

美国技术预见的历程、实践及启示

姚逸雪¹, 钟卫¹, 袁立科²

(1. 中国人民大学公共管理学院, 北京 100872;

2. 中国科学技术发展战略研究院, 北京 100038)

摘要: 技术预见 (Technology Foresight) 是研判未来科技发展方向并引导资源配置的重要政策工具。以美国为研究对象, 系统回顾其技术预见的发展历程与主要实践。通过文献分析与案例梳理, 重点考察美国对技术预见早期发展的贡献, 以及联邦政府近年来开展的两轮关键技术选择活动。美国虽未形成集中式、制度化的国家技术预见体系, 但通过关键技术选择及多元政策工具, 在科技优先事项设定中发挥了替代性作用。这一路径与美国自由放任的政策传统和分散化科技治理结构密切相关。阐述了美国技术预见实践的主要特征, 并分析了其对中国开展国家技术预见活动的启示。

关键词: 美国; 技术预测; 技术预见; 关键技术选择; 国家创新体系

中图分类号: G30 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2025.11-12.001

自20世纪80年代起, “技术预见” (Technology Foresight) 在国家安全、科技发展与经济竞争中的重要性日益凸显^[1-2], 其通过研判科技动态与未来趋势, 帮助国家合理配置资源、确定优先事项。自20世纪90年代起, 英国、法国和德国等国家纷纷将技术预见纳入政策工具, 以支持科技决策。

美国作为全球科技领先者, 自二战后持续将资金投入高等教育与基础研究^[3], 长期保持相关领域的创新优势^[4]。然而, 在国家层面, 美国未开展集中的科技规划, 未将技术预见作为突出工作, 这与其他发达经济体形成鲜明对比。但是, 这并不是美国技术预见的全体。在技术预见的早期发展历程中, 美国开发了许多影响深远的技术预见方法^[5]。本文主要从以下3个方面展开分析: 第一, 梳理美国技术预见的发展历程及其在早期阶段的贡献; 第二, 分析在各国相继开展技术预见计划的背景下, 美国所采取的实践路径及其内在逻辑; 第三, 总结美国技术预见实践的主要特征, 并探讨其对其他国家科

技规划与政策制定的启示。

1 美国早期技术预见的历史进程

自工业革命以来, 技术进步带来了巨大的社会变革, 促使人们对未来的技术和社会发展进行更多的思考和预测^[6], 如普莱斯纳对语音打字机、电视等的预言, 以及20世纪初的“原子间能量”“掌握裂变和聚变潜力”“公元2030年的世界”等预测^[7]。在展望未来科技的背景下, 美国公共部门与私人部门在20世纪30年代至70年代研发出一系列方法与工具, 为现代技术预见奠定了重要基础。

1.1 二战前的探索阶段

在1929年经济危机的背景下, 资本主义世界亟须摆脱困境。面对市场失灵的情况, 人们开始思考科技发展与社会条件之间的关系。凯恩斯的新经济理论突破了古典自由主义教条, 主张政府运用规划工具调控国民经济, 这些措施已具备未来研究的要素: 分析现状、预测趋势、评估不同政策可能带

第一作者简介: 姚逸雪 (2000—), 女, 在读博士研究生, 主要研究方向为技术预测、公共政策。

通信作者简介: 钟卫 (1976—), 男, 博士, 主要研究方向为技术预测、科技规划、科技成果转化、科技创新政策。电子邮箱: zhongw@ruc.edu.cn

项目来源: 中国科学技术发展战略研究院创新型国家建设监测和智库建设专项“技术预测方法工具箱开发及应用研究” (NTF2309)。

收稿日期: 2025-09-25

来的影响, 并选择具体路径以实现理想目标。

为应对危机、构建稳定的未来, 美国联邦政府启动了技术及其社会影响的预测工作。社会科学家威廉·F·奥格本(William·F·Ogburn)领导的专家团队于1933年编制《美国最近的社会趋势》, 系统梳理了社会问题与技术影响, 随后, 该团队在1937年完成《技术趋势和国家政策》^[8], 对未来20年的科技社会发展进行展望, 预测了包括电视、塑料和空调等在内的13项重大发明及其社会影响。

这一时期的技术预见方法主要分为两大类: 一是趋势外推法(Trend Extrapolation), 假定影响因素保持稳定, 基于历史数据推断未来趋势; 二是因果关系与机会法(Causality and Chance), 通过概率统计的方法预测发明的出现条件与影响。两者均依赖定量建模, 前者侧重线性推演, 后者基于统计概率。自20世纪30年代开始, 这种以定量建模为基础的方法工具在美国的兴起, 不仅标志着美国国家技术预见工作的正式启动, 也为此后的技术预见研究提供了范式。

1.2 二战后至20世纪70年代的蓬勃发展阶段

20世纪30年代的技术预见并非独立实践, 而是国家战略规划的组成部分。二战期间, 战争需求推动了运筹学与系统分析的发展^[9], 为预见方法奠定了理论基础。二战后至20世纪70年代初, 军事部门和社会组织推动了方法论创新, 预见对象也从军事技术逐步扩展至社会议题, 并在20世纪60年代末形成未来研究浪潮。

