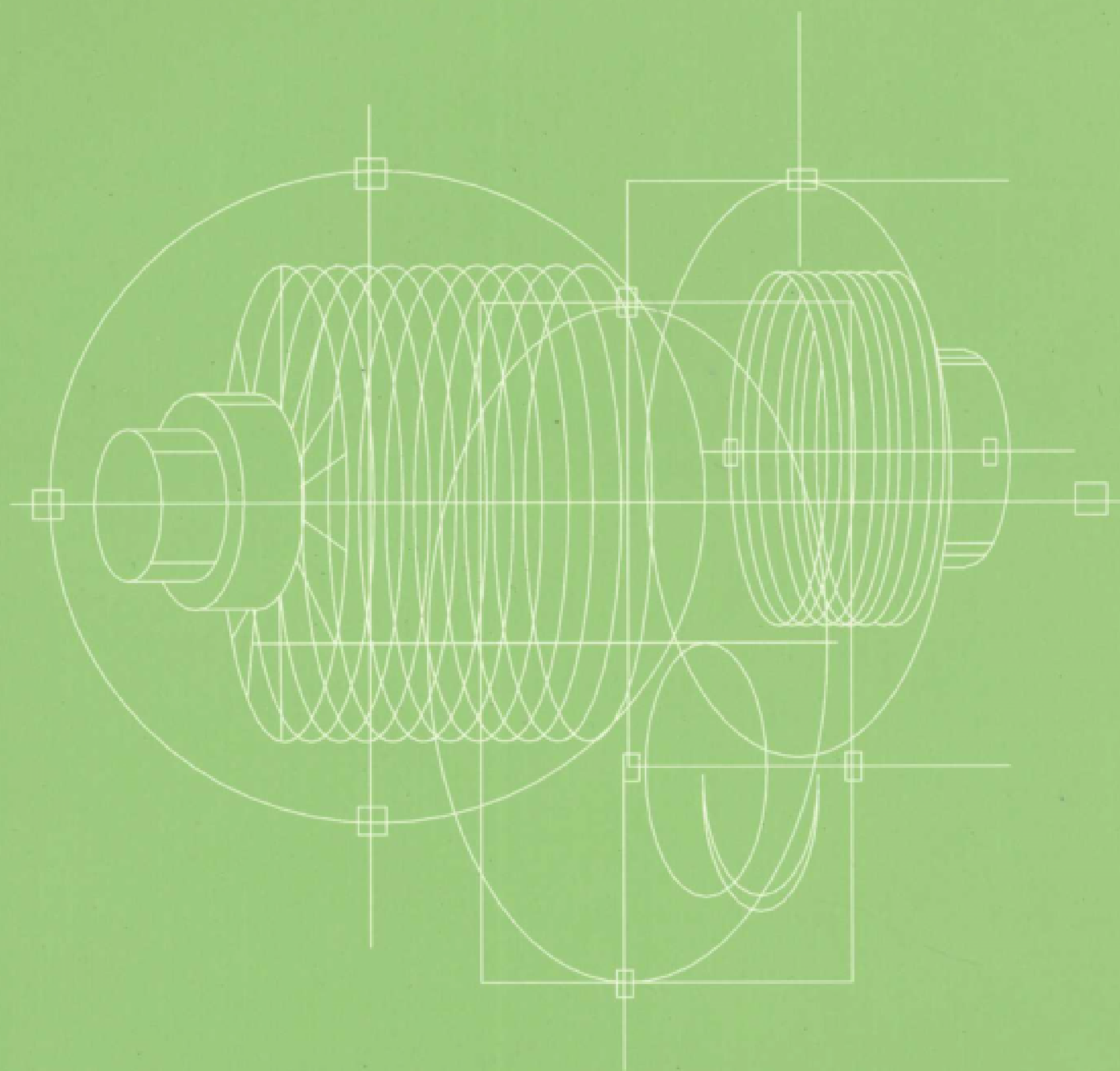


 中国纺织工业设计院 编著

聚合物输送 与干燥工艺



 中国纺织出版社

JUHEWUSHI

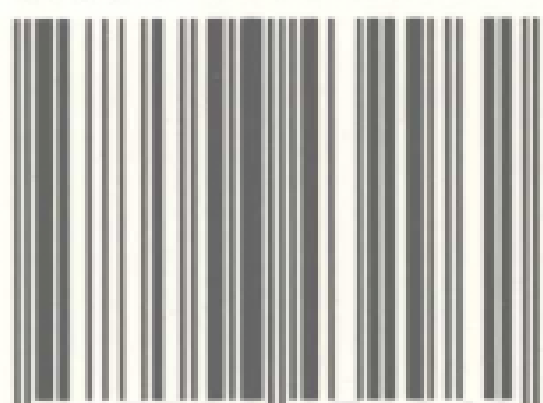


策划编辑：秦丹红 朱萍萍

封面设计：



ISBN 7-5064-3296-X



9 787506 432962 >

ISBN 7-5064-3296-X/TS·1940

定价：80.00元

聚合物输送与干燥工艺

中国纺织工业设计院 编著



中国纺织出版社

内 容 提 要

本手册主要介绍聚合物输送与干燥工艺的工程设计,包括熔体输送、气流输送、切片干燥的工艺计算,配管设计,应力分析等,并附有实用的图表及典型的配管图。

本手册分熔体输送工艺篇、熔体管道应力分析篇、切片干燥及气流输送篇,共计十四章。

本手册以聚酯熔体和切片为例进行介绍,也适用于聚酰胺等其他聚合物。手册可供从事聚合物及化纤工厂设计和生产的工程技术人员使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

聚合物输送与干燥工艺/中国纺织工业设计院编著. —北京:中国纺织出版社,2005.3

ISBN 7-5064-3296-X/TS·1940

I. 聚… II. 中… III. ①高聚物—输送 ②高聚物—干燥—生产工艺 IV. TQ31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 140914 号

策划编辑:秦丹红 朱萍萍 责任校对:楼旭红

责任设计:李 然 责任印制:黄 放

中国纺织出版社出版发行

地址:北京东直门南大街 6 号 邮政编码:100027

电话:010—64160816 传真:010—64168226

<http://www.c-textilep.com>

E-mail:faxing@c-textilep.com

北京东远新宏印刷有限公司印刷 三河水成装订厂装订

