

聚氯乙烯塑料配方设计指南

林师沛 编著

化学工业出版社
材料科学与工程出版中心
·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

聚氯乙烯塑料配方设计指南/林师沛编著. —北京:
化学工业出版社, 2002.7
ISBN 7-5025-3839-9

I. 聚… II. 林… III. 聚氯乙烯塑料-配方-设计-指南 IV. TQ325.3-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 033168 号

聚氯乙烯塑料配方设计指南

林师沛 编著

责任编辑: 龚浏澄 邢 涛

责任校对: 郑 捷

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市云浩印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 10 字数 269 千字
2002 年 7 月第 1 版 2002 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3839-9/TQ·1538

定 价: 26.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

聚氯乙烯在 1931 年首先小批量生产时只是一种没有希望的树脂。70 年后的今天，它的产量仅次于聚烯烃而居第二位，消费水平提高到 2843 万 t。发展的转折点是 1933 年，西蒙将增塑剂应用于聚氯乙烯而制得可以加工的有用的软塑料。从此激发了对添加剂的开发和配方的研究，赋予聚氯乙烯塑料多种性能使之得到广泛应用。一个实用的配方属技术机密，涉及经济利益，一般不披露，或报道梗概。为适应入世（WTO）后全球经济一体化的竞争，塑料企业需要增强参与竞争的實力，需要设计配方、开发新产品，作者根据有关期刊、会议文集和专著等文献资料，编写了本书。

全书共 10 章。第一章为配方设计基础，介绍了聚氯乙烯树脂的结构、型号和用途，添加剂的作用，以及配方的设计和筛选概要。第二章至第十章，分别介绍了管材、型材、注塑制品、中空制品、薄膜、片材和板材、电缆料、人造革、糊制品及其他制品的配方及其说明、混料与成型等。

本书的特点是：配方取材广泛，突出硬制品，注重实用性，兼顾典型性、新颖性和开拓性；从“具体问题、具体分析”入手，指出配方设计、选材要点，集腋成裘，掌握全面；对于混料与成型，既切合实用，也能抓住关键和反映新成就。因此，本书不仅可供配方设计者阅读，也可供从事聚氯乙烯开发、加工和应用的工程技术人员，以及大专院校高分子材料专业师生参考。

参加本书编写的还有胡兴敏和林炼同志，他们撰写了棒材、焊条和胶粘剂等部分。叶锡玲和叶蜀懿同志协助誊写、制图等工作。

闲暇而热有余，作者乃以配方为主题，从大量的发表论文和专著中，吸取新知识和研究成果，经过两载奋笔，编著成书。由于水

平有限，错误和欠妥都在所难免，请读者批评指正。

林师沛

2002年1月于川大新北村

目 录

第一章 配方设计基础	1
第一节 聚氯乙烯树脂	1
一、聚氯乙烯的分子结构	1
二、聚氯乙烯的超分子结构	7
三、商品聚氯乙烯树脂的型号和用途	20
第二节 添加剂对聚氯乙烯的作用	28
一、稳定剂	29
二、加工改进剂	36
三、增塑剂、冲击改性剂和填充剂	40
四、着色剂、发泡剂及其他添加剂	47
第三节 配方的设计与筛选概要	54
一、关于配方设计的考虑	54
二、关于配方的实验筛选	62
参考文献	66
第二章 管材	69
第一节 配方	69
一、硬管配方	69
二、软管配方	84
第二节 混料与成型	90
一、双螺杆挤出法	90
二、单螺杆挤出法	99
参考文献	103
第三章 型材	107
第一节 配方	108
一、未增塑聚氯乙烯型材配方	108
二、增塑聚氯乙烯型材配方	124
第二节 混料与成型	127

一、双螺杆挤出法	128
二、单螺杆挤出法	130
参考文献	132
第四章 注塑制品	135
第一节 配方	136
一、硬制品配方	136
二、半硬和软制品配方	151
第二节 混料与成型	156
一、干混料注塑法	156
二、粒料注塑法	158
参考文献	161
第五章 中空制品	164
第一节 配方	164
一、食品级制品配方	164
二、非食品级制品配方	171
第二节 混料与成型	174
一、挤出吹塑法	175
二、注射吹塑法	176
三、拉伸吹塑法	176
参考文献	178
第六章 薄膜	180
第一节 配方	180
一、硬膜配方	180
二、半硬及软膜配方	190
第二节 混料与成型	200
一、管膜法	200
二、压延法	202
参考文献	205
第七章 片材和板材	207
第一节 配方	208
一、片材配方	208
二、板材配方	223
第二节 混料与成型	232

