

汽车试验场特种道路养护管理框架探讨

祁文洋^{1,2}, 王毅³, 王作杰¹

[1. 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092; 2. 上海震旦职业学院有限公司, 上海市 201908;

3. 比亚迪汽车工业有限公司, 广东 深圳 518118]

摘要: 汽车试验场在汽车的研发、生产、销售以及使用等多个环节都发挥着极其关键的作用, 维持汽车试验场特种道路的测试功能稳定是汽车试验场运营的关键。为提升汽车试验场特种道路运维管理水平, 针对特种道路养护管理方法进行探讨。通过梳理汽车试验场发展脉络, 剖析特种道路功能要点, 结合汽车试验需求和特种道路作用特性, 提出了评价指标体系, 构建了基于多种检测技术的养护决策模型, 可实现特种道路路面性能和测试功能的维持与提升, 同时优化资源分配; 基于IT技术, 搭建了数字化、智能化管理系统, 涵盖业务处理、数据分析、资产管理等功能, 结合BIM+GIS技术, 实现了特种道路路面的精细化分类管理。

关键词: 汽车试验场; 特种道路; 养护管理; 评价指标体系; 数字化管理

中图分类号: U416.343; TU997

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2026)04-0325-05

Discussion on Maintenance and Management Framework of Special Roads in Automobile Proving Grounds

QI Wenyang^{1,2}, WANG Yi³, WANG Zuojie¹

[1. Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China; 2. Shanghai Aurora College Co., Ltd.,

Shanghai 201908, China; 3. BYD Automobile Industry Co., Ltd., Shenzhen 518118, China]

Abstract: Automobile proving grounds play a vital role in multiple stages of research and development, production and sale of automobile. Maintaining the stable testing functions of special roads in automobile proving grounds is crucial for the operation of automobile proving grounds. To enhance the operation and maintenance management level of the special roads in the automobile proving grounds, the maintenance management methods of special roads are discussed. By sorting out the development trajectory of automobile proving grounds, the functional essentials of special roads are analyzed. Combined with the automobile testing requirements and the characteristics of special roads, an evaluation indicator system is proposed. A maintenance decision-making model based on various detection technologies is built, which can maintain and enhance the pavement performance and testing functions of special roads, and also optimize the resource allocation. Based on IT technology, a digital and intelligent management system is established to cover the business handling, data analysis and asset management. Combined with BIM + GIS technologies, the refined classification management of special road pavements is achieved.

Keywords: automotive proving grounds; special roads; maintenance management; evaluation index system; digital management

0 引言

汽车试验场是模拟汽车使用中遇到的典型道路条件和环境条件的综合试验场地, 由各种特种道路、连接道路、试验设施和相关配套设施等组成^[1]。在汽车试验场内, 满足汽车试验、测试要求的专用道路

称为特种道路。特种道路是实际存在的各种各样的经过集中、浓缩、不失真的强化并典型化的道路。特种道路的线形、路表形态、结构强度应满足汽车高精度测试的需要^[2]。汽车试验场特种道路主要包括高速环道、动态广场、耐久性试验路(如比利时路、搓板路)、通过性试验路、可靠性试验路、舒适性试验路等类别。其区别于常规公路的显著特征是需维持特定路谱特性(如波长、波深、纹理)以满足汽车强化试验需求。早期建设的设施已出现功能性衰退, 如搓板路波长失真、高速环道平整度超差等问题。传统公路养护规范因缺乏针对性标准, 无法解决特种道路

收稿日期: 2025-06-04

基金项目: 南宁科技局科研项目“新能源智能网联汽车关键测试系统研发及集成”(南科发[2025]11号)

