

称重式包装机系统延时和空中料柱的预测补偿方法

苏俊明, 李振亮, 李亚, 刘宝华

(天津科技大学, 天津 300222)

摘要: **目的** 研究在包装机在工作过程中,对系统延时和空中料柱引起的包装误差进行实时预测补偿的方法。**方法** 通过分析包装过程中落料高度的变化,研究系统延时和空中料柱对包装精度的影响和变化情况,确定系统延时和空中料柱引起的包装误差决定因素。**结果** 系统延时和空中料柱会导致最终充填的物料多于当时检测到的值,由系统延时和空中料柱引起的误差大小,决定于系统延时与空中料柱落料时间及物料堆积速度,且随袋中物料增多而减小。**结论** 系统延时与空中料柱落料时间之和 Δt 可视为袋中物料质量 m 的函数,可提前计算出 Δt 与 m 的关系,从而在需要预测补偿时可计算出相应的 Δt 。由 Δt 和前一段时间内的物料堆积速度 v_m ,可实时预测由 Δt 引起的给料误差 Δm ,从而实现系统延时与空中料柱的实时预测补偿。

关键词: 包装机; 系统延时; 空中料柱; 堆积速度; 预测补偿;

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)13-0085-08

Predictive Compensation Method of System Delay and Materials Stayed in the Air of Weighing Packaging Machine

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

(Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

ABSTRACT: Objective To study the real-time predictive compensation methods for calculating the errors caused by system delay and materials stayed in the air during the operation of packaging machine. **Methods** Through analyzing the fall height of granular materials, the impacts of the system delay and materials stayed in the air on the packing precision and their and changes were studied, and the determinant factors of packaging error caused by them were identified. **Results** System delay and materials stayed in the air led to excessive final materials than the value of the real-time detection by the system and the error depended on the system delay, the material fall time and the material accumulating rate, and the error decreased with the increase of granular material in the bag. **Conclusion** The time Δt of system delay and the material fall time can be regarded as the function of material weight m , so we can calculate the relation of Δt and m in advance, and then calculate the corresponding Δt when predictive compensation is needed. Finally, through Δt and the material accumulating rate v_m of the previous period of time, we can calculate the error Δm caused by Δt , thus achieving the purpose of real-time predictive compensation of the system delay and the material in the air.

KEY WORDS: packaging machine; system delay; materials stayed in the air; accumulation speed; predictive compensation

称重式定量包装机主要用于将粉状、颗粒状物料自动定量充填在特定容器内(以袋为主),以便于

收稿日期: 2014-05-09

基金项目: 科技人员服务企业计划项目(2009GT1300009)

作者简介: 苏俊明(1989—),男,内蒙古人,天津科技大学硕士生,主攻自动机械设计与控制技术。

通讯作者: 李振亮(1953—),男,天津人,天津科技大学教授、博士生导师,主要研究方向为自动机械设计与控制技术。

散装物料的运输和使用,普通应用于食品、化工等领域。包装精度和包装速度是此类包装机的2个关键参数^[1-2],没有一个较高的包装精度和包装速度,定量称重包装无太大意义,由此如何提高包装精度一直是包装机研究的一个重点。影响包装精度的因素很多,其中系统延时和空中料柱是包装误差的主要来源之一,在大袋或快速包装中尤为明显。因此包装机在工作中必须要对系统延时和空中料柱引起的包装误差进行补偿,防止出现较大的包装误差。

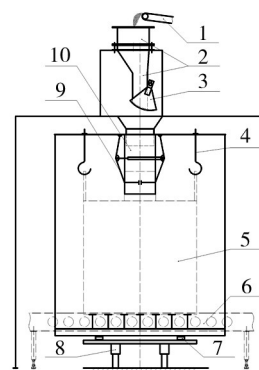
目前的补偿方法主要是通过通过分析多次包装结果与预期值之间的误差,适当提前给料执行机构动作时间以进行补偿^[5],也有利用上一次包装结果迭代修正补偿的方法^[6]。研究发现,系统延时和空中料柱引起的包装误差与落料高度和给料速度有关,而采用前几次的统计结果无法跟踪本次给料速度的变化,因此补偿精度较低。文献[7—8]采用整体预测控制算法,使用切换系数对提前量进行预测调整,取得了一定效果。基于此,文中欲通过分析影响系统延时和空中料柱的物料量因素,探索由实时检测到的物料堆积速度和袋中物料量,对系统延时和空中料柱引起的包装误差进行实时预测补偿的方法。