一、压延法	233
二、挤出法	235
三、层压法	237
参考文献	240
第八章 电缆料	243
第一节 配方	244
一、70℃ 电缆料配方	244
二、80℃ 和 105℃ 电缆料配方	250
三、阻燃、耐油及其他电缆料配方	254
第二节 粒料制备和线缆包覆	263
一、粒料制备	263
二、线缆包覆	265
参考文献	266
第九章 人造革	268
第一节 配方	269
一、普通人造革配方	269
二、泡沫人造革配方	272
第二节 混料与成型	279
一、压延法	279
二、涂布法	280
参考文献	285
第十章 糊制品及其他制品	287
第一节 糊制品	287
一、糊制品配方	287
二、糊的制备与成型	294
第二节 其他制品	297
一、棒材、焊条及单轴取向制品的配方	297
二、输送带、防水卷材及胶粘剂等的配方	301
参考文献	308

第一章 配方设计基础

聚氯乙烯塑料是以聚氯乙烯树脂为主要成分，一般含有添加剂，在加工过程中能流动成型的材料。而其制品配方设计则是根据制品性能要求、加工方法及经济性，合理地选择聚氯乙烯树脂及其添加剂，并确定其间的配比关系。实际上，配方设计是以知识为基础的，既要有专业知识，也要有实践经验。对于聚氯乙烯塑料制品配方设计，首先要掌握聚氯乙烯树脂及其添加剂的作用、塑料的性能及其加工方法，然后将拟订的配方通过实验筛选，使之最佳化。

第一节 聚氯乙烯树脂

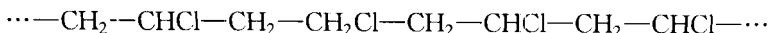
聚氯乙烯是以氯乙烯单体制得的聚合物，英文缩写代号为PVC。在工业上，一般把氯乙烯的均聚物和共聚物总称为聚氯乙烯树脂。习惯上，聚氯乙烯（PVC）也表示以聚氯乙烯为主的塑料和制品^[1]。我国的PVC树脂工业发展相当快^[2]，从1958年起步，目前已有树脂生产企业80余家，2000年PVC树脂产量为239.7万t，生产能力约为320万t。预计2010年PVC树脂的生产能力可达542万t^[2]。目前，我国仍以悬浮法制通用树脂为主，糊用树脂约9万t，专用均聚和共聚树脂以及化学改性的树脂则更少。

一、聚氯乙烯的分子结构

氯乙烯单体聚合形成大分子时，分子链的键接方式、立体规整性、分子量和反常结构等对聚合物性能都有影响。

1. 键接方式和立体规整性^[3]

根据用锌粉将PVC脱氯所得到的环链结构和脱掉氯的数量，可以判断PVC中单体单元是按有规律的头-尾键接方式构成的：



上式可写成 $[\text{CH}_2-\text{CHCl}]_n$ ，式中 $-\text{CH}_2\text{CHCl}-$ 为链节， n 为组

成聚合物分子的链节数或称为聚合度（或用 P 表示）。

在 PVC 链的结构单元中存在不对称碳原子，就可能有立体异构物。两个结构单元以相同的构型键接时称为 m 键接，以不相同的构型键接称为 r 键接。对于 PVC，如以 $mmm\cdots$ 键接序列，所有氯原子都排列在聚合物键同一侧，称为等规立构；如以 $rrr\cdots$ 键接序列，氯原子是从一侧到另一侧交替排列的，称为间规立构；以 $rmr\cdots$ 键接序列，其氯原子是杂乱无章地排列，称为无规立构，如图 1-1 所示：