作者简介: 祁文洋(1985—), 男, 博士, 高级工程师, 从事道路交通设计研究工作。

的路谱保真性与加速损耗矛盾,急需建立系统性养护技术体系。

1 汽车试验场概况

1.1 建设发展与养护需求

世界各国汽车试验场的建设和发展已经历了80多年。早在1917年,美国就兴建了世界上第一个汽车试验场——阿伯丁汽车试验场^[3]。汽车试验场建设情况如图1所示。可见,国外试验场的建设起步较早,国内试验场建设起步较晚。近年来,汽车工业的发展正进入快速建设期,目前已建成30多个不同类型的汽车试验场,极大支持了汽车的技术研发。我国汽车试验场覆盖全国多个省份和地区,包括吉林、江苏、海南、北京、重庆、湖北、安徽、黑龙江、内蒙古、青海、新疆、上海、广西、山东、陕西等。其中,一些地区因独特的自然条件成为特定试验场的选址地,如海南的湿热环境适合进行高温、高湿汽车试验^[4];黑龙江黑河及内蒙古牙克石的高寒环境适用于冬季汽车试验^[5];青海格尔木和云南昆明则可用于高原测试等。环境适应性试验场侧重于不同气候条件下汽车的适应能力,常见试验包括车辆启动、行驶性能及系统稳定性等极端低温、高温、高湿等环境下的试验^[6]。

早期建成的汽车试验场经过二三十年的高频碾压与极端工况考验,已陆续进入“性能退化期”:高速环道沥青出现纵向裂缝与车辙,强化坏路混凝土板块断板、错台,转向圆广场平整度超标,制动路面摩擦系数衰减。为把试验安全风险降到最低,这些老场正从“扩建增量”转向“养护存量”,通过对跑道、坡道、特种路面进行周期性维修和预防性养护,以延长使用寿命、保持试验精度,并减少因频繁大修导致的研发排期中断。

1.2 主要路面类型

汽车在试验场中的整车试验需要不同的路面纹理、路形、路表设施,由此需要设置不同类型的路面以实现汽车的不同强度、频率和障碍输入,继而满足汽车通过性、舒适性、可靠性和耐久性等整车各项性能测试需求。汽车试验场特种道路路面主要包括沥青路面、水泥路面、铺砌类路面及安装类路面等^[7](见表1)。

1.3 试验要求

道路试验是汽车开发过程中不可或缺的重要阶段。作为整车耐久性与可靠性评价的有效途径,试

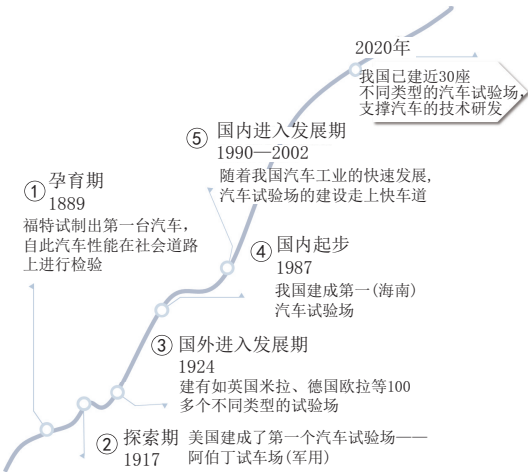


图1 汽车试验场的建设发展脉络示意图

表1 汽车试验场特种道路路面类型

路面类型	试验场特种道路
沥青路面	高速环道、动态广场、多附着系数试验路、标准坡道、噪声试验路、操稳试验路、直线性能路、制动路、补丁路
水泥路面	标准坡道、搓板路、波形路、不规则水泥路、凸块路、台阶路、接缝路、涉水路、溅水池、扭曲路、凹坑路、裂缝路
铺砌类路面	玄武岩路、瓷砖路、比利时路、卵石路
安装类路面	减速带路、井盖路、铁轨路、绳索路

