

1. 制法及品牌号

1.1 制法

所谓聚碳酸酯，一般为 2 价醇化合物和碳酸缩聚所形成的聚酯。

虽然人们对这种聚酯以往就有认知，但是它们都没有足够的聚合度同时熔点偏低，而未能成为受工业关注的树脂。直到 1956 年，由 Dr. Schnell 发表通过使用芳香族系作为 2 价醇化合物获得优秀耐热性的热可塑性树脂的结果后，聚碳酸酯才一举登上了工业界的大舞台。

关于制法，一般以下两种方法为人熟知。

其一是界面法，又称溶液法，通过将光气通入 2 价醇化合物的碱性水溶液与有机溶剂（例如二氯甲烷）的悬浊液而得到高重合度的聚碳酸酯。这种方法具有可自由制造极高重合度树脂的优点，但是相对地需要将溶解在有机溶剂中的树脂进行分离的过程。

第二种方法为酯交换法，又称熔融法，通过将 2 价醇化合物与聚碳酸二醇酯化合物在熔融状态进行缩合而得到聚碳酸酯。该方法具有可以以熔融物状态获取产品的优点，但是难以获得高分子量的产物。

2. 物理参数

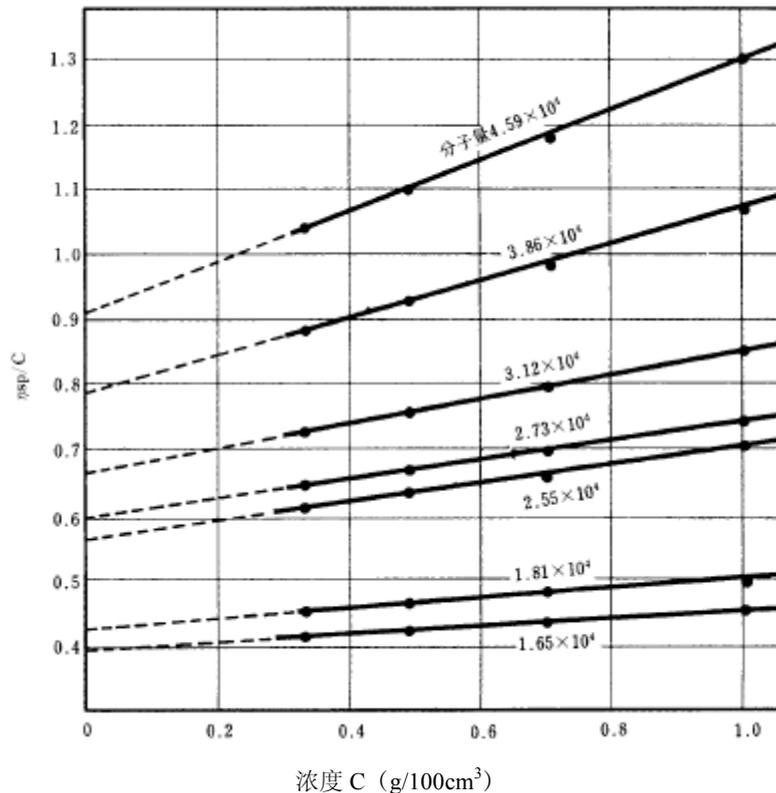
2.1 平均分子量

高分子的分子量通常具有在一定范围分布的特点，所以只能获得其平均值。

因此平均分子量会根据其平均的方法而得到不同的结果。例如，重量平均分子量 (M_w)，数平均分子量 (M_n)，粘度平均分子量 (M_v) 等，一般它们间的关系为： $M_n < M_v < M_w$

高分子的性质例如机械强度、熔融粘度等，与其平均分子量有着密不可分的关系，所以首先了解树脂的平均分子量是至关重要的。

Iupilon/NOVAREX 的分子量测定是通过粘度法来进行。其方法如下所示。



2.1-1 图 Iupilon/NOVAREX 的浓度—还原粘度关系图
(溶媒为二氯甲烷，温度 20°C)

准确称取 1 g 树脂于 100cm³ 二氯甲烷中均一溶解后，通过奥氏粘度计测定其比粘度 η_{sp} 。进而改变浓度，以同样方法测定比粘度，将各浓度与 c 、 η_{sp}/c 构筑曲线，求得

$$[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} \eta_{sp}/c \quad (2.1-1)$$

在此 $[\eta]$ 被称为极限粘度， $[\eta]$ 与平均分子量的关系由 Schnell 可知为

$$[\eta] = 1.23 \times 10^{-4} M^{0.83} \quad (2.1-2)$$

Iupilon/NOVAREX 的 η_{sp}/c 与 c 的关系如 2.1-1 图所示。

$$\eta_{sp}/c = [\eta] + k' [\eta]^2 c \quad (2.1-3)$$

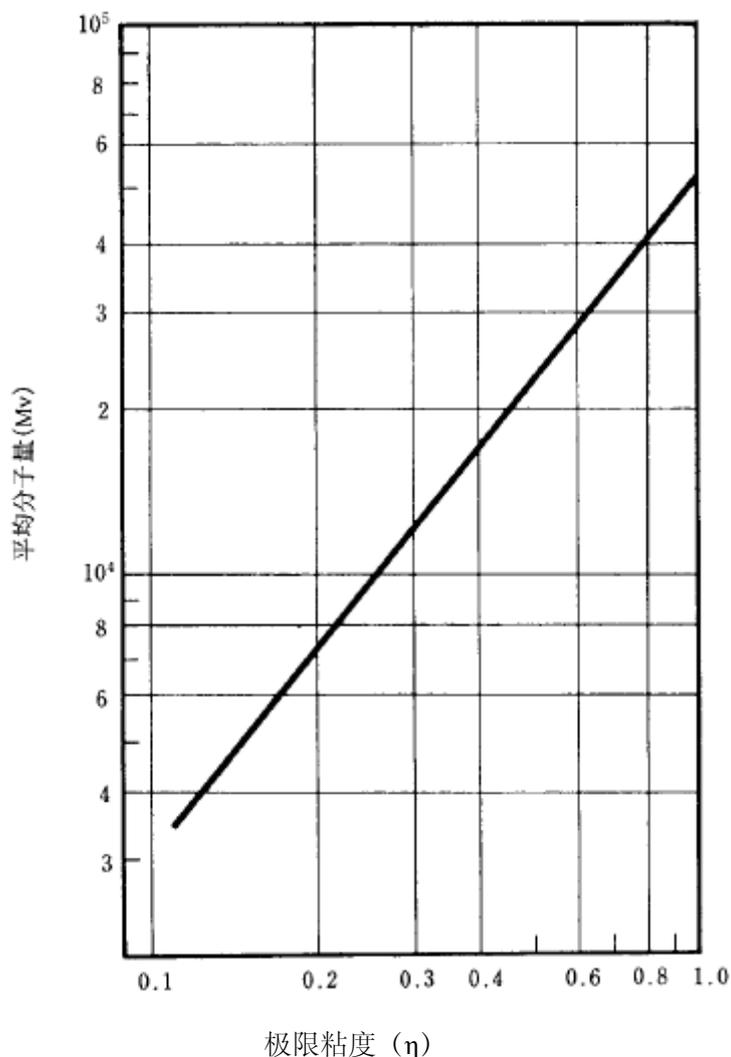
从图中各直线的关系得， k' 是与分子量无关的常数。

$$k' = 0.45$$

根据 2.1-3 式，因 k' 已判明，如通过某浓度 c 测定 η_{sp}/c ，

通过计算可以求得 $[\eta]$ 。该方法为一点测定法。

将 2.1-2 式图示为，2.1-2 图所示。



2.1-2 图 极限粘度—平均分子量关系图

关于聚碳酸酯的溶液物性，已有多篇报告提出，总结其中 $[\eta]$ 与各种分子量的关系如 2.1-1 表所示。

2.1-1 表 $[\eta]$ 与平均分子量的关系式

测定者	温度	测定方法	溶媒	关系式
H.Schnell	20°C	渗透压法	MC	$[\eta] = 1.23 \times 10^{-4} M_n^{0.83}$
C.V.Schulz	20°C	超离心分离法	THF	} $[\eta] = 1.11 \times 10^{-2} M_w^{0.82}$
	"	"	MC	
	"	散射法	MC	
General Electric	25°C	散射法	二噁烷	$[\eta] = 5.54 \times 10^{-4} M_w^{0.67}$
S.H.Merrill		沸点上升法	氯苯	$[\eta] = 5.7 \times 10^{-5} M_n^{1.01}$
A.Chirico	20°C	散射法	氯仿	$[\eta] = 0.277 \times M_w^{0.5}$
甲田		冰点下降法	二噁烷	$[\eta] = 1.33 \times 10^{-4} M_n^{0.96}$
寺町	20°C	散射法	二噁烷	$[\eta] = 9.15 \times 10^{-4} M_w^{0.6}$
	"	"	THF	$[\eta] = 1.0 \times 10^{-1} M_w^{0.57}$
	"	渗透压法	"	$[\eta] = 2.3 \times 10^{-2} M_w^{0.76}$
G.Sitaramaiah	25°C	散射法	EC	$[\eta] = 2.04 \times 10^{-4} M_w^{0.76}$
	"	"	TCE	$[\eta] = 1.34 \times 10^{-4} M_w^{0.82}$
	"	"	THF	$[\eta] = 3.89 \times 10^{-4} M_w^{0.70}$
	"	"	氯仿	$[\eta] = 1.20 \times 10^{-4} M_w^{0.82}$

注MC : 二氯甲烷, THF: 四氢呋喃

EC : 二氯乙烷, TCE: 四氯乙烷

2.2 分子量分布

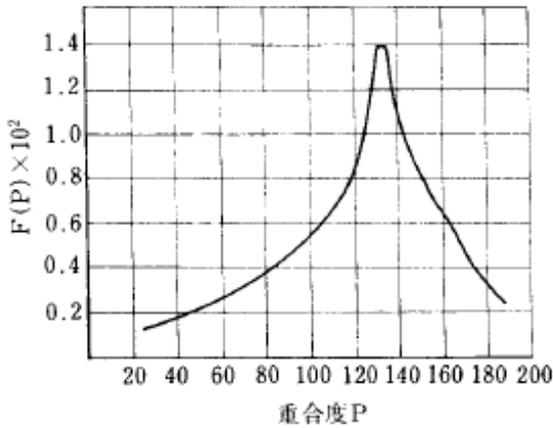
在知道平均分子量之后，接下来需要了解其分布状况的平均值。即使是相同的平均分子量，因其分布不同而树脂的性能也会不同。

分子量分布有各种测定方法，其原理为利用不同分子量下不同的溶解度、沉降速度、附着性等性质，按照各分子量进行（实际具有一定的范围）测定，然后分别获取其重量%。

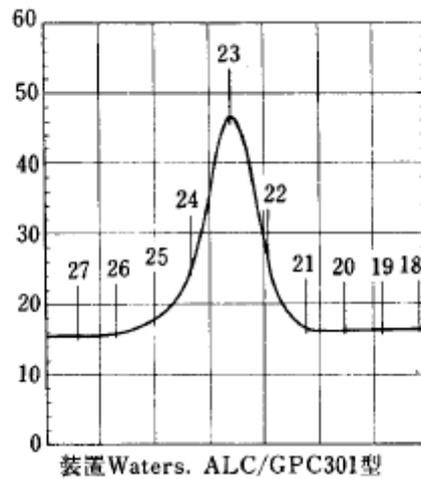
将 Iupilon Film（分子量 3.2×10^4 ，膜厚 0.08mm）用酮 - 二氯甲烷混合溶媒进行逐次溶解分离后获得的结果如 2.2-1 图所示。

图中，所谓聚合度是指以分子量除以单体分子量（=254）的值。

另，通过 GPC 法对 Iupilon 的分子量分布测定结果如 2.2-2 图所示。



2·2-1 图 Iupilon 的分子量分布



试料 Iupilon 2.5mg

浓度 1/8 w/v% 注入时间 120sec

溶媒 THF 谱柱温度 22°C

流速 1.0 cm³/min 谱柱 10⁵, 10⁴, 10³, 10², nm

STYRAGEL

2·2-2 图 以 GPC 测得 Iupilon 的分子量分布

由图可知 Iupilon 的分子量分布非常均整，而且范围较狭窄， $U (M_w/M_n - 1)$ 值在 1~2 的范围内。

2.3 比重及结晶性

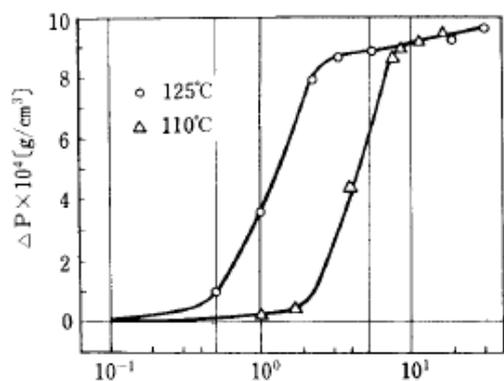
Iupilon/NOVAREX 的比重，如 2.3-1 表所示。

2.3-1 表

300°C	1.06	射出成形品	1.19
250°C	1.10	粒料	1.19
完全结晶	1.30	压缩成形品	1.19
流涎薄膜	1.22		

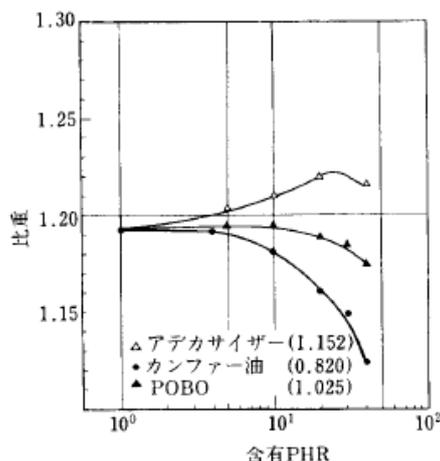
聚碳酸酯在 T_g (玻璃化转移点) 以下温度进行热处理时会表现为硬化现象, 如 2.3-3 图所示在 X 射线下未出现任何变化, 可以认为不产生结晶化。但是, 最近被指出在电子显微镜、示差热分析、比重测定等各种测定下, 至少具有生成局部的高充填密度区域 (未发展为结晶, 但可以认为具有相当高排列) 的现象。2.3-1 图显示了由热处理导致的密度变化。

另外, 在 Iupilon 中添加增塑剂时的比重变化, 如 2.3-2 图所示。



热处理时间 (hrs)

2.3-1 图 热处理引起的密度变化

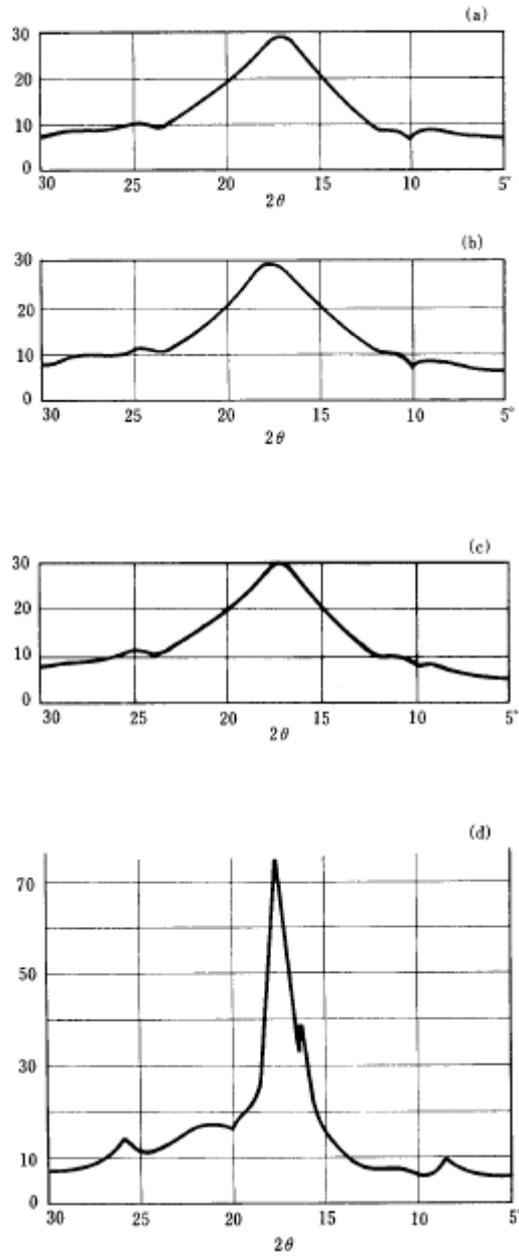


2.3-2 图 添加可塑剂引起的比重变化

2.3-2 表 各种塑料的比重

聚合物	平均比重	聚合物	平均比重
聚四氟乙烯	2.2	高冲击聚苯乙烯 (HIPS)	1.06
聚氯氟乙烯	2.1	聚苯乙烯	1.06
聚甲醛	1.4	聚苯醚 (PPE)	1.06
橡胶改性聚氯乙烯	1.35	高冲击 ABS	1.05
醋酸纤维素	1.3	ABS	1.05
聚砒	1.24	高密度聚乙烯	0.95
醋酸丁酸纤维素	1.2	中密度聚乙烯	0.93
醋酸丙酸纤维素	1.2	低密度聚乙烯	0.92
聚碳酸酯	1.2	聚丙烯	0.90
尼龙	1.14		
乙基纤维素	1.13	加玻纤尼龙	1.33
亚克力 (PMMA)	1.12	加玻纤聚苯乙烯	1.3

通常 Iupilon/NOVAREX 很难形成结晶化。如 2.3-3 图所示, 结晶化的最适温度在 190°C 左右, 在此温度下的结晶化诱导时间需要 130~170 小时, 所能达成的结晶化程度约为 30% 左右。如 2.3-4 图的关系所示, 从图中可以发现分子量对其具有明显的影响。同时, 处理温度的影响如 2.3-5 图所示。



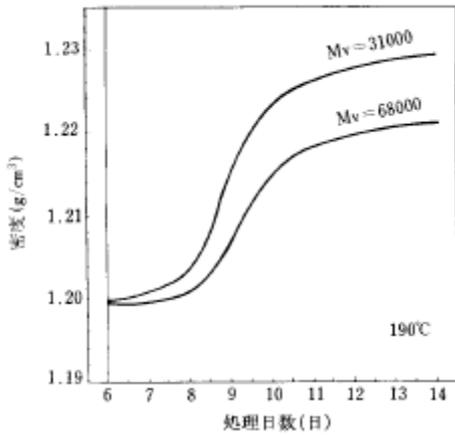
a) 280°C 熔融状态 c) 130°C 20日热处理后
 b) 20°C 玻璃化状态 d) 190°C 8日热处理后

2.3-3 图 Iupilon 的 X 射线反射强度

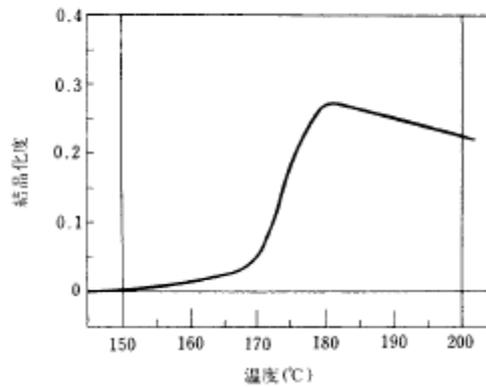
在 Iupilon 中添加适当有机物可以缩短其结晶化的诱导时间。

如 2.3-6 图所示, 含有 10%二苯醚的试料的诱导时间约为 5 小时左右。但是, 分子量超过 5.0×10^4 以上的情况下, 即使在 190°C 20hrs, 也不认为发生结晶。而通过 2.3-7 图可知, 在此试料中添加少量成核剂可以令结晶化以更快速度发生。这种结晶化的倾向如 2.3-8 图所示受到分子量的影响, 在 $Mv=4.0 \times 10^4$ 以上的情况下具有急剧下降的趋势。

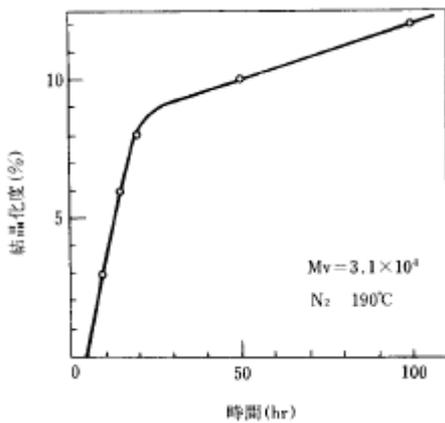
同样的结晶化现象在热处理以外, 例如通过制造流涎薄膜、由稀薄溶液沉淀、对膨润剂的渗透等时也会发生。2.3-9 图表示的是以甲苯浸渍各种分子量的 Iupilon 时的结晶化度, 在 $Mv=4.0 \times 10^4$ 以上时, 最后所能到达的结晶化度并没有太大变化。同样的膨润剂有丙酮、甲醛、醚类、酯类。



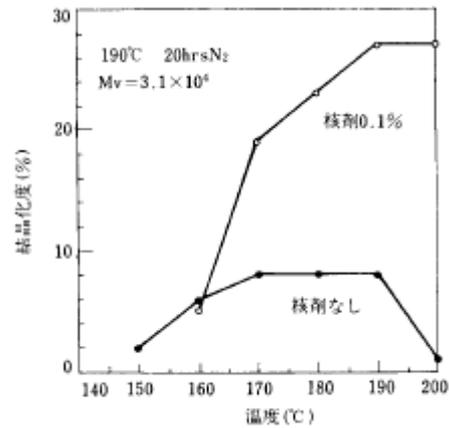
2.3-4 图 热处理引起的密度变化



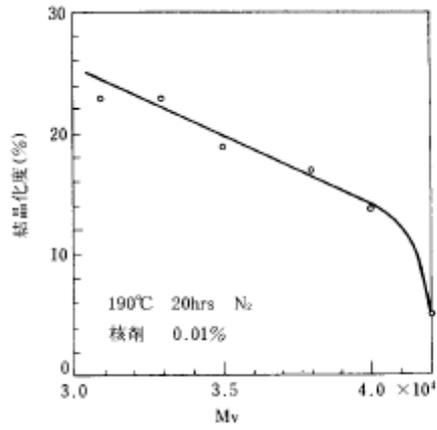
2.3-5 图 处理温度与结晶化度的关系



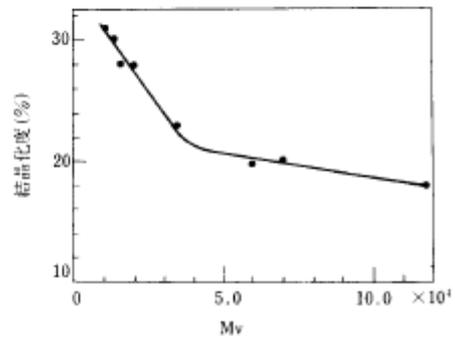
2.3-6 图 含有二苯醚的试料
结晶化度



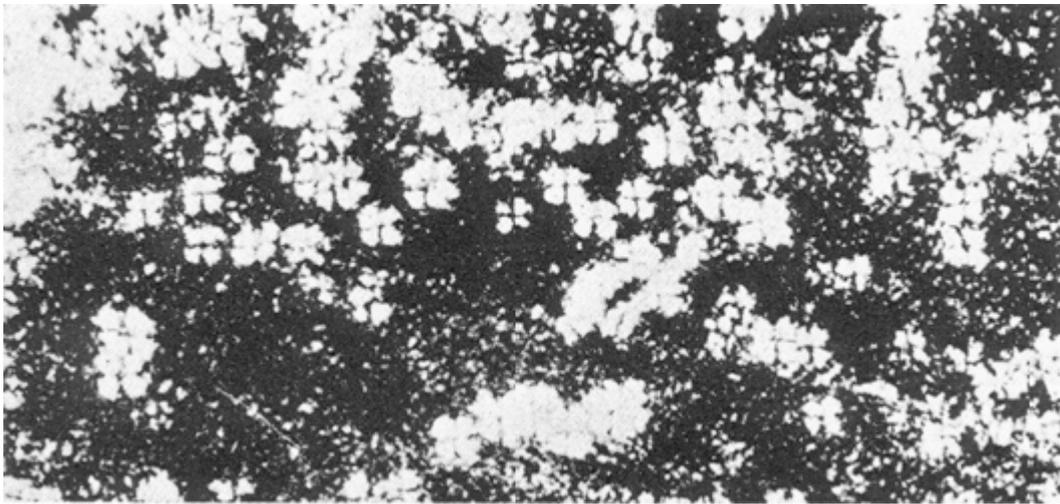
2.3-7 图 含有二苯醚的试料
结晶化度与处理温度的关系



2·3-8 图 含有二苯醚的试料
结晶化度的分子量依存性



2·3-9 图 以甲苯浸渍后试料的
饱和结晶化度



2.3-10 图 Iupilon/NOVAREX 的球晶 (偏光显微镜照片)

Iupilon/NOVAREX 的结晶几乎在任何情况下都具有 2.3-10 图所示的球晶结构。

Iupilon/NOVAREX 成形材料事实上为非晶质, 并且可以认为在实际成形工程以及使用环境中都不会因结晶化而导致性能的变化。

2.4 熔融粘度

与其他树脂相比，Iupilon/NOVAREX 的熔融粘度较高。

而且，熔融粘度会受到压力及温度的影响而改变，Iupilon/NOVAREX 的情况下，相对压力，温度所产生影响更大。

通过高化流动度试验测定的结果如 2.4-1 图、2.4-2 图、2.4-3 图、2.4-4 图所示。

由 2.4-2 图求取直线的斜率，Iupilon/NOVAREX 的斜率为 -0.2，与植物纤维、聚苯乙烯、聚乙烯相比斜率非常小。即 Iupilon/NOVAREX 的熔融粘度几乎不受压力的影响。所以，Iupilon/NOVAREX 在高温下可以视为牛顿液体来获得实际运用。

由 2.4-4 图中直线斜率求取流动活化能量，Iupilon/NOVAREX 为 26~29kcal/mol，仅次于植物纤维的 47kcal/mol 较大。因此可知，通过温度升高引起的熔融粘度的下降非常显著。

Iupilon/NOVAREX 的分子量与熔融粘度的关系通过 Flory 关系式整理后如 2.4-5 图所示，通过该直线的斜率与纵轴切线交点距离求取 Flory 关系式常数，可获得关系式如下

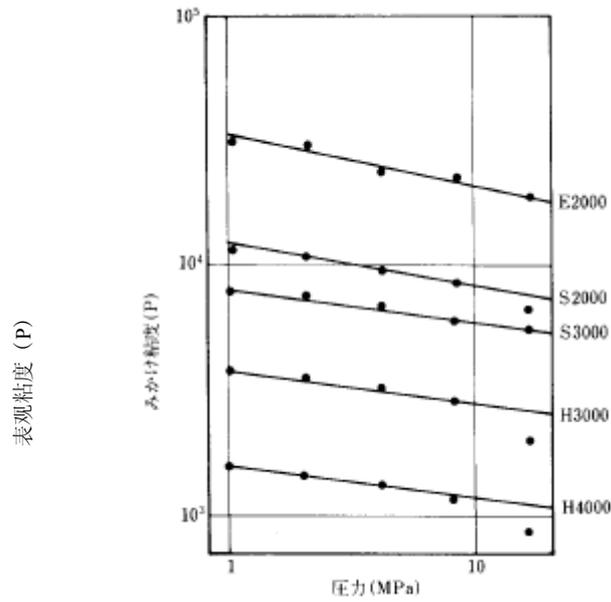
$$\log Q = 2.39 - 0.023M^{1/2}$$

再通过 Fox 关系式 $\log \eta = a \log Mw - B$ 进行整理后得到如 2.4-1 表所示结果。

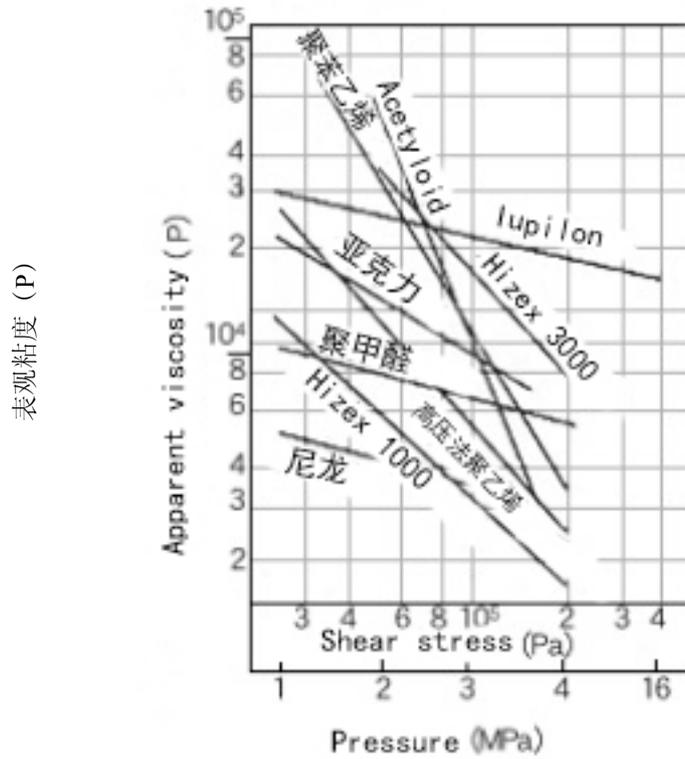
2.4-1 表 熔融粘度与分子量的关系

测定者	试料	测定条件		α	B
		τ	温度		
J.Bojarski	分别试料 U=1.2~1.3	0	280°C	5.52	20.6
		10^4	"	5.15	19.0
		10^5	"	4.46	16.0
		2×10^5	"	4.27	15.2
J.Bojarski	未分别	0	280°C	3.02	9.6
G.F.Baumann	未分别	2.6×10^5	302°C	3.23	10.73
三菱瓦斯化学(株)	未分别	40×10^5	280°C	4.5	15.9

τ 的单位为 dPa (dyne/cm²)

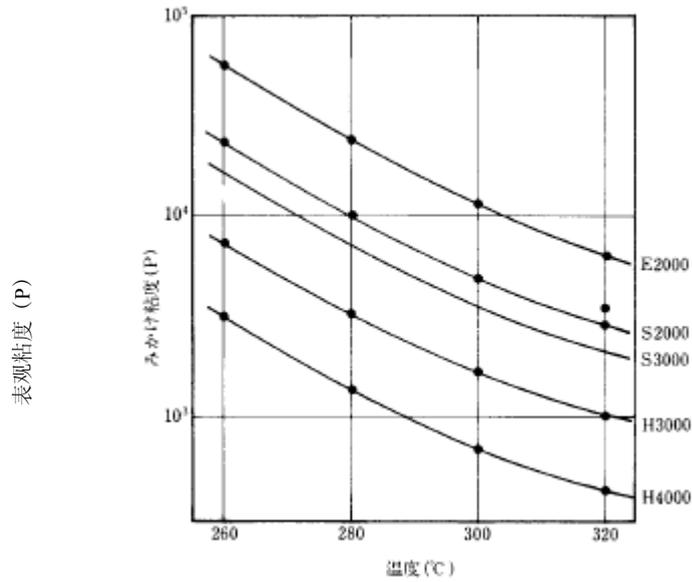


2.4-1 图 Iupilon 的熔融粘度与压力的关系
(高化流动测试仪, 温度 280°C, 喷嘴 $\phi 1 \times 10 \text{mmL}$)

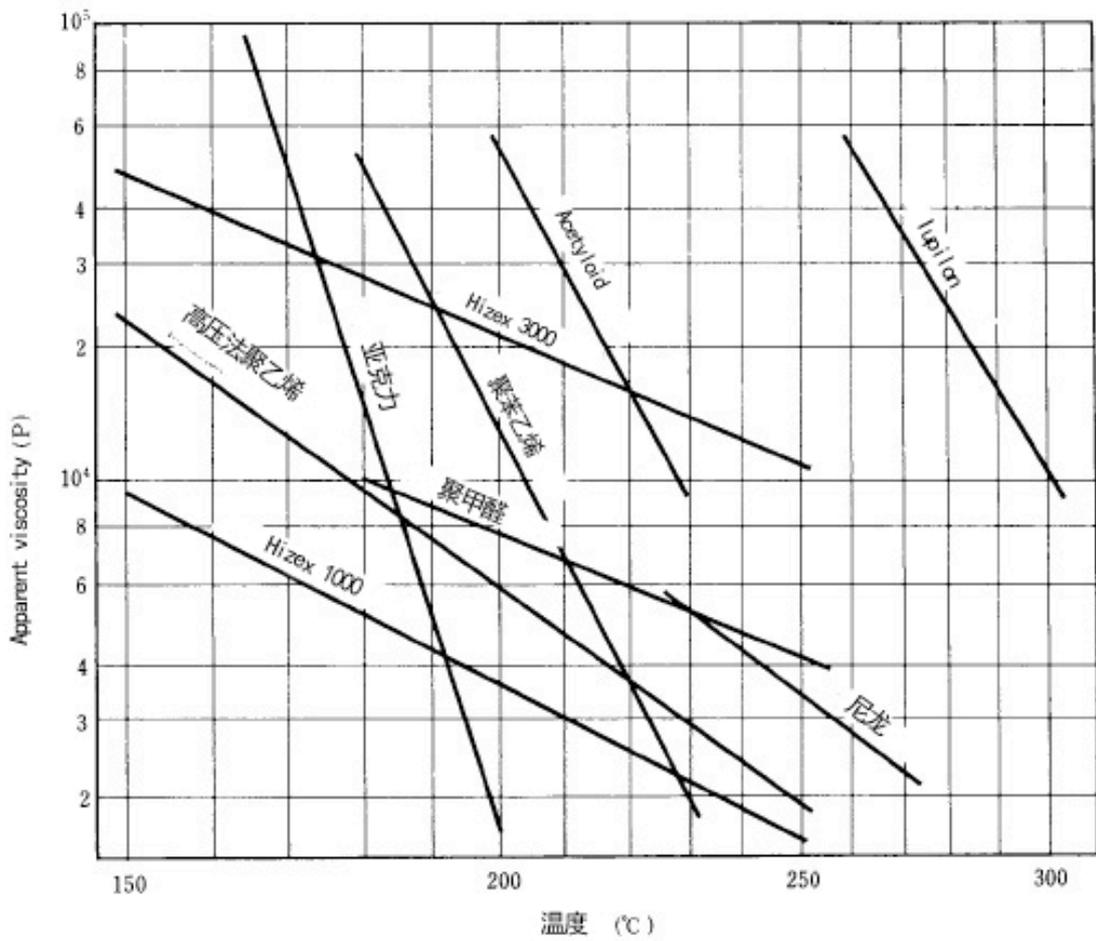


2.4-2 图 各种树脂的熔融粘度与压力的关系

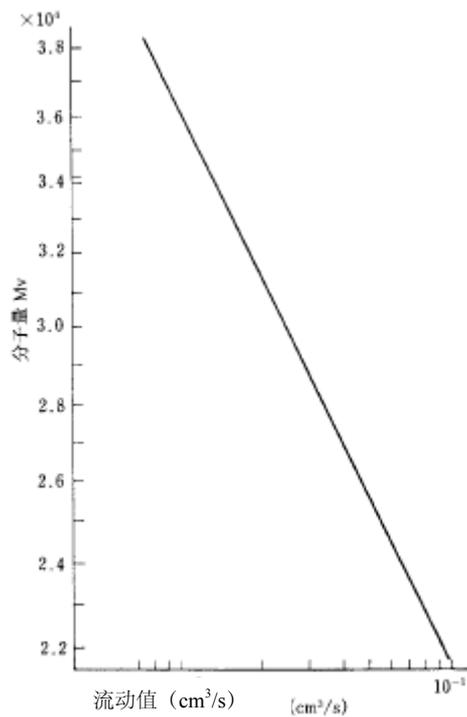
(高化流动测试仪, 喷嘴 $\phi 1 \times 10 \text{mmL}$
温度 / Iupilon 280°C, ACETYLOID 180°C, 尼龙、聚丙烯酸酯 230°C 其他全部为 200°C)



2.4-3 图 Iupilon 的熔融粘度与温度的关系
(高化流动测试仪, 压力 3.9MPa, 喷嘴 $\phi 1 \times 10\text{mmL}$)



2.4-4 图 各种树脂的熔融粘度与温度的关系
(高化流动测试仪, 喷嘴 $\phi 1 \times 10\text{mmL}$, 压力除尼龙为 0.98MPa 以外, 其他为 3.9MPa)



2.4-5 图 Iupilon/NOVAREX 分子量与流动值的关系
 (高化流动测试仪, 喷嘴 $\phi 1 \times 10 \text{mmL}$, 压力 15.7MPa (160kgf/cm²), 温度 280°C))

我们使用「流动值」作为表现 Iupilon/NOVAREX 的成形性的尺度,「流动值」可以通过高化流动测试仪进行测定,测定条件为 280°C, 15.7MPa (160kgf/cm²), 喷嘴 $\phi 1 \times 10 \text{mmL}$ 。测定值单位 cm³/s。该树脂可以通过通常方法测得的熔融粘度进行计算,所以实际使用上此「流动值」足以作为比较值。「流动值」的表示方法为,如测定值为 $3.0 \times 10^{-2} \text{cm}^3/\text{s}$ 时,表示为 3.0。

	单位	条件	E-2000 7027A	S-2000 7025A	S-3000 7022A
熔体体积流动 指数	cm ³ /10min	ISO-1133 300°C 1.2kg	4~6	9~12	12~19
流动值 (Q 值)	10 ⁻² .cm ³ /s	280°C 15.7MPa (160kgf/cm ²)	0.5~3	3~7	5~12

注: 数据为基于试验方法的测定值的代表值。

3. 机械性能

3.1 拉伸强度

Iupilon/Novarex, ASTM-D638 类型 1 的试验片在应变速度 5mm/min 下的拉伸应力-应变曲线如图 3.1-1 所示。

在室温下, Iupilon/Novarex 的一些数值如下所示。

- $\delta_y = 54 \sim 64 \text{MPa}$ (550~650kgf/cm²)
- $\delta_b = 59 \sim 69 \text{MPa}$ (600~700kgf/cm²)
- $\epsilon_y = 6 \sim 8\%$
- $\epsilon_b = 90 \sim 140\%$

Iupilon/Novarex 拉伸性能的温度特性如图 3.1-2 所示。

应变速度的影响如图 3.1-3, 4 所示。在低应变速度范围内, 屈服强度与应变速度的关系成直线状变化, 如图 3.1-3 里的那样, 在高应变速度下, 屈服强度有个急速变化的过程, 如图 3.1-4 所示的那样。拉伸性能的分子量依存性如图 3.1-5, 6, 7 所示。Iupilon/Novarex, 在 $M_v=15000$ 的情况下成为了完全脆性断裂体。

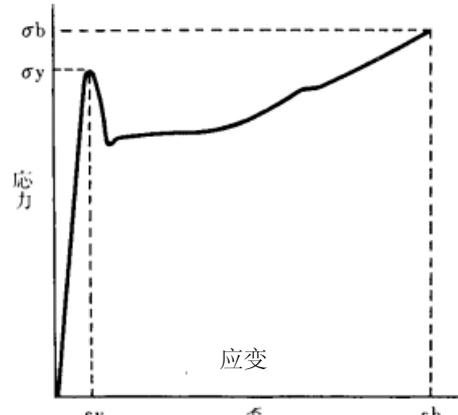


图 3.1-1 Iupilon/Novarex 应力-应变曲线
 δ_y 屈服强度 δ_b 断裂强度
 ϵ_y 屈服伸长率 ϵ_b 断裂伸长率

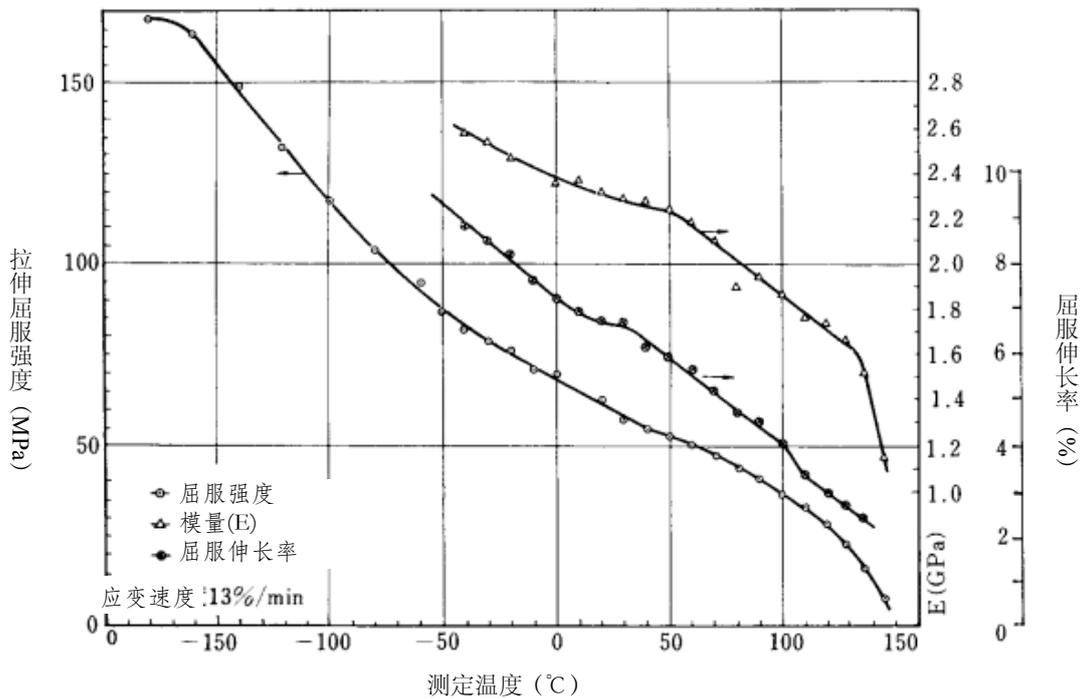


图 3.1-2 拉伸性能的温度特性曲线

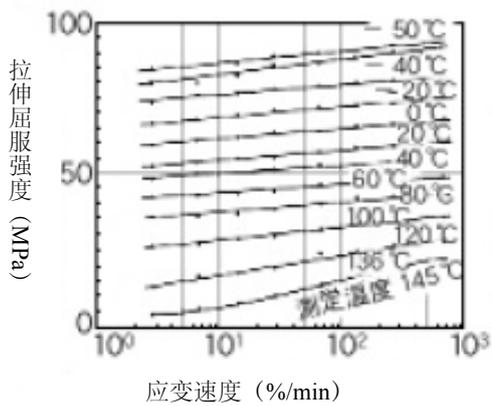


图 3.1-3 拉伸屈服强度的应变速度依存性

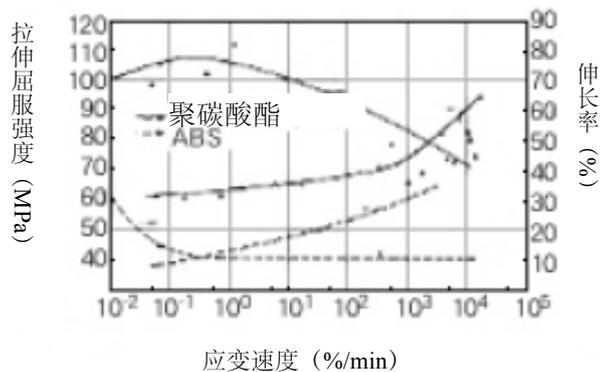


图 3.1-4 拉伸屈服强度和断裂伸长率的应变速度依存性(文献值)

