

DOI: 10.3724/cbls.2026035

CSTR: 32203.14.cbls.2026035

文章编号: 1004-0374(2026)02-0221-15

· 评论与综述 ·



张宇, 2006年毕业于中国科学院上海生命科学研究院, 获博士学位。现任国科大杭州高等研究院生命与健康科学学院正高级工程师、博士生导师、执行院长。长期致力于生命健康、科技创新与知识产权交叉领域, 在战略研究、科研攻关及成果转化方面积累了系统的实践经验。上海市巾帼文明岗负责人, 获明治生命科学奖、国科大杭州高等研究院优秀课程与优秀教师等奖励, 兼任中国营养学会精准营养产业分会常务委员、中国生物化学与分子生物学会科技信息专业分会委员。



陆娇, 2010年毕业于同济大学, 获硕士学位。现任中国科学院上海营养与健康研究所生命科学信息中心/科技评估与知识产权研究中心副主任。主要研究方向为专利信息利用, 擅长专利信息的检索与分析。2015年入选国家知识产权局“全国专利信息师资人才”。

人工智能与多学科融合驱动的生命科学仪器创新

袁银池^{1#}, 王立伟^{2#}, 张爱平¹, 周 赛¹, 张丽雯¹, 陈 赟¹, 陆 娇^{1*}, 张 宇^{3*}

(1 中国科学院上海生命科学信息中心, 中国科学院上海营养与健康研究所, 上海 200031; 2 上海市科学学研究所, 上海 200031; 3 国科大杭州高等研究院生命与健康科学学院, 中国科学院大学, 杭州 310024)

摘 要: 2025年, 生命科学仪器领域正经历一场由人工智能、多组学技术与先进制造深度融合所驱动的结构性变革。在此进程中, 仪器不再仅作为被动的数据采集工具或实验辅助装置, 而是跃升为定义科学边界、重构研究范式并引领产业转型的关键基础设施。这一转变的核心在于技术体系的系统性重构: 一方面, 观测能力持续逼近物理极限, 超分辨率成像、无标记检测、单分子追踪及高时空分辨率等前沿手段, 使生命过程的研究从静态群体表征迈向动态个体解析; 另一方面, 关键装备的自主创新取得实质性突破, 国产冷冻电镜、质谱仪与超高通量测序平台逐步实现从整机集成到核心元器件自主可控的纵深演进, 显著提升产业链安全与技术主权。尤为关键的是, 人工智能已深度嵌入仪器全生命周期——从光学与流体系统的设计优化, 到实时运行调控, 再到多模态数据的语义理解与知识生成, AI正推动“无人实验室”等新型科研组织形态成为现实。与此同时, 仪器应用场景亦发生根本性拓展, 从传统基础研究延伸至精准医疗、高通量药物筛选、合成生物学及现场快速检测等多元场域, 形成科研—临床—产业的闭环联动。在显微成像、单分子分析、空间组学、质谱与色谱联用、流式细胞术及多功能集成平台等方向, 一系列标志性技术与产品相继涌现, 不仅加速了生命机制的解码进程, 也为普惠化、智能化和自主化的下一代生命科学仪器体系奠定了坚实基础。

关键词: 生命科学仪器; 人工智能; 多组学; 单分子; 空间组学

中图分类号: Q5; TH7; TP18

文献标识码: A

收稿日期: 2026-01-07; 修回日期: 2026-02-05

基金项目: 国家知识产权局专利专项研究项目“AI药物发现关键技术专利分析研究”(FX202411); 中国科学院知识产权与成果转化项目

[#]共同第一作者

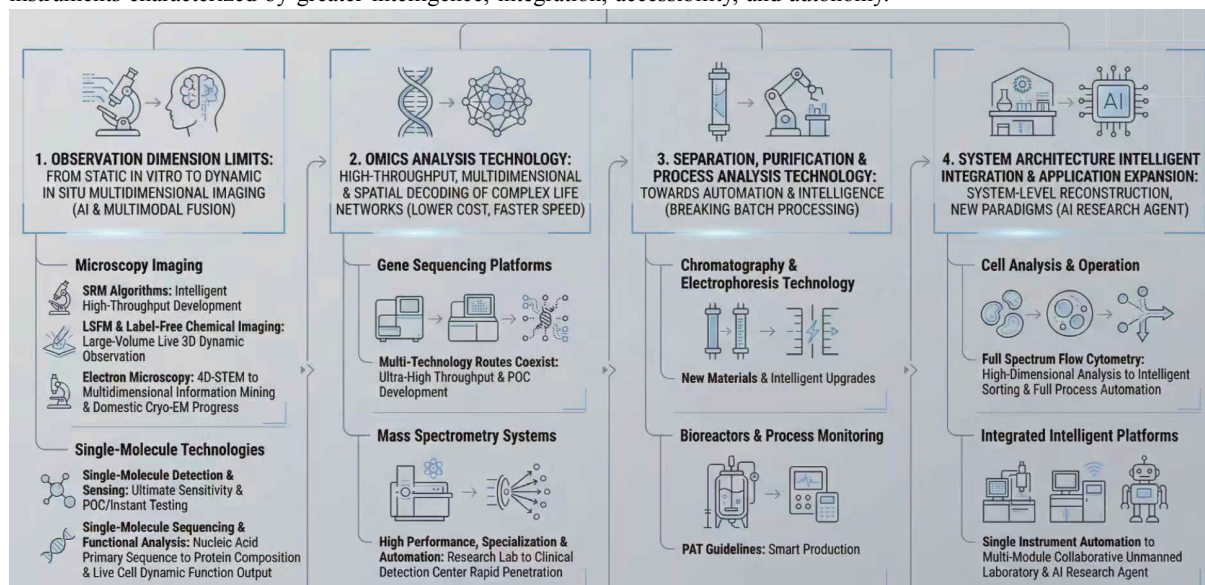
*通信作者: E-mail: jlu@sinh.ac.cn (陆娇); zy@ucas.ac.cn (张宇)

Innovation in life science instruments driven by artificial intelligence and interdisciplinary integration

YUAN Yin-Chi^{1#}, WANG Li-Wei^{2#}, ZHANG Ai-Ping¹, ZHOU Sai¹, ZHANG Li-Wen¹,
CHEN Yun¹, LU Jiao^{1*}, ZHANG Yu^{3*}

(1 Shanghai Information Center for Life Sciences, Shanghai Institute of Nutrition and Health, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200031, China; 2 Shanghai Institute for Science of Science, Shanghai 200031, China; 3 School of Life Science, Hangzhou Institute for Advanced Study, University of Chinese Academy of Sciences, Hangzhou 310024, China)

Abstract: In 2025, the field of life science instrumentation is undergoing a structural transformation driven by the deep integration of artificial intelligence (AI), multi-omics technologies, and advanced manufacturing. Instruments are no longer passive data collectors or auxiliary tools but have evolved into critical infrastructures that actively define scientific frontiers, reshape research paradigms, and catalyze industrial transformation. This shift is underpinned by a systemic reconfiguration of technological capabilities. On one hand, observational limits continue to approach fundamental physical boundaries: next-generation modalities—such as super-resolution imaging, label-free detection, single-molecule tracking, and high spatiotemporal resolution—are enabling a transition from static, population-level analyses to dynamic, molecule-resolved interrogation of biological processes. On the other hand, substantial progress has been made in indigenous innovation of core instrumentation; domestical cryo-electron microscopes, mass spectrometers, and ultra-high-throughput sequencers are advancing beyond system-level assembly toward end-to-end autonomy in key components, thereby strengthening technological sovereignty and supply chain resilience. Crucially, AI has become deeply embedded throughout the instrument lifecycle—from optical and fluidic system design, real-time operational control, to semantic interpretation and knowledge extraction from multimodal data—enabling emergent paradigms such as autonomous laboratories. Concurrently, application domains are expanding dramatically, with cutting-edge instruments now bridging fundamental research with clinical diagnostics, high-throughput drug discovery, synthetic biology, and point-of-need testing, thus forging an integrated loop across academia, medicine, and industry. Breakthroughs in microscopy, single-molecule analytics, spatial omics, hyphenated mass and chromatographic techniques, flow cytometry, and multifunctional integrated platforms, are not only accelerating the decoding of biological mechanisms, but also laying the foundation for a new generation of life science instruments characterized by greater intelligence, integration, accessibility, and autonomy.