各地新华书店经销

2005 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:20 插页:13

字数:452 千字 定价:80.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社市场营销部调换

前 言

化纤生产中,聚合物熔体的输送是一个关键环节,也是国内工程设计中多年存在的一个难题。以聚酯熔体为例,输送压力为 $100\sim 250\text{kg}/\text{cm}^2$,输送温度为 $280\sim 290^\circ\text{C}$,熔体粘度为 $2500\sim 3000\text{P}$,直接纺丝输送距离超过 150m 。对于这样的高压、高温、高粘度、长距离熔体的输送,设计中一方面要进行流体力学和传热学、热力学计算,选择最佳的输送条件,防止熔体的质量劣化;另一方面要对管道进行热应力分析,保证生产的安全运行。

聚合物熔体夹套管道设计技术开发是在我院李志方副院长及李景涛工艺总工程师的指导下进行的,参加技术开发工作的有罗文德、房国民、钱锦国、张亚丹、荣海生等。通过几年的努力,将有所创新的包括熔体过滤在内的技术开发成果应用于仪化涤纶一厂 6 万吨/年聚酯切片生产熔体输送系统,并取得了成功。该成果曾获得 1987 年国家科技进步二等奖。

聚酯切片的结晶—干燥及风送是切片纺涤纶长丝、短纤维生产中的一个重要环节,因为干切片的含水率高低和均匀度直接关系到纺丝的可纺性和产品质量,尤其是高速纺,对于干切片的含水率及均匀度要求更为严格。

为了掌握聚酯切片的结晶—干燥及密相脉冲气流输送技术,我院结合工程项目开展了对本课题的技术开发工作。参加技术开发工作的有罗文德、徐皞东、徐万清、王兴己、徐一良等。

本手册分熔体输送工艺篇、熔体管道应力分析篇、切片干燥及气流输送篇,共计十四章。其中熔体输送工艺篇由罗文德编写,熔体管道应力分析篇由房国民编写,两篇均由李景涛校对,李志方审核;切片干燥及气流输送篇由徐万清编写,徐皞东校对,罗文德审核。

