

食品工程系列教材

食品通用机械与设备

蒋迪清 唐伟强 编

华南理工大学出版社

· 广州 ·

图书在版编目(CIP)数据

食品通用机械与设备/蒋迪清, 唐伟强编. —广州: 华南理工大学出版社, 996.2 (2003.7
重印)

(食品工程系列教材)

ISBN 7-5623-0803-9

I. 食…

II. 蒋…

III. 食品机械—设备

IV. TS2

华南理工大学出版社出版发行

(广州五山 邮编 510640)

责任编辑 谢树琪 江厚祥

广东省新华书店经销

广州市新明光印刷有限公司印装

2003年7月第1版第5次印刷

开本 787×1092 1/16 印张: 18.625 字数: 430千

印数: 13001~16000册

定价: 25.00元

前 言

随着我国国民经济的发展和人民生活水平的提高,人们对食品工业提出了更高的要求。现代的消费者,对食品的安全、营养、风味、经济、方便等性能特别重视,这对食品工业的发展,无疑是一股强大的动力,提供了一个宽广的发展空间。

食品工业的发展,在走向现代化的今天,很大程度上依赖于食品机械的发展。而食品机械的发展,人才的培养至为关键。因此,我们编写了这本教材,为我国食品机械的人才培养尽一分力。

由于我国地域广大,食品工业的行业众多,目前已形成谷物加工、油脂、制糖、饮料、发酵、水产品加工、肉类加工、方便食品的制造等二十多个行业。各个行业的加工工艺、风味要求等都不相同,使食品机械的种类繁多,给食品机械的系统化、理论化带来了一定的困难。

为了适应食品机械的发展,我们参考了国内外有关食品机械的资料,并参考了“全国包装和食品机械全行业基本情况和发展前景调查研究课题组”对我国食品机械分布线索的研究资料,编写了这套教材。教材的编写力求结合食品机械当前的实际,使覆盖面更广。为此,这套教材分二册编写,一册为《食品通用机械与设备》,内容为食品工厂较为通用的机械与设备;另一册为《食品专用加工机械》,内容为分门别类地介绍食品加工机械,如饮料机械、米面食品加工机械、水产品加工机械、肉类加工机械等。两册书讲授约为120学时。这套教材适用于高等院校食品机械、食品工程、农产品加工与贮藏等专业,也可以作为食品机械科研、设计、制造和食品工厂工程技术人员的参考资料。

本册第三、六、九章由蒋迪清编写;第一、二、四、五、七、八章由唐伟强编写。全书由华南理工大学袁振远教授主审。

编写本书时,参阅了有关研究者的著作和资料,吸收了部分院校的教学成果,在此一并致谢。

本书初次编写,在内容选取、安排以及文字上不免会有粗糙及不完善之处,敬请读者提出宝贵意见,以便修正。

编 者

目 录

第一章 食品机械的材料	(1)
一、不锈钢	(1)
二、钢铁材料	(2)
三、有色金属	(3)
四、非金属材料	(3)
五、材料的耐蚀抗磨表面处理	(4)
第二章 食品分选机械	(6)
第一节 果蔬分选机械	(6)
一、滚筒式分级机	(6)
二、三辊筒式分级机	(15)
三、带式分级机	(17)
四、色选机	(18)
第二节 摆动筛	(19)
一、筛体	(20)
二、筛分原理	(21)
三、筛体的平衡	(23)
四、分级效率与生产率	(25)
五、摆动筛功率计算	(26)
第三节 国外分选机械发展状况	(26)
第三章 食品原料的清理与清洗机械	(29)
第一节 食品原料中的杂质及清理方法	(29)
第二节 食品原料的清理机械与设备	(30)
一、比重去石机	(30)
二、综合式颗粒物料清理机	(31)
三、磁选设备	(32)
第三节 食品原料的清洗机械	(34)
一、滚筒式清洗机	(34)
二、鼓风式清洗机	(35)
三、其他型式果蔬清洗机简介	(37)
第四章 食品粉碎机械	(40)
第一节 豆制品粉碎机械	(42)
一、磨浆机的分类	(42)
二、磨浆机结构及对设计的要求	(43)
三、磨浆机的磨盘	(43)
四、其他部件	(44)
五、功率计算	(45)
第二节 果蔬加工粉碎机械	(48)

