

推荐国家科技进步奖项目公示

项目名称	成网条件下高速铁路列控系统检测评估关键技术及应用
推荐单位	教育部
<p>推荐单位意见：</p> <p>我单位认真审阅了该项目推荐书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目均符合国家科学技术奖励工作办公室的填写要求。</p> <p>列控系统是确保高速铁路安全和高效运行的核心装备。我国高速铁路建成了“四纵四横”的架构，运营里程超过两万公里，已全面进入网络化运营阶段。该项目紧密结合国家高速铁路发展的重大战略与行业需求，在国家和铁路总公司的支持下，历经十多年的努力，攻克了系统化的检测理论和方法，制定了国家和行业标准，构建了体系化的调试测试平台，解决了复杂、分布广泛的高速铁路网络上列控系统面临的电磁兼容、设备互操作及检测评估等难题，实现了列控系统全生命周期的检测、测试和监测，为成网条件下高速列车跨线运行提供了有效的技术支持和安全保障。</p> <p>项目共形成标准 16 项（国家标准 9 项，行业标准 7 项）；授权发明专利 17 项；获得软件著作权 80 项；发表论文 121 篇；出版专著 6 部；获得省部级科学技术特等奖 1 项、一等奖 4 项。近几年直接经济效益达 10.7 亿元、新增利润 3.3 亿元。取得了显著的经济效益和社会效益。</p> <p>对照国家科学技术进步奖授奖条件，推荐该项目申报 2017 年度国家科学技术进步奖二等奖。</p>	

项目简介:

截止到 2016 年底,我国高速铁路运营里程已超过两万公里,居世界第一,占世界高速铁路总里程的 60%以上,已全面进入网络化运营阶段。列控系统的高速铁路的“大脑和神经中枢”,本项目针对在复杂、分布广泛的高速铁路网络上列控系统面临的电磁兼容、设备互操作及检测评估等问题,在中国铁路总公司及相关部门持续支持下,历经十多年的努力,提出了系统化的检测理论和方法,构建了体系化的调试测试平台,实现了涵盖列控系统设计、研发、生产、集成、调试、运营服役等全生命周期的检测、测试、监测,保证成网条件下列控系统的安全、可靠运营,为成网条件下高速列车跨线运行提供了有效的技术支持和安全保障。

主要创新点:

(1) 通过理论分析和实验数据证明了我国高速铁路最重要的电磁骚扰源是弓网离线放电瞬态骚扰,首次提出瞬态脉冲骚扰的统计参量评估方法,研制了国内首台电磁干扰幅度概率分布测试系统;构建了基于现场测量数据的模拟试验与故障再现平台,完成了我国高速铁路所有型号列控系统的电磁兼容性认证检测评估,使列控系统因电磁干扰造成的故障率由 90%降低至 20%。

(2) 首次系统地提出了满足高速铁路列控系统复杂性、层次化、精确性等不同需求的多分辨率建模仿真理论与方法,提出了列控系统全生命周期平行测试与功能验证理论与方法,提出了多级分层实时分布交互式、可扩展可嵌入的列控仿真系统高层体系结构,搭建了高速铁路列控系统仿真测试集成平台与验证评估环境。

(3) 国内首次提出了高速铁路列控系统需求规范化建模和验证的理论和方法,制定了支撑列控系统装备互操作的系统规范;提出了基于功能特征提取的测试案例构造方法,首次构建了完备的互操作性测试和评估案例库;基于数据驱动的测试方法,构建了互操作性室内和现场测试平台,完成了所有 CTCS-3 级列控系统及新型高速列车的互操作性测试。

(4) 建立了高速铁路复杂条件下轨道电路信息传输模型,提出了时-频信号检测分析与软计算结合的轨道电路实时故障诊断方法;提出了适应大负荷动车组牵引电流波动剧烈、轨道电路信号传输非线性的车-地协同技术方案,首次提出轨道电路抗牵引电流干扰测试方法,构建了车载监测平台和抗干扰测试平台,研制了轨道电路防护瞬态冲击电流抗干扰装置,保障轨道电路信息的可靠、安全传输。