1950—1960年, 美苏的核军备竞赛使得对未来技术发展态势进行研判成为国家核心议题^[10]。美国空军资助成立的兰德公司成为技术预见的主力, 其研究方法论及智库模式影响深远^[11]。这一时期的技术预见聚焦于如何应对国际局势的不确定性, 而传统的趋势外推与因果统计方法已无法满足需求: 二者既缺乏充足的历史数据支撑, 又难以处理“冷战”背景下复杂多变的战争情景与决策优化问题^[7,12]。为此, 兰德公司的赫尔曼·卡恩等人对不确定性进行区分: “统计不确定性”需通过复杂计算处理, 而“真实不确定性”则涉及人类决策主

观性, 超出传统定量范畴^[13]。针对“统计不确定性”, 研究人员开发了计算机可编程的分析方法, 包括线性与动态规划、系统模拟、博弈论及人工智能等新方法^[11]。针对“真实不确定性”, 研究人员创新性地提出德尔菲调查法与情景分析法: 德尔菲调查法通过多轮匿名专家咨询凝聚共识^[14]; 情景分析法则通过构建多种未来情景, 识别最可能的发展路径^①。

随着1962年古巴导弹危机缓解和1968年《不扩散核武器条约》的签订, “冷战”局势趋缓, 公众关注焦点从核威胁转向技术对社会的影响, 以及气候、能源和人口等社会议题^[15]。随着德尔菲法等方法的解密^[1], 20世纪50年代开发的预见方法被广泛应用于社会领域。然而, 受20世纪50年代军事预测方法的影响, 美国未来研究呈现出以量化建模为核心的科学化、系统化特征, 即以较高置信度对未来技术进行概率评估^[10]。

2 美国近期的技术预见实践

2.1 20世纪80年代以来的技术预见理念与实践

人们曾试图筛选出最可能实现的“单一未来”, 认为正确的预测是衡量技术预见价值的唯一标准。因此, 当技术预见未能成功预测1973年的石油危机时, 技术预见的实用性受到了质疑^[16], 进而引发了对于技术预见方法和理念的批判^[17]。批判主要集中在两个方面: 一是当前技术预见方法过度依赖量化模型, 忽视了复杂环境和质性研究等因素; 二是在理念上, 技术预见方法假定未来是单一且确定的, 未考虑多元主体的意愿与行为对未来的塑造作用^[18]。20世纪80年代新自由主义浪潮兴起, 美国退出了社会规划领域, 未来研究被进一步边缘化^[19]。

然而, 新自由主义浪潮提高了经济全球化程度, 加剧了各国间的市场竞争。同时, 随着计算机、生物医药等新兴技术的持续涌现, 在有限资源的约束下, 政府和企业亟须通过科学工具确定技术投资的优先级^[19], 识别关键研发领域, 避免资源浪费, 从而巩固技术研发中的比较优势^[1]。

① 情景分析法背后的理念经历了显著演变。20世纪50年代的情景分析法虽提及替代性未来的存在, 但其本质仍与德尔菲调查法等方法相似, 旨在预测“最可能发生的未来”, 试图为“未来是什么”提供一个标准答案。20世纪60年代后期, 情景分析法不再聚焦于单一预测, 而是转向构建多种替代性未来, 并为每种可能性制定相应规划。这一转变使其真正超越了早期技术预见的范畴, 进而在20世纪80年代得到广泛关注和应用。

在这一背景下，日本科学技术厅于20世纪70年代初组织实施了全国性德尔菲调查，并形成了每5年定期开展调查的机制。20世纪80年代，学者约翰·欧文（John Irvine）和本·R·马丁（Ben·R·Martin）通过对日本实践的研究，提出了技术预见的概念^[1-21]①。在继承了美国开发的方法与工具的情况下，日本更新后的技术预见在理念上否定了单一的线性未来观，认为未来是多种可能性的集合^[1]；强调将技术置于社会经济复杂系统中考量，注重技术与环境、社会和经济的互动，并在此基础上规划行动路径^[20]。

这一概念为20世纪90年代多国技术预见计划提供了基础^[21]，并逐渐发展为周期性、多轮次的实践^[5]。此外，还有一些国家至今仍定期开展技术预见工作，将技术预见视为科技决策的重要依据^[22-23]。在这些实践的基础上，Miles概括了“全面技术预见（Fully-Fledged Foresight）”的框架^[24]，其包含3个要素：对长期的机会和替代路径的预见研究、参与式方法和政策导向。“全面技术预见”充分表征了技术预见的关键特点，是国家推进技术预见工作的重要参考。

2.2 美国的两轮关键技术选择

关键技术选择是一种技术预见方法，用以识别和排序具有战略意义的技术领域，为未来科技发展和资源配置提供重点方向。这种方法的基本假设是某些“关键技术（Critical Technology）”在国家经济繁荣和安全中具有至关重要的作用，鉴于其战略意义，政府需要对这些技术的发展给予特别关注和支持。围绕这些关键技术的筛选与优先排序的活动，被称为“关键技术选择”^[4]。从操作方法上看，关键技术选择具有以下基本步骤：首先，应定位和筛选专家；其次，通过专家研判编制初级清单；最后，确定初级清单中的优先事项，进而形成最终清单^[25]。

美国虽然曾在部门层面开展过具有技术预见关键过程和方法特征的工作^[26-28]，但并未系统地推进大规模的国家级技术预见计划。在联邦政府层面，其主要实践集中于两轮关键技术选择活动。第一轮始于1991年，采取两年一次的运行周期，

