

称重式包装机两级给料最优切换点的确定方法

Determination on optimal switching point of two-stage feeding in
weighing packaging machine

苏俊明 李振亮 李亚 刘宝华

SU Jun-ming LI Zhen-liang LI Ya LIU Bao-hua

(天津科技大学机械工程学院, 天津 300222)

(College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

摘要:研究计算称重式包装机在工作时两级给料切换点最优值方法。通过分析包装机的给料和称重过程以及两级给料的作用,研究两级给料切换点选择对包装精度和包装速度的影响,找出两级给料切换点的取值范围。结果表明,包装机两级给料切换点的选择对包装精度和包装速度都有着重要影响,存在着确定的关系,恰当选择两级给料切换点可以在保证包装精度的同时达到包装速度的最大化。该研究提出了在其他条件一定的情况下,两级给料切换点最优取值的计算方法。

关键词:包装机;称重;两级给料;切换点;给料;精度;速度

Abstract: Objective Researched the method to calculate the optimal two-stage feeding switch point of weighing packaging machines when it works. Methods Through analyzing the feeding and weighing process and the function of two-stage feeding, researched the effect of two-stage feeding switch point to the packaging speed and accuracy. Then found the range of values. Results The two-stage feeding switch point had an important impact on packaging speed and packaging accuracy, and a certain relationship. The packaging speed was maximized while ensuring the packaging accuracy through choosing the best switch point in the range of values. Conclusions Proposed a method to calculate the optimal value of two-stage switching point, while other things was the same.

Keywords: packaging machine; weighing; two-stage feeding; switch point; feeding; accuracy; speed

称重式包装机主要用于将粉状、颗粒散物料进行自动定量称重充填在特定容器内(以袋为主)并达到一定的包装精度,便于散装物料的运输和使用等。称重式包装相对容积法等具有精度高、适应性强的特点,因此在食品、化工等领域被

广泛应用,如面粉、粮食等的包装。但包装速度偏低阻碍其发展^[1],因此提高包装精度和包装速度一直是此类包装机研究的一个重点。称重式包装机多采用两级给料来完成颗粒散料的充填,从而提高包装精度和包装速度,也有三级或多级给料的(但不作为本研究的具体研究对象)。

在两级给料的包装机中,第一级给料为粗给料,以较大的给料速度在短时间内完成大量物料的充填;第二级给料是精给料,以较低的给料速度完成剩余散料的充填。粗给料可以在短时间内完成大量物料的充填,有助于提高包装速度,而精给料的速度小,有助于提高包装精度。显然,选择不同的粗给料和精给料量,得到的包装精度和包装速度可能会不同,因此给料过程中何时切换两级给料就成为一个必须考虑的重要问题。目前有关包装机精度和称重系统辨识等方面的研究文献^[2-4]虽然很多,但未见有两级给料切换点的研究,两级给料切换点的确定主要靠设计者经验^[1,5,6],无确切的公式或方法来指导切换点的选取^[7-9]。基于此,本研究拟通过分析包装机给料的过程和特点,研究在给料速度、总给料量以及称重算法等参数一定的情况下,两级给料切换点对包装精度和速度的影响,探讨两级给料切换点的最优取值的确定方法。

1 包装机的工作过程

1.1 工作过程

称重式定量包装机的基本结构主要有料仓、给料器、承重组、运输机及其他辅助机构等,各机构相互配合实现料仓内物料通过给料器按要求自动定量充填到待包装袋中,并达到一定的充填精度。其中给料器适时地将料仓中接纳和储存的颗粒散料以一定的速度送入袋中,而称重机构实时称量出袋中的散物料的质量,将质量信号传输给控制系统。包装机工作过程可简化为上袋夹紧—粗给料—精给料—运离已包装好袋等几个基本过程,其中精给料和粗给料也合称给

基金项目:科技人员服务企业计划(编号:2009GT1300009)

