 F，即可导出应变和挠曲之间的关系：

方程式 3

$$\epsilon = \frac{3Yd}{2L^2}$$

设计者可以使用此方程式计算设计最大挠曲所要求的应变。表 48 总结了几个牌号的 Amodel 塑料的最大应变建议。

一旦选择了适当牌号的 Amodel 塑料，就可以使用基本方程式得到按要求的量挠曲悬臂所需的载荷 F。

在悬臂搭扣配合中，在悬臂基部的应力和应变最大，而朝向施加载荷的头端应力和应变会成比例降低。事实上，在任一点的应力和应变都可以通过代入不同的 L（载荷离固定端的距离）计算出来。因此，如果从固定端到头端逐渐减少悬臂厚度，则该梁将能够比在固定厚度悬臂中挠曲更多而不产生较高的最大应力。这样，可以将材料性能发挥到最大。

图 80: 采用锥形梁的搭扣配合设计

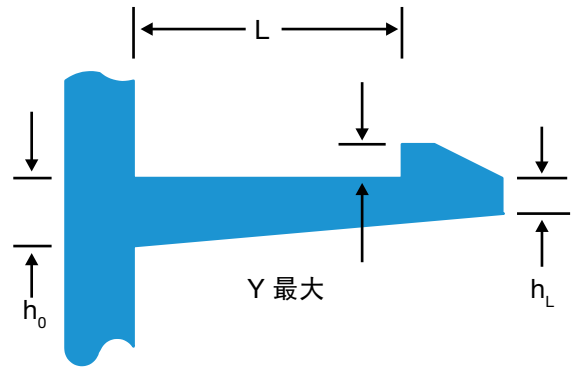
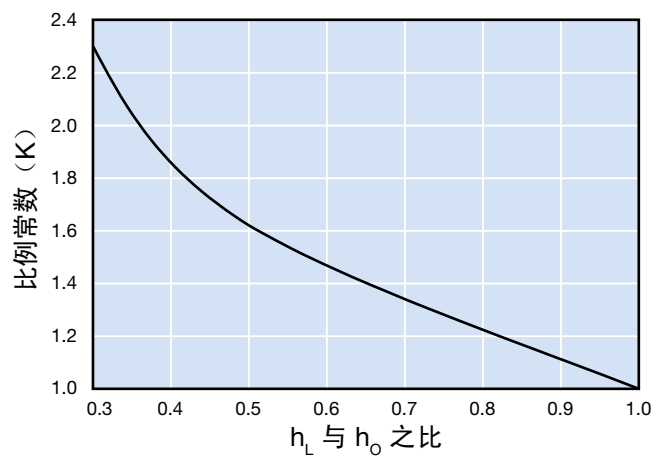


图 81: 锥形梁的比例常数 (K)



锥形悬臂梁方程式

对于图 80 所示的锥形设计，h<sub>L</sub> 是其自由端的厚度。图 81 给出了锥形梁设计所用的比例常数 K。可以根据以下方程式计算其最大应变：

方程式 4

$$\epsilon = \frac{3Yh_0}{2L^2K}$$

例如，如果梁厚度已逐渐减至其固定端厚度的一半，则 h<sub>L</sub> 和 h<sub>0</sub> 的比率将为 0.5 而 K（根据图 81）将为 1.6。因此，最大应变和对应的应力将乘以 K 的倒数 0.625。在相同挠曲下，其应变将比恒定厚度悬臂梁设计的应变减少大约 40%。

## 配合注塑的设计

Amodel PPA 塑料的许多应用部件是利用注塑成型工艺制造的。设计满足使用性能要求部件的工程师还必须考虑这样一个事实：部件设计中可能存在各种影响可注塑性的因素。这些因素包括壁厚以及壁厚的过渡、脱模角度、筋结构、凸台以及抽芯。设计工程师应在制作模具以生产部件之前考虑这些因素对可注塑性的影响。

### 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，并因此具有最低的材料成本和最短的注塑循环。

### 壁厚变化

壁厚均匀的部件设计最适合注塑成型工艺。它们可使注塑应力减到最小，减少了在部件表面上潜在的凹陷，并且消除了注塑部件中潜在的内部真空。然而，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过渡，例如图 82 所示的锥形或逐渐过渡的设计。

壁厚的急剧过渡可能会产生外观及尺寸稳定性方面的问题，因为它们可导致冷却上的差异及湍流的产生。此外，急剧过渡会引起应力集中，从而影响部件在承受载荷及冲击时的性能。

### 脱模角度

为了有助于将部件从模具中取出，部件通常设计有锥度。只要模具开始移动，该锥度就产生一个间隙，使部件可以从其模穴中自如脱模。锥度通常被称为脱模斜度，而锥度的量则称为脱模角度，如图 83 所示。