本手册第一、二篇编写于 1983 年,第三篇编写于 1987 年。手册曾在院内使用多年,并于 1998 年进行了修订。这次出版之前由罗文德、徐皞东对全文进行了技

术性校审,并补充了部分内容。借此机会,谨向关心、支持和帮助本书编写及出版工作的各位同仁、朋友表示诚挚的感谢。由于时间仓促,水平有限,不当之处,恳请指正。

编著者

2004 年 12 月于北京

目 录

第一篇 熔体输送工艺

第一章 熔体输送的工艺计算.....	1
第一节 聚合物的性质.....	1
一、常用聚合物的特性	1
二、常用聚合物的粘度特性值	2
三、聚合物熔体动力粘度的近似值	2
四、聚合物溶液粘度的试验方法	4
五、聚合物熔体粘度的换算	4
第二节 熔体停留时间及压降计算.....	5
第三节 附属配管的压降计算.....	13
第四节 熔体温升及热媒温度的选取.....	15
一、熔体输送中的温升	15
二、热媒温度的选取	16
三、热媒炉的负荷估算	17
第五节 熔体过滤.....	20
一、概述	20
二、过滤器面积的选择及其压降、停留时间的计算.....	22
第六节 熔体的静态混合.....	25
一、概述	25
二、静态混合器的混合均匀度、压降及传热计算.....	25
附录 相关图表.....	33
第二章 管道最小壁厚的简化计算.....	39
第一节 管道最小壁厚简化计算的目的.....	39
第二节 管道最小壁厚计算的传统方法.....	39
第三节 管道最小壁厚计算的简化方法——图表法.....	40
第四节 图表内容及使用说明.....	40
一、图表内容	40
二、图表的使用	40

