

# 聚合物混炼技术

(英) 乔治·马修斯

林 华 译

化工部科学技术情报研究所  
北京市橡胶制品设计研究院

## 譯 者 的 話

本書主要論述橡膠及塑料混煉技術。全書共分七章，聚合物材料混煉的必要性、混煉原理、摻合設備、間歇混煉設備、連續混煉設備、混合的輔助設備及混煉的原材料。

書中列舉了各國現代化混煉工藝等設備，並指出了各種先進設備的技術特征、參數計算及設備設計數據，收集了各種混煉工藝與設備的操作技術資料，並對橡膠的機械共混提供了工藝與裝備技術。

本書可供橡膠工業及塑料工業的工程技術人員、科研部門及大專院校的有關師生採用和參考。

本書經北京化工學院機械系橡膠教研室程源副教授和青島橡膠工業研究所情報室王作齡工程師詳細校核，在此表示衷心的感謝。

在本書成印過程中，承蒙北京橡膠制品設計研究所孟憲平同志的鼎力幫助，深表謝意。

儘管我們在翻譯工作中盡了最大努力，但由於水平有限，定有不妥之處，敬希讀者批評指正。

譯 者

1987年10月

## 序 言

关于聚合物加工中混炼操作重要意义的论文有很多，然而做为专门论述聚合物混炼技术的著作，这还是第一本。因此，如本书这样全面合理的概括整理，可以说还是一次尝试。

本书侧重讲解混炼技术，但在第二章中，仍以一定篇幅论述了混炼的理论概念，不过，并没有相应的过多引入复杂的数学公式。这是因为，有关这些理论概念，在 John Fuzt 著的《橡胶混炼》(RAPRA, 1977年)一书中，已有完备的推演过程；另外，根据作者的实践经验对于一般技术人员来说，在选择和使用聚合物混炼设备时，数学公式并无多大用处。但是，以数学为度量手段的基本理论概念，却是十分重要的。因而，对这些概念有一个定性的了解，也是每个从事实际混炼工作的人员所急需的。

本书第三、四、五章叙述了聚合物混炼的单元设备和操作方法；第六章介绍了辅助设备及其工艺过程，并讨论各个单元操作如何组成一个完整的聚合物混炼系统，同时在本章末尾还研究了各主要原材料的成本价格；最后的第七章里论述了某些特种聚合物的混炼特性。

本书对从事聚合物混炼的研究、开发和生产人员均有参攷

KAF 63 01

使用价值。本书的内容超出了聚合物专业的大学生或研究生的课程范围，但它对该专业的学生，不管是课内全文阅读还是选修部分内容，都是颇有裨益的。本书每章后面都列出了参考文献，欲详细研究本书任何部分内容的读者，可由此查阅有关文献原件。

GEORGE MATTHEWS

## 原出版者的話

本书作者最先提出撰写一部以混炼为题材的书。当时，作者在帝国化学工业公司（ICI）塑料部工作，本书基本上是根据他在该公司的工作经验而编写的，并根据其后在高等院校授课和担任咨询工作的体会，做了补充和修改。在编写过程中，作者的许多同事、朋友和其他合作者提供了资料，并已分别编进各章，在此虽没有逐一列出他们的名姓，但对他们所给予的支持却铭记在心，对他们的这种协助不管是出于主动与否，在此均致诚恳谢意。

在编写过程中，作者还参访了不少混炼设备与混炼材料的生产厂家和供应商所提供的有关混炼技术资料。有关的公司已列于附录中，对那些提供丰富资料而未能录用者，同样表示感谢。

