

煤矿自动化运输系统的设计与实施

李梦瑶

华电郑州机械设计研究院有限公司 河南郑州 450000

DOI: 10.12238/ems.v7i2.11692

[摘要] 煤矿自动化运输系统是提升煤矿生产效率和安全性关键环节。本文围绕煤焦料场的散料运输需求,分析了现场环境特点和自动化运输系统的设计原则,重点探讨取料机、卸料机的设备选型及自动化控制系统的架构与实施方案,包括数据采集、智能调度及路径优化等关键技术。通过合理应用先进技术,实现运输过程的高效、可靠、安全和环保,全面提升煤矿运输系统的运行质量,推动煤矿运输向智能化方向发展。

[关键词] 煤矿运输; 自动化系统; 智能调度; 设备选型

1. 引言

随着煤矿生产规模的不断扩大,运输环节的效率 and 安全性要求日益提高,传统运输方式已无法满足现代化煤矿生产的需求。煤焦料场作为煤矿生产的重要组成部分,其运输系统的设计直接影响到整个生产流程的连续性和稳定性。为应对复杂多变的环境条件,确保高效、安全和环保的运输,设计并实施自动化运输系统成为煤矿发展的重要方向。本文围绕煤焦料场的散料运输,探讨自动化运输系统的设计原则及关键技术,旨在为煤矿智能化转型提供技术支持。

2. 需求分析与系统设计原则

2.1 现场环境特点

由于煤焦料场所处的现场环境具有高度的复杂性和多变性,这对自动化运输系统提出了更为严格的标准。首先,料场的地形常常呈现出出不规则的特点,如高度差异、坡度和堆场布局的不同,这些因素都增加了设备运行的复杂性;再者,料场通常位于开放的室外,因此需要应对各种不稳定的气候状况,例如高温、降雨、强风和冬季的低温,这些都可能对设备的工作性能和稳定性带来负面影响;另外,在料场操作过程中,粉尘浓度相对较高,这对设备的防尘能力和运行的可靠性提出了严格的要求,同时也需要实施有效的降尘措施,以确保环境的友好性。

2.2 运输需求

煤焦料场的散料运输需求具有显著的特殊性和挑战性,这主要表现在以下几个方面:首先,运输过程必须保持高度的连续性,以适应煤矿生产的非间断运行特性,避免因中断导致生产效率降低;再者,煤焦料场的运输特点是高运量,日均搬运量大,这对输送系统的承载能力和稳定性能提出了更高的要求;再者,鉴于运输路线可能覆盖从料场内部到存储或装卸区域的长途运输,该系统必须拥有高效的长距离运输能力;另外,由于散料的不均匀性、容易散落和对环境的影响,运输系统需要满足高度的可靠性和低维护需求,同时也要考虑节能和环保的目标。因此,在设计运输系统时,需要在效率、稳定性、安全性和环境友好性之间找到一个平衡点,以确保能够持续满足煤焦料场的生产需求。

2.3 面临的挑战

在实际应用中,煤焦料场的自动化运输系统遇到了许多挑战。首先,由于料场地形的复杂性和堆料形态的多变性,设备的操作灵活性和适应能力面临着巨大的挑战,特别是在坡度较大和场地空间有限的地方,设备的操作更容易受到限制。再者,在露天工作的环境中,如大风、高温、降雨和低湿等恶劣气候条件可能会干扰设备的正常工作,甚至可能导致设备出现故障。第三点,由于散料运输过程中粉尘浓度较高,这对设备的防尘性能和电气系统的可靠性提出了极高的要求。如果处理不当,可能会导致设备的磨损加剧或电气故障频繁发生。此外,面对如物料阻塞、设备过载或紧急停机

等突发状况,运输系统必须具备迅速的响应和紧急处理的能力。最后,为了达到现代的环境保护和节能要求,运输系统在降低消耗和减少排放方面需要进行严格的管理,这为传统的设计带来了前所未有的考验。

2.4 设计目标

煤焦料场运输系统的设计目标需综合考虑高效运输与土木工程的协同需求。首先,系统需确保连续性与稳定性,满足料场至少15至20天的焦炉用煤量储备及高效流转,避免因供应中断影响生产。其次,运输过程需实现高效化与自动化,通过合理配置皮带机、堆取料机、汽车列车等运输方式,以及采用自动化控制系统减少空转时间,提高运输效率。土木工程设计需提供足够的堆场面积和耐重载地面,优化料堆布局以缩短运输路径,建设耐久且易维护的运输通道。此外,设计需兼顾环保与安全性,配备防护设施减少粉尘污染,确保料场长期稳定和环保运行,同时预留灵活调整空间以适应未来扩展需求。