第五节 图表适用范围及最小工业厚度..... 44

一、适用范围 44

二、最小工业厚度 44

第六节 管道的壁厚号..... 44

第七节 夹套管壁厚计算实例..... 45

附录 相关图表..... 47

第三章 管道的应力分析基础..... 57

第一节 概述..... 57

第二节 管道应力的分析方法..... 58

一、目测检查 58

二、近似计算 58

三、计算机详细解析 59

第三节 计算机输入数据准备..... 59

一、使用规范 59

二、计算工况及许用应力 59

三、计算压力及计算温度 60

四、应力空视图 61

五、管道数据 61

六、节点 62

七、约束条件 62

八、锚固点位移 63

第四节 计算机输出数据评价..... 64

一、位移 64

二、力和力矩 64

三、应力 66

第五节 与设备管口相接的管道设计..... 69

一、蒸汽透平、离心压缩机配管..... 69

二、往复压缩机配管 69

三、泵的配管 69

四、空冷器配管 70

五、加热器配管 70

六、热交换器配管 70

七、塔的配管 70

八、贮罐的配管 70

第六节 管桥上的管道设计..... 70

一、架空管桥 70

二、地面管桥 71

第七节 塑料管道设计..... 71

附录 相关图表..... 73

第四章 管道应力的近似计算 104

第一节 L 型管段 104

一、概述..... 104

二、弯管长度及应力计算..... 104

三、线图..... 105

第二节 U 型补偿弯 105

一、概述..... 105

二、跨距计算..... 106

三、应力及反作用力计算..... 108

第三节 摩擦力 108

一、概述..... 108

二、摩擦力的计算..... 109

第四节 设备沉降及其管口荷载 110

一、概述..... 110

二、设备沉降的接管荷载..... 110

三、允许沉降值..... 112

第五节 管路的允许跨度 112

第六节 波型补偿器 113

一、补偿器型式的选择..... 113

二、轴向补偿器的安装..... 115

附录 相关图表 124

第五章 熔体输送的配管设计 127

第一节 熔体管道及其附属的配管系统 127

一、熔体管道的配管方式..... 127

二、熔体管道的热媒及清洗系统..... 128

第二节 夹套管道的结构设计 130

一、夹套管道的材质、规格及其接头型式 130

二、夹套管道的定距板、堵板 131

附录 1 相关图表 132

附录 2 熔体夹套管道典型配管图 136

第二篇 熔体管道应力分析

第六章 管道应力计算机分析简介	147
第一节 概述	147
第二节 CAESAR II 程序使用说明	147
一、CAESAR II 的基本操作	147
二、三维模型设计中的 CAESAR II 的使用	149
第三节 SAP5 程序简介	149
第四节 SAP5 程序输入格式简介	150
一、格式码 I(整型)	151
二、格式码 F(实型)	151
三、格式码 A(字符型)	152
四、格式码 X(空格型)	152
第五节 SAP5 程序作业控制命令	152
一、在 SAP5 程序的原始数据文件前必须放两张作业控制卡	152
二、在 SAP5 程序的原始数据文件后要有三张作业控制卡	153
第六节 SAP5 程序输入顺序	154
一、标题卡	154
二、主控卡	154
三、节点卡	154
四、单元卡	154
五、集中载荷卡	154
六、结构载荷因子卡	154
第七节 管道静力计算的常用单位	155
一、英制单位	156
二、公制单位	156
第七章 数据填写方法	157
第一节 标题卡	157
第二节 主控卡	157
第三节 节点卡	160
第四节 单元数据卡	164
一、管单元	164
二、管单元输入卡片的顺序	168
第五节 集中载荷卡	182

第六节 结构载荷因子卡 183

第八章 熔体管道的力学模型 186

第一节 计算模型及计算方法 186

一、计算模型..... 186

二、计算方法..... 186

第二节 单元模型模拟 188

一、用伪单元分析熔体管道定距板的单元模型..... 190

二、用读入的刚度元分析熔体管道堵板的单元模型..... 192

三、熔体过滤器单元的模拟..... 194

四、三通阀单元的模拟..... 194

五、泵单元的模拟..... 195

六、膨胀节单元的模拟..... 195

七、其他..... 195

第九章 输出数据分析 197

第一节 数据的输出 197

一、原始数据的输出..... 197

二、计算结果的输出..... 198

第二节 数据的分析 199

一、静力分析..... 199

二、边界元..... 200

三、管道力与力矩..... 201

四、伪单元力与力矩..... 206

第十章 计算例题 214

第一节 概述 214

第二节 计算实例介绍 215

一、仪征化纤厂切片熔体管道静力计算..... 215

二、仪征化纤厂抽丝熔体管道静力计算..... 217

第三节 CAESAR II 计算实例 220

第十一章 管道静力计算错误信息表 225

第三篇 切片干燥及气流输送

第十二章 聚酯切片干燥及密相脉冲气流输送工艺技术分析	229
第一节 概述	229
第二节 聚酯切片密相脉冲气流输送工艺	229
一、输送原理	229
二、技术特点及适用范围	230
第三节 聚酯切片干燥工艺	232
一、结晶—干燥原理	232
二、结晶—干燥的影响因素及工艺条件	233
三、对各类聚酯切片干燥装置的技术分析	236
第十三章 聚酯切片密相脉冲气流输送系统工艺计算	241
第一节 关键工艺参数	241
一、压力降	241
二、混合比	241
三、气流速度	242
第二节 计算公式	242
一、循环次数及周期	242
二、混合比	243
三、输送风量	243
四、输送管直径	243
五、输送速度	244
六、压力降	245
第三节 例题	246
一、例题一	246
二、例题二	249
第四节 密相脉冲气流输送装置系列	252
一、冷切片输送系列	252
二、热切片输送系列	252
第十四章 聚酯切片结晶—干燥系统工艺计算	253
第一节 计算公式	253
一、空气系统计算基础	253
二、主要设备基本尺寸的确定	255

第二节 例题	258
一、400kg/h 系列	258
二、1000kg/h 系列	268
三、热管换热器、蒸汽加热器及空气冷却器	275
第三节 设备一览表	279
一、400kg/h 系列	279
二、1000kg/h 系列	280
第四节 结晶—干燥装置系列	281
第五节 系列设备选用说明	288
附录 1 切片密相脉冲气流输送系统操作说明	289
附录 2 切片干燥系统操作说明	295
附录 3 相关图表	303
参考文献	306

第一篇 熔体输送工艺

第一章 熔体输送的工艺计算

第一节 聚合物的性质

一、常用聚合物的特性(见表 1-1)

