

PERRY 化学工程手册

第 六 版

下 卷

(美) R. H. Perry 著

化学工业出版社

(京) 新登字039号

内 容 提 要

本书是根据美国著名的 ROBERT H. PERRY 所著的《PERRY'S CHEMICAL ENGINEERS' HANDBOOK》(第六版)译出。

中译本分上、下两卷出版。全书共分27篇,下卷包括第18至27篇,主要内容有:蒸馏,传质与气体吸收,液液萃取,吸附和离子交换,新的分离过程,液-气系统,固体干燥和气体系统,固-固体系和液-液体系,过程控制,结构材料,过程机器的传动,过程经济,废物管理,生化工程等。

本书为全化工各行业通用的工具书,是指导化工、轻工、冶金等领域的科研人员,生产人员、教学人员进行过程研究开发,生产设备设计计算的必备手册。

ROBERT H. PERRY
PERRY'S CHEMICAL ENGINEER'S HANDBOOK
SIXTH EDITION

McGraw-Hill

1984

PERRY 化学工程手册

第 六 版

下 卷

责任编辑: 郭乃锋

陈 丽

封面设计: 韩 星

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新东街1号)

化学工业出版社印刷厂印刷

顺义寺上装订厂装订

新华书店北京发行所经销

开本787×1092¹/₃₂印张118¹/₂字数3034千字

1993年8月第1版 1993年8月北京第1次印刷

印 数 1—3000

ISBN 7-5025-1037-0/TQ·604

定 价 160.00元

编 辑 说 明

(1) 《PERRY化学工程手册》是一部在国际、国内具有较大影响的权威性工具书,对指导化工、轻工、冶金等行业的科研、设计和生产具有重要的参考价值。该书自1934年问世以来,经过五次修订再版。现将1984年第六版译成中文,介绍给广大读者。

(2) 由于计算机技术的迅速发展和被广泛采用,以及新的结构材料的开发利用,化学工程的理论和技术日益更新,新的分枝不断形成。为此,作者在第五版的基础上,对手册的内容作了大量修订和补充,不但对第五版的25篇逐一修正增补,并改写了经济、蒸馏、萃取和吸收各篇,还增加了生化工程技术和废物管理两篇新内容。另外,本版新收入的图、表、数据等都以SI单位制表示,并且增加了U. S. 制单位和SI单位的换算。

(3) 天津大学、浙江大学、清华大学、大连理工大学化工学院、石油大学、华南理工大学、成都科技大学、天津化工研究院的有关专家教授参加了翻译和审校工作。

(4) 参加本手册的编辑人员(以姓氏笔划为序):刘哲、刘小蘋、李迟善、李丽雪、李洪勋、李建斌、朱振东、陈丽、陈逢阳、苗延秀、罗幼松、张红兵、张婉如、施承薇、周国庆、郭乃铎、徐世峰、梁虹、谢丰毅等。

第 六 版 序

在过去的十年中, 化学工程学科对推动世界工业进步依然在多方面起着重要的作用, 工艺和设备的设计方法已经取得了显著的进步。从某种程度上说, 这一进步的取得要归功于计算机的推广应用和更为适宜的结构材料的开发利用。日益重要的能源问题, 要求完善废物管理, 这些因素也影响了设计的决策。然而, 从根本上讲, 可靠的化学工程实践仍旧建立在经验和理论这两方面合理结合应用的基础上。而从第五版出版以来, 无论是在经验方面, 还是在理论方面, 都已取得了可喜的成绩。因此, 本版对第五版的25篇内容都作了最新修订, 而且重新编写了某些领域(如经济、蒸馏、萃取和吸收)的篇章, 并增写了新兴的生化工程和废物管理技术两篇新内容。

本版还改变了对单位制的处理方法。大多数工程师都知道, 世界上许多国家都采用了SI单位制, 而美国仍主要使用U. S. 单位(虽然美国正在向扩大使用SI单位制过渡)。为了满足不同使用者的要求, 《手册》作了兼可使用两种单位制的安排。本版中部分图表取自前几版, 并进行了修订, 但未重新绘制, 因为这样并不切合实际。新增的图表一般使用SI单位制, 只在某些情况下, 兼用两种单位制。本版所有图表均附有换算系数, 以便于两种单位制之间的换算。正文中出现的数值均使用SI和U. S. 两种单位, 许多经验公式中出现的因次常量也是如此。笔者相信, 《手册》对两种单位制的使用者一般都是适用的。

许多人士对本版《手册》的编纂给予了大力支持。要特别感谢Wanda S. Dekat, Georgea L. de Media和Guy L. Green等几位工程领域的前辈完成了繁重的索引编制工作。Jill A. Schoeling和Ruth R. Sleeper承担了本版《手册》的打字和秘书工作。

Raymond Genereaux是第六篇“流体运输和贮存”的分篇主编, 也是《手册》先后六个版本全部编纂工作的唯一参加者。谨此对他长期坚持不懈地致力于《手册》的编纂工作和所作出的贡献深表感谢!

