

# 系统理论视角下的科技安全研究进展

王路, 张守明, 张笔峰, 张斌\*

军事科学院战略评估咨询中心, 北京 100091

**摘要** 为探究科技安全研究现状和发展趋势, 基于系统理论从科技安全的要素、结构、功能和外部环境对国内外科技安全研究进行综合分析评述。研究表明, 科技安全具有较强的整体性、层次性和联动性, 未来研究应着重关注科技安全治理、科技安全预警监测体系建设、科技安全对总体国家安全联动影响及评估。

**关键词** 科技安全; 系统理论; 预警监测体系

以人工智能、大数据、云计算等为代表的战略新兴技术高速发展, 驱动生产力变革, 造福人类生活。同时, 引发科技竞争、科技伦理、科技治理等问题, 并成为百年变局下大国博弈竞争重要手段, 引发各国政府和学界高度关注。

科技安全属于非传统安全, 是国家安全的重要组成部分。2014年, 科技安全纳入总体国家安全观, 在国家安全体系中的地位不断提升。2019年, 习近平总书记在省部级主要领导干部坚持底线思维着力防范化解重大风险专题研讨班上, 提出“加快科技安全预警监测体系建设”。2021年, 《国家安全战略》审议通过, 指出要加快提升生物安全、网络安全、数据安全以及人工智能安全等领域的治理能力。

国内科技安全研究始于1999年马维野<sup>[1]</sup>的“态势论”, 即科技安全是一种动态的安全态势; 而后发

展为“能力论”, 即国家能够跟随科技发展步伐, 保护科技潜力不受外部威胁, 以及能够使用科技保障国家发展<sup>[2]</sup>; 随后有学者总结提出“状态论”, 即关系到国家利益和安全的科学技术不受侵害与威胁的状态<sup>[3]</sup>。总结当前研究, 科技安全体现较强的系统整体性、关联性和动态性等基本特征。以总体国家安全观为指导, 从系统理论角度对科技安全要素、结构、功能等进行解构分析, 目的是从一个新的视角系统研究科技安全理论, 加深对科技安全概念内涵的理解认识, 有助于进一步把握科技安全研究发展趋势, 为丰富完善国家科技安全理论体系、维护国家科技安全提供辅助支撑。

## 1 科技安全概念起源、发展及现状

科技安全研究始于20世纪30年代, 从研究科

收稿日期: 2022-11-14; 修回日期: 2023-03-07

作者简介: 王路, 硕士研究生, 研究方向为科技安全评估, 电子信箱: islulua@sina.com; 张斌(通信作者), 副研究员, 研究方向为战略评估与科技评价, 电子信箱: zhangbinsos@sina.com

引用格式: 王路, 张守明, 张笔峰, 等. 系统理论视角下的科技安全研究进展[J]. 科技导报, 2023, 41(6): 68-73; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2023.06.008

技系统安全应用开始,到关注科技要素对社会领域的影响,目前已发展至研究科技要素对国家安全的影响。

### 1.1 起源

1934年,Jama<sup>[4]</sup>提出 Security Analysis 概念,指出医疗领域安全分析的必要性。这一概念迅速发展运用到证券安全分析领域,主要是收集分析师的研究和建议,再根据目标需要进行分类,最后评估准确性<sup>[5]</sup>。1986年,德国标准化协会首次提出“技术安全”概念,主要应用于核技术安全防护中<sup>[6]</sup>。学界最初对具体领域技术安全性的分析和研究,目的是保障生产生活过程中各项技术的安全使用。

### 1.2 发展

1986年,针对苏联获取西方技术的合法或非法行为,Richard<sup>[6]</sup>着重突出技术保密安全,强调技术安全对国家安全的重要性。1996年,Mckenzie等<sup>[7]</sup>着手研究校园技术安全问题,主要关注多媒体等新兴技术的应用安全方面。而后“技术安全”逐渐出现于医学技术安全<sup>[8]</sup>、卫生信息技术安全<sup>[9]</sup>、金融技术安全<sup>[10]</sup>等领域。至此,学界对科技安全的理解认识和研究工作拓展至技术领域对人、环境或其他方面的级联影响。

