

文章编号: 1005-8451 (2018) 05-0028-06

高速铁路轮轨关系综合信息管理系统 设计与应用

侯茂锐^{1, 2}, 方 兴³, 胡晓依^{1, 2}, 成 棣^{1, 2}

(1.中国铁道科学研究院集团有限公司 铁道科学技术研究发展中心, 北京 100081;

2.中国铁道科学研究院集团有限公司 高速轮轨关系试验室, 北京 100081;

3.中国铁道科学研究院集团有限公司 科技管理部, 北京 100081)

摘要: 高速铁路轮轨关系研究涉及学科范围较广、试验数据繁杂, 通常需要不同单位的大量试验人员协作完成, 深入分析和综合利用这些海量试验数据和仿真数据, 对轮轨关系研究至关重要。文章详细描述采用B/S构架程序开发的高速铁路轮轨关系综合信息管理系统, 该系统可以实现对现场试验、仿真实验和实验室试验的流程管理, 具有数据上传、审核、下载与共享等功能, 并具备数据的展示分析功能, 可实现轨道、车辆系统中轮轨试验数据的对应统一, 对于促进轮轨关系数据管理的规范化、统一化以及数据的共享开放具有重要意义。目前, 此系统已在多个主机厂得到应用, 验证了系统功能的可行性和稳定性。

关键词: 高速铁路; 轮轨关系; 数据管理; 信息系统

中图分类号: U238 : U211.5 : TP39 **文献标识码:** A

Wheel-rail interface comprehensive information system for high-speed railway

HOU Maorui^{1,2}, FANG Xing³, HU Xiaoyi^{1,2}, CHENG Di^{1,2}

(1. Railway Science and Technology Research and Development Center, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing 100081, China;

2. National Engineering Laboratory for System Test of High Speed Railway, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing 100081, China;

3. Department of Technology Management, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing 100081, China)

Abstract: The wheel-rail interface of high-speed railway in China involves a wide range of subjects, usually includes mass experimental data and simulation data coming from different personnel in units, so deep analysis and comprehensive utilization to these data are very important to research the wheel-rail interface. Based on the B/S architecture, the high-speed railway wheel-rail interface comprehensive information system was developed. The system was with the functions such as data upload, checked, download, shared, etc., could manage the process of field test, simulation test and laboratory test, unify the track and vehicle data. It has important significance for the wheel-rail interface data standardization, unification and sharing. At present, this system is applied in many host plants, the feasibility and stability of the system function are verified.

Keywords: high-speed railway; wheel-rail interface; data management; information system

高速铁路轮轨关系研究涉及学科范围较广、参加单位诸多、试验数据繁杂等, 通常需要不同单位的大量试验人员协作完成, 其中, 涉及大量的仪器设备、试验资源、试验数据等。随着高速铁路轮轨关系中轮轨对应、车地对应、时空对应的系统试验不断深入,

收稿日期: 2017-11-14

基金项目: 中国铁路总公司科技研究开发计划(J2016G006); 中国铁道科学研究院集团有限公司行业服务技术创新项目(2016YJ140)。

作者简介: 侯茂锐, 助理研究员; 方 兴, 研究员。

试验数据急剧膨胀。这些巨大的试验数据是进行轮轨关系研究的基本数据支撑, 是改善优化轮轨关系问题的重要参考, 是中国铁路的宝贵知识财富。借鉴大数据管理思想进行轮轨关系试验数据管理, 探索数据分析及共享模式, 不仅有利于促进数据资源共享, 更有助于保障铁路行车安全, 提升铁路服务水平, 增加铁路企业的经济效益^[1]。

为了提高生产和维修管理效率, 国内的航空、

汽车行业较早应用了数据管理系统^[2-4]，铁路部门也开发了各式各样的数据管理系统^[5-7]，但缺少如美国TTCI开发的用于重载铁路的轮轨关系管理系统^[8]。高速铁路轮轨关系研究在试验数据信息管理方面存在以下问题：

