

明尼苏达大学

调试设计规范

MTS与著名大学合作复现真实地震事件，完成足尺土木建筑结构测试。



图片来自明尼苏达大学

明尼苏达大学的多轴子结构加载测试系统实现足尺建筑结构真实地震条件下的加载测试。测试对象包括梁柱框架系统、剪力墙、桥墩、桥台、坝肩、桩基等等。

“我们实现了之前不可想象、不可完成的测试任务，据我所知，还没有哪个试验室完成了类似大规模样件的抗震模拟测试。”

— Carol Shield 教授，博士
明尼苏达大学土木工程系，
多轴子结构加载测试试验室主管

在美国明尼苏达大学的多轴子结构加载测试系统(Multi-Axial Sub-assembly Testing, MAST)试验室内，Dr. Carol Shield教授和她的团队正在针对足尺建筑结构开展真实地震事件的测试与仿真。这种测试可以验证当前的建筑设计规范，探索新材料和新工艺，以优化土木建筑结构的安全性，并且提升成本效益。为了能够复现作用于建筑结构上巨大的载荷和位移量，试验室与MTS合作，开发了目前世界上最大的六自由度力学测试系统。

客户面临的挑战

设计规范的变化推动着建筑工程的发展。当前的规范都基于既往的经验和试验研究来创建，但是相应的测试规程大多被局限于开展缩比模型样件的单轴加载测试。用Carol Shield教授的话说，就是这些试验都“相当不契合实际”。

Dr. Shield目前是明尼苏达大学双子城分校多轴子结构加载系统试验室的主管。该试验室是小乔治布朗美国国家地震工程模拟网络(NEES)的一部分。NEES网络由美国科学基金投资，包含全美14个抗震以及土木工程研究领域的先进试验室和研究机构，其主要目的是通过紧密合作，改善建筑物的抗震功能设计，引领土木工程技术创新。位于明尼苏达大学的多轴子结构加载试验室的研究目标是大尺度低缩比建筑结构或部件在真实载荷、运动或位移条件下的响应，从而验证设计规范的有效性，探索新材料和新工艺，优化土木建筑结构的安全性，并且提升成本效益。

最初遇到的最大挑战是被测对象的尺度太大。为了能够确保测试真实有效，试验室需要对足尺建筑结构施加真实地震条件下的多自由度载荷。样件的尺寸、所承受的载荷以及样件变形量都非常非常大，以至于当时在整个世界范围内都没有哪个试验室有足够的开展类似的试验。

“我们期望能够成为业内第一个具有如此庞大测试能力的试验室，可以对足尺建筑结构对象开展精确的加载测试，包括施加真实的多自由度载荷，”Shield教授说道，“我们深知开展类似的测试将是一项艰巨的任务，所以我们选择MTS作为我们的合作伙伴。”

MTS的解决方案

由MTS设计公司设计，安装于明尼苏达大学的多轴子结构加载测试系统是根据客户需求完全定制的测试系统，采用了高性能的电液伺服产品和先进的六自由度(6 DOF)测控技术。

be certain.

该测试系统可以实现大尺度低缩比测试对象的多轴加载测试，可以实现准静态低周测试、准静态拟动力测试以及连续拟动力测试等，被测对象包括梁柱框架系统、剪力墙、桥墩、桥台、坝肩、桩基等等。该系统具有垂向(Z向)5,900kN(1,320,000lbf)、纵向和横向(X向,Y向)3,900kN(880,000lbf)的加载能力，垂向的位移量可达 $\pm 500\text{mm}$ ($\pm 20\text{in}$) 纵向和横向(X向,Y向)的位移量可达 $\pm 400\text{mm}$ ($\pm 16\text{in}$)。

“本质上就好像我们创建了一个标准的材料力学测试系统，然后把它放大了很多倍。” Shield教授说道，“如此巨大的加载能力让我们可以开展超大尺度的样件测试，可以持续加载到样件失效。我们实现了之前不可想象、不可完成的测试任务，据我所知，还没有哪个试验室完成了类似大规模样件的抗震模拟测试。”