### 1.3 现状

1993年,世界各国逐步开始关注信息技术安全,先后提出信息安全风险评估等观点,但研究成果中却始终没有对“科技安全”进行概括性描述<sup>[11]</sup>。马维野<sup>[11]</sup>、尹希成<sup>[12]</sup>、游光荣等<sup>[13]</sup>开创性地从系统视角探索科技安全概念内涵,黄广平等<sup>[12]</sup>进一步分析得出科技安全具有系统性、动态性、复杂性等特征。王磊<sup>[13]</sup>将科技安全体系视为一个开放系统,研究系统内外关联模式,建议建立非平衡机制,改善系统内外非线性关系。赵世军等<sup>[14]</sup>关注国家科技安全治理,从系统视角分析治理体系内在机制。至此,基于系统理论研究科技安全问题成为主流视角,学界先后提出科技安全的“系统论”“二元论”,即将科学技术体系看作相对独立的完整系统,通过内部结构、外部环境等来研究科技安全问题<sup>[15]</sup>。

目前,科技安全研究重点关注科技领域对国家安全的影响。《总体国家安全观读本》给出了科技安

全明确定义,是指“(国家)科技体系完整有效,国家重点领域核心技术自主可控,国家核心利益和安全不受外部科技优势危害,以及保障持续安全状态的能力”,从系统的视角对科技安全进行概括,体现了国家层面对科技安全的认识与把握。

## 2 科技安全系统组成

系统一词,来源于古希腊语,是指由部分构成的整体。通常把系统定义为:由若干要素以一定结构形式联结构成的具有某种功能的有机整体。系统理论视角下的科技安全进展研究,是将科技安全视为一个系统整体,将科技安全体制机制作为系统结构,将科技安全影响因素作为系统要素,来考察科技安全系统的特征和规律。

### 2.1 科技安全系统要素

科技安全影响因素目前有以下3种代表性分类:以马维野为代表的“科技安全六要素说”认为科技基础、科技体制、科技活动、科技环境、科技领域、智力资源<sup>[16]</sup>等方面的科技安全问题是科技安全的主要表现形态,与孙德梅等<sup>[17]</sup>、林聪榕等<sup>[18]</sup>对科技安全影响因素的分类方法大致相同。张家年等<sup>[19]</sup>对科技安全影响因素进行重新分类整合,主要包括国家的科技战略安全、科技发展安全、科技应用安全、科技竞争安全、科技合作与交流安全、科技成果与人才安全、科技应用与设施安全。沈志宇<sup>[20]</sup>分别从科学技术的层次和科技领域将科技安全区分为基础科学安全、应用科学安全,信息安全、核安全、生物安全等。各分类方法都建立在对科技安全概念不同理解和对社会发展重点内容的把握上,难以形成统一的根本认识,不利于科技安全工作发挥决策咨询作用。应贯彻落实总体国家安全观思想指导,汲取各家所长,重点从科技人才安全、设施设备安全、科技活动安全、科技成果安全、成果应用安全等维度对科技安全进行解构,指导后续科技安全研究咨询。

