

# 精益生产视角下铁路车辆检修生产布局优化与资源浪费管控机制研究

李平

国能铁路装备有限责任公司榆林车辆维修分公司, 陕西神木, 719316;

**摘要:** 为了破解铁路车辆检修生产中布局分散、资源浪费严重、管理效能不足的突出矛盾, 文章分析了工位设置分散、物料搬运距离过长、智能化设备应用等现状, 研究了流程布局重构策略、空间配置优化路径以及全流程浪费管控体系构建方法。研究表明, 单元式布局模式能够显著缩短作业周期, 精益化管控标准有效降低资源损耗, 动态监测平台提升管理响应速度, 三者协同推动检修生产效率提升。

**关键词:** 精益生产; 铁路车辆检修; 生产布局优化

**DOI:** 10.69979/3029-2727.26.03.089

精益生产是源于丰田生产方式的现代管理理念, 核心在于消除一切不创造价值的浪费活动, 实现资源投入的最优配置与产出效益的最大化。精益思想强调从客户需求出发识别价值流, 将生产过程中的等待、搬运、库存、缺陷、过度加工等七大浪费逐一剔除, 建立持续改善的管理机制。铁路车辆检修领域长期存在工序衔接不畅、空间利用低效、人力物力闲置等问题, 精益生产理念的引入为破解这些困境提供了系统化解决方案。

## 1 铁路车辆检修生产布局现状分析

### 1.1 工位设置分散影响作业效率

当前铁路车辆检修生产的工位设置呈现出明显的分散化特征, 各专业工位按照传统职能分工模式独立布置, 转向架检修、车体维修、制动系统检测、电气设备调试等工序分别占据不同区域, 工位之间缺乏基于作业流程的系统规划。车辆在检修过程中需要频繁在各个专业工位间移动转场, 一辆货车从入库到出厂要经过十余个工位流转, 单次移动距离最远可达数百米, 移动次数累计超过二十次, 大量时间消耗在车辆的吊装、运输、定位等非增值环节, 真正用于检修作业的有效工时占比不足 60%。工位分散导致作业人员的协调配合难度增大, 转向架检修完成后需要等待吊车将其运送到车体组装区域, 而吊车资源有限常出现排队等待现象, 一个工序的延误会引发后续工序的连锁反应, 整体检修周期被迫延长。各工位的专业人员相互独立作业缺少信息沟通, 车体落成人员发现问题无法及时给转向架检修人员反馈, 导致问题在后续环节才被重复发现需要返工处理, 工位间的物理距离转化为信息传递的障碍, 增加了质量控制的难度。分散布局还造成管理监督的盲区, 现场管

理人员难以对所有工位实现有效巡查, 部分工位存在人员闲置或作业不规范的情况却未能及时发现纠正<sup>[1]</sup>。

### 1.2 物料搬运距离过长

铁路车辆检修过程中的物料搬运距离过长问题直接影响生产节拍, 备件库房与检修现场距离较远, 检修人员领取配件需要往返库房与工位之间, 一天内多次领料使人员在路途中耗费大量时间。库房采用集中存储模式未按照使用频率、工序需求进行分类摆放, 常用备件与冷门配件混杂堆放, 检修人员在库房内寻找所需物料又要花费额外时间, 物料搬运的时间成本远高于物料本身的价值。检修现场缺少临时物料存放区域, 更换下来的旧部件、待安装的新配件随意堆放在工位周围, 既占用作业空间又增加二次搬运的工作量, 部分大型部件如轮对需要使用叉车或吊车搬运, 设备调度不及时造成物料在现场滞留等待。物料配送采用推动式供应模式, 库房按照固定周期向各工位批量配送物料, 未考虑实际消耗情况导致部分工位物料积压占用空间, 而另一些工位因缺料停工等待, 物料在库房、工位、车辆之间反复搬运形成无效循环。

### 1.3 智能化设备应用不足

铁路车辆检修现场的智能化设备应用仍处于初级阶段, 存在覆盖不全、集成不足、数据孤岛等多个层问题。大型智能检修设备如自动轮对检测系统、超声波探伤机器人、智能喷漆烘干室等配置数量严重不足, 设备缺乏传感器、图像识别、数据分析等技术模块深度集成, 轮对检测系统仅能单独测量轮径参数无法联动分析磨损趋势, 检测数据未实时上传且依赖人工记录效率低下, 智能设备未能充分发挥检修潜力。设备配置缺乏基