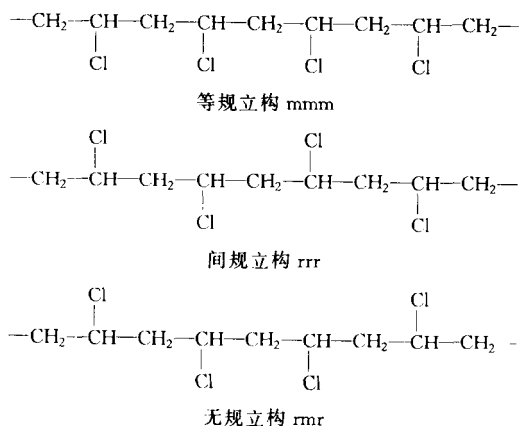


图 1-1 PVC 构型键接的三种形式

为了表征 PVC，很早以前，Fuller 根据 X 射线衍射测定认为，氯原子交替地排列在链的两侧，这就是间规结构。Natta 等人从研究定向纤维的 X 射线图像发现，氯原子间重复距离为 0.51nm。这意味着氯原子从一侧到另一侧是交替排列的，即间规结构。但是，有规律的顺序排列显然是相当短。

Germer 等人用红外光谱技术测定了在 30℃ 和 -70℃ 聚合的 PVC 的间规立构规整度分别为 54% 和 80%。Nakajima 等人也用此法测得在 -75 ~ 90℃ 温度范围聚合的样品，其间规立构含量介于 51% 和 77% 之间。这些结果也表明，PVC 主要间规立构。

Pham 等人用 ^{13}C 核磁共振法测定表明，间规立构规整度是聚

合温度的函数（表 1-1）。

表 1-1 PVC 的间规立构规整度与聚合温度的关系

聚合温度/℃	间规立构规整度/%	聚合温度/℃	间规立构规整度/%	聚合温度/℃	间规立构规整度/%
55	55	0	60	-50	66
25	57	-30	64	-76	68

从发表的数据可以得出结论：普通商品的悬浮法和本体法 PVC 树脂（40~70℃）的间规立构规整度不太高（52%~56%）。但是，由于间规立构 PVC 能够结晶，这对了解 PVC 的性能，是很重要的。

2. 分子量

分子量是 PVC 树脂的重要参数。在氯乙烯聚合时，PVC 的分子量是与链增长反应速度成正比，而与链终止速度成反比；另一方面，聚合温度越高，则 PVC 的分子量越低。分子量大小，对加工难易和决定最终产品质量有重要影响。例如，PVC 材料的力学性能（如拉伸强度、弹性模量和冲击强度等）是随分子量的增大而提高的，但它的加工性（如流动性）则随分子量的增大而降低（图 1-2）。因此，要兼顾使用性能和加工性来选择适当分子量的树脂。

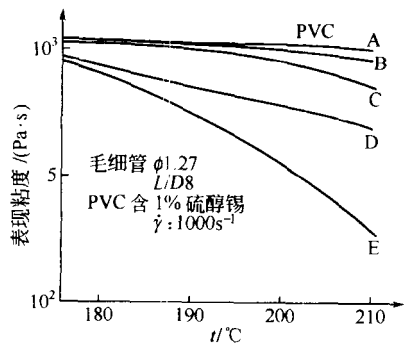


图 1-2 分子量对硬 PVC 熔体粘度的影响

PVC 分子量(GPC): A>B>C(71000~75000)
>D(50000~58000)>E(50400)

测定 PVC 分子量的方法有多种：用渗透压法可以测定数均分子量 \overline{M}_n ，用光散射法可以测定重均分子量 \overline{M}_w ，但以粘度法测定分子量最方便而实用。这种方法是通过测定 PVC 稀溶液的粘度，然后用粘数、K 值或平均聚合度 (\overline{P}) 来表示平均分子量的，其间