- (1) 轮轨关系中涉及轨道系统和车辆系统的部分试验数据分别存储在工务巡检数据管理系统和动车组管理信息系统中，但各系统基本是独立运行，交叉协作较少。
- (2) 试验数据通常分别存储在个人计算机、仪器设备、移动硬盘等存储介质中。
- (3) 由于试验数据存储没有遵循统一的数据格式及命名规范，历史试验数据和试验报告难以实现重复使用，导致大量重复试验和分析，同时给试验数据共享和试验数据安全控制带来很大困难。
- (4) 试验数据分析方法不统一，数据分析效率较低。

为了避免以上问题，本文提出设计高速铁路轮轨关系综合信息管理系统。

1 系统设计原则及建设目标

1.1 设计原则

系统从安全性、稳定性、可扩展性等方面进行研究，以局域网和互联网的模式，对试验过程产生的数据进行管理，实现现有生产管理系统中涉及的轮轨关系相关信息的导入，可为高速铁路轮轨关系试验过程管理提供系统性信息化服务，为轮轨关系研究构建统一的数据管理系统，实现试验过程的有序管控，为相关研究人员提供数据可视化分析手段，提高数据分析效率。

1.2 建设目标

- (1) 可进行现场试验、实验室试验和仿真试验的流程管理，实现试验过程的动态化标准管理；(2) 实现试验数据的结构化存储，确保数据的安全性和可靠性；(3) 整合轮轨关系涉及的综合信息，将涉及的车辆和轨道的相关维修、故障信息进行汇集；(4) 提供便携的数据信息查询、下载功能，实现数据的共享开放；(5) 实现数据的可视化，可对试验数据的基本变化特征进行分析，并按照模板自动生成分

析报告。

2 系统设计

2.1 网络拓扑结构

为了便于不同单位的研究人员登录系统进行试验管理与数据应用研究，高速铁路轮轨关系数据管理系统采用基于浏览器的B/S架构，可以根据人员的不同角色赋予不同的权限，确保系统中的所有试验数据安全可靠。

系统网络拓扑结构如图1所示。数据库服务器由两个节点组成，一个节点主用，一个为备用；应用服务器为一个节点；文件服务器为一个节点。通过以太网将服务器与用户相连接。

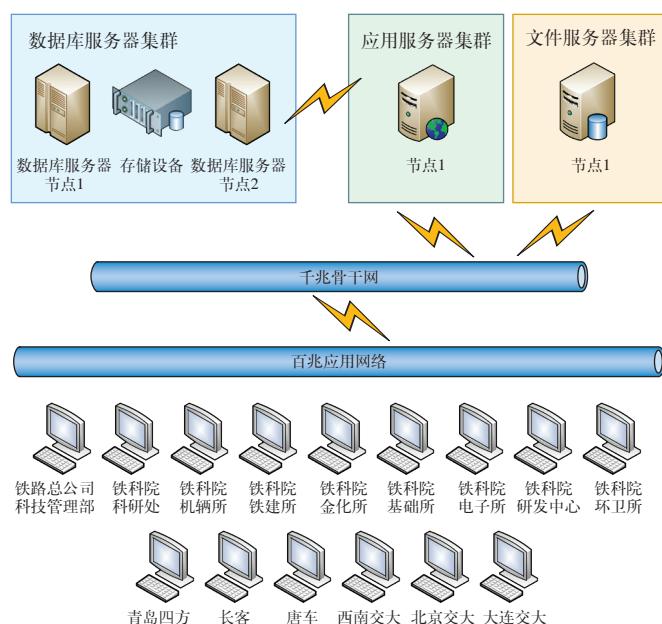


图1 网络拓扑结构

2.2 系统总体架构

系统总体构架如图2所示，主要包括IT基础设施、数据来源、数据基础层、业务执行层和决策支持层。

3 总体技术路线

总体技术路线流程图，如图3所示。从试验总体计划编制开始，经过任务登记、任务接收、数据上传、数据审核、数据结构化、数据查询、数据可视化、生成报告等环节，实现从试验过程管理到决策分析的全覆盖。

