



# 年鉴



## 2022

西安建筑科技大学  
力学技术研究院

XI'AN UNIVERSITY OF ARCHITECTURE AND TECHNOLOGY  
INSTITUTE OF MECHANICS AND TECHNOLOGY







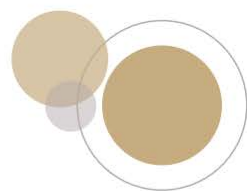
# 年鉴

—2022—

西安建筑科技大学  
力学技术研究院  
XI'AN UNIVERSITY OF ARCHITECTURE AND TECHNOLOGY  
INSTITUTE OF MECHANICS AND TECHNOLOGY







# 目录

● 院长致辞 .....	001
● 走进力学技术研究院 (IMT) .....	003
■ 概况 .....	003
■ 人员简介 .....	004
■ 研究院掠影 .....	011
■ 实验室建设 .....	016
● 研讨会 .....	019
■ 力学与技术学术研讨会暨IMT2022年年会 .....	019
● 科学研究 .....	020
■ 译著《普朗特传-回忆和信札中的普朗特》正式出版 .....	020
■ 科研论文列表 .....	023
■ 学术成果报道 .....	028
■ 科研项目 .....	141

● <b>研究生培养</b> .....	146
■ 论文发表 .....	146
■ 学术交流 .....	148
■ 力学头脑风暴 .....	179
■ 日常管理 .....	185
● <b>学术讲座</b> .....	197
■ 秦岭科学论坛 .....	197
■ 力学技术讲堂 .....	201
● <b>力学家访谈录</b> .....	217
● <b>交流与合作</b> .....	229
● <b>历年讲座信息回顾</b> .....	236



## 院长致辞

即将过去的2022年，是西安建筑科技大学力学技术研究院（IMT）稳健发展的一年。在学校领导的带领下，在各兄弟部门的支持下，在众多国内外专家学者的帮助下，我们在各方面都取得了一定的成绩。

在学术交流方面，我们继续推进《秦岭科学论坛》和《力学技术讲堂》等特色讲座，掌握科学前沿动态并促进学术交流合作。本年度的《秦岭科学论坛》系列讲座，邀请到了西安电子科技大学郑晓静院士作了题为“关于‘黑障’的研究”的学术报告。《力学技术讲堂》先后荣幸邀请到了University of California Santa Barbara的Björn Birnir教授、复旦大学徐凡教授、法国巴黎-萨克雷（Paris-Saclay）大学冯志强教授、西安建筑科技大学崔海航副教授、西安建筑科技大学姚尧教授、中山大学王彪教授、西北工业大学蔡晋生教授、Swinburne University of Technology卢国兴教授。同时，我们继续开展“力学家访谈”系列活动。在此，感谢所有来此交流的专家学者们。

今年12月，我与七位研究生共同翻译的著作《普朗特传——回忆和信札中的普朗特》一书，已经通过高等教育出版社正式出版。

在科研项目方面，我们与清华大学机械系雒建斌院士、马丽然副教授合作的科研项目于今年11月正式启动，项目总金额150万元。

在科研论文方面，IMT今年被录取论文26篇，其中25篇已经发表。

与此同时，我们也努力走出去，和广大力学界同仁相互交流。这一年里，我本人也有幸应邀，参加陕西力学学会第十次会员代表大会并当选理事会常务理事，参加“动态真三轴电磁SHPB试验系统”研发进展论证会，参加2022年度航空气动声学工信部重点实验室学术委员会会议，在长安大学理



学院作了题为“我对力学的认识”的学术报告，在第十二届全国流体力学学术会议-计算流体力学A分会场作了题为“Navier-Stokes方程的一种等价形式”的学术报告。

在研究生培养方面，我们组织了学术系列活动“力学头脑风暴”和“学术沙龙”等，以促进研究生间的相互交流，同时举办各类文体活动，为研究生提供一个全面发展的平台。

最后，感谢学校领导和相关部门一如既往的支持。

愿我们再接再厉，共谱华章。

南非科学院院士  
力学技术研究院院长 首席科学家



孙博华教授

2022年12月21日



## 走进力学技术研究院（IMT）

### ● IMT概况

马克思指出：“力学是大工业的真正科学的基础。”

钱学森说：“不可能设想，不要现代力学就能实现现代化。”

力学学科是自然科学的先导和基础，是各工程技术类学科的共同基础，大量的科学研究和工程实际问题都需要力学的分析和计算来解决。

我校力学学科历史悠久，在我校办学的历程中，陈叔陶、钟朋、梅占馨、黄义等老一辈力学工作者投身到该学科的建设中，1981年第一批获批工程力学二级学科硕士点，为振兴力学学科的发展奠定了良好基础。

为了力学学科的进一步发展，学校于2018年12月21日成立了西安建筑科技大学力学技术研究院（IMT），并由南非科学院院士孙博华担任院长和首席科学家。

西安建筑科技大学力学技术研究院的建院思想是工程科学（Engineering Science），即从科学角度研究工程中的技术问题。具体就是以力学科学为基础，通过深刻的理论研究，在与其他学科的交叉中，努力寻找普适的力学技术（Mechanics Technology）。

全职回国工作前，孙博华院士于2005在南非创建了Centre for Mechanics and Technology（CMT），西安建筑科技大学力学技术研究院（IMT）可以说是CMT的学术传统在中国的发展。其中力学技术的概念系孙博华院士2005年提出，并曾于2014年和2015年在国内几所大学（中科院大学、北京科技大学、中国农业大学、石油大学、北方工业大学等）的邀请报告中进行了介绍。力学技术的概念与近期教育部提出的新工科（理科+工科）的基本思想不谋而合，具有广阔的发展前景。

### ● 力学技术研究院LOGO简介：

主体由罗马柱、悬臂梁、地球及牛顿第二定律组成。该标志重现经典力学应用之美，借助一个支点，可以抬起整个地球，即科学促进人类文明发展。将科学与艺术完美融合，寓意力学发展源远流长。



## ● 力学技术研究院院旗



## ● 人员简介

### ▶ 力学技术研究院院长



**孙博华**，2010年当选南非科学院院士。2018年12月回国全职工作。现任西安建筑科技大学土木工程学院教授、力学技术研究院院长、首席科学家；曾任南非开普半岛科技大学机械工程系终身教授、Senate和暨南大学国际学院首任院长；曾以博士后（洪堡学者）身份在中国清华大学、荷兰TUDelft大学、德国Bochum大学和南非开普敦大学从事研究工作。主要从事连续介质力学、薄壳结构、智能复合结构、量纲分析等方面的研究，特别是对于三体和多体问题、非协调变形场的Riemann理论、锥（抛物旋转、环）薄壳、智能压电驱动器、微机电陀螺芯片力学、声波热机优化、毛细动力学、跨尺度游动标度律、可压缩湍流标度律和折纸弹簧力学等问题做出了自己的贡献。曾主持过多项南非科技部和南非国家基金会的研究课题，拥有微光机电系统陀螺芯片核心发明专利多项，发表学术论文百余篇，编著出版专著多部。2010年、2018年荣获南非开普半岛技术大学——大学长期服务奖，并获得2017年度研究白金奖；2017年荣获清华大学杰出博士后校友奖；2010年入选海外华人十大新闻人物。孙博华院士还担任中国力学学会第十一届理事会特邀理事、陕西

省力学学会第十届理事会常务理事、Acta Mechanica Sinica编委、《力学进展》特邀编委、中国侨联特聘专家委员会委员、Advances in Materials and Mechanics丛书主编、宁波大学包玉刚讲座教授、航空气动声学工信部重点实验室第一届学术委员会委员；曾任北京大学工学院访问教授（2010-2011）。



了解详情，请扫描二维码

## 行政人员



院士秘书 阎文



研究院秘书 周宏伟

## 客座学者



**崔海航**，1975年6月生，西安建筑科技大学建筑设备科学与工程学院副教授。西安交通大学流体机械专业本科、硕士，中国科学院力学研究所一般力学专业博士，新加坡国立大学博士后。从事微尺度流动及传热研究。主持国家自然科学基金项目青年基金1项、参加水体污染重大专项子课题1项，主持省部级基金及横向课题10余项。在Lab on Chip、Physics of Fluids、Langmuir、Physical Review E、Microfluidics and Nanofluidics、中国科学、科学通报、实验流体力学等领域内期刊发表论文50余篇。



了解详情，请扫描二维码



**郭秀秀**，土木工程学院教授，博士生导师。主要从事结构随机振动、抗震可靠度等研究。入选陕西省青年百人和青年科技新星。主持国家自然科学基金2项、省部级基金多项。目前已发表学术论文40余篇，得到了美国科学院和工程院院士Spanos教授等国内外知名学者的积极正面评价。1篇论文被国际工程领域著名机构Advances in Engineering应邀遴选为关键科学文章，1篇论文获得玛丽居里ITN项目资助，1篇论文获得最佳海报奖。担任SCI期刊Actuator特刊主编及多个SCI期刊审稿人。参编英文著作1部。受邀参加IUTAM主办的国际理论与大会ICTAM2020、第十二届全国随机振动理论与应用学术会议暨第九届全国随机动力学学术会议、入选第十四届、十五届动力学与控制青年论坛青年代表等。



了解详情，请扫描二维码



**陈力**，1985年11月生，西安建筑科技大学建筑

设备科学与工程学院副教授，力学技术研究院成员，华中科技大学船舶与海洋结构物设计与制造专业博士。从事计算流体力学、格子Boltzmann方法、微流动、高性能计算、人群动力学方面的研究。承担我校相关专业流体力学、计算流体力学的教学工作。主持国家自然科学基金项目2项，省部级基金2项，参与国家级项目4项。在Physical Review E、Langmuir、Microfluidics and Nanofluidics等邻域内重要期刊发表论文20余篇，其中中文权威期刊5篇。



了解详情，请扫描二维码



**时朋朋**，博士（后），教授，无党派代表人

士；西安电子科技大学博士、西安交通大学博士后；兼任《工程科学学报》、《Results in Engineering》等学术期刊青年编委。从事电磁固体力学和无损检测的研究工作。面向现代装备和重大工程的定量化检测需求，发展了铁磁材料力磁耦合非线性本构模型，建立了微磁无损检测正问题和反问题的定量化理论，搭建微磁检测平台发现了磁弹塑性耦合现象及机理，为应力/缺陷定量化评价奠定了理论基础。主持国家自然科学基金和省部级基金项目；作为骨干成员参加国家重大科研仪器研制项目等。依托研究进展，申请/授权磁无损检测发明专利5件，在力学学报、Acta Mechanica Sinica、NDT&E International、International Journal of Mechanical Sciences、Mechanical Systems and Signal Processing、Applied Mathematical Modelling、Journal of Fluid Mechanics、Physics of Fluids等数学力学领域重要期刊发表SCI期刊论文60余篇，其中3篇论文遴选为J APPL PHYS和 PHYS FLUIDS编辑精选，1篇论文入选封底，1篇综述回顾。获中国无损检测学会斯耐特奖，第一届全国

大学生数学竞赛(数学类)山西赛区一等奖；多次入选“全球前2%顶尖科学家榜单”年度科学影响力排行榜；JAPPL PHYS期刊评论称中国学者为微磁无损检测方法建立了磁力热耦合理论，微磁无损检测长篇综述被创始人俄罗斯学者评价称对方向发展贡献重大。



了解详情，请扫描二维码



**李丽霞**，1979年2月生，西安建筑科技大学机电学院副教授，力学技术研究院成员，西安交通大学机械工程专业博士。从事振动与噪声控制；声子晶体/弹性超材料结构工程应用研究。主持国家自然科学基金项目青年基金1项、省部级基金1项。作为第一完成人，完成国防预研基金1项，作为主要参与人参与国家自然科学基金面上项目2项，以第一作者或通讯作者发表SCI论文和EI论文10余篇，担任多个SCI和EI期刊审稿人。



了解详情，请扫描二维码



**解妙霞**，1977年9月生，西安建筑科技大学机电学院副教授。西安交通大学机械工程专业博士。从事振动与噪声控制、能量有限元法等高频动响应预示方法研究。主持国家自然科学基金青年基金项目1项、教育部博士后基金1项、省自然科学基金面上项目1项。作为研究内容的主要完成人完成973子专题1项，国家重大专项1项，参与国家自然科学基金面上项目2项，以第一作者身份发表SCI论文和EI论文10余篇。被评为西安建筑科技大学青年教师标兵（2020）。



了解详情，请扫描二维码

## 博士研究生



2019级结构工程专业  
宋广凯



2019级结构工程专业  
李权威



2020级现代结构  
理论专业  
张振子



2020级结构工程专业  
李蒙



2020级供热供燃气通风  
及空调工程专业  
刘哲



2021级结构工程专业  
赵良杰



2022级结构工程专业  
郭晓琳

## 硕士研究生



2020级力学专业  
魏杰



2020级结构工程专业  
党文



2020级结构工程专业  
吴凡



2020级现代结构理论专业  
黄英



2020级土木水利专业  
邵文琦



2020级土木水利专业  
孙勇



2022级力学专业  
庞博



2022级供热供燃气通风  
及空调工程专业  
汪坤营

## 毕业生



2019级硕士结构工程专业  
戴远帆



2019级硕士结构工程专业  
李翔



2019级硕士结构工程专业  
张一





2019级硕士防灾减灾工程  
及防护工程专业  
陈品元



2019级硕士力学专业  
刘轩廷

## ● 研究院掠影

### ➡ 装修前



## 装修初期



## 家具安装





► 现在

大厅



行政办公室



办公室  
1





办公室  
2

实验室



走廊



## ● 实验室建设

为促进我校学科建设，探索力学学科中的力学交叉和极端力学领域问题，力学技术研究院根据科学研究需要，进行实验室建设。在此，感谢学校领导及高层次人才办公室、实验室与设备管理处、国有资产管理处、招标与采购办公室、财务处、土木工程学院、理学院及建筑设备科学与工程学院等部门对IMT的大力支持。

序号	设备名称
1	数学分析软件 (MATLAB、Maple)
2	高性能数值分析工作站
3	高速动态信号分析仪 Phantom V2012
4	扫描式激光测振系统 Polytec PSV-500-B
5	微型风洞 Armfield C15-10-A
6	高速红外分析系统 FLIR A655sc
7	微机控制电子万能试验机 MTS E43.104
8	光固化3D打印机 RAISE 3D DF1
9	热敏3D打印设备 Soongon M2048X
10	陶泥3D打印机 SYNO SOURCE-3040
11	多波长激光刻蚀系统 Universal Laser Systems Inc. PLS6.150D-SYS
12	多材料喷射技术三维快速成型机 Stratasys Objet 500Connex1



热敏3D打印机



陶泥3D打印机



高速动态信号分析仪



微型风洞



高速红外分析系统



微机控制  
万能试验机



光固化3D打印机



扫描式激光测振系统



多波长激光刻蚀系统



多材料喷射技术三维快速成型机



## 研讨会

### ●力学技术学术研讨会暨IMT 2022年年会



2022年12月21日下午2时，由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“力学与技术学术研讨会暨IMT2022年年会”在腾讯会议线上举行。力学技术研究院全体师生及毕业生参加了此次会议。

会议由IMT秘书阎文老师主持，会议议程主要分为以下几个部分：孙院士致辞、IMT2022年年鉴介绍、毕业生发言、研究生科研进展汇报。

报告第一项为孙院士致辞，2022年是研究院成立的第四年，过去一年疫情仍在继续肆虐，但力学技术研究院仍在不断的壮大与发展，且在科研项目、科研论文、学术讲座、研究院建设等多方面均取得了成果。孙院士表示，研究院进入到全新的高速发展阶段，未来研究院将会创造出更多成果。孙院士也希望大家立足新起点新高度，在科研的道路上不断勇攀高峰。最后，孙院士感谢学校领导及各部门的大力支持，感谢国内外力学界同仁的鼎力协助，也感谢力学技术研究院师生的努力奋斗。

报告第二项为阎文老师介绍力学技术研究院2022年年鉴，回顾了2022年内IMT举办及参加的活动和取得的各项成果。

报告第三项为毕业生发言，2019级硕士毕业生依次分享了各自的工作经历，鼓励同学们多发文章多出成果，并且在最后希望力学技术研究院越办越好。

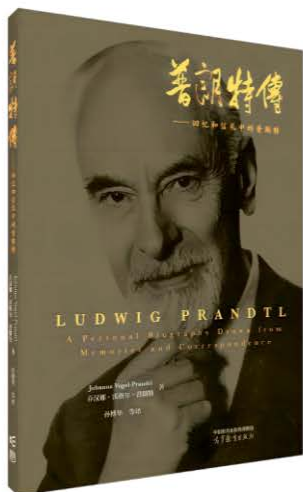
报告第四项为研究生科研进展汇报，IMT全体研究生依次汇报，对本学年科研学习与成果进展情况等总结与分享。孙院士对研究生们的努力表示肯定，并提出了宝贵的指导意见，研究生们获益甚多。

最后孙院士总结致辞，2023年是全新的一年，百废待兴，希望IMT研究生们也充分投入到各自的科研中，深入挖掘，艰苦奋斗，努力创造出更多的科学成果。

## 科学研究

### ● 译著《普朗特传—回忆和信札中的普朗特》正式出版

2022年12月，译著《普朗特传——回忆和信札中的普朗特》通过高等教育出版社正式出版。本书由孙博华院士及力学技术研究院的七位研究生（李权威、宋广凯、戴远帆、李翔、刘轩廷、张一、陈品元）共同完成。



书名：《普朗特传——回忆和信札中的普朗特》

作者：乔汉娜·沃格尔-普朗特 著 孙博华 等译

ISBN: 978-7-04-059051-7

出版时间：2022.12



——谢和平院士为本书题写书名

## ● 内容简介 ●

路德维希·普朗特（Ludwig Prandtl）是德国哥廷根大学应用力学学派的奠基人，被誉为“现代应用力学之父”，他也是钱学森的导师——冯·卡门的导师。本书由普朗特教授的女儿乔汉娜·沃格尔-普朗特（Johanna Vogel-Prandtl）女士撰写，作者希望从女儿的角度介绍一位可亲可爱的慈父。书中引用了许多当时的报纸、文章、信件、照片等珍贵的历史资料，展现了一位真实的、光芒四射的普朗特，而不仅仅是作为科学家的普朗特。本书由南非科学院院士孙博华教授与其七位研究生合作翻译。黄克智教授（中国科学院院士、俄罗斯科学院外籍院士）、胡海岩教授（中国科学院院士、中国力学学会第九届理事会理事长）和郑晓静教授（中国科学院院士、中国科学技术协会副主席）特别为中文版作序。谢和平院士为本书题写书名。本书是一部全面了解普朗特教授生平的佳作，适合热爱科学的公众阅读和科学史研究者参考。

## ● 院士荐语 ●

译者孙博华在张维教授的影响下也一直以自己的形式宣传并践行哥廷根应用力学学派的学术传统。今天他与研究生合作完成了《普朗特传》的翻译，就是对哥廷根应用力学学派在中国传播的最好贡献。

——中国科学院院士 黄克智

21世纪以来，中国力学界提出了建设世界力学强国的奋斗目标。我们在思考中国力学的未来发展时，有必要以史为鉴，通过回顾百年前普朗特教授的探索之路，弘扬哥廷根应用力学学派的科学精神和治学理念。

——中国科学院院士 胡海岩

卡尔·马克思认为：力学是“大工业的真正科学的基础”。随着中国经济的发展，许多重大工程科学问题的解决和一些复杂自然现象规律的揭示都或多或少地与力学有关。为此，应当更加提倡弘扬哥廷根应用力学学派的研究范式和风格。

——中国科学院院士 郑晓静

疫情挡不住我们追求科学的激情，阻不断我们交流的渠道。愿以《普朗特传》的中文版向力学前辈致敬，并祝愿中德友谊地久天长。

——南非科学院院士 孙博华

## ● 译者简介 ●

孙博华，祖籍江苏徐州。现为南非科学院院士、西安建筑科技大学教授、力学技术研究院创院院长、首席科学家。曾任南非开普半岛科技大学机械工程系教授和大学Senate、暨南大学一级特聘教授和国际学院首任院长。1989年在兰州大学获得理学博士学位（导师叶开沅教授），之后的经历包括：清华大学工程力学系博士后（导师张维院士）、荷兰代尔夫特大学(TU Delft)航天工程学院Research Fellow（导师J. Arbocz教授）、德国波鸿鲁尔大学Alexander von Humboldt 洪堡学者（导师H. Stumpf教授）、南非开普敦大学工学院博士后（导师D. Reddy教授）。（曾）兼任中国侨联特聘专家委员会委员、中国力学学会第十一届理事会特聘理事、Acta Mechanica Sinica编委、《力学进展》特邀编委、Advances in Materials and Mechanics丛书主编、宁波大学包玉刚讲座教授、北京大学工学院访问教授。2010年入选“海外华人十大新闻人物”、2017年荣获清华大学杰出博士后校友奖。

## • 科研论文列表

[1] B. H. Sun, On Chien's question to the Hu-Washizu three-field functional and variational principle, **Applied Mathematics and Mechanics**, 2022, 43(4): 537-546.

<https://doi.org/10.1007/s10483-022-2838-5>



[2] B.H.Sun, Gol'denveizer's problem of elastic torus, **Thin-Walled Structures**, 2022, 171: 108718.

<https://doi.org/10.1016/j.tws.2021.108718>



[3] LIU Z, SHAO W Q, SUN Y, SUN B H\*, Scaling law of the one-direction flow characteristics of symmetric Tesla valve, **Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics**, 2022, 16(1): 441-452.

<https://doi.org/10.1080/19942060.2021.2023648>



[4] M. Li, B. H. Sun\*, Post-buckling behaviors of thin-film soft-substrate bilayers with finite-thickness substrate, **Scientific Reports**, 2022, 12(1): 4074.

<https://doi.org/10.1038/s41598-022-08136-w>



[5] DAI Y F, SUN B H\*, ZHANG Y, Li X, Morphological transformation of arched ribbon driven by torsion, **Thin-Walled Structures**, 2022, 170: 108511.

<https://doi.org/10.1016/j.tws.2021.108511>

[6] B. H. Sun, Small symmetrical deformation and stress analysis of catenary shells of revolution, **Acta Mechanica Sinica**, 2022, 38: 421425.

<https://doi.org/10.1007/s10409-021-09055-x>



[7] P. Y. Chen, B. H. Sun\*, Simulation of crooked plate energy absorption structure under impact, **Acta Mechanica Sinica**, 2022, 38: 521429.

<https://doi.org/10.1007/s10409-021-09019-x>



[8] Bo-Hua Sun, Similarity solutions of Prandtl mixing length modelled two dimensional turbulent boundary layer equations, **Theoretical and Applied Mechanics Letters**, 2022, 12: 100338.

<https://doi.org/10.1016/j.taml.2022.100338>



[9] Guang-Kai Song, Bo-Hua Sun\*, Nonlinear investigation of Gol'denveizer's problem of a circular and elliptic elastic torus, **Thin-Walled Structures**, 2022, 180: 109862.

<https://doi.org/10.1016/j.tws.2022.109862>



[10] Zhe Liu, Zexiong Yu, Leilei Wang, Li Chen, Haihang Cui\*, Bohua Sun\*, Flow mechanism of Gaussian light-induced vortex motion inside a nanofluid droplet, **International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow**, 2023, 3(2): 712-727.

<https://doi.org/10.1108/HFF-05-2022-0269>



[11] Yi Zhang, Xiang Li, Yuanfan Dai, Bo-Hua Sun\*, On the number of fractured segments of spaghetti breaking dynamics, **Theoretical and Applied Mechanics Letters**, 2022, 12: 100347.

<https://doi.org/10.1016/j.taml.2022.100347>

[12] B.H. Sun and X.L. Guo, Clamping force of a multilayered cylindrical clamper with internal friction, **Theoretical and Applied Mechanics Letters**, 2022, 12: 100355.

<https://doi.org/10.1016/j.taml.2022.100355>

[13] Bo-Hua Sun, Influence of physical parameters on the collapse of a spherical bubble, **Theoretical and Applied Mechanics Letters**, 2022, 12: 100369.

<https://doi.org/10.1016/j.taml.2022.100369>

[14] B.H. Sun, Nonlinear elastic deformation of Mindlin torus, **Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation**, 2022, 114: 106698.

<https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2022.106698>

[15] 孙博华, 宋广凯, 李权威, 李翔, 张一, 戴远帆, 陈品元, 李蒙, 赵良杰, 刘轩廷, 郭晓琳, 魏杰, 刘哲, 细长直管支架的横向抗震构造和参数选取研究, **工程力学**, 2022.

<https://doi.org/10.6052/j.issn.1000-4750.2021.11.0843>

[16] F. Wu, B.H. Sun\*, Study on Functional Mechanical Performance of Array Structures Inspired by Cuttlebone, **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, 2022, 137: 105459.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2022.105459>

[17] Zhe Liu, Hao Wei, Li Chen and Haihang Cui\*, Bohua Sun\*, Light-driven mixing strategy inside a nanofluid droplet by asymmetrical Marangoni flow, **International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow**, 2022.  
<https://doi.org/10.1108/HFF-07-2022-0446>

[18] X. L. Guo, B. H. Sun\*, Assembly and disassembly mechanics of a spherical snap fit, **Theoretical and Applied Mechanics Letters**, 2022: 100403.  
<https://doi.org/10.1016/j.taml.2022.100403>

[19] B. H. Sun, X. L. Guo, Aerodynamic shape and drag scaling law of a flexible fibre in a flowing medium, **Theoretical and Applied Mechanics Letters**, 2022: 100397.  
<https://doi.org/10.1016/j.taml.2022.100397>

[20] Jie Wei, Bo-Hua Sun\*, Bioinspiration: Pull-out Mechanical Properties of the Jigsaw Connection of Diabolical Ironclad Beetle's Elytra, **Acta Mechanica Solid Sinica**, 2022.  
<https://doi.org/10.1007/s10338-022-00368-7>



[21] Bo-Hua Sun, Turbulent Poiseuille flow modeling by modified Prandtl—van Driest mixing length, **Acta Mechanica Sinica**, 2022, 39:322066.

<https://doi.org/10.1007/s10409-022-22066-x>



[22] Bo-Hua Sun, An Equivalent Form of The Navier-Stokes Equations, **Acta Mechanica Sinica**, 2023: 322241.

<https://doi.org/10.1007/s10409-022-22241-x>



[23] Q.W. Li, B.H. Sun\*, Optimization of a lattice structure inspired by glass sponge, **Bioinspiration & Biomimetics**, 2023,18: 016005.

<https://doi.org/10.1088/1748-3190/ac9fb2>



[24] Q.W. Li, B.H. Sun\*, Numerical analysis of low-speed impact response of sandwich panels with bio-inspired diagonal-enhanced square honeycomb core, **International Journal of Impact Engineering**, 2023, 173:104430.

<https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2022.104430>



[25] Bo-Hua Sun, Wen Dang, Xiao-Lin Guo, Interlayer Slidable Friction Structures on Soft-Substrate, **ASME Journal of Applied Mechanics**, 2023,90:041005.

<https://doi.org/10.1115/1.4056514>



[26] Bohua Sun, Wen Dang, Xuanting Liu, Xiaolin Guo, Bending Response and Energy Dissipation of Interlayer Slidable Friction Booklike-Plates, **Acta Mechanica Sinica**, 2022, 39:222449.

<https://doi.org/10.1007/s10409-022-22449-x>

## ● 学术成果报道



## 孙博华院士团队： 一种对称型特斯拉阀单向流特性的标度律

ENGINEERING APPLICATIONS OF COMPUTATIONAL FLUID MECHANICS  
2022, VOL. 16, NO. 1, 411–452  
<https://doi.org/10.1080/19942060.2021.2023648>







Taylor & Francis  
Taylor & Francis Group

OPEN ACCESS



### Scaling law of the one-direction flow characteristics of symmetric Tesla valve

Zhe Liu <sup>a</sup>, Wen-Qi Shao <sup>a</sup>, Yong Sun <sup>a</sup> and Bo-Hua Sun <sup>b</sup>

<sup>a</sup>School of Building Services Science and Engineering & Institute of Mechanics and Technology, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an, People's Republic of China; <sup>b</sup>School of Civil Engineering & Institute of Mechanics and Technology, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an, People's Republic of China

#### ABSTRACT

A Tesla valve is a kind of micro-valve without moving parts. Due to the great difference between the reverse and forward flow, the Tesla valve is often used in passive fluid control devices. However, most of the current Tesla valve components are optimized and designed based on asymmetric structures. In this study, a Tesla valve pipe system model with symmetric structure is proposed. The characteristics of fluid flow and pressure drop were studied by finite element method and dimensional analysis. First, the pressure drop characteristics of symmetric and asymmetric Tesla valves with different Reynolds number are considered. The results show that the better the symmetry, the better the one-direction flow characteristics of Tesla valve system. Afterwards, through parametric analysis, computational fluid dynamics was used to verify flow characteristics of completely symmetrical Tesla valve system. The shunt angle, shunt pipe diameter and number of valves have significant effects on the pressure drop characteristics of the system. Eventually, based on numerical simulation results, by using the dimensional analysis method, the modification parameter  $\alpha$  ( $\alpha = \alpha(\theta, d, N)$ ) was introduced to obtain the scaling law  $\Delta p \sim (1 + \ln(1 + N^{3/5} Re^{1/3})) \rho V^2 L D^{-1} Re^{-1/4}$  between the pressure drop and other parameters of the completely symmetrical Tesla valve piping system.

#### ARTICLE HISTORY

Received 26 August 2021  
Accepted 17 December 2021

#### KEYWORDS

Tesla valve; symmetry; diodicity number; Hagen number; dimensional analysis

对于“特斯拉”这三个字，大家应该是耳熟能详的。这些年来，传奇创业家埃隆·马斯克和他的“特斯拉”电动汽车及能源公司，三天两头被媒体报道，可以说是无人不知无人不晓。而马斯克之所以给公司取名“特斯拉”，就是为了向尼古拉·特斯拉致敬。除了作为企业名称之外，学理工科的同学也会知道，特斯拉是磁感应强度的单位，符号表示为T， $1T=10000Gs$ （Gauss,高斯）。这个单位，同样是为了纪念尼古拉·特斯拉。

特斯拉阀（Tesla Valve）也被称作瓣膜导管（valvular conduit），由美国发明家、物理学家、机械工程师、电气工程师尼古拉·特斯拉（Nikola Tesla）发明，并于1920年获得了美国专利许可。

常规的单向阀结构，往往是依靠控制活动组件的开闭状态，从而实现流体的单向流通。但是，特斯拉巧妙地利用了流体力学原理，设计了一种不含有活动组件的单向阀结构，即特斯拉阀，借助其独特的结构设计，有效实现通道中的被动流量控制，可使其具有与方向相关的压降特性，形成“流体二极管”的效果，即一个流动方向的流动阻力高于另一方向。

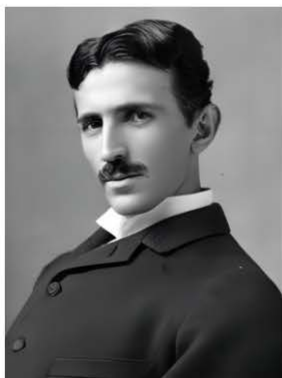


图1. 尼古拉·特斯拉 (Nikola Tesla)  
(图片来源: Wikipedia)

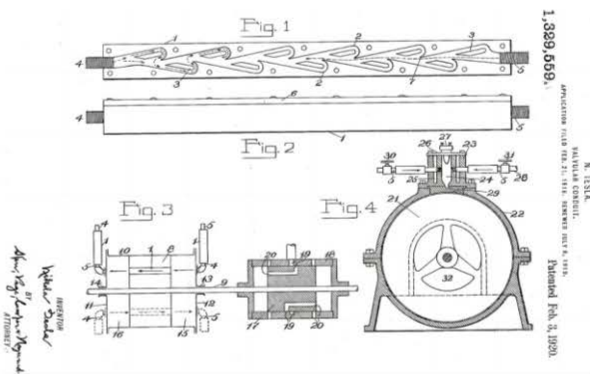


图2. 特斯拉阀 (专利-US1329559)

目前，大多是研究非对称结构的特斯拉阀系统在层流下的流动特性。这类研究往往存在明显不足：(a) 缺乏对几何参数影响的更详细的分析和研究；(b) 湍流中特斯拉阀系统的特性研究较少 ( $Re > 2000$ )；(c) 传统非对称特斯拉阀系统的单向流动特性尚不完善，其压降性能有待进一步提升；(d) 对于特斯拉阀系统，缺少影响参数的标度律关系，不利于实际工程应用。

鉴于此，西安建筑科技大学力学技术研究院孙博华教授团队受到几何对称通道系统（如Y型、T型通道等）的启发，该通道系统具有更好的流动分离和传热特性，提出了一种具有完全对称结构的特斯拉阀管路系统，采用有限元数值方法和量纲分析对其性能进行研究，并获得了压降和其它参数的标度律表达式，这对于实际工程应用具有重要意义。相关工作于2022年以“Scaling law of the one-direction ow characteristics of symmetric Tesla valve”为题发表在SCI期刊《Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics》上，该期刊分级为中科院1区Top期刊，最新IF为8.391。

首先, 研究人员给出了影响特斯拉阀性能的量化参数, 包括压降比  $Di$ 、节流效率  $E$  和哈根数  $Hg$ :

$$Di = \frac{\Delta p_r}{\Delta p_f} = \frac{p_{r,i} - p_{r,o}}{p_{f,i} - p_{f,o}}, \quad Q_r = Q_f$$

$$E = \frac{(Q_f - Q_r)}{Q_f}, \quad \Delta p_r = \Delta p_f$$

$$Hg = \frac{\Delta p D^3 \rho}{L \mu^2}$$

同时, 提出了一种具有完全对称结构的特斯拉阀单元 (见图3a), 并使用有限元数值模拟工具, 分析对称型与非对称型特斯拉阀管路系统的单向流动特性。结果表明: 对称性越好, 特斯拉阀系统的单向流动性能越好。

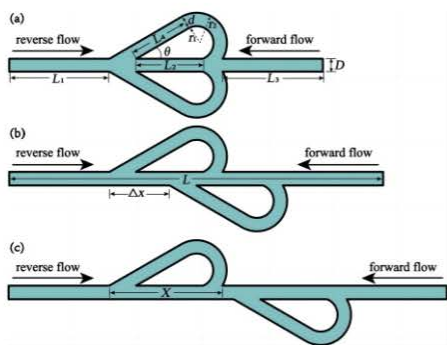


图3. 对称型与非对称型特斯拉阀

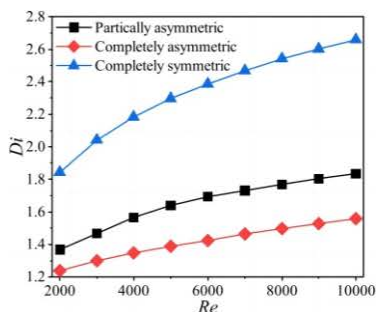


图4. 不同  $Re$  下对称型与非对称型特斯拉阀系统中  $Di$  的变化

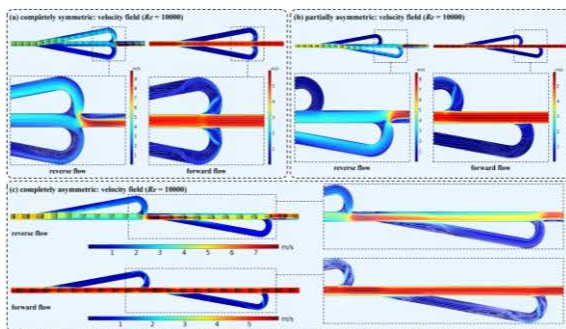


图5. 特斯拉阀系统的速度云图:

- (a) 完全对称
- (b) 部分对称
- (c) 完全非对称

随后，针对完全对称型特斯拉阀系统，使用参数化分析，进一步考虑分流角、分路管径和阀对数目等参数的影响。结果表明：分流角较小时（ $\theta < 30^\circ$ ），分路管径越  $d$  大，阀对数目  $N$  越大时，系统性能越好。

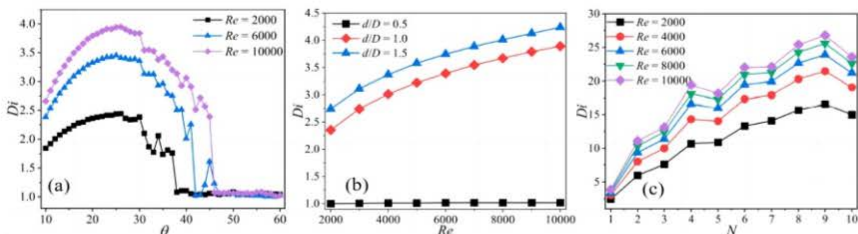


图6. 分流角  $\theta$  (a)、分路管径  $d$  (b)、阀对数目  $N$  (c) 对  $Di$  的影响

最后，研究人员根据有限元数值模拟结果，使用量纲分析方法，首先给出了光滑圆管中流体流动的标度律关系式。

$$\frac{\Delta p}{\rho V^2} = 0.1582 \frac{L}{D} Re^{-1/4}$$

Variable	Symbol	Dimension
Pressure drop	$\Delta p$	$ML^{-1}T^{-2}$
Pipe length	$L$	L
Pipe diameter	$D$	L
Density	$\rho$	$ML^{-3}$
Velocity	$V$	$LT^{-1}$
Viscosity	$\mu$	$ML^{-1}T^{-1}$

Note: Basic dimensions: length (L), mass (M), and time (T).

表1. 物理量的量纲

进一步地，引入修正参数  $\alpha = \alpha(\theta, d, N)$ ，并给出了具有支管的对称型特斯拉阀系统的无量纲压降与其它参数的关系式为：

$$\frac{\Delta p}{\rho V^2} \sim (1 + \alpha) \frac{L}{D} Re^{-1/4}$$

接着，对模拟数据与函数  $y = k(1 + \ln(1 + x^\alpha))$  进行拟合，可得到如下的标度律关系式：

$$\frac{\Delta p}{\rho V^2} \sim (1 + \ln(1 + N^\alpha)) \frac{L}{D} Re^{-1/4}$$

最后，根据拟合关系式  $\alpha = 3/5 * Re^{(1/3)}$ ，可获得对称型特斯拉阀系统中压降和其它参数之间的标度律关系如下：

$$\Delta p \sim (1 + \ln(1 + N^{\frac{3}{5}} Re^{1/3})) \rho V^2 L D^{-1} Re^{-1/4}$$

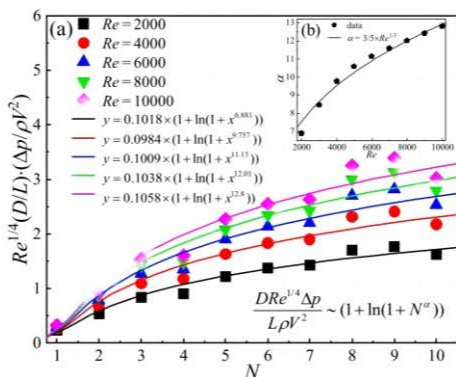


图7. 无量纲参数  $Re^{1/4} D \Delta p / (\rho L V^2)$  与阀对数  $N$  的关系

论文第一作者为博士研究生刘哲，通讯作者为孙博华教授，合作者为硕士研究生邵文琦、孙勇。

## —科研备忘录—

### “一种对称型特斯拉阀单向流特性的标度律”

2020级博士研究生 刘哲

本人自入学以来，在孙老师的熏陶下，深知在做科研时，学术备忘录的重要性，因而在成功发表第一篇英文学术论文后，结合日常科研学习和日常生活中记录的点点滴滴，特整理成文，以供日后学习和反思。

2020年10月30日，在每周例行的线上交流例会上，孙老师向我们展示了他最近注意到的非常有趣的视频材料，视频中提及的是一种无运动部件的阀结构，即特斯拉阀结构 (Tesla valve)。这种阀结构可根据流体力学的相关原理有效实现管路系统的单向流动。这一问题立刻引起我的极大兴趣，孙老师也鼓励我们借助数值模拟软件对其进行模拟，并真正理解其中的力学机理。

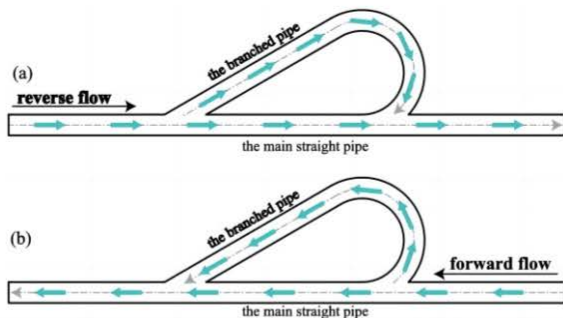


图1. 特斯拉阀的几何示意图。(a)反向流动；(b)正向流动

之后的一个礼拜，我马不停蹄地借助有限元软件COMSOL Multiphysics完成了几何建模、网格划分、参数设置、计算、后处理等仿真过程，成功实现了单个特斯拉阀的流动模拟。在之后的周例会上，向孙老师展示了特斯拉阀的流动模拟结果，孙老师非常高兴并祝贺我已经已经实现迈向成功的第一步，并鼓励我往深处挖掘，寻找其中的科学问题，并力争写一篇科研论文。同时也鼓励另外两名硕士研究生邵文琦、孙勇使用Fluent软件重现特斯拉阀的流动模拟。之后我们三人共同努力，使用不同的仿真软件模拟特斯拉阀内部的流动过程，并进行相互验证，很快我们完成了验证过程，从而初步证明仿真过程的正确性。

2020年12月初，在孙老师的建议下，为寻找其中的科学问题，因而有必要对特斯拉阀问题的相关研究进行调研，我花费大约半个月左右的时间，对相关文献进行检索、整理、学习并归纳，同时思考有哪些好的idea是目前还没有被研究的。在文献阅读过程中，很多陌生的术语是我第一次遇到，很多单词、语句以及专业术语需借助词典和翻译软件进行查阅并理解，在花费了两个礼拜左右，基本完成了国内外相关文献的阅读与学习。

特斯拉阀（Tesla Valve）也被称作瓣膜导管（valvular conduit），由美国发明家、物理学家、机械工程师、电气工程师尼古拉·特斯拉（Nikola Tesla）发明，并于1920年获得了美国专利许可。

通过对文献的学习，可以学习到许多知识，这对于之后的论文框架的完成有莫大帮助。1）明确了问题的来源与出处，例如，特斯拉阀是谁提出来说的？2）他人研究的思路，如使用无量纲数评价特斯拉阀的单向流动性

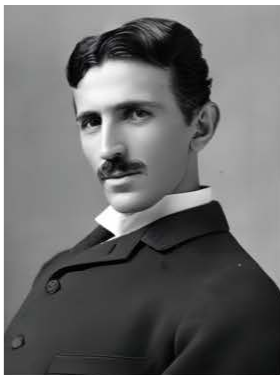


图1. 尼古拉·特斯拉 (Nikola Tesla)  
(图片来源: Wikipedia)

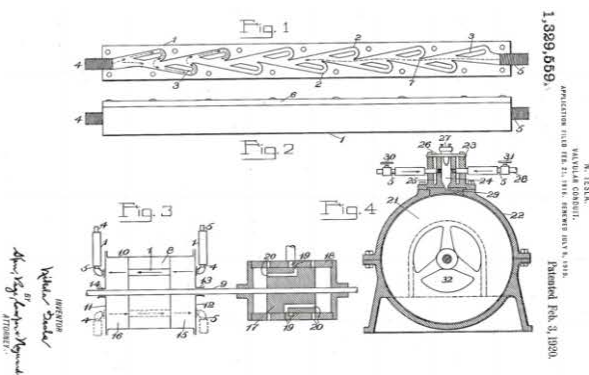


图2. 特斯拉阀 (专利-US1329559)

能，这有助于初学者形成好的研究思路；3）论文公式的推导与理解，这不仅可以使读者快速理解论文的缜密描述，而且有助于我们加强对物理过程的深刻理解；4）结论和展望部分主要论述了当前的结果和未来值得完成的研究思路，紧密地follow作者的研究思路，这也许可以成为读者的研究方向，同时也更易得到相关研究人员的认可；5）参考文献中不仅给出了前人的相关研究，而且有利于对当前研究人员的工作追本溯源，此外其中的部分文献可能是读者在自己检索过程中遗漏的重要文献。

虽然对特斯拉阀的相关研究有了初步的认识和理解，并通过模拟软件初步实现了特斯拉阀的流动过程仿真，但是对该问题仍然没有特别明确的研究思路。2021年1月-3月由于没有太好的idea，因而暂时将特斯拉阀问题的研究搁置一旁，进一步考虑其它问题的研究学习。之后的一段时间主要进行讲座、软件、重要研究成果的学习与跟踪，在此期间，也非常幸运地聆听了孙老师给我们所有研究生做的奥林匹亚系列讲座，科研的思路被放大很多。3月中旬，孙老师鼓励我继续对特斯拉阀问题进行研究，并考虑在学期放假前完成一篇小论文。因而，我对开始思考如何使用参数化建模对特斯拉阀问题进行系统研究，之前的相关研究较少。很快完成了参数化建模的相关研究，在与孙老师交流了相关研究进展后，孙老师引导我能否几何结构上有所突破，我受到几何对称通道系统（如Y型、T型通道等）的启发，该通道系统具有更好的流动分离和传热特性，开始思考能否提出一种





具有对称结构的特斯拉阀管路系统。这也是之前研究中没有提及的。于是，我立刻进行相关的有限元模拟，马上有了突破，模拟结果初步验证了结构的对称性有利于提高特斯拉阀系统的单向流动性能。接下来，主要是大量地进行模拟，对模拟数据进行整理和绘图，获得了不错的结果。5月20日左右孙老师在微信群里转发了《Nature Communications》上最新发表的有关特斯拉阀的研究论文“Early turbulence and pulsatile flows enhance diodicity of Tesla’s macrofluidic valve”，这篇论文中提及了一个非常重要的无量纲数（哈根数， $Hg = \Delta p D \rho / (L \mu)$ ），为此，在借鉴NC上论文的研究思路后，进一步完善本文描述问题特性的分析内容，同时，这篇文献也更加坚定了我对特斯拉阀问题的深入研究。孙老师也坚定这是一个好问题，一定会成功发表。在借鉴了NC上的部分研究思路后，6月初，顺利完成了中文论文第一稿，但我仍然觉得研究内容还需要进一步深化。6月15日上午，与孙老师近两个半小时的交谈中收获颇丰。首先由我阐述在进入IMT不到一年的时间里，主要做了哪些工作，包括科研成果以及讲座学习等。孙老师告诉我，Tesla valve问题的数值模拟研究一定是个好问题，好的问题应当产生好的成果，希望借助这样一个小的问题，一方面可以学习相关的数值模拟软件，同时最好能产生一篇好文章。我当即阐述了课题的研究方向和研究思路。我汇报完毕后，孙老师对我的观点和看法表示了肯定，同时也给出了很多非常好的建议：

- 1) 一定要充分把握当下的时间，要有危险意识，全身心地投入到科研中；
- 2) 加紧完成之前的小论文，然后全力推动博士方向的课题研究中；
- 3) 踏踏实实地从基础学起，短时间内全面掌握流体力学的相关理论知识；
- 4) 学习理论的同时，要充分利用数值模拟软件，不断练习，从而全面掌握理论知识；
- 5) 调研相关的综述文献，详细了解国内外研究状况；
- 6) 放开思路，同时学习；
- 7) 论文要做到高产量、高质量；
- 8) 定期要记录学术日记，规范学术研究过程。

此外，和孙老师对现有的研究内容进行相关了深刻交流后，孙老师建议能否抛开软件，使用理论方法进该问题进行研究，如果论文中同时有理论和模拟结果，这十分有利于论文在高质量期刊上进行发表。

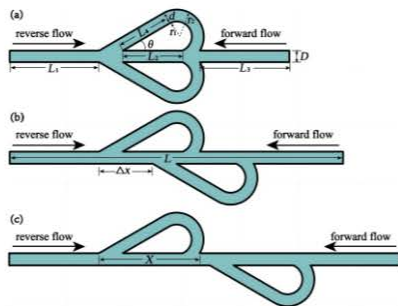


图4. 对称型与非对称型特斯拉阀

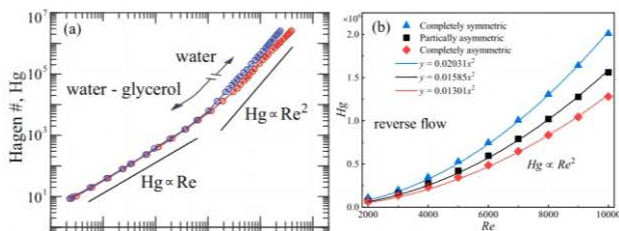


图5. 文献结果 (a) 与本文结果 (b)

这里，值得一提的是，之前在课堂上孙老师给我们系统地讲述了量纲分析的相关知识以及他本人利用量纲分析取得的最新研究成果，加上孙老师给我们发的量纲分析相关学习材料，包括他本人编著的《量纲分析与Lie群》及课程讲义等。正如孙老师说的那样：量纲分析是一门十分简单且有用的工具，在遇到困难问题时，量纲分析也许是你制胜的一大法宝。于是我开始思考能否借助量纲分析理论对特斯拉阀问题进行研究。最初的一个礼拜，我绞尽脑汁地挖掘其中的普适性的标度律关系，但由于功底欠缺，因而迟迟没有取得重要进展。在和孙老师进行交流后，孙老师向我推荐了经典的教材《粘性流体力学》（章梓雄等著）。在有了一些基础后，我立刻着手使用量纲分析方法对特斯拉阀问题进行研究，很快便有了初步结果，这大大增加了我的信心，接下来就是对相关工作的进一步整理和加工。

这里，非常重要的突破是在孙老师的指导和帮助下，成功获得了对称型特斯拉阀系统的压降与其它参数的标度律关系为：

$$\Delta p \sim \left( 1 + \ln \left( 1 + N^{\frac{3}{5}} Re^{13} \right) \right) \rho V^2 L D^{-1} Re^{-1/4}$$

然而，得到这一重要结果是漫长曲折的过程，在使用量纲分析研究该问题的最初阶段，我给出了如下的标度律关系：

$$\Delta p \sim \alpha^N \rho V^2 L D^{-1} Re^{-1/4}$$

孙老师立刻指出，我给出的公式有问题，显然  $\alpha = \alpha(\theta, d, N)$  本身就与  $N$  有关，应当稍作调整，写成如下形式：

$$\Delta p \sim (1 + \alpha) \rho V^2 L D^{-1} Re^{-1/4}$$

这个形式立刻变得简单且能直观地反映问题本身。这里仅考虑  $N$  的影响，当  $N=0$  时， $\alpha=0$ ，可以退化到无支管时的光滑圆管的压降与其它参数的标度律关系： $\Delta p \sim \rho V^2 L D^{-1} Re^{-1/4}$ 。正是这重要的一步，才能使得问题得以突破，紧接着，对数值模拟结果进行拟合，最终可获得对称型特斯拉阀系统的标度律如下：

$$\Delta p \sim \left( 1 + \ln(1 + N^{3.5} Re^{0.3}) \right) \rho V^2 L D^{-1} Re^{-1/4}$$

通过与孙老师面对面的交流中，收获的不仅仅是学术上的具体的指导意见，还有思想上的突破，从而更有勇气直面当下和未来遇到的难题。孙老师不仅仅是在指导我们如何做科研，而且是身先士卒，对科研保持着始终如一的崇高热情以及拼搏科研的努力程度，无不时刻激励着我不断向前，我一定会全力以赴，充分利用当下的各类资源，争取做出更多优秀的成果。

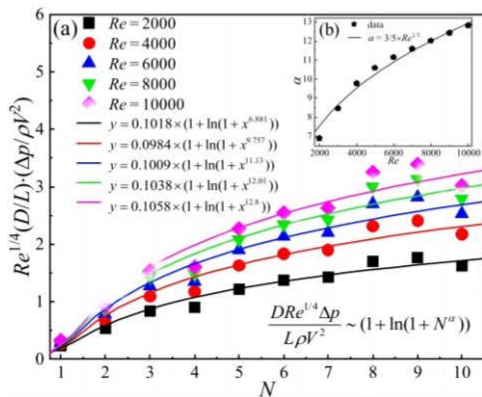


图6. 无量纲参数  $Re^{1/4} D \Delta p / (\rho L V^2)$  与阀对数  $N$  的关系

7月初，在中文定稿后，当我还在犹豫是否将其翻译成英文论文进行投稿时，孙老师立刻明确告知我们一定要敢于突破自我，进行英文论文的撰写和投稿。于是在接下来的一个月，我全力以赴使用LaTeX软件完成特斯拉阅英文论文的撰写、润色和修正。8月初，将最终版本的英文论文完成后，立刻发给孙老师敲定并选择期刊进行投稿。第一次投稿期刊是流体力学领域的著名期刊《Physical Review Fluids》，由于是第一次投国外的期刊，整个过程也是花费2天左右的时间才完成，其中包括在孙老师的指导下，完成了Cover Letter的规范撰写。顺利投稿后，我以为就是等待编辑的决定结果，不料约一周后，被告知需要使用通讯作者的账号完成投稿，并且需要提供作者的ORCID，因而在孙老师的要求下，我与另外两名师弟邵文琦、孙勇立刻注册ORCID，并修改了投稿网站中的通讯作者，这才成功完成了整个投稿过程。接下来，就是焦急的等待过程，然而非常遗憾地是，大约一周后，孙老师给我转发了编辑部的拒稿邮件，我感到非常苦恼，孙老师仍认为我们的工作是一项非常好的成果，一定可以发表。在孙老师的鼓励下，我们进行第二次投稿，这次投的期刊是《Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics》，有了第一次投稿的经验后，整个投稿过程也十分顺利。8月25日晚上，顺利完成投稿，第二天凌晨就收到编辑部的邮件，告知我们已经收到投稿。接下来的一个半月是编辑部审核、寻找审稿人和审稿的常规流程，这些带有详细时间的信息均可在投稿界面查询。大约一个月后，在国庆假期的前一天，孙老师在微信群里@我，让我查询邮件。审稿意见已经返回，期间孙老师专程从家里来到学生办公室，恭喜我们有很大希望能够成功发表，并要求我们认真仔细按照审稿意见进行修改和回复。在下午将近一个多小时的交谈中，收获良多。非常幸运的是，10月15日，我们三位流体研究生同孙老师前往天津参加了流动显示学术会议，在此期间不仅收获了很多与实验有关的知识，而且还认识了几位非常优秀的青年朋友。会议结束后，我继续同孙老师前往中科院力学所进行参观和交流。在力学所待了约一个礼拜学习到很多的实验仪器设备的使用和相关知识，这也为之后的科研实验打下很好的基础。

返回西安后，我继续加紧完成修订稿的修正和审稿意见的回复。在此期间，孙老师也总会利用晚上的闲暇时间，亲自到学生办公室询问我的进展。11月14日，终于完成全部的修正工作并提交至编辑部。一个月后，在12月16日收到编辑部的邮件通知：“The reviews are in general favourable and suggest that, subject to minor revisions, your paper could be suitable for publication. Please consider these suggestions, and I look forward to receiving your revision.”当我还对邮件内容不太理解时，孙老师告诉我这是基本上确定可以被接受了，并表示祝贺。当天，我立刻完成论文两处参考文献的错误修正并提交至编辑部。果不其然，第2天就收到编辑部的accepted邮件。至此，我的心终于悬下来了。孙老师在微信群里向我们表示祝贺，并表示这是IMT研究院的流体力学研究生第一次在一区Top期刊上成功发表论文。非常感谢孙老师在学术论文发表中的倾注的心血，论文的发表离不开孙老师的指导和帮助。12月25日收到了编辑部的Invoice支付邮件，由于疫情影响，我们无法前往银行完成汇款，孙老师告知我可以尝试使用APP完成汇款，当晚，在赵良杰师弟的帮助下，完成了汇款，本以为这事儿就算完成，没想到接下来的近一个月，就账单问题折腾了多次，期间，孙老师也多次电话和邮件与对方沟通，这里对孙老师再次表示感谢。完成校稿和汇款后，在2022年2月6日，收到孙老师的邮件，论文已经online，孙老师向我们表示祝贺，同时我也完成了论文报道内容的撰写工作。在春节假期收假前一天，顺利完成了整个论文的全过程。需要补充的是在撰写论文报道和备忘录的过程中，由于不够认真细心，因而在整理文字过程中出现低级错误，如将Nikola Tesla写成Nikola·Tesla，标度律写成标度率等等，这些错误不应当在文字撰写过程中出现，需引以为戒。接下来，需要认真总结并反思过去的不足，全力以赴向更高的山坡迈进。加油！加油！加油！

中国科学院文献情报中心期刊分区表						
期刊名称		期刊缩写		ISSN		年份
Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics		ENG APPL COMP FLUID		1994-2660		2021年
小类		ENGINEERING, MECHANICAL工程-机械		分区		Top期刊
小类		ENGINEERING, MULTIDISCIPLINARY工程-综合		I		
小类		MECHANICAL工程-力学		I		
大类		工程技术		I		
期刊来源因子				总被引频次		
2018年	2019年	2020年	2018-2020年平均	2019年	2020年	2019年-2020年
2.163	5.800	8.391	5.451	1327	2282	3609
备注:						

图7.《Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics》期刊分区



图8. 孙院士及IMT研究生参加流动显示学术会议

同时，需要自己牢记的是孙老师在微信群里专门整理归纳的“科研十条”，这里我也一并记录，在之后的科研学习过程中要时刻提醒并要求自己，将其用于自己的课题研究中。

1.遇到任何问题，要设想如果你是第一个研究这个问题的应当怎么做。

2.从第一原理思维出发，凡事先从本质开始思考，然后再从本质一层层往前推进。

3.要追根求源，尽力了解课题的发展历史；目光高远，要敢于越过历代权威的工作努力创新。

4.思路开阔，要有不同维度和层次的联想思维。

5.要有的放矢，抓大放小，抓主要放次要，集中力量解决要害的问题。

6.加强基础理论修养，公式一定要自己推导，边干边学，要带着问题学习，及时优化自己知识结构。

7.要尽量多掌握科研需要的各种工具，包括软件使用和实验设备使用。

8.要按照课题本身的逻辑发展不断发现并提出新问题，把研究工作逐步推向更高层次。

9.每项研究都要有理论、数值模拟和实验的相互验证，并及时总结写成论文发表。

10.要时时刻刻思考如何把科研成果形成核心技术，转化成专利并设想可能的应用场景。

[1]Nguyen, Q.M., Abouezzi, J. & Ristroph, L. Early turbulence and pulsatile flows enhance diodicity of Tesla's macrofluidic valve. *Nat Commun* 12,2884 (2021).