Key words: life science instruments; artificial intelligence; multi-omics; single-molecule analysis; spatial omics

生命科学作为探究生命本质与规律的核心领域,其每一次重大认知飞跃无不紧密依赖于分析工具的革命性进步。生命科学专用分析仪器,作为延伸人类感知与操控能力的核心载体,已超越传统辅

助工具的范畴,演变为驱动基础科学发现、革新临床诊疗路径,并赋能全球生物经济的战略性基石,其技术代际直接关乎人类解析生命复杂性的深度、广度与效率^[1]。进入2025年,在精准医学需求全球化、

人工智能(AI)渗透加速、可持续生物制造兴起及国际科研竞争格局深度调整等多重宏观动因交织下,生命科学仪器领域正经历一场由技术聚合驱动的系统性重构。本年度的发展态势显著超越了单一性能参数的迭代,呈现出基于多学科融合的系统架构创新、应用生态的急剧扩张以及产业自主能力的战略性跃升。

本轮创新的深层逻辑,在于对传统生物分析范式的根本性改造,即致力于将高度复杂且依赖专家经验的生命系统解析过程,转化为高度集成、自动驱动与智能解析的确定性流程(见图 1)。这一变革主要凝练为四个相互关联的核心维度。首先,在观测维度上,技术前沿致力于逼近物理极限与生物动态的真相。以单分子操纵与测读、无标记显微成像以及兼具纳米尺度与毫秒级分辨的动态观测技术为代表的新一代工具,正在彻底改变我们对生命现象的理解方式。它们使得科学研究得以跨越传统群体平均测量的局限,直接揭示生物大分子个体行为、细胞器互作网络以及生命活动进程中固有的时空异质性与随机性,从而在分子层面实时解析生命过程的动力学基础^[2]。

其次,在核心装备自主化领域,国家层面的战略布局引领国产化进程进入攻坚克难的新阶段。聚焦于冷冻电镜、高分辨质谱仪、超高通量测序系统等长

期被海外垄断的高端战略装备,创新路径已从早期的整机集成与仿制,纵深推进至关键核心部件(如高亮度电子源、静电场轨道阱、高保真酶体系等)的自主研发与工艺突破。这一进程不仅旨在保障供应链安全,更旨在通过底层技术创新,参与乃至重新定义国际高端仪器技术标准,深刻影响全球产业分工格局^[3]。

再者,系统架构的智能化融合成为范式转换的关键驱动力。人工智能,特别是机器学习与深度学习算法,已深度嵌入仪器的设计、控制与数据分析^[4]全链路。仪器正从被动执行预设程序的孤立硬件,演进为具备在线感知、实时决策与自适应优化能力的智能科研终端。这种“感知-决策-执行”一体化闭环的实现,催生了智能自检、故障预测、实验方案自主优化等新功能,并为“无人化”智能实验室的构建奠定了基石,极大提升了科研的可靠性与通量^[5]。

最后,技术应用的边界呈爆炸性拓展。随着仪器稳定性提升、操作简化及成本下行,尖端分析能力正以前所未有的速度从顶尖研究机构的核心实验室,下沉并渗透至医院病理科、制药企业研发中心、生物工厂质控平台乃至基层医疗点与野外现场。这种渗透使得在单细胞精度进行疾病分型、在生产线上实时监控代谢产物、在现场快速检测病原体成为常态,从而强力推动精准医疗的规模化落地与生物制造过程的精益控制,将科学仪器的价值从纯粹的发

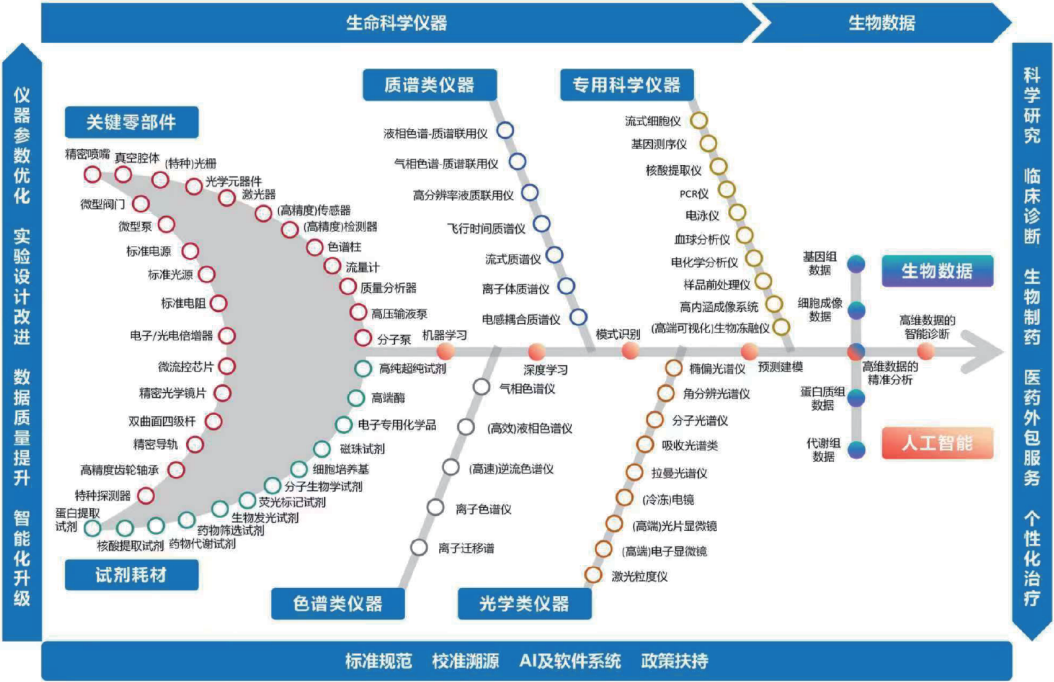


图 1 生命科学仪器的创新突破

Figure 1 Innovative breakthroughs in life science instruments

现工具扩展为支撑大健康产业与生物经济的核心引擎。

本研究采用系统性方法识别生命科学仪器的年度关键进展。首先,构建了多源检索策略:学术文献通过Web of Science、PubMed等数据库获取,重点关注*Nature*等高影响力期刊及高被引论文;前沿研究通过arXiv等预印本平台进行补充;技术创新与产业化信息则来自Derwent、PatSnap全球专利库,以及Thermo Fisher、Agilent等龙头企业公告、行业会议、专业展会、重要奖项和标准草案。检索时间窗限定为2025年,内容覆盖显微成像、光学、质谱、色谱等仪器类别,综合运用关键词与学科分类号构建检索式。筛选流程依据明确的纳入与排除标准:纳入新发布的仪器硬件及核心部件,以原创性、技术突破、权威认证、可验证性能参数(如分辨率、灵敏度)以及实际应用案例作为主要判断依据;排除纯软件更新、常规迭代、缺乏实测数据以及信息来源不可靠的内容。最终遴选结合量化性能阈值与专家评议,从而客观确定年度关键进展。

为系统阐释上述宏观趋势下的具体进展,本文将依次聚焦于:(1)显微成像与单分子操控技术的前沿突破;(2)组学分析技术(涵盖基因组学、蛋白质组学、代谢组学及其空间整合)的迭代与整合;(3)分离纯化技术与生物过程分析技术的进展;(4)系统级智能融合与新兴应用场景的典型案例分析,见图2。通过梳理各领域在2025年度涌现的关键技术原理革新、标志性产品及其解决的核心科学问题与产业痛点,本文旨在勾勒出当前生命科学仪器技术发展的全景图,并对其未来向更智能、更集成、更普惠与更自主方向演进的路径进行前瞻性思考。

1 观测维度的极限突破

当前,对生命过程的观测技术正进入前所未有的深度和广度,其核心特征是从对生物样本的静态、离体结构解析,迈向对生命过程动态、原位、多维度功能的系统性成像。在这一进程中,显微成像与单分子技术构成了突破认知边界的核心引擎。它们与人工智能的算法革命、多模态技术的交叉融合协同推进,不仅持续拓展时空分辨率的物理极限,更从根本上提升了实时窥视纳米尺度生命动态的能力。

1.1 显微成像:从结构解析到时空多维功能成像

现代显微成像的发展脉络,清晰勾勒出一条从

追求分辨率极值到追求功能信息密度的技术演进路径。2025年的进展表明,单一成像模态的线性升级已让位于多参数、生物友好性、高通量化、智能化的系统集成,其目标直指在活体、原位环境下,对复杂的生物功能网络进行全景式、量化描绘。

