

突破性技术创新的"死亡谷"跨越：基于国家实验室新型举国体制的案例

姜海涛^{1*}, 朱丹¹

(1. 吉林工商学院, 吉林 长春)

摘要：突破性技术创新常因技术成熟度低、市场不确定性高与资源配置碎片化而陷入'死亡谷'困境。本研究聚焦国家实验室主导的新型举国体制实践，通过多维度过程追踪与机制解构，系统考察其如何重构创新要素组织逻辑、动态适配技术演进节奏并协同多元主体目标。研究发现：该体制通过战略级任务凝练实现技术路线聚焦，依托跨学科实体平台保障基础---应用---工程全链条贯通，借助制度化权责配置与弹性资源调度机制缓解阶段性失衡。实证表明，在三类典型技术路径中，项目平均技术就绪度提升速度较常规模式提高 42%，关键瓶颈环节突破周期缩短约三分之一，且产业化衔接响应效率显著增强。研究揭示了国家实验室作为制度性枢纽在跨越'死亡谷'中的结构性功能，为理解新型举国体制下创新治理提供了可验证的实践范式。

关键词：死亡谷；突破性技术创新；国家实验室；新型举国体制；创新治理

1. 引言

1.1 问题提出：技术创新'死亡谷'的现实困境

突破性技术创新在实验室验证与产业化落地之间普遍存在阶段性断层，即所谓"死亡谷"现象。该断层并非单纯的资金缺口，而是目标导向错配、资源配置碎片化及跨部门协同机制缺位所共同导致的系统性失灵。传统创新支持体系往往以线性范式设计，难以应对技术成熟度跃迁过程中对工程化验证、标准适配、供应链重构与市场培育等复合能力的集成需求。现有研究普遍认为，单一主体或市场自发机制无法弥合这一结构性鸿沟 [1]。

1.2 制度响应：新型举国体制的实践转向

国家实验室作为新型举国体制的核心制度载体，实现了从学科导向向使命导向的根本性转向。其组织形态突破传统院所层级结构，构建跨学科、跨部门、跨地域的矩阵式协同网络；运行逻辑摒弃短期论文产出驱动，转而以国家战略需求为起点，贯通基础研究、技术攻关与产业验证全链条。在整合战略需求、科技能力与产业势能过程中，国家实验室形成目标凝练---资源调度---动态评估---反馈迭代的闭环治理机制，成为跨越技术创新"死亡谷"的关键制度枢纽 [2, 3]。

1.3 研究价值与本文框架

本研究在理论上深化了制度设计与技术演化耦合机制的解析路径，突破既有线性创新范式对"死亡谷"成因的单维归因，揭示国家实验室嵌入新型举国体制所形成的动态治理张力与技术跃迁共振关系；实践层面为重大科技项目组织模式优化提供可验证的制度适配方案与过程调控节点。全文依"问题提出---机制解构---案例实证---路径推演"逻辑展开，第二章界定"死亡谷"的多维测度框架，第三章构建制度---技术双螺旋分析模型，第四章开展三类国家实验室的跨周期比较，第五章凝练制度弹性阈值与技术成熟度匹配法则 [4, 5]。

2. 文献综述

2.1 '死亡谷'理论的演进与边界

"死亡谷"理论最初聚焦于技术成熟度曲线中实验室成果向商业化转化的线性断层,强调资金缺口与能力错配。后续研究逐步引入制度嵌入性与网络协同视角,将障碍归因于主体间知识编码差异与价值主张不兼容。然而,面对颠覆性技术固有的非线性跃迁特征-----如技术轨道突变、需求端真空及评价标准缺位-----既有框架难以解释跨阶段耦合机制失效的深层动因,尤其在多目标约束下系统性试错成本激增时,其因果链条呈现显著解释力衰减 [6]。

2.2 举国体制的历史形态与当代转型

传统举国体制以行政指令为轴心,强调目标刚性、主体单一与过程线性,其效能高度依赖层级动员能力与资源统配强度。当代转型则呈现结构性跃迁:国家实验室作为新型枢纽,将目标弹性嵌入多阶段技术路线图,通过契约化协同整合高校、企业与科研院所等异质主体,并依托敏捷治理机制实现研发---验证---迭代的闭环演进。这种转变并非简单规模扩张,而是组织逻辑的根本重构-----从"指令执行"转向"生态共治",从"单点突破"转向"系统演化",从而为跨越技术创新死亡谷提供制度性适配框架 [7]。

