

多工位配料落差预估模型的建立

段振亚^{1,2},刘发伟^{1,2},杭柏林^{1,2}

(1.青岛科技大学 机电工程学院,山东 青岛 266061;2.软控股份有限公司,山东 青岛 266045)

摘要:针对配料过程的速度控制进行了工程化改进,在多工位累计称量中,物料的累积使给料器出口与料筐内物料高度不断发生变化,根据给料速度和称量高度建立正在下落物料量的预估模型,采用预估模型与传统的预关门控制方法进行对比。仿真结果表明预估模型优于传统的预关门控制方法,可在多工位配料中使用。

关键词:多工位配料;落差;预估

中图分类号:TQ330.4+93/+3;TP29 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2013)07-0427-05

配料工序是橡胶、印钞、油墨、水泥、化工、食品等工农业生产中的源头工序,也是整个生产过程中的重要环节^[1-2]。配料质量控制的优劣直接关系到下游生产能否顺利进行,如果配料质量达不到要求,轻则造成原料、能源的浪费,重则影响产品的质量和产量,有些重要生产的配料失误甚至会给整个生产酿成事故^[2]。因此,配料精度和配料速度的大小制约着整个生产的产品质量和产量,应对配料过程和产量控制给予足够的重视。

众多研究者对配料精度与配料速度已有过研究^[3-4]。但大多数研究者对落差对称量精度的研究不深,有些研究也只是对单种物料称量时落差做过研究^[5-6]。本工作主要对多种物料称量时落差对称量精度的影响进行研究。

1 影响因素及控制方法

影响称量精度的原因是多方面的,主要有以下因素^[6-7]:

- (1)物料下落的冲击力;
- (2)给料装置的动作滞后;
- (3)配料过程产生的落差以及物料流不稳定产生引起落差的随机变化;
- (4)物料的粘连性。

基金项目:“十二五”科技支撑计划项目(2011BAF05B00);山东省自然科学基金资助项目(ZR2009BL022)

作者简介:段振亚(1974—),男,河南舞阳人,青岛科技大学副教授,博士,在软控股份有限公司博士后工作站从事橡胶加工设备研发工作。

上述因素中,对配料精度影响最大的因素就是落差。因此,为保证称量的准确性,必须在称量即将完成时,对空中悬留物料的质量进行预估。

在配料过程中,物料从给料装置下落到料筐,到达料筐后才能通过称量装置得到实际的质量信号。由于在空中尚有余料,因此得到的质量信号并不能及时反映给料装置下落的实际物料质量,而且当给料装置停止给料后,最后料筐内物料的实际质量包括这部分的落差质量。

克服因落差引起的称量误差的唯一方法就是提前关闭给料门或停止螺旋输送电机等给料装置。由于各种因素的影响,落差值是一个随机的变量,如何确定提前时间(预关门),使得在该时间内不足的物料的质量恰好等于落差值,是最需解决的问题。目前,广泛应用的落差控制方法主要有脉动加料法和粗称/精称法^[8]。

1.1 脉动加料法

在被称量的物料达到一定值时,控制给料门开始按设定的周期脉动,使料门不断地开闭,在称量达到设定值时,停止脉动,关闭给料门。由于料门的脉动,使得落差值变小,因此减小了误差。

在物料均匀、不结块的情况下,采用这种称量方法可以保证称量的准确性。但由于物料本身的特性,在物料结块、不均匀的情况下,称量时间就会变长,导致称量效率降低。

1.2 粗称/精称法

粗称/精称法原理与脉动法类似,也是减小达到设定值前一段时间的落差值。这需要对给料装

置进行一些改动。在实际使用中,一般采用双门法,即设置一大一小两个给料门,在开始称量时两个给料门全都打开,当称量值达到设定值90%时,关闭大料门。由于小料门的落差值小,减小了总计量误差,小料门越小,计量精度越高,料门的大小比例需要根据实际情况选择,使其既保证精度,又保证速度。

