

塑料混合工艺及设备

[美] David B. Todd 主编



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

塑料混合工艺及设备

[美] David B. Todd 主编

P. G. Andersen, T. F. Bash, E. L. Canedo, C. Case, M. H. Mack,

T. Sakai, W. C. Thiele, D. B. Todd, L. N. Valsais 合编

詹茂盛 丁乃秀 王凯 李智 译

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

塑料混合工艺及设备/[美]托德 (Todd, D.B.) 主编; 詹茂盛等译. —北京: 化学工业出版社, 2002.8
ISBN 7-5025-3976-X

I. 塑… II. ①托…②詹… III. ①塑料制品-原料-共混-生产工艺 ②塑料制品-原料-共混-化工设备 IV. TQ320.64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 051964 号

Plastic Compounding: Equipment and processing/by David B. Todd
ISBN 1-56990-236-4

Copyright©1998 by Hanser Publishers. All Rights Reserved.

本书中文版由 Hanser Publishers 授权由化学工业出版社独家出版发行
未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

北京市版权局著作合同登记号: 01-2001-5265

塑料混合工艺及设备

[美] David B. Todd 主编

詹茂盛 丁乃秀 王凯 李智 译

责任编辑: 龚浏澄 邢涛

责任校对: 洪雅妹

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

北京市彩桥印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 10 字数 265 千字

2002 年 9 月第 1 版 2002 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3976-X/TQ·1571

定 价: 25.00 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

内 容 提 要

本书主要介绍连续混合设备。

由于螺杆、混合元件以及机筒的积木化设计具有优良的互换性,因而双螺杆挤出机得到广泛应用。目前应用最广泛的双螺杆挤出机是同向啮合型双螺杆挤出机。本书分别介绍三个厂家的设计思想。

本书介绍了两种非啮合型异向旋转混合设备,描述了焊接工艺。本书在最后介绍了独特的往复式单螺杆混合机的混合过程。

译者序

此专著是美国史蒂文斯工学院聚合物加工研究院 (PPI) 赞助出版的系列丛书中的第三部。其主题是塑料混合。前面两部专著分别是《反应挤出原理与实践》和《废旧塑料处理技术与市场前景》。这三部专著的相关内容都是 PPI 正在进行的科研项目内容。

塑料混合是其加工过程中非常关键的技术, 工艺与设备是混合技术中不可缺少的两个有机组成部分。本书从工艺和设备两方面, 全面系统地介绍了各种不同的塑料混合方法, 同时对各种设备的混合机理以及设计要点进行了详尽的分析。另外, 本书中所有作者都曾在工厂里进行过大量的工程实践, 具有广泛的实践经验。因此, 本书最突出的特点就是注重实用性, 在理论分析的同时给出了各种加工实例, 是一本非常好的工程实践指导书, 同时也是一部系统的塑料混合理论著作。

国内有关塑料混合方面的著作也不少, 但在塑料材料混合与加工技术一体化方面的著作数量存在明显不足, 具有特色的理论分析也不充分。因此, 我们将这本专著翻译出来, 希望能为国内同行在从事这方面的研究工作或生产时提供参考, 以推动我国塑料混合技术的更快发展。

本书共分为 11 章, 詹茂盛主持翻译, 并负责统编、校阅、审查, 丁乃秀、王凯、李智、肖威参与翻译, 丁乃秀和肖威协助校阅。

由于原著各章是分别独立的, 各章的作者重点强调了自家设备的特点, 习惯用语和语言结构差异较大, 而且某些作者习惯用省略语句, 再受译者水平限制, 因此该译著中存在不妥之处在所难免, 恳请读者批评指正。

詹茂盛

2002 年 5 月于北京

前 言

本书可供从事塑料工程的技术人员参考，它可以帮助技术人员达到以下目的：

- 了解通用设备在一般应用中是如何达到混合要求的；
- 选择最合适的混合设备；
- 充分发挥设备的最佳性能。

虽然有一些聚合物仍然适合于分步混合工艺，但本书主要介绍连续混合设备。

第1章讨论了混合工艺中的几个主要特点，如热能、热能传递、塑化与层流流动以及停留时间。

单螺杆挤出机是最早用于连续混合的设备，Thomas Black 在第2章中介绍了这类设备的优点。

双螺杆挤出机被广泛使用，这是因为螺杆、混合元件以及机筒的积木化设计具有优良互换性的缘故；同时，喂料速率与螺杆转速是相互独立的。双螺杆挤出机可以分为相切型和啮合型两种，每一种又有同向与异向之分。由 William Thiele 编写的第3章主要阐述了同向啮合型和异向啮合型两种双螺杆挤出机的发展状况。Theile 先生对其进行了进一步的研究，描述了啮合结构的作用过程及效果。