### 2.2 科技安全系统结构

关于科技安全体制机制的研究,陈劲等<sup>[21]</sup>提出发挥“最大优势”、加强“两个统筹”、化解“两大矛

盾”、提升“两种能力”、深化“两个融合”、强化“两个支撑”的突破路径框架和对策体系,并研究了针对中国科技评价体系不足、创新平台建设不强、缺乏战略性科技人才的系统培育与引进体系等方面问题提出明确定位、持续支持、更好发挥高校作用、突出企业科技创新主体地位等对策<sup>[22]</sup>。尹航<sup>[23]</sup>从科技创新能力、科技运行体制、科技法规制度和科技文化环境等方面构建了科技安全的四重维度分析框架,分别作为科技安全的基础保障、机制保障、法律保障和环境保障。刘则渊等<sup>[24]</sup>提出科技安全与国家战略正相关,与科技危机、科技风险、科技事故等因素负相关。游光荣等<sup>[3]</sup>从核战略和军备控制领域的“安全困境”延伸类比探讨了国家科技安全作用机理。由于研究手段、量化指标、分析推理等不够严谨科学,国内学者对科技安全要素之间关系结构探索的结论可信度不高。应基于统一的科技安全要素框架,构建定性定量相结合的科学分析模型,针对非线性、不确定性、涌现性等复杂系统特征,基于系统动力学理论进一步探索研究,丰富完善科技安全系统研究和科技安全理论体系。

### 2.3 科技安全系统功能作用

科技安全联系科技发展,关系国家安全,是国家安全的基本内容和重要标志。系统功能上,科技安全的作用不仅是维护国家安全状态,也是捍卫国家发展利益的方法手段,其根本宗旨是维护国家利益。国家需要持续提升科技水平,确保高质量发展才能提升科技安全能力,发挥国家安全与发展的战略支撑作用。科技人才安全影响国家未来科技发展前景以及科技发展潜力,确保科技安全归根到底是要保障科技人才安全。科技活动安全,是指确保与科技产生、发展、应用等相关的一切活动可控安全,当前面临的挑战主要包括技术引进、技术犯罪防范、国际技术合作等<sup>[18]</sup>。科技成果安全,是指科技成果在数量和质量有保证的基础上,实现保护、转化与共享的过程安全<sup>[25]</sup>。单独要素安全并不足以保障国家科技安全,只有确保整个系统及各子系统的安全,并达到一个稳定的状态,才能称为科技安全,才不会危及国家安全。

### 2.4 科技安全系统支撑

支撑科技安全系统稳态运行,必须做好监测评估和预警工作。科技安全监测评估预警的主要任务,是实时跟踪监测国内外科技安全态势,及时预警国内外可能出现的科技威胁,评估预测其对国家安全和社 会发展可能产生的影响,为有关部门决策提供支撑。

技术监测起源于1994年Porter<sup>[26]</sup>提出的技术机会分析,这是佐治亚理工学院的一项研究管理活动,用于识别和评估新兴科学领域、新研究技术的影响。2002年,Teichert等<sup>[27]</sup>提出了一种文本挖掘的技术监控技术,有利于对大量科技文献中的技术进行分析。2006年,León<sup>[28]</sup>针对不同的技术监测模型创新理论方法,强调识别和分析不同的信息源,将差异化信息与现实生产过程相对照,进而预测技术变革。2016年, Kim等<sup>[29]</sup>提出专利发展地图(PDM),基于对技术历史发展和当前阶段的全面了解,采用可视化方法识别技术趋势,从而辅助技术规划。

形成科技安全监测能力的基础是构建监测模型与确定监测指标。美国早在2010年就形成了风险影响评估的整体框架和一种科技风险评估模型。在国内学者的研究中大多是基于科技安全的影响因素构建不同权重下的指标体系,表征各影响因素对科技安全的因果关系。黄小芳<sup>[30]</sup>根据预警指标与反映国家安全状况的耦合关系,将指标分为先行指标、同期指标、滞后指标3类,细化提出科技安全的技术依赖度、科技成果转化、科技人才等若干子指标,并构造复合加权指标体系。张安军<sup>[31]</sup>通过以建立通用监测指标池为基础,运用专家统计法和社会调查法对基础指标进行筛选和动态调整,并结合层次分析法与客观赋权法确定指标权重。李辉等<sup>[32]</sup>比较分析了国内外9类18种综合评价方法,指出将定性评价法和系统工程法用于科技安全评估体系建设。

