

固体食品充填技术及装备研究现状与发展趋势

李振龙^{1,2} 张 克³ 杜志龙³ 张丽娜¹ 简华斌¹

(1. 中国农业机械化科学研究院集团有限公司, 北京 100083; 2. 农业农村部农产品加工装备重点实验室, 北京 100083; 3. 中国包装和食品机械有限公司, 北京 100083)

摘要: 固体食品的充填是固体食品包装过程中亟待解决的关键技术问题, 在保障固体食品产品均一性、提升食品品质等方面具有显著优势。文章综述了固体食品充填技术及装备的研究现状, 包括固体食品的物料特性以及充填要求、充填技术分类、充填装备的主要原理与结构等方面, 并对固体食品充填技术及装备的发展趋势进行了分析, 提出了研究方向。

关键词: 固体食品; 充填性质; 充填技术; 充填装备

Research status and development trend of solid food filling technology and equipment

LI Zhenlong^{1,2} ZHANG Ke³ DU Zhilong³ ZHANG Lina¹ JIAN Huabin¹

(1. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences Group Co., Ltd., Beijing 100083, China; 2. Key Laboratory of Agricultural Products Processing Equipment in the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100083, China; 3. China National Packaging and Food Machinery Co., Ltd., Beijing 100083, China)

Abstract: The filling of solid food is a key technical problem to be solved in the process of solid food packaging. It has significant advantages in ensuring the uniformity of solid food products and improving food quality. This paper reviews the research status of solid food filling technology and equipment, including the material characteristics and filling requirements of solid food, the classification of filling technology, the main principle and structure of filling equipment, etc., and analyzes the development trend of solid food filling technology and equipment. The research direction is proposed to provide theoretical basis and technical support for the development of solid food filling technology and the popularization and application of equipment.

Keywords: solid food; filling properties; filling technology; filling equipment

在食品加工工业中,按食品形态可分为固体、液体、膏状 3 种形态。包装食品市场预计将从 2023 年的 3.1 万亿美元增长到 2032 年的 5.32 万亿美元,年复合增长率达到 6.2%,其中固体食品和膏状食品占到了包装食品的 70% 以上^[1]。固体食品存在流动性差、易破损等^[2-3]缺点,其充填包装技术及装备的创新研究在食品加工行业受到广泛关注。工业和信息化部、商务部于 2016 年发布了《关于加快我国包装产业转型发展的指导意见》,指出推动两化融合,构建智能包装生态链。工业和信息化部等 11 部门于 2023 年联合发布了《关于培育传统优势食品产区和地方特色食品产业的指导意见》,指出了建设食品产业过

程中技术装备提升的重要性。同时,中央厨房、团餐等新的食品加工趋势也对食品充填技术及装备催生了更精细的需求。

食品的充填技术是将预设质量的食物装入包装容器中,其步骤包括食物的计量和充入,其中,液体食物物料的充填一般被称为灌装。目前,食品加工企业不断壮大,固体食品充填装备不断迭代升级,称重式、容积式以及计数式充填装备构建了中国固体食品充填的生产体系,但现有充填装备在自动化程度、生产率、可靠性以及适应性等方面难以满足市场发展需求,除规则均一物料充填的机械化装备较为普遍外,其余物料的充填多以人工为主,

基金项目: 国家重点研发计划项目(编号:2022YFD2100305)

通信作者: 杜志龙(1979—),男,中国包装和食品机械有限公司研究员,博士生导师,博士。E-mail:13810043018@163.com

收稿日期: 2024-05-15 **改回日期:** 2024-08-14

机械为辅^[4-6]。固体食品充填技术及装备在现代食品行业中扮演着重要的角色,其研究和应用对于提高食品加工效率、保障食品质量具有重要意义。

1 固体食品特性及充填要求

食品工业中待充填的固体物料根据物理性状的不同可分为颗粒状、粉状、条状、块状、片状等类型;同时食品充填过程中物料黏性也是要考虑的关键因素之一,根据黏度大小可将固体物料分为黏性物料、半黏性物料和非黏性物料^[7]。不同类型的物料因为物理特性的差异所采用的填充方法亦呈现出多样性^[8]。

固体类物料充填时,物料的流动性能、堆积密度及形状对填充效果有着显著影响。对于流动性能相对较好的谷物、砂糖、茶叶、糖果以及一些颗粒状物料来说,它们倾倒在水平面上能够形成自然的圆锥形状,适合多种填充方式^[9]。对于流动性较差的粉状物料以及条、片状或不规则固体食品物料来说,容易堆叠形成桥接堵塞,对这些物料的充填必须采取相应的辅助充填措施^[10-12]。此外,对于自身存在黏性的物料易导致相互间粘连成块,黏附在充填设备上会造成充填困难、计量不准等问题,对这类物料的充填需采取特殊措施进行处理^[13]。