表 1-1 常见聚合物的特性

特 性		单位	PA6 ^①	PA66 ^①	PET ^①	PP ^①	PBT ^①
密 度	切片 ^②	g/cm ³	1.13~1.14	1.14	1.35~1.38	0.91	1.31~1.32
	结晶态 ^②	g/cm ³	1.23 α /1.159 γ	1.24 α	1.455	0.94	—
	无定形态 ^②	g/cm ³	1.084	1.09	1.336	0.85	—
	熔体	g/cm ³	0.98	0.989	1.18	0.75	1.1
切片堆积密度		g/cm ³	0.60~0.65	0.60~0.65	0.70~0.85	0.45~0.55	0.68~0.75
比热容 ^②		kJ/(kg·K)	1.9	1.9	1.1	1.7	1.5
导热系数 ^②		W/(m·K)	0.27	0.25	0.28	0.22	0.25
熔点 ^③		℃	215~220	255~260	255~260	160~170	220~225
玻璃化温度 ^③		℃	~53	~50	62~80	-15~-3	—
溶液粘度		见表 1-2					
熔体粘度		见表 1-3					

注 ① PA6——聚酰胺 6;PA66——聚酰胺 66;PET——聚对苯二甲酸乙二醇酯;PBT——聚对苯二甲酸丁二醇酯;PP——聚丙烯。

② 在 20℃ 时; α 、 γ ——晶态类型。

③ N₂ 封,DTA 或 DSC 分析方法。

二、常用聚合物的粘度特性值(见表 1－2)

表 1－2 常用聚合物的粘度特性值

应用场合		PA6 相对粘度 ^① (η_{rel})	PA66 相对粘度 ^① (η_{rel})	PET 特性粘度 ^② ($\eta_{intr}=IV$)	PP 熔融指数 ^② (MFI)	PBT 特性粘度 ^② ($\eta_{intr}=IV$)
纺织用		2.4~2.55	2.4~2.55	0.58~0.65	15~35	—
地毯用		2.6~2.8	2.6~2.8	—	12~25	0.7~0.85
工业帆布用		2.7~3.0	2.6~2.8	0.7~0.85	—	—
工业帘子布用		3.0~3.4	2.9~3.1	0.9~1.0	—	—
工业丝用	安全带	—	—	0.8±0.02	—	—
	子午胎	—	—	1.0±0.02	—	—
	传送带	—	—	0.85±0.02	—	—
软饮料瓶用		—	—	0.76~0.84 (0.85)	—	—

注 ①、②——试验方法,见表 1－4。

三、聚合物熔体动力粘度的近似值(Pa·s)^❶ (见表 1－3)

表 1－3 常用聚合物的熔体动力粘度 η 的近似值

单位:Pa·s

聚合物	η_{rel} ^①	$\overline{M}_n$ ^④	温度(℃)					
			250	260	270	280	290	300
PA6	2.40	15000	150	120	100	80	65	55
	2.60	17000	240	195	160	130	105	90
	2.80	19000	350	290	230	190	155	130
	3.00	20900	520	430	350	280	220	190
	3.30	23700	800	680	560	440	360	300
	3.60	26500	1200	1000	800	660	520	440
	4.00	30000	2000	1600	1300	1050	840	720
PA66 ^③	η_{rel} ^①	$\overline{M}_n$	温度(℃)					
			270	280	285	290	295	300
	2.22	11100	30	25	25	20	20	15
	2.40	12800	60	50	45	40	40	30
	2.60	14700	120	90	80	75	70	60
	2.80	16600	190	150	140	120	110	100
	3.00	18500	290	240	210	190	170	160

