

市政道路沥青施工中设备全生命周期管理与经济优化研究

管振栋

[上海公路桥梁(集团)有限公司,上海市 200433]

摘要: 市政道路沥青施工中,设备管理效率直接影响工程质量和成本。传统模式重技术轻经济,导致资源浪费与成本失控。以建设公路(团城公路—北沿公路)改扩建工程为背景,针对宽幅路面、多标段同步施工等复杂场景,创新构建“后勤保障-经济管控”双维度协同体系。在后勤维度通过设备选型精准匹配道路设计参数,采用梯队摊铺工艺实现宽幅路面无缝施工;建立基于施工模拟的动态调配机制,显著减少设备冗余数量;实施分级维护制度强化预防性检修,形成“日常监测-定期保养-专项大修”闭环管理。在经济维度引入全生命周期成本(LCC)核算模型,系统量化设备长期投入产出比;开发“效率-成本”双目标优化算法,生成适配不同路宽的最优设备组合方案。通过规划选型、动态调度、维护管控三环节深度协同,实现设备利用率从 65% 提升至 82%,闲置率由 25% 压缩至 7%,总成本降低 17.2%,维护成本占比下降 4.5%,同步保障沥青面层压实度与平整度达标。该体系为施工设备管理“重技术、轻经济”的行业痛点提供一些新的思路。

关键词: 设备全生命周期管理;经济优化;动态调配;LCC 成本模型;沥青施工

中图分类号: U418;TU997

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)11-0274-04

Research on Equipment Lifecycle Management and Economic Optimization in Asphalt Construction of Municipal Roads

GUAN Zhendong

[Shanghai Highway and Bridge (Group) Co., Ltd., Shanghai 200433, China]

Abstract: In municipal road asphalt construction, equipment management efficiency directly affects project quality and cost. The traditional model emphasizes technology over economy, leading to waste of resources and loss of control over costs. Taking the Jianshe Highway (Tuancheng Highway - Beiyuan Highway) Reconstruction and Expansion Project as the background, and aiming at the complex scenarios of wide pavement and multi-bid-stage synchronous construction, a dual-dimensional collaborative system of "logistics support - economic control" is innovated and built. In the logistics dimension, the road design parameters are precisely matched through equipment selection, and the seamless construction of wide pavements is achieved by adopting the tiered paving process. A dynamic allocation mechanism based on construction simulation is built to significantly reduce the number of redundant equipment. A hierarchical maintenance system is implemented to strengthen the preventive maintenance and to form a closed-loop management of "daily monitoring - regular maintenance - special overhaul". A life cycle cost (LCC) accounting model is introduced in the economic dimension to systematically quantify the long-term input-output ratio of the equipment. An "efficiency-cost" dual-objective optimization algorithm is developed to generate the optimal equipment combination schemes suitable for different road widths. Through the three-link deep coordination of planning selection, dynamic scheduling and maintenance control, the equipment utilization rate has been increased from 65% to 82%, the idle rate has been reduced from 25% to 7%, the total cost has been reduced by 17.2%, and the maintenance cost proportion has been reduced by 4.5%. At the same time, the compaction and smoothness of the asphalt surface layer have been ensured to meet the standards. This system provides some new ideas for the pain points of the construction equipment management industry, which emphasizes technology over economy.

Keywords: equipment lifecycle management; economic optimization; dynamic allocation; LCC cost model; asphalt construction

收稿日期: 2025-07-09

作者简介: 管振栋(1993—),男,本科,工程师,从事沥青路面工程施工管理工作。

0 引言

市政道路建设作为城市基础设施的重要组成部分

分,承担着交通运输、空间连接与功能承载的关键作用。在城市化进程加速与存量道路更新需求激增的双重驱动下,其施工效率与成本控制已成为行业可持续发展的重点^[1-2]。在沥青路面施工中,摊铺机、压路机等大型设备的管理水平直接影响工程质量、进度及经济效益^[3-4]。而传统设备管理模式存在显著局限性,多数项目将管理重心放在技术层面的维护保养,如定期更换润滑油、检修液压系统等,却忽视了从设备购置决策、动态调配到报废处置的全生命周期经济脉络^[5-6]。这种“重技术、轻经济”的管理习惯,导致设备选型时缺少全生命周期成本(LCC)测算,调配中忽视效率、成本优化模型,维护时难以平衡短期投入与长期效益,最终造成资源浪费与成本失控。