验场整车道路试验贯穿汽车开发的整个阶段。这不仅新车上市前质量评价的最终环节,也是后续质量持续改进和提升的重要依据^[8]。国内外汽车行业进行产品开发的主要依据是道路载荷谱和现代疲劳设计理念^[9]。汽车某项性能的测试方案通常涉及多条道路组合完成。表2为海西试验场轻型卡车耐久性、可靠性试验方案,西海试验场性能路为1 700 m,石块路为70 m,扭曲路为70 m,卵石路为80 m,搓板路为55 m^[10]。可见,汽车试验场特种道路具有较高的使用频次。

表2 汽车试验场特种道路路面类型

序号	路面	里程(循环)	载荷	车速/(km·h ⁻¹)
1	性能路	100 km	空载	60
2	性能路	100 km	满载	60
3	卵石路	2 100圈	满载	35
4	搓板路	2 100圈	满载	45
5	扭曲路	2 100圈	满载	5
6	石块路	2 100圈	满载	35

试验过程中,一旦发生路面的损坏或变形,就会影响汽车试验效果。因此,对特种道路路面的考量应更为严苛,需要在特种道路整个使用期内确保路面纹理、路形的变化在一个较小的范围内,或进行修复。

2 特种道路路面技术状况评定

2.1 评价指标

路面技术状况评价结果通常是路面服役性能预测与修复决策的重要依据,世界诸多国家、地区建立了适用于本地的路面技术状况评价标准体系,并基于此开展道路服役性能评价、维修与养护决策、修复工程设计等研究^[11]。根据《公路技术状况评定标准》(JTG 5210—2018),路面技术状况评定指标为PQI。PQI由路面损坏状况指数PCI、路面行驶质量指数RQI、路面车辙深度指数RDI、路面抗滑性能SRI、路面结构强度指数PSSI等指标构成,评定等级分为优、良、中、次、差五个等级^[12]。然而,汽车试验场特种道路的使用目的及要求与公路存在较大不同,特种道路经过长时间的汽车测试,其使用性能和测试功能将在一定程度上降低,测试功能指标与设计指标、竣工验收指标会存在一定差异,这种差异将对汽车测试效果造成不利影响。据此汽车试验场特种道路应结合汽车试验需求和特点,针对不同类型特种道路的作用特性分别建立相应评价指标和标准,注重路面提供测试功能的维持情况。图2为综合考虑路面性能与测试功能的评价指标体系。

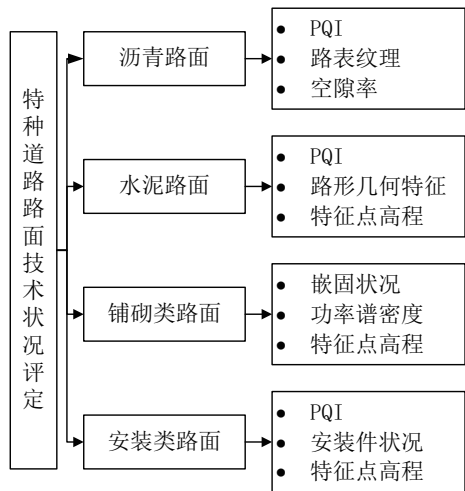


图2 汽车试验场特种道路路面技术状况评价指标

2.2 检测方法

路面损坏的检测可采用视频技术、二维成像技术和三维扫描技术相结合的方法。对于制动路、动态广场等对路面附着性要求较高的特种道路,设置非接触式传感器采集路面状态信息;对于重载车辆测试道路,埋置分布式光纤实时监测路面结构性能^[13]。

2.3 养护决策

特种道路路面养护决策是特种道路管理的关键环节,需通过科学方法和技术手段实现路面性能和测试的维持与提升,优化资源分配。建立全要素基础数据库,涵盖路面基础信息、路况数据、测试车辆交通量等多维度信息,运用数据分析技术进行精准评估与预测。构建科学的决策模型,如养护方案费用分析模型、决策树模型、资金优先排序模型等,采用线性规划、进化算法等优化方法,对养护策略进行多目标、多层次的决策优化。