Bob Perry对《手册》的再版并保持《手册》优秀质量的传统倾注了全部精力, 但在本版《手册》的编纂期间不幸去世, 这是我们莫大的损失。他永远值得我们怀念。

Frank I. Evans, Jr. 和Theodore Vermeulen是《手册》的分篇主编, 对《手册》的编纂做出了巨大的贡献。对他们的去世, 我们一并表示哀悼。

DON W. GREEN

总 目 录

上 卷

单位换算因子和各种数据表	1-1
数学	2-1
物理和化学数据	3-1
反应动力学, 反应器设计, 热力学	4-1
流体与颗粒力学	5-1
流体的输送和贮存	6-1
粉粒体的输送及固体和液体的包装	7-1
粉碎与团聚	8-1
能的利用、转化与储存	9-1
传热	10-1
传热设备	11-1
湿度测定法, 蒸发冷却, 致冷及深冷过程	12-1

下 卷

蒸馏	13-1
传质与气体吸收	14-1
液液萃取	15-1
吸附和离子交换	16-1
新的分离过程	17-1
液-气系统	18-1
液-固系统	19-1
固体干燥和气固系统	20-1
固-固体系和液液体系	21-1
过程控制	22-1
结构材料	23-1
过程机器的传动	24-1
过程经济	25-1
废物管理	26-1
生化工程	27-1
索引	1

第21篇 固-固体体系和液-液体系

作者:

W.M.Goldberger 篇主编

Lanny A.Robbins 主编, 液-液体系

R.A.Fiedler 湿式分级

T.L.B.Jepsen 稠密介质分离

Frank S.Knoll 静电分离

James O.Maloney 液-液体系

D.W.Mitchell 静电分离

Bbupendra K.Parekh 超细固体的分离

Thomas C.Sorenson 浮选

Paul L.Stavenger 湿式分级

Rich L.Thelen 固体的取样

Robert E.Treybal 液-液体系

Lonel Wechsler 磁力分离

译者:

费维扬 液-液体系

蒋维钧 固-固体体系, 固体混合物的选择性物理分离

第21篇 目 录

21.1 固-固体系	21-3	导论	21-87
21.1.1 固体物料的加工	21-3	21.2.1 逐级接触设备: 混合-澄清器	21-87
一、混合	21-3	一、混合-澄清器	21-87
二、固体的取样	21-14	二、流动或管道混合器	21-88
三、筛分和筛式分级序言	21-18	三、搅拌容器中的混合	21-92
四、筛分	21-19	四、澄清器	21-109
五、筛式分级	21-29	五、混合器-澄清器的各种组合方式	21-103
21.1.2 固体混合物的选择性物理分离	21-36	21.2.2 浸没在不相溶液体中的单个液滴	21-106
一、筛析法	21-37	一、液滴形成	21-106
二、摇床选矿	21-39	二、聚合	21-110
三、盘旋选矿	21-43	21.2.3 连续(微分)接触设备	21-110
四、稠密介质分离	21-46	一、一般特性	21-110
五、重力分离	21-53	二、轴向扩散	21-111
六、静电分离	21-65	三、设备分类	21-111
七、浮选	21-71	四、喷淋塔	21-112
八、超细固体的选择性分离技术	21-79	五、填料塔	21-114
九、自动分选	21-82	六、多孔板(筛板)塔	21-118
21.2 液-液体系	21-85	七、机械搅拌重力设备	21-121
一般参考文献	21-85	八、离心萃取器	21-130
术语	21-85		

1. *AICHE Standard Testing Procedure for Solids Mixing Equipment*, American Institute of Chemical Engineers, New York.
2. Bullock, *Chem. Eng.*, **66**, 177 (Apr. 20, 1959).
3. Danckwerts, *Research*, **8**, 355-361 (1953).
4. Fischer, *Chem. Eng.*, **87**, 107 (Aug. 8, 1960).
5. Kirk and Othmer (eds.), *Encyclopedia of Chemical Technology*, Wiley-Interscience, New York; Rabinov, Soutour, and Selheimer, "Mixing and Blending," vol. 9, pp. 537-577; Othmer and Bodde, "Mixing and Blending," vol. 13, pp. 577-618; Othmer and Bodde, "Mixing and Blending," vol. 15, 3d ed., pp. 804-837.
6. Lacey, *J. Appl. Chem.*, **4**, 257-269 (1954).