一、打浆机	(48)
二、榨汁机	(51)
第三节 其他粉碎机械	(56)
一、锤式粉碎机	(56)
二、振动磨	(58)
第四节 粉碎机械发展概况	(63)
一、冲击式粉碎机	(63)
二、涡轮式粉磨机	(65)
第五章 搅拌及均质机械	(66)
第一节 搅拌的种类及其特性	(66)
一、牛顿型流体的概念	(66)
二、非牛顿型流体的概念	(67)
三、搅拌机的分类	(68)
四、搅拌机械基本结构	(68)
第二节 搅拌机	(69)
一、混合机理	(69)
二、搅拌机结构	(70)
三、搅拌机的设计参数	(84)
四、搅拌功率计算	(85)
第三节 调和机	(90)
一、调和机的分类及工作过程	(90)
二、调和机的主要部件	(91)
三、调和机的功率计算	(95)
第四节 混合机	(96)
一、旋转容器式混合机	(96)
二、固定容器式混合机	(98)
第五节 均质机	(100)
一、高压均质机	(100)
二、离心式均质机	(105)
三、其他类型的均质机	(106)
四、均质压力及均质化的能耗	(109)
第六章 蒸发浓缩设备	(111)
第一节 蒸发浓缩设备的分类和选择	(111)
一、类型及特点	(111)
二、蒸发浓缩设备的选择	(112)
第二节 常压蒸发设备	(113)
一、夹层锅	(113)
二、麦芽汁浓缩锅	(114)
第三节 单效真空浓缩设备	(116)
一、中央循环管式浓缩锅	(116)
二、盘管式浓缩锅	(117)
三、带搅拌的夹套式真空浓缩锅	(119)

第四节 液膜式蒸发浓缩设备	(119)
一、升膜式蒸发器	(119)
二、降膜式蒸发器	(120)
三、升降膜式蒸发器	(121)
四、刮板式薄膜蒸发器	(122)
五、离心式薄膜蒸发器	(124)
六、板式蒸发器	(126)
第五节 真空浓缩装置的辅助设备	(128)
一、汽液分离器	(128)
二、蒸汽冷凝器	(129)
三、真空泵	(134)
第六节 真空浓缩锅的主要计算	(136)
第七章 食品干燥机械	(138)
第一节 箱式与带式干燥器	(139)
一、常压对流式箱式干燥器	(139)
二、真空接触式箱式干燥器	(142)
三、带式干燥器	(143)
四、带式真空干燥机	(148)
第二节 滚筒干燥器	(150)
一、滚筒干燥器的型式	(151)
二、滚筒干燥的原理	(154)
三、滚筒干燥器结构设计	(158)
第三节 流化床干燥器	(172)
一、流化过程	(173)
二、流化床干燥器型式	(174)
三、流化床干燥器的主要部件	(179)
第四节 气流干燥器	(182)
一、气流干燥器的特点	(182)
二、气流干燥器组成及型式	(183)
三、气流干燥器的设计	(186)
第五节 冷冻干燥设备	(191)
一、冷冻干燥的原理和特点	(191)
二、冷冻干燥装置	(192)
第七节 电磁辐射食品干燥机简介	(194)
一、微波干燥设备	(194)
二、远红外干燥器	(197)
第八节 国外干燥机械发展动态	(199)
一、国外主要干燥机械的进展	(199)
二、国外干燥技术发展趋势	(199)
第八章 食品杀菌设备	(200)
第一节 直接加热杀菌设备	(201)

一、真空瞬时加热杀菌装置 (VTIS)	(201)
二、注入式瞬时加热杀菌装置	(203)
第二节 板式换热器杀菌装置	(205)
一、板式换热器的结构与特点	(205)
二、板式换热器杀菌装置及其流程	(206)
三、板式换热器杀菌装置的设计	(209)
第三节 管式杀菌机	(213)
一、结构与工作原理	(213)
二、管式杀菌机的流程与主要部件	(214)
三、管式杀菌机的设计	(216)
四、刮板式杀菌机简介	(216)
第四节 CIP 装置	(217)
一、CIP 的定义和特点	(217)
二、CIP 的结构	(219)
第五节 微波杀菌装置简介	(222)
第九章 食品供排料机械	(226)
第一节 带式输送机	(226)
一、带式输送机的组成	(226)
二、带式输送机的设计计算	(231)
第二节 斗式提升机	(237)
一、斗式提升机的结构和工作原理	(238)
二、斗式提升机的主要构件	(241)
三、斗式提升机的计算	(242)
第三节 螺旋输送机	(243)
一、螺旋输送机原理、结构和应用	(243)
二、螺旋输送机的设计计算	(244)
第四节 振动输送机	(248)
一、振动输送机的结构	(248)
二、振动输送机的设计计算	(249)
第五节 气力输送	(252)
一、气力输送装置的特点及其应用	(252)
二、气力输送的类型	(253)
三、气力输送装置的主要部件	(254)
四、主要参数的确定	(271)
五、气力输送装置的设计计算步骤	(283)
六、推动输送及空气输送槽	(284)
主要参考文献	(289)