并于1998年发布第四份报告后终止；第二轮始于2020年，计划每两年更新一次，截至2024年已发布第三份《关键和新兴技术清单》。此外，美国暂无其他技术预见活动。无论从技术预见的专业性、规模还是政策影响来看，美国的两轮实践均不及其他科技大国。

2.2.1 第一轮关键技术选择

20世纪80年代，随着日本、德国制造业的崛起，美国先进技术和工艺的比较优势不再明显。对于如何应对这一国际挑战，一种观点认为，政府应采取更直接的行动，包括对某些关键技术进行有针对性的研发^[29]。为此，美国国会于1989年底颁布了《1990—1991年国防授权法案》^[30]，要求科学技术政策办公室（Office of Science and Technology Policy, OSTP）主任在该部门内设立一个国家关键技术小组，每两年编写一份国家关键技术报告，以确定哪些是国家的关键技术。

在实践中，美国白宫召集了一个由13名专家组成的小组。13名专家中有9名由OSTP任命，其中3名来自政府，6名来自私营部门或学术机构，他们通常被称为“科学顾问（Science Advisor）”。其余4名成员由国防部、能源部、商务部和国家航空航天局的人员组成。专家小组的任务是编制一份包含不超过30项关键技术的国家关键技术报告。原始立法中并没有“关键技术”的明晰界定，而是将判断权交给了小组成员，由小组成员根据自身专业知识确定关键技术清单。科学顾问任命一名联邦官员担任座谈会主席。座谈会共进行了两次，第一次会议负责确定初始清单；第二次会议负责对初始清单进行分类，并由全体专家投票确定关键技术的最终清单。

1990年的首次座谈会由OSTP分管工业技术的副主任主持，并委托第三方咨询公司提供背景性材料、组织会议和撰写最终报告^[31]。小组成员首先总结了既有的关键技术研究（国防部、商务部的技术清单等）、其他联邦政府部门提供的简报，以及公私部门研发机构和专家提供的资料等与外国经济和军事技术发展相关的信息^[32]，制定了包括近100项技术的初级清单^[33]。确定初级清单后，根据

① 20世纪70年代，日本在组织实施第一次全国性德尔菲调查时采用了“技术预测”的术语。到了20世纪80年代，约翰·欧文和本·R·马丁将日本的“技术预测”活动定义为“技术预见”，但日语中还继续沿用“科学技术予测”一词。同样，中国的国家层面技术预见计划也延续了传统，继续使用“技术预测”一词。在本文中，“技术预测”与“技术预见”在内涵和外延是完全一致的。

包含“国家需求”“重要性/关键性”和“市场规模/多样性”3个大项(共10个小项)的筛选标准,筛选出包含22项技术的最终清单,这些技术被认为可以在10~15年内融入商业或国防系统。

第二次座谈会于1992年举行,由来自美国国家科学基金会的人员主持,白宫工作人员提供指导,编制方式与第一次相同。从第二次座谈会起,兰德公司开始参与撰写报告。在第三份报告的编制中,考虑到外部政策的变化,OSTP没有组建正式的国家关键技术小组。报告由新成立的联邦资助机构科学技术政策研究所的成员与4名产业界人士整理而成。这些专家基于第一份关键技术报告和国防部、商务部和国家航空航天局的技术清单,确定了初级清单。清单的最终确定同时考虑了内外部因素:一方面,采用“国际基准比较(International Benchmarking)”方法分析初级清单中的技术,该方法是对欧洲、日本等技术先进的国家中该项技术领域的地位和发展趋势进行分析,以明确不同技术的相对重要性;另一方面,考虑本国的经济和安全需要,确定了包括“经济繁荣”和“国家安全”2个大项(共8个小项)的筛选标准,并据此编制最终清单^[34]。

前3份报告的编制基本按照法案的要求进行,报告的撰写者从少量学界专家和政府官员中产生,而第4份报告不仅纳入了产业界精英的观点,在筛选方法上也有所变化。为了反映美国真实的市场环境,受委托主导第4次工作的兰德公司邀请了39家公司的总裁、首席技术官和其他高层管理者参与报告的编制。兰德公司对这些产业界精英进行半结构化访谈,识别其认为在当前及长远发展中对企业、行业乃至国家具有关键意义的技术领域,并进一步探讨这些技术在发展过程中可能面临的主要挑战以及所需的产业环境与制度条件^[35]。

20世纪90年代末期,美国国会未对这些报告提出进一步评论,也没有表明继续编制清单的意图,因此关键技术座谈会中止。总体而言,每次关键技术筛选标准均会有所变化,但始终围绕经济和国防两个核心维度进行选择,并未考虑更广泛的社会需求^[31]。同时,清单的编制主要由小规模专家讨论产生,没有使用任何正式的预测方法。从政策影响来看,关键技术清单的用途并不明确,对联邦科技发展政策几乎没有影响。虽然清单在特定场合具有象征性意义^[5],如为利益相关者辩护或为部分联邦机构

提供参考依据,但其并未直接促成联邦科技政策的调整或资源分配的变化^[31]。各份报告对关键技术的定义和筛选标准不明确。技术条目主要基于已有报告的不断累加而形成,而非通过细致比较确定真正领先的关键技术。在兰德公司发布的第4份报告中,技术清单确定的关键技术数量已从最初国会要求不超过的30项增至100余项^[35],无法有效指导优先研发领域的确定。值得注意的是,上述4份报告几乎得出一致结论,认为产业界应在技术发展中发挥主导作用,而联邦政府的责任在于通过资助研发营造良好的技术创新环境^[31]。

