



中国科学院流固耦合系统力学 重点实验室

Key Laboratory for Mechanics in Fluid Solid Coupling Systems

Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences

季 报

2018 年第 3 期（总第 16 期）

目 录

流固耦合实验室 8 人参加第八届国际流体力学大会	3
FIV2018 及 FEDSM2018 会议新闻稿	5
流固耦合实验室 10 人参加第四届国际铁路技术会议	6
Usama Kadri 博士来访并做学术报告	8
瑞典斯特哥尔摩大学 Guillaume 博士访问 LMFS 青年学术论坛	9
LMFS 青年学术论坛秋季研讨会召开	10
“高速列车长时间服役的安全可靠性”项目工作进展会议在沈阳召开 ...	11
油气水多相流量计在中海油深圳分公司西江 XJ24-3，恩平 EP24-2 现 场测试取得成功	13
拉哇水电站“堰塞湖沉积物上高围堰关键技术问题研究”项目第 1 次技 术交流会顺利召开	15
中国地质调查局天然气水合物项目 2018 年度研究工作通过中期检查.	16

中石化勘探院重大专项外协课题 2018 工作方案通过.....	16
轻质金属点阵夹层板抗激光加固设计研究进展.....	17
水下航行器水动力外型设计及优化.....	19

流固耦合实验室 8 人参加第八届国际流体力学大会

第八届国际流体力学大会于 2018 年 9 月 25 日-28 日在日本仙台举行, 来自中国、日本、越南、法国、伊朗、爱尔兰、以色列、阿曼、巴基斯坦、俄罗斯、新加坡、斯里兰卡、泰国、乌克兰等 14 个国家的代表近 200 人参加了此次会议。我室周济福研究员、王展研究员、王晓亮助理研究员、沈伟军助理研究员以及研究生共 8 人参会并做学术报告。



周济福研究员与日本东北大学 Hitoshi Tanaka 教授担任会议组织委员会共同主席, 并主持了大会邀请报告和水动力学分会场报告。王展研究员分别做了题为“Dynamics of Patches of Wind Ripples: What Happens after Initial Focusing?”、“Ice road truckers: a nonlinear theory of hydroelastic waves and its application”的学术报告。王晓亮助理研究员、沈伟军助理研究员、张炆涛博士生、檀大林博士生、谢益芹博士生、周丹洋硕士生等 6 人分别做了题为“A fluid-solid coupled model for landslide induced water wave problem”、“A simplified adsorption model for water vapor adsorption of the lower Silurian Longmaxi Shales in south China”、“Three-dimensional two-phase model for debris flow”、“Disintegration of large-amplitude solitary waves over a bottom step”、“Sediment suspension under

water waves over a ripple bed”、“Influences of rainfall on the instability of loess slope”的学术报告，展示了力学所在水动力学、环境流体力学、地球物理流体力学、湍流和流动稳定性等方面的研究进展和成果，并与国际同行进行了深入的学术交流和讨论。





(流域水环境课题组供稿)

FIV2018 及 FEDSM2018 会议新闻稿

2018 年 7 月 8-11 日, 第九届流固耦合、流声耦合、流致振动与噪声国际研讨会在加拿大多伦多召开, 中国科学院力学研究所流固耦合与系统力学重点实验室杨国伟研究员、王一伟研究员、郑冠男高级工程师、孙振旭副研究员、银波副研究员、聂雪媛助理研究员应邀参加了此次会议。参加此次会议的单位包括来自不同国家和地区的高等院校、科研院所以及行业领先的工业部门等, 共有 300 余名代表参加了此次会议。

