

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2020.10.015

微量混合粉状颗粒称量系统设计

Design of weighing system for micro mixing powdery particles

侯达盘 刘菊东

HOU Da-pan LIU Ju-dong

(集美大学机械与能源工程学院, 福建 厦门 361021)

(Jimei University School of Mechanical and Energy Engineering, Xiamen, Fujian 361021, China)

摘要: 为了提高混合粉状颗粒的称量准确性和效率, 对混合粉状颗粒的物料特性进行研究。根据物料混合后的密度、结合性、定量大小对定量下料准确度的影响, 提出通过容积定量成型后进行组合计算的方法解决定量误差, 并研究不同组合模型对组合定量误差的影响, 及组合过程中单斗定量误差对组合过程的影响。结果表明, 容积成型可以保持物料的颗粒混合均匀性, 根据组合秤组合过程进行分析和仿真可以得到组合过程中对物料组合进行干预得到更高的准确度和利用率。

关键词: 微量混合; 容积定量; 组合秤; 准确度

Abstract: To improve the weighing accuracy and efficiency of mixed powder granules, the material characteristics of the mixed powder granules were studied. The material characteristics of mixed powdery particles are studied. According to the influence of the density, binding property and quantitative size of the mixed materials on the accuracy of quantitative feeding, a method of combined calculation after volumetric quantitative molding is proposed to solve the quantitative error. Studied The influence of the combination model on the combination quantitative error, and the influence of the single bucket quantitative error on the combination process in the combination process. The volume forming can keep the uniformity of the particles, Analysis and simulation according to the combination process of the combination scale can obtain the higher accuracy and utilization rate by intervening the combination of materials in the combination scale.

Keywords: micro mixed; volume quantification; combination balance; accuracy

随着食品工业的发展, 散状物料的定量准确度和定量速度都能达到满意的结果, 但是对微量粉状颗粒的保

健食品和药品等贵重物料的定量却不尽人意, 特别是混合均匀后的多种粉状颗粒散物料进行自动定量称量充填技术。目前对精度要求不高的食品行业可以采用容积法定量和称重式定量对混合粉状物料进行称量, 但对于保健品、药品等贵重食品行业, 其准确度还不能满足使用要求。周丹等^[1-2]提出采用螺杆输送和混合式加料进行粉体填充, 但此方法存在两个缺陷: ① 螺杆在旋转驱动混合颗粒向前进给过程中, 物料受螺杆表面摩擦力影响, 及不同性质颗粒相互作用频繁使得运动形态复杂容易导致混合物出现物料分层现象^[3-4], 不能保证产品的混合均匀性; ② 混合式加料采用初次加料称重后进行补料, 微量称量的二次补料量极小, 存在一定误差, 在生产中难以实现。为解决准确、均匀定量的问题, 研究拟提出一种基于容积法的组合计算过程, 采用容积法对粉状颗粒初次定形定量, 通过对定容物料组合计算过程的问题进行研究。

1 称量方法选择

目前, 传统的粉状颗粒的计量方式主要有两种, 容积法和振动给料称重法。这两种方法各有优缺点和不同的应用条件, 容积法计量速度相对较快, 但误差较大, 需要对物料的堆积密度保持稳定, 微量称量过程中误差很难控制在合理范围。振动给料称重法精度很高, 但是因为混合物料的颗粒密度的不同, 在振动过程中会对颗粒混合均匀性产生影响, 振动幅度越大、时间越长, 混合越不均匀^[5-7]。通过微量组合系统可以快速地提升准确度和称量速度^[8], 其主要特征: ① 采用容积法定型保证物料的均匀性和快速定量; ② 容积法称量后采用小型称重平台对产品进行准确称量; ③ 通过计算得到较精确的组合, 保证称量目标值的准确度。

2 微量混合粉状颗粒称量系统的设计

容积式的称量法在微量定量过程中会产生一定的误差, 量越小, 误差的比例就会越大。称量后, 通过 3~5 斗的组合可以将误差控制到很小的范围^[9-10]。

基金项目: 福建省中青年教育科研项目(编号: JAT160275)