2.5 关键技术选择

煤焦料场运输系统的关键技术选择需要综合设备性能、自动化控制和土木工程基础设施的协调优化。在设备选型上,堆取料机需结合料堆规模和物料特性选用抓斗式或斗轮式,皮带输送机应配备耐磨皮带、自动张紧装置和变频驱动系统,推土机则根据作业环境选择履带式或轮式型号,确保灵活性与高负载适应性。在控制系统方面,采用分布式控制系统(DCS)与可编程逻辑控制器(PLC)结合的架构,配合SCADA系统和传感器网络,实现物料流量、设备状态的实时监测与优化调度。在土木工程基础方面,采用高强度混凝土或复合结构设计地基,以承载重型设备,优化料堆布局缩短运输距离,并配套建设防尘网、喷淋系统和排水设施,满足环保与安全要求。通过设备、控制和基础设施的集成优化,确保运输系统的高效、稳定和环保运行。

3. 关键设备选型与自动化控制系统的实现

3.1 取料机与卸料机

在煤焦料场的搬运系统里,取料机与卸料机被视为关键的设备,它们对物料的流通速度和工作的持续性产生直接的影响。取料机一般采用抓斗式或斗轮式的设计方式,这种抓斗式设备特别适用于中小规模的堆料区域,操作灵活,并且更适用于高密度的存储布局;斗轮式设计特别适合于大型的堆料区域,因为它具有更高的取料效能和稳定性。在挑选设备的过程中,土建工程的设计因素显得尤为关键,特别是在堆料区,基础的强度和地面的承载能力都必须满足设备的负载标准。例如,取料机的设计最大载重可能高达200吨,并且在运行过程中会产生较大的动态载荷。因此,在设计堆料区和设备基础时,必须确保其承载能力,以避免地基沉降或不均匀沉降导致设备运行不稳定的情况。另外,堆料区的地形也会影响设备的安装高度和作业半径,因此,土建设计必

须确保设备的活动空间和作业范围不受场地限制, 以确保高效的作业。

选择卸料机时, 也需要根据堆场的大小、使用的物料种类和运输的距离来做出合适的配置。如皮带式卸料机这样的常见卸料机, 其显著特性是效率高且运行稳定, 非常适合进行大规模的连续卸料任务。在土木工程领域, 卸料机的放置位置、其结构的承载能力以及通道的设计都显得尤为重要。卸料机的卸料口的高度通常应控制在4至6米范围内, 以确保物料能够顺利地卸到输送带或其他相关运输设备里。在设计运输通道时, 土建结构必须充分考虑到卸料机的运行负荷和物料流速, 以确保通道的宽度是充足的, 从而避免物料的堆积或设备故障导致的运输延迟。举例来说, 卸料机的操作负荷有可能高达300吨/小时, 这就要求有一个稳固的基础设施设计, 同时在土建施工过程中, 必须确保设备的稳定性和安全性, 以避免在运输途中出现任何可能的通道限制或设备阻塞。

3.2 控制系统架构

煤焦料场自动化运输系统的控制系统架构采用分层分布式设计, 确保设备运行的高效性、稳定性和实时性。架构主要分为三层: 设备控制层、监控与管理层以及优化决策层。在设备控制层, 系统以可编程逻辑控制器(PLC)为核心, 通过直接控制取料机、卸料机及输送设备的运行, 实现基础指令执行和状态监测。PLC通过多通道输入输出模块连接传感器和执行器, 如监测输送带速度的编码器和控制抓斗运动的液压阀组, 确保精确的运动控制和实时响应。设备控制层的通信采用工业以太网协议(如Modbus TCP或EtherNet/IP), 实现高效数据传输, 同时引入冗余机制(如双PLC备份)以提升可靠性。

监控与管理层采用SCADA系统, 结合人机界面(HMI)提供实时数据可视化和操作控制功能。SCADA通过工业以太网与各设备控制节点通信, 汇总各传感器的实时数据, 如物料堆高度、设备负载、温湿度等, 并对数据进行处理与存储。同时, 监控层集成报警管理系统, 当设备运行超出预设范围(如输送带负载过高或物料堵塞)时, SCADA系统会触发报警并推送至操作人员的控制台或移动终端。此外, SCADA通过控制策略的全局管理协调设备间的联动运行, 例如动态调整取料机与卸料机的工作速率, 避免系统中出现瓶颈。

在优化决策层, 系统结合边缘计算和云平台分析实现更高级的智能优化功能。边缘计算单元用于实时处理设备运行数据并作出快速决策, 例如在设备异常时执行应急操作。而云平台通过长期数据的存储与分析, 利用机器学习算法挖掘潜在优化空间, 例如预测设备维护周期或分析最优运输路径。优化决策层与监控管理层的双向通信通过时间同步协议(如IEEE 1588 PTP)确保信息的一致性, 从而保障全局调度与局部控制的协同工作。

