

# 国家科技安全的风险评估、 预警方法及其实证

——以集成电路制造业为例

刘兰剑<sup>1,2</sup>, 朱亚玲<sup>2</sup>

(1. 浙江工商大学 公共管理学院, 杭州 310018; 2. 长安大学 人文学院, 西安 710064)

**摘要:**构建了基于PSR概念模型的科技安全评估预警模型,从压力、状态、响应三个维度对2011—2022年我国集成电路制造业的科技安全状况进行预警评估。结果发现:集成电路制造业易受冲击的根源在于我国历史上长期对该产业科技安全风险感知不足,在对外技术依赖的同时缺乏风险意识,有效的风险预警方法更为缺乏。从整体上看,自2011年以来我国集成电路制造业科技安全状况在观察年内逐步改善,但综合指数仍处于危险的预警区间;从各维度看,压力层、状态层指数呈现波动上升,响应层指数平均高于前两者,反映出我国科技安全响应状态正在较为有效化解当前的风险。

**关键词:**科技安全;技术封锁;技术管制;科技政策;国家安全

**DOI:**10.13956/j.ss.1001-8409.2025.03.06

**中图分类号:**F124.3;G322

**文献标识码:**A

**文章编号:**1001-8409(2025)03-0044-08

## National Technology Security Risk Assessment, Early Warning Methods, and Empirical Study: A Case Study of the Integrated Circuit Manufacturing Industry

LIU Lan-jian<sup>1,2</sup>, ZHU Ya-ling<sup>2</sup>

(1. School of Public Management, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018;

2. College of Humanities, Chang'an University, Xi'an 710064)

**Abstract:** This article establishes a technological safety evaluation and warning model based on the PSR conceptual model, and uses it to evaluate and warn about the technological safety status of our integrated circuit manufacturing industry from 2011 to 2022, considering pressure, state, and response. Results show that the vulnerability of the integrated circuit manufacturing industry lies in our country's historical lack of risk perception ability for the technological safety of this industry. Being dependent on foreign technology, there is a lack of risk awareness, and effective risk warning methods are even more scarce. From an overall perspective, the safety status of our country's integrated circuit manufacturing industry has gradually improved since 2011, but the comprehensive index is still in the dangerous warning range; each dimension, the pressure and state layer indices show a fluctuating upward trend, while the response layer index is on average higher than the first two, reflecting that country's technological safety response state is effectively resolving the current risks. The warning model proposed in this paper can assess the risk level of industrial technological safety, a basis for initiating warning mechanisms and effectively preventing risks.

**Key words:** technology safety; technology blockade; technology control; technology policy; national security

### 引言

科技安全是国家安全的根基,是驱动科技创新进步的“压舱石”。2019年,习近平总书记在防范化解重大风险专题研讨班开班式上发表重要讲话,强调科技领域安全是国家安全的重要组成部分,要加强重大创新领域战略研判和前瞻部署,加快科技安全预警监测体系的建设<sup>[1]</sup>。科技安全是国家安全的构成部分之一,涵盖科技

设备安全、科技成果安全、科技产业安全等诸多方面<sup>[2]</sup>。近年来,以美国为首的西方国家对我国高科技产业采取一系列制裁措施,对我国科技安全产生了较为严重的威胁,也对我国防范科技安全风险提出了新的要求。例如,美国企图维护自身的霸权地位,防止尖端科技和前沿领域被超越,对我国多个产业所需的芯片长期断供<sup>[3]</sup>,这种技术封锁和管制影响到我国多个产业的发

收稿日期:2023-08-21

基金项目:国家社会科学基金项目(23AGL002)

作者简介:刘兰剑(1974—),男,陕西淳化人,教授、博士生导师,研究方向为公共政策、科技政策与管理(通信作者);朱亚玲(1998—),女,新疆巴州人,硕士研究生,研究方向为公共政策。

展<sup>[4,5]</sup>,在给我带来严峻的挑战的同时,也暴露出科技安全风险预警机制缺乏带来的严重后果,对科技竞争态势缺乏精准判断,导致对隐藏的风险重视程度不足,在大国博弈中容易暂时陷于被动,这也是西方国家能够通过技术管制手段在短期内制约我国的根源之一。因此,加强并完善科技安全风险预警机制,对战略性新兴产业前沿技术进行监测,识别可能存在的科技安全风险,对维护国家科技安全具有重要意义。

集成电路制造是基础性、战略性与先导性产业,在国际科技竞争中占有重要地位。因此,本文以集成电路产业为例,理清科技安全风险预警方法和治理机制的基本逻辑,构建科技安全风险预警模型和评估指标体系,测度我国集成电路制造业的科技安全指数并划分预警等级,为维护国家科技安全提供参考。

## 1 文献综述

国家科技安全的研究源于对科学技术与国家安全之间关系的探讨<sup>[6]</sup>。早期研究主要集中在国家科技安全概念界定和影响因素分析等领域。第一,在国家科技安全的概念界定上,经历了从国家科技安全状态论<sup>[7]</sup>到能力论<sup>[2]</sup>的演进;第二,在国家科技安全影响因素分析上,科技环境<sup>[8]</sup>、科技体制<sup>[9]</sup>、科技活动<sup>[10]</sup>、科技政策法规<sup>[11]</sup>等影响因素逐渐被识别。随着科技在国家和国际竞争中扮演着越来越重要的角色,利用前沿科技进行管制和封锁成为西方国家打击我国科技发展的遏制手段,因此有研究开始关注如何在科技安全风险产生前及时发现并预警,做出响应措施实现科技安全风险的规避,从风险事前角度保障国家科技安全。首先,科技安全风险预警依赖科技安全领域的情报收集和输入。胡雅萍<sup>[12]</sup>认为情报预测需要实现全源监测、深度挖掘和流程完善;张家年<sup>[13]</sup>提出建设国家科技安全情报支持系统并加强情报能力建设;李辉<sup>[14]</sup>提出面向科技安全的科技情报监测与分析系统框架。其次,科技安全风险预警需要对风险进行评估并监测。蔡劲松<sup>[15]</sup>提出了要素性、自反性、自主性、保障性风险四类关键指标构成的科技安全风险评估框架和包含警情评估、警情报告、管理决策、应急预案在内的预警系统。Breitzman<sup>[16]</sup>通过建立新兴集群模型提出了利用先进的专利引进技术对未来潜在的高新技术进行定位检测。最后,科技安全风险预警的保障是预警机制的建立。李林<sup>[17]</sup>从组织机制、运行机制以及政策法规3方面提出了建立科技安全风险预警机制的建议;面对科技竞争国的挑战,美国国务院外交安全局的Oedewaldt<sup>[18]</sup>提出要在科技情报领域系统性地加强美国各行政机构的预警布局;郭秋怡<sup>[19]</sup>认为科技安全风险预警机制需要完善常态化的预警体系、建立科技安全评估专业队伍、加强国际合作等。

已有文献可见,目前关于国家科技安全和科技安全风险预警的研究围绕国家科技安全的概念、影响因素、科技安全风险预警的实现做了大量基础性工作。但仍有许多问题需继续深化研究,集中表现在:第一,科技安全风险预警集中在理念形成阶段,相对比较宏观。事实上科技安全风险预警与具体产业和关键技术密切相关,现有研究未与具体产业和关键技术衔接。第二,尚未建立可操作性的科技

安全风险监测指标。现有研究多集中在观念的探讨,虽有学者围绕国家科技安全的构成要素设计了科技安全风险评估框架,但尚未建立可操作性的量化评价指标体系,尤其缺乏运用实证方法测度科技安全水平的研究。第三,科技安全风险预警机制的运行逻辑尚待理清。因此,本文可能的边际贡献在于,第一,基于PSR理论模型,构建了科技安全风险评价指标体系,对集成电路制造业科技安全状况的演变进行了较长周期的实证评估,丰富了国家科技安全风险预警的理论和方法。第二,突破科技安全概念辨析和理念传播的阶段,建立了可操作性的科技安全风险评价指标体系,对科技安全风险指数进行了测度。第三,在一定程度理清了科技安全风险预警机制的运行逻辑,增加了对科技安全的理论认识。提出的建议可为科技发展战略调整,科技安全风险防范政策制定提供依据,从根源上维护国家科技安全。

## 2 PSR模型对科技安全风险预警的适用性

### 2.1 PSR模型概念框架概述

PSR(Pressure-State-Response)“压力-状态-响应”模型最早在1979年由加拿大统计学家David J. Rapport和Tony Friend提出,用于分析人口发展对资源环境变化的影响与作用。随后,经济合作与发展组织(OECD)在原有基础上建立了可持续发展的指标体系<sup>[20]</sup>。PSR模型是一个动态的模型结构,能够综合考虑社会、经济、环境等因素对科技安全形成的影响,将PSR模型运用在科技安全评估指标体系上,能够使得指标体系内的因果逻辑关联更加紧密。PSR模型包含“压力(Pressure)”“状态(State)”及“响应(Response)”三个维度,其以因果关系为根本逻辑回答了“发生了什么、为什么发生以及未来如何补救和应对”三个问题,它可以反映“状态”发生的原因,同时也是“响应”的结果。在科技安全领域,科技安全风险预警可以理解为当科技安全偏离预期目标使得科技发展态势与预期发展目标产生分歧时,及时做出正向反馈以防范和规避科技安全风险,基本符合科技安全风险预警的一般逻辑。

### 2.2 PSR模型对科技安全风险预警的适用性分析

由于PSR模型涵盖范围大,能够较为全面地反映出多种因素变化导致事物变化过程的因果,因此应用范围广。目前,美国环保局、世界银行、瑞典环境部等多个高级组织和机构都以PSR模型框架为原型构建适用于自身的评价指标体系。这说明PSR模型不仅是适用于自然资源利用、生态环境保护等领域的评价研究,也可以进一步应用于其他领域。基于PSR模型,本文对科技安全风险预警逻辑做出了如下分析,由于受国内外技术环境等因素影响,如激烈的国际科技竞争、较高的对外技术依存度等都给我国科技安全发展造成一种“压力(Pressure)”,而这种压力会对我国科技安全发展产生负效应,从而影响我国科技安全发展的状态“状态(State)”,但政府和相关社会组织可以通过“响应(Response)”,实施有效的科技政策、开展自主创新等措施改变当前状态,对科技安全产生正效应,维护我国科技安全的稳定发展局面,从而提升科技安全的“状态”(图1)。

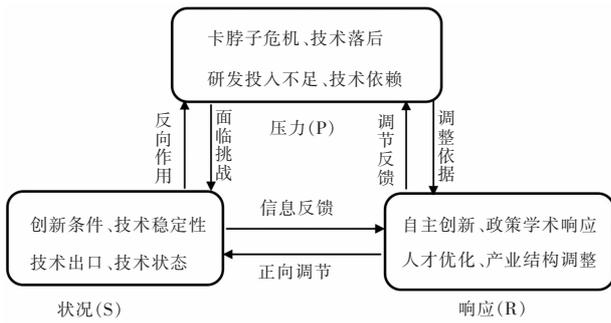


图1 基于PSR的科技安全预警模型

### 3 研究设计

#### 3.1 指标选取与说明

##### 3.1.1 指标选取

在评价指标选取中,本文通过广泛查阅资料并咨询专家意见,基于科技安全风险的形成与解决逻辑,遵循研究的科学性、系统性、针对性和可操作性等原则,根据PSR模型思路构建了一个包含1个目标层(国家科技安

全预警指标体系),3个准则层(压力层指标、状态层指标、响应层指标),11个要素层(创新压力、技术环境压力、经济压力等),19项具体指标(人均发明专利、技术引进率、核心技术占比等)的评价指标体系(表1)。

根据我国科技安全和产业发展的特点,本文认为科技安全压力主要来自技术创新的压力、技术环境的压力、外界的技术竞争压力以及与研发投入强度相关的经济压力,因此压力层指标的设计主要有创新压力、技术环境压力、经济压力以及竞争压力;状态维度主要考虑技术状态与经济状态;响应维度主要考虑社会、科技界、学术界的响应,因此响应层指标设计主要有人才响应、资本响应、政策响应与学术响应。本文指标体系共设计19项具体指标,其中7项指标来源于文献参考,其余12项指标满足代表性、操作性与可测性强的原则,选取了领域内通用性指标(如技术引进率、核心技术占比、研发投入强度、技术产出量、研发机构数、生产利润额、新产品出口额、有效专利增长率、核心技术增长率、R&D人员增长率、研发机构增长率、研发投入项目经费增长率)。

表1 科技安全预警评价指标体系

目标层	准则层	要素层	指标层	具体指标说明	指标方向	
科技安全预警评价	压力层(P)	创新压力	人均专利发明 P1	指发明专利总量与专利发明人总数的比值 <sup>[21]</sup>	+	
			技术引进率 P2	指技术引进经费支出与购买国内技术经费支出的比值	-	
			核心技术占比 P3	指核心技术(DPI 星级3星以上)占专利总数的比值	+	
			技术依存度 P4	指当年的总专利数量与标杆国家的比值 <sup>[22]</sup>	-	
		技术环境压力	技术质量 P5 <sup>[23]</sup>	1. 专利平均维持时间 2. 专利平均被引证数 3. 专利族大小:所有专利的专利族总量	+	
			经济压力	研发投入强度 P6	指全社会的研发经费的投入与技术总领域研发经费的投入比值	+
			竞争压力	技术宽度 P7	指在特定技术领域的专利涉及的IPC分类号数量与该技术领域专利涉及的IPC数量的比值 <sup>[24]</sup>	+
	状态层(S)	经济状态	技术产出量 S1	指当年的技术产出总量(集成电路块数)	+	
			技术稳健性 S2	指各年份间的专利数量差值,差值越小表明技术成长越稳定 <sup>[25]</sup>	+	
			研发机构数 S3	指当年的研发机构数量	+	
			生产利润额 S4	指当年生产经营利润额	+	
			新产品出口额 S5	指当年新产品出口数额	+	
	响应层(R)	技术响应	有效专利增长率 R1	指当年有效专利数量与上年有效专利数量的差值和上年有效专利数量的比值	+	
			核心技术增长率 R2	指当年核心技术数量与上年核心技术数量的差值和上年核心技术数量的比值	+	
			R&D人员增长率 R3	指当年的R&D人员全时当量与上年R&D人员全时当量的差值和上年R&D人员全时当量的比值	+	
		人力响应	研发机构增长率 R4	指当年的研发机构数量与上年研发机构数量的差值和上年研发机构数量的比值	+	
			研发投入项目经费增长率 R5	指研发投入项目经费与上年研发投入项目经费的差值和上年研发投入项目经费的比值	+	
			相关政策强度 R6	指当年相关政策经过量化评估赋值后的值 <sup>[26]</sup>	+	
			学术响应	学术论文增长率 R7	指当年国内涉及领域的学术论文发文数量与上年发文数量的差值和上年的比值 <sup>[27]</sup>	+

##### 3.1.2 指标层说明

考虑到科技活动面临的外在环境、内部的自身状态和内外互动的应对策略,目标层为科技安全预警,准则层包含压力层、状态层、响应层4个子系统,其中压力层

主要反映一国或地区的技术、经济差距造成的威胁或存在的压力;状态层表现为技术在当前压力状态下所处的水平等级,反映技术安全现状;响应层主要反映对提高技术安全所做的努力,即政府或产业对改善技术安全的

支持政策和响应措施。要素层包含创新压力、技术环境压力、经济压力等11个要素;指标层包含人均发明专利、技术引进率、技术核心占比等19个指标,形成表1的科技安全预警评价指标体系。

(1) 压力层:科技安全预警评价压力层指标主要是指科技发展过程中技术创新、技术环境对科技安全带来阻力的指标。压力准则层中包括创新压力、技术环境压力、经济压力和竞争压力等4个要素层,其中选取了人均发明专利、技术引进率、核心技术占比等、技术依存度、技术质量、研发投入强度、技术宽度等8项具体指标。创新压力要素层中包含人均发明专利、技术引进率、核心技术占比3项指标。“人均发明专利”在科技安全体系中是正向指标,能够反映技术人员技术创造发明水平<sup>[24]</sup>,人均发明专利指标越大,说明技术创新能力越强;“技术引进率”从侧面反映科技安全体系中自主创新能力的高低,该指标为负向指标,指标越大越不利于技术安全发展;“核心技术占比”反映了技术的先进性,该指标数量越大,越有利于技术产品的转化升级,促进科技安全体系的良性发展;技术环境压力要素层中包含技术依存度、技术质量2项指标。“技术依存度”间接体现了对外技术依赖度越高,自身技术与他国技术的差距<sup>[28]</sup>,本文用我国的专利数量和标杆国家美国的专利数量的比值具体表示。“技术质量”的高低能够在真正意义上保证技术的市场价值和技术安全,推动企业技术能力的进步<sup>[29]</sup>。考虑到技术质量的复杂性,专利质量比较适合用综合指标进行测度,本文使用专利平均维持时间、专利平均被引证数、专利族大小3个方面综合衡量技术质量的高低<sup>[25]</sup>。经济压力要素层使用“研发投入强度”表示,研发投入对于技术创新具有正向激励作用<sup>[30]</sup>。竞争压力要素层使用技术宽度表示,表示专利涉及的技术领域的多少,从而反映科技竞争压力<sup>[24]</sup>。

(2) 状态层:科技安全预警评价状态层指标表征的是科技安全发展过程中压力系统作用下的发展状况。状态准则层中包括技术状态和经济状态2个要素层。其中选取技术产出量、技术稳健性、研发机构数、生产利润额、新产品出口额等5个具体指标。技术状态要素层中包含技术产出量、技术稳健性和研发机构数。“技术产出量”能够体现技术具体产量,反映技术当下产量状态。“技术稳健性”从间接表征技术领域成长在时间维度上的稳定性。技术领域年份之间发明专利数量之间的偏差。若越小,说明技术成长越稳定;反之,越不稳定;“研发机构数”能够体现当前政府和社会组织对技术研发的重视程度,研发机构数量的增多为产业技术提供技术发展和技术落地的基础保障;“生产利润额”作为经济状态指标能够反映相关技术企业的盈利状态,本文用生产经营利润的增长率表示生产经济的状态。“新产品出口额”表征技术发展态势和外贸经济状态,该指标数量越大,越有利于技术的发展。

(3) 响应层:科技安全预警评价响应层指标是政府部门和社会组织等为缓解压力和优化状态做出的正向反应措施。响应状态要素层中包含技术响应、人力响

应、资本响应、政策响应、学术响应等5个要素层。技术响应要素层中包含有效专利增长率和核心专利增长率,二者能够均为正向指标,从专利角度体现技术创新响应程度。人力响应要素层中包含R&D人员增长率和研发机构增长率,研发机构作为科技人才培养和科研活动的主要载体,为科技产业安全提供人才支撑。“研发投入项目增长率”反映资本响应,表示经济投入增长响应。“相关政策强度”反映政策响应程度。参考霍帆帆等<sup>[26]</sup>对政策力度量化评估的做法,根据政策颁布主题对政策进行赋值量化,国家级政策赋值3分,省级政策赋值2分,地市级政策赋值1分,最后的得出政策总分值。“学术论文增长量”能够反映学术界对该技术领域关注响应程度。学术界对于技术安全的响应能够帮助产业技术进一步实现技术成果转化。

### 3.2 数据来源

以2011—2022年为研究时段,其中集成电路制造业的专利数据来自大为专利 innojoy 数据库、《中国统计年鉴》和《中国高技术产业统计年鉴》,相关政策强度测算数据来自知领·政策库,学术论文数据通过中国知网和 Web of Science 整理得到。

### 3.3 基于熵值法的指标权重确定

熵值法是一种基于各评价指标之间差异程度来确定权重系数的客观赋值方法,在这一过程中避免了人为因素的主观干扰,能够较为客观地反映各评价指标在综合评价体系中的重要性<sup>[31]</sup>。在熵值法中,如果指标的信息熵越小,该指标提供的信息量就越大,在综合评价中所起的作用越大,权重就应该更高,反之亦然。由于科技安全预警评价指标体系存在着类型多样、相互影响的评价指标,各指标具有不同的量纲,无法统一衡量,为了排除这些差异带来的影响,首先需要各个指标进行无量纲化的处理。

对于越大越好的正向指标:

$$Y_{ij}^t = \frac{X_{ij}^t - X_{jmin}^t}{X_{jmax}^t - X_{jmin}^t} \quad (1)$$

对于越小越好的负向指标:

$$Y_{ij}^t = \frac{X_{jmax}^t - X_{ij}^t}{X_{jmin}^t - X_{jmax}^t} \quad (2)$$

式(1)(2)中, $X_{ij}^t$ ( $i=1,2,\dots,m;j=1,2,\dots,n;t=1,2,\dots,T$ )。表示第 $t$ 年第 $i$ 个要素的第 $j$ 项指标值; $Y_{ij}^t$ 表示数据标准化后的指标值; $X_{jmin}^t$ 为所有指标中 $j$ 指标的最小值; $X_{jmax}^t$ 为所有指标中 $j$ 指标的最大值。

其次,计算熵值并确定权重系数。

(1) 计算熵值。

计算第 $j$ 项指标的熵值公式为:

$$e_j = -\frac{1}{\ln gm} \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln P_{ij}$$

$$P_{ij} = \frac{Y_{ij}^t}{\sum_{i=1}^m Y_{ij}^t}$$

$P_{ij}$ 为第 $i$ 个指标值在第 $j$ 项评价要素下所占比重。

(2) 确定权重系数。公式为:

$$W_j = \frac{(1 - e_j)}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)}$$

式中  $W_j$  为第  $j$  项指标权重,  $0 \leq W_j \leq 1, \sum_{j=1}^n W_j = 1$ ;  $(1 - e_j)$  被称为差异性系数, 常记为  $g_j, g_j$  值越大表示指标越重要。

最后, 计算预警值。

用第  $j$  项指标权重与标准化矩阵中第  $i$  个时间的第  $j$  项评价指标标准值  $Y_{ij}^t$  的乘积作为  $Y_{ij}^t$  的评价值  $F_{ij}$ , 即:

$$F_{ij} = W_j \times Y_{ij}^t, \text{ 则第 } i \text{ 个时间的评价值为: } F_i = \sum_{j=1}^m F_{ij}$$

### 3.4 科技安全预警机制的逻辑分析

在产业领域, 科技安全预警机制是指通过收集与分析本产业相关技术领域的专利信息 and 国内外市场信息, 分析安全态势, 将可能发生的科技安全风险及产生的危害、建议采取的对策措施及时告知相关政府部门、行业组织及业内企业, 以及及时采取应对措施的措施<sup>[32]</sup>。本文基于已有研究, 结合前述中科技安全预警评价的过程与结果, 建立基于 PSR 模型的科技安全预警机制。

一般地, 在预警逻辑中首先要监测科技安全风险, 通过对明确的研究对象进行相关数据的搜集, 计算得出预警值。其次, 在预警值基础上可对预警结果进行判断

归类, 输出警情预警程度。最后, 结合以上的风险判断流程, 发出对应的预警信号, 相关部门可对预警结果做出综合研判, 从而建立防范机制、制定解决政策, 于事前识别安全风险, 防止科技安全态势恶化, 具体预警机制逻辑可见图 2。

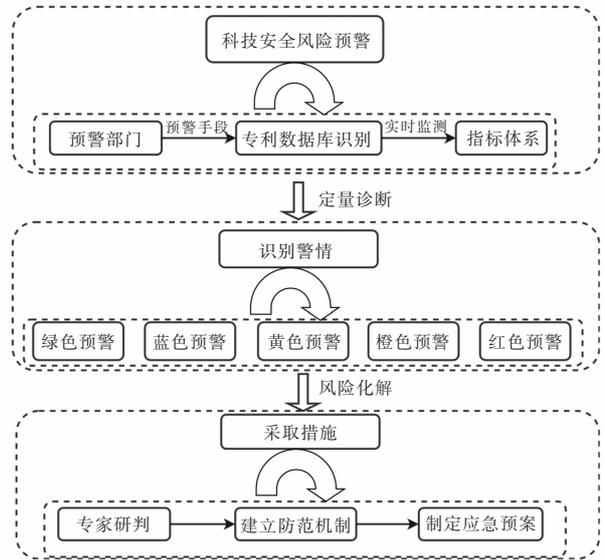


图 2 基于 PSR 模型的科技安全预警机制逻辑图

表 2 科技安全预警判断标准

危机等级	危机程度	综合预警值	警度意义	警度信号灯
I	很安全	$0.8 \leq F_{ij} \leq 1$	技术面临危机程度很小, 对国家科技安全几乎无影响。	绿色预警
II	基本安全	$0.6 \leq F_{ij} < 0.8$	技术面临的危机程度对国家科技安全不构成重要影响, 仅可能形成局部的损失。	蓝色预警
III	危险	$0.4 \leq F_{ij} < 0.6$	技术存在一定危机, 对国家科技安全有所影响, 但不构成致命性损失。	黄色预警
IV	中度危险	$0.2 \leq F_{ij} < 0.4$	“卡脖子”技术发生的可能性较大, 并且可能对国家科技安全带来严重损失。	橙色预警
V	高度危险	$0 \leq F_{ij} < 0.2$	技术危机巨大, 直接影响本国技术在国际上的生存与发展, 发生危机事件已经不可避免。	红色预警

### 3.5 预警结果判断

为了理清科技安全预警的层级关系并准确测度有效警度, 本文结合我国国家安全预警评判标准并参考蔡劲松等<sup>[15]</sup>的做法, 通过对监测的数据进行评估运算, 得到相应的安全程度的分值, 随后判断输入主体的综合安全得分阈值范围, 找到对应 5 个等级的报警信号, 在科技安全警度阈值建立科技安全预警判断标准。本文在以往研究基础上增加了危机等级、预警意义及警度信号灯, 以便更直观地表示预警程度, 如表 2 所示。判断标准由安全到危险划分了 5 个预警层次确定安全等级, 计算得到的预警值分别对应其中一个级别的安全预警状况。综合预警值越高, 说明科技安全状况越好; 综合预警值越低, 说明科技安全状况越差。

## 4 实证结果

根据本文第 3 部分中构建的指标体系及计算方法, 得到 2011—2022 年 12 年间各指标的量化结果 (表 3)。随后, 计算科技安全预警指数 (表 4)。

### 4.1 目标层科技安全指数分析

2011—2022 年我国集成电路制造业科技安全目标层指数如表 4 所示。从表 4 可以看出, 虽然在研究期内

我国集成电路制造业科技安全发展状况整体呈现上升趋势, 但大多数年份仍处于“危险”的科技安全预警区间。其中 2011—2016 年间集成电路制造业科技安全预警值呈现明显波动上升趋势, 预警值处于 0.2 ~ 0.6 之间 (图 3), 大多数年份呈三级危险的黄色预警状态。2017—2022 年间综合指数波动逐渐趋于平稳, 且 2022 年的科技安全指数是研究期内的最高值, 接近于基本安全状态指数, 这表明我国集成电路制造业科技安全未来发展态势向好。集成电路制造业的科技安全整体发展态势与其响应层指数发展趋势大致趋同, 波动状态相似。这表明响应层措施很大程度影响着我国科技安全整体发展态势。可能的原因在于: (1) 我国集成电路制造业发展初期基础薄弱。集成电路制造业发展初期对技术和产业的发展规律与认识不足, 导致我国集成电路制造业早期总体规模小、原始创新能力不足、技术水平低, 因此科技安全面临风险较高。如我国 1965 年就开始研发接触式光刻机, 因当时未引起足够重视而逐渐放弃, 致使光刻机如今成为我国的“卡脖子”技术。同时, 大多数企业技术布局摇摆, 存有“造不如买”的危险滞后观念。(2) 后期国家重视程度提高, 政策作用逐渐显

现。产业科技安全的发展是一个系统的、动态的发展过程。产业科技安全的生存环境、技术的创新研发和各项政策的发布落实的支持作用都会经过时间周期得到显现。随着我国集成电路制造业发展后期政策支持作用的显现。受各类高技术产业支持政策的影响,我国集成电路产业开始进入高速发展时期。我国集成电路制造业和高技术产业政策正在出台匹配产业需求,但所处状态层的波动较大表示配套的措施办法并不完善。如2011年《国务院关于印发进一步鼓励软件产业和集成电路产业发展若干政策的通知(国发[2011]4号)》的出台和2014年《国家集成电路产业发展推进纲要》等政策是推动产业科技安全最重要

的驱动力。(3)国际环境变化。美国早期对我国技术的崛起表现出轻视态度,随着我国科技的发展,美国对其科技霸主的地位感到危机,随后打着威胁国家安全的旗号开始对我国开始技术制裁。自2016年开始,美国为遏制我国技术追赶对我国的高技术产业的发展采取了打压和围剿政策。近年来出口管制力度更是空前加大,严重威胁到我国部分关键领域的发展,集成电路制造业尤为严峻。事实证明,这种外部环境倒逼了我国相关核心产业的加速研发试错和技术创新,但通过技术追赶实现弥补短板的目标仍需要经历一定时间,因此,近年来我国的科技安全状态虽有所提升,但仍处于“危险状态”。

表3 集成电路制造业各指标值

年份 指标	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
P1	0.7784	0.4068	0.0001	0.0754	0.3088	0.2979	0.5567	0.5269	0.8461	0.8423	0.8691	1.0001
P2	0.2138	0.5895	1.0001	0.9246	0.6900	0.7015	0.4417	0.4724	0.1522	0.1568	0.1308	0.0001
P3	0.5180	0.7118	0.7303	0.5946	1.0001	0.9901	0.7770	0.8231	0.4512	0.1313	0.0001	0.2747
P4	0.9146	0.9724	1.0001	0.9839	0.9985	0.9985	0.9697	0.9756	0.8914	0.6517	0.0001	0.7901
P5	0.3021	0.1014	0.0001	0.3597	0.5114	0.5135	0.5438	0.2799	0.6606	0.7316	0.8808	1.0001
P6	0.0001	0.6008	0.0653	0.0926	0.1534	0.2070	0.3031	0.4356	0.5902	1.0001	0.4678	0.5534
P7	1.0001	0.3305	0.4593	0.3332	0.3722	0.2370	0.2504	0.0659	0.0001	0.1897	0.2964	0.5516
S1	0.0001	0.0210	0.0641	0.1031	0.1280	0.2083	0.2941	0.3942	0.4518	0.6592	1.0001	0.8775
S2	1.0001	0.8401	0.6401	0.6654	0.3654	0.7028	0.3774	0.0001	0.2214	0.3001	0.6388	0.4921
S3	0.0001	0.0568	0.2734	0.1661	0.2471	0.2410	0.3280	0.4009	0.5487	0.6114	0.7450	1.0001
S4	0.0001	0.0202	0.0283	0.0369	0.0981	0.0649	0.2903	0.4513	0.3214	0.2891	0.4341	1.0001
S5	0.0001	0.4152	0.4296	0.4477	0.4976	0.4488	0.4942	0.4928	0.5939	0.7253	0.7781	1.0001
R1	0.3008	0.4383	0.5989	0.7571	1.0001	0.8477	0.7110	0.7456	0.5685	0.2406	0.1904	0.0001
R2	1.0001	0.7731	0.6938	0.5704	0.7667	0.4791	0.4198	0.4169	0.3018	0.2627	0.0383	0.0315
R3	0.2504	1.0001	0.6606	0.0001	0.4270	0.0889	0.1862	0.0198	0.4960	0.2625	0.8917	0.4438
R4	0.0001	0.5071	1.0001	0.0530	0.4381	0.2347	0.4155	0.3635	0.4539	0.3165	0.3838	0.4707
R5	0.0001	0.7313	0.9153	0.3887	0.6827	0.4200	0.4925	0.5426	0.3880	0.7251	1.0001	0.8029
R6	0.1362	0.1253	0.8383	0.2225	0.9986	0.2412	0.4516	1.0001	0.0292	0.6396	0.5476	0.8013
R7	0.3211	0.2313	0.1643	0.2265	0.0884	0.0001	0.5063	0.2345	1.0001	0.0741	0.0135	0.2044

表4 2011—2022年集成电路制造业科技安全预警结果

年份 指标	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
压力层	0.1456	0.1517	0.1277	0.1316	0.1561	0.1522	0.1487	0.1384	0.1413	0.1629	0.1252	0.1717
指标层	0.0335	0.0460	0.0565	0.0561	0.0606	0.0737	0.1006	0.1181	0.1275	0.1515	0.2170	0.2426
响应层	0.1126	0.1920	0.2427	0.1031	0.2188	0.0985	0.1670	0.1712	0.1897	0.1249	0.1445	0.1522
综合指数	0.2910	0.3897	0.4269	0.2908	0.4355	0.3244	0.4163	0.4277	0.4584	0.4394	0.4867	0.5665
安全等级	IVIV	IV	III	IV	III	IV	III	III	III	III	III	III

4.2 准则层科技安全指数分析

2011—2022年我国集成电路制造业准则层科技安全指数变化趋势如图3所示。状态指数和压力指数从2011年起基本呈上升趋势,且状态层指数从2020年起上升幅度相对较大,响应指数与综合指数变化趋势相似,基本呈现响应指数>压力指数>状态指数的趋势。

4.2.1 压力层分析

2011—2022年,我国集成电路制造业科技安全预警中的压力指数整体呈现上升趋势,斜率相对较缓。2018—2019压力层出现下降,原因在于美国制裁中兴等科技型企业,对我国集成电路制造领域带来了沉重的打击和技术压力,2019—2020年间,压力层指数出现回升,

体现出我国不仅加强了集成电路产业的科技创新,并且通过贸易谈判、对等制裁等措施回击美国。2020—2021年,因美国进一步加大对华制裁力度,造成压力指数下降。说明研发投入强度是压力指数的重要缓解因素,影响着技术压力指数的整体走势,对技术整体安全发展起着关键性作用。研究期内的技术依存度指数逐渐下降,尤其是2019年美国开始对我国的芯片加大制裁力度以来,技术依存度呈现出更明显的下降,说明美国的技术管制措施使我国集成电路科技企业开始从被动接受到主动应对的转变,技术创新的步伐快速提速加速。应注意的是虽然我国近几年在集成电路制造领域取得了较大的成绩,但对国外技术仍存在较大程度的

依赖,例如,目前荷兰ASML公司的EUV光刻机占据了全球市场超过85%的份额,在中国市场更是占了90%的份额<sup>[33]</sup>,早期对技术的“造不如买”的错误观念

使我国缺少对前沿技术风险的预判,错失技术赶超的良好机遇,当危机发生时才拉起警报,已经造成了难以挽回的损失。

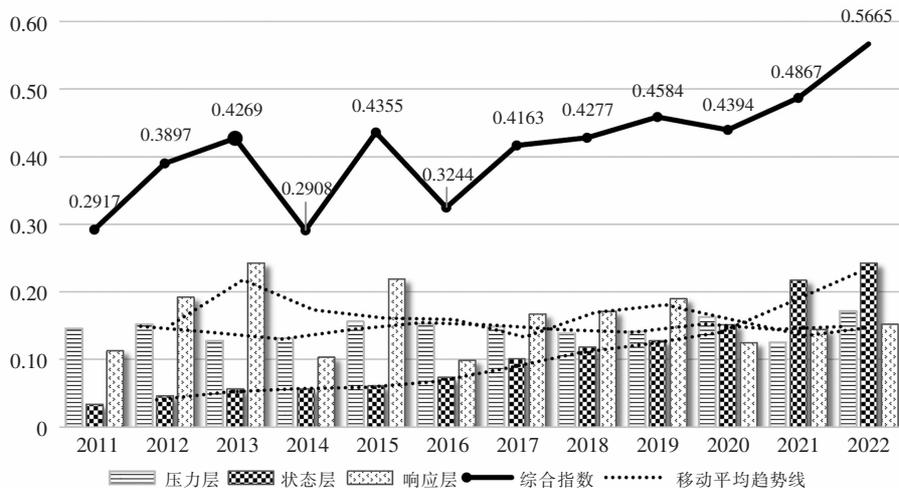


图3 2011—2022年集成电路制造业科技安全预警值变化趋势

#### 4.2.2 状态层分析

2011—2022年,我国集成电路制造业科技安全预警中的状态指数整体呈现持续上升趋势。一些年份状态指数较低的主要原因在于技术产出量、研发机构数、新产品出口额等增长缓慢,暴露出当时我国对集成电路制造业的重视程度不足,对外技术依赖严重。在受到美国技术制裁的冲击后,我国不断加强自主研发,设立了大量新型研发机构和重大平台,持续促进科技成果转化,使技术产出量和新产品出口额等显著增加。

#### 4.2.3 响应层分析

2011—2022年,我国集成电路制造业科技安全预警中的响应指数平均高于压力与状态指数,呈现波动增长趋势,反映了我国具有一定感知科技安全风险的能力,对于来自压力和状态的反馈能在一定程度上做出积极调整。且响应层指数变化趋势走向与综合安全指数变化态势趋于一致,说明响应措施在我国集成电路制造业科技安全中起决定性作用。压力层影响到响应层,压力层指数的变化导致了响应层指数的波动反应。主要体现在人力响应、政策响应和学术响应上。科技研发人员的显著增长反映出我国认识到科技人才是发展高技术产业的核心要素和提升产业竞争力的根本,而高技术产业的发展又进一步对科技人才形成吸引力,两者形成良好互促关系。科技政策是推动技术创新的风向标,政策响应中相关政策强度反映出政府对科技安全的重视程度不断提高。学术界对集成电路制造业的高度关注有利于科技创新,促进了从“技术概念”到“技术落地”的成果转化。

总的来说,虽然响应层指数高于状态层和压力层指数,响应较为积极,体现出我国对科技安全风险有一定感知能力,但由于真正的科技安全预警机制尚未建立,科技安全状态仍面临被动接受风险的危险,导致科技安全遭受威胁。如果建立科技安全预警机制,实现科技安全预警的常态化,就可以提前进行规划部署,实现从被

动承受风险到主动防范风险的转变,最大程度上维护国家科技安全。

## 5 结论与政策建议

### 5.1 研究结论

第一,集成电路产业科技安全状况正在快速改善,但面临的技术落差不容忽视。2011—2022年,我国集成电路制造业科技安全状况在研究期内逐步改善。综合安全指数虽有上升,但多数年份仍处于“危险状态”下的“黄色预警”。造成这种现象的原因在于,我国集成电路制造业发展初期技术危机意识淡薄,技术危机感应较为迟钝,发展后期经历技术封锁后,技术危机意识不断增强,开始进行技术追赶,但发展进程仍受到技术落差的制约。

第二,响应层措施对科技安全综合指数影响力较大,集成电路产业的相关政策需逐渐从被动响应转变为主动应对。我国集成电路制造业整体综合指数与响应层指数走势趋于一致,响应层指数平均高于压力与状态指数,且响应层指数波动最大,说明响应层对我国科技安全综合指数影响力较大,同时也反映出我国当前的政策有效匹配了产业的发展需求。状态层指数波动较大,预示着之前相关的措施主要侧重于被动响应,缺乏主动应对的科技安全风险预警机制。

### 5.2 政策启示

(1)理清科技安全风险预警机制逻辑,构建国家科技安全预警决策支持系统

为了保障国家科技安全,需要理清科技安全风险预警机制的运行逻辑,构建国家科技安全预警支持系统。第一,国家重大基础科研项目应支持开展科技安全风险评估的基础理论研究,鼓励学术界开展基于论文、研究报告、专利等数据的科技安全预警方法研究。第二,建设科技安全情报数据库,收集有关科技安全的全球关键产业的基础数据。第三,开发国家科技安全风险预警监测的技术,基于人工智能和大数据等现代技术,开发动

态可视化国家科技安全评估、分析和预警分析系统,为国家科技安全提供全面的技术支持。

(2)科技安全预警应与具体产业结合,不断增强科技安全预警意识与能力

科技安全预警不仅要宏观视角出发,更要结合具体产业开展风险评估。因此,需分领域对具体专门技术的国内外情报数据进行收集处理,经过评估后形成相关政策,并对重点领域的企业做好预警分析和引导。目前我国科技安全预警意识欠缺,能力不足,容易产生科技安全风险,为提高风险应对能力,首先,应长期开展科技安全警示教育,通过关键典型案例的剖析,培养和增强政府工作人员、科研人员以及企业家的科技安全意识;其次,培养善于科技安全评估的人才,围绕国家科技战略,开展科技安全和预警工作,做到早预警、早防范、降损失,不断降低科技安全风险。

(3)建立国家科技安全预警机制,推进科技安全预警工作常态化

目前,我国科技安全预警机制尚未建立,风险监测常态化难以保证。相关的部门如科技部、工信部、教育部、中国科协等,应联合制定保障国家科技安全的政策、设计科技安全风险预警机制,组织力量开展技术预见和科技安全风险预警工作,监测主要国家的关键技术研发水平,提前发现差距较大的技术和未来前沿技术,有效化解科技竞争风险。

#### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国中央人民政府. 习近平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开班式上发表重要讲话[EB/OL]. (2019-01-21)[2023-04-08]. [http://www.gov.cn/xinwen/2019-01/21/content\\_5359898.htm?tdsourcetag=s\\_pcqq\\_aiomsg/\\*](http://www.gov.cn/xinwen/2019-01/21/content_5359898.htm?tdsourcetag=s_pcqq_aiomsg/*).
- [2] 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,No.289(5):32-40.
- [3] 方兴东. 美国对华科技政策研判[J]. 人民论坛·学术前沿,2021(19):97-110.
- [4] 陈旭,江瑶,熊焰,等. 基于专利维度的关键核心技术“卡脖子”问题识别与分析——以集成电路产业为例[J]. 情报杂志,2023,42(8):83-89+19.
- [5] Bown C P. How the United States Marched the Semiconductor Industry into its Trade War with China[J]. East Asian Economic Review, 2020,24(4):349-388.
- [6] 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.
- [7] 连燕华,马维野. 科技安全:国家安全的新概念[J]. 科学学与科学技术管理,1998(11):20-22.
- [8] Costa - Campi M T, García - Quevedo J, Martínez - Ros E. What are the Determinants of Investment in Environmental R&D? [J]. Energy Policy,2017,104:455-465.
- [9] 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.
- [10] PORCO J W. Municipal Water Distribution System Security Study: Recommendations for Science and Technology Investments [J]. Journal - American Water Works Association,2010,102(4):30-32.
- [11] Alexander V. Innovation Management in Russia (Problems of Strat-

- egy and Science and Technology Security) [J]. 2006:93-95.
- [12] 胡雅萍,刘千里,潘彬彬. 维护科技安全的情报预测研究[J]. 情报杂志,2014,33(9):8-12+7.
- [13] 张家年,马费成. 国家科技安全情报体系及建设[J]. 情报学报,2016,35(5):483-491.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] Breitzman A, Thomas P. The Emerging Clusters Model: A Tool for Identifying Emerging Technologies across Multiple Patent Systems [J]. Research Policy,2015,44(1):195-205.
- [17] 李林,廖晋平,张炬工. 科技安全预警机制的建立及完善[J]. 科技导报,2019,37(19):26-32.
- [18] Oedewaldt B. Decline in the United States Intelligence Community's Nuclear Intelligence Collection Capabilities [J]. Comparative Strategy,2020,39(3):250-260.
- [19] 郭秋怡,游光荣. 深刻认识科技安全与经济安全互动关系建立科技安全监测预警体系[J]. 中国科学院院刊,2023,38(4):553-561.
- [20] Adriaanse A. Environmental Policy Performance Indicators: A Study on the Development of Indicators for Environmental Policy in the Netherland[M]. SDU Uitgeverij,1993.
- [21] 田瑞强,刘淑颖,姚长青,等. 基于专利文献的创新科技人才识别研究[J]. 情报杂志,2018,37(8):71-77.
- [22] 陶长琪,彭永樟. 从要素驱动到创新驱动:制度质量视角下的经济增长动力转换与路径选择[J]. 数量经济技术经济研究,2018,35(7):3-21.
- [23] 陈慧琪,刘敏榕. 专利质量影响因素研究:一项三水平元分析[J]. 情报杂志,2023,42(9):164-171.
- [24] Changyong Lee, Ohjin Kwon, Myeongjung Kim, et al. Early Identification of Emerging Technologies: A Machine Learning Approach Using Multiple Patent Indicators [J]. Technological Forecasting and Social Change,2018(127):291-303.
- [25] 苑朋彬,赵蕴华. 新价值链模型下专利竞争情报研究[J]. 情报工程,2016,2(3):53-62.
- [26] 霍帆帆,霍朝光,马海群. 我国数据治理相关政策量化剖析:发展脉络、政策主体、政策渊源与政策工具[J]. 情报学报,2023,42(12):1424-1437.
- [27] 宁子晨,魏来. 专利主体视角下专利文献与学术论文关联关系发现研究——以“数据挖掘”主题为例[J]. 图书情报工作,2020,64(12):106-117.
- [28] 谢黎,张志强,陈云伟. 对外技术依存测度方法研究述评[J]. 科技管理研究,2023,43(11):65-74.
- [29] 黎文靖,郑曼妮. 实质性创新还是策略性创新? ——宏观产业政策对微观企业创新的影响[J]. 经济研究,2016,51(4):60-73.
- [30] Wang X, Fan L W, Zhang H. Policies for Enhancing Patent Quality: Evidence from Renewable Energy Technology in China [J]. Energy Policy,2023,180:113660.
- [31] 朱喜安,魏国栋. 熵值法中无量纲化方法优良标准的探讨[J]. 统计与决策,2015(2):12-15.
- [32] 戚淳. 论建立专利预警机制的必要性和预警模型的构建[J]. 科学学与科学技术管理,2008(1):16-20.
- [33] Chuma H, Aoshima Y. Determinants of Microlithography Industry Leadership: The Possibility of Collaboration and Outsourcing [EB/OL]. (2003-01-03)[2022-08-15]. <https://www.rieti.go.jp/en/publications/summary/03010003.html>.

(责任编辑:何敏)