7. Quillen, *Chem. Eng.*, 61, 178 (June 1954).
8. Smith, La Crosse and Davies (eds.), *Chemical Engineering Practice*, vol. 3, Butterworth, London, 1957, p. 362.
9. Weinstbaum, in Drew and Hooper (eds.), *Advances in Chemical Engineering*, vol. 11, Academic, New York, 1958, chap. on mixing of solids.
10. *Work, Chem. Eng. Prog.*, 50(9), (September 1954).
11. Vose, "Statistical Properties of Dry Blends," *Ind. Eng. Chem.*, 56, 37-44 (1960).
12. Glen, "Solids Mixing: A Review of Theory," *Br. Chem. Eng.*, 12, 1753-1758 (1967).
13. Ashton and Valentin, "Mixing of Powders and Particles in Industrial Mixers," *Trans. Inst. Chem. Eng. (London)*, 44, 1165-1188 (1966).
14. Valentin, "Mixing of Powders and Pastes: Basic Concepts," *Chem. Eng. (London)*, 45, CF39-CE106 (1967).
15. Uhl and Gray (eds.), *Mixing*, vols. I and II, Academic, New York, 1966-1967.
16. Blasiak and Chermisinoff (eds.), *Solids Separation and Mixing*, vol. 1, Technomic Publishing Co., Westport, Conn., 1979.
17. Beddow, *Particle Size and Technology*, Chemical Publishing, New York, 1980.

参考文献 9 中有内容广泛的文献目录。参考文献 2、4、5、7、8 和 10 中可查到各种设备的照片和它们的详细说明。参考文献 3 和 6 提供了卓越的理论文献。参考文献 5 给出了各种混合器的形式及其应用的一览表。参考文献 8 和 9 是指该书的一些章节，它们涉及固体的混合，包括理论和设备两方面的内容。参考文献 9 中还包括各种领域（混合状态，理论频谱，速率方程和设备）的文献的简要说明。参考文献 1 给出了固体混合设备的实验方法。

1. 基础知识

(1) 应用 固体物料的混合设备可以在许多生产操作中应用。例如，在饲料、杀虫剂、肥料、玻璃炉料、罐装食品和化妆品等的制造过程中，各种配料组分的掺和可能是主要的步骤。其它的应用包括冷却或加热，例如石灰石或糖的冷却，塑料混炼之前的预热等。有时要求对固体物料进行干燥或焙烧。在某些生产中，例如塑料的聚合，催化剂的制造，或谷物制品的生产，固体混合物可能发生化学反应。在另一些情况下，如颜料、染料、矿物、糖果和其它食品的生产以及饲料的制造中需要对物料涂层，其中某些场合可能要加入少量液体，但其最终产品是固体混合物。有时，如在食品、药物、洗涤剂 and 肥料的生产中要求将物料聚结成粒。将固体物料进行混合时常常需要把颗粒粉碎。在所有上述各种生产操作中均包括固体物料的混合。然而在上述某些操作中所用设备的用于完成单纯掺和以外的操作部件可能成为主要的难题。第 21 篇介绍主要功能为使固体物料均匀混合的设备，完成其它功能的设备在本手册的其它篇中讨论。例如第 8 篇是粉碎与成团，但该篇中提到的设备也可以用于混合。

(2) 影响固体混合的性质 颗粒粒度分布、密度、形状和表面特性（如静电荷）等物性的很大差别可使掺和非常困难。实际上配料组分的物性决定了混合操作的进行。通常最应注意的固体性质如下：

- a. 颗粒的粒度分布。它表示不同尺寸范围内物料的百分数。
- b. 视密度。它是单位体积所装固体颗粒的质量，通常用每立方米的千克数（每立方英尺的磅数）表示。它不是常数，充气可使它减小，振动或人工堆积可使它增大。
- c. 真密度。固体物料的真密度通常用每立方米的千克数（每立方英尺的磅数）表示。它用水的密度除等于比重。
- d. 颗粒的形状。形状有药丸状、卵状、块状、球状、片状、薄片状、棒状、针状、各种晶状或不规则形状。
- e. 表面特性。包括表面积和吸住静电荷的倾向。
- f. 流动特性。休止角和流动性是可测量的特性，都有标准方法可供使用（例如 ASTM

TEST B213-48, 金属粉的流动速率等等)。休止角较陡表示流动性较差。有时对固体颗粒使用“润滑性”这个词,它大致与流体的粘度相对应。

g. 脆性。(参见第8篇“可磨性”)它表示物料在处理过程中破碎成小颗粒的倾向。对于某些物料(例如煤)有一些专门设计的定量试验方法,它们可用于估量这一性质。一种组分对其它组分的磨损作用也必须加以考虑。