2.2.2 第二轮关键技术选择

时隔20年,关键技术选择再次进入联邦政府的议程。与第一轮由国会立法授权政府进行关键技术选择有所不同,这一轮的工作始于行政系统的文件。2020年,经美国国家安全委员会批准通过的《关键和新兴技术国家战略》提出,美国在技术研发方面的领导地位正日益受到中国和俄罗斯的挑战,在此背景下,要求确定和评估对美国国家安全(包括军事、情报和经济)优势重要或可能变得重要的“关键和新兴技术(Critical & Emerging Technologies)”^[36]。

从清单编制机构来看,与第一轮工作相比,第二轮的清单编制主责机构由OSTP转变为国家科学技术委员会(National Science and Technology Council, NSTC)。NSTC是白宫的科技咨询委员会之一,由承担重大科技责任的部门和机构选出的代表组成,其职责是通过下设的小组委员会和机构间工作组协调科学技术政策制定和执行^[37]。清单编制的具体执行单位是NSTC下的“关键和新兴技术快速通道行动小组委员会”。该小组委员会成立于2020年,由NSTC和国家安全委员会(National Security Council, NSC)联合设立,专门负责关键和新兴技术的遴选工作^[37]。2024年的小组委员会由OSTP和NSC各派出一名助理主任担任联合主席。

3次清单的编制遵循相同的流程。首先,初级清单由小组委员会的18个成员部门各自用一年的时间确定。18个成员部门为农业部、商务部、国防部、能源部、卫生和公众服务部、国土安全部、内政部、司法部、国务院、交通部、国家航空航天局、国家科学基金会、国家安全局、国家安全委员

会、国家空间委员会、国家情报总监办公室、管理和预算办公室和科技政策办公室。参与清单编制的是各个成员部门的主题专家^①，他们负责提名其所属组织认为可能对美国国家安全具有重要影响的子领域技术。初级清单确定后，由 NSTC 整合成为最终清单。2020 年的清单包括 20 个技术大类。之后的两次清单均有所调整，2022 年的清单将技术大类减少至 19 项，并为每个关键和新兴技术确定了子领域^[39]；2024 年的清单是对前两份清单的更新，将技术大类减为 18 项^[36]。

第二轮关键技术选择的相关公开资料中没有显示具体的筛选标准。其主要从原则上强调筛选新兴和核心的技术。同时，还强调将这些技术分为三大类：“最优先”“高优先”和“新兴技术领域”，并对三类技术实施差别化的管理措施。

从政策影响上看，第二轮清单编制与第一轮没有实质区别，如未能产生显著的政策影响。在实践中该清单被用作简化部分技术领域专家签证审批流程的参考依据^[40]，以及促进盟友间的国际科技合作^[36]，这主要是为美国政府和机构制定技术竞争力与国家安全战略提供信息，而非法定的研发投资优先清单。同时，与第一轮的观点类似，《关键和新兴技术国家战略》也强调建设由学术界、国家实验室和私营部门组成的创新体系对关键和新兴技术发展具有重要意义。

3 美国关键技术选择的特点

美国的关键技术选择与技术预见具有相似之处。两轮关键技术选择都是在外部经济环境冲击下采取的应对策略，目的是维护本国的经济发展和国防安全，并非简单地对技术发展进行线性预测。此外，通过筛选关键技术确定科技发展优先事项的举措，在目标和取向上与技术预见所强调的行动导向相耦合。从这两点看，本文认为美国的关键技术选择属于非典型的技术预见。其“非典型”性体现在以下 3 点：

在方法论层面，美国的关键技术选择缺乏系统性预见框架的支撑。“全面技术预见”要求构建多

方法协同的分析体系，通过地平线扫描、情景分析、德尔菲调查等工具的组合运用，实现技术趋势与社会需求的系统匹配^[5]。相比之下，美国的关键技术选择仅依赖小规模座谈会和专家访谈，既未建立清晰的技术关键性评判标准，也未能有效展现技术间的协同关系，导致经济、军事需求与技术清单之间的逻辑关联薄弱。

在参与主体方面，美国实践呈现出明显的精英化倾向。全面技术预见强调通过多元主体参与构建合作网络^[24]，而美国的关键技术选择始终局限于少数联邦官员、产业精英和少数专家。与日本上千名跨领域专家参与的德尔菲调查相比，美国缺乏广泛吸纳学界和产业界的多元视角。

前两点只是折中灵活的方法层面的调整，政策影响力层面的差异则将美国的实践与主流技术预见彻底区分开。技术预见的根本目的在于为政策制定提供系统性支撑^[5]，而美国的关键技术清单与实质政策工具之间存在明显的脱节。作为编制主体的 OSTP 和 NSTC 仅作为协调机构，既无权限又无资源推动清单实施；清单本身也未能与联邦科研资助体系形成制度性关联，其效力完全依赖各部门的自发采纳。这种“有清单无规划”的特点，使得关键技术选择仅停留在引导性参考层面，无法成为驱动国家科技战略的核心政策工具。因此，美国的关键技术选择被认为是一种“类似预见”的实践^[5]。

4 美国“非典型”技术预见的成因

美国的技术预见不具有明显的政策影响，有观点认为，这是由于美国长期形成的自由放任政策传统，使其在政策取向上天然排斥集中式科技规划^[31]。然而，这一解释未能充分反映历史的复杂性。纵观美国科技政策史，联邦政府的角色几经变化^[41]，因此，理解其技术预见路径的独特性，须回溯联邦科技政策的演进脉络，尤其是理解国家与市场关系的变化。