但当物料本身的物理特性发生变化、粘连性发生变化或环境引起物料的含水量增加时,会导致物料不均匀、易结块,依然难以保证称量的准确性^[9]。

考虑以上2种控制方法的不足,本工作提出多段速度给料和落差预估控制方法,并对配料过程的速度控制进行了工程化改进,便于使用PLC实现控制。多段速度控制给料示意图1。

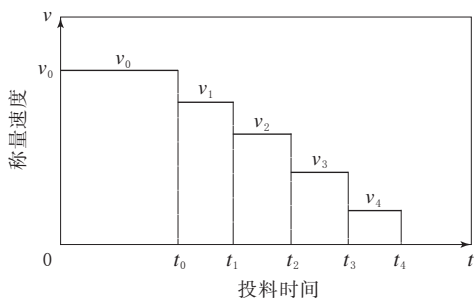


图1 多段速度控制给料示意

在以最低速度称量时,采用落差预估控制,在最终称量结果接近目标值时,即停止振动给料器的输出,停止给料,此时的值称为预关门值,这样就可以排除落差物料对最终精度的影响。

2 多工位配料结构

在炼胶配料过程中,橡胶性能不同,其配方组成也不同,物料是按固定顺序排放的,把一个配方所需的多种物料用料筐进行收集,每一种物料设一个工位,工位上配备了料仓、给料装置和称量装置,料筐放在称量装置上,物料从给料装置落到料筐中,物料到达料筐底部的才作为计量量。由于给料装置出口到料筐底部有一定的高度,在这个高度上有正在下落的物料,对这些物料量估计的准确程度是影响称量精度的重要一环。

软控股份有限公司研制的配料系统结构如图2所示,在国内外许多轮胎厂家已经应用,如米其

林、普利司通和双钱集团等。该配料系统采用多工位、环形结构设计,根据配方设定多种物料单独、分别同时称量,混合配比,采用全自动化生产运行方式,降低了工人劳动强度,极大地提高了生产效率。采用单料单秤、总秤校验的称量方式,根据物料特性和量程选择高精度的秤和配料控制器,设计了不同形式的给料器,并且设计有校验秤确保称量精度。

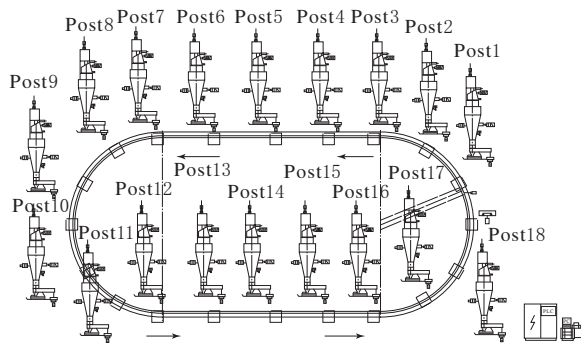


图2 配料系统结构

配料系统采用多工位设计方案,实际生产过程中,一般采用10~20工位。以18工位为例,有18个称量工位、1个总校验工位。18个称量工位针对不同种类的物料进行称量,总校验工位对总称量的物料进行合格检测。生产配方包括要称量物料的种类、质量和允许误差,当下达生产配方后,由操作人员在总校验工位的料筐内套袋,并确认开始称量,环形输送线自动旋转,当旋转到需要称量的工位时,开始自动称量,当旋转一周后,即称量完成配方中所有物料,到达总校验工位,由校验秤进行整个配方质量的检验,合格后即完成该配方的称量。

假设每个工位用 G 表示,则: $G_1, G_2, \dots, G_i, \dots, G_n (i=1, 2, \dots, n)$, n 为系统工位,其中 G_1 和 G_{n+1} 在同一个位置,若起点位置为 G_1 ,终点位置为 G_{n+1} ,将起点和终点放在一个位置可减少人员操作,便于控制。其工作过程如下:在起点,操作人员将集料袋放在集料筐内,输送线前进一个工位,每种物料由PLC控制,判断是否称量,其条件是:集料筐内有集料袋,且在该配方中有该物料及称量没结束,而终点将配好的集料袋卸下,装上空的集料袋重新进入输送线。该输送线的特点是集料袋从起点到终点收集一圈物料完成一个配

方。称完一种物料输送线推动集料筐前进一个工位,各工位及称量关系如图 3 所示^[10]。

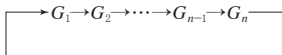


图 3 各工位及称量关系

3 基于落差高度与速度配料预估模型

在多工位配料中,每种物料称量完时,在料筐中的物料有一定的堆积高度。在下一物料称量时给料口到料筐内物料面的距离已经发生改变,因此每种物料称量时给料口到料筐内物料面的距离是不一致的,配方不同,所需物料的量也不尽相同,采用传统的预关门控制方法,很难保证称量精度。因此,需要根据所需的量对每种物料高度进行计算,再根据高度和给料停止时的给料速度,对空中落差物料的质量进行预估,这部分落差质量对配料精度的提高影响很大。因此,在配料称量过程中对落差质量的估计对于保证称量精度具有重要意义。