h. 聚结的状态。这里指的是颗粒系独立存在还是彼此粘附成团。在混合时所用能量的种类和级别以及聚结物的脆性将影响聚结物破碎和颗粒分散的程度。

i. 固体的含水量或含液量。为了减少粉尘或某些特殊需要(例如化妆品中加油)常常加入少量液体。所得物料的外观仍然是干固体而不是糊状物。

j. 密度、粘度和表面张力。这些是指任何加入的液体在操作温度下的性质。

k. 配料组分的温度限制。任何由于可能产生的(例如反应热)温度变化而引起的异常效应必需予以注意。

对要混合的配料组分的这些性质进行一番分析是选择混合设备的第一步。

(3) 均匀性的度量 除了要将一种组分涂到另一种配料组分表面上的情况以外,理论上混合的最终结果并不是要使一种颗粒直接与另一种颗粒相邻。当进行随机的翻滚时,理论上最终的结果是如图21-2所示那样沿行呈随机的混合状态。对于可以计数的容易识别的随机混合物,已知量(即一定的颗粒数)的各个局部试样的变化程度可以根据理论预测,并可用来确定配料组分的混合达到何种随机掺和的程度。当各个颗粒不易区别因而不能对颗粒进行计数时,可以应用不同的方法对局部试样进行分析,以确定一批料的均匀性。仪器分析方法的最新进展使得进行这类分析更加容易,并能得到大批的快速分析结果,这些结果对统计分析十分有用。这类可用的仪器分析方法有 $\times$ 射线荧光分析、火焰光谱测定法、极谱法和发射光谱。放射性示踪法也已经应用。不论选择什么分析方法,不论是重量法、容量法、电量法、颗粒计数法、光学法,还是其它方法,十分重要的是就混合的光分程度而言,应用统计方法客观地分析的数据应该不存在任何问题。与各个局部试样间组成(或其它性质)的变化比较,分析误差很小。



图 21-2 黑白颗粒的随机排列[Lacey, Trans. Inst. Chem. Eng. (London), 21, 52(1943)]

参考文献9介绍了许多不同的度量均匀性的方法。

(4) 评价方法 可以把最终产物是否满足要求作为固体物料混合是否充分的一个实际准则。进一步的标准是固体混合物对生产过程总的经济效果的影响。前面的分篇中提到的方法可以作为这种评价方法的一部分。当固体混合物直接制成产品时,例如颗粒饲料或药片的生产,对它们的均匀性的检验本身就是一种评价。如果固体混合物必须进一步加工,例如在玻璃或塑料生产中,其后续操作的效率和费用常常与原始的固体混合物有关,在这种情况下,

必需了解固体混合物均匀的程度,以便确定它对生产过程的影响。

无论采用什么方法评价固体混合物,取样方法是极端重要的。通常应用取样器或其它的特殊仪器从混合物中取出试样,同时不要使整批料有过大的骚动。如果有明显比较容易的取

样方法,而且这种方法对整批料的污染较轻,则应该加以采用。

取样方法、取样的位置、数量及次数、试样的分析方法以及整批料中用于取样那一部分的多少等因素决定了取样研究反映实际情况的程度。

有一种供固体物料混合设备用的标准试验方法(参考文献1),其中包括试验方法的详细内容和关于在间歇和连续混合过程中从固体混合物中取样的参考文献。

(5) 离析问题 前面指出,物性的很大差别可使掺和非常困难,例如比重、尺寸或形状的极大差别将显示自然的离析倾向。较重的、较小的或者较光滑的和较圆的颗粒分别倾向于通过较轻的、较大的或粗糙的颗粒而下沉。在某些情况下,物料制备中避免各配料组分的这类物性的很大差别可防止离析的发生。

还有能导致离析的其它一些因素。

静电荷能使颗粒互相排斥,当连续掺和时,可导致静电荷的产生,所以重要的是要确定掺和所需的准确时间,不要超过。

必须把物料以粉尘的形式损失看成是离析的一种可能的表现,因此在粉尘收集设备中抽吸不应太强,以免增加这种损失。

假如存在粘性的颗粒,它们具有近乎浆糊状的性质,几乎不能流动(休止角很大),那末为了得到良好的混合需要依靠摩擦把它们固定在混合物中的其它粒子上。

假如有一种配料组分处于成团的状态,则必需应用某些机件把它们打碎,以防止它们从混合物中离析出来,保证这种配料组分均匀地分散在整个混合物中。

添加诸如水(可含有表面活性剂)一类的液体对于克服本来必然要出现的离析现象有显著的作用。

上面的论述虽然是直接针对固体物料混合操作而言的,但是在随后的操作过程中这些问题也必需加以考虑。例如,必需以在某一操作部位供给混合良好的配料的观点对固体混合操作进行检验,对于系统中可能发生离析的地方必须仔细考察,例如转送点,长距离的沟落,通过筒仓以及振动设备。当需加入液体时,必须确定不致引起结块的允许加入量,因为结块可能对后续的固体混合物的加工产生破坏作用。

2. 设备

混合机理 固体颗粒的混合有几种基本机理,包括小尺度的随机运动(扩散),大尺度的随机运动(对流)和剪切作用。

使各个粒子流动性增加的运动可促进扩散混合。如果不存在相反的离析作用,通过扩散混合最终可以达到很高的均匀度。当粒子沿着新鲜的发展着的表面散布和各个粒子获得增长着的内部流动性时发生扩散混合,筒式转筒混合器属于前一种机理,冲击研磨机显示后一种机理。

对于大多数快速混合过程来说,除了扩散(小尺度)混合外,必需有一种手段使粒子的大团互相混合。这种混合可以通过对流或剪切作用来实现。螺旋混合器属于前一种情况,而筒式转筒混合器则为后一种机理。