此次会议重点讨论了工业领域中的流固耦合问题和声振耦合问题。大会主席回顾了会议的发展历史和发挥的作用, 分析了流固耦合、声震耦合领域的发展现状, 希望通过交流讨论碰撞出新的火花。在此次会议中, 杨国伟研究员、王一伟研究员、郑冠男高级工程师、孙振旭副研究员、银波副研究员、聂雪媛助理研究员等分别做了“Aeroelastic effect considering structural geometrical nonlinearity”、“Numerical investigation of fluid-solid interaction in cavitating flow”、“Load transfer in aeroelasticity based on radial basis function”、“Numerical study on aerodynamic noise of a baseline wing mock-up model”、“Wall effect on the flapping

of an inverted plate in a uniform flow”、“Fluid and structure interaction analysis via a fixed-point method and geometrically exact approach”的报告,展示了力学所在流固耦合、气动噪声等方面的进展和研究成果,并在大会上与国际同行进行了深入的交流和学术讨论。

应 ASME 首席运营官 JeffPatterson 的邀请,流固耦合与系统力学实验室杨国伟研究员、王一伟研究员、孙振旭副研究员和银波副研究员于 7 月 15-21 日赴加拿大蒙特利尔参加了 ASME 夏季工程流体力学分会。美国机械工程师学会夏季工程流体力学分会是当间国际工程流体力学行业的重要会议,涉及计算流体力学、工业流体力学、多相流、流体机械和实验流体力学等力学学科。此次会议上,杨国伟研究员、王一伟研究员、孙振旭副研究员、银波副研究员等分别做了“Numerical Study on the Critical Diameter of the subway tunnel Based on the Pressure Variation”、“Re-entry jet and shock induced cavity shedding in cloud cavitating flow around an axisymmetric projectile”、“Numerical analysis on drag reduction of high-speed train using rough surface”、“Influence of Typical Subgrade Structures on Aerodynamic Characteristics of High Speed Trains in Cross wind Conditions”的报告,并同国际同行进行了热烈的讨论,建立了良好的合作关系。

(流固耦合与数值计算课题组供稿)

流固耦合实验室 10 人参加第四届国际铁路技术会议

第四届国际铁路技术会议于 2018 年 9 月 3 日-2018 年 9 月 7 日在西班牙巴塞罗那举行。本届大会主席由英国 Heriot-Watt University 和葡萄牙 University of Lisbon 的 J. Pombo 教授担任。来自不同国家和地区的超过 600 名代表参加了本届会议。本次大会包含铁路技术方面的机车车辆、基础设施、信号与通信、规划与作业等多个主题。大会为铁路技术领域各个方向的学者和工程技术人员提供了交流平台,展示了各个方向在基础理论、计算模拟和实验研究方面的最新成果。

流固耦合实验室 10 人参加了本次会议。杨国伟研究员、曾晓辉研究员、郭迪龙高级工程师、孙振旭副研究员、银波副研究员、吴晗助理研究员、纪占玲助理研究员、郭易助理研究员、刘雯博士生、姚永芳博士生等 10 人参加了本次大会。他们分别作了题为“”、“Dynamic response of high speed train in curve negotiation under crosswind”、“Moving model rig experimental investigation of the micro pressure wave”、“Comparative analysis of wake characteristics among high-speed trains and different maglev trains”、“Numerical analysis on drag reduction of high-speed train using biomimetic concave surface”、“Stability analysis of EMS maglev vehicle with delayed position feedback control”、“Research on aerodynamics and multi-body dynamics tight coupling method used in high speed train”、“Moving model analysis of the slipstream around a high-speed train in a single-track tunnel”、“Modal analysis of wake flow of high-speed train based on proper orthogonal decomposition and dynamic mode decomposition”、“Study on Interior Noise Characteristics of High Speed Train Caused by Aerodynamic Excitation”的学术报告,展示了力学所在高速列车气动力学、高速列车车辆动力学、磁悬浮列车运动稳定性等方面的进展和研究成果。并在大会上与国际同行进行了深入的交流和学术讨论。





(结构力学、流固耦合与数值计算课题组供稿)

