



编者按

中国高铁经过持续创新, 实现了跨越式发展, 取得了举世瞩目的成就. 目前我国高铁营运里程超过 3.5 万公里, 稳居世界第一, 高速动车组保有量超过 3000 组, 占世界一半以上. 快速客运网基本覆盖中国各省市及 50 万以上人口城市. 高速铁路的发展, 有力带动了沿线经济社会发展, 带动了相关产业转型升级, 带动了城市群的崛起, 在促进国民经济高效健康发展、改善人民生活水平方面发挥了重要作用.

高速列车作为高铁装备中的核心环节, 其安全运行是高铁运营的首要问题, 任何故障或安全隐患若不能实时诊断并得到正确处理, 都有可能引发连锁事故, 甚或导致灾难性后果. 高速列车信息控制系统包括列车网络系统、牵引传动控制系统、制动控制系统和列车运行控制系统等, 是保证高速列车安全运行的关键. 先进的故障诊断技术是保证列车信息控制系统可靠工作的核心技术. 目前高速列车虽已采用了诸多安全技术体系和超限报警等故障诊断措施, 并可有效保证列车安全运行, 但某些机理复杂的微小和复合故障还不能做到实时自动检测和诊断, 有时需要临时停车并由系统维护人员进行检查和维护. 列车信息控制系统在复杂环境下长期运行所面临的间歇、微小与复合等故障的实时准确诊断问题依然是从理论到实践还没有得到有效解决的国际难题.

针对高速列车信息控制系统实时故障诊断这一国家重大需求, 国家自然科学基金委于 2014 年设立了此方向的重大项目. 经过申请, 国家基金委批准此项目由清华大学牵头, 清华大学、东北大学、南京航空航天大学、北京交通大学、中南大学五家单位共同承担. 中车株洲电力机车研究所有限公司(中车株洲所)与中车青岛四方车辆研究所有限公司(中车四方所)两个业界一线企业为协作单位, 提供应用验证条件. 在项目研究中, 各单位对信息控制系统的子系统各有侧重, 清华大学侧重制动控制系统、东北大学侧重列车网络、南京航空航天大学侧重牵引变流系统、北京交通大学侧重列车运行控制系统、中南大学侧重系统实验平台的研发.

经过五年多的努力, 各单位围绕项目课题任务, 在理论与方法上均取得了重要进展. 如针对高速列车信息控制系统, 系统性研究了动态系统微小、间歇、复合故障的诊断问题, 分别给出了故障可诊断的充分条件, 引领了该方向发展, 具有原创性. 针对高速列车信息控制系统, 开展了闭环结构下的故障传播机理分析, 系统性研究了闭环系统故障诊断问题及其可诊断性理论, 发表了最早的 SCI 理论文章. 研发了国内首个“高速列车信息控制系统实时故障诊断测试与验证半实物仿真平台”, 填补了国内故障诊断方法难以实际测试、验证的空白. 研究成果在半实物仿真平台、中车株洲所车载试验验证系统、中车四方所制动系统 1:1 试验台上进行了大量测试, 验证了间歇、微小、复合故障诊断的可行性. 主要理论成果在国际顶级学术刊物上发表并产生重要国际影响, 获得国家奖三项, 培养了一批从事高速列车信息控制系统实时故障诊断研究的高水平人才.

为了更好地将高速列车信息控制系统实时故障诊断的最新成果介绍给读者, 《中国科学: 信息科学》组织出版了“高速列车信息控制系统实时故障诊断技术专题”, 经过高质量、高效率的同行评议,

引用格式: 周东华, 何潇. 高速列车信息控制系统实时故障诊断技术专题编者按. 中国科学: 信息科学, 2020, 50: 463-464, doi: 10.1360/SSI-2020-0057

本专题共录用了 5 篇学术论文, 均来自于承担上述国家自然科学基金重大项目课题的五家高校, 展示了我国学者在高速列车信息控制系统实时故障诊断理论、技术、应用等方面的最新研究现状和创新成果。