图 82：壁厚的转变

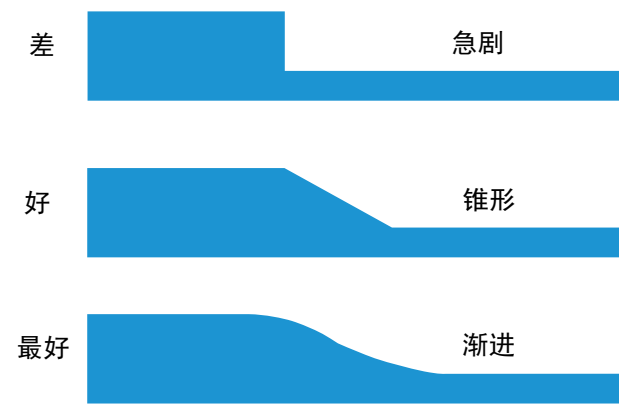
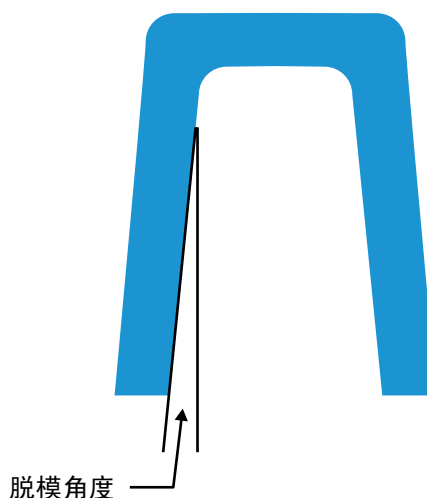


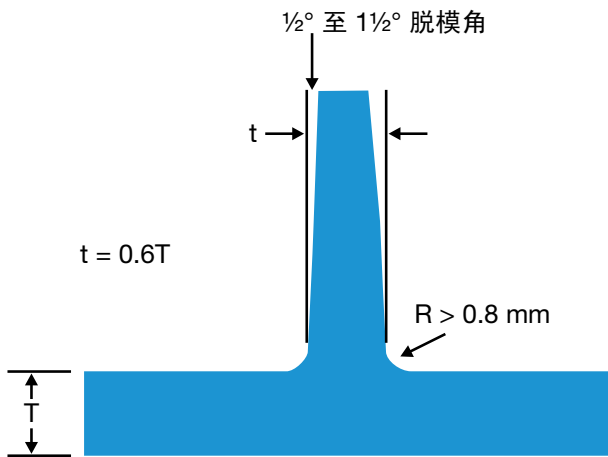
图 83：脱模角度 – 为脱模而设计



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 Amodel 塑料，通常在其内外壁上设计每侧具有 0.5 度到 1 度的脱模角度。但是，在一些特殊情况下，由于模具表面的拉伸抛光，还可用到小至  $\frac{1}{4}$  度到  $\frac{1}{4}$  度的脱模角度。

对于深撑压或使用模芯时，则应采用更大的脱模角度。纹理装饰会使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 度的脱模角度。

图 84: 脱模角度 – 建议的加强筋设计



### 加强筋结构

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刚性，如第 68 页的题为“加筋以维持刚性”的设计章节所示。适当的加筋设计将降低壁厚。从而节省材料和减轻重量，并缩短注塑循环。它也将消除可能造成各种注塑问题（如部件表面上的凹陷或部件内的内部真空）的厚壁。正确布置的加强筋结构还可以具有内部流道的作用，帮助塑料熔体在注塑过程中流动。

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不大于相邻壁厚的 60%。

当加强筋与外观区域相对时，其宽度应尽可能的小。如果注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。如果部件中有多个加强筋，则它们的高度或宽度不必固定，通常可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  $\frac{1}{2}$  度的脱模角度，并在底部有一个最小为 0.8 mm 的半径，以减少应力集中和凹陷。

图 84 所示为建议的加强筋尺寸间的关系。

### 抽芯

恰当的设计原则应使整个部件具有均匀的壁厚。部件中的厚断面会延长注塑的循环时间、在部件表面上引起凹陷，在部件内造成内部真空并且增大注塑应力。

应对厚断面进行抽芯以使壁厚均匀。为了注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散的模芯。

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 的盲芯（无支撑芯），其长度不应超过直径的三倍；而对于直径小于 1.5 mm 的盲芯，其长度不应超过直径的两倍。对于通芯（可伸入或接触到模具另一侧的模芯），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

凸台是突出部件标称壁的部分，最终会用作装配点或紧固点。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、自动攻丝螺钉和超声嵌入件配合使用。这些紧固件都会对凸台的壁部施加应力。

作为一般性的设计原则，凸台的外径应该是其孔内径的两倍，而且凸台底部的壁厚不应超过部件壁厚的 60%，除非其结构的重要性超过外观要求。图 85 举例说明了这些设计原则。

