

封面

# 石墨烯科技创新与成果转化的 产学研协同模式研究

主题方向：中国科创

专业领域/方向：材料与化工

适用课程：材料工程与技术前沿

作者姓名：刘忠范、许莉

工作单位：北京大学材料科学与工程学院

中国专业学位案例中心

2024 年 3 月 8 日

## 案例正文

# 石墨烯科技创新与成果转化的产学研协同模式研究\*

刘忠范<sup>1</sup> 许莉<sup>2</sup>

**摘要：**我国高科技产业领域存在诸多的“卡脖子”问题，材料领域尤为突出。多类关键基础材料、战略性核心材料受制于人，对我国经济高质量发展和国防安全造成了重大威胁。石墨烯是具有战略意义的前沿新材料，如何破解石墨烯材料未来可能的“卡脖子”问题？如何以机制创新推动石墨烯材料研发与成果转化？以北京石墨烯研究院为代表的新型研发机构，积极探索前沿新材料领域的产学研协同创新之路，初步实现了石墨烯领域技术创新和产业化的双引领，初步走为解决硬科技领域“卡脖子”问题提供了有益借鉴。

**Abstract:** There are many stranglehold problems in China's high-tech industry, especially in the field of materials. With many key basic materials and strategic core materials being constrained by foreign countries, posing significant threat to the high-quality development of economy and national defense security. Graphene is a cutting-edge new material with strategic significance. How to solve potential stranglehold problems of graphene materials in the future? How to promote graphene research and industrialization through mechanism innovation? Beijing Graphene Institute, the new type R&D institutions, actively exploring the path of collaborative innovation between industry and academia, and achieved leadership in technological innovation and industrialization of graphene materials, providing useful reference for solving stranglehold problems in the field of hard & core technology.

**关键词：**石墨烯、新材料、卡脖子、协同创新

**Keywords:** Graphene; New materials; Stranglehold problems; Collaborative innovation

**作者信息：**作者<sup>1</sup> 刘忠范，北京大学化学与分子工程学院教授，北京石墨烯研究院院长；作者<sup>2</sup> 许莉，北京大学材料科学与工程学院 2022 级博士研究生。

---

\* (1) 本案例系教育部学位与研究生教育发展中心 2022 年主题案例项目成果(项目名称: 石墨烯科技创新与成果转化的产学研协同模式; 项目编号: ZT-221000114; 首席专家: 刘忠范)。

(2) 本案例复制权、发表权、信息网络传播权等相关权益由教育部学位与研究生教育发展中心依法享有, 如有相关需要, 请取得教育部学位与研究生教育发展中心授权。

(3) 本案例只供课堂讨论之用, 并无意暗示或说明某种行为是否有效。

## 引言

近年来，随着我国研发投入快速增加，研发产出也快速增长，逐渐步入创新型国家行列。但是我国的基础研究与原始创新能力仍然亟待加强，多个领域关键核心技术还受制于人，“卡脖子”问题层出不穷。其中，多数“卡脖子”技术的深层次根源是材料和装备，这是制约高科技产业发展无法绕过的障碍。此外，科技成果转化能力不强、转化效率不高、产业链创新链深度融合与世界先进水平仍有差距。尤其在当前全球科技竞争加剧的背景下，中国在新材料领域的战略布局和自主创新的紧迫性日益突出。出现上述问题的原因在于科技与产业这两大板块之间并未形成良好的协同效应，表现为非常低的科技成果转化率、大量的科技资源浪费、以及企业核心竞争力的不足，导致真正涉及国计民生和国家重大需求的高科技产业竞争时“用啥没啥”，多数企业只能参与中低端产业的国际竞争。究其原因，根本上在于科技与经济互相脱节，形成了较为突出“两张皮”现状，高效的产学研协同机制仍有待进一步探索完善。石墨烯是兼具高导电导热性的轻质高强材料，是继碳纤维之后的下一个战略性前沿新材料，将孕育新的石墨烯产业并助推传统产业升级换代，成为引领信息电子、新能源、航空航天、国防军工等诸多领域变革的关键材料。中国的石墨烯材料研究和产业化处于国际第一方阵，但也面临着重大挑战。石墨烯材料的制备技术远未成熟，石墨烯的应用仍然有待拓展，特别是高端石墨烯原材料制备与装备、石墨烯颠覆性应用技术是决定未来石墨烯产业竞争力最核心的核心技术，也是制约石墨烯新材料产业发展的“卡脖子”问题。此外，尽管中国拥有极为庞大的石墨烯研发队伍，但是均处于分散的、各自为战的状态。如何实现研发主体和产业化主体之间形成合力，发挥各自优势，推进石墨烯产业化进程？如何确保我国在未来石墨烯产业竞争中占据主动，避免出现新的材料“卡脖子”问题？需要从机制进行顶层设计和长远布局。