## —科研备忘录—

## “一种对称型特斯拉阀单向流特性的标度律”

2020级硕士研究生 邵文琦

2020年9月8日，我正式成为了IMT的一名2020级硕士研究生，开学之后，便开始了新学期的课程学习，孙老师不断提醒我们，在基础知识学习之余要学习使用科研软件，“工欲善其事，必先利其器”，软件即为科研之器。对此我深受启发，便开始着手FLuent学习，“万事开头难”，在学习开始便遇到了无从下手的难题，对基本的模拟流程不了解，缺乏相关软件的认识。但随后孙老师便为我们分享了一些非常实用FLuent教学视频，从网格绘制到运行计算、再到结果处理，无一不细致详实。这对我初步熟悉FLUENT提供了很大的帮助。在之后的一段时间，我便开始根据老师提供的视频，进行模拟复现。但这仅仅是“照猫画虎”，脱离视频教学本身，便很难独立进行分析模拟。

10月29日，孙老师给我们分享了一个有关特斯拉阀的视频，提醒我们可以尝试模拟原始特斯拉专利的流场情况，更为重要的是，孙老师还分享了许多特斯拉阀相关的论文，这为我们了解这方面专有名词及相关领域的研究进展提供了很大的帮助。孙老师强调在边学边做基础上学习如何使用软件，不仅是最迅速的学习方法，也更容易了解软件每一步背后的理论支撑。

接下来的一段时间里，我和孙勇同时开始对特斯拉阀进行相应的模型建模，在与博士师兄刘哲进行细致地讨论并阅读参考了相关文献后，最终确定了一种尺寸参数较为准确的几何模型，在继续根据相关书籍和视频学习软件的同时，模拟完成了二维特斯拉阀流场中的流速及压力分布，并对不同流向阀门出入口的压降进行了分析，与博士师兄刘哲模拟结果进行了对比验证，在验证对比成功的那一刻，我内心无比激动。验证结果表明不同模拟软件模拟同工况下的特斯拉阀均存在较为明显的二极性，流场流速分布也呈现随管道结构相应的非定常性。

作为软件练习任务，孙老师提醒我们看看能否我们可以通过现有的结果进一步思考，考虑不同几何形状对于流场信息的影响，从而扩展成为一篇

小论文。于是，根据老师的建议，刘哲师兄与我们首先在分支管路夹角方面进行模拟，我们在 $15^{\circ}$  - $90^{\circ}$  范围内建立不同的二维单阀模型，进行数值模拟，分析了不同流向的出入口压降比。

论文由刘哲师兄撰写完成之后，进行投稿，在投稿过程中，非常幸运一篇特斯拉阀的实验研究发表在顶级期刊《Nature Communications》上，这充分证明了特斯拉阀这个课题是一个很好的课题，给予了我们极大的信心。最终经过不断修改，文章与2021年12月18日收录，在收到录取信息的那一刻，作为整个过程的参与者，我感到非常的激动。

回顾这次科研的整个过程。正如老师所说的，科研工作最重要的部分就是课题的选择，一个好的课题将决定科研成果的上限，而好的课题是可遇而不可求的。整个过程无一不充分验证了这句话，好的课题是好的研究成果的开端。在模拟学习过程中，遇到过很多难点，孙老师都孜孜不倦地鼓励我，要对自己的工作有信心，最终不断调试，直至完成，期间不仅收获了许多知识，更为我开展自己的科研工作打下了坚实的基础。

## —科研备忘录—

### “一种对称型特斯拉阀单向流特性的标度律”

2020级硕士研究生 孙勇

2020年10月23号，研一开学快两个月了，彼时的我还只是一边跟进学校课程安排，一边进行科研软件Fluent学习，但是整个过程非常盲目。在这种情况下，孙老师为流体专业研究生转发了1个来自学术前沿的课题并准备了相应的资料，“特斯拉阀几何结构优化”这个课题对于我非常合适，课题内容容易理解但又极具深度和研究价值。当时我们研究的特斯拉阀运用场景可以描述为：在通电闭合回路中，存在一个半导体，沿电流正向电阻无穷小，沿电流反向电阻无穷大。我们研究的特斯拉阀便是流体回路中的半导体。如此来源于生活却又高于生活的研究，使我兴趣盎然。



2020年11月4日，为了快速地学习和理解“特斯拉阀几何结构优化”的问题，我跑去图书馆找到国内的三篇中文文献进行了仔细阅读，这使我对这个课题有了初步的认识，在此基础上，我开始利用有限元软件Fluent对该问题进行仿真建模，在建模的过程中，由于对特斯拉阀的连接方式理解不足，以及选取的角度不正确，最开始的运行结果频频报错，2020年11月14日，孙老师又给我们发送了Fluent的学习资料，经过一段时间的实操模拟解决了分析中的建模问题。我们在后来在例会中向孙老师展示了该成果，得到了孙老师的鼓励，这也坚定了我们继续向前的决心。但是，科研总是会先给你点甜头，再给你狠狠的一棒，喜悦的心情并未持续多久。我们发现怎样提出创新点是一个问题，俗话说，山穷水尽疑无路，柳暗花明又一村，后来刘哲师兄发现这些特斯拉阀角度间距可以大做文章，于是我们一起计算。其中，角度和间距的代数式，在师兄的努力下，事情有了些许进展。同时师兄也让我们算了几组角度变量和他对比，结果十分吻合。我当时特别开心，经过短时间的学习，已经可以独自开始模拟了。

以上内容均为本人此次科研经历的真实记录，包含了我从完全不懂科研到可以自己独立模拟的全部内容，希望研究院同学可以加以借鉴。

目前，论文已在线发表在《Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics》上，该文第一作者为20级博士研究生刘哲，通讯作者为孙博华院士，合作者为20级硕士研究生邵文琦、孙勇。



## 孙博华院士团队： 有限厚度下的薄膜-软基双层结构后屈曲行为研究

[www.nature.com/scientificreports](http://www.nature.com/scientificreports)

scientific reports

### OPEN Post-buckling behaviors of thin-film soft-substrate bilayers with finite-thickness substrate

Meng Li & Bohua Sun<sup>1\*</sup>

Surface buckling behaviors of thin-film soft-substrate bilayers have important research value. Recent research has focused on bilayers with infinite-thickness substrate. However, bilayers with finite-thickness substrates widely exist. To study this problem more comprehensively, we extended the stability theory of a beam on an elastic foundation to bilayers and then established a finite element method of bilayers using the neo-Hookean hyperelastic constitutive model. A self-contact analysis method was coupled to the finite element method so that the further buckling evolution of the film surface after folding could be simulated. Based on our analysis of various modulus ratios and thickness ratios, the evolution of the buckling path was significantly influenced by the thickness ratio. Without considering the situation of a prestressed substrate, four new buckling paths were found. Thus, we extended the single buckling path (under infinite thickness substrate) to five types. Our study also found that for path four, the substrate with a certain thickness exhibited a special final stable surface morphology. That is, regardless of the friction, a new periodic morphology after film folding appeared due to the contact slip of the film surface. Finally, further analysis showed that these five buckling paths were all dependent on different modulus ratios and thickness ratios.

受到挤压的皮肤为什么会起皱纹？风干的水果表皮为什么会凹凸不平？两种不同刚度和厚度的软膜粘贴组合在一起，在挤压作用下的表现却揭示了一个广泛存在于自然界中，但长久被人忽视的现象，即褶皱的发生。近期，这个问题越来越多的引起了大家的广泛注意。人们逐渐意识到这种双层膜结构广泛存在于自然环境中，如生物上表皮和真皮组成的平面双层膜结构、大分子物质的硬表面和内部组成的球形双层膜结构、地质结构中的岩层和土层形成的大尺度双层膜结构等等。

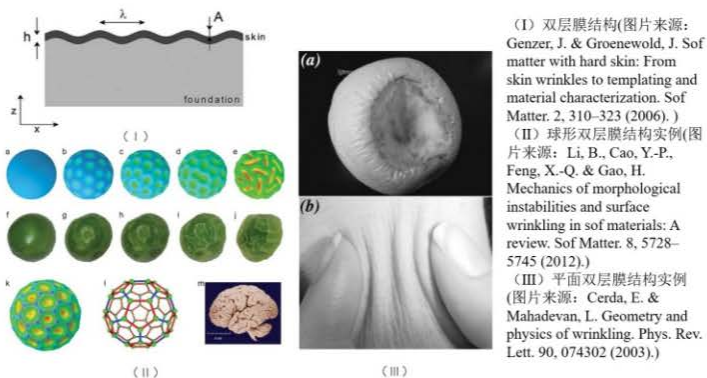
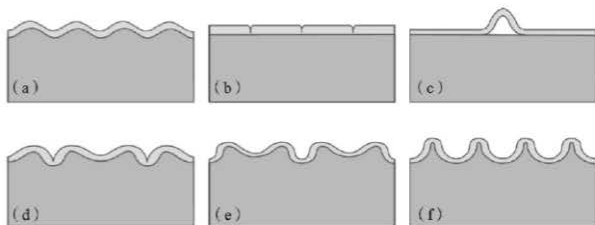


图1. 双层膜结构实例

如今，薄膜-软基双层结构已经成为软物质领域研究的热点之一。一般认为，在持续的压缩荷载作用下，较硬的薄膜与较软的基体存在弯曲变形的趋势，二者自身变形的趋势在竞争过程中将趋于使得总体变形能最小，并在薄膜表面产生初步的褶皱现象，这种褶皱在一定情况下保持稳定。而进一步增加荷载直到超过临界后，稳定的平衡再次被打破，薄膜的表面形成新的形态，即后屈曲模式，并且这种后屈曲模式同样会在进一步荷载作用下继续被打破。在考虑基体厚度无限大的情况下，学者们已经很好的总结了若干屈曲模式，如图2所示。

图2. 典型的屈曲失稳模式示意图，从(a)-(f)依次为褶皱、折痕、翘曲、叠痕、倍周期褶皱、隆起(图片来源: 倪勇,刘佩琳,马龙,等.基底上薄膜结构的非线性屈曲力学进展[J].*固体力学学报*, 2018, 39(2):26.



目前的研究仍将薄膜折叠后作为后屈曲的终点，并且研究往往聚焦于薄膜厚度相比基体厚度即膜厚比较大的情况，此时基体被视为半无限大弹性空间，因而给理论的解析带来了方便，无限大基体的后屈曲失稳路径为典型的褶皱-倍周期-四倍周期模式。然而有限厚度下的薄膜-软基体复合结构在自然界中往往更加广泛的存在，当考虑基体厚度时，这种双层膜的后屈曲研究更是尚不充分。

鉴于此，西安建筑科技大学力学技术研究院孙伯华教授团队受到复旦大学徐凡教授团队对于双层膜后屈曲研究 (Cheng, Z. & Xu, F. Intricate evolutions of multiple-period post-buckling patterns in bilayers. *Sci. China Phys. Mech. Astron.* 64, 1 - 10 (2021).) 的启发，通过考虑基体厚度，和薄膜表面折叠后的接触滑移，采用有限元数值方法，发现了新的屈曲路径，即将原来的单一屈曲路径（无限大基底情况下）拓展为五种。并且在不考虑摩擦力的情况下，发现了薄膜接触后的进一步屈曲演化模式（路线四，对称性破缺后重新分布情况）。相关工作于2022年以“Postbuckling behaviors of thin film soft substrate bilayers with finite thickness substrate”为题发表在SCI期刊《Scientific Reports》上，该期刊分级为中科院3区期刊，最新IF为4.379。

首先，研究人员将薄膜-软基体复合结构看作附着在弹性介质上的不可伸缩膜，并采用传统弹性空间法给出了基体的控制方程为：

$$\begin{aligned} 2(1 - \mu_s)u_{xx} + v_{xy} + (1 - 2\mu_s)u_{yy} &= 0, \\ 2(1 - \mu_s)v_{yy} + u_{xy} + (1 - 2\mu_s)v_{xx} &= 0, \end{aligned} \quad \text{和} \quad \begin{aligned} \sigma_x(x, y) &= \frac{(1 - \mu_s)E_s}{(1 - 2\mu_s)(1 + \mu_s)}(u_x + \frac{\mu_s}{1 - \mu_s}v_y), \\ \sigma_y(x, y) &= \frac{(1 - \mu_s)E_s}{(1 - 2\mu_s)(1 + \mu_s)}(v_y + \frac{\mu_s}{1 - \mu_s}u_x), \end{aligned}$$

通过傅里叶空间变换，带入边界条件，得到了控制方程的解为：

$$\begin{aligned} \tilde{u}(\omega, y) &= \frac{(\Phi_1(\omega, y)e^{\omega(2H+3y)} + \Phi_2(\omega, y)e^{\omega(4H+3y)} + \Phi_3(\omega, y)e^{\omega(2H+y)} + \Phi_2(\omega, y)e^{\omega y})\tilde{f}(\omega)}{(4H^2\omega^2 + 32\mu_s^2 - 48\mu_s + 18)e^{2\omega H} - 16(\mu_s - \frac{3}{4})^2(e^{4\omega H} + 1)}, \\ \tilde{v}(\omega, y) &= \frac{(\Phi_4(\omega, y)e^{\omega(2H+3y)} + \Phi_5(\omega, y)e^{\omega(4H+3y)} + \Phi_6(\omega, y)e^{\omega(2H+y)} - \Phi_5(\omega, y)e^{\omega y})\tilde{f}(\omega)}{(4H^2\omega^2 + 32\mu_s^2 - 48\mu_s + 18)e^{2\omega H} - 16(\mu_s - \frac{3}{4})^2(e^{4\omega H} + 1)}. \end{aligned}$$

其中的系数函数：

$$\Phi_1(\omega, y) = 2ie^{-2\omega y} \omega(-H^2\omega - \omega Hy - 2\mu_s y + \frac{3}{2}y),$$

$$\Phi_2(\omega, y) = 2ie^{-2\omega y} \omega(2y(\mu_s - \frac{3}{4})),$$

$$\Phi_3(\omega, y) = 2ie^{-2\omega y} \omega(H^2\omega + \omega Hy - 2\mu_s y + \frac{3}{2}y),$$

$$\Phi_4(\omega, y) = 2e^{-2\omega y} (8\mu_s^2 + (-12 + (4H + 2y)\omega)\mu_s + \frac{9}{2} + H(H + y)\omega^2 + (-3H - \frac{3y}{2})\omega),$$

$$\Phi_5(\omega, y) = 2e^{-2\omega y} (-2(\mu_s - \frac{3}{4})(\omega y + 4\mu_s - 3)),$$

$$\Phi_6(\omega, y) = 2e^{-2\omega y} (8\mu_s^2 + (-12 + (-4H - 2y)\omega)\mu_s + \frac{9}{2} + H(H + y)\omega^2 + (3H + \frac{3y}{2})\omega).$$

将基体对薄膜的作用求解出来后，耦合到薄膜的挠曲微分方程中，得到了有限厚度下的薄膜-软基双层结构的初始屈曲理论解。并将理论解与有限元分析结果对比如图3所示。

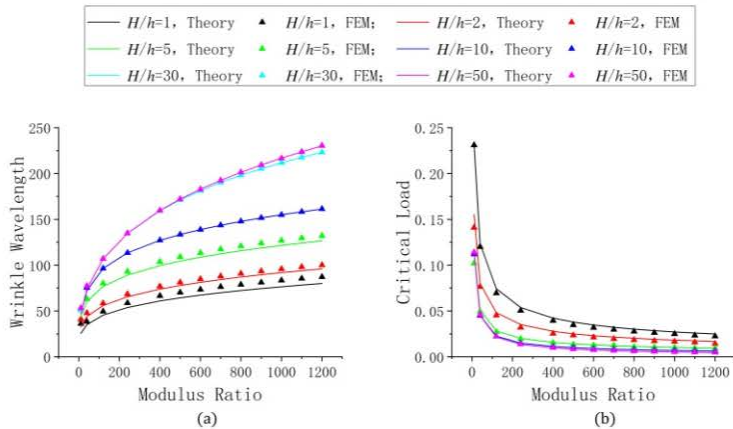


图3. 不同膜厚比情况下，有限元及理论解计算得到的临界荷载与起皱波长

验证了有限元分析的正确性后，研究人员进一步进行了不同模量比和厚度比下的后屈曲模拟，并从中发现了4种新的屈曲路径，结合经典的屈曲路径，共分类总结为路径一至路径五如图4所示。

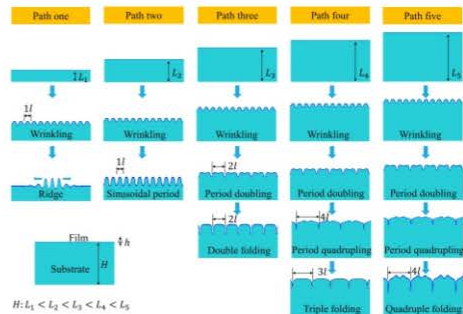


图4. 路径一至路径五

其中，路径一在初始屈曲后，很快转变为局部隆起的情况，并在后续的荷载作用下，隆起的波峰逐渐向两边扩展，并重新形成正弦周期模式，如图5。

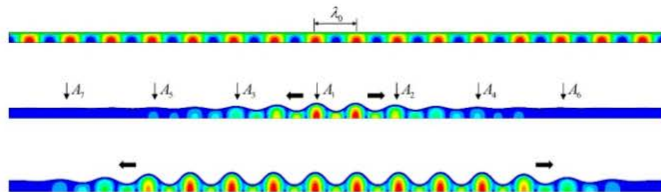


图5.膜厚比5，模量比600情况下有限元计算结果，其中薄膜在初始正弦周期屈曲后，很快坍塌成局部隆起的情况，并且这种隆起随着加载的进一步进行，隆起波峰向两边扩展，并最终重新形成正弦屈曲

路线二和路线三的屈曲模式是逐步增大厚度比的结果，如图6和图7所示：

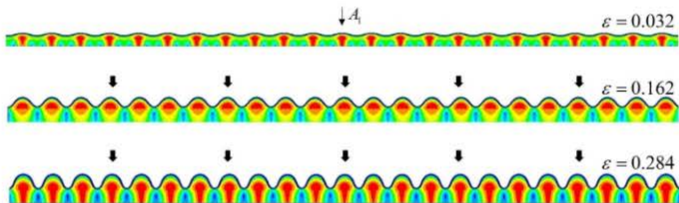


图6.模量比120情况下，厚度比10的有限元分析结果云图，其中薄膜在屈曲过程中只有单倍周期模式

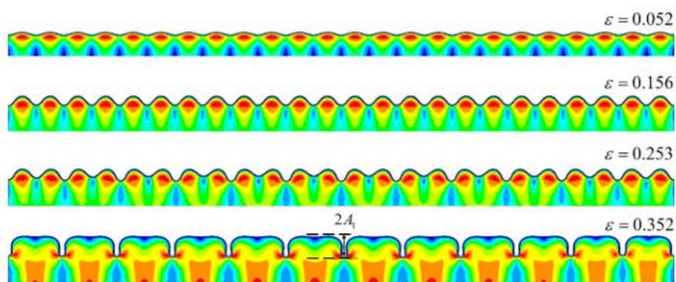


图7.模量比120、厚度比20情况下的有限元结果云图，其中薄膜表面经历了起皱-倍周期模式，并最终形成类似城墙形的双倍周期稳定形式

路径四与路径五综合反映了典型的无限大基体屈曲模式，不同的是，在考虑薄膜表面接触滑移作用后，路径四薄膜表面接触后，进一步荷载，会重新形成一个新的三倍周期的稳定模式，而路径五不存在这个过程，相关结果如图8和图所示。

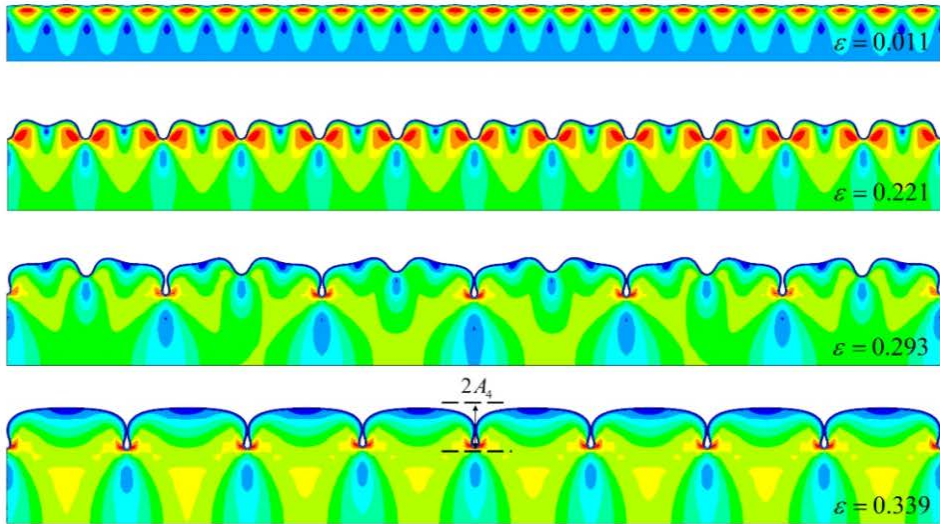


图8. 路径四情况下的有限元模拟结果, 在这个例子中, 四倍周期的屈曲模态不是稳定的终点, 薄膜表面的周期对称情况破缺后重新分布形成三倍周期的模式

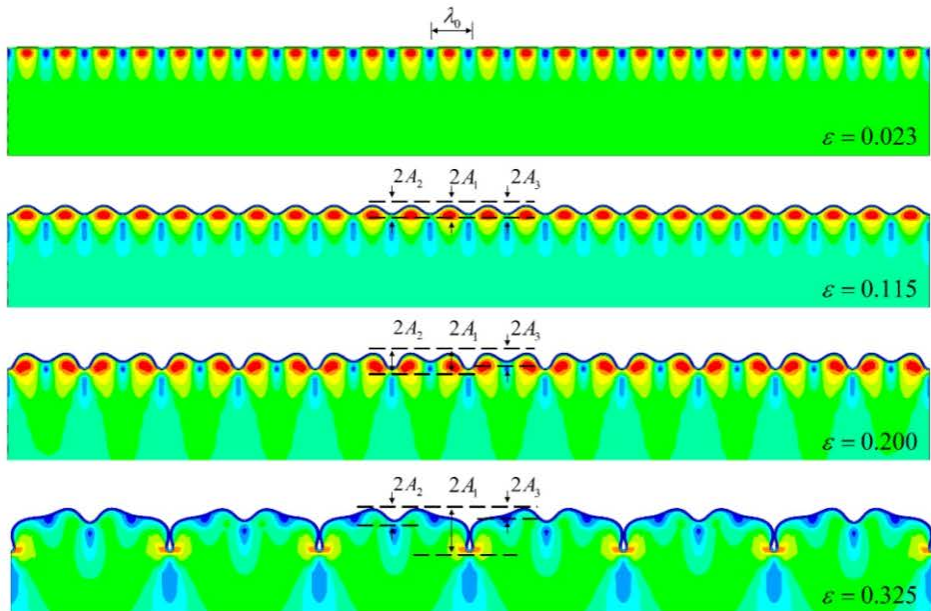


图9. 模量比120、厚度比60情况下, 有限元计算结果的等效应变云图, 其中薄膜由初始屈曲后的正弦周期向双倍周期、四倍周期变化

最后, 研究人员将所有的分析结果总结如图10所示。

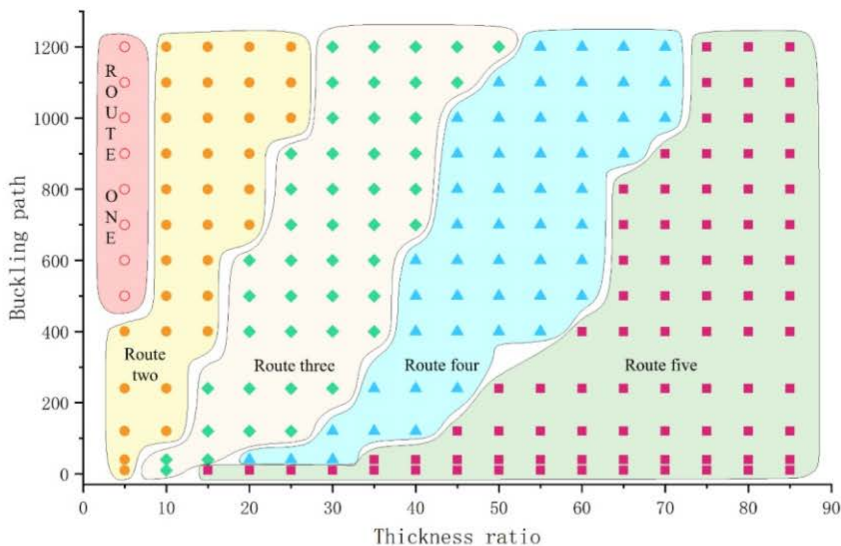


图10. 不同模量比和厚度比情况下的有限元计算结果，其中的数据点代表不同的屈曲路径，每个区域中的结果从左向右以此为路径一至五

论文第一作者为博士研究生李蒙，通讯作者为孙博华教授。

## —科研备忘录—

### “有限厚度下的薄膜-软基双层结构后屈曲行为研究”

2020级博士研究生 李蒙

2020年9月17日，孙老师在工作交流中，介绍了复旦大学徐凡教授团队的最新成果，双层膜结构的复杂屈曲形貌，这个简单的小结构在挤压荷载作用下，蕴含了丰富的屈曲变形结果，引起了大家的广泛兴趣，在了解到这个问题后，我立即向孙老师提议，采用有限元分析软件Ansys来尝试模拟一下这个问题，并深究下其中的科学问题。孙老师了解到后，对我的想法进行了鼓励，并建议我在复现原文的工作结果基础上，深入了解其背后的科学原理，并尝试考虑更多复杂的情况。

在后来一周的紧张模拟工作中，我初步复现了单倍周期模式，这个结果受到了孙老师的鼓励，孙老师建议我可以考虑更复杂的情况，如考虑基体的厚度、膜和基体的脱离、以及膜表面的接触问题等等。并可以将结果整理成论文，为学术贡献力量。

获得孙老师的指导后，我立刻进行了大量的模拟工作，然而问题的困难程度仍然超出了我的想象，薄膜和基体的后屈曲问题是一个高度非线性的问题，初始屈曲的单倍情况容易实现，但倍周期模式受到了各种因素的作用，这里，我的模拟结果一开始出现了极大的收敛困难，我尝试排除问题，并在之后的一个月时间内，反复尝试，但结果仍不理想。

这一个月时间我同时考虑了有限元模型的计算问题，和其他论文的过程进行对比后，我发现大家广泛都存在结果的不稳定性困难，这个问题在模拟上的最大困难应该是模型本身对边界条件的敏感性，传统做法是考虑叠加初始正弦缺陷后，再进行屈曲和后屈曲分析。但我考虑到初始屈曲缺陷的叠加是否会对模拟结果本身有先入为主的影响，因而放弃了这个做法，转而寻找更好的思路。

我认为这个问题应该和边界条件有关，模拟的过程虽然有理论分析的支持，但模拟始终是一种数值计算的近似，这种分析方法在屈曲分叉路径上，拥有天然的计算敏感性，因而不合适的边界条件会放大计算误差，从而造成计算结果的不收敛，或者计算错误。因而，我在2020年10月中旬到12月份，始终尝试解决边界条件的设置问题，尝试了采用对称边界条件，但发现结果不成立，在反复尝试和调整之后，无奈放弃（在后来的进一步学习中，了解到薄膜在屈曲成单倍周期或分叉成倍周期的过程中，往往存在对称性破缺，并重新形成对称性的过程，这个过程非常短，我后来通过提高荷载步数，大量计算后捕捉到了这种破缺并重分布过程，才揭开了问题的所在）；我也尝试了限制薄膜-软基两边竖向位移的方法，成功得到了单倍周期和倍周期的屈曲路径，值得注意的是，这一边界条件设置方法和清华大学教授冯西桥老师在其著作《材料表面失稳力学》中的有限元模拟方法的设置一致。然而冯老师只关注到了倍周期模式和无限大的基体情况下，在考虑有限大基体和更进一步的屈曲模式，这种边界条件由于限制了薄膜和基体两边的竖向变形，将不再能反映真实的变形过程，如图11所示。

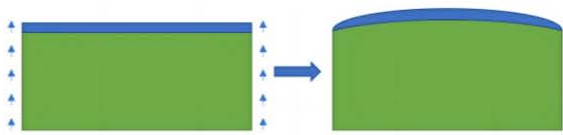


图11. 限制边界后，大荷载下的变形失真



问题的第一个重大解决发生在2021年1月份左右，此时我已经尝试了若干方法和思路，这时，我考虑到结合冯西桥老师的思路并解决荷载较大情况下的模型两边竖向变形情况，我尝试弱化了冯老师的边界设置，将竖向边界限制仅仅施加在薄膜两边，而基体两边放松，在控制底边竖向位移后，成功解决了更大荷载作用下的后屈曲模式，新的边界条件设置如图12所示。



图12. 尝试的新的边界条件

通过这个边界条件的设置，我复现了基体厚度较大情况下的典型屈曲模式，在和孙老师交流后，孙老师表示认可，并鼓励我进行更多的模拟，然而，新的问题又相继出现，即是计算结果虽然形貌和典型屈曲路径一致，但屈曲波长和临界荷载和理论结果对比误差较大，我反应过来，这仍然是高度非线性带来的计算数值误差，即是虽然解决了收敛问题，但尚未解决精确问题。

下面的过程仍然是尝试解决这个问题，而解决方法很快出现，既在这个边界条件的设置下，只能采用细化网格数量，增加荷载步的方式，一步一步尝试提高收敛结果。而众所周知，有限元分析过程的细化和计算时间是一对矛盾的因素，期望精确的结果，那只有大幅度的增加计算时间。而提高计算速度又只能无奈的牺牲计算精度，通过测试对比，采用这个方案的模型，计算网格密度的设置要求非常惊人，如图13所示。

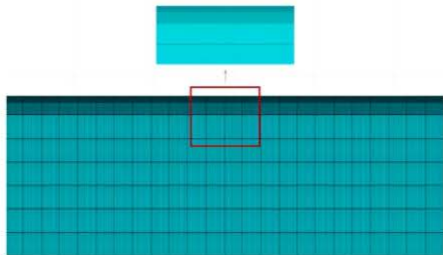


图13. 设置的网格数量

同样困难的问题是计算荷载步的要求，由于采用这种弱化的边界条件，削弱了模型通过边界条件获得分叉的能力，而只能不停的通过增加荷载步，来给模型增加通过薄膜两边限制获得分叉的机会。经过初步尝试，要获得单倍周期，荷载步总数需要设置在1000步左右，计算一个完整的典型屈曲路径，采用先进的工作站，总计算时长也在3-5个小时左右，计算的速度实在让人无法接受。

此时，虽然获得了和理论结果一致的模拟结果，但牺牲了的计算时长限制了进一步探索的可能，考虑到要进一步计算薄膜表面接触和调整基体厚度的问题，这个模型仍然需要调整，而这个调整过程从2021年2月份直到2021年的7月份，中间参杂着进行实验的尝试和理论分析的尝试。

实验的努力和尝试在疫情的影响下举步维艰，最终无奈放弃；而理论的尝试却有了初步的进展，我在孙老师的建议下，通过学习基础理论知识和maple软件的应用，考虑将膜基双层结构等效成弹性地基梁的方法，采用弹性半空间法，通过傅里叶变换的方式，给出了初始屈曲情况下的理论解析，而对于后屈曲模式，我尝试采用摄动法去解决，然而，考虑厚度后的问题复杂度又一次超出了我的想象，摄动法二阶的计算结果已经超出计算机能处理的限度，当然对于问题的分析也没有帮助，这次考虑到问题已经有了初步的结果，只能止步于此。

然而模型的第二个重要解决出现了，通过再次调整边界条件的方法，我们尝试给模型两边增加刚性柱来施加荷载，刚性柱和薄膜与基体之间采用接触设置，接触摩擦力为0，模型如图14所示。

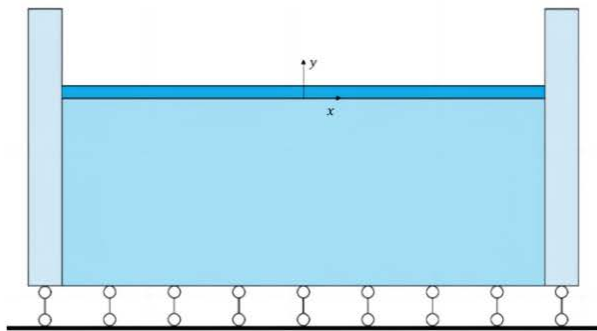


图14. 更新后的模型结果

这样的设置成功加快了模型捕捉分叉的能力，从而能够设置更少的荷载步，并且更进一步的，通过给薄膜和刚性柱增加微小的摩擦力，并在初始屈曲后将摩擦力重新设置为0的情况下，可以更进一步的加快收敛速度，降低计算时间。通过测算，这一过程成功的将总荷载步数降低为100步左右，计算时间相比之前设置方式的3-5小时减少为十几分钟左右，效果非常显著。

最后，通过有限元分的分析，我考虑了有限厚度的情况，和薄膜表面接触滑移的情况，模拟结果却惊讶的发现，厚度的影响居然对后屈曲模式有显著的作用，原来认为的单一屈曲模式在这里，通过基体厚度的不同，重新整理分析成为了五种，即我们重新定义的路径一到路径五。

8月底，在中文稿定稿后，孙老师建议我进行英文翻译，将我们的学术成果向更广泛的科学同行们推广。于是接下来的一个月时间，我通过努力的写作，在9月底完成了论文的英文初稿。在尝试了若干期刊后，最终于2021年10月21日投稿至SCI期刊《Scientific Reports》上，并在经历了焦急的等待过程中，于2022年1月17日获得了一审两位审稿人的审稿意见。

一审两位审稿人均同意接收，这个了我很大的鼓励，但也明确了需要我解决一些写作上的问题和解释澄清审稿人在阅读过程中的疑问。这里非常感谢两位尽职尽责的审稿人，两位审稿人共提出了21条审稿意见。此时虽然临近春节，但我仍然迅速的投入了紧张的修改工作中去，并针对审稿人的意见，丰富完善了论文中的阐述和说明，并且最重要的一点是其中一位审稿人指出了我对于一篇参考文献理解的错误，这篇来自锁志刚院士的文章在我初次阅读的时候，对于其中的一些内容理解不够深入，但是在这位审稿人的简单点拨下，我瞬间明白了之前理解不透彻的地方，也对这位素未蒙面的大师产生了敬佩之情。最后，怀着忐忑的心情，我提交了这次论文的修改稿，并满心期待接下来的返修意见。

这个过程中，孙老师对我的一审结果表达了祝贺，并及时地提醒我准备好论文的付款等工作，孙老师此时在2022年的前两个月左右也自己独立发表完成了两篇高质量的一区论文，他的工作成果震撼和激励了我们所有人。

最后在2022年3月2日晚，孙老师最先看到论文录取的信息，并欣喜的在工作交流群中祝贺了我。看到这个消息后，这一刻我感到了无比的开心和欢乐，此时，再次回想起之前的种种努力和尝试，以及和孙老师讨论交流的过程，以及其他同学们的鼓励。回忆起熬夜看模拟结果，在图书馆翻阅屈曲文献资料，第一次尝试使用maple软件，并从头学习的过程。只是这个过程有70%都是不停的失败和挫折，但也有瞬间的成功解决了之前的种种困境。后来我不止一次的思考过，当时要是没有坚持努力寻找更合适的边界条件，没有花费大力气来尝试降低计算时间，从而使得更进一步的考虑表面接触滑移、考虑有限厚度成为可能，那我也不可能完成这篇文章，更加遗憾的是将不可能看到从路径一到路径五这五种新颖的、精彩纷呈的屈曲路径和屈曲形态。

最后，孙老师一次次的强调了“科研十条”，这里再次提醒并勉励自己。

1、遇到任何问题，要设想如果你是第一个研究这个问题的应当怎么做。

2、从第一原理思维出发，凡事先从本质开始思考，然后再从本质一层层往前推进。

3、要追根求源，尽力了解课题的发展历史；目光高远，要敢于越过历代权威的工作努力创新。

4、思路开阔，要有不同维度和层次的联想思维。

5、要有的放矢，抓大放小，抓主要放次要，集中力量解决要害的问题。

6、加强基础理论修养，公式一定要自己推导，边干边学，要带着问题学习，及时优化自己知识结构。

7、要尽量多掌握科研需要的各种工具，包括软件使用和实验设备使用。

8、要按照课题本身的逻辑发展不断发现并提出新问题，把研究工作逐步推向更高层次。

9、每项研究都要有理论、数值模拟和实验的相互验证，并及时总结写成论文发表。

10、要时时刻刻思考如何把科研成果形成核心技术，转化成专利并设想可能的应用场景。



## 孙博华院士团队： 冲击作用下折板吸能器的模拟

Springer

Acta Mechanica Sinica

CrossMark

• RESEARCH PAPER •

Acta Mech. Sin., Vol. 38, 521429 (2022)  
<https://doi.org/10.1007/s10409-021-09019-a>

### Simulation of crooked plate energy absorption structure under impact

Pinyuan Chen<sup>1</sup>, and Bohua Sun<sup>1,2\*</sup><sup>1</sup>School of Civil Engineering & Institute of Mechanics and Technology, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;  
<sup>2</sup>Faculty of Mechanical Engineering & Mechanics, Ningbo University, Ningbo 315211, China

Received October 21, 2021; accepted October 29, 2021; published online February 7, 2022

Due to their simple structure, crooked plates are widely processed into energy absorption structures. There are obvious differences in the final deformation of crooked plates with different materials and dynamic conditions under the impact of constant-input kinetic energy. To better understand this phenomenon, we solved the Zhang-Yu equation with Maple software, obtained the law of generalized coordinates (rotation angle) of the energy absorber changing with time, and compared the energy absorption capacity of a crooked plate energy absorber under different parameters. To better understand how the motion of the energy absorber is affected by the change of parameters, we calculated the phase diagram of the energy absorber dynamics. After many numerical simulations, we found that the four-crooked plate energy absorber should have a mass-sensitive structure. We established the finite element model of dynamic buckling of mild steel and 6061-T6 aluminum alloy, and compared it with the Calladine-English dynamic experiment and Zhang-Yu rigid viscoplastic model. The results show that: (1) the Zhang-Yu rigid viscoplastic model has more guiding significance for mild steel (strain rate-sensitive material), and has greater error for 6061-T6 aluminum alloy (strain rate-insensitive material), and the prediction error further increases with the initial angle; and (2) by modifying the equivalent plastic length  $l$  of a plastic hinge according to the finite element model, the prediction accuracy of the Zhang-Yu rigid viscoplastic model can be improved. Our research results certain guiding significance for the design and manufacture of energy-absorbing structures of crooked plates.

Mass sensitivity, Crooked plate energy absorbing structure, Initial imperfection, Maple, ABAQUS

Citation: P. Y. Chen, B. H. Sun, Simulation of crooked plate energy absorption structure under impact, Acta Mech. Sin. 38, 521429 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10409-021-09019-a>

冲击碰撞是日常生活和工程实际中广泛遇到的力学现象，结构在设计时需要考虑应变率和惯性对于吸能能力的影响。

Calladine等发现，依照准静态载荷-位移曲线的整体形状，能量吸收结构大致可以分为两种类型（图1）：第Ⅰ类具有一条相对平坦的载荷-位移曲线，而第Ⅱ类结构的曲线快速上升，随后急剧下降。

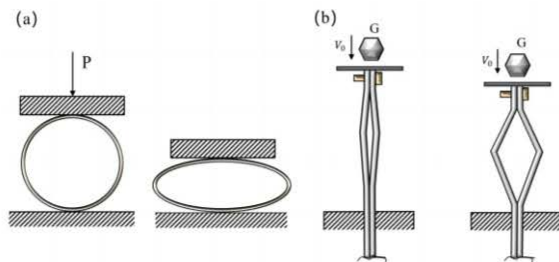


图1. 两类吸能结构

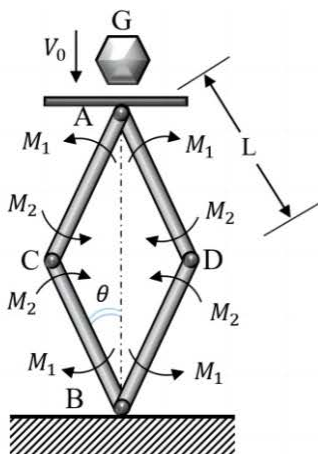


图2. 四铰链模型

余同希等根据两个物体间非弹性碰撞的经典理论提出四铰链模型(图2),研究了落锤碰撞速度和质量比与碰撞时瞬时能量损失之间的关系,深刻地揭示了速度敏感性的实质是质量敏感性,同时强调了初始几何缺陷对速度敏感性的显著影响。

在此基础上,孙博华院士团队利用Maple软件对Zhang-Yu吸能器方程编写了通用程序,并首次求得了折板吸能器的广义坐标(转角)随时间的变化规律。同时,为了更好的了解吸能器的运动受参数变化的影响,计算了折板吸能器动力学的相图。经过大量的数值模拟,孙院士团队发现四折板吸能器应当是“质量敏感”型吸能结构。

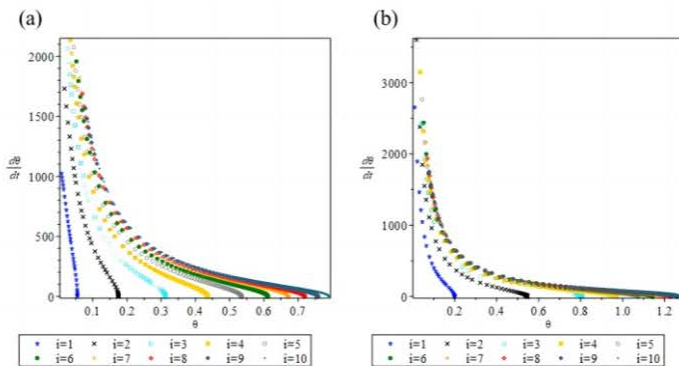


图3. 折板运动相图示例

此外,我们建立了低碳钢和6061-T6铝合金两类折板的动态屈曲的有限元模型,并与Caladine-English动态实验和Zhang-Yu刚粘塑性模型进行了比较。通过有限元模型修正塑性铰的等效塑性长度,可以提高Zhang-Yu刚粘塑性模型的预测值的精度。我们的研究结果对折板吸能结构的设计与制造有一定的指导意义。

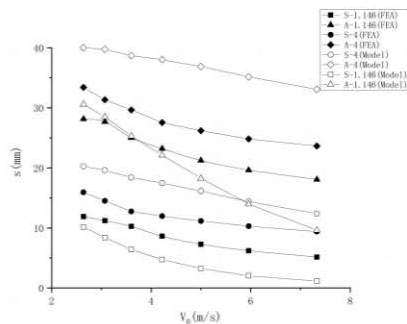


图4. 结果对比验证

《Acta Mechanica Sinica》2021年影响因子为1.975，中科院分区3区期刊。这篇论文以西安建筑科技大学为第一完成单位，第一作者为2019级硕士研究生陈品元，通讯作者为孙博华院士。

## —科研备忘录—

### “冲击作用下折板吸能器的模拟”

2019级硕士研究生 陈品元

本人在研究生阶段第一篇学术论文定稿后，为了更好的复盘这个惊心动魄的科研过程，在特写此学术备忘录，详细地记录此次科研的过程：

2020年，一场突如其来的疫情打断了之前的生活节奏，好在有视频会议这个新的方式可以继续学习。孙老师建议我在完成学校的网上课程前提下，广泛听取线上讲座，拓宽自己的眼界，以便更好选择课题。孙老师一再强调，兴趣是最好的老师，只有对课题感兴趣，学习才会充满干劲不知疲倦。在研一上半学期，孙老师就给我提供了一个宝贵的机会——参加第一届超材料大会。这让我对材料的微观结构有了最初的认识。在听了大量学术报告后，我对结构的吸能充满了兴趣。但是，之前学习的内容主要是研究静力学问题，而吸能问题往往伴随着冲击碰撞这类复杂的动力学问题。于是，我向孙老师汇报了关于吸能课题的想法，孙老师鼓励我要不畏困难，找到了感兴趣的课题就应该全力以赴，放手去干。

2020年7月19号，我还是在按部就班阅读结构吸能相关文献，由于文献很多，我很快淹没在文献的大海之中，没能找到合适的科学问题。由于向孙老师汇报过自己感兴趣的方向，孙老师在阅读文献的时候，找到了一个和吸能相关（折板吸能）的科学问题。这个问题对于孙老师而言是很快就能解决的，但是为了锻炼我的学术能力并进一步激发我的学术兴趣，孙老师就将其作为一个暑期作业布置给我。为了让我更快进行软件学习，孙老师还给我分享了Maple软件的教程，同时也提供了求解论文中非线性方程的Maple程序模板。孙老师希望我能在暑假假期解决这个问题，写出论文的第一稿，走一遍从理解、计算、绘图到写作的科研流程。在此感谢孙老师在阅读文献的时

候，还心系我的课题。由于这个问题是我感兴趣的方向，而且简单易上手却很有科学价值，我很高兴能够参与其中。折板作为一个吸能构件，其准静态载荷-位移曲线“快速上升”，随后快速上升“急剧下降”，在总的输入动能恒定不变的情况下，由高速碰撞得到的最终变形比低速碰撞的最终变形要小。冲击碰撞是日常生活和工程实际中广泛遇到的力学现象，能从这个课题入手，有助于我更好地理解生活中的碰撞现象。这是我第一次尝试解决科学问题，内心是激动而又忐忑的。

由于原文中涉及一个微分方程具有强烈的非线性特性，其线性化的方程不能提供任何有价值的物理信息，解析求解不可能，所以我将使用Maple软件对这个微分方程进行数值模拟。数值计算使用了Maple的4阶Runge-Kutta方法的求解器rkf45，使得求解这个问题可以到达很高的精度。孙老师时常告诫我们应该“边做边学”，这样学习事半功倍。所以，我一边阅读原文献（Zhang TG, Yu TX. A note on a 'velocity sensitive' energy-absorbing structure[J]. Int. J. Impact Engng, 1989, 8: 43-51.），一边进行Maple程序的计算。由于之前零碎学过Maple软件的使用，所以上手没有那么困难。另外，孙老师也提供了求解方程的Maple程序模板，这极大加快了我绘图的速度。在经过大量数值分析后，就是整理数据和绘图阶段，特别感谢同学戴远帆、吴凡、郭晓琳对于图形汇总提供的帮助。绘图完成后，孙老师让我仔细观察曲线的走势，留意是否有快速增长或者下降的趋势，亦或者是否有极值问题、谷底现象等丰富的信息。这些无疑是很好的切入点，能够让我更好的总结出物理规律。然而绘图并不是一帆风顺的，在绘制刚粘塑性模型折角随时间的变化图时，得到的结论与刚塑性模型的截然相反，这让我百思不得其解。然后我仔细将程序重新运行了一遍，可是得到的结果还是一样的，没能找出错误原因让我十分沮丧。我向孙老师反映了这个问题，孙老师建议我要从物理上思考，做思想实验。于是我从物理上考略其他因素，经过多次尝试后，我发现原来是变形时间区间取值过小，导致结论不符。当找到问题所在时，内心是十分激动的，同时也给我敲响了警钟。我深刻的体会到，科研必须一丝不苟，同时

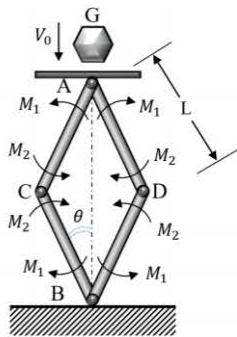


图1. 折板四铰链模型



需要具备一定的理论素养。这样才能更好的指导我的后续工作，确保自己在一条正确的道路上前行。

2020年7月25号，在孙老师的建议下，为了快速地学习和理解“折板吸能器”这个问题，我首先对原文献进行了翻译。第一遍浏览原文献时，有很多的专业术语和长难句，这都给我理解原意带来了困难。但是通过逐字逐句的翻译，我逐渐理顺了文章的脉络，理解了作者的意图，这为后续的课题研究带来了极大的便利。磨刀不误砍柴工，在这个翻译过程中，我不仅掌握了整个课题框架，也精炼了语言表达能力，同时为以后英文写作积累了素材。值得反思的是，翻译的论文中穿插了了Maple的对比图，没能及时删除就发给了老师，这种低级错误是不应该犯的。在经过校队与修改，孙老师还将翻译稿发给了余同希教授。这让我感到十分荣幸。

2020年8月4号，我完成了论文的第一稿，内心是无比激动的。经过检查数遍后，我将论文最终版本发送给孙老师审阅。由于是第一次撰写学术论文，所以语言表达上面有很多纰漏，但是孙老师耐心地批改了这篇论文，提出了很多重要的建议，并且重新修改了论文摘要。摘要对论文地重要性不言而喻，孙老师精炼的语言给与我很多的启发，也让我知道培养科学素养的重要性。同时，孙老师也强调，赏心悦目的插图对于论文而言是增添异彩的，并建议我重新绘制示意图。由于之前孙老师就和我们强调了ppt拥有强大的绘图能力，希望我们能够学习。所以，在接受这个任务时，我已经拥有了一定的绘图基础。孙老师还特意给我发了几张论文中的优秀插图，供我参考借鉴。最后，经过尝试，我成功的完成了示意图的绘制，见图1。

在九月初开学后，我又在孙老师的建议下补充了折板动力学相图。刚开始，由于对相图概念理解有偏差，导致第一次绘图错误。这也让我深刻认识到，只有对概念百分之百理解正确，才能得到正确的结果，科学研究必须具备严谨的精神。由于是低级错误，孙老师给我限时24小时之内完成，为了能够按时完成，同时有时间检查校核，在逸夫楼关门后我在办公室度过了第一个通宵。最后，经过认真的查阅了关于动力学相图的文献，我成功修正了相图部分的内容。虽然晚上没睡觉，但是那种工作完成之后的喜悦，让我感觉不到一丝一毫的疲惫。修改完成后，我将这个版本再次交给孙老师审阅。

孙老师再次不厌其烦的修改了我的论文，梳理了论文的脉络，并对前言部分详细修改，使论文的面貌焕然一新。为了让我对冲击动力学有更全面的认识，孙老师建议我利用十几天，集中精力，快速阅读余同希教授和邱信明教授的著作《冲击动力学》。这本书的特点重在强调冲击动力学的基本概念、基本模型、和基本方法。这对于我这个新手来说，无疑是最好的入门书籍。孙老师也一再强调过，读书一定要读大师的著作。我以前还不是很理解，认为书的内容大同小异，现在才恍然大悟，孙老师早就已经把许多重要的学习方法告诉了我们。

在9月25号，论文终于定稿了，我的内心十分激动。这篇论文中的科学问题由孙老师提出，题目由孙老师给定，具体Maple程序模板由孙老师提供，我负责具体计算与写作，最终稿由孙老师修改定稿，故孙老师作为第一作者我为第二作者。在孙老师的建议下，我向力学学报编辑部投稿了，然后就是漫长的等待审稿阶段。11月13号，审稿的最终意见返回了，论文被拒稿了，这对第一次投稿的我来说无疑是一个很大的打击。孙老师鼓励我不要气馁，应该借此机会更好的完善论文，精益求精。随后，结合审稿人反馈的建议，孙老师通过腾讯会议平台对这篇论文进行了又一轮审阅，并建议我在数据对比部分加上有限元模拟的结果，同时可以扩展几种不同的材料，尽可能的得到一个普适的结论。经过两个多小时的讨论，我的思路更加开阔了，也重新拾起了科研的信心。

按照孙老师的建议，接下来一个多月我开始了对论文的补充工作。首先，我通过详细阅读余同希教授编写的《冲击动力学》夯实冲击动力学的理论基础，针对应力波效应、惯性效应、应变率效应等动力问题主要影响因素进行了系统学习。在经历过第一遍论文写作后，再次进行理论性的学习有种豁然开朗的感觉，以前不是很懂的概念结合到具体实际中，变得更加清晰明了了。我也暗自庆幸自己是站在巨人的肩膀上前行的，孙老师早已将多年的科研经验无私地分享给了我们，这些宝贵的经验使我们能够少走很多弯路。然后，我再次阅读了余教授论文中相关的参考文献，借鉴前人的研究方法，希望能够找到很好的创新点。经过大量阅读，我发现余教授论文中研究的对象是应变率敏感型材料（低碳钢）。显然，冲击作用下应变率效应对结构的

影响是显著的，有必要补充一种应变率不敏感材料（铝合金）的结果。经过查阅文献，最终确定了铝合金材料的参数，我于是很快将铝合金折板的运动学相图绘制出来了。最后，就是进行有限元模拟工作了。