第一章 食品机械的材料

食品生产有其独特的方式，其特点为：与水接触多，机械所承受的湿度大；常在高温或低温下操作，机械处于温差大的环境下工作；与食品和腐蚀性介质直接接触，对机械的材质磨损较大等。因而，在选择食品机械与设备的用材时，特别是食品机械与食品接触的材料，除考虑一般的机械设计所需满足的如强度、刚度、耐震动等的机械特性外，还需注意下列原则：

- ①不应含有对人体健康有害的元素或与食品能产生化学反应的元素。
- ②应有高的耐锈蚀性。
- ③应易于清洗且能长期保持不变色。
- ④应能在高、低温中保持较好的机械性能。

根据上述原则，食品机械行业中的材料使用情况为：

一、不锈钢

不锈钢具有耐蚀、不锈、不变色、不变质和附着食品易于去除以及高温、低温机械性能好等优点，因而在食品机械中得到广泛的应用。不锈钢主要应用于食品加工机械的泵、阀门、管、罐、锅、热交换器、浓缩装置、真空容器等方面。另外，除食品加工机械外，食品清洗机械和食品运输、保存、贮藏罐以及因其生锈将会影响食品卫生的器具，也使用不锈钢。表 1-1 列出我国食品机械中不锈钢的使用情况。

表 1-1 我国食品机械零件不锈钢使用情况

机械名称	零部件名称	材 料
加热灭菌器	全部	1Cr18Ni9Ti
水洗分类机	主轴	0Cr14Ni6MoNb
水洗分类机	叶片、叶轮	1Cr18Ni9Ti
消沫泵	泵壳、叶轮	ZG1Cr17
消沫泵	消沫筒	1Cr18Ni9Ti
猪油分离机	转子	1Cr18Ni9Ti
牛奶分离机	分离片	1Cr18Ni9Ti
胶体磨	定子、转子	2Cr13
液体灌装封盖机	灌装罐	1Cr18Ni9Ti
装瓶压盖机	酒阀	1Cr18Ni9Ti
浸油设备	冷凝器管子	1Cr18Ni9Ti
热交换器	板、片	1Cr18Ni9Ti
过滤机	上、下盖	1Cr18Ni9Ti
和面机	搅拌轴	1Cr18Ni9Ti
冰淇淋机	料斗	1Cr18Ni9Ti
磨浆机	支承座	ZG1Cr13
磨浆机	主轴	3Cr13

二、钢铁材料

钢铁材料在耐磨、耐疲劳、耐冲击力等方面有其独特的优越性，因此在我国仍大量地被应用于食品机械，特别是制粉机械、制面机械、膨化机械等。在所使用的钢材中，碳素钢用量最多，主要是 45 和 A3 钢。这些钢材主要用于食品机械的结构件。铸铁材料用得最多的是灰口铸铁，用在机座、压滚以及其他要求耐振动、耐磨损的地方。球墨铸铁和白口铸铁则分别被用于综合机械性能要求较高和耐磨性要求较高的地方。表 1-2 是我国食品机械关键零部件的钢铁材料使用情况。

表 1-2 我国食品机械关键零部件的钢铁使用情况

类别	机 械 名 称	钢 铁 材 料	
		钢	铁
食 品 加 工 机 械	冷藏柜	16MnR, 39CrMnSi	HT200 HT250 KT350
	饼干机、软糕点机	45	HT200
	和面机	45	HT200
	旋转压片机	GCr15	QT500
	馒头机	A3, 45	HT200
	桃子自动去皮机	A3, 45	HT250
	绞肉机	45, T8, 40Cr	HT200
	灌肠机	45	HT200
	多切机	A3, 45, 65Mn	HT150
	糕点烘烤机	45 硅钢片	HT200
	切肉机	45, 65Mn	
	面条机	20, 45	白口铸铁
	食品膨化机	A3, 45, AlA, 38CrMo	HT200
	香肠拌料机	45	HT150
	牛奶分离器	08F, A3, 40Cr	HT150, HT200
食 品 通 用 机 械	灭菌器	A3	
	烘干组合机	40Cr	
	水洗分离机	A3, 45	
	压滤机	20	HT200
	洗瓶机	A3, 45, 40Cr	HT150, HT200
	粉碎机	A3, 65Mo, 45	

