

文章编号 1004-924X(2026)09-1347-20

中国仪器企业如何突破规模瓶颈

崔远驰^{1,2}, 张嵩², 姚金玖², 李勇², 刘新宇², 张德², 雷露²,
郑洋洋², 赵圣杰², 陈付波², 张书赫¹, 曹良才¹

(1. 清华大学精密仪器系, 北京 100084;

2. 南京木木西里科技有限公司, 江苏 南京 211100)

摘要: 分析了国内外仪器产业现状, 论述了仪器产业对于科技发展与经济发展的重要性。从国外知名仪器企业的发展历史和路径方面, 归纳了国外企业实现突破规模瓶颈的方法。通过阐述中国仪器企业面临的实际发展困境, 给出了关于中国仪器企业实现规模化发展的方法、思考与建议, 并对中国仪器企业的发展进行了展望。

关键词: 仪器产业; 规模瓶颈; 国际对比; 发展策略; 产业政策

中图分类号: TH70 **文献标识码:** A

doi: 10.37188/OPE.20263409.1347

CSTR: 32169.14.OPE.20263409.1347

Strategies to overcome scale constraints for Chinese instrumentation companies

CUI Yuanchi^{1,2}, ZHANG Song², YAO Jinjiu², LI Yong², LIU Xinyu², ZHANG De², LEI Lu²,
ZHENG Yangyang², ZHAO Shengjie², CHEN Fubo², ZHANG Shuhe¹, CAO Liangcai¹

(1. Department of Precision Instruments, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. Nanjing Mumuxili Technology Co., Ltd., Nanjing 211100, China)

* Corresponding author, E-mail: cuiyc22@mails.tsinghua.edu.cn

Abstract: The global landscape of the instrument industry and its critical role in scientific and economic development are analyzed. By examining the development trajectories of leading international instrument enterprises, key strategies for overcoming scale-related bottlenecks are identified. The challenges faced by Chinese instrument companies are further discussed, and practical pathways for scalable growth are proposed. Future development prospects are also outlined.

Key words: instrument industry; scale bottleneck; international comparison; development strategy; industrial policy

1 引言

在《中共中央关于制定国民经济和社会发展

第十五个五年规划的建议》中, 明确提出“完善新型举国体制, 采取超常规措施, 全链条推动集成电路、工业母机、高端仪器、基础软件、先进材料、

收稿日期: 2026-03-18; 修订日期: 2026-04-03.

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(No. 2022YFF070500)

生物制造等重点领域关键核心技术攻关取得决定性突破”^[1]。其中,高端仪器及其关键零部件的研发被置于突出位置,明确将其作为支撑现代产业体系攻坚、维护产业链供应链韧性与安全的核心领域之一。这一战略导向深刻揭示了高端仪器产业的基础性、先导性地位。建设“科技强国”“质量强国”“国防强国”“科教强国”“创新强国”的战略目标,在一定程度上都需要依赖于高精度、高可靠性的高端仪器装备^[2]。因此,突破高端仪器的研发与产业化瓶颈,不仅是抢占科技竞争制高点的必然要求,更是对推动我国各项战略的高质量发展具有决定性意义^[3]。

仪器产业作为国民经济和科技发展的基础性、保障性、战略性产业,被誉为“工业生产的倍增器”和“科学研究先行官”。然而,与消费电子、汽车等规模化生产的行业不同,仪器行业在本质上呈现出小众和分散的特点。其小众体现在单一细分市场的客户群体相对有限,需求专业,并且部分需求需要高度定制化,难以形成大规模标准化生产;其分散则表现为应用领域极度广泛,从科学研究到工业制造,从环境监测到生物医药,每个领域都需要专门的仪器设备,导致市场被分割成大量碎片化的利基市场^[4]。这种特性决定了仪器企业若固守单一产品线,其营收天花板将非常明显,想将企业规模做大难度极大^[5]。特别是在高端仪器领域,技术壁垒高、研发周期长、投入成本大,进一步加剧了规模扩张的难度。中国仪器产业经过数十年发展,特别是在“十三五”和“十四五”期间的政策驱动下,取得了长足进步。根据中国仪器仪表行业协会发布的《2024年仪器仪表产业经济运行情况概述》,参考2024年前第三季度的数据,2024年全国规模以上仪器仪表制造业预计实现营收10 800亿元左右,同比增长6%~7%。但一个不容回避的现实是,与国际巨头相比,中国仪器企业整体仍处于“小而散”的状态,普遍面临严峻的规模瓶颈挑战^[6]。根据仪器信息网数据,在2022年、2023年及2024年全球仪器企业营收TOP20榜单中,无一家中国企业入围,这一事实凸显了我国仪器产业大而不强的现状。如何突破营收增长的困境,从一家专精特新中小企业成长为具有国际竞争力的龙头企业,不仅关乎企业自身的生存发展,更关系到国家产业链自主可控的战略安全^[7]。在

此背景下,系统性地分析规模瓶颈的成因,并借鉴国内外成功经验探索破局之路,具有极其重要的现实意义^[8]。本文旨在剖析全球及中国仪器产业格局,总结国外巨头的成长路径,最终为中国仪器企业如何突破规模瓶颈提供一种战略性的发展建议。通过研究,期望能够为行业政策制定提供初步参考,为企业发展制定战略,提供新思路,共同推动中国仪器产业实现由大到强的历史性跨越^[5,9-10]。

2 全球仪器产业营收格局

全球仪器产业经过数十年乃至上百年的发展演进,已经形成了相对稳定且高度集中的市场格局,总体呈现出显著的金字塔式竞争态势,可概括为“一超多强、梯队分明”的特征。这种格局的形成既与行业发展历史脉络密切相关,也深刻反映了仪器产业高技术壁垒、高研发投入、长回报周期的行业特性,同时也体现了发达国家在高端制造业领域的传统优势和历史积淀。

2.1 “一超多强”格局深度解析

全球仪器行业的“一超”一般指美国的代表性企业赛默飞世尔科技(Thermo Fisher Scientific)^[6],这家起源于1902年的行业巨擘通过持续的并购整合和技术创新,已经发展成为行业内的绝对领导者。根据2024年最新财报数据显示,赛默飞世尔2024年全年营收达到428.8亿美元,稳居全球第一^[11]。其业务范围涵盖分析仪器、实验室设备、生命科学与临床诊断等全方位领域,产品线之完整、技术实力之雄厚,使其成为行业内的“全能型选手”。“多强”阵营则包括丹纳赫(Danaher)、安捷伦(Agilent)、赛多利斯(Sartorius)、沃特世(Waters)、岛津(Shimadzu)等企业,这些公司在特定领域建立了强大的竞争优势^[12]。其中,丹纳赫凭借其独特的“丹纳赫商业系统”(DBS)和精准的并购策略,2024年营收达到238.8亿美元^[13],丹纳赫在自己的发展历程中,发生过400多次收并购动作,被成为“并购之王”^[14]。该企业在生命科学、诊断、环境与应用等领域的布局日益完善,持续巩固着行业第二的地位。

2.2 区域分布与产业集群特征

科技仪器产业呈现出明显的集群化特征和发展不平衡性。北美市场以美国为代表,拥有最完

整的仪器产业生态和创新体系,聚集了全球最多的顶尖仪器企业。根据仪器信息网统计数据,近年来美国仪器企业在全世界TOP20榜单中占比近一半,营收合计占比超过60%,显示出其在该领域的绝对统治力。欧洲市场以德国、瑞士、英国、捷克为代表,在高端精密仪器领域具有传统优势。德国凭借其深厚的制造业基础,在分析仪器、工业检测仪器等领域实力突出,德国的耶拿市被誉为世界的“光学工业的摇篮”,建有自己的光学博物馆、镜片博物馆等,具有鲜明的产业特色,也代表着这座城市深厚的光学产业属性,耶拿市孕育了以卡尔蔡司和肖特集团为代表的数十家具有国际影响力的仪器企业。瑞士则在生命科学仪器和高端精密仪器方面具有独特优势,除了大家熟知的精密钟表产业,瑞士将精密制造的技术也应用于精密仪器的生产与制造产业中,培育出光学行业的领导者奇石乐公司、材料物性检测企业博勒等知名企业。这个人口不足900万的国家,却把自己打造成了“精密、可靠、高端”的代名词,在此基

础上德国制造业又开始进行了数字化升级,为产业的持续发展注入新的发展活力^[15]。英国凭借牛津、剑桥等世界一流高校的科研优势,在科研仪器领域保持着较强竞争力,带有鲜明地域标志的牛津仪器成为了材料科学与半导体产业不可或缺的重要工具,马尔文则把粒度测量的标准带到了全世界,雷尼绍、泰勒霍普森则稳坐三坐标精密测量仪器设备的头把座椅,在诸多领域甚至以垄断的地位而存在。亚洲市场以日本为代表,在分析仪器和电子测量仪器领域实力突出。日本仪器企业在产品质量、精细化程度和可靠性方面享有盛誉,岛津、日立高新、日本电子等企业在全球市场占据重要地位^[16]。近年来,中国、韩国等亚洲国家的仪器产业也呈现出快速发展的态势,但在高端领域仍与发达国家存在较大差距^[17]。

2.3 2024年全球仪器企业竞争格局最新数据

根据仪器信息网最新发布的2024年全球科学仪器企业营收排行榜(基于2024财年数据,见表1),全球TOP20企业的营收变化反映出头部

表1 2024年全球科学仪器企业营收TOP20排行榜(数据来源:仪器信息网)

Tab. 1 2024 global top 20 scientific instrument companies by revenue(Data resource: <https://www.instrument.com.cn/news/20250403/775699.shtml>)