1 包装机的工作过程

1.1 包装机工作过程

称重式定量包装机的基本构成为料仓、给料器、承重系统、输送机及其他辅助机构等,各机构相互配合,最终实现将料仓内物料通过给料器自动定量地按要求充填到包装容器中,并达到一定的充填精度。其中给料器定时将料仓中的颗粒散物料以一定的速度送入袋中,而称重系统则实时称量袋中散物料的质量,并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—运离已包装好袋等过程。某料门给料承重下置式吨袋包装机结构见图1^[9]。

包装机工作时,先将袋套在导料筒上并用压袋机构压紧袋,同时将袋的吊耳挂在挂钩上。然后料门打开到粗给料程度,料仓内颗粒物料以一定速度流入袋内,同时承重系统不断称量、统计袋内物料质量。达到设定粗给料量后,控制系统控制料门减小排料口,



1.散料输送带 2.料仓、仓筒、料斗 3.料门 4.挂钩 5.包装袋 6.辊输送机 7.承重传感器 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

Fig.1 Structure diagram of a ton bag packaging machine

转为精给料,直到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 包装机的给料过程

称重式包装机中给料和称重是2个核心环节,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。在给料过程中称重系统不断称量袋中物料的质量,将物料质量信号输出给控制系统。控制系统根据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控制给料机构。给料过程的控制流程见图2。

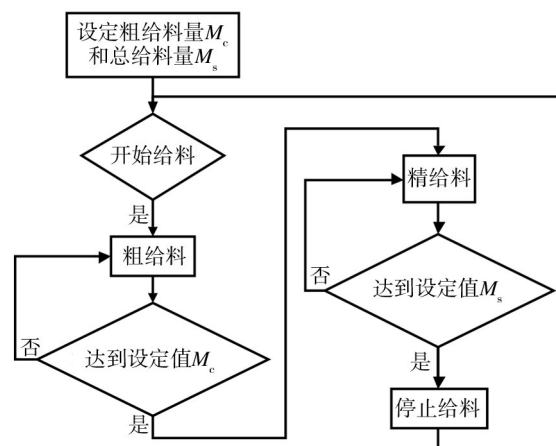


图2 给料流程

Fig.2 Feeding flow chart

设定好粗给料量和包装规格后,就可以正常包装。控制系统首先判断是否开始给料,如果是则控制给料机构进行粗给料。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 M_c ,如果达到则停止粗给料开始精给料,否则继续精给料。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_s ,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。

在给料过程中袋内散料不断地积累增多,袋中物料总质量是给料速度的积分,即 $m = \int_0^t v_m dt$,其中 m 为 t 时刻袋中散料质量, v_m 为散料流入袋中的速度,即袋中物料的堆积速度。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,其斜率就是物料堆积速度也是给料速度。两级给料包装机袋中散料质量理想变化曲线见图3^[10-11]。

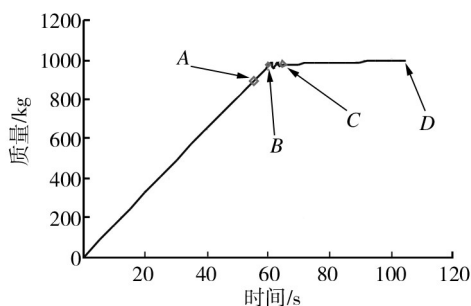


图3 袋中物料质量变化曲线

Fig.3 Changes in the weight of materials in bag

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,需要过一段时间粗给料的空中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时冲击力突变导致称重机构大幅振荡的过程^[4,10],C点为震荡基本趋于结束点。D点为给料结束点,在D点由于冲击力突然变为零也会出现较大幅振荡。

