# 基于传感技术的智能称重拣选系统设计

王佳欣，曲梓汕
（曲阜师范大学管理学院，日照 276800）

**摘要**：近年来，随着先进技术的发展，智能化、自动化设备代替人工已经成为当前企业转型的主要方向。本文针对之前疫情防控新形势下生鲜农产品称重打包时单个规格、质量不统一从而导致人工重复计算，效率低下和订单量巨大导致订单延误等为问题，基于传感技术，设计智能称重拣选系统，解决末端拣选问题，并且利用重量分选机，目标配重机等设施可根据特定传送装置，实现对分拣对象的质量分级，从而提高农副产品分拣的准确度，提高末端装箱效率，节约经济成本。

**关键词**：物流管理与工程；智能拣选；重量传感；质量分级；目标配重
**中图分类号**：C931.9

# Design of Intelligent Weighing and Picking System Based on Sensing Technology

Wang Jiaxin, Qu Zishan
(Management School,QuFu Normal University, Rizhao 276800)

**Abstract:** In this paper,with the development of advanced technology, the replacement of labor by intelligent and automatic equipment has become the main direction of enterprise transformation. According to the current epidemic situation, when weighing and packing fresh agricultural products, there are many problems to cope with ,like order delay and the non-standard specification and quality, which lead to repeated manual weighing, low efficiency and huge order quantity. Based on the sensing technology, an intelligent weighing and sorting system is designed to solve the problem of terminal sorting. Moreover, by using facilities such as weight sorter and target counterweight machine, the quality of sorted objects can be graded according to specific conveying devices, thus improving the sorting accuracy of agricultural and sideline products, polishing up the end packing efficiency and saving economic costs.

**Key words:** Logistics Management and Engineering;Intelligent sorting;Weight sensor;Quality classification;Target counterweight

## 0 引言

结合当代互联网技术的迅速进步，新时代人们的线上购物消费行为偏好催生了电子商务行业的蓬勃发展。当前电子商务的发展已经渗透到了百姓生活的各方各面，其中最贴近寻常生活的当指生鲜果蔬产品的社区团购。新时代下人们不断攀升的生活质量诉求，促使生鲜农产品零售市场迅速发展，如美团优选、盒马电商、多多买菜等。同时，新冠疫情的爆发使得传统的线下零售市场遭受严重冲击，其销售方式也由单一的线下实体店向新型线上社区团购零售市场和生鲜电商平台转型。随着销售平台渠道多元化和疫情下销售机会的增多，生鲜农产品的销售量剧增。对于生鲜农产品来说这种线上线下有机结合的销售方式，给生鲜产品打开了销售渠道，同时也对生鲜农产品的销售的各个环节提出了更高的要求。由于生鲜电商和

**基金项目**：2021 年国家大学生创新创业训练计划项目“基于传感技术的智能称重拣选系统设计”研究成果（项目编号：202110446057）
**作者简介**：王佳欣（2000-），女，主要研究方向：产业供应链. E-mail: 1204673708@qq.com

社区团购在疫情封控背景下具有额外的市场销售优势，激增的订单量带来了生鲜农产品物流分拣过程中的难题。基于生鲜农产品物流分拣压力、人工分拣成本费用、物流分拣效率等因素，智能化、自动化的生鲜产品物流分拣系统成为了当前生鲜电商物流转型发展的新方向。

在新冠疫情在全球仍不断蔓延、愈演愈烈的态势下，2022 年政府仍然延续去年稳住农业经济发展全局至关重要的综合性政策措施，提出："高度重视新冠疫情下新型农业经营主体产能恢复与零售。"生鲜电商和社区团购等新型生鲜物资采买方式有效缓解了疫情下农业产品的零售困境，未来将逐渐成为生鲜农产品的主流销售渠道。因此，生鲜农产品的物流订单拣选作为其中运营成本最高的一个环节应引起人们的重视。针对生鲜农产品分拣过程中，人工成本高、人工分拣效率低下的现状，自动化的智能称重拣选物流系统对于优化生鲜农产品的拣选作业环节、减低分拣成本、提高物流运输效率等方面具有很大的现实意义。

