2020年度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信息

|  |  |
| --- | --- |
| 项目名称 | 高层建筑结构体系的动力倒塌模型和灾变控制理论 |
| 提名单位 | 清华大学 |
| 项目简介 | 地震灾害和偶然事件导致的连续倒塌灾害危害巨大，提升高层建筑结构的抗震及防连续倒塌性能具有重大科学意义和工程价值。复杂高层结构灾变演化是在多维、多尺度、动力作用下从材料断裂、构件破坏到体系倒塌的强非线性过程，仅通过试验难以完整揭示灾变机理，亟需建立可模拟倒塌行为的灾变模型，科学认识倒塌机理，构建灾变控制理论和方法，保障高层结构抗震和防连续倒塌能力。历时10余年，该项目针对高层结构抗震与防连续倒塌的关键科学难题，在高层建筑结构倒塌模型与算法、灾变机理和控制理论方面取得了系列成果。重要科学发现点包括：  1.首次构建了完整的广义协调大变形分层壳模型体系，解决了剪力墙、楼板等构件复杂耦合受力倒塌过程中几何、材料强非线性耦合行为的模拟难题，提出了准确模拟构件跨尺度失效演化机理的关联算法，以及高效并行异构矩阵求解算法，为揭示倒塌过程中的宏微观灾变机理奠定了重要基础。  2.构建了现代高层/超高层建筑系列新型高性能复杂构件的建模准则和失效模拟方法，攻克了该类建筑地震倒塌全过程模拟的关键难题，揭示了高层建筑多道防线的失效演化机制；基于抗倒塌能力定量评价，提出了多层级地震灾变控制方法，解决了以北京“中国尊”为代表的高层建筑地震倒塌防控难题。  3.揭示了高层建筑在角部、边缘和内部发生局部破坏失效后的抗倒塌内力重分布机理，发现了楼盖系统在梁机制-悬链线机制转换全过程中梁板空间协同受力的“损伤-破坏-传力-失效”演变规律，提出了考虑空间效应、非线性动力效应的“梁-悬链线”多目标机制内力重分布路径控制方法和计算模型。  代表作英文专著获《Engineering Structures》书评：“最新和最先进的地震作用下高层建筑研究方法”，4篇代表性论文均入选ESI学科引用数前3%。创新成果成功应用于国内外多个重大工程的抗倒塌分析与设计优化，被重要规程和结构分析软件采纳。 |
| 主要完成人 | 主要完成人情况（包括：排名、姓名、技术职称、工作单位、完成单位、对本项目重要科学发现的贡献）   1. 陆新征、教授、清华大学、清华大学，对本项目重要科学发现1-3均作出了重要贡献：（1）与第三完成人合作构建了高层建筑倒塌灾变模拟关键模型和算法；（2）提出了基于倒塌模式优化的超高层建筑抗震设计方法，与第三和第五完成人构建了现代高层建筑倒塌模拟方法；（3）与第二和第四完成人揭示了高层建筑在角部、边缘和内部发生局部破坏失效后的连续倒塌机理，与第二和第五完成人提出了考虑空间效应、非线性动力效应和“梁-悬链线”多目标机制的抗连续倒塌拉结强度计算模型；（4）是所有代表性著作论文的作者，是代表性著作1和代表性论文5的第一作者，是代表性论文2的第一和通讯作者，是代表性论文3和4的通讯作者。 2. 李易、副研究员、北京工业大学、北京工业大学，对本项目重要科学发现3作出了重要贡献：（1）与第一和第四完成人揭示了高层建筑在角部、边缘和内部发生局部破坏失效后的连续倒塌机理，与第一和第五完成人提出了考虑空间效应、非线性动力效应和“梁-悬链线”多目标机制的抗连续倒塌拉结强度计算模型；（2）是代表性论文4和5的作者，是代表性论文4的第一作者，是代表性论文5的通讯作者。 3. 卢啸、副教授、北京交通大学、清华大学，对本项目重要科学发现1-2作出了重要贡献：（1）与第一完成人合作构建了高层建筑倒塌灾变模拟关键模型和算法；（2）与第一和第五完成人构建了现代高层建筑倒塌模拟方法；（3）是代表性论文2和3的作者，是代表性论文2的第五作者，是代表性论文3的第一作者。 4. 林楷奇、副教授、福州大学、清华大学，对本项目重要科学发现3作出了重要贡献：（1）与第一和第二完成人揭示了高层建筑在角部、边缘和内部发生局部破坏失效后的连续倒塌机理；（2）是代表性论文5的第二作者。 5. 叶列平、教授、清华大学、清华大学，对本项目重要科学发现2-3均作出了重要贡献：（1）与第一和第三完成人构建了现代高层建筑倒塌模拟方法；（2）与第一和第二完成人提出了考虑空间效应、非线性动力效应和“梁-悬链线”多目标机制的抗连续倒塌拉结强度计算模型；（3）是代表性论文3和4的第四作者。 |
| 主要完成单位 | 清华大学、北京工业大学 |
| 代表性论文（专著）目录（包括：论文（专著）名称/刊名/作者）  [1]Earthquake Disaster Simulation of Civil Infrastructures: From Tall Buildings to Urban Areas. Springer and Science Press. Lu X Z, Guan H.  [2]A shear wall element for nonlinear seismic analysis of super-tall buildings using OpenSees. Finite Elements in Analysis and Design. Lu X Z, Xie L L, Guan H, Huang Y L, Lu X  [3]Collapse simulation of reinforced concrete high-rise building induced by extreme earthquakes. Earthquake Engineering & Structural Dynamics. Lu X, Lu X Z, Guan H, Ye L P  [4]An improved tie force method for progressive collapse resistance design of reinforced concrete frame structures. Engineering Structures. Li Y, Lu X Z, Guan H, Ye L P  [5]Experimental investigation of RC beam-slab substructures against progressive collapse subject to an edge-column-removal scenario. Engineering Structures. Lu X Z, Lin K Q, Li Y, Guan H, Ren P Q, Zhou Y L | |