随着建设公路改扩建工程等大型项目的推进,工程常面临“多标段同步施工、宽幅路面摊铺、环保标准升级”等复杂场景^[7]。如何在复杂施工环境中实现设备资源的优化配置,成为后勤与经济管理领域急需解决的问题。因此,本文以建设公路(团城公路~北沿公路)改扩建工程施工2标为背景,分析设备全生命周期管理中的关键环节,探索后勤保障与经济核算的协同机制,为同类工程提供可参考的管理范式。

1 设备全生命周期管理的后勤维度构建

1.1 施工设备的前期规划与选型配置

在市政道路沥青施工领域,设备选型不止是简单的机械采购行为,而是需要深度契合道路设计参数的系统性决策过程。本工程道路红线宽度为30~35 m,双向4~6车道,机动车道路面结构总厚度达63.6 cm,上面层为4cm温拌SBS改性沥青马蹄脂碎石混合料。考虑道路宽度与摊铺效率,摊铺机选用ABG8820B型摊铺机(摊铺宽度3.5~7.5 m)与三一重工SMP90C-6型摊铺机搭配作业,形成梯队摊铺模式,可覆盖11.5 m宽机动车道的全幅施工,避免纵向接缝。根据沥青面层压实工艺,选择悍马HD128(13 t)2台、戴纳派克CC624(13 t)1台、戴纳派克CC524(12 t)1台,形成初压、复压、终压的双钢轮压路机群,满足‘紧跟、慢压、高频、低幅’的压实原则。针对温拌SBS改性沥青马蹄脂碎石混合料的压实需求,双钢轮压路机采用“重吨位+高频振动”组合:悍马HD128(13 t)设定振动频率30 Hz、振幅0.8 mm,戴纳派克CC624(13 t)设定振动频率28Hz、振幅0.7 mm,通过

双机协同振动实现压实功叠加,等效替代胶轮压路机的揉搓密实效果,同时避免SMA混合料骨架破坏。”施工设备选型参数见表1。

表1 主要施工设备选型参数表

设备类型	型号	施工效率/(m ² ·h)
摊铺机	ABG8820B	500~700
	SMP90C-6	400~600
双钢轮压路机	悍马HD128	300~450
	戴纳派克CC624	280~420
	戴纳派克CC524	250~400

1.2 设备资源的动态调配机制

在施工过程中,后勤管理建立设备动态调配系统,根据施工段落划分与进度计划实时调整设备部署。基于道路红线宽度变化、交叉口分布及既有交通流量,将7.4km沥青上面层施工划分为两大段落:

陈海公路-北沿公路段:施工时间为2020年10月24日-2020年11月5日(13天)。长度约4.2 km,道路红线宽度32~35 m,包含富民河-北沿公路段(左幅老路利用、右幅新建)等复杂断面,需兼顾现状道路与新建路面的衔接施工。原计划设备为:2台摊铺机+4台压路机

团城公路-陈海公路段:施工时间为2020年11月6日-2020年11月9日(4天)。长度约3.2 km,以30m红线宽度的公路段为主,路面结构相对统一,适合规模化施工。原计划设备为:2台摊铺机+3台压路机。

后勤管理在原计划上进行动态调配,具体调配方案见表2。

表2 动态调配方案

施工路段	原计划设备配置	动态调整后配置	设备减少量
陈海段	2台摊铺机	2台摊铺机	1台压路机
	4台压路机	3台压路机	
团城段	2台摊铺机	1台摊铺机	1台摊铺机
	3台压路机	2台压路机	1台压路机

从表2可知,陈海段从原计划调配成2台摊铺机+3台压路机,这是因为经施工模拟发现3台压路机(2台13 t+1台12 t)即可满足陈海段的“初压-复压-终压”工艺需求。团城段从原计划调配成1台摊铺机+2台压路机,这是因为陈海段完工后可调拨1台摊铺机及1台压路机至团城段。动态调配后并对其关键指标进行了统计对比,结果见表3。