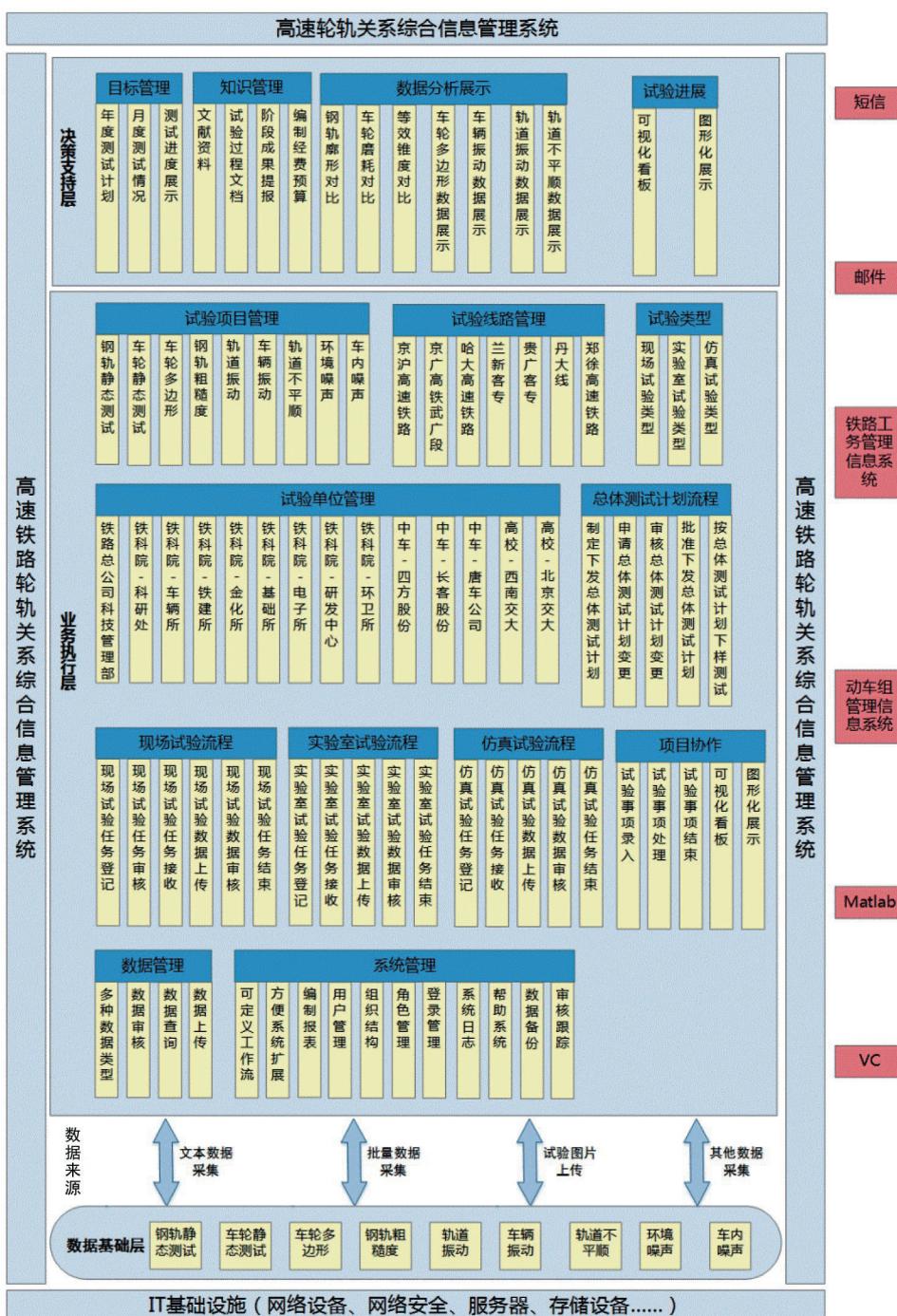


图2 系统总体架构

4 功能应用

4.1 试验流程管理

针对现场试验、实验室试验和仿真试验的特点及要求编制总体试验计划方案，系统按照总体计划下发试验任务，逐级执行。总体计划可以逐条进行添加，也可将 Excel 中的计划列表导入。仿真试验管理中，添加仿真任务时不仅可对试验单位、部门和