于工艺流程优化与技术升级需求的整体规划,机器视觉检测系统仅在个别工位试点应用未能替代人工目视检查,图像识别设备未应用于相关工位,功能重复未形成智能检测网络,而关键工序仍依赖人工操作形成生产瓶颈。设备布局未遵循智能化作业流程的逻辑顺序,转向架部件分解后需人工搬运至组装工位增加转运时间,设备之间数据未联通导致作业信息需人工登记传递作业流程衔接断裂。检修线路的设计采用固定化传统调度模式无法适应不同车型、不同检修等级的差异化需求,人工调度难以根据车辆类型灵活匹配检修工位,线路长度、设备配置固定不变,当进行不同等级检修时出现工位闲置或排队等待,线路利用率严重偏低。

## 2 基于精益生产的检修生产布局优化策略

### 2.1 重构检修工位流程布局

重构检修工位流程布局是精益生产理念在铁路车辆检修领域的核心应用,旨在消除工位分散导致的浪费建立流畅的作业流<sup>[2]</sup>。首先开展价值流分析,将车辆检修全过程分解为入库检查、部件拆解、清洗检测、维修更换、组装调试、出库试验等环节,识别每个环节的增值时间与非增值时间,绘制当前状态价值流图标注出等待、搬运、返工等浪费环节。基于价值流分析结果按照工艺流程顺序重新规划工位布局,采用单元式布局模式将完成一辆车检修所需的全部工位集中设置在相邻区域,形成“U”型或“一”字型检修单元,车辆按照工序顺序在各工位间顺向流动,每完成一道工序直接进入下一工位无需长距离搬运。检修单元内部按照作业节拍进行工位设计,测算每道工序的标准作业时间,合理配置各工位的人员数量与作业内容,使各工位作业时间趋于均衡避免出现瓶颈工序,实现连续流生产减少车辆在工序间的停留等待。建立混流生产线应对不同车型、不同检修等级的需求,设计可调节的工位配置方案,当进行高级别检修时启用全部工位,当进行低级别检修时部分工位暂停使用或转为其他车辆服务,提高线路的灵活性与适应性。

### 2.2 优化设备设施空间配置

优化设备设施空间配置是提升资源利用效率、降低运营成本的重要手段,需要从设备选型、布局设计、共享机制等多个维度系统推进。开展设备需求分析,基于历史检修数据统计各类设备的实际使用频率、作业时长、负荷率等指标,识别出高频使用设备、中频使用设备、低频使用设备三类,高频设备按照检修单元数量进行一对一配置确保随时可用,中频设备采用共享模式多个检

修单元共用一台设备错峰使用,低频设备实行集中配置按需调配避免重复投资。设备布局遵循作业流程的逻辑顺序,将功能相关的设备集中布置形成设备组,转向架分解、清洗、探伤、组装等设备按照工序先后顺序依次排列,部件在设备间的传递距离最短,设备组与检修工位紧密衔接,检修人员在工位上即可便捷使用各类设备无需离开作业区域。引入模块化设备配置理念,将固定式大型设备改造为移动式模块化设备,检测仪器、工具柜等安装在可移动的工作台车上,根据检修需求灵活调配到不同工位,既提高了设备利用率又节约了固定安装的空间成本。优化辅助设施的空间布局,将物料暂存区、工具存放区、废料回收区等合理嵌入检修单元内部,物料暂存区设置在工位侧方实现伸手可及的配送距离,工具存放区采用影子板管理每件工具都有固定位置方便取用与归还,废料回收区设置专用容器分类收集可回收件与报废件。

### 2.3 建立柔性化生产组织模式

建立柔性化生产组织模式是应对铁路车辆检修需求波动、提升生产适应性的关键举措,打破传统固定分工的僵化模式构建灵活响应的组织机制。推行多能工培养计划,打破工种壁垒让检修人员掌握多个工序的操作技能,车钩检修人员经过培训能够承担车体维修任务,单车试风人员具备基础制动故障排查能力,多能工团队可以根据生产任务的变化灵活调配,当某工序任务量大时其他工序人员支援作业,避免部分工位人员忙碌不堪而其他工位人员闲置等待,人力资源利用效率显著提高。建立模块化作业小组,将检修人员组建成若干个跨专业小组,每个小组包含修理、熔接、设备操作等不同专业人员,小组独立负责一辆车的全部检修任务,从入库检查到出厂试验全流程跟进,小组成员在同一检修单元内协同作业,信息沟通更加顺畅,问题发现与处理更加及时,作业质量与效率双重提升。实施拉动式生产计划,改变传统的推动式计划模式,根据车辆实际到达情况与检修需求动态安排检修任务,前道工序完成后向后道工序发出拉动信号,后道工序根据信号启动作业,避免车辆在工位前排队等待或工位空闲无车检修,生产节拍与实际需求同步实现零库存流动<sup>[3]</sup>。