由于前期对软件ABAQUS有一些了解，所以刚开始上手还是很快的。但是很快我就发现了问题，折板冲击是一个动力学问题，常用的静态求解方法不适用，只能用动力隐式或者动力显示求解器求解。我开始查阅相关资料，最终确定使用动力显示求解器进行模拟，这样不会出现模型不收敛的问题，但是相应的计算速度会大幅降低。刚开始建模的时候，模型经常报错，这让我很是崩溃，在宋广凯师兄的帮助下，我慢慢排除问题，经过多次尝试后，我已经能够建立一个能够运行的模型了。在我算了两组数据后，我激动的将数据汇总，以为大功告成了。但是，现实如一盆冷水一样浇在我的脸上，成功不是一蹴而就的，模拟的结果和试验以及理论解析解相差较大。于是，我静下心来检查模型，同时通过各个渠道寻找解决办法，浏览了各种有限元网上论坛，向周围的同学请教。在调整了网格数量、加载形式、分析步类型等关键因素后，得到的结果还是不尽人意。当我陷入迷茫的时候，我决定重新再读一次论文，结果读到本构关系的时候突然茅塞顿开。我意识到这么有名的本构关系，ABAQUS应该会有一个专门的模块求解这类问题。有了突破口就很好办了，我针对这个问题去查阅资料，终于在材料塑性的一个子版块找到了这个本构方程，真的是柳暗花明又一村。当输入正确的材料参数后，算出来的结果与试验的结果符合的很好，这一刻我的内心是无比激动的，之前的困惑与疲惫荡然无存。然后我根据相关数据，快速建立了两组模型，与原文中的试验结果进行对比，最终发现整体趋势是一致的，偏差在一个合理的范围之内。解决掉有限元模型这个大难题，极大地鼓舞了我的自信心。这大概就是科研的魅力吧，总是能在不经意之间带给你很好的结果，让你尝到收获的喜悦。

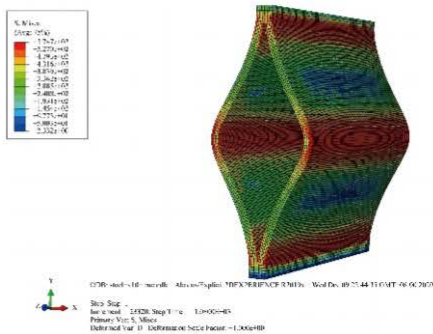


图2. 折板有限元模型

在算完了所有模型后，就是整理数据的阶段了。孙老师很早就在微信交流群里发过画图软件Origin的使用指南，还推送过Origin绘图课程的链接。所以我第一时刻就想到使用Origin绘制数据的图形，这款软件具有强大的数据导入功能和绘图功能，不仅操作简单而且绘制的图形很简洁美观。感觉孙老师将所有科研的利器已经给了我们，只要我认真学习，就可以轻易的解决绝大多数问题，实现科研的弯道超车。

2021年1月3号，在元旦假期期间，我完成了论文的修改。虽然牺牲了假期，但是论文完成的喜悦远远超过了出去休闲放松。在孙老师的建议下，这次投稿我选择了期刊《机械工程学报》。在2021年1月30号，余同希教授在腾讯视频平台发起了冲击动力学云讨论班，孙老师第一时间就把会议信息发给了我，并叮嘱我们都要观看学习。这么宝贵的学习机会我当然不能错过，我早早就进入腾讯视频排队等候，并且认真听完了整个讲座。余教授深厚的理论功底让我深深的敬佩，同时我也认识到和这些学术大师相比，我还有相当长的路要走。科研应该脚踏实地，敢于创新，精益求精。随后，孙老师还向我推荐了王礼立教授最新的论文“爆炸/冲击动力学学习研究中的若干疑惑”，在此感谢孙老师在百忙之中给我们提供了这么多向大师学习的渠道。这篇文章是王教授多年研究冲击动力学的心得体会，能够阅读这篇文章对于我这个学术新人是大有脾益的。但是很遗憾的是，不久后文章再次被机械工程学报拒稿了，审稿人提了几个中肯的建议。我按照审稿人的建议去除了冗杂的部分，使得论文更加精炼，并且发给孙老师审阅。孙老师让我重新修改一下摘要，使其更加精炼，同时建议我将论文名改为“冲击作用下折板吸能器的模拟”。正好此时同学李翔和张一也完成了他们论文的第一稿，他们在中文稿的基础上已经将其翻译成了英文。孙老师强调锻炼英文的写作能力是很重要的，便建议我把文章也翻译成英文，这样相当于完整走了一遍科研流程。同时，为了激励我，在完成论文翻译工作后，孙老师将论文署名调整为我为第一作者，他为通讯作者。孙老师在这篇文章中作出了决定性的贡献，为了鼓励我他无私的将这篇论文的第一作者给了我。这包含了孙老师对我深深的期许，我唯有更加刻苦认真的学习来感谢老师。为了不辜负孙老师的期望，我全力投入到论文的翻译工作中去了。经过四天的努力，我在2021年

2月26号完成了论文的翻译工作。随后，在孙老师的资助下论文上传给LetPub网站进行润色。经过十来天的时间，论文润色稿件返回。在与原文意思对比并稍作修改后，论文英文稿终于定稿。剩下的就是投稿了，孙老师建议我投稿《International Journal of Impact Engineering》。由于李翔和戴远帆同学已经投过英文期刊，在投稿过程中他们帮助了我很多，让我避免了很多的错误。但是，由于自己的粗心大意，投稿模板使用不对。我天真的以为Elsevier旗下的期刊模板应该是一样的，所以直接套用了《Journal of the Mechanics and Physics of Solids》期刊的双栏模板。在仔细读过期刊的读者指南后，我才发现原来这个期刊在初稿时用的是单栏模板，并且需要两倍行距和注明行号，这是我之前忽略了的。经历了这次失败的投稿，我更加深刻地认识到认真的重要性，科研从写作到投稿容不得一丝马虎。因为投稿前的疏忽，不仅浪费了自己的时间更是浪费了孙老师的时间，后面会引以为戒，更加认真的对待科研。

2021年7月27号，《International Journal of Impact Engineering》期刊的审稿意见返回了，很遗憾的是文章再次被退稿了。同时，审稿人给出了四条比较重要的建议，指出文章中的一些问题和可以改善提高的部分。由于已经投稿失败了三次了，此时的心情是很沮丧的，甚至怀疑所做科研成果的价值。孙老师鼓励我不要气馁，要沉下心来针对审稿人意见进行修改与提高，投稿失败是一件非常正常的事情，不要害怕失败。失败并不可怕，努力提高才是最重要的。于是我就根据审稿人的意见，逐步去完善论文。暑期参与了风洞项目的拟静力试验，孙老师嘱托我们一定要科研项目两手抓，在科研上不能有一点点的放松。于是，我听从孙老师的建议，利用中午和晚上的时间，认真修改论文。在2021年8月27号，我顺利完成了论文的修改工作，于是我将修改后的论文发给孙老师审阅。孙老师仔细阅读后，建议我投稿国内力学知名期刊《Acta Mechanica Sinica》。随后，我就向力学学报英文版进行投稿，投稿完就是漫长的等待过程，内心忐忑不安同时又充满期待。

2021年10月12号，《Acta Mechanica Sinica》期刊编辑部发了一封邮件，返回了审稿专家的意见。由于正值秋招，我忙于投递简历和企业面试，所以简单看了一下邮件的内容，期刊给的建议是major revision。由于这是一

个并不理想的结果，所以看到以后还是比较沮丧的。同时，由于粗心大意，误解了邮件中以下语句的含义：**Since a long time may be needed to accomplish a major revision, your revised manuscript will be treated as a new submission and a new manuscript ID will be assigned to your revision.**我误认为编辑部是让我做较大修改，然后作为一个新的稿件重新投稿。由于第二天有两场面试，于是我想着既然是重新投稿，时间相对宽裕，就先去准备面试了。同时，我认为孙老师作为通讯作者，应该能收到编辑部的邮件，所以没有及时向孙老师反馈。这是一个十分愚蠢的决定，作为一个研究生，学术论文是居于首位的。学术论文是找工作的加分项，同时也是继续深造的敲门砖。好在，在10月14号，孙老师出于关心我们科研进展的目的，约我去他家交流近期的科研进展。在介绍完近期的研究状况后，孙老师给出了很多建议，希望我加快进度。随后我就向孙老师汇报了论文的情况，孙老师表示并没有收到编辑部的相关邮件。随后我将邮件原文拿给孙老师查阅，孙老师读后欣喜的告诉我，审稿专家反馈的建议比较友好，文章录用的希望很大，并询问我有没有在系统的个人中心查看论文状态。很糟糕的是，我以为邮件就是最为详细的通知，以为论文需要修改后重新投稿，所以并没有去官网查看论文的状态，这是十分错误的想法。孙老师立即让我用他的电脑登录《Acta Mechanica Sinica》期刊的官网，在个人中心里，期刊给与的修改时间是两周，不需要重新以新的稿号进行投稿。看到这个信息时，内心充满自责和悔恨，同时也对孙老师充满了感激。如果没有孙老师的关心与督促，就会与期刊失之交臂，错失这次宝贵的机会，这将是终身遗憾的事情。

第二天，孙老师就会出差。但是在此之前，孙老师还不忘反复叮嘱我尽快完成修改，如果有任何情况可以随时交流。孙老师告诫我，只有限时才能激发学习热情，提高论文修改的效率。于是我给自己限时五天完成，但是由于后面修改图片，耽误了两天，所以最终在10月21号，我将修改好的论文发给孙老师审阅。孙老师让我加了Maple的代码作为附录内容，并且标红后就可以提交。然后孙老师还鼓励我，说不久后会收到好消息。提交完论文之后，内心还是挺紧张的，不知道这次的结果会怎么样。10月29号，提交完论文八天过后，孙老师结束出差回到学校。令人感动的是，孙老师还没有到学

校，就约我们去他家进行学术交流，为我们最近遇到的难题答疑解惑。在我汇报完近期的科研进展后，突然收到了《Acta Mechanica Sinica》期刊编辑部的短信，显示论文已被接收。看到这个消息后内心是难以言喻的高兴，比中了大奖还要开心，感觉付出的努力终于有了回报。作为学术生涯的第一篇论文，投稿经历了一年之久，前后被拒了三次，其中的失落与等待难以言表。正如孙老师所说的，尽管经历了99次失败，只要最后一次成功了，那就是成功。这篇论文倾注了孙老师很大的心血，还有对我的期许，论文的接受，算是给这一阶段成果画上了一个完美的句号。

回顾这次科研的整个过程，我迷茫过、伤心过、气馁过，但每一次解决困难后的喜悦是我终身难忘的。其间，差点因为自己的粗心大意，差点错失这篇论文。再次感谢孙老师的关心与提醒，才有了这篇论文的顺利发表。第一篇论文的完成，不仅是科研能力的提高，更是心灵的成长。庄子曰：“吾生也有涯，而知也无涯。”经历过学术的洗礼，我更能感受到自己知识的浅薄，我还有很多方面需要进一步提高。这篇论文的完成离不开孙老师的谆谆教诲，研究院同学们的无私帮助。在此，我要再次感谢孙老师在此论文的选题、构思和撰写等方面给予的指导与帮助。同时也要感谢孙老师给我营造这么好的科研氛围，让我能够在IMT这个大家庭中学习进步。最后，我也要感谢投稿过程中审稿人的宝贵建议，使这篇论文更加完善。



图3. 余同希教授腾讯会议视频报告

以上内容均为本人此次科研经历的真实记录，包含了我从完全不懂科研到可以自己独立撰写文章的全部内容，希望研究院同学可以加以借鉴，少走

弯路，多出成果。最后，孙老师一次次的强调了“科研十条”，这里再次提醒并勉励自己。

1、遇到任何问题，要设想如果你是第一个研究这个问题的应当怎么做。

2、从第一原理思维出发，凡事先从本质开始思考，然后再从本质一层层往前推进。

3、要追根求源，尽力了解课题的发展历史；目光高远，要敢于越过历代权威的工作努力创新。

4、思路开阔，要有不同维度和层次的联想思维。

5、要有的放矢，抓大放小，抓主要放次要，集中力量解决要害的问题。

6、加强基础理论修养，公式一定要自己推导，边干边学，要带着问题学习，及时优化自己知识结构。

7、要尽量多掌握科研需要的各种工具，包括软件使用和实验设备使用。

8、要按照课题本身的逻辑发展不断发现并提出新问题，把研究工作逐步推向更高层次。

9、每项研究都要有理论、数值模拟和实验的相互验证，并及时总结写成论文发表。

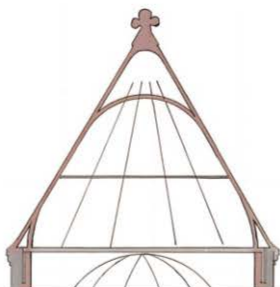
10、要时时刻刻思考如何把科研成果形成核心技术，转化成专利并设想可能的应用场景。



### 孙博华教授： 悬链线薄壳的变形和应力分析

薄壳结构几何上看上去是一种平面结构经过弯曲而成的结果，由于其优越的力学性能和优美的空间造型，被广泛的应用于建筑和工业领域。例如，拱桥和教堂穹顶等。



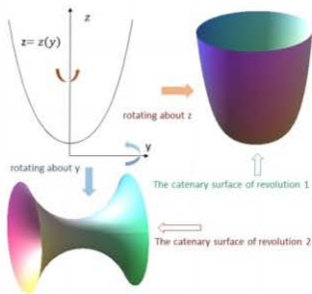
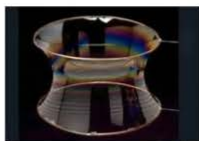


由于壳体形状直接影响其承载能力，所以寻找比较优化的形状就成为壳体力学的难题之一。一般而言，受压壳体的最优形状是在给定荷载和边界条件的情况下其横截面上的弯矩越小越好时对应的形状，换句话说，壳体最好是处于无矩状态。这样的壳体横截面上只承受压力而没有弯矩。

英国科学家胡克（Robert Hooke）于1676年发表了10个“*Inventions*”（发明），其中第三个发明就是材料力学中著名的胡克定律，而第二个发明描述了“the true Mathematical and Mechanical form of all manner of arches for building”：

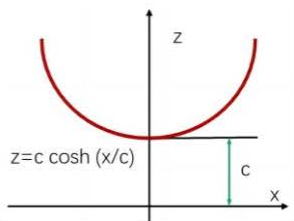
**2. The true Mathematical and Mechanical form of all manner of Arches for Building, with the true buttments necessary to each of them. A Problem which no Architectonick Writer hath ever yet attempted, much less performed. abccc ddeeeeee fgg iiiiiiiii lllmmmmnnnnnooprr ssstttttttuuuuuuuuuuu.**

胡克这个发明的基本思想是利用自重作用下的悬链线形状，作为受压的拱形，从而使拱横截面上的弯矩为零，这样的拱称为“*Catenary Arch*”（悬链线拱）。



Two kind of surfaces are generated by rotating the catenary curve about axis y and z. The catenary surface of revolution 2 is a minimal surface while the surface 1 is not

悬链线旋转一周可以生成一系列曲面，其中的一个曲面的面积最小，即悬链线面“Catenoid”。这种最小面的平均高斯曲率为零。这个最小面问题也是变分方法一个非常著名的例子，即求通过二固定点的一条曲线旋转生成曲面的最小面积问题。



悬链线壳体作为一种有悠久应用历史的壳体结构，可惜的是找不到有关其变形和应力分析的文献，唯一的理论结果是苏联著名力学家V.V. Novozhilov 在其《薄壳理论》的简单讨论，有关数值结果根本就找不到。为了弥补关于悬链线壳体研究的不足，孙博华教授利用旋转薄壳的位移型和混合型二种方程详细研究了悬链线壳体的变形和应力问题，为了更好地理解悬链线旋转壳体的变形和应力，孙博华教授推导了二种悬链线旋转壳体的主曲率半径，以及悬链线旋转壳体位移型控制方程。孙博华教授对于悬链线旋转壳体的这个位移型方程和Reissner–Meissner混合型方程进行了数值计算和对比。计算显示悬链线旋转壳体的力学性能对于悬链线几何参量  $c$  非常敏感，揭示了对于一些荷载情况悬链线旋转壳体的力学性能优于相应的球壳。论文还提供了二个完整的 Maple程序。研究结果：B. -H. Sun, Small symmetrical deformation and stress analysis of catenary shells of revolution, Acta Mechanica Sinica, 38, 421425 (2022). 已经在线发表，孙博华教授为唯一作者。



**孙博华院士：**  
关于钱伟长对胡海昌-鹭津久一郎（Hu-Washizu）  
三场泛函和变分原理的质疑

从时间跨度看，您对这个问题关注了40年的时间，请问为什么要研究这个问题？

我本人1979上大学学习力学专业，1983毕业论文选题是：广义变分原理，当时主要是学习钱伟长先生1983发表的论文，我的本科毕业论文是用英文写的，自己还学习了如何使用机械英文打字机。在攻读硕士研究生期间，读了钱伟长写的《广义变分原理》，但对于其中的有关胡海昌变分原理的点

评我当时不完全理解，感觉比较迷茫。1989年在清华大学工程力学系跟随张维先生做博士后期间，曾写过一篇电磁弹性力学的广义变分原理的论文，之后虽然再没有继续有关这方面的研究，但我一直刻骨铭记钱伟长先生对于胡海昌先生提出的三场泛函的评述和质疑。期待将来有学者对质疑给予合理的解释。

作为一位学习力学的后来者，我非常尊敬钱伟长和胡海昌二位先生，我选力学专业就是我爸曾给我说过中国有“三钱”（钱学森、钱三强和钱伟长，后来我有幸与钱学森和钱伟长二位先生还有过短暂的面对面交流）。1986年我跟随叶开沅先生攻读博士学位，钱伟长先生是叶开沅先生在清华大学的硕士导师。我在清华大学期间，曾去胡海昌先生在中关村的住所拜访几次，与胡先生有很好的学术交流提及过钱伟长先生对变分原理的质疑，还有过在胡海昌家吃过饭的难忘经历，特别是，在1991我博士后出站时，张维先生邀请胡海昌先生担任我博士后出站报告的答辩评审主席。



1991年6月清华大学工程力学系孙博华博士后出站答辩评审会  
（左起：任文敏、薛大为、张维院士、孙博华、胡海昌院士、诸德超、徐秉业）

由于以上的联系，我一直希望可以对钱伟长先生对胡海昌的三场泛函的质疑做出自己的理解。但由于1991年出国留学多年，就没有再去思考这方面的问题，2018年12月回国全职工作后，了解到胡海昌先生没有对钱伟长先

面的问题，2018年12月回国全职工作后，了解到胡海昌先生没有对钱伟长先生的质疑发表过有关文章，也没有看到其他学者的合理解释，钱伟长提出的质疑已经近40年还没有答案。这个任务落在了我们的肩上。

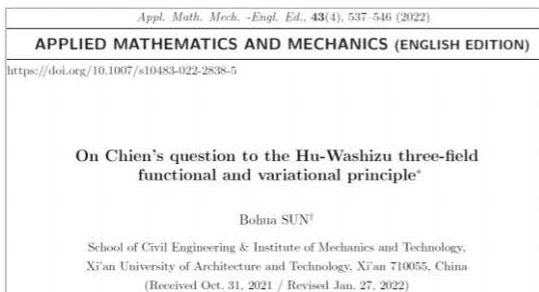
考虑到钱伟长和胡海昌二位先生曾对中国力学事业的巨大影响，特别是他们在建立广义变分原理过程中的奠基作用，能回答钱伟长质疑将不仅有助于理解广义变分原理的构造，而且由于广义变分原理被认为是中国力学领域最大的理论成果之一，对钱伟长质疑的合理解答，不仅有助于理解中国人在力学基本理论方面的贡献，也是对钱伟长和胡海昌二位先生的崇高致敬和最好的纪念。

《力学人》链接：

<https://mp.weixin.qq.com/s/sWXA21OjlSMQnEKfrnpUFA>

中国力学学会期刊网：

<https://pubs.cstam.org.cn/index/news/4160>



钱伟长院士、刘人怀院士、孙博华  
(2001年于暨南大学)

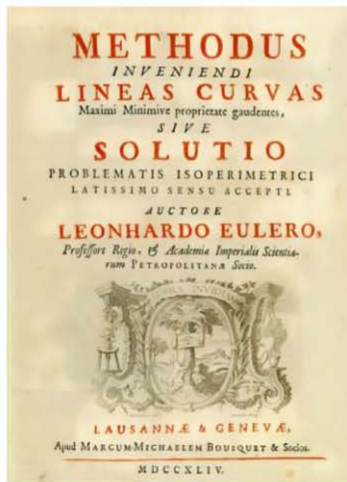
钱伟长先生在使用拉格朗日乘子方法构造弹性力学的三场泛函时，发现在解除本构关系这个约束时，出现拉格朗日乘子为零的现象，据此，钱伟长先生认为Hu-

Washizu泛函不是三场泛函只是二场泛函、Hu-Washizu变分原理不是三场变分原理而是二场变分原理。钱伟长先生的质疑自1983年提出至今已近40年，仍然没有明确的解答。为此，西安建筑科技大学的孙博华教授对此问题进行了有益的探索，其研究成果发表在著名刊物（一区顶刊）：Sun, B.H., On Chien's question to the Hu-Washizu three-field functional and variational principle, Appl. Math. Mech. - Engl. Ed., 43(4)537-546(2022).

在科学发展过程遇到一些需要求极值的问题（Extremization Problem），求解这些问题的方法称为变分方法（Variational Method）。例如（1）两点间的最短连线问题：在欧几里得空间任意两点的最短连线是连接两点的直线，这是谁都知道的。但在历史上严格证明这个结论确曾是一个有名的变分法命题；如果不在欧几里得空间，比如在曲面上的两点的短程线（Geodesic line）就不是直线了；爱因斯坦广义相对论的四维时空内的短程线也不是直线；（2）最速降线问题（The Brachistochrone Problem），这是另一个历史上有名的变分法命题，它是约翰·伯努利（Johan Bernoulli 1696）以公开信的形式提出的，曾引起广泛的注意，历经包括许多科学家如莱布尼茨、牛顿、欧拉、拉格朗日等几乎100年的努力，才获得较为完善的解答。

有关变分法研究的最早文献可能是欧拉1744发表的著名工作：

L. Euler, *Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes sive solutio problematis isoperimetrici latissimo sensu accepti*, Lausannae & Genevae, 1744. Enestr. 65, Opera Omnia, Ser. I, Vol. 24.



Variational Calc. 1744 E65



Zoom: above envy!

对于变分法贡献最大的是法国科学家拉格朗日（Joseph Louis de Lagrange），至今使用的变分符号就是他引入的，在他的名著《分析力学》（Mécanique Analytique）系统使用变分处理力学问题；对于有约束的变分问题，拉格朗日还提出了通过引入拉格朗日乘子构造一个新的泛函，利用变

分方法确定拉格朗日乘子的方法。拉格朗日开辟了力学或者物理学使用变分法的传统。在力学中的弹性力学中也有使用变分法的传统，比如里兹（W. Ritz）在研究薄板弯曲问题提出的Ritz方法。

对于弹性力学问题，其需要考虑平衡方程，变形关系和本构关系，经典的变分法是使用以位移为基本场的最小势能原理或者以应力为基本场的最小余能原理推导平衡方程，而认为变形关系和本构关系都是自然成立的。1950年，德裔美国学者Eric Reissner提出了一个突破性的思路，他把位移场和应力场作为独立变量，考察这二个场的泛函和变分原理。1951年比利时学者 De Veubeke在一篇用法语写的50多页论文中，利用拉格朗日方法（multiplicateur de Lagrange）构造了一个四场泛函和变分原理，这四个场分别是位移、应力、应变和表面应力。1954年中国学者胡海昌提出了三场（位移、应力、应变）泛函和变分原理并用中文和英文分别发表在《物理学报》和《中国科学》（英文）。在美国MIT访问的日本学者鹫津久一郎（K. Washizu）于1955年在MIT的研究报告中也报道了他提出的三场（位移、应力、应变）泛函和变分原理，这个内部报告没有正式发表（注：作者没有看到这个报告）。由于当时交流不便，国际上认为胡海昌和鹫津久一郎（K. Washizu）是独立提出三场泛函和变分原理，所以文献上通常称为胡海昌和鹫津久一郎（简称Hu-Washizu）变分原理。需要还原历史的是，胡海昌在其中文原文（1954）和英文翻译（1955）都引用了比利时学者De Veubeke的著名论文，所以有文献认为应当承认De Veubeke的杰出贡献，三场变分原理应当称为Veubeke-Hu-Washizu变分原理。

### 物 理 學 報

第 10 卷 第 3 期 1954 年 9 月

## 論彈性體力學與受範性體力學中 的一般變分原理\*

胡 海 昌

（中國科學院數學研究所）

胡海昌和鷺津久一朗提出三场变分原理后影响有限，但随着以变分原理为基础的有限元方法的蓬勃发展，在单元构造方面原来基于位移场的最小势能原理不够用了，需要更加广义的变分原理，以便可以通过放松应力和应变场的约束来构造更好的单元。这样胡海昌和鷺津久一朗提出的三场变分原理就越来越重要。据说，胡海昌提出的三场变分原理被认为是至今为止中国力学在基础理论方面最重要的工作和中国对世界力学的主要贡献之一。

可是，在1950-1957年的八年中，领导、指导和推荐了胡海昌先生几十篇论文的著名科学家钱伟长先生，于1983年在Applied Math. And Mech.,4(2) 143-157(1983) 发表一篇论文，质疑胡海昌提出的三场泛函不是三场（位移、应变、应力）而只是二场（位移、应变）的，并证明了本构关系（即应力应变关系）是个无法解除的约束，因为其对应的拉格朗日乘子为零；钱伟长先生还于1985年出版专著《广义变分原理》全面系统的阐述了其观点。从1983钱伟长先生提出质疑至今已经近40年，问题还没有合理的解答。怎么办？



孙博华教授介绍了钱伟长的质疑观点，即使用拉格朗日乘子方法在胡-鷺变分原理（Hu-Washizu变分原理）中解除应力应变关系（本构关系）约束的失败是因为解除本构关系时导致对应的拉格朗日乘子为零，所以钱伟长认为Hu-Washizu变分原理不是三场的而是二场的变分原理。

经过仔细验证，钱伟长先生使用拉格朗日乘子解除约束来构造广义泛函的方法和推导完成正确无误，钱伟长先生对于拉格朗日乘子为零的洞察和讨论非常深刻。为了避免拉格朗日乘子为零，钱伟长先生还提出了高阶拉格朗日乘子方法以及以此构造出来了更一般的钱伟长广义泛函，结果也是正确的，但没有指出拉格朗日乘子为零的根本原因。

孙博华教授注意到，导致拉格朗日乘子为零是使用拉格朗日乘子来构造广义泛函时出现的，而胡海昌的广义泛函是直接给出的，没有构造过程，所以钱伟长说是使用的“凑合法”“试出来的”，但胡海昌这种用凑合法凑合出来的广义泛函的一次变分的确可以导出弹性力学的三大基本关系即平衡方程、应变位移关系和应力应变关系。【科学研究需要洞察力，在学术思想形成的初级阶段往往需要“凑合法”，通过不断地试错来寻找合适的思路，随着对问题的深入理解，应当从“凑合法”逐渐发展到系统的方法。】

这样就产生了钱伟长质疑与Hu-Washizu变分原理的矛盾，即为什么拉格朗日乘子为零？是不是拉格朗日乘子方法失灵了？为什么Hu-Washizu变分原理仍然是三场的变分原理？拉格朗日乘子为零是不是说明Hu-Washizu泛函中已经隐含了应力应变关系的一种结构？是否有更高层次的原理支配着本构关系？

孙博华教授注意到以上问题的核心就是对本构关系的理解和推导问题，为了解决这个问题，仅仅在变分方法范畴内使用标准的拉格朗日乘子方法是不能给出根本性解答的。为此，必须跳出通常的变分框架，上升到连续统不可逆热力学的高度，因为本构关系本质上是连续统热力学的自然结果。从仔细观察连续统不可逆热力学导出本构关系的过程中去发现有关的信息。经过重新推导发现，连续统不可逆热力学的 Clausius-Duhem不等式可以说就是本构关系的一种隐性表示。具有Clausius-Duhem不等式中某种结构的泛函就意味着可以导出本构关系，因为本构关系就是这样被从Clausius-Duhem不等式推导出来的。如果一个泛函包涵这种结构，就可以说已经隐含了本构关系，所以使用拉格朗日乘子方法解除本构关系的时候必然导致拉格朗日乘子为零。这也说明拉格朗日乘子方法本身没有问题。

按照这个理解发现Hu-Washizu泛函刚好具有这样的结构，所以其一阶变分为零就可以导出本构关系。再加上Hu-Washizu泛函可以推导出平衡方程和应变位移关系，这样加起来就可以导出全部的弹性力学方程了。从这个意义上说，Hu-Washizu泛函是三场泛函，对应的变分是三场变分原理。

到此为止，是不是就意味着钱伟长的质疑有问题？其实钱伟长质疑本身一点问题也没有，是完全正确的科学态度，从这个问题的解答过程可以看



出钱伟长的思想是非常深刻的，他对变分原理的高水平学术探索极大的提升了人们对变分原理的理解。

特别是，钱伟长先生还为此提出了一种更一般的泛函，这个泛函刚好也有Clausius-Duhem不等式中某种结构，所以也是三场泛函，其对应的变分原理也是三场变分原理。由于钱伟长的广义泛函含有一个任意的标量，调节其值可以推导出无穷多种泛函，Hu-Washizu泛函只是其特例之一，所以钱伟长先生提出的高阶变分原理是三场变分原理并且是更一般的三场变分原理。

论文作者：孙博华教授为唯一作者。



### 孙博华院士团队： 意大利面条动力断裂的断裂段数问题

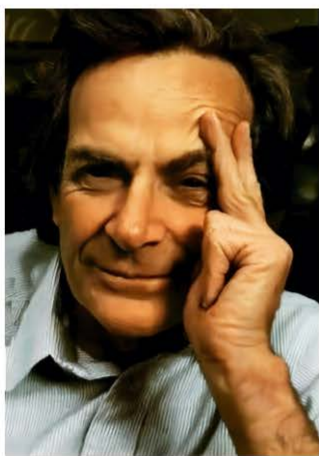


图1. 诺贝尔奖得主：理查德·费曼  
(Richard Feynman)

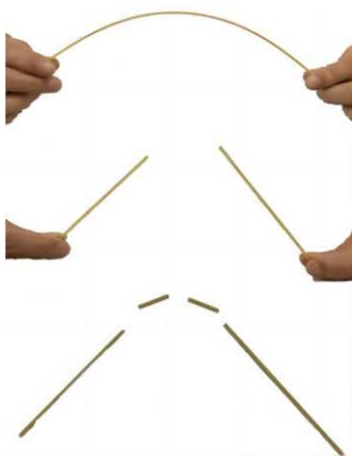


图2. 困扰费曼的问题：  
怎么能稳定地将意面掰成两段？

如何将一根意大利面折成两段，竟成了科学界的难题。诺贝尔奖获得者费曼某个晚上闲来无事，在厨房拿起一根意大利面，手捏着两端慢慢弯曲，意面被折断了。他发现无论用什么方法意面都会断成三段、四段甚至更多。费曼尝试了一晚上都无法直接将意面折成两段，然而更令他沮丧的是他甚至连为什么意面会断成好几段他都没办法解释。直到2005年，法国的

Audoly [Audoly B, Neukirch S (2005) Fragmentation of rods by cascading cracks: Why spaghetti does not break in half. Phys Rev Lett 95:095505.] 等发现在一根意大利面的两段均匀施加轴向力，意面会弯曲到某个临界点并断裂，断裂的自由端会产生强烈的弯曲波并传递到其余部分，从而导致雪崩式的断裂。虽然从弯曲波的角度出发解释了为什么意面会断裂成多段，但还是没能找出将意面稳定折成两段的方法。到了2018年，Heisser等通过实验，在意面两端先施加扭转，再控制两端挤压的速度将意面折成了两段。

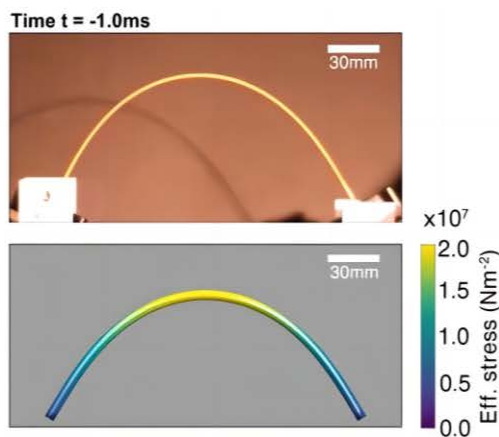


图3. R. Heisser文章中实验和模拟的对比：弯曲可以使意面断成多段

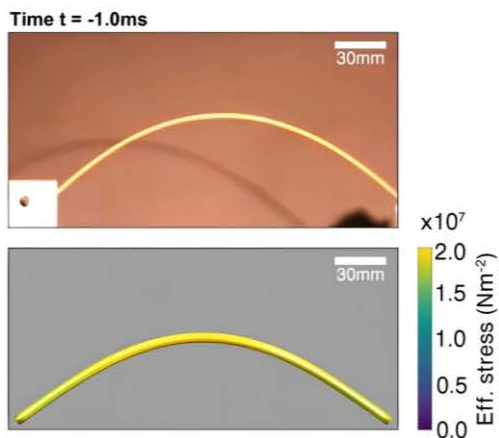


图4. R. Heisser文章中实验和模拟的对比：通过弯曲和扭转可使意面断成两段  
【Ronald H. Heisser, Vishal P. Patil, Norbert Stoop, Emmanuel Villermaux and J. Dunkel Controlling fracture cascades through twisting and quenching. PNAS 2018 115 (35) 8665–8670.】

然而，解决了为什么会断成多段，到解决了怎么断成两段的问题，却又抛出了新的问题：弯到什么程度会断？断成几段呢？针对这一挑战，西安建筑科技大学力学技术研究院孙博华教授团队开展了针对意面断裂的相关研究，给出了预测意面断裂极限曲率公式和预测断裂段数的公式。相关工作于2022年以“On the Number of Fractured Segments of Spaghetti Breaking Dynamics”发表在期刊《Theoretical & Applied Mechanics Letters》。

研究人员首先是建立了意大利面条的有限元仿真模型，改变模型两端的挤压速度获得极限曲率，并与已有的试验进行对比验证，表明模型高度吻合（图5）。

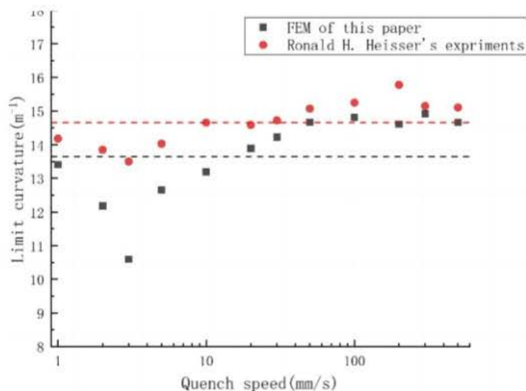


图5. 意面两端不同挤压速度下的极限曲率

基于此模型，研究人员使用参数化分析，进一步考虑尺寸对意面极限曲率的影响。结果表明，意面的极限曲率与径长比有着很强的关联性。随后研究人员使用量纲分析的方法，给出了能预测不同尺寸意面极限曲率的公式（图6）。

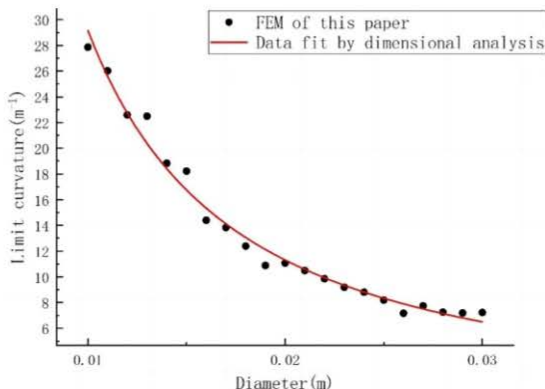


图6. 量纲分析方法得出的意面极限曲率拟合曲线

对“什么程度会断”的问题进行探讨后，研究人员对“断成几段”问题进行了研究。发现意面断裂段数规律有着非常强的“平台效应”，即断裂段数 $N$ 作为有理数，其分布会随着径长比的变化从一个平台逐渐过渡到下一个平台（图7）。

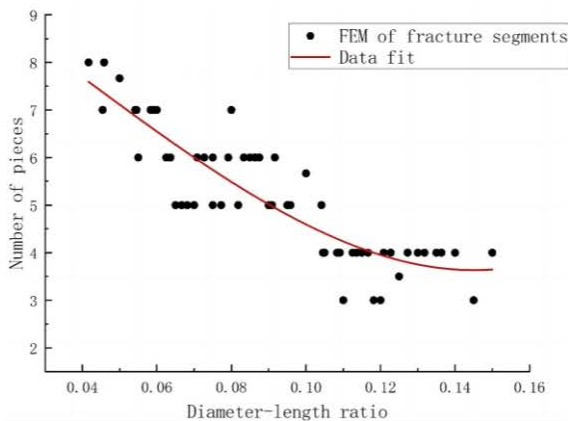


图7. 意面断裂段数的“平台效应”

论文第一作者为2019级硕士研究生张一，通讯作者为孙博华院士，合作者为硕士研究生李翔、戴远帆。

## —科研备忘录—

### “意大利面条断裂动力学”

2019级硕士研究生 张一

三月初，天气脱冬入春，我人生的第一篇文章也算是有了完整的雏形。激动人心之际，也在老师的建议下，我认为有必要写一篇备忘录来记录这个看似平常却对我意义非凡的过程，不仅为了对自己这段时间进行反思和进步，也为办公室其他同学给与借鉴。

本人有幸成为孙老师的第一届硕士生。抱着雄心壮志的我的研一上半学期在教室与寝室的两点一线中悄然逝去。打算在第二学期在科研中展露手脚的我和同学们却遇上了新型冠状病毒大流行，宝贵的一学期时间也随着全体国民居家隔离中流去。转眼就是研二了，科研上的进展基本上可谓是捉襟见肘，而我认识的其他同学有的文章已有大致雏形，有的实验正在稳重推



进，有的甚至以及发表了SCI区……焦虑，自我怀疑，迷茫开始涌向我的头脑：怎么办，怎么办，怎么办……然而幸运的转机已经悄悄到来。在一次往常的例会而意义非凡的例会上，孙老师介绍了四个他精心挑选的练习，分别是1.橡皮筋弹射动力学。2.意大利面断裂动力学。3.扭转驱动下拱形薄带的形态转换4.拱的弹跳屈曲。5.薄膜压皱问题。简单的练习孕育出了课题，就这样，在练习中我和人生中的第一个课题意大利面断裂动力学相遇了。如获至宝的那一刻的心情我至今还能记得，既是无比激动，又平静似湖面，心中已经暗暗立下壮志得将自己的“孩子”好好孕育长大。

拿到练习后老师建议我将文章《Fragmentation of Rods by Cascading Cracks: Why Spaghetti Does Not Break in Half》和《Controlling fracture cascades through twisting and quenching》翻译成中文。不料看似简单的翻译，却教会了我许多。在翻译中，我们扎实地将英文用中文打出来，这也算是一种输出，因为倘若对文章理解不透，对一些单词拿捏不准，就容易无法翻译甚至翻译错误。这个简单的翻译过程让我更好的理解了文章，相信以后我会翻译更多优秀的文章来加深理解。根据老师的谆谆教诲，翻译文章之后我进行了脑内理想实验。意大利面断裂动力学，可以简单认为用手将意大利面条两段捏住（固定支座）并缓慢弯曲，意大利面条会断裂成好几段而非直觉中的两段。这个断裂过程中涉及到了应力波的传递。本篇文章涉及到的内容包括意大利面的直径、长度、以及两端相互挤压的速度所导致的极限曲率、断裂段数的关系。

翻译完文章后进入了abaqus模拟阶段了。这个阶段也是考验我之前软件学习的阶段。起初的我跃跃欲试，本着先简单建立模型，再逐步优化的主旨开始着手建立。“意大利面的模型可以简化为圆柱，似乎很简单”我这么想。不料圆柱本身是简单，材料的属性设置上面我也走了不少弯路。不当的材料属性设置会导致非常稀奇古怪的结果，并且支座的处理却不简单。刚开始我将支座处理成固定支座，模仿文章《Controlling fracture cascades through twisting and quenching》视频材料中直接对支座两端进行轴向加载，然而这只有在较低的压缩速度下才能有我们想象中的弯曲断裂情况，压缩速度一大就会产生压杆屈曲问题。这肯定是不对的！我开始再次阅读文章和观

看视频材料，并尝试按照文章《Fragmentation of Rods by Cascading Cracks: Why Spaghetti Does Not Break in Half》中将面条一端固定，另一端施加位移来模拟，但是这样两端相对速度的控制，以及位移的确定是十分困难的，再数次尝试下，放弃了这个支座位移的方案。放弃后，我亲自买了包意大利面条，有空的时候就亲自掰断几条来进行感性认识。为什么不试一下两段都试加对称的位移来模拟手部的动作呢？我一下子就精神抖擞。果不其然，abaqus的结果与视频材料以及自己掰断意大利面的运动轨迹几乎一致！唯一的缺点就是加入了断裂条件的模型运行速度异常缓慢，且在低压缩速度下压缩到断裂需要数十秒的abaqus加载时间。这两者的结合对模拟效率产生了非常大的影响，常常一个模型需要运行4个小时，一天下来只能运行四次，且四次的结果有时还不尽人意。虽然这样下去可以得到想要的结果，但是速度太慢了，黄瓜菜都要凉了！然而人生总是会有惊喜，办公室订购的两台工作站到了。曾经几个小时的工作换到工作站上只需要一小时不到！我开始泡在办公室，在工作站上提交作业，在自己电脑上建立inp文件方便直接拷到工作站上，剩余的时间就阅读文献。这样有条不紊地度过了几天，心中也十分踏实，只不过就是文章涉及到不同尺寸的意大利面，虽说建立同个模型我已经可以算是“熟练工”了，但是重复建模也确实有点枯燥和麻烦。在2020年11月15日，在孙老师创办的力学头脑风暴-Mechanics Brain-Storming，也即刘轩廷同学的第五讲：“参数化建模-Python在ABAQUS中的应用”小课堂上我大受启发：原来Python脚本可以重复建模，对于我这种每次只需改变一个或者一点点参数的模型，完全不需要耗费很大力气重新建模，而是通过改变Python脚本上相对应的某个参数再在ABAQUS上运行一下脚本即可！甚至可以同时提交多个不同尺寸的模型让电脑按照顺序运行，工作者只需要在某个时间段里check即可。这真是太省力了，我想。头脑风暴结束后我便立刻与刘轩廷同学以及戴远帆同学对于python相关问题进行了讨论和学习，我自己也阅读了《Python语言在Abaqus中的应用》这一书。虽之前对Python已有耳闻，没想到真的如此神奇，完全可以用如虎添翼来形容。

获得了相对多的数据后，我开始边模拟边进行数据处理。之前学习的Origin终于可以派上用场了，我想。数据处理的过程并没有遇到太大的阻



抗，一些小的问题一般在与同学之间的交流中即可化解。这个阶段还有和建立模型阶段和同学们交流的很多，倘若没有他们我的效率少说也要降低50%!就像孙老师说的那样，我们不仅要单打独斗，还要像群狼一样对问题进行围猎，达到更高的水平。

“对于一个现象，它的深层含义是需要挖掘的。如果同个课题你不挖掘，别人挖掘出来了，并抢先一步发表，那真的是会产生非常大的遗憾”。谨记孙老师的叮嘱，我又对已有的abaqus数据进行了挖掘。2021年1月22日的上午，我验证了Audoly的意大利面条断裂系数。没想到孙老师简单的一句话真的能让文章更进一步!

2021年1月29日，我和李翔同学第一次正式与孙老师在线对文章进行修改。孙老师在那次会议中表示，我们两者的文章从研究对象上来看似乎相差很大（我的意大利面断裂动力学和李翔的橡皮筋断裂动力学），但实际上我们两人的文章居然都涉及到欧拉-伯努利梁方程，这个相对简单的梁方程同时可以用来描述意大利面和橡皮筋。那简简单单的一席话对我来说却像是醍醐灌顶，使我拨云见日，原来力学的世界里并没有非常“死”的明确界限，瞬间我感觉思维开放了许许多多。

在补充了意大利面条的动力学模型之后，我和李翔与2021年1月31日再一次接受了孙老师的网上文章指导。孙老师仔细和我们一起阅读了文章后希望李翔和我对波动方程的求解和边界方程进行深刻理解，并将梁方程的具体推导过程的PDF和maple程序发给了我们。此maple文件中详细写了方程的以及对挠度-时间-长度曲线，转角-时间-长度曲线的描述。收到文件之后我脸一红，感觉自己在科研方面真的是一个新手，许多的“明显”信息我都没有挖掘出来，并且感觉自己在简单的问题上消耗了导师许多的时间，有了些许内疚感。

在2月2日至2月6日之间孙老师，李翔和我之间又陆续开了几次会议。我们在孙老师的陪伴下又从头梳理了几次文章。这几次梳理中我的一些错误真是哭笑不得：1、梁方程的自相似解居然在latex中输入错误。2、自相似解中将某些变量化为自相似变量错误。3、Fresnel函数图像用的是原始图像而不是符合本文自相似变量的函数图像。4、在量纲分析中省去了将变量

modified的过程而直接使其相等，得出了类似 $a=1/a$ 的可笑错误……在会议中孙老师指出这些错误的时候我几乎说不出话来了，并羞愧至极，想找个洞钻进去……我简直就像是连初中数学的知识都忘记了人！如果文章的这些小错误都粗心发现不了，以后还能做什么事情？孙老师在指出小错误后还重点讲了下文章架构的问题，他说文章的书写逻辑非常重要，且往往不能按照所做工作的时间顺序来写文章，就比如我在FEM那一章节就应该先将本文的模拟抛出，再谈论与文章《Controlling fracture cascades through twisting and quenching》所作的实验对照，这样更能显示本文所作模拟是主要的。不仅如此，孙老师还细致入微的对文章的图片大小以及放置的地方给出了中肯的意见，表示图片在文章中占了非常重要的地位，并要求我们精益求精，一定要让读者感到这篇文章是用心写的。这几次会议中，我再次感到孙老师在书写文章这一方面真是一位经验老到，又专心负责的老师。

修改完文章框架并缩放图片大小后，孙老师又对我们的文章的题目，主要是摘要部分进行的长时间的修改会议。孙老师表示，读者看完题目之后看到的就是摘要，且摘要起到了让读者大致了解全文的作用，若读完摘要后有兴趣则可继续阅读，不感兴趣就跳过文章。故摘要的书写异常重要，并且一定要能引起读者兴趣。孙老师逐字逐句地看了我的摘要并提出了若干意见，其中最让我印象深刻的就是希望我把摘要的第一句改为问句：Why are pieces of spaghetti generally broken into three to ten segments instead of two as one thinks?这样能很好的吸引读者的注意，并在摘要的最后一句写成：The relevant formulations can be used to obtain the desired number of broken segments of spaghetti by changing the diameter-to-length ratio来回答第一句的问题，做到首尾呼应。听到这，我真的感到十分的惊诧，原来的工科的论文书写还能像文科作文那样精美绝伦！孙老师的文章书写能力真的很强！！之后孙老师还建议我们还将文章中的公式和图片进行编号，以方便如果之后改动，引用不会错误。我和李翔都对孙老师这个细节感到佩服。

时光飞逝，转眼间我就将文章提交给Letpub润色。时至3月2日，文章已经返回。再检查完返回稿件之后，孙老师又和我与李翔进行了最终检查。不尽人意的是在最终检查中我的文章中还出现了将除以符号写错的情况，如将



“D/L”写成“DL”这种低级错误……在此对又一次浪费了孙老师的时间而感到抱歉。

现在是3月10日，文章已经等着投稿了。回顾这跨度几个月的文章写作的日子，我认识到发现科研问题真的是非常重要的，毕竟孙老师说过得现有问题，再有解决方案，而发现问题确实是一件非常难的事情。发现问题后，经过这段时间文章的书写以及孙老师花费了好多时间的网络线上修改，我感觉自己以及逐步进入了科研的殿堂。这已经是从零到一的突破了，相信之后一到二，二到三的进步将会越来越快，我也相信，在孙老师的用心帮助下我会越来越好！

投稿毋庸置疑也是极其重要的一环。然而对于没有任何经验的我在这一环中却犯了许多错误。3月11日，在孙老师的建议下我开始准备投稿《Applied Review Letters》并开始修改格式。第一次修改latex格式确实是个比较有很多“新奇”事物的过程，包括图片的大小，文献的引用等所以修改的过程大概消耗了一周。在3月18日我开始了第一次投稿。然而投稿过程中出现了填写信息相关的错误，但是撤稿的权限在通讯作者手中，且当时的我也不知道如何更改填写的错误信息，故出现了多次重复投稿的情况。孙老师收到出版社发送的邮件后发现我重复投稿后将其全部撤稿并在群里通知了我。我比较惭愧便小心翼翼地重新投了一次。但是不料此次也有错误。该出版社只接受jpg或eps格式。我急匆匆地将我的png图片全部转化为jpg后，孙老师说我还差一个说明没填写，并通知我不需要再干任何事了。这便是我的第一次投稿经历。然而3月22日就收到了因为内容不合适而退稿的消息。孙老师表示出版社没有浪费我们时间，快速退稿是非常好的事。并且要求我再加入一点断裂力学方面的内容。

4月4日清明节，在李翔同学的协助下我完成了在《J. of Mechanics and Physics of Solids》的投稿。由于李翔同学之前在此刊物中投稿过，有了前人的经验，我的投稿进度快了很多。只不过还是有了以下问题：1.投完稿后没有及时通知孙老师。2.投完稿后没有及时将投稿的文件发群里以供孙老师校对。3.由于推荐审稿人填写处没有标记必须填写的红色星号，便没有填写，导致后面只能麻烦通讯作者孙老师对其进行编辑。终于在晚上完成了第二次

投稿。

一来一回各种失误，真的浪费了自己还有孙老师大量的时间。倘若之前的种种失误可以以经验不足来辩解，那么之后的错误将会是不允许的。投稿和写文章一样一定要精益求精，不能粗心大意！

4月11日，论文退回。在老师的建议下转而投稿《J.Of Solids and Structures》。孙老师提醒我们，在人生的竞争中，如果总是忘记一些事情，反反复复记不住做不到，每次都落后一点，日积月累导致竞争落伍就太可惜了！由于种种错误，我和李翔在4月12日在研究生群里提交了《投稿问题反思》给大家传阅，能“红红脸”的同时还能给其他同学们长个教训，我觉得是个非常好的举措，希望能一直推行下去！

时间转眼到了11月份，没想到此次投稿花费了大半年，并且毫无音讯，如石沉大海。孙老师考虑到我再半年就要毕业了，就让我和李翔一起去他家细细商谈投稿的事。孙老师认为这次长时间的审稿是因为新型冠状病毒的原因。随后，孙老师精心挑选了刊物《FRACTALS-COMPLEX GEOMETRY PATTERNS AND SCALING IN NATURE AND SOCIETY》，此次刊物为一区开源刊物，具有较高的影响力。孙老师还贴心的将一篇该刊物的latex文件发给我修改，为了省去了许多改格式的时间并避免了错误。在我完成了一个版本了，孙老师还花费了时间根据刊物的类型对文章的名字进行了修改，增加了参考文献，真的非常的心细和认真，让学生无比钦佩！

然而，命途多舛，时间不知不觉又来到了3月份。我的第一篇文章却还是因为和刊物内容不太匹配而被拒稿，转而投稿《Chinese Physics B》刊物。不巧的事，3月份已经是开始写毕业论文的日子了。

到了4月份，《Chinese Physics B》刊物也因为和刊物内容不太匹配拒稿了我的刊物。不过，令人高兴的是《Chinese Physics B》推荐我压缩下文章的量，投稿《Theoretical and Applied Mechanics Letters》。孙老师非常高兴，因为这在投稿中出现推荐刊物是非常罕见的，并且孙老师刚好也有文章发表在这篇刊物上，便将他的文章pdf版本发我，让我依着修改latex。此时我的内心也开始激动起来了，隐隐感觉自己的这篇文章终于要有归所了。我赶忙抓紧时间修改，看到《Theoretical and Applied Mechanics Letters》是爱

斯维尔旗下的刊物，便用了同是爱斯维尔旗下的刊物《Thin-wall structure》的模板，并提交给了老师。

5月16日，我的文章修改意见回来了！第一条是：What is the fracture criteria in FE simulation? 第二条是：Is the fracture criteria obtained by fitting with experiment, or through an individual measurement? 第三条是：In the FE results shown in Fig. 17, we see that FE may predict different number of pieces for the same Diameter-length ratio. What is the source of this variation, i.e., is there a change in condition or there is stochasticity in the model? 第四条是：Can the author comment on how an elastic rod's flexural rigidity affect the scaling obtained in this study? 我非常激动，因为只从编辑的提问来看感觉是小修。孙老师也认为我的文章即将录取感到开心，并呼唤我去他家里进行一对一的修改文章。到了孙老师家，孙老师让我坐在他旁边，不仅在感觉专家意见进行修改的同时，孙老师还因为要有“故事性”的原因，又一次重新逐字逐句修改了摘要，并对个别部分进行了仔细的修改。在现在的环境中，孙老师作为院士能为学生我进行如此细微的“学术关照”真的让我受宠若惊！这次一对一修改持续了6个小时，并且在我们的注视下完成了论文的提交。

经过这一波三折，我的第一篇论文总算是被录取了。紧接着，西安交通大学的公众号力学人向孙老师约稿。我的成果有幸还能在公众号上被报道，真是感谢孙老师的影响力！孙老师夸赞我是“学术明星”。

回顾这次科研的整个过程，我迷茫过、伤心过、气馁过，但每一次解决困难后的喜悦是我终身难忘的。其间，差点因为自己的粗心大意错失这篇论文。再次感谢孙老师的关心与提醒，因为他才有了这篇论文的顺利发表。第一篇论文的完成，不仅是科研能力的提高，更是心灵的成长。庄子曰：“吾生也有涯，而知也无涯”。经历过学术的洗礼，我更能感受到自己知识的浅薄，我还有很多方面需要进一步提高。这篇论文的完成离不开孙老师的谆谆教诲，研究院同学们的无私帮助。在此，我要再次感谢孙老师在此论文的选题、构思和撰写等方面给予的指导与帮助。同时也要感谢孙老师给我营造这么好的科研氛围，让我能够在IMT这个大家庭中学习进步。最后，我也要感谢投稿过程中审稿人的宝贵建议，使这篇论文更加完善。

以上内容均为本人此次科研经历的真实过程，包含了我从完全不懂科研到可以自己独立撰写文章的全部内容，希望研究院同学可以加以借鉴，少走弯路，多出成果。

孙博华院士团队：

圆环壳和椭圆环壳结构非线性Gol'denveizer问题研究



环壳结构由于其几何构型，具有特别的力学性能。在众多的环壳结构问题当中，其中有一个非常有趣的问题，叫做Gol'denveizer问题。最早的Gol'denveizer问题可以描述为：考虑一个环壳结构，采用圆柱面 $\alpha\alpha$ 将环壳结构切割成两部分：A和B；A为正高斯曲率部分，B为负高斯曲率部分。假设分别在A、B部分施加一个外部的表面载荷，如图1所示。从整体上考虑，该结构在该荷载作用下是静态平衡的，但是分别对A和B部分进行分析发现，结构的每个部分竖向轴均会有一个分力。正如我们从壳体膜理论中知道的那样，环壳结构是弹性的，也就是说，环壳结构没有发生非常小的弯曲。当环壳结构发生刚体位移时，外荷载是自平衡的，环壳结构发生刚体位移时并不做功。然而，我们可以很容易地证明，环壳结构在受到这样荷载作用下，膜应力状态是不可能的。这是因为当我们移除B部分，并由施加在A部分上的膜力沿着这两个轴线方向进行分解；结构的平衡状态就会被打破。所以采用壳体膜理论并不能很好来描述这个状态下的环壳结构。