2 包装机的落料高度变化

2.1 颗粒物料在袋中的堆积

称重式包装机在物料充填过程中,颗粒物料是以

一定速度自由落入袋中,颗粒物料落入袋中后会堆积成锥形,堆积角为 α 。按照料堆高度变化速度的不同,将颗粒物料在袋内的堆积过程分为3个阶段,见图4。

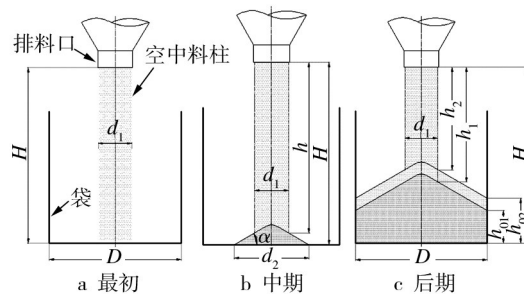


图4 袋中物料堆积过程

Fig.4 Stacking process of granular materials in bag

在最初给料的袋中物料很少,不足以形成料锥,由此散料的落料高度可视恒为 H ,见图4a。之后随着袋中物料增多,物料在袋底面形成料锥,落料高度 $h \neq H$,见图4b。当料锥底面直径由于物料的积累增大到充满整个袋后,料锥受到袋的约束不能横向增大,只能在高度方向增加。如图4c料锥高度 h_{01} 增加为 h_{02} ,落料高度 h_1 变为 h_2 。

2.2 落料高度的变化

落料高度是指物料从给料机构排料口流出到落入料堆期间下落的高度。若料柱直径为 d_1 ,袋直径为 D ,料锥底面直径为 d_2 ,堆积密度恒为 ρ ,任意时刻 t 袋中物料质量为 m ,料柱截面积为 A ,则可得在忽略袋变形的前提下,在a阶段,可认为落料高度恒为 H ,即 $h=H$;在b阶段,落料高度为出料口到料柱与料锥相交面之间的距离,即 $h=H - \left(\frac{d_2}{2} \tan \alpha - \frac{d_1}{2} \tan \alpha \right) = H - \left(\sqrt{\frac{3m \tan^2 \alpha}{\pi \rho}} - \frac{d_1}{2} \tan \alpha \right)$;在c阶段,若 t_0 时刻袋中物料质量为 m_0 ,颗粒

物料的落料高度为 h_0 , Δt 后袋中物料质量为 m ,则增加的物料 Δm 使料堆整体高度增加,即落料高度变化量 $\Delta h = \frac{\Delta m}{A\rho}$,故落料高度 $h=h_0 + \Delta h = h_0 - \frac{m - m_0}{A\rho} = H - \left(\frac{D}{2} \tan \alpha - \frac{d_1}{2} \tan \alpha \right) + \frac{m - \frac{1}{3}\pi\rho\left(\frac{D}{2}\right)^3 \tan \alpha}{\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2 \rho}$,其中 h_0

为此阶段袋中物料质量为 m_0 时的落料高度。若将袋中物料质量 $m < m_1 = \frac{1}{3}\pi\rho\left(\frac{d_1}{2}\right)^3 \tan \alpha$ 作为a和b阶段

的临界条件,袋内物料量 $m < m_2 = \frac{1}{3}\pi\rho\left(\frac{D}{2}\right)^3 \tan \alpha$ 视

$$\begin{cases} h = H & m \leq m_1 \\ h = H - \left(\sqrt[3]{\frac{3m \tan^2 \alpha}{\pi\rho}} - \frac{d_1}{2} \tan \alpha \right) & m_1 < m \leq m_2 \\ h = H - \left(\frac{D}{2} \tan \alpha - \frac{d_1}{2} \tan \alpha \right) + \frac{m - \frac{1}{3}\pi\rho\left(\frac{D}{2}\right)^3 \tan \alpha}{\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2 \rho} & m > m_2 \end{cases} \quad (1)$$

由此可见给料的最初落料高度基本不变,之后落料高度 h 的变化与袋中物料量 m 成非线性关系,到后期落料高度 h 变化与袋中物料量 m 变化成线性关系。某一包装机^[9]工作中落料高度的 Matlab 仿真变化曲线见图5。其中粗给料速度 $v_1=16.273$ kg/s,粗给料量为 980 kg;精给料速度 $v_2=0.5537$ kg/s,精给料到 1000 kg;物料堆积密度 $\rho=1300$ kg/m³,袋直径为 $D=1$ m,料柱直径 $d_1=0.21$ m。