作者简介: 侯达盘(1980—), 男, 集美大学讲师, 硕士。

E-mail: dphou@jmu.edu.cn

收稿日期: 2020-04-21

2.1 定容积称量方式的设计

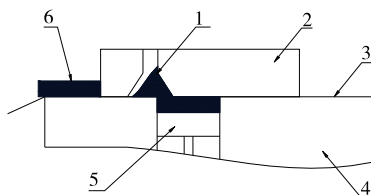
设计合理、制造和装配精良的容积计量系统,以及稳定的物料堆积密度,通过调试可以保证大部分计量在较小的误差范围内。快速的容积计量可达到提高计量速度的目的,称重校核可获得准确的计量数值。

利用混合颗粒为固态的特点采用定容式如图 1 所示,首先制造与成品横截面相同的高精度模具。送入较多的混合颗粒,填满模具型腔后,型腔压板微向上顶促使颗粒成型,移动台后撤将多余部分去除,型腔压板将物料顶出,由移动台向前将成型颗粒推入称重台,同时进行第二次加料。称重台对物料进行校核,误差越小越有利于组合。

定容成型后,物料经过称量得到准确的质量 t_i ,再经过计算机组合得到最佳组合单元,如图 2 所示,称重单元向下投料到模具空腔,在成型、称量、投料过程中物料始终保持结合成型状态,所以不会产生分层现象。经过第二次的挤压、成型后,形成最终成品。

2.2 组合过程对称量准确度的影响

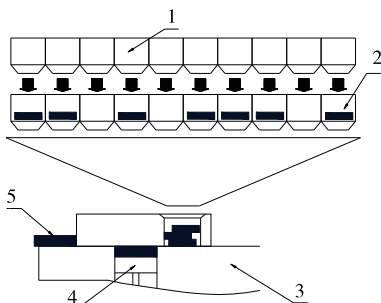
组合秤最大特点是多个称量斗同时被加料。假设当称量头数为 n ,各个定容物料的质量服从正态分布 $N(u, \sigma^2)$,每次有 m 个定容物料组合,则有 $x = C_n^m$ 种组合,每个随机定容物料互相独立,可以计算出组合后的总质量 T 服从正态分布 $N(mu, m\sigma^2)$,假设定量允许误差为 $\pm \epsilon$,



1. 混合颗粒 2. 移动台 3. 导向面 4. 基座 5. 型腔压板
6. 物料成品

图 1 定容成型装置结构图

Figure 1 The device of constant volume forming



1. 定容成形器 2. 称重单元 3. 基座 4. 型腔压板 5. 物料成品

图 2 定容称量组合秤

Figure 2 Combination balance base on constant volume forming

即合格质量要求在 $(T - \epsilon, T + \epsilon)$ 之间, P_i 为一次定量组合合格的概率^[11]。

$$P \{ T - \epsilon << T_i << T + \epsilon \} =$$

$$P \{ -\epsilon << T_i - T << +\epsilon \} =$$

$$P \left\{ \frac{-\epsilon}{\sigma\sqrt{r}} << \frac{T_i - mu}{\sigma\sqrt{r}} << \frac{\epsilon}{\sigma\sqrt{r}} \right\} = \phi \left(\frac{\epsilon}{\sigma\sqrt{r}} \right) - \phi \left(-\frac{\epsilon}{\sigma\sqrt{r}} \right).$$

(1)

式(1)中 $\frac{T_i - mu}{\sigma\sqrt{r}}$ 服从正态分布 $N(0, 1)$, 概率函数

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-x}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt.$$

假设合格组合概率为 P , 则不合格组合的概率为 $1 - P$, x 次组合中连续不合格组合的概率为 $(1 - P)^x$, 则 x 次组合中的合格组合概率为

$$P_i = 1 - (1 - P)^x. \tag{2}$$

只有在定量允许误差 $\pm \epsilon$ 范围内组合为合格, 即 P_i 的值越大。从式(2)可知, 要保证 P_i 足够大, 则必须增大 P 和 $x = C_n^m$ 。