项目共形成标准 16 项(国家标准 9 项,行业标准 7 项);授权发明专利 17 项;获得软件著作权 80 项;发表论文 121 篇;出版专著 6 部;获得省部级科学技术特等奖 1 项、一等奖 4 项。

编制的标准规范为轨道交通电磁兼容标准体系和高速铁路列控系统技术体系的建立奠定了坚实的基础;完成了所有高速铁路 CTCS-3 级列控系统及新型高速列车的电磁兼容和互操作性测试;1200 余套 CTCS2-200H 型列控系统车载设备安装在 600 余列高速列车上,占全国市场份额 70%;600 余套 CTCS3-300S 型列控系统车载设备安装在 300 余列高速列车上,占全国市场份额 30%;25000 台轨道电路防护瞬态冲击电流抗干扰装置在 2 万公里高速铁路车站应用。近三年直接经济效益达 10.7 亿元、新增利润 3.3 亿元。

客观评价：

1. 中国铁路总公司运输局《动车组与牵引供电、通信信号等综合电气性能匹配技术研究项目工作方案》(运辆动车函[2013]430号)课题阶段性结论：“课题组从理论与工程实施角度向动车组主机厂和列控设备厂商提出抗干扰技术方案和干扰故障解决措施，使动车组整车、车载信号设备由电磁干扰导致的故障率从90%降到了20%。”
2. 工业和信息化部科技司组织的“电磁干扰幅度概率分布(APD)测量系统”成果鉴定：“该项目成功研制了国内第一台具有自主知识产权的APD测量仪，系统总体技术水平达到国际先进水平，属国内首创，……。系统的成功研制填补了我国电磁干扰幅度概率分布测量领域的空白。”
3. 国家自然科学基金重点项目“列车运行控制系统的仿真实论和方法”(项目编号：60736047)结题验收意见：“课题组引入多分辨率建模思想，解决了不同分辨率模型的耦合一致性问题，……，为工程实践提供了有效的理论支撑。”
4. 国家发改委重点项目“高速铁路和城市轨道交通控制系统仿真平台”验收意见：“仿真平台的应用有效缩短了工程实施周期，最大限度降低了现场问题发生率，提高了产品质量和工程实施效率。”
5. 中国铁路总公司科技研究开发计划项目“铁路信号系统抗干扰性能保障体系与关键技术研究”(项目编号：2014X008-I)验收意见：“给出了信号设备对于牵引电流谐波的抗扰度指标，研制了基于虚拟仪器的牵引电流干扰测试平台样机，实现了轨道电路、机车信号及扼流变压器等设备的牵引电流抗扰度测试。”
6. 国家863计划课题“高速铁路列车运行控制系统互联互通测试与评估技术(课题编号：2009AA11Z221)”验收意见：“测试平台实现了列控系统互联互通的第三方测试；CTCS-3级列控系统测试规范改进了我国铁路列控系统传统的试验方法，提高了试验的科学性。”
7. 在电磁兼容方面，主持和参与制定9项国家标准：
 - 1) 《GBT 6113.104-2008 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第1-4部分：无线电骚扰和抗扰度测量设备 辅助设备 辐射骚扰》
 - 2) 《GB/T32577-2016 轨道交通有人环境中电子和电气设备产生的磁场强度测量方法》
 - 3) 《GB/T 15658-2012 无线电噪声测量方法》
 - 4) 《GB/Z 6113.3-2006/CISPR 16-3:2003 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第3部分 无线电骚扰和抗扰度测量技术报告》
 - 5) 《GB/Z 6113.401-2007/CISPR 16-4-1:2005 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第4-1部分：不确定度、统计学和限值建模标准化的EMC试验不确定度》
 - 6) 《GB/Z 6113.403-2007/CISPR 16-4-3:2004 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第4-3部分：不确定度、统计学和限值建模批量产品的EMC符合性确定的统计考虑》
 - 7) 《GB/Z 6113.404-2007/CISPR 16-4-4:2003 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第4-4部分：不确定度、统计学和限值建模抱怨的统计和限值的计

算模型》

8) 《GB/T 6113.104—2008/CISPR16-1-4:2004 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第1-4部分 无线电骚扰和抗扰度测量设备 辅助设备 辐射骚扰》

