

组合称量思想在单包装件组合计量上的应用

王雪丹, 钱静

(江南大学, 无锡 214122)

摘要: **目的** 研究多包装件的机械化组合计量, 且保证总质量符合计量精度的要求。**方法** 基于包装计量的理论知识, 将组合称量的思想应用到包装件组合计量的方式中, 提出称量设备的结构设想, 并设计主程序控制系统的流程, 用数学上的方差、概率等知识为组合的精度及组合秤斗的数量进行理论分析, 最后用实例研究来对比人工组合称量与计算机组合称量的精度。**结果** 设计出的组合称量的装置在结构上可满足单个饼干包装件防碎的目的, 理论上可满足某饼干公司计量精度的要求, 其速度和精度都高于人工组合称量。**结论** 通过研究可设计出代替人工组合的机械装置, 且组合的总质量满足计量精度要求。

关键词: 组合称量; 计量精度; 概率分析

中图分类号: TB486⁺.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)01-0042-05

Application of Combination Weighing Methods in Single Package

WANG Xue-dan, QIAN Jing

(Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

ABSTRACT: The work aims to study the mechanized combination measurement of multiple packages and ensure that the total mass conforms to the requirements of measurement accuracy. Based on the theoretical knowledge of the packaging measurement, the combination weighing methods were applied to the combination weighing of the packages, and the structural assumption for weighing equipment was proposed. In addition, the process of the main program's control system was designed. According to the mathematical knowledge integrated with variance and probability, etc., the accuracy of a combination and the number of weighing hoppers were theoretically analyzed. Finally, the case study was used to compare the accuracy of weighing between artificial combination and computer combination. The device designed for combination weighing could structurally serve the purpose of protecting single biscuit package, and could theoretically meet the requirements of measurement accuracy of some biscuit companies. Its speed and accuracy were higher than those of the artificial combination weighing. Through the research, a mechanical device can be designed to substitute the artificial combination, and the total mass of the combination can meet the requirements of measurement accuracy.

KEY WORDS: combination weighing; measurement accuracy; probability analysis

称量法适用于易受潮结块、颗粒大小不均匀、密度变化幅度较大的产品。称量分为毛质量(包装后的产品加容器的质量)和净质量(包装前的产品质量)^[1], 目前应用较为普遍的有单台秤与多台秤称量, 多台秤又可称为高精度计量组合秤, 该装置一般可配多个秤斗, 成水平辐射状排列, 物料先从中央料斗进入分料斗, 再进入各秤斗, 每个秤斗都配有质量传感器, 可同时精确测量各料斗中物料的质量,

然后利用计算机对称量斗的质量信号进行组合计算^[2-3], 选定符合或最接近设定目标质量的一组或多组后, 控制对应组的各个称量斗的闸门一起打开, 对包装机进行投料^[4-5], 完成一次定量充填的过程, 该装置尤适合粗粒和块状物料的高精度计量。电脑组合秤型号规格很多, 其速度最低为每分钟 60 次, 最高可达每分钟 200 次。

在某饼干公司的饼干生产线上, 工人将流水线上

收稿日期: 2016-08-05

作者简介: 王雪丹(1991—), 女, 江南大学硕士生, 主攻包装机械与生产线。

通讯作者: 钱静(1968—), 女, 博士, 江南大学副教授, 主要研究方向为运输包装与设计、机械设计理论等。

的饼干码入具有一定长度的模具中，码好的饼干随传送带运输，随后被人工装袋、装盒，由于单个饼干的厚度对该长度结果影响较大，因此该计量过程存在较大的误差。在下一个工序中，工人将上个工序出来的任意 3 个包装件放在一起进行称量，然后将总质量符合目标值范围的 3 个包装件进行装盒。由于上个工序的计量属于粗计量，该工序人工组合称量的结果也必然存在较大范围的波动，且耗费了大量的人力与时间。该试验中拟借鉴组合称量的原理，设计出一种可代替人工组合称量的机构，使得单包装件依次被输送到该机构中并进行称量，经计算机对称量结果进行组合后输出装盒。

1 模型建立

1.1 机构模型的建立

计量装置结构见图 1，单个包装件为上个工序中粗计量得来，质量在 140 ~ 150 g，该类包装件经传送带运送到称量装置中，经该称量装置组合称量后输出装盒。该机构含 10（或 i ）个独立称量的量斗^[6]，且围绕带有斜坡的中央空腔辐射展开，单个包装件随 2 条并行的导轨送至需填充的空闲量斗前^[7]，由并行导轨之间的挡板推送前行，包装件从传送带上滑落，经缓冲斜坡落入称量斗后完成 1 次充填，之后圆周机构旋转，各称量斗依次被填满，计算机此时对各称量斗的结果进行组合计算，符合条件的 3 个包装件所在的料斗门打开，包装件落入中央空腔，然后随传送带输出装箱。空缺的计量单元由于检测不到物体的质量而被就近旋转至填充口，包装件落入该空缺单元后完成充填^[8]，重复上述动作。由于该条状包装件体积较