另外，还感谢提供照片的公司。有些照片得到使用，有些由于某原因未能利用，无论采用与否，均表感谢。

本谢辞尚不全面，如全体主审人员对本书提出不少建设性意见，以及约翰·布赖森对原稿提出一些有益的评论，均未能分别致谢。

本书虽得到多方面的巨大帮助，但全部观点均属作者本人。

作者对此承担全部责任。

应用科学出版社

伦敦 1982年

# 目 录

## 第一章 绪 论

- 1.1 混炼发展史
- 1.2 混炼专业术语
- 1.3 聚合物材料混炼的必要性
- 1.4 混炼在聚合物加工中的地位

参考文献

## 第二章 混炼原理

- 2.1 概 述
- 2.2 混合料的形态
- 2.3 混炼机理和动力学
- 2.4 混炼物组分性质与混炼加工的关系
- 2.5 混炼机械设计与管理的一般特性

参考文献

参考书目

## 第三章 掺合与掺合设备

- 3.1 概 述
- 3.2 振动或往复式掺合机
- 3.3 鼓式掺合机

- 3.4 搅拌式混合器
- 3.5 强力非熔融混合器
- 3.6 螺带式掺合器及其同类混合器
- 3.7 Z型转子混合器及类似的双臂混合器
- 3.8 犁式混合器
- 3.9 流化床混合器和空气混合器
- 3.10 漏斗式混合器
- 3.11 连续汇流式蜗轮混合器
- 3.12 盘式、嵌插针式及其它形式的胶体磨
- 3.13 球磨机及同类磨机
- 3.14 轮碾机 (muller) 和捏合机
- 3.15 开炼机
- 3.16 静电掺合
- 3.17 结 论

参考文献

#### 第四章 间歇混炼设备

- 4.1 概 述
- 4.2 双辊开炼机
- 4.3 密炼机

参考文献



## 第五章 连续混炼设备

### 5.1 概述

### 5.2 挤出机混炼的一般特点

### 5.3 单螺杆混炼机

### 5.4 双螺杆混炼机

### 5.5 其它连续式混炼机

### 5.6 注射模塑中的混合

### 5.7 结论

### 参考文献

## 第六章 有关混合的辅助装置

### 6.1 概述

### 6.2 辅助工艺及其设备

### 6.3 整体混合装置

### 6.4 成本

### 参考文献

## 第七章 混炼的原材料

### 7.1 概述

### 7.2 添加剂

### 7.3 特种聚合物

### 参考文献

# 第一章 緒論

## 1.1 混煉發展史

聚合物材料被加工成產品，不僅應具有所要求的形狀，而且必須在組成和性能上具有一定程度的均勻性。聚合材料的工業化利用（我們這裏主要討論塑料和橡膠），實際是始於1839年，即，以固特異發現天然橡膠的硫磺硫化<sup>(1)</sup>為開端。為達到適當的硫化狀態，硫磺和橡膠需進行混煉，因此，約140年前便產生了聚合物混煉技術。

在創立橡膠工藝之初，“捏和機”就已經用於“濕”混（即與溶劑混合）操作，而且開煉機也已用於塑煉和混煉，這類機械至今還在廣泛使用<sup>(2)</sup>。HARCOCK當初所發明的機器究竟是開煉機還是密煉機的問題，目前尚有爭議<sup>(4)</sup>，但第一台開煉機似乎確是由HARCOCK早在1820年設計的<sup>(3)</sup>；而第一台蒸汽加热的開煉機，則是由CHAFFEE於1835年發明的<sup>(4)</sup>。大約在80年之後，混煉機械發生了第一次重大變革，這就是BARBURY發明的密煉機<sup>(5)</sup>。不過，習慣上人們有時把今天的密煉機仍稱之為“BARBURY密煉機”，這是不確切的。多年來，雖然人們對密煉機的結構設計進行了各種改進，但是至今仍仍沿用60年前所確立的基本原理。

二十世紀初，塑料工業興起，但混煉設備的設計卻沒有重大創新。直到本世紀中葉，隨著熱塑性材料生產規模的迅速擴大，主要是聚氯乙烯（PVC）和聚乙烯，在生產發展急需的刺激下，才有新型的混煉機問世。開煉機和密煉機基本上都是屬於間歇操作的混煉機，因此，在過去30年間，大部分研究工作都是設法使混煉機連續化。這個時期的另一重大技術進展，是

出现了所谓“高速”混合器，又称之为“流动混合器”（fluid-mixers），或“蜗轮混合器”（turbomixer），并已获得普遍应用。它们主要用于不过分软化、不凝结或没有耐聚作用的聚合物，可进行干燥粉料或粒料的掺混。

今天，可供聚合材料混炼的设备，其形状和规格种类之繁多，令人难以掌握。本书的主要目的，就是研讨混炼机械的结构特点及其操作工艺，以使读者能够全面地了解各类机器的基本原理，从而，可以更好地根据各自的实际需要，合理选择混炼机，一旦选定了，还可实现最佳操作。

