



Topic Insights

可持续的高性能可恢复结构

Hong Hao^a, Jun Li^b^a ARC Laureate Fellow, John Curtin Distinguished Professor, School of Civil and Mechanical Engineering, Curtin University, WA 6102, Australia^b Senior Lecturer, School of Civil and Mechanical Engineering, Curtin University, WA 6102, Australia

在2003年至2013年的10年间，地震、海啸、台风、洪水、爆炸和撞击等自然和人为的灾害已经造成全球 1.1×10^6 人死亡，超过 2.0×10^9 人受到影响，经济损失约为 1.5×10^{12} USD。2008年汶川地震造成69 226人死亡，17 923人失踪，并造成直接损失 1.4×10^{11} USD。发生在世界贸易中心的“9·11”事件造成2996人死亡，约 1.3×10^{11} USD经济损失。2015年天津意外爆炸事件造成了173人死亡和巨大的经济损失。2011年日本东北地震和海啸造成了近20 000人死亡，导致了 3.0×10^{11} USD的经济损失。这次灾难还引发了福岛第一核电站泄漏事故，这是自1986年切尔诺贝利事故以来最具灾难性的核泄漏事件，导致放射性物质从密闭壳泄露到海洋中，造成了严重的环境污染。这些现代实例表明，开发可持续的高性能可恢复结构以抵抗极端动态载荷对保护生命和财产安全至关重要。同样，由于气候变化引起的极端天气事件、热浪和高风速事件的增加，对有效经济的基础设施的设计、建设和维护提出了新的要求，并鼓励探索环保建设技术以减少二氧化碳（CO₂）的排放。

为了应对这些挑战，结构工程界不断地在技术上取得持续进展，为建造可持续的高性能可恢复结构开发了新材料和新结构形式。这些成就包括：开发环保材料，如地质聚合物和石灰石煅烧黏土水泥（LC3），这些环保材料利用建筑中的可持续材料和工业废物来减少温室气体排放；用来控制结构振动和减轻动态载荷效应的新结构形态和设计，以有效的结构保护对抗多动态载荷；利用3D打印技术、模块化和分段建设的新预加工技术，

最大限度地减少施工现场干扰，提供更好的建设质量控制；新设计和建设观念，如变混凝土、变结构、折纸和剪纸结构、可展结构和牺牲结构等，来提高结构的可恢复性和抵抗极端载荷的能力。

此外，科学家还探索了先进技术，为工程资产管理的有效结构状态提供定量数据。这些技术包括使用摄像机和计算机视觉技术来收集数据，使用仿生方法，如深度学习技术，来有效处理大量数据，以及使用新的信号处理技术和损坏指数来提高监控不确定性和噪声数据引起的轻微结构损坏的能力。

本期的高性能结构专题介绍了可持续的高性能可恢复结构各个方面的评论和讨论，包括新建筑材料、新结构形态和分析方法以及新结构健康监测技术。

为了加强混凝土结构以提高结构能力，Ueda讨论了各种材料及其机械性能。Li考虑到高性能和多功能水泥基复合材料的特性，将这些材料用于构建具有自我修复、自我感应、自热适应、自我清洁和空气净化能力的耐用、可恢复和可持续的结构。Rezakhani等介绍了混凝土中碱-硅反应（ASR）效应的多尺度均匀化分析的理论 and 数值实现，这种成熟的多尺度框架能准确再现从实验和全面精确分析中获得的扩展曲线。

Takagi和Wada讨论并提出了一种新的结构设计，将主要结构与保护结构的抗震结构分开。设计抗震结构旨在承载具有被动控制、基础隔离和可更换成分的地震荷载，以吸收地震能量。Gardner等提出了一种基于先进分析的钢设计方法，以模拟梁单元中的局部屈曲。科学

家证明了所提出的方法比当前的Eurocode 3设计（钢结构设计）方法更准确。Lam等报道了他们对全复合楼板的测试，以研究组合梁底梁中楼板的弯曲性能和面内效应，旨在减少混凝土板的纵向裂缝，增加结构系统的载荷能力。Zhou和Zhang介绍了他们对这个桥梁技术发展的想法，包括施工效率、管理有效性和长期服务，同时也讨论了在新材料、设计和分析软件、施工技术和监测技术的发展中遇到的挑战。

Fujino等分享了日本监测桥梁和建筑结构的经验，重点在于监测系统的类型和战略，以及有效利用监测数据。Spencer等介绍了基于计算机视觉、结合远程摄像机和无人驾驶飞行器（UAV）采集信息的民用基础设

施检查监测技术的进步。基于计算机视觉的民用基础设施检查和监测研究的快速发展将会改变基础设施的监测方式，从而形成更安全、更具可恢复性的结构。Bao等介绍了近期结构健康监测的数据科学和工程技术的开发和应用情况。该文章介绍了基于压缩采样的数据获取算法，基于深度学习算法的异常数据诊断算法，以及利用计算机视觉技术进行裂缝识别和利用机器学习算法对桥梁状态进行评估。

综上所述，本期的高性能结构专题对可持续的高性能结构建设的新材料与结构形态、设计和分析方法的最新进展，以及有效结构状态监测的经验和新技术进行了介绍和回顾。