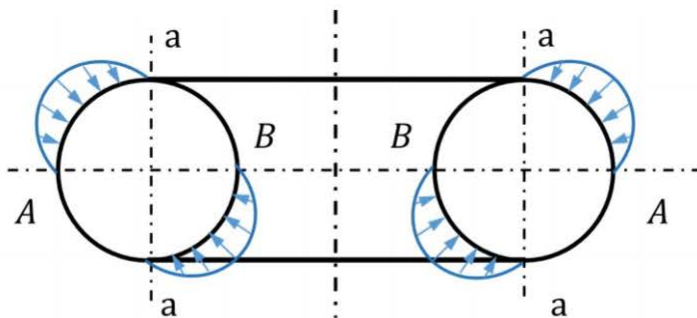


图1. Gol'denveizer问题的描述

这一问题在提出后并没有引起众多学者的关注。直到2002年，Audoly和Pomeau通过只考虑竖向力的方法简化了该问题，如图2所示。随后，Audoly和Pomeau利用环壳结构的膜理论并且结合非线性边界层扰动理论对环壳结构的Gol'denveizer问题进行了详细的研究，并且得到了环壳结构Gol'denveizer问题的近似解，并给出了合力 $F$ 和竖向位移的简单公式：

$$F = \frac{4Eh^2}{a\sqrt{12(1-\mu^2)}} \Delta_z$$

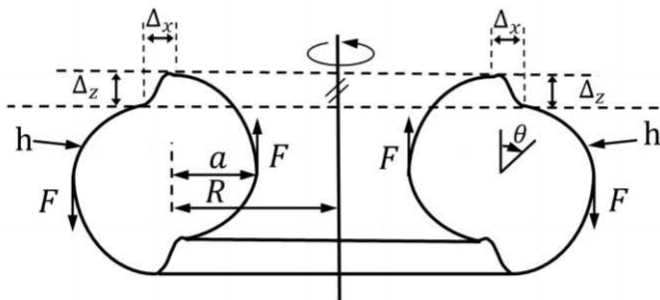
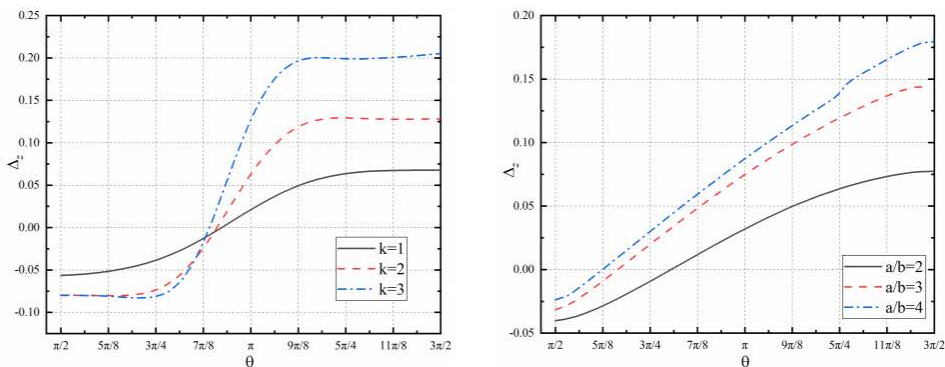


图2. Gol'denveizer问题的变形图

虽然Audoly和Pomeau得到了环壳结构的Gol'denveizer问题的解析解，但是这个解得真实性和准确性并未得到证实。在2022年，孙博华院士利用壳体结构的弯曲理论求解了Gol'denveizer问题，发现了采用壳体结构的膜理论对环壳结构Gol'denveizer问题进行计算会导致奇异解的出现，并且证实了环壳结构的弯曲理论可以得到环壳结构Gol'denveizer问题的完整解。此外，孙博华院士还证实了Audoly和Pomeau采用膜理论并且结合非线性边界层扰动理论得到的近似解析解具有极高的准确度。

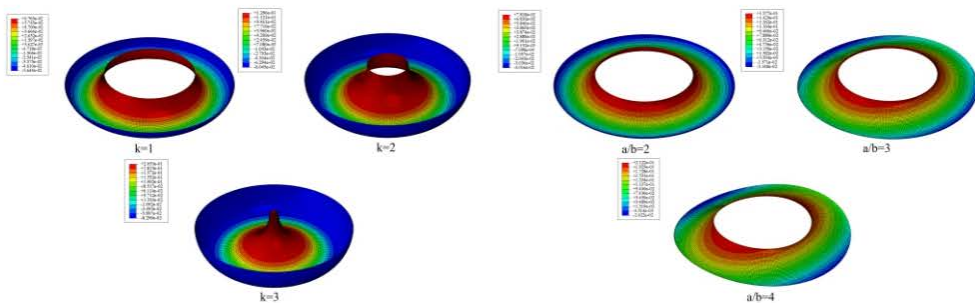
至此，环壳结构的线性Gol'denveizer问题均已经研究完毕。但是对于环壳结构的非线性Gol'denveizer问题还并未有人涉猎。于是，在这些前人的基础上，我们采用非线性有限元分析的方法分别对圆形环壳结构、椭圆形环壳结构的非线性Gol'denveizer问题进行研究。

首先我们采用有限元软件ABAQUS分别对圆形环壳结构和椭圆形环壳结构非线性Gol'denveizer问题的位移进行研究，得到相对应的位移-转角曲线。具体的位移-转角如下图所示。



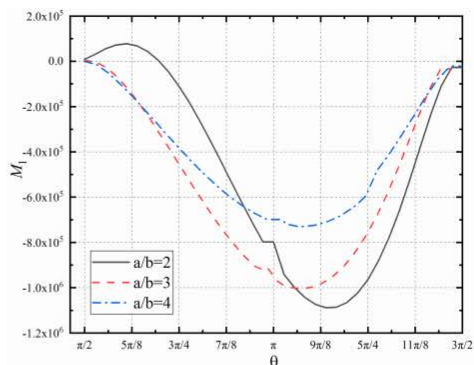
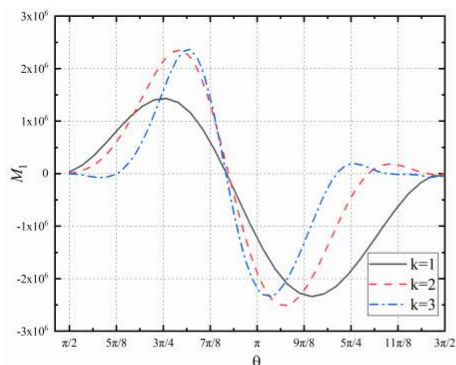
圆形和椭圆形环壳结构的竖向位移曲线

随即我们得出其相应的位移云图：

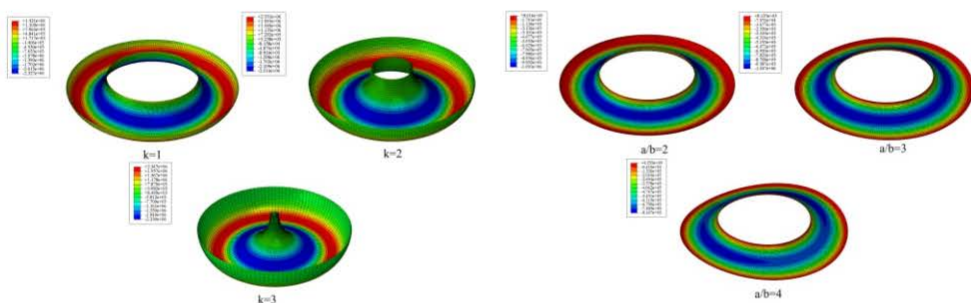


圆形和椭圆形环壳结构的竖向位移云图

除此之外，我们还得到圆形环壳结构和椭圆形环壳结构非线性Gol'denveizer问题相应的力-转角曲线和云图。

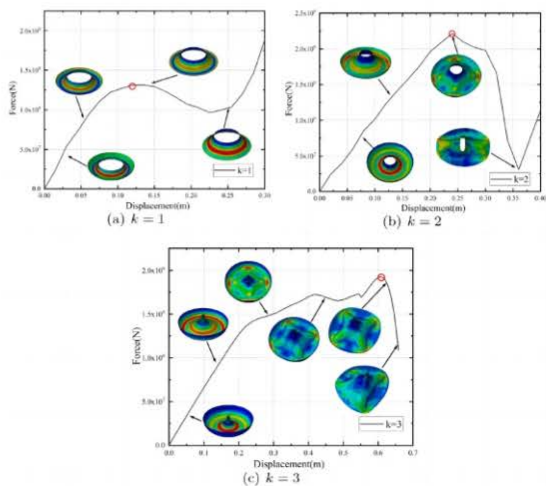


圆形和椭圆形环壳结构的弯矩曲线图

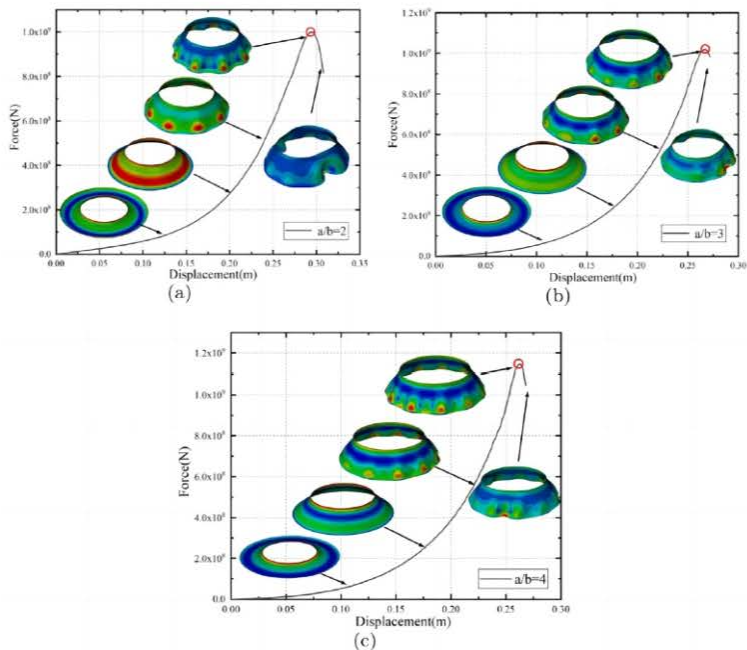


圆形和椭圆形环壳结构的弯矩云图

此外，我们又对环壳结构的 Gol'denveizer 问题的屈曲性能进行研究，分析发现随着半径  $a$  的增加，圆形环壳结构具有更丰富的屈曲现象。椭圆环壳结构在受到竖向相对荷载的作用下会出现一种类似于裙褶的屈曲现象。并且随着半径比  $a/b$  的增大，椭圆环壳结构 Gol'denveizer 问题的屈曲荷载逐渐增大。不同类型环壳结构 Gol'denveizer 问题的屈曲曲线与破坏模式图如下图所示。



圆形环壳结构的屈曲破坏模式图



椭圆形环壳结构的屈曲破坏模式图

这篇论文以西安建筑科技大学土木工程学院为第一完成单位，第一作者为2019级博士研究生宋广凯，通讯作者为孙博华院士。《Thin-Wall Structure》2021-2022年影响因子为5.881，中科院分区二区期刊。

## —科研备忘录—

### “环壳结构非线性Gol'denveizer问题研究”

2019级博士研究生 宋广凯

本人在研究生阶段第二篇英文学术论文定稿后，为了更好的复盘这个令人难忘的科研过程，在此特写学术备忘录，详细地记录此次科研的过程：

在2020年寒假，孙老师撰写了环壳结构Gol'denveizer问题相关的文章，文章中采用了壳体弯曲理论对环壳结构Gol'denveizer问题进行研究。孙老师建议我使用有限元软件ABAQUS对线性环壳结构的Gol'denveizer问题进行模拟，并得到其位移-转角，力-转角曲线与理论进行对比。在刚刚收到这一任务的时候我是既开心又紧张，开心是因为可以借此机会锻炼一下自己的有限





元能力，紧张是因为害怕自己无法将该问题模拟出来。怀着这种忐忑的心情，我开始了使用有限元软件ABAQUS对线性环壳结构的Gol'denveizer问题进行模拟。

一开始的模拟并不是特别顺利，有限元计算出了来的环壳结构Gol'denveizer问题的位移和力的数值均偏大，这使得我有些迷茫。于是我又对老师的文章进行更深层次的阅读，在对老师的论文进行进一步的研读时发现，由于我的粗心大意把施加在环壳结构上的合力作为均布力施加到了环壳结构上。正是因为这一原因导致的模拟结果偏大。针对这一问题，我及时做了修改并将得到的有限元结果发给老师与理论结果进行对比。通过对比发现有限元结果与老师的理论结果非常吻合，这给了我莫大的信心。

开了学以后，由于需要进行风洞项目，由于我只关注于项目的进度并未再对环壳结构Gol'denveizer问题进行更进一步的研究，环壳结构的Gol'denveizer问题就被搁置了。在一次会议上孙老师告诫我，不要因为现在的风洞项目影响了自己原本的科研进度，要一手抓科研，一手抓项目。并且孙老师还建议我可以对环壳结构的非线性Gol'denveizer问题进行研究并写成文章。于是我在之前线性模拟的基础上开始了环壳结构Gol'denveizer问题的非线性模拟。并且在模拟过程中，孙老师提醒我可以把椭圆形环壳结构一并进行研究，并且在分析一下圆形环壳结构和椭圆形环壳结构的屈曲特性。这一建议瞬间打开了我的思路，我茅塞顿开，随即便开始着手对椭圆环壳结构非线性Gol'denveizer问题进行模拟，并且在有限元中尝试研究圆形环壳和椭圆环壳结构的屈曲特性。

两个月之后，所有的模拟已经进行完毕，我便开始了文章的撰写。由于这是第二篇英文文章，我萌生出了一个想法，是否可以尝试不写中文稿，直接用英文撰写文章。为此我阅读了许多文章，并且将其中的语言、词汇等记录下来方便以后英文稿的撰写。在准备工作完成之后我便开始了英文稿的撰写。两个月之后，我已经完成了英文稿件的撰写。在2022年12月我将最终的英文稿发给孙老师，孙老师在阅读完文章之后便邀请我去他家进行讨论。在老师家中，孙老师明确指出我的英语能力不够，逻辑思维不清晰，不能够直接采用英文撰写文章，还是要先写成中文稿再进行翻译。并且文章中还存

在些问题。孙老师把问题逐条给我说清楚，并且告诉我如何修改。那一天我与孙老师讨论到了很晚，孙老师对我文章的撰写、研究提出了非常宝贵的意见，也正是因为孙老师一丝不苟的科研态度，才有之后文章的顺利录用。

在经过了近一个月的修改，文章的英文稿已经修改完毕。由于本人的英语水平太差，孙老师建议我将最终稿件提交润色。一开始我投稿的期刊是《Journal of the Mechanics and Physics of Solids》很快便被编辑退稿。之后，孙老师给我发消息建议我投稿《Thin-Walled Structures》。在2022年1月2号，我将该文章投稿到《Thin-Walled Structures》期刊上。现在回想起来，正是因为这一建议，使得我少走了好些弯路，文章能顺利发表离不开孙老师对期刊的选择。

在投完稿件之后便是焦急的等待过程。终于在2022年4月25号下午六点，孙老师通知我现在过来讨论审稿意见的论文修改。我怀着忐忑的心情来到了老师家楼下，和老师家在楼下花园中促膝长谈。老师说，这篇论文有这样的审稿意见是最好的结果，并将邮件转发给我。通过阅读邮件发现，稿件一审有三个审稿人，后两个审稿人的意见均是修改后录用。随后孙老师询问我是否对环壳结构的Gol'denveizer问题有着深刻的理解，让我自己把Gol'denveizer问题描述一下。然而我对Gol'denveizer问题描述并不深刻，自己的回答也是不尽人意。孙老师又苦口婆心的给我讲解了Gol'denveizer问题的研究历史。老师详细的介绍让我茅塞顿开，并且孙老师告诫我，做学术要知之为知之，不知为不知，不能不懂装懂，对一个问题充分的理解是能够把这个问题以故事的形式讲出来。并且，在阅读完审稿人的意见发现，有两位审稿人写道：“本文章是在前人的基础上进行研究，是之前课题的延续”。由此可以看出，老师先前的研究无疑为我的文章奠定了坚实的基础。文章后来的顺利接受于老师先前的工作密不可分。

在与老师沟通交流之后，我怀着紧张的心情根据审稿意见，开始了对文章的修改。在我改完论文之后，孙老师又对我的摘要部分进行了修改，并且告诫我中文文章的撰写一定要逻辑清晰，这样翻译成的英文文章读起来才会更加通顺。为了增加文章被录用的概率。孙老师建议把修改后的文章拿去



再润色一遍。在所有修改工作、文章润色完成之后，我提交了这次论文的修改稿，并满心期待接下来的返修意见。

最后在2022年7月19日晚，孙老师最先看到论文录取的信息，并高兴的在工作交流群中祝贺了我。看到这个消息后，这一刻我感到了无比的开心。此时，再次回想起之前的模拟，论文写作以及和孙老师讨论交流的过程。点点滴滴中无不包含着孙老师的关心。回顾这次科研的整个过程，我迷茫过、气馁过、难过过，但每一次解决困难后的开心让我终身难忘。这篇英文论文的完成，不仅是科研能力的提高，更是内心的成长。我要感谢孙老师在此论文的选题、构思和撰写等方面给予的指导与帮助。在这次论文写作过程中出现的错误、问题等我会铭记于心。认真总结并反思之前的不足，全力以赴的奔向更高的学术山峰。

在论文正式发表了之后，孙老师建议我对该研究成果写一篇报道。于是我就对该研究内容进行了整合和写作。当我将报道发给孙老师之后，老师告诉我要跳出论文写作思路，总结文章的精华，并且孙老师又对我的报道进行了较大的修改。孙老师从环壳结构研究的起源开始，高屋建瓴介绍了国内外环壳结构的研究历史，我读后大为震撼，因为只有非常大的格局和非常高的大局观和历史观才可以将环壳结构的研究历史讲述得如此清晰。并且孙老师将该报道投搞到了力学人公众号，在9月19号获得了正式推送。此外，在9月22号西安建筑科技大学笃实新闻网也对本成果进行相关的报道。在这几次的报道写作当中，孙老师对环壳问题的来龙去脉的介绍，让我对环壳结构的研究历史有了更深层次的理解，并且让我明白对一个课题的研究要站在更高的层次上，要时刻保持一种大局观，将该课题的研究历史清晰地以故事的形式讲出来，才是对这个问题的真正的理解。

以上内容均为本人此次科研经历的真实记录，包含了我从文章的开始到文章录用的全部内容，希望研究院同学可以加以借鉴，少走弯路，多出成果。最后，孙老师一次次的强调了“科研十条”，这里再次提醒并勉励自己。

1、遇到任何问题，要设想如果你是第一个研究这个问题的应当怎么做。

2、从第一原理思维出发，凡事先从本质开始思考，然后再从本质一层层往前推进。

3、要追根求源，尽力了解课题的发展历史；目光高远，要敢于越过历代权威的工作努力创新。

4、思路开阔，要有不同维度和层次的联想思维。

5、要有的放矢，抓大放小，抓主要放次要，集中力量解决要害的问题。

6、加强基础理论修养，公式一定要自己推导，边干边学，要带着问题学习，及时优化自己知识结构。

7、要尽量多掌握科研需要的各种工具，包括软件使用和实验设备使用。

8、要按照课题本身的逻辑发展不断发现并提出新问题，把研究工作逐步推向更高层次。

9、每项研究都要有理论、数值模拟和实验的相互验证，并及时总结写成论文发表。

10、要时时刻刻思考如何把科研成果形成核心技术，转化成专利并设想可能的应用场景。



## 孙博华院士团队： 纳米液体内高斯光诱导涡旋运动的流动机制



光驱动微流控运动一直是微流控领域的热点问题。由于微流体具有“体积小、速度慢”的特点，因而雷诺数较低，粘性力和表面张力代替惯性力起主导作用。一般来说，流体界面处（如气/液界面）的温度梯度会引起表面张力梯度，从而产生热马兰戈尼效应（EMT）。

光作为最重要的能量形式之一，具有非接触、易调节波长和功率、时空分辨率好等优点。利用光作为驱动力，可以在具有光吸收特性的流体-流体界面处产生温度梯度，进而诱导Marangoni对流。因此，通过光致马兰戈尼效应，可以进一步实现特定的流体功能，这在微尺度传质或传热领域具有重要意义。

研究表明，吸光液体的非均匀加热可以引起马兰戈尼对流，但这种对流往往对光能利用率低，难以引起快速的内部流动。此外，对于不同折射率的流体界面分离处的流动，会产生光辐射压力效应，但往往依赖于强光束能量输入，而产生强激光束需要昂贵且复杂的设备。鉴于此，我们考虑添加纳米粒子的流体液滴，由于其优异的光吸收特性，可以由高斯光驱动，从而能够有效利用光能。

首先，我们对包含有  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  纳米颗粒的流体液滴进行光驱动实验，并借助粒子图像测速和红外测温技术对液滴内部的流动分布和上界面的温度分布进行可视化。在液滴底部，粒子从边缘快速聚集到中心，在液滴顶部，粒子从中心快速移动到边缘。由于流动的连续性，液滴内的流体驱动颗粒进行三维圆形涡旋运动。此外，由于光强在水平方向上呈高斯分布，靠近光轴中心的颗粒对光的吸收热量较高，并迅速传递到液滴表面，导致光轴附近液滴上表面温度较高，远离光轴的位置的温度较低。因此，形成了由内向外的温度梯度。由于液滴的表面张力随着温度的升高而降低，在液滴的上表面产生由外向内的表面张力梯度，导致液滴内部形成对称的涡旋运动。

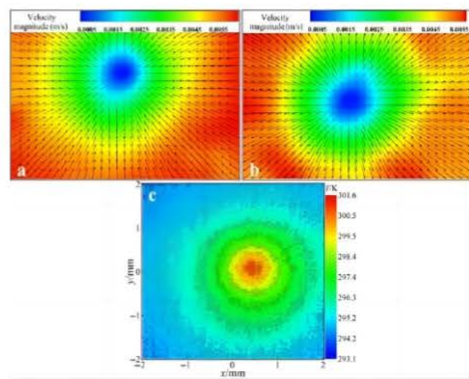


图1.  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  颗粒在不同高度的水平速度分布：  
(a)在液滴底部和(b)在液滴顶部(c)液滴顶部的温度分布

同时，为系统分析由高斯光引起的液滴内部的涡旋运动，采用有限元方法对流场和温度场进行了定量研究。结果表明，模拟数据与实验数据吻合较好，量级一致，因而数值模型能较好地反映实验特征。

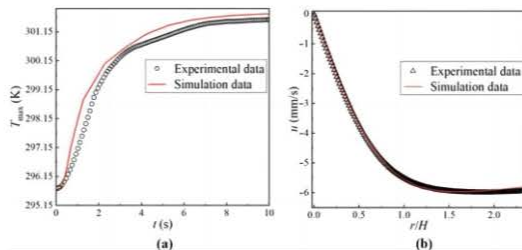


图2.(a)液滴表面的最高温度和  
(b)液滴底部的水平速度的实验值和模拟值的比较

进一步地，同时给出了液滴表面平均温度梯度和液滴内部平均流速在不同时间的变化（见图3(a)和4(b)）。两条曲线的变化趋势是一致的。这些结果进一步表明，温度变化引起的表面张力梯度是液滴内涡旋运动的重要驱动力。

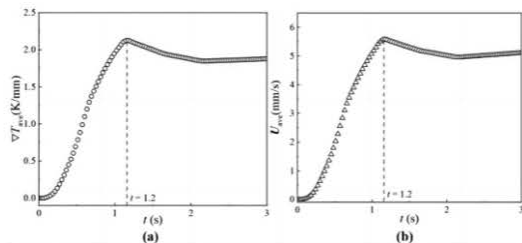


图3.液滴表面平均温度梯度  
(a)和液滴内部平均流速(b)在不同时间的变化

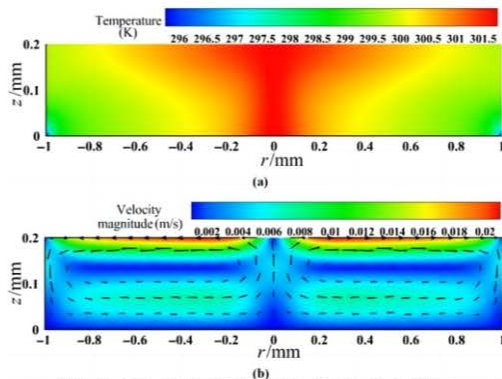


图4.液滴内部温度云图(a)和速度云图(b)

最后,进一步分析液滴高度和高斯光分布形式的对涡旋运动的影响。结果表明,高斯光在诱导液位较低的液滴时具有更好的驱动效果。光强分布越集中,液滴表面温度梯度和表面张力梯度越大,涡旋运动效果越好。

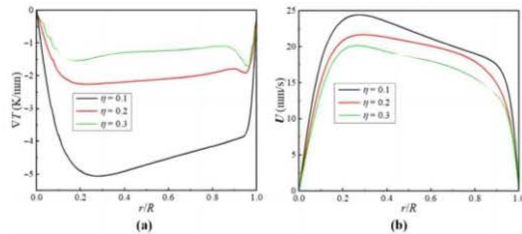


图5.不同液位高度下液滴上界面的温度梯度变化和(b)速度分布

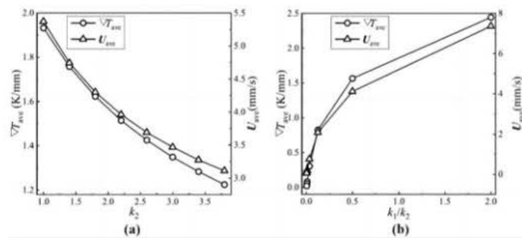
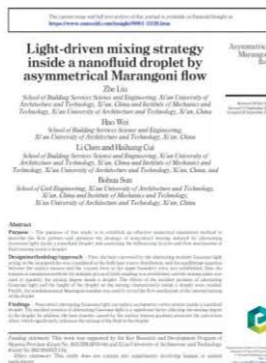


图6.不同剖面的高斯光驱动的涡旋运动引起的速度和温度变化:  
(a)  $k_1$ 保持不变, 而 $k_2$ 增加(b)  $k_1 \cdot k_2$ 保持不变

目前,论文已在线发表在《International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow》上,论文第一作者为2020级博士研究生刘哲,孙博华院士和崔海航副教授为共同通讯作者。



## 孙博华院士团队: 非对称马兰戈尼流在纳米流体液滴内的光驱动混合策略



微流体混合技术长期以来一直是一个备受关注的问题。在微观尺度上，流体具有“体积小，速度慢”的特点，导致雷诺数低，粘性力优先于惯性力。因此，宏观尺度上的“无序湍流混合效应”不适用于微尺度流体的混合。

鉴于此，我们考虑利用非接触式混合和光场中良好空间分辨的优点，是实现液滴内部混合的可行方法。鉴于研究的不足，基于表面张力在微观尺度上的主导作用，我们提出了一种非接触式策略，通过高斯光的交替照射实现液滴的内部混合，从而可以显著实现流体在单液滴中的有效混合。

首先，高斯光从液滴的几何不对称位置垂直交替入射时可以产生交替的大涡和小涡。具有不同覆盖区域的涡流交替在液滴内的左右区域形成，取代了液滴内的流体，从而成功地达到了混合液滴的目的。

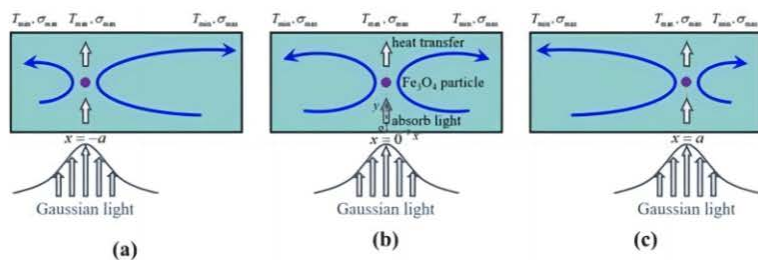


图1. 高斯光从液滴底部的不同位置照射引起的内部流动示意图

之后，基于数值模拟方法分析纳米流体液滴内高斯光交替入射时引起的流体流动问题，并进一步研究液滴高度和交替高斯光的入射位置对液滴混合特性的影响。

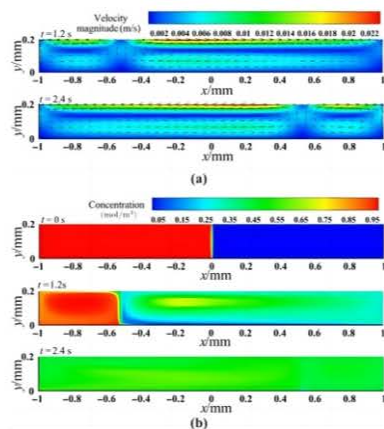


图2. 不同时刻下液滴内部的 (a) 速度分布和 (b) 浓度分布



最后，引入了一个与液体自由表面相关的无量纲数，即Marangoni数  $Ma$ ，进一步探讨影响液滴内部混合效应的力学机制。上述结果表明，表面张力梯度引起的热传递优于由热传导引起的热传递；当高斯光交替地从几何不对称位置入射时，可以增强液体表面张力梯度引起的液体流动效应，进而增强液滴中的流体混合。

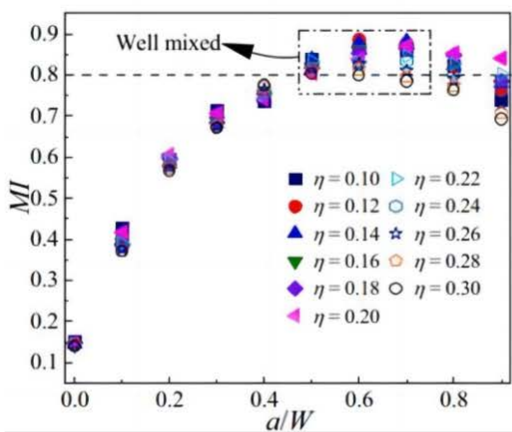


图3. 不同液滴高度下高斯光的  $a/W$  入射位置对混合指数  $MI$  的影响

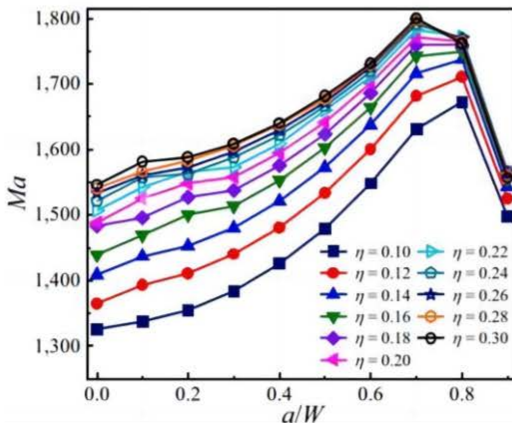


图4. 不同液滴高度下具有不同  $a/W$  值的无量纲马兰戈尼数  $Ma$  的变化

目前，论文已在线发表在《International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow》上，论文第一作者为2020级博士研究生刘哲，孙博华院士和崔海航副教授为共同通讯作者。



## 孙博华教授： Navier-Stokes方程的一种等价形式

Springer

Acta Mechanica Sinica



•COMMENT•

Acta Mech. Sin., Vol. 39, 322241 (2023)  
<https://doi.org/10.1007/s10409-022-22241-x>

### An equivalent form of the Navier-Stokes equations

Bo-Hua Sun\*

粘性流体力学的Navier-Stokes方程：

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{v}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0.$$

Navier-Stokes方程的求解是数学上的一个难题，其根源是因为 (convective term) 对流项 ( $\mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v}$ ) 的存在。从张量分析的角度，对流项 ( $\mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v}$ ) 其实是流体速度梯度与流体速度的标量积，是速度梯度对速度的变换。由于这一耦合项的存在，导致了Navier-Stokes方程具有强烈的非线性。

不过，这个对流项的存在也有个优点，就是可以使我们可以通过流体速度梯度的逆张量 ( $(\nabla \mathbf{v})^{-1}$ )，把其中的流体速度分出来（至少是从形式上），从而可以获得一个流体速度的形式解：

$$\mathbf{v} = \frac{\left[ \nu \nabla^2 \mathbf{v} - \frac{1}{\rho} \nabla p - \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} \right] \cdot \left[ (\nabla \mathbf{v})^2 - \frac{1}{2} \mathbf{1tr}(\nabla \mathbf{v})^2 \right]}{\det(\nabla \mathbf{v})}$$

这样分解出来的流体速度非常自然的提供了一种新的迭代求解的结构：

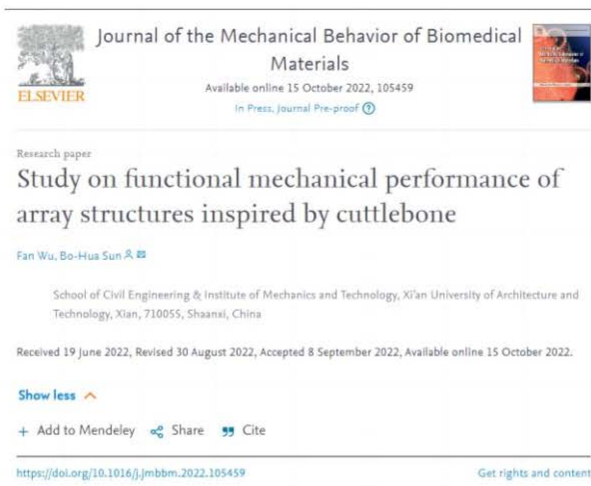
$$\mathbf{v}_{n+1} \approx \frac{\left[ \nu \nabla^2 \mathbf{v}_n - \frac{1}{\rho} \nabla p_n \right] \cdot \left[ (\nabla \mathbf{v}_n)^2 - \frac{1}{2} \mathbf{1tr}(\nabla \mathbf{v}_n)^2 \right]}{\det(\nabla \mathbf{v}_n)}$$

这个迭代结构的优点是只有微分运算，希望有助于CFD以此开发出新的算法。

研究结果已经发表: B.H. Sun, An equivalent form of the Navier-Stokes equations, Acta Mech. Sin., Vol. 39, 322241 (2023)



## 孙博华教授团队： 受墨鱼骨启发的阵列结构的力学性能研究



仿生结构一直是结构与材料领域的热点方向。墨鱼生物可以在深海中生存，得益于拥有特殊的骨质内壳结构，此结构具有“重量轻、强度高、吸能能力优异”的特点。因而从微观角度观察，并且发现墨鱼骨结构由多层连续的波纹阵列结构构成。为了便于制造，采用3D打印技术完成对结构的实现。

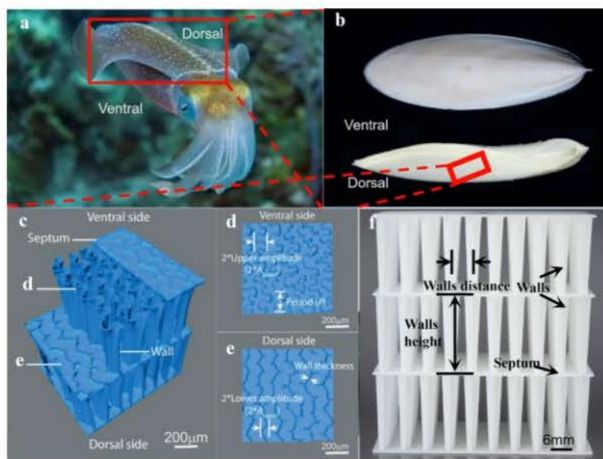


图1.墨鱼骨结构示意图：  
(a) 生物墨鱼 (b) 内壳结构 (c、d、e、f) 微观及3D打印墨鱼骨结构

参考墨鱼骨薄壁结构的几何特征，为以不规则扭曲的S形壁为基本单元的多孔结构（如图1所示）。结合波纹结构结构提出了正弦波纹壁细胞和椭圆形波纹壁细胞。利用欧拉理论和高斯曲率分析了影响结构力学性能的参数。结合实验结果采用ABAQUS有限元软件对结构进行模拟分析。

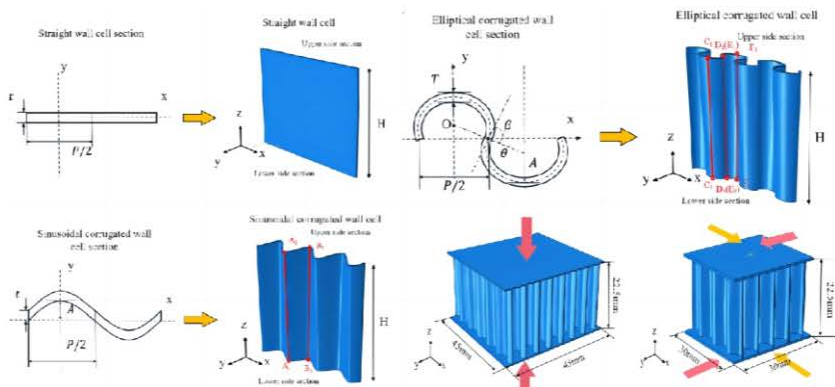


图2. 正弦波纹和椭圆形波纹壁单元结构

研究表明，不同正弦波纹的参数如振幅、厚度和周期等对阵列结构的力学性能有着很大的影响。首先从理论角度分析出刚度主要影响着结构的压缩和剪切能力，而刚度大小与高度大小成反比，与周期的大小成反比，和厚度的大小成反比，和振幅的大小成反比。以上结果表明，振幅、厚度、高度和周期等参数影响墙体的刚度和结构的承载力。

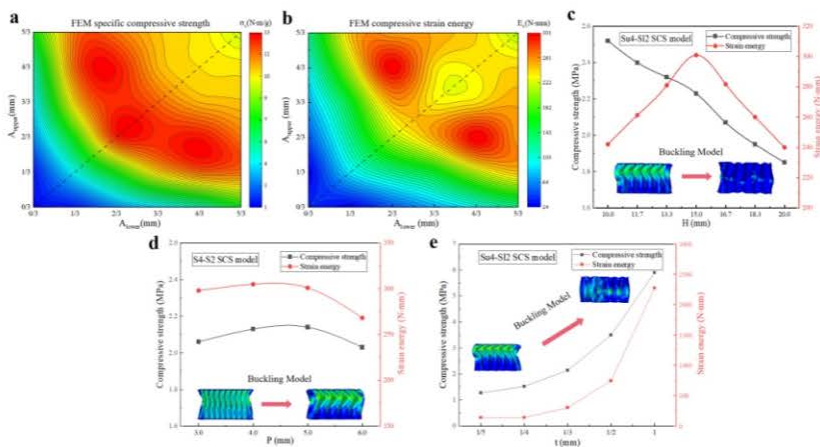


图3. 压缩荷载下正弦波纹阵列结构的参数分析

首先，我们对压缩荷载下正弦波纹阵列结构进行分析，并借助ABAQUS软件对不同参数下结构的变形进行可视化分析，得到不同参数下结构的峰值应力和吸能大小。结合理论分析和有限元结果，改变高斯曲率等参数以提高弯曲刚度会影响正弦波纹阵列结构的变形模式和压缩能力。随着上下端振幅大小，结构的压缩变形从整体弯曲变形变为局部折叠变形。当振幅为零时，正弦波纹阵列结构退化为直壁结构，容易发生整体弯曲变形。当振幅大于5/3毫米，正弦波纹阵列结构刚度下降，容易出现局部褶皱变形且压缩能力降低。随着高度增加，结构从局部折叠变形变为整体弯曲变形。当高度小于10毫米，容易发生局部折叠变形。当高度大于20毫米，容易发生整体弯曲变形。随着周期增加，结构从整体折叠变形变为局部折叠变形。当周期小于3 mm，容易发生局部折叠变形。当周期大于6 mm，容易发生整体弯曲变形。随着厚度增加，结构从局部折叠变形变为整体弯曲变形。当厚度t小于15毫米，降低了SCS的刚度和压缩能力，容易发生局部折叠变形。当厚度大于12毫米，结构具有较大的弯曲刚度和压缩能力。但厚度过大会降低其他参数影响结构的能力，并且无法完全实现结构的特殊机械特性。根据有限元结果，得到有高度15毫米，厚度13毫米和周期5毫米的Su4-S12结构具有相对更好的机械性能。

同理，我们对剪切荷载下正弦波纹阵列结构进行分析。根据有限元结果，得到有高度15毫米，厚度13毫米和周期5毫米的Su4-S12结构具有相对更好的机械性能。

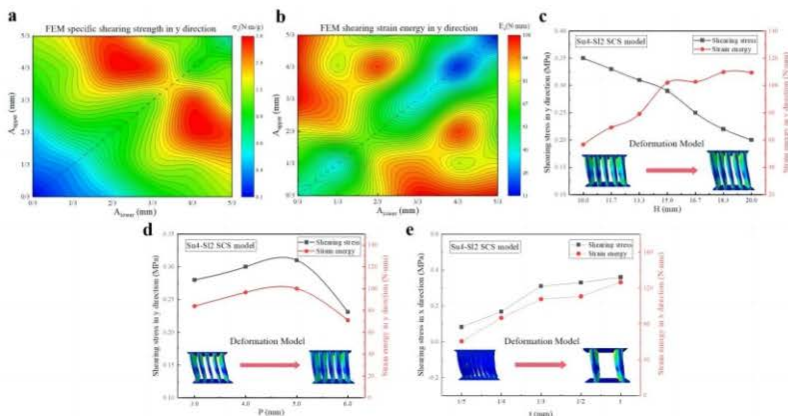


图4. 沿y方向剪切荷载下正弦波纹阵列结构的参数分析

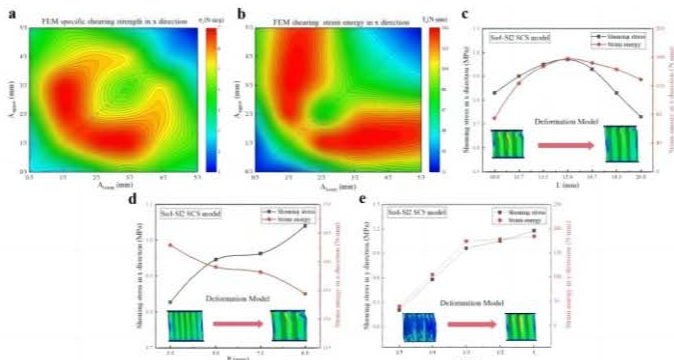


图5. 沿x方向剪切荷载下正弦波纹阵列结构的参数分析

参考优化后正弦波纹阵列结构，文本进一步地提出了椭圆波纹阵列结构。同时通过试验与有限元给出了不同高斯曲率下椭圆波纹阵列结构的力学性能分析。首先，我们通过有限元分析发现椭圆波纹阵列结构的抗压和抗剪切性能比正弦波纹阵列结构有所提高。具体的实验结果验证了椭圆波纹阵列结构具有更加优秀的力学性能。

最后，进一步通过试验分析不同高斯曲率参数下椭圆波纹阵列结构的影响。结果表明，Eu60-E190、Eu60-E160和Eu60-E130具有比其他所有结构更好的抗压和抗剪切性能。与正弦波纹阵列结构相比，椭圆波纹阵列结构的压应力、y方向的剪切应力，以及x方向的剪切应力分别增加了14.2%，32.8%和14.9%。椭圆波纹阵列结构的压缩应变能，y方向剪切应变能，以及x方向的剪切应变能分别增加了22.8%，33.0%和78.1%。

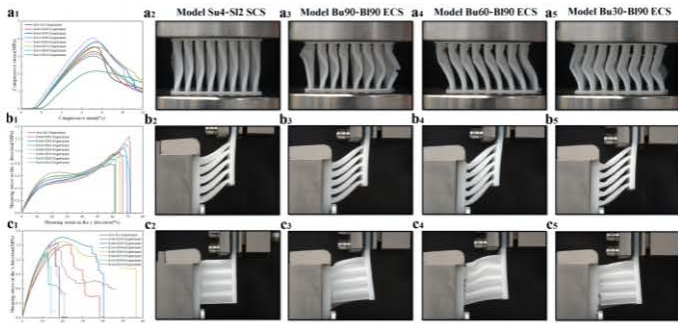


图6. 椭圆波纹阵列结构的试验结果

目前，论文已在线发表在《Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials》上，论文第一作者为2020级硕士研究生吴凡，通讯作者为孙博华院士。

## —科研备忘录—

## “受墨鱼骨启发的阵列结构的力学性能研究”

2020级硕士研究生 吴凡

时光匆匆，转瞬间研究生生涯已进入最后一个年头，本人的第一篇学术论文也已在网络上上线。温故而为了知新，既是对前成果的总结也是未来进步的重要条件。因此，在孙老师的建议下，本人写下此篇备忘录，以便详细记录本篇论文从无到有的科研过程以及本人的心得体会。

2020年疫情突如其来，但是经历过紧张的线上研究生复试考试，本人有幸能够成为孙老师的一名硕士研究生。作为刚刚步入科研的学术新人，孙老师督促我们积极地学习各类知识，让我们快速地融入到科研节奏中，并寻找自己感兴趣的课题。2021年，研一阶段已经走过一半，但是我还是没能确定自己的课题，科研上的毫无进展让我感到了迷茫，时常怀疑自己是否有科研的能力。4月12日，孙老师如往常向我们分享了各领域各学科的最新科研成果。但是就在这几篇文章中，本人发现了一篇名为《Mechanically Efficient Cellular Materials Inspired by Cuttlebone》的文章，但是我并没有足够的重视，没有及时给老师反馈，直到9月份才正式确定为课题。现在仔细地想想，如果一开始我就能重视这个问题，我便能尽快的开始科研并且更早地得到成果。所以一定要重视老师提供的有关文章与文献，趁早学习，积极探索。墨鱼骨结构可以简单描述为：上下端为非对称的类波纹形状的壁胞元结构阵列组合的多孔结构。由于其特殊的结构形式，可以帮助墨鱼在几百至几千米的深海中生存。结合此种生物结构，本人参考原文进一步加以研究。对于这个结构的研究来说，许许多多的研究员前仆后继地探索这一特殊的结构，不断丰富对其的研究。对于我来说，它是我学术旅途的起点，未来的几个月让我为之奋斗的终点。在这条充满挑战也充满希望的路上，提升自我，享受科研。

2021年9月底，在组会上向孙老师确定了对墨鱼骨结构研究的课题。为了加深学习和理解墨鱼骨结构问题，我首先参考孙老师的建议对原文献进行翻译。这项工作不仅帮助我准确地理解了原文献，还帮助我学习了该领域的

专业英文词汇，为之后的英文写作打下了基础。刚接触这些专业英文术语，学习起来十分吃力，基本是读了后文忘前文。但是我也明白科研讲究严谨，我只有准确理解原文献的内容，才能将课题顺利推进下去。然后，我便开始着手翻译。其中借助翻译软件及专业论文查阅其中的陌生词汇、专业术语，再对比各个语境下的释义，进一步梳理文章内容。事实证明，功夫不负有心人。在这项工作中，我不仅提升了英文表达能力，同时也学习并梳理了论文的大致内容。

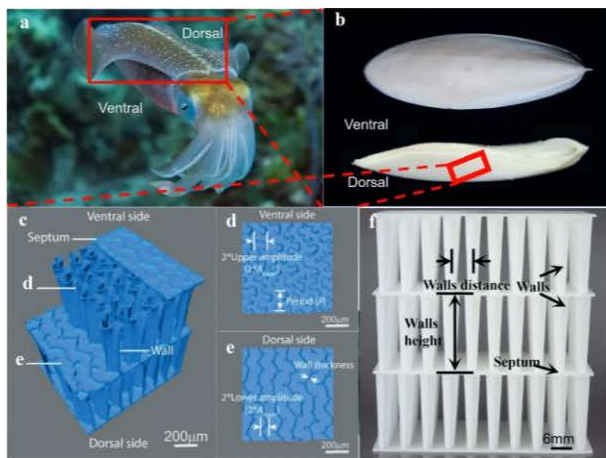


图1. 墨鱼骨结构

对墨鱼骨结构有了清楚的认识后，我便开始利用有限元软件ABAQUS进行仿真建模来对比文章中的试验结果。在刚开始建模的过程中，由于对墨鱼骨波纹厚度理解错误，以及模型连接方式问题，最开始的曲线结果总是无法很好的拟合，而且浪费了比较多的时间。在这里感谢孙老师和师兄们提供的帮助，我最终完成了对称结构在原文中实验的复现。当最终得到的变形云图及曲线图与原文献一致时，我的心情是激动万分的。我立刻在学术例会上向孙老师展示了成果并得到了孙老师的肯定，这一小步的成果鼓舞了我的科研热情。但是，事情的发展总不会是一番风顺，紧接着下一步对于非对称结构的模拟却总是不尽人意。这让我苦恼良久，以至于科研进展停滞不前。孙老师及时发现了我问题，他向我建议应该扩大思路从整体结构出发。我仔细思考了孙老师的建议，考虑到之前的模拟为了加快计算速度将模型简化了许多，因此我特意将模型整体进行模拟。结果出乎意料，模拟出的变形图不仅





与原文的变化一致，而且曲线图近乎以完美的结果与原文实验相匹配。为进一步完善模拟结果，我对原文结构的泊松比、弹性模量、单元的种类和数量、分析步的选择全部进行了优化，得出了有限元结果与实验结果吻合精度较高的模型。此刻我的心情溢于言表，因为我感觉到自己创造了真正的价值虽然它很微不足道。除了有限元模拟外，孙老师孙老师鼓励我对论文中理论部分进行深入学习。起初我不以为意，由于原论文的理论部分较少而且内容相对简单，以至于我个人认为其重要程度太小。与此同时，我在尚为完全理解全文的基础上，想直接设计出全新的新型结构，并且工作并完成实验，但是现实让我明白这是极其不现实的。多次向老师汇报却毫无进展的情况下，孙老师发现了我的急功近利，并及时提醒我要从理论出发，为新型结构的设计提供依据。我此刻也明白饭要一口一口吃，路要一步一步走，脚踏实地才是高效科研。因此，我将全文公式进行重新推导，再将全文数值结果一一进行复现。再进行创新，开展属于自己的工作。

成功解决有限元问题才让我在这条科研路上初窥门径。接下来我需要考虑的不仅仅是重现别人的结果，而是需要寻找到创新点完成一篇新的学术论文。2022年1月，疫情反复让我们不得不封校且隔离在寝室内。考虑到封校对学生心理的影响，孙老师经常会主动与我们沟通，缓解我们在疫情期间的焦虑心情。得益于此，在封校期间我发现原文章理论部分仍需要进一步研究，并决定对此进一步拓展自己的研究。其中对壁结构的压缩变形与剪切变形分析尤为重要，原文献仅仅说明了采用欧拉理论可以解释。但是未结合参数进行分析，导致结果并不能作为依据。以此为突破点，我将截面模量等参数带入到公式中，得到影响结构变形的参数高度、厚度、周期以及振幅。这个结果无异于是显而易见，但是从理论上为下一步工作提供了坚实的依据。紧接着于2022年寒假我利用有限元程序不断的计算获得不同参数的压缩和剪切数据，但是每一个模型都需要在有限元中重新计算，不同参数下的模型将会造成巨大的工作量。我只能迎难而上，借助研究院的工作站以及同学们的电脑加班加点进行计算，好在功夫不负有心人，在寒假期间完成了参数部分的有限元分析。同时，在寒假期间完成了对画图软件Origin的学习，其强大的绘图功能帮助我获得到满意的论文图。Origin等科研软件实在是科研工作

者工作必备的工具。

2022年3月，处理好有限元的数据，结合数据绘制相应的图线，并完成了部分内容的写作。还来不及得意，我就再一次陷入到困扰中，那就是文章的创新点还是不够。这个问题在当时撰写开题报告中也让我苦恼，孙老师也不厌其烦的一次次给予我帮助，在组会中指出我的不足也希望我需要多思考，不要局限于参考的文章。孙老师的提醒无异于雪中送炭，我也成功完成创新后的结构。孙老师紧接着督促我要抓紧实验尽快完成论文初稿。在完成实验后，我也尽快处理好数据准备整理好论文。正当我以为一切已经板上钉钉，困难也如期而至。我天真以为在参考文章上写一篇文章不是难事。可实际上，论文的逻辑、摘要、引言、结论、章节的内容、小标题的格式都缺少认识，甚至图形的美观度这些学过的最基础的论文写作知识都忘得一干二净。论文写作基本上无从下手，感觉有力气使不出，有成果有内容却不表达不出来，心情又一次跌入低谷。在组会中向孙老师汇报情况后，考虑到这是我们的第一此写作，孙老师给我们推送了关于如何写作学术论文的推送资料。在这期间也有一点小插曲，3月28日是开题答辩地日期，为了帮助我们顺利通过开题答辩。在此之前，孙老师帮助对我们的答辩进行预演，孙老师听完我的报告后明确地指出我未清楚交代核心问题并且缺少视频佐证。在接受孙老师的建议下，我完成了开题报告，并准备之后的开题答辩。不出意外，又出意外了。孙老师不厌其烦地指出开题报告中我对论文的核心问题仍未解释清楚，这会让接收报告的观众无法准确理解研究内容。面对我的不严谨，我既羞愧到无地自容，又暗自记下孙老师提到的建议。希望我的这个问题让同学们引以为戒，一是清晰阐述问题，二是一定要认认真真再认真。参考以上的内容，我进而一步一步地推进着自己的首篇学术论文，终于在2022年4月28号完成了论文的第一稿。2022年4月底孙老师浏览后立即帮助我完成论文的预印本的投递，保护了我的科研成果。孙老师向我建议到文章是否可以加入高斯曲率作为理论补充，使得学术论文的结构更加完整。我认真思考了孙老师的建议，开始对高斯曲率的理论部分进行学习，期间感谢宋广凯师兄的帮助得以尽快完成学习。这个过程描述看似简单，但实际上过程中的枯燥与煎熬只有自己能体会，大部分时间我在思考如何将高斯曲率与问题



相结合，经常会持续好几个小时。虽然过程比较让人难耐，但是一旦有突破便会瞬间打起恢复精神，这大概就是科研生活吧。

紧接着2022年5月份对我来说意义非凡，孙老师在仔细地浏览了我的中文稿论文，对理论推导部分一一进行询问。孙老师严格地强调了数学表达的准确性，对某些公式中的符号问题一一讲解，并帮助我对论文公式的格式一一修改。这让我意识到了加强数学修养的重要性，不管遇到什么问题，扎实的数学基础都能够提供有效的帮助。孙老师最后一次对全文进行了审阅，强调了文章中的符号表达一定要准确且合理。对于文章中出现他人研究内容要注明引用，要实事求是，端正作科研的态度。在孙老师的帮助下，让我的论文成功完成了从初稿到终稿。中文定稿后，孙老师鼓励我尽快完成论文英文稿翻译。我随即着手将其翻译成英文稿件，在这个过程中借助了一些翻译工具，有关细节部分就自己来仔细校对和斟酌语句，尽自己最大程度地翻译为英文稿。这不仅帮助我加深了对论文内容的理解，更让我的英文水平有着显著提高。完成英文稿后，在孙老师的建议下，我将文章交由letpub润色，润色修改返回后便开始了投稿。

在投稿的过程中，最先挡在我面前的是投稿期刊的选择。虽然孙老师鼓励我去寻找合适的期刊进行投递，但是面对林林总总的期刊我一个头两个大。参考陈品元师兄的建议一开始我投稿的期刊是《Acta Mechanica Sinica》，但经过一个月的审稿被编辑告知与期刊内容不符而退稿，幸运的是，这些期刊处理文章的时间很快，并没有浪费太多的时间成本；随后，参考李权威师兄的建议，在孙老师的推荐下投递了《Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials》。现在回想起来，文章能顺利发表离不开选择合适的期刊，我的研究内容与该期刊的主题十分契合，孙老师的支持也让我少走了很多弯路。参考师兄们的投稿经验，认真检查了许久但百密难免一疏，仍是出现了自己意外导致的错误，我竟然将孙老师的论文通讯作者误填写成自己，这种错误十分的不严谨甚至有些低级，直到审稿意见返回才发现这个错误。这个错误完全是不应该发生的，都是因为自己的粗心大意浪费了孙老师的很多时间。展示这些低级错误：一是希望时刻提醒自己做事一定要认真认真再认真；二是也希望其他同学引以为鉴，不要出现类似错误，贻

笑大方!

