

赛道路面维修工艺与综合应用研究

——以上海国际赛车场为例

葛华峰

上海公路桥梁(集团)有限公司, 上海

收稿日期: 2025年5月25日; 录用日期: 2025年6月17日; 发布日期: 2025年6月27日

摘要

上海国际赛车场在长期使用后, 出现了较多路面病害和不均匀沉积, 影响了赛道的安全性和使用寿命。本文在介绍项目具体问题和一般处理工艺后, 针对性地提出采用精铣刨、打磨、抛丸和高耐磨保护封层的组合, 实现对赛道维修工艺的优化。采取该施工工艺后进行摩擦系数测试, 结果表明维修区域的摩擦系数平均值符合轨道安全标准, 摩擦性能已恢复, 且该区域的平整度得到了提高, 路面的使用寿命得以延长, 为类似工程提供了技术指导。

关键词

路面维修, 维修工艺, 路面表面处理, 施工工艺优化

Research on Maintenance Technology and Comprehensive Application of Track Pavement

—Taking the Shanghai International Circuit as an Example

Huafeng Ge

Shanghai Road and Bridge (Group) Co. Ltd., Shanghai

Received: May 25th, 2025; accepted: Jun. 17th, 2025; published: Jun. 27th, 2025

Abstract

After the long-term use of Shanghai International Circuit, there are many road surface diseases and uneven deposits, which affect the safety and service life of the track. After introducing the specific

problems of the project and the general treatment process, this paper puts forward the combination of fine milling, grinding, shot blasting and high wear protection layer to optimize the track maintenance process. The friction coefficient test results show that the average value of the friction coefficient in the maintenance area is in line with the track safety standard, the friction performance has been restored, the flatness of the area has been improved, and the service life of the road surface has been extended, which provides technical guidance for similar projects.

Keywords

Pavement Maintenance, Maintenance Technology, Road Surface Treatment, Construction Technology Optimization

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

上海国际赛车场自建成以来,历经多年高频次赛事与自然老化,赛道局部区域表面出现不均匀沉降、面层鼓包等病害。其中,1号、2号隧道上方因地质条件复杂导致沉降高差达3%~8%,1、3、5号弯道面层鼓包问题尤为突出。传统单一维修工艺难以兼顾平整度修复与摩擦性能恢复,亟需探索综合施工技术方案。本研究结合精铣刨、打磨、抛丸及高耐磨封层工艺,通过精细化施工与参数优化,旨在解决复杂病害问题,提升赛道综合性能,同时为高等级赛道养护提供理论依据与实践经验。

2. 项目概况

上海国际赛车场赛道道面于2004年5月完工,赛车场主赛道长5450m,宽度14~15m,标准横坡为2.5%。整个赛道的最大上行坡度为3%,最大下行坡度达到8%,赛车在赛道的平均速度可为205 km/h,最高时速可达到327 km/h。经过近20年的使用,赛道出现不同程度的病害及两处不均匀沉降,为保证后续赛事正常运行,决定对相应病害进行修善处理[1]。本次主要针对1、2号隧道上方不均匀沉降的问题,需经过前期在场外区域对多种设备及技术参数的试验确定处理方案[2]。

3. 赛道路面维修工艺方案的制定

3.1. 赛道路面维修一般工艺

赛车场赛道路面维修工艺通常采用检测、铣刨、摊铺、封层的标准化流程,但在实际应用中存在多项技术短板[3]。精铣刨产生的超细骨料回收利用率不足40%,分层摊铺工艺在高温碾压时易出现沥青迁移现象,导致冷接缝区域粘结力衰减,弯道高频剪切作用下易产生层间剥离[4]。路面施工时,沥青混合料摊铺机的夯锤及熨平板的振动频率的不同,将直接影响摊铺后混合料的密实程度从而导致路面不平整[5]。在路面铣刨施工过程中,铣刨的深度不一致会导致路面高低起伏,同时若铣刨剩余料层未安全处理还会导致环境污染[6]。高耐磨封层施工虽能短期提升抗滑值,但聚氨酯基材料耐紫外老化性能较弱,在强日照赛道环境中易出现黄变脆化,金刚砂骨料嵌固深度不足时,经赛车轮胎反复磨耗后抗滑值年衰减率较高[7]。此外,传统工艺对施工窗口期要求严苛,铣刨后裸露基面遇雨易引发水损害,而分层养护周期长达7~10天,严重影响赛道运营效率。

3.2. 本工程维修内容与施工工艺

仔细研究本工程不同区域的路面病害,结合一般工艺的长处及短板,施工方确定在本次维修工程将对1号、2号隧道区域采用精铣刨、打磨、抛丸及高耐磨封层四种工艺进行结合处理。通过精铣刨作业消除沉降高差之后再进行打磨,之后通过抛丸的方法来增强表面粗糙度,最后喷涂高耐磨封层以确保耐久性和抗滑性能[8]。

