

上海轨道交通 17 号线车辆全寿命均衡运维模式

曹海平

(上海地铁维护保障有限公司车辆分公司,200237,上海//工程师)

摘 要 车辆全寿命均衡运维模式,是一种以车辆设备功能结构(设备树)展开并覆盖其全寿命维护规程为基础,结合列车状态、生产资源状态、外部指标要求等形成全面动态均衡最优维护计划,根据维护规程及维护计划不折不扣执行维护维修工作后,交付运营的车辆设备运维模式。分析了超大规模城市轨道交通线网车辆维修现状,介绍了上海轨道交通 17 号线车辆全寿命均衡运维模式的具体内涵,以及基于该模式的状态修和数字化转型的实施策略。该模式仍然紧紧扣住“规程—计划—执行—交付”这一车辆运维业务主线,且能持续改善优化,确保列车安全,提升列车可用率,降低运维成本。随着智能运维的全面应用,有必要全面推进车辆维修业务过程的数字化转型,即车辆状态的数字孪生、维修执行的数字化及以维护规程和维护计划优化为核心功能的车辆维修专家系统。

关键词 城市轨道交通;车辆维修;维护规程;维护计划;状态修;智能运维

中图分类号 U279

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.S1.027

Analysis of Full Life Cycle Balanced Operation and Maintenance Mode of Shanghai Rail Transit Line 17

CAO Haiping

Abstract Vehicle full life cycle balanced operation and maintenance mode is a vehicle equipment operation and maintenance mode that is based on the expansion of the equipment function structure (equipment tree) and covers the entire maintenance regulations throughout the full life cycle. Combined with the train status, production resource status, external indicator requirements, a comprehensive dynamic optimal maintenance plan is formed. After the maintenance and repair work is fully executed according to the maintenance procedures and maintenance regulations, the vehicle equipment operation and maintenance mode is delivered for operation. The current status of vehicle maintenance in the ultra-large-scale urban rail transit network is analyzed, the specific connotation of the full life cycle balanced operation and maintenance mode of Shanghai Rail Transit Line 17 vehicles is introduced, and the implementation

strategies for state repair and digital transformation based on this mode. This mode still firmly adheres to the main line vehicle operation and maintenance business of 'regulations-plan-execution-delivery', and can continue to improve and optimize, ensuring train safety, increasing train availability, and reducing operation and maintenance costs. With the comprehensive application of intelligent operation and maintenance, it is necessary to comprehensively promote the digital transformation of vehicle maintenance business process, including the digital twinning of vehicle status, digitalization of maintenance execution, and a vehicle maintenance expert system that optimizes maintenance procedures and maintenance regulations as the core function.

Key words urban rail transit; vehicle maintenance; maintenance regulation; maintenance procedure; state repair; intelligent operation and maintenance

Author's address Vehicle Branch of Shanghai Rail Transit Maintenance Support Co., Ltd., 200237, Shanghai, China

1 超大规模线网车辆维修现状分析

超大规模城市轨道交通线网车辆维修现状为^[1]:

一是运营压力激增导致维护水平要求越来越高。随着城市轨道交通线网规模的不断扩大,运营线路长度及车辆保有量不断增加,单点故障易扩展为区域性故障,因此对于设备故障率、正线事件应对处理能力和线网自救能力提出了更高要求。同时,乘客对列车的准点率、舒适性、安全性等需求也日益提高。

二是传统检修模式效率低,很难满足现代运维需求。目前国内城市轨道交通车辆日常运维大多采用日检+计划修的模式。在车辆全寿命运维管理层面,上海地铁维护保障有限公司车辆分公司(以下简称“车辆分公司”)采用的是“均衡日常运维+项目制扣停架大修”的模式。但无论采用的是何种模

式,都是基于人工计划修+故障修的传统运维模式。一方面,该运维模式在车辆进入架大修周期后无法确保车辆可用率的均衡性,与车辆投用要求存在矛盾;另一方面,该运维模式对人员的需求量较大但故障检出率却较低,实际投入的资源与得到的回报不相匹配。因此,对车辆运维而言,以人工计划修、故障修为主的传统运维模式已经无法应对超大规模线网环境下的车辆运用和维护,运维模式的转变迫在眉睫。

三是设备配置与规模增长不匹配。目前上海轨道交通具备对部分车辆关键设备进行在线监测的技术及手段,但覆盖率严重不足,大部分设备状态的判断仍以人工检查为主,检修人员的主观因素(如技能水平、健康或情绪状态等)容易导致故障的漏判或错判;对于故障定位,缺乏行之有效的数据支持,需要通过多种设备进行多次试验才能定位故障,试验过程中人力和时间消耗较大。

四是车辆的运维经验教训不能被完全利用。上海轨道交通已经形成超大规模线网,车辆车型种类繁多,虽然车辆构造原理及关键零部件都有相似甚至相同之处,但在运维管理中仍需针对不同车型

专门制定相关的技术文件,各类车辆运维过程中的经验教训没有被完全利用,因此没有完全发挥出线网规模化以后的数据效应。

2 车辆全寿命均衡运维模式

基于上述现状分析,上海轨道交通 17 号线逐步实施车辆全寿命均衡运维模式。该模式是一种以车辆设备功能结构(设备树)展开并覆盖其全寿命的规程为基础,结合列车状态、生产资源状态、外部指标要求等形成全面动态均衡的最优维护计划,根据规程及计划不折不扣执行维护维修工作后,交付运营的车辆设备运维模式。该模式仍然紧紧扣住“规程—计划—执行—交付”这一车辆运维业务主线,且能持续改善优化,确保列车安全,提升列车可用率,降低运维成本。另一方面,随着智能运维技术的全面应用,车辆分公司将全面推进车辆维修业务过程的数字化转型,即车辆状态的数字孪生、维修执行的数字化,以及以维护规程和维护计划优化为核心功能的车辆维修专家系统。车辆全寿命均衡运维模式框架如图 1 所示。

