

National Rail Transit Electrification and Automation Engineering Technology Research Centre (Hong Kong Branch)

国家轨道交通电气化与自动化工程技术研究中心香港分中心

2025 年度报告
(中文版本)



目 录

目 录.....	3
中心主任致辞.....	1
1. 2025 年铁路工程香港分中心概览	4
1.1 基本情况	4
1.2 人才队伍	5
1.3 财务状况	10
2. 2025 年铁路工程香港分中心研发活动	12
2.1 科研项目	12
2.2 研究进展	17
2.3 科研成果	144
3. 2025 年铁路工程香港分中心合作交流.....	172
3.1 合作协议	172
3.2 会议举办和参加	176
3.3 技术交流	192
3.4 中心讲座	209
3.5 来宾参访	219
3.6 新闻专访	234
附录.....	238
A.1 购买的仪器	238
A.2 新闻报道	240



中心主任致辞



随着 2025 年的尾声渐近，我们回顾这一年，国家轨道交通电气化与自动化工程技术研究中心香港分中心在轨道交通技术创新、国际合作、人才培养等多个领域均取得了令人瞩目的成就。秉持推动轨道交通电气化、自动化与韧性基础设施发展的使命，我们在科学研究突破、技术转化加速、国际合作拓展以及人才培养深化等方面均取得显著成效，为支持香港、大湾区及国家轨道交通现代化目标的创新发展奠定了坚实基础。

科学研究方面，我们在多条前沿领域取得重要进展。智能运维与噪声控制技术方面的突破——以我们与中车唐山联合开发并优化的声学超材料降噪屏为代表——已在提高运营安全性、效率及环境影响缓解方面展现出明确效益。无人机（UAV）辅助的地质灾害防治、障碍物识别检测以及智能磁悬浮控制等方面亦取得重要进展。我们还启动了“沿海城市智能热带风暴韧性系统”项目，该项目的一项关键研究成果发表于 *Nature Partner Journal*，彰显了本中心研究的国际水准与影响力。此外，倪一清教授获得香港理工大学校长卓越成就奖，进一步肯定了团队在科研方面的贡献。

在技术推进层面，我们推动了多项旗舰方向的发展并实现了现场验证的工程成果——其中包括：在钻石山—启德紧曲线区实施的 E1809 轨夹更换，通过避免谐振有效解决了轨夹疲劳问题；在全港及车载层面部署的 LiDAR 系统用于实时风场与降雨分布测绘及台风监测；以及用于装配式建筑（MiC）轻质混凝土板的长期监测系统以保障施工质量。我们还推进了柔性传感器、用于降噪的声学超材料、无人机灾害监测、智能磁悬浮控制的原型与试点，以及集成缺陷分割工具与检索增强生成（RAG）能力的基于大语言模型（LLM）的隧道缺陷分析智能代理。

在运营协同方面，我们将强化与香港港铁公司、香港天文台及大湾区合作伙伴的协作，以实现实时测量、气象数据整合与试点计划的统筹安排。我们将优先提升监测网络的韧性，通过边缘计算节点加固、冗余供电与通信以及标准化运维流程，确保在极端事件中的数据连续性，并继续在实验室阶段前置验证以降低现场试点受外部制约的风险。

我们已制定清晰的战略路径：把原型技术转化为可复制的工程产品，加速技术转移与商业化，并将最佳实践上升为标准，惠及香港、大湾区及更广泛的地域。我在此

向所有研究人员、技术与行政人员、学生、产业合作伙伴及资助机构表示衷心感谢。让我们携手以 2025 年的科研突破为基础，持续交付稳健、低碳且具人工智能赋能的轨道交通解决方案，为社会创造更大价值。

展望 2026 年，我们将聚焦三大协同推进的方向：工业化落地、规模化智能运维，以及人才与标准建设。其一，我们将加快在大湾区的试点部署和产业合作，推动柔性传感器、声波能量收集器及超材料降噪方案向商业化迈进。其二，我们将完成并部署以 AI 驱动的预测性维护模块与数字孪生框架，整合多模态监测以实现自动诊断与预测，设定可量化的故障预测准确率与检修时长缩减目标。其三，我们将在理大的人才招聘计划下扩展战略性引才，培养兼具气候复合灾害与人工智能能力的复合型人才，并落实接班人培养计划以储备未来中心领导力。同时，我们将积极与监管与标准制定机构对接，把经验证的技术方案固化为技术指南与行业标准。

在此，谨向鼎力支持的中心全体成员、合作伙伴，以及始终关注并推动轨道交通科研事业发展的社会各界，表达衷心感谢！正是有了你们的鼎力支持与无私奉献，我们才能不断取得新的进步与突破。2026 年，让我们携手并进、共创辉煌！

倪一清

严、麦、郭、钟智能结构教授

智能结构与轨道交通讲座教授

国家轨道交通电气化与自动化工程技术研究中心香港分中心主任

香港理工大学杭州技术创新研究院院长

1. 2025 年铁路工程 香港分中心概览

1.1 基本情况

1.2 人才队伍

1.3 财务状况



1. 2025 年铁路工程香港分中心概览

1.1 基本情况

国家轨道交通电气化与自动化工程技术研究中心香港分中心（简称“铁路工程香港分中心”）于 2015 年 11 月经国家科学技术部正式批准成立，由香港特区政府创新科技署和香港理工大学提供中心日常运作和研究经费支持。中心利用依托单位香港理工大学在先进传感、智能材料制备及数据处理方法等领域的优势，整合全校相关科研资源，建立跨学科联合研发团队。



使命：研发融合智能材料与先进大数据分析方法的服务于铁路系统的前沿监测技术

愿景：以安全性和可靠性为重点，加速推进智能轨道交通建设，把创新的轨道交通监测技术从香港推广到整个亚洲乃至全世界

在 2025 年，铁路工程香港分中心在重大科研项目申请、工程项目开展以及合作关系加强等方面取得了重大进展。

以下为 2025 年铁路工程香港分中心的工作详述。

1.2 人才队伍

铁路工程香港分中心包括 9 名核心科研成员（表 1.1）。为保障中心各项科研活动顺利进行，分中心广纳理大各系教职员主持或参与中心的科研项目（表 1.2），同时积极在全球招募贤才支援科研活动（表 1.3）。

表 1.1 铁路工程香港分中心核心科研人员

序号	成员	学系	职务
1	倪一清 讲座教授	土木及环境工程学系	分中心主任
2	李镜权 教授	电机及电子工程学系	分中心副主任
3	朱松晔 教授	土木及环境工程学系	秘书长
4	曹建农 讲座教授	电子计算学系	项目负责人
5	谭华耀 讲座教授	电机及电子工程学系	项目负责人
6	柯少荣 教授	电机及电子工程学系	项目负责人
7	丁晓利 讲座教授	土地测量及地理资讯学系	项目负责人
8	成利 讲座教授	机械工程学系	项目负责人
9	苏众庆 教授	机械工程学系	项目负责人

表 1.2 主持中心专项的其他理大教职员

序号	成员	学系	职务
1	黎绍佳 副教授	土木及环境工程学系	项目负责人
2	董优 副教授	土木及环境工程学系	项目负责人
3	刘志赵 教授	土地测量及地理资讯学系	项目负责人
4	郭海 教授	土木及环境工程学系	项目负责人
5	冷真教授	土木及环境工程学系	项目负责人
6	刘春玲 副教授	数据科学及人工智能学系	项目负责人
7	周恺 助理教授	土木及环境工程学系	项目负责人
8	周新宇 研究助理教授	电机及电子工程学系	项目负责人

9	徐书谦 副教授	土木及环境工程学系	项目负责人
10	丁思齐 研究助理教授	土木及环境工程学系	项目负责人
11	廖信仪 高级科研主任	电机及电子工程学系	项目负责人
12	陈争卫 研究助理教授	土木及环境工程学系	项目负责人

表 1.3 铁路工程香港分中心招聘人员

序号	姓名	职务	任职期间	
1	王素梅	研究助理教授	2021-09-01	2025-06-30
2	王友武	高级研究员, 研究助理教授	2021-01-04	2025-06-20
3	丁思齐	研究助理教授	2024-2-19	2026-06-30
4	蔡建国	高级研究员	2025-01-27	2025-02-24
5	区玮玢	研究员	2025-07-01	2026-06-30
6	李红伟	研究员	2025-07-01	2026-06-30
7	刘文强	研究员	2024-10-05	2026-10-04
8	曹諾軒	研究员	2025-04-01	2026-03-31
9	鄧智明	研究员（兼职）	2025-08-01	2026-07-31
10	黃啓遠	首席研究员（兼职）	2024-11-27	2026-11-26
11	鍾永康	高级研究员（兼职）	2025-04-01	2026-03-31
12	汪瀟	高级研究员（兼职）	2025-08-01	2026-01-21
13	胡文博	博士后研究员	2023-08-28	2025-08-27
14	杨云帆	博士后研究员	2024-05-06	2025-05-06
15	陈修煜	博士后研究员	2025-02-13	2026-03-13
16	郝硕	博士后研究员	2025-08-01	2025-09-18
17	郭子健	博士后研究员	2023-11-13	2025-11-12
18	陈思怡	博士后研究员	2025-08-01	2026-07-31
19	董岳	博士后研究员	2024-02-27	2025-02-26
20	朱奇武	博士后研究员	2024-06-18	2025-06-17

21	杨超	博士后研究员	2024-05-15	2025-05-24
22	李智	博士后研究员	2024-08-29	2025-08-28
23	谭晓明	博士后研究员	2024-03-19	2025-03-18
24	胡瑶	博士后研究员	2025-02-13	2027-02-12
25	黄佳晟	博士后研究员	2025-12-19	2026-06-18
26	赵帅	博士后研究员	2025-02-28	2025-08-30
27	翟光浩	博士后研究员	2025-07-21	2026-07-20
28	Imran GHAFOR	博士后研究员	2025-08-04	2026-02-28
29	彭俊	博士后研究员	2025-08-28	2026-03-27
30	Numan MALIK	博士后研究员	2025-09-01	2026-08-31
31	王晓明	博士后研究员	2025-09-18	2026-03-17
32	朱洪民	博士后研究员	2025-09-19	2026-03-18
33	任飞飞	博士后研究员	2025-10-22	2026-04-21
34	Hafiz Khurram SHAHZAD	博士后研究员	2025-12-08	2026-06-07
35	Jamal-deen MUSAH	博士后研究员, 副研究员	2025-01-01	2025-12-31
36	袁磊	副研究员	2025-07-22	2026-01-21
37	陆洋	副研究员	2024-10-01	2025-09-30
38	张威加	副研究员, 研究助理	2025-12-08	2026-03-09
39	谭熙石	副研究员	2025-04-01	2026-03-31
40	王嘉裕	副研究员	2025-09-22	2026-08-07
41	王怡璿	副研究员	2025-10-02	2026-04-01
42	姚显花	副研究员	2025-11-19	2026-11-18
43	钟俊平	副研究员	2024-07-15	2025-07-15
44	李振东	副研究员	2024-08-07	2025-02-07
45	党大智	副研究员	2025-06-01	2025-12-08
46	胡迪锋	副研究员	2025-05-14	2025-11-13
47	芮恩泽	副研究员（兼职）	2025-01-20	2025-07-01

48	趙孔阳	副研究员	2025-04-03	2025-10-02
49	钟充	副研究员	2025-04-13	2025-07-31
50	諸錡	副研究员（兼职）	2025-06-09	2025-08-31
51	常乐	研究助理（兼职）	2025-09-01	2026-05-31
52	李航行	研究助理（兼职）	2025-09-01	2026-02-28
53	李金泽	研究助理（兼职）	2025-09-01	2026-04-30
54	溫福禎	研究助理（兼职）	2024-11-15	2025-05-14
55	叶振兴	研究助理（兼职）	2025-09-15	2025-11-30
56	张圆满	研究助理（兼职）	2025-02-03	2025-12-31
57	左子瑞	研究助理（兼职）	2025-09-15	2026-08-31
58	陸雨航	研究助理	2025-09-11	2026-03-10
59	欧阳德惠	研究助理	2025-07-10	2025-08-31
60	谢祖育	研究助理	2025-01-10	2025-12-28
61	倪圣杰	研究助理	2025-03-24	2026-03-24
62	黄家鑫	研究助理	2025-03-12	2026-03-11
63	项意挺	研究助理	2025-04-01	2026-09-30
64	倪一铭	研究助理	2025-08-15	2026-02-14
65	孔维锴	研究助理	2025-01-03	2026-01-01
66	彭燕辉	研究助理	2025-01-03	2026-01-01
67	刘奂孜	研究助理	2024-09-02	2025-08-31
68	劉昱皞	研究助理	2025-04-02	2026-04-01
69	李新瑞	研究助理	2025-04-02	2026-04-01
70	王鹏程	研究助理	2025-07-08	2026-01-06
71	張航	研究助理	2025-09-05	2026-03-04
72	郑澳	研究助理	2024-06-03	2025-06-02
73	张从广	研究助理	2024-02-20	2025-02-19
74	岳欢	研究助理	2023-07-13	2026-01-10

75	周启凡	研究助理	2021-03-08	2025-08-20
76	梁芷縈	研究助理	2024-02-01	2025-06-30
77	刘新源	研究助理	2023-07-13	2026-01-10
78	刘昱辰	研究助理	2024-11-22	2025-05-21
79	赵玉铎	研究助理	2024-07-02	2025-01-01
80	林臻	研究助理	2024-09-02	2025-03-31
81	邱亮生	研究助理	2026-07-07	2026-08-19
82	宮晨	研究助理（兼职）	2024-09-01	2026-03-31
83	李思慧	研究助理（兼职）	2024-09-02	2025-08-31
84	張霄成	研究助理（兼职）	2024-10-28	2025-01-31
85	叶纪伟	学生助理（兼职）	2023-09-12	2025-06-30
86	丘詠嵐	学生助理（兼职）	2024-09-02	2025-02-28
87	韋大同	研究技术助理	2024-01-23	2027-01-22
88	關永康	研究助理	2025-04-01	2027-03-31

1.3 财务状况

2025 年度，铁路工程香港分中心的财政状况如下：

一．收入：2400 万港币	
创新科技署经费	20,000,000 港币
香港理工大学经费	4,000,000 港币
二．支出：2400 万港币	
研究经费	3,557,800 港币
人力成本	10,131,994 港币
设备购买	4,357,994 港币
日常开支	5,952,212 港币

2. 2025 年铁路工程 香港分中心研发活动

2.1 科研项目

2.2 研究进展

2.3 科研成果



2. 2025 年铁路工程香港分中心研发活动

2.1 科研项目

2.1.1 申请的科研项目

2025 年度，铁路工程香港分中心牵头/合作申请科研项目 项，其中 14 项已成功获批资助，获资助总金额约 \$20,089,215 港币，另外 4 项金额约 \$12,150,000 港币正在评审中。项目来源包括香港政府项目，研究资助局，香港路政署，香港理工大学等，项目详情见表 2.1。

表 2.1 2025 年度申请的科研项目

序号	题目	项目来源	金额	备注
1	面向可持續海洋基礎設施的低成本廢舊塑膠衍生閃速石墨烯改性高耐久自感知混凝土	RGC-GRF project	1,169,801 HKD	已获批
2	面向柔性結構減振控制的新型閉鎖式調諧質量阻尼器	研究資助局-優配研究金	1,134,931 HKD	已获批
3	超材料驱动的物联网系统：一种用于结构健康监测的超材料赋能物联网系统	研究資助局-傑出青年學者計劃	850,200 HKD	已获批
4	考虑气候变化背景下漂浮式风力机在台风作用下的生存性和韧性研究	香港理工大学可持續城市發展研究院 (RISUD)	1,430,000 HKD	已获批
5	時變風環境下高速磁浮列車運行安全的流場演化特徵、動態失穩機制及氣動載荷再平衡方法：從數值模擬到模型試驗	研究資助局-優配研究金	1,134,931 RMB	已获批
6	基於探地雷達的瀝青道路隱蔽病害智能識別技術	創新及科技基金-夥伴研究計劃	2,201,400.00 HKD	已获批
7	基于宽禁带半导体的 AI 驱动单片微波集成电路设计	創新及科技基金-夥伴研究計劃	2,432,951.50 HKD	已获批

8	High-Fidelity Monitoring and Prediction of Extreme Climate Events in Hong Kong and Surrounding Regions	Otto Poon Charitable Foundation	2,080,000.00 HKD	已获批
9	Sustainable Train Operation Control Platform Based on The Wind-Vehicle-Track Coupled Model for Reduced Energy Consumption and Enhanced Riding Comfort	MTR Research Funding Scheme	1,245,000 HKD	已获批
10	Towards Life-Cycle Intelligent Predictive Maintenance for Railway Tracks: Advancing with Deep Learning Algorithmstechnology	大學教育資助委員會-研究影響基金	7,840,000 HKD	已获批
11	複雜城市背景下無人機北斗/GNSS 定位導航及航危天氣快速識別、預警技術研究	內地科技部與香港創新及科技基金香港科技合作資助計劃	4,000,000 HKD	评审中
12	Optimization And Regulation of Lithium-Sulfide Cathodes for Lithium-Ion Sulfur Batteries of High Energy Density And High Safety	2025 年深港澳科技计划项目（C 类项目）	3,000,000 RMB	评审中
13	Improve GPS/Beidou/GNSS Large-Scale Precise Positioning Applications Through Correction Data Augmentation from AI and Numerical Weather Prediction Models	CAS-Croucher Funding Scheme for Joint Laboratories (PI)	3,750,000 HKD	评审中
14	Research Proposal of Real-Time Vessel Collision Assessment on Kap Shui Mun Bridge by Artificial Intelligence (AI) and Digital Twin (DT)	路政署桥梁及结构部	\$1,400,000 HKD	评审中

2.1.2 资助的科研课题

2025 年铁路工程香港分中心资助的研究课题共 9 项，项目详情见表 2.2。

表 2.2 2025 年度铁路工程香港分中心资助的科研项目

序号	题目	项目付责人	学系	起止时间
1	面向铁路工程结构应用的超材料辅助结构健康监测	成利教授	机械工程学系	2024-06-01 ~ 2026-05-30
2	迈向更绿色和人工智能的电气化城市交通可再生能源器件及管理系统	柯少荣教授	电机及电子工程学系	2024-03-15 ~ 2027-03-14
3	用于铁路接触网连续监测的光伏供电激光多参数传感器系统	谭华耀讲座教授	电机及电子工程学系	2025-03-01 ~ 2027-02-28
4	集成减振降噪功能的装置研发	朱松晔 教授	土木及环境工程学系	2021-5-1 ~ 2026-04-30
5	基于“全增材制造”的应用于高速列车结构的碳纤维增强聚合物原位健康监测	苏众庆 教授	机械工程学系	2024-07-11 ~ 2026-06-10
6	發展移動測量技術探測地下溶洞	丁晓利讲座教授	土地测量及地理资讯学系	2025-02-04 ~ 2027-01-31
7	铁路网在线诊断与智能维护	董优副教授	土木及环境工程学系	2025-01-1 ~ 2026-12-31
8	基于宽禁带半导体的 AI 驱动单片微波集成电路设计	周新宇博士	电机及电子工程学系	2025-11-20 ~ 2027-11-19
9	基于探地雷达的沥青道路隐蔽病害智能识别技术	冷真教授	土木及环境工程学系	2025-11-1 ~ 2027-10-31

2.1.3 资助的博士后研究

2025 年度，铁路工程香港分中心以博士后匹配资助计划的形式与香港理工大学共同资助共 8 名博士后研究员的研究工作，项目详情见表 2.3。

表 2.3 2025 年度新增资助的博士后研究

序号	名字	资助计划	拨款编号	金额
1	谭晓明	博士后匹配资助计划	K-BBY1/1-W32Z	HKD 365,400
2	杨超	博士后匹配资助计划	K-BBY1/1-W35L	HKD 365,400
3	杨云帆	博士后匹配资助计划	K-BBY1/1-W330	HKD 365,400
4	朱奇武	博士后匹配资助计划	K-BBY1/1-W35Q	HKD 365,400
5	李智	博士后匹配资助计划	K-BBY1/1-W35N	HKD 365,400
6	陈修煜	博士后匹配资助计划	K-BBY1/1-W40B	HKD 365,400
7	郭子健	博士后匹配资助计划	K-BBY1/1-W311	HKD 365,400
8	胡瑶	博士后匹配资助计划	K-BBY1/1-W39W	HKD 365,400

2.2 研究进展

2.2.1 机器学习赋能的仿生声学超材料在铁路降噪中的创新设计

本年度，我们团队在铁路交通噪声控制领域取得了突破性进展，成功研发了一套基于可解释机器学习（KAN 网络）的智能设计框架，并借此开发出多款针对铁路关键频段的高性能仿生声学超材料。这一成果打破了传统隔声屏障“厚重低效”的物理瓶颈，为构建更安静、更绿色的铁路系统提供了全新的技术路径。

一、可解释人工智能设计框架的构建与突破

我们在方法论上的核心创新在于攻克了声学超材料设计中“计算耗时”与“物理机制不明”的两大难题。我们引入了 Kolmogorov-Arnold 网络（KAN），结合贝叶斯及粒子群优化算法，构建了一套全新的智能反向设计平台。与传统深度学习模型的“黑盒”特性不同，KAN 网络利用可学习的 B 样条激活函数，能够清晰地观察到几何参数（如孔径、腔深）与吸声性能之间复杂的非线性物理关系，使 AI 决策过程变得透明可信。这一框架极大地提升了研发效率，以四层蜂窝超材料的优化为例，我们的设计迭代速度相比传统有限元仿真提升了近 3000 倍，同时建立了高精度的参数映射模型，实现了对特定频率降噪目标的快速锁定。

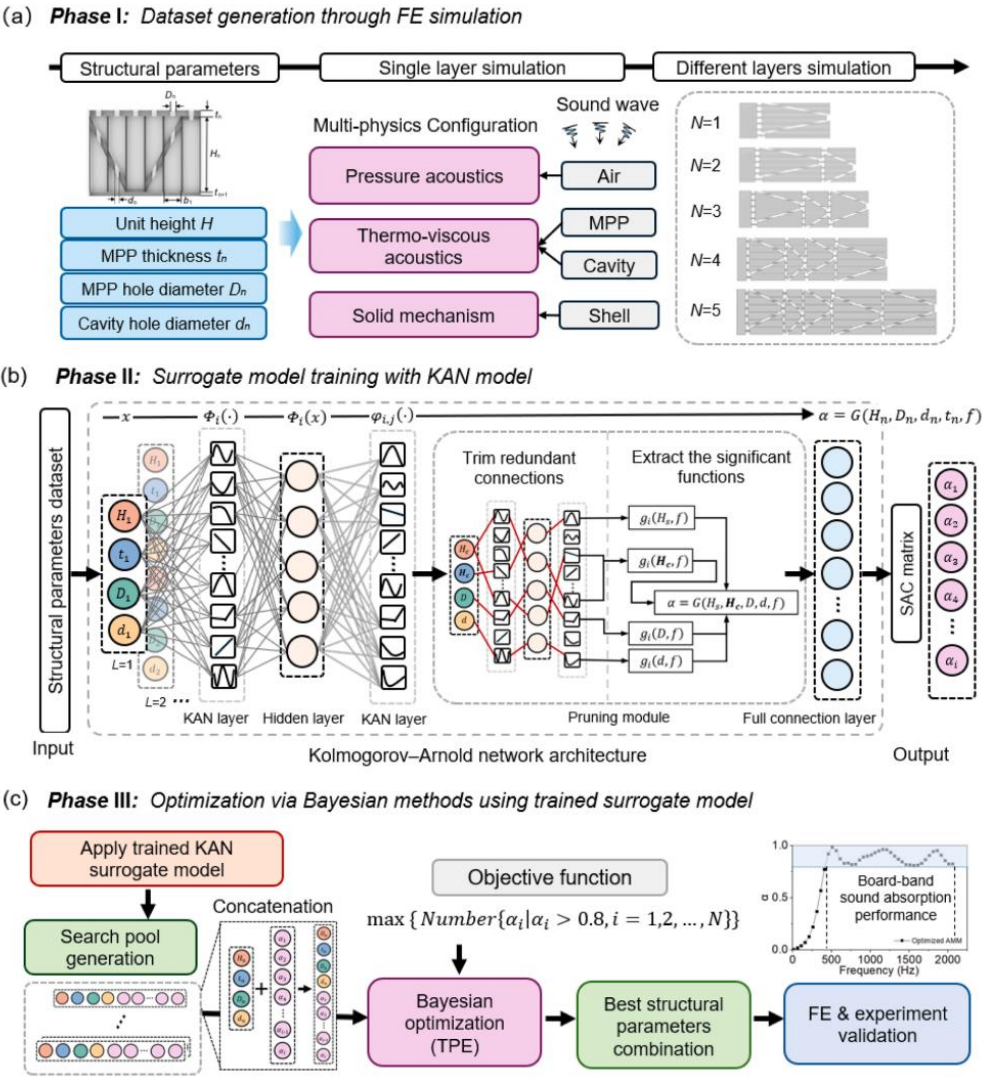


图 2.1

二、从自然汲取灵感的超材料结构创新

依托上述智能框架，我们将自然界的智慧融入到了结构设计中。我们重点研发了两种仿生复合结构：一是受天然蜂窝及波纹结构启发的多层复合超材料，通过引入钢制波纹将蜂窝腔体分割，并结合微穿孔板产生共振级联效应，显著拓宽了吸声带宽；二是模拟海螺内部螺旋腔体的仿生结构，并巧妙结合了多孔海绵。海螺腔体负责“猎杀”中低频噪声，而海绵则负责中高频，这种“软硬结合”的策略完美覆盖了铁路噪声能量最集中的 500Hz 到 2000Hz 频段。优化后的四层蜂窝结构厚度仅为 69 毫米，却能达到传统厚重材料难以企及的吸声效果。

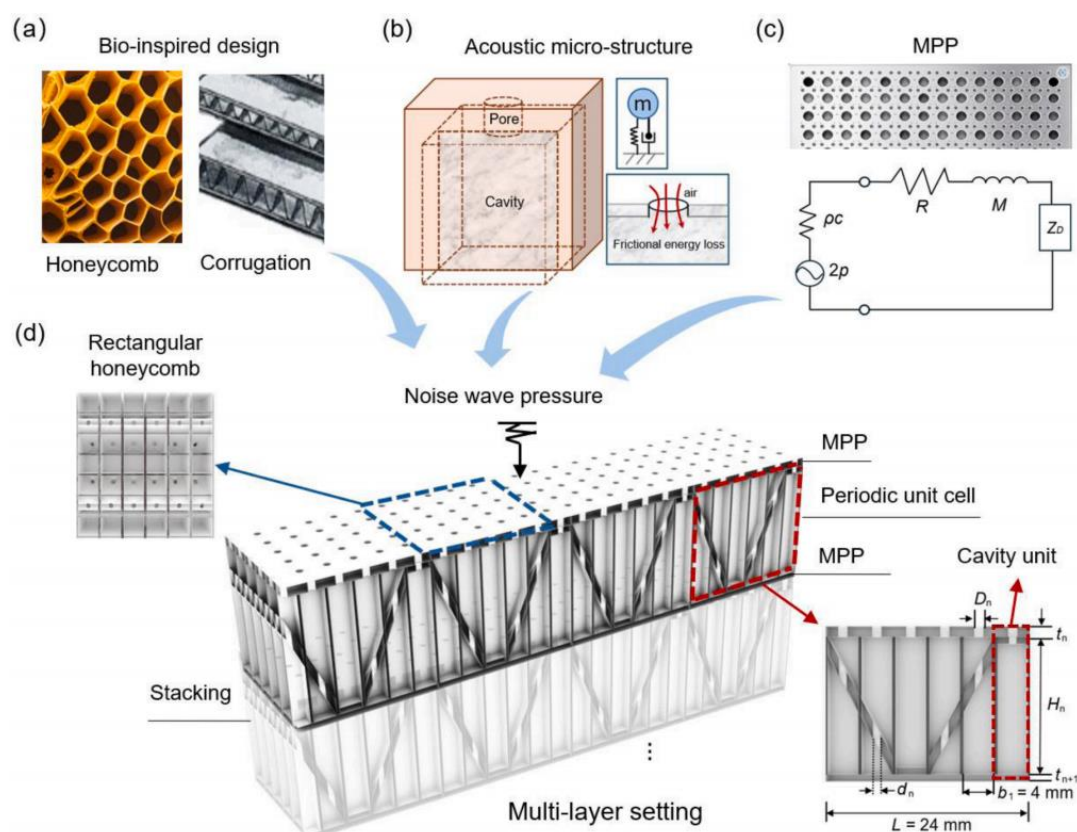


图 2.2

三、性能验证与工程应用前景

为了验证设计的可靠性，我们利用 3D 打印技术制备了钛合金及 ABS 样件，并在阻抗管中进行了严格测试。实验结果令人振奋：我们设计的超材料在 500-2000 Hz 的关键频段内，平均吸声系数稳定超过了 0.80 甚至 0.90，且实验数据与我们的 AI 模型预测及仿真结果高度吻合。这意味着我们不仅在理论上行得通，在工程制造上也具备极高的可行性。对于铁路系统而言，这种超薄、轻质且可定制的声学超材料，能够轻松安装在承重受限的高架桥或狭窄的轨道旁，在大幅降低建设维护成本的同时，为沿线居民提供更优质的声环境。这项工作标志着我们成功打通了从“可解释 AI 设计”到“高性能仿生制造”的完整链条。

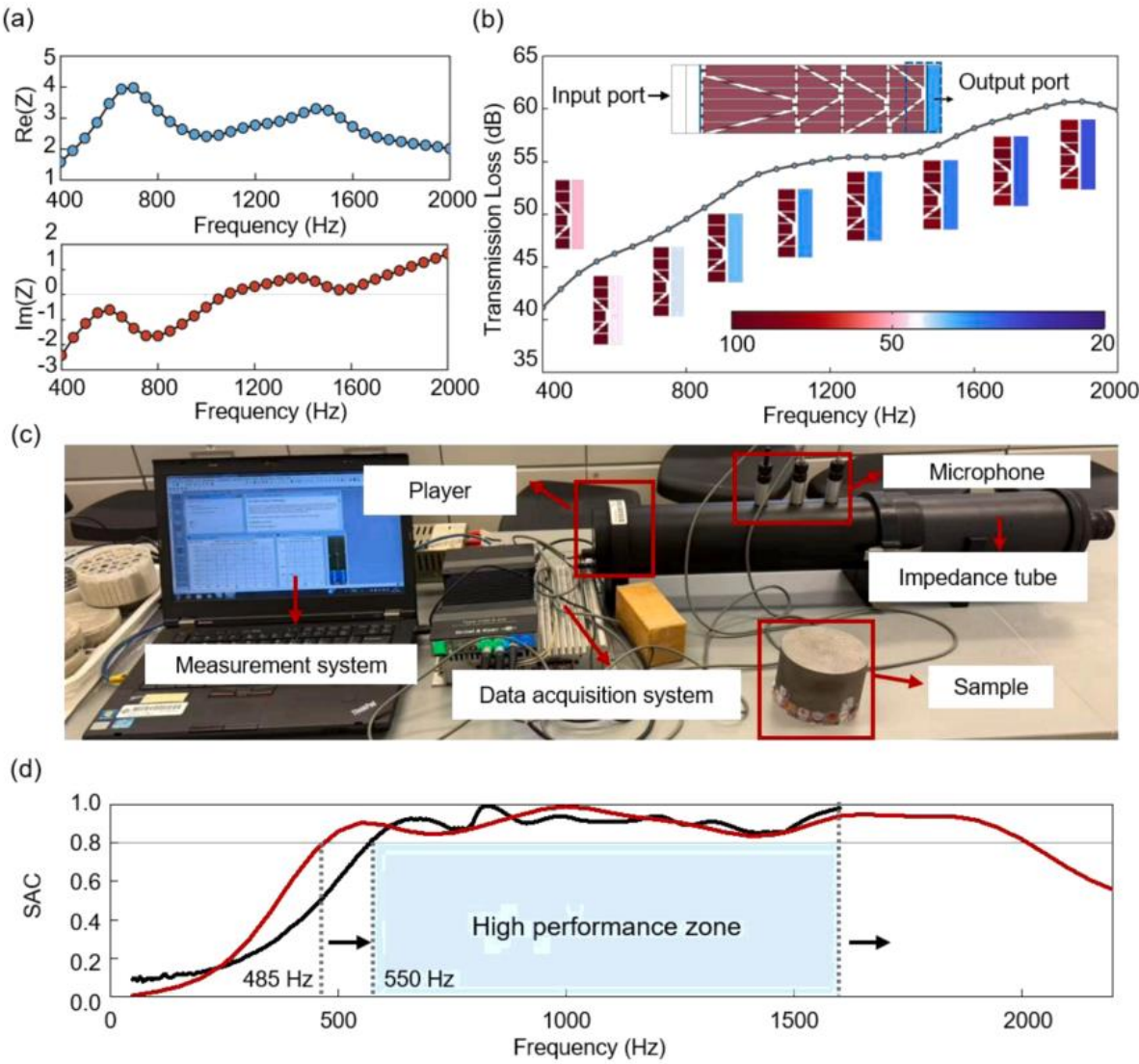


图 2.3

2.2.2 绿色泡沫混凝土超材料近轨吸声矮墙的开发及其在深圳地铁的应用计划

本研究系统性地开展了高性能吸声泡沫混凝土的研发工作。通过设计与制备涵盖 65 种不同配比的泡沫混凝土，共计超过 200 个试件，研究涵盖了密度、水固比、发泡剂稀释倍数及掺合料用量等多维度变量。为降低材料成本与碳排放，评估了以矿渣、粉煤灰、尾矿砂等工业副产物作为水泥替代材料的可行性。经过多轮配方优选与性能测试，最终选定掺入矿渣的双掺合料方案，该方案在吸声性能、力学强度与耐水性方

面表现优异，使优化后的材料在声学性能、稳定性与经济成本之间达到理想平衡（见图 2.4）。

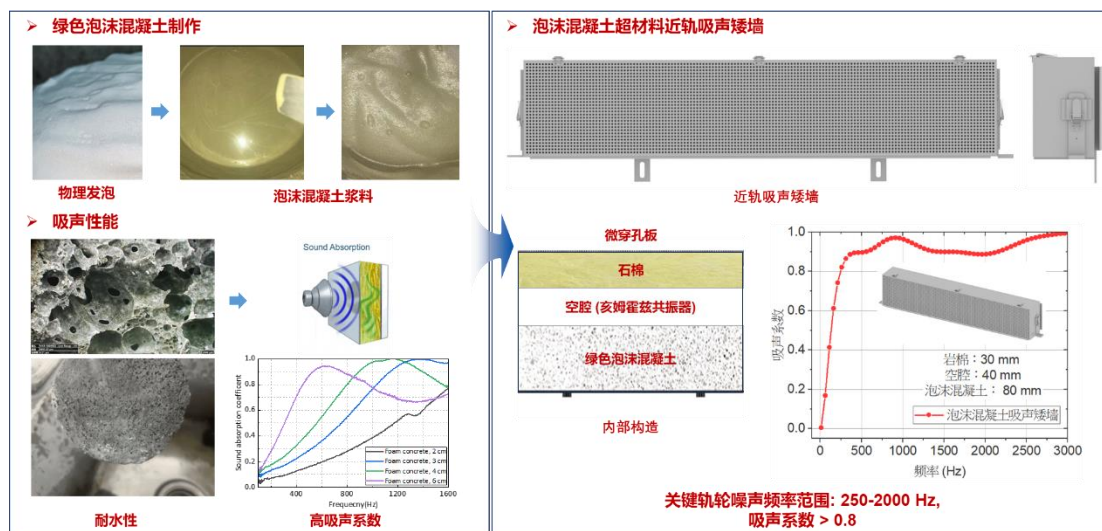


图 2.4 泡沫混凝土超材料近轨吸声矮墙的制备及性能优化

基于优化后的泡沫混凝土，采用超材料设计理念，开发了一种泡沫混凝土近轨吸声矮墙。该矮墙封装于轻质耐腐蚀不锈钢外壳内，以确保在近轨环境中长期保持稳定性并降低维护需求。模块化设计采用可拆卸微穿孔前面板、一体化侧板与背板，以及标准化紧固件，便于安装维护。层状结构从前至后依次为微穿孔面板、30 毫米岩棉层、40 毫米空气腔及 80 毫米泡沫混凝土层。此复合结构融合了微穿孔板吸声、多孔材料吸声及空腔共振调谐机制，可针对性抑制中高频轮轨噪声，同时提升中低频吸声性能。标准单元尺寸为长 1200 毫米、宽 250 毫米、厚 150 毫米。

为验证最优结构的声学性能，首先采用 COMSOL Multiphysics 软件的压力声学模块进行仿真计算，结果证实了该优化配置的有效性。随后，通过阻抗管与半消声室对比试验对仿真结论进行验证，测试对象包括三种配置：单一岩棉层（工况 1）、单一泡沫混凝土层（工况 2）及复合结构（工况 3）。

阻抗管测试结果表明，岩棉（工况 1）在高频段具有显著吸声效果，而泡沫混凝土（工况 2）在低频段表现优异。复合结构（工况 3）成功融合二者优势，在全频域内

平均吸声系数显著提升，中高频段系数超过 0.9，证实其在正入射条件下具有卓越的宽频带吸声性能。

半消声室测试结果表明，在模拟半自由声场环境中，复合结构（工况 3）同样显著优于单一材料配置。其在低频段（50–250 Hz）平均降噪量超过 10 dB，高频段（2000–8000 Hz）平均降噪量达 20 dB 以上，验证了声屏障在模拟实际斜向入射声场条件下的高效降噪性能。

整体而言，岩棉-泡沫混凝土复合结构成功拓宽了有效吸声频带，并提升了在复杂声场中的稳定性，在轨道交通降噪领域展现出显著优势。

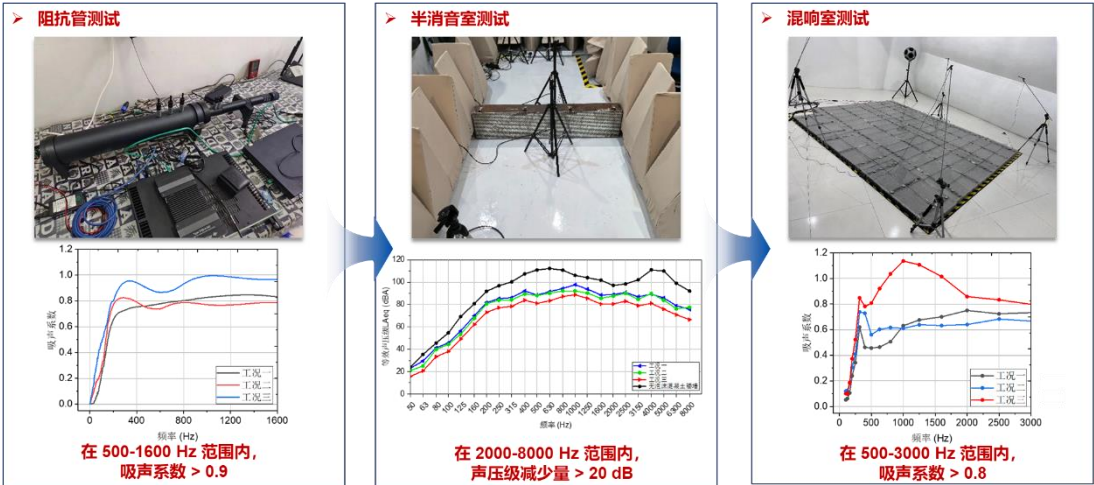


图 2.5 泡沫混凝土超材料近轨吸声矮墙性能评价

接下来，计划在深圳地铁 11 号线沙井站附近的拾悦城区段开展一项实地应用。基于现有环境，我们设计了一套安装方案，将吸声矮墙的背部与排水渠对齐，并采用膨胀螺栓将其固定于轨道板上。为评估现场降噪性能，将在声屏障安装前后分别进行远场和近场测试。远场噪声监测点位于外轨中心线水平距离 25 m 处，采用自由场传声器以评估整体噪声强度及结构二次辐射声；近场轨旁噪声则通过固定在声屏障立面的三个传声器进行测量，专门分析轮轨噪声成分并量化声屏障的直接降噪效果。上述现场测试方案旨在全面评估泡沫混凝土近轨吸声矮墙在实际运营环境中的性能。

2.2.3 新型双层梯度蜂窝力学超材料及其先进设计在桥梁防撞系统中的研究和应用

针对船舶撞击桥梁事故风险不断上升以及传统防撞防护系统在轻量化、高效吸能与承载稳定性方面的不足，本研究提出并研究了一种双层梯度蜂窝（Dual-layer Graded Honeycomb, DLGH）力学超材料结构，用于高效防撞与缓冲防护。DLGH 采用孔隙率梯度化的双层架构以实现吸能和承载双功能协同。上层为高孔隙率的大胞元蜂窝，旨在通过渐进塌缩实现稳定的能量吸收（EA），下层为更致密的小胞元蜂窝，用以提供更高的结构刚度与整体稳定性，从而为上层塌缩吸能过程提供可靠支撑。该孔隙率梯度设计使结构在受冲击或挤压过程中既能高效耗能，又能保持必要的承载与抗失稳能力。

通过有限元仿真与实验验证，DLGH 展现出较强的能量吸收能力与良好的缓冲特性。为进一步提升结构性能，在吸能层中引入波纹芯夹层板（Corrugated-core Sandwich Panel, CSP），提出先进构型 CSP-DLGH。该设计能够增强吸能层的抗弯刚度与局部屈曲单元的抗屈曲能力，使结构在塌缩过程中的力-变形响应更符合高效能量耗散所需的特征，从而提升整体防撞缓冲效果与稳定性。

在设计优化方面，构建了基于多层感知机（MLP）的代理模型，并与遗传算法（GA）耦合，围绕能量吸收性能参数开展多目标优化，以获得更优的结构参数组合与设计方案。综合仿真、实验与优化结果表明，DLGH 及其改进构型 CSP-DLGH 为船舶与桥梁防撞构件提供了一条兼具高效率与轻量化的可行工程路径（图 2.6）。

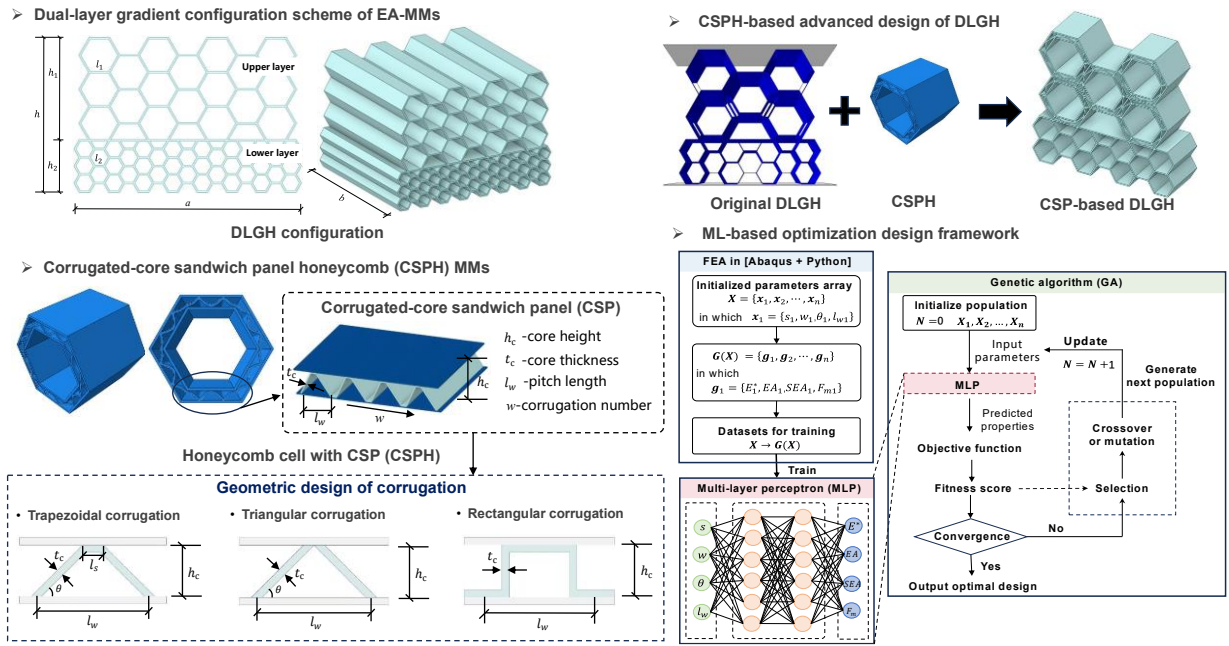


图 2.6 双层梯度蜂窝（Dual-layer gradient honeycomb, DLGH）超材料及其基于机器学习优化的先进设计

2.2.4 模块化集成施工(MiC)中轻质混凝土板的长期性能监测

2025 年 4 月 7 日，中心的杨超博士、邱亮生和周光前往香港葵青区青衣西路的场地平整及基础设施项目进行了实地考察。在模块化集成建筑（MiC）的轻质混凝土板（LCS）和普通混凝土板（CCS）中安装传感器，以监测和比较轻质混凝土板与普通混凝土板的长期收缩性能。如图 2.7 所示，在 CCS 和 LCS 中分别安装了 4 个振弦应变计和 4 个自感知混凝土应变传感器。楼板的长边方向表示传感器应力和应变的监测方向。

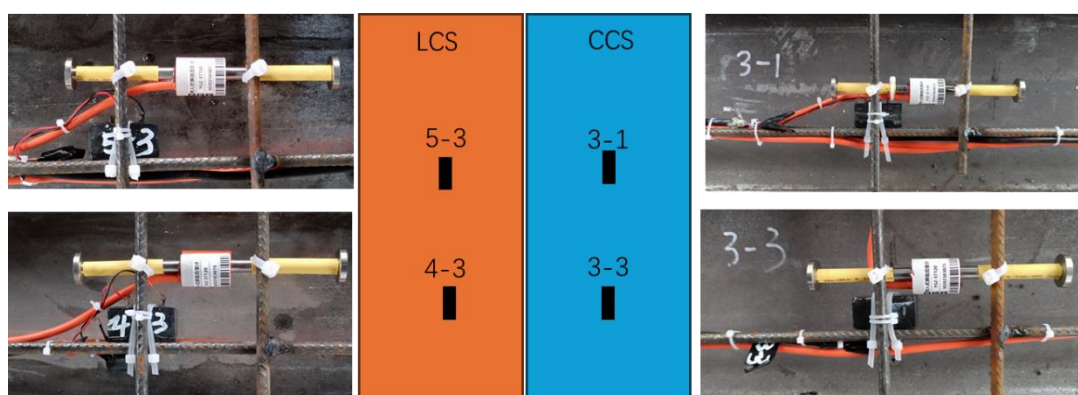


图 2.7 传感器布置

如图 2.8 所示，研究团队将传感器连接到相应的数据采集设备，对设备进行了调试，并确认数据采集系统运行正常。随后，两块楼板分别采用不同类型的混凝土进行浇筑，MiC 单元完成后，与监测系统一同运送至现场进行安装和使用。本项目中安装的传感器将对楼板性能进行长期监测，为轻质混凝土在 MiC 楼板中的应用提供数据基础。

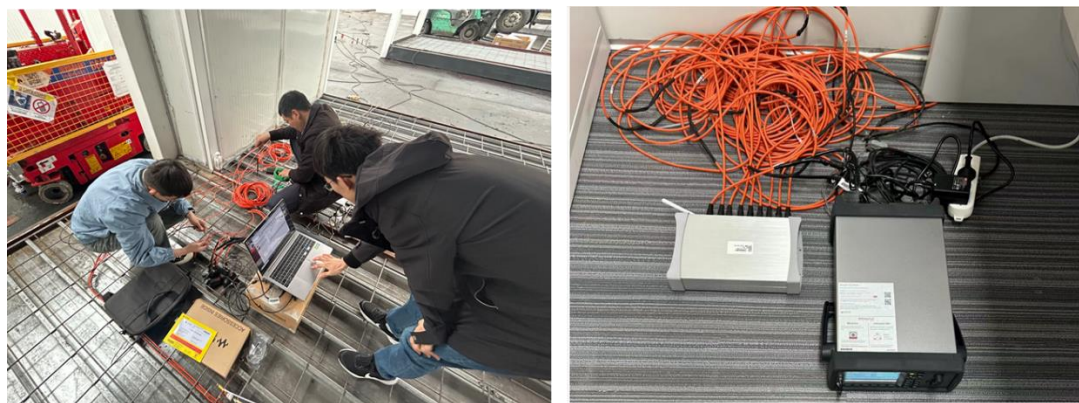


图 2.8 监测系统的安装

2.2.5 模块化集成建筑（MiC）连接节点的试验全过程性能监测

如图 2.9 所示，模块化建筑是通过将工厂预制的房间功能模块单元运输至现场，并通过可靠的节点组装成结构体系。节点是模块化结构中的关键部位。在长期服役过程中，由于风荷载、地震作用以及长期的徐变和收缩，模块之间的灌浆节点可能会发生损伤，进而对结构性能产生不利影响。为监测和评估这些节点的损伤，采用了基于压电（PZT）传感器的机电阻抗（EMI）技术和导波技术对节点进行无损检测。结合全过程的监测结果，可以获得相关的损伤评估指标。

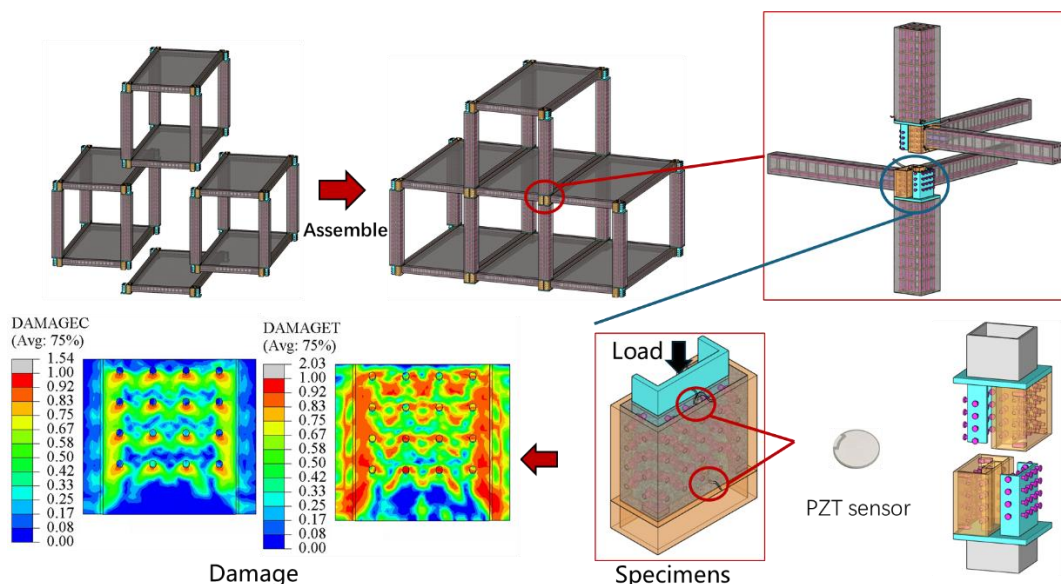


图 2.9. 模块化结构的节点

EMI 方法是一种实时健康监测技术，通过测量压电材料与监测主体结构之间机电耦合特性的变化来评估结构的损伤状态。如图 2.10 所示，PZT 传感器被粘贴在试件外表面，用于监测整个加载过程中的阻抗变化。全过程的监测结果表明，随着加载位移的增加，损伤评估指标（RMSD）逐渐升高，说明 EMI 技术能够有效检测灌浆节点的全过程损伤。此外，利用 EMI 方法建立了损伤指标与滑移之间的定量关系，为 MiC 连接在实际服役过程中的健康与损伤状态评估提供了可靠的方法。

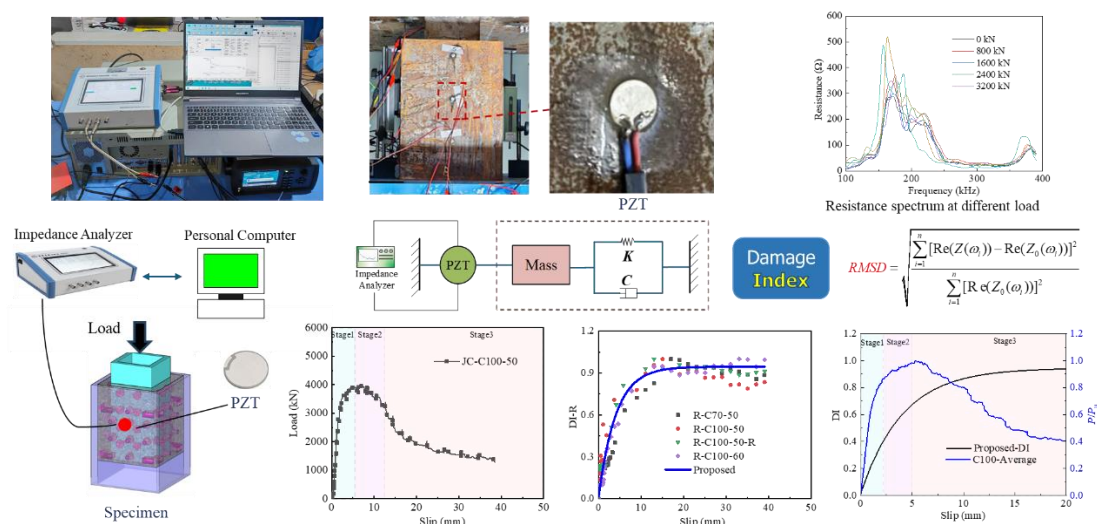


图 2.10 基于 EMI 技术的灌浆连接损伤检测技术

如图 2.11 所示，通过在灌浆节点表面或内部布置压电传感器，用于激励和接收应力波，可以根据接收到的应力波幅值的变化判断灌浆节点的损伤程度。实验结果表明，随着轴向荷载的增加，传感器接收到的信号幅值逐渐减小，说明在加载过程中，沿检测路径的灌浆节点发生了损伤。由于损伤程度在评估模块化结构灌浆节点性能中起着关键作用，进一步分析建立了损伤指标（DI）与界面滑移之间的关系，并将节点的损伤状态划分为三个区间以表征损伤程度。本研究表明，导波法能够成功量化模块化结构节点的损伤严重程度，突显了导波法在模块化结构灌浆节点损伤监测与评估中的应用潜力。

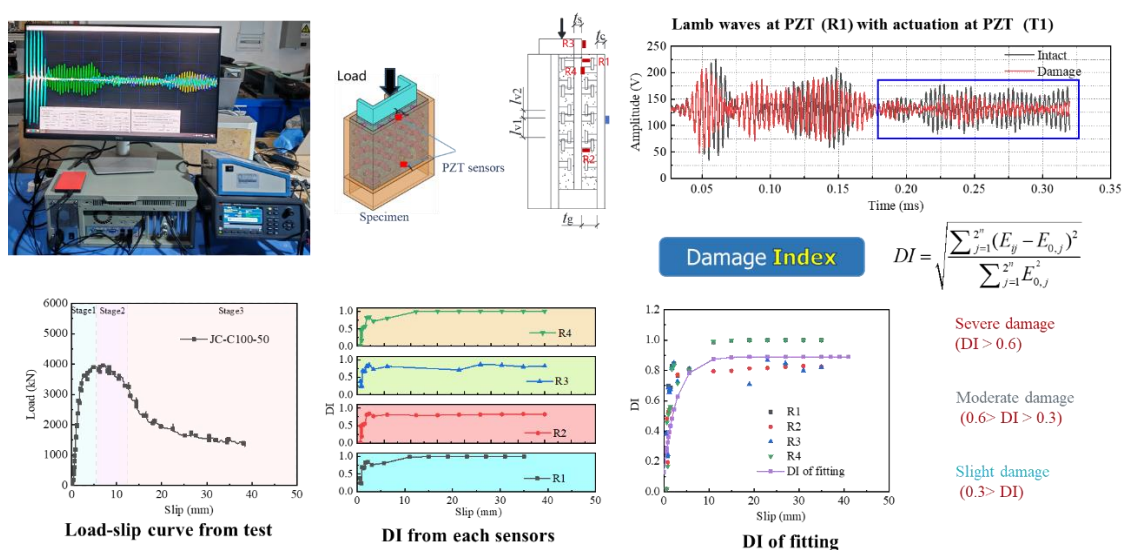


图 2.11 基于导波技术的灌浆节点损伤检测

基于灌浆节点轴向拔出试验全过程损伤监测的研究，后续工作将重点关注节点在抗弯和抗震性能方面的损伤监测。除 PZT 传感器外，还将采用自感知混凝土、电阻抗层析成像（EIT）和数字图像相关（DIC）等技术。此外，灌浆缺陷对节点的力学性能有显著影响。未来的研究将包括对节点中不同程度灌浆缺陷的检测方法研究，并开发适用于实际工程中灌浆缺陷快速检测的评价指标。

2.2.6 香港气象数据库

如图 2.12 所示，展示了天气研究与预报（Weather Research and Forecasting, WRF）模型的数据同化流程（WRF Data Assimilation, WRFDA）。WRFDA 能够在统一框架下无缝融合来自葵花 8 号（Himawari-8）卫星的红外辐射率数据、香港理工大学激光雷达（LiDAR）监测网络获取的风廓线数据，以及香港天文台地面气象站和飞机观测数据。通过多源气象观测数据的协同同化，可生成高时空分辨率、高精度的再分析数据集，从而构建面向香港地区高分辨率天气预报与气候研究的香港天气数据库。

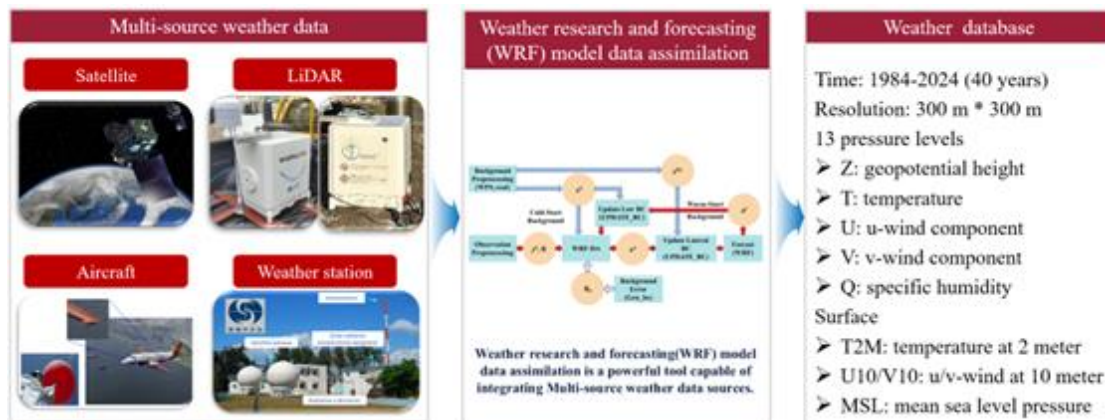


图 2.12 天气研究与预报（WRF）模型数据同化（WRFDA）流程示意

2.2.7 风效应的实时监测、数值模拟与试验研究

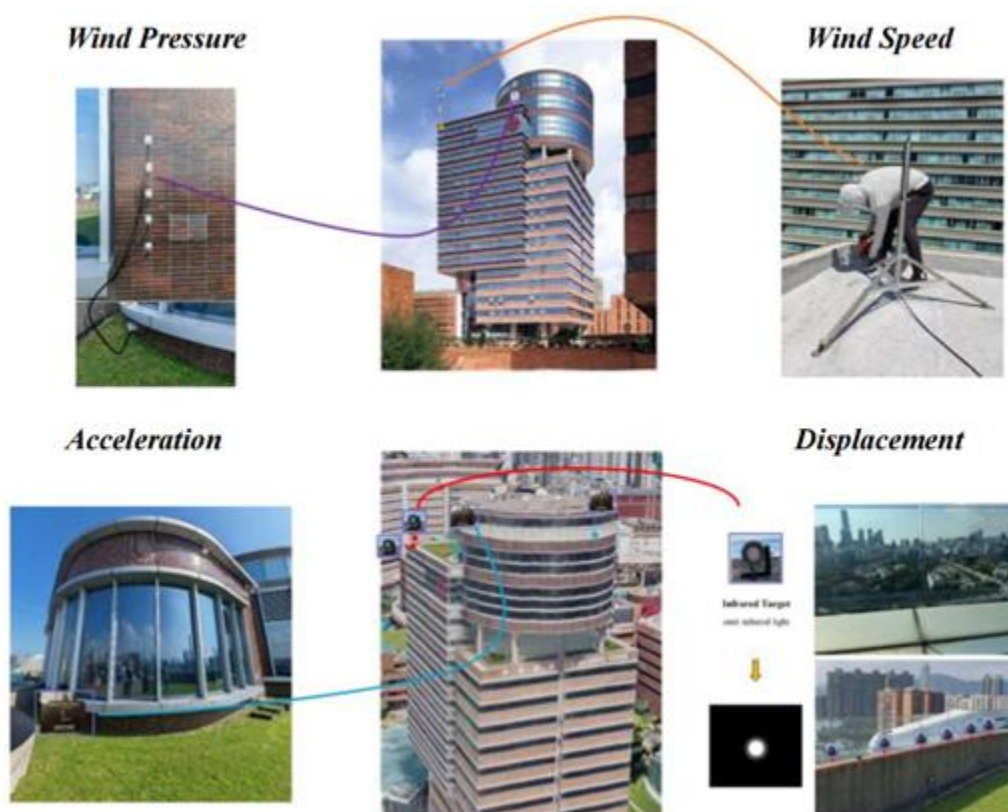
1) 结构健康实时监测系统

为降低台风风险并提升香港城市建筑的结构安全性与韧性，国家轨道交通电气化与自动化工程技术研究中心（香港分中心）（CNERC-Rail, HK Branch）研究团队部署了结构健康实时监测系统。该系统已在深圳星河双子塔及香港理工大学李嘉诚楼完成整体

布设，并自 2025 年 6 月起正式投入运行。系统集成成了 4 类传感器（见图 2.13），可对风速、风压、结构加速度及位移等关键参数进行实时监测。



(a)



(b)

图 2.13 香港及深圳的结构健康实时监测系统：（a）深圳星河双子塔；（b）香港理工大学李嘉诚楼

在 2025 年期间，该结构健康监测系统在多次极端事件中成功获取了两栋高层建筑的完整动力响应数据，包括：广东清远地震（6 月 23 日）以及 6 次台风过程——蝴蝶（Wutip，6 月 14 日）、韦帕（Wipha，7 月 20 日）、杨柳（Podul，8 月 14 日）、塔巴（Tapah，9 月 8 日）、米娜（Mitag，9 月 19 日）和 桦加沙（Ragasa，9 月 24 日）。其中，台风 韦帕 和 桦加沙 期间曾发布 十号飓风信号。针对上述极端灾害，多源监测数据可实现对地震及强风作用下结构性能的即时评估，为建筑运维及风险管理决策提供可靠依据，并获得了业主方的高度认可。

此外，为进一步评估高层建筑在台风作用下的动力特性，研究团队在台风 桦加沙 期间采用便携式加速度计对香港 3 栋高层建筑开展了现场监测。图 2.14 展示了相关建筑的位置及其记录的加速度响应。

图 2.14 台风桦加沙期间采用便携式加速度计对建筑性能进行监测：（a）三栋建筑的位置及便携式加速度计示意图；（b）九龙海逸君绰酒店记录的加速度时程；（c）何文田学生宿舍记录的加速度时程；（d）红磡学生宿舍记录的加速度时程。

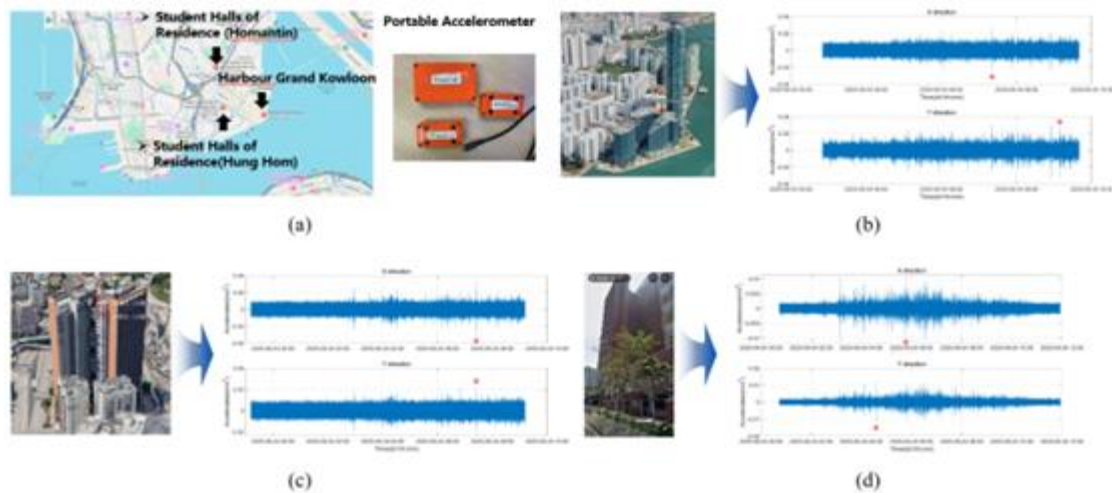


图 2.14 台风桦加沙期间用于建筑性能监测的便携式加速度计：（a）三栋建筑的位置及便携式加速度计示意图；（b）九龙海逸君绰酒店记录的加速度时程；（c）何文田学生宿舍记录的加速度时程；（d）红磡学生宿舍记录的加速度时程

（2）风荷载的数值模拟研究

本研究采用大涡模拟（Large Eddy Simulation, LES）模型，系统探讨高层建筑及其周围城市环境中尺度效应对气动特性的影响。选取在风洞试验与数值模型标定中广泛应用的 CAARC 标准高层建筑作为基准算例，并利用其风洞试验数据对 LES 数值模型进行验证。

此外，2018 年 9 月超强台风“山竹”期间，香港 Harbourfront 建筑发生的玻璃破坏事件，凸显了深入理解尺度效应对高层建筑群气动行为影响的迫切性与重要性。因此，本研究以 CAARC 标准高层建筑（见图 2.15）及香港 Harbourfront 建筑群（见图 2.16）为研究对象，系统分析尺度变化对风压分布特征与流场动态特性的影响。通过不同几何尺度条件下的对比分析，旨在为模型尺度数值模拟结果的可靠性评估及其在实际抗风设计中的应用提供有价值的参考。

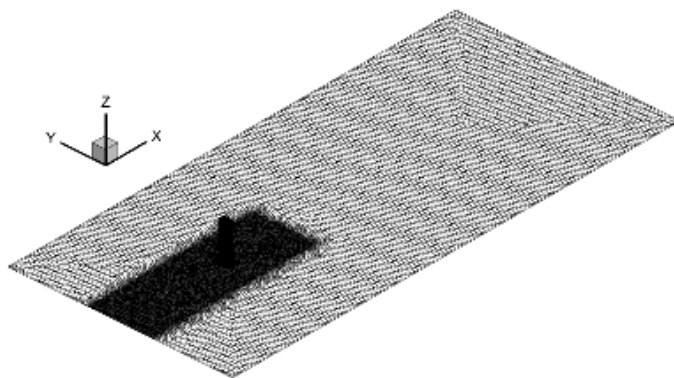


图 2.15 CAARC 标准高层建筑示意图

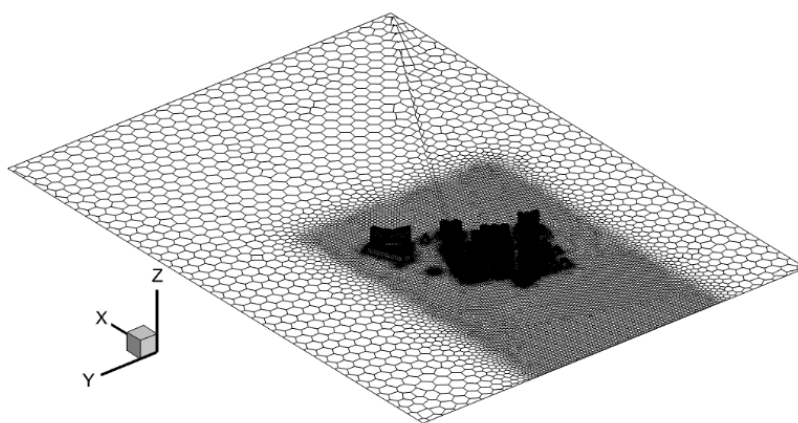


图 2.16 Harbourfront 建筑群示意图

针对 CAARC 标准高层建筑及 Harbourfront 建筑群，研究开展了系统的数值模拟，并通过与 3 组独立风洞试验数据进行对比验证。结果表明，无论是 CAARC 标准建筑、Harbourfront 建筑，还是 Harbourfront Tower，相较于迎风面，尺度效应在横风面上的

影响更为显著。这是由于横风面存在明显的流动分离、再附着及尾流区，其中较小幅度的负风压对尺度变化更为敏感。这一发现强调了在风洞试验及数值模拟中，必须充分考虑尺度效应，尤其是在评估横风面风压分布时。

(3) 风致碎片撞击损伤机理试验研究

本研究通过试验手段系统研究了风致碎片对玻璃幕墙的撞击损伤机理。利用压缩空气发射装置（见图 2.17），从固定距离 0.4 m 处发射三类典型碎片：16 g 钢球、多颗 1.2 g 玻璃球以及质量为 0.6–0.8 g 的不规则砂粒。通过调节发射压力（0.01–0.75 MPa）精确控制碎片的撞击速度，并采用 2 台高速摄像机同步记录碎片飞行轨迹及玻璃破坏过程。试验对象涵盖 6 mm、8 mm 和 10 mm 厚度的单层钢化玻璃，系统分析其在台风工况下的临界抗冲击能力与破坏机理。

试验结果表明，不同厚度的玻璃均存在明确的临界破坏阈值，破坏过程具有突发性，且安全裕度较小。尽管增加玻璃厚度可在一定程度上提高其抵抗多次冲击的能力，但对高能单次冲击的防护效果仍然有限。因此，在台风高发地区，仅通过增加玻璃厚度并不足以保障安全，仍需配合其他防护与加固措施。其中，十字胶带加固作为一种低成本、易实施的应急防护措施，建议在台风预警期间加以采用。本研究为抗冲击幕墙结构设计及居民台风防灾安全准备提供了重要的科学依据。



图 2.17 压缩空气发射装置及发射器示意图

2.2.8 香港多平台 LiDAR 监测网络系统

(1) 覆盖香港全域的风环境 LiDAR 监测网络

基于对香港全境开展的系统选址与实地勘察，CNERC-Rail（香港分中心）邓锸博士、董岳博士、陈修煜博士等成员，构建并部署了一套城市尺度的边界层 LiDAR 监测网络，覆盖范围约为 $36 \times 36 \text{ km}$ （见图 2.18）。该监测网络于 2024 年 7 月完成安装与标定，并于 2024 年 8 月 6 日正式投入运行。



图 2.18 香港 LiDAR 监测网络布局（2025 年）

该监测网络由 6 台边界层风廓线 LiDAR 组成，主要用于获取大气边界层内的垂直风廓线信息。单站点的有效监测半径约为 15 km，可实现对香港近地层风场及其垂直结构的高分辨率、实时监测。2025 年期间，激光雷达反演得到的风场数据实时传输至香港天文台，为台风风险评估提供支撑，同时也用于开发 1 km 分辨率的城市气象预测模型。

以 2025 年台风“韦帕”为例，该台风于 7 月中旬在菲律宾以东生成，并于 7 月 20 日从香港以南近距离掠过，随后分别于 17:50 在台山登陆（最大风速 33 m/s，中心气压 975 hPa），以及 20:15 在海陵岛再次登陆。此后，“韦帕”减弱为强热带风暴，于 7 月 21 日向西南方向进入北部湾，并于 7 月 22 日在越南北部登陆，最终于 7 月 23 日减弱

消散。结果表明，该监测网络已成功捕捉到台风期间香港城市边界层风场的显著空间差异与时间演变特征。

(2) 车载 LiDAR 移动监测系统：台风“桦加沙”期间的观测

CNERC-Rail（香港分中心）倪一清教授、邓镔博士及其研究团队构建了一套车载 LiDAR 风环境监测系统（见图 2.19）。该系统主要由 LiDAR、惯性导航系统以及外置天线等核心组件组成。

与固定式 LiDAR 监测站相比，车载 LiDAR 系统具有更高的机动性与灵活性，可根据台风的实时移动路径动态调整监测位置，从而在台风影响期间实现对香港全境极端风环境的连续与空间化监测。2025 年 9 月 23–24 日，在台风“桦加沙”影响期间，由倪一清教授带领的“追风队”开展了香港风环境的现场观测工作，成功获取了香港不同区域风速的空间分布特征（见图 2.20）。



图 2.19 车载 LiDAR 监测系统



图 2.20 基于车载 LiDAR 的台风“桦加沙”（Ragasa）期间监测路线及观测结果.