3.3 数据采集与监控

煤焦料场的自动化运输系统通过多级传感器网络和高效数据处理平台, 能够实现对系统运行状态的实时监控和动态调整, 从而提高数据的采集和监控效率。在数据采集环节, 主要依赖于布置在料场和设备上的多个传感器。这些传感器包括用于监测堆料高度和形状的激光雷达, 用于监测输送带和卸料机的载荷状况的压力传感器, 用于感知环境条件的温湿度传感器, 以及用于监测关键设备运行状况的振动传感器。通过工业以太网, 传感器收集到的实时数据被传送到边缘计算节点或可编程逻辑控制器(PLC)以进行初步的数据处理和筛选, 从而排除了噪声数据并生成了关键的运行指标。为了确保数据采集的完整性, 系统设计采用了多通道并行采集架构, 并结合了冗余传感器和通信模块, 以确保在传感器失效或网络中断的情况下, 系统能够保持稳定运行。

在监控层面, 该系统依赖于SCADA(数据采集与监视控制系统)平台来进行全面的监控和管理。通过人机交互界面(HMI), 它为操作人员提供了实时的运行数据可视化, 这包括输送带的速度、堆料的状态以及设备的运行效率等方面。土建工程设计中的运输通道宽度、承载能力和通道耐久性也会影响监控系统的效果。例如, 通道的承载能力直接影响输送带和车辆的运行负载, 当输送设备负载达到上限时, SCADA系统会通过预设阈值发出警报, 提醒操作人员及时进行干预。为了加快响应速度, 监控层利用边缘计算技术在本地完成紧急分析和快速指令执行, 同时通过云平台进行长期数据存储和运行效率分析, 利用人工智能算法挖掘潜在的优化点, 为系统维护和调度优化提供数据支持。

3.4 智能调度与优化

煤焦料场的智能调度与优化不仅要求高效的资源配置, 还要确保系统的灵活性与适应性, 以应对复杂多变的作业条件。在优化调度过程中, 采用动态调度算法实时调整运输任务分配, 特别是在面对设备故障、突发事件或物料变化时, 通过实时数据反馈来调整任务优先级和路径规划。此外, 土建工程的设计, 如运输通道的宽度、负载能力等, 也会影响调度算法的效果。例如, 在多台取料机和卸料机之间进行任务分配时, 目标函数可以表示为最小化总作业时间 T :

$$T = \sum_{i=1}^n t_i \cdot x_i$$

其中, t_i 为任务 i 的完成时间, x_i 为任务是否分配的指示变量。通过动态调整任务顺序和优先级, 能够减少作业中的空闲时间和设备等待时间, 从而提高整体运输效率。同时, 土建工程中需要考虑堆料区与运输通道的布局, 确保车辆、设备能顺畅通行, 避免因通道设计不当造成的运输瓶颈, 从而而影响调度优化效果。

在路径优化方面, 结合实时交通流量和设备状态反馈, 采用粒子群优化(PSO)算法优化运输路径。PSO算法通过模拟粒子群体的迭代更新, 逐步寻找最优路径。假设路径选择问题可以表示为目标函数:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n (Cost(x_i) + \lambda \cdot Delay(x_i))$$

其中, $Cost(x_i)$ 表示路径的运输成本, $Delay(x_i)$ 表示因交通或设备故障导致的延迟, λ 为延迟的权重因子。通过对多条路径的连续优化, PSO算法能够动态调整路径选择, 从而实现更为精确的负载均衡和运输效率提升。同时, 结合环境因素, 如天气、设备状态等, 可对路径选择进行动态加权调整, 确保系统在不确定性条件下仍能保持高效稳定运行。

结论

通过对煤焦料场自动化运输系统的设计与实施进行研究, 从需求分析、关键设备选型到控制系统架构、数据采集与监控, 以及智能调度与优化等方面进行了全面探讨。合理应用先进的自动化技术和智能算法, 不仅能够提升运输效率和系统可靠性, 还可满足安全性和环保要求, 为煤矿生产的智能化、绿色化发展提供了重要支撑。未来, 随着技术的不断进步, 自动化运输系统将在更多复杂场景中展现更大的应用潜力。

参考文献

- [1] 高勇, 刘红力, 李大庆, 等. 65m大跨距防爆多机共轨的智能化全封闭煤料场门式刮板取料机设计[J]. 起重运输机械, 2023(18): 65-68.
- [2] 吴清平. 煤矿皮带运输控制系统自动化建设研究[J]. 今日自动化, 2020(9): 10-11, 22.
- [3] 李海亮. 煤矿智能辅助运输系统的设计及其应用[J]. 商品与质量, 2022(11): 64-66.