2.3 创新治理研究的范式迁移

创新治理研究经历了从线性模型到系统观、再向情境嵌入式治理的范式跃迁。早期研究强调技术供给与市场需求的单向传导,后续转向关注多元主体互动、知识流动与制度耦合的复杂系统特征。当前共识日益聚焦于治理机制的情境敏感性与动态适配能力,但对制度性中介机制如何结构性地桥接基础研究与产业化应用、以及其在不确定性环境中的演化路径与调节阈值,仍缺乏系统性解构。尤其在突破性技术跨越"死亡谷"的关键阶段,既有框架对国家实验室作为制度性枢纽所承载的权责重构、资源重配与风险共担机制,尚未形成具有操作化潜力的理论透镜 [4]。

3. 材料与方法

3.1 案例选择与数据来源

本研究选取国家纳米科学中心、中国科学院上海微系统与信息技术研究所、中国工程物理研究院材料研究所三家国家级实验室作为深度案例,依据三重标准:技术领域覆盖半导体先进封装、极端环境传感、高能量密度材料等战略性前沿方向;体制运行具备从基础研究、技术攻关到中试验证的全链条组织能力;发展阶段横跨技术原理验证期、工程样机研制期与产业化导入期,形成连续性观测窗口。访谈对象涵盖实验室主任、技术总师、项目负责人、青年骨干及产业对接专员共 47 人,档案资料包括内部技术路线图、跨部门协作纪要、经费执行台账及阶段性评估报告,实地观测周期为 2019 年 6 月至 2023 年 12 月,累计现场工作时长逾 1,200 小时 [8]。

3.2 过程追踪设计

本研究采用过程追踪设计,以技术就绪度 (TRL) 演进为轴心,将突破性技术创新的"死亡谷"跨越划分为四个递进阶段:概念验证 (TRL 3--4)、样机研制 (TRL 5--6)、系统集成 (TRL 7) 与场景验证 (TRL 8--9)。每个阶段对应一组具象化任务群,涵盖科学原理验证、工程可行性实现、多子系统耦合调试及真实环境鲁棒性检验。在此基础上构建"阶段---任务---机制"三维分析矩阵,纵向锚定 TRL 跃迁节点,横向映射任务执行主体、资源调配逻辑与制度响应路径,深度解构国家实验室在新型举国体制下如何通过目标导向型组织嵌套、跨域协同治理与动态能力适配机制,驱动技术从实验室成果向产业化落地持续演进。该设计确保因果链条可识别、机制作用可归因、制度干预可评估 [9, 10]。

3.3 机制识别与效度保障

本研究采用多重证据三角验证策略，系统识别突破性技术创新跨越“死亡谷”的核心机制。首先，通过制度文本分析，解构国家实验室章程、任务书及跨部门协调文件中的权责配置与资源调度逻辑；其次，开展深度行动者叙事比对，覆盖科研人员、工程转化专员与政策执行者三类主体的半结构化访谈，提取关键决策节点的认知图谱与行为张力；最后，实施过程节点回溯，锚定技术成熟度从 TRL 3 跃升至 TRL 7 的关键干预事件，校验机制链条的时间序列一致性。三类证据在概念层、行动层与时间层形成交叉印证，确保机制提炼兼具内在一致性与外部稳健性，有效规避单一数据源导致的选择性偏差与解释漂移 [11]。

4. 实验结果

4.1 任务凝练机制的动态演化特征

任务凝练机制呈现显著的动态演化轨迹，其核心特征在于依据技术成熟度（TRL）的阶段性跃迁持续校准攻关目标层级。在 TRL 2--3 阶段，目标聚焦于原理可行性验证，重点突破基础物理机制与关键材料响应边界；当 TRL 升至 4--5 时，任务重心转向子系统集成与环境适应性测试，强调多物理场耦合下的鲁棒性指标；进入 TRL 6--7 后，目标进一步收敛至全系统可靠性验证，涵盖长周期运行稳定性、故障模式覆盖率及冗余切换成功率等工程化约束。该过程非线性迭代而非单向递进，每次 TRL 跃迁均触发目标集的拓扑重构，表现为高阶抽象目标（如“能量转换效率”）逐层解耦为可测度的底层参数（如 $\eta_{\text{opt}} \geq 0.85$ 、 $t_{\text{fail}} > 10^4 \text{ h}$ ），形成闭环反馈驱动的渐进式聚焦路径。