特种道路路面养护决策模型的核心为路面性能和测试功能衰变的预测。路面衰变模型包括力学模型、基于确定性方法的预测模型、基于不确定方法的预测模型、模糊数学模型等^[14],详见表3。汽车测试行驶工况与公路存在较大差异,尚待汽车测试过程中路面性能和测试功能数据的累积和分析,选择适合的模型组合,提升特种道路路面性能和测试功能衰变的预测精度,继而为养护决策模型提供可靠的数据底座。

表3 路面性能预测模型类别

模型类别		模型原理
力学模型		基于力学分析预测
确定性预测模型	回归模型	基于大数据回归分析预测
	灰色理论模型	对局部信息进行推导预测
	时间序列模型	对时间序列数据分析预测
不确定性预测模型	机器学习模型	计算机学习数据规律预测
	贝叶斯模型	先验信息处理模型信息和数据信息
	马尔科夫模型	依据事物现状,预测状态概率
	模糊数学模型	利用隶属函数描述性能不确定性

3 特种道路路面养护管理平台

3.1 系统功能

智能化养护管理技术的兴起,得益于信息技术的飞速发展,特别是大数据、物联网和人工智能的广泛应用为路面状况的实时监测、病害预测、养护决策提供了有效工具,使养护工作从经验导向转为数据驱动,从被动反应转为主动预防^[15]。试验场特种道路路面宜进行全链条数字化养护管理,即借助“云、大、物、移、智”等技术,进行精细化管理、精准化养护,实现对道路全过程、全要素数字化、智能化、主动式和预防性管理。汽车试验场特种道路路面养护管理系统包括业务处理、数据分析、资产管理、系统设置四项主要功能,如图3所示。

业务处理实现了养护任务的分配、跟踪和反馈

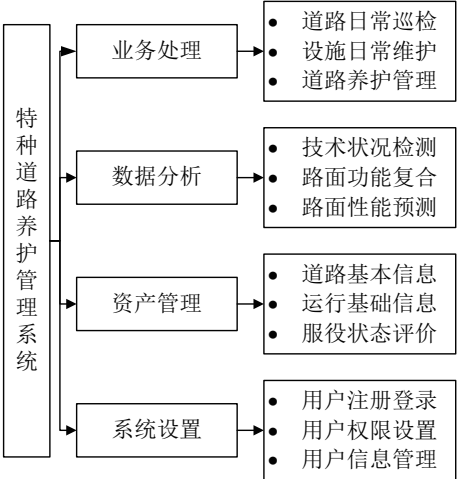


图3 汽车试验场特种道路养护管理系统功能架构

功能。管理人员可以在平台上创建养护任务,分配给相应的养护作业人员,并设定任务的优先级和完成时间。养护作业人员接收任务后,通过平台记录养护作业的进展情况和完成情况,上传相关的作业照片和数据。管理人员可以实时跟踪任务的执行状态,对已完成的任务进行审核和评价,确保养护工作的质量和效率。

对路面检测数据、交通流量数据、养护历史数据等进行深度挖掘和分析,生成各种统计报表和趋势图表,如路面病害类型分布图、病害发展趋势图、养护费用统计表等,为养护决策提供数据支持。通过数据分析,还可以预测路面性能的变化趋势,提前制定养护计划,实现预防性养护。

基于BIM+GIS的可视化技术^[16],实现特种道路资产的精细化管理。记录每条特种道路的基本信息、建设时间、设计参数、材料信息等资产数据,并与BIM模型和GIS地理位置相对应。通过平台可以方便地查询和管理道路资产,了解资产的使用状况和剩余寿命,为资产的更新和报废提供决策依据。提供用户权限管理、数据字典配置、系统参数设置等功能。管理员可以通过系统设置模块,对不同用户角色分配相应的权限,确保数据的安全性和操作的规范性。同时,可以对平台中使用的数据字典进行维护和更新,如病害类型字典、养护措施字典等,以适应不同的业务需求。

