

## 一、项目名称

高速铁路隧道变形控制设计理论与施工关键技术及应用

## 二、提名者及提名意见

提名者：国家铁路局

**提名意见：**该项目在国家自然科学基金重点项目、原铁道部重大课题、中国铁路总公司重大课题等支持下，依托数千公里的高铁隧道工程，综合采用理论研究、模型实验、现场测试、工程应用等手段，历经十多年研究工作，在高速铁路隧道设计理论、施工过程控制等关键科学技术上实现了突破：创建了高速铁路隧道变形控制理论，建立了高速铁路隧道支护-围岩协同作用的结构设计方法，创立了基于全过程变形控制的高速铁路隧道安全快速施工技术。

项目成果已广泛应用于已建和在建的高速铁路隧道工程以及部分普速铁路隧道项目中，累计总长度超过 7000km，提高了工效，节约大量自然资源和工程投资，环境、经济和社会效益十分显著。该项目研究不仅在专业理论上实现了创新，而且取得了大量的发明专利、国家工法、技术标准、论文论著等，完善了高速铁路隧道建设理论体系、设计标准体系和施工技术体系，对我国高速铁路隧道以及交通运输工程的规划、建设具有重要价值。丰富和发展了我国隧道建设理论、技术体系，推动了我国乃至世界隧道建设技术的进步，为中国交通运输行业做出了贡献。成果总体达到国际先进水平，多项关键技术达到国际领先水平。

该项目十多年来践行“政、产、学、研、用”协同创新模式，培育了一批高素质创新型专业人才和一支隧道工程关键技术研究与应用队伍，为成果产业化和技术持续创新奠定了坚实基础。

提名材料属实，提名书填写符合要求。

提名该项目为国家科技进步奖二等奖。

## 三、项目简介

我国已建成世界上规模最大、运营速度最快、具有完全自主知识产权的高速铁路网络。高速铁路的修建极大地改变了我国交通运输状况，促进了我国经济的快速发展。在高速铁路诸多创新技术中，隧道工程技术的进步尤为重要，正是由于长大及各种复杂地质隧道修建技术的突破，才使得高速铁路采用顺直的大曲线半径穿山越岭成为可能，从而大幅度提高了高铁选线的自由度，有效提升了我国高铁运营品质。

我国高速铁路隧道具有地质及环境条件复杂、长大隧道多和可靠性要求极高等突出特点。在高速铁路修建之前，虽然已经建成了约 4000 公里的普速铁路隧道，但建设标准低，以经验为主的工程类比设计方法和传统施工技术难以满足我国大规模高速铁路隧道的建造需求。为此，自 2004 年以来，在 10 余项国家及省部级科技计划重大、重点项目支持下，针对我国大规模高速铁路大断面隧道建造的关键技术难题，进行了十余年

的科技攻关与工程实践，创立了中国高速铁路隧道设计理论、施工关键技术及标准体系。主要创新成果有：

**(1) 创建了高速铁路隧道变形控制理论。**揭示了高速铁路隧道围岩变形破坏机理及时空演化规律，建立了高速铁路隧道复合围岩结构模型，提出了基于尺度效应的高速铁路隧道围岩稳定性评价方法，创立了基于围岩全过程变形控制的技术体系。

**(2) 创立了高速铁路隧道支护-围岩协同作用的结构设计体系。**提出了初期支护的荷载计算方法，建立了二次衬砌在支护体系中作为安全储备的设计方法，开发了基于支护与围岩协同作用的隧道结构设计软件平台，形成了高速铁路隧道支护结构标准体系。

**(3) 开发了高速铁路隧道全过程变形控制的安全快速施工技术。**揭示了高速铁路隧道不同工法的施工过程变形特性，提出了高速铁路隧道施工分阶段变形控制标准，建立了高速铁路隧道机械化信息化施工技术体系，实现了软弱围岩高速铁路隧道“大断面少分部”安全快速施工。