❶ 切变速率<50s⁻¹。

续表

	$IV = \eta_{\text{intr}3}^{\text{①}}$	$\overline{M}_n$	温度(℃)					
			275	280	285	290	295	300
PET ^②	0.60	18600	280	230	210	180	160	130
	0.65	21000	410	340	300	260	220	200
	0.70	23400	580	490	430	320	330	280
	0.75	25900	810	690	600	520	460	390
	0.80	28500	1100	930	820	700	620	530
	0.85	31100	1500	1250	1090	940	830	710
	0.90	33900	1900	1640	1440	1240	1090	940
	0.95	36600	2500	2120	1890	1660	1440	1210
	1.00	39500	3200	2710	2380	2050	1800	1550
	1.05	42500	4000	3430	3020	2600	2280	1960
	1.10	45500	5100	4290	3800	9300	2880	2450
PBT	$IV = \eta_{\text{intr}5}^{\text{①}}$	$M^{\text{④}}$	温度(℃)					
			240	245	250	255	260	265
	0.60	11400	100	90	80	70	70	60
	0.65	12700	140	120	110	100	90	90
	0.70	14100	180	170	150	140	130	120
	0.75	15500	240	220	200	180	170	150
	0.80	17000	310	280	260	240	220	200
	0.85	18500	400	360	330	300	270	250
	0.90	20000	500	450	410	380	340	320
	0.95	21600	620	560	510	470	430	390
	1.00	23200	760	690	630	570	530	480
	1.05	24800	930	840	770	700	640	580
	1.10	26400	1120	1010	920	840	770	700
	1.15	28100	1330	1210	1100	1010	920	840
	1.20	29800	1580	1440	1310	1190	1090	1000
	1.25	31600	1860	1690	1540	1400	1280	1170
	1.30	33300	2180	1980	1800	1640	1500	1370
	1.35	35100	2530	2300	2090	1910	1740	1600
	1.40	37000	2930	2660	2420	2210	2020	1850

注 ① 下标数字均表示试验方法,见表 1-4。
② 基于 PET 的 DEG(二甘醇)含量为 0.8%(质量分数)。
③ 切变速率 = 100s⁻¹。
④ M——分子量; $\overline{M}_n$ ——平均分子量。

四、聚合物溶液粘度的试验方法(见表 1－4)

表 1－4 聚合物溶液粘度的试验方法

聚 合 物	试验方法	试 验 条 件	哈根常数
PA6,PA66	1	硫酸(96%),1g/dL,25℃	0.25
	2	甲酸(90%),1g/dL,25℃	0.25
	3	间甲酚,1g/dL,25℃	0.22
	4	甲酸(90%),ASTMD789	—
PET	1	苯酚/四氯乙烷(1:1),0.5g/dL,20℃	0.35
	2	苯酚/四氯乙烷(1:1),0.5g/dL,25℃	0.35
	3	苯酚/四氯乙烷(6:4),0.5g/dL,25℃	0.37
	4	间甲酚,1.0g/dL,20℃	0.27
	5	苯酚/邻二氯苯(1:1),0.5g/dL,25℃	0.33
	6	苯酚/邻二氯苯(6:4),0.5g/dL,25℃	0.37
PBT	1	苯酚/四氯乙烷(1:1),0.5g/dL,20℃	0.29
	2	苯酚/四氯乙烷(3:2),0.5g/dL,25℃	0.28
	3	苯酚/邻二氯苯(1:1),0.5g/dL,25℃	0.33
	4	三氯乙酸/二氯甲烷(1:1),0.5g/dL,22℃	0.42
PP	1	萘烷,0.1g/dL,135℃	0.29
	2	2.16daN(kg),230℃	—

五、聚合物熔体粘度的换算

$$\eta_{\text{rel}} = \eta_{\text{sp}} + 1 \tag{1-1}$$

$$\eta_{\text{sp}} = \eta_{\text{rel}} - 1 \tag{1-2}$$

$$\eta_{\text{inh}} = \frac{\ln \eta_{\text{rel}}}{C} \tag{1-3}$$

$$\eta_{\text{intr}} = \frac{\sqrt{1 + 4K \cdot \eta_{\text{sp}}} - 1}{2K \cdot C} = \frac{\sqrt{1 + 4K(\eta_{\text{rel}} - 1)} - 1}{2K \cdot C} \tag{1-4}$$

$$V_z = \frac{\eta_{\text{sp}}}{C} \tag{1-5}$$

$$V_z > \eta_{\text{intr}} > \eta_{\text{inh}}$$

$$\lg \eta = -1.48 + \frac{3300}{T} + 5.02 \lg(IV) \text{ (用于 PET)} \tag{1-6}$$