# 1 问题分析

## 1.1 人工分拣效率低，订单分拣不灵活

受新冠疫情的影响，生鲜电商平台迎来巨大发展机遇的同时也面临着订单量激增导致生鲜农产品分拣包装压力巨大，末端分拣复核作业效率低下等各种问题。由于生鲜农产品本身的产品性质特殊，订单量巨大的同时单个生鲜农产品的种类繁多，各类农产品重量大小没有标准的划分等级，因此无法标准化衡量订单是否合格。这给最终根据不同订单重量要求进行人工打包的环节带来了很大的困难，也给物流各环节的组织协调发起了更大的挑战。同时，生鲜产品分拣拆零打包出库这一环节难以进行控制和监管，需要一个科学合理的智能化称重和分拣打包的创新性流程进行精确透明化的管理。因此一个实用准确的称重分拣系统对于搜集和控制商品出库数据，及时与其他物流环节实现数据共享是具有长远意义的举措。

## 1.2 人工分拣重复核对造成浪费

除此以外，在当前疫情隔离政策下生鲜农产品零售市场需求规模扩大，订单量大且订单种类较散，以往纸单作业的人工手写标在分拣时不仅不易识别还会给人工分拣过程带来不少困难[1]，降低分拣作业的效率。同时传统人工分拣需要对出库商品进行重复核对，虽是为了确保打包出库的准确性，但也确实双倍付出了不必要的时间和人力成本。这种具有较高重复率人工复核问题会大量增加物流仓库的劳动成本，制约物流分拣环节未来长期的可持续发展。因此需要在商品拣选出库的复核环节也加以优化改善，来节约重复浪费的时间和人力成本，提高物流分拣作业效率。

# 2 基于智能称重的物流分拣系统

## 2.1 称重传感器

称重传感器是一种常见基于重力-电信号相转换，由力敏元件将该力变信号转换为电信号进行输出的测力系统。根据不同的传感理论，目前常见的称重传感器可以分为电阻式传感、电容式传感、磁弹性式传感、液压式传感、光栅式传感等类型；根据不同的结构，称重传感

器又可以分为柱式传感、悬臂梁式、轮式等类型。

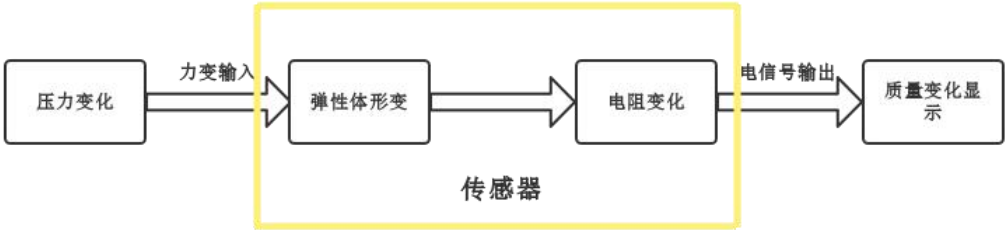


图 1 称重传感原理

Fig. 1 Principle of weighing sensing

这里针对生鲜农产品的分拣工作，我们的称重传感器选择最常见的电阻应变式称重传感器即可。当敏感电阻金属丝原件收到被测量物体质量的重力挤压发生压力或拉力变形，从而导致电阻的大小变换。称重仪表盘接收这种基于电阻值的变化引起电容变化的输出电信号，并将其转换为具体质量数值予以显示。

### 2.1.1 电阻应变片称重原理

电阻应变式称重传感器主要依靠金属材料的电阻应变片的应变效应来进行转换物理力变信号为电信号输出的，其反应速度快、线性度好等优点让它在各行各业应用更为广泛。

电阻应变片由高电阻金属丝、绝缘基片、覆盖层、引线等典型部分组成。绕成栅形的高电阻金属丝粘贴在绝缘基片上，上有覆盖层并通过导线与电路连接。

$$R = \rho \tfrac{L}{S}$$

其中，$\rho$ 表示金属丝的电阻率，$L$ 表示金属丝的长度，$S$ 表示金属丝的横截面积，$R$ 表示在电阻应变片没有受到外力作用的情况下金属丝的电阻值。

当电阻应变片受到外力作用—即称重感应器放上物品开始称重工作时，随着外力的挤压作用金属丝会发生形变，因而导致其长度、横截面积、电阻率都发生变化。因此电阻值根据公式也会产生变化，求得其电阻大小变化如下：

$$dR = \frac{L}{S}d\rho + \frac{\rho}{S}dL - \frac{\rho L}{S^2}dS$$

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho_0} + \frac{dL}{L_0} - \frac{dS}{S_0} = \frac{d\rho}{\rho_0} - \left(1 - \frac{dS/S_0}{dL/L_0}\right)\frac{dL}{L_0}$$