## 1. “卡脖子”问题的根源分析

### 1.1 高科技领域“卡脖子”问题现状

据统计，我国研发经费支出从2000年的896亿元快速增加到2023年的33278亿元，研发投入强度（研发投入占GDP的比重）从2000年的0.89%提高至2023年的2.64%，研发投入目前仅次于美国，研发投入强度超过欧盟（2.18%），研发产出也快速增长，逐渐步入创新型国家行列。但是我国的基础研究与原始创新能力仍然亟待加强，多个领域关键核心技术还受制于人，“卡脖子”问题层出不穷。

“卡脖子”问题主要体现在多个高端技术领域缺少自主研发和创新能力，导致依赖进口、受制于人，例如芯片制造、核心电子元器件、高端机床、高性能材料等方面。在当前复杂多变的国际形势下，“卡脖子”技术对于我国经济转型升级

级和国防安全造成了重大威胁，材料领域尤其突出。以光刻胶为例，目前 LCD 用光刻胶几乎全部依赖进口，国内光刻胶国产化率只有 5%，8 英寸晶圆所需 KrF 光刻胶国产化率只有 1%，而适用于 12 寸硅片的 ArF 光刻胶完全依靠进口，核心技术至今被东京应化（TOK）、日本合成橡胶（JSR）、住友化学、信越化学等日本企业及美国罗门哈斯所垄断。这五大厂商几乎占据了全球光刻胶市场 87% 的份额，行业集中度非常高。高端碳纤维材料“卡脖子”已经延续多年，经过奋力追赶，目前我国已能生产 T800 等较高端的碳纤维，但国内生产的高端碳纤维所使用的环氧树脂全部都是进口的。环氧树脂高端产品及先进生产技术仍掌握在陶氏化学、瀚森、亨斯迈等国外企业手中，其中波音飞机、美国 F-22 和 F-35 战斗机上使用的碳纤维环氧树脂都来自美国亨斯曼公司。

## 1.2 “卡脖子”问题根源分析

我国高科技产业发展之所以出现诸多的“卡脖子”问题，既有历史原因也有机制体制的原因，核心在于企业创新能力和创新意愿的割裂。一方面，由于历史性和结构性的原因，我国的科技创新主体集中在高等院校和科研院所。尽管拥有全球规模最大的基础研究和科技创新队伍，产生了大量的科研论文和专利，但是对国民经济发展的贡献度十分有限。据统计，2016 年中国学者发表的论文总数已跃居世界首位。2021 年，中国国际论文产出为 61.23 万篇，首次超过美国，居世界第一位，占世界份额的 24.5%；发明专利有效量突破 400 万件，居世界第一位。2022 年国家知识产权局授权发明专利 79.8 万件，比上年增长了 15%。看似成果丰硕，“要啥有啥”。但真实的现状是，我国的科研成果转化率仍然不高。据报道，中国的科技成果转化率为 10% 左右，远低于发达国家 40% 的水平。

现行的科技评价体制让科学家们缺少推进成果转化的动力。唯论文、唯帽子是当下科技评价体制的顽疾。科学家们通过发论文就可以拿到很多“帽子”和“利益”，因此无须关心有没有用，更没有必要冒着风险往前走，也是造成科技与经济的两张皮问题的原因。另一方面，企业作为创新的主体，迫切需要科技创新突破技术瓶颈，解决“卡脖子”问题，但研发自主创新能力和内在动力不足。我国拥有全球最活跃的企业，对改革开放四十年来的快速经济发展起到了至关重要的支撑作用。但是，科技与产业这两大板块之间并未形成良好的协同效应，表现为非常低的科技成果转化率、大量的科技资源浪费、以及企业核心竞争力的不足，导致真正涉及国计民生和国家重大需求的高科技产业竞争时“用啥没啥”，多数企业只能参与中低端产业的国际竞争。