固体食品的充填需遵循一系列标准与要求。首先,固体食品按定量要求装入包装容器,需要满足充填精度的要求,充填精度通常与计量精确度及填充方法密切相关^[14]。其次,容器内部需预留适当的空间用来保护食品,即商品必要空间,其具体预留量需依据具体情况及包装需求调整,根据GB 23350—2021中的规定,食品的商品必要空间系数根据不同物料的特性其范围为3.0~20.0,可以根据必要空间系数计算包装空隙率,包装空隙率不能超过必要限度。最后,要求快速封装以减少食品污染风险,同时确保容器开口及内壁的清洁,防止包装污染,这是对食品安全的普遍要求,确保货架期内食品的稳定性 and 安全性,以防止食品变质。

2 固体食品充填技术

实际加工环节中,鉴于物料的性质、状态以及计量精度各异,对不同的物料会采用不同的充填方式^[15-16]。根据固体食品物料计量方式的不同,固体食品充填技术一般分为称重式、容积式以及计数式等^[17-18]。

2.1 称重式充填技术

称重式充填技术是以质量为预设指标将物料充填到包装容器内的充填技术。称重充填技术具有计量精度高、工作速度低以及装置复杂的特点。称重充填技术适用范围较为广泛,尤其适合易吸湿、易板结、粒度不均、流动性差等特点的物料的充填。称重充填技术按照称重方

法的精确度大小可以分为毛重充填和净重充填两种,其中净重充填适合计量精度要求相对较高流动性能好的固体物料的充填^[19]。

孙春虎等^[20]通过改进定量称重系统控制策略,并搭建PLC试验平台,称重试验结果表明,改进型系统测试误差 $<2.5\%$,相对传统型改进效果明显,但其细进料部分控制策略采取定时进料,系统迟滞性强且不适合精密进料。李磊等^[21]设计了一种基于PLC的自动称重配料设备,其在传统的粗、细两级进料的基础上引入物料补偿系数,提升了称重的精确度,但是闭环PID控制存在参数调整复杂、对初始条件敏感以及响应速度和稳定性的平衡不足等问题,可能影响到系统的适应性以及稳定性。Schomberg等^[22]通过建立工艺与物料特性的模型,从而描述进入容器的物料的质量,实现对填充过程的预测。称重式充填技术的核心在于充填精度的控制,目前对于精度的控制主要采取的方法有两级进料、改进控制策略、引入补偿系数以及构建充填模型等方式^[23],这些改进方式都为提升充填精度和效率提供了参考,但充填系统稳定性、适应性以及控制策略灵活性仍然有待加强。

2.2 容积式充填技术

容积式充填技术是以容积为计量指标将物料充填至包装容器的充填技术,容积式充填技术一般会预设待充填物料的堆积密度均一,即等体积的物料质量相等,在进行充填时会借助震动、搅拌等辅助手段将充填物料压实确保充填物料的状态稳定,此法广泛应用于流体、半流体、粉末状及颗粒食品的计量,具有结构简单、充填速度快及成本效益高等优势,尤其适合干料或半流体食品物料的充填^[24]。由于容积的确定方法的多样性,容积充填技术可以有多种方式实现,但从实现计量的原理上可分为调节物料流速和充填时间、采用容积已知的计量筒进行计量充填两类。

张友贵^[25]对磨盘式量杯充填装置的量杯、转动料盘、固定盘以及料盘刮板进行了设计,解决了开闭器式量杯充填装置结构复杂以及成品合格率偏低的问题,但该装置仅针对茉莉花茶这一单一物料设计,结构适应性不强。李国华^[26]设计了一种颗粒物料的容积式充填包装机,通过设置的液压推杆,并在液压推杆运行时调控可调暂存箱与调节套筒的夹缝距离从而实现定量充填。吴正哲^[27]简化了定容积式充填机构来进行大体积基质袋的定量填充,采用V形小隔仓进行计量,并对搅拌定料过程进行仿真分析,优化了落料部件的结构,但该设备在高速搅拌定料时会出现物料未完全下落或者抛出机外的现象,影响充填精度与效率。容积式充填机的关键问题在于定量部件的结构的设计及实现,目前针对单一物料或特定类型

物料的定量部件设计较为普遍,计量过程的实现也以依靠物料自身重力辅以分隔机构为主,设备结构简单但充填精度有待提高。

2.3 计数式充填技术

计数充填技术是以物料的数量为计量指标将物料装入包装容器的充填技术。适用于物料规格一致的块状、片状、颗粒状、条状、棒状、针状等食品物料的充填,同时计数式充填也可以用于包装食品的二次包装^[28]。计数充填技术根据计数方式划分,分为多件计数充填技术和单件计数充填技术。多件计数技术是以预设数量的物料为计数单元,通常采用模孔计数、容腔计数、推板式计数等计数方式。单件计数充填技术要对物料逐件计数充填,通常采用机械计数、扫描计数等方法。