经多位院士、全国勘察设计大师等专家评审认为，创新成果整体上达到国际先进水平，其中隧道支护与围岩的相互作用体系和高速铁路隧道安全快速施工技术达到国际领先水平。出版专著 5 部，发表各类论文 66 篇，授权发明专利 12 项、实用新型专利 10 项、软件著作权 4 项，编制行业标准 6 部，施工工法 10 项，获得省部级科技进步奖励 5 项。研究成果已广泛应用于已建和在建的高速铁路隧道以及普速铁路隧道工程，累计总长度超过 7000km，直接节约工程投资达 70 多亿元。该成果丰富并发展了我国隧道修建技术、推动了我国乃至世界隧道修建技术的进步。对中国高铁“走出去”、服务“一带一路”交通运输基础设施建设、实现交通强国战略目标具有重要作用。

## 四、客观评价

(一) 科技鉴定评价。

1. “高速铁路隧道围岩稳定性控制技术”成果技术评审。

2016 年 8 月 5 日，中国铁路总公司科技管理部主持，由中国工程院王梦恕院士为专家组长，梁文灏院士为专家副组长，以及其他 7 位知名专家组成的评审委员会，对本成果的评审结论为：研究成果已纳入《铁路隧道设计规范》及相关标准文件，通过在 4000 多公里高速铁路隧道中的应用，实现了安全快速施工，效果良好，经济和社会效益显著。该成果整体达到国际先进水平，其中隧道支护与围岩的相互作用体系和高速铁路隧道安全快速施工技术达到国际领先水平。

2. “软弱围岩隧道变形特征与稳定性控制技术”成果技术评审。

2014 年 3 月 7 日，中国铁路总公司科技管理部主持，由史玉新设计大师为专家组长，关宝树教授为专家副组长，以及其他 7 位知名专家组成的评审委员会，对本成果的评审结论为：研究成果已经应用于隧道建设中，取得了显著的技术和社会效益，丰富和发展了我国隧道修建技术，推动了我国乃至世界隧道修建技术的进步。该成果整体上达

到国际先进水平；其中，软弱围岩定义和分级、软弱围岩稳定性位移判别方法、施工空间变形综合控制技术体系等方面达到国际领先水平。

### 3.“交通隧道围岩稳定性与分级方法研究”鉴定证书。

2012年4月11日，中国岩石力学与工程学会组织，由钱七虎、王思敬、顾金才和蔡美峰院士在内的7位专家对本成果的鉴定结论为：该成果建立了基于隧道围岩变形机理和稳定性的设计和施工两阶段围岩分级系统，开发了一定适用条件下围岩分级参数的快速获取技术，提出了相应的基于数量化理论的围岩级别快速判别方法。该成果达到国际先进水平。

### 4.“天平山隧道大断面软弱围岩施工关键技术”鉴定证书。

2014年5月5日，山西省科技厅组织7位知名隧道专家组成的评审委员会，对本成果的评审结论为：该成果的应用为我国大断面软弱围岩隧道的成功建设做出了积极贡献，丰富和发展了我国大断面软弱围岩隧道的建设技术，经济效益明显，推广应用前景广阔。该项目成果整体达到了国际先进水平，其中安全快速施工关键技术达到国际领先水平。

## （二）业内专家评价。

中国工程院何华武院士为《中国高速铁路隧道》一书做序时指出：中国高速铁路隧道在勘察设计、工程施工、建设和运营管理方面的关键技术取得了一系列的突破，这展现了这些年中国隧道技术的最新成果，对加强隧道行业技术交流、促进行业技术进步具有重要意义，对推动国际隧道技术的发展也具有重要作用。

中国工程院王梦恕院士评论说：正是有了长大隧道、各种复杂地质隧道修建技术的进步，才使高速铁路采用大曲线半径以及高速列车穿山越岭成为可能。

## （三）设计、施工与建设管理单位意见。

中铁第一勘察设计院集团有限公司、中铁二院工程集团有限责任公司、中国铁路设计集团有限公司和中铁第四勘察设计院集团有限公司等4家设计院在兰新、宝兰、西成、银西、成渝、云贵、京沪、沪昆、京沈、武广、郑西、沿海等高速铁路项目中应用了“高速铁路隧道变形控制设计理论与施工关键技术及应用”部分技术成果，解决了高速铁路双线隧道开挖断面大，IV、V级围岩稳定性差，进度慢，安全风险大等难题。设计中应用了高速铁路隧道支护-围岩协同作用结构设计体系、全过程变形控制安全快速施工技术研究成果，对优化结构设计、提高施工进度、提升安全水平、节省工程投资起到了重要作用。