大，充填质量大（143 g 左右），且饼干质脆，在滑落过程中易碎，故在缓冲斜坡及中央空腔的斜坡上都设有塑胶衬垫来减少包装物损坏的概率。

1.2 数据的组合流程

组合称量的流程见图 2，单个包装件的质量为 m ，若通过计算机组合，符合目标范围的一组包装件所在的料斗门打开，包装件落入中央空腔，然后随传送带输出装盒。质量精度符合 JJF 1070—2005《定量包装商品净含量计量检验规则》中要求的净含量精度范围即可^[9]。

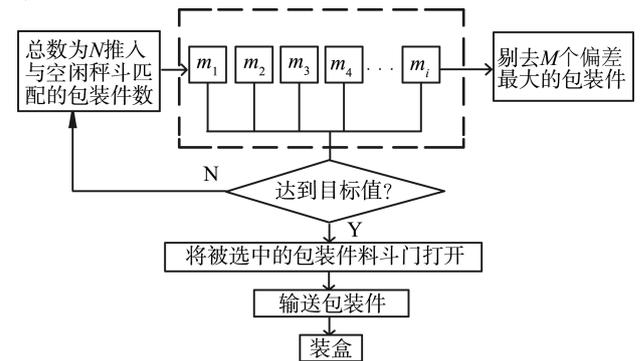


图 2 组合称量的流程
Fig.2 Combination weighing process

包装件的总数为 N ，首次输入的包装件数为 i ，若组合成功，则将参与组合的 j 个包装件输出装箱，并再输入 $i-j$ 个包装件至空闲秤斗上。对一些长期不被选中的称量单元，采取优先选取及强制组合的措施，即预设好每个称量单元不被选中的最高循环次数，超出后便采用优先选取及强制组合的措施，使该类称量单元的包装件优先被选中^[10]。对由于组合不成功而出现死循环的问题，可在计算机程序中设置处理该问题的程序，其处理方法有很多，例如将偏差最大的 M ($M \leq i$) 个称量单元的包装件强制组合卸料成不合格包装并将其剔除，同时再推入 M 个新包装件进行组合称量，从而使循环继续下去^[12]。

2 块状物品计量方法

2.1 普通称量的基本原理

由于单个物品的质量较大，因此增减 1 块就会使总质量有较大范围的浮动，使得包装计量严重偏离。通常情况下，块状物品质量的变化也符合正态分布。设 \bar{m} 为物品平均质量， σ_n 为标准偏差。若包装的目标质量为 m ，则每个包装件的物品块数为 $n=m/\bar{m}$ 。自动电子秤的称量结果同样呈正态分布，并以包装目标质量 m 为平均值。由于单块物品的质量是互不影响的，故含 n 块物品的小包装的标准质量偏差 σ_n 的计算^[3]为 $\sigma_n^2=n\sigma_1^2$ ，即 $\sigma_n=\sqrt{n}\sigma_1$ 。