4. 赛道路面维修工艺分析

4.1. 精铣刨

本项目采用了精铣刨工艺,所选精铣刨机铣刨深度在0~30 mm之间,最小铣刨宽度为2 m,配备三维控制系统,配合Topcon三维扫描测量系统进行精准作业。施工流程上,首先通过三维扫描测量病害区域原地面数据,进行数据分析并导入系统建模。接着导入铣刨机找平系统,经铣刨机铣刨鼓校准调零后,在施工区域铣刨行驶路线放样。紧接着在设备位置开始铣刨。完成后,进行现场清扫,使用4 m直尺检测平整度,消除边部直立立面(两侧归零方式),最后完成精铣刨施工[9]。

该工艺完成后,精铣刨工艺通过高精度铣削技术,精准刨离赛道面层凸点,有效保留完好基层结构,减少材料浪费,其铣削面平整密实,可显著提升新旧沥青层结合强度,降低脱层与水损害风险[10]。

4.2. 打磨

本项目采用了两台(用一备一)15 kw功率地坪研磨机进行打磨作业。打磨施工流程为首先冲洗铣刨面水车,在表干后开展整段面研磨施工,紧跟其后进行吸尘,并使用4 m直尺进行过程检测,标记高点区域后开展二次精磨,直至符合要求为止。

在精铣刨后的打磨工艺通过精细研磨铣削面,进一步消除局部微凸体与毛刺,将表面平整度误差优化,同时调控纹理深度,显著提升了行车舒适性与抗滑性能,提高了路面长期耐久性。具体效果如图1所示。

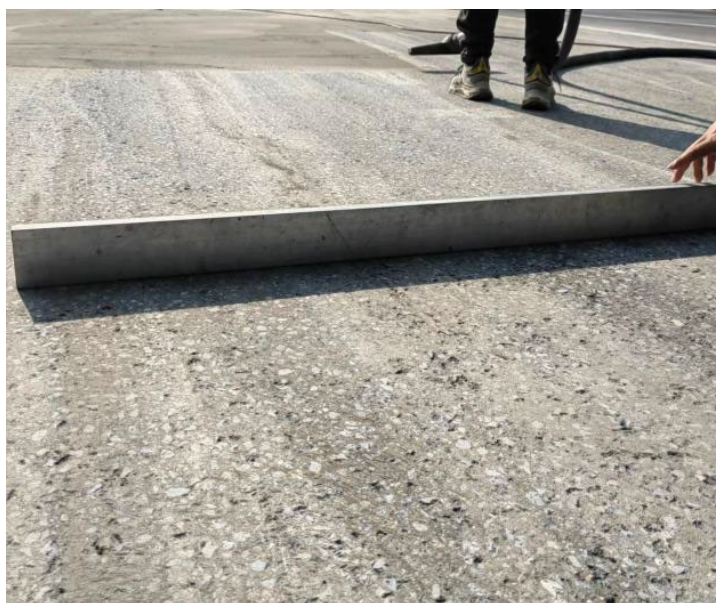


Figure 1. Flatness rendering after polishing

图 1. 打磨后平整度效果图

4.3. 抛丸

本项目中采用的抛丸施工流程为冲洗打磨面水车，选定参数开始抛丸，过程中根据抛丸效果及构造深度实测调整抛丸参数。本次抛丸采用了不同压力及行驶速度或调整抛丸遍数的方式，进行最优化选择，依据 JTG E60-2008《公路路基路面现场测试规程》进行测量，根据现场实际效果确定最终参数及遍数，具体情况如表 1 所示。直至全段面抛丸，并符合构造深度符合要求。

Table 1. Optimization of shot blasting parameters
表 1. 抛丸参数优化

位置	压力	速度	构造深度	备注	测量方法	测量仪器及精度
1 号隧道						
第一道	1500	20			目视评估	-
第二道	1800	15			目视评估	-
第三道(三遍)	2000	12	0.636		旋转激光	ELAtextur 3.0 测量装置/±0.001mm
第四道(第一遍)	2200	8			目视评估	-
第四道(第二遍)	2200	8	0.79		旋转激光	ELAtextur 3.0 测量装置/±0.001mm
第四道(第三遍)	2200	6	1.015	符合要求	旋转激光	ELAtextur 3.0 测量装置/±0.001mm
剩余段落	2200	6		确定参数且抛两遍	目视评估	-
2 号隧道						
第一道第一遍	2200	8	1.146	符合要求	旋转激光	ELAtextur 3.0 测量装置/±0.001mm
剩余段落	2200	8		确定参数且抛一遍	目视评估	-

常规在混凝土桥面或钢桥面抛丸时以增加基面粗糙度来更好地粘结上部结构。而本次抛丸施工直接在沥青表面抛丸来增加打磨后沥青表面粗糙度及摩擦力也是首次。通过抛丸处理彻底清除残留浮浆与杂质，均匀粗化基面，抛丸后的清洁界面显著降低水损害与噪音，从而提升道路耐久性。