裴姗姗等^[29]通过对单粒丸类食品质量分布建立配重模型,设计了一种多通道分流配重的充填机构,可以实现丸类物料相同数量分装,但针对单粒丸子计量的方式使得计量精度难以得到保障。张美峰等^[30]通过对中药胶囊定量充填机构进行结构设计,通过在计数定量盘上设置装有定量组件的定量区域,并在计数定量盘旋转时,对一定量的胶囊进行选择,实现定量充填。Izumi等^[31]通过设计高度传感器,将固体食品高度的位移以模拟值输出,实现对物料的计数充填。齐可心^[32]改进了数粒自动化装置的下料系统,设计了视觉下料系统对工件进行精确计数,并提出停料位置修正与误差修正机制从而实现自动下料。计数式充填技术的应用领域广泛,现有计数充填技术的问题主要表现在计数原理上,即先得到计数结果再进行充填,这将导致延时误差的产生。机器视觉技术与深度学习理论的广泛应用对于提升计数充填精准度与效率起到了促进作用,其不依赖复杂的机械结构、处理效率高以及可以进行全局性实时检测等优势使其获得越来越广泛的应用。

3 固体食品充填装备

3.1 称重式充填机

称重式充填机主要由供料系统、称重系统、充填系统以及控制系统四部分组成,按照称重方式分为净重式充填机和毛重式充填机^[33-36]。称重式充填机常用的称重装置包括杠杆秤、液压秤、弹簧秤、电子秤等,需要根据不同物料特性及实际生产情况确定。

3.1.1 净重充填机 净重充填机是先将物料称量后再充填至包装容器中的设备,其原理如图1所示,物料通过进料器从贮料斗进入计量斗中,当物料达到预设质量时即由落料斗排出,进入包装容器。在关键部件设计方面,物料输入可通过传送带、螺旋送料机或其他手段实现,并借助机械秤等方式实现计量,直至达到预定质量。同时,采用分级进料的方式实现粗进料与精进料协同配合,可以

提升充填精度并缩短充填时间。净重称量机计量精度较高,适用于能够自由流动的物料,还用于充填膨化及油炸食品等易碎的物料,对不同的包装容器也具有广泛的适应性。

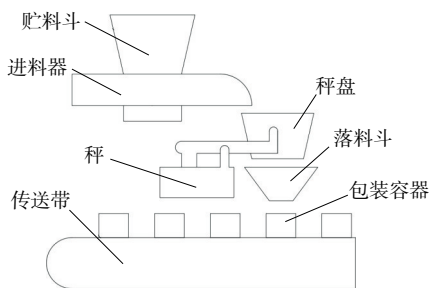


图1 净重充填机示意图

Figure 1 Chart of net weight filling machine

3.1.2 毛重充填机 毛重充填机需要将物料连同包装容器一同进行称量,其原理图如图2所示,采用计量物料落入位于计量秤上的包装容器后的总质量或质量差的形式实现计量。毛重式充填机与净重充填机不同点在于是否直接计量物料的质量,其计量精度受容器质量变化的影响较大,计量精度相对较低。

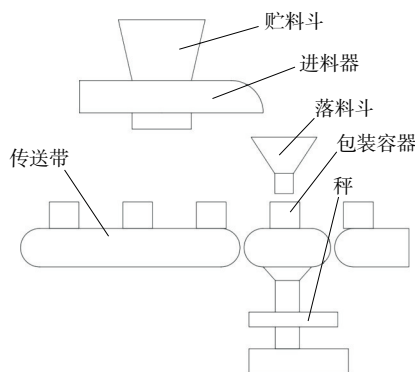


图2 毛重充填机示意图

Figure 2 Schematic diagram of gross weight filling machine

毛重充填机常用于流动性能较好的固体物料以及流动性能较差的黏性物料的充填,特别是易碎物料的充填。同时,由于食品物料的黏附现象不会对计量的准确性产生影响,因此,毛重充填机还适用于黏性物料的计量充填。但是,毛重充填机不适合包装容器质量变化较大或物料质量占包装容器质量比例很小的物料的充填。

3.2 容积式充填机

容积式充填机是将一定容积的物料装填到包装容器的设备。为了保持待充填物料密度稳定,在进行充填时常使用振动、搅拌等辅助方法^[37-40]。容积式充填机的结

构简单、体积小、计量效率高,但计量精度存在一定不足。容积式充填机适用于体积相对质量要求更高或物理性状稳定的粉状、颗粒状、膏状物料的充填。

3.2.1 螺杆式充填机 螺杆式充填机的原理图如图3所示,其主要由计量、物料供给、传动等部分组成。螺杆每圈螺旋槽都有一定的理论容积,通过控制螺杆旋转的转数或充填时间即可实现对于堆积密度均匀稳定的物料的量取。螺杆充填机的计量精度不高,适合颗粒状、粉状和稠状物料等流动性良好的物料的充填,但对于易碎物料或密度大的物料不适用。

