

文章编号: 1006-9941(2007)05-0547-04

## 粉体炸药动态计量技术研究

韩民园, 贾新娟

(山西北方兴安化学工业有限公司, 山西太原 030008)

**摘要:** 针对粉体炸药物料计量装置存在的“物料结拱”、“出料不均匀”等主要问题,分析了物料加料过程装置机械结构对精度的影响,采用改进料斗结构、破拱装置、变径螺旋输送,使物料输送流畅、均匀,提高了计量精度。结合物料特性从料仓中气压的稳定性、物料压力的变化等方面分析了机械结构对系统精度的影响。结果表明,改进后的粉体物料自动控制计量装置系统动态计量精度高于 $\pm 1\%$ ,可以满足火化工生产在线计量要求。

**关键词:** 化学工程; 粉体炸药; 计量装置; 动态计量技术; 计量精度; 双螺杆; 结构

**中图分类号:** TJ55; TQ015.1

**文献标识码:** A

### 1 引言

连续化、自动化、智能化是火炸药制造工艺的发展方向。火炸药用双螺杆加工工艺以其良好的柔性、在制药量小、本质安全性好、自控程度高等特点,已在世界许多国家得到应用和发展。随着对双螺杆挤压加工工艺的深入研究,物料在线动态精确计量技术也得到很好地开发。粉体物料的动态计量是固体物料计量中的一个难点,也是双螺杆挤压加工工艺及火药的连续吸收工艺等实现在线计量控制的关键技术。世界各国都在采用各种方式试图提高计量精度,其中以小量程的粉体物料的精确计量难度最大<sup>[1,2]</sup>。美国海军武器公司、法国火炸药公司等,在双螺杆连续挤压加工工艺应用研究中,均采用了先进的在线动态精确计量技术并获得了良好的应用<sup>[3]</sup>。国内从20世纪80年代开始在双螺杆柔性制造工艺中进行小量程粉体炸药物料精确计量技术的应用研究。在生产实践中发现粉体物料在连续计量中,由于物料的流散性差,极易造成物料“结拱”现象,使计量螺杆中的物料不能均匀输送,导致计量精度变差,给科研与生产带来极大的困难。要提高系统计量精度,首先需要在充分认识粉体物料的物理性能(粒度、晶型、密度、堆积特性、流散性、静电特性等)的基础上,分析影响动态计量系统准确计量的主要因素,找出有效的改进措施。计量装置机械结构设计的合理性是影响准确计量的一个重要因素<sup>[4]</sup>;其次是从高性能检测系统选型、先进的智能控制系统

配置及合理的预给料装置设计等方面采取有效措施,以提高动态计量系统的综合精度和运行稳定性;第三是结合火炸药易燃易爆特性,从消除静电、防止磨擦与撞击、安全加料等环节采取有效措施<sup>[5]</sup>,使秤体结构设计更趋合理。通过对计量系统特别是机械结构的优化设计,可以实现准确的在线计量,这对发挥先进的双螺杆柔性制造技术有着重要的作用。本文针对该计量装置使用中存在的“物料结拱”、“出料不均匀”等影响计量精度的主要问题,从计量装置的机械结构入手,通过对料斗结构、破拱形式、输送螺旋等改进,解决物料输送的流畅性和均匀性,提高了计量精度。

### 2 连续动态配料系统的组成及工作原理

#### 2.1 连续动态配料系统的组成

连续动态配料系统主要由贮料仓、称重料仓、配料加料系统、称重计量系统及伺服控制系统组成。

#### 2.2 简要工作原理

启动时,系统打开贮料仓放料阀向称重料仓快速加料,当加入的物料重量达到称重料仓中人工设定的上限料位时,充料过程停止。

系统自动控制把称重料仓中物料由加料机构按预先设定的流量向后级设备加料,同时称重控制系统不断地检测称重料仓中物料的重量和单位时间内称重料仓加料流量。称重系统将测得的加料流量随时传输给控制系统,控制系统以此加料流量作为依据对加料电机的转速进行控制,使实际加料流量与设定的加料流量一致,如测得的加料流量大于设定流量时,则控制系统控制加料电机降低加料速度;反之,则提高加料速度。