系统设置模块提供用户权限管理、数据字典配置、系统参数设置等功能。管理员可以通过系统设置模块,对不同用户角色分配相应的权限,确保数据的安全性和操作的规范性。同时,可以对平台中使用的数据字典进行维护和更新,如病害类型字典、养护措施字典等,以适应不同的业务需求。

具体实施路径包括:利用无人机倾斜摄影测量技术和地面激光扫描技术,获取高精度的道路几何数据和纹理数据。同时,收集道路的设计图纸、施工记录、材料信息等资料,为BIM模型的建立提供基础数据支持。将采集到的数据进行处理和建模,生成包含道路几何形状、材料属性、病害信息等多维度数据的BIM模型。通过GIS技术实现模型的地理定位和空间分析功能,将BIM模型与实际地理位置相结合,方便用户在地图上直观地查看特种道路的分布和状况。将路面检测数据、养护历史记录、交通流量数据等与BIM模型中的相应元素进行关联,使模型不仅具备几何和外观信息,还能反映道路的性能指标、病害情况、养护需求等详细信息。例如,将路面平整度检测数据与BIM模型中的道路路段关联,用户在查看模型时就能直接获取该路段的平整度指标值。

通过开发可视化界面,将BIM模型和GIS数据进行整合展示。用户可以在三维视图中浏览特种道路的整体情况,也可以在地图上查看特定区域的道路分布和详细信息。同时,利用热力图等可视化手段展示路面病害的分布和严重程度,帮助养护人员快速识别需要重点关注和处理的路段。图4为某大型汽车试验场BIM三维模型总平面图。

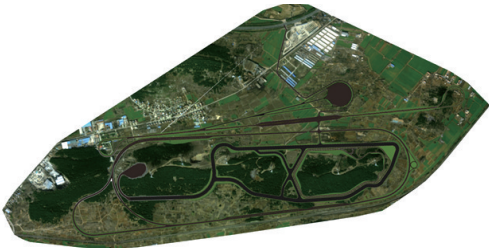


图4 汽车试验场三维模型总平面图

3.2 平台设计

特种道路路面养护管理系统的技术底座包括访问层、前端、数据协议、后端及数据库,实现管理层数字搭建(见图5)。

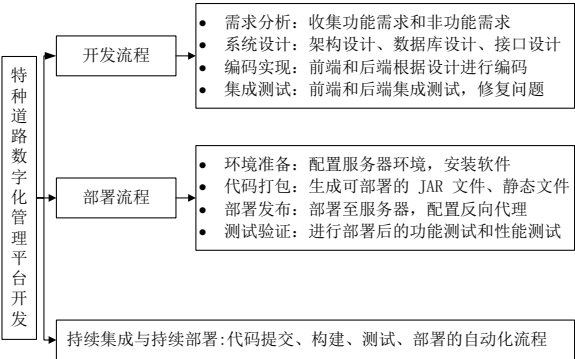


图5 汽车试验场特种道路养护管理平台开发流程

3.2.1 前后端分离架构

前端负责用户界面展示和交互,使用Vue.js和Element UI框架构建,部署在Nginx服务器上。后端负责业务逻辑处理和数据管理,采用Spring Boot框架,部署在Tomcat服务器上。前后端通过RESTful API进行通信,确保系统的高内聚低耦合,便于开发、调试和扩展。

3.2.2 微服务架构

将系统功能模块化,划分为用户管理、项目管理、环境管理、用例管理、任务调度、报告生成等微服务。每个微服务独立开发、部署和扩展,降低系统复杂度,提高开发效率和系统的可维护性。

