

美国国家地震工程模拟网络(NEES)

先进的实时混合仿真

小乔治布朗美国国家地震工程模拟网络(NEES) 提供面向客户需求开展基础抗震工程研究的数字化网络，包含全美14个抗震以及土木工程研究领域的先进试验室，这其中就包含了科罗拉多州立大学波得尔分校。NEES通过这种联合试验室网络的紧密合作，改善建筑物的抗震功能设计，引领土木工程技术革新。



“我们几乎每天都有这样问自己，我们需要什么样的专业设备和知识才能够造就出成功的实时混合仿真系统，而幸运的是，MTS每一次都能高中花魁。不得不承认MTS的方案成本略高于其他供应商，但是我们依然选择与MTS合作，因为他们的解决方案所能够创造出的价值远远领先于其他供应商。我们的大学非常注重成本和预算控制，这已经是我们能够给出的最好的褒奖了。”

Tom Bowen
NEES站点试验室主任

客户面临的挑战

一直以来，抗震工程师可以选择两种方法来评估建筑结构在地震条件下的性能表现：

方法一：采用大型地震模拟器或振动台，对整栋建筑的模型进行地震模拟振动试验；

方法二：拟动力试验，使用若干加载作动缸对建筑子结构对象施加一定的载荷和位移；

使用地震模拟器来进行建筑结构的抗震性能评估是最接近真实世界的评估方式。但是，建设拥有地震模拟器的试验室不仅费时费力也费钱，而开展抗震试验时，试验对象的尺寸和结构不得不要受到地震模拟器负载能力和尺寸的限制，开展足尺结构对象的抗震模拟几乎是不可能的任务。

采用拟动力试验的方式成本较低，还可以使用尺度较大的模型对象来开展测试，但是，由于受到作动缸性能的限制，施加载荷或者位移的速度要远低于实际的地震事件。很多时候，这个速度要被放慢100倍，甚至更慢。因此，尽管拟动力试验是一种非常有效的测试方法，可以评估被测对象的刚度和强度，但是无法评估其动态性能，这对于建筑结构的抗震性能评估是不可或缺的一部分。这里需要强调的是，大部分所谓的混合仿真测试实际上就是过去的拟动力试验。

MTS的解决方案

科罗拉多州立大学波得尔分校的NEES站点试验室与MTS系统公司紧密合作，开发了一种先进的快速混合试验方法(Fast Hybrid Testing，简称FHT)。这种试验方法是针对建筑子结构进行物理测试，同时使用计算机模型对建筑结构剩余部分的物理响应进行实时数字仿真。这种实时混合仿真技术结合了虚拟仿真和物理测试的优势，带来了前所未有的高速度、高精确性，同时相对于振动台试验也具有显著的成本效益。

模型仿真和物理测试系统紧密耦合，不仅考量物理模型的刚度和强度，也考虑了整体系统的动态振动特性。试验系统的刷新频率为1024Hz。该试验室利用快速混合试验方法开展了针对剪切墙和桥梁立柱结构的抗震测试，以及建筑隔振缓冲部件的抗震测试等。

be certain.

快速混合试验系统的软硬件系统均由 MTS 系统公司提供，包括三套定制高吨位高速加载电液伺服作动缸，MTS FlexTest® 数字控制器以及与实时仿真系统之间的通讯接口硬件。该系统还包含了可以在线访问海量数据的管理与共享工具，该工具让科罗拉多州立大学波得尔分校的研究人员可以与其他 NEES 站点试验室的同行协作完成研究项目。

更为重要的是，MTS 系统公司根据实时混合仿真测试的需求，定制开发了必需的算法。“作动缸自身无法达到如此快速的响应速度，”科罗拉多州立大学波得尔分校 NEES 站点试验室经理 Tom Bowen 说道，“作动缸必须被告知应该做什么，而 MTS 系统公司具有足够的技术能力让电液伺服加载系统如人所愿地工作。”

“由于计算机技术的发展，实时混合仿真或者快速混合仿真才得以实现。为了能够将物理试验和虚拟仿真整合在一起成为一个统一的测试系统，除了计算机软硬件本身的能力提升，还需要开发出先进的算法。”Bowen 说道，“对于我们来说，最关键的是这种测试的加载速度需要尽可能接近真实的地震运动，只有这样，测试对象才能给出最真实的响应。有了这样的系统，就意味着您可以在拟动力测试的成本控制条件下，达到原本必须使用振动台才能更实现的真实地震事件复现。”



客户的收益

Bowen 表示，NEES 选择使用 MTS 的软硬件产品以及咨询服务来完成这一研发项目，正是看中了 MTS 在抗震工程和土木工程测试领域内的领导地位，MTS 拥有丰富的产品和无以伦比的售后服务保障，这都是客户获取成功的基础。

“我们几乎每天都有这样问自己，我们需要什么样的专业设备和知识才能够造就出成功的实时混合仿真系统，而幸运的是，MTS 每一次都能高中花魁。”Bowen 说道，“不得不承认 MTS 的方案成本略高于其他供应商，但是我们依然选择与 MTS 合作，因为他们的解决方案所能够创造出的价值远远领先于其他供应商。我们的大学非常注重成本和预算控制，这已经是我们能够给出的最好的褒奖了。”

增强美国乃至全球各地的抗震工程试验能力
在美国，所有研究人员都可以利用 NEES 网络来访问并使用科罗拉多州立大学波得尔分校的快速混合仿真试验系统。研究人员可以在试验室现场运行测试，也可以通过互联网远程访问并且运行测试。快速混合仿真试验系统让更多的研究人员有机会研究实际地震事件时高速作用于建筑结构的载荷所带来的系统响应。该系统具有极佳的性价比，相对于传统的振动台试验或者拟动力试验，结合了二者的优点，提高了对两种复杂耦合系统的理解。

在开发快速混合仿真试验系统时创建的虚拟模型，能够为工程师后续开展子结构和部件测试时节省宝贵的时间。

“除了提供更可靠的测试数据外，”Bowen 说道，“FHT 系统还帮助抗震工程师将更多的时间投入到研究中，而不必担心如何使用这样的系统。我们将该系统共享给整个 NEES 网络，让大家可以公开地交换信息，享受群策群力的优势，让整个行业受益。这比以前单一研究机构试验室单打独斗的研究不知强了多少。”

Bowen 表示，FHT 项目成功的关键因素之一就在于和 MTS 的良好合作关系。“这句话我已经说过无数遍了，但我还是要说，MTS 是我们的最佳拍档，毋庸置疑。”他说道，“MTS 提供的专业知识和支持服务为我们开辟了无限的空间。”



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.

其余产品或者公司名称的权益归属于相应的权益所有人。

©2021 MTS Systems Corporation
100-642-490a NEES Earthquake 3/21



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