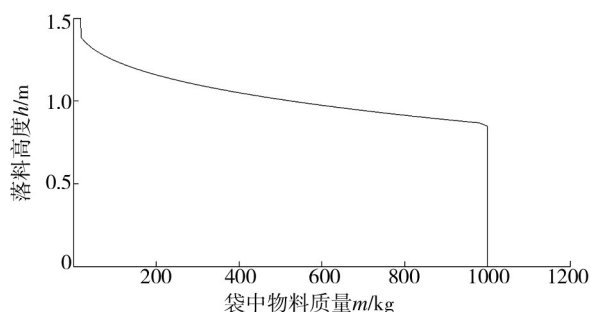


图5 落料高度随袋中物料质量变化曲线

Fig.5 Change of blanking height with the weight of materials in bag

3 空中料柱与系统延时

3.1 空中料柱

空中料柱是指从排料口流出还未落入袋中而处于空中的物料,也称为滞空物料,如图4所示料堆与排料口之间仍在下落的物料。在包装机工作称重过程中,空中料柱未被称重机构实时称量统计在内。若在称得袋中质量为 m 时停止给料,则空中正在下落的未落入袋中的物料会继续流入袋中,导致袋中质量最终大于 m 。由此在设定停止给料时必须要考虑空中料柱的影响,以免产生较大误差。若在某一时刻 t 空中料柱完全落入袋中需要的时间为 Δt_z ,则此时空中料柱

为 b 和 c 阶段的临界条件,则可得理想落料高度公式:

的物料量为 $\Delta m_z = \int_t^{t+\Delta t_z} v_m dt$, 其中 v_m 为 t 时刻以后物料的堆积速度。若包装机的给料速度相对稳定,平均给料速度为 $\bar{v}_m$,则 $\Delta m_z = \bar{v}_m \Delta t_z$ 。

显然 Δm_z 与 Δt_z 及 v_m 成正比,即落料高度时间越长空中料柱的物料量越大,物料堆积速度越大空中料柱的物料量越大。而 Δt_z 与落料高度 h 和落料初速度 v_0 有关,物料堆积速度等于给料速度。视物料下落为自由落体,则:

$$\Delta t_z = \frac{\sqrt{v_0^2 + 2gh} - v_0}{g} \quad (2)$$

$$\frac{d\Delta t_z}{dm} = \frac{\frac{dh}{dm}}{\sqrt{v_0^2 + 2gh}} \quad (3)$$

在给料后期,即 $m > m_2$, $h = h_0 - \frac{m - m_0}{A\rho}$,

$\frac{dh}{dm} = -\frac{1}{A\rho}$, 则有:

$$\frac{d\Delta t_z}{dm} = -\frac{1}{A\rho \sqrt{v_0^2 + 2gh}} \quad (4)$$

可见在给料后期空中料柱落料时间 Δt_z 随 m 的增加而减少,且随着 m 的增加 Δt_z 减少的越快。由于在空中料柱实际补偿中,一般只在给料后期补偿,即图4中 c 阶段,所以文中主要研究给料后期的空中料柱变化与补偿方法。某包装机^[9]空中物料量的 Matlab 仿真变化曲线见图6。

由图6可知,在粗给料阶段空中料柱的物料量较多,在精给料时空料柱较小。在粗给料间断空中料柱变化较大,在精给料阶段变化较小。

3.2 系统延时

包装机的系统延时包括称重延时和控制延时。称重延时是指由于称重信号处理等导致当前的质量需经过一段时间 Δt_{y1} 后才能被检测识别出来,控制延

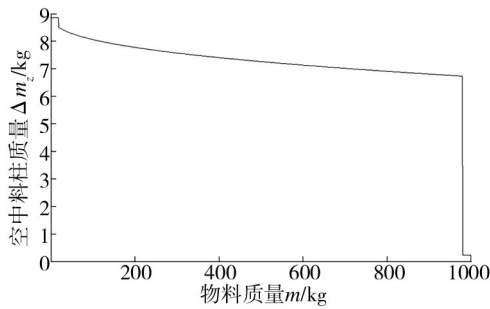


图6 空中料柱的物料量变化曲线

Fig.6 Change in the weight of materials stayed in the air

时是指控制信号发出后需经过一段时间 Δt_{y2} 后执行机构才实际完成动作。即若 t 时刻检测出袋中物料量为 m , 则实际上 m 是 $t - \Delta t_{y1}$ 时刻时袋中的物料量。称重延时的主要原因是传感器响应延时、数字滤波及电压信号与标定数据比较等, 控制延时的主要原因是执行机构的延迟, 即执行机构接收到控制信号需要一个反应的过程才能够执行动作。开始给料后在系统延时期间仍有物料流入袋中, 由此系统延时会导致实际流入袋中的物料大于当前的物料质量。若系统延时为 $\Delta t_y = \Delta t_{y1} + \Delta t_{y2}$, 则由于延时而多流入袋中的物料量为 $\Delta m_y = \int_{t-\Delta t_{y1}}^{t+\Delta t_{y2}} v_m dt$, 其中 v_m 为系统延时期间袋中物料的堆积速度。若包装机的给料速度相对稳定, 平均给料速度为 $\bar{v}_m$, 则 $\Delta m_y = \bar{v}_m \Delta t_y$ 。

