

铁路机车整备作业流程优化与效率提升研究

姜 越

西创宁东铁路有限公司 宁夏 银川 751409

摘 要：针对铁路机务段机车整备作业效率低下的突出问题，本文以电力机车整备作业为研究对象，采用流程分析与精益管理相结合的方法，系统梳理现行整备流程中等待时间长、信息传递滞后、岗位交叉干扰等效率瓶颈。通过层次分析法判定核心影响因素并以此为基础，设计并行与串行混合流程再造方案，构建标准化作业体系与信息化管理平台。实施结果表明，优化方案显著提升整备效率与机力周转率，为铁路机务段整备效率提升提供了可复制的技术路径。

关键词：铁路机车；整备作业；流程优化；效率提升

引言：铁路货运量持续攀升对机车运用效率提出更高要求，整备作业作为机车周转的关键环节，其效率直接影响运输能力释放。实地调研发现，多数机务段整备流程沿用传统串联递进模式，各岗位间存在大量无效等待，加之信息传递依赖纸质单据、物料供应与作业进度脱节，严重制约机力周转。本文从流程再造视角出发，综合运用精益管理与信息化手段，构建覆盖全作业链条的整备效率提升方案。

1 机车整备作业流程现状分析

1.1 整备作业基本流程

机车整备作业是指机车完成一次运行任务后，在机务段内进行的检查、维护、补给、试验等一系列作业，目的是确保机车以良好状态投入下一次运用。电力机车整备作业典型流程包括六个主要环节：入库接收、走行部检查、车顶作业（受电弓检查）、车体及车内检查、给油补给、机能试验及出库准备。机务段承担区域内客货运电力机车整备任务，日均整备机车 12~15 台。现行整备流程采用“串联递进”模式，各环节按固定顺序依次进行，上一环节完成后才启动下一环节，作业节奏受制于最慢工位^[1]。

1.2 各环节作业内容与标准工时

通过对该机务段连续 15 个工作日的现场跟踪测定，获得各环节实际作业时间数据。入库接受环节包括机车对位、防溜设置、钥匙交接等，平均耗时 12 分钟；走行部检查涵盖轮对、牵引装置、基础制动等部件检查，平均耗时 28 分钟；车顶作业需登顶检查受电弓、绝缘子等，平均耗时 22 分钟；车体及车内检查包括司机室设备、机械间巡视等，平均耗时 18 分钟；给油补给涉及砂

箱补砂、润滑油添加等，平均耗时 15 分钟；机能试验包括制动试验、控制回路检查等，平均耗时 25 分钟；出库准备为撤除防溜、联控确认等，平均耗时 8 分钟。上述环节合计标准作业时间为 128 分钟，但实际整备总时间普遍在 150~180 分钟区间。

1.3 现行流程存在的主要问题

通过对实测数据的深入分析，现行整备流程存在以下四方面突出问题。（1）作业衔接不畅，等待时间占比高。在串联作业模式下，各环节之间存在大量等待。走行部检查未完成时，车顶作业人员无法登顶；机能试验必须等待所有检查补给结束后方可启动。统计显示，等待时间占整备总时间的 28%~35%，是效率损失的首要因素。（2）信息传递依赖纸质记录，滞后明显。机车入库信息、故障报修信息、物料消耗信息均通过纸质单据传递，各岗位信息获取存在 10~30 分钟延迟，导致物料准备滞后、故障处理响应迟缓。（3）岗位职责交叉，部分环节重复作业。走行部检查与车体检查均涉及车底部件确认，存在约 5 分钟的重复内容；交接班时段信息断层问题尤为突出。（4）整备设施布局不合理，交叉干扰严重。检查区与补给区未明确分区，机车在同一股道内多次移位，每次移位耗时约 5~8 分钟，累积形成显著时间损耗。

2 整备作业效率影响因素分析

2.1 人员因素

人员因素包括岗位技能熟练度与多岗位协同能力，是影响整备作业效率的基础变量。现场观察发现，不同技能等级作业人员的检查时间差异显著，熟练工凭借经验能够快速定位关键检查部位，判断准确高效；新手则

存在重复确认、标准模糊等问题,两者在走行部检查环节时间相差 8~12 分钟。交接班时段的问题更为突出,交班人员口头传递信息存在遗漏或表述不清,接班人员需花费额外时间核对确认,平均造成约 15 分钟的效率损失^[2]。

2.2 设备因素

整备设施布局与设备自动化程度直接影响作业流畅度与效率上限。该机务段整备棚内三条股道共用一条检查地沟,地沟资源紧张导致机车对位需等待地沟空闲,平均等待时间达 9 分钟,占整备总时间的 5%~6%。受电弓检测仍采用人工登项目测方式,作业人员需登顶检查受电弓碳滑板磨损及绝缘子状态,单台耗时 22 分钟,且存在高空坠落与高压触电风险。走行部检查等其他环节同样依赖人工操作,整备设备自动化程度不足已成为效率提升的技术瓶颈。