关系列于表 1-2 中^[3]。

表 1-2 粘度法测定相对分子质量的几种表示法的比较

粘数 ISO/R174 - 1961(E)	K 值 0.5g/100mL 环己酮(25℃)	\bar{P} JIS K6721	特性粘度 ASTM D-1243 - 58 - T(A 法)	比粘度 ASTM D-1243 - 58 - T(B 法)	\bar{M}_w	\bar{M}_n
50	45	275	0.42	0.155	40000	20000
54	47	350	0.47	0.175	—	—
57	48	380	0.49	0.185	54000	26000
61	50.5	450	0.55	0.206	—	30000
67	52.7	525	0.60	0.228	—	—
70	53.9	560	0.62	0.239	70000	35000
73	55	600	0.65	0.25	—	—
77	56.1	640	0.67	0.264	—	40000
80	57.2	680	0.70	0.275	—	—
83	58.2	720	0.72	0.285	—	—
87	59.5	760	0.75	0.3	100000	45500
90	60.6	800	0.78	0.31	—	—
94	61.9	840	0.80	0.32	—	50000
98	62.9	885	0.83	0.33	—	—
102	64	930	0.85	0.34	—	—
105	65.2	975	0.88	0.36	140000	55000
109	66.3	1025	0.91	0.37	—	—
113	67.4	1070	0.92	0.38	—	—
117	68.5	1120	0.95	0.39	—	60000
125	70.8	1230	1.01	0.41	200000	64000
130	72	1300	1.03	0.43	—	—
134	73.1	1350	1.06	0.44	—	—
138	74.2	1420	1.08	0.45	—	70000
142	75.3	1490	1.11	0.46	—	—
145	76.5	1570	1.13	0.47	260000	73000
153	79	1720	1.18	0.50	—	—
161	81.7	1900	1.23	0.53	—	80000
165	83.1	1980	1.26	0.54	340000	82000
173	86.3	2170	1.30	0.57	—	—
177	88	2260	1.33	0.58	—	—
181	89.8	2360	1.35	0.6	—	90000
185	91.8	2460	1.38	0.61	480000	91500

粘数是用 $(\eta - \eta_0)/\eta_0 c$ 表示的，其值等于 $(t - t_0)/t_0 c_0$ 。

式中 η ——PVC 溶液的粘度；

η_0 ——纯溶剂的粘度；

t ——PVC 溶液在规定条件流过毛细管的平均时间；

t_0 ——溶剂在相同条件下流过毛细管的平均时间；

c ——溶液的浓度 (g/100mL)。

K 值是用 Fikentscher 提出的关系式 (式 1-1) 计算的。

$$\lg(\eta/\eta_0) = \left\{ \left(\frac{75k^2}{1 + 1.5kc} + k \right) c \right\} \quad (1-1)$$

$$K = 1000k$$

平均聚合度 (\bar{P}) 是按特性粘数 $[\eta]$ 计算的

$$\bar{P} = 500 \left\{ \text{anti lg} \frac{[\eta]}{0.185} - 1 \right\} \quad (1-2)$$

式中 $[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} \eta_{inh}$, η_{inh} 为固有粘度 (IV), 即比浓对数粘度 ($\ln \eta_{rel}/c$), 而 η_{rel} 为粘度比 (η/η_0)。

关于分子量分布, 由于单体链转移是链终止的主要方式, 自动加速效应并不导致生成过高分子量的聚合物, 因此 PVC 的分子量分布一般不应太宽。据 Patterson 等人^[4]的综述, 分子量分布 (用 \bar{M}_w/\bar{M}_n 表示) 为 2~2.5, 如图 1-3 所示。

3. 反常结构^[5-7]

氯乙烯聚合时一般是头-尾键接而形成大分子, 但由于头-头结构、链转移和氧的存在等因素而使 PVC 分子链的结构复杂化, 如含有烯丙基氯、羰基烯丙基氯及叔氯等。这些反常

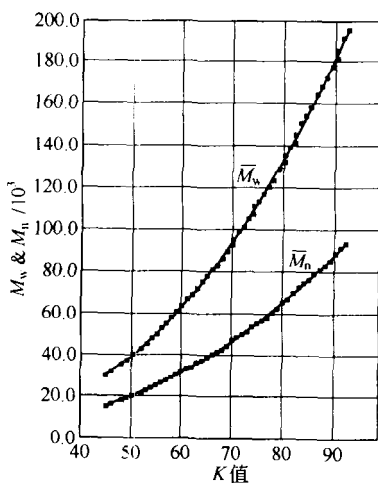
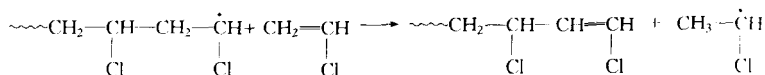


