

电厂燃料系统圆形堆取料机防碰撞技术研究

李欣宇

(华电曹妃甸重工装备有限公司, 河北 唐山 063205)

摘要 电厂燃料系统中的圆形堆取料机是重要的卸料、取料设备, 其运行安全和电厂燃料供应的稳定以及生产效益息息相关。碰撞事故是圆形堆取料机运行中最大的安全风险, 极易导致设备损坏、生产停机甚至人员伤亡。本文根据圆形堆取料机的运行特点, 对防碰撞技术原理进行分析, 系统整理设备间、设备与料堆、设备与料场边界或者障碍物三种碰撞风险, 从硬件设备安装、软件系统融合检测、参数调节、故障判断排除、故障优化五个方面分析防碰撞技术体系, 并结合典型的电厂应用实例, 验证该技术体系应用成果, 以期为相关人员提供借鉴。

关键词 电厂燃料系统; 圆形堆取料机; 防碰撞技术; 设备安全

中图分类号: TP273

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.13.002

0 引言

随着电力行业迅猛发展, 电厂机组容量不断增加, 对燃料供应连续性要求越来越高。圆形堆取料机堆料容量大、取料效率高、占地面积小, 常被用在电厂燃料系统原煤储存和转运。但在实际运行中, 圆形堆取料机需要在有限的料场空间内来回进行堆料和取料操作, 其运行轨迹十分复杂, 很容易碰到周围的设备、料堆、料场边界及各种障碍物, 严重影响电厂正常发电工作的开展。因此, 研究电厂燃料系统圆形堆取料机防碰撞技术具有重要的现实意义。

1 圆形堆取料机防碰撞原理

圆形堆取料机防碰撞技术核心原理是通过各种检测设备及时采集设备运行等数据信息, 随后利用软件系统对所收集到的数据进行处理判断, 一旦发现碰撞危险就会自动发出报警信号或者控制设备减速、停止等避碰措施, 主要包括信息采集、数据处理、风险评价、执行控制四个重要环节。

堆取料机上装有位置传感器、距离传感器、角度传感器等设备, 可以及时获取大车行走位置、小车回转角度、悬臂俯仰角度、料堆高度及周围设备障碍物距离等信息, 这些数据是进行防碰撞判断的基础, 采集精度直接影响防碰撞系统的可靠性。

在数据处理之前, 利用软件算法对原始数据进行滤波、校正、融合处理, 先去除由于环境因素导致的数据偏差, 并根据电厂料场实际布局情况、设备参数等建立数字形式的料场模型, 将经过处理的设备位置

数据与模型进行关联, 实现对设备在料场内动态位置信息的实时更新。

在风险判断上, 根据事先设定的安全阈值和碰撞判断逻辑, 对设备的动态位置信息进行分析, 当设备与周围物体之间的距离小于报警阈值时, 系统就会发出声光报警信号来提醒操作人员。如果距离缩小到安全停机阈值以下, 系统就会立刻发出控制指令, 要求设备停止相应的动作, 防治碰撞问题的发生, 提前发出警报或者控制信号^[1]。

2 圆形堆取料机多场景协同运行控制特性

2.1 多设备协同作业运行控制

大型电厂圆形料场一般配有多个圆形堆取料机进行联合作业, 并且和皮带输送机、转运站等固定设备一起组成一体化的燃料输送系统, 设备作业区比较集中, 联动性较强。利用 GPS 精确定位、多机姿态实时监测技术可以实现多设备之间相对位置动态控制, 定位精度可达 ± 5 cm, 角度测量精度为 $\pm 0.1^\circ$ 。系统可以实时计算出多机间距、运行速度和干涉区域, 在 3~5 m 预警区间和 1~2 m 制动区间内实现自动调速和安全避让, 保证多台设备在有限空间内 24 h 连续、并行、无干涉作业。

2.2 设备与料堆适配取料控制

圆形堆取料机取料作业阶段, 悬臂斗轮与料堆接触状态、悬臂姿态和料堆轮廓匹配程度, 是保证连续高效取料的重要因素。采用激光测距和超声波检测相结合的方式, 可以实时得到悬臂和料堆之间的距离, 检测距

作者简介: 李欣宇 (1998-), 男, 本科, 研究方向: 大型散料设备制作安装。

离为 0.1 m 到 10 m, 检测精度为 ± 2 mm 到 ± 5 mm。根据三维料场模型和姿态闭环调节, 设备可以在 0.8 ~ 1.2 m 的预警距离和 0.3 ~ 0.5 m 的安全作业距离内稳定工作, 保证斗轮取料深度均匀、悬臂姿态自适应优化, 在保证取料效率 550 t/h 以上的同时, 保持设备与料堆之间的安全、平稳、连续的作业状态。

