

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.12.008

基于田口正交法的小计量称重配料系统优化设计

黄祥斌, 陈 硕^{*}, 范莉萍, 陈思宇
(福州大学 机械工程及自动化学院, 福建 福州 350116)

摘要:针对小计量称重配料过程中人工配料效率低、精度低的问题,对小计量称重配料系统的电磁振动供电电压、落料口高度和出料口大小方面进行了研究,提出了一种自动称重配料系统。通过称重配料实验平台,得出了电磁振动供电电压、落料口高度和出料口大小 3 个参数的实验数据,利用田口正交实验法对称重系统的这三个参数进行了望目特性分析,获得了影响称重精度的因子贡献率以及因子间的交互作用。研究结果表明,田口正交实验法在材料颗粒较均匀的条件下可以优化称重配料系统参数,提高了计量准确度,为小计量称重配料系统的设计提供了参考依据。

关键词:称重配料;田口方法;望目特性;交互作用;优化设计

中图分类号:TH122;TH39

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)12-1463-05

Optimal design of small-metering weighing and batching system based on taguchi orthogonal method

HUANG Xiang-bin, CHEN Shuo, FAN Li-ping, CHEN Si-yu

(School of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China)

Abstract: Aiming at the problems of low efficiency and precision of small-metering weighing and batching by manual work, the power supply voltage of electromagnetic vibration, the blanking opening height and the discharge port size were studied, and an automatic weighing and batching device was proposed. The experimental data of the power supply voltage of electromagnetic vibration, the blanking opening height and the discharge port size were gained by weighing and batching platform. The targeting being best of taguchi orthogonal experiment was adopted for analyzing the structural parameters of the weighing system. The contribution factors that affect weighing accuracy were calculated and the interaction factors were obtained. The results indicate that taguchi orthogonal experiment method can optimize the parameters of weighing batching system to improve measurement accuracy under the condition of uniform material particles and provide a design reference for small measurement weighing batching system.

Key words: weighing batching; taguchi methods; targeting being best; interaction; optimal design

0 引 言

小计量称重配料应用广泛,如橡胶、塑料、食品、饲料、制药等行业物料的称重配料系统。这类称重配料方式要求下料速度快,称重精度高,通常采用电磁振动给料机^[1-3]。为满足这些要求,本研究以净水器滤芯自

动装配线为例,设计了滤芯功能材料的配料系统,并对系统结构参数进行优化设计。

小计量称重配料设备是集机械设计和电气控制一体的系统。唐俊等^[4]对电振给料机进行数学建模,利用 ANSYS 分析得出合理的设计参数。张滨^[5]利用 MATLAB 对电磁振动给料系统进行运动学和动力学分析,设计出一种高效的给料系统。黄凤^[6]研究了电磁

收稿日期:2016-07-14

作者简介:黄祥斌(1991-),男,福建三明人,硕士研究生,主要从事机电一体化方面的研究。E-mail:13107676553@163.com

通信联系人:陈 硕,男,教授,硕士生导师。E-mail:shuochen@fzu.edu.cn

振动给料机振幅的自适应控制,提高了称重系统的稳定性和称量精度。马加明等^[7]在称重配料系统的设计中加入模糊自适应 PID 控制,显著地提高了称量系统的鲁棒性。这些研究都是对称重配料系统的某个参数进行优化,并没有考虑各个参数之间的交互作用,而实际中系统性能的提高必须考虑到系统各个参数的交互作用和相互影响,本研究采用田口方法对影响称重配料系统性能的多参数进行综合优化设计。

“田口方法”是日本田口玄一博士提出的一种质量管理技术的方法。该方法的基本思想是将传统的产品设计、工艺设计程序改为按系统设计、参数设计、容差设计三次定量优化的程序。在三次设计中,以误差因子模拟造成产品质量波动的各种干扰,以信噪比(signal to noise ratio, S/N)作为衡量产品质量稳定性的指标,通过对实验数据的统计分析,找出性能最稳定、可靠,成本最低廉的设计方案,以达到最优的技术经济综合效果。田口博士将试验选择的水平组合成列表,称为正交表。设计正交试验(orthogonal experimental design)的主要工作就是设计正交表,用正交表描述试验的安排情况,也就是根据正交的特性从多因素多水平的全面试验中挑选出部分有代表性的节点进行试验。比如,要做一个四因素三水平的实验,若按照全面实验要求,则需进行 $3^4 = 81$ 种组合的试验,但若按正交试验方法,则只需做 L9(34) 正交表进行 9 次试验,显然正交试验方法大大减少了试验的次数。因而,正交试验方法在很多的研发领域得到了广泛应用^[8]。