当称重料仓中物料的重量达预先设定的下限料位时,控制系统再次打开贮料仓放料阀,使称重料仓中的

收稿日期: 2007-01-17; 修回日期: 2007-04-18

基金项目: 兵器科技预先研究项目(4040603014)

作者简介: 韩民园(1965-),男,高级工程师,从事推进剂工艺研究。

e-mail: Rxyb-taiyuan@sohu.com

物料达上限料位,实现再充料。精密动态计量系统组成示意图及控制原理图分别见图1、图2。

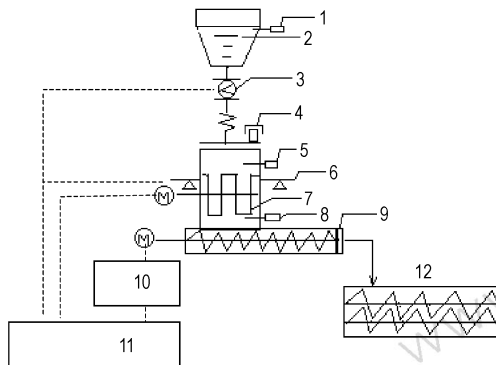


图1 动态计量系统组成示意图

- 1—贮料仓料位计, 2—粉料贮料仓, 3—自动放料阀,  
4—呼吸口, 5—计量料斗上限料位计, 6—称重传感器,  
7—T型搅拌棒, 8—计量料斗下限料位计, 9—匀料圈,  
10—变频器, 11—智能控制器, 12—双螺杆成型机

Fig. 1 Scheme of composition of dynamic metering system

- 1—materials level gauge of storage bunker,  
2—storage bunker for powder, 3—automatic discharging valve,  
4—opening for breath,  
5—upper-limit materials level gauge of metering hopper,  
6—weighing sensor, 7—T stirring rod,  
8—lower-limit materials level gauge of metering hopper,  
9—materials uniforming ring, 10—transducer,  
11—intelligent controller, 12—twin-screw extruder

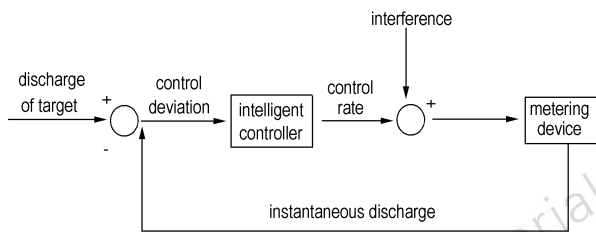


图2 动态计量系统控制原理图

Fig. 2 Diagram of control principle of dynamic metering system

物料流量计算过程为,设传感器在  $t_{i1}$ 、 $t_{i2}$  时刻测得的重量值为  $W_{i1}$ 、 $W_{i2}$ , 则物料的瞬时流量为  $Q_i = (W_{i1} - W_{i2}) / (t_{i1} - t_{i2})$ , 若物料の設定流量为  $Q$ , 则偏差量为  $\Delta = Q - Q_i$ 。

### 3 试验方法

选择配置与粉体炸药分子结构、流散性、密度等物理特性相近的惰性代用物料作为测试原料。针对粉体物料在计量过程中的“结拱”、“出料不均匀”、“计量精度差”等主要问题,设计专门的试验方案,根据每次试