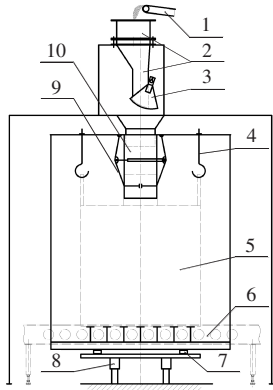
作者简介:苏俊明(1989—),男,天津科技大学在读硕士研究生。

E-mail: sujm68@126.com

通讯作者:李振亮

收稿日期:2014-11-19

料过程。图 1 为某料门给料承重下置式吨袋包装机结构简图[5]。



1. 散料输送带 2. 料仓 3. 料门 4. 挂钩 5. 包装袋 6. 辊输送机 7. 称重传感器 8. 称重模块运动机构 9. 压袋机构 10. 导料筒

图 1 某吨袋包装机结构简图

Figure 1 A ton bag packing machine structure diagram

此包装机工作时,先将袋套在导料筒 10 上并用压袋机构 9 压紧,同时将袋的吊耳挂在挂钩 4 上;然后,料门 3 打开到粗给料程度,料仓 2 内颗粒物料以一定速度流入袋内,同时承重机构 7 不断称重、统计袋内物料重量;达到设定粗给料量后控制系统控制料门减小排料口,转为精给料。直达到包装要求后料门完全闭合停止给料,完成一袋包装;最后将已装好的袋运走,之后开始下一袋的包装。

1.2 给料过程

包装机每一袋的包装都要先进行粗给料再进行精给料,共同完成所需物料充填,给料过程受控制系统控制。给料过程的控制流程见图 2。

对粗给料量和包装规格设定好后就可以正常包装。控

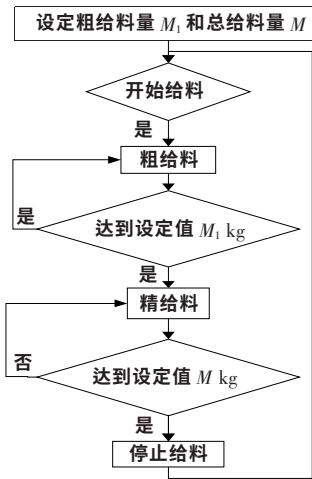


图 2 给料流程图

Figure 2 Feeding flow chart

制系统首先判断是否开始给料,如果是,则控制给料机构动作进行粗给料。同时控制系统根据称重系统的数据判断是否达到粗给料量,如果达到则停止粗给料开始精给料,否则继续粗给料。精给料开始后控制系统再根据称重系统的数据判断袋内物料是否达到包装规格 M ,如果是则停止整个给料过程开始其他辅助操作,否则继续精给料。

1.3 称重过程

在称重式包装机中称重是包装机工作过程中的核心环节,充填物料的定量就是通过称重机构实现的。称重机构对物料的称量分为有称量斗和无称量斗^[10-12],本研究仅将无称量斗的称量方式作为研究对象。称重是通过安装在袋的支撑机构下的称重传感器来实现的,袋通过支架或者称重托盘等将自身重力以及袋内散物料的重力,全部施加到称重传感器上;称重传感器受力输出电信号。电信号经放大、滤波、A/D 转换等信号处理电路后传输到微处理器中,微处理器将信号与传感器标定的数据进行比较判断,并通过一定的方法计算出袋内散料的质量。控制系统根据系统设定将质量信息输出到显示仪表、打印设备等上,并根据控制要求输出控制信号给执行机构。包装机给料过程中称重传感器实时、动态测出的力有称重支架重力、已落入袋内物料重力、物料下落冲击力以及称重机构振动引起的附加作用力等,因此须经过一定的方法剔除干扰力后才能计算得到袋中物料的质量。

在给料过程中袋内散料在不断地积累,袋中物料总质量是给料速度的积分,即 $m = \int_0^t v dt$,其中 m 表示袋中散料质量, v 是散料流入袋中的速度, t 为时间。可见若给料速度恒定,则称重机构称得的袋中散料质量是一个斜坡信号,其斜率就是给料速度。因此在理想情况下包装袋内物料质量变化曲线是由两段不同斜率的直线组成,分别对应粗给料阶段和精给料阶段,粗给料阶段斜率大,精给料阶段斜率小。此外,由于在两级给料的切换过程中,给料速度出现了突变,因此物料对称重机构的冲击会出现突变,从而导致称重机构出现较大幅度的震荡^[1,2,6],从而称重机构称得力也会发生震荡。典型的两级给料包装机给料过程中称得袋中散料质量理想变化曲线见图 3^[3,6,7]。