其中纵向应变表示为 $\frac{dL}{L_0}$，另外记为 $\varepsilon$；将 $\frac{dS/S_0}{dL/L_0}$ 记作 $-\nu$，表示方向相反的泊松比；将 $\frac{d\rho}{\rho_0}$ 记作 $\lambda E\varepsilon$，其中 $\lambda$ 表示因电阻应变片材质不同而变化的压阻系数，$E$ 表示杨氏弹性模量。由此公式可以重新表示为：

$$\frac{dR}{R} = (1 + \upsilon + \lambda E)\ \varepsilon = G\varepsilon$$

其中 $G$ 表示电阻应变片的压力灵敏度系数，理论上可以解释为当电阻应变片材料收到外力挤压而导致单位应变发生时电阻的变化量。称重传感器一般会基于称重物品的质量重力

与纵向应变$\varepsilon$成常数比例关系来应用电阻应变片，电阻应变片的压力灵敏度系数$G$会受到应变片材料的几何尺寸变化和受力之后电阻率变化两个因素影响。一般电阻应变片会选用金属材料，此处智能称重感应器的电阻应变片选用铝合金材质，基于铝合金材料特质在感知称重物品时不仅更加灵敏，而且具备良好的抗偏载和抗干扰能力，将被称重物品的重量转变为电压模拟信号的过程的传达更为准确。

### 2.1.2 传感器标定原理

为了检测称重物体的质量获取基础数据，在称重传感器将质量信号转换为重力信号，再转换为电信号，最终呈现质量数据值的过程中会经历几次量纲的变化。因此，需要采用标定的方法来得到系数统一量纲进行单位标度的变换，寻找一种标准可用的映射关系。对于智能化的称重传感器：

$$W = CW_x - W_0$$

其中，$W$表示称重结果，$W_x$表示未进行系数标定时的称重结果。公式中需要标定的参数为$W_0$和$C$，$W_0$表示皮重，$C$表示标定系数。

当智能化称重传感器进行标定命令时，首先判定命令类型时校准操作还是去皮操作。如果是校准操作，等待结果显示稳定后令称重结果$W$为砝码重量，然后计算标定系数$C$。此时，$C = \dfrac{W}{W_x - W_0}$，并将计算出的结果参数保存。若指令为去皮操作，则等待显示结果稳定后，令$W_0 = W_x$，得出称重结果后，保存结果参数。

## 2.2 称重分拣系统构成

针对生鲜农产品的基于传感技术的智能称重拣选系统设计中，称重分拣模块主要由重量分选机、目标配重机和最后打包复核环节的称重复核车组成。

### 2.2.1 重量分选机

针对过去生鲜农产品传统人工重量分选效率低、成本高、易出错的缺点，本文设计的智能称重分拣系统采用自动控制的重量式分选机来代替人工分级，提高生鲜农产品重量分级的准确性。根据生鲜农产品不同的重量标准来进行分选，首先设置需要的不同重量等级，再通过被分拣产品与预先设定好的标准重量等级范围进行比较。符合重量标准要求的进入称重分拣的下一环节，不符合的自动剔除后另作处理。重量分选机的工作流程主要分为五个环节：自动输送、动态称重、自动剔除、重量分选、重量分级完成。

首先是传送带自动传送需要被分拣的产品，然后使用称重传感器对产品重量先进行动态称重得到原始的产品重量数据。接着通过传送带传送至自动剔除部分，根据事先设置好的产品规格质量要求，对于净含量超重和欠重的不合格产品进行剔除。

在进行简单的重量初步筛选后，根据生鲜农产品的订单重量的不同要求，还需要对已经初步符合要求的产品进行进一步更加精细的重量分选。接下来的分级过程主要由重量分选机来完成，重量自动分级的总功能需要称重单元、分级单元、控制单元、输送单元这四部分相互协调联系合作来实现。