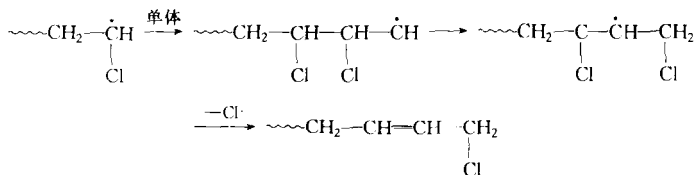
图 1-3 PVC 分子量分布与 K 值的关系

结构成为 PVC 对热不稳定的“弱点”。

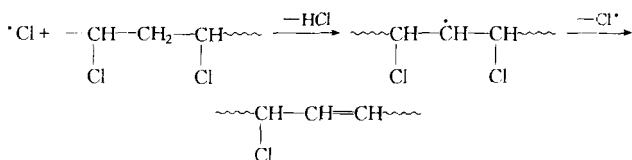
在氯乙烯聚合时，大分子自由基与单体之间的链转移而形成末端的烯丙基氯：



另外，根据较高能量使头-头结构移位而形成烯丙基氯：

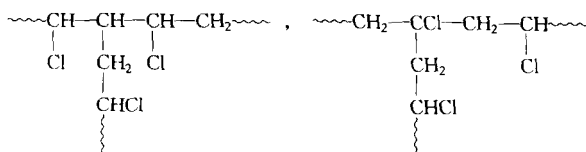


这种脱出氯原子在聚合过程中还会促使形成内部烯丙基氯，其活性则高于末端的烯丙基氯。



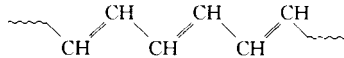
在 PVC 分子链内部所含一些不饱和基团，容易被氧化成羰基烯丙基氯 ($\sim\text{CO}-\text{CH}=\text{CH}-\text{CHCl}$) 结构，或称为氯化烯丙基酮。由于羰基与烯丙基双键发生共轭效应，使氯原子极为活泼，成为链中的“弱点”。还有数据说明，在 PVC 大分子中，含 $\begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagdown \end{array}$ 键的结构，大多数是氯化烯丙基酮，而烯丙基氯几乎不存在。

在氯乙烯聚合反应过程中，也会有支链发生：



叔氯原子是由于大分子自由基向聚合物或增长自由基的链转移引起的，它是不稳定的，容易脱出氯而引发 PVC 降解。

目前，虽然对引起 PVC 降解的反常结构还没有统一的认识，但是叔氯、烯丙基氯和氯化烯丙基酮（羰基烯丙基氯）等在链引发阶段都能提高降解反应速度。一般认为，PVC 的降解，首先在一些具有不稳定结构（即“弱点”或称为活性基团）上引发脱去 HCl 而开始的，随即在 PVC 链上形成一个不饱和的双键，于是就使相邻的氯原子活化，并促使另一个 HCl 从分子链上脱掉，这一过程连续重复进行下去，而且十分迅速，从而形成多烯结构：



这种快速脱掉 HCl 的反应称为“拉链”反应，这是因为一旦引发，则链增长速度极快，特别是在温度高于 185℃ 时，多烯结构的双键可达 30 个。因此 PVC 在加热时显示一系列特征颜色：透明无色→淡黄→黄→黄橙→红橙→棕褐→黑色。一般在 PVC 链中含 7 个以上共轭双键就开始显色，共轭双键越多则颜色越深。另外，反应温度越高，受热时间越长，脱 HCl 越快，颜色也就越深。

从链上脱出的 HCl，在各种温度下和不同介质中，都能自催化 PVC 脱 HCl。HCl 的浓度越高，脱 HCl 的速度也越快。同时，HCl 也催化大分子链的交联反应。但是，从外部加入的 HCl 不能催化 PVC 无规脱 HCl。因此，这种反应称为 PVC 脱 HCl 的自催化效应。

二、聚氯乙烯的超分子结构

聚合物的超分子结构是指分子链之间的堆砌。对于 PVC，它涉及结晶性、转变温度、粒子结构和凝胶化等。

1. 结晶性^[8]

