中国石墨烯产业创新政策分析及建议

李 莉[1]，彭现科[1]，张艳芳[2]，李 平[3]

（1.中国工程科技创新战略研究院，北京 100088；2.中国社会科学院 工业经济研究所，北京 100006；
3.中国社会科学院 数量经济与技术经济研究所，北京 100732）

摘 要：石墨烯作为公认的典型颠覆性技术正在逐步走向应用前景，迅速的产业化进程离不开创新政策的支持。本文在对石墨烯产业发展阶段分析基础上，构建“政策演进-创新过程-应用领域”三维分析框架，采用内容分析法对石墨烯产业创新政策工具和应用领域推进进行深入分析。结果表明：促进石墨烯发展的相关政策工具呈现“初步形成期以供给面为主，快速发展期以环境面为主、供给面政策工具为辅，降温期以环境面为主”的特点，已有的政策条款主要面向产业化，政策重点支持动力储能、复合材料、电子产品、医疗健康、环保等高端领域；现有政策存在需求面的政策工具方面比较缺失、政策的生态性和精准性有待加强及行业标准有待完善等问题，未来需要抓住攻克关键技术的牛鼻子，从创新生态系统整体上考虑石墨烯产业创新政策，助力石墨烯尽快迈入市场导入阶段。

关键词：石墨烯产业；政策工具；内容分析法；演进

中图分类号：F124.3 **文献标志码：**A **文章编号：**1002—980X(2023)11—0037—10

一、引言

当前，新一轮科技革命和产业革命正在重构全球创新版图。石墨烯因拥有优异的光、电、热、力方面性能：高比表面（约2600平方米/克）、高导热系数（约5300瓦/米/开尔文）、高电子导电性（电子迁移率为15000平方厘米/伏特/秒）和光学性（透光率97.7%）、力学性能（1太帕斯卡）、柔性度好和化学性能稳定，在能源、电子信息、生物医药、环境保护等领域有着深远而广阔的前景（Geim，2009），已成为公认的典型颠覆性技术。世界各国纷纷出台相关战略、政策，以抢抓石墨烯的技术创新机遇，抢占科技制高点和市场先机（周波等，2021）。中国从中央到地方采取一系列举措、出台了大量的创新政策（杨曦和余翔，2020），促进了中国石墨烯产业迅猛发展。整体来看，中国石墨烯产业发展经历了技术主导阶段，进入应用主导阶段，具有“杀手锏”级应用的产品主导设计正在突破的前夜，虽然还存在规模制备问题、成本问题和成相问题等制约瓶颈，但其如此迅速的产业化进程不容否认（范旭和武永超，2023）。由此，创新政策是如何促进中国石墨烯产业发展的？当前发展势头好的应用领域是否受益于政策？政策还存在什么问题？类似这些问题的回答不仅能够分析出石墨烯创新政策的作用和效果，发现当前政策体系存在的问题，为引导石墨烯产业迈入市场主导阶段及进一步发展提供政策建议；而且也能够对氢能、量子计算等其他颠覆性技术形成产业提供借鉴意义，对我国推动未来产业发展、把握发展主动权具有重要意义。

二、文献综述

当前，围绕石墨烯创新和产业学界已形成了初步的研究成果。部分研究聚焦在对石墨烯产业发展现状及问题的描摹（宋显珠和肖劲松，2020；Lin et al，2019），如李茂东等（2020）针对石墨烯产业标准这一瓶颈问题从国际标准、国家标准及地方标准几个层次进行了分析并提出政策建议。也有学者采用文献分析、专利

收稿日期：2023-05-27

基金项目：中国工程院重点咨询项目“颠覆性技术与科技迷雾战略问题研究”（2022-HZ-03）；中国技术经济学会青年人才托举工程项目（YESS20220455）；国家自然科学基金专项项目“面向2040消费需求的重点领域工程科技发展方向研究”（L222400054）

作者简介：李莉，博士，中国工程科技创新战略研究院助理研究员，研究方向：颠覆性技术及产业发展；彭现科，硕士，中国工程科技创新战略研究院高级工程师，研究方向：科技创新，核科学技术战略咨询；张艳芳，博士，中国社会科学院工业经济研究所副研究员，研究方向：技术经济，新兴产业；李平，中国社会科学院数量经济与技术经济研究所研究员，博士研究生导师，研究方向：科技创新、技术经济。

计量、数据包络、系统动力学等方法就热点研究领域识别、技术机会分析、国际竞争格局刻画和影响因素研究等方面开展了相关研究，如Wang等（2022）通过识别石墨烯领域的关键技术，预测石墨烯领域的技术机会；范旭和武永超（2023）采用“技术-组织-环境”分析框架，以31省市（因数据缺失，未含港澳台地区）为案例样本实证探讨了实现石墨烯产业化的影响要素和复杂机制；刘云等（2019）以石墨烯产业相关专利为研究对象，测度专利质量并对区域分布情况进行了比较分析；戚筠等（2020）以石墨烯相关的美国专利数据为样本，采用关键路径分析方法识别关键技术；于皓（2022）采用数据包络分析方法基于沪、深两市上市公司的技术创新效率进行测算，并运用系统动力学方法分析影响石墨烯产业技术创新发展的关键因素；Yang（2018）通过将专利分析与技术生命周期理论结合，分析全球石墨烯领域的竞争优势。

政策研究是通过分析政策本质、特点和功用等来揭示政策制定和实施过程中的规律（冯英和张卓，2021）。当前创新政策相关研究多采用文本挖掘、网络分析等方法。其中，Rothwell和Zegveld的政策工具法和内容研究法是最常采用的定量研究方法（徐硼和罗帆，2020），该方法已在人工智能产业、光伏产业、大数据发展、产业共性技术、科研院所改革等多领域的政策分析中得到了广泛应用（李樵，2018；杨诗炜等，2019；吕文晶等，2019；王福涛等，2021）。此外，还有研究者将政策工具方法与情报学等其他方法结合进行分析，例如宋伟玲和肖汝莉（2022）采用共词聚类分析法将中国光伏产业政策以可视化的桑基图动态展示了三种政策工具的演化路径。在政策工具分析维度上，学者们从技术生命周期、产业价值链、技术活动类型、产业领域等进行了多维度探索，例如吕文晶等（2019）除了从供给侧、环境侧和需求侧进行政策工具分析，还针对科学技术研究-产业化-商业化的创新过程进一步深化政策工具研究。

综合来看，既有研究对石墨烯创新与产业发展这一主题进行了初期有益探索，为后续相关研究打下了一定基础。但现有研究对石墨烯产业发展关注较多，针对石墨烯创新与产业发展政策研究较少，且停留在定性评价或政策建议层面，围绕政策的理论、定量分析较少。若以类似产业的研究看，相关学者采用内容分析法、政策工具法等定量方法尝试对创新政策和产业政策文本进行挖掘和分析，为本文分析石墨烯产业创新政策分析框架和研究方法提供了非常坚实的基础。在分析框架上，本文认为，深入剖析石墨烯产业创新政策的作用机理，不仅需要将石墨烯产业发展的过程与政策演化进行一一对应分析，而且需要将创新过程，即科学技术研究、产业化、商业化三阶段与政策工具分析结合，以反映从创新源头到产品推广价值链增值全过程，此外对最终应用领域与政策之间的关系对应分析也有助于机理深化。因此，针对现有研究内容的不足，借鉴已有政策工具分析框架，本文在对石墨烯产业发展阶段分析基础上，采用演化思想，构建三维分析框架对石墨烯产业创新政策工具进行深入分析，以厘清政府如何有目的引导和影响石墨烯产业发展进程，把握政策演化的特点和规律，从中发现政策制定问题和执行梗阻。

基于以上研究思路，有以下两点创新。一方面，将产业发展的阶段演进与政策分析结合，采用演化思想对石墨烯产业创新政策工具进行深入分析；另一方面，构建了“政策演进-创新过程-应用领域”的三维分析框架，能够全方面进行立体分析，深刻揭示创新政策对石墨烯产业发展进程的作用机理，为其他颠覆性技术形成产业政策制定提供借鉴意义。

三、中国石墨烯产业创新政策研究设计

（一）研究设计与数据处理

1. 分析框架

为了立体全面厘清政府如何有目的引导和影响石墨烯产业发展进程，本文将石墨烯产业发展的过程与政策工具分析相结合，将创新过程与政策工具分析结合，将应用领域与政策文本相结合，构建“政策演进-创新过程-应用领域”三维分析框架，如图1所示。通过对各政策演进阶段和创新过程中国家层面促进石墨烯发展的相关政策工具变化，对石墨烯产业创新政策所着眼的产业应用领域进行较为全面的分析，探索政策对石墨烯产业创新的促进作用和制约梗阻。

不同视角出发的研究对政策工具定义和维度划分不同。其中，Rothwell和Zegveld（1981）强调技术市场的要素供给、环境影响和需求拉动三方面，从供给、环境和需求三方面来划分，并对次级政策工具进一步划分，是最常见分类维度，本文宜采用此种政策维度划分方式。但是，以往基于Rothwell和Zegveld（1981）提出的供给面、环境面和需求面三类政策工具进行维度划分的研究，对于次级政策工具的分类存在概念混淆、划

分不一致及相互重叠的情况，部分研究将次级政策总结为短语时甚至容易出现解释不清、望文生义、使用模糊的情况（蔺洁等，2015；张国强和徐艳梅，2017）。因此，本文基于对Rothwell和Zegveld（1981）及已有研究关于政策工具定义的全面梳理，对政策工具的维度划分定义见表1（吕文晶等，2019）。

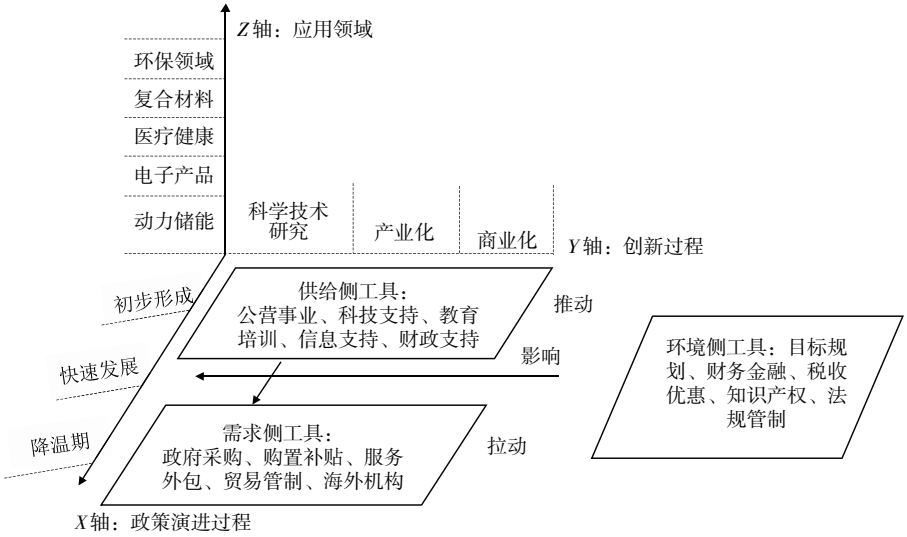

图1　三维分析框架

表1　政策工具分类

一级工具	二级工具	具体内容
供给面	公营事业	政府通过公有事业成立与管理促进创新。具体措施包括公有事业创新、支持新产业发展、公有事业率先开发使用新技术等
	科技扶持	政府直接或间接支持科学技术发展。具体措施包括科技基础设施建设如建立实验室、科学中心、创新中心和科学资源库、标准和技术协议等研发和建设，科技服务如建设新型研发机构、产业联合创新中心、产业联盟、工程、专业协会、产业集群等
	教育培训	政府针对教育体制和人才培养及培训的政策。具体包括产业相关学科建设、人才培养、职业教育、技术培训、见习计划等
	信息支持	政府鼓励技术与产业相关的信息流通。具体措施包括建立信息交流平台、建设产业公有数据库资料库、建设图书馆、提供技术顾问、咨询、科普和联络服务、信息基础设施建设、构建信息网络等
	财政支持	政府通过科技资金投入促进产业发展。具体措施包括科学基金引导、产业研发投入、企业创新基金等
环境面	目标规划	对产业发展做出整体性布局和引导。具体包括策略性措施、技术发展规划、创新鼓励、企业间合作的鼓励、产业的区域性布局等
	财务金融	政府以直接或间接方式给产业发展财务金融支持。包括提供企业贷款、企业创新补贴、鼓励风险投资、企业出口信用贷款、特许经营等方式以便利企业融资
	税收优惠	给企业税收减免鼓励创新。包括减免间接税、租税抵扣、降低税额等
	知识产权	通过保护知识产权促进产业技术创新。具体包括设立产业知识产权相关标准、知识产权保护等
	法规管制	设立产业相关制度、法律法规、监管制度、规范措施等，以及行业标准、环境健康标准以应道产业有序发展。包括立法、监管规章制度、准入措施等
需求面	政府采购	通过中央和地方政府对产业相关技术产品、服务等采购鼓励企业发展。具体包括政府和公营事业采购等
	购置补贴	从消费端入手的产业相关产品购买补贴
	服务外包	政府以外包形式为产业创新提供相应配套服务设施，包括基建、信息、健康、交通等服务的维护、监管与创新
	贸易管制	通过进出口贸易管制措施次级需求，包括产品关税、贸易协定、货币汇率调节
	海外机构	政府直接或间接通过协助企业设立海外分支机构以促进海外需求，包括设立海外贸易组织、成立国际组织、搭建全球化平台等

2. 数据搜集和编码

由于省级或地市级政策一般以上级国家级政策为依据，国家层面的政策往往能够反映国家对某一产业的指导性意见，因此本文重点以国家层面的政策文件为研究对象，对于省级和地市级政策仅做数量统计，用于石墨烯产业创新政策阶段划分的依据。本文从中央地方政府网站、“北大法宝”、中国工程科技知识中心政策文献库中收集涉及石墨烯的法律法规、部门规章、规范性政策文件，进一步筛选、整理共获得2006—2021年石墨烯相关的法律法规、部门规章、规范性文件等政策共计1~775项。其中国家级政策109项，省级政策746项，市级政策920项，具体步骤如图2所示。

进一步筛选、整理109项国家级政策（政策时间跨度为2011—2021年），进行政策文本内容分析。其中，

直接针对石墨烯产业发展(标题中带有“石墨烯”)的政策文件仅有 6 项,其余均为在具体行文中涉及石墨烯产业的间接相关政策。为确保政策文本的权威性、可行性和代表性,进一步对 109 项国家级政策进行筛选,剔除回复类等文件类型,获得 82 份政策文本。随后对国家层面的石墨烯产业政策文本按照“政策编号具体章节号-具体条款号-政策工具顺序”进行编码,同一政策条款使用多种政策工具,均予以记录。国家层面石墨烯相关标志性政策(重要政策)的重要政策工具及内容见表 2。

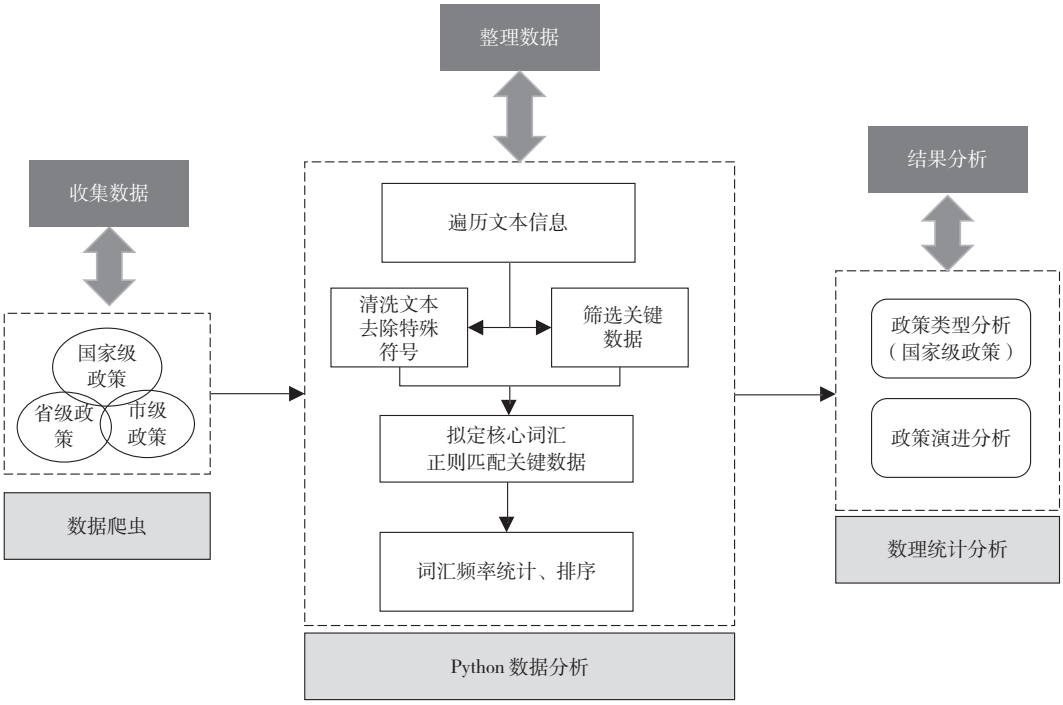

图 2　数据搜集及整理步骤

表 2　国家层面石墨烯相关标志性政策

政策阶段	标志性国家级政策	重要政策工具及内容
初步形成期(2011—2014 年)	《当前优先发展的高技术产业化重点领域指南(2011 年度)》	目标规划:重点发展蓝宝石晶片、石墨烯和碳纳米管混合的信息功能材料与器件
	国家重大科学研究计划 2012 年项目立项	财政支持:石墨烯材料的宏量可控制备及其应用基础研究
	《新材料产业“十二五”发展规划》	目标规划:列入前沿材料目录
	《关键材料升级换代工程实施方案》	目标规划:到 2016 年,推动包含石墨烯在内的 20 种重点新材料实现批量稳定生产和规模应用
	西部地区鼓励类产业目录	目标规划:石墨烯和纳米碳材料、细结构石墨、生物炭、锂电池负极等新型碳材料的开发及生产
	国家科技计划高新技术领域 2015 年度备选项目	财政支持:石墨烯相关项目
快速发展期(2015—2017 年)	《中国制造 2025》《〈中国制造 2025〉重点领域技术路线图》	目标规划:将石墨烯作为新材料重点领域,进行前瞻规划和研制;2025 年石墨烯整体产业规模要突破千亿;支持高质量价格低廉的石墨烯粉体及薄膜的规模稳定生产;在新型显示、先进电池等领域实现应用示范
	《关于加快石墨烯产业创新发展的若干意见》	目标规划:提出阶段发展目标。突破石墨烯材料规模化制备共性关键技术;创新石墨烯材料产业化应用关键技术 知识产权:加强知识产权体系建设 科技扶持:搭建产业发展服务平台;建立石墨烯产业发展联盟 法规管制:完善石墨烯行业运行监测、预警机制 信息支持:发挥第三方机构作用,发布产业发展动态信息
	“十三五”规划	目标规划:大力发展石墨烯等下一代半导体材料
	《国家创新驱动发展战略》	目标规划:引领产业变革的颠覆性技术,发挥石墨烯等技术对新材料产业发展的引领作用
	制造业创新中心等 5 大工程实施	科技扶持:石墨烯“一条龙”应用计划。立足石墨烯材料独特性能,针对国家重大工程和战略性新兴产业发展需要,引导生产、应用企业和终端用户跨行业联合,协同研制并演示验证功能齐备、可靠性好、性价比优的各类石墨烯应用产品
	专业技术人才知识更新工程	教育培训:石墨烯产业技术创新发展
	鼓励进口技术和产品目录(2016 年版)	贸易管制:石墨烯制备及应用技术

续表

政策阶段	标志性国家级政策	重要政策工具及内容
	《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》	目标规划：要加强石墨烯存储等新原理组建研发推进后摩尔定律时代微电子技术开发与应用，突破石墨烯产业化应用技术，加强相关标准布局
	《新材料产业发展指南》	目标规划：围绕防腐涂料、复合材料、触摸屏、传感器、触控器件、电子元器件等应用领域，重点发展利用石墨烯相关产品，构建若干产业链和产业集聚区 法规管制：完善新材料产业标准体系
	《“十三五”材料领域科技创新专项规划》	目标规划：突破高品质石墨烯粉体及石墨烯薄膜制备技术 教育培训：新材料培育高层次人才服务团
	关于开展质量提升行动的指导意见	目标规划：加强石墨烯、智能仿生材料等前沿新材料布局 法规管制：全面提升产品、工程和服务质量，提升原材料供给水平
	2017年度国家级科技企业孵化器	科技扶持：江南石墨烯研究院
降温期（2018—2021年）	《新材料标准领航行动计划（2018—2020年）》	法规管制：聚焦石墨烯、增材制造材料、超导材料和极端环境材料等先导产业技术开展标准布局，规划未来发展格局和路径，构建新材料产业标准体系
	鼓励外商投资产业目录（2019年版）	财务金融：石墨烯技术研发及应用
	《产业转移指导目录》	目标规划：明确13个省（市）石墨烯发展侧重点
	2021年创新型产业集群	科技扶持：七台河石墨烯产业集群
	《重点新材料首批次应用示范指导目录》	目标规划：加快石墨烯相关应用产品推广

资料来源：作者根据国家级政策统计、整理，由于篇幅限制，此表仅展示82份国家级政策文本中标志性重要政策及其涉及的重要政策工具。

四、结果分析

（一）整体分析

基于对石墨烯政策工具分析单元的编码，统计2011—2021年使用不同类型政策工具分二配比例见表3。2011—2021年颁布的82项政策使用政策工具96次。其中，三分之二集中在环境面，三分之一集中在供给面，需求面政策非常少。进一步分析具体政策工具类型如下。

首先，目标规划类的环境面政策工具使用最多，占所有政策工具的44.79%。这类政策工具多以五年规划纲要、《中国制造2025》、产业技术创新能力发展规划及专门的石墨烯产业创新发展规划的形式体现，通过确定石墨烯产业化重点方向和领域，引导资源配置，突破核心技术，推进技术开发和产业化应用示范，为商业化提供基础。此外，各类目录指导也是推进石墨烯产业化的重要政策工具，例如产业发展与转移指导目录、产业结构调整目录、西部地区鼓励类产业目录等对石墨烯产业的区域布局、项目审批、信贷获取、税收和土地优惠具有“指导性”。法规管制类的环境面政策工具占比达11.46%，说明随着石墨烯产业的发展，国家层面已逐步建立起石墨烯产品质量监督检验、产业标准体系、市场监管以规范、推进产业有序发展。

其次，科技扶持、财政支持类的供给面政策工具也分别达到10%以上比例。科技扶持类工具具体体现为国家对科技企业孵化器、创新创业基地、创新中心、应用开发产业发展联盟的建设以直接或间接支持石墨烯技术开发和产业发展；财政支持类工具以国家各类科学研究基金、产业研发投入和工业转型升级资金等对石墨烯技术和产业的支持。

最后，教育培训、信息支持、知识产权、财务金融、贸易管制类政策工具也少量被使用。知识产权类工具主要体现为设立与石墨烯产业知识产权相关的标准和保护；财务金融类体现为鼓励外商投资优势产业、提供企业贷款、便利企业融资等措施；贸易管制类体现为鼓励进口等贸易管制措施。

从历史演进上来看，结合石墨烯产业演化过程（表4），中国国家级石墨烯产业创新政策发展可以分为4个阶段（图3）。即孕育期（2006—2010年），初步形成期（2011—2014年），快速发展期（2015—2017年），降温期（2018—2021年）。

表3　2011—2021年政策工具使用次数占比

一级工具	二级工具	二级工具占比（%）	一级工具占比（%）
供给面	科技扶持	13.54	34.38
	教育培训	5.21	
	信息支持	5.21	
	财政支持	10.42	
环境面	目标规划	44.79	64.58
	财务金融	3.13	
	税收优惠	1.04	
	知识产权	4.17	
	法规管制	11.46	
需求面	贸易管制	1.04	1.04

在孕育期（2006—2010年），地方层面率先颁布石墨烯相关政策。自2004年，英国科学家Andre Geim和Konstantin Novoselov发现一种非常简单的方法能够得到石墨烯以后，随着石墨烯成为各国研究热点和公认的新潜力材料，中国地方层面率先颁布了几项促进石墨烯研究和产业发展的相关政策。由于石墨烯产业这一时期处于技术主导阶段，呈现出石墨烯制备和市场均在实验室，消费者是研究人员，主要活动是石墨烯技术基础研究、研发及技术应用等特点。因此这一

表 4　中国石墨烯产业发展阶段及各阶段产业发展特点

时间	2006—2010 年	2011—2014 年	2015—2017 年	2018—2021 年
产业发展阶段	技术主导阶段	应用主导阶段		
产业发展特点	石墨烯制备和市场均在实验室，消费者是研究人员，主要活动是石墨烯技术基础研究、研发及技术应用	随着石墨烯制备技术的提高，石墨烯制备逐渐由科研院所实验室走向工厂的项目实验室/中试工厂并逐步实现量产	部分企业突破“中试”阶段，产品通过用户测试和认定，生产线完成，在手机、锂离子电池等领域应用	石墨烯防腐涂料和纺织品开始商业化，石墨烯导热薄膜被苹果、华为、小米用于手机，石墨烯电池已实现量产

时期政策也属于早期部署和技术研发为主。

在初步形成期（2011—2014 年），国家级政策陆续出台，省市级政策跟上。这一期间具有代表性的国家级政策有《当前优先发展的高技术产业化重点领域指南（2011 年度）》《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》《关键材料升级换代工程实施方案》，对石墨烯功能材料和器件、材料稳定生产和规模应用等方面进行扶持。在国家政策的引领带动下，越来越多的省级、市级石墨烯政策出台。在政策支持下，这一时期石墨烯产业进入应用主导阶段，呈现随着石墨烯制备技术的提高，石墨烯制备逐渐由科研院所实验室走向工厂的项目实验室/中试工厂并逐步实现量产的特点。

快速发展期（2015—2017 年），国家级政策密集出台，省市级政策数量快速增加。这一时期，全国各层级石墨烯政策数量从 2015 年的 96 项迅速增加到 2017 年的 400 项，达到峰值，密集颁布的石墨烯产业促进政策与中国石墨烯产业进入高速膨胀期有关。国务院颁布的《中国制造 2025》《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》《国家创新驱动发展战略》《关于开展质量提升行动的指导意见》提出石墨烯产业的发展路径和发展目标，对高性能石墨烯粉体和薄膜的稳定生产进行扶持，提出在新型显示、先进电池等领域实现应用示范及石墨烯材料标准等方面布局产业政策。在部委层面，国家发改委、工信部、科技部联合发布《关于加快石墨烯产业创新发展的若干意见》，是首个专门关于石墨烯产业的国家级石墨烯纲领性政策，后续《新材料产业发展指南》《“十三五”材料领域科技创新专项规划》《关于开展质量提升行动的指导意见》均涉及石墨烯产业，从重点应用领域、构建产业链和产业集聚区、筹建产业发展联盟、突破制备技术等方面给予支持，推动商业化和市场关注。在政策支持下，这一时期对应石墨烯产业的发展，呈现出部分企业突破“中试”阶段，产品通过用户测试和认定，生产线完成，在手机、锂离子电池等领域应用的特点。

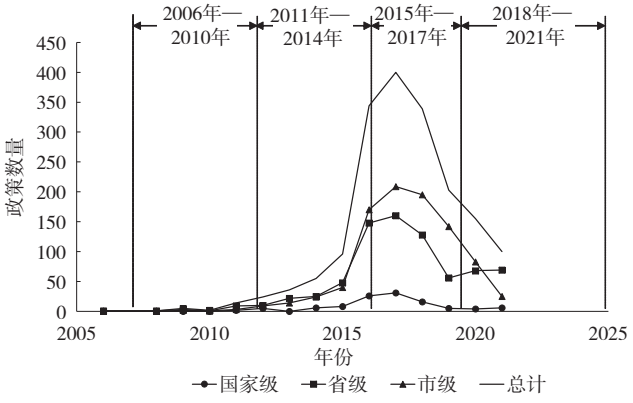

图 3　石墨烯政策数量在时间尺度上的分布情况

降温期阶段（2018—2021 年），各级政策数量逐年减少。这一时期石墨烯防腐涂料和纺织品开始商业化，石墨烯导热薄膜被苹果、华为、小米用于手机，石墨烯电池已实现量产，但石墨烯产业也出现诸多问题，政策、市场均趋于冷静，到 2020 年全国各层级石墨烯政策数量已降至 155 项，发布政策多与石墨烯行业标准、产品质量相关，石墨烯产业发展逐渐进入“泡沫化谷底期”。

（二）各阶段政策工具分析

不同阶段使用政策工具的种类和组合不同，如表 5 和图 4 所示。整体来看，国家层面促进石墨烯发展的相关政策工具呈现“初步形成期以供给面为主，快速发展期以环境面为主、供给面政策工具为辅，降温期以环境面为主”的变化趋势。

初步形成期（2011—2014 年），政策工具以供给面为主，环境面为辅。该时期属于政策的起步期，政策工具使用频数占全时期政策工具使用总数的 12.50%，政策工具以供给面为主，环境面为辅。其中，供给面政策工具采用财政支持（5.21%），教育培训（2.08%）和科技扶持（1.04%）等方式，环境面则采用目标规划（4.17%）方式。

快速发展期（2015—2017 年），政策工具以环境面为主，供给面为辅。经过前期的初步布局，国家在 2015—2017 年仅仅两年时间中密集使用各类环境面和供给面的政策工具，政策工具使用频数占全时期政策工具使用总数的 64.58%，以环境面为主，供给面为辅。其中，环境面政策工具主要采用目标规划（30.21%）、

法规管制（6.25%）、知识产权（3.125%）、财务金融（1.04%）、税收优惠（1.04%），供给面政策工具主要采用科技扶持（11.46%）、信息支持（5.21%）、教育培训（3.13%）、财政支持（2.08%），少量采用的需求面政策工具为贸易管制（1.04%）。

表5　2011—2021年一级政策工具各阶段使用次数占比

工具类型	初步形成期（2011—2014年）	快速发展期（2015—2017年）	降温期（2018—2021年）
供给面合计	8.33%	21.88%	4.17%
环境面合计	4.17%	41.67%	18.75%
需求面合计	0.00%	1.04%	0.00%
政策工具合计	12.50%	64.58%	22.92%

降温期（2018—2021年），政策工具以环境面为主。降温期政策数量急剧减少，这期间政策使用频数占全时期政策工具使用总数的22.92%，以环境面为主。其中，环境面政策工具采用目标规划（10.42%）、法规管制（5.21%）、财务金融（2.08%）等方式，供给面采用财政支持（3.13%）和科技扶持（1.04%）等方式。

可以说，在初步形成期政策工具使用不多、种类较少，主要以财政支持类和目标规划类政策工具为主；快速发展期间由目标规划类政策工具领衔，政策工具数量大幅增加、种类更加丰富，这一时期国家以石墨烯产业技术开发、应用示范、区域布局、目录指导等规划类政策为主促进石墨烯产业技术开发、应用示范、区域布局，指导资源配置，同时更多支持科技企业孵化器、创新创业基地、创新中心、应用开发产业发展联盟建设的科技扶持类也是这一时期主要采用的政策工具。此外，法规管制、知识产权、财务金融类、教育培训等环境面政策工具开始出现。值得注意的是，这一时期财政支持类等供给面工具反而数量减少；到了降温期，政策工具仍然主要集中在目标规划类，但各类政策工具普遍减少。相较之下，法规管制类和财务金融类政策工具数量在这一时期减少较少或基本保持不变，成为这一时期主要使用的政策工具，说明随着产业化程度的加深及各类参差不齐的石墨烯产品出现，国家越来越注重产业标准、质量监督、知识产权、金融支持等环境面政策工具的使用。

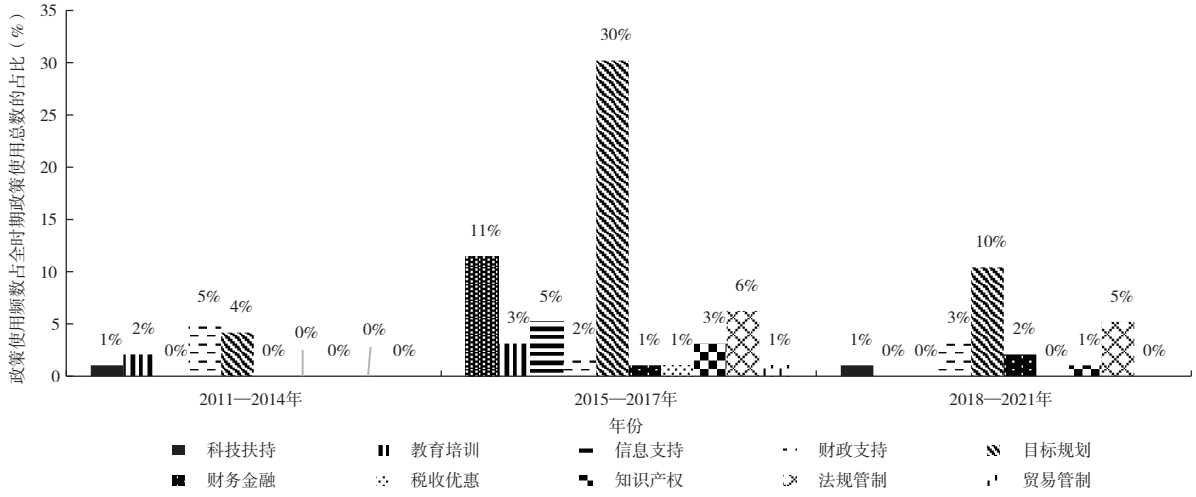

图4　2011—2021年二级政策工具各阶段使用次数占比

（三）创新过程中的政策工具分析

在对石墨烯相关政策进行内容分析单元编码及统计基础上，对不同政策条款按照科学技术研究-产业化的创新过程进一步分类，见表6。

从创新过程看，面向科学技术研究的政策条款数量较少，仅占20%，集中在供给面，这些政策多以政府支持石墨烯相关科学研究与科技项目、加强对前沿新材料研发的规划、建设石墨烯共性技术体系及培养新材料专业人才为主。这是由于以科技项目为载体的科技投入在政府文件中并不能充分体现。从当前我国石墨烯

表6　基于创新过程的石墨烯政策条目统计情况

创新阶段	供给面					环境面					需求面					
	公营事业	科技扶持	教育培训	信息支持	财政支持	目标规划	财务金融	税收优惠	知识产权	法规管制	政府采购	购置补贴	服务外包	贸易管制	海外机构	小计
科学技术研究	0	2	2	0	7	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21
产业化	0	11	3	5	6	39	3	1	4	11	0	0	0	1	0	84

注：有9项政策条款既属于科学技术研究，也属于产业，这类政策条款包含财政支持类3项，目标规划类6项。

文章发表和专利数据申请情况看，从2011年起，我国发表的石墨烯论文数量在全球排首位，全球34%的论文来自中国（刘忠范，2021），2014—2019年这五年间我国石墨烯相关的专利数目始终排名全球第一，尤其是2019年甚至达到70%比例（宋显珠和肖劲松，2020），这些数据间接证明中国在石墨烯科研的投入不少，基础研究处于领先位置。

面向产业化的政策条款高达80%占比，环境面（55.24%）和供给面（23.81%）政策工具居多，多涉及政府对石墨烯产业发展的目标规划与部署/标准制定、知识产权，以及建设创新中心、产业集群、创新平台、产业园、产业联盟等科技扶持等内容。这说明目前石墨烯正处于大规模产业化的前夕，国家高度重视单层薄层石墨烯粉体、高品质大面积石墨烯薄膜工业制备技术，柔性电子器件大面积制备技术及面向先进能源、航空航天、传感器件、节能环保等高端应用领域等石墨烯产业化瓶颈的突破。

（四）政策着力的应用领域分析

为了分析政策对石墨烯应用领域的支持情况，将以上82份政策文本中涉及应用领域内容的部分进行统计，发现有20项政策条目都涉及石墨烯应用领域，且几乎均属于目标规划类型。从具体产品来看，与石墨烯相关的国家政策主要关注储能器件、防腐涂料、传感器、触控器件、电子元器件、新型显示、锂电池负极，石墨烯发热器件、电热膜、基于石墨烯薄膜、石墨烯穿戴功能纤维等；从应用领域来看，石墨烯相关的国家政策主要关注动力储能、复合材料、电子产品、医疗健康，此外环保领域也较为关注。2015年《关于加快石墨烯产业创新发展的若干意见》明确指出石墨烯材料的发展方向为储能、导电、导热或复合材料、功能涂料、光电子微电子材料及环境治理与医疗诊疗用新材料，未来应用场景聚焦在高端装备制造、新能源及新能源汽车、新一代显示器件、智能休闲健身等领域。

在现实市场产品上，石墨烯产业呈现出低端产品鱼龙混杂，中高端产品亟待加强的现状。理疗护具、智能穿戴、石墨烯基叉车、电缆、油墨、路灯、轮胎、橡胶、润滑剂、润滑油、口罩、采暖、保暖等石墨烯低端产品鱼龙混杂、产品质量参差不齐、产品高度同质化；石墨烯基电池、电容、导热膜、防腐涂料、手机、触摸屏、显示屏、医疗健康领域发展势头良好、企业之间合作频繁；而在其他诸如光电芯片、柔性器件、电子芯片的石墨烯高端领域技术合作则较少。这说明在政策引导下，各个企业正在对石墨烯技术和产品的各种形式进行探索，石墨烯中高端应用正在突破过程中，而高质量、集约化和成本低廉的宏量制备技术是石墨烯产业发展的关键制约技术因素。因此，未来需进一步完善石墨烯行业标准，限制石墨烯产业低端化发展的同时，抓住关键技术的牛鼻子，从创新生态系统整体上考虑石墨烯产业政策，促进中高端产品的发展。

五、结论与政策建议

本文基于Rothwell和Zegveld提出的政策工具，采用内容分析法，通过对政策文本进行政策工具和应用领域的频数统计，结合石墨烯产业发展阶段和创新过程，深入分析了石墨烯产业创新政策，主要研究结论如下：

（1）国家层面石墨烯产业的政策工具三分之二集中在环境面，三分之一集中在供给面，需求面政策非常少。促进石墨烯发展的相关政策工具呈现“初步形成期以供给面为主，快速发展期以环境面为主、供给面政策工具为辅，降温期以环境面为主”的变化趋势。随着产业化程度的加深及各类石墨烯产品的出现，国家越来越注重产业标准、质量监督、知识产权、金融支持等环境面政策工具的使用，未来国家在科技扶持、税收优惠等市场化手段的激励措施及政府采购等需求面的政策工具方面还有待进一步加强。

（2）从创新过程来看，已有的政策条款主要面向产业化，多以环境面政策工具和供给面政策工具为主，涉及政府对石墨烯产业发展的目标规划与部署/标准制定、知识产权，及建设创新中心、产业集群、创新平台、产业园、产业联盟等科技扶持等内容。

（3）从应用领域来看，现有政策条目已涉及动力储能、复合材料、电子产品、医疗健康等石墨烯应用领域，产品呈现低端产品鱼龙混杂，中高端产品亟待加强的现状。

通过以上分析可知，整体上看政策工具变化的总体趋势及政策着力的应用领域符合石墨烯产业发展规律，但是仍然存在一些突出问题，例如，税收优惠等市场化手段激励措施和政府采购等需求面的政策工具方面还比较缺失，政策的精准性有待进一步提高。本文认为，未来需要保持战略定力，遵循“料-材-器-用”的规律和颠覆性技术形成产业的发展规律，抓住攻克关键技术的牛鼻子，从创新生态系统整体上考虑石墨烯产业

创新政策，结合石墨烯行业发展情况和特点实现“量身定制”，助力石墨烯尽快迈入市场导入阶段。对此，提出以下具体的政策建议。

（1）加强顶层设计，保持战略定力。一是，明晰发展石墨烯产业的长期性和艰巨性，越是在“泡沫”逐渐褪去之时，越需要认识到当前是我国石墨烯产业化突破的关键时期，既要有战略性、全局性的规划设计，也要通过政策引导助力市场进行快速试错、快速迭代；二是，一方面要对支撑国家重大战略性方向发展的高端石墨烯高科技产业发展要保持定力，从国家层面布局确保未来核心竞争力；另一方面也要注意不能过度介入市场；三是，要进一步稳定支持石墨烯制备、分散等相关科学和关键性技术的研究，持续不断地夯实石墨烯技术和产业发展的根基。

（2）抓住关键技术的牛鼻子，从创新生态系统的整体加强石墨烯产业的创新政策布局。一是通过政府部门引导，进一步构建“官-产-学-研-用”的创新生态体系，充分发挥企业、高校、科研院所各自在基础研究、人才、技术方面的优势，协同攻克石墨烯产业化制备、分散、应用等关键技术；二是进一步建立和发挥孵化器/创新中心/新型研发机构在技术应用研发和技术转移转化优势，加快关键技术成果的转化；三是建立产学研合作信息服务平台，提高创新网络的信息交流与合作密度，帮助企业切实解决技术需求和技术难题；四是实施税收优惠，加大企业研发投资补贴，促进高质量石墨烯产品研发；五是设立小企业创新研究计划（SBIR）和小企业技术交换计划（STTR），支持石墨烯中小微企业研发创新和商业推广；六是进一步以政府资金引导社会资金的投入，建立多元化投入机制，将风投公司打造成为石墨烯产业创新生态系统中的“基石物种”。

（3）加强石墨烯产业的资源整合和标准制定。一是鼓励石墨烯产业下游领域大型龙头企业深度参与石墨烯产业，支持企业并购重组，不断提高石墨烯产业集中度，发挥龙头企业带动引领效应；二是进一步完善石墨烯行业标准，尽快研究出台与国际接轨的石墨烯材料国家标准，鼓励有条件的企业和研究机构积极参与国家和行业标准制定，尽快完善复合材料、涂料、电池等较为成熟的应用领域的相关标准；三是研究制定行业准入标准，限制石墨烯产业低端化发展，促进高品质石墨烯的制备及产品向高端化方向发展。

参考文献

[1] 范旭，武永超，2023. 中国石墨烯产业化何以实现？——基于31个省市的模糊集定性比较分析[J]. 科学学研究，41(2)：11.

[2] 冯英，张卓，2021. 我国大学生创新创业政策演进及地区差异分析——基于1998—2019年政策文本[J]. 国家教育行政学院学报，2：52-60.

[3] 李茂东，潘锋，黄国家，等，2020. 石墨烯及功能产品标准体系现状分析与对策[J]. 化工新型材料，48(3)：17-22.

[4] 李樵，2018. 我国促进大数据发展政策工具选择体系结构及其优化策略研究[J]. 图书情报工作，62(11)：5-15.

[5] 蔺洁，陈凯华，秦海波，等，2015. 中美地方政府创新政策比较研究——以中国江苏省和美国加州为例[J]. 科学学研究，33(7)：9.

[6] 刘云，王小黎，闫哲，2019. 专利质量测度及区域比较研究——以我国石墨烯产业为例[J]. 科学学与科学技术管理，40(9)：18-34.

[7] 刘忠范，2021. 石墨烯产业路在何方?[J]. 企业家信息(4)：2.

[8] 吕文晶，陈劲，刘进，2019. 政策工具视角的中国人工智能产业政策量化分析[J]. 科学学研究，37(10)：10.

[9] 戚筠，韩奎国，石俊国，等，2020. 石墨烯领域关键技术与创新路径研究[J]. 现代化工，40(4)：12-16.

[10] 宋伟玲，肖汝莉，2022. 中国光伏产业政策工具演化路径及其启示[J]. 情报杂志，41(1)：177-184.

[11] 宋显珠，肖劲松，2020. 我国石墨烯产业发展的喜与忧——全国石墨烯产业发展战略调研的思考[J]. 经济(10)：3.

[12] 王福涛，蔡梓成，张碧晖，等，2021. 中国科研院所改革政策工具选择变迁研究[J]. 科学学与科学技术管理，42(9)：19.

[13] 徐硼，罗帆，2020. 政策工具视角下的中国科技创新政策[J]. 科学学研究，38(5)：826-833.

[14] 杨诗炜，冼嘉宜，翁银娇，等，2019. 新型研发机构政策的量化分析——基于政策工具和政策力度的视角[J]. 中国高校科技(6)：32-35.

[15] 杨曦，余翔，2020. 基于生命周期的石墨烯产业技术创新模式探析[J]. 科研管理，41(9)：12-21.

[16] 于皓，2022. 中国石墨烯产业技术创新效率及创新系统优化研究[D]. 呼和浩特：内蒙古大学.

[17] 张国强，徐艳梅，2017. 新能源汽车政策工具运用的国际镜鉴与引申[J]. 改革，(3)：130-138.

[18] 周波，冷伏海，李宏，等，2021. 世界主要国家未来产业发展部署与启示[J]. 中国科学院院刊，36(11)：1337-1347.

[19] GEIM A K，2009. Graphene：Status and prospects[J]. Science，324(5934)：1530-1534.

[20] LIN L，PENG H，LIU Z，2019. Synthesis challenges for graphene industry[J]. Nature Materials，18(6)：520-524.

[21] ROTHWELL R, ZEGVELD W, 1981. Industrial innovation and public policy: Preparing for the 1980s and the 1990s[M]. London: Frances Printer.
[22] WANG C, GENG H, SUN R, et al, 2022. Technological potential analysis and vacant technology forecasting in the graphene field based on the patent data mining[J]. Resources Policy, 77: 102636.
[23] YANG X, YU X, LIU X, 2018. Obtaining a sustainable competitive advantage from patent information: A patent analysis of the Graphene industry[J]. Sustainability, 10(12): 4800.

Study and Advice on Graphene Industry Innovation Policy

Li Li[1], Peng Xianke[1], Zhang Yanfang[2], Li Ping[3]
(1. Chinese Academy of Engineering Innovation Strategy, Beijing 100088, China;
2. Institute of Industrial Economics of Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100006, China;
3. Institute of Quantitative & Technological Economics, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732, China)

Abstract: As a recognized typical disruptive technology, graphene is gradually moving towards the application prospect, and the rapid industrialization process is inseparable from the support of innovation policies. Based on the analysis of the development stages of the graphene industry, a three-dimensional analysis framework of "policy evolution-innovation process-application areas" was constructed, and the content analysis method was proposed to acquire in-depth analysis of graphene industry innovation policy tools and application field advancement. The relevant policy tools to promote the development of graphene present the characteristics of "supply-oriented in the initial formation period, environment-oriented in the rapid development period, supplemented by supply-side policy tools, and environment-oriented in the cooling period". Some policy provisions are mainly oriented towards industrialization, and the policies focus on supporting high-end fields such as power storage, composite materials, electronic products, medical health, and environmental protection. At present, there are problems such as the lack of policy tools on the demand side, the ecology and accuracy of policies that need to be strengthened, and the industry standards that need to be improved. In the future, it is necessary to seize the key technologies to overcome key technologies, consider graphene industry innovation policies from the perspective of the innovation ecosystem as a whole, and help graphene enter the market introduction stage as soon as possible.

Keywords: graphene industry; policy tools; content analysis method; evolution