2.3 料场边界及障碍物约束运行控制

圆形料场有围墙、防护栏、结构立柱、电缆沟和消防设施等固定构筑物, 为设备运行提供明确的边界约束。堆取料机大车行走、悬臂回转时, 依靠边界定位和距离实时检测, 可以对料场轮廓和障碍物进行全方位的覆盖监测, 检测范围 0.5 ~ 50 m。系统按照 2 ~ 3 m 的预警阈值和 0.5 ~ 1 m 的停机阈值来分层控制, 自动执行行走限位、回转限速、姿态修正, 使设备在限定的安全区域内有条不紊地运行, 达到料场空间充分利用和设备运行边界精确控制的目的^[2]。

3 电厂燃料系统圆形堆取料机防碰撞技术

3.1 硬件设备的安装

硬件设备是防碰撞系统的核心, 所选择的型号以及安装质量都会直接影响系统是否具备精准的感知, 按照信息收集的需求来妥善安排各种传感器、控制器、执行装置, 并按照规定的步骤完成安装设置工作。

位置和角度检测设备使用的是高精度 GPS 定位模块以及增量式编码器, 其中 GPS 定位模块用于大车行走位置检测, 增量式编码器则被用来检测悬臂回转角度及俯仰角度。GPS 定位模块安装在车架顶部, 保证信号接收的稳定性, 随时接受卫星信号来获取设备的绝对位置, 定位精度可以达到 ± 5 cm, 增量式编码器安装在回转机构、俯仰机构的传动轴上, 根据检测轴的旋转角度来推算设备的相对位置, 角度精度可以达到 $\pm 0.1^\circ$ ^[3]。

距离检测设备采用激光测距传感器和超声波测距传感器, 实现互补检测, 激光测距传感器具有检测距离远、精度高的特点, 安装在悬臂末端、大车侧边等处, 用以测量设备与附近设备以及料场边界之间的距离, 检测距离在 0.5 ~ 50 m 之间, 精度为 ± 2 mm; 超声波测距传感器具有较强的抗粉尘干扰能力, 安装在斗轮周围, 检测距离在 0.1 ~ 10 m 之间, 精度为 ± 5 mm。

控制器采用工业级 PLC 系统, 安装在设备的电气控制柜内, 负责接收各种传感器采集到的数据, 运行相关软件算法产生控制指令, 执行机构包括变频器、电磁继电器、液压控制阀等, 分别与大车行走电机、回转电机、俯仰电机、液压系统连接, 按照 PLC 发出的指令完成设备的速度调节, 发出报警信号, 显示设备的运行状态。

3.2 软件系统的集成测试

软件系统是防碰撞技术的核心, 负责数据处理、风险判断、控制指令的产生等工作, 其合成质量以及运行稳定性都会影响到防碰撞的效果。

数据处理模块使用卡尔曼滤波算法对采集到的原始数据进行滤波处理, 除去由于粉尘、震动等环境因素导致的随机误差, 再用数据校准算法修正传感器的系统误差, 提高数据精度, 随后通过数据融合算法将不同传感器采集的同一物理量的数据进行融合, 提高数据的可靠性, 形成数字化料场模型, 将处理过的设备位置数据与料场模型相匹配, 及时更新设备的动态位置信息。

控制输出模块可将碰撞判断模块产生的控制指令转变成执行机构可以识别的信号, 再通过 PLC 传送到变频器、继电器等执行机构上, 使设备减速、停机等功能得以实现, 并且还会把执行机构的动作状态反馈给数据处理模块, 形成闭环控制。

3.3 参数调整

安全阈值参数要结合料场布局和设备尺寸进行调整, 不同碰撞场景需要设置不同的阈值, 设备与设备相撞时, 根据设备运行速度和制动距离, 将报警阈值设为 3 ~ 5 m 之间, 停止运行阈值设为 1 ~ 2 m 之间; 设备碰到料堆时, 由于料堆形状不规则, 把报警阈值设为 0.8 ~ 1.2 m 之间, 停止运行阈值设为 0.3 ~ 0.5 m 之间; 设备碰到料场边界或障碍物时, 按照边界设施的强度和设备的制动性能, 把报警阈值设为 2 ~ 3 m 之间, 停止运行阈值设为 0.5 ~ 1 m 之间。

传感器采集参数的调节重点在于采集周期和检测范围。采集周期要按照设备运行速度进行调节, 设备运行速度快时可减小采集周期, 提升数据的即时性, 设备运行速度慢时可以适度增大采集周期从而减轻系统运行负担, 检测范围应该根据传感器的安装位置和检测对象进行调节, 保证检测范围包含所有的潜在碰撞区域, 防止产生检测盲区。

控制响应参数调整的重点是制动时间、减速梯度等, 根据设备的制动性能调整制动时间参数, 使设备在接到停机指令后立即稳定地停止下来, 避免制动过快导致设备受到冲击而损坏, 通过调节减速梯度参数来实现设备缓慢减速的目的, 减少对设备传动装置的损耗。

