

太和殿立面

10级强震不倒 故宫古建抗震功夫是如何炼成的

本报记者 唐 婷

最近,一段“故宫建筑模型在强震模拟中安然不倒”的视频在微博上火了。这段视频来自英国电视台第4频道制作的纪录片《紫禁城的秘密》。

故宫博物院研究员周乾博士是该纪录片中展示的故宫建筑模型抗震试验的主要设计者。他向科技日报记者介绍道:“这是首次将故宫中

某一建筑的整体结构模型放置在地震工况下进行测试,结果出乎意料,模型经受住了10.1级地震的考验”。

根据地震学理论,一般用地震烈度来表示地震对建筑物的影响程度。但是该片英国导演认为,对英国观众来说,地震烈度的概念比较陌生,而更倾向于接受震级的概念。“因此,在纪录片中,用震级来代替烈度描述地震作用强度。”周乾表示。

以柔克刚 古建模型强震不倒

在做故宫建筑模型抗震测试前,英国摄制组曾经做过一些欧洲古代建筑模型的抗震试验,砖石结构模型都以坍塌告终,中国古建筑木结构能扛过强震吗?测试开始前,参与拍摄该节目的英国专家理查德和周乾打了个赌。理查德认为,故宫建筑模型肯定会被震垮。

起初,在体验3级到4级地震时(地震烈度约为5—6度),模型只是在试验台上轻微晃动。随着地震烈度的不断增加,模型晃动的幅度增大,两侧的砖石墙体出现坍塌。加码到10.1级地震强度时,地震波烈度的峰值已超过历史地震的最大值,振动台

加载装置也已达工作极限。然而,在如此剧烈的地震作用下,试验模型仍然保持稳定摇晃,并在震后基本能够恢复到初始状态,建筑整体屹立不倒,立柱只是发生了轻微的位移,充分体现了中国传统木构古建在地震作用下“墙倒屋塌”的特点。

“理查德曾向我描述,他在现场感受到,在强震作用下,有一个巨大的冲击力扑向模型。模型开始摇晃,但是始终保持稳定状态。在复位过程中,古建筑模型像揉太极球一样,把地震力往外推了出去。这很像中国太极功夫中的以柔克刚,四两拨千斤。”周乾说道。

理念先进 强震不倒靠防震

故宫建筑模型表现出的“强震不倒”靠的是什么?周乾指出,中国是世界上最早将防震理念应用到建筑中的国家,故宫建筑的设计建

造中充分考虑了抗震的需求,采用了多项防震技术。所谓建筑防震,就是在建筑基础部位安放



太和殿平摆铜柱底座



太和殿梁架

可运动装置;地震发生时,通过装置的运动来耗散、吸收部分地震能量,并错开地震波的频率,从而减轻地震对建筑的损害。

故宫古建筑的防震是如何实现的呢?周乾举例解释道,比如建筑的柱根并非插入地底下,而是平摆浮搁在柱顶石上。地震作用下,柱根在柱顶石上往复运动,产生摩擦滑移防震效果。

故宫古建筑的梁与柱采用榫卯节点形式连接,梁端做成榫头形式,插入柱顶预留的卯口中。地震作用下,榫头与卯口之间反复开合转动,并产生小量拔榫。拔榫即榫头从卯口拔

出,但不是脱榫,榫头始终搭在卯口位置。这种相对转动也是摩擦减震、防震机理的体现。

柱顶之上为斗拱。斗拱由坐、拱、翘、升等小尺寸构架由下至上层层叠加而成。地震作用下,这些细小构件之间相互挤压、错动,可耗散大量地震能量,并能够延长建筑的晃动周期,产生防震效果。地震结束后,这些小构件基本能恢复到初始位置,并保持完好。此外,厚重的屋顶犹如一个胖子,在外力作用下晃悠悠的往复摇摆,但始终保持稳定不倒,起到了很好的防震效果。

力求真实 建造体现故宫建筑特征模型

太和殿是紫禁城内体量最大、等级最高的建筑物。按英国摄制组最初的设想,他们希望能复制太和殿的模型进行地震测试。

但受试验条件限制,建筑模型将在一个长宽均为3米的震动平台上接受地震考验,这意味着要按1:20比例缩小建造太和殿模型。“缩小20倍后,太和殿模型中木柱只有火柴棍大小,会导致试验严重失真。”周乾指出。

