

“两用技术”创新的效能突围与战略路径

张俊杰

在全球产业格局深度重构的背景下,以高端芯片、航空航天复合材料、高精度传感器、高端工业软件及量子计算部件等为代表的“两用技术”的发展环境正经历深刻调整。这种变化并非阶段性的波动,而是对长期以来依托外部技术红利发展模式的根本性考验。面对这一现实,产业界需保持客观冷静的判断,将外部压力转化为深化内部改革的战略机遇,通过逻辑重塑与体系重构,探索一条具备韧性的内向突围之路。

当前“两用技术”面临的制约主要聚焦于价值链的中端环节。精密制造工具、底层架构软件以及核心基础材料等领域的挑战,反映出中国制造业在迈向高质量发展进程中,依然存在大而不强与全而不精的结构性特征。这种中间环节的缺失,也是基础研究储备与应用转化效能之间的不匹配。在跨越产业升级关键节点的进程中,产业转型的核心逻辑必须从规模扩张向深度挖掘转变,优先解决制约体系效能的断点与堵点。

构建自我进化的产业体系,需从创新、政策与价值三大维度突破观念桎梏。通过优化资源配置、推动跨行业跨领域深度协同,可充分激发国内供应链的内生动力;在尊重市场规律的前提下,以强化内部循环质量为抓手,中国产业体系既能提升“两用技术”自主化水平,又能依托其通用技术与产业基础能力增强供应链韧性,从而有效应对复杂国际环境变化——这正是中国企业实现高质量发展的核心路径。

制约“两用技术”效能的结构性问题

“两用技术”作为国家工业核心竞争力的关键载体,不仅面临来自外部环境的挑战,更面临产业内部长期积累的发展瓶颈。面对这一结构性问题,产业界必须保持客观冷静的战略定力,透过现象审视本质,深刻剖析中国“两用技术”在基础研究、成果转化、资源配置及人才支撑等方面存在的深层症结,从而为实现高质量的 inward 突围夯实认知基础。这种深层挑战主要体现在以下六个维度:

第一,基础研究供给不足。底层原理积累薄弱是制约技术链条向高端迈进的首要瓶颈。在高端半导体领域,对极紫外光刻的物理原理、芯片设计底层架构以及先进制程下新材料的物化特性等底层原理积累薄弱,制约了技术链条向高端延伸。长期以来,产业界在应用技术领域的追赶速度显著提高,但在基础物理、化学以及数学等底层逻辑的深度探索上仍显滞后。这种研发投入的不均衡,导致技术链条的中上游缺乏核心理论支撑,难以形成具有爆发力的原始创新。

第二,成果转化存在断层。实验室原型到工业化产品之间的衔接不畅,使得大量创新成果难以跨越转化的鸿沟。目前普遍存在重研发轻中试的现象,缺失必要的中间验证环节和共性技术平台。许多具有前瞻性的研究成果虽然在学术层面达到了较高水平,但在进入规模化生产时,由于缺乏对复杂环境的适应性测试和工艺优化,往往停留在样机或论文阶段。例如,实验室研发的碳化硅复合材料样品性能可能达到国际水平,但在将其转化为可批量、稳定、低成本应用于航空发动机热端部件的工艺过程中,中试放大和工程化验证环节薄弱,导致有样品,无产品。

第三,资源配置效率不高。相关体系在标准制定与市场准入上的壁垒,客观上造成了研发资源的重复投入。由于历史原因,部分技术领域存在相互隔离的情况,导致相同的技术路径在不同体系内重复摸索。这种标准不一、信息不对称的局面,削弱了资源配置的集约化水平,限制了先进技术跨领域的溢出效应。在资源总量有限的背景下,如何通过机制创新消除这些隐形障碍,已成为提升整体效能的紧迫课题。

第四,工程化能力仍需锤炼。底层软硬件和基础元器件的可靠性短板,直接影响了先进技术的稳定量产。最典型的例子是高端轴承和精密减速器。国内企业可以仿制出样机,但在批量生产时,其寿命、可靠性、一致性与国外顶尖产品存在差距,这源于材料热处理、超精加工等工艺环节长期工程数据积累的不足。有样机难量产的尴尬局面,本质上是由于缺乏长期、大规模的工程应用场景锤炼,导致工艺经验积累不足。

第五,企业创新动能失衡。不同规模企业在技术创新中的角色定位与资源支撑存在显著差异。在操作系统和工业软件领域,大型企业更关注整体解决方案和市场占有率,而对底层内核、编译器、数学算法库等技术长期投入不足。而中小型软件企业虽有志于此,却难以承受漫长的开发周期和巨大的生态构建成本。这种创新动能的分布不均,导致产业生态难以形成大中小企业协同作战、梯度有序的良好循环。