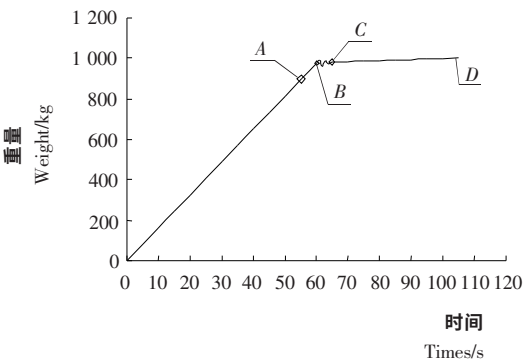


图 3 称重曲线

Figure 3 The weight curve

图 3 中 0 点开始粗给料, A 点表示执行机构由粗给料切换为精给料时刻, B 点为实际粗给料转变为精给料时刻;这是因为执行机构的延时和空中料柱的影响, 给料机构执行切换动作后需要过一段时间后, 粗给料的料柱才能完全落入袋中, 粗给料才真正结束。B 点和 C 点之间为由于两级给料切换导致的称重机构大幅振荡过程, C 点为震荡基本趋于结束点, D 点为给料结束点。因此在 A 点执行机构动作后, 等到 B 点粗给料才真正完成。实际包装称量过程中受干扰因素的影响, 称重机构称得的袋内物料质量变化并不会与图 3 中曲线完全一样, 但是变化趋势和典型过程都一样^[3,4], 因此可利用此曲线进行研究。

2 两级给料切换点

2.1 两级给料切换点

两级给料的切换点就是粗给料切换为精给料的时刻, 即上图 3 中的 B 点。两级给料切换完成后粗给料也就真正结束, 可用两级给料切换时粗给料的总物料量来表示两级给料切换点, 因此两级给料切换点的最优值的确定就是粗给料量最优值的确定。两级给料切换点分为理论切换点和实际切换点, 理论切换点就是人为设定的粗给料的量, 而实际切换点是指在实际工作中两级给料切换时粗给料的量。包装机工作中由于干扰因素的影响, 导致称重和控制不准确, 从而使实际粗给料量与系统设定的不一样, 产生一定的偏差, 称之为粗给料误差或者切换点误差。若系统设定粗给料的量 M_1 kg、包装规格 M kg/袋, 多次包装统计实际粗给料量平均值为 $\bar{M}_1$, 最终充填的散料质量均值为 M , 则 $\bar{M}_1 - M_1$ 就是粗给料量的误差即两级给料切换点的误差, $M - \bar{M}_1$ 为总包装误差。对多次包装结果统计分析就可计算出粗给料精度和包装精度, 正常情况下统计结果符合正态分布, 分布的中心就是统计的平均值^[3]。图 4 为粗给料量统计分布图。

图 4 中粗给料的分布的中心为 $\bar{M}_1$, 标准差为 σ , 则分布曲线的分散范围为 $\pm 3\sigma$ 。因此可认为粗给料误差的正偏差为 $\bar{M}_1 - M_1 + 3\sigma$, 负偏差为 $\bar{M}_1 - M_1 - 3\sigma$ ^[3]。若正偏差 $\bar{M}_1 - M_1 + 3\sigma = aM_1$ ($0 < a < 1$), 则 a 即表示了粗给料的正精度。同理可计算总给料量 M 的包装精度。

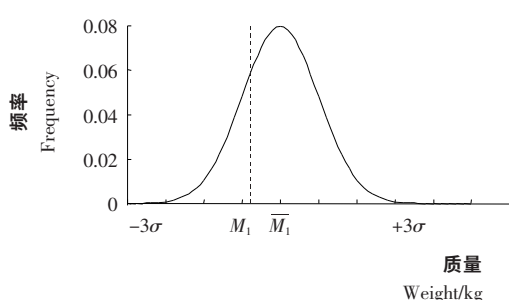


图 4 粗给料量分布曲线

Figure 4 Crude feeding capacity distribution curve

2.2 两级给料切换点的控制方法

系统设定的两级给料切换点只是目标值, 实际工作中还要通过一定的控制方法来控制给料机构完成两级给料的切换, 并尽可能使设计的粗给料量与实际粗给料量值相等或相近。根据控制系统对到达两级给料切换点的判断方法不同, 可将两级给料切换点控制方法分为两种。

(1) 在给料过程中称重系统检测到的袋内物料的质量不断与系统设定的切换点粗给料量比较, 如果大于等于设定值, 则认为已经达到给料切换时刻, 系统控制执行机构动作由粗给料切换为精给料; 否则, 继续粗给料。