3.3 系统延时和空中料柱引起的包装误差

由包装机的给料和称重过程可知, 若在 t 时刻检测到物料中的质量为 m_0 达到转换条件, 则控制系统发出停止给料信号, 在经过 Δt_{y2} 后执行机构完成动作。由于系统延时的影响, 执行机构动作时袋中物料为 $m_0 + \Delta m_y = \int_{t-\Delta t_{y1}}^{t+\Delta t_{y2}} v_m dt$, 对应空中料柱物料量为 $\Delta m_z = \int_{t+\Delta t_{y2}}^{t+\Delta t_{y2}+\Delta t_z} v_m dt$ 。由于系统延时和空中料柱的影响, 导致空中料柱完全落入袋中后袋中物料质量为 $m_0 + \Delta m_y + \Delta m_z = m_0 + \int_{t-\Delta t_{y1}}^{t+\Delta t_{y2}+\Delta t_z} v_m dt$, 其中 v_m , Δt_{y1} , Δt_{y2} 及 Δt_z 同上, 比检测到的值 m_0 多出 $\Delta m = \int_{t-\Delta t_{y1}}^{t+\Delta t_{y2}+\Delta t_z} v_m dt$ 。若给料速度相对稳定, 平均给料速度为 $\bar{v}_m$, 则 $\Delta m = (\Delta t_y + \Delta t_z) \bar{v}_m$ 。由此在控制两级给料切换和给料停止时, 需要考虑系统延时和空中料柱的影响。

4 系统延时和空中料柱实时预测补偿

4.1 系统延时和落料时间计算方法

4.1.1 停止给料时的系统响应

称重机构可以看作是质量-弹簧-阻尼模型, 其可以等效为二阶系统^[7-8], 见图7。

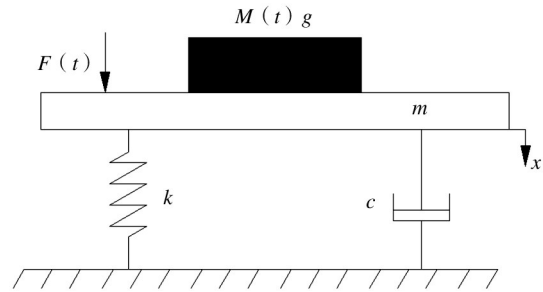


图7 称重系统模型

Fig.7 Weighing system model

由此可建立应变式称重传感器及秤体构成的称重部分整体的微分方程,

$$[M(t) + m] \frac{d^2 x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = M(t)g + F(t) \quad (5)$$

式中: m 为秤体质量, kg; $M(t)$ 为物料质量, kg; c 为系统等效阻尼系数; k 为系统等效刚度, N/s; $F(t)$ 为物料下落的冲击力, N; x 为秤体相对参考零点的位移, m; g 为重力加速度, m/s^2 。

在给料过程中称重传感器受称重机构本身重力、袋中物料重力及落料冲击力共同作用, 称重机构的位移与传感器输出的电压信号对应。由于袋中物料质量不断增加, 因此称重系统在包装过程中是时变二阶系统, 但是在短时间内仍可以看作是常系数的二阶线性系统。在两级给料切换和最终停止给料时系统受落料冲击力会突然减小, 系统相当于受一个负阶跃激励, 系统会产生动态响应。图8为阻尼比为0.5, 固有振荡频率为2, 受幅值为0.05的白噪声作用, 同时在5s时受幅度为-2的阶跃信号作用的系统 Matlab 仿真响应曲线。

4.1.2 单次包装的 Δt_y , Δt_z 测量方法

若在 t 时刻测得物料质量为 m_1 , 则由于系统延时影响, m_1 实际是 $t - \Delta t_{y1}$ 时刻的物料质量; 若在 t 时刻发出停止给料信号, 则由于控制延时和空中料柱的影响,