4.1 二战前至 20 世纪 60 年代：从自由放任到直接干预

二战前，美国的科学研究基本处于自由放任

① 文中提及的主题专家是指联邦政府各部门出于一些工作任务的要求而聘用的专家。例如，美国能源部 2011 年的一项有关加强运营合作的命令中要求与主题专家合作，并将主题专家定义为“在特定领域或工作流程中拥有资质和经验的个人；通过教育、培训/经验成为特定主题、话题或系统公认专家的个人”。详见参考文献 [38]。

状态, 除农业科技外联邦政府极少直接资助研发, 而是主要依赖产业界支持高校研发及引进欧洲技术^[3]。尽管当时美国已建立规模可观的研究体系, 但其基础研究质量仍逊于欧洲, 其核心优势体现在强大的制造业能力, 而非世界一流的科学研究^[42]。二战的爆发彻底改变了这一格局。二战后的欧洲基础研究能力被严重削弱, 同时美国为应对“冷战”的军备竞赛, 大力投资科学研究。据统计, 二战后的相当长一段时间内, 美国的全国研究与试验发展 (Research and Development, R&D) 经费支出总额超过了所有其他经合组织国家的总和^[42]。1963年, 美国联邦资助占全国研发经费总额的比例高达68%^[3], 这些资金主要应用于国防、能源和太空等领域^[42], 虽然这强化了美国的军事科技实力, 但也导致20世纪70年代的民用技术落后于日本和德国, 暴露出技术转化效率低下的结构性问题^[43]。

4.2 20世纪80年代以来: 从直接干预到创新体系建设

面对这一困境, 联邦政府对其角色进行了调整, 不再将自身定位为研发投资的主体。1979年, 来源于联邦政府的经费占全国R&D经费总额的比例已下降至48%。此后, 这一比例持续下降, 而产业界的研发投入则显著增加。21世纪初, 联邦政府的研发投入占比已降至约24%, 产业界的研发投入则接近70%^[3]。

然而, 这并不意味着美国回归了自由放任的传统模式, 而是确立了一种间接但积极有为的政府角色, 这种角色的转变是在人们对“国家创新体系”(National Innovation System)的理解日益深入的背景下发生的。自20世纪70年代以来, 人们重新认识了创新过程的复杂性。在这一视角下, 国家创新体系是一个由政府、产业界、高校和资本等多元行动者, 以及将它们联系起来的一系列技术投资、知识产权、反垄断等制度组成的复杂互动网络^[48]。这些要素之间能否良好匹配与互补, 在很大程度上决定了国家科技创新的成败^[49]。而政府的作用就是通过良好的制度设计, 刺激、培育和塑造各类行动者, 以加强创新要素间的联结^[50]。

4.2.1 具体实践: 通过制度设计强化创新体系的内在联结

20世纪80年代以来, 联邦政府通过一系列制

度设计有效衔接了创新系统中的各个要素。首先, 通过激励机制增强高校和联邦实验室等研发主体的商业化动力。1980年《拜杜法案》允许高校、非营利机构和小企业在符合规定的情况下保留联邦资助研究产生的专利权, 改变了此前联邦政府集中持有相关权利的制度安排, 为高校与企业之间的技术合作及成果转化创造了更具激励性的制度环境^[3]。同年, 《斯蒂文森-怀德勒技术创新法案》明确联邦政府对其研发成果负有转化责任, 推动联邦实验室更积极地向私营部门转移技术。1986年, 《联邦技术转移法案》则允许企业与联邦实验室签订合作研发协议 (Cooperative Research and Development Agreements, CRADAs), 共同开发和转化研究成果, 为跨领域合作提供了法律保障。这些措施共同奠定了科技成果转化的制度基础。

其次, 联邦政府通过培育创新主体、支持主体间协作强化创新网络的效能。1982年, 《小企业创新发展法案》要求拥有大额研发预算的联邦机构将部分研究资金用于支持小企业的研发活动。通过提供从初期小额奖励到后续较大额度资金支持的分阶段激励措施, 每年为高科技公司提供大量资金支持, 培育了较多的初创业企业, 并将数百项新技术从实验室推向市场^[47]。1984年, 《国家合作研究法》减少了企业间研究合作的反垄断风险, 为行业研究联盟和知识共享奠定了法律基础。1992年, 《小企业技术转让法案》资助高校、小型企业和联邦实验室的合作研究。这些举措促进了各创新主体, 尤其是中小型科技企业的发展, 成功降低了创新主体间的合作壁垒, 进一步巩固了多主体的协作网络。

最后, 联邦政府还致力于发展能够联结各创新要素的中介组织。除了政府、企业和高校之外, 中介组织在国家创新体系中也发挥了至关重要的作用。这些中介组织联结了政府、高校和企业, 协调资源、加强合作、推动技术转移和支持企业创新, 促进了创新网络的运行^[48]。在美国的创新体系中, 风险资本是国家创新体系中的关键中介^[49]。首先, 风险资本的作用体现在技术兴起阶段。该阶段通常伴随重大技术突破, 但市场不确定性较高。此时, 风险资本通过严格筛选商业提案, 从而识别出最有前途的技术。技术项目确定后, 风险资本通过提供资金填补了传统金融体系难以覆盖的空白。为充分