在实际生产过程中,物料在料筐中是成山丘状而不是均匀堆积的。为能够更方便、更直观地观察与计算,在建立数学模型时,假设物料在料筐中是均匀平铺的。

由于多种配料采用累计称量方式,设计、安装保证使每个工位给料装置出料口距料筐底部的高度相同(为 H_1),料筐的底面积相同(为 S),相对关系如图 4 所示。与某种物料相关的变量分别为:

ρ_i 为第 i 种物料的密度, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$;

W_i 为第 i 种物料设定的物料质量, kg ;

t_i 为第 i 种物料从给料口落到料筐所用的

时间, s ;

v_i 为第 i 种物料停止给料时的速度, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;

H_N 为第 i 种物料从给料口到料筐内物料面的距离, m ;

h_i 为第 i 种物料在料筐中平铺的高度, m ;

Q_i 为第 i 种物料在料筐中的体积, m^3 。

设物料从给料口的下落为自由落体,物料从给料口到达料筐所用的时间为:

$$t_i = \sqrt{\frac{2H_N}{g}} \quad (1)$$

设称量速度为匀速,在空中的物料质量为

$$W_{pi} = v_i t_i = v_i \sqrt{\frac{2H_N}{g}} \quad (2)$$

料筐中物料的体积为

$$Q_i = Sh_i = a^2 h_i \quad (3)$$

料筐中该物料的质量满足:

$$W_i = \rho_i Q_i \quad (4)$$

综合式(3)和(4)可以得到某种物料在料筐中堆积的高度为

$$h_i = \frac{W_i}{\rho_i a^2} \quad (5)$$

此时给料口到料筐内料面的距离为

$$H_N = H_1 - \sum_{i=1}^{N-1} h_i \quad (6)$$

N 为已称完物料数。

将式(6)代入(2)可得

$$W_{pi} = v_i \sqrt{\frac{2(H_1 - \sum_{i=1}^{N-1} h_i)}{g}} \quad (7)$$

式(7)表明不同物料停止给料时的速度、高度均可预估,解决了给料速度和落差高度变化的物料量估计的难题,为精确称量提供了理论支持。

4 数值仿真

从预估模型可以发现,系统固有特性参数有 H_1 和 a ,这些参数可以通过设计得到。 ρ_i 受多种因素的影响(如吸潮等),在配料过程中还有可能发生变化,难以精确确定,但其变化率对称量影响不大,可采用出厂时的物料密度。根据预估模型,采用 Visual Studio 软件中的 C# 语言编程进行

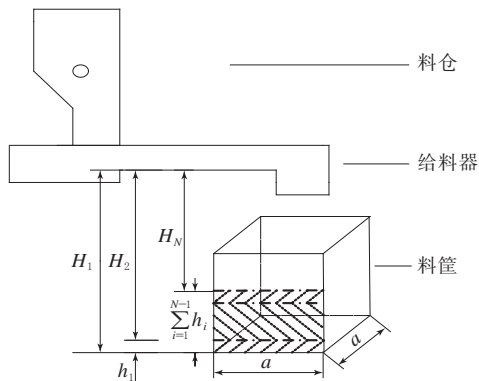


图 4 给料装置相对关系

数值仿真。

选取系统固定参数 a 为 0.4 m , H_1 为 0.7 m , g 取 $9.8\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ 。

选取一种配方进行仿真,配方中包括的物料及相关参数见表 1。

W_i 为某一物料的设定质量, W_t 为该种物料的实际称量质量。根据配料系统最大称量 10 kg 和速度变化的要求,利用倒推法,在称量速度为 v_1, v_2, v_3 和 v_4 时,称量时间为 3 s ,称量约 1.11 kg ,剩余物料量以 v_0 速度进行称量。当 $W_i \geq 5\text{ kg}$ 时, v_0 为 $400\text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$,称量 10 kg 物料约需 35