验情况,研究改进料斗形状、螺杆结构、破拱装置等关键部件,配置自动控制系统及贮料仓等,使整机的计量精度进一步提高。

## 4 结果与讨论

### 4.1 料斗形状、搅拌方式及螺旋结构对出料情况的影响

采用角锥形计量料斗,出料螺旋为等距等深结构,选择传动轴与出料螺旋平行的柱式结构搅拌棒作为破拱装置。实验发现:(1)物料在料仓内容易结拱。搅拌棒采用柱式结构时,搅拌棒间有物料结拱。(2)当料仓倾斜度(料仓壁与水平面夹角)为  $60^\circ$  时,有少量物料挂于仓壁,当物料堆高后下部压力增大造成物料压实粘于仓壁。当仓壁倾斜度增至  $75^\circ$  时,仓壁基本无粘料,只有在出料螺旋和螺旋管间隙部分略有堆积。(3)螺旋下料量不稳定,波动较大。

针对上述情况,对料斗结构进行改进,增大料仓壁的光洁度。使料斗仓壁倾斜度(与水平面夹角)约为  $70^\circ$ ,柱式搅拌棒改为 T 形搅拌结构,输送螺旋改为变径螺旋结构。实验结果表明,出料的稳定性和计量精度得到较好地改进。在无反馈系统的情况下,人工将料斗加满料,测定不同转速下相同间隔时间的出料量。测试过程为:一次性加满料后,从上限料位至料送完后停机。测试数据见表1。

从上述实验情况来看,在整个出料过程中,计量仓内无结拱现象。从表1中三组测试数据可以看出,采用改进后的料斗、破拱形式和螺旋结构后,加料仓内物料在恒定料位的情况下,下料量波动小,说明出料的稳定性很好,不同转速下的下料精度均在  $\pm 3\%$  以内。

### 4.2 对计量系统精度影响因素的讨论

#### 4.2.1 称重控制系统的影响

动态计量系统的工作过程是“加料-再加料”的循环过程,只有保证在这两个过程中均匀、稳定地加料,才能实现系统高精度要求。称重系统的准确性、稳定性对系统精度的影响也很重要<sup>[6]</sup>,以目前的技术水平,已完全能够实现高精度的控制,在此不作详细讨论。

#### 4.2.2 物料性质的影响

由于物料的粘结性,物料极易粘附在仓壁,且越积越厚,使料斗中间物料下料快,越靠近仓壁下料越慢。粉体物料容易结拱,这种特性也使下料很不均匀。以上两种情况均严重影响加料螺旋的稳定供料。实践证明,减少仓壁摩擦阻力、适当增大料仓壁倾斜角、改变料斗结构形式、采用适宜的破拱结构,可以有效地解决加料螺旋的稳定供料。

表 1 改进加料装置的实验数据  
Table 1 Experimental data of improved charging system

No.	$f_{\text{motor}}$ (20 HZ)	$\Delta t$ (1 min)	$f_{\text{motor}}$ (40 HZ)	$\Delta t$ (0.5 min)	$f_{\text{motor}}$ (50 HZ)	$\Delta t$ (0.5 min)
	feed amount/kg	absolute deviation	feed amount/kg	absolute deviation	feed amount/kg	absolute deviation
1	1.015	+0.015	1.014	+0.014	1.263	+0.005
2	1.010	+0.010	1.002	+0.002	1.260	+0.002
3	0.998	-0.002	0.998	-0.002	1.250	-0.008
4	0.999	-0.001	0.997	-0.003	1.262	+0.004
5	1.004	+0.004	1.005	+0.005	1.254	-0.004
6	0.995	-0.005	1.000	0	1.257	-0.001
7	0.998	-0.002	1.000	0	1.261	+0.003
8	1.004	+0.004	0.997	-0.003	1.259	+0.001
9	1.002	+0.002	1.001	+0.001	1.255	-0.003
10	0.996	-0.004	1.003	+0.003	1.262	+0.004
11	1.003	+0.003	0.998	-0.002	1.260	+0.002
12	0.996	-0.004	1.003	+0.003	1.254	-0.006
13	1.003	+0.003	1.002	+0.002	1.258	0
14	0.997	-0.003	0.996	-0.004	1.263	+0.005
15	0.987	-0.013	0.988	-0.012	1.259	+0.001

Note:  $f_{\text{motor}}$ , motor frequency;  $\Delta t$ , sampling interval; the absolute deviation is the difference between the feed amount each time and the average value of the total feed amount 15 times, and each feeding interval is equal.