发挥风险资本的重要作用，美国政府进行了监管和税收改革，使得资本利得税率降低；1978年《雇员退休收入保障法》出台，允许养老基金将一小部分资产分配给高风险投资。这些政策扩大了资金池，促进了风险资本的发展^[50]。

4.2.2 有限介入：关键技术选择作为补充性政策工具

美国采取的一系列措施加强了创新要素之间的关联，构建了一个高效运作的创新生态系统，使得各要素能够高效匹配和协作，这些措施与其他国家采取的技术预见相比，具有相同甚至更好的效果。其他国家采取技术预见，是因为这些国家认为技术预见能够“链接(wire up)”国家创新体系^[51]，确保各参与者的优先事项一致，进而推动有效的合作与长期伙伴关系，增强国家创新体系内的联系，提升系统整体的创新效率。美国的制度设计可以有效激励不同主体间协作，实现关联高校、企业、联邦实验室、金融中介等关键要素的功能，因此无须使用技术预见的手段促成“链接”。

在国家创新体系建设取得显著进展的背景下，美国仍推进了关键技术选择工作。两轮关键技术识别的主要目标均是在特定国际竞争格局下识别潜在的关键技术领域，而技术发展的具体路径则主要依赖创新体系的自主运作。第一轮编制工作已确立这一原则。当时，美国联邦政府正处于理顺制度安排、优化国家创新体系整合与运行机制的关键时期^[31]。在这一背景下，4份报告几乎得出一致结论，认为技术发展的主导力量应来自产业界，政府则应通过营造创新环境来促进技术创新。随着20世纪80年代以来重大科技政策的持续推进，美国逐步构建了一个高效、自主的创新体系，创新体系的效能日益凸显。因此，在第二轮编制工作中，“依靠创新体系的自发运作”的原则得到进一步确认和强化。《关键和新兴技术国家战略》肯定了学术界、国家实验室和私营部门协同创新在发展关键技术上的重要性，即关键技术清单的定位更倾向于为创新体系提供来自联邦政府的参考建议，而非直接干预已形成良好运作机制的创新体系。

5 启示

20世纪30至70年代，美国通过技术预见应对内外部危机，积累了丰富的方法和工具，并在全

球范围内产生了广泛影响。特别是自20世纪90年代以来，一些国家纷纷采用技术预见工具来选择优先发展的领域。然而，与其他国家不同的是，美国自20世纪70年代起并未持续推进相关工作，而是将重点转向国家创新体系的建设，强调科技创新领域的自主发展，并根据战略需求适时提供引导性的技术清单，以确保在市场维持活力的同时，引导创新体系朝着符合国家利益的方向演进。

科技发展是创新体系诸多要素协同联动的产物。政府、产业界、高校和资本等多元行动者及其所处的制度框架构成了复杂的互动网络。实现创新网络中各要素间的有效衔接成为决定创新体系成效的关键。创新体系内部的制度激励应能够激发创新主体的自主性和活力，“自下而上”地依靠市场的力量实现联合与协同，进而推动科技进步。然而，当市场机制尚不完善、创新主体联系不紧密时，技术预见等科技规划手段可以弥补市场失灵，通过释放未来愿景的共识信号，协调政策与资源，以集中力量推进关键技术突破，“自上而下”地引导资源配置，为创新体系提供发展方向。

自发运作的市场机制和基于国家技术预见的宏观科技规划之间构成了某种程度的“替代关系”。市场机制激励各主体自主决策创新，而政府则可以通过科技规划弥补市场的不足。由于创新体系成熟度不同，市场与政府的作用权重也可能存在差异，关键在于如何平衡二者，以确保创新体系的高效运作。作为一个创新体系高度发达的国家，美国依赖市场机制和多主体协作替代传统“自上而下”的技术预见，通过卓有成效的制度建设，使关键技术选择在较大程度上由市场和行业力量推动，而非政府直接规划。

对处于从追赶型向创新型转变关键期的中国而言，美国的经验表明，科技规划与创新体系建设应当并重，特别是在创新体系尚不完善的阶段，“自上而下”的技术预见可以为系统演进提供方向性支撑，增强各创新要素间的匹配与联动。当前，中国尚未形成具有高度自主性和活力的科技市场，创新要素的流动性、协同性仍有较大的提升空间。如果照搬美国的实践，可能导致创新资源分散、战略方向模糊、关键领域突破乏力。因此，中国技术预见的核心应立足现实，强化政府预见的组织功能，弥补市场机制在要素链接与资源配置上的暂时性短板。

具体而言, 中国可以有效借鉴德尔菲调查法、情景分析法、关键技术选择等成熟方法。采纳这些方法的价值体现在两个层面: 在知识层面, 通过系统性的技术预见研究, 识别关键技术领域, 预判技术演进趋势, 为政策制定提供科学依据; 在组织层面, 技术预见活动本身就是一个网络构建与要素链接的过程。通过组织大规模的专家咨询、产学研研讨, 将孤立的创新要素——科研工作者、企业家、高校、政府决策者进行链接, 打破部门壁垒与信息孤岛, 促进知识流动与共享, 进而推动分散的创新要素向关键战略领域聚合, 加速创新网络的形成与成熟, 培育主体间的信任与协作机制, 为市场机制的完善创造条件。随着创新能力的提升, 应逐步向多元化、开放性的技术发展模式过渡, 鼓励市场和社会自主驱动技术选择与创新。通过这种动态调整, 市场机制与技术预见之间的替代关系能够在不同发展阶段展现出协同作用, 为国家科技进步提供持续动力。■