$$v = \begin{cases} v_0 = 300\text{ g}\cdot\text{s}^{-1} & W_i \geq 1.110\text{ kg} \\ v_1 = 200\text{ g}\cdot\text{s}^{-1} & W_i - 1.110\text{ kg} \leq W_t < W_i - 0.510\text{ kg} \\ v_2 = 100\text{ g}\cdot\text{s}^{-1} & W_i - 0.510\text{ kg} \leq W_t < W_i - 0.210\text{ kg} \\ v_3 = 50\text{ g}\cdot\text{s}^{-1} & W_i - 0.210\text{ kg} \leq W_t < W_i - 0.060\text{ kg} \\ v_4 = 20\text{ g}\cdot\text{s}^{-1} & W_i - 0.060\text{ kg} \leq W_t < W_i \end{cases} \quad (8)$$

为更符合实际,数值仿真时速度的设定值叠加了 $\pm 10\text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$ 的随机变化量。图 5 和 6 所示分别为防老剂 4020 和氧化锌数值仿真速度曲线,其他物料的数值仿真曲线相近,在此不一一列出。

累计称量方式多种物料顺序称量后在料筐中的高度变化情况见图 7。

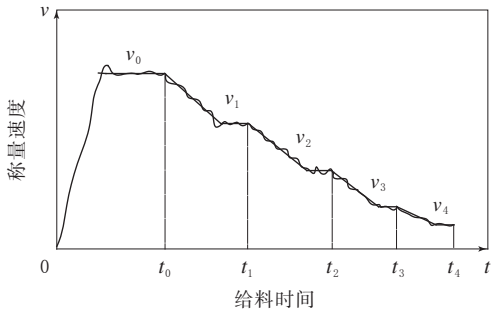


图 5 防老剂 4020 数值仿真速度曲线

表 1 物料及相关参数				
序号	物料名称	设定质量/kg	密度/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	允差/kg
1	促进剂 NS	1.93	520	± 0.01
2	防老剂 4020	2.83	770	± 0.01
3	硬脂酸	5.80	690	± 0.01
4	微晶蜡	3.86	580	± 0.01
5	氧化锌	6.76	620	± 0.01
6	合计	21.18		± 0.05

s;当 $W_i < 5\text{ kg}$ 时, v_0 为 $300\text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$,称量时间在 30 s 以内。根据这些条件,多段给料速度大小和变换点见式(8)。式(8)为每种配料均应遵循的一般规则。

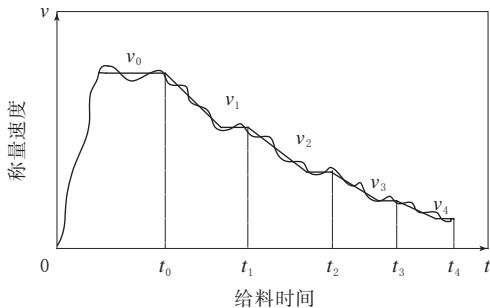


图 6 氧化锌数值仿真速度曲线

5 对比分析

表 2 所示为预关门控制方法现场实际称量结果,表 3 所示为相同配方采用预估模型方法的数值仿真数据,每次称量的上一行为称量值,下一行为称量误差。从表 2 中可知,预关门控制方法称量结果的平均误差为 0.007 kg ,总质量平均误差

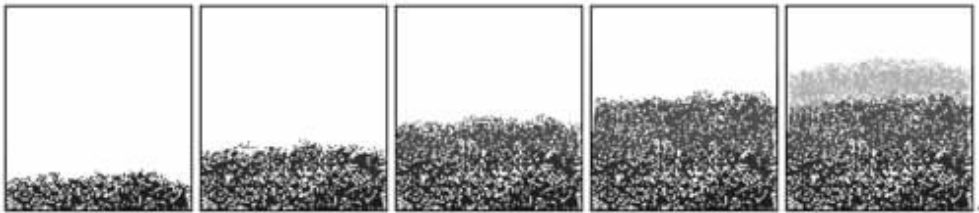


图 7 多种物料顺序称量后在料筐中的高度变化

表 2 预关门控制方法现场实际称量结果							kg
车次	促进剂 NS	防老剂 4020	硬脂酸	微晶蜡	氧化锌	总量	
1	1.922	2.823	5.794	3.855	6.754	21.148	
	-0.008	-0.007	-0.006	-0.005	-0.006	-0.032	
2	1.923	2.826	5.792	3.855	6.751	21.147	
	-0.007	-0.004	-0.008	-0.005	-0.009	-0.033	
3	1.924	2.825	5.795	3.853	6.758	21.155	
	-0.006	-0.005	-0.005	-0.007	-0.002	-0.025	
4	1.925	2.821	5.791	3.855	6.750	21.142	
	-0.005	-0.009	-0.009	-0.005	-0.010	-0.038	
5	1.922	2.823	5.790	3.851	6.754	21.140	
	-0.008	-0.007	-0.010	-0.009	-0.004	-0.040	