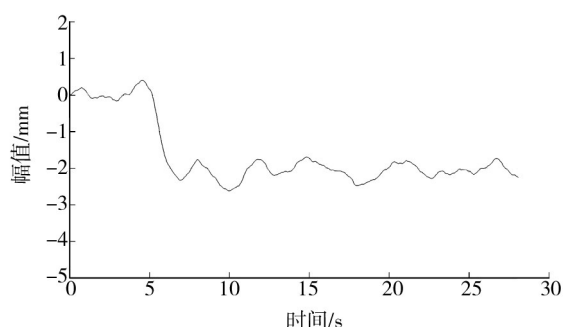


图8 二阶系统负阶跃激励响应曲线

Fig.8 Second order system response curve of negative step stimulus

响,给料机构在 $t + \Delta t_{y2}$ 时刻完成执行动作,在 $t + \Delta t_{y2} + \Delta t_z$ 给料才实际停止。然而由于系统测量延时,实际上系统在 $t + \Delta t_{y2} + \Delta t_z + \Delta t_{y1}$ 时才能测量到最后落入袋中的物料,即测得物料完全落入袋中。因此在系统检测某一质量并发出控制信号,到检测到停止给料的时间为 $t + \Delta t_{y2} + \Delta t_{y1} + \Delta t_z - t = \Delta t_{y2} + \Delta t_{y1} + \Delta t_z$ 。可见从系统检测到某一质量并发出控制信号,到系统检测到物料完全落入袋中的时间差,恰好是系统延时和空中落料时间总和。由此记录这2个关键点的时间,就可得到系统延时和空中物料落料总时间 Δt 。

综上所述,在两级给料切换和停止给料时,系统相当于受负阶跃激励,需要一个响应过程才能达到下一个稳定阶段,那么响应起始时刻就是两级给料切换和物料完全落入袋中的时刻。由此称重系统相当于对两级给料切换和停止给料的时刻进行了标记,只要记录过渡过程开始时间和发出控制信号时间,就可以得到某一次对应的系统延时和空中物料的落料时间总和。所以记录执行机构控制信号的时间和给料实际停止的时间,就可确定某一次的给料机构延时和空中物料的落料时间。

4.1.3 包装过程中 Δt_y , Δt_z 计算方法

系统延时决定于信号处理算法和执行机构响应速度,由此对于一个确定的包装机,其信号处理算法和执行机构响应速度已确定,系统延时的长短只受随机因素的影响,由此可将系统延时 Δt_y 视为恒定。空中料柱的落料时间与落料初速度和落料高度有关,而落料高度是袋中物料质量的函数,由此空中料柱的落料时间可以看作是袋中物料质量 m 的函数。包装机的两级给料和停止给料的时刻一般都处于包装后期,

即落料高度 h 与袋中物料质量 m 成线性关系。由上述分析可知,在两级给料切换点和停止给料点附近, Δt_z 与 m 非线性特性不严重,在短时间内可将其视为线性关系。故系统延时和空中料柱的落料时间 $\Delta t = \Delta t_z + \Delta t_y$,在忽略物料堆积密度变化的情况下可看作是 m 的线性函数。

由此如果能够得到若干个 m 与 Δt_z 的对应值,就可以拟合出一条在一定范围内 Δt 与 m 的近似关系曲线。实时上对系统延时和空中料柱的预测补偿,只有在两级给料切换点和停止给料点附近有必要,在远离这两点时没必要进行预测补偿。故可记录在两级给料切换点附近和给料结束点附近一系列的 m 与 Δt ,从而拟合出2条对应直线。在包装过程中当检测到袋中物料质量需要补偿,则可利用此曲线求出对应物料质量的 Δt 。 Δt 与 m 关系的计算方式见图9。

图9 Δt 与 m 关系确定流程Fig.9 Flowchart for determination of the relationship between Δt and m