人员进行安排，也可与现场试验的工况条件进行关联，比如将线路的平纵断面信息、钢轨廓形、车轮踏面、轨道不平顺等信息添加到仿真任务中。

系统对试验的完成情况在主界面进行显示，如有延迟或异常则显示为红颜色，并可按月或按年对试验的完成情况进行统计，如图 4 所示。

4.2 数据存储管理

目前，系统对京沪、武广、哈大、兰新、贵广、丹大等 6 条高速铁路的现场试验数据进行管理。数据存储可分为两大类：(1) 按照试验流程管理进行的数据存储；(2) 对未按照流程进行管理的试验数据，可以按照历史数据上传的方式进行存储。系统的主界面显示了试验线路，每条线上分别设有红色和蓝色两个旗子，点击红色旗子可显示该线路的基本信息，包括线路钢轨材质、钢轨廓形、轨道板型式等信息，点击蓝色旗子可显示该线路目前系统存储的所有数据。

4.3 数据可视化

对钢轨廓形、车轮廓形、车轮多边形、钢轨粗糙度、轨道不平顺、轨道振动和车辆振动等试验数据提供了可视化分析工具，除钢轨廓形分析算法采用 VC++ 编写外，其它分析算法均采用 MATLAB 编写。

4.3.1 钢轨廓形

通过系统接口调用 VC++ 进行钢轨实测廓形的磨耗分析^[9]，可对多次测试廓形数据进行对比，可以设置不同的廓形作为基准廓形，对测试的钢轨廓形数据进行自动对中等处理，然后计算分析钢轨垂直磨量、

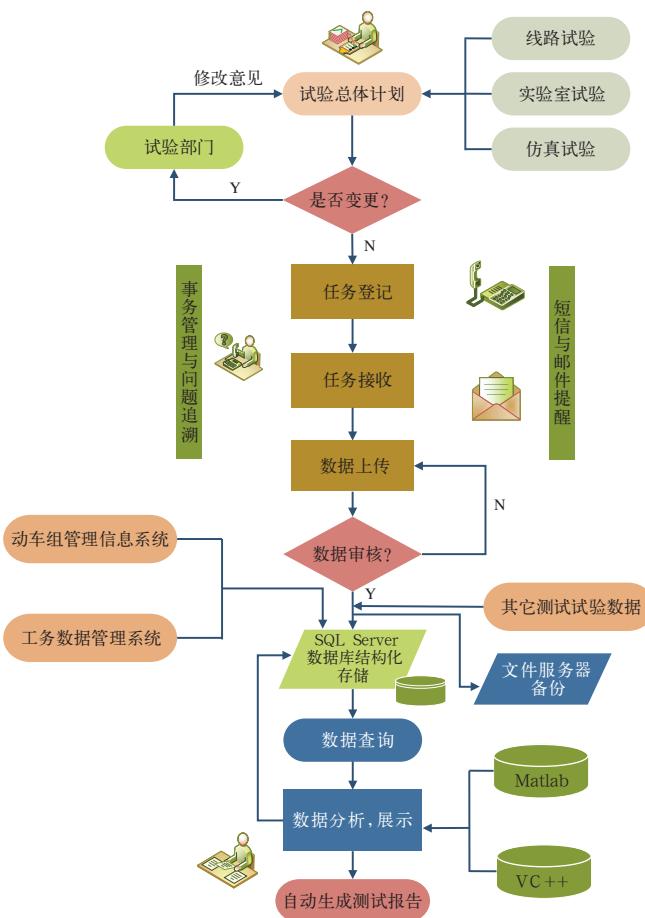


图3 总体技术路线流程图



图4 试验完成情况统计表

侧磨磨耗及磨耗面积，并可将对齐后的钢轨廓形输出存储。钢轨廓形数据分析示意图，如图 5 所示。

4.3.2 车轮廓形

通过系统接口调用 MATLAB 进行车轮磨耗分析，对于单个车轮的踏面廓形数据，可分析踏面磨耗量、轮缘磨耗量、踏面最大磨耗量及磨耗位置^[10]。为了进行轮轨接触几何关系分析，对测试廓形数据进行了光滑化、数值插值等数值分析，可实现轮轨