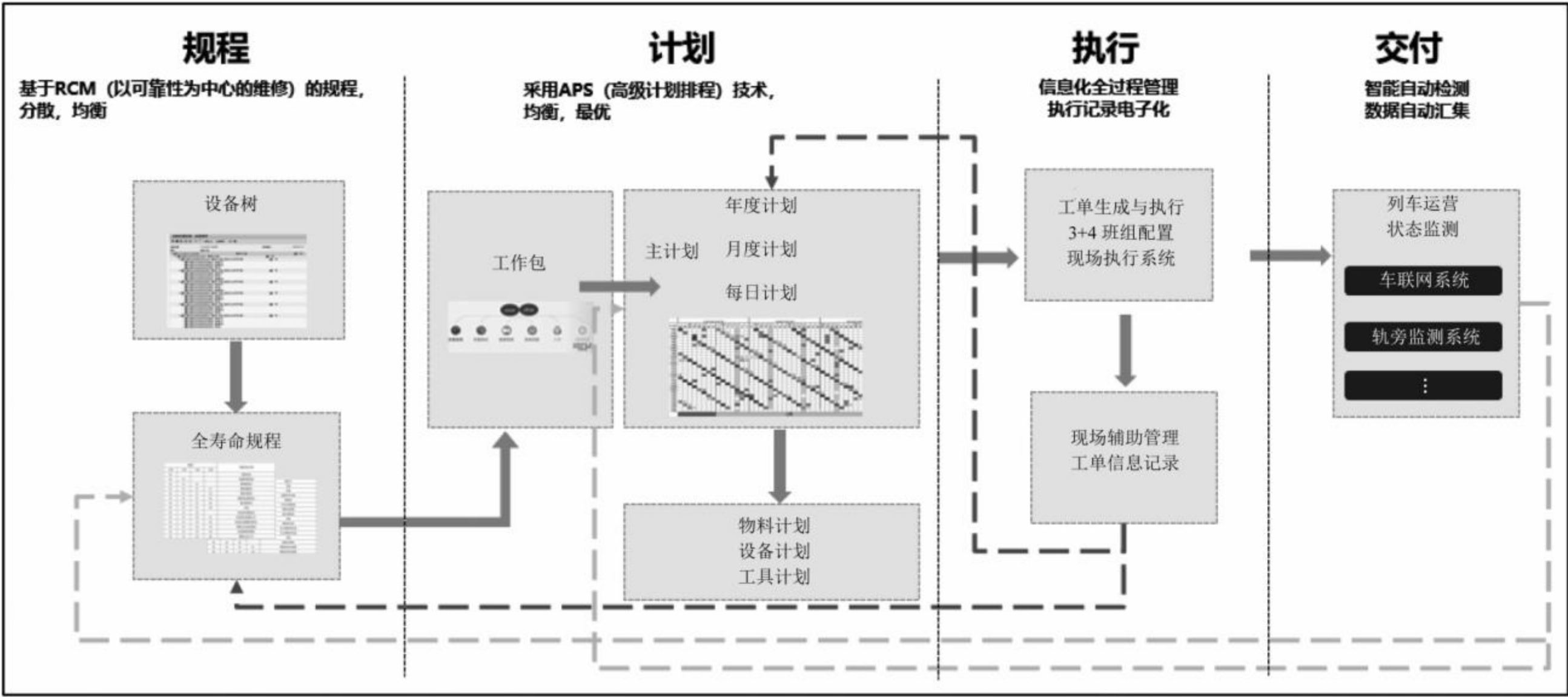


图 1 车辆全寿命均衡运维模式框架图

Fig. 1 Block diagram of vehicle full life cycle balanced operation and maintenance mode

3 车辆全寿命均衡运维模式搭建

车辆全寿命均衡运维模式搭建的关键在于维护规程和维护计划的重构。在传统的车辆设备运维模式下,维护规程分为日检、均衡修、架修及大修四类。维护规程是带有“计划”属性的,这个特点导

致了维护规程编制与维护计划编排相互制约,无法持续改善^[2]。因此,该模式搭建的基础是将维护规程与维护计划“解绑”。

3.1 维护规程

引入 RCM(以可靠性为中心的维修)理论,并将其作为维护规程体系的基础,建立 17 号线车辆全

寿命维护规程。维护规程根据车辆设备功能结构展开,包含五大部分:设备功能结构及位置;维护维修任务说明;维护维修条件要求;维护维修间隔;维护维修所需工时。

基于 RCM 的车辆全寿命维护规程体系如图 2 所示。车辆全寿命维护规程有两大特点:一是以车辆设备功能结构展开,以设备自身为研究对象,维护规程更加纯粹,更贴近设备自身特点,可为后续生产计划、物料计划、成本资金计划等优化奠定基

础;二是维修间隔覆盖车辆设备的全寿命周期,从源头上消除了高级修程与低级修程的界限。

同时,17 号线车辆全寿命维护规程对维修间隔做了优化,从原有的单一的时间间隔转变至 4 个要素的间隔,分别是以运行里程、运行时间、部件运转次数和部件动作次数为维修间隔,并配以维修间隔公差。多维度的维修间隔能够根据部件特性更准确地反映部件维修要求,这也是实现部件状态修的基础。