2.3 管理因素

管理因素在整备作业效率中扮演资源配置与流程调度的核心角色。作业计划编排以“先到先整”为原则,未根据机车运用等级、后续交路紧迫性进行优先级区分。高峰时段多台机车集中到达时,整备棚内出现严重排队拥堵;低谷时段设备与人员闲置,整备能力浪费。考核机制偏重整备作业数量而忽视过程效率指标,如单台作业时间、计划兑现率等,这种考核导向诱发部分岗位的“磨洋工”现象。缺乏动态调度能力导致异常延误时无法及时调整,计划兑现率偏低。

2.4 信息因素

信息因素是影响整备效率的系统性短板,贯穿于整备作业各环节。机车状态信息(检修历史、临修故障)无法实时获取,整备人员对入库机车的“健康状况”缺乏预判,只能在开始检查后才发现已知故障,造成重复确认时间浪费。物料库存信息与作业进度信息相互分离,补砂、补油作业需现场确认油位后返回库房查询库存、办理领料,再返回完成加注,单次往返耗时 8~12 分钟。作业进度信息同样不透明,下游岗位无法预知上游完成时间,只能被动等待。信息获取延迟累计造成约 20 分钟的时间损耗。

2.5 影响因素权重分析

为科学判定四类因素对整备效率的影响程度,采用层次分析法(AHP)进行权重分析。构建递阶层次结构模型,目标层为“整备作业效率影响”,准则层包含人员、设备、管理、信息四个维度。邀请 5 位机务段管理人员与 3 位整备作业专家参与两两比较打分,采用 1~9

标度法量化评价各因素相对重要性。计算各判断矩阵的特征向量与最大特征根,并进行一致性检验。经计算,总排序一致性比率 $CR = 0.082 < 0.1$,表明权重分配结果具有满意一致性。权重计算结果为:信息因素 0.361,管理因素 0.285,设备因素 0.207,人员因素 0.147。信息因素与管理因素合计权重超过 64%,是制约整备效率的核心因素。

3 整备作业流程优化方案设计

3.1 优化原则与目标

优化方案遵循四项核心原则。安全第一,任何流程调整不得降低行车安全与人身安全标准,安全规范是优化的刚性底线,不可因效率而突破;并行作业,最大限度将原有串联环节改造为并行执行,通过消除工序间的无效等待来压缩总时长;信息驱动,以实时数据替代纸质单据传递,打破信息孤岛,使调度决策基于准确信息而非经验判断;持续改进,建立效率监测与动态优化机制,使方案具备自我迭代能力。优化目标设定为四项量化指标:整备总时间由现行 155 分钟压缩至 120 分钟以内,压缩幅度不低于 22%;日均整备机车能力由 14 台提升至 18 台,满足运量增长需求;等待时间占比由 31%降至 15%以下,显著提升有效作业率;整备质量返修率不高于优化前水平,确保效率提升不以牺牲质量为代价^[3]。

3.2 流程再造设计

流程再造的核心策略是将原有串联模式改造为“并行+串行”混合模式。依据作业内容的独立性与安全约束条件,重新划分可并行作业包:机车入库对位后,走行部检查、车顶作业、车内检查三个互不干扰的环节同步启动,三者可同时进行,预计可压缩时间 38 分钟;机能试验前的砂箱检查信息提前推送至补砂岗位,实现补砂作业与机能试验的部分并行,避免砂箱补给占用试验后的等待时间;整备尾声阶段,出库准备与最终检查同步开展,减少收尾环节的串行等待。再造后流程结构为:入库接受→并行作业包(走行部检查、车顶作业、车内检查)→补给作业→机能试验→并行作业包(出库准备与最终确认)。各环节衔接节点设置明确的时间窗要求,确保并行作业不产生安全冲突,串行环节无缝衔接,整体流程紧凑有序且可控。

3.3 标准化作业体系建设

标准化作业体系建设涵盖三部分内容。岗位标准作业指导书(SOP)明确各岗位的检查项目、检查方法、判定标准及标准作业时间,采用图文结合形式编制,降低

对个人经验的依赖,便于新员工快速掌握并统一作业质量。交接班标准化规范信息传递的内容与格式,要求填写标准化交班记录表并口头确认关键信息,防止因人员更替导致的信息断层与遗漏。作业时间窗管理为每个环节设定目标时间与警戒时间两级阈值。当实际作业时间超过目标时间时系统提示注意,超过警戒时间则自动触发预警并推送至班组长与调度员,由管理层介入协调。通过“标准+预警”双重机制,确保每台机车整备过程可控、可追溯,为后续持续优化提供稳定的数据基础。