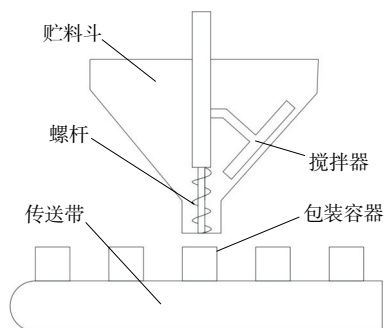


图3 螺杆充填机示意图

Figure 3 Screw filling machine schematic diagram

3.2.2 量杯式充填机 量杯式充填机是以量杯的容积为标准量取物料并充填到包装容器内的设备。其原理图如图4所示,量杯的尺寸参数应有利于物料的充入和排出。量杯根据实际生产情况可采取转盘式布置或转鼓式布置,其中转盘式布置的可靠性较高,但结构较复杂。同时,量杯计量装置的容积还可根据需求设置为固定式或可调式。

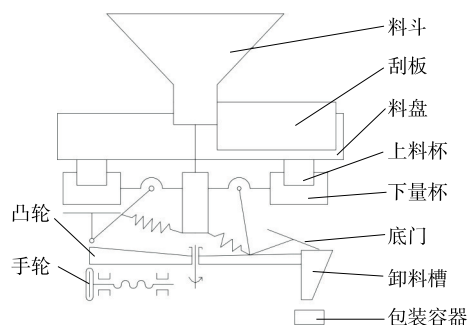


图4 量杯充填机示意图

Figure 4 Chart of measuring cup filling machine

3.2.3 柱塞式充填机 柱塞式充填机是通过调节柱塞行程而改变柱塞筒的容量实现物料量取的设备。柱塞式充填机的原理如图5所示,柱塞在柱塞筒中的两极限位置间会形成一定容积的容腔,容腔内充满物料则可实

现计量,其充填能力受柱塞行程以及柱塞容腔的横截面积的影响^[13]。柱塞可以依靠连杆机构、凸轮机构或气缸实现往复运动。柱塞式充填普遍适用于粉、粒类及黏稠类物料的充填。

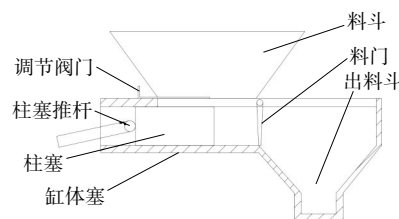


图5 柱塞式充填机示意图

Figure 5 The schematic diagram of plunger filling machine

3.3 计数式充填机

计数充填机是将预定数目的物料装入包装容器的设备。计数充填机对于条状、块状、片状、棒状等形状规则的物料的充填具有较好的适应性,同时也常用于小包装的二次包装。按照计数的方式不同,计数充填机分为单件计数充填机与多件计数充填机。

3.3.1 单件计数充填机 单件计数充填机是借助机械、电子扫描、光学等辅助手段对物料逐件计数并实现充填的设备。单件计数充填机以单件物料为计数单位,计算待充填的物料数量,其常配备光学检测系统来实现计数功能。从计量的便捷性角度考虑,单件计数装置一般采用光学检测系统计数,光敏元件检测到光电信号的变化即为有物料经过,通过记录光电信号变化的次数,即可完成物料的计数^[41]。单件计数充填机因检测原理限制,只适用于能有效遮断光线的物料的计数,对于透明、折叠形等形状的物料的计数较为困难。

3.3.2 多件计数充填机 多件计数充填机是利用辅助量或计数板等方式将物料充填到包装容器内的设备。规则排列的特定规格的固体食品一般通过长度、面积等辅助量进行比较,以便将其充填到包装容器内,主要分为长度计数充填机、容积计数充填机以及堆积计数充填机3种^[42-46]。对于无规则排列的固体食品一般采用计数板将预设数量的物料从散乱的物料中取出,并将其充填到包装容器中,主要分为转盘式计数充填机、转鼓式计数充填机以及履带式计数充填机3种。

(1) 长度计数充填机:规则外形的物料通常具有相似的尺寸参数,因此一旦获得了单个物料的长度参数,便可以通过对待充填物料进行规则排序来实现计数充填。长度计数充填机的工作原理如图6所示,规则排列的待包装块状物料被送到两个挡板位置,然后由推板推送至包装环节。推板计量的物料总宽度即为两个挡板之间的间隔