9) 《GB/T 6113.105—2008/CISPR16-1-5:2003 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范第1-5部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备—30MHz~1000MHz 天线校准试验场地》

8. 在高速铁路列控系统标准规范方面:

1) 主持制定2项国家铁道行业标准报批稿:《CTCS-3级列车运行控制系统功能需求规范(报批稿)》、《CTCS-3级列车运行控制系统系统需求规范(报批稿)》;

2) 主持制定铁道部行业规范4项:《CTCS-3级列控系统功能需求规范(FRS)(科技运(2008)113号)》、《CTCS-3级列控系统系统需求规范(SRS)(科技运(2008)127号)》、《CTCS-3级列控系统测试案例(科技运(2009)59号)》、《CTCS-3级列控系统实验室车载设备互联互通测试序列(运基信号(2010)849号)》。

9. 项目成果“CTCS-3级列控系统研究与应用”获**2012年中国铁道学会科学技术特等奖**;“CTCS-3级列控系统互联互通测试验证关键技术及应用”获**2014年中国铁道学会科学技术一等奖**;“重载条件下信号电缆和轨道电路防护大牵引电流干扰技术”获**2014年度中国铁道学会科学技术一等奖**;“高铁信号系统的电磁兼容技术及实验室仿真测试平台的研究”获**2011年度中国铁道学会科学技术一等奖**;“轨道交通控制专用数据库关键技术及其应用”获**2013年度中国铁道学会科学技术一等奖**。

推广应用情况：

本项目完成了所有既有线型号信号系统电磁兼容认证检测评估，完成了所有高速铁路 CTCS-3 级列控系统及新型高速列车的电磁兼容和互操作性测试。制定的电磁兼容基础标准，为轨道交通电磁兼容标准体系的建立奠定了坚实的基础。基于该系列基础标准，制定了包括高速铁路列控系统车载设备、列控中心等 8 大类信号产品的铁道部企业认定产品质量检验实施细则。

编制的 CTCS-3 级列控系统需求规范，是全部型号 CTCS-3 级列控系统研发的依据，推动了中国 CTCS 技术标准体系的形成和完善。制定的 CTCS-3 级列控系统部颁标准测试案例，作为 CTCS-3 级列控设备调试、室内测试的依据，提升了 CTCS 列控系统的测试水平和标准化程度。研制的高速铁路列控系统仿真测试集成平台与验证评估环境，支撑开发了 CTCS2-200H 型、CTCS3-300H 型和 CTCS3-300S 型高速铁路列控系统。其中，1200 余套 CTCS2-200H 列控系统车载设备安装在 600 余列高速列车上，占全国市场份额 70%；600 余套 CTCS3-300S 列控系统车载设备安装在 300 余列高速列车上，占全国市场份额 30%。基于发明的“站内音频轨道电路阻抗匹配电路”，研制的轨道电路防护瞬态冲击电流抗干扰装置，已在 2 万公里高速铁路及上千公里重载线路车站内应用，近 3 年在现场应用约 25000 台。

主要知识产权证明目录:

1. 发明专利: 一种针对高速动车组的电磁辐射发射实时测量系统, ZL201210280733. 6
2. 发明专利: 基于数据驱动的车载运行控制系统的测试系统及方法, ZL201010515836. 7
3. 发明专利: 站内音频轨道电路阻抗匹配电路, ZL200710098775. 7
4. 发明专利: 轨道电路读取器信号载频动态偏移的实时修正方法, ZL201210232135. 1
5. 发明专利: 无绝缘轨道电路调谐区设备故障在线诊断方法, ZL201210003914. 4
6. 发明专利: CTCS 列控车载子系统测试数据图形化分析方法及系统, ZL201010504493. 4
7. 发明专利: 列控系统车载设备互联互通测试结果自动判定及分析方法, ZL201110369480. 5
8. 发明专利: 面向动态场景的测试序列生成方法及系统, ZL201110375722. 1
9. 发明专利: 一种自动生成接口型式试验测试序列的系统及方法, ZL201410207347. 3
10. 发明专利: 一种列车车载列控设备的电磁环境的监测系统, ZL201110322887. 2