为了找到一个既能体现故宫建筑典型构造特征,又能满足试验要求的古建筑,周博士和摄制组导演反复论证研讨。最后,他们决定以故宫南三所大门为原型,按照清工部《工程做法则例》相关规定,对其开间尺寸进行适当调整,加工成缩小比例

约为1:2的试验模型。

周乾介绍,模型建造过程中,瓦作、木作、石作等所有工序严格按照清工部《工程做法则例》进行施工。《工程做法则例》是清代官方颁布的建筑工程技术标准。

在试验模型安装过程中,工人有一些不符合原故宫官式木构古建的施工行为,如对斗拱采用了钉子、柱顶石平面尺寸过小、木材使用了裂纹较大的材料等等。周乾都让他们逐一进行了拆改,原汁原味地再现故宫官式木构古建的施工工艺特征。

“尤其是斗拱,古代斗拱构件间采用暗销及榫卯咬合,不采用钉子。我们希望能最大限度还原明清官式建筑特点。”周乾说道。

及时保养 促进古建筑益寿延年

据统计,自紫禁城建成以来,故宫古建筑经受了大大小小至少222次地震的考验,其中不乏像1679年北京平谷发生的8.0级地震和1976年唐山发生的7.8级大地震。

在周乾看来,故宫古建筑之所以能抵御非常罕见的地震,有个非常重要的前提:这些古建筑在历朝历代得到了很好的维护保养。在古代,皇帝每年都会安排大量经费用于紫禁城建筑的修缮,并有专门的部门负责修缮工作。如明代为工部营缮清

吏司,清代为内务府营缮司。新中国成立后,故宫博物院先后成立古建筑部、工程管理处、修缮技艺部来对故宫古建筑进行定期维护和修缮。

“建筑就像人一样,具有生命属性,时间长了,难免老化并出现各种病害,如开裂、拔榫、变形、糟朽等。只有及时采取各种有效措施对它们进行维护保养,并采取有效加固措施,才能使它们抵御包括地震在内的各种自然灾害,实现延年益寿。”周乾说道。

(图片由受访者提供)

新知

我科学家发现非晶物质流动新模式 加个力“看清”金属玻璃

本报记者 陆成宽

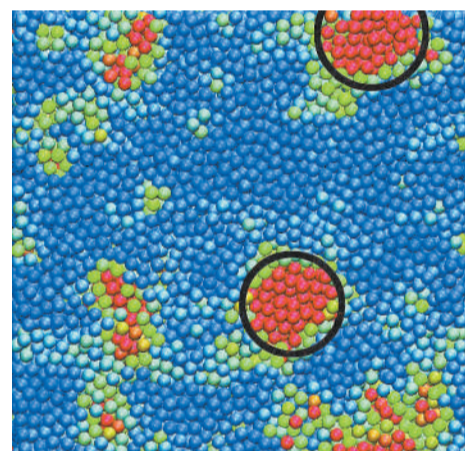
对于大多数人来说,玻璃就是用来制作窗户和酒瓶的一种透明材料而已。它有着像金属、晶体以及数不清的其他物质所具有的固体形态,同时又和水、酒精等许多液体一样晶莹剔透。它既可以脆弱不堪一击,又可以坚韧无比。从表面上看,玻璃更像固体,但内部原子排列却更接近液体。

但是,如果我们想要在室温下探测到氧化硅玻璃的流动,可能需要等待的时间会和宇宙的寿命一样长。中国科学院物理研究所汪卫华研究组转而关注金属玻璃(非晶合金),因为其微观流动的时间尺度更适合实验观察。

金属玻璃弛豫过程分两步

玻璃是一类亚稳态的材料,组成玻璃的粒子会通过缓慢运动,使得材料向能量更稳定的状态过渡。这些粒子的运动形式称为弛豫。为了说明弛豫现象,汪卫华院士做了一个形象的比喻:“比如在一个拥挤的公共汽车上,刚挤上车,觉得很挤。这时系统处在亚稳态。车开动以后,乘客通过微调位置,慢慢会变得宽松一些。整个系统变的更稳定。乘客微调位置的运动相当于粒子的弛豫。”

最近,汪卫华研究组博士生罗鹏在汪卫华院士、闻平副研究员和白海洋研究员的指导下,通过向金属玻璃施加一个微小的力,比如拉长金属玻璃,然后在保证玻璃长度不变的同时探测这个力随着时间的衰减,他们发现向玻璃施加的力通过两个不同的过程来释放,而非以往认为的简单的单一过程。