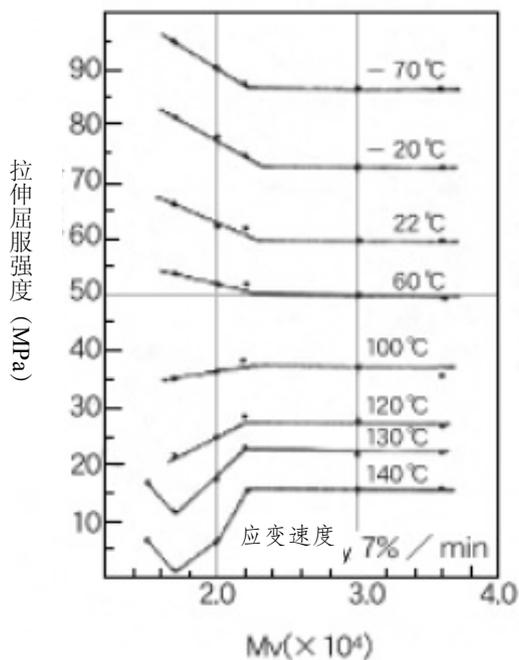


图 3.1-5 拉伸屈服强度的分子量依存性

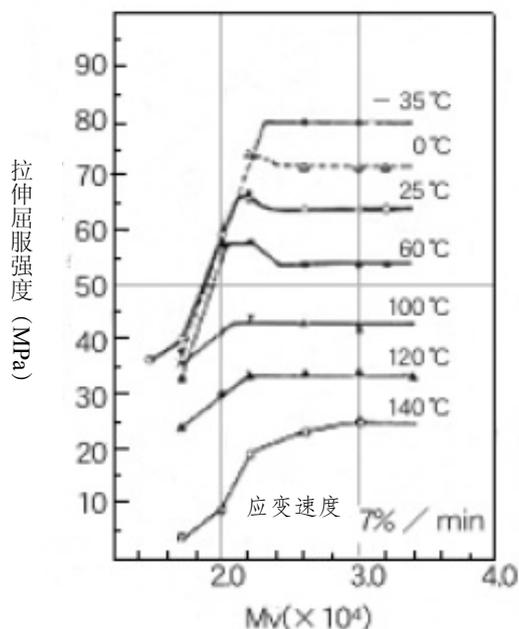


图 3.1-6 拉伸断裂强度的分子量依存性 (V 型冲击缺口, R=0.25mm, 缺口深度 1mm)

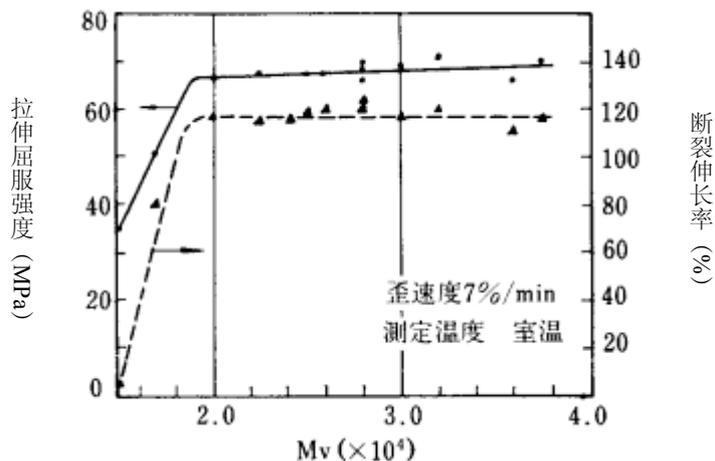


图 3.1-7 拉伸性能的分子量依存性

Iupilon/Novarex 受到热处理时,会发生图 3.1-8, 9 所示那样的硬化现象。屈服强度在 50°C 就已经变大,如图 3.1-10 所示, 130~135°C 的时候硬化现象最早开始发生。

Iupilon 的拉伸性能跟其他树脂的比较,如图 3.1-11, 12, 13, 14 所示。

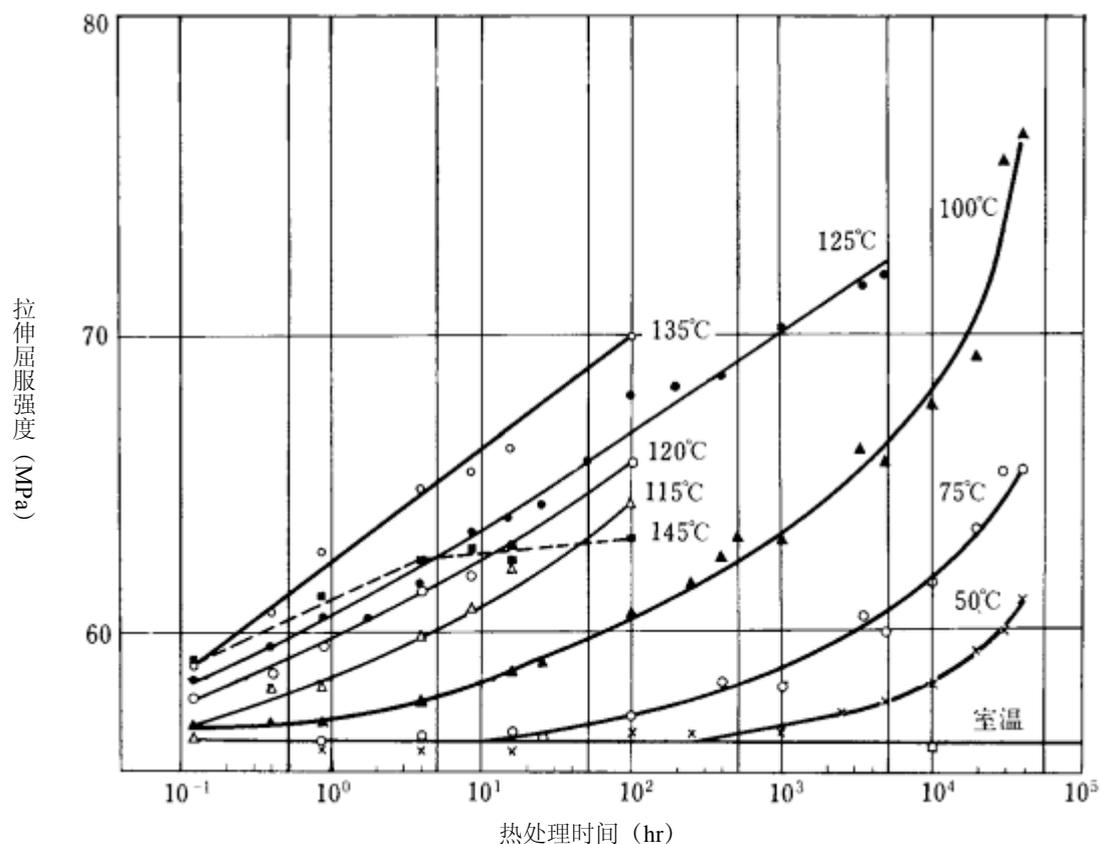


图 3.1-8 热处理下拉伸屈服强度的变化 (应变速度 7%/min)

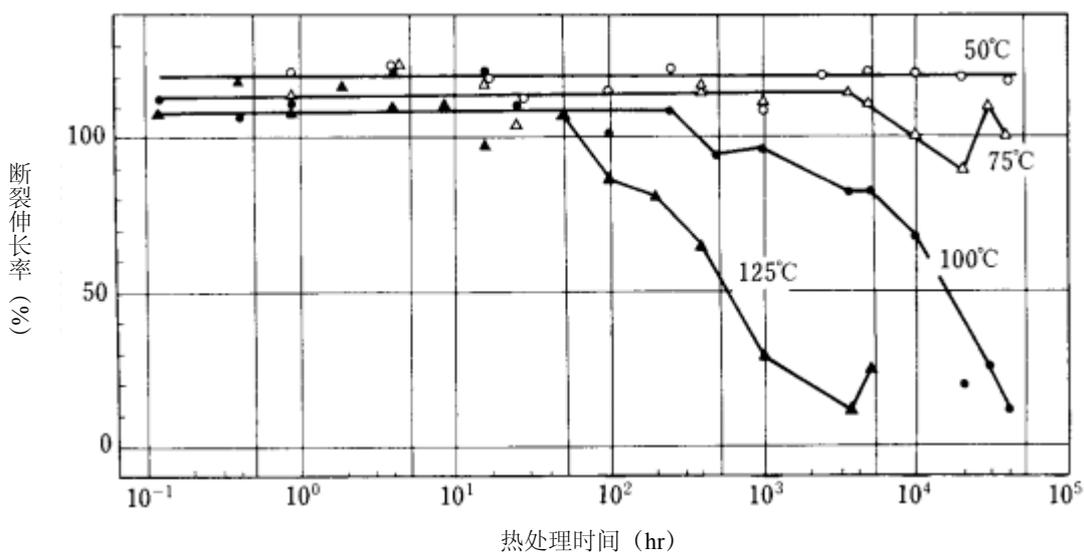


图 3.1-9 在热处理下断裂伸长率的变化 (应变速度 7%/min, 室温)

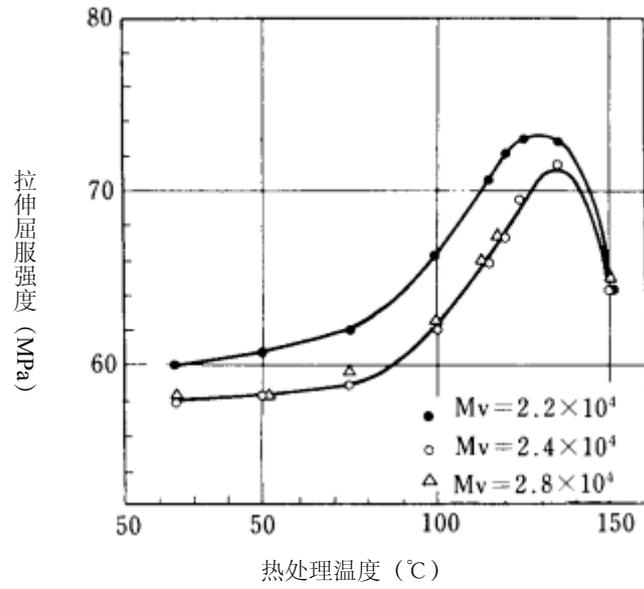


图 3.1-10 在热处理下拉伸屈服强度的变化 (应变速度 7%/min, 热处理时间 100 小时)

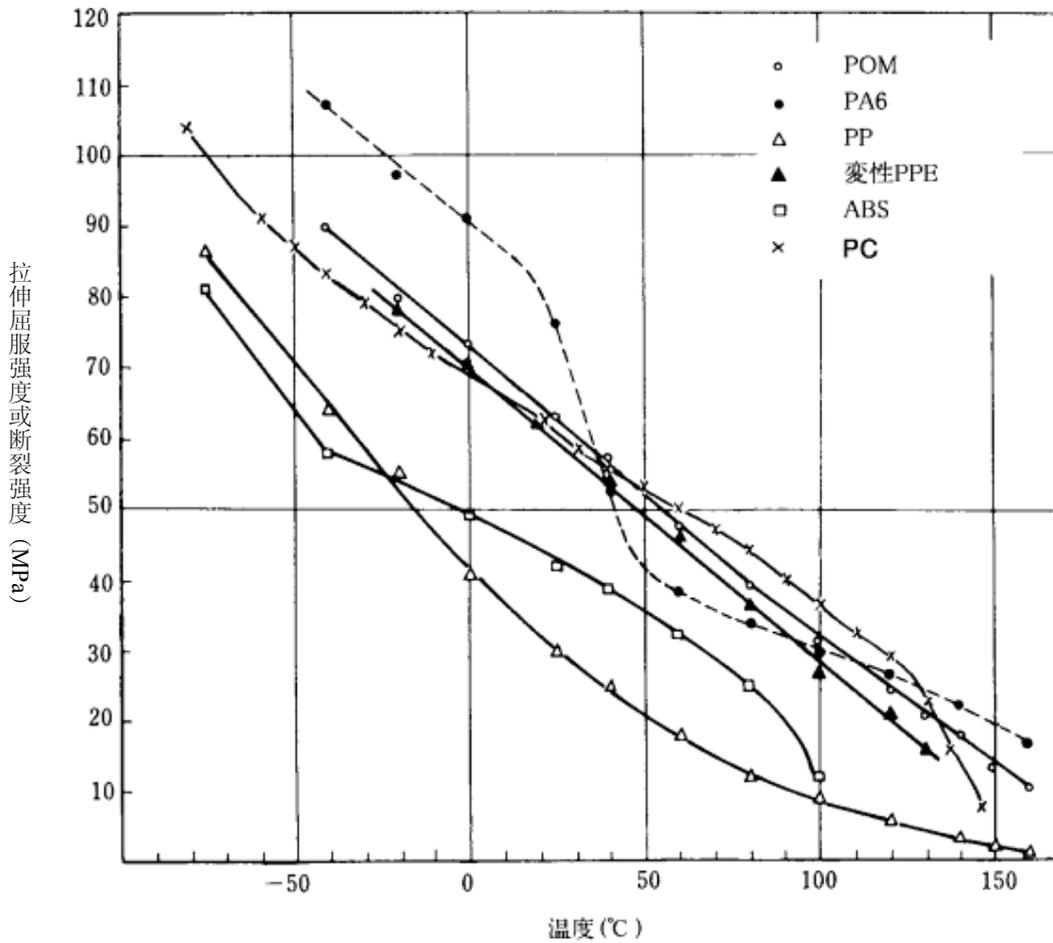


图 3.1-11 Iupilon/Novarex 与其它树脂的比较

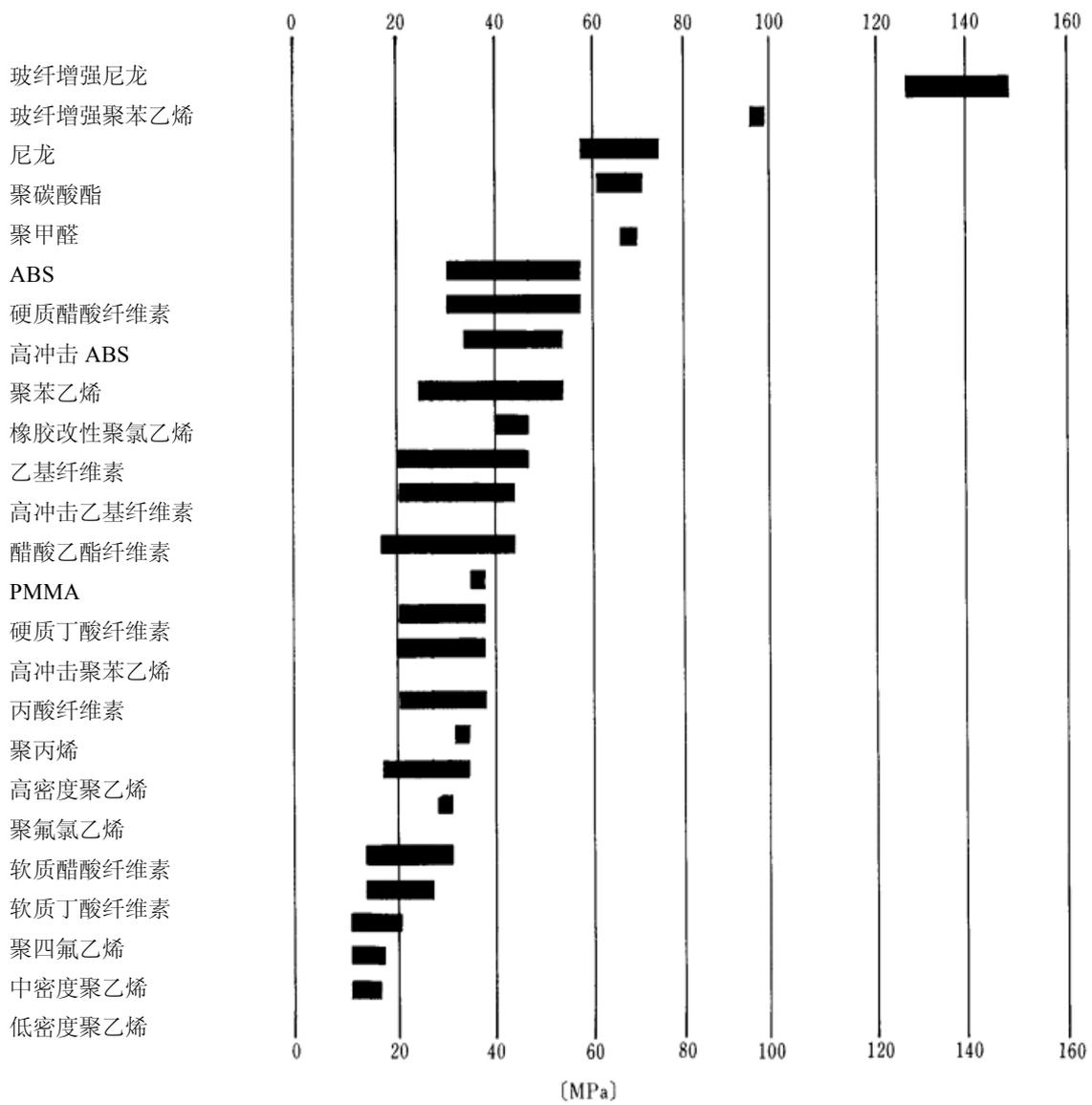


图 3.1-12 各种树脂的断裂应力

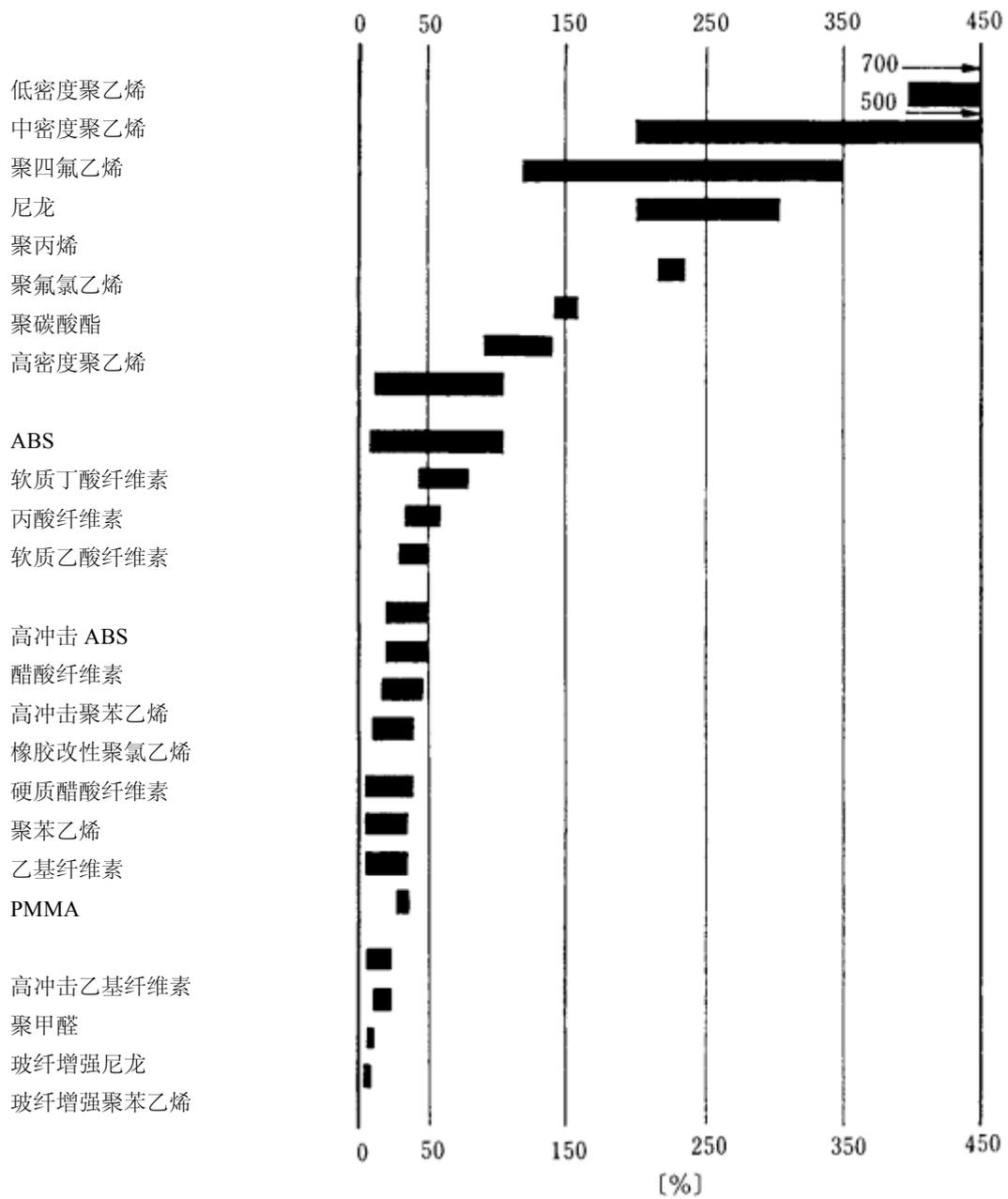


图 3.1-13 各种树脂的断裂伸长率

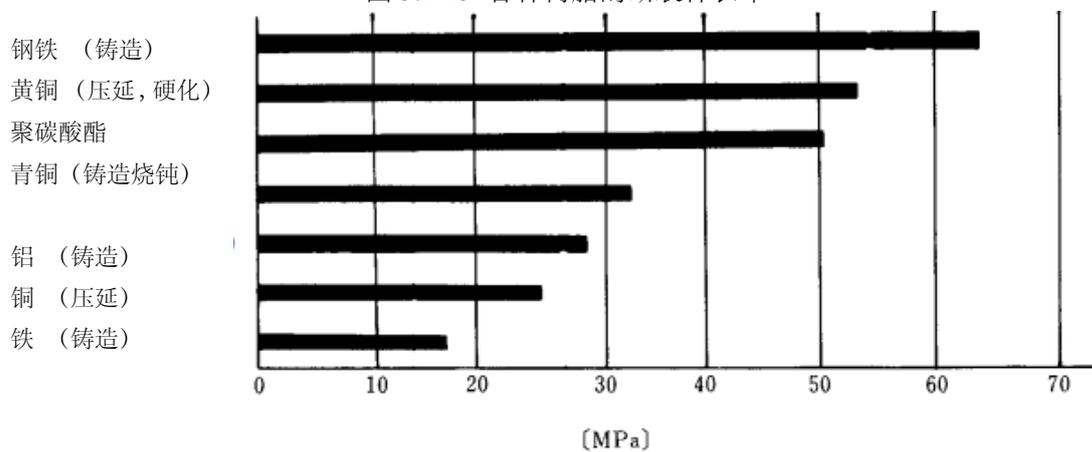


图 3.1-14 聚碳酸酯和相同重量金属的拉伸强度

3.2 压缩强度

Iupilon/Novarex 压缩强度为 74~88MPa (750~900kgf/cm²), 模量为 1.7~1.9MPa (17×10³~19×10³kgf/cm²)。另外, 屈服时的变形率为 8~10%。

Iupilon/Novarex 的压缩强度, 模量和温度的关系, 如图 3.2-1 所示。

Iupilon/Novarex 的泊松比为 0.38。

表 3.2-1 表示了材料与其他树脂的性能比较。

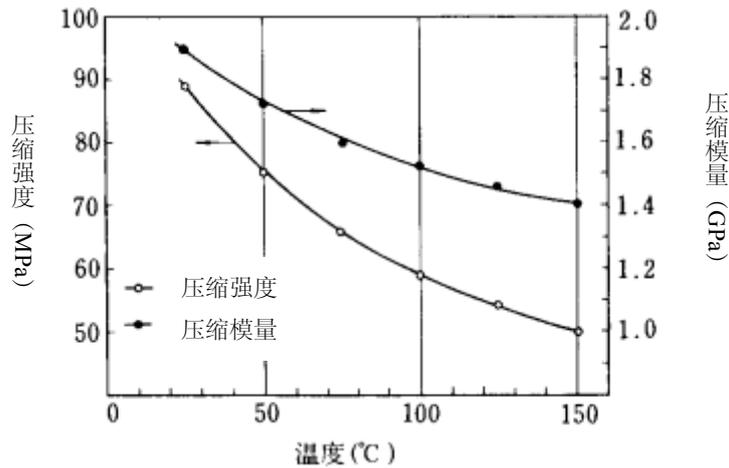


图 3.2-1 Iupilon/Novarex 压缩强度, 模量随温度的变化

表 3.2-1

高分子名	压缩强度 (ASTM-D695) MPa (kgf/cm ²)	高分子名	压缩强度 (ASTM-D695) MPa (kgf/cm ²)
聚碳酸酯	76.5 (780)	硬质丁酸纤维素	53.0~154 (540~1570)
橡胶改性聚氯乙烯	35.3~62.8 (360~640)	玻纤增强聚苯乙烯	91.2~108 (930~1100)
高冲击聚苯乙烯	28.4~62.8 (290~640)	醋酸纤维素	105~176 (1070~1790)
丙酸纤维素	49.0~154 (500~1570)	玻纤增强尼龙	112 (1140)
高冲击乙基纤维素	69.6~245 (710~2500)	硬质醋酸纤维素	133~253 (1360~2580)
乙基纤维素	69.6~245 (710~2500)	MMA	44.1~98.1 (450~1000)
软质醋酸纤维素	91.2~140 (930~1430)	聚甲醛	36.3 (370)
软质丁酸纤维素	53.0~154 (540~1570)	聚丙烯	59.8~69.6 (610~710)

3.3 弯曲强度

Iupilon/Novarex 的弯曲强度达到 80~90MPa (820~920kgf/cm²), 弯曲模量为 2.26GPa (23000kgf/cm²)。另外, 角度达到 80~90° 也不会破裂。

Iupilon/Novarex 的弯曲性能的温度特性曲线如图 3.3-1 所示, 分子量依存性如图 3.3-2, 3 所示, 热处理时弯曲性能的变化如图 3.3-4 所示。

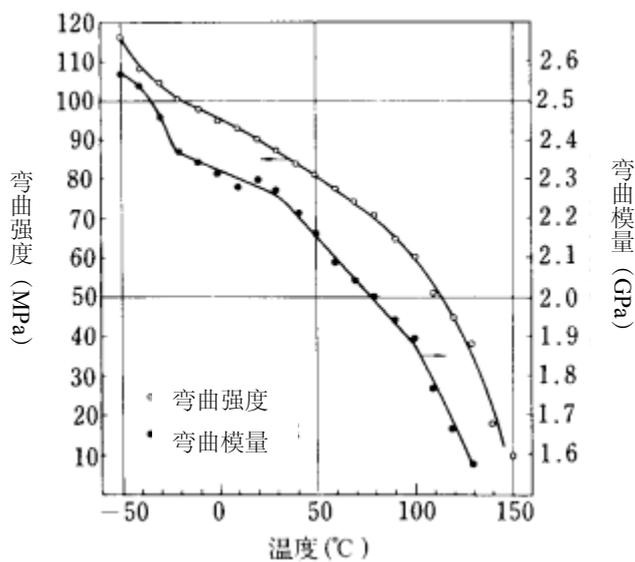


图 3.3-1 弯曲性能的温度特性曲线

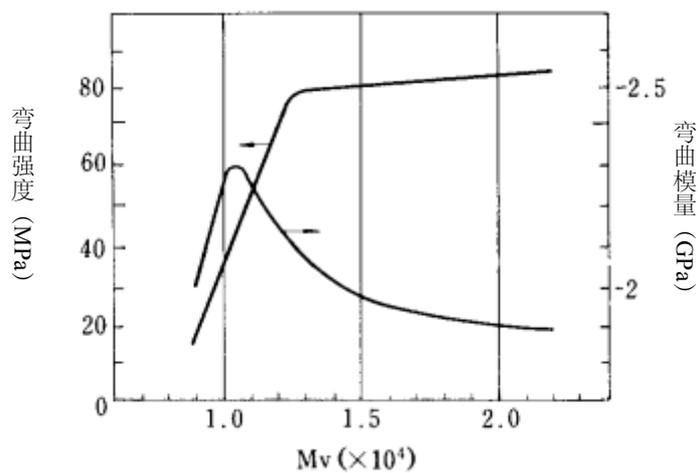


图 3.3-2 弯曲强度的平均分子量依存性 (文献)

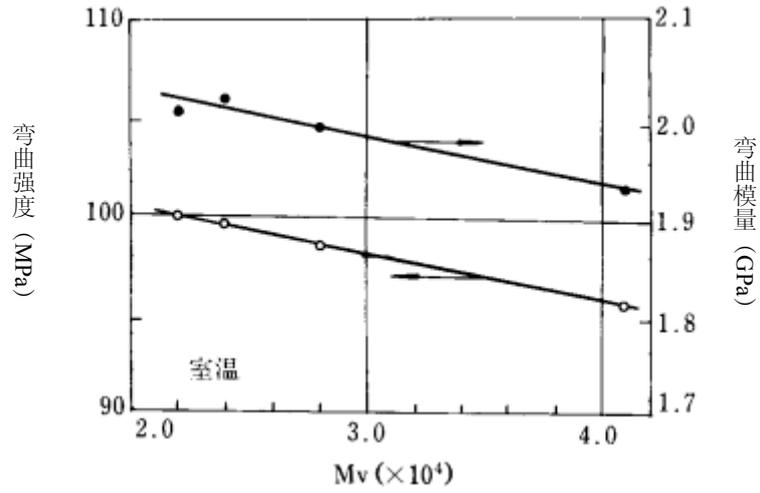


图 3.3-3 弯曲性能的平均分子量依存性

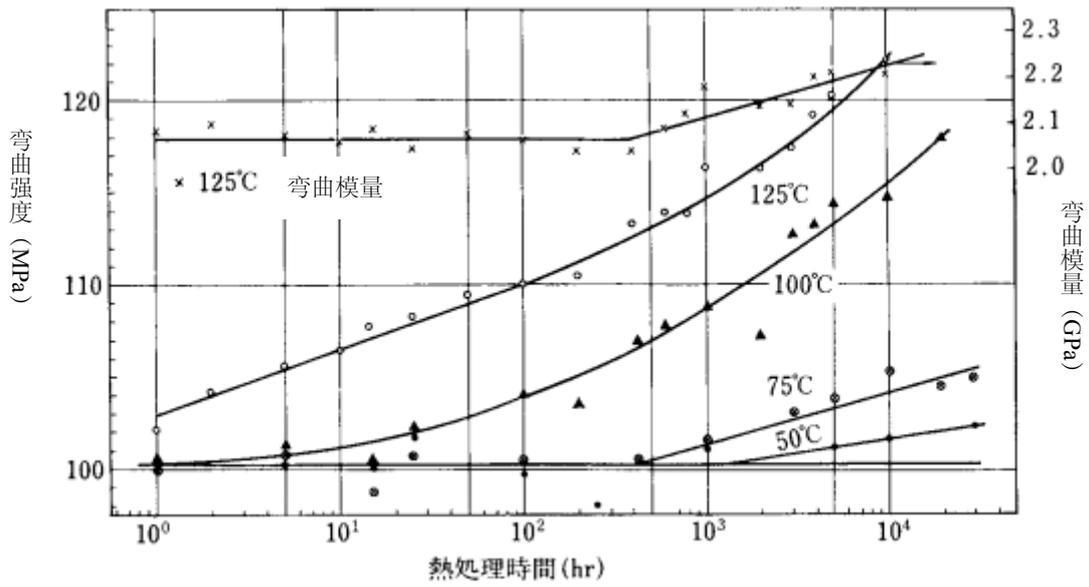


图 3.3-4 热处理时弯曲性能的变化 ($M_v=2.8 \times 10^4$)

与其他树脂的比较如图 3.3-5 和表 3.3-1 所示

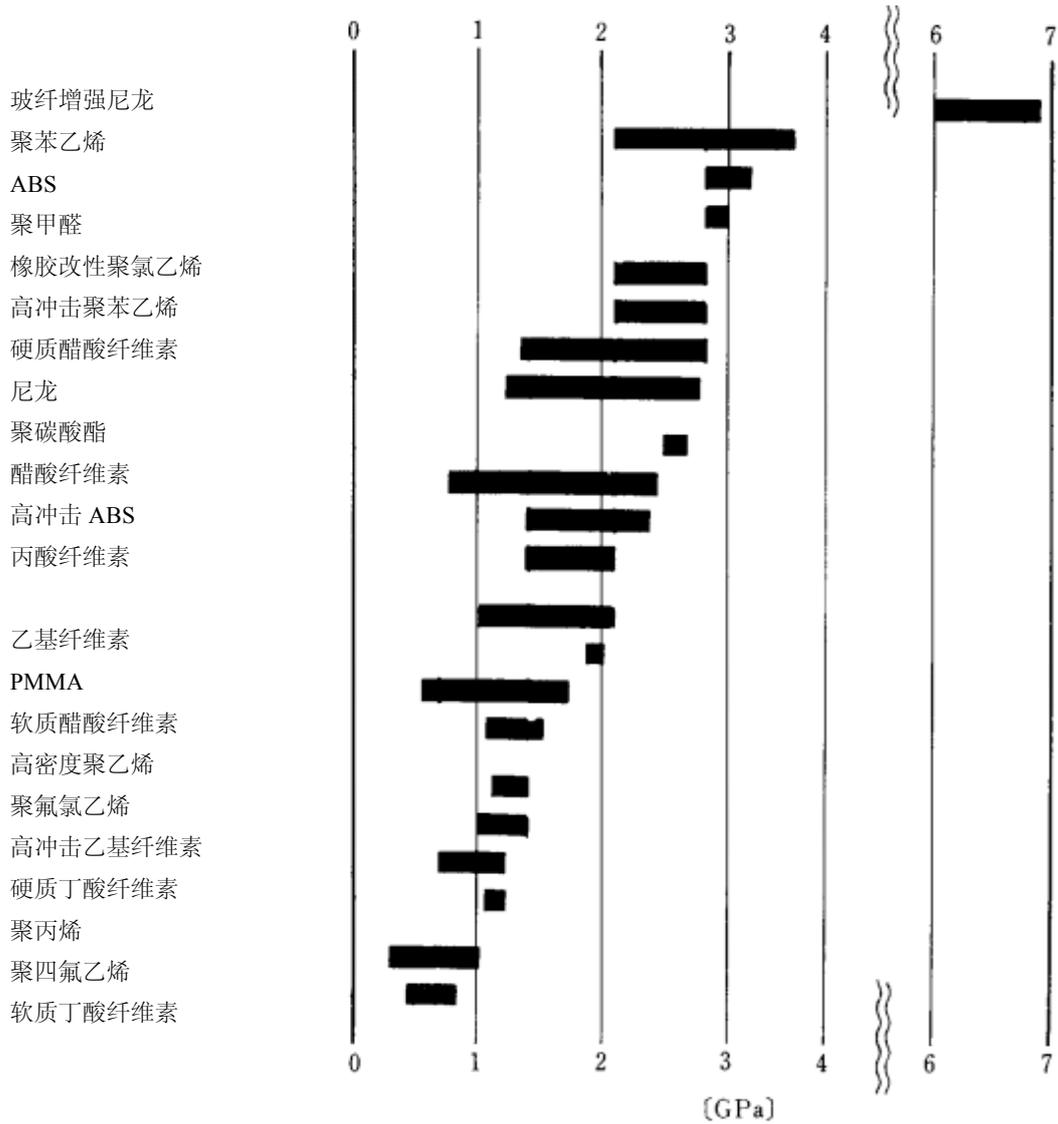


图 3.3-5 各种树脂的弯曲模量

表 3.3-1

高分子名	弯曲强度 (ASTM-D790) MPa (kgf/cm ²)	高分子名	弯曲强度 (ASTM-D790) MPa (kgf/cm ²)
聚碳酸酯	80.4~90.2 ^d (820~920 ^d)	聚四氟乙烯	NB
高冲击聚苯乙烯	NB	聚氟氯乙烯	NB
丙酸纤维素	27.5~64.7 ^d (280~660 ^d)	玻纤增强尼龙	140~155 (1430~1580)
高冲击 ABS	48.1~55.9 ^d (490~570)	聚苯乙烯	NB
高冲击乙基纤维素	27.5~42.2 (280~430)	ABS	53.0~77.5 (540~790)
乙基纤维素	27.5~70.6 (280~720)	硬质醋酸纤维素	41.2~70.6 ^d (420~720 ^d)
软质醋酸纤维素	18.6~50.0 ^d (190~510 ^d)	尼龙	NB
软质丁酸纤维素	17.7~36.6 ^d (180~370 ^d)	PMMA	62.8~91.2 (640~930)
硬质丁酸纤维素	27.5~55.9 (280~570)	聚甲醛	100 (1020)
玻纤增强聚苯乙烯	113 (1150)	聚丙烯	56.9 (580)
醋酸纤维素	25.5~58.8 ^d (260~600 ^d)		

NB=no break, d=屈服应力

3.4 冲击强度

Iupilon/Novarex 的冲击值

有缺口 Izod 法 (厚度 3.2mm)	ASTM D256	740~1000 J/m	(75~102kgf•cm/cm)
有缺口 Izod 法 (厚度 6.4mm)	ASTM D256	98~250 J/m	(10~25 kgf•cm/cm)
无缺口 Izod 法 (厚度 3.2mm)		>3700 J/m	(>380 kgf•cm/cm)
有缺口 charp 法 (厚度 6.4mm)	ASTM D256	15~59KJ/m ²	(15~60 kgf•cm/cm ²)
拉伸冲击法 (厚度 3.2mm)	ASTM D1822	690~880 KJ/m ²	(700~900 kgf•cm/cm ²) (L)
(厚度 1.6mm)	"	1100~1500 KJ/m ²	(1100~1500 kgf•cm/cm ²) (L)

落球法 (厚度 3.2mm) 球先端 R12.7mm 试验台 Φ50.8mm 240~310J (24~32 kgf•m)

球先端 R20.0mm 试验台 Φ90mm 170~230J (17~23 kgf•m)

Iupilon/Novarex 的冲击值随着温度的变化如图 3.4-1 和图 3.4-2 所示。Izod 冲击在 -50℃ 附近的时候，落球冲击在 -70℃ 温度以下向脆性断裂转变。(断裂从韧性到脆性转变的温度被称为迁移温度。) 另外，象如图 3.4-3 所示的那样，材料厚度达到一定值发生脆性断裂转变的情况，这个特定的厚度和变化的状态，根据不同的冲击种类变化而变化。

冲击值的分子量依存性如图 3.4-4, 5, 6 所示。在韧性断裂的温度领域内，无论是哪个冲击测试试验方法，都会存在一个存在一个极限分子量，在这个分子量的情况下，冲击值达到最大值。

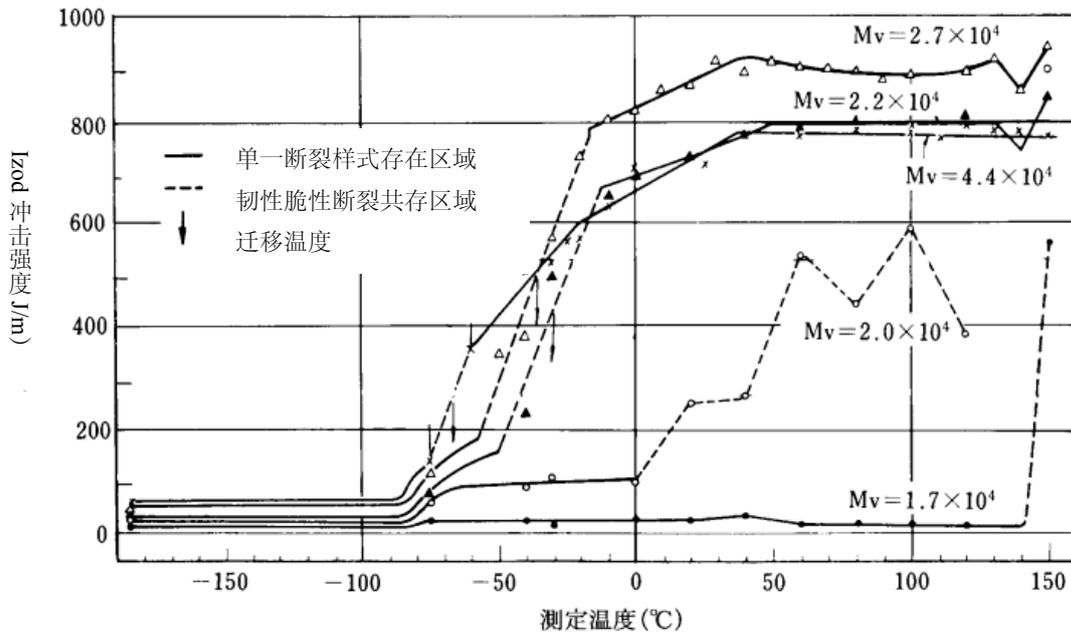


图 3.4-1 Izod 冲击强度的温度特性曲线

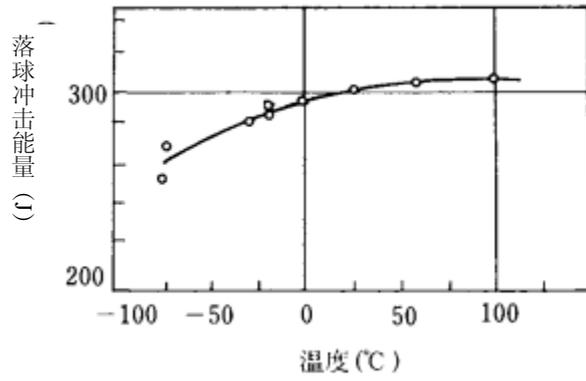


图 3.4-2 落球冲击的温度变化 (厚度 3.2mm 的圆板)