固体混合机械的型式 固体混合机械有几种型式,有些机器的容器是转动的,另一些机器在其固定的容器中有转动构件,而某些机器则同时采用转动的容器和转动的内部构件,有时在混合器中装有挡板或桨叶。表21-1按照每列首行说明的特性对固体混合机械进行了分类,其中所列的若干机器在图21-3中作了说明。下面对表21-1中所列的各种型式进行简要的说明,段落号与表中的列相对应。

(1) 转筒混合器 适用于轻度的掺和；能够处理大容积的物料；易于清理；适用于稠密的粉料和有磨蚀作用的物料。不能用来粉碎聚结物。

图21-3a和b（不包括虚线所示部分）是没有挡板的转筒混合器。

图21-3c和d所示的是有挡板的转筒混合器。

(2) 具有聚结物破碎装置的转筒混合器 参见第8篇“转筒式研磨机”中的球磨机、棒磨机 and 摆动卵石磨，这些机器在进行粉碎的同时也完成了混合。

表 21-1 固体混合机械的型式^①

转筒混合器 (1)	内部有聚结物破碎 装置的转筒混合器 (2)	壳或槽固定的 混合器 (3)	壳与内构件同方向 转动的混合器 (4)	冲击混合 (5)	流彩有固体混合的 操作过程 ^② (6)
筒内无挡板： 转鼓混合器：水平 的或倾斜的 双锥混合器 双筒混合器 立方形混合器 全形混合器 筒内有挡板： 水平转鼓混合器 双锥混合器，流长 轴转动	球磨机 卵石磨 棒磨机 摆动卵石磨 双锥混合器 双筒混合器 立方形混合器	螺条混合器 滚轮转动的混合 器，固定槽 ^③ 立式螺旋混合器 旋转子混合器 双转子混合器 涡轮混合器 炒锅混合器 筛（药轮筛）	逆旋式，滚轮与槽 按相反方向转动 的混合器 行星式混合器	锤磨机 冲击磨机 立式磨机 喷射磨机 碾磨机	料仓装料 流态化 螺旋加料器 皮带输送机送料 提升机送料 气流输送 振动

① 表中所列机械中一部分的示意图见图21-3。

② 也有滚轮固定而槽转动的滚轮混合器。

③ 通常这过程经精心选择条件可以促进混合，但是，对于气流输送和振动，由于它能使物料分离，必须予以注意。

● 眼书注④没有标出。——译者注

在有些转筒混合器中破碎聚结物用的内部转动装置是与器身分开驱动的。如果不需要进行聚结物的破碎，这类混合器本身可以用于轻度掺和。

图21-3a和b中虚线部分表示用于转筒混合器的聚结物破碎装置的几种型式。

表21-2中列出了转筒混合器和其它混合器中一些内部转动装置的冲击速度。内部转动装置所引起的损耗和污染问题在“工作特性”一节中进行讨论。

(3) 壳或槽固定的混合器 有许多不同类型的混合器，它们的壳体是固定的。应用一个或多个转动的内部混合装置来实现其中物料的搅动。

a. 螺条混合器（图21-3c） 这类混合器有几种型式。螺条的横切面和螺距、螺条外侧与壳体间的间距以及螺条的螺旋数是其主特性参数。可以变动这些参数以适应各种物料（从粉碎得很细的易于充气的低密度的物料到原料需要特殊手段才能卸出的纤维状或粘性物料）的需要。另外的可变结构包括中间或两端卸料装置和在中心轴上安装浆叶或切割用的叶片。宽螺条可用来提升和输送物料，窄螺条则可在输送物料的同时切割物料。螺条混合器可用于间歇或连续混合。

b. 立式螺旋混合器 这类混合器也有几种型式。图21-3f所示的是一种，在这种混合器中螺旋在围绕自己的轴转动的同时环绕锥形槽的中心轴转动。在另一种型式的混合器中，螺旋固定在锥形槽中心的位置而不环绕运行，同时螺旋做轴向上、下两下逐渐变细，以便随着高

表 21-2 各种混合器中内部转动装置的冲击速度的大致数值^①

混合器的型式 (参见表21-1)	端部速度, ft/min	混合器的型式 (参见表21-1)	端部速度, ft/min
螺旋混合器	280	装有加液器	3300
双轮混合器	600	双转子混合器	高达1300
双轮混合器		单转子混合器	6000~9000
装有针形粉碎器	1700	各种磨乳	2500~28000

① 将单位由 ft/min 转化为 m/s 可乘以 0.00508。

度的增加扫动的区域逐渐增大。还有一种型式，螺旋放在器内中心的圆筒形套管内，这种混合器主要适用于能自由流动的干燥的固体物料。

c. 滚轮混合器 滚轮转动的固定槽式混合器是其中的一种型式。其它的型式有逆流式和旋转槽式，在逆流式混合器中，槽与滚轮以相反的方向转动，在旋转槽式混合器中，滚轮是固定的。