原子随机堆积形成金属玻璃,其表现为固体,但内部存在着高度活跃的类似液体的“流变单元”。

“研究发现,玻璃态的弛豫过程分为两步:首先发生快模式,对应于原子尺度内应力驱动的类型运动,此时系统被限制在势能阱中;随后体系越过能量势垒,发生更大尺度下动力学不均匀的原子重排。”汪卫华说,“第一步好像要从极其拥挤的公共汽车上下车的乘客,神奇地跳过了紧邻自己的人群,并没有让紧邻自己的其他人让路;第二步就像我们平时下公交一样,大家一起缓慢挪动。”

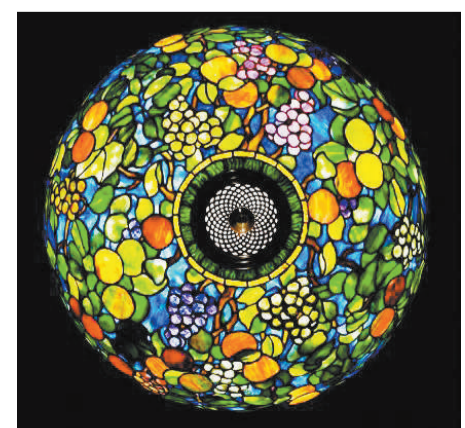
该结果表明,玻璃内部原子的缓慢流动并不简单,存在着远比我们想象丰富的内在特性,只不过这些现象被其长时间尺度所隐藏而难以发现。

据了解,金属玻璃是一种具有无序原子结构的合金材料。通常通过快速冷却高温合金液体得到。这种金属结构相对于原子排列有序的晶体而言处于一种亚稳定的非平衡状态,从而会自发地发生非常缓慢的微观结构演化,也就是我们通常说的老化。金属玻璃的强度和抗腐蚀能力远远超过同成分的原子排列有序的晶态金属,这使得它们具有特殊应用价值而被广泛关注。

流动新模式关乎材料稳定性

研究结果发表以后,美国物理学学会网上发表了意大利比萨大学西蒙·卡帕奇奥利教授和罗马大学詹卡洛·洛克教授联合撰写的题为“金属玻璃的弛豫过程分为两步”的点评文章,他们认为两步弛豫现象的发现促进了非晶弛豫和老化之间关系这一凝聚态物理难题的解决,不但能帮助我们更加全面地理解知之甚少的非平衡玻璃态动力学问题,而且有助于设计具有丰富功能特性和高稳定性的玻璃材料。

西蒙·卡帕奇奥利和詹卡洛·洛克指出,汪卫华团队的工作表明金属玻璃实际上提供了一个在实验室时间尺度上研究玻璃如何恢复平衡态的非常有力的模型体系。硬质玻璃在变形条件下具有发生松弛的趋势,这一性质可能会影响材料的使用。而他们的发现使得研究者认清这一过程,从而有助于指导如何提高其功能特性和稳定性。该发现表明,在短时间尺度内玻璃中一直活跃着某种微观运动模式,而材料在使用过程中必须考虑这一模式以确保其稳定的性能。



玻璃工艺依靠流动来成型,可以制备几乎任何复杂漂亮的形状。(图片由受访者提供)

上得了天,下得了海

——专家详解我国首次航天员海上救生训练

第二看台

本报记者 付毅飞

8月21日晚,中国航天员中心烟台海上训练基地里气氛轻松欢乐。完成了17天海上救生训练任务的18名中欧航天员,终于能暂时放松一下。晚餐时,两名欧洲航天员满怀好奇地品尝了白酒,兴奋不已。

此次训练中,原本“上天揽月”的航天员们,在风浪中大显身手,从出舱入水、攀爬登艇到直升机悬吊,演练了整套海上救生流程。“中国航天员训练的质量跟欧洲一样高。”德国航天员马蒂亚斯·约瑟夫说,“希望能经常和中国朋友一起训练。”

我国首次在真实海域开展训练

“神舟飞船应急返回时,应急着陆区包括海上。”中国航天员中心副总设计师黄伟芬说,开展海上训练的目的,是让航天员掌握海上救生知识和技能,提高他们与搜救人员的协同能力,以提高返回获救概率。