3.2.3 数据持久化层

采用MyBatis框架,使用连接池管理数据库连接,提高数据库操作性能。数据库选择MySQL,存储项目、用例、环境、报告等数据。

3.2.4 消息队列

引入RabbitMQ消息队列,用于异步处理任务,如用例执行结果的回调、报告生成通知等,提高系统响应速度和并发处理能力。

3.2.5 缓存机制

使用Redis缓存数据库查询结果、用户登录态等数据,减少数据库访问压力,提升系统性能。

4 结 语

本文针对汽车试验场特种道路的养护管理问题进行了探讨,通过对汽车试验场特种道路的使用需求和特点进行分析,发现其与常规公路存在显著差异,主要体现在维持特定纹理及路谱特性以满足汽车试验需求上。针对特种道路特点,提出养护管理方法如下。

(1)结合汽车试验需求和特种道路作用特性建立评价指标体系,借助“云、大、物、移、智”等技术,实现对道路全过程、全要素的数字化、智能化、主动式和预防性管理。

(2)构建养护管理系统功能,涵盖业务处理、数据分析、资产管理、系统设置等。其中,资产管理采用BIM+GIS的可视化技术,实现特种道路资产的精细化管理。

(3)平台设计采用前后端分离架构,后端采用Spring Boot框架,数据库采用Mysql,以实现管理层数字搭建。

随着汽车试验技术的不断发展,以及大数据、人工智能等前沿技术的进一步应用,汽车试验场特种道路养护管理将更加精细化、智能化,为汽车工业研发与测试提供更可靠的基础设施保障。

后续将进一步深入研究特种道路的养护管理技术,结合实际工程案例,不断完善评价指标体系和养护决策模型。同时,加强对养护管理平台的开发和应用,拓展平台的功能模块。

参考文献:

- [1] 杨瑞峰.汽车试验场概述[J].轮胎工业,2008,28(12):757-766.
- [2] 顾伟.汽车试验场综合耐久路防护设计研究[J].时代汽车,2021(16):26-27;63.
- [3] 李运胜.论汽车试验场的建设与发展[J].公路交通科技,2000(6):5-9.
- [4] 何俊南,王雪颖,吴昊,等.高温地区整车环境适应性试验分析[J].汽车实用技术,2021,46(19):85-88.
- [5] 何俊南,陈颖,苟丽娟,等.寒区汽车试验场:道路类型、地理分布和发展趋势[J].时代汽车,2020(7):33-34;37.
- [6] 刘荣伟,黎汶位.汽车试验场环境条件对车辆可靠性试验结果的影响分析[J].时代汽车,2025(6):163-165.
- [7] T/CECS G:T10—2018 汽车试验场特种道路设计与施工技术规范[S].
- [8] 郑松林,代磊,赵礼辉,等.基于载荷频率的用户道路与试验场车辆部件损伤关联模型研究[J].机械强度,2018,40(5):1177-1182.
- [9] 李洪涛,顾振飞,叶沛,等.试验场整车结构耐久性评价等效方法研究[J].汽车工程学报,2020,10(5):326-334.
- [10] 郭斌.某汽车厂内试验场轻卡可靠性路试规范的制定[J].机电技术,2024(1):117-120.
- [11] 董是,徐琢,王建伟,等.中、日、美、加沥青路面技术状况评价标准比较与对接研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2023,42(2):44-51.
- [12] JTG 5210—2018 公路技术状况评定标准[S].
- [13] 吴忠胜,任宁,王楠.基于分布式光纤传感技术的道路监测系统[J].电信快报,2024(6):7-10.
- [14] 王宇强,王亚欣,李强.高速公路路面使用性能预测模型研究综述[C]//中国公路学会养护与管理分会第十三届学术年会论文集.中国公路学会养护与管理分会、重庆高速公路集团有限公司、招商局重庆交通科研设计院有限公司,中国公路学会养护与管理分会,2024:20-28.
- [15] 张明浩.沥青路面智能化养护管理技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025(12):172-174.
- [16] 李毅.基于BIM与WebGL的路面表里全域病害可视化研究[D].西安:长安大学,2023.