根据 Natta 等人用 X 射线衍射研究表明，PVC 的晶体属斜方晶系（轴长 a 、 b 和 c 分别为 1.06nm、0.54nm 和 0.51nm）。每个晶包有 2 根链，而这种链都是平面锯齿状的间规立构。晶体结构是由多个分子所形成、并极紧密而几乎完整地堆砌成一体。在聚合物中，晶体能阻止聚合物分子相互滑移，并起到把多个分子紧捆在一起的作用。这就需要高的熔化能级以破坏晶体，并使 PVC 分子流

动。

PVC 的微晶都是一些微小的晶体，这种微晶在 PVC 链的方向是很小的（平均 0.7nm，相当于 3 个单体元），而其横向堆砌则较大（4.1nm）。PVC 微晶的模型如图 1-4 所示。PVC 的晶体结构是由间规立构结构组成的，与其他聚合物比较，这种晶体是很小而不完整的，因而它具有较宽的熔点范围（120~250℃）。PVC 在某一温度范围内进行加工，有些 PVC 微晶是决不会熔化的。

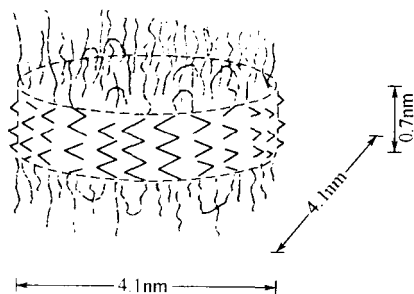


图 1-4 PVC 的微晶结构

通常用结晶度表征聚合物中结晶部分所占百分比。用 X 射线散射研究表明，PVC 的结晶度是随氯乙烯的聚合温度的降低而升高的（表 1-3），这是由于间规立构链段增多和支链数目减少造成的。在尿素通道（-78℃）制得的 PVC 具有高的间规立

构规整度和高结晶度，它不溶于现有溶剂，甚至在过热（200℃）的环己酮中也不溶胀，在 400℃ 也不熔化。高度完整的 PVC 晶体的熔点是很高的，在分解温度以上。这种材料是难于加工的。幸运的是，在 PVC 工业中，正常聚合的 PVC 只有不高的间规立构规整度，结晶度也较低。这种低结晶度，对于增塑 PVC 的应用，是极为重要的。结晶度能使增塑 PVC 具有类似交联的作用，因而材料具有弹性。例如，一件增塑 PVC 雨衣，如果没有弹性，将它挂在钩上，就会慢慢下坠而延伸到地板，这是无用材料。

表 1-3 PVC 的结晶度

PVC 类型	结晶度/%	PVC 类型	结晶度/%
在 90℃ 聚合的	6~7	在 -75℃ 聚合的	30
商品树脂	8~10	尿素通道 PVC	65
在 3℃ 聚合的	15		

2. 转变温度^[1,3,9]

所谓转变是指聚合物在升温（或熔体冷却）过程中到达某一特定温度时，分子运动模式的变化。从高弹态（橡胶态）转变为玻璃态的温度，称为玻璃化温度（ T_g ）；从晶体转变为熔体的温度，称为熔化温度（即熔点， T_m ）。PVC 属于低结晶度的无定形聚合物，它在转变过程中的物理和力学性能会发生急剧的改变。

商品 PVC 的玻璃化温度在 74~85℃ 范围，它是硬 PVC 使用的最高温度。决定 T_g 值高低的主要因素有分子量、结晶度、增塑剂及其他添加剂。Saito 的介电研究表明， T_g 一直是随聚合度（ \bar{P} ）的增加而升高的。 $\bar{P} = 500$ 时 T_g 为 77.3℃； $\bar{P} = 2400$ 时 T_g 为 84.5℃。按照 Reding 等降低自由基聚合温度以增加间规立构规整度的试验，聚合温度从 125℃ 降至 -80℃ 时， T_g 由 68℃ 升至 100℃， T_m 也由 155℃ 增至 >300℃，这是结晶度造成的。如将普通 PVC 在 T_g 以上退火，也会提高结晶度和 T_m 。结晶部分的密度为 1.530g/cm³，完全无定形（淬火的）PVC 的密度为 1.337g/cm³。如果在 T_g 以下退火，不影响结晶度，但可增加密度。将 PVC 氯化可提高 T_g ，如含氯量为 65.6% 的氯化聚氯乙烯，其 T_g 可达约 118℃。至于添加剂对 T_g 的影响，如高分子量的聚甲基丙烯酸甲酯这类热变形温度改性剂可提高共混物的 T_g ；如将 MBS、CPE 和丙烯酸冲击改性剂分别与 PVC 共混，都会降低 T_g ；增塑剂加入 PVC 中，则会使由偶极键所强化的链间凝聚力降低、刚性变柔软，从而降低了 T_g 。