三、有色金属

食品机械中的有色金属材料，主要是铝合金和铜合金。铝合金具有耐蚀和导热性能、低温性能、加工性能好以及重量轻等优点，但有机酸等腐蚀性物质在一定的条件下可以造成对铝及铝合金的腐蚀。食品机械中铝及铝合金的腐蚀，一方面影响机械的使用寿命，另一方面因腐蚀产物进入食品而有害于人们的身体健康。铜合金主要用于管材。表 1-3 是铝材对于各种食品的适应性。

表 1-3 铝材对于各种食品的适应性

食品名称	适、否	食品名称	适、否
酒 类		食品类	
威士忌	B	芥末	B
啤 酒	A	脂肪类	A
葡萄酒	A—B	食盐	C
白兰地	C	醋	B—C
饮料类		鱼肝油	A
橙 汁	B	巧克力	A
果 汁	B	蜂 蜜	A
苏打水	C	面包曲	A
葱 汁	A	人造黄油	A
柠檬汁	B	乳品、加糖制品	
樱桃汁	A	含水碳酸类	A
咸菜类		糖块	A
盐水或咸菜水	B	奶粉	A
咸黄瓜	B	奶酪	A
小咸鱼	B	乳糖	C
盐菜类	C	黄油	A
醋泡元白菜	B—C	牛奶	A

注：A：使用上稳定，不受腐蚀；

B：试用后尚未被认可，今后可望投入使用；

C：不希望使用。

四、非金属材料

在食品机械结构中，除使用良好的金属材料之外，还广泛地使用非金属材料。

使用在食品机械与设备上的非金属材料主要是塑料。常用的塑料有聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、聚四氟乙烯塑料及含粉状和纤维填料的酚醛塑料、层压塑料（酚醛夹布胶木、酚醛夹玻璃纤维塑料）、环氧树脂、聚酰胺、各种规格的泡沫塑料、聚碳酸酯塑料、氯化聚酯

有机玻璃等。此外，还使用各种天然和合成的橡胶。

与传统的结构材料相比，塑料有一系列的优点：

①密度不大，平均为黑色或有色金属的 $1/5\sim 1/8$ 。

②机械加工余量少，使生产成本降低。例如，用注塑塑料代替金属，工时可减少为其 $1/5\sim 1/6$ ，工序减少为 $1/5\sim 1/10$ ，加工费用也减少为 $1/2\sim 1/6$ 。

③化学稳定性高。

④有良好的摩擦特性。

⑤有良好的吸收噪音和隔音性能。

⑥有好的耐震性和抗附着特性，等等。

其缺点为：

①耐热性和导热性低。

②在液体环境中工作时，有老化和膨胀的趋势，等等。

塑料分为热固性塑料和热塑性塑料两大类。热固性塑料加热时，开始较软，然后便不可逆地过渡到硬状态，如氨基塑料、酚醛塑料等；热塑性塑料加热时非常软，而冷却时变硬，如聚乙烯、聚酰胺等。

而按照塑料的物理-化学特性则可分为刚性、半刚性和软性塑料。刚性塑料是一种硬弹性塑料材料，弹性模量 $E > 1 \times 10^3 \text{MPa}$ ，断裂时的相对伸长较少，在室温及高温条件下，当受到外部应力时能够保持原来的形状。半刚性塑料是一种结晶组织的硬弹性材料，弹性模量 $E > 4 \times 10^2 \text{MPa}$ ，断裂时有较高的相对伸长和较少的残余伸长。软性塑料是一种软的弹性材料，弹性模量 $E < 20 \text{MPa}$ ，断裂时相对伸长较大。

塑料材料在食品机械上有广泛的应用。例如：在输送机械上，使用在螺旋式和刮板式斜槽、吸力式和磁力式塔、风机罩、风筛式框架、料斗等；在食品加工机械、包装机械中的套筒、圆盘、叶轮、漏斗、分瓶螺旋、星轮等零部件上也广泛地使用塑料。