国企央企体系拥有强大的政府后盾、产业资源、市场渠道和人才优势，具备较强的创新能力，但创新意愿普遍不足，因为科技创新是对未来的投资，资源投入大、回报周期长，无法快速迅速体现为市场产值和企业业绩。而绝大多数的私企和民企有创新意愿，希望拥有独一无二的核心竞争力，有意愿对自己企业的未

来投资。但是，大多情况下缺少创新能力，因为首先是生存问题，然后才是发展问题。没有足够的实力，不敢对未来做实质性的投入。既有创新意愿，又有创新能力的企业仍然有限，比如华为。总体而言，我国企业的创新主体作用仍然没有充分发挥。事实上，西方国家的企业都是一个个的华为，创新意愿和创新能力高度统一。如何从体制机制改革上下功夫，解决创新能力和创新意愿的割裂问题，是改革的深水区。探索符合中国国情的产学研协同创新之路，推进科技与产业的深度融合，是加快我国经济结构调整、提升发展质量的必由之路。

## 2. 石墨烯科技创新与成果转化的探索之路

### 2.1 BGI 的成立

近年来，新型研发机构作为一种集科技创新、成果转化、产业孵化功能一体的创新载体，以其在组织模式、运行管理、人才引进、孵化转化等方面的机制优势，正在逐渐成为推动我国科技创新和产业发展的重要科技力量。为了加快推动石墨烯核心技术研发，打造中国石墨烯产业的核心竞争力，2016 年 10 月 25 日新型研发机构北京石墨烯研究院（Beijing Graphene Institute, BGI）注册成立，经过两年的筹建于 2018 年 10 月 25 日正式揭牌运行。BGI 由北京大学发起成立，由政府和社会资本共同出资建设，实行理事会领导下的院长负责制，首任院长由国际知名石墨烯专家、北京大学刘忠范院士担任，诺贝尔奖获得者、曼彻斯特大学康斯坦丁·诺沃肖洛夫爵士应邀担任名誉院长。

2017 年 12 月 26 日，北京石墨烯研究院有限公司(以下简称“公司”)注册成立，积极利用市场和资本力量全方位推进石墨烯新材料的产业化落地工作。公司由北大资产经营有限公司、市属国企和行业龙头企业共同出资设立。股东包括核心团队、北大资产、市属和海淀区国企（首发展、海淀国投、海淀科技）、上市公司（彤程新材、宝泰隆新材）等。为了更好地发挥北京大学基础研究和人才优势，服务国家战略，北京石墨烯研究院 2023 年 10 月正式挂牌“北京大学石墨烯产业技术研究院”。“北京大学石墨烯产业技术研究院”与 BGI 一体两面，提供基础研究支撑和人才资源整合问题。北京石墨烯研究院与 BGI 有限公司“一体两翼”、“一对一孵化”，解决研发成果产业落地问题。通过“三位一体”的协同创新机制，打通产学研协同创新链条。

BGI 秉承“用石墨烯改变世界，用硬科技创造未来”的使命，致力于通过“研究院+公司”一体两翼的创新模式全方位推动石墨烯新材料产业化，建立引领全球的石墨烯新材料研发高地和创新创业基地，解决未来石墨烯产业的材料卡脖子问题，向全球市场提供最具竞争力的石墨烯材料，石墨烯制备、转移和检测设备规模化生产线，以及定制化的石墨烯研发服务，培育集石墨烯新材料研发、生产、以及装备制造于一身的千亿级石墨烯高科技企业，使北京成为国际领先的石