尺寸。

(2) 容积计数充填机:容积计数充填机是利用一定容积内所能容纳的规则物料的数目一定的原理,通过规定计量箱容积大小来实现计数的。容积计数充填机的原理如图 7 所示,通过振动器促使整齐摆放于料斗的物料落入并充满计量箱,物料充满计量箱阀门关闭,从而将待充填物料推送到计量箱内。容积计数充填机计量效率高、结构简单,但充填精度低,一般用于具有规则形状的棒状物料的计数充填。

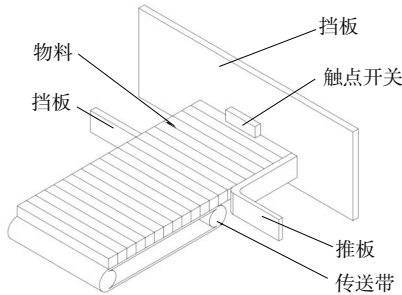


图 6 长度计数充填机示意图

Figure 6 Schematic diagram of length counting filling machine

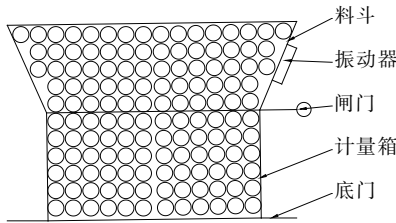


图 7 容积计数充填机示意图

Figure 7 Chart of volume counting filling machine

(3) 堆积计数充填机:堆积计数充填机是利用物料自料斗下落到定容箱内,形成的规则排列从而完成充填工作的。堆积计数充填机的原理如图 8 所示,料仓以一格为移动单位作间歇运动,料仓随料斗的启闭逐件充填。堆积计数充填机常用于具有一定等径、等长物料的包装上。

(4) 转盘计数充填机:转盘计数充填机主要由计数机构以及振荡机构组成,通过将物料充填至定量盘的定数区域,通过卸料槽分装到包装容器中。转盘式计数充填机的原理如图 9 所示,定量盘包含 3 组计数空穴,其中一组处于卸料位置,另外两组进行装料,计数后的物料经由卸料槽口装入包装容器。为确保物料顺利进入定量盘的小孔,需要调整定量盘的尺寸参数。通常,定量盘上的小孔直径略大于物料直径,并且定量盘的厚度也会比物料直径稍厚。转盘计数机具有计数准确、高效、结构简单等

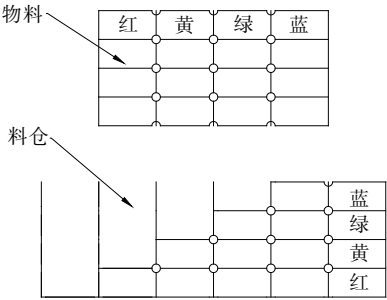


图 8 堆积计数充填机示意图

Figure 8 Chart of stacking counting filling machine

优点,特别适用于长径比小的颗粒物料的计数充填。

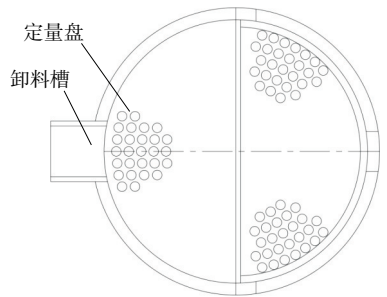


图 9 转盘计数充填机示意图

Figure 9 Tray counting filling machine schematic diagram

(5) 转鼓式计数充填机:转鼓式计数充填机原理如图 10 所示,通过转鼓转动将物料充入孔眼实现计数,同时依靠物料自身重力落入包装容器。转鼓式充填机的设计必须确保物料不受损,因此需要考虑各组计量孔的间距与出料口所占的弧角关系,同时要防止物料与转鼓壳体之间的摩擦以及颗粒之间的黏附现象。转鼓式充填机主要适用于长径比较小的颗粒物料的计数充填工作。

(6) 履带式计数充填机:履带式计数充填机通过链条带动设有计数模孔的计数板作直线运动,物料在加料区

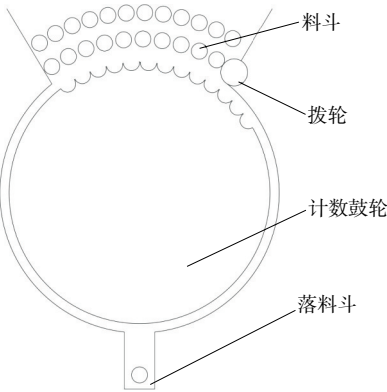


图 10 转鼓式计数充填示意图

Figure 10 Rotary drum counting filling diagram

被引入计数模孔,并通过输送装置转移到卸料区,然后排出并装入包装容器。其具有高计量精度、高生产效率和模块化设计等优点,适用于糖果、坚果等食品以及片剂、胶囊等医药产品的计量充填工作。