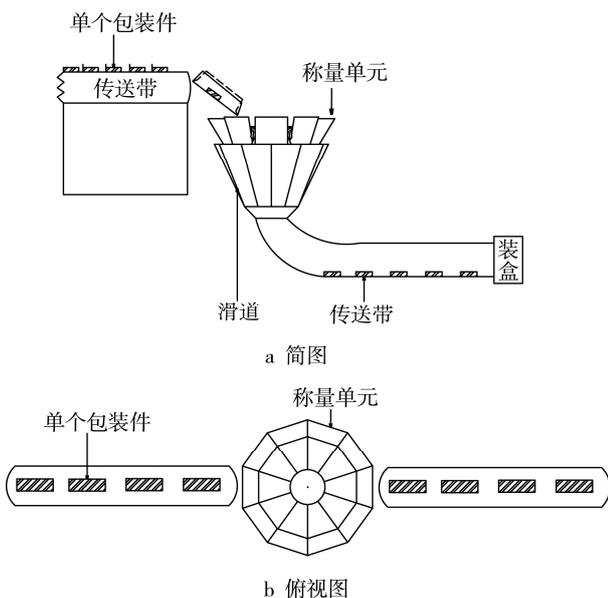


图 1 计量装置结构
Fig.1 Metering device diagram

2.2 组合计量的基本原理

设该组合称量装置有 i 个独立的称量单元，每次称量选出 j 个单包装件，则会有 C_i^j 个选择，且由于每个称量单元性能相同，即称量结果和统计特征完全相同，则每个称量单元的平均包装质量 $m_c = m/j$ ，每个称量单元的平均块数 $n_c = n/j$ ，标准差 $\sigma_n^2 = \frac{n}{j} \sigma_1^2$ ，则 $\sigma_n = \sqrt{n/j} \sigma_1$ ，即加到一起后的标准差 $\sigma = \sqrt{n} \sigma_1$ ，这跟用一把秤计量的结果完全相同。

若是选择更多的组合来平分目标总质量，则可使最终包装量的偏差控制在要求的范围内，例如 $j=4$ 时，则每个称量单元允许的标准差为 σ_4 ，选择偏差在 $0 \sim \sigma_4$ 和 $-\sigma_4 \sim 0$ 之间的分量各 2 份进行叠加，最后的偏差必定在 $-2\sigma_4 \sim 2\sigma_4$ 之间，因此可将偏差控制在一定的范围内。设各分量的偏差 $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_j$ 出现在期望范围 (l_j, h_j) 内的概率分别为 $P_1(l_1, h_1), P_2(l_2, h_2) \dots P_j(l_j, h_j)$ ，由于各个称量单元的质量彼此相互独立，则能得到期望组合的概率为^[2,11]：

$$P = P_1(l_1 < \delta_1 < h_1) \cdot P_2(l_2 < \delta_2 < h_2) \cdot \dots \cdot P_j(l_j < \delta_j < h_j)$$

根据《定量包装商品净含量计量检验规则》(JJF 1070—2005)，批量定量包装商品的平均实际含量应当大于或等于其标注净含量。为了保护消费者的合法权益，同时考虑生产企业的实际情况，该规则中明确了单件定量包装商品的标注净含量与实际含量之间合理的最大允许负偏差，即允许短缺量^[12]，《规则》中规定标注净含量为 300 ~ 500 g 的商品允许的短缺量为 9 ~ 15 g。某公司根据行业情况，对公司商品净含量的标准作了进一步规定，该研究中所采用的 417 g 早餐饼系列 (3 包入) 净含量的参考标准为 419 ~ 434 g。

在选择时，使含正偏差的绝对值大于负偏差的绝对值，这样就可避免质量不足的现象，则其正偏差的概率为^[13]：

$$P(\delta \geq 0) = \frac{1}{2} P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_j$$

对上述 $j=4$ 的情况，得到期望组合的概率为：

$$P(0 \leq \delta < 2\sigma_4) = \frac{1}{2} P_1(0 \leq \delta_1 < \sigma_4) P_2(0 \leq \delta_2 < \sigma_4) \cdot P_4(-\sigma_4 < \delta_3 \leq 0) \cdot P_4(-\sigma_4 < \delta_4 \leq 0)$$

若以质量为 10 g 的块状商品为例，标准差为 0.2，包装目标量为 100 g，若将 4 份的质量相加，每份的标准差为 $\sigma_4 = 0.63$ ，故包装的最大偏差可控制在 $-1.26 \sim 1.26$ g。

根据正态分布理论，该等号右边的 4 个概率值均为 39.62%，因此可知出现所得期望的概率较低，为 1.23%，但若增加组合数，譬如出现 1000 种可能的组合，则这 1000 中组合全部为非期望的概率为

0.0011。

同理可推测，若所设计的组合计量装置含有 i 个独立的计量单元，每次需选择 j 个 ($j \leq i$) 参与计量组合，则会有 C_i^j 种组合。理论上来说， i 和 j 的值越大，组合成功的概率越高，但受现实条件的限制，计量单元过多会使机器异常笨重，实际中，若 $i=16$ 时，已经能保证偏差在 $(-\delta, \delta)$ 内有较高的组合率，对偏差在 $(\delta, 2\delta)$ 及 $(-2\delta, -\delta)$ 的分量组合，仍能通过增加计量单元数来提高成功的概率^[2]。

若设计总数为 10 的独立计量单元 ($i=10$)，选用其中任意 3 个进行组合 ($j=3$)，则会有 $C_{10}^3 = 120$ 种组合方式，则分散偏差在 $(-\delta, \delta)$ 间组合的可能性为 99.23%，该成功率已能满足常规生产^[14]。