(2) 称重系统在不断检测袋内物料重量同时, 根据一定算法计算, 若此时执行机构停止粗给料后待到粗给料真正完成, 即粗给料空中料柱也完全落入袋内时, 袋中物料量是否大于等于设定值。如果是, 则认为已达到给料切换点, 控制执行机构动作由粗给料切换为精给料; 否则, 继续给料判断。

以上两种控制方法得到的两级给料实际切换点与设定值都会出现偏差, 即都会出现粗给料量误差, 但是两种控制方法得到的两级给料切换误差并不相同。且第 2 种控制方法由于进行了一定的空中料柱预测补偿, 因此得到的粗给料量比第 1 种方法更精确, 即粗给料正偏差相对更小。

2.3 确定两级给料切换点时需考虑的因素

由前面分析已知, 两级给料切换点的设定值与实际值很难相同, 常常存在误差。包装机采用两级给料的目的是提高包装精度和包装速度, 因此在选择两级给料切换点时需考虑到粗给料的误差, 并在正常粗给料误差范围内仍然能够保证达到要求的包装精度。这也是本研究的目的所在。因此在确定两级给料切换点时需考虑以下几个方面:

(1) 粗给料出现正常的给料误差时, 粗给料量不会超出包装额定重量, 给料过程必然会有称量误差, 因此要保证在正常的粗给料误差作用下, 不会导致精给料刚开始即超过包装规格。因此如果粗给料的给料精度的正偏差是 aM_1 , 那么系统设定预留精给料量应大于 aM_1 , 以免由于粗给料误差导致精给料还未开始即达到额定重量, 造成较大的偏差。

(2) 总给料结束点应该避开粗给料切换成精给料时系统较大幅震荡阶段。在粗给料和精给料切换时, 称重系统会出现较大幅振荡, 此时称重系统称得的重量会严重失真, 因此应设计两级给料切换点使得总给料结束点在此之后。应设计精给料结束在振幅降低到一定程度之后, 防止出现由于大幅震荡而导致较大包装误差。

(3) 精给料时有足够的稳定给料时间来进行称量判断, 以保证称重精度。通常情况下, 在振荡刚结束时称重精度较低, 之后随精给料时间增加而增大, 因此如果在振荡刚结束时散料质量即达到额定重量, 则由于没有足够的稳定精给料时间, 可能会导致较大的精给料误差。因此, 图 3 中 CD 段不能太短, 以便进行精确称重判断保证包装精度。

3 两级给料切换点与包装精度、速度的关系

3.1 给料时间和速度对给料精度的影响

包装机工作中的给料速度对包装机的给料精度有着重要影响,不同的给料速度、给料精度会相差很多。给料速度越低,给料冲击越小,给料速度变化量相对越小,由此导致的给料误差越小。如果给料速度非常低,可看作是静态称重,此时称重精度就主要取决于静态称重精度。相反,如果给料速度无限大,给料就相当于一个脉冲信号,称重误差就会非常大。因此在其他条件一定的情况下,给料速度越小给料精度越高,反之,亦然。

此外,在给料速度等条件一定的情况下,给料时间对给料称量精度也有影响。这是因为给料刚开始给料的振动较严重,因此称重误差相对大。随着给料时间的增加,振动趋于一个平稳状态,因此称量精度就会稳定在一个范围内。给料速度和给料时间对给料称量误差的影响可表示为图 5。

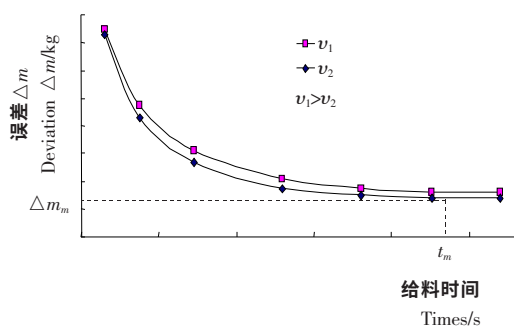


图 5 给料时间与给料误差的关系

Figure 5 The relationship of feeding time with the feeding errors

图 5 中曲线表示在 2 个不同的给料速度 v_1 和 v_2 下,给料精度随给料时间的变化。在某一确定的给料速度下,给料精度随着给料时间的增加而增加,但是给料时间超过一定范围 t_m 后给料精度不再随给料时间的变化而变化,称 t_m 为最小误差时间。因此两级给料中设计精给料的时间没必要太长,最大达到 t_m 即可。