2022年6月19日,文章投递,2022年7月15日,文章的审稿意见返回。那一天下午如往常在办公室,突然手机提示收到一封邮件,起初不以为意以为是垃圾邮件。但是看到邮件是个外国发来的,一瞬间打起精神,内容竟然是审稿意见。孙老师看到我收到了审稿意见也勉励我成功仅在咫尺,继续努力按照要求进行修改,及时提交审稿意见的反馈。我十分开心审稿人对文章研究内容的支持,但是我又担心另一个审稿人会对文章拒绝。在这种情况下,我尽快开始对文章进行修改,并着手对审稿意见进行回复。接下来一个月的时间我按照审稿人对论文进行了修改,并对审稿人的意见逐一回复。但是拖延差点让我失去这次机会,由于第一次回复意见担心回答的不够完美,一直拖到在8月5日截止日期才将论文修改稿及审稿意见重新交由孙老师审阅。孙老师从自己的事情抽出身及时帮助我完成了论文的提交,同时也对我敦敦教诲,因为这是我的失误影响到孙老师的安排。感谢孙老师的包容,也感谢孙老师对我们的爱护。至此,我的投稿问题在孙老师的帮助下顺利的解决了,再次感谢孙老师的包容。回想此次出现的投稿问题,我意识到虽然我的科研进展比较顺利,但是我还是需要严格要求自己按时完成任务,尽到自己应尽的责任与义务。这一次有孙老师帮助我得以侥幸过关,那么以后的生活呢,做科研做人做事的核心既要靠坚持努力也要靠严格要求,只有高要求、高标准、高水平的限制自己,脚踏实地,才足以应对以后的科研以及生活。在老师的审查中,论文中也有很多简单但不可忽略的错误。因此,我将自身的错误罗列下来,一是希望自己记住错误不再犯,二是希望研究院的同学们引以为鉴。论文公式中符号的表达一定要正确,选择合适的字母符号;论文公式的表达一定要正确,对于公式的排版要合理;图片中的不同组数据建议采用不同线型的以区分,除此之外图片的编号一定要合理准确;注意期刊对图片格式的要求,根据期刊的要求修改图片格式。以上就是在我的文章中存在的部分问题,望研究院同学在自己的论文写作中引以为戒。

在8月20日的下午,孙老师告知了我审稿意见再一次回来,没点开邮件之前我的心情十分沉重。孙老师及时鼓励我成功就在眼前,要认真及时的将审稿意见提交。我怀着忐忑的心情打开邮件,发现只有审稿人二还有少量意



见，顿时松了口气。这次我抓紧时间第二天就将审稿意见修改好交给孙老师审阅，孙老师强调写文章要严谨，帮助我将文章的方方面面都过了一遍后，于8月30日提交了审稿意见。这次顺利提交让我顿时松了口气。紧接着于9月8日，录用的好消息如期而至，虽然已经有了心理准备，但是依旧让我激动不已，中秋节前收到这样一份礼物无异于对我最大的肯定。第一时间就受到了课题组里老师们小伙伴们的祝贺，此刻的我也向表示对他们感谢，感谢孙老师一路上的鼎力支持，感谢秘书老师和同学们的倾囊相授。就当我以为事情已经结束，要开展下一次工作时，提交论文原件的环节再一次出现问题。9月23日编辑部需要我的论文原件进行编辑上线，但是论文原件却始终无法发送。这让我再一次陷入窘境，向同学们请教却没有人遇到过如此情况。为了解决此次问题，孙老师帮助我和我一起解决此问题，在尝试过将部分文件成功发送，发现问题出现在我未将论文模板内的多余文件进行删除导致整体文件无法发送。我顿时感受到无地自容，这种小问题直到现在才得以发现。在邮件成功发送后，孙老师希望我记住这次教训，同时也希望我能更加细心更加认真的面对问题。终于10月15日论文成功上线。回顾第一次的科研过程，我感触良多，其中有纠结和苦恼，也有近乎绝望躺平，但只要是峰回路转便是收获成果时的激动与喜悦。论文的顺利发表，离不开孙老师的鼎力支持与帮助，离不开研究院老师与同学们的协助，也离不开自己一点一滴的努力。正当我以为小论文阶段的事情结束的时候，10月19号从编辑处发来了校样稿的邮件，孙老师将邮件转发给我并叮嘱我认真修改。看到校样稿我喜不自胜，内心的满足感油然而生，但是对于校样稿的审核便马虎了起来。以至于给孙老师带来了很大的麻烦，10月20日孙老师在接收到我修改后的论文进一步审核，发现参考文献中有许多参考文献等问题。孙老师第一时间和我沟通具体问题，并叮嘱我认真认真再认真。千里之堤，溃于蚁穴。对于科研来说一点点小问题都要认真对待，这是一种需要严谨的态度。接受的反馈后，我随即第一时间一一对照并且修改。再次感谢孙老师的指导，也反思自己需要保持严谨的科学态度。趁热打铁，孙老师建议我参加头脑风暴并且汇报这次论文，一是希望我向同学们分享自己的科研成果，二是希望继续培养我的表达能力。因此，10月22日于学生办公室参加了西安建筑科技大学力学

技术研究院的力学头脑风暴。这次活动让我受益匪浅，不是因为我的汇报有多么优秀，而是这次汇报暴露了我的很多问题。第一个问题，同学们反馈我的汇报声音太小，这对本次汇报影响巨大。第二个问题，孙老师指出我的态度不够认真，会议应需要做PPT进行汇报。第三个问题，孙老师指出我的介绍仍有问题，核心问题未具体阐述，要将问题的最核心表达清楚。面对孙老师和同学们指出的问题，我既羞愧难当，又感谢及时发现这些需要需要注意到的问题。最后也希望同学们带着优秀严谨的科研作风，踏踏实实地努力并做出优秀的成果！

在最后，我要再次隆重感谢孙老师给予在论文选题、论文创新以及论文撰写等方面的指导与帮助，正是孙老师对我的论文严格要求并给予了許多宝贵的建议，才使我的论文得到了不断的完善，最终于录用。感谢孙老师，感谢提供帮助的每一位同学。

以上内容均为本人此次科研经历的真实记录，包含了我从选题到独立撰稿论文到论文录用的全部内容，希望研究院同学可以加以借鉴。



### 孙博华教授团队： 流动介质中柔性纤维的气动形状和阻力标度律

日常生活中，可以看见路边的树木在强风中弯曲，从而吸收变形能并减少风对树木的阻力（如图1所示）。这种自然现象启发人们使用可变形的物体来设计流线型形状，并且可以减少相应的阻力。寻找气动外形和减阻是空气动力学中二个相互交织的重要问题。在以往的研究中，Alben, Shelly和Zhang（张俊）【S. Alben, M. Shelley and J. Zhang, Drag reduction through self-similar bending of a flexible body, Nature 420, 479-481 (2002)】报道了在流动介质中浸泡的柔性体通过形状重构减少阻力的实验和理论研究结果，他们总结得到的规律可以被称为Alben-Shelley-Zhang标度律。然而，Alben, Shelly和Zhang也留下了一个有趣的未解问题，即他们的标度律是否是普适的？研究人员在这里使用量纲分析方法，得到了一个通用的阻力标度律并验证了Alben-Shelley-Zhang标度律的普适性，获得的普适规律对气动流线型

设计和减阻具有重要意义。

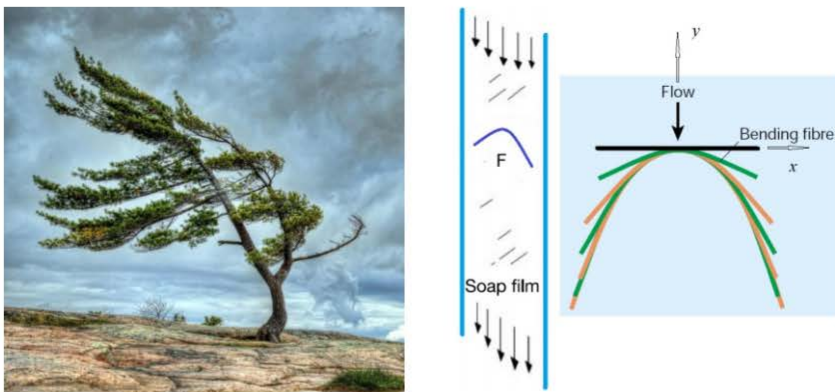


图1.树在风中弯曲和模型（将纤维(F)插入到流动的肥皂膜流动中）

针对这问题，西安建筑科技大学力学技术研究院孙博华教授团队开展了流动介质中柔性纤维的气动形状和阻力标度律研究。相关工作予以“Aerodynamic shape and drag scaling law of a flexible fibre in a flowing medium”为题发表在力学期刊《Theoretical and Applied Mechanics Letters》。



我们知道，任何物理关系都可以以无量纲的形式表达。量纲分析是一种通用的方法，因为它没有任何明确的考虑可能支配一个物理现象的控制方程和边界条件。因此，学术界存在共识，认为普适性可以通过量纲分析来实现。如果一个规律可以通过量纲分析的检验，就可以认定它是普适的规律。

Alben–Shelley–Zhang阻力标度律是普适的吗？为此他们使用量纲分析方法来检查这个问题，而不进行使用任何方程做任何特定的具体计算。

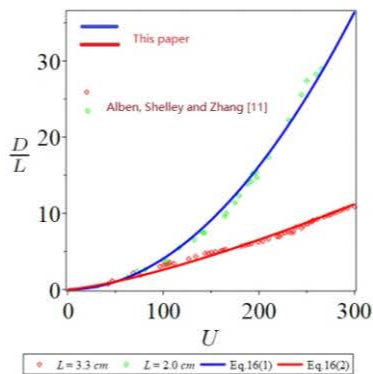


图2. 柔性纤维的单位纤维长度D/L与流速U的关系

经过细致考察，Alben–Shelley–Zhang标度律的普适性成功通过量纲分析验证。从而得到，对于流动介质中的柔性纤维，广义的阻力标度律或广义的Alben–Shelley–Zhang标度律是

$$\text{Drag} \sim \left[ \left( \frac{1}{2} \rho \right)^2 E f L \right]^{1/3} U^{4/3}, \quad \left( U \geq \sqrt{\frac{2E}{\rho d L^3}} \right).$$

这里的研究和理解对于流线型设计和减少阻力具有重要意义。

论文第一作者为西安建筑科技大学土木工程学院和力学技术研究院孙博华教授，第二作者为西安建筑科技大学土木工程学院2022级结构工程专业博士研究生郭晓琳。



## 孙博华院士： 对湍流雷诺平均方程(RANS)的重新考察

DE GRUYTER

Open Physics 2021; 19: 853–862

Research Article

Bohua Sun\*

**Revisiting the Reynolds-averaged Navier–Stokes equations**





湍流现象无处不在，其定量理解号称是经典物理的一个难题。量子力学创始人之一海森堡就曾经说过：我要带着两个问题去见上帝：量子论和湍流。我相信上帝只对第一个问题有了答案。

英国科学家 Osborne Reynolds 分别于1883年和1895年发表了二篇湍流研究著名论文，开启了湍流问题的科学研究。Reynolds 在1895年的论文中，提出流场量可以分解成平均场和脉动场的矢量和（称为Reynolds分解）。利用Reynolds分解可以把流体力学的Navier-Stokes 方程组和能量方程改写成Reynold-averaged Naviers-Stokes equations (RANS) (雷诺平均方程组)。由于平均方程组非常复杂，人们为了简化就忽略了关于脉动场的方程组，从而造成了“不封闭”的问题。

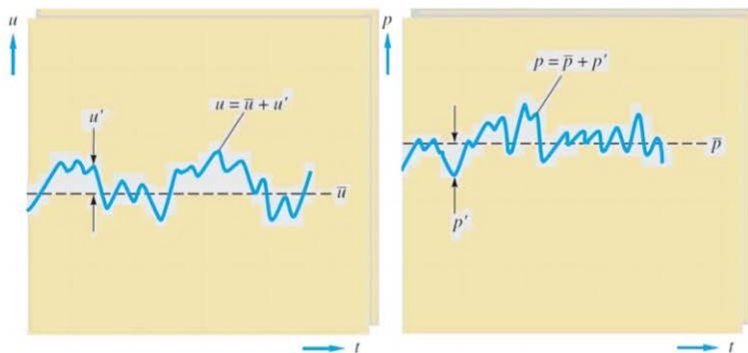


图1. 速度分解和压力分解

针对湍流研究一百多年来没有多少本质进展的困境，作者敢于把目光越过所有先代学者的伟大成就，直接回到130年前Reynolds研究湍流的起点，重温 Reynolds 的湍流原点思想，以期获得对湍流RANS方程的深刻理解。

目前的文献对于雷诺方程认为：RANS方程的个数只有四个，而未知函数却有十个，即  $\bar{u}$ ， $p$ 及六个雷诺应力分量。为了使方程组封闭，必须在Reynolds应力张量及平均速度之间建立补充关系式。

孙博华院士指出，Reynolds (雷诺) 应力张量不是一个一般2阶对称张量 (有6个独立分量)，而是一种特殊的二阶对称张量  $-\left(\rho \frac{1}{T} \int_t^{t+T} (u'_i u'_j) dt\right) e_i \otimes e_j$ ，即其分量是3个脉动速度分量的两两乘积的时间平均。对于三维问题，有3个速度脉动分量  $u'_1, u'_2, u'_3$ ，其两两乘积可以产生9个组合，由于乘积的可交换性

$u'_i u'_j = u'_j u'_i$ ，即对称性，这9个组合中就只有3个脉动分量是未知量。所以，Reynolds（雷诺）应力张量的9个分量只有三个未知脉动速度分量是未知量，而不是6个未知分量。

$$\begin{aligned}
 \boldsymbol{\tau}(\mathbf{x}) &= -\rho \overline{\mathbf{u}' \otimes \mathbf{u}'} \\
 &= -\rho \overline{u'_i u'_j \mathbf{e}_i \otimes \mathbf{e}_j} \\
 &= -\rho \overline{u'_i u'_j} \mathbf{e}_i \otimes \mathbf{e}_j \\
 &= -\left( \rho \frac{1}{T} \int_t^{t+T} (u'_i u'_j) dt \right) \mathbf{e}_i \otimes \mathbf{e}_j \\
 &= -\rho \frac{1}{T} \int_t^{t+T} (u'_1 u'_1 \mathbf{e}_1 \otimes \mathbf{e}_1 + u'_1 u'_2 \mathbf{e}_1 \otimes \mathbf{e}_2 + u'_1 u'_3 \mathbf{e}_1 \otimes \mathbf{e}_3 \\
 &\quad + u'_2 u'_1 \mathbf{e}_2 \otimes \mathbf{e}_1 + u'_2 u'_2 \mathbf{e}_2 \otimes \mathbf{e}_2 + u'_2 u'_3 \mathbf{e}_2 \otimes \mathbf{e}_3 \\
 &\quad + u'_3 u'_1 \mathbf{e}_3 \otimes \mathbf{e}_1 + u'_3 u'_2 \mathbf{e}_3 \otimes \mathbf{e}_2 + u'_3 u'_3 \mathbf{e}_3 \otimes \mathbf{e}_3) dt.
 \end{aligned} \tag{13}$$

孙博华院士给出了使用张量整体表达的RANS方程组，推导出了湍流转捩的临界雷诺数：

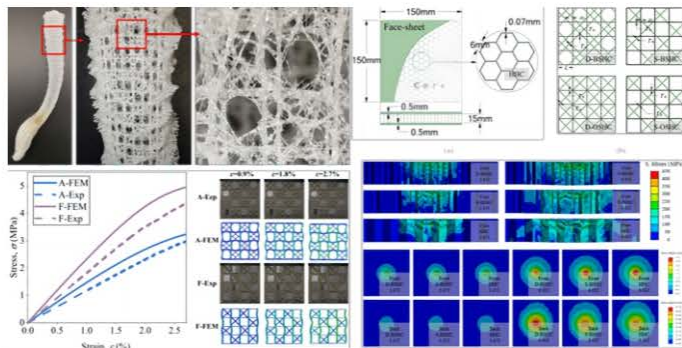
$$(\text{Re})_{\text{cr}} = \frac{\int_V \left[ \frac{1}{2} \nabla^2 (\mathbf{v}' \cdot \mathbf{v}') - \nabla \mathbf{v}' : \nabla \mathbf{v}' \right] d^3 \boldsymbol{\eta}}{\int_V \left[ \frac{1}{2} \nabla \cdot \nabla (\mathbf{v}' \cdot \mathbf{v}') - (\mathbf{v}' \otimes \mathbf{v}') : \nabla \nabla \right] d^3 \boldsymbol{\eta}}.$$

本研究在Reynolds原创思想的框架下，研究了湍流分析中的一些基本问题，如雷诺应力张量分量的未知数个数问题和湍流转捩的临界雷诺数等，所得结果有助于对于湍流现象的进一步理解。

研究成果发表在《Open Physics》，孙博华院士是唯一作者。

## 孙博华团队：

### 玻璃海绵启发的点阵结构优化及低速冲击响应



随着人类社会进步和现代工业发展，人们不仅需要超高“比刚度”和“比强度”的材料，也需要“超薄超细超长超轻”的高性能结构。如何在工程中实现对材料和结构性能的这些极端要求，是科学技术上的巨大挑战。为了获得科学灵感，我们决定向大自然学习。自然界经过亿万年的演化，各种生物为了生存，已经进化出了适应其特定生存环境的材料和结构。经研究发现，一种叫做“阿氏偕老同穴（*Euplectella aspergillum*）”的深海玻璃海绵的结构令人瞩目，它在海底时时刻刻抵抗着湍流的冲击，已进化出来能抵抗海底环境中各种荷载的优质材料和结构。深海玻璃海绵的点阵结构提供了科学灵感，启发我们可以通过仿生实现对材料和结构的极端要求。然而仿生的目的不只是模仿，人类应当在学习自然的基础上，超越自然。在科学理论的指导下，如何实现对这种深海玻璃海绵结构力学性能的超越是个科学难题。

基于此背景，西安建筑科技大学力学技术研究院孙博华教授团队开展了受玻璃海绵结构启发的点阵结构优化研究。相关工作以 *Optimization of a lattice structure inspired by glass sponge* 为题，发表在以仿生与工程为主题的期刊 *Bioinspiration & Biomimetics* 上。

## Bioinspiration & Biomimetics

ACCEPTED MANUSCRIPT

### Optimization of a lattice structure inspired by glass sponge

Quanwei Li<sup>1</sup> and Bohua Sun<sup>2</sup>

Accepted Manuscript online 2 November 2022 • © 2022 IOP Publishing Ltd

[What is an Accepted Manuscript?](#)

DOI 10.1088/1748-3190/ac9fb2

作者对“阿氏偕老同穴”（图1）的结构进行了细致的有限元研究，受到其结构的启发，经过优化设计，作者利用了“粗短抗压”（图2）的力学原理，在结构质量不变的情况下，巧妙地利用多目标优化的方法，得到了多项性能都超越玻璃海绵的构型，实现了多荷载条件下对海绵结构设计的超越。

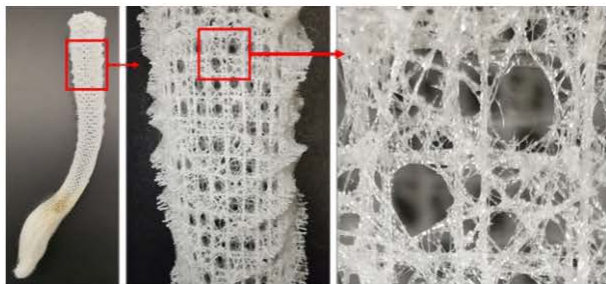


图1. 阿氏偕老同穴的骨骼结构

相比哈佛大学Fernandes等人的仿生设计 (M. C. Fernandes, J. Aizenberg, J. C. Weaver, and K. Bertoldi, “Mechanically robust lattices inspired by deep-sea glass sponges,” *Nat Mater*, vol. 20, no. 2, pp. 237 – 241, 2021. doi: 10.1038/s41563-020-07.)，多项性能都实现了超越，其中抗压、三点弯曲、热稳定性、抗弯性能方面的参数甚至都超过了50%左右 (图2)。

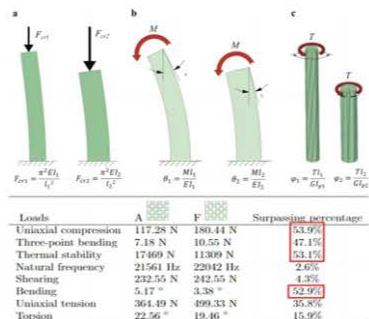


图2. “粗短抗压”的力学原理和性能比较，其中A是哈佛大学的设计，F是作者的设计

采用优化设计结果的悬臂梁在等质量的情况下大大降低了结构在自重作用下的挠度 (图3)。

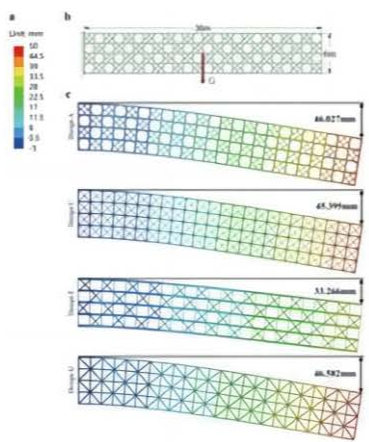


图3. 大型悬臂梁自重作用下的纵向位移云图

为了进一步验证新构型性能之于海绵启发构型的优越性，展开了单轴压缩性能的试验，结果如图4所示，优化设计得出的新构型的单轴抗压承载能力和刚度均强于海绵设计。

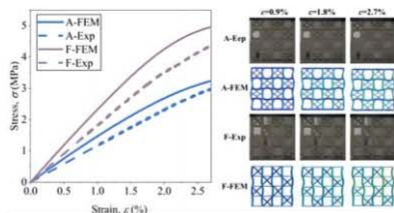
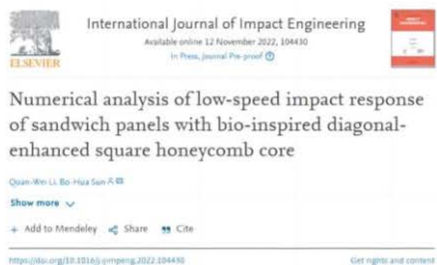


图4. 优化设计（设计F）和海绵模拟设计（设计A）的有限元和实验结果

在玻璃海绵启发的点阵结构优化研究的基础上，西安建筑科技大学力学技术研究院孙博华教授团队继续开展了生物启发对角增强方形蜂窝夹芯板低速冲击响应的数值模拟研究。相关工作以Numerical analysis of low-speed impact response of sandwich panels with bio-inspired diagonal-enhanced square honeycomb core为题，发表在力学TOP期刊International Journal of Impact Engineering上。



我们可以通过仿生的方法，利用生物结构在力学上的优势来开发高效的工程结构。尤其是多胞材料夹层结构，其具有良好的能量吸收和抗冲击性能。蜂窝材料具有较高的能量吸收能力，由于其壁面在失效过程中的渐进折叠机制，可被用于夹芯板的夹芯，以提高抗冲击性能。深海玻璃海绵的几何结构有很好的力学性能，但至今尚未应用到夹芯板的夹芯上。此几何形式在冲击响应上的潜力很大程度未被充分发掘。

作者基于玻璃海绵的局部几何构型设计了两种对角增强方形蜂窝芯（图5）。其几何形式可用于夹芯板的夹芯（bio-inspired diagonal-enhanced square honeycomb core，称之为BSHC），旨在研究BSHC对夹芯板低速冲击响应的影响。

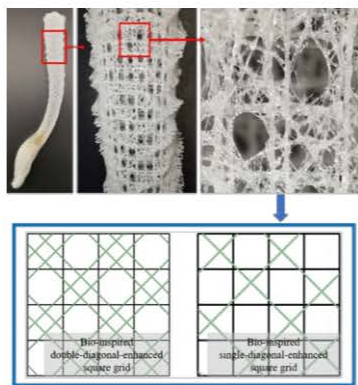


图5. BSHC的几何构型

采用经过验证的有限元模型模拟了5种具有不同夹芯的夹芯板的低速动态响应，保持5种蜂窝夹芯的相对密度相同，夹芯板及其蜂窝夹芯设计如图6所示。

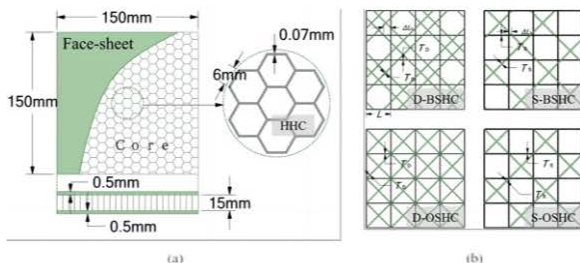


图6. 夹芯板设计

图7显示了不同冲击能量下HHC夹芯板和两种BSHC夹芯板的有限元模拟结果中夹芯的应力分布和面板变形。BSHC可有效降低夹芯板的应力和变形，采用这种形式的夹芯有利于应力的分散，将动荷载有效地从前面板传递到后面板，而芯材本身不容易出现应力集中。一般来说，两种BSHC比同等相对密度下的HHC具有更理想的变形模式和更好的抗冲击性能。

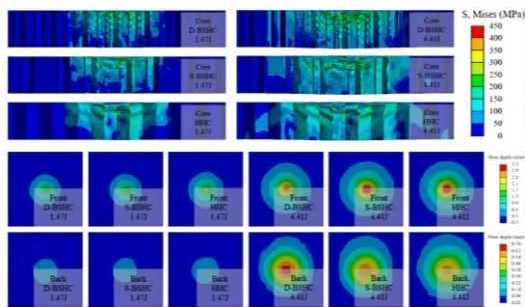


图7. BSHC和HHC的应力分布和夹芯板面板变形

最后，从理论上预测了低速冲击下B5HC夹芯板和HHC夹芯板的峰值荷载和接触能，与数值结果吻合程度较高，由能量平衡模型预测的峰值力与数值模拟的比较如图8所示。

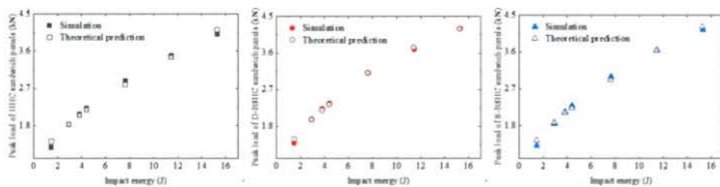


图8. 理论预测峰值力与数值模拟的比较

## —科研备忘录—

### “玻璃海绵启发的点阵结构优化及低速冲击响应”

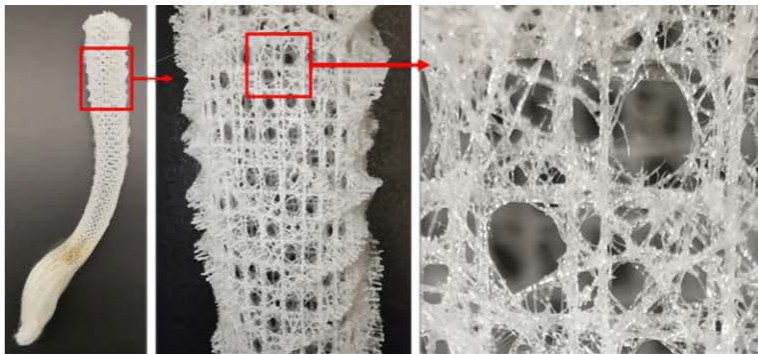
2019级博士研究生 李权威

从开展课题的研究到现在，已经一年有余，目前两篇文章终于网络出版。特写下此备忘录，以详细记录本篇论文从无到有的过程以及个人的心得体会。

2021年1月13日，孙老师注意到Nature Materials上的一篇文章“Mechanically robust lattices inspired by deep-sea glass sponges”，建议我学习，并提供了一些后续研究的思路。这是我学术生涯最幸运的一个开端。我们都知道，要想拿到博士学位，最艰难的其实就是选题，好的选题往往就是成功的一半。这里要说明的是，在这个时间节点上，我已经博士入学将近两年，但是苦于寻找不到合适的课题，每天都愁容满面。



有关选题，孙老师强调：“老师只是提供建议，博士研究生一定要独立思考并选择自己的课题”。我随即便跟进了这篇论文，并对此产生了浓厚的兴趣。二月初，已经复现了这篇论文的部分结果，三月份，我开始尝试参数化建模，为之后的优化分析做准备。随着持续的学习，我发现这个课题几乎是为我量身定做，老师将这个好课题给我做，一定是有因材施教的考量。



孙老师还经常告诫我们：“科研能力很大程度上是创造能力，就是找课题的能力。在做课题过程中发现新问题的能力也包含在内。”在这项研究的过程中，随着老师不断的引导与追问，我也逐步发现了一些新的问题并尝试解决它们。课题进展中，我记录了许多点点滴滴的细节，以供自己反思，形成好的经验。

数值模拟是力学研究的必要手段之一，在进行模拟计算时，首先在材料参数、单位制上面一定要仔细，不然可能会耽误很多时间并导致错误结果。反过来思考，做数值模拟的过程中要关注加载的过程，可以察觉到材料参数出现的错误。网格精细程度要和计算效率作平衡，误差控制到一定范围即可。

参数化建模方面我也有一些心得：利用商业有限元软件进行参数化建模，虽然脚本录制和代码调试过程较为繁琐，但是一旦调试成功，能成倍地提高效率。软件使用一定是熟能生巧的过程，有灵感时就要多尝试，并且及时纠正错误的方向。只要前期投入足够多的时间，后面就会事半功倍，越来越轻松。孙老师教育我们：碰到不懂的地方要多与人交流或者在网上搜索教程，不要一味蛮干。SCDM草图中的线体不能阵列，所以通过RVE阵列生成



零件的思路遇到了瓶颈。通过几天的若干次尝试、改变思路，终于找到了解决办法：将草图中的线体移到新组件，再进行阵列几何就不会出错了。但是有一个问题随之而来，草图目录之外的线体无法自行刻面，经过简单的尝试，发现“填充”这一命令可以做到手动将线生成面。虽然是小问题的解决，但也让自己兴奋了好久，觉得对软件的掌握更深入，更有信心。

SCDM录制脚本的心得：任何程序的代码最重要的一点就是简洁！为了方便绘制并使代码尽量简洁，可先绘制参考线，录制完后再将参考线对应的语句删除。这样可以较少计算机资源的占用，提高建模效率。四月份我试图开始进行几何参数优化，首先面临的问题是参数化建模。采用SCDM脚本建模，在录制及调试脚本的过程中，花费了大量时间以及精力。现总结出心得：1.首先应明确优化参数与优化目标，并简化几何上的参数化实现过程；2.要选择合适的驱动参数；3.由线体拉伸成面的操作之前，建议将线体转化成参考线，以免出现自动刻面的错误。在SCDM建模脚本调试的过程中，特别感谢师弟张振子对我的帮助。

```

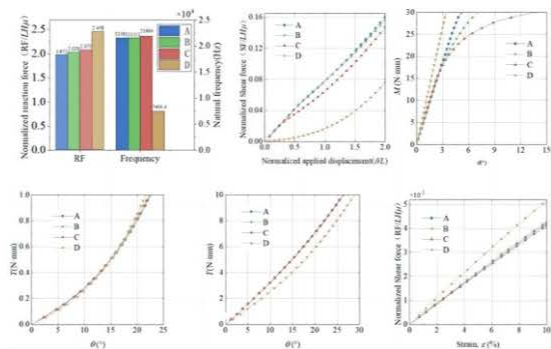
1 # Python Script, API version = V5R
2 ClearAll()
3 lambda=Parameters.Lambda
4 delta=Parameters.delta
5 c=math.sqrt(2)
6 Y=c*(1+math.sqrt(2))/2/(1+lambda)
7 Y=(1-math.sqrt(2))/2/(1+lambda)
8 # 设置坐标系
9 selection = Selection.Create(GetRootPart().CoordinateSystem[0])
10 result = ViewManip.SetSketchPlane(selection, None)
11 # EndBlock
12 # 设置草图
13 result = SketchWiper.StartConstraintSketching()
14 # EndBlock
15 # 创建矩形
16 point1 = Point2D.Create(PP(0), PP(0))
17 point2 = Point2D.Create(PP(15), PP(0))
18 point3 = Point2D.Create(PP(15), PP(15))
19 result = SketchRectangle.Create(point1, point2, point3)
20 # EndBlock
21 # 创建直线
22 start = Point2D.Create(PP(2.5), PP(0))
23 end = Point2D.Create(PP(2.5), PP(15))
24 result = SketchLine.Create(start, end)
25 # EndBlock
26 # 创建直线
27 start = Point2D.Create(PP(5), PP(0))
28 end = Point2D.Create(PP(5), PP(15))
29 result = SketchLine.Create(start, end)
30 # EndBlock
31 # 创建直线
32 start = Point2D.Create(PP(7.5), PP(0))
33 end = Point2D.Create(PP(7.5), PP(15))
34 result = SketchLine.Create(start, end)

```

6月9日于孙老师家：首先，向孙老师汇报了近期课题的进展。其后，孙老师给出了今后课题推进方向的建议。第一，考虑一种新的胞元构型，并考虑新的荷载：如拉、弯、剪、扭、温度、模态等。第二，在第一步的基础上，考虑一种基于海绵骨骼构型的新型复合材料。第三，后期再考虑工程应用：如输电塔。总的原则是：由基础到复杂，又静及动。孙老师鼓励我在本研究的基础上，产生新的、原创性的思想，并引导我

能不能从目前的研究中，得出一般性的结论。在今后的研究中，有可能提出不同特点的胞元，将其进行组合排列，得到新的功能梯度材料。这次的交流让我茅塞顿开，思路逐渐清晰起来。孙老师强调了很重要的一点，我们读研究生一定要产生自己的学术思想，培养活跃的学术思维，并在学术过程中备忘自己所有的痛苦和喜悦，对自己和他人都是一种激励。

7月初我向孙老师汇报了近期玻璃海绵的研究进展，包括了设计新构型以及拉、弯、扭、剪、温度、模态等新的工况。孙老师听取我的汇报后，表示我对玻璃海绵的问题有了新的认识并鼓励我向深处探索。





其中让我印象最深的是老师又强调了科学研究的三个阶段：提出问题、发现问题和解决问题，其中提出问题是最困难的，希望我在推进研究的过程中，发掘深层的科学机理并提出自己的观点，从学习到模仿，最后获得提升和飞跃。孙老师对我接下来的研究提出了一些建议，1.首先最重要的是思考为什么海绵构型的力学性能优异？其深层机理是什么？在了解原理之后能否设计出更优秀的构型？2.其次考虑基于海绵骨骼的复合材料。3.最后在现有研究的基础上，考虑弯、剪同时作用。还要考虑曲率，即基于海绵构型的拱结构。一对一会议交流后孙老师鼓励道：“有进步了，记录今天提出的问题，稳步推进，定会成功！”

海绵构型力学性能为什么优异？其机理是什么。上一次在孙老师在家中问我这个问题时，我给出的初步想法是，简单地考虑压杆稳定，海绵构型中的杆单元长细比更小，更不容易出现局部屈曲。按照这个方向思考，我想到，首先可以简单地定义出等效屈曲临界力，计算结果一定是海绵构型的屈曲临界力更大。孙老师鼓励我在模仿别人的基础上获得提高，产生自己的学术思想。

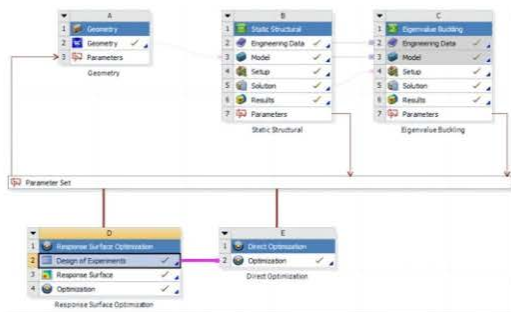
7月12日，我设计出了新的构型，受压性能几乎接近海绵构型。孙老师在交流的过程中提醒我在接下来的研究中继续敢想敢做、多尝试，只有这样才能愈发逼近真理。记录整个研究过程是一件很重要的事情吗，好的研究工作一定要把故事讲得精彩、讲得引人入胜。孙老师在我设

计的新构型的基础上,给予了若干建议,还提供了今后工程应用的方向,让我感到受益匪浅。7月21日跟孙老师畅聊三个小时有余,收获良多!收获了很多新的思路。首先我跟老师汇报了玻璃海绵结构研究的新进展,现在设计出的新构型承载力已经是超过海绵构型的40%。孙老师鼓励我继续优化,争取得到更好的结构。在得出优秀胞元之后,要用不同材料进行比较。最重要的是,将设计出的新构型进行多种工况的计算,并投入工程应用,如釜山电影中心的超长悬挑桁架结构,超材料胞元设计等。

“能不能用最简单的一句话讲出玻璃海绵结构为什么性能优异?”在孙老师的不断引导和追问下,我才想到了“粗短抗压”的力学原理,并产生了在海绵结构的基础上进行优化设计的思路,以期得到多荷载条件下性能全面提升的结构设计。玻璃海绵在海底长时间承受着各种形式的荷载,其性能已经演化得非常优异,超越它是一项巨大的挑战,我们利用了“粗短抗压”的力学原理,在结构质量不变的情况下,巧妙地利用多目标优化的方法,得到了多项性能都超越玻璃海绵的构型。并且最终的优化结果在多方面都超过了哈佛大学Fernandes等人的仿生设计(M. C. Fernandes, J. Aizenberg, J. C. Weaver, and K. Bertoldi, “Mechanically robust lattices inspired by deep-sea glass sponges,” *Nat Mater*, vol. 20, no. 2, pp. 237–241, 2021. doi: 10.1038/s41563-020-07.) ,其中抗压、三点弯曲、热稳定性、抗弯性能方面的参数甚至都超过了50%左右。

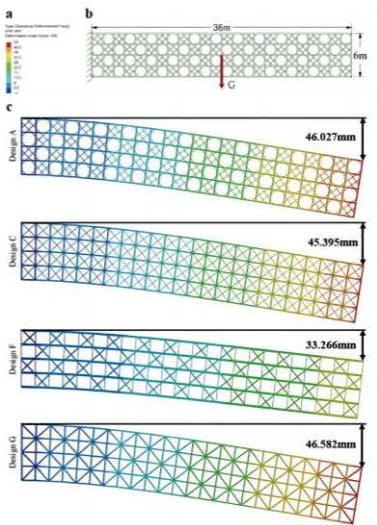
Loads	A 	F 	Surpassing percentage
Uniaxial compression	117.28 N	180.44 N	53.9%
Three-point bending	7.18 N	10.55 N	47.1%
Thermal stability	17469 N	11309 N	53.1%
Natural frequency	21561 Hz	22042 Hz	2.6%
Shearing	232.55 N	242.55 N	4.3%
Bending	5.17 °	3.38 °	52.9%
Uniaxial tension	364.49 N	499.33 N	35.8%
Torsion	22.56 °	19.46 °	15.9%

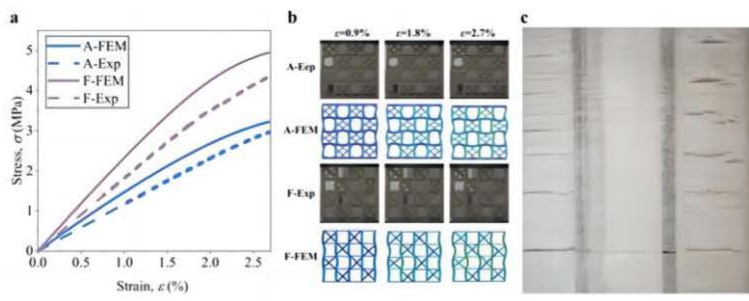
优化设计研究的心得:1.进行变量设计时必须调试几何模型的脚本,保证设计变量的区间内几何模型都能顺利进行。2.荷载可加得比较小(衡量等效弹性模量),以减少计算量。3.先单目标优化,了解趋势后再有针对性地进行多目标优化。



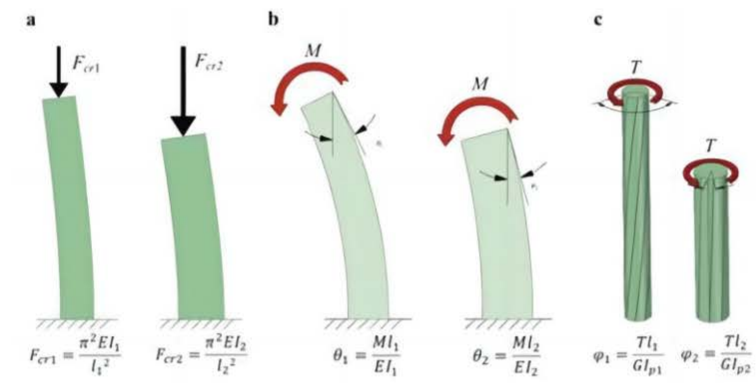
8月7日于孙老师家，讨论了文章写作的问题。首先明确了写作的重点——即提出超越海绵结构的设计。孙老师提醒我如果要将优化设计写进论文，一定要先弄懂优化原理。首先要明确写作整体的逻辑，从题目到内容，从性能的提升到工程应用。哈佛的研究者通过观察和测量抽象出了海绵结构的基本构型，我们用FEM首先验证其结果，然后计算若干新的工况以验证海绵多荷载下力学性能的优越性，重点是提出了新的构型，目标是分别在多种荷载下超越海绵构型。题目要突出对深海玻璃海绵力学性能的超越。摘要首先介绍问题的由来和科学性，然后引出文章的工作。引言部分要图文并茂，首先介绍研究进展，引出本文研究，最后说明本研究的科学意义。第二部分介绍玻璃海绵的基本构型和FEM验证；第三部分写如何超越海绵构型，并从经典力学中总结规律；第四部分提出应用：悬臂梁的挠度，验证本设计在结构力学上的优势，加上实验（3D打印试件）第五部分是结论，表达大自然的演化令人惊叹，其中一定蕴含深刻的科学规律，我们得出更优异的结果可能是其未来演化的路径之一。在第一篇文章之后，可以研究屈曲、动力学、温度影响、柱壳等，这些主题均可独立成文。

孙老师敦促我加紧试件的3D打印试验，鼓励我接下来一两个月内，全身地投入课题研究并成功投稿。我也决心加快课题推进地进度，从今天开始，首先尝试3D打印出试件，然后紧接着用万能实验机加载试件，并标定材料力学性能，最后在数值模拟方面验证本原料制造出试件的性能。





经过一个月的集中整理、写作，11月整理出了文章初稿并与孙老师面谈，孙老师给出了中肯的修改建议，包括其中表述不明确等细节问题。再初步修改文章之后，孙老师建议我绘制一幅解释超越海绵设计的科学原理的示意图，目的是简单形象地说明本文设计的理论依据，我深受启发，并于18日与孙老师面谈，确定了示意图的绘制形式。



2021年11月成文后，经过了不断修改和若干次投稿，终于在2022年6月份收到仿生学与工程为主题的期刊《Bioinspiration & Biomimetics》比较认可的审稿意见。其中Referee 2的审稿意见对文章的提升有着很大的帮助，他指出了我在生物进化上“拉马克”式的错误表述，并提供了关键的几份文献供我们参考，甚至还指出了一些语言细节的错误。

Referee: 2

COMMENTS TO THE AUTHOR(S)

The goal of the study was the creation of a high-performance lattice structure inspired by the hexactinellid sponge *Euplectella aspergillum*. In this regard, an in-depth work was already carried out by Fernandes et al (2021)\* providing different design configurations of bioinspired lattice structures together with their evaluation using finite element analysis and mechanical tests on 3D printed specimens. However, the authors try to surpass their designs proposing a new lattice structure and extend these structures to large scale applications. The overall manuscript is understandable and well written, however, minor mistakes in the main text can be identified

Re: "Optimization of a lattice structure inspired by glass sponge"  
Article reference: IB-103205

We are pleased to tell you that we have provisionally accepted your Paper for publication in *Bioinspiration & Biomimetics*. Any further comments from the referees can be found below and/or attached to this message. Our editorial team will now perform some final checks to ensure that we have everything we need to publish your Paper. These checks will enable our production team to publish your Paper as quickly and efficiently as possible. Once this is confirmed, your article will be formally accepted and we will inform you of this via email.

Your accepted manuscript (<http://ioppublishing.org/page/acceptedmanuscripts>) will be made available online within 24 hours of formal acceptance, unless you decided to opt out during the submission process.

If you have chosen to publish your Paper on an Open Access basis, and if it is not eligible for funding through a transformative agreement between IOP and your institution, you will be responsible for ensuring that the article publication charge (APC) is paid in full. Once your Paper has been accepted, we will not be able to change the Open Access status of your manuscript.

You will receive an email from [Accounts@ioppublishing.org](mailto:Accounts@ioppublishing.org) with your invoice and payment options. This will include a secure link to our [ioppublishing.org](http://ioppublishing.org) site offering the option to pay by credit card or bank transfer. If you have any concerns about an email requesting APC payment, please email [invoice.request@ioppublishing.org](mailto:invoice.request@ioppublishing.org).

All articles published by IOP Publishing are available online to readers at <http://ioppublishing.org>. For more information, please contact our Customer Services department at [customerservices@ioppublishing.org](mailto:customerservices@ioppublishing.org). For advice on complying with US funding requirements, please go to <http://ioppublishing.org/info/paperchurns>.

Thank you for choosing to publish in *Bioinspiration & Biomimetics*. We look forward to publishing your Paper.


Yours sincerely  
Andrew Malloy

8月底收到了二审意见，其中增加了一份编辑提出的中肯意见。再次修改提交后，终于在11月1日收到了博士研究生期间第一份自己作为第一作者的录用通知，这让我无比兴奋和激动，付出的努力终于得到了收获。


论文已发表在以仿生与工程为主题的期刊《*Bioinspiration & Biomimetics*》上，该文第一作者为2019级博士研究生李权威，通讯作者

为孙博华院士。文章链接：Q.W.Li., B.H. Sun, Optimization of a lattice structure inspired by glass sponge, *Bioinspir. Biomim.* 2022, <https://doi.org/10.1088/1748-3190/ac9fb2>。

第一篇章文章完成之后，后续的研究水到渠成，第二篇文章题为：“Numerical analysis of low-speed impact response of sandwich panels with bio-inspired diagonal-enhanced square honeycomb core”。相关工作已发表在力学TOP期刊《*International Journal of Impact Engineering*》。在撰写第二篇文章的过程中感到异常的顺利，除了前期在计算夹芯板冲击模型时可能花了不少的时间。动态冲击的模型调试是一项耗时的工作，从中我也吸取了教训：一定要注意材料参数的设置，文献里给出的参数不一定是真实的。



International Journal of Impact Engineering  
Available online 12 November 2022, 104430  
In Press, Journal Pre-proof



Numerical analysis of low-speed impact response of sandwich panels with bio-inspired diagonal-enhanced square honeycomb core

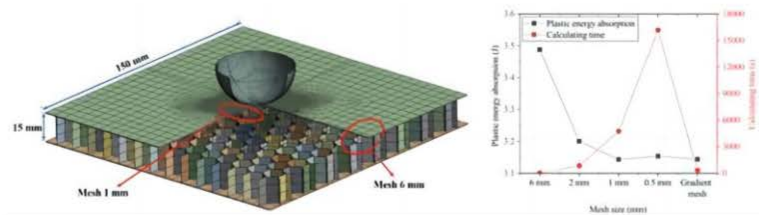
Quan-Wei Li, Bo-Hua Sun 李权威, 孙博华

Show more

+ Add to Mendeley Share Cite

<https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2022.104430> Get rights and content

值得记录的是文章的修改过程，三个审稿人都给予了中肯的意见和批评。审稿人的意见对我们的文章有很大的帮助。首先，按照审稿意见补充了有限元模型示意图和网格收敛性的验证。



这次文章的修改，最难的对能量吸收机理的补充，我在这个地方卡壳了许久才有进展。在学习了一些文献之后仍然一筹莫展，在这种关键时刻，我学习到了余同希、卢国兴、张雄三位老师的著作：《能量吸收：结构与材料的力学行为和塑性分析》，对各种结构和材料的能量吸收都有详细的叙述。其中“多胞薄壁构件”中张雄教授等人的理论正好可以为我所用，经过计算，完美地解释了“BSHC吸能性能更好”这个结论。这一次是临时抱佛脚，成功解决了问题，但是平常还是应当注意积累，多读名著。早在今年三月份冲击部分研究刚开始时，孙老师就提醒我要多学习理论书籍，思考一下理论方面的推导。由于之前没有足够的积累，导致了这次临时补课，花费了很大的功夫。

修改稿提交后半个月左右，直接收到了录用通知，这距离上篇文章的录用只有3天。短短三天内，我的两篇文章都已录用！希望在接下来的研究中，再接再厉，快速出成果。

在此深刻反省一个提交稿件过程中犯下的错误：由于自己理解不到位和敷衍了事的思想，在文章修改后重新投稿的过程中，错把Authorship contribution statement中的Conceptualization写成了自己的贡献，这是完全错误的行为。前后两篇文章都是全程在老师的指导下完成的，Conceptualization当然是由老师提出的。如果没有老师给予的这个世界级的好题目，我可能连任何值得研究的课题都找不到，发表文章更是无望！现在不仅课题持续开展，甚至还发表了TOP期刊，感谢老师给我的机



ELSEVIER

Track your article!

Dear Dr. Sun,

Your article Mechanical analysis of low-speed impact response of sandwich panels with bio-inspired diagonal-enhanced square honeycomb core will be published in International Journal of Impact Engineering.

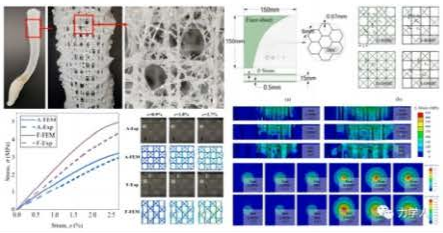
To track the status of your article throughout the publication process, please use our article tracking service.



会！对我犯下的这个错误，孙老师不但没有批评我，还语重心长地告诉我学术的规矩和做人的道理，使我受益匪浅。让我避免今后犯下同样的错误而导致学术生涯受到影响。这个问题在校稿清样时已经不能再矫正，系统上不能更改作者贡献声明，我给编辑部发去了一封E-mail希望能亡羊补牢，纠正错误。以后在投稿时在这种关键性的声明上一定要一丝不苟，不能为了尽快提交稿件而出错，导致本末倒置。

在撰写成果报道时，我也犯下一些低级错误，在此记录以免今后重蹈覆辙。首先我对成果报道理解有些问题，没有在有限的篇幅中把握住关键点，重要的故事没有讲，结果不重要的地方浪费了笔墨，最终老师完全重写了报道，才生动而简明扼要地讲出了成果的故事。仔细体会了老师写作的成果介绍，发现自己对科学观点的认识高度远远不够。应该只抓重要的部分，有些内容可以不写，别人有兴趣的话会去下载论文。由此看来，我的写作功底还有待提高，文笔还有很大的提升空间。文章的发表不代表自己对科学问题理解就到位了，自己应该时刻虚心学习，不断加深对科学问题的认识，学会清楚地表达，抓住主要矛盾。诸如标点符号、格式、错字等低级的错误一定不要有。成果报道是科普性质的介绍，要讲最关键的故事，忽略不重要的细节。

随着人类社会进步和现代工业发展，人们不仅需要超高“比刚度”和“比强度”的材料，也需要“超薄超细超轻”的高性能结构。如何在工程中实现对材料和结构性能的这些极端要求，是科学技术上的巨大挑战。为了获得科学灵感，我们决定向大自然学习。自然界经过亿万年的演化，各种生物为了生存，已经进化出了适应其特定生存环境的材料和结构。经研究发现，一种叫做“阿氏菌老同穴 (*Euplectella aspergillum*)”的深海玻璃海绵的结构令人瞩目。它在海底时时刻刻抵抗着海浪的冲击，已进化出未能抵抗海底环境中各种荷载的优质材料和结构。深海玻璃海绵的点阵结构提供了科学灵感，启发我们可以通过仿生实现对材料和结构的极端要求。然而仿生的目的不只是模仿，人类应当在学习自然的基础上，超越自然。在科学理论的指导下，如何实现对这种深海玻璃海绵力学性能的超越是个科学难题。



做了仿生结构的低速冲击响应，这也得益于孙老师的指引。从我刚开展这个大课题的时候，孙老师已经告诉我，一定要研究各种荷载，各种边界条件，静态动态都要研究。还有一些反省，不管是研究过程还是写作，一定要快，

总结一下本工作从开始一直到录用的科研心得：首先，最重要的是寻找课题，这是最艰难的部分，非常幸运，能够得到孙老师交给我的这个仿生结构的课题；其次，感谢孙老师对我一直细致入微的指导，从一开始，孙老师就一直鼓励我超越自然，最后在不断的尝试下，终于达成这个目的。然后我的第二篇文章是在第一篇文章的基础上，



先下手为强，虽然两篇文章前后都录用，我的速度还是太慢了，希望师弟师妹们引以为戒，要尽快出成果。最后再次感谢整个研究过程中，孙老师对我持续的鼓舞，不管是最开始出现了失败的结果，还是后来有一些小成绩的时候，孙老师总是在鼓励我、支持我的研究，告诉我一定可以成功。能在精神上得到鼓舞往往是最重要的，这让我时刻保持动力，有信心做出成果。

最后，我要牢记孙老师归纳出的“科研十条”，时刻问自己有没有按照“科研十条”开展工作：

- 1、加强基础理论修养公式一定要自己推导，边干边学要带着问题学习及时弥补自己知识结构；
- 2、从第一原理出发要设想如果问题是你第一个研究应当怎么做；
- 3、思路开阔要有不同维度和层次的联想思维；
- 4、目光高远要敢于越过历代权威的工作努力创新；
- 5、要有的放矢抓大放小抓主要放次要集中力量解决要害的问题；
- 6、要追根求源尽力了解课题的发展历史；
- 7、要尽量多掌握科研需要的各种工具包括软件使用和实验设备使用；
- 8、要按照课题本身的逻辑发展不断提出新问题把研究推向前进；
- 9、每项研究都要有理论、数值模拟和实验的相互验证并及时总结写成论文发表；
- 10、要时时刻刻思考如何把科研成果形成核心技术转化成专利并设想可能的应用场景。



### 孙博华教授团队：

#### 恶魔铁鍍甲虫鞘翅拼图连接在拉拔过程的力学性能分析

随着人类社会的发展，人们越来越需要具有抗拉拔连接的抗拉压、高吸能的结构。比如航空发动机的叶片的连接，既要抗拉拔又要有一定的间隙，以便保持动态平衡。

为了获得科学的灵感，我们需要向大自然学习。自然界经过亿万年的演化，各种生物为了生存，已经进化出了适应其特定生存环境的材料和结构。经研究发现，生活在北美洲西部的铁鍍甲虫，具有极强的抗压能力而闻

名，它能够承受自身体重的3.9万倍的压力下存活。

铁铤甲虫结构提供了科学灵感，启发我们可以通过仿生方式对材料和结构的极端要求。然而仿生的目的不只是模仿，人类应当在学习自然的基础上，利用科学理论，去理解和利用铁铤甲虫的结构力学性能。



图1.铁铤甲虫鞘翅连接电子显微结构：资料来源Rivera, J., Hosseini, M.S., Restrepo, D. et al. Toughening mechanisms of the elytra of the diabolical ironclad beetle. Nature 586, 543 - 548 (2020).