目前，应用最普遍的双螺杆挤出机是同向啮合型双螺杆挤出机。第4、5、6章分别由三个厂家介绍了其不同的设计思想；Paul Andersen 详细地论述了 Werner/Pfleiderer 所生产的各种混合挤出机设备；Martin Mack 介绍了 Berstorff 公司的现状；David Todd 概述了 APV 化学机械（前身为 Baker Perkins）生产线的特点及操作。

在第7章中，Tadamoto Sakai 总结了日本钢铁公司对同向及异向啮合型双螺杆挤出机所做的研究工作。

第8章和第9章介绍了两种非啮合型（即相切型）异向旋转混合设备。其中，Thomas Bash描述了焊接工程师公司的技术，Eduardo Canedo和Lefteris Valsamis讨论了Farrel连续混炼机的情况。

美国Buss公司的Chris Case在第10章中介绍了独特的往复式单螺杆挤出机的混合过程。

虽然在实际生产中还有其他类型的混合设备，如行星齿轮挤出机、Gelimat高速挤出机、Farrel隔板式挤出机，等等，但这些机型都只在小范围内应用，没有得到普遍与推广。因此，本书中也就没有做相关介绍。

本书的主要目的是向读者较为全面地介绍混合设备，以及为增强某种混合作用而使设备应具备的具体特征。在熔融混合过程结束之后，要得到比较适合的终端产品，还需要配备辅机，使混合料的形态便于终端用户在塑料产品的制造过程中进行中间贮存、运输、装卸。其中最常用的方法就是塑料造粒。由David Todd编写的第11章总结了熔融混合与过滤及造粒加工技术。

各章节的作者都突出强调了各自设备的特点及混合效果，我想大多数挤出机生产厂家都知道应该如何解决相关设备可能遇到的一系列问题，因此本书中也就没有提供统一的解决方案。本书中各章节都是相互独立编写的，当然也不免有内容重复之处。

各位编者在本书的编写过程中都付出了很大的努力，在此一并表示感谢。E. Immergut博士为发起编写本书给予了大力支持，Gogos和Biesenberger博士在完成本书的撰写方面提供了很大的帮助，在此表示衷心的感谢。当然，我也非常感谢我的妻子Mary在本书编写的过程中所表现出的持久耐心以及所给予的支持与帮助。

David B. Todd

目 录

1 混合简介 (David B. Todd)	1
1.1 混合的概念	1
1.2 能量	3
1.2.1 熔融焙	3
1.2.2 挤出机中的热传递	5
1.2.3 挤出机的能量消耗	7
1.2.4 压力增加对物料升温的影响	8
1.3 微观结构的变化	9
1.4 挤出机中的泛函逼近	11
1.4.1 流动	11
1.4.2 填充程度	12
1.4.3 停留时间	13
1.4.4 停留时间分布	14
2 单螺杆混合挤出机 (Thomas Black)	15
2.1 概述	15
2.1.1 市场统计	16
2.1.2 原材料	19
2.1.3 添加剂	20
2.2 预混	21
2.3 干燥	21
2.4 料斗设计	22
2.5 螺杆设计	24
2.5.1 喂料段	25
2.5.2 转化段	29
2.5.3 计量段	32
2.5.4 混合段	35
2.5.5 排气 (脱挥发分) 段	37