## 1.2 混炼专业术语

与其它多数技术领域一样，在聚合物混炼技术研究中，人们也面临专业术语的确定问题。从学习者的立场看，为了避免产生误解，总是希望尽可能准确地使用某些关键术语，为此，必须毫不含糊地定义每个术语。可是，一旦人们照此去做，一般将会发现这些定义恰恰排除了希望包括的某些含义；然而，假如人们设法去修正它，将这部份含义也包括进去，其结果又会引入其它不希望有的含义。因此，给专业术语下严格定义是不可能的。事实上，知识往往不能够划分成互不相关、界线分明的范畴。这很类似于区域分辨清晰的不连续光谱，但常常可以从某一位置，通过一系列彼此相关而又邻近的区域进行逐渐过渡。除了这个困难之外，从技术发展来看，一般常常先于相关的理论，所以，需过一段时间才逐步确立技术的科学原理，而早已产生的有关专业术语则随着科学技术的发展日趋完善，但有时也难免相互混同，不能协调使用。因此，由于缺乏统一的概念，在工艺学家和工程技术人员之间，往往会发生分歧，

~ 2 ~

甚至產生矛盾。聚合物混煉技術與其它技術領域一樣，亦有類似情況。現舉一典型例子說明文。有人將“混煉”(Compounding) 這個詞用於所有的混合過程，亦包括“熔融”狀態聚合物的切變混煉過程，而在某些場合，這個詞的學面意思則是指一種配方的混料。因此，為防止在本書以後各章的討論中發生混淆，避免反復地做一些令人生厭的解釋，有必要對術語的含義進行統一規定。

“混合”一詞無疑是研究本書所論課題的關鍵術語，使用中，它有两个稍有不同的含義。一個含義是指混合若干種物料的工程過程或機器設備；而從另一個從略有差別的視角來說，混合又可以指代各種物料混合后所發生的結果，不論這種結果是專門加工或原先預計的混合結果，還是在成型加工過程中偶然產生的結果。

根據聚合物和其它所有共混材料的特性與形態，以及成型加工過程和機器的特異與性能，在某些情況下，必須首先滿足物料在熔融狀態的剪切條件，然後才能進行成型加工；而在另一些情況下，聚合物不必軟化或熔融，只須各種組份均勻混合即可滿足加工要求，在這類情況下，聚合物顯然須要某種合適的形態，例如，粉末狀、顆粒狀、分散液、溶液或乳液狀態。區分這兩類情況並不困難，前一類情形即已有分散添加劑的聚合物連續進行不同程度的軟化、熔融和壓縮，称之为混煉；執行這種加工職能的機械，称之为混煉機(Compounding machine)。這類混煉過程有時又稱做強力混合，但對於其它任何依靠切變量決定混煉程度的過程而言，這個術語的含義還不夠确切，因此，值得指出的是，混煉與強力混合的區別在於它們表面更新的產生或流動<sup>[6,7]</sup>。在描述不涉及混煉的混合過程時，對於下面所要討論的術語，其含義是一致的。採用“混合”這個術語

有时可避免用“单纯混合”一词。因此, Palmgren<sup>[18]</sup>是这样定义的:“混合,又叫单纯混合,狭义上是指混合物分子的无规则运动或随机增加的过程,且该过程并不影响其组份的物理状态”。但是,即便是这样一个较严格的定义,也不一定能使词义划分清楚。关于“掺混”(blending)一词,可能还需要做些补充说明,因为一般常用“干合料”和“粉合料”两词表示这类混合过程的某些产品。Fisher 和 Chard<sup>[17]</sup>将掺混定义为:“把两种或两种以上的组份或配合剂通过物理方法加以混合,而不引起组份的物理状态发生显著改变的全部过程”。此外,他们还对以下术语的含义做了限定,即“碾炼”(milling)是“由塑炼和涂擦联合”作用而进行混合,尚可包括“磨碎作用、使颗粒尺寸减少,从而形成分散相”;“捏合”(Kneading)则是通过“连续压缩并使料片互相叠合的方法”达到混合目的;“碾压”(mulling)是“涂擦作用和滚压运动相结合”。

Palmgren<sup>[18]</sup>将混炼分成四个步骤,即“细分”:在该阶段,将各种组份都被碎成更小的单元;“混入”:在此阶段,某种组份的单元分散在其他单元所占有的空隙中;“分散”:在该阶段,组份的单元聚集成集合体,或者时聚成偏集或离析的料团;“简单混合”:一种组份的单元向混合物其他组份中运动,趋向无规分布。在实际混炼过程中,这些步骤有时可以同时进行,但细分一定要先于混入,毫无疑问,混入必须在分散及简单混合之前完成。这些概念很有用,但要指出的是,分散与简单混合之间的界线并不是十分明显的。