中铁十二局集团有限公司在武广、郑西、石太、合武、贵广等18个高速铁路项目的107座隧道中应用了“高速铁路隧道变形控制设计理论与施工关键技术及应用”中的研究成果，解决了IV、V级软弱破碎围岩大断面隧道施工中围岩稳定性差、易产生变形破坏的施工难题，根据阶段变形控制标准和相应的变形控制技术体系，实现了软弱围岩高铁隧道大断面少分部快速安全施工。

沪昆铁路客运专线湖南段工程建设中应用了“高速铁路隧道变形控制设计理论与施工关键技术及应用”整体技术成果，其中，采用支护-围岩协同作用的结构设计体系成果优化了结构设计参数，改善了结构受力性能，节省了工程投资；全过程变形控制施工技术实现了软弱围岩隧道“大断面少分部”安全快速施工。

## 五、推广应用情况

研究成果中铁路隧道围岩亚分级方法已经纳入新修编的《铁路隧道设计规范》(TB10003-2016)，研发的基于变形控制的隧道支护结构设计系统，编制了通用参考图《时速 250 公里客运专线铁路双线隧道复合式衬砌》(编号：通隧〔2008〕0201)和《时速 350 公里客运专线铁路双线隧道复合式衬砌》(通隧〔2008〕0301)，优化的高速铁路隧道设计支护参数已广泛应用于南广、贵广、合福、沪昆、厦深、西成、京沈、郑万等高速铁路隧道和多座普速铁路隧道项目中，累计总长度超过 7000km，直接节约工程投资达 73 亿元，产生了很好的技术经济和社会效益。

## 六、主要知识产权证明目录

- 1.发明专利：基于围岩完全变形控制的中国隧道修建方法，授权号：ZL 2012 1 0380838.9，授权日期：2016 年 1 月 20 日；
- 2.发明专利：超大变断面隧道支护结构，授权号：ZL 2014 1 0777881.8，授权日期：2017 年 5 月 10 日；
- 3.出版专著：中国高速铁路隧道，编号 ISBN978-7-113-22420-2，出版日期：2016 年 10 月；
- 4.发明专利：隧道电子雷管安装连接起爆方法，授权号：ZL 2011103187185.2，授权日期：2013 年 7 月 31 日；
- 5.发明专利：一种土的被动侧压力系数测试装置，授权号：ZL 2013 1 0097500.7，授权日期：2015 年 6 月 3 日；
- 6.发明专利：一种隧道模型实验三维加载装置，授权号：ZL 2015 1 0051546.4，授权日期：2017 年 4 月 12 日；
- 7.发明专利：隧道电子雷管与导爆管雷管联合起爆方法，授权号：ZL 201110402677.4，授权日期：2014 年 1 月 29 日；
- 8.软件著作权：隧道施工管理数据库系统 V1.0，授权号：2015SR055256，授权日期：2015 年 3 月 27 日；
- 9.软件著作权：隧道支护设计辅助软件 V1.0，授权号：2015SR055025，授权日期：2015 年 3 月 27 日；
- 10.软件著作权：隧道支护结构设计评价与参数优化软件 V1.0，授权号：2015SR055520，授权日期：2015 年 3 月 27 日。

## 七、主要完成人情况

1.赵勇：中国铁路经济规划研究院教授级高工，是项目总负责人，自始至终组织了整个项目的研究工作，参加了全部方案研究，确定了高速铁路隧道的设计原则，组织主要设计参数的优化，在隧道变形机理与围岩分级、支护结构设计体系、隧道安全快速施工技术等方面都进行了系统性研究，主持和参加编著《高速铁路隧道》、《中国高速铁路隧道》等4本著作，对创新点一、创新点二、创新点三以及成果的推广应用都做出了突出贡献。