作用在凸台上的附加力可能会传递到凸台下并进入标称壁。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结构将凸台与附近的壁相连接。凸台应按与加强筋相同的方式设计。为防止部件表面出现凹陷和部件内出现内部真空，应避免厚断面。

图 85: 凸台设计 – 一般原则

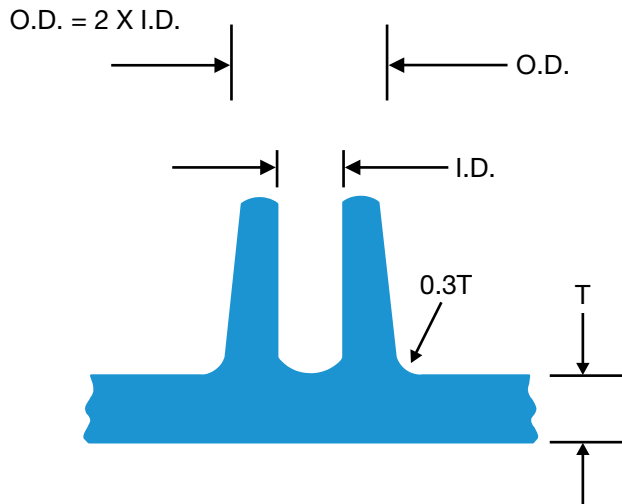


图 86: 显示凸缘的恒温器外壳



### 咬边

取决于具体取向，有些设计特征可能会使模具的个别部分阻挡了部件脱模。这些特征被称作咬边并且可能要求特殊的模具配置，例如滑块或凸轮，以便在脱模之前移开。在一些情况下，所注塑的材料可能具有足够的柔韧性，可以将部件推出咬边而不造成损坏。

例如，如图 86 所示的典型汽车恒温器外壳，它有多个凸缘，可供防泄漏软管连接。为了给软管连接提供光滑的表面，设计者规定分模线不能在此区域中。这就导致在每个凸缘位置都有一个咬边。

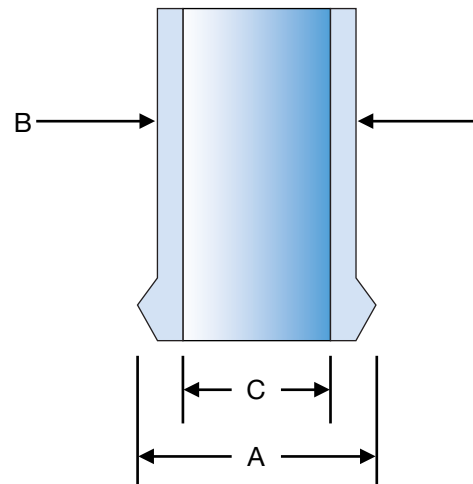
在一些情况下，如果可以先拉出模芯而且咬边比等于或小于 8，则可以顶出带有咬边的部件。

$$\text{咬边比 (R)} = \frac{100 (\text{凸缘直径 (A)} - \text{管 OD (B)})}{\text{管 ID (C)}}$$

如果必须不用侧抽芯来注塑部件，并且所计算出的咬边比大于 8，则应对设计进行修改。一种可能的修改是，将管子内径设计成锥形，以有效降低凸缘下的壁厚。对于内径小于 25 mm 的管子，可能必须修改凸缘的几何形状，以获得等于或小于 8 的咬边比。

此方法的成功要点是，当部件还热时就将其从模具中脱出，因为此时的柔韧性要比在室温时好。

图 87: 咬边示意图





## 焊接

由 Amodel 塑料制造的部件可以利用热板焊接、振动焊接、旋转焊接或超声焊接很容易地进行连接。

本节将描述每种焊接方法，并且讨论可用 Amodel AS-1133 HS 塑料产生合格焊缝的设备和条件。这些条件可作为确定实际应用中焊接条件的建议起点。对其它各种 Amodel 牌号进行焊接时可能需要对此处讨论的工艺条件进行一些改进。在一些情况下，还会提供额外的信息，例如对焊接条件的敏感度、试样几何形状、或水分含量。

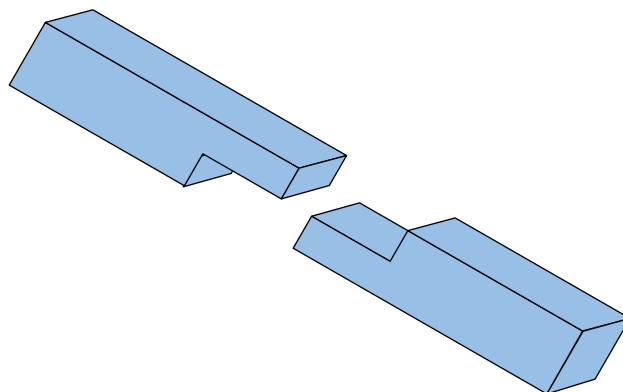
因为 Amodel 塑料吸收水分，所以，各试验是在经过以下三个湿度处理过的试样上进行的：0%、1.8% 和 3.8% 水分。所选择的这些水分含量代表了在相对湿度分别为 0%、50% 和 100% 的空气中到达平衡的 Amodel AS-1133 HS 塑料注塑部件的水分水平。为了简化对结果的论述，下面将用术语“干燥”表示刚完成注塑时处于干燥状态的试样；用“正常”表示含 1.8% 水分的试样，而用“饱和”表示含 3.8% 水分的试样。

