

第一篇 食品机械与设备概论

食品机械与设备是指把食品原料加工成食品（或半成品）的一类专业机械与设备。

食物是人类赖以生存、繁衍和社会发展的物质基础，在人类生活中占有特殊重要的地位。随着社会生产力的发展和人民生活水平的不断提高，人们不再满足于维持生存所需的初级食物，而要求食用通过工业加工提供品质优良、品种多样、富有营养、卫生安全、方便实惠、具有风味特色的食品，这些食品可以满足人们不同年龄、职业、健康状况和不同饮食习惯的消费者的需要。

我国的食品工业 20 世纪 90 年代以来有了较大的发展，人民生活水平提高很快。我国食品资源丰富，市场广阔，食品工业是永不衰败的工业。

食品机械是食品的工业化生产过程中的重要保障。食品工业的发展带动了食品机械的发展，而食品机械的发展又保证和促进了食品工业的发展。应该说，食品机械也是食品工业的一部分。

我国食品机械工业起步较晚。只是在近 20 年来，随着对外开放的深入和国家经济的迅速发展，食品机械的品种、产量和产值都在大幅度增加。目前，国内从事食品机械开发与生产的企业有上千家，品种也发展到几千种。此外，由于引进技术和装备，促进了国内技术水平的提高，缩小了和世界先进水平之间的差距。

食品机械加工处理的原料和生产产品的品种很多，大部分原料都具有生物属性，产品又都要为人类的生理和习惯所接受，处理过程十分复杂多变，物料的物理和化学形态也与一般机械所处理的大不一样，既有固相、液相和气相，还有各种质地不同的粉粒料；柔韧的工艺、不易流动的浆料、胶体和悬浊液等，因此食品机械的种类也极其繁多，工艺要求各不相同。

食品机械生产中所涉及的知识面十分广泛。技术人员既要掌握一般机械的共性，又要深入了解各种食品加工工艺的要求，包括物料的各种理化过程，只有在此基础上，才能研究、设计、制造和选用比较完善的、适用的食品机械。

当前在各类机械与设备中已经离不开微电子技术，所以在食品机械生产中也不例外。各种机械设备都要向机电一体化方向发展，利用微电子技术对生产过程进行检测和监控，这不仅是提高劳动生产率的手段，同时也能保证产品的质量和卫生条件的改善。

第一章 食品机械的分类

第一节 食品机械的分类

由于食品工业原料和产品的品种繁多，加工工艺各异，因此食品工厂的机械设备的品种也是十分繁杂的。我国目前尚未制定食品机械分类标准，各部门根据工作方便常有不同的分类方法。

一、按原料或生产产品分类

按原料或生产产品分类即按所用原料或产成品进行的分类，如制糖机械、豆制品加工机械、焙烤食品机械、乳品机械、果蔬加工和保鲜机械、罐头食品机械、糖果食品机械、酿造机械、饮料机械、方便食品机械、调味品和添加剂制品机械、炊事机械等。

二、按机械设备的功能分类

按机械设备的功能分类一般可分为筛分与清洗机械、粉碎和切割机械、混合机械、分级分选机械、成型机械、多相分离机械、搅拌及均质机械、蒸煮煎熬机械、蒸发浓缩机械、干燥机械、烘烤机械、冷冻和冻结机械、挤压膨化机械、计量机械、包装机械、输送机械、泵、换热设备和容器等等。

综上所述，从研究、设计和制造的角度看，以上两种分类方法对生产的发展都有一定的指导意义。我们既要研究各种食品生产工艺中各种作业机械的内部联系，以利于发展配套生产线，又要研究各种单元操作的生产效率和机械结构，在技术上以局部突破带动全面发展。

本书在设备分类体系上兼顾了上述两种情况，并以加工原料和产成品类型为主，进行设备分类，以适应现代职业技术教育培养目标中对于生产线和岗位群的要求。

第二节 食品机械的技术经济指标

任何机械设备在工业化生产中能够得到推广使用的程度，首先决定于它的技术经济指标，食品机械也不能例外。当然，对各类食品机械来说，还有一些与其他机械设备不同的要求。所有这些要求的总和，就形成了我们研究、设计和使用新的食品机械的指导思想。归根到底，就是要力求用最低的成本制造出最适用的食品生产机械设备，并能用这些机械设备以最低的成本制造出最合乎要求的各种食品。

一、单位生产能力

单位生产能力是指机械设备生产食品产品的能力，也就是生产某种食品的速率，例

如一台饼干成型机每单位时间（小时）内可以成型多少饼干。食品生产往往是流水线作业，在生产流水线中总是有许多台机器设备按照一定的顺序配置并完成某一特定工作，例如饼干生产线中就由配料、混合、搅拌、成型、烘烤、包装等设备组成，中间还有各种类型的输送及辅助设备。各台机器设备在生产能力方面，必须取得平衡和一致。否则，一部分机器设备的能力不能得到充分发挥，而另一部分则处于高负荷，甚至超负荷运行的状态。通常整个生产流水线的生产能力只能以其中的生产能力最低的一台（或一个环节）设备为基准。

机器技术的先进与否，并不单纯决定于生产能力或生产速率。食品厂的生产规模有大有小，这取决于产品的品种、原料的供应、消费范围、运输条件等一系列因素。即使生产同一种食品产品的机器设备，也往往要求各种不同的生产能力，形成一定的系列。

一般来说，生产规模越大，经济效益越高，对产品质量的管理也越有利。但是对保存期有限的食品来说，生产受市场消费的制约，还要考虑食品安全贮存的货架寿命以及原料供应的季节性。同时，人们对食品的需求，趋向于品种越来越多。所以食品机械的最合理规模，必须要根据需求做具体的分析。

食品生产的参数往往多变，所以生产能力也通常允许在一定范围内调节。设备生产能力的调节方式是多种多样的，一般采用调速电机是比较方便的，这也是生产线调速技术的发展方向。

