

建筑机械施工中混凝土搅拌站物料配比的智能化控制系统开发与实践

王泽选

142727*****2539

摘要: 在建筑机械施工领域,混凝土搅拌站的物料配比精度直接决定混凝土质量,进而影响整个建筑工程的安全性与稳定性。传统混凝土搅拌站物料配比依赖人工经验调控,存在配比精度低、原材料浪费严重、生产效率不足等问题,难以满足现代建筑工程对混凝土质量的高标准要求。基于此,本文开展混凝土搅拌站物料配比智能化控制系统的开发与实践研究。通过融合传感器技术、PLC控制技术、物联网技术及智能算法,构建集物料检测、数据传输、智能决策、自动调控于一体的智能化控制系统,实现对混凝土搅拌站物料配比的实时监测与精准控制。实践应用表明,该智能化控制系统可有效提升物料配比精度,降低原材料损耗,提高搅拌站生产效率,为建筑机械施工领域混凝土搅拌站的智能化升级提供可行方案。

关键词: 智能化控制系统; PLC控制; 物联网技术

DOI: 10.69979/3060-8767.25.10.061

1 研究背景及意义

1.1 研究背景

我国建筑行业快速发展,高层、超高层及大跨度工程增多,对混凝土强度、耐久性等性能要求更严苛。混凝土搅拌站作为生产核心,物料配比准确性直接决定混凝土质量。传统搅拌站依赖人工经验设定配比参数,通过人工观察、手动调整控制物料投放,易受人员经验、工作状态及外界环境影响,导致配比偏差大,既降低混凝土质量、引发工程隐患,又造成水泥、砂石等原材料浪费,增加成本。

同时,传统搅拌站缺乏有效数据监测与追溯机制,无法实时掌握配比动态变化,配比异常时难以及时发现调整,进一步影响生产效率与工程进度。随着智能化技术渗透建筑机械领域,开发可实现物料配比精准控制、实时监测与智能调控的系统,成为解决传统搅拌站痛点、推动建筑机械施工智能化的重要课题。

1.2 研究意义

理论上,本研究融合传感器、PLC控制、物联网技术与智能算法,构建物料配比智能化控制体系,丰富建筑机械智能化控制领域理论内容,为后续研究提供参考与借鉴。

实践中,该系统能解决传统搅拌站配比精度低、原材料浪费、效率不足等问题:实时监测物料参数,结合智能算法动态优化配比,提升混凝土质量稳定性;自动

化运行减少人工干预,降低操作误差,提高生产效率、降低成本;且具备数据存储分析功能,实现生产全程追溯,为管理与质量管控提供支持,对建筑机械施工行业智能化、绿色化发展意义重大。

2 混凝土搅拌站物料配比智能化控制系统总体设计

2.1 系统设计目标

系统设计围绕“精准、高效、智能、可追溯”四大核心维度。精准性上,实现水泥、砂石、水等物料投放量精准控制,将配比偏差控制在行业标准最小范围内,保障混凝土质量;高效性上,以自动化流程减少人工操作,缩短配比与搅拌周期,提升生产效率;智能性上,可依物料特性变化(如砂石含水率波动)自动调整配比参数,兼具自我诊断与故障预警功能,降低维护成本;可追溯性上,实时采集存储生产数据(配比参数、投放量、设备状态等),支持查询分析,为质量追溯与生产优化提供依据。

2.2 系统总体架构

系统采用“感知层-传输层-控制层-应用层”四层架构,协同实现物料配比全流程智能化管控。

2.2.1 感知层

作为数据采集终端,部署多种传感器:称重传感器实时采集固体物料投放重量,湿度传感器获取砂石含水

率以辅助水量调整,图像传感器通过图像分析判断砂石颗粒级配,另有温度、振动传感器监测设备运行状态,为后续决策提供数据支撑。

2.2.2 传输层

承担数据与指令传输任务,采用“有线+无线”混合通信:固定设备数据通过工业以太网有线传输,保障稳定实时;移动设备数据通过 4G/5G 无线传输,提升灵活性。同时以数据加密技术保障传输安全。

2.2.3 控制层

为核心决策控制中心,以高性能工业级 PLC 为核心,可与各层级无缝对接。集成智能算法模块(神经网络配比优化、模糊控制动态调整等),能依物料特性数据与混凝土设计要求,自动优化配比方案并调整物料投放量,实现精准控制。

