建筑工程施工机械设备智能化调度与维护管理模式研究

陈运飞
江西泉塘春建设工程有限公司　江西九江　332000

摘　要：建筑工程施工周期长、工序复杂、资源投入大，施工机械设备是保障工程进度、质量与成本控制的关键要素。传统设备调度与维护管理依赖人工经验，存在信息滞后、决策粗放等问题，无法满足现代施工管理要求。本文聚焦建筑工程施工机械设备智能化调度与维护管理模式。智能化调度方面，阐述基于物联网的设备实时状态监控技术，探讨智能调度算法在多任务、多约束条件下的优化决策过程，分析智能化调度系统的集成架构与应用价值。维护管理方面，对比传统事后维修、计划性预防维修与现代预测性维护的优劣，重点研究基于多源信息融合的设备健康状态评估与故障预测技术。本文构建智能化调度与维护管理协同模式，通过建立统一数据平台与信息融合机制，实现调度决策与维护计划的动态联动与资源优化配置。本研究为建筑企业提供提升设备综合效率、降低运营成本、保障施工安全的技术与管理方案，推动建筑施工管理数字化、智能化转型。

关键词：建筑工程；机械设备；智能化调度；预测性维护

引言

建筑工程施工是资源密集型活动，大型机械设备是施工生产力的直接体现，其使用成本占工程总成本比重较大。设备管理水平直接影响施工效率、工程进度和项目效益。长期以来，建筑行业设备管理采用粗放式模式，设备调度依赖现场管理人员经验，缺乏对设备实时情况的精确掌握，导致设备闲置、调配不均等，利用率低下。维护方面，多采用故障后维修或固定周期预防性维修，前者影响施工连续性，后者增加成本且无法预防突发故障。新一代信息技术发展为破解传统设备管理困境提供了新路径，将智能化技术融入设备调度与维护管理，实现从被动到主动、从经验到数据驱动的转变，是提升建筑企业核心竞争力的必然选择。

一、建筑工程施工机械设备智能化调度技术

（一）智能化调度的基本概念与特征

智能化调度是指利用现代信息技术，对施工机械设备的运行状态、任务需求、场地环境等实时信息进行全面感知、动态分析，并在此基础上通过优化算法自动生成或辅助生成最优调度方案的过程。其核心特征体现在实时性、动态性、优化性和协同性。实时性指系统能够即时获取和处理设备与任务信息；动态性指调度方案能够根据现场变化进行快速调整；优化性指调度决策以整体效率最高、成本最低等为目标；协同性指能够实现多设备、多工序、多任务之间的协同作业[1]。

（二）基于物联网的设备状态监控技术

实现智能化调度的前提是对设备状态的全面感知。基于物联网的监控技术通过在设备上安装GPS定位模块、各类传感器（如油耗传感器、发动机转速传感器、液压系统压力传感器、载重传感器等）以及数据传输单元，构建起“端-管-云”的监控体系。设备端负责采集位置、工况、性能参数等原始数据；传输管道通过4G/5G等无线网络将数据实时上传至云端平台；云端平台则对海量数据进行存储、清洗和分析，形成设备电子档案，实时呈现每台设备的地理位置、工作状态（怠速、作业、停机）、工作时长、燃油消耗、关键部件健康度等关键信息。这为调度决策提供了精确、客观的数据基础，彻底改变了过去信息不透明、沟通不及时的局面。

（三）智能调度算法与决策支持系统

在获取实时数据后，智能调度算法是生成优化方案的核心。针对建筑施工中设备调度的复杂性，通常采用启发式算法、遗传算法、蚁群算法等智能优化算法。这些算法能够综合考虑多种约束条件，如任务优先级、设备能力匹配度、设备当前位置与任务点的距离、设备当前健康状况、施工工序的逻辑关系等，在庞大的可行解空间中快速搜索出全局最优或近优的调度方案。例如，系统可以自动判断，对于一项混凝土浇筑任务，是调度距离最近但健康状况一般的泵车，还是调度距离稍远但状态良好的泵车，以综合权衡时间成本与故障风险。决策支持系统则将算法的优化结果以可视化的方式呈现给

调度人员，如设备调度指令列表、甘特图、场地设备热力图等，辅助其进行最终决策，并提供方案模拟与比选功能[2]。

（四）智能化调度系统的集成应用

智能化调度系统并非一个孤立的软件，它需要与项目管理系统、进度计划软件、物资管理系统等进行深度集成。通过与进度计划集成，系统能提前预知未来一段时间内的设备需求高峰与低谷，为设备租赁或进场计划提供依据。与物资管理系统集成，可以实现设备与材料供应的协同，例如在混凝土搅拌车到达前，系统自动调度并准备好泵车。集成应用打破了各业务系统之间的数据壁垒，形成了以设备为核心的生产要素联动管理，实现了从单点智能到系统智能的跃升，显著提升了项目整体的协同运作效率[3]。