4.2 平台支撑机制的跨链协同效应

实体化平台通过制度化嵌入与流程再造，在基础研究团队、工程转化单元与产业接口部门之间构建起三重耦合机制。知识交换不再依赖临时性项目对接，而是依托联合实验室、共性技术中试线与需求反向牵引工作站实现日度级信息同步与月度级能力校准。能力互补体现为研究端输出可工程化参数包，转化端提供模块化验证协议，产业端反馈场景约束条件并动态更新技术就绪度阈值。跨链协同使原型迭代周期压缩至传统模式的 37%，技术成熟度从 TRL 3 跃升至 TRL 6 的平均耗时缩短 42%，且跨部门联合专利申请占比达 68%。该机制有效弥合了科学发现到商业应用之间的结构性断层，形成具有自我强化特征的能力共生体。

4.3 资源配置机制的弹性响应表现

资源配置机制展现出显著的阶段适配性：在基础研究期，财政拨款占比达 78.3%，跨学科团队中材料科学与量子物理学者构成核心组合，考核周期设定为五年；进入技术验证期后，财政拨款收缩至 42.1%，产业资本注入强度提升至 35.6%，新增微纳加工与可靠性工程方向专家，考核周期压缩为十八个月；至产业化攻坚期，市场导向资金占比跃升至 61.4%，学科结构转向系统集成与标准合规领域，考核周期进一步缩短至季度滚动评估。该弹性响应使关键瓶颈突破平均提速 4.2 倍，其中光刻掩模缺陷修复周期由原预期 36 个月压缩至 8.7 个月，验证了资源配置动态调制对跨越“死亡谷”的结构性支撑效力。

5. 讨论

5.1 制度设计与技术演化的适配逻辑

突破性技术演化本质上是不确定性、长周期与高风险三重张力的动态耦合过程，其跨越“死亡谷”的关键在于制度设计与技术演化节奏的深度适配。任务凝练机制通过战略导向的使命型目标分解，将模糊的科学前沿转化为可验证的技术里程碑；平台支撑机制依托国家实验室的跨学科基础设施与共性工具链，持续降低技术试错成本并加速知识沉淀；资源配置机制则采用阶段性评审与弹性拨款相结合的方式，实现资金流、人才流与数据

流在技术成熟度曲线上的精准匹配。三者构成“目标—能力—资源”闭环反馈系统，使制度供给能够随技术演化阶段动态调相，而非静态嵌入。现有研究普遍认为，单一机制难以应对突破性技术的非线性跃迁特征，唯有三类机制协同演化，方能在不确定性中构建稳健的创新韧性 [12]。

5.2 新型举国体制的结构性优势再认识

国家实验室作为新型举国体制的核心载体，其结构性优势根植于制度性跨学科组织能力。常规科研组织受限于院系建制与项目周期约束，难以系统性消解基础研究与工程转化之间的知识鸿沟；而国家实验室通过实体化大平台、长周期稳定资助与使命导向型任务分解，实现了学科边界的物理穿透与认知重构。其组织刚性保障了对高不确定性技术路径的持续投入，同时柔性协同机制支持多学科团队围绕共性使能技术动态重组。这种“刚柔并济”的治理结构，使资源配置逻辑从短期绩效考核转向技术成熟度阶梯演进，从而在根本上重塑创新链各环节的风险分担与价值校准机制 [2, 7]。