表 3 采用预估模型方法的数值仿真数据							kg
车次	促进剂 NS	防老剂 4020	硬脂酸	微晶蜡	氧化锌	总量	
1	1.929	2.828	5.857	3.857	6.758	21.170	
	-0.001	-0.002	-0.003	-0.005	-0.002	-0.010	
2	1.931	2.827	5.799	3.859	6.757	21.173	
	0.001	-0.003	-0.001	-0.001	-0.003	-0.007	
3	1.933	2.831	5.798	3.858	6.758	21.178	
	0.003	-0.001	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	
4	1.932	2.825	5.802	3.863	6.758	21.180	
	0.002	-0.005	0.002	0.003	-0.002	0.000	
5	1.929	2.834	5.802	3.858	6.763	21.186	
	-0.001	0.004	0.002	-0.002	0.003	0.006	

为 0.034 kg。从表 3 中可知,建立在预估模型基础上仿真结果的平均误差为 0.001 kg,总质量的平均误差为 0.003 kg,后者的称量精度要远高于前者。此外,根据表 2 和 3 的数据可以明显看出,本模型中每种物料的平均误差与总质量的平均误差均小于实际的称量误差,且比实际精度高。因此,可以得出本文模型的数值仿真结果优于预关门控制方

法,可在配料过程中推广应用,而且通过建立一般规则,可大大缩短调试时间,保证称量精度。

6 结语

通过建立多工位配料落差预估模型对配料过程中正在下落的配料量进行估算,并对估算模型进行数值仿真,结果表明此模型与普遍采用的预关门控制方法相比,可大大提高称量精度。

参考文献:

[1] 贺洪议,黄尔烈. 水泥生产配料的微机控制系统[J]. 自动化仪表,2002,4(4):20-23.

[2] 赵佰亭. 全自动小料配料称量系统智能控制和控制方法的研究[D]. 青岛:青岛科技大学,2005.

[3] 姜丽娟,高彦臣,杭柏林. 配料控制显示器的研制[J]. 自动化与仪器仪表,2002,99(1):33-35.

[4] 杭柏林,袁仲雪,高彦臣. 配料系统给料速度的自动控制[J]. 橡塑技术与装备,2001,27(2):35-36.

[5] 张国峰. 在配料控制系统中应用专家系统调整落差值[J]. 粮油加工与食品机械,2000,265(1):31-33.

[6] 戴中仪,褚天鸣. 混凝土配料中落差的修正及计算机配料系统[J]. 混凝土与水泥制品,1997,3(3):20-23.

[7] Bailing H, Lianming S. Parameter Self-tuning Based Industrial Batching and Weighing Control System[J]. International Journal of Innovative. Computing Information and Control, 2009,5(11):3995-4005.

[8] 朱敏杰. 智能配料控制器的研究与开发[D]. 西安:长安大学,2006.

[9] 袁仲雪,杭柏林. 小料自动配料称量系统的研制[J]. 世界橡胶工业,2000,27(4):20-23.

[10] 杭柏林,申洪雷. 配料系统三级计算机管理与控制[J]. 自动化博览,2004,21(增):80-82.

收稿日期:2013-01-24

Prediction Model of Feed Rate in Multi-station Batching Process

DUAN Zhen-ya^{1,2}, LIU Fa-wei^{1,2}, HANG Bai-lin^{1,2}

(1. Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China; 2. Mesnac Co., Ltd, Qingdao 266045, China)

Abstract: In this paper, the speed control of batching process was studied and improved. The height from feeder outlet to materials surface in the container changed constantly in the multi-station weighing system due to the accumulation of the materials. The prediction model of suspended material was developed based on feeding speed and the height. The simulated results showed that the new method was better than traditional pre-closing control method and could be applied in the multi-station batching system.

Key words: multi-station batching; height; prediction