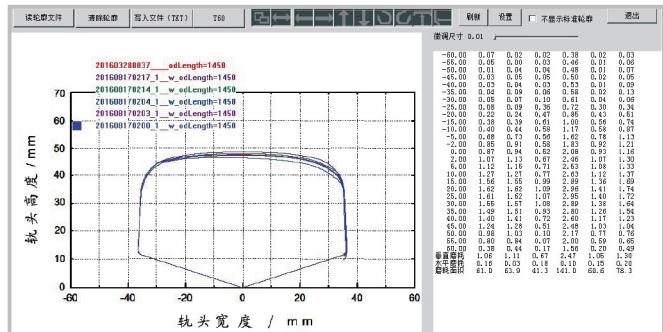


图5 钢轨廓形数据分析示意图

等效锥度、轮轨接触点分布的计算分析。对于测试整列车的多个车轮廓形数据，可按照定义的模板自动生成测试分析报告，所有测试车轮的磨耗情况和轮轨接触几何关系均在测试报告中进行了展示分析。车轮磨耗分析示意图，如图 6 所示。

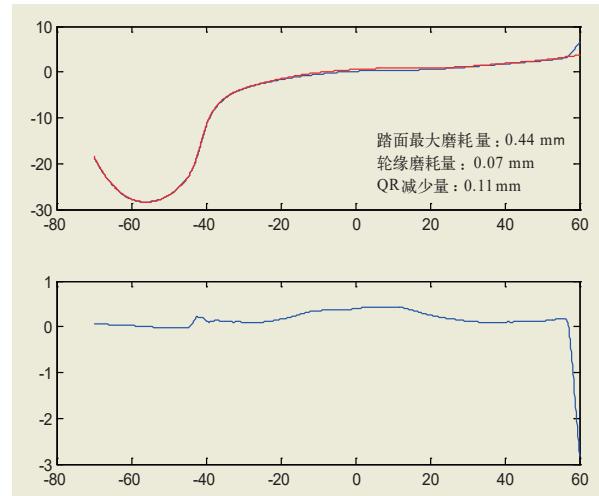


图6 车轮磨耗分析示意图

4.3.3 车轮多边形

对于单个车轮的多边形数据，可对车轮多边形的阶次、径跳等特征参数进行分析^[11]。对于一列车的多个车轮多边形数据，可按照定义的模板自动生成测试分析报告。车轮多边形数据分析示意图，如图 7 所示。

4.3.4 钢轨粗糙度

通过分析钢轨粗糙度数据的幅值谱、阶次谱和空间谱，对钢轨波磨的波长、响应频率等特征进行分析，用户可根据不同需求对数据分析长度、车辆运行速度等参数进行设置。钢轨粗糙度数据分析示意图，如图 8 所示。