（1）称重单元主要是应用称重传感器的力-电信号转换功能，将要分级的生鲜农产品的重量信号实现传送带运动过程中的动态提取，得出其重量数据。

（2）控制单元是称重单元完成后储存的产品重量数据进行处理得到称重结果，并把其与预先设定好的重量范围边界值进行对比，得到生鲜农产品质量分级结果。得到结果的同时控制单元会控制物料挡板，使得输送到正确位置的产品滚落正确的分选箱位置。根据需要可以把生鲜农产品的质量分成多个等级，假如分成$n+1$级，用$m$表示实际生鲜农产品的重量，$M_1$，$M_2$・・・・・・，$M_n$表示重量分级范围的边界值，那么我们可以规定当$m \le M_1$时，$m$属于第一等级；当$M_1 < m < M_2$时，$m$属于第二等级；以此类推，当$M_{n-1} < m < M_n$时，$m$属于第$n$等级，当$m > M_n$时，$m$属于第$n+1$等级。重量的$n+1$个等级对应$n$个物料挡板，设置第$n+1$号物料挡板负责第$n+1$级生鲜农产品的分选工作，当被确定好的生鲜农产品被传送到正确分选位置的时候，控制单元就会控制相应编号的物料挡板使产品滚落到正确的分级出口，落入相应的分级箱中。第$n+1$级的产品可以直接由传送带输送到末端最后的分级出口，因此最后一级分级可以不再需要物料挡板。

（3）分级单元由传送带、光电感应开关、物料挡板等组成，通过光电感应开关感应到的光电信号，进一步判断传送带上的物品重量是在哪一个预先设定好的分级重量范围内，进而得到分级结果。当传送带输送生鲜农产品到达指定分级范围的区域时，物料挡板会升起使产品落入该等级的产品收集箱内，完成生鲜农产品的重量分选环节。

（4）输送单元是使用消毒、无菌、卫生的自动传送带来将等待重量分级的生鲜农产品传送至指定重量分级环节。其中输送环节基本分为三个过程：第一过程中传送带把待称重的生鲜农产品保持一定间距运送到称重机动态称重区域，利用称重传感器初步得到重量数据；接下来进入第二阶段的传输带进入重量分选区域，首先进行欠重超重品的自动剔除，然后在分级传送带上进行分级输送，使得不同等级的产品掉入相应的分级箱中；最后一段传输带会带着最后一个重量等级的产品，完成最后的重量分级。