第六,人才评价机制偏差。重理论成果轻工程实践的评价导向,导致优秀的工程技术人才难以向生产第一线集聚。现有的职称评定与激励体系往往更青睐论文发表和奖项荣誉,而对于在复杂工程实践中解决实际问题的技术专家,缺乏足够的回馈与尊崇。这种偏差导致“两用技术”领域的人才结构出现倒金字塔现象,即理论研究人员相对充裕,而能够沉下心来攻克底层代码、精密制造与材料工艺的一线高级工程人才储备严重不足。

定向基础研究叠加应用适配

面对复杂多变的外部环境,中国产业体系亟需通过创新范式的重构,在“两用技术”领域

实现从量变到质变的跃升。这种重构的核心在于统筹战略需求与市场规律,将资源投入从分散式追赶转向有重点的基础突破与极致的应用创新,从而在底层逻辑上重塑产业竞争优势。

首先,应当实施有方向的基础研究。面对纷繁复杂的技术路径,资源投入不宜采取全面撒网的模式,而应基于国家长期战略价值,筛选出关乎产业命脉的底层技术路线。通过集中优势资源进行定向攻坚,确保技术之树的根系深植于本土土壤。这种有目标的科研组织形式,能够有效避免研发资源的碎片化,在关键技术领域形成稳固的支撑体系,为后续的应用开发提供源源不断的活水。

其次,需确立应用创新的重要地位。在关注前沿颠覆性创新的同时,更应给予工程化转换充分的重视。“两用技术”的跨国竞争,往往不单纯体现为科学原理的发现,更集中表现为产品良率、制造精度以及生产一致性的持续精进。应当引导产业界回归制造本质,通过日积月累的微创新与现场改良,解决看得见、摸不着的技术落地难题,使技术指标在实际工况中达到最优状态。

再次,要借鉴国际先进经验并实现本地化适配。部分发达国家通过隐形冠军企业在特定领域保持领先的模式值得参考。鼓励企业在垂直细分应用场景下进行深度开发,不求面面俱到,但求在某一细分环节做到极致。通过政策引导,支持企业长期深耕单一产品或工艺,在精益求精中形成难以替代的竞争壁垒,以此构建起坚韧的产业生态节点。

最后,应着力构建链主企业与隐形冠军的协同。充分发挥行业领先企业或大型骨干企业的牵引带动作用,通过链长制的组织形式,由大企业负责梳理技术路线图并分发具体的应用场景需求。在这一机制下,广大中小企业可以围绕关键零部件和核心元器件开展专业化攻关,成长为在细分赛道具备话语权的隐形冠军。这种大中小企业深度融合的协作模式,不仅能加速技术验证与迭代,更能大幅提升产业链的整体抗压能力与协同效能。

产业政策驱动创新活力

在“两用技术”发展的关键窗口期,政府与市场的关系重塑已成为提升产业效能的核心议题。完善相关产业政策,不仅需要发挥制度优势以保障战略安全,更需通过机制确保创新主体的活力。

明确产业政策的必要性及边界是首要前提。在涉及国家安全与长期战略利益的关键领域,应当充分发挥集中力量办大事的体制优势,给予必要的定向支持与资源倾斜。这种支持并非盲目扩张,而是聚焦于战略性缺口,通过政策杠杆引导社会资本与研发力量向重点攻关方向

集聚,确保在极端环境下具备基本的自主支撑能力。

为了提升政策执行的质量,建立科学的并行竞争、择优支持的激励机制至关重要。在确保国家安全的前提下,应当设计多方参与、优胜劣汰的良性竞争规则。通过引入多家优势单位平行竞争,可以有效避免因单一供应源产生的技术路径依赖,降低效率低下的风险。这种动态竞争模式能够倒逼参与企业不断精进技术指标,在博弈中筛选出真正具备国际竞争力的技术方案。

与此同时,产业政策需要具备灵活性,建立动态调整与适时退出机制,确保公共资源始终流向最具创新潜力与市场活力的主体。政策的初衷是扶持企业成长,而非提供长期的温室,唯有保持适度的市场压力,才能锻造出硬核的技术实力。

激励模式的转型是提升效能的又一关键。应当逐步减少前置性的直接补贴,转向以成果为导向的后验性激励模式。通过增加基于研发成果转化及实际应用效果的奖励和政府回购,将政策引导与终端需求紧密挂钩。这种模式能够引导企业从追求补贴向追求应用价值转变,确保每一分资金都能转化为扎实的产业产出。

