

项目名称：基于高速交通结构沉降控制的安定理论及分析方法研究

提名单位：太原理工大学

提名意见：

高速列车荷载作用下道床和路基结构的累积塑性变形是引起轨道下沉、线路结构不平顺的主要原因，高速铁路路基设计普遍采用弹性理论及经验方法，无法反映高速铁路路基结构弹塑性变形的本质。提名项目“基于高速交通结构沉降控制的安定理论及分析方法研究”以国家高速铁路的战略发展需求为导向，围绕高速铁路服役性能安全评价方法的关键科学问题，历时近十年科研攻关，在高速交通结构的安定理论、服役性能安全性评价和沉降控制等方面取得了一系列突破和创新，全面推进了行业技术的进步。

该项目实施过程中取得的研究成果整体达到国际领先水平，已出版专著1部，发表论文100篇，其中SCI检索论文44篇、EI检索论文23篇，包括在本领域公认的国际岩土工程三大权威期刊发表论文8篇，在地学、环境科学与生态学、工程技术国际顶级期刊发表论文11篇，在国内岩土工程三大权威期刊《岩土工程学报》、《岩土力学》、《岩石力学与工程学报》发表论文15篇；获授权国家发明专利8项，软件著作权2项。研究成果得到国内外同行专家的广泛认可，五篇代表性论文被国内外知名专家学者在岩土工程国际著名期刊引用82次。

该项目研究成果有效指导了高速交通结构的优化设计和长期服役性能的安全性评价，降低了运营期病害治理费用和养护维修费用，解决了高速交通结构工程建设过程中存在的技术问题，符合当前工程建设安全经济和绿色环保理念，将极大推动高速交通工程领域科学的技术进步。

该项目申报材料完整、客观，所附检索报告、科技查新报告、知识产权证明有效，其他相关附件材料可信，同意提名推荐该项目为山西省自然科学奖二等奖。

项目简介：

高速列车荷载作用下道床和路基结构的累积塑性变形是引起轨道下沉、线路结构不平顺的主要原因，直接影响到设计使用年限内高速铁路的服役性能，减小和控制路基的变形和差异沉降是高速铁路建设的关键技术之一。高速铁路路基设计普遍使用弹性理论及经验方法，无法准确反映高速铁路路基结构弹塑性变形本质，尚未形成高速铁路道床和路基结构累积塑性变形的精准计算方法。如何从理论上获得高速列车荷载长期循环作用下道床和路基结构累积塑性变形的有效控制，形成科学合理的高速铁路服役性能安全评价方法是亟待开展的关键科学问题。

本项目以国家高速铁路的战略发展需求为导向，历时近十年科研攻关，在高速交通结构的安定理论、服役性能安全性评价和沉降控制等方面取得了一系列突破和创新，主要创新点如下：①阐明了交通荷载作用下路基结构的破坏模式和演化特征；②创新了基于力学原理和满足功能要求的高速交通路基结构安定分析方法；③构建了基于安定荷载的桩承式路堤结构沉降控制理论。

本项目在高速交通结构的安定理论、服役性能安全性评价和沉降控制等方面取得了一系列突破和创新，提出了基于交通荷载作用的半无限空间结构静力安定解析方法，阐明了通荷载作用下路基结构的破坏模式和演化特征，解决了传统安定理论中数学规划的维度障碍问题；创新了轨枕荷载分担的 Gauss 函数方法，明确了列车荷载的传递机制与分布特性，提出了基于力学原理和满足功能要求的高速交通路基结构安定分析方法；阐明了粗粒土填料累积塑性变形规律和安定行为机理，攻克了粗粒土填料动力响应行为界限的量化表征的技术难题，构建了基于安定荷载的桩承式路堤结构沉降控制理论，发展了土动力学理论体系，全面提升了高速交通结构沉降控制的理论水平，研究成果可以有效指导高速交通结构的优化设计和长期服役性能的安全性评价，符合当前工程建设安全经济和绿色环保理念，推动了高速交通工程领域科学的技术进步。

客观评价情况：

本项目的成果在 15 次国内外重要学术会议上以大会报告、特邀报告和主题报告形式展示，得到国内外同行专家的广泛认可，五篇代表性论文被国内外知名专家学者在岩土工程国际著名期刊引用 82 次。其中，国家杰出青年基金获得者、同济大学黄茂松教授对代表性论著 1 建立的基于不同荷载形式的高速铁路道床-路基结构安定分析方法进行了高度评价，引文发表于国际交通岩土工程领域顶级期刊《Soil Dynamics and Earthquake Engineering》。国家杰出青年科学基金获得者、水资源与水电工程科学国家重点实验室主任、武汉大学水利水电学院副院长李典庆教授肯定了代表性论著 4 的研究成果，引文发表于国际地质工程领域顶级期刊《Engineering Geology》。加拿大自然科学与工程技术研究理事会（NSERC）工业研究副主席、阿尔伯塔大学加拿大铁路研究实验室副主任 Michael T. Hendry 教授肯定了代表性著作 2 所开展的高速列车荷载作用下桩承式路堤结构荷载传递规律，引文发表于国际岩土工程三大权威期刊之一《Canadian Geotechnical Journal》。