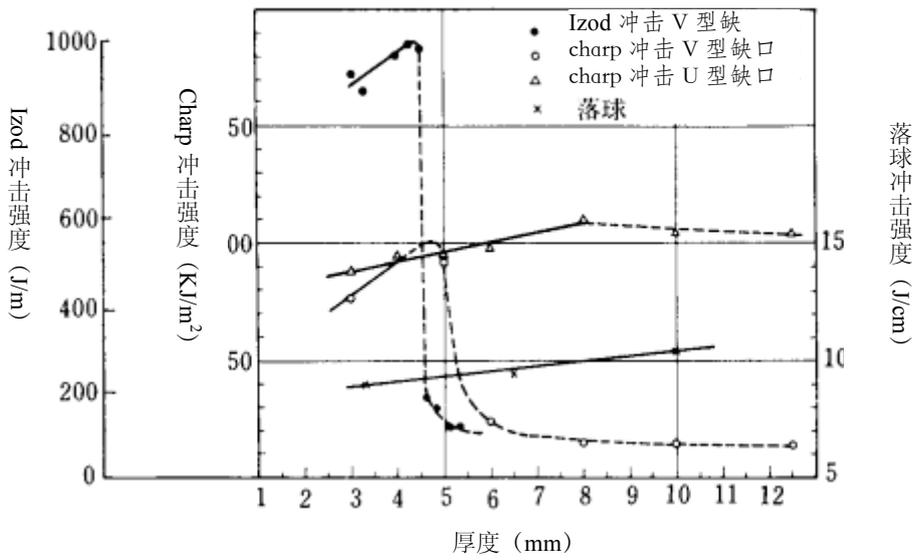


图 3.4-3 冲击值根据厚度的变化 (室温)
— 韧性断裂 脆性断裂

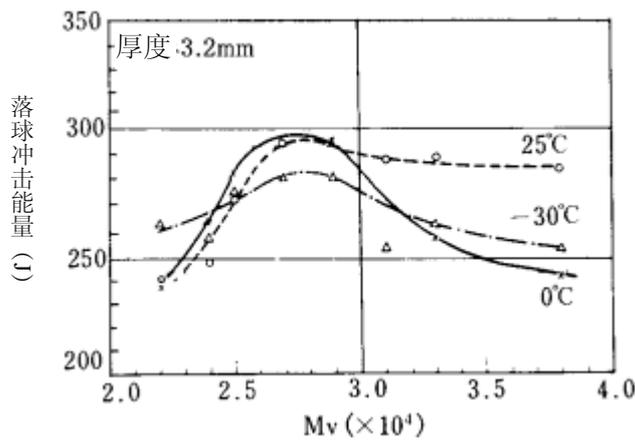


图 3.4-4 落球冲击能量的分子量依存性

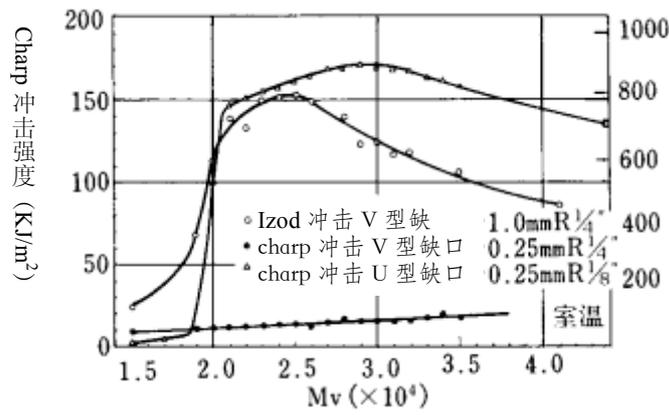


图 3.4-5 冲击值的分子量依存性

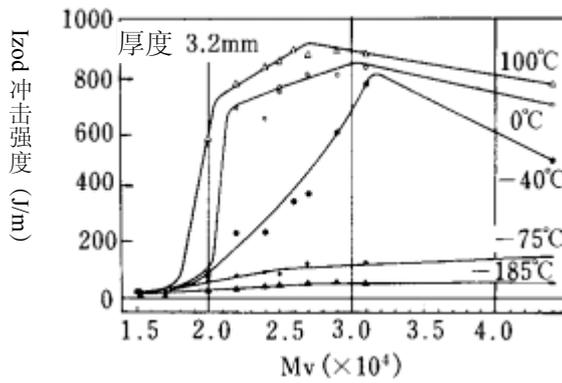


图 3.4-6 Izod 冲击强度的分子量依存性

Iupilon/Novarex 的冲击值，热处理之后会劣化为实际存在情况，这个状态在图 3.4-7, 8, 9, 10 中有很好的体现。Izod 冲击在 125°C 时急剧下降，就算在 50°C, 75°C 长时间处理也会发生劣化。落球冲击的话，125°C, 1000 小时放置也不会出现脆性破坏。如图 3.4-10 所示，一定时间下不同温度热处理时，冲击值的变化来看，100~140°C 的时候发生了急速的热硬化现象。

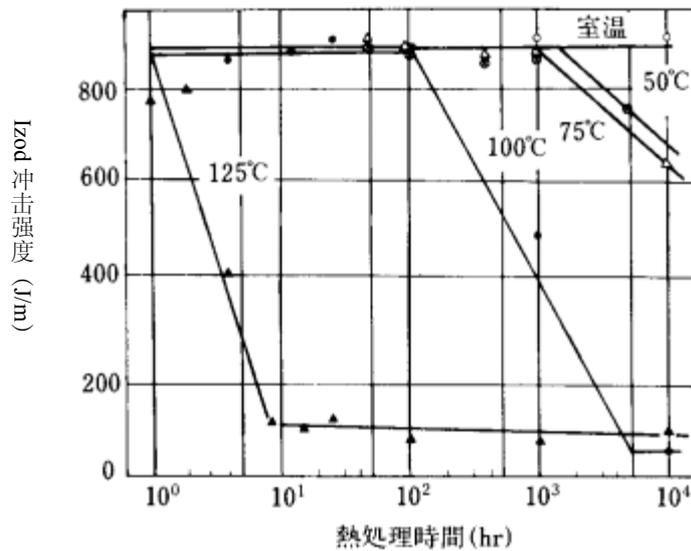


图 3.4-7 Izod 冲击强度随热处理的变化

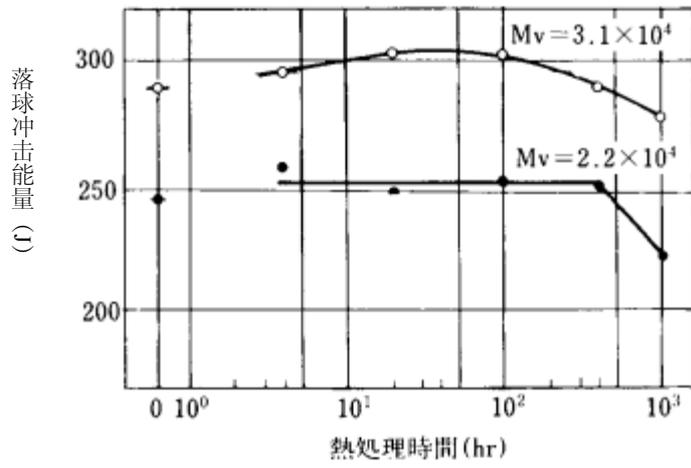


图 3.4-8 落球冲击随热处理的变化 (125°C)

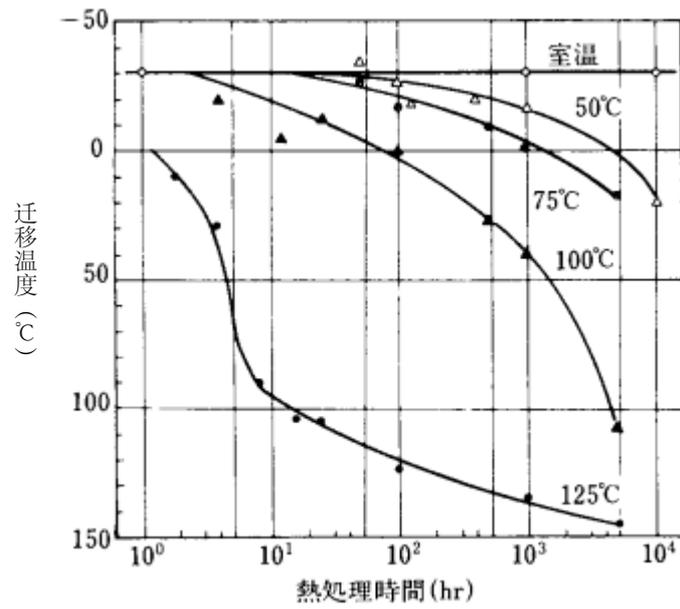


图 3.4-9 迁移温度随热处理的变化
(Izod 冲击试验片厚度 3.2mm)

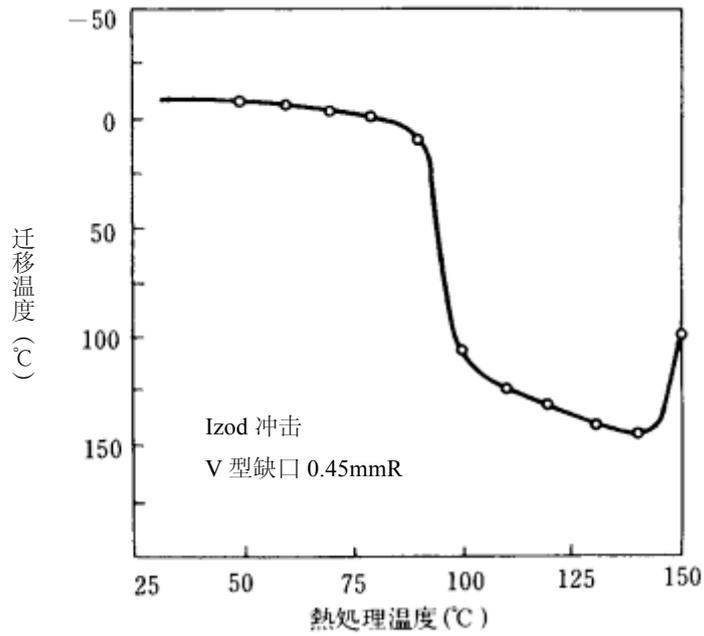


图 3.4-10 热处理温度的效果 (处理 48 小时, 厚度 6.4mm)

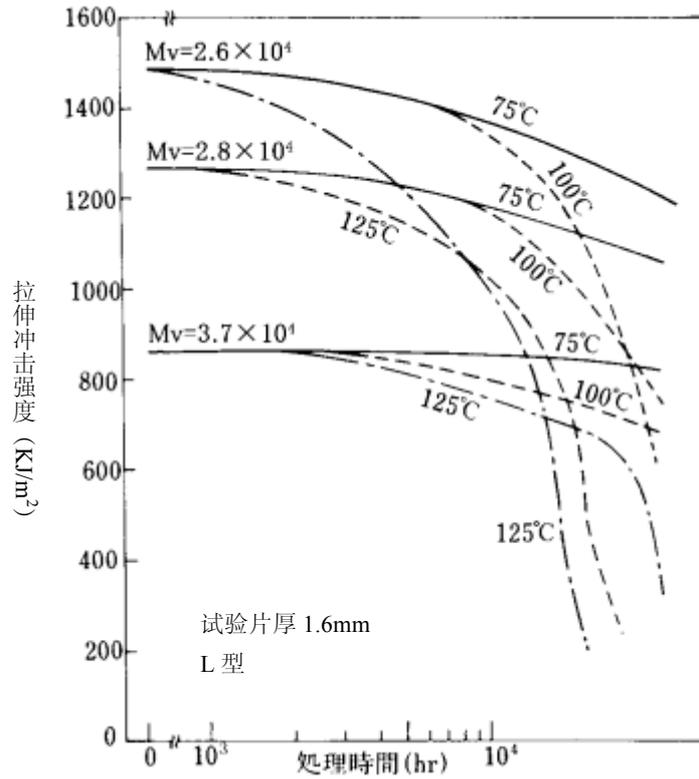


图 3.4-11 拉伸冲击强度随热处理的变化— (1)

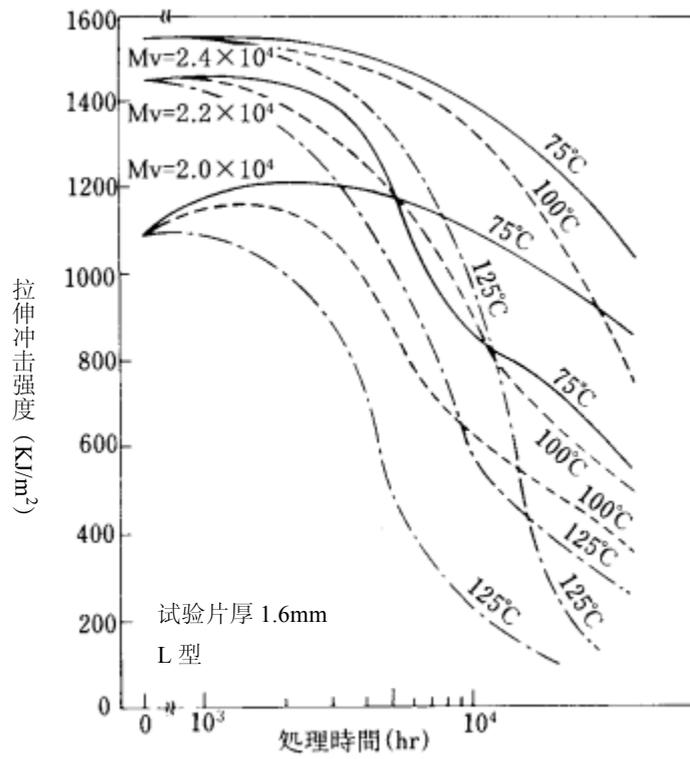


图 3.4-12 拉伸冲击强度随热处理的变化— (2)

与其它树脂的比较如图 3.4-13 所示

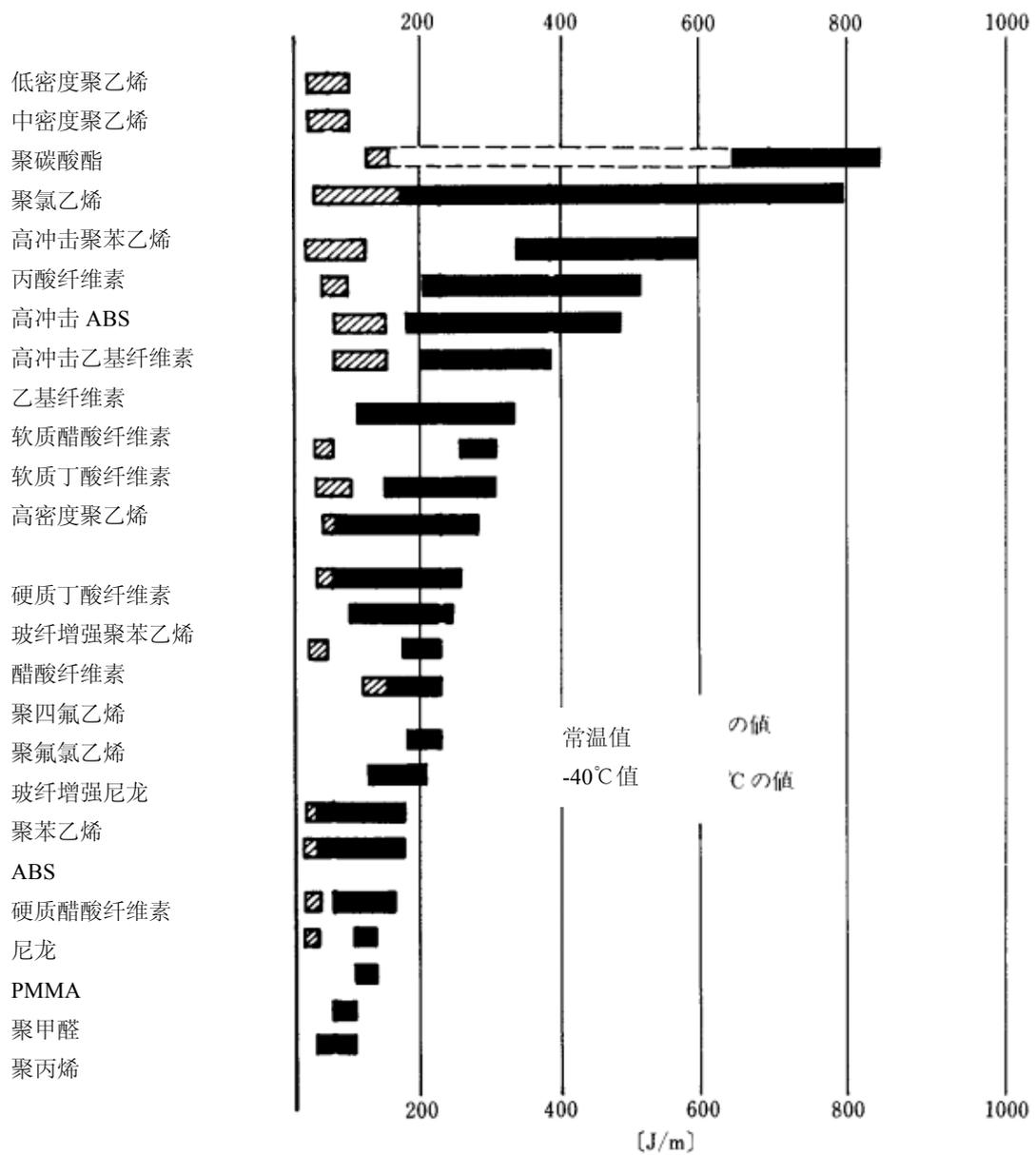


图 3.4-13 各种树脂的 Izod 冲击强度（有缺口）

3.5 硬度

Iupilon/Novarex 的各种硬度如表 3.5-1 所示。

表 3.5-1

布氏硬度 DIN53456, 重量 0.5KN (50kgf) 洛氏硬度 (ASTM-D785) 邵氏硬度	10 秒后 60s 后	88.3~103MPa (900~1050kg/cm ²) 85.3~98.1MPa (870~1000kg/cm ²) M60~80, L90~100, R122~124 D82
--	----------------	---

Mv=2.4×10⁴

Iupilon/Novarex 的抗表面擦伤性如表 3.5-2 所示。

表 3.5-2 Iupilon/Novarex 射出成形品的表面硬度 (ASTM-D763-44)

SiC 量 (g)	200	400	800	1200	1600
磨擦前后表面光泽度比 (%)	90.2	82.7	72.9	58.5	56.1

Mv=2.4×10⁴

另外, 与其他树脂的比较如表 3.5-3 所示。

表 3.5-3 Iupilon/Novarex 与其他树脂的表面硬度的比较 (ASTM-D673-44) SiC 使用量 500g

试料	抗表面擦伤 (磨擦前后的光泽度比)
Iupilon/Novarex 压缩成形品	84%
PMMA	88%
聚氯乙烯	85%
玻璃板 (冕牌玻璃)	99%

Mv=2.4×10⁴

Iupilon/Novarex 的洛氏硬度与其他树脂的比较如表 3.5-4 所示。

表 3.5-4

材料名	洛氏硬度 (ASTM-D785)	材料名	洛氏硬度 (ASTM-D785)
低密度聚乙烯	D45~52*	硬质丁酸纤维素	R79~114
中密度聚乙烯	D45~65*	玻纤增强聚苯乙烯	M91~M95
聚碳酸酯	R122	醋酸纤维素	R68~115
橡胶改性聚氯乙烯	R100~110	聚氟氯乙烯	R112
高冲击聚苯乙烯	M30~65	玻纤增强尼龙	M96~M100
丙酸纤维素	R20~120	聚苯乙烯	M30~55
高冲击 ABS	R85~100	ABS	R85~118
高冲击乙基纤维素	R70~90	硬质醋酸纤维素	R101~123
乙基纤维素	R80~120	尼龙	R108~118
软质醋酸纤维素	R49~103	PMMA	L58~59
软质丁酸纤维素	R47~95	聚甲醛	R120 (M94)
高密度聚乙烯	R63~70*	聚丙烯	R85~95

* 邵氏硬度

Iupilon/Novarex 的洛氏硬度会随着材料的热处理条件而变化，两者之间的关系如图 3.5-1 所示。

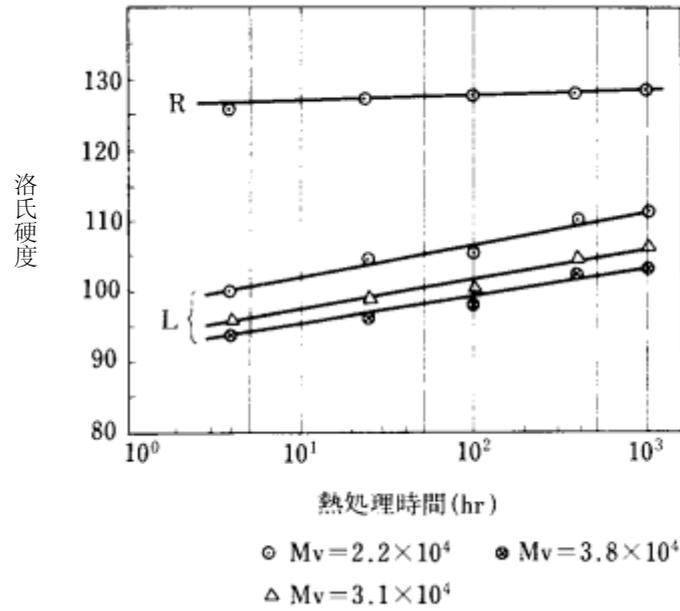


图 3.5-1 洛氏硬度随热处理的变化 (处理温度 125°C)

另外，马氏硬度如图 3.5-2 所示。

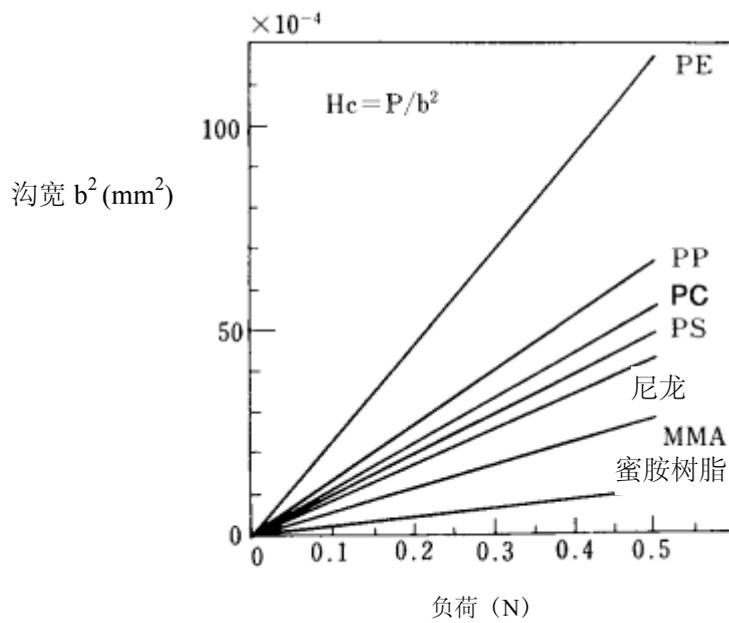


图 3.5-2 马氏擦伤硬度

3.6 耐磨耗性和磨擦特性

Iupilon/Novarex 的泰伯磨损试验 (CS-17 轮, ASTM-D1044-56) 测得的磨耗量为 13mg/1000cycles。另外 Iupilon/Novarex 和铁的接触磨擦, 接触压 P MPa (kgf/cm²) 和相对速度 V cm/s 之间如果达到

$$PV=53.9 \text{ MPa}\cdot\text{cm/s}$$

$$(PV=550 \text{ kgf/cm}^2\cdot\text{cm/s})$$

的关系的时候, 就到达了材料的耐磨擦热极限值。这个关系如图 3.6-1 所示。

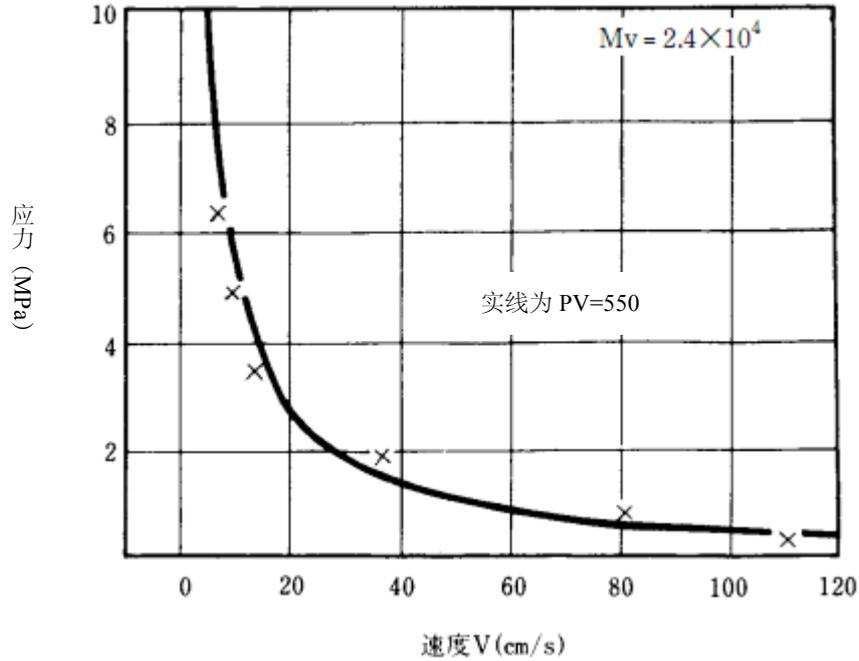


图 3.6-1 Iupilon/Novarex 的 PV 值

在图曲线右上方范围内的 PV 组合的话, Iupilon/Novarex 材料就会熔融。这个场合, 在 P=4.9MPa (50kgf/cm²) V=0.01cm/s 的时候磨擦系数为 0.5~0.6。

聚碳酸酯的磨擦系数如表 3.6-1 所示 (非润滑)。

表 3.6-1

	低速 (1cm/s)	高速 (173~202cm/s)
聚碳酸酯同种材料	0.24	约 2.0
钢铁上放置聚碳酸酯	0.73	0.82
聚碳酸酯上放置钢铁	0.35	0.45

其他树脂和聚碳酸酯的耐磨耗特性 (ASTM-D1242-56) 比较的结果如图 3.6-2 所示。

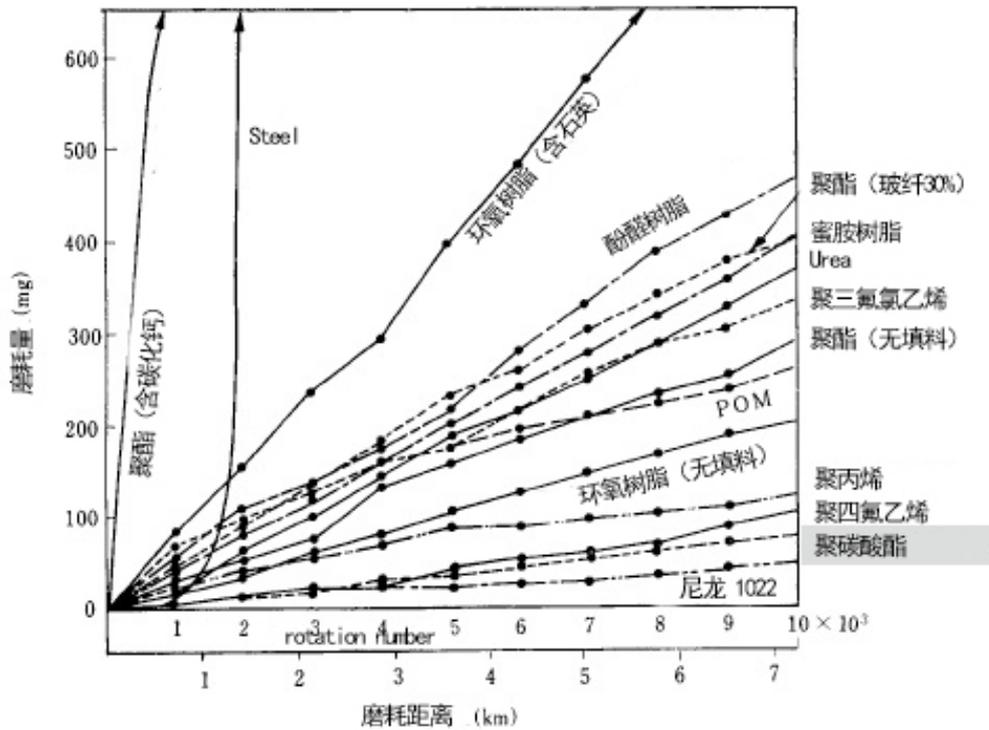


图 3.6-2 塑料的磨耗距离和磨耗量的关系
 (磨耗速度平均 0.235m/s, 磨耗压力 1.2MPa (12kgf/cm²), 磨耗剂铝土粉末的平均粒度 170 目)

3.7 剪切强度

Iupilon/Novarex 的剪切屈服应力为 37.3MPa (380kgf/cm²), 剪切破裂应力为 64.7MPa (660kgf/cm²)。

剪切模量的温度特性如图 3.7-1 所示, Iupilon/Novarex 到高温为止剪切模量都非常稳定, 而且在低温时候也非常稳定。一般剪切模量 (又称刚性率) 大约小于 1GPa (10⁴kgf/cm²) 的时候, 材料就会表现得非常脆, Iupilon/Novarex 到 -100°C 为止都没有小于 1GPa (10⁴kgf/cm²), 因此说明了材料的低温特性与其他树脂相比显得更为优秀。

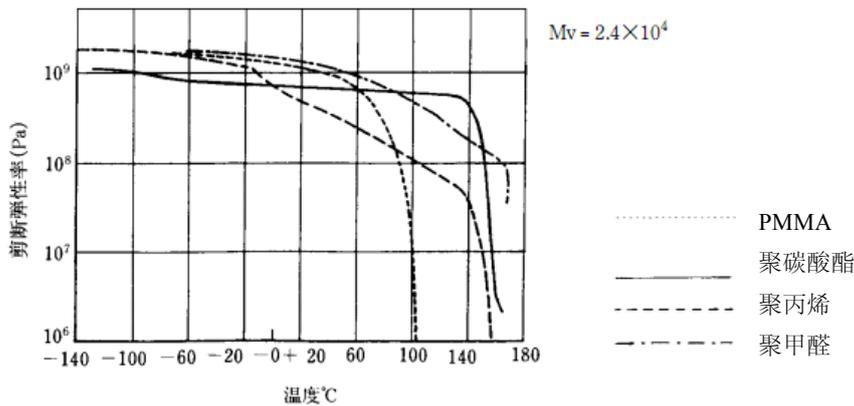


图 3.7-1 剪切模量的温度依存性

3.8 负荷下长时间性能变化

3.8.1 耐疲劳特性

Iupilon/Novarex 的耐疲劳特性，呈现如图 3.8.1-1, 2, 3, 4 所示那样的性能（测定法为定负荷 1000cycle/min 室温）。图 3.8.1-1 为拉伸压缩疲劳随试验片形状的变化。很明显形状对性能有很大影响，特别是切削加工的试样，切削的影响十分巨大。图 3.8.1-2 为拉伸压缩疲劳的结果，图 3.8.1-3 为弯曲疲劳的结果，图 3.8.1-4 为扭转疲劳的结果。无论那个试验，分子量增加的情况下，材料的耐疲劳性都得到了改善。

回转弯曲疲劳（试验片为切削加工制作）时温度的影响如图 3.8.1-5 所示。温度低的情况下，疲劳界限会有一个大幅的提高。另外，缺口存在的情况如图 3.8.1-6 所示。

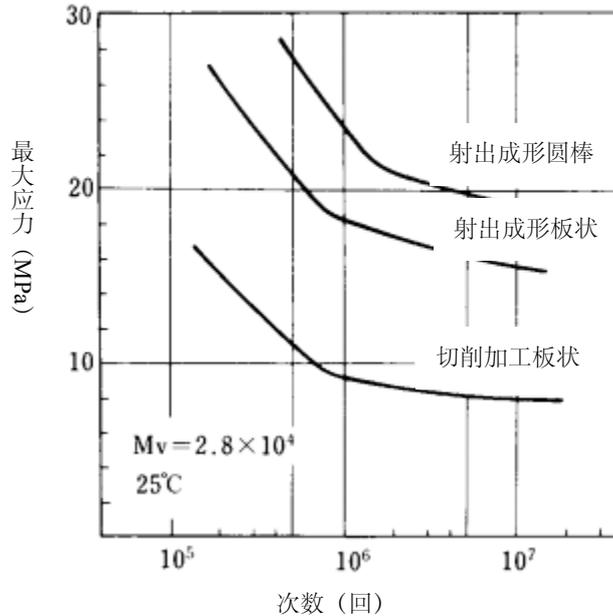


图 3.8.1-1 试验片形状和成形法的不同造成的耐疲劳特性的变化（拉伸压缩）

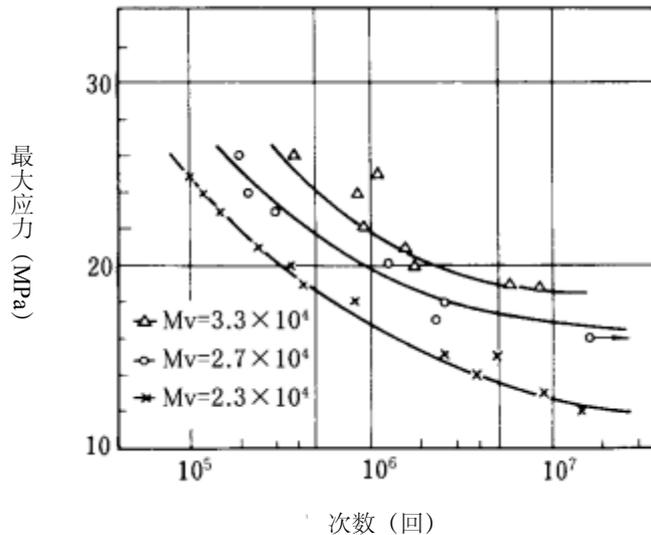


图 3.8.1-2 耐疲劳特性与分子量的关系（拉伸压缩）
试验片形状为射出圆棒（测定温度 25°C）

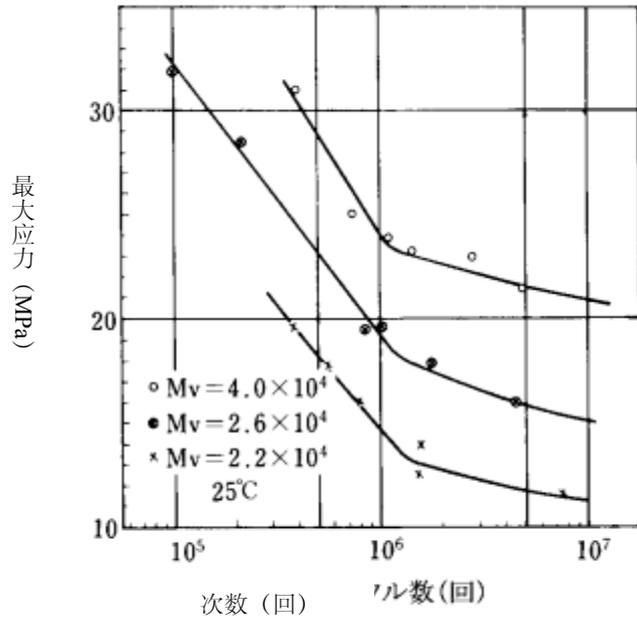


图 3.8.1-3 弯曲时耐疲劳性

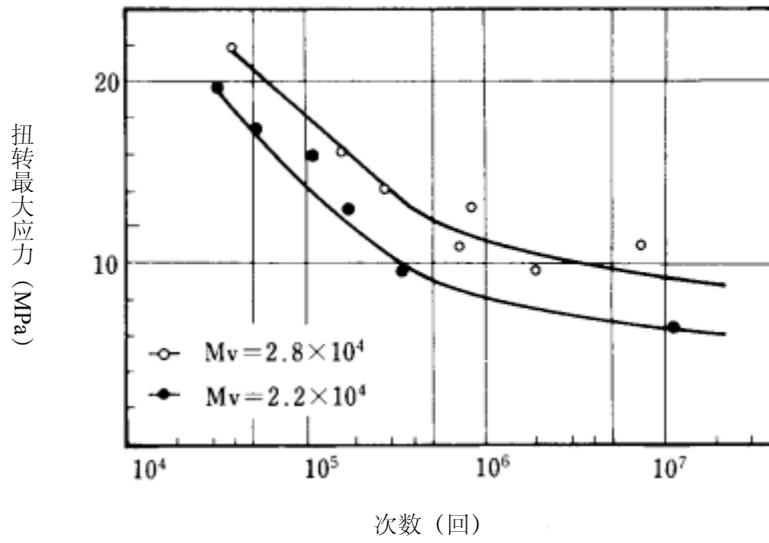


图 3.8.1-4 扭转疲劳特性

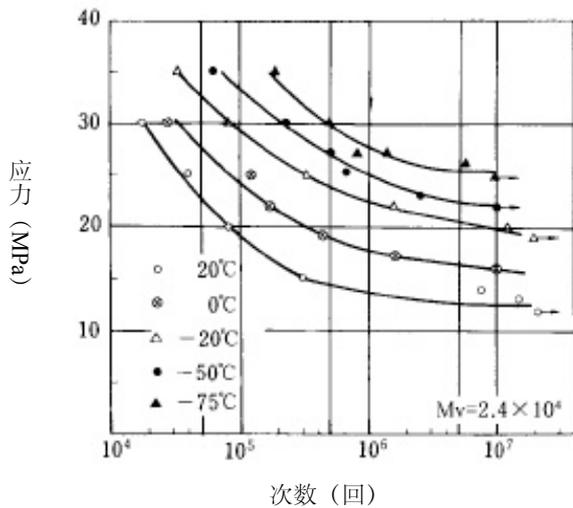


图 3.8.1-5 耐疲劳性的温度特性（弯曲）

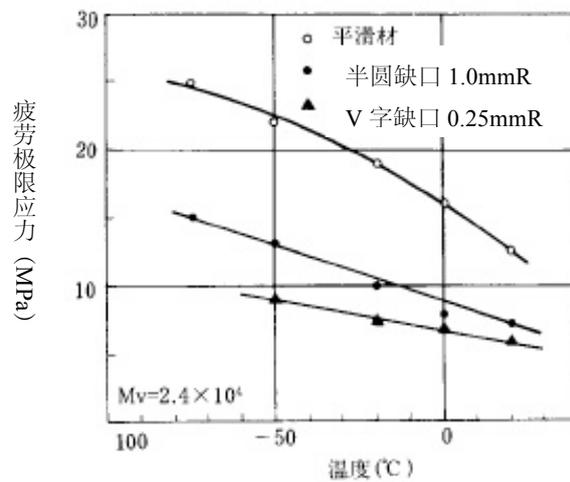


图 3.8.1-6 缺口材料的疲劳性

关于各种树脂，在 Sonntag 式试验机上的耐疲劳特性比较的结果如表 3.8.1-2 所示。

表 3.8.1-1 各种树脂疲劳性

高分子名	破坏应力 MPa (kgf/cm ²)			
	10 ⁴ 次数	10 ⁵ 次数	10 ⁶ 次数	10 ⁷ 次数
聚氯乙烯	36.3 (370)	25.5 (260)	18.7 (191)	16.7 (170)
聚苯乙烯	24.1 (246)	14.7 (150)	10.8 (110)	10.0 (102)
纤维素诱导体	20.8 (212)	16.2 (165)	13.2 (135)	11.1 (113)
尼龙	15.1 (154)	12.4 (126)	12.1 (123)	11.8 (120)
聚乙烯	13.7 (140)	11.8 (120)	11.3 (115)	11.0 (112)
聚丙烯	16.7 (170)	13.1 (134)	12.0 (122)	11.0 (112)
PMMA	30.3 (309)	27.8 (283)	27.8 (283)	27.8 (283)
聚碳酸酯		26.9 (274)	14.9 (152)	9.8 (100)
聚甲醛	40.1 (409)	32.3 (329)	28.3 (289)	26.9 (274)
聚苯醚 (PPE)				8.2~13.7 (84~140)
聚砜				6.9 (70)
变性 PPE				17.2 (175)