总之，利用本节中所评估和描述的所有焊接技术均可以获得合格的焊缝。超声焊接的确需要近距离施加能量才能获得牢固的焊缝。在一般情况下，吸收的水分不妨碍焊接，但是使用具有正常水分含量（1.8%）或者更低水分含量的试样可得到最佳的结果。

### 热板焊接

在热板焊接中，要先将热塑性材料试样压靠在加热元件上，造成接触面熔化。然后拿走加热元件，在压力下将试样压迫在一起。这种焊接方法一般比其它方法要求更长的周期，但是它可以实现表面面积非常大的部件的接合。只要小心操作，采用此方法对 Amodel 塑料进行焊接可以得到坚固而气密的粘合。

图 88：热板焊接的接头设计



所使用的热板焊接设备是 Bielomatic HV 4806 电焊机，由 Leuze GMBH 公司于 1986 年制造。所使用的试样是棒料，102 mm 长 x 25 mm 宽 x 6 mm 厚。设置焊机以提供 13 mm x 25 mm 的额定搭接剪切焊缝。图 88 显示了焊接接合处的示意图。

利用加热板温度 330°C 和夹紧压力 207 KPa，得到了最佳结果。该试验证实，试样的最佳加热时间是 40 秒，保持时间 20 秒。所得到的粘合强度可与材料本身强度相比，即，在机械性能试验期间，大多数试样在接合处以外的点被破坏。

除非涂了有机硅脱模剂并且让加热板到达热平衡，否则试验板偶尔会粘住加热板。相关试验表明，使用脱模剂没有降低焊接强度。在干燥（0%）和正常（1.8%）水分含量下，所吸收的水分没有显著影响焊接强度，但是在饱和（3.8%）条件下它确实降低了焊接强度。

### 振动焊接

在振动焊接中，利用摩擦在焊接接合处产生热。其中一个待装配的部件保持固定而其配合件以 100 Hz 至 400 Hz 的频率以线性方式振动大约 0.8 mm 至 1.5 mm。振动焊接仅限于平坦部件，但是具有相对快速的周期和低成本。

图 89: 搭接剪切接头构型

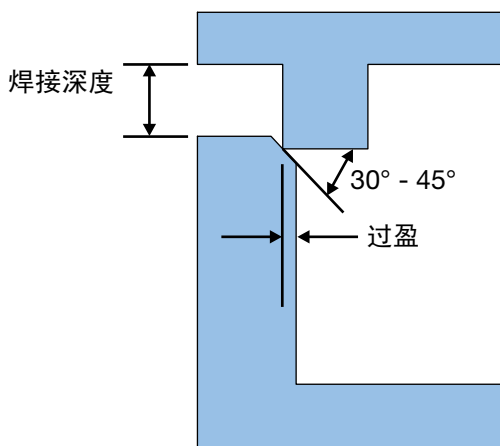
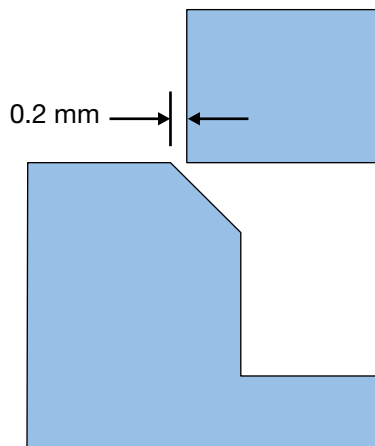


图 90: 剪切接头构型



该试验所用的设备是 Vinton Hydroweld 振动焊接机。此设备在额定频率 240 Hz 下运行。所使用的试样尺寸为 102 mm 长 x 25 mm 宽 x 6 mm 厚，而且它们按 25 x 13 mm 的搭接剪切构型焊接，如图 89 所示。

此方法非常有效，而且容易得到强如母体材料的焊缝。此技术证明对焊接条件相对不敏感，在短至 0.60 秒的焊接时间内以及低至 2.20 MPa 的压力下得到了良好的效果。使用含正常（1.8%）水分的试样得到了最佳的结果。