2.5.6 第二计量段	39
2.6 数据收集	40
2.6.1 熔体温度测定	40
2.6.2 熔体压力	42
2.6.3 综合测量	42
2.7 安全	42
2.8 常见的加工问题	43
2.8.1 树脂	43
2.8.1.1 ABS	43
2.8.1.2 聚甲醛	43
2.8.1.3 含氟聚合物	43
2.8.1.4 热塑性弹性体	43
2.8.1.5 聚碳酸酯	44
2.8.1.6 聚丙烯	44
2.8.1.7 离子交联聚合物	44
2.8.2 树脂/添加剂体系	44
2.8.2.1 抗氧化剂	44
2.8.2.2 抗静电剂	44
2.8.2.3 着色剂	44
2.8.2.4 玻璃纤维增强剂和偶联剂	45
2.8.2.5 固化剂	45
2.8.2.6 阻燃剂	45
2.8.2.7 发泡剂	45
2.8.2.8 润滑剂	46
2.8.2.9 PVC 热稳定剂	46
2.8.2.10 增粘剂	46
2.8.2.11 加工助剂	46
2.8.3 树脂/填料和增强体系	46
2.8.3.1 纤维	46
2.8.3.2 片状物	47
2.8.3.3 无机填料	47
2.8.3.4 短纤维	47
3 异向旋转啮合型双螺杆挤出机 (William C. Thiel)	48

3.1	概述	48
3.2	早期的传统异向旋转双螺杆挤出机	51
3.3	1950 年后的传统异向旋转双螺杆挤出机	54
3.3.1	C 型室	55
3.3.2	传统异向旋转双螺杆挤出机的混合机理	57
3.3.3	传统异向旋转双螺杆挤出机改造的可行性	59
3.4	传统异向旋转双螺杆挤出机的改造方案	60
3.5	新型异向旋转双螺杆挤出机的设计思想	61
3.5.1	小质量物料的喂料和纵向作用	61
3.5.2	功能密度和容积	63
3.5.3	相似放大	64
3.6	五个物料输送区: 螺槽、啮合区、三角区、突棱熔池、螺 棱顶部区	66
3.7	螺杆元件的类型: 输送型、混合型、分配型	66
3.7.1	螺纹元件	67
3.7.2	混合元件的两种类型: 分配混合元件与分散混合元件	67
3.7.3	分配元件	68
3.8	异向旋转双螺杆挤出机中突棱的捕获作用	68
3.9	分配混合	71
3.9.1	异向旋转双螺杆挤出机的高转速和突棱捕获作用之外的 其他特点	71
3.9.2	异向旋转中反向螺纹的作用	71
3.9.3	异向旋转混合双螺杆挤出机的操作工艺	72
3.10	分散混合型转子/螺杆	74
3.11	分配混合型转子/螺杆	74
3.12	合理喂料位置的重要性	74
3.13	总结	75
4	Werner/Pfleiderer 同向旋转双螺杆挤出系统 (Paul G. Andersen)	77
4.1	概述	77
4.2	ZSK 型挤出机设计特征	78
4.2.1	设计背景	78
4.2.2	机器的设计参数	79
4.2.3	模块化结构加工部件	82

4.2.3.1	机筒段	83
4.2.3.2	螺杆组合件	84
4.2.3.3	节流阀（压力控制部件）	91
4.3	单元操作	92
4.3.1	喂料	93
4.3.1.1	上游喂料	94
4.3.1.2	下游喂料	95
4.3.2	塑化	97
4.3.2.1	外部热传递	97
4.3.2.2	螺杆结构	98
4.3.3	混合	101
4.3.4	脱挥发分/排气	103
4.3.5	排料	105
4.3.5.1	造粒/成型	106
4.3.5.2	直接挤出成型	108
4.4	工艺举例	109
4.4.1	聚合物共混	109
4.4.2	聚合物/低纵横比添加剂	113
4.4.3	聚合物/高纵横比添加剂（纤维）	115
4.4.4	聚合物/低粘度添加剂	116
4.5	工艺控制	120
4.6	ZSK 型挤出机的放大系数	121
4.6.1	几何参数不同的机械系列	122
4.6.2	容积相似放大——填充程度	123
4.6.2.1	非几何相似挤出机	123
4.6.2.2	几何相似挤出机	123
4.6.3	能量相似放大——单位机械能	123
4.6.4	恒定剪切速率相似放大	125
4.6.5	热传递相似放大	127
4.6.6	停留时间相似放大	127
4.7	挤出机磨损/结构材料	127
4.7.1	磨损类型	127
4.7.2	优化工艺减少磨损	128