(1) 根据式(1)要增大 P_i 采用增大定量允许误差为 $\pm \epsilon$ 受到准确度要求限制, 必须减小每次参与组合数量 m 和减小定容物料每次定容质量分布的标准差 σ 。而组合数量 m 过小时, 不利于组合成功。

(2) 要增大组合的数量 C_n^m , 可以增大组合秤的总数 n , 或者增大每次参与组合的定容个数 m , 与前面要求相反。

所以要得到较好的合格率 P_i , 必须减小每次组合时单个定容物料的标准差 σ 。

组合后总质量的 M 为合格品的概率, 开始时则有 14 个称量料斗同时被加料, 以后每次对被选为组合而清空的料斗加料(一般为 3~5 个), 由于被称物料的不均匀性和部分颗粒密度大, 致使每个斗的物料质量有相当大的偏差。首先由称量传感器快速正确判断每个斗中物料的精确质量, 然后由计算机采用随机组合运算方法, 运算次数一般为 C_n^m 次, 即 14 斗组合 4 斗的运算次数为 $C_{14}^4 = 1001$ 次, 10 斗组合 4 斗的运算次数为 $C_{10}^4 = 210$ 次。每个组合运算结果与所设定目标质量比较, 找出最接近目标质量的组合。

3 组合称量过程中存在的问题及解决办法

每个斗的质量是按正态分布 $N(u, \sigma^2)$ 随机产生的, 如果大部分误差都大于 u , 在组合过程中有可能某一次所有的质量组合都不合格; 选用称量斗时优先选用误差较小的进行组合, 可能产生某一误差较大的斗一直未被选用, 必须采取一定的措施进行解决。

3.1 避免某个定容单元长时间闲置的方法

组合秤采用 n 个单元斗随机组合, 每次组合随机找

取最接近目标值的组合。因此,各单元斗不能均匀使用,某一个单元偏大或偏小就有可能长时间未被选用,造成长时间闲置的问题。同时相应的称量传感器就长期得不到零位的调整而降低称量准确度。这样就不能使该单元得到充分利用,无法将组合秤的功用发挥至最佳。

鉴于以上问题,必须要尽量保持各单元使用均匀。在不影响称量结果的前提下,当某个单元长时间未被选到时,应该首先选用该单元。综合考虑了单元的数目以及组合单元的数量,设定当某个单元连续 8 次未被选用时,首选该单元。

3.2 避免出现不合格组合的措施

假设 14 个斗中的 m 个被选为了上次的组合,在这次组合中清为零,剩下 $14-m$ 个斗。如果这 $14-m$ 个斗中有 7 个以上的斗质量都大于每斗标准质量的 $(100.0\% + 0.5\%)$ 或者都小于每斗标准质量的 $(100.0\% - 0.5\%)$,就出现了多个单元斗质量一齐偏大或一齐偏小的现象,这就造成在后续组合过程中有较大的概率产生不合格的情况。

因此在此处进行判断后,为了尽可能防止最终结果不合格,需采取措施。如果判断为有较大的可能性不合格,达到了检测标准,则在对上次为零的料斗加料时控制加料量,使其中某一个斗的加料量为原标准值的 $100.0\% - 3 \times 1.5\%$ (检测时质量偏大)或 $100.0\% + 3 \times 1.5\%$ (检测时质量偏小),然后在下次组合时优先选用该斗以消除有过多的单元斗不合格的情况,从而最大限度地避免不合格组合的出现,组合过程见图 3。

对于组合斗数为 3 的情况,11 个斗中是否有 7 个以上斗的质量不合格,特殊加料量为标准值的 $100.0\% -$

$2 \times 1.5\%$ (检测时质量偏大)或 $100.0\% + 2 \times 1.5\%$ (检测时质量偏小)。若组合斗数为 5,则考虑剩余 9 个中是否有 5 个以上斗的质量不合格,特殊加料量为标准值的 $100.0\% - 4 \times 1.5\%$ (检测时质量偏大)或 $100.0\% + 4 \times 1.5\%$ (检测时质量偏小)。

