## 高等学校科学研究优秀成果奖（科学技术）

## 自然科学奖提名公示

（2020年度）

**一、提名类别：自然科学奖一等奖**

**二、项目名称：高速铁路基础结构动态性能演变及服役安全基础研究**

**三、提名单位：西南交通大学**

**四、项目简介**

随着我国高速铁路大规模建设和运营，科学维护高铁基础结构以保障其长期服役安全具有重大意义。基础结构横贯东西南北，既受到列车荷载的高速冲击与循环振动作用，又同时遭受复杂多变的环境因素反复作用，出现了一系列动态服役性能演变、损伤劣化的实际问题，如无砟轨道混凝土劣化与水泥乳化沥青（CA）砂浆钙溶蚀、结构层间离缝上拱、路基不均匀沉降、桥墩沉降等，直接威胁高速行车安全性。由于基础结构材料与形式复杂、服役条件复杂、维持高品质困难，准确把握基础结构多维度时空变化的动态服役性能是国际性难题。本项目在国家“973计划”、国家自然科学基金等资助下，历经十余年研究，形成了较为完整的高铁基础结构动态性能演化与服役安全基础理论成果。主要科学发现和创新成果包括：

（1）发现了高速铁路无砟轨道关键材料动态力学特性与温度、荷载频率和时间的多因素依赖关系，首次揭示了列车荷载与环境因素耦合作用下无砟轨道混凝土劣化与CA砂浆钙溶蚀机理；探明了复杂服役条件下无砟轨道结构层间损伤、离缝扩展和动态性能演化规律，形成了无砟轨道结构失效与动态性能演变分析理论，突破了无砟轨道结构长期服役性能难预测的瓶颈问题，为解决无砟轨道结构科学养护维修难题奠定了理论基础。

（2）率先解析了高速铁路基础变形与轨面几何形态非线性空间映射关系，探明了基础结构不均匀变形条件下轨道几何不平顺演变规律；提出了高速铁路轨道不平顺谱的完整表征方法，首次获得了中国高铁无砟轨道和有砟轨道不平顺谱表达式，结束了中国铁路长期没有轨道谱的历史，攻克了高铁轨道几何不平顺演变分析及高速行车安全评估中的关键难题。

（3）发展了不同服役状态下基础结构与高速车辆动力相互作用分析方法，突破了已有方法未充分考虑结构缺陷所致非线性的局限性，揭示了基础结构部件劣化与变形对高速车辆－基础结构耦合作用的影响机制，提出了基于结构长期性能演变规律、服役可靠性、高速行车安全性等多维度的基础结构动态服役安全控制方法，为保障高铁基础结构服役安全提供了关键理论支撑。

本项目成果在本领域国内外知名期刊发表了一系列学术论文，五篇代表性论文他引344次（其中两篇分别位列其发表以来该期刊论文引用第一名和第四名）；受邀在《中国科学: 技术科学》出版一本研究专辑（中文）和2个研究专题（英文）。相关成果被纳入国际权威英文手册。授权发明专利5项。第一完成人为该成果主要任务来源“973计划”项目首席科学家，针对本研究成果多次受邀在本领域重要国际学术会议上作大会主题报告。论著得到澳大利亚B. Indraratna院士、英国S. Iwnicki院士等本领域国内外知名专家的广泛引用与高度评价，认为该成果：率先建立了高速铁路车辆与基础结构动力相互作用的基本理论框架，揭示了高铁无砟轨道损伤失效机理及动态性能演变规律，在该领域作出了重大贡献。该基础研究成果瞄准国家重大需求，在高铁工程中已展现出良好的应用前景，例如：首次制定了中国高速铁路轨道不平顺谱行业标准；指导了沪昆、郑徐等7条高铁无砟轨道的建设与养护维修；在京沪高铁时速350km的运营检测安全评估中发挥了重要作用。

以程耿东院士为组长的科技部结题验收专家组评价：“项目代表性研究成果具有原创性、系统性与工程实用性，在国际高铁学术界产生了重要影响，为我国高铁基础结构动态性能演变及服役安全提供了基础理论与关键技术支撑”。

**五、主要完成人情况**

**翟婉明**：第一完成人，教授/院士，工作单位：西南交通大学，完成单位：西南交通大学。整个项目的学术负责人，全面主持研究工作，包括制定技术路线、提出学术思想、实施研究计划、分析研究结果以及凝练关键科学问题。构建了无砟轨道结构损伤与动态性能演变分析理论框架，建立了高速铁路轨道不平顺谱的表征方法，发展了不同服役状态下基础结构与高速车辆动力相互作用分析理论方法。对本项目重要科学发现中第一、二、三点做出了创新性贡献，是代表性论文1、2的作者。

