

机场沥青道面不停航快速维修技术体系及应用

陈裕锋

[上海公路桥梁(集团)有限公司,上海市 200433]

摘要: 机场道面维修需在保障飞行安全的基础上,最大限度降低对航班高效运行的干扰。传统水泥道面维修周期长(≥ 21 d),单次维修日均导致3~5架次航班停飞,难以适配机场高效运营需求。提出一套整合方案设计、材料选型、工艺优化、质量管控与安全保障的机场沥青道面不停航快速维修技术体系:通过夜间4 h施工窗口(01:00—05:00)设计“分阶段扩展围封”方案(初期1.5倍维修区、中期1.2倍、后期仅核心区),配套红外报警及双应急通道,15 min内可释放70%区域供航班滑行。材料选用符合高强度承载需求的沥青混合料,搭配温控运输(到场温度 $\geq 175^\circ\text{C}$)、限速摊铺(2.0~3.0 m/min)等优化工艺,单平方米工效达12 m²/人·时,较水泥道面提升4倍,维修后3 h即可开放交通;同步建立“时段-区域”双维质量检测体系及设备-应急-人员三重保障机制,确保施工全程零事故。该技术体系为机场道面快速维修提供了安全高效的整体解决方案。

关键词: 机场沥青道面;不停航施工;快速维修技术;维修体系

中图分类号:

文献标志码:

文章编号: 1009-7716(2026)04-0302-04

Technical System and Application of Rapid Maintenance for Airport Asphalt Pavement without Stopping Flights

CHEN Yufeng

[Shanghai Road and Bridge Group Co., Ltd., Shanghai 200433, China]

Abstract: Airport pavement maintenance should minimize the interference with the efficient operation of flights to the greatest extent on the basis of ensuring flight safety. Traditional cement pavement maintenance has a long cycle (≥ 21 d). Each maintenance operation leads to the grounding of 3 to 5 flights on average each day, which is difficult to meet the efficient operation requirements of the airport. A comprehensive technical system for rapid maintenance of airport asphalt pavement without stopping flights is proposed, which integrates the scheme design, material selection, process optimization, quality control and safety guarantee. Based on the 4-hour construction window at night (01:00~05:00), a “phased expansion enclosure” scheme is designed (initial 1.5 times maintenance area, mid-term 1.2 times and later only core area), which is equipped with infrared alarms and dual emergency channels to release 70% of the area for flight taxiing within 15 min. The materials selected are asphalt mixtures that meet the requirements of high-strength load-bearing, and are combined with optimized processes such as temperature-controlled transportation (arrival temperature $\geq 175^\circ\text{C}$) and speed-limited paving (2.0~3.0 m/min). The work efficiency per square meter reaches 12 m²/person·hour, which is 4 times higher than the cement pavement and can be opened to traffic 3 h after maintenance. Simultaneously, a dual-dimensional quality inspection system of “time period - area” and a triple guarantee mechanism of equipment - emergency response - personnel are established to ensure zero accidents throughout the construction process. This technological system provides a safe and efficient solution for rapid maintenance of airport pavements.

Keywords: airport asphalt pavement; construction without stopping flights; rapid repair technology; maintenance system

0 引言

作为飞机起降的核心基础设施,机场道面的维修保养始终面临“安全保障”与“效率提升”的核心矛盾——既要绝对满足飞行安全标准,又需尽可能减

少对航班正常调度的干扰^[1-2]。从国内机场道面结构来看,水泥道面占比超85%,虽具备一定优势,但维修时存在显著短板:施工区域需封闭至少21 d,单次维修日均停飞3~5架次航班,对航空运输效率影响极大^[3-5]。

相比之下,沥青道面虽抗压强度(25~30 MPa)低于水泥道面(40~50 MPa),但拥有更适配机场不停航需求的核心优势:施工完成后仅需3 h即可开放

收稿日期: 2025-09-17

作者简介: 陈裕锋(1994—),男,本科,工程师,从事道路工程的施工与管理工作。

交通,单平方米施工效率达 12 m²/人·时,是水泥道面的 4 倍以上,能大幅缩短施工对航班的干扰时长^[6-8]。为进一步提升沥青道面的强度与耐久性,需结合机场道面荷载特性与夜间施工环境,构建涵盖方案、材料、工艺、质量、安全的全流程技术体系。近年某国际机场跑道端安全区维修工程已验证该技术体系的可行性,利用凌晨 4 h 施工窗口完成 1 800 m²道面维修,为同类工程提供了实践参考^[9-11]。本文将系统阐述该技术体系的设计逻辑与应用细节,为机场道面维修技术升级提供理论与实践支撑。

