牟广金

力学超材料：奇异各向异性理论与逆向设计

中国　　1995 年 10 月 12 日
+852 92980721　　mouguangjin@ust.hk

研究概述

致力于力学超材料的各向异性调控，基于群论和力学本构空间几何建立“**奇异各向异性**”理论，阐明**低对称性材料呈现特定高对称性力学响应的本构条件**。通过拓扑优化构造满足这些条件的超材料，并与合作者共同完成实验验证，形成**从本构理论到结构设计和实验验证的研究路线**。拟进一步将这一研究路线拓展至动态问题，研究奇异各向异性对弹性波传播及声子响应的影响，探索面向通信器件的片上声学功能设计。

科研经历

博士后 / 奇异各向异性材料设计

香港科技大学

2025.09 – 至今　　香港，中国

合作导师：薛添驹

- **主导三维奇异各向异性理论**。系统处理三维本构空间中的张量分解与对称关系，在高于正交各向异性的对称类别中识别 18 种奇异本构结构，为三维超材料逆向设计及广义本构扩展提供基础 [3]。拟进一步用于断裂力学，研究奇异本构条件对裂纹尖端场及扩展行为的影响。
- **提出面向目标弹性本构的逆向设计框架**。结合水平集与拓扑导数，将目标本构条件转化为周期微结构的优化问题，并结合 MPI 并行计算与 GPU 加速，实现三维奇异各向异性超材料设计 [4]。
- **实现奇异弹性响应的实验验证**。负责二维各向同性偏应变弹性响应超材料的理论与结构设计，并与合作者共同开展实验；结合光固化样件的全场测量与虚拟场法，通过单次拉伸实验识别并验证目标本构条件 [2]。

博士后 / 湿度响应仿生材料建模

Arts et Métiers，PIMM 实验室

2024.03 – 2025.06　　巴黎，法国

合作导师：Justin Dirrenberger、Antoine Le Duigou

- 基于生长理论建立多层异质结构的几何非线性多场耦合模型，描述松果鳞片在湿度变化下的弯曲与顺序形变，为湿度驱动的仿生自适应结构设计提供计算依据。

博士研究 / 奇异各向异性理论的建立

索邦大学，Institut Jean le Rond d’Alembert

2020.10 – 2024.02　　巴黎，法国

导师：Nicolas Auffray、Boris Desmorat

- **建立线弹性材料奇异各向异性的理论框架**。围绕材料本构整体对称性与特定力学响应对称性的差异，提出奇异各向异性的数学与力学定义；运用群论与本构空间几何，细化经典各向异性分类，揭示低对称性材料实现特定高对称性弹性响应的条件[1]。
- **将奇异本构条件转化为超材料结构**。在所建立的框架下，识别二维线性弹性中唯一的奇异情形：R_0-正交各向异性，并设计满足该条件的周期单胞，实现从理论分类到结构设计的衔接。进一步将奇异集合的计数推广至其他二维线性本构关系，为后续三维理论研究及本构驱动设计奠定基础 [1]。

科研实习 / 航空材料本构辨识

法国赛峰集团 Safran / LEM3 实验室

2020.01 – 2020.06　　梅斯，法国

针对增材制造的航空发动机机匣 AlSi-PE 耐磨材料，基于 Bresilien 实验开展本构辨识。

教育背景

博士 / 材料力学

索邦大学 Sorbonne University

2020.10 – 2024.02　　巴黎，法国

ANR MAX-OASIS 项目资助博士研究；SMAER 博士学院。

硕士 / 材料科学

法国梅斯国立工程师学校 ENIM

2017.09 – 2020.07　　梅斯，法国

学士 / 飞行器动力工程

南京航空航天大学

2014.09 – 2017.07　　南京，中国

拟开展研究

- **本构条件与波动响应**。拟研究特殊本构条件如何约束弹性波模态与传播，检验能否在保留较低材料对称性的同时实现目标波动功能。
- **面向片上声学信号处理**。拟探索逆向设计与微纳制造相结合的实现路径，发展用于通信器件声子调控的超材料。