Usama Kadri 博士来访并做学术报告

2018 年 10 月 12 日至 10 月 18 日, 受中国科学院流固耦合系统力学重点实验室 (LMFS) 王展研究员的邀请, 英国卡迪夫大学的 Usama Kadri 博士访问了力学研究所。访问期间, Usama Kadri 博士参观了流固耦合水槽等大型实验平台, 并与相关科研人员在 acoustic-gravity waves 的基础理论及其在海洋科学中的应用方面开展了深入而广泛的探讨。

Usama Kadri 博士身兼应用数学家和工程师双程身份。他在荷兰代尔夫特理工大学应用科学系获得博士学位, 其后在以色列理工学院、加州大学圣地亚哥分校以及麻省理工学院从事科学研究工作。目前 Usama Kadri 博士受聘于英国卡迪夫大学数学科学系。他的研究兴趣在于流体力学与非线性现象。目前他特别关注海洋中的 acoustic-gravity waves, 一个蓬勃兴起的研究领域。

Usama Kadri 博士于 10 月 16 日下午在所内做题为“Tsunami mitigation via nonlinear triad resonance with acoustic-gravity waves: 3D theory and laboratory experiments”的学术报告。介绍了有关 acoustic-gravity waves 的前沿进展, 并着重讨论了这种波在物理海洋学、量子力学、多相流、海洋生物学中的应用。学术报告由王展研究员主持, 报告内容精彩。特别地, Usama Kadri 博士所提出的新理论对于海啸预警具有重要的启发意义, 引发了与会师生的热烈讨论。

(流域水环境课题组供稿)

瑞典斯特哥尔摩大学 Guillaume 博士访问 LMFS 青年学术论坛

2018 年 6 月 22 日瑞典斯特哥尔摩大学 Guillaume 博士访问 LMFS 实验室, 并和 LMFS 部分青年学者以及研究生开展了一场环境流体力学研讨会。Guillaume 博士充分地展示了其在波罗的海养分、营养物等关键指标的监测、数值模拟以及整治措施等方面的工作; 杨世豪博士的报告分析了海底浊流的数学建模、算法和应用方面的工作; 吕国钦博士的报告展示了时间序列分析方法预测气候变化背景下东海极端风速的变化。与会人员就相关科学问题、学习方法等展开了充分的讨论。



(LMFS 学术论坛供稿)

LMFS 青年学术论坛秋季研讨会召开

2018 年 9 月 13 日, LMFS 青年学术论坛之秋季研讨会在中科院力学所会议中心 207 召开。研讨会由张旭辉副研究员主持会议, 刘大庆助理研究员和王晓亮助理研究员分别作题为“A numerical method for analyzing fault slip tendency under fluid injection with XFEM”和“复杂地形条件滑坡体深度-厚度数学变换及其应用”的报告。刘大庆的报告针对含断层地质体中的渗流-变形耦合问题, 建立了地质体-裂隙变形-渗流耦合数学模型以及扩展有限元数值算法, 分析了其中的流固耦合问题。王晓亮的报告建立了一个能够和 GIS 接轨的复杂地形滑坡-碎屑流灾害链过程的一个动力学模型, 同时给出了许多滑坡、泥石流运动模拟的有趣例子。会上安翼、张健、程鹏达等科研人员对两个报告中的物理机制、数值算法以及工程应用展开了充分的讨论。



(LMFS 学术论坛供稿)

“高速列车长时间服役的安全可靠性”项目工作进展会议在沈阳召开

7 月 23-25 日, 力学所承担的中国科学院战略性先导科技专项 (B 类) 项目二“高速列车长时间服役的安全可靠性”年度工作会议在中国科学院金属研究所召开。中科院前沿科学与教育局技术科学处主管于汉超, 特邀专家、中车青岛四方机车车辆股份有限公司教授级高级工程师田爱琴和陈大伟, 专项共同负责人力学所副所长魏宇杰研究员、项目负责人力学所杨国伟研究员和金属所副所长张哲峰研究员、专项办公室主任周济福研究员及项目科研骨干等 40 多人参加了会议。会议由张哲峰主持。