二、消耗系数

消耗系数是对设备生产每单位产品所耗费的原材料及能量的一种度量指标。消耗系数不仅与所采用的工艺路线有关，而且与机器设备的设计有密切关系。例如食品生产中常用的蒸发、干燥、烘烤等操作，都消耗大量的热能，在机器设计中采用不同的热源和结构，就可能在技术经济指标上取得不同的效果。一般来说，消耗系数越低越好。

三、设备性能价格比

机器设备的价格影响到食品生产企业投资的大小。一般情况下，如果能达到同样的或相近的工艺效果，应该采用价廉的设备。但有时设备虽然复杂些，价格高一些，但却有好的性能，生产过程稳定，能确保产品高质量，易于实现自动控制，则在进行全面经济分析后，即使较高的价格也是可行的。比如：近年来进口的一些国外先进的食品机械设备，价格虽然昂贵，但是大部分可以取得较好的经济效果。

设备价格的高低要与设备的寿命联系起来考虑，因为计入产品成本的是设备的折旧费用，设备寿命越长，则折旧费越低。同时还要考虑到设备的技术更新年限，有些设备并不需要太长的寿命，因为随着科学技术的发展，有时即使设备寿命未到，也必须加以更新，以便在技术经济上获得更加合理的收入。

因此，我们在选用设备时，必须全面关注科学技术的发展和设备更新的趋势，合理确定特殊设备的使用寿命，在此基础上选择其性能价格比高的机械设备。

四、管理费用

管理费用包括劳动工资、操作维护以及检修费用等。管理费用在生产成本中占了相当大的比例，但管理费用不是一个孤立的因素。某些机器设备比较简单，设备费用和维修费用很低，但生产中使用劳动力多，不见得合理。反之，如果用高度自动化的生产流水线，投资增加了，但综合管理费用反而可能降低。

必须注意的是，高度自动化的机器设备所需的管理人员数量虽少，但是对管理人员的素质要求却高得多。

五、产品总成本

产品总成本是生产中一切经济效果的综合反映。也是食品厂选用食品机械的基本出发点。

第三节 食品机械的设计要求

食品机械的设计是一个十分复杂的技术课题，由于食品原料和产品的多样性和复杂性，不仅需要掌握一般机械设计所必须具备的知识和技巧，而且必须了解食品及其原料的化学和物理性质、食品工艺过程和有关的工程问题，还需要了解人机工程以及造型设计等知识。

本书不以机械设计为重点，但通过了解食品机械的基本设计要求，可以对我们进行设备选型、操作和维护起一定的指导作用。

一、满足既定的食品工艺要求，反映工艺的适用性和先进性

任何机械设计首先必须符合功能要求，要保证以一定的运行速度生产一定高质量的产品，产品的质量要求必须保持均一性和稳定性。

食品机械通常要求能够生产不同品种和规格的产品，一台机器或一条流水线上采用不同的原料配方，改变工艺参数或者设备的工作条件，可以制造出多种多样的食品。例如，一条饼干生产线应能够配换各种饼干成型印模，可以变换烘烤时间和烘烤温度。一台封罐机通过必要的调整，应可以完成对不同规格罐型的封口。

机器的设计所提供的改变生产条件的可能性，为我们选择和使用相应的生产设备提供了方便。

二、机械结构的合理性、可靠性和耐久性

机械结构的合理性包括制造和装配关系、传动方式的选择以及便于操作维修等。在满足功能要求的前提下，力求简化机械结构。

机器的可靠性和耐久性是不可分割的概念，它是指机器在规定的条件下，在规定的使用寿命内保持原定功能的程度，它与机器的整体结构及零件的强度、刚度、耐磨性、耐腐蚀性、抗干扰性等因素有关。在现代机械工程中，可靠性是一项不可忽视的重

要指标，对食品机械来说，其工作要求往往是自动化、连续化的生产线，如果在某一个环节出现故障，就将导致整条生产线的停工，甚至所投入的原料全部报废。

食品机械所处理的物料常常是数量很大的，某些工作部件时时刻刻受到物料的摩擦和磨损，例如磨粉机的磨辊、食品挤出机的螺杆和套筒等。正确确定机器零件的寿命及组合方式，以达到机器最可靠的使用性能是十分必要的。但是机器零件的使用寿命往往难以在设计时用理论计算得出，而必须在实测的基础上加以确定。

必须指出的是：零部件的寿命并不是指开始工作到破坏的时间，而是在即将不能保持其规定性能时，即认为是其寿命中止。因此，不能等到机械发生损坏再去更换或维修。

三、机器的能耗

一般机械的能耗常常反应在机械的传动效率上。而在食品机械中，大量能量是用来处理和改变食品的形态和性能，如浓缩、干燥、烘烤操作中能量的有效部分是用来加热物料和蒸发水分，在粉碎、分切操作中，能量的有效部分是用来切割和减小物料的形体尺寸。除此之外还必然有部分能量变成摩擦热损耗于机器或环境中，成为热损失。

我国不是一个能源充裕的国家，节省能源（包括电能、热能等），提高能源（特别是天然能源和廉价能源）的利用率，也是设计机器要考虑的因素之一。

四、卫生要求

这是食品机械区别于其他机械的基本特征之一。国家已经颁布了《食品卫生法》，对食品生产提出了严格的卫生要求。

食品机械中与食品物料直接接触的零部件，一定要选用无毒、耐腐蚀的材料。机器与食品接触部分必须便于拆装，以便随时清洗或清扫，并在结构中不允许有任何清洗不到的死角，以避免物料的积存和防止微生物在这些部位生长繁殖。

食品机械的传动润滑也和其他机器有不同的要求，传动密封要可靠，以防止润滑剂进入食品。有些开启式传动件要用食用油脂或无毒油脂润滑，也有的构件完全不用润滑而采用有自润滑性能的材料，如聚四氟乙烯。以前食品机械中有用液压传动的，为防止污染，现已大多数改为气压传动。