对比传统的测试方法，该测试系统的尺寸和功能让结构测试更加贴近实际。明尼苏达大学以及NEES网络的研究人员可以获取更具可操作性的测试数据来改进建筑设计规范，让楼宇建筑更加安全，更加耐用。最终，经过充分测试验证的建筑结构能够抵御地震、台风等各种天灾人祸。

作为NEES网络的一部分，明尼苏达大学的试验室与其他试验室或者研究机构、团队共同享有使用该测试系统，这提高了该测试系统的使用率，也让试验室变得更加繁忙。来自世界各地

的团队都可以到该试验室参观学习，或者开展测试，也可以利用远程视频系统以及先进测试技术实现跨地域的测试任务。Shield教授的团队最近刚刚协助来自新西兰的研究人员实现了远程加载测试。

“随着越来越多的抗震工程研究人员意识到了大尺度低缩比甚至足尺子结构多轴加载测试的好处，我们的试验室变得越来越抢手了。” Shield教授说道，“自从试验室落成开放到现在，可能也就有个把月的时间我们没有满负荷工作。”

客户的收益

Shield教授和她的团队已经获取了宝贵的测试数据，这将有助于改进当前的建筑设计规范，他们希望利用这种大尺度低缩比建筑子结构的多轴加载测试技术推动结构工程和减灾防灾工程的发展。

“我们的研究表明，当前混凝土立柱连接的设计规范高估了实际地震载荷作用下的结构性能。” Shield教授说道，“我们的试验数据还告诉我们传统的测试没有办法精确复现被测对象的边界条件和载荷，这对现行设计规定的充分性提出了质疑。我们现在有能力、有办法来更新这些设计规范，让建筑结构更加可靠。如果还用传统的测试手段，我们根本没有办法来发现这些缺陷。”

该试验室也研究了那些在现行设计规范出台之前建好的混凝土立柱能不能抵御真实的地震事件。这项研究能够帮助工程人员评估建筑结构在地震发

生时存在的倒塌风险，并且最终为建筑结构修复提供关键性指导。其他的研究还包括针对接近足尺比例混凝土非矩形剪力墙体的抗震性能研究，之前没有实现过双向的加载测试；还有测试新设计的支撑框架，可以让钢结构建筑更加安全、耐用，为承力框架提供更加经济、可靠的替代技术和方案。

所有这些研究都得益于与MTS的紧密合作。

“这个项目是我们与MTS合作过的最大的项目，我感觉合作非常愉快！” Shield教授说道，“我们非常信赖MTS系统公司的专家，从系统设计阶段到设备的安装、调试，液压系统、作动缸、球铰以及测控系统，都得到了专业的支持。我们从未遇到过如此默契的合作伙伴。”

作为与MTS签订集中维护合同的九家NEES网络试验室之一，明尼苏达大学的试验室将定期接受MTS技术人员提供的系统检查、清洁、液压系统保养和专业化的计量和校准服务。这些预防措施有助于控制运行成本并最大限度延长系统正常运行时间，使得这套独一无二的测试系统可以随时供整个NEES网络的测试工程师使用。

“由于能够与更多抗震工程领域的研究人员分享我们独特的测试能力和经验，我们正在步入一个令人兴奋的土木建筑结构开发新时代。” Shield补充道，“我们共同开展的研究正在为如何设计楼宇、桥梁和其他关键建筑结构，使之能够承受现实世界的地震和其他灾害事件提供更加清晰的认知。”



美特斯工业系统(中国)有限公司
MTS Systems(China) Co., Ltd.

上海
电话: 021-24151000
传真: 021-24151199

北京
电话: 010-65876888
传真: 010-65876777

电邮: MTSC-Info@mts.com
<http://www.mts.com>
<https://www.mtschina.com/>

ISO 9001 Certified QMS

MTS是MTS系统公司的注册商标，该商标在美国境内注册，在其他国家和地区也受到法律保护。
RTM No. 211177.

©2021 MTS Systems Corporation
100-639-612 University of Minnesota 1/21