宽而重的滚轮在物料上滚动，当滚轮与物料接触时产生一定的滑移作用，因此除了依靠犁和刮刀而产生的大尺度的混合外还增加了局部的剪切作用。

滚轮混合器适用于要求粒料有一定程度破碎、颗粒间相互摩擦压合和最终混合物需要压实的混合过程，不能用于流动性太好或很粘的物料。图21-3h所示为连续式滚轮混合器，但是一般说滚轮混合器常用于间歇操作（图21-3g）。

d. 双转子混合器(图21-3i) 这种混合器由装在圆筒形壳体中的两根具有桨叶或螺旋的转轴所组成。有多种规格可供使用。它们的轴的转速从缓和的低速到比较高的速度（参见表21-2）。双转子混合器适用于不能自由流动的固体物料的连续混合；可以加入液体，对产品的磨损较轻，物料可以在进口以外的部位加入。这种混合器易于加热或冷却，某些机械专门设计可在混合过程中进行热交换。捏土磨机是双转子混合器的一种型式。

e. 单转子混合器(图21-3j) 这种混合器由装在圆筒形壳体中的一根具有桨叶的转轴构成。它们通常采用比较高的速度（参见表21-2），但在某些情况下也采用比较低的速度。高速单转子可提供磨碎机的最大冲击粉碎，它可用于强烈分散和粉碎。这类混合器有壳体可分开的型式，适用于需加热或冷却和需加入少量液体的情况。

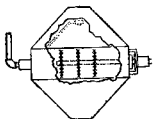
1. 涡轮混合器(图21-3k) 它是一个圆形的槽，中心有一个罩子，星形轮或一系列装有犁铧或模板的悬臂围绕中心旋转。模板在圆形槽内旋转。这种混合器适用于能自由流动的固体物料或流动性不好的半湿物料，它也适用于液-固混合和颗粒表面涂层。

(4) 壳和内构件均转动的混合器 在“滚轮混合器”中提到的逆流式滚轮混合器属于这一类。这种机械有一按顺时针方向转动的混合槽，偏离槽中心装有一个按反时针方向转动的混合装置，这样可以造成行星式的混合。在进行能自由流动的固体物料的混合而不需要滚轮的剪切与压碎作用的情况下，有时可只应用犁铧。当应用滚轮时，犁铧将物料翻到滚轮的行程上。还有其它一些可供混合用的特殊构件。

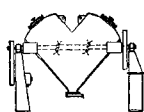
(5) 冲击混合 这类过程包括粉碎，已在第8篇中介绍。

在表21-1中第(6)列列举的操作过程有时可用来促进混合，但是它们的主要作用不是进行固体物料的混合（注意表21-1中关于气流输送和振动的注解）。

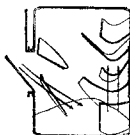
因为糊状物的混合不属于本篇的范围，所以诸如Z浆和密封式混合器之类广泛应用的糊



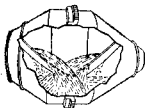
(a) 双锥混合器 聚结物粉碎装置用虚线表示。喷嘴用点线表示。这类滚筒混合器分别有空筒或装有上述两种装置或其中之一几种形式可供选用



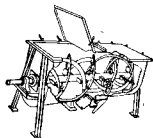
(b) 双筒混合器 (V型) 粉碎聚结物和加入液体的装置用虚线表示。当不需加入液体时, 采用针型聚结物粉碎装置, 这类滚筒混合器分别有空筒或具有任何上述性能的几种形式可供选用



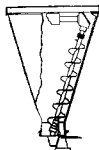
(c) 水平转鼓混合器 (装有挡板)



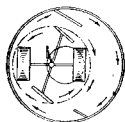
(d) 连续旋转的双锥混合器 (装有挡板)



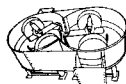
(e) 螺旋混合器



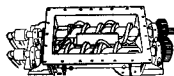
(f) 立式螺旋混合器 (环行式)



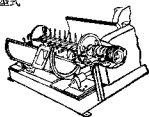
(g) 行星式螺旋混合器 有三种型式可供选用 (1) 槽固定, 滚轮转动; (2) 滚轮固定, 槽转动; (3) 槽按顺时针方向转动, 滚轮按反时针方向转动。上面表示的是第三种型式



(h) 连续式滑动混合器 (固定壳)



(i) 双转子混合器 (适用于器身装热交换夹套和空心螺旋)



(j) 单转子混合器



(k) 桨轮混合器

图 21-3 固体物料混合机械的若干型式 (参见表21-1)

状物混合器在这里不予介绍，而在第19篇“间歇式混合器”一节中讨论。

3. 工作特性

在选择固体物料的混合设备以前，必需对各项工作特性进行仔细研究，下面介绍这些工作特性。

混合物的均匀程度 为了保证批料达到要求的均匀程度必需选用适当的混合器型式。不能因为考虑其它方面的便利而降低这个要求。各种类型机械将各种物料掺和的性能在“固体混合机械的型式”一节中已作了介绍。

必需注意避免混合过程进行得太长，因为在某些情况下这将使掺和变得较差，因此应该作出混合程度与时间的关系图，以便定量地选定适当的混合时间。

混合时间 如果混合机械的型式和工作容量选择得合适，批料进行混合的实际所需时间通常少于15分钟。在某些情况下，为了避免以高价购买更高效的设备，也可容忍长得多的混合时间。如果愿意付相应的高价，通常总能找到几乎能使任何一种混合物在15分钟内适当均匀混合的机器。事实上，在多数情况下，混合器设计合理就能在几分钟内达到要求的掺和程度。

