



## 专题故事

### 香港分中心与土木工程拓展署签署 深化超高强度 S960 钢材科研及应用合作备忘录

香港分中心与土木工程拓展署（土拓署）于二零二三年六月二十七日签署深化超高强度 S960 钢材科研及应用合作备忘录，促进双方在桥樑建造项目中创新应用 S960 超高强度钢材，为日后应用该钢材制定相关技术指南及规范。深化超高强度钢材科研及应用合作备忘录由土拓署署长方学诚及理大国家钢结构工程技术研究中心香港分中心主任锺国辉教授签署。



香港分中心主任锺国辉教授代表香港理工大学与土木工程拓展署署长方学诚太平绅士代表土木工程拓展署签署「深化超高强度钢材科研及应用合作备忘录」，并由艾奕康亚洲有限公司、大宇-群利-俊和联营体及 YWL 工程私人有限公司见证

土拓署在辖下的粉岭北新发展区第一阶段—粉岭绕道东段（石湖新村北至龙跃头）率先采用 S960 超高强度钢材以建造行人天桥，是次项目为全球首次在民用桥樑建设中采用 S960 超高强度钢材。创新应用 S960 超高强度钢材于桥樑建设，可为建筑业未来的桥樑建造项目，奠定采用该钢材的技术基础及提供示范作用。使用 S960 超高强度钢材，可减轻桥体的重量及地基桩柱的数目，有利于降低工程的碳排放和提升工程的可持续性。此外，S960 超高强度钢材的组件可在厂房预制，令需于工地进行的工序可大幅减少，有助工程做到提速、提质、提效、提量，为社会带来效益。

# 奖项

## 「全国创新争先奖」

分中心主任钟国辉教授荣获第三届「全国创新争先奖个人奖」，钟教授更是本届唯一的香港得奖者。钢结构工程专家钟国辉教授任教于土木及环境工程学系，多年来致力钢结构工程基础理论的创新和实践。钟教授是次获授殊荣，证明了理大科技研发的能力，足为香港发展成国际创科中心作贡献。

钟教授专研大型钢结构的性能表现与成本矛盾、建设碳排放量高等挑战，对高强度钢材钢结构进行从材料、焊接、机械特性和结构表现的学科交叉研究，为国家工程建设「双碳」战略提供了新的发展方案。

在钢结构领域上，钟教授有重要的国际影响力。他曾撰写多篇高水平学术论文，提出了国产高强钢结构的系列基础理论与应用关键技术；科研成果也应用于香港将军澳主跨双拱桥和澳门澳凼四桥等重大工程，节省了工程造价，增加了显著的经济和社会效益。

「全国创新争先奖」由中国科协、国家人力资源和社会保障部、国家科技部、国务院国资委共同设立，旨在表彰在基础研究和前沿探索、重大装备和工程攻关、成果转化和创新创业、科普及社会服务等方面有卓越贡献的优秀科技工作者和优秀团队。奖项每三年评选表彰一次，每次表彰不超过 300 名科技工作者。



## 动向

### 「香港创科 砥砺前行」主题论坛

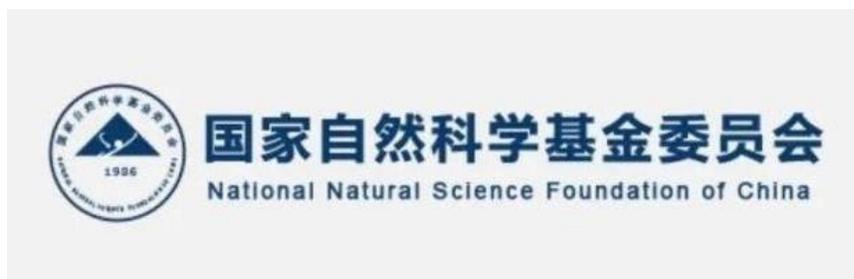
2023年6月30日香港分中心主任锺国辉教授带领其研究团队出席由京港学术交流中心与特区政府创新科技署及香港科技园公司携手举办的「国家主席习近平视察香港科学园一周年暨庆祝香港回归祖国26周年活动『香港创科 砥砺前行』主题论坛」。



## 动向

### 国家自然科学基金

2023年8月25日香港分中心助理教授（研究）胡亦非博士获得2023年度国家自然科学基金委员会科研资助基金三十万人民币，资助为期36个月名为「海洋环境下焊接残余应力影响高强钢管节点结构性能分析及力学模型构建」的研究项目。