黄伟芬说,过去在水池和水库里进行过航天员自主出舱、水上生存的训练,而直升机悬吊营救等训练则是在陆地上开展。此次海上训练,演练了直升机悬吊以及救援船吊篮两种营救方式,内容更加全面。

航天员叶光富说,在水池训练时,许多条件无法真实模拟。海上除了大风大浪,还要面对偏远隔离、救援条件有限等情况,给身体、心理带来的影响完全不同。另外,以前的训练主要是各个单项分开进行,这次则是把所有单项整合在一起,一次完成全部流

程。这除了对航天员的操作、配合提出一定要求,也对整个保障团队带来了很大考验。

黄伟芬表示,通过此次实战演练,进一步检验海上营救的方法和模式的可行性,增强了各单位协同能力,为后续任务的应急搜救奠定了基础。此外,这也是首次有外国航天员参与我国大型训练任务,双方加深了了解,为载人航天领域开展国际合作积累了经验。

落在海上不好受,航天员也想吐

飞船落在海上,舱内的航天员并不好受。黄伟芬说,返回舱在浪和涌中摇摆,加上舱内空间狭小、天气炎热,航天员会感觉不适,甚至想吐,这都需要克服。有时遇上风平浪静,为了达到训练效果,工作人员还会用救助艇在周围“造浪”。

“很闷热,特别晃。”女航天员王亚平说,“不开舱门闷,开了又晒;穿着航天服一身汗,脱下去又是一身汗。”

训练中,航天员要先在模拟返回舱内把航天服换为抗浸服,然后出舱落水,开始生存活动。黄伟芬介绍,在舱内更换服装并不容易,需要三名航天员相互配合;落水的环节也需特别注意,要以规范的姿态入水,以免自己受伤,同时防止对舱内同伴带来伤害。

王亚平说,第一名出舱的航天员要先坐在返回舱舱沿,用气瓶给救生船充气,把船扔进海里,把救生包扔到船上,自己再入水爬上岸。救生船有两艘,一艘单人、一艘双人。救生包里防卫物品、陆鞋包、卫星电话、指南针、定位系统,以及能维持48小时的应急食



朱九通摄

品等。三名航天员都上船后,便打开电话和定位系统等待救援。

海上作业环境复杂,风险很高。8月21日回收返回舱时,由于风大,吊在空中的返回舱摆动起来,十分危险。船长立刻启动预案,将返回舱放回海里恢复稳定,并调整母船航向重新起吊,这才成功完成回收。

为了保障安全,组织方尽可能考虑到各个细节,制定了多项预案和应急措施。黄伟芬说,例如工作人员发现营救航天员的吊篮上有尖锐部分,立即用胶带包住;发现有些工具可能划伤手,就提醒航天员戴手套。对航天员可能遇到的溺水、中暑、磕碰、摔倒等情况,他们也进行了分析,在相关环节中采取了对策。在选择训练海域时,他们对环境、天气变化、雷电、有无攻击性的海洋生物,周边船只通过情况等做了详细分析。

未来空间站将开展更多国际合作

据中国载人航天工程办公室副主任杨利伟介绍,这次海上救生训练,是我国面向空间站建设和下一步运营进行的重要训练,也是载人空间站任务的重要组

成部分。

“在载人航天领域,国际合作是大势所趋。中国载人航天发展也要走国际合作路线。”杨利伟说,我国载人航天发展25年来,形成了一套独立、系统的工程建设管理及人才培养体系;欧洲航天局长期参与国际合作,特别是在国际空间站建设及飞行方面积累了大量经验。双方各有优势,也有许多共同需求。

此外,中国载人航天也已经和俄罗斯、法国,以及亚洲、非洲的多个国家开展了大量合作,并与意大利、联合国外空司等国家和机构签署了合作协议。

我国计划于2022年前后建成空间站。杨利伟表示,未来的国际合作可以从多个方面开展。一是平台技术合作,可以是单项设备或组件、分系统乃至舱段级合作,比如空间站上预留舱段接口。二是空间应用合作,包括在空间科学应用及航天医学等领域,采取联合研究研制、搭载实验等形式。三是航天员选拔训练合作。“现在已有十多个国家提出请我们选拔和训练航天员。”他说。

“我们不排除任何一个国家,欢迎各国加入空间站方案设计,从建造到运营都参与进来。”杨利伟说。