第二章 食品机械设备常用材料

食品机械中广泛使用各种材料，除金属和合金材料外，还利用木材、石材、金刚砂、陶瓷、搪瓷、玻璃、纺织品以及各种各样的有机合成材料。

第一节 食品机械设备对材料的一般要求

设备中与食物介质相接触的部分，要求：对食品必须无害，不污染食品；不受或少受接触介质的破坏，藉以延长使用寿命。

一、机械性能

食品机械一般属于轻型机械，零部件受力较小。尽管由于轻型机械要求尽量降低整机及零部件的重量和体积，但对材料的机械性能要求并不降低，除了强度、刚度和硬度等要求以外，还增加了一些其他的要求。例如，在食品机械中处理大批量成件物品的机会较多，因此常能遇到高速往复运动的构件，这就要从疲劳强度来要求机件的性能。如锤式粉碎机中的锤片与分切机中的刀片等零件对材料的耐磨性和硬度就有极高的要求。而食品挤压机的螺杆和套筒是在 200MPa 高压和 200℃左右的高温下工作，因此不仅要有较高抗扭强度、耐磨强度和较高的抗蠕变能力，还必须考虑其材料在高温或低温下的机械性能。

二、物理性能

食品机械的性能常常和材料的物理性能有关。例如：密度、比热容、导热系数、软化温度、线胀系数、热辐射波谱、磁性、表面摩擦特性、抗粘着性等。在不同的使用场合，要求材料有不同的物理性能，如传热装置要求有较高的导热系数，食品的成型装置则要有较好的抗粘着性，以便脱模。

三、耐腐蚀性能

食品机械所接触的食品物料一般都带有酸性或弱碱性，有些物料本身就是酸类或碱类。这些物料对许多金属都有腐蚀作用。有些食品物料本身没有腐蚀性，但是在微生物生长繁殖时会产生带有腐蚀性的代谢物。

食品机械因材料选择不当而遭受腐蚀，不仅损坏机器，更重要的是造成食品污染。如某些金属离子溶出进入食品中，会有损于人体健康，也会破坏食品的风味和营养。

食品机械设备的耐腐蚀程度决定于：材料的化学性质和表面状态以及受力状态；物料介质的种类，浓度和温度等参数。

食品机械材料的机械物理性能和化学性能有时会发生矛盾，难以十全十美，所以可

以通过复合材料或表面涂层的方法来加以解决，以充分发挥不同材料的优点。

四、制造工艺性

材料的制造工艺性能至关重要，否则设计出来的零件有可能难以加工，甚至无法加工。例如焊接件的材料就要有好的可焊性和切削性能；而要求表面硬度高的零件要有良好的热处理性能；要求表面涂装的零件则要求有良好的附着性能。

第二节 食品机械设备中的金属腐蚀

一、电化学腐蚀

各种金属具有不同的电极电位，金属或合金在电解质溶液中形成原电池，一部分金属以离子形式溶入电解质就形成电化腐蚀。食品机械中的电化学腐蚀通常有原电池腐蚀和浓差电池腐蚀两种形式。

两种金属或合金在同一电解质中构成原电池。如碳钢在水中构成电池（图 1-2-1），碳钢中铁素体的电极电位低于渗碳体的电极电位，负电性较强。此时，铁素体为阳极，渗碳体为阴极，电子由 Fe 向 Fe_3C 方向移动，到达阴极的电子不仅能与阳离子起作用，也能与中性原子或分子起作用，溶于水中的氧成为阴极的去极化剂。

同一种金属浸于浓度不同的溶液之中，也会形成不同的电位。如在盛装介质的容器中，由于各部分介质的浓度不同，此时即可形成浓差电池。食品物料常常是不均一的成分，各部分的水分含量和其他成分都不均匀，易形成浓差电池。

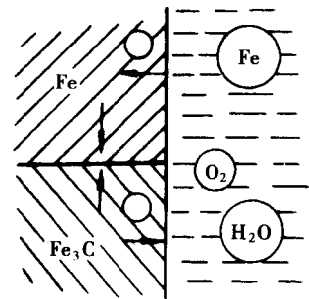


图 1-2-1 碳钢的原电池腐蚀

图 1-2-2 是氧的浓差电池示意图。在靠近液面附近的 A 处，氧溶解浓度较高，所以是阴极；当没有强烈搅拌时，在 B 处氧的浓度稍低，所以是阳极。电子由 B 向 A 转移，B 处被腐蚀。

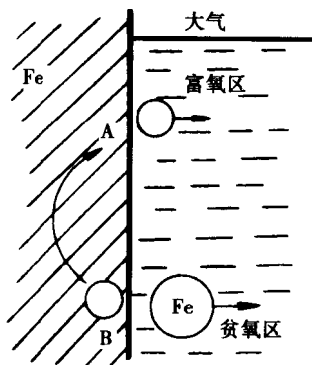


图 1-2-2 氧的浓差电池示意图

如果阴极的电子或阳极的离子不能移走而使腐蚀电流减弱，腐蚀过程就会减缓甚至可以停止，此现象称为极化作用。可以减缓或抑制腐蚀的进一步发展。

影响金属电化学腐蚀的因素主要取决于：金属及其合金的组织状态、设备结构及腐蚀介质的性质和状态。

关于腐蚀介质的影响是我们在选用或操作设备时应特别注意予以注意的。

首先是食品物料介质的性质和浓度。在酸性介质中，氢离子浓度增高时，去极化作用增强，阴极上的电子易被取走，因而腐蚀速度增大。在碱性介质中，腐蚀速度决定

于生成腐蚀产物的性质。如金属的氢氧化物能溶于碱性溶液，则腐蚀速度随 OH^- 离子浓度的增高而加大。在中性范围内（ $\text{pH}5.5\sim 8.5$ ）腐蚀速度实际上与溶液的 pH 关系并不太大，此时腐蚀速度决定于溶解氧到达金属表面的过程。盐类的存在能促使氧在阴极上与电子结合，但盐的浓度很高时，使氧的溶解度减少许多，反而抑制了腐蚀。