4.2.3 料仓中气压稳定性的影响

在加料及再加料的过程中,料仓中的气压不是恒定的。加料螺旋将料仓中的物料向外输送,这样在螺旋的周围就产生一个负压,由于粉状物料粘结性和结拱特性,使“吸入”螺旋的物料充填率不稳定,影响加料螺旋的稳定性。在再加料过程中,加料料仓中会产生一个正压,同样影响加料螺旋的充填率,在实验过程中,通过设置呼吸口、快速平稳的充料机构,使系统连续计量的精度进一步提高。

4.2.4 物料压力变化的影响

当计量料仓中的物料从上限料位至下限料位的变

化过程中,随着物料逐步减少,料仓中的物料对螺旋的物料压力在逐步减小,螺旋的充填率也逐步变化,从而导致加料螺旋供料的变化。对这一影响的消除或改进,除了在电气控制原理上采取措施外,选用变径螺旋结构,在螺旋出口处增加匀料装置,对提高系统计量的稳定性有良好的效果。

4.3 配置自动控制系统及贮料仓后整机实验

改进后的秤体配置带反馈调节的自动控制系统及贮料仓,调整控制仪表的锁定时间和计量斗料位高低,连续测量实验 1 h,比较不同转速下实测值与设定值的偏差,结果见表 2。

表 2 整机实验数据  
Table 2 Experimental data of whole machine

No.	enacted discharge value 0.5 kg/30 s	$\Delta t$ (30 s)	enacted discharge value 1 kg/1 min	$\Delta t$ (1 min)	enacted discharge value 2 kg/2 min	$\Delta t$ (2 min)
	measured value/kg	absolute deviation	measured value/kg	absolute deviation	measured value/kg	absolute deviation
1	0.498	-0.002	0.991	-0.009	2.000	0
2	0.499	-0.001	1.000	0	1.991	-0.009
3	0.499	-0.001	1.000	0	1.999	-0.001
4	0.498	-0.002	1.000	0	1.992	-0.008
5	0.501	+0.001	0.998	-0.002	1.996	-0.004
6	0.501	+0.001	1.000	0	1.998	-0.002
7	0.499	-0.001	1.000	0	2.005	+0.005
8	0.496	-0.004	0.993	-0.007	1.998	-0.002
9	0.496	-0.004	1.002	+0.002	2.002	+0.002
10	0.502	+0.002	1.000	0	1.994	-0.006
11	0.501	+0.001	1.007	+0.007	1.991	-0.009
12	0.502	+0.002	1.002	+0.002	2.000	0
13	0.497	-0.003	0.995	-0.005	/	/
14	0.503	+0.003	0.999	-0.001	/	/
15	0.500	0	1.005	+0.005	/	/

Note: The absolute deviation is the difference between the absolute value of feed amount each time and the flowing amount value specified, and each interval is equal.

从表 2 中三组测试数据可以看出,计量系统误差在  $\pm 1\%$  之内,可以满足生产工艺要求。

## 5 结 论

通过减少仓壁摩擦阻力,适当增大料仓壁与水平面的夹角,选用 T 形破拱装置及配套的料仓结构,增加呼吸口和匀料装置,采用变径螺旋等措施,能够较好地消除物料特性等引起的无规律的影响因素,在不加控制系统的情况下,加料机构的精度高于  $\pm 3\%$ 。在配用自动控制系统后,系统动态计量误差达  $\pm 1\%$ 。

### 参考文献:

- [1] 林又红,但斌斌,周鼎. 粉状物料动态计量的研究[J]. 武汉科技大学学报(自然科学版),2000,23(3): 263-264.  
LIN You-hong, DAN Bin-bin, ZHOU Ding. Study on powder material dynamic metering[J]. *Wuhan Sci-Tech University (Natural Science Edition)*, 2000, 23(3): 263-264.