为了测试该方法是否有效,进行仿真试验。试验进行 1 000 次组合,组合斗数分别选用 3、4 斗。

从表 1 可知,采用此方法大大降低了不合格率。各个范围内的质量,采用不同的组合斗数,合格率都比较高。反观不采取任何措施时,不合格率明显很高,特别是在称量范围大于 100 g 的情况下,不合格率偏大,存在称量效率降低,不符合生产要求。由此可见,预防措施有效,并且在实际控制中也比较容易实现,只需调整下模具的型腔空间即可。采用此预防措施可以较大幅度地避免不合格组合的出现。

4 计算机仿真及结果

依据某型混合机对多种粉状药物进行混和后,在模具腔内定容成型后得到的重量 t_i ,对实际的组合过程,仿真流程:

采用正态分布产生 n 个随机数,仿真 n 个称料斗质量 $t_i (i=1,2,3,\dots,n)$ 。组合计算可能的组合质量 $T_i (i=1,2,3,\dots,r)$ 。根据目标质量 T 和上下限 $\pm \epsilon$ 判断 T_i 是否合格,将与均值相差最小的 r 个斗中的物料组合并标记。如图 4 所示,斗 1、3、4、9 被选中组合得到目标质量 12.01 g,余下的 10 个斗进行组合选中一个最佳组合,将组合完的空置斗 1、3、4、9 按照正态分布生成新的随机变量,按照图 3 组合过程。继续下轮组合。若某斗中物料连续 8 次没有参与组合,则优先选择与其他斗组合。重复 2 组试验,每组进行 1 000 次仿真组合,设目标值为实际应用的 12 g 和 30 g 两种情况。仿真如图 4 所示,左边显示的是每个斗物料的质量,右边显示出每次的最佳组合和组合最终质量 T_i 。

分别对 3 单元和 4 单元两种情况进行仿真,其他参数和组合结果如表 2 所示。

通过仿真可以发现:预防不合格组合过程中优选某一单元的次數较多,最高达到 46%,主要剩下的单元为

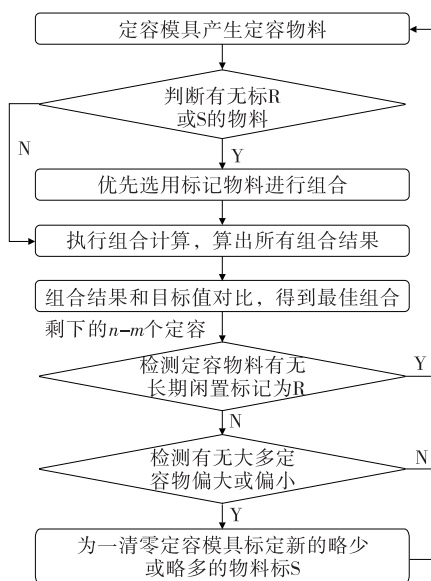


图 3 组合过程的流程图

Figure 3 Flow chart of combined process

表 1 采用预防措施与否的合格率

Table 1 Qualified rate whether or not use preventive measures %

组合数	是否采用	12 g	30 g	100 g	600 g
3	是	100.00	100.00	99.94	99.89
	否	98.62	98.43	97.80	90.80
4	是	100.00	100.00	99.92	99.60
	否	98.76	98.50	97.60	91.10



图 4 组合过程的仿真图

Figure 4 Simulation of combined process

表 2 计算机仿真结果

Table 2 Results of computer simulation

组合方式	目标值/g	不合格组合 优选/次	优选长时间 闲置/次	最大误差 差值/g	误差/ %
3	12	302	334	11.84	1.30
4	12	460	88	11.92	0.67
3	30	223	375	30.42	1.40
4	30	403	106	29.74	0.86

10, 设定的偏大或偏小单元数为 7, 总容量较小, 所以出现的概率较大; 微量组合 (30 g 以下) 的误差值较小, 最大误差 1.4%, 符合生产的使用要求 ($\pm 1.5\%$)。

5 结论

(1) 在采用容积式定量填充的情况下, 可能获得的定量是一个随机数, 受到密度变化、定量过程速度和压力的影响可能产生较大的误差, 通过组合后, 所获得的称量较为靠近目标值。