对于不能使用润滑剂的饼干模子、轧面机轴衬、空心面压制机的型模以及用于高温或要求耐磨的零件，则聚四氟乙烯塑料为理想的非金属材料。

但是，在食品机械上选用塑料和聚合物材料，应根据食品介质在卫生检疫的要求和国家卫生检疫机关的有关规定，允许使用的材料才能选用。一般地，凡直接与食品接触的聚合材料应该确保对人体绝对无毒无害，不应给食品带来不良的气味和影响食品的味感，不应在食品介质中溶化或膨胀，更不能和食品产生化学反应。因而，食品机械中不宜使用含水或含硬质单体的低分子类聚合物，因为这类聚合物往往都有毒性。某些塑料在老化或高温下工作时，例如高温消毒，能够分解出可溶性单体并扩散到食品内，使食品变质。

五、材料的耐蚀抗磨表面处理

食品通常属于弱酸、中性、弱碱性。食品中的有机酸具有与强酸、强碱不同的腐蚀特性，在特殊的环境中具有独特的腐蚀作用。食品中的腐蚀性物质有：醋酸、柠檬酸、苹果酸等低级脂肪酸以及酒石酸、琥珀酸、乳酸、酪酸；食盐、无机盐类；食品添加物的一部分；在制造过程中使用的腐蚀性物质。这些腐蚀性物质与食品加工机械零部件相接触，造成零部件材料腐蚀，并造成金属离子溶入食品中，可能会损害人体的健康或破坏食品的风味。在腐蚀环境中，机械还会发生摩擦腐蚀。对于腐蚀的防护，通常可以对材料进行耐蚀

抗磨的表面处理,即对金属或非金属的食品加工机械的零部件进行喷涂和涂装以及电镀、刷镀等表面处理。喷涂主要指热喷涂,它以金属、塑料或陶瓷等粉末通过火焰,以半熔融状态吹附到工件表面,形成了具有耐蚀、耐磨等特性的涂层。我国食品机械行业正在开发聚四氟乙烯的喷涂。食品机械大量地采用不锈钢,成本较高,故应以一部分涂装材料代替。涂装是在金属表面用手工或用简单器械涂上涂料,使之干燥硬化,形成连续的涂层将金属表面与外界隔绝,达到防蚀、装饰的目的。电镀和刷镀在食品机械的应用相对较少,但有发展的趋势。电镀与刷镀在原理上相似,只是在工艺上和应用对象上有些区别,电镀以制造为主,刷镀一般用来修复工件。

食品机械对镀层有一定的要求,具体如下:

- ①镀层的材料不应有毒性,不得传给食品异味或影响食品的风味。
- ②为避免锈蚀和镀层的剥落,镀层不应多孔。
- ③镀层应有高的机械特性,并与基体牢固地接合。
- ④必须得到均匀的晶粒镀层和要求的镀层厚度。
- ⑤镀层应对食品介质、洗涤剂成分和大气的影响具有高的化学稳定性以及良好的装饰和保护特性。

第二章 食品分选机械

食品分选机械的主要作用为：

- ①保证产品的规格和质量指标。
- ②降低加工过程中原料的损耗率，提高原料利用率，从而降低产品的成本。
- ③提高劳动生产率，改善工作环境。
- ④有利于生产的连续化和自动化。

第一节 果蔬分选机械

水果和蔬菜在采集和加工时，需要大量使用分选机械。其作用为：

- ①根据采集果蔬果实的大小、色泽、形状、成熟度、病虫害及外观损伤情况，按照国家规定的标准，进行挑选、分级。
- ②为包装、贮运和销售的方便，对果蔬进行分级，使同类档次的品质一致。
- ③对果蔬进行食品加工时，需按工艺要求，对果蔬原料进行分级，以提高产品质量和成品率。
- ④有利于生产的连续化和机械化。