从分子运动角度看， T_g 是升温时大分子链开始“解冻”而使单键“自由旋转”的温度。此时，一切聚合物有着大致相同的自由体积分数和粘度。但是，在 T_g 以上时，较长的链段（约 2~10 个链节）能够运动，自由体积随温度升高而增大，分子链间的凝聚力减弱。因此，PVC 的干混料要在高弹态（低于流动温度 T_f ）下制备，以使添加剂分散在树脂中。如果添加剂中含有增塑剂，在加热（约 90℃）时被树脂吸收，也能形成松散、易流动的干混料。另外，聚氯乙烯在高弹态的变形是很大的。例如，硬 PVC 在 90~

110℃时的延伸率可达 600%。因此，将 PVC 加热到 T_g 以上，受到拉伸应力的分子会在应力的总方向上排列成一直线，再把它冷却到 T_g 以下，分子就会在取向状态下被冻结，这种取向对 PVC 的性能有着特别重要的影响。例如，在注塑中会产生皮-芯效应，尤其是在皮层的取向程度很大；在 PVC 瓶、薄膜及热成型制品中，借助双轴取向可提高冲击强度和降低渗透性；挤出制品受热时的拉伸强度和收缩受纵向取向影响是很大的；用拉伸法使纤维高度取向，可制得拉伸强度很高的纤维。

在高于 T_g 的温区中，无定形 PVC 可以将较长链段运动转变成

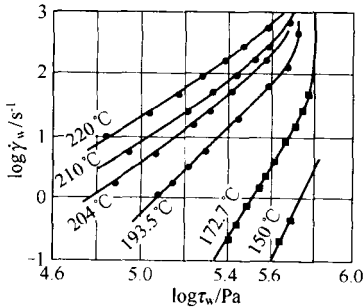


图 1-5 硬 PVC 的流动曲线

成几乎为整链的运动（即流动的前奏），此转变温度称为 T_{II} ，其值为 125℃，显然，流动温度 (T_f) 应大于 T_{II} 。Bonze 用零长度口模于 130℃ 和 $100s^{-1}$ 下测定了硬 PVC 的凝胶化曲线^[10]。深沢在研究硬 PVC（相对分子质量为 6.25×10^4 ，含硫醇锡 3 份）的流动性时是从 150℃ 开始的（图 1-5）^[11]，

在此温度下剪切速率为 $0.1s^{-1}$ 的粘度 ($\tau_w/\dot{\gamma}_w$) 则为 $4 \times 10^6 Pa \cdot s$ 。这些数据说明，PVC 的流动温度应在 130℃ 左右。对于加工来说，温度应高于 150℃。

至于商品 PVC 树脂晶体的熔点，其范围较宽，可从 120℃ 至 210℃ 或更高一些。据研究，硬 PVC 的熔点与玻璃化温度的关系为 T_g/T_m 为约 0.4。如果已测出 T_g ，则可用此式来估计晶体的 T_m 。熔点范围较宽是与晶体完整程度或晶体大小有关。如果晶体不完整或晶体小，则其熔点较低。在 PVC 加工中，要获得最佳性能，晶体应该熔化。从工业加工的实践来看，熔化晶体是客观需要。例如，在增塑 PVC 糊熔化时，必须达到 170℃ 这一最低温度，或至少短时间达到这一温度。最近的实验也证明^[12]，增塑糊在 180℃ 熔化时，可得到最大的拉伸强度。