正如 Mohr 和 Coworkers<sup>[19]</sup>所说,“混炼工作中无法回避的问题,是混合物的质量检查”。若用 Danckwerts<sup>[10]</sup>的话说,就是“混炼质量”问题。Danckwerts 提出以混合物的两个特性作为衡量标准,即“分凝大小”和“分凝密度”。

分凝大小是同一组份构成的区域之间平均距离的**量度**，它与“平均条纹厚度”有关；所谓平均条纹厚度，就是混合物相同界面间的平均距离<sup>[11]</sup>。分凝密度是任意处的浓度与平均浓度差值的量度<sup>[11]</sup>。

在上面讨论的所有术语中，容易引起混淆的是“混合”与“混炼”。如上所述，“混合”及与其配合使用的词，应用于两种或两种以上组份直接混合的任何过程或操作，不管组份的物理本性是否发生改变，也不管过程是专门或主要用于提高混合程度的，还是只有这种趋向的。在本书的整个讨论过程中，除了特别指出以外，都将采用以上所述定义。当与以上定义有主要差异时，则相应地做出注释。

“混炼”一词，和与其配合使用的词，都同样用于以下场合：已有分散添加剂的聚合物连续相，出现不同程度的软化、熔融和压缩。虽按组份进行混合，但没有这种混炼特征的过程，按上述规定一律称之为掺混。

### 1.3 聚合材料混炼的必要性

在聚合物的制造过程中，原料混合一般并不是主要矛盾，因为，进行聚合反应时，聚合体系的组份通常溶解于单体相中，或易于分散在惰性介质中。在类似情况下，所采用的设备均属典型的化学工程常用设备，故在此不作详细讨论。然而，有些材料在聚合阶段确实存在共混的问题，这主要是指热固性材料，它们是在两种或两种以上组份混合后，一起反应产生的交联结构材料。这类材料基本上包括某些固体聚氨酯、聚氨酯和脲醛泡沫塑料及某种环氧树脂。对于它们的工艺要求是，在聚合和交联反应之前，该组份得以充分混合。因为反应后固体反应物

占了相当大的比例，因此会妨碍或阻止材料的进一步混合。

在生产实际当中，绝大多数聚合物材料都是在熔融状态下进行加工的，或者采用聚合物，或者直接采用树脂类中间产品。聚合物在没有添加剂的情况下进行加工是极少见的，但即使在这种场合，也须进行某种程度的混炼，以便尽可能使制品的各个部位受热均匀，并且受到相同的剪切处理。在一般情况下，需要把添加剂与聚合物混好后再行加工，从制品的可能组份表（见表1-1）上不难看出，要完成混炼任务是十分艰巨的。但应明确，表中所列各项，不一定都是严格表示每种配合剂的功用。经常可以发现，某一项可同时描述配合剂的不同功用，与此相反，好几项又可能基本上描述的是同一种功用。另外，尽管是根据某种特性或效能来选择配合剂，但几乎毫无例外地发现，该配合剂的其他效能也将发挥作用。

当然，绝没有一种聚合物材料会含有表中所列全部配合剂的，但由九种组份构成的聚合物典型实例，似乎比较常见。除了考虑可能有的配合剂数目之外，还应注意以下事实：配合剂的比例变化范围非常宽，即所占聚合物数量的百分比可以从千分之几到百分之几；另外，它们的物理形态也是有多多样性的，从流态或粘滞液体，到粘性、蜡状或坚硬固体。由此可见，欲达到充分混炼的目的，困难是很多的。

表 1-1 塑料或橡胶配合物的可能组份

聚合物（或树脂类中间产品）	抗氧化剂
再生聚合物或再生胶	紫外线吸收剂
硫化剂或交联剂	着色剂
硫化促进剂	耐屈挠、耐老化
硫化活性剂	耐冲击用改性剂

热稳定剂  
润滑剂  
操作助剂  
增塑剂  
软化剂  
增塑增溶剂  
粘性抑制剂  
固化剂  
发泡剂  
发泡沫助剂  
滑脱剂  
防粘剂

或增强树脂  
增粘剂  
抗静电剂  
防霉剂  
阻燃剂  
耐溶剂  
防霉剂  
杀菌剂  
塑解剂  
填料剂  
抗臭氧剂

## 1.4 混炼在聚合物加工中的地位

在規定混炼定义和明确混炼目的时，尽管有困难，但也不能以未经证实的假定为依据。兹将 Mohr<sup>[11]</sup>的定义，关于混炼加工之任务，略加改动后抄录于下：