# 动向

## 2023 中国钢结构协会冷弯型钢分会第八届四次理事会议

2023年8月2日香港分中心副秘书长何浩祥博士代表国家钢结构工程技术研究中心香港分中心出席由中国钢结构协会冷弯型钢分会在广州所举办的 2023 中国钢结构协会冷弯型钢分会第八届四次理事会议。

各代表认为工作报告紧扣行业热点，聚焦高质量发展，总结成绩客观全面，目标明确，工作措施有力。在行业发展研讨中，代表们介绍了单位基本情况、上半年经营状况、面临问题及对协会建议，集思广益，凝聚共识，为发展献良策。代表们一致认为我国冷弯事业有发展韧性和潜力。只要全行业团结，攻坚克难，走好转型升级路，必能克服困难，推动冷弯事业高质量发展。



# 动向



2023年6月1日 ARUP 亚太区理事会主席郭家耀先生到访香港分中心



2023年6月8日中国钢结构协会副会长及清华大学石永久教授到访香港分中心



2023年6月23日艾奕康有限公司全球大跨度和特种桥梁总监岑肇雄博士到访香港分中心



2023年8月1日土木工程拓展署及路政署工程师到访香港分中心



2023年8月17日深圳地铁集团党委书记及董事长辛杰先生和他的随行人员到访香港分中心

# CNERC 研究活动

CNERC 通讯包含我们的研究人员分享他们研究工作中的最新发现。若对这些研究工作中有任何疑问或意见，欢迎发送电子邮件至：[cnerc.steel@polyu.edu.hk](mailto:cnerc.steel@polyu.edu.hk) 或直接与研究人员联系。

研究人员的联系资料可见于每篇文章的末段。

## 研究活动

### 不锈钢复合钢材焊接连接与节点在单调和循环载荷下的力学性能基础理论研究

不锈钢复合钢是一种先进的高性能钢材，它通常由 i) S235, S355 和 S460 低碳钢，以及 ii) S316L 不锈钢两种不同的金属组成，它们主要通过热轧、爆炸、爆炸-轧制复合工艺，使两种材料达到冶金结合。在面向海洋环境的结构工程中，不锈钢复合钢具有平衡高性能和低性能的理想解决方案。兼具了优异的综合力学性能和耐腐蚀性能。

为了促进不锈钢复合钢材在建筑中的广泛应用，必须证明不锈钢与低碳钢复合界面在焊接结构和焊接连接节点的整体性。通过本项目的研究，将获得不锈钢复合钢材复合界面在大变形下的机械性能的研究资料，建立科学的理论与理解，解决关键的技术问题，并促进不锈钢复合钢材在结构中的设计与应用。

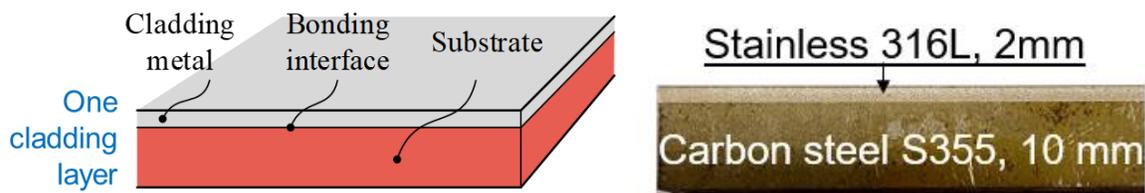
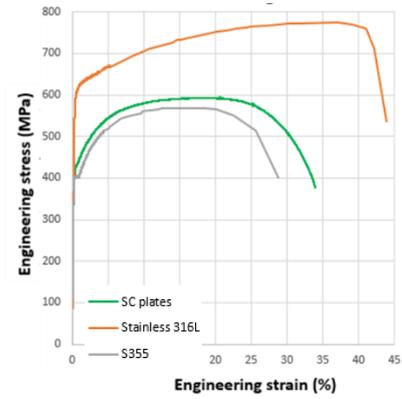


图 1 单面不锈钢复合钢截面图

图 2 是不锈钢复合钢 S355 316L 的机械性能和应变曲线。可以看到不锈钢层的机械强度大于碳钢的机械强度，尤其在强度和延展性上。当应变  $\leq 20\%$  的时候，不锈钢的屈服强度和抗拉强度和碳钢的屈服强度和抗拉强度是统一的。当变形打到  $28\sim 30\%$  的时候，碳钢开始断裂，然后复合层开始剥离。