通过以上四个功能单位的分工协作，重量分选机会完成生鲜农产品的重量分级拣选工作，其总体工作流程如下所示：

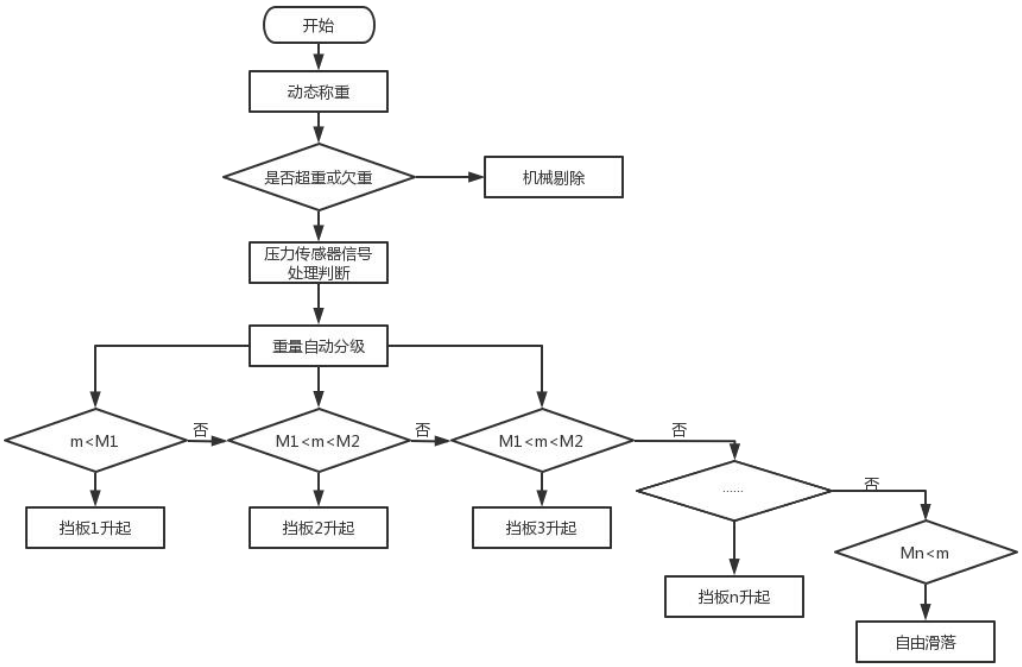

图 2 重量分选机工作流程

Fig. 2 Workflow of weight sorting machine

### 2.2.2 目标配重机

生鲜农产品的物流分拣过程包括根据消费者的具体订单进行产品打包的环节，不同的订单内包含不同的产品组合。过去人工订单打包环节会再出现人工重复分拣劳动、产品称重不规范不标准、产品打包不科学、订单打包信息出错等各种问题。基于传感技术智能化称重拣选系统为了解决这些问题，设计自动化目标配重机对于订单要求的产品通过控制系统得出最佳产品组合，然后将其传送至包装工位，最终完成定量配重的包装要求。去人工化的生鲜农产品订单目标配重机可以降低配重打包过程中操作失误的频率，为订单量激增的特殊时期提供高效率运行的良好保证，可以有效推进生鲜电商和平台智能化管理进程。

目标称重机的设备主要由称重托盘、传送带、储料箱、控制处理器等部分组成，传送带两旁分别对称共安置了 14 个称重托盘。配重流程主要由四个环节组成：称重放料、系统配重、组合出料和集料打包。

首先根据重量分选机的重量分级，将不同重量范围等级的生鲜农产品投放在各托盘上。目标配重机配备多个托盘，支持多种产品工位同时工作，持续上料。随后，通过多工位称重托盘的自动传感称重操作，将传感记录的重量数据上传控制处理系统，以顾客的订单要求为目标量计算出符合订单目标的最佳产品组合。择优配重选择完成后，被选中托盘内与订单最佳组合相匹配的产品就会由称重托盘落入同步输送的传送带，产品会自动跟随传送带送至包装工位进行打包。

与此同时根据生鲜农产品易坏、易腐烂的产品特点，在一段时间内在储料箱未被选中实现最佳配重的产品会被自动拒绝并剔除，这样既保证了产品的质量，也不会干扰目标配重机的准确度和配重速度。

### 2.2.3 称重复核车

在生鲜农产品打包分拣完成之前，还需要拣货员按照明细对货架上已经打包分拣好的产品进行最后的分拣复核工作，这样货物的分拣复核环节就能大概率确保订单货物的准确性。以往订单较散标签不统一、纸单作业的手写标签难以识别、人工复核成本高等问题造成了产品拣货作业的低效率和高成本，在一定程度上会限制仓库的良性发展。后期的拣货复核环节虽然是为了保证订单的正确性，但是传统人工复核模式的工作流程和步骤都具有很高的重复性，会付出双倍的人工劳动和时间成本。因此，我们应对称重传感技术针对复核环节的标签不统一和重复性作业的问题，应用智能称重复合机代替复核人员来保证整个复核环节的准确性、稳定性和高效性，提高物流仓库的信息化水平。

智能称重复核车由订单显示器、称重感应器、信号灯、周转箱等主要部分及手推车、手持设备、报警装置等相关连接部分组成。智能称重复核车的核心部分是管理软件，其保存着订单入库出库的、打包好货物的仓库位置等的详细信息；同时，根据订单出库的要求向拣货人员的信息指示设备发送相应的信息数据，指示拣货人员进行相应的复核操作，提高复核作业环节的工作效率。

在完成打包分拣工作进行复核之前，管理软件会通过拣货清单上应检产品的订单信息获取具体重量信息，然后结合称重复核车中相应物品的重量，来核对之前拣选环节是否有误。分拣人员持手持终端进行货物的拣选工作。手持终端上拣选出来的货物放进周转箱内，称重

传感装置对其进行称重。称重传感器将检测出来的重量信号传递给系统终端。根据复核称重复核系统电脑终端提前输入的信息与称重传感器当前货物重量进行对比，若重量是在允许的误差范围内则显示该商品合格，则电子信号灯亮绿灯；否则显示不合格，电子信号灯亮红灯，需要重新拣选。货物通过这种复核控制，实现低错误分拣，免去了传统根据打印订单依靠人工来进行订单数量正确性确认的繁重工作，提高了拣选过程的可靠性。智能化称重复核的具体流程如下所示：