主要完成人情况：

1. 姓名：唐涛，排名：1，行政职务：无，技术职称：教授，工作单位：北京交通大学，完成单位：北京交通大学，是该项目主要负责人，对创新点 1、2、3 均有贡献：总体研究方案的制定者，主持完成了高速铁路列控系统检测评估关键技术的研究。提出了高速铁路列控系统需求规范形式化建模和验证的理论和方法，建立了集成标准规范管理、UML 和自动机及形式逻辑相结合的标准规范严格建模验证支持工具集，提出了基于数据驱动测试方法，构建了互操作性室内和现场测试平台，完成了所有 CTCS-3 级列控系统及其新型高速列车的互操作性测试。
2. 姓名：蔡伯根，排名：2，行政职务：院长，技术职称：教授，工作单位：北京交通大学，完成单位：北京交通大学，对创新点 2 有重要贡献：提出了满足高速铁路列控系统复杂性、层次化、精确性等不同需求的多分辨率建模仿真理论与方法，提出了多级分层实时分布交互式、可扩展可嵌入的列控仿真系统高层体系结构，参与搭建了高速铁路列控系统仿真测试集成平台。
3. 姓名：闻映红，排名：3，行政职务：副院长，技术职称：教授，工作单位：北京交通大学，完成单位：北京交通大学，对创新点 1 有重要贡献：带领团队首次提出了我国高铁瞬态脉冲骚扰的多统计参量评估方法和测量方法，研制了国内首台电磁干扰幅度概率分布（APD）测试系统，实现了高铁瞬态脉冲干扰的在线实时测量，构建了高铁列控系统基于现场测量数据的实验室模拟试验与故障再现平台及抗干扰性能检测验证平台。
4. 姓名：莫志松，排名：4，行政职务：处长，技术职称：高级工程师，工作单位：中国铁路总公司，完成单位：中国铁路总公司，对创新点 1、3 有重要贡献：指导了列控系统标准规范的制定工作，参与了高速铁路 CTCS-2 级和 CTCS-3 级列控系统所有型号设备测试，组织了高速铁路系统的瞬态电磁干扰现场测量、列控系统电磁干扰故障诊断试验。
5. 姓名：董海荣，排名：5，技术职称：教授，工作单位：北京交通大学，完成单位：北京交通大学，对创新点 2 有重要贡献：提出了列控系统全生命周期平行测试与功能验证理论与方法，完善了多级分层实时分布交互式、可扩展可嵌入的列控仿真系统高层体系结构，参与搭建了高速铁路列控系统仿真测试验证评估环境。
6. 姓名：徐悦，排名：6，行政职务：总经理，技术职称：高级工程师，工作单位：北京和利时系统工程有限公司，完成单位：北京和利时系统工程有限公司，对创新点 3 有重要贡献：参与制定列控系统标准规范，参与高速铁路 CTCS-2 级和 CTCS-3 级列控系统功能、性能和互操作测试。
7. 姓名：李开成，排名：7，行政职务：无，技术职称：研究员，工作单位：北京交通大学，完成单位：北京交通大学，对创新点 3 有重要贡献：主持制定了支撑列控系统装备互操作的系统规范，提出了基于功能特征提取的测试案例构造方法和基于决策树分析的

测试案例生成方法，构建了完备的 CTCS-3 级列控系统测试案例库，提出了基于场景的互操作性测试序列生成方法。

8. 姓名：杨世武，排名：8，行政职务：无，技术职称：副教授，工作单位：北京交通大学，完成单位：北京交通大学，对创新点 4 有重要贡献：提出了适应大负荷动车组牵引电流波动剧烈、轨道电路信号传输非线性的车-地协同技术方案，提出了轨道电路抗牵引电流干扰测试方法，构建了车载监测平台和抗干扰测试平台，研制了轨道电路防护瞬态冲击电流抗干扰装置。

9. 姓名：何春明，排名：9，行政职务：副总经理，技术职称：高级工程师，工作单位：和利时，完成单位：北京和利时系统工程有限公司，对创新点 2 有重要贡献：参与了多级分层实时分布交互式、可扩展可嵌入的列控仿真系统高层体系结构设计，搭建了高速铁路列控系统仿真测试集成平台与验证评估环境。