本研究采用正交表设计实验组合,能以较少的实验次数获得较为全面的数据,从而获得各因子对系统指标的影响,进而优化系统的主要参数。

1 称重配料系统组成

滤芯称重配料系统主要由下料机构和称重控制系统组成,称重配料系统结构如图 1 所示。

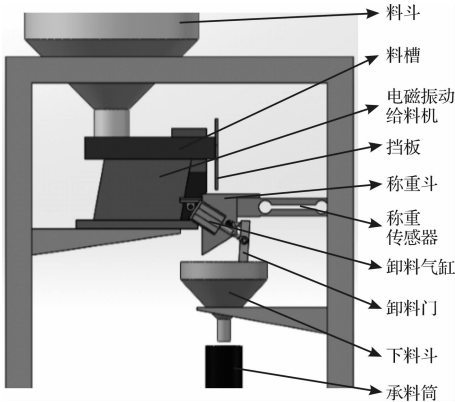


图 1 称重配料系统结构示意图

滤料从料斗落入料槽内,料槽在电磁振动给料机的带动下推送物料向前运动,从而落入称重斗中,同时称重传感器对称重斗内的物料进行称重。控制系统包括称重传感器、称重控制器、数字稳压振动送料控制器、位置检测传感器以及控制出料口大小的步进电机等,其结构如图 2 所示。

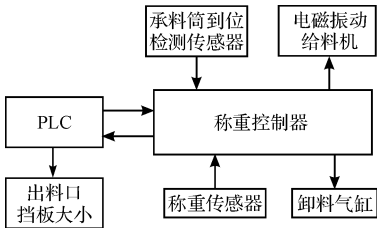


图 2 称重配料控制系统组成框图

称重控制器接收称重传感器的重量信息并控制电磁振动给料机和下料气缸执行相应动作。PLC 控制整条生产线的动作和节拍,预先根据物料特性设定出料口大小参数,控制步进电机旋转角度,并触发称重控制器启停。

2 系统机构参数优化设计

2.1 实验过程

本研究采用田口正交实验法对影响称重配料精度的可控因子进行研究分析,计算影响因子对实验输出指标的贡献率,并优化其参数,所搭建的实验台如图 3 所示。

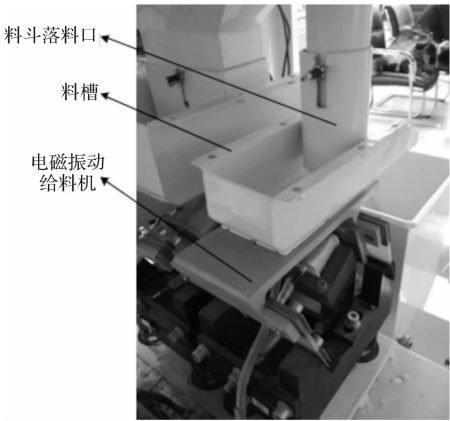


图 3 称重配料系统实验台

本研究通过大量的前期实验,确定影响落料速度和精度的主要因子为控制因子,每个控制因子取 4 种因子水平。其中,电压大小是指电磁振动给料机供电电压,落料口高低是料槽与料斗落料口的高度差,出料口大小是指料槽的开口大小。根据因子数及因子水平数,笔者利用 Minitab 17 软件进行田口设计,实验正交

表选 $L_{16}(4^3)$, 该表可进行因子间的交互作用分析。

实验因子及其水平表如表 1 所示。

表 1 实验因子及其水平表

影响因子	因子水平			
	1	2	3	4
电压大小/V	90	125	160	195
落料口高低/mm	8	10	12	14
出料口大小/mm	10	15	20	25

表 2 实验组合及基本实验数据 (单位:g)