(2) 采用定容成型再组合称量, 全过程物料保持成形状态, 可以避免物料的分层, 保持物料的混合均匀性。

(3) 组合的包数越多, 出现闲置斗的可能性就越低, 最大误差相对较低, 出现合格组合的概率更大。对于贵重医药品的物料具有较好的应用价值, 可以将误差控制在较小的范围, 同时又能准确定量代替人工或容积法称量。

随着食品药品工业的发展和传感器技术的发展, 微量称量组合计算的精度会越来越高, 目前研究的称量质量还有向微量化发展的趋势, 下一步的工作需要在系统组合计算过程中的算法方面和称量过程的系统设计作进一步研究。

参考文献

[1] 周丹, 方先其, 王利强, 等. 一种超细粉充填计量结构研究[J]. 包装与食品机械, 2019, 37(6): 37-41.

[2] 张建. 粉体定量加料器及应用研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2008: 55-69.

[3] 刘邱祖, 马麟, 董凯凯, 等. 振动特性对颗粒混合均匀性影响的 EDEM 模拟[J]. 中国粉体技术, 2017, 23(4): 27-31.

[4] 姜泽辉, 陆坤权, 厚美瑛, 等. 振动颗粒混合物中的三明治式分离[J]. 物理学报, 2003(9): 2 244-2 248.

[5] 母应坤, 孔维姝, 胡林, 等. 探讨振动激励下湿颗粒物质中的断层行为[J]. 振动与冲击, 2014, 33(13): 166-168, 182.

[6] 苏俊明, 李振亮, 李亚, 等. 称重式包装机两级给料最优切换点的确定方法[J]. 食品与机械, 2015, 31(1): 99-103.

[7] 马蕾, 田怀文. 一种自动计量装置设计研究[J]. 机械设计与制造, 2013(6): 21-23.

[8] DEL CASTILLO E, BERETTA A, SEMERATO Q. Optimal setup of a multihead weighing machine [J]. European Journal of Operational Research, 2017, 259(1): 384-393.

[9] GACIA-DIAZ J C, PULIDO-ROJANO A, GINER-BOSCH V. Bi-objective optimisation of a multihead weighing process[J]. European Journal of Industrial Engineering, 2017, 11(3): 403-423.

[10] GACIA-DIAZ J C, PULIDO-ROJANO A. Performance analysis and optimisation of new strategies for the setup of a multihead weighing process[J]. European Journal of Industrial Engineering, 2020, 14(1): 58-84.

[11] 邓志辉, 张西良, 刘剑敏, 等. 组合秤组合模型对定量误差影响研究[J]. 机械设计与制造, 2006(3): 108-110.

信息窗

泰国新发布了食品中微生物的限量标准

泰国公共卫生部 10 月 19 日消息: 泰国政府公报 10 月 9 日刊登该部发布的第 415 和 416 号公告, 重新规定了食品中微生物的限量标准。

上述公告内容概况如下所述:

(1) 泰国公共卫生部第 415 号公告内容包括, 废止了具体食品标准法规规定的微生物标准, 规定应执行第 416 号公告规定的食品中微生物的标准。

(2) 泰国公共卫生部第 415 号公告废止的具体食品标准法规, 涉及的食品类型包括: 包装饮用水, 食用冰,

巧克力, 控制体重食品, 婴儿配方奶粉和幼儿配方奶粉, 婴儿食品和幼儿配方食品, 婴幼儿辅助食品, 电解质饮料, 茶, 咖啡, 密封包装的豆浆, 天然矿泉水, 某些种类的调味料, 黄油, 奶油, 奶酪, 半加工食品, 蜂蜜, 密封包装的果酱和果冻, 酥油, 牛油, 松花蛋(皮蛋), 凉茶。

(3) 泰国公共卫生部第 416 号公告内容包括, 微生物标准限量的食品类别, 各个食品类别的微生物限量标准, 检测食品中微生物的分析方法。

(来源: <http://news.foodmate.net>)