3.2 两级给料切换点与包装精度、速度的关系

由上分析可知,两级给料中粗给料的给料精度比精给料低,而包装机的包装精度正常情况下取决于精给料。如果两级给料切换点选择太晚即粗给料量太大,则由于粗给料的误差导致精给料刚开始时袋中物料质量就已经超出规定值,从而出现较大的包装误差。此外由于精给料的时间太短,则由上分析可知精给料精度会降低。因此,适当提前两级给料切换点延长精给料时间有助于包装精度的提高。

包装机的包装周期包括包装一袋的给料时间和其他辅助时间^[5],包装周期越小表示包装速度越大。若其他辅助时间为 T_0 s,粗给料速度为 v_1 kg/s,精给料速度为 v_2 kg/s,且 v_1

$>v_2$;粗给料量为 M_1 kg,总给料量为 M kg;则可得包装机理论上的包装周期 T 为:

$$T = T_0 + \frac{M_1}{v_1} + \frac{M - M_1}{v_2} = T_0 + \frac{(v_2 - v_1)M_1 + v_1 M}{v_1 v_2} \quad (1)$$

可见包装周期与给料速度成负相关,给料速度 v_1 、 v_2 越大包装周期越短。在给料速度和总给料量一定的情况下,由于 $v_1 > v_2$, $v_1 - v_2 < 0$,可知包装周期与粗给料量也成负相关,粗给料量越大包装周期相对越短。因此在粗给料和精给料速度一定的情况下,选择合适的两级给料切换点,可以实现包装周期的最小化。

综上所述可知,两级给料切换点的选择会影响到包装机的包装精度和速度。在给料速度和其他条件一定情况下,恰当的选择两级给料切换点可在保证包装精度达到要求的同时实现包装速度的最大化。

4 两级给料切换点最优值的计算方法

由上分析可知,在其他条件一定的情况下,两级给料切换点对包装精度和包装速度都有着重要影响,且存在一定的关系。因此,在保证包装精度满足要求的前提下,包装周期最小时两级给料切换点取到最优值。

4.1 保证包装精度的最少精给料量

由上分析可知,要想保证包装精度必须留有足够的精给料时间,即留有相应的精给料量。精给料的量最少值取决于粗给料的误差、给料切换震荡期时间以及保证包装精度的稳定精给料时间。设:震荡稳定时间为 t_s s,则期间流入物料量为 $t_s \times v_2$;保证包装精度的稳定精给料 CD 段时间为 t_m s,期间流入物料量为 $t_m \times v_2$;粗给料的正偏差为 aM_1 kg。则精给料量应大于这 3 个阶段物料量之和。即精给料的量 M_2 有

$$M_2 > (t_s + t_m) \times v_2 + aM_1 \quad (2)$$

则代入精给料量与粗给料量关系 $M_2 = M - M_1$ 得粗给料量

$$M_1 < \frac{M - (t_s + t_m) \times v_2}{1 + a} \quad (3)$$

4.2 两级给料切换点的最优取值计算公式

由式(2)和(3)确定了保证包装精度的精给料量和粗给料量的范围,只要在此范围内就可以保证包装精度。因此综合式(1)和(3)可得包装周期与粗给料量之间关系及其限制条件:

$$\begin{cases} T = T_0 + \frac{(v_2 - v_1)M_1 + v_1 M}{v_1 v_2} \\ M_1 < \frac{M - (t_s + t_m) \times v_2}{1 + a} \\ M_1 > 0 \\ T > 0 \end{cases} \quad (4)$$

在给料速度 v_1 、 v_2 已知的情况下,就可作出粗给料量 M_1 与包装周期 T 之间的关系图和可行域见图 6。

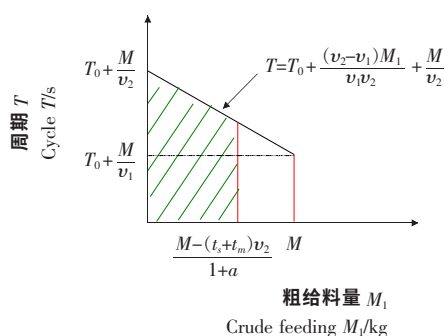


图 6 粗给料量的可行域

Figure 6 The feasible region of crude feeding amount

图 6 中阴影部分为 M_1 和 T 值的可行域,可见当 M_1 在可行域内取最大时,包装周期 T 取得最小值。因此可得给料速度一定的情况下,两级给料切换点最优取值为

$$M_1 = \frac{M - (t_s + t_m) \times v_2}{1 + a} \quad (5)$$

4.3 实际应用时相关参数的确定方法

上面给出了式(5)计算两级给料切换点最优取值,但是实际中由于相关参数难以通过理论计算得到,因此需要通过一定的方法测试得到相应值。根据包装机特点,利用式(5)确定两级给料最佳切换点的流程见图 7。