然而，除了考虑混合时间以外还必需使总的循环时间最佳。

装料与卸料 为了获得最佳的加料与卸料条件必需从整个处理系统考虑，包括有效的使用称料斗与调料箱、用量较少的配料组分的预混合以及卸料阀的位置等。

功率 一般说，在选择固体混合器时由于其它要求常常是决定性的因素，需用功率并不是主要考虑的问题。然而必需提供足够的功率以保証最大的需要，这种需要在混合操作过程中是变化的。此外，当需要处理不同的混合物时对于视密度最大的物料所提供的功率也必需是足够的。如果是在混合器装料以后开始启动，则所提供的功率对这种情况也应是足够的。当要求转速改变时，在计算所需功率时也必需考虑这一要求。

表21-3中列出了若干种混合器的需用功率。

清洗 当应用同一机器在不同时间对不能互混的批料进行混合时，清洗的频率、清洗是否容易和能否彻底可能是需要考虑的关键问题。如果有合适的开口，简单的转筒易于清洗。可能产生清洗困难的位置是：（1）密封或填料函，（2）挡板支撑处的缝隙，（3）各种角落，（4）卸料装置。如果不同批料之间的清洗很费时间，应当考虑采用几个小的混合器。常常可用额外的费用来设置特殊的清洗结构。

聚结物的破碎和研磨 使聚结物破碎和研磨的两种方法如下：

（1）冲击。其主要参数是转动内构件的圆周速度。表21-2中列出了各种混合器的冲击速度。

（2）剪切和压榨作用。在滚轮混合器中，这两种作用分别取决于滚轮与槽之间的距离和滚轮的重量或弹簧的负载。

当需要应用研磨设备来破碎聚结物时，可能使其它批料组分粉碎得过细，所以必需通过试验确定可施加的研磨作用。

粉尘的形成 粉尘的损失可能严重影响批料的组成。当损失的是用量较少的关键组分时影响更大。减少粉尘形成的方法有：（1）应用粉尘较少的但同样符合要求的批料组分，有时可将含粉尘很高的物料制成粒状物。（2）排气适当，使排出的空气能够得到过滤，不让含尘空气不受控制地损失掉。（3）对于混合器的加料与卸料设置粉尘的密封装置。（4）如果过程允许的话可加入液体。加水不仅能有效地减少混合器卸料时的粉尘，而且如果加入量适

表 21-3 若干工业用固体物料混合器的额定功率和转速
(工作容量约为 $1.5m^3(50ft^3)$)

固体物料混合器的型式	近似工作容量 ft^3	功率 (hp)		转速 (r/min)		说 明
		壳	内 构 件	壳	内构件轴的转速	
1. 转筒混合器						
没有挡板						
双锥混合器	84	7 1/2		16		基于 $100lb/ft^3$ 的物料
双锥混合器	50	5		13		物料的最大视密度= $85lb/ft^3$
有挡板						
水平转筒混合器	50	20		11.1		高负荷 (物料 $100lb/ft^3$)
厂商B						对于超负荷 ($150\sim 200lb/ft^3$) 物料, 采用20hp电动机时的工作容量是 $35ft^3$
厂商F	50	10		14		用于最大视密度为 $40lb/ft^3$ 的物料
双锥混合器, 围绕水平轴旋转	56	25		11.5		混合器可以斜置, 尾端加料工作容量是基于混合的混凝土
2. 具有聚结物破碎装置的转筒混合器						
双锥混合器	54	7 1/2	见说明	18	见说明	内构件的额定功率取决于物料的性质、破碎器的型式和转速。这些参数均由适当的试验确定
双锥混合器	50	5	5(针型粉碎器) 7 1/2 (液-固粉碎器)	13.7 945 (端部速度 1730ft/min) 1655 (端部速度 3320ft/min)		物料的最大视密度= $55lb/ft^3$
3. 壳或筒固定的混合器						
螺旋混合器						
厂商C	50		12	28		需用功率基于物料的视密度为 $50\sim 60lb/ft^3$, 介质自由流动, 对于平均混合循环周期为 $3\sim 10min$ 用10hp/t (根据物料不同可在 $3\sim 18hp/t$ 间变动)
厂商A	46		10	37		基于物料的视密度为 $30lb/ft^3$
厂商D	50		15	45		基于物料的视密度为 $40\sim 50lb/ft^3$
三条螺旋轴和20加料轴(总计27 1/2)	50				转速可变化, 所有轴均驱动	这种轴和筒间歇操作时的处理量为 $300ft^3/h$, 连续操作时为 $600ft^3/h$, 物料处理量基于视密度为 $70lb/ft^3$
立式螺旋混合器	52.9		5	螺旋64.4行星轴 2.2		功率基于视密度为 $37lb/ft^3$, 它随处理的物料而异, 最大马力=10最大重量= $4410lb$
滚轮混合器						
间歇式, 槽固定, 滚轮转动	10		60	24 (滚轮的转速)		基于物料的视密度为 $60\sim 75lb/ft^3$
连续式, 槽固定滚轮转动						连续式滚轮混合器基本上仅仅是把两个间歇式滚轮混合器联合一起放在一个S字形的槽中。因此, 160hp下操作的容量为 $40ft^3$ 的间歇式混合器变成一个工作容量为 $80ft^3$, 需用功率为125hp的连续式滚轮混合器, 此混合器的处理量为125t/h, 停留时间为2.5min, 滚轮转速为24t/min
单转子混合器	见说明					在这种连续式设备中, 根据被混合的物料的不同, 在功率为 $5\sim 100hp$, 转速从500到4000时, 处理量为 $25\sim 600lb/min$
双转子混合器	见说明					在这种连续式设备中, 根据被混合的物料的不同, 在功率为 $5\sim 40hp$, 转速为200 $\sim 3007/min$ 时, 处理量为 $200\sim 300lb/min$
双转子搅拌机式混合器	49.2		5 ~ 15	20 ~ 100		输送机和混合作用安装在空心螺旋杆外的螺旋的型式和螺旋大小的影响
涡轮混合器	50		50	圆周速度600ft/min		