3.4 故障诊断排除

故障诊断主要通过软件系统故障监测模块和硬件设备状态检测实现, 软件故障监测模块可随时对各个

模块的运行情况进行监测,一旦出现数据传输中断、算法执行错误等故障问题,就会自动把故障信息记录下来,并发出故障警报信号。硬件状态检测通过在传感器、PLC、执行机构等设备上安装的状态监测传感器,可以及时获取设备的工作电压、电流、温度等参数,如果这些参数超出了正常范围,就判定设备出现了故障,然后将故障信息上传给软件系统。

4 典型电厂圆形堆取料机防碰撞技术应用案例

本文提出的圆形堆取料机防碰撞技术实际效果验证,选择某大型火力发电厂为案例研究对象,该电厂燃料系统有2台圆形堆取料机,料场占地约12 000 m²,主要储存原煤,年吞吐量约800万吨。之前,该电厂多次出现圆形堆取料机碰到料堆或者料场边界的情况,每年由于这些碰撞事故导致的经济损失大约为200万元,对燃料供应的稳定性有很大影响^[4]。

4.1 应用方案实施

在两台圆形堆取料机大车车架顶部装上GPS定位模块,在回转机构、俯仰机构的传动轴上安装增量式编码器,在悬臂端部、大车侧面装上激光测距传感器、超声波测距传感器;用西门子S7-400系列PLC作为控制器,安装在电气控制柜内;设置变频器、电磁继电器等执行机构,声光报警器、显示屏等辅助设备。

软件系统融合,融合数据采集、数据处理、碰撞判定、控制输出、人机交互模块,用卡尔曼滤波算法做数据滤波处理,形成数字化料场模型,预先设定各种碰撞场景的安全阈值。设备间警报阈值为4 m,停机阈值为1.5 m;与料堆警报阈值为1 m,停机阈值为0.4 m;与边界警报阈值为2.5 m,停机阈值为0.8 m。

根据设备运行速度和制动性能设置传感器采集周期,位置、角度传感器采集周期为10 ms,距离传感器采集周期为20 ms,大车制动时间为2 s,回转机构制动时间为1.5 s等参数^[5]。

故障诊断与维护保养优化,建立故障检测系统,定时做硬件、软件系统的保养维护工作,增强运维人员培训力度。

4.2 应用效果分析

2023年1月防碰撞技术系统安装调试完成,投入运行,到2023年底为止,运行状况比较稳定。通过比较系统启用前后的有关碰撞事故发生次数、设备运行效率和经济损失等各方面的数据分析应用效果,相关的数据详见表1。

表1数据表明,防碰撞系统投入运行后,电厂圆

形堆取料机碰撞事故的发生率为零,没有由于碰撞导致的停机和直接经济损失,设备运行效率提高了5.8%,减少了由于人工干预导致的效率损失,防碰撞系统故障发生率低、故障平均处理时间短,说明系统稳定性好、维护性好。

表1 圆形堆取料机防碰撞技术系统运行数据

指标	应用前 (2022年)	应用后 (2023年)
碰撞事故次数(次)	6	0
因碰撞导致的停机时间(h)	48	0
因碰撞导致的直接经济损失 (万元)	210	0
设备运行效率(t/h)	520	550
系统故障次数(次)	—	3
故障平均处理时间(min)	—	25

5 结束语

圆形堆取料机防碰撞技术的主要原理是感知、判断、执行闭环控制,它由信息采集、数据处理、风险判断和执行控制四个主要环节组成,从而达到防止碰撞的目的。建立以硬件支撑、软件核心、参数优化、故障保障为内容的防碰撞技术体系,可以全面提高设备运行的安全性,具有可行性。典型电厂应用案例显示,该技术体系可以有效地消除碰撞事故,避免停机损失,提高设备运行效率,有较好的工程应用价值。随着人工智能、数字孪生等技术的发展,防碰撞系统将会越来越智能化、自主化,实现更加准确的预测性防护和自适应控制,给电厂燃料系统的安全稳定运行提供更加有力的技术保障。

参考文献:

- [1] 郑祖军,许展文,陈木炳,等.圆形堆取料机螺栓防松问题研究及节能减排分析[J].能源与节能,2025(12):94-97.
- [2] 张海新,徐挺,陈东宇,等.圆形堆取料机行走机构防啃轨装置的研究与应用[J].吉林电力,2025,53(04):50-52.
- [3] 贾本康,朱淑勇,秦利敏.圆形煤场堆取料机无人值守系统的研究探索及应用[J].科技与创新,2025(15):87-90.
- [4] 赵树巍.基于激光三维成像建模的煤场圆形堆取料机智能控制研究[J].现代制造技术与装备,2025,61(07):196-198.
- [5] 张海新,徐挺,陈东宇,等.圆形料场堆取料机智能控制降尘方案的创新与应用[J].吉林电力,2025,53(02):54-56.