会上, 魏宇杰简要介绍了专项的立项目标与目前状况; 周济福简要介绍了专项办近期的工作, 并对项目工作的财务、档案、宣传等管理工作提出了具体要求; 项目二负责人杨国伟介绍了项目的总体进展; 课题负责人曾晓辉和魏宇杰分别介绍了课题一和课题二的年度工作进展。力学所吴晗、许向红分别就“高速列车载荷”和“受电弓优化设计”做了汇报; 金属所张哲峰、姜海昌分别就“高速列车关键构件疲劳分析”和“高速列车关键材料可靠性分析”进行了详细汇报。

参会专家和领导对项目进行了深入的交流与讨论, 对项目取得的研究进展给予了充分肯定, 并对项目后续研究工作的实施提出了宝贵的意见。

田爱琴针对项目中计算模型和软件、系统动力学、受电弓、整车和高速列车长时间服役等方面的研究, 结合高速列车研发过程中面临的问题, 提出了建议, 并希望后续加强合作, 力争将项目成果更多的用于解决实际工程问题。

陈大伟指出, 高速列车服役过程中出现的问题, 目前主要依靠现场处理, 项目研究从理论上解决这些问题很重要。对于多学科多因素仿真平台, 他建议研究耦合因素的影响, 希望项目开发的大规模并行计算和软件能够用于小型服务器, 以服务于高速列车制造企业。

周济福在讲话中希望能够与相关制造企业紧密合作, 加强从实验阶段到实用阶段的转化, 注重总结凝练重大成果, 为专项的中期评估提供支撑材料。

于汉超指出, 团队整体工作扎实、系统, 建议引入智能化分析手段, 统筹整合已建立的高速列车长时间服役分析模块, 尽快形成系统分析平台, 并强调了专项中期评估的重要性, 建议项目要加强研究成果的凝练和宣传。

杨国伟在总结说, 力学所将和各参研单位认真考虑专家和领导意见和建议, 按照项目总体目标和任务, 加强沟通与交流, 进一步凝练研究成果, 共同把项目工作完成好。





(流固耦合与数值计算课题组供稿)

油气水多相流量计在中海油深圳分公司西江 XJ24-3，恩平 EP24-2 现场测试取得成功

近日，力学所科研人员研发的定容管活塞式油气水多相流量计，在中海油深圳分公司西江 XJ24-3，恩平 EP24-2 钻采平台成功完成首次海洋石油平台工业现场测试实验，现场测试实验的油、气、水各相计量精度均达到 $\pm 5\%$ 。在较高液相流量、广泛相含率及管道工况高温高压的情况下，取得了良好的单井计量效果，测量精度等指标达到国际领先水平。

目前海洋石油平台主要使用测试分离器配合井口放样得到单井数据，主要存在测量周期长，占地面积及载荷大，数据不精确等缺点。此多相流量计有望替代传统测试分离器提高海洋石油平台生产效率降低成本。

本次测试实验由 LMFS 多相流课题组吴应湘、李东晖、何云腾等合作完成。项目受中国海洋石油总公司的十三五重大科技项目：海相砂岩油田“双特高”开发后期提高采收率技术，中国科学院战略性先导科技专项（B 类）“超常环境下系统系统力学问题研究与验证”的资助。



（多相流体力学课题组供稿）

拉哇水电站“堰塞湖沉积物上高围堰关键技术问题研究”项目第 1 次技术交流会顺利召开

2018 年 8 月 31 日,金沙江拉哇水电站“堰塞湖沉积物上高围堰关键技术问题研究”项目第 1 次技术交流会在力学所会议中心召开。参加会议的有中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司(以下简称中南院)胡大可设计大师、蔡昌光副总工程师、吴文洪分院副总工程师、王庆祥设总、华电金沙江上游水电开发有限公司徐孝刚总工和我室岩土力学课题组吴梦喜高工等 4 位科研人员参会。