从表3可知,施工设备通过调配优化后利用率提升17%、闲置率降低18%,施工面积、设备利用率等核心指标均正向提升,这说明资源集中管理或设备

表3 设备减少后效率对比

指标	原计划配置效率	动态调配后效率	幅度/%
日均施工面积	陈海段4 500 m ² /d 团城段6 000 m ² /d	陈海段5 800 m ² /d 团城段9 200 m ² /d	整体提升42.9
设备利用率	65%	82%	提升17
闲置率	25%	7%	降低18

重新分配策略有效,验证了“减少设备但提升效率”的可行性。

1.3 设备维护的后勤保障体系

完善的维护体系是设备高效运行的基础。可建立日常、定期、专项维护“三级维护”制度。分别为:

(1)日常维护:由操作人员每日进行清洁、润滑、紧固等常规保养,记录设备运行数据;

(2)定期维护:每500工作小时由专业维修团队进行全面检查,更换易损件,如摊铺机熨平板加热管、压路机振动轴承等

(3)专项维护:每年度对关键设备进行深度检修,如摊铺机液压系统清洗、压路机发动机大修。

后勤部门可通过与设备厂家建立战略合作,采用原厂配件集中采购模式,使维护成本降低,同时还确保了维护质量。此外,建立设备维护档案,记录每台设备的维护历史,为后期设备更新提供数据支持。

2 设备管理的经济维度分析

2.1 设备全生命周期成本核算模型

设备全生命周期成本(LCC)是经济管理的核心指标,包括购置成本、使用成本、维护成本及报废回收成本。其全生命周期成本计算如下:购置成本+使用成本+维护成本-报废回收=设备全生命周期成本。以工程中的设备为例,假设其各成本如表4。设备全生命周期成本对比图如图1所示。

表4 设备LCC成本构成表

设备类型	购置成本	使用成本 (8年)	维护成本 (8年)	报废回收	总LCC
ABG8820B	850	440	280	-50	1 520
SMP90C-6	480	320	200	-30	970
悍马HD128	320	200	160	-20	660
戴纳派克CC624	320	220	180	-22	689
戴纳派克CC524	280	160	128	-16	552

注:表内所有单位为万元。

2.2 设备组合的经济优化模型

在公路建设工程中,传统分散式设备配置常导致资源冗余或产能不足,而“效率-成本”双目标优化模型通过系统性规划设备组合,可实现施工效能与经济性的平衡。该模型以单位面积施工成本最低为

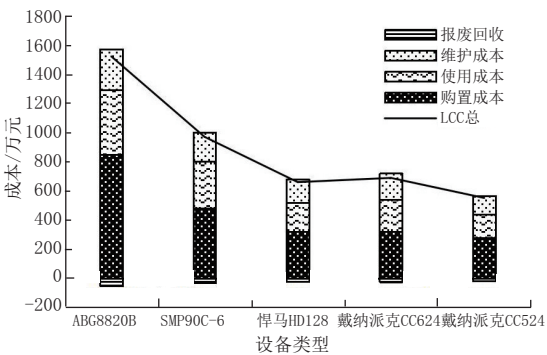


图1 设备全生命周期成本对比图

核心目标函数,结合施工效率、设备利用率、工期约束等多维度因素,构建数学模型求解最优配置方案。具体展开见式(1)。

$$\min C = \frac{(C_p + C_r + C_m + C_l)}{S} \tag{1}$$

式中:minC为单位面积施工成本的最小值,元/m²;C_p为摊铺机成本,元;C_r为压路机成本,元;C_m为维护成本,元;C_l为人工及其他成本,元;S为施工面积,m²;

以本次工程为例,通过遗传算法^[8]求解得到不同道路宽度下的最优设备组合。计算结果见表5。

表5 不同道路宽度的最优设备组合

道路宽度/m	最优设备组合	单位面积成本/(元·m ⁻²)
10~15	1台三一摊铺机+2台戴纳派克压路机	18.5
15~25	1台ABG摊铺机+3台双钢轮压路机	16.8
25~35	2台摊铺机(ABG+三一)+4台压路机	15.2

“效率-成本”双目标优化模型的应用,通过系统性、数据驱动的设备组合策略,实现了单位面积施工成本降低9.3%的显著成效,验证了经济优化的有效性。

3 双维度管理的协同机制与效果

3.1 后勤与经济管理的协同模型

后勤与经济管理的协同是设备全生命周期管理的核心。可通过规划、调度、维护三个环节的协同,形成全流程、数据驱动的设备管理体系。具体如下:

规划协同:从源头控制全生命周期成本。后勤部门在设备选型初期,打破传统“仅关注性能参数”的局限,将设备全生命周期成本(LCC)作为核心评估指标。结合项目预算与工期要求,平衡前期高购置成本设备(如新购或租赁)与长期低维护成本的关系,确保资源投入的经济性。从源头规避因设备选型不当导致的成本浪费,降低全周期运营成本。

调度协同:动态优化设备资源配置。后勤部门基于施工进度需求,通过“效率-成本”双目标优化模型制定设备调配方案,实现资源利用最大化与成本最小化的平衡。根据施工场景变化(如道路宽度、地质条件),灵活调配设备数量与类型。建立后勤与经济部门的实时沟通机制,确保设备调度方案既能满足施工进度要求,又符合成本控制目标。避免设备闲置或超负荷运转,降低临时租赁成本与设备损耗,实现资源动态优化。

维护协同:精准控制维护成本与效率。经济部门通过成本核算与数据分析,为后勤部门的设备维护计划提供量化依据,避免因过度维护或维护不足导致的成本浪费与安全隐患。经济部门实时统计设备维护费用(如零部件更换、人工维修),结合设备使用时长与故障率,建立维护成本预测模型。后勤部门根据经济数据,制定差异化维护策略。定期对比实际维护成本与预测数据,优化维护方案,形成“监控-分析-优化”的闭环管理。减少不必要的维护支出,同时延长设备使用寿命,提升设备整体使用效率。

3.2 项目的管理效果分析

如本工程采用双维度设备管理通过整合技术维度(设备性能优化)与经济维度(成本效益分析),可实现资源配置与施工效率的深度协同。具体经济指标见表6。

表6 设备管理经济对比指标

指标	预算值	实际值	差异率/%
设备总成本	1 250 万元	1 035 万元	-17.2
单位面积设备成本	22.5 元/m ²	18.6 元/m ²	-17.3
设备闲置率	25%	7%	-72.0
维护成本占比	28%	23.5%	-16.1

从表6中可知,设备相关成本较预算降低17.2%;单位面积设备成本降低17.3%;设备闲置率降低18%;维护成本占比降低16.1%。表明后勤调度与经济管控的协同机制有效实现了降本增效的双重目

标,尤其设备利用率提升尤为突出。同时,由于设备状态的精准管控,沥青面层压实度合格率和平整度标准差控制也会提升。

4 结 论

(1)通过管理模式创新,构建“后勤-经济”双维度设备管理体系,及规划、调度、维护三阶段协同,实现设备全生命周期成本与效率的系统优化。采用施工模拟优化设备配置,使设备利用率提升17%,闲置率降低18%,施工效率整体提升42.9%。

(2)通过LCC核算与“效率-成本”双目标优化模型,单位面积施工成本降低9.3%,设备总成本较预算下降17.2%,闲置率从25%降至7%,验证了经济优化的有效性。

(3)通过设备动态调配使日均施工面积提升42.9%,利用率提高17%,结合三级维护体系,可实现设备性能与成本的精准管控,并还能保障沥青路面施工质量。

综上所述,本文通过理论与实践结合,证实了设备全生命周期管理与经济优化在市政道路沥青施工中的关键作用,为同类工程提供可复制的管理模板。

参考文献:

[1] 陈诗源,冼皇钦.基于精细化管理的市政道路施工技术优化策略研究[J].新城建科技,2025,34(2):178-180.

[2] 祝伟.市政道路工程项目全过程造价控制研究[J].工程技术研究,2024,9(3):149-151.

[3] 陶幸红.公路工程沥青路面施工技术与质量控制策略[J].城市建设理论研究(电子版),2024(5):156-158.

[4] 马平.沥青路面施工质量动态控制[J].四川建材,2023,49(10):200-201;222.

[5] 张俊.浅析市政道路施工的质量管理[J].山西建筑,2018,44(14):245-247.

[6] 秦柱海.摊铺机的管理与维修[J].设备管理与维修,2018(11):55-56.

[7] 刘艳军,梁威.复杂地形条件下沥青混凝土路面工程施工技术研究[J].建筑机械,2023(11):138-143.

[8] 李勇.市政工程项目工期-成本优化研究[D].长沙:长沙理工大学,2019.