强化公共技术基础设施建设是降低行业创新门槛的有效路径。政府投入应当更多聚焦于公共测试中心、中试验证平台以及基础性行业数据库的建设。通过这些共性平台的开放共享,可以显著降低中小企业的原始创新成本,缩短从实验室到生产线的周期。

规模效应转向深度价值

在外部环境演变与国内产业升级的双重挑战下,“两用技术”领域的发展模式正经历从规模红利向效率经济的深刻跃迁。面对当前复杂的竞争态势,需从追求产值规模的扩张,转向对技术深度与系统效能的极致追求。

长期以来,依托庞大的国内市场和完备的工业门类,相关产业在规模经济方面展现了显著优势。然而,在“两用技术”受限的特定领域,单纯的产能扩张已难以消解核心技术缺失所带来的潜在风险。规模优势在解决断点、堵点问题上存在阶段性瓶颈,尤其是在高精尖环节,数量的堆砌无法替代质量的突破。因此,产业转型的迫切任务是超越对规模的过度依赖,将发展重心向技术纵深推进,在关键节点上建立起不可替代的专业化优势。

未来产业竞争的核心将愈发体现为效率经济的内涵。这种效率不仅指生产速度,更涵盖了单位资源的技术含量、对市场需求的快速响应能力以及生产体系的柔性适配能力。在资源约束趋强的背景下,竞争力的来源将取决于如何在同样的投入下产出更高性能、更具可靠性的技术产品。企业通过优化工艺流程与管理模式,提升全要素生产率,使产业体系在面临波动时依然能保

大数据下中药饮片库存成本优化策略探析

蒋明见 黄越 孙龙泽

在中医药振兴政策与人民健康新需求的双重驱动下,中药饮片市场呈现规模扩张态势。《中国中药饮片行业现状深度研究与发展趋势分析报告》显示,我国中药饮片年销售量已突破500万吨,预计2030年市场规模将达4000亿元。然而,传统管理模式已难以适应行业发展需求,成为制约产业高质量发展的瓶颈。本文基于大数据视角,系统梳理中药饮片供应链库存管理的研究现状与行业数据,发现当前存在库存周转周期长、存储损耗率高、需求预测偏差大等突出问题,特别是2025年国内气候异常波动更增加了中药材存储难度。为此,构建“数据贯通—智能预测”优化框架具有重要现实意义,通过药材数据汇聚、多维预测模型开发、区域共享建设、追溯码融合应用,可实现库存成本的精准管控,为中药饮片产业提质增效提供技术支撑。

研究现状

当前,在中医药国际化背景下,国际社会正围绕供应链标准化与效能提升两条主线,深入探索技术适配与体系构建。2025年12月,由我国牵头、9国专家共同参与的《国际标准化组织——中药材、饮片、中药制品的一般物流要求》正式立项,标志着中医药跨境流通规范迈出关键一步。该标准进一步细化并明确了中药饮片在仓储、运输、追溯等环节的技术要求,同时为跨境流通库存管控提供了统一的技术基准,为中医药供应链的全球化布局奠定了重要基础。

在仓储技术创新方面,德国德力智仓开发的“托盘堆垛机+箱式四向穿梭车”立体仓库方案,针对中药饮片多品种、多规格的特性,通过高密度存储与精准拣选技术的结合,显著提升了仓储空间利用率,存储密度最高可达0.2吨/立方米。在需

求预测领域,澳大利亚学者基于原产地气象数据与终端销售数据,构建“气候—需求”关联预测模型,成功将当归、黄芪等道地药材饮片的需求预测误差率控制在±10%以内,为原料储备策略制定及库存优化提供了科学指导。

国内研究聚焦政策落地与技术本土化创新,主要以“政策引导—技术实践—模式创新”为核心路径展开。首先,在政策驱动层面,2023年中药饮片追溯码采集政策落地后,学者高继明研究发现,追溯码的普及应用可显著降低库存管理成本;亳州通过智慧仓系统与阴凉库配置相结合,将饮片存储损耗率控制在2%以下。其次,在技术实践层面,以浙江省肿瘤医院“数智中药房”为典型案例,通过物联网RFID标签及自感应系统,构建“验收入库—仓储流通—调剂发放”全流程数据闭环,实现中药饮片库存周转率提升,患者取药时间缩短50%的双重效益。最后,在模式创新层面,国内学者提出“道地产区—加工基地—终端药房”三级数据协同模型,整合种植面积、炮制产能、处方需求等多源数据,为供应链协同优化提供新思路。