2.2.9 基于大语言模型的隧道衬砌病害检测与评估智能体

在隧道运营维护过程中，及时、系统地开展隧道衬砌缺陷检测，并评估缺陷严重程度对隧道结构安全与服役性能的影响，是实现隧道经济高效养护的重要基础。近年来，大语言模型作为一种新兴人工智能技术，在土木工程领域展现出良好的通用性与多模态信息理解能力，能够融合图像等多源数据，对复杂工程问题作出有效响应，为隧道智能检测、评估及运维决策提供了新的解决思路。

(1) 基于大语言模型的隧道衬砌病害检测与评估智能体

基于此，本研究构建了一种基于大语言模型的隧道智能代理系统，将大语言模型与自主研发的隧道病害分割模型相融合，实现隧道衬砌病害的自动分割、定量分析与综合评估。如图 2.21 所示，该隧道智能代理系统主要由底层大语言模型核心模块、任务规划代理、工具选择代理和代码生成代理四部分核心组件构成。系统能够根据用户输入的自然语言指令（即提示词），对隧道衬砌图像中的缺陷进行分割与量化分析。其中，大语言模型核心模块负责理解用户提示词的语义信息；任务规划代理根据提示词将整体目标任务拆解为若干子任务；工具选择代理进一步从已集成的深度学习或机器学习模型中自动选择合适的工具以完成相应子任务；代码生成代理自动生成代码程序，实现各子任务的协同执行与整体流程的自动化。

在上述系统中，本研究将隧道领域知识与自主研发的深度学习模型进行有机融合，并以“工具化”的方式嵌入到智能代理框架中。研究团队基于 MMSegmentation 平台构建了一种以 Deeplab v3+ 为基线、融合注意力机制的隧道衬砌病害分割模型，用于渗漏水、裂缝等典型病害的精细化识别与定量分析。在系统设计中，该模型并非作为独立算法使用，而是被抽象和封装为一种面向隧道工程语义的智能工具，并通过明确的功能描述向大语言模型注入隧道病害分析相关的专业知识，即“可根据文本提示（如病害类别名称或指代表达）实现隧道衬砌病害的分割与定量分析”。基于此工具设计，当用户提示词中出现与隧道衬砌病害分割与定量相关的语义时，工具选择代理能够理解其工程含义并自动调用该工具，从而实现面向隧道场景的病害分割与定量分析任务。

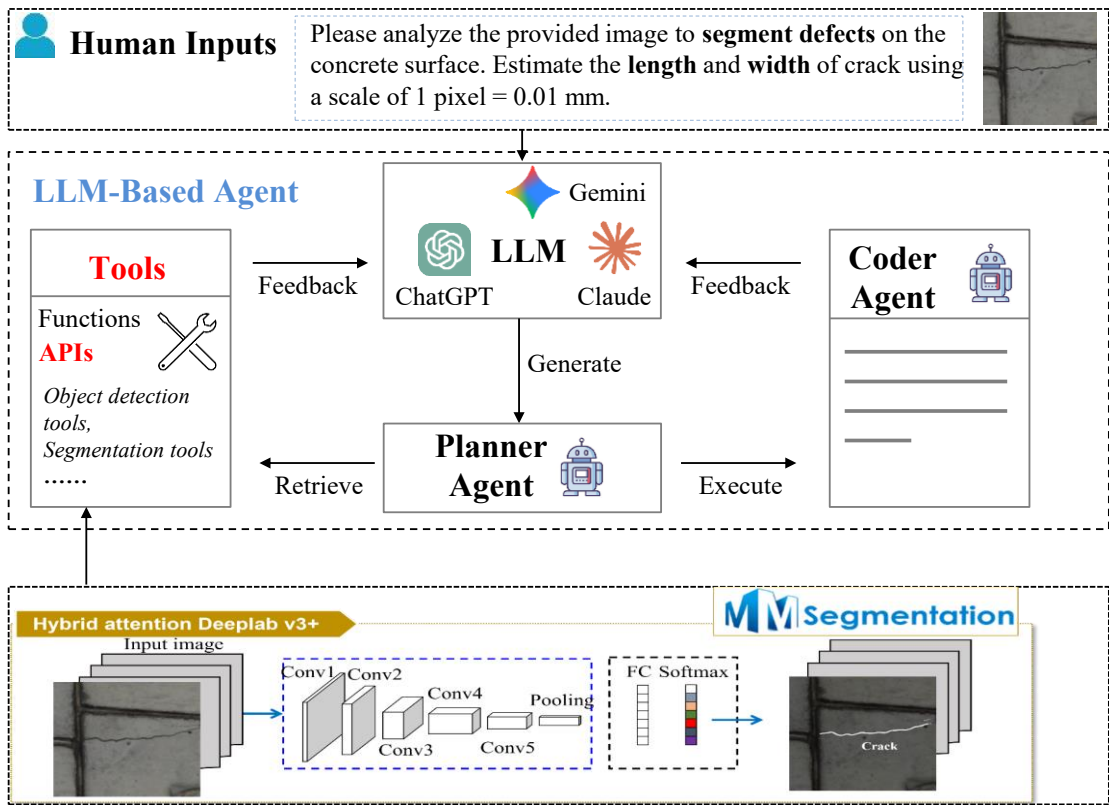


图 2.21 基于大语言模型的隧道智能代理系统框架

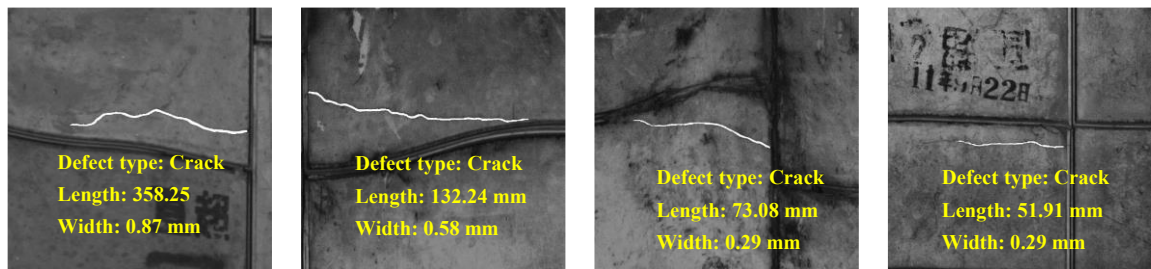


图 2.22 基于大语言模型的隧道智能代理检测结果

如图 2.22 所示，检测结果表明，该智能代理系统能够实现隧道裂缝的精确分割；同时，系统中集成的大语言模型可在此基础上自动生成内容完整、结构规范的病害检测与评估报告，从而有效支撑隧道结构状态的智能化评估。

本研究进一步在系统中引入了检索增强生成机制。通过该机制，系统可在分析过程中按需检索隧道工程相关的专业数据库及行业规范或标准，并依据检索到的规范和标准对隧道病害严重程度及其对隧道结构安全的影响进行判定，从而显著提升病害评估结果的规范性与可靠性。

在此基础上，进一步设计了人机协同反馈模块（如图 2.23 所示），以为隧道工程技术人员提供直观、友好的交互式操作界面。用户可通过该界面上传隧道衬砌图像并

输入文本指令，系统将自动完成病害识别与评估。如图 2.24 所示，该系统能够处理裂缝、渗漏水、表面劣化等多种病害类型，并输出相应的识别与分析结果。在自动检测完成后，工程人员可对病害评估结果及养护建议进行人工审核、确认或修正，从而在关键决策环节引入人工经验，实现自动化分析与人工专业判断的有机融合，保障检测流程的可靠性与可解释性。

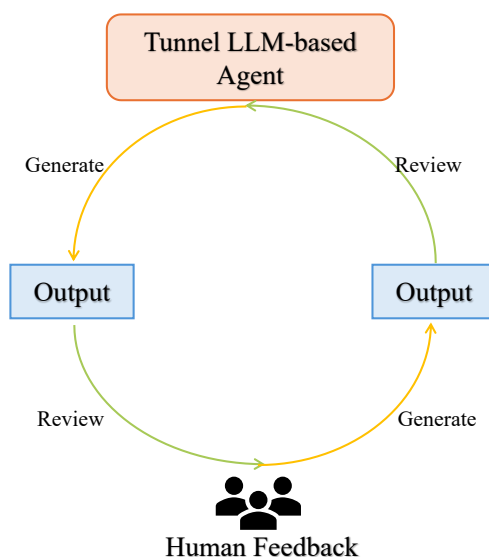


图 2.23 隧道大模型智能体系统人机协同



图 2.24 用户界面及隧道病害检测结果示意

(2) 基于定制化智能代理框架的 AI 驱动探地雷达工具研发

本研究构建的定制化大语言模型智能代理系统基于 Qwen-VL-Max Agent 系统，实现了面向多模态任务的统一协调与调度。该系统作为多模态协同层，集成了面向视觉

感知的图像分割、目标检测、视频理解等多类深度学习模型，可有效支撑通用感知与分析任务。

针对隧道工程应用场景的专业需求，单纯的通用感知能力尚不足以满足探地雷达数据分析及运营检测报告自动生成等要求。为此，本研究在既有框架基础上，引入具备智能决策能力的检索增强生成机制，并集成了一系列面向探地雷达数据分析的专业工具，实现了多频探地雷达数据的自动解译与分析，以及符合相关技术规范和标准的隧道检测报告结构化生成。此外，系统进一步集成了多种辅助报告生成工具，可对现场检测获得的多源数据进行自动汇总与解读，包括激光扫描点云数据、裂缝与渗漏水病害制图结果以及隧道变形监测数据等，从而提升隧道综合检测数据的利用效率与报告编制的自动化水平。

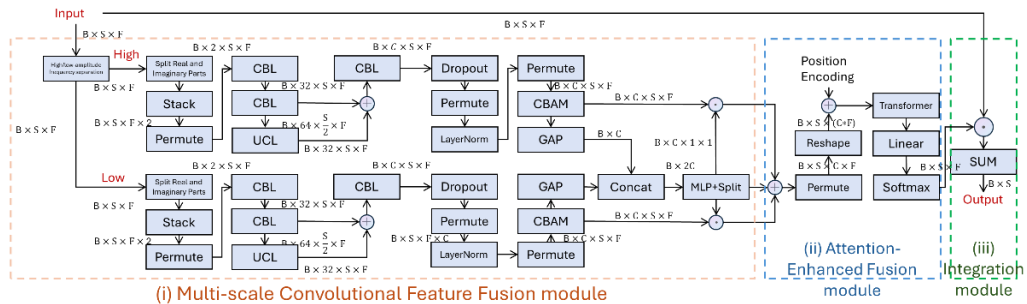


图 2.25 DFNet 网络架构

在定制化智能代理框架下，首先研发了面向隧道衬砌检测的多频探地雷达数据融合分析工具，提出了一种无监督深度学习方法以提升多频探地雷达数据的综合解译能力。由于不同频段探地雷达在分辨率与探测深度之间存在固有权衡（高频分辨率高但穿透浅，低频穿透深却分辨率低），该问题在由多层、非均质材料构成的隧道衬砌结构中尤为突出。针对上述限制，本研究提出了双频探地雷达数据融合网络 DFNet，其总体结构如图 2.25 所示。DFNet 通过并行分支对高、低幅值成分进行解耦建模，结合多尺度卷积编码与注意力机制提取关键特征，并引入 Transformer 编码器以同时捕捉局部与全局时序依赖关系。在融合阶段，网络采用信息感知型损失函数，对时域融合结果进行自适应加权，该损失函数综合了基于信息熵的约束与频域统计特征约束，在保证隧道分层结构过渡平滑性的同时，有效保留细部结构信息。



图 2.26 现场试验设计及数据采集系统示意图

为验证所提出的双频探地雷达数据融合框架 DFNet 在实际隧道环境下的适用性与有效性，本研究在杭州地铁 5 号线五常车辆基地开展了探地雷达现场试验。作为试验设计的一部分，在隧道衬砌背后布置了水箱以模拟充水空洞等典型隐蔽病害，其布置形式如图 2.26(b) 所示。

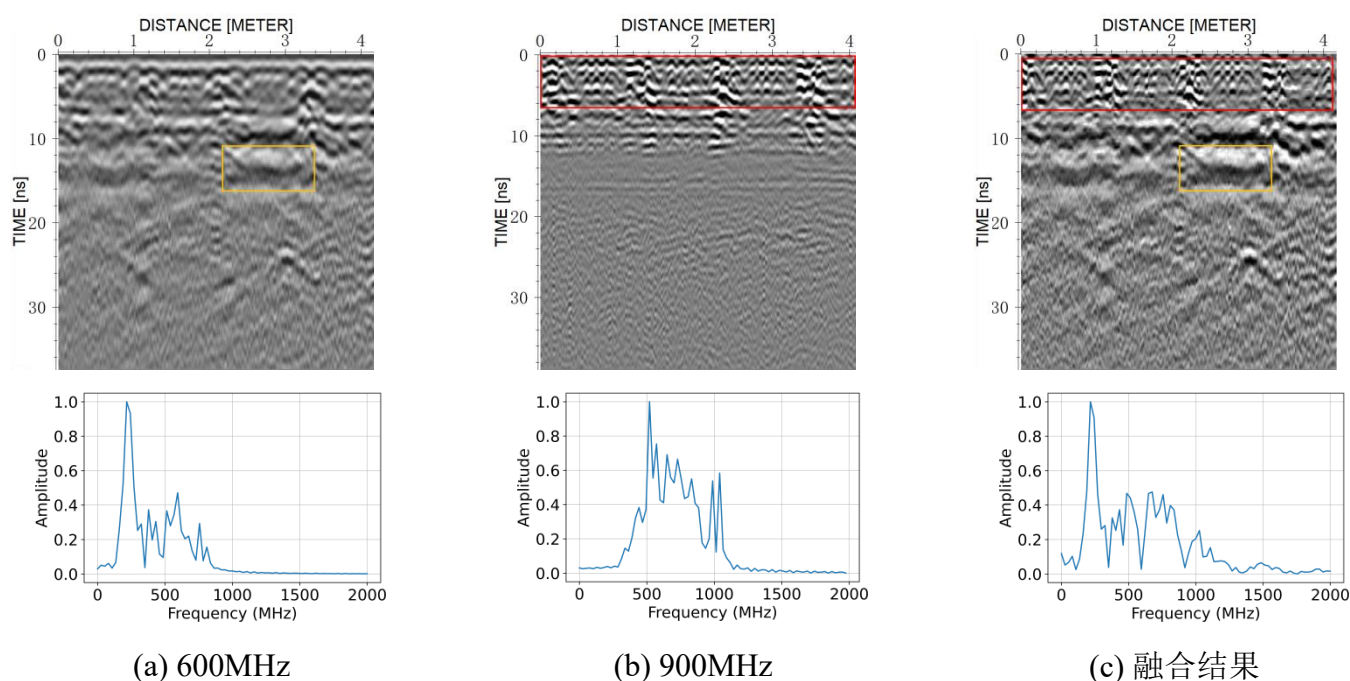


图 2.27 多频探地雷达数据融合前后的模拟雷达图像及第 280 道位置处的频谱对比

基于上述 DFNet 融合网络，对不同中心频率获取的 GPR 数据进行了处理分析。如图 2.27(a) 所示，600 MHz 雷达图像能够清晰反映水体目标特征，但对浅层钢筋等细部结构的分辨能力有限；而 900 MHz 雷达图像（图 2.27(b)）虽能识别密集的钢筋双曲线特征，却难以反映深部异常。融合结果（图 2.27(c)）有效整合了两种频段的优势，在

保留高频细节信息的同时增强了低频对深部区域的响应能力。对应 2.8 m 位置的频谱分析结果表明，融合信号呈现出拓宽的有效频带特征，验证了该方法在提升地下病害（如充水空洞）可探测性与表征能力方面的有效性。

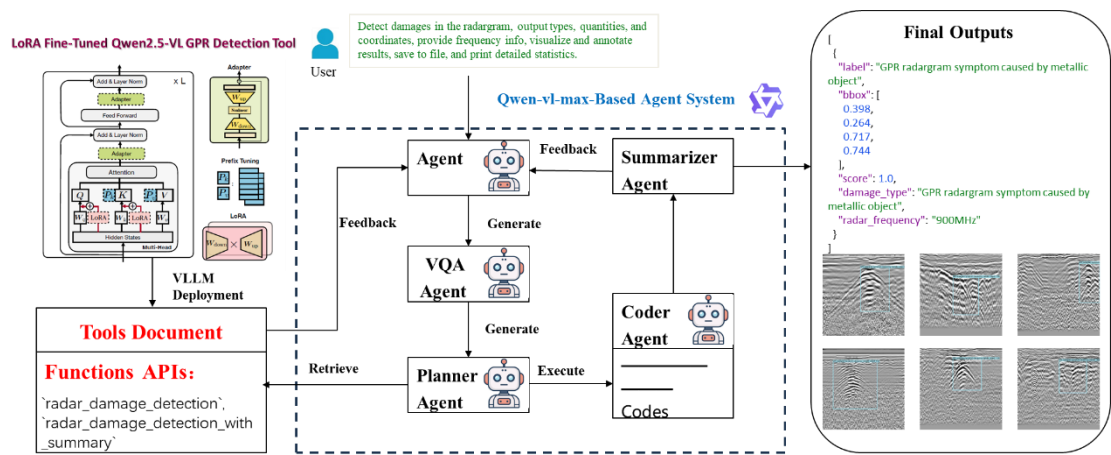
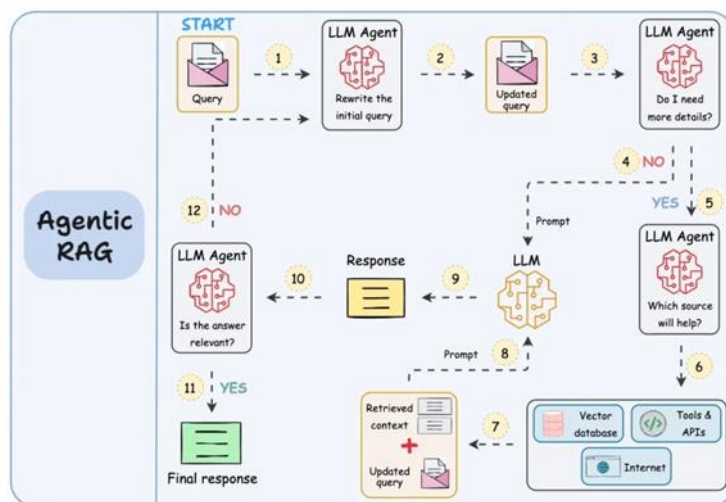


图 2.28 基于 LoRA 微调的 Qwen2.5-VL 探地雷达病害识别工具在智能代理框架中的集成示意

在定制化智能代理框架下，进一步研发了面向探地雷达病害识别的视觉—语言模型工具。该模型以 Qwen2.5-VL 为基础，通过低秩适配（LoRA）技术进行微调，在视觉与文本分支的注意力层及多层感知机线性映射中引入 LoRA 矩阵，实现了在参数规模受控条件下对探地雷达图像数据的高效领域自适应。模型训练数据来源于广州地铁隧道实测探地雷达图像。完成微调后，该模型基于 VLLM 推理架构进行部署，并通过两类专用接口集成至智能代理系统的工具库中，与前述无监督多频探地雷达数据融合网络协同运行。在基于 Qwen-VL-Max 的智能调度与协同框架下，任务规划代理、视觉问答代理、代码生成代理及结果汇总代理等多类子代理协同工作，实现了雷达数据分析任务的自动分解、工具选择与调用以及检测报告的自动生成。实验评估结果表明，该系统在探地雷达分析任务中的工具调用准确率超过 95%，任务完成率稳定保持在 90% 以上，验证了所构建智能代理框架在隧道探地雷达检测应用中的稳健性与工程应用可靠性。



在此基础上，本研究正在研发面向工程规范的智能检索与生成模块，用于支撑隧道检测结果的规范化判读与报告编制。该模块具备多轮检索、条款语义对齐及结果自校验能力，并以城市轨道交通隧道相关规范与标准为核心知识源（如 T/CECS 788-2020 及配套技术规程），能够对规范中的文本条款、表格数据、图示内容及公式表达进行自动提取与解析。在当前研发基础上，模块将逐步实现多源检测与监测数据与规范限值之间的自动关联与比对分析，并构建可供系统内其他智能模块调用的规范化知识库。相关成果将包括具备规范感知能力的知识索引、检测结果符合性判定表格以及自动生成的评估文本内容，从而为定制化智能代理框架下隧道检测报告的规范一致性、结果可追溯性及审计可靠性提供持续支撑。

隧道围岩稳定性的评估是地下工程施工中的关键问题，直接关系到施工安全与工程质量。一旦围岩发生失稳，不仅会导致施工进度受阻，还可能引发严重的安全事故。因此，实现隧道掌子面稳定性的快速、准确评估，始终是工程实践中的核心难题之一。传统稳定性预测方法主要包括声学测试、钻孔取样以及基于工程经验的现场观测等手段，这类方法在一定程度上能够反映围岩状态，但普遍存在操作流程复杂、对专家经验依赖程度高、数据反馈滞后以及测试过程存在安全风险等问题，难以满足当前隧道

施工对高效率、智能化及少人化作业的需求。随着人工智能技术的快速发展，探索新型智能化稳定性评估方法，已成为提升隧道施工安全与管理水平的必然趋势。

在隧道施工过程中，掌子面可获取大量多源、多模态信息，包括掌子面图像与视频、探地雷达检测成果、超前水平钻探数据以及地质素描图等。这些数据从表观特征到内部结构等不同层面刻画了围岩特性，为稳定性评估提供了丰富的信息基础。然而，多模态数据在结构形式、信息表达及语义层次上差异显著，且不同模态之间关联关系复杂、样本分布不均，直接融合此类异构数据对传统深度学习方法准确性与鲁棒性提出了较大挑战。在此背景下，大语言模型凭借其在跨模态表示学习与知识迁移方面的优势，为隧道围岩稳定性评估提供了新的技术途径。通过对多模态信息中潜在关联特征的统一建模与理解，大语言模型有望有效整合复杂工程信息，为围岩稳定性预测提供更加智能、全面的支撑。

基于隧道围岩稳定性监测结果，并参照围岩分级体系，对围岩图像数据均匀划分为五类稳定性等级。初始基准数据集共包含约 9000 帧掌子面图像，统计分析结果表明，其中III类围岩样本占比超过 60%，而V类围岩样本比例不足 5%，样本分布高度不均衡，严重制约了大语言模型及计算机视觉模型对掌子面判别特征的有效学习能力。与此同时，通过延长现场等待时间以获取少见围岩类型样本，不仅效率低下，还会对正常施工组织产生不利影响。

针对上述问题，本研究提出了一种基于生成对抗机制的智能数据增强方法，用于扩充少样本围岩类别的数据规模。在此基础上，系统性评估了包括 GPT-4o、通义千问、可灵、元宝和豆包在内的五种主流生成方法在围岩图像合成方面的表现，其对比结果如图 2.29 所示。

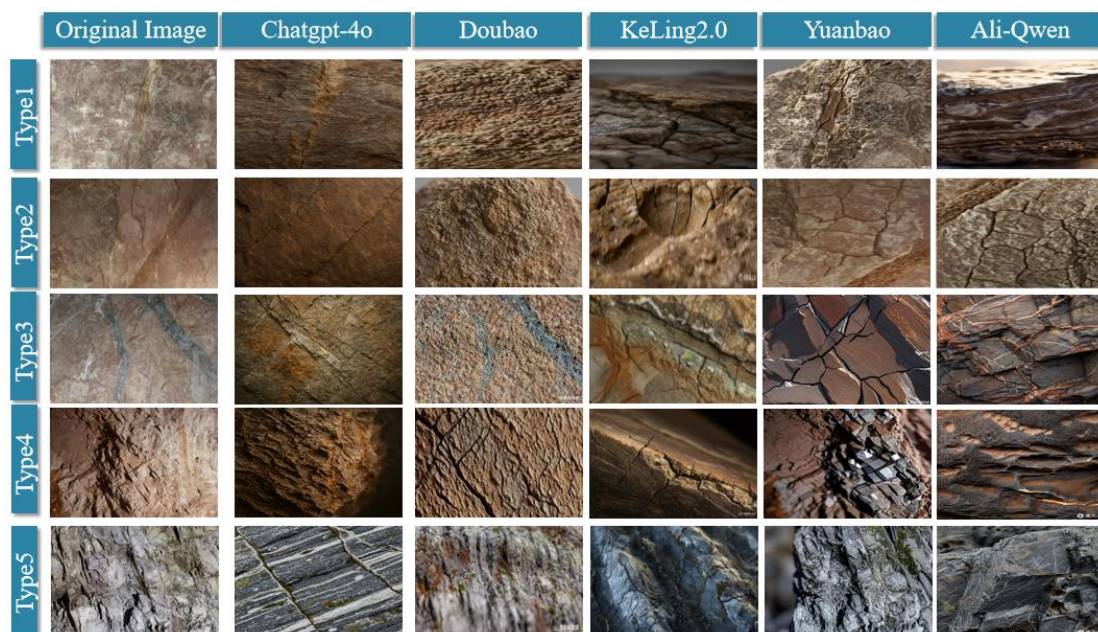


图 2.30 基于不同大语言模型生成的围岩图像对比

在隧道围岩视频分析中，本研究采用视觉智能代理对动态围岩特征进行识别与分割，显示出较强的工程适用性和分析效率。用户通过自然语言指令，例如“识别渗漏区域、分割轮廓并实时计算面积”，视觉智能代理即可自动解析意图，生成处理流程，并输出带有可量化结果的可视化叠加图。

如图 2.31 所示，视觉智能代理在围岩视频中对渗漏区域的识别与轮廓提取表现出较强的信息抽取能力，同时能够对围岩层间弱结构特征进行有效分析，为隧道施工与稳定性评估提供了智能化支撑。

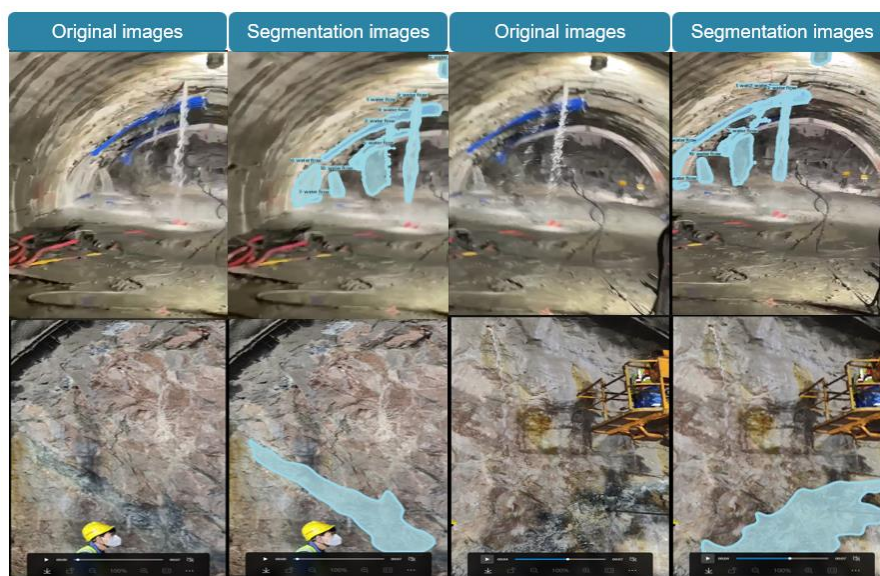


图 2.31 基于视觉智能代理的隧道围岩视频处理结果

为实现基于多模态数据的围岩硬度预测，本研究选择了若干具备多模态处理能力的先进大语言模型作为基础架构，包括 GPT、DeepSeek、通义千问及元宝-T1。这些交互式大语言模型具备较强的推理能力，可有效处理复杂问题及多模态数据，从而支持利用本研究设计的多模态数据集进行围岩硬度预测。为提高多模型在围岩硬度预测任务中的二次开发效率，本研究采用了可视化开发平台 Dify。该平台提供端到端的可视化开发环境，并支持多模型及多模态数据的混合部署，使不同微调后的大语言模型在性能上能够进行更直观的比较与评估。基于 Dify 平台的二次开发流程如图 2.30 所示，展示了在多模态数据条件下对隧道稳定性预测的实现过程。经过微调的预测模型分别命名为：（a）隧道围岩硬度预测模型-GPT，（b）隧道围岩硬度预测模型-DeepSeek，（c）隧道围岩硬度预测模型-通义千问，以及（d）隧道围岩硬度预测模型-元宝，其示意如图 2.31 所示。

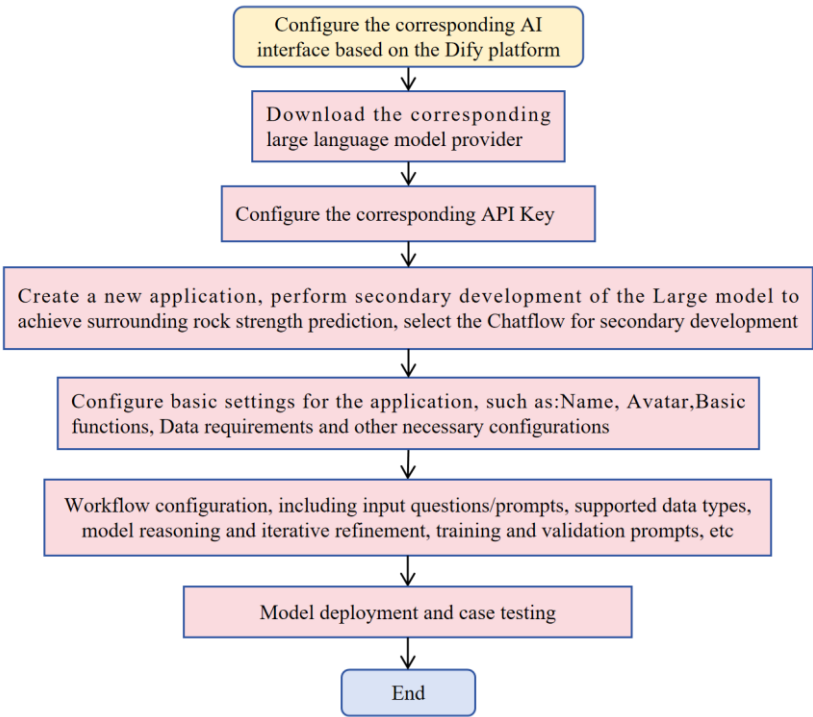


图 2.32 大语言模型微调二次开发工作流程示意

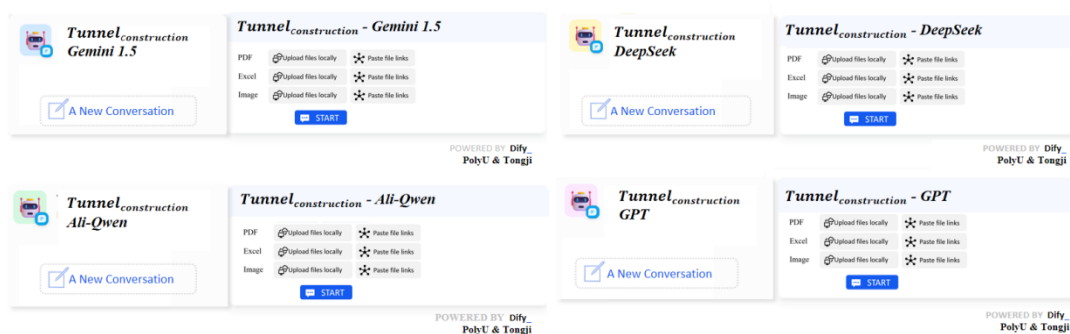


图 2.33 二次开发的隧道围岩硬度预测模型示意：(a) 隧道围岩硬度预测模型-GPT, (b) 隧道围岩硬度预测模型-DeepSeek, (c) 隧道围岩硬度预测模型-通义千问, (d) 隧道围岩硬度预测模型-元宝

2.2.10 桥梁防船撞主动预警系统

现代水上交通日趋繁忙，桥梁作为重要交通基础设施，面临遭受船舶碰撞的潜在风险。如广州沥心沙大桥船只撞击事故，导致严重人员伤亡和财产损失。研究桥梁主动防撞预警系统，识别潜在的碰撞风险，对提升桥梁的安全性具有重大意义。为了突破现有技术的瓶颈，铁路工程香港分中心联合深圳防灾减灾技术研究院，开展“基于多源感知和人工智能算法的桥梁防船撞主动预警及应急处置关键技术”的项目研究。在项目开展过程中，中心成员钟俊平博士、刘文强博士和王素梅博士针对工程中存在的实际问题，提出了一系列研究方案和方法。

(1) 桥梁防船撞主动预警系统示范桥梁选址及硬件平台搭建

如图 2.34、图 2.35 所示，为了将项目研发的主动预警系统在实际桥梁现场进行安装测试与应用示范，中心成员、深圳防灾减灾技术研究院人员、广州桥梁管养单位人员以及系统硬件设备厂商人员分别于 2025 年 3 月 31 日和 2025 年 10 月 31 日到广州沙湾大桥和广州北斗大桥进行实地调研和设备测试，最终选定广州北斗大桥作为安装示范桥梁。

如图 2.36 所示，项目所研发的主动预警系统包括视觉相机、航测雷达、三维激光雷达、点射激光雷达、AIS、一体化结构安全检测仪以及声光电警示设备等。系统主要融合视觉相机、航测雷达以及 AIS 数据对船舶目标进行主动识别、追踪定位以及

航迹预测，并采用激光雷达设备实现对船舶超高状态的检测。通过综合各种监测信息，提前判断桥梁船舶的碰撞风险，进而利用声光电警示设备实现对船舶进行主动预警，避免灾害发生。



图 2.34 广州沙湾大桥现场调研。



图 2.35 广州北斗大桥现场调研。

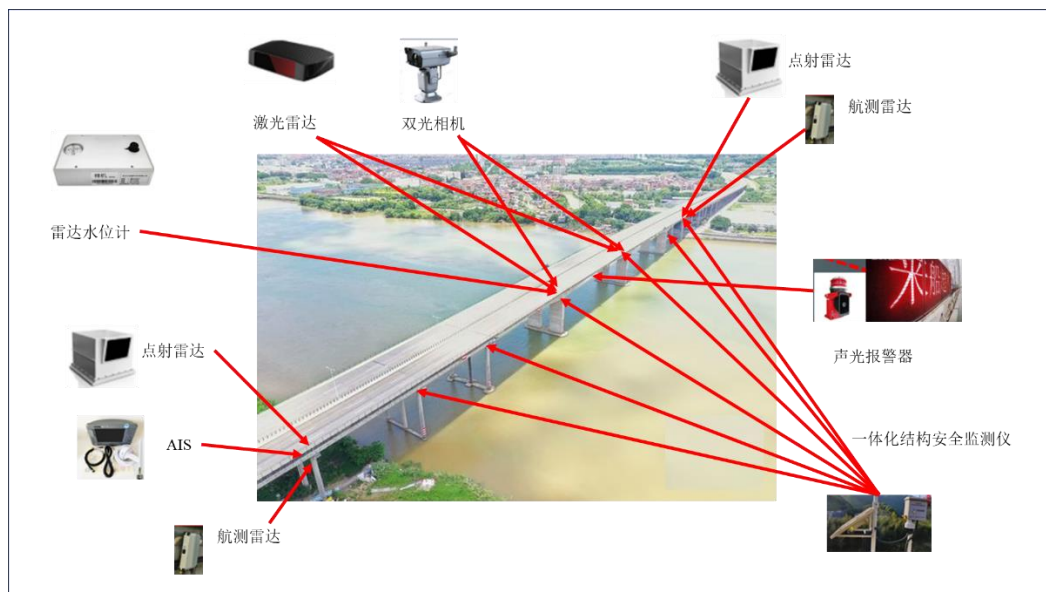


图 2.36 桥梁防船撞主动预警系统安装部署示意图。

(2) 桥梁防船撞主动预警系统主动追踪算法研究

如图 2.37、图 2.38 所示，项目研究提出了一种基于快速提示学习的船舶目标跟踪方法。首先，在通航区的桥梁上安装桥梁监测系统包括安防相机、光照度测量仪和能见度检测仪，采集船舶图像和周围环境数据，构建多模态船舶监测数据集；其次，构建一种基于提示学习的复杂环境船舶图像恢复模型，实现对船舶图像的精准恢复；最后，构建一种抗遮挡的船舶目标跟踪方法，实现船舶目标有效跟踪。相较于传统的目标跟踪方法相比，所构建的基于提示学习的复杂环境船舶图像恢复模型能够提高船舶图像质量，有效解决图像退化导致的船舶难以识别的问题；同时，构建的抗遮挡船舶目标跟踪方法能够克服两船相遇相互遮挡导致的漏检问题，有效提高船舶的跟踪效果，具体追踪效果如图 2.39 所示。

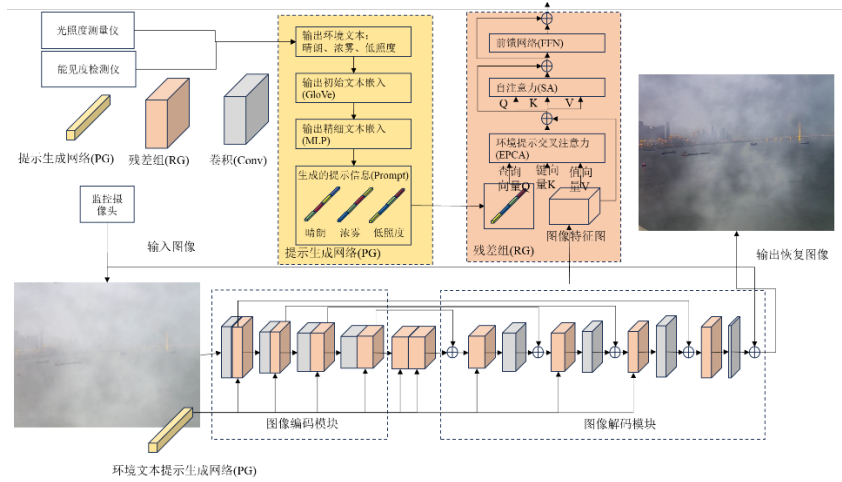


图 2.37 提出的船舶图像恢复方法网络结构示意图。

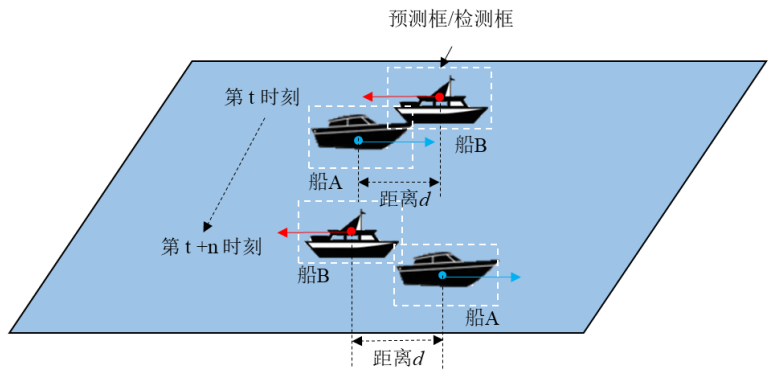


图 2.38 提出的船舶目标遮挡跟踪方法示意图。



图 2.39 船舶交汇跟踪效果示意图。

2.2.11 港铁屯马线（钻石山至启德段）轨道弹条失效分析与解决方案

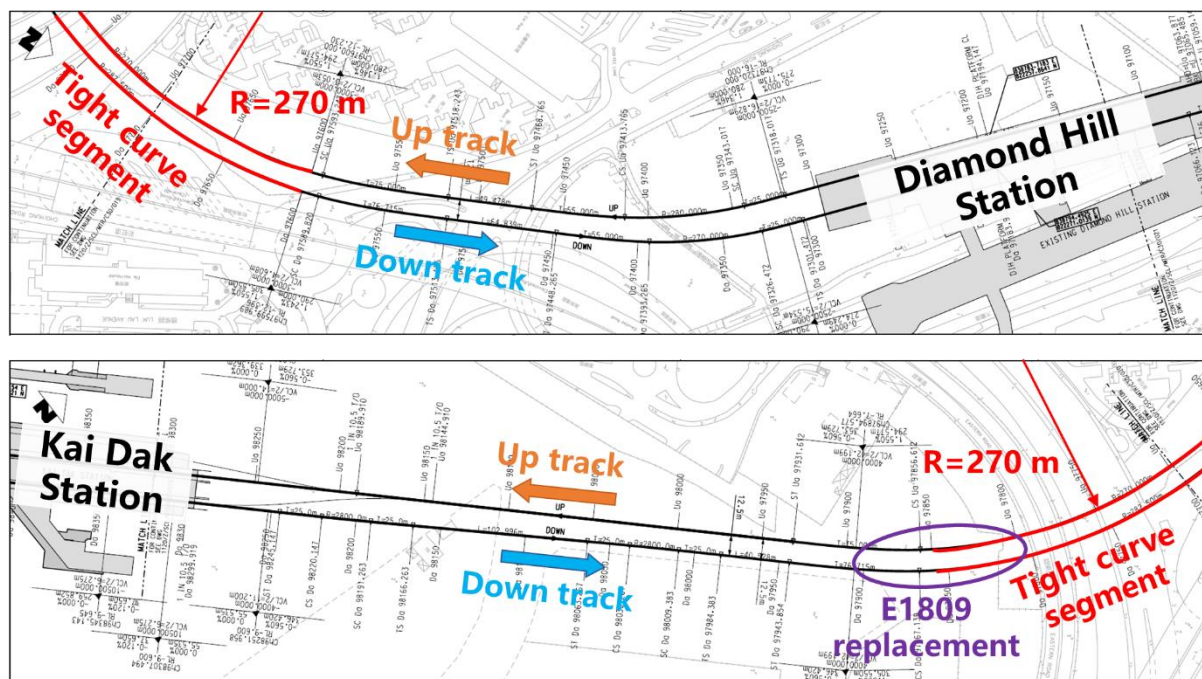


图 2.40 连接港铁钻石山站与启德站的屯马线轨道布局示意图

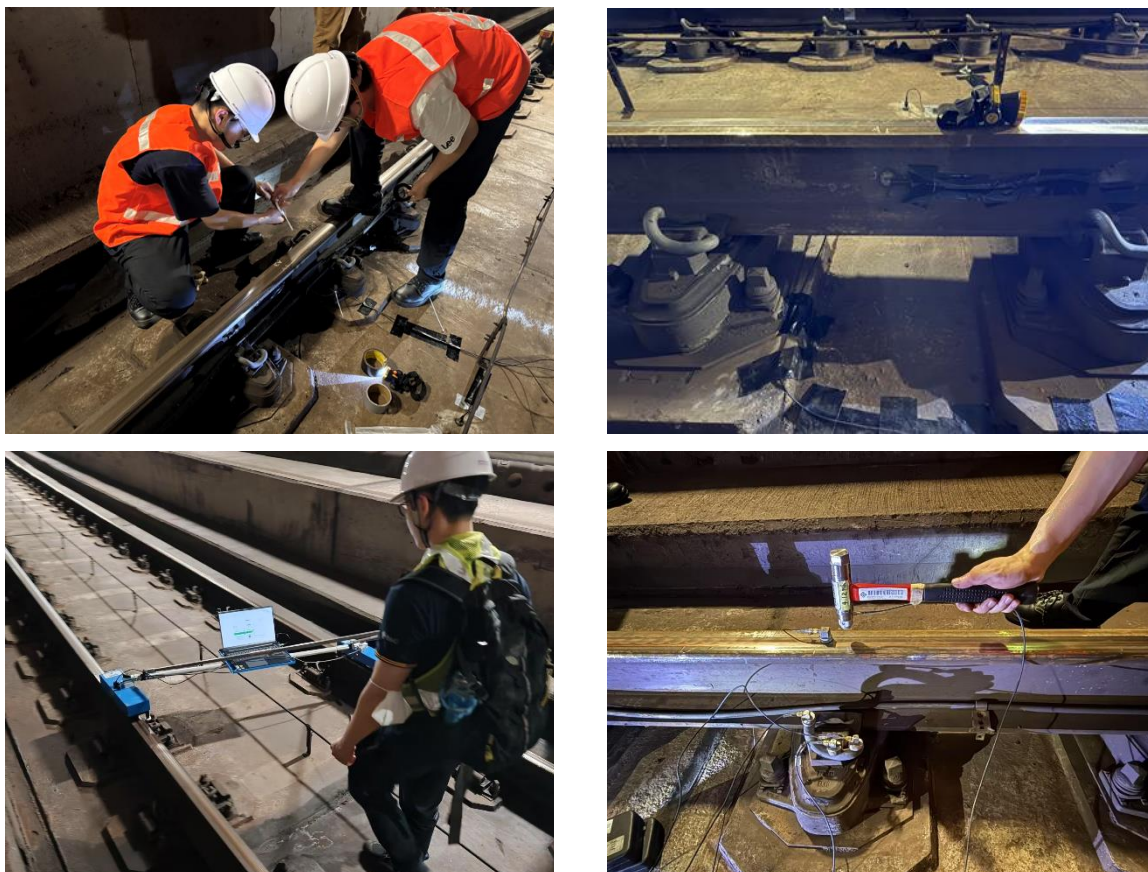


图 2.41. 系列现场测试照片

港铁屯马线（TML）钻石山站至启德站之间的小半径曲线段频繁出现轨道扣件弹条失效现象（见图 2.40）。此类失效对列车的运行安全及操作稳定性构成了显著风险。针对这一问题，国家轨道交通电气化与自动化工程技术研究中心（香港分中心，CNERC-Rail）受命组建专家团队，成员包括区玮玑博士、杨云帆博士、汪禹灵先生及陆雨航先生。团队对该长期存在的问题进行了深入的测试分析，并提出了有效的解决方案。该项调研始于 2023 年 6 月初，并于 2025 年 10 月底圆满结束。期间，团队开展了一系列现场测试以探究失效机制，涵盖轨道加速度监测、轨道波磨测量及轨道弹条模态测试等。图 2.41 展示了团队现场工作的实况。

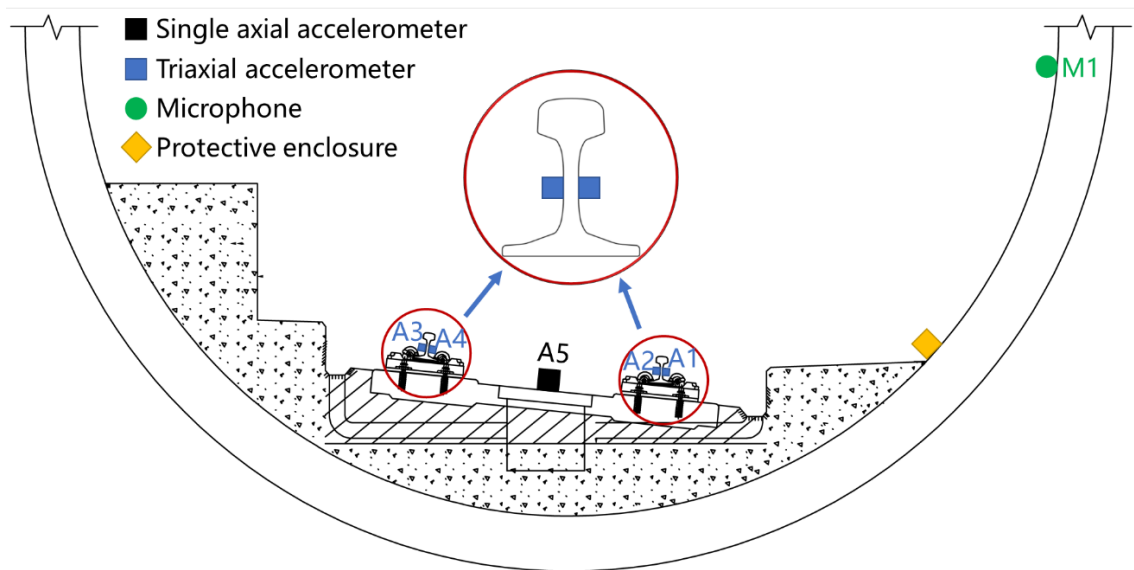


图 2.42. 轨道振动测试传感器布置图

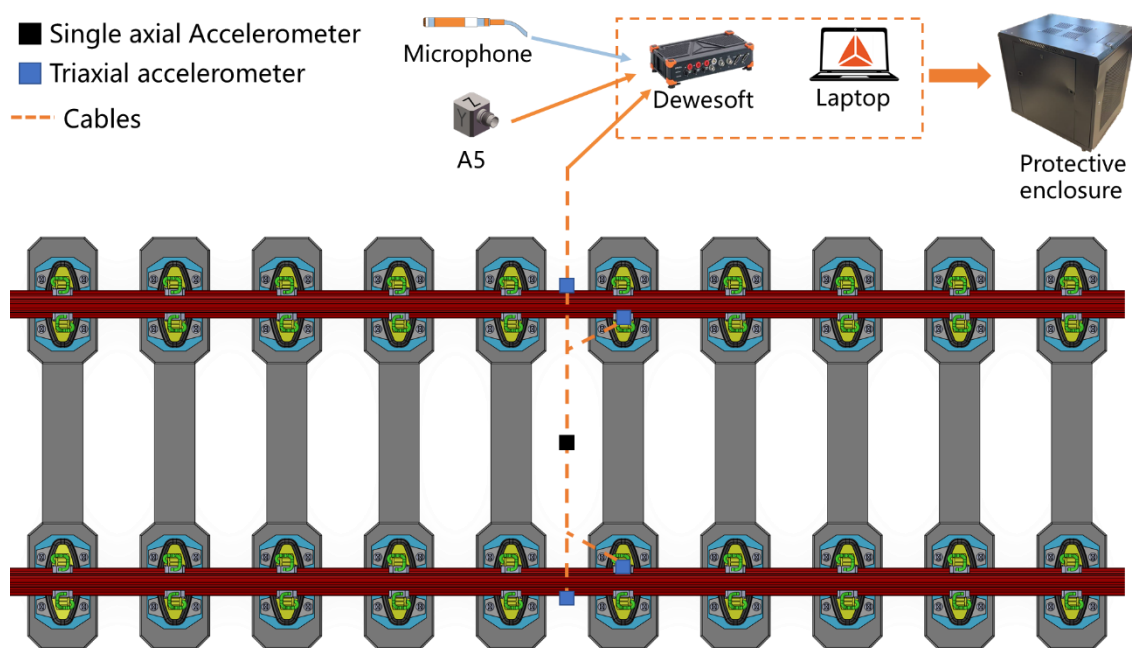
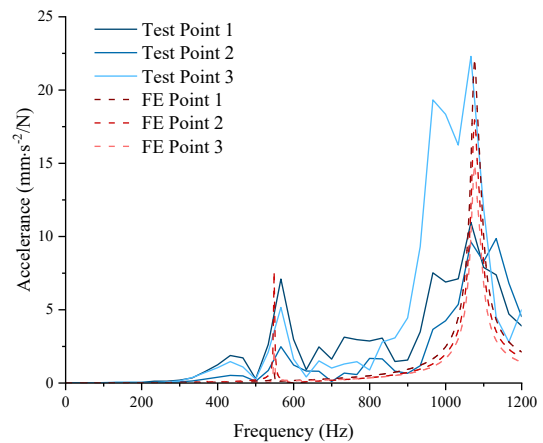
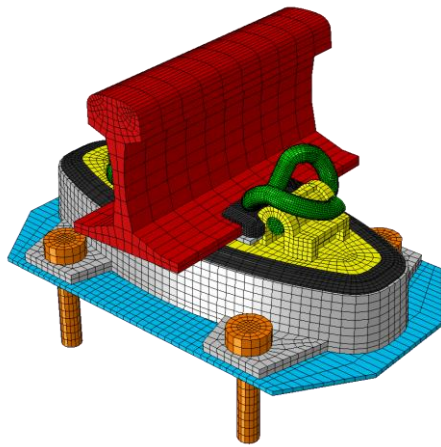


图 2.43. 轨道振动测试传感器布置俯视图

图 2.42 以隧道横截面视角展示了传感器的配置，详细标明了安装在轨腰处的三轴加速度计（标号 A1-A4）、轨道板上的单轴加速度计（标号 A5）、用于噪声测量的麦克风（标号 M1）以及防护罩的精确位置。该示意图突出了这些仪器在曲线轨道几何形状中的集成应用，强调了它们相对于轨道轮廓及隧道结构的排列方式。传感器通过电缆与 Dewesoft 数据采集系统连接，实时数据被记录并存储在相连的便携式计算机中，以便后续的处理与分析。CNERC-Rail 在 2023 年 6 月至 2025 年 5 月期间进行的调研结果表明，导致失效的主要原因是轨道弹条与轮轨系统之间在 560 Hz 频率处发生了共振。随后，CNERC-Rail 进行了数值分析及实验室测试，验证了频率偏移效应以及弹条更换的实际可行性，如图 2.44 所示。基于研究结果，CNERC-Rail 建议采用 E1809 型弹条替换原有的 PR401A 型弹条，作为有效的补救措施。



(a) 配备 PR401A 弹条的扣件有限元模型 (b) 仿真与测试结果的频率响应函数 (FRF) 对比

图 2.44. 扣件系统有限元模型及其频率响应函数 (FRF) 结果

依据此项建议，港铁在上下行线的小半径曲线段分别实施了 100 米范围的弹条更换，以减轻共振引起的弹条断裂。截至目前，更换弹条后，该小半径曲线轨道段鲜有弹条失效案例的报告，这证实了 CNERC-Rail 所进行的监测与分析的准确性。港铁屯马线弹条失效问题的成功解决，显著提升了该线路的运行安全性，节约了大量的维护成本，并为研究人员和管理者处理因共振引起的工程失效问题提供了宝贵的参考。

2.2.12 基于分布式声波传感 (DAS) 的铁路状态监测

随着铁路交通量的持续增长、列车速度的提高以及轴重和车辆载重的增加，铁路基础设施极易发生老化和故障。传统铁路监测技术成本高昂。例如，轨道电路 (Track Circuit, TC) 技术耗电量极大。另一方面，在基于通信的列车控制 (CBTC) 系统中，需要部署大量加速度计或速度传感器，才能同时对车辆和基础设施进行监测。

近年来，分布式声波传感 (Distributed Acoustic Sensing, DAS) 作为一种新型光纤传感技术得到了快速发展。与普通光纤传感技术类似，DAS 具有抗电磁干扰、耐腐蚀、纤细柔韧等优点。此外，DAS 还能实时沿光纤路径长距离测量动态应变（如振动和声波）。在铁路应用中，多种声源可传递至传感光纤，从而实现对第三方干扰 (TPI，例

如行走、挖掘、盗窃活动）、车辆经过、落石等多种事件的检测。因此，DAS 技术可通过实时监测和潜在危险的早期预警显著提升铁路安全水平。

本研究旨在探索 DAS 系统在以下方面的能力：

- 实时列车跟踪（列车位置与速度监测、铁路交通流量监测）
- 结构健康监测（例如路轨断轨、车轮扁疤、裂纹、波浪形磨耗、扣件/螺栓松动）
- 保障铁路安全（感知人类脚步声、区分敲击、踢踹和攀爬行为、探测接近车辆及其类型）

目前该研究处于初期阶段，作为第一步，已在位于中国杭州的**香港理工大学杭州技术与创新研究院**实验室搭建了实验装置。实验设备包括：DAS interrogator（分布式光纤声波振动传感系统）、置于混凝土块上的铁路轨道。光纤安装在一段 5 米长铁路轨道的一侧，使用锤子在轨道上产生振动。所用光纤总长度约 90 米，直径约 1 毫米。光纤采用胶带沿轨道敷设，如图 2.45 所示。

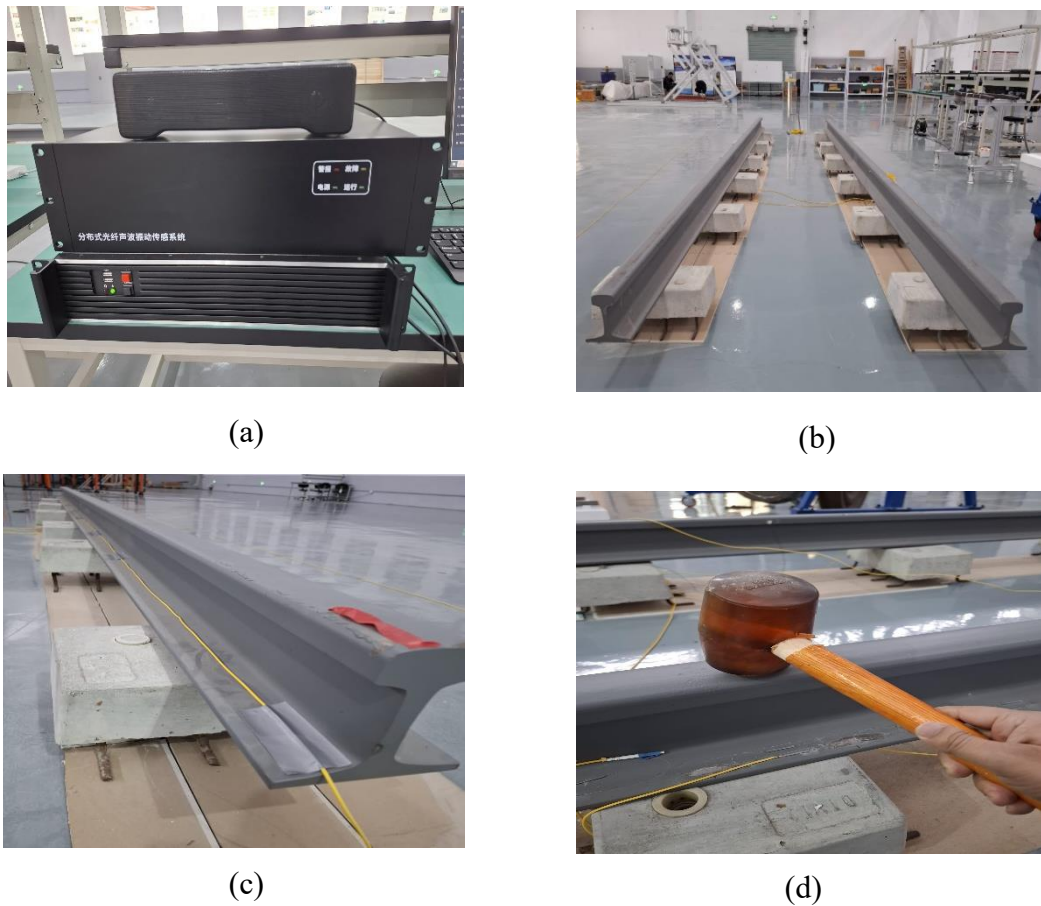


图 2.45 铁路轨道监测实验装置，(a) DAS interrogator，(b) 铁路轨道，(c) 安装在轨道上的光纤，(d) 用于产生轨道振动的锤子

图 2.46 展示了 DAS 沿光纤捕获信号的瀑布图、时域图及其对应的频域图。图 2.46(a)和图 2.46(b)中的瀑布图和时域信号表明，DAS 能够实时精确检测并定位锤子在 5 米长轨道上的敲击位置。此外，图 2.45(c)的频域信号显示出锤击产生的高能量脉冲以及轨道结构共振所对应的宽频谱特征。这些结果证实，DAS 不仅能有效检测列车位置、入侵或威胁事件以及结构相关异常，还具备对事件性质进行分类的潜力。

未来研究将重点开展现场试验，以进一步验证 DAS 在列车定位及轨道相关异常检测方面的能力。由于 DAS 会产生海量非结构化、含噪声的数据，传统信号处理方法难以有效分析，因此后续研究还将致力于开发基于深度学习的分析方法，以精准定位并分类各类事件相关信号。

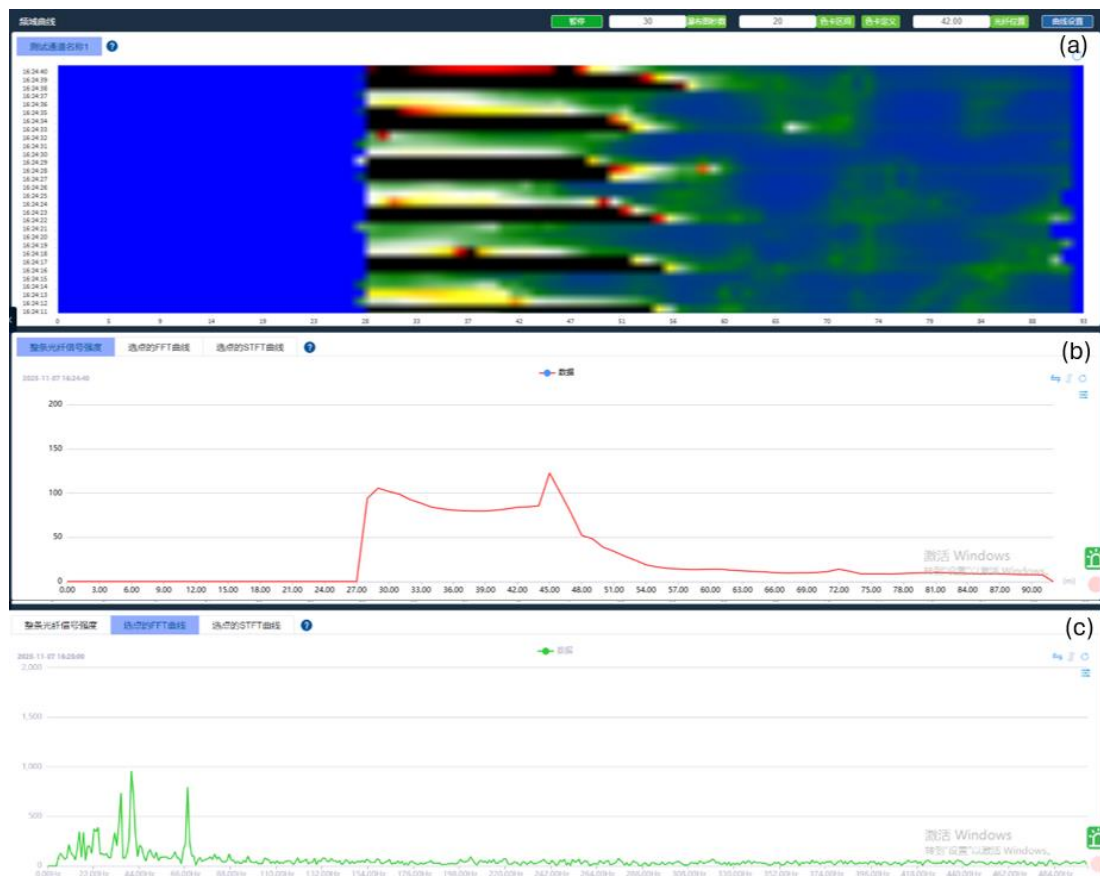


图 2.46 DAS 数据分析界面结果，(a) 瀑布图，(b) 时域信号，(c) 对应的频率图

2.2.13 高速铁路不同线路接触网支持装置零部件的定位模型泛化性研究

截至 2025 年底，我国高速铁路运营里程已经突破 5 万公里，随之而来的就是巨大的铁路接触设施运维工作。然而，当前高铁接触网支持装置零部件定位模型的泛化性研究存在诸多不足。为此，项目针对存在的问题，开展了一系列理论研究，提出了一套接触网零部件检测模型强泛化性理论方法。针对不平衡样本下小样本零部件精确定位问题，提出了 3 种理论方法，包括 a) 一种基于元学习的接触网小样本零部件检测模型；b) 一种基于结构引导去噪扩散模型的接触网零部件故障检测方法；以及 c) 提出了一种新的自监督预训练模型用于接触网支撑部件检测。针对复杂成像环境下异常样本零部件高效定位问题，课题提出了 5 种理论方法，包括 a) 一种基于物理信息模型的低照度接触网零部件图像检测方法；b) 一种基于半监督和对抗领域自适应的低照度接

触网零部件检测模型；c) 一种基于注意力机制和置信度引导非极大值抑制的接触网零部件检测模型；d) 一种新的改进 YOLOv8 接触网零部件检测模型；e) 一种新的图引导的 Mamba-DETR 检测模型。针对不同线路多类型样本零部件有效定位问题，课题提出了一种多维度先验信息引导的不同制式接触网零部件通用检测网络模型。这些理论方法能够克服不同成像环境的干扰，实现对接触网支持装置零部件异常样本的高效定位；能够解决样本不平衡的问题，实现对接触网支持装置零部件小样本的精确定位；能够消除不同线路接触网类型多样性问题，实现对不同线路接触网支持装置零部件多类型样本进行有效定位。最终全面提升接触网支持装置零部件定位模型的泛化能力。这套理论在经过长期现场验证后，可以提高铁路接触网基础设施的运维效率，在提高检测效果的同时，还能降低设备硬件成本，具有很好的工程应用价值。此外，该套理论还可以适用其他存在类似情况的工程领域（例如基于视觉的路面损伤、隧道病害等），具有通用性和普适性。

根据项目的研究计划，课题主要开展了以下 4 个方面的研究内容工作：

a) 接触网支撑装置零部件样本图像数据库建立。围绕该内容，课题通过查询阅读相关现场调研报告，整理收集了接触网日常巡检工作存在的问题，并利用接触网检测车图像采集系统现场采集的图像构建了多种类型的数据库，用于不同类型检测模型算法的研究及其性能评估与验证，如图 2.48 所示。



图 2.47 接触网检测车图像采集系统

b) 不平衡样本下小样本零部件精确定位。围绕该内容，课题提出了以下一系列理论方法。首先，针对特殊区段存在新型零部件检测问题，课题提出了一种基于元学习的接触网小样本零部件检测模型。如图 2.48 所示，该模型该模型以 DETR 目标检测框架为基础模型，并引入了元学习的概念。通过对查询特征和支持特征进行特征匹配和任务匹配，有效地学习小样本零部件与其他零部件之间的相关性，从而实现小样本零部件的精确检测。

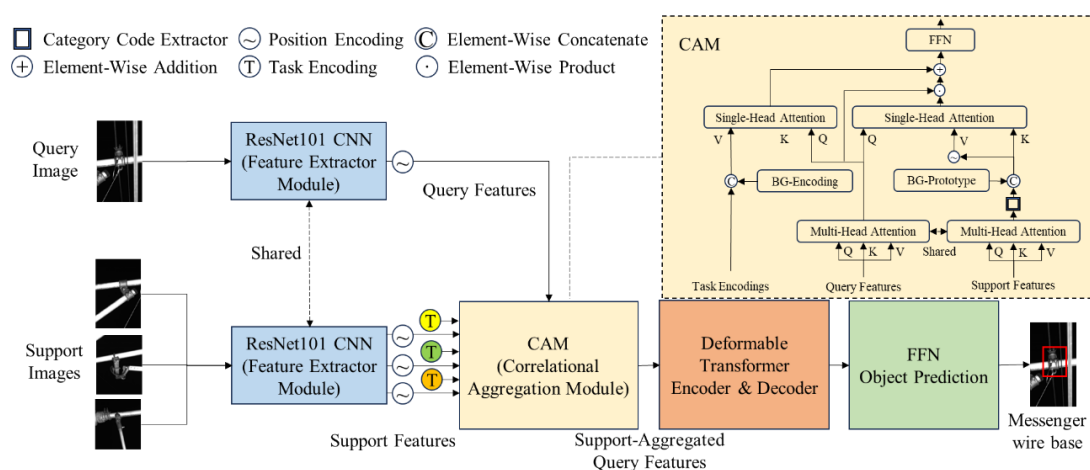


图 2.48 基于元学习的接触网小样本零部件检测模型网络结构示意图

针对检测缺陷样本数量不足问题，课题提出了一种基于结构引导去噪扩散模型的接触网零部件故障检测方法，如图 2.49 所示。该模型由三个关键步骤组成：首先，引入最新的生成式人工智能 AI 去噪扩散模型（(Denoising Diffusion Probabilistic Model, DDPM)，将任意零部件图像逐步变换为真实且清晰的正常零部件图像。其次，为了解决结构变化问题，通过约束重建零部件图像与输入零部件图像共享相同的低频特征来引导零部件生成过程，从而确保重建零部件与输入零部件具有相似的结构。最后，提出了一种孪生神经网络（Twin-CNN），通过比较测试样本和重建样本之间的 CNN 特征差异来定位缺陷区域。

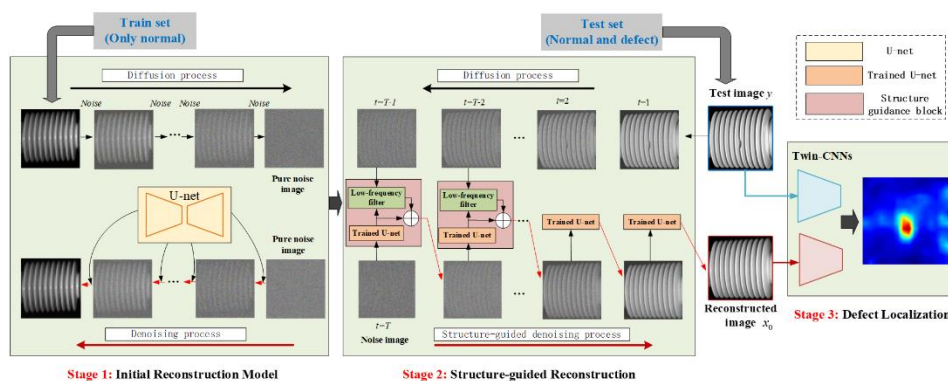
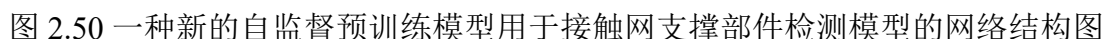


图 2.49 基于结构引导去噪扩散模型的接触网零部件故障检测方法流程示意图

针对现有接触网数据量大，标注数据少的状况，课题提出了一种新的自监督预训练模型用于接触网支撑部件检测。如图 2.50 所示，该模型包括三个模块。首先，提出了一种基于接触网支撑杆区域特征的新型语义掩码策略（Catenary Support Rod Area Masking, CSRA Masking），用于指导模型在预训练过程中学习有意义的接触网语义信息。此外，设计了一种新的前景背景双路交互重构网络（Dual Interactive Reconstruction, DIR），用于对语义掩码进行双路重构，该框架融合了信息交互增强模块（Information Interaction Enhancement Module, IIEM）提取接触网域的全局特征，以及跨层融合解码模块（Cross-Layer Fusion Decoding, CLFD）融合多尺度特征层信息。最后，引入了一种多尺度知识蒸馏策略（Multi-Scale Knowledge Distillation, MSKD），以辅助自监督模型获取接触网场的特异和通用特征表示并迁移多尺度信息，从而有利于后续的检测任务。



59

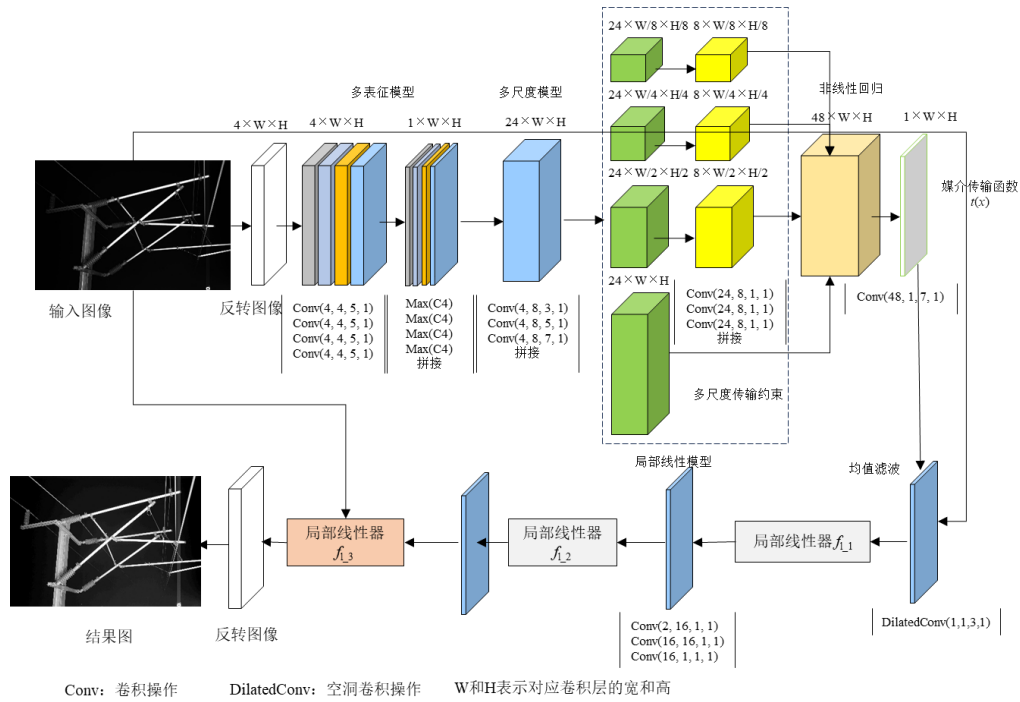


图 2.51 中间域迁移模型网络结构示意图

此外，提出了一种基于半监督和对抗领域自适应的低照度接触网零部件检测模型。如图 2.52 所示，该模型由两个关键模块构成，邻域掩码块一致性半监督学习模型（Neighbor Mask Consistency Semi-supervised, NMCS）和动态权重领域特征自适应对齐模型（Dynamic Weight Domain Feature Alignment, DW DFA）。首先，NMCS 采用指数移动平均教师-学生（Exponential Moving Average, EMA) Teacher-Student）半监督模型，利用教师模型输出目标域无标签图像伪标签对学生模型输出的预测值进行监督训练，实现目标域无标签图像的学习。对输入到教师模型中的目标域接触网图像，引入图像邻域搜索方法，构造掩码块随机覆盖策略，实现目标域无标签数据半监督训练，提高模型遮挡零部件检测精度。DW DFA 采用对抗网络（Adversarial Network）对接触网图像的多尺度特征层进行全局图像特征和局部实例特征进行自适应对齐，引入 A-distance 距离构造全局图像和局部实例损失动态平衡比例权重，实现模型权重自动聚焦。