教学与学生指导

本科习题课教学

- 香港科技大学《静力学》：2025 年秋，36 学时
- 索邦大学《热力学》：2022 年秋，32 学时

博士研究生共同指导

- 声波传播超材料设计与实验验证（2026）
- 3D 打印与基于虚拟功原理的超材料本构实验（2025）

主要承担研究思路与代码实现指导，以及实验搭建。

奖项与荣誉

- ESCP 欧洲商学院创业课程优秀毕业生（2023）
- 法国“春晖杯”智能建造与 AI 创新创业赛一等奖（2022）
- 南京航空航天大学校长特别嘉奖（2017）
- 南京航空航天大学校一等奖学金（2015-2017）
- 南京航空航天大学校团委组织部部长（2016-2017）

专利申请

解耦横观各向同性超材料设计　　中国发明专利申请，2026

牟广金等。面向静水压缩下保形变体积响应的三维超材料设计方法；申请尚未授权。

代表论文

[1] **Mou, G.**, Desmorat, B., Turlin, R., Auffray, N. (2023). On exotic linear materials: 2D elasticity and beyond. *International Journal of Solids and Structures*, 264, 112103.
第一作者、通讯作者。理论起点：建立奇异各向异性的定义与分类框架，给出二维线性弹性情形及周期单胞实现。

[2] **Mou, G.**, Dong, D., Chen, J., Zhang, S., Liu, S., Lu, Y., Auffray, N., Xue, T. (2026). A planar orthotropic mechanical metamaterial with isotropic deviatoric elasticity. *International Journal of Mechanical Sciences*, 325, 111832.
第一作者。实验实现：通过样件制造与本构辨识，验证正交各向异性材料的各向同性偏应变弹性响应。

[3] Auffray, N., **Mou, G.**, Desmorat, B. (2026). On Exotic Materials in 3D Linear Elasticity with High Symmetry Classes. *Proceedings of the Royal Society A*. **已接收（待刊）**.
通讯作者。三维拓展：在高于正交各向异性的对称类别中识别 18 种奇异本构结构。

[4] **Mou, G.**, Auffray, N., Ye, Y., Xue, T. (2026). A level-set topological derivative framework for multiscale linear elasticity and the design of 3D exotic materials. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. **在审**.
第一作者。设计方法：提出面向目标刚度矩阵的整体优化框架，用于二维、三维超材料微结构设计。

[5] **Mou, G.**, Desmorat, B., Turlin, R., Auffray, N. (2022). Conception de matériaux architecturés exotiques en élasticité 2D. *25ème Congrès Français de Mécanique*, Nantes, France.
第一作者；会议论文。

合作研究成果

- Xu, W., Xie, Z., Lin, H., Wang, X., **Mou, G.**, Xue, T. (2026). Style-Constrained Inverse Design of Microstructures With Tailored Mechanical Properties Using Unconditional Diffusion Models. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 127(13), e70376.
  合作研究：兼顾目标力学性能与结构风格约束的生成式微结构逆向设计。
- Zhang, Y., Zhai, C., Li, Z., Li, J., **Mou, G.**, Chen, L., et al. (2026). Nonreciprocal transition waves in active lattices. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 106697.
  合作研究：主动晶格中的非互易跃迁波。

学术交流

- **ICCES 2026，香港**：R_0-正交各向异性超材料的设计与实验验证（2026.08）。
- **FEniCS Conference 2026，巴黎**：面向计算力学的 LLM–FEniCS 集成平台，软件演示（2026.06）。
- **CMCS 2025，法国**：松果鳞片的湿度驱动顺序形变预测与仿生材料设计，海报（2025.05）。
- **CFM 2022，法国**：奇异各向异性结构超材料设计（会议论文见代表论文 [5]）。
- **Coss&Vita 联合研讨会，意大利**：二维弹性中奇异各向异性材料的理论定义与应用前景（2022.05）。