3.8.2 蠕变特性

Iupilon/Novarex 的拉伸蠕变特性如图 3.8.2-1, 2, 3 所示, 弯曲蠕变特性如图 3.8.2-4 所示。另外, 与其他树脂的比较如图 3.8.2-5, 6 所示。

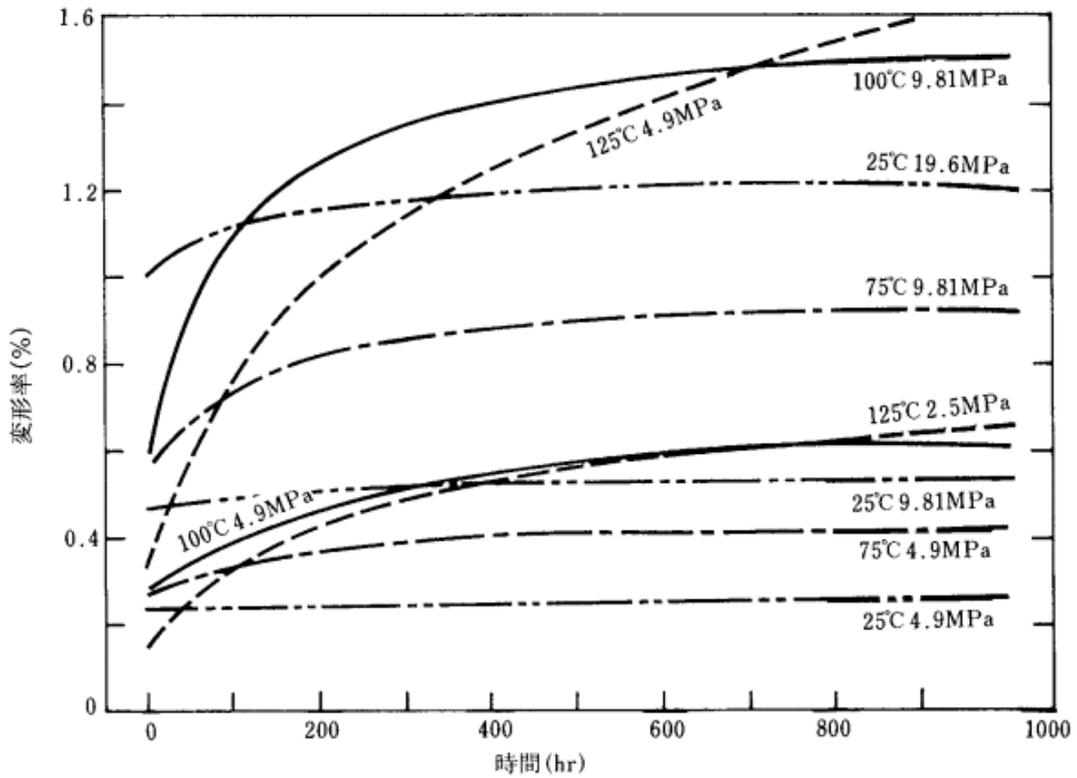


图 3.8.2-1 Iupilon/Novarex 的拉伸蠕变

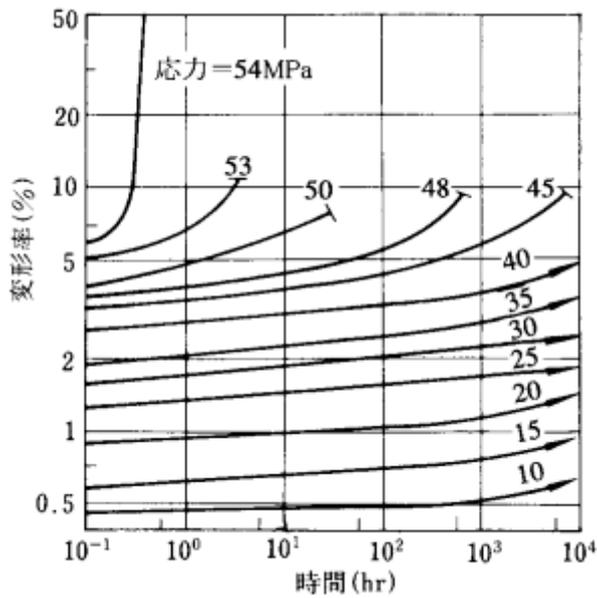


图 3.8.2-2 聚碳酸酯的拉伸蠕变

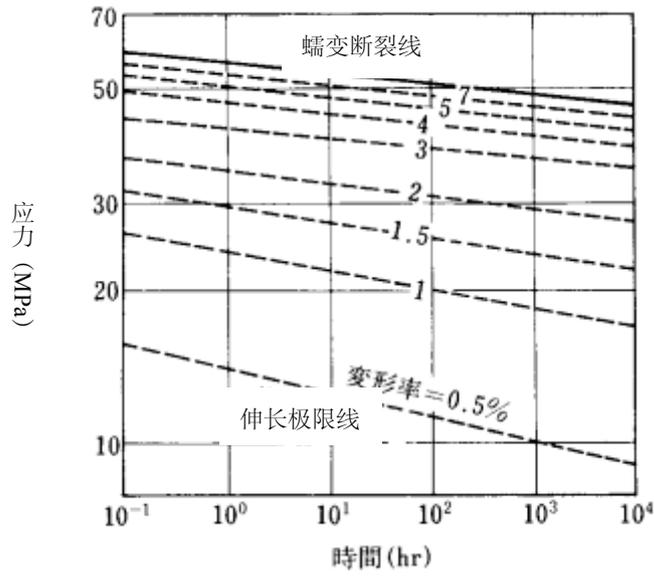


图 3.8.2-3 聚碳酸酯的拉伸蠕变 (22°C)

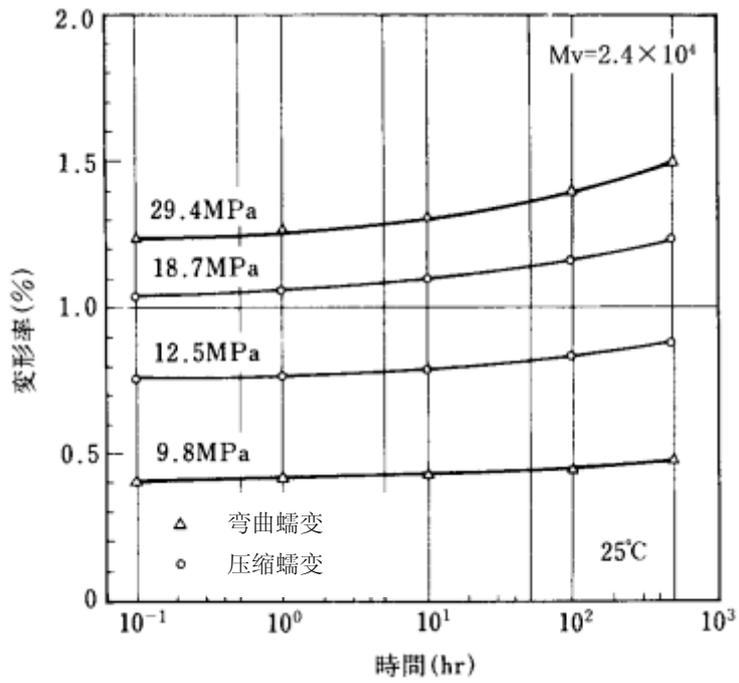


图 3.8.2-4 Iupilon/Novarex 的弯曲, 压缩蠕变

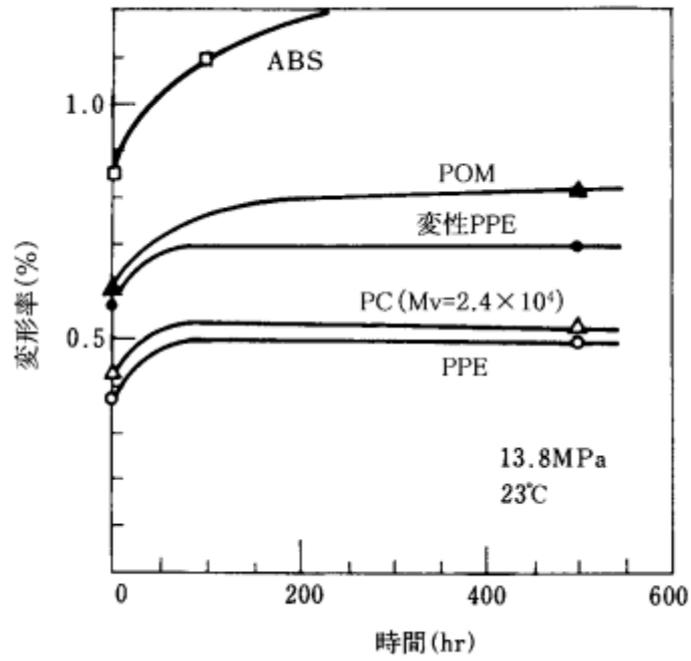


图 3.8.2-5 其他树脂的蠕变曲线

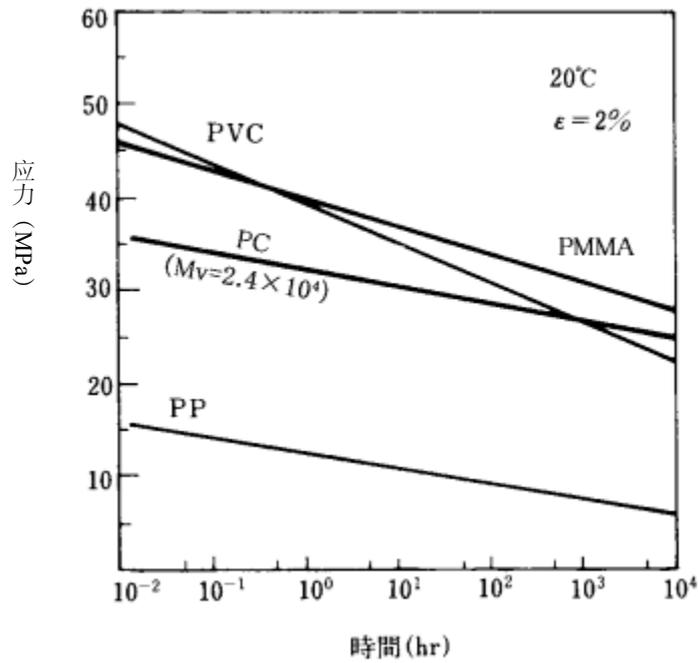


图 3.8.2-6 变形率 2% 时应力随时间的变化

Iupilon/Novarex 的蠕变断裂曲线如图 3.8.2-7, 8 所示。与其他树脂的比较如图 3.8.2-9 所示。

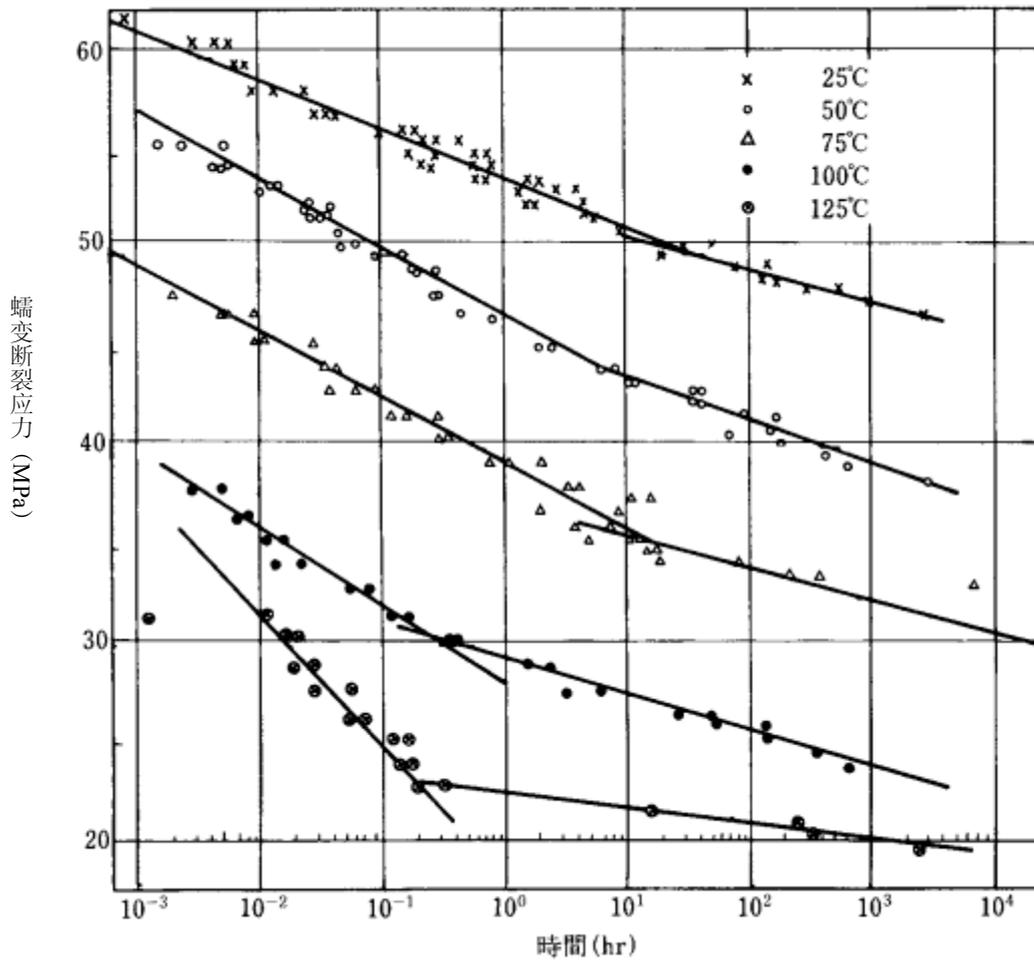


图 3.8.2-7 蠕变断裂时间和温度的关系 ($Mv=2.4 \times 10^4$)

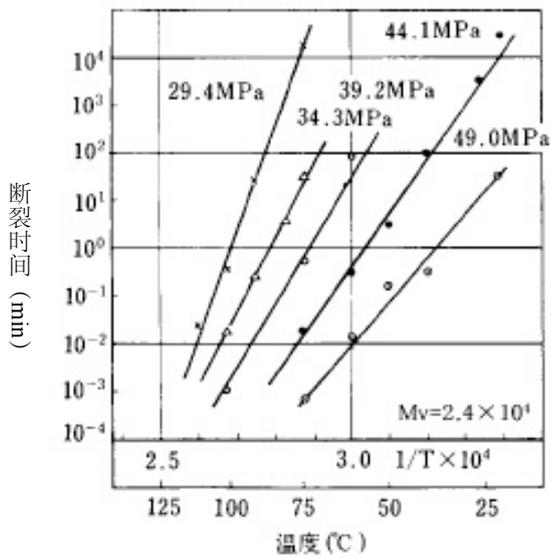


图 3.8.2-8 蠕变断裂时间与温度的关系

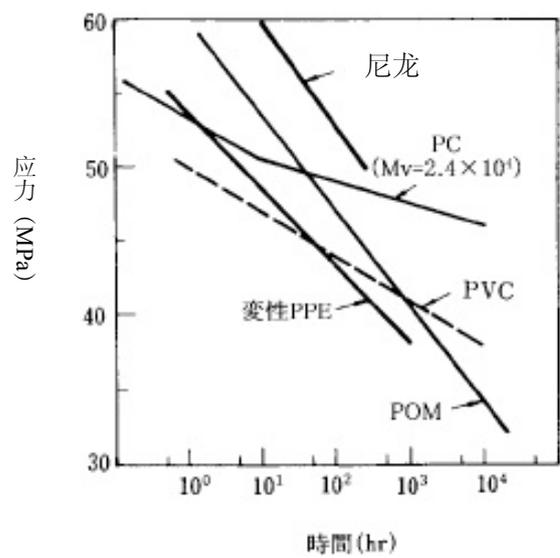


图 3.8.2-9 其他树脂的蠕变断裂曲线

3.8.3 负荷变形和回复

聚碳酸酯的压缩负荷变形如表 3.8.3-1 所示。

表 3.8.3-1

温度 (°C)	负荷 MPa (kgf/cm ²)	ASTM-D621-51 24 小时后变形率 (%)
25	27.5 (280)	0.220
70	27.5 (280)	0.282
25	13.7 (140)	0.101
70	13.7 (140)	0.080

另外，材料上放置一个 (Φ10.16) 球，压缩负荷为 1.11kN (113.4kgf) 时，变形 1.42mm 瞬间回复率为 97%，5 天后回复率达到 100%。

聚碳酸酯在 100°C 时拉伸变形的回复如表 3.8.3-2 所示 (参照图 3.8.2-1)。

在常温下拉伸变形 1000 小时后除去负荷情况下的回复如图 3.8.3-1 所示。

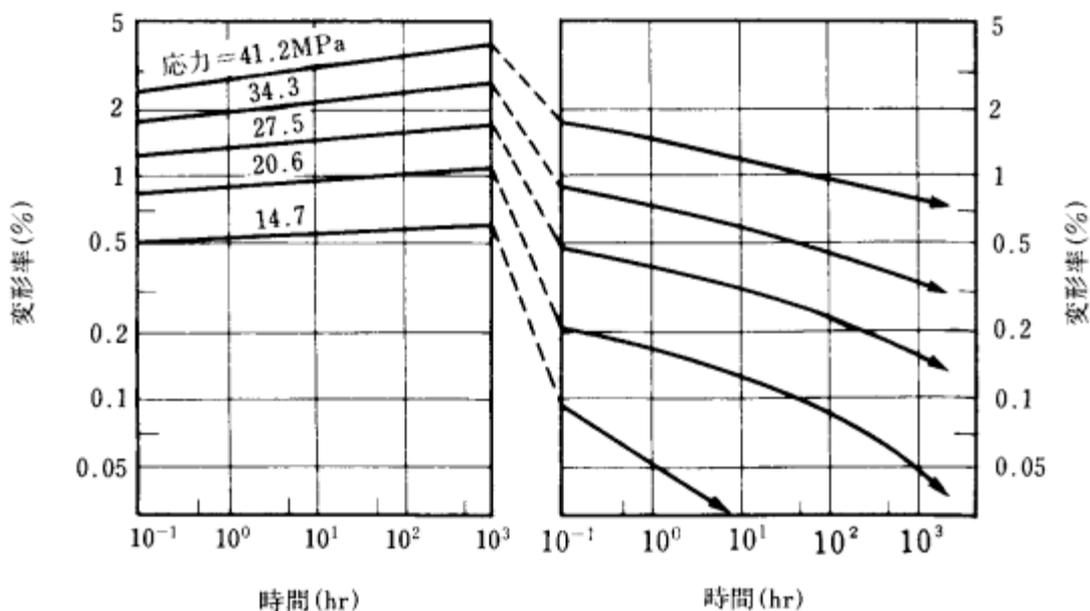


图 3.8.3-1 聚碳酸酯的回复举动

表 3.8.3-2

应力 MPa (kgf/cm ²)	初期应变 %	1000 小时后的 蠕变%	全变形率 %	回复率 回复/全变形%
3.84 (39.2)	0.0298	0.2797	0.3095	38.5
7.70 (78.5)	0.3059	0.6941	1.000	32.2
15.4 (157)	0.7267	1.300	2.027	35.3
19.2 (196)	1.162	3.500	4.662	21.0

3.8.4 应力松弛

Iupilon/Novarex 的应力松弛曲线如图 3.8.4-1 所示。

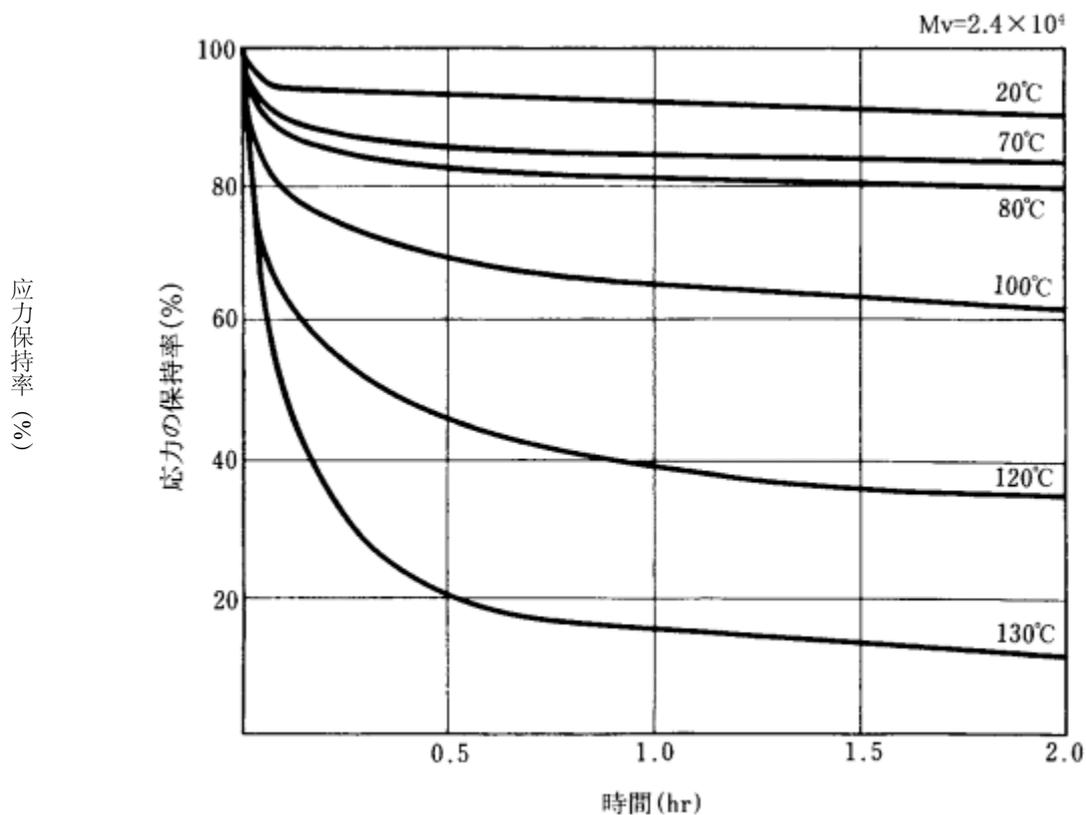


图 3.8.4-1 Iupilon/Novarex 的拉伸应力松弛（初始负荷 9.8MPa，温度 120，130℃ 情况下为 4.9MPa）

3.8.5 实用极限应力

表 3.8.5-1

	实用极限应力 MPa (kgf/cm ²)	
	拉伸	压缩
间歇负荷 (室温)	27.5 (280)	41.2 (420)
间歇负荷 (52℃ 空中)	23.5 (240)	23.5 (240)
间歇负荷 (100℃ 空中)	20.6 (210)	20.6 (210)
间歇负荷 (室温, 湿气, 蒸汽中)	27.5 (280)	41.2 (420)
永久负荷	13.7 (140)	13.7 (140)
循环振动负荷	6.9 (70)	6.9 (70)

3.9 应力开裂

塑料制品实际使用时，会发生银纹和裂缝开裂现象。这个银纹和裂缝开裂有可能是因为外部所施应力的关系（应力开裂），也有可能因为有异物存在，微小应力就开裂（环境应力开裂）。另外，银纹和裂缝，在透射电子显微镜下观测有非常明确的区别。也就是，银纹因为局部趋向的关系分子链的密度比较低，就好像海绵里面存在小孔洞那样的结构，裂缝则是形成了完全开裂的空间。但是，肉眼下银纹和裂缝并没有明显的区别，在肉眼观察下有时候银纹中间也含有裂缝。

Iupilon/Novarex 的弯曲试验片，施加弯曲负荷或者弯曲挠度，在一定诱导时间之后，银纹（单一方向施加应力使银纹发生）就会发生。这之后，已经发生的银纹的成长，停止或者新的银纹的发生等等事项的确认中，在实际应用面上来讲，有关银纹发生的诱导时间的确认是非常重要的。一件事。

Iupilon/Novarex 在恒定重量银纹发生的诱导时间和弯曲应力的关系如图 3.9-1 所示。诱导时间随着应力的减小而变大，最终达到无限大，Iupilon/Novarex 材料，当 $Mv=2.4\sim 3.0\times 10^4$ 应力大约 29.4MPa (300kgf/cm²)， $Mv=2.2\times 10^4$ 应力大约是 19.6 MPa (300kgf/cm²) 的情况下，银纹不会发生。

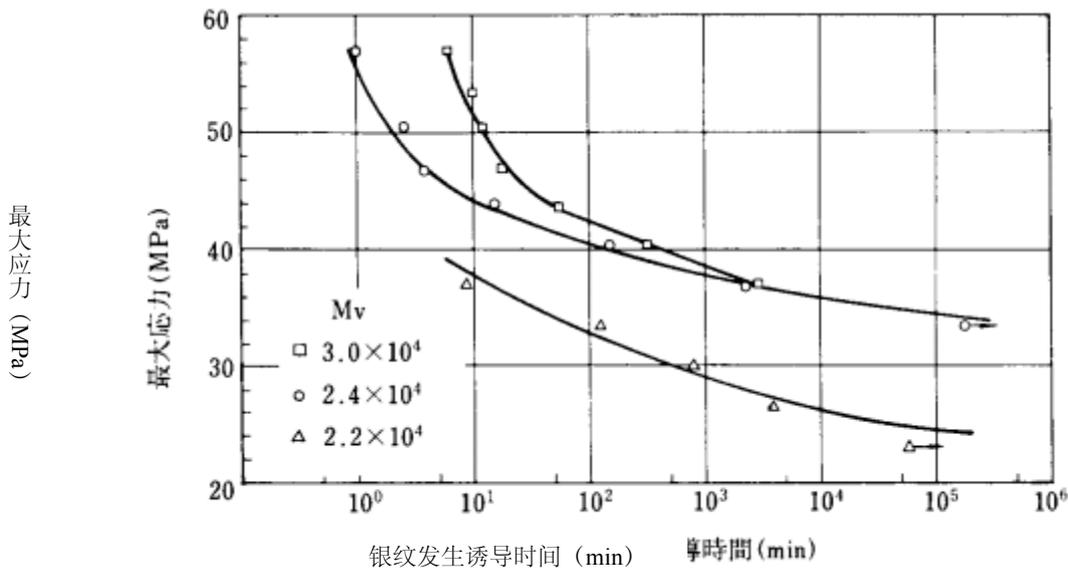


图 3.9-1 银纹发生的诱导时间随弯曲负荷的变化

银纹的发生，随热处理或者添加物的影响而变化，这个关系如图 3.9-2 所示。经过热处理，银纹发生会比较容易。图 3.9-3 说明了，在室温附近银纹的发生状况，低温情况下银纹发生会急剧减慢。

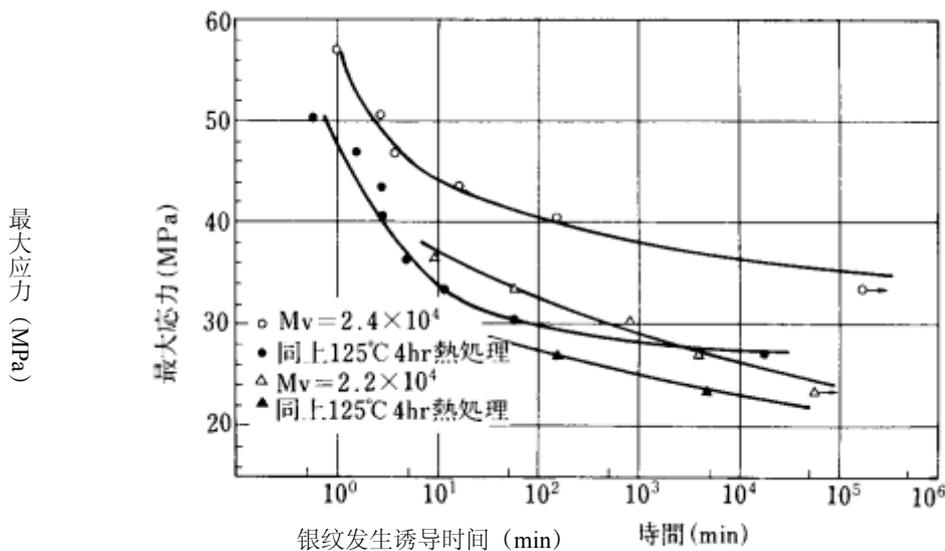


图 3.9-2 银纹发生时间随热处理的变化 (测定温度: 室温)

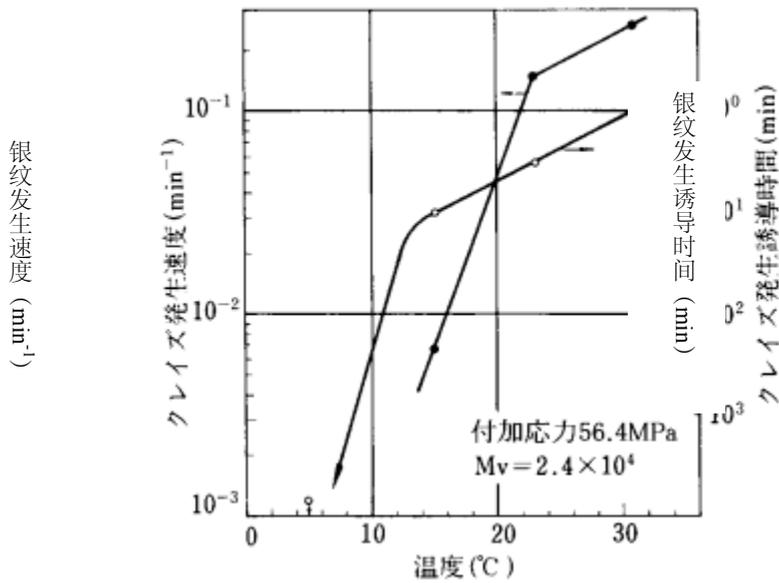


图 3.9.3 室温附近银纹发生状况

Iupilon/Novarex 的弯曲试验片一定应变施加的情况下，银纹的发生状况如图 3.9-4, 5, 6, 7, 8 所示。温度的影响如图 3.9-4, 5 所示，空气温度上升同时，银纹的发生更加容易。图 3.9-6 表明了分子量依存性的关系。热处理的影响如图 3.9-7, 8 所示。一定负荷的情况下，同样的银纹比较容易发生。

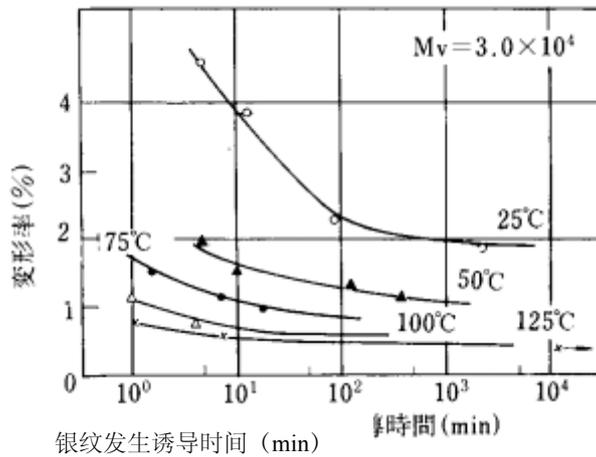


图 3.9-4 一定应变下银纹发生的诱导时间

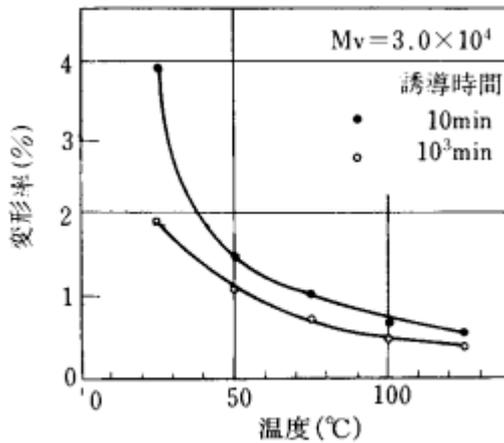


图 3.9-5 银纹发生诱导时间的温度依存性

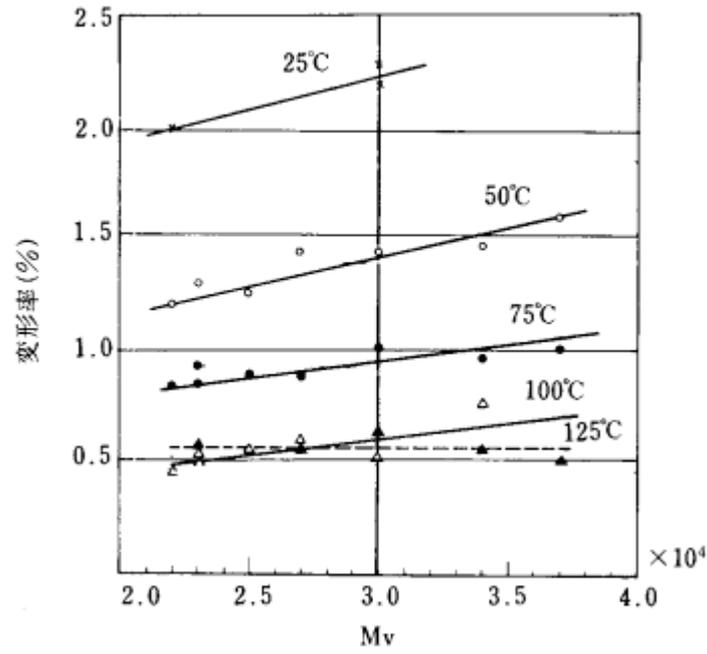


图 3.9-6 银纹发生诱导时间的分子量依存性 (诱导时间达到 100min 时)

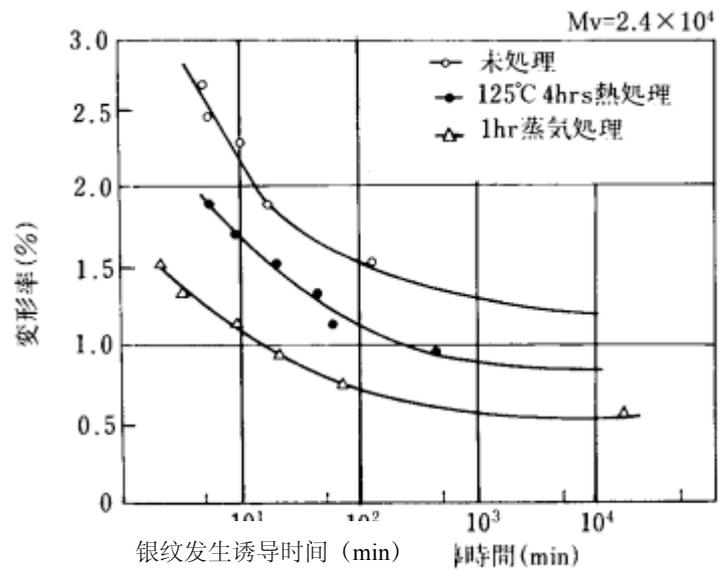


图 3.9-7 银纹发生诱导时间随热处理的变化 (测定温度: 50°C)

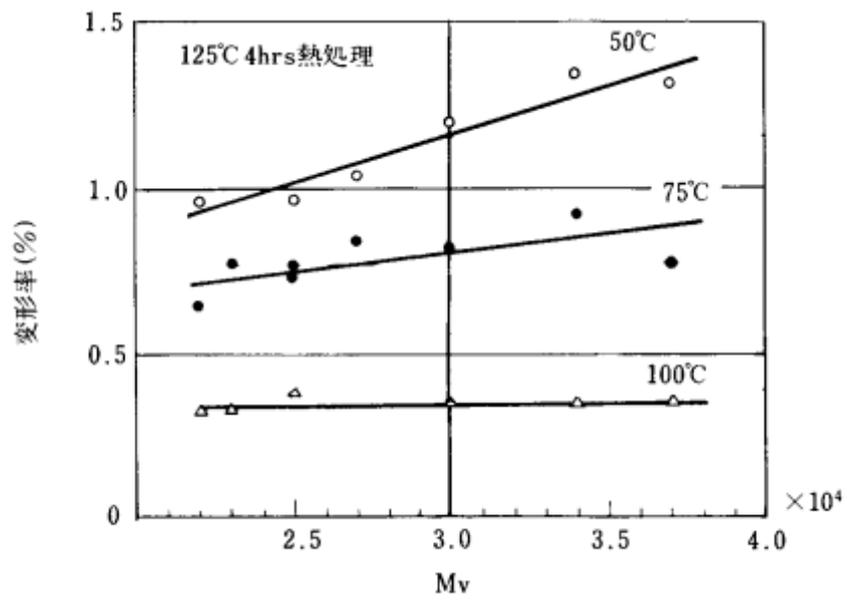


图 3.9-8 热处理试验片的银纹发生诱导时间 (100min) 的分子量依存性

4. 热学性质

4.1 转移点

4.1.1 玻璃化转移点（二次转移点）

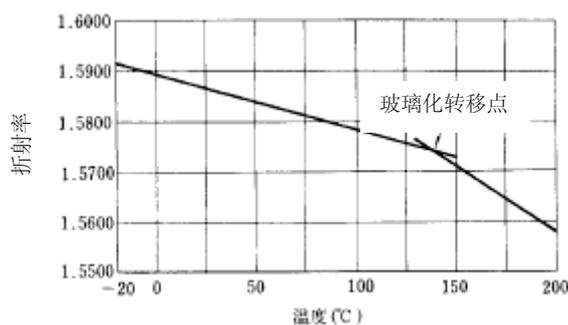
聚碳酸酯的玻璃化转移点可以通过折射率的变曲点求得，如4.1.1-1 图所示为141~149℃。通过其他如，膨胀系数、比热、示差热分析、粘弹性等测定求得的玻璃化转移点在130~155℃的范围内。

通过进一步调查发现玻璃化转移点会随着分子量而改变，该关系如4.1.1-2 图所示（ T_g 为通过示差热分析求得）。

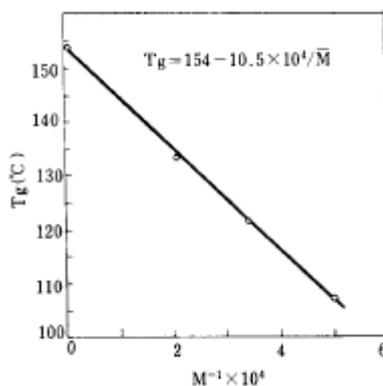
另外，已知玻璃化转移点具有压力依存性，聚碳酸酯的情况下为

$$\partial T_g / \partial p = 0.044^\circ\text{C} / \text{atm}$$

与其他树脂的比较如4.1.1-1 表所示。



4.1.1-1 图 聚碳酸酯的折射率的温度特性



4.1.1-2 图 T_g （玻璃化转移点）与 M^{-1} （分子量）的关系

4.1.1-1 表 其他树脂的T_m, T_g以及分散温度

聚合物名	T _m 熔点	T _g 玻璃化转移点 (温度)	分散温度				
			结晶分散	主分散	副分散	副分散	副分散
聚乙烯	107~ 138	-53~-23	60 72	-18 -8 23	-126 -111 -65		
聚丙烯	168~ 170	-35	82	-2 22	-83 -40	-215 -173	
聚氯乙烯 (PVC)	217	77		91 117 127	-38 12		
聚氯乙烯	190	-18	77	33	-23		
聚四氟乙烯	327	-73~-63	127 150	-33	-93 -66 -31		
聚苯乙烯	230	80~90		117 131 148	40	-153 -53 87	
聚甲基丙烯酸 (PMMA)		82~102		127 143 167	27 103	-115 -69 17	-183 -143 -53
聚醋酸乙烯酯		7~27		30 90	-47	-113 -17	
聚对苯二甲酸 乙二醇酯 (PETP)	265	63~83		57 127	-10 7		
聚甲醛	177	-40~-60	127	-13 45 127	-73 -58 -33		
尼龙6	223	33~53		57 82	-61 -23 32	-128 -105 30	
尼龙66	275	33~53		67 82	-53 -23	-125 -103	

注：分散温度为上段于1，中段于10³，下段于10⁶Hz下的测定结果。

4.1.2 熔点

Iupilon/NOVAREX粒料的软化点为220~230℃。
 聚碳酸酯的结晶熔点为，约230~260℃（参照4.5.2-2 图）
 其结晶的融解热为134J/g（32cal/g）。
 关于其他树脂的熔点，如4.1.1-1 表所示。

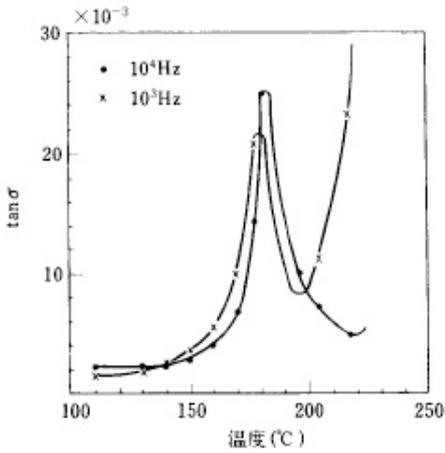
4.1.3 分散温度

据研究，热可塑性树脂分子链除了宏观布朗运动外的主分散域外，还存在引起局部热运动（例如主链的一部分或侧链，甲基的热运动）的副分散域。聚碳酸酯也不例外，在多部文献中显示了上述情况的存在。上述内容总结为4.1.3-1 表所示。

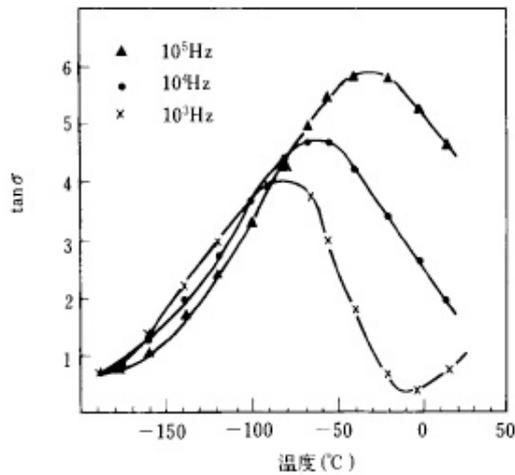
4.1.3-1 表 聚碳酸酯的分散温度

分散的种类	主分散 α	副分散 β	副分散 γ	副分散 δ
分散温度 (℃)	157 (1) 175 (10^3) 195 (10^5)	0~100	-100 (1) -80 (10^3) -3 (10^6)	-200~-100
热运动的种类	主链的宏观布朗运动		伴随受限制的苯基运动的羰基的自由旋转运动	甲基的自由回转运动（从MMR）