排名	公司名称	2024财年营收/亿美元	同比增长/%	备注与亮点
1	赛默飞世尔科技	428.8	+0.05	重回增长轨道,中国市场显现积极信号
2	丹纳赫	238.8	-0.06	诊断业务受呼吸道检测量下降影响
3	默克	229.0	+0.78	生命科学业务反弹,进行多项战略收购
4	蔡司集团	约117.7	+7.70	半导体制造技术业务增长强劲,达历史新高
5	赛莱默	85.6	+16.27	增速最高,营收、利润均创纪录
6	阿美特克	69.4	+5.22	关键财务指标创年度记录
7	安捷伦	65.1	-4.70	组织结构调整,看好中国市场复苏
8	特利丹	56.7	+0.61	各业务部门均实现增长
9	Veralto	51.9	+3.43	水质和品质控业务需求增强
10	Illumina	43.7	-2.89	在中国收入持续下降
11	梅特勒-托利多	38.7	+2.22	净利润实现高个位数增长
12	赛多利斯	36.5	-0.44	生物工艺解决方案表现强劲
13	布鲁克	33.7	+13.56	收入创新高,增长主要由战略收购驱动
14	沃特世	29.6	+0.07	经常性收入表现良好
15	Revvity	27.6	+0.36	诊断业务增长,但降低对2025年的预期
16	伯乐	25.7	-3.90	生命科学部门需求疲软导致收入下降
17	HORIBA	21.2	+9.20	五大业务板块全线增长
18	凯杰	19.8	+0.66	QIAstat-Dx等多项产品表现超预期
19	思百吉	16.4	-10.4	反映多个终端市场需求疲软
20	帝肯	10.3	-12.85	受目标市场支出减少影响显著

企业规模持续扩张的态势和结构性调整趋势,同时也意味着后来者面临的竞争壁垒进一步提高。

2.4 头部企业成功要素

国际巨头普遍具有以下成功要素:首先是持续的高研发投入,头部企业研发投入占营收比例普遍维持较高水平,为其技术创新提供了强劲动力;其次是完善的产品矩阵,通过自主开发和并购整合相结合的方式,构建了覆盖多个应用领域的产品生态系统;第三是全球化的市场布局,在主要国家和地区建立了完善的销售和服务网络,能够快速响应客户需求;第四是强大的品牌影响力,经过数十年的积累,在专业用户群体中建立了深厚的品牌认知和信任;最后是成熟的人才培养体系,能够持续吸引和培养行业顶尖人才,为企业发展提供源源不断的人力资源支持。

2.5 产业发展新趋势与新动向

2023年以来,全球科学仪器产业呈现出一些新的发展态势。一方面,在人工智能、大数据、云计算等新技术的推动下,仪器智能化、网络化趋势更加明显,智能仪器、互联仪器的市场份额持续提升。另一方面,在生命科学、基因测序、精准医疗等新兴领域的带动下,相关仪器设备需求保持高速增长。此外,可持续发展理念的深入也推动了对环境监测、新能源检测等领域仪器的需求增长。值得注意的是,在地缘政治因素影响下,全球仪器产业链布局正在发生微妙变化,各国更加重视产业链安全,区域性产业链布局趋势显现。同时,在数字经济浪潮下,仪器企业也在积极探索数字化转型,从单纯的设备制造商向解决方案提供商转型。

2.6 中国企业的位置与挑战

反观中国仪器企业,虽然近年来发展迅速,但

在全球竞争格局中仍处于相对边缘的位置。根据2023年数据,中国规模最大的科学仪器企业营收约为58.6亿元(约合8.2亿美元),仅相当于TOP20入围门槛的69%(2023年全球仪器企业营收排名第二名的帝肯公司营收为12.2亿美元)。这种差距不仅体现在规模上,更体现在技术创新能力、品牌影响力、全球化程度等多个维度。中国仪器产业发展起步较晚,基础相对薄弱,但在政策支持 and 市场需求的共同推动下,近年来保持着良好的发展势头。特别是在一些细分领域,如环境监测仪器、工业过程检测仪器等,中国企业已经开始崭露头角。然而,在高端分析仪器、生命科学仪器、精密测量仪器和半导体行业专用仪器等核心技术领域,中国企业与国际巨头之间仍存在较大差距。这种差距的形成既有历史原因,也与产业发展环境、创新生态系统、人才培养机制等多方面因素有关。突破这些制约,实现从跟跑到并跑甚至领跑的转变,将是中国仪器产业未来发展的关键课题。

3 中国仪器企业营收现状与分析

要全面客观地评估中国仪器产业的规模现状,需要从多个维度进行深入剖析,包括头部企业表现、行业整体规模、市场结构特征、区域分布格局以及创新能力等多个方面。基于2023~2024年的最新数据,对中国仪器产业的发展现状进行分析。

3.1 头部上市公司表现分析

根据2023年上市公司年报数据,对A股市场以环境检测仪器、分析仪器、电子测量仪器、工控仪器为主营业务的上市公司进行了梳理。如表2所示,从表中数据来看,尽管部分头部企业保持了

表2 2023年部分中国A股上市仪器公司营收(数据来源:各公司2023年年度报告^[18])

Tab. 2 Revenue of selected Chinese a-share listed instrument companies in 2023(Data resource: Corporate 2023 Annual Reports^[18])

排名	公司名称	2023年营收/亿元	同比增长/%	净利润/亿元	研发投入占比/%	主要业务领域
1	聚光科技	58.6	11.00	5.2	8.90	环境监测仪器
2	禾信仪器	42.3	9.80	3.8	12.50	分析仪器
3	皖仪科技	31.5	12.10	2.9	11.30	分析仪器
4	普源精电	25.8	15.70	2.3	15.20	电子测量仪器
5	鼎阳科技	21.4	14.50	2.1	14.80	电子测量仪器
6	东方中科	17.6	11.40	1.2	5.80	电子测量仪器
7	优利德	16.3	12.40	1.5	7.20	电子测量仪器
8	信捷电气	15.2	9.10	1.4	8.50	工控仪器
9	华盛昌	14.1	11.90	1.3	6.90	工控仪器

增长态势,但整体规模与国际巨头相比仍存在巨大差距。2023年中国仪器行业头部企业继续保持增长态势,显示出行业发展的活力。然而,营收规模相对较大的聚光科技与全球 TOP20 仪器企业最低入围门槛 10.3 亿美元相比,差距仍然显著。

3.2 行业整体规模与结构特征

根据 2023 年仪器仪表产业经济运行状态报告中的数据,2023 年中国仪器仪表行业规模以上企业总数达到 5 368 家,较 2022 年增加 317 家,同比增长 6.3%^[19]。全行业实现主营业务收入 10 109 亿元,同比增长约 5.0%,增长态势保持平稳。从企业规模分布来看,行业呈现出明显的金字塔结构,如图 1 所示。

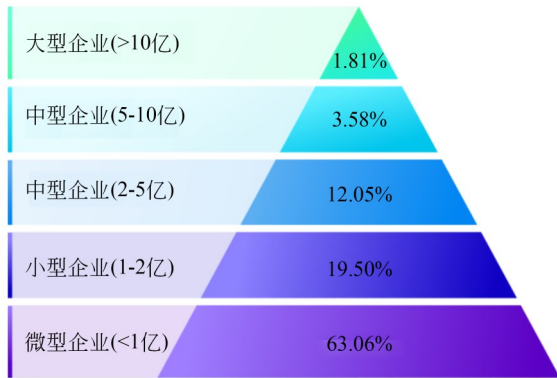


图 1 2023 年中国仪器仪表企业规模分布情况^[20]

Fig.1 2023 size distribution of China's instrumentation enterprises^[20]

庞大的金字塔基座由 3 385 家营收低于 1 亿元的微型企业构成,占比高达 63.06%。这是行业“散、小、弱”特征最直接的体现,说明市场主体以小微企业为主。狭窄的塔尖上,营收超过 10 亿

元的大型企业仅有 97 家,占比 1.81%。这反映行业缺乏具有全球影响力和绝对市场主导权的龙头企业,产业集中度非常低。从塔基到塔尖,企业数量随营收规模的扩大而锐减,绝大多数企业规模偏小,缺乏具有国际竞争力的大型龙头企业。

3.3 细分市场结构分析

从细分市场来看,中国仪器产业呈现出明显的不均衡发展特征。根据中国仪器仪表行业协会的统计,2023 年各细分领域营收占比分布见表 3。

从细分市场来看,中国仪器产业呈现出明显的不均衡发展特征。根据行业观察,各领域发展态势可以分为第一梯队、第二梯队和第三梯队。第一梯队的优势领域,国产化率较高。工业自动化仪表与控制系统是规模最大的细分领域,受益于国家智能制造战略,市场需求稳定,国产产品在国内市场中已占据主导地位,尤其是在中低端市场,代表性企业有重庆川仪、中控技术等。此外,环境监测仪器在环保政策强力驱动下,该领域发展迅速,国产化率提升显著,尤其在常规污染物监测设备方面具备较强竞争力,代表性企业有聚光科技、先河环保等。第二梯队处于快速追赶,中外激烈竞争的状态。随着 5G、半导体、新能源等行业的发展,电子测量仪器需求旺盛。国内企业在特定频段和功能的通用仪器上进步迅速,但高端射频、高端示波器等市场仍由国外巨头主导,代表性企业有普源精电、鼎阳科技等。医疗仪器的市场空间巨大。国内企业在监护、生命支持、体外诊断等中低端产品线已实现突破,但高端医学影像、高端体外诊断设备等仍依赖进

表 3 2023 年中国仪器仪表行业细分市场结构^[21]

Tab.3 2023 segment market structure of China's instrumentation industry^[21]

细分领域	营收占比/%	同比增长/%	国产化率/%	主要企业
工业过程检测仪器	28.50	15.20	65	聚光科技、川仪股份
环境监测仪器	18.30	16.80	70	先河环保、雪迪龙
电子测量仪器	15.70	14.30	45	普源精电、鼎阳科技
分析仪器	12.60	12.50	30	禾信仪器、皖仪科技
实验室仪器	9.80	11.20	25	泰林生物、东富龙
医疗仪器	8.40	13.60	40	迈瑞医疗、理邦仪器
其他仪器	7.70	10.80	50	多家企业

口,代表性企业有迈瑞医疗、理邦仪器等。第三梯队处于尖端领域,进口依赖度高的状态。分析仪器与实验室仪器是技术壁垒最高、国产化率最低的领域,尤其是在高端质谱仪、色谱仪、光谱仪、电子显微镜等尖端科学仪器方面,进口品牌占据绝对垄断地位。国产企业正通过长期研发在个别点上寻求突破,代表性企业有禾信仪器、皖仪科技等。

3.4 区域分布特征

中国仪器产业在地域分布上呈现出明显的

集聚效应^[22]。根据 2023 年统计数据,主要产业集群分布见表 4。

从上述数据不难看出目前仪器产业在全国具有非常鲜明的集聚效应,不同区域也展现出了自身的发展特点^[24]。

长三角和珠三角两大沿海集群以占全国约 60% 的企业数量,贡献了超过 66% 的行业营收,集聚效应非常突出,强者恒强的马太效应显著。人才、资本、技术正持续向这些优势区域流动。

表 4 中国仪器产业主要地域分布^[23]

Tab. 4 Analysis on main spatiotemporal evolution and driving factors of China's instrumentation manufacturing industry^[23]

区域集群	包含主要省市	企业数量占比/%	营收占比/%	主要产业特色
长三角地区	江苏、浙江、上海	38.2	42.5	高端分析仪器、电子测量仪器
珠三角地区	广东	21.5	23.8	电子测量仪器、环境监测仪器
京津冀地区	北京、天津、河北	15.3	16.2	科研仪器、环境监测仪器
成渝地区	成都、重庆	8.7	7.9	工业过程检测仪器

产业分工格局初步形成:长三角趋向于“全面高”,综合实力最强,目标是成为世界级的仪器仪表研发和制造中心;珠三角趋向于“快而专”,深度绑定消费电子和高端制造产业链,在特定赛道优势明显;京津冀趋向于“高而精”,依托国家级资源,在基础科学仪器和专项监测设备上发力;成渝地区则代表了“内需驱动”的新兴力量,是产业向内陆转移和支撑国内大循环的关键节点。

各区域未来的发展路径也应采取因地制宜的策略。长三角、珠三角地区需聚焦前沿技术突破和全球化布局,挑战国际巨头。京津冀地区应

强化科技成果的转化效率,打通从“科研用品”到“批量产品”的路径。成渝等内陆地区的关键是完善产业链配套,承接产业转移,培育本土龙头企业。

3.5 创新能力分析

2023 年中央经济工作会议强调:“以科技创新引领现代化产业体系建设。要以科技创新推动产业创新,特别是以颠覆性技术和前沿技术催生新产业,新模式,新动能,发展新质生产力”。创新成为全球企业发展的主题和主旋律^[25]。企业创新能力与主要指标主要反映在研发投入与知识产权产出两个方面,如表 5 所示。

表 5 2023 年中国仪器仪表行业创新能力主要指标(数据来源:2023 年全国科技经费投入统计公报、2023 年中国仪器仪表行业发展报告、2023 年中国专利调查报告等)

Tab. 5 2023 core innovation metrics for China's instrumentation sector(Data resource: Statistical communique on national science and technology funding input 2023, China instrument industry development report 2023, China patent investigation report 2023, etc.)

指标类别	具体指标	2023 年数据	同比增长/%
研发投入	研发投入总额	360 亿元人民币	+16.3
	研发投入强度(占营收比)	7.50% 左右	+0.2 ^[26]
知识产权 ^[27]	全年专利申请量	4 万件左右	—
	其中:发明专利量	2 万件左右	—
国际对比	赛默飞世尔	13.3 亿美元 ^[11]	—

中国仪器企业在创新方面进步显著,投入持续加码。中国仪器仪表行业正处于创新驱动的快速发展阶段^[26]。以2023年的行业数据来看,16.3%的研发投入增速远高于营收增速,且研发投入强度提升至7.5%的较高水平,表明整个行业对技术研发的重视程度空前,正在努力向技术密集型产业转型^[28](统计口径不同,数据有差异)。知识产权方面,中国仪器企业年申请量近3.9万件,其中发明专利占比近一半,累计有效发明专利存量巨大。这显示出行业活跃的创新活动和持续积累的技术储备。

但是差距犹存,核心挑战依旧突出。与全球顶尖企业相比,中国仪器行业的创新“势能”仍有巨大差距。行业巨头赛默飞世尔一家企业的年度研发投入,就超过了中国数千家规模以上企业研发投入总和的三成。这一对比尖锐地揭示了巨大的资源差距和能力差距。国内企业个体规模小,难以支撑起堪比国际巨头规模的、面向长远基础研究和颠覆性技术创新的巨额研发投入。巨额投入的差距直接体现在高端产品的技术壁垒上,导致在高端分析仪器、生命科学工具等领域仍存在严重的“卡脖子”问题。

3.6 盈利能力与国际比较

从盈利能力来看,2023年全国仪器仪表制造业营业利润总额近千亿元^[19, 23](备注:根据不同统计口径的预估值)。与国际巨头相比,盈利能力存在明显差距。2023年,全球TOP20仪器企业的平均净利润率是中国企业的两倍以上。这种差距主要源于产品结构、技术含量、品牌溢价等多方面因素。

3.7 行业发展趋势与挑战

展望未来,中国仪器仪表产业的发展机遇与挑战相互交织,其前景既取决于能否把握时代机遇,也考验着突破深层瓶颈的决心与智慧^[23]。

当前,产业正迎来前所未有的发展窗口。国家层面将科技自立自强置于核心战略位置,一系列扶持政策为国产仪器设备提供了宝贵的市场应用与迭代空间,国产化替代进程显著加快。与此同时,下游产业的智能化、绿色化转型,以及新能源、生物医药、半导体等新兴领域的蓬勃兴起,不断催生对高端、专用仪器的旺盛需求,为行业打开了新的增长空间。更为根本的是,随着企业

研发投入的持续加大和创新体系的逐步完善,产业的内生技术能力也在稳步提升,为迈向中高端市场积蓄着力量。

然而,产业由大转强之路仍面临严峻挑战。在技术层面,高端分析仪器、核心传感器等领域的壁垒依然坚固,短期难以实现全面突破;在市场层面,国际巨头凭借其品牌、技术和全球网络的综合优势,在高端市场占据主导地位,竞争压力持续存在。此外,顶尖研发人才与高级技能人才的结构短缺,以及部分关键基础材料和部件的供应链稳定性问题,仍是制约产业升级的突出短板。

中国仪器仪表产业虽已具备可观的规模基础,但在产业结构、技术底蕴和全球竞争力上仍有明显不足。未来的发展关键在于能否将广阔的市场需求有效转化为技术迭代的动力,并在攻坚核心技术、构建人才梯队、强化产业链协同上取得实质性突破,这无疑需要产业界、学术界^[29]和政策制定者付出长期而艰巨的努力^[6]。

4 国外巨头企业如何突破规模瓶颈

当今的国际仪器巨头并非生而强大,它们同样经历了从小到大的成长历程,并成功突破了行业固有的规模瓶颈。其成功路径可主要归结为两大战略:资本驱动的外延式并购整合和技术驱动的内生性创新,这两种策略往往相辅相成,共同推动企业实现跨越式发展。

首先,并购整合是国际巨头实现跨越式增长最核心的手段。以“并购之王”丹纳赫(Danaher)为例,其发展史就是一部并购史。自1986年上市以来,丹纳赫通过其著名的“丹纳赫商业系统”(DBS),持续并购并整合了超过400家企业^[14]。例如,2005年以22亿美元收购徕卡显微系统,2009年以18亿美元并购AB Sciex(质谱仪公司),2011年以68亿美元收购贝克曼库尔特,2015年以138亿美元收购Pall公司,2019年更以214亿美元的天价收购GE生命科学业务(现为Cytiva)。这一系列精准的并购使其从一家工业conglomerate成功转型为全球领先的生命科学与诊断巨头,营收从2000年的约30亿美元增长至2022年的315亿美元。赛默飞世尔科技的成长轨迹同样如此。该公司通过数次超大型并购迅

速扩充产品线和市场覆盖:2006年以106亿美元收购飞世尔科技(Fisher Scientific),实现强强联合;2013年以136亿美元收购Life Technologies,一举获得其在基因测序领域的核心技术;2017年以72亿美元收购荷兰药企Patheon,切入CDMO领域^[30]。这些并购不仅带来了营收的指数级增长,更使其构建了难以撼动的“产品生态护城河”。通过并购,企业可以快速获得新技术、新产品、新市场,以及宝贵的人才团队,大大缩短了自主研发的时间和风险。其次,持续高强度的研发投入是维持其核心竞争力的基石。即便在频繁并购的同时,巨头们也从未放松对技术创新的追求。例如,赛默飞世尔2022年的研发投入高达13.5亿美元,安捷伦的研发投入营收占比长期保持在10%左右^[11, 31]。这种投入确保了它们能不断推出引领行业技术潮流的产品,如赛默飞的Orbitrap超高分辨质谱仪、安捷伦的InfinityLab LC/MS系统等,从而在高端市场保持高毛利,为下一步并购积累资本,形成“创新-高利润-并购-再创新”的良性循环。

除了并购和研发,国际巨头还高度重视全球化布局和商业模式创新。国际巨头在全球主要市场建立了完善的直销和服务网络,能够快速响应客户需求,提供全方位的解决方案。同时,还不断创新商业模式,从单纯的设备销售向“设备+服务+耗材”的多元化收入模式转型,显著提升了客户黏性和单客户价值^[32]。值得注意的是,国际巨头的成功还离不开其对标准化和行业生态建设的重视。它们积极参与国际标准制定,推动技术路线的标准化,从而强化市场地位。此外,通过建立开发者社区、举办技术论坛、支持学术研究等方式,构建了良好的行业生态,进一步巩固了竞争优势。

5 中国仪器企业如何突破规模瓶颈

中国科技仪器行业正处于重要的发展转折点。根据中国仪器仪表行业协会最新数据,规模以上企业平均营收不足2亿元,呈现明显的“散、小、弱”特征。在这种行业背景下,突破规模瓶颈需要系统性的战略规划和路径创新^[33]。

5.1 技术路线创新

企业若欲突破现有规模瓶颈,对技术创新路

径进行战略性选择与持续性投入至关重要^[34-35]。这不仅关乎短期产品竞争力的提升,更是构建长期护城河、实现可持续规模扩张的根本路径^[36]。中国新能源汽车就走出了自己的技术路线,并取得巨大的成功^[37]。

首先,技术路线的创新性选择是摆脱同质化竞争、开辟新市场的关键。企业若一味遵循由国际巨头主导的成熟技术路线,极易陷入“引进-落后-再引进”的被动追赶循环,难以逾越固有的技术壁垒。相反,通过对新兴、前沿技术路径的探索,企业有望实现“换道超车”。一个典型案例是南京凯视迈科技有限公司,该公司在光学检测仪器领域,并未沿袭传统的显微成像技术路径,而是前瞻性地选择了计算成像这一新兴技术路线,将传统成像技术与计算成像相结合,其中包括编码照明、编码孔径、编码探测等技术,突破了传统技术在成像质量与成像速度方面的限制,计算成像的优势也可以在工程实践中获得应用^[38]。此举使其成功开发出系列创新产品,这些产品因其更高的集成度与稳定性,在工业自动化检测场景中展现出显著优势,性能达到业内先进水平。这种根本性的技术路径创新,不仅赋予了产品差异化的核心竞争力,更因其绕开了传统技术生态下的专利封锁和高昂授权成本,形成了巨大的成本优势,从而在细分领域建立了坚实的竞争优势。跟随式技术路径与换道超车式技术路径的对比见表6。

其次,技术创新的持续性投入是巩固优势、实现迭代扩张的保障^[39]。技术路线的创新选择仅是起点,能否通过持续、高强度的研发投入将其转化为持续领先的产品力,决定了企业能否将初期优势转化为长期的市场份额。数据显示,中国仪器仪表行业的头部上市公司已显著加大研发力度,2023年其研发投入占营业收入比例普遍已达到10%左右。这一比例虽相较于往年已有长足进步,彰显了企业对创新的重视,但与国际领先企业相比,仍存在显著差距。持续的研发投入效应具有多重性:其直接效应在于推动现有产品性能的持续精进与迭代;其延伸效应则在于促进技术路线的深化与拓展,推动企业从单一爆款产品,逐步发展出覆盖不同应用场景、满足不同客户需求的产品矩阵,从而为规模增长提供更广

表6 技术创新路径的战略选择比较

Tab. 6 Strategic choice comparison of technology innovation pathways

维度	跟随式技术路径	换道超车式技术路径
技术基础	成熟技术路线,国际巨头主导	新兴前沿技术,存在不确定性
研发重点	改进型创新,适应性研发	原始创新,基础研究突破
知识产权	易受专利制约,授权成本高	有望形成自主知识产权体系
市场风险	低,市场需求明确	高,需要培育新市场
竞争态势	同质化竞争,价格战压力	差异化竞争,技术壁垒优势
长期收益	稳定但有限,易被锁定低端	潜在收益大,可能主导新赛道
典型案例	传统显微成像技术路径	计算成像技术路径(高通量AI-3D焦面叠加成像,凯视迈)

阔的基础。陈劲等^[40]通过对华为等坚持高强度研发和自主技术路线的领先企业进行案例剖析,进一步印证了这一观点:那些长期致力于构建自主技术创新能力的企业,在应对外部技术封锁或市场环境剧变时,通常表现出更强的组织韧性与增长潜力。这种由持续技术积累所引发的“累积效应”,为企业规模的阶梯式扩张提供了强大而持久的内生动力。

5.2 产品矩阵构建

在技术创新的基础之上,对企业产品体系进行前瞻性的战略规划,即构建协同高效的产品矩阵,是实现规模化发展的关键环节。精心的产品矩阵规划超越了单一产品的成功,它着眼于通过产品间的有机组合与协同,系统性降低运营成

本、提升市场效率,从而驱动企业实现持续的增长跃迁。

合理的产线布局能够产生显著的规模经济与范围经济效应。当企业基于其核心技术平台进行产品拓展时,后续产品的研发可共享基础技术、核心模块及研发团队,从而大幅降低边际研发成本。行业调研数据表明,成功构建产品矩阵的企业,其单产品研发成本可降低30%~40%,甚至更多。与此同时,在市场营销层面,统一的品牌形象、共享的销售渠道以及交叉的客户资源^[41],使得市场推广活动能够服务于多个产品,从而显著提高资源利用效率,市场推广成本预计可降低25%~35%,如表7所示。

表7 产品矩阵战略的经济效益分析

Tab. 7 Economic benefit analysis of product matrix strategy

效益类型	效益表现	数据支撑/%	作用机制
研发协同效益	单品研发成本降低	30~40	共享核心技术平台、基础模块和研发团队
营销协同效益	市场推广成本降低	25~35	统一品牌形象、共享销售渠道、交叉客户资源
生产协同效益	单位生产成本下降	15~25	标准化生产流程、规模化原材料采购
管理协同效益	管理费率优化	5~10	共享管理平台、统一运营标准

国内某光谱分析仪器上市公司的实践为此提供了有力实证。该公司以自主掌握的光谱分析技术为核心平台,并未局限于单一应用市场,而是采取了系统性的产品矩阵策略。基于同一技术根基,公司成功拓展出三大主力产品线:面向环保监测领域的环境检测仪器、服务于食品药品安全的快速检测设备,以及应用于流程工业的

在线过程控制仪器。此策略使其业务触角有效覆盖了环境监测、食品药品、石油化工等多个下游行业。这种多元化的市场布局不仅分散了单一行业周期波动的风险,更重要的是形成了强大的市场协同效应。正是在此战略的驱动下,该公司营业收入迅速增长,实现了高质量的规模化扩张^[42]。

此案例深刻印证了魏炜与朱武祥在商业模式理论中的核心观点:一个成功的产品矩阵,其价值不仅在于满足客户的多样化需求,更深层次的竞争力来源于产品之间所形成的协同效应^[43]。这种协同体现在研发、生产、营销、服务等多个价值链环节,能够有效提升企业的整体运营效率与资源利用率,从而构筑起难以被模仿的体系化竞争优势,为企业的规模化发展提供持续动力。

5.3 商业模式创新

在技术创新与产品布局之外,商业模式的系统性创新已成为仪器仪表企业突破传统增长天花板、获取持续性竞争优势的重要战略路径^[44]。行业竞争的焦点正从单一的产品性能,转向基于产品为客户创造全程价值的的能力^[45],增强客户黏性成为品牌营销的重要组成部分。这驱动着行业经历一场从“一次性设备销售”向“全周期服务增值”的深刻转型,如表 8 所示。

表 8 仪器仪表企业商业模式转型路径与特征

Tab. 8 Transformation pathways and characteristics of business model in instrumentation enterprises

维 度	传统设备销售模式	过渡型服务模式	解决方案伙伴模式
价值主张	提供标准化设备	设备+基础服务	定制化解决方案
客户关系	交易型、短期	合同型、中期	伙伴型、长期
收入来源	一次性销售利润	销售+服务费	经常性服务收入
核心能力	产品制造与销售	服务交付能力	综合解决方案能力
客户价值	设备功能满足	运营效率提升	业务价值共创

这种转型的核心在于价值主张的根本性改变。企业不再仅仅视自身为设备供应商,而是定位为为客户解决实际问题的解决方案伙伴。通过提供整合了专用设备、定期维护、专业耗材、数据分析及技术培训的“硬件+软件+服务”一体化解决方案,企业能够深度嵌入客户的价值创造流程,从而建立起更强的客户黏性。行业数据分析显示,采用此种模式的企业,其客户生命周期价值可比传统销售模式实现大幅度提升,而客户流失率能有效降低。这源于该模式创造了双赢格局:客户得以降低前期资本支出、获得持续的技术支持并提升运营效率;企业则能锁定长期合作关系,获得可预测的、抗周期的稳定收入流。

国内某头部科学仪器企业的实践为此提供了典范。面对科研院所经费波动性强、对先进技术需求迫切但预算受限的市场特点,该公司创新性地推出“仪器租赁+专业技术支持+实验数据分析”的综合性服务模式。该模式极大地降低了顶尖科研设备的使用门槛,使更多研究团队能够以更灵活的方式获取所需的技术能力。对于企业而言,此举不仅成功开拓了原本因价格门槛而被排除在外的客户群体,更重要的是将一次性的销售收入转变为长期的服务性收入,形成了高质量的经常性收入,显著增强了其财务稳健性和

发展韧性。

商业模式的创新本质上是盈利逻辑和价值创造逻辑的重构。它使企业的收入来源多元化,从依赖新客户获取的“狩猎式”增长,转向深耕存量客户价值的“农耕式”增长。这种以服务增强客户黏性、以解决方案提升单客价值的模式,能够有效突破传统硬件销售市场的规模瓶颈,为企业打开更具想象力的增长空间,是企业在红海市场中实现差异化竞争和规模化发展的强大助力。

5.4 资本运作助力

在激烈的市场竞争中,内生性增长虽是企业发展的基础,但若要实现规模的快速扩张与产业地位的跃迁,积极而精准的资本运作则发挥着不可或缺的战略推动作用^[46]。尤其对于技术密集、市场细分特征明显的仪器仪表行业,资本运作已成为企业整合资源、补齐短板、进入新赛道乃至重塑行业格局的关键手段^[47]。

近年来,中国仪器仪表行业的并购重组活动日趋活跃与成熟。市场数据显示,在 2021~2023 年间,行业内公开披露的并购重组案例总计达 126 起,涉及交易总金额超过 300 亿元人民币,如表 9 所示。这一趋势表明,领先企业正愈发熟练地运用并购这一工具,其动因已从简单的规模扩张,转向了对核心技术、关键人才、特

定市场渠道及品牌资产等战略性资源的主动获取。通过有效的并购整合,企业不仅能够快速切入新的技术或应用领域,更能通过业务协同、

管理优化与资源互补,实现“1+1>2”的协同效应,从而突破依靠自身积累的渐进式发展瓶颈。

表9 2021-2023年中国仪器仪表行业并购交易概况(数据来源:中国仪器仪表行业协会行业发展报告、上市公司公告、前瞻产业研究院、仪器信息网统计)

Tab.9 Overview of M&A transactions in China's instrumentation industry (2021-2023): based on industry data compilation (Data resource: Reports from China instrument industry association, public announcements of listed companies, qianzhan industry research institute, and statistics from instrument.com.cn)

年度	并购案例数量/起	披露交易金额/亿元	主要特征
2021	38	85	以横向整合为主,扩大市场份额
2022	42	98	纵向延伸增多,完善产业链布局
2023	46	117	战略性投资凸显,注重技术获取
合计	126	300	年均增长率超过15%

一个典型案例是某国内上市仪器公司为快速强化其在某一高增长细分领域(如环境监测或生物检测)的竞争力,战略性并购了一家拥有独特专利技术但市场推广能力有限的中小型技术公司。此次并购不仅使上市公司直接获得了目标公司的核心知识产权,极大地缩短了自主研发周期。更关键的是,通过有效整合目标公司深耕多年的专业销售网络与宝贵的客户资源,上市公司成功地将自身强大的生产、资本与品牌优势与标的技术及市场资源深度融合。其结果是该公司在该细分领域的市场份额在并购后较短时间内从15%显著提升至40%,相关产品线的营业收入实现了约150%的强劲增长。这一案例清晰地展现了成功的资本运作在加速技术商业化、扩大市场影响力方面的乘数效应。

然而,并购交易的成功签约仅是起点,真正的价值创造源于并购后的整合阶段。正如Slater在对全球顶级科学仪器集团丹纳赫的“丹纳赫商业系统”的研究中所强调的,卓越的并购整合能力建立在系统化、制度化的投后管理体系之上^[14]。这套体系确保了战略协同目标的落地、企业文化的融合以及运营效率的提升。因此,对于立志通过资本运作实现跨越式发展的中国仪器企业而言,构建自身的系统性整合能力,与具备识别并购标的的眼光同等重要,是最终实现战略预期、避免“整合失败”风险的根本保障。

5.5 国际化布局

在全球化的产业格局下^[48],国际化战略已成

为中国仪器仪表企业突破国内市场规模限制、实现可持续发展的重要路径^[49-50]。科学仪器的国际贸易数据清晰揭示了当前格局与未来潜力。根据中国海关总署的统计数据,2023年我国科学仪器及分析设备的进口额高达310亿美元,而出口额仅为90亿美元,年度贸易逆差达到220亿美元^[28]。这一显著的贸易逆差结构一方面深刻反映了国产高端仪器在技术含量、品牌信誉及可靠性方面与国际先进水平仍存在阶段性差距;另一方面,也预示着在全球高端仪器市场中存在着国产替代与出口开拓的巨大潜在空间。对于寻求规模扩张的领先企业而言,广阔的国际市场是突破增长天花板的战略方向。

面对机遇与挑战并存的国际市场,国内领先企业已开始进行系统性、多层次的国际化探索^[51]。例如,某国内头部仪器企业并未局限于简单的产品出口,而是推行了一套整合性的国际化战略。该战略包括:在技术前沿地区建立海外研发中心,以吸纳高端人才、紧跟技术趋势;积极参与甚至主导国际行业标准的制定,以提升技术话语权;并系统性开展产品国际认证(如CE、UL等),破除市场准入壁垒。通过这一系列战略举措,该企业有效提升了其品牌的国际认可度与产品竞争力。目前,其产品已成功进入全球50多个国家和地区市场,海外市场销售收入占总营收的比重从初期的5%显著提升至25%,为企业规模的持续扩张开辟了新的增长曲线。这一实践表明,国际化并非简单的市

场空间转移,而是企业技术、品牌、管理与标准认同等综合能力的系统输出与提升过程。面对机遇与挑战并存的国际市场,国内领先企业已

开始进行系统性、多层次的国际化探索。企业国际化发展的阶段特征可参考发展阶段及特征框架,如表 10 所示。

表 10 仪器仪表企业国际化发展阶段及特征

Tab. 10 Stages and characteristics of internationalization development in instrumentation enterprises

发展阶段	主要特征	战略重点	典型举措
初步探索阶段	试探性出口	市场学习	参加国际展会、寻找代理商
积极扩张阶段	建立海外网络	市场渗透	设立销售子公司、本地化服务
全面整合阶段	全球资源优化	战略协同	海外并购、建立研发中心
成熟全球化阶段	全球一体化运营	价值创造	全球品牌建设、标准制定

中国仪器企业的国际化路径,印证了经典的国际化过程理论。正如 Johanson 和 Vahlne 所提出的“乌普萨拉模型”指出^[52],企业的国际化通常不是一个激进的跳跃,而是一个基于知识积累和承诺升级的渐进式过程^[53]。该过程往往从偶然的、小规模间接出口开始,随着企业对海外市场知识的不断积累和信心增强,逐步升级到建立海外销售子公司乃至进行直接的海外生产或研发投资。这一渐进性特征提示中国企业,国际化战略的成功实施需要长期的资源投入、耐心的市场培育以及对跨文化管理挑战的深刻理解,是无法一蹴而就的系统工程。

5.6 人才培养与组织创新

在企业突破规模瓶颈的多重路径中,人才队

伍的规模、质量与组织结构是支撑一切战略落地的根本保障^[54]。仪器仪表行业作为技术密集型产业,其竞争本质上是人才的竞争。行业调研数据显示,国内头部企业的科技人员占比普遍已超过 35%,这反映出行业对研发与技术活动的高度重视。然而,在总体数量提升的背后,精通前沿技术的高端研发人才、具备跨界整合能力的产品经理以及拥有国际视野的经营管理人才仍显结构性短缺。这种关键人才的供给不足,已成为制约企业向高端化、规模化发展的核心瓶颈之一。因此,构建系统化的人才培养体系与高效的激励机制^[55],不仅是弥补人才缺口的应对措施,更是企业实现可持续规模扩张的重要战略支撑^[56]。然而,人才结构的矛盾依旧非常突出,如表 11 所示。

表 11 仪器仪表企业人才需求及面临的问题

Tab. 11 Talent demand and challenges faced by instrumentation enterprises

人才类别	供需状况	核心能力要求	对企业规模化的影响	当前主要问题
高端研发人才	严重短缺	前沿技术攻关、原始创新能力	制约产品向高端化突破,影响技术壁垒构建	培养周期长,流失严重
跨界产品经理	供给不足	技术理解+市场洞察+项目管理	影响创新成果商业化效率	复合型培养体系不完善
国际经营管理人才	极度匮乏	全球化视野、跨文化管理能力	限制企业国际化战略实施	实践经验缺乏,培养渠道少
专业技能人才	数量足 质量不均	专业技艺、工艺实施能力	影响产品一致性和可靠性	职业教育体系待完善

面对这一挑战,领先企业已开始进行战略性的人力资源管理创新。以某上市企业为例,该公司并未将人才策略局限于高薪招聘,而是构建了一套多层次、系统化的人才生态体系。该体系的

核心包括:首先,建立管理与专业的“双通道”职业发展体系,确保技术专才无需转向管理岗位也能获得同等的职业认可与薪酬回报,有效解决了技术人才的职业天花板问题。其次,推出覆盖核

心技术与管理人员的大范围股权激励计划,将个人利益与企业的长期价值增长深度绑定,增强了团队的稳定性与归属感。此外,企业还通过设立前沿创新实验室、内部创新创业机制等模式,为高端人才提供施展才华的平台与资源。这一系列组合措施,不仅显著提升了核心人才的保留率,还成功吸引了一批具有国际背景的行业顶尖专家加入。这种将短期激励与长期发展、个人成长与组织目标相结合的人才策略,为企业持续的技术创新与市场扩张提供了强大的内生动力^[56]。从理论角度需建设整套人力资源架构,如图 2 所示。

这一实践从组织层面印证了知识创造理论的核心观点。企业可持续的竞争优势并非仅仅依赖于静态的人力资源储备,更在于能否建立一套有效的组织机制,促使个体拥有的隐性知识在组织内共享、转化、并整合为新的显性知识(如新产品、新技术)。上述企业打造的“双通道”体系、创新实验室等,本质上正是创造了促进知识社会化和持续创新的组织场域。由此表明,成功的人才战略远不止于吸引和保留个体精英,其更高层次的目标在于构建一个能够促进知识持续创造、流动与增值的组织系统^[57],这才是支撑企业规模扩张最稳固、最持久的基础性保障。

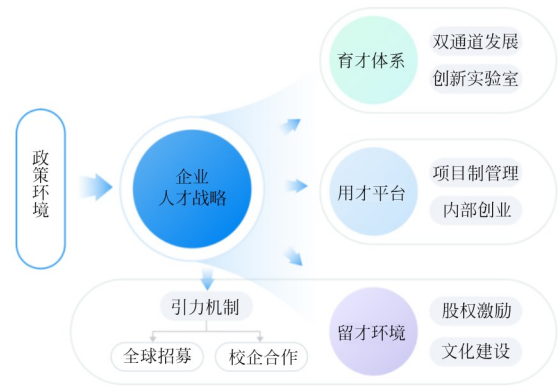


图 2 企业人力资源架构

Fig. 2 Organizational structure of human resources in enterprises

5.7 政策环境利用

政策环境作为企业经营活动所面临的基础性制度背景,对企业的发展方向、资源配置与创新活动具有显著的引导与规制作用^[58-59]。尤其对于科学仪器这类具有战略重要性且前期投入大、研发周期长的技术密集型产业,前瞻、稳定且协同的政策体系能够有效降低创新不确定性,引导社会资源集聚,为产业追赶与升级创造有利条件^[60]。政策对企业创新的支持机制可通过图 3 所示框架进行系统阐释。

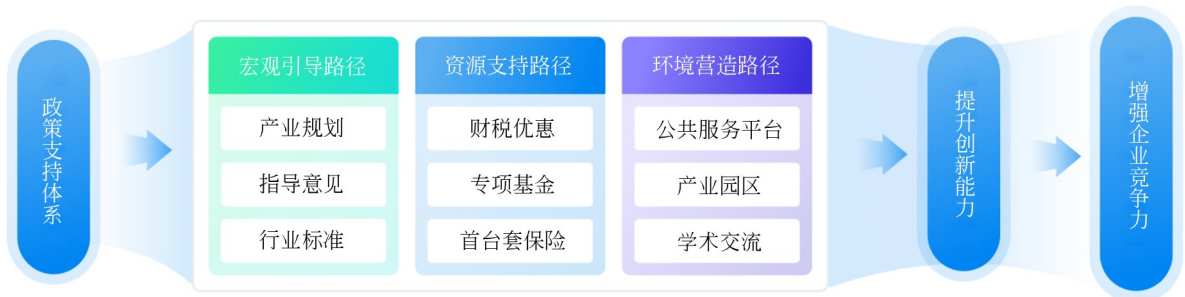


图 3 政策对企业创新的支持作用机制

Fig. 3 Mechanism of policy support for corporate innovation

近年来,国家层面密集出台了一系列旨在推动科技仪器产业高质量发展的顶层设计与支持政策。例如,国家发展改革委等部门联合发布的《关于扩大战略性新兴产业投资培育壮大新增长点增长极的指导意见》,明确将高端科学仪器及其关键部件列为重点投资与发展方向。与此同时,中国仪器仪表行业协会发布的《仪器仪表行

业“十四五”发展规划建议》进一步为行业的技术攻关、产业化和国际化路径提供了系统性指引^[61]。国家在“十五五”规划建议中,又重点推动高端仪器产业的发展。这些政策不仅传递出清晰的国家战略意图,更通过财税优惠、首台套保险补偿、政府采购优先等实质性措施,共同构建了激励产业创新的政策工具箱^[62]。

政策的效能关键在于企业的响应与利用。典型案例显示,某国内领先的分析仪器企业深刻理解并主动融入了国家战略布局。该企业凭借其技术积累,成功牵头或参与了多项“国家重大科研仪器设备开发”专项。这一过程不仅为企业带来了宝贵的直接研发资金支持,缓解了创新活动的现金流压力,更重要的是,承担国家级重大专项促使其研发体系必须对标国际最高标准,从而倒逼企业在项目管理、技术集成与质量控制等方面实现了系统性提升。通过与项目内的高校、科研院所深度合作,企业有效地整合了外部前沿知识,加速了核心技术的突破与成熟^[63]。比如,面向 Micro-LED 的显示与通讯等前沿方向的发展需要,由南京大学引领的芯片研究催生了新的测试技术,通过产学研合作促成了国产仪器的自主研发,形成了需求-技术-装备的内驱式发展^[64]。再举个例子,南京市江宁开发区联合江苏华瑞时尚集团、南京木木西里科技有限公司等单位,共同规划了“建设一座智能光机电产业园、成立一支专项基金、举办一系列具有国际影响力的学术活动”(“三个一”规划),并且围绕光电精密仪器产业规划了测试公共服务平台,为初创企业提供“载体+资本+人才+服务”的全方位平台,真正

实现“建产业所建、务产业所务、聚产业所聚、成产业所成”。这种“政策资源—能力构建”的良性循环,显著增强了企业的核心竞争力,为其开拓市场、吸引高端人才创造了极为有利的条件。

然而,政策环境的优化客观上是一个动态、持续的过程。当前部分政策在落实的精准性、协调性以及普惠性方面仍有提升空间。例如,如何更好地平衡对“领军企业”的重点扶持与对“专精特新”中小企业的普惠性激励,如何进一步优化科研经费的管理使用机制以激发科研人员的创新活力等,都是未来政策制定与调整需要关注的重点。善用政策机遇、将外部支持转化为内生能力,已成为现代企业应对复杂竞争环境、实现可持续发展的重要战略素养。

5.8 数字化转型赋能

在新一轮科技革命与产业变革的背景下,数字化转型已成为企业突破传统管理边界与运营瓶颈、实现高质量规模扩张的核心驱动力^[65]。这一转变的本质在于通过新一代信息技术的全面渗透与深度融合,重构企业的研发、生产、服务与管理模式,从而在效率、质量与敏捷性方面获得质的飞跃,为规模化发展奠定新的基础。这一价值创造路径可通过图4概念框架进行阐释。

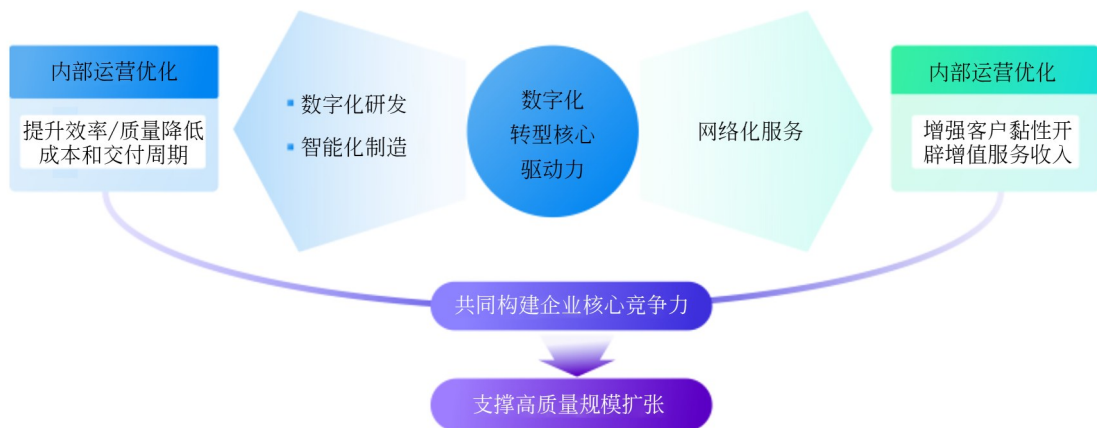


图4 数字化转型赋能企业竞争力作用机制

Fig. 4 Mechanism of digital transformation in empowering corporate competitiveness

数字化转型对企业运营的优化体现在三个关键层面。首先,在研发环节,数字化研发通过引入仿真设计、数字孪生与协同开发平台,能够大幅缩短研发周期,降低试错成本,并实现知识的沉淀与复用。其次,在生产环节,智

能化制造依托物联网、工业大数据与AI算法,实现对生产流程的精准感知、实时分析与自主决策,推动生产模式向柔性化、定制化升级^[66]。最后,在价值链后端,网络化服务通过设备互联与远程运维,使企业能够提供预测性维护、

能效优化等增值服务,延伸价值链条,增强客户黏性^[63]。这三个层面的协同推进,共同构成了企业提升全要素生产率、强化市场适应能力的数字化基石。

这一转型的价值已在国内企业的实践中得到验证。以某仪器制造企业为例,该企业为应对多品种、小批量的市场需求,系统性推进了智能工厂建设。通过部署制造执行系统、数据采集与监控系统以及自动化产线,企业实现了对订单、物料、设备与人员的全流程数字化管控。其成效十分显著:生产效率提升达35%,产品不良率降低60%,订单交付周期缩短50%^[67]。这些运营指标的优化,不仅直接带来了成本的下降与质量的提升,更重要的是赋予了企业快速响应市场波动、高效管理复杂产品组合的能力,这是其实现规模扩张不可或缺的运营基础。

6 总结与展望

中国仪器仪表产业突破规模瓶颈之路,必将是一场由政策引导、市场驱动与企业主体共同参与的深刻变革。其发展将呈现出明显的“四化”趋势:一是高端化,随着国家在基础科学和关键核心技术领域投入的持续加大,国产仪器将从中低端市场的“量”的积累,逐步向高端领域的“质”的突破迈进,在部分前沿细分领域实现并跑乃至领跑;二是协同化,“单打独斗”难

以撼动国际巨头的体系优势,未来将涌现出更多以龙头企业为主导、产学研用深度融合的产业创新联合体^[68],通过资源共享和优势互补,形成攻克关键共性技术的合力;三是服务化,商业模式将从单纯的设备销售,加速向“设备+服务+解决方案”的一体化模式转型,通过深度绑定客户价值创造过程,构建长期、稳定、抗周期的收入结构;四是全球化,中国企业将从产品“走出去”升级为品牌、技术、标准和资本的“走进去”^[69],通过建立海外研发中心、并购国际品牌、参与国际标准制定等方式^[70],深度整合全球创新资源与市场网络。

最终,突破规模瓶颈的标志将不再是营收数字的简单攀升,而是涌现出一批具备全球资源整合能力、自主创新能力和品牌影响力的世界级仪器企业集团。这将从根本上改变当前“大市场、小企业”的格局,使中国仪器产业真正成为支撑科技创新与制造业升级的基石力量。

作者贡献声明:

崔远驰:论文构思与撰写;

张嵩、姚金玖、李勇、刘新宇:市场调研与数据整理;

张德、雷露:图表绘制;

郑洋洋、赵圣杰、陈付波:行业素材搜集;

张书赫:国内外行业发展历史分析;

曹良才:论文指导。

参考文献:

- [1] 中共中央. 中共中央关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议[R]. 北京:新华社, 2025. CPC Central Committee. Central Committee of the Communist Party of China. Proposal of the Central Committee of the Communist Party of China for Formulating the 15th Five-Year Plan for National Economic and Social Development[R]. Beijing: Xinhua News Agency, 2025. (in Chinese)
- [2] 曹健林. 面向“十五五”的超精密装备:挑战与机遇[J]. 中国科学院院刊, 2025, 40(5): 835-843. CAO J L. Ultra-precision equipment for 15th Five-Year Plan: challenges and opportunities[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2025, 40(5): 835-843. (in Chinese)

- [3] 苏晓岗, 武一宸, 周中岳, 等. 仪器仪表产业发展展望[J]. 中国设备工程, 2023(11): 256-258. SU X G, WU Y CH, ZHOU ZH Y, et al. Development prospect of instrument industry[J]. *China Plant Engineering*, 2023(11): 256-258. (in Chinese)
- [4] PORTER, MICHAEL E. *Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors: With a New Introduction* [M]. Competitive strategy: techniques for analyzing industries and competitors: with a new introduction, 1980.
- [5] 杨文海. 我国科学仪器设备产业发展现状和策略[J]. 电子测试, 2013(20): 186-187. YANG W H. Development ideas and strategy analysis for scientific instruments and equipment industry in China[J]. *Electronic Test*, 2013(20): 186-187. (in Chinese)

- [6] 崔远驰, 张嵩, 唐晗, 等. 中国仪器产业发展: 现状, 挑战及展望[J]. 光学精密工程, 2024, 32(13): 1965-2003.
CUI Y CH, ZHANG S, TANG H, *et al.* Domestic instrument industry in China: progress, challenges and outlooks[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2024, 32(13): 1965-2003. (in Chinese)
- [7] 高皓天. 高端科学仪器创新生态系统演进机制研究[D]. 鞍山: 辽宁科技大学, 2022.
GAO H T. *Research on Evolution Mechanism of Innovation Ecosystem of High-End Scientific Instruments*[D]. Anshan: University of Science and Technology Liaoning, 2022. (in Chinese)
- [8] 侯立宇. 我国仪器仪表行业现状及发展[J]. 机械工业标准化与质量, 2011(11): 7-9, 17, 1.
HOU L Y. Present situation and development of instrument industry in China[J]. *Machinery Industry Standardization & Quality*, 2011(11): 7-9, 17, 1. (in Chinese)
- [9] 中国证券网. 国家创新蓝皮书: 仪器仪表制造创新能力颠覆式增长[J]. 化学分析计量, 2017, 26(4): 117.
China Securities Net. Blue book of national innovation: subversive growth of instrument manufacturing innovation ability[J]. *Chemical Analysis and Meterage*, 2017, 26(4): 117. (in Chinese)
- [10] 寇伟锋, 胡长平, 费帅, 等. 我国科学仪器设备产业发展现状及趋势[J]. 今日科技, 2015(9): 45-46, 55.
KOU W F, HU CH P, FEI SH, *et al.* Development status and trend of scientific instruments and equipment industry in China[J]. *Today Science & Technology*, 2015(9): 45-46, 55. (in Chinese)
- [11] Thermo Fisher Scientific [R]. 2024 Annual Report, 2025.
- [12] 张盖伦, 刘莉. 近九成科学仪器依赖进口, 国货如何突围[J]. 决策探索(上), 2021(8): 76-79.
ZHANG G L, LIU L. Nearly 90% of scientific instruments depend on imports. How can domestic products break through? [J]. *Policy Research & Exploration*, 2021(8): 76-79. (in Chinese)
- [13] CORPORATION R. 2024 *RAND Annual Report* [M]. RAND Corporation, 2025.
- [14] Danaher Business System: An Evolution in Manufacturing[R]. Productivity Press, 2014.
- [15] 薛君, 许雷鑫, 张利. 数字经济下制造业升级的德国模式及借鉴[J]. 宏观经济管理, 2023(4): 80-90.
XUE J, XU L X, ZHANG L. The German model of upgrading of the manufacturing industry in digital economy and its inspirations [J]. *Macroeconomic Management*, 2023(4): 80-90. (in Chinese)
- [16] 郭鑫, 张婧婧, 池康伟, 等. 中国与美国、日本、德国制造业国际竞争优势比较研究及相关政策建议[J]. 中国科学院院刊, 2023, 38(8): 1130-1153.
GUO X, ZHANG J J, CHI K W, *et al.* Study and policy suggestions on international competitive advantage of manufacturing industry among China, United States, Japan, and Germany [J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2023, 38(8): 1130-1153. (in Chinese)
- [17] 蒋益川. 仪器仪表公司核心竞争力评价及提升策略研究[D]. 重庆: 重庆工商大学, 2023.
JIANG Y CH. *Research on the Evaluation and Promotion Strategy of Core Competitiveness of a Instrument Company* [D]. Chongqing: Chongqing Technology and Business University, 2023. (in Chinese)
- [18] 上海证券交易所[R]. 上市公司2023年年报数据汇总, 2023.
Shanghai Stock Exchange[R]. Summary of Annual Report Data of Listed Companies in 2023. (in Chinese)
- [19] 2023-2028年中国仪器仪表行业市场发展监测及投资潜力预测报告[R]. 华经产业研究院, 2023.
2023-2028 China Instrument and Meter Industry Market Development Monitoring and Investment Potential Forecast Report [R]. Huajing Industry Research Institute, 2023. (in Chinese)
- [20] 2023年行业运行情况及信息汇编[R]. 中国仪器仪表行业协会, 2023.
2023 Industry Operation Situation and Information Compilation [R]. China Instrument and Meter Industry Association, 2023. (in Chinese)
- [21] 仪器仪表行业上市企业2023年业绩预告盘点[R]. 中国仪器仪表行业协会, 2024.
Review of Performance Forecasts of Listed Companies in the Instrument and Meter Industry for 2023 [R]. China Instrument and Meter Industry Association, 2024. (in Chinese)
- [22] 孙石磊. 中国仪器仪表制造业空间格局演化及影响因素分析[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2023.
SUN SH L. *Analysis of Spatial Pattern Evolution*

- and Influencing Factors of China's Instrumentation Manufacturing Industry* [D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology, 2023. (in Chinese)
- [23] 孙石磊, 陈爽, 顾伟男, 等. 中国仪器仪表制造业时空演化特征及影响因素分析[J]. 现代城市研究, 2023(7): 115-123.
SUN SH L, CHEN SH, GU W N, *et al.* Analysis on spatiotemporal evolution and influence factors of China's instrument manufacturing industry [J]. *Modern Urban Research*, 2023 (7) : 115-123. (in Chinese)
- [24] 国家统计局. 中国统计年鉴[R]. 北京: 中国统计出版社, 2024.
China Statistical Yearbook. National Bureau of Statistics of China [R]. Beijing: China Statistics Press, 2024. (in Chinese)
- [25] 马费成, 黄颖, 张琳, 等. 全球企业创新指数2023: 指标体系、量表开发与态势分析[J]. 科技进步与对策, 2024, 41(1): 161-172.
MA F CH, HUANG Y, ZHANG L, *et al.* Global enterprise innovation index (GEII)₂₀₂₃: indicator system, scale development and situation analysis [J]. *Science & Technology Progress and Policy*, 2024, 41(1): 161-172. (in Chinese)
- [26] 2023年全国科技经费投入统计公报[R]. 国家统计局, 2024.
Statistical Communique on National Science and Technology Funding Input in 2023 [R]. *National Bureau of Statistics of China*, 2024. (in Chinese)
- [27] 2023年中国仪器仪表行业发展研究报告[R]. 中国仪器仪表行业协会, 2024.
2023 China Instrument and Meter Industry Development Research Report [R]. China Instrument and Meter Industry Association, 2024. (in Chinese)
- [28] 2023年中国专利调查报告[R]. 国家知识产权局, 2024.
2023 China Patent Survey Report [R]. National Intellectual Property Administration, China, 2024. (in Chinese)
- [29] 李昕, 赵辉, 孙文慧, 等. 科研院所科学仪器国产化研发管控模式研究[J]. 产业与科技论坛, 2025, 24(12): 227-229.
LI X, ZHAO H, SUN W H, *et al.* Research on management and control mode of localization of scientific instruments in scientific research institutes [J]. *Industrial & Science Tribune*, 2025, 24(12): 227-229. (in Chinese)
- [30] Thermo Fisher Scientific [R]. Thermo Fisher Scientific Completes Acquisition of Patheon, 2017.
- [31] Agilent Technologies [R]. 2023 Annual Report, 2024.
- [32] 常桦. 迈克尔·波特完全竞争战略[M]. 北京: 中国纺织出版社, 2003.
CHANG H. *Michael Porter's Perfect Competition Strategy* [M]. Beijing: China Securities Net, 2003. (in Chinese)
- [33] 袁勇, 张燕勤, 付国春, 等. 新时期新质生产力赋能科学仪器“国产替代”[J]. 实验技术与管理, 2024, 41(9): 1-6.
YUAN Y, ZHANG Y Q, FU G CH, *et al.* New quality productivity in the New Era enabling scientific instruments “domestic substitution” [J]. *Experimental Technology and Management*, 2024, 41 (9): 1-6. (in Chinese)
- [34] 韩凤芹, 姚继晴, 陈亚平. 中国科研仪器产业高质量发展发展的路径选择[J]. 科研管理, 2025, 46(5): 35-43.
HAN F Q, YAO J Q, CHEN Y P. Selection of path for high-quality development of the scientific research instrument industry in China [J]. *Science Research Management*, 2025, 46(5): 35-43. (in Chinese)
- [35] 贺康, 张明善. 技术创新与企业规模的门槛效应研究: 基于高科技上市公司的平衡面板数据分析[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), 2015, 41(5): 650-656.
HE K, ZHANG M SH. Threshold effect of technological innovation and enterprise size: Based on the balance panel data of high-tech listed companies [J]. *Journal of Southwest University for Nationalities (Natural Science Edition)*, 2015, 41 (5) : 650-656. (in Chinese)
- [36] 董璐, 王志强, 李泽霞, 等. 中国科学仪器上市企业科技创新能力综合评价[J]. 科技管理研究, 2024, 44(11): 63-71.
DONG L, WANG ZH Q, LI Z X, *et al.* Comprehensive evaluation of scientific and technological innovation capabilities of listed companies for scientific instruments in China [J]. *Science and Technology Management Research*, 2024, 44(11): 63-71. (in Chinese)
- [37] 陈清泉, 高金燕, 何璇, 等. 新能源汽车发展意义及技术路线研究[J]. 中国工程科学, 2018, 20

- (1): 68-73.
CHEN Q Q, GAO J Y, HE X, *et al.* Research on the significance of developing new energy vehicles industry and its technical routes [J]. *Strategic Study of CAE*, 2018, 20(1): 68-73. (in Chinese)
- [38] 黄邦重, 曹良才. 数字全息与定量相位成像: 进展与展望[J]. 光子学报, 2024, 53(9): 0911001.
HUANG ZH ZH, CAO L C. Digital holography and quantitative phase imaging: advances and prospects (invited) [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2024, 53(9): 0911001. (in Chinese)
- [39] 王静. 研发费用充分披露与高新技术企业创新投入[D]. 武汉: 中南财经政法大学, 2023.
WANG J. *Full Disclosure of R&D Expenses and Innovation Investment of High-Tech Enterprises* [D]. Wuhan: Zhongnan University of Economics and Law, 2023. (in Chinese)
- [40] 张学文, 靳晴天, 陈劲. 科技领军企业助力科技自立自强的理论逻辑和实现路径: 基于华为的案例研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2023, 44(1): 38-54.
ZHANG X W, JIN Q T, CHEN J. Theoretical logic and realization path of technology leading Enterprises' Contribution to technology self-reliance and self-improvement: a case study based on Huawei [J]. *Science of Science and Management of S & T*, 2023, 44(1): 38-54. (in Chinese)
- [41] 裴鹏飞. 企业市场营销管理中的创新思维与应用研究[J]. 现代商业研究, 2024(11): 119-121.
PEI P F. Research on innovative thinking and application in enterprise marketing management [J]. *PKU Business Review*, 2024(11): 119-121. (in Chinese)
- [42] 上市公司 2023 年年报数据[R]. 沪深证券交易所, 2024.
Annual Report Data of Listed Companies for 2023 [R]. Shanghai and Shenzhen Stock Exchanges, 2024. (in Chinese)
- [43] 三谷宏治. 商业模式全史[M]. 南京: 江苏凤凰文艺出版社, 2016.
MITANI K. *Rise of 70 Business Mode Innovations* [M]. Nanjing: Jiangsu Phoenix Literature and Art Publishing House, 2016. (in Chinese)
- [44] 金成瑞, 吴德琪. 基于价值共创理论下的商业模式创新: 以小米公司为例[J]. 金融, 2024(3): 1204-1210.
JIN CH R, WU S Q. Business model innovation based on the theory of value co-creation: taking xiaomi corporation as an example [J]. *Finance*, 2024(3): 1204-1210. (in Chinese)
- [45] 王玲玲, 赵文博. 商业模式创新对企业价值创造的影响及机理分析: 以泡泡玛特为例[J]. 中国资产评估, 2024(3): 40-50.
WANG L L, ZHAO W B. The impact and mechanism analysis of business model innovation on enterprise value creation: taking POP mart as an example [J]. *Appraisal Journal of China*, 2024(3): 40-50. (in Chinese)
- [46] 张力曼. “资源-能力”视角下工具企业连续跨国并购的价值创造研究[D]. 南宁: 广西民族大学, 2024.
ZHANG L M. *A Study on Value Creation Through Continuous Overseas Mergers and Acquisitions of Tool Enterprises From the Dual Perspective of Resources and Capabilities* [D]. Nanning: Guangxi University for Nationalities, 2024. (in Chinese)
- [47] 洪静雯, 胡永铨. 新质生产力时代跨国并购对价值链创新的影响: 吉利集团的案例[J]. 现代商业, 2025(2): 93-97.
HONG J W, HU Y Q. The influence of cross-border M&A on value chain innovation in the era of new quality productivity: the case of geely group [J]. *Modern Business*, 2025(2): 93-97. (in Chinese)
- [48] 陈浩邦, 李东红. 竞合共赢: 中国企业出海的模式创新[J]. 清华管理评论, 2025(S1): 68-74.
CHEN H B, LI D H. Co-operation and win-win: mode innovation of China enterprises going to sea [J]. *Tsinghua Business Review*, 2025(S1): 68-74. (in Chinese)
- [49] 杨壮. 中国企业出海的机遇与挑战[J]. 商界, 2024, (28): 20-23.
YANG ZH. Opportunities and challenges for Chinese enterprises going global [J]. *Business Circle*, 2024, (28): 20-23. (in Chinese)
- [50] 雷舟. 2024: 中国企业出海的激荡之年[J]. 国际品牌观察, 2024(1): 11-14.
LEI ZH. 2024: a turbulent year for China enterprises to go to sea [J]. *Global Brand Insight*, 2024(1): 11-14. (in Chinese)
- [51] 郭艳. 2023 中国企业出海如何乘风破浪[J]. 中国对外贸易, 2023(3): 8-11.
GUO Y. How can China enterprises ride the wind and waves when going out to sea in 2023? [J]. *Chi-*

- na's Foreign Trade*, 2023(3): 8-11. (in Chinese)
- [52] 石茹鑫. 中国跨国公司对外直接投资行为选择的路径突破[D]. 沈阳: 东北大学, 2024.
SHI R X. *The Path Breakthrough of OFDI Choice of Multinational Enterprises From China* [D]. Shenyang: Northeastern University, 2024. (in Chinese)
- [53] JOHANSON J, VAHLNE J E. The Uppsala internationalization process model revisited: From liability of foreignness to liability of outsidership[J]. *Journal of International Business Studies*, 2009, 40(9): 1411-1431.
- [54] 王明瑞, 李加州. 人才强国战略下复合型创新人才培养的价值意蕴与路径选择[J]. *高教探索*, 2025(S1): 125-127.
WANG M R, LI J ZH. The value implication and path choice of cultivating compound innovative talents under the strategy of strengthening the country with talents [J]. *Higher Education Exploration*, 2025(S1): 125-127. (in Chinese)
- [55] 付婷婷, 吕曼玉. 研发型企业核心技术人才激励策略研究: 以BN公司为例[J]. *管理科学与工程*, 2023(3): 341-351.
FU P P, LÜ M Y. Research on incentive strategy of core technical talents in R & D enterprises: taking the example of BN company [J]. *Management Science and Engineering*, 2023(3): 341-351. (in Chinese)
- [56] 王岚, 庄炜玮, 刘鹏威. 科技型中小企业人才激励机制研究[J]. *河北企业*, 2018(8): 134-135.
WANG L, ZHUANG W W, LIU P W. Research on talent incentive mechanism in small and medium-sized scientific and technological enterprises [J]. *Hebei Qiye*, 2018(8): 134-135. (in Chinese)
- [57] 单伟. 企业内部隐性知识流动与转化研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008.
SHAN W. *Study on Tacit Knowledge Flow and Transform in Corporation* [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2008. (in Chinese)
- [58] 迟方圆. 地区制度质量对中国制造业全球价值链地位的影响研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2024.
CHI F Y. *Research on the Impact of Regional Institutional Quality on China's Manufacturing Global Value Chain Status* [D]. Changchun: Northeast Normal University, 2024. (in Chinese)
- [59] 徐跃珍. 政府补贴政策调整对企业绩效的影响研究[J]. *南北桥*, 2024(12): 67-69.
XU Y ZH. Research on the influence of government subsidy policy adjustment on enterprise performance [J]. *South North Bridge*, 2024(12): 67-69. (in Chinese)
- [60] 陈琼, 肖珩. 我国财税政策对科技型中小企业创新机制的影响研究[J]. *会计师*, 2024(6): 7-9.
CHEN Q, XIAO H. Research on the influence of China's fiscal and tax policies on the innovation mechanism of small and medium-sized sci-tech enterprises [J]. *Accountant*, 2024(6): 7-9. (in Chinese)
- [61] 市场监管总局计量司. 《关于计量促进仪器仪表产业高质量发展的指导意见》政策解读[J]. *中国计量*, 2023(11): 8-10.
Department of Metrology, State Administration for Market Regulation. Policy interpretation of guiding opinions on metrology promoting high-quality development of instrument industry [J]. *China Metrology*, 2023(11): 8-10. (in Chinese)
- [62] 李坤, 韩焱, 王鉴, 等. 国外科学仪器的资助政策及特点分析[J]. *中国科技论坛*, 2019(11): 172-179.
LI K, HAN Y, WANG J, *et al.* Analysis on funding policy of foreign scientific instruments and its characteristics [J]. *Forum on Science and Technology in China*, 2019(11): 172-179. (in Chinese)
- [63] 冯勇, 谢焕瑛, 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): 369-371, 334.
FENG Y, XIE H Y, LIU R G, *et al.* Management of the national special fund for major research instrument development [J]. *Bulletin of National Natural Science Foundation of China*, 2012, 26(6): 369-371, 334. (in Chinese)
- [64] NIU Q X, HONG Y S, JIN H, *et al.* Rapid modulation bandwidth test system of micro-LED based on photon excitation [J]. *Optics Letters*, 2025, 50(3): 816-819.
- [65] 惠树鹏, 王卓. 数字化对高技术产业创新投入的影响: 基于研发创新与非研发创新的比较[J]. *科技进步与对策*, 2024, 41(22): 80-88.
HUI SH P, WANG ZH. The impact of digitalization on innovation investment in high-tech industries: a comparison based on R & D innovation and non-R & D innovation [J]. *Science & Technology Progress and Policy*, 2024, 41(22): 80-88. (in Chinese)

- [66] 高艺平, 李新宇, 单杭冠, 等. 5G 技术赋能的智能离散制造车间主动调度模式[J]. 机械工程学报, 2023, 59(12): 38-46.
GAO Y P, LI X Y, SHAN H G, *et al.* Research on proactive scheduling theory and method enabled by 5G technology for intelligent discrete manufacturing shop [J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2023, 59(12): 38-46. (in Chinese)
- [67] 史红卫, 史慧, 孙洁, 等. 服务于智能制造的智能检测技术探索与应用[J]. 计算机测量与控制, 2017, 25(1): 1-4, 8.
SHI H W, SHI H, SUN J, *et al.* Exploration and application of intelligent inspection technology served for intelligent manufacturing system [J]. *Computer Measurement & Control*, 2017, 25(1): 1-4, 8. (in Chinese)
- [68] 白杰, 章晓卿. 构建产学研用合作机制 促进专精特新企业创新发展[J]. 科技经济市场, 2024(2): 7-9.
BAI J, ZHANG X Q. Constructing industry-university-research cooperation mechanism to promote the innovation and development of specialized and special new enterprises [J]. *Science & Technology Economy Market*, 2024(2): 7-9. (in Chinese)
- [69] 杨志浩, 孙小宁. 全球供应链格局新趋向及我国的战略考量[J]. 中国流通经济, 2024, 38(2): 46-56.
YANG ZH H, SUN X N. New trends in global supply chain patterns and strategic considerations for China [J]. *China Business and Market*, 2024, 38(2): 46-56. (in Chinese)
- [70] 韩清, 胡琨. 高标准市场体系建设与企业市场势力: 来自中国标准国际化的实践证据[J]. 上海经济研究, 2024(7): 44-61.
HAN Q, HU K. The construction of high-standard market system and corporate market power: evidence from the practice of standard internationalization in China [J]. *Shanghai Journal of Economics*, 2024(7): 44-61. (in Chinese)

作者简介:



崔远驰(1989—),男,江苏徐州人,博士研究生,2012年于山东大学获得学士学位,主要从事光学精密测量技术与仪器的研究。E-mail: cuiyc22@mails.tsinghua.edu.cn

通讯作者:



曹良才(1977—),男,湖北公安人,博士,教授,博士生导师,主要从事光学成像与光学显示的研究。E-mail: clc@tsinghua.edu.cn