拉哇水电站围堰高 60m,坐落于 70m 深覆盖层上,其中有近 50m 深为堰塞湖沉积软土。对于深厚软土地基上建高围堰,国内还是第一次,国际上也没有可资借鉴的工程经验。其关键力学问题是高围堰填筑过程中的变形和稳定性、围堰内深基坑开挖过程中的渗流控制、渗透变形和边坡稳定性问题。吴梦喜高工报告了近期的研究进展,与会人员对工程关键问题及其研究方法、技术路线和已取得的阶段性成果进行了热烈讨论,并充分肯定了力学所的研究方法。



(岩土力学课题组供稿)

中国地质调查局天然气水合物项目 2018 年度研究工作通过中期检查

海洋土力学课题组鲁晓兵研究员和张旭辉副研究员承担的中国地质调查局地质调查国家专项外协课题 2018 年天然气水合物的研究工作分别通过中期检查。

主要研究内容包括：（1）开展了含水合物细颗粒沉积物动态力学特性模拟实验，获得了动载荷作用下土体的宏微观的动态力学参数及变化规律；（2）提出了含水合物细颗粒沉积物动态力学强度与动载荷作用幅值关系，描述动态力学强度特征；（3）建立了水合物分解引起水平井口土层的稳定性评价方法，分析了水合物开采分解范围、土层坡度对土层变形与破坏的影响规律。

通过外协课题本年度中期检查与交流工作，初步确定了 2019 年-2021 年的合作研究方向，以试采区土体为实验样品，加强含水合物土体力学参数的原位测量方法与土层失稳的监测技术研究。

（土力学课题组供稿）

中石化勘探院重大专项外协课题 2018 工作方案通过

页岩油气的储层改造会形成空间连通性强、延展尺度大、分支多的裂缝网络。支撑剂在复杂裂缝中的输送和铺置以及有效支撑是保持油气导流能力的关键，同时也是页岩油气开发面临的工程科学问题。

本外协课题提出通过向次生裂缝内泵注微粒支撑剂来实现提高次生裂缝导流能力的目的，开展微粒径支撑剂运移测试分析。针对裂缝有效性，利用物理模拟和数值模拟开展压裂三维裂缝内携砂液流动测试。采用高速摄影分析三维缝网内不同流体的流动状态，利用数值模拟研究裂缝几何形态和注入参数对携砂液流动特征和铺砂剖面的影响规律，分别从宏观和细观角度揭示页岩油层三维缝网携砂液的运移规律。

这是 2016 年度海洋土力学课题组承担的页岩油气富集机理与有效开发国家

重点实验室课题“页岩储层复杂裂缝携砂液运移规律研究”的滚动继续。

(土力学课题组供稿)

轻质金属点阵夹层板抗激光加固设计研究进展

以激光武器为代表的定向能武器具有反应迅速、打击精确、作战效费比高等特点,有可能成为制约高超声速飞行器的首选武器系统。因此,抗激光加固已经成为高速飞行器结构设计必须要考虑的一个关键问题。目前常见的抗激光加固技术主要包括:反射涂层、烧蚀材料和拖延传热技术。由于应用场景有限、加工工艺复杂等问题,这几种技术在工程应用中都存在一定的局限性。

近期,力学所结构耦合力学课题组首次提出了一种通过具有双层面板结构的点阵夹层板来提高抵抗高能连续激光强度的方法。由于点阵夹芯热阻较大,外层面板未烧穿之前,夹层板吸收的激光能量主要在外层面板面内传导。当激光辐照停止后,沉积在外部面板中的热量也难以向内部传输,避免了结构的进一步破坏。为进一步提高抗激光能力,在开孔点阵夹芯中填充了轻质隔热型(多孔陶瓷)、烧蚀型(硅树脂与碳粉混合物)材料。实验结果表明,不同结构的抗激光强度顺序为:实心板、空心点阵夹层板、隔热型材料填充点阵夹层板、烧蚀型材料填充点阵夹层板。轻质填充材料不仅延缓了激光破坏时间,同时也降低了结构损伤程度。