参考文献:

- [1] IRVINE J, MARTIN B R. Foresight in science: picking the winners[M]. London: Pinter Pub Ltd, 1984: 1-14.
- [2] MARTIN B R, IRVINE J. Research foresight: priority setting in science[M]. London: Pinter Publishers, 1989: 1-18.
- [3] ATKINSON R C, BLANPIED W A. Research universities: core of the US science and technology system[J]. *Technology in society*, 2008, 30(1): 30-48.
- [4] National Science Board. The State of U.S. Science and Engineering[R]. Alexandria: National Science Board, 2024.
- [5] LUKE G, HARPER J C, KEENAN M, et al. The handbook of technology foresight: concepts and practice[M]. Gloucestershire: Edward Elgar Publishing, 2008: 24-43.
- [6] BRIGHT J R. Technological forecasting for government and industry[M]. New Jersey: Prentice-Hall, 1968: 3-34.
- [7] JANTSCH E. Technological forecasting in perspective[R]. Paris: OECD, 1967.
- [8] OGBURN W F. Technological trends and national policy: including the social implications of new inventions[R]. Washington D.C.: US Government Printing Office, 1937.
- [9] FOSBROOK B. How scenarios became corporate strategies: alternative futures and uncertainty in strategic management[D]. Toronto: York University, 2017.
- [10] SON H. The history of Western futures studies: an exploration of the intellectual traditions and three-phase periodization[J]. *Futures*, 2015, 66: 120-137.
- [11] HOUNSHELL D. The Cold War, RAND, and the generation of knowledge, 1946-1962[R]. California: RAND Corporation, 1998.
- [12] ROBERTS E B. Exploratory and normative technological forecasting: a critical appraisal[J]. *Technological forecasting*, 1969, 1(2): 113-127.
- [13] KAHN H, MANN I. Techniques of systems analysis[R]. California: RAND Corporation, 1956.
- [14] GORDON T J, HELMER O. Report on a long-range forecasting study[R]. California: RAND Corporation, 1964.
- [15] TOLON K. Futures studies: A new social science rooted in cold war strategic thinking[C]//Cold War social science: knowledge production, liberal democracy, and human nature. New York: Palgrave Macmillan US, 2012: 45-62.
- [16] CUHLS K. From forecasting to foresight processes: new participative foresight activities in Germany[J]. *Journal of Forecasting*, 2003, 22(2-3): 93-111.
- [17] VAN DER HEIJDEN K. Scenarios: the art of strategic conversation[M]. New Jersey: John Wiley & Sons, 2005: 1-50.
- [18] GODET M. From forecasting to 'la prospective': a new way of looking at futures[J]. *Journal of forecasting*, 1982, 1(3): 293-301.
- [19] MARTIN B R. The origins of the concept of 'foresight' in science and technology: an insider's perspective[J]. *Technological forecasting and social change*, 2010, 77(9): 1438-1447.
- [20] MILES I. The development of technology foresight: a review[J]. *Technological forecasting and social change*, 2010, 77(9): 1448-1456.
- [21] BARENDAN V D M. The impact of foresight on environmental science and technology policy in the Netherlands[J]. *Futures*, 1999, 31(1): 7-23.
- [22] 孙云杰, 袁立科, 陈萍. 德国第三轮技术预测研究及启示 [J]. *全球科技经济瞭望*, 2023, 38(7): 15-20.
- [23] 韩秋明, 袁立科, 王革. 韩国第五次技术预测实践及对我国的启示 [J]. *全球科技经济瞭望*, 2017, 32(8): 35-44.
- [24] MILES I. UK foresight: three cycles on a highway[J].