	E (kN/mm <sup>2</sup> )	R <sub>p,0.2</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	R <sub>m</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	R <sub>m</sub> /R <sub>p,0.2</sub>	A (%)
<b>Bi-metallic 10 + 2 mm</b>	<b>199</b>	<b>423</b>	<b>595</b>	<b>1.34</b>	<b>33.2</b>
<b>Stainless steel 2 mm</b>	<b>200</b>	<b>582</b>	<b>775</b>	<b>1.34</b>	<b>41.9</b>
<b>Carbon steel 2 mm</b>	<b>206</b>	<b>395</b>	<b>569</b>	<b>1.44</b>	<b>29.6</b>



图

## 2 不锈钢复合钢的应力应变曲线和机械性能

图 3 是两种焊接件的应力应变曲线。一种是用单一不锈钢焊材 316L，另一种是用 3 种不同的焊材 S355、309L 和 316L。两种曲线表现出来的机械性能基本相同，所有的断口都在母材上，这表示焊材和热影响区的机械性能都高于母材。

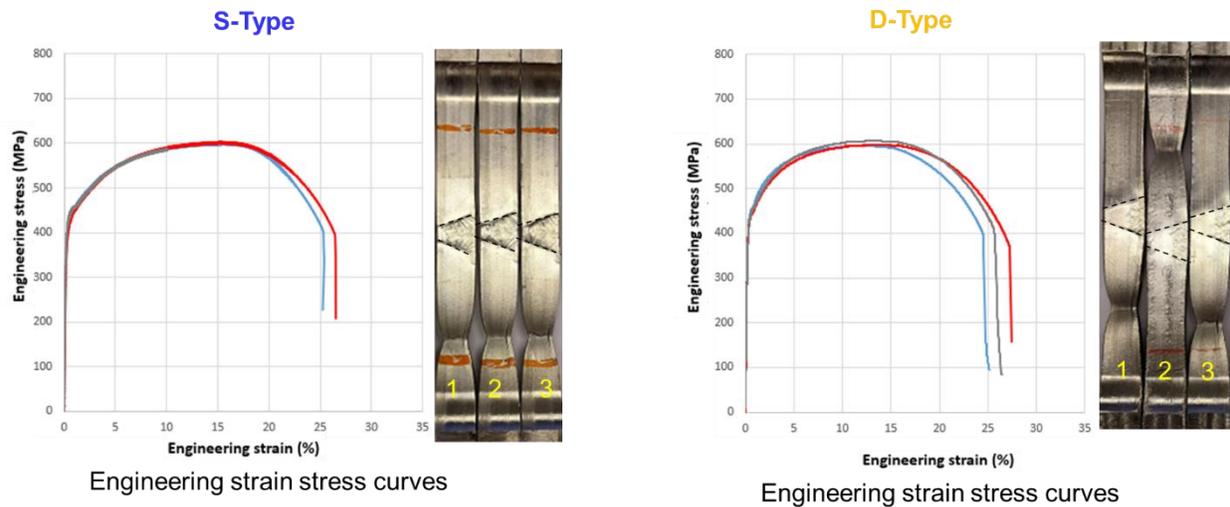


图 3 不锈钢复合钢焊接件的应力应变曲线 (S-Type 是使用单一不锈钢焊材，D-Type 是使用 3 种不同的焊材)

实验证明了两种焊接方法对于不锈钢的焊接都是可行的，焊接方法的选用取决于焊接效率和经济性，一种不锈钢焊丝更效率而三种焊接经济性比较高。

研究员：王一川 (电邮: [yichuan.wang@polyu.edu.hk](mailto:yichuan.wang@polyu.edu.hk))

# 研究活动

## 具有多重耗能机制的自复位阻尼器：实验研究和结构抗震需求性能

以往的传统抗侧力体系（如钢框架结构和支撑结构）的相关研究表明传统的侧力体系可以有效地实现防倒塌的抗震性能目标。然而，随之产生的地震破坏不可避免地会使结构产生较大的残余变形，进而造成不菲的经济损失和较长的修复周期。研究发现，如果结构的残余位移大于0.5%，所采取的修复方案与重建方案相比可能是不经济。因此，残余变形已成为新型结构基于性能的设计或评估中的关键工程需求参数之一。在损伤控制机制的启发下，自复位耗能支撑已被广泛研究并用于提出新型的韧性支撑框架体系。在以往的研究基础上，本研究提出了一种以多能量耗散机制为特征的新型多阶段的自复位阻尼器。