1.1.1 超高分辨显微镜(SRM)的智能化与高通量化

在超分辨荧光显微领域,技术发展的主导逻辑已从依赖复杂光路与探针的硬件创新,转向以算法为核心驱动力的智能化与高通量化。以理性化深度学习(rationalized deep learning, rDL)为代表的新一代算法,通过将物理成像原理融入神经网络,极大地提升了重建图像的质量和鲁棒性。研究表明, rDL应用于结构光照明显微镜(structured illumination microscopy, SIM)和晶格光片显微镜(lattice light-sheet microscopy, LLSM),不仅能消除光谱偏置导致的分辨率退化,还将模型不确定性降低80%(输出图像波动性相较于无物理引导的深度学习模型),超分辨信息量比传统计算方法提升10倍以上(恢复的超分辨率分量强度),实现了对活细胞中快速亚细胞动态过程(如纤毛搏动)的长时程、高保真成像。基于自监督重建的超高分辨显微镜(super-resolution microscopy, SRM)(如自监督重建结构光照明显微镜, SSR-SIM),通过创新的算法设计,摆脱了对大量“真值”(ground-truth)图像的依赖^[6]; AI驱动图像重建已实现零成本显微镜(ZeroCostDL4Mic)与高通量SRM,显著降低硬件门槛并提升帧率^[7]。深度卷积网络能够在仅有少量标记的情况下恢复亚衍射结构,实现实时超分辨并自动化批量处理。例如,自驱动显微镜(self-driving microscope)利用深度学习模型实现从样品搜索、自动对焦、区域选择到数据采集与分析的全流程自动化^[8]。硬件层面,清华大学李栋团队发展的Meta-rLLS-VSIM技术,通过算法与光学创新结合,将晶格光片显微镜的分辨率提升至XYZ三维120~160 nm,并实现了对小鼠胚胎发育全过程的长时程五维成像^[9]。此外,北京大学席鹏团队研发的三角形光束干涉结构光照明显微镜(3I-SIM),一步生成二维六角晶格图案,简化了光路并提升了成像速度^[10]。

1.1.2 光片荧光显微镜(LSFM)与无标记化学成像

光片荧光显微技术因其独特的光学切片能力和极低的光毒性,已成为活体、大体积样本三维动态观

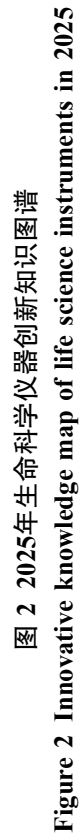


Figure 2 Innovative knowledge map of life science instruments in 2025

测的首选工具。2025年,该领域致力于攻克高速体积成像带来的数据采集与处理瓶颈。AI在光片去噪与光场重建中发挥关键作用^[11],使得无标记化学成像(如基于拉曼的化学映射)能够在秒级完成体内三维成像^[12]。为解决高速三维成像的数据采集瓶颈,加州大学圣克鲁斯分校团队开发的M25显微镜系统,通过衍射光学元件与25个微型相机阵列的结合,无需机械扫描即可实现每秒超100个体积帧率的实时三维成像^[13]。而将深度学习与光片荧光显微镜(light-sheet fluorescence microscopy,LSFM)结合,仅需单次扫描即可重建高质量图像,其速度比传统双扫描结合计算重建的方法快百倍以上,在保证图像信噪比提升3~5倍、对比度提高约1.8倍的前提下,将采集时间缩短至传统标准采集的3.3%^[14]。在国产化方面,锆海生物等企业凭借“动态光片调制+多视角成像+AI”的技术架构,旨在填补国内高端活体光片显微镜的市场空白^[15]。与此同时,无标记化学成像技术取得关键进展。受激拉曼散射(stimulated Raman scattering,SRS)显微镜凭借非线性光学放大效应,实现每秒千帧级的高速三维成像,可在活体组织中无损追踪药物分布与代谢流变^[16]。更具突破性的是,SRS与AI模型(如CycleGAN)结合,可将新鲜脑组织化学成像虚拟转化为标准的病理染色图像,为术中快速诊断提供了革命性的新范式^[17]。

1.1.3 电子显微镜:从4D-STEM到国产化冷冻电镜

在超越光学衍射极限的纳米乃至原子尺度,电子显微技术在2025年的发展聚焦于从获取二维投影图像转向挖掘多维物理信息,并通过智能化流程实现前所未有的解析效率与精度。

2025年,电子显微领域最引人注目的进展是四

维扫描透射电子显微镜(four-dimensional scanning transmission electron microscopy,4D-STEM)的普及与深化应用。4D-STEM结合AI引导的相位恢复,实现了原子尺度的时空结构捕获^[18]。该技术通过使用高速像素化二维探测器,在扫描样品的每个点时记录下完整的二维衍射花样,构建起包含实空间和倒易空间信息的四维数据集,能够以纳米级分辨率精确绘制材料的晶格应变、晶体取向,甚至探测内部电磁场^[19]。结合叠层成像(ptychography)等算法,4D-STEM还能实现超越透镜衍射极限的超高分辨率,将原子位置精度提升至亚皮米量级。冷冻电镜(cryo-electron microscopy,Cryo-EM)领域长期由赛默飞、JEOL等国外巨头主导^[20]。近年来国产化取得长足进步,如水木科仪推出图腾(TOTEM)300系列300kV冷冻透射电镜(结构解析分辨率可达1.4 Å,性能对标国际主流产品^[21]),并启动了更高端的400kV超高压冷冻电镜的研发布局。配套的核心部件亦取得突破,如苏州德锐特成功研发“白云4M/16M”透射电镜相机,打破了国外在直接电子探测器领域的垄断。AI在自动颗粒筛选、三维重构等流程中的应用,将膜蛋白结构解析周期从月级压缩至周级,极大地提高了数据处理效率和分辨率^[22]。

表1对显微成像进展进行了总结。

1.2 单分子技术:解锁生物大分子的精细动态

单分子技术,作为突破传统系综平均测量局限、直接观测生物大分子个体行为与异质性的核心方法学,在2025年实现了从原理验证到深度应用的进步。其发展不再局限于单一技术的优化,而是呈现出多技术路线并行突破、交叉融合并系统性应用于基础机制解析与临床转化研究的繁荣图景。本年度进展

表 1 显微成像进展
Table1 Advances in microscopy imaging

发布日期	仪器 / 平台名称	开发机构	技术突破 / 核心特点	应用场景
2025-01	LUMOS II ILIM 红外成像显微系统	布鲁克(Bruker)	与质谱、荧光等多模态数据配准,提供高通量、量化的分子成像能力 ^[23]	药物分布、疾病相关分子谱研究、组织病理学
2025-04	元学习驱动的反射式晶格光片虚拟结构光照明显微镜(Meta-rLLS-VSIM)	清华大学等	AI驱动,体积分辨率提升15.4倍,实现对小鼠胚胎发育全过程的长时程三维成像 ^[24]	胚胎发育、神经动态过程、细胞生物学
2025-08	M25 显微镜系统	美国加州大学圣克鲁斯分校	结合衍射光学元件与25个微型相机阵列,实现无机械扫描的高速三维成像(>100个体积帧/秒) ^[13]	发育生物学、神经科学中快速动态过程的活体观测
2025-12	ROSE-3D 三维干涉定位显微镜	中国科学院生物物理研究所	引入三维干涉定位原理,实现纳米级三维各向同性分辨率,轴向定位精度提升3.5~8倍 ^[25]	亚细胞器结构、生物大分子复合物三维排布与动态组装过程的高精度解析

的核心,在于将单分子技术的卓越灵敏度与时空分辨率,转化为对蛋白质动态构象、核酸-蛋白质互作网络以及细胞功能异质性等复杂生命过程的直接、实时与定量化解码能力。

1.2.1 单分子检测与传感的应用深化

单分子检测技术的演进路径,清晰地指向两个相互关联的战略方向:一是追求极限灵敏度以揭示极低丰度生物标志物的科学价值与临床意义;二是通过系统集成与微型化,推动技术从实验室核心设施走向床边与现场即时检测,实现应用场景的根本性拓展。

在超高灵敏度临床诊断领域,技术的竞争焦点已从单纯的检测下限比拼,转向对复杂生物样本基质中特定靶标进行稳定、快速、多重定量分析^[26]的系统能力。在临床诊断方面,2025年3月,光与生物发布的DFZ-1000全自动单分子荧光免疫分析仪,采用稀土上转换发光探针技术,结合卷积神经网络算法,实现了fg/mL级别的超高检测灵敏度,15 min即可输出首个检测结果,并支持Aβ42/Aβ40、p-Tau217等核心阿尔茨海默病指标的联合检测^[27],这不仅将检测通量提升至临床实用水平,更通过多参数关联分析为神经退行性疾病的早期鉴别诊断与病程监测提供了强有力的工具。

与此同时,基于固态纳米孔的无标记单分子传感技术,正以其原理的通用性与设备微型化的巨大潜力,开辟出一条全新的技术路径。固态纳米孔技术作为一种无标记的单分子检测方法也取得突破^[28, 29],华大智造联合华大序风推出的G400-ER纳米孔基因测序仪,支持100 bp~Mbp级超长读长,具备较高的单芯片通量(495 Gb/芯片)和每分钟100 Mb的数据产出速率,能解析复杂结构变异与重