经过研究发现，原因在于铁铤甲虫结构独特的骨骼支撑结构以及鞘翅间拼图连接。这两种特性使得在抗压情况下，能够分散绝大部分的压力，有助于整体的能量吸收。参考铁铤甲虫的特有的拼图连接方式对开发构件新的连接方式，结构型材料具有重要的意义。

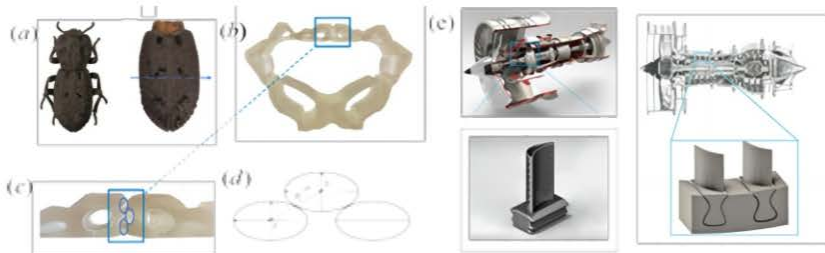


图2. (a) 铁铤甲虫 (b) 铁铤甲虫内部结构3D打印模型 (c) 铁铤甲虫鞘翅连接 (d) 铁铤甲虫拼图连接的几何特征 (e) 涡轮发动机叶片仿生构型

为此西安建筑科技大学力学技术研究院孙博华教授团队开展了铁铤甲虫鞘翅连接方式启发的关于拼图连接研究。相关工作以Bioinspiration: Pull-Out Mechanical Properties of the Jigsaw Connection of Diabolical Ironclad Beetle's Elytra为题，发表在期刊Acta Mechanica Solida Sinica上。

Published: 22 November 2022

## Bioinspiration: Pull-Out Mechanical Properties of the Jigsaw Connection of Diaboliol Ironclad Beetle's Elytra

Jie Wei &amp; Bo-Hua Sun

Acta Mechanica Solida Sinica (2022) | Cite this article

Metrics

为进一步了解铁鍬甲虫拼图连接在拉拔过程中的力学性能，通过建立理论分析模型，与实验及有限元模拟结果对比验证。考虑了数量、角度和几何特征等因素对于拼图连接力学性能的影响。

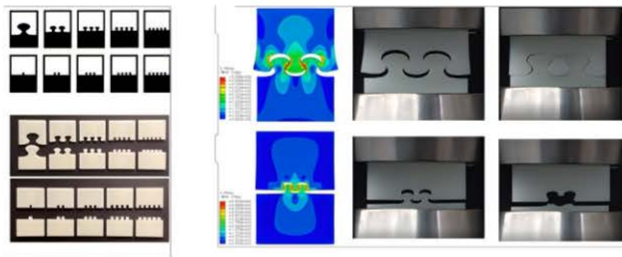


图3.恒定接触面积和相同单元尺寸下不同数量模型及模拟、试验图

在保持恒定接触面积和相同单元尺寸的两种情况下，讨论不同拼图单元数量对峰值载荷、刚度、韧性等力学性能的影响。在保持相同单元尺寸的情况下，随着数量的增加，峰值载荷、刚度、韧性等力学性能基本呈现线性增加趋势。但在相同接触面积情况下，出现相应力学性能的极值的单元数并不相同，主要原因在于单元尺寸的改变，使得更容易出现塑性变形，同时也影响了拉拔过程的能量耗散方式。

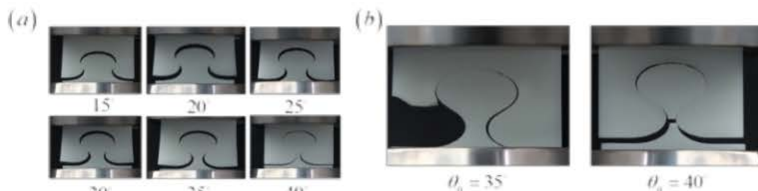


图4. (a) 不同连接角度模型试验图 (b) 连接角35°和45°模型拉拔破坏形式

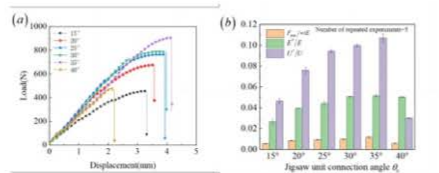


图5. (a) 不同连接角度模型试验力和位移曲线 (b) 不同连接角度力学性能对比

对于不同连接角度，随着连接角度的增大，峰值载荷，刚度、韧性也相应提高。在 $35^\circ$ 达到最大值后下降。这是由于随着连接角度的增大，单元互锁的程度加深，拉拔过程中，从接触边缘主要受力逐渐转变成单元颈部受力，颈部受拉成为主要的受力方式，颈部塑性变形增大，颈部塑性变形成为主要的能量耗散形式。

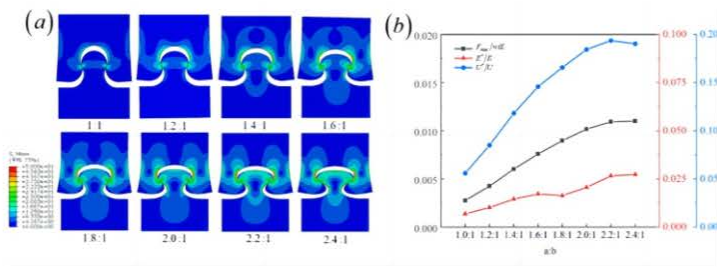
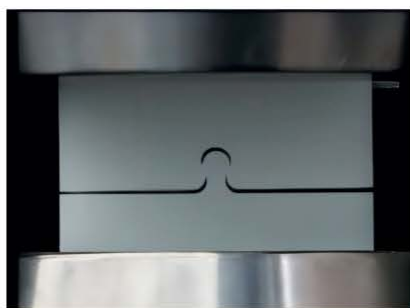


图6. 不同长短半径比模拟及力学性能对比

对于不同长短半径比，随长半轴（a）和短半轴（b）的比值的增大，峰值载荷、刚度、韧性也不断增大，在比值2.2:1时达到最大后降低。这是由于随着比值增大，形状不断变得扁平、互锁程度加深、颈部承受部分拉力，使得抗拉性能提升。而一方面随着比值持续增大，接触部位面积减少，接触部位以相互挤压为主；同时互锁使得上下部位不易分离，使得颈部受拉和凹部两端变形来抵抗受拉，成为主要能量耗散形式。



40° 连接角度拼图单元拉拔试验



圆形连接单元拉拔试验

### —科研备忘录—

“恶魔铁锭甲虫鞘翅拼图连接在拉拔过程的力学性能分析”

2020级硕士研究生魏杰

2022年即将迈入尾声，研究生生涯也进入倒计时。回顾以往时光，在孙老师和师门的帮助下得以快速成长，在学习的过程收获甚多。最为高兴的一件事当为本人的第一篇论文得已发表。回顾论文的全部过程，感触良多。特将这一段的心路历程记录下来，是对科研生涯的重要里程碑的总结，也是对将来的自己的勉励。

经过忙碌紧张的研究生入学考试，如愿的进入西安建筑科技大学理学院力学专业攻读硕士研究生，特别荣幸的成为孙老师的一名研究生。对于刚刚迈入研究生生涯的新生，对于一切充满好奇，特别是对于新的知识的学习。于本科按部就班的学习模式不同，研究生更加讲究的是自主学习。在入学前，孙老师就推荐了相关的学习资料和一系列的学术讲座，极大的充实了我的相关知识和扩宽了学术视野。孙老师期间就鼓励我们在学习上要把握一切机会，不断的提高自身的知识水平。这无疑为即将迈入研究生生涯的我指明了道路，使得在学习过程目标更加明确。期间特别感谢刘哲师兄在入学前就给予相关科研软件的学习指导，让我从中受益甚多。

进入学校学习后，孙老师就为我们新生举办了隆重的新生见面会，从中感受到了力学技术研究院的关怀和温暖。也是从一开始，孙老师就为我们确立了独立自主，互帮互助，不断进取的学习思想。不断鼓励我们要深入研究前沿科学问题。在日常的学习之余，得益于孙老师给我们分享的最新的前沿研究成果，使得在学习过程，明确了自身的科研兴趣和方向。其中特别是一篇名为Toughening mechanisms of the elytra of the diabolical ironclad beetle的文章引起了我的注意，里面关于铁鍮甲虫的优越的抗压性能让人产生极大的兴趣。为了能进一步了解铁鍮甲虫特有的抗压能力，孙老师建议我们研究生一年级新生组成科研学习小组，在宋广凯师兄的帮助下进行相关的学习。在师兄的指导下，科研小组对铁甲虫的相关文献进行了翻译学习，并为后续的科研进行了建模软件的学习。对于刚迈入科研大门的我们，铁鍮甲虫无疑是个很好的科研项目，其中关于自然界神奇的生物结构让人充满好奇，驱使我们以极大的热情投入铁鍮甲虫的科研项目之中去。

随着对于铁鍮甲虫项目的深入学习，遇到的难题也随之而至。科研小组面临着基础理论知识不扎实，科研学习软件掌握的不熟悉，没有明确的研

究思路。这些问题让我们整个科研小组的学习陷入的停滞之中。初次面临这些问题让我们变得有些手足无措。在研究院的例会交流会中，我们和孙老师汇报了相关的科研进度和相关问题。孙老师对我们的科研进度表示了肯定，这无疑是对当时的我们极大的鼓励。对于科研过程中所遇到的问题，孙老师鼓励我们说：遇到困难是正常的，科研的道路不可能是一帆风顺。遇到问题需要用极大的耐心，热情去面对。不断探索学习。总有一天可以达成目标。针对科研所遇到的问题，孙老师建议我们对薄弱的环节进行补充学习，在科研实战中不断提高自己。经过这一次的交流，使我们有了更多的信心去面对后面的挑战，在实战过程中，让自身的科研水平得到了极大的提升。在后面的科研小组学习中，我们按照孙老师的建议不断学习充实个人的知识理论基础，加强科研软件的学习和运用。将知识运用到具体的科研实践之中去。

但随着研究生一年级第二学期课程的逐渐加多，以及后续科研的需要。单个铁锭甲虫课题已经满足不了多人的科研的需求，每个人都需要各自的课题进行新的学习。为了大家能更好的进行后续的科研，和科研方向的多样化。为了极大的激发每个人的科研热情，孙老师以个人兴趣为导向，让每个人自主选择个人感兴趣的科研课题。由此，铁锭甲虫的科研课题也将由一个人全程负责。我基于对这个课题的个人兴趣，以及对仿生方向的向往。毅然选择接下这个课题，作为我研究生生涯的主要研究方向。对此，孙老师给予我很大的勇气，鼓励我从中学习仿生的灵感，直至找到超越自然的仿生新构型。

作为研究生一年级的新生，第一次独自面对一个科研课题，无疑是具有极大压力的。一个新生科研小\*\*\*\*\*对Nature顶刊上的研究文章，刚开始显得有些力不从心，没有实际科研经历的我又一次陷入了迷茫之中。这时孙老师提醒我从原文入手，先掌握文章内容，了解文章的研究思路，最好能重现文章的相关成果。于是我沿着这个思路将文章进行了详细的学习和了解，了解相关背景知识。通过阅读文章，总体掌握了文章的着重点，同时也学习了Abaqus和Catia等科研软件。根据了自己的研究思路，制定了相关的研究计划。但由于研究生一年级课程占据了学习的大部分时间，无法全身心的投



入课题的研究之中。在研一第二学期结束时，虽然取得了一部分的进展，但对于完成一个课题显然是不够的。特别是在学习过程中缺乏严谨的逻辑性，科学性。研究思路存在偏差、一开始制定的研究计划缺乏可行性，但当时没有意识到相关问题，导致在原来的问题上停滞不前，使得在这个阶段白白浪费很多时间，一时间陷入了迷茫之中。

在研究生一年级结束后，为了科研试验方便，更好的和老师进行交流。在我完成草堂的课程学习后，就搬到了雁塔校区。进入雁塔校区后，有了更多的机会和老师交流。也幸于得益于这个决定，使得从科研的歧路中走出来。在和孙老师和师兄们的交流过程中，明白了自身所陷入的误区。在和孙老师多次交流后，明白了研究思路的不对，研究方法也需要进一步调整优化。孙老师指出盲目的进行模仿是没有用的，但复现结果是学习文章的一个很好方法，能够有效的帮助直接理解。于是按照孙老师的建议，我放弃了之前将铁甲虫结构进行简化的错误想法。从头开始，将铁甲虫的内部结构进行等比例还原，从内部结构入手模拟去了解铁甲虫的奥秘之处。但在实际过程中遇到了不小的挑战。第一个面临的挑战在于铁甲虫的模型没有可以参考的参数。文章能出现的只有几张图片，文章附件也没有提供相应的资料，这无疑给复现文章结果造成了巨大的挑战。为了解决这条拦路虎，我不断和孙老师和师兄们进行讨教，转换思路。在联系原文作者无果的情况下，孙老师建议从原有资料入手，自力更生。于是我将文章关于铁甲虫模型的有关图片进行参数化采点，得到了铁甲虫的模型参数。导入建模软件之中，重新还原了铁甲虫的原有结构，这无疑是对我极大的鼓励。在后续的研究之中，我按照原文相关细节进行了模拟。但在模拟过程之中，又出现了新的问题。经过多次的模拟调整和参数改变，却迟迟无法得到文章理想的结果，这给我带了很大的困惑。在自己埋头模拟计算几周还是无果后，我将这一情况反映给了孙老师。孙老师听完我的困惑之后，指明我从试验入手，有时候模拟无法准确模拟现实的实际情况。可以借助实验室所具备的条件，将模型进行3D打印试验。这样才能准确了解实际情况。于是我借助3D打印机将模型等比例放大和实体化，进行了抗压试验。从结果之中，得到了和原文趋势相同的力和位移曲线。重复观察试验视频，发现模拟和原文结果产生差异的原因在于边

界条件和载荷施加部位不对。这一曲折的过程是对我极大的教育，明白了模拟不能代表一切，需要有实验进行验证对比。

在后续的工作中，我就针对铁锭甲虫的三种不同的内部结构进行了分析，明白了相关的原理。这对我理解文章具有极大的帮助。但在同时也产生了新的问题，在于如何从学习自然迈向超越自然的。这是一个让我苦恼许久的问题。为此，我查阅大量的文献资料，学习相关的工程背景，也最终也没有想到合适的思路。带着这一困扰，我主动与孙老师进行了学术交流。孙老师鼓励我要从不同的角度看待一个问题，如果你选择的这个研究方向在努力许久后没有结果，要及时总计反省。重新出发，从新的角度看待问题。我深受孙老师的启发，重新学习文章。在于在铁甲虫鞘翅独特的连接方式找到了灵感。带着新的研究思路对铁甲虫的鞘翅进行了研究。

在2021年快接近尾声时，我顺利完成铁甲虫拼图单元的有关模拟，但经历过之前的教训，让我深刻明白了模拟必须加以试验，才能验证结果的正确性。于是我联系相关3D打印厂家，进行模型的协调打印。在完成相关试验之后，也着手进行试验数据的处理。但突然其来的疫情让一切计划被打乱，西安疫情加重，为了更好的控制疫情，响应防疫政策。每个学生将在宿舍，最大限度的减少人员的流动。我们将学习的相关资料转移到了宿舍。宿舍成为了科研的第二战场。虽然疫情让我们不能面对面交流，但是阻挡不了学习的热情。在疫情防控期间，孙老师为了照顾我们的身心健康和学习进展，定期的为我们开展交流会，缓解了因为疫情所带来的焦虑和不安。在疫情防控期间，通过和孙老师的视频交流，科研进度没有因为疫情而耽误，一切稳步有序的持续推进中。最终在2022年1月左右完成了我的论文初稿。这对我是里程碑的胜利，也是我人生道路上的一个重要节点。

经过国家和全体人民的不懈努力，西安的疫情逐渐的稳定控制。我们作为无疫情发生的高校也允许返乡。在回家前，孙老师特意嘱咐我们在路上要注意安全，到家后要及时反馈到研究院。疫情丝毫隔绝不了人与人之间的关怀，温暖在人与人之间传递。

虽然放寒假在家，但科研不能因为放假而停息。在寒假期间，通过定期的研究生交流会进行成果进度汇报，也将近期所遇到的问题及时的与大家





交流。这样随着交流会的定期召开，和孙老师的不断交流。我的论文得以进一步完善，相关内容得以优化。在经历过一个寒假之后，论文也完成几轮修改，也到了返校时刻了。在返校之际，孙老师就叮嘱要将论文及时翻译进行投稿，把握住研究生的宝贵时间，争取创造更多的科研成果。通过不懈的努力，终于将人生的第一篇英文论文完成，当时的喜悦难以言表。为了让英文论文能够更好准确表达作者意思以及方便读者阅读，孙老师特意资助我们进行论文润色，使得论文质量得到进一步提高。

在顺利完成前几个阶段之后，就到了投稿的最终环节。对于投稿，很多细节也是懵懂无知。在孙老师的师兄们的帮助下，完成了Acta Mechanica Sinica的投稿。这是我人生的第一次完成投稿，意义重大。但一篇文章到发表，道路注定是充满曲折的。在投稿一个月后，被期刊告知内容不符合期刊要求，论文被退稿。这对当时的我是巨大的打击，学习的热情顿时被浇灭，开始怀疑自己文章是否具有科研性。就在我陷入低谷之时，孙老师及时出现并安慰我。论文被退稿是很正常的时间，不能因为一次的失败而泄气。要坚持不懈，相信自己，最终一定能出成果。于是在孙老师的鼓励和建议下，我进行了论文的第二次投稿。将论文投稿到了Acta Mechanica Solida Sinica上。在完成投稿之后，孙老师督促我们不能满足于现状，要努力创造出更多的科研成果。我又投入了新的课题之中。

在等待漫长的审稿周期之后，终于在2022年八月收到了期刊的审稿意见。期刊反馈的意见很好，孙老师提醒要争分夺秒的进行修改，将论文完善，将有很大的希望录取。于是我按照审稿意见进行认真的修改，在提交最终稿件之前。孙老师对我稿件进行了认真的审阅，提出了很多建设性的意见。使得我稿件能够进一步优化。经过努力，2022年9月末将论文稿件重新提交到期刊。后续正如孙老师所料，稿件被录取。回顾第一次的科研过程，我感触良多，其中有纠结和苦恼，也有近乎绝望低谷，但只要是峰回路转便是收获成果时的激动与喜悦。论文的顺利发表，离不开孙老师的鼎力支持与帮助，离不开研究院老师与同学们的协助。在最后，我要再次感谢孙老师给予在论文选题、论文创新以及论文撰写等方面的指导与帮助，正是孙老师对我的论文严格要求并给予了许多的宝贵的建议，才使我的论文得到了不断的完

善，最终于录用。

在论文正式发表了之后，孙老师建议我对该研究成果写一篇报道总结。于是我就对该研究内容进行了整合和写作。当我完成论文的报道的初稿后，在孙老师的提醒下发现新闻报道存在问题，缺乏相关的研究背景，同时也缺失报道的科普性和故事性。对论文的研究意义和应用方向没有进行更加深入的探讨。于是孙老师对论文的报道进行重新的梳理和写作。看到孙老师在论文报道中写道：早期人类为了改善自己的生存条件，最早是利用天然材料搭建简单的草棚茅舍，遮风避雨改善局部环境，抵抗恶劣的自然条件。著名力学家北京大学武际可教授在其博文中曾说：“结构工程是人类文明的脊梁”。随着人类文明的发展，从早期的现场制造到预制件的组装，人造物越来越复杂。不过，无论多么复杂的结构，都可以看成是构件通过特定方式连接起来的组合体。好的结构不仅要具有好的主结构，也需要有好的连接。为了结构具有强大的生存能力，人们越来越需要具有抗拉拔连接的高吸能组合结构。比如航空发动机的叶片的固定，不能使用完全的刚性连接，而是需要一种特殊的拼图连接方式。既要抗拉拔又要容许有一定的工作间隙，以便可以通过自我调节到达动态平衡，减小发动机的振动。为了获得科学的灵感，我们需要向大自然学习。自然界经过亿万年的演化，各种生物为了生存，已经进化出了适应其特定生存环境的材料和结构。让我深刻重新认识了相关的背景和课题意义所在，使我更加深刻了解了文章的意义所在，也明确了未来的研究思路。在我受到老师的教导后，心里极为震撼。孙老师不仅对课题研究方向的准确把握，更在课题研究的背景意义有深入的研究。孙老师在研究前沿上的认识让我深深折服，同时明白了做课题一定要深入研究背景和应用，立足高点，开扩研究领域。在写作当中，孙老师的介绍让我对课题的研究历史有了更深层次的理解，并且让我明白对一个课题的研究要站在更高的层次上，要时刻保持一种大局观，将该课题的研究历史清晰地以故事的形式讲出来，才是对这个问题的真正的理解。

在未来的学习过程中，我将谨记这次的学习历程。其中宝贵的经验和孙老师的教导将是对我未来道路上宝贵的财富。

以上内容均为本人此次科研经历的真实记录，包含了我从选题到独立

撰稿论文到论文录用的全部内容，希望研究院同学可以加以借鉴。

## ● 科研项目

力学技术研究院与清华大学合作科研项目（150万元）

### ■ IMT与清华大学合作的科研项目启动会成功举办 ■

2022年11月14日16:00，由西安建筑科技大学力学技术研究院与清华大学机械系维建斌院士、马丽然副教授合作的科研项目启动会在力学技术研究院线下和腾讯会议线上同时举行。西安建筑科技大学力学技术研究院全体成员及清华大学博士研究生朱漫福、西安建筑科技大学副教授陈力、硕士研究生张朝辉、硕士研究生胡俊参加了本次项目启动会。南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授线上主持了本次会议。



会议合影

首先，孙院士邀请清华大学博士研究生朱漫福介绍了项目的相关资料。随后，项目组成员就一些感兴趣的问题与朱漫福进行了热烈的讨论。讨论结束后，孙院士特别感谢维建斌院士、马丽然副教授的大力支持，希望以此项目合作为良好开端，进一步加强与清华大学的合作，为国家需求做出自己的贡献。

在本项目启动会的闭门环节，为了保证合作项目的顺利进行，孙院士分别从项目分工、日常管理、项目进度、研究总方针、目标成果、后勤保障等方面做出了详细的部署。项目技术负责人陈力副教授向大家介绍了近期的相关工作，并与大家讨论了后续的工作安排。



会议掠影

最后，孙院士强调指出，能够有机会参与国家需求的研究工作既是一种挑战也是很好的学习机会。要求项目组成员全力以赴，高质量高水平按时完成项目。同时也希望围绕本项目，不断深入学习，提高自身的整体科研水平，深入挖掘并寻找适合自己的科研方向，产出更多的学术科研成果。

### IMT与清华大学合作的项目学习报告会成功举办

由西安建筑科技大学力学技术研究院与清华大学机械系维建斌院士、马丽然副教授合作的科研项目已正式启动。针对此项目，孙博华院士主讲的项目学习报告会于2022年11月18日16:00在力学技术研究院线下和线上腾讯会议同时举行。项目组全体成员参加了本次项目学习报告会。



会议线上合影

首先，孙院士就项目的一些知识和资料进行了分享和介绍，期间还分享了相关视频以便大家能够进一步理解。孙院士要求我们一定要理解清楚概念，这对项目的推动至关重要。陈力副教授表示孙院士讲解的非常精彩，大

家也都纷纷表示对项目有了更深层次的理解。

随后，孙院士就项目的分工、日常管理、工作进度等又做了详细的安排，并表示我们需要每天都有进步，有进度。接着，陈力副教授和2020级博士研究生刘哲也向孙院士汇报了这一周项目的具体工作进展和工作安排，孙院士对此表示了肯定，并鼓励大家要不畏困难，迎难而上。

最后，孙院士强调，参与项目的过程会让我们每个人都从中收获很多东西，与此同时，我们也不能懈怠，要保证每天都有进展，高质量高水平的按时完成项目。



线下会议掠影

## ■ IMT与清华大学合作项目学习报告会暨项目汇报会成功举办 ■

2022年12月2日14:00，IMT与清华大学合作项目学习报告会暨项目汇报会在力学技术研究院线下成功举办，本次报告会由南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授线上主持并做报告，建科学院陈力副教授、项目组全体成员及力学技术研究院全体研究生参加了本次合作项目报告会。

首先，孙博华院士对上次报告进行了回顾，之后依次介绍了推进器的减阻和降噪以及基于专利的模型设想。紧接着陈力副教授依据相关项目经验对本项目CFD计算量估计进行了汇报，依据估计计算量对项目工作时间做出了初步安排安排。随后2020级博士研究生刘哲对目前项目组的工作进展做出了汇报，详细拟定了项目组成员的工作任务和项目整体推进时间。最后，秘

书老师阎文对项目成员的补助发放进行了汇报，研究生纷纷表示非常荣幸能够参加这个项目，一定会把握这个难得的机会，齐心协力，把项目每一项任务落到实处，保质保量完成各项工作。



会议线上合影

刘哲表示：“非常幸运能够有机会参加这个科研项目，非常感谢孙老师的信任让我带领其他研究生同学进行项目研究，最重要的是孙老师和陈老师给予的支持和帮助，给我信心能够顺利推进项目。”

陈力老师强调：“我们这个项目时间非常紧凑，作为一个项目团队，每位成员应该及时分享经验，相互交流解决问题，这样才能把我们的效率提升上去，希望各位加油！”

最后，孙院士强调，参与项目的过程会让我们每个人都从中收获很多东西，与此同时，我们要相信自己，行动起来，由简到难，保持信心，高质量高水平的按时完成项目。



线下会议掠影

## IMT与清华大学合作项目学习报告会暨项目汇报会成功举办

2022年12月17日15:30, IMT与清华大学合作项目学习报告会暨项目汇报会在腾讯会议线上成功举办, 本次报告会由南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授线上主持并做报告, 建科学院陈力副教授、项目组全体同学参加了本次合作项目报告会。

首先, 孙博华院士对上次报告进行了回顾, 然后作了题为“Drag (拖拽力)”的报告, 讲解了不同形状物体在来流空气中减阻的原理并作出了基于专利的模型设想。紧接着陈力副教授表示: 同学们还是要掌握好一些减阻的知识并把目前验证工作做好, 这样才有利于推进以后的模型优化工作。随后, 2020级博士研究生刘哲针对孙博华院士的报告提出了相关问题, 并进行了深入探讨, 然后对项目组的工作进展作出了汇报。

最后, 孙院士强调: 参与项目的过程中要加强理论知识的学习, 同时理论与实践相结合, 出现问题要及时向老师寻求指导。



会议掠影

## 研究生培养

## • 论文发表

作者	题目	期刊
LIU Z SHAO W Q SUN Y B. H. Sun*	Scaling law of the one-direction flow characteristics of symmetric Tesla valve	Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics
LI M B. H. Sun*	Post-buckling behaviors of thin-film soft-substrate bilayers with finite-thickness substrate	Scientific Reports
DAI Y F B. H. Sun* ZHANG Y Li X	Morphological transformation of arched ribbon driven by torsion	Thin-Walled Structures
P. Y. Chen B. H. Sun*	Simulation of crooked plate energy absorption structure under impact	Acta Mechanica Sinica
Guang-Kai Song Bo-Hua Sun*	Nonlinear investigation of Gol'denveizer's problem of a circular and elliptic elastic torus	Thin-Walled Structures
Zhe Liu Zexiong Yu Leilei Wang Li Chen Haihang Cui* Bohua Sun*	Flow mechanism of Gaussian light-induced vortex motion inside a nanofluid droplet	International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow





作者	题目	期刊
Yi Zhang Xiang Li Yuanfan Dai Bo-Hua Sun*	On the number of fractured segments of spaghetti breaking dynamics	Theoretical and Applied Mechanics Letters
B. H. Sun X.L. Guo	Clamping force of a multilayered cylindrical clasper with internal friction	Theoretical and Applied Mechanics Letters
孙博华, 宋广凯 李权威, 李翔 张一, 戴远帆 陈品元, 李蒙 赵良杰, 刘轩廷 郭晓琳, 魏杰 刘哲	细长直管支架的横向抗震构造和参数选取研究	工程力学
F. Wu B.H. Sun*	Study on Functional Mechanical Performance of Array Structures Inspired by Cuttlebone	Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials
Zhe Liu Hao Wei, Li Chen Haihang Cui* Bohua Sun*	Light-driven mixing strategy inside a nanofluid droplet by asymmetrical Marangoni flow	International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow
X.L.Guo B.H. Sun*	Assembly and disassembly mechanics of a spherical snap fit	Theoretical and Applied Mechanics Letters
Q.W. Li Bohua Sun*	Optimization of a lattice structure inspired by glass sponge	Bioinspiration & Biomimetics
B.H. Sun X.L.Guo	Aerodynamic shape and drag scaling law of a flexible fibre in a flowing medium	Theoretical and Applied Mechanics Letters

作者	题目	期刊
Q.W. Li B. H. Sun*	Numerical analysis of low-speed impact response of sandwich panels with bio-inspired diagonal-enhanced square honeycomb core	International Journal of Impact Engineering
Jie We Bo-Hua Sun*	Bioinspiration: Pull-out Mechanical Properties of the Jigsaw Connection of Diabolical Ironclad Beetle's Elytra.	Acta Mechanica Solid Sinica
Bo-Hua Sun Wen Dang Xiao-Lin Guo	Interlayer Slidable Friction Structures on Soft-Substrate	ASME Journal of Applied Mechanics
Bohua Sun Wen Dang Xuanning Liu Xiaolin Guo	Bending Response and Energy Dissipation of Interlayer Slidable Friction Booklike-Plates	Acta Mechanica Sinica

## ● 学术交流

### 2022年IMT新年学术工作座谈会

2022年1月1日-4日，西安建筑科技大学力学技术研究院“2022年IMT学术工作座谈会”在腾讯会议线上连续举行了4次。西安建筑科技大学力学技术研究院全体成员参加了座谈会。南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授主持了学术座谈会。

4天的座谈会，根据不同年级研究生的科研进度和特点，孙院士分别与不同年级的研究生进行了细致的交流座谈。2022年1月1日：2019级博士研究生宋广凯、李权威；2022年1月2日：2019级硕士研究生刘轩庭、戴远帆、陈品元、李翔和张一；2022年1月3日：2020级博士研究生刘哲、李蒙和张振子；2022年1月4日：2021级博士研究生赵良杰和2020级硕士研究生郭晓琳、党文、魏杰、吴凡、孙勇、邵文琦、黄英。

座谈会上孙院士与大家交流了科研心得，希望大家在做科研的全过程始终要注意“科研十条”：

1.遇到任何问题，要设想如果你是第一个研究这个问题的应当怎么做。

2.从第一原理思维出发，凡事先从本质开始思考，然后再从本质一层层往前推进。

3.要追根求源，尽力了解课题的发展历史；目光高远，要敢于越过历代权威的工作努力创新。

4.思路开阔，要有不同维度和层次的联想思维。

5.要有的放矢，抓大放小，抓主要放次要，集中力量解决要害的问题。

6.加强基础理论修养，公式一定要自己推导，边干边学，要带着问题学习，及时优化自己知识结构。

7.要尽量多掌握科研需要的各种工具，包括软件使用和实验设备使用。

8.要按照课题本身的逻辑发展不断发现并提出新问题，把研究工作逐步推向更高层次。

9.每项研究都要有理论、数值模拟和实验的相互验证，并及时总结写成论文发表。

10.要时时刻刻思考如何把科研成果形成核心技术，转化成专利并设想可能的应用场景。

座谈会采用自由交流的形式进行，研究生各自查找自己的学术不足和短板，都表示继续努力学习，争取尽快做出成绩。

## IMT周例会-2022年1月5日

2021年1月5日16:00，由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“IMT周例会”在腾讯会议线上举行。西安建筑科技大学力学技术研究院全体成员参加了本周例会。南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授主持了本次汇报交流。

会议议程主要分为以下两部分：IMT行政工作汇报、研究生科研交流。



会议掠影

报告第一部分由阎文老师和周宏伟老师汇报了近期行政工作，孙院士对院办的工作表示了肯定。

报告第二部分，由研究生们依次汇报了一周内的科研进展，并得到了孙院士的肯定。孙院士表示，2019级硕士研究生毕业在即，需要将三年的研究成果、学术思想完全呈现在学位论文中，给自身三年学术生涯画上一个圆满的句号。最后，孙院士希望大家在保证个人身体健康的同时，更需将心思沉下来，踏踏实实做好科研工作，在新的一年里呈现新气象、获得新成果。

## IMT关于研究生合作发展视频会议

为了营造IMT互帮互助、合作共赢的学习氛围，建立发挥所长、共同攻坚克难的学术环境，孙博华院士以科研小组为单位，召开了IMT关于研究生合作发展视频会议。

2022年1月12日上午8:00，孙院士与19级博士研究生李权威和硕士研究生陈品元召开了小组会议。随后，于2022年1月14日晚9:00，孙院士与博士研究生宋广凯、刘哲、李蒙、张振子、赵良杰，硕士研究生刘轩廷、戴远帆、李翔、张一、郭晓琳召开了视频会议。



会议掠影

该会议鼓励有着相近研究背景的学生们以小组为单位相互合作，分享学习心得，充分利用已有的科研技能，用以快速地推进研究进展。首先，孙院士表示这两次会议将成立针对玻璃海绵抗冲击问题、编制结构问题构建科研团队，进行快速、高效的学术攻坚。其次，19级硕士研究生们需在加速完成学位论文的同时，快速学习新课题内容，并积极投身研究，达到科研、毕业两不误的目的。最后研究生们纷纷表示，面对一个全新的课题研究能很大程度上拓宽自身的学术视野，增强自身的科研技能，构建团结共赢的合作精神，这将对未来的学术、工作生涯有很大的裨益。

## IMT周例会-2022年1月12日

2022年1月12日16:00，由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“IMT周例会”在腾讯会议线上举行。西安建筑科技大学力学技术研究院全体成员参加了本周例会。南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授主持了本次汇报交流。



会议掠影

会议议程主要分为以下两部分：IMT行政工作汇报、研究生科研交流。

报告第一部分由阎文老师和周宏伟老师汇报了近期行政工作，孙院士对院办的工作表示了肯定。

报告第二部分，由研究生们依次汇报了一周内的科研进展。孙院士表示：虽然受疫情影响，大家能在现有的科研资源情况下，取得了很大的科研进展。希望大家能在原有基础上再接再厉，做出更多的科研成果。此外，孙院士强调大家在科研过程中，要保持学术的纯洁性，坚决杜绝学术抄袭，剽窃事情等不端行为的发生。同时保持科研的紧迫性，在一定时间内，完成相应的科学研究，20级硕士研究生需按时完成开题报告内容，19级硕士研究生

需按时完成毕业大论文内容。最后，孙院士希望大家：在现有情况下，要继续保持积极向上的科研态度，隔离但不停止学习，不断扩充自身的学术储备。

## IMT周例会-2022年1月19日

2022年1月19日16:00，由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“IMT周例会”在腾讯会议线上举行。西安建筑科技大学力学技术研究院全体成员参加了本周例会。南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授主持了本次汇报交流。

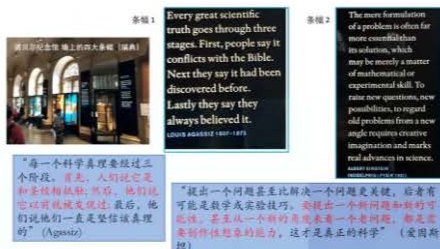


会议掠影

会议议程主要分为以下两部分：IMT行政工作汇报、研究生科研交流。

报告第一部分，阎文老师和周宏伟老师分别汇报了近期行政工作，并介绍了学校的假期安排。孙院士肯定了院办的近期工作，并叮嘱研究生们按照学校要求安全返家。

报告第二部分，研究生们依次汇报了这一周内的科研进展。孙院士表示：虽然受疫情影响，不能在办公区进行学习，但是希望大家能在原有基础上更加专注，再接再厉，做出更多的科研成果。此外，孙院士叮嘱研究生们在成果充足的情况下，可以边进行有限元模拟边进行论文写作，尽快推进研究工作。最后，孙院士引用爱因斯坦的观点勉励研究生们，要善于发现科学问题，并努力去解决这个问题。



名人名言

## IMT周例会-2022年1月26日

2022年1月26日16:00, 由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“IMT周例会”在腾讯会议线上举行。西安建筑科技大学力学技术研究院全体成员参加了本周例会。南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授主持了本次汇报交流。



会议掠影

会议议程主要分为以下三部分：IMT行政工作汇报、研究生科研交流、IMT新年歌会。

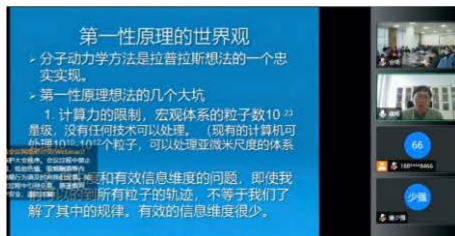
报告第一部分由阎文老师和周宏伟老师汇报了近期行政工作，孙院士对院办的工作表示了肯定。

报告第二部分，由研究生们依次汇报了一周内的科研进展。同时也分享了疫情下各自的返家经历,虽然不易，但都顺利返家。孙院士表示：很高兴大家顺利返家，并且希望大家在假期期间也要继续努力，提升自己，期待假期结束后与大家相见。

报告第三部分，以新年歌会的形式结束了会议，迎接新年的到来。最后，孙院士祝大家新年快乐，鼓励大家全面发展，未来越飞越高。

## 力学技术研究院师生参加北京大学的线上课程

2022年2月17日-18日，力学技术研究院师生参加了名为“跨尺度计算理论与实践”的线上课程。该课程是跨流域空气动力学重点实验室主办，北京大学名师团队专门设计的2022年首期精品课程。孙博华教授叮嘱学生要完整观看，做好笔记。



在线课程掠影

17日上午，第一个授课人康炜副教授讲了“引论和准备知识”。在一开始，康老师就提纲挈领地指出第一性原理的世界观和几个常见误区，而后通过理想气体的例子向我们说明了宏观规律的信息维度。康老师指出，时间尺度的分离是绝热近似，空间尺度的分离是屏蔽效应，并且介绍了粒子轨迹和场的相互关系。最后对经典的布朗运动进行建模，生动地体现了多尺度基本概念。

第二个授课人是陈默涵助理教授，他的题目是“密度泛函方法”。陈老师的讲座分为三部分：用量子力学描述电子、密度泛函理论基础和密度泛函算法和软件。陈老师首先介绍了密度泛函的概念和理论背景，然后说明了量子力学五大公设。用氢分子结合能的多电子波函数描述方法来向听众说明多电子系统应如何描述，并且引入了波恩-奥本海默近似和Hartree近似。最后向大家介绍了DFT软件ABACUS。

17日下午，康炜副教授做了题目为“分子动力学方法及其多尺度拓展”的讲座。分子动力学方法主要有：Verlet算法、粒子间的相互作用势、分子动力学和流体力学的连接（纳米尺度的流体力学）和冲击波界面的非平衡效应。

第三个授课人唐少强教授作了“固体多尺度方法例说”的讲座。主要内容包括：两类多尺度问题，并发多尺度方法中的数值均匀化问题和交互多尺度方法。讲解了一维和高维问题，介绍了碳纤维复合材料的例子。

18日上午，由陈默涵助理教授授课，题目是“人工智能在力场生成和化学反应中的应用”。主要内容包括人工智能简介、机器学习与分子模拟、从描述子到总能量的深度学习、主动学习方法生成势函数和应用举例。

第四个授课人是赵耀民助理教授，授课题目为“湍流数值模拟与机器学习建模”。赵老师首先介绍了自己的求学经历和研究方向，然后从湍流多尺度与数值模拟方法、机器学习辅助湍流建模和机器学习方法在流体力学中的应用三



在线课程掠影



方面展开讲解。赵老师向大家讲明了湍流的概念，介绍了多种计算模型，并且提出了主要挑战及目标。

18日下午，迎来了第五个授课人袁子峰助理教授，主讲题目是“长程关联的处理与复合材料多尺度计算”。袁老师在作了简要的自我介绍后，就开始了正式地讲课。本堂课的主要内容有研究背景、基于渐进展开的多尺度方法、工程应用举例、从多尺度方法到工业软件和总结。

经过为期两天的课程的学习，我院师生开拓了眼界，积累了知识。各位青年才俊不仅掌握了经典的理论，而且能与时俱进，结合现代热门的计算机技术来为自己的课题服务，非常值得我们学习。

## IMT周例会-2022年3月16日

2022年3月16日14:00，由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“IMT周例会”在腾讯会议线上举行。西安建筑科技大学力学技术研究院全体成员参加了本周例会。南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授主持了本次汇报交流。



会议掠影

会议初始，孙院士介绍了研究院的科研最新成果，2022年以来力学技术研究院共有三篇文章发表，分别是B.H. Sun, Small symmetrical deformation and stress analysis of catenary shells of revolution, *Acta Mech. Sin.*, Vol. 38, 421425 (2022); P.Y Chen and B.H. Sun, Simulation of crooked plate energy absorption structure under impact, *Acta Mech. Sin.*, Vol. 38, 521429 (2022); M. Li and B.H. Sun, Postbuckling behaviors of thinfilm softsubstrate bilayers with finitethickness substrate, *Scientific Reports*(2022) 12:4074。孙院士鼓励同学们再接再厉，争取获得更多的科研成果。

报告第二部分，孙院士祝贺了博士研究生李蒙近期在科研论文方面取得的成果，并为博士研究生李蒙颁发了荣誉证书，并合影留念。论文信息如下：

Li, M., Sun, B. Post-buckling behaviors of thin-film soft-substrate bilayers with finite-thickness substrate. *Sci Rep* 12, 4074 (2022).



颁发论文奖励掠影

报告第三部分，由研究生们依次分享了这个月的科研进展，孙院士针对每个研究生的课题提出了中肯的意见，并勉励研究生再接再厉，争取早出成果。

报告第四部分，研究生们分享了近期开题与预答辩的感悟和学术心得，孙老师进行了总结概括。

最后，孙老师引用张载的“横渠四句”——“为天地立心，为生民立命，为往圣继绝学，为万世开太平”结束本次会议。

## IMT研究生科研汇报讨论会-2022年4月8日

2022年4月8日10:30，由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“IMT研究生科研汇报讨论会”在力学技术研究院线下举行。本次会议的汇报人为西安建筑科技大学力学技术研究院全体成员。南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授参加了本次汇报交流。

会议由IMT秘书阎文老师主持，会议议程主要分为以下几个部分：IMT行政工作汇报、科研十条介绍、研究生科研进展汇报。



会议掠影

会议开始，首先由阎文老师和周宏伟老师汇报了近期的行政工作以及实验设备的购买情况。孙院士肯定了院办的工作，并感谢院办为大家提供了专业的行政支撑。

其次，孙院士结合自身科研经验总结出科研十条：

1、遇到任何问题，要设想如果你是第一个研究这个问题的应当怎么做。

2、从第一原理思维出发，凡事先从本质开始思考，然后再从本质一层层往前推进。

3、要追根求源，尽力了解课题的发展历史；目光高远，要敢于越过历代权威的工作努力创新。

4、思路开阔，要有不同维度和层次的联想思维。

5、要有的放矢，抓大放小，抓主要放次要，集中力量解决要害的问题。

6、加强基础理论修养，公式一定要自己推导，边干边学，要带着问题学习，及时优化自己知识结构。

7、要尽量多掌握科研需要的各种工具，包括软件使用和实验设备使用。

8、要按照课题本身的逻辑发展不断发现并提出新问题，把研究工作逐步推向更高层次。

9、每项研究都要有理论、数值模拟和实验的相互验证，并及时总结写成论文发表。

10、要时时刻刻思考如何把科研成果形成核心技术，转化成专利并设想可能的应用场景。

接下来，孙院士对IMT2019级硕士生预答辩与2020级硕士生开题工作进行了部署安排。孙院士强调要明确学校规定，充分做好准备，以最饱满的姿态迎接学位的申请与考核。

随后，阎文老师与周宏伟老师就硕士研究生的预答辩和开题等事项做了详细的介绍。孙院士肯定了院办的近期工作，并叮嘱研究生们认真对待。

会议最后，孙院士表示疫情期间，请大家注意身体，专心于科研工作，争取获得更多的科研成果。

## IMT周例会-2022年3月25日

2022年3月25日9:30，由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“IMT周例会”在腾讯会议线上举行。西安建筑科技大学力学技术研究院全体成员参加了本周例会。南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授主持了本次汇报交流。



会议掠影

会议议题分为两部分，第一部分2019级硕士研究生向孙院士汇报了预答辩评委老师给出的意见，孙老师根据不同学生不同的情况，分别作出详细指导；第二部分2020级硕士研究生汇报了开题答辩中评委老师给出的意见，孙老师给出了针对性的指导。接下来，2019级博士研究生对目前的研究近况进行了简要汇报。

会议最后，孙院士表示，随着疫情防控趋势转好，希望早日能够与大家见面，鼓励大家专心于科研工作，争取获得更多的科研成果，有问题随时交流。

## 一种夹层结构讨论会

2022年3月31日20:30和4月8日21:30,由西安建筑科技大学力学技术研究院开展的“一种夹层结构的学术讨论会”在腾讯会议平台先后成功举办,会议由南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授主持,IMT2019级硕士研究生刘轩廷、2020级硕士研究生党文、郭晓琳参加了本次学术讨论会。

在讨论会上孙院士从该夹层结构的力学机理出发,为大家细致讲解了该结构的相关理论知识,帮助大家对其有了更深刻的理解。随后大家就该结构的相关模拟,数值分析等多方面进行了详细热烈的讨论。最后,孙院士表示,希望课题组内同学共同努力、攻坚克难,早日取得好的成果。



合影留念

## IMT研究生科研汇报讨论会-2022年4月1日

2022年4月1日10:00,由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“IMT研究生科研汇报讨论会”在力学技术研究院举行。本次会议的汇报人为西安建筑科技大学力学技术研究院全体成员。南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授参加了本次汇报交流。

会议由IMT秘书阎文老师主持,会议议程主要分为以下几个部分:IMT行政工作汇报、研究生论文发表奖励、研究生科研进展汇报、开题报告和预答辩小结。



会议掠影

报告第一部分由阎文老师和周宏伟老师汇报了近期的行政工作以及研究生招生政策。孙院士肯定了院办的工作,并感谢院办为大家提供了专业的行政支撑。



会议掠影

紧接着，研究生们依次分享了自己最近的科研进展，孙院士针对每个研究生的课题提出了建设性意见，希望研究生们能加快科研进度。

会议最后，孙院士祝愿大家在科研上有更多的科研成果，在学习过程中遇到问题可以及时与自己交流。

## IMT研究生科研汇报讨论会-2022年4月15日

2022年4月15日10:30，由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“IMT研究生科研汇报讨论会”在腾讯会议线上举行。本次会议的汇报人为西安建筑科技大学力学技术研究院全体成员。南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授参加了本次汇报交流。

会议开始，阎文老师汇报了近期的行政工作及实验设备的购买与培训情况。孙院士肯定了院办的工作，并感谢院办为大家提供了专业的行政支撑。

会议第二部分，孙院士就2019级硕士毕业论文、2020级博士开题报告等相关问题进行了安排。随后，研究生们就自己的科研进展进行了汇报，孙院士对大家的进展表示肯定，并希望研究生们能加快科研进度。



合影留念

会议最后，孙院士为大家分享了自己关于广义变分原理的研究成果与过程，激励研究生们强化理论修养，对问题要深入研究。

孙院士研究成果为Sun, B. On Chien's question to the Hu-Washizu three-field functional and variational principle. Appl. Math. Mech.-Engl. Ed. 43, 537-546 (2022). (<https://doi.org/10.1007/s10483-022-2838-5>), 该成果先后被力学学会期刊网、力学人公众号、西安建筑科技大学笃实新闻网等多平台报道。

## IMT研究生科研汇报讨论会-2022年4月22日



会议掠影

2022年4月22日10:30, 由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“IMT研究生科研汇报讨论会”在力学技术研究院线下举行。本次会议的汇报人为西安建筑科技大学力学技术研究院全体成员。南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授参加了本次汇报交流。

会议由IMT秘书阎文老师主持, 会议议程主要分为以下几个部分: IMT行政工作汇报、科研奖励、2019级论文盲审提交、一个问题的MATLAB程序介绍(党文)、研究生科研进展汇报。

会议开始, 首先由阎文老师和周宏伟老师汇报了近期的行政工作以及实验设备的培训情况。孙院士肯定了院办的工作, 并表示大家需要积极主动利用相关仪器设备开展自身科研工作。同时, 研究院对20级硕士研究生郭晓琳获得实用新型专利授权进行了奖励。



会议掠影

随后, 2020级硕士研究生党文向大家介绍了方程求解如何在Matlab中实现及相关代码演示。孙院士表示Matlab作为一个功能强大的数学软件, 大家需要多了解、学习并将其用于自身的课题。紧接着, 研究生们依次分享了自己最近的进展及计划, 其中包括2020级博士研究生的开题准备工作, 2019级硕士研究生们的毕业论文盲审提交工作, 以及2020级硕士研究生孙勇的最近科研进展。

会议最后, 孙院士表示, 希望研究生们能抓住有限的时间, 加快科研进度, 有问题及时反馈交流。

## IMT研究生科研汇报讨论会-2022年4月29日

2022年4月29日10:30, 由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“IMT研究生科研汇报讨论会”在力学技术研究院线下举行。本次会议的汇报人为西安建筑科技大学力学技术研究院全体成员。南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授参加了本次汇报交流。

会议议程主要分为以下几个部分：行政工作、科研进展奖励、最新成果汇报。



会议掠影



会议掠影

会议开始, 阎老师向大家说明了本次会议的议题和会后安排。周老师汇报了学校验收实验仪器的近期工作。

接下来, 力学技术研究院各级研究生依次介绍了目前的科研进展。孙院士认真听取了大家的汇报并做出了点评。

最后, 孙院士向大家介绍了个人最新的工作, 具体讲解了公式的推导过程以及研究的应用意义。孙院士指出两篇文章是有内部联系的, 并叮嘱大家在进行科研时要进行联想, 这可能产生一加一大于二的效果。

## IMT研究生科研汇报讨论会-2022年5月6日

2022年5月6日10:00, 由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“IMT研究生科研汇报讨论会”在力学技术研究院线下和腾讯会议线上同时举行。本次会议的汇报人为西安建筑科技大学力学技术研究院全体成员。南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授参加了本次汇报交流。



会议由IMT秘书阎文老师主持，会议议程主要分为以下几个部分：  
IMT行政工作汇报、2020级博士开题、研究生科研进展汇报。



会议掠影

报告第一部分，由阎文老师和周宏伟老师汇报了近期的行政工作（量纲分析、课外活动、颁发年鉴等）。孙院士肯定了院办的工作，并感谢院办为大家提供了专业的行政支撑。

报告第二部分，由阎文老师汇报了2020级博士开题的时间节点和相关注意事项，孙院士表示2020级博士要及时完成开题报告，并完善课题研究的思路。

报告第三部分，由研究生们分享这个月的科研进展，孙院士针对研究生的汇报提出了建设性意见，希望研究生们能加快科研进度。



会议掠影

### 西安建筑科技大学-孙博华教授“量纲分析”线下课程顺利举行



2022年5月12日8:00，“量纲分析”线下课程在西安建筑科技大学南阶202教室成功举办，课程由南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授主讲。



讲座掠影

课程开始前，为了活跃课堂氛围，每位同学首先做了简单的自我介绍。随后，孙博华教授对量纲分析课程的教学内容与考核内容进行简单地介绍，并且鼓励同学们在学习这门课程后将其运用到科学研究中。



讲座掠影

课程开始，孙博华教授首先从自身的学术传承与学术成果出发，为大家介绍量纲分析发展历史的相关知识，强调了自身作为主讲人的专业性与权威性。随后，为了让同学们更加具体与直观地了解量纲分析，孙博华教授讲解了量纲分析的经典问题“点源爆炸”。孙博华教授由问题的研究背景展开，生动形象地介绍了解决问题的研究过程，并且带领同学们完成对问题的推导与讲解。课程的最后，孙博华教授强调量纲分析方法是普适方法，可以应用到任何领域。孙博华教授也希望同学们需要对物理现象有深刻洞察力，并且需要反复实践练习。

课程结束后，孙博华教授详细地回答了同学们的问题并且进行了热烈的讨论。最后，同学们致以热烈的掌声感谢孙博华教授的精彩课程。



讲座掠影



讲座掠影

### IMT研究生科研汇报讨论会-2022年5月13日

2022年5月13日9:30, 由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“IMT研究生科研汇报讨论会”在力学技术研究院举行。本次会议的汇报人为西安建筑科技大学力学技术研究院全体成员。南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授参加了本次汇报交流。

会议由IMT秘书阎文老师主持, 会议议程主要分为以下几个部分: IMT行政工作汇报、研究生科研进展汇报。

报告第一部分, 由阎文老师和周宏伟老师汇报了近期的行政工作(近期讲座、考博面试、量纲分析教材等)。孙院士肯定了院办的工作, 并感谢院办为大家提供了专业的行政支撑。

报告第二部分, 研究生们依次汇报了本周的科研进展, 孙院士认真听取了研究生们的汇报, 并针对学生们研究中的疑惑提出了建设性意见。孙院士表示, IMT鼓励自由的学术氛围, 希望研究生们能再接再厉, 不断超越自己, 取得更多的研究成果。



会议掠影

### IMT研究生科研汇报讨论会-2022年6月17日

2022年6月17日10:10, 由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“IMT研究生科研汇报讨论会”在力学技术研究院举行。西安建筑科技大学

力学技术研究院全体成员参加了本次例会。南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授主持了本次汇报交流。

会议议程主要分为以下几个部分：IMT行政工作汇报、科研奖励颁发、研究生科研进展汇报。



会议掠影

报告第一部分，由阎文老师和周宏伟老师汇报了近期的行政工作。

报告第二部分，孙院士为研究生颁发科研奖励，并勉励研究生再接再厉，争取早出成果。

报告第三部分，由研究生们分享这个月的科研进展，孙院士针对研究生的汇报提出了建设性意见，希望研究生们能加快科研进度。



会议掠影

论文信息如下：

Chen P Y, Sun B H.Simulation of crooked plate energy absorption structure under impact [J].Acta Mechanica Sinica, 2022, 38: 521429;

孙博华，宋广凯，李权威，李翔（通讯作者），张一，戴远帆，陈品元，李蒙，赵良杰，刘轩廷，郭晓琳，魏杰，刘哲.细长直管支架的横向抗震构造和参数选取研究，工程力学，2022。（已录用）；

Yi Zhang, Xiang Li, Yuanfan Dai, Bo-Hua Sun, On the Number of Fractured Segments of Spaghetti Breaking Dynamics, Theoretical and Applied Mechanics

Letters, 2022 (status: accepted on production)

### IMT研究生科研汇报讨论会-2022年6月27日

2022年6月27日14:30, 由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“IMT研究生科研汇报讨论会”在力学技术研究院举行。西安建筑科技大学力学技术研究院全体成员参加了本次例会。南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授主持了本次汇报交流。



会议掠影

会议开始, 由阎文老师和周宏伟老师汇报了近期的行政工作。随后研究生们汇报各自的科研进展。孙院士针对研究生的汇报提出了指导性意见, 希望研究生们把握时间节点, 创造更多的科研成果。会议结束后, 孙院士对即将毕业离校的刘轩廷寄予毕业祝福, 希望在未来工作岗位上创造更多成果, 并期待有更多的科研课题合作交流机会。

### IMT研究生科研汇报讨论会-2022年7月1日

2022年7月1日10:00, 由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“IMT研究生科研汇报讨论会”在力学技术研究院线下和腾讯会议线上同时举行。西安建筑科技大学力学技术研究院全体成员参加了本次例会。南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授主持了本次汇报交流。



会议掠影

会议开始, 由阎文老师和周宏伟老师汇报了近期研究院的行政工作。随后研究生们汇报了各自最新的科研进展。孙院士针对研究生的汇报提出了

指导性意见，希望研究生们抓紧时间，离校前完成自己手头的工作，同时注意身体健康，在科研的同时保持健康的体魄。

## IMT研究生科研汇报讨论会-2022年10月9日

2022年10月09日16:00，由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“IMT研究生科研汇报讨论会”在力学技术研究院线下和腾讯会议线上同时举行。西安建筑科技大学力学技术研究院全体成员参加了本次例会。南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授线上主持了本次汇报交流。



会议合影

会议开始前，已经毕业的2019级硕士研究生通过不同方式与大家分享各自的心得体会，并表达了对于力学技术研究院的美好祝愿。

会议开始，由阎文老师和周宏伟老师汇报了近期的行政工作。随后研究生们汇报各自的科研进展。孙院士针对研究生的汇报提出了指导性意见，希望研究生们把握时间节点，创造更多的科研成果。在会议期间，孙院士在线上为取得新科研成果的宋广凯和刘哲博士研究生颁发学术成果证书，并鼓励他们再接再厉，再创辉煌。