**朱胜阳**：第二完成人，副研究员，工作单位：西南交通大学，完成单位：西南交通大学。对本项目重要科学发中的第一、三点做出了创新性贡献，提出了温度荷载、列车动荷载和离缝积水动压力耦合作用下无砟轨道层间离缝失效与动态性能演变理论分析方法，揭示了循环复杂荷载作用下无砟轨道结构层间损伤与动态性能演变规律，建立了考虑复杂服役状态的高速列车－轨道－路基大系统动态相互作用模型，提出了无砟轨道结构动态服役安全控制方法，是代表性论文3的作者。

**张楠**：第三完成人，教授，工作单位：北京交通大学，完成单位：北京交通大学。对本项目重要科学发现中的第三点做出了创新性贡献，建立了考虑桥梁结构劣化和变形条件下的高速列车－轨道－桥梁大系统动态相互作用模型，揭示了高速铁路桥梁结构劣化对高速列车运行安全平稳性的影响机制，提出了桥梁结构动态服役安全控制方法及相关控制限值，是代表性论文4的作者。

**龙广成**：第四完成人，教授，工作单位：中南大学，完成单位：中南大学。对本项目重要科学发现中的第一点做出了创新性贡献，发现了高速铁路无砟轨道关键工程材料动态力学特性的多因素依赖关系，揭示了典型服役条件下无砟轨道混凝土劣化机制以及材料动态力学性能演变规律，是代表性论文5的作者。

**黎国清**：第五完成人，研究员，工作单位：中国铁道科学研究院集团有限公司，完成单位：中国铁道科学研究院集团有限公司。对本项目重要科学发现中的第二点做出了创新性贡献，利用我国自主研制的高速综合检测列车获得了海量的高速铁路实测轨道不平顺数据，建立了高速铁路轨道几何状态演化预测模型，构建了适合我国高速铁路的轨道不平顺谱表达式，是代表性论文2的作者。

**罗强**：第六完成人，教授，工作单位：西南交通大学，完成单位：西南交通大学。对本项目重要科学发现中的第二点做出了创新性贡献，探明了高速铁路无砟轨道路基典型差异沉降模式，揭示了路基不均匀沉降传递及扩散规律，分析了路基面局部接触突变诱导路基翻浆的劣化机制，是代表性论文2的作者。

**谢友均**：第七完成人，教授，工作单位：中南大学，完成单位：中南大学。对本项目重要科学发现中的第一点做出了创新性贡献，提出了高速铁路无砟轨道混凝土及CA砂浆劣化行为模拟试验与性能表征新方法，优化和完善了无砟轨道关键材料劣化控制方法和策略，是代表性论文2、5的作者。

**王开云**：第八完成人，研究员，工作单位：西南交通大学，完成单位：西南交通大学。对本项目重要科学发现中的第三点做出了创新性贡献，探明了轨道几何状态恶化对高速车辆－基础结构耦合作用的影响机制，提出了钢轨波浪形磨耗的安全控制方法和限值，是代表性论文1的作者。

**夏禾**：第九完成人，教授，工作单位：北京交通大学，完成单位：北京交通大学。对本项目重要科学发现中的第三点做出了创新性贡献，建立了考虑轨面几何状态随机变化的高速列车－轨道－桥梁大系统动态相互作用模型，提出了车－轨－桥系统动态服役安全控制策略，是代表性论文1、2的作者。

**蔡成标**：第十完成人，研究员，工作单位：西南交通大学，完成单位：西南交通大学。对本项目重要科学发现中的第一点做出了创新性贡献，开展了典型高速铁路无砟轨道长期服役性能实尺模型试验研究，探明了循环列车荷载下无砟轨道结构疲劳损伤与动态性能演变规律，是代表性论文1、2、3的作者。

**六、主要完成单位**

1. 第一完成单位： 西南交通大学

2. 第二完成单位： 北京交通大学

3. 第三完成单位： 中南大学

4. 第四完成单位： 中国铁道科学研究院集团有限公司

**七、代表性论文专著目录**

1. **Wanming Zhai**, **He Xia**, **Chengbiao Cai**, Mangmang Gao, Xiaozhen Li, Xiangrong Guo, **Nan Zhang**, **Kaiyun Wang**. High-speed train-track-bridge dynamic interactions -Part I: theoretical model and numerical simulation. International Journal of Rail Transportation, 2013, 1(1-2): 3-24.
2. **翟婉明**，赵春发，**夏禾**，**谢友均**，**黎国清**，**蔡成标**，**罗强**，宋小林. 高速铁路基础结构动态性能演变及服役安全的基础科学问题. 中国科学: 技术科学, 2014, 44: 645-660.
3. **Shengyang Zhu**, **Chengbiao Cai**. Interface damage and its effect on vibrations of slab track under temperature and vehicle dynamic loads. International Journal of Non-Linear Mechanics, 2014, 58: 222-232.
4. **Nan Zhang**, **He Xia**, Weiwei Guo. Vehicle-bridge interaction analysis under high-speed trains. Journal of Sound and Vibration, 2008, 309: 407-425.
5. **Guangcheng Long**, Yu Gao, **Youjun Xie**. Designing more sustainable and greener self-compacting concrete. Construction and Building Materials, 2015, 84: 301-306.