中南大学项目组围绕面向实时仿真高速列车信息控制系统的故障注入问题进行了研究。通过总结对比故障注入方法及其实现技术的研究现状, 分析了面向实时仿真高速列车信息控制系统故障注入存在的问题, 并针对这些问题从故障注入方法和实现技术两方面给出了若干解决方案。基于所提出的解决方案构建了高速列车信息控制系统故障测试与验证实时仿真平台, 用以测试和验证先进的故障诊断算法。结合现有研究中存在的不足和对更为复杂的故障场景安全、逼真模拟的需要, 指出了高速列车信息控制系统故障注入未来的研究趋势。

清华大学项目组与中车四方所制动部工程师合作, 研究了高速列车制动系统中微小故障的有效检测问题。针对高速列车制动系统中的 EP 阀微小漏气故障问题, 提出了一种面向该系统且可支持数据驱动故障诊断流程的故障诊断架构。在该架构基础上, 针对故障特点, 搭建了远程故障诊断系统, 并提出了基于全局边际判别分析的故障检测方法。通过在中车四方所的高速列车制动试验平台上注入两种等级的微小漏气故障, 对所设计的故障诊断架构和算法进行了有效验证, 从而提高了高速列车制动系统的可靠性, 保证列车安全平稳运行。

南京航空航天大学项目组从数据驱动的角度研究了高速列车牵引系统的最优故障诊断问题。在牵引系统中, 利用传感器数据构建了系统模型, 根据牵引系统数据间的相关性, 定义数据驱动形式的残差用于监控动态牵引系统的运行状态。通过改进支持向量机, 研究了最优的数据驱动故障诊断问题。所设计方法的合理性与有效性在中车株洲所的测试平台得到了验证。这种最优的数据驱动故障检测与诊断方法对于后续高速列车故障容错控制与寿命预测等研究具有重要意义。

北京交通大学项目组研究了高速列车运行控制系统车载子系统的故障预测问题。通过分析车载子系统的特点以及故障数据处理方式的研究现状, 并结合该系统的结构及各模块性能参数, 构建了车载列控系统级贝叶斯网络框架, 提出了基于贝叶斯网络的车载子系统故障预测算法, 实现车载子系统状态的预测。在验证分析中, 通过与工业中应用较成熟的隐马尔科夫模型和神经网络两种方法比较, 表明了故障预测方面贝叶斯网络更具优势, 能够有效提高故障预测的准确率。该研究为现场车载子系统级故障预测问题提供了重要指导, 对于新型高速列车的行车安全具有重要意义。

东北大学项目组研究了高速列车轴承多模态下的故障诊断问题, 提出了基于数据驱动的列车轴承多模态运行监控与故障诊断方法。在所提出的诊断方法中, 针对轴温采集数据中的异常点, 设计了线性插值与动态主元搜索相结合的异常数据重构方法。结合列控系统信息, 设计了基于列车运行轨迹的运行模态识别方法。根据多模态运行特点, 设计多模态动态内在典型相关分析建模和运行监控方法以及故障原因诊断方法。这种基于数据驱动的多模态运行监控与故障诊断方法, 解决了单一模态在轴承异常监控中误报率高的问题, 为高速列车的安全运行提供了保障。

本专题的组织过程时间较紧迫, 各位作者及审稿人克服困难, 积极支持特约编辑的工作, 使得本专题能够按时出版。感谢各位作者的积极投稿与认真修改; 感谢专题匿名评审专家及时、高效的评审工作; 感谢编辑部各位老师从征稿通知发布、论文送审与意见汇总、论文定稿、修改到出版所付出的辛勤工作和汗水。希望本专题的出版能对相关领域的研究者起到一定的借鉴作用。

特约编辑: 周东华 山东科技大学
何 潇 清华大学