1 不停航施工窗口与围封方案设计

1.1 施工窗口时空资源划分

基于机场航班时刻表构建“窗口-任务”匹配模型,通过拆解施工窗口时间构成与任务需求,实现

资源配置与作业效率的最优平衡,为不停航维修提供可量化实施框架。以常规机场为例,每日航后 01:00—次日 05:00 为核心施工窗口,总时长 4 h,但需优先分配必要辅助时间:提前规划施工车辆临时等待区,确保 01:00 前车辆驶入等待区,快速完成从场外专用通道进场、安检及定位停放;安全警戒与标识设置(含围封设施搭建、毫米波雷达与红外报警装置调试、人员值守点位划分)需 20 min;离场清场(含废料清运、设备撤离、道面清洁度检测及标识撤除)需 30 min。经核算,实际用于道面铣刨、摊铺、压实等核心作业的有效时间为 3 h。为充分利用 3 h 有效施工时间,根据道面损坏面积差异制定分级施工计划,明确各等级维修的面积范围、工序时长、设备与人员配置及进度节点,确保施工高效推进。具体见表 1。

表 1 根据损坏道面的分级施工计划

道面损坏等级	单窗口维修面积/m ²	核心工序时长分配/min	设备配置	人员投入/人	进度管控节点
轻微裂缝	800 ~ 1 300	灌缝 90、检测 30	1 台灌缝机、1 台道面检查仪	8 ~ 10	02:50 前完成灌缝 03:20 前完成检查
中度破损	≤2 000	铣刨 80、摊铺 90、压实 40	1 台铣刨机、1 台摊铺机、2 台压路机	18 ~ 22	02:40 前完成铣刨 04:30 前完成压实
重度破损	≤2 000	铣刨 80、黏层油喷洒 30、摊铺 90、压实 60	1 台铣刨机、1 台黏层油喷洒机、1 台摊铺机(摊铺宽度>6 m 时增配 1 台摊铺机同步作业)、3 台压路机	22 ~ 25	02:40 前完成铣刨 05:20 前完成压实

注:重度破损压实时间 05:20 前完成,系因需 60 min 三阶段压实工艺保障道面承载力,为适配混合料最佳压实温度避免质量风险。

1.2 动态围封与警戒系统

结合夜间航班低密度特点,采用“分阶段扩展围封”方案,平衡施工安全与区域释放效率。01:00—02:30 初期围封面积扩展至维修区 1.5 倍(含材料堆放区),围封边界每 3 m 布设 1 组不适用地区标志物(三脚架)、不适用地区灯光标志(障碍灯)及太阳能警示灯,同步设置红外对射报警装置(响应时间不大于 1 s);02:30—04:00 中期围封收缩至维修区 1.2 倍,保留核心作业区的标志物、障碍灯及红外报警装置,移除材料堆放区围封设施;04:00—05:00 后期仅保留作业核心区围封,核查核心区标志物与障碍灯完好性,启动围封拆除准备。若遇凌晨补班航班,可在 15 min 内完成围封收缩,释放 70% 区域供航班滑行,确保航班正常调度不受影响。围封方案示意图如图 1 所示。

2 材料选型与施工工艺优化

2.1 沥青混合料性能选型

轮辙是机场沥青道面的主要病害,受飞机荷载渠化影响显著^[12-13]。需选用以粗骨料为主、表面构

造深度大的沥青混合料,确保机场沥青道面具备优异的抗轮辙、抗变形、抗滑及降噪性能,同时在低温抗裂、高温稳定、抗水损害及耐久性上满足机场道面高强度使用需求^[14-15]。不同类型沥青混合料的性能差异见表 2。