4.3.5 轨道不平顺

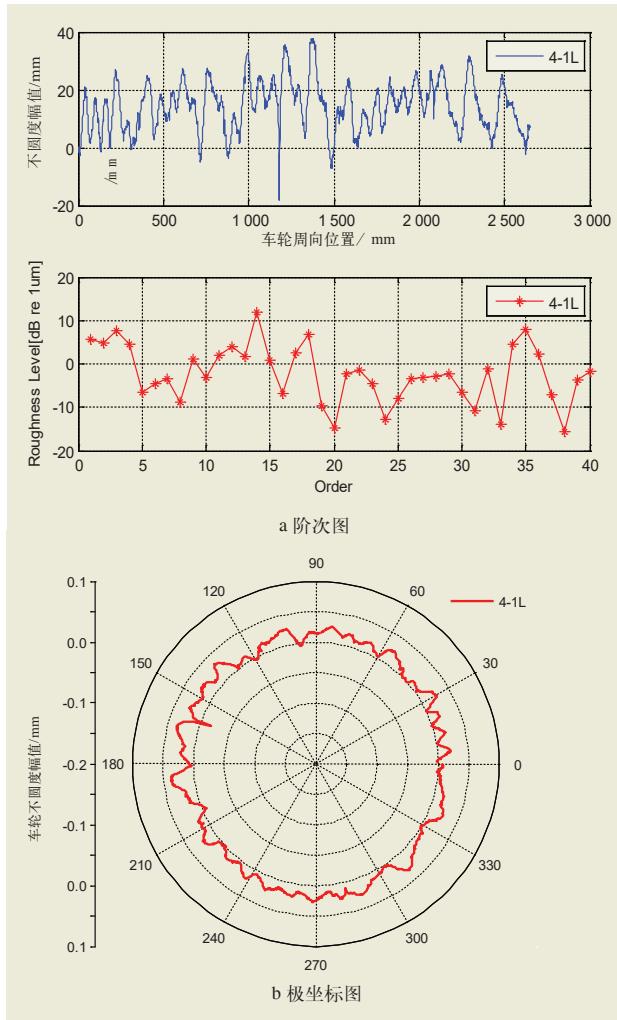


图7 车轮多边形数据分析示意图

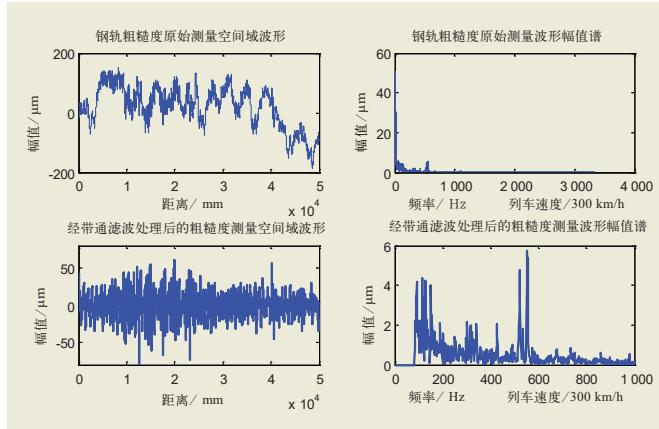


图8 钢轨粗糙度数据分析示意图

可对高低、轨向、轨距、三角坑等轨道几何偏差数据分别在时域和频域进行分析，对轨道不平顺的幅值、特征波长等特征进行分析。轨道不平顺数据分析示意图，如图 9 所示。

4.3.6 轨道振动

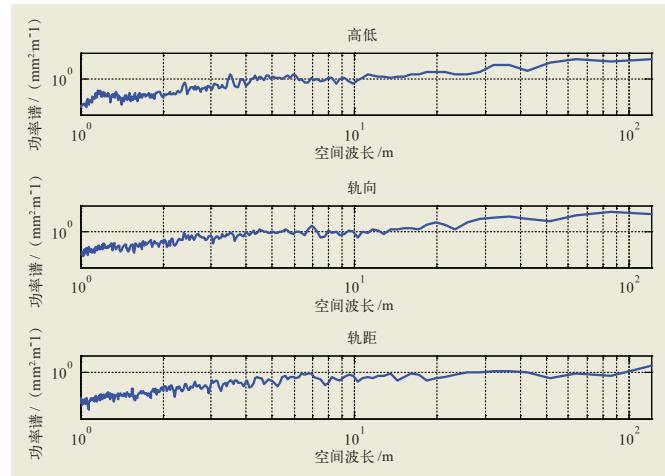


图9 轨道不平顺数据分析示意图

可对轨道、轨道板及弹条的振动加速度分别在时域和频域进行展示，分析振动加速度的幅值、特征频率等。轨道振动加速度时频域分析示意图，如图 10 所示。

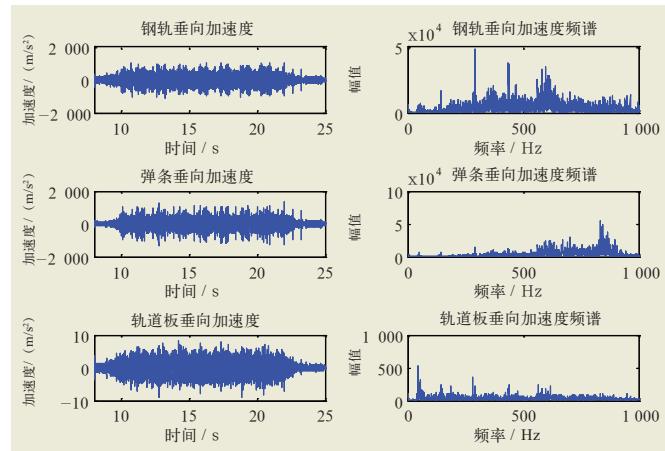


图10 轨道振动加速度时频域分析示意图

4.3.7 车辆振动

可对轴箱、构架及车体的振动加速度分别在时域和频域进行展示，分析振动加速度的幅值、特征频率及振动传递等。

4.4 数据交汇

通过定义标准的 Excel 模板格式，可将动车组管理信息系统中与轮轨关系相关的车轮镟修信息、运用信息、故障信息、配属等信息导入系统，也可将工务数据管理系统中的轨道不平顺数据导入。下一步将考虑接入钢轨打磨的相关管理信息，实现轮轨关系相关的综合信息最大程度的交汇。

4.5 基础信息维护

用户可以根据需求点击基础信息维护中的“添加”命令，将可进行试验线路、测点/车号、单位、研究方向等信息的维护，使得系统具有较强的可扩展性。

4.6 接口管理

使用 SSL 结构化语言编写了手机短信、邮件、MATLAB、VC++ 和系统的接口，试验过程的关键节点可通过短信、邮件进行提醒，时通知相关人员，避免试验人员处理试验任务不及时等情况。

5 结束语

高速铁路轮轨关系综合信息管理系统，对数据信息进行了标准化和归一化处理，并进行了结构化存储，确保了试验数据的安全可靠和对应统一，可实现高速铁路轮轨关系试验过程的动态化标准化管理，有利于试验的顺利推进；该系统提供了多种数据分析算法和标准化的分析程序，可对轮轨匹配状态进行可视化，并自动生成数据分析报告，提高了数据分析效率和准确率，避免了重复工作和人力浪费；通过将高速铁路轮轨关系服役过程中涉及的轨道、车辆信息汇集于同一个专业信息管理系统，为深入研究轮轨关系提供了重要手段，对于研究整个寿命周期内车轮和钢轨的匹配关系具有重要意义。目前，此系统已在多个主机厂得到应用，验证了系统功能的可行性和稳定性。