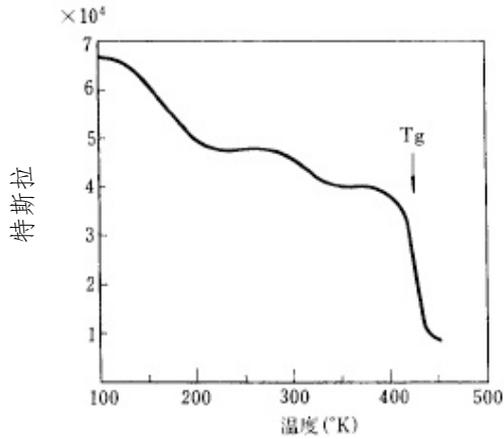
这种分散如4.1.3-1, 2, 3, 4 图所示。4.1.3-1 图为主分散，4.1.3-2 图为 γ 分散，4.1.3-3 图为 δ 分散。关于 β 分散，虽有诸多文献承认其存在，但并没有确实的证据。4.1.3-4 图为其中一例。
 关于其他树脂请参考4.1.1-1 表。



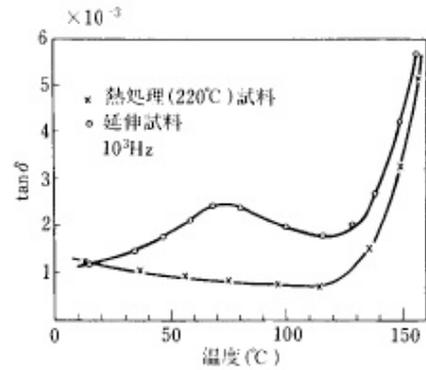
4.1.3-1 图 主分散域中的tan δ 的变化



4.1.3-2 图 低温域中的tan δ 的变化



4.1.3-3 图 聚碳酸酯的NMR Line width的温度变化 (1Gs=10⁻⁴ T)



4.1.3-4 图 室温域中的tan δ 的变化

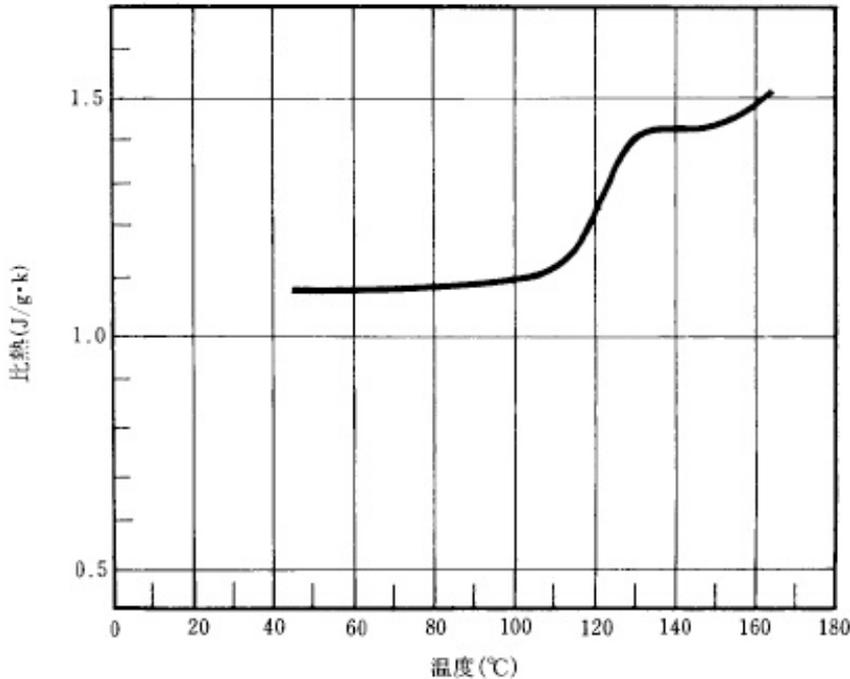
4.2 热传导率及比热

聚碳酸酯的比热如4.2-1 图所示,随温度变化而变化,可以认为在实用温度范围内为1.09~1.17J/(g.k) (0.26~0.28cal/g.°C)。该数值与一般合成树脂差异不大,约相当于铁.铜等的3倍。

聚碳酸酯的热传导率为

0.19w/(m.k) (4.6×10⁻⁴cal/cm.sec°C)

该数值与一般合成树脂没有太大差异,是铁的1/400,铝的1/1000,铜的1/2000,与金属相比显得非常小。



4.2-1 图 聚碳酸酯的比热— 温度特性

其他树脂的热传导率及比热如4.2-1 表所示。

4.2-1 表 热学性质的比较

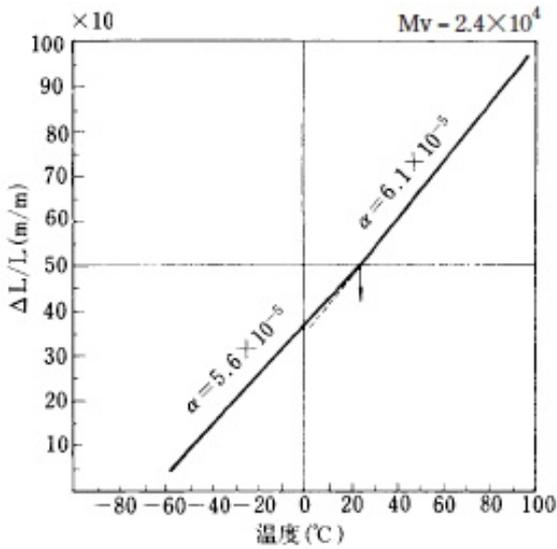
聚合物名称	热传导率 W / (m · k) (cal/cm. sec°C) X 10 ⁻⁴	比热 kJ / (kg · k) (cal / g · °C)	线性热膨胀 系数 10 ⁻⁵ · k ⁻¹	脆化温度 °C	负荷挠曲温度 (°C)	
					1820kpa (18.6kgf / cm ²)	455kpa (4.6kgf / cm ²)
聚乙烯 低密度	0. 33 (8)	2. 3 (0. 55)	16-18	-85--55	32-41	38-49
聚乙烯 高密度	0. 46-0. 52 (11-12. 4)	2. 3 (0. 55)	11-13	-140	43-54	60-88
聚丙烯	0. 14 (3. 3)	1. 9 (0. 46)	6-10	-10--35	57-63	93-110
亚克力 (PMMA)	0. 17-0. 25 (4-6)	1. 5 (0. 35)	5-9	90	70-100	74-110
聚苯乙烯	0. 10-0. 14 (2. 4-3. 3)	1. 4 (0. 33)	6-8		80-90	
聚氯乙烯	0. 13-0. 17 (3-4)	1. 0 (0. 24)	5-6	81	54-79	57-82
聚二氯乙烯	0. 13 (3)	1. 3 (0. 32)	19	0--30	55-65	
聚四氟乙烯	0. 25 (6)	1. 0 (0. 25)	10			121
聚乙酸乙烯酯	0. 16 (3. 8)	1. 6 (0. 39)	8. 6		38	
聚丙烯腈 · 苯乙烯 (AS)	0. 12 (2. 9)	1. 4 (0. 33)	6		88-102	
尼龙66	0. 22-0. 24 (5. 2-5. 8)	1. 7 (0. 40)	10-15		66	
尼龙6	0. 21 (5. 0)	1. 6 (0. 38)	8-13	-85-60	62	150
聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PETP)			27			
聚醚	0. 23 (5. 5)	1. 5 (0. 35)	8. 2	-76--120	110	170
三醋酸纤维素	0. 17-0. 33 (4-8)	1. 5 (0. 35)	8-16		44-91	49-98
改性PPE	0. 22 (5. 2)	1. 3 (0. 32)	5. 6	<-40	117	128
聚砒		1. 3 (0. 3)	5. 6		174	181
聚碳酸酯	0. 19 (4. 6)	1. 1 (0. 27)	6	-135	130-136	136-142

4.3 热膨胀率

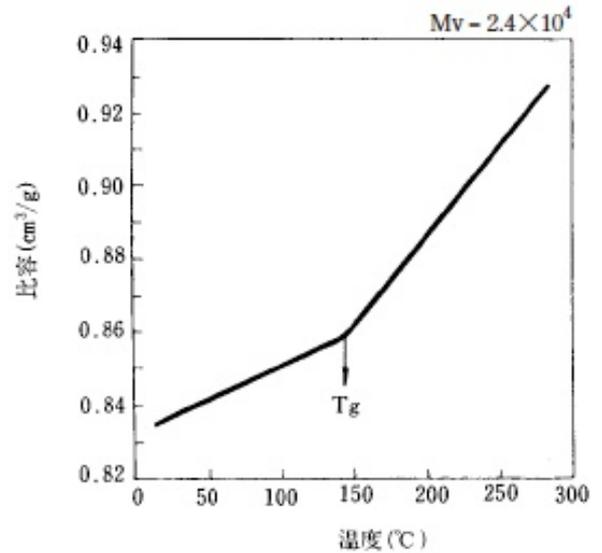
Iupilon/NOVAREX的线性热膨胀率在20~120℃时为
 $6 \sim 7 \times 10^{-5} / \text{K}$

Iupilon/NOVAREX的体积膨胀率在30~130℃的范围内为
 $(20 \pm 5) \times 10^{-5} / \text{K}$

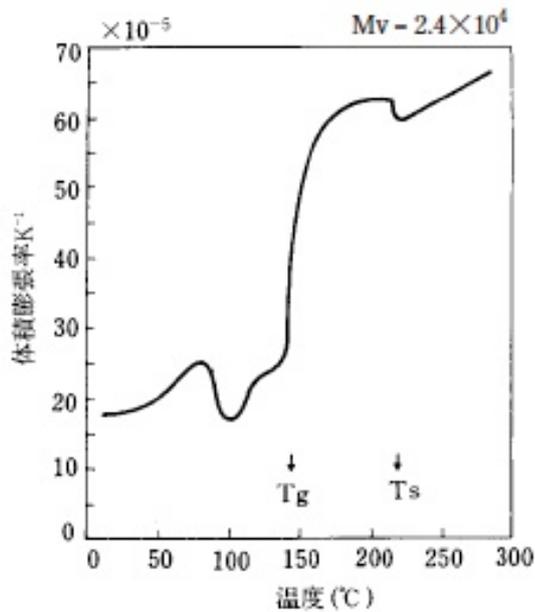
长度及容积的变化如4.3-1, 2 图所示。体积膨胀率的温度变化如4.3-3 图所示。线性热膨胀率在室温附近具有拐点，靠近低温域侧偏小。



4.3-1 图 Iupilon/NOVAREX的线性热膨胀率



4.3-2 图 比容的温度变化



4.3-3 图 体积膨胀率的温度变化

4.4 负荷挠曲温度

Iupilon/NOVAREX的负荷挠曲温度 (ASTM-D648-56) 为

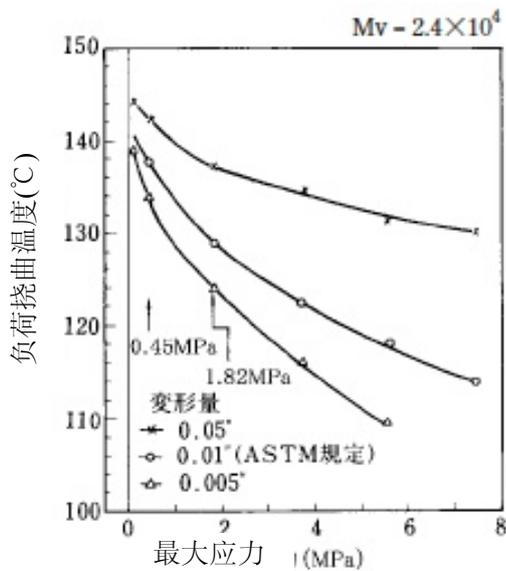
应力1.82MPa (18.6kgf/cm²) 132~138°C

应力0.45MPa (4.6kgf/cm²) 138~144°C

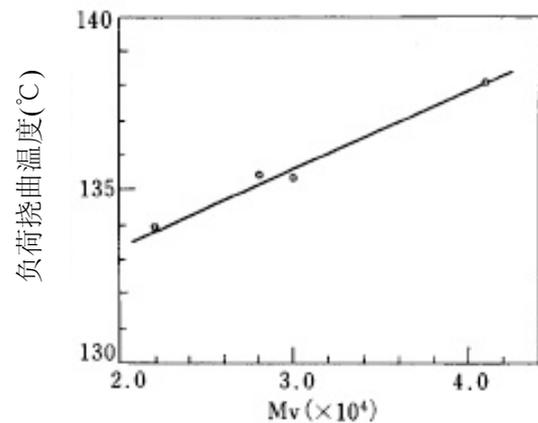
负荷挠曲温度会随附加荷重而变化, Iupilon/NOVAREX的情况如4.4-1 图所示。与T_g (玻璃化转移点) 同样表现出具有分子量依存性, 如4.4-2 图所示。

对Iupilon/NOVAREX进行热处理后, 与其他物性相同地表现为热硬化, 负荷挠曲温度会如4.4-3 图所示急速变化。

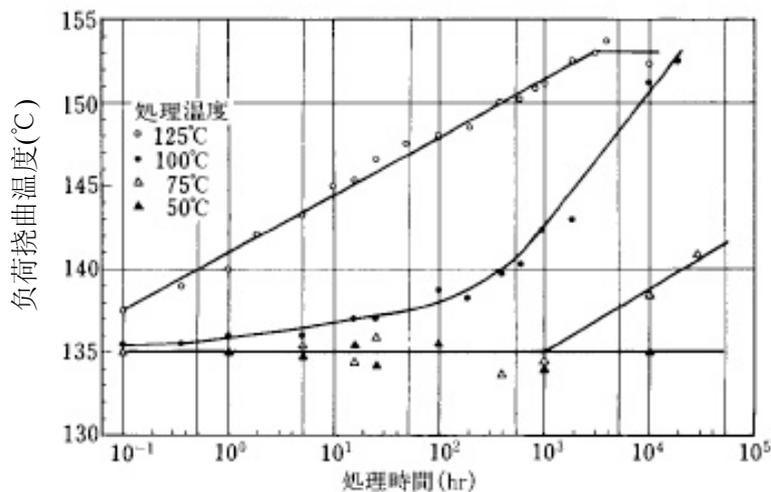
与其他树脂的比较请参考4.2-1 表及4.4-4 图。



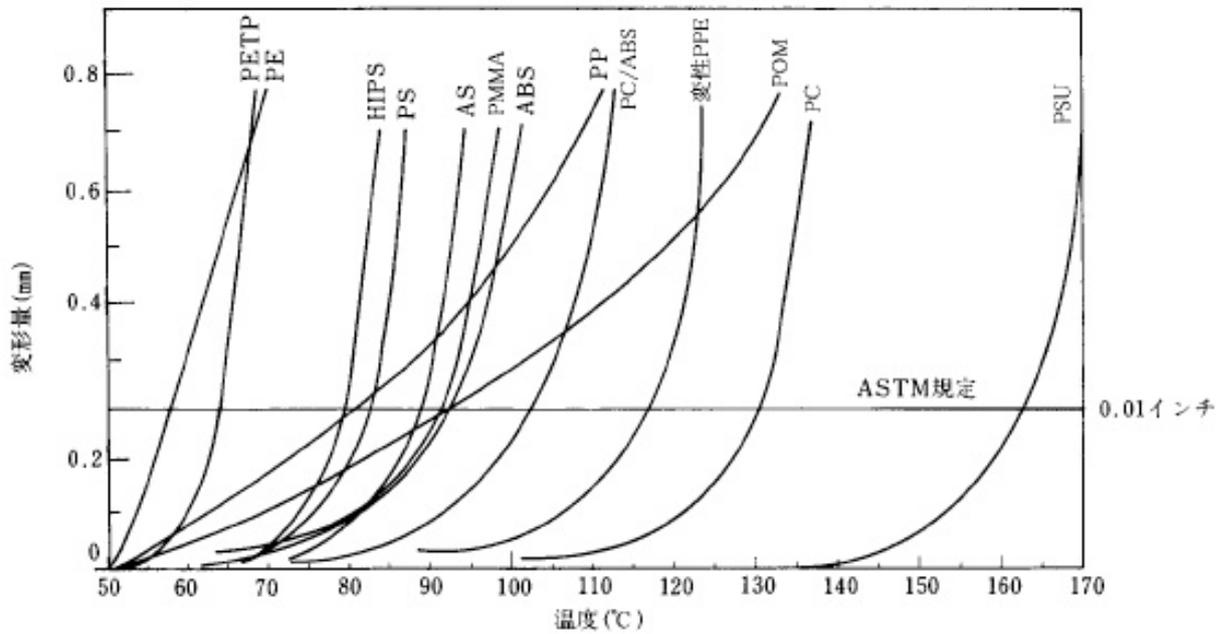
4.4-1 图 负荷导致负荷挠曲温度的变化



4.4-2 图 分子量与负荷挠曲温度 (应力1.82MPa)



4.4-3 图 热处理导致的负荷挠曲温度的变化 (应力1.82MPa)
(M_v = 2.8 × 10⁴)



4.4-4 图 各种树脂的负荷挠曲温度（应力1.82MPa）

4.5 热稳定性及热分解

Iupilon/NOVAREX的示差热分析结果如4.5.2-2图，通过该结果可知其具有优异的耐热性，进一步进行详细的研究，发现在各种温度域（实用温度域，加工温度域，分解燃烧域），环境（酸素，空气中，氮气流中，真空中，蒸汽中），其变化分别有所不同。

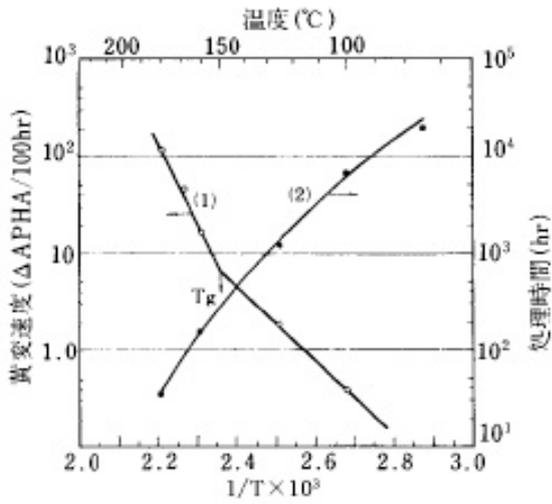
4.5.1 低温域

已知Iupilon/NOVAREX在 T_g 以下温度进行热处理时，会由于硬化现象而导致发生物性变化，并有很多通过固体构造变化来探索其原因的研究。但是，已知在该温度域中置于空气中长时间加热的情况下，会引起变色、分子量下降等、化学变化（氧化、分解）。

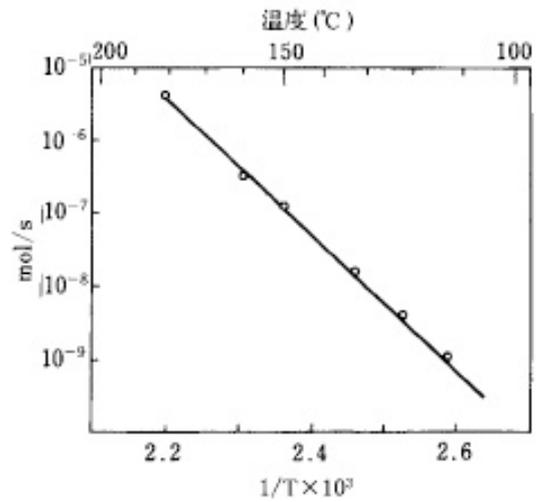
4.5.1-1 图为对在该温度域下的黄变度进行整理后所得结果。曲线（1）表现了黄变速度的温度依存性，在 T_g 的上下域变化的状态有所不同。这被认为是由于分子链热运动的差异，即氧气的扩散速度不同所导致的。曲线（2）为与黄变度等价的处理时间及温度的关系。

4.5.1-2 图表现了在该温度域中的 CO_2 的产生速度，碳酸酯键的断裂，即分子量的下降。

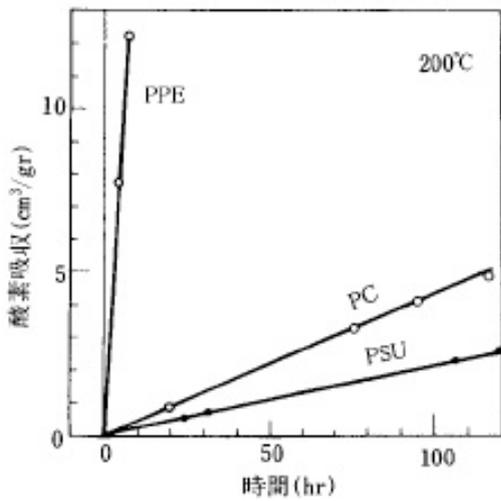
4.5.1-3, 4 图为与其他树脂的氧化性比较的结果，显示了聚碳酸酯的抗氧化性。



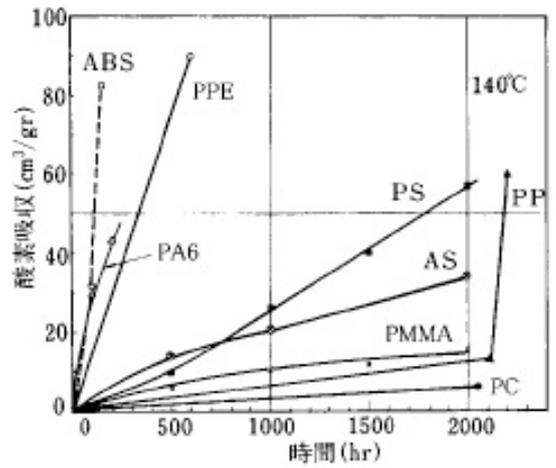
4.5.1-1 图 Iupilon/NOVAREX的黄变速度
($M_v = 2.4 \times 10^4$)



4.5.1-2 图 110°C ~ 180°C时CO₂的产生
($M_v = 2.4 \times 10^4$)



4.5.1-3 图 200°C时的氧气吸收速度

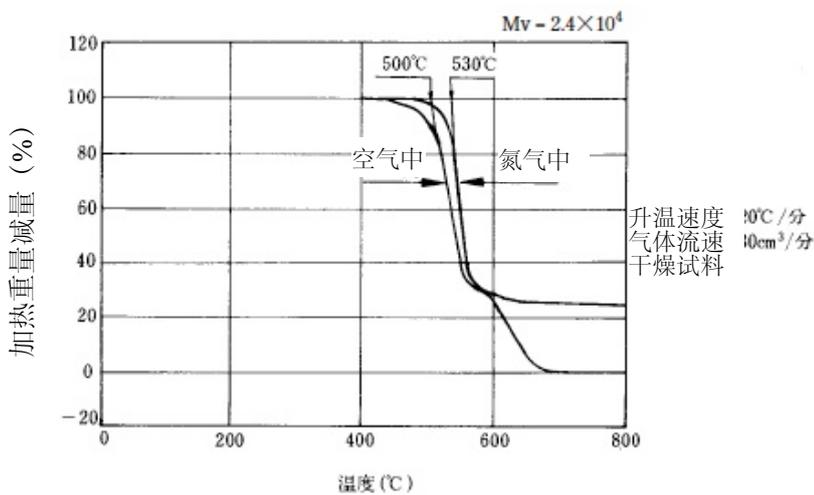


4.5.1-4 图 各种树脂的氧气吸收速度

4.5.2 高温域

Iupilon/NOVAREX的热稳定性非常好，如4.5.2-1 图所示，在超过450°C以上后逐渐开始变化，在这样的高温域中，环境、不纯物、添加剂的影响比较大，特别是氧气、水分会严重地促进热劣化。

4.5.2-1 图 Iupilon/NOVAREX的热天秤分析结果



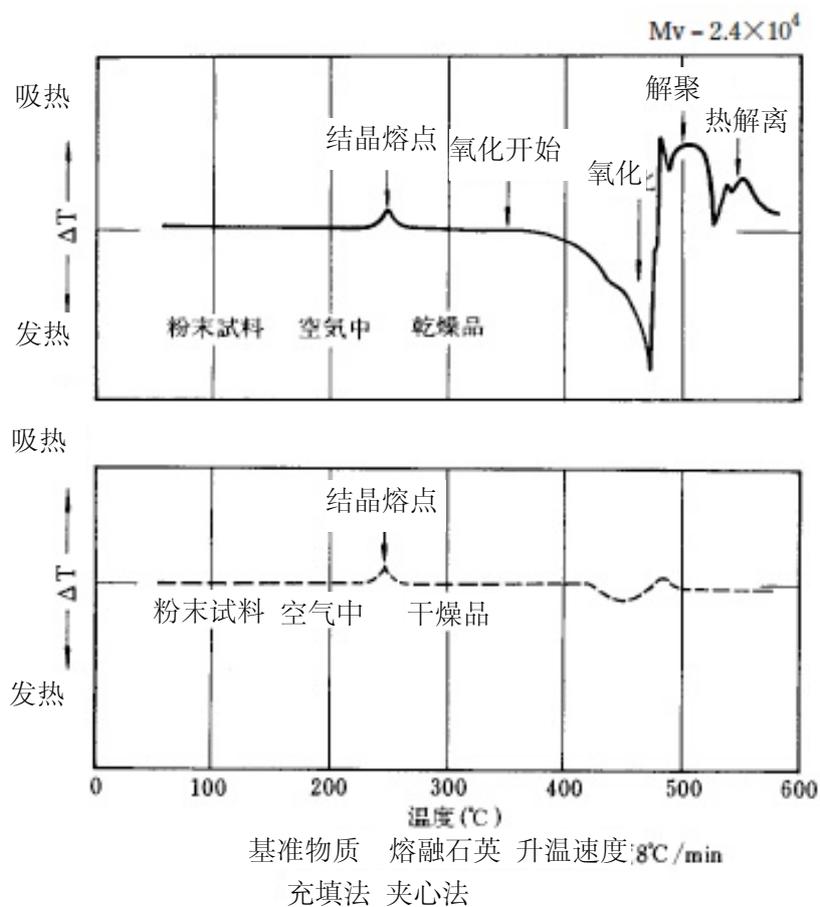
Iupilon/NOVAREX的热分解由4.5.2-2 图所示的示差热分析结果可知，分为一个放热域与二个吸热域。放热域为分解的最初阶段，通过观测可知氧化反应于340℃附近开始产生放热波峰，在470℃附近到达最高。第一吸热域基于解聚，其峰值于500℃。第二吸热域中键能量与热量等值，达到所有键开始断裂的领域。在氮气中时，不单基于热氧化的发热波峰，吸热波峰也大幅减少，证明了氧气对其显著的影响。

因热分解产生的分解气体如4.5.2-1 表所示，会因环境不同而产生若干变化，主要由碳酸基分解产生的CO₂，CO和Me基的分离产生的CH₄，以及BPA（双酚A）及其分解产生的各种酚类物质组成。4.5.2-3, 4, 5 图为显示，CO₂，CH₄，及酚类的产生。在空气中300℃左右表现活跃，氮气中会向约50℃的高温侧移动。

4.5.2-6, 7 图为在氮气以及空气中加热2 小时以上的情况下，Iupilon的分子量下降的状况。

另外，长时间于真空密闭管中加热的结果如4.5.2-8 图所示。

4.5.2-9, 10 图为表示热分解速度的温度依存性，氧气、水分对其的影响相当大。

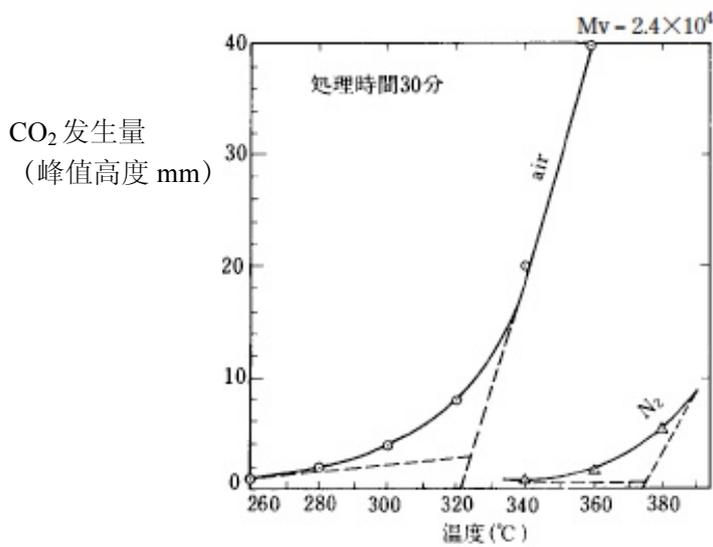


4.5.2-2 图 Iupilon/NOVAREX的示差热分析结果

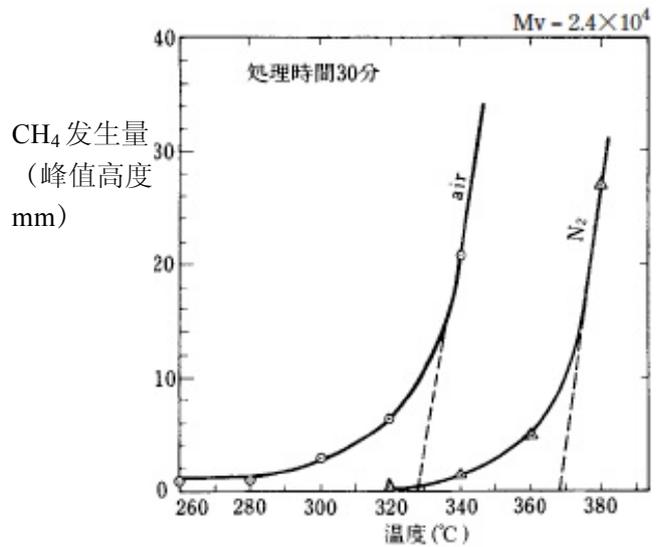
4.5.2-1 表 聚碳酸酯的分解生成物

(+) 表示生成。

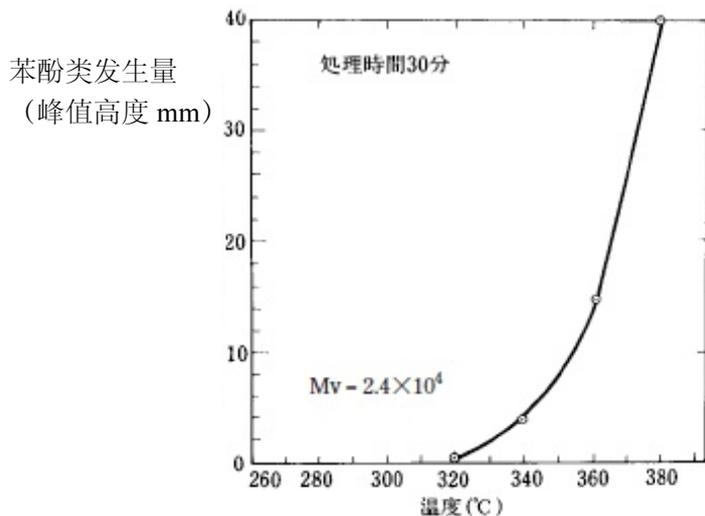
分解生成物	氧气中	空气中	真空密闭	真空连续	分解生成物	氧气中	空气中	真空密闭	真空连续
CO ₂	+	+	+	+	苯	+	+		
CO	+	+	+	+	甲苯	+	+		
CH ₄	+	+	+	+	乙苯	+	+		
H ₂	+				苯酚	+	+	+	+
H ₂ O	+	+	+		甲苯酚	+	+	+	+
HCHO	+				乙苯酚		+	+	+
CH ₃ CHO	+								
丙酮		+			异丙苯酚		+	+	+
甲醇	+				异丙稀苯酚		+	+	+
二苯基碳酸酯					双酚A	+	+	+	+



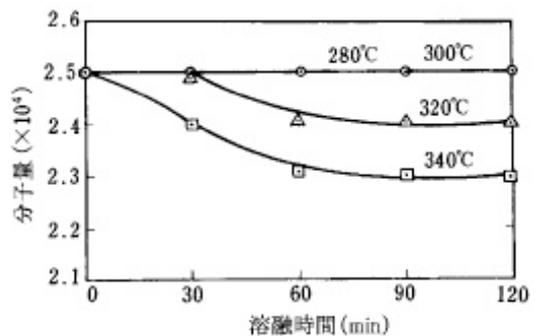
4.5.2-3 图 环境对CO₂发生量的影响



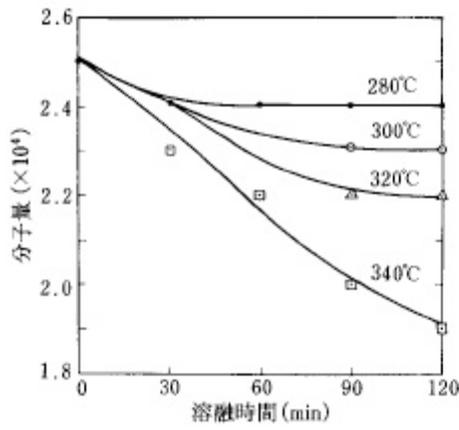
4.5.2-4 图 环境对CH₄发生量的影响



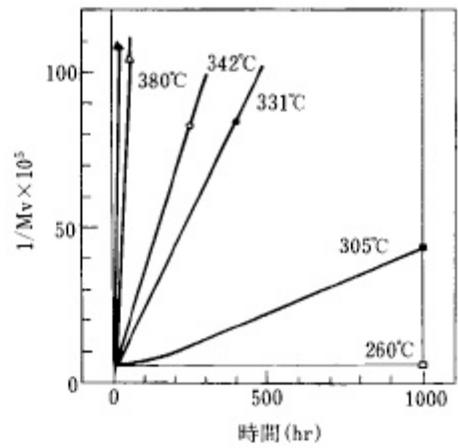
4.5.2-5 图 于空气中加热时分解导致的苯酚类发生量与温度的关系



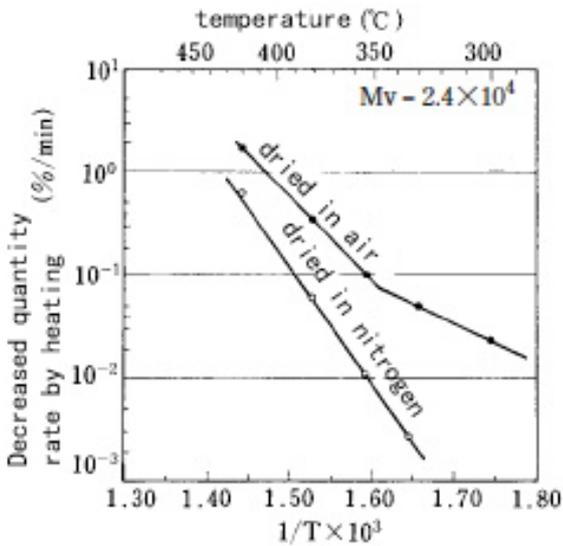
4.5.2-6 图 Iupilon/NOVAREX 的熔融导致的分子量下降 (熔融于完全干燥氮气流中)



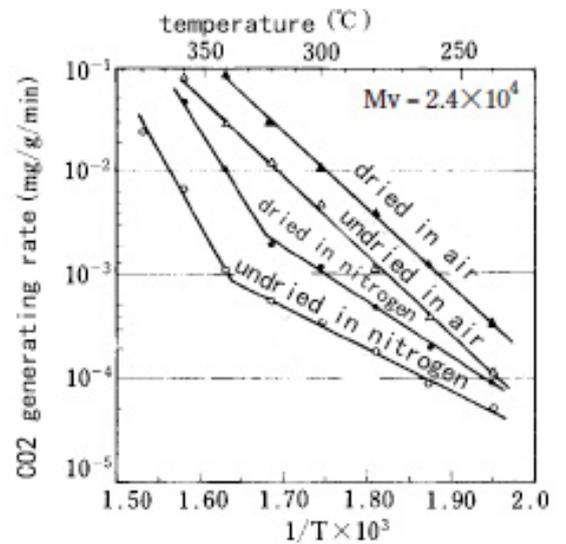
4.5.2-7 图Iupilon/NOVAREX熔融导致的分子量下降
(未干燥, 于空气中熔融)



4.5.2-8 图 真空密封管中的分子量 (Mv) 下降

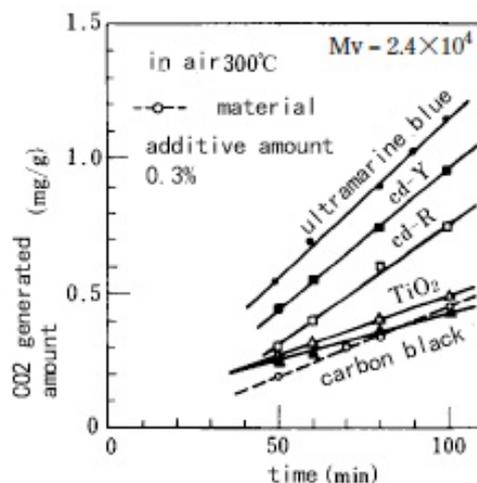
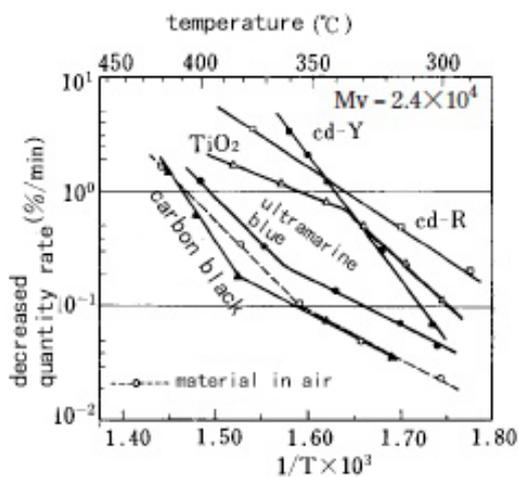


4.5.2-9 图Iupilon/NOVAREX的加热减量速度



4.5.2-10 图Iupilon/NOVAREX的CO2产生速度

在Iupilon/NOVAREX中添加无机充填剂的情况下, 填料会对其热分解造成很大影响。例如, 添加无机颜料时的减量速度如4.5.2-11 图, CO2产生量如4.5.2-12 图所示, 均显示为比单纯素材更大的值。另外, 金属盐类的影响如4.5.2-2 表所示, 碳酸盐类所带来的影响非常大, 其他物质也或多或少会有影响。



4.5.2-11 图 颜料对减量速度造成的影响 4.5.2-12 图 颜料对CO₂的产生造成的影响
(颜料添加量: 1.0%)

4.5.2-2 表 金属氧化物对Iupilon/NOVAREX的热稳定性造成的影响

金属盐的种类	化学结构	pH	分子量Mv×10 ⁴		减量开始温度 (°C)
			0%	1%	
氧化锡	SnO ₂	4. 2	2. 8	2. 4	340
硫酸铅	PbSO ₄	4. 5	2. 8	2. 6	320
铬酸铅	PbCr ₂ O ₃	5. 4	2. 8	2. 4	306
四氧化三铅	Pb ₃ O ₄	7. 8	2. 8	2. 2	210
氧化亚铅	PbO	10. 2	2. 8	2. 5	363
硫化锌	ZnS	2. 4	2. 8	2. 4	250
氧化锌	ZnO	7. 2	2. 8	2. 7	352
碳酸锌	ZnCO ₃	7. 1	2. 8	1. 9	315
硫酸镉	CdSO ₄	6. 3	2. 8	2. 7	335
硫化镉	CdS	6. 3	2. 8	2. 4	340
氧化镉	CdO	9. 4	2. 8	2. 6	315
碳酸镉	CdCO ₃	7. 0	2. 8	2. 0	280
碳酸铝	Al ₂ CO ₃	9. 0	2. 8	2. 7	320
氧化钴	CoO	8. 2	2. 8	2. 7	330
硫酸钡	BaSO ₄	7. 2	2. 8	2. 7	340
二氧化钛	TiO ₂	6. 8	2. 8	2. 7	343
氧化铜	CuO	6. 9	2. 8	2. 5	340
二氧化锰	MnO ₂	6. 6	2. 8	2. 6	350
氧化铁	Fe ₂ O ₃	6. 4	2. 8	2. 7	320
氧化铬	Cr ₂ O ₃	5. 5	2. 8	2. 7	358
硒化镉	CdSe	6. 0	2. 8	2. 8	345

.分子量为于氮气流中熔融1 小时后测定。

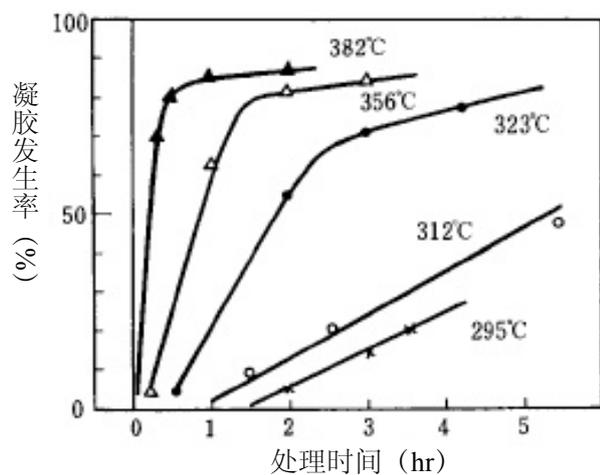
.减量开始温度为, 试料中添加颜料1 %于空气中测定。

在Iupilon/NOVAREX中添加有机添加物时（例如，紫外线吸收剂、稳定剂、防静电剂、发泡剂、可塑剂等），不可使用会与聚碳酸酯发生化学反应的物质。另外，因为聚碳酸酯的加工温度较高，因在超过300℃的温度域下接近有机物质的分解温度，所以不单需要考虑到反应性，也必须充分考虑到其自身的热稳定性。