2.2 长窗口分段施工工艺详细说明

该工艺针对夜间长时段施工场景,结合温度变化特点,从拌合运输、摊铺分段到压实适配进行系统性设计,确保施工效率与质量达标。

(1)拌合与运输环节。该环节是施工质量的基础保障,通过设备配置优化与全程温控管理,确保沥

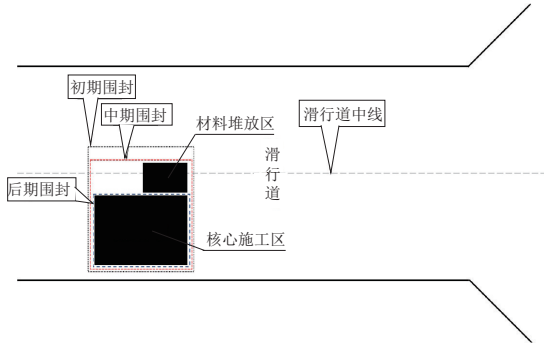


图 1 机场道面不停航施工围封示意图

表2 SMA-13与AC-20混合料性能指标对比

技术指标	指标要求		SMA对比优势
	SMA-13	AC-20	
动稳定度/ (次·mm ⁻¹)	≥8 000	≥10 000	相当
低温极限应变	≥3 000 με	≥3 000 με	相当
浸水马歇尔试验/%	≥90	≥90	相当
冻融劈裂试验 残留稳定度/%	≥85	≥85	相当
渗水系数/ (mL·min ⁻¹)	≤50	≤80	优
沥青	高弹SBS改性沥青 PG82-22	SBS改性沥青 PG82-22	相当
粗集料	玄武岩	石灰岩	优
石料压碎值/%	≤20	≤23	优
石料高温压碎值/%	≤22	≤24	优
洛杉矶磨耗损失/%	≤28	≤30	优
表观相对密度/ (t·m ⁻³)	≥2.6	≥2.5	优
坚固性/%	≤10	≤12	优
吸水率/%	≤2	≤2	相当
针片状颗粒含量/%	≤10	≤12	优
与沥青的黏附性等级	5级	5级	相当
高模量剂	有	有	相当

青混合料供应效率与质量稳定性,为后续工序提供可靠支持。具体如下。

a. 拌合设备的配置与产能设计上,选用1台3000型间歇式拌合机,其计量精准、混合料级配稳定,可满足局部修补对材料均匀性的高标准要求;单台设备产能达300 t/h,按单窗口最大维修面积≤2 000 m²、摊铺厚度按4~5 cm计算,总混合料需求量为160~200 t,300 t/h的产能可完全覆盖需求,无需额外增配设备,避免场地占用冲突。

b. 运输环节的温度监控与管控上,所有运输车辆安装温度监控仪,实时采集混合料温度数据并无线传输至指挥中心监控平台,实现温度、行驶轨迹、预计到场时间的全程可视化管理。针对凌晨03:00—05:00环境温度可能降至约5℃的低温时段,明确混合料到场温度≥175℃。这一标准的制定是考虑到低温环境下混合料散热快,需预留温度余量以确保摊铺时处于160~175℃的最佳作业温度区间,又保证沥青黏聚性,避免离析、结块问题。运输车辆配备保温篷布,拌合站将混合料出厂温度提高5~10℃,抵消运输过程中的热量消耗(见图2)。

(2)摊铺分段环节以“适配局部修补规模、简化流程提效”为核心,结合夜间4 h施工窗口(01:00—



图2 混合料运输车示意图

05:00)与单窗口≤2 000 m²的维修面积需求,直接以整体维修区域为单一作业单元推进施工,减少分段衔接耗时,提升操作连贯性。现场施工如图3、图4所示。



图3 摊铺施工现场



图4 碾压施工现场

施工时间节点精准规划:03:00前完成铣刨与黏层油喷洒作业;03:00—04:30集中开展摊铺施工,该时段既能衔接前期工序、避免混合料温度损失,又能为后续压实预留充足时间。摊铺速度严格控制在2.0~3.0 m/min,兼顾摊铺平整度与混合料温度稳定性:既防止速度过快导致摊铺不均、离析,又避免速度过慢造成热量过度散失,保障压实工序在最佳温度区间进行,同时与拌合产能、运输效率精准匹配,形成“供—运—摊”连贯节奏。