介质的温度升高时，许多腐蚀过程都加快。但当溶解氧起决定性作用时，温度升高会使氧的溶解度减小，腐蚀速度反而降低。

压力升高会使气体（ CO_2 、 O_2 ）在溶液中的溶解度升高，使金属的腐蚀加快。

溶液的流动速度由搅拌或输送等因素引起，可产生两种作用：①使氧加速进入阴极区；②除去金属表面上沉积的腐蚀产物或破坏钝化膜。总之，介质的运动能使腐蚀速度加快。

若介质流速极高，或液流中带有固相颗粒或气流中带有液滴，则可能发生冲蚀，这主要是属于机械性磨损，电化学作用是次要的。这种情况在食品物料的分选机械中可以遇到。

二、化学腐蚀

化学腐蚀可分为非电解质中的腐蚀和气体腐蚀两类。化学腐蚀过程中没有电化学反应存在，但化学腐蚀和电化学腐蚀有可能同时发生。

化学腐蚀可在金属表面上生成膜，膜的性质十分重要。

大多数金属与空气中的氧或其他氧化剂相互作用时，在金属表面上会生成一层金属氧化物膜。其他气体或液体介质也可能在金属面上形成膜。有的膜可以生长到显著的厚度，如铁的氧化层，有的膜可以非常薄，只有几个分子层。

如果生成的膜完整致密，在介质中性质稳定，并和主体金属很好地结合和具有相近的热膨胀系数，则该膜具有保护性质，如铝在大气中的氧化膜就是这样。铁在空气中氧化生成的氧化膜与金属结合不牢而且疏松，不能起保护作用，因此氧化腐蚀会继续进行。

温度升高时，金属的氧化速度通常是增加的。

氧对金属的腐蚀常常是由于水蒸气冷凝在金属表面上时发生的，此时伴随有电化学腐蚀。在干燥情况下，氧的腐蚀则纯系化学腐蚀，这种情况只能使光亮的金属表面失去光泽。大气中干腐蚀和湿腐蚀的条件对各种金属都不一样。一般钢铁的临界相对湿度为 $50\% \sim 85\%$ ，大气湿度超过此临界相对湿度时，钢铁表面就湿润了。有的食品厂中大气湿度很高，因而易形成钢铁的腐蚀。

在食品生产中，有时物料分解或腐败，生成的二氧化碳、硫化物（ H_2S 和 SO_2 ）及氮化物等，都会对金属产生腐蚀。

在食品生产中常接触到的微生物，能形成特殊的腐蚀性介质，直接影响到腐蚀的速度。

第三节 食品机械设备常用的金属材料

一、碳钢和铸铁

普通碳钢和铸铁耐腐蚀性都不好，易生锈，更不宜直接接触有腐蚀性的食品介质，一般用于设备中承受载荷的结构。在承受干物料的磨损构件中，钢铁是理想材料，因为铁碳合金通过控制其成分和热处理，可以得到各种耐磨的金相结构。铁质本身对人体无害，但遇单宁等物质，会使食品变色。铁锈剥落于食品中会对人体造成机械损伤。

钢铁如作为与食品直接接触的构件，常常需要采用表面涂层，例如镀锌的白铁皮，镀锡的马口铁。马口铁热镀锡厚度为 $3\mu\text{m}$ ，有时表面有细孔，会造成铁-锡电池产生腐蚀，用作罐头包装会影响味、色和产生气体。现在用电解法镀锡，覆盖层厚度为 $0.35\sim 1.8\mu\text{m}$ ，减少了用锡量，镀层也均匀，但仍然难以避免细孔，表面还要覆盖其他涂料。

食品工业可以用涂搪瓷的钢铁容器。搪瓷的原料有长石、石英砂、硼砂、碱、萤石以及其他成分。搪瓷最大的优点是对有机酸和无机酸都耐腐蚀，并且搪瓷表面光滑，易于清洗和保持卫生。搪瓷的致命缺点是在碰撞压力或温度的作用下，釉可能碎裂，只要极少量碎片落入食品物料中，就有可能造成严重后果，因此搪瓷设备在食品工厂中的使用越来越少。现在代替搪瓷材料的有各种无毒树脂涂料，其涂层耐腐蚀而不会产生碎片。

二、不锈钢和耐酸钢

不锈钢是指耐大气腐蚀的合金钢材，而耐酸钢则是指在各种无机和有机酸介质中能够耐腐蚀的合金钢材。但是平时也常常统称为不锈钢或不锈钢耐酸钢。

不锈钢在食品机械中使用广泛，因为它几乎能抵抗所有食品介质的腐蚀，而且可以得到很低的表面粗糙度，完全满足食品工业对机械设备的卫生要求。

不锈钢基本金属为铁-铬合金和铁-铬-镍合金，另外还可以添加其他元素，如钛、铌、钼、钨、铜、氮等，以提高其耐腐蚀稳定性、机械物理性质以及加工工艺性质。

随着成分比例和热处理不同，不锈钢的金相组织可以分为：铁素体型、马氏体型、奥氏体型、奥氏体-铁素体型等几种，它们的性质也各不相同。

铁和铬是各种不锈钢的基本成分。实践证明，当钢中含铬量在 12% 以上时，就可以对各种介质耐腐蚀，一般不锈钢中的含铬量不超过 28%。

三、铜和铜合金

纯铜亦称紫铜，其特点是导热系数特别高，所以常常被用作导热材料，可以制造各种换热器

紫铜加工性能好，对许多食品介质具有高的耐腐蚀性能，能抗大气和淡水腐蚀，对

中性溶液及流速不大的海水都具有抗腐蚀性能。对于一系列的有机化合物，如醋酸、柠檬酸、草酸和甲醇、乙醇等醇类，紫铜都有好的抗蚀稳定性。但当处理介质中存在氨、硫化氢以及氯化物时，紫铜的腐蚀会加快，因此其对无机酸、硫化物都不耐蚀。

铜制设备和容器不适于加工和保存乳制品，当乳或乳制品中含铜量达 1.5×10^{-9} 时，就会带有不适味，奶油会很快酸败，加热时也会加快氧化。

铜对维生素 C 也有影响，极少量的铜也会促成维生素 C 很快分解，所以处理富含维生素 C 的蔬菜汁和水果汁时，忌用铜制设备。以前曾采用铜面镀锡的办法，但目前宁可采用导热系数较小的不锈钢代替。