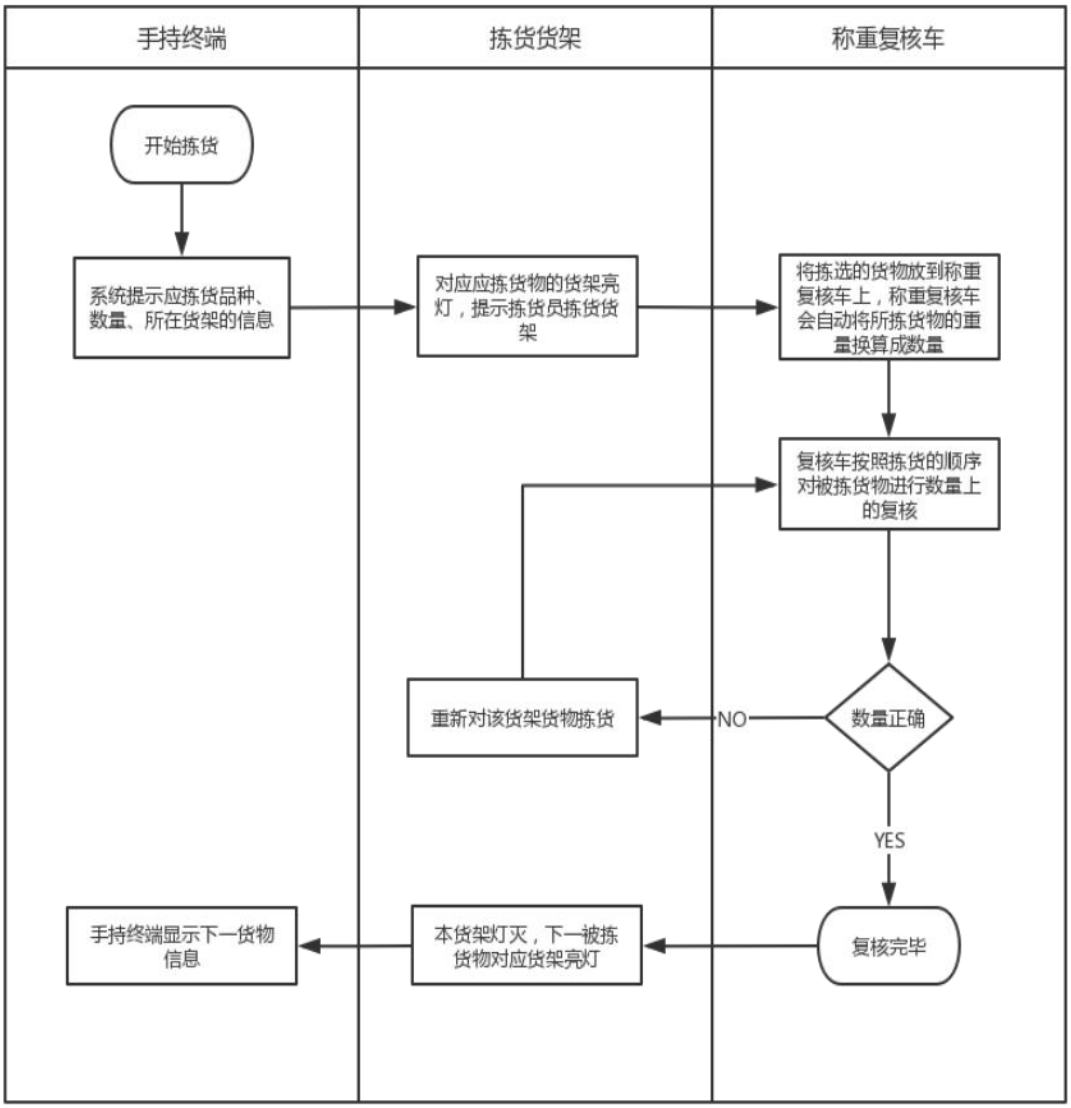


图 3 复核工作流程

Fig. 3 Workflow of double checking

## 2.3 称重拣选工作布局

智能化称重拣选系统应用于完整的生鲜农产品拣选打包出库的过程，针对生鲜农产品的拣选主要是小批量、多种类的产品订单组合，包含单品和少量整箱产品的打包。其中订单中少量单品组合均可以通过自动化传送带拣选线进行拣选，而整箱单位的产品则可以跳过分拣直接从平仓区由搬运组取货直接到达拣选复核区与已经拣选完成的单品进行打包捆绑。我们设计称重拣选作业布局包含拣选工位，自动传送带，称重复核工位，填充打包工位和捆包贴单工位，流水线作业布局如下图所示：