一、滚筒式分级机

滚筒式分级机的结构如图 2-1 所示。主要工作原理是：物料通过料斗流入到滚筒时，在其间滚转和移动，并在此过程中通过相应的孔流出，以达到分级。

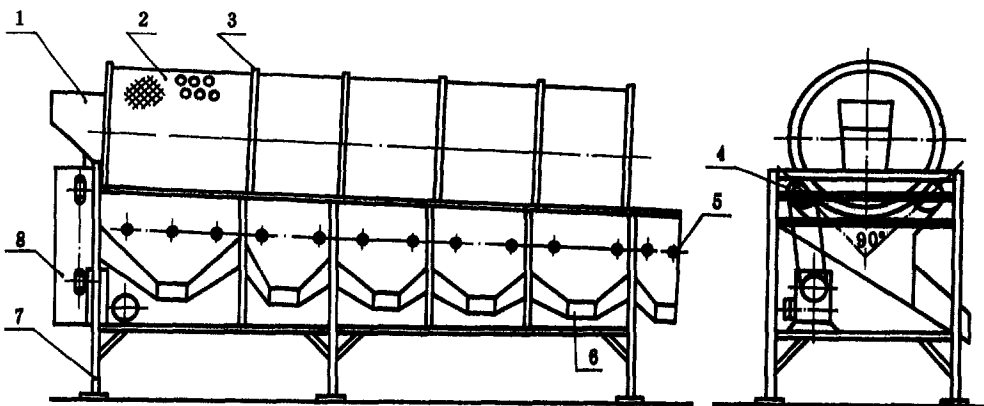


图 2-1 滚筒式分级机

1—进料斗；2—滚筒；3—滚圈；4—摩擦轮；5—铰链；6—收集料斗；7—机架；8—传动系统

滚筒式分级机的特点是：结构简单，分级效率高，工作平稳，不存在动力不平衡现象。但机器的占地面积大，筛面利用率低；由于筛筒调整困难，对原料的适应性差。

1. 滚筒式分级机的主要结构

(1) 滚筒

它是一个带孔的转筒，转筒上按分级的需要而设计成几段（组）。各段孔径不同而同一段的孔径一样。进口端的孔径最小，出口端最大。每段之下有一漏斗装置。原料由进口端落下，随筒身的转动而前进，沿各段相应的孔中落落到漏斗中卸出。

滚筒通常用厚度为 1.5~2.0mm 的不锈钢板冲孔后卷成圆柱筛。照顾到制造工艺，一般把滚筒先分几段制造，然后焊角钢连接以增强筒体的刚度。

(2) 支承装置

它由滚圈 3、摩擦轮 4、机架 7 组成（参阅图 2-1）。滚圈装在滚筒上（或利用滚筒的连接角钢），它将筒体的重量传递给摩擦轮。而整个设备则由机架支承，机架用角钢或槽钢焊接而成。

(3) 收集料斗

收集料斗设在滚筒下面，料斗的数目与分级的数目相同。

(4) 传动装置

目前广泛应用的传动方式是摩擦轮传动。如图 2-2 所示，摩擦轮 3 装在一根长轴上，滚筒两边均有摩擦轮，并且互相对称，其夹角为 90°。长轴一端（主动轴）有传动系统，另一端装有摩擦轮。主动轴从传动系统中得到动力后带动摩擦轮转动，摩擦轮 3 紧贴滚圈，滚圈固接在转筒上，因此摩擦轮与滚圈间产生的摩擦力驱动滚筒转动。

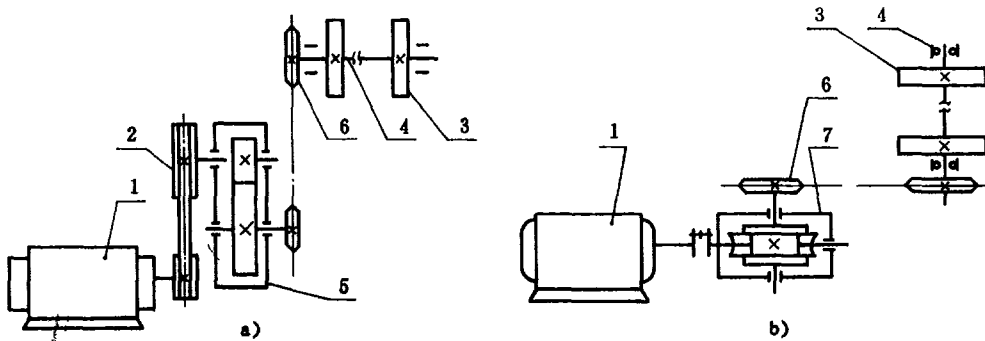


图 2-2 传动简图

a) 采用单级齿轮减速系统；b) 采用蜗轮蜗杆减速系统

1—电动机；2—带传动；3—摩擦轮；4—摩擦轮轴；

5—单级圆柱齿轮减速机；6—链传动；7—单级蜗轮蜗杆减速机

(5) 清筛装置

在操作时，原料应通过滚筒相应孔径的筛孔流出，才能达到分级的目的，但滚筒的孔往往被原料堵塞而影响分级效果。因此，需设置清筛装置，以保证原料按相应的孔径流出。机械式清筛装置是在滚筒外壁装置木制滚轴，木制滚轴平行于滚筒的中心轴线，用弹簧使