### 旋转焊接

旋转焊接方法利用摩擦热将两个圆柱形或圆球形配合件连接起来。其中一个配合件在固定夹具中保持固定，另一个配合件倚靠着它快速旋转。两者界面的摩擦使材料温度上升直到发生熔化。当旋转动作停止时，在压力下让它们保持固定直到冷却。显然，此焊接方法只能用于接合处为圆形几何形状的部件。与其它焊接技术相比，使用旋转焊接的好处是其材料在接合处充分扩散。这样可形成气密性的密封，并且可降低对接合处几何形状的公差要求。

使用 Amodel PPA 的旋转焊接接头应结合类似图 90 所示的剪切接头设计。取决于具体的要求，可以结合使用被称为毛刺截除阱的设计细节，以便引导局部产生的熔料流到部件的一侧。

试验所用的旋转焊接设备是 Mechasonic KLN Omega 设备，型号为 SPN-063。这种焊接方法的重要参数一般是角速度（每分钟转数）、法向力和焊接时间。

因为这种特殊设备是惯性型，用于旋转试样的能量仅限于储存在飞轮中的能量。因此，它不是调节速度本身，而是控制储存在飞轮中的能量。更现代化的旋转焊机允许对速度、力、时间以及（在一些情况下）角位置进行控制。

用于旋转焊接试验的试样是具有过盈接头设计的注塑成型杯子。利用此方法得到了优良的焊接强度。

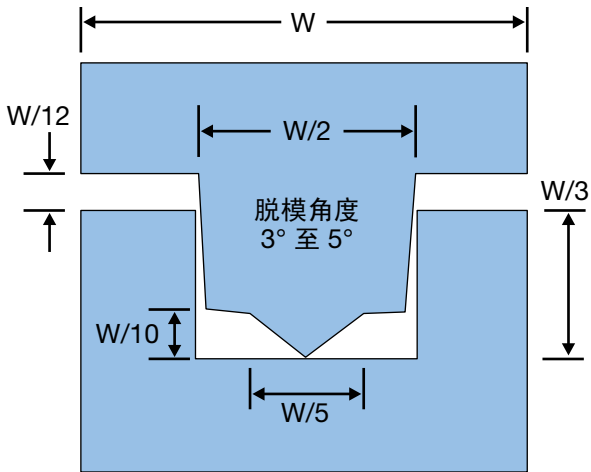
因为其焊接条件设置是设备特定的，所以对它们设置起点条件一般没有什么用。在试验中观察到，当顶锻压力和角速度增加时，焊接强度会相应增加到一个最大值，此后当压力或速度进一步增加时焊接强度反而会下降。这些参数值全然取决于部件的几何形状，因此不在此讨论。对所观察到现象的解释是：当用过高的顶锻压力来形成焊缝时，旋转运动过快停止，没有足够的聚合物熔化并流动来产生完好的接合处。在另一个极端情况下，即高角速度和低顶锻压力下，顶部部件基本上就在底部部件的顶部自由旋转，没有强迫进行过盈配合。因此，为了保证良好的接合，必须找到即发生熔化又有顶锻的焊接条件。

水分含量没有显著影响其焊接强度。

### 超声焊接

在热塑性材料的超声焊接中，高频（10 至 40 KHz）机械振动通过其中一个配合件传送至接合界面，而装配的另一半保持固定。摩擦和外加力共同导致接合界面处的温度上升到材料的熔化温度。

图 91: 典型的能量引导接头构型



在撤除超声能量输入后保持法向力，以实现机械粘合或焊接。

超声焊接具有超高速的优势，非常适合于大量生产。使用此方法，焊接的一致性和质量都很高；如果采用小公差部件，甚至可以得到气密性的密封。

除了超声焊接设备以外，每种装配必须使用定制的焊头，以便为给定的部件构型集中超声能量。

使用 Amodel 材料时，建议采用具有能量引导的接头设计，以确保在接合处局部熔化。图 91 显示了典型的接头设计。使用剪切接头设计的过盈量建议最小 0.2 mm。

试验所用的超声焊机是 Branson 910 M 型微机控制设备。此设备可调节施加到试样上的超声能量大小。为了试验目的，向近距离和远距离焊头馈送来自变幅器的输出。所使用的试样类似于旋转焊接评估试验所用的注塑成型杯。由铝夹具夹持部件就位，并且使用对焊接头构型。

使用近距离焊头 [从焊头至焊接接合处的实测距离为 6 mm 或者更小] 所产生的焊缝很好。使用远距离焊头位置产生的焊缝不牢固（为近距离所达到强度的  $\frac{1}{3}$ ），可能没有什么用处。产生合格焊接强度的条件是：750 J 的焊接能量和 4.3 MPa 的压力。

## 粘合剂粘合

Amodel A-1133 HS 塑料的注塑成型试样与环氧树脂和聚氨酯粘合剂均粘合。这两种粘合剂均由 Lord 公司提供。环氧树脂是按商品名称 Lord® 305-1/305-2 销售的双组份粘合剂，而聚氨酯是名为 Lord® 7500 A/C 的双组份系统。