会议掠影



会议掠影

会议后，孙院士对新加入2022级硕士、博士研究生表示热烈欢迎，并希望她们在新的学习征途中，不断超越自己，提高科研水平。将科研十条精神具体运用到实际的科研工作中，提出新的科学思考，解决实际的科学问题。

## IMT研究生科研汇报讨论会-2022年10月24日

2022年10月24日19:30，由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“IMT研究生科研汇报讨论会”在力学技术研究院线下和腾讯会议线上同时举行。西安建筑科技大学力学技术研究院全体成员参加了本次例会。南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授线上主持了本次汇报交流。



会议掠影

会议议程主要分为以下三部分：IMT行政工作汇报、研究生科研汇报、吴凡介绍科研心路。

报告第一部分，由阎文老师和周宏伟老师汇报了近期行政工作，孙院士对院办的工作表示了肯定。

报告第二部分，由研究生们依次汇报了近一周的科研进展，孙院士对研究生的汇报提出了指导性意见，并勉励研究生们希望研究生们珍惜时间，争取早日取得更多的科研成果。

报告第三部分，由2020级硕士研究生吴凡介绍了自己的科研心路历程，孙院士对吴凡论文的发表表示了祝贺，并鼓励他再接再厉，争取更多的科研成果。

## IMT研究生科研汇报讨论会-2022年11月4日

2022年11月3日13:30，由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“IMT研究生科研汇报讨论会”在力学技术研究院线下和腾讯会议线上同时

举行。西安建筑科技大学力学技术研究院全体成员参加了本次例会。南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授线上主持了本次汇报交流。



会议掠影

会议议程主要分为以下四部分：IMT行政工作汇报、颁发研究生科研成果奖励、研究生科研学习汇报和近期学术会议。

报告第一部分，阎文老师和周宏伟老师对近期的行政工作进行了汇报，孙院士对院办的工作表示了肯定。

报告第二部分，向博士研究生郭晓琳颁发了研究生科研成果奖励。全体师生对郭晓琳表示祝贺。孙院士在祝贺的同时也希望郭晓琳能够再接再厉，产出更多高质量的科研成果。

报告第三部分，由研究生们依次汇报了最近一周的科研进展，孙院士对研究生的汇报提出了相应的意见，并且希望研究生们珍惜时间，保证科研进度，取得优秀的科研成果。

报告的最后，院办介绍了近期的学术会议。孙院士鼓励同学们积极参会学习。

### IMT师生参加2021+1中国力学大会-2022年11月5日



参会掠影

中国力学大会2021+1（CCTAM 2021+1）于11月5日上午9:00正式召开。西安建筑科技大学科技大学力学技术研究院作为会议支持单位之一，组织研究院全体研究生通过线上线下相结合的方式参加本次大会。



开幕式主持人为清华大学冯西桥教授。首先领导和嘉宾致辞，随后会议颁发了周培源力学奖、中国力学学会科学技术奖和中国力学学会优秀期刊奖等。大会特邀报告更是精彩纷呈，包括“周培源的统计理论、时空能谱和大涡模拟（报告人：何国威）”，“流动的基本过程分析及其应用（报告人：陆夕云）”，“关于力致失超（报告人：周又和）”，“水下流固滑移边界力学（报告人：段慧玲）”，“碳中和目标带来的工程科学创新机遇（报告人：陈曦）”和“制造力学：它的内容和实质（报告人：章亮炽）”，主持人有郑晓静院士、陈十一院士、魏悦广院士和唐共志院士。

力学技术研究院的硕士研究生党文、吴凡、魏杰和博士研究生宋广凯参加了壁报展示，他们的壁报题目分别是“考虑内摩擦作用的书籍弯曲问题”，“类墨鱼骨结构的力学性能分析”，“铁定甲虫仿生‘拼图’式缝合线力学特征研究”，以及“易拉罐在轴-侧-扭-内压联合作用下的屈曲地貌”。并且利用观看会议的间隙向同学们介绍了自己的研究成果。



壁报展示掠影



参会掠影

接下来的几天内，力学研究所的师生将会根据自己的课题内容，选择分会场进行参会学习。

中国力学大会的宗旨是：成为力学工作者了解国际学科前沿的窗口，成为力学与工程实际结合的桥梁，成为不同学科研究人员交流的纽带，成为青年力学工作者展示风采的舞台。IMT各位老师在大会上展示了自己的最新科研成果，并积极同各位专家学者进行了深入的学术交流。通过参加此次会议，IMT师生们拓宽了科学视野，增长了学术见识，开拓了科研思路，为后续学术研究工作的深入开展奠定了基础。

## IMT研究生科研汇报讨论会-2022年11月10日

2022年11月10日13:00, 由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“IMT研究生科研汇报讨论会”在力学技术研究院线下和腾讯会议线上同时举行。西安建筑科技大学力学技术研究院全体成员参加了本次例会。南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授线上主持了本次汇报交流。



会议掠影



会议掠影

会议议程主要分为以下三部分：**IMT**行政工作汇报、颁发研究生科研成果奖励、研究生科研学习汇报和近期学术会议。

报告第一部分，阎文老师和周宏伟老师对近期的行政工作进行了汇报，孙院士对院办的工作表示了肯定。

报告第二部分，向博士研究生李权威、郭晓琳颁发了研究生科研成果奖励。全体师生对两位博士表示祝贺。孙院士在祝贺的同时也希望两位博士能够再接再厉，产出更多高质量的科研成果。



会议掠影

最后一部分，由研究生们依次汇报了最近一周的科研进展，孙院士对研究生的汇报提出了相应的意见，并且希望研究生们珍惜时间，保证科研进度，取得优秀的科研成果。

## IMT师生参加第十二届全国流体力学学术会议-2022年11月19日

第十二届全国流体力学学术会议于11月19日8:30正式召开。会议由中国力学学会流体力学专业委员会主办,西北工业大学极端力学研究院、航空学院、翼型叶栅空气动力学国家重点实验室、飞行器复杂流动与控制“111”引智基地、中国力学学会青年工作委员会承办。西安建筑科技大学力学技术研究院组织全体研究生通过线上方式参加了本次会议。



大会掠影

大会开幕式由郑晓静院士主持。郑晓静首先介绍了现场嘉宾,并对会议各承办单位表示衷心的感谢。开幕式结束后,会议特别邀请了10位国内外著名专家为大会先后做了报告。上午,美国约翰-霍普金斯大学Charles Meneveau院士、英国剑桥大学Colm.C. P. Caulfield教授、美国斯坦福大学Juan G. Santiago院士、西北工业大学极端力学研究院院长兼首席科学家郑晓静院士分别做了“New physics-based wall modeling concepts for LES of turbulence”、“Mixing up the climate? How the mystery of stratified turbulence is controlling all our futures”、“Mixers and jets for x-ray spectroscopy studies”、“关于流体力学发展的认识与思考”的报告。陈十一院士、倪明玖教授、丁航教授、夏克青院士分别主持了4个大会报告。下午,军事科学院邓小刚院士、中科院力学所何国威院士、中国航天集团于登云院士、荷兰屯特大学Albert van den Berg院士、法国艾克斯-马赛大学Pierre Sagaut教授、西北工业大学潘光教授分别做了“高精度湍流模型及其应用”、“湍流时空能谱:拟序结构和随机运动的耦合作用”、“深空探测航天器动力学与控制”、“Microfluidics and Lab on Chip for Health and Environment”、“Lattice Boltzmann for urbanphysics, airqualityandemergencyevacuation”、“水下无人系统设计中的流体力学关键

技术”等报告，赵宁教授、陆夕云院士、许春晓教授、符松教授、陶建军教授、邵雪明教授分别主持了6个大会报告。

在郑晓静院士的“关于流体力学发展的认识与思考”报告中，孙博华院士提问：您对固体力学和流体力学都懂并且造诣很深，比如普朗特、冯·卡门、钱学森等力学大师也是流固兼顾，请问您是如何做到流固兼顾的？对于年轻力学工作者，您有什么经验分享。郑晓静院士表示：力学本身就有一个特点，就是要有很好的数学功底，物理基础，所以我希望在我们后续人才的培养的过程当中，要加强数学、物理基础，使得他们有更好的物理直觉，有更加深厚的数学功底，无论从莫斯科学派、剑桥学派以及加州学派都具有这样共性的特点，所以在这个共性的基础上，我觉得无所谓流体，和无所谓固体。

法国艾克斯-马赛大学Pierre Sagaut教授报告后，孙博华问道：我注意到你们2021年发表了一篇论文【<https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2021.104867>0045-7930】，是关于亚音速和超音速可压缩流动问题，非常高兴看到你们使用了我与陈教授（清华大学陈难先院士）提出的发散级数的展开方案【CHIN. PHYS. LETT. Vol. 34, No. 2 (2017) 020502, DOI10.1088/0256-307X/34/2/020502】，不知与其他方法的比较情况如何？Sagaut教授回答道：

• **Sagaut:** Yes, we have implemented lots of methods and compared them. Our conclusion presently is that (it's) the most efficient one, the most efficient trade-off between robustness, accuracy and computational speed, (which is) what we are implemented on typically compared to classical solver, the gain is always larger than 10, even when compared with highly optimized resolver from ONERA and so on, like example for aerospace engineering application, the gain is more than 10. Even for champion as developed in out labs as a condition part of LBM. It's 10 times to 100 times more fast keeping the accuracy of the solver. So, this is our conclusion right now. If I find a better method tomorrow, I will use it, but up to now this is (the) optimal we have found.

• 说明：[ONERA, the French Aerospace Lab](#)

• 是的，我们已经实现了很多方法并对其进行比较。我们目前的结论是，（它是）最有效的一个，在鲁棒性、准确性和计算速度之间最有效的权衡，（这是）我们通常实现的经典求解器相比，增益总是大于10，即使与法国宇航实验室等高度优化的求解器相比，例如航空航天工程应用，增益超过10。

• 即使是在实验室中与作为LBM开发的冠军（相比），也保持求解器的准确性快10到100倍。所以，这就是我们现在的结论。如果我明天找到更好的方法，我会使用它，但到目前为止，这是我们找到的最佳方法。

在计算流体力学A分会场，孙博华院士作了题为“Navier-Stokes方程的一种等价形式”的报告，在报告中，孙博华院士提出了一种新迭代模式，并希望寻找合作者——计算高手。



会场掠影

力学技术研究院的硕士研究生邵文琦、孙勇参加了壁报展示，他们的壁报题目分别是“具有穿孔挡风板的壁挂式空调对建筑室内气流组织的影响”、“带有偏置针肋和空腔的微通道热沉流动和传热特性”。

计算流体力学 海报列表	
P-CFD-001	基于磁矢量势方程的高超声速磁流体控制数值模拟
P-CFD-002	一种快速计算多旋翼无人机气动性能的CFD仿真方法 <sup>1,2</sup>
P-CFD-003	OpenFOAM中的气流绕射反应室内CFD-PDE两相流数值模拟
P-CFD-004	具有穿孔挡风板的壁挂式空调对建筑室内气流组织的影响 <sup>1,2</sup>

微纳尺度流动 海报列表	
P-MNF-001	带有偏置针肋和空腔的微通道热沉流动和传热特性
P-MNF-002	电润湿控制的微液滴产生过程研究 <sup>1,2</sup>
P-MNF-003	高效微液滴动能量转换研究
P-MNF-004	微通道仿真中多种滑移模型的适用性研究
P-MNF-005	考虑边界层效应的孔隙尺度数值模拟方法

壁报展示

接下来的几天内，力学技术研究院的师生根据自己的课题内容，选择分会场进行线上学习。

第十二届全国流体力学学术会议旨在交流流体力学领域最新研究进展、促进流体力学学科发展、繁荣流体力学科技事业。通过参加此次会议，IMT师生拓宽了科学视野，增长了学术见识，开拓了科研思路，为后续学术研究工作的深入开展奠定了基础。

## IMT博士研究生科研交流会-2022年11月21日

2022年11月21日20:00，由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“IMT博士研究生科研交流会”在腾讯会议线上举行。西安建筑科技大学力学技术研究院全体博士研究生参加了本次例会。南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授线上主持了本次汇报交流。



会议线上合影

首先，孙院士就近期力学技术研究院取得的科研成果进行了总结，对大家的成果也表示了肯定，并鼓励大家继续努力。孙院士希望大家能够扩大知识面，“天马行空”选择研究方向，勇于创造和尝试，但一定要从问题的原理入手，要做到功底扎实。

随后，博士研究生们依次汇报了最近的科研进展，孙院士针对大家的汇报提出了建议意见，希望研究生们珍惜时间，保证科研进度，取得优秀的科研成果。

最后，博士研究生们依次制定了短期内的科研目标，孙院士期望大家能够产出更多高质量的科研成果。

## IMT研究生科研汇报讨论会-2022年11月24日

2022年11月24日14:00，由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“IMT研究生科研汇报讨论会”在腾讯会议线上举行。西安建筑科技大学力学技术研究院全体成员参加了本次例会。南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授线上主持了本次汇报交流。



会议掠影

首先，孙院士欣喜地告诉大家，目前研究院的科研论文总量已达到24篇，比去年的论文总量翻了一倍，相信在今年的最后一个多月时间里科研成果会继续增加。孙院士指出，科学研究一定要注重创新性，并且及时总结研究成果写成文章。

接下来正式开始个人工作汇报。第一部分由阎文老师和周宏伟老师介绍了2023届研究生招生工作的时间节点、研究院在读研究生开题-中期-毕业答辩的时间节点以及大型仪器采购注意事项等。

第二部分由研究院各位研究生进行科研成果及未来规划汇报。孙院士对大家的科研工作进行了指导，并且鼓励大家继续读书深造，对毕业后准备工作的同学表达了美好的祝愿。

## IMT研究生交流会成功举办-2022年11月25日

2022年11月25日13:00，由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“研究生交流会”在腾讯会议线上成功举行。西安建筑科技大学力学技术研究院全体成员参加了本次交流会。南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授线上主持了本次交流会。



会议合影

会议开始，首先阎文老师向大家介绍了学校目前的防疫要求和相关注意事项，叮嘱大家在特殊时期要做好防护，合理安排学习和休息时间，保持身心健康。在生活和学习遇到的困难可以随时和研究院反馈。随后，孙院士强调在疫情期间要以健康为第一位，在确保身心健康的情况下，合理安排实验和学习计划。会议期间，大家对近期的生活及科研相关问题进行了讨论。最后，孙院士鼓励大家不断的突破进取，争取在原有基础上创造更多的学术成果。

## 学术沙龙

为促进研究生内部交流，营造主动学习的氛围，西安建筑科技大学力学技术研究院举办系列活动“IMT研究生学术沙龙”，该系列活动由研究生主导，每两周一次。



活动掠影



## ● 力学头脑风暴

为了促进研究生学术交流，提升学术表达能力，充分实现学术资源内部共享，力学技术研究院组织研究生开展内部力学头脑风暴活动。

### 力学头脑风暴— Mechanics Brain-Storming第20讲

2022年5月26日18:00，由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“Mechanics Brainstorming-力学头脑风暴”系列第二十讲之“基于COMSOL实现PDE的直接建模与计算”在腾讯会议平台成功举行。本次讲座的主讲人为西安建筑科技大学力学技术研究院2020级博士研究生刘哲，IMT全体研究生参加了本次讲座。

本次会议主要讲了COMSOL软件实现PDE计算。首先刘哲同学向大家讲解了PDE的基本概念，介绍了经典的偏微分方程。随后，以洛伦兹方程和泊松方程为例讲解了COMSOL如何实现PDE的直接建模与计算。最后，李蒙、黄英、张振子等就相关问题与刘哲进行了热烈地讨论。



讨论交流

会后，本次会议主持人力学技术研究院2020级博士研究生张振子代表力学技术研究院向2020级博士研究生刘哲颁发了“Mechanics Brainstorming讲座证书”。



证书颁发

## 力学头脑风暴— Mechanics Brain-Storming第21讲

2022年10月22日19:30, 由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“Mechanics Brainstorming-力学头脑风暴”系列第二十一讲之“科研论文分享”在腾讯会议平台成功举行。本次讲座的主讲人为西安建筑科技大学力学技术研究院2020级博士研究生刘哲、硕士研究生吴凡, 孙博华院士及IMT全体研究生参加了本次讲座。

会议开始孙院士致辞表示在疫情影响下, 希望通过这种方式加强交流, 增强大家凝聚力。

首先吴凡从墨鱼骨的生物结构出发, 深入探究了影响墨鱼骨力学性能的因素。从微观角度分析发现了墨鱼骨具有非对称波纹壁结构, 在此基础上, 设计并详细研究了正弦及椭圆波纹类墨鱼骨阵列结构的力学性能, 结果表明, 类墨鱼骨结构具有优秀的抗压抗剪切性能。孙老师表示希望吴凡能够再接再厉, 继续发光发热, 多出成果。然后博士研究生刘哲通过短视频介绍了“马兰戈尼效应”, 并由此出发详细介绍了在高斯光驱动下纳米流体的液滴的光驱流动现象, 从理论出发利用“马兰戈尼数”解释了这种驱动现象背后物理机制。孙老师表示讲解十分清楚, 思路非常清晰。



吴凡进行论文分享交流



讲座合影

最后，孙老师向大家表示关怀，希望各位同学在疫情期间注意安全，保持旺盛的精力努力科研，鼓励新生积极向师兄师姐们交流学习。刘哲表示：“科学研究中，应当踏踏实实、静下心来；需要不断思考、借鉴并吸收他人的研究成果，在自己的问题中，不断挖掘；经常与导师和同学等多交流、多讨论；最终，一定可以作出有突破的成果”。吴凡表示：“做科研不仅需要努力与坚持，严谨的科学态度更是我们必备的。本次汇报让我发现了自身存在的问题，感谢老师和同学们的倾听。”

## 力学头脑风暴— Mechanics Brain-Storming第22讲

2022年11月10日20:00，由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“Mechanics Brainstorming-力学头脑风暴”系列第二十二讲之“科研论文分享”在腾讯会议平台成功举行。本次讲座的主讲人为西安建筑科技大学力学技术研究院2019级博士研究生李权威和2022级博士研究生郭晓琳，IMT全体研究生参加了此次会议。

会议开始，2019级博士研究生李权威对“玻璃海绵启发的点阵结构优化”以及“生物启发对角增强方形蜂窝夹芯板的低速冲击响应”这两个主题分别进行了介绍。首先对玻璃海绵结构进行了优化设计，优化构型达到了多项荷载下对海绵结构的超越，并将优化设计结果利用到夹芯板中，提高了夹

芯板的能量吸收性能。在报告的总结阶段，李权威表示这次讲解也让自己对这两个主题有了进一步的认识。



会议掠影

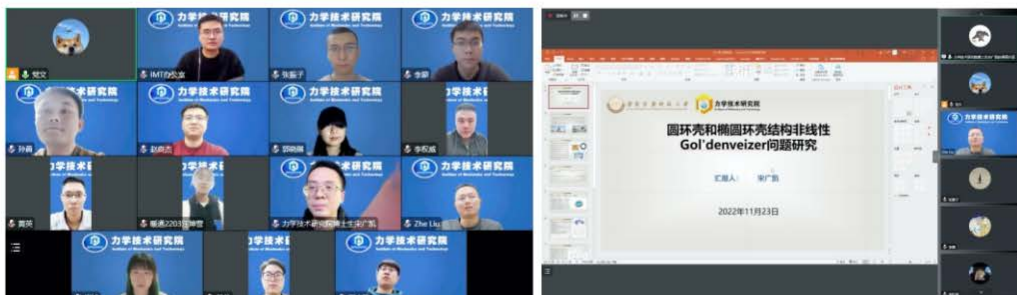
接下来，2022级博士研究生郭晓琳表示自己由孙老师分享的一篇有关卡扣的文章中得到启发，卡扣的机械不对称性（易装难拆）在生活中随处可见，小到配体与受体，大到航天器的对接都用到了这一原理，于是通过有限元模拟和实验证明了这篇文章的普适性，并且对文章结果进行了修正。然后，2022级博士研究生郭晓琳详细的介绍了卡扣的有限元模拟以及相关理论公式的推导过程，大家都表示讲的很精彩。最后，2022级博士研究生郭晓琳介绍了拓展的球形卡扣的安装和拆卸研究，并表示“开始一个研究最好的方法是类比。”

会议结束后，同学们展开了激烈的讨论，在本次会议中，同学们不仅丰富了自己的知识，而且得到了充分的交流。2022级硕士研究生汪坤营表示：“通过这次讲座，让我有了很大的收获，对于研究生的选题方面有了一定的了解。”



会议掠影

## 力学头脑风暴— Mechanics Brain-Storming第23讲



会议掠影

2022年11月25日20:00, 由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“Mechanics Brainstorming-力学头脑风暴”系列第二十三讲之“科研论文分享”在腾讯会议平台成功举行。本次讲座的主讲人为西安建筑科技大学力学技术研究院2019级博士研究生宋广凯和2020级硕士研究生魏杰, IMT全体研究生参加了此次会议。

会议开始, 2019级博士研究生宋广凯向大家介绍了环壳问题的研究历史, 从最早研究环壳问题的德国慕尼黑工业大学的A.Föppel (哥廷根应用力学学派奠基人、Prandtl的博士导师和岳父), 到张维先生、钱伟长先生等众多学者对环壳问题的关注和系统研究。随后介绍了孙博华院士通过几十年来在环壳问题研究上取得的一系列成果。在前期工作的基础上, 2019级博士研究生宋广凯通过非线性有限元软件对圆环壳和椭圆环壳的非线性Gol'denveizer问题进行了细致研究, 得到了圆形和椭圆环壳结构的变形和内力, 并且研究了环壳结构非线性Gol'denveizer问题的屈曲。相关成果以“Nonlinear investigation of Gol'denveizer's problem of a circular and elliptic elastic torus”为题发表在结构类权威期刊《Thin-Walled Structures》上, 并被力学人所报道。

原文链接: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2022.109862>

力学人: <https://mp.weixin.qq.com/s/6naX7myJT-WSRUuTT0fW-Q>

接下来，2020级硕士研究生魏杰，从工程连接背景出发，说明连接方式的重要性，再从在大自然中找到灵感，参考铁锭甲虫独特鞘翅连接保持内部结构的稳定，从而带来的巨大抗压能力。在此基础上对铁锭甲虫鞘翅“拼图”式缝合线的力学特征进行了深入研究，分析了甲虫仿生拼图连接在拉拔过程中力学行为，并对数量、连接角度、单元几何形状等因素对于拼图连接力学性能的影响进行了深入分析。相关成果以“Bioinspiration: Pull-Out Mechanical Properties of the Jigsaw Connection of Diabolical Ironclad Beetle’s Elytra”为题发表在权威期刊《Acta Mechanica Solida Sinica》上。

原文链接：<https://doi.org/10.1007/s10338-022-00368-7>



会议掠影

会议结束后，同学们展开了激烈的讨论。2022级硕士研究生庞博表示：“通过本次头脑风暴，进一步学习了两位师兄的研究成果，感受到了学术研究的魅力，极大的提高了自己的科研热情。”在本次会议中，同学们通过充分的交流丰富了自己的知识、提升了对科研的热情。

## ● 日常管理

### 2020级流体硕士研究生开题报告预演

2022年3月17日19:00，由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“2020级流体硕士研究生开题报告预演”在腾讯会议平台成功举行。

会议开始前，2020级流体硕士研究生邵文琦、孙勇分别介绍了自己的选题方向与内容，并与孙院士进行了交流。孙院士对两个同学都提出了具有指导意义的建议，并且表示在研究学术期间严格遵守学术道德规范，尤其是注意引用参考文献问题。研究生们需从此次交流会中吸取经验教训，避免在学术道路上产生问题，遇见不懂的问题及时向同门进行交流询问，以谨慎、仔细的态度完成开题报告。



会议掠影

### 2019级硕士研究生预答辩预演

2022年3月20日19:00和3月22日19:00，由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的两次“2019级硕士研究生预答辩预演”在腾讯会议平台成功举行。

第一次预演中研究生们依次汇报了毕业论文，孙院士指出还有许多未完善地方，汇报时间需要把握好。第二次预演开始前，孙院士先指出了研究生各自大论文的问题并提出了相应的修改方法，研究生们都认真听取，表示将针对孙院士所提意见，及时修改相应内容。随后，2019级硕士研究生李翔、张一、戴远帆、陈品元、刘轩廷分别介绍了自己的毕业论文内容。汇报完毕后，孙院士对每个学生的报告内容提出了建议，并嘱咐研究生引用他人

数据时一定要标明出处，介绍报告内容要懂得有理有据、分清主次、抓住重点，突出自己研究的亮点。



会议掠影

## 2020级硕士研究生开题预演

2022年3月20日19:00和3月23日19:35，由西安建筑科技大学力学技术研究院先后主办的两次“2020级硕士研究生开题预演”在腾讯会议平台成功举行，参加预演的有理学院研究生魏杰、郭晓琳，土木工程学院研究生黄英、党文、吴凡，共计五名学生，南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授参加此次预演。

在第一次的预演中，孙老师从时间把控、内容丰富度、主题凸显性等方面进行了点评，指出了大家的开题报告PPT中存在着严重超时、缺乏动态图像、内容繁杂重点不突出、时间分配错误等问题。研究生们认真听取孙老师的建议并积极进行了修改。第二次预演中，大部分研究生已克服了上述问题，演讲效果有了极大改善。参与开题预演的众研究生纷纷表示，通过两次预演，深化了对课题的理解，大大增强了自信心，非常感谢孙老师的耐心点评。



会议掠影



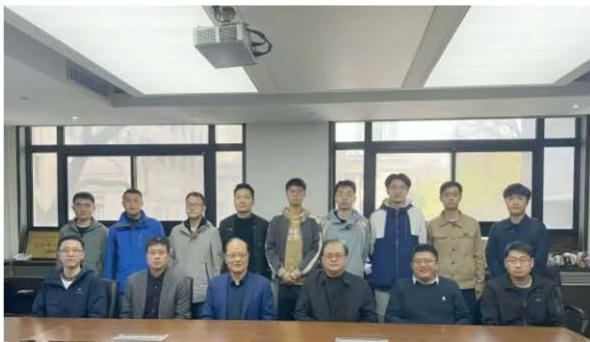
## 2020级土木硕士研究生开题报告会顺利举行

2022年3月28日8:30，由西安建筑科技大学土木工程学院举办的2020级硕士开题报告会在西安建筑科技大学建筑设计研究院二楼会议室举行。本次开题报告评议专家组包括西安建筑科技大学教授孙博华、教授郝际平、教授钟炜辉、教授级高工薛强和教授田黎敏，答辩秘书为副教授田炜烽，IMT2020级硕士研究生吴凡、党文和黄英参加了此次答辩。

报告会上，三位研究生对选题的背景及意义、研究目标、研究内容、研究方法、组织分工及预期成果等进行全面阐述，其中吴凡答辩题目为“类墨鱼骨夹层板屈曲研究”，党文答辩题目为“考虑层间摩擦的类书夹层板的弯曲吸能问题”，黄英答辩题目为“低速横向冲击荷载下嵌套环的能量吸收能力分析”。专家组分别对开题报告进行了点评，并提出建议。

在专家组的帮助下，三位研究生意识到了自己开题报告报告的不足，也对自己课题后续发展完善有了新的理解。相信在老师的带领下，研究生课题研究都能取得不错的成果。

报告结束后，参会师生进行了合影留念。



答辩合影留念

## 2020级博士研究生开题报告讨论会

2022年5月23日10:00，“2020级博士研究生开题报告讨论会”在西安建筑科技大学力学技术研究院线下举行。参与本次讨论会的学生为西安建筑科技大学力学技术研究院2020级博士研究生以及南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授。

本次线下交流会主要对开题报告纸质版和PPT两部分内容进行讨论，首先，孙老师对开题报告纸质版阅读和修改，对其中的关键问题给出指导性意见，并肯定了部分文字内容。之后，2020级博士研究生张振子、李蒙、刘哲分别作PPT汇报，孙老师依次提出了其中出现的问题，同时鼓励我们要进一步将凝练的科学问题具体化，抓住主要矛盾，通过这次开题深刻思考研究课题的科学价值和实际意义，以便后续科研工作的顺利开展。



会议掠影

通过本次开题报告交流会，无论是纸质报告内容还是汇报PPT内容都得到了显著提升，为接下来的正式开题答辩奠定了很好的基础。最后，孙院士鼓励大家继续完善和修改报告内容，并希望大家注意加强劳逸结合，科研的同时注意身体健康。

## IMT研究生课外网球学习活动

2022年5月22日19:00，由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“IMT研究生课外网球学习活动”在西安建筑科技大学网球场举行。参与本次网球学习的学生为西安建筑科技大学力学技术研究院2020级硕士研究生以及南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授。

本次网球学习活动，由孙博华院士亲自教学。学习开始前，孙院士先向大家讲述了他与网球的缘分，并且给大家详细的介绍了网球的装备

以及每个装备的用途。学习过程中，孙院士以发球为例，给大家展示了网球动作的优美，并且给大家耐心的教学网球的发球动作。最终同学们经过练习，已经基本掌握网球的发球，非常感谢孙院士的教学。

在网球场上，我们还遇到了西安建筑科技大学土木工程学院郝教授、西安建筑科技大学前党委书记高书记，老师们鼓励大家好好锻炼身体。

本次网球学习活动不仅丰富了科研生活，也提高了同学们进行体育活动的热情和参加锻炼的积极性。孙院士也表示，自从运动后整个人的精神状态变得很好。最后，孙院士希望大家有一个终身的运动爱好，希望大家科研的同时身体健康。



活动合影

## 2019级硕士生刘轩廷毕业答辩顺利举行

2022年6月9日15:00时，西安建筑科技大学力学技术研究院举行了2019级硕士生刘轩廷的毕业答辩，本次答辩专家组组长是西安电子科技大学郑晓静院士，组员有西安建筑科技大学苏三庆教授、郝际平教授、李安桂教授以及孙博华教授，答辩秘书是李东波教授，答辩人为2019级硕士研究生刘轩廷。时朋朋教授，崔海航副教授以及力学技术研究院全体研究生旁听了此次答辩。

郑晓静院士宣布答辩开始，并介绍了答辩专家组成员。接下来，2019级硕士研究生刘轩廷对自己的毕业论文“3D混凝土打印进程中柱壳力学性能及轮廓成型机理研究”从研究背景及意义、研究方法及进展和主要结论等几个方面进行了着重介绍。

硕士研究生刘轩廷汇报完毕后，专家组教授们针对汇报内容提出了建议。硕士研究生刘轩廷仔细倾听，并表示将根据所提意见及时修改毕业论文，完善内容。



会议掠影

答辩结束，专家组教授们一致认为2019级硕士研究生刘轩廷的论文研究思路清晰，结论可信，表明了作者掌握了本专业的理论基础和专业知识，并具有独立开展科学研究的能力；论文写作规范，工作量饱满，达到了硕士学位论文要求，是一篇优秀的硕士学位论文，予以答辩通过。

报告结束后，力学技术研究院全体研究生同答辩专家组合影留念。



会议掠影

## 2020级博士研究生学位论文开题报告会

2022年6月9日14:30，“2020级博士研究生学位论文开题报告会”在西安建筑科技大学雁塔校区逸夫楼六楼力学技术研究院顺利举行。本次报告会的专家组组长为西安电子科技大学的郑晓静院士，组员有西安建筑科技大学的苏三庆教授、郝际平教授、李安桂教授和孙博华教授。答辩秘书是李东波教授。开题报告人是三位2020级博士研究生刘哲、李蒙

和张振子。力学技术研究院全体学生旁听了此次开题报告会。

首先由郑晓静院士宣布开题报告会开始，并介绍专家组成员。接下来，由导师孙博华教授介绍了各位开题人的基本情况后，三位博士研究生依次陈述了自己的开题报告。报告结束后，专家组成员针对三位博士研究生的报告内容发表了意见，对他们的选题表示了肯定，并且从研究方法、创新性以及关键科学问题等方面指出了目前存在的问题及改进建议。

报告结束后，与会人员进行了合影留念。



开题报告会合影留念

## IMT2019级硕士研究生毕业座谈会顺利举行

2022年6月20日9:00时，西安建筑科技大学力学技术研究院举行了2019级硕士生毕业座谈会，本次座谈会的参与者为西安建筑科技大学力学技术研究院全体成员。南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授参加了本次座谈交流。



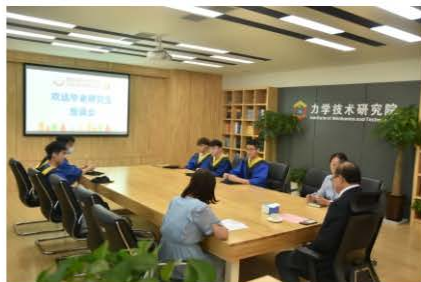
合影留念

座谈会由IMT秘书阎文老师主持，座谈会主要分为以下几个部分：研究生发言分享、孙院士总结发言、合影留念。

座谈会第一部分，阎文老师、周宏伟老师、IMT2019级硕士研究生，其他研究生分别分享了在IMT这个大家庭中点点滴滴的感受。最后，纷纷对IMT2019级硕士研究生顺利毕业表示祝贺，希望他们在以后的工作与生活中一帆风顺。

座谈会第二部分是孙博华院士对IMT2019级硕士研究生的毕业寄语。孙院士首先从科研十条出发，希望毕业生们可以牢记科研十条内容并且认真贯彻落实到行动中去。随后，孙博华院士借用黑格尔《哲学史讲演录》开讲词，希望IMT2019级硕士研究生不断加油努力，实现更加远大的抱负与理想。在面对困难，孙院士借用北宋宰相吕蒙的《寒窑赋》勉励IMT2019级硕士研究生，希望他们不忘初心、砥砺前行。最后，孙院士回到张载著名的“横渠四句”——“为天地立心，为生民立命，为往圣继绝学，为万世开太平”，期望IMT2019级硕士研究生有着更高的成就。

座谈会最后，西安建筑科技大学力学技术研究院全体研究生合影留念。



讲座掠影



讲座掠影



讲座掠影

## IMT研究生参加珠海格力电器股份有限公司暑期实习项目

2022年7月19日—9月26日，IMT力学技术研究院硕士研究生邵文琦、孙勇在珠海格力电器股份有限公司进行了为期两个月的暑期实习，收获颇丰。

2022年6月18日，孙博华院士向珠海格力电器股份有限公司总裁办及董明珠董事长致函，推荐邵文琦、孙勇两位硕士研究生参加格力暑期实习项目。董明珠董事长表示感谢。随后格力电器相关部门对两位同学进行了面试与考察，两位同学顺利通过。

7月19日，两位研究生顺利进入格力电器报到并开始了为期两个月的实习生活。邵文琦进入商用空调技术开发一部，卓明胜部长及张治平副部长对其表示热烈欢迎并安排邵文琦进入压力容器室进行实习。胡东兵主任积极协调分配实习任务，制定了相关培养计划及方案，张营工程师第一时间带领邵文琦进入壳管生产车间深入了解机组设备加工和组装流程，随后邵文琦在压力容器室进行热管换热器仿真工作，保质保量地按时完成领导交给的任务。

孙勇顺利进入建筑环境与节能研究院，李宏波院长安排其进入暖通设计三所进行实习，陈旭峰所长为其制定了相关培养计划及方案，姚腾飞工程师带领孙勇前往P3生物安全环控系统实验室了解通风系统运作过程，随后孙勇在汪恒夫工程师的带领下完成了多个室外机热压仿真分析项目。

两位同学与9月26日顺利完成实习任务，邵文琦表示：“非常高兴能够在格力进行两个月地实习，感谢老师的推荐，也非常感谢格力各位领导及同事给予的帮助，通过这次实习不仅巩固了自身的专业知识，而且深入地了解了商用空调领域的前沿问题，这次实习经历对我的科研及学习生活起到了非常重要的帮助，是一段令人难忘的实习经历。”孙勇表示：“本次实习不仅使我加强了自我专业知识，而且接触到了结合时代热点的科学问题，为我将来的科研及生活打下了坚实的基础。”

珠海格力电器股份有限公司心系教育事业，尤其在全球疫情蔓延的背景下，能够积极促成我院两名研究生进入公司实习，并安排住宿、给予相应生活补贴，展现了格力电器爱国情怀，体现其勇于担当、务实作为的气魄与精神。

## IMT研究生集体参加激光测振仪设备培训

2022年11月15日至17日，力学技术研究院全体研究生进行了为期三天的激光测振仪培训。

11月15日13:30，培训顺利开始，工程师简单介绍了设备主体及相关附件，讲解了设备硬件连接及连接时的要点和注意事项，并详细介绍了激光测振仪软件的操作。11月16日，工程师以矩形金属板为试件，输入固定振动荷载，测试了金属板表面各测点的振动模态和频率，依据此案例对激光测振仪的操作流程进行了详细讲解。11月17日，工程师为同学们讲解力锤实验及模态分析软件操作流程。培训过程中，研究生踊跃提出相关问题，积极参与设备上机操作，在工程师的指导下完成实验配件的装配、设备调试和数据测试及分析，同学们在有限的时间内基本掌握了激光测振仪设备及各配件仪器使用。



培训讲解



实操演示



软件讲解

郭晓琳等研究生表示：“通过这次培训学习到了很多，基本掌握仪器的使用方法和操作流程拓宽了我未来的选题思路。”

## IMT研究生集体参加实验室3D打印机设备培训

2022年12月2日9:00，力学技术研究院全体研究生参加实验室3D打印机设备培训。

本次培训包括打印机设备主体介绍，Object500三维打印系统操作流



程，工作环境，以及打印机的注意事项和维护保养问题。工程师首先介绍了打印机的主体和配件组成部分、电源启动注意事项。接下来，工程师讲解了介绍了打印前期的准备工作以及如何加载模型和支撑材料盒，随后，详细介绍了打印机的操作界面、操作步骤和打印过程中的操作要点，讲解了如何处理和保存打印后的模型。最后，研究生们拿出自己准备的模型导入到计算机，在工程师的指导之下完成试件的打印。培训过程中，研究生积极参与配件装配、调试，在有限的时间内高效掌握打印机设备及各配件仪器的使用。



设备主体



培训开始



培训讲解

培训结束后，全体研究生反响强烈，纷纷表示获益良多，新的3D打印设备功能更加强大，努力尝试使用新的3D打印机设备进行相关实验研究。

## 力学技术研究院2019级博士研究生中期答辩会顺利举行

2022年12月9日15:30，西安建筑科技大学力学技术研究院举行了2019级博士研究生中期答辩会。本次答辩会答辩专家组组长是西安建筑科技大学钟炜辉教授，组员是西安建筑科技大学时朋朋教授、郭秀秀教授，答辩秘书是阎文老师，答辩人为2019级结构工程专业博士研究生宋广凯、李权威。力学技术研究院师生参加了此次报告会。



会议掠影

首先是两位博士生研究生各自对自己的课题进行汇报，汇报完毕后，各位专家组教授针对报告内容提出了建议。博士生研究生都认真听取，并表示将针对专家组所提意见，及时修改中期报告内容，完善课题研究思路。

报告会结束前，钟炜辉教授表示：希望两位研究生根据各位老师提出的意见，认真修改，继续努力，争取产出更多、更高层次的文章。

孙博华院士表示：今天的答辩会也是个相互交流、相互学习的机会，希望各位研究生抓住机会，把这次答辩会提出的问题作为大家未来改进的起点，并预祝各位研究生答辩顺利通过。

## 学术讲座

### ● 秦岭科学论坛

#### 秦岭科学论坛第13期— 郑晓静院士“关于‘黑障’的研究”学术报告会成功举办

2022年6月9日13:30，由西安建筑科技大学力学技术研究院主办的“秦岭科学论坛”第十三期之“关于‘黑障’的研究”学术报告会在西安建筑科技大学力学技术研究院成功举办。本次报告会由中国科学院（数学学部）院士、著名力学家郑晓静主讲。西安建筑科技大学力学技术研究院全体研究生参加了本次报告会。报告会由我校力学技术研究院院长、首席科学家、南非科学院院士孙博华教授主持。



讲座掠影

讲座掠影



报告开始前，孙博华教授首先隆重地向大家介绍了郑晓静院士，对郑晓静院士的到来表示热烈的欢迎。郑晓静院士首先对孙博华教授长期奋斗在科研一线表达了赞赏，并表示非常高兴能再次来到力学技术研究院（IMT），IMT在孙博华教授的带领下发展迅速，同时对IMT良好的学术氛围

与科研环境进行了肯定。

报告开始，郑晓静院士首先向大家介绍了“黑障”的概念——当飞行器再入大气层时，由于气动加热产生高温，导致气体电离形成等离子鞘套对电磁波的反射、散射与吸收导致飞行器通信减弱甚至中断的现象。“黑障”往往发生在临界空间，一般持续数分钟不等，临界空间的战略地位极其重要，因此“黑障”现象在战略与民用方面都有着举足轻重的影响。对于临界空间出现的众多问题，如超音速、热障等问题通过众多学者的研究都得到了解决，而对于“黑障”问题的研究至今仍未有关键性的突破。从1950年开始，先后有众多学者机构通过飞行实验研究等离子体鞘套对再入飞行器通讯系统的影响，以探究减缓黑障的办法，但并未得到良好的效果。因而催生了地面实验对于“黑障”问题的研究，众多研究者从信号的发射、接收以及在等离子体中的传播等多方面进行了研究，提出了一系列关于通信“黑障”的对策，主要从改变电波方式和改变等离子体流场等入手以减缓“黑障”。然而地面实验却难以再现高空等离子体的真实环境，但数值模拟却可以，故数值模拟有望成为预测黑障调控有效的有效手段。



讲座掠影

之后，郑晓静院士就数值模拟方法研究“黑障”问题的现状进行了介绍。同时介绍了自己团队在相关问题上的研究进展，以及未来对于“黑障”问题研究的一些展望。



研究生郭晓琳向郑晓静院士提问

报告结束后，孙博华院士对于郑晓静院士的精彩报告表示了感谢。2020级硕士研究生郭晓琳向郑晓静院士提问道：“孙院士让我注意基础理论修养，推荐我在学习弹性力学的同时也学习流体力学。孙院士说目前绝大部分力学工作者一般都是流体力学与固体力学分开的，很少有流固全通的，您在固体力学和流体力学二个领域都精通，请分享一下经验。”

郑晓静院士表示：“这是一个非常好的问题，很多学校都存在着这样的问题，我国力学教育普遍存在这样一个现象，各所高校固体力学与流体力学重视程度不均衡，培养方案也各有侧重，西北地区相当一部分高校对于流体力学方向的学生培养力度较为薄弱，因此人才的培养方案方面需要改革，新的力学人才培养方案将把连续介质力学作为出发点。

与博华院士沟通时，博华院士表示学习连续介质力学需要了解并运用张量，具备良好的数学基础。培养拔尖人才不能也不允许单一地提高课时量，我们对于拔尖人才的培养要从连续介质力学讲起，连续介质力学从张量入手，一定程度之后，讲解了基本定理和本构关系之后，从本构出发，不同的本构关系决定了流固之分，提高学生培养的理论基础，将流体力学和固体力学放在连续介质力学这一个框架内，压缩教学课时量，提高学生培养起点。钱伟长先生提到过‘我没有专业，祖国的需要就是我的专业’，国家的需要也不会有流体和固体之分，也无需区分流固，只要是国家需要我们力学工作者都要攻坚。”

最后，孙博华院士代表力学技术研究院为郑晓静院士颁发了讲座证书。



讲座掠影

### 主讲人介绍：

郑晓静，中国科学院院士，西安电子科技大学教授。分别于1982年和1984年毕业于华中科技大学力学系，获工学学士、硕士学位；1987年毕业于兰州大学力学系，获理学博士学位。1987年12月起任兰州大学力学系讲师、1988年任副教授、1992年任教授，2009年当选中国科学院院士（数学学部）、2010年当选发展中国家科学院院士（工程学部）。

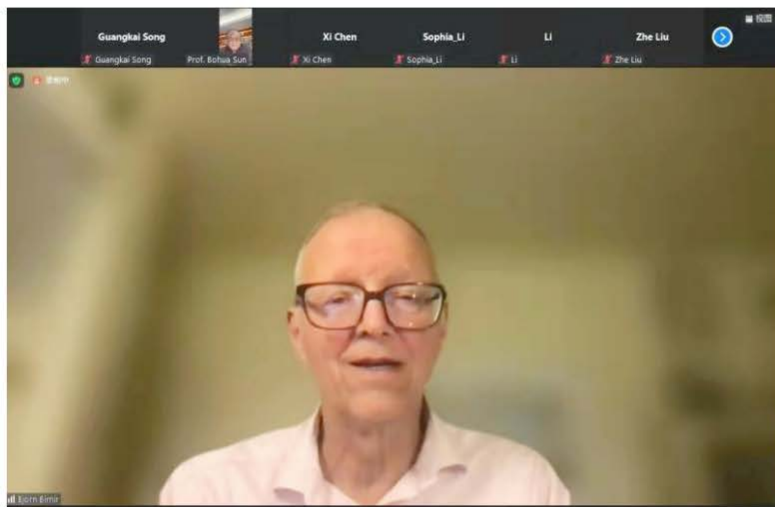
郑晓静主要从事高雷诺数含沙壁湍流、电磁固体力学、板壳非线性固体力学等方向的研究。研究成果获2项国家自然科学基金二等奖、1项国家科技进步二等奖，还获得2项国家教学成果二等奖；获何梁何利基金“科学技术进步奖”（数学力学）和“周培源力学奖”等。1988年获首届“中国青年科技奖”、1991年获“做出有突出贡献的中国博士学位获得者”、1997年获“国家杰出青年科学基金”等。

郑晓静曾任中国科学技术协会副主席和中国科学技术协会女科技工作者委员会主任、中国科学院数学学部副主任和中科院学部咨询委员会委员，现兼任发展中国家科学院院士遴选委员会委员（工程学部）、国际理论与应用力学联合会(IUTAM)理事、中国力学学会副理事长、北京大学“湍流与复杂系统国家重点实验室”、“甘肃省荒漠化与风沙灾害防治”国家重点实验室（筹）学术委员会主任等。

## ● 力学技术讲堂

### 力学技术讲堂第45期-Björn Birnir教授“Boundary Value Turbulence”线上学术报告会成功举办

2022年1月8日10:00, 西安建筑科技大学力学技术研究院2022年第一场学术报告会“Boundary Value Turbulence”在在线会议平台zoom成功举办, 本期学术报告会主讲人为加州大学圣塔芭芭拉分校的Björn Birnir教授。报告会由南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授主持。



讲座掠影

会议开始前, 孙博华院士对Björn Birnir教授的到来表示热烈地欢迎, 并向大家郑重介绍了本次报告的主讲人Björn Birnir教授。Björn Birnir教授表示非常开心能够应孙院士的邀请进行学术报告。

会议开始, Björn Birnir教授首先介绍了湍流和层流的研究历史, 以及描述湍流的随机Navier-Stokes方程的由来。之后介绍了Kolmogorov和Obukhov等人在湍流方面的研究, Kolmogorov等将统计理论引入湍流研究, 推动了湍流统计理论的发展。湍流问题可分为均匀湍流、边界值湍流和拉格朗日湍流三类, 均匀湍流统计理论在2010年到2015年得到发展, 关于拉格朗

日湍流问题的研究仍未完成。然后Björn Birnir教授详细介绍了2016年到2021年边值湍流问题的研究发展，早期Ludwig Prandtl、Theodore von Kármán和Geoffrey Taylor等发现湍流边界层可以分为粘性层、缓冲层、惯性层和尾流四层，而后关于湍流边界层的Prandtl-von Kármán对数标度律、Townsend假说、随机闭合理论等先后被提出，推动了边界湍流问题的研究。最后Björn Birnir教授介绍了结合谱函数的惯性层的平均速度和变化公式的推导过程，并展示了该公式与随机闭合理论下的平均速度参数对比。



讲座掠影

会议结束后，Björn Birnir教授与孙博华院士以及北京航空航天大学陈曦教授就“Boundary Value Turbulence”问题进行了热烈的讨论。最后，孙院士对Björn Birnir教授的精彩报告再次表示了感谢。

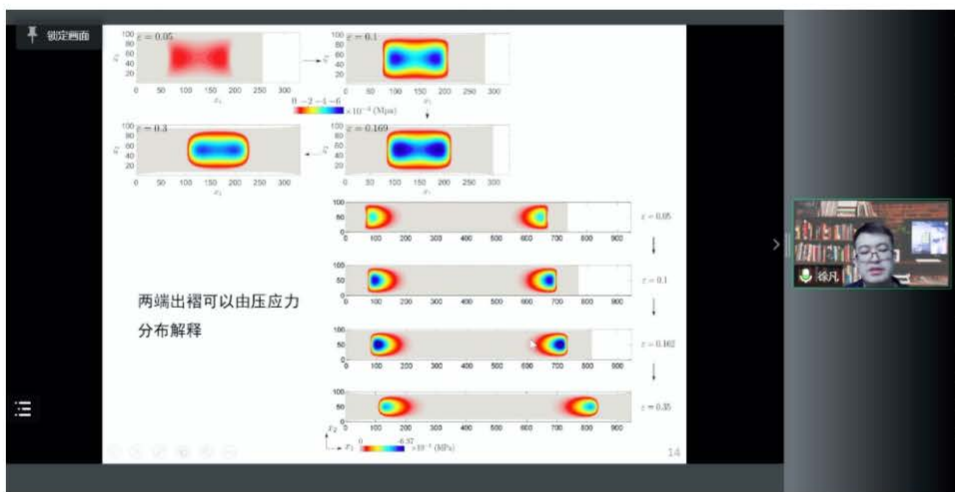
### 主讲人介绍：

Björn Birnir: Professor of Mathematics and Director of Center for Complex and Non-linear Science Department of Mathematics University of California Santa Barbara, USA



## 力学技术讲堂第46期-徐凡教授“软薄膜失稳力学：拉伸起皱与再稳定”线上学术报告会成功举办

2022年3月18日14:30，“软薄膜失稳力学：拉伸起皱与再稳定”线上学术报告会在腾讯会议平台成功举办，本期学术报告会主讲人为复旦大学的徐凡教授。报告会由南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授主持。



讲座掠影

会议开始前，孙博华院士对徐凡教授的到来表示热烈地欢迎，并向大家郑重介绍了本次报告的主讲人徐凡教授。徐凡教授表示非常荣幸能够应孙院士的邀请进行学术报告。

会议开始，徐凡教授首先从研究背景出发，分析了薄膜结构稳定性问题的重要性。随后徐凡教授从五个方面介绍了目前的主要工作，第一部分为平面薄膜大变形拉伸起皱与消皱，徐凡教授具体讲解了薄膜的拉伸、起皱与再稳定，介绍了扩展FvK薄板模型并且分析了其稳定性、泊松效应及应力状态。第二部分为各向异性纤维薄膜斜向起皱，徐教授从各向异性纤维超弹性本构出发，具体讲解了各向异性纤维的有限应变板模型。第三部分为曲面薄膜大变形拉伸起皱与再稳定，徐凡教授通过一些实验案例向我们解释曲率可以抑制褶皱，进而讲解了任意曲率大应变壳模型并且分析了其对本构的影响。第四部分为变曲率柱面膜拉伸失稳行为，徐凡教授具体分析了变曲率

效应与长度因素。第五部分为Mullins效应与曲率的非线性竞争机制，徐凡教授从拉伸薄膜的Mullins效应开始，介绍考虑Mullins效应的有限应变壳模型，并且通过平面薄膜加卸载的模型与实验进行验证。最后，徐凡教授对报告内容进行总结，并且提出了创造一个考虑大变形和可变几何的新型有限应变壳模型的目标。



讲座掠影

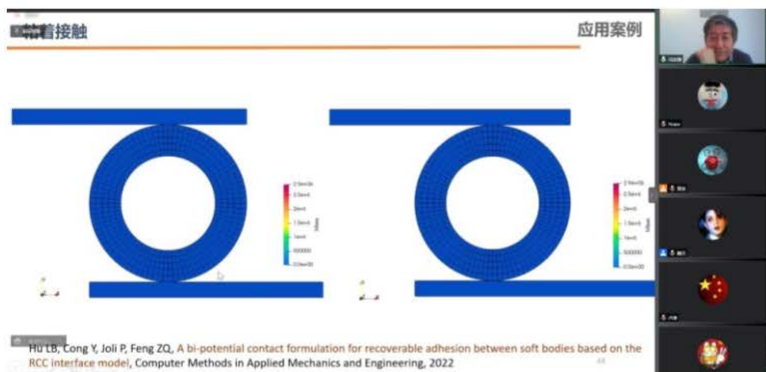
会议结束后，徐凡教授详细地回答了参会者的问题并且进行了热烈的讨论。最后，孙院士对徐凡教授的精彩报告再次表示了感谢。

### 主讲人介绍：

徐凡，复旦大学教授、博导，国家自然科学基金委优秀青年基金获得者，上海市“曙光学者”、“青年科技启明星”。主要从事软物质与柔性结构力学、薄膜力学和智能材料力学研究，研究几何、本构和拓扑微结构等对软物质大变形行为影响机制，应用于形貌调控和仿生结构器件设计。以第一/通讯作者在PRL(封面文章)、JMPS、Nature Biomed. Eng.、AFM、IJSS、IJES、CMAME等学术期刊发表SCI论文50余篇，成果被Nature、Nature Phys.、Nature Biomed. Eng.和Nature Comput. Sci.专题评论报道。任中国力学学会青年工作委员会委员、中国力学学会软物质力学、微纳米力学工作组组员、上海市力学学会常务理事、《力学进展》青年编委、《力学与实践》青年编委、IJNLM客座编辑、JMMP副主编、Materials编委、IJCMSE编委。

## 力学技术讲堂第47期-冯志强教授“CAE仿真软件开发及应用”线上学术报告会成功举办

2022年4月29日15:00, “CAE仿真软件开发及应用”线上学术报告会在腾讯会议平台成功举办, 本期学术报告会主讲人为冯志强教授。报告会由南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授主持。



讲座掠影

会议开始前, 孙博华院士对冯志强教授的到来表示热烈地欢迎, 并向大家郑重介绍了本次报告的主讲人冯志强教授。冯志强教授表示非常高兴能够应孙院士的邀请进行学术报告。

会议报告开始, 冯志强教授首先自身的生活工作出发, 为大家介绍有限元发展历史的相关知识。随后冯志强教授分别从五个方面介绍了目前的主要工作和进展。第一部分为CAE仿真软件的现状和意义, 为大家介绍了我国发展CAE仿真软件的必要性和所面临的问题。在第二部分CAE仿真软件基本原理中, 冯志强教授详细介绍了仿真软件的程序步骤设计、算法、方程等方面内容。第三部分为CAE仿真在多领域中的应用, 冯志强教授通过一些实际应用向我们展示了仿真软件在多个领域广阔的应用。在第四部分中, 冯志强教授全面介绍了国产CAE仿真软件LiToSim的发展、功能和研发现状等内容。最后冯志强教授结合实际需求和未来发展, 对CAE的发展提出了展望。



讲座掠影

会议结束后，冯志强教授详细地回答了参会者的问题并且进行了热烈的讨论。最后，孙院士对冯志强教授的精彩报告再次表示了感谢。

### 主讲人介绍：

冯志强，重庆大学工程力学硕士（1987），法国贡比涅科技大学（UTC）计算力学博士（1991），法国巴黎-萨克雷（Paris-Saclay）大学特级终身教授，力学与热能实验室主任（2007-2018），法国教学科研骑士勋章获得者。国家级特聘教授（2011-，西南交通大学），重庆励颐拓软件有限公司联合创始人、首席科学家，中国数字仿真联盟副理事长，中国工程计算软件发展论坛副理事长，西北工业大学，四川大学等高校客座教授，中国工程物理研究院客座研究员，中国力学学会产学研委员会委员，计算力学专业委员会委员，《应用数学和力学》和《Int. J. of Computational Methods》杂志编委。研究领域主要涉及材料本构、结构动力学、摩擦接触问题建模、大变形建模（超弹性、弹塑性、刚性-粘性-塑性、土体）、裂纹开裂与闭合模拟、结构冲击模拟、金属变形过程模拟、生物力学模拟、微纳尺度模拟、虚拟现实及实时计算、多物理场模拟、自主CAE软件研发。发表学术论文200余篇，培养研究生50余名，主持多项科研项目。