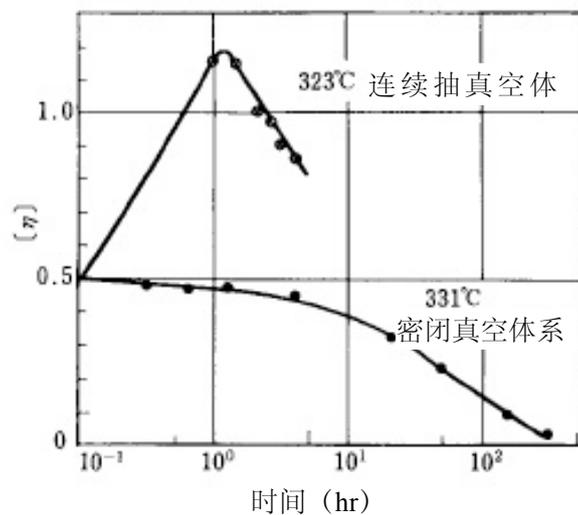
将聚碳酸酯置于真空体系中进行加热时，如过将分解生成物不断连续排除的话，会产生急速出现凝胶状的特异现象。

4.5.2-13 图为表现凝胶的发生状况，4.5.2-14 图为表现二氯甲烷可溶成分的 $[\eta]$ 的变化。4.5.2-15 图为表示该体系中的分解生成物的产生速度。

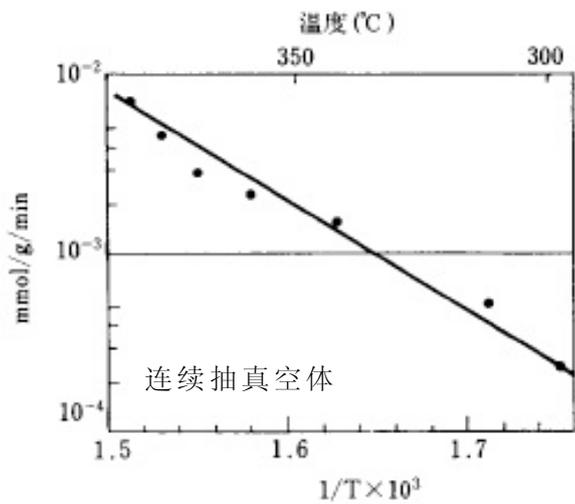
该凝胶现象不单出现于聚碳酸酯，也会发生于聚砜、PPE（聚苯醚）等，如4.5.2-16 图所示。



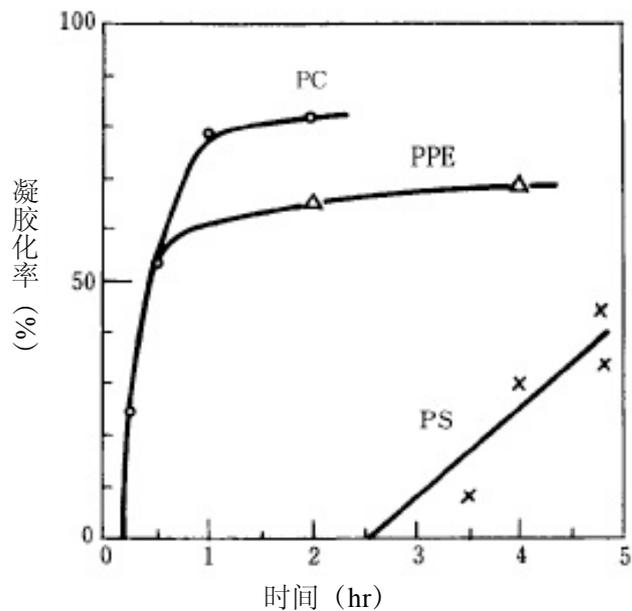
4.5.2-13 图 连续抽真空体系加热导致凝胶的产生



4.5.2-14 图 真空体系加热导致 $[\eta]$ 的变化

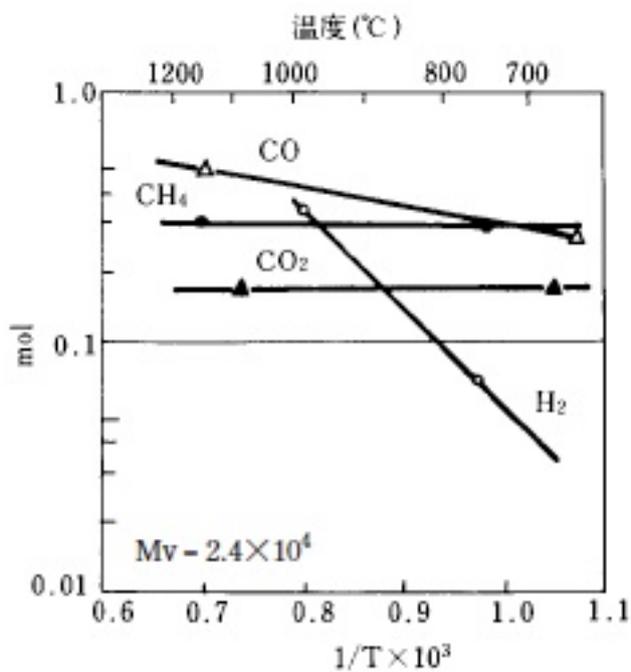


4.5.2-15 图 连续抽真空体系中分解气体的发生速度



4.5.2-16 图 其他树脂的凝胶发生

聚碳酸酯在加热至700~1200°C时分解气体的产生如4.5.2-17 图所示，CO₂及CH₄的产生与温度无关，表现为一定值。

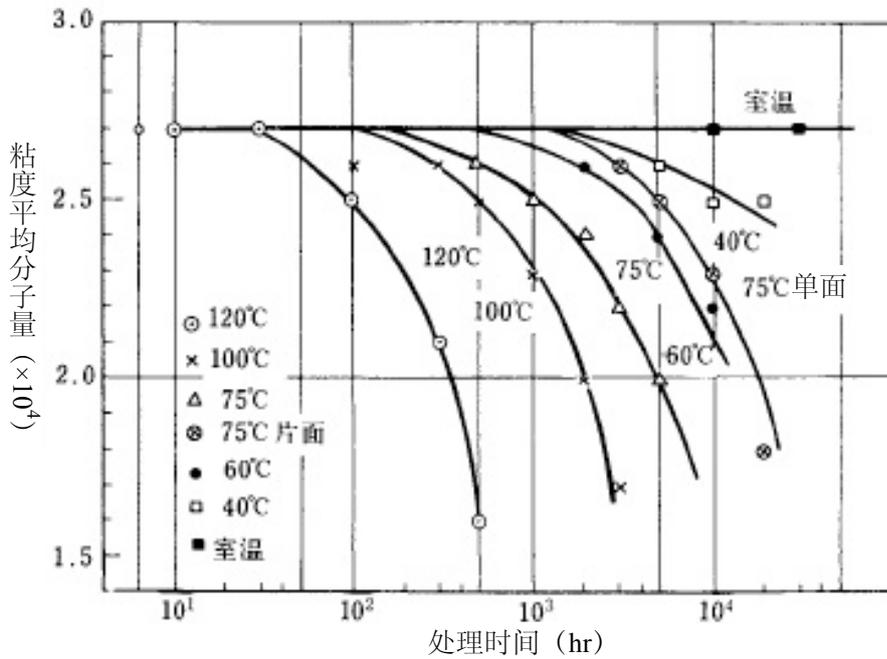


4.5.2-17 图 高温下分解气体的产生

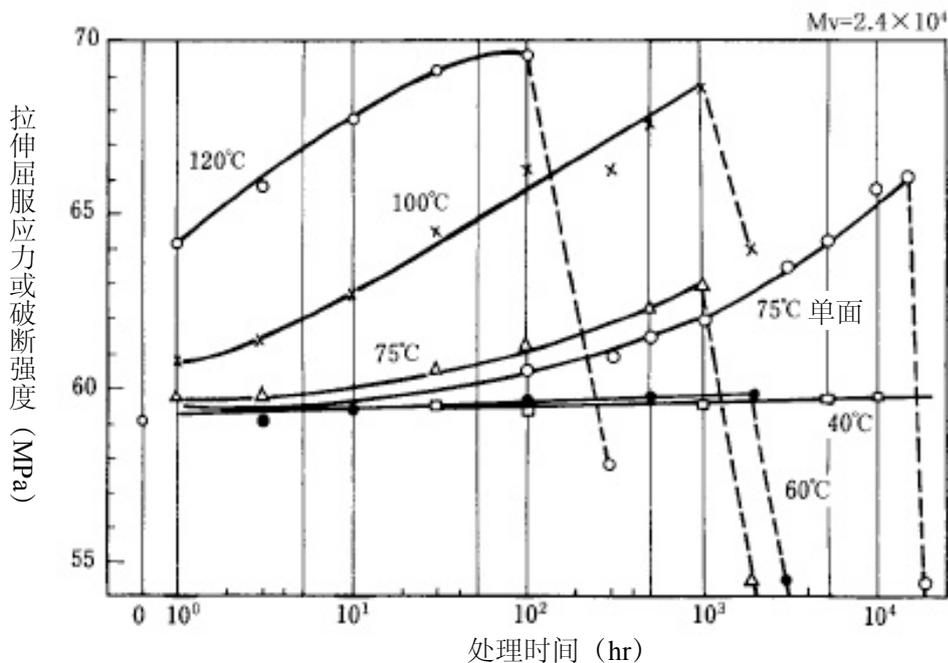
4.6 耐温水性

Iupilon/NOVAREX因其主链结构为酯键，在与温水、蒸汽接触后会逐渐水解使分子量下降。同时会产生裂纹，长时间接触后会导致机械强度下降。

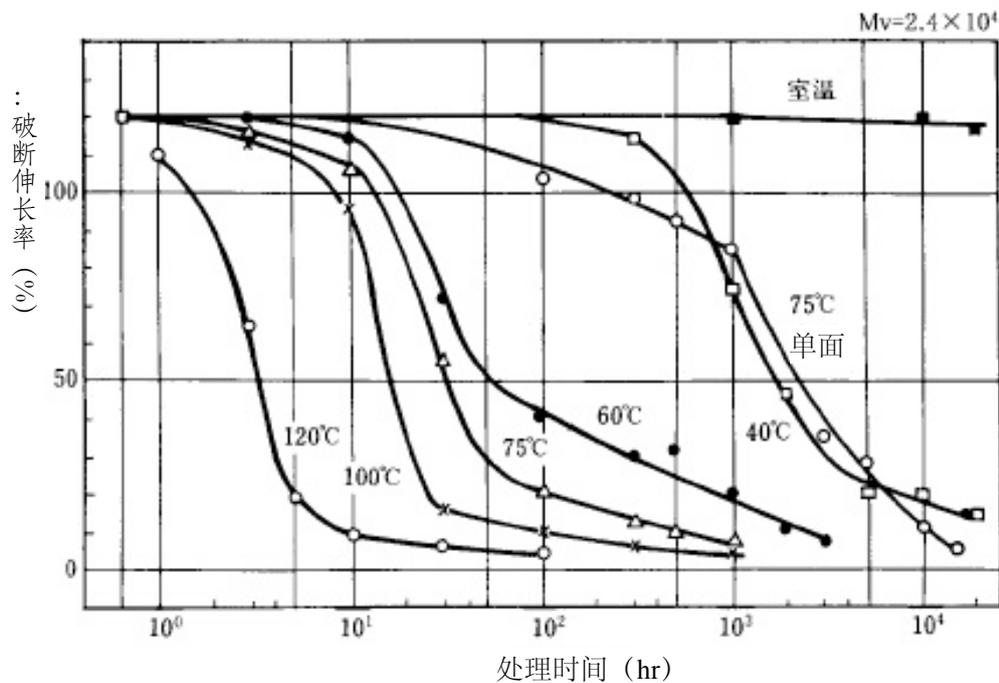
温水处理导致Iupilon/NOVAREX的分子量下降如4.6-1图所示。处理温度越高，分子量下降的速度越快。而且，单面接触时的分子量下降速度比浸渍状况下缓和，例如75°C的情况下，在分子量降低至 2.0×10^4 时的处理时间为（浸渍时的）3 ~ 4倍。



4.6-1 图 热水处理导致的分子量下降



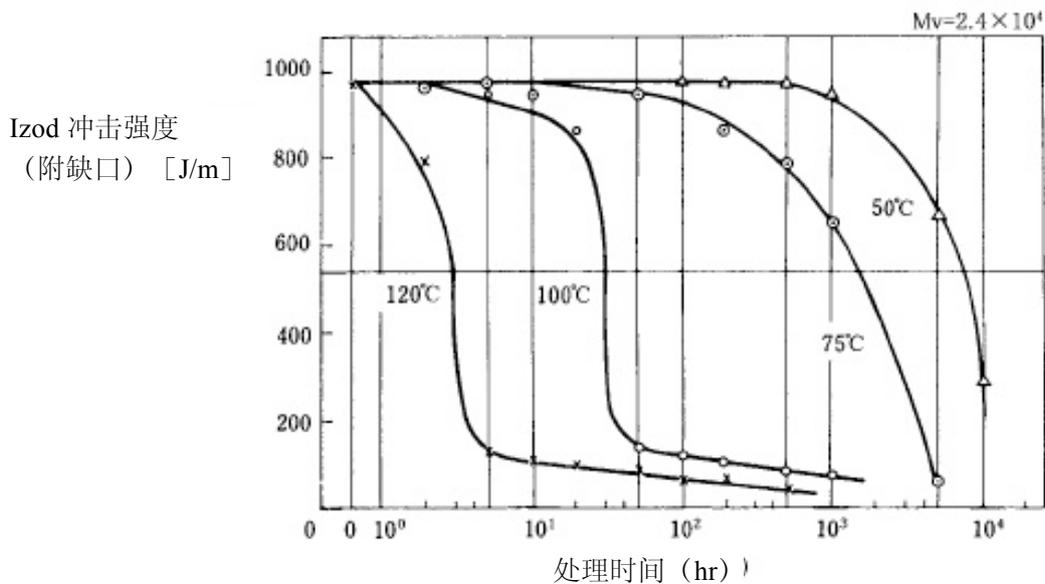
4.6-2 图 温水处理导致的拉伸屈服应力或破断强度的变化



4.6-3 图 温水处理导致的拉伸破断伸长率

经温水处理后的Iupilon/NOVAREX的拉伸性质表现为, 伴随分子量下降产生的裂纹而引起的劣化。4.6-2, 3图表现了这一变化。从延性破坏转移至脆性破坏的时间为, 120°C时(98kPa, 1kgf/cm²蒸气中) 100~200小时, 100°C, 75°C时1000~2000小时, 60°C时2000~3000小时, 75°C单面时为20000小时, 40°C时为20000小时以上。75°C, 60°C的情况下尽管分子量下降并不严重, 但会因裂纹的产生而导致拉伸性质的下降。

Izod冲击强度的劣化如4.6-4图所示。比起干热处理, (湿热处理的) 劣化速度更快。例如, 100°C时, 干热处理(劣化)需时1000小时, 热水处理(劣化)需时30~50小时。



4.6-4 图 温水处理导致的Izod冲击强度的变化

4.7 燃烧性

与其他树脂的比较如4.7-1 表所示。

4.7-1 表 与其他树脂的燃烧性比较

聚合物	燃烧热 kJ/g (cal/g)	发热量 kJ/g (cal/g)	产生水分 wt%	燃烧性 cm/min (in/min)	氧气指数 (%)
聚乙烯	45.9 (10965)		126.6	2.5 (1.0)	17.4
聚丙烯	44.0 (10506)	42.8 (10225)	115.9	2.5 (1.0)	17.4
聚氯乙烯	18.1 (4315)	41.1 (9828)	51.3	self-extinguish ing	47.0
聚四氟乙烯	4.2 (1004)	16.8 (4015)		nonflammabl e	95.0
			67.8		17.3
聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA)	26.2 (6265)	24.6 (5869)	72.1	2.8 (1.1)	18.3
聚苯乙烯	40.2 (9604)	38.4 (9182)		2.5—5.1 (1.0—2.0)	18.1
聚丙烯腈苯乙烯 (AS)			61.2	2.5 (1.0)	
ABS	35.3 (8424)	33.8 (8066)	43.7	3.3 (1.3)	16.2
聚醚	16.9 (4046)	15.9 (3790)		2.8 (1.1)	
乙基纤维素	23.7 (5659)		86.8	2.0—3.6 (0.8—1.4)	28.0
聚酰胺 (尼龙)	30.9 (7371)	28.7 (6863)		self-extinguish ing	30.2 30.4
聚苯醚 (PPE)			46.8		25.0
聚砒				self-extinguish ing	
聚碳酸酯	30.5 (7294)	29.4 (7020)		self-extinguish ing	
共聚碳酸酯 (Iupilon N-3)				self-extinguish ing	31.0

塑料难燃化所必需考虑的关键问题，并不仅仅是改善燃烧性，还包括产生气体的组成、量以及发烟性。针对Iupilon/NOVAREX的情况下，其构成元素为C.H.O，不会产生如HCl（PVC，聚二氯乙烯等）、NH₃、氰气（聚酰胺、ABS、AS等）、SO₂（聚砒等）等有毒气体（参照4.5.2-17图）。而且，关于其发烟性，如4.7-2表中各种树脂的结果所示。聚碳酸酯在发焰燃烧时会表现出中等程度的发烟性，而在熏烧（无焰燃烧）时表现为极少发烟的特性。

4.7-2 表 塑料的发烟性

塑料	厚度 mm	发焰燃烧			熏烧（无焰）燃烧		
		Dm	Rm	T16 (min)	Dm	Rm	T16 (min)
聚氯乙烯	6.4	660	134	0.8	300	12	3.9
聚二氯乙烯	2.8	125					
聚二氟二氯乙烯	0.04	0					
聚氟乙烯	0.05	4					
聚苯乙烯	6.4	660	243	1.3	322	24	7.3
ABS							4.8
聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）	1.2	660	400	0.6	71	4	9.2
醋酸纤维素	5.6	660	23	2.6	156	60	2.7
	6.4	49	12	5.0	434	45	
聚碳酸酯	3.2	174	43	2.1	12	1	
聚苯醚（PPE）	2.0	183					
聚砒	1.5	40					
尼龙纤维	7.6	269	105	1.8	320	45	2.8
丙烯酸纤维	7.6	159	29	0.6	319	49	1.5
聚丙烯纤维	4.6	110	50	1.7	456	60	2.3
橡木材	6.4	155	18	3.9	350	34	4.8

Dm：单位面积发烟量

Rm：发烟速度

T16：Dm=16所需时间

4.8 其他热学性质

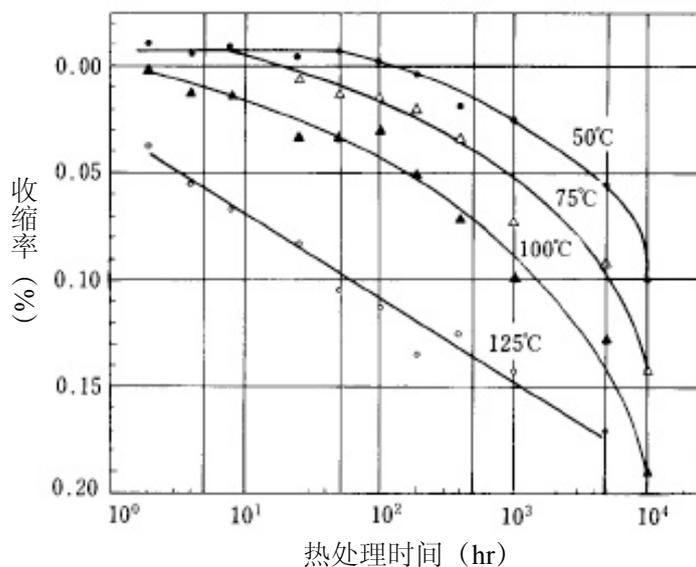
4.8.1 脆化温度

Iupilon/NOVAREX的脆化温度为 -135°C 。与其他树脂的比较如4.2-1 表所示。Iupilon/NOVAREX的耐低温性在塑料中最优秀。

4.8.2 热收缩

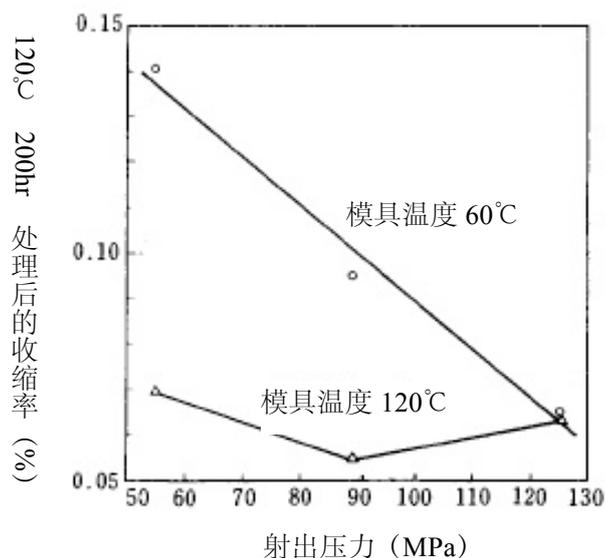
Iupilon/NOVAREX在热风环境中进行热处理时的收缩率变化如4.8.2-1 图所示，在相当低温区域就开始产生变化，其变化量显示为 $0.1\sim 0.2\%$ 。然而这种热收缩会根据成形条件等发生变化（参照4.8.2-2 图）。

在 150°C 以上的环境中，分子链因宏观布朗运动导致释放出原本冻结的排布应力，产生 $5\sim 10\%$ 的收缩。



(试料尺寸 $6.4\times 12.7\times 152\text{mm}$, $M_v=2.2\times 10^4$)

4.8.2-1 图 热处理导致的尺寸变化



4.8.2-2 图 射出成形条件与热收缩率的关系

5. 电气性能

5.1 介电强度

ASTM.D149 测试 Iupilon/Novarex 介电强度当厚度 1.6mm 时达到 18~22MV/m, 试验片的厚度特性如图 5.1-1 所示, 温度特性如图 5.1-2 所示。

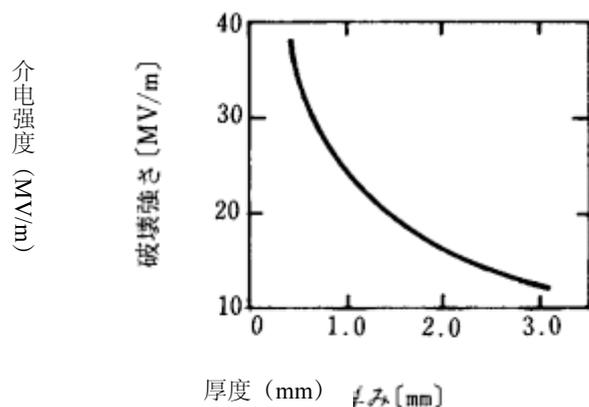


图 5.1-1 Iupilon/Novarex 的介电强度的厚度特性（室温，油中，短时间升压法）

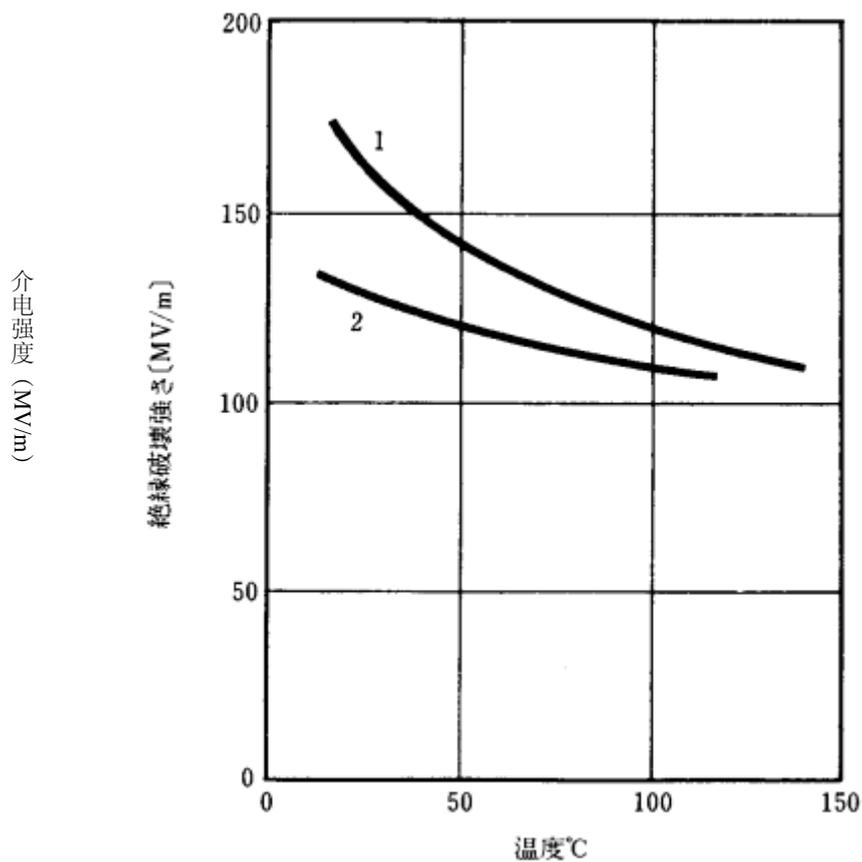


图 5.1-2 聚碳酸酯薄膜介电强度的温度特性（1 聚碳酸酯，2 醋酸丁烯纤维素）

Iupilon/Novarex 的击穿电压如表 5.1-1 所示。

表 5.1-1

	击穿电压
Iupilon 圆棒	180~190KV
环氧树脂复合棒	140~150
苯酚树脂复合棒	130~135
蜜胺树脂复合棒	120~130

与其他树脂的比较如图 5.1-3 所示。

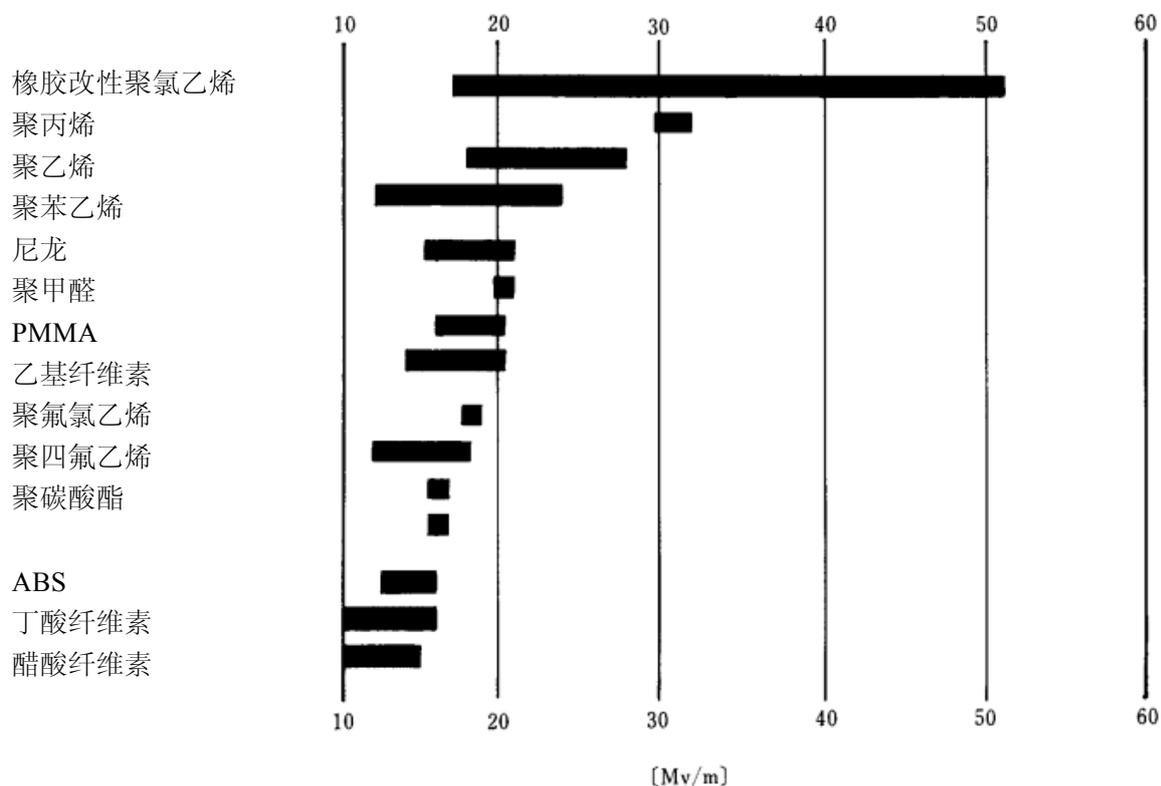


图 5.1-3 各种树脂的介电强度 (短时间升压: ASTM-D149)

5.2 绝缘电阻

Iupilon/Novarex 的体积电阻率为

ASTM-D257-58

-30~-3°C $>10^{17} \Omega \cdot \text{cm}$

23°C 2.1×10^{16}

125°C 2.0×10^{14}

聚碳酸酯的表面电阻率为

干燥状态 $\geq 10^{15} \Omega$

水中浸泡 4 小时 $\geq 10^{15} \Omega$

(DIN 53482, Φ 80, 2mm 厚)

各种树脂的体积电阻率的比较如图 5.2-1 所示

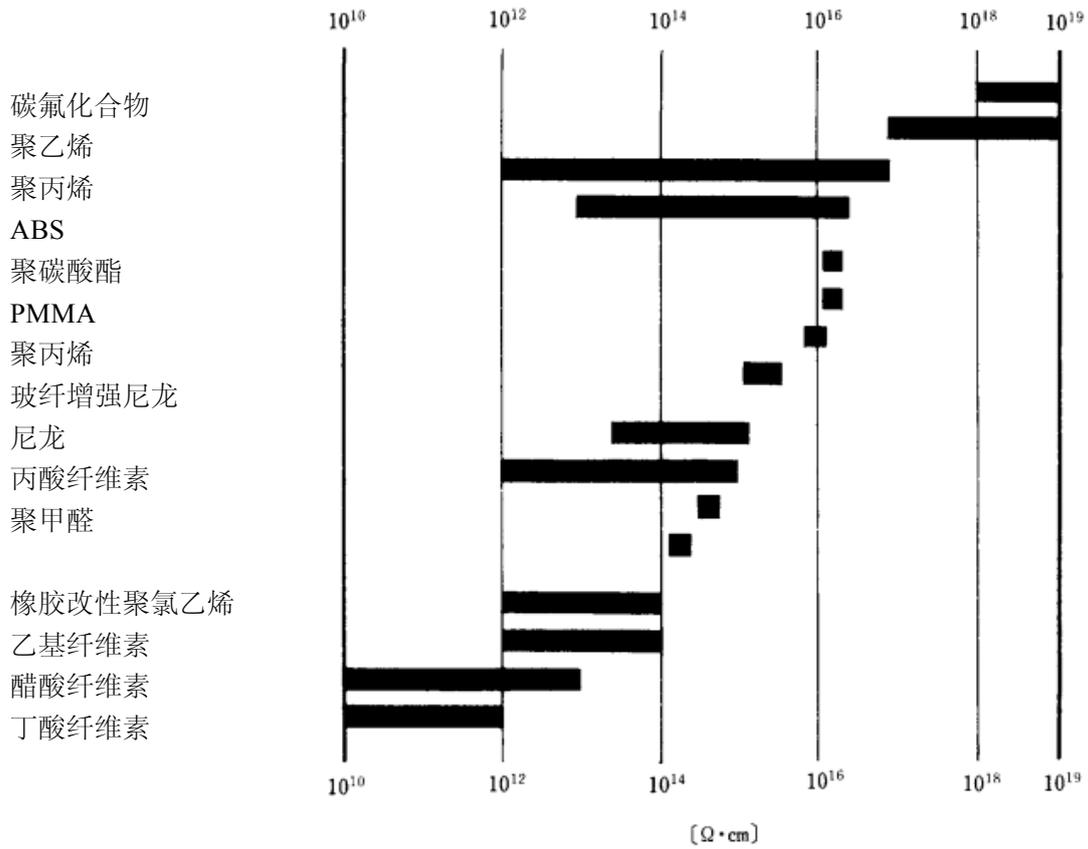


图 5.2-1 各种树脂的体积抵抗率 (ASTM-D257)

5.3 介电系数和介电损耗

Iupilon/Novarex 的介电系数和介电损耗为
ASTM-D150-54T, 50Hz, 常温

介电系数 26.5PF/m (3.0)

介电损耗 0.0009

聚碳酸酯介电系数和介电损耗的温度特性, 还有频率特性如图 5.3-1 和图 5.3-2 所示。

另外和其他树脂介电系数的比较如图 5.3-3 所示。

介电系数低的材料适用于绝缘方面的应用, 介电系数高的材料适用在电容器上。Iupilon/Novarex, 在两种应用上, 都有合适的选择。另外, Iupilon/Novarex 的性能随着温度和频率的变化不多。

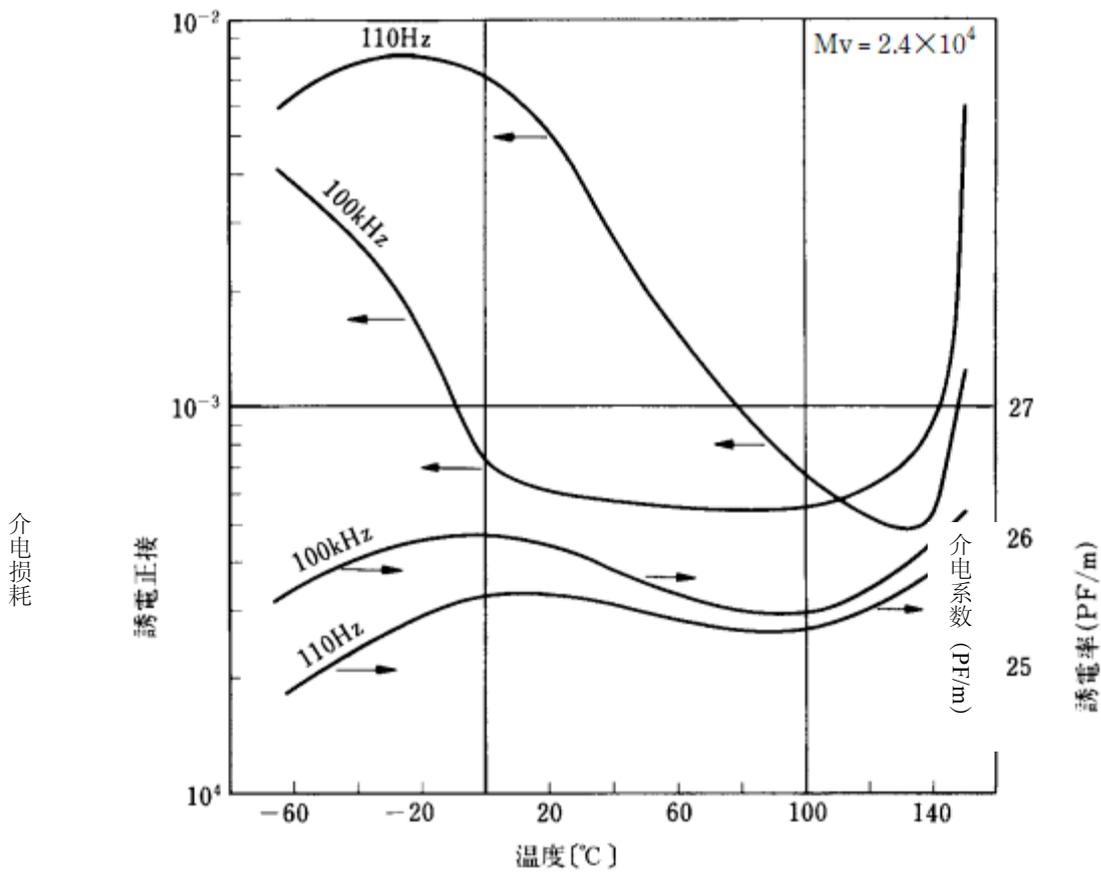


图 5.3-1 Iupilon/Novarex 的介电损耗，介电系数的温度特性

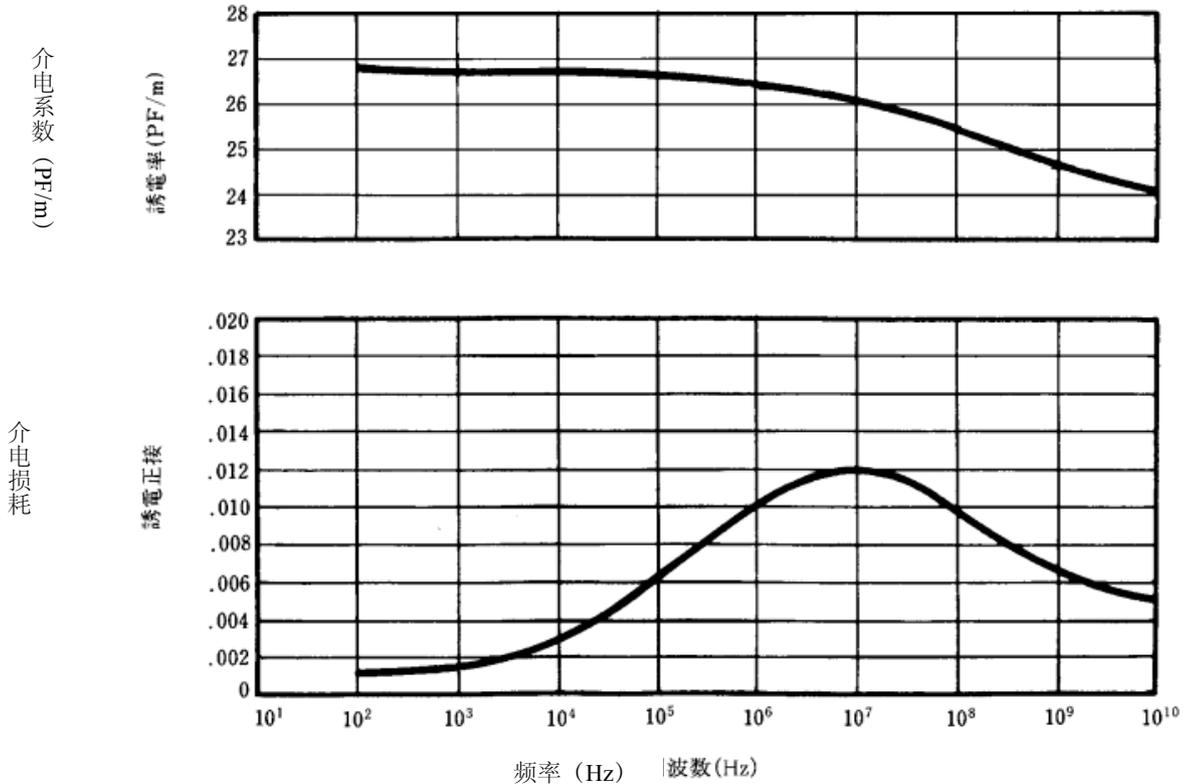


图 5.3-2 聚碳酸酯的介电系数和介电损耗的频率特性

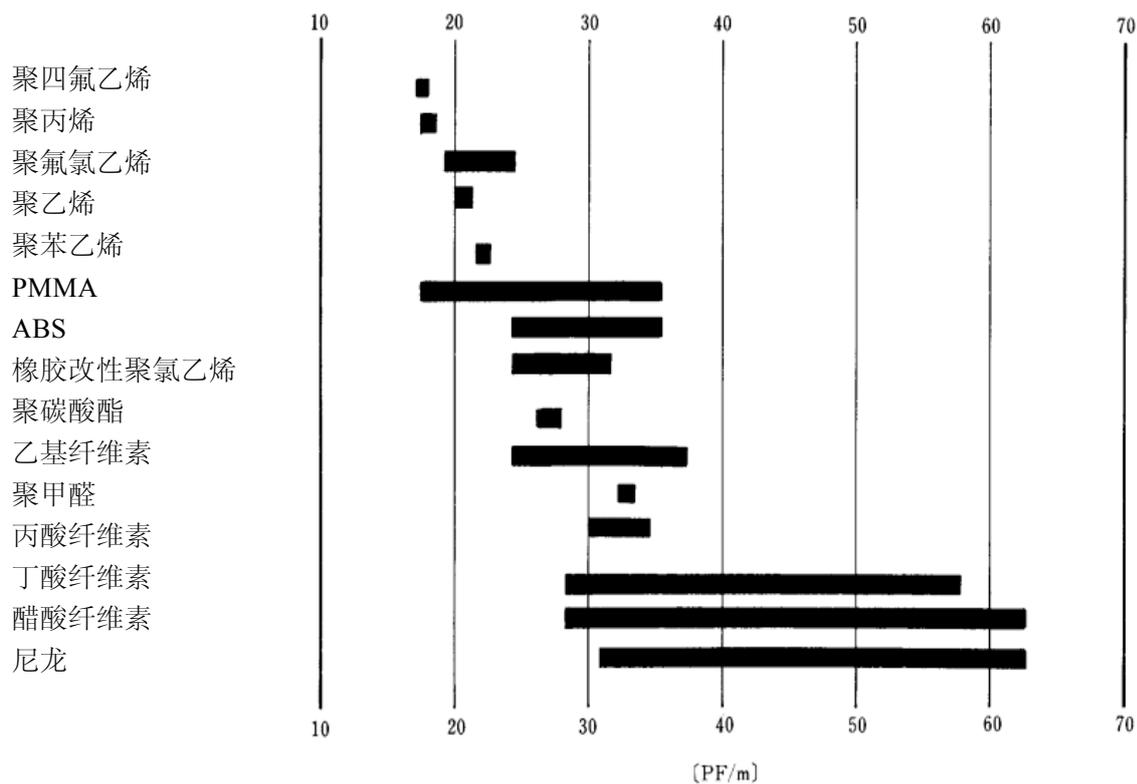


图 5.3-3 各种树脂的介电系数 (ASTM-D150, 频率 $60 \sim 10^6$ Hz)