3.4 信息化支撑方案

建设整备作业管理信息系统,实现作业全过程数字化管控。系统包含四个核心功能模块。机车状态实时接入模块对接检修管理数据库,整备人员可提前获知机车历史故障信息与近期检修记录,做到有针对性地重点检查;作业进度看板模块在各工位设置电子显示屏,实时更新各台机车的作业进度,消除信息盲区;物料拉动模块通过砂箱料位传感器、油位传感器自动采集数据,低于阈值时自动向库房发送补料指令,实现物料准时配送。手持终端模块支持作业人员现场录入检查结果,异常信息自动推送至检修人员,无需人工转告。信息流优化后,物料准备可在机车到达前提前完成,故障响应时间由平均 22 分钟缩短至 8 分钟以内,信息传递延迟基本消除,整备作业从“人找信息”转变为“信息找人”。

3.5 精益工具应用

精益管理工具在整备作业中的具体应用包括三个方面。5S 管理对整备棚进行定置化改造,工具存放区、物料暂存区、人员通道与作业区清晰划分,每类物品固定位置、标识明确,减少寻找工具时间约 5 分钟/台。看板拉动在整备棚入口设置电子看板,显示当前作业机车编号、作业进度、预计完成时间及下一台待整备机车信息,实现作业透明化管理,使各岗位提前做好准备。价值流图分析通过绘制现状价值流图与未来价值流图,系统识别并消除等待、搬运、重复检查、过度加工等七类浪费环节,累计识别浪费时间约 42 分钟。三项精益工具协同应用,使整备作业从经验驱动转向数据驱动,将现场改善成果固化为制度,为流程持续优化奠定坚实基础。

4 优化方案实施与效果评估

4.1 实施步骤

优化方案分三个阶段推进。试点阶段(第 1~4 周)选取 1 条整备股道进行改造,完成信息系统部署与人员培训,选择 2 名熟练工试点运行新流程。推广阶段(第

5~12 周)将试点经验推广至全部 3 条整备股道,全员培训后分批次切换,同步建立效率日报制度。优化阶段(第 13 周起)基于运行数据持续调整,优化并行作业包组合与时间窗参数。

4.2 实施前后对比分析

经过 12 周试运行,优化方案取得显著效果。整备总时间由优化前的平均 158.5 分钟压缩至 122.8 分钟,压缩幅度 22.5%,超额完成目标。等待时间由 49.2 分钟降至 16.5 分钟,占比从 31.0%降至 13.4%。各环节均实现不同程度的时间压缩,并行作业包(走行部检查、车顶作业、车内检查)时间由分步执行的 68 分钟降至并行完成后的 32 分钟(以最长单项计算),效率提升显著。

4.3 效率提升效果

效率指标方面,日均整备机车数量由优化前的 13.8 台提升至 18.2 台,增幅 31.6%。机力周转率指标(机车从入库到具备出库条件的平均时间)由 158.5 分钟降至 122.8 分钟,机务段每日可用机车数量增加约 4 台。高峰时段排队等待现象基本消除,整备计划兑现率由 84%提升至 96%。

4.4 安全与质量影响评估

安全与质量指标未因效率提升而下降。作业规范性检查合格率由 96.2%提升至 98.5%,标准化作业指导书的应用减少了漏检漏查现象。整备质量返修率(整备后 24 小时内发生机破或临修的比例)由 1.8%降至 1.5%,低于优化前水平。信息化系统对作业过程留痕,便于质量追溯。

结束语

铁路机车整备作业效率优化是一项系统工程,需要从流程结构、作业标准、信息支撑、管理机制四个维度协同推进。本文通过现状诊断识别了串联模式下的效率损失根源,以层次分析法量化了各影响因素的权重。在此基础上设计的混合流程与信息化平台,在实践中取得了显著成效,验证了方案的有效性与可推广性。后续将围绕自动化装备应用与智能编排算法开展深入研究,推动整备作业向智能化、精细化方向持续迈进。

参考文献

- [1] 黄波. 铁路机车车辆整备设施融合设置研究[J]. 高速铁路技术, 2024, 15(3): 62-67.
- [2] 刘军, 邴林, 王冬硕. 机车整备自动加砂设备建模与模拟装配[J]. 设备管理与维修, 2025(13): 111-114.
- [3] 朱丹, 付学光, 高洪光, 等. 铁路机车全寿命周期节能减排技术要素研究综述[J]. 机车电传动, 2025(6): 55-63.