为 Lord® 305-1/305-2 准备试样时，所采用的固化周期为 120°C 温度下 30 分钟，然后在室温下老化 72 小时。Lord® 7500 A/C 粘合剂的固化周期为 90°C 温度下 10 分钟，然后在室温下老化 72 小时。

在低温、室温和高温下测试了这两种材料的粘合强度。为了评估潮湿老化的影响，将试样在 38°C 和 100% 相对湿度下处理 14 天。一些试样在处理后立即测试；其它试样在处理 24 小时内测试。

根据 GM 技术标准 #9751P，用侧面冲击试验仪测定冲击性能。按照 ASTM D1002 方法，使用 13 mm/min 的提拉速度，在 Instron 试验机上测量搭接剪切值。

图 92 和 93 显示了相关的结果。一般而言，环氧粘合剂比聚氨酯表现稍微好些。Amodel 塑料不建议使用丙烯酸粘合剂。

图 92: 搭接剪切粘合强度

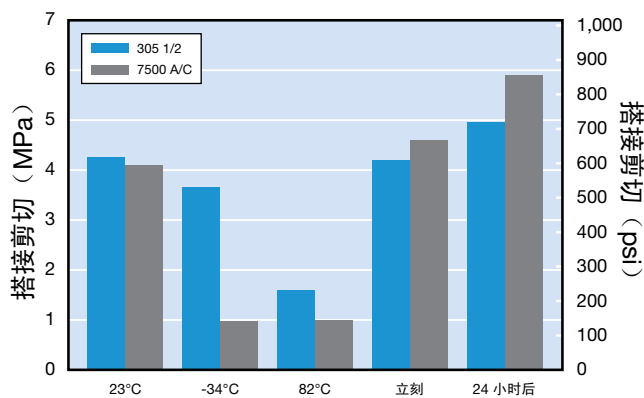


图 93: 侧面冲击粘合强度

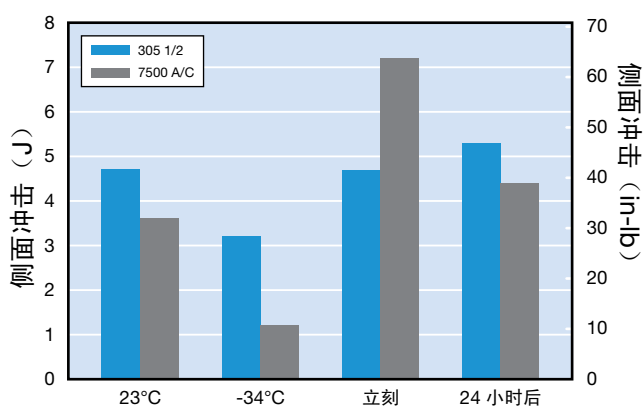


表 49: 适合的汽车底漆

供应商	底漆	说明
BASF	U04KD004	溶剂, 柔性
	U04AD041	溶剂, 刚性
	U36AD001	水基
PPG	RPP9870	溶剂, 高含固量
	AHAP9470R	溶剂, 一道
Red Spot	AE146	溶剂, 清漆
Siebert-Oxidermo	UBP9604	溶剂, 高含固量
	BP2024	溶剂
Sherwin-Williams	E75BC2301	溶剂
	E75AC6	溶剂

## 涂覆和表面光泽性

### 真空金属喷镀

真空金属喷镀涉及金属在真空室中蒸发并随后凝结到基材上。大多数工业应用中使用的金属是铝。当最终使用要求主要是装饰时, 其基材通常会用称为底涂和面涂的两道有机涂层进行处理, 金属层就沉积在这两道涂层的中间。底涂的主要作用是在注塑的塑料部件上产生光滑表面, 以便金属层具有最大光泽。底涂的辅助功能是使金属层与基材的附着力达到最大。对于某些易于在真空中脱气的基材, 底涂也为其提供了一个阻挡层。面涂的功能是保护金属层, 防止其发生物理、氧化或化学变质。

与 Amodel 塑料相容的底涂包括 Pearl Paints 公司 (<http://www.pearlpaints.com>) 的 #VB-4315、#VB-4774 和 #VB-4836-1。与 Amodel 塑料相容的面涂包括 #VT 4316-2 (也是由 Pearl Paints 生产)。

因为在此过程中需要蒸发金属材料, 所以真空室内预期会是高温的。部件的喷镀速度由基材的热学特性所决定。因此, 当要求对部件进行金属喷镀时, 具有高的热变形温度的 Amodel 塑料是最佳的候选材料, 因为其可以实现比较快的周期。