二、建筑工程施工机械设备维护管理策略

（一）设备维护管理的类型与目标

设备维护管理主要分为事后维修、预防性维护和预测性维护三种类型。事后维修是在设备发生故障后进行的非计划性维修，目标是最小化故障停机时间，但代价是生产中断和维修成本高昂。预防性维护是基于设备运行时间或里程等固定周期进行的计划性维修，目标是预防故障发生，但容易导致过度维修或维修不足。预测性维护是基于设备实际运行状态数据，通过分析判断设备健康状态和潜在故障，从而在故障发生前进行针对性维护，其目标是实现按需维修，在保障设备可靠性的同时，最大限度降低维护成本和停机损失[4]。

（二）预防性维护与预测性维护的对比分析

预防性维护的核心是“时间”，其决策依据是统计平均寿命，忽略了设备个体差异和实际工况。例如，规定某型号发动机每运行500小时必须更换机油，但一台在恶劣工况下运行的发动机可能400小时时油品就已严重劣化，而一台在良好工况下运行的发动机可能600小时后油品依然良好。预测性维护的核心是“状态”，其决策依据是设备实时监测数据。通过对机油进行定期取样分析，可以准确判断其是否需要更换，从而实现科学决策。对比而言，预测性维护在维护成本、设备可用率、备件库存管理等方面均显著优于预防性维护，是设备维护管理的高级阶段。

（三）基于状态的维护管理技术

预测性维护的实现依赖于基于状态的维护管理技术。该技术体系主要包括数据采集、状态监测、故障诊断和寿命预测四个环节。数据采集是基础，利用1.2节所述的物联网技术，持续采集设备运行中的振动、温度、压力、油液品质、声发射等信号。状态监测是通过信号处理技术，提取能够反映设备健康状态的特征指标，如振动信号的均方根值、峭度，油液中的磨粒浓度与尺寸分布等。故障诊断是利用机器学习、专家系统等方法，建立特征指标与故障模式之间的映射关系，当监测指标异常时，能够准确识别出故障类型、位置和严重程度。寿命预测则是在诊断基础上，结合损伤累积模型，预测部件的剩余使用寿命，为制定精确的维护计划提供最终依据。

（四）维护管理中的信息化与智能化手段

为支撑基于状态的维护管理，必须借助强大的信息化与智能化手段。这包括建立设备全生命周期管理数据库，记录设备从采购、使用、维护到报废的全部数据；开发设备健康管理系统，实现监测数据、诊断结果、维护记录的可视化展示与追溯；应用移动终端APP，方便现场维修人员随时随地查询设备档案、接收维修工单、上报维修结果；利用大数据分析平台，对海量历史数据进行挖掘，发现设备故障的深层规律，优化维护策略。这些手段共同构成了一个闭环的、智能化的维护管理信息平台，使维护工作从被动、离散走向主动、系统。

三、智能化调度与维护管理的协同模式

（一）调度与维护管理的协同机制

在传统的设备管理体系中，调度与维护管理往往被划分为两个相互独立的业务模块，这种割裂式的管理模式存在明显的弊端。调度部门通常仅关注设备的任务完成能力，而维护部门则单纯着眼于设备的定期维修计划，两个部门之间缺乏必要的沟通渠道和协作机制。这种信息孤岛现象导致调度决策可能忽视设备的潜在健康风险，而维护计划又可能干扰正常的施工进度安排。协同模式的核心价值在于打破这种组织壁垒和技术隔阂，建立全方位的联动机制。具体实施过程中，这种协同体现在多个维度：首先，调度系统在进行任务分配决策时，必须将设备的实时运行状态监测数据、健康评估报告以及预测性维护建议纳入硬性约束条件，通过智能算法避免将关键性任务分配给即将出现故障或处于性能衰退期的设备。其次，维护系统在制定维护计划时，必须充分参考设备未来的调度安排和施工计划，利用大数据分析技术将维护作业精准安排在设备空闲期或非关键施工阶段，最大限度地降低对主业务流程的干扰。这种双向的约束机制与实时反馈系统，通过动态平衡算法确保了设备使用效率与设备保养需求之间的最优配比，实现了全生命周期的设备效能管理[5]。