编号	因子水平组合			数据 1	数据 2	数据 3	数据 4	数据 5
	电压	落料口	出料口					
1	1	1	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	2	2	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00
3	1	3	3	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
4	1	4	4	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
5	2	1	2	0.16	0.30	0.16	0.25	0.07
6	2	2	1	2.12	2.31	2.49	2.55	2.44
7	2	3	4	8.17	8.09	8.05	7.83	8.08
8	2	4	3	6.96	6.45	6.68	6.68	6.43
9	3	1	3	16.52	16.68	16.85	16.56	16.58
10	3	2	4	23.93	24.08	24.03	23.88	24.13
11	3	3	1	16.21	17.02	16.29	16.72	16.75
12	3	4	2	21.84	21.51	21.41	21.75	21.45
13	4	1	4	35.83	35.80	35.24	35.60	35.59
14	4	2	3	38.62	38.08	38.16	38.34	38.47
15	4	3	2	41.91	42.15	41.88	41.93	41.79
16	4	4	1	29.08	29.25	29.70	29.43	29.56

2.2 实验结果分析

本研究获得实验数据后,通过田口方法信噪比分析数据。田口方法有 3 种信噪比:望目特性信噪比、望小特性信噪比、望大特性信噪比^[9-10],本研究以田口方法的望目特性信噪比分析实验数据。望目特性信噪比计算公式如下式所示:

$$\frac{S}{N} = -10 \times \lg\left(\frac{\bar{y}^2}{S^2} - \frac{1}{n}\right) \tag{1}$$

式中:S—所求信噪比因子水平组合的标准差, $\bar{y}$ —响应均值, n —测量次数。

通过式(1)对表 2 的数据进行处理,得到各因子的信噪比响应、均值响应、标准差响应,如表 3 所示。表 3 中的 Δ 为因子所有水平信噪比的极值差, Δ 越大,因

实验取粒料重量约为 0.022 5 g 的颗粒较为均匀的物料为称重物料,并根据正交表中因子水平组合,进行称重实验,每组实验进行 5 次,每次振动落料时间设定为 5 s,笔者将称重数据记录到 Minitab 田口设计的表格中。在 90 V 电压条件下,电磁振动振动给料机振动幅度太小,无法将物料抛起,所以该条件下称重数据为 0。实验组合及基本实验数据如表 2 所示。

子的排秩越靠前,则该因子对实验输出的影响越大;响应表中的响应数据越大则表明该因子水平对于实验输出的影响越大。此外,通过表 3 还可计算因子对于实验输出的贡献率,因子贡献率 CR 计算公式如下式所示^[11]:

$$CR_j = \frac{(S/N)_{\max j} - (S/N)_{\min j}}{\sum_{j=1}^n [(S/N)_{\max j} - (S/N)_{\min j}]} \times 100\% \tag{2}$$

式中: j —第 j 个控制因子; $(S/N)_{\max j}$, $(S/N)_{\min j}$ —第 j 个控制因子的最大信噪比和最小信噪比。

由式(2)计算因素贡献率如表 4 所示。表 4 显示:因子贡献率越大,说明该因子是称重系统数据输出的影响越大。

表 3 实验数据信噪比、均值、标准差响应表

项目	信噪比响应			均值响应			标准差响应		
	电压	落料口	出料口	电压	落料口	出料口	电压	落料口	出料口
1	-10.79	31.61	33.71	0.004 5	13.109 5	12.096 0	0.009 000	0.102 224	0.169 129
2	24.71	26.77	22.37	4.313 5	16.183 0	15.929 5	0.095 518	0.113 826	0.095 518
3	42.00	27.96	27.17	19.709 5	16.645 0	15.404 5	0.171 522	0.137 247	0.130 176
4	45.95	26.12	29.75	36.320 5	14.410 5	16.918 0	0.186 739	0.148 905	0.107 379
Δ	56.74	5.48	11.34	36.316 0	3.535 5	4.822 0	0.177 739	0.046 681	0.073 611
排秩	1	3	2	1	3	2	1	3	2