2.朱永全：石家庄铁道大学教授，自始至终参加了整个项目的研究工作，负责高速铁路隧道施工全过程安全控制技术研究，作为第一作者编著了《软弱围岩隧道稳定性变形控制技术》，系统研究了高速铁路隧道围岩变形破坏机理及时空演化规律，分析了不同工法的施工过程变形特性，提出了高速铁路隧道施工分阶段变形控制标准，对本项目创新点一和创新三做出了突出贡献。

3.房倩：北京交通大学副教授，基于本项目撰写了多篇关于隧道围岩-支护相互作用关系的文章，建立了通过超前支护与初期支护实现调动和协助围岩承载的隧道变形控制设计模型；考虑了复合围岩的荷载效应、喷射混凝土硬化的时间特性、钢架的空间分布特性，实现对初期支护的定量设计；分析了80余座高速铁路隧道二衬受力的监测数据，明确了二次衬砌在支护体系中作为安全储备的设计理念；并组织开发了基于支护与围岩协同作用的隧道结构设计软件平台。对本项目创新点二做出了突出贡献。

4.于丽：西南交通大学副教授，针对高铁隧道跨度大、尺度效应明显的特点，提出了不同地质特性围岩失稳模式，建立了考虑围岩结构性变形特征以自稳跨度为基础的围岩稳定性评价方法，提出了基于尺度效应和围岩稳定性的隧道围岩亚类分级方法，实现了围岩稳定性精细化分级。分级标准已纳入《铁路隧道设计规范》（TB10003-2016），对创新点一做出了突出贡献。

5.李鹏飞：北京工业大学副教授，对隧道围岩的结构特性及其荷载效应、隧道支护与围岩的动态作用关系、隧道支护结构体系及其协同作用等进行了系统深入的研究，通过对既有隧道变形和受力监测数据的统计分析，总结了围岩-结构体系的演进过程存在共性规律，阐明了隧道围岩压力作用模式和演化规律，揭示了隧道复合衬砌的受力特性，对创新点二做出了突出贡献。

6.喻渝：中国中铁二院工程集团有限责任公司副总工程师，教授级高工，作为中铁二院隧道支护结构设计的技术负责人，全面参与了高速铁路隧道支护结构设计方法的研究，提出了支护参数优化方案，并将研究成果在贵广、沪昆、成渝、渝万、郑万等多条铁路进行了推广应用，对创新点二做出了重要贡献。

7.倪光斌：中国铁路经济规划研究院教授级高工，参加了高速铁路隧道支护、围岩作用体系研究和变形控制施工关键技术的研究，在高速铁路隧道支护结构设计参数的优化、围岩变形控制标准制定、围岩荷载计算方法、高速铁路隧道标准体系的建立以及成果的推广应用等方面做出了突出贡献。对创新点二和创新点三有重要贡献。

8.雷军：中铁十二局集团有限公司教授级高工，作为隧道施工单位技术负责人，负责组织创新技术的现场试验，优化软弱围岩大断面隧道施工技术，为软弱围岩隧道支护参数优化、综合控制技术关键施工工法的制定方面做出了突出贡献。建立了高速铁路隧道机械化信息化施工技术体系，实现了软弱围岩高速铁路隧道“大断面少分部”安全快速施工。对本项目创新点三做出了重要贡献，对研究成果的现场验证和推广应用做出了突出贡献。

9.龚彦峰：中铁第四勘察设计院集团有限公司教授级高工，参加了各阶段方案研究和通用参考图的编制，全面参与了高速铁路隧道支护结构设计参数的优化研究，对高速铁路隧道支护与围岩作用体系研究做出了重要贡献，并将研究成果在沿海、向莆、合福、赣龙等多个铁路项目上进行推广应用。对创新点二做出了重要贡献，对本项目的推广应用做出了突出贡献。