4.4. 高耐磨封层

赛道专用超耐磨封层是一种具有高耐久性、高粘附力、高摩擦力、快速开放交通的预防性养护工艺，由高性能环保乳液、特种复合改性胶结料、纳米稳定剂和增强剂、微细级配骨料等组成，通过特种专用施工车辆将混合料快速喷洒于沥青路面表面，可嵌入和渗透到沥青路面空隙中去，填充微空隙，防止路表水下渗，同时微细级配骨料可与原路面构造形成嵌固结构，形成均匀的摩擦面，以提供优异的抗滑能力。超耐磨雾封层材料属于柔性材料，施工完成后表面柔韧性和沥青类似，对路表的硬度没有较大改变。

本项目采用了定制的自动控制高压喷洒车辆，可以保证材料按照用量均匀的喷洒于路表，即凹凸表面所增加的厚度相同，因此并不会减低原路表构造深度。旧路轮胎和石子直接摩擦轮路噪音较大，养护后因路表补充了沥青膜，轮胎和路面的噪音相应的会降低。养护完成后形成了一层强力抗滑膜结构，达到补充表面沥青膜、封闭表面孔隙、固化松散石料、补充表面细微集料、增强路面抗滑性能的目的。

5. 维修后试验测试

维修完成后，施工方对赛道的摩擦系数进行了测试。结果显示，本次针对 1 号、2 号隧道维修所采用的四种工艺结合的方式总体取得了良好的效果，在消除高差的同时也保持了赛道原有的粗糙度及摩擦力，

同时也增加赛道沥青表面的养护，整体上延长了赛道的综合使用寿命。经现场利用 BPN 型摆式仪(精度±1 BPN)，按《公路路基路面现场测试规程》测量后具体数据见表 2。

Table 2. Friction coefficient test after maintenance
表 2. 维修后摩擦系数测试

检测部位	摆式仪 第一次摩擦系数	摆式仪 第二次摩擦系数	摆式仪 第三次摩擦系数	摩擦系数 平均值	测量方法	备注
1#隧道点位 1	56	53	54	54.33	养护 24 小时后 定点检测	两遍高耐磨封层 后检测
1#隧道点位 2	45	44	45	44.67	养护 24 小时后 边缘区域抽检	两遍高耐磨封层 后检测
1#隧道点位 3	58	58	58	58.00	养护 24 小时后 直线段全检	两遍高耐磨封层 后检测
1#隧道点位 4	69	68	66	67.67	异常区域专项 复测	两遍高耐磨封层 后检测
1#隧道点位 5	46	46	45	45.67	养护 24 小时后 定点检测	两遍高耐磨封层 后检测
1#隧道点位 6	59	56	56	57.00	养护 24 小时后 定点检测	两遍高耐磨封层 后检测
2#隧道点位 1	47	47	46	46.67	养护 24 小时后 定点检测	第二天复测
2#隧道点位 2	46	44	43	44.33	养护 24 小时后 定点检测	第二天复测
2#隧道点位 3	54	54	53	53.67	养护 24 小时后 定点检测	第二天复测
2#隧道点位 4	57	59	59	58.33	养护 24 小时后 弯道区域抽检	第二天复测

6. 结论与建议

针对上海国际赛车场赛道老化等问题，通过精铣刨、打磨、抛丸和高耐磨保护封层的优化组合，实现了对赛道路面的高质量维修，可为类似工程提供了技术指导。同时建议对维修区域进行 5 年以上跟踪监测，以此来评估维修后道路的抗老化性能及抛丸工艺的长期粗糙度保持效果。在优化路面维修工艺上，后续可考虑引入 AI 驱动的三维扫描与自动化施工设备，进一步提升铣刨、抛丸等工艺的精度与效率。

基金项目

2024-GS-1-1 F1 赛道更新成套关键技术研究(上海公路桥梁(集团)有限公司 2024 年度科研项目计划)。

参考文献

[1] 胡晓. FSAE 赛车动力参数匹配及电气系统设计[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2018.
[2] 董亚平, 李玮俊. 上海国际赛车场沥青面层平整度控制[J]. 城市道桥与防洪, 2004(5): 102-106+11.
[3] 赖雪锋. 高速公路路面病害形成原因及维修工艺[J]. 中华建设, 2024(6): 135-137.

- [4] 李波. 基于微波加热工艺的沥青路面养护维修及应用效果探讨[J]. 西部交通科技, 2024(11): 68-70.
- [5] 汤雄. 浅谈宁夏沥青路面维修施工平整度控制[J]. 西部交通科技, 2015(10): 26-29.
- [6] 李倩. 沉降段路基路面施工技术在高速公路养护中的应用研究[J]. 运输经理世界, 2025(4): 149-151.
- [7] 陈莉. 基于微波加热的沥青路面车辙维修工艺研究[J]. 技术与市场, 2022, 29(9): 129-131.
- [8] 张永浩. 省道改扩建工程路面技术状况评定及路面维修方案分析[J]. 福建建材, 2020(9): 64-65.
- [9] 黎品贝. 公路沥青路面病害分析及其维修施工工艺[J]. 城市道桥与防洪, 2017(7): 206-208+23.
- [10] 吴发明. 沥青路面铣刨重铺养护方案中铣刨工艺控制[J]. 低碳世界, 2016(26): 207-208.