

文章编号: 1006-4710(2012)02-0216-05

钼粉还原自动化生产线装料称重装置的设计

朱凌建, 谭宇, 赵怀军, 李林, 邱宗明

(西安理工大学 机械与精密仪器工程学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 针对钼粉还原炉自动化生产线的工艺需求, 设计了一种装料称重刮平与现场控制为一体的钼粉自动化装料称重装置。详细论述了该装置的机构组成及工作原理, 并以 ADuC824 单片机为主控单元、EPM7128 为逻辑信号处理单元构建完整的软硬件测控单元平台, 设计制作了相应的部件单元和软件程序, 并进行了现场试运行实验。实验结果表明, 该称重装置重复性测量精度标准差为 1.5 g, 最大相对误差为 0.11%, 达到了钼粉还原炉自动化生产线所要求的称重误差控制要求。

关键词: 称重装置; 钼粉还原生产线; 双核智能控制器

中图分类号: TH71 **文献标志码:** A

A Design of Weighing Device for Molybdenum Powder Automatic Reduction Line

ZHU Lingjian, TAN Yu, ZHAO Huaijun, LI Lin, QIU Zongming

(Faculty of Mechanical & Precision Instrumental Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: A weighing device for molybdenum powder automatic reduction line is designed based on the requirement analysis of reduction process. The components of the device structure and its working principle are dealt with in details. An ADuC824 microprocessor is adopted as the control of core and the EPM7128 programmed logic array device is used as the logic signal processing unit to construct the complete software and hardware measuring and controlling unit platform. And the corresponding component units and software program are designed and made, and the in-situ operation experiment is carried out and the results show that the weighing error accuracy of the controller system referred as repeatability standard deviation is 1.5 g, and the maxim relative error is 0.11%, whereby reaching the process requirement for the molybdenum powder automatic reduction line.

Key words: weighing device; molybdenum powder automatic reduction line; dual-processor smart field controller

粉末冶金是金属冶炼中广泛使用的方法, 粉末合金通常是用不同的金属纯粉, 按一定比例混合后经高温烧结而成, 金属纯粉的制备是粉末冶金的基础, 而金属纯粉是用金属氧化物或金属盐粉末通过还原获得, 以钼粉生产为例, 典型的还原生产过程如图 1 所示。

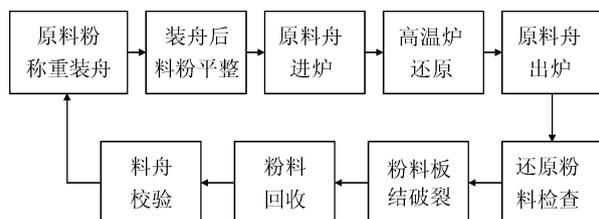


图 1 钼粉还原自动化生产线工作流程图

Fig. 1 Block of molybdenum automatic reduction line

上述作业循环中, 原料粉还原是在 950℃ 以上的高温密封还原炉内采用还原气体, 通过还原反应完成。金属粉末还原加工中, 为了保证还原质量的一致性, 除了稳定工艺参数外, 对料粉的装料准确性和平整性要求越来越高, 即对原料粉称重装舟作业环节中的装料精度和刮平的平整度要求越来越高。在自动化生产线中, 常用的装料方法有容积式装料法^[1]和直接称重装料法。容积式装料法以转鼓体积为最小单元, 该方法结构简单, 但装料精度受最小容积的限制, 相对装料精度通常只能达到 5% ~ 10%。目前, 钼粉还原加工的工艺要求装料精度为 2 500 g ± 2.5 g, 即相对精度为 ±0.1%, 这样的精度要求对容积式装料法是难以实现的。直接称重装料

收稿日期: 2011-11-29

基金项目: 陕西省教育厅产业化研究基金资助项目(2010JC16); 陕西省教育厅自然科学基金资助项目(09JK684)。

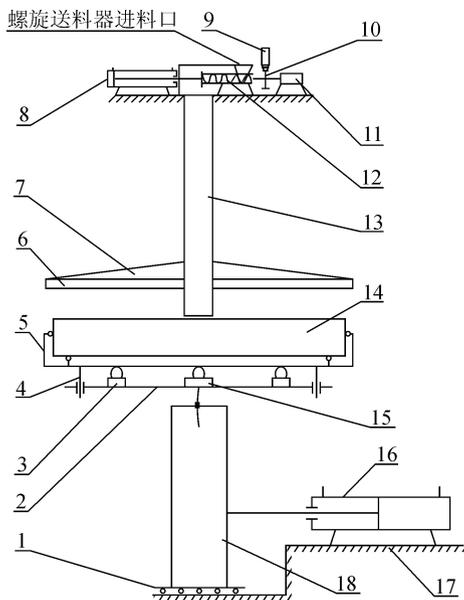
作者简介: 朱凌建(1978-), 男, 浙江遂昌人, 讲师, 研究方向为智能传感器技术及应用。E-mail: zlj_zhy@xaut.edu.cn。

法可以分为上称重法和下称重法^[2-3], 上称重法是对装有料粉的料斗进行称重测量, 通过控制料斗重量的减少量来控制装料量。在钨粉还原生产实践中, 料斗加料粉的质量在 1 000 kg 以上, 而每次装料要求 $2\ 500\text{ g} \pm 2.5\text{ g}$, 故称重分辨率要求很高, 控制难度很大。下称重法则直接对装有料粉的料舟进行称重, 料舟和料粉的总重量不超过 10 kg, 这给精密称重和控制提供了方便, 但是, 在自动化还原生产线中, 装一舟粉料的时间必须控制在 30 s 以内, 装料时的粉尘飞扬也一直是困扰装料作业自动化的难点。

鉴于钨粉还原生产的实际状况, 称重装舟的速度和称重精度直接关系到钨粉还原炉整个生产线生产的效率和产品的质量, 且称重精度与称重时间又是一对矛盾, 目前我国在工业生产这方面特殊用途的称重产品少且功能不齐全。本文根据钨粉还原自动化生产线工作的实际要求, 设计开发了一种称重与刮平相结合, 全密封、高精度、高可靠装料与自适应刮平的装料称重装置, 达到了工艺要求, 且该装置控制精度高, 实时性好, 尤其适用于粉末冶金行业料粉装舟的自动化装料称重作业, 具有较大的工程应用价值。

1 装料称重装置的机构组成

全密封装料称重与自适应刮平一体化装置的组成如图 2 所示。



1. 线性滑轨; 2. 称重支承板; 3. 电磁铁; 4. 线性轴承; 5. 载舟架; 6. 密封橡胶板; 7. 密封板; 8. 封料汽缸; 9. 送料计数器; 10. 送料计数轮; 11. 送料电机; 12. 螺旋送料器; 13. 布料刮平料斗; 14. 料舟; 15. 称重传感器; 16. 布料刮平汽缸; 17. 机架; 18. 电动缸

图 2 装料称重装置组成图

Fig. 2 Components of weighing device

该装置可分为全密封螺旋进给装料、精密称重和分层布料刮平三个部分。全密封螺旋进给装料部分由密封橡胶板 6、密封板 7、封料汽缸 8、送料计数器 9、送料计数轮 10、送料电机 11、螺旋送料器 12 和布料刮平料斗 13 等零部件组成。上述零部件中, 密封橡胶板固定安装在密封板上, 密封板与布料刮平料斗连接; 装料计数轮与螺旋送料器同步转动, 其余零部件均安装在机架上。布料刮平料斗的下端是开口的, 以便装料时料粉可以进入料舟, 而螺旋送料器的进料口与装有搅拌器和仓壁振动器的布料料斗连接。精密称重部分由称重支承板 2、电磁铁 3、线性轴承 4、载舟架 5、料舟 14、称重传感器 15 等零部件组成。其中线性轴承的导杆与载舟架固联, 线性轴承的导套、电磁铁及称重传感器均安装在称重支承板上, 称重支承板固定联接在电动缸的推杆轴上, 可以与电动缸的推杆轴一起做升降移动。电磁铁的作用是在布料刮平时将载舟架抬起, 使之与称重传感器脱离接触, 确保称重传感器不会被破坏。以称重传感器为中心对称布置的 4 个线性轴承用于防止载舟架升降时产生偏歪, 以减小称重误差。分层布料刮平部分由线性滑轨 1、布料刮平汽缸 16 和电动缸 18 组成。其中线性滑轨的导轨和布料刮平汽缸安装在机架 17 上, 电动缸与线性滑轨的滑块固定连接, 布料刮平汽缸的活塞杆则与电动缸固定连接。因此, 当控制电动缸 18 的推杆轴上升时, 带动精密称重部分上升, 从而使料舟的上边沿与密封橡胶板密封接触, 即可形成完全密封的装料空间, 实现全密封装料; 当控制电动缸的推杆轴做垂直方向的上下移动时, 可以实现步进式精密称重; 当布料刮平汽缸的活塞杆伸缩时, 通过电动缸带动载舟架和料舟一起左右移动, 利用料斗实现分层布料刮平。

2 装料称重装置的工作原理

全密封装料称重与自适应刮平一体化装置工作原理详述如下。

第一步 当装料空闲时, 封料汽缸的活塞杆伸出, 封堵住螺旋送料器的出料口, 防止料粉泄漏; 电磁铁将载舟架升起, 使其与称重传感器脱离接触; 布料刮平汽缸的活塞杆位于最低位置, 便于空载料舟容易进入装料工位。

第二步 当装料传感器 (图中未画) 检测到有空载料舟到位时, 则启动装料称重刮平工艺过程, 首先使电磁铁的衔铁下落, 载舟架和料舟随之下落, 与称重传感器接触, 使称重传感器处于称重测量状态, 此时称重传感器上的载荷为载舟架和空料舟重量之

和,记为 G_0 。

第三步 控制电动缸推杆上升,通过电动缸推杆上支承面使载舟架和料舟一起上升,当料舟的上边缘与密封橡胶板接触时称重传感器上的载荷开始增加,通过试验测定料舟的上边缘与密封橡胶板可靠接触所必须的载荷增加量 ΔG ,当称重传感器上的载荷增加到 $G_1 = G_0 + \Delta G$ 时电动缸的推杆停止上升,并保持此位置不变,至此,料舟的上边缘与密封橡胶板可靠接触,形成全密封装料状态,而布料刮平料斗的下口与料舟底面之间保持 5~10 mm 的距离。

第四步 封料汽缸活塞杆缩回,打开螺旋送料器的出料口,送料电机工作,开始容积式装料。为了提高装料效率,可根据需要安排多个螺旋送料器同时送料,容积式装料时通过送料计数轮和送料计数器控制装料量,根据试验确定容积式装料的终止装料量,例如,为总装料量的 90%,并将其转换为送料计数器的计数值,当送料计数器的计数值达到终止装料量的计数值时停止容积式装料。

第五步 完成容积式装料后,电动缸的推杆下降,使料舟与密封橡胶板脱离接触,保证作用在称重传感器上的载荷变化仅与装载的料粉的变化有关;此时,料舟与密封橡胶板虽然已脱离接触,但是,料舟与布料刮平料斗之间的料粉对后续的落料形成了新的密封层,因此,装料仍处于全密封状态。为了便于控制装料量,此时仅用一个螺旋送料器送料,装料量的控制方式也改为称重控制,当称重传感器上的重量 $G = G_1 + G_n$ (G_n 为额定装料量)时送料电机停止工作,封料汽缸活塞杆伸出,封堵螺旋送料器的出料口,防止料粉泄漏,至此完成装料。

第六步 装料完成后电磁铁伸出将载舟架和料舟托起,使料舟与称重传感器脱离接触,保证在布料刮平时称重传感器不承受载荷。此后,电动缸推杆每下降一定距离,布料刮平汽缸的活塞杆往复运动一次,布料一层,如此循环,最终完成布料和刮平。

第七步 显示装料称重的数值并发送控制字和称重量给上位机,完成一舟料的装料和刮平,恢复至下一个装料刮平循环过程。

3 装料称重装置控制器的设计

虽然现在很多商用电子桌面秤都具备有扣重、归零、累计、计价、警示等功能,也拥有串口通讯功能,能够简化设计任务,但是工业生产线用电子秤不单单只是称重重量的输出显示,更重要的是要输出控制信号^[4]。根据上文的工作原理可知,该装置的执行机构有 2 个汽缸、1 个电机、1 个电磁铁、1 个电

动缸,再加上面板指示灯,共需要 10 个以上的数字输出控制量,而输入数字控制量至少在 16 个以上,另需要 2 个模拟量输入口和 1 个 RS485 通讯口。而钼粉还原生产线中对称重单元的实时性要求很高,称重精度要求控制在 $\pm 0.1\%$,故采用商用电子桌面秤将实时的重量数据通过通讯端口传送到可编程控制器的方案,控制难度很大,且成本很高。因此在分析钼粉还原自动化生产线特点的基础上,设计了装料称重和刮平一体化装置在线称重控制器,其设计思想是利用 CPLD 器件和 ADuC824 单片机构建模块化测控系统平台,完成称重模拟量的采集和装料称重刮平工艺环节的一体化自动控制,并具有数据通信功能,具备构建 DCS 控制系统的最小模块化单元,其组成框图如图 3 所示。

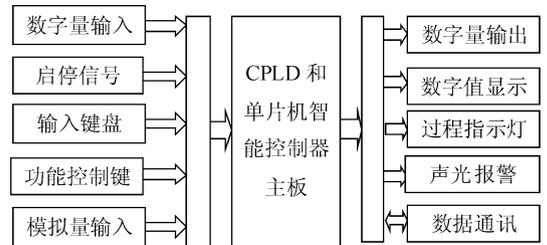


图3 装置控制器组成框图

Fig. 3 Components of weighing device controller

CPLD 和单片智能控制器主板是本测控平台的核心单元,完成所有输入和输出信号状态的采集、称重值的实时处理、自动控制逻辑时序处理、输出称重控制信号、过程指示信号和报警信号,并与现场主控制器进行数据通讯。系统中的启停信号是指来自生产线和操作者的启动和停止控制信号,生产线的启停信号主要表征的是有无料舟在称重台上,操作者主要是控制称重器开始或结束工作以及对一些故障的处理。输入键盘是用来设置一些必要的参数,比如下料重量、料舟重量、补偿量等。功能控制键是操作者直接参与控制的入口,操作者通过功能控制键能在控制器的某些部件故障时进行人工干预,在设备发生故障时能够保证现场工艺环节控制延续性,减少生产损失。过程指示是用来指示控制器在自动或人工控制时的各个状态,有利于操作者对各种故障的排查。声光报警主要是用于在控制器执行自动控制时对已经检测到的故障进行报警。数字量输入、输出对应于装料称重刮平一体化装置的现场执行器和反馈传感器(例如线圈和非接触探头等)。数据通讯是用于该模块单元与生产线上其他的控制器进行数据传送,保证生产线的统一控制。

装置中称重传感器采用 HBM 公司生产的型号

为 PWM15A 单点称重传感器,量程为 0 ~ 20 kg,传感器基于惠更斯电桥原理,以模拟量差动信号方式输出,且具有温度补偿修正功能。而 ADuC824 单片机内部集成了 2 路差动输入 24 位 Σ - Δ 型高分辨率的 A/D 转换器,且具有增益可编程的特点,可直接接收来自称重传感器的差分输出微弱信号,减少了传感器变送调理电路,具有集成度高、电路简单、抗干扰能力强的特点^[5]。同时,充分利用各种软件的功能,可以完成硬件难以完成的任务,从而大大提高在线称重控制装置的性能。

由图 3 可知,控制器需要较多的 I/O 端口用于现场信号的输入采集、逻辑运算和输出控制,而单片机 I/O 接口有限,因此,采用 EPM7128 可编程逻辑器件扩展 I/O 端口,具有灵活度高、编程简单、可靠性高的特点,用有限的资源可以完成复杂的任务。本智能控制器主板用到两片 EPM7128 芯片,分别用作控制面板接口和控制板接口,两片 EPM7128 共用 ADuC824 提供的数据总线和地址总线,EPM7128 内部分别对不同的设备进行不同的地址编码,并且由 ADuC824 的外部数据写信号给 EPM7128 内部电路锁存器提供锁存控制信号,设计完成的智能控制器测控单元硬件实物如图 4 所示。

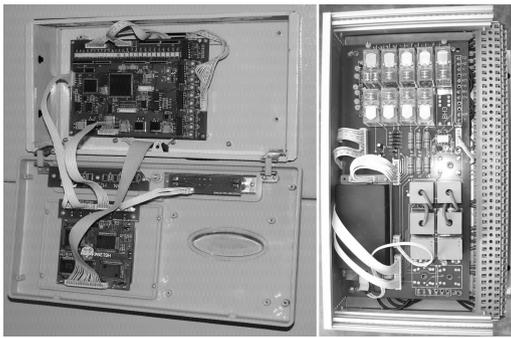


图 4 智能控制器测控单元硬件实物图

Fig. 4 Measurement and controlling unit hardware of the controller

在完成智能控制器硬件设计的基础上,进行了控制器底层软件的设计,由于篇幅所限,本文只阐述称重单元软件设计的主要思路,其主程序流程图如图 5 所示。

称重数值处理中采用最小二乘法拟合进行标定,采用动态预估原理结合 PID 算法进行控制。由于系统在还原车间使用,温度变化显著,系统中对环境温度进行了实时补偿。系统的标定参数存储在单片机的内部 EEPROM 中,并具有自动标定功能。称重单元软件具有数字滤波功能,以提高测量的稳定性和抗干扰能力。

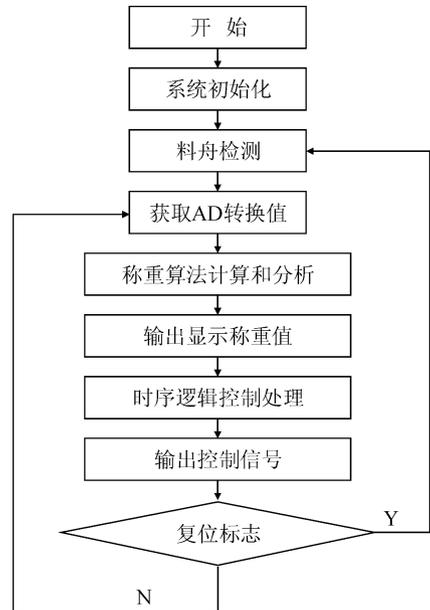


图 5 主程序流程图

Fig. 5 Main program flow chart of the controller

4 称重实验

在完成软硬件调试的基础上,将该称重装置安装在自行设计的装料刮平一体化部件上进行了该模块的调试实验,其中摘录的一组调试称重实验数据如表 1 所示。表中数据 G_1 代表实际称重时测得的载舟架和空料舟重量之和,数据 G_2 代表实际称重时测得的装料后的称重数值,上述称重传感器上的载荷增加量即为粉料的装舟净重值(即数据 G , $G = G_2 - G_1$)。在笔者所应用的工业现场中,根据工艺要求,每舟的装料理论重量(G_0)为 $2\ 500\text{ g} \pm 2.5\text{ g}$,则装料误差为 $\Delta G = G - G_0$ 。

表 1 现场调试摘录的部分实验数据

Tab. 1 Trial operation weighing experiment data on field of the system

| 测试序号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------|----------------------------------|----------|----------|----------|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| G_1/kg | 13.199 6 | 13.011 5 | 13.188 1 | 13.352 7 | 13.244 8 | 13.187 4 | 13.366 1 | 13.211 5 | 13.337 2 | 13.254 6 |
| G_2/kg | 15.697 5 | 15.511 9 | 15.688 7 | 15.851 4 | 15.745 9 | 15.685 5 | 15.863 4 | 15.712 3 | 15.835 6 | 15.755 2 |
| G/kg | 2.497 9 | 2.500 4 | 2.500 6 | 2.498 7 | 2.501 1 | 2.498 1 | 2.497 3 | 2.500 8 | 2.498 4 | 2.500 6 |
| $\Delta G/\text{kg}$ | -0.002 1 | 0.000 4 | 0.000 6 | -0.001 3 | 0.001 1 | -0.001 9 | -0.002 7 | 0.000 8 | -0.001 6 | 0.000 6 |
| 称重量: 2.499 4 kg | 标准差 $\sigma = 0.001 5\text{ kg}$ | | | | 称重不确定度 $\delta = \pm 0.004 5\text{ kg}$ | | | | | |

由表1可知,该称重装置的称重重复性标准差为1.5 g,称重值为 $2.499\ 4 \pm 0.004\ 5$ kg,称重值的最大相对误差为0.11%,满足设计要求。

5 结 语

综上所述,该称重实验装置采用模块化的设计方案,集装料和刮平于一体,并进行了为期1年的试运行。运行结果表明该装置实际方案可行,可靠性高,称重误差控制精度高,实时性强,满足了钨粉还原炉自动化生产线的工艺要求。

参考文献:

- [1] 孙茂泉,严伟跃. 称重式液料灌装机控制系统[J]. 轻工机械, 2007,25(3): 94-96.
Sun Maoquan, Yan Weiyue. Control system of a gravimetric(weighting) fluid-filling machine [J]. Light Industry Machinery, 2007,25(3): 94-96.
- [2] 沈江. 自动称重系统开发与应用[J]. 仪表技术, 2010, (1):56-57.
Shen Jiang. Application and development of automatic weighing system [J]. Instrumentation Technology, 2010,

(1):56-57.

- [3] 陈川贵,贺碧会,余建军,等. 单晶炉上称重电子秤系统的研究与分析[J]. 压电与声光, 2008,30(5):598-600.
Chen Chuangui, He Bihui, She Jianjun, et al. Research and analysis on the up-weighing electronic balance system of a crystal growing furnace [J]. Piezoelectrics & Acousto-optics, 2008,30(5):598-600.
- [4] 李牡丹,李丽宏,雷张伟. 基于ADuC845的嵌入式配料称重系统设计与实现[J]. 制造业自动化, 2010, 32(11):175-177.
Li Mudan, Li Lihong, Lei Zhangwei. The design and realization of embedded proportioning weighing system based on ADuC845 [J]. Manufacturing Automation, 2010, 32(11):175-177.
- [5] 朱蕴璞,李大伟,沈清. AD7799在电子称重系统中的应用[J]. 仪表技术与传感器, 2008,(12):107-108.
Zhu Yunpu, Li Dawei, Shen Qing. Application of AD7799 in electronic weighing system [J]. Instrument Technique and Sensor, 2008, (12):107-108.

(责任编辑 王卫勋)

简 讯

西安理工大学2人获第十三届霍英东青年教师基金及青年教师奖

霍英东教育基金会第十三届高等院校青年教师基金及青年教师奖评选结果已于近日揭晓,经专家评审意见和基金会理事会暨顾问委员会联席会议讨论意见,我校材料科学与工程学院游才印教授申报的课题“垂直磁各向异性Nd-Fe-B/Fe纳米复合稀土薄膜磁体的层间界面修饰及其交换耦合作用”获西部高校青年教师研究基金资助,印刷包装工程学院方长青教授获青年教师奖三等奖资助。

(摘自西安理工大学新闻网 2012-03-15)