## 力学技术讲堂第48期-崔海航副教授“近气液自由面的多模态气泡微机器人”学术报告会成功举办

2022年5月13日11:00，“近气液自由面的多模态气泡微机器人”学术报告在西安建筑科技大学力学技术研究院线下和腾讯会议线上同时举办，主讲人为西安建筑科技大学崔海航副教授，报告会由南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授主持，八十余人参加本次学术报告。



讲座掠影

会议开始前，孙博华院士对崔海航副教授的到来表示热烈的欢迎，并向大家郑重介绍了本次报告的主讲人崔海航副教授。崔海航副教授表示非常荣幸能够应孙院士的邀请来到力学技术研究院进行学术交流。

会议开始，崔海航副教授介绍了微泳动机器人的研究背景，首先向大家介绍了Janus particle的概念，Janus particle是两侧具有不同性质的颗粒，比如分子级的表面活性剂等。在微米级尺度下，在各项同性的均匀环境里，可以通过这种非对称结构创造出高的梯度，通过这种高的梯度产生力，从而自驱动颗粒运动。通过温度梯度、电场梯度、浓度梯度不同会产生不同的自驱动问题，其中浓度梯度不同的气泡驱动是目前已知最快的。之后介绍了微机器人泳动领域经典工作，比如浓度梯度自扩散泳，通过浓度差产生力，将不会运动的被动颗粒转化为可以运动的活性颗粒。

随后崔海航副教授就自己团队在气液界面气泡驱动一些研究成果向大家进行了介绍。同时介绍了在加入磁场控制后对气泡驱动进行了控制，实现了对颗粒运动方向、速度等进行控制。这一研究可以用于气液界面的颗粒组装，气液界面性质探查，微纳单颗粒惯性、尺度测量，微泳动机器人集群协作等多方面问题。

会议结束后，崔海航副教授与参会师生进行了激烈的讨论，对线上提问进行了耐心解答。最后，孙院士对崔海航副教授的应邀报告再次表示感谢，并为崔海航副教授颁发了讲座证书。



线下合影

### 主讲人介绍：

崔海航，博士，副教授，致公党，西安建筑科技大学，建筑设备科学与工程热工流体力学教学科研中心主任。本科、硕士就读于西安交通大学能源与动力工程学院，博士就读于中国科学院力学研究所非线性力学国家重点实验室(LNM)，随后在National University of Singapore做博士后。主要研究方向为微纳尺度流动、计算流体力学、环境流体力学。主持国家自然科学基金青年基金项目、陕西省自然科学基金、高等学校博士学科点专项基金、陕西省教育厅重点实验室项目等纵向项目，参与水体污染控制与治理国家重大专项、国家自然科学基金面上项目等纵向项目，承担其他横向课题十余项。发表学术论文50余篇，其中SCI论文30余篇，包括Lab on Chip、Langmuir、Physical Review E、Physics of fluids、Microfluidics and Nanofluidics、中国科学、科学通报等国内外重要期刊。长期从事流体力学教学工作，负责流体力学省级精品课，主讲流体力学及高等流体力学课程。

## 力学技术讲堂第49期-姚尧教授“高温下高性能混凝土力学性能及结构防灾”学术报告会成功举办

2022年5月21日10:00，“高温下高性能混凝土力学性能及结构防灾”学术报告在西安建筑科技大学力学技术研究院线下和腾讯会议线上同时举办，主讲人为西安建筑科技大学姚尧教授，报告会由南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授主持，线上、线下近400余人参加本次学术报告。



讲座掠影

会议开始前，孙博华院士对姚尧教授的到来表示热烈的欢迎，并向大家郑重介绍了本次报告的主讲人姚尧教授。姚尧教授表示非常荣幸能够应孙院士的邀请来到力学技术研究院进行学术交流。

会议开始，姚尧教授介绍了高温下高性能混凝土力学性能及结构防灾的研究背景，首先向大家介绍了火灾下建筑结构安全涉及的科学问题，比如混凝土爆裂、高温损伤、结构连续性倒塌、结构件失效等。根据相应问题，姚尧教授向大家展示了混凝土高温爆裂机理及模型、混凝土高温本构模型、结构抗火及连续性倒塌，提出了一种新型高性能材料，并开发了新型石墨烯混凝土制备技术。

随后姚尧教授就自己团队在多物理场下新型芯片材料、柔性电子器件及3D打印技术的一些研究成果向大家进行了介绍。同时介绍了自己团队未来研究方向，通过利用西部地区工、农业废料，开发新型绿色高性能混凝土材料，提出新型结构可靠性预测及防灾评估准则，最后逐步应用到实际工程。

会议结束后，姚尧教授与参会师生进行了激烈的讨论，对线上提问进行了耐心解答。最后，孙院士对姚尧教授的应邀报告再次表示感谢，并为姚尧教授颁发了讲座证书。



会议掠影



线下合影

**主讲人介绍：**

姚尧，西安建筑科技大学副校长，土木工程学院教授，校学术委员会副主任；西北工业大学力学与土木建筑学院教授。本科、硕士、博士分别毕业于同济大学工民建、新加坡南洋理工大学土木工程、美国西北大学土木工程系理论与应用力学专业。曾任美国埃克森美孚公司高级研究员、工程专家等职。长期从事高温下工程材料力学性能及结构防灾减灾，以及多场耦合下混凝土、封装焊料本构理论、疲劳及损伤失效机理研究。目前发表SCI论文200余篇及专著3部，被引用3000余次；授权国内外专利20余项。入选国家海外高层次人才，德国洪堡资深学者，国际先进材料学会会士。获陕西青年科技奖，任陕西省科技创新团队、“三秦学者”创全国一流团队负责人，秦创原“科学家+工程师”项目首席科学家。担任国内外学术会议主席及作keynote/大会邀请报告30余次。任多个国际期刊副主编，编委。培养博士、硕士60余名，学生多次获得工信部创新创业奖等奖励、50余人次获国家奖学金。

## 力学技术讲堂第50期-王彪教授“预报材料强度和非均匀变形的热力学理论”学术报告会成功举办

2022年5月27日10:30，“预报材料强度和非均匀变形的热力学理论”学术报告在西安建筑科技大学力学技术研究院线下和腾讯会议线上同时举办，主讲人为中山大学王彪教授，报告会由南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授主持，线上逾百人参加了讲座。



力学技术讲堂

### 预报材料强度和非均匀变形的热力学理论

王彪

中山大学



讲座掠影



讲座开始前，孙博华院士对王彪教授的到来表示热烈的欢迎。孙院士回忆了中国力学学科在清华大学的诞生和发展，介绍了王彪教授的求学经历和目前的工作情况。

讲座开始，王彪教授通过阐释了一些工程应用背景，尖锐地指出强度与变形两大核心问题都未能得到完美解决。随后，王彪教授对于结构的安全问题发表了独到的见解：将材料结构在外载作用下的失效问题等效为热力学系统的稳定性问题，提出了基于非平衡热力学的全局破坏理论，这样就把强度预测从经验公式归于理性科学的框架。王彪老师还从均匀变形晶体强度和整体强度准则和区域准则的区别及实验验证两个经典案例说明了全新理论体系的巨大威力。

讲座后，王彪教授回答了听众的问题，参会的学生和老师对王彪教授的精彩讲座表达了感谢。



线上合影



线下合影

### 主讲人介绍：

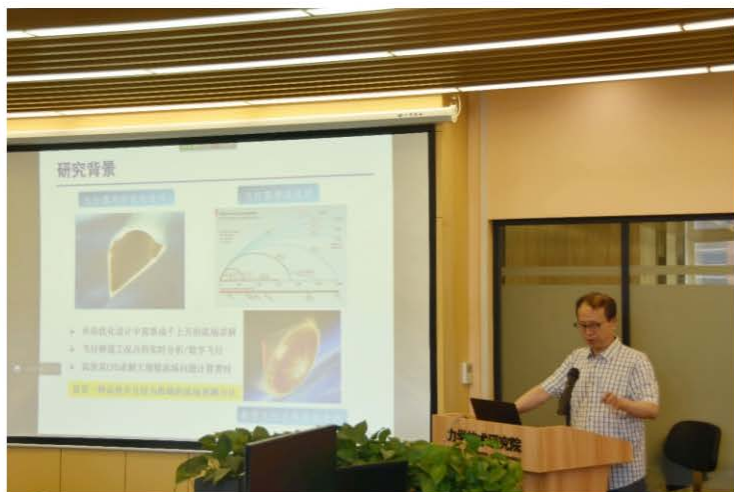
王彪教授目前是中山大学物理学院和中法核工程与技术学院双聘教授，长江特聘教授（2000年），国家杰出青年基金获得者（1997年）。多年来一直在（1）固体力学理论与模型；（2）核仿真和核安全关键科学与技术研究；（3）微纳米材料物理与力学（4）特种激光晶体材料和激光器制备等领域开展研究工作。共发表了SCI收录的国际学术杂志论文400余篇并出版了两部专著。已获公开和授权的发明专利50余项。他2004年6月被中山大学以第一层次人才引进，2005年10月-2014年1月任中山大学物理科学与工程技术学院院长。他主导筹建了中山大学中法核工程与技术学院，并在2010年学院成立后，任该学院的院长至2020年6月。目前还兼任东莞理工学院材料科学

与工程学院院长和交叉科学中心主任。

作为项目负责人，曾分别主持国家自然科学基金专家推荐原创探索计划项目（2021年）、重点项目（2018年，2012年，2007年）、国家科技部863研究计划、国防科工委重大基础研究计划等资助。历年来多次获得国内外学术和人才奖励，包括：ISI（美国科学信息研究所）“经典引文奖”（Citation Classic Award，2000年）、2019年“广东特支计划”杰出人才（南粤百杰）、第五届中国青年科技奖（1997年）、广东省科学技术奖励一等奖（2007年，排名第一）、教育部科学技术成果一等奖（2004年，排名第一）、国务院政府特殊津贴（2001年）、广东省丁颖科技奖（2010）、“做出突出贡献的中国博士学位获得者（1991年）”等荣誉。

他目前还兼任教育部核工程与技术专业教学指导委员会成员，广东省物理学会理事长，中国力学学会常务理事等学术兼职和《中国科学》等数个国内外学术期刊的编委。

## 力学技术讲堂第51期-蔡晋生教授“数据驱动的飞行器流场快速预测方法”学术报告会成功举办



讲座掠影

2022年6月13日16:30, “数据驱动的飞行器流场快速预测方法”学术报告在西安建筑科技大学力学技术研究院线下和腾讯会议线上同时举办, 主讲人为西北工业大学蔡晋生教授, 报告会由南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授主持, 线上逾百人参加了讲座。

讲座开始前, 孙博华院士对蔡晋生教授的到来表示热烈的欢迎。孙院士回忆了与蔡晋生教授的相识过往, 并介绍了蔡晋生教授的科研经历和目前的工作情况。

讲座开始, 蔡晋生教授通过介绍了一些飞行器的研究背景, 指出飞行器外形优化设计中需要成千上万的流场求解, 飞行弹道工况点的实时分析, 高保真CFD求解大规模流场问题费时。针对以上研究问题, 蔡晋生教授分别从流场数据生成的采样设计方法, 基于本征正交分解的降维方法、流场快速预测中的多步增强降维方法、高超声速飞行器弹道飞行气动性能快速评估等四个方法详细介绍了一种高效并且较为准确的流场预测方法。

讲座后, 蔡晋生教授与现场师生进行了交流, 参会的学生和老师对蔡晋生教授的精彩讲座表达了感谢, 并合影留念。



讲座掠影

### 主讲人介绍：

蔡晋生，西北工业大学航空学院流体力学学科“长江学者”特聘教授，博士生导师。主要从事计算流体力学和多学科新概念流动控制技术方面的研究，承担了多项民机科研项目，开发了民用飞机气动力预测与优化设计的数值仿真软件；从事飞行器气动布局设计方面的研究，承担了国家自然科学基金和基础加强计划等项目，研究超机动飞行器流动机理与气动布局优化设计；从事复杂流动控制技术方面的研究，开发了新概念纳秒脉冲等离子体激励防除冰流动控制技术；从事气动噪声数值预测与实验方面的研究，承担国防973项目，发展了气动噪声辐射与散射统一数值预测方法。

## 力学技术讲堂第52期-卢国兴教授 “Impact and Energy Absorption of Origami Structures and Metamaterials” 学术报告会成功举办

2022年7月1日11:00，“Impact and Energy Absorption of Origami Structures and Metamaterials”学术报告在西安建筑科技大学力学技术研究院线下和腾讯会议线上同时举办，主讲人为澳大利亚斯威本科技大学卢国兴教授，报告会由南非科学院院士、力学技术研究院院长、首席科学家孙博华教授主持，线上近三百人参加了讲座。



讲座现场

讲座开始前，孙博华院士对卢国兴教授的到来表示热烈的欢迎，并向大家郑重介绍了本次报告的主讲人卢国兴教授。卢国兴教授表示非常高兴能够应孙院士的邀请进行学术报告。

讲座开始，卢教授通过人体头部的耐冲击性，引出能量吸收结构/材料方面问题，并指出折纸结构这一吸能结构。随后，卢教授介绍了折纸结构由单个单元到多单元基于准静态测试的模型验证，并将折纸超材料与蜂窝结构比较。展示了折纸结构在低恒速压缩，低恒速动态破碎，高恒速动态破碎等方面的力-位移曲线，结果表明折纸结构的吸能性能几乎与规模无关，可以通过调整折纸结构单元的几何形状以调整三个方向的力学性能，并提供梯度。3D打印超材料在冲击下却会发生脆性断裂，其吸收的能量远低于准静态情况。卢教授还展示了复合管的冲击和破碎，生物冲击力学，冰球冲击试验等有趣的问题。最后，卢教授介绍能量吸收在土木工程中的应用，并给大家推荐了相关书籍。



线上合影

讲座后，余同希教授对卢国兴教授团队的成果进行了肯定，参会师生对卢教授的精彩分享表达了感谢。



### 主讲人介绍：

Professor Guoxing Lu obtained his PhD in 1989 from the University of Cambridge, supervised by Professor CR Calladine (FRS, FREng). After one year post-doctoral research at Cambridge, he worked as a faculty member at Nanyang Technological University, Singapore, and presently is Professor of Impact Engineering at Swinburne University of Technology, Melbourne, Australia. His research interests are energy absorption of structures and materials, mechanical properties of materials at high strain rates, impact mechanics and most recently origami structures. He has over 260 publications in international journals and one monograph co-authored with Professor Tongxi (TX) Yu, *Energy Absorption of Structures and Materials*, Elsevier, 2003. He has 11300 citations with an H-index of 56. He is an Associate Editor of *International Journal of Impact Engineering* and a member of editorial board of *International Journal of Mechanical Sciences*, *Thin-Walled Structures*, *Composites B* and others. He is President of *International Society of Impact Engineering*. He is Associate Dean Research, School of Engineering.

## 力学家访谈录



### 西南交通大学冯志强教授

1. 访谈时间：2022年4月29日

2. 访谈内容



问：随着有限元的技术应用的不断发展，从单一计算向多物理耦合场，线性问题到非线性问题，有限元软件的集成，交互界面的优化。在您看来，未来的有限元会朝什么方向发展呢？

答：我们在三十多年的有限元领域积累中，深刻认识到有限元在几个方面较大的发展前景，其中之一是材料层面的多尺度方法，模拟微细观尺度对宏观材料性能的影响；其二是结合多方法，如粒子方法，可以有效的拓展有限元解决的问题范围；其三是可以在基于物理的虚拟现实方向拓展有限元，这方面的工作我们也在进行；最后是结合有限元与刚体动力学共同模拟分析，这样既解决了纯采用刚体动力学模拟造成的粗糙，也解决了单纯使用有限元模拟造成的巨大计算成本。

问：有限元的学习离不开数学理论，计算算法的相关知识。对于致力于该领域钻研的学生，您有什么好的建议吗？

答：对于力学方向的学生，数学的基础和数学理论是最基本的知识结构，比如本构关系理论的建立需要学生具有坚实的数学基础和知识，需要对张量分析、连续介质力学的数学知识和力学理论有清晰的认识和深刻的理解，不但需要学会，更加需要会用，这为力学的学生提出了较高的要求。

问：分形几何的发展在近年来呈现出蓬勃的姿态，已经在很多领域取得了进展，在有限元领域，特别是有限元建模方面，您认为二者能否结合发展解决更多的问题？

答：对于分形几何这种重复性或对称性的数学特点，我想到两点，其中一点是对于快速建模方面的应用，比如现在经常研究的超材料的几何特征，采用分形几何加快材料建模方面的工作，其次是对材料的模拟，尤其是跨尺度下的材料基因，分形几何有可能提供一个好的思路。

问：灵活的科学程序在科研中非常重要，但开发一个新的程序并不容易，您在程序开发中有什么好的经验可以分享吗？

答：程序开发非常不容易，在这方面的开发一定需要有很强烈的兴趣，需要长久的坚持，从我的经验来说，从学术上的研究到真正工业上的应用需要很长时间，是一个从零到一，从一到一百的过程，唯一不变的就是坚持。

问：相对于实验和理论分析，单纯有限元计算的论文往往认可度不高，对于此您有什么好的建议？

答：单靠计算，如果使用的商业软件，也许计算的结果很漂亮，但可能认可度不高，纯粹计算确实不容易，但对于问题有深刻认识，对于理论有深刻的分析，也能做出值得认可的论文，尤其审稿人对问题是很熟悉的，很清楚能看到你工作的重要性；其次对于有限元计算速度方面的提高，也能为我们提供一个很好研究方向。

问：结合您的学术成长经验，您对现在研究生研究方向等方面有怎样的建议？

答：研究生选题一定要思考题目是否对将来有用，需要考虑到将来很多年的发展，最好高瞻远瞩，这样才能体现自己的科研价值，其次需要对自己有一个很好的认识，最好了解自己的长处和优势，这样才能有的放矢。





## 西安建筑科技大学崔海航副教授

### 1. 访谈时间：2022年5月13日

### 2. 访谈内容

问：您能简单介绍一下微泳动机器人的运动机制吗？基于气泡驱动的中空Janus型微机器人与传统的反冲力驱动的微泳动机器人，在驱动机制上有什么异同？

答：微泳动机器人实际上是对微生物的仿生，而微生物游动所产生的流场是低雷诺数的斯托克斯流动，斯托克斯流动具有时间的可逆性，也就是



“扇贝定理”。气泡处于不断膨胀收缩的周期性边界条件下，在极低雷诺数时其净位移应该为零，时间的可逆性约束了其运动。要创造出一个可以动的机器人需要打破这个约束，其中一个方式是扩散泳动，颗粒两侧产生非对称力，另外一种就是打破时间的可逆性，在微尺度下可以创造高雷诺数流动打破时间的可逆性，在之前的研究中往往将微尺度流动与低雷诺数流动画等号，实际上在微尺度下，如果速度足够高，我们也可以获得可观的雷诺数，这就在微尺度下创造了一个极端的流动状态，简单来讲，在微尺度下，可以通过时间尺度在微秒级的气泡溃灭来产生非常高的速度，产生惯性力驱动物体运动。

对反冲力驱动来讲，在反冲过程中气泡始终是保持完整的，完整的气泡从颗粒表面脱落，利用动量守恒原理对颗粒施加驱动力。在这种情况下由于气泡本身的密度很小，从整体来看单个气泡具有的动量很小，反冲过程就需要产生大量的气泡。而中空Janus型微机器人不需要保持气泡的完整性，利用气泡溃灭产生的能量驱动颗粒运动，其能量来源并不是气泡本身具有的动量，而是气泡溃灭时气液界面消失释放的表面能，对于单个气泡来讲这种

脱落产生的能量要大的多。

**问：中空Janus粒子是如何实现在气液界面的垂直动态悬停的，界面不同的物理特性是否会对这种动态悬停产生不同的影响？**

**答：**中空Janus粒子的密度相对较小，由于浮力作用粒子存在向气液界面运动的趋势，而实际过程中粒子是在气液界面之下运动，并在一定范围内周期性上浮下潜，在平衡位置上下波动，因此必然存在一个力使粒子处于动态悬停状态，这个力的来源是气泡溃灭所产生的射流，气泡周期性的生长溃灭而产生周期性的推动力，从而实现粒子的动态悬停。

界面特性必然会对粒子的运动产生影响，在气液界面上需要关注的是表面张力，表面张力的大小取决于表面张力系数和曲率半径，我们可以通过在溶液中添加表面活性剂，调整表面张力的大小，从而改变Janus粒子的运动速度。反过来说，Janus粒子的运动也可以作为一个工具探查界面特性，简单来说我们创造出了一种探针，可以探查我们微观上看不见的一种物性，例如界面厚度。

**问：如何通过磁引导来控制微机器人的运动？如何确保机器人运动精度？除此外有没有其他的引导方式？**

**答：**宏观上的电场、声场等不同的物理场原则上都可以用来引导微机器人的运动，不同的场对应不同的微机器人类型，在粒子两侧镀上不同的吸热材料，在红外线照射下两侧形成温差控制粒子运动就是所谓的热泳机器人，另外可以通过某种方式使粒子两侧具有不同的压缩性，利用超声波控制粒子运动等。在医学领域，外场需要具备一定的穿透性，透过皮肤组织影响位于人体内部的粒子，在这方面相比于电场，声场、磁场以及红外线可行性更高。

在微尺度下对于精度控制影响最大的就是布朗运动，抑制布朗运动是得到定向运动的前提，可以通过改变粒径、温度等一定程度上降低布朗运动的影响，由于布朗运动的随机性，目前还无法实现类似于宏观的定向性的弹道运动，一般利用外加的物理场交互式实时控制粒子运动，通过不断修正粒子运动轨迹，得到定向运动。

问：目前国内外针对自驱动纳米马达研究集中于双氧水体系，双氧水体系不适用于人体内体液环境，微马达驱动在人体体内应用领域目前有哪些进一步的发展？

答：铂催化双氧水产生氧气气泡，其能量来源在于溶液分解，对于这类应用，不难想到，水在人体中大量存在，可以在Janus颗粒单侧镀上金属镁等活泼金属，利用镁与水发生化学反应产生氢气气泡，另外还可以利用人体某些特定部位的特征，例如胃酸，通过加入一些能够与盐酸等反应的物质也可以达到类似的效果，此外，可以利用红外线照射人体，通过热泳的方式驱动，自然就不需要气泡。目前很多机器人、化学等领域学者研究微马达在人体环境下的应用，并且取得了非常优秀的成果。



## 西安建筑科技大学姚尧教授

1. 访谈时间：2022年5月21日

2. 访谈内容

问：混凝土广泛运用于建筑领域，但其抗火性能的研究起步较晚，您可以简要介绍一下提升混凝土抗火性能的方法有哪些吗？

答：混凝土的抗火性能首先考虑混凝土在火灾下的破坏模式。比如说，现在用的比较多的超高强混凝土，它的爆裂模式，需要考虑相变及蒸汽压的不均匀变化产生破坏。如果要提高混凝土的抗火性能，在强度方面，韧性方面都有相应的方法。现在比较流行的是添加不同类型的纤维，一方面可增加其强度和韧性，另一方面有防裂的效果。我们还有一些加固防止爆裂的方法，比如纤维融化以后产生的孔洞可以让蒸汽溢出减缓爆裂现象。混凝土相对钢材来说，抗火性能会比较好，钢材主要是采取涂层的方法抗火，混凝土主要是增韧的方法用的比较多。



**问：我们一般讲究理论与实验相结合，混凝土抗火的实验主要用到哪些设备？**

**答：**我们现在一般采用的是高温炉，实验里面常用的ISO834标准火测试，我们学校天然气的炉子能实现较快的升温速度，我们很多实验都是根据这种标准进行的。实际上，在自然火灾情况下，火灾的曲线不会上升的很快。我们需要有热力耦合原位观测的炉子。我们团队现在正在开发这样一个全耦合原位观测的炉子，这样就可以实时观测混凝土在高温下的力学性能，分析其损伤、本构关系等。

**问：混凝土结构火灾后损伤如何评估？火灾后进行结构修复可以采取哪些措施？**

**答：**我们现在损伤评估很多采用健康监测的方法，可以用不同的健康监测的方式来探测材料及结构在极端荷载下的损伤程度。不同的损伤模式会有不同的修复方法和修复要求。混凝土的火灾修复主要看其强度、韧性等指标，结构如果强度有很大的损伤则会有安全隐患，因此首先要保证其强度。在灾害情况下，会产生强度下降，以及局部的爆裂和开裂，这些都需要进行修复。不同的结构会有很大的差别，有的结构不仅需要保证其强度，还需要保证其外观、使用功能等。

**问：随着制造业的发展，3D打印混凝土技术虽然在不断发展，但是也存在不少挑战。您能谈谈您对这个新兴技术的看法么？**

**答：**3D打印现在土木工程领域应用的也比较多，国内外有很多建筑领域做3D打印相关研究的学者。3D打印是一个增材制造的方法，和我们传统的浇筑相比，3D打印的灵活性会更好，对形状的控制有一定的优越性。我们的预制结构、快速建造结构采用3D打印的方法会较快的达到建造要求。总体来说，3D打印技术未来会使用的越来越多，但是3D打印工艺及材料还有许多需要探索的技术和科学问题。

**问：您对于当代土建类研究生课题选择有怎样的建议？**

**答：**我觉得土建类的研究生课题选择应该“顶天立地”，一方面是面向国际最前沿，另一方面是面向国家重大需求，如果能够兼顾就更好了。尤

其是土木建筑类的学生，他们的研究不应该仅仅以发表论文为根本目的，应该是解决实际问题，并且在工程问题中提炼出科学问题。因此，学生在选题时应该了解我们这个行业国内外未来发展趋势、现在遇到的卡脖子问题是什么以及我们的研究能不能对解决该问题提供帮助。我们的研究和行业结合是非常紧密的，希望能够推动行业的发展，这个是土建类科学研究的意义。



## 中山大学王彪教授

1. 访谈时间：2022年5月27日

2. 访谈内容



**问：**引入断裂力学的材料强度评估方法与基于传统强度理论的评估方法有哪些显著区别？难易程度如何？

**答：**传统的强度理论通常认为荷载达到一定程度后材料就会破坏，而在断裂力学中，会出现如微小裂纹尖端无限大应力场作用下，如果按照传统强度理论它会出现破坏，但是实际情况中材料还是能够保持完整，说明用应力作为衡量材料的强度参数并不能代表材料破坏的本质。断裂力学开拓了对含缺陷材料破坏问题的研究思路，继而把强度理论纳入到较理性的轨道上来。

**问：**材料破坏过程是一些原子相对于另一些原子的不可逆位移，那么宏观的裂缝开展对应的微观原子分子尺度的物理过程是怎样的？

**答：**微观上，材料破坏过程是一些原子相对于另一些原子的不可逆位移，这是一种不能恢复的情况。宏观上，即工程界中大家都比较熟悉的，如柱子断裂或弯曲，失去承载能力，导致结构出现整体破坏，会造

成比较大的安全事故。破坏的模式种类多样，包括断裂、滑移、屈曲等，但其本质都是一些原子相对于另一些原子的不可逆位移。

**问：您用不同的状态变量描述不同材料结构，这些状态变量如何选择？您是怎么把它们联系在一起的？**

**答：**针对不同的材料和破坏机制，可选的状态变量是很多的，但是我们希望建立的理论具有一定程度的实用性，选取状态变量时要分清主次，抓住主要矛盾。首先要评估你的材料到底是怎么破坏的，比如含缺陷的材料，它的破坏可能是由缺陷的变化导致，这种情况下缺陷的尺寸可能就成为了一个比较关键的状态变量。状态变量的选择要根据不同材料在不同荷载作用下，根据它的破坏模式和机理来进行选择。

**问：您认为目前固体力学中损伤与断裂方向与其他学科的耦合过程，在未来十年中，面临着哪些亟待解决的问题？**

**答：**强度问题和湍流问题类似，都是在各自领域内具有比较大难度的问题，它的起源来自一些经验公式，用于给工程界对结构的承载性能进行评估，但经验公式是存在局限的，我们的目的是解释为什么结构在一定程度下出现破坏，能不能发展一些更理性的评估方式。我觉得在未来十年中，这个方向应该有比较大的进展和突破，会进入到不同领域的一些工程设计规范中，这些规范是依据相应理论并且结合了大量的经验总结出来的，工程师设计结构就必须满足这些规范。工程师在现存规范的使用中也发现了各种各样的问题，如安全系数要求过高，造成浪费大，或者是即使采用偏安全的设计方案，还是出现了大量事故。这些都表明，我们需要从根源上做一些工作来改善现存的设计理论以及理念。

**问：您是两个学院的教授，培养了许多研究生。中法核学院引进了法国工程师的培养模式，请问您认为国外的人才培养模式有哪些值得学习的地方？对于一个不了解的领域，研究生应该如何展开科研工作？**

**答：**法国的培养模式和我们的不太一样，举一个简单例子，比如说我们都学过动量守恒，国内的教法是先讲解动量守恒原理的内容，如何使用动量守恒原理，然后再用此原理去计算一些题。而法国的教学方式会聚焦于动量

守恒的原理来源，和一些基本的推导过程，较我们国内更看重解决问题的过程。除此之外，法国课程中数学物理的占比也是很大的，这样的培养方式导致他们的学生数理基础都比较扎实。还有一点就是我们的培养在某些方面较为松散，淘汰率低，导致学生的竞争意识薄弱，对一些优秀的学生不太公平，需要开展一定程度的精英化教育。法国对学生动手能力即实践能力的培养也是值得我们借鉴的，他们会给学生安排多次实习任务，在理论学习的同时不忘结合实践，最终目的还是培养学生的综合能力。



## 西北工业大学蔡晋生教授

### 1. 访谈时间：2022年6月13日

### 2. 访谈内容

问：在数值模拟研究中，物理模型的建立也是十分重要的一环。而您所研究的飞行器湍流大规模数值模拟的模型想必非常复杂，能向我们介绍一下您在模型建立这方面的心得吗？



答：湍流问题一直都是世纪难题。在飞行器设计中，涉及的湍流计算一直也是需要解决的关键问题。其中会形成非常复杂的湍流结构，这是现有的湍流模型很难有效精确模拟的。我们团队主要是采用湍流的高精度模拟方法，主要是多层次的基于自适应网格的多分辨模拟方法，其好处在于结合自适应网格应用大涡模拟的概念提出一种多分辨的湍流模拟，在处理多尺度、多层次非定常问题时，能够更加精细地模拟湍流过程的演化过程。

问：高质量网格的设计与生成是复杂流动CFD精确计算最主要的决定性因素之一，您能简单介绍下在动网格模拟中，多层嵌套重叠网格于普通重叠网格有何优势之处？

**答：**多层嵌套重叠网格相比于普通重叠网格可以保证生成高质量网格，提高计算精度。嵌套重叠动态自适应网格针对不同的部件分别生成结构化网格，然后重叠嵌套，从而可以更加容易保证网格质量，生成的难度也大大降低，其算法也较为复杂，需要保证高精度的数值离散、数据交换等。我们发展的高精度的重构算法可以较好实现多层嵌套重叠网格，并且能够保证全场的高精度的数值计算，这种算法有利于实现动态网格划分，提高网格质量，进而提高计算精度和计算效率。

**问：**如何对气动噪声数值预测一直是计算流体力学领域的难题，在这个研究过程中肯定充满了艰辛，请问您是如何克服这些研究中的困难的？是什么激发了您对该领域的兴趣？

**答：**气动噪声是航空航天中非常热门的研究领域之一。气动噪声往往是由非定常结构产生的，这些结构包括湍流结构、较大的流动结构产生的脉动量等。这些脉动量往往量级相差较大，包括高频噪声、低频噪声等对空间尺度、时间尺度要求较高。针对这些难题，我们主要加强发展一些算法，包括高阶守恒的算法、大规模的并行计算方法，并在超算架构上实现求解。对该领域的研究主要是需求驱动，主要面向国家重大需求，这些问题是飞行器发展中非常重要的难点，是迫切需要解决的难题。

**问：**能否请您根据自身的研究经历，对当代的研究生的工作提出一些建议？

**答：**我觉得大概有三点：一是学生要能够静得下心，不要受周围环境和 社会的影响，保证自我坚定；二是要打好基础；三是创新能力的培养。这是全面发展的必要条件，决定了未来发展的高度。在研究生最开始的时候，应当结合自己的兴趣在大方向中，花费半年左右时间大量阅读文献，从中找到有价值的问题，然后深挖，并把握好上述三点，这样才能有更好的发展潜力。





## 斯威本科技大学卢国兴教授

1. 访谈时间：2022年7月1日

2. 访谈内容



**问：**低速冲击下结构的力学响应与准静态响应非常相似，那么低速冲击试验可否用准静态试验代替？在进行落锤冲击试验时冲击速度和落锤质量应如何控制？

**答：**进行低速冲击研究时首先应该做准静态试验，因为准静态试验便于观察结构的变形模式，可以准确地测出力-位移曲线；而冲击试验只能借助高速摄影机观察变形历史，测得的曲线往往会有振荡。但是要知道准静态和冲击作用下的区别，比如变形模式（低速冲击和准静态情况通常类似）和材料的应变率效应（应变率增加通常导致屈服应力变大、材料韧性减小），这些影响可以通过一些经验公式估算。

关于速度和质量的选取问题，首先，科研开始时要明确目标，要保持其它变量不变，从而评估单一变量的影响。在进行落锤冲击试验时，最容易做的是保持质量不变，把落锤质量块提到不同的高度从而控制冲击速度。另外要注意输入的冲击能量不能太大，以免产生的变形太大，这时可以根据先前进行的准静态试验结果去估计应该输入的能量。

**问：**您今天给我们分享的讲座内容是折纸结构，折纸结构变化多样，其关键是折痕的设计。在折痕设计方面您有什么经验？哪种折痕的吸能能力最好？

**答：**折痕设计没有系统性的方法和确切的结论。首先要明确追求的变

形模式，然后通过修改折痕去构造它。主要的研究手段是实验观察，进而在局部引进不同的折痕，得到所需要的变形机理，不同的变形模式导致吸收能量的差异。

**问：**材料对于结构的力学行为影响很大，用作吸能结构的话，一般使用哪些材料？各有什么优缺点？能否请您简要介绍一下。

**答：**一般而言，选择韧性良好的材料作为吸能材料。使用最广泛的还是金属材料，譬如钢材和铝材。在实际应用中，能量吸收性能只是材料诸多性能之一，在进行结构设计时我们更要同时满足其它性能要求，比如质量、成本和隔音耐热性等。另外，在航空航天结构中大量使用复合材料。复合材料的优点是轻，强度大，但是偏脆，能量吸收较低，因此可以将复合材料和金属材料混用以增加韧性；复合材料的缺点是体积大，比如在设计机身时，大体积的材料会减少可以给乘客的空间，所以建议在进行相关研究时将能量-体积比（体积比能量）纳入考虑范畴。当前，如何提高复合材料的能量吸收是一个研究方向。

**问：**冲击动力学的初学者，需要具备哪些基础理论知识？应该从哪些方面下功夫？针对受到冲击荷载的结构应该如何进行一般性的理论研究？

**答：**理论基础包括很多，比如弹性力学、塑性力学和结构力学，要根据实际应用去学习。我推荐余同希教授的几本书，比如《冲击动力学》（余同希、邱信明，2011）。英文版的有英国Norman Jones教授的《Structural Impact》和剑桥大学Stronge教授的《Impact Mechanics》。有关能量吸收的研究可以参考《能量吸收：结构与材料的力学行为和塑性分析》（余同希，卢国兴，张雄，2019）。做科学研究最主要的是要找到一个研究问题，或者是实际的工程问题或者理论上的问题，想方设法找到本质上可以创新的问题。同时，研究问题不能泛泛而谈、面面俱到，学会将问题理想化，抓住本质把复杂工程问题简化为可求解的科学问题。

## 交流与合作

### 学校领导慰问孙博华院士

2022年1月27日上午9点30分，我校党委书记朱晓渭、党委副书记张健、组织部部长邱必震、党办、校办主任刘晓武等一行代表学校到力学技术研究院慰问孙博华院士，并带来新春祝福。孙博华院士向校领导汇报了力学技术研究院近期的工作进展情况。朱书记对力学技术研究院这一年的工作成果表示肯定，并主动询问工作中有何困难。孙博华院士感谢学校领导一如既往的支持和关怀，目前工作进展顺利，没有困难，并表示力学技术研究院会继续努力，为我校力学学科的发展贡献力量。



合影留念



座谈交流

## 孙博华院士受邀参加陕西力学学会第十次会员代表大会并当选理事会常务理事



2022年5月28日8:30, 孙博华院士受邀参加陕西力学学会第十次会员代表大会, 该会议由西北工业大学承办。

IMT力学技术研究院院长、首席科学家孙博华院士当选陕西力学学会第十届理事会常务理事, 并任学术工作委员会副主任委员。我校理学院院长邵珠山教授、建筑设备科学与工程学院热工流力教学与科研中心主任崔海航副教授当选陕西力学学会理事。



会议确定了陕西省力学学会第十届理事会成员, 理事长由张卫红院士担任。

随后, 理事长张卫红院士主持了第十届常务理事第一次工作会议。第十届常务理事第一次工作会议确定了各分支机构(学术工作委员会、教育科普工作委员会、产学研工作委员会、青年工作委员会)主任1人、副主任2人, 副秘书长若干名人选, 各理事单位联系人推荐, 讨论了本届理事会工作目标; 确定了2022年的工作要点。

### 陕西省力学学会介绍

陕西省力学学会成立于1962年7月2日, 是陕西省力学工作者自愿结成依法在陕西省民政厅登记成立, 并经陕西省科学技术协会接纳的全省性、学术性非营利法人社会团体, 是陕西省科学技术协会的组成部分。陕西省力学学

会应我国力学事业发展的需要而诞生，并伴随其发展而壮大。五十多年来，在陕西省民政厅、陕西省科学技术协会和中国力学学会的领导和关怀下，在几代科学家和专家学者们的精心呵护下，通过几代学会领导、全体专兼职工作人员和广大会员的共同努力，学会得到辉煌发展，在中国力学学会系统中，已成为规模和影响较大的地方性学会之一。本学会的宗旨是：在习近平新时代中国特色社会主义思想指引下，认真贯彻党的基本路线，提倡辩证唯物主义，坚持四项基本原则和事实求是的科学态度，贯彻“百花齐放，百家争鸣”和经济建设必须依靠科学技术，科学技术必须面向经济建设的方针。遵守宪法、法律、法规和国家政策，践行社会主义核心价值观，遵守社会道德风尚。团结全省广大力学科技工作者，为繁荣陕西省力学科技事业，促进科学普及和发展，加速我国现代化建设做出贡献。



## 孙博华院士受邀在长安大学理学院作报告

2022年6月8日9:00，孙博华院士作为优秀校友受邀回到母校，为理学院本科生作了题为“我对力学的认识”的主题报告，本次报告线上线下同时进行，这也是2022年理学院本科专业教育引导计划系列讲座。报告会由理学院副院长商泽进老师主持。



孙博华院士作报告



报告会掠影



报告会线上同时进行

报告会开始前，理学院尹冠生教授介绍了孙博华院士基本情况。报告中，孙博华院士先从自身的求学经历出发，给大家分享了自己的学术传承并向导师致敬。随后，孙博华院士对其科研团队的部分研究成果进行了介绍，又从力学发展史的角度出发，介绍了对力学学科的认识和力学学科的应用前景。最后，孙博华院士就其研究经历，总结出了“科研十条”与广大师生分享，并鼓舞大家抓住一切机会，在科研的道路上奋力前行。



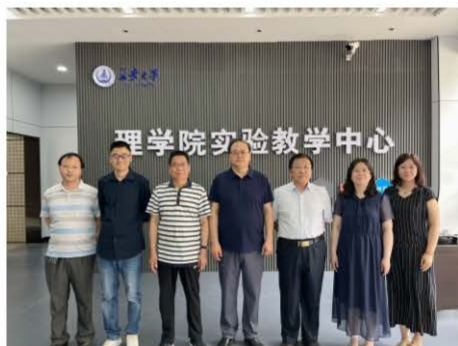
互赠纪念品

报告会最后，理学院副院长商泽进老师和孙博华院士互赠了纪念品，并与在座师生进行了热烈的互动交流。

随后，孙院士参观了理学院实验教学中心。



孙院士参观理学院实验教学中心



合影留念

## 孙博华院士受邀参加“动态真三轴电磁SHPB试验系统”研发进展论证会

2022年6月12日，孙博华院士受邀参加动态真三轴电磁SHPB（Split Hopkinson Pressure Bar）试验系统研发进展论证会。本次会议由谢和平院士主持，参加此次会议的还有西安交通大学邱爱慈院士、西安电子科技大学郑晓静院士、西安科技大学王双明院士、中国科学院武汉岩土力学研究所杨春和院士及陆军工程大学王明洋院士等。与会专家对本次论证提出了指导意见与建议，有力地保障了“动态真三轴电磁SHPB试验系统”研发项目的顺利进行。



专家组合影留念

## 孙博华院士受邀参加2022年度航空气动声学工信部重点实验室学术委员会会议

2022年7月6日，孙博华院士受邀参加2022年度航空气动声学工信部重点实验室学术委员会会议暨实验室年会。刘沛清教授主持开幕式，介绍参会嘉宾并致欢迎词。随后由李家春院士主持学术委员会工作会议部分，会议听取了航空气动声学工信部重点实验室2017-2021工作报告。最后委员会审议及讨论工作报告并形成会议纪要。

附：航空气动声学工信部重点实验室第一届学术委员会委员名单

序号	姓名	专业技术职务	所在单位、部门	委员会
1	李家春	院士	中科院力学所	主任
2	唐长红	院士	航空工业一飞院	委员
3	李椿萱	院士	北京航空航天大学	委员
4	华俊	教授	中国航空研究院	委员
5	孙晓峰	教授，长江学者	北京航空航天大学	委员
6	孙博华	教授，南非科学院院士	西安建筑科技大学	委员
7	孙茂	教授，长江学者	北京航空航天大学	委员
8	王晋军	教授，长江学者	北京航空航天大学	委员
9	余振苏	教授，长江学者	北京大学	委员
10	符松	教授，长江学者	清华大学	委员
11	韩克岑	研究员	中国商用飞机有限责任公司	委员
12	李周复	研究员	航空工业气动院	委员
13	白文	研究员	中国航空研究院	委员
14	刘沛清	教授	北京航空航天大学	委员





## 学院领导教师节慰问孙博华院士 >>

在教师节和中秋节到来之际，土木学院领导到力学技术研究院慰问孙博华院士及全体师生，并带来衷心的祝福。

力学技术研究院周宏伟老师代表孙博华院士接受了鲜花和祝福，并感谢学院一如既往的关心和支持。力学技术研究院一定不忘初心，在科研道路上奋勇前行。

## 历年讲座信息回顾

### 秦岭科学论坛



2019年5月23日，秦岭科学论坛第1期-胡海岩院士，“漫谈应用力学”

2019年5月24日，秦岭科学论坛第2期-魏悦广院士，“跨尺度力学研究、进展与展望”



2019年5月28日，秦岭科学论坛第3期-雒建斌院士“超滑进展研究”



2019年9月20日，秦岭科学论坛第4期-吕坚院士“结构纳米材料力学新进展”



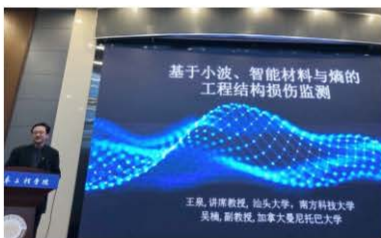


2019年10月10日，秦岭科学论坛第5期-郑晓静院士“关于应用力学研究”

2019年10月25日，秦岭科学论坛第6期-杨卫院士“力之大道——做人、做事、做学问”



2019年11月9日，秦岭科学论坛第7期-王泉院士“工程结构健康监测”



2020年10月18日，秦岭科学论坛第8期-郭万林院士“跨越维度和尺度——力学的新疆界；从工学到科学——我的力学之路”



2020年11月28日，秦岭科学论坛第9期-葛汉彬院士“桥梁钢结构抗震加固的基本原理和方法”





2021年5月22日，秦岭科学论坛第10期-孙博华院士“环壳理论研究110年”

2021年12月11日，秦岭科学论坛第11期-雒建斌院士“超滑”



2021年12月12日，秦岭科学论坛第12期-孙博华院士“Prandtl湍流边界层方程的封闭解--纪念湍流边界层研究一百年”

力学技术  
讲堂

2019年1月14日，力学技术讲堂第1期-李腾教授“超级木头—可能代替钢材的未来结构材料之星”

2019年3月13日，力学技术讲堂第2期-廖世俊教授“强非线性问题的解析近似求解—同伦分析方法及其应用”



2019年4月23日，力学技术讲堂第3期-周又和教授“复杂环境与介质相互作用的非线性力学研究进展及其应用”



2019年5月10日，力学技术讲堂第4期-孙茂教授“昆虫飞行的力学”



2019年7月5日，力学技术讲堂第5期-教授徐昆“气体动力学方法的发展和应用”



2019年7月15日，力学技术讲堂第6期-王彪教授“低维纳米材料一些基本问题研究”



2019年9月12日，力学技术讲堂第7期-胡更开教授“弹性波与介质相互作用及调控”

2019年9月19日，力学技术讲堂第8期-张一慧教授“力学引导的微尺度三维结构组装方法”



2019年9月25日，力学技术讲堂第9期-叶志明教授“关于力学研究中的若干问题”

2019年9月27日，力学技术讲堂10期-吴雪松教授  
“Instability waves/coherent structures in transitional/turbulent free shear flows: nonlinear evolution and acoustic radiation”





2019年10月18日，力学技术讲堂第11期-李存标教授“近壁湍流的产生”

2019年10月30日，力学技术讲堂第12期-杨越研究员“涡面场理论与应用”



2019年11月15日，力学技术讲堂第13期-赵亚溥研究员“连续介质力学向介观力学过渡的能量标杆是什么？”



2019年11月15日，力学技术讲堂第14期-李新亮研究员“飞行器湍流大规模数值模拟研究”



2019年11月19日，力学技术讲堂第15期-田保林研究员“界面失稳和湍流混合的高精度数值模拟”



2019年11月22日，力学技术讲堂第16期-陈小伟教授“(超)高速穿甲及碰撞的相关研究”



2019年11月28日，力学技术讲堂第17期-蔡力勋教授“延性材料强度学的力学方法与应用：RVE、比拟、量纲分析”

2020年9月25日，力学技术讲堂第18期-徐凡教授“软物质失稳力学与仿生结构设计”



2020年10月21日，力学技术讲堂第19期-郭旭教授“拉压不同性质材料和结构的变分原理与力学分析”

2020年10月24日，力学技术讲堂第20期-刘沛清教授“空气动力学前沿技术及其应用”





2020年12月5日，力学技术讲堂第21期-陈立群教授  
“非线性能量汇减振研究进展”



2020年12月21日，力学技术讲堂第22期-刘才山教授  
“自行车对称性约化与相对平衡点的稳定性分析”

2021年1月4日，力学技术讲堂第23期-苏健教授  
“Dynamical Analysis of Fluid-Conveying Pipes with Generalized Integral Transforms”



2021年3月6日，力学技术讲堂第24期-杨嘉实教授  
“压电半导体力学”



2021年3月13日，力学技术讲堂第25期-成利教授  
“Acoustic Black Holes for vibration and noise control applications”



2021年3月19日，力学技术讲堂第26期-史一蓬教授  
“湍流的科学与工程问题”



2021年4月16日，力学技术讲堂第28期-夏华教授  
“Surface Wave Control of Bacterial Biofilms”



2021年4月23日，力学技术讲堂第30期-殷雅俊教授  
“协变性思想的演进——从狭义到广义，从平坦空间到卷曲空间”



2021年3月26日，力学技术讲堂第27期-龚胜平副教授  
“太阳帆航天器动力学与控制”



2021年4月17日，力学技术讲堂第29期-黄国良教授  
“Active Mechanical Metamaterials: Design, Theory and Applications”



2021年5月7日，力学技术讲堂第31期-武际可教授“关于计算力学的若干问题”



2021年6月2日，力学技术讲堂第32期-余寿文教授“固体力学耦合问题的演化方程的建立--方法与问题”

2021年6月11日，力学技术讲堂第33期-秦庆华教授“杂交Trefftz有限元：理论和应用”



2021年6月11日，力学技术讲堂第34期-胡宁教授“基于线性与非线性Lamb波的材料损伤检测”

2021年6月25日，力学技术讲堂第35期-李杰权研究员“计算流体力学的时空观：模型的时空关联性及其算法的时空耦合性”



2021年6月29日，力学技术讲堂第36期-刘子顺教授  
“水凝胶、形状记忆聚合物软材料本构理论研究进展”



2021年7月2日，力学技术讲堂第37期-刘谋斌教授  
“金属增材制造数值模拟与仿真”

2021年8月20日，力学技术讲堂第38期-郝际平教授  
“钢结构与力学”



2021年10月30日，力学技术讲堂第39期-丁玖教授  
“混沌简史”

2021年11月24日，力学技术讲堂第40期-郝恒东  
“湍流结构的演化与湍流运输”



2021年12月1日，力学技术讲堂第41期-陈曦教授  
“壁面律的成与缺”



2021年12月3日，力学技术讲堂第42期-张骏教授  
“Symmetry Breaking Bifurcations in Fluid-Structure Interaction”



2021年12月4日，力学技术讲堂第43期-余同希教授  
“碰撞——理论力学的盲区”



2021年12月10日，力学技术讲堂第44期-杨小军研究员  
“标度律流体流的新挑战”



## 力学 奥林匹亚

2019年9月12日，力学奥林匹亚第1讲-孙博华院士“力学发展简史和力学技术”



2019年9月26日，力学奥林匹亚第2讲-崔海航副教授“微尺度单颗粒捕捉-浅谈界定科学问题的重要性”教授“近壁湍流的产生”

2019年10月9日，力学奥林匹亚第3讲-时朋朋教授“断裂力学中的应用数学方法——应用数学工具的严谨性”



2019年10月22日，力学奥林匹亚第4讲-孙博华院士“量纲分析和LaTex使用”



2019年11月14日，力学奥林匹亚第5讲-陈力副教授“格子Boltzmann方法简介及编程实战”

2019年11月21日，力学奥林匹亚第6讲-郭秀秀教授“随机响应研究方法简介”



2019年12月2日，力学奥林匹亚第7讲-时朋朋教授“基于力磁耦合本构的磁检测方法定量化理论--浅论应用力学的辐射性”



2019年12月11日，力学奥林匹亚第8讲-刘锦茂教授“Nanomaterials and Their Potential Applications”



2019年12月13日，力学奥林匹亚第9讲-卢东强研究员“摄动方法与渐近分析的基本思想及其在水波动力学中的应用”

2019年12月31日，力学奥林匹亚第10讲-戴兰宏研究员  
“Something old, something new, 金属高速切削剪切带”



2019年12月31日，力学奥林匹亚第11讲-孙博华院士  
“力学与力学技术”

2019年12月31日，力学奥林匹亚第12讲-崔海航副教授  
“Janus马达气泡自驱动的实验与流动机理的新进展”



2019年12月31日，力学奥林匹亚第13讲-郭秀秀教授  
“Nonstationary seismic responses of nonlinear structural systems to earthquake excitation”

2019年12月31日，力学奥林匹亚第14讲-时朋朋教授  
“轴/球对称问题的力学数学方法——浅谈应用数学方法的工具性”







2020年8月24日，力学奥林匹亚第16讲-孙博华院士  
“力学与力学技术概论  
(1):力学简史和力学技术  
概念”



2020年8月28日，力学奥林匹亚第18讲-孙博华院士  
“力学与力学技术概论  
(3):张量分析与应用”



2019年12月31日，力学奥林匹亚第15讲-陈力副教授  
“基于LBM的自驱动Janus颗粒扩散泳力及运动特性的研究”



2020年8月26日，力学奥林匹亚第17讲-孙博华院士  
“力学与力学技术概论  
(2):量纲分析与应用”



2020年8月31日，力学奥林匹亚第19讲-孙博华院士  
“力学与力学技术概论  
(4):连续统物理(连续介质力学、理性力学)”



2020年9月4日，力学奥林匹亚第21讲-孙博华院士  
“力学与力学技术概论  
(6): Prandtl's Boundary  
Layer Theory”



2020年9月16日，力学奥林匹亚第23讲-孙博华院士  
“力学与力学技术概论  
(8): 智能材料结构”



2020年9月3日，力学奥林匹亚第20讲-孙博华院士  
“力学与力学技术概论  
(5): 结构屈曲理论”



2020年9月14日，力学奥林匹亚第22讲-孙博华院士  
“力学与力学技术概论  
(7): 分析力学”



2020年9月22日，力学奥林匹亚第24讲-孙博华院士  
“力学与力学技术概论  
(9): 变分法”



2020年9月30日，力学奥林匹亚第26讲-孙博华院士  
“力学与力学技术概论  
(11)：Finite Element  
Analysis”



2020年10月8日，力学奥林匹亚第28讲-孙博华院士  
“力学与力学技术概论  
(13)：材料的本构关系”



2020年9月28日，力学奥林匹亚第25讲-孙博华院士  
“力学与力学技术概论  
(10)：哈密尔顿原理和  
RAYLEIGH-RITZ方法”



2020年10月6日，力学奥林匹亚第27讲-孙博华院士  
“力学与力学技术概论  
(12)：热力学与守恒律”



2020年10月29日，力学奥林匹亚第29讲-孙博华院士  
“力学与力学技术概论  
(14)：弹性力学三场广义  
变分原理”



2020年11月10日，力学奥林匹亚第31讲-孙博华院士“力学与力学技术概论（16）：三场广义变分原理的热力学基础”



2020年11月17日，力学奥林匹亚第33讲-孙博华院士之“力学与力学技术概论（18）：层流、湍流、相似律和阻力”



2020年11月3日，力学奥林匹亚第30讲-孙博华院士“力学与力学技术概论（15）：振动理论”



2020年11月13日，力学奥林匹亚第32讲-孙博华院士“力学与力学技术概论（17）：流体力学导论”



2020年11月20日，力学奥林匹亚第34讲-孙博华院士“力学与力学技术概论（19）：湍流：Reynolds分解和N-S方程的平均化”



2020年12月19日，力学奥林匹亚第36讲-孙博华院士“力学与力学技术概论（21）：可压缩流体(高超声速技术和风洞)”



2021年3月12日，力学奥林匹亚第38讲-孙博华院士“力学与力学技术概论（23）：声学基础-声波”



2020年11月24日，力学奥林匹亚第35讲-孙博华院士“力学与力学技术概论（20）：结构、结构力学、壳体结构和环壳力学”



2021年3月10日，力学奥林匹亚第37讲-孙博华院士“力学与力学技术概论（22）：弹性力学及其在卡扣机构上的应用”



2021年4月14日，力学奥林匹亚第39讲-孙博华院士“力学与力学技术概论（24）：水波动力学和法拉第波”



2021年6月22日，力学奥林匹亚第41讲-谢启芳教授  
“结构与抗震试验简介”



2021年9月17日，力学奥林匹亚第43讲-邓子辰教授  
“超大型航天器在轨动力学控制与空间组装”



2021年6月7日，力学奥林匹亚第40讲-杨智春教授  
“超材料及超构表面研究进展”



2021年7月9日，力学奥林匹亚第42讲-孙博华教授  
“遇到难题时想量纲”



2021年10月9日，力学奥林匹亚第44讲-崔涛教授  
“吸气式冲压发动机气动热力学过程的低维规律”



地址：陕西省西安市碑林区雁塔路中段13号西安建筑科技大学逸夫楼六楼  
邮编：710055  
邮箱：imt@xauat.edu.cn  
网站：<http://imt.xauat.edu.cn>



欢迎关注IMT