10.肖广智：中国铁路总公司工管中心教授级高工，参与了高速铁路隧道施工关键技术的研究，主编了《不良特殊地质条件隧道施工技术及实例》、《中国高速铁路隧道》等2本著作，在工程建设中积极推广应用项目创新成果，对创新点三做出了重要贡献。

## 八、主要完成单位及创新推广贡献

1. 中国铁路经济规划研究院：为本项目主持单位，全面主持了整个项目的立项、研究、推广应用和组织协调等工作。负责隧道安全快速施工技术体系的研究课题，对隧道的施工空间变形特征进行了研究，揭示了隧道施工全过程的变形特征，提出了隧道体系稳定的完全变形管理基准；形成了一套软弱围岩隧道施工完全变形控制体系和硬岩隧道爆破近区振动控制标准和减振技术；参与确定隧道支护-围岩作用体系及其力学特性的研究，确定了各级围岩隧道支护的设计原则，对主要设计参数进行了优化；参与软弱围岩隧道综合控制技术的研究，为形成软弱围岩隧道变形综合控制技术体系做出了突出贡献；主持编制了《铁路隧道设计规范》、铁路工程建设通用参考图（通隧〔2008〕0301）等5项标准；主持和参加撰写了《中国高速铁路隧道》、《软弱围岩隧道施工技术》和《软弱围岩隧道变形特征与稳定性控制技术》等4本专著；形成3项发明专利和2项实用新型专利。对本项目创新点一、创新点二和创新点三以及研究成果的推广应用都做出了突出贡献。

2. 北京交通大学：牵头负责了隧道支护围岩作用体系及其工程应用的研究课题，首次提出隧道围岩结构由洞周丧失整体稳定性的浅层围岩和整体稳定性较好且能承担地层载荷的深层围岩复合而成，给出了深、浅层围岩范围的确定方法，针对深层围岩特点建立了上部垮落、拱脚失稳和下部滑移三种失稳模型，为支护结构荷载计算提供了依据；建立了通过超前支护与初期支护实现调动和协助围岩承载的隧道变形控制设计模型，提出了初期支护的荷载计算方法，建立了二次衬砌在支护体系中作为安全储备的设计方法，开发了基于支护与围岩协同作用的隧道结构设计软件平台，形成了高速铁路隧道支护结构标准体系；基于上述研究成果创立了高速铁路隧道支护-围岩协同作用的结

构设计体系。提供了支护协同作用实验相关测量设备、监测仪器，形成了专题报告 1 本，论文 26 篇，授权发明专利 5 项，软件著作权 3 项。对本项目创新点一、创新点二做出了突出贡献。

3. 石家庄铁道大学：首次采用滑动测微计监测掌子面前方围岩内部纵向位移和滑动式沉降仪监测围岩沉降位移，获得了隧道超前变形和掌子面挤出变形规律，研究了高速铁路隧道不同工法的施工过程变形特性，为大断面施工提供了理论依据，结合数百组数值模型及现场试验数据，掌握了不同围岩隧道施工全过程变形及围岩渐进式破坏规律，明确了在大型施工设备、适当超前加固及掌子面围岩稳定保障措施下，软弱围岩大断面少分部施工是控制变形、提高施工安全与工效的最有效方法。提出了高速铁路隧道施工分阶段变形控制标准，为信息化施工提供了依据。基于围岩塑性突变理论的失稳判据，提出了围岩失稳时的隧道极限位移；在大量模型试验、数值模拟和 103 座大断面隧道 863 个断面监测数据统计分析的基础上，考虑适当施工安全度，提出了高速铁路隧道施工分阶段变形控制标准。对本项目创新点三做出了突出贡献。

4. 西南交通大学：针对高铁隧道跨度大、尺度效应明显的特点，提出了不同地质特性围岩失稳模式，建立了考虑围岩结构性变形特征建立了以自稳跨度为基础的围岩稳定性评价方法，提出了基于尺度效应和围岩稳定性的隧道围岩亚类分级方法，实现了围岩稳定性精细化分级，分级标准已纳入《铁路隧道设计规范》（TB10003-2016），为高速铁路隧道设计与施工奠定了理论基础。对创新点一做出了突出贡献。