“……改变各组份无规或偏析聚集的原来空间分布，并使任何一种组份的颗粒或微粒在任意各处出现的几率增大，从而达到符合要求的空间分布几率”。

这个定义虽然是出自一家之言，但它确实指出了混炼性质及其评价所具有的统计性。关于这个问题，我们在下一章还要讨论。还有一个较为简明，但可能不够严密的定义是：“在分子或其它某种相应水平上，令混合物各组份间的混合提高到满足工艺要求的程度”。在理论和实践中，这两个定义都具有指



导意义，在下章中也还要讲到。

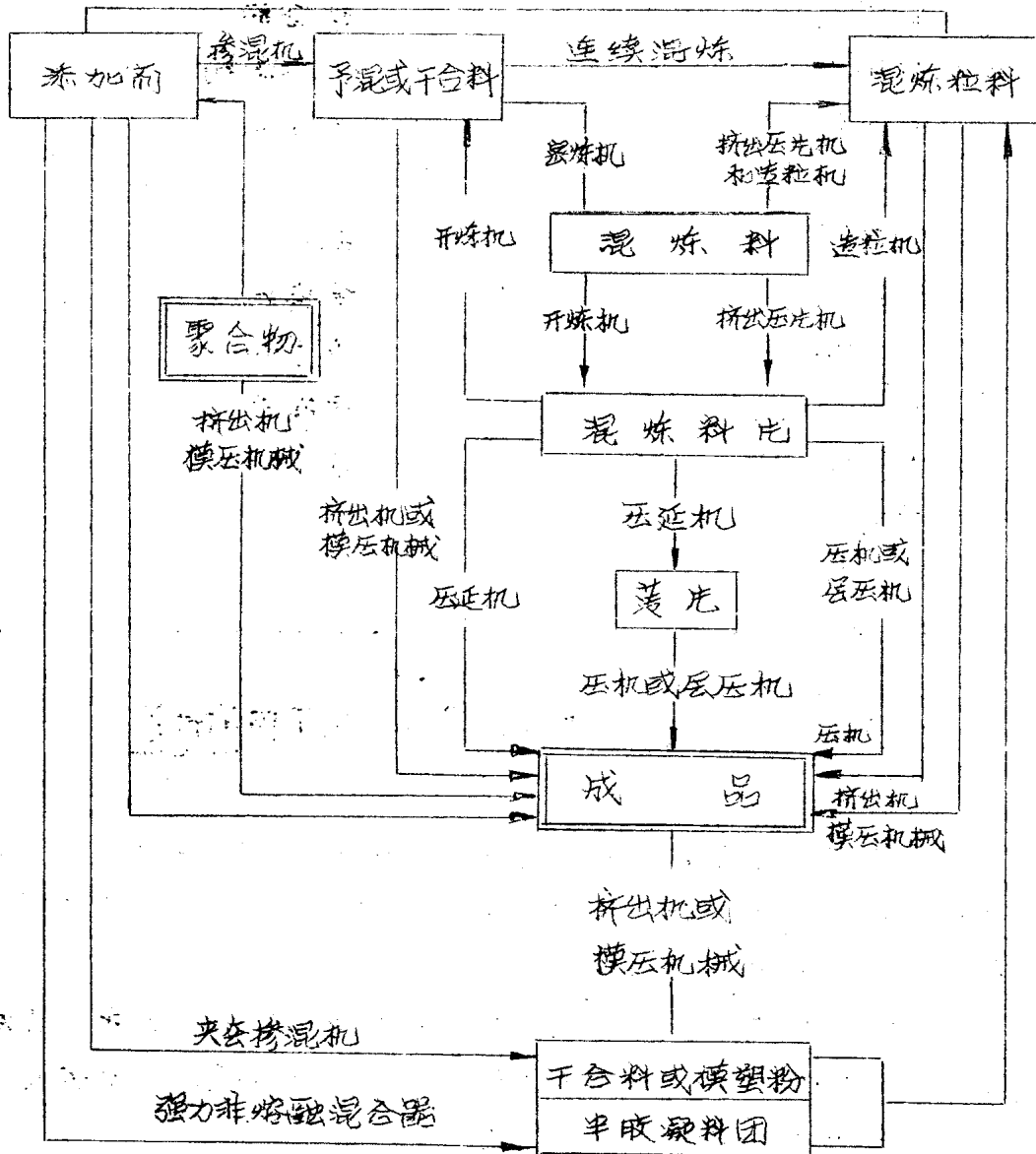


图 1-1

聚合物熔融加工成型的主要工艺流程