图 1 是试验试件的每个组件示意图。所提出的阻尼器由内芯、外管、内/外摩擦板、预加载盘系统和左/右端板组成。试件装配程序如图 2 所示。

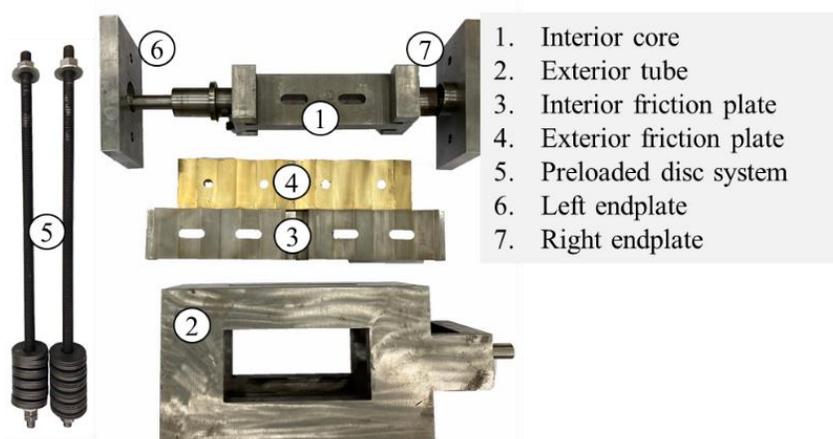


图 1. 试件的各项组件

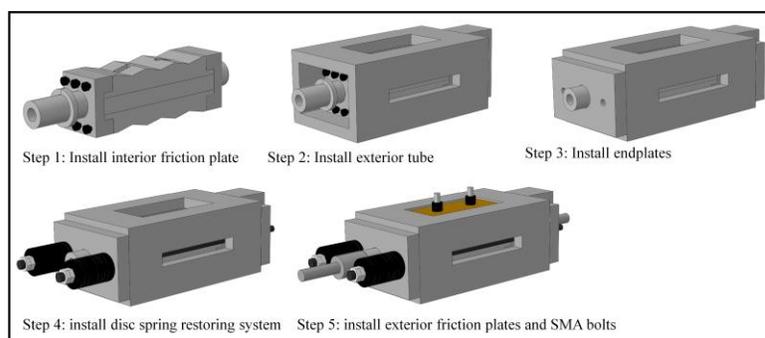


图 2. 装配步骤

为了更好地理解所提出的阻尼器的工作原理，图 3 说明了所提出的阻尼器在循环载荷下的滑动变形模式和预期的力-位移关系。可以发现阻尼器的理想化滞回曲线呈现出具有饱满能量耗散的三线旗形特征。

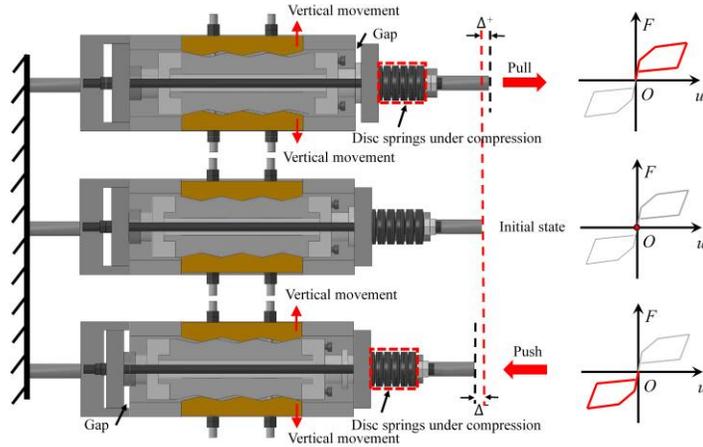


图 2. 阻尼器变形模式和力位移关系

为了验证所提出的阻尼器的预期工作机制，进行了一系列试验试件。图 4 展示了一个试件的典型循环试验结果。根据试验结果，可以得出所提出的阻尼器具有更饱满的三线旗形滞后曲线（即，刚度和强度解耦并且能量耗散能力增强）。