4.7.3 利用特殊结构材料减少磨损	129
4.8 安全措施	132
4.8.1 机械设计	132
4.8.2 连锁系统	133
4.8.2.1 挤出机启动允许条件连锁系统	133
4.8.2.2 挤出机紧急跳闸连锁系统	134
4.8.2.3 挤出机定时跳闸连锁系统	135
4.8.2.4 喂料跳闸连锁系统	135
4.8.2.5 辅机跳闸连锁系统	136
5 同向旋转啮合型双螺杆挤出机—Berstorff 系统 (Martin Mack)	137
5.1 概述	137
5.2 固体物料的喂料	138
5.3 塑化段设计	139
5.4 组分间的混合	141
5.4.1 分散混合	142
5.4.2 分配混合	143
5.4.3 注入液体时的分配混合加工实例	144
5.5 各组分分步喂料与一次性喂料的比较	146
5.5.1 分步喂料混合设备	146
5.5.2 粉料喂料双螺杆挤出机	147
5.5.3 填充高矿物含量时的加工实例	148
5.5.3.1 填料的粒子尺寸和含量的影响	149
5.5.3.2 树脂粘度的影响	149
5.6 色母料的混合	150
5.7 双螺杆元件的压力建立	153
5.8 相似放大原理	155
6 APV (Baker Perkins) 系统 (David B. Todd)	157
6.1 发展概况	157
6.2 结构特点	158
6.3 喂料	161
6.4 熔融	162
6.5 混合添加剂	163
6.6 排气	166

6.7	造粒所需的压力	167
6.8	故障检修	169
6.9	相似放大	170
6.10	设备规格	171
6.11	HP 4000 系列	172
6.12	控制	172
7	TEX 啮合型双螺杆挤出机: JSW 混合系统 (Tadamoto Sakai)	174
7.1	概述	174
7.2	TEX 双螺杆挤出机的基本功能	174
7.2.1	固体输送功能	174
7.2.2	塑化功能	178
7.2.3	停留时间及其分布控制功能	181
7.2.4	混合和捏炼功能	183
7.3	混合实例	186
7.3.1	改性尼龙合金	186
7.3.2	聚苯醚 (PPO) / 尼龙合金	187
7.3.3	聚对苯二甲酸丁二醇酯 (PBT) / ABS 合金	188
7.4	JSW 双螺杆挤出机的主要规格	189
7.4.1	双螺杆挤出机分步喂料	190
7.4.2	排气充填机	190
7.4.3	机头快速开合装置与栅板更换器	190
7.4.4	螺杆元件拆卸机构	191
7.4.5	防腐蚀/耐磨损金属材料	191
8	焊接工程师公司的 CRNI 双螺杆挤出机 (Thomas F. Bash)	196
8.1	概述	196
8.2	CRNI 双螺杆挤出机的喂料和固体输送	198
8.2.1	吃料能力和固体输送	198
8.2.2	喂料机与挤出机的相互影响	199
8.3	CRNI 挤出机中的塑化与熔体输送	199
8.4	CRNI 挤出机的混合	209
8.4.1	分散混合	209
8.4.2	分配混合	210
8.4.3	CRNI 挤出机中的停留时间分布	214

8.5	相似放大与 CRNI 挤出机的产量	216
8.6	CRNI 挤出机的应用	218
8.6.1	脱挥发分 (排气)	218
8.6.2	反应混合	220
8.6.3	乳胶凝聚	224
8.6.4	塑料回收	226
8.6.5	其他混合用途	229
9	Farrel 塑料连续混合机系统 (Eduardo L.Candeo, Lefteris N.Valsamis)	232
9.1	概述	232
9.2	操作	239
9.2.1	加料部分	239
9.2.2	混合部分	240
9.2.3	顶点区部分	241
9.2.4	转子相位	243
9.2.5	操作参数	244
9.2.6	加热与冷却	248
9.2.7	机体段与固定挡料栓	249
9.2.8	二级转子	250
9.2.9	开机与关机规程	251
9.3	相似放大	252
9.4	应用	253
10	往复式单螺杆挤出机及其在混合中的应用 (Chris Case)	262
10.1	概述	262
10.2	发展史	262
10.3	工作原理	262
10.4	机械特性	267
10.4.1	螺杆的几何结构	268
10.4.2	销钉	269
10.4.3	加热与冷却	270
10.5	加工特性	272
10.5.1	喂料	272
10.5.2	造粒/压力生成	272