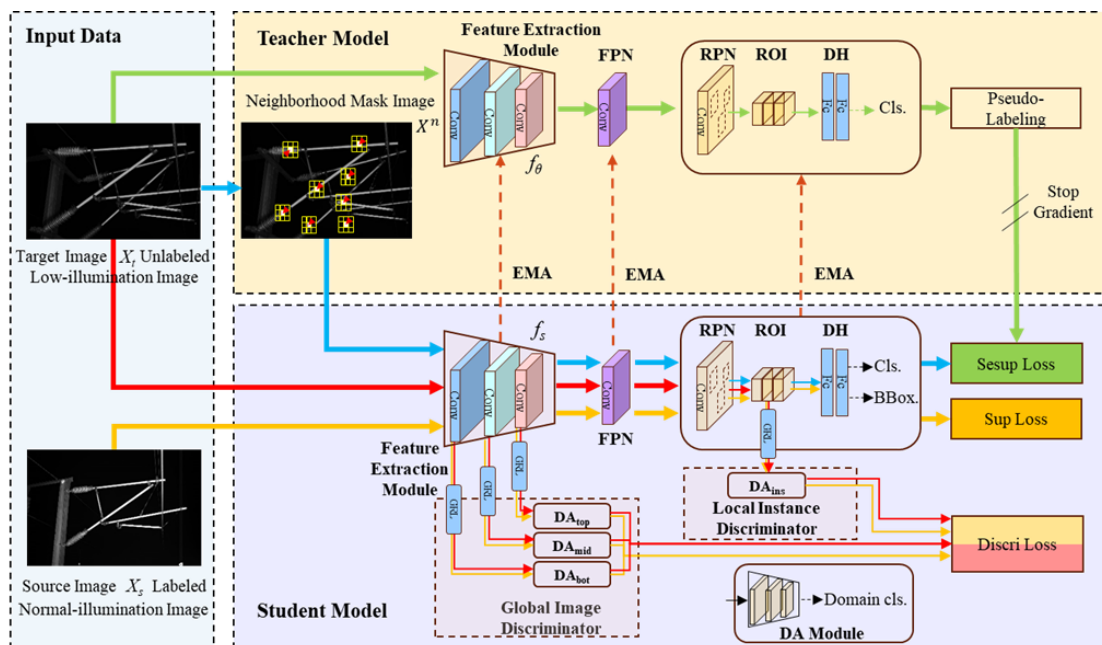


图 2.52 提出的基于半监督和对抗领域自适应的低照度接触网零部件检测模型网络结构示意图

其次，针对接触网线路复杂的图像检测背景，提出了一种基于注意力机制和置信度引导非极大值抑制的接触网零部件检测模型。如图 2.53 所示，该检测模型主要在三个方面进行了改进。首先，鉴于接触网零部件具有标准的安装结构，在接触网零部件检测网络中，通过融入空间注意力模块，可以降低非接触网区域零部件的误检率（A2CDM）；其次，在接触网零部件检测网络训练过程中，采用样本平衡损失 Varifocal 损失（Varifocal Loss, VFL）函数，增加正样本权重，进一步提高零部件的检测精度。最后，针对接触网零部件尺度差异导致的低分和重叠检测问题，提出了一种改进的非极大值抑制方法（CNMS）。根据重叠的检测框的重合度，构建置信度的更新方程，有效提高零部件的置信度，避免零部件漏检的问题。

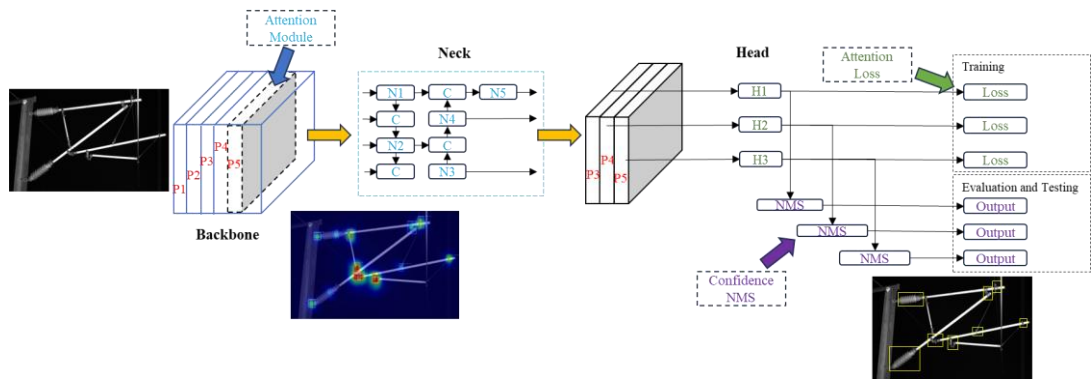


图 2.53 提出的 A2CDM-CNMS 检测模型结构示意图

此外，针对接触网零部件多尺度问题，以时序和注意力的角度提出了一种新的改进 YOLOv8 接触网零部件检测模型。如图 2.54 所示，首先，该模型在骨干中间层中添加长短期记忆（Long Short-Term Memory，LSTM）模块，以便有效地捕捉物体的长距离依赖性，从而提高在序列数据中提取长距离特征的能力。其次，在空间金字塔池化特征（Spatial Pyramid Pooling Feature，SPPF）层中引入一个大规模可分离核注意力（Large Separable Kernel Attention，LSKA）模块，进一步提高模型捕捉长距离图像依赖性的能力，从而有效提高接触网零部件的检测精度。

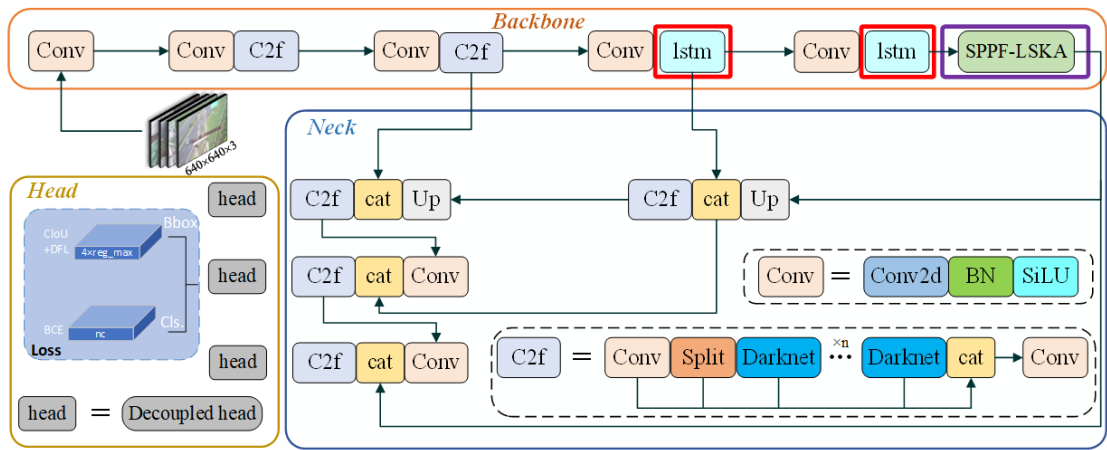


图 2.54 改进的 YOLOv8 网络结构示意图

最后，针对接触网零部件多尺度、局部存在遮挡的问题，课题提出了一种新的图引导的 Mamba-DETR 检测模型。如图 2.55 所示，该方法首先提出一种新的骨干网络（DAMamba-Adapter）来增强模型对长间隔区域间特征的关联能力，并采用多尺度训练（Multi-Scale Training, MST）来解决多尺度问题。其次，设计语义图引导模块（Semantic Graph-Guided Module, SGM）和位置图引导模块（Positional Graph-Guided Module, PGM），通过提取具有全局语义特征和部件几何信息的先验类别关系来缓解遮挡和多类别部件检测问题。

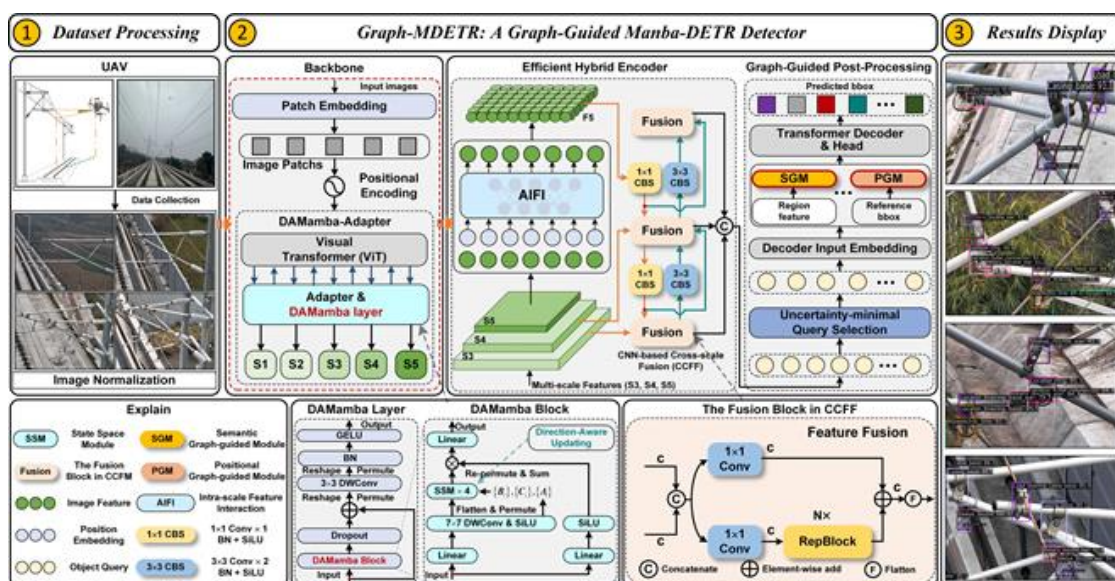


图 2.55 提出的 Graph-MDETR 检测网络结构示意图

d) 不同线路多类型样本零部件有效定位。围绕该内容，课题提出了一种多维度先验信息引导的不同制式接触网零部件通用检测网络模型(MDPI-UDN)。如图 2.56 所示，该模型首先基于 DINOv2 通用特征提取模型获取目标先验空间信息，通过构造多尺度通用特征空间引导融合模块（Multi-scale General Feature Spatial Guided Fusion Module, MSGFSGF），对模型的主干特征提取网络中的特征进行空间引导融合；然后，该模型建立视觉接触网图像类型嵌入特征通道引导模型（Visual Catenary Type Embedded Feature Channel Guided Fusion, VGTEFCGF）获取接触网类型先验信息，通过构造接触网类型嵌入特征通道引导融合模型，对模型的特征编码网络的输入特征进

行通道引导融合。从而将接触网类型信息引入到模型中，提高检测模型的通用性和泛化性。

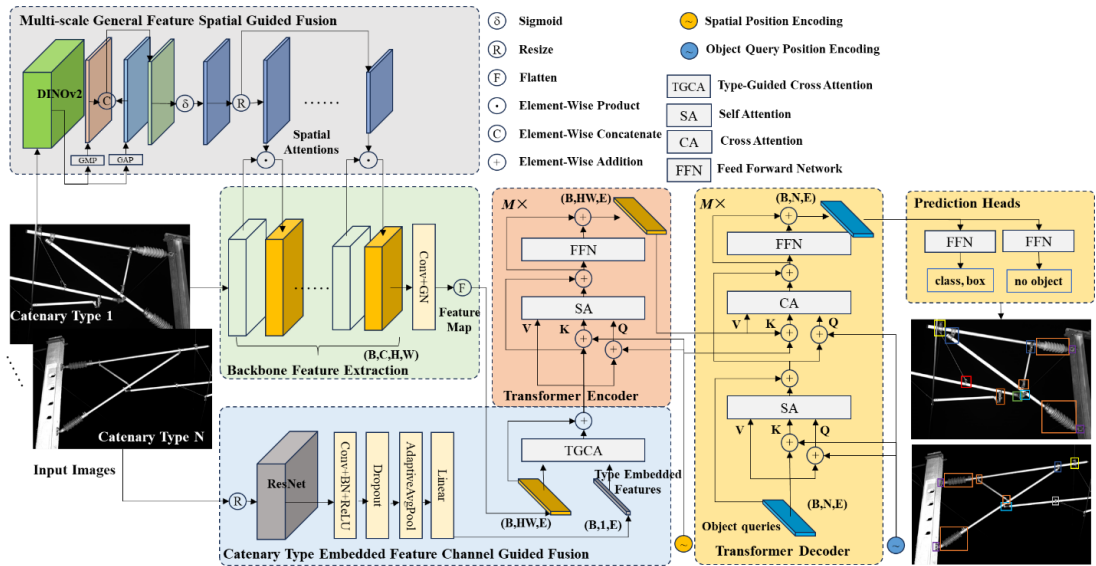


图 2.56 提出的 MDPI-UDN 网络结构示意图

2.2.14 基于 DAS 与 FBG 传感技术的新型滑坡落石监测物理模型系统开发

国家轨道交通电气化与自动化工程技术研究中心香港分中心的博士后研究员 Dr. Numan Malik 和博士研究生吕良，在香港理工大学杭州技术创新研究院成功开发了一套新型滑坡与落石物理模型系统。该系统面向高速公路与轨道交通基础设施所面临的滑坡与落石等地质灾害，开展物理模拟与实验研究。

该系统以分布式声学传感（Distributed Acoustic Sensing, DAS）技术作为主要监测手段，用于地质灾害事件的探测与定位。同时，引入光纤光栅（Fiber Bragg Grating, FBG）传感器阵列，用于对 DAS 系统进行基准验证，并对滑坡位移演化过程进行定量监测。图 2.57 展示了该物理模型系统的结构示意图，图 2.58 展示了实验平台搭建的准备工作进展。

在该物理模型中，DAS 光纤将以高密度网格形式埋设于边坡模型的土体内部，作为滑坡与落石监测的核心传感系统。DAS 系统本质上是一种连续分布、测点间隔可达 1m 的等效的声学传感阵列，可实现以下功能：

- 1) 探测并定位由土体颗粒运动及微裂隙扩展所产生的微弱声发射信号，作为滑坡发生的早期预警指标。
- 2) 以高时空分辨率实时追踪剪切破坏面的扩展过程及失稳土体的动力学演化特征。
- 3) 感知落石撞击边坡表面产生的振动与冲击信号，从而分析其运动轨迹与能量特征。

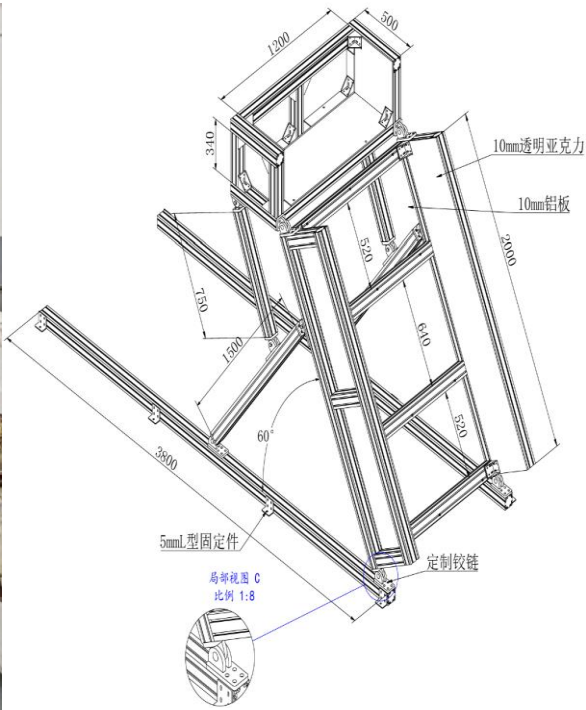
此外，系统还将沿 DAS 光纤布设多路复用的 FBG 传感器阵列，其主要作用包括：

- 1) 在关键位置提供高精度、离散的应变与温度测量数据，用于对 DAS 测得的定量应变结果进行验证与标定。
- 2) 监测潜在滑动面等关键区域的局部应变累积过程，为 DAS 的大范围声学监测提供互补性信息。

这种 DAS-FBG 混合传感技术方案，在保证数据可靠性的同时，实现了分布式声学传感与局部高精度应变测量的有机结合，为揭示滑坡与落石从萌发到失稳的完整破坏过程提供了前所未有的观测能力和实验数据支撑。



(a)



(b)

图 2.57 物理模型系统的示意图和照片； (a) 示意图和 (b) 照片

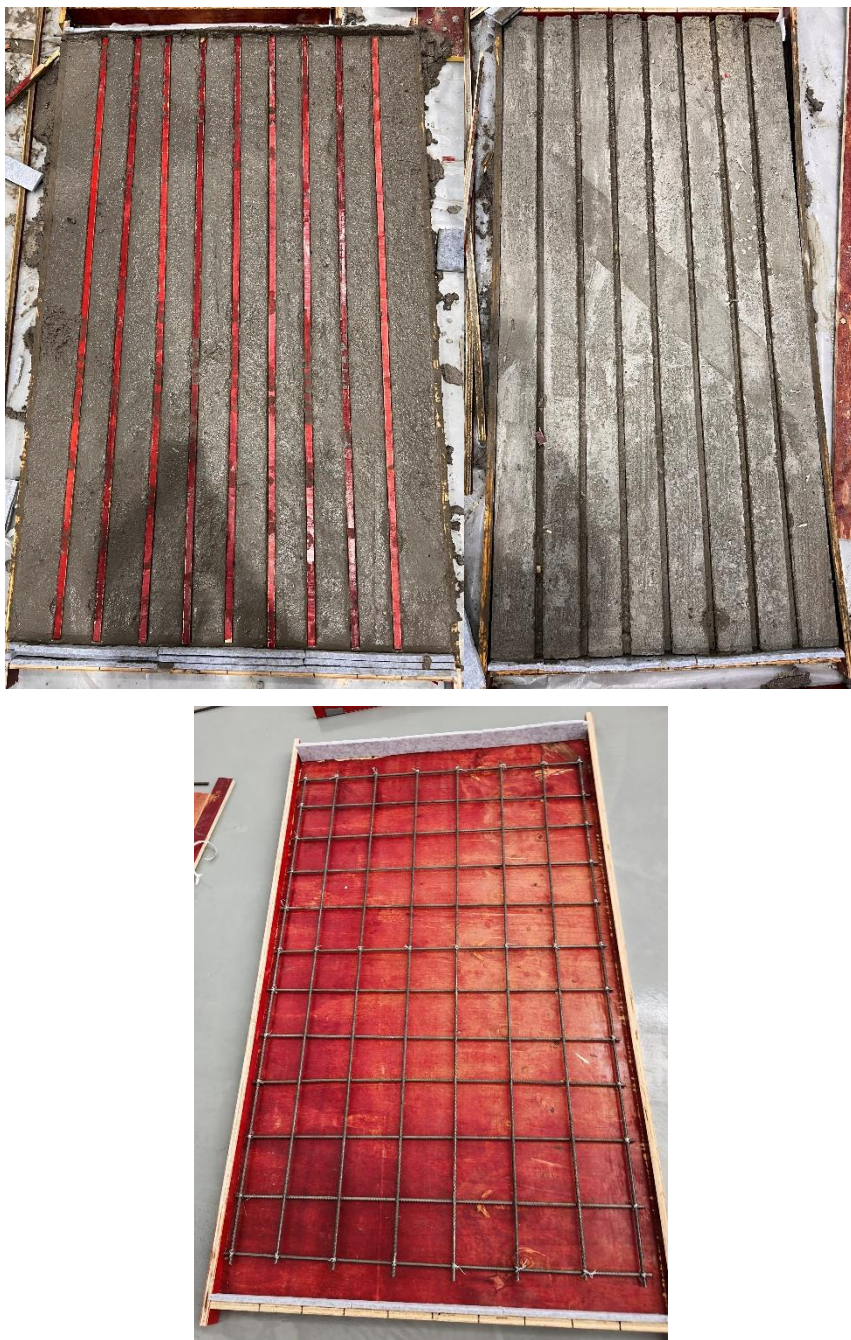


图 2.58 建立实验装置的准备工作照片

2.2.15 基于力学信息自编码的青马大桥结构健康监测

提出了一种力学信息自编码（mechanics-feature informed autoencoder，缩写为 MF-AE）框架，如图 2.59 所示。该框架将数据驱动机器学习与基于力学的先验知识相结合，

以实现稳健且可解释的结构健康监测。在模型训练阶段，首先采集传感器的时间序列数据，并对其进行分段与压缩处理。压缩后的表示形式包括每个传感器的均值 (μ) 和标准差 (σ)。随后，利用 MF-AE 对这些压缩后的传感器数据进行重构训练。训练完成后，网络会计算重构误差的参考值，即对于每个传感器，计算输入与重构输出之间的均方误差 (MSE)。这一参考值表征了完好结构的基线状态，对应于结构的初始工况。在此之后，将后续年份采集到的数据输入已训练好的模型，得到相应的重构误差。通过这些误差与基线参考值进行对比，可以评估结构当前的工作状态。重构误差的分布揭示了当前结构响应与原始结构响应之间的相似程度。

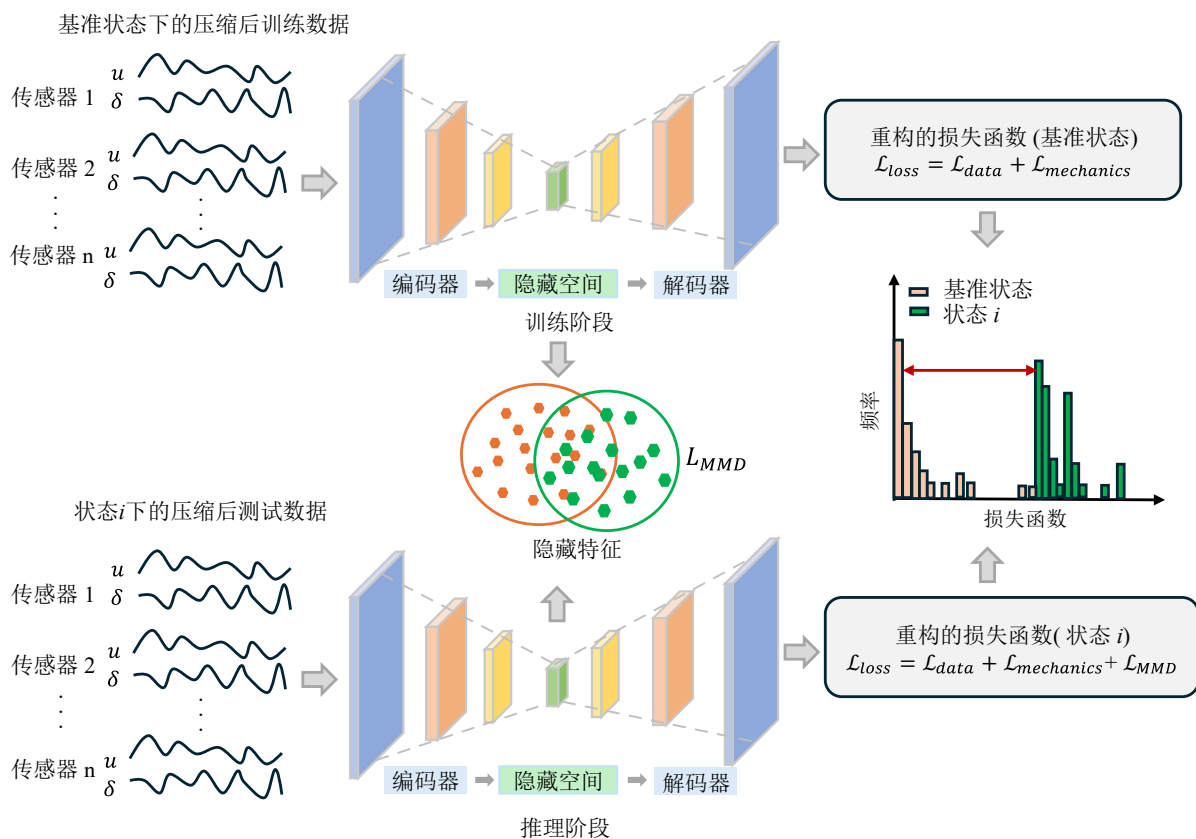


图 2.59 用于结构健康检测的力学信息自编码

MF-AE 框架被用于评估青马大桥 2015-2019 年期间主梁的工作状态，如图 2.60 所示。以 2015 年为基线，较低的损失值表明结构行为处于完好状态。2016-2017 年间可观察到轻微变化，而 2017-2019 年间的累积应变导致与基线偏差逐渐增大，反映出结构状况的演化过程。这些结果表明，该模型能够在多变的环境与运营工况下有效捕捉潜在模式。此外，引入力学信息特征提高了模型在不同场景下的可解释性与泛化能力。

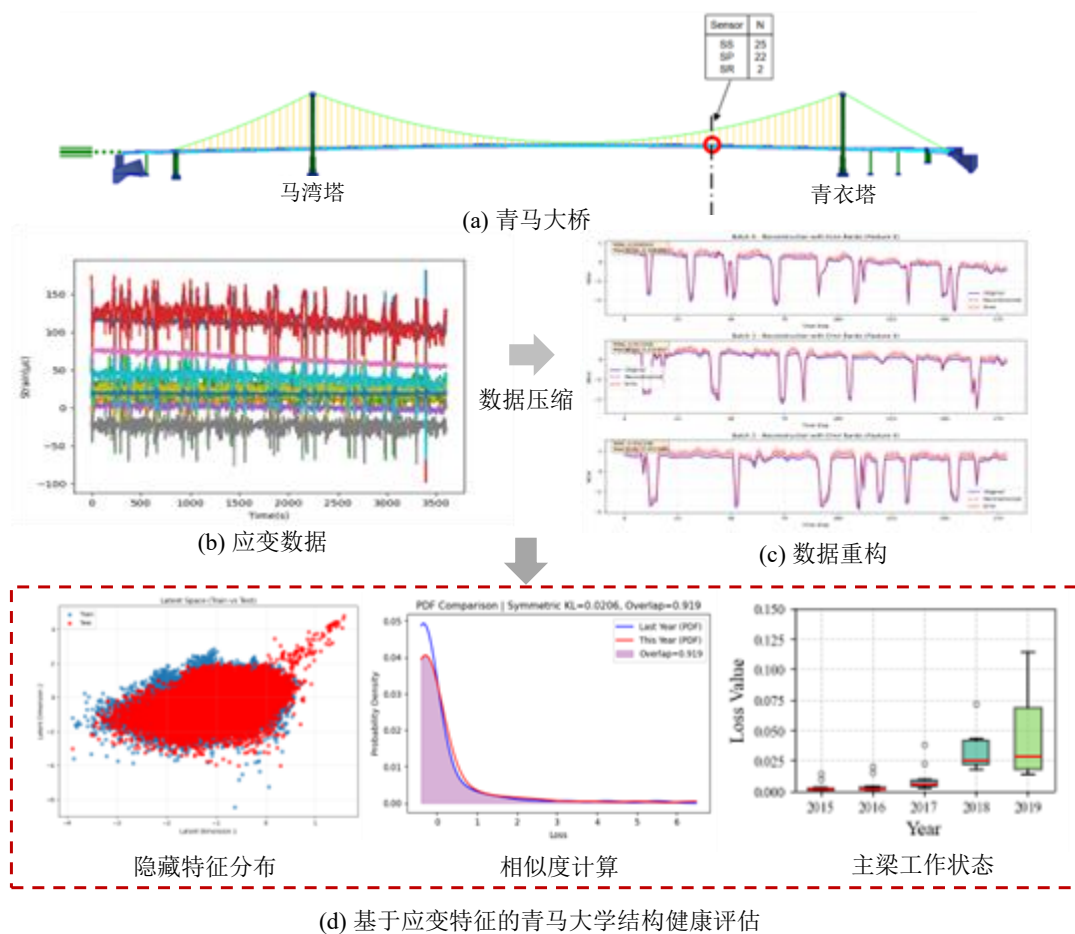


图 2.60 青马大桥结构状态演变评估

2.2.16 地铁列车明线与隧道内近场气动噪声对比研究

随着中国地铁列车的运行速度逐渐提高到 160 公里/小时，隧道环境的封闭性通过限制气流自由流动带来了重大挑战。这种限制导致隧道内强烈的气流扰动和湍流现象，从而加剧了气动噪声问题。本研究使用大涡模拟模型，结合声学非反射边界，再现无限长隧道内脉动流场。此外，采用有限元方法、完全匹配层技术和自适应声学网格技术构建了地铁列车近场噪声的声学计算模型。

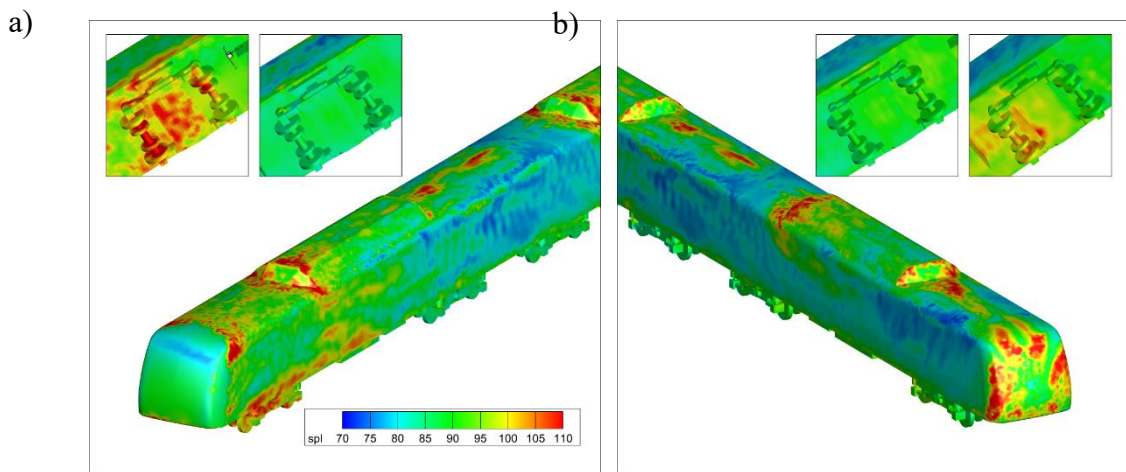


图 2.61 明线列车表面声压级云图: a) 头车; b) 尾车

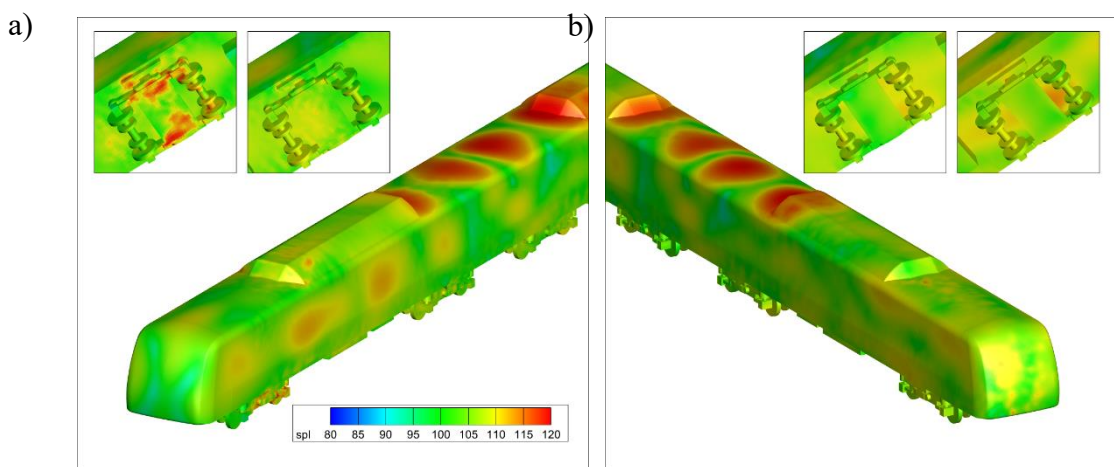


图 2.62 隧道列车表面声压级云图: a) 头车; b) 尾车

本文对比分析了明线与无限长隧道内 120km/h 的地铁列车近场噪声特征，得到如下结论：

(1) 明线与隧道内列车周围流场结构较为相似，然而它们的强度及规模差异显著，尤其是两个空调中间区域形成的腔体流动，在隧道内涡结构强度约增大 1 倍。

(2) 明线列车表面声压级分布差异显著，其中车头、车尾、转向架 1 与转向架 4 以及空调肩部等表面声压级较为突出；隧道内列车表面声压级分布较为均匀，整体比明线高出 15dB，并且其最大声压级区域为两个空调中间区域。

(3) 明线车体表面声压频率分布特性差异较为显著，其中头车区域声压随着频率增大而显著下降，而尾车及尾流区声压在 400 Hz 以下频率范围微弱下降，在 400~1000 Hz 而微弱增大。

(4) 隧道内车体表面声压频谱较为相似，其中低频声压级较明线显著增强，而高频衰减更为迅速。

(5) 较大阻塞比隧道内地铁列车空调不宜过高，或集中布置，或下沉，或采用吸声材料，可以有效降低该区域的声压级，提升列车在隧道内的声学性能。

基于对明线与封闭隧道环境中近场噪声特性的比较分析，本研究为优化地下交通系统的声学设计提供了关键见解。高堵塞率隧道中揭示的强化低频噪声传播模式和局部涡流驱动声压放大突显了采取关键噪声控制措施的必要性，如空气动力学部件重新定位和有针对性的吸声材料应用。这些发现推动了地下基础设施综合降噪策略的发展，为提高声学舒适性提供了可行的解决方案，同时保持了地铁系统设计的功能紧凑性，这是可持续城市地下交通的重要进步。

2.2.17 融合监测数据与人工检测的桥梁智能评级系统

当前，桥梁状况评估面临三大挑战：其一，传统方法主要依赖单一数据源，未能充分融合监测数据与常规检查结果，导致评估维度不够全面。其二，基于人工观察的检查结果过度依赖经验判断，主观性强且效率偏低。此外，现有评估结果往往缺乏可解释性，难以为桥梁管理单位提供有效的决策回馈。

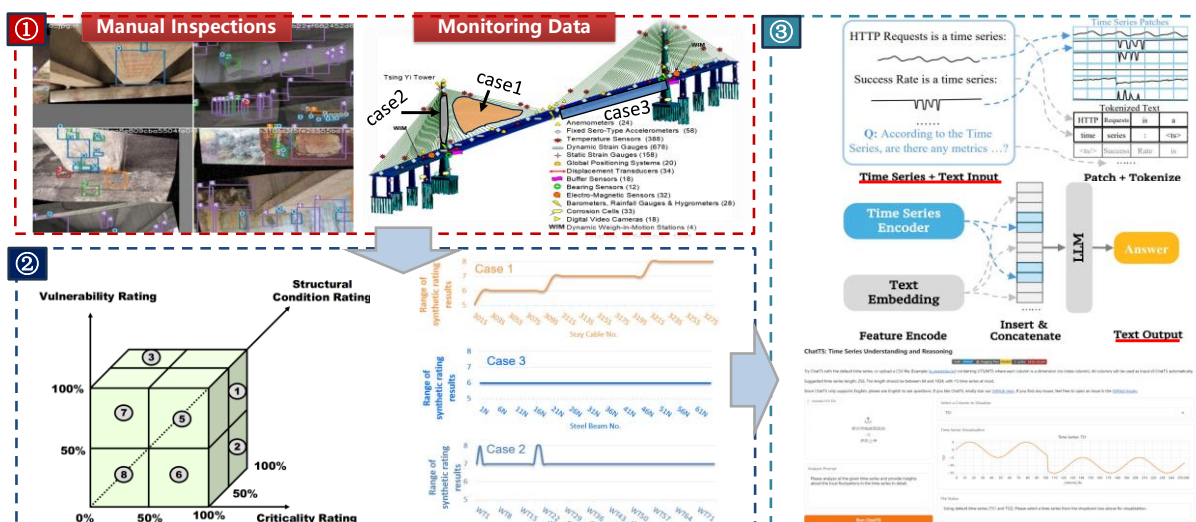


图 2.63

为应对上述问题，国家轨道交通电气化与自动化工程技术研究中心香港分中心成员（李智博士、胡瑶博士、朱奇武博士及项意挺先生）研发了一套融合监测数据与

常规检查的智能桥梁评级系统。该系统采用 YOLO-v7 代理模型自动处理检测图像，在依据既定标准量化评分的同时，精准识别结构缺陷位置与类型。与此同时，通过时域预测模型分析健康监测系统采集的长期应力时程数据，将处理后的缺陷评分与预处理应力时程数据共同输入评级系统，即可精准追溯桥梁状况的历史演变轨迹。最终通过自主研发的时序大模型 ChatTS，将演化规律转化为可读文本摘要，显著提升评估结果的可解释性，为桥梁养护决策提供强有力的智慧支持。

2.2.18 具备智能问答功能的桥梁养护数据平台

桥梁健康评估是一项专业性强、跨学科融合的工程任务。传统大语言模型虽具备广泛通用知识，但缺乏对领域专业资料的充分训练，难以准确理解桥梁工程中的专业术语与逻辑框架。此外，桥梁行业知识体系高度碎片化，涵盖数万条规范条文、数百万份设计图纸以及海量监测数据，仅依靠有限的人力资源难以实现系统整合与高效解读。因此，借助人工智能技术对这些庞杂知识进行融合内化，已成为提升评估效率与准确性的必由之路。

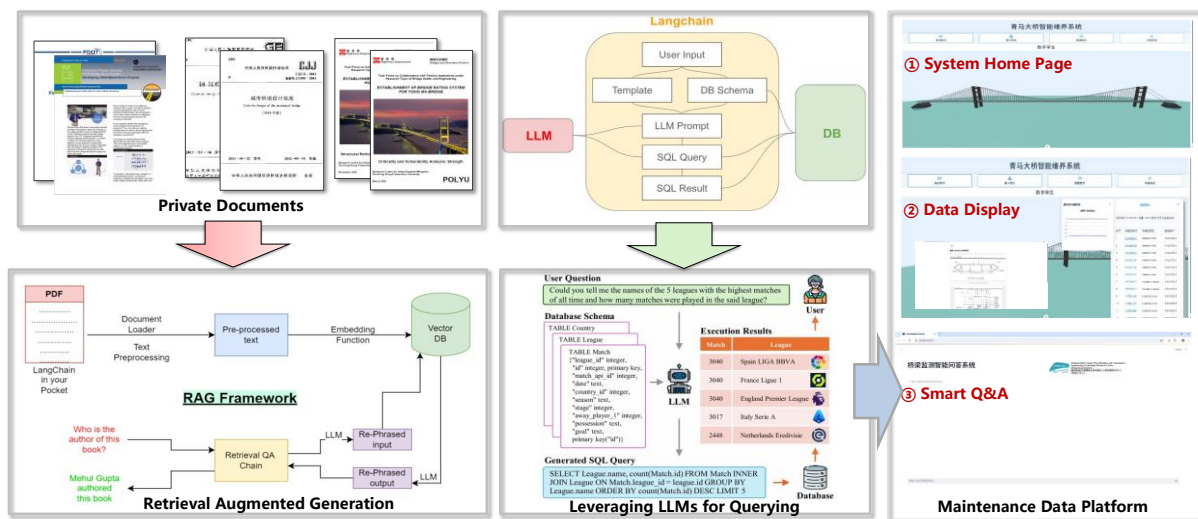


图 2.64 具备智能问答功能的桥梁养护数据平台

为应对上述挑战，国家轨道交通电气化与自动化工程技术研究中心香港分中心成员（李智博士、朱奇武博士、胡瑶博士及项意挺先生）基于检索增强生成架构，研发了面向桥梁领域的专业大模型系统。该模型融合了香港多座跨海大桥长期积累的文

本数据与时序监测数据，结合团队在桥梁状态监测领域的专业认知，实现了对桥梁健康监测领域的精准语言理解与生成能力。通过构建系统化应用平台并持续完善知识库，该模型目前已支持桥梁养护知识精准问答、技术要点归纳总结等多种功能，在学术研究、专业培训与工程决策支持等方面展现出广阔的应用前景。

2.2.19 与路政署潜在合作项目草案

2015年10月23日晚，一艘本地拖船拖带驳船从沙螺湾驶往新界油麻地避风塘途中，与汲水门大桥发生碰撞。驳船上的吊臂撞击桥体，导致桥跨中部下方检修平台六条轨道受损，并引发桥面局部轨道区域螺栓松动，触发桥梁碰撞警报系统。该事件造成汲水门大桥关闭近两小时进行结构检测，导致北大屿山公路（青马管制区）及机场快线服务中断约两小时。此次事故凸显了船舶碰撞后亟需快速评估桥梁及轨道结构完整性的迫切需求，以避免因结构安全不确定性导致的长时间交通中断。

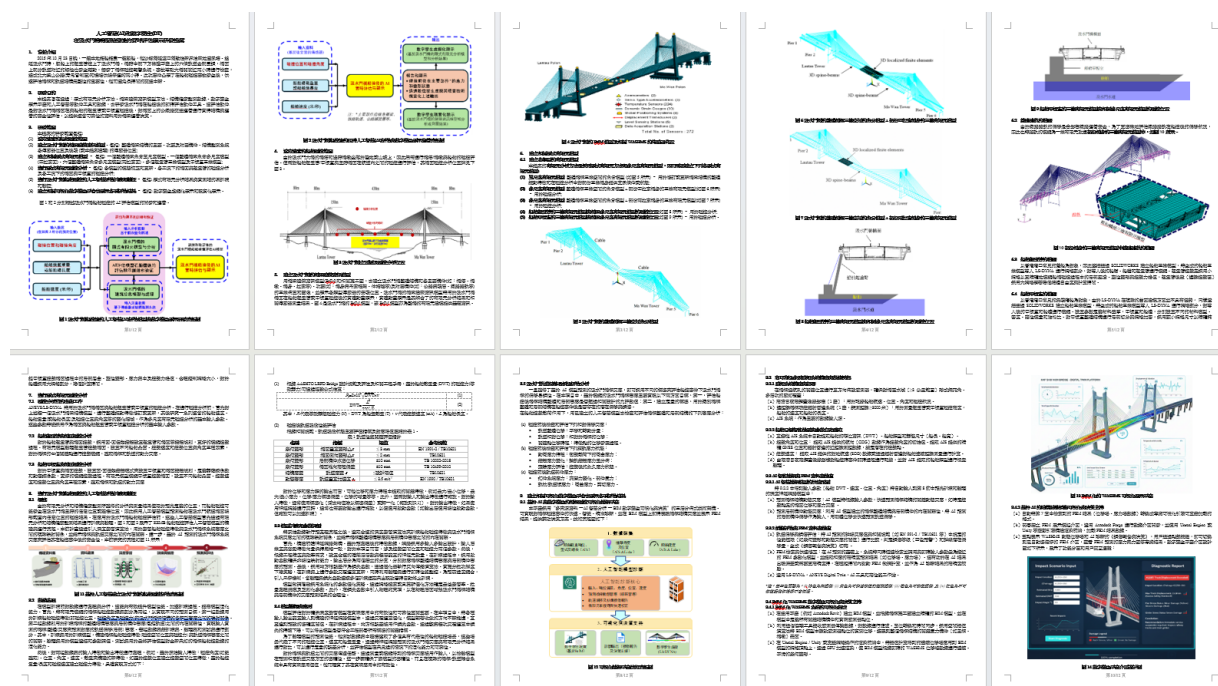


图 2.65 与路政署潜在合作项目

为此，受路政署委托，国家轨道交通电气化与自动化工程技术研究中心香港分中心团队成员（黄启源博士、李智博士、朱奇武博士、胡瑶博士、黄家鑫先生及项意

挺先生)提出名为《基于数字孪生与人工智能技术的汲水门大桥船舶碰撞评估方案》的项目。该项目构建了覆盖感知、诊断、决策全流程的智能安全评估体系,实现了从传统滞后分析到秒级智慧诊断的跨越。系统首先建立了经试验模态校准的"三维空间鱼骨"有限元模型,开展多任务况参数化模拟,构建船舶撞击动力响应全谱数据库,作为人工智能训练的数据基础。在此基础上,开发了能够瞬时映像碰撞参数与结构响应复杂关系的深度神经网络核心引擎,形成克服传统仿真时效瓶颈的高效代理模型。此外,系统创新融合 AIS、激光雷达与视觉感知设备,搭建起多源数据融合、AI 快速诊断与 BIM 三维可视化结合的数字孪生运营平台,实现损伤状况实时呈现并与有限元结果对比验证。最终,系统自动生成四色编码损伤预警报告,并依据规范快速评估轨道服役性能,形成死循环评估能力。这为"恢复通车、限速运行或停运检修"等应急决策提供科学依据,从而显著提升汲水门大桥运营安全与应急处置效能。

2.2.20 一种基于 CFD 的数据增强时均流场仿真新策略及其在列车空气动力学中的应用

(A)基于具动态自适应损失平衡机制的物理信息神经网络的风洞建筑模型三维流场重构

1) PINN 的结构

本节将详细说明本研究所采用的 PINN 模型的基本结构与工作原理。通过将物理方程、初始与边界条件以及测量数据直接嵌入用于训练神经网络的总损失函数中, PINN 已被证明是一种用于求解涉及微分方程的物理正问题与反问题的极具吸引力的物理约束数据驱动方法。在优化器的作用下,物理约束残差在 PINN 训练过程中趋于收敛至零。通过这一过程, PINN 被构造为能够对偏微分方程(PDE)的解进行近似。针对三维流体流动雷诺时均纳维-斯托克斯(Reynolds-Averaged Navier-Stokes, RANS)方程求解的 PINN 示意图如图 2.66 所示。PINN 的左侧部分为一个全连接神经网络(Fully Connected Neural Network, FCNN),用于建立空间坐标 (x, y, z) 与风场流动特征 (u, v, w, p) 之间的映射关系。其中, u, v, w 分别表示沿 x, y, z 方向的速度分量, p 表示压强。在 PINN 的中间部分,引入自动微分以计算输出相对于输入的梯

度，该过程同时在神经网络的训练中发挥关键作用。PINN 的右侧部分为总损失函数，其形式如下：

$$L = w_f L_f + w_b L_b + w_d L_d \quad (1)$$

其中，

$$L_f = \frac{1}{N_f} \sum_{n=1}^{N_f} \sum_{i=1}^4 |f_i^n|^2 \quad (2)$$

$$L_b = \frac{1}{N_{nb}} \sum_{i=1}^{N_{nb}} |r_{nb}^i|^2 + \frac{1}{N_{db}} \sum_{i=1}^{N_{db}} |r_{db}^i|^2 \quad (3)$$

$$L_d = \frac{1}{N_d} \sum_{i=1}^{N_d} |r_d^i|^2 \quad (4)$$

在上述表达式中， L_f 、 L_b 和 L_d 分别表示与控制方程残差、边界条件残差以及数据约束残差相对应的损失分量； w_f 、 w_b 和 w_d 分别表示相应损失项的加权系数。 f_i^n 为图 2.66 中第 i 个控制方程的残差； r_{nb}^i 、 r_{db}^i 和 r_d^i 分别表示 Neumann 边界、Dirichlet 边界及数据约束对应的残差。 N_f 为用于计算控制方程残差的配点数，而 N_{nb} 、 N_{db} 和 N_d 则分别为用于计算 Neumann 边界残差、Dirichlet 边界残差以及数据约束残差的点的数量。在构造出总损失之后，即可采用误差反向传播算法来计算待优化参数的梯度并更新其取值。

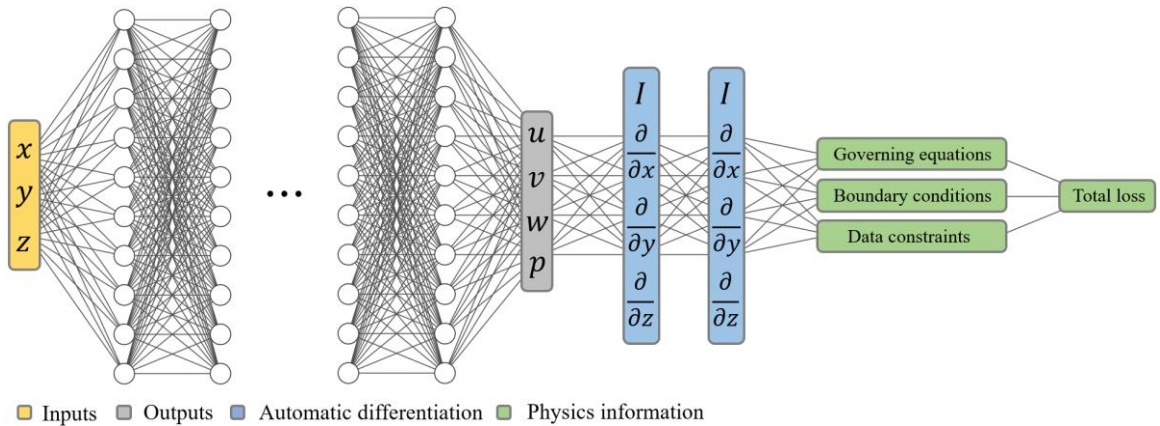


图 2.66 用于三维流体流动 RANS 模拟的 PINN 示意图

2) 动态优先级损失平衡策略

如何在 PINN 训练过程中合理平衡总损失函数中的各类损失项，是一个颇具挑战性的问题。不同损失项之间的失衡会显著降低 PINN 训练的收敛速度与计算效率。为缓解这一问题，我们将总损失修改为如下形式：

$$L = L_f + w_u L_u + w_v L_v + w_w L_w + w_p L_p \quad (5)$$

其中，

$$L_u = \sum_{n \in U_r} \frac{1}{N_n} \sum_{i=1}^{N_n} |r_n^i|^2 \quad (6)$$

$$L_v = \sum_{n \in V_r} \frac{1}{N_n} \sum_{i=1}^{N_n} |r_n^i|^2 \quad (7)$$

$$L_w = \sum_{n \in W_r} \frac{1}{N_n} \sum_{i=1}^{N_n} |r_n^i|^2 \quad (8)$$

$$L_p = \sum_{n \in P_r} \frac{1}{N_n} \sum_{i=1}^{N_n} |r_n^i|^2 \quad (9)$$

与式(1)中的原始表达形式不同，现有的总损失函数被重构为由五个独立分量组成，即 L_f, L_u, L_v, L_w 和 L_p 。其中， L_f 与此前定义含义相同； L_u, L_v, L_w 分别表示与速度分量 u, v, w 直接相关的损失项； L_p 表示与压力 p 相关的损失项； w_u, w_v, w_w, w_p 为上述相应损失项的加权系数。 U_r, V_r, W_r, P_r 分别表示由与 u, v, w, p 相关的方程编号所构成的集合；其具体细节将在后续的算例验证中进一步说明。 r_n^i 为第 n 个方程在第 i 个配点处的残差， N_n 为用于计算第 n 个方程残差的配点数量。可以看出，在默认的 PINN 框架中，各类边界条件与数据约束对应的残差共同构成式 (1) 中的损失项 L_b 与 L_d ；而在所提出的 dpPINN 中，这些残差被重新组织，组合形成与 u, v, w, p 分量相关的损失项。此类重构使得我们可以通过如下方式对各损失项进行平衡：

$$w_i = \left[\frac{k_i}{\min_j(k_j)} \right]^y, i, j = u, v, w, p \quad (10)$$

$$k_i = \frac{\|U_{T_i} - \tilde{U}_{T_i}\|_2}{\|U_{T_i}\|_2}, \quad i = u, v, w, p \quad (11)$$

其中, γ 为新引入的超参数, 用以调节不同损失项之间的权重平衡; $\|\cdot\|_2$ 表示 ℓ_2 范数; U_{T_i} 表示训练点上带标签数据的向量, $\tilde{U}_{T_i}$ 表示训练点上由 PINN 给出的预测值向量。这样的设定意味着, 在训练迭代到一定轮次后, 将在训练点上计算 PINN 预测值与参考数据之间的 u, v, w, p 分量的相对误差。为进一步说明 dpPINN 权重更新机制, 给出了相应的流程图, 如图 2.67 所示。第一步, 将当前的权重赋予 dpPINN 的损失函数, 使 dpPINN 像一个常规神经网络模型那样进行预测。随后进入评估过程, 计算 dpPINN 在训练点上预测结果与参考数据之间的误差, 即式(11)。例如, 在图 2.67 所示情形中, 评估过程中发现速度分量 w 具有最高的相对误差, 则在随后的训练阶段中, 它将依据式(10)被赋予最高权重, 以此“惩罚”其在前期训练中的较低预测精度。更新后的权重将用于构成新的总损失函数, 并据此对神经网络参数进行更新。

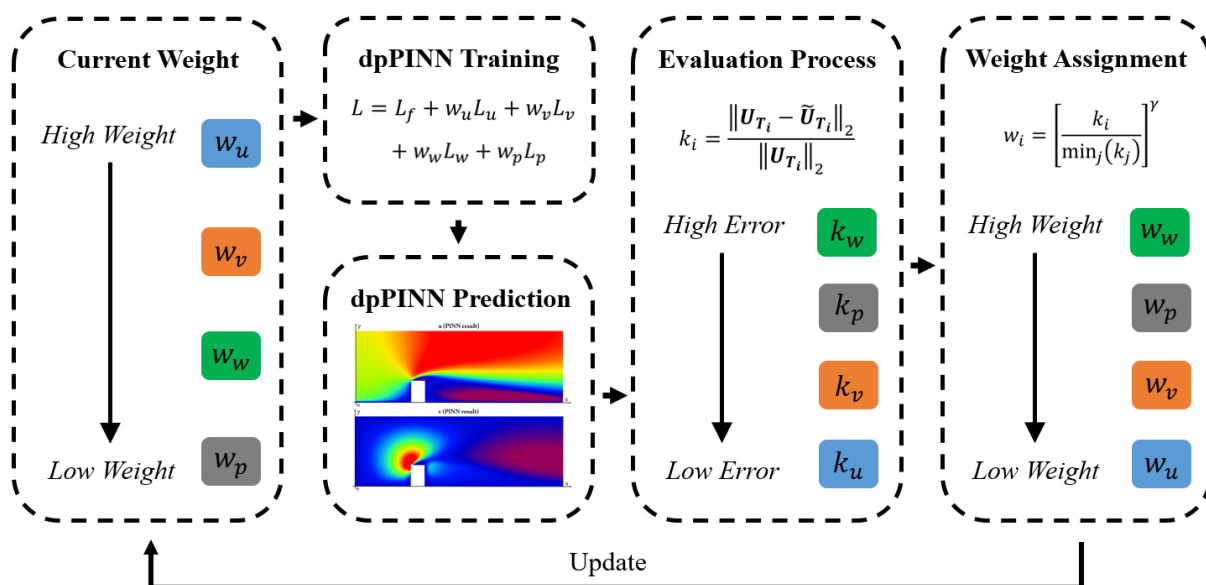


图 2.67 dpPINN 加权系数的更新机制

3) 与实验数据的对比结果

如前所述, 本研究在 dpPINN 框架下, 利用稀疏的近壁面速度数据, 对风洞中建筑缩尺模型周围的流场进行模拟。在本节中, 将使用未参与 dpPINN 训练的测点处的风速分量实测值, 对 dpPINN 的预测结果进行验证。全部数值模拟均在配置有 PyTorch v1.9.0 和 NVIDIA A100 图形处理单元的平台完成。

系数 γ 的取值初步设定为 2。由于在 dpPINN 的训练过程中未嵌入压力数据，本算例中压力相关损失项的权重系数 w_p 取 1。针对室外气流模拟，构建了一个具有 6 个隐含层、每层包含 40 个神经元的 dpPINN 模型。神经网络的激活函数采用 Tanh。dpPINN 的训练采用 Adam 优化器，迭代次数为 1×10^5 ，学习率设定为 3×10^{-4} 。在立方体计算域内部均匀布置了 26944 个配点，用于计算控制方程的残差；此外，在计算域边界上还布置了 9900 个配点，用于计算边界条件的残差。

在本算例中，每一次训练迭代的耗时约为 0.318 秒。其中，约 53.6% 的时间用于自动微分计算物理残差并构造总损失的各分量，其余约 46.4% 的时间用于误差反向传播以更新神经网络参数。

如前所述，在总计 186 个测点中，选取了 93 个近壁面测点用于 dpPINN 的训练（其中：截面 $y = 0.35 \text{ m}$ 上 21 个，截面 $z = 0.01 \text{ m}$ 上 60 个，截面 $z = 0.10 \text{ m}$ 上 12 个）。这 93 个训练点上的速度数据用于监督学习及权重系数的更新。除训练点之外，其余测点的数据（记为参考数据）用于验证所提出的室外气流模拟方法。

在完成 dpPINN 模型训练后，得到的预测结果如图 2.68 和图 2.69 所示，并与风洞试验获得的参考数据进行了对比。其中，黑色实线、红色虚线和蓝色点划线分别表示 dpPINN 对速度分量 u 、 v 、 w 的预测结果；黑色实心圆点、红色方形标记和蓝色菱形标记分别表示各测点处速度分量 u 、 v 、 w 的实验平均值。

从结果可以看出，即便用于验证的实验数据未参与 dpPINN 的训练，其预测结果仍与实验测量数据具有良好的一致性。

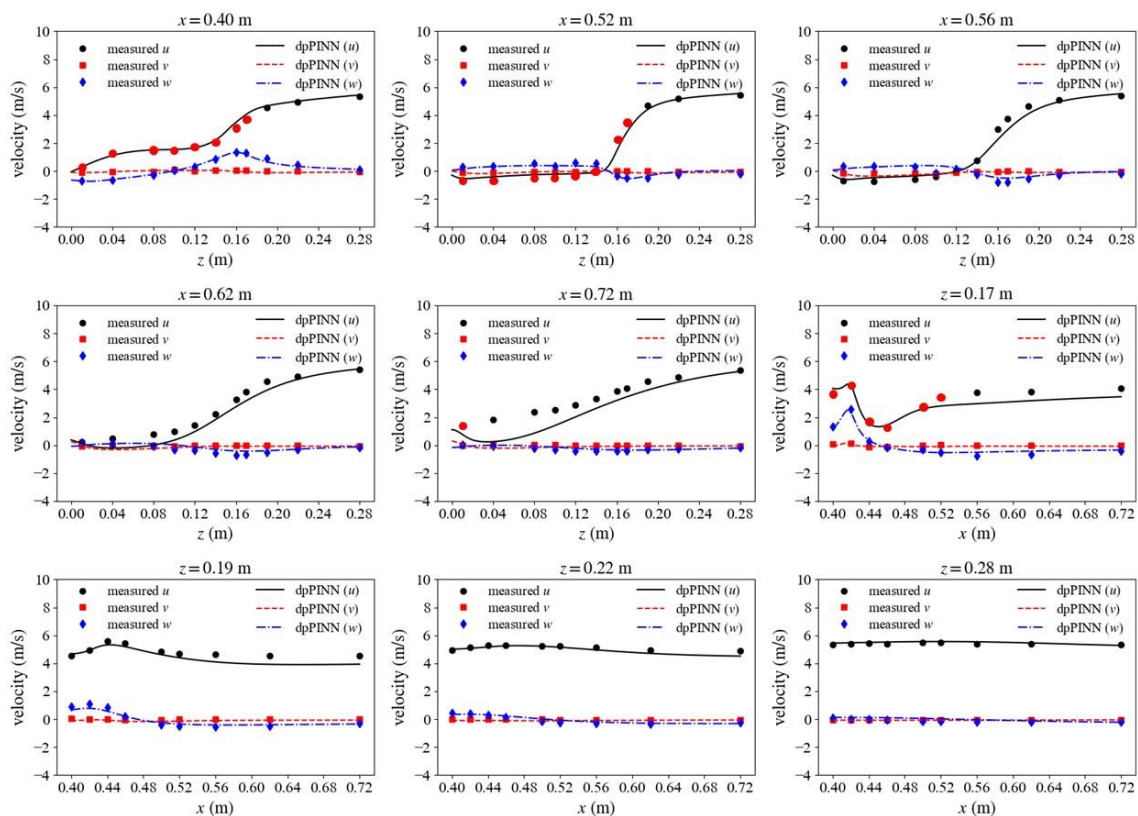


图 2.68 截面 $y = 0.35 \text{ m}$ 上 dpPINN 预测结果与风洞实测结果的对比

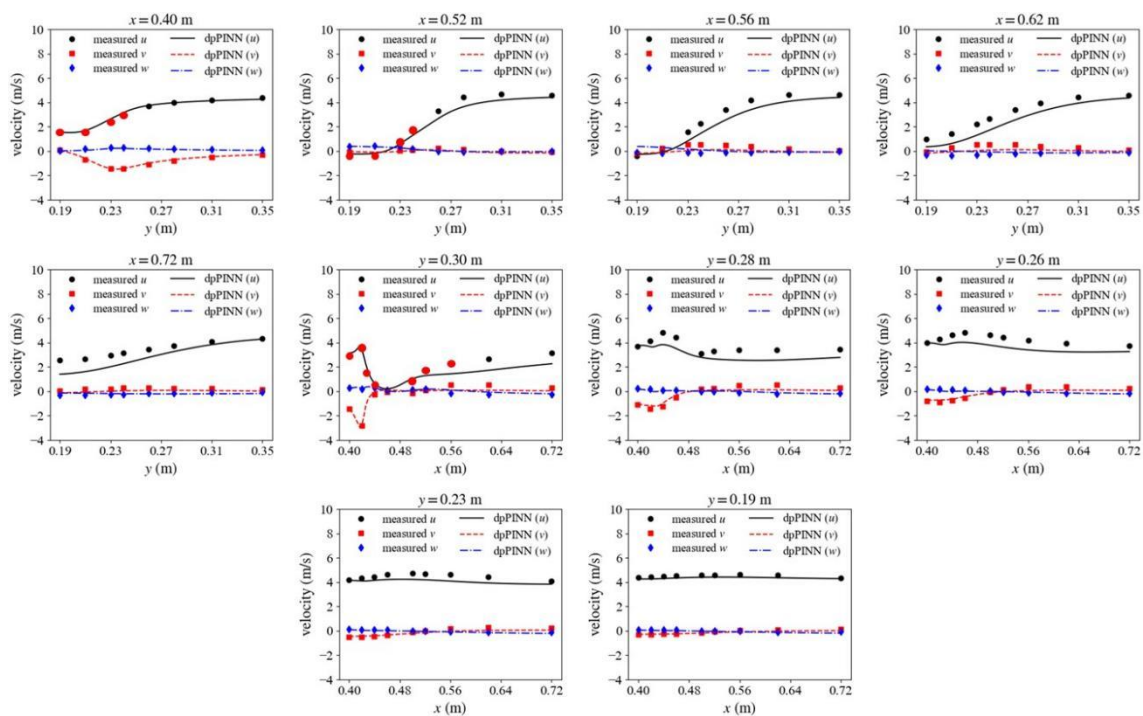


图 2.69 截面 $z = 0.10 \text{ m}$ 上 dpPINN 预测结果与风洞实测结果的对比

(B) 基于多保真度物理信息神经网络与非线性信息融合的时均流场重构

1) NIF 算法

在 NIF 算法中，多保真度建模基于高斯过程（Gaussian Process, GP）算法，通过将低保真度模型与少量高保真度观测相结合来实现。此处，高斯过程 f_h 和 f_l 分别表示高保真度模型和低保真度模型。NIF 算法将 f_h 表达为：

$$f_h(\mathbf{x}) = g_h(\mathbf{x}, f_{*l}(\mathbf{x})) \quad (12)$$

其中， $g_h \sim GP(f_h | 0, k_h((\mathbf{x}, f_l^*(\mathbf{x})), (\mathbf{x}', f_l^*(\mathbf{x}'))); \theta_h))$ 。低保真度水平上的 GP 后验由 $f_l^*(\mathbf{x})$ 给出， θ_h 为超参数。作为协方差核函数， k_h 可分解为：

$$k_h = k_{h_p}(\mathbf{x}, \mathbf{x}'; \theta_{h_p}) \times k_{h_f}(f_{*l}(\mathbf{x}), f_{*l}(\mathbf{x}'); \theta_{h_f}) + k_{h_\delta}(\mathbf{x}, \mathbf{x}'; \theta_{h_\delta}) \quad (13)$$

此处采用平方指数形式的协方差函数，并在 k_{h_p} 、 k_{h_f} 和 k_{h_δ} 上施加 ARD 权重（Rasmussen, 2003）。 θ_{h_p} 、 θ_{h_f} 和 θ_{h_δ} 为超参数。基于 NIF 算法，高保真度模型可以由输入坐标 $\mathbf{x}$ 以及低保真度模型的输出 $f_l^*(\mathbf{x})$ 推导得到。因此，它是低保真度模型输入空间与其后验预测的联合表征。式(12)同时将 $\mathbf{x}$ 与 $f_l^*(\mathbf{x})$ 纳入其协方差核中，从而刻画了空间相关非线性的非线性、非函数型互相关。GP 模型超参数的优化基于最小化负对数边际似然（negative log marginal likelihood, NLML），其形式为：

$$NLML = \frac{1}{2} \log |\mathbf{K}| + \frac{1}{2} \mathbf{y}^T \mathbf{K}^{-1} \mathbf{y} + \frac{n_d}{2} \log 2\pi \quad (14)$$

其中， $\mathbf{K}$ 表示核函数， $\mathbf{y}$ 表示训练目标， n_d 表示输入空间的维度。基于优化得到的超参数，高保真度 GP 模型在测试点 $(\mathbf{x}_*, f_l^*(\mathbf{x}_*))$ 处的后验分布可按如下方式计算：

$$p(f_{*h}(\mathbf{x}_*)) = \int p(f_h(\mathbf{x}_*, f_{*l}(\mathbf{x}_*)) | \mathbf{y}_h, \mathbf{x}_h, \mathbf{x}_*) p(f_{*l}(\mathbf{x}_*)) d\mathbf{x}_* \quad (15)$$

为模拟高保真度模型的后验分布，这里采用蒙特卡洛（Monte Carlo）模拟。在低保真度模型中，由于其为输入数据为参数化点的标准 GP 回归，后验预测服从高斯分布。然而，高保真度模型是以低保真度模型后验预测为输入的 GP 回归模型，因此其后验分布不再是高斯分布。因此，本研究对式(15)进行蒙特卡洛积分，以计算高保真度模型的后验均值与方差。

2) 多保真度策略的工作流程

作为本研究所提出的多保真度流场重构策略的总结，其工作流程如下（亦见图 2.70）：

步骤 1：使用 PINN 模型生成大量低保真度的连续数据。在神经网络的训练过程中，将控制方程和边界条件的残差纳入损失函数中。

步骤 2：在计算域内，从 PINN 结果中抽取得到一组训练数据，用于低保真度 GP 建模。随后最小化式(14)所定义的 NLML，以优化低保真度 GP 模型的超参数，并计算该标准低保真度 GP 回归模型的后验均值和方差。

步骤 3：利用低保真度模型的后验预测以及少量高保真度观测数据，构建式(12)所示的高保真度 GP 回归模型。在高保真度 GP 模型中，采用式(13)给出的核函数，并通过最小化式(14)的 NLML 来优化超参数。

步骤 4：根据式(15)的蒙特卡洛积分，输出高保真度 GP 模型的后验均值与方差。在该步骤中，将使用步骤 2 中所得的标准低保真度 GP 回归模型的后验均值与方差。

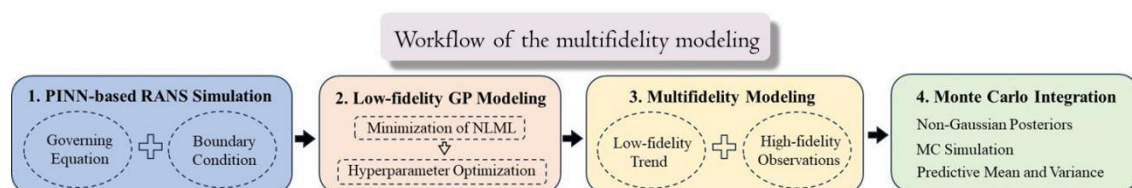


图 2.70 多保真度策略的工作流程

3) 方柱绕流算例结果

本算例研究的是二维方柱绕流的湍流流动，如图 2.71 所示。计算域长 0.44 m、宽 0.32 m，在其左侧中部布置了一个尺寸为 0.04 m × 0.04 m 的方柱。

如图 2.71 所示，点 A 位于方柱左下角，坐标为(0.10, 0.14)。在计算域左侧边界设置入口速度边界，流体速度稳定为 0.535 m/s；计算域右侧边界为零压出口；上、下边界设置为对称壁面边界。方柱表面处流体速度为零，因此方柱各表面被视为固体壁面边界。在实验中，共布置了 517 个测点，用于采集流场内时均速度分量 u 和 v 。

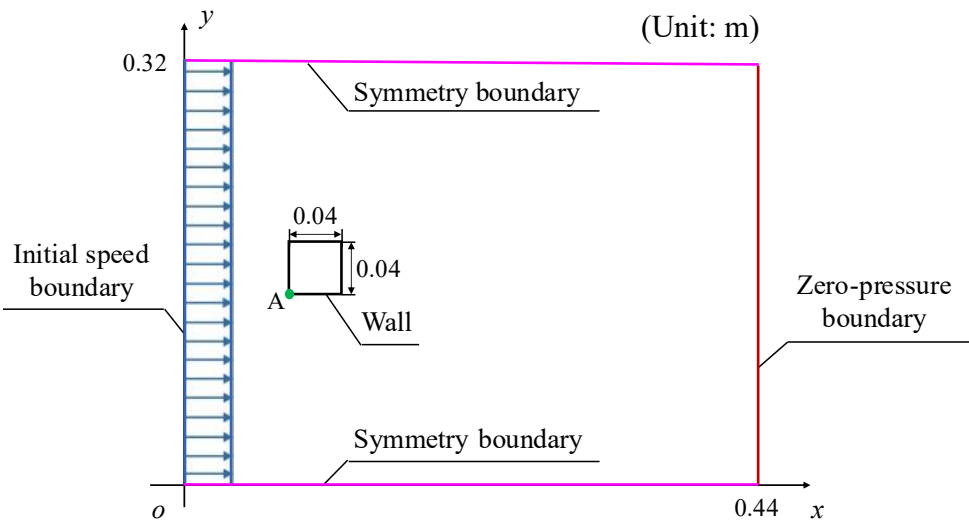


图 2.71 二维方柱绕流的计算域

总体而言，工况 2 与工况 1 在两方面存在显著差异。其一，最直观的是几何外形不同；其二，在用于构建多保真度模型的高保真度点上，除速度分量 u 之外，还假定速度分量 v 为已知。在 517 个高保真度测点中，选取了分布于 9 条竖直线上的 36 个散布点用于训练多保真度模型，其空间坐标列于表 1。在选择训练点时，仍遵循尽可能使训练点均匀覆盖整个计算域的原则。

表 1. 用于多保真度建模的高保真度点的空间坐标

x 坐标 (m)	0.000	0.100	0.155	0.200	0.250	0.300	0.350	0.392	0.400
	0.200	0.200	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160	0.160
	0.240	0.240	0.180	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
y 坐标 (m)	0.280	0.280	0.200	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240
	0.320	0.320	0.220	—	—	0.280	—	0.280	0.280
	—	—	—	—	—	0.320	—	0.320	0.320

工况 2 的目标仍然是利用全部可用的物理约束与稀疏测量信息，重构整个计算域内高保真度的主流速度分量 u 。由于在训练过程中同时引入了 v 的数据（视为已知），方案数由 3 个增加至 5 个。在工况 2 中，将对五种不同方案的性能进行横向对比，以实现该目标。

在前三种方案中，均采用 NIF 算法并结合稀疏的 u 测量数据来构建多保真度模型，三者之间唯一的区别在于低保真度数据源不同：方案 1 中使用不含训练数据的 PINN（纯物理驱动）；方案 2 中使用在训练过程中嵌入 v 信息的 PINN；方案 3 则采用 CFD 作为低保真度数据源。方案 4 为数据驱动 PINN，同时将 u 与 v 嵌入网络训练过程中，且不使用 NIF 算法。方案 5 为一个与工况 1 中类似的全连接神经网络（FCNN）。为便于说明，这五种策略在表 2 中作了明确归纳。

表 2. 工况 2 中的五种流场模拟策略

方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5
PINN+NIF	v -embedded PINN+NIF	CFD+NIF	u v -embedded PINN	FCNN

鉴于本算例中存在多种低保真度数据源，对 PINN 与 CFD 框架分别做进一步说明是有意义的。对于 PINN 框架，其配置与前一算例基本相同，只是计算域内部需排除二维方柱区域的 108 个配点，最终内部配点总数为 9892 个。此外，在入口速度边界、零压出口边界、上对称边界、下对称边界以及二维方柱四个侧面的每一条边界上，均等距布置 50 个边界配点，因此用于计算物理残差的边界配点总数为 400 个。对于 CFD 框架，本研究采用商业软件 Star CCM+来模拟时均流场，计算域内部网格单元数超过 36484 个。在 PINN 与 CFD 两种框架中，RANS 湍流建模均采用标准 $k-\varepsilon$ 模型。