10. 姓名：赵林海，排名：10，行政职务：无，技术职称：教授，工作单位：北京交通大学，完成单位：北京交通大学，对创新点 4 有重要贡献：提出了传输信号耦合系数的计算方法，分析了轨道电路的故障致因，提出了时-频信号检测分析与软计算结合的轨道电路实时故障诊断方法，解决了轨道电路突发故障无法及时发现的难题。

主要完成单位及创新推广贡献:

1、北京交通大学:项目总负责单位,研究针对瞬态干扰的电磁兼容检测评估关键技术,构建高速铁路列控系统实验室电磁干扰模拟仿真与故障再现试验平台,完成我国高速铁路所有型号列控系统的电磁兼容性认证检测评估;研究适用于不同测试需求的多分辨率建模方法、列控系统全生命周期平行测试与功能验证理论与方法;研究高速铁路列控系统互操作性规范和测试方法,构建操作测试平台,开展所有 CTCS-3 级列控系统 & 新型动车组的互操作性测试;研究高速铁路轨道电路故障诊断和干扰防护关键技术,研制轨道电路防护瞬态冲击电流抗干扰装置。主持相关标准规范的制定。

2、中国铁路总公司:主要参加单位,提出我国高速铁路网络中列控系统跨线运营需求,指导高速铁路 CTCS-3 级列控系统标准规范的制定工作;指导完成所有 CTCS-3 级列控系统 & 新型动车组的互操作性测试、所有型号列控系统的电磁兼容测试。

3、北京和利时系统工程有限公司:主要参加单位,参与了多级分层实时分布交互式、可扩展可嵌入的列控仿真系统高层体系结构设计,构建高速铁路列控系统仿真测试集成平台 & 验证评估环境,开展 CTCS-2 级列控系统、CTCS-3 级列控系统的功能、性能测试,及其推广应用。

完成人合作关系说明：

本项目针对高速铁路网络上列控系统面临的电磁兼容、设备互操作及检测评估等问题开展研究，涉及6个课题。唐涛为本项目负责人，也是课题“CTCS-3级列控系统互联互通检测技术和检测平台研究”的负责人，李开成是核心研究成员，共同编制测试案例、构建测试平台、组织操作性测试；闻映红是“高速动车组电磁兼容性基础理论及关键技术研究”的负责人，提出了针对我国高铁瞬态电磁干扰的电磁兼容检测评估关键技术，莫志松、何春明参与标准和规范的制定和审核工作；蔡伯根是课题“列车运行控制系统的仿真实论和方法”的负责人，董海荣是核心研究成员，共同提出了满足高速铁路列控系统复杂性、层次化、精确性等不同需求的多分辨率建模仿真实论、方法、仿真系统体系结构与全生命周期平行测试与功能验证理论与方法；莫志松为中国铁路总公司高速铁路信号处负责人，指导了列控系统标准规范的制定工作，参与了高速铁路CTCS-2级和CTCS-3级列控系统所有型号设备测试；李开成是课题“高速铁路列车运行控制系统互联互通测试与评估技术”的负责人，唐涛是核心研究成员，共同主持制定了列控系统装备互操作的系统规范，提出了基于功能特征提取的测试案例构造方法、基于决策树分析的测试案例生成方法以及基于场景的互操作性测试序列生成方法；徐悦、何春明是课题“高速铁路和城市轨道交通控制系统仿真平台”的核心研究成员，构建高速铁路列控系统仿真测试集成平台与验证评估环境，开展CTCS-2级列控系统、CTCS-3级列控系统的功能、性能测试，及其推广应用，在轨道交通领域与北京交通大学长期合作，开展了列控系统互操作性测试工作，为项目成果的转化与应用做出了贡献；杨世武是课题“铁路信号系统抗干扰性能保障体系与关键技术研究”的负责人，赵林海是核心研究成员，共同提出适应大负荷动车组牵引电流波动剧烈、轨道电路信号传输非线性的车-地协同技术方案和轨道电路抗牵引电流干扰测试方法。