

## 公示内容

### 申报奖项:

北京市科学技术进步奖一等奖（含特等奖）

### 项目名称:

非规则桥梁抗震减震设计理论与方法及工程应用

### 完成单位(含排序):

- 1.北京工业大学
- 2.清华大学
- 3.北京市市政工程设计研究总院有限公司
- 4.招商局重庆交通科研设计院有限公司
- 5.北京国道通公路设计研究院股份有限公司

### 完成人(含排序):

- 1.杜修力, 2.韩强, 3.唐光武, 4.贾俊峰, 5.王进廷, 6.秦大航, 7.董慧慧,
- 8.温佳年, 9.燕斌, 10.何维利, 11.纪金豹, 12.郑万山, 13.唐贞云, 14.陈彦江,
- 15.张广达

### 项目简介:

#### 1. 研究目的

交通基础设施是交通强国战略的重要保障,交通基础设施建设与服役安全面临着严峻挑战。特别是,我国是地震多发的国家,60%的国土面积位于强震区,交通基础设施面临极大的地震风险。而桥梁是交通基础设施的关键节点,特别是量大面广的城市和山区公路的弯、坡、斜等非规则桥梁,在历次地震中破坏尤为严重。

弯、坡、斜等非规则桥梁在多维地震作用下空间效应突出,桥梁结构及构件处于复杂受力状态,其强震非线性反应、失效机理和破坏模式以及抗震性能评估与减震技术仍是这类桥梁抗震设计待解决的关键难题。本项目重点针对这些非规则桥梁,从复杂受力状态下桥梁主要构件的抗震性能入手,采用理论分析、数值模拟和试验研究以及震害验证等手段,结合结构抗震设计理念的国际发展趋势,建立基于性能的非规则桥梁抗震减震设计理论、方法及技术,推动我国桥梁抗震从安全设计向性能设计发展。

#### 2. 主要科技创新

(1) 提出了压弯剪扭复杂受力状态下钢筋混凝土桥墩、桥梁挡块等主要构件的抗震性能评价方法及影响规律,揭示了其破坏机理与失效模型,提出了非线性分析模型,为准确预测桥梁地震反应提供了前提和基础。

(2) 发展了非规则桥梁地震反应与损伤破坏的物理和数值模拟方法与技术,研发了自主知识产权的地震模拟多振动台台阵系统(九子台阵系统)及其协同控制技术和实时混合试验技术,国际上首次实现了同时考虑地震动空间效应和土-结构相互作用的桥梁模型结构实时混合试验;揭示了非规则桥梁结构地震破坏机理与失效模式,数值再现了强震作用下桥梁损伤演化与破坏倒塌的灾变全过程。

(3) 提出了考虑地震动空间效应和土-结构相互作用的桥梁结构抗震设计理论与方法,建立了基于性能的非规则桥梁结构参数优化设计方法,发展了直接基于位移的非规则桥梁抗震设计理论与实用简化分析方法。

(4) 研发了系列具有自主知识产权的抗拉拔/防落梁功能的桥梁减隔震装置, 揭示其工作机理, 提出了分析模型与参数优化设计。提出了桥梁结构减隔震及防撞/防落梁控制一体化技术与性能化设计方法, 建立了基于性能的非规则桥梁减隔震设计理论与方法。

### 3. 成果产生的价值

主编/参编国家和行业相关规范/规程 3 部, 获国家发明专利 21 项, 软件著作权 5 项, 出版专著 2 部, 发表学术论文 110 余篇, 其中 SCI 收录论文 44 篇, EI 收录 62 篇。研究成果已应用于北京、河北、广东等省市重大和重要桥梁抗震设计, 产生了巨大的社会经济效益。谢礼立院士为组长, 陈政清院士和岳清瑞院士为副组长的项目鉴定专家组评价“该项目研究成果丰富、具有创新性, 总体上达到了国际先进水平, 在多振动台阵列系统平台建设与协同控制、实时混合模型试验技术和弯、坡、斜桥梁抗震设计理论与方法方面达到了国际领先水平”。

### 代表性知识产权和标准规范

- [1] 公路桥梁抗震设计规范, JTG/T 2231-01-2020 (主编)
- [2] 公路桥梁抗震设计细则, JTG/T B02-01-2008 (主编)
- [3] 城市轨道交通结构抗震设计规范, GB 50909-2014 (参编)
- [4] 韩强, 曹馨予, 杜修力. 官格式箱型软钢阻尼器. 专利号: ZL201510824006.7.
- [5] 贾俊峰, 赵凌云, 白玉磊, 韩强, 欧进萍. 一种具有限位功能的自复位金属波纹管阻尼器. 国家发明专利, 专利号: ZL201910512663.4.
- [6] 周雨龙, 韩强, 杜修力, 贾俊峰. 一种附加软钢阻尼器的桥墩与承台连接结构. 专利号: ZL201510824844.2.
- [7] 郑万山, 唐光武, 张又进, 张显明. 一种缆索约束桥墩抗震结构. 专利号: ZL 201010288615.0.
- [8] 燕斌. 多阶段防落梁防碰撞装置. 专利号: ZL201210438108.X.
- [9] 唐贞云, 李振宝, 纪金豹, 李晓亮. 基于三参量控制的振动台软启动控制方法. 专利号: ZL2010101145745.9.
- [10] 纪金豹, 王巨科, 张硕玉, 李芳芳. 单向振动台多参量控制软件. 登记号: 2015SR017472. (软件著作权)
- [11] 纪金豹, 张硕玉, 高春华. Acc2Disp 加速度波形至位移波形转换软件. 登记号: 2015SR008150. (软件著作权)
- [12] 杜修力, 韩强. 桥梁结构抗震分析与地震保护. 科学出版社, 2019.
- [13] 王进廷, 徐艳杰, 金峰. 实时耦联动力试验理论与实践. 中国建筑工业出版社, 2014.
- [14] Zhu Fei, Wang Jin Ting\*, Jin Feng, Chi Fu Dong, Gui Yao. Stability analysis of MDOF real-time dynamic hybrid testing systems using the discrete-time root locus technique. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 2015, 44(2): 221-241.
- [15] Qiang Han\*, Xiuli Du, Jingbo Liu, et al. Seismic damage of highway bridges during 2008 Wenchuan earthquake [J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration. 2009, 8(2):263-273.