青铜是常用铜合金，是在铜中加入锡、铝、锰、硅等以调整其性能，以上这些成分对食品无害。食品机械中主要用锡青铜，也可用铝青铜和硅青铜。含有铅和锌的青铜不允许和食品接触。

硅黄铜具有良好的浇铸性和冷热冲压性能，在低温下也不降低塑性，适于低温使用。硅黄铜可与钢和其他合金相焊接，焊接性能良好，耐腐蚀性能也好。

四、铝和铝合金

铝的相对密度小，导热系数高，具有较好冲压性，焊接性好，但机械强度和铸造性较差。在强度要求不高的炊具、容器、热交换器及冷冻设备中应用范围很广，允许工作温度在 150 以下。

铝的一般腐蚀产物为 Al_2O_3 ，白色无毒。铝和铝合金在许多浓度不高的有机酸中，如醋酸、柠檬酸、酒石酸、苹果酸、葡萄糖酸、脂肪酸等，以及在酸性的水果汁、葡萄酒中，腐蚀是微弱的，但草酸和蚁酸是例外。铝在各种无机酸及碱溶液中被迅速破坏。

在食品机械中采用的铝合金主要有压力加工铝合金及成型铸造铝合金两类。成型铸造铝合金用来制造批量较大的小型食品机械的机身，可以得到良好的造型和光洁美观的表面。现在较多使用的压力加工铝为硬铝，其强度高，加工性好，焊接时要采用惰性气体保护。但由于含有铜的成分，其耐腐蚀性不如纯铝，因此在食品机械中的使用不如工业纯铝多。目前在强度要求高的机械中，宁可使用不锈钢而不用硬铝。

防锈铝中含有镁、锰或铬的成分，具有较高的耐腐蚀性。经过退火或时效的防锈铝塑性好，焊接性好，并且疲劳强度高。在耐腐蚀性或强度要求不太高的食品机械中可以使用防锈铝，以代替高价的不锈钢。

食品机械中的铝铸件可采用不含铜的硅铝合金，铸造性好，并具有较高的耐蚀性。铝材对食品机械的适应范围主要包括碳水化合物类、脂肪类、乳类制品等。

第四节食品机械设备常用的非金属材料

一、非合成材料

木材曾经是食品机械中广泛使用的材料，它有许多优点，例如耐酸、加工性能好、轻便等，既可以制造容器，也可以作为各种机械的支撑结构。至今在西方酿酒业中仍作

为贮酒容器(橡木桶)

搪瓷和玻璃衬里在不锈钢普及使用前, 曾作为食品容器的主要材料之一, 它们耐腐蚀, 清洁卫生, 但现在在生产中已很少用。

金刚砂是机械行业的磨具、磨料, 在食品工业中也用作磨具。金刚砂磨具的优点是特别耐磨又可以随心所欲地配出所需要的粗糙度, 以满足工艺需要; 具有自锐性, 可以在工作时保持表面特征; 缺点是性脆, 不耐冲击。

橡胶由于它的柔性和弹性以及表面滞涩性, 也常用在食品机械中, 但对于直接接触食品的构件, 要求必须是食品级无毒橡胶。

玻璃钢用于食品机械是因其相对密度小、强度大、耐冲击、耐腐蚀。玻璃钢的结构成分是玻璃纤维和树脂, 用于制造轻型机器的防护罩等结构是十分适宜的。

二、合成材料

合成材料已经大量使用于食品机械和作为食品包装材料。许多种类的合成材料具有高度的化学稳定性, 并对人类无毒, 例如聚乙烯、聚丙烯、聚酯、聚四氟乙烯等等。这些材料有许多优越的性能是不锈钢和其他金属所不具备的。

由于各种合成材料的理化性质不同, 一般分为硬塑料和软塑料, 或根据其温度的反应和成型方法分为热塑性和热固性两类。

许多合成材料能成为食品机械构件材料的原因不外有以下几点: ①良好的化学稳定性(对水、海水、酸、碱、辐射等); ②良好的机械性能; ③相对密度比金属小得很多(如制成泡沫体则更小); ④热熔性好; ⑤电阻极大; ⑥光学特性好, 有些有一定透明度, 表面光泽, 并可加入各种色彩; ⑦吸震消音; ⑧加工性能好(可注塑、压塑、切削、焊接等)。

(一) 尼龙

其学名是聚酰胺, 种类很多, 如尼龙 6、尼龙 66、尼龙 610、尼龙 1010 等等。

这是一种热塑性材料, 与一般合成材料比较, 其制品优点在于: 强韧、耐磨、相对密度小、耐一般化学品、无毒、相对耐热耐湿、有自润滑性能、运转无噪声、易染色。

尼龙本身有相当好的强度, 如加入 30% 玻璃纤维, 则其抗拉强度可以提高 2~3 倍, 抗压强度提高 1.5 倍, 本来较高的抗冲击强度也可以进一步得到提高。

尼龙的缺点是由于热胀性和吸水性会导致其尺寸有变化, 耐酸性较差(特别是氧化剂), 在光照下易老化, 故一般不作耐酸材料使用。

尼龙的韧性随相对分子质量、结晶结构、制品设计和吸湿量而变。尼龙 66 的刚性比尼龙 6 好。在一般机械制造中, 尼龙可以制造的零件极其广泛, 如轴承、齿轮、蜗轴、滑轮、泵叶轮、风机叶片、涡轮、密封件、垫片、传动带、管件、轮、衬套等。

由于尼龙零件有自润滑性能, 所以能在无油润滑条件下工作。无油润滑的摩擦因数通常约为 0.1~0.3, 是酚醛树脂的 1/4, 是巴氏合金的 1/3。油润滑时摩擦因数更小, 但水润滑时摩擦因数反比干燥时更大。尼龙的耐磨特性可因加入二硫化钼或石墨而得到改善。尼龙 1010 的耐磨程度为铜的 8 倍, 但相对密度只有铜的 1/7。