- [2] 方原柏. 瑞士哈斯勒公司 POWDRIT 粉状物料用称重给料机[J]. 衡器,2002,31(2): 11-14.  
FANG Yuan-bai. Weighing feeder for powdery material of Switzerland[J]. *Heng Qi*, 2002, 31(2): 11-14.
- [3] C Murphy, IH DIV, NSWG, E Girand, SNPE, et al. Continuous processing of composite propellants (CPOCP) [A]. 29th Int Annu Conf of ICT[C], Karlsruhe, 1998.
- [4] 李毅慧. 聚丙烯装置计量进料系统的改造[J]. 化工自动化及仪表, 2002, 29(3): 75-76.  
LI Yi-hui. Modification of metering feeding system of polypropylene device[J]. *Control and Instruments in Chemical Industry*, 2002, 29(3): 75-76.
- [5] Mike Rose, et al. Safety improvements in the continuous processing of energetic materials[A]. 34th Int Annu Conf of ICT[C], Karlsruhe, 2003.
- [6] 沈立人,贾頔康. 称重传感器的准确度[J]. 衡器,2001,30(3): 19-20.  
SHENG Li-ren, JIA Yi-kang. Accuracy of weighing sensor[J]. *Heng Qi*, 2001, 30(3): 19-20.

## Dynamic Metering Technique of Pulverized Explosive

HAN Min-yuan, JIA Xin-juan

(Shanxi North Xing'an Chemical Industry CO., LTD., Taiyuan 030008, China)

**Abstract:** To deal with the main problems which affect the metering precision in metering device for pulverized materials such as "arching of materials" and "non-uniform discharge" etc, the mechanical structure of the metering device were studied. The hopper structure, arching-detractive device and the transport spiral were improved to resolve the problems in fluency and uniformity of materials transportation and to elevate the metering precision. Combining with the materials characteristics, the effect of the mechanical structure on the system precision is analyzed according to the stability of the air pressure in the hopper and the change of the materials pressure etc. The results show that when combining with automatic control system the dynamic metering precision of system is higher than  $\pm 1\%$ , the requirements of on-line metering of propellant and explosive production process are satisfied.

**Key words:** chemical engineering; pulverized explosive; metering device; dynamic metering technique; metering precision; twin-screw; composition

读者·作者·编者

### 《固体火箭技术》征订启事

《固体火箭技术》是由中国航天科技集团公司主管,中国航天科技集团公司第四研究院与中国宇航学会固体推进专业委员会合办的专业性学术期刊。本刊于 1978 年创刊,国内外公开发行,主要刊登固体火箭及相关专业领域的学术论文、研究报告等,分火箭研究及应用、发动机、推进剂、材料工艺、测试技术五个主要栏目。本刊已被美国工程索引(Ei Compendex 数据库),化学文摘(CA),剑桥科学文摘(CSA),俄罗斯《文摘杂志》(AJ),英国《科学文摘》(SA)、中国核心期刊(遴选)数据库(万方-数字化期刊群)、中国期刊全文数据库(CJFD)、中国科技期刊数据库(VIP)等十几种国内外权威检索机构固定收录。

《固体火箭技术》为双月刊,逢双月 25 日出版。每期定价 20.00 元,全年定价 120.00 元。本刊参加了天津市大寺泉全国非邮发的联合征订,定阅单位或个人可登陆该网址: <http://WWW.LHZD.COM> 查询,或与本刊编辑部直接联系。截止日期每年 3 月底。

本刊地址: 西安市 120 信箱 47 所《固体火箭技术》编辑部(710025)

网址: <http://gthj.chinajournal.net.cn>; E-mail: [gthj@chinajournal.net.cn](mailto:gthj@chinajournal.net.cn)

电话: (029)83603254; 传真: (029)83603315

欢迎订阅、赐稿及刊登广告!