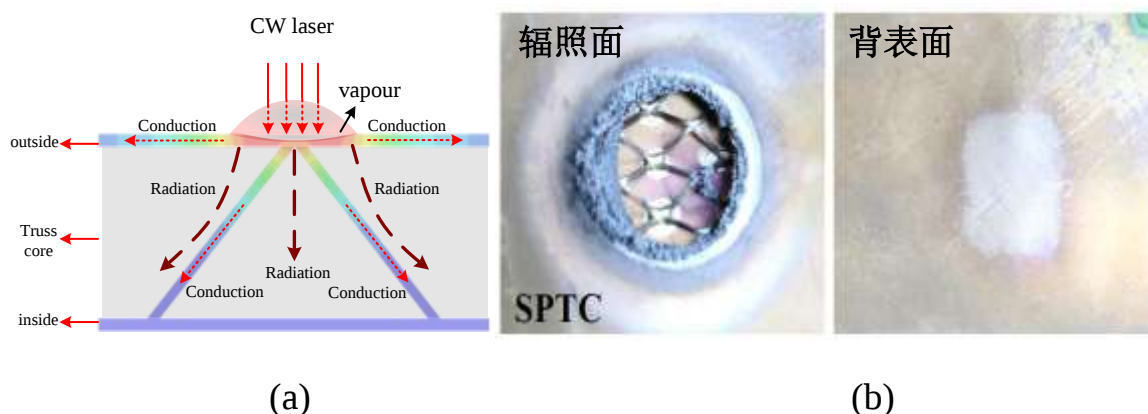


图 1. 点阵夹层板抗激光加固机理与激光破坏形貌 (a) 抗激光加固机理, (b) 点阵夹层板激光破坏形貌。

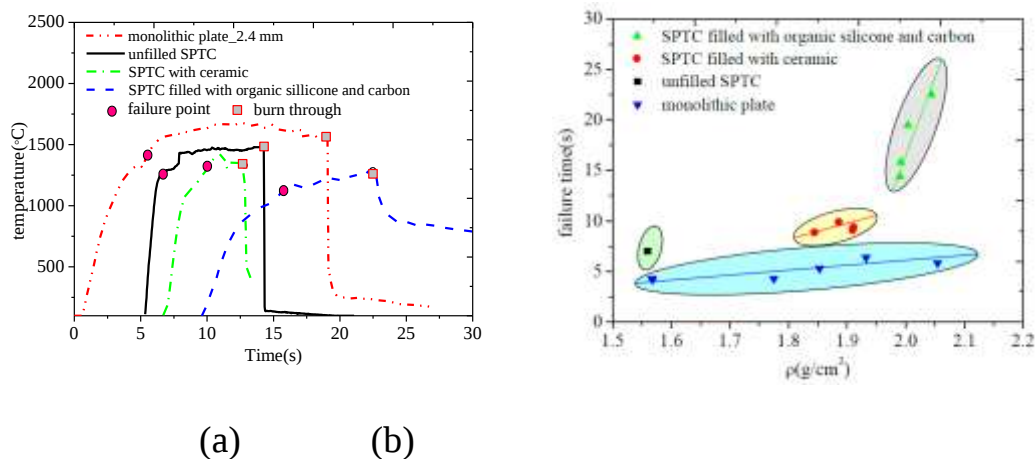


图 2. 不同结构背表面温升历程与破坏时间 (a) 结构背表面光斑中心温升历程, (b) 结构破坏时间。

将烧蚀型填充材料烧蚀产物进行微观形貌扫描, 并通过数值分析模型深入地探讨了烧蚀型填充点阵夹层板抗激光加固机理。激光烧蚀过程中, 烧蚀型填充材料经历了热解、氧化、相变等物理化学过程。根据材料组成成分可以将填充材料分为三层: 碳化层、热解层与原始层。碳化层中 SiO_2 与碳粉相变能够吸收大量激光辐照产生的热能; 热解层材料不仅可以通过热解吸收部分热能, 热解层较低的材料导热系数也会延缓碳化层中聚集的热量向结构内部传输; 由于导热系数较低, 烧蚀型填充材料原始层也对激光辐照产生的热量具有隔绝作用。

以上研究成果为高速飞行器抗激光加固设计提供了新的方法与思路。采用这种复合型填充型点阵夹层板作为高速飞行器承载结构, 不仅可以实现轻量化设计, 同时也提高了结构的抗激光能力。