尼龙的加工方法很多, 可以用挤塑、烧结、浇铸等方法成型, 尼龙 1010 还可以用

火焰喷涂法在预先经过去油喷砂并预热到 $250^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的金属工件上形成均匀、耐磨、耐腐蚀的涂层。

(二) 聚烯烃

聚烯烃类中最常见的如聚乙烯 (PE)、聚丙烯 (PP)、聚苯乙烯 (PS) 等。

聚乙烯可耐一般酸碱及有机溶剂，但受强氧化性酸侵蚀。由于适宜制成薄膜，并且价廉，所以广泛用作包装材料。

超高相对分子质量的聚乙烯是塑料中吸收能量最高的一种，具有高抗冲击能力和耐磨性，所以可以代替部分皮革、木材、硬橡胶及金属材料，制造机器上要求耐磨、耐冲击的零件。低聚乙烯还可以用作容器设备的涂层衬里。

聚丙烯比聚乙烯相对密度更小，透明度更高，在价廉的树脂中是耐温最高的，可以在 100 条件下连续使用，断续使用可达 120°C ，无负荷使用可达 150°C 。

聚丙烯的特点是易受光、热和氧化作用而老化，加稳定剂后可以得到改善。大量用作食品包装和作为食品的蒸煮加热容器。聚苯乙烯具有透明、价廉、刚性、绝缘性、印刷性好等优点，可做各种零件。由于它可以加入发泡剂做成泡沫塑料，因此在食品工业中可以用来制造冷冻绝缘层，每 1m^3 仅重 16kg

改性聚苯乙烯，一般称为 ABS 工程塑料，其优点为无毒、无臭、坚韧、质硬、刚性好，在低温条件下抗冲击和机械性能较好，使用温度范围大 ($-40 \sim 100^{\circ}\text{C}$)，因此应用广泛。

(三) 聚碳酸酯 (PC)

这种材料具有优良的工程性能，密度为 $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ ，本色微黄，呈透明或半透明状，着色性好，不易老化。

聚碳酸酯的重要机械特性是刚而韧，无缺口冲击强度在热塑性塑料中名列前茅。聚碳酸酯的成型零件可以达到很精密的公差，并在很宽的温度范围内保持其尺寸稳定性，成型收缩率恒定为 $0.5\% \sim 0.7\%$ ，线膨胀系数低。最高使用温度可达 135°C (干)。热变形温度为 $135 \sim 143^{\circ}\text{C}$ ，当用玻璃纤维增强后，热变形温度可提高到 $150 \sim 160^{\circ}\text{C}$ 。

聚碳酸酯的缺点为有一定吸湿性，正常使用情况下吸湿率为 0.15% ，在室温水中的吸湿率为 0.35% ，在沸水中吸湿率为 0.85% ，在 60°C 以上的水中会导致开裂而失去韧性。在水蒸气中反复蒸煮 100 次后，它的物理机械性能会显著下降。

由于以上特性，聚碳酸酯在食品机械中常用来制造需要承受冲击载荷的食品模具和托盘，具有良好的使用性能。例如，饼干机上的冲压模和辊印模，巧克力浇铸成型托盘等。还可以用来制造各种饮料器具、容器、离心分离管、泵叶轮等。

(四) 氟塑料

氟塑料是各种含氟塑料的总称，其中包括聚四氟乙烯、聚三氟氯乙烯、四氟乙烯-乙烯共聚物以及全氟烃等。

聚四氟乙烯 (PTFE, F_4) 是氟塑料中最重要的一种，它的特征是乳白色蜡状，不亲水，光滑不粘，摩擦特性像冰，外观似聚乙烯但相对密度大 (2.2)，是塑料中相对密度最大者，有良好的耐热性和极好的化学稳定性，能耐王水侵蚀，有“塑料王”之称。

聚四氟乙烯的摩擦因数极低，且不受润滑剂的影响，可以自润滑，其自身静摩擦因

数为 0.1~0.2 载荷越大则静摩擦因数反而越小。

动摩擦因数是随速度而异，当相对速度为 0.01~1.0cm/s 范围内时，为 0.04~0.1 关系式如下

$$f_d = Cv^{0.27}$$

式中系数 C 随滑动速度而异。当滑动速度为 0.001~0.1cm/s 时， $C = 0.034 \sim 0.078$ ；滑动速度为 0.1~100cm/s 时， $C = 0.06 \sim 0.12$ 。以上数据是在一定条件下经实验得出的。

聚四氟乙烯的摩擦因数虽小，但当载荷 p 与滑动速度 v 的乘积超过一定值时，磨损就变得很大。因此聚四氟乙烯作滑动件时，有一个实用的 pv 值上限，一般用作轴承时 pv 值限于 $10\text{kg/cm}\cdot\text{s}$ 。

聚四氟乙烯在长时间的连续载荷下会发生蠕变（冷流动性），蠕变量决定于载荷大小、时间长短和温度高低等因素，所以在选择使用中必须注意防止或利用蠕变的发生。

由于聚四氟乙烯的熔融粘度极高，不能注塑成型，只采取类似粉末冶金的办法来模压成型和烧结。将白色的 F_4 树脂粉末在模具中以 20~35MPa 的压力冷压成型，再在 370~380℃ 温度下烧结，凝成坚实的制品，然后冷却定型，再经切削加工成零件。

含有阴离子或非离子活性剂的聚四氟乙烯水分散液，可以用来浸渍或者喷涂其他材料。水分散液中的固体含量为 60%，粘度为 $25\text{mPa}\cdot\text{s}$ (25℃)，pH 为 10，平均粒径小于 $1\mu\text{m}$ 经过浸渍和喷涂的材料干燥后烧结。每浸渍、干燥和烧结一次，树脂层的厚度增加 $20\mu\text{m}$ 左右，可反复进行，达到要求厚度为止。这样处理得到的复合材料，同样可具有润滑、气密、不粘、电绝缘等性能。