其压紧滚筒外壁。由于木滚轴的挤压，把堵塞在孔中的原料挤回滚筒中，见图 2-3。另外，也可以视原料的实际，采用水冲式或装置毛刷清筛。

2. 滚筒式分级机主要参数的确定

滚筒式分级机的主要设计参数为：滚筒的倾斜角度；长度与直径之比值；筛孔的排列；转速等。

(1) 生产能力计算

设生产能力为 G ，则

$$G = \frac{3600}{1000 \times 1000} Z \lambda m \quad (\text{t/h}) \quad (2-1)$$

式中 Z ——滚筒上孔眼总数，个。

λ ——在同一秒内从筛孔掉下物料的系数。该

系数与分级机型式和物料性质有关，一般为 1.0%~2.5%。长形物，如青豆类取上限；直径较小的圆形物，如蘑菇类取下限。

m ——物料平均质量，kg。

(2) 滚筒直径 D 、长度 L 以及孔数 Z 的确定

在生产能力已知的情况下，通过式 (2-1) 求取的 Z ，则为滚筒上所需的孔数。但由于各级筛孔孔径不同而滚筒直径相同，所以这个总孔数不能平均分配在各个级中，而应根据工艺的要求决定分成不同直径的若干级别，再依级数设每级排数，确定同一级中每排筛孔数。若把滚筒展开成平面，则其关系为：

每级孔数 = 排数 × 每排孔数

每级长度 = (每级筛孔直径 × 每排孔数) + (筛孔间隙 × 各排孔数)

则 滚筒的圆周长度 = (排数 × 各级孔径) + (排数 × 孔隙)

通过上述的计算，理论上得到每级的孔数，而孔数之和则等于总孔数 Z ；每级长度之和则是所设计的滚筒长度。但这样计算出的滚筒直径，各级都不相同，无法联接在一起。因此，一般取滚筒中直径最大的一级作为整个滚筒的直径，其他各级按直径增大后的比例多设一些筛孔或把孔隙适当放大即可。

在初步确定了滚筒的直径和长度后，用直径：长度 = 1：4~6 进行校核，若不在这范围内，就应重新调整每级排数或孔数，以达到此比例范围内为止。但要注意下列原则：

①若长度大于 6 倍直径，则可适当增加排数，减少每排孔数。

②若长度小于 4 倍直径，则应增加每排孔数和减少排数。

现时，有的研究者提出用以下的方法对滚筒分级机的直径和长度进行设计计算：

①各级孔数的计算式

②a 各级筛孔的孔数

$$Z_i = a_i \cdot b_i \cdot Z_0 \quad (i = 1, 2, \dots, k-1) \quad (2-2)$$

式中 Z_i ——筛孔的孔数，个；

a_i ——原料粒径分布比例系数，由实验测取；

b_i ——原料沿滚筒轴向分布比例系数，由实验测取；

Z_0 ——基准孔数，个；

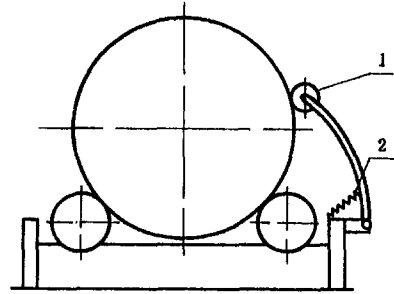


图 2-3 清筛布置示意图

1—清筛木辊；2—弹簧

k ——分级等级数。

⑥基准孔数的计算

由于整个滚筒的筛孔总数为：

$$Z = \sum_{i=1}^{k-1} Z_i = \sum_{i=1}^{k-1} a_i \cdot b_i \cdot Z_0 = Z_0 \sum_{i=1}^{k-1} a_i \cdot b_i \quad (2-3)$$