代表性论著 1 获得了波尔图大学工程学院 Pedro Alves Costa 教授正面引用和积极评价，评价认为：当前将安定分析应用于铁路工程的研究相对较少，对安定理论在铁路工程的推广应用具有重要指导和推动作用，引文发表于国际交通岩土工程领域权威期刊《Transportation Geotechnics》。美国俄克拉荷马大学 Aderonke O. Adegbule 教授正面引用和评价了代表性论著 4，引文发表于国际地球科学领域顶级期刊《Journal of Hydrology》。

代表性论文专著目录：

1. 庄妍等, 2017, Three-dimensional shakedown analysis of ballasted railway structures under moving surface loads with different load distributions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 100: 296-300. (代表性论文 1)
2. 庄妍等, 2016, Case studies of reinforced piled high-speed railway embankment over soft soils. *International Journal of Geomechanics*, 16(2): 06015005. (代表性论文 2)
3. 赵仲辉等, 2014, Relationships between chemical weathering indices and physical and mechanical properties of decomposed granite. *Engineering Geology*, 179:76-89. (代表性论文 3)
4. 赵仲辉等, 2012, Reliability analysis of soil-water characteristics curve and its application to

slope stability analysis. *Engineering Geology*, 135-136: 83-91. (代表性论文 4)

5. 董晓强等, 2014, Stress state of two collinear stamps over the surface of orthotropic materials. *Archive of Applied Mechanics*, 84, 639-656. (代表性论文 5)

主要完成人情况及合作关系说明:

本项目主要完成人包括: 庄妍、董晓强、王康宇、崔晓艳、赵仲辉。

庄妍, 教授, 东南大学, 负责项目总体研究计划和研究方案的制定, 以及项目研究的组织与协调工作, 创新点 1、2 的核心完成人。阐明了弹性应力场的分布机理, 实现了交通荷载作用下半无限空间结构中弹性应力场的精确表征; 并基于交通荷载作用下半无限空间结构静力安定解析方法, 明确了最优残余应力场的分布规律, 揭示了半无限空间结构破坏临界点的发展机理。第 1、2 篇代表性论文的第一且通讯作者, 合作关系论文 1 的作者之一, 合作关系论文 2 的作者之一, 合作关系论文 3 的作者之一。科技成果的主要完成人之一。

董晓强, 教授, 太原理工大学, 项目主要完成人, 对创新点 2 和 3 有贡献。建立了高速铁路安定性分析的等效数值分析模型, 有效提高了数值建模和运算的效率; 提出了基于安定荷载的桩承式路基结构沉降控制理论。第 5 篇代表性论文的第一且通讯作者, 合作关系论文 2 的作者之一, 合作关系论文 3 的作者之一。科技成果的主要完成人之一。

王康宇, 副教授, 浙江工业大学, 项目主要完成人, 创新点 1 的主要核心完成人。通过构造自平衡的最佳残余应力场, 构建了不同屈服准则的半无限空间结构静力安定理论体系。第 1 篇代表性论文的第二作者, 合作关系论文 2 的作者之一, 合作关系论文 3 的作者之一。科技成果的主要完成人之一。

崔晓艳, 助理研究员, 东南大学, 项目主要完成人, 创新点 2 的主要核心完成人。创新了轨枕荷载分担比的 Gauss 函数近似计算方法, 量化了列车轮载作用于钢轨任意位置处的轨枕荷载分担比。第 2 篇代表性论文的第二作者, 合作关系论文 1 的作者之一, 合作关系论文 3 的作者之一。科技成果的主要完成人之一。

赵仲辉, 教授, 汕头大学, 项目主要完成人, 对创新点 2 和 3 有贡献。揭示了高速铁路道床-路基结构安定荷载的影响因素和变化规律。第 3、4 篇代表性论文的第一且通讯作者, 合作关系论文 1 的作者之一。科技成果的主要完成人之一。

合作关系证明目录:

1. 科学技术成果评价证书, 成果名称: 基于高速交通结构沉降控制的安定理论及分析方法研究, 中科评字【2020】第 4119 号。
2. 崔晓艳等, 2018, Improvement of soft foundations under a rapid-transit tram rail system: a case study. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 53(3): 181-189. (合作关系论文 1)
3. 庄妍等, 2020, 基于荷载包络图的铁路道床-路基结构安定性分析研究, 太原理工大学学报, <http://kns.cnki.net/kcms/detail/14.1220.N.20200602.1248.004.html>. (合作关系论文 2)
4. 庄妍等, 2020, 高铁荷载下桩承式路基动力响应及土拱效应研究, 岩土力学. (合作关系

论文 3)