（二）数据共享与信息融合技术

实现上述协同机制的技术基础在于建立统一的数据共享平台和先进的信息融合体系。首先需要构建一个企业级的设备管理数据中心，该中心作为智能化调度系统和维护管理系统的共同数据枢纽，采用分布式架构设计确保数据的高可用性。该数据中心整合了来自多个维度的数据源：包括物联网传感器采集的实时运行状态数据、调度系统生成的短期和长期任务计划数据、维护系统积累的历史维修记录和健康评估报告等。通过标准化的数据接口服务和API网关，确保两个业务系统能够实时、准确地获取所需的全方位信息。在信息融合层面，采用机器学习算法对这些多源异构数据进行深度关联分析。

（三）协同模式下的资源配置优化

在协同管理模式下，资源配置的优化策略突破了传统单一维度的局限，实现了设备综合效能的全局最优。这种优化主要体现在两个关键方面：首先是设备利用率与可靠性的动态平衡。协同决策系统会基于设备健康评分模型，优先调度状态优良、可靠性高的设备执行关键性生产任务，而对于状态处于预警区间但仍可运行的设备，则智能安排其承担次要任务或作为备用资源，这种分级调度策略既确保了关键生产环节的万无一失，又避免了设备资源的整体闲置浪费。其次是维护资源与施工进度的精准匹配。协同系统可以基于预测性维护算法输出的设备故障时间窗口预测，提前规划维修人员配置、备件库存等维护资源，并通过数字孪生技术与施工进度计划进行虚拟仿真对齐，实现维护资源的精准投放和最优配置，有效避免了传统模式下常见的资源浪费或突发性短缺问题。

（四）协同管理系统的实施路径

构建完整的协同管理系统是一个循序渐进的系统工程，需要制定科学的实施路线图。第一阶段是基础数据化建设，重点完成设备物联网改造工程，建立标准化的设备全息数据库，实现设备基础信息的全面数字化管理，为后续工作奠定数据基础。第二阶段是单点智能化突破，分别建设独立的智能调度系统和预测性维护系统，在各自专业领域内应用成熟的算法模型，如调度优化算法、故障预测模型等，实现局部功能的智能化升级。第三阶段是系统集成与协同创新，通过构建企业级数据中台或采用微服务架构的企业服务总线技术，打通两个系统的数据流和业务流，开发具有自主决策能力的协同优化引擎，实现调度与维护的智能联动和闭环管理。第四阶段是持续优化与迭代演进，基于系统运行过程中积累的海量数据和实际业务反馈，通过深度学习技术不断优化算法模型和业务流程规则，使系统具备自我学习和持续进化的能力，为企业创造持续增长的管理价值。这种阶梯式的实施路径有效确保了技术革新与管理变革的平稳过渡和深度融合。

结语

建筑工程施工机械设备的智能化调度与维护管理，是建筑行业数字化转型的核心环节之一。其价值不仅体现在提升设备利用率、降低故障停机时间、节约维护成本等直接经济效益上，更体现在通过保障设备稳定运行来确保施工安全、提升工程质量和保障项目进度的间接价值上。智能化调度解决了“设备怎么用”的问题，实现了资源的最优配置；预测性维护解决了“设备怎么养”的问题，实现了资产的健康管理。而二者的协同模式，则从根本上解决了“用”与“养”之间的矛盾，构建了一个高效、可靠、经济的设备管理新范式。未来的发展方向，是进一步深化人工智能技术在设备状态识别、故障预测和自主决策中的应用，探索设备集群的智能协同作业与自组织维护，并将设备管理系统与建筑信息模型、智慧工地平台进行更深层次的融合，最终形成覆盖人、机、料、法、环全要素的智能建造生态体系，为建筑业的高质量发展注入强劲动力。

参考文献

[1]王黎明，芦苇.电力工程自动化实施管理技术研究[J].轻松学电脑，2021，000（002）：P.1-1.

[2]邵定涛.塔吊智能化调度系统在施工管理中的应用与效果评估[J].建筑工程技术与设计，2022（33）：85-87.

[3]张文涛，杨少春，单长孝，等.基于无人机技术与数字孪生的施工企业项目管控平台研究与应用[J].科技创新与应用，2022，12（2）：3.DOI：10.19981/j.CN23-1581/G3.2022.02.050.

[4]丁恩杰，俞啸，廖玉波，等.基于物联网的矿山机械设备状态智能感知与诊断[J].煤炭学报，2020.

[5]谢琳琳，陈雅娇.基于BIM+数字孪生技术的装配式建筑项目调度智能化管理平台研究[J].建筑经济，2020，41（9）：5.DOI：CNKI：SUN：JZJJ.0.2020-09-009.