2.3 实例

在实际操作中选取 30 个已经封口的单包装件为研究对象，由于每个包装件的饼干是在一定的长度模具中码好再装袋的，因此该粗计量方式存在较大的误差。标准差是反映一组数据离散程度最常用的量化形式，是表示精确度的重要指标^[15-16]。运用组合计量基本原理来计算企业生产单包装件及人工组合称量试验的标准差。

1—30 号试验包装件的实际质量为：141, 142.5, 146.5, 142.5, 141.5, 144.0, 142.5, 137.0, 144.5, 141.5, 142.5, 149.5, 145.5, 137.5, 146.5, 146.5, 151.0, 144.5, 142.5, 147.0, 142.0, 140.0, 145.0, 142.0, 145.0, 142.0, 142.5, 143.5, 147.0, 143.5 g。

根据标准差公式^[17] $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N}}$ 可得单

包装件饼干的标准差为 $\sigma_1 = 3$ g，每盒含有 3 个单包装件，因此理论上每盒的标准差为 $\sigma_3 = \sqrt{3} \sigma_1$ ，即 $\sigma_3 = 5.2$ g。实际操作中人工的组合结果见表 1，可知实际称量单包装件的质量标准差 $\sigma_3' = 6.02$ g，大于理论值 5.2 g，可知人工组合会使得饼干计量精度进一步降低。

若使用计算机组合进行称量，可使目标总质量锁定为一固定值，以目标总质量为 425 g (目标范围为 419 ~ 434 g) 为例，总质量符合目标范围即合格，以总质量 425 g 为最佳目标值，首先推入 1—10 号包装件，计算机组合称量的结果见表 1，可知计算机称量的组合全为合格，其中组合 3 和 8 为最佳。

根据计算机的组合结果，预设输出结果为第 3, 8 等组的输出总质量均为 425 g。

假设第 1 组组合成功，则 1, 2, 5 号包装件所在的计量单元根据计算机的指令打开料斗门，单个包装件由中央空腔中的斜坡滑出，之后随传送带运输到装

表 1 人工和计算机组合称量结果
Tab.1 Artificial and computer combined weighing results

组合方式	组合序号	参与组合的称量单元	组合总质量/g
人工	1	1, 13, 25	431.5
	2	6, 14, 19	424.0
	3	5, 8, 22	418.5
	4	4, 15, 17	440.0
	5	3, 11, 20	436.0
	6	2, 9, 23	432.0
	7	7, 10, 12	433.5
	8	16, 21, 29	435.5
	9	18, 24, 27	429.0
	10	26, 28, 30	429.0
计算机	1	1, 2, 3	430.0
	2	1, 2, 4	426.0
	3	1, 2, 5	425.0
	4	1, 2, 6	427.5
	5	1, 2, 7	426.0
	6	1, 2, 8	420.5
	7	1, 2, 9	428.0
	8	1, 2, 10	425.0
	9	1, 3, 4	430.0
	10	1, 3, 5	429.0

盒工序。同时质量传感器检测到该卸空的计量单元, 机构旋转, 就近将该卸空的计量单元旋转至给料口停下, 单个包装件 11, 12, 13 号由料斗前的推送装置推送至该卸空的计量单元(假设分别代替 1, 2, 5 的位置), 并关上前料斗门开始新 1 轮的组合计算。可看到 11, 13, 8 号的组合为 425 g, 重复上述动作。由组合称量的控制流程可知, 若组合不成功, 则可强制剔除偏差较大的包装件以保证程序能够运行下去, 因此由该组合机构输出的包装件质量均为 425 g。

由人工组合称量与计算机组合称量的比较可见, 计算机组合计量的精度高于人工称量。同样地, 为了在满足企业质量标准的前提下保证企业利润最大化, 可设定目标值为 419 g(需上个工序配合适当减量), 以某饼干公司 417 系列早餐饼年产值 120 t 为例, 每盒(3 包入)售价 10 元, 则每年可为公司节省约 41 011 元。

3 结语

组合秤在零散食品及谷物、五金件上应用广泛, 也能用来组合称量板蓝根等小包装件, 但对体积较大的包装件却有很大的限制。该试验中拟借鉴组合称量的思想, 设计出满足某饼干公司将 3 个单包装件装一盒的要求的机构, 在该机构中, 称量斗随中央空腔水平辐射展开, 单包装件由并行导轨之间的挡板推送前行, 经传送带与称量斗之间的缓冲斜坡填充至称量