存在不足

第一,数据链条断裂,协同基础薄弱

中药饮片供应链存在数据割裂严重、协同性不足的突出问题。一是跨环节数据孤岛:上游产地(气象、种植)、中游加工(炮制、仓储)、下游终端(处方、销售)的数据难以互联互通,导致需求预测准确度受限。典型案例显示,2024年白芷因扩种信息传递滞后,市场出现供大于求,鲜货价格跌至1.7—2元/千克。二是企业内部系统孤立:多数企业仅部署ERP等单一业务系统,各环节信息无法有效流转,整体运营协同度偏低,制约供应链效率提升。

第二,预测模型单一,未适配饮片特性

当前中药饮片需求预测存在模型同质化、特

性适配不足的问题。一是传统方法的局限性:多数企业依赖单一销售数据统计法,未纳入道地产区气候灾害、炮制周期、医保政策等关键变量,导致预测误差率较高。典型案例显示,2022年部分抗疫情种因未考虑政策调整与需求波动,盲目扩种后出现需求萎缩,形成大量库存积压,增加资金占用成本。二是特殊品类适配缺失:针对贵细饮片、毒性饮片等个性化品类,尚未建立分时存销预测模型,难以满足差异化库存管理需求。

第三,质量标准化难题突出

中药饮片质量标准化面临传统经验依赖与智能化生产不匹配、数据管理体系缺失的双重挑战。一是生产规范执行不足:传统炮制工艺高度依赖人工经验,智能化转型后部分企业设备性能不完全匹配药品生产规范(GMP)要求,导致工艺标准化落地困难。二是质量数据管理滞后:缺乏对产品全生命周期质量数据的系统采集与分析,造成批次信息不完整、数据孤立,难以满足新版GMP质量体系对可追溯性和过程控制的要求。

优化建议

第一,构建全链数据融合平台,夯实协同基础

首先要建立饮片特色数据标准。依据ISO/NP26206国际标准,明确道地药材编码、炮制工艺参数、温湿度阈值等30项核心数据定义,实现源头种植、加工生产、物流运输、终端应用等各环节数据的标准化采集与统一管理。

其次要搭建分级共享架构。采用“公共数据公开+核心数据加密”模式,通过区块链技术应用实现饮片追溯信息全员可查,同时基于权限分级机制,保障供应链各方仅能访问自身库存水平、需求预测等敏感数据。经浙江数智中药房实践验证,该架构可提升供应链响应速度约40%。

第三要完善数据采集网络。在产地端,部署气象传感器与产量监测装置;在加工端,设置炮制

数据采集终端;在仓储/运输端,全面配备RFID与温湿度传感设备,实现“产地—车间—仓库—药房”全流程实时数据采集。同时,相关企业可同步推进ESG(环境、社会、治理)建设,通过绿色环保技术应用,智能化流程优化,实现供应链的共生共享与可持续发展。

第二,部署多维预测模型,提升决策精度

首先要构建分层预测体系。在基础层采用时间序列模型处理历年销售数据,捕捉历史需求规律;在中间层通过LSTM神经网络整合产地气候、疾病谱变化、医保政策等多维度影响因素;在决策层运用蒙特卡洛模拟测算道地药材减产、炮制时滞等不确定性场景,将预测误差控制在±10%以内。

其次要开发品类定制模块。针对不同饮片特性设计差异化算法,贵细饮片加入价格波动因子;毒性饮片增加监管政策权重;季节性饮片嵌入气候关联算法,如板蓝根预测中引入区域流感发病数据,准确度提升50%。

第三要建立动态迭代机制。每月基于销售与产地数据更新模型参数;每季度结合政策变动与气候趋势调整算法架构,确保模型适配饮片实际供需属性。此外,通过MES(制造执行系统)、LIMS(实验室信息管理系统)、QMS(质量管理体系)实现生产工艺参数与品质测试数据的自动采集、实时监控;依托电子检测技术完成重金属、农残、水分、灰分等关键指标的统计分析,提升产品一致性与风险预警能力。

第三,要加强研发创新,推动工艺标准化与知识积累

首先要发挥数字工具对研发提效的赋能作用。针对当前数据支持不足的痛点,建议通过构建工艺参数数据库与试验数据管理系统,系统记录并分析炮制过程、剂型验证、工艺参数等核心数据。此举可显著缩短研制周期,降低重复试验成本,并为规模化生产提供数据支撑。

持稳健的产出质量。

释放技术复用红利是实现突围的重要路径。中国在民用消费电子、新能源以及通信等领域已经建立了极为成熟且高效的供应链体系,具备极强的成本控制与快速迭代能力。应当通过机制创新,将这些在激烈市场竞争中淬炼出的管理经验与技术成果,有效反哺于“两用技术”领域。通过民用技术的溢出效应,降低研发成本并缩短产品研制周期,利用大规模民用市场的试错空间来锤炼底层技术的稳定性,从而在受限领域实现弯道超车。

提升全要素生产率是确保竞争力本质提升的终极诉求。在迈向更高发展目标的进程中,数字化改造与精益化管理将成为企业的标准配置。通过大数据、人工智能等手段对传统制造流程进行重塑,可以在资源环境受限的客观前提下,实现产出价值的最大化。这种内向挖掘潜力的方式,能够让中国“两用技术”产业在复杂多变的国际局势中,不仅具备防御的韧性,更具主动进化的动力。

综上所述,在全球产业治理体系深刻变革的当下,“两用技术”的内向突围已进入关键阶段。应对挑战的根本出路并非重走规模扩张的老路,而在于实现“两用技术”从规模驱动向效率驱动的范式转移。这种转变要求产业界在应用深度的挖掘中寻找突破口,在激励型政策的引导下培育新增长点,通过系统性的效率提升对冲外部因素带来的不确定性。

过去依靠资源投入与产能优势获取增长的模式,在面对“两用技术”管制时,其边际效应正逐步递减。未来的产业竞争力将更多取决于对技术细节的极致雕琢,以及对复杂系统集成能力的掌控。在“两用技术”的应用层面开展深度创新,不仅是技术参数的微调,更是对工艺流程、可靠性管理以及成本结构的全面重构。通过这种高效率的转化机制,能够将现有的资源潜力转化为实质性的产业安全垫,确保供应链在极端压力下的平稳运行。

构建一个具备韧性的“两用技术”产业愿景,需要各方主体在全新的生态位上协同发力。一个健康的产业共同体,应当是以链主企业为战略引领、以隐形冠军企业为坚实支撑、以科学政策为动力激励的有机整体。大型骨干企业通过释放“两用技术”应用场景和研发需求,带动一批深耕细分领域的中小型企业开展协同攻关,形成梯度有序的创新方阵。在这种新生态下,风险由共同体共担,收益由链条共享,不仅提升了资源的集约化利用水平,也极大地增强了“两用技术”体系在外部扰动下的自我修复能力。在可见的战略预见期内,中国“两用技术”产业的转型必将在压力中实现质的飞跃。

【作者系上海外国语大学博士研究生;本文系获上海全球治理与区域国别研究院课题资助(编号:2025ktq111)】

其次要通过人机协同保障特殊工艺的安全性。对需特殊处理的药材(如毒性饮片),保留人工炮制传统技艺以规避智能化生产可能存在的毒性残留风险。例如朱砂炮制:采用水飞法,通过水中精细研磨(控制力道避免过重或过轻),仅取上层漂净成分,确保有效成分纯度;附子炮制:作为八味地黄丸等方剂的关键成分,需严格依赖人工控制炮制程度,避免因炮制不完全导致呼吸急促、心率过快等毒性反应。

综上所述,本文系统分析大数据驱动下中药饮片供应链库存成本的优化路径,指出当前行业库存成本管控存在数据断裂、预测单一、协同缺失、合规低效等痛点,导致库存周转慢、损耗高、资金占用多等问题。大数据技术为破解痛点提供关键支撑,通过全链数据融合打通信息壁垒,多维预测模型提升决策精度,协同机制实现库存共享,一体化系统平衡合规与效率。实践中需构建“技术—机制—政策”三位一体体系,即部署数据采集与智能算法工具、建立联盟协同与风险共担机制、完善补贴激励与安全保障政策。

从发展趋势看,随着ISO国际标准落地与追溯码全面实施,中药饮片供应链将加速向“全链路数字化、需求精准化、库存共享化”演进。未来可聚焦大数据与绿色仓储融合,探索饮片碳足迹核算与库存优化的协同路径,为中医药产业高质量发展提供更全面的解决方案。

【蒋明见单位:广东科技学院;黄越单位:广东科技学院;孙龙泽单位:吉林大学;本文系2025年度中国国际贸易促进委员会商业行业委员会主办的会计科研课题《大数据驱动的医药供应链管理会计应用研究——智能成本管控与决策支持体系构建》(项目编号:KJKY0377);2025年教育部学校规划建设发展中心、北京创新研究所主办的新质生产力产教融合创新课题《科教融汇背景下:智能中药技术创新核心技术攻关与教学转化路径研究》(课题编号:JYBGJZX-2025-12-29-1387)】