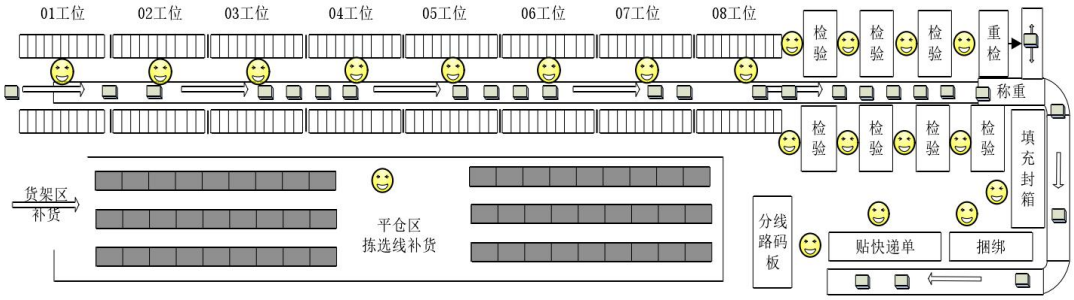


图 4 拣选工作布局

Fig. 4 Work layout for picking

首先针对订单单品的拣选工位分为两部分：重量分级区域和目标配重区域。工位 01-工位 04 装备重量分选机，根据管理软件上的具体订单重量要求对传送带上的目标产品进行重量分级。接着工位 05-工位 08 是目标配重区域，分拣员监控已经进行过重量分级的产品依次传送至目标配重区域，根据目标配重机的显示，将符合重量等级要求的产品放置在目标配重机的称重托盘上。接着目标配重机会根据订单完成最优的产品组合，落入同步输送的传送带，产品会自动跟随传送带送至包装工位进行打包。

在经过工位 01-08 的智能称重拣选打包完成后，全部订单包裹会进入检查区域，复核组人员利用智能称重复核车扫描订单来核对订单内产品的种类和数量以及单品信息是否对应。智能称重复核来检查生鲜农产品的重量是否订单要求，若实际重量与目标重量的差值范围在允许的范围内，则分拣通过称重复核环节，否则会被传送带自动遣返至拣选工位，进行订单补选。

最后的拣选区域是在订单重量复核通过后设置的打包区，其中包括填充打包工位和捆包贴单工位。

## 2.4 称重拣选工作流程

对于生鲜农产品的分拣配送过程，基于传感技术的智能化称重拣选系统的作业模式和工作流程与以往传统人工分拣模式有了很大的改进和进步。针对订单数据较大的情况下，智能称重分拣的工作流程更加标准且拥有较为成熟规范的分拣模式。

称重拣选质量分级：首先由搬运组组员搬运订单相应的生鲜农产品至拣选区传送带进行自动传输，传输至工位 01-04 的重量分选区域。智能化重量分选机会对传送带上产品进行重量分级工作，使得不同重量等级的产品落入不同等级储料箱子中暂时保存，以等待下一阶段目标配重环节。

智能目标配重打包：目标称重机首先根据订单上产品的种类、数量和重量的要求，计算出最佳的产品组合方法。接着控制系统接收产品组合订单，在上一环节称重分级完成的基础上开放符合要求的储物箱，拣货员拾取产品放置在配重机的称重托盘上。符合目标配重的最佳组合的托盘会亮灯的同时自动将产品传送到中间的传输带，完成该阶段的智能配重打包环节。

重量复核检验：已经分拣好的订单产品，会跟随自动传输带进入称重复核区域。复核组人员会利用称重复核车先扫描产品进行订单内种类和数量的核对，然后将产品放入称重复核车的周转箱内，将复核得出的实际重量与订单显示的目标重量进行比较。如果实际重量与目标重量的差值小于等于 50 克，则通过复核检验，准备进入下一打包封箱环节；若实际重量与目标重量的差值大于 50 克，则退回拣选工位检查出错原因并及时修改。