固体物料混合器的型式	近似工作容量 t^3	功率 (hp)		转速 (r/min)		说 明
		壳	内 构 件	壳	内构件的转速	
4.壳和内构件转动的混合器 逆流式滚轮混合器	45	①	①	5.75~ 8.75	28~35	
	60~90 ^②	20	25	6.65	20	

① 一个25hp的电动机同时驱动壳（混合槽）和内构件（混合轮）。

② 每批的容量范围取决于被混合的物料的性质。

注：将 t^3 转换成 m^3 需乘以0.02832；将hp转换成kW需乘以0.7457；将lb/ ft^3 转换成 kg/m^3 需乘以16.02；将t/h转换成 kg/s 需乘以0.252；将r/min转换成 rad/s 需乘以0.1047；将lb/min转换成 kg/min 需乘以0.4535；将hp转换成kW需乘以0.7457。

当，则它还能使批料在随后的操作过程中粉尘较少。加入少量表面活性剂可增加水通过批料的渗透能力，甚至能使水润湿粉一类物料。加水的方法是很重要的（参阅加入液体的方法）。

必须注意，避免在混合器或混合器的加料斗中强烈抽气或空气流动。如果混合器中收集粉尘的抽气过强，关键组分可能被抽走；如果称量系统中收集粉尘的抽气过强，则可能造成称量误差。

静电荷 某些物料，例如塑料，很容易积累电荷。功的输入将影响批料上的电荷。有时，由于静电荷在混合器的内壁或转动部件上会结一层物料，将使清洗发生困难。克服这个问题的可能方法有：（1）加入比表面（物料表面积与重量之比）很大的特殊的固体物料；

（2）加入液体（参阅粉尘的形成和加入液体的方法两段）；（3）适当选择混合器的结构材料；（4）控制湿度；（5）对批料组分进行预加工使积累的电荷减到最少。

设备的磨损 简单的转筒混合器磨损很小。对于某些物料，例如砂子和有腐蚀作用的砂轮的粒料，转筒混合器中的研磨装置可以产生严重的磨损。对于这种情况必须考虑加耐磨层，如橡胶和特殊合金覆盖层或镀层。内部的搅拌装置即使转速很低也会造成磨损，当混合磨蚀性很强的物料时，尤其需要权衡增设结构破碎装置的作用和由此可能引起的污染和设备更换与维修的费用的增加两者的利弊。

产品的污染 在“清洗”与“设备的磨损”两节中都部分地论及这个问题。其它的污染源有润滑剂和维修材料。必须避免使用与要混合的材料不能混在一起的各种材料。

加热或冷却 几乎所有的工业用混合器都可以进行加热或冷却。某些混合器可以装设加热或冷却的搅拌器。如果混合过程中温度升高对过程有害，必须设冷却装置。各个制造厂商可以提供他们所生产的机器的加热方法的详细说明。最常用的加热方法有：（1）夹套和空心螺旋或转臂式内部搅拌器中通水或蒸汽；（2）热油；（3）导热液体或蒸汽；（4）电热，接触式或辐射式；（5）热空气与物料直接接触（只适用于转鼓型混合器）；（6）用直接火或间接火从外部加热转鼓。对于冷却，最常用的方法是：（1）夹套和空心螺旋或转臂式内部搅拌器中通水或冷却液；（2）蒸发剂，如液氮；（3）直接空气接触（用于壳转动的混合器）；（4）用油或导热油（或它的同类物）冷却高温物料。

操作弹性 当要混合的批料量变化很大时，如处理量有弹性，就可能采用较少的混合器。设备的某些操作特点要求处理量固定，例如，在有内部搅拌装置的转筒混合器中，只有