中国科学院与香港地区

联合实验室年报

2020

中国科学院港澳台事务办公室

中国科学院评估研究中心

2021 年 4 月

目录
Contents

一、联合实验室基本情况.....1
（一）布局.....1
1.领域分布.....1
2.地域分布.....2
3.合作分布.....2
（二）人员结构.....4
1.固定人员情况.....4
2.客座人员情况.....5
3.各联合实验室人员分布情况.....7

二、联合实验室总体运行情况.....8
（一）承担科研任务情况.....8
（二）院拨专项经费执行情况.....10
（三）科研产出.....10
1.科技奖项.....10
2.论文及专著.....11
3.专利及软著.....12
4.科技成果转移转化.....12
（四）学术交流.....12
1.人员交流.....12
2.学术会议.....13

三、人才队伍与管理建设.....16
（一）人才队伍.....16
1.学术委员会人员组成.....16
2.联合培养人才情况.....16
（二）管理建设.....18
1.联合实验室管理情况.....18
2.依托单位配套支持.....18
3.下一年度重点工作和计划.....19

四、亮点成果选编.....20
三维陶瓷网络的制备及其复合材料的导热性能研究.....21
极细多晶体铜中发现一种新型亚稳固态—受限晶体结构.....22
生物活性支架调控颅骨修复重建研究.....23
铜催化 sp3 C-H 键的不对称官能化反应.....24
RBF-Softmax：让模型学到更具表达能力的类别表示.....25

msmb3 是神经嵴迁移的重要调节因子 26
高 Ga 宽禁带薄膜太阳能电池转换效率突破 21% 27
视黄酸对海马育儿袋发育与怀孕过程的调控机制 28
智能仿生机器鱼 29
峨眉山大火成岩省与地幔柱研究 30
激发波长依赖的金(I)卡宾配合物手性发光材料 31
KLF4 和 SOX2 介导细胞重编程新机理 32
微透镜超分辨率显微镜与原子力显微镜关联成像 34
一种稳定、吸收峰超过 800nm、活性氧产率高的有机光敏剂纳米粒子用于多模态光疗 35
中国西北地区雾霾期间大气挥发性有机物特征研究 36
表观遗传因子 SETDB1 在多能性-全能性转换中的作用 37
通过深能级瞬态光谱识别 p-GaN/AlGaN/GaN 功率 HEMT 结构的 p-GaN 层中的陷阱态 38
多物理谱仪研制 39
微型机器人自主导航及三维路径跟随控制 40
深度学习的新算法 41
市群有毒有害大气污染物环境健康与风险管理体系 42
黑磷纳米片对四膜虫中的毒性效应及机制研究 43

附件　中国科学院-香港地区联合实验室通讯录 44

创新香港，科技先行。自香港回归前后，中国科学院与香港中文大学、香港大学、香港科技大学、香港城市大学、香港理工大学和香港浸会大学等香港 6 所主要大学合作，先后组建了一批联合实验室，涉及化学、电子信息、生物医药、先进材料、智慧制造、资源环境、人工智能等多个领域。从最初以科学家之间的交流为主，扩展为规模化的团队合作；由个体研究兴趣驱动向体制化、建制化发展，联合实验室发挥各自优势、强强联合，在促进内地与香港科技交流与合作、科学前沿探索、科技成果转化等方面发挥了非常重要的作用。通过联合开展科研工作，产出了一批高水平的科研成果，培养了一批具有国际影响力的学术团队。

为进一步加强中国科学院与香港地区的实质性合作，促进联合实验室健康有序发展，加强人才共同培养，提升合作各方学术研究水平、创新能力及可持续发展能力，促进重大成果产出，联合实验室每 5 年组织一次评估。经 1999、2003、2008、2013 年 4 次评估，联合实验室不断壮大。特别是 2018 年组织实施的第五次中国科学院与香港地区联合实验室评估，中国科学院邀请内地与香港的科研管理专家共同开展评估工作，对评估获得“优秀”的 4 个实验室和“良好”的 8 个实验室分别给予每年 160 万元和 80 万元的连续五年稳定经费支持。同时，通过评估也新增了一批有较好合作基础和发展前景的实验室，目前共有 22 个联合实验室获得我院认可。为进一步展示联合实验室工作的风采，加强院拨经费的绩效管理，自 2019 年起启动了联合实验室年度报告工作。本期年报汇编了 2020 年的工作，包含联合实验室基本情况、总体运行情况、人才队伍与管理建设和亮点成果选编四个方面。

一、联合实验室基本情况

（一）布局

1. 领域分布

22 个联合实验室主要分布在 7 个学科领域，包括材料科学领域、地球科学领域、信息科学领域、医学科学领域、数理科学领域、化学科学领域、工程科学

领域（图 1）。

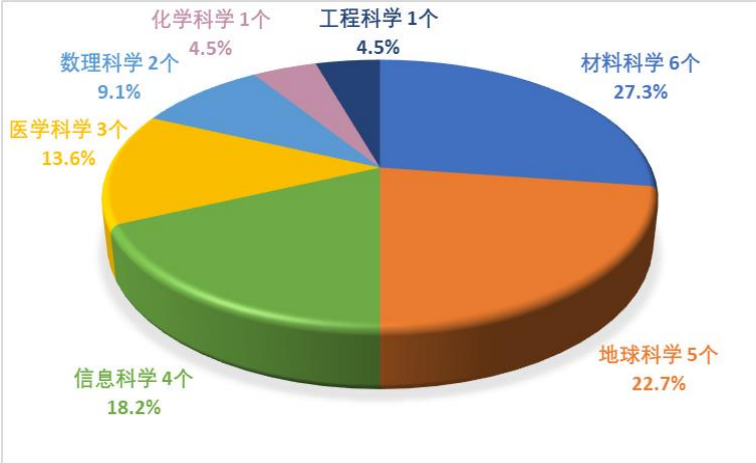


图 1 联合实验室领域分布

2. 地域分布

联合实验室内地分布主要集中在广东和北京地区，其中分布在广东地区的实验室有 11 个，占 50.0%；北京地区 6 个，占 27.3%；其它地区 5 个，占 22.8%（图 2）。

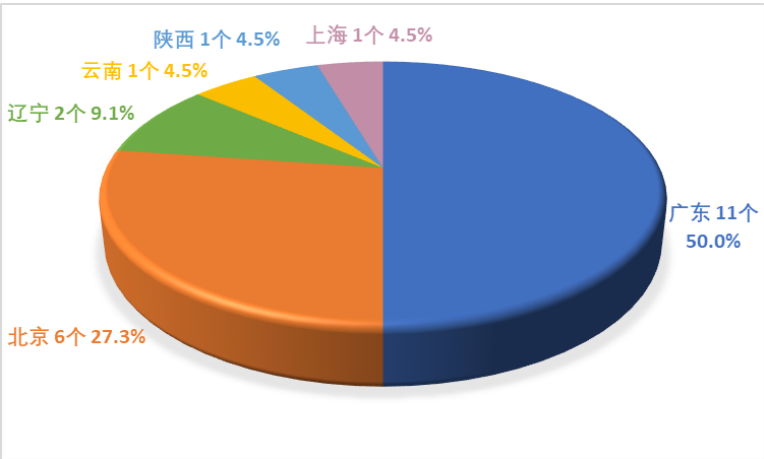


图 2 联合实验室地域分布

3. 合作分布

在 6 家香港高校中，香港中文大学与中国科学院院属单位共建联合实验室最多，共 9 个，其次是香港大学，共 5 个。具体分布见表 1。

表 1 联合实验室合作分布

香港高校	合作机构	联合实验室
香港中文大学	广州生物医药与健康研究院	干细胞与再生医学联合实验室
	昆明动物研究所	生物资源与疾病分子机理联合实验室
	深圳先进技术研究院	深港生物材料联合实验室
		高密度电子封装材料与器件联合实验室
		精密工程联合实验室
		多媒体技术联合实验室
		光伏太阳能联合实验室
		机器人与智能系统联合实验室
	上海有机化学研究所	沪港化学合成联合实验室
香港大学	理化技术研究所	新材料合成与检测联合实验室
	深圳先进技术研究院	深港生物材料联合实验室
	广州生物医药与健康研究院	粤港干细胞及再生医学研究中心
	广州地球化学研究所	化学地球动力学联合实验室
	上海有机化学研究所	沪港化学合成联合实验室
香港城市大学	理化技术研究所	功能材料与器件联合实验室
	沈阳自动化研究所	机器人学联合实验室
	金属研究所	纳米材料与力学联合实验室
	高能物理研究所	中子散射科学技术联合实验室
香港科技大学	南海海洋研究所	三亚海洋科学综合（联合）实验室
	深海科学与工程研究所	
	微电子研究所	微电子联合实验室
香港理工大学	广州地球化学研究所	粤港澳大湾区环境污染过程与控制联合实验室
	数学与系统科学研究院	应用数学联合实验室
	地球环境研究所	气溶胶与环境联合实验室
香港浸会大学	生态环境研究中心	环境科学联合实验室

（二）人员结构

2020 年度，联合实验室共有工作人员 841 名，较 2019 年减少 80 名；其中固定人员 771 名，占比 91.7%，较 2019 年减少 72 名；客座人员 70 名，占比 8.3%，较 2019 年减少 8 名（图 3）。

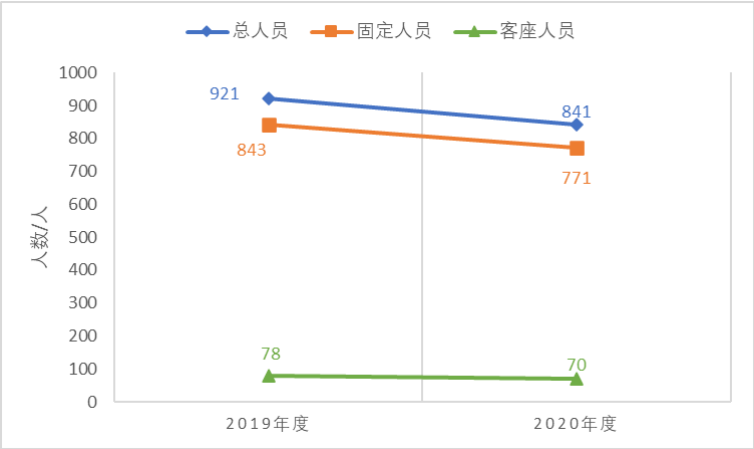


图 3 人员结构变化情况

1. 固定人员情况

在 771 名固定人员中，院士 17 名，占比 2.2%；正高级人才 295 名，占比 38.3%；副高级人才 157 名，占比 20.4%；其他人才 302 名，占比 39.1%（图 4）。与 2019 年相比，院士增加 1 人，正高级人才增加 10 人，副高级人才减少 25 人，但正高级及以上人才占当年总固定人员的比例在增加（图 5）。

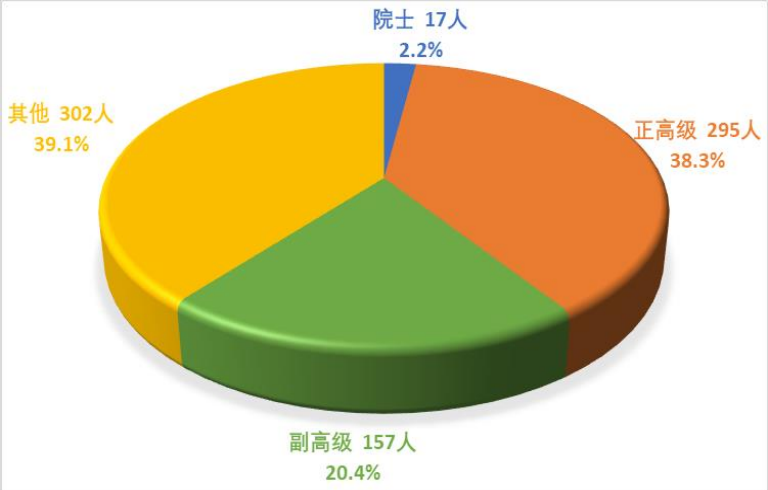


图 4 联合实验室固定人员情况

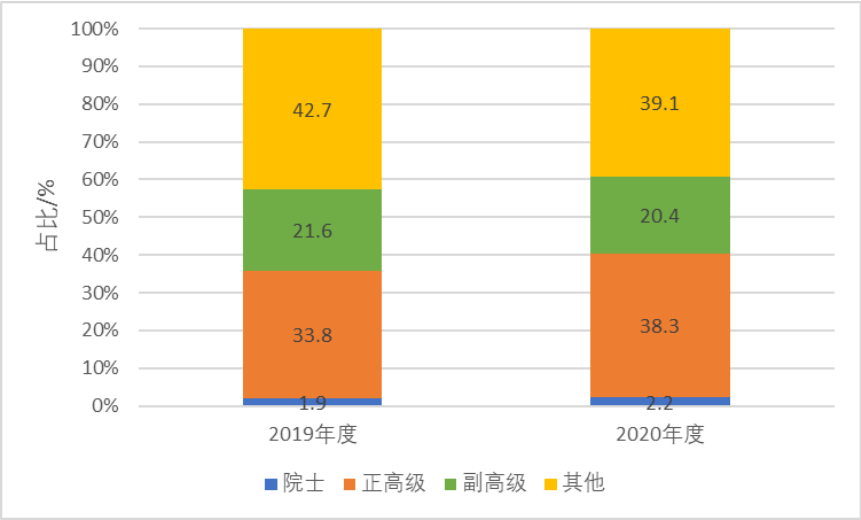


图 5 各类型人才占比变化情况

2. 客座人员情况

根据最新数据反馈，目前已有 14 个联合实验室与 38 家单位建立了合作关系，共有客座人员 70 名，其中 52.6%来自于高等院校，31.6%来自于科研院所，其余 15.8%来自于企业。

从联合实验室客座人才梯队结构来看，正高级人才 41 名，占比 58.6%；副高级人才 13 名，占比 18.6%；其他人才 16 名，占比 22.8%（图 6）。与 2019 年度相比，客座人员在数量上以及高级人才占总客座人员比例均有所下降（图 7 和图 8）。

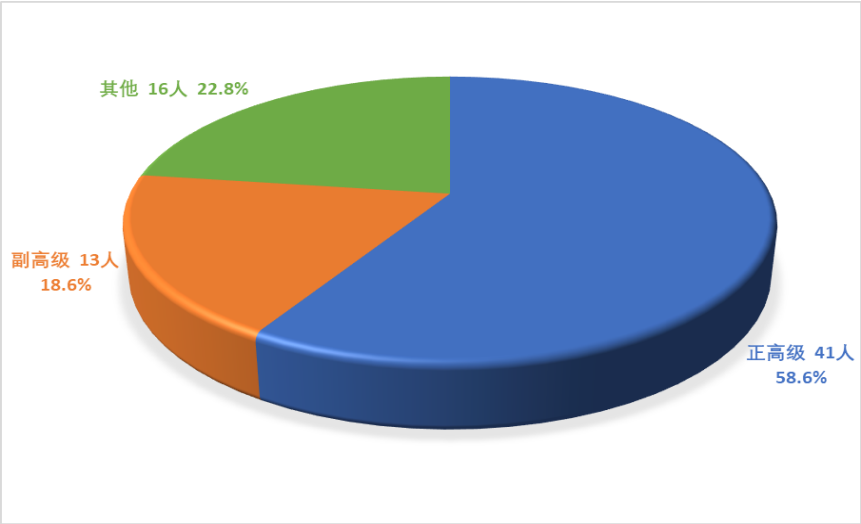


图 6 联合实验室客座人员情况

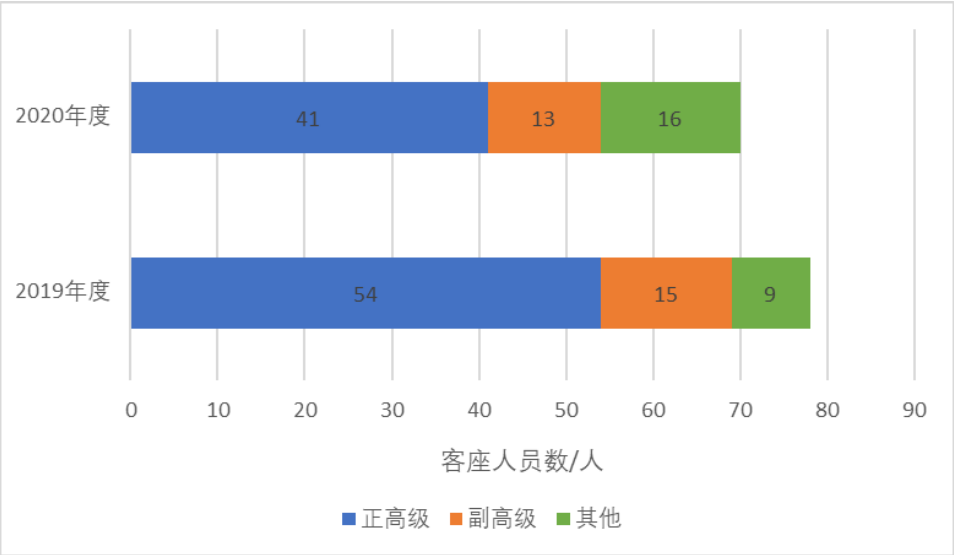


图 7 联合实验室客座人员各类型人才数量变化情况

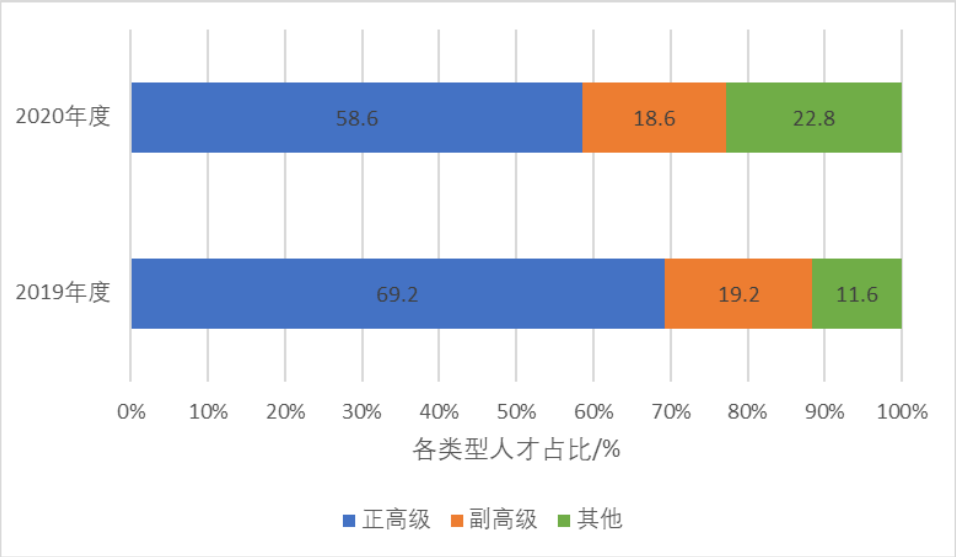


图 8 联合实验室客座人员各类型人才占比变化情况

3. 各联合实验室人员分布情况

表 2 联合实验室人员分布

联合实验室	总人员	固定人员	客座人员	正高级及以上人员	副高级人员	其他人员
高密度电子封装材料与器件联合实验室	25	18	7	10	7	8
纳米材料与力学联合实验室	12	12	0	10	1	1
深港生物材料联合实验室	59	54	5	21	11	27
沪港化学合成联合实验室	14	11	3	11	2	1
多媒体技术联合实验室	18	13	5	2	7	9
生物资源与疾病分子机理联合实验室	27	23	4	18	2	7
光伏太阳能联合实验室	14	12	2	4	7	3
三亚海洋科学综合（联合）实验室	43	43	0	29	9	5
精密工程联合实验室	10	10	0	2	4	4
化学地球动力学联合实验室	75	71	4	40	26	9
新材料合成与检测联合实验室	15	15	0	7	2	6
粤港干细胞及再生医学研究中心	145	144	1	35	20	90
机器人学联合实验室	5	5	0	5	0	0
功能材料与器件联合实验室	15	15	0	7	5	3
气溶胶与环境联合实验室	20	19	1	6	5	9
干细胞与再生医学联合实验室	153	150	3	32	29	92
微电子联合实验室	61	49	12	27	16	18
中子散射科学技术联合实验室	18	18	0	15	2	1
机器人与智能系统联合实验室	5	5	0	4	0	1
应用数学联合实验室	29	25	4	19	1	9
粤港澳大湾区环境污染过程与控制联合实验室	56	42	14	31	13	12
环境科学联合实验室	22	17	5	18	1	3
总计	**841**	**771**	**70**	**353**	**170**	**318**

注：正高级及以上人员按照院士、教授、研究员、教授级高级工程师划分；副高级人员按照副教授、副研究员、高级工程师来划分；其余的助理教授、助理研究员、博士后等归为其他。

二、联合实验室总体运行情况

（一）承担科研任务情况

2020 年，联合实验室共开展联合研究项目 89 项，总经费约为 63483.8 万元，当年到位经费约 22244.9 万元，其中新批项目 25 项，涉及约 20045.8 万元合同金额，当年到位经费约 9224.5 万元；在研项目 64 项，涉及约 43438.0 万元合同额，当年到位经费约 13020.4 万元，图 9 显示 2019 至 2020 年度新增及在研项目金额情况（统计标准：人民币；汇率以人民币：港元=1: 1.23 计算）。

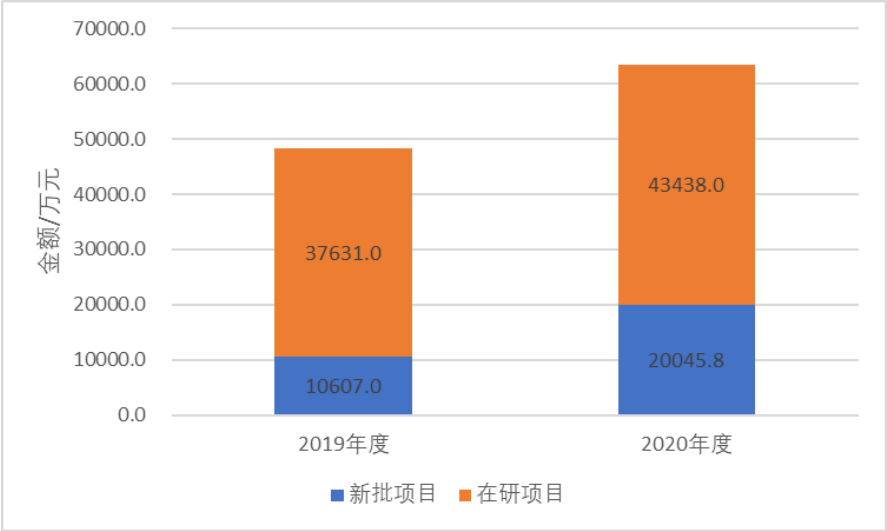


图 9 项目金额变化情况

在项目下达单位上，科技部项目 16 项，涉及金额约 20852.0 万元；基金委项目 15 项，涉及金额约 3169.9 万元；中国科学院项目 15 项，涉及金额约 5925.4 万元；地方支撑（省科技厅、科创委等）项目 20 项，涉及金额 10628.3 万元；香港教资会项目 1 项，涉及金额约 5747.0 万元；香港研资局项目 7 项，涉及金额约 4204.5 万元；裘槎基金会项目 2 项，涉及金额约 330.6 万元；高校企业（东莞理工学院、香港城市大学、华为技术有限公司、深圳市商汤科技有限公司、珠海格力电器股份有限公司等）项目 9 项，涉及金额约 11506.5 万元；国际项目（瑞士发展署）1 项，涉及金额 600.0 万元；其他项目 3 项，金额约为 519.6 万元。具体见图 10。

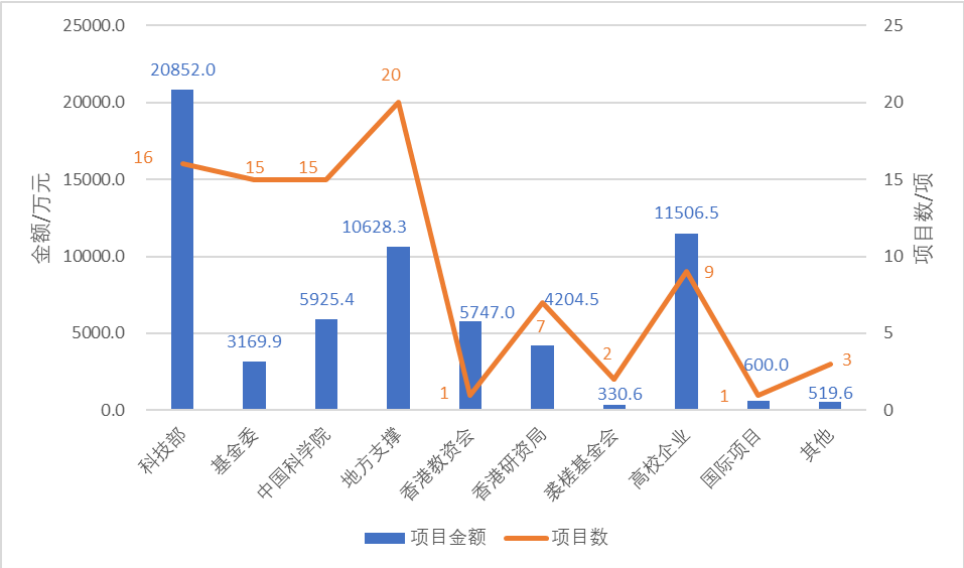


图 10 联合实验项目数及金额情况

在所有项目中，国家级项目（国家重点研发计划、国家自然科学基金等）33 项，涉及金额约 27665.7 万元；省部级项目 24 项，涉及金额约 19270.6 万元；省部级以下项目 32 项，涉及金额约 16547.5 万元（图 11）。

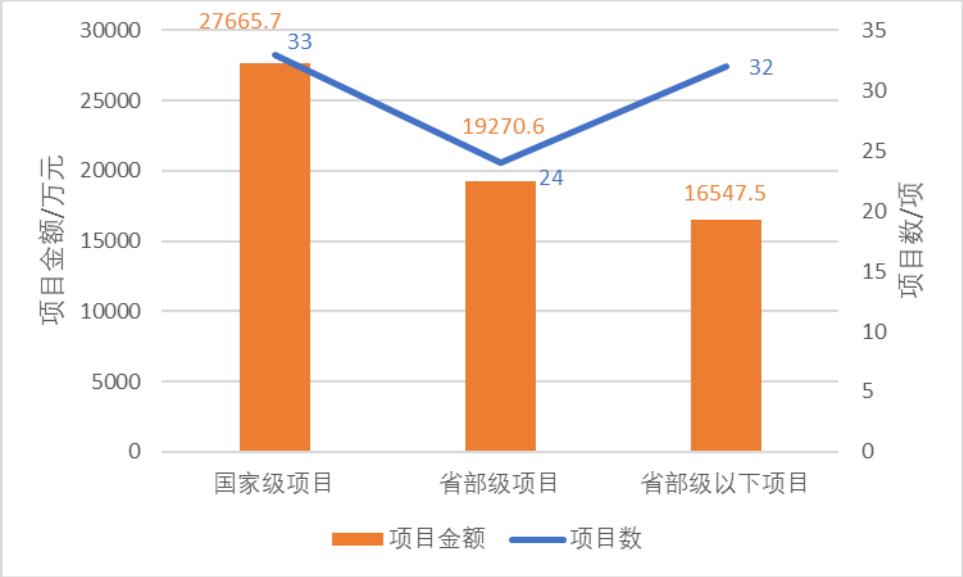


图 11 项目级别分布情况

在 25 项新批项目中，国家级项目 9 项，金额超过 1000 万的项目有国家重点研发计划 3 项，分别为：《页岩气开采场地特征污染物筛查与污染防控》（粤港澳大湾区环境污染过程与控制联合实验室，金额：2259.0 万元）、《用于芯片散热的热界面材料（TIM1）应用研究》（高密度电子封装材料与器件联合实验室，金额：

2192.5 万元）和《基于氦三极化的先进极化中子技术研发》（中子散射科学技术联合实验室，金额：1615.0 万元）。新批项中，由港方资助的项目有 2 项，分别为深港生物材料联合实验室承担的《老龄性骨骼系统退化及再生策略》项目（来源：香港教资会，金额：5747 万元），机器人与智能系统联合实验室承担的《用于消化道术后治疗的医疗微机器人平台》项目（来源：裘槎基金会，金额：233.0 万元）。另外，金额较大的项目还有纳米材料与力学联合实验室承担的《先进航空材料预应力工程与纳米技术研发》项目（来源：深圳市福田区科技创新局，金额：5300.0 万元）。联合研究项目来源广泛，影响深远。

（二）院拨专项经费执行情况

2020 年，12 家联合实验室中院拨专项经费收入决算 1280 万元，支出决算 1299.34 万元，执行率 101.5%。经费支出主要用于联合实验室的基本运行和学术交流，包括人员劳务费、间接费、设备费、测试费、材料费等。

（三）科研产出

1. 科技奖项

2020 年，22 个联合实验室共获得奖项 8 项，其中国际奖项 2 项、国家奖 1 项、省部级奖项 1 项、其他奖 5 项，共涉及 4 个联合实验室，其中深港生物材料联合实验室获奖达 4 项、多媒体技术联合实验室获奖 2 项、化学地球动力学联合实验室和纳米材料与力学联合实验室各获得 1 项（表 3）。

表 3 联合实验室获奖情况

联合实验室	奖励名称	获奖项目名称	获奖类别	奖励等级
化学地球动力学联合实验室	国家自然科学奖	峨眉山大火成岩省与地幔柱研究	国家奖	二等奖
纳米材料与力学联合实验室	未来科学大奖	物质科学奖	民间科学奖	
深港生物材料联合实验室	中国专利优秀奖	一种仙灵骨葆的提取方法、分离提取物及制剂	省部级奖	优秀奖

联合实验室	奖励名称	获奖项目名称	获奖类别	奖励等级
	第二十二届中国国际高交会	基于仿生纳米光敏剂的肿瘤诊疗设备	国际奖	优秀产品奖
	深圳市自然科学奖	基于仿生纳米材料的光学精准诊疗基础研究	市级奖	一等奖
	深圳市技术发明奖	3D 打印骨科器械关键技术与应用	市级奖	二等奖
多媒体技术联合实验室	2020 CCF 大数据与计算智能大赛	“遥感影像地块分割”赛题冠军	学会奖	综合特等奖
	AIM 2020 竞赛	Video Temporal Super-Resolution Challenge	国际竞赛	一等奖

2. 论文及专著

2020 年度联合实验室在国内外重要学术期刊及会议上联合发表学术论文共 332 篇，比 2019 年度多 109 篇（图 12），其中 SCI 收录 303 篇，更有 10 余篇是发表在 Nature、Science 及子刊的高水平学术论文。

出版专著 1 本，由深港生物材料联合实验室在《Springer》上出版的英文专著《Next Generation of Cancer Immunotherapy: Targeting the Cancer-Immunity Cycle with Nanotechnology》。

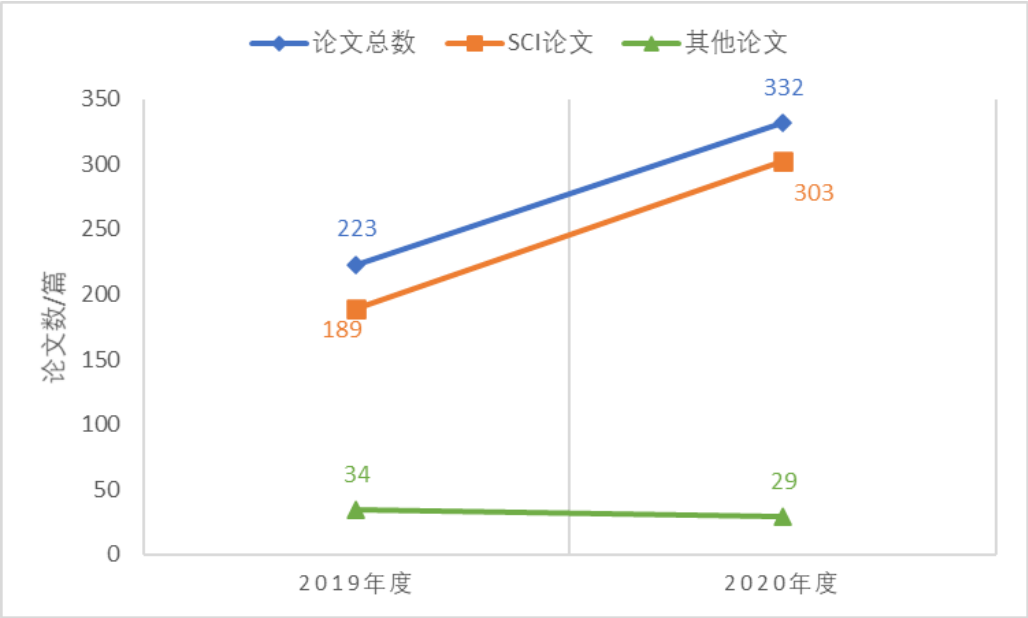


图 12 论文数量变化情况

3. 专利及软著

联合实验室取得专利/软件著作权共 58 项，涉及 7 个联合实验室，深港生物材料联合实验室 21 项、纳米材料与力学联合实验室 12 项、多媒体技术联合实验室 11 项、高密度电子封装材料与器件联合实验室 10 项、机器人学联合实验室 2 项、中子散射科学技术联合实验室 1 项、精密工程联合实验室 1 项。其中，发明专利 54 项，实用新型专利 4 项（图 13）。除中子散射科学技术联合实验室，其余全部来自于与深圳先进技术研究院联合的实验室。

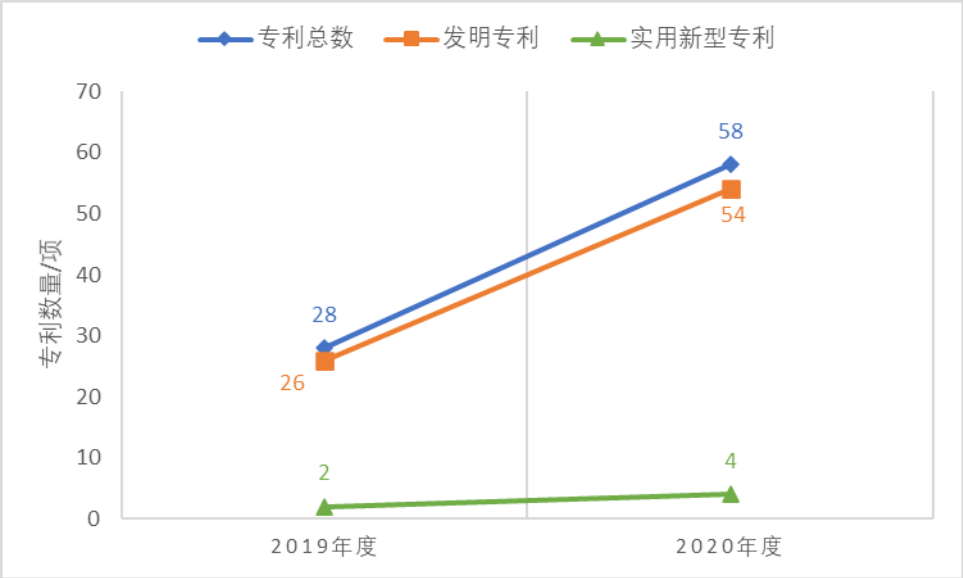


图 13 专利数量变化情况

4. 科技成果转移转化

深港生物材料联合实验室以“光热和光动力治疗装置”等 6 件专利，与珠海中科先进技术研究院有限公司签订专利转让协议，金额为 100 万元。成功将科技成果进行转移转化，实现了科技成果的市场价值。

（四）学术交流

1. 人员交流

2020 年度，联合实验室线上线下访问交流共 61 人次（受新冠疫情的影响，比 2019 年度减少 156 人次），其中线上交流 37 人次、线下访问 24 人次（出访 8

人次，来访 16 人次），访问交流内容包括：项目沟通、学术研讨、技术咨询等，访问交流时间多以短期为主（图 14）。

访问交流共涉及 9 个联合实验室，分别为粤港澳大湾区环境污染过程与控制联合实验室（27 次）、中子散射科学技术联合实验室（11 次）、高密度电子封装材料与器件联合实验室（10 次）、深港生物材料联合实验室（6 次）、多媒体技术联合实验室（3 次）、沪港化学合成联合实验室（1 次）、干细胞与再生医学联合实验室（1 次）、微电子联合实验室（1 次）、应用数学联合实验室（1 次）。

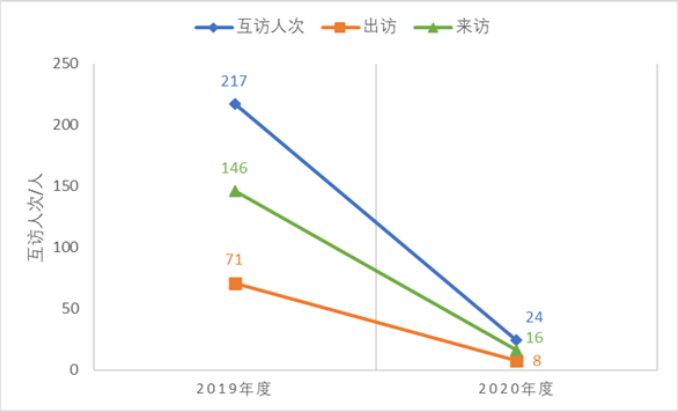


图 14 互访交流变化情况

2. 学术会议

2020 年度，联合举办学术会议 16 次，共 1102 人次参会，累计参会国家 17 个，国外代表 123 人次；主办会议 11 次、承办会议 2 次、合办会议 2 次、协办会议 1 次。由于新冠疫情的影响，相比于 2019 年度，举办学术会议的次数以及参会人数均大幅度减少（图 15）。

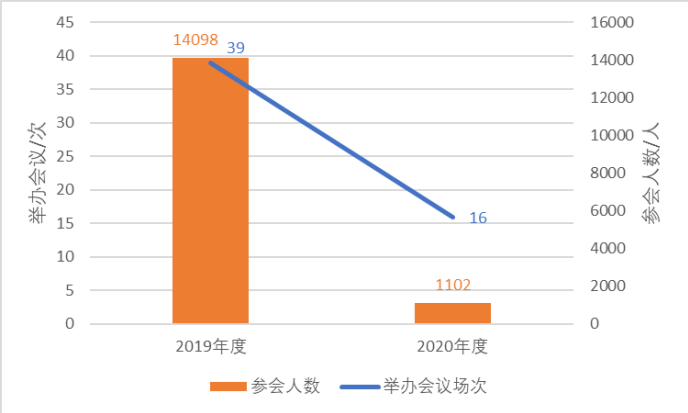


图 15 举办学术会议变化情况

在 16 次学术会议中，规模较大的会议有：粤港澳大湾区环境污染过程与控制联合实验室在广州承办的《第八届空气污染控制成本效益与达标评估学术研讨会》、中子散射科学技术联合实验室在东莞线上主办的《2020 年中国散裂中子源（CSNS）用户年会》，部分会议详情如下：

第八届空气污染控制成本效益与达标评估学术研讨会：

由清华大学、浙江大学、华南理工大学、中山大学和美国田纳西大学主办，华南理工大学环境与能源学院、粤港澳大湾区环境污染过程与控制联合实验室共同承办，中国生态环境部、美国国家环保署、中国工程院和美国能源基金会支持的“第八届空气污染控制成本效益与达标评估学术研讨会”于 11 月 3 至 4 日在广州成功举办。来自中国各省、市、自治区的各类学者、政府官员和专业技术人员共计 300 余人现场参会，8 个国家和地区的 42 名国际知名专家通过线上方式参会。与会专家就自己的研究做了关于经济发展、能源消耗与大气污染物排放，大气复合污染成因、监测与模拟，大气污染控制成本和健康效益，大气 PM2.5 和 O_3 协同防治，大气污染与气候变化的协同应对等领域的精彩前沿学术报告。为期两天的学术会议为不同领域、不同学科的专家学者和决策者提供了一个关于中国及全球大气环境问题的高水平学术交流平台。

图 16 联合实验室 2020 年学术会议-1

2020 年中国散裂中子源（CSNS）用户年会：

2020 年 9 月 12 日-13 日，2020 年中国散裂中子源（CSNS）用户年会召开。本次用户年会采用在线视频会议与同步直播的方式进行，会议注册人数超过 350

人。在 CSNS 正式向用户开放运行两周年之际，本次用户年会主要目的是和用户共同研究探讨如何使 CSNS 已开放的谱仪在面向前沿研究和国家重大需求等方面更好地服务用户，促进科研成果等高水平产出，进一步拓展谱仪应用方向，扩大和培养用户队伍，促进用户交流合作。同时也为正在建设和设计的后续谱仪收集用户需求、建立和培养用户队伍，截止目前已有 20 多位香港用户。CSNS 工程总指挥陈和生院士为本次会议致开幕辞，感谢广大用户对 CSNS 的支持。会议邀请香港城市大学王循理教授做大会报告，中国科学院高能物理研究所梁天骄、中国原子能科学研究院孙凯和中国工程物理研究院刘栋分别介绍了中国散裂中子源、中国先进研究堆和中国绵阳研究堆的开放运行进展和用户成果等。本次会议主要内容包括国内各中子散射装置状态、CSNS 已开放的通用粉末衍射仪、多功能反射仪与小角散射仪的用户成果交流、谱仪状态与进展、用户对谱仪开放运行改进优化的建议、意见讨论，以及 CSNS 合作谱仪应用与建设进展等。

图 17 联合实验室 2020 年学术会议-2

三、人才队伍与管理建设

（一）人才队伍

优秀的人才队伍在一定程度上促进重大产出，多媒体技术联合实验室乔宇研究员获批中组部国家万人计划科技创新领军人才称号，与董超副研究员等一并被评为爱思唯尔高被引学者、全球最具影响力学者；中子散射科学技术联合实验室王循理教授获得美国中子散射协会会士（NSSA Fellow）奖、裘槎基金会裘槎资深研究员；环境科学联合实验室江桂斌院士获第二届全国创新争先奖、蔡宗苇教授获得“2020 年度全球最具影响力的分析化学家”称号等。

1. 学术委员会人员组成

联合实验室共有 235 人在学术委员会任职，较 2019 年增加 21 人。具有正高级及以上职称共 234 人，占比 99.6%；具有副高级职称的有 1 人，占比 0.4%。来自中国科学院的有 81 人，占比 34.5%；来自香港地区的有 37 人，占比 15.7%；来自其他高校、研究所、企业等有 117 人，占比 49.8%（见表 3）。

表 3 学术委员会任职情况

职称	人数	占比	来源	人数	占比
院士	29	12.3%	中国科学院	81	34.5%
教授/研究员	205	87.3%	香港地区	37	15.7%
副教授/副研究员	1	0.4%	其他	102	49.8%
总计	235	100%	总计	235	100%

2. 联合培养人才情况

2020 年，联合培养人才共 77 人，较 2019 增加 18 人（图 18）。其中博士生以及博士后占 70.1%（54 人），硕士生占 28.6%（22 人），本科生占比 1.3%（1 人）。目前在学或在站 54 人，占总数 70.1%；毕业或出站 23 人，占总数 29.9%（图 19 和图 20）。

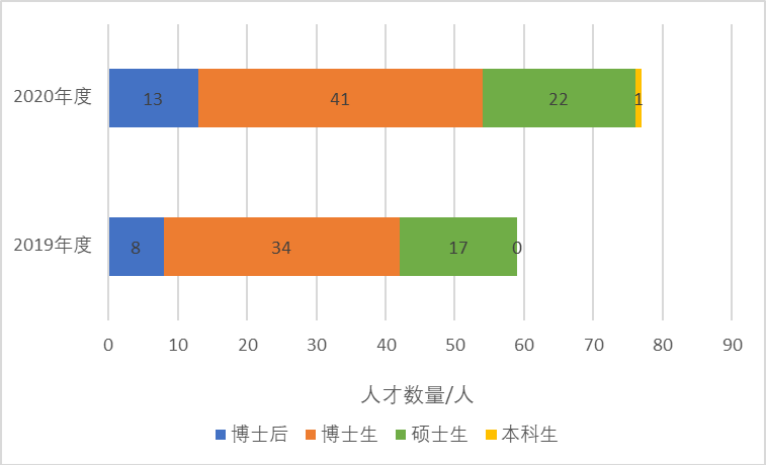


图 18 联合培养人才变化情况

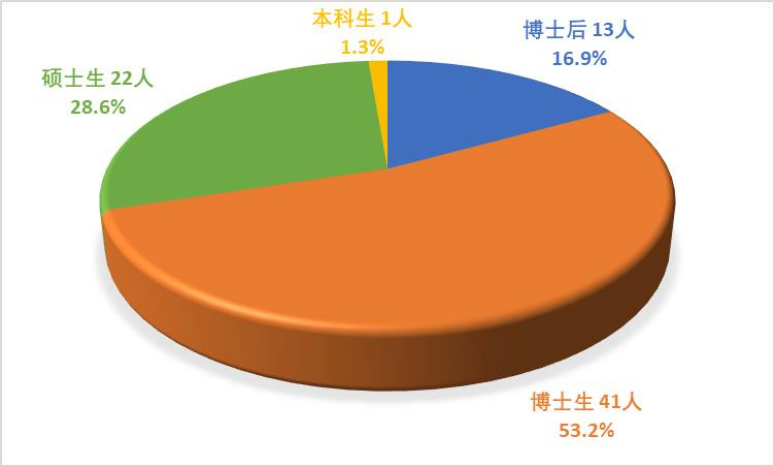


图 19 联合实验室人才结构

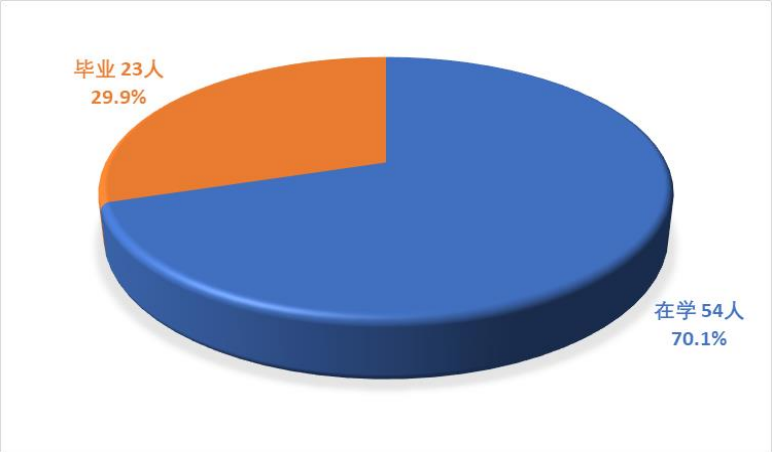


图 20 联合实验室人才状态

（二）管理建设

1. 联合实验室管理情况

2020 年度，由于新冠肺炎疫情的影响，大部分联合实验室在线上召开工作会议，会议内容包括：学术会议、联合工作讨论、学生指导、技术交流等。机器人与智能系统联合实验室、三亚海洋科学综合（联合）实验室和化学地球动力学联合实验室完成了主要负责人变更；沪港化学合成联合实验室启动修改联合实验室章程、生物资源与疾病分子机理联合实验室完善和细化署名联合实验室科研论文的成果奖励测算方法等。

2. 依托单位配套支持

22 个联合实验室从固定场所、仪器配备、数据共享、运行经费、人才培养等不同方面受到了依托单位的大力支持，以保障联合实验室成为一支充满活力和实力的团队。

在固定场所方面，大部分联合实验室均配备了实验室场地，如广州地球化学研究所为化学地球动力学联合实验室提供实验室和办公场所超过 5500 平方米用于支持联合研究工作；香港大学将位于庄月明化学楼 LG2 的总面积达 240 平方米的实验室交由新材料联合实验室使用；有机地球化学国家重点实验室为粤港澳大湾区环境污染过程与控制联合实验室提供了总面积 7700 平方米的实验和办公室用于开展联合工作；机器人与智能系统联合实验室所属单位提供 1000 平方米的试验基地，实验室场地和办公场所充足。

在仪器配备、数据共享方面，多家实验室可以与依托单位共享仪器设备或是购买新的仪器设备，如中子散射科学技术联合实验室推动完成了我国首台全散射中子谱仪-多物理谱仪的建设，该谱仪共投资约 8000 万人民币，其中香港城市大学出资 1500 万港币和 400 万元人民币，多物理谱仪和其他用户谱仪的建设和运行开放，在中子散射科学与技术方面为中国科学院和香港科学界提供一个国际先进的合作交流平台；多媒体技术联合实验室依托单位双方各自建设有深度学习大规模训练测试软硬件平台，两地服务器集群 GPU 卡数量超过 1000 块，设备原值

合计近 2000 万元；精密工程联合实验室已有相关设备价值近 500 万元，仪器设备配置合理，管理规范；三亚海洋科学综合（联合）实验室在依托单位的大力支持下，在中国科学院海南热带海洋生物实验站拥有独立的实验室并共享台站配套设施；香港大学提供配套经费 200 万港币资助新材料联合实验室购买飞秒时间分辨瞬态吸收-发射光谱探测系统，另外中国科学院理化技术研究所也专门建立了光化学仪器平台供新材料联合实验室使用等。

在运行经费方面，多家联合实验室获得了依托单位配套经费支持，例如深港生物材料联合实验室每年获得深圳先进技术研究院 360 万左右的配套经费资助；有机地球化学国家重点实验室每年从运行费中单列 100 万元经费，聘请专职管理人员和专职技术人员，支持联合实验室的运行；香港中文大学每年划拨 15 万港币专项经费支持用于生物资源与疾病分子机理联合实验室工作，并划分专门的场地供联合实验室使用等。

在人才培养和招生政策方面，多家联合实验室依托单位在招生政策方面向联合实验室倾斜，如沪港化学合成联合实验室具有独立招生资格，各课题组每年可招收研究生 1 名；干细胞与再生医学联合实验室每年以定额的经费支持人员互访和交流，联合培养研究生和博士后；化学地球动力学联合实验室在人员聘用与考核、运行费与科研经费使用等方面给予联合实验室充分的自主权；广州地化所对粤港澳大湾区环境污染过程与控制联合实验室中的学科带头人和研究骨干，每年多增加 1 个硕士研究生招生指标，并鼓励硕士和博士的联合培养。此外，面对人才引进困难的问题，2020 年光伏太阳能联合实验室仍然引进了深圳海外高层次人才 2 名、入站博士后 3 人。

3. 下一年度重点工作和计划

22 个联合实验室将依托双方单位优势资源和学科优势，齐心协力，继续在若干个重点方向深入研究，力争自主创新取得高水平成果，推动基础研究、应用研究、产业化一体化发展。同时，立足国际科学前沿、国家重大战略需求和国民经济主战场，服务“一带一路”，建立长效合作机制，共建开放、互联互通、分布合理的区域创新体系。优化联合实验室体系建设，不断引进国内外高层次人才，

加强联合实验室人才队伍建设，进一步加强双方科研骨干技术交流与合作创新，建设具有国际竞争力和影响力的科研团队，克服新冠疫情的不利影响，持续开展联合工作。

四、亮点成果选编

2020 年度，联合实验室优势互补、通力合作，联合研究工作取得了重要进展，以下为 2020 年度取得的部分亮点成果。

三维陶瓷网络的制备及其复合材料的导热性能研究

高密度电子封装材料与器件联合实验室
（中国科学院深圳先进技术研究院、香港中文大学）

随着电子器件的高频、高速以及集成电路技术的迅速发展，电子元器件的总功率密度大幅度增长，热流密度也随之增加。高温的温度环境势必会影响电子元器件的性能，这就要求对其进行更加高效的热控制。通过高性能的热界面材料将电子器件中的热量有效地散发出来是目前产业与科研界的重点研究方向。

在本研究工作中，中国科学院深圳先进技术研究院孙蓉研究员所带领的团队和香港中文大学许建斌教授团队在共同努力下开发了一种三维、轻质、机械强度高的氮化硼（BN）-碳化硅（SiC）填料骨架。中国科学院的团队成员通过冰模板组装和高温烧结工艺，实现了 BN-SiC 导热通道的规整排列。港方的团队成员基于分子动力学模拟，演示了烧结过程可在 BN-SiC 交界处引入了原子级耦合，有助于通过新形成的硼硅玻璃 BCxN3-x（0≤x≤3）和 SiCxN4-x（0≤x≤4）进行有效的声子传输，使界面热阻大大降低。最终，制备的三维 BN-SiC 骨架显示出优异的导热性能。将聚合物灌注至三维骨架中，所制备的复合材料在填料仅有 8.35 % 体积分数的情况下，面内导热系数达到了 3.87 W/mK，优于其他报道的基于 BN 骨架的热界面材料。

将定向的三维骨架通过烧结的陶瓷相而不是类似于聚合物的粘合剂进行交联，即在最大程度上提高了三维骨架的本征导热性能。这一策略可用于开发新型的热管理材料，这些材料重量轻，机械韧性强，能迅速传递热量，为解决传统电子产品热量挑战提供了新思路，具有较好的市场应用场景。相关研究成果发表在 ACS Appl. Mater. Interfaces 2020, 10, 9669-9678。

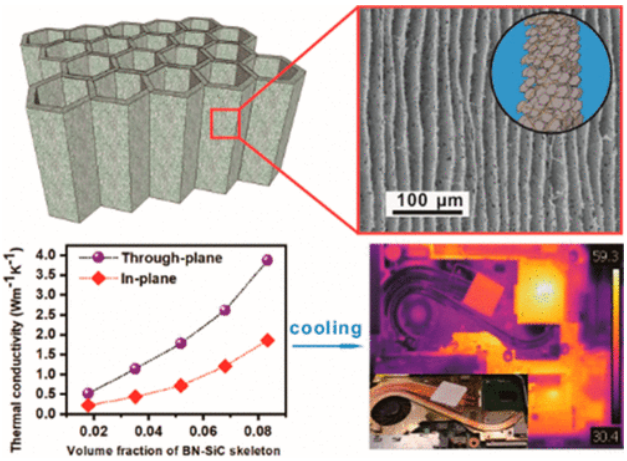


图 1 三维烧结陶瓷网络表现出良好的导热性能，助力电子产品散热

极细多晶体铜中发现一种新型亚稳固态—受限晶体结构

纳米材料与力学联合实验室

（中国科学院金属研究所、香港城市大学）

中国科学院金属研究所卢柯研究员团队联合香港城市大学吕坚教授团队，获得了国家重点研发计划“纳米科技”专项资助，开展新型纳米金属材料构筑的研究。通过实验和分子动力学模拟，研究人员发现极小尺寸晶粒的多晶纯铜形成了一种亚稳态结构，即晶界演化为受三维孪晶网络约束的近三维周期性最小面结构，构成 Schwarz-D 界面特征（图 1），称之为受限晶体。研究发现这种受限晶体为基础的多晶结构即使在接近平衡熔点温度时也能抵抗晶粒粗化，保持结构稳定。同时，这种多晶结构 Cu 在室温纳米压痕测试中表现出接近理论值的强度。该结构为探索金属的新物理和化学现象提供了新的机会，特别是在界面上原子和电子的传输动力学以及高温下各种缺陷的相互作用等方面。作为一种能够在热和外力作用下均能抑制晶粒粗化的基础结构，受限晶体具有更高的稳定性和强度，可将晶粒细化至极细的尺度，这克服了传统材料开发策略中存在的一些困难。原则上，受限晶体可以在其它材料中实现，并且可能为开发用于高温应用的高强高稳定材料提供不同的研究思路。相关成果发表在《Science》周刊。

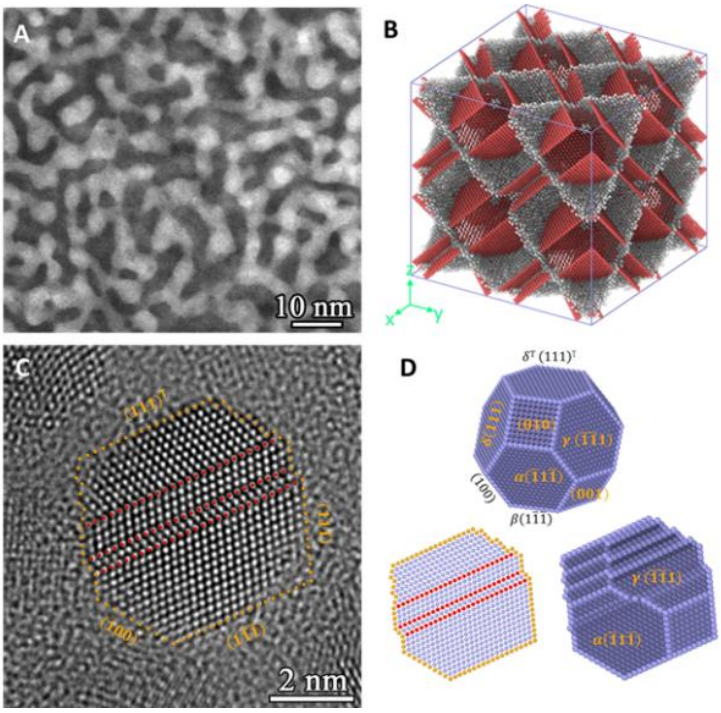


图 1 具有随机流形特征的极小尺寸纳米晶 Cu（A）及计算机模拟该结构模型（B）；样品中单个晶粒的典型高分辨图（C）及其计算机模型对应三维结构特征（D）

生物活性支架调控颅骨修复重建研究

深港生物材料联合实验室
（中国科学院深圳先进技术研究院、香港大学、香港中文大学）

老龄化、交通事故、运动损伤、感染、肿瘤切除及突发性公共灾害等导致我国骨伤患者日益增多，其中就包括大量的开放性骨折及节段性骨缺损患者。但是开放性骨折及节段性骨缺损常伴随的大量骨量丢失和严重血供破坏会打破成骨/破骨稳态，使得后期骨折愈合困难及骨不连，由此易导致患者致畸致残，造成患者生活质量大大下降，甚至死亡。

中国科学院深圳先进技术研究院潘浩波教授联合香港大学吕维加教授，基于生物活性玻璃，结合 3D 打印和高温烧结技术，成功构建了高骨诱导活性的生物活性玻璃支架。研究表明，生物活性玻璃支架具有匹配于宿主骨组织的力学性能和有序多孔结构，植入体内后能降解析出骨代谢所需的营养离子并形成碱性微环境。而且其有序多孔结构使其能负载多种功能蛋白和因子，从而加速骨组织修复。植入兔子颅骨难愈性临界骨缺损 3 个月后，生物活性玻璃支架未引发机体免疫炎症和周边组织坏死，显示出合格的体内生物安全性。同时生物活性支架的功能蛋白（成骨/成血管细胞因子-降钙素相关基因肽，（CRGP））、营养离子释放和碱性微环境，能有效地促进新生骨组织长入，并形成类骨髓组织，从而实现高效骨组织结构和功能重建。因此生物活性玻璃支架的骨再生效果，可匹配于临床“金标准”治疗方法自体骨移植，并显著的优于未植入的空白对照组。

综上所述，生物活性玻璃支架有望为大段骨缺损的修复重建提供新思路，拓宽以生物活性玻璃为基础的各类骨组织工程材料的创新领域，最终为骨修复生物材料的开发提供实践和理论基础。上述成果发表于生物材料相关期刊 Bioactive materials（https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2021.03.028）和 ACS Applied Materials & Interfaces（https://doi.org/10.1021/acsami.1c07103）。

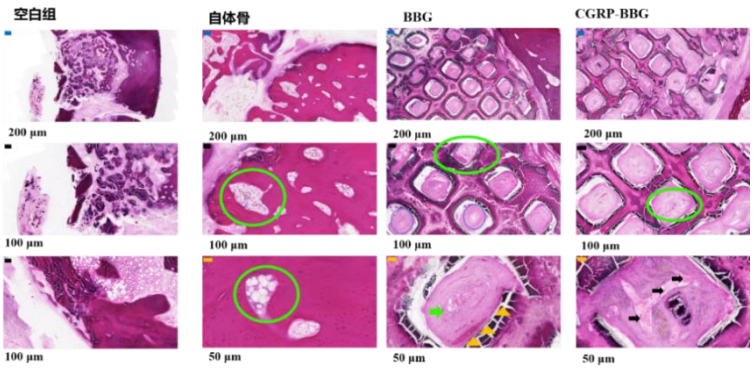


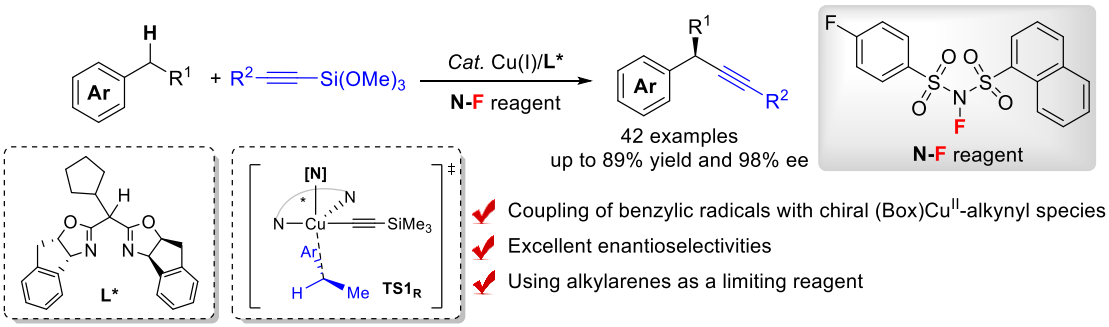
图 1 复合支架植入兔子颅骨临界尺寸骨缺损 3 月后的 HE 染色，硼硅酸盐生物活性玻璃支架及其 CGRP 的负载能形成类骨小梁和髓腔结构，从而实现颅骨结构和功能双重修复

铜催化 sp3 C-H 键的不对称官能化反应

沪港化学合成联合实验室

（中国科学院上海有机化学研究所、香港科技大学）

碳氢键活化是有机化学的圣杯，而基于碳氢键活化的有机分子精准转化则是圣杯中的明珠，一直备受合成化学家的关注。自由基的氢原子转移策略是实现碳氢键官能团化一种非常有效的途径，刘国生基于“铜催化自由基接力”策略，首次发现金属铜物种可以与含磺酰胺的氮自由基发生配位，以此来调节氮自由基的攫氢能力和选择性，实现了高位点选择性的烯丙位碳氢键的攫氢反应；并与香港科技大学的林振阳教授合作从理论计算角度阐述了金属调控氮自由基选择性攫氢的新机制(Nature 2019, 574, 516)。在此基础上，他们以炔基三甲氧基硅为炔基化试剂，实现了 C-H 键的不对称炔基化反应，如下图所示。反应具有很好的官能团兼容性，包括卤素、酯基、杂环等都能兼容，其中一些官能团在采用炔基金属试剂的反应中很难兼容，这一反应为光学活性的炔丙基化合物合成提供了高效方法。与香港科技大学的林振阳教合作对机理进行了深入研究，表明铜配位的氮自由基可以选择性攫氢，而且对碳自由基的成键方式进行了研究，揭示了碳自由基与手性炔基铜物种是通过内界方式对映选择性地结合，得到手性的苄位炔基化产物。该工作发表在 J. Am. Chem. Soc. 2020, 142, 12493-12500。



RBF-Softmax：让模型学到更具表达能力的类别表示

多媒体技术联合实验室

（中国科学院深圳先进技术研究院、香港中文大学）

在机器学习尤其是深度学习中，softmax 是个十分常用且重要的函数，其能将多分类的结果以概率的形式展现出来，广泛用于多分类场景。传统的 softmax 函数旨在仅优化类内距离和类间距离（logits）之间的相对差异。之前的研究都是想办法增加类内的内聚性，而忽视了不同的类别之间的关系，从而使得模型性能受限。

有鉴于此，多媒体技术联合实验室联合研究团队提出了 Radial Basis Function（RBF）距离来替代 softmax 损失函数中常用的内积，从而可以通过重塑来自适应地分配损失以调整类内和类间距离相对差异，从而创建更具代表性的类原型以改进优化。这样可以自适应的给类内和类间距离施加正则化，可以得到更好的表示类别的向量，从而提高模型性能。

该成果在多媒体技术联合实验室中方负责人乔宇研究员和实验室核心成员港中文李鸿升助理教授联合指导下完成，成果发表在计算机视觉三大顶级会议之一的 ECCV 2020 上。

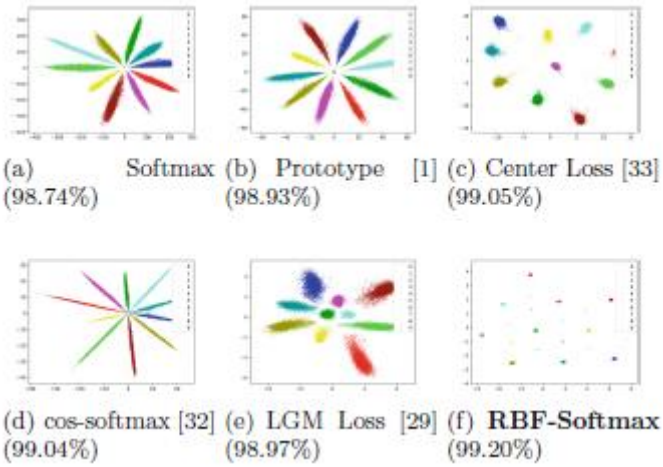


图 1 在 mnist 数据集中各种 softmax 的特征可视化

msmb3 是神经嵴迁移的重要调节因子

生物资源与疾病分子机理联合实验室
（中国科学院昆明动物研究所、香港中文大学）

神经嵴细胞是脊椎动物胚胎发育过程中一个特殊的细胞群体，该细胞群体具有多潜能性和高迁移性。神经嵴细胞在神经管背侧被诱导形成后，分化形成各种不同的组织，包括颅面部的骨骼和软骨、色素细胞以及周围神经系统。联合研究团队的前期工作表明原癌基因 Ets1 在神经嵴细胞的分层和迁移中发挥重要作用。联合研究团队通过 TALEN 基因组编辑技术建立了 ets1 突变热带爪蛙模型， 并分别对野生型和 ets1 纯合突变热带爪蛙胚胎进行了 RNA 测序(RNA-Seq)分析。通过分析 RNA-Seq 数据获得了 169 个具有明显差异表达的下游基因。这些下游基因主要参与细胞粘附、色素形成、代谢等多个生物学过程。联合究团队进一步对 Ets1 靶基因 microseminoprotein β3（msmb3）在神经嵴分化、迁移中的作用进行了研究。结果表明 msmb3 作为 Ets1 靶基因参与并维持神经嵴正常迁移模式。相关研究发表于《Faseb Journal》上。

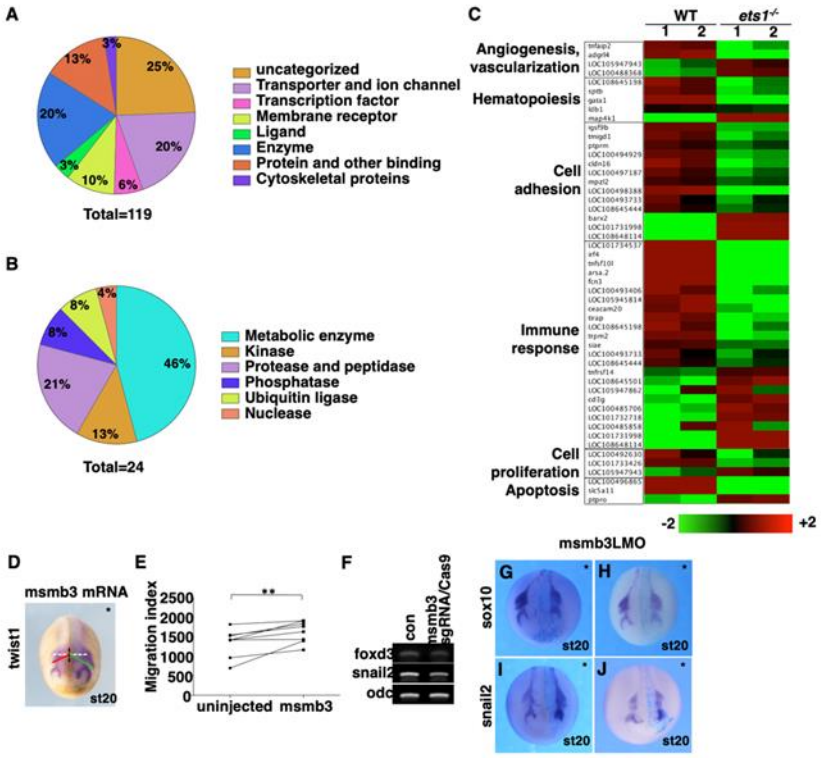


图 1 Ets1 调控基因参与的生物学过程及敲低 msmb3 影响神经嵴迁移

高 Ga 宽禁带薄膜太阳能电池转换效率突破 21%

光伏太阳能联合实验室

（中国科学院深圳先进技术研究院、香港中文大学）

由于光伏电池的器件效率是光伏产品的核心竞争力，提升器件转化效率，也是光伏研究永恒的主题，据测算，器件光电转换效率每提升一个百分点，电池成本就会降低 25%。而目前 CIGS 的转换效率仅为理论值的 64-66%，进一步提升的空间仍然巨大。分析发现，电池开路电压的进一步提升是提高器件效率的关键。

鉴于此，香港中文大学朱骏宜教授团队系统分析了 CIGS 器件的开路电压损失机制，并在深圳先进院杨春雷研究员带领的实验团队的建议下设计了提升电压的新方案，双方联合攻关确立了新的三步法工艺（图 a），在新三步法中优化 Ga 的组分比例和 Ga 的分布梯度以及温度参数（图 b），最后采用 KF 等碱金属进行后处理，从而使 CIGS 的开路电压提升到了 759 mV，效率被提高到 21.7%以上（图 2c, d）。

该成果一方面提出了高 Ga 组分 CIGS 电池的一种效率提升新技术工艺，可以降低稀有元素 In 的利用，另一方面也为下一代 CIGS/硅叠层电池提供了技术储备，是当前国内最高水平、国际一流水平，下一步将推进产业化落地。

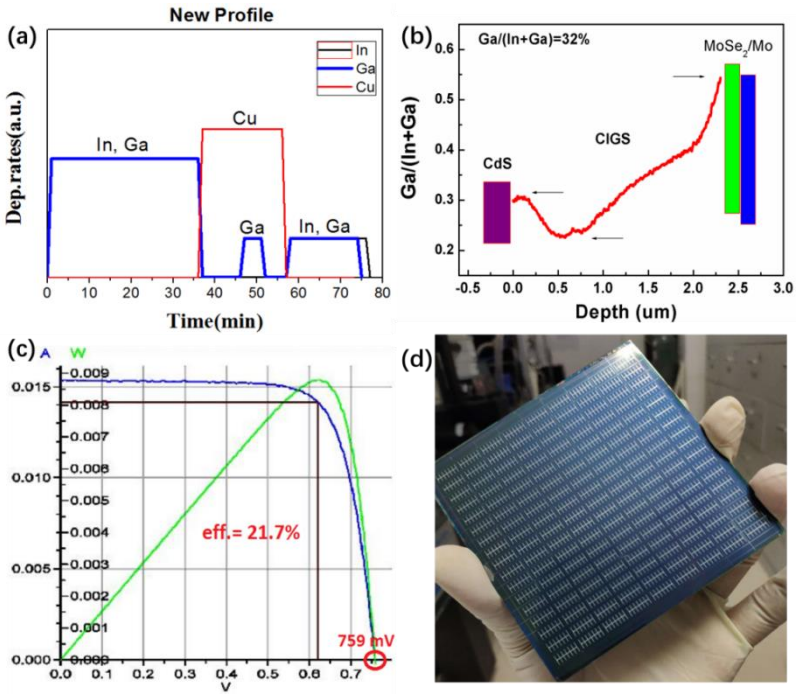


图 1 （a）改进的三步法生长过程，（b）Ga 在厚度反向梯度分布设计和实现，（c）开路电压 V_{oc}=759 mV,效率达到 21.7%的 CIGS 电池的 IV 曲线，（d）刚性 CIGS 光伏电池的实物照片。

视黄酸对海马育儿袋发育与怀孕过程的调控机制

三亚海洋科学综合（联合）实验室
（中国科学院南海海洋研究所、中国科学院深海科学与工程研究所、
香港科技大学）

中国科学院南海海洋研究所林强研究员团队联合香港科技大学钱培元教授团队，以线纹海马（Hippocampus erectus）为研究对象，首次系统揭示了视黄酸（Retinoic acid）在雄海马育儿袋形成和怀孕过程中的关键分子与生理调控机制（图 1）。研究人员首次利用代谢组学方法甄选了与海马育儿袋形成和怀孕显著相关的 194 个差异代谢产物，包括斑蝥黄（canthaxanthin）、虾青素（astaxanthin）等，同时在转录层面分析和鉴定了 2674 个差异表达基因。基于转录组与代谢组学联合分析，研究人员发现视黄酸在育儿袋发生发育过程中起到至关重要的调控作用。视黄酸可通过调控 fshr 和 cyp7a1 等关键基因的表达，影响睾酮（testosterone）、孕酮（progesterone）等激素代谢来影响育儿袋的形成；同时，视黄酸还通过调控 col4a1、shh、cybb 等基因表达直接影响育儿袋的组织重塑、器官发育和免疫过程。该发现为海龙科育儿袋发育驱动机制研究提供了重要突破口，也为后续相关研究提供了重要的切入点。相关研究成果发表在 The Innovation。

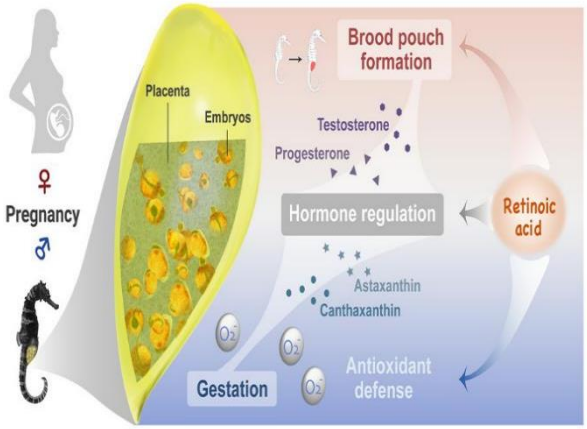


图 1 视黄酸在海马雄性育儿袋发育与怀孕过程中的调控机制示意图

智能仿生机器鱼

精密工程联合实验室
（中国科学深圳先进技术研究院、香港中文大学）

海洋是潜力巨大的资源宝库，利用新兴的智能仿生技术与水下机器人技术相结合进行海洋探索和开发成为趋势。深圳先进院精密工程研究中心何凯团队和香港中文大学李峥团队携手合作研发出新一代的智能仿生机器鱼。

该款机器鱼集仿生学、机器人学、自动控制及人工智能技术为一体，由新型中枢神经发生器（CPG）所控制。中国科学院深圳先进院对机器鱼结构进行了创新设计，尾鳍采用了国际首创的新型可调幅正弦机构来驱动，实现了只利用一个主电机的正反转即可进行尾鳍的定幅值摆尾和调幅控制。香港中文大学提出的新型 CPG 控制技术，成功解决了机器鱼游动过程中的头部晃动问题，提升了其游动性能；而左右两侧胸鳍则均具有扑翼和扭转两个自由度，可实现从悬停状态下的零航速到低航速，乃至到中、高航速的全航速的减摇控制。机器鱼抗浪干扰和稳定巡航能力较强，确保了所搭载的各项传感器和设备能平稳、顺利的工作。因此，该款机器鱼可用作水下仿生机动平台，根据需求搭载各种专用传感器和光学设备，执行各项水下任务，在海洋探索和开发上具有巨大潜力。

该智能仿生机器鱼亮相 2020 年深圳海博会，成为全场的一大焦点，中央电视台、广东电视台、深圳卫视、深圳特区报和南方 Plus 等多家媒体争相采访报道。

图 1 仿生机器鱼参展深圳海博会

峨眉山大火成岩省与地幔柱研究

化学地球动力学联合实验室
（中国科学院广州地球化学研究所、香港大学）

2021 年 11 月 3 日上午，2020 年度国家科学技术奖励大会在人民大会堂举行，联合实验室徐义刚院士团队的“峨眉山大火成岩省与地幔柱研究”项目荣获 2020 年度国家自然科学奖二等奖。该项目完成单位：中国科学院广州地球化学研究所、香港大学，完成人:徐义刚、何斌、王焰（香港大学）、肖龙、钟玉婷。

“峨眉山大火成岩省与地幔柱研究”是徐义刚院士团队近二十年来完成的重大基础理论研究成果。该项目在探索大火成岩省成因与地幔柱动力学过程中取得了一系列在国际上产生重大影响的科学发现。从多学科角度论证了峨眉山地幔柱的存在，揭示了地幔柱深部过程与地表演变之间的协同变化规律，阐明了地球深部作用对地壳演变的控制作用。项目的创新性认识在国际地幔柱大辩论中发挥了不可替代的作用，为丰富和完善地幔柱假说提供了重要的学术思想。研究方法被国际学术权威借鉴用于定量研究地幔对流造成的垂向运动和海平面变化，对固体地球系统科学研究起到了重要的促进作用，修正的中—晚二叠世的界线年龄被国际地质年表采纳。

相关成果在国际地学顶级刊物发表，8 篇代表性论文他引 2249 次（SCIE, CPCI-S, CSCD 数据库），第一完成人徐义刚在 AGU Chapman Conference 和 Goldschmidt 等国际学术会议做主题报告，当选为中国科学院院士、美国地球物理联合会（AGU）会士和美国地质学会（GSA）会士，完成人在《Lithos》、《Episodes》和《Economic Geology》主编专辑各 1 部，10 人次在国际学术机构和学术期刊任职，显著提升了我国该领域研究在国际上的学术地位。

图 1 徐义刚院士领及团队合影

激发波长依赖的金(I)卡宾配合物手性发光材料

新材料合成和检测联合实验室
（中国科学院理化技术研究所、香港大学）

动态刺激响应型材料在智能材料领域具有广阔的应用前景，其中激发波长依赖的智能发光材料具有操作简便、非浸入式的特点，在安全防伪等领域有重要应用。但是受 Kasha 规则的限制，单分子材料体系难以实现激发波长依赖的发光。

新材料合成与检测联合实验室在前期工作（Angew. Chem. Int. Ed. 2018, 57, 6279-6283; Angew. Chem. Int. Ed. 2020, 59, 2080-2984）基础上，通过在氮杂环卡宾配体上引入手性取代基团，改变金-金之间作用力和库伦作用力，调控金(I)卡宾双盐的超分子组装过程，打破了长程有序的金-金相互作用，在晶态条件下获得了热力学稳定的金(I)卡宾双盐离子对（RC-A 和 SC-A）。在聚合物 PMMA 中，这些金(I)卡宾双盐聚集形成了一系列金-金距离不同的亚稳态物种，进而展现出激发波长依赖的发光特性。当激发波长从 300 nm 增加到 400 nm，最大发射峰从 440 nm 逐渐红移到 530 nm。由于手性取代基团的存在，其发光具有明显的圆偏振特性，对映异构体 RC-A 和 SC-A 分别展现出镜像对称的左旋和右旋圆偏振发光，不对称因子值分别为 1.60×10^{-3} 和-1.45×10^{-3}。独特的激发波长依赖的圆偏振发光性质使这些材料在 3D 显示、量子加密、光通讯、光学防伪等方面具有潜在的应用。

该工作通过引入位阻基团调控金-金相互作用的策略，实现了单组分金属配合物的激发光响应的圆偏振发光，有效地避免了材料的相分离难题，为设计新型刺激响应材料和新概念器件应用提供了新的思路。相关研究结果发表在德国应用化学杂志（Angew. Chem. Int. Ed. 2020, 59, 6915, highlighted by ChemistryViews）。

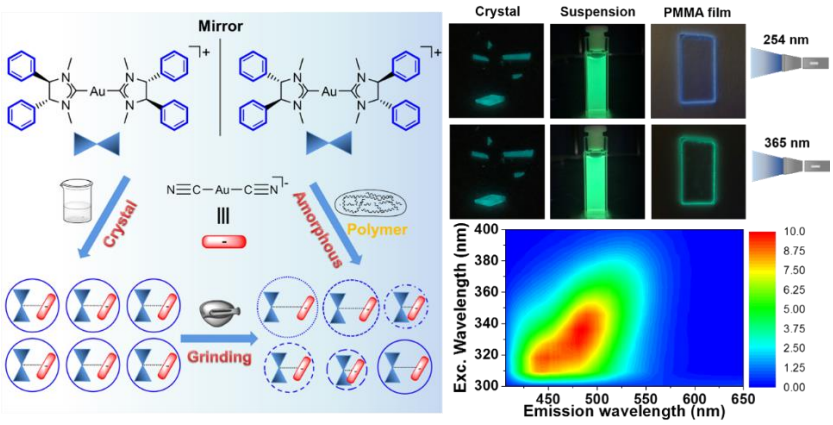


图 1 金(I)卡宾配合物的结构（左）和不同波长激发的发光（右）

KLF4 和 SOX2 介导细胞重编程新机理

粤港干细胞及再生医学研究中心
（中国科学院广州生物医药与健康研究院、香港大学）

体细胞重编程是指将机体终末体细胞在特定的条件下逆转回到胚胎发育早期多能干细胞状态，得到的细胞也因此称为诱导性多能干细胞。这些细胞可以被用来重新分化得到不同的功能性治疗细胞，具有广泛的应用前景，而备受关注。然而相关机理仍不明确，也阻碍了其走向临床应用的步伐。

广州健康究院秦宝明课题组、Miguel A. Esteban 课题组，联合香港大学 Ralf Jauch 课题组等，发现在体细胞重编程中，H3K27me3 的去甲基化酶 JMJD3 对重编程有两方面相反的作用：一方面，在出现衰老特征的小鼠胚胎成纤维细胞（MEF）中，JMJD3 通过激活 Ink4a/Arf 抑制重编程；另一方面，在年轻的 MEF 中，JMJD3 提高重编程效率，显示出不同年龄的起始体细胞的重编程机理存在差异，需要区别优化重编程体系。机制研究显示，JMJD3 被诱导因子 KLF4 特异性地招募至上皮和多能性基因位点，协助 KLF4 激活这些基因（图 1）。KLF4 介导的 JMJD3 这一作用模式也在其它多种细胞命运转变中得到验证。该研究对深入理解体细胞重编程机理、优化重编程体系以及揭示重编程因子 KLF4 和表观遗传因子 JMJD3 在发育、生理与疾病等相关条件下的复杂作用具有提示意义。研究成果发表于 Nature Communications。

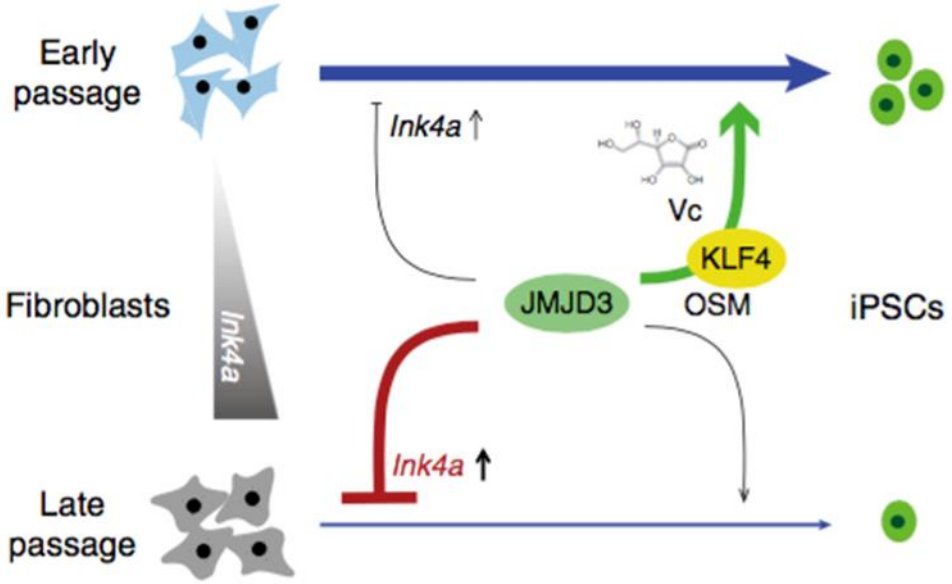


图 1 H3K27me3 去甲基化酶 JMJD3 与 KLF4 在体细胞重编程中协同调控转录的新机制

此外，Ralf Jauch 课题组联合广州健康院鲍习琛课题组等还研究了另一个体

细胞重编程因子 Sox2 的作用机制。研究发现 Sox2 可同时结合 DNA 和 RNA 协同调控体细胞重编程（图 2）。该研究首次揭示了 Sox2 与 RNA 直接相互作用在体细胞重编程过程中的功能，详细阐述了 Sox2 与 RNA 结合的分子机制以及 RNA/Sox2/DNA 三元复合物的形成。相关成果发表于 Nucleic Acids Research。

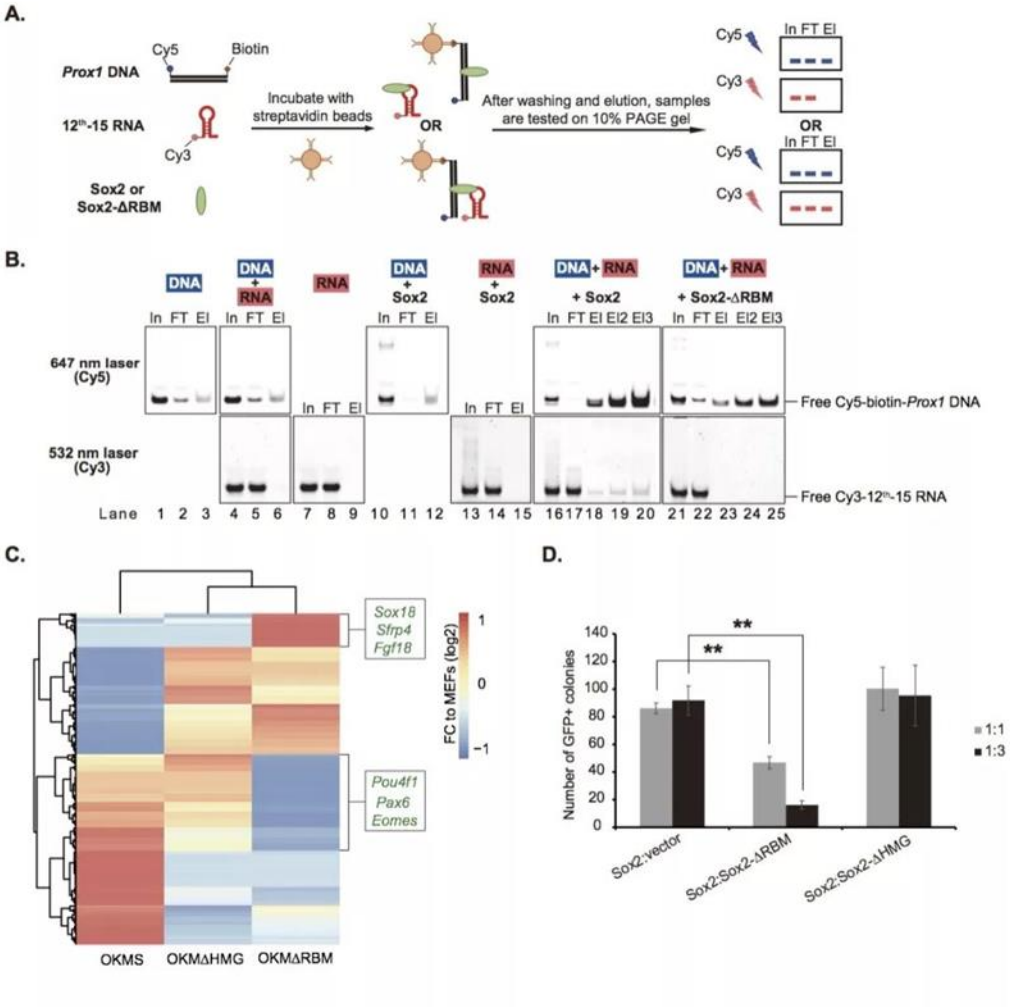


图 2 转录因子 Sox2 通过与 RNA 结合调控体细胞重编程

微透镜超分辨率显微镜与原子力显微镜关联成像

机器人学联合实验室

（中国科学院沈阳自动化研究所、香港城市大学）

关联成像可以同步获得物体的多维信息，是生物医学和物理科学领域常用的观测手段。为了解决原子力显微镜难以跨尺度成像的难题，我们设计了原子力显微镜和微球超透镜关联成像的新方法。得益于微球的超分辨率成像具有动态实时、无损、免标记的优势，并且与原子力显微镜（Atomic Force Microscope，AFM）系统相同，都工作在近场区域。将基于微球的光学成像系统与原子力系统结合，提高了标准 AFM 光学成像系统的分辨率。通过耦合的微透镜提高光学成像系统的分辨率，并在样品平面下形成放大的虚拟图像，可用于实时观察样品的特征结构。同时，开展了多尺度，大范围的表面微纳结构扫描成像。相比标准原子力显微镜成像需要以 0.2 Hz 的扫描速度扫描至少 256 行（确保图像质量），扫描光学成像仅需要 32 行扫描，采集时间约为 2.5 分钟，即吞吐量增加 8 倍。此外在对芯片进行粗略检测后，使用关联成像系统的 AFM 成像模式，对具有纳米级特征的特定区域进行高分辨率成像。即在原子力精细成像之前，可以在半导体晶片上进行高通量大规模光学检测。

本项目中，中国科学院沈阳自动化研究所负责系统的集成，在完成系统之后，由香港城市大学将系统应用到实验中，攻克了原子力显微镜难以跨尺度成像的难题，实现了基于微球超透镜和原子力显微镜关联成像。这种将微球超透镜和原子力显微镜关联成像的方法，有效地弥补了传统光学成像与原子力显微镜之间的分辨率差距，实现了微米到纳米分辨率的跨尺度快速成像，提高了基于原子力显微镜的大规模成像和检测的效率。同时，实现了获取的光学图像和结构信息之间的纳米级关联，为半导体器件的检测提供了有力的工具。

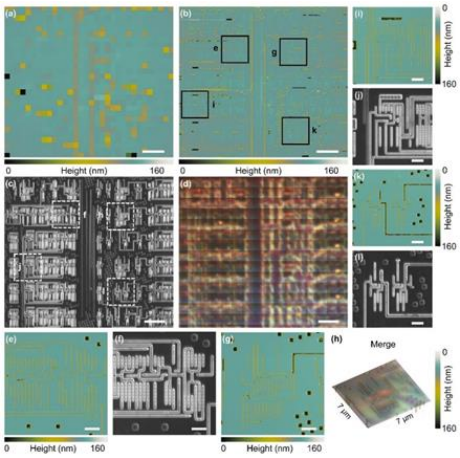


图 1 利用关联显微镜对半导体晶圆表面成像

一种稳定、吸收峰超过 800nm、活性氧产率高的有机光敏剂纳米粒子用于多模态光疗

功能材料与器件联合实验室
（中国科学院理化技术研究所、香港城市大学）

光疗由于其具有高效、精准以及非侵入的独特优势，在癌症治疗领域已经展现出巨大潜力。然而目前被广泛使用的卟啉类、亚甲蓝等光敏剂虽然具有较高的活性氧效率，但它们的激发波长大部分集中在可见光及红光区域。近红外波段（>700 nm）具有深部组织穿透潜能的疾病诊疗窗口，美国 FDA 批准的前哨淋巴结定位试剂吲哚菁绿（ICG），但其相对低的活性氧效率以及易光漂白缺陷严重阻碍了它在光动力治疗中的应用。因此，发展新的分子体系和高效长波长光疗试剂仍是当前的一个挑战。

双方团队联合北京理工大学张金凤副教授开发了一种苯并噻吩类（BT）有机小分子光敏剂分子体系，且获得了吸收峰超过 800 nm 的高效材料用于多模态癌症诊疗。首先，通过延长共轭体系、引入吸电子氰基，我们设计了一系列 D-π-A 构型的分子，其吸收峰从 640nm 逐步红移至 800 nm。其次，通过使用 DSPE-PEG 包被将 BT3 组装成纳米颗粒（BT3 NPs），其吸收峰进一步红移至 840 nm，同时其在 808 nm 激光照射下具有较高的 ROS 产生、光声效应以及光热效果。最后，我们考察了 BT3 NPs 在 A549 肺癌裸鼠移植肿瘤小鼠体内的光声成像以及抗肿瘤效果。结果表明，在尾静脉注射 NPs 12 小时后其在肿瘤组织内能够较好的富集聚集；抑瘤实验结果表明，BT3 NPs 在光照下可以有效地抑制小鼠体内肿瘤生长并且在 2 周的治疗过程中无复发。因此，该多模态光学诊疗系统为发展高效的近红外光疗分子体系提供了新思路。

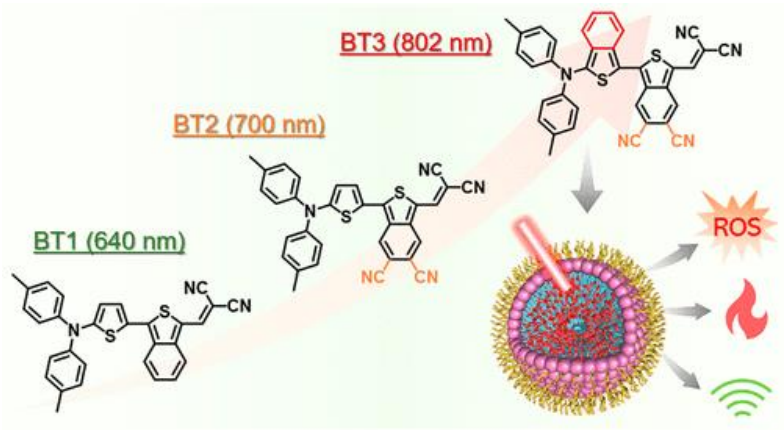


图 1 用于多模态光疗的苯并噻吩类光敏剂纳米粒子

中国西北地区雾霾期间大气挥发性有机物特征研究

气溶胶与环境联合实验室

（中国科学院地球环境研究所、香港理工大学）

雾霾污染是我国北部地区秋冬季频发的大气污染事件，此前的诸多研究表明，二次有机气溶胶（SOA）是大气细颗粒物（PM2.5）中的主要组成部分，其占比高达 30% ~ 77%。部分研究人为沙尘中 TiO2 等活性金属氧化物会对大气环境中挥发性有机物（VOCs）的光化学反应有一定的影响，然而缺乏相关的外场实验证实其影响。本研究中气溶胶与环境联合实验室选取中国西北地区的典型城市西安为外场观测地点，对沙尘与雾霾的污染事件中 VOCs 的来源和转化开展研究，验证了沙尘中的活性金属氧化物组分会增强 VOCs 的氧化过程进而促进 SOA 前体物的形成。

中国科学院地球环境研究所重点开展了沙尘和雾霾事件中大气环境 VOCs 污染特征、来源解析和迁移转化规律等工作。香港理工大学通过耦合颗粒物组分和羰基化合物组分变化开展机制分析。研究发现乙烯、乙烷、甲苯、丙烷、正丁烷、异丁烷、丙烯、正戊烷和苯是丰度最高的 VOCs 物种，主要来源于交通、煤或者生物质燃烧。在沙尘和灰霾污染期间观察气团回程轨迹与 VOCs 的比值发现环境 VOCs 在沙尘期间是新鲜的，但在传输过程中会相对老化，表明气团长距离迁移对高风沙期间的环境 VOCs 的贡献很小。在粉尘颗粒负载较高的时期，环境 VOCs 的氧化加速，活性金属促进了大气物质的非均相反应。沙尘污染后期 VOCs 的快速降解，或被氧化为 SOA 的前驱体。相关成果发表于 Atmospheric Chemistry and Physics，https://doi.org/10.5194/acp-20-5425-2020。

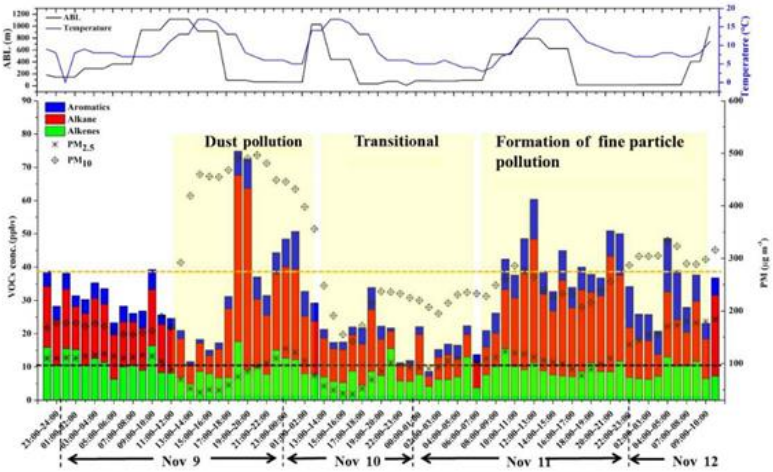


图 1 挥发性有机化合物 (VOC) 浓度和颗粒水平在采样期间（2016 年 11 月 9 日至 13 日）的时间变化

表观遗传因子 SETDB1 在多能性-全能性转换中的作用

干细胞与再生医学联合实验室
（中国科学院广州生物医药与健康研究院、香港中文大学）

小鼠胚胎干细胞（mESC）具有发育的多能性，可以产生除滋养外胚层之外其他所有成体细胞类型，在发育潜能上与受精卵、2 细胞期胚胎等早期胚胎细胞的全能性存在差别。近些年来发现小鼠胚胎干细胞中有小比例的细胞会自发激活 2 细胞期的特异转座元件 MERVL，并具有小鼠 2 细胞期合子基因组激活（ZGA）的转录谱特征，因此这种细胞被定义为 2C-like 细胞，具有全能性的特征。然而，这种由多能性向全能性转换的细胞命运转换是如何调控的呢？

广州健康院陈捷凯课题组联合香港中文大学王曜峰课题组等利用 RNA 测序分析技术，发现 H3K9 甲基化酶 Setdb1 敲除的 mESC 能大量激活 2C 以及 ZGA 时期特异表达基因，表明其可能被重编程至 2C-like 细胞状态。尽管之前一些研究表示 Setdb1 敲降并不能引起 2C-like 转换，对此该研究发现 Setdb1 缺失导致 2C-like 转换是剂量依赖的，所以有这种矛盾出现。进一步利用 ChIP 测序分析发现，Setdb1 缺失介导的多能性到全能性转换依赖转录因子 Dux 的激活。在 Dux 敲除情况下，Setdb1 缺失并不能激活滋养外胚层基因，表明 mESC 中 Setdb1 缺失激活滋养外胚层基因是由于其重编程至 2C-like 细胞状态后的次级反应。该研究还发现 2iL ground state 培养状态下会导致 Setdb1 敲除介导的 2C-like 转换以及滋养外胚层基因的激活受到抑制，原因是该状态下其多能性基因不能被降解，多能性基因 Nanog 过表达同样可抑制 2C-like 的转换。 此外，在 2iL Ground state 的培养状态下，敲除 Setdb1 会导致细胞启动 RIPK3 依赖性的程序性坏死（necroptosis），导致细胞迅速死亡（图 1）。该研究开拓了以 Setdb1 为中心的表观遗传调控在细胞命运转换的作用，以及为 Setdb1 作为早期胚胎发育缺陷中的潜在治疗靶点提供了新思路。成果发表于 Cell Reports。

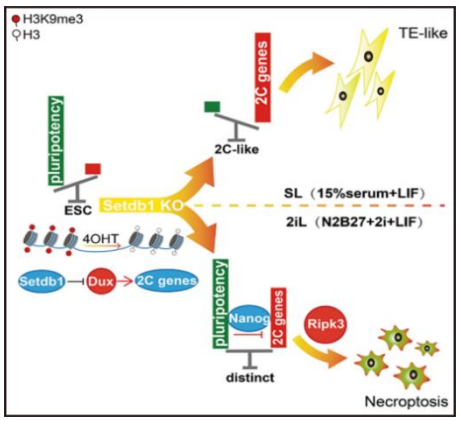


图 1 SETDB1 在多能性-全能性转换中的作用

通过深能级瞬态光谱识别 p-GaN/AlGaN/GaN 功率 HEMT 结构的 p-GaN 层中的陷阱态

微电子联合实验室
（中国科学院微电子研究所、香港科技大学）

为了澄清商用肖特基栅 P-(Al)GaN HEMT 的阈值漂移机理，香港科技大学与中国科学院微电子研究所合作采用深能级瞬态光谱(DLTS)，无需借助特殊测试结构，直接表征了 p 型栅 HEMT 的 p-GaN 层中的电子与空穴陷阱，如图 1 所示。该研究在金属/p-GaN/AlGaN/GaN 异质结电容器上进行。使用 DLTS 表征可以捕获 MIS 结构中瞬态电容的变化，并从中提取金属/p-GaN 肖特基结的电容瞬态。测试证实并分析了 p-GaN 栅极中存在的空穴不足效应是导致阈值漂移的主要因素。此外，测试也揭示了 p-GaN 层中存在的深能级的信息：1、活化能为 0.85 eV 的电子陷阱态；2、活化能为 0.49 eV 的空穴陷阱态。相关研究成果发表在电子器件领域顶级期刊 IEEE ELECTRON DEVICE LETTERS，VOL. 41, NO. 5, P.685 (2020)。该工作为理解肖特基型 p-GaN 栅极功率 HEMT 的阈值电压不稳定性提供了物理基础，同时为 GaN 基逻辑器件 P/N 沟道器件的辐照缺陷研究积累了丰富的研究经验。

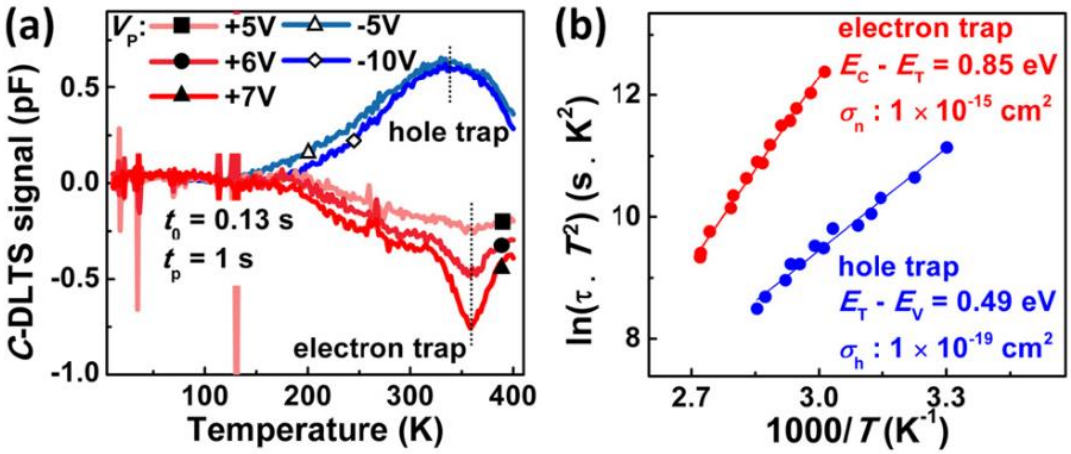


图 1 (a) 在不同 VP (+5 V, +6 V, +7 V, -5 V, -10V)下获得的 p-GaN 栅极电容器的 C-DLTS 谱。(b) 提取出两个陷阱的 Arrhenius 图

多物理谱仪研制

中子散射科学技术联合实验室
（中国科学院高能物理研究所、香港城市大学）

双方合作建设了中国散裂中子源用户谱仪之一的多物理谱仪（MPI）。

2020 年度是多物理谱仪项目建设的关键时期。在基建方面：完成多物理谱仪基混凝土屏蔽体、基础钢屏蔽体和导管支座的安装；完成多物理谱仪散射室、控制室和机柜室的搭建，以及散射室内部中子吸收板的铺设；完成多物理谱仪工艺管道、电缆桥架及冷风空调的安装。中子导管和斩波器方面：完成多物理谱仪穿墙管插入件的安装；中子导管全部到货并完成 G2、G3、G4 段直导管和最新导管的准直和安装，完成互换系统准直、安装和调试。多物理谱仪所需的 5 台斩波器,包括 2 台 T0 斩波器、3 台带宽斩波器已经全部完成安装。散射腔体方面及其它：完成散射腔体各部件（包括主腔体、侧腔体、粗准等）的粗加工和精加工及组装,成功实现国内首台 12m3 全铝合金材质中子散射真空腔的研制与安装工作，并完成高性能 B4C-PTFE 复合板研发和应用。成功开发出制备大面积薄膜（Mylar/Kapton 等）基底上 B4C/Gd2O3 涂层核心工艺，并经中子透过率、真空放气率等测试性能良好。完成 MPI 360°精细准直器(ORC)全尺寸工程样机，经评审各项技术指标均满足设计要求，其中涂层含量、厚度均匀性及含氢量等关键指标均优于国外。

图 1 MPI 关键设备散射腔体完成现场安装

微型机器人自主导航及三维路径跟随控制

机器人与智能系统联合实验室
中国科学深圳先进技术研究院、香港中文大学

高精度路径跟随控制是实现载药微型机器人在消化道中的自主运动、导航和主动送药的基础。目前，引导微型机器人在三维空间中完成自主操作任务已受到国内外研究学者广泛关注。

中国科学院深圳先进技术研究院吴新宇研究员、徐天添研究员联合香港中文大学张立教授，针对磁驱动微型机器人的全自动运动控制展开研究。结合中国科学院深圳先进技术研究院前期在路径跟随控制的研究以及香港中文大学团队前期在导航与路径规划方面的研究，联合团队提出了一种集微型机器人复杂环境下3D 路径规划、动态避障、路径跟随等功能模块一体的磁驱动微型机器人全自主智能控制系统，通过自主路径规划与运动控制，实现了磁驱动微型机器人的全自动操作。具体地说，首先提出了最优双向 RRT*路径规划算法，用于在三维空间中寻找最短路径。其次，基于代理滑模控制方法被用来设计基于 Serret-Frenet 框架误差模型设计稳定控制器。此外，设计了一种基于神经网络的在线补偿模型，能够识别和细化微游泳者在三维空间中面对游泳者的体重扰动和横向扰动时的游泳方向与磁方向之间的补偿角。最后，实验结果表明了该方法在三维空间中具有亚毫米精度的路径规划和路径跟踪的有效性。未来，通过该方法有望实现微型机器人在体内三维自主导航、避障及路径跟随控制，并最终实现复杂环境下的靶向给药任务。

相关成果发表在 IEEE Transactions on Automation Science and Engineering 等期刊。

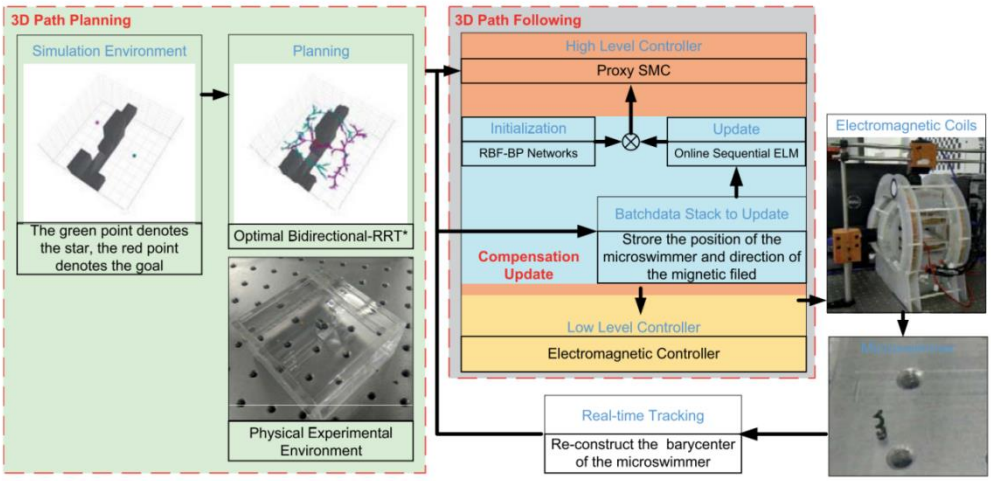


图 1 3-D 自主操作体系结构:3D 路径规划、3D 路径跟踪和补偿更新

深度学习的新算法

应用数学联合实验室
（中国科学院数学与系统科学研究院、香港理工大学）

近年来随着计算机计算能力的指数提升和大数据的涌现，深度神经网络越来越受工程师和学者的青睐。其中，ReLU 网络是使用最广泛的一种深度神经网络。训练 ReLU 网络相当于求解一个多复合非凸非光滑问题。然而，利用随机梯度算法（例如 Adam, Adadelda, 和 vanilla SGD）训练 ReLU 网络在理论上缺乏收敛性和解的有界性；在实际中面临过拟合等现象。为了严格处理 ReLU 网络的非凸性与非光滑性，香港理工大学陈小君教授、中国科学院数学与系统科学研究院刘歆研究员，以及联合培养的研究生刘为利用非光滑优化方法，提出了一类训练 ReLU 网络的带线形约束的新优化模型，并将其应用到自编码问题（R）中。得到的新模型我们称之为（RP）。我们构建了新模型（RP）与自编码模型（R）之间在全局极小值点、局部极小值点、方向导数稳定点、Clarke 稳定点之间的等价性与精确罚性。进一步的，我们构建了一个有界闭集，并证明新模型（RP）在该有界闭集内存在全局极小值点。接着，我们设计并提出了一种光滑化临近点算法 SPG，并用于在上述有界闭集内求解模型（RP）。在收敛性分析中，我们证明 SPG 算法能稳定找到（RP）与自编码模型（P）的一个有界的 Clarke 稳定点。其次，SPG 相对于随机梯度算法在人工合成数据集和实际数据集上，都能得到更低的训练误差、测试误差以及更稀疏的解。

城市群有毒有害大气污染物环境健康与风险管理体系

粤港澳大湾区环境污染过程与控制联合实验室
（中国科学院广州地球化学研究所、香港理工大学）

有毒有害大气污染物可导致癌症，引发人体呼吸、心血管、免疫、神经、生殖和发育等系统疾病。我国城市群大气污染表现出复合性特征，多种污染物共存，污染效应叠加，所造成的健康问题更为复杂。因此，亟需对我国有毒有害大气污染物环境健康风险进行评估，识别关键毒性组分，从源头进行管控。

中国科学院广州地球化学研究所张干研究员团队联合香港理工大学郭海教授团队，通过覆盖全国 10 个典型城市的系统观测，开展了迄今为止我国规模最大的有毒有害大气有机污染物（HAPs）暴露风险研究。查明了我国大气中气态和颗粒物态的毒害有机污染物（多环芳烃类化合物、有机氯农药、多氯联苯、氯化石蜡、多氯萘、卤代和含磷阻燃剂和二噁英等）的暴露水平与时空分布特征，识别了大气毒害有机污染物的主要来源和传输过程，评估了不同污染物潜在的人体非致癌效应和呼吸致癌风险，提出了基于观测分析的我国 HAPs 管控名单，建议重点关注氯化石蜡和苯并[a]芘。系列成果在环境领域权威期刊 Environmental Science & Technology 和 Environmental Science & Technology Letters 发表 4 篇封面文章，相关成果支撑生态环境部制定《生态环境标准优先控制大气污染物名录及风险评估推荐值》，为我国开展面向健康风险的环境管理提供了关键科技支撑。

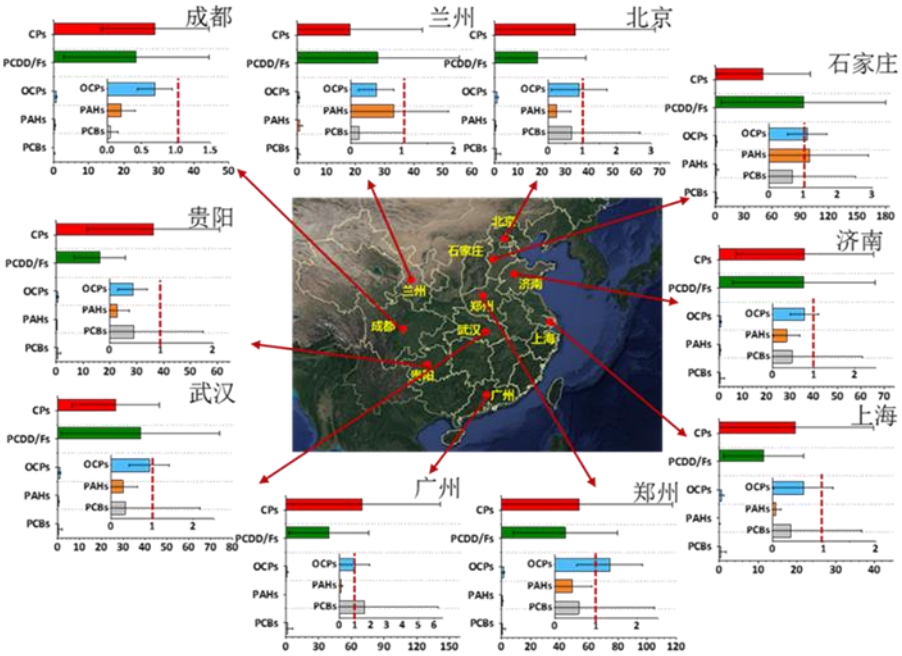


图 1 我国 10 个典型城市大气 HAPs 的致癌风险排序

黑磷纳米片对四膜虫中的毒性效应及机制研究

环境科学联合实验室
（中国科学院生态环境研究中心、香港浸会大学）

黑磷纳米片作为一种新型二维材料，在光电及生物医学等领域有巨大的应用潜力。黑磷纳米片的规模化生产和使用可导致其进入环境，产生暴露风险。目前，缺乏针对黑磷纳米片在水体中产生的潜在环境效应的研究，黑磷纳米片对水生生物可能产生的毒性作用应引起足够的关注。

中国科学院生态环境研究中心曲广波研究员与史建波研究员联合香港浸会大学蔡宗苇教授，以水体中广泛存在的单细胞原生动物嗜热四膜虫（T. thermophila）为模式生物，研究了黑磷纳米片对四膜虫的潜在毒性效应。通过 3D 拉曼成像等技术手段，发现黑磷纳米片可以通过四膜虫头部的“口器”被食物泡包裹进入到四膜虫细胞内。黑磷纳米片进入细胞后，会在四膜虫的酸性囊泡中累积，并导致四膜虫细胞畸形、大量纤毛脱落和细胞膜碎裂（图 1）。进一步针对黑磷纳米片的毒性作用机制的研究则发现黑磷纳米片的胞外降解可能对毒性效应产生贡献。通过检测和模拟暴露黑磷纳米片在水体中的降解产物，发现黑磷纳米片在水体中的可溶性降解产物 H3PO2、H3PO3 和 H3PO4 等可以解释部分毒性效应。同时，黑磷纳米片暴露后导致的胞内活性氧升高也是产生毒性效应的重要原因之一。四膜虫细胞内活性氧水平与黑磷暴露浓度直接相关，而抗氧化剂（NAC）则可以几乎完全恢复黑磷纳米片对四膜虫增殖的抑制作用。该联合研究揭示了黑磷纳米片对嗜热四膜虫的毒性效应和部分关键毒性作用机制，为理解黑磷纳米片潜在的生态风险提供了科学依据，研究成果在环境科学领域著名期刊 Environmental Science & Technology（2020, 54, 1583−1592）上发表。

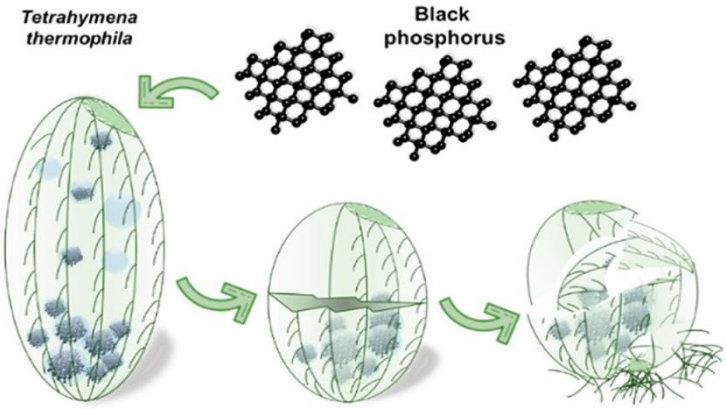


图 1 黑磷纳米片对四膜虫的毒性效应

附件：中国科学院-香港地区联合实验室通讯录

表 4：中国科学院-香港地区联合实验室通讯录

序号	联合实验室名称	合作单位	主任	联系方式
1	高密度电子封装材料与器件联合实验室	深圳先进技术研究院	孙蓉	rong.sun@siat.ac.cn
		香港中文大学	许建斌	jbxu@ee.cuhk.edu.hk
2	纳米材料与力学联合实验室	金属研究所	卢柯	lu@imr.ac.cn
		香港城市大学	吕坚	jianlu@cityu.edu.hk
3	深港生物材料联合实验室	深圳先进技术研究院	蔡林涛	lt.cai@siat.ac.cn
		香港大学	吕维加	wwlu@ hku.hk
		香港中文大学	秦岭	lingqin@cuhk.edu.hk
4	沪港化学合成联合实验室	上海有机化学研究所	刘国生	gliu@sioc.ac.cn
		香港中文大学	谢作伟	zxie@cuhk.edu.hk
		香港大学	支志明	cmche@hku.hk
5	多媒体技术联合实验室	深圳先进技术研究院	乔宇	yu.qiao@siat.ac.cn
		香港中文大学	汤晓鸥	xtang@ie.cuhk.edu.hk
6	生物资源与疾病分子机理联合实验室	昆明动物研究所	姚永刚	yaoyg@mail.kiz.ac.cn
		香港中文大学	陈伟仪	chanwy@cuhk.edu.hk
7	光伏太阳能联合实验室	深圳先进技术研究院	杨春雷	cl.yang@siat.ac.cn
		香港中文大学	朱骏宜	jyzhu(at)phy.cuhk.edu.hk
8	三亚海洋科学综合（联合）实验室	南海海洋研究所	黄晖	huanghui@scsio.ac.cn
		深海科学与工程研究所	谢强	gordonxie@idsse.ac.cn
		香港科技大学	刘红斌	liuhb@ust.hk
9	精密工程联合实验室	深圳先进技术研究院	何凯	kai.he@siat.ac.cn
		香港中文大学	陈世祈	scchen@mae.cuhk.edu.hk
10	化学地球动力学联合实验室	广州地球化学研究所	徐义刚	yigangxu@gig.ac.cn
		香港大学	周美夫	mfzhou@hku.hk
11	新材料合成和检测联合实验室	理化技术研究所	佟振合	chtung@mail.ipc.ac.cn
		香港大学	支志明	cmche@hku.hk
12	粤港干细胞及再生医学研究中心	广州生物医药与健康研究院	潘光锦	pan_guangjin@gibh.ac.cn
		香港大学	谢鸿发	hftse@hku.hk
13	机器人学联合实验室	沈阳自动化研究所	刘连庆	lqliu@sia.cn
		香港城市大学	李文荣	wenjli@cityu.edu.hk
14	功能材料与器件联合实验室	理化技术研究所	汪鹏飞	wangpf@mail.ipc.ac.cn
		香港城市大学	李振声	apcosdaf@cityu.edu.hk

序号	联合实验室名称	合作单位	主任	联系方式
15	气溶胶与环境联合实验室	地球环境研究所	曹军骥	cao@loess.llqg.ac.cn
		香港理工大学	李顺诚	shun-cheng.lee@polyu.edu.hk
16	干细胞与再生医学联合实验室	广州生物医药与健康研究院	裴端卿	pei_duanqing@gibh.ac.cn
		香港中文大学	陈伟仪	chanwy@cuhk.edu.hk
17	微电子联合实验室	微电子研究所	赵超	zhaochao@ime.ac.cn
		香港科技大学	潘永安	eeawpoon@ust.hk
18	中子散射科学技术联合实验室*	高能物理研究所	陈和生	chenhs@ihep.ac.cn
		香港城市大学	王循理	xlwang@cityu.edu.hk
19	机器人与智能系统联合实验室*	深圳先进技术研究院	吴新宇	xy.wu@siat.ac.cn
		香港中文大学	张立	lizhang@cuhk.edu.hk
20	应用数学联合实验室*	数学与系统科学研究院	袁亚湘	yyx@lsec.cc.ac.cn
		香港理工大学	陈小君	maxjchen@polyu.edu.hk
21	粤港澳大湾区环境污染过程与控制联合实验室*	广州地球化学研究所	王新明	wangxm@gig.ac.cn
		香港理工大学	李向东	cexdli@polyu.edu.hk
22	环境科学联合实验室*	生态环境研究中心	史建波	jbshi@rcees.ac.cn
		香港浸会大学	蔡宗苇	zwcai@hkbu.edu.hk

*为通过 2018 年联合实验室评估新增的 5 个联合实验室