表 4 因子贡献率表

因子	电压	落料口高度	出料口大小
贡献率/%	77.13	7.45	15.42

综上可得控制因子对称重系统的贡献程度为:电磁振动供电电压>出料口大小>落料口高度。

分析因子间的交互作用得到电压与出料口大小及落料口高度的交互作用如图 4、图 5 所示。

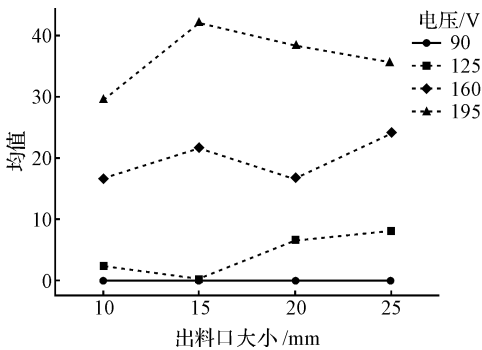


图 4 电压与出料口大小交互作用图

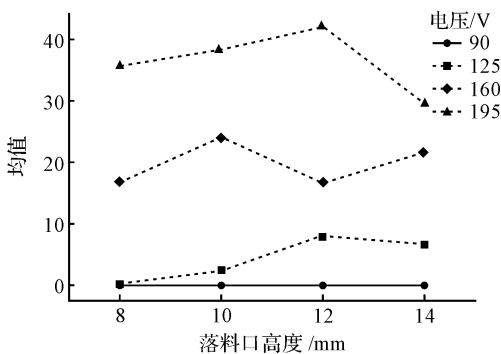


图 5 电压与落料口高度交互作用图

从图中可知,电压与出料口大小和落料口高度均存在较大的交互作用。优化系统参数需在各因子不存在交互作用或交互作用较弱的前提下进行,所以不适合在电压变化条件下优化系统参数。

3 下料装置结构参数设计

为优化下料结构的参数,本研究在电磁振动给料机供电电压不变的条件下分析出料口大小及落料高度的交互作用,并进行参数设计,其因子水平表和实验数据及其基本处理如表 5、表 6 所示。

表 5 因子水平表

影响因子	因子水平		
	1	2	3
落料口高低/mm	10	12	14
出料口大小/mm	10	15	20

表 6 实验数据及其基本处理 (单位:g)

实验	因子水平组合		数据 1	数据 2	数据 3	信噪比	标准差	均值
	落料口	出料口						
1	1	1	12.63	12.86	12.75	42.652 2	0.093 927	12.746 7
2	1	2	16.48	16.64	16.52	47.725 7	0.067 987	16.546 7
3	1	3	20.80	20.88	20.66	47.179 6	0.090 921	20.78
4	2	1	16.59	16.46	16.67	45.644 0	0.086 538	16.573 3
5	2	2	19.56	19.19	19.21	41.116 2	0.169 902	19.32
6	2	3	24.56	24.83	24.64	46.766 1	0.113 235	24.676 7
7	3	1	18.51	18.47	18.36	49.273 7	0.063 421	18.446 7
8	3	2	21.79	21.88	21.84	55.462 6	0.036 818	21.836 7
9	3	3	27.39	27.54	27.22	46.422 6	0.130 724	27.383 3

交互作用如图 6 所示。

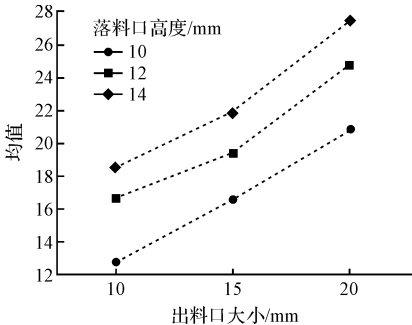


图 6 出料口大小与进料口高低交互作用图

从图 6 中可以看出,出料口大小与落料口高度的交互曲线基本平行,可以判定两因子之间无交互作用。

由表 6 得到下料口大小和出料口高低的信噪比主效应图如图 7 所示。

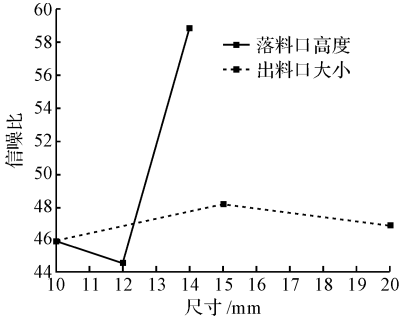


图 7 信噪比主效应图

(下转第 1505 页)

本文引用格式: