

燃煤机组气力输灰系统自动控制逻辑优化

陈晴

国能粤电台山发电有限公司, 广东 台山 529200

DOI:10.61369/EPTSM.2025050007

摘 要 : 气力输灰系统广泛应用于国内外各大型火电厂的输灰系统, 在实际运行中, 由于传统的物位计信号的误差, 很多除灰系统只能选择使用时间装料的方式来完成输灰工作。至今这种输送方式仍没有形成解决用气量浪费严重, 阀门开关频率过快, 稀相输送对管道及阀门的磨损等问题, 严重缩短除灰系统的使用寿命。本文介绍了除灰系统的工作原理及控制方法, 详细分析了除灰系统效率低的原因, 根据分析结果提出了仓泵料位测量及控制逻辑优化方案, 优化后的运行结果表明, 除灰系统的除灰效率得到了很大的提高。

关 键 词 : 气力输送; 料位; 控制; 逻辑优化

Optimization of Automatic Control Logic for Pneumatic Ash Conveying System in Coal-Fired Units

Chen Qing

Guoneng Yuedian Taishan Power Generation Co., Ltd., Taishan, Guangdong 529200

Abstract : Pneumatic ash conveying systems are widely used in large thermal power plants both domestically and internationally. In practical operation, due to the inaccuracy of traditional level meter signals, many ash removal systems can only rely on time-based loading to complete the conveying process. This method has not yet resolved issues such as severe waste of air consumption, excessive valve switching frequency, and wear caused by dilute-phase conveying on pipelines and valves, which significantly shortens the service life of ash removal systems. This paper introduces the working principles and control methods of ash removal systems, analyzes the causes of low efficiency in detail, and proposes optimization schemes for level measurement and control logic in ash storage pumps. The optimized operational results show a significant improvement in the efficiency of the ash removal system.

Keywords : pneumatic conveying; material level; control; logic optimization

引言

气力输送是一项综合性技术, 它涉及流体力学、材料科学、自动化技术、制造技术等领域^[1-2], 属输送效率高、占地少、经济而无污染, 广泛应用于国内外各大型火电厂的输灰系统。燃煤机组气力除灰系统在设计时通常遵循料位优先的设计原理, 并且具有时间保护的功能。所以在设计时必须要将料位数据信息放在首位。在实际运行中, 由于传统的物位计信号的误差, 很多除灰系统只能选择使用时间装料的方式来完成输灰工作。为了保证仓泵内不发生灰尘堵塞的现象, 系统所设置的装料时间相对保守, 装灰输送的周期很短, 每一次输灰量很低, 严重的增加了除灰系统的耗气量, 造成资源的浪费。除此之外, 频繁的灰尘输送会对阀门管道造成严重的磨损, 缩短除灰系统的使用寿命, 在系统维护和检修上的花费也会相应的增多。因此对料位测控数据的可靠性研究和自动控制逻辑的优化, 才能有效解决仓泵料位的控制问题和料位控制的精准度。

一、传统仓泵料位计测量原理

目前常见的除灰系统中所使用的料位计包括音叉、超声波、射频导纳、雷达、电容等形式^[3-4], 一般采用插入式的安装方式, 料位计探头需要直接接触到煤灰。因煤灰为粉状物料与固体物料

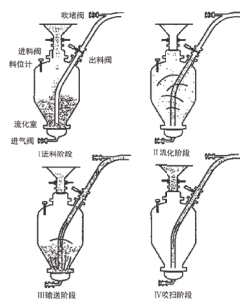
的混合物, 黏结性较强, 流动性较差, 所以经常会附着在料位计传感器上, 导致信息误报。而且传统的料位计无法实现料位的连续测量, 一旦发生误报, 为了保证仓泵内不发生灰尘堵塞现象, 除灰系统只能选择使用时间装料的方式来完成煤灰或除尘灰粉的去除工作, 除灰的效率大大降低。

作者简介: 陈晴 (1982.02-), 男, 汉族, 湖南湘乡人, 工程师, 学士学位, 研究方向: 从事热工自动化和测量仪表方面的科研工作, E-mail: 16100408@chnenergy.com.cn

二、传统仓泵输灰工作原理及控制方式

（一）传统仓泵输灰工作原理

目前常用的除灰系统采用正压浓相发送器，正压浓相发生器的工作原理图如下：



正压浓相发送器工作过程分为四个阶段：

1. 进料阶段：进料阀打开，物料自由落入发送器内，当发送器内上升物料触及料位计后，料位计发出料满信号，进料阀自动关闭，完成进料过程。
2. 流化加压阶段：进气阀自动开启，压缩空气进入发送器底部，扩散后穿过流化床，在物料充分流化的同时，发送器内气压上升。
3. 输送阶段：当发送器内压力达到一定值时，压力传感器发出信号，出料阀自动开启，流化床上的物料流化加强，输送开始，发送器物料逐渐减少，此过程中流化床上的物料，始终处于流化边输送。
4. 吹扫阶段：当发送器物料输送完毕，压力下降到管道阻力时，指示灯发出信号，通气延续一定时间，压缩空气清扫管路，然后进气阀关闭，间隔一定时间，关闭出料阀，打开进料阀，完成一次输送循环。

（二）传统仓泵输灰控制方式

仓泵进料时间的控制有二个控制点：一是时间控制，二是仓泵料位控制。两个是并列关系，到其中任何一个控制点达到要求时，仓泵进料阶段结束。例如：第一种情况：进料时间未达到设定值而仓泵内料位计发料位高报警送输灰控制系统，结束进料阶段，同时自动关闭进料阀。第二种情况：在预设定的进料时间内粉煤灰与料位计探头没有接触，料位计不动作无反馈信号，但进料时间已到，输灰控制系统收到时间已到信号，结束进料阶段，同时自动关闭进料阀。

三、传统仓泵输灰系统存在的问题

在实际应用中由于我们使用的料位计的原理、仓泵环境、仪表结构等因素，使得98%的仓泵料位计出现误报、拒报情况。当料位计不准时，仓泵料位控制失去作用，仓泵控制系统自动切换到时间控制，不再理会料位计信号。

从传统老式仓泵使用效果看，绝大多数电厂仓泵由于料位计使用效果差，输灰系统大多采用时间控制，由于灰斗下料速度不稳定，从安全角度考虑，时间都设置得比较保守。结果就导致每

次仓泵输送的灰很少，用掉的压缩空气却很多。当灰量比较大，又来不及排灰时，就使得灰斗内大量积灰。另一个副作用加大了输送每吨灰的耗气量，增加了对排灰管道、阀门的磨损。如果进料时间设得过长时，又来不及排灰，引起灰斗内大量积灰，造成安全隐患。

由于采用时间控制仓泵工作，在仓泵工作中动作频率非常高，内部工作环境恶劣，料位计极易损坏，导致误报与失效。使得料位控制在运行中难以得到真正使用，仓泵进料控制基本是按照时间控制模式来进行的。由于运行从安全角度与不堵灰角度考虑，仓泵进料时间被控制在非常短的时间内。仓泵进料量主要取决于上面灰斗内灰量，灰量大，十几秒就会满泵，而当灰斗内没有灰或者灰量很少时，致使满泵时间比较长（半小时可能也无法达到三分之一的泵）。从而导致在多次循环中，仓泵处于非常少量甚至空泵输灰状态，造成大量压缩空气损失，能源浪费严重。同时，由于时间控制间隔较小，仓泵极少量煤灰或空泵输灰占到整个输灰次数的65%以上，系统动作频率高，进料阀等周边设备磨损快，在灰量少时，输灰系统处于稀相输灰状态，输灰管道磨损大，还容易导致管道堵灰的发生。

四、仓泵输灰系统的改进方案

（一）仓泵料位测量改进

目前火力发电厂仓泵料位计大都输出为开关量状态信号，料位计的测量受高温、温漂、摩擦、挂料误报、悬浮粉料干扰、迅速下料及气压冲击、灰粉静电干扰、煤品变化等诸多因素的干扰容易产生误报警。因此料位的测量应采用连续测量的方式，实现仓泵内料位的模拟量显示，精准测出仓泵内实际灰位。目前市场上能够实现连续灰位测量的有无源核子料位计、有源核子料位计和接触式跟踪测量料位计等^[5-6]。要从控制程序上利用灰位信号控制卸灰阀放灰频率必须确保料位的连续准确测量，才能为下一步开关卸灰阀提供精准信号，这样才能大大解决输灰系统的节能、阀门的使用寿命及管道的磨损^[7-8]。

（二）新型仓泵输灰系统的具体改造方案。

1. 一、二电场仓泵运行改造如下：

（1）一、二电场分别有8台仓泵，每4个仓泵为一个输灰单元，共分为一电场A、B及二电场A、B两个输灰单元，将原逻辑以时间控制改成以仓泵灰位高度信号的方式，分别对一、二电场八台仓泵分为A、B两侧输灰的运行方式进行修改。由于一、二电场灰量较多，因此A、B两侧各自一组，设计以整个灰位高度70%信号作为阀门开启信号。在一组四个仓泵信号中，以高位领先的方式启动整个一组系统，也就是说四个仓泵中的任何一个仓泵信号，只要某一个信号达到最高信号就可以启动整个一组系统工作。

（2）时间逻辑辅助控制，运行人员可能根据灰量的大小调整输灰运行的时间间隔，以仓泵灰位最长进灰时间为基准，通过使用厂家的运行记录，进灰最长时间在85分钟，因此我们可以把逻辑时间调整为80分钟，如灰斗内灰位由于此循环时间过长而积聚过多，下个循环会以灰位高度形式迅速进行放灰。同时在画面上

增加手自动操作按钮，灰量大或故障，需要对仓泵连续输灰时，运行人员把按钮切换到手动方式即可。

(3) 电除尘一、二电场仓泵输灰系统逻辑修改及运行方式：逻辑控制电除尘一、二电场 A、B 侧输灰顺序，闭锁 A、B 侧同时输灰，实现电场 A 侧运行→结束→电场 B 侧运行→结束→电场 A 侧运行循环，同时在画面上增加手自动操作按钮，灰量大或故障，需要电场 A、B 侧连续输灰时，运行把按钮切换到手动方式即可。

2. 对电除尘三、四电场仓泵的改造

3. 四电场的灰量相对一、二电场灰量更为稀少，灰量约占总灰量的5%，将原逻辑以时间控制改成以仓泵灰位高度信号为主，时间控制为辅的控制方式。以整个灰位高度70% 信号作为阀门开启信号，时间控制调整根据实际输灰情况由运行人员进行手动设定。同时在画面上增加手自动操作按钮，灰量大或故障，运行把按钮切换到手动方式即可。

五、改造后的运行方式及使用效果

(一) 改造后的运行方式

正常情况下每个输送单元按设定的参数自动程控运行，流程为：开始运行 --- 进料阀开 (输送 罐开始装灰) --- 输送罐料位达到设定值或设置的装灰时间到 --- 进料阀关 --- 出料阀开 --- 进气阀 开 (开始输送) --- 输送管道压力降至设定值 --- 进气阀关 (一个输送循环结束) --- 进入下一循环。

本程序设置两个参数设置窗，分别是进料灰位高度设置和进灰时间设置。进料灰位高度设置在保证电除尘器灰斗不满灰的情况下，尽可能的设置灰位较高位置，占整个量程60% 左右。进灰时间的设置是为保障仓泵安全运行，在以灰位高度为基准信号前天下设置时间保障信号，补充料位计出现异常情况下，可最大限度的设置时间保证灰斗不满灰，从而达到安全节能的目的。

(二) 改造效果

通过下面数据的分析，我们可以看到原有输灰系统在以“时间控制”为主的控制逻辑和以连续料位测量及改造优化后的仓泵输灰输灰程序的实际情况。如图1、图2、图3所示。

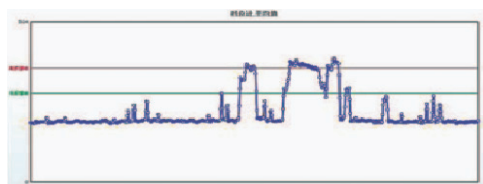


图1 时间逻辑控制下的灰斗料位趋势图

参考文献

- [1]Smith, J. R., & Brown, T. L. (2020). Advances in Pneumatic Conveying Systems. *Journal of Power Engineering*, 45(3), 112–125.
- [2]Zhang, H., et al. (2019). Optimization of Control Logic for Ash Handling in Thermal Power Plants. *Energy and Environment*, 34(2), 78–89.
- [3]Wang, L., & Li, X. (2018). Continuous Level Measurement Technologies for Industrial Applications. *Automation in Industry*, 22(4), 56–67.
- [4]Johnson, P. (2017). Wear Reduction in Pneumatic Conveying Pipelines. *Mechanical Engineering Journal*, 12(1), 45–53.
- [5]Chen, G., et al. (2016). Energy Efficiency Improvements in Coal-Fired Power Plants. *Sustainable Energy Reviews*, 50, 200–210.
- [6]Liu, Y. (2015). Automation and Control Systems for Ash Handling. *Power Plant Technology*, 28(3), 34–42.
- [7]Anderson, R. (2014). Nuclear Level Gauges for Bulk Material Measurement. *Nuclear Engineering*, 19(5), 88–97.
- [8]Lee, S., & Park, M. (2013). Valve Optimization in Pneumatic Systems. *Fluid Dynamics*, 40(6), 123–135.
- [9]White, D. (2012). Maintenance Strategies for Pneumatic Conveying Systems. *Industrial Maintenance*, 15(4), 67–74.
- [10]Taylor, K. (2011). Environmental Impact of Coal Ash Disposal. *Environmental Science*, 25(7), 101–110.

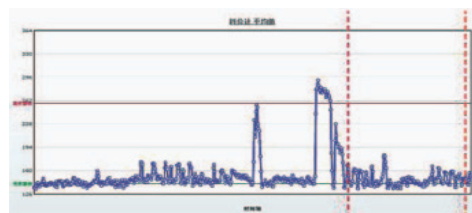


图2 时间逻辑控制下的仓泵料位趋势图

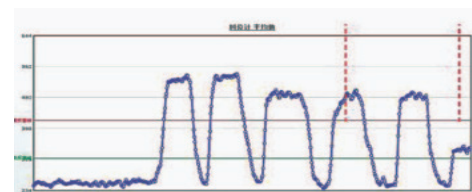


图3 连续料位测量控制逻辑下仓泵料位趋势图

根据现场观察和分析可知道，仓泵进料的量主要取决于上方灰斗中干灰的量。当灰斗中干灰比较多时，仓泵进料基本是满泵，当灰斗内料很少时，仓泵内进料很少，甚至于处于空泵运行。根据当天试验的情况来看，24小时内，仓泵超过一大半时间处于空泵运行状态。根据现场历史经验与情况统计，在时间控制模式下，仓泵有超过60% 时间处于耗能低效率状态下运行。浪费了大量的压缩空气与能源，同时，进出料阀门也在无灰状态下还频繁动作，压缩空气消耗较高，设备的机械磨损大，降低了使用寿命，增加了设备的维护量。

从图1与图2中可以看出，在使用“时间控制”的模式下：仓泵中每次落灰量差异非常大。从图3中可以看出在使用连续料位测量控制的模式下仓泵达到一定料位后再开始输灰，相比而言，输灰的频次明显减少。

六、结语

根据目前国内电厂运行分析，燃煤电厂对于煤炭燃后所排放的大量粉煤灰的处理问题，是关系到电厂的环境保护与降本增效的重大课题^[9-10]。本文通过对改造的方案优化与节能的研究和实践，对提高仓泵的运行工况稳定性效果明显，自动投入率增高，减少了稀相输灰情况的发生，减少了阀门的动作次数，极大地节省了输灰压缩空气使用量，且节约了更换料位计的大量维护工时和维护费用，大大降低了仓泵阀门和输灰系统管道的维护工作量的维护费用，有效提高了输灰系统运行的可靠性。