做好科技安全预警工作的前提是监测与评估。监测、评估、预警三者相辅相成,形成了一个不断完善、有机循环的过程。在科技安全预警工作的研究

中,李娜<sup>[33]</sup>主要是对网络中的数据监控来实现安全预警,而刘则渊等<sup>[24]</sup>侧重国家科学技术实力的强弱、国家的科技法规 and 政策的完善程度、科技工作的运行机制是否有效、国家对科技系统的保护力度对科技安全进行考察,用以建立以国家战略、科技危机、科技风险、科技事故为影响因子的科技安全预警系统模型,并最终分析出该系统的非线性特征。Xu 等<sup>[34]</sup>借鉴工业安全理论和运筹学研究,建立了基于熵权的物元可拓模型,对科技安全进行评估,并构建预警机制。蔡劲松等<sup>[35]</sup>在评估科技安全风险基础上,分析科技安全监测预警运行机制,建立科技安全预警系统,主要实现变量评估、警情报告、管理决策与预案调用。

### 3 科技安全系统外部环境

#### 3.1 科技安全面对的风险挑战研究

科技安全是中国当前国家安全面临的重要问题之一。在当前国际形势下,中美科技竞争不仅仅是学界研究的热点,更是大国博弈的重要手段,自美国特朗普政府上台后,科技领域封锁遏制一直是其重要的政策选项。回顾学界研究情况,马维野<sup>[16]</sup>将科技安全 21 世纪面临的风险归纳为西方发达国家科技优势的威胁、发达国家对中国的技术遏制、科技保密不力、科技对国家安全的支持不足、信息安全生物安全受到直接的威胁及人才安全面临的新挑战,既有环境和别国带来的威胁,也有本国自身存在的问题。潘正祥等<sup>[36-37]</sup>立足全球化发展趋势提出技术封锁、科技霸权、国际合作的局限是当前科技安全面临的主要挑战。陈文博<sup>[38]</sup>着重就关键科技领域的安全挑战进行了总结,发展失衡、创新能力弱、基础研究薄弱、管理体制不健全、国际威胁等几个方面是当前科技安全问题的高度关注点。刘会庚<sup>[39]</sup>提出科学道德危机对科技安全的影响,并从科技条件建设、科技人才培养、科技投入多元化、科技法律体系完善等角度为科技安全提出建设意见。商健霞<sup>[40]</sup>将科技安全面临的风险和挑战分为内外 2 部分:一是外部压力,主要包括全球化趋势挑战、西方国家的打压和威胁、网络信息的快速发

展等;二是内在隐患,主要包括体制机制不健全、对国家安全的支撑力不够、基础建设发展薄弱等。

#### 3.2 与国家安全其他要素的关系研究

国家安全作为一个复杂的整体系统由多个子系统组成,科技安全是其中之一。党的二十大报告强调,国家安全是“以人民安全为宗旨、以政治安全为根本、以经济安全为基础、以军事科技文化社会安全为保障”,明确科技安全是国家安全的重要保障。希文<sup>[41]</sup>认为国家安全是由政治安全、军事安全、经济安全、生态安全、科技安全等要素构成的复杂系统,各要素之间的关系由系统的环境和系统所追求的目标决定。钟华<sup>[42]</sup>着重分析了科技安全与政治安全、经济安全、社会安全、生态安全之间的相关关系,认为科技是增强国家凝聚力、巩固国家政权的力量,能够增强国家经济实力,为维护社会安全提供了新手段,而解决生态环境问题还是要靠科技进步来解决。陆兆聪<sup>[43]</sup>解构并重组了各个安全领域之间的关系,认为科技安全与其他领域安全问题之间存在着触发关系、传导关系、扩散关系、升级关系、包含关系、连锁反应等关联关系。