复序列^[30]。还有研究展示了基于智能手机的低成本显微镜实现了单分子荧光检测,预示了该技术的普及化潜力^[31]。

1.2.2 单分子测序与功能分析

单分子技术在测序与功能分析维度的发展,正在重新定义“读取”生物信息的内涵,其目标已从解析核酸的一维序列,拓展至直接获取蛋白质的氨基酸组成乃至活细胞的动态功能输出,从而构建起从基因序列到表型功能的直接关联。

在单分子测序领域,以牛津纳米孔技术为代表的长读长测序平台持续引领创新潮流。其核心优势在于能够对长达数百万碱基的核酸分子进行直接、实时测序,并同步检测甲基化等表观遗传修饰。2025年,该技术路线的战略意义进一步凸显,其发展蓝图已明确指向将“单分子测序”的能力从核酸领域拓展至蛋白质组学,其“样本直入”(sample-to-answer)平台正向全自动、即时化方向演进。在蛋白质测序领域,格里菲克生物技术公司提出了一种创新的单分子测序方法,通过将可聚合分子连接到氨基酸上,然后进行纳米孔测序,实现了对肽链中氨基酸的高通量和高清晰度鉴定^[32]。在单分子功能分析领域,布鲁克(Bruker)推出的Beacon Discovery光流控单细胞功能分析系统,将微流控芯片与可编程光学阀门结合,可在纳升级腔室内对数万级活细胞进行长时间培养、靶向刺激及实时分泌监测,实现了细胞功能的“活体筛选”^[33]。

表2对单分子测序进展进行了总结。

2 组学分析技术:高通量、多维度与空间化

2025年,以基因测序和质谱为核心的组学分析技术,正朝着更高通量、更长读长、更高维度和空间

表 2 单分子测序进展
Table 2 Advances in single-molecule sequencing

发布日期	仪器 / 平台名称	开发机构	技术突破 / 核心特点	应用场景
2025-03	DFZ-1000 全自动单分子荧光免疫分析仪	光与生物	采用稀土上转换发光探针和CNN算法,实现fg/mL级超高灵敏度,15 min快速检测 ^[27]	阿尔茨海默病等重大疾病的早期血液标志物检测
2025-03	G400-ER 纳米孔基因测序仪	华大智造、华大序风	采用高密度纳米孔芯片设计,拥有超长读长、高数据产出和实时测序的性能;7月,新增了5mC甲基化直接检测能力 ^[30]	全基因组重测序、基因组组装、全长转录组及表观基因组测序
2025-04	Beacon Discovery 光流控单细胞功能分析系统	布鲁克(Bruker)	微流控与光学阀门结合,实现对数万级活细胞的长时间培养、刺激和实时分泌监测 ^[33]	细胞治疗(CAR-T)研发、抗体药物筛选、免疫学研究
2025-08	单分子蛋白质测序技术	格里菲克生物技术公司	通过将可聚合分子连接到氨基酸上,利用纳米孔进行测序,实现高通量、高清晰度鉴定 ^[32]	蛋白质组学研究、疾病标志物发现

化的方向发展。技术的进步不仅旨在降低成本、提高速度,更致力于从多维数据中系统性地解析生命的复杂调控网络^[34]。

2.1 基因测序平台:超高通量与即时检测的两极分化

2025年,DNA测序仪市场呈现出“多技术路线并存、应用驱动创新”的特征。GPU/FPGA加速的第二代测序(next-generation sequencing,NGS)为核心的高通量平台在通量、速度和成本上持续突破^[35]。华大智造(MGI)于2025年9月发布的DNBSEQ-T7+,单日数据产出超14 Tb,年WGS通量达3.5万例,其CoolMPS技术通过抗体识别碱基实现“原生链”测序,准确率Q40超90%,标志着我国在超高通量测序领域已跻身全球第一梯队^[36, 37]。在临床应用端,小型化、快速化仪器成为新增长点。赛陆医疗获NMPA批准的小型快速测序仪Saluseq Nimbo,最快2.2 h内完成测序,非常适合临床POCT需求^[38]。

以纳米孔测序为代表的第三代测序(TGS)技术在准确率和应用广度上取得长足进步。齐碳科技发布的QPinnacle2高通量纳米孔测序仪,结合新一代O2生化体系,使国产纳米孔测序准确率(Q20)首次突破99%^[39]。其超长读长优势在HLA分型^[40]、复杂基因组区域组装等领域得到充分体现。此外,美国因美那(Illumina)正式推出面向NovaSeq X等平台的5-base Solution,可在一次测序中同时获取基因型与胞嘧啶甲基化状态,实现“原生多组学”分析^[41]。AI与测序技术的深度融合也日益显著,例如华大智造在测序仪中集成的Bamboo质控工具支持实时质量评估。

表3对基因测序平台进展进行了总结。

2.2 质谱分析系统:从科研利器到临床诊断核心

2025年,质谱分析系统的核心突破在于其应用场

景从科研实验室向临床检验中心的快速渗透,呈现出高性能化、专用化与自动化并行发展的特点。在性能上,赛默飞于2025年6月发布的Orbitrap Astral Zoom超高分辨质谱系统,采集速度提升到270 Hz(MS2扫描),新增Bent trap pre-accumulation预累积技术^[43]。布鲁克发布的timsOmni™质谱系统集成了timsTOF的速度与Omnitrap的新功能,实现功能性蛋白质测序及翻译后修饰的鉴定与定位^[44]。丹纳赫SCIEX的ZenoTOF 8600系统引入了ZT Scan DIA 2.0模式,实现了超高覆盖与定量一致性。

国产质谱仪方面也取得长足进步。华大吉比爱的GBI LINE-MS2600全自动质谱一体机荣获ANTOP“临床质谱自动化开拓奖”,用磁珠法重构了检验效率^[45]。沃特世(Waters)于2025年9月拓展中国的本土化产品矩阵,新增Xevo™ MRT和SELECT SERIES™ MRT高分辨质谱系统,其多反射飞行时间(multi-reflection time-of-flight,MR-TOF)技术在紧凑的仪器内实现了超过4 m的飞行路径,在100 Hz的扫描速率下分辨率可达100 000 FWHM^[46]。华仪宁创则推出了面向临床POCT场景的CANRE-120质谱仪,无需复杂前处理即可实现快速检测^[47]。在临床应用方面,质谱技术正成为疾病生物标志物发现和验证的强大工具,例如用于新生儿胆道闭锁的早期筛查^[48]和抗抑郁药的血药浓度监控^[49]。

表 4对质谱分析进展进行了总结。

3 分离纯化与过程分析技术:迈向自动化与智能化

2025年,分离纯化与样品前处理技术聚焦于解决分析流程中最耗时、最易引入误差的环节,其核心目标在于实现操作的自动化、高通量化、连续化。智能化与过程强化技术的普及正在颠覆传统的批处理

表3 基因测序平台进展
Table 3 Advances in gene sequencing platforms

发布日期	仪器 / 平台名称	开发机构	技术突破 / 核心特点	应用场景
2025-04	G-seq1M	今是科技	国产纳米孔测序仪,单芯片有效产出突破240 Gb	病毒快速检测、现场基因组分析
2025-09	DNBSEQ-T7+	华大智造	日交付能力超14 Tb,年WGS通量3.5万例,大规模队列研究、时空组学、多组学计划CoolMPS技术准确率Q40>90% ^[42]	
2025-09	QPinnacle2	齐碳科技	高通量纳米孔测序仪,结合O2生化体系使单次准确率(Q20)突破99% ^[39]	复杂基因组解析、全长转录本组装、微生物组研究
2025-10	5-base Solution	因美那(Illumina)	在一次测序中同时解析基因型与胞嘧啶甲基化状态,实现原生多组学分析 ^[41]	表观遗传学研究、肿瘤甲基化分析、发育生物学
2025-12	Saluseq Nimbo	赛陆医疗	NMPA三类证的小型快速测序仪,最快2.2 h完成测序 ^[38]	即时检测(POCT)、病原体检测、肿瘤伴随诊断