表 50: 激光打标设备供应商

公司	网址
Videojet Systems International, Inc.	<a href="http://www.videojet.com">www.videojet.com</a>
Panasonic Electric Works Corporation	<a href="http://www.panasonic-electric-works.co.uk">www.panasonic-electric-works.co.uk</a>
ID Technology	<a href="http://www.idtechnology.com">www.idtechnology.com</a>

表 51: 喷墨打印设备供应商

公司	网址
Videojet Systems International, Inc.	www.videojet.com
ID Technology	www.idtechnology.com

### 激光打标

利用市场上可买到的激光打标系统可以在 Amodel 塑料上得到持久的高对比度标记。取决于所用激光系统的波长和强度，打标外观范围从漂白表面到镂空标记。

无法为所有的 Amodel PPA 塑料规定一组激光打标条件。各操作参数必须依据具体应用和所要打标的部件进行调整。

表 50 所列的制造商可提供适合于对 Amodel PPA 塑料进行打标的设备。

### 喷墨打印

喷墨打印可在任何颜色的 Amodel PPA 塑料基材上打印高清晰标记。利用喷墨系统所产生标记的持久性取决于标记部件要暴露的环境以及用于制作标记的墨水类型。在许多情况下，标记的持久性会是令人满意的。

所需设备会根据所用墨水的类型、产生标记的速度以及所要求标记的尺寸而变化。市场上可买到各种各样的设备和墨水。表 51 列出了两个货源。

### 上漆

我们评估了多个牌号的 Amodel PPA 塑料与各种汽车油漆系统的相容性。这些牌号包括了具有代表性的玻纤增强、矿物增强和矿物/玻纤增强复合物。

与所有塑料基材一样，底漆系统是关键性的。用异丙醇清洗试样，然后涂底漆，并按照制造商说明书固化。对试样涂漆并按照 GM4465P 技术标准在水/烟雾/潮湿条件下处理 96 小时后，进行了胶带附着力（GM9071P，方法 A）和十字划线附着力（GM9071P，方法 B）以及抗石击仪抗碎石冲击性（GM9508P 和 SAEJ400）方面的测试。表 49 列出了可满足或超过所有试验要求并在大多数上漆的汽车应用中表现出满意的涂漆性能的底漆。

### 两次注塑

这是一种由 Bryant 橡胶公司开发的工艺，可实现 Amodel 材料与软触摸硅橡胶的两次注塑。硅橡胶材料是制作密封面、触感握把以及隔音结构细节的理想材料。虽然用硅橡胶进行两次注塑不是一个新概念，但是这些设计细节一般表示为对刚性基材的附着力差，即使使用底漆或底涂工艺也一样。通过使用 Bryant 的精选无底漆粘合聚合物系统（SPAPS 技术）而实现的附着力和抗剥强度是独一无二的，比以前获得的任何结果都好。事实上，硅橡胶的内聚破坏是 SPAPS 工艺过程的特征。

Amodel 塑料由于在高温下具有优良的特性，因此很适合与 SPAPS 硅橡胶一起使用。这样可使有机硅固化过程的周期缩短，从而提高了综合经济效益。有机硅材料比其它弹性体材料更匹配 Amodel 塑料的长期热稳定性，保证了在严酷环境中的长期性能。

SPAPS 硅橡胶具有其它常见硅橡胶所具有的全部特性。该材料天然透明，并且可在注塑过程中用液体着色剂着色，而且即使长期暴露在紫外线下也具有优良的色牢度。其肖氏 A 标尺的硬度等级为 10 到 85。其耐化学性类似于其它硅橡胶材料。由于该类材料具有不起反应特性，因此其制成部件可得到诸如 NSF、FDA 和 USP 的认可。