由上可求得2个 m 与 Δt 的分段函数,只要检测袋中物料达到此区间,就可以计算出对应的系统延时和空中料柱落料时间之和 Δt 。

4.2 实时预测补偿方法

由上述分析可知,空中物料和系统延时导致实际完成包装时的袋中物料量多于检测到的值,且与落料时间、系统延时及给料速度成正比。由此只有

知道某一时刻 t 对应的 Δt_{y1} , Δt_{y2} , Δt_z 及 t 之后的物料堆积速度 v_m ,就可以对系统延时和空中料柱产生的给料误差 $\Delta m = \int_{t-\Delta t_{y1}}^{t+\Delta t_{y2}+\Delta t_z} v_m dt$ 进行精确计算。事实上 t 时刻之后物料还未落入袋中,因而无法计算 t 时刻之后的物料堆积速度 v_m ,但是 t 时刻之前的物料堆积速度可以实时计算得到。若视落料初速度相对恒定,则空中物料落料时间 Δt_z 与袋中物料质量 m 有关。对于一个确定的工作可靠的系统,系统延时可视为恒定。由此系统延时和空中物料落料时间之和 $\Delta t = \Delta t_z + \Delta t_y$ 可视为只与 m 有关。文中提出 t 时刻之前的物料堆积速度对包装机的系统延时和空中料柱进行预测计算,即有:

$$\Delta m = \Delta t(m) \overline{v}_m \quad (6)$$

$$\text{或 } \Delta m = \int_{t-\Delta t(m)}^t v_m dt \quad (7)$$

式中: $\Delta t(m)$ 为袋中质量为 m 时的系统延时和空中物料落料时间的总时间。 v_m 为 $t-\Delta t(m)$ 时刻到 t 时刻内的物料堆积速度; $\overline{v}_m$ 为 t 时刻之前一小段时间内的平均物料堆积速度。

式(6)表示用 t 时刻之前一小段时间内的平均物料堆积速度计算系统延时和空中物料的量,适用于给料速度变化不明确的情况。

式(7)表示用 t 时刻之前 $\Delta t(m)$ 时间内物料堆积的量来估计系统延时和空中物料的量,使用与物料堆积速度呈周期性波动的情况。

通过式(6)~(7)可以实时计算预测出由于系统延时和空中料柱导致的包装误差 Δm ,将此时物料质量相加就可以预测若此时控制执行机构动作最终袋中物料是否会超过预定值,从而决定是否控制给料机构。同时在包装机正常工作时,可以设计程序自动识别统计 Δt ,从而可以对 Δt 与 m 关系进行修正,以提高预测补偿精度。

5 结语

文中分析了包装机系统延时和空中料柱在包装过程中的变化及对包装精度的影响,研究了系统延时和空中料柱对包装精度影响的决定因素。在基于系统延时和空中料柱落料时间只与袋中物料质量有关的前提下,提出了系统延时和空中料柱落料时间的计

算方法。最后提出了利用实时计算出的系统延时和空中料柱的落料时间和前一刻内的物料堆积速度预测,计算出由此引起的包装误差,从而在包装过程中的关键时刻,对系统延时和空中料柱引起的包装进行预测和补偿,提高包装精度。

参考文献:

- [1] 李鹏. 动态定量称重系统的研究与实现[D]. 济南:山东大学,2006.
LI Peng. Research and Implementation of Dynamic Weighing System[D]. Jinan:Shandong University,2006.
- [2] 冯伟. 定量下料动态称重及控制系统的研究[D]. 济南:山东大学,2005.
FENG Wei. Study of Dynamic Weighing and Control System of Quantitative Cutting[D]. Jinan:Shandong University,2006.
- [3] 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.
PAN Song-nian, LUO Jian-min, XU Wen-cai. Accuracy of Packaging Quantity[J]. China Packaging,1998,18(4):84—86.
- [4] 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.
TIAN Peng-zhi. Accuracy and Speed of Weighing Packaging Machine[J]. China Packaging Industry,1998(8):15—16.
- [5] 刘苗生,张满生,刘剑. 提高用于包装计量电子秤精度的措施[J]. 包装工程,1999,20(2):43—44.
LIU Miao-sheng, ZHANG Man-sheng, LIU Jian. Measures to Improve the Precision of Electronic Packaging Scales[J]. Packaging Engineering,1999,20(2):43—44.
- [6] 高晶晶. 物料动态称重系统的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2007.
GAO Jing-jing. The Research of Materials Dynamic Weighing System[D]. Harbin:Harbin Institute of Technology,2007.
- [7] 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.
CHEN Bao-yuan, FANG Guo-zhi, YU Xiao-yang. Predictive Control Algorithm in Dynamic Weighting of Multilevel Feeding Pulverized Material System[J]. Electric Machines and Control,2005,9(3):287—290.
- [8] 杨新志,沙键,姚康. 粉状物料称重系统的预测控制[J]. 上海大学学报,19995(5):414—418.
YANG Xin-zhi, SHA Jian, YAO Kang. The Predictive Control for Weighing System of Powdery Materials[J]. Journal of Shanghai University (Natural Science),1999,5(5):414—418.