2.2.4 应用层

为用户交互界面,含生产监控、参数设置、数据查询、故障预警模块。用户可实时查看生产与设备状态,预设配比方案;支持按条件查询历史数据并生成报表,便于管理追溯;设备异常时及时预警并显示故障信息,助力快速维修。

3 混凝土搅拌站物料配比智能化控制系统核心功能模块开发

3.1 物料检测与数据采集模块

该模块是精准控制的基础,依托感知层传感器实现物料实时检测与数据采集。固体物料检测中,称重传感器基于电阻应变式原理,将物料重量信号转为电信号,经放大、滤波后传输至 PLC,完成模拟信号到数字信号的转换。砂石含水率检测由高频电容式湿度传感器完成,通过电容值变化转化的电压信号,结合 PLC 预设的含水率-电压对应关系计算实际含水率。图像传感器则拍摄砂石颗粒图像,经边缘检测等算法识别颗粒级配,异常时发出预警。此外,模块设数据校准功能,定期用标准砝码、湿度样品校准传感器,自动修正偏差。

3.2 智能配比优化与自动控制模块

作为核心模块,基于 PLC 与智能算法实现动态优化与自动控制。用户先通过应用层输入混凝土性能指标,系统依规范生成初步配比方案;再结合物料检测数据优化方案,如砂石含水率升高时,神经网络算法计算减水量并调整物料投放量。优化后,PLC 向执行机构下发指令:控制给料机电机转速调节固体物料投放,通过变频器频率控制液体物料流量;同时依托称重传感器实时反

馈,对比实际与预设投放量,闭环调整参数。模块还支持手动干预,应对算法故障等特殊情况。

3.3 数据存储与分析模块

负责数据存储、管理与分析,采用 PLC 本地存储(存近一个月数据)与云端存储结合的方式,防止数据丢失。存储内容涵盖生产基础数据、物料配比数据、物料特性数据及设备运行数据,以结构化格式分类存储并建立索引。分析环节运用数据统计与挖掘技术,关联历史配比与混凝土质量数据找最优方案,分析设备数据预测寿命、制定维护计划,计算原材料损耗率优化流程,还能自动生成报表辅助管理决策。

3.4 故障预警与诊断模块

保障系统稳定运行,实时监测设备与传感器数据,覆盖传感器、执行机构、通信故障。传感器故障通过对比采集数据与正常参数范围判断,执行机构故障依据电机电流、流量等参数识别,通信故障则监测传输数据,异常时自动切换通信方式。故障发生后,模块结合历史记录,用故障树分析法定位原因,在应用层显示故障位置、原因及维修步骤,减少停机时间。

4 混凝土搅拌站物料配比智能化控制系统实践应用

4.1 应用场景与前期准备

选取某大型建筑工程现场搅拌站为应用对象,该搅拌站原靠人工控制物料配比,存在精度不稳定、原材料浪费、效率低等问题,需智能化升级。前期准备包括:改造调试现有设备,在给料装置、砂石输送皮带、搅拌主机等位置分别安装称重、湿度、图像、温度及振动传感器;搭建“工业以太网+4G/5G”传输网络,保障通信畅通;安装 PLC 控制单元与上位机软件,完成软硬件部署;用标准砝码、湿度样品校准传感器,按工程混凝土设计要求(如 C30、C40)预设配比方案,经小批量试运行调整参数,确保系统稳定。

4.2 应用过程与效果分析

4.2.1 物料配比精度提升

以 C30 混凝土生产为例,传统人工控制下水泥、砂石、水配比偏差分别约 $\pm 3\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 4\%$,采用智能系统后,依托砂石含水率实时检测、称重传感器闭环控制,偏差降至 $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1.5\%$,优于行业标准。同时,图像传感器监测砂石颗粒级配,避免级配不符导致的质量问题,混凝土强度合格率从 92%提升至 98%以上,质

量稳定性显著提高。

4.2.2 生产效率与成本优化

效率上,系统实现配比与搅拌自动化,减少人工操作,每批次混凝土生产周期从15分钟缩短至12分钟,日产量从800m³提升至1000m³,效率提高约25%。成本上,精准配比降低原材料损耗,水泥、砂石损耗率从5%、8%降至2%、3%,按年产能30万m³计算,年省水泥450吨、砂石4500吨,原材料成本降约50万元;故障预警功能减少设备停机时间,维护成本降15%。

