

doi:10.3969/j.issn.1000-7695.2021.16.018

粤港澳大湾区科学仪器产业创新发展态势分析

陈茂清¹, 余全民², 林瑞清¹(1. 广东省生产力促进中心, 广东广州 510070;
2. 广州市科技项目评审中心, 广东广州 510180)

摘要: 通过对公开数据检索、数据分析统计、行业报告分析及产业政策解读等方式, 回顾总结近10年粤港澳大湾区科学仪器产业创新发展现状。分析发现: 粤港澳大湾区内科学仪器市场需求旺盛, 相关企业主要分布于广州、中山、深圳和东莞等市, 企业总体规模小但发展迅速并初步形成聚集态势, 一系列大科学装置已经或即将建成, 在基因测序仪、质谱仪等高端科学仪器制造方面已处于国内领先水平, 但仍存在企业研发能力较弱、产业同质化严重、缺乏高端仪器研发人才等问题。据此, 对粤港澳大湾区科学仪器产业未来发展, 从鼓励基础理论研究和原始创新、聚焦重点战略性新兴产业发展布局、加强粤港澳三地合作和产学研用协同创新、健全人才培养机制与相关平台建设等方面提出相关对策建议。

关键词: 科学仪器; 大科学装置; 产业创新; 粤港澳大湾区

中图分类号: F264.2; G301

文献标志码: A

文章编号: 1000-7695(2021)16-0138-07

Analysis on the Innovation and Development Trend of Scientific Instruments Industry in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

Chen Maoqing¹, Yu Quanmin², Lin Ruiqing¹(1. Guangdong Productivity Center, Guangzhou 510070, China;
2. Guangzhou Science and Technology Project Evaluation Center, Guangzhou 510180, China)

Abstract: By means of public data retrieval, data analysis and statistics, industry report analysis and industrial policy interpretation, this paper reviews and summarizes the innovation and development status and achievements of scientific instrument industry in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area in recent 10 years. The results show that the market demand for scientific instruments in the region is strong, the related enterprises are mainly located in Guangzhou, Zhongshan, Shenzhen and Dongguan, the overall scale of enterprises is small but developing rapidly and initially forming a gathering trend, a series of large scientific equipment have been or will be built, and the manufacturing of high-end scientific instruments such as gene sequencers and mass spectrometers has been in the leading position in China. However, there are still some problems, such as weak R&D capability, serious homogeneity of industry, lack of high-end instrument R&D personnel and so on. Accordingly, the paper puts forward relevant countermeasures and suggestions on future development of scientific instrument industry in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area from the aspects of encouraging basic theoretical research and original innovation, focusing on the layout of key strategic emerging industries, strengthening cooperation among Guangdong, Hong Kong and Macao, collaborative innovation of production, education and research, and improving talent cultivation mechanism and related platform construction.

Key words: scientific instruments; scientific equipment; industrial innovation; Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

1 研究背景

科学仪器是具有特定用途的装置或仪器, 是开展科学探索和技术革新的重要工具, 也是产业发展的关键支撑, 对促进科技进步和经济发展具有

巨大的推动作用^[1]。目前, 科学仪器的创新和应用已在包括电子信息、新能源、新材料、生物医药、安全应急与环保、农业与食品等产业发挥了重要的推动作用, 同时众多原创性的科研成果、关键技术

收稿日期: 2021-04-17, 修回日期: 2021-06-12

基金项目: 广东省科技计划项目(广东省绿色技术科技协同创新中心(2019BT10210003))

©1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的突破皆依赖于科学仪器的发展^[2]。在诺贝尔自然科学奖中，物理学奖的68.4%、化学奖的74.6%和生理学或医学奖的90%是借助各种先进的科学仪器完成^[3]。当前，世界各国皆把科学仪器研制作为科技发展的战略目标，把科学仪器研发作为科技投入的重点方向之一^[4]，如美国国家科学基金会（NSF）将研究设施作为四大战略（人才、发现、研究设施和组织卓越）之一，着力加强对基础研究具有重要促进作用的仪器设备研制的资助；英国科学技术办公室（OST）通过3种机制资助科学设施和科学仪器，每年投入达OST总经费的10%以上^[5]。

目前，我国科学仪器的制造水平已与国际先进水平相当，但基础创新能力与国外仍有较大差距。为补足这一短板，科技部等联合发布《加强“从0到1”基础研究工作方案》，提出高端科学仪器的自主研发与创新，支持重大科学仪器设备研发，推动关键核心技术突破。长期以来，我国科学仪器的自主研发和创新攻关主要集中于国家层面规划和支持，虽已取得了显著进步，但与发达国家的差距仍较明显，特别是高端科学仪器的自主化率仍比较低^[6]。目前，京津冀和长三角地区已开始加强对科研仪器设备研发和应用的投入，广东省也制定了《广东省培育精密仪器设备战略性新兴产业集群行动计划（2021—2025年）》（以下简称《行动计划》），并将科学仪器研发作为创新发展的重点产业之一。粤港澳大湾区（以下简称“大湾区”）作为国内经济最活跃的区域之一，高端制造产业链健全，在发展科学仪器产业方面具有先天优势，然而，针对大湾区科学仪器行业的现状及发展态势的研究与分析报道较少，因此，对大湾区科学仪器行业的现状及发展态势进行研究与分析，可为区域内仪器行业的科学规划布局、技术创新发展和仪器设备产业水平提升提供决策参考。本研究将从粤港澳大湾区科学仪器创新发展现状及成果、优势和不足及布局和建议三方面来分析大湾区科学仪器产业发展中遇到的主要问题，并提出相关对策建议，以推动大湾区高端科学仪器创新中心建设。

2 大湾区科学仪器产业创新发展现状分析

2.1 总体发展概况

在国家和广东省有关产业政策的支持下，大湾区科学仪器行业获得了快速发展，形成具有一定生产规模和研发能力，以民营企业为主的产业体系。《行动计划》对科学仪器核心技术及关键零部件、产业支撑体系、质量及品牌打造等方面的创新发展作出规划。目前处于筹建期的粤港澳大湾区高端科学仪

器创新中心拟汇聚国内优势资源，实现高端科学仪器产业集聚^[7]。大湾区科学仪器的自主创新、智能制造和协作共享等工作的有效实施，是推动区域科技创新、引领产业发展的重要支撑。

根据仪器信息网数据，在2015—2019年期间，大湾区持续获得了国家重大科研仪器研制项目经费，年均经费在0.139亿元~0.358亿元，占全国经费资助总额的4.15%~6.12%；2016—2020年期间，国家资助重大科研仪器研制项目共计147项，其中大湾区获资助项目10项，占全国资助项目总数约7%^[8-12]。除国家经费的支持外，大湾区各地政府对科学技术发展支持力度也较大，如珠三角地区财政经费中科学技术支出在2018年和2019年分别为942亿元和1 047亿元^[13]；但相关企业自身研发投入较低，大多仅占销售额的4%，低于国外先进企业10%的平均研发投入比例^[14]。大湾区科学仪器的研发主要依赖国家和地方政府的财政扶持，企业研发投入仍有待提高。

近年来大湾区内科学仪器行业的企业和科研院所发展势头较好，在超声检测仪器、示波器、监护仪、激光干涉仪、基因测序仪、质谱仪等方面处于国内领先水平，尤其在质谱仪和高通量基因测序仪等新型高端科学仪器的研制方面取得了突破性进展，例如，广州禾信仪器股份有限公司在国产质谱仪器的研发方面走在了前列；深圳华大基因首先实现了高通量测序仪的国产化，打破了国外厂商垄断测序仪的局面，其发布的最新超高通量基因测序仪的测试数据质量与国际权威仪器Illumina相当，而测试通量高于Illumina的NovaSeq等仪器。

2.2 市场现状

全球科学仪器市场需求巨大，2018年全球科学仪器行业市场总值高达4 033.2亿元^[15]。过去10年，我国科学仪器行业持续稳定发展，相关企业营业收入在2008和2018年分别为1 365.4和2 924.6亿元，年平均增长率为11.4%^[16]。大湾区在科学仪器制造方面也发展迅速，其中广东省在2016年和2019年仪器仪表制造业的销售产值分别为941.4亿元和1 301.2亿元，年平均增长率为12.7%，但总体规模不大，全省2019年仪器仪表工业产值仅占全国仪器仪表工业总产值的3.4%^[17]。

大湾区的工业制造发达、经贸活动繁荣，大量与科学仪器相关的制造、零售和维护企业分布于该地区，根据相关企业的百度地图分布信息，笔者统计了截至2020年12月大湾区科学仪器相关企业的地理分布情况，包括企业共322家。其中，分布在广州市的相关企业数量最多，中山、东莞和深圳市

次之，而其他地区的相关企业分布极少；从企业的注册资本来看，中山和深圳市的企业资本规模占比最高，分别为 42% 和 30%，广州和东莞市的企业资本规模占比中等，分别为 11% 和 10%，其他地区的

企业资本规模占比较低；基于企业的主营业务范围调查发现，企业主要从事仪器零部件加工、分析仪器、电子测量仪器、计算机、计量仪器等领域的生产制造（见图 1）。

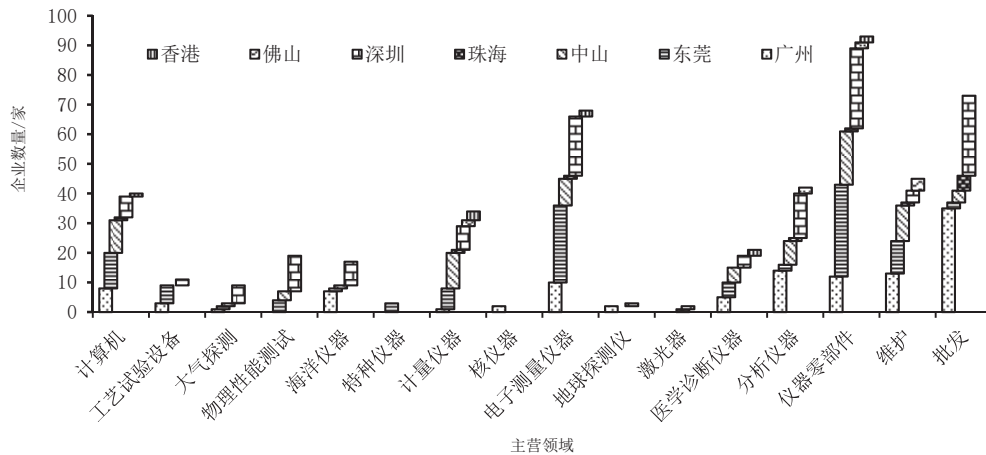


图 1 2020 年粤港澳大湾区科学仪器相关企业主营领域分布

2.3 大科学装置建设现状

大科学装置是产生前沿重大原创性成果的基础设施，大湾区布局了一批世界一流的大科学装置（见表 1），主要分布于深圳、广州、东莞、惠州和江门市等地区，由中科院与地方政府合力建设，合计耗资共 134.475 亿元。大湾区还采用“大科学装置 + 广东省重点实验室”的新型组合模式建设重大科创平台，意图强化大科学装置的研发能力，例如，位于东莞市的中国散裂中子源匹配了松山湖材料实验室，位于惠州市的强流重离子加速器装置及加速器

驱动嬗变研究装置匹配了先进能源科学与技术广东省实验室。美国、日本和德国等发达国家的大科学装置建设始于 20 世纪上半叶，相比之下，我国的大科学装置建设较晚，但近年来投资力度迅速增强，呈现追赶态势。大湾区大科学装置的投资在国内占比高，即将建成的大科学装置数量仅次于北京。根据发达国家的发展经验，大科学装置将汇聚国内优势资源，吸引众多一流科学家，突破核心关键技术，催生重大原创性科研成果，提升高技术新兴产业的制造水平^[18]。

表 1 粤港澳大湾区内大科学装置分布

大科学装置名称	动工年份	建成年份	总投资 / 亿元	建设地点	服务领域
国家超级计算深圳中心	2009	2010	12.300 ^[19]	深圳	工程、物理、化学、生物、气象、地球物理、医药、运筹优化
空间引力波探测地面模拟装置	2018	（尚未建成）	10.000 ^[20]	深圳	空间引力波观测、天文、地球科学
国家超级计算广州中心	2013	2015	25.000 ^[21]	广州	药物设计、数字媒体和动漫渲染、舆情监控、应急智能决策等
中国散裂中子源	2011	2017	23.000 ^[22]	东莞	凝聚态物理、化学、材料、生命科学、工业
南方先进光源	2019	（尚未建成）	5.870 ^[23]	东莞	化学、生命科学、资源环境、材料科学等
大亚湾反应堆中微子实验装置	2007	2011	1.600 ^[24]	惠州	基础物理学、核物理
强流重离子加速器装置	2018	2025	16.710 ^[25]	惠州	核物理、原子物理、天体物理、材料、生物
加速器驱动嬗变研究装置	2018	2025	17.995 ^[26]	惠州	核废料处置
江门中微子实验	2014	2022	22.000 ^[27]	江门	基础物理学、核物理

2.4 科学仪器的支撑促进作用

科学仪器是前沿科学研究的有力工具，对大湾区的发展创新具有重要的推动作用。2019 年广东省科学仪器采购企业总数位居全国第一，且 2016—2018 连续 3 年蝉联全国采购金额首位^[28]。粤港澳地区科学仪器数量的增长促进了基础研究的发展，基于 Web of Science 数据库统计，2010—2020 年大湾区的 SCI 论文发表量呈逐年稳步增长态势，从

47 597 篇增加至 128 698 篇（见图 2），主要分布在生物、医药、化学、工程、环境、材料等学科领域，且广州、深圳和香港的发表量远高于大湾区内其他地区^[29]。2010—2020 年间，粤港澳大湾区与旧金山湾区的 SCI 科技论文发文总量相当，略低于纽约湾区和东京湾区，但发文量呈快速增长趋势，总量和国际合作论文量的年增长率均远超过其他三大湾区，与国内京津冀和长三角地区相比（见图 3），

大湾区的科学仪器相关论文数量占比（18.7%）低于长三角地区（38.7%）和京津冀地区（42.6%），相关专利授权数量占比（31.7%）虽不及长三角地区（43.8%），但高于京津冀地区（24.5%）^[29]。此外，2010—2020年间，大湾区每年在国际顶级期刊如 Nature、Science 和 Cell 的论文发表数从 7 篇增长到 45 篇，标志着大湾区的原始创新和重大科研成果增长显著^[29]。

科学仪器是支撑大湾区企业研发的基础条件，是企业技术创新和产业升级的助推器。例如，东莞

散裂中子源装置用于研究生物蛋白分子，指导新产品的研发和制备，有力推动了生物医药产业的发展，借助东莞散裂中子源，中国科学院高能物理研究所自主研发了加速器硼中子俘获治疗实验装置，并将其成功应用于细胞和动物肿瘤中子照射实验，该技术有望成为治疗癌症的新手段^[30]；除此之外，散裂中子源装置还可应用于新型能源产业，如电动环保汽车电池研发和高效燃油剂的开发，通过交叉研究平台推动大湾区的能源产业发展。

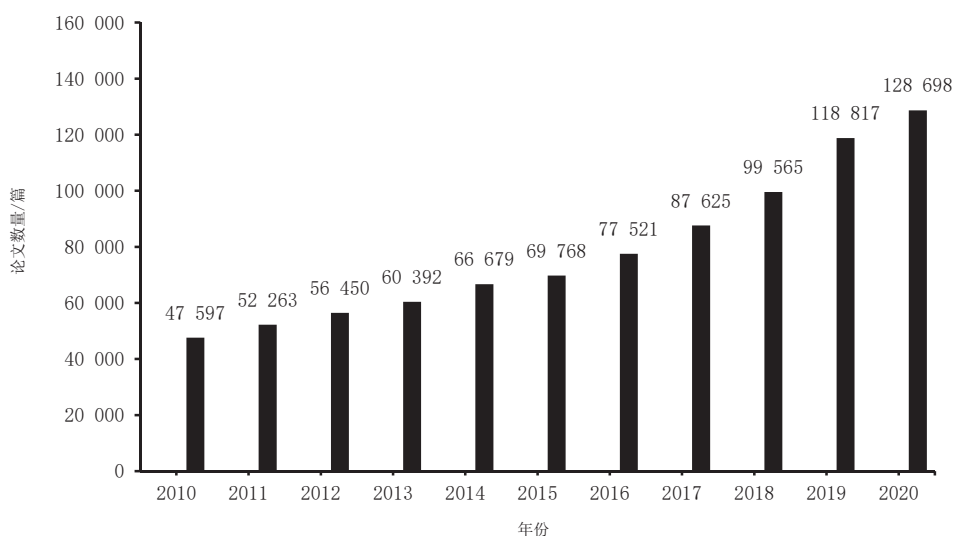


图2 粤港澳大湾区科学仪器领域 SCI 论文数量年度分布

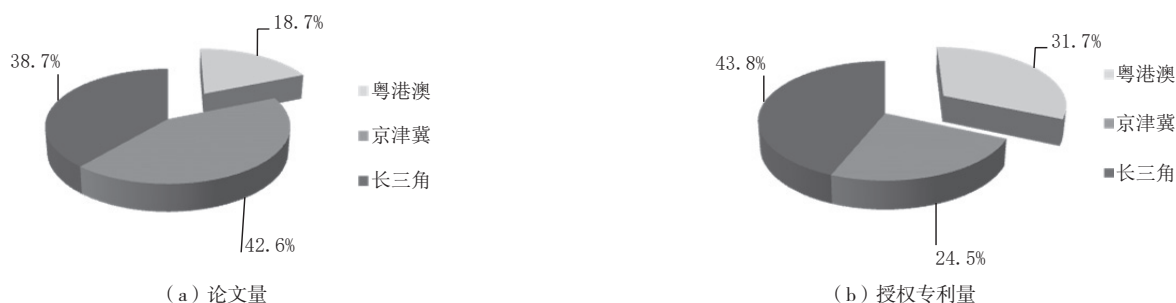


图3 国内主要地区科学仪器领域论文及专利数量比较

3 大湾区科学仪器产业发展的优势和不足

3.1 发展优势

与纽约湾区、旧金山湾区和东京湾区等世界三大湾区及国内长三角地区和京津冀地区相比，大湾区在科学仪器发展方面具有以下优势：

(1) 经济活力强。2018年，大湾区的面积和人口规模远超其他3个湾区，生产总值（GDP）为1.6万亿美元，超过旧金山湾区，基本可与纽约湾区比肩，在经济总量上已具备世界级湾区的规模；经济增长速度与旧金山湾区持平，且领先于纽约湾区和东京

湾区，是极具经济活力和潜力的湾区^[31]。经济的高速发展为科学仪器产业提供了巨大的市场，同时，港澳在对外开放交流和金融服务方面具备天然优势，为资金密集型的高端科学仪器研发提供了便利条件。

(2) 产业链健全、工业基础强。珠三角地区作为我国最早进行对外开放的前沿阵地，借助港澳的资源优势，经过40多年的高速发展，已经具备产品从原料加工、关键零部件制造、成品设计到提供整机生产的全产业链研发能力，大湾区被誉为“世界制造业基地”，且区域内各城市产业互补水平高于

其他3个世界湾区，同时也优于长三角地区。强大的制造业及全产业链使得大湾区发展科学仪器产业具有得天独厚的优势，可以快速实现从创意产生、原理验证、样机试验到产品落地。

(3) 企业竞争、政府服务意识强。珠三角地区最早以发展民营经济起步，经过几十年的发展，目前已形成民营经济为主体并充分竞争的市场格局，企业已普遍具有较强的竞争意识；同时，政府管理部门具有服务意识强、办事高效的特点，积极为企业和高校、科研机构搭建各种合作平台，这也为科学仪器的研发、生产和销售等提供了强有力的保障。截止到2020年，大湾区拥有“专精特新”小巨人企业、单项冠军企业以及独角兽企业近20家^[32]。

3.2 存在问题分析

目前大湾区科学仪器产业发展中存在一些不足，具体表现在以下几个方面：

(1) 高端仪器被国外垄断，技术水平差距较大。大湾区在高端科研仪器领域的需求与其自身仪器研发能力不相匹配。目前大湾区内高端仪器的使用集中在各大高校及科研院所，他们所配置的科研仪器仍以进口仪器为主，主要来源为美国、日本、德国等，这些国家在科学仪器研发及制造方面均具有悠久的历史 and 深厚的基础，在相关领域形成了较为成熟的技术积累和加工工艺^[33]。例如，尽管大湾区在质谱仪上已取得一定进展，但其市场认可度与国外品牌仍有一定差距。另外，还有很多高端仪器的研制在大湾区乃至国内仍属于空白。以科学前沿研究领域的球差/冷冻电镜为例，球差电镜可实现亚埃级分辨率成像及化学分析，是前沿科学研究的利器，但全球供应商只有日本电子株式会社和美国赛默飞世尔科技公司，此类高端科学仪器被国外垄断。在抗击新冠疫情过程中，冷冻电镜技术在新冠病毒结构解析中大显身手，不仅助力病毒形态、扩增过程及病毒传播途径的研究，也帮助了抗病毒药物的研发。2020年大湾区共采购7套球差/冷冻电镜，占当年国内采购总数的23%^[34]。

(2) 同质化严重、产业价值链处于中低端。大湾区虽已初步形成规模较庞大、结构较完整的产业体系，但尚未充分实现产业结构的合理化、高端化。纽约湾区、旧金山湾区和东京湾区均以先进制造业、高新技术产业发展为主，是高端科学仪器研制厂商的聚集地，如纽约湾区有丹纳赫集团、阿美特克有限公司，东京湾区有日立高新技术集团等，世界三大湾区是全球创新高地和最重要的科技创新中心。而大湾区内仪器仪表行业中小企业众多，企业自主研发仪器多处于低端水平，同质化严重，仪器利润

率低、国际竞争力不强。随着我国科学仪器研发能力的提升，国产品牌科学仪器在某些领域逐渐占有了一定的市场，但与国际知名品牌相比仍有差距。以大湾区医疗器械领域的龙头企业迈瑞医疗为例，2020年其已占据国内市场份额第一，但仍未能进入全球仪器公司市值排名20位以内^[35]。

(3) 高端科学仪器研发人才缺乏。优秀的专业人才缺乏是制约科学仪器行业快速发展的瓶颈之一。美国麻省理工学院、斯坦福大学和加州理工学院等大学均设有精密仪器博士点。然而在大湾区内，包括香港大学、香港科技大学、澳门大学、中山大学、华南理工大学等高水平高校中，尚未有仪器科学与技术博士点，具有仪器科学与技术专业硕士学位以上学位授予点的高校中仅有一所高校进入“双一流”建设名单。大湾区的科学仪器人才培养体系尚不健全，在高水平科学仪器创新人才、领军人才及专业技术专才培养方面存在短板^[36]。

4 大湾区科学仪器产业发展布局和规划建议

随着生命科学、材料科学、能源科学、环境科学、民生科学和公共安全科学的发展，以及新技术的不断出现，科学仪器需在微型、微量、快速、专用等方面不断创新、发展。对于大湾区未来科学仪器产业的布局，建议从以下几个方面考虑：

(1) 鼓励科学仪器研发从原始基础理论创新出发。从基本原理、基础理论出发进行科学仪器开发往往可以产生革命性产品，从而推动新的科学发现。以高校和科研院所为主体，依托大湾区内国家重点实验室和省部级重点实验室创新平台，充分发挥现有科学仪器平台、重大科学装置作用，鼓励科研人员在重大理论、颠覆性技术突破基础上开展科学仪器的原始创新研究，从原理验证、关键零部件制造、样机试验到产品落地等多个环节给予稳定支持。

(2) 聚焦大湾区发展的战略性新兴产业，谋划布局科学仪器研发方向。大湾区规划了未来重点发展的半导体与集成电路、新材料、生物医药与健康等新兴产业，未来这些产业的高速发展必然对科学仪器服务支撑有着巨大的需求，服务产业的科学仪器可有效提高企业生产效率、降低生产成本，提高企业核心竞争力。因此，应当以企业为主体，鼓励高校和科研院所参与，共同研发以解决困扰产业升级发展的专用仪器设备，并建立健全相关激励机制，独辟蹊径实现国产仪器设备“弯道超车”^[37]。

(3) 加强粤港澳三地在科学仪器领域的基础创新与合作。基础科学研究需要科研人员的相互交流进而碰撞出灵感的火花，同样，科学仪器研究离不

开不同背景的科研人员的交流与合作。充分利用大湾区人才国际化、产业链完备、工业基础强、配套服务健全的特点以及三地在科学仪器方面的研究平台，加强合作交流，联合本地企业建立资源共享，实现产学研用结合的科学仪器研发创新合作模式^[38]。

(4) 加强产学研用协同创新，建立产业扶持基金。高端科学仪器的研发属于资金密集型行业，且投资回报周期较长，需要多方资源投入，产学研合作即是很好的机制。从企业产生需求、寻找供应商、与高校和研究院所及第三方企业共同研发，再到研发仪器产品企业自用从而形成闭环，有效降低了投资风险；而对产业亟需、研发投入大又被“卡脖子”的专用仪器或关键零部件，则需通过政府设立各类仪器研发扶持基金进行支持，如半导体制造产业用的 EUV 光刻机及关键部件等。

(5) 健全人才培养机制与相关平台建设。在大湾区仪器研发人才培养机制及相关平台建设方面，充分发挥粤港澳三地优质资源和大科学装置的人才聚集作用，建立仪器仪表行业高端领军人才扶持和技能专才的培养及激励机制，制定优惠政策鼓励领军人才在大湾区创办行业小巨人企业或独角兽企业，为人才创业提供政策支持；鼓励高校增设仪器科学与技术硕士点和博士点；通过加强仪器专业产学研合作、深化企业科技特派员制度等方式为技能专才培养提供条件。另外，通过组织行业协会、论坛、会议、展会等方式促进行业人员深入交流。

5 结论

本研究分析总结了目前粤港澳大湾区内科学仪器产业的发展现状，并对其未来的发展布局进行了思考，主要结论如下：

(1) 大湾区内科学仪器市场需求旺盛，相关企业主要分布于广州、中山、深圳和东莞市等地区，尽管现阶段区域内科学仪器制造业总体规模较小，但在国家和广东省政府的政策引导和经费支持下，部分企业快速发展，在基因测序仪、质谱仪等高端科学仪器制造方面已处于国内领先水平，初步形成产业聚集态势，同时一系列大科学装置已经或即将建成，推动了大湾区内基础科学研究的进步以及医药和新能源等产业的创新发展。

(2) 与世界其他三大湾区相比，粤港澳大湾区具有经济活力强、产业链全、工业基础强、企业竞争和政府服务意识强等优势，但在科学仪器产业发展中还存在不足：企业研发能力较弱，不少高端仪器仍面临国外垄断的现状；仪器制造产业同质化严重，总体产业价值链处中低端，产品国际竞争力不强；

缺乏高端仪器研发人才，精密仪器专业人才培养体系尚不完善。

(3) 建议聚焦粤港澳大湾区发展的战略性新兴产业，科学布局科学仪器研发方向，鼓励仪器研发从原始基础理论创新出发，通过粤港澳三地在科学仪器领域的创新与合作，加强产学研用协同创新，建立产业扶持基金，健全和完善人才培养机制与相关平台建设，促进大湾区科学仪器产业发展，助力其成为核心优势产业，并形成极具竞争力的高端产业体系。

参考文献：

- [1] RIGGS W, HIPPEL E. Incentives to innovate and the sources of innovation: the case of scientific instruments [J]. Research Policy, 1994,23(4):459-69.
- [2] 李昌厚. 现代科学仪器发展现状和趋势 [J]. 分析仪器, 2014(1):119-22.
- [3] 吴月辉, 刘诗瑶, 喻思南, 等. 加大支持力度, 跨越研发应用障碍 高端科研仪器国产化值得期待 [EB/OL]. (2019-04-15) [2020-06-17]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1630857337848656955&wfr=spider&for=pc>.
- [4] 伊彤, 常静. 中、美、德、日科学仪器产业技术创新比较研究 [J]. 中国科技论坛, 2017(7): 161-183.
- [5] 冯勇, 谢焕英, 刘容光, 等. 国家重大科研仪器设备研制专项立项及管理工作的若干思考 [J]. 中国科学基金, 2012,26(6):369-71.
- [6] 李天柱, 高皓天, 王亚东. 高端科学仪器的创新特性与产业发展思路 [J]. 科技和产业, 2021,21(2):109-114.
- [7] 李鹏程. 大湾区高端科学仪器创新中心开始筹备建设 [N]. 南方日报 2019-04-26(GC03).
- [8] 刘玉兰. 2015 重大科研仪器研制项目获基金委资助 5 个亿 [EB/OL]. (2016-03-30) [2021-01-25]. <https://www.instrument.com.cn/news/20160330/187597.shtml>.
- [9] 叶子. 2016 自然科学基金重大科研仪器研制项目全名单 总金额 5.5 亿 [EB/OL]. (2016-08-18) [2021-01-25]. <https://www.instrument.com.cn/news/20160818/199511.shtml>.
- [10] 叶子. 总投资 5.9 亿! 2017 自然科学基金国家重大科研仪器研制项目全名单公布 [EB/OL]. (2017-08-17) [2021-01-25]. <https://www.instrument.com.cn/news/20170817/226928.shtml>.
- [11] 叶子. 总投资 6.07 亿 2018 自然科学基金国家重大科研仪器研制项目全名单公布 [EB/OL]. (2018-08-18) [2021-01-25]. <https://www.instrument.com.cn/news/20180818/469608.shtml>.
- [12] 叶子. 总投资 5.8 亿 2019 自然科学基金国家重大科研仪器研制项目全名单公布 [EB/OL]. (2019-08-16) [2021-01-25]. <https://www.instrument.com.cn/news/20190816/491330.shtml>.
- [13] 广东省统计局, 广东省科学技术厅, 广东省财政厅. 2019 年广东省科技经费投入公报 [EB/OL]. (2020-10-26) [2021-03-13]. http://stats.gd.gov.cn/tjgb/content/post_3117173.html.
- [14] 魏颖, 卢凯阳. 上市企业拼研发, 2018 年七成佛山企业追加研发投入 [EB/OL]. (2019-05-22) [2021-01-25]. <https://www.jiemian.com/article/3148755.html>.
- [15] QYRESEARCH GROUP. Global scientific instrument market insights, forecast to 2025 [EB/OL]. (2019-06-11) [2021-01-25]. <https://www.rnrmarketresearch.com/global-scientific-instrument-market-insights-forecast-to-2025-market-report.html>.
- [16] 毛豆豆. 近十年中国科学仪器行业企业规模及运营情况

- 分析 [EB/OL]. (2019-09-19) [2021-01-25]. <https://www.instrument.com.cn/news/20190919/493608.shtml>.
- [17] 广东省统计局工交处. 2019年1—12月份行业工业销售产值 [EB/OL]. (2020-02-04) [2021-01-25]. http://stats.gd.gov.cn/flygy/content/post_2882906.html.
- [18] 梁永福, 盘思桃, 林雄, 等. 大科学装置集群的协同创新与产业带动效应: 以广东大科学中心为例 [J]. 科技管理研究, 2018, 38(3): 6-10.
- [19] 百度百科. 国家超级计算深圳中心 [EB/OL]. (2020-04-30) [2021-01-25]. <https://baike.baidu.com/item/%E5%9B%BD%E5%AE%B6%E8%B6%85%E7%BA%A7%E8%AE%A1%E7%AE%97%E6%B7%B1%E5%9C%B3%E4%B8%AD%E5%BF%83/3632590?fr=aladdin>.
- [20] 徐静. 中大将建空间引力波探测地面模拟装置 [N]. 广州日报 2018-07-31(A1).
- [21] 苏泽瑞. 广州超算中心创新驱动战略顺利推进 [EB/OL]. (2014-07-22) [2021-01-25]. <https://news.qq.com/a/20140722/057442.htm>.
- [22] 黎海华, 侯亚景. 中国散裂中子源, 为大湾区科技创新插上翅膀 [EB/OL]. (2021-04-19) [2021-04-19]. http://www.qsttheory.cn/laigao/ycjx/2021-04/19/c_1127346466.htm.
- [23] 吴鑫, 张华桥. 大科学装置建设迎来新进展 南方光源研究测试平台项目综合实验楼封顶 [EB/OL]. (2020-11-07) [2021-01-25]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=168277023877584250&wfr=spider&for=pc>.
- [24] 百度百科. 大亚湾中微子实验室 [EB/OL]. (2021-01-29) [2021-01-29]. <https://baike.baidu.com/item/%E5%A4%A7%E4%BA%9A%E6%B9%BE%E4%B8%AD%E5%BE%AE%E5%AD%90%E5%AE%9E%9E%AA%8C%E5%A4%4113602?fr=Aladdin>.
- [25] 全国科技创新中心. 国之重器! “强流重离子加速器装置”启动建设 [EB/OL]. (2018-12-26) [2021-01-25]. https://www.sohu.com/a/284763843_120058319.
- [26] 中国科学院近代物理研究所. 国家重大科技基础设施“加速器驱动嬗变研究装置”批准立项 [EB/OL]. (2016-01-15) [2021-01-25]. http://www.imp.cas.cn/ttxw2017/201601/t20160115_4518642.html.
- [27] 陈卓栋, 谭耀广. 江门借力中微子实验建科学小镇 [EB/OL]. (2019-03-21) [2021-01-25]. https://www.sohu.com/a/302788539_119778.
- [28] 中国仪器仪表行业协会. 2019年度中国科学仪器行业发展报告 [R]. 北京: 中国仪器仪表学会, 2020.
- [29] 蔡利超, 王鸿飞, 何静. 粤港澳大湾区与世界知名大湾区科技创新能力对比分析 [J]. 科技管理研究, 2020, 52(6): 95-107.
- [30] 雯雯. 癌症患者福音! 能精准“杀死”癌细胞装置在莞研制成功 [EB/OL]. (2020-09-23) [2021-01-25]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1678569684268558304&wfr=spider&for=pc>.
- [31] 程景伟. 权威报告: 粤港澳大湾区面积最大、人口最多, GDP超旧金山湾区 [EB/OL]. (2018-05-11) [2021-01-25]. https://www.sohu.com/a/231299783_487448.
- [32] 广东省科学技术厅. 广东省培育精密仪器设备战略性新兴产业集群行动计划(2021—2025年) [EB/OL]. (2020-09-29) [2021-01-25]. http://gdsc.gd.gov.cn/zcfg/gfwj/content/post_3095642.html.
- [33] 程豪, 周琼琼. 我国重大科研基础设施调查数据分析 [J]. 今日科苑, 2018(6): 76-82.
- [34] 阳离子. 2020年高端电镜盘点: 疫情下球差/冷冻下挫三成, 广东强势崛起 [EB/OL]. (2021-01-08) [2021-03-19]. <https://www.instrument.com.cn/news/20210108/569922.shtml>.
- [35] 苏莱. 深度分析: 迈瑞医疗: 国内医疗器械龙头! 未来还有多少翻倍空间? [EB/OL]. (2021-01-08) [2021-03-19]. https://www.sohu.com/a/443334949_120794379.
- [36] 李妍, 韩莉娜. 广东科技创新体制机制若干突出问题及建议 [J]. 科技中国, 2020(4): 78-81.
- [37] 张龙鹏, 刘俊杰. 粤港澳大湾区战略性新兴产业政策的比较研究 [J]. 科技管理研究, 2020, 40(22): 39-47.
- [38] 孙超, 王燕. 高新技术产业与生产性服务业协同集聚对区域创新效率的影响 [J]. 科技管理研究, 2020, 40(22): 139-47.

作者简介: 陈茂清(1985—), 男, 广东梅州人, 助理研究员, 硕士, 主要研究方向为科技管理、工业设计与应用推广; 余全民(1983—), 男, 湖北武汉人, 助理研究员, 硕士, 主要研究方向为科技项目管理与政策; 林瑞清(1994—), 女, 广东潮州人, 实习研究员, 硕士, 主要研究方向为科技管理。