- [9] 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.
SU Jun-ming, LI Zhen-liang, LI Ya, et al. Research on Hopper Rated Capacity Design Methods of Ton Bag Packing Machine[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(7):95—100.
- [10] 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.
LI Bao-an, LI Xing-shan, LUO Xian-he. Dynamic Correction of Measurement Errors in Dynamic Weighing System[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2001, 22(3):251—254.
- [11] 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.
MAO Jian-dong. Dynamic Compensation and Correction in Dynamic Weighing System[J]. Food & Machinery, 2006, 22(2):84—86.
- [12] 杨祖彬,曾莉红.基于食品安全的我国食品包装机械技术发展路径探讨[J].包装工程,2011,32(13):117—120.
YANG Zu-bin, ZENG Li-hong. Discussion on Technical Development Path of China's Food Packaging Machine Based on Food Safety[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(13):117—120.
- [13] 戴宏民,王晨宇,周均.面向安全卫生壁垒的食品包装机械设计技术[J].包装工程,2012,33(9):135—138.
DAI Hong-min, WANG Chen-yu, ZHOU Jun. Technology-oriented Barriers to Health and Safety of Food Packaging Machinery Design[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(9):135—138.
- [14] 周欢伟,陈新,陈新度.基于属性约束的食品包装机械优化设计规划和算法[J].包装工程,2011,32(21):7—10.
ZHOU Huan-wei, CHEN Xin, CHEN Xin-du. Optimum Design Planning and Algorithm of Food Packaging Machine Based on Attribute Constrain[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(21):7—10.
- [15] 李晓刚.基于Matlab/Simulink的缓冲包装系统动态响应及影响因素分析[J].包装工程,2011,32(1):65—68.
LI Xiao-gang. Analysis of Dynamic Response and Influencing Factors of Cushioning Package Based on Matlab/Simulink[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(1):65—68.
- [16] 杨冠林,吴传续.机械产品运输包装设计的标准化流程研究[J].包装工程,2012,33(19):142—144.
YANG Guan-lin, WU Chuan-xu. Research on Standard Operating Procedure in Transport Packaging Design of Mechanical Product[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(19):142—144.

(上接第84页)

- Things Technology, 2011(8):44—45.
- [8] JESUDOSS P, MATHEWSON A, WRIGHT W M D, et al. Mechanical Assessment of an Anisotropic Conductive Adhesive Joint of a Direct Access Sensor on a Flexible Substrate for a Swallowable Capsule Application[J]. Microelectronics Reliability, 2013, 53:452—462.
- [9] WU Guang-hua, BO Tao, YIN Zhou-ping. Study on the Shear Strength Degradation of ACA Joints Induced by Different Hygrothermal Aging Conditions[J]. Microelectronics Reliability, 2013, (6):1—6.
- [10] LEE J S, KIM J K, KIM M S, et al. Reliability of Flip-chip Bonded RFID Die Using Anisotropic Conductive Paste Hybrid Material[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2010(10):175—181.
- [11] KIM S C, KIM Y H. Flip Chip Bonding with Anisotropic Conductive Film (ACF) and Nonconductive Adhesive (NCA) [J]. Current Applied Physics, 2013, 13:14—25.
- [12] KAY R W, STOYANOV S, GLINSKI G P, et al. Ultra-fine Pitch Stencil Printing for a Low Cost and Low Temperature Flip-chip Assembly Process[J]. IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, 2007, 30(1):129—136.
- [13] JANG K W, PARK J H, LEE S B, et al. A Study on Thermal Cycling (T/C) Reliability of Anisotropic Conductive Film (ACF) Flip Chip Assembly for Thin Chip-on-board (COB) Packages[J]. Microelectronics Reliability, 2012, 52:1174—1181.
- [14] ZHANG Yan, LARSSON R. Homogenization of Delamination Growth in an ACA Flip-chip Joint Based on Micropolar Theory[J]. European Journal of Mechanics A/Solids, 2009, 28:433—444.
- [15] SEPPALA A, RISTOLAINEN E. Study of Adhesive Flip Chip Bonding Process and Failure Mechanisms of ACA Joints[J]. Microelectronics Reliability, 2004, 44:639—648.