10.6	停留时间	273
10.7	相似放大	273
10.8	结论	274
11	挤出机的后续加工 (David B.Todd)	275
11.1	熔体过滤	275
11.1.1	滑动式栅板	275
11.1.2	连续式栅板	276
11.2	造粒	278
11.2.1	方形粒料造粒机	279
11.2.2	条式造粒机	280
11.2.3	干式机头磨面造粒机	280
11.2.4	水环造粒机	282
11.2.5	水下造粒机	282
11.3	粒料干燥器	284
11.4	多层栅板和机头中的压力降	285
11.5	过滤与造粒中产生的压力	288
附录		290
A.1	术语.....	290
A.2	一般名称.....	291
A.3	聚合物简称.....	292
A.4	其他缩写.....	293
参考文献		295

1 混合简介

1.1 混合的概念

塑料的混合是使用一种有效的手段将多组分原料加工成更加均匀、更加实用的产品的过程，这种产品主要指颗粒状物料。它包括以下几个阶段：

- 预处理（视情况而定）；
- 喂料；
- 塑化；
- 混合、分散与分配；
- 可能发生的反应；
- 排气；
- 成型过程中的升压。

从经济性角度考虑，聚合物的制备需要规模化生产线。树脂基体制备完成后，聚合物混合工艺过程最好是用小规模的生产线，这样可以适应塑料产品的多样性以及市场需求。

在许多情况下，各组分的预处理和预混合都是非常必要的。只要聚合物和添加剂其中之一具有亲水性，就需要干燥处理。温度波动或仓库潮湿都会使原材料吸湿，这是我们不希望的。熔融聚合物，如聚酰胺、聚酯对水分极其敏感，水分的存在会导致它们的解聚。如果存在氧化老化的问题，还要在喂料斗处进行氮气保护。干燥方法请参考2.3节。

对于双螺杆挤出机而言，吃料能力一般不会影响设备的混合加工能力，所以理论上所有组分在喂料口都应单独计量、单独喂入，但这样就需要多个精确喂料器，不太经济，这也正是我们为什么要进行预混的原因。

在许多情况下，干燥物料的预混是用简单的叶片搅拌机来完成的。将预混的物料送入贮料斗，然后通过计量装置以重力喂料或强制喂料的方式喂入单螺杆挤出机。贮料斗设计方面的内容将在 2.4 节介绍。

液体添加剂必须与一种或多种固态添加剂同时喂入。各种组分精确称量后，加入高速混合机，如亨舍尔混合机（高速混合机的一种）。通过转子的高速转动，固体添加剂因摩擦力的作用而生热，并产生空隙，从而使液体组分比较容易地进入其空隙。

当加入大量填料时，先要进行预混合。各组分单独计量并经预混后一次性喂料。或者可以先喂入树脂基体，在树脂充分熔融处再连续喂入添加剂，这样可以减少螺杆与机筒内表面的磨损。在双螺杆机筒的积木式结构设计时，这种喂料方式变得非常普遍，相关内容将在本章后半部分详细介绍。

混合加工并非是简单的搅拌，而是使各组分达到微观上的均匀分散，构成以树脂为基体的熔融体系。

分散混合和分配混合是有所区别的。分散混合是将组分的粒度减小，将固体块或聚集体破碎成微粒，或使不相容聚合物的分散相尺寸达到所要求的范围；而分配混合是使各组分在空间分布达到均匀。例如，要使短切玻璃纤维在聚合物中达到分散混合的形态，就必须使玻璃纤维束散开（但不要将其碾成粉）；而分配混合状态是指玻璃束在聚合物基体中达到均匀的分布。分散混合主要是靠剪切应力和拉伸应力作用实现的，而分配混合是靠应变作用下置换流动单元位置来实现的。

为了合理分配各混合段的能耗和停留时间，以达到良好的混合效果并能经济有效地利用能量，就要进行有效的工艺控制。

合成的聚合物通常不能立即销售，一般要先加入少量的其他成分，如抗氧剂、UV 稳定剂等，提高产品的稳定性，并加工成颗粒料或粉料。

然后，可针对不同配方进行混合操作，一般要加入大量添加剂。这些添加剂的作用主要是改善产品的性能和降低成本。另外，有些添加剂的大量填充是为了在后续加工中减少其他添加剂的加入