5.4 其他电气性能

5.4.1 耐电弧性

根据 ASTM D495 测试的 Iupilon/Novarex 的耐电弧性为

钨电极 100~120s

不锈钢电极 10~11s

室温水中浸泡 100h 的 Iupilon/Novarex 的耐电弧性为

钨电极 93s

Iupilon/Novarex 的耐电弧性与炭黑添加量的关系如表 5.4.1-1 所示, 另外着色剂添加的影响如表 5.4.1-2 所示。

表 5.4.1-1 Iupilon/Novarex 的耐电弧性与炭黑添加量的关系 (钨电极)

炭黑添加量 (wt%)	0	0.01	0.03	0.1	0.3	0.6	1.0	3.0	6.0
耐电弧性	110	116	120	119	120	113	98	58	38

$Mv=2.4 \times 10^4$

表 5.4.1-2 Iupilon/Novarex 的耐电弧性与着色剂添加的关系（着色剂 0.1wt%添加，钨电极）

着色剂	耐电弧性 (s)	着色剂	耐电弧性 (s)
黑色	117	绿色系	96
绿色系	121	青蓝色	104
桔色系	110	桔色系	121
蓝色系	119	黄色系	116
黄色系	119	桔色系	118
黄色系	123	粉色系	118
红色系	107	荧光颜料	122
红色系	118	钛白色	119
绿色系	109		

Mv=2.4×10⁴

各种热塑性树脂的耐电弧性如表 5.4.1-3 所示。

表 5.4.1-3 耐电弧性的比较（钨电极）

材料名	耐电弧性	破坏状态*
	s	
聚碳酸酯	110	A
聚甲醛	>240	D
尼龙 66	>140	C
聚丙烯	>140	E
尼龙 6	140	B
聚乙烯	>130	E
聚苯乙烯	>130	E
PBT (复合强化)	125	A
尼龙 12	>120	C
PMMA	>120	E
AS	>120	B E
PET	120	A
PC/ABS 合金	112	A
离子型聚合物	>111	B E
HIPS	>95	E
ABS	93	A
聚砷	78	A
改性 PPE	67	A

- *破坏状态 A 材料碳化电弧消失
 B 材料燃烧电弧消失
 C 材料燃烧电弧也不消失
 D 材料熔融出现孔穴电弧不消失
 E 材料燃烧出现孔穴电弧不消失

5.4.2 电弧径迹性

聚碳酸酯的电弧径迹性为

IEC112 (白金电极) 240~260

IEC112 (黄铜电极) 135~150

5.4.3 耐电晕性

聚碳酸酯的耐电晕性如图 5.4.3-1 所示, 大约在 30MV/m 的时候, 材料拥有无限大的耐电晕性。

Iupilon/Novarex 的电晕开始电压如表 5.4.3-1 所示。

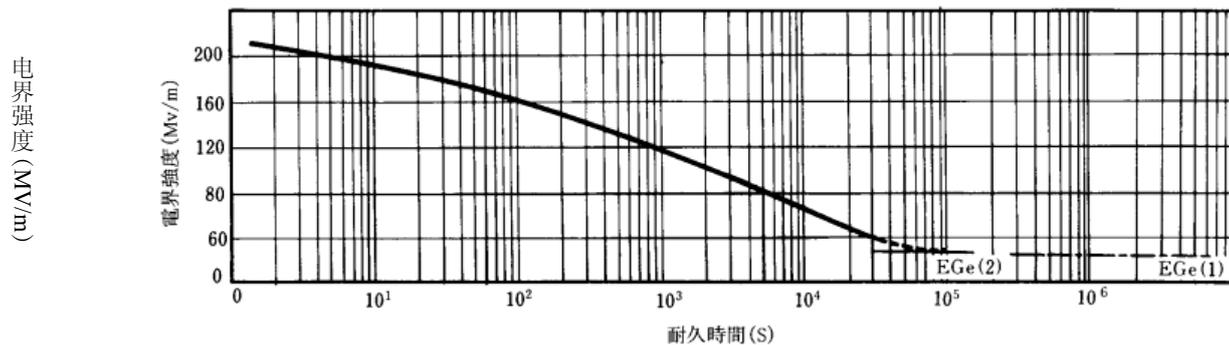


图 5.4.3-1 聚碳酸酯的介电强度 (频率 50Hz) 和耐久时间之间的关系

表 5.4.3-1

	电晕开始电压 (kV)	跳火电压 (kV)
Iupilon/Novarex 圆棒	45~50	50 以上
环氧树脂复合棒	50	50 以上
苯酚树脂复合棒	30~50	40~50 以上
蜜胺树脂复合棒	30~50	50 以上

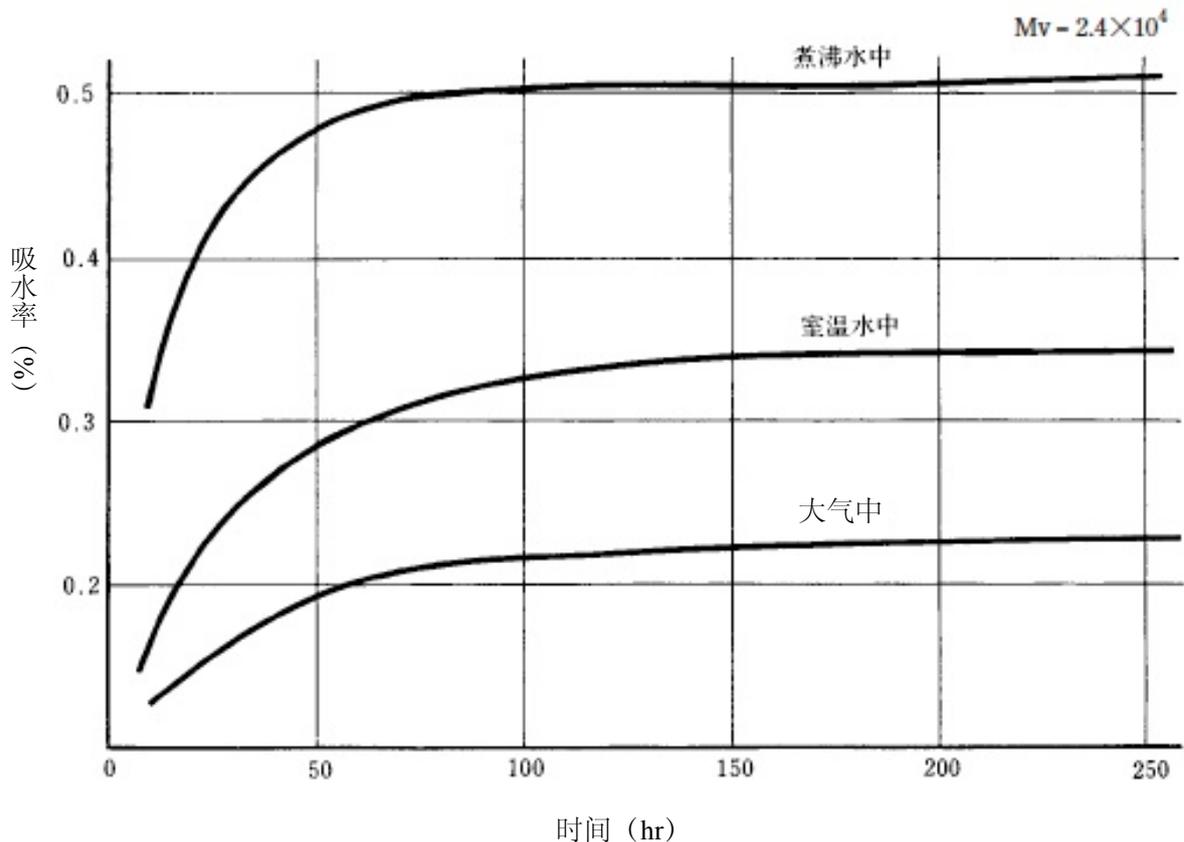
6. 化学性质

6.1 吸水.吸湿率

Iupilon/NOVAREX的吸水率为, ASTM-D570, 水中24hrs后後 0.23~0.26%。

Iupilon/NOVAREX的吸水.吸湿曲线如6.1-1 图所示。

6.1-1 图 Iupilon/NOVAREX的吸水曲线 (ASTM-D570)



另外, JIS K 6771-1958下测定的吸水率为

50°C水中24hrs后0.29%

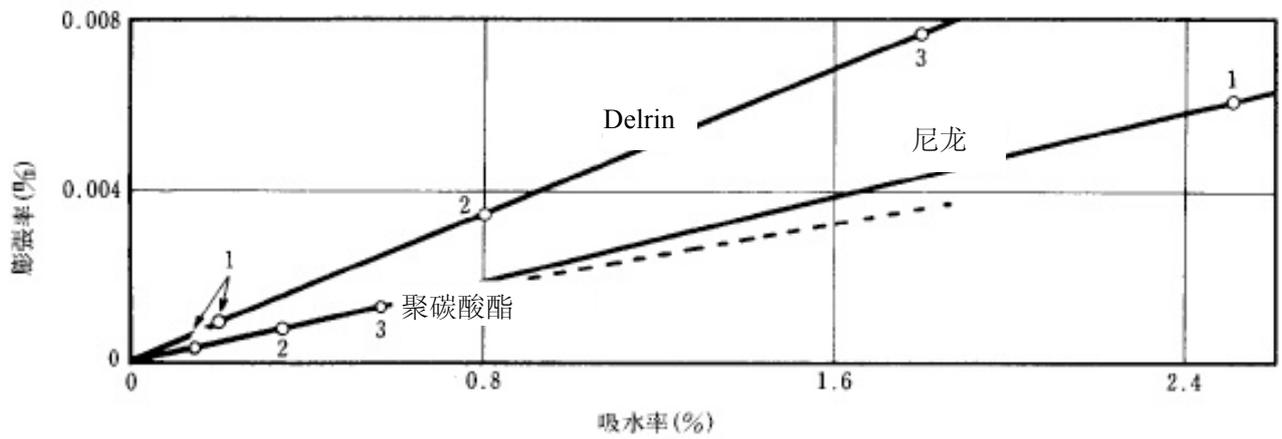
75°C水中24hrs后0.39%

该吸水率的测定方法并非必需遵循以吸水率0为基准。

因此, 将吸水后的试样通过卡尔费休法进行水分定量测试后, 得到的吸水率表现为比上述数值大0.05~0.10%左右。

聚碳酸酯因吸水.吸湿所致的膨胀率如6.1-2 图所示。

如6.1-1 表所示, 与其他树脂的比较, Iupilon/NOVAREX具有如下特征, 吸水率非常小, 因此其导致的尺寸变化也极小。



1 室温, 50%RH, 2 室温水中, 3 沸騰水中

6.1-2 图 吸水导致的尺寸变化

6.1-1 表 各种树脂的吸水率
ASTM-D570 (24hrs后)

物质名称	Rate of water absorption (%)
低密度聚乙烯	< 0.01
聚碳酸酯	0.23
橡胶改性聚氯乙烯	0.07~0.2
丙酸纤维素	1.2~2.8
高冲击ABS	0.3
高冲击乙基纤维素	0.8~2.0
软质醋酸纤维素	1.2~2.0
软质丁酸纤维素	2.3~6.5
硬质丁酸纤维素	0.9~1.3
醋酸纤维素	1.3~1.8
聚四氟乙烯	1.9~4.0
Teflon	0.00
玻纤强化尼龙	0.7~1.4
聚乙烯	0.04~0.08
ABS	0.2
硬质醋酸纤维素	1.6~3.8
尼龙	1.2~2.3
亚克力 (PMMA)	0.2~0.4
聚甲醛	0.41
聚丙烯	< 0.01

6.2 透气性

Iupilon薄膜的水蒸气透过性如6.2-1 表所示。

6.2-1 表

薄膜厚度 (mm)	测试方法	透湿量 (g/m ² .day)
0.20	JIS.Z 0208, 温度40°C, 湿度90%	23.3
0.08	ASTM.E96-53T, 温度50°C, 湿度50%	46~57
0.05	"	69
0.02	JIS.Z 0208, 温度40°C, 湿度90%	195

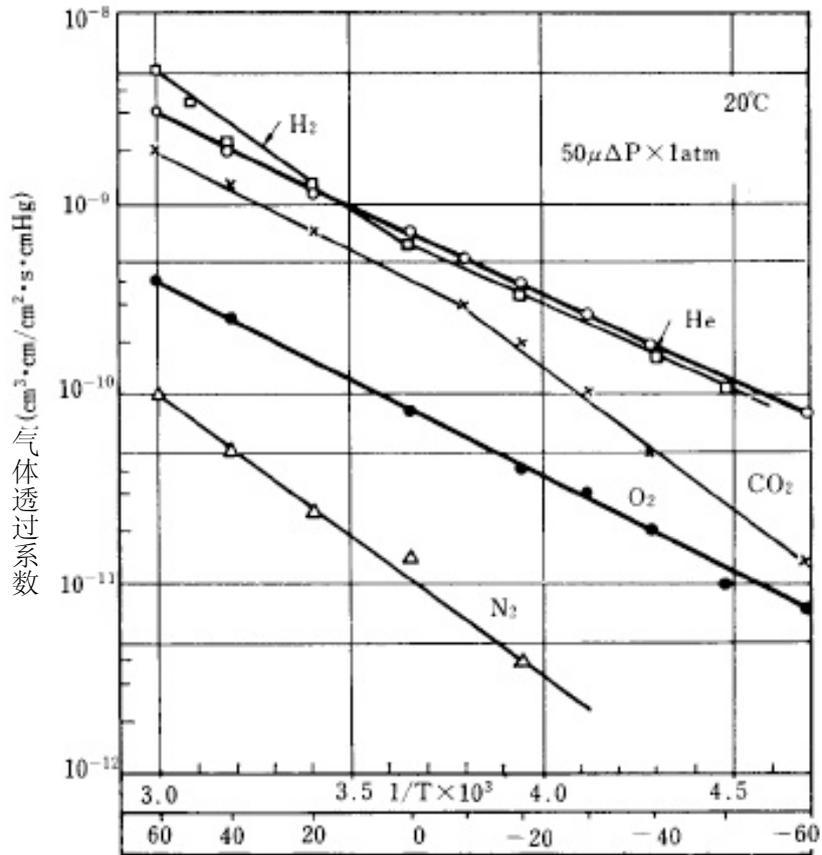
Iupilon的透气性如6.2-2 表及6.2-1 图所示。气体透过系数与1/T的关系表现为直线，系数相对较大的气体在0~20°C的范围内具有拐点。

另外，Iupilon的透气性与试料厚度的关系如6.2-3 表所示。根据气体的种类不同而有若干差异，但除CO₂以外其他气体在300 μm以下基本表现为一定值。

6.2-2 表 Iupilon薄膜的透气性 (ASTM-D1434)

Temperature (°C)	气体透过系数 *				
	H ₂	He	N ₂	O ₂	CO ₂
90			20. 6		
80			16. 2		
70			12. 3	46. 4	
60	533.	315.	9. 7	39. 2	210.
50	352.	237.	6. 1	31. 9	160.
40	208.	197.	4. 9	23. 8	127.
30	165.	144.	3. 2	18. 1	103.
20	120.	110.	2. 4	14. 3	72.
0	62.	77.	1. 4	8. 4	48.
-10	47.	48.	0. 8	5. 8	31.
-20			0. 4	4. 0	
-25				3. 3	
-30	34.	34.		2. 9	19.
-35	24.	25.		2. 3	11.
-40	17.	18.		2. 1	5. 0
-45	12.	13.		1. 3	2. 1
-50	7.	8.		1. 0	1. 3
-55				0. 9	
-60				0. 8	

* 单位 cm³.cm/cm².s.cmHg.10¹¹, 压力差1 气压, 厚度50 μm



6.2-1 图 Iupilon的透气性

Iupilon的透气性与其厚度依存性如6.2-3 表所示。

6.2-3 表 Iupilon的透气性与其厚度依存性

厚度 (μm)	气体透过系数 *			
	H_2	N_2	O_2	CO_2
50	120.	2. 4	14. 3	72
100	109.	2. 5	14. 2	56
200	105.	2. 3	12. 2	26
300	105.	2. 4	12. 8	24
600	114.		9. 1	

* 单位 $\text{cm}^3.\text{cm}/\text{cm}^2.\text{s}.\text{cmHg}.10^{11}$ ，压力差1 气压，温度 20°C

其他树脂的蒸汽透过性及透气性如6.2-4 表所示。

	透湿量 *	气体透过系数 **			
		H ₂	O ₂	N ₂	CO ₂
聚乙烯	4. 3	10. 07	3. 47	1. 22	12. 5
Mylar	9. 5	0. 80	0. 04	0. 008	0. 20
聚氯乙烯	22. 1	3. 8	0. 78	0. 28	1. 78
尼龙	43. 8	1. 0	5. 8	2. 79	0. 31
聚苯乙烯	45	33. 1			10. 5

* ASTM.E 96-53T, 温度37.8℃, 透湿杯内装水, 杯外湿度0 %, 单位为以每0.1mm计 g/m².day

** 温度30℃, 单位 cm³.cm/cm².s.cmHg.10¹⁰

6.3 耐药品性

Iupilon/NOVAREX在常温及75℃时的耐药品性如6.3-2 表所示。

由于Iupilon/NOVAREX是聚酯, 所以对能够使酯键水解的碱性药品的抵抗力较有限。另外, 通常对于芳香族碳水化合物、氯代碳水化合物, 较易产生膨润、溶解的倾向。

而且, 在高温下, 醇类及酚类会导致酯键断裂。

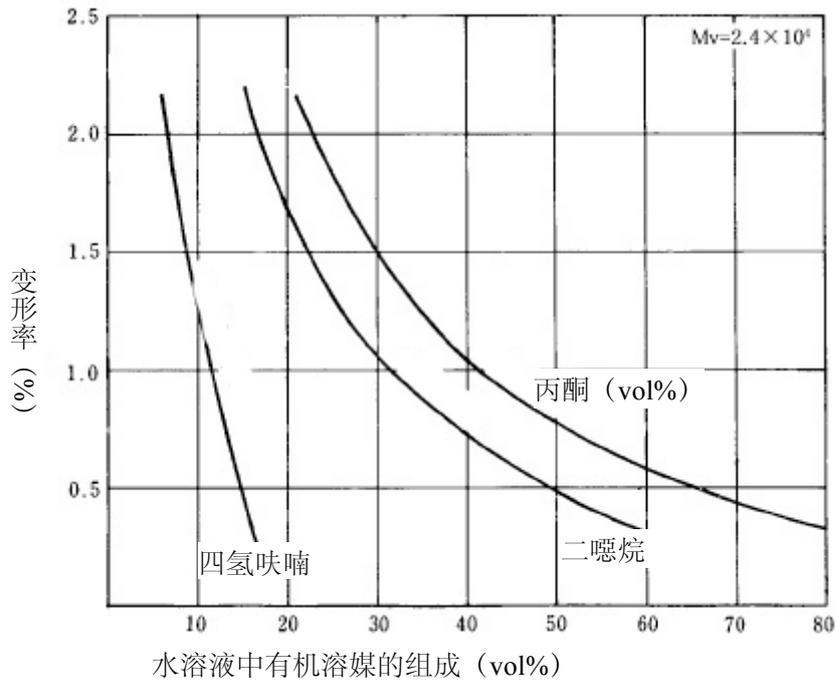
在高温(60~100℃)下, 同4.6页所述, 在长期过程中即使是在纯水中也会缓缓产生劣化, 所以本项所述75℃耐药品性也无法忽视该影响。

对于塑料而言, 通常应力龟裂被认为是由于溶媒腐蚀而导致产生的现象, 在应力作用同时接触到某种溶媒或其蒸汽而产生龟裂。

因Iupilon/NOVAREX也会产生这种现象, 所以必须引起注意。Iupilon/NOVAREX在应力下尤为敏感的溶媒有: 四氯化碳、己烷、丙酮、酒精等, 其中一些实例如6.3-1 图所示。

另外, 四氯化碳、丙酮、己烷导致产生应力龟裂的极限拉伸应变率分别为0.5、0.35、0.8%, 已知压缩应力无法产生这样的应力龟裂。

已知会导致溶媒腐蚀产生的物质有更广阔的范围, 例如可塑剂、润滑剂、橡胶、各种油类等。其中一些实例如6.3-1 表所示, 在实用品设计阶段, 有必要对使用物质的溶媒腐蚀性进行测试。



6.3-1 图 Iupilon/NOVAREX的应力下溶媒龟裂曲线 (温度25°C, 试验片152×12.7×6.4mm)

通过在具有各种不同挠曲应变的状态下于各组分混合溶媒中浸渍1分钟后, 以不引起裂纹的挠曲应变和溶液组成的组合绘制曲线。

6.3-1 表 Iupilon的溶媒腐蚀性 [单位 MPa (kgf/cm²)]

物质	溶媒腐蚀		物质	溶媒腐蚀	
	R. T	75°C		R. T	75°C
软质聚氯乙烯 (添加60%增塑剂)		3. 9	切削油 (コミロゲン)	29. 4	3. 9
	7. 8	(40)		(300)	(40)
润滑剂 (アルバニアNo.2)	(80)	9. 8	“ (コミロゲン30%水溶液)	29. 4	7. 8
	33. 3	(100)		(300)	(80)
润滑剂 (アルバニアNo.2低温用)	(340)		“ (ドロマスオイルB)	29. 4	3. 9
		15. 7		(300)	(40)
润滑剂 (ビーコンNo.325)	8. 8	(160)	“ (ドロマスオイル60%水溶液)	29. 4	7. 8
	(90)	15. 7		(300)	(80)
润滑剂 (シリコンSH7071)	33. 3	(160)	色拉油	16. 7	7. 8
	(340)			(170)	(80)
天然橡胶	25. 5	7. 8	防锈油 (PA-50)	29. 4	16. 7
	(260)	(80)		(300)	(170)
Neoprene橡胶 (A)	24. 5	7. 8	“ (タイアナ)	29. 4	19. 6
	(250)	(80)		(300)	(200)
“ (B)	8. 8	3. 9	“ (CRC-36)	19. 6	8. 8
	(90)	(40)		(200)	(90)
丁基橡胶	21. 6	7. 8	密封剂 (A)	21. 6	3. 9
	(220)	(80)		(220)	(40)
乙烯丙烯橡胶	12. 7	3. 9	“ (B)	29. 4	7. 8
	(130)	(40)		(300)	(80)
硅橡胶 (A)			环氧封闭剂	20. 6	
	32. 4	15. 7			3. 9

硅橡胶 (A)	(330)	(160)	环氧封闭剂	(210)	(40)
硅橡胶 (B)	25. 5 (260)	15. 7 (160)	硅系封闭剂		11. 8 (120)
锁定剂	3. 9 (40)	3. 9 (40)	无溶媒	39. 2 (400)	22. 6 (230)

测试法：使产生最大应力的部分接触化学物质，在常温下放置48小时，75℃放置3小时，然后通过恒应变法测得不产生裂纹的应变变量，以此换算求得应力。

试验片的大小：长度63.5mm，宽度12.7mm，厚度3.2mm

试验前的强度：拉伸强度 58.1MPa (592kgf/cm²)，Izod冲击强度 (附缺口) 910J/m

() 内为75℃时的数值，所有数值均为浸渍30日后所得。

6.3-2 表 Iupilon/NOVAREX在室温及75℃时的耐药品性

药品名	重量变化 %	拉伸强度变 化 %	冲击强度 J/m	外观变化
无机盐				
食盐 15%	+0.14	-4.4	890	无变化
(15%)	(+0.22)	(+1.52)	(-)	稍有裂纹
硫化钠 15%	+0.13	-5.4	930	无变化
(15%)	(+0.15)	(+3.55)	(-)	表面雾化，稍有裂纹
氯化钾 15%	+0.14	-3.2	950	无变化
硝酸钾 15%	+0.15	-3.6	920	无变化
1 (15%)	(+0.21)	(+1.18)	(-)	稍有裂纹
重铬酸钾 15%	+0.15	-2.9	950	无变化
(15%)	(+0.31)	(-0.7)	(-)	稍有裂纹
氯化钙 15%	+0.14	-4.4	930	无变化
(15%)	(+0.15)	(+0.7)	(-)	稍有裂纹
硫酸钠 10%	(+0.25)	(+1.5)	(-)	稍有裂纹
无机酸				
盐酸 35%	+0.13	-8.5	56	裂纹
(15%)	(+0.18)	(+2.4)	(-)	裂纹
10%	+0.10	-2.7	920	无变化
(5%)	(+0.38)	(+1.5)	(-)	裂纹
硫酸 98%	-	-	-	白油溶解
90%	+5.16	-1.9	890	乳白色
— 85%	-0.17	-5□4	910	无变化
% 80%	-0.30	-4.1	920	无变化
(80%)	(-0.78)	(+1.5)	(-)	无变化
50%	-0.13	-3.0	860	无变化
(50%)	(-0.10)	(+3.6)	(-)	无变化
10%	-0.13	-6.0	880	无变化
(10%)	(+0.19)	(+0.8)	(-)	无变化
硝酸 60%	+1.41	-9.2	920	发黄
(60%)	(-)	(-)	(-)	变形

磷酸 100%	30%	+0.25	-6.6	640	发黄
	(30%)	(+1.06)	(-7.9)	(-)	不透明黄色
	10%	+0.14	-2.0	910	无变化
	(10%)	(+0.33)	(0)	(-)	不透明黄色
		-0.25	+0.8	960	无变化
	(100%)	(-0.12)	(+3.2)	(-)	透明淡黄色
	10%	+0.09	-3.4	900	无变化
	(10%)	(+0.24)	(+2.7)	(-)	裂纹

药品名	重量变化 %	拉伸强度变化 %	冲击强度 J/m	外观变化
铬酸 10%	+0.25	-3.7	950	无变化
氟化氢 conc.	+1.42	-9.3	1000	无变化
硫酸 50 vol%	+5.02	-19.0	88	溶解
硝酸 50 vol%				
无水铬酸 300g	+0.14	-4.4	920	无变化
无机碱 150g				
水 1.5l				
碳酸氢钠				
碳酸钠 15%	+0.13	-3.2	870	无变化
(15%)	(-0.79)	(+2.0)	(-)	裂纹
碳酸氢钠 (10%)	(-2.92)	(-1.4)	(-)	表面雾化, 稍有裂纹
5%	+0.03	-4.4	950	无变化
(5%)	(-0.17)	(-0.8)	(-)	表面雾化, 稍有裂纹
1%	+0.05	-4.6	990	无变化
石灰乳 10%	+0.04	-5.1	970	无变化
(5%)	(-0.46)	(+2.7)	(-)	裂纹
有机酸				
醋酸 100%	+3.25	-7.3	660	白油
70%	+0.15	-2.0	990	无变化
(70%)	(+0.86)	(-40.5)	(-)	白油
50%	+0.14	-4.7	970	无变化
(50%)	(+0.64)	(-33.5)	(-)	白油
10%	+0.21	-4.1	950	无变化
(10%)	(+0.48)	(-44.1)	(-)	裂纹
甲酸 97%	+1.92	-12.7	970	无变化
70%	+0.68	-6.4	920	无变化
(70%)	(+1.91)	(-77.5)	(-)	裂纹
(40%)	(+0.86)	(-75.7)	(-)	裂纹
10%	+0.28	-4.7	950	无变化
马来酸 10%	+0.07	-4.1	920	无变化
安息香酸 10%	+0.21	-6.6	990	无变化
乳酸 10%	+0.09	-1.4	930	无变化
(10%)	(+0.23)	(+4.9)	(-)	裂纹
1%	+0.15	-4.4	920	无变化
草酸 (30%)	(+0.25)	(+2.7)	(-)	裂纹

苦味酸	10%	+0.12	-4.1	940	无变化
	2%	+0.13	-6.7	960	无变化
石油系成分					
n-己烷		+0.07	-5.4	930	无变化
溶剂油					白浊, 膨润
环己烷		+0.07	-4.4	920	无变化
		(-)	(-)	(-)	完全溶解

药品名	重量变化 %	拉伸强度变化 %	冲击强度 J/m	外观变化
石油醚	+0.003	-2.4	950	无变化
煤油	+0.08	-4.4	930	无变化
轻油	(-0.07)	(+0.2)	(-)	裂纹
(B. P. above 80°C)	+0.15	-7.1	970	无变化
	(+0.49)	(-0.3)	(-)	无变化
苯	-	-	-	膨润溶解
甲苯	-	-	-	膨润溶解
锭子油	+0.003	-5.2	930	无变化
电机油	+0.003	-5.9	940	无变化
轴承油	(-0.05)	(+2.0)	(-)	无变化
	+0.003	-4.7	950	无变化
机油	+0.03	-0.9	940	无变化
冷冻机油	(+0.02)	(+0.7)	(-)	无变化
	+0.018	+0.8	970	无变化
船舶引擎油	+0.017	-4.1	940	无变化
气缸油	+0.007	-2.9	960	无变化
重油	(+0.01)	(+0.7)	(-)	无变化
	+0.07	-1.7	940	无变化
汽油 (低芳香)	+0.009	-1.9	920	无变化
绝缘油	(-0.02)	(+1.9)	(-)	无变化
植物油				
大豆油	+0.08	-5.2	930	无变化
花生油	+0.07	-5.9	930	无变化
	(-0.13)	(+2.5)	(-)	无变化
蓖麻子油	+0.08	-4.4	940	无变化
有机溶剂				
甲醇	+1.47	-21.5	1000	表面裂纹
乙醇100%	+0.50	-11.2	960	无变化
(100%)	(+3.41)	(-67.2)	(-)	白浊
(50%)	(+1.18)	(+1.9)	(-)	裂纹
异丙醇	(+1.39)	(-1.0)	(-)	无变化
n-丁醇	+0.12	-6.9	930	无变化
	(+1.86)	(-27.5)	(-)	半透明白浊
n-戊醇	(+2.69)	(-26.0)	(-)	半透明白浊
n-辛醇	(+0.12)	(+8.1)	(-)	无变化
乙二醇	-0.06	-7.6	910	无变化

甘油		(+0.04) -0.07	(+1.69) -6.9	(-) 960	无变化 无变化
乙醚		(+0.06) +15.4	(+0.5) -55.7	(-) 1000	无变化 乳白色
丙酮		-	-	-	白浊,发脆
药品名		重量变化 %	拉伸强度变化 %	冲击强度 J/m	外观变化
甲乙酮					白浊,发脆
乙酸乙酯					白浊,膨润
四氯化碳		+7.9	-9.6	960	白浊
二硫化碳		+2.0	-5.4	930	白浊
三乙醇胺		-0.21	-3.6	910	表面裂纹
松节油		-0.02	-3.7		无变化
樟脑油		(+1.69) -0.01 (+1.53)	(+2.0) -4.3 (+0.2)	(-) 960 (-)	半透明白浊 无变化 半透明白浊
其他					
化妆皂	3%	+0.07	-5.2	960	无变化
中性皂	3%	+0.07	-4.9	960	无变化
漂白粉	2.5%	(+0.25)	(+2.7)	(-)	裂纹
双氧水	70%	+0.05	-5.4	970	无变化
	30%	+0.34	-3.9	820	淡黄色,半透明
	30%	+0.15	-0.7	880	淡黄色
福尔马林	30%	+0.17	-4.2	910	无变化
红茶		(+0.83)	(+4.9)	(-)	裂纹
		(+0.27)	(+2.0)	(-)	裂纹
氯气		+1.5	-0.2	910	发黄

7. 光学性质

7.1 光学系数及透光率

Iupilon/NOVAREX在常温下的折射率为

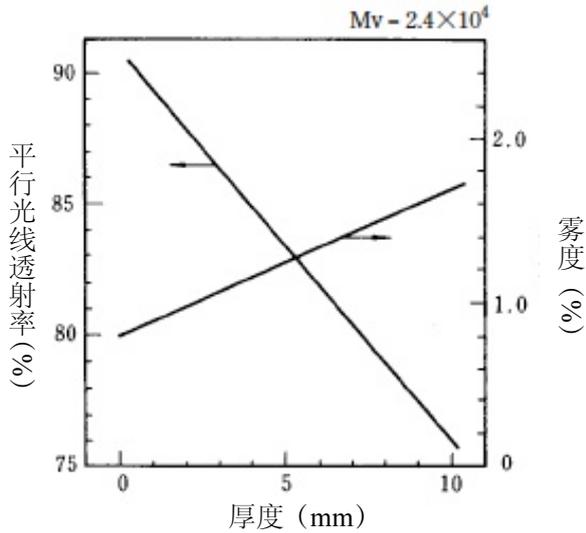
$$n_D 25^\circ\text{C} = 1.585$$

其温度特性如4.1.1-1 图所示。其他树脂的折射率如7.1-1 表所示。

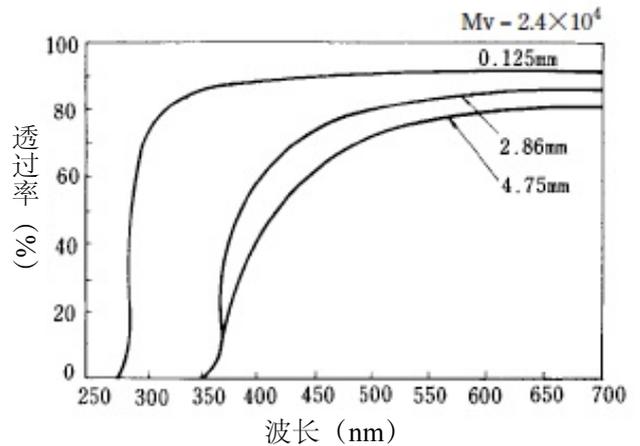
7.1-1 表 各种塑料的折射率

聚合物名称	$n_D 25$	聚合物名称	$n_D 25$	聚合物名称	$n_D 25$
聚苯乙烯	1. 590—1. 600 1. 560—1. 580 1. 450—1. 470	聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA)	1. 490— 1. 500	PETP	1. 655 1. 530 1. 480
聚甲基苯乙烯		聚丙烯腈苯乙烯 (AS)	1. 570	尼龙66	
聚乙酸乙烯酯		聚四氟乙烯	1. 350	聚甲醛	
聚氯乙烯	1. 540 1. 600—1. 630	聚三氟氯乙烯	1. 430	苯酚树脂	1. 598 1. 633
聚二氯乙烯		低密度聚乙烯	1. 510	聚砒	
醋酸纤维素	1. 490—1. 500	高密度聚乙烯	1. 540	SBR	1. 520—1. 550
丙酸纤维素	1. 460—1. 490	聚丙烯	1. 490	TPX	1. 465
硝基纤维素	1. 460—1. 510	聚丁烯	1. 500	环氧树脂	1. 550—1. 610

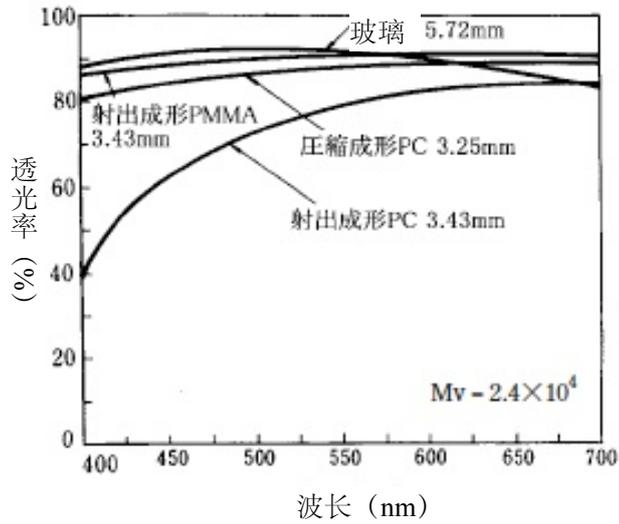
Iupilon/NOVAREX的透光率和厚度的关系如7.1-1 图所示。其波长特性如7.1-2 图所示。聚碳酸酯与其他透明材料的透光率—波长特性如7.1-3 图所示。



7.1-1 图 Iupilon/NOVAREX的透光率与厚度的关系

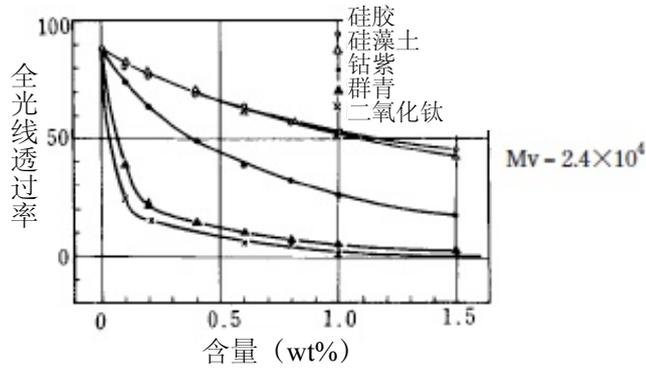


7.1-2 图 Iupilon/NOVAREX的透光率



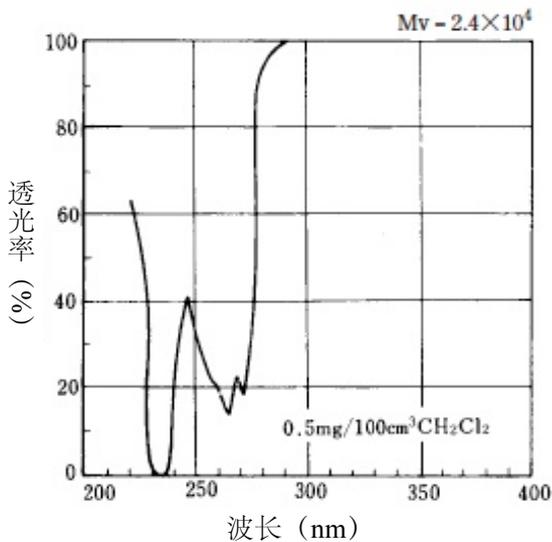
7.1-3 图 透光率的比较

在Iupilon/NOVAREX中添加填料或颜料后,透光率与雾度的变化如7.1-4 图所示,添加物的特性会使这些性质变化的状况产生差异。

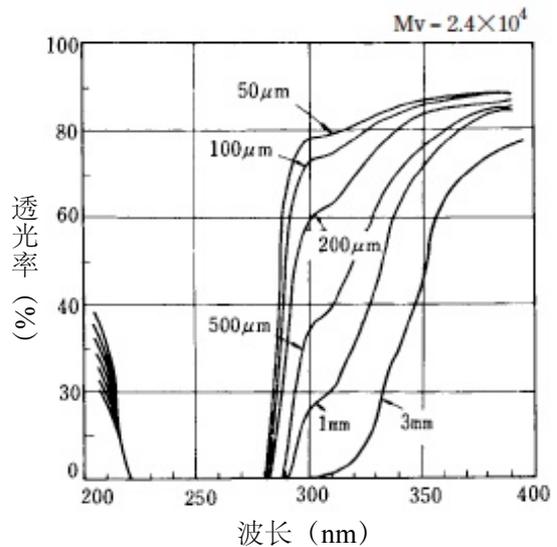


7.1-4 图 填料含量与透光率 (试料厚度3 mm)

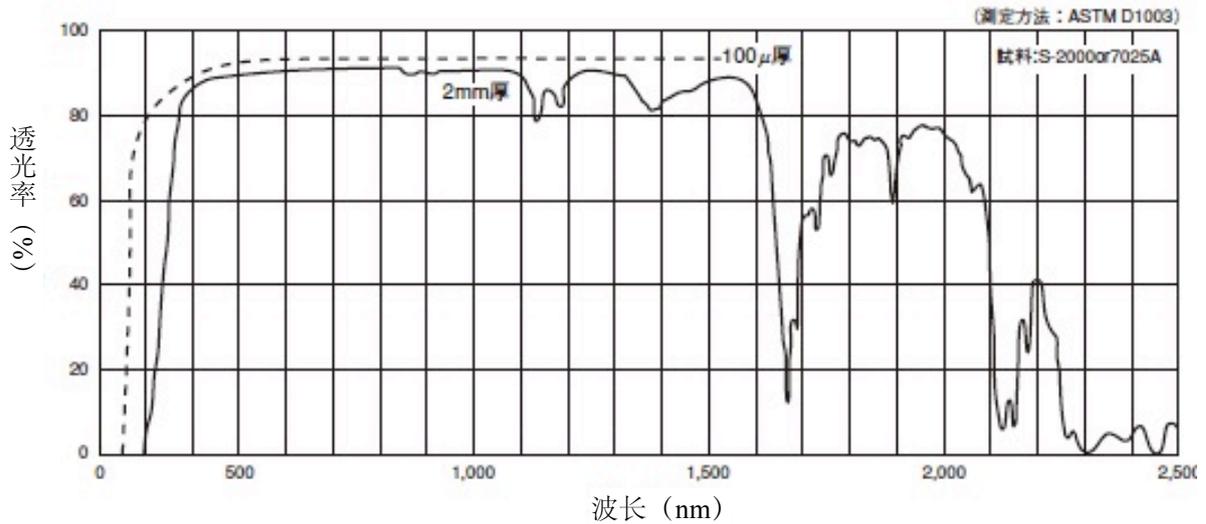
另外, Iupilon/NOVAREX的紫外吸收光谱与红外吸收光谱如7.1-5 图, 7.1-6 图, 7.1-7 图所示。