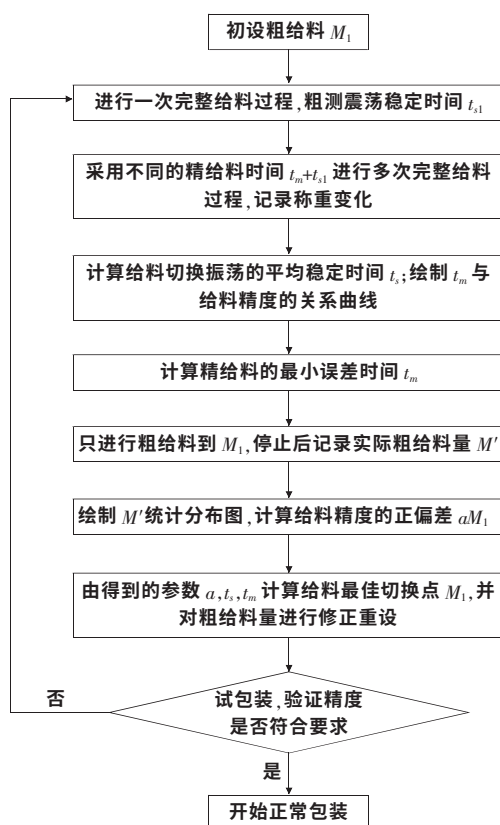


图 7 实际确定两级给料切换点的流程图

Figure 7 The flow chart while want to determine the best switching point in practice

采用上述流程的前提是假设预设粗给料量 M_1 较接近最佳值,可认为此时系统 a 、 t_s 以及 t_m 与最佳点的相关参数值基本相同。 M_1 的初设值可粗略设置为 $M_1 = 0.8 \sim 0.9M$,也可以使用同种给料方式和称重机构的其他包装机的 t_s 、 t_m 及 a 计算出一个粗略的粗给料量。

5 结论

本研究通过分析包装机的给料和称重过程,研究了给料过程中称重变化特性。通过分析两级给料的作用和切换点对包装机包装精度和速度的影响,提出了精给料量应该满足的条件。根据精给料量的条件和粗给料量与包装周期的关系,提出了两级给料切换点最优取值的计算方法。最后,提出了实际利用式(5)确定最佳粗给料量的流程图。利用本研究中的两级给料切换点计算方法,可以在给料速度和控制方法一定的情况下确定出包装机的最佳的粗给料量,实现两级给料最佳切换点的定量确定。

参考文献

- 田朋志. 称重式包装机的精度与速度[J]. 中国包装工业, 1998(8):15~16.
- 李宝安,李行善,罗先和. 动态称重系统计量误差的动态校正[J]. 仪器仪表学报,2001,22(3):251~254.
- 潘松年,骆建民,许文才. 包装工艺过程中的包装精度[J]. 中国包装,1998,18(4):84~86.
- 陈文浩. 论包装机械的充填精度[J]. 包装与食品机械, 1991(3):39~49.
- 苏俊明,李振亮,李亚,等. 吨袋包装机料仓额定容量设计计算方法研究[J]. 包装工程, 2014, 35(7):95~100.
- 崔英欣. 用软件方法提高定量包装秤精度和速度[J]. 衡器, 2010, 39(6):12~17.
- 毛建东. 动态称重系统的动态补偿和校正[J]. 食品与机械, 2006, 22(2):84~86.
- 高嵩,陈盈. 影响包装机械计量精度因素之初探[J]. 包装与食品机械,1987(Z1):1~3.
- 陈宝远,房国志,于晓洋. 多级给料粉状物料称重系统的预测控制算法[J]. 电机与控制学报, 2005,9(3):287~290.
- 李璟. 尿素定量包装系统的研究与改造[D]. 大连:大连理工大学,2013.
- 付又香. 我国食品和包装机械的技术创新[J]. 食品与机械, 2009,25(3):150~152.
- 李兰付. 面粉包装控制系统的改进[J]. 食品与机械, 2011,27(2):91~93.