### 4 结论

通过从系统理论视角研究科技安全的认识发展、内部结构和外部环境等,可以发现影响科技安全的各要素相互关联、制约,并通过一定的结构关系形成一个整体,即构成科技安全系统。其复杂性、层次性、动态性特征使得科技安全难以准确认识和把握。从发展趋势看,未来科技安全研究应重点关注以下 3 点。(1) 科技安全治理研究。目前,在学术界,科技安全治理的内涵、机理、思路措施等讨论较多,但治理体系尚无规范标准,配套法律法规仍不完善,相关理论仍需丰富。(2) 科技安全预警监测体系建设研究。可借鉴金融安全、经济安全等领域预警监测体制机制和风险评估理论方法,持续深化科技安全风险的研究认识,推动科技安全预警监测体系的健全完善。(3) 科技安全对国家安全各领域的联动影响研究。以总体国家安全观为遵循,分析科技安全与国家安全体系各领域间的风险

跨境传播机制、影响级联叠加作用等内容,进一步强化科技安全的大系统观。

### 参考文献(References)

- [1] 马维野. 科技安全:定义、内涵和外延[J]. 国际技术经济研究, 1999(2): 13-17.
- [2] 尹希成. 科技安全与国家安全其他要素的关系[J]. 国际技术经济研究, 1999(3): 28-33.
- [3] 游光荣, 张斌, 张守明, 等. 国家科技安全:概念、特征、形成机理与评估框架初探[J]. 军事运筹与系统工程, 2019, 33(2): 5-10.
- [4] Security analysis[J]. JAMA, 1934, 103(17): 1331.
- [5] Graham B. Towarda science of security analysis[J]. Financial Analysts Journal, 1995, 51(1): 25-28.
- [6] Perle R N. Technology security, national security, and US. competitiveness[J]. Issues in Science and Technology, 1986, 3(1): 106-114.
- [7] Mckenzie B K, Mims N G. Technology safety practices: Findings for administrators and media/technology specialists[J]. The Clearing House: A Journal of Educational Strategies, Issues and Ideas, 1996, 70(1): 40-43.
- [8] Keller J P. Clinical alarm hazards: A "top ten" health technology safety concern[J]. Journal of Electrocardiology, 2012, 45(6): 588-591.
- [9] Borycki E. Trends in health information technology safety: From technology-induced errors to current approaches for ensuring technology safety[J]. Healthcare Informatics Research, 2013, 19(2): 69-78.
- [10] Ko L M. New technology: Safety, efficacy, and learning curves[J]. Clinical Orthopaedics and Related Research, 2014, 472(4): 1080-1085.
- [11] Ford W. Standardizing information technology security [J]. Standard View, 1994, 2(2): 64-71.
- [12] 黄广平, 徐晓林. 中国科技安全图景:成果、问题和未来[J]. 科研管理, 2022, 43(1): 22-31.
- [13] 王磊. 耗散结构理论视野下科技安全体系建设研究[J]. 企业经济, 2014, 33(2): 87-91.
- [14] 赵世军, 董晓辉, 旷毓君. 系统论视域下我国科技安全治理的机理和路径研究[J]. 系统科学学报, 2023(4): 73-78.
- [15] 张斌, 张守明, 武宇. 现代国家安全与科技评估[J]. 科技导报, 2019, 37(4): 6-11.
- [16] 马维野. 科技安全和我国面临的主要挑战与对策[J]. 中国软科学, 2003(4): 94-99.
- [17] 孙德梅, 吴丰, 陈伟. 我国科技安全影响因素实证分析[J]. 科技进步与对策, 2017, 34(22): 107-114.
- [18] 林聪榕, 李自力. 关于科技安全问题的理论思考[J]. 科技管理研究, 2007, 27(12): 68-70.
- [19] 张家年, 马费成. 科技安全的分析模型及其核心要素表征[J]. 中国科技论坛, 2020(5): 32-40.
- [20] 沈志宇. 必须重视科技安全[J]. 国防科技, 2003, 24(1): 17-19.
- [21] 陈劲, 朱子钦. 关键核心技术“卡脖子”问题突破路径研究[J]. 创新科技, 2020, 20(7): 1-8.
- [22] 陈劲, 朱子钦. 加快推进国家战略科技力量建设[J]. 创新科技, 2021, 21(1): 1-8.
- [23] 尹航. 我国科技安全的现状与对策研究:基于四重维度视角[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2016.
- [24] 刘则渊, 杨春平. 科技安全预警系统分析[J]. 中国科技论坛, 2006(1): 124-127.
- [25] 吴丰. 国防科技工业科技安全评价研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2018.
- [26] Porter A. Technology opportunities analysis: Integrating technology monitoring, forecasting, and assessment with strategic planning[J]. SRA Journal, 1994, 26(2): 21-31.
- [27] Teichert T, Mittermayer M A. Text mining for technology monitoring[C]//IEEE International Engineering Management Conference. Piscataway: IEEE, 2002: 596-601.
- [28] León A M, Castellanos Domínguez Ó F, Vargas F A. Evaluating, selecting and relevance software tools in technology monitoring[J]. Ingeniería e Investigación, 2006, 26(1): 101-110.
- [29] Kim M, Park Y, Yoon J. Generating patent development maps for technology monitoring using semantic patent-topic analysis[J]. Computers & Industrial Engineering, 2016, 98: 289-299.
- [30] 黄小芳. 全球化时代中国国家安全预警系统之构建研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2005.
- [31] 张安军. 国家金融安全动态监测分析(1992—2012年)[J]. 国际金融研究, 2014(9): 89-96.
- [32] 李辉, 曾文, 刘彦君, 等. 面向科技安全的科技情报监测与分析系统构建研究[J]. 情报理论与实践, 2021, 44(6): 98-104.
- [33] 李娜. 趋势科技主动安全预警系统 为广东省某知名证券提供可视化的安全视图:威胁看得见,网络无风险[J]. 财经界, 2011(15): 108-109.
- [34] Xu Z, Zhang B H, Sun M, et al. Entropy weight-based matter-element extension model for security evaluation and prewarning mechanism of national defense science and technology[J]. International Journal of Safety and Se-