- International journal of foresight and innovation policy, 2005, 2(1): 1-34.
- [25] UNIDO. Foresight Methodologies: Training Module 2[M]. Vienna: UNIDO, 2004: 113-128.
- [26] Department of Defense. The Military Critical Technology List[R]. Washington D.C.: Office of the Under Secretary of Defense for Acquisition and Technology, 1996.
- [27] Department of Commerce. Emerging technologies: a survey of technical and economic opportunities[R]. Washington D.C.: Department of Commerce, 1990.
- [28] Department of Energy. Critical Technologies Research: Opportunities for DOE[R]. Washington D.C.: Office of Energy Research, 1992.
- [29] MOGEE M E. Technology policy and critical technologies: a summary of recent reports[M]. Pennsylvania: DIANE Publishing, 1993: 15-23.
- [30] US Congress. National Defense Authorization Act for Fiscal Years 1990 and 1991[R]. Washington D.C.: US Congress, 1989.
- [31] WAGNER C S, POPPER S W. Identifying critical technologies in the United States: a review of the federal effort[J]. Journal of forecasting, 2003, 22(2-3): 113-128.
- [32] General Accounting Office. Foreign technology federal processes for collection and dissemination[R]. Washington DC: General Accounting Office, 1992.
- [33] Office of Science and Technology Policy. Report of the National Critical Technologies Panel[R]. Washington D.C.: Office of Science and Technology Policy, 1991.
- [34] Office of Science and Technology Policy. National Critical Technologies Report[R]. Washington D.C.: Office of Science and Technology Policy, 1995.
- [35] POPPER S W, WAGNER C S, LARSON E V. New forces at work: industry views critical technologies[R]. California: RAND Corporation, 1999.
- [36] White House. Updated Critical and Emerging Technologies List [R]. Washington D.C.: White House, 2024.
- [37] Office of Science and Technology Policy. OSTP Overview[R]. Washington D.C.: Office of Science and Technology Policy, 2023.
- [38] Department of Energy. DOE corporate operating experience program[R]. Washington D.C.: Department of Energy, 2011.
- [39] White House. Updated Critical and Emerging Technologies List [R]. Washington D.C.: White House, 2022.
- [40] BIDEN J R. Executive order on the safe, secure, and trustworthy development and use of artificial intelligence. US, 2023[EB/OL]. [2024-12-20]. <https://www.federalregister.gov/documents/2023/11/01/2023-24283/safe-secure-and-trustworthy-development-and-use-of-artificial-intelligence>.
- [41] 高洪善, 张健. 美国国家创新体系构成特点分析 [J]. 全球科技经济瞭望, 2014, 29(10): 34-38, 62.
- [42] NELSON R R. National innovation systems: a comparative analysis[M]. Oxford: Oxford University Press, 1993: 29-75.
- [43] 曾晓萱. 美国科技政策变迁 [J]. 科学学研究, 1995(2): 22-26.
- [44] MOWERY D C. Technological innovation in a multipolar system: analysis and implications for US policy[J]. Technological forecasting and social change, 2001, 67(2/3): 143-157.
- [45] ACS Z J, AUDRETSCH D B, LEHMANN E E, et al. National systems of innovation[J]. The Journal of Technology Transfer, 2017, 42: 997-1008.
- [46] SHAPIRA P, YOUTIE J. The innovation system and innovation policy in the United States[C]//Competing for global innovation leadership: Innovation systems and policies in the USA, Europe and Asia. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2010: 5-29.
- [47] BLOCK F L, KELLER M R. State of innovation: the US government's role in technology development[M]. Abingdon: Routledge, 2015: 1-26.
- [48] TODEVA E. Governance of innovation and intermediation in Triple Helix interactions[J]. Industry and higher education, 2013, 27(4): 263-278.
- [49] FLORIDA R L, KENNEY M. Venture capital-financed innovation and technological change in the USA[J]. Research policy, 1988, 17(3): 119-137.
- [50] BAYGAN G. Venture capital policy review: United States[R]. Paris: OECD, 2003.
- [51] MARTIN B R, JOHNSTON R. Technology foresight for wiring up the national innovation system: experiences in Britain, Australia, and New Zealand[J]. Technological forecasting and social change, 1999, 60(1): 37-54.

(下转第64页)

New Landscape of AI Software-Hardware Ecosystem Competition: Insights from OpenAI's Strategic Alliances

YE Nanjun

(School of Information Technology, Guangxi Police College, Nanning 530028)

Abstract: As artificial intelligence technology accelerates its evolution, the competitive paradigm of the global AI industry is undergoing a profound transformation, shifting from past focuses on single-point breakthroughs in algorithms to ecosystem-level confrontations centered on computing power and deep software-hardware synergy. This paper takes the strategic alliances by OpenAI as a starting point to deeply analyze its strategic maneuvers with chip manufacturers, cloud service providers, and hardware design firms. Based on AI value chain theory and platform ecosystem theory, this research constructs a multi-layered analytical framework to systematically elaborate on the new characteristics of the current AI software-hardware ecosystem competition. This paper finds that leading AI companies, represented by OpenAI, are addressing the challenge of computing power scarcity and consolidating their market leadership by deeply engaging in chip customization, implementing multi-cloud deployment strategies, and emulating Apple's model to build a full-stack, closed ecosystem from underlying hardware to upper-level applications. This new trend of vertical integration and ecosystem lock-in not only reshapes the competitive landscape of the global AI industry but also has far-reaching implications for technological roadmaps, business models, and supply chain security. The conclusions of this paper aim to provide theoretical insights for understanding the core competitive logic of the current AI industry and to offer decision-making references for Chinese AI enterprises in formulating development strategies and building an autonomous and controllable industrial ecosystem under the new global competitive situation.

Keywords: artificial intelligence; ecosystem competition; strategic alliance; vertical integration; value chain; OpenAI

(上接第9页)

History, Practice, and Insights of U.S. Technology Foresight

YAO Yixue¹, ZHONG Wei¹, YUAN Like²

(1. Renmin University of China, Beijing 100872;

2. Chinese Academy of Science and Technology for Development, Beijing 100038)

Abstract: Technology foresight (TF) is an important policy instrument for assessing future directions of science and technology (S&T) development and guiding the allocation of resources. This paper examines the United States as a case study and provides a systematic review of the evolution and main practices of TF in the U.S. Drawing on document analysis and case studies, the study focuses on U.S. contributions to the early development of TF as well as two recent rounds of critical technology selection undertaken at the federal level. The findings show that, although the United States has not established a centralized and institutionalized national TF system, it has played a functional substitute role in setting S&T priorities through critical technology selection and a range of complementary policy instruments. This pathway is closely associated with the U.S. tradition of laissez-faire policymaking and its decentralized system of S&T governance. This paper summarizes the key characteristics of U.S. TF practices and discusses their implications for the development of national TF initiatives in China.

Keywords: the United States; technology forecasting; technology foresight; critical technology selection; national innovation system