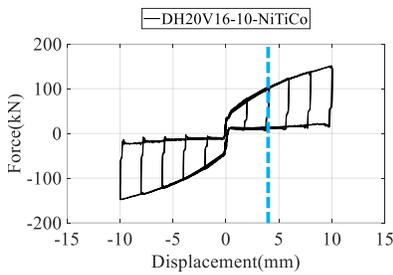


图 4. 典型的试验曲

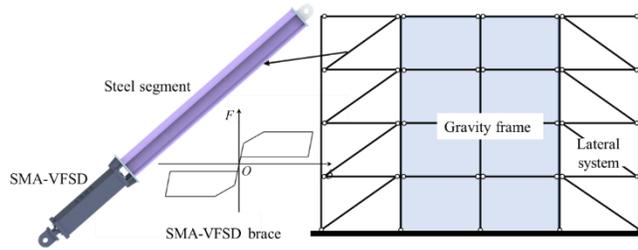


图 5. 配有所提阻尼器的钢支撑结构

最后，为了验证所提出的阻尼器在减轻地震响应方面的有效性，设计了一种新型支撑钢框架，如图 5 所示。

所提出的支撑框架的非弹性地震需求可以由基于等延性的等效的单自由度体系的能量和加速度需求指标进行量化。分别使用了能量修正系数 ( $\gamma$ ) 和加速度系数对该体系进行了能量和加速度需求定量分析。此外，还将所提出的支撑系统的抗震需求与具有旗形滞回曲线的传统支撑系统的抗震需求进行了比较。

研究员：张萍（电邮: [ping828.zhang@connect.polyu.hk](mailto:ping828.zhang@connect.polyu.hk))

## 研究活动

### 一种新的镍钛形状记忆合金的结构形式——L形角钢

传统的抗震设计通常允许结构的构件或节点发生不可恢复的塑性变形，以耗散地震能量来防止结构倒塌，因此会产生较大的震后残余变形，并需要较为全面的修复工作，导致受损结构被长期占用从而带来巨大的经济损失。在严重的情况下，甚至需要进行拆除-重建工作，这可能导致巨大的能源消耗以及造成大量的碳排放。为了符合全球可持续发展的趋势，建筑物的抗震韧性这一理念被提出，该理念不仅强调建筑物在地震时不能发生倒塌破坏，还要求建筑物在地震后能立即恢复使用功能。因此，各种新型的抗震韧性结构被提出，其中，自复位结构由于其在地震后能恢复到初始位置而引起了广泛关注。

形状记忆合金（SMA），由于其超弹性效应（SE）和形状记忆效应（SM），为实现结构的自复位行为提供了一个可行的解决方案。其中，超弹性效应和形状记忆效应是由于在特定的加热和加载条件下，奥氏体相和马氏体相之间的可逆马氏体转变引起的。从图 1 中可以看出，在温度高于奥氏体相结束温度（ $A_f$ ）时，SMA 会以奥氏体相变形并呈现 SE，载荷引起的变形在卸载后可以恢复。当温度低于马氏体相结束温度（ $M_f$ ）时，SMA 会以马氏体相变形并呈现 SM。在这种情况下，残余变形可以通过后续的加热来恢复。以往的研究通过实验和数值方法，证明了利用配置 SMA 构件（即 SMA 丝材、缆材、棒材、板材）的装置来减轻结构震后损伤的有效性。

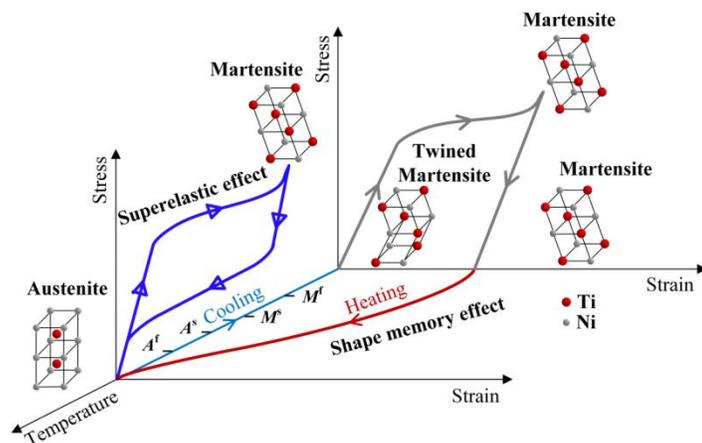


图 1 形状记忆合金的超弹性和形状记忆效应

然而，现有的 SMA 构件形式在抗震应用时存在一些局限性。例如，在使用 SMA 丝材和缆材时，端部的锚固通常比较麻烦，并且需要对其施加预应变或预应力，其施加装置和过程也很复杂。对于 SMA 棒材，在使用时需要对其螺纹区域进行额外的加工，以减小使用过程中断裂破坏发生在螺纹区域的可能性，这往往是不经济的。此外，由于惯性矩较低，SMA 板材容易在受压荷载下发生屈曲，因此在循环荷载作用下，使用 SMA 板材需要额外的防屈曲装置。