斗, 随后整个机构旋转, 依次完成充填, 经计算机对各称量斗的质量信号组合计算后, 被选中的包装件所在的称量斗的料斗门打开, 包装件通过中央空腔的斜坡滑入水平传送带输出装箱, 空的称量斗由于检测不到质量信号被就近旋转至传送带前, 重复上述动作。整个组合称量的过程流畅, 且通过理论计算及实例研究证明了其精度高。文中只简述了其设备结构及称量原理, 有关控制设备的程序及设备与整条生产流水线节拍的配合等方面仍待进一步探索。

参考文献:

- [1] 潘松年. 包装工艺学[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2011. PAN Song-nian. Packaging Technology[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2011.
- [2] 唐志祥. 包装计量组合秤工作原理初探[J]. 广东工业大学学报, 1994(1): 45—52. TANG Zhi-xiang. A Tentative Study of Working Principle of Combined Balance for Packaging Balancing[J]. Journal of Guangdong University of Technology, 1994(1): 45—52.
- [3] 林少宫. 基础概率与数理统计[M]. 北京: 人民教育出版社, 1963. LIN Shao-gong. Probability and Mathematical Statistics[M]. Beijing: People's Education Press, 1963.
- [4] 彭福红, 任作新. 高精度电脑组合秤控制系统的设计[J]. 机械工程与自动化, 2007(6): 110—111. PENG Fu-hong, REN Zuo-xin. Design of High Precision Weigher Control System[J]. Mechanical Engineering and Automation, 2007(6): 110—111.
- [5] 唐宗美, 杨光友, 马志艳, 等. 包装设备控制系统综述[J]. 包装工程, 2013, 34(5): 107—110. TANG Zong-mei, YANG Guang-you, MA Zhi-yang, et al. Summarization of Packaging Equipment Control System[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(5): 107—110.
- [6] 文其知. 智能定量包装秤系统设计与实现[D]. 湘潭: 湘潭大学, 2010. WEN Qi-zhi. Design and Realization of Intelligent Quantitative Packing Scale System[D]. Xiangtan: Xiangtan University, 2010.
- [7] 李磊. 一种自动计量与连续充填包装机械手的研究[D]. 北京: 北京建筑工程学院, 2007. LI Lei. A Research of Packing Manipulator for Auto-Weighting and Nonstop-Stuffing[D]. Beijing: Beijing Institute of Architectural Engineering, 2007.
- [8] 张春友, 吴晓强. 新型智能组合秤称重系统[J]. 自动化仪表, 2015(4): 88—90. ZHANG Chun-you, WU Xiao-qiang. New Intelligent Weighing System with Combination Scales[J]. Process Automation Instrumentation, 2015(4): 88—90.
- [9] 王维赞. 定量包装食品的计量检定探讨及对策[J]. 食

- 品安全导刊, 2013(6): 49—51.
WANG Wei-zan. New Intelligent Weighing System with Combination Scales[J]. Food Safety Guide, 2013(6): 49—51.
- [10] 赵治华. 称重式定量包装计量技术[J]. 包装与食品机械, 1997(1): 23—26.
ZHAO Zhi-hua. Weighing Packing Measurement Technology[J]. Packaging and Food Machinery, 1997(1): 23—26.
- [11] 庄楚强. 应用数理统计基础[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2006.
ZHUANG Chu-qiang. Applied Mathematical Statistics [M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2006.
- [12] 陶亚明, 陈黎明. 定量包装商品净含量计量检验及管理对策[J]. 江苏现代计量, 2015(1): 56—59.
TAO Ya-ming, CHEN Li-ming. Net Content of Pre-packaged Goods Inspection and Metrology Management Strategies[J]. Jiangsu Modern Metering, 2015(1): 56—59.
- [13] 温秋根. 概率论与数理统计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1991.
WEN Qiu-gen. Probability Theory and Mathematical Statistics[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 1991.
- [14] 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.
DENG Zhi-hui, ZHANG Xi-liang, LIU Jian-min, et al. Study of Infection about Combination Model of Combined Balance to Quantitative Error[J]. Mechanical Design and Manufacturing, 2006(3): 108—110.
- [15] 李红兵. 定量包装商品净含量精度保证系统及质量控制[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2008.
LI Hong-bing. Quality Assurance System and Quality Control for the Net Content of Quantitative Packaging Products[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2008.
- [16] 郑丽梅. 定量包装秤概述[J]. 衡器, 2007, 36(2): 7—8.
ZHENG Li-mei. Overview of Quantitative Packing Scale[J]. Weighing, 2007, 36(2): 7—8.
- [17] 李家荣. 标准差 3 个计算公式的推导[J]. 中国纤检, 1983(6): 90—95.
LI Jia-rong. The Derivation of Three Standard Calculation Formula[J]. Chinese Xian Jian, 1983(6): 90—95.