4 发展趋势

随着固体食品消费的转型升级,中央厨房等新的消费理念正推动和引领固体食品充填技术与装备向高效、精准、智能和可持续方向发展。专用设备创新化与智能化、充填装备性能优化与标准化、工艺标准的建立与完善是固体食品充填技术及装备高质量发展的关键驱动力,也是固体食品充填技术及装备研发和实际应用中需要解决的关键问题。

(1) 专用设备创新化与智能化。受食品物料柔软易碎,有一定黏性等物理特性的影响,固体食品自动化、智能化充填技术的研究进展比较缓慢,尤其对于精准定量充填技术研究甚少;中央厨房等新式餐饮生产线搭建过程中,由于缺少智能技术的支持,多数情况下充填过程只能依赖人工完成分拣,高端化发展步伐缓慢,协同发展、资源整合优势还未良好呈现。因此,针对固体食品特性的专用充填设备的研发将成为研究重点,精准定量充填技术将得到更多关注。

(2) 充填装备性能优化与标准化。目前现有充填装备大多无法兼顾充填精度与充填效率,生产产品的稳定性、生产规模化与集约化程度相对有限。同时,现有充填装备存在一定可靠性问题,生产过程中的维护保养会对生产效率和生产质量产生一定影响。因此,固体食品充填装备将更加注重平衡精度与效率,不断提升装备的稳定性和可靠性。

(3) 工艺标准建立与完善。固体食品在人们日常饮食消费中占着重要地位,但固体食品充填机械以及充填要求没有完善的标准,导致市面产品质量参差不齐。同时,相关法律法规和政策在固体食品充填技术及装备领域还不完善,不利于行业的健康发展。因此,建立健全的充填工艺标准体系、促进生产规模化与集约化、提高整体生产效率和质量也是发展的重点方向。

综上所述,对于固体食品充填装备的开发过程中要以安全性为前提条件,以不同物料的物理特性为理论依据,在保证充填精度、充填系统可靠性以及安全性的同时,通过设计专用充填装备、优化充填设备结构、提升充填装备性能、建立与完善工艺标准等方式,实现固体食品充填装备的发展进步。

参考文献

[1] PULIDINDI K, AHUJA K. Packaged food market report[R].

Selbyville: Global Market Insights Inc, 2023.

- [2] FORDE G C, BOLHUIS D. Interrelations between food form, texture, and matrix influence energy intake and metabolic responses[J]. *Current Nutrition Reports*, 2022, 11(2): 124-132.
- [3] PURLIS E, CEVOLI C, FABBRI A. Modelling volume change and deformation in food products/processes: an overview[J]. *Foods*, 2021, 10(4): 778.
- [4] 李三江, 李亚娜. 国外包装机械的现状和发展趋势及国内包装机械的发展策略之我见[J]. *科技资讯*, 2015, 13(35): 154-156.
- LI S J, LI Y N. The present situation and development trend of foreign packaging machinery and the development strategy of domestic packaging machinery[J]. *Science & Technology Information*, 2015, 13(35): 154-156.
- [5] 梁韵. 物联网技术背景下的智能包装设计趋势[J]. *食品与机械*, 2019, 35(7): 143-146.
- LIANG Y. Intelligent packaging design trend under the background of IOT technology[J]. *Food & Machinery*, 2019, 35(7): 143-146.
- [6] ILONA J, JÜRGEN H, ALOIS S, et al. Beschichtungsvorrichtung, Abfüllanlage für flüssige, pastöse oder feste Produkte, mit zumindest einer derartigen Beschichtungsvorrichtung sowie Verfahren zu einem Abfüllen von flüssigen, pastösen oder festen Produkten: DE202210118579[P]. 2023-10-26.
- [7] 黎光辉. 粘稠物料的灌装流动分析及柱塞式灌装机构设计[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2022: 2-14.
- LI G H. Filling flow analysis of viscous material and design of plunger filling mechanism[D]. Harbin: Harbin University of Commerce, 2022: 2-14.
- [8] 梁滨. 流散调味品制袋充填包装机的选择[J]. *中国调味品*, 2006(8): 45-47.
- LIANG B. The selection of the packaging and filling machinery in the flowing flavouring[J]. *China Condiment*, 2006(8): 45-47.
- [9] BAI F Q, CHEN G J, HU Y N, et al. Understanding the effect of plastic food packaging materials on food flavor: a critical review[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2024, 148: 104502.
- [10] 郝友莉. 粉体包装螺旋式密实输送研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017: 7-14.
- HAO Y L. Research on densifying transportation of spiral powder packaging machine[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017: 7-14.
- [11] 王依. 食品粉体包装过程静电特性及消除研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2022: 29-44.
- WANG Y. Study on electrostatic characteristics and elimination of food powder packaging process[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2022: 29-44.
- [12] 徐林, 李磊, 张晓春, 等. 短小丝条状物料包装关键技术原理[J]. *包装工程*, 2017, 38(11): 138-142.