4.2.3 管理与追溯能力提升

管理端,用户通过上位机实时查看生产进度、物料消耗及设备状态,实现可视化管理,系统还能生成报表,助力分析生产薄弱环节,如通过物料消耗数据发现给料机皮带跑偏问题,调整后恢复正常损耗。质量追溯上,某批次混凝土存疑时,可查询生产时间、配比参数、传感器数据、操作人员等全流程信息,快速定位原因,如因砂石含水率检测异常导致水量偏差时,可追溯砂石供应商与检测时间,解决传统搅拌站追溯难问题。

5 系统应用的局限性与改进方向

5.1 系统应用的局限性

尽管智能控制系统实践成效显著,但仍存在三方面局限需优化。技术层面,现有系统仅能通过传感器检测砂石含水率与颗粒级配,缺乏物料化学成分(如水泥强度等级、外加剂有效成分)实时检测手段,原材料成分波动时难精准调整配比;且智能算法应对复杂工况(如多强度混凝土同时生产、物料短缺)适应性不足,需人工干预。环境层面,施工现场露天环境的高温、高湿、粉尘及强振动,易影响传感器精度与寿命,导致数据偏差;供电电压波动还可能干扰PLC与通信设备,引发系统故障。人员层面,部分操作人员习惯传统方式,对系统参数设置、故障排查不熟练,可能降低运行效率,甚至因操作失误导致故障。

5.2 系统改进方向

针对上述局限,结合行业发展趋势,从三方面提出改进方向。技术优化上,一是引入近红外光谱检测技术,通过分析物料光谱特征,实时检测水泥强度、外加剂成分等参数,丰富检测维度;二是优化智能算法,加入深度学习与强化学习算法,前者通过训练历史数据提升复杂工况识别能力,后者助力系统自主探索最优配比策略,

减少人工干预。环境适应性改进上,加强硬件防护,选用防尘防水抗振动的工业级设备,传感器加装防尘罩与减震装置,PLC控制箱设温度调节装置;同时配置UPS不间断电源,应对供电波动或断电,避免数据丢失与系统故障。人员培训上,建立分阶段培训体系:第一阶段开展理论培训,让操作人员掌握系统原理与模块功能;第二阶段实操培训,模拟生产与故障场景,熟悉操作流程;第三阶段考核与跟踪指导,确保独立操作能力,定期回访解决实际问题,提升操作熟练度与信任度。

6 结论

本文聚焦建筑机械施工领域混凝土搅拌站物料配比智能化控制难题,经理论构建与实践验证形成系统结论。针对传统搅拌站依赖人工经验导致的配比精度不稳、资源浪费、效率低下等问题,本研究整合传感器、PLC控制、物联网及智能算法,创新设计“感知-传输-控制-应用”四层架构智能系统,实现物料配比从人工调控向“实时监测-智能决策-自动执行”全流程智能化转变,为搅拌站智能化升级提供可落地技术框架。

从实践价值看,系统核心模块(物料检测、配比优化、数据管理、故障诊断)协同联动,有效解决传统搅拌站在物料管控、效率及质量稳定性上的短板,推动混凝土生产向精准化、高效化、低成本化转型,为混凝土质量提供保障。同时,系统的数据存储分析能力突破传统搅拌站质量追溯瓶颈,为管理与质控提供数据决策依据。

需正视系统在技术覆盖、环境适应性、人员操作适配性上的局限,后续可通过拓展检测维度、强化硬件防护、完善培训优化。未来将系统与BIM、数字孪生技术融合,有望实现生产与施工协同管理及搅拌站虚拟仿真优化,推动其全流程智能化,助力建筑机械施工行业转型。

参考文献

- [1] 廖超,蒋敦,莫劲风,等.基于物料厚度测量的混凝土砂石含水率在线检测技术研究[J].2021.
- [1] 廖超,蒋敦,莫劲风,等.基于物料厚度测量的混凝土砂石含水率在线检测技术研究[J].2021.
- [1] 刘清.基于PSO-BP的混凝土配比设计的仿真研究[J].长春师范学院学报(人文社会科学版),2022(006):041.