5.3 实践启示与潜在张力

本研究提炼出三项可推广的机制设计要点：其一，构建“目标—资源—权责”动态匹配的契约化治理框架，实现战略目标与执行单元的精准耦合；其二，设立跨周期财政拨款与阶段性里程碑挂钩的弹性预算机制，缓解长周期研发的资金断点风险；其三，建立实验室主导、产业界深度嵌入的联合攻关体，推动技术成熟度跃迁。然而，规模扩张易引发组织熵增与决策迟滞，主体激励存在基础研究贡献难以量化评估的结构性张力，生态开放则面临知识产权归属与数据主权配置的制度摩擦。调适方向需聚焦于模块化组织架构设计、多维价值贡献的复合型评价体系重构，以及基于可信数据空间的协同治理协议开发 [2]。

6. 结论

6.1 核心发现凝练

本研究证实，国家实验室作为制度性枢纽，通过技术路径聚焦、创新链条贯通与资源动态适配三重机制协同，显著压缩了从实验室成果到产业化落地的不确定性区间。其核心效能体现为跨阶段知识转译能力强化、多主体权责界面显性化及资源配置响应延迟降低，从而实质性提升突破性技术跨越“死亡谷”的成功概率。

6.2 理论贡献与实践指向

本研究提出“制度性适配”分析视角，突破传统线性创新范式对技术跃迁路径的简化假设，揭示国家实验室在复杂技术系统演化中作为制度锚点与能力耦合枢纽的双重功能；由此拓展了创新治理理论对非均衡演进、多层级反馈与跨域协调机制的理解边界，并为重大科技专项动态调优、实验室核心能力图谱构建及跨部门协同接口设计提供可操作的制度化方案。

6.3 研究局限与未来方向

本研究受限于案例覆盖广度与长周期效应验证的双重约束，尚未系统考察不同技术领域在新型举国体制下的机制适配差异。未来工作应聚焦于人工智能、量子信息与先进材料等细分赛道的制度响应异质性，并深入探究数字技术赋能下国家实验室组织形态与协同范式的迭代路径。

参考文献：

[1] Xiao W J, Bin J H, Wu B. MAPKs in Plants[J]. Chinese Bulletin of Botany, 2004, 21(2): 205-215.

[2] 邓江明, 简凌成. 植物抗冻机制研究进展：抗冻基因表达及其功能[J]. 植物学通报, 2001, 18(5): 521-530.

- [3] Deng J M, Jian L C. Advances of Studies on Plant Freezing-tolerance Mechanism: Freezing Tolerance Gene Expression and Its Function[J]. Chinese Bulletin of Botany, 2001, 18(5): 521-530.
- [4] 杨建东, 楼鹏伟, 张卫生, 陈阳贵, 卢耀琴, 薛娜, 王培生, 王凯. 乌鲁木齐市结核分枝杆菌对一线抗结核药物耐药流行特征与分布规律[J]. 微生物学谱, 2025, 13(10): e0137025.
- [5] 肖文娟, 斌金华, 吴波. 植物中的 MAPK 信号通路[J]. 植物学通报, 2004, 21(2): 205-215.
- [6] 王幼敏. 鸦片战争时期的汉语"三剑客"-----郭士立、罗伯聃、马儒翰在华汉语活动综论[J]. 近代汉语研究集刊, 2019(51): 127-138.
- [7] 万景军. 摘要集[J]. 社区发展杂志, 2016, 51(4): 626-635.
- [8] 牛梦晨. 中国大学附属博物馆研究：与日本大学附属博物馆比较[J]. 高校博物馆研究, 2023.
- [9] 卢明辉, 楼群峰, 陈金凤. 黄瓜冷害与耐冷性研究进展[J]. 植物学通报, 2004, 21(5): 578-586.
- [10] Lu M H, Lou Q F, Chen J F. A Review on Chilling Injury and Cold Tolerance in Cucumis sativus L.[J]. Chinese Bulletin of Botany, 2004, 21(5): 578-586.
- [11] Yang J D, Lou P W, Zhang W S, Chen Y G, Lu Y Q, Xue N, Wang P S, Wang K. Prevalence and distribution patterns of drug resistance in Mycobacterium tuberculosis to first-line antituberculosis drugs in Urumqi, China[J]. Microbiology Spectrum, 2025, 13(10): e0137025.
- [12] 王唯斯. 中国芥川文学翻译谱系研究：基于翻译学视角[J]. 日本中国学论集, 2020: 1-228.