- XU L, LI L, ZHANG X C. The key technical principle for packing the filamentous materials[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(11): 138-142.
- [13] 李晶. 一种固体食品破碎与压实一体化加工系统: CN202020373844.1[P]. 2020-11-17.
- LI J. Solid food crushing and compacting integrated processing system: CN202020373844.1[P]. 2020-11-17.
- [14] 刘安静, 周文玲. 影响液态食品灌装设备充填精度的因素[J]. 机电技术, 2022(2): 52-54, 85.
- LIU A J, ZHOU W L. Factors affecting the filling accuracy of liquid food filling equipment[J]. Mechanical & Electrical Technology, 2022(2): 52-54, 85.
- [15] 张国全, 方忠华, 董结. 固状食品物料特性对包装机充填方式的影响[J]. 中国包装, 2007(1): 64-65.
- ZHANG G Q, FANG Z H, DONG J. The influence of the characteristics of solid food materials on the filling method of packaging machine[J]. China Packaging, 2007(1): 64-65.
- [16] 李晓刚. 包装机械自动化技术研究进展[J]. 包装与食品机械, 2021, 39(3): 52-57.
- LI X G. Research progress of automation technology in packaging machinery[J]. Packaging and Food Machinery, 2021, 39(3): 52-57.
- [17] 王萌. 食品定量称重包装控制系统设计[J]. 食品工业, 2020, 41(5): 226-228.
- WANG M. Design of food quantitative weighing and packaging control system[J]. The Food Industry, 2020, 41(5): 226-228.
- [18] 周丹, 王利强, 卢立新, 等. 超细粉的充填计量技术综述[J]. 包装工程, 2019, 40(17): 159-167.
- ZHOU D, WANG L Q, LU L X, et al. Review of filling and metering technology of superfine powder[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(17): 159-167.
- [19] 陈锐鸿. 在线动态称重系统开发及质量采集算法研究[J]. 食品与机械, 2019, 35(3): 94-98.
- CHEN R H. Development of online dynamic weighing system and research on weight acquisition algorithm[J]. Food & Machinery, 2019, 35(3): 94-98.
- [20] 孙春虎, 方愿捷. 一种改进型高精度定量称重系统的设计[J]. 包装与食品机械, 2023, 41(1): 86-90, 96.
- SUN C H, FANG Y J. Design of an improved high-precision quantitative weighing system[J]. Packaging and Food Machinery, 2023, 41(1): 86-90, 96.
- [21] 李磊, 汪磊, 周婧. 基于 PLC 控制的自动称重配料设备设计与试验[J]. 食品与机械, 2020, 36(7): 109-113.
- LI L, WANG L, ZHOU J. Design and test of automatic batch weighing equipment based on PLC control[J]. Food & Machinery, 2020, 36(7): 109-113.
- [22] SCHOMBERG A K, KWADE A, FINKE J H. Modeling gravity filling of dies on a rotary tablet press[J]. Powder Technology, 2023, 413: 117998.
- [23] 陈静. 可食性粉体包装计量精度关键技术研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2020: 12-16.
- CHEN J. Research on key technology of measurement accuracy of edible powder packaging[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2020: 12-16.
- [24] 侯志红, 张丽. 容积式计量物料包装机校准方法探讨[J]. 计量技术, 2020(7): 45-47, 38.
- HOU Z H, ZHANG L. Discussion on calibration method of volumetric metering material packaging machine[J]. Metrology Science and Technology, 2020(7): 45-47, 38.
- [25] 张友贵. 磨盘式量杯充填装置的设计与研究[J]. 包装与食品机械, 2017, 35(3): 25-29.
- ZHANG Y G. The design and research of burrstone measuring cup filling machine[J]. Packaging and Food Machinery, 2017, 35(3): 25-29.
- [26] 李国华. 一种颗粒物料容积式自动包装机械装置: CN202111214186.7[P]. 2021-12-31.
- LI G H. A particulate material volumetric automatic packaging mechanical device: CN202111214186.7[P]. 2021-12-31.
- [27] 吴正哲. 基质四面封自动包装机的设计与试验[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2022: 11-25.
- WU Z Z. Design and test of substrate four-sided sealing automatic packaging machine[D]. Xianyang: Northwest A & F University, 2022: 11-25.
- [28] 王层, 温贻芳, 高新浩. 高速变规格自动分拣计数器设计[J]. 机械制造与自动化, 2016, 45(5): 220-224.
- WANG C, WEN Y F, GAO X H. Design of variable specific automatic counting and sorting device[J]. Machine Building & Automation, 2016, 45(5): 220-224.
- [29] 裴姗姗, 王永强. 丸类预包装食品定量计数配重的新方法[J]. 食品工业, 2019, 40(1): 215-218.
- YUAN S S, WANG Y Q. A new method for quantitative and countable counterweight of prepackaged mixed-meat ball[J]. The Food Industry, 2019, 40(1): 215-218.
- [30] 张美峰, 孙勇, 仲勇. 一种中药胶囊定量包装设备: CN202311763880.3[P]. 2024-03-01.
- ZHANG M F, SUN Y, ZHONG Y. A Chinese medicine capsule quantitative packaging equipment: CN202311763880.3[P]. 2024-03-01.
- [31] IZUMI T, KANEKO R, YAWATA N, et al. Counter of grouping apparatus for conveyance system installed in food stuff factory, has control unit that counts solid food based on displacement of solid food height: JP2011213471-A[P]. 2023-08-10.
- [32] 齐可心. 基于改进 Blendmask 的工件自动下料方法与系统研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2022: 8-19.
- QI K X. Research on the automatic blanking system for workpiece based on improved Blendmask[D]. Changsha:

- Hunan University, 2022: 8-19.
- [33] 刘学峰, 宋锦峰, 刘坤, 等. 一种连续式自动称重包装装置: CN202410247433.0[P]. 2024-04-19.
- LIU X F, SONG J F, LIU K, et al. A continuous automatic weighing packaging device: CN202410247433.0[P]. 2024-04-19.
- [34] 陆尚平, 刘存香, 陆美文, 等. 基于TRIZ理论的禽肉定量包装装置创新设计[J]. 食品工业, 2021, 42(10): 210-214.
- LU S P, LIU C X, LU M W, et al. Innovative design of a device for quantitative packing of poultry meat based on TRIZ theory[J]. The Food Industry, 2021, 42(10): 210-214.
- [35] 王艳, 陈静, 王志山, 等. 基于模糊神经网络PID控制的粉体包装计量控制系统[J]. 食品与机械, 2020, 36(1): 136-139.
- WANG Y, CHEN J, WANG Z S, et al. Powder packaging measurement control system based on fuzzy neural network PID control[J]. Food & Machinery, 2020, 36(1): 136-139.
- [36] XIE Q. Method for determining weight of filling material, involves determining volume of the target filling material and obtaining weight of target filling material, based on volume and density of target fill material: CN117351146-A[P]. 2024-02-02.
- [37] 范小波. 一种颗粒物料容积式自动包装机械: CN201820250089.0[P]. 2018-10-12.
- FAN X B. A particulate material volumetric automatic packaging machine: CN201820250089.0[P]. 2018-10-12.
- [38] 李清远. 一种可调容积式量杯充填机构: CN201420741140.X[P]. 2015-06-03.
- LI Q Y. An adjustable volumetric measuring cup filling mechanism: CN201420741140.X[P]. 2015-06-03.
- [39] 万永军, 王秉锋, 侯云, 等. 一种多容积活塞式充填缸和充填机: CN202311196216.5[P]. 2023-12-15.
- WAN Y J, WANG B F, HOU Y, et al. A multi-volume piston filling cylinder and filling machine: CN202311196216.5[P]. 2023-12-15.
- [40] 王吉连, 陈安然. 转子容积式自动定量包装机: CN202222644930.3[P]. 2023-01-10.
- WANG J L, CHEN A R. Rotor volumetric automatic quantitative packaging machine: CN202222644930.3[P]. 2023-01-10.
- [41] GU J, CAI Z, YANG H. Automatic grain counting filling machine for automatically loading and unloading granular medicine, has linkage component that is rotatably connected to inner and outer two ends of filling machine: CN219565757-U[P]. 2023-09-11.
- [42] 吴云章, 程亮, 冯渝. 间歇式立式包装机的时序分析与速度提高方法[J]. 食品与机械, 2016, 32(10): 86-88.
- WU Y Z, CHENG L, FENG Y. Timing analysis and methods to improve the speed of the packaging machine[J]. Food & Machinery, 2016, 32(10): 86-88.
- [43] 沈园园. 一种转鼓式计数充填装置: CN201410695735.0[P]. 2015-03-25.
- SHEN Y Y. A rotary drum counting filling device: CN201410695735.0[P]. 2015-03-25.
- [44] 张亚玲, 朱望纯, 程浩. 半自动单种粒料分装机的设计[J]. 食品与机械, 2017, 33(10): 94-97.
- ZHANG Y L, ZHU W C, CHENG H. Design of semi-automatic pellet racking machine[J]. Food & Machinery, 2017, 33(10): 94-97.
- [45] 王新河, 郭韶延, 高亚强. 一种计数包装设备: CN202321658713.8[P]. 2023-12-15.
- WANG X H, GUO S Y, GAO Y Q. A counting packaging equipment: CN202321658713.8[P]. 2023-12-15.
- [46] 应金宝, 朱河龙. 一种长度计数机构: CN201420683610.1[P]. 2015-05-20.
- Y J B, ZHU H L. A length counting mechanism: CN201420683610.1[P]. 2015-05-20.