聚四氟乙烯的热膨胀系数比较大，从室温加热到 260 时膨胀 4%。允许的工作温度范围很大，最高连续使用温度可高达 260℃，最低工作温度可低至 -269℃，在液氮中也不发脆。如果加热到 415 以上，则分解出有毒气体。不过在一般工作条件下是绝对无毒的，对食品也是十分安全的。

在许多食品的加工过程中，物料常常容易粘结在机器的工作表面而影响制品的质量和操作过程，如果采用聚四氟乙烯作为与物料接触的工作构件的表面，则可有效地避免粘结。如果将其用作食品成型模具的材料，可以得到较理想的脱模效果。聚四氟乙烯在食品机械中具有广阔的应用前景。

聚三氟氯乙烯 (PCTFE, F_3) 同样具有抗粘结性和化学稳定性能，与聚四氟乙烯相比，相对密度相似，摩擦因数大（对钢材为 0.3~0.4），硬度大，耐热性稍差，长期使用温度为 -200~200℃。

聚三氟氯乙烯比聚四氟乙烯容易成型，可以注塑，但要较高的加工温度和压力。也可以涂覆，将 F_3 树脂加石墨粉（或氧化铬）和无水乙醇，配成粉末浓度为 30%~40% 的悬浮液，然后进行喷涂、浸涂、刷涂，干燥后在 300 下熔融塑化，涂层由白色变成透明浅棕色即告完成，取出进行淬火快冷。

F_3 与 F_4 在食品机械中的用途相似，且可制造比 F_4 形状更复杂的制品。

(五)有机硅

有机硅氧烷，具有很高的耐热性和化学稳定性，无毒。对食品机械来说最重要的是硅油和硅橡胶。

有机硅油有许多种，耐热温度也不一样。硅油不燃，热稳定性高，在 $-40\sim 150^{\circ}\text{C}$ 温度范围内，硅油的粘度与温度的关系曲线呈平缓的倾斜线，粘度随温度的变化很小，因此可以用作 $-60\sim 250^{\circ}\text{C}$ 温度下的润滑剂，这个性能在食品机械中是有用的。

由于硅油的表面张力小，故有良好的疏水性，对其他材料的粘附力小，在食品成型模上可用作脱模涂料，也可以在食品工业中用作消泡剂。

硅橡胶的优点是其具有极高的耐热耐寒性，在 $-65\sim 250$ 的温度范围内，可保持其弹性体的物理特性和优良的介电性能。因此硅橡胶适用于当食品在冷处理条件下，以此来作密封和垫圈等构件。

硅橡胶的抗粘特性使其极有利于作为食品输送带的防粘层，也可以用于其他需要防粘的部件。

第二篇 通用机械与设备

在食品工厂的生产过程中，除了根据所生产的产品配备一些专业的生产设备以外，还有一部分设备是在许多食品生产过程中都需要的、带有共性的生产设备，如输送机、气力输送设备、搅拌设备、粉碎设备、制冷设备等。这些设备我们统称之为通用机械与设备，作为本篇讲述的主要内容。

第一章 输送机械与设备

食品工厂中，存在着大量的物料输送问题，为了提高劳动生产率和减轻劳动强度，需要采用各式各样的机械来完成物料的输送任务。

食品工厂输送机械的作用是：在一台单机或一条生产线中，将物料按生产工艺的要求从一个工作点输送到另一个工作点，有时还在输送中对物料进行某种工艺操作。

输送机械一般根据被输送的物料不同，分为固体物料输送机、酱体物料输送机、液体物料输送设备等。输送固体物料和粉状物料时，采用各种类型的输送机及气力输送设备；输送液体及酱体状物料时，则采用各种形式的泵和液流输送装置。

本章主要讲述输送机与气力输送设备。

第一节 输送机

一、带式输送机

带式输送机是一种应用广泛的连续输送机械。适用于块状、颗粒状物料及整件物品的水平或小角度输送。输送中，可以对物料进行分选、检查、清洗、包装等操作。

(一) 带式输送机的组成及工作原理

带式输送机是一种具有挠性牵引构件的运输机，以输送带为传动和承载构件，其主要组成部件有输送带、驱动滚筒、张紧滚筒、托辊、机身、装料和卸料装置、辅助装置等，见图 2-1-1。

带式输送机简单可靠，速度范围广，输送能力大，

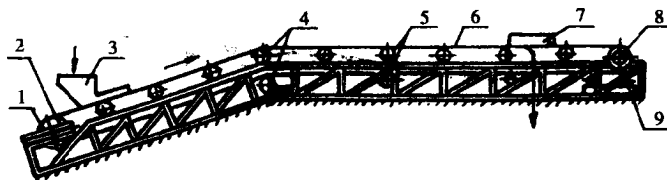


图 2-1-1 带式输送机

1—改向滚筒 2—张紧装置 3—加味装置 4—改向托辊 5—托辊
6—输送带 7—卸料装置 8—驱动滚筒 9—驱动装置

动力消耗低，噪音低，可适应长短距离输送，能够在全机输送范围内的任何地方进行装料和卸料，适应性广，安装维修方便。但输送轻质粉状物料时易飞扬，做倾斜输送时倾斜角度不能太大，若在输送过程中需要换向或转弯，则必须多台机联合使用，其输送线复杂，成本较高。

(二) 带式输送机的主要构件

1. 输送带

在带式输送机中，输送带起着牵引和承载物料的作用。输送带一般有几类：橡胶带、纤维编织带、塑料带、钢带和钢丝网带等，其中最常用的是橡胶带。

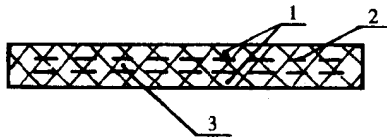


图 2-1-2 橡胶带结构

1—覆盖层 2—强力层 3—胶合层

），使输送带有一定的机械强度，在层与层之间起粘合作用。

(1) 橡胶带。橡胶带是由若干层棉织品、麻织品或人造纤维衬布等材料制成的强力层，用橡胶加以胶合而成的，见图 2-1-2。最外层的内、外表面覆有橡胶保护层，保护衬布及其胶接处的橡胶层不受损伤，并防止潮湿及外部介质的侵蚀，工作面覆盖层厚为 3~6mm，而非工作面的为 1.5~3mm 橡胶带中的各类衬布为受力层（强力层），可以用于传递动力；衬布之间的橡胶层为胶合层，