因此，基准孔数为：

$$Z_0 = \frac{Z}{\sum_{i=1}^{k-1} a_i \cdot b_i} \quad (2-4)$$

式中 Z ——筛孔总数，可按式 (2-1) 求取。

②筛孔排数与排孔数的计算

各级筛孔的排数与每排孔数是滚筒长径比的参数之一，因此应根据长径比进行计算。

滚筒的长径比为

$$\mu = L/D \quad (2-5a)$$

式中 μ ——长度与直径之比；

L ——滚筒的长度，m；

D ——滚筒的直径，m。

滚筒筛孔通常采用正三角形排列，展开后，其中一侧的边缘有一空隙，为简化计算，暂不计入，则滚筒长度可表示为：

$$L = \sum_{i=1}^{k-1} L_i = \sum_{i=1}^{k-1} \frac{Z_i}{c_i \cdot P_0} (d_i + e_i) = \frac{1}{P_0} \sum_{i=1}^{k-1} \frac{Z_i}{c_i} (d_i + e_i) \quad (m) \quad (2-5b)$$

式中 P_0 ——基准级的排数，通常以第一级为基准级；

d_i ——各级筛孔的直径，(m)；

e_i ——各级筛孔的间隙，(m)；

c_i ——筛孔直径及间隙对排数的影响比例系数。

现以第一级为基准级，其滚筒的直径为：

$$D_1 = \frac{\sqrt{3} (d_1 + e_1) \cdot c_1 \cdot P_0}{2\pi} \quad (2-6)$$

所以

$$\mu = \frac{L}{D} = \frac{L}{D_1} = \frac{\frac{1}{P_0} \sum_{i=1}^{k-1} \frac{Z_i}{c_i} (d_i + e_i)}{\frac{\sqrt{3}}{2\pi} \cdot (d_1 + e_1) \cdot c_1 \cdot P_0} \quad (2-7)$$

从而解得基准级排数为：

$$P_0 = \left[\frac{2\pi \sum_{i=1}^{k-1} \frac{Z_i}{c_i} (d_i + e_i)}{\sqrt{3} \cdot \mu (d_1 + e_1) \cdot c_1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

式中， d_1 、 e_1 、 c_1 、 D_1 分别为第一级的筛孔孔径、空隙、比例系数和筒径。

考虑到一侧边缘尺寸 f_1 对滚筒长度的影响，计算时，长径比应比规定的长径比 (4~6 范围内) 减少 0.1~0.2 代入计算。

式中比例系数 c_i 的确定:

$$c_i = P_i/P_0 \quad (2-9)$$

式中 P_i ——各级筛孔排数。

因
$$S_i = d_i + e_i \quad (2-10)$$

故
$$P_i = \frac{2\pi D}{\sqrt{3} S_i}, \quad P_0 = \frac{2\pi D}{\sqrt{3} S_0} \quad (2-11)$$

各级的比例系数为:

$$c_i = \frac{P_i}{P_0} = \frac{S_0}{S_i} \quad (2-12)$$

各级排数的计算式为:

$$Z_{p_i} = \frac{Z_i}{P_i} \quad (2-13)$$

计算出的数值圆整后作为各级滚筒每排的孔数。

③滚筒直径的确定

各级滚筒的周长为

$$l_i = \frac{\sqrt{3}}{2} (d_i + e_i) P_i \quad (2-14)$$

将各级计算周长中最长的作为整个滚筒的周长 l 。

①筛孔间隙修正

因为各级计算周长与所确定的滚筒周长 l 存有差值, 则要按下式修正。

$$e'_i = \frac{2l}{\sqrt{3} P_i} - d_i \quad (2-15)$$

②滚筒直径

$$D = l/\pi \quad (2-16)$$

①长径比验算

总长度的确定, 应将各级的一侧边缘尺寸 f_i (不含接边尺寸) 计入, 因此

$$L = \sum_{i=1}^{k-1} L_i + \sum_{i=1}^{k-1} f_i \quad (2-17)$$

将直径展开后:

$$f_i = \frac{S_i}{2} = \frac{1}{2} (d_i + e'_i) \quad (2-18)$$

则滚筒长度为:

$$L = \sum_{i=1}^{k-1} Z_{p_i} (d_i + e'_i) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{k-1} (d_i + e'_i) \quad (2-19)$$

将式 (2-19) 和式 (2-16) 分别计算出的滚筒长度和直径代入式 (2-5a) 中进行长径比验算, 若不超过规定长度比 5% 时, 则可确定长度和直径; 否则要对式 (2-8) 中的长径比取值进行调整, 直至满足为止。

(3) 转速 n 及水平倾角 α 的决定

滚筒的转速影响分级效率及生产能力, 而滚筒转速的决定取决于直径。

对具有很小倾角的滚筒, 近似看作水平, 则物料与滚筒一起回转时, 其受力情况如图