因此，为了克服上述 SMA 构件的缺点，促进 SMA 进一步的抗震应用，我们提出并研究了采用热轧法制造的 L 形 SMA 角钢（图 2）。为保证热轧 SMA 角钢可作为实际工程中使用的构件，对其进行一系列微观检查和机械试验。DSC 结果（图 3a）表明，从热轧 SMA 角钢上取下的样品的奥氏体相结束温度基本低于 20℃，从而表明，在室温（20℃）下热轧 SMA 角钢呈现奥氏体并表现出超弹性效应。此外，SMA 角钢的拉伸试验结果（图 3b）表明，在受拉应变达到 4%，卸载后 SMA 角钢的残余变形可以忽略不计（残余应变低于 0.5%）。所有这些结果都初步证实了热轧 SMA 角钢具有较好的自复位能力和耗能能力，其在抗震应用方面的研究正在进一步进行中。

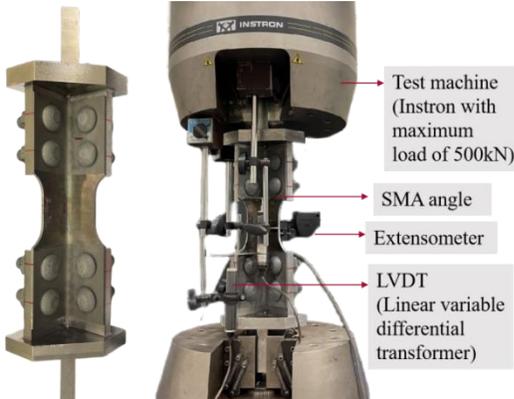
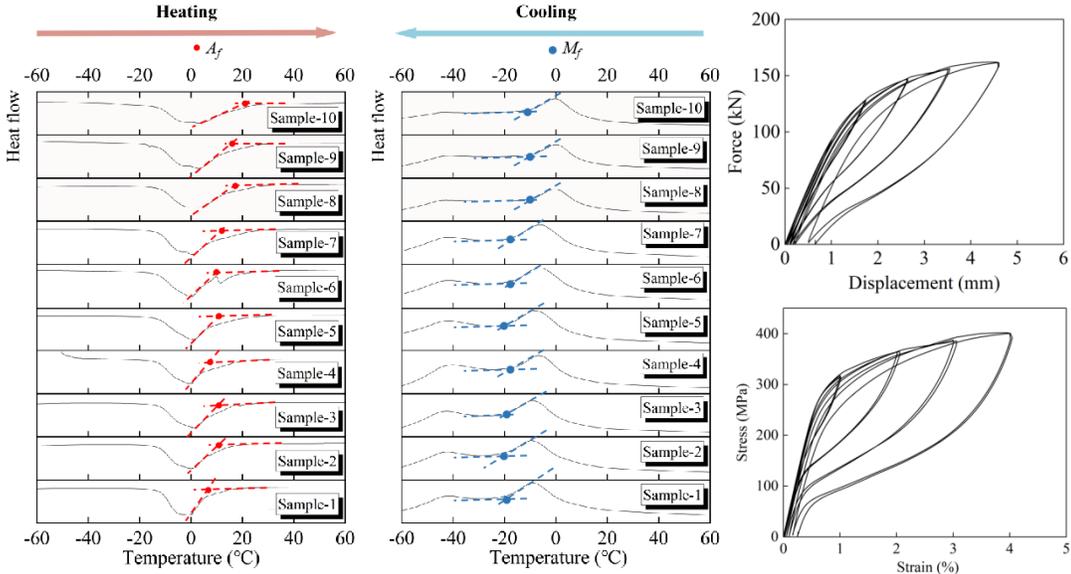


图 2 热轧 SMA 角钢和试验设置



(a) DSC 结果 (b) 拉伸实验结果

图 3 试验结果

研究员：朱敏（邮箱：[minzhu.zhu@connect.polyu.hk](mailto:minzhu.zhu@connect.polyu.hk)）

## 联络我们

地址：九龙 红磡  
 国家钢结构工程技术研究中心香港分中心香港理工大学 第八期 Z106  
 室电话：(852) 3400-8451  
 电子邮箱：[cnrc.steel@polyu.edu.hk](mailto:cnrc.steel@polyu.edu.hk)