表 4 质谱分析系统进展

Table 4 Advances in mass spectrometry systems

发布日期	仪器 / 平台名称	开发机构	技术突破 / 核心特点	应用场景
2025-03	GBI LINE-MS2600	华大吉比爱	全自动质谱一体机,采用磁珠法前处理,重构临床检验效率 ^[45]	临床常规检测(激素、维生素、药物浓度)
2025-05	timsOmni™	布鲁克(Bruker)	集成捕集离子淌度(tims)与Omnitrap新功能,提升结构解析深度 ^[50]	4D蛋白质组学、糖组学、结构生物学
2025-06	Orbitrap Astral Zoom	赛默飞(Thermo Fisher)	超高分辨质谱,扫描速度提升35%,通量提高40%,专为深度蛋白质组学设计 ^[51]	蛋白质组学、代谢组学、生物标志物发现
2025-06	ZenoTOF 8600 (ZT Scan DIA 2.0)	丹纳赫(SCIEX)	引入ZT Scan DIA 2.0模式,实现超高覆盖与定量一致性,灵敏度提升10倍 ^[52]	蛋白质组学定量分析、生物制药质量控制
2025-10	Xevo™ CDMS 下一代电荷检测质谱(Charge Detection Mass Spectrometry, CDMS)平台	沃特世(Waters)	与液相色谱联用,对AAV等先进疗法产品进行单颗粒质量和装载率的精确表征 ^[53]	细胞与基因治疗质量控制
2025-12	Xevo™ MRT和SELECT SERIES™ MRT高分辨质谱系统	沃特世(Waters)	多反射飞行时间(MRT)技术,在紧凑仪器内实现超4 m飞行路径,达到ppb级质量精度 ^[46]	药物研发、食品安全、环境分析

生产模式,引领一场效率革命。

3.1 色谱与电泳技术:新材料与智能化的双轮驱动

色谱技术的核心性能取决于固定相。2025年,我国在新型手性固定相材料研发上取得突破,通过合成二维手性金属有机框架(two-dimensional metal-organic frameworks, 2D-MOFs)纳米片材料,制备出对位置异构体和外消旋化合物展现出优异分离能力的新型气相色谱固定相,柱效高达3 538 N/m^[54]。在仪器系统层面,智能化与自动化成为主流。例如,安捷伦科技推出的InfinityLab Pro iQ系列高性能液相色谱系统,引入了“智能维护”模块,能够实时监控色谱柱、密封圈等关键耗材的状态并预测其寿命^[55]。毛细管电泳(capillary electrophoresis, CE)技术凭借其高分离效率和低样品消耗,在分析单克隆抗体(monoclonal antibody, mAb)的电荷异构体、糖基化差异等方面发挥着不可替代的作用^[56]。

表 5对色谱与电泳进展进行了总结。

3.2 生物反应器与过程监测:迈向智能制造

2025年,生物反应器与过程监测仪器领域正经历一场以过程分析技术(process analytical technology,

PAT)为导向的“智能制造”革命。新型在线传感技术不断涌现,以实现对细胞培养过程关键质量属性(critical quality attributes, CQAs)的实时、无损监测。例如,在线拉曼光谱结合化学计量学模型可实时监测中国仓鼠卵巢细胞培养过程中的细胞密度、葡萄糖和乳酸浓度等多个指标^[58]。再生元制药公司将蛋白质A亲和色谱与电喷雾质谱直接联用,实现了对生物药中杂质的实时检测和定量^[59]。在硬件层面,国产化也取得关键突破,海尔生物成功研制我国首台十万转超速离心机,最大转速突破十万转临界值,为细胞治疗与疫苗研发提供关键支撑^[60](表6)。

4 系统架构的智能融合与应用拓展

2025年,生命科学仪器的创新已超越单一性能参数的优化,转向以智能化、模块化、集成化为特征的系统级重构。AI、微流控、合成生物学^[61]等新兴与交叉技术的深度融合,正在催生全新的研究范式和仪器形态。

4.1 细胞分析与操控:从高维分析到智能分选

流式细胞仪在2025年的创新聚焦于提升分析维

表 5 色谱与电泳仪进展

Table 5 Advances in chromatography and electrophoresis instruments

发布日期	仪器 / 平台名称	开发机构	技术突破 / 核心特点	应用场景
2025-05	InfinityLab Pro iQ 系列LC系统	安捷伦(Agilent)	集成“智能维护”模块,实时监控耗材状态并预测寿命,提升系统稳健性 ^[55]	生物制药、组学样本的高通量、自动化分析
2025-12	分段式温控液相色谱柱温箱	依利特	对色谱柱不同区域进行精确控温,解决复杂样品分离中单一温度无法满足需求的难题 ^[57]	复杂样品分离,提高分析准确性

表 6 生物反应器与过程监测仪器进展

Table 6 Advances in bioreactors and process monitoring instruments

发布日期	仪器 / 平台名称	开发机构	技术突破 / 核心特点	应用场景
2025-05	整合蛋白质A色谱与质谱分析的方法	再生元制药	将蛋白质A亲和色谱与电喷雾质谱直接联用,实现对生物药中杂质的实时检测和定量 ^[59]	生物药生产过程质量控制
2025-11	十万转超速离心机	海尔生物医疗	最大转速突破十万转临界值,在转速稳定性、数据加密与转子兼容性上达到国际先进水平 ^[60]	细胞治疗产品(如CAR-T)生产、疫苗研发、病毒与外泌体分离

度、增强分选效率与实现全流程自动化。全光谱流式细胞术(full spectrum flow cytometry)继续引领技术前沿。贝克曼库尔特推出的CytoFLEX mosaic模块化光谱流式平台支持88个检测通道^[62],而碧迪医疗(BD)的FACSDiscover™ A8则融合实时成像与光谱分析,可实现对超50种荧光试剂的多参数检测^[63]。赛默飞的Attune Xenith全光谱流式细胞分析仪凭借声波辅助流体聚焦技术,上样速度比其他光谱流式仪快5倍^[64]。在振动光谱领域,布鲁克推出VERTEX NEO Ultra真空傅里叶变换红外光谱仪(Fourier transform infrared spectrometer,FT-IR)^[65],通过采用全光路真空设计与低温检测技术,显著降低了水汽和二氧化碳等背景吸收噪声,通过与同厂的拉曼光谱和核磁共振系统联用,为药物靶点解析和配体结合机理研究提供更灵敏的无标记分析工具。国产方面,彩科生物发布的OMNIS ONE全光谱光导流式分选仪,创新集成了5激光79通道检测与单细胞光导分选,分选后细胞活率高达99%^[66]。赛拓生物发布的Aurora® Evo全谱流式细胞仪,引入了更高灵敏度的探测器和快速光谱解卷积算法^[67],提升了对稀有细胞亚群和细胞状态的辨识能力,还集成了自动化定标和补偿流程,并通过标准化的试剂与云端分析模板,降低多中心协同研究中的批间差异。武汉大学与华中科技大学联合开发的超高通量

成像流式细胞仪,实时通量突破每秒1 000 000个细胞,性能比现有技术提升2~3个数量级,并首次在百万通量下实现稀有细胞的精准识别^[68]。AI的赋能则催生了如“鬼细胞术(ghost cytometry)”等全新分类技术,该技术利用深度学习模型进行快速无标记分类,性能甚至超越传统流式细胞仪。

表 7对细胞分析与操控进展进行了总结。

4.2 集成化智能平台:从“无人实验室”到“AI科研智能体”

2025年,生命科学仪器领域最深刻的变革之一,是创新的重心从单个仪器的自动化,转向了由多种仪器模块通过软件和AI协同工作的系统级智能科研平台。赛多利斯(Sartorius)的Incucyte CX3活细胞成像平台不仅提升了单机性能,还通过与AI算法的整合,支持在培养箱条件下连续数日对数百个孔位的细胞过程进行自动采集与定量分析,形成系统级的动态表型分析^[71]。清华大学建立的iAutoEvoLab自动化蛋白质编程进化实验室集成了液体处理、基因编辑、表达纯化、活性筛选等多种仪器模块,在AI的统一调度下,能够连续25 d不间断运行,实现蛋白质从“近乎0活性”到“完全功能”的定向进化。在产业层面,晶泰科技、奔曜科技等企业推出的商业化解决方案,构建了从“目标设定—任务规划—自主执行—参数优化”的完整闭环^[72]。大型生物样本库和科研

表 7 细胞分析与操控仪器进展

Table 7 Advances in cell analysis and manipulation instruments

发布日期	仪器 / 平台名称	开发机构	技术突破 / 核心特点	应用场景
2025-06	以鬼细胞术(Ghost Cytometry™)为核心的VisionCyte™紧凑型无标记细胞分析平台和MorphoScan Cloud云分析平台	ThinkCyte公司、东京大学等	基于无标记成像和深度学习的细胞分类新技术,无需荧光标记即可实现高精度、高通量分类	无标记细胞筛选、智能化诊断、药物筛选
2025-03	CytoFLEX mosaic	贝克曼库尔特(Beckman Coulter)	模块化光谱流式平台,最高可提供88个检测通道 ^[62]	高维流式分析、多中心研究
2025-05	FACSDiscover™ A8	碧迪医疗(BD)	成像光谱流式分析仪,融合实时成像,实现细胞内分子定位的可视化 ^[69]	复杂免疫表型分析 ^[70] 、肿瘤微环境研究、细胞相互作用
2025-11	OMNIS ONE 全光谱光导流式分选仪	彩科生物	创新集成5激光79通道全光谱检测与单细胞光导分选,分选后细胞活率≥99% ^[66]	高维生物标志物发现、稀有细胞群体鉴定与分选

资助机构成为推动系统级创新的关键力量,如英国生物样本库(UK Biobank)启动的“多模态生物医学AI基础模型”项目,旨在将长期积累的数据资产转化为可复用的AI工具^[73, 74]。

表 8对集成化智能平台进展进行了总结。

5 结论与展望

本年度进展的核心特征体现为在“观测极限”“装备自主”“系统智能”与“应用泛化”四个维度实现协同突破并达成深度融合。这些突破并非孤立发生,而是共同指向一个更为宏大的目标:构建具备自主探索生命复杂性能力的下一代智能基础设施,进而重塑从基础研究到产业转化的全价值链。

展望未来,生命科学仪器的发展将沿着几条清晰且相互交织的主线,推动整个领域的范式革命与生态重构。首先是从自动化执行向自主化探索的“科研智能体”转变。当前的自动化平台(如清华大学的iAutoEvoLab)已彰显出多模块集成与流程连贯的优势。未来的发展方向是将大型语言模型(large language model, LLM)与领域专业模型深度融合,赋予系统高阶认知与决策能力。仪器将不再仅仅是执行预设协议的“执行者”,而是演变为能够理解科学问题、自主设计实验方案、实时分析数据并动态优化路径的“探索伙伴”。英国生物样本库启动的“多模态生物医学AI基础模型”项目,正为此奠定数据与算法基础。未来的智能体将能够调用从纳米孔测序到冷冻电镜的多模态数据,进行假设生成与跨尺度验证,实现真正意义上的“人工智能驱动的发现”。

其次是在感知能力上,构建多模态与跨尺度的原位集成测量系统。对生命系统的全面理解,需要整合从原子排列到细胞行为、从静态结构到动态过

程的多尺度信息。2025年,4D-STEM对材料物理场的纳米级绘图、SRS显微镜对代谢流的无损追踪以及成像流式细胞仪对单细胞功能的实时分析,均已展现出单模态的深度突破。下一阶段的挑战与机遇在于实现硬件融合:开发集成了如冷冻电镜(高分辨结构)与高速荧光显微(动态过程)的原位关联成像系统,记录生命分子的“结构—功能”动态过程;或构建质谱成像与空间转录组学联用的平台,在组织原位同时获取代谢物与基因表达的时空图谱。这种跨尺度、多参数的集成感知,将是揭示复杂生理病理机制的关键所在。

再次是在应用场景的重构上,从中心化实验室向分布式、场景化的精准感知网络转变。技术的高性能化与微型化正促使应用场景发生根本性转变。基于稀土上转换探针的超高灵敏度单分子检测、掌上型固态纳米孔分析仪以及获NMPA批准的小型快速测序仪Saluseq Nimbo,共同描绘出未来诊断与监测的蓝图:一个由分布式、智能化节点构成的精准感知网络。这不仅意味着“床旁检测”(POCT),更意味着“场景化”——在ICU实时监测脓毒症指标、在田间检测作物病原、在生物反应器旁在线监控产物滴度与杂质。仪器将深度融入具体场景,形成“端—边—云”协同的实时决策支持系统,彻底变革医疗、农业和工业生物技术的运营模式。

在生物制造的核心引擎方面,生命科学仪器正实现从“感知—控制”到“预测—优化”的闭环。面向生物制造(如细胞治疗、抗体生产)的仪器系统,其目标是从PAT迈向基于模型的实时优化控制。2025年,在线拉曼光谱对细胞培养参数的监测、Protein A色谱与质谱的联用对杂质的实时定量以及CDMS对病毒载体颗粒的精确表征,已经构建起强大的“感

表 8 集成化智能平台进展

Table 8 Progress of integrated intelligent platform

发布日期	仪器 / 平台名称	开发机构	技术突破 / 核心特点	应用场景
2025-07	ImageXpress HCS.ai 系统	Molecular Devices	集成大视野光学模组、自动化板式处理与云端AI分析平台形成全流程解决方案 ^[75]	类器官、3D细胞模型的大规模时间序列成像与定量分析
2025-07	多模态生物医学AI基础模型	UK Biobank	利用50万参与者的基因组、影像、临床数据,训练可泛化的健康风险预测模型 ^[73]	公共卫生、疾病风险预测、精准医疗
2025-11	iAutoEvoLab 工业自动化蛋白质编程进化实验室	清华大学、镁伽科技、智源深渊	集成多仪器模块,在AI调度下连续25 d不间断运行,实现蛋白质定向进化 ^[76]	蛋白质工程、酶的定向进化
2025-12	Organoid COMMONS 联盟	Pluristyx	集合多家药企和器械公司,旨在制定人源类器官在药物发现与毒理学评估中的标准体系	加速非动物试验模型在全球监管框架中的采纳

知”层面。未来的突破在于深度融合过程模型与人工智能,建立可预测细胞代谢、蛋白质折叠与产物质量的数字孪生模型,并据此实时调整生物反应器的环境参数与灌流策略,实现产品CQAs的闭环控制与生产效能的最大化,即迈向“自适应最优生产”。

最后,从整机集成向核心部件与创新底座的自主化发展,是未来的重要路径。国产化进程在2025年已步入“深水区”,其标志是从整机替代(如图腾冷冻电镜、DNBSEQ-T7+测序仪)向核心部件自主(如“白云”直接电子探测器、国产悬空纳米孔膜芯片、十万转超速离心机转子)的深入推进。未来的竞争将进一步向原始创新与标准定义层面前移。这涵盖新型探针化学(如CoolMPS)、颠覆性测序原理(如蛋白质纳米孔测序)以及原创性仪器架构的提出。核心部件、关键软件算法与数据模型的自主可控,已成为国家在生命科学前沿领域维持独立性与竞争力的战略根基。全球仪器产业格局将从供应链的安全竞争,升级为创新链主导权的争夺。

2025年生命科学仪器的创新浪潮,实际上是为了一场更为深刻的科学革命搭建基础设施。其通过将观测尺度拓展至生命的本质动态,把分析过程交由自主智能体实施,并将尖端能力应用于每一个需求场景,正系统性地破除认知障碍、效率瓶颈与应用壁垒。这预示着一个由紧密耦合的“智能仪器—数字孪生—科学发现”闭环驱动的新范式即将来临。

参考文献

- [1] 白春礼. AI赋能高端科学仪器推动智能科研跃迁发展. 世界科技研究与发展, 2025, 47: 745–50.
Bai CL. AI empowering high-end scientific instruments and driving the leaping transition of AI4S. World Sci Tech R&D, 2025, 47: 745–50.
- [2] 梁玲玲, 孙立桐, 武思宏, 等. 基于专利分析的科学仪器产业发展研究. 分析仪器, 2023, 54: 61–7.
Liang LL, Sun LT, Wu SH, et al. Research on the development of scientific instrument industry based on patent analysis. Anal Instrum, 2023, 54: 61–7.
- [3] 徐振国, 赫运涛, 靳凤民, 等. 促进国产科研仪器发展的相关举措及实践. 实验技术与管理, 2025, 42: 1–7.
Xu ZG, Hao YT, Jin FM, et al. Promoting the development of domestic scientific research instruments: Key initiatives and practices. Exp Technol Manage, 2025, 42: 1–7.
- [4] 江源, 袁银池, 李虹, 等. 计算生物学前沿进展及其应
- 用态势分析. 生命科学, 2025, 37: 26–36.
- [5] Jiang Y, Yuan YC, Li H, et al. Analysis of frontier progress and application trends in computational biology. Chin Bull Life Sci, 2025, 37: 26–36.
- [6] Khan SU, Møller VK, Frandsen RJN, et al. Real-time AI-driven quality control for laboratory automation: a novel computer vision solution for the opentrons OT-2 liquid handling robot. Appl Intell, 2025, 55: 524.
- [7] Liu J, Dong X, Lu H, et al. Bio-friendly and high-precision super-resolution imaging through self-supervised reconstruction structured illumination microscopy. Nat Methods, 2025, doi: 10.1038/s41592-025-02966-y.
- [8] Vařinka D, Jurán F, Běhal J, et al. From stars to molecules: AI guided device-agnostic super-resolution imaging. arXiv, 2025, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.18637>.
- [9] Ward EN, Scheeder A, Barysevich M, et al. Self-driving microscopes: AI meets super-resolution microscopy. Small Methods, 2026, 10: e2401757.
- [10] 微仪光电(天津)有限公司. 2025年超分辨显微镜的应用前景[EB/OL]. (2025-07-08)[2025-12-21]. https://m.antpedia.com/news/dist_article/618967.html.
- [11] 光明日报. 新型三角结构光照明显微镜问世 引领活细胞超分辨研究迈入新阶段[EB/OL]. (2025-08-19)[2025-12-10]. https://news.gmw.cn/2025-08/19/content_38226512.htm.
- [12] Ma YF, Fei P. Artificial Intelligence-driven light-sheet fluorescence microscopy (Invited). Chin J Lasers, 2025, 52: 0907101.
- [13] Mathur S, van der Vleuten N, Yager K, et al. VISION: A modular AI assistant for natural human–instrument interaction at scientific user facilities. J Instrum, 2024, 12: e12345.
- [14] 科技日报. 新型显微技术突破快速3D成像极限[EB/OL]. (2025-08-18)[2025-12-21]. https://www.cas.cn/kj/202508/t20250818_5079746.shtml.
- [15] Zhang M, Li R, Fu S, et al. Deep learning enhanced light sheet fluorescence microscopy for *in vivo* 4D imaging of zebrafish heart beating. Light Sci Appl, 2025, 14: 92.
- [16] 松江区人民政府. 获批上海市二〇二五年度关键技术研发计划“科学仪器”立项松江科学仪器企业迈出重要一步[EB/OL]. (2025-11-06)[2025-12-21]. <https://www.shanghai.gov.cn/nw15343/20251110/ba9933d0c-d784168a709a923f8b3553d.html>.
- [17] Min W, Cheng J X, Ozeki Y. Theory, innovations and applications of stimulated Raman scattering microscopy. Nat Photonics, 2025, 19: 803–16.
- [18] Kondepudi A, Pekmezci M, Hou X, et al. Foundation models for fast, label-free detection of glioma infiltration.

- Nature, 2025, 637: 439–45.
- [18] Mandal I, Soni J, Zaki M, et al. Autonomous microscopy experiments through large language model agents. arXiv, 2025, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2501.10385>.
- [19] Feng Q, Zhu C, Sheng G, et al. Four-dimensional scanning transmission electron microscopy: from material microstructures to physicochemical properties. Acta Phys Chim Sin, 2022, 39: 2210017.
- [20] 宋芸, 左沁宇, 蒙学明, 等. 冷冻电镜前沿技术与应用. 生命科学, 2025, 37: 854–67.
Song Y, Zuo QY, Meng XM, et al. Cryo-electron microscopy: frontiers, advances and applications. Chin Bull Life Sci, 2025, 37: 854–67.
- [21] Antpedia. 水木未来图腾(TOTEM)300系列300kV冷冻透射电镜[EB/OL]. (2025-06-29)[2025-12-10]. <https://www.antpedia.com/instrument/109659/>.
- [22] Robertson MJ, Meyerowitz JG, Skiniotis G. Drug discovery in the era of cryo-electron microscopy. Trends Biochem Sci, 2022, 47: 124–35.
- [23] BRUKER. Bruker Launches Infrared Imaging Microscope for Pharma and Life Science Research[EB/OL]. (2025-01-08)[2025-12-15]. <https://ir.bruker.com/press-releases/press-release-details/2025/Bruker-Launches-Infrared-Imaging-Microscope-for-Pharma-and-Life-Science-Research/default.aspx>.
- [24] Qiao C, Li Z, Wang Z, et al. Fast-adaptive super-resolution lattice light-sheet microscopy for rapid, long-term, near-isotropic subcellular imaging. Nat Methods, 2025, 22: 1059–69.
- [25] Luo SH, Zhao XA, Li YY, et al. Molecular-scale isotropic 3D super-resolution microscopy via interference localization. Nat Methods, 2026, 23: 183–92.
- [26] 塞莫费雪科学(不来梅)有限公司. 质谱仪中的双离子存储系统: 美国, 19/292307 [P]. 2025-11-27.
- [27] 光与生物. DFZ-1000 全自动单分子荧光免疫分析仪[EB/OL]. (2025-03-24)[2025-12-05]. <https://www.vbdata.cn/1519013961>.
- [28] Zhao X, Zhang Y, Qing G. Nanopore toward genuine single-molecule sensing: molecular ping-pong technology. Nano Lett, 2025, 25: 3692–706.
- [29] He S, Li Y, Fang S, et al. Solid-state nanopore single-molecule capture: advances and challenges. Small, 2025, 21: e07736.
- [30] 杭州市科学技术局. 速览! 杭州华大2025年度重大进展[EB/OL]. (2026-01-28)[2026-01-29]. https://kj.hangzhou.gov.cn/col/col11228922127/art/2026/art_29230119b9df4ad0bb355e079d7b2955.html
- [31] Loretan M, Barella M, Fuchs N, et al. Direct single-molecule detection and super-resolution imaging with a low-cost portable smartphone-based microscope. Nat Commun, 2025, 16: 8937.
- [32] 格里菲克生物技术公司. 通过纳米孔进行蛋白质测序的方法: 美国, 2025/013852 [P]. 2025-08-07.
- [33] Bruker. Bruker to Launch Beacon Discovery™ at AACR 2025, Expanding Access to Live Single-Cell Functional Analysis[EB/OL]. (2025-04-24)[2025-12-15]. <https://ir.bruker.com/press-releases/press-release-details/2025/Bruker-to-Launch-Beacon-Discovery-at-AACR-2025-Expanding-Access-to-Live-Single-Cell-Functional-Analysis/default.aspx>.
- [34] 贝克曼考尔特公司. 自动化数据交换和质量控制的集成流式细胞术系统: 美国, 2025/024050 [P]. 2025-10-16.
- [35] Shugaeva T, Howard RJ, Haloi N, et al. Modeling cryo-EM structures in alternative states with generative AI and density-guided simulations. bioRxiv, 2025, <https://doi.org/10.1101/2025.02.06.636862>.
- [36] 动脉网. 全球测序仪竞速, 华大智造再度领跑! [EB/OL]. (2025-09-15)[2025-12-21]. <https://www.ivd.wang/article-2467-1.html>.
- [37] 华大智造. CoolMPS测序技术授权许可[EB/OL]. (2025-10-28)[2025-12-10]. <https://mp.weixin.qq.com/s/aNad5KW-DTpUNwdZt6tirw>.
- [38] 深圳赛陆医疗科技有限公司. 国产测序仪再破局! 赛陆Saluseq Nimbo获批NMPA三类证, 引领小型测序临床规范化应用[EB/OL]. (2025-12-15)[2025-12-21]. <https://www.salus-bio.com/MediaCenter/info.aspx?itemid=1475>.
- [39] 中国仪器仪表学会分析仪器分会. 齐碳科技在京发布高通量纳米孔基因测序仪QPinnacle2[EB/OL]. (2025-09-25)[2025-12-21]. <https://fxhx.cis.org.cn/news/6362.html>.
- [40] 陈男英, 章伟, 董丽娜, 等. 纳米孔测序技术区分HLA基因分型模棱两可组合结果的探索. 中国输血杂志, 2025, 38: 309–15.
Chen NY, Zhang W, Dong LN, et al. Explore of nanopore sequencing technology in ambiguities of HLA genotyping. Chin J Blood Transfus, 2025, 38: 309–15.
- [41] Illumina. Illumina fuels multiomic discovery with launch of 5-base solution, unlocking simultaneous genomic and epigenomic insights[EB/OL]. (2025-10-15)[2025-12-15]. <https://investor.illumina.com/news/press-release-details/2025/Illumina-fuels-multiomic-discovery-with-launch-of-5-base-solution-unlocking-simultaneous-genomic-and-epigenomic-insights/default.aspx>.
- [42] 观察者网. 国产超高通量基因测序仪问世, 日交付能力成全球王者[EB/OL]. (2025-09-10)[2025-12-10]. <https://www.guancha.cn/industry-science/>

- 2025_09_10_789620.shtml.
- [43] Antpedia. 2024-2025年液质联用新品多级串联多种碎裂操控离子随心所欲(上篇)[EB/OL]. (2025-08-19)[2025-12-21]. https://www.antpedia.com/antad/ad_redict.php?id=4260.
- [44] Bruker. Bruker Launches Revolutionary timsOmni™ Mass Spectrometer[EB/OL]. (2025-05-30)[2025-12-10]. <https://ir.bruker.com/press-releases/press-release-details/2025/Bruker-Launches-Revolutionary-timsOmniTM-Mass-Spectrometer/default.aspx>.
- [45] 北京华大吉比爱生物技术有限公司. GBI LINE-MS2600荣获ANTOP“临床质谱自动化开拓奖”[EB/OL]. (2025-09-15)[2025-12-12]. https://www.gbi.com.cn/szlld_849.html.
- [46] Waters. Waters Expands Local Product Portfolio with Two New High-Resolution Mass Spectrometry Systems[EB/OL]. (2025-09-11)[2025-12-12]. <https://ir.waters.com/News-Events/China-Newsroom/China-Press-Release-Details/2025/Waters-Expands-Local-Product-Portfolio-with-Two-New-High-Resolution-Mass-Spectrometry-Systems-to-Empower-Diverse-Scientific-Research-Applications/default.aspx>.
- [47] 仪器信息网. 华仪宁创推出两款创新质谱新品[EB/OL]. (2025-09-10)[2025-12-12]. <https://m.instrument.com.cn/news/d-836870.html>.
- [48] 深圳市绘云生物科技有限公司. 用于新生儿胆道闭锁筛查的代谢物组合物及其检测方法: 美国, 2025/096461 [P]. 2025-11-27.
- [49] 奎斯特诊断投资公司. 检测抗抑郁药及其代谢物的质谱方法: 日本, 2025124777 [P]. 2025-11-18.
- [50] Bruker. Bruker Launches Novel timsMetabo™ Mass Spectrometer for Breakthrough 4D-Metabolomics and 4D-Lipidomics Sensitivity, Specificity and Annotation Confidence - at Speed, Depth, and Scale[EB/OL]. (2025-05-30)[2025-12-15]. <https://www.bruker.com/zh/news-and-events/news/2025/bruker-launches-novel-timsmetabo-mass-spectrometer.html>.
- [51] Thermo Fisher Scientific. 赛默飞重磅发布多款创新产品, 全面助力生命科学研究、生物医药开发可持续发展[EB/OL]. (2025-06-12)[2025-12-15]. <https://www.thermofisher.cn/cn/zh/home/about-us/news-gallery/press-release-china/2025-06-12.html>.
- [52] SCIEX中国. SCIEX发布ZenoTOF 8600旗舰新品: 极速超敏多重碎裂高分辨质谱系统[EB/OL]. (2025-06-04)[2025-12-15]. <https://www.prnasia.com/story/491612-1.shtml>.
- [53] Waters. 沃特世重磅推出全新电荷检测质谱技术, 加速新一代生物治疗药物研发进程[EB/OL]. (2025-10-14)[2025-12-15]. <https://ir.waters.com/News-Events/China-Newsroom/China-Press-Release-Details/2025/Waters-Launches-New-Charge-Detection-Mass-Spectrometry-Technology-to-Accelerate-the-Development-of-Next-Generation-Biotherapeutics/default.aspx>.
- [54] 化工仪器网. 2025年手性气相色谱柱固定相创新与国产化技术突破[EB/OL]. (2025-11-13)[2025-12-21]. https://www.chem17.com/tech_news/detail/4214473.html.
- [55] Agilent Technologies. 安捷伦推出新一代液质检测系统InfinityLab Pro iQ系列[EB/OL]. (2025-05-28)[2025-12-15]. <https://www.agilent.com.cn/cn/about/newsroom/presrel/2025/0528-1.html>.
- [56] Schairer J, Höchsmann A, Bauer B, et al. Ion-exchange chromatography, capillary isoelectric focusing, and capillary zone electrophoresis coupled to mass spectrometry for charge variant analysis of monoclonal antibodies. *MAbs*, 2025, 17: 2537116.
- [57] 苏州依利特科技有限公司. 液相色谱用分段式温控柱温箱: 中国, 202511306930.4 [P]. 2025-12-12.
- [58] Wu T, Liang L, Zhang R, et al. Real-time monitoring of multiple properties in cell culture processes using processing analysis technology. *J Chem Eng Chinese Univ*, 2023, 37: 441-48.
- [59] 再生元制药公司. 整合蛋白质A色谱与质谱分析的方法: 美国, 19/029550 [P]. 2025-05-22.
- [60] 上海证券报. 海尔生物发布首台国产十万转超速离心机[EB/OL]. (2025-11-08)[2025-12-21]. <https://www.cnstock.com/commonDetail/584724>.
- [61] 上海市科学技术委员会. 上海市科学技术委员会关于发布2025年度关键技术研发计划“合成生物学”项目申报指南的通知[EB/OL]. (2025-03-25)[2025-12-21]. <https://stcsm.sh.gov.cn/zwgk/kyjhxm/xmsb/20250325/8cd5aa89d54141a28e1c4426a691e97e.html>.
- [62] 贝克曼考尔特公司. 自动样品制备仪器: 美国, 19/212228 [P]. 2025-09-11.
- [63] 碧迪医疗器械(上海)有限公司(BD中国). 碧迪医疗闪耀CYTO 2025, 引领流式细胞分析新纪元[EB/OL]. (2025-05-20)[2025-12-21]. <https://m.antpedia.com/ibook/x/1000102.html>.
- [64] 赛默飞. Attune Xenith全光谱流式细胞分析仪[EB/OL]. (2025-09-28)[2025-12-12]. https://www.instrument.com.cn/netshow/SH100650/news_840957.htm.
- [65] Bruker. 新品发布! VERTEX NEO Ultra(台式傅立叶变换红外光谱仪)[EB/OL]. (2025-11-25)[2025-12-15]. https://www.instrument.com.cn/netshow/SH100194/news_855798.htm.
- [66] 彩科生物. OMNIS Spectra, FLAME, OMNIS ONE产品发布[EB/OL]. (2025-11-15)[2025-12-12]. <https://mp.weixin.qq.com/s/RzczIcWRbXUVoKWQD2OQw>.
- [67] Cyttek Biosciences. Cyttek® Biosciences Is Setting the

- New Standard for Full Spectrum Flow Cytometry with the New Cytex Aurora™ Evo Flow Cytometer[EB/OL]. (2025-05-29)[2025-12-15]. <https://cytekbio.com/blogs/news/cytek-biosciences-is-setting-the-new-standard-for-full-spectrum-flow-cytometry-with-the-new-cytek-aurora-evo-flow-cytometer>.
- [68] Zhou J, Mei L, Yu M, et al. Imaging flow cytometry with a real-time throughput beyond 1,000,000 events per second. *Light Sci Appl*, 2025, 14: 76.
- [69] 贝克顿迪金森公司. 高速细胞分选仪的优化液滴偏转器: 中国, 202510776372.1 [P]. 2025-12-12.
- [70] Li B, Zhang B, Zhang C, et al. PhenoProfiler: advancing phenotypic learning for image-based drug discovery. *Nat Commun*, 2026, 17: 793.
- [71] Sartorius. Incucyte® CX3 System transforms continuous analysis of 3D cell models with confocal imaging and unmatched throughput[EB/OL]. (2025-07-31)[2025-12-20]. <https://www.sartorius.com/en/company/newsroom/product-news/incucyte-cx3-system-transforms-continuous-analysis-of-3d-cell-models-with-confocal-imaging-and-unmatched-throughput-1737280>.
- [72] Thermo Fisher Scientific. Thermo Fisher Scientific Deepens Investment in Asia's Biopharma Ecosystem with Expansion of Bioprocess Design Centers[EB/OL]. (2025-12-02)[2025-12-20]. <https://ir.thermofisher.com/investors/news-events/news/news-details/2025/Thermo-Fisher-Scientific-Deepens-Investment-in-Asias-Biopharma-Ecosystem-with-Expansion-of-Bioprocess-Design-Centers/default.aspx>.
- [73] UK Biobank. A multi-modal AI foundation model to advance precision medicine[EB/OL]. (2025-07-29)[2025-12-23]. <https://www.ukbiobank.ac.uk/projects/a-multi-modal-ai-foundation-model-to-advance-precision-medicine/>.
- [74] UK Biobank. Multimodal foundation AI model for understanding the human body[EB/OL]. (2025-12-18)[2025-12-23]. <https://www.ukbiobank.ac.uk/projects/multimodal-foundation-ai-model-for-understanding-the-human-body/>.
- [75] Molecular Devices, LLC. Molecular Devices Fast-Tracks High-Quality Imaging and Analysis with New ImageXpress HCS.ai High-Content Screening System [EB/OL]. (2025-01-16)[2025-12-28]. <https://www.moleculardevices.com/newsroom/news/high-quality-imaging-and-analysis-with-imagexpress-hcs-ai-system>.
- [76] Shen D, Wang X, Gao Y, et al. An industrial automated laboratory for programmable protein evolution. *Nat Chem Eng*, 2025, 2: 685–98.