5. 中铁二院工程集团有限责任公司：参加了本项目研究内容和研究方案制定的全过程，全面参与了高速铁路隧道支护结构设计方法的研究，开展了隧道围岩变形机制、设计支护措施优化、变形控制标准制定、以及复合衬砌支护结构设计参数确定等方面的系统研究，提出了高速铁路隧道支护参数的优化方案，并就研究成果在贵广铁路、沪昆客专、成渝客专、渝万、郑万客专等多条铁路项目中进行了推广应用。对创新点二做出了重要贡献，对研究成果的推广应用做出了突出贡献。

6. 中铁第四勘察设计院集团有限公司：作为中国高铁的主要设计单位，全面参加了高速铁路隧道支护-围岩协同作用的结构设计体系，并将高速铁路隧道围岩-支护结构协同作用结构设计体系、全过程变形控制安全快速施工技术成果应用于工程设计；编制了《时速 350 公里客运专线铁路双线隧道复合式衬砌》（通隧〔2008〕0301），取得了“超大变断面隧道支护结构”等多项发明和实用新型专利，参加了《高速铁路隧道》和《中国高速铁路隧道》等专著的编著。对本项目创新点二做出了重要贡献，对研究成果的推广应用做出了重大贡献。

7. 中铁十二局集团有限公司：作为高速铁路隧道的施工单位，组织创新技术的现场试验，负责天平山隧道试验现场实施，优化软弱围岩大断面隧道施工技术，为软弱围岩隧道支护参数优化、综合控制技术关键施工工法的制定方面做出了突出贡献。建立了高速铁路隧道机械化信息化施工技术体系，实现了软弱围岩高速铁路隧道“大断面少分

部”安全快速施工。研究成果形成了施工工法 10 项，获得山西省科技进步二等奖，对本项目创新点三做出了重要贡献，对研究成果的现场验证和推广应用做出了突出贡献。

## 九、完成人合作关系说明

本项目依托我国高速铁路隧道工程的建设，在国家自然科学基金重点项目、省部级重大科研项目和企业自主立项的基础上，采用政、产、学、研、用相结合的方式开展科研攻关。本项目所有完成人均来自我国高速铁路隧道工程研究与建设一线，其中代表总体方案审定和技术标准制定单位（中国铁路经济规划研究院）的完成人有赵勇、倪光斌，分别代表科研单位（北京交通大学、西南交通大学、石家庄铁道大学）的完成人有房倩、于丽、朱永全、李鹏飞，代表设计单位（中国中铁二院工程集团有限公司、中铁第四勘察设计院集团有限公司）的完成人有喻渝、龚彦峰，代表施工单位（中铁十二局集团有限公司）的完成人有雷军，代表建设管理单位的完成人有肖广智。

在科研方面，2009 年原铁道部立项重大科研课题《隧道围岩稳定性及其控制技术》，由中国铁道经济规划研究院和北京交通大学联合牵头，石家庄铁道大学、西南交通大学、中国中铁二院工程集团有限公司、中铁第四勘察设计院集团有限公司和中铁十二局集团有限公司等 20 余家单位参加，参研人员超过了 100 余人，所有完成人均是本项目的研究骨干人员。所有完成人在工程研究、设计和建设过程中，团结合作，刻苦钻研，在专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、工艺规范等方面取得了丰硕成果。出版专著 5 部，发表各类论文 66 篇，授权发明专利 12 项，实用新型专利 10 项，软件著作权 4 项，编制行业标准 5 部，获得省部级科技进步奖励 5 项。研究成果已广泛应用于运营和在建的大部分高速铁路隧道工程以及部分普速铁路隧道项目，累计总长度超过 7000km，直接节约工程投资达 70 多亿元。该项成果实现了我国高速铁路隧道支护结构设计和施工的科学化、精细化、规范化，保证了我国高速铁路隧道的安全建造，为中国高速铁路的快速发展提供了技术支撑，为中国高铁“走出去”，服务“一带一路”交通基础设施建设具有重要作用。