## 3 铁路车辆检修资源浪费管控机制构建

### 3.1 建立全流程浪费识别体系

建立全流程浪费识别体系是资源管控的基础工作,需要将精益生产的七大浪费理念系统应用于铁路车辆检修各个环节。制定浪费识别标准,将等待浪费、搬运

浪费、库存浪费、动作浪费、过度加工浪费、缺陷浪费、管理浪费等七类浪费具体化为可观察、可测量的指标,等待浪费包括车辆在工位前等待时间、人员等待工具设备时间、工序间衔接等待时间等细项,每项设定量化阈值超过阈值即判定为浪费。组建浪费识别小组,由生产管理人员、技术骨干、一线工人共同组成,定期开展现场观察与数据采集,识别小组成员经过精益生产培训掌握浪费识别方法,他们深入检修现场运用秒表测时、路径跟踪、动作分解等工具采集一手数据,绘制意大利面图呈现人员物料的移动路径,编制作业要素分析表区分增值动作与非增值动作。建立浪费信息收集渠道,鼓励一线员工主动报告发现的浪费现象,在检修现场设置浪费举报箱或在信息系统开设浪费反馈模块,员工提交的浪费线索经核实后给予奖励,形成全员参与浪费识别的氛围,管理层对收集到的浪费信息进行分类汇总,按照浪费类型、发生频率、影响程度等维度建立浪费数据库。

### 3.2 制定精益化资源管控标准

制定精益化资源管控标准是将浪费识别成果转化为管理规范的关键环节,建立覆盖人力、物料、时间等各类资源的标准体系。人力资源管控标准包括工时定额标准、人员配置标准、技能等级标准三个层面,对每道检修工序进行作业研究,剔除多余动作后制定标准作业时间,明确完成该工序需要的人员数量、技能等级要求,作业人员按照标准工时完成任务,超时或提前完成都需要分析原因持续优化标准。物料资源管控标准细化到单车配件消耗定额,根据车型、检修等级、部件磨损规律确定各类配件的标准用量,建立配件消耗台账记录实际使用情况与标准用量对比,超定额消耗需要提交原因分析报告,物料库存管控采用定量订货法与定期订货法相结合,常用配件设定安全库存量与最高库存量,库存降至安全线时自动触发采购流程,慢速周转配件按季度盘点按需采购避免积压。时间资源管控标准涵盖检修周期标准、工序衔接时间标准、设备换型时间标准,不同车型、不同检修等级对应不同的标准检修周期,生产计划编制以标准周期为依据,实际执行中偏离标准需要启动异常处理流程,工序衔接时间控制在5分钟以内,超过时限要分析是流程问题还是设备故障并采取改进措施。

### 3.3 搭建动态监测反馈平台

搭建动态监测反馈平台是实现资源浪费实时管控、持续改进的技术支撑,平台整合物联网、大数据、人工智能等技术手段构建智能化管控系统。部署物联网感知设备,在检修现场安装RFID读写器、视频监控摄像头、环境传感器等设备,车辆进入检修线时自动识别车号、车型信息,系统调取该车的检修作业标准与历史数据,摄像头实时采集作业画面识别人员到岗情况、作业规范性,传感器监测设备运行状态、能源消耗数据,物联网设备将现场数据实时传输至平台后台。建立资源监测数字驾驶舱,在大屏幕上可视化呈现各检修单元的作业进度、资源消耗情况、异常预警信息,人力资源看板显示各工位人员配置、实际工时与标准工时对比,物料资源看板显示库存水平、配件消耗速率、缺料预警,时间资源看板显示车辆在各工位的停留时间、工序衔接等待时间,能源资源看板显示实时能耗曲线与定额对比,管理人员通过驾驶舱全局掌握资源使用状态,异常数据以红色高亮显示引起关注<sup>[4]</sup>。平台内置智能分析引擎,运用机器学习算法挖掘历史数据中的规律,预测未来一周的检修任务量、配件需求量,为生产计划编制与物料采购提供决策支持,算法识别资源消耗异常模式,当某工位的工时效率连续三天低于标准时自动推送改进建议。

## 4 结束语

精益生产理念在铁路车辆检修领域的深度应用为破解传统生产模式困境开辟了新路径,布局优化消除了空间浪费,流程再造提升了作业效率,管控机制实现了资源精准配置。随着智能制造技术的持续演进,铁路车辆检修将向更高层次的智能化、精益化方向发展,人机协同作业模式、数字孪生技术、预测性维护等创新应用必将进一步释放生产潜能。

### 参考文献

- [1]徐通.市域铁路车辆检修工艺设备管理系统研发[J].铁道技术监督,2024,52(11):36-42+54.
- [2]刘光禄.如何运用智能化技术优化铁路车辆制造系统检修[J].人民公交,2024,(02):31-34.
- [3]张家伟.铁路机车车辆维修与保养操作[J].黑龙江科学,2022,13(12):108-109.
- [4]李江利.铁路车辆轴承优化运用与分析[J].内燃机与配件,2021,(14):125-126.