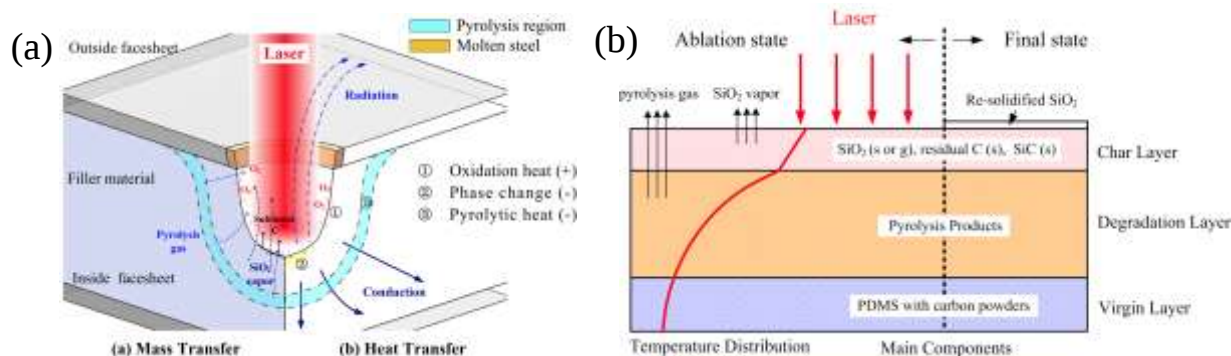


图 3. 烧蚀填充材料烧蚀分析模型 (a) 激光烧蚀过程物理化学, (b) 烧蚀填充材料分层。

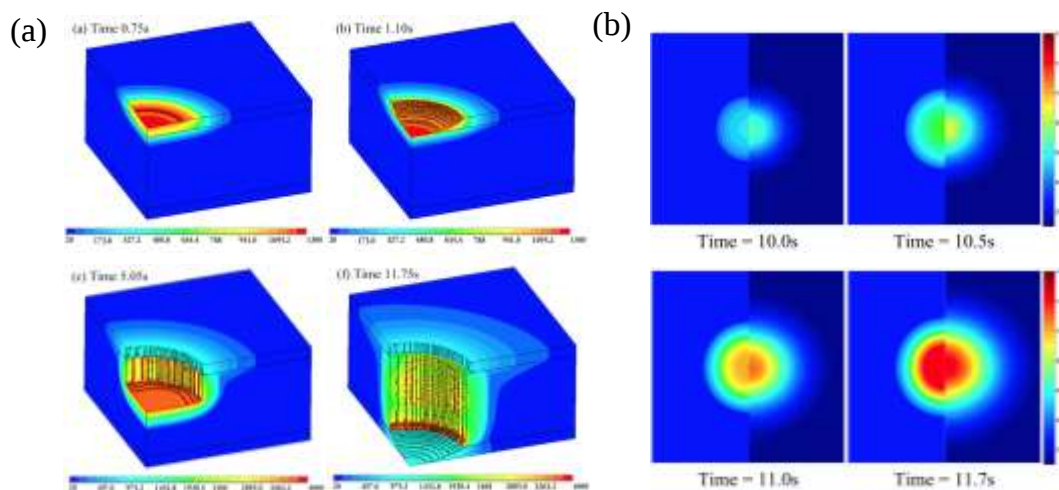


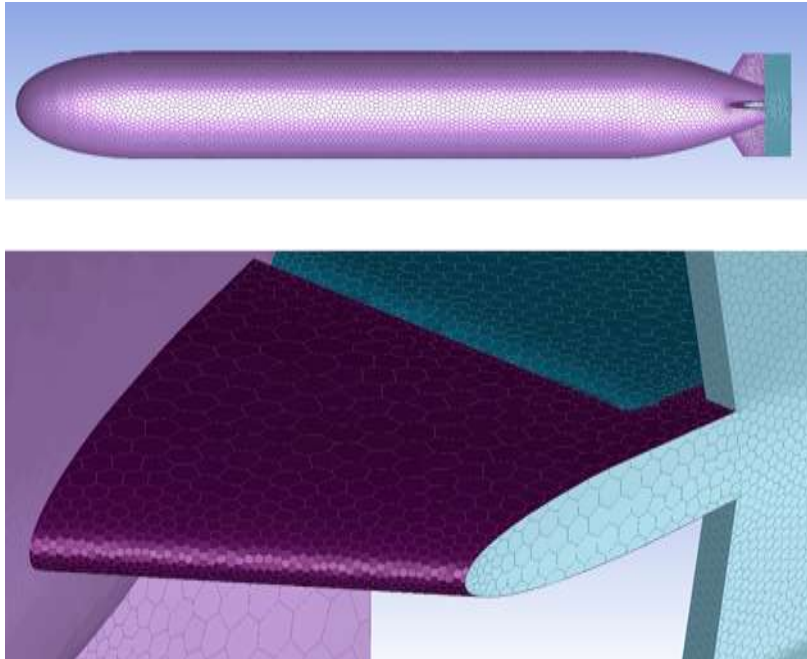
图 3. 烧蚀型点阵夹层板激光烧蚀数值分析模型 (a) 动态烧蚀过程, (b) 背表面温度场演化过程: 左边为分析模型结果, 右边为实验结果。

相关结果发表在 *Composite Structures* 上([1]W. Yuan, J.T. Wang, H.W. Song*, T. Ma, W.J. Wu, J.N. Li, C.G. Huang, High-power laser resistance of filled sandwich panel with truss core: An experimental study. *Composite Structures*, 2018, 193:53-62.[2] J.T. Wang, W. Yuan*, Y.W. Liu, H.W. Song, C.G. Huang, High-power laser resistance of filled sandwich panel with truss cores: ablation mechanisms and numerical simulation. *Composite Structures*, 2018, 203:574-584.)。该工作获得了国家自然科学基金、国防科工局基础科研重点项目等支持。

水下航行器水动力外型设计及优化

冲击与耦合效应课题组与声学所合作, 参与了中科院先导 A 项目的课题和一次性微型航行器项目。先导 A 项目课题主要瞄准岛礁海域水下安全问题, 通过多学科交叉, 包括海洋科学、水生物理、流体力学、人工智能科学、控制科学、微处理技术以及机械材料等, 综合应用智能控制技术、声学成像技术等, 大大提高水下巡航系统的智能化水平, 执行水下威胁预警及应急处置等任务要求。一次性微型航行器项目是一型具备模拟目标水下特性的航行器, 主要保障用户实施训练使用。在这两个课题中, 课题组的主要工作是通过数值模拟为航

行器的水动力外型设计和优化提供了支撑，缩短了设计周期。其中一次性微型航行器项目从设计到水池试验成功只用了不到一年时间。



(冲击与耦合效应课题组)