填充封箱捆绑：订单复核没有问题之后会被传送至填充打包工位和捆包工位，按照一定的填充标准将订单进行填充封箱。对于单品和整箱组合的订单，单品封箱后，还需要与整箱产品以“小在上大在下，轻在上重在下”的原则进行捆绑。

打印订单面单：登录订单信息系统，对已经打包好产品的标签进行扫描，进而打印出一整张订单面单。并将打印好的面单粘贴在货物箱子显眼的标识位置。到这里，订单产品的分拣工作完成。

# 3 智能称重分拣系统优缺点分析

## 3.1 优点分析

（1）从成本方面来看，智能称重拣选系统可以有效降低不必要的人力劳动分拣支出的费用。并且比起人工操作的熟悉度，机器操作更加模式化规范化，降低人工工作量的同时可以减少人工分拣出错的成本费用。

（2）从产品本身方面来看，生鲜农产品本身易坏易腐烂，人工分拣速率较低会影响订单产品的质量。称重拣选系统的机器拣选可以有效降低产品在分拣过程中的损耗，提高分拣订单的工作效率和产品质量稳定性，这对增加生鲜电商和平台的经济效益和市场竞争力有着关键性意义。

（3）从客户关系方面来看，面对疫情期间订单量激增的状况，订单拣选作业是否高效、准确是决定顾客满意度和顾客黏性的关键因素。为了留着顾客发展长期顾客关系，智能称重拣选系统不仅可以显著提高订单产品的分拣速率和分拣准确性，还可以改善分拣的服务质量，赢得客户满意。

（4）从员工劳动方面来看，以往的传统人工分拣工作模式不仅步骤繁杂、分拣难度大，而且过程中人工分拣注意力有限，分拣出错率相对较高。用基于传感技术的智能称重分拣系统来替代人工分拣，可以促进分拣步骤标准化、精简化，提高分拣质量，降低员工的劳动强度。以此可以应对工作量较大的分拣情况，提高员工的工作满意度和企业归属感。

## 3.2 局限性分析

（1）本文中的智能称重拣选系统主要针对小批量、多种类、高频次的产品分拣配重过程，且是在订单重量等各种信息完全已知的情况下进行设计的。这可能与其他不同类型产品或订单信息不完全情况下分拣运作模式并不合适，还需要再加以优化和改善。

（2）智能化称重拣选系统对于重量动态分级方面的精度并不是特别高，不能满足称重计量要求极高产品的分级工作。且分级方法需要较多技术支持，软件设计难度较大，需要进一步的改善优化。

（3）拣选过程中要应用到的机器设备较多，设备安装制作过程可能难免出现纰漏，日常设备维护需要长时间的坚持和技术人才的投入。未来还需要对现有称重设备进一步完善，不断更新优化升级来满足越来越高的分拣要求。

# 4 结论

本文首先介绍了称重传感器的理论基础，然后灵活结合称重传感技术设计了智能称重拣选系统解决当前生鲜电商和平台产品分拣的问题，来实现生鲜农产品的物流拣选过程的高

效性、准确性和稳定性。详细描述了智能称重拣选系统的结构组成和工作模式，分析对比了以往传统人工分拣和智能称重分拣的前后变化。针对疫情下新型零售市场多品种、小批次、多样化的订单特点，智能称重分拣系统可以很好摒弃过去人工分拣成本高、时效长、易出错等缺点来快速响应订单，减少巨大订单量情况下的订单延迟。

**[参考文献] (References)**

[1] 王晓晓. PG 公司配送中心拣选作业优化研究[D].华南理工大学,2016.
[2] 范占峰. 称重传感器检测系统的设计与实现[D].电子科技大学,2013.
[3] 刘让周. 智能化应变式称重传感器设计[D].湖南大学,2012.
[4] 何海龙. 带式玉米果穗重量自动分级机的研究[D].吉林大学,2014.
[5] 陈孝照.柑桔重量式分选机自动控制系统设计[J].福建农机,2015(03):9-12.
[6] 李宁.食品包装机械的自动化技术发展与管理[J].核农学报,2022,36(05):1083.
[7] 乔计等.食品包装机械智能称重系统设计[J].食品工业,2020,41(01):228-231.
[8] 赵千. 基于多传感器的路面动态称重系统研究[D].北京科技大学,2020.
[9] 徐京京. 鸡翅质量检测与重量分级智能化装备的设计[D].山东农业大学,2016.