参考文献：

- [1] 史天运, 刘军, 李平, 等. 铁路大数据平台总体方案及关键技术研究 [J]. 铁路计算机应用, 2016, 25 (9) : 1-6.
- [2] 丁力, 安海军. 试验数据管理系统的需求与实现 [J]. 航空技术, 2010, 40 (3) : 96-98.
- [3] 李沛然, 邓兆祥, 叶常景. 汽车 NVH 试验数据管理系统关键技术研究 [J]. 振动与冲击, 2010, 29 (2) : 163-166.
- [4] 王素丽, 牛建强, 宋铭利, 等. TDM: 工程数据管理平台 [J]. 计算机工程与设计, 2008, 29 (22) : 5881-5883.
- [5] 史天运, 孙鹏. 动车组管理信息系统的建设与发展 [J]. 铁路计算机应用, 2013, 22 (1) : 1-9.
- [6] 梁策, 王荣波, 王辉麟. CRTSIII型无砟轨道板生产管理信息系统设计与实现 [J]. 铁路计算机应用, 2016, 25 (1) : 35-39.
- [7] 蒋荟, 喻冰春, 赵颖, 等. 车辆运行品质轨边动态监测系统优化及深化应用设计 [J]. 铁路计算机应用, 2016, 25 (3) : 4-7.
- [8] WU H, SALAY S, TOURNAY H. Development of the Wheel—Rail Interface Management Model and Its Applications in Heavy Haul Operations[J]. Proceedings of IMechE Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 2010, Vol. 225:39-47.
- [9] 刘丰收. 高速铁路钢轨磨耗的跟踪研究 [J]. 铁道建筑, 2016 (11) : 120-123.
- [10] 苟立波. 基于数据库的高速动车组车轮磨耗跟踪研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2011.
- [11] Nielsen J, Johansson A. Out-of-round railway wheels—a literature survey[J]. Proceedings of IMechE Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. 2000, Vol 214: 79-91.

责任编辑 徐侃春