- curity Engineering, 2020, 10(2): 279-284.
- [35] 蔡劲松, 马琪, 谭爽. 科技安全风险评估及监测预警系统构建研究[J]. 科技进步与对策, 2022, 39(24): 100-108.
- [36] 潘正祥, 杨迎会. 全球化与国家科技安全[J]. 国际问题研究, 2007(6): 60-64.
- [37] 潘正祥, 杨迎会. 全球化时代的科技安全和我国面临的挑战及对策[J]. 理论导刊, 2007(4): 81-84.
- [38] 陈文博. 我国关键科技领域安全: 内涵、现状和对策[J]. 今日科苑, 2020(9): 40-48.
- [39] 刘会庚. 浅谈中国科技安全[J]. 石油管理干部学院学报, 2004, 11(1): 32-35.
- [40] 商健霞. 中国科技安全问题研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2006.
- [41] 希文. 科技安全与国家安全及其他要素之间的关系[J]. 科学新闻, 2003(5): 24-25.
- [42] 钟华. 国家科技安全与国家安全问题研究[C]//第五届中国软科学学术年会论文集. 北京: 中央文献出版社, 2005: 463-468.
- [43] 陆兆聪. 科技安全与相关领域国家安全关联分析[J]. 科技创业月刊, 2020, 33(2): 34-40.

## Research progress of science and technology security from the perspective of system theory

WANG Lu, ZHANG Shouming, ZHANG Bifeng, ZHANG Bin\*

Consulting Center for Strategic Assessment, Academy of Military Science, Beijing 100091, China

**Abstract** In order to explore the present situation and development trend of science and technology security research, this paper makes comprehensive analysis and comment on the research of science and technology security at home and abroad from the elements, structure, function and external environment of science and technology security based on system theory. The research shows that science and technology security has strong integrity, hierarchy and linkage, and future research should focus on the governance of science and technology security, the construction of science and technology security early warning and monitoring system, the impact and evaluation of science and technology security on the overall national security.

**Keywords** science and technology security; system theory; early warning and monitoring system ●



(责任编辑 刘志远)