国产橡胶带的品种类型及规格尺寸可查阅机械设计手册（GB523-74）。主要带宽规格有：200mm、250mm、300mm、350mm、400mm、450mm、500mm、650mm、800mm、1000mm、1200mm、1600mm，其厚度范围为 6~25mm。

选择橡胶带时，主要应确定下列规格尺寸：带宽 B 、强力层层数 i 和带长 L_d 。带宽 B 可参考同类型输送机或根据生产能力计算，并按标准规格选用；带长则应根据输送机长度进行计算后确定；而强力层层数则根据工作拉力和胶带的种类、带宽等因素决定。

橡胶输送带购回后需自行连接。胶带连接的方法主要有皮线缝纽法、带扣搭接法、胶粘剂冷粘法和加热硫化法等几种形式。其中以硫化接头最为理想，其接缝强度可达基体原有强度的 90%，同时接口无缝，表面平整；缝纽法和带扣法接头简单，但对于带子的损伤很大，使接头强度降低很多，只有原来的 35%~40%；胶粘剂冷粘法是一种新式连接方法，操作简便易行，如粘接剂配方合理，粘接时操作得当，其接头强度亦可接近带子的自身强度。在采用硫化接头或冷粘时，一般应将带子按层数剖成阶梯形，然后进行接头操作，以保证接头处的强力层能够较好地连接，确保接缝处的强度。

(2) 纤维编织带。常用的是帆布带。帆布带在焙烤食品生产中，主要用于成型前的面片和坯料的输送。帆布带除抗拉强度大之外，主要特点是柔性好，能经受多次反复折叠而不疲劳。目前配套国产饼干设备的帆布带宽度有 500mm、600mm、800mm、1000mm、1200mm 等几种。帆布的接缝通常采用棉线和人造纤维线缝合。

(3) 塑料带。塑料带具有减摩、耐磨、耐油、耐腐蚀和适应温度范围大等优点，已被逐渐推广使用。塑料带分多层式和整芯式两种。多层芯塑料带和普通橡胶带相似；整芯式塑料带制造工艺简单，生产率高，成本低，强度高，但挠性较差。目前生产中使

的塑料带品种还不多，整芯式塑料带的常用厚度只有 3mm 和 4mm 两种。塑料带一般采用塑化接头。

(4) 钢带和钢丝网带。钢带和钢丝网带的共同特点是强度高、耐高温，通常在产品需经油炸或高温烘烤时使用。特别是钢丝网带，因有网孔，有利于保证产品底部的加工质量。

2. 机架和托辊

食品工业中使用的带式输送机多为轻型输送机，其机架一般用型钢（槽钢、角钢、圆钢等）与钢板焊接而成。可移式输送机在机架底部安装滚轮，便于移动。

托辊在输送机中对输送带及其被输送的物料起承托的作用，使输送带及带上物料平稳运行。

托辊分上托辊（承载段托辊）和下托辊（空载段托辊）两类。上托辊有图 2-1-3 所示的几种形式，图中（a）~（f）是几种典型的槽型托辊。通常平型托辊用于输送成件物品，槽型托辊用于输送散状物料。下托辊一般采用均采用平型托辊。对于较长的胶带输送机，为了限制胶带跑偏，其上托辊应每隔若干组，设置一个调整托辊，这种托辊两端有挡板，能做少量的横向摆动，可以防止胶带因跑偏而脱出。

定型托辊总长应比带宽大 100~200mm，直径采用 $\phi 89\text{mm}$ 、 $\phi 108\text{mm}$ 、 $\phi 159\text{mm}$ 等几种。托辊间距和直径根据托辊在输送机中的作用不同而不同。上托辊的间距与输送带种类、带宽和输送量有关。输送散状物料时，槽型（浅型）若输送量大，线载荷重，则间距应小；反之，间距大些，可取 1~2m 或更大。此外，为了保证加料段运行平稳，应使加料段的托辊排布紧密些，间距一般不大于 250~500mm。当运送的物料为成件物品，特别是较重时（大于 20kg），间距应小于物品在运输方向上长度的一半，以保证物品同时有两个或两个以上的托辊支撑。下托辊的间距一般较大，约为 2.5~3m，也可以取上托辊间距的 2 倍。

托辊可用铸铁制造，但较常见的是用两端加上凸缘的无缝钢管制造。托辊轴承有滚珠轴承和含油轴承两种。端部设有密封装置及添加润滑剂的沟槽等结构。

3. 驱动装置

驱动装置主要由电机、传动装置和驱动滚筒等组成。倾斜输送时，还应设有制动装置。驱动滚筒通常用钢板卷制后焊接制成，为了增加滚筒和输送带之间的摩擦力，可在滚筒表面包上木材、皮革或橡胶等材料。滚筒的宽度比带宽大 100~200mm。驱动滚筒一般做成鼓形，即中间部分直径比两侧直径稍大，使之能自动纠正胶带的跑偏。

目前，为了简化传动系统的总体结构，使整机更加简单、紧凑，越来越多地使用电

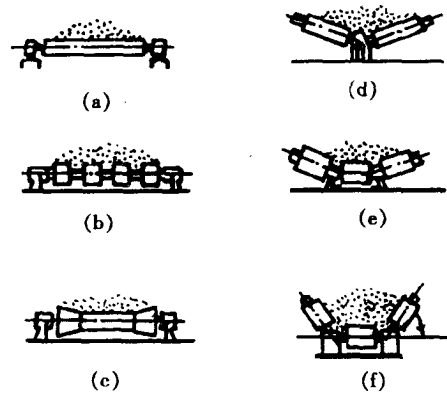


图 2-1-3 托辊的形式

- (a)一平直单辊式 (b)一平直多节单辊式
(c)一单辊槽型 (d)一双辊槽型 (e)一三辊
(f)一三辊槽型(深型)