不同方案预测的主流速度分量 u 的结果如图 2.72 所示，并与实验结果进行了对比。从这些速度等值线可以看出，方案 2 尤其在方柱上游区域，对流动特征的重构最为精确且高效。这可能是因为低保真度建模中，方案 2 融合了来自上游区域的实测流动特征。依旧采用 ℓ_2 误差对不同模型预测精度进行定量评估。如表 3 所示，方案 2 的 ℓ_2 误差在所有方案中最低，相较于实验结果仅为 8.8%。

值得注意的是，当以嵌入 v 的 PINN 替代 CFD 作为低保真度数据源时， ℓ_2 误差降低了 6.6%。这是因为在该情况下引入了测量信息，与 CFD 相比，嵌入 v 信息的 PINN 提供了更高精度的模拟结果。然而，当缺乏实测信息时，PINN 的预测精度会显著下降，从而导致方案 1 的 ℓ_2 误差为 18.1%，在所有多保真度模型中表现最差。

尽管如此，仍应强调物理信息融合在神经网络建模中的重要性，因为可以明显看到，方案 1 相较方案 5 的精度提高了 10.2%。另一方面，可以观察到所有涉及 PINN 的策略（即方案 1、2 和 4）在计算耗时上均明显高于 CFD。这无疑是 PINN 的主要缺点之一，也亟需后续研究予以解决。图 2.73 进一步展示了验证结果：在整个计算域内，多保真度模型（方案 2）的预测结果与高保真度数据（实验测量）具有良好的一致性。多保真度模型的精度仍通过 ℓ_2 误差进行定量评估。

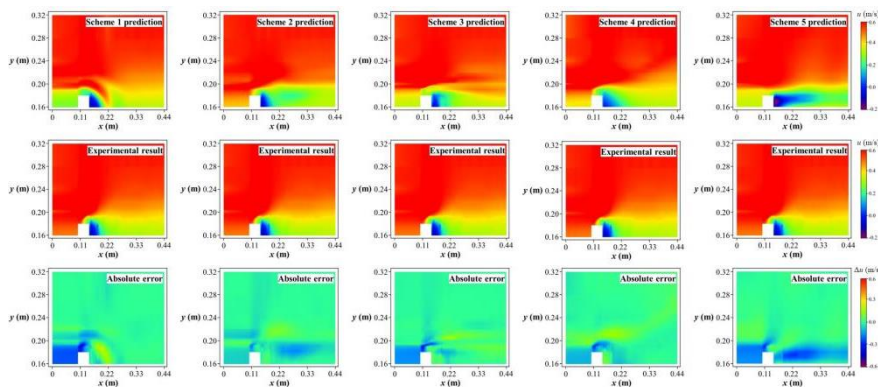


图 2.72 使用五种不同方案对速度分量 u 的预测：（上）预测结果；（中）实验结果；（下）绝对误差分布

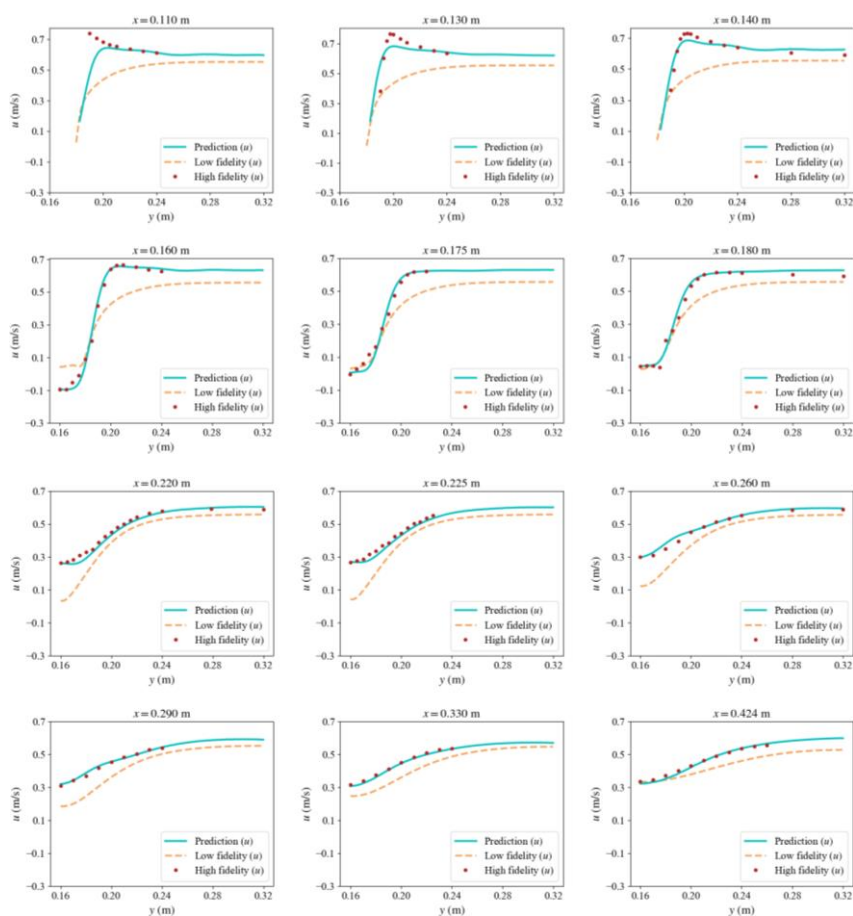


图 2.73 多保真度模型预测结果（方案 2）与高/低保真度数据在十二条竖线上对比

表 3. 不同流场重构策略的性能对比

	方案 1	方案 2	方案 3	方案 4	方案 5
ℓ_2 损失	18.1%	8.8%	15.4%	15.5%	29.1%
运行时间 (s)	2.8×10^4	2.8×10^4	5.4×10^2	2.8×10^4	2.1×10^1

(C)利用物理信息神经网络研究嵌入数据分布对横风作用下列车周围流场重构精度的影响

1) 数值模拟

在实际工况中开展实例试验与风洞试验以获取大量实测数据往往较为困难，这既源于真实场景实验实施过程的复杂性，也由于对多种实验对象进行测试所需费用高昂。鉴于此，本文采用数值模拟手段获取流场数据集。只要其可信度已得到验证，数值模拟便是一种评估横风作用下列车周围流场的可靠方法。作为构建快速预测模型所需基础数据的重要来源，数值模拟得到的数据集已被广泛应用于相关研究。本研究采用一列等截面高速列车，其车体宽度为 $0.91h$ ，其中 h 为列车高度，取 $h = 3.5\text{ m}$ 。为提高计算效率并聚焦于主导流动的物理规律，列车模型中省略了转向架与受电弓结构。由于列车具有较大的细长比，对模型局部区域的简化并不会改变列车周围主导流动的物理特性，因此该类简化模型在以往列车空气动力学研究中被广泛采用。如图 2.74 所示，计算域建立为 $1/8$ 尺度模型，以便在结构附近生成更精细的网格并捕捉细节流动；计算域截面尺寸为 $10.28h \times 3.40h$ 。为确保流场充分发展，从上游边界到列车中心的距离取为 $1.71h$ ，从列车中心到下游边界的距离取为 $8.57h$ ，同时计算域长度为 $5.99h$ 。此外，数值风洞中的阻塞比为 0.35% ，低于 EN 标准中 1% 的限值要求。

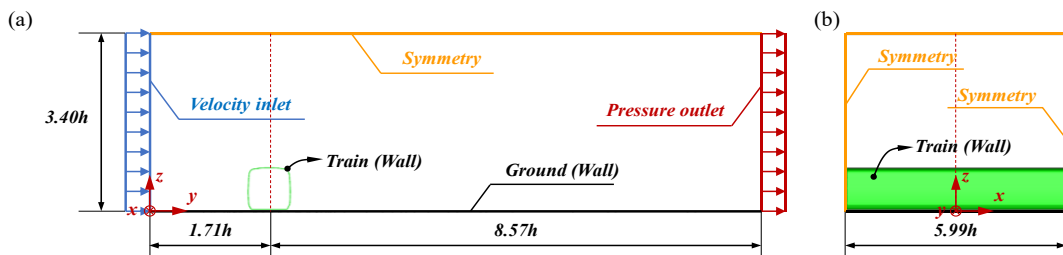


图 2.74 计算域与边界条件：（a）侧视图；（b）前视图

在速度入口边界处，来流以恒定稳态速度 $U = 1\text{ m/s}$ 进入计算域。与速度入口边界相对，计算域下游边界设置为零压出口条件（ $P = 0\text{ Pa}$ ）。计算域顶部采用对称边界条件，而列车表面与地面则设置为静止壁面边界。由于数值结果将作为评估 PINN 能力的参考数据，为便于后续对比分析，本文采用稳态剪切应力输运（Shear Stress Transport, SST） $k - \omega$ 湍流模型对横风作用下列车周围流场进行模拟，求解器采用基于压力的不可压缩求解器。压力 - 速度耦合方程采用压力关联一致半隐式方法（SIMPLEC 算法）求解；对对流项和扩散项分别采用二阶迎风格式离散，控制体中的梯度采用基于单元的 Green - Gauss 方法计算。

为对计算域进行空间离散，生成了结构化六面体网格。此外，在研究对象表面附加了由 10 层构成的棱柱网格，以评估壁面效应造成的列车表面近壁速度梯度的逐渐变化。图 2.75(a)展示了列车在纵向与截面方向的局部网格放大图。第一层网格的无量纲壁面距离 y^+ 处于 30 - 40 之间。为更好捕捉结构附近的细节流动，在列车模型周围，尤其是列车周围流场区域，采用了网格加密策略，如图 2.75(b) 所示。

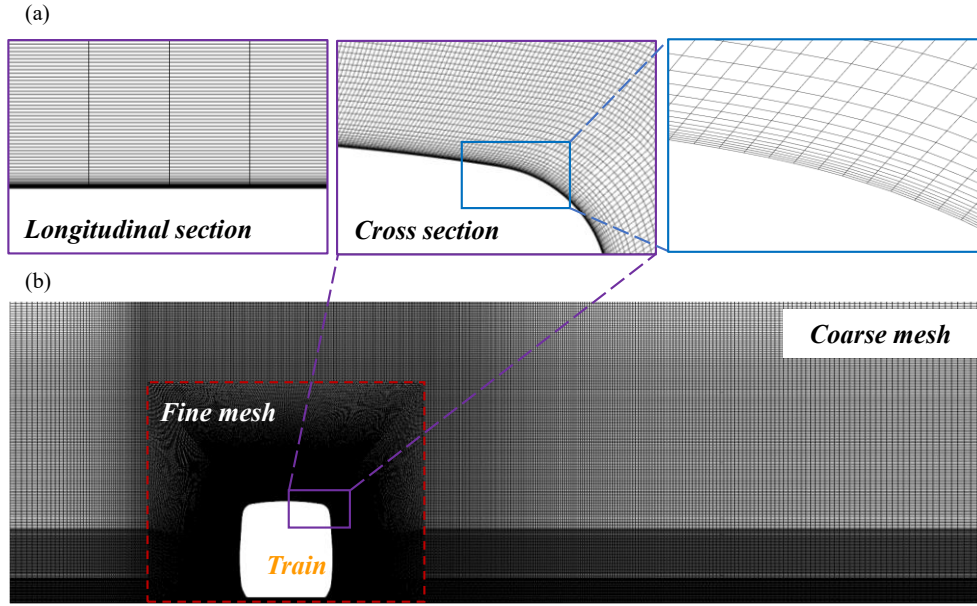


图 2.75 计算网格：（a）列车表面附近局部网格放大图；（b）网格切片

2) 物理信息神经网络（PINN）

PINN 作为一类深度神经网络，将物理方程与测量数据共同嵌入总损失函数，用于训练神经网络参数，从而提升其求解各类偏微分方程（PDE）问题的能力。在本研究中，借助稀疏流场数据，采用 PINN 方法对横风作用下列车二维时均流场进行重构。用于描述二维湍流流动的 RANS 方程可表示为：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (16)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}[\mu_{eff}(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i})] \quad (17)$$

其中， ρ 、 u_i 、 p 与 μ_{eff} 分别表示介质密度、沿 x_i 方向的速度分量、压强以及介质的有效黏度。总黏度由湍流黏度 μ_t 与层流黏度 μ 共同组成，可表示为：

$$\mu_{eff} = \mu_t + \mu \quad (18)$$

此外, 本文采用 Chen 模型求解 RANS 方程, 并假定湍流黏度等于局部速度 v 与距最近壁面距离 l 的乘积。在 Chen 模型中, 湍流黏度可表示为:

$$\mu_t = 0.03874 \rho v l \quad (19)$$

随后, 在 Chen 模型基础上利用 PINN 求解 RANS 方程。在计算过程中, 配点均匀分布于计算区域内部及其边界上, 并受控制方程与边界条件等物理约束控制, 在评估物理方程残差中发挥关键作用。之后, 通过优化器的迭代更新, PINN 损失函数中集成的这些残差在训练过程中逐步收敛趋近于零。图 2.76 展示了用于流场重构的 PINN 框架示意图。图中所示为一全连接神经网络, 其左侧以空间坐标参数作为输入, 右侧输出流场信息, 包括压强和速度分量。

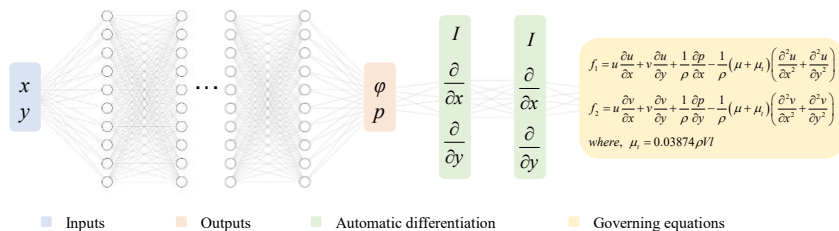


图 2.76 PINN 框架示意图

3) 嵌入点分布对重构效果的影响结果

本节主要探讨远壁区域嵌入点分布间距对流场重构结果的影响。为保证结果的可比性, 尽管在远壁区域改变了嵌入点分布, 但近壁区域与列车近壁区域的嵌入点分布保持一致。在近壁区域, 嵌入点在来流方向 n 上的间距为 D_{near} , 在垂直方向上的间距为 H 。此外, 在列车近壁区域上均匀分布了 24 个数据点。为研究远壁区域嵌入点分布的影响, 在来流方向上设置了 5 种不同的间距方案, 分别为 D_{far} 、 $2D_{\text{far}}$ 、 $4D_{\text{far}}$ 、 $8D_{\text{far}}$ 和 $16D_{\text{far}}$ 。

对于横风作用下列车的空气动力学性能而言, 来流方向上的气流速度 (即速度分量 u) 是主导影响因素, 而垂直方向速度分量 v 的影响相对较弱。图 2.77 给出了预测速度分量 u 与 v 在上述两种方向上的 ℓ_2 误差, 并与数值模拟结果进行对比。如图 2.77(a)所示, 对于速度分量 u , 在垂直方向上嵌入点分布较为稀疏时, 相较参考数

据, 预测结果的误差有所增大。具体而言, 当垂直方向嵌入点间距由 H 增大至 $2H$ 时, 在所有给出的工况中, 预测速度分量 u 的 ℓ_2 误差均呈现增大趋势。与垂直方向间距为 H 的工况相比, 当垂直方向间距扩展至 $2H$ 时, 在来流方向间距为 $8D_{\text{far}}$ 的情况下, 误差最大, 差值为 1.80%。在来流方向间距为 D_{far} 的工况中, ℓ_2 误差也表现出明显差异, 差值为 1.46%。然而, 在来流方向间距为 $4D_{\text{far}}$ 的工况中, 误差差异并不显著。此外, 在图 2.77(a) 所列各工况中, 随着来流方向嵌入点间距的增大, 在垂直方向间距为 H 与 $2H$ 的情形下, ℓ_2 误差均呈现先减小后增大的趋势。当垂直间距为 H 时, 在来流方向间距为 D_{far} 、 $2D_{\text{far}}$ 与 $4D_{\text{far}}$ 的工况中, ℓ_2 误差从 9.36% 降低至 8.87%, 随后在来流方向间距增大至 $8D_{\text{far}}$ 与 $16D_{\text{far}}$ 时分别升高至 9.14% 和 9.94%。

在预测速度分量 v 的方面, 由于其在整体流场中的数值较小, 其 ℓ_2 误差相对更加显著。图 2.77(b) 给出了预测流场垂直速度分量 v 相对参考数据的 ℓ_2 误差。随着垂直方向嵌入点间距由 H 增加至 $2H$, 来流方向间距为 D_{far} 与 $16D_{\text{far}}$ 的工况中, ℓ_2 误差分别降低了 1.56% 与 4.20%; 但在来流方向间距为 $2D_{\text{far}}$ 、 $4D_{\text{far}}$ 与 $8D_{\text{far}}$ 的工况中, 则出现了相反的变化趋势。来流方向间距为 $2D_{\text{far}}$ 与 $4D_{\text{far}}$ 的两种嵌入点方案中, ℓ_2 误差差异较小, 均不足 1%, 而来流方向间距为 $8D_{\text{far}}$ 的工况中, ℓ_2 误差差异最大, 达到 2.18%。在垂直方向两种不同嵌入方案下, 速度分量 v 的最小 ℓ_2 误差均出现在来流方向间距为 $4D_{\text{far}}$ 的工况中, 此时的误差分别为 17.13% 和 18.00%。

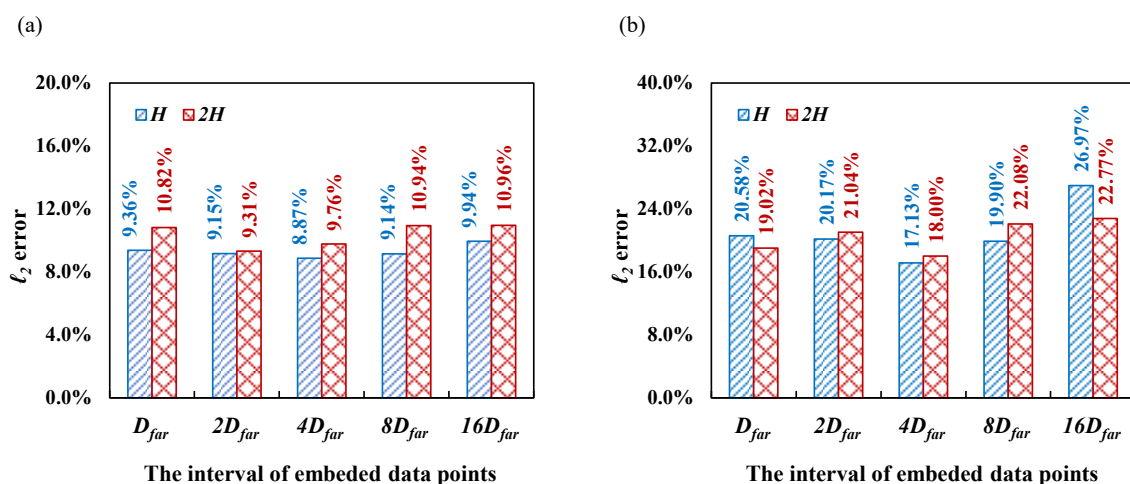


图 2.77. 远壁区域嵌入点分布对 ℓ_2 误差的影响结果对比: (a) 速度分量 u ; (b) 速度分量 v

结合前文对 PINN 流场预测结果的分析可知，当垂直方向嵌入点间距为 H 时能够获得最优预测结果，因此本节将重点关注该条件下的流场重构结果。图 2.78 与图 2.79 分别给出了流场中速度分量 u 与 v 的分布情况。为便于比较与进一步分析，图 2.78(a) 与图 2.79(a) 中展示了数值模拟结果。图 2.78(b–d) 分别给出了来流方向嵌入点间距为 D_{far} 、 $4D_{\text{far}}$ 与 $16D_{\text{far}}$ 时 PINN 的预测结果，此时嵌入点数量分别约占验证点数量的 1.32%、0.49% 与 0.28%。尽管在不同来流方向嵌入间距下，PINN 预测的流场速度 u 与 CFD 结果之间的差异并不十分显著，但仍会对流场重构精度产生一定影响。例如，远壁区域嵌入点的分布不仅影响列车背风侧的速度分布特征，也会影响列车迎风侧附近的流场分布，如图 2.78 中区域 I 所示。与来流方向间距为 D_{far} 和 $16D_{\text{far}}$ 的情形相比，当嵌入点来流方向间距为 $4D_{\text{far}}$ 时，列车迎风侧近地面位置的速度分布与 CFD 模拟结果最为接近。由于列车底部与地面之间存在间隙，沿列车底部的气流会因“狭缝效应”而加速，并对列车背风侧的速度分布产生影响。从本节给出的各工况（如区域 II）可见，在来流方向嵌入点间距为 D_{far} 与 $4D_{\text{far}}$ 时，列车背风侧的流场重构效果，尤其是列车底部穿越气流的重构效果更佳；然而，当来流方向嵌入点间距增大至 $16D_{\text{far}}$ 时，PINN 在区域 II 的预测性能明显欠佳。此外，对于远离列车的区域，相较于 CFD 结果，来流方向嵌入点间距为 D_{far} 与 $4D_{\text{far}}$ 的工况在预测结果上表现更优，尤其是在列车背风侧的低速流动区域（图 2.79 中分界线以下区域）。当来流方向嵌入点间距为 $16D_{\text{far}}$ 时，预测结果出现明显波动，这也表明在来流方向上嵌入点分布过于稀疏不利于列车背风侧时均湍涡结构的形成与重构。

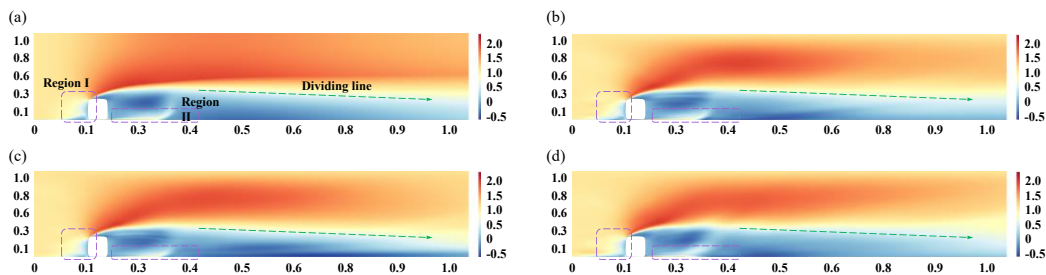


图 2.78 远壁区域嵌入点分布对速度分量 u 的数值结果与 PINN 预测结果对比：（a）CFD；（b） D_{far} ；（c） $4D_{\text{far}}$ ；（d） $16D_{\text{far}}$

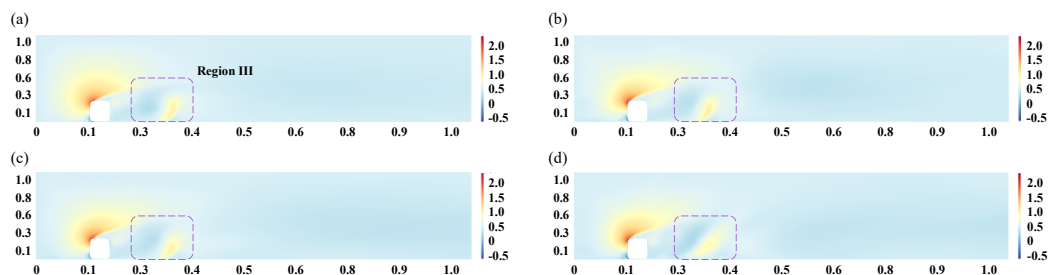


图 2.79 远壁区域嵌入点分布对速度分量 v 的数值结果与 PINN 预测结果对比：（a）CFD；（b） D_{far} ；（c） $4D_{\text{far}}$ ；（d） $16D_{\text{far}}$

同样地，图 2.79(b-d)分别为来流方向嵌入点间距为 D_{far} 、 $4D_{\text{far}}$ 与 $16D_{\text{far}}$ 时 PINN 对速度分量 v 的预测结果。如图 2.79 所示，尽管 CFD 结果与 PINN 预测结果之间存在相对较大的误差，但对比不同来流方向嵌入点间距下 PINN 所预测的流场速度 v 与 CFD 结果之间的差异，可以看出 PINN 在流场重构方面仍具有较强的能力。与来流方向嵌入点间距为 D_{far} 与 $16D_{\text{far}}$ 的情况（分别见图 2.79(b)与 2.79(d)）相比，当嵌入点来流方向间距为 $4D_{\text{far}}$ 时（图 2.79(c)），列车背风侧区域 III 的速度分布重构效果相对更好。然而，当来流方向嵌入点间距为 $16D_{\text{far}}$ 时，区域 III 中速度分量 v 的分布质量明显较差。对于流场中其他区域的速度分布，各方案之间并未表现出显著差异。

2.2.21 高速列车气动噪声计算理论研究

国家轨道交通工程技术研究中心（香港分中心）的谭晓明博士，基于声势波动方程和海绵层吸声边界（如图 2.80 所示），建立了速度 350 km/h 以下列车的近场气动噪声计算理论，并成功调试了具有工程应用价值的相关理论系数。例如，发现了转向架区域最大的气动噪声源（如图 2.80 所示），并确定了治理重点应为转向架横梁和圆柱区域的气动噪声。

此外，谭博士还构建了一套针对受电弓-空腔（弓腔）耦合系统气动声学主模态相关性的辐射噪声修正理论体系。由于声学风洞尺寸和计算规模/精度的限制，高速列车的气动噪声通常采用缩比车体模型进行研究。然而，由于气动发声体的复杂性和多样性，难以给出统一的比例相似准则。目前的通用做法是：基于自模拟区（self-modelling region）的气动声学相似参数（包括马赫数 Ma 、斯特劳哈尔数 St 和无量纲声源参数），结合单极子、偶极子和四极子声源的声功率计算理论，简单地建立不同比例模型之间的气动噪声转换关系。然而，这些方法并未考虑到由雷诺数变化引起的流场形态迁移效应、不同部件空间距离变化引起的场耦合效应，以及来流边界层参数的变化。针对上述科学问题，该研究研发并改进了全尺寸弓腔耦合系统的精细气动声学仿真技术，通过数据驱动的方法获取了该区域的主导流态及其比例演变机制，并结合空腔/杆件气动声学理论，得出了主导气动声学模态的声学相似准则。随后，构建了与主导气动声学模态相关的辐射噪声修正模型，可用于修正缩比模型试验或数值模拟的结果。

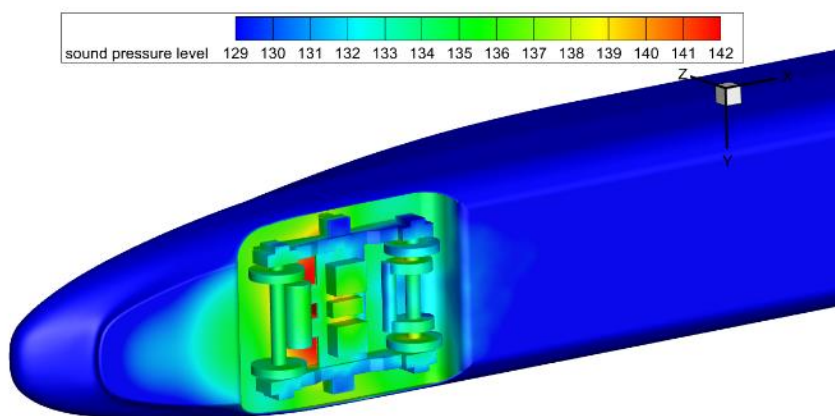


图 2.80 350km/h 高速列车近场气动噪声分布云图

2.2.22 基于 AI 视觉的电力作业安全智能监管与交互系统

在电力、能源等高危作业领域，实现安全生产的智能化、精细化与实时化监管是行业发展的关键需求。当前，传统安全监管模式存在实时性不足、监管存在盲区、事后追溯被动等问题。为应对这一挑战，项目团队于本年度启动了“基于 AI 视觉的电力作业安全智能监管与交互系统”的研发，旨在通过融合先进的多模态感知、边缘计算与人工智能技术，构建一套能够实现事前预警、事中干预的主动式安全监管新范式。



图 2.81 概念验证样机

该项目核心内容是研发一套“端-边-云”协同的智能监管系统。系统前端依托工业级智能感知终端，实时采集现场作业音视频数据；边缘侧进行数据的初步处理与实时分析；云端则负责复杂的 AI 模型运算与全局决策。项目最终目标是建成一个覆盖作业全流程的智能监管平台，实现对典型违章行为的自动识别、风险预警及语音提示，从而显着提升现场作业的安全性与规范化水平。

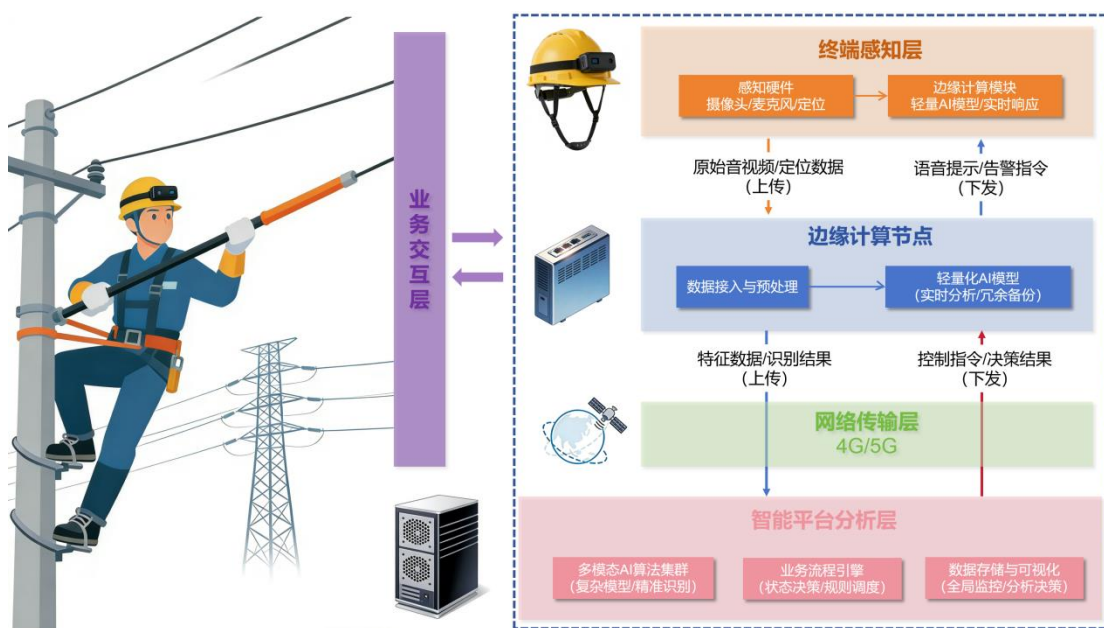


图 2.82 智能终端运行流程

截至目前，项目已顺利完成原型系统的开发与集成测试阶段，并在实地应用基础构建与实物样机验证方面取得了以下关键阶段性成果：

1. 现场应用基础：项目团队已在典型的电力作业现场完成了初步环境评估与数据采集工作。已系统性地采集了涵盖不同季节、天气及光照条件下的现场作业图像样本约 5,000 张，为 AI 算法的训练与优化奠定了高质量的数据基石。

2. 功能原型样机：项目已成功开发出第一代集成 AI 视觉分析功能的头戴式智能终端样机。该样机集成了高清摄像头、降噪麦克风及边缘计算模块，具备基础的环境感知与 AI 分析能力。在实验室模拟环境中，该样机已成功实现了安全帽佩戴识别、绝缘手套检测等核心功能的验证，系统联动响应时间满足设计预期。

3. 技术可行性：基于实物样机的测试结果表明，项目所采用的“端-边-云”技术架构合理可行，核心算法在典型场景下的识别准确率达到了预期指标，为下一阶段的现场试点应用与产品化落地提供了有力的技术支撑。

下一阶段，项目将基于已验证的原型，重点推进工程化落地：一是对终端硬件进行工业级深度定制，以提升其在户外复杂环境下的可靠性；二是持续优化并扩展 AI 算法，增强其在极端天气等场景下的识别准确率与覆盖范围；三是完成全系统集成，并在真实作业环境中开展试点验证，全面评估其稳定性与业务价值。

2.2.23 声学超材料与地震超材料设计

我们开发了一种多层地震超材料，以增强多方向地震波的防护效果，该设计已通过现有基准测试验证。

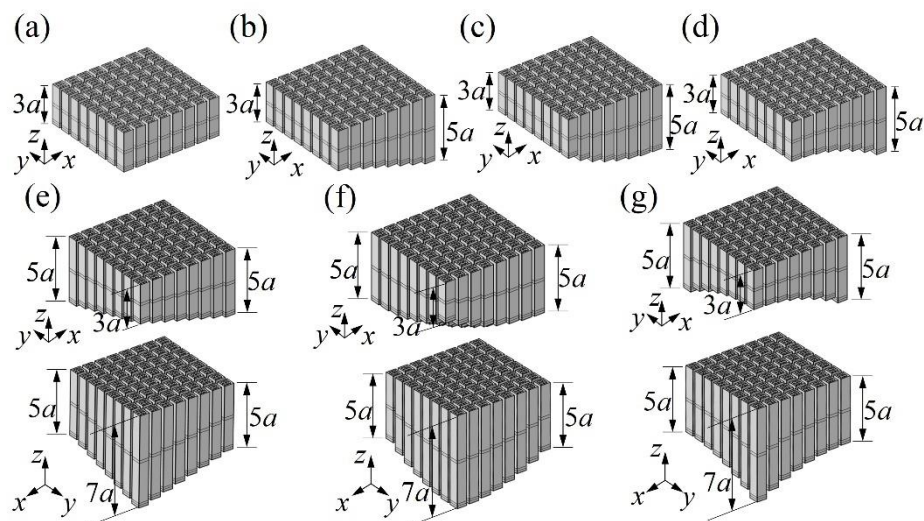


图 2.83

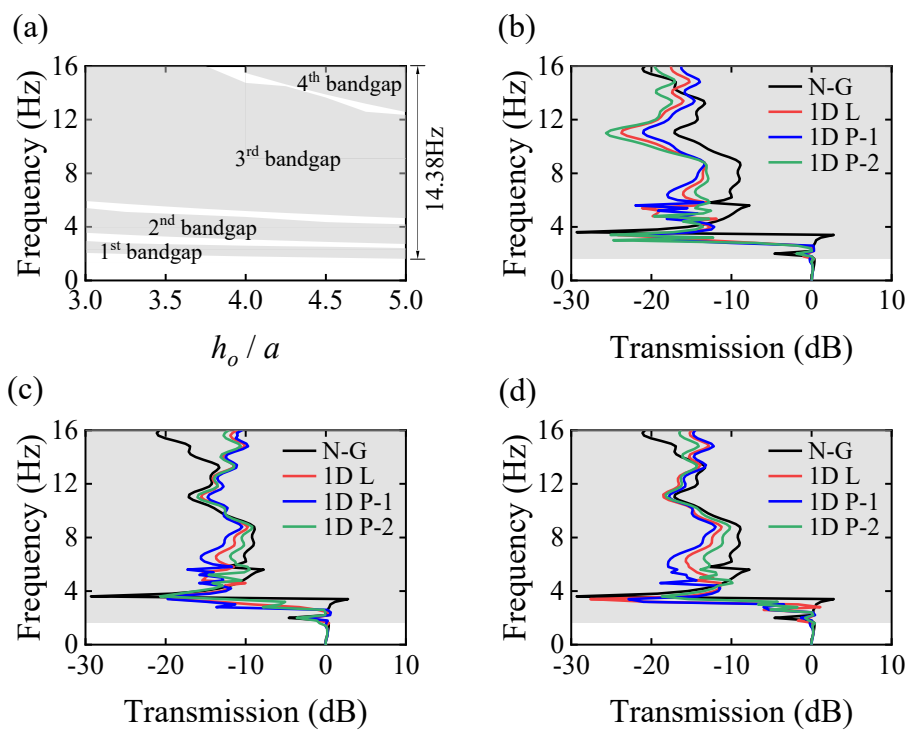


图 2.84

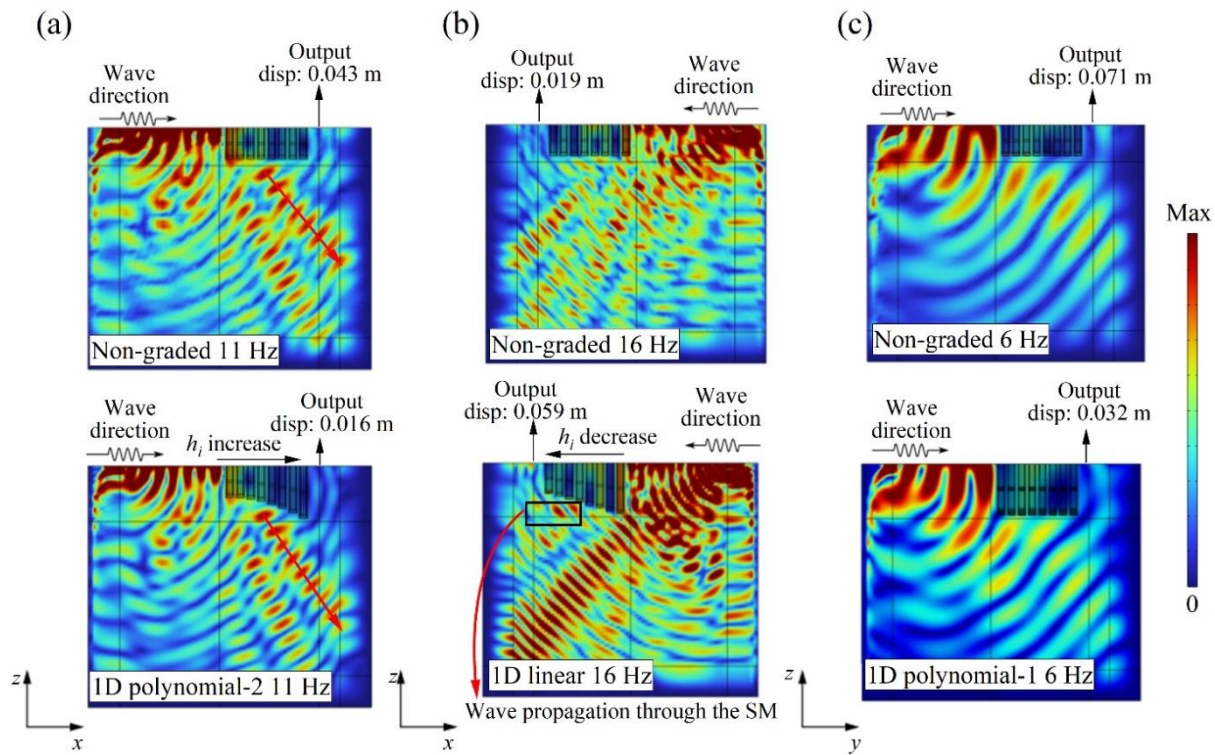


图 2.85

我们研制了多种可调节膜型声学超材料，兼具隔音与吸声功能。同时，开发了新型结构-声耦合数值模型，用以分析膜结构大变形如何影响声波调控性能。

设计 1:

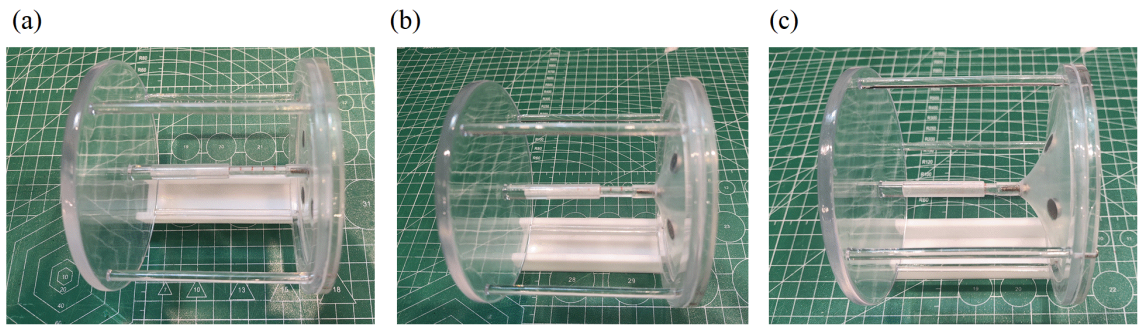


图 2.86

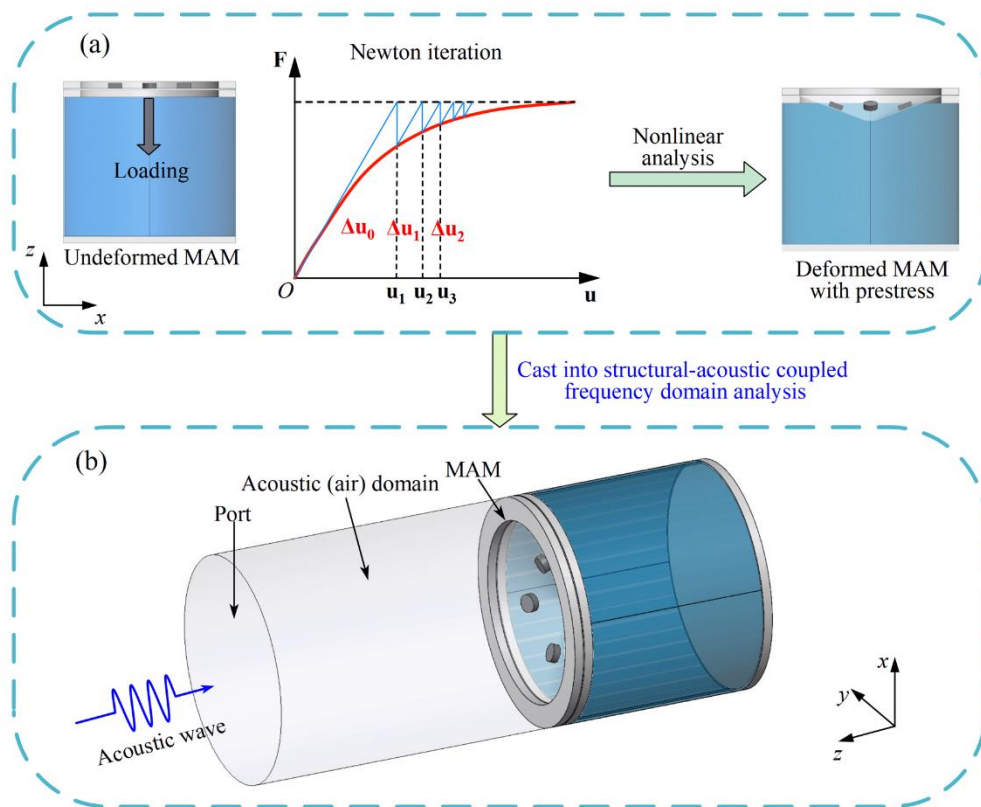


图 2.87

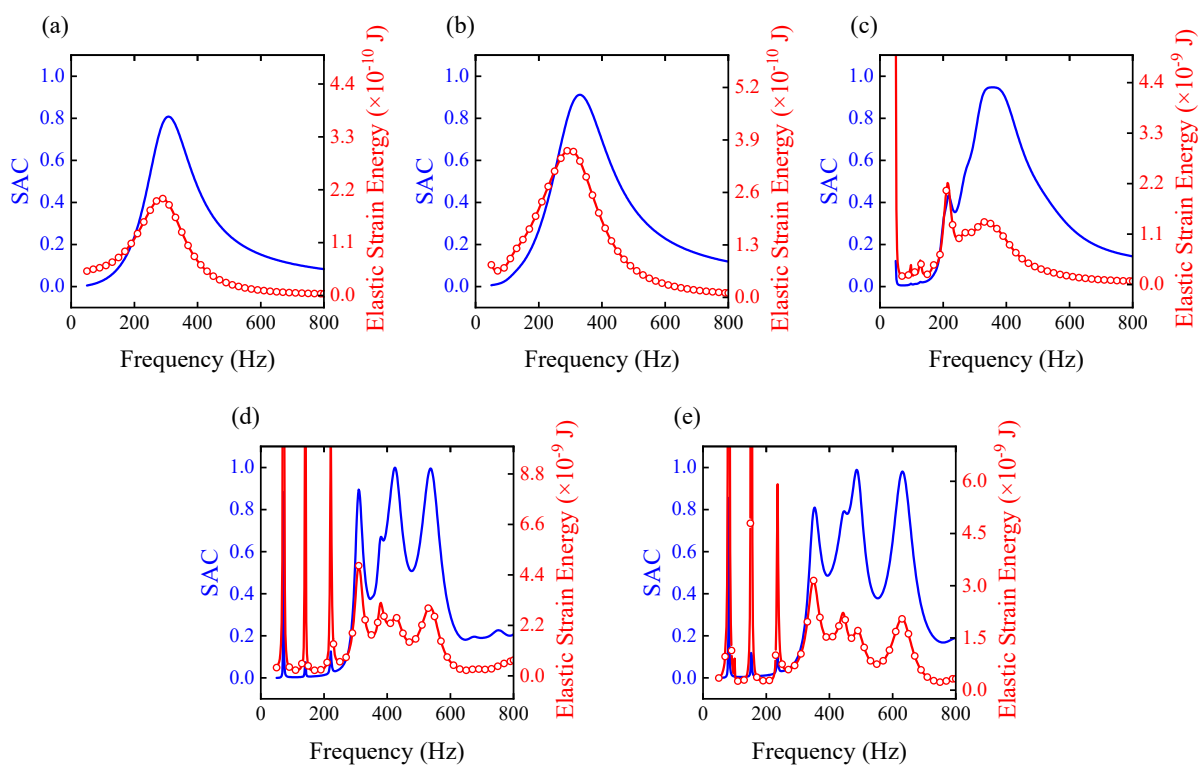


图 2.88

设计 2

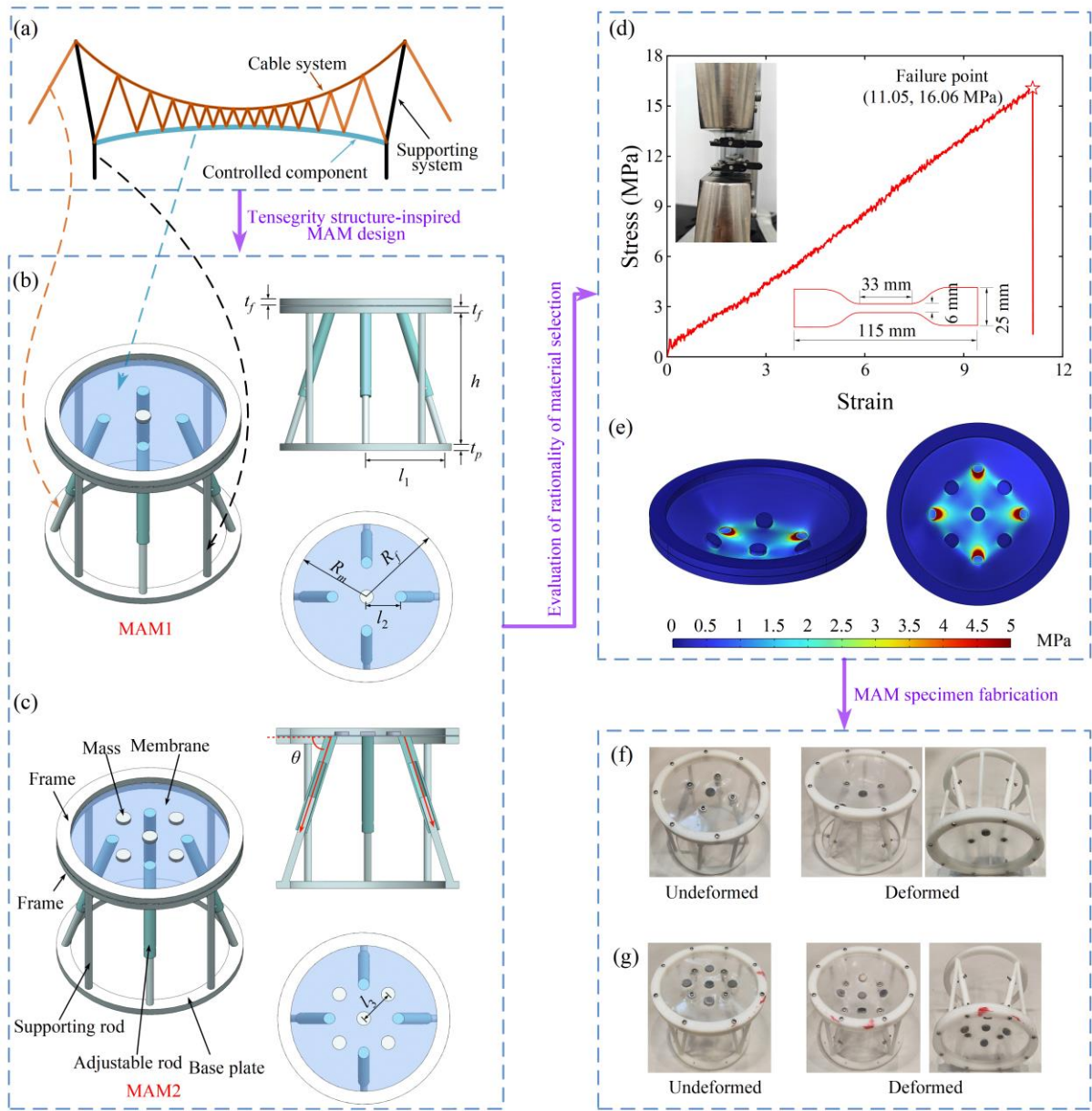


图 2.89

2.2.24 海上基础设施结构健康监测

我们创新性地整合深度学习方法，实现了系泊缆损伤的精准识别，该方法的可行性已通过美国全尺寸水池试验全面验证。

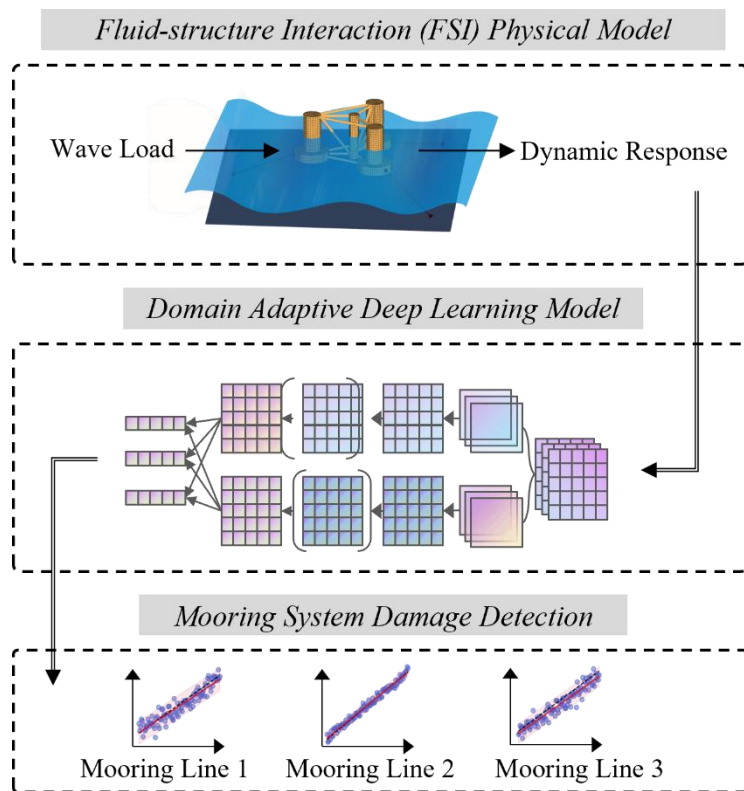


图 2.90

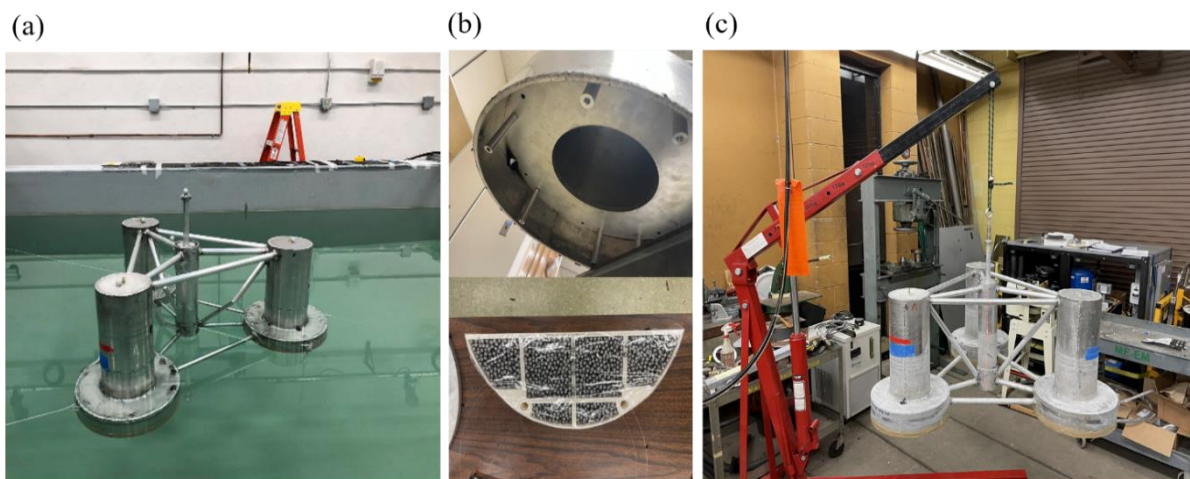


图 2.91

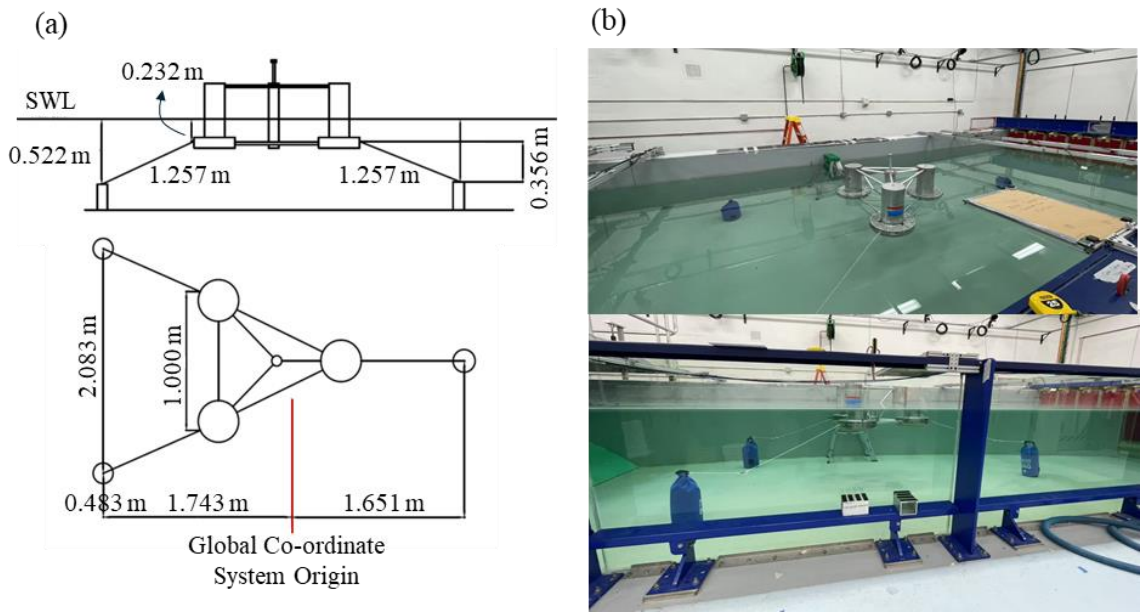


图 2.92

2.2.25 高可靠性多功能智能传感器

(1) 高可靠性多功能智能传感器开发项目

围绕轨道交通高可靠性、高集成度与智能化运维的迫切需求，项目团队针对结构健康监测领域中传感器在高寒、高海拔、强电磁干扰等极端环境下面临的稳定性不足、集成度不高及智能化水平有限等关键问题，系统开展了新一代轨道交通传感器技术研发与工程化应用研究，形成了具有自主特色的高性能多功能集成式一体化传感器系统解决方案。

该传感器系统面向高寒高海拔线路、复杂气候区段及强电磁干扰场景，主要应用于各类基础设施（轨道、桥梁、隧道、建筑等）结构安全监测场景，可实现多种参数动态数据采集以及板卡级边缘计算等功能。通过引入低温漂敏感材料、宽温域电子器件与多重抗干扰设计，显着提升了传感器在 - 40℃ 以下低温、昼夜温差剧烈等条件下的稳定性与一致性。同时，系统集成了多种感知功能，实现对振动、倾角、加速度、温度等关键结构参数的协同采集，减少了传统方案中多传感器分散部署带来的安装复杂、维护成本高等问题。在系统架构层面，项目团队进一步提升了传感器的集成度与智能化水平。通过在传感器节点中嵌入边缘计算与自诊断功能，实现了信号预处理、

异常特征提取及状态自监测能力，有效降低了数据冗余，提升了轨道交通关键结构在极端环境中的安全运行保障能力。



图 2.93 高可靠性多功能集成式一体化传感器

2.2.26 柔性传感器研发项目

针对列车高速运行及台风条件下结构表面风荷载分布难以精细获取的问题，项目团队开发了应用于分布式风压监测的柔性阵列压力传感器。该类传感器可大面积贴附于列车车体、隧道壁面或高层建筑玻璃幕墙等复杂曲面，实现对风压分布的高空间分辨率测量。相比传统刚性单点传感器，该方案能够连续获取风压时空变化信息，为空气动力学分析与结构安全评估提供更完整的数据支撑。

通过优化柔性传感单元结构、材料体系及信号采集方式，该柔性阵列压力传感器在兼顾高灵敏度与宽量程的同时，具备良好的耐疲劳性和环境适应性，能够适应轨道交通场景中长期振动、温度波动及户外服役条件。相关成果为风致振动分析、极端气象风险评估及结构安全预警提供了关键技术支撑。



图 2.94 柔性阵列传感器

2.2.27 降噪阻尼环环形测试跑道降噪效能测试

1.研究背景与项目概况

随着我国城市化进程的加速，地铁与城际列车运行引发的噪声污染问题已成为轨道交通可持续发展的瓶颈。为了响应《声环境质量标准》（GB 3096-2008）对昼间 70 dB(A) 的限值要求，由国家轨道交通电气化与自动化工程技术研究中心（香港分中心）主导，开展了针对车辆本体噪声控制技术的研究。本次现场实验由倪一清讲座教授指导，区玮玑博士、汪禹灵先生及陆雨航先生组成的科研团队于 2024 年 11 月在北京铁科院环形跑道试验基地顺利完成。实验采用非破坏性监测手段，重点研究了 CRRC-TS 型城际动车组在阶梯变速运行（40 km/h 至 140 km/h）过程中，不同材料与结构的阻尼环对轮轨啸叫声及车内结构声的抑制效能。

2. 实验设计与监测方法

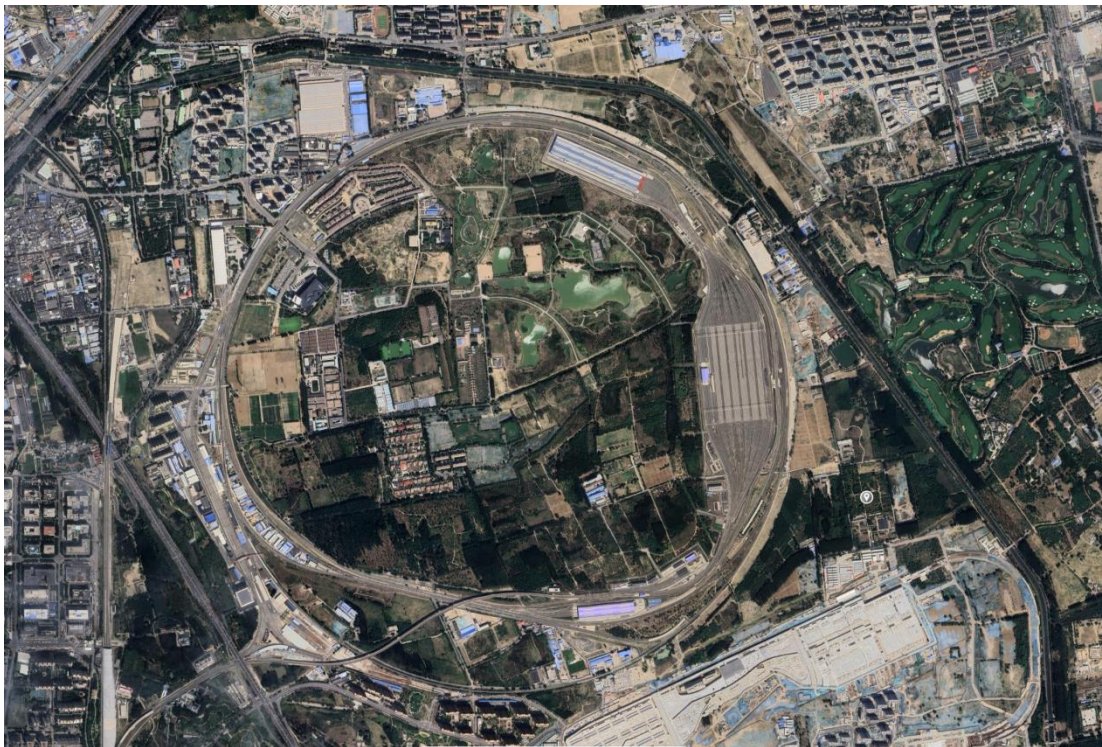


图 2.95 试验基地环形跑道

本研究在闭合环形轨道上实施，通过在一列车的五个转向架上配置不同的测试方案，实现了多工况并行对照：



图 2.96 轮轨近场麦克风传感器测点布置



图 2.97 车内麦克风传感器测点布置

测点布局：系统沿列车纵向布置了 8 个关键测点。其中 TP1-TP5 为轮轨近场测点（垂直距轨面 0.5 米），用于捕捉噪声源头辐射；TP6-TP8 位于客室内部（距地板 1.2 米），用于监测乘客感知维度的噪声。

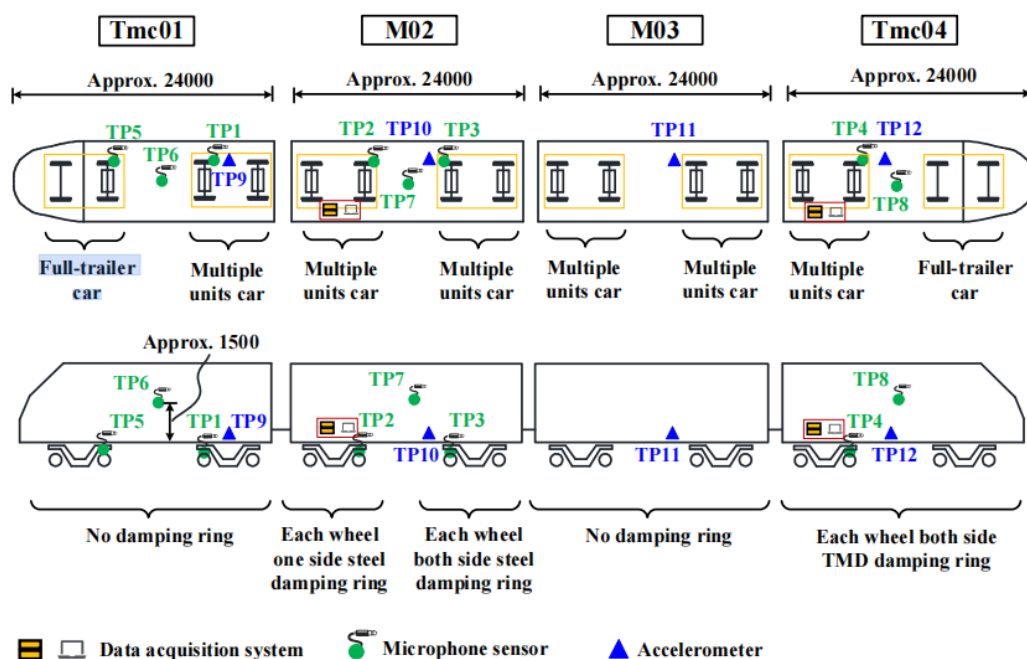


图 2.98 列车传感器分布

硬件配置：采用 B&K 4939 自由场麦克风（测量范围 16-143 dB）配合 Dewesoft SIRIUS 多通道系统，采样频率高达 50 kHz，确保对高频瞬态信号的完整捕捉。



图 2.99 数据采集系统

测试流程：列车在每个目标速级（40/80/100/120/140 km/h）匀速运行至少 500 米，待车速稳定在 ± 1 km/h 波动范围内触发采集，单组有效数据时长不少于 120 秒。

实验结果

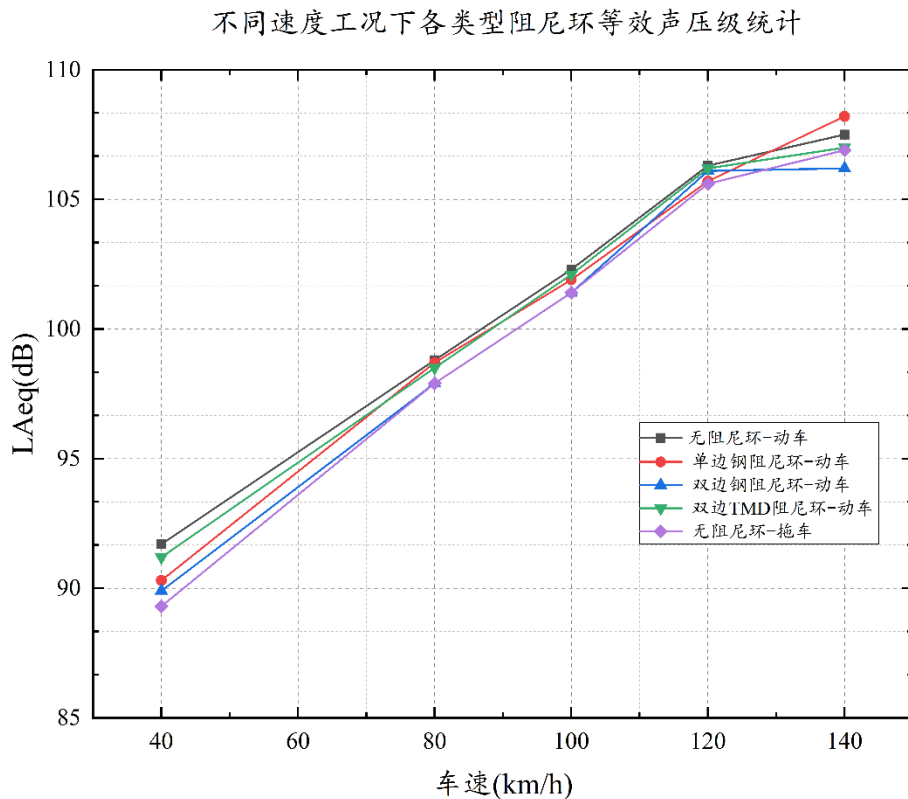
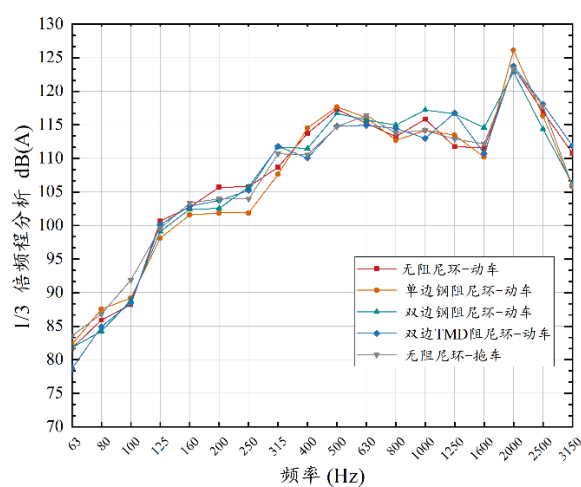


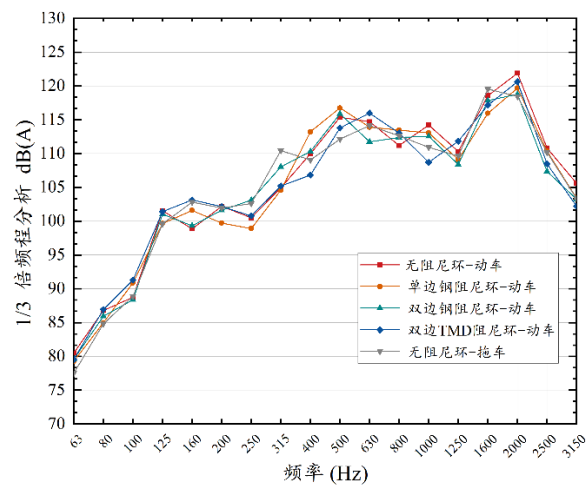
图 2.100 轮轨近场不同速度工况各类型阻尼环 LAeq 统计

实验重点评估了三种配置方案，发现降噪效能与运行速度呈现显著的相关性：

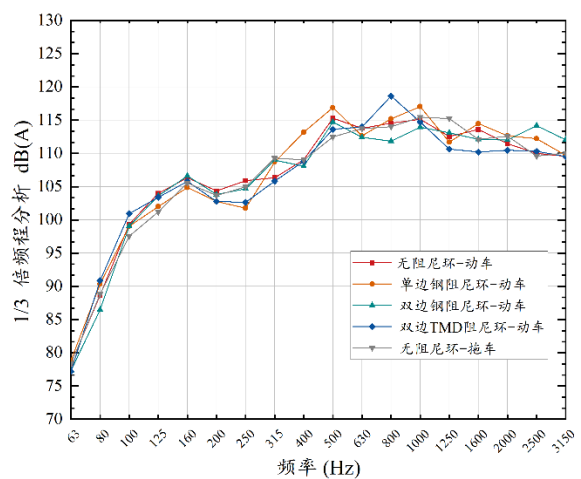
- **双侧钢质阻尼环 (TP3)：**展现了最优的宽频带抑制特性。在 40 km/h 的低速工况下，降噪量达 1.8 dB，且对 63-315 Hz 的中低频振动具有持续抑制作用，其车内结构声抑制效率比高达 89%。
- **TMD 型阻尼环 (TP4)：**表现出卓越的高速适配性。在 140 km/h 工况下，虽然其车外降噪量仅为 0.5 dB，但在车内展现了 4.9 dB 的显著降噪效能（是车外效果的 9.8 倍），精准阻断了转向架向客室传递的振动路径。
- **单侧钢质阻尼环 (TP2)：**在高速状态下暴露了降噪失效风险，非对称安装引发的模态耦合甚至导致部分频段噪声恶化。
- **速度模型验证：**实测噪声随速度的增长趋势与经典理论模型高度吻合，验证了数据的科学性。



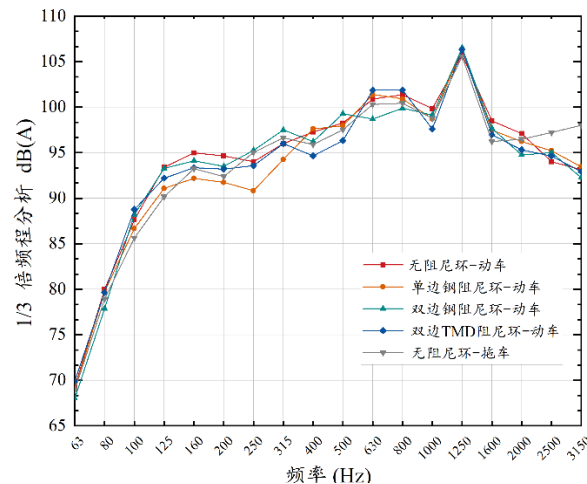
140km/h



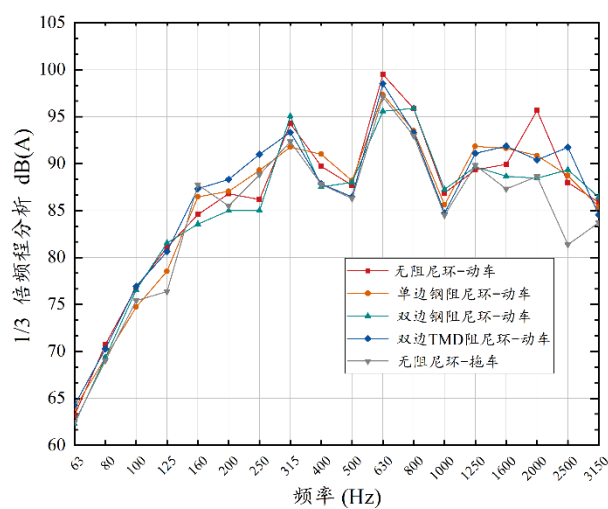
120km/h



100km/h



80km/h



40km/h

图 2.101 轮轨近场噪声不同速度下 1/3 倍频程统计

基于本次实测的频谱演化规律（1/3 倍频程分析），研究团队提出了以下协同控制策略：

- 城际铁路及高铁：优先在头尾车厢转向架部署 TMD 型阻尼环，利用其对高速啸叫的靶向抑制能力，确保客室噪声低于 62.2 dB(A)。
- 地铁系统：推荐采用 双侧钢质阻尼环，以应对频繁启停过程中的低频轮轨冲击噪声。
- 复合方案：针对长编组列车，建议采用“钢质+TMD”混合配置，以实现 500 Hz 至 2500 Hz 的全频域覆盖。

2.2.28 基于“全增材制造”的应用于高速列车结构的碳纤维增强聚合物原位健康监测

I. 研究进展综述

苏教授及其团队在多物理场拓扑超材料和智能功能结构领域进行了系统且深入的研究，旨在实现鲁棒的波操控及一体化的自感知能力。通过利用拓扑优化和逆向设计方法，团队开发了具有朗道能级（Landau levels）和高阶角态的新型声学、弹性及光子拓扑绝缘体，以克服传统的传播损耗，实现灵活的大面积能量传输。同时，团队引入了先进的增材制造和超快光声技术，对碳纤维增强聚合物（CFRP）和结构电池进行功能化处理，在不损害机械完整性的前提下，有效地将实时健康监测网络嵌入承重结构中。在此基础上，进一步融合了机器人语义感知与全局定位算法，为下一代智能系统构建了一个整体框架，使其兼具卓越的物理波导特性和自主环境感知能力。

基于朗道能级的鲁棒声波操控

为了实现灵活的声能量传输，团队首先建立了基于 $k \cdot p$ 微扰理论的连续介质模型，以可视化声学朗道体模态（Landau bulk modes）。通过设计模拟强伪磁场的梯度变化晶格，成功引导声能量沿特定的 Z 形导电通道传输。如图 2.102 (a) 所示，这种设计即

使在尖锐的拐角处也能有效抑制背向散射，为构建任意波路径提供了新范式。针对传统拓扑绝缘体的带宽限制，团队进一步在弹性系统中开发了宽带超声手性朗道能级。通过在晶胞中引入旋转对称子结构，打破空间对称性以诱导手性模态，显著扩展了鲁棒超声传输的工作频率范围。此外，为了证明这些拓扑保护的普适性，团队构建了自旋锁定的声学螺旋朗道能级。研究人员证明，通过操控伪自旋-动量锁定机制，可以在六边形和正方形晶格中实现鲁棒的单向传输。如图 2.102 (b) 所示，这一发现证实了拓扑保护是哈密顿量的固有属性，无论具体的晶格对称性如何均依然有效。

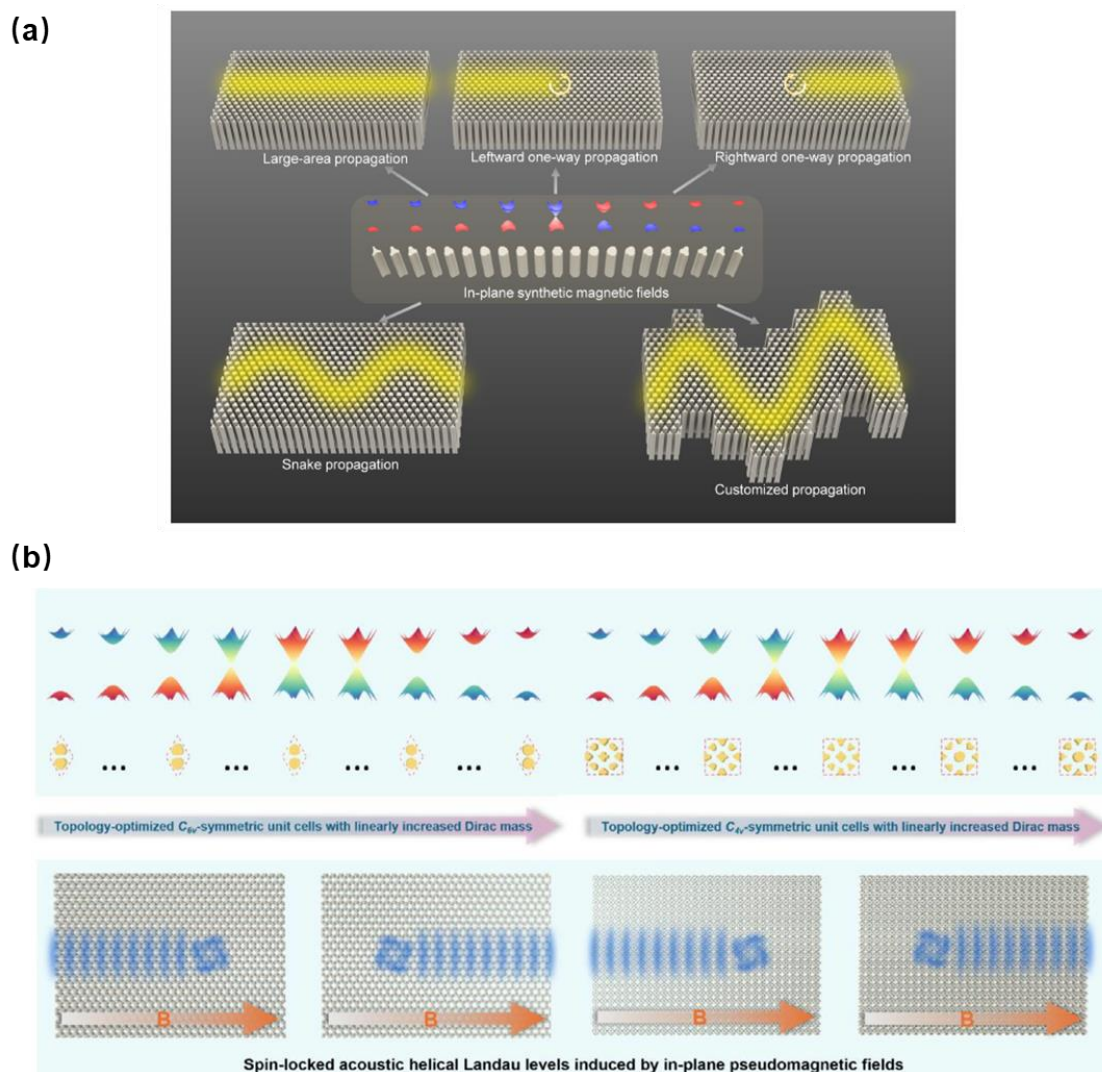


图 2.102 拓扑朗道能级。(a) 由朗道体模态实现的 Z 形声能量路径的可视化，显示出对背向散射的免疫性。(b) 在不同晶格对称性的超材料中实现的自旋锁定螺旋朗道能级的色散关系和模态形状。

高阶拓扑与逆向设计优化

为了在微尺度器件上实现高密度信号处理，团队利用 MEMS 技术设计并制造了片上二阶弹性拓扑绝缘体。这项工作旨在精确操控角态；通过控制胞间和胞内耦合，该器件成功地对“面外”和“面内”角模态进行了解复用。如图 2.103 (a) 所示，这允许在单个芯片内分离不同的弹性波模态，为集成声学逻辑器件铺平了道路。为了进一步提升此类器件的性能，团队提出了拓扑优化赋能的双频二阶弹性拓扑绝缘体。与通常局限于单频功能的传统正向设计方法不同，该方法利用逆向设计算法对材料分布进行数学优化。如图 2.102 (b) 所示，所得结构能够同时在两个不同的频段内将声能量严格限制在角态，从而最大化局域化效率和频谱利用率。

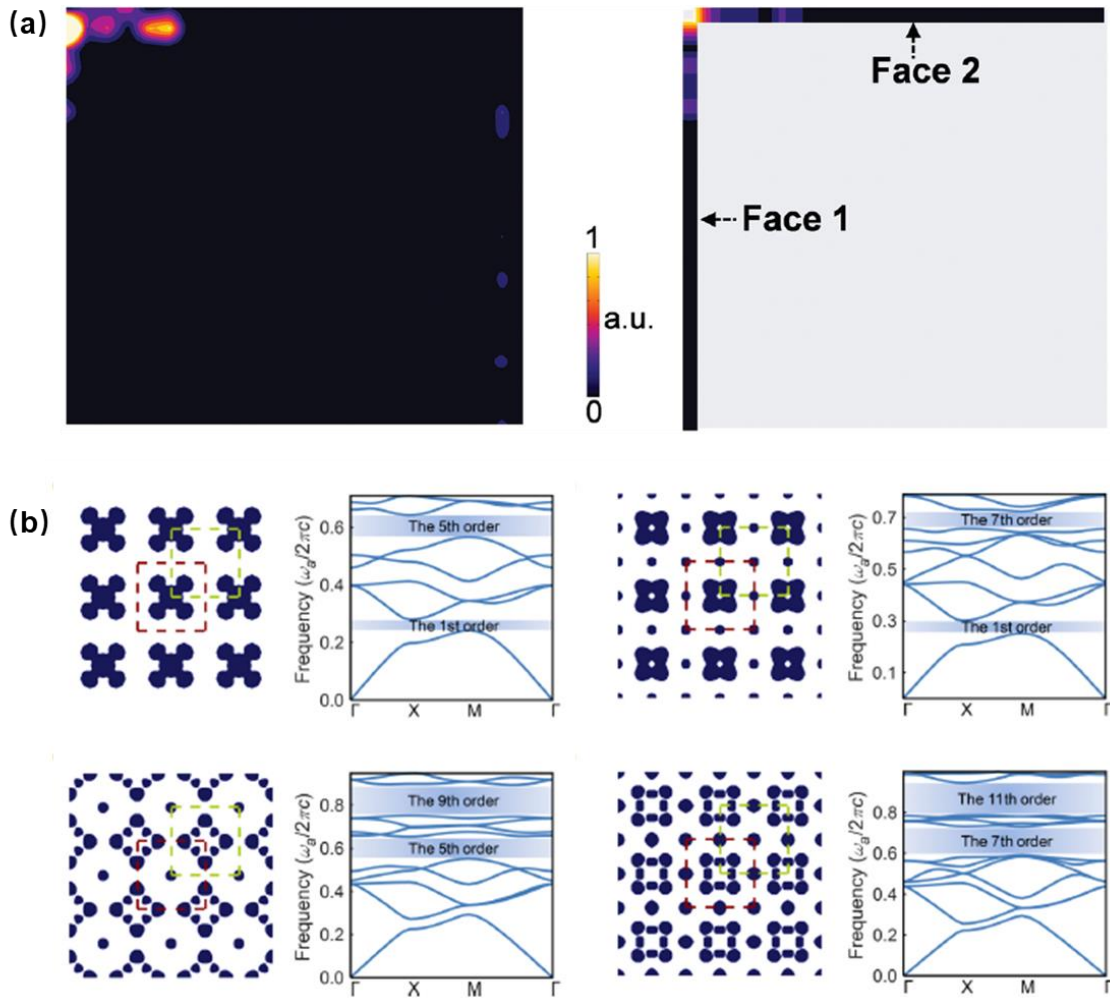


图 2.103 高阶拓扑器件。(a) 用于模态解复用的片上二阶弹性拓扑绝缘体的实验测量结果。(b) 拓扑优化后的结构展示，在两个不同频率下均实现了严格的角态限制。

多物理场超材料与波前控制

为了实现对声和光的同步控制，团队实验实现了光声拓扑绝缘体。挑战在于创建一个同时拥有声波和光波带隙的结构；团队通过设计双尺度周期性结构解决了这一问题。如图 2.104 (a) 所示，这一统一平台在重叠带隙内支持两种物理场的鲁棒边缘态，为新型声光相互作用器件奠定了基础。在波前操控领域，团队针对能量难以聚焦穿过障碍物的难题，展示了可重构的超声聚焦效应。通过声学屏障的逆向设计，他们创造了一种能够重塑波前以穿透散射介质的超透镜。如图 2.104 (b) 可视化所示，声场成功聚焦穿过屏障并具有高透射增强，且焦点可动态调整，这对医疗超声和无损检测至关重要。

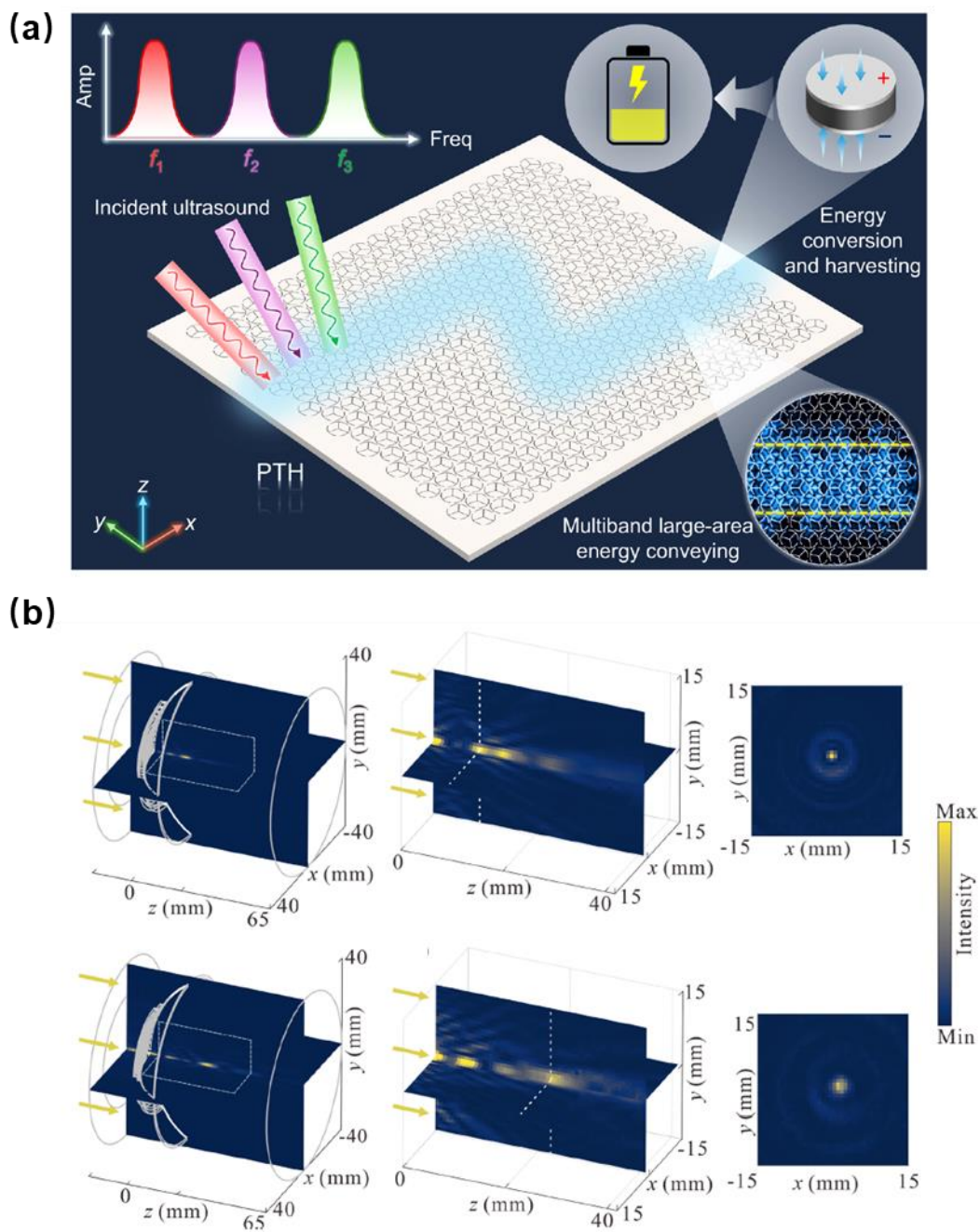


图 2.104 多物理场与波前控制。(a) 用于同步声光控制的光声晶体的能带结构和场分布。(b) 通过逆向设计的超透镜实现超声聚焦穿透障碍物的仿真与测量。

智能功能结构与增材制造

为了解决复合材料中传感器脱落的长期问题，团队针对碳纤维增强聚合物引入了“全增材制造”策略。利用连续纤维 3D 打印技术，将超灵敏自感知网络直接集成到承重

结构中。如图 2.105 所示，这种集成的“神经系统”使复合材料能够实时监测应变并检测结构损伤，无需外部仪器即可确保长期可靠性。此外，针对新兴储能系统的安全问题，团队开发了用于结构电池的可植入式石墨烯/PVA 涂层玻璃纤维。这些功能化纤维具有双重用途：增强机械结构并作为内部传感器。如图 2.105 (b) 所示，它们能够在复杂的电化学循环和外部加载过程中实现原位应变监测，为防止电池失效提供关键健康数据。

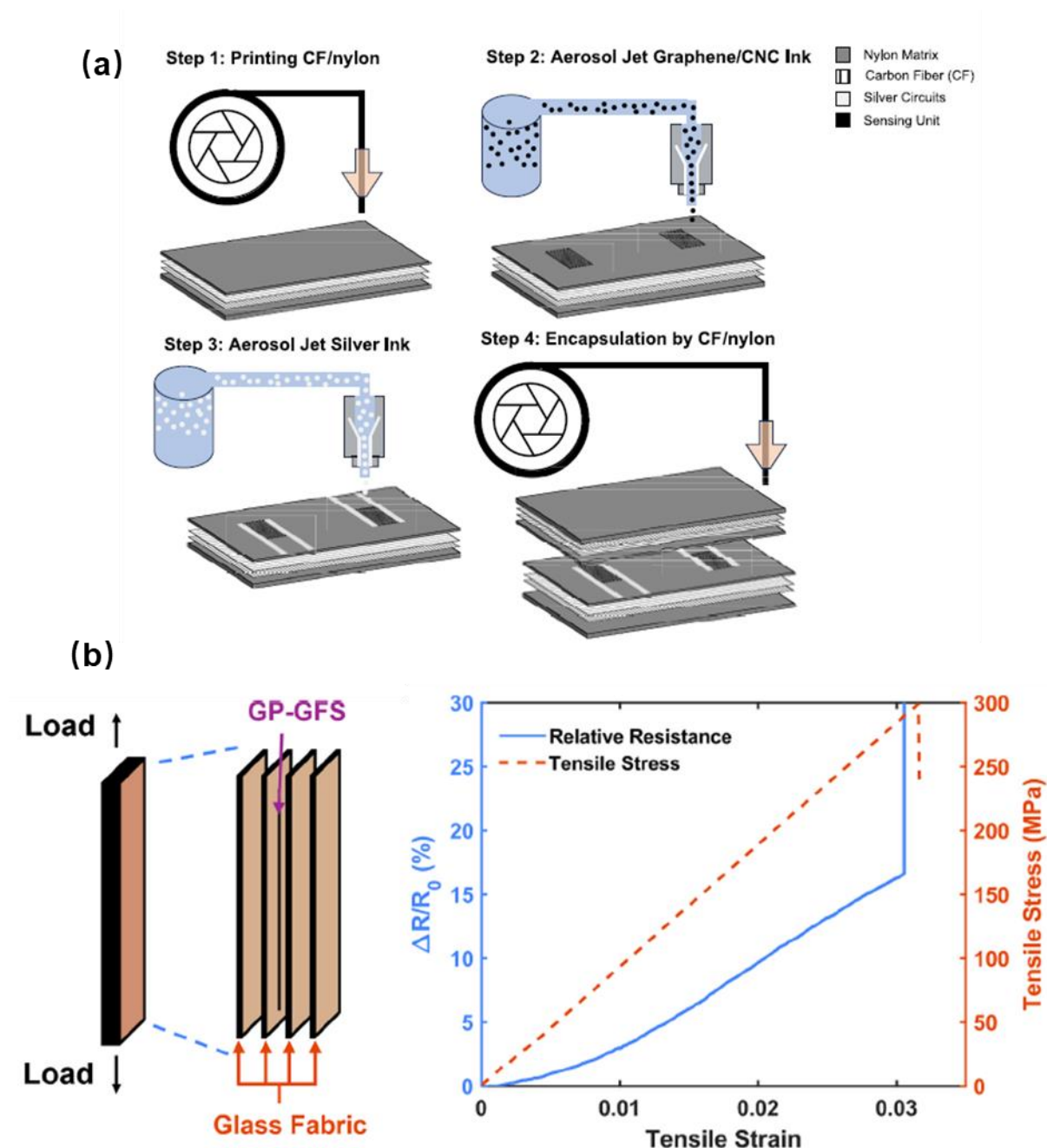


图 2.105 智能功能结构。(a) “全增材制造”工艺示意图及嵌入传感器的打印试样。(b) 带有可植入石墨烯涂层纤维用于原位监测的结构电池配置。

光声技术与机器人语义感知

针对半导体器件的无损检测，团队开发了一套超快激光赋能的光声表征系统。传统光学方法往往无法观测表面以下的情况，该系统利用光声效应产生可穿透材料的高频声波。如图 2.106 (a) 示意图所示，它成功地以亚光学波长的分辨率对微芯片的三维纳米级内部特征进行成像，揭示了以前不可见的缺陷。在宏观尺度上，为了解决自动驾驶中的“唤醒”问题，团队提出了 TripletLoc，一种语义辅助的单次全局定位系统。该方法不依赖计算量大的原始点云，而是从激光雷达扫描中提取语义三元组（物体及其空间关系）。如图 2.106 (b) 所示，通过构建和匹配轻量级拓扑图，该系统实现了单次扫描与大规模地图的快速鲁棒配准，在动态城市环境中显著优于传统方法。

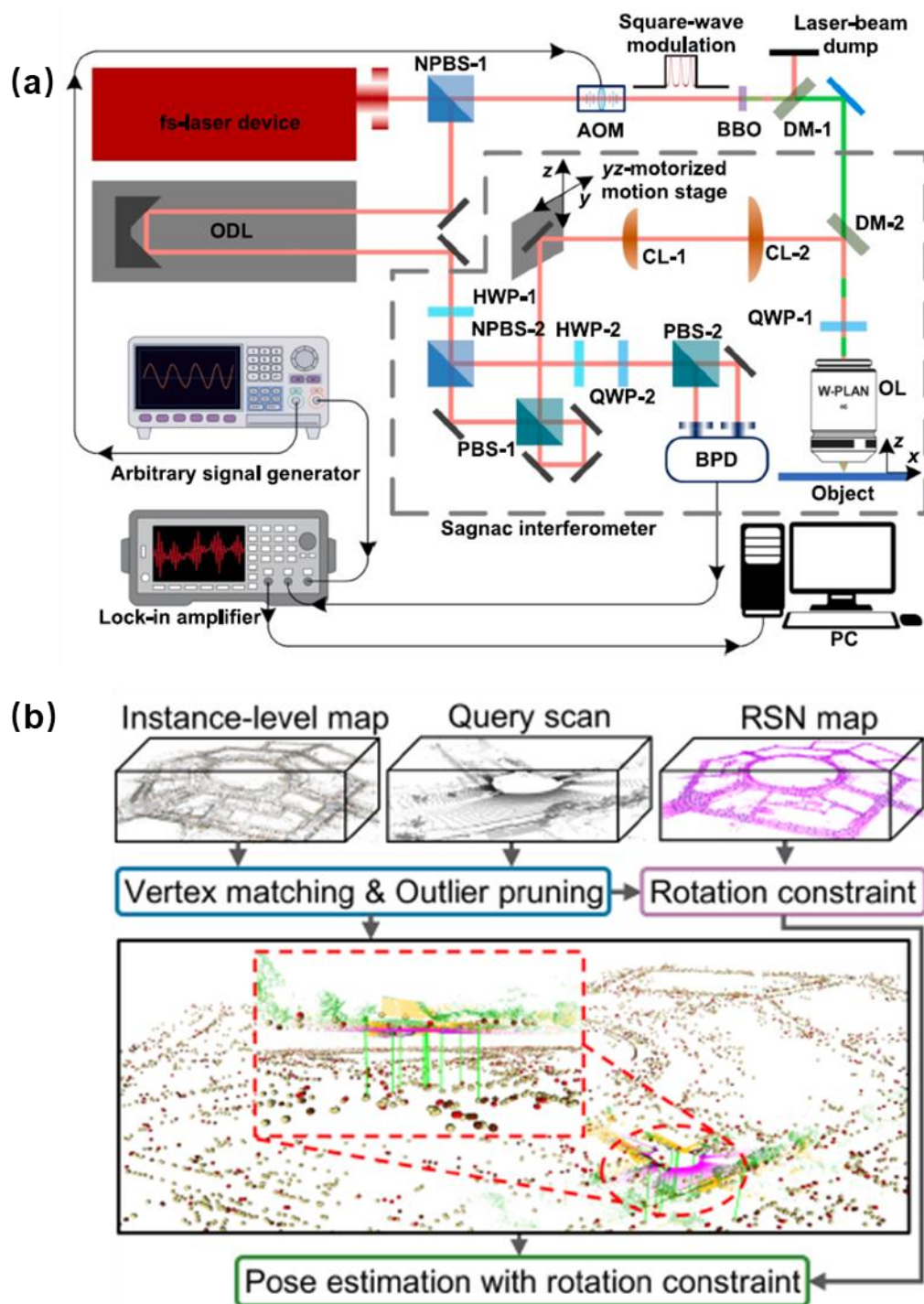


图 2.106 先进感知系统。(a) 用于微芯片检测的超快激光赋能光声成像系统装置。(b) TripletLoc 工作流程，展示了用于机器人全局定位的语义三元组生成与图匹配。

2.2.29 基于分布式光纤声波传感（DAS）的地面塌陷监测系统研发

本项目的核心突破在于将 DAS 数据采集与多道面波分析（MASW）技术深度融合，成功实现了对短时、短距离数据的精细化分析，达到了约 3 米的探测空间分辨率。主要成果如下：

- 短距离 DAS 数据的高精度成像验证：针对深圳市两组仅 50 米长的地面塌陷监测数据进行了深入处理，证实了利用短距离 DAS 数据实现高精度（3m 分辨率）连续剪切波速度成像的可行性与有效性。
- 先进的 DAS 数据降噪技术：开发了一种基于自监督学习（Noise2Noise, N2N）的模型，专门用于去除 DAS 设备的本底噪声，特别是极具挑战性的相干衰落噪声。应用该模型后，噪声互相关函数（NCFs）的信噪比显著提升了 68%；同时，提取出的频散能谱能量更加集中，高频响应特性得到明显改善。
- 多重堆叠方案的优化评估：系统评估了五种不同的信号堆叠方案。研究表明，相较于相位加权叠加（PWS）和时频相位加权叠加（tf-PWS）方法，相干叠加法（CSA）展现出更快的收敛速度（仅需 5 分钟数据即可获得稳定的频散曲线），并能提供更稳定的高频信息。

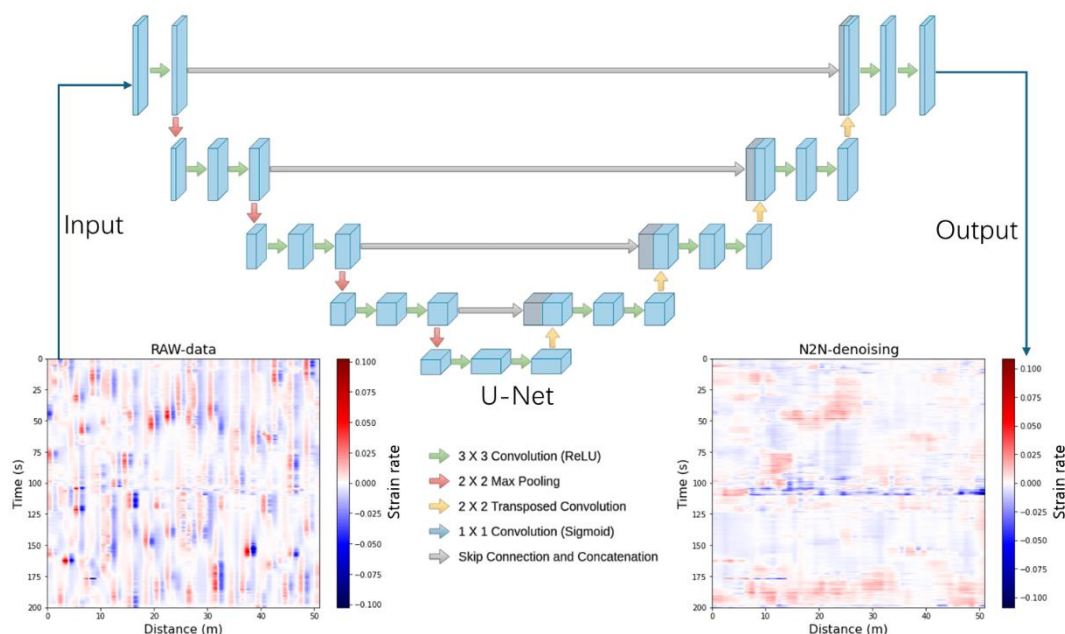


图 2.107 N2N 模型及其去噪结果

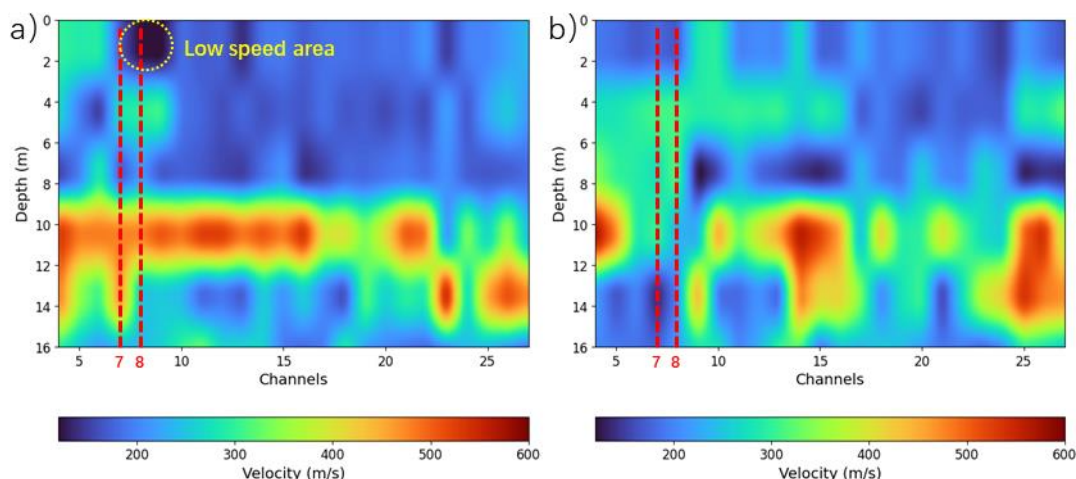


图 2.108 反演计算生成的 2D 剖面图

结合前述的无监督去噪模型与 CSA 堆叠方法，仅需 2 小时的 DAS 背景噪声数据，即可反演得到空间分辨率达 3 米、探测深度可达 20 米的剪切波速度剖面图。该方案为地面塌陷监测及浅层地下物理勘探提供了一种灵活、高效且极具经济效益的解决方案。

二、基于 DAS 的高速路旁落石监测系统研发

本项目在浙江省一段长达 17 公里的高速公路进行了长期的 DAS 数据采集。实验通过在路段不同位置控制不同质量的木桩自由下落以模拟落石事件，并融合多种深度学习模型实现了对落石信号的高精度识别与监控。

- **多模型融合的智能识别算法：**综合考虑信号的时频域特征与空间分布特征，创新性地将预训练音频神经网络（PANNs）与 ACMIX（Attention and Convolution Mix）模型进行融合。该算法在误报率低至 0.06% 的严苛条件下，仍能保持 90% 以上的识别精度。
- **现场模拟与实验室滑坡试验相结合：**为了深入探究落石信号的物理特性，除了现场模拟外，还专门在杭州实验室搭建了滑坡落石试验台。通过系统分析不同下落高度及不同边坡倾角下的落石数据，精准刻画了落石信号在时频域及空间上的分布规律。

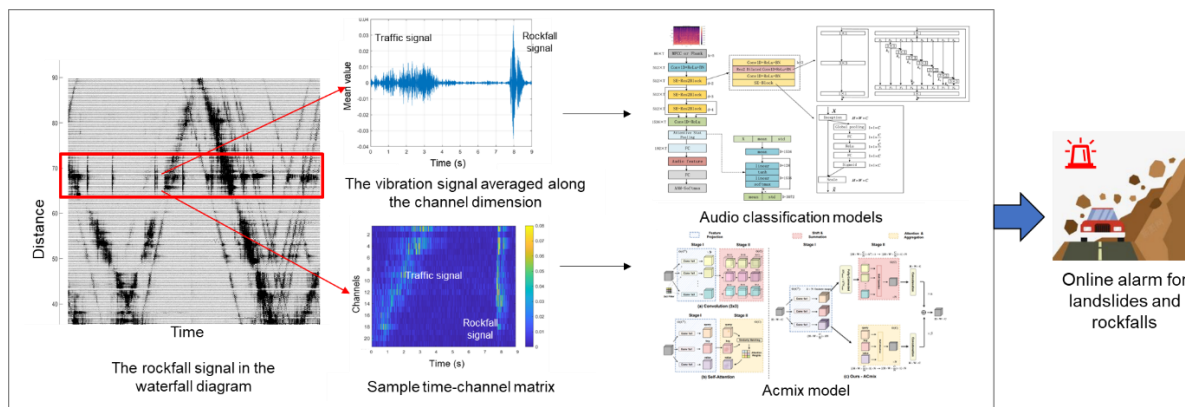


图 2.109 基于 DAS 的多模型融合落石在线监测系统

结论

本研究成功构建了一套基于分布式光纤声波传感的交通基础设施在线监测系统，为提升铁路基础设施的运营安全性提供了坚实的科学依据与技术支持。

2.2.30 用于未知结构参数识别的基于物理知识的新型神经网络框架开发

我们提出并验证了一种新型的物理信息神经网络（PINN）框架，可在稀疏测量数据条件下识别未知结构参数，从而支持工程结构的实际评估与健康监测。该方法包含两项关键改进：其一，将解析推导的调制函数与神经网络输出进行拼接，以硬约束方式嵌入边界条件，消除与边界条件相关的惩罚项，在保证约束被精确满足的同时提升收敛性能；其二，引入辅助输出作为神经网络输出的低阶导数，将高阶控制方程降阶为耦合的一阶或二阶形式，从而降低自动微分的计算开销，并缓解梯度爆炸或消失问题。

所提出的框架被用于识别结构中半刚性节点的未知转动刚度。针对具有半刚性端部节点的变截面悬臂梁以及包含两处半刚性节点的单跨框架开展的数值研究表明，仅需少量挠度测量即可实现高精度刚度识别。该方法在存在测量噪声时仍保持良好鲁棒性，并在效率与精度方面均优于采用软约束的传统 PINN 方法。最后，通过试验验证了其工程可行性：在所有测试工况下，所提出方法识别得到的节点转角与实测值的误差

均控制在 5%以内。总体而言，本研究为结构参数的在线无网格、数据高效识别与全场响应重构提供了一条可行路径；训练得到的代理模型还可在无需网格剖分的情况下计算任意位置的挠度、转角及内力。

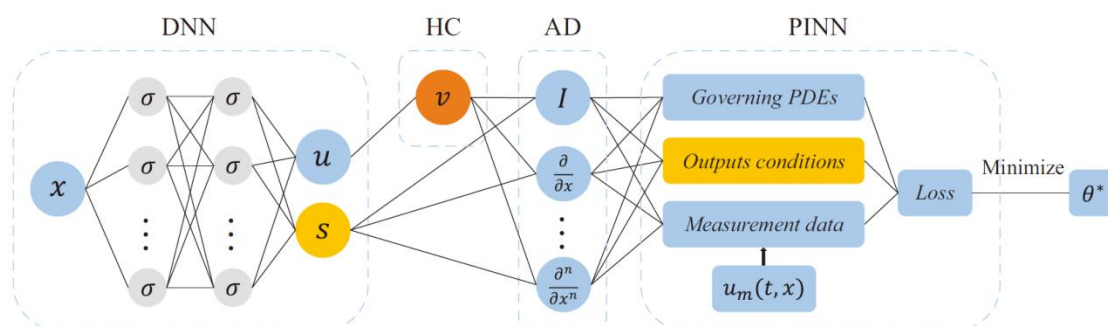


图 2.110 开发的用于未知结构参数识别的基于物理知识的新型神经网络框架

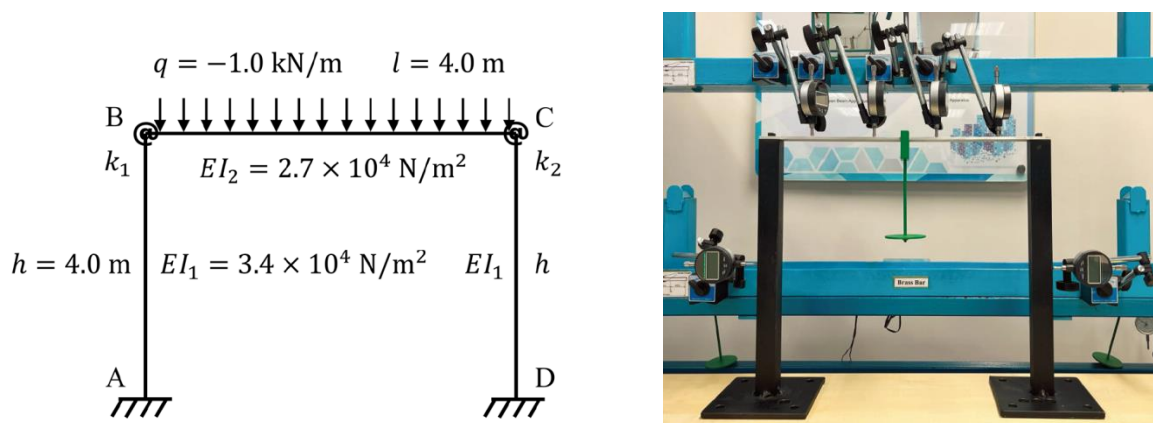


图 2.111 所提框架的数值与实验验证

2.2.31 深度学习赋能的热带气旋路径及强度预报技术

作为最具破坏性的自然灾害之一，热带气旋对人类生命、财产以及铁路等关键基础设施构成严重威胁。因此，精准、快速地预测热带气旋的路径与强度，对灾害预警和风险防控具有重要价值。本研究探讨了如何运用深度学习技术赋能热带气旋路径与强度预测，主要研究成果总结如下：

- 本研究提出了一种新颖的基于深度学习的多模态序列到序列模型（MSSTC），用于预测热带气旋强度。与传统的深度学习方法直接提取并融合多源数据特征不同，MSSTC 模型采用编码器-解码器架构，首先从各输入通道

生成伪预测序列，再对这些预测序列进行特征提取与融合，从而实现多模态信息更高效的整合。此外，该框架结合了时序编码与基于 Transformer 的架构，以增强模型捕捉热带气旋演变过程中时序特征与相关性的能力。实验结果表明，所提出模型相较于气象业务预报的平均性能提升超过 20%，并在预测准确率上超过当前主流深度学习模型 15%以上。

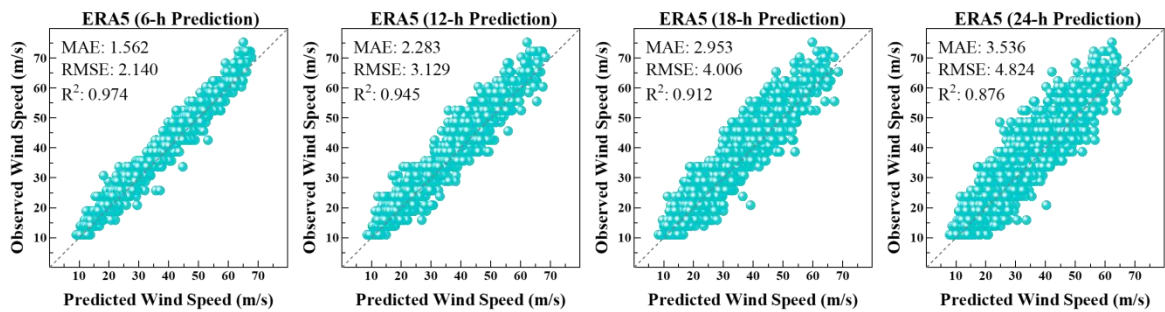


图 2.112 MSSTC 模型的热带气旋强度预测散点图

本研究评估了 2018 年西北太平洋区域热带气旋的路径与强度预测能力，方法是以五种基于深度学习的全球模型提供边界条件，驱动基于物理过程的天气研究与预报（WRF）模型进行模拟，并对比其结果。这些混合配置——WRF-FengWu、WRF-FourCastNetV2、WRF-FuXi、WRF-GraphCast 和 WRF-Pangu（统称为 DLWRF）——与以集成预报系统（IFS）和全球预报系统（GFS）初始化的 WRF 设置（即 WRF-IFS 和 WRF-GFS）进行了对比。在路径预测上，DLWRF 模型整体优于基准模型：相较于 WRF-IFS，其在 72 小时、120 小时和 168 小时预报时效的位置误差分别平均降低 5.8%、17.9%和 41.9%；相较于 WRF-GFS，则分别平均降低 41.7%、36.8%和 55.5%。在强度预测方面，DLWRF 模型在这些预报时效上的最大风速预测性能平均与 WRF-IFS 和 WRF-GFS 相当；而在最低中心气压预测上，其误差在 120 小时时效平均较 WRF-IFS 低 7.4%，较 WRF-GFS 低 17.1%；在 168 小时时效则平均较 WRF-IFS 低 16.9%，较 WRF-GFS 低 10.0%。

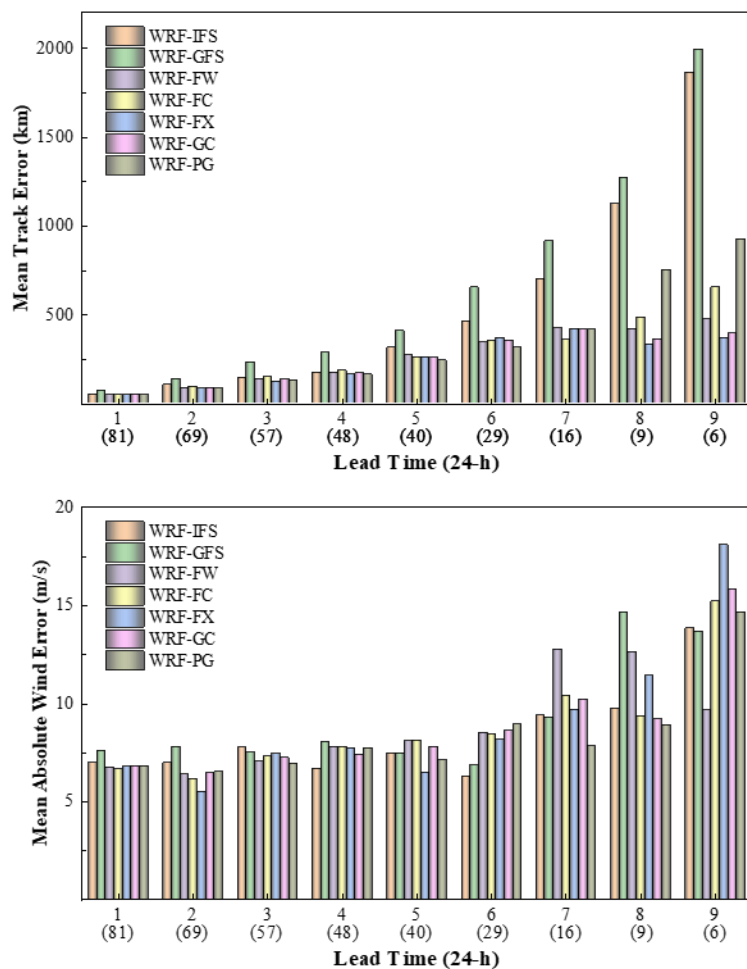


图 2.113 热带气旋路径及强度预测性能对比

2.2.32 基于移动式传感器与无基线机电阻抗技术的混凝土保护层脱空无损检测方法的研发

朱教授研究团队开发了一种基于移动式传感器与无基线机电阻抗技术的混凝土保护层脱空无损检测方法。如图 2.114(a) 和 (b) 所示, 该移动式系统由一个 PZT 矩形片和双面胶组成。通过无基线阻抗技术提取与脱空缺陷相关的谐振峰后, 即可确定并估计脱空的位置与尺寸。图 2.114(c) 展示了用于实验验证的钢筋混凝土板试件。该试件包含两根钢筋, 测试前施加电流以加速腐蚀过程。经过 180 小时的加速腐蚀后, 检测结果如图 2.114(d) 所示。各测试点的一阶谐振峰表明, 左侧钢筋对混凝土板造成的损伤大于右侧钢筋。根据谐振峰频率分析, 推算所得脱空宽度约为 97–112 mm。

在香港进行了现场测试, 以评估所提出技术在实验室条件之外的适用性, 并验证其在

实际工程环境中的有效性。该方法被应用于一栋老旧建筑，对其中一个房间的混凝土楼板进行了检测。随后对可疑区域的混凝土进行了移除以进行验证。检测结果如图 2.115(a) 所示，实现了成功检测；如图 2.115(b) 所示，发现了一根直径约为 7 mm 的已腐蚀钢筋。

总体而言，本研究开发了一种将单个可移动传感器与无基线机电阻抗技术相结合的快速、可靠的混凝土脱空无损检测方法，为未来的研究与工程应用开辟了新的方向。

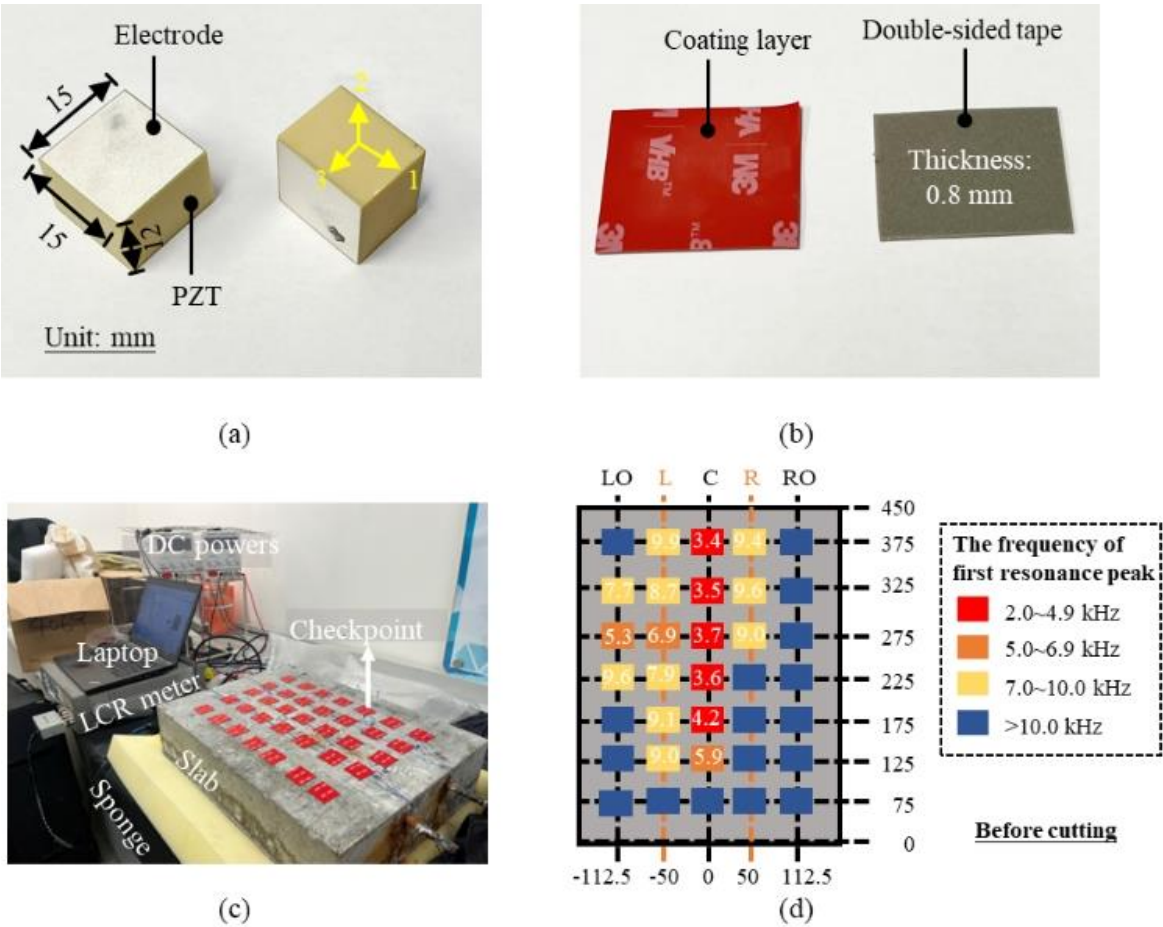


图 2.114 所开发的移动式传感器，试验设置与结果：(a) PZT 传感器细节；(b) 双面胶细节；(c) 试验设置；(d) 第一阶谐振峰的频率

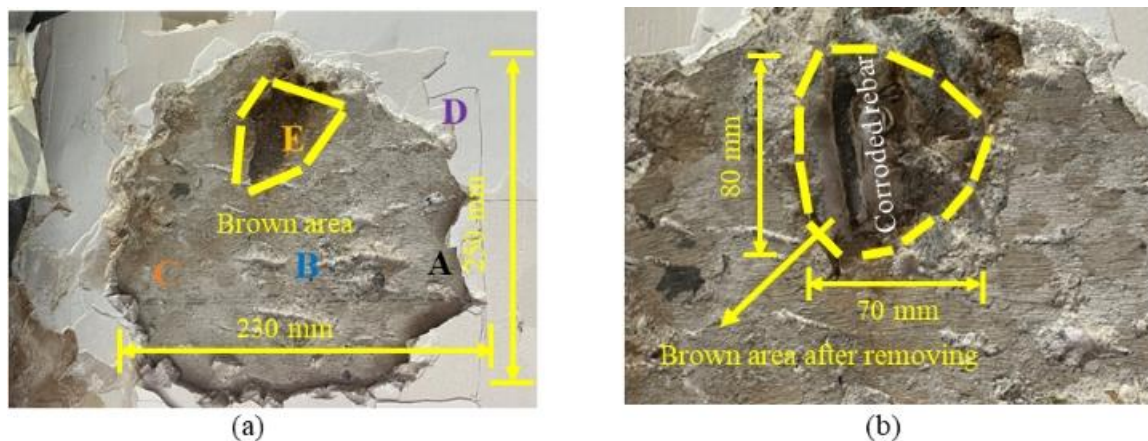


图 2.115 香港现场验证的开挖结果：(a) 移除混凝土后的结果；(b) 腐蚀钢筋。

2.2.33 利用耦合谐振器的实现弹性表面波极端共振吸收

朱松晔教授与许逸飞博士开发了一种仅利用两个放置于半无限基底上的定制谐振器来实现表面波极端转换的新方法。通过利用两个谐振器之间的近场耦合，可以调控耦合共振特性以调整远场散射模式，从而为超材料设计提供新的自由度。

传统的超材料通常依赖大量亚波长散射单元来形成带隙，以实现声波或弹性波的异常调控。尽管此类设计展现出优异的波操纵潜力，但大量散射单元的存在也极大程度的限制了超材料和超表面实际效率。因为在实际应用中，不同散射单元的数量通常是有限的。

为克服这一难题，朱松晔教授与许逸飞博士提出了一种新的设计准则，用于开发调控弹性波的器件，为振动控制与能量采集领域的应用开辟了新的道路。该研究展示了如何通过调谐最小数量的散射体，以引导波能沿期望路径传播，并实现对给定入射波的控制目标。如图 2.116 所示，我们特别关注一对无需外部能量输入的无源谐振器。通过利用其近场倏逝耦合，反射和透射的远场表面波可被同时抑制，从而实现卓越的表面波转换效率。

研究建立了一个多重散射理论框架来描述两个谐振器之间的相互耦合作用，并通过其导纳算子量化施加于基底的力。通过针对特定的非对称散射模式（见图 2.117），解析地确定了所需的谐振器特性。如图 2.117 所示，总波场显示出反射与透射表面波几乎被完全抵消，从而实现了接近完全的波转换。

总体而言，所提出的设计框架基于多重散射理论，其通用原理适用于任何类型的经典波。

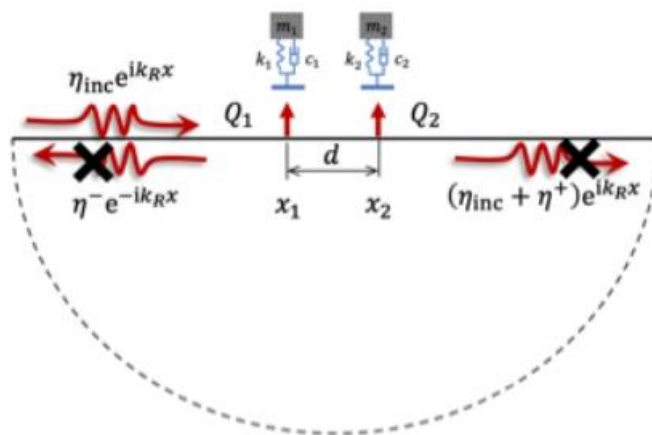


图 2.116 弹性半空间上两个谐振器对入射表面波的完美吸收，其中反射波与透射波被同时抵消。

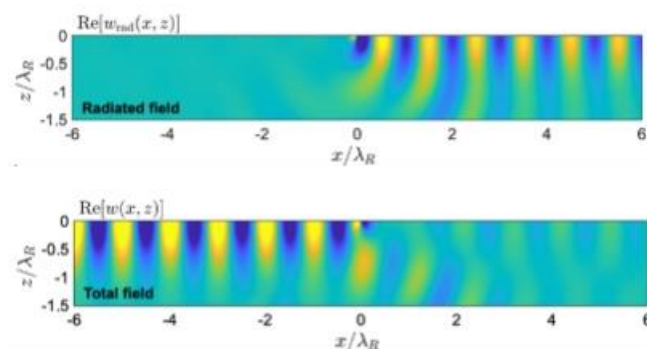


图 2.117 接近完全的瑞利波转换：辐射波场与总波场。

2.2.34 叠层厚橡胶支座动力特性试验研究

朱松晔教授和张增德博士正在对第一形状系数较小的橡胶支座开展动力特性试验研究，该类支座称为叠层厚橡胶支座。本研究的主要目标是揭示此类支座动态刚度随频率变化的规律。

试验研究中，针对不同压缩荷载下的叠层厚橡胶支座开展了力锤冲击试验。此外，通过设计具有不同几何参数的试件，以考察几何参数对其动力特性的影响规律。图 2.118 给出了用于叠层厚橡胶支座动力特性测试的试验装置示意图。试验中采用冲击力锤对试件进行激励，并在支座上下钢板处布置加速度计，以测量其动力响应。

基于试验测量结果，评估了叠层厚橡胶支座的动态刚度，并获得其加速度传递率。这些结果为叠层厚橡胶支座在宽频域范围内的隔振性能提供重要依据，同时也为优化其几何参数实现特定频带内振动控制的叠层厚橡胶支座设计奠定了基础。



图 2.118 弹性橡胶支座冲击试验示意图

2.2.35 一种新型连续可变惯容阻尼器的实验研究

朱松晔教授与卢聚彬先生成功研发并完成了一种新型可变惯容阻尼器的实验验证，标志着本研究计划中一项重要里程碑的顺利完成。所提出的可变惯容阻尼器旨在实现惯容系数与阻尼系数的连续且相互独立调节，从而有效克服现有基于惯容器装置在调节能力方面的关键局限性。最终形成的设计方案由三个主要功能模块构成。首先，采用由直线运动导轨约束的滚珠丝杠机构，实现了直线运动向旋转运动的高效转换，兼具较高的传动效率与良好的机械稳定性。其次，引入了与飞轮集成的无级变速传动装置，通过改变传动比来产生可调惯容，从而在较宽范围内实现平滑、连续的惯容调节。第三，将旋转式电磁直流电机集成于系统中，通过电磁阻力提供可控阻尼力。上述各功能模块的协同工作，使该可变惯容阻尼器结构紧凑、调节能力强，能够灵活满足结构振动控制中多样化的性能需求。

在完成结构设计后，研究团队加工制造了该新型可变惯容阻尼器的原型装置，并开展了系统而全面的实验测试。如图 2.119 所示，实验系统用于在可控加载条件下评估原型装置的力学行为、参数调节能力及整体性能表现。实验结果表明，该可变惯容阻尼器的惯容系数与阻尼系数均可实现连续且相互独立的调节，这一特性与基于优化设计的惯容阻尼器应用需求高度一致。与现有可变惯容阻尼器装置相比，所研制的原

型在调节灵活性和可实现参数范围方面均表现出显着优势。具体而言，该可变惯容阻尼器的惯容可在 $1.18 \sim 7.37$ 吨范围内调节，而其电磁阻尼系数可在 $0 \sim 41.46$ $\text{kN} \cdot \text{s/m}$ 范围内变化。上述实验结果验证了该 VID 具备较大且具有工程实用价值的调节区间，可广泛适用于地震和风致振动等多种结构振动控制场景。总体而言，该可变惯容阻尼器的成功设计、制造与实验验证，不仅圆满完成了本年度的一项关键研究目标，也为后续面向工程应用和系统层面的研究奠定了坚实基础。

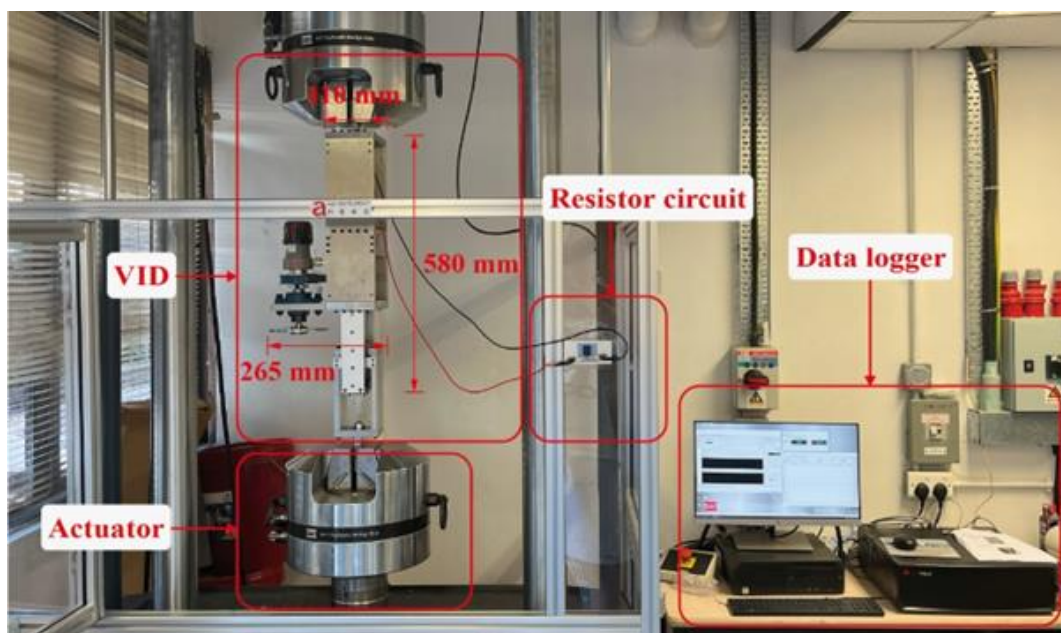


图 2.119 所研发可变惯容阻尼器的实验装置

2.2.36 深度强化学习弯曲梁主动非线性振动控制研究进展

朱松晔教授团队开发了一种基于深度强化学习（DRL）的无模型主动振动控制策略（图 2.120），针对非线性结构，验证平台为具有最高三阶几何非线性的浅弧形简支弯曲梁（图 2.121）。该方法将结构控制问题表述为马尔可夫决策过程，通过双延迟确定性策略梯度（TD3）算法训练神经网络控制器，与系统直接交互学习，无需精确数学模型。

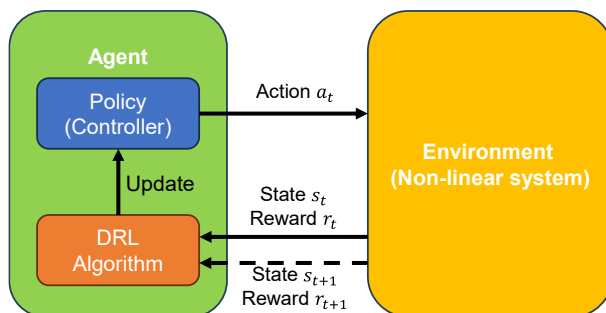


图 2.120 DRL 控制结构

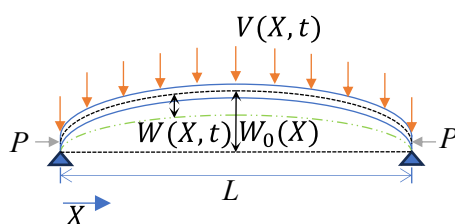


图 2.121 弯曲梁

数值研究系统对比了 DRL 控制器与一阶 LQR 及最高三阶多项式控制器的性能，涵盖自由振动、逃逸加载、阶跃加载及随机激励等多种工况。在自由振动接近屈曲逃逸点区域，TD3 控制器成功稳定系统至零平衡位置，实现了振动抑制与控制能耗的最优平衡。

在与静动屈曲相关的阶跃加载条件下，DRL 控制器将安全裕度较三阶控制扩大超过 20%，有效抑制了粘滑屈曲现象，同时展现了更优的能量效率（图 2.122）。在长时间随机白噪声激励下，低阶控制失效导致粘滑屈曲，而三阶控制和 TD3 均维持梁体在安全势阱内，DRL 在位移和控制力指标上性能更优（图 2.123）。

尽管仅针对特定阶跃加载训练，控制器在不同加载水平和随机激励下均表现出良好泛化能力，充分验证了 DRL 在非线性结构振动控制中的应用潜力。

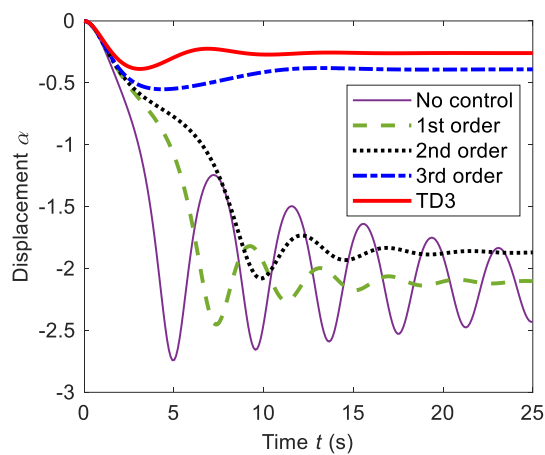


图 2.122 不同控制器阶跃加载时间历程对比

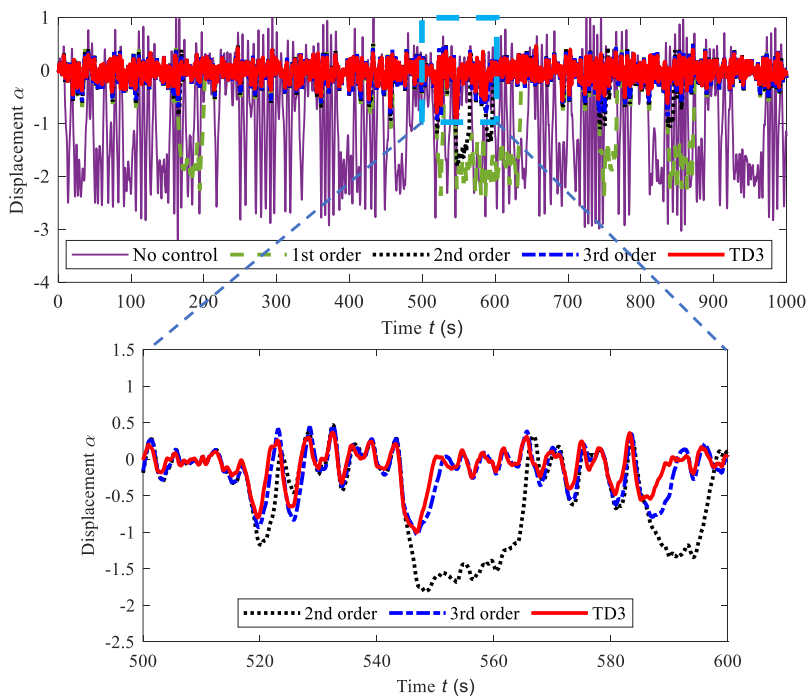


图 2.123 随机激励响应展示 DRL 鲁棒性

2.2.37 基于模型预测控制的电磁阻尼器在自供能主动控制高铁横向悬架中的研究

为了解决传统主动控制的高耗能瓶颈，朱松晔教授团队提出了基于模型预测控制来进行对电磁阻尼器（EMD）的主动控制，以此来实现主动控制和自供能的双功能。因为之前自供能主动控制的研究大量集中于简单的单自由度或者两自由度在简谐激励下的可行性，本文采用了高铁 17 自由度模型在德国轨道不平顺谱激励下的响应来研究

其可行性。主动控制原件是一个连接了 H 桥电路的电磁阻尼器 (HB-EMD), 可以让 EMD 和被控制结构进行双向的能量流动。如图 2.124 所示, 两个独立的主动电磁阻尼器分别装在高铁二系横向的前面和后面, 然后实现各自的自供能主动控制。

图 2.125(a) 显示了车体的横向加速度时间历程在 MPC ($N=30$), MPC ($N=11$), 半主动控制 LQG, 主动控制 LQG 这四种控制策略下的表现。 N 代表 MPC 的滚动窗口时间步长, R 代表 LQG 目标函数里面控制力平方前面的权重。可以看出 MPC ($N=30$) 可以取得和 LQG 比较接近的控制效果。但是比较图 2.125(b), 在电磁阻尼器中回收的能量随时间的变化可以看到 MPC 起初是消耗能量, 过了 10s 后逐渐开始积累能量, 但是主动控制 LQG 一直是消耗能量的状态。这是因为 MPC 通过对车体加速度和电路电流的实时观测来调整控制策略, 从而达到自供能主动控制。与 MPC 形成对比的是传统的 LQG 算法, 因为它的动力学模型没有考虑电路的动力特征, 它的目标函数用力的平方项来代表主动控制力的能量消耗, 却没有考虑电阻带来的能量消耗, 导致不准确的能量描述。所以通过设计 LQG 里面目标函数来实现主动控制自供能比较困难。主动控制 LQG 是否能达到自供能是由它的控制增益和电磁阻尼器的电磁耦合系数和内阻来决定的, 是没有办法实时调整的。

总体而言, 这项工作研究了高铁这个多自由度系统在随机激励下实现自供能主动控制的可行性, 为拓展到其他复杂结构奠定了理论基础。所提出的 MPC 控制器, 通过调节它的目标函数的权重, 可以让最终控制效果在两个原本互相对立的目标 (a) 减少振动为主 (b) 回收能量最大化为主之间过渡, 从而实现可以自供能的主动控制。

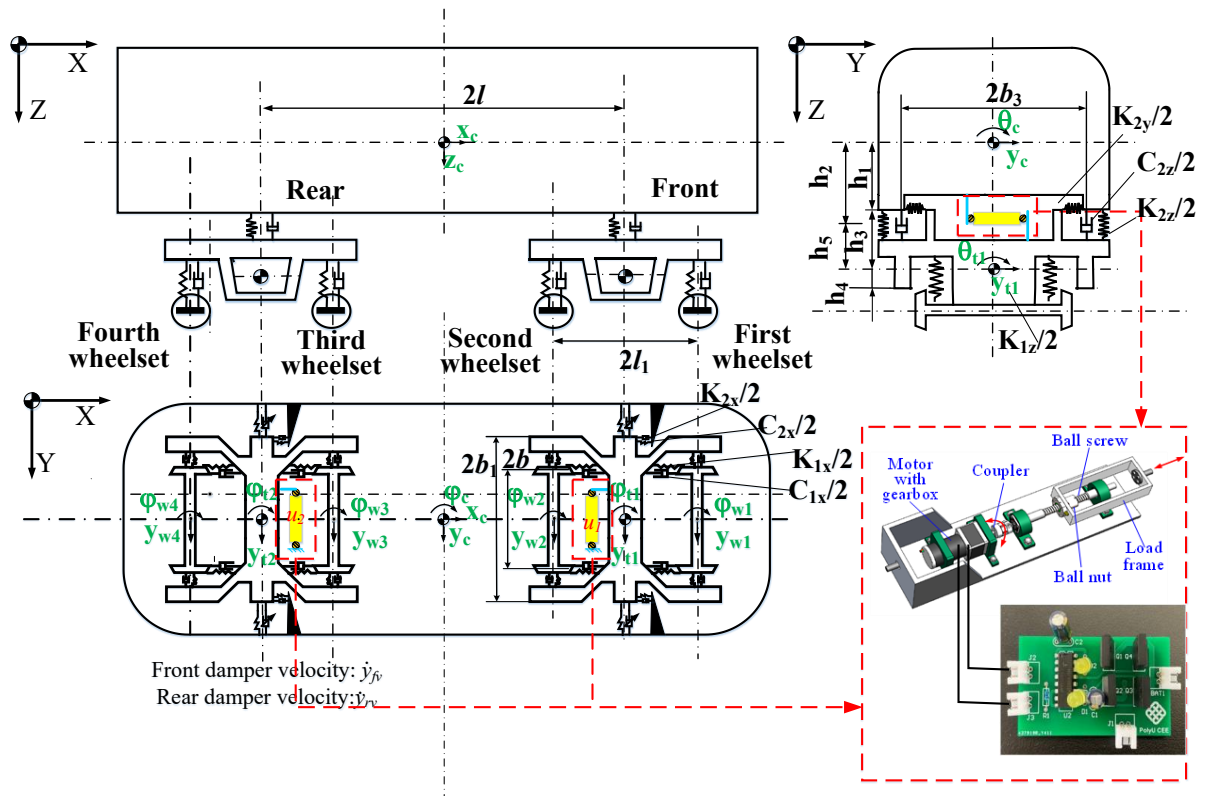


图 2.124 高铁 17 自由度模型：其中二系横向前后的两个悬架用本文提出的 HB-EMD（黄色的设备）进行主动控制

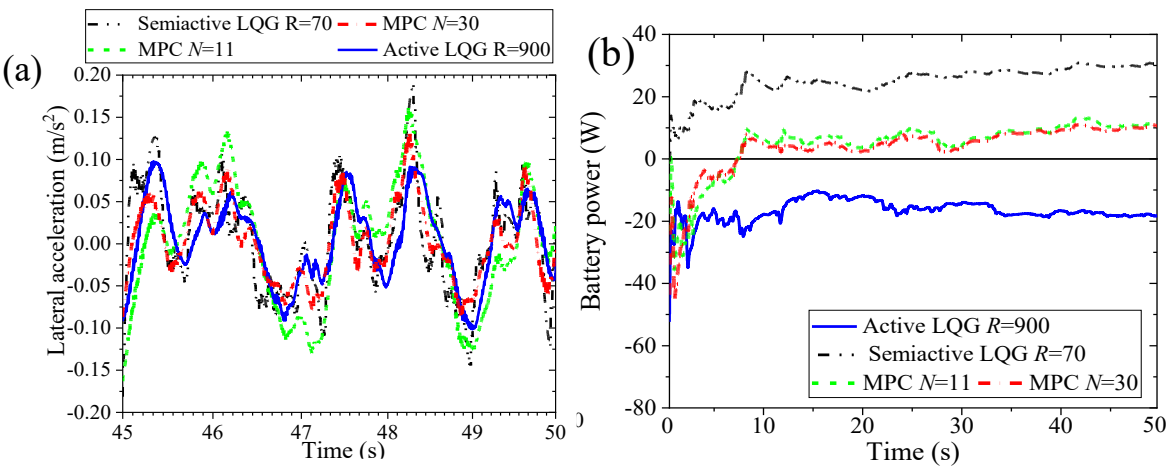


图 2.125 对于四种控制算法（MPC(N=11)/ MPC(N=30)/ 半主动 LQG/ 主动 LQG）的控制和能量回收效果比较：(a) 车体横向加速度时间历程；(b) 在 H 桥电路中电池积累的能量随时间变化。

2.2.38 基于宽禁带半导体的 AI 驱动单片微波集成电路设计

周新宇博士及其团队围绕 AI 驱动的单片微波集成电路设计方法进行了系统深入的研究，旨在实现微波电路的自动化与智能化设计。项目通过构建高精度的基于 AI 的电磁代理模型，有效代替传统的全波电磁仿真，大幅提升了电路设计的效率。此外，通过引入像素化微带结构表示方式，增强了电路的紧凑性，有效减少了电路尺寸。在此基础上，采用智能优化算法进行电路迭代优化，根据带宽、增益、效率等性能指标，实现了电路的逆向设计。如图 2.126 和图 2.127 所示，该研究框架已成功应用于滤波器、功率放大器等多种微波电路结构中。

在电磁代理模型方面，开发了一种基于 Transformer 的框架，能够从全局层面捕捉电磁响应信息，有效克服了卷积神经网络局部建模的局限性。在该架构中，微带电路结构被重新表述为上下文信息，频率采样点被建模为查询序列，从而实现对电磁响应的高精度预测。

在滤波器设计方面，在像素化结构配置中引入了一种类三角形边缘抗混叠连接方式。该方法在对角相邻像素之间引入三角形过度结构，将原本的 90° 拐角或不连续的对角连接转化为连续的 135° 传输线。此外，通过在传统的 0-1 设计空间中进一步引入过孔，并将其编码为 2，有效扩展了可探索的设计自由度与结构复杂度。

在功率放大器设计方面，在版图层面预留了固定尺寸的像素化设计空间，通过融合理想微带拓扑探索、基于阻抗聚类的约束条件自动生成、基于 Transformer 的电磁代理模型以及遗传算法优化，实现了输入匹配网络和输出匹配网络的协同自动化设计。

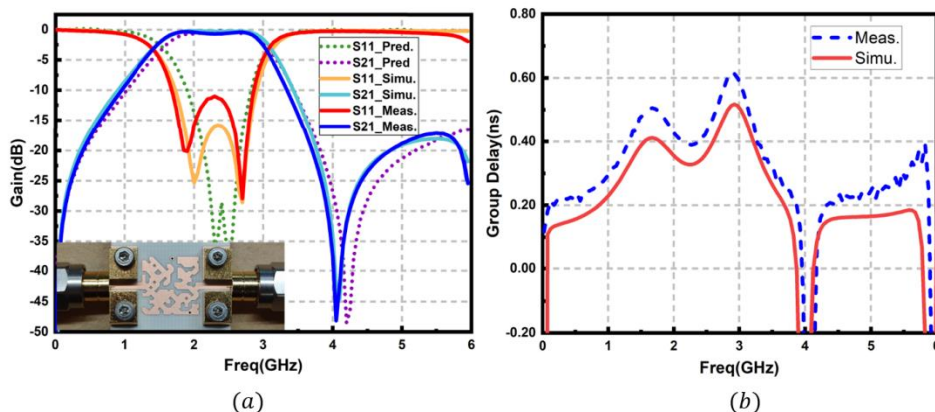


图 2.126 AI 驱动的滤波器设计 (a) 加工原型及 S 参数预测、仿真与测试结果对比
(b) 群延时仿真与测试结果对比

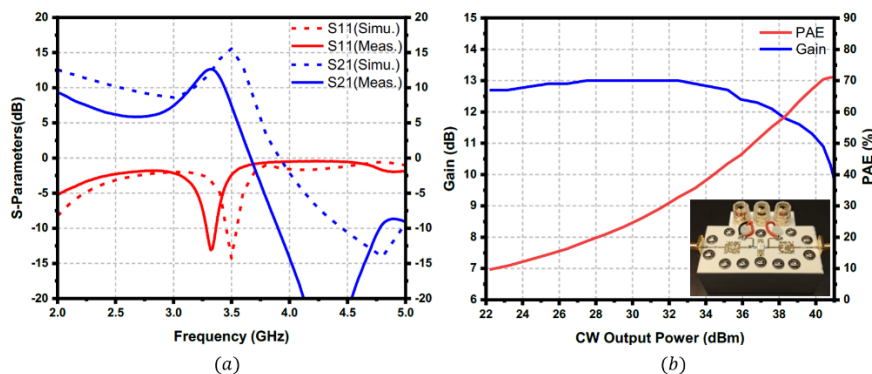


图 2.127 AI 驱动功率放大器设计 (a) S 参数的仿真与测量结果 (b) 功率放大器的谐波平衡性能

综上，这种基于 AI 的逆向电路设计方法适用于无源电路和有源电路。它可以显著提高设计效率，优化电路结构，并减小整体尺寸。此外，通过智能建模和优化，该方法有望推动复杂电路设计朝着高性能、低功耗和高集成度的方向发展，为现代电子系统设计提供更加灵活高效的技术解决方案。

2.2.39 迈向更绿色和人工智能的电气化城市交通可再生能源器件及管理系统

铁路工程香港分中心柯少荣教授、李冠南博士、贾迈勒·丁·穆萨博士、王宇轩先生、赵玉铎先生及其他研究人员开发了关键技术，旨在推进更绿色、更可持续的可再生能源装置和绿色人工智能（绿色 AI）能源管理系统的研究，从而提升智能电气化城市交通（SEUT）网络（特别是智能电气化铁路（SER）网络）的可持续性和效率。

在更绿色、更可持续的可再生能源装置方面，研究工作主要集中在热电发电机上，包括：（1）开发仿生三维黑磷（BP）掺杂的 Bi_2Te_3 /水凝胶混合薄膜及其超高效柔性热电发电机，用于可穿戴能量收集（图 2.127）；（图 2.128）引入主动应变工程方法，

制备稀土铈（Ce）和锑（Sb）共掺杂的 Bi_2Te_3 ，作为一种具有超高热电性能的新型热电发电机材料（图 2.128）。

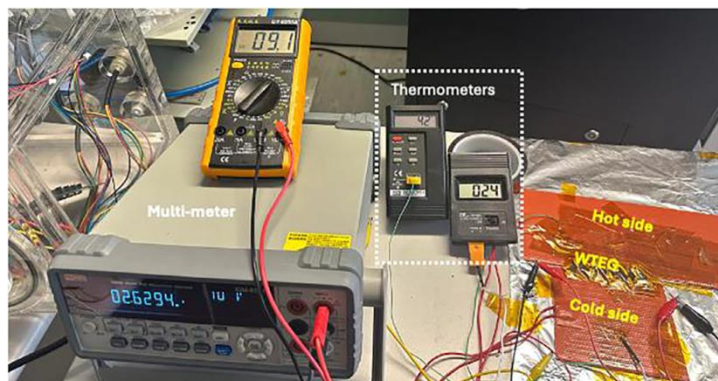


图 2.128 超高效柔性热电发电机原型示意图。

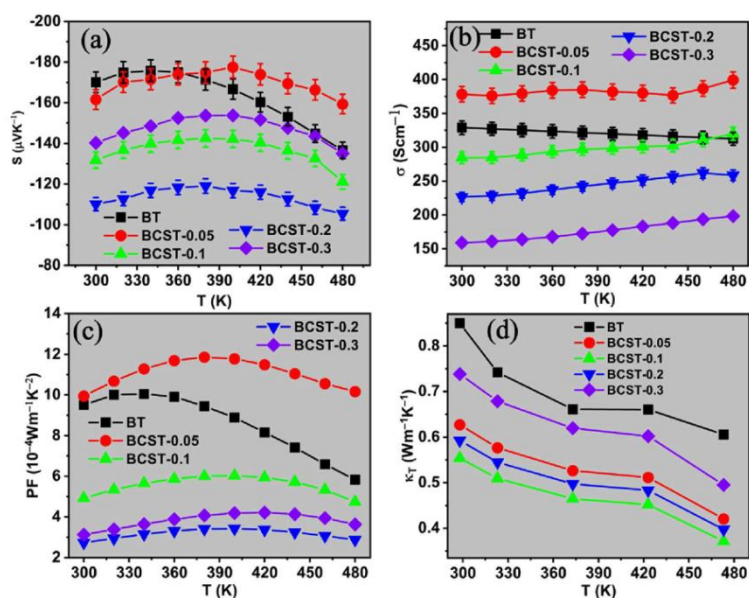


图 2.129 (a)、(b)、(c) 和 (d) 分别展示了不同 Ce-Sb 共掺杂 Bi_2Te_3 热电发电机材料的塞贝克系数、电导率、计算功率因子和总热导率的温度依赖性。

针对绿色人工智能能源管理系统，研究方向是利用绿色人工智能技术和模型开发和实施：（1）一种混合知识驱动和数据驱动的电气安全风险预测方法，该方法考虑了极端降雨的时空特征，用于识别具有高风险因积水而停机的分布式光伏系统（图 2.127）；（2）一种多任务强化学习方法，用于在时空城市轨道交通条件下对混合储能系统进行协同容量规划和能源管理优化（图 2.128）；以及（图 2.129）一种双层鲁棒协调恢复策略，用于增强高比例可再生能源多能源联网微电网的运行韧性（图 2.130）。

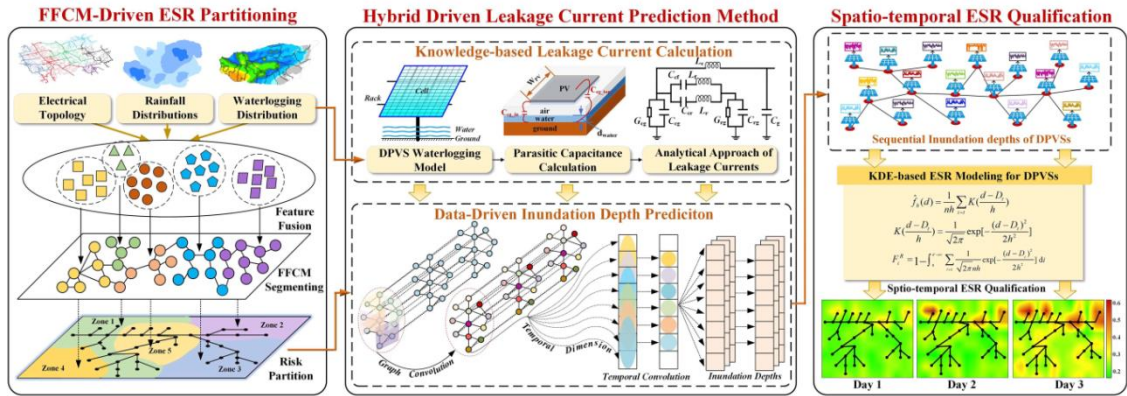


图 2.130 针对极端降雨条件下分布式光伏系统，提出了一种基于知识和数据驱动的混合电气安全风险预测方法。

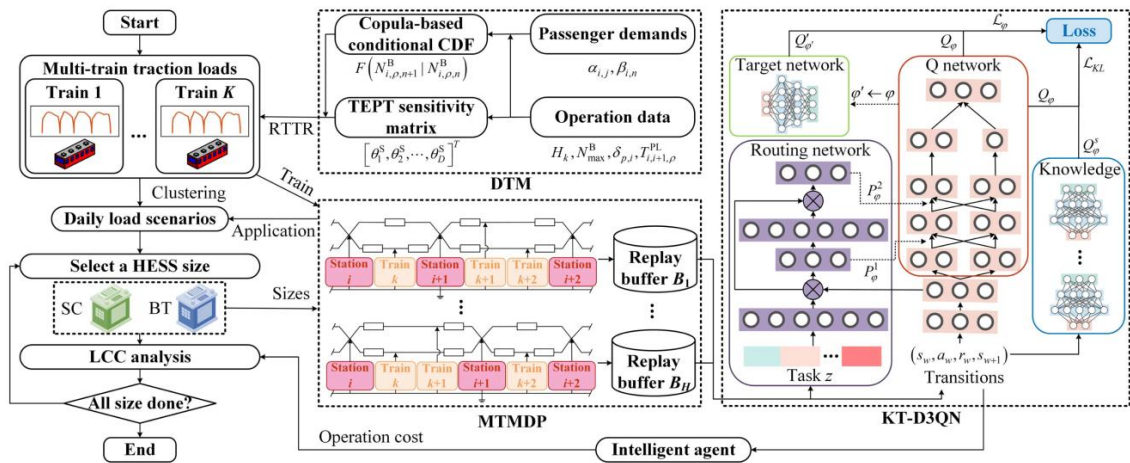


图 2.131 本文提出了一种基于多任务强化学习的协同混合储能系统容量规划和能量管理优化框架。

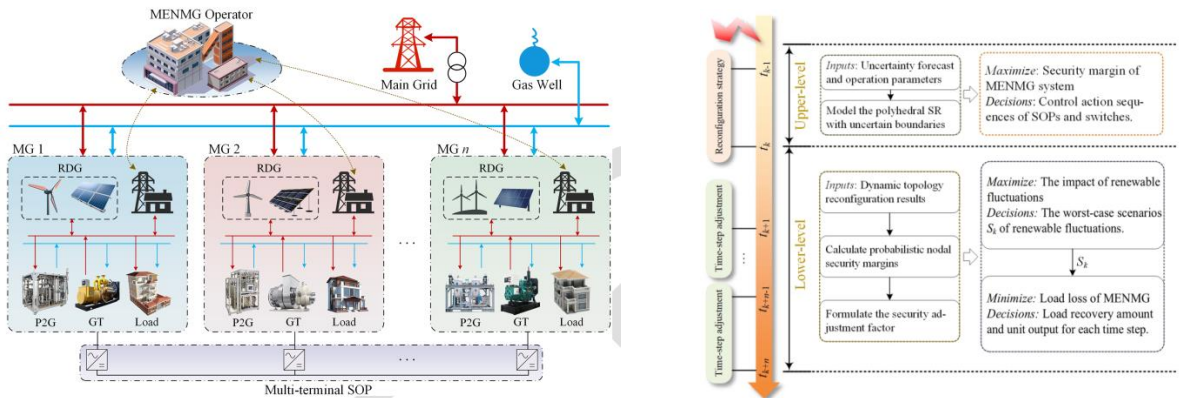


图 2.132 多能源联网微电网结构图（左）
和所提出的双层鲁棒协调恢复策略流程图（右）。

2.2.40 面向铁路工程结构应用的超材料辅助结构健康监测

在过去一年中，成教授及其团队围绕项目研究目标（面向铁路工程结构应用的超材料辅助结构健康监测）开展了系统性研究工作。在提升弹性波结构健康监测方法能力方面取得了稳步进展，尤其是在薄壁与厚壁工程结构应用方面展现出巨大潜力。

为解决薄壁结构中水平剪切 (Shear Horizontal, SH) 波激励效率低的问题（其原因在于剪切型压电换能器（如压电片）转换效率不高，或电磁换能器（如 EMAT）安装不方便），我们提出一种基于定制模态转换的 SH 波生成方案。首先采用常规 PZT 换能器激励兰姆 (Lamb) 波，然后利用 Lamb 波向 SH 波的模态转换生成 SH 波，如图 2.133(a) 所示。基于超材料理念，我们利用拓扑优化设计了一种安装于基体结构表面的超材料模态转换器（以下简称“超转换器”），以实现 Lamb 波向 SH 波的高效能量转换。通过对能带结构和模态的分析，揭示了目标频带内模态转换的机理。随后，采用选择性激光熔化 (SLM) 3D 打印技术制备出超转换器，如图 2.133(b) 所示。实验测试验证了所设计超转换器对 SH 波的有效增强作用：在超转换器的辅助下，SH 波幅值由 15 毫伏显著提升至 155 毫伏（见图 2.133(c)），表明了其在 SH 波产生方面的有效性。总体而言，该方法为 SH 波产成提供了一种可行的、通用的替代途径，并为进一步开展基于 SH 波的结构健康监测应用开辟了新的路径。

厚壁空心圆柱结构在铁路工程中广泛应用，例如列车车轴，因此保证其安全性至关重要。基于非线性弹性波的方法在检测此类结构的早期损伤方面表现出极高的灵敏度。我们前期研究发现，在厚壁空心圆柱结构中，准表面波与早期微小损伤的相互作用会产生具有强方向性的非线性波散射。基于这一物理认识，我们进一步提出了一种面向厚壁空心圆柱结构的损伤定位策略。该方法首先为沿厚壁内表面布置的每个传感器定义一个有效检测区域 (EDZ)（如图 2.134(a) 所示），随后通过融合多个有效检测区域构建整体的网络级检测系统。数值分析和实验结果都验证了所提出方法的有效性，实现了厚壁中损伤的精准定位（如图 2.134(b) 所示），表明其在列车车轴等结构的早期损伤检测/定位中具有很大应用潜力。

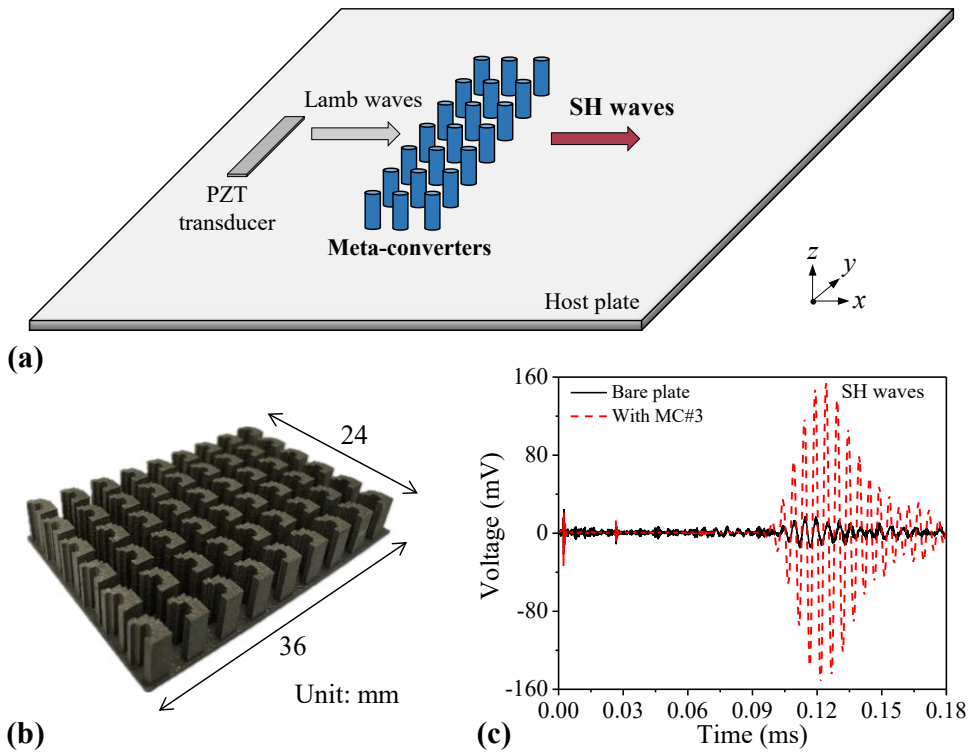


图 2.133 超转换器 (meta-converter) 实现 SH 波产生：(a) 所提出方法的示意图，(b) 拓扑优化设计的超转换器样件，(c) 有/无超转换器情况下的实验信号对比

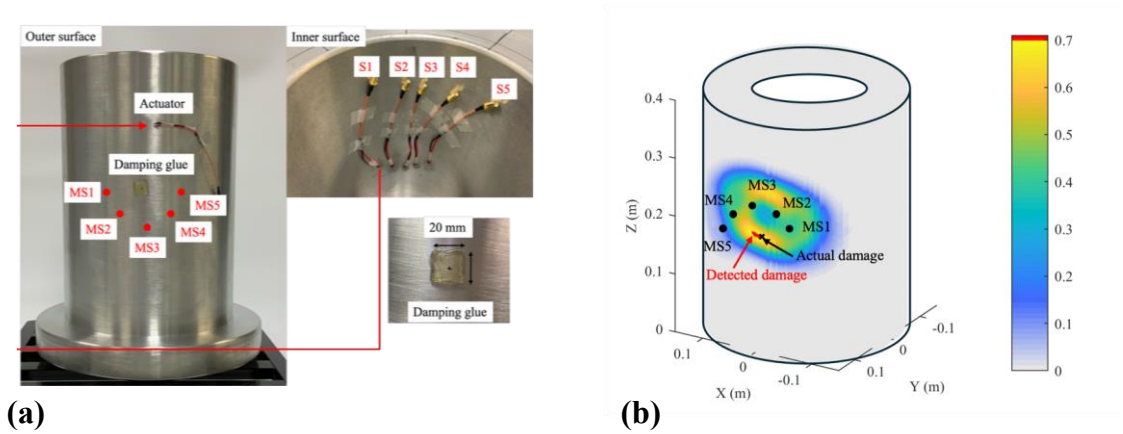


图 2.134 (a) 厚壁空心圆柱结构上的实验设置与传感器布置，(b) 利用所提出的损伤定位策略得到的早期损伤定位结果

总之，所提出的方法/策略显著提升了基于弹性波的结构健康监测技术在高精度损伤检测与定位方面的能力，涵盖了线性与非线性两类方法。对于线性方法，面向结构健康监测应用的超转换器有望促进基于 SH 波的损伤检测技术（如裂缝）发展。对于非线性方法，所提出的策略通过利用非线性体波散射特性，为厚壁空心圆柱结构的早

期微小损伤定位提供了一条新的途径，并可能为工程应用（例如列车车轴这类典型厚壁空心圆柱结构的早期损伤监测）提供指导。

2.2.41 考虑轮轨干湿状态转化的风雨耦合条件下高铁隧道洞口交会动力响应分析

针对隧道洞口交会过程中气动荷载剧烈波动与降雨引发轮轨界面黏着状态瞬变的复杂耦合效应，本研究建立了集成车辆、轨道、隧道与路基的精细化耦合动力学模型，旨在系统揭示不同风雨环境条件下列车关键运行安全指标的影响机理与宏观规律，为后续制定安全防控策略提供定性与定量参考。研究以典型高速列车为对象，构建了多刚体车辆动力学模型与轨道-结构有限元模型，并通过轮轨接触关系实现系统耦合，从而能够统一考虑洞口过渡段结构差异与外部风雨荷载的联合作用。为刻画降雨对轮轨关系的关键影响，研究特别引入了基于轮轨界面干湿状态转换的黏着修正理论，对轮轨切向力计算模型进行修正，进而在动力学分析中有效反映降雨导致的轮轨黏着能力下降现象。整套计算模型与方法经过严谨试验验证，仿真结果与现场实测数据在变化趋势与幅值范围上均吻合良好，证实了该模型用于评估复杂风雨交会场景下行车安全性的有效性与可靠性。基于所建模型，研究首先分析了降雨强度的影响。结果表明，随着降雨强度增大，轮轨间有效黏着系数持续下降，并对列车动力学行为产生显著影响。在较强降雨等级下，列车轮重减载率明显上升，极端降雨时甚至可能超出安全限值，直接揭示了强降雨对行车安全的实质性威胁。同时，脱轨系数也随降雨强度增加呈现显著上升趋势，表明轮轨黏着恶化会加剧列车脱轨风险。此外，通过比较不同车厢位置发现，头车在风雨环境中表现最为敏感，其安全指标恶化程度最为突出，这与洞口交会时头车承受更剧烈气动荷载冲击的特性密切相关。其次，研究探讨了风速的影响规律。在固定降雨条件下，风速增大会同样显著恶化列车运行安全指标。研究表明，由于洞口交会时特定的气动干扰流场，列车右侧车轮所受影响普遍比左侧更为严重，安全指标更高且波动更剧烈。当风速超过一定等级后，右侧轮载的剧变会直接导致轮重减载率与脱轨系数攀升，并可能先后突破安全阈值。这一发现明确了高风速是洞口区域行车安全的另一项关键风险因素。综上所述，本研究通过建立并验证一套能够综合反映风雨耦合作用与系统动力响应的分析模型，系统揭示了降雨强度与风速对

高铁隧道洞口交会安全性的影响规律。研究定性指出，强降雨与高风速会通过恶化轮轨关系与放大气动干扰双重途径，显著提升轮重减载与脱轨风险，尤其对列车头车及右侧轮轨系统构成更大威胁。相关发现为理解和评估复杂气象条件下高铁运行安全风险提供了重要的理论依据与分析框架。

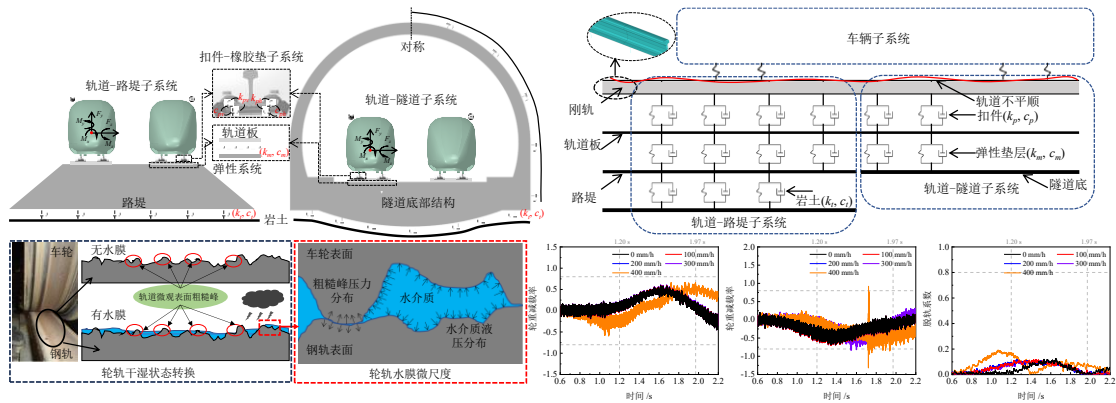


图 2.135 考虑轮轨干湿状态的高速列车动力响应计算示意图

2.2.42 主动吹/吸气与被动防风设施协同的高速列车横风效应研究：仿真、试验与数据驱动建模

(a) 已开展研究工作的范围

i) **高保真 CFD 建模与主动控制参数研究：**在风洞试验实施前，依据中国铁路标准 TB/T 3503，建立了基于改进分离涡模拟（IDDES）与 SST $k-\omega$ 湍流模型的 CFD 模型，初步确定了缝隙布置、射流速度及吹吸模式等关键参数。利用该模型对多种吹气位置与强度组合进行了研究。结果表明，在头车、中间车和尾车同时吹气时，气动荷载降低最为显著；当吹气速度设置为合成流速的 0.3 倍时，缓解效果最佳。通过数值模拟分析了不同偏航角与吹气速度的影响，发现吹出气流与周围流动的横向混合增强了局部湍流，改变了表面压力分布。在研究的偏航角范围内，横向力降低了 1.0%~8.8%。随后研究了吸气与吹气两种模式在不同流动强度下的效果：吹气可实现高达 15% 的横向力系数降低，但也加剧了瞬态不稳定性；吸气则能抑制下游涡旋运动，减弱尾流湍流。

ii) 风洞实验装置设计与试验验证：在上述研究基础上，设计并加工了一套比例缩小的简化风洞实验模型，该模型具备可拆卸的列车-挡风墙系统及吹吸装置。在四种工况下开展了风洞试验：（1）无挡风墙时列车表面吹气；（2）带有抗风性能较差的挡风墙时列车表面吹气；（3）仅挡风墙吹气而列车不吹气；（4）列车与挡风墙同时吹气。试验采用压力扫描仪采集表面压力数据，使用 Cobra 探头测量速度分布，并运用粒子图像测速仪（PIV）对流场进行可视化。试验结果与前期研究基本一致。此外，通过采用不同计算设置开展数值模拟，评估了网格分辨率、湍流模型、时间步长等数值参数所引入的不确定性，旨在为构建高保真计算框架提供支持

iii) 数据驱动代理模型与流场重构方法研究：为支持项目目标中侧风条件下列车气动行为数据驱动代理模型的构建，采用物理信息神经网络（PINN）框架重构了高速列车周围的二维时均流场。研究发现，在近壁区与背风区等关键区域存在空间数据密度阈值，研究提出了一种最优数据布置策略，有助于代理建模框架的构建。采用动态模态分解（DMD）研究了侧风条件下涡流发生器对列车模型周围流场特性的影响。分析表明，DMD 能有效捕捉涡结构的时空演化与耦合机制。此外，构建了基于代理模型的气动优化框架，实现了准确的全局外形优化。经单目标与多目标优化，阻力与侧向力分别降低 22.30% 与 24.31%。进一步开发了多种基于数据的代理模型：针对风场预测，提出了一种将图注意力网络（GAT）与图结构 Transformer 模型结合的新框架，实现了风速的重构与预测；同时，利用经 CFD 验证的侧风下磁悬浮列车模拟压力数据，训练了用于预测压力传感器故障的神经网络代理模型。

已按计划完成 CFD 建模与参数研究，并已完成风洞试验的数据采集工作。具体包括：构建了基于 IDDES 与 SST $k-\omega$ 的高精度 CFD 模型，系统评估了吹气位置、速度及组合模式对气动荷载的缓解效果；设计并加工了可拆卸式缩比风洞实验模型，完成了四种工况下的风洞试验，获取了压力、速度及流场可视化数据。在设计和进行风洞实验前，关键参数（如缝口布局、射流速度、吹气或吸气模式）通过开发基于改进型分离涡模拟（IDDES）方法并结合 SST $k-\omega$ 湍流模型的计算流体动力学（CFD）模型初步确定，该模型符合中国国家铁路标准 TB/T 3503。为评估横风条件下吹气布局 and 速度对列车气动特性的影响，采用上述 CFD 模型对多种吹气位置和强度的组合进行了研究。结果表明，当头车、中车和尾车同时吹气时，气动荷载的削减效果最为显著。

当吹气速度设定为合成流速的 0.3 倍时，实现了最优缓解效果。为进一步验证吹气主动控制策略在不同横风条件下的适用性，进行了数值模拟，以评估不同偏航角和吹气速度的影响。研究表明，吹出气流与周围流场的横向混合增强了局部湍流，并改变了表面压力分布。在所考察的偏航角范围内，侧向力削减幅度在 1.0%至 8.8% 之间。通过调整吹气速度，在偏航角为 15° 和 75° 时，分别额外获得了 5.9%和 0.8%的削减。能量效率峰值出现在偏航角接近 45° 附近，而进一步增加吹气速度会导到气动效益递减。随后，研究了两种主动流控模式（吸气和吹气）在多种流动强度下的表现。通过吹气，侧向力系数的削减幅度高达 15%，但由于气缝附近压力重新分布，观察到瞬时不稳定性增加。吸气则被发现能够抑制下游涡旋运动，并削弱尾流湍流。吹气削弱了主涡的主导地位，从而提升了横风性能。

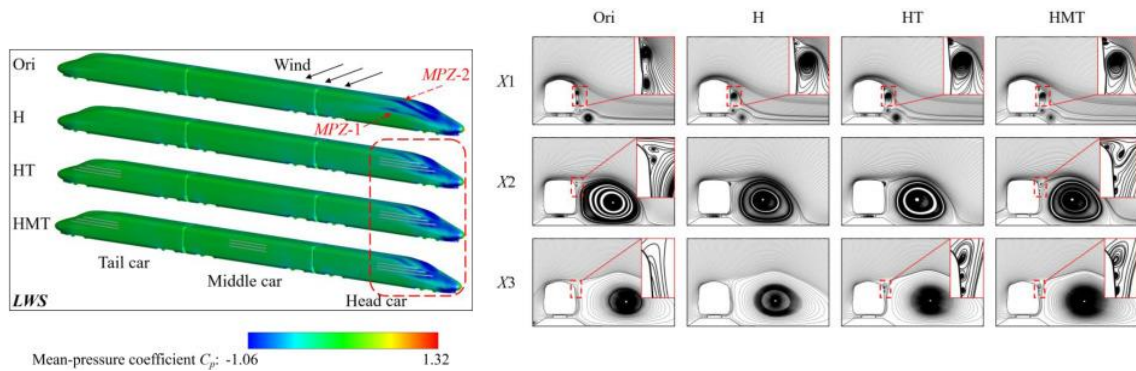


图 2.136 不同位置吹气下列车表面压力分布及周围流场结构

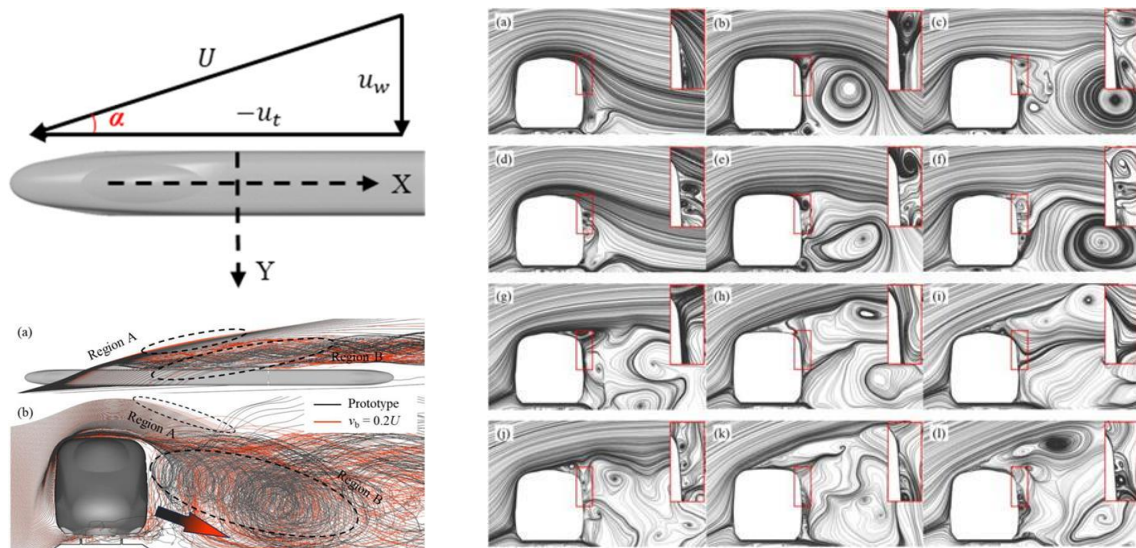


图 2.137 不同偏航角吹气下列车周围流场结构

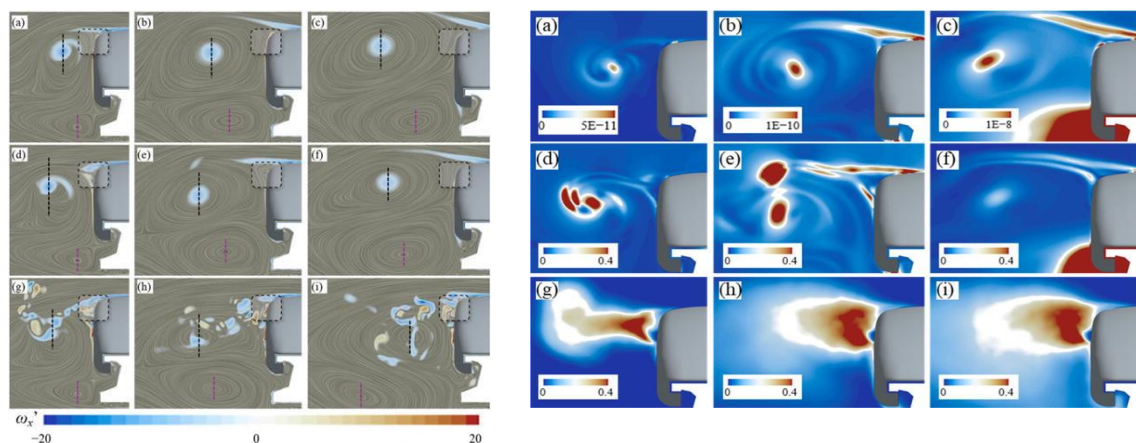


图 2.138 不同控制策略下列车周围流场结构

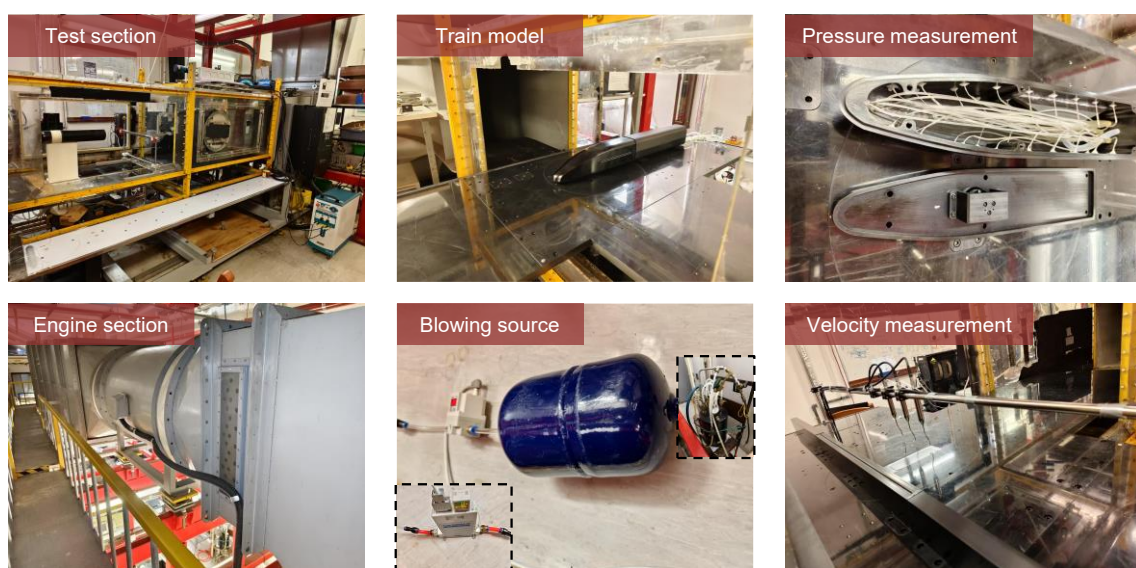


图 2.139 风洞试验系统示意图

为支持项目横风条件下列车气动行为数据驱动代理模型的开发，采用物理信息神经网络（PINN）框架重构了高速列车周围的二维时均流场。通过将稀疏空间流场数据与支配性的纳维-斯托克斯方程相结合，PINN 方法提供了一种混合数据-物理的代理建模方法，能以最低的密集训练数据依赖捕获关键流场特征。研究揭示了关键空间数据密度阈值的存在性，特别是在近壁和背风区域，超过该阈值预测精度会下降。此敏感性分析深入探讨了嵌入数据分布与流场重构精度之间的耦合关系，这对构建高效可靠的代理模型至关重要。研究提出了一种优化数据布置策略，以最大化预测保真度同时最小化数据需求，直接助力于目标 2 下的代理建模框架。

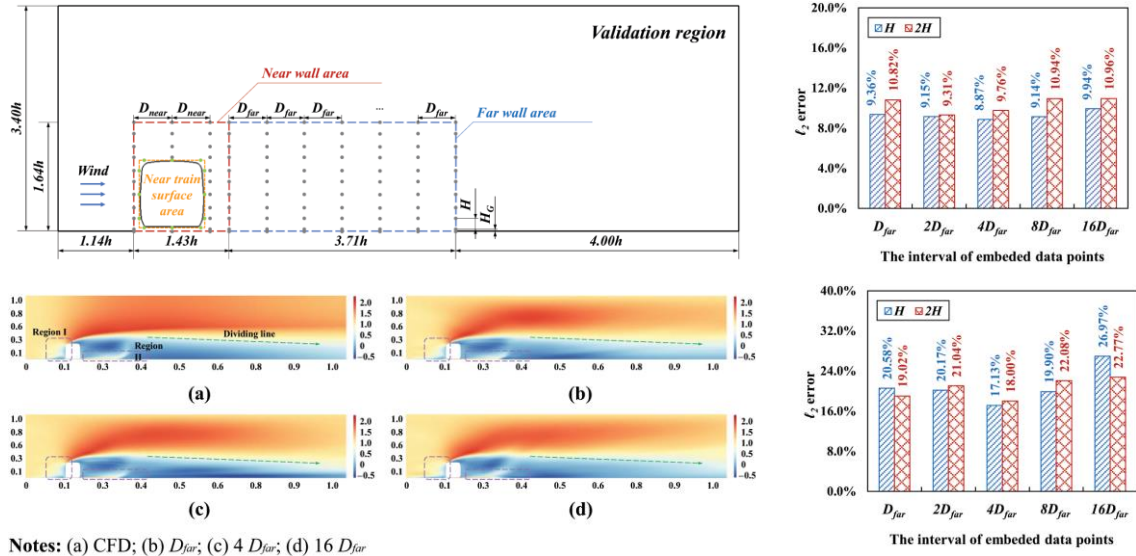


图 2.140 不同嵌入点分布下数值结果与物理信息神经网络预测的对比

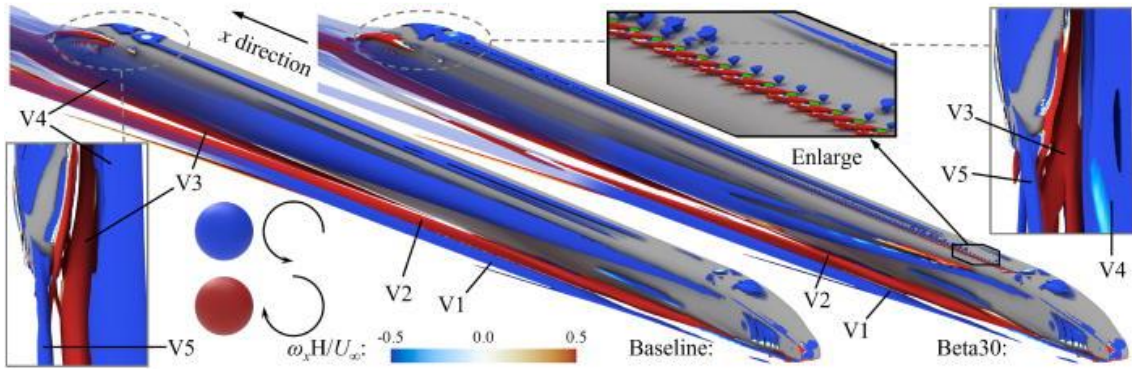


图 2.141 侧风条件下列车模型周围流动结构

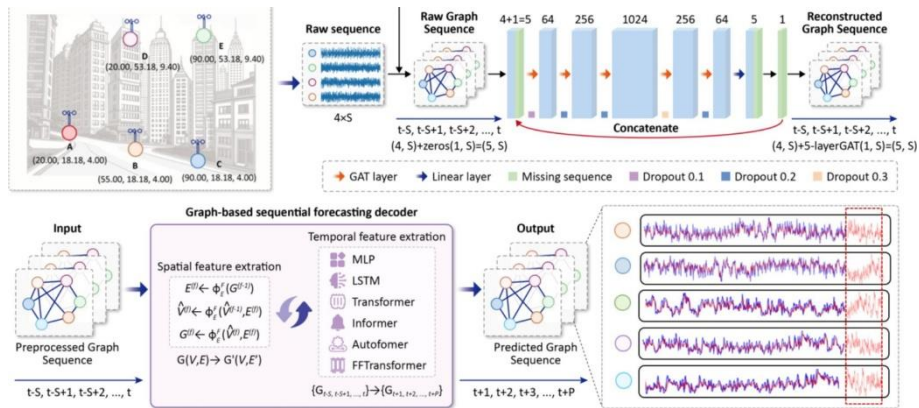


图 2.142 基于时空图注意力网络与图结构 Transformer 的风场序列重构与预测

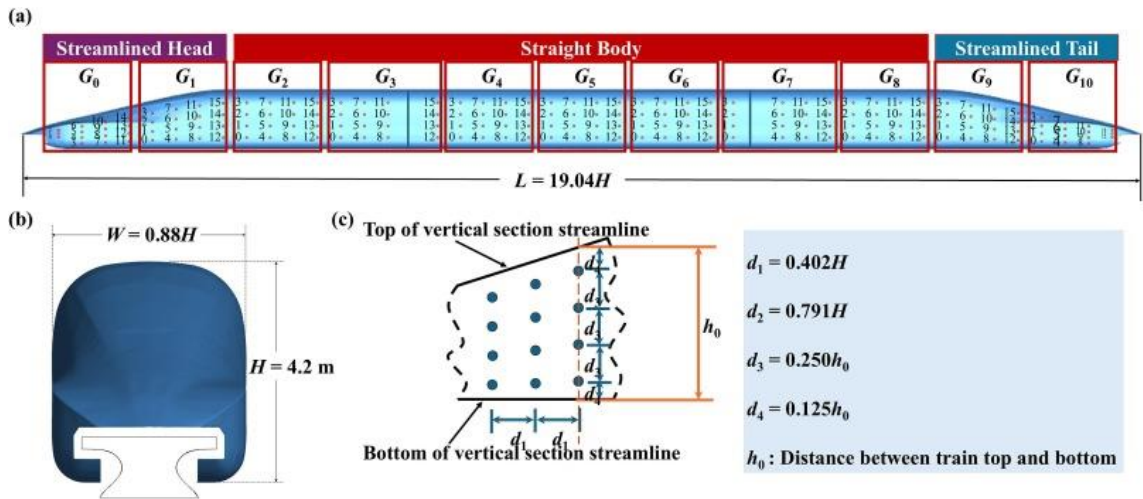


图 2.143 基于图神经网络与反向传播神经网络的压力重构与预测

2.3 科研成果

2025 年铁路工程香港分中心发表 SCI 论文 101 篇，主题报告 9 次，国际会议 37 人次，获奖 8 项，申请发明专利 6 项，其中专利授权 7 项。

2.3.1 国际期刊论文

1. Zeng, Z.X., Tan, Y.K., Deng, E., Ni, Y.Q., Zhang, Q.L., and Yang, B. “Uncertainty-aware Bayesian time series framework for probabilistic imputation”, *Advanced Engineering Informatics*, 70, No. 104153 (2026).
2. Zhou, H.F., Hu, T.Y., Zhang, X.L., Lou, Y.H., and Ni, Y.Q. “UAV-borne thermal imaging and adaptive pixel-level recognition for asphalt pavement crack detection”, *Infrared Physics & Technology*, 152, No. 106279 (2026).
3. Lu, Y., Wang, Y.L., Ao, W.K., Yang, Y., and Ni, Y.Q. “Case study of fastener clip failure in small-radius curve track by field test and numerical simulation”, *Engineering Failure Analysis*, 183, No. 110237 (2026).
4. Liao, S., Huang, M., Li, Q., Cai, K., He, B., Cai, L., Kareem, A., and Ni, Y. “Embedded LES modelling of atmospheric boundary layer in urban region using accelerated turbulence generation”, *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 19(1), No. 2585306 (2025).
5. Zeng, Y.J., Ni, Y.Q., Chen, Z.W., Zeng, G.Z., Wang, J.Y., and Chan, P.W. “Investigation of the impact of token embeddings in Transformer-based models on short-term tropical cyclone track and intensity predictions”, *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 19(1), No. 2538180 (2025).
6. Adeagbo, M.O., Wang, S.M., Hao, S., and Ni, Y.Q. “Bayesian MCMC updating of a maglev vehicle/guideway system for SHM-based digital twin development”, *Journal of Sound and Vibration*, 618, No. 119340 (2025).
7. Zhu, Q., Wang, S.M., and Ni, Y.Q. “Reciprocal control barrier function enhanced safe deep reinforcement learning control for maglev train–guideway coupling system”, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 241, No. 113495 (2025).

8. Jiang, G.F., Wang, S.M., and Ni, Y.Q. “Visual question answering for intelligent maintenance of maglev railway systems”, *Automation in Construction*, 180, No. 106559 (2025).
9. Liu, X.Y., Zhu, S.Y., Deng, E., and Ni, Y.Q. “Ride comfort degradation triggered by jet flow as ultra-high-speed trains enter tunnels”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 166, No. 106999 (2025).
10. Huang, M., Yang, C., Cai, K., Li, X., Lin, Q., and Ni, Y. “Modal analysis of flexible photovoltaic support system using multi-source data”, *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 15(8), 3321–3343 (2025).
11. Zhang, C., Lai, S.X., Wang, H.P., Dai, J.G., and Ni, Y.Q. “FBG monitoring data and SSI-COV algorithm motivated semi-automatic damage identification method for pipe structures”, *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 15(8), 3231–3259 (2025).
12. Tao, Z., Wang, Y., Ao, W.K., Zhou, F., Zhang, D., and Ni, Y.Q. “Evaluation of dynamic responses in steel lever of leveling valve during metro train operations”, *Measurement*, 256, No. 118198 (2025).
13. Yang, C., Wang, X., Chen, H., Wang, Q., Ni, Y., and Ou, J. “Design method of high-rise fully MiC with simplified models of grouted joints”, *Journal of Constructional Steel Research*, 235, No. 109891 (2025).
14. Chen, Y., Liang, S., Yang, Y., Liu, S., Lan, Z., Su, Z. ‘Experimental realization of phoxonic topological insulators’, *Materials Today Physics*, 57:101844. (2025).
15. Li, S., Zhang, W., Ding, S., Lu, J., and Ni, Y.Q. “A comprehensive review on energy-absorbing mechanical metamaterials: From mechanisms to applications”, *Composites Part B: Engineering*, 113222 (2025).
16. Chen, G., Xie, T., Liu, Z., Lyu, L., Pang, H., Su, B., Chai, S., Leung, A.Y.F., Ni, Y., et al. “High-Resolution Shallow Structure Constrained by ambient noise S-wave tomography using dense linear arrays—a case study in northern Hong Kong”, *AIJR Proceedings*, 7(7) (2025).
17. Fan, J.Q., Chen, Z.W, Ni, Y.Q., Fu, S., Wang, T., and Tang, R. “A bibliometric mapping study on advances in the operational safety of maglev trains”, *Journal of Railway Science and Technology*, in press (2025).

18. Wang, C.C., Chan, P.W., Lo, K.W., and Ni, Y.Q. “Study on low-level windshear and turbulence by coupling large eddy simulation with mesoscale model at the Hong Kong International Airport”, *Meteorologische Zeitschrift* (2025).
19. Li, H.W., Hao, S., Ni, Y.Q., and Xu, Z.D. “Exploiting small-scale neural network models for dynamic response prediction problems”, *International Journal of Structural Stability and Dynamics* (2025).
20. Qiu, L, Zuo, Z., Ding, S., Qin, H., Sun, T., Yang, C., Wang, X., Ni, Y.Q., and Han, B. “One-step hydrothermal synthesis of self-assembled NiAl-LDH@GO heterostructures for enhanced chloride resistance in marine cementitious composites”, *Chemical Engineering Journal* (2025).
21. Wang, F., Wu, T., Zhu, X., Cai, Y., and Ni, Y.Q. “Novel multi-physics informed neural network based coordinated control strategy for mode transitions of PHEV considering torsional oscillation”, *IEEE Transactions on Transportation Electrification* (2025).
22. Zhu, Q., Wang, S.M., Zhou, Z.B., and Ni, Y.Q. “Enhanced deep reinforcement learning controller for maglev train-guideway coupling systems in crosswind conditions”, *Vehicle System Dynamics* (2025).
23. Zhou, L., Sun, Z., Luo, Y.K., Ni, Y.Q., and Yi, C. “On 2D UGW-based probabilistic diagnostic imaging of web structure as a complex waveguide”, *Structural Health Monitoring* (2025).
24. Wang, J.F., Li, X.X., Wang, Y.W., and Ni, Y.Q. “Automatic detection and evaluation of multitype surface defects in metro tunnels based on mobile laser scanning”, *Structural Health monitoring* (2025).
25. Zhou, J., Li, H.W., Ni, Y.Q., Li, Q.S., and Wang, Y.W. “Structural response self-prediction method based on long short-term memory neural network and compressive sensing”, *Structural Health monitoring* (2025).
26. Chen, S.Y., Wang, Y.W., and Ni, Y.Q. “Multi-channel lost data recovery for structural health monitoring by structured low-rank matrix completion”, *Structural Health monitoring* (2025).
27. Chen, Y., Lan, Z., Liang, S., Fan, L., Zhu, J. and Su, Z. ‘Realization of spin-locked acoustic helical Landau levels in both hexagonal and square lattices’, *Advanced Science*, 12:e07059. (2025).

28. Wang, F., Gong, H., and Ni, Y.Q. “Non-intrusion gear fault diagnosis of 400 km/h+ high-speed train based on signal fusion of stator current and electromagnetic torque”, *International Journal of Automotive Technology* (2025).
29. Wang, F., Chen, D., Cai, Y., Xu, X., and Ni, Y.Q. “Nonlinear clamping force estimation and robust control of an electro-mechanical brake system for electric vehicles based on PWA- H_∞ ”, *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics* (2025).
30. Xu, X.Y., Wang, S.M., Liu, W.Q., and Ni, Y.Q. “Advancements in obstacle intrusion detection methods for rail transit: A comprehensive review”, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 74, No. 2547834 (2025).
31. Wang, Y.L., Lu, Y., Tan, Y.K., Ao, W.K., Ni, Y.Q., and Tang, Q.C. “Bayesian optimization bidirectional LSTM approach for the condition assessment of underground-operating trains”, *Journal of Civil Structural Health monitoring*, Vol. 15, No. 7, 2887-2901 (2025).
32. Zhou, J., Li, H.W., Wang, Y.W., and Ni, Y.Q. “Operational modal damping identification based on compressive sensing”, *Journal of Civil Structural Health monitoring*, Vol. 15, No. 7, 2229-2243 (2025).
33. Li, P.L., Liu, S.F., Ni, Y.Q., Ling, J.M., and Wang, Y.W. “Pretrain-finetune neural operator for multi-fidelity surrogate modeling of structural dynamic systems”, *Engineering Structures*, Vol. 343, Part D, No. 121218 (2025).
34. Yang, B., Xiao, H., Zeng, Z., Lai, S., Han, J., Tan, Y., and Ni, Y.Q. “Boosting expertise and efficiency in LLM: A knowledge-enhanced framework for construction support”, *Alexandria Engineering Journal*, Vol. 130, 525-542 (2025).
35. Nian, Y, Ni, Y.Q., Avcar, M., Yue, R., Zhou, K. “Novel negative-zero-positive Poisson’s ratio graded mechanical metamaterials for enhanced energy absorption: Performance investigation and design optimization”, *Engineering Structures*, Vol. 343, Part B, No. 121092 (2025).
36. Ding, S., Shi, Y., Wang, D., Wang, X., Ding, S., Ni, Y.Q., Lv, X., Han, B. “Self-adjusting thermal diffusion and self-sensing temperature deformation performances of ultra-high-performance concrete”, *Journal of Building Engineering*, Vol. 112, No. 113862 (2025).
37. Lu, J.H., Ding, S., Ni, Y.Q., and Li, S. “Bio-inspired acoustic metamaterials for traffic noise control: Bridging the gap with machine learning”, *Communications Engineering*, Vol. 4, No. 136 (2025).

38. Lu, J.H., Ding, S., Zhou, K., and Ni, Y.Q. “Kolmogorov-Arnold networks-optimized honeycomb acoustic metamaterials for railway noise control”, *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 303, No. 110672 (2025).
39. Wang, F., Chen, Y., Zhang, Y., Zhu, X., and Ni, Y.Q. “Car-following speed collaborative energy management strategy for connected PHEV”, *Energy*, Vol. 329, No. 136717 (2025).
40. Jiang, W., Lei, B., Wang, E., Ni, Y.Q., Chen, Z., Ding, S., Peng, Y., and Long, G. “Predicting interfacial bonding performance of CRTS III slab ballastless track structure via interfacial defects using the PSO-BP algorithm”, *Engineering Structures*, Vol. 341, No. 120807 (2025).
41. Xu, Y., Gu, Y., Chan, H.Y., Ni, Y.Q., and Chen, A. “Integrating track layout into urban rail vulnerability envelope assessment: A case of Hong Kong rail transit network”, *Journal of Transport Geography*, Vol. 127, No. 104271 (2025).
42. Wang, Q.A., Lu, A.W., Ni, Y.Q., Wang, J.F., and Ma, Z.G. “Bayesian network in structural health monitoring: Theoretical background and applications review”, *Sensors*, Vol. 25, No. 12, No. 3577 (2025).
43. Xia, Y.X., Xu, R.K., Ni, Y.Q., and Jin, Z.Q. “Strain signal denoising in bridge SHM: A comparative analysis of MODWT and other techniques”, *Journal of Infrastructure Intelligence and Resilience*, Vol. 4, No. 3, No. 100155 (2025).
44. Hao, S., Li, H.W., Ni, Y.Q., Zhang, W., and Yuan, L. “State estimation in structural dynamics through RNN transfer learning”, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 233, No. 112767 (2025).
45. Zhang, W., Ni, Y.Q., Wang, S.M., Yuan, X., Feng, Y., Yuan, L., and Hao, S. “Physics-enhanced multi-fidelity neural ordinary differential equation for forecasting long-term creep behavior of steel cables”, *Thin-Walled Structures*, Vol. 208, No. 112846 (2025).
46. Yang, C., Chen, H., Wang, Q., Wang, X., Ding, S., Ni, Y.Q., and Ou, J. “Experimental research on seismic performance of column-to-column grouted connection with casted SHS sleeves for high-rise modular integrated construction”, *Engineering Structures*, Vol. 335, No. 120337 (2025).
47. Huang, Z.D., Kong, W.K., Wang, S.M., Zhou, Z.B., Ni, Y.Q., and Chang, N. “Dynamic and stability analysis of high-speed maglev train–guideway coupled system under crosswind”, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 609, No. 119092 (2025).

48. Cai, K., Huang, M., Wang, J., Dong, Y., Ni, Y.Q., and Chan, P.W. “Scaling properties of nonstationary wind fields based on time-varying mean wind speed models”, *Physics of Fluids*, Vol. 37, No. 4, No. 045108 (2025).
49. Dang, D.Z., Su, B.Y., Wang, Y.W., Ao, W.K., and Ni, Y.Q. “A pencil lead break-triggered, adversarial autoencoder-based approach for rapid and robust rail damage detection”, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 150, No. 110637 (2025).
50. Yaw, Z., Zhang, Y., Liu, C., Chen, Z., Ni, Y.Q., and Lai, S.K. “Reconfigurable 3D-printed 1-bit coding metasurface for simultaneous acoustic focusing and energy harvesting at low-frequency regime”, *Nano Energy*, Vol. 138, No. 110874 (2025).
51. Tan, Y.K., Ouyang, D.H., Deng, E., Yue, H., and Ni, Y.Q. “CFD-guided memory-enhanced LSTM predicts leeward flow of railway windproof structures”, *Advanced Engineering Informatics*, Vol. 65, Part B, No. 103253 (2025).
52. Ye, X., Tan, Y.K., and Ni, Y.Q. “Echoformer: An echo state-embedded transformer for robust reconstruction of railway trackside noise on urban metro lines”, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 229, No. 112491 (2025).
53. Limongelli, M.P., Thomson, D., Alampalli, S., Mufti, A., Schumacher, T., Martinelli, L., Lasri, O., Shenton, H., Chen, G., Noori, M., Raiesi, F., Silik, A., Dang, J., Hoemsen, R., Li, H., Lu, N., Ni, Y.Q., Smith, I., and Wu, Z. “SCSHM benchmark study on bridge in-service structural monitoring”, *Journal of Civil Structural Health monitoring*, Vol. 15, No. 3, 849-863 (2025).
54. Hu, F., Gou, H., Yang, H., Ni, Y.Q., Wang, Y.W., and Bao, Y. “Digital twin-based fatigue life assessment of orthotropic steel bridge decks using inspection robot and deep learning”, *Automation in Construction*, Vol. 172, No. 106022 (2025).
55. Chen, S.X., Zhou, L., Ni, Y.Q., and Huang, J.Z. “Task similarity guided transfer learning for acoustic emission-based rail crack assessment”, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 227, No. 112404 (2025).
56. Tan, Y.K., Ni, Y.Q., Zhang, S.X., Zhang, Q.L., and Wang, Y.W. “A fast, information-interactive, and reservoir computing-based digital twin for high-rise building operation”, *Expert Systems with Applications*, Vol. 269, No. 126390 (2025).
57. Cai, K., Huang, M., Dong, Y., Liao, S., Ni, Y.Q., and Chan, P.W. “Nonstationary turbulent wind speed models and their effects on wind-induced responses of tall buildings”, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol. 151, No. 3, No. 04025003 (2025).

58. Li, H.W., Zhang, D., Lu, Y., Ni, Y.Q., Xu, Z.D., Zhu, Q., and Wang, S.M. “Self-tuning dual-layer sliding mode control of electromagnetic suspension system”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 26, No. 2, 2366-2380 (2025).
59. Chen, Z., Lai, S.K., Yang, Z., Ni, Y.Q., Yang, Z., and Cheung, K.C. “AT-PINN-HC: A refined time-sequential method incorporating hard-constraint strategies for predicting structural behavior under dynamic loads”, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 436, No. 117691 (2025).
60. Deng, E, Xiang, Q., Chan, J.C.L., Dong, Y., Tu, S.F., Chan, P.W., and Ni, Y.Q. “Increasing temporal stability of global tropical cyclone precipitation”, *npj Climate and Atmospheric Science*, Vol. 8, No. 1, No. 11 (2025).
61. Cai, K., Huang, M., Li, Q., Wang, Q., and Ni, Y.Q. “Fractal-based numerical simulation of multivariate typhoon wind speeds utilizing Weierstrass Mandelbrot function”, *Journal of Infrastructure Intelligence and Resilience*, Vol. 4, No. 2, No. 100135 (2025).
62. Deng, E, Liu, X.Y., Ouyang, D.H., Yue, H., and Ni, Y.Q. “3D ultrasonic anemometer array reveals jet flow structures at the entrance of high-speed railway tunnel”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 257, No. 106004 (2025).
63. Li, H.W., Hao, S., Ni, Y.Q., Wang, Y.W., and Xu, Z.D. “Hybrid structural analysis integrating physical model and continuous-time state-space neural network model”, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol. 40, No. 2, 166-180 (2025).
64. Jiang, W., Peng, Y., Ni, Y.Q., Wang, S.M., Xie, Y., Ma, K., Li, W., He, J., and Long, G. “Study on three-dimensional digital features of crushed stone aggregates in the self-compacting concrete filling layer”, *Structures*, Vol. 71, No. 108148 (2025).
65. Wang, Q.A., Chen, J., Ni, Y.Q., Xiao, Y.F., Liu, N.B., Liu, S.K., and Feng, W.S. “Application of Bayesian networks in reliability assessment: A systematic literature review”, *Structures*, Vol. 71, No. 108098 (2025).
66. Dang, D.Z., Wang, Y.W., and Ni, Y.Q. “A novel guided wave testing method for identifying rail web cracks using optical fiber Bragg grating sensing and orthogonal matching pursuit”, *Measurement*, Vol. 243, No. 116317 (2025).
67. Chen, Z.W., Guo, Z.H., Ni, Y.Q., Guo, Z.J., Wang, T.T., Rui, E.Z., and Zeng, G.Z. “Parametric investigation of suction actuators on the tunnel wall for alleviating pressure interactions in high-speed maglev train/tunnel system”, *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol. 156, No. 106239 (2025).

68. Hu, F., Gou, H., Yang, H., Yan, H., Ni, Y.Q., and Wang, Y.W. “Automatic PAUT crack detection and depth identification framework based on inspection robot and deep learning method”, *Journal of Infrastructure Intelligence and Resilience*, Vol. 4, No. 1, No. 100113 (2025).
69. Hao, S., Wang, S.M., Ni, Y.Q., Chen, Z.W., and Adeagbo, M. “Multi-task Gaussian Processes based transient aerodynamic load reconstruction for maglev vehicle using acceleration response”, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 596, No. 118754 (2025).
70. Chen, R., Lu, Z.R., Su, C., and Ni, Y.Q. “Stochastic optimization of levitation control system for maglev vehicles subjected to random guideway irregularity”, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 594, No. 118682 (2025).
71. Wang, Q.L., Hu, J.J., Yang, S.H., Dong, Z.K., Deng, X.W., and Xu, Y.X. “Towards machine learning applications for structural load and power assessment of wind turbine: An engineering perspective”, *Energy Conversion and Management*, Vol. 324, No. 119275 (2025).
72. Wang, Q.L., Ti, Z.L., Yang, S.H., Yang, K., Wang, J.J., and Deng, X.W. “Hierarchical dynamic wake modeling of wind turbine based on physics-informed generative deep learning”, *Applied Energy*, Vol. 378, No. 124812 (2025).
73. Yang, K., Zhao, Z.X., Deng, X.W., Yang, S.H., Wang, Q.L., Dong, Z.K., and Feng, X. “Inter-farm wake effect on layout optimization: Case study of standardized two-phase wind farms”, *Advances in Wind Engineering*, Vol. 1, No. 2, No. 100021 (2024).
74. Han, X. L., and Li, Q. S. “Effects of turbulence intensity and integral length scale on wind-induced vibrations of a three-dimensional aeroelastic square cylinder”, *Engineering Structures*, Vol. 322, No. 119095 (2025).
75. Zhou, H., Luo, T., and Ni, Y.Q. “MS-TFNet: An unsupervised deep learning method for multi-frequency GPR data fusion in tunnel lining inspection”, 13th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar (IWAGPR), Thessaloniki, Greece (2025).
76. Bi, J., Zhou, X., Xia, J., Chen, S. and Chan, W. S. “Frequency-Query Enhanced Electromagnetic Surrogate Modeling with Edge Anti-Aliasing Pixelation for Bandpass Filter Inverse Design”, in *IEEE/MTT-S International Microwave Symposium (IMS)*, San Francisco, CA, USA (2025).

77. Bi, J., Zhou, X., Xia, J., Feng, W., Wang, Y. and Chan, W. S. “AI-Driven Pixelated Matching Network Design with Automated Impedance Clustering Constraints for Power Amplifiers”, in IEEE MTT-S International Wireless Symposium (IWS), Xi'an, China (2025).
78. Bi, J., Wang, Y., Zhou, X. and Dong, Y. “Topology-Guided Optimization Methodology for High-Efficiency Power Amplifier Design”, in IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), London, United Kingdom (2025).
79. Bi, J., Huang, Y., Wang, Y., Zhao, R., Zhou, X. and Chan, W. S. “Compact Pixelated PCB-Based Bandpass Filter”, IEEE Microwave Magazine (2025).
80. Gong, Y., Liu, Z., Liang, H., Cao, Y., Su, H. and Sun, Y. “Exploring the impacts of assimilating AMSR2 and GNSS PWV data on rainfall prediction in South China”, *Atmospheric Research*, Vol. 331, p. 108642 (2025).
81. Xue, D., Xu, Y., Yu, S. and Liu, Z. “Exploring the Effects of Space Weather-Caused Satellite Navigation Failure on Fuel Consumption and Aircraft Emissions: A Simulated Study”, *Transport Economics and Management*, Vol. 3, pp. 391–402 (2025).
82. Yang, K., Liu, Y., Chen, Y., Liu, Z., Jin, K. and Zhu, Y. “A New Wavelet Transform and Merging Generative Adversarial Network (WTM-GAN) Model for TEC Spatial Inpainting”, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Vol. 18, pp. 20530–44 (2025).
83. Zhang, H. and Liu, Z. “4D Aircraft Trajectory Prediction Considering Severe Weather Effects”, *The Aeronautical Journal*, accepted (2025).
84. Xu, J. and Liu, Z. “Machine Learning-driven Retrieval of All-weather Precipitable Water Vapor From Satellite MODIS Thermal Infrared Observations”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, accepted (2025).
85. Gong, Y. and Liu, Z. “Enhancing the Accuracy of Jason-3 PWV Products Over Coastal Areas Using the Back Propagation Neural Network”, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing (JSTARS)*, accepted (2025).
86. Xu, J. and Liu, Z. “Development and Validation of Integrated Water Vapor Under Variable Cloud Conditions Using Sentinel-3 OLCI Near-Infrared Radiance Measurements”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 63, pp. 1–14 (2025).

87. Zhang, H. and Liu, Z. “Four-Dimensional Aircraft Trajectory Prediction with a Generative Deep Learning and Clustering Approach”, *Journal of Aerospace Information Systems*, Vol. 22, No. 2, pp. 90–102 (2025).
88. Chen, Y., Lan, Z., Liang, S., Fan, L., Zhu, J. and Su, Z.* ‘Realization of spin-locked acoustic helical Landau levels in both hexagonal and square lattices’, *Advanced Science*, 12:e07059 (2025).
89. Chen, Y., Liang, S., Yang, Y., Liu, S., Lan, Z., Su, Z.* and Zhu, J. ‘Experimental realization of phoxonic topological insulators’, *Materials Today Physics*, 57:101844 (2025).
90. Fan, L., Chen, Y., Zhu, J. and Su, Z.* ‘Multiband large-area ultrasonic energy conveying and harvesting via a phononic topological heterostructure’, *Nano Energy*, 145:111433 (2025).
91. Wang, Q., Duongthipthewa, A., Zhang, R., Liu, X., Zhang, J., Li, X., Su, Z.* and Zhou, L.-M. ‘Implantable graphene/PVA-coated glass fiber for real-time strain monitoring in structural batteries under electrochemical cycling and external loading’, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 199:109198 (2025).
92. Chen, Y., Lan, Z., Liang, S., Cheung, S-K., Fan, L., Zhu, J. and Su, Z.* ‘Visualization of flexible large-area acoustic energy conveying enabled by valley-dependent Landau bulk modes’, *Science China Physics, Mechanics & Astronomy*, 68(9):294311 (2025).
93. Chen, Y., Lan, Z., Fan, L., Liang, S., An, L., Zhu, J. and Su, Z.* ‘Realization of broadband ultrasonic chiral Landau levels in an elastic metamaterial’, *Physical Review B*, 111:184303 (2025).
94. Chen, Y., Yang, Y., Liu, S., Lan, Z., Liang, S., Zhu, J. and Su, Z.* ‘Topology optimization empowered dual-band second-order photonic topological insulators’, *Physical Review Applied*, 23(4):044048 (2025).
95. Chen, Y., Fan, L., Zhu, J. and Su, Z.* ‘An on-chip second-order elastic topological insulator for demultiplexing out-of-plane and in-plane corner modes’, *Advanced Science*, 12(4):2411398 (2025).
96. Ma, W., Yin, H., Wong, P.J.Y., Wang, D., Sun, Y. and Su, Z.* ‘TripletLoc: one-shot global localization using semantic triplet in urban environments’, *IEEE Robotics and Automation Letters*, 10(2):1569-1576 (2025).

97. Wang, Q., Ma, M., Duongthipthewa, A., Zhang, W., Lang, Y., Luo, G., Su, Y., Liu, M., Zhou, L.-M. and Su, Z.* “‘Totally-additive-manufacturing’-functionalized carbon fiber-reinforced polymer composites with an ultrasensitive self-sensing network’, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 189:108596 (2025).
98. He, Y., Luo, G., Huang, J., Li, Y., Sohn, H. and Su, Z.* ‘Ultrafast laser-enabled optoacoustic characterization of three-dimensional, nanoscopic interior features of microchips’, *Ultrasonics*, 146:107510 (2025).
99. Ma, M., Gao, H., Guo, X. and Su, Z.* ‘Reconfigurable ultrasound focusing effect through acoustic barriers’, *Ultrasonics*, 145:107470 (2025).
100. Zhang, W., Ni, Y.Q., Wang, S.M., Yuan, L., and Hao, S “A novel approach for identifying rotational stiffness of semirigid joints by physics-informed neural networks”, *Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE, Vol. 39, No. 4, Paper No. 04025039. (SCI) (2025).
101. Qiu, L.S., Ding, S.Q., Ding, Z.H., Qin, H.Y., Wang, X.Y., Zhang, Y.Y., Yang, C., Zhou, K., Ni, Y.Q., and Han, B.G. “Harnessing LDHs@GO hierarchical nanocomposites for robust and efficient corrosion protection in sustainable marine concrete infrastructure”, *Advanced Composites and Hybrid Materials*, (2025).

2.3.2 主题报告

1. Ni, Y.Q. (2025), Keynote speaker: The 2nd International Workshop on Intelligent Tropical-Storm-Resilient Systems for Coastal Cities (INTACT 2025), Hong Kong, China.
2. Ni, Y.Q. (2025), Keynote speaker: The 11th National Conference on Structural Vibration Control and Health Monitoring, November 1, 2025, Wuhan University of Technology, Wuhan, China.
3. Ni, Y.Q. (2025), Keynote speaker: 2025 Greater Bay Area International Rail Transit Exhibition (GGRTE 2025 GBA), November 21, 2025, Guangzhou, China.
4. Ni, Y.Q. (2025), Keynote speaker: The 1st International Workshop on Scientific Machine Learning and Large-Language-Model-Enabled Civil Engineering Application (SMLLM2026 Working Group), November 24, 2025, Hong Kong, China.
5. Ni, Y.Q. (2025), Keynote speaker: "PolyU Research Pioneers: Fortifying Urban Resilience Against Extreme Weather", November 27, 2025, Hong Kong, China.

6. Ni, Y.Q. (2025), Forum Participant: NSFC–BHKAEC Frontier Academic Forum on “Wind Energy Utilisation and Wind Disaster Mitigation”, December 1-3, 2025, Chongqing, China.
7. Su, Z.Q. Keynote speaker: Augmenting ultrasound for continuous glucose monitoring via a wearable acoustically readable microneedle patch (2025 International Conference on Advanced Materials Technology (ICAMT 2025); 15-16, November 2025; Guangzhou, P. R. China).
8. Su, Z.Q. Keynote speaker: The 14th International Conference on Structural Integrity and Failure (SIF 2025); Presentation title: Optoacoustic characterization of three-dimensional, nanoscopic interior features of microchips using ultrafast laser; 28-30, May 2025; Sydney, Australia; Chairs: Wang, C. and Gludovatz, B.
9. Su, Z.Q. Keynote speaker: The 2025 SPIE Conference on Smart Structures/NDE (Health Monitoring of Structural and Biological Systems XIX); Presentation title: An annular photoacoustic tweezer for manipulation of bioparticles, 17-20, March 2025; Vancouver, Canada; Chairs: Su, Z., Peters, K., Ricci, F. and Rizzo, P.

2.3.3 国际会议

1. Member of Scientific Committee of the 13th International Conference on Structural Dynamics, 27 September – 1 October 2026, Hannover, Germany;
2. Member of Scientific Committee of the 4th International Conference on Industrial Aerodynamics, 17-19 October 2025, Qingdao, China;
3. Member of Scientific Committee of the 13th International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure, 1-5 September 2025, Graz, Austria;
4. Member of International Advisory Board of the 9th International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation, 1-3 September 2025, Cape Town, South Africa;
5. Chairman of the 2nd International Workshop on Intelligent Tropical-storm-resilient System for Coastal Cities (INTACT 2025), 25-26 August 2025, Hong Kong;
6. Zhou, H., Luo, T., and Ni, Y.Q. (2025), “MS-TFNet: An unsupervised deep learning method for multi-frequency GPR data fusion in tunnel lining inspection”, 13th

- International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar (IWAGPR) Thessaloniki, Greece, 2025.
7. Ni, Y.-Q., Duan, H.-F., Zhu, S.-Y., Lai, S.-K., Zhai, G.-H., Wang, J.-Y., Ghafoor, I., and Lu, B. (2025), “The 2nd International Workshop on Intelligent Tropical-Storm-Resilient Systems for Coastal Cities (INTACT 2025),” Workshop, August 25–26, 2025, Hong Kong, China.
 8. Ni, Y.-Q. (2025–2030), “Appointment to Advisory Committee of the Institute for Disaster Prevention and Mitigation in the Guangdong–Hong Kong–Macao Greater Bay Area (GDUT),” Appointment, October 2025–October 2030, Guangzhou, China.
 9. Zhou, H. (2025), “An Obstacle Intrusion Detection Method for Complex Environment Tracks Based on Manifold Regularization,” The 13th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar (IWAGPR 2025), July 2–4, 2025, Thessaloniki, Greece.
 10. Zhou, H. (2025), “MS-TFNET: An Unsupervised Deep Learning Method for Multi-Frequency GPR Data Fusion in Tunnel Lining Inspection,” The 13th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar (IWAGPR 2025), July 2–4, 2025, Thessaloniki, Greece.
 11. Zeng, Y.-J. (2025), “Prediction of Urban Wind Speed During Tropical Cyclones Using a Novel Deep Learning-Based Spatiotemporal Model,” The 13th International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure (SHMII), September 1–5, 2025, Graz, Austria.
 12. Li, P.-L. (2025), “Solving Structural Dynamics with Uncertainty Quantification via Evidential Neural Operators,” The 13th International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure (SHMII), September 1–5, 2025, Graz, Austria.
 13. Zhai, G. (2025), “Bidirectional Graphics-Based Digital Twin (BiGBDT): Concept and Implementation in Post-Earthquake Structural Assessment,” The 5th Digital Twin International Conference (DigiTwin 2025), October 14–18, 2025, Garmisch-Partenkirchen, Germany.
 14. Chen, Z.-W. (2025), “Research on Aerodynamic Characteristics and Dynamic Safety of High Speed Maglev Trains Under Complex Wind Conditions,” The 4th International Conference on Industrial Aerodynamics (ICIA 2025), October 17–19, 2025, Qingdao, China.

15. Liu, W.-Q. (2025), “An Obstacle Intrusion Detection Method for Complex Environment Tracks Based on Manifold Regularization,” The 15th International Workshop on Structural Health Monitoring (IWSHM), September 9–11, 2025, Stanford, CA, USA.
16. Lyu, L. (2025), “Noise Tomography Based Urban Ground Collapse Monitoring Using Distributed Acoustic Sensing,” The 15th International Workshop on Structural Health Monitoring (IWSHM), September 9–11, 2025, Stanford, CA, USA.
17. Lu, J.-H. (2025), “Kolmogorov–Arnold Network Aided Design of Conch Shell Inspired Acoustic Metamaterial for Rail Noise Mitigation,” The 15th International Workshop on Structural Health Monitoring (IWSHM), September 9–11, 2025, Stanford, CA, USA.
18. Ni, Y.-Q. (2025), “Integrated Air–Space–Ground Monitoring for Typhoon Early Warning of High Rise Building Clusters in Coastal Cities,” Invited Keynote at the 11th National Conference on Structural Vibration Control and Health Monitoring, November 1, 2025, Wuhan, China.
19. Ni, Y.-Q. (2025), “AI Empowered Rail Transit: A New Paradigm for Talent Development,” Invited Keynote at the Global Rail Talent Development Forum, GGRTE 2025, November 21, 2025, Guangzhou, China.
20. Ao, V. W. K. (2025), “AI Driven Railway Technologies: CNERC Rail Research Achievements,” Merck KGaA and OASES Delegation Meeting, November 21, 2025, Hong Kong, China.
21. Ni, Y.-Q., Ao, V. W. K., Hu, Y., Lu, J.-H., and Lu, Y.-H. (2025), “Excellence Award – 2nd International Innovation Competition on Structural Health Monitoring for Railway Systems (ECAV Ensemble for Impact Localization and Energy Prediction),” Competition, November 17, 2025, Singapore.
22. Ni, Y.-Q. (2025), “A Multi Source Data Driven Intelligent Disaster Mitigation System for Typhoons and Associated Hazards in Coastal Cities,” Invited Keynote at the NSFC—BHKAEC Frontier Academic Forum, 2025, Hong Kong, China.
23. Ding, S.-Q. (2025), “2025 Building Materials Industry Science and Technology Innovation Conference (Second Prize: Intrinsic Self Sensing Cement Based Composites and Their Intelligent Structures),” Conference, 2025, Ningbo, China.
24. Su, Z.-Q. (2025), “Optoacoustics-enabled nondestructive evaluation for turbofan engine

blades” (Global Power and Propulsion Society (GPPS) Technical Conference Shanghai 2025; 4-6, September, 2025; Shanghai, P. R. China).

2.3.4 专利和奖项

专利

1. 中国发明专利“一种适用于轨道检测的影像分析系统、方法和装置”（发明人：王素梅；倪一清；专利号：ZL202011059164.3；授权日：2025-01-03）（图 2.150 左）
2. 中国发明专利“基于磁悬浮列车控制系统的列车控制方法、装置和控制器”（发明人：王素梅；张梦华；诸锜；倪一清；专利号：ZL 202211013918.0；授权日：2025-03-28）（图 2.150 右）
3. 中国发明专利“磁悬浮控制系统及控制方法”（发明人：倪一清；王素梅；陆洋；专利号：ZL 202011058051.1；授权日：2025-07-22）（图 2.151 左）
4. 中国发明专利“一种风力机叶片的主梁结构”（发明人：周恺；年玉泽；丁思齐；倪一清；王友武；专利号：ZL 202510258961.0；授权日：2025-07-25）（图 2.151 右）
5. 中国发明专利“流场预测方法、装置、终端设备及存储介质”（发明人：陈争卫；倪一清；芮恩泽；曾广志；专利号：ZL 202311252989.0；授权日：2025-09-30）（图 2.152 左）
6. 中国发明专利“一种可用于轨道交通吸声矮墙的泡沫混凝土及其制备方法”（发明人：丁思齐；董素芬；席晓海；韩宝国；倪一清；专利号：ZL202310769763.1；授权日：2024-06-04）（图 2.152 右）
7. 美国专利：Methodology for Vibration and Noise Control Using Modular Rail Particle Damper in Rail Transit Systems（发明人：Seyed Masoud Sajjadi Alehashem；倪一清；张超；专利号：US 12,480,261 B2；授权日：2025-11-25）（图 2.153 左）

奖项

1. 倪一清教授，王素梅博士，刘文强博士和许馨月女士在日内瓦國際發明展荣获銀牌（图 2.153 右）
2. 周新宇博士团队荣获 the Third Place of the Flash Competition at 2025 IEEE MTT-S International Wireless Symposium（图 2.154）

3. 周新宇博士团队荣获 the First Place in the Student Design Competition on PCB Based Bandpass Filter at the 2025 International Microwave Symposium (图 2.155)
4. 区玮玑博士, 胡瑶博士, 陆嘉豪先生和陆雨航先生在第二届轨道交通结构健康监测国际创新大赛荣获二等奖(即卓越奖)(图 2.156)
5. 王素梅博士荣获 IEEE SA 新兴技术奖(图 2.157)
6. 丁思齐博士荣获建筑材料科学技术二等奖(图 2.158)
7. 倪一清教授荣获 2024 年度专利申请优秀奖(图 2.159)
8. 倪一清教授荣获 Editorial Contribution Award 2025 by Springer Nature Group in recognition of his outstanding performance as an Associate Editor of Journal of Civil Structural Health Monitoring (图 2.160)

荣誉

1. 倪一清教授当选 美国土木工程师学会会士 (ASCE) (图 2.161)
2. 中心九位成员入选斯坦福大学发布全球前 2% 顶尖科学家名单(倪一清教授、成利教授、苏众庆教授、曹建农教授、柯少荣教授、董优教授、谭华耀教授、朱松晔教授、冷真教授)(图 2.162)
3. 倪一清教授荣获在第二届轨道交通结构健康监测国际创新大赛二等奖(即卓越奖)“Outstanding Advisor” 称号(图 2.163)



图 2.150 专利证书：一种适用于轨道检测的影像分析系统、方法和装置（左）；
基于磁悬浮列车控制系统的列车控制方法、装置和控制器（右）



图 2.151 专利证书：磁悬浮控制系统及控制方法（左）；一种风力机叶片的主梁结构（右）



图 2.152 专利证书：流场预测方法、装置、终端设备及存储介质（左）；一种可用于轨道交通吸声矮墙的泡沫混凝土及其制备方法（右）

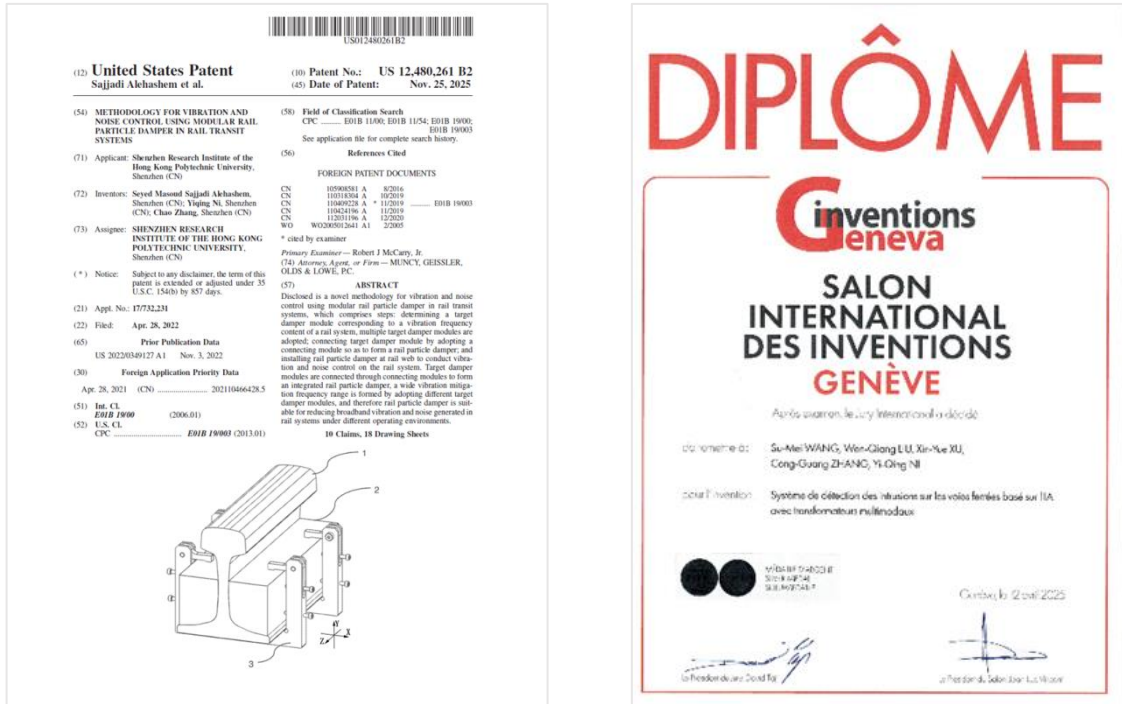


图 2.153 专利证书：Methodology for Vibration and Noise Control Using Modular Rail Particle Damper in Rail Transit Systems（左）；倪一清教授，王素梅博士，刘文强博士和许馨月女士在日内瓦国际发明展荣获银牌（右）



图 2.154 周新宇博士团队荣获 the Third Place of the Flash Competition at 2025 IEEE MTT-S International Wireless Symposium



图 2.155 周新宇博士团队荣获 the First Place in the Student Design Competition on PCB Based Bandpass Filter at the 2025 International Microwave Symposium



图 2.156 区玮玑博士，胡瑶博士，陆嘉豪先生和陆雨航先生在第二届轨道交通结构健康监测国际创新大赛荣获二等奖（即卓越奖）



图 2.157 王素梅博士荣获 IEEE SA 新兴技术奖



图 2.158 丁思齐博士荣获建筑材料科学技术二等奖



图 2.159 倪一清教授荣获 2024 年度专利申请优秀奖



图 2.160 倪一清教授荣获 Editorial Contribution Award 2025 by Springer Nature Group in recognition of his outstanding performance as an Associate Editor of Journal of Civil Structural Health Monitoring

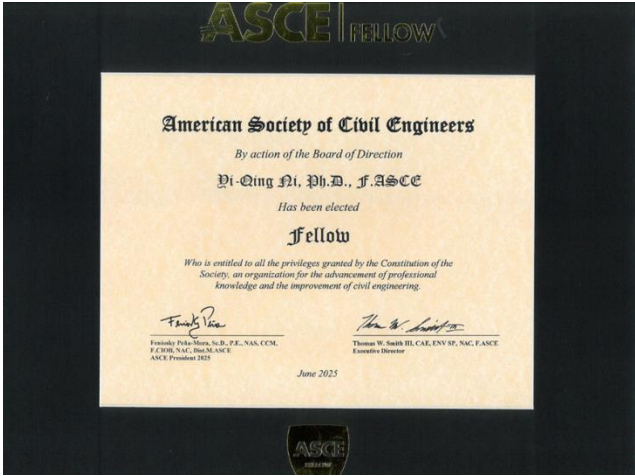


图 2.161 倪一清教授当选 Fellow by the American Society of Civil Engineers (ASCE)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	authfull	inst_name	f.country	np6024	firstyr	lastyr	rank (ms)	nc6024 (m h24 (ms)	hm24 (ms) ngs (ms)	ncs (ms)	cpaf (ms)	ncsf (ms)	npaff (ms)	ncsff (ms)	c (ms)	npcting (c)cpaf (ms)	np6024 c/s setff%				
71101	Cheng, Li	The Hong Kong Polytechnic University	hkg	508	1992	2025	71,100	9,829	53	30,815.1	5	73	24	481	306	5,655	3,5926	7,099	1,3846	385	20.42
74752	Ni, Yi-Qing	The Hong Kong Polytechnic University	hkg	566	1992	2025	74,752	11,840	56	27,2468	9	8	86	3,154	289	6,005	3,5751	9,070	1,3054	457	18.23
133320	Su, Zhongqing	The Hong Kong Polytechnic University	hkg	345	1999	2025	142,378	7,820	46	20,8008	1	2	49	2,812	184	4,599	3,1304	5,765	1,3565	270	18.58
144403	Cao, Jianrong	The Hong Kong Polytechnic University	hkg	1,069	1995	2025	159,033	16,830	42	28,3349	5	0	128	645	374	3,998	3,2948	15,116	1,1134	833	12.08
153175	Or, Siu Wing	The Hong Kong Polytechnic University	hkg	264	1996	2025	173,675	6,067	39	15,9294	1	41	26	408	74	1,479	3,2597	5,036	1,2067	227	14.12
158176	Dong, You	The Hong Kong Polytechnic University	hkg	189	2011	2025	182,782	2,700	27	15,8611	1	97	27	990	90	1,584	3,2384	2,177	1,2402	140	32.87
174618	Tam, Hwayan	The Hong Kong Polytechnic University	hkg	744	1989	2023	214,901	13,757	58	29,4187	3	0	25	148	341	5,052	3,1708	11,095	1,2399	531	14.79
182613	Zhu, Songye	The Hong Kong Polytechnic University	hkg	228	2001	2025	233,201	5,799	42	24,9167	0	0	21	828	141	3,955	3,1357	4,042	1,4347	183	19.81
204992	Leng, Zhen	The Hong Kong Polytechnic University	hkg	224	2008	2025	302,910	4,957	42	19,1317	0	0	22	1,004	63	1,661	3,0210	3,779	1,3118	191	18.27

图 2.162 中心九位成员入选斯坦福大学发布全球前 2%顶尖科学家名单（倪一清教授、成利教授、苏众庆教授、曹建农教授、柯少荣教授、董优教授、谭华耀教授、朱松晔教授、冷真教授）



图 2.163 倪一清教授荣获在第二届轨道交通结构健康监测国际创新大赛二等奖（即卓越奖）“Outstanding Advisor”称号

2.3.5 学术组织兼职

- 1 倪一清教授担任 Journal of Infrastructure Intelligence and Resilience 联合主编 (Publisher: Elsevier)
- 2 倪一清教授担任 Intelligent Transportation Infrastructure 联合主编 (Publisher: Oxford University Press)
- 3 倪一清教授担任 Structural Control and Health Monitoring 学术主编 (Publisher: Wiley & Hindawi Partnership)
- 4 倪一清教授担任 Journal of Vibration and Control 学术主编 (Publisher: SAGE Publications)
- 5 倪一清教授担任 Journal of Civil Structural Health Monitoring 副主编 (Publisher: Springer)
- 6 倪一清教授担任 IEEE Std 3352-2025 – IEEE Standard for Test Specification of Short Primary Maglev Vehicles 主编
- 7 倪一清教授担任 “Technical Specification for Intelligent Nondestructive Testing of Building Enclosure Systems” (Code: T/CECS 1884-2025) 主要起草人
- 8 倪一清教授担任城市轨道交通车辆用降噪环技术要求主要起草人
- 9 倪一清教授担任 Author of Technical requirements of noise reduction ring for urban rail transit vehicles 主要起草人
- 10 倪一清教授担任 International Journal of Railway Research 顾问 (Publisher: Iran University of Science and Technology Press)
- 11 倪一清教授担任 Journal of Intelligent Manufacturing and Special Equipment 顾问 (Publisher: Emerald Publishing)
- 12 倪一清教授担任 Engineering Structures 编辑 (Publisher: Elsevier)
- 13 倪一清教授担任 Smart Structures and Systems: An International Journal 编辑 (Publisher: Techno-Press)
- 14 倪一清教授担任 Advances in Structural Engineering: An International Journal 编辑 (Publisher: SAGE Publications)
- 15 倪一清教授担任 Advanced Steel Construction: An International Journal 编辑 (Publisher: The Hong Kong Institute of Steel Construction)

- 16 倪一清教授担任 Structural Monitoring and Maintenance: An International Journal 编辑 (Publisher: Techno-Press)
- 17 倪一清教授担任 Transportation Safety and Environment 编辑 (Publisher: Oxford University Press)
- 18 倪一清教授担任 Advances in Bridge Engineering 编辑 (Publisher: Springer Nature Group)
- 19 倪一清教授担任 Journal of Railway Science and Technology 编辑 (Publisher: KeAi)
- 20 倪一清教授入选 ScholarGPS Lifetime Highly Ranked Scholars 全球前 0.05% 顶尖科学家名单
- 21 倪一清教授担任广东工业大学粤港澳大湾区防灾减灾研究院咨询委员会委员
- 22 朱松晔教授担任 Advances in Structural Engineering 编辑 (Publisher: SAGE Publications Inc)
- 23 朱松晔教授担任 International Journal of Smart and Nano Materials 副编辑 (Publisher: TAYLOR & FRANCIS LTD)
- 24 苏众庆教授担任 Journal of Ultrasonics 主编 (Publisher: Elsevier)
- 25 苏众庆教授担任 Structural Health Monitoring: An International Journal 副主编 (Publisher: SAGE Publications Inc)
- 26 黎绍佳博士担任 Journal of Vibration Engineering & Technologies 副编辑 (Publisher: Springer)
- 27 黎绍佳博士担任 International Journal of Dynamics and Control 编辑 (Publisher: Springer)
- 28 柯少荣教授担任 Processes 编辑 (Publisher: MDPI)
- 29 刘志赵教授担任 GPS Solutions 编辑 (Publisher: Springer)
- 30 刘志赵教授担任 Satellite Navigation 编辑 (Publisher: Springer Open)
- 31 冷真教授担任 Cleaner Materials 主编 (Publisher: Elsevier)
- 32 冷真教授担任 Journal of Cleaner Production 编辑 (Publisher: Elsevier)
- 33 冷真教授担任 Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements 编辑 (Publisher: ASCE)
- 34 冷真教授担任 Journal of Materials in Civil Engineering 编辑 (Publisher: ASCE)
- 35 冷真教授担任 Road Materials and Pavement Design 编辑 (Publisher: TAYLOR & FRANCIS LTD)

- 36 冷真教授担任 Transportation Research Part D: Transport and Environment 编辑 (Publisher: Elsevier)
- 37 冷真教授担任 International Journal of Transportation Science and Technology 编辑 (Publisher: Elsevier)
- 38 曹建农教授担任 ACM Computing Surveys 编辑 (Publisher: Association for Computing Machinery)
- 39 曹建农教授担任 ACM Transactions on Cyber-Physical Systems 编辑 (Publisher: Association for Computing Machinery)
- 40 曹建农教授担任 ACM Transactions on Sensor Networks 编辑 (Publisher: Association for Computing Machinery)
- 41 曹建农教授担任 Chinese Journal of Electronics 编辑 (Publisher: Chinese Institute of Electronics)
- 42 曹建农教授担任 Peer-to-Peer Networking and Applications 编辑 (Publisher: Springer)
- 43 成利教授担任 Journal of Sound and Vibration 副主编 (Publisher: Elsevier)
- 44 成利教授担任 Journal of the Acoustical Society of America 副主编 (Publisher: Acoustical Society of America)
- 45 成利教授担任 Structural Health Monitoring: An International Journal 副主编 (Publisher: Publisher: SAGE Publications Inc)
- 46 成利教授担任 Nonlinear Dynamics 副主编 (Publisher: Springer)
- 47 王素梅博士担任 IEEE Std 3351-2025 – IEEE Standard for Levitation System of Electromagnetic Suspension-type Maglev Vehicles 主编
- 48 区玮玑博士担任城市轨道交通车辆用降噪环技术要求主要起草人
- 49 刘文强博士担任 IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 编辑 (Publisher: IEEE)
- 50 邓镔博士担任 Journal of Central South University 第三届青年编委 (Publisher: Springer)
- 51 邓镔博士担任 Advances in Wind Engineering 青年编委 (Publisher: KeAi)
- 52 邓镔博士担任世界交通运输大会(WTC)第三届学部委员会轨道交通学部轨道运载系统动力作用学科轨道运载工具空气动力学技术委员会青年委员;
- 53 董岳博士担任 Advances in Wind Engineering 青年编委 (Publisher: KeAi)
- 54 丁思齐博士担任 Communications Engineering 客座编辑 (Publisher: Nature Portfolio)

3. 2025 年铁路工程 香港分中心合作交流

3.1 合作协议

3.2 会议举办和参加

3.3 技术交流

3.4 中心讲座

3.5 来宾参访

3.6 新闻专访



3. 2025 年铁路工程香港分中心合作交流

3.1 合作协议

3.1.1 香港理工大学与中国中铁电气化局集团签署战略合作协议，共建联合实验室

2025 年 4 月 30 日，香港理工大学（PolyU）与中国中铁电气化局集团有限公司（CREEG）在北京举行战略合作协议签署仪式，并揭牌成立联合实验室。通过京港科技合作机制，双方致力于培养兼具创新理论与实践经验的高素质人才，打造全球轨道交通创新高地和产教融合典范。本次合作将支持“交通强国”国家战略，助力京津冀协同发展及全球数字经济标杆城市建设。

中铁电气化局集团作为中国中铁股份有限公司（双 500 强企业）的重要成员，是中国电气化铁路和城市轨道交通建设的国家队和主力军。本次合作将充分发挥双方优势，共同构建轨道交通创新高地。

香港理工大学土木与环境工程学系智能结构与轨道交通讲座教授倪一清教授，与中铁电气化局集团电气化公司总工程师李育冰先生签署了技术研发与应用战略合作协议。倪教授同时担任国家轨道交通电气化与自动化工程技术研究中心（香港分中心）主任及香港理工大学杭州技术创新研究院院长。

香港理工大学代表团还参观了中铁电气化局所属北京电化公司电气化装备研发中心，深入了解了中铁电气化局在轨道交通智能建造、数字技术应用及智能运维系统等方面的最新发展与创新成果，并围绕轨道交通智能化与数字化发展进行了深入的技术交流与研讨。

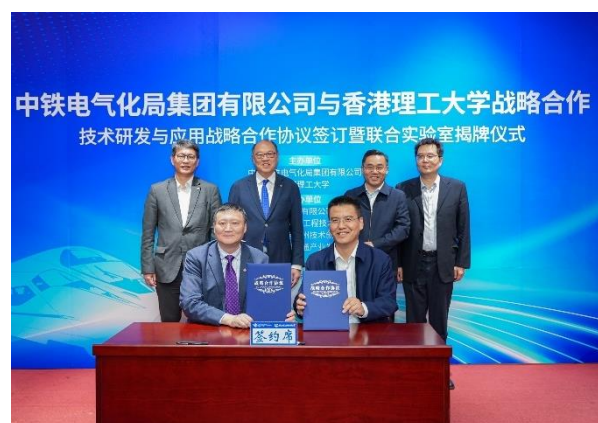




图 3.1 理大与中国中铁电气化局集团建立联合研究实验室的战略合作协议

3.1.2 香港理工大学与中国铁道科学研究院基础设施检测研究所签署联合研发合作，共推市域轨道智能感知与运维技术

2025年8月20日,国家轨道交通电气化与自动化工程技术研究中心(香港分中心)与中国铁道科学研究院集团有限公司签署合作协议,双方将联合申报并开展北京市科学技术委员会与中关村科技园区管理委员会2025年度“国际(港澳台)联合研发项目”——《基于AI大模型的市域轨道交通基础设施智能感知与运维技术研究》。

本次合作由中心负责人倪一清教授牵头,旨在整合双方在轨道基础设施检测、人工智能、大规模模型及工程应用方面的优势,攻克城市轨道交通系统智能感知、缺陷识别、状态评估与预测性维护等核心技术,提升地铁、高速以及磁悬浮等轨道系统的安全性、可靠性与运维效率。倪一清教授指出:本次合作将大幅增强我们将大模型技术应用于轨道工程的能力,推动科研成果更快、更好地服务于城市安全与可持续运营。

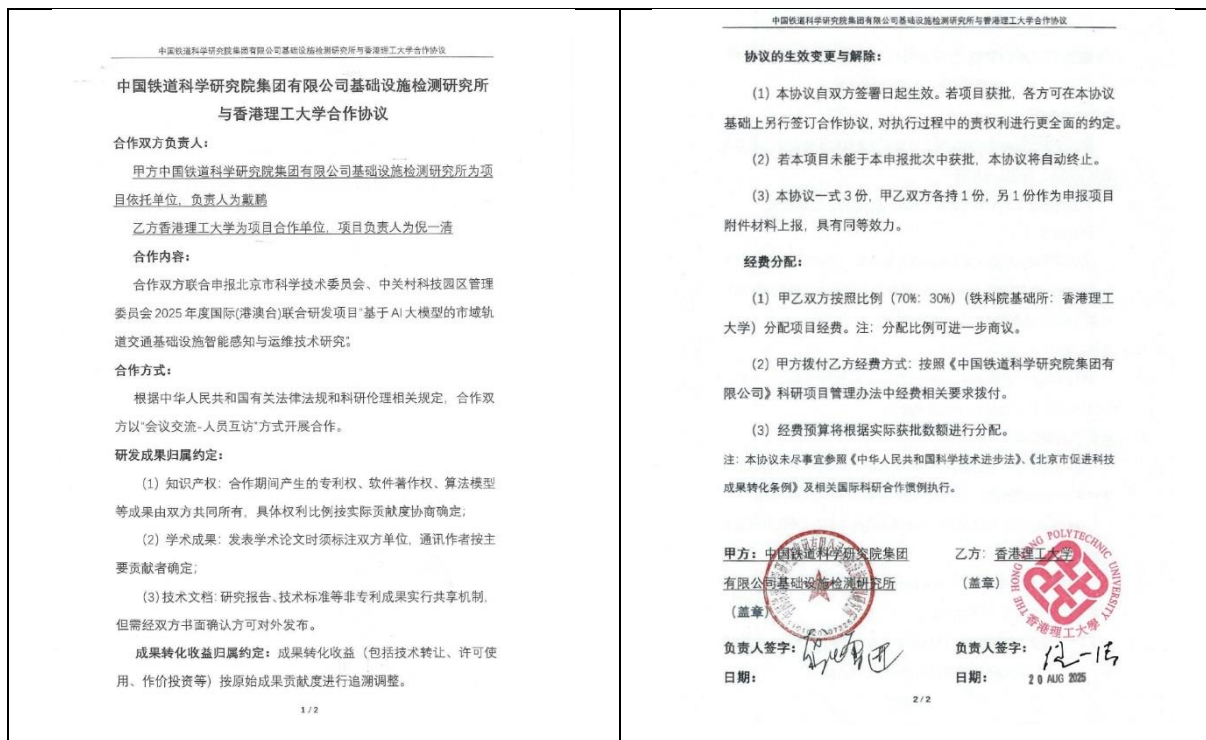


图 3.2 理大与中国铁道科学研究院基础设施检测研究所开展 AI 赋能区域轨道智能化研究合作

3.1.3 香港理工大学（理大）与株洲国创轨道科技有限公司（国创）签署合作协议

2025 年 9 月 29 日，香港理工大学（理大）与株洲国创轨道科技有限公司（国创）日签署合作协议，共同参与国家重点研发计划，致力于攻克氢锂混合动力低空飞行器在电力电子技术领域的核心难题。

该项目的最终目标是构建具有自主知识产权的氢电混合无人机系统仿真平台，为我国低空经济与新能源航空装备的发展提供关键技术支撑。此次合作也充分体现了理大通过具有影响力的跨境合作，推动可持续航空技术发展的承诺。



图 3.3 理大与株洲国创轨道交通科技有限公司签署战略科研合作协议

3.1.4 深圳银河双子塔结构健康监测合作项目协议

2025 年 12 月 1 日，国家轨道交通电气化与自动化工程技术研究中心（香港分中心）与深圳星河双子塔业主/开发商正式签署服务合作协议，将为该双子塔部署一套全面的结构健康监测系统。根据协议，中心负责设计、安装并调试一套集成化监测系统，其中包括多类型传感器（加速度计、应变计及风速仪）、用于城市风场测绘的车载与固定式激光雷达网络、数据采集与边缘处理单元，以及云端分析平台。此次合作旨在实现极端天气事件（台风及地震）期间结构响应数据的实时监测，支持幕墙及主体结构的长期性能评估，并为建筑业主与应急管理人员提供可操作的决策信息。合作内容涵盖数据共享、联合研究、设施工程师操作培训以及定期性能评审，以验证监测成果并指导维护策略的制定。该项目不仅推动了城市级韧性的前沿研究，也为将国家轨道交通安全研究中心在传感、建模及数字孪生领域的技术转化为实际应用，打造了一个重要的现实实验室。

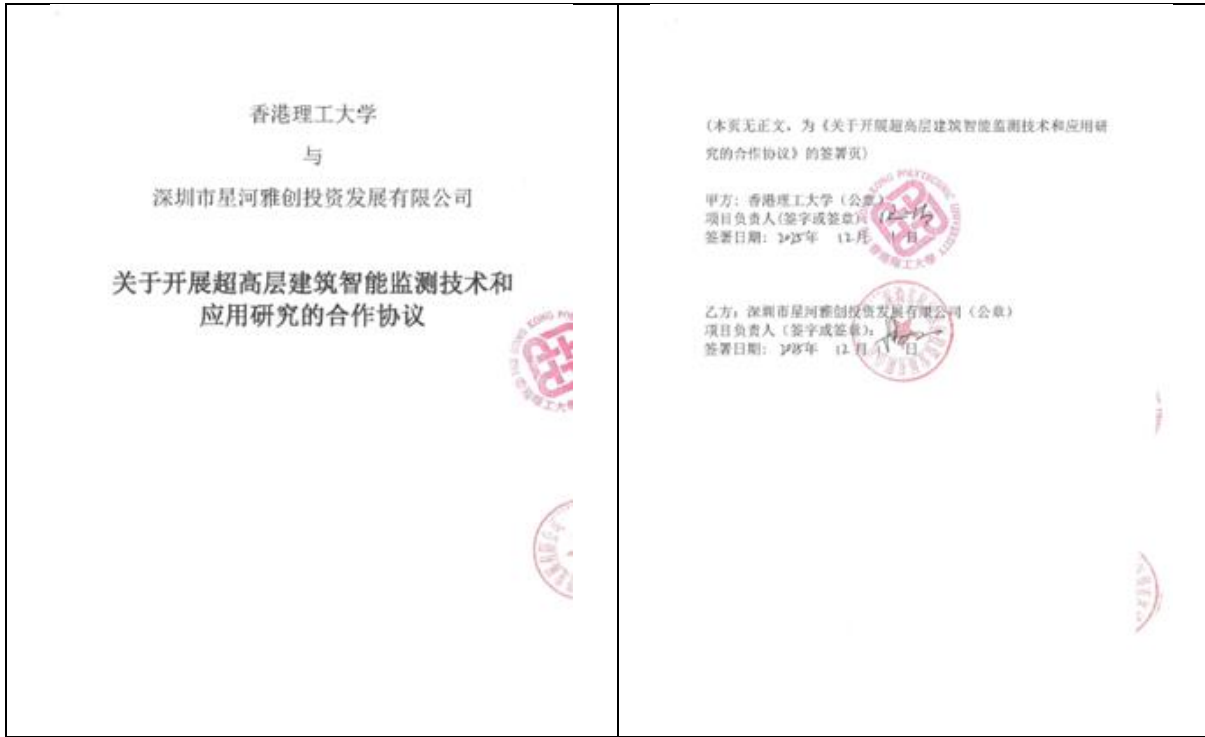


图 3.4 理大与深圳星河双子塔结构健康监测合作协议

3.2 会议举办和参加

3.2.1 首届国际贝叶斯方法在土木工程中应用研讨会（IWOBA 2025）

铁路工程香港分中心和土木及环境工程学系于 2025 年 1 月 10 日至 12 日成功举办首届国际土木工程贝叶斯方法研讨会（IWOBA 2025）。此次盛会汇聚了来自美国、英国、希腊、德国、意大利、新加坡、日本、中国大陆、香港及澳门等 10 个国家与地区的 120 位参与者。研讨会聚焦贝叶斯方法在多个土木工程学科的应用，致力打造一个活跃的国际合作与知识交流平台。

研讨会期间共进行了近 70 场学术报告，涵盖概率风险评估、不确定性量化、贝叶斯机器学习方法等广泛议题。这些报告和讨论凸显了贝叶斯方法的最新研究进展与创新应用，展示了其在应对土木工程复杂挑战方面的优势。



图 3.5 首届国际土木工程贝叶斯方法研讨会（IWOBA 2025）



图 3.6 倪一清教授在 IWOBA 2025 上致欢迎辞



图 3.7 IWOBA 2025 小组讨论环节

3.2.2 举办第二届沿海城市智能式热带风暴减灾系统国际研讨会 (INTACT 2025)

土木及环境工程系于 2025 年 8 月 25 至 26 日成功主办第二届沿海城市智能式热带风暴减灾系统国际研讨会 (INTACT 2025)。基于上一届会议的成功经验, INTACT 2025 致力于应对日益严峻的热带风暴灾害挑战, 并推动具备气候适应性的城市系统发展, 已成为该领域的重要国际交流平台。研讨会由倪一清教授主持, 段焕丰教授、朱松晔教授、黎绍佳副教授、翟光浩博士、王佳瑶博士、Imran Ghafoor 博士及陆斌博士担任共同主持人; 董优教授、邓锬博士及董岳博士担任会议秘书。本次研讨会亦是香港研究资助局主题研究计划 (Theme-based Research Scheme) 资助的五年期项目的重要组成部分。

为期两天的会议吸引了来自香港、内地、加拿大、澳大利亚等地区的 100 余名科研人员、专家学者及业界代表参与。开幕式上, 倪一清教授对与会嘉宾表示热烈欢迎, 并重点介绍了项目取得的阶段性成果, 包括用于提升热带气旋预测能力的 LiDAR 监测网络、与英伟达合作开发的 AI 预测模型, 以及在结构健康监测与气候风险评估方面取得的显著进展。

会议安排了四场特邀主旨报告, 分别由来自悉尼大学郭中秀教授、广西大学黄铭枫教授、香港城市大学陈仲良教授以及西安大略大学的 Ashraf El Damatty 教授主讲; 同时, 来自知名高校及工业界的青年研究人员也作了专题报告。技术分会系统展示了项目各主要研究任务的最新进展与未来方向, 促进了与会者之间的深入交流与讨论。研讨会有效推动了知识共享与合作, 为提升沿海城市在气候变化背景下面临极端风暴风险时的安全性与韧性提供了创新思路与策略。





图 3.8 INTACT 2025 与会者

3.2.3 参加第 13 届国际先进探地雷达研讨会（IWAGPR 2025）

周怀远先生于 2025 年 7 月 2 日至 4 日参加了在希腊塞萨洛尼基亚里士多德大学举行的第 13 届国际先进探地雷达研讨会（IWAGPR 2025）。周怀远宣讲了题为《基于流形正则化的复杂环境轨道障碍物入侵检测方法》及《MS-TFNET：一种用于隧道衬砌检测中多频探地雷达数据融合的无监督深度学习方法》的论文。



图 3.10 周怀远先生在 IWAGPR 2025 作报告

3.2.4 参加第 13 届智能基础设施结构健康监测国际会议

第 13 届智能基础设施结构健康监测国际会议（SHMII-13）于 2025 年 9 月 1 日至 5 日在奥地利格拉茨举行。作为全球领先的论坛，此次会议汇聚了研究人员和从业者，交流土木基础设施智能监测技术的前沿进展。曾元江博士宣讲了题为《一种预测热带气旋期间城市风速的新型基于深度学习时空模型》的论文。此外，李沛霖女士宣讲了题为《通过证据神经算子求解含不确定性量化的结构动力学问题》的论文。



图 3.11 曾远江博士在 SHMII-13 作报告



图 3.12 李沛霖女士在 SHMII-13 作报告

3.2.5 参加第五届数字孪生国际会议（DigiTwin 2025）

翟光浩博士于 2025 年 10 月 14 日至 18 日参加了在德国加米施-帕滕基兴举行的第五届数字孪生国际会议（DigiTwin 2025）。翟光浩博士宣讲了论文《基于双向图形的数字孪生（BiGBDT）：在震后结构评估中的概念与实现方法》。



图 3.13 翟光浩博士在 DigiTwin 2025 作报告

3.2.6 参加第 15 届斯坦福大学国际结构健康监测研讨会，

第 15 届国际结构健康监测研讨会（IWSHM）于 2025 年 9 月 9 日至 11 日在美国加利福尼亚州斯坦福大学举行。这一盛会汇聚了全球专家，共同推进基础设施状态监测技术的尖端发展。刘文强博士参加会议并宣讲了题为《基于流形正则化的复杂环境轨道障碍物入侵检测方法》的论文。该论文介绍了一种旨在提升铁路和有轨电车道安全性的创新方法。通过采用流形正则化这一先进的机器学习技术，该方案提高了在传统系统可能面临挑战的复杂真实环境中障碍物入侵检测的准确性。

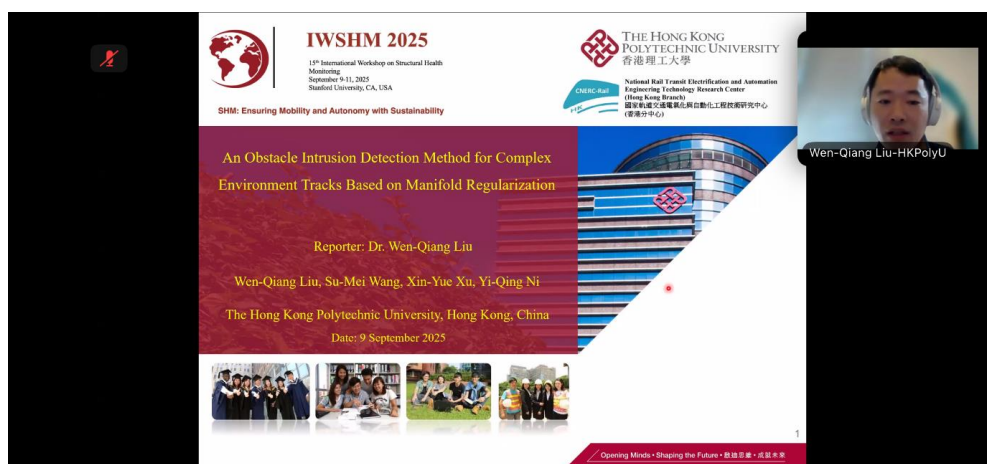


图 3.14 刘文强博士在第 15 届 IWSHM 作报告

吕良先生宣讲了题为《使用分布式声学传感基于噪声层析成像的城市地面塌陷监测》的论文。该研究证明了利用环境噪声数据进行浅层横波层析成像的可行性，为工程建设、城市地下空间利用及基础设施防灾监测提供了可靠的先验信息。

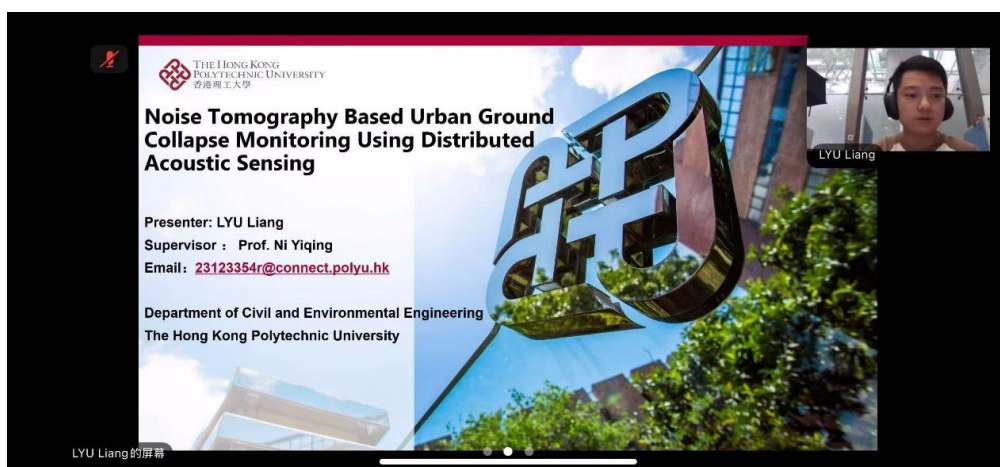


图 3.15 吕良先生在第 15 届 IWSHM 作报告

陆嘉豪先生宣讲了题为《利用 Kolmogorov-Arnold 网络辅助设计受海螺壳启发的声学超材料用于轨道交通噪声缓解》的论文。

该研究提出了一种声学超材料设计的新方法，利用仿生原理和先进的机器学习技术应对城市交通噪声挑战。通过整合受海螺壳启发的腔体结构与多孔声耗散机制，并采用结合粒子群优化算法的 KAN 网络，开发出一种能够实现宽频吸声的声学超材料。优化设计在关键的 500-2000 Hz 频率范围内持续展现出超过 0.8 的吸声系数，显著优于传统降噪策略。该方法不仅为先进声学材料开发提供了框架，也展示了机器学习、仿生学和材料工程等多学科交叉方法在解决复杂声学挑战中的潜力。



图 3.16 陆嘉豪先生在第 15 届 IWSHM 作报告

3.2.7 参加理大技术转移会议暨技术创新研究院首届年度研讨会

2025 年 12 月 13 日至 14 日，为深化产学研融合、促进科研成果转化，香港理工大学与福建省人民政府港澳事务办公室在福建晋江联合举办了为期两天的理大技术转移会议暨技术创新研究院首届年度研讨会。

展示的一个亮点是泡沫混凝土超材料近轨声屏障，这是香港创新科技署 RAISE+ 计划支持下开发的核心产品。该项目由本中心主任倪一清教授牵头，与其孵化的衍生公司——美达诺科技有限公司一同展示。本中心成员丁思齐博士和王晓博士亲临现场与参会者交流。他们就该技术的创新原理、关键性能优势、实际应用及商业潜力进行了全面介绍。该展品引起了行业专家、投资者和政府官员的浓厚兴趣，并获得了热烈的反馈。

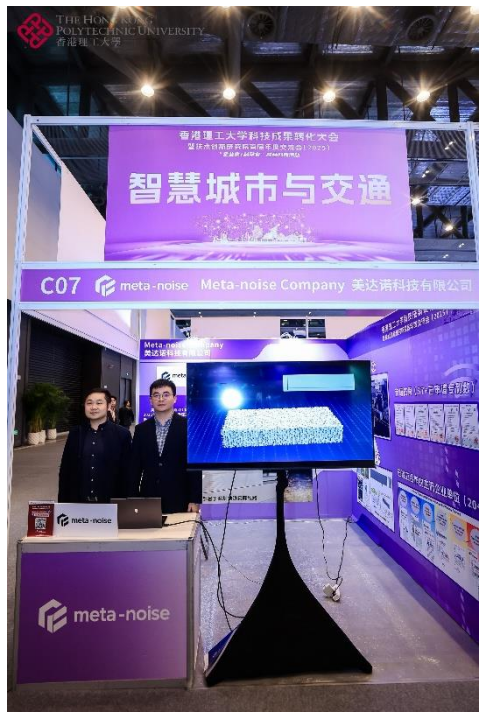
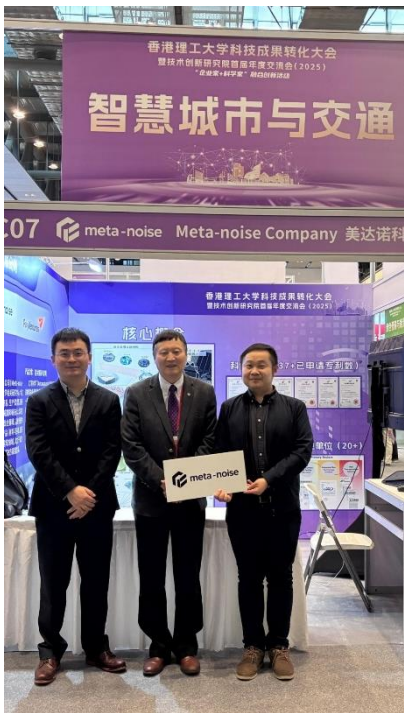


图 3.17 理大技术转移会议暨技术创新研究院首届年度研讨会

3.2.8 参加第四届国际工业空气动力学会议（ICIA 2025）

第四届国际工业空气动力学会议（ICIA 2025）于 2025 年 10 月 17 日至 19 日在山东青岛举行。会议旨在交流风工程与工业空气动力学领域的最新研究进展和创新成果，重点聚焦下一代高速列车、高速磁浮列车、新概念车辆、智能空气动力学、结构风工程、空气污染控制、风能开发利用等关键领域。会议展示了近年来国内外取得的重要突破和前沿成果，推动了学科交叉融合与产学研合作，促进了风工程与工业空气动力学在重大装备、绿色能源、智慧交通、环保等领域的广泛应用。会议还加强了全球研

究人员、教育工作者、设计师及行业专业人士之间的学术交流，共同为风工程与工业空气动力学的高质量创新发展贡献力量。

陈争卫助理研究教授作为特邀嘉宾参加了 ICIA 2025，并参与了“磁浮交通空气动力学”专题分会。在该分会中，他作了题为《复杂风环境下高速磁浮列车气动特性与动态安全研究》的报告。



图 3.18 第四届国际工业空气动力学会议



图 3.19 陈争卫博士在 ICIA 2025 作报告

3.2.9 参加第十一届全国结构振动控制与健康监测学术会议

2025 年 11 月 1 日，在武汉理工大学举办的第十一届全国结构振动控制与健康监测学术会议上，倪一清教授作了题为《面向沿海城市高层建筑群台风预警的空-天-地一体化监测》的邀请主旨报告。他分享了其团队在将结构健康监测技术应用于高速铁路方面的最新进展。报告引发了专家们的热烈讨论，彰显了铁路工程香港分中心在该领域的领导地位，提升了中心的学术影响力，同时也为行业技术发展提供了宝贵指导

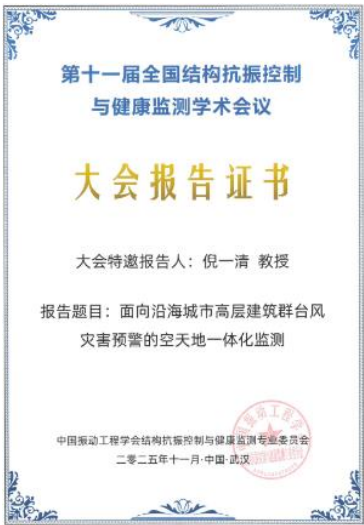


图 3.20 倪一清教授在第十一届全国结构振动控制与健康监测学术会议上获得证书

3.2.10 参加大湾区国际轨道交通展览会“全球轨道交通人才发展论坛”

2025 年 11 月 21 日上午，香港理工大学倪一清教授受邀在大湾区国际轨道交通展览会（GGRTE 2025）的“全球轨道交通人才发展论坛”上发表演讲。倪一清教授发表了题为《AI 赋能轨道交通：人才培养新范式》的主旨演讲，分享了团队在磁浮智能问答系统、隧道缺陷检测及声学超材料降噪技术方面的最新进展。倪教授强调，未来的轨道交通专业人才必须将工程基础知识与数据素养、人工智能能力和系统思维相结合。会议向倪教授颁发了学术认可证书，王晓博士全程陪同参与了此次活动。



图 3.21 倪一清教授在 GGRTE 2025 发表人工智能赋能铁路人才发展的主旨演讲

3.2.11 参加国家自然科学基金委员会与京港学术交流中心前沿学术论坛

2025 年 11 月 27 日，倪一清教授受邀作了题为《面向沿海城市台风及其伴生灾害的多源数据驱动智能减灾系统》的主旨报告，引发了热烈讨论，获得与会代表的一致好评。

论坛以风能利用与风灾减缓为主题，汇聚了国内外专家学者，就风资源开发利用、复杂风场预测与风能优化、极端灾害下风电设施性能提升、智能运维技术融合以及风敏感结构抗风设计等关键科学问题进行了交流探讨。





图 3.22 倪一清教授在国家自然科学基金委员会与京港学术交流中心前沿学术论坛作主旨报告

3.2.12 参加 2025 年建筑材料科学技术创新大会

2025 年 12 月 3 日，铁路工程香港分中心助理研究教授丁思齐博士参加了在宁波举行的 2025 年建筑材料科学技术创新大会。大会围绕“创新驱动，绿色发展：以高质量发展推动建材工业体系变革”的主题，旨在凝聚行业智慧，加强技术交流合作，推动建材行业科技创新与产业创新的深度融合。丁思齐博士作为核心成员参与的“本征自感知水泥基复合材料及其智能结构”项目荣获建材科学技术奖基础研究类二等奖。



图 3.23 丁思齐博士参加会议并获奖

3.2.13 CNERC-Rail 研究团队于第二届轨道交通结构健康监测国际创新大赛荣获二等奖（即卓越奖）

2025 年 11 月 17 日，在新加坡举办的“第二届轨道交通结构健康监测国际创新大赛”分会场上，由国家轨道交通电气化与自动化工程技术研究中心（香港分中心）倪一清教授指导，区玮玑博士、胡瑶博士、陆嘉豪先生与陆雨航先生组成的研究团队，凭借其在复合材料结构冲击监测领域的创新研究成果，荣获大赛二等奖（即卓越奖）。

本次大赛在中国铁道学会、中国中车集团有限公司的指导下，由中车青岛四方机车车辆股份有限公司与中南大学联合主办，旨在汇聚全球创新资源，推动轨道交通结构健康监测数据挖掘、损伤诊断及寿命预测技术的研究与应用，践行“数智驱动 轨致新元”的核心理念。研究团队参与了复合材料结构冲击监测赛道。在初赛阶段，团队面临数据集不足的挑战，创新性地采用有限元仿真方法进行数据增强，将数据集扩充至原始数据的三倍以上，并提出了基于集成一维卷积-注意力-众数投票（ECAV）的神经网络方法，成功实现对冲击荷载位置和能量等级的精准预测，以赛道第六名的成绩晋级半决赛。在半决赛阶段，团队对 ECAV 方法进行专项改进，并再次利用有限元仿真进行数据增强，最终以半决赛第三名的优异成绩进入决赛。

历经激烈的角逐，研究团队最终斩获二等奖(即卓越奖)。这一荣誉充分展现了国家轨道交通电气化与自动化工程技术研究中心（香港分中心）在将先进结构健康监测技术应用于现代铁路系统方面的创新实力与卓越成就，为轨道车辆结构轻量化设计及全生命周期智能化安全保障提供了有力的技术支撑。



图 3.24 CNERC-Rail 荣获二等奖（即卓越奖）

3.2.14 相关参会情况汇总

表 3.1 相关参会情况汇总

序号	会议名称	主办方	会议地点	举办时间	参会人
1	第一届国际研讨会：土木工程中的贝叶斯方法（IWOBA 2025）	铁路工程香港分中心	中国 香港	2025.1.10~12	倪一清教授
2	第二届沿海城市智能抗热带风暴系统国际研讨会	土木及环境工程学系	中国 香港	2025.8.25~26	倪一清教授， 段焕峰教授， 朱松晔教授和 黎绍佳教授。
3	第 13 届国际先进探地雷达研讨会（IWAGPR 2025）	塞萨洛尼基亚里士多德大学	希腊 塞萨洛尼基	2025.7.2~4	周怀远先生
4	第 13 届智能基础设施结构健康监测国际会议	SHMII 2025 组委会	奥地利 格拉茨	2025.9.1-5	曾元江先生和 李佩琳女士
5	第五届数字孪生国际会议（DigiTwin 2025）	DigiTwin 2025 组委会	德国 加米施-帕滕基兴	2025.10.14~18	翟光浩博士
6	第 15 届斯坦福大学国际结构健康监测研讨会	斯坦福大学	美国 加利福尼亚州 斯坦福	2025.9.9~11	刘文强博士， 吕良先生和 陆嘉豪先生
7	参加理大技术转移会议暨技术创新研究院首届年度研讨会	福建省人民政府港澳事务办公室	中国 福建	2025.12.13~14	倪一清教授
8	第四届国际工业空气动力学会议（ICIA 2025）	ICIA 2025 组委会	中国 山东 青岛	2025.10.17~19	陈争卫博士
9	第十一届全国结构振动控制与健康监测学术会议	武汉理工大学	中国 武汉	2025.11.1	倪一清教授

10	全球轨道交通人才发展论坛	大湾区国际轨道交通展览会（GGRTE 2025）	中国 广州	2025.11.21	倪一清教授
11	国家自然科学基金委员会与京港学术交流中心前沿学术论坛	NSFC – BHKAEC 前沿学术论坛组委会	中国 香港	2025.11.27	倪一清教授
12	2025 年建筑材料科学技术创新大会	建筑材料科学技术创新大会会议组委会	中国 宁波	2025.12.3	丁思齐博士
13	第二届轨道交通结构健康监测国际创新大赛荣获二等奖（即卓越奖）	中国铁道学会、中国中车集团有限公司的指导下，由中车青岛四方机车车辆股份有限公司与中南大学联合主办	新加坡	2025.11.17	倪一清教授， 区玮玢博士、胡瑶博士、陆嘉豪先生和陆雨航先生

3.3 技术交流

3.3.1 访问香港城市大学

2025 年 1 月 22 日，铁路工程香港分中心邓锬博士、董岳博士、欧阳德惠先生、刘新源先生和项潜先生一行 5 人前往香港城市大学（CityU），与陈志良教授开展研究讨论会，汇报并交流了近期研究进展。陈志良教授对团队已取得的研究成果表示肯定，并在机理解释方面提出了具有启发性的建议，为后续研究提供了新的思路。



图 3.25 陈志良教授与 TRS 项目成员交流

3.3.2 NVIDIA 香港有限公司来访

2025 年 4 月 15 日，铁路工程香港分中心 TRS 项目组与 NVIDIA 团队在香港理工大学开展技术交流活动。会上，NVIDIA 团队成员围绕 PhysicNeMo、数据可视化及数字孪生技术进行了详细介绍，分享了相关技术在复杂物理建模与工程应用中的最新进展。随后，TRS 项目团队汇报了沿海智能热带风暴减灾系统平台的近期建设情况，重点介绍了气象数据的存储与可视化展示、香港城市气象预测模型的建立与训练，以及 DeepSeek 的本地化部署与微调进展。在交流讨论环节，双方围绕多模态气象数据智能

分析、三维气象可视化与数字孪生应用，以及基于 NVIDIA 服务器的城市级气象预测模型训练与优化等方向进行了深入探讨，为后续在 AI 赋能城市气候韧性研究方面的合作奠定了良好基础。



图 3.26 NVIDIA 香港有限公司访问铁路工程香港分中心

3.3.3 浙江交通工程集团有限公司来访

2025 年 4 月 28 日，浙江交工养护工程分公司与香港理工大学土木与环境工程学系在理大 Z 座 ZS840 会议室举行交流会，旨在加强双方在工程技术领域的合作。双方就智能交通、绿色建筑等前沿技术展开深入讨论，达成初步合作意向，计划通过资源共享推动技术创新。



图 3.27 浙江交通工程集团有限公司访问铁路工程香港分中心

3.3.4 访问深圳星河双子塔

2025 年 5 月 12 日，铁路工程香港分中心邓锴博士、曾子玄先生、杜航先生、郑澳先生、刁玲怡女士和邓敏先生一行前往深圳星河双子塔，开展第三阶段传感器安装工作。团队完成了两个加速度计、东塔楼顶超声风速仪及近红外相机的安装，并对相关系统进行了检查与调试。期间，团队与星河产业集团副总裁龚建华进行了会谈，向其详细介绍了监测系统的研究意义与工程应用价值，并就后续运行与应用进行了交流。



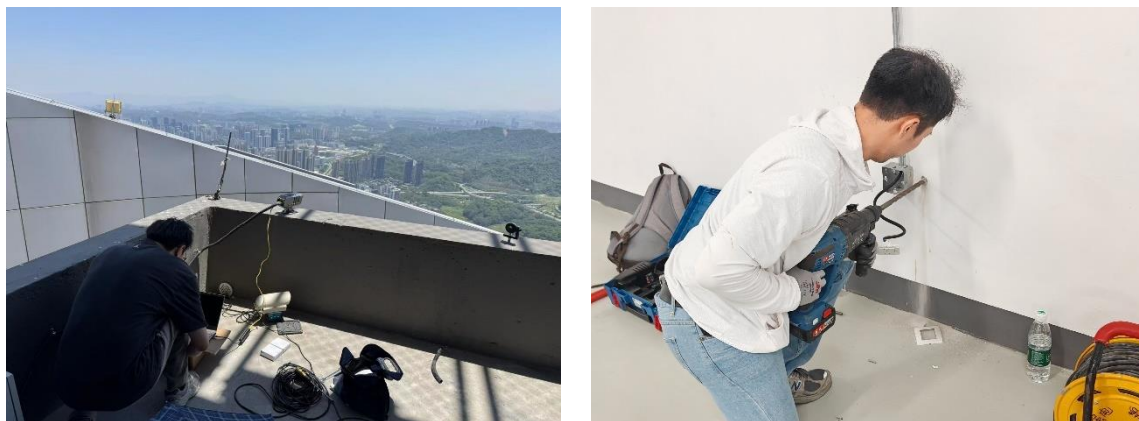


图 3.28 铁路工程香港分中心人员访问深圳星河双子塔

3.3.5 访问深圳市地铁集团有限公司

2025 年 5 月 29 日，铁路工程香港分中心谭晓明博士与深圳市地铁集团有限公司王可可主任开展了近轨吸声矮墙技术交流。双方围绕近轨吸声矮墙在地铁工程应用中的关键问题进行了深入讨论，重点关注了地铁振动环境下吸声矮墙及安装支架的结构稳定性、泡沫混凝土在长期酸雨与日照条件下的耐久性、吸声矮墙安装方案对高架桥及轨道板的潜在影响，以及对线路维修方式和维护作业的适应性问题。会议还需进一步汇总深圳市地铁集团有限公司各线路的维修方式，并提供完整的安装方案与实验方案（包括相关资质与评估报告），供深圳市地铁集团有限公司内部评估。会议最后，项目团队申请于端午节后上线路踏勘并寻找合适的安装位置，已获得对方同意。



图 3.29 铁路工程香港分中心人员访问深圳市地铁集团有限公司

3.3.6 访问深圳市地铁集团有限公司

2025 年 6 月 4 日，铁路工程香港分中心丁思齐博士、区玮玑博士、谭晓明博士、杨云帆博士与陆嘉豪博士一行开展现场考察与调研工作。团队实地参观了深圳地铁 11 号线，并赴台州市东电橡塑有限公司考察生产车间、实验室等重点区域，系统了解并研究了轨道交通橡胶垫板的制作工艺流程与性能检测方法，为相关工程应用与后续研究提供了实践参考。



图 3.30 铁路工程香港分中心人员访问深圳市地铁集团有限公司 11 号线现场

3.3.7 访问深圳市地铁集团有限公司

2025 年 8 月 13 日，铁路工程香港分中心丁思齐博士、谭晓明博士、郝硕博士与汪禹灵先生一行前往深圳地铁维修中心，就近轨混凝土吸声矮墙研究项目开展技术与调研。团队与和新雷先生等工程技术人员围绕项目最新研究进展进行了深入讨论，重点研讨了吸声矮墙的安装方案及现场噪声测试方案等关键技术问题。会后，和新雷先生表示将尽快向上级主管部门汇报相关情况，积极推动该吸声矮墙在深圳地铁 11 号线的安装与实施，为后续工程应用奠定基础。

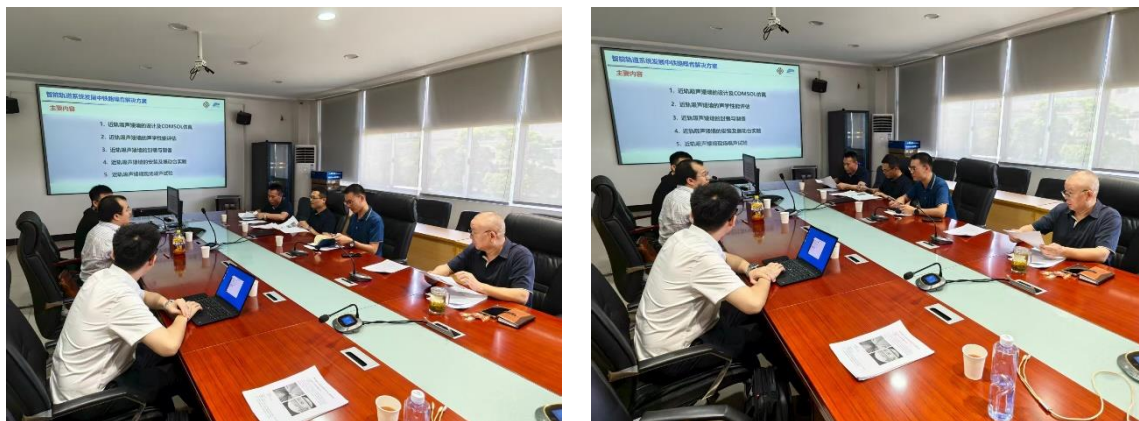


图 3.31 铁路工程香港分中心人员访问深圳地铁维修中心

3.3.8 访问广州地铁三号线

2025 年 8 月 21 日，铁路工程香港分中心区玮玢博士、陆宇航先生及周光先生一行前往广州地铁三号线车辆段，联合株洲国创轨道科技有限公司开展 ATC 梁装车方案技术审查与现场调研。团队围绕梁体—转向架约束界面布设光纤布拉格光栅（FBG）传感系统以实现结构变形实时监测的可行性进行了深入论证，相关方案尚待广州地铁最终批复。该项目为广州地铁首次在转向架构件中引入纤维复合材料轻量化方案，拟通过为期 6 个月的 FBG 连续监测，系统评估其服役性能与结构安全性，为后续工程应用提供技术依据。



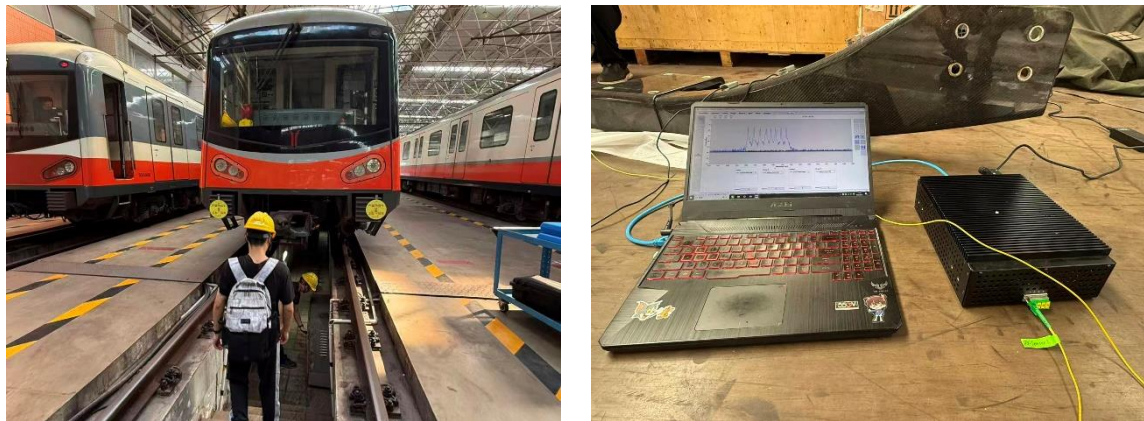


图 3.32 铁路工程香港分中心人员访问广州地铁三号线

3.3.9 Ashraf El Damatty 教授来访

2025 年 8 月 28 日，Ashraf El Damatty 教授与铁路工程香港分中心 TRS 项目团队成员邓锸博士、董岳博士、陈修煜博士、翟光浩博士、Imran Ghafoor 博士、袁磊先生、欧阳德惠先生、岳欢先生、刘新源先生、曾子玄先生、张威加先生及邓敏先生共同召开学术交流会议。会上，团队系统汇报了多项最新研究进展：包括深圳星河双子塔实时监测系统的建设与运行情况，展示了风速、风压、结构加速度与位移等多源监测数据，并成功捕捉到 2025 年清远地震及台风“韦帕”期间的结构响应；降雨监测系统及黑雨期间的实测结果，揭示了香港降雨分布的不均匀特征及公众对高效预警的迫切需求；以及高分辨率气象数据库与预测系统的最新进展，通过融合激光雷达、地面气象站和卫星观测数据，并结合 WRF 模型同化框架，构建了覆盖 40 年、1 km 分辨率的综合气象数据库，同时展示了从全球尺度（27 km）到城市尺度（1 km）的分级预报方法。此外，团队还介绍了沿海滞留台风特征研究，指出近 44 年来此类台风显著增多，其成因与近岸风场及湿度结构密切相关。

在讨论环节，Damatty 教授重点就气候变化对未来结构设计规范的影响提出建议，认为可借助气象大模型对未来 50 年风速演变趋势进行预测；并针对深圳星河双子塔中调频液体阻尼器的运行表现，建议增设波浪探头以监测液位变化。在合作方面，Damatty 教授建议双方首先通过线上学术交流会议分享研究工作、明确合作方向，随后由 TRS 团队在合规前提下共享相关数据，进一步深化联合研究。此次会议交流深入、讨论充分，为后续在结构韧性、气候变化影响评估及多源监测融合等方向开展合作奠定了良好基础。



图 3.33 Ashraf El Damatty 教授访问铁路工程香港分中心

3.3.10 访问深圳地铁侨城东车辆段大修中心

2025 年 9 月 3 日上午，香港理工大学铁路工程香港分中心研究助理教授陈争卫博士、博士后研究员彭俊一行前往深圳地铁侨城东车辆段大修中心，围绕深圳市地铁集团有限公司“2025 年揭榜挂帅课题——转向架智能检测子课题”开展技术交流与现场调研。期间，团队与深圳地铁运营集团有限公司大修中心副总经理段永魁先生、深圳地铁大修中心曾向林主管，以及西南交通大学深圳研究院及相关行业专家，就项目需求分析、技术实施方案及知识产权归属等关键问题进行了深入沟通。

通过现场调研与交流，双方系统梳理了车辆段检修业务中的重点难点与核心技术诉求，为后续转向架智能检测技术的研发路径与潜在合作模式明确了方向，并为进一步深化产学研协同合作奠定了基础。



图 3.34 铁路工程香港分中心人员访问深圳地铁侨城东车辆段大修中心

3.3.11 中车研究院来访

2025 年 9 月 10 日上午，铁路工程香港分中心与中车研究院技术部及人工智能研究所团队在香港理工大学开展技术合作交流活动。来访代表包括中车研究院技术部田寅部长及人工智能研究所唐海川所长一行。铁路工程香港分中心方面，黎绍佳博士、刘文强博士、李智博士、陈思怡博士、党大智博士及相关成员参加了交流。

会上，双方围绕能量收集技术、桥梁与隧道大模型等前沿研究方向进行了深入探讨，并就后续项目合作模式及技术落地实施方案充分交换了意见。此次交流为进一步推动产学研协同创新与联合技术攻关奠定了良好基础。



图 3.35 中车研究院访问铁路工程香港分中心

3.3.12 访问惠州荣康顺建筑材料制品有限公司

2025 年 9 月 16 日，铁路工程香港分中心汪潇博士、丁思齐博士、陆嘉豪先生及汪禹灵先生一行前往惠州荣康顺建筑材料制品有限公司开展参观调研。团队重点考察了泡沫混凝土近轨吸声矮墙的生产流程与工艺条件，并就该产品的批量化生产方案与公司厂长李克南进行了深入沟通与讨论。双方围绕材料性能稳定性、生产工艺控制及工程应用可行性等问题交换了意见，为后续推进近轨吸声矮墙的工程化应用奠定了基础。

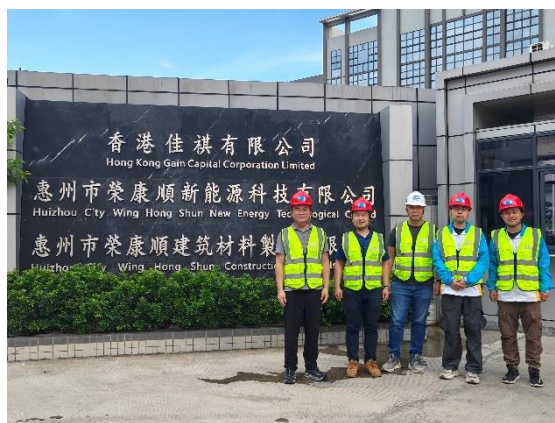




图 3.36 铁路工程香港分中心人员访问惠州荣康顺建筑材料制品有限公司

3.3.13 访问深圳地铁集团

2025 年 10 月 15 日，香港理工大学铁路工程香港分中心博士后研究员彭俊、王晓、朱洪民及党大智，中山大学研究生孙震宇一行前往深圳地铁侨城东车辆段，与深圳地铁运营集团有限公司大修中心曾向林主管、刘琨工程师就深圳地铁集团“2025 年揭榜挂帅课题——转向架智能检测子课题”开展专题交流。会议围绕转向架交接安排、合同签订时间节点及实施流程等核心问题进行了深入沟通，明确了项目推进计划，即于 2025 年 12 月启动揭榜挂帅课题征集，2026 年 1 月提交集团会议审议，并于 2026 年 2 月完成合同签订。

会上，双方进一步商定转向架将先以借让方式运送至港理工深圳研究院，在签订借让协议后一周内完成交付，并在后续揭榜挂帅合同中补充转化为必要科研器材。同时，团队在现场对超声检测方案的可实施性及关键技术细节进行了实地考察与论证，为后续研究工作的顺利开展奠定了基础。





图 3.37 铁路工程香港分中心人员访问深圳地铁集团

3.3.14 RGC 专家代表团来访

2025 年 10 月 21 日，RGC 专家代表团到访香港理工大学，对 TRS 项目开展中期检查工作。项目团队系统汇报了各研究任务的阶段性进展与主要研究成果，重点展示了城市激光雷达观测网络建设情况、无人机监测设备的应用进展以及玻璃冲击试验的相关成果。期间，项目团队与评审专家就研究思路、技术路线及后续工作计划进行了深入交流与讨论，专家代表团对项目取得的阶段性成果给予了充分肯定，并提出了建设性意见，为项目后续推进提供了重要指导。



图 3.38 RGC 专家代表团访问铁路工程香港分中心人员

3.3.15 香港理工大学杭州技术与创新研究院

2025 年 11 月 10 日下午，香港理工大学铁路工程香港分中心研究员邓锸博士前往杭州技术创新研究院会见杨秀明主任，并一同开展了薄膜风压传感器的测试，探讨了相关技术细节以及当前存在的问题。



图 3.39 铁路工程香港分中心人员温志湧教授团队成员会议

3.3.16 访问台州时空道宇卫星工厂

2025 年 11 月 11 日，香港理工大学铁路工程香港分中心倪一清教授携邓锸博士，以及杭州技术创新研究院王友武博士、郑仲彬主任和黎伟超先生一行共 5 人，前往台州浙江时空道宇科技有限公司开展访问交流。期间，团队参观了企业的卫星制造工厂车间，系统了解其卫星研制与生产流程，并就 TRS 项目在卫星相关技术服务与产品方面的具体需求进行了汇报。双方围绕项目需求匹配、技术实现路径及潜在合作模式展开了深入讨论，为后续在卫星技术支撑与应用服务等方面开展合作奠定了良好基础。



图 3.40 铁路工程香港分中心人员访问台州时空道宇卫星工厂

3.3.17 访问深圳地铁 11 号线桥头站

2025 年 11 月 20 日，铁路工程香港分中心丁思齐博士、汪潇博士、谭晓明博士、陆嘉豪先生及汪禹灵先生与施工方代表一行前往深圳地铁 11 号线桥头站，开展线路实地勘察与现场调研工作。经现场踏勘，桥头站整体安装环境较沙井站更为优越，具备更理想的施工与布设条件。结合现场实际情况，团队初步形成了适用于桥头站的近轨吸声矮墙安装方案。

下一步，项目团队将与深圳地铁和工保持密切沟通与对接，尽快推进施工安全协议及施工许可证等相关手续的办理，为后续工程实施做好准备。

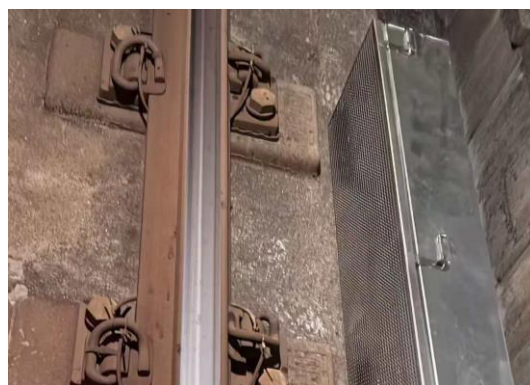




图 3.41 铁路工程香港分中心人员访问深圳地铁 11 号线桥头站

3.3.18 Merck KGaA 集团来访

2025 年 11 月 21 日，区玮玗博士代表铁路工程香港分中心出席了 Merck KGaA 集团与 OASES 代表团来访期间举行的交流会议。会上，区博士系统介绍了铁路工程香港分中心在香港地铁相关项目、振动与声学健康监测、磁悬浮技术、摄像头 - LiDAR 视觉监测以及轨道交通降噪技术等方面的最新研究进展，重点强调了人工智能驱动解决方案在工程监测与运维中的研发成果与应用前景。此次交流加深了来访代表团对中心研究能力与技术特色的了解，也为后续在相关领域探索合作机会奠定了良好基础。



图 3.42 Merck KGaA 集团访问铁路工程香港分中心人员

3.3.19 NVIDIA 香港有限公司来访

2025 年 11 月 26 日，铁路工程香港分中心翟光浩博士、邓锬博士、董岳博士、王晓博士、王晓明博士、陈思怡博士、胡瑶博士、李智博士、朱奇武博士、张威加博士、袁磊博士，以及岳欢先生、周怀远先生、项意挺先生和王剑先生，与香港理工大学计算机及数学科学学院任达博士、潘禹冰女士一道，在理大赛马会创新楼 V311 与

NVIDIA 公司工程师 Charles Cheung 博士、Ivan Au-Yeung 博士及 Ginny Wong 博士举行技术交流会议。

会上，NVIDIA 团队系统介绍了气象大模型的最新研究进展，围绕 AI Agent 框架的实施方案与关键注意事项进行了深入讲解与讨论。随后，与会人员重点探讨了大模型在高层建筑、桥梁及隧道等复杂工程场景中的潜在应用路径与技术挑战。此次交流内容深入、讨论充分，为后续推动人工智能技术在工程结构与城市气候相关研究中的融合应用奠定了良好基础。



图 3.43 NVIDIA 香港有限公司访问铁路工程香港分中心人员

3.3.20 青岛镭测创芯科技有限公司来访

2025 年 12 月 8 日上午，青岛镭测创芯科技有限公司董事长吴松华、总经理李荣忠、副总经理王琪超及副总经理贾丽丽一行到访铁路工程香港分中心，开展技术合作交流活动。倪一清教授、邓锬博士、董岳博士、陈修煜博士及 TRS 项目相关成员出席交流。

会上，双方围绕激光雷达在气象监测、环境感知、风电与航空等领域的关键技术进展进行了系统交流，并重点探讨了相关技术在香港北部都会区中的应用潜力与实施路径。交流过程中，双方就数据获取、系统部署及工程应用场景等问题深入交换了意见，为后续在激光雷达监测与城市风环境研究等方向开展进一步合作奠定了良好基础。



图 3.44 青岛镭测创芯科技有限公司访问铁路工程香港分中心人员

3.4 中心讲座

3.4.1 南京工业大学校长、东南大学讲座教授吴智深教授讲座

2025 年 1 月 3 日，受铁路工程香港分中心邀请，吴智深教授作了题目为“Fiber-Optic FRP Self-Sensing Technologies and Innovative Applications: Structural Enhancement and Health Monitoring”的报告。吴智深教授分享介绍了光纤传感技术与 FRP 自感知技术，展示了相关技术在结构增强与结构健康监测中的典型应用，并强调了智能化监测系统工程领域中的重要意义。



图 3.45 吴智深教授讲座现场

3.4.2 汉诺威莱布尼茨大学 Michael Beer 教授讲座

2025 年 4 月 2 日，德国汉诺威莱布尼茨大学风险与可靠性研究所所长 Michael Beer 教授在香港理工大学举办了一场主题为“成功发表——关键点”的研讨会，分享了学术出版的重要经验和策略。





图 3.46 Michael Beer 教授讲座现场

3.4.3 伊利诺伊大学 Bill Spencer 教授讲座

2025 年 5 月 2 日，下午 5:00 至 6:00，香港理工大学 Z209 会议室成功举办了 CNERC-Rail 研讨会，主题为“利用无线智能传感器监测美国铁路桥梁的节能自主框架”（An Energy-efficient Autonomous Framework for Monitoring U.S. Railroad Bridges Using Wireless Smart Sensors）。本次研讨会由伊利诺伊大学厄巴纳-香槟分校的 Bill Spencer 教授主讲。

Spencer 教授是结构健康监测与网络化基础设施应用领域的知名专家。他介绍了一种用于铁路桥梁监测的创新系统，该系统利用无线智能传感器，克服了远程数据采集和自主运行的挑战，为桥梁监测提供了一种高效且具成本效益的解决方案。



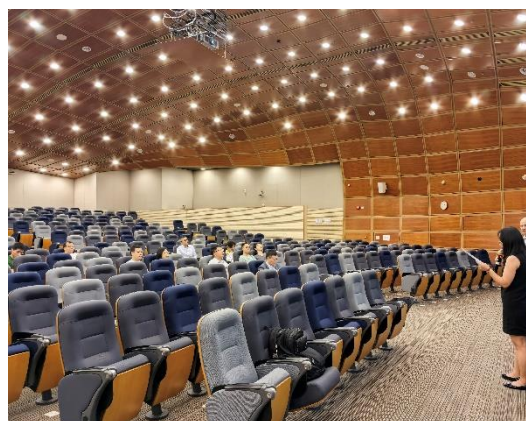
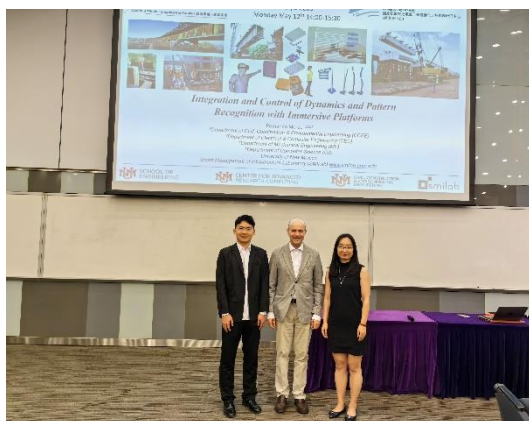


图 3.47 Bill Spencer 教授讲座现场

3.4.4 新墨西哥大学 Fernando Moreu 教授讲座

2025 年 5 月 12 日下午 2:00 至 3:30（香港时间），CNERC-Rail 在香港理工大学 Z209 室成功举办了题为“沉浸式平台的动力学与模式识别的集成与控制”的研究研讨会。新墨西哥大学的 Fernando Moreu 教授在研讨会上进行了演讲。

Fernando Moreu 教授是结构动力学、控制和网络物理系统领域的杰出专家，他介绍了其在机器人应用辅助下用于质量检查的人机界面的最新研究。这项研究通过人工智能和机器辅助视觉分析增强了人类决策能力，为结构健康监测和机器人编程提供了创新解决方案。



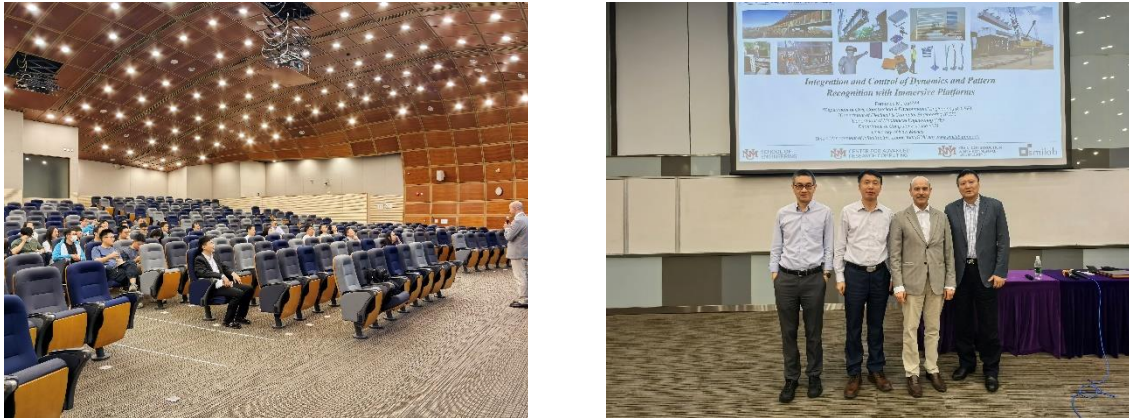


图 3.48 新墨西哥大学 Fernando Moreu 教授讲座

3.4.5 拉夫堡大学杨俊博士讲座

2025 年 5 月 21 日，杨俊博士在香港理工大学举办研讨会，主题为“干扰下的安全关键控制”。他介绍了安全关键控制的重要性、基于控制障碍函数（CBF）的控制方法及其在机器人和港口自动化中的应用。



图 3.49 杨俊博士在香港理工大学举办研讨会

3.4.6 宁波大学陈振雷教授讲座

2025 年 8 月 25 日，受铁路工程香港分中心邀请，陈振雷教授作了题目为“Thermo-Compensation for CNC Machine Tools via Fluid - Structure Interaction and Deep Learning”的报告。陈振雷教授分享了其团队在高速高精加工环境下的创新成果。通过构建深度学习模型，团队成功预测了机床温升与工件误差，并推导出实时热补偿公式，最终开发出具有实际应用价值的补偿系统。



图 3.50 陈振雷教授讲座现场

3.4.7 英国格拉斯哥大学赵德宗教授讲座

2025 年 9 月 1 日，受铁路工程香港分中心邀请，赵德宗教授作了题目为“Efficient, Safe, Trustworthy and Causal Autonomous Systems”的报告。赵德宗教授分享了自动驾驶与机器人系统的能效、安全与因果推理，分享其团队在多源感知、可信建模与实时决策等关键技术的最新进展，并展望数字孪生与智慧交通的落地应用。



图 3.51 赵德宗教授讲座现场

3.4.8 同济大学杨德乘副教授讲座

2025 年 10 月 3 日，受铁路工程香港分中心邀请，杨德乘副教授作了题目为“Smart Sensing of Bridges under Vehicle - Bridge Interaction”的报告。杨德乘副教授系统阐述了斜桥动力学理论创新、车桥双重共振机制，以及基于椭圆滤波与小波变换的桥梁损伤识别技术，分享了人工智能与轻量化传感在桥梁健康监测中的前沿应用。



图 3.52 杨德乘副教授讲座现场

3.4.9 香港理工大学倪一清教授在广州大湾区国际轨道交通产业展览会（GGRTE2025）轨道人才高质量发展论坛的讲座

2025 年 11 月 21 日，倪一清教授在该论坛上作了题目为《AI 赋能轨道交通：人才培养的新范式》报告，介绍了团队在磁悬浮智能问答系统、隧道损伤识别、超材料降噪等方向的最新研究成果，并强调未来轨道交通人才需具备工程基础、数据素养与 AI 能力相融合的复合型能力。



图 3.53 倪一清教授在广州大湾区国际轨道交通产业展览会（GGRTE2025）轨道人才高质量发展论坛的讲座现场

3.4.10 加拿大滑铁卢大学 Solomon Tesfamariam 教授讲座

2025 年 12 月 3 日，受铁路工程香港分中心邀请，Solomon Tesfamariam 教授作了题目为“Tall Timber Buildings: Past, Present and Future”的报告。Solomon Tesfamariam 教授分享了高层木结构建筑的发展现状、新型 CLT 与胶合木体系在中高层建筑中的应用优势，以及 NBCC 2020 性能化设计在混合木结构中的适用性与局限性



图 3.55 Solomon Tesfamariam 教授讲座现场

3.4.11其它讲座

表 3.3 其它讲座汇总

时间	主题	报告人	会议名称	地点
2025-07-15	铁路轨道导波检测与评估	倪一清教授，香港理工大学	第十四届亚太地区智能结构与技术暑期学校（APESS 2025）	中国 香港
2025-11-28	提升城市轨道交通系统声学舒适性：一种超材料方法	邓镔博士和丁思齐博士，香港理工大学	机器人灵巧应用与离子电子皮肤技术会议	中国 深圳

3.5 来宾参访

3.5.1 香港特别行政区政府发展局智慧及可持续工程发展办公室来访

2025 年 3 月 12 日，中华人民共和国香港特别行政区政府辖下的 OASES 公司副总监（先进制造与新能源技术）梁凯荣先生，以及北京和利时系统工程有限公司旗下的和利时交通国际有限公司副总经理兼业务拓展总监周佳元先生，访问了香港理工大学的国家轨道交通电气化与自动化工程技术研究中心（香港分中心）。



图 3.56 香港特别行政区政府发展局智慧及可持续工程发展办公室来访。

3.5.2 唐洪武院士及华南理工大学代表团来访

3 月 14 日，华南理工大学校长、党委副书记唐洪武院士，华南理工大学土木与交通学院院长姚小虎教授、土木与交通学院陈光明教授，以及环境与能源学院常务副院长朱能武教授，访问了香港理工大学的国家轨道交通电气化与自动化工程技术研究中心（香港分中心）。



图 3.57 唐洪武院士及华南理工大学代表团来访

3.5.3 中国铁塔股份有限公司来访

2025 年 3 月 17 日，中国铁塔股份有限公司独立非执行董事房小兵先生、独立非执行董事董春波先生、独立非执行董事张微女士，以及中国铁塔股份有限公司广东省公司人力资源部总经理刘华孜女士，访问了香港理工大学的国家轨道交通电气化与自动化工程技术研究中心（香港分中心）。



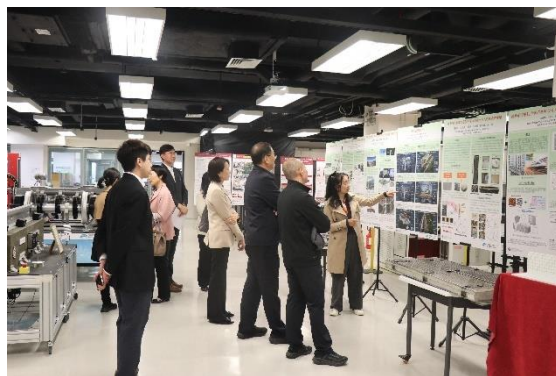


图 3.58 中国铁塔股份有限公司来访

3.5.4 中信集团来访

2025 年 3 月 27 日，中信集团高层领导一行访问香港理工大学国家轨道交通电气化与自动化工程技术研究中心（香港分中心）。访问团成员包括中信集团董事长奚国华、副董事长兼总经理张文武、副总经理王国权、办公厅主任梁丹、科技与数字化部总经理赵磊以及中信重工董事长武汉琦等。双方就轨道交通电气化与自动化技术的最新研究成果、未来合作方向及行业发展趋势进行了深入交流，旨在推动产学研合作与技术创新。



图 3.59 中信集团来访

3.5.5 杭州市政府代表团来访

2025 年 4 月 14 日，杭州市政府代表团访问香港理工大学，参观国家轨道交通电气化与自动化工程技术研究中心（香港分中心）。访问团成员包括杭州市科学技术局副局长胡彪、财政局教科文处处长宣艳芳、拱墅区科技局局长张锐凯、科学技术局二级调研员陈子法、上城区科技局副局长沈伟霞、杭州西部港·大未来科技有限公司总经理沈剑焰、副总经理许叶标，以及中电海康科创基金投资总经理金嘉伟等。双方围绕轨道交通电气化与自动化技术的前沿突破、产学研协同创新路径及产业升级趋势展开深入交流，重点探讨了技术转化应用方案与战略合作框架，共同致力于构建技术创新联合体。



图 3.60 杭州市政府代表团访问香港理工大学，参观国家轨道交通电气化与自动化工程技术研究中心（香港分中心）

3.5.6 凤凰卫视控股有限公司（凤凰卫视）来访

2025 年 4 月 16 日，凤凰卫视执行副总裁兼运营总裁李奇，及凤凰卫视中文台副台长、总编室主任、电影台台长黄海波一行访问香港理工大学国家轨道交通电气化与

自动化工程技术研究中心（香港分中心）。中心主任倪一清教授接待来宾，并详细介绍了中心在轨道交通电气化与自动化领域的前沿科研成果。



图 3.61 凤凰卫视主要领导访问香港理工大学国家轨道交通电气化与自动化工程技术研究中心（香港分中心）

3.5.7 兰州大学土木工程与力学学院代表来访

2025 年 5 月 16 日下午 3:00，兰州大学土木工程与力学学院王记增教授、李珑副教授、王花平副教授以及科研秘书汪洋一行访问了 CNERC-Rail 中心。

王素梅博士热情接待了来访团队，并向他们详细介绍了中心在相关领域的前沿科研成果及发展方向。来访团队对中心的科研实力和成果表示高度赞赏，并表达了进一步交流合作的意愿。



图 3.62 兰州大学土木工程与力学学院代表访问香港理工大学

3.5.8 中国中车股份有限公司代表团成员来访

2025 年 6 月 6 日，中国中车股份有限公司代表团成员包括中车科信部副部长杨明明、中车研究院副院长赵明元、中车研究院技术部副部长刘佰博及中车四方香港分公司总经理赵锦峰，访问铁路工程香港分中心。中心主任倪一清教授、王友武博士、丁思齐博士、区玮玗博士及刘文强博士接待了来访代表，并系统介绍了中心在相关领域的前沿科研成果与未来发展方向。来宾对中心的科研实力与研究成果表示高度认可，并表达了进一步深化交流与合作的意愿。





图 3.63 中国中车代表团来访

3.5.9 广州城市理工学院绿智交通产业学院来访

2025 年 7 月 7 日，广州城市理工学院绿智交通产业学院张浩雨（副院长）、沈娜（副院长），汽车与交通工程学院林叙群（党总支书记兼副院长），土木工程学院李韦华（党总支副书记兼副院长），以及何晔（教师）、汤文俊（教师）和学生代表一行访问香港理工大学铁路工程香港分中心。

香港理工大学铁路工程香港分中心区玮玗博士热情接待了代表团。此次活动旨在学习铁路交通领域前沿科研成果，促进学术交流，提升专业素养，并推动学院高质量发展。



图 3.64 广州城市理工学院绿智交通产业学院来访

3.5.10 上海应用技术大学代表团来访

2025 年 7 月 10 日，上海应用技术大学校长汪小帆、国际交流处处长陈青长、轨道交通学院副院长李培刚访问香港理工大学，与香港理工大学校长滕锦光、土木及环境工程学系讲座教授倪一清、数据科学及人工智能学系讲座教授张成奇、土木及环境工程学系副教授董优、助理教授周恺、内地发展总监陆海天等会面，探讨合作。

此次访问促进了上海应用技术大学与香港理工大学之间的了解与合作，双方就未来的合作机会进行了深入探讨，并达成初步共识。访问团对香港理工大学的热情接待表示感谢，并期待未来进一步合作。



图 3.65 上海应用技术大学代表团来访

3.5.11 中国矿业大学师生代表团来访

2025 年 7 月 23 日，中国矿业大学力学与土木工程学院“钱七虎班”师生一行到访香港理工大学铁路工程香港分中心，开展学术交流与产学研对接活动。铁路工程香港分中心陈争卫博士和李红伟博士热情接待了来访师生。

双方围绕轨道交通智慧供电、基础设施健康监测及低碳运维等前沿方向进行了深入交流，并初步达成共建学生实习基地、联合申报大湾区重点研发项目的合作意向。来访师生随后参观了铁路工程香港分中心相关实验室和工业中心，进一步了解了中心在 TRS 项目、自感知混凝土、振动能量采集及列车转向架智慧监测等方面的研究进展。本次访问为学生深入接触轨道交通前沿科研与工程实践提供了宝贵机会，也为后续深化校际合作奠定了良好基础。

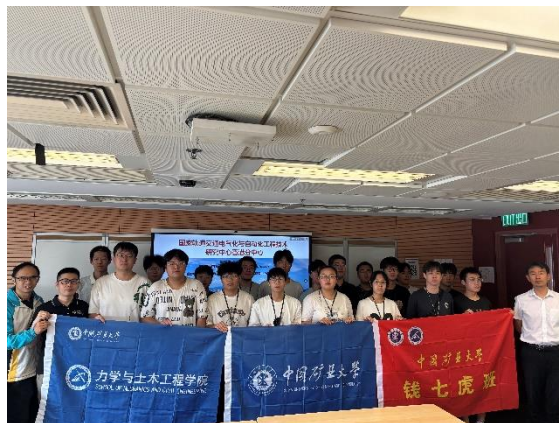


图 3.66 中国矿业大学师生代表团来访

3.5.12 中央人民政府驻香港特别行政区联络办公室来访

2025 年 7 月 31 日上午，中央人民政府驻香港特别行政区联络办公室主任周霁率办公厅主任肖友梅、教科部部长王伟明等一行到访香港理工大学，开展内部参访活动。在铁路工程香港分中心主任倪一清教授陪同下，访问团考察了中心在高速铁路供电安全及轨道减振降噪等方面的最新技术成果与现场演示，并对相关研究进展给予充分肯定。



图 3.67 中央人民政府驻香港特别行政区联络办公室来访

3.5.13 浙江大学师生代表团来访

2025 年 8 月 25 日，浙江大学师生代表团到访香港理工大学铁路工程香港分中心，开展学术交流活动。铁路工程香港分中心李红伟博士热情接待了来访师生，并向代表团系统介绍了香港理工大学及中心的整体概况与研究布局。

双方围绕前沿科研方向与潜在合作机遇进行了深入交流与研讨。随后，代表团参观了铁路工程香港分中心相关实验室，进一步了解中心在相关领域的研究条件与最新成果。本次交流活动学术氛围浓厚、讨论深入，不仅加深了双方的相互了解，也为后续开展校际学术交流与合作奠定了良好基础。

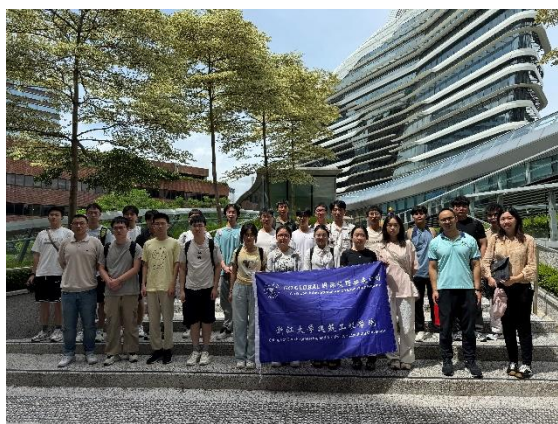


图 3.68 浙江大学师生代表团来访

3.5.14 深圳地铁来访

2025 年 8 月 26 日，深圳地铁一行到访香港理工大学深圳研究院，开展交流活动。在铁路工程香港分中心主任倪一清教授团队的接待下，来访人员围绕“科技惠民生，数字筑新篇”主题进行了深入交流。期间，团队重点介绍了颗粒阻尼器、近轨吸声矮墙等

轨道交通减振降噪关键技术与装置，并就相关技术的工程应用前景与实施路径进行了讨论。双方交流充分，取得良好成效，活动圆满完成。

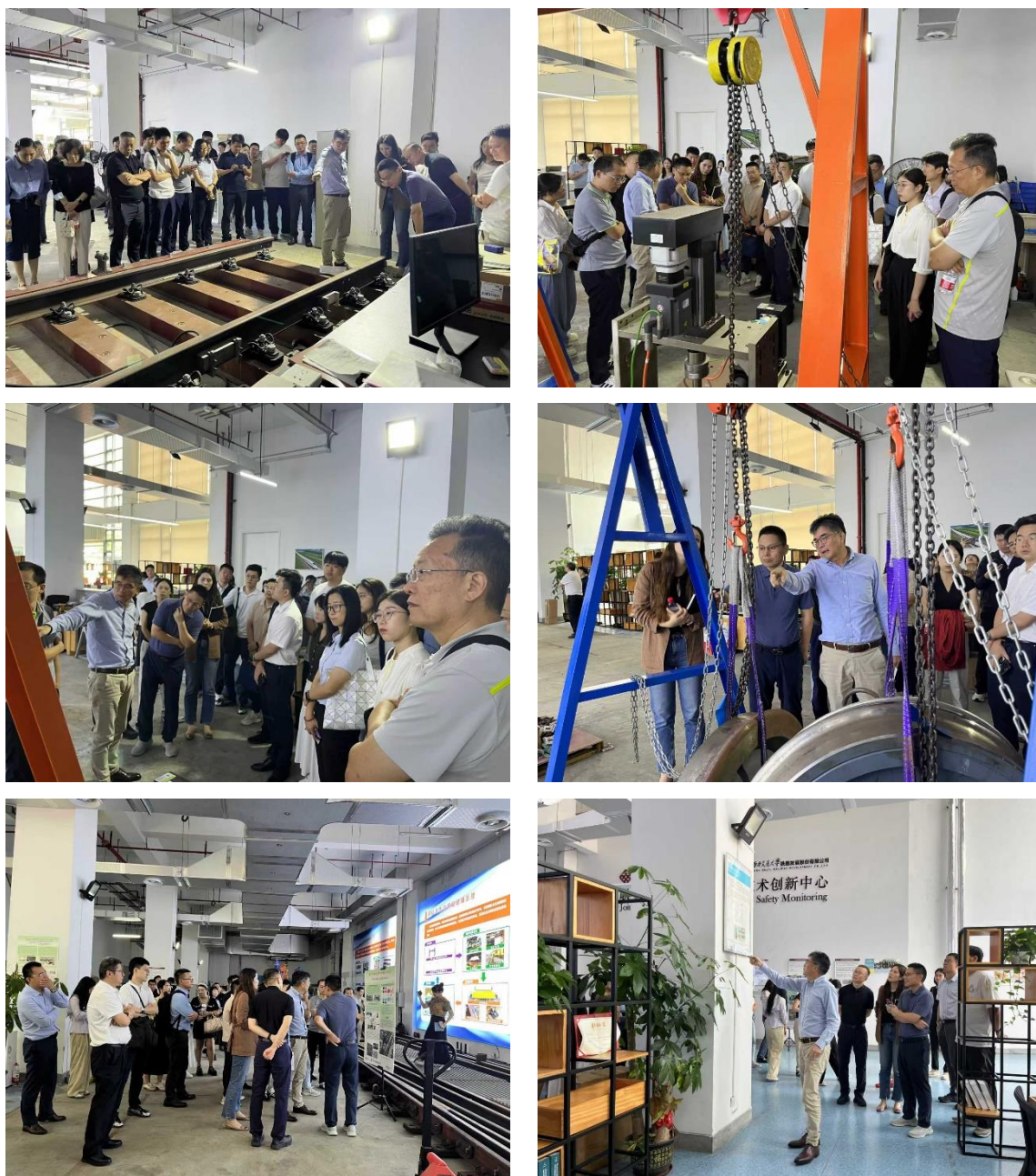


图 3.69 深圳地铁来访

3.5.15 腾越建筑科技集团代表

2025 年 9 月 4 日，碧桂园集团—腾越建筑科技集团副总裁徐博一行到访香港理工大学铁路工程香港分中心，开展交流活动。在铁路工程香港分中心团队的接待下，中心成员周恺博士、丁思齐博士及汪潇博士等与来访人员围绕建筑智能建造、工程安全

技术及自动化施工技术等主题进行了深入交流与探讨。双方就相关技术的应用前景与发展方向交换了意见，交流充分、成效良好，为后续深化合作奠定了基础。

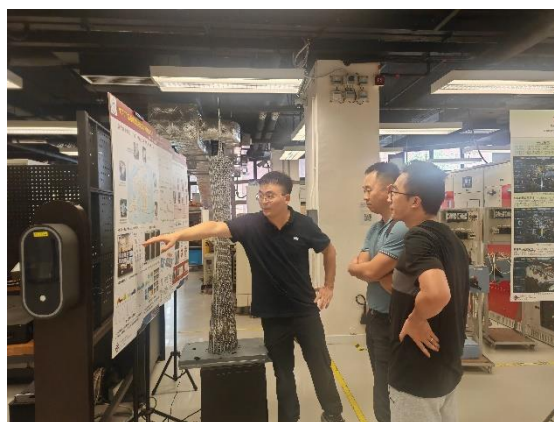


图 3.70 腾越建筑科技集团代表来访

3.5.16 洛林大学巴德雷丁·阿苏阿尔教授来访

2025 年 9 月 11 日，法国洛林大学 Badreddine Assouar 教授到访香港理工大学铁路工程香港分中心，开展学术交流与参访活动。在区玮玗博士的陪同下，Assouar 教授参观了中心相关实验室，并实地考察了香港理工大学工业中心（IC）的 3D 打印工作坊及铁路角落展区。参访过程中，Assouar 教授对中心正在推进的港铁（MTR）相关研究项目，以及吸声超材料在铁路工程中的应用表现出浓厚兴趣，并就相关技术发展与应用前景进行了交流与探讨。



图 3.71 洛林大学巴德雷丁·阿苏阿尔教授来访

3.5.17 深圳地铁代表团来访

2025 年 9 月 15 日下午，深圳地铁运营集团有限公司代表到访香港理工大学铁路工程香港分中心，并在理工大学 Z105 会议室开展交流座谈。

香港理工大学铁路工程香港分中心 主任倪一清教授、研究助理教授陈争卫博士及博士后研究员彭俊参加了本次会议。深圳地铁方面由大修中心曾向林主管、刘琨工程师，以及西南交通大学广东校友会秘书长刘正一出席。

会议围绕深圳地铁集团“2025 年揭榜挂帅课题——转向架智能检测子课题”的研究需求与技术方案展开深入交流，重点讨论了项目实施模式、关键技术方向及知识产权安排等核心问题。双方一致确认采用“揭榜挂帅”的合作方式，并明确将转向架螺栓紧固度检测作为主要研究方向。

会上，双方就后续合作分工达成初步共识，由香港理工大学铁路工程香港分中心负责相关技术研发并推进合作协议的制定，深圳地铁集团将提供转向架实物及实验场地支持。本次交流为双方在轨道交通智能检测领域的深入合作奠定了良好基础。





图 3.72 深圳地铁代表团来访

3.5.18 浙江省台州市政协代表团及香港台州籍企业家

2025 年 10 月 15 日，浙江省台州市政协副主席周凌翔一行及香港台州籍企业家代表到访香港理工大学开展交流参访活动。在香港理工大学协理副校长罗璇教授、倪一清教授的陪同下，来访嘉宾参观了铁路工程香港分中心相关实验室，详细了解中心在轨道交通工程技术领域的研究布局与最新科研成果。参访过程中，双方就科研成果转化、产学研协同及区域合作发展等议题进行了交流，为后续加强沟通与合作奠定了良好基础。



图 3.73 浙江省台州市政协代表团及香港台州籍企业家来访

3.5.19 特首政策组·潮州商会联袂考察 CNERC-Rail

特首政策组·潮州商会联袂考察 CNERC-Rail，共商北部都会区科技合作新篇

2025 年 12 月 8 日下午，应香港理工大学倪一清教授邀请，香港潮州商会副会长陈建年，许平川，常务会董家荣，名誉会董李焯麟及特首政策组成员等赴理工大学工业中心，参观访问国家轨道交通气化与自动化工程技术研究中心(香港分中心)，三维打印技术中心实验室，纳米 3D 混凝土打印研究中心，磁悬浮列车实验室等。

商会成员通过实地观摩设施，与理工大学区玮玢博士等深度交流，近距离领略了尖端技术的创新突破，让大家充分认识到理大科研成果的业化价值。期待商会将与理大加合作，推动会员企业与理大开展联合研发，深度合作，共绘校企创新发展的新篇章。

倪一清教授特设晚宴招待香港潮州商会成员及香港特首政策组成员，期间与商会成员等亲切交谈。出席是次参观访问的本会成员还有秘书处署理总干事刘素清等。



图 3.75 特首政策组·潮州商会联袂考察 CNERC-Rail，共商北部都会区科技合作新篇

3.6 新闻专访

3.6.1 香港《21 世纪经济报道》专访香港理工大学倪一清教授

2025 年 6 月 10 日，香港《21 世纪经济报道》记者到访香港理工大学，对倪教授进行专访。作为该校知名学者，倪教授在学术界和产业界均享有广泛影响力。

访谈中，倪教授分享了对当前科技发展趋势的看法，并介绍港理工在推动科技创新与人才培养方面的举措。他指出，全球科技日新月异，香港理工大学正积极加强与内地及国际科研机构的合作，力争在轨道交通电气化、自动化等领域取得更多突破。倪教授强调产学研融合的重要性，认为只有与企业紧密合作，才能把科研成果转化为实际应用、助力产业升级。

谈及人才培养，倪教授表示，港理工注重培养学生的创新意识和实践能力，鼓励学生参与科研项目与国际交流；他相信这种模式能为未来社会输送更多高素质人才。此次专访不仅展示了港理工在科研与教育领域的卓越成就，也体现了倪教授作为学者的责任感与前瞻性。《21 世纪经济报道》将持续关注港理工的发展动态及倪教授的最新研究成果。



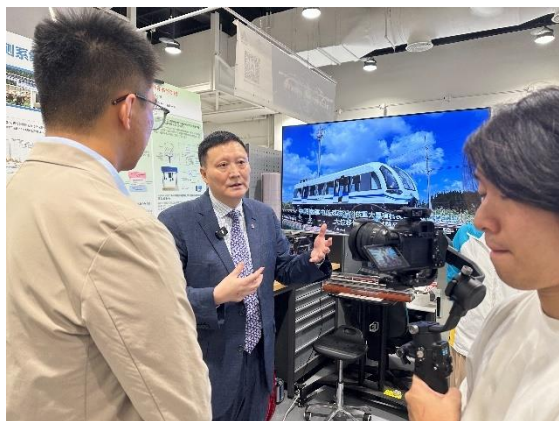


图 3.76 中心主任倪一清教授接受香港《21 世纪经济报道》采访

3.6.2 香港理工大学举办“科研领航：强化城市韧性应对极端天气”媒体接待会

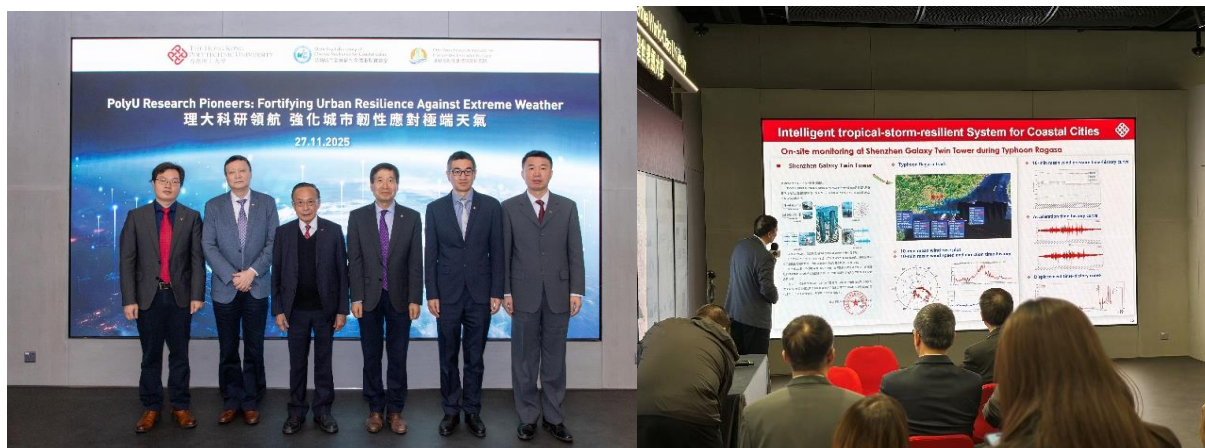


图 3.77 中心主任倪一清教授媒体采访

2025 年 11 月 28 日。倪一清教授、邓锸博士出席以“科研领航：强化城市韧性应对极端天气”（PolyU Research Pioneers: Fortifying Urban Resilience Against Extreme Weather）为主题的媒体接待会。

会上，倪一清教授介绍了 TRS 项目的最新研究成果，重点包括 LiDAR 监测系统和高层建筑监测系统，并就记者关心的问题进行了回应，阐述了这些技术如何服务香港及其他沿海城市居民、提升城市抗风险与应急响应能力的应用前景。

本次接待会展示了香港理工大学在应对极端天气和提升城市韧性方面的科研实力与社会服务承诺。

3.6.3 星岛日报专访香港理工大学倪一清教授

2025 年 12 月 11 日上午，倪一清教授在 U301 室接受星島日報记者陈嘉婉女士的采访，Hazel Cheng 女士(CPA)、邓锬博士、岳欢先生、刘新源先生、欧阳德惠先生、杜航先生、曾子玄先生，王剑先生和邓敏先生参加此次活动。

采访中，倪一清教授系统介绍了相关项目的整体背景与研究进展，重点阐述了项目成果在服务香港及周边地区公众、提升城市安全与民生福祉方面的实际成效。随后，邓锬博士现场展示了相关监测仪器的功能特点及代表性监测结果，直观呈现了项目在工程应用与社会服务中的价值。



图 3.78 星島日報采访倪一清教授

附 录

A.1 购买的仪器

A.2 新闻报道



附录

A.1 购买的仪器

序号	设备/传感器	数量
1	"Keysight 001" DC Bias Option	1
2	"Keysight 16089A" Test Fixture A	1
3	"Keysight 16089B" Test Fixture B	1
4	"Keysight BV0014B" Software	1
5	"Keysight E4980A" LCR Meter	1
6	Annual Software Maintenance Package (ASMP) for 2 years	1
7	Annual Support Package (ASP) for 2 years	1
8	M3704B six-axis force sensor at nacelle-tower connection	1
9	M3815E2 six-axis force sensor at tower-platform connection	1
10	Provision of foreign object intrusion monitoring system test in rail transit	1
11	Software License fee	5
12	"Campbell / CR1000Xe" wind speed and pressure monitoring system	1
13	"In-situ High-tech / CIS-JH-4.0-F" Plasma Joule Heating System and Material Processing System	1
14	"ZY-DMSIC-01" deformation monitoring system based on inertial camera vision	1
15	"ITS p2+" Electrical Impedance Tomography system with phantom tank	1
16	deformation monitoring system based on inertial camera vision	1
17	FORMLABS FORM 4L 3D printer for fabricating precise acoustic and mechanical metamaterial samples	1
18	Hong Kong Rail Transport Safety Meteorological Warning System	1
19	In-Situ High-Tech CIS-JH3.3-P Joule heating device	1
20	Meadowlark Optics SDM19x12-500-700 spial light modulator	1
21	MSK-SFM-1S ball mill	1
22	SC-F-1L" Mixed Mill Machine"	1

23	The Siemens SEM2E01 Volume Sound Source Test System	1
24	WaterLinked DVL A50 doppler velocity log with mounting bracket	1
25	Supply of ANSYS Academic Research CFD (5 Tasks) and ANSYS Academic Research HPC Workgroup 128 (Annual Lease 11/2/2025)	1
26	Supply of ANSYS Academic Research CFD (5 Tasks) and ANSYS Academic Research HPC Workgroup 128 (Annual Lease 17/11/2025)	3
27	AMN segmented platform of Spar-Type wind turbine (Spar 分段平台)	3
28	NEWPORT 1374523, S-2000A-428 four S-2000 standard vibration isolators	3
29	Pre-tests of phased array control system	1

A.2 新闻报道

理大與中鐵電氣化局集團簽訂技術研發與應用戰略合作協議共建聯合實驗室 | 香港理工大學



首頁 / 傳媒 / 新聞稿

理大與中鐵電氣化局集團簽訂技術研發與應用戰略合作協議共建聯合實驗室

2025年5月2日

科研與創新發展

知識轉移及創策處



▲ 理大與中鐵電氣化局日前於北京舉行技術研發與應用戰略合作協議簽訂暨聯合實驗室揭牌儀式。雙方與會代表包括：賈保信先生（右四）、林大輝博士（右五）、王少峰先生（左五）、郭樹祥先生（右三）、趙汝恒教授（右四）、中鐵電氣化局副總經理李磊先生（右二）、倪一清教授（左三）、林雲志先生（左二）、理大人工智能講座教授、理大深圳研究院院長張成奇教授（左一）及理大內地發展處總監、會計及金融學院香港可持續技術基金會計及金融教授陸海天教授（右一）。

香港理工大學（理大）與中國中鐵電氣化局集團有限公司（中鐵電氣化局）日前於北京舉行技術研發與應用戰略合作協議簽訂暨聯合實驗室揭牌儀式。雙方將通過京港科技合作機制，培育兼具創新理論與實踐經驗的高素質人才，並實現優勢互補，共同將聯合實驗室打造成為全球軌道交通創新高地和產教融合典範，以科技賦能「交通強國」戰略，助力京津冀協同發展及全球數碼經濟標竿城市建設。

中鐵電氣化局集團是世界企業和世界品牌雙500強——中國中鐵股份有限公司的重要成員企業，是中國電氣化鐵路和城市軌道交通建設的國家隊和主力軍，是次合作將發揮雙方優勢，共築軌道交通創新高地。

在中鐵電氣化局集團黨委書記兼董事長賈保信先生和理大校董會主席林大輝博士見證下，由中鐵電氣化局集團總工程師林雲志先生及理大副校長（研究及創新）趙汝恒教授簽署戰略合作協議。此外，在林大輝博士、賈保信先生、趙汝恒教授及林雲志先生見證下，理大土木及環境工程學系智能結構與軌道交通講座教授、嚴、蒙、郭、鍾智騷結構冠名教授、理大國家軌道交通電氣化與自動化工程技術研究中心香港中心主任兼理大杭州技術創新研究院院長倪一清教授亦與中鐵電氣化局集團電氣化公司總工程師李育冰先生簽署技術研發與應用戰略合作協議。

賈保信先生在致辭中指出，理大和中鐵電氣化局將以聯合實驗室為起點，通過「基礎研究—技術攻關—產業轉化」的創新鏈深度融合，打造軌道交通領域的產教融合典範。雙方將依託京港兩地的政策與區位優勢，建立「科學家+工程師」聯合團隊培養機制，共建實訓基地與博士後工作站，培育支撐行業轉型升級的複合型人才。

专访香港理工大学倪一清：为高铁磁浮装上“感知神经”

本报记者 袁恩杰 香港报道

在香港，青马大桥的自适应概率神经网络精准捕捉大桥“心跳”的细微异常。即使环境噪声完全掩盖了损伤本身的微弱信号，依然能实现85%以上的精准定位，就像在暴雨之夜的喧嚷中清晰分辨出一片落叶坠地的声响。

默默守护这个标志性项目结构安全的核心技术，源自香港理工大学土木及环境工程学系智能结构与轨道交通讲座教授倪一清在结构健康监测领域的一系列开创性科研成果。

“对于任何一个运动系统，我们都希望能够实现对其的有效控制。”倪一清对记者说。

倪一清表示，过去数十年，其团队依托大数据与人工智能技术开发了一系列分析算法，使系统能快速诊断结构性能问题，如裂缝形成、局部可靠度下降等关键指标，实现实时计算反馈。

倪一清是国际著名结构健康监测专家，连续5年在土木工程领域位列全球前2%高被引科学家，曾获国家科技进步奖二等奖和日内瓦国际发明展金奖及特别大奖。自1990年代起，他主导了香港青马大桥、广州塔、深圳证券交易等地标工程的结构监测系统研发，为建筑物进行全寿命周期的健康监测。



目前我国高铁技术“出海”时，通常需要与当地签署协议，确保系统按中国标准制造和使用。但部分国家要求技术产品必须通过本地相关规范和认证。香港可发挥独特优势。

倪一清

技术，对在里约奥运会期间运行的地铁4号线列车结构部件展开全面监测，在4天内累计监测行车里程500公里。

除保障结构安全外，如何减少高速行驶的列车产生的噪声也是研究中心的科研重点。为解决噪声问题，研究中心团队通过3D打印技术制作声学超材料吸声屏障，可实现宽频高效吸声。此外，团队还研发了铁路噪声控制智能颗粒阻尼器，安装后轨道近场噪声可降低3-5分贝，远场噪声可降低1-3分贝。

目前，这两项技术已在香港地铁和深圳地铁投入测试和使用。

倪一清指出：“我们不仅关注结构安全性，更强调用户体验维度，例如在铁路应用中，我们会把乘客舒适性和噪音控制作为核心指标被纳入监测体系。”

人工智能“保驾护航”

作为国家轨道交通电气化与

学时期的研究方向，我的本科毕业论文也是和动力学相关。在浙江大学攻读硕士学位期间，我亦从事振动控制方向的研究。

我一直对控制非常感兴趣，而火车的运行过程本质上就是动力系统运行过程。对于任何一个运动系统，我们都希望能够实现对其的有效控制。

《21世纪》：你为什么没有留在美国，而是回国到香港发展？

倪一清：香港在大桥结构健康监测领域处于世界领先地位。当时，这些大桥已经开始建设长期、永久性的结构健康监测系统。

我们将监测系统永久性安装在大桥上，实现实时监测和预警，而国外多以一座桥梁为对象，进行一至两个月的临时监测，两者的概念存在明显区别。

除青马大桥外，还有汲水门大桥、汀九大桥、后来的昂船洲大桥、深圳湾公路大桥（西部通道大桥），直至港珠澳大桥，我均有幸参与了这些大桥结构监测系统的建设。

采用智能材料，如石墨烯、碳纳米管，通过3D打印技术制造具有优异声学性能的非天然材料，即声学超材料，以实现噪声的有效控制。此类技术不仅适用于高铁和磁悬浮列车，也可推广用于高速公路的噪声治理。

AI赋能轨道交通安全

《21世纪》：你主导的高铁安全监测系统已实现从“轨道”到“列车”的监测延伸，并计划拓展至管道运营。可否分享一下团队在轨道交通安全检测方面的研究成果？这些技术是如何在超高速交通系统中保障安全并提升稳定性？

倪一清：我们研发了一系列特制传感器。由于现有的光纤传感器，其采样频率一般仅能检测5000赫兹以内的信号，而在声发射或超声波检测中，检测频率远高于此。

我们发现，超声波检测在裂缝检测方面较为有效。超声波沿结构表面传播时，遇到裂缝会产生反射和折射，信号特征明显不同。

因此，我们开发了专用的超声波光纤传感器。其优点在于：首先，可在多点布设传感器；其次，每个测点无需单独供电。由于高铁沿线（除站台及道岔等位置外）普遍无电源，若需为检测设备单独供电，将极为不便且不切实际。

《21世纪》：人工智能和各行各业深度融合是现在的一大趋势。你的研究团队在应用人工智能方面有哪些最新实践？

专访平安资管车强：泡泡玛特行情未完

车强建议投资者在港股市场采用“杠铃式配置”策略，即一端配置高息股，另一端配置成长股。他认为，这种策略能够有效应对市场不确定性，并在不同市场环境下捕捉投资机会。



车强

湾区金融大叻说

本报记者 张传泽 香港报道

“泡泡玛特虽然从底部上涨不少，我认为目前这轮行情仍未走完。”平安资管（香港）股票投资主管车强在专访中对21世纪经济报道记者表示。

年初以来，以泡泡玛特为首的消费品板块受到市场追捧。“新消费F4”——老铺黄金、泡泡玛特、毛戈平、蜜雪集团这几家公司在年内多次创下历史新高。谁是下一只泡泡玛特，成为不少投资者关心的问题。

如何定义新消费？车强认为，新消费指的是具备独特持续价值、可持续IP、文化价值与高性价比的消费品。其销售模式区别于传统消费对渠道销售的依赖。他指出，基于这些核心特质，新消费赛道仍有巨大的发展空间。

谈及港股市场在2025年下半年的走势，车强指出，目前港股的估值已经达到过去10年的平均水平。展望下半年，市场波动仍将持续。然而，尽管外部环境复杂，港股市场仍有其内在的支撑力量。他特别提到，南下资金的持续流入是今年港股的强劲支持，预计今年港股的估值将进一步提升。

（十年期国债收益率约1.6%），港股高息股对配置型资金吸引力显著。

对于成长类板块而言，年初以来DeepSeek带动的情绪端的改变，为成长类板块带来了良好的刺激。若未来AI进一步发展，有望带动内地整体经济增长提速。具体而言，我们看好一些科技类以及消费类板块的发展。此外，我们对创新药板块保持乐观。近期创新药领域政策端支持力度加大，包括加速人医保目录等措施，为相关股票提供良好支撑。同时，该板块过去几年的估值也处于具吸引力的水平。

高股息率吸引投资者

《21世纪》：从上半年的表现来看，港股的收益率整体跑赢了A股。你如何看待A股与港股之间的分化？

车强：今年A股与H股之间的分化表现得尤为明显。港股持续跑赢A股主要有几个方面的原因。政策层面，内地监管机构鼓励优质企业赴港上市，宁德时代、海天味业等相继登陆港股，优质公司的加入进一步丰富了港股标的的多样性。同时，许多优质成长型公司也集中于港股，例如腾讯、美团等代表性企业主要在香港上市。

此外，港股的估值相较于A股更具吸引力。以高息股为例，港股银行股的估值明显高于A股银行股。同时，港股的估值相较于A股更具吸引力。以高息股为例，港股银行股的估值明显高于A股银行股。

文匯網 專題 香港 教育 理大與杭州杭港地鐵及杭州申昊科技合作 推動軌道交通智能技術創新

理大與杭州杭港地鐵及杭州申昊科技合作 推動軌道交通智能技術創新

2025-08-28 19:54:42 教育



在理大校董會主席林大輝（後排中）、副校長（研究及創新）趙汝恒（後排左）及杭州杭港地鐵總經理吳偉鴻（後排右）見證下，由理大杭州技術創新研究院院長、軌道交通智慧中心主任、土木及環境工程學系智能結構與軌道交通講座教授倪一清（前排左）及杭州杭港地鐵副總經理謝志明（前排右）簽署合作協議。（理大圖片）

香港文匯報訊（記者 姜嘉軒）香港理工大學杭州技術創新研究院分別與杭州杭港地鐵有限公司及杭州申昊科技股份有限公司簽署合作協議，開發軌道交通智能運維技術，及建立人工智能科技實驗室，為國家鐵路技術發展與智能化注入新動力。

兩項簽署儀式均於上週三（20日）在杭州舉行。其中，理大杭州技術創新研究院及杭州杭港地鐵的合作將聚焦軌道浮置板震動分析、受電弓狀態檢測、綠能震動發電、DAS系統應用等多項軌道交通智能運維技術開展聯合開發。雙方將發揮各自優勢，推動科研成果轉化，提升企業創新動力與科技水平，助力軌道交通運維技術升級。



在林大輝、趙汝恒、杭州申昊科技董事長陳如申及董事兼CEO曹光客見證下，由倪一清及杭州申昊科技副總裁李濤簽署合作協議。

（理大圖片）

另一方面，理大杭州技術創新研究院將聯同杭州申昊科技、北京申昊電算集成科技有限公司及萬卷軌交智能科技（杭州）有限公司，共建人工智能科技實驗室，在大模型垂類應用與智能化運維等領域開展深度合作，協同推進人才培養。雙方將重點布局軌道交通智能運維和政務私有化部署等應用場景，全面提升國產化技術競爭力。

此行，理大代表亦到訪兩間公司，參觀並交流軌道交通領域的創新技術與發展方向。理大期望透過是次合作，把在軌道交通累積的研究成果與杭州的產業深度融合，轉化為國家基礎設施的創新技術，助力發展國家新質生產力。

「海陸空」防線強化城市韌性 理大雙科研旗艦應對極端天氣

為應對氣候變化對城市的威脅，香港理工大學今年8月獲國家科技部正式授牌，合建「沿海城市氣候韌性全國重點實驗室」；此前，理大亦獲支持成立「潘樂陶韌性基礎設施研究院」。

理大科研團隊正運用兩大世界級平台資源，推進多個科研項目，包括跨海大橋氣候變化監測、激光雷達颱風監測網絡及基於自然的海岸保護方案等，兩平台分別承擔基礎科研與工程轉化職能，並深化與內地頂尖科研機構的合作，為香港及其他城市構築氣候韌性防線。

大公報記者 邱梓茵

理大建設及環境學院院長李向東，同時兼任沿海城市氣候韌性全國重點實驗室主任及潘樂陶韌性基礎設施研究院院長。他表示，「沿海城市氣候韌性全國重點實驗室」側重基礎科研，聚焦全球及港澳大灣區極端天氣的出現成因與潛在危害，構建氣候變化影響的基礎理論體系。

大橋傳感器網絡分析氣候

而「潘樂陶韌性基礎設施研究院」偏重於工程應用，致力於推動科研成果落地轉化。李向東舉例說明：「以黃大仙港鐵站曾發生的淹水事件為鑒，研究院將針對此類風險研發具體防範措施，日後市民透過手機應用程式，不僅可查閱颱風信號，還能實時掌握所在區域的實際風力數據。這類技術就是要完全能在實際生活中應用，真正貢獻社會。」

理大粵港海洋基礎設施聯合實驗室主任夏勇在介紹重點項目進展時，闡述其領導的跨海大橋氣候變化監測項目，指出青馬大橋上安裝了近300個各類傳感器，讓團隊可分析溫度、風力等氣候因素對橋樑結構的影響。「1997年至2025年間，大橋平均溫度每年上升攝氏0.05度，颱風影響時間每年增加約3.6小時。基於數據，團隊預測未來氣候變化對橋樑的影響，提出維修保養

建議，並推動香港橋樑設計邁向更高標準。」

目前，相關技術亦已成功應用於港珠澳大橋，自2018年起，理大團隊為該橋搭載無線傳感器網絡，運用邊緣計算技術實現實時數據處理，相比傳統有線系統更靈活高效。

研颱風風險實時預警管理系統

激光雷達颱風監測網絡項目同樣成果顯著。理大杭州技術創新研究院院長倪一清介紹，團隊獲研究資助局主題研究計劃撥款近5000萬元，針對沿海城市高層建築抗颱風問題，開發颱風風險實時預警與管理系統。自2024年起，團隊已



▲「理大追風隊」及搭載激光雷達儀的工程車。

在港九新界六大地點設置激光雷達監測儀，並持續向天文台共享風力數據。

由師生組成的「理大追風隊」，於颱風期間更會駕駛搭載激光雷達儀的工程車，實時採集不同區域的風速數據，進一步提升風力預測精準度。團隊將運用機器學習方法優化系統，未來計劃應用於北部都會區等新發展區及大型基建項目。

環保物料製水底防波堤

在基於自然的海岸保護方案項目，理大沿海城市氣候韌性全國重點實驗室副主任、潘樂陶韌性基礎設施研究院副院長段煥豐透露，團隊利用水利工程實驗室的先進設施，模擬海浪拍岸過程，研發創新型防護技術。

段煥豐表示，其中一項突破性成果為水底防波堤，採用廢殼等環保物料鋪設，可大幅削弱海浪衝擊力，保障沿岸居民生命財產安全。

實驗室學生現場演示了波浪生成過程，有關設備不僅能調控浪高大小，更可模擬「破碎」級別的強浪，用於測試不同孔隙率的廢殼防波堤對波浪的緩衝效果。段煥豐解釋：「不同孔隙率的物料，對波浪的反射與削弱效果存在明顯差異，這為優化防護方案提供了科學依據。」



倪一清、潘樂陶、李向東、朱松壽、段煥豐、



▲理大水利工程實驗室進行大浪衝擊測試。

理大科研平台介紹

沿海城市氣候韌性全國重點實驗室

理大獲國家科技部於今年8月授牌批准正式成為全國重點實驗室。為應對氣候變化和災害風險，實驗室旨在深度融入國家戰略格局與全球發展倡議，聚焦韌性城市構建及災害應急管理，致力於提升沿海城市基礎設施韌性，以應對氣候變化引發的多重挑戰。理大與香港科技大學共建的實驗室重點研究領域包括：氣候變遷與極端天氣、城市基礎建設與韌性、城市複合災害與演變、極端暴雨災害與綠色防控、海岸工程與技術，以及氣候變化風險感知預警與因應政策管理。

潘樂陶韌性基礎設施研究院

理大獲潘樂陶慈善基金慷慨捐助，於今年4月成立該研究院，旨在成為全球領先的研究與發展機構，致力為城市與鄉郊地區提供具韌性和可持續性的解決方案，以應對全球氣候變化所帶來的挑戰。研究院提供一個跨學科研究平台，構建高效協同的科學智庫，達成「政、產、學、研、用」深度融合，為香港、國家乃至全球的永續發展貢獻力量，並致力於四大研究方向：氣候變化與極端天氣、城市基建與韌性、鄉村社區與災害應對，以及氣候適應政策與實施。

責任編輯：曾明達 美術編輯：蕭潔潔

理大開發颱風風險實時預警系統 新成立兩科研平台針對極端氣候研究

近年香港遭遇極端天氣，包括「500年一遇」暴雨、自1964年以來再次於一年內兩度出現10號颶風信號等。為應對氣候變化帶來的多重挑戰，香港理工大學今年成立「沿海城市氣候韌性全國重點實驗室」及「潘樂陶韌性基礎設施研究院」，負責氣候相關科研項目。理大於上週舉行記者會，介紹兩個科研平台多項針對極端氣候的研究，包括開發颱風風險實時預警與管理系統，以提升沿海城市高層建築的抗颱風能力。

【記者鍾緯盈】

理大建設及環境學院院長李向東向記者表示，理大今年8月獲國家科技部授牌，與香港科技大學共同成立「沿海城市氣候韌性全國重點實驗室」，專注於基礎科學研究，探討香港及大灣區極端天氣之成因與潛在危害。同時，理大亦獲支持於今年4月正式成立「潘樂陶韌性基礎設施研究院」，側重於工程應用與科研成果轉化。他亦會同時擔任研究院院長及全國重點實驗室主任。

全港6地點設激光雷達監測儀

李向東指，兩大科研平台將聯合推動多項重點研究，其中，理大獲研究資助局2023/24主題研究計劃撥款近5000萬元，支持項目「INTACT：沿海城市智能式熱帶風暴減災系統」，針對沿海城市高層建築抗颱風問題，開發颱風風險實時預警與管理系統。自2024年起，理大在港九新界6個地點（鶴咀、沙田、沙頭角、元朗、龍鼓灘、貝澳）設置激光雷達監測儀，研究團隊師生更組成「理大流動測風隊」，於颱風期間運用車載3D激光雷達監測儀，實時追蹤風力變化，並持續與天文台共享風力數據，提升風力預測精準度與可靠性。

理大亦建立全球首個在跨海大橋上進行氣候變化監測的系統，以確保橋身結構安全並延長使用壽命。自青馬大橋於1997年啟用以來，理大已在橋身安裝近300個不同類型的傳感器，通過監測各項數據，分析氣候變化對橋樑的影響，並提出維修及保養建議。研究結果顯示，1997年至今，大橋溫度平均每年上升攝氏0.05度；颱風襲港時間則每年增加約3.6小時。團隊稱相關技術亦已應用至港珠澳大橋。

此外，理大團隊正進行沿岸安全研究，利用校園內的水利工程實驗室先進設施，模擬海浪拍岸的過程，探索創新方法以減低波浪衝擊力，例如在水底鋪設以螺殼等環保物料製成的防波堤，藉此大幅削弱海浪衝擊力，保護沿岸居民的生命及財產安全。

近年全球極端氣候事件日益頻繁，期望推動相關研究，以應對氣候變化所帶來的衝擊。理大潘樂陶韌性基礎設施研究院督導委員會成員潘樂陶

####

挑戰，香港理工大學今年成立「沿海城市氣候韌性全國重點實驗室」及「潘樂陶韌性基礎設施研究院」，負責氣候相關科研項目。理大於上週舉行記者會，介紹兩個科研平台多項針對極端氣候的研究，包括開發颱風風險實時預警與管理系統，以提升沿海城市高層建築的抗颱風能力。

【記者鍾緯盈】

理大建設及環境學院院長李向東向記者表示，理大今年8月獲國家科技部授牌，與香港科技大學共同成立「沿海城市氣候韌性全國重點實驗室」，專注於基礎科學研究，探討香港及大灣區極端天氣之成因與潛在危害。同時，理大亦獲支持於今年4月正式成立「潘樂陶韌性基礎設施研究院」，側重於工程應用與科研成果轉化。他亦會同時擔任研究院院長及全國重點實驗室主任。

全港6地點設激光雷達監測儀

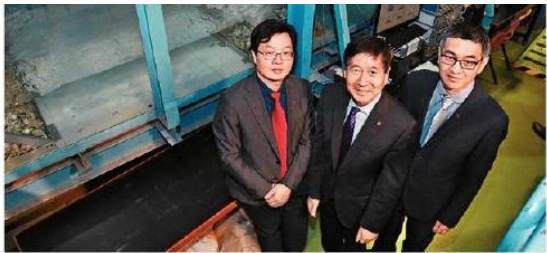
李向東指，兩大科研平台將聯合推動多項重點研究，其中，理大獲研究資助局2023/24主題研究計劃撥款近5000萬元，支持項目「INTACT：沿海城市智能式熱帶風暴減災系統」，針對沿海城市高層建築抗颱風問題，開發颱風風險實時預警與管理系統。自

2024年起，理大在港九新界6個地點（鶴咀、沙田、沙頭角、元朗、龍鼓灘、貝澳）設置激光雷達監測儀，研究團隊師生更組成「理大流動測風隊」，於颱風期間運用車載3D激光雷達監測儀，實時追蹤風力變化，並持續與天文台共享風力數據，提升風力預測精準度與可靠性。

“近年全球極端氣候事件日益頻繁，期望推動相關研究，以應對氣候變化所帶來的衝擊。”

理大潘樂陶韌性基礎設施研究院督導委員會成員潘樂陶

理大亦建立全球首個在跨海大橋上進行氣候變化監測的系統，以確保



李向東(中)稱，理大團隊正在校園內的水利工程實驗室模擬海浪拍岸的過程，探索創新方法減低波浪衝擊力。何健勇攝



李向東(右)指，理大自2024年起，在港九新界6個地點設置激光雷達監測儀，監測全港風力變化。左為潘樂陶。

在水底鋪設以螺殼等環保物料製成的防波堤，藉此大幅削弱海浪衝擊力，保護沿岸居民的生命及財產安全。

Our Ref: HKOG 1/50/41

11 August 2025

Ir Prof. Yi-Qing Ni
Chair Professor of Smart Structures and Rail Transit
Department of Civil and Environmental Engineering
The Hong Kong Polytechnic University
Kowloon, Hong Kong, China

Dear Ir Professor Yi-Qing Ni's Team of The Hong Kong Polytechnic University,

Acknowledge Letter

On behalf of the Hong Kong Observatory, we would like to express our sincere appreciation to Prof. Yi-Qing Ni and his team for their continued provision of data from the Hong Kong LiDAR network monitoring system, which was designed and installed by your team (Annex).

Since the commencement of its operation, the Observatory has issued three No. 8 or higher tropical cyclone warning signals—for Yagi, Toraji, and Wipha. Over the past year, your system has delivered timely and invaluable data, including wind profiles, wind direction, turbulence intensity, pressure, temperature and humidity.

These high-quality datasets have greatly enhanced our capability to analyze the structure and evolution of typhoons, and to conduct three-dimensional observations of the urban boundary layer wind fields across Hong Kong.

Yours sincerely,



(Dr P W Chan)

Director of the Hong Kong Observatory



尊敬的香港理工大学倪一清教授团队：

衷心感谢贵团队为我集团运营的深圳·星河双子塔设计并安装的极端气象条件下结构安全智能监测系统（见附图）。该系统现已于今年6月完成安装调试，并投入常态化运行。



系统运行以来，在近期经历的两次关键外荷载事件中表现卓越：

1. 2025年6月23日18时48分，广东清远发生M4.3级地震，系统完整记录了塔楼振动响应数据，为事后的安全评估与复盘提供了可靠依据；
2. 7月20日，今年第6号台风“韦帕”在粤港澳大湾区附近登陆，系统通过实时采集塔体风致响应数据并快速分析，为台风期间结构安全保障提供了关键决策依据。

作为“中国最高的等高双子塔”地标性建筑，星河集团始终将建筑结构安全置于首位。贵团队研发的该系统显著提升了我集团对双子塔结构安全管控的自动化水平，优化了运营效率，并节约了相关运营成本。

深圳市星河智慧园区运营管理有限公司

2025年8月



科研團隊構建「地圖」預測不同地區高廈氣流走向 理大AI減災系統為城市做「體檢」防風險

AI輔助風災系列 理大專訪

為應對颱風可能帶來的災害，有本港科研團隊開發「智能熱帶風暴減災系統」，透過分析多項颱風相關的數據，包括風速、風向等，結合人工智能（AI），構建「風的城市地圖」，以預測本港不同地區、高樓大廈不同樓層在颱風吹襲時所面對的風險。領導研究的香港理工大學學者倪一清接受《星島》專訪時表示，團隊期望透過新系統為城市做「精密體檢」，準確分析風在樓宇之間的走向，提前預測哪些地區的風險最高，並作出預警。

■ 記者陳嘉庚 鍾錦強

今年颱風「韋帕」及超強颱風「樺加沙」吹襲香港期間，天文台兩次發出10號風球警告，是相隔逾半世紀以來，天文台再度於一年內兩次發出10號風球。風暴期間造成多人受傷，令外界關注防災減災的議題。不過，理大土木及環境工程學系智能結構與軌道交通講座教授倪一清提出的「INTACT」：沿海城市智能熱帶風暴減災系統，則與不少人記憶猶新「2018年襲港的「山竹」有關。

高樓密集環境 局部風力超預期

「山竹」吹襲期間，本港一度懸掛10號風球，並錄得數百宗玻璃窗或玻璃幕牆損壞的報告，另造成最少458人受傷。倪一清向本報記者表示，提出INTACT系統與「山竹」等超強颱風的影響密切相關。「我們在研究中發現，傳統防風方法在香港這樣高樓密集的環境存在局限，風在高樓之間會形成複雜的氣流，導致局部風力超預期值。」他指出，建立系統的初衷是為城市做「精密體檢」，（系統）不能預測颱風強度，更能精準分析風在樓宇間的實際走向，提前判斷哪些區域風險最高。

我們通過在關鍵建築物設置感測器，即時收集風壓等資料，再讓AI學習資料背後的規律，就像教懂電腦看「風的城市地圖」。當新的颱風來臨時，系統就能結合即時資料，預測出不同區域、不同樓層的具體風險。

理大學者倪一清

倪一清表示，傳統颱風預警着重「颱風有多大，往哪裏去」，而INTACT系統能進一步顯示「風在樓宇間怎麼走，對哪些建築物影響最大」。由他領導、為期5年的INTACT項目，於研究資助局2023/24主題研究計劃中獲得4129萬元撥款，目前已開展兩年。

流動測風降車載儀器「追風」

研究團隊在本港6個地點設置「激光雷達測風儀」（LIDAR），並利用團隊新研發的系統，監測風速、風向、溫度等數據，與天文台實時分享，用作天氣和颱風預警。

為取得第一手數據，提升風力預測的準確度與可靠性，團隊更組成「理大流動測風隊」。於「樺加沙」9月23日及24日襲港期間，使用車輛運載LIDAR，途經沙田、新界、西貢、屯門、東涌、西貢、小西灣、東涌、汲水門橋等地點，實時監測風向及風速等數據，並持續與天文台共享風力數據。

倪一清解釋，團隊通過不同方法收集與颱風相關的數據，包括LIDAR、天文台提供過去40年的相關數據等，以打造「香港氣象大模型」。構建颱風風險地圖，並以此實時預測未來一小時的風力變化等。他指即使LIDAR未能涵蓋的地點，團隊也可以通過結合AI及數據主導（data-driven）的方式，建構相關數據，「我們希望可以做到（覆蓋）整個香港」，未來可提供「實時城市風場風險預警」。

計劃維港沿岸北都開展試點

團隊計劃在未來一、兩年內，首先在維港沿岸等地區，以及即將發展的北部都會區開展試點，包括為部分樓宇先提供系統的風險預警功能，再逐步推廣至更廣泛的應用場景。倪一清在訪問中總結經驗，「我們設想的是「分級預警、分區推送」的模式，在颱風來臨前24小時，系統會生成動態風險地圖，通過天文台、手機等渠道向公眾發布區域風險等級。對於高風險樓宇的業主和管理方，還可以收到更具體的提示資訊，例如「建議加強某座向的窗戶防護」。



研究團隊在本港6個地點設置「激光雷達測風儀」（LIDAR），並利用團隊新研發的系統，監測風速、風向等數據。
倪一清（後排中）的研究團隊有多名成員，包括研究員彭鈞（後排右二）等。

積極配合建設國際創科中心 推動知識轉移

INTACT系統工作重點(部分)

- 研究團隊在本港6個地點設置「激光雷達測風儀」（LIDAR），分別位於元朗區、北區、屯門區、新界區、沙田區及西貢區，並利用團隊新研發的系統，監測風速、風向、溫度等數據。
- 為取得第一手數據，研究團隊組成「理大流動測風隊」，於「樺加沙」9月23日及24日襲港期間，使用車輛運載LIDAR，途經沙田、新界、西貢、屯門、東涌、西貢、小西灣、東涌、汲水門橋等地點，實時監測風向及風速等數據。

資料來源：理大提供、本報整理

與輝達商討合作空間

對於政府致力把香港建設為國際創科中心，倪一清表示認同並積極配合。「政府重視這件事，希望我們把研究成果應用在不同國家、不同城市，可以提升香港在創科方面的reputation（聲望）。」他舉例，他和研究團隊計劃把「智能熱帶風暴減災系統」推廣至其他沿海城市，期望香港可以發揮牽頭作用。

他透露，團隊正與晶片巨頭Nvidia（輝達）商討合作空間，期望通過Nvidia把新建的系統推廣至全球。他指Nvidia全球知名公司，若新系統能配合他們的硬件或軟件，將有助於推動知識轉移的工作，「這是香港的科學家希望做的，我們希望可以做到（推廣）去全世界」。

問及推動知識轉移面對哪些挑戰，他坦言挑戰很多，其中是否有足夠的應用場景，屬於主要的挑戰，「香港沒有那麼多industry（產業），我們也要有application scenario（應用場景）」，才可應用到新系統。

他指出，維港北部都會區即將發展，新系統可先應用於北都，其後逐步推廣至內地城市，「首先在港應用，接着我們到大灣區用」。

問「理大流動測風隊」於「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

右圖為「樺加沙」襲港期間，實時監測風向及風速等數據，左圖為「樺加沙」風場。

倪一清：颱風是香港最大災害 預警研究相當重要

在香港理工大學從事教研工作多年的倪一清，早於1990年代起，便參與香港大型橋樑結構健康監測（SHM）技術研究，其研究範疇亦涵蓋測風與風動學。高速鐵路與磁懸浮安全等。倪一清接受《星島》專訪時表示，除鐵路多個研究項目，開發實時城市風場風險預警的項目，在他眼中相當重要。於氣候變化之下，預料有助本港未來防災減災的工作。

倪一清是理大土木及環境工程學系智能結構與軌道交通講座教授，以及教、麥、郭、鍾健健結構教授。於土木工程領域，SHM與震動控制領域知名學者。他於2017年獲《國際結構健康監測雜誌》評選為「結構健康監測年度人物」，並於2020年至2024年連續5年入選由史丹福大學發布的「全球首2%頂尖科學家名單（土木工程領域）」，亦曾獲國家科學技術進步二等獎、日內瓦國際發明獎金獎及特別大獎等多個獎項。

連續5年「全球首2%頂尖科學家」

今次領導團隊研發「INTACT：沿海城市智能熱帶風暴減災系統」項目，倪一清表示，與風有關的研究相當重要，「因為對於香港來說，最大的hazard（災害）是颱風」。

他又指，他和研究團隊正與相關政府部門探討，讓城市風場風險預警的資訊未來既能及時傳達給市民，又不會造成「不必要的恐慌」，達到「精準預警，有效應對」的平衡。

根據香港天文台的資料，今年有10多個熱帶氣旋需要發出熱帶氣旋警告信號，打破自1946年以來年內「掛號」次數的最高紀錄。倪一清認為，今年熱帶氣旋的數量多，與氣候變化有關聯，並坦言「更加需要去做（相關研究）」，以及「準確對風可能為市民所帶來的災害和影響，「我們希望可以幫助整個香港及香港市民」。

倪一清指出，除了颱風之外，本港近年亦曾發生嚴重水浸，例如商場及地鐵站在暴雨下出現水浸情況等，他期望其研究項目在收集有關風的數據外，可以同時收集雨量等數據作監測用途，協助減低暴雨對市民的影響。



**National Rail Transit Electrification and Automation
Engineering Technology Research Center
(Hong Kong Branch)**
國家軌道交通電氣化與自動化工程技術研究中心
(香港分中心)

地址：香港九龍紅磡香港理工大學

Z 座 Z105 室

電話：(852) 3400-8535

郵箱：yiqing.ni@polyu.edu.hk

網址：<https://www.polyu.edu.hk/cnerc-rail/>