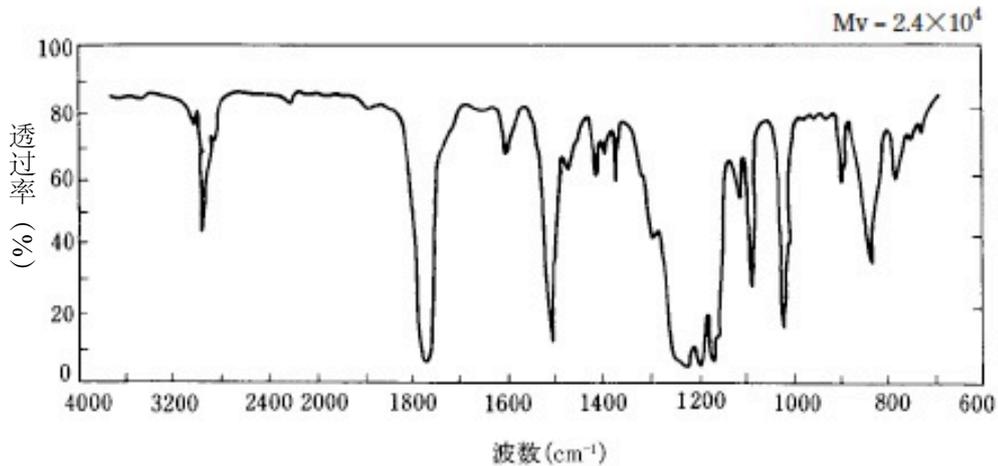
7.1-5 图 Iupilon/NOVAREX的紫外吸收光谱



7.1-6 图 Iupilon/NOVAREX的厚度与紫外线透过率



7.1-7 图 Iupilon/NOVAREX 的紫外、可视、近红外吸收光谱



7.1-8 图 Iupilon/NOVAREX的红外吸收光谱

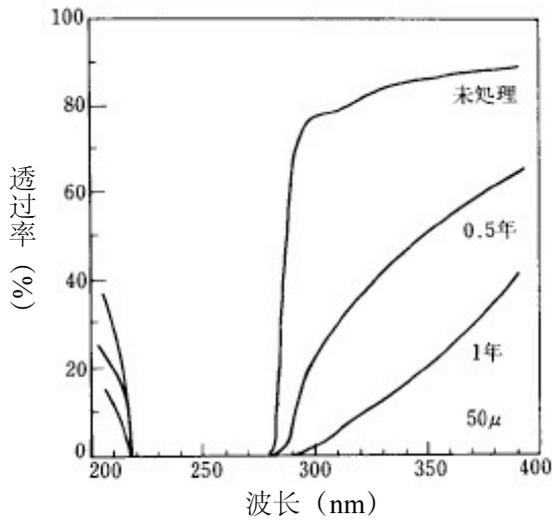
7.2 耐候（光）性

Iupilon/NOVAREX如7.1-5 图所示，对短波长紫外线具有良好的紫外线吸收能力，通过聚合物自身的类似紫外线吸收剂保护作用，对日光、紫外线具有优秀的耐久性，但在长时间处于强烈紫外线照射下会逐渐产生劣化，会出现特有的劣化现象。

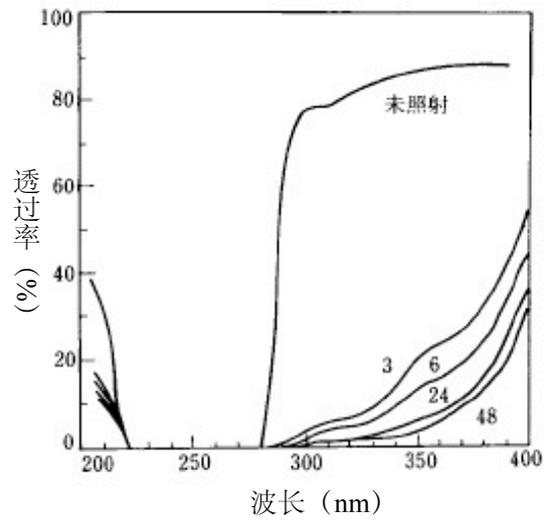
Iupilon/NOVAREX的自然劣化主要始于因290nm左右的紫外线导致的光氧化反应。

最显著的现象是表面层的变化，会引起黄变、主链断裂而导致的分子量下降、架桥、生成凝胶等各种化学结构的变化，进而引起机械强度、柔软性下降并最终产生裂纹。

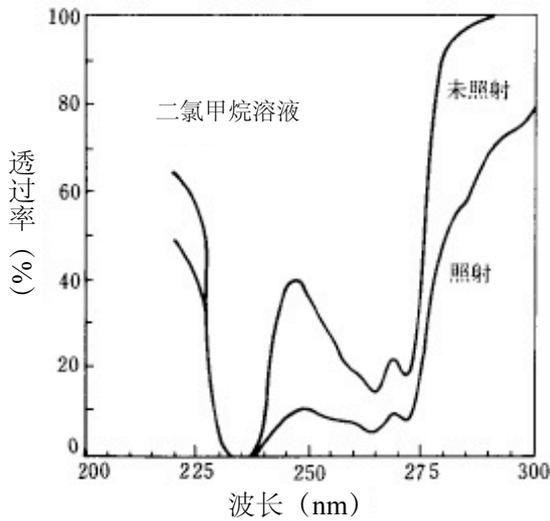
7.2-1 图、7.2-2 图表现了室外暴露与紫外线照射后Iupilon Film的紫外线透过率的变化，7.2-3图表示了在溶液状态下的变化。7.2-4 图为室外暴露导致的黄变度的变化。



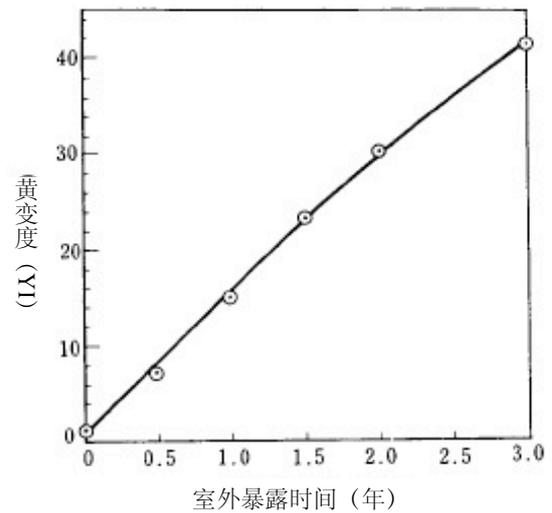
7.2-1 图 室外暴露导致的紫外线透过率的变化



7.2-2 图 紫外线照射 (小时) 导致的紫外线透过率的变化



7.2-3 图 紫外线照射导致的紫外线透过率的变化

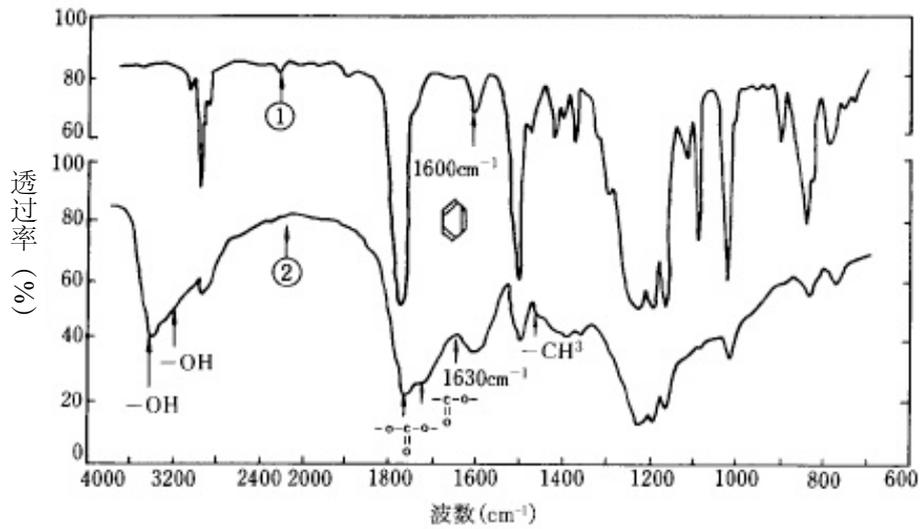


7.2-4 图 室外暴露导致的黄变度的变化

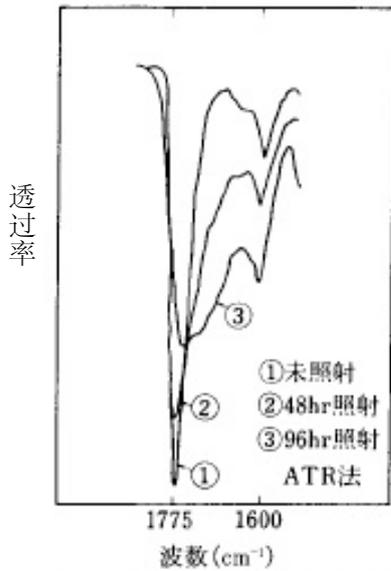
7.2-5, 6 图分别表现了紫外线照射导致的红外吸收光谱的变化。由7.2-5 图可发现 $-OH$ 基的增加, $-CH_3$ 基, $>C=O$ 基的减少,而且在 $1720cm^{-1}$, $1630cm^{-1}$ 出现了酯键,苯酮型吸收。

7.2-6 图为表现了照射后的表面层化学结构变化的多重反射红外吸收光谱,明确表现了于 $1775cm^{-1}$ 处吸收强度的变化,同时也可以发现该变化较显著。该羰基的变化如7.2-7图所示。

产生劣化的表面层不溶于二氯甲烷,因此可以认定为产生了分叉、架桥反应。该凝胶层的生成如7.2-8 图所示。

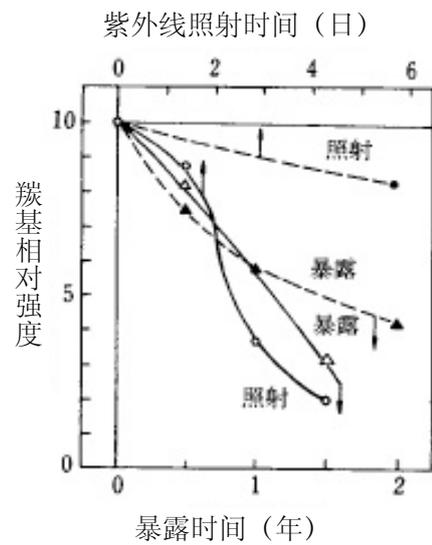


① 未照射 (Iupilon/NOVAREX) ②照射 (Iupilon/NOVAREX) 二氯甲烷不溶物
7.2-5 图 紫外线照射所导致红外吸收光谱的变化



1775cm-1: 羰基 (>C=O)
1600cm-1: 苯环双键

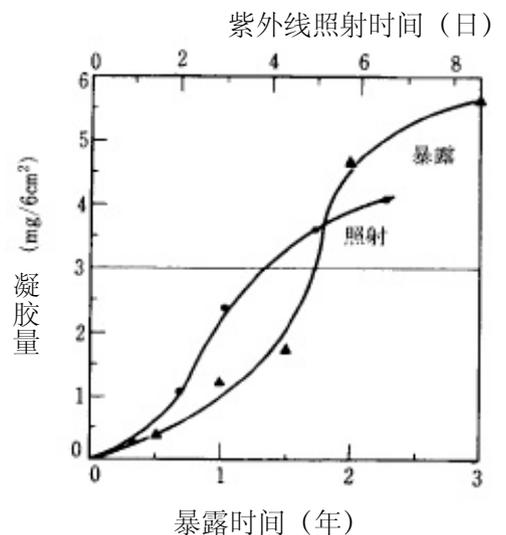
7.2-6 图 紫外线照射导致的红外吸收光谱的变化 (羰基的变化)



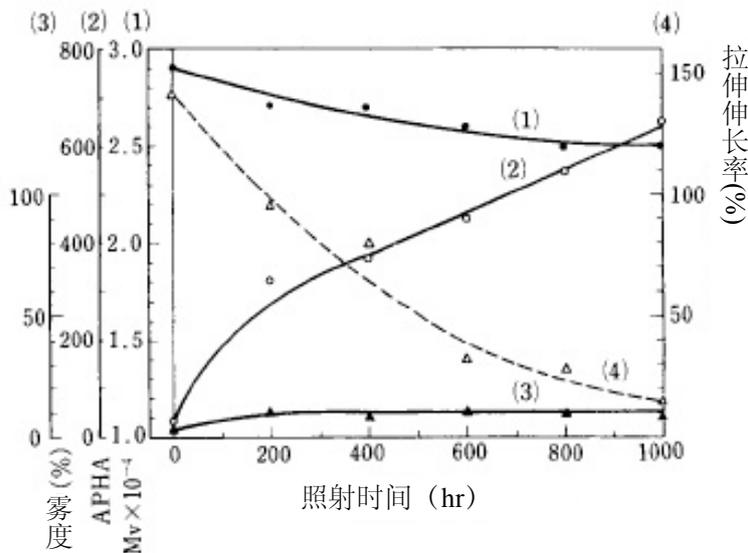
...▲...●... 试料背面

7.2-7 图 羰基的变

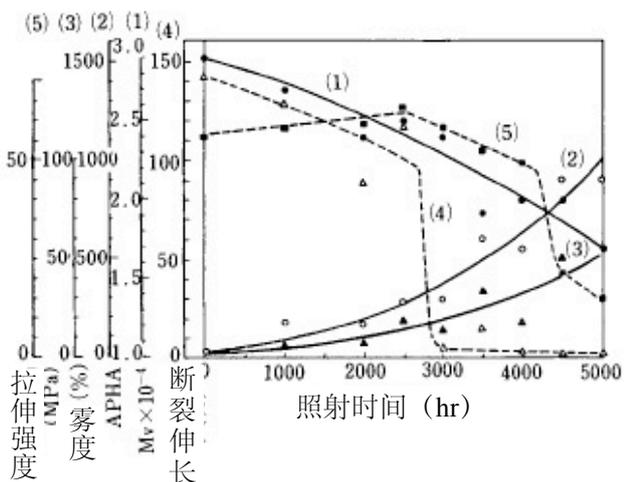
7.2-8 图 凝胶生成量



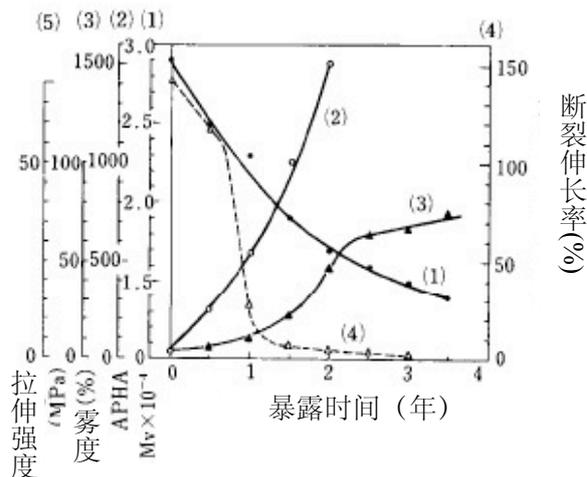
Iupilon/NOVAREX的耐候老化测试及室外暴露实验的结果如7.2-9, 10, 11, 12, 13 图所示。



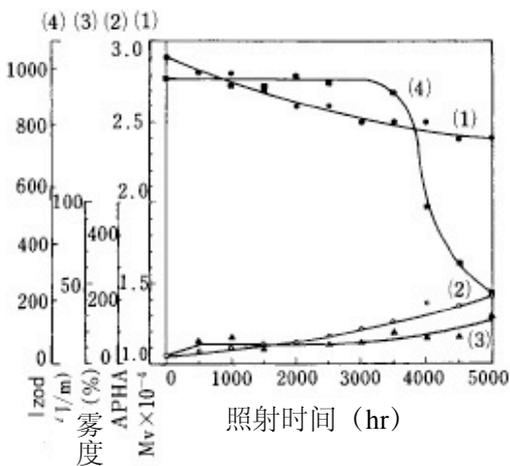
7.2-9 图 光照型老化测试仪所产生的劣化 (厚度200 μm)



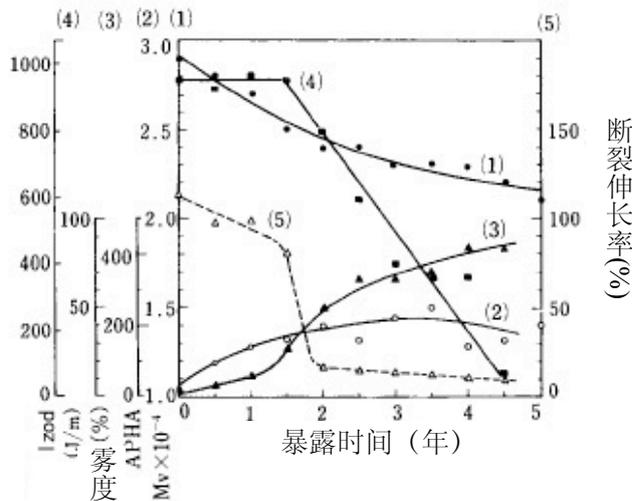
7.2-10 图 老化测试仪所产生的劣化 (厚度200 μm)



7.2-11 图 暴露实验所产生的劣化 (厚度200 μm)



7.2-12 图老化测试仪所产生的劣化 (厚度3.2mm)



7.2-13 图 暴露所产生的劣化 (厚度3.2mm)

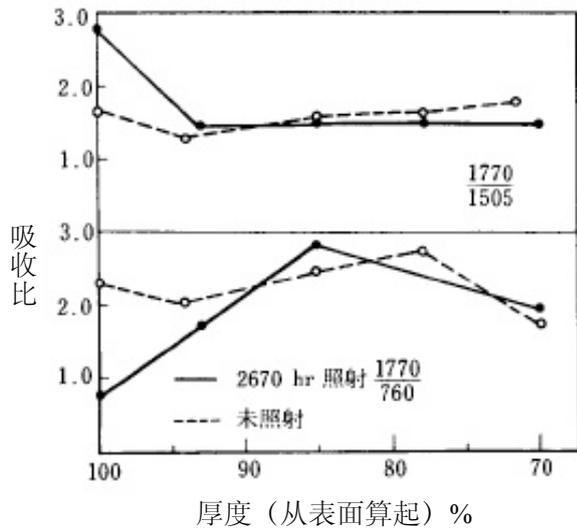
在结果中比较有特色的变化为，

- (1) 黄变度会随着试料厚度不同而产生显著的差异，但雾度几乎不产生差异。
- (2) 尽管分子量相当高，但在拉伸试验中仍表现为脆性。

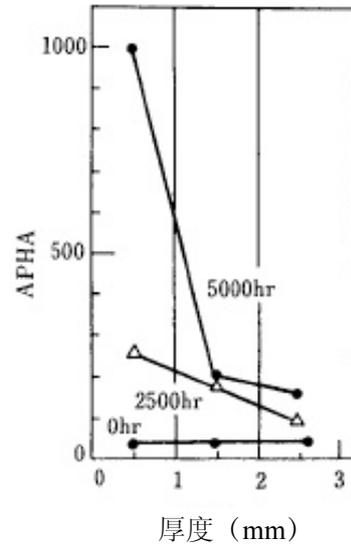
这些变化越接近表面层越显著，因此意味着内部相对地会受到表面层的保护。所以可以认为试料的厚度与劣化具有重要的关系。

7.2-14 (红外图谱中羰基 1770cm^{-1} 的变化)，15 (APHA)，16 ($[\eta]$)，17 (Mv)，18 (Mv) 图表现了厚度产生影响的结果。

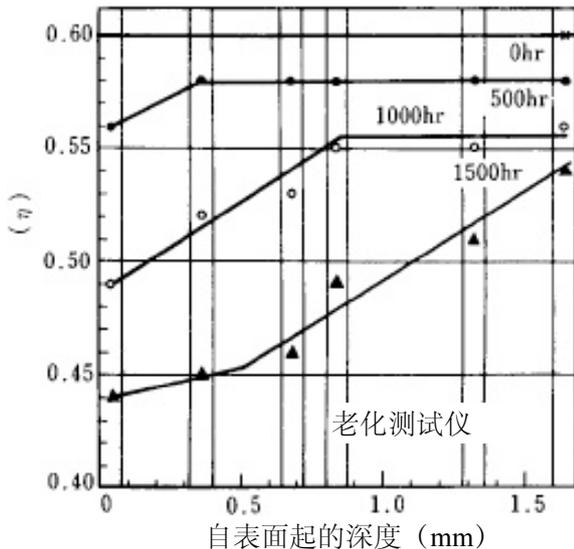
作为改善Iupilon/NOVAREX的耐候性的方法，最普遍的方法是添加紫外线吸收剂和稳定剂，或者添加无机填料来实现。



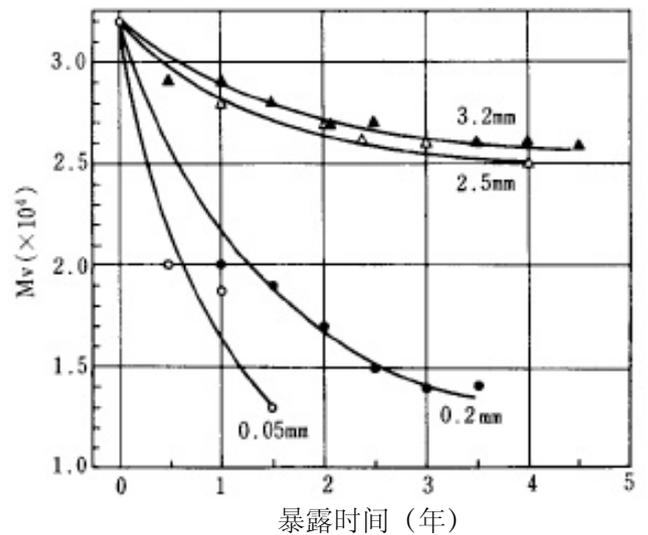
7.2-14 图 羰基随厚度变化的状态



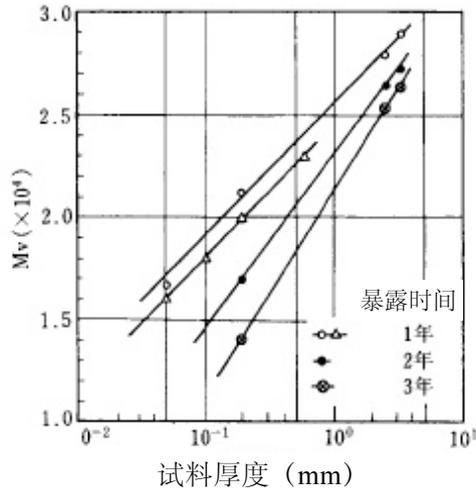
7.2-15 图 APHA因厚度不同而产生的差异通过老化测试仪测得



7.2-16 图 根据厚度不同分子量下降的差

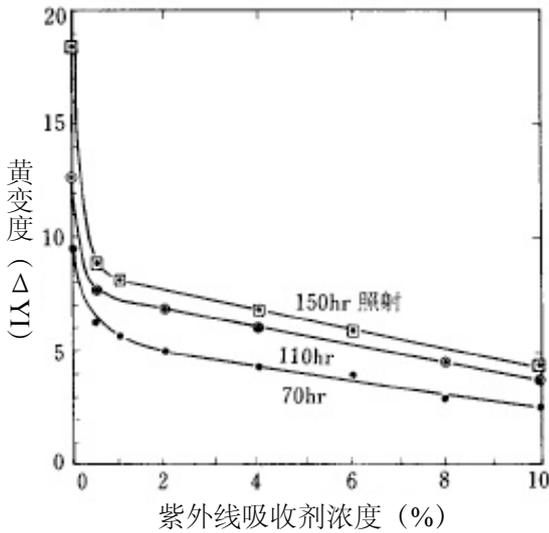


7.2-17 图 暴露劣化所致分子量的下降与试料厚度的关系

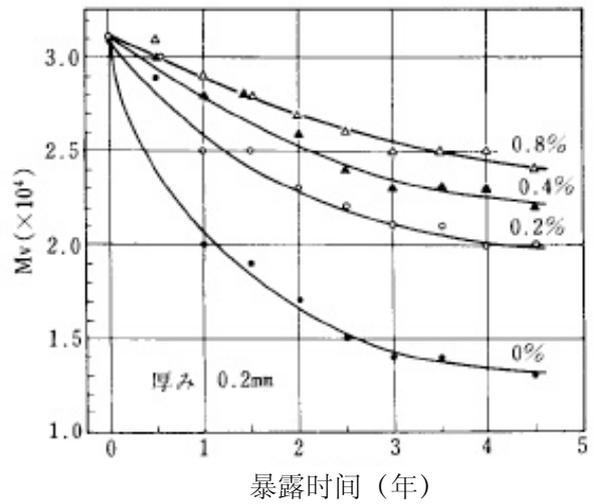


7.2-18 图 试料厚度与分子量 (Mv) 下降的关系

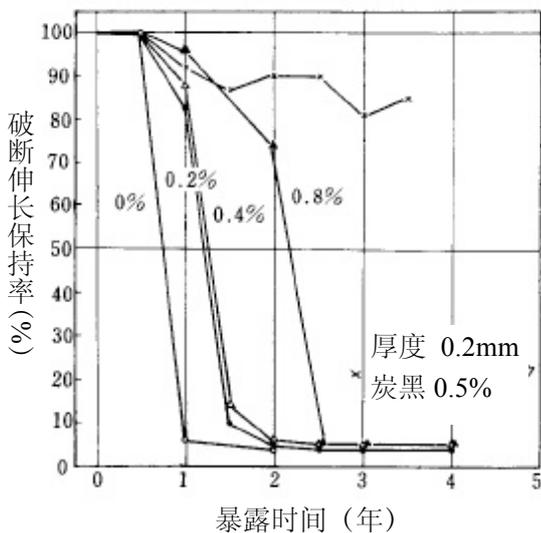
7.2-19 (黄变度), 20 (Mv), 21 (拉伸断裂伸长率), 22 (拉伸强度), 23 (挠曲强度), 24 (透明度及雾度), 25 (APHA) 图中显示了紫外线吸收剂添加的效果。



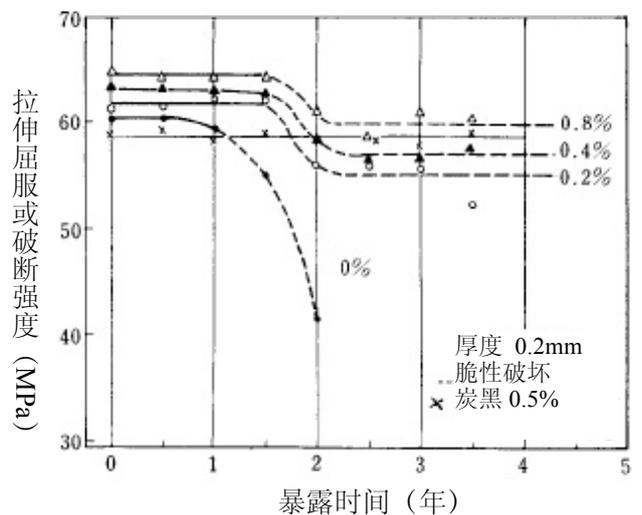
7.2-19 图 紫外线照射所致黄变度与紫外线吸收剂浓度的关系



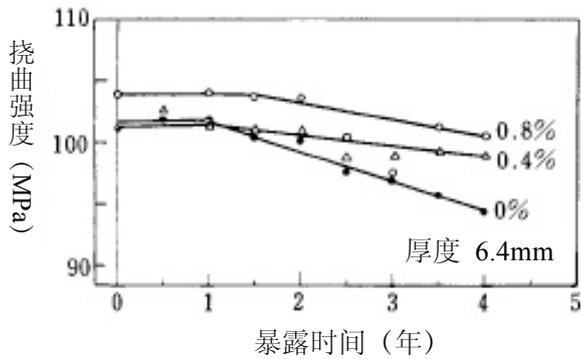
7.2-20 图 紫外线吸收剂含量与暴露试验所致分子量下降



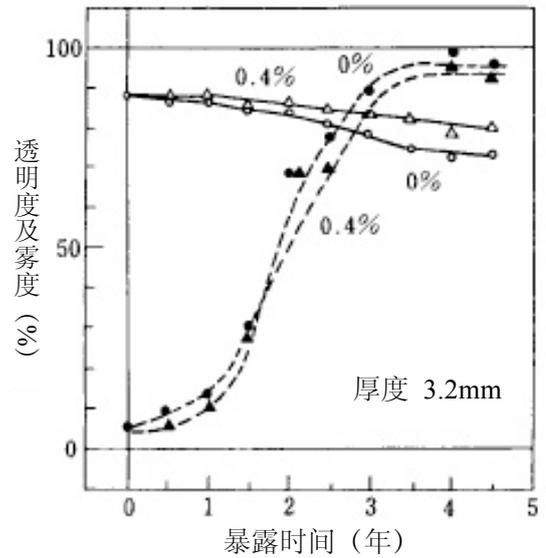
7.2-21 图 紫外线吸收剂含量与暴露试验所致断裂伸长率的下降



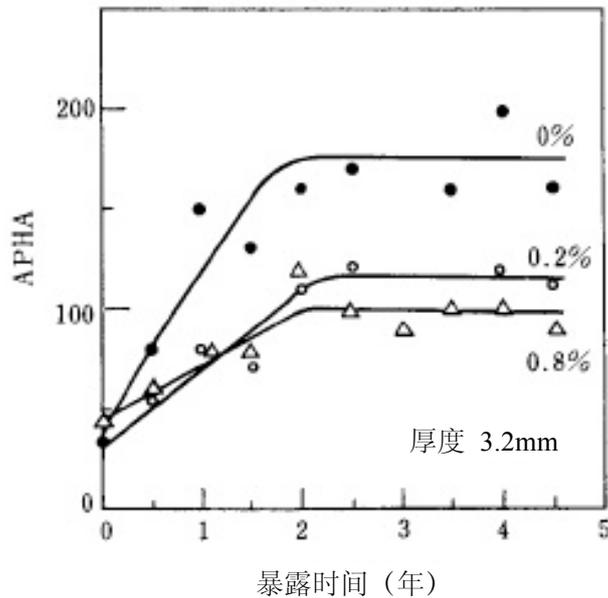
7.2-22 图 紫外线吸收剂含量与暴露试验所致拉伸强度的变化



7.2-23 图 暴露试验所致挠曲强度的变化



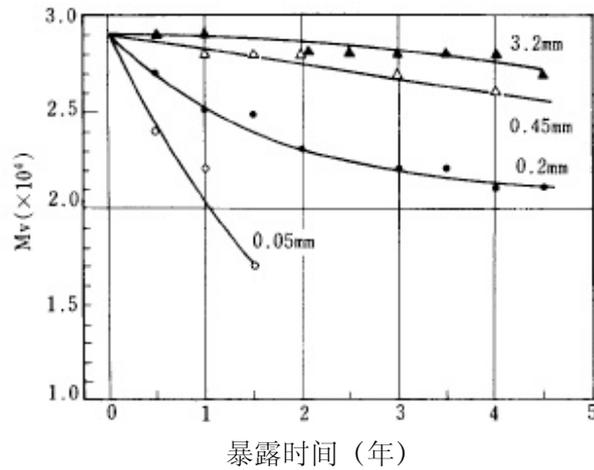
7.2-24 图 暴露所致透明度，雾度的变化



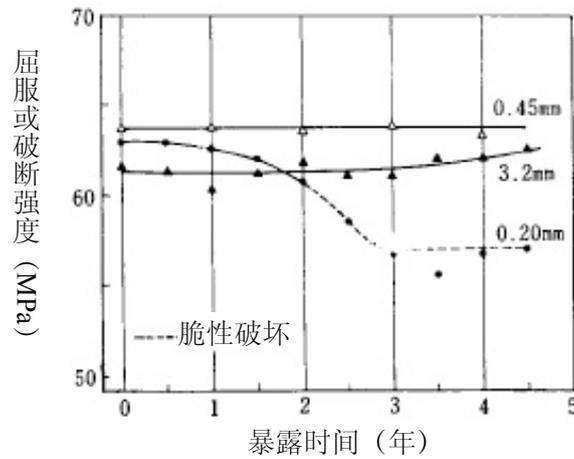
7.2-25 图 暴露所致黄变性

紫外线吸收剂的添加对各物性会表现出一定效果，但未必充分。同前述，聚碳酸酯的厚度会产生相当大的影响，所以有必要对组分稳定化的试料进行研讨。

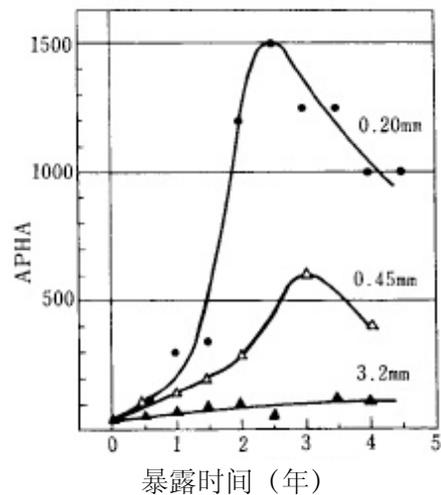
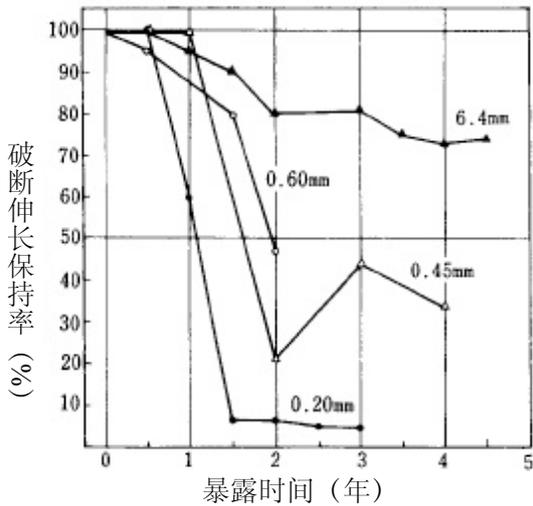
7.2-26 (Mv)，27 (拉伸性质)，28 (破断伸度)，29 (APHA) 图表现了厚度对含有0.4%吸收剂的试料的耐候性的影响。由此可知厚度在0.45mm以上的情况下分子量 (Mv) 的下降较少，且破坏状态可以维持在延性破坏。



试料 $M_v=2.9 \times 10^4$ 含有0.4%紫外线吸收剂
7.2-26 图 试料厚度对分子量 (M_v) 的下降的影响



7.2-27 图 拉伸强度的变化与试料厚度的关系



试料 含有0.4%紫外线吸收剂

7.2-28 图 破断伸长率的下降与试料厚度的关系 7.2-29 图 APHA的变化与试料厚度的关系

已知无机填料的添加对耐候性的改善具有效果。其中典型的范例是碳黑，对Iupilon/NOVAREX如7.2-21, 22 图所示，显示出比紫外线吸收剂更有效。在此意义上针对无机颜料的研讨结果如7.2-1 表所示。另，7.2-2 表中显示了含有钛白的试料在长期暴露试验中的结果。

7.2-1 表 颜料添加对室外暴露实验的影响

颜料的种类	添加量 (%)	PH	未处理	室外暴露 1年		厚度 (μ m)
			分子量 ($\times 10^4$)	分子量 ($\times 10^4$)	ΔE	
群青	0.2	9.4	2.8	2.1	5.6	50
弁柄	0.2	7.6	2.8	2.1	4.9	50
辉绿	0.2	6.5	2.8	2.1	4.3	50
镉黄M3600	0.2	7.3	2.8	2.1	2.2	50
镉黄M3200	0.2	7.2	2.8	2.1	1.8	50
镉红L6600	0.2	8.2	2.8	2.2	2.6	50
镉红M8300	0.2	8.2	2.8	2.1	2.7	50
镉红O5700	0.2	8.2	2.8	2.6	2.9	50
辉蓝LBGT	0.2	8.0	2.8	2.3	1.0	50
碳黑				2.4		
ニツピール#100 (日铁)	0.5		2.8		3.0	50
FB44 (三菱碳黑)	0.5	4.7	2.8	2.3	3.8	50
#50 (")	0.5	7.7	2.8	2.3	4.5	50
#600 (")	0.5	6.0	2.8	2.5	5.6	50
橡胶用H (")	0.5	7.0	2.8	2.5	2.5	50
マークII (コロンビア)	0.5	7.7	2.8	2.5	2.5	50
#999 (")	0.5	3.0	2.8	2.4	9.0	50
无添加	0	3.9	2.8	2.3	7.0	50
钛白	0.7	2.8				200
"	0.7	2.8				200
碳黑 (橡胶用H)	0.5	2.8				200
" (#100)	0.5	2.8	2.6			200
未添加	0	2.8	2.0			200

7.2-2 表 UV, TiO₂对暴露试验的影响

	添加物 (%)		暴露试验所导致Mv的变化 ($\times 10^4$)					落球试验所致脆性破坏发生的比例 (%)				
	UV	TiO ₂	0年	2年	3年	4年	5年	0年	1年	2年	3年	4年
1	0	0	3.1	2.8	2.7	2.6	2.5	0	90	100	100	100
2	0.4	0	3.1	3.0	3.0	3.0	3.0	0	0	0	0	0
3	0	0.5	3.1	2.8	2.6	2.6	2.6	0	5	15	100	100
4	0.4	0.5	3.0	2.7	2.6	2.6	2.6	0	0	0	0	25

试料厚度2.5mm, UV为紫外线吸收剂。

落球试验: 将3.6kg的钢球从3.85m高处下落至内径146mm的半球体上, 并调查其破坏状态。

7.3 照射劣化

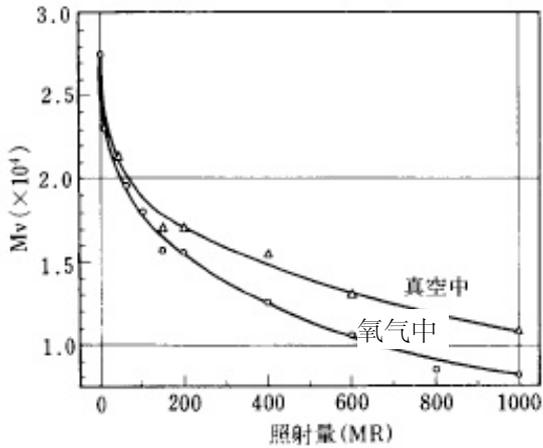
聚碳酸酯在经过电子线、射线、X射线等照射后会出现劣化。例如经过 γ 射线照射时产生的瓦斯气的分析结果如 7.3-1 表所示，聚碳酸酯的情况下，大部分为产生 CO_2 、 CO ，同时伴有少量的 CH_4 ， H_2 。由此可知聚碳酸酯的分解情况为，主链的断裂占大部分，同时伴有少量的如下式所示的副分解。



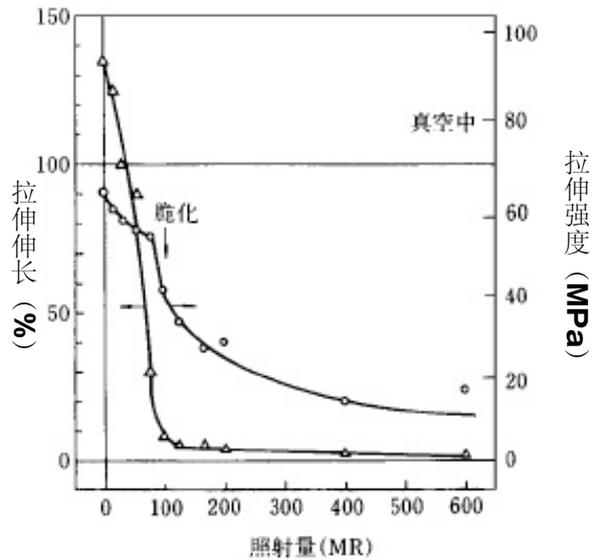
7.3-1 表 γ 射线照射所致瓦斯气的产生（瓦斯气的产生比率%）

照射量 (γ)	减重 (%)	CO	CO_2	H_2	CH_2	CO/CO_2
1×10^8	0.33	79.3	15.8	4.5	0.4	0.4
2×10^8	0.70					1.8
3×10^8	1.54	61.6	34.4	3.2	0.8	
10×10^8		61.2	31.0	7.0	0.8	2.0

聚碳酸酯经照射导致的分解如发生在主链，必然会引起平均分子量的下降（7.3-1 图）与机械性质的劣化（7.3-2 图）。



7.3-1 图 射线照射所致分子量下降



7.3-2 图 照射所致拉伸性质的变化

关于照射劣化，与其他树脂的比较如7.3-2 表，7.3-3 表所示。

7.3-2 表 γ 线照射所致各种树脂分解产生的瓦斯气 ($\mu\text{mol/g}$)

聚合物	CO ₂	H ₂	CO	甲烷	乙烷	丁烷	丁烯	二氯甲烷	戊烯	甲醇
P 聚碳酸酯	32.5	1.5	66.0				4.6	4.0	1.6	
聚酯1	56.3	33.5								
聚酯2	82.0	18.0								
聚乙烯 高密度	3.0	92.0	5.0							
聚乙烯 低密度	1.0	91.0	1.0		2.0	3.5	1.5			
聚丙烯	1.0	95.0	1.0	3.0						
尼龙66	5.0	71.0	24.0							
尼龙11	1.0	66.0	29.0	4.0						
氯化聚醚	8.7	85.8					1.4	3.8	0.3	
聚甲醛	69.0	7.5		15.0						2.0

7.3-3 表 γ 线照射所致分解瓦斯气发生量的比较 ($\mu\text{mol/g}$)

顺位	瓦斯气发生量	
1	1以下	聚酯1、聚酯2、聚乙烯、聚三氟氯乙烯
2	1~5	聚碳酸酯、尼龙66、聚酰胺11、氯化聚醚
3	5~10	聚二氯乙烯
4	10~15	聚氯乙烯、聚酯涂装的聚乙烯
5	15~20	聚乙烯、聚丙烯
6	50以上	聚甲醛

(劉祺、劉雍、赖铮铮)