3 质量管控与安全保障体系

3.1 全流程质量监测

为确保施工质量达标,建立“时段—区域”双维度

检测体系,覆盖材料进场、施工过程及开放前全环节,实现精准化质量管控。具体检测要点见表3。

表3 施工质量检测要点

检测阶段	检测内容	检测标准	检测频率	核心作用
材料进场	沥青低温延度(5℃)	符合规范要求	每1 000 t一次	保障原材料抗裂性
材料进场	集料棱角性	符合规范要求	每1 000 t一次	确保混合料骨架强度
施工过程	厚度偏差	≤±5 mm	摊铺完成后30 min内	保证基础层均匀性
施工过程	平整度(3 m直尺)	偏差≤3 mm	摊铺完成后30 min内	提升行车舒适性
施工过程	抗滑性能(摆值)	≥65BPN	摊铺完成后30 min内	保障行车安全
开放前	道面温度	≤50℃	05:30—06:30	避免影响车辆轮胎
开放前	构造深度	0.8~1.2 mm	05:30—06:30	平衡排水性与抗滑性
开放前	轮迹带压实度	≥98%	05:30—06:30	保障道面承载能力

从表3可知,通过上述分段、分时的差异化检测模式,可实现质量管控的精准化与高效化。这种模式能依据不同施工阶段的质量核心需求,针对性化解各环节风险。材料进场时关注沥青低温延度和集料棱角性,以保障混合料基础性能。施工过程中按段落分别侧重厚度偏差、平整度、抗滑性能检测。同时能显著提升检测效率,通过明确各阶段核心指标减少重复和无效检测,与夜间施工节奏相适配。另外,还能避免验收阶段问题集中爆发,分段检测可在每段完成后即时核验并当场整改。分时检测则在关键时间节点针对性核验,防止问题累积。最终形成“边施工、边检测、边整改”的全流程质量闭环。

3.2 安全与应急管理

针对夜间施工环境复杂、风险较高的特点,从设备、应急、人员三方面构建全时段安全保障网。具体如下:

(1)设备管理。所有施工车辆统一安装夜视摄像头,确保100 m范围内视野清晰,解决夜间光线不足导致的观察盲区问题;01:00—05:00开启自动驾驶辅助模式,车辆沿预设轨迹行驶,偏差控制在3 m内,减少人为操作失误,同时降低驾驶员夜间疲劳带来的安全风险。

(2)应急预案。针对施工中设备故障无法自主撤离的情况,提前在施工区域周边预设应急撤离通道,配备1台50T汽车吊及平板运输车。若铣刨机、摊铺机等设备故障,专职安全员立即划定应急区域,

引导汽车吊将故障设备吊装至平板车,再由平板车沿应急通道撤离至飞行区外指定点,确保30 min内完成撤离,不影响施工或航班滑行,保障不停航施工秩序与飞行安全。

(3)人员管理。配备1名持机场特种作业证的专职安全员,全程负责现场安全监督,每1 h进行一次通讯点名,实时掌握人员位置与状态,确保紧急情况下能快速响应。同时,严格落实人员管理要求:施工人员需参加班前安全教育,明确作业规范与安全禁忌;入场前统一发放机场专用通行证,凭证进入施工区域,且全程不得离开非施工区域;作业结束后,需将通行证归还机场管理部门,实现人员出入与证件管理的闭环。

4 结 论

本文围绕机场沥青道面不停航快速维修需求,构建了一套整合方案设计、材料选型、工艺优化、质量管控与安全保障的技术体系,通过分析可得出以下结论:

(1)通过4 h核心施工窗口结合“分阶段扩展围封”方案,可在15 min内释放70%区域供航班滑行,最大限度减少对航班调度的干扰,平衡施工需求与机场运营效率。

(2)材料选型上选用高强度沥青混合料,搭配拌合运输温控、摊铺速度管控等优化工艺,单平方米施工效率达12 m²/(人·h),较水泥道面提升4倍以上,且施工完成后3 h即可开放交通,大幅缩短维修周期。

(3)“时段-区域”双维质量检测体系形成全流程闭环管控,设备-应急-人员三重安全保障机制实现施工全程零安全事故,为技术体系落地提供可靠支撑。

综上所述,该技术体系通过多环节协同优化,既能满足机场道面高强度与耐久性要求,又能通过缩短施工窗口、精准调度资源,最大限度减少对航班运行的影响,为同类机场道面维修工程提供理论参考与实践范式。

参考文献:

[1] 赵伟. 机场道面快速修补技术及其对航班运营影响的最小化策略研究[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025(10): 85-87.
[2] 潘梦梦. 基于深度学习的机场道面地下病害检测方法研究[D]. 天津: 中国民航大学, 2022.
[3] 班越, 谭明伟. 水泥混凝土道面综合维修方法[J]. 建设机械技术与管理, 2025, 38(2): 99-101.

(下转第324页)