有关两次注塑工艺的更多信息，请浏览 Bryant 橡胶公司网站 <http://www.bryantrubber.com/>。



上漆	85	机械特性	19
与 PA 6,6 相比的尺寸变化	41	机械紧固件	74
两次注塑	85	机械设计	64
二次加工	81	比热	46
产品资料	4	水分吸收的意义	38
产品选择	5	水分对强度和刚性的影响	39
介电击穿电压和强度 - ASTM D149	53	水分的影响	3, 38
介电常数 - ASTM D150	54	水平燃烧试验	51
伊佐德冲击特性的比较	28	泊松比	30
伊佐德 (悬臂梁) 冲击	28	注塑螺纹	76
伽马辐射	62	涂覆和表面光泽性	84
体积电阻率 - ASTM D257	53	激光打标	85
使用典型应力/应变方程式	66	烟气密度试验 (NBS)	51
典型特性	6	热丝点燃 (HWI) - ASTM D3874	56
冲击强度	27	热变形温度 - HDT	42
凸台	79	热应力的考虑	71
剪切特性	26	热板焊接	81
加强筋结构	79	热特性	42
加筋以维持刚性	68	热稳定性	47
加速水分处理	6	热老化	47
化学	1	热重分析 (TGA)	47
化学相容性	62	焊接	81
压缩强度和压缩模量	27	燃烧特性	50
发光金属丝试验	50	特性指标	6
可承受持续载荷的设计	69	由于吸水造成的尺寸变化	40
同步应力/应变曲线	34	由于蠕变造成的螺栓紧固性丧失	72
吸水和玻璃转化温度 (T <sub>g</sub> )	38	电特性	53
吸水量	39	直悬臂梁方程式	76
命名法	5	相对漏电起痕指数 (CTI) - ASTM D3638	55
咬边	80	相对热指数 (UL)	48
喷墨打印	85	真空金属喷镀	84
垂直燃烧试验	51, 52	短期机械特性	19
增强纤维取向的考虑	67	等同部件刚性的设计	68
壁厚	78	粘合剂粘合	83
壁厚变化	78	线性热膨胀系数	43
大电流电弧点燃 (HAI)	56	结晶性	2
容许应力的计算 - 蠕变断裂	70	耐化学性	58
容许过盈量的计算	73	耐环境性	58
导热率	45	耐疲劳性	36
应力的计算	67	脱模角度	78
应力集中的考虑	71	自动攻丝螺钉	74
抗高压电弧点燃性	56	落锤冲击特性	30
抽芯	79	螺纹嵌入件	75
拉伸特性	19	蠕变	31
拉伸特性的比较	20	表面电阻率 - ASTM D257	53
拉伸蠕变	32	装配件的设计	73
拉伸蠕变断裂	34	设计信息	63
拔出力的计算	75	设计计算的局限性	67
按照 UL 94 的垂直可燃性	51	试验方法	19, 23
挠曲特性	23	超声焊接	82
挠曲特性比较	24	过盈配合或压配	73
挠曲的计算	67, 69	配合注塑的设计	78
挠曲蠕变	35	采用搭扣配合的设计	76
振动焊接	81	锥形悬臂梁方程式	77
损耗因子 - ASTM D150	54	长期机械特性	31
改变截面厚度	68	高压、低电流、干态耐电弧性 - ASTM D495	55
旋转焊接	82	高压电弧起痕率 (HVTR)	55

高温下的挠曲特性 . . . . . .24

**A**

A-1000 GR 牌号在高温下的拉伸特性 . . . . . .22  
Amodel 塑料特性表 . . . . . .4  
Amodel 塑料的 UL 746A 特性 . . . . . .57  
Amodel 塑料的变形温度值 . . . . . .43  
Amodel 塑料的疲劳强度. . . . . .37  
Amodel 高性能聚对苯二酰胺 (PPA) 塑料 . . . . . .1

**G**

GR PPA 的拉伸特性与温度的关系. . . . . .21

**U**

UL 746A 短期特性 . . . . . .54  
UL 相对热指数. . . . . .57







## 特种聚合物

### 全球总部

**SpecialtyPolymers.EMEA@solvay.com**

Viale Lombardia, 20  
20021 Bollate (MI), Italy

### 美洲总部

**SpecialtyPolymers.Americas@solvay.com**

4500 McGinnis Ferry Road  
Alpharetta, GA 30005, USA

### 亚洲总部

**SpecialtyPolymers.Asia@solvay.com**

No.3966 Jindu Road  
Shanghai, China 201108  
上海市金都路3966号  
邮编: 201108

[www.solvay.com](http://www.solvay.com)

发送电子邮件或者联系您的销售代表, 均可获取相应的安全数据表(SDS)。在使用我公司的任何产品之前, 请您务必参考相应的安全数据表。

苏威特种聚合物公司及其子公司对于与该产品或该产品使用方面的有关信息, 无论是明示或者是暗含的, 包括适销性或适用性, 均不予以承担任何保证或者接受任何责任义务。某些适用法律、法规, 或者国家/国际标准可能会对苏威产品的某些建议应用领域进行规范或者限制。并且, 在苏威建议的某些情况中, 包括食品/饮料、水处理、医疗、制药以及个人护理等方面, 也可能对苏威产品进行管制和限制。只有指定作为 Solviva® 的生物材料类的产品才可用作植入式医疗器械的备选产品; 苏威特种聚合物公司不允许也不赞成在任何植入式器材中使用任何其他产品。产品用户必须最终确认所有信息或者材料在拟用于任何方面时是否适用, 是否符合相关法律的规定, 使用方式是否得当, 以及是否侵犯了任何专利权。本信息供专业技术人员酌情使用, 并自行承担相关风险, 并且与该产品结合任何其他物质或者任何其他工艺的使用无关。本文件未授予使用任何专利或者其他任何所有权的许可。

所有的商标或者注册商标均归属于组成苏威集团的各公司或者各所有者拥有。  
© 2014, Solvay Specialty Polymers. All rights reserved. D 2002 | R 03/2014 | Version 4.7