墨烯创新策源地和领航者。

## 2.2 迅速发展的 BGI

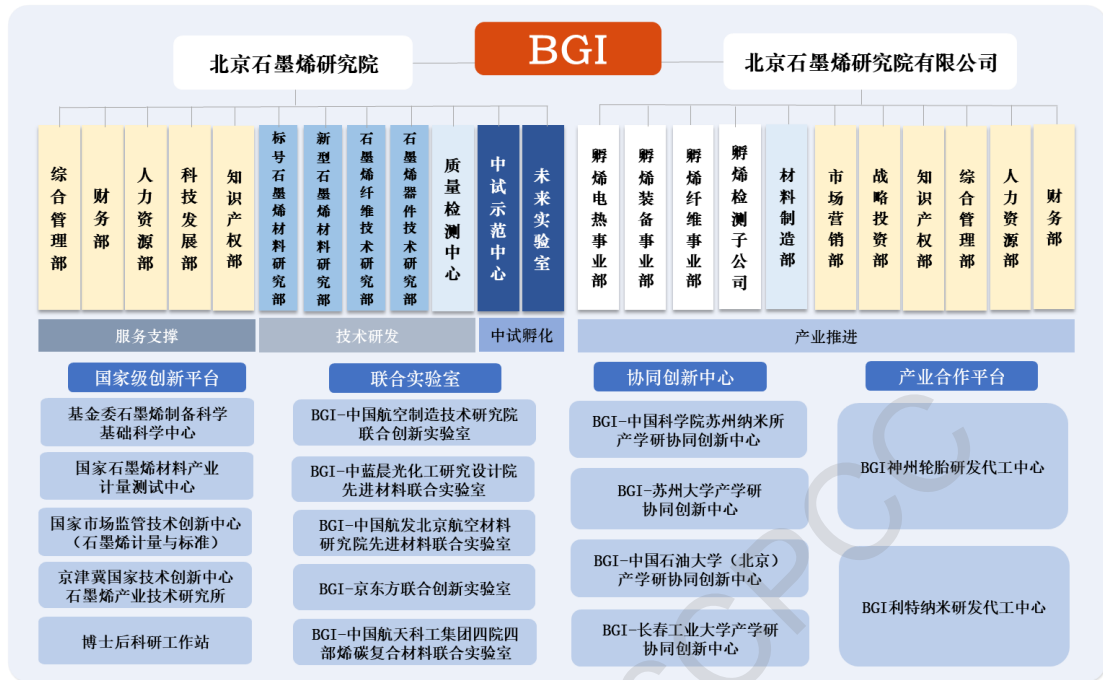


图 1 BGI 从基础研发、中试示范到产业落地的全链条组织架构

正式运行五年多来，BGI 的发展极为迅速，在人才团队建设、核心技术研发、科技成果转化和产业化等方面都取得了重要进展，已成为具有全球重要影响力的新材料研发机构和快速发展的高科技企业。人才队伍规模已逾 400 人，成员包括中科院院士 2 人，长江特聘教授、国家千人计划专家、万人计划入选者以及北京市各类人才计划等 35 人，博士及以上学历人员占比近 40%，显示了强大的人才汇聚效应。BGI 拥有国际顶尖的石墨烯材料、器件和应用研发实验室。国家自然科学基金委员会“石墨烯制备科学基础科学中心”、“国家石墨烯材料产业计量测试中心”、“国家市场监管技术创新中心（石墨烯计量与标准技术）”相继落地 BGI。依托强大的研发实力，合作伙伴队伍不断壮大，已建成“北京石墨烯研究院-中国航空制造技术研究院前沿技术联合实验室”、“北京石墨烯研究院-中蓝晨光化工研究设计院有限公司特种纤维联合实验室”、“北京石墨烯研究院-京东方联合创新实验室”等多个企业联合实验室。

BGI 搭建了从研究院技术研发、中试孵化到研究院公司（北京石墨烯研究院有限公司）产业推进的一体化组织架构，全力推进产业化进程。经过数年的努力，BGI 在石墨烯新材料研发和产业化方面实现了国际引领，成功研制出 A3 尺寸通用石墨烯薄膜、A3 尺寸超洁净石墨烯薄膜、4 英寸/6 英寸石墨烯单晶晶圆、蒙烯玻璃纤维等一系列国际领先的石墨烯材料产品，推出了一系列全球领先的石墨烯材料规模化制备装备，并陆续进入市场；组建了近百人规模的产业化团队，形

成了烯纤维、烯装备、烯检测、烯转移等多个业务板块；先后推出一系列全球领先的石墨烯材料规模化制备装备与工艺包，完成了从实验室到规模化批量生产，以及制备装备自主研发设计，并实现了在国防装备上的重大应用突破，成为石墨烯新材料的第一个“杀手铜级”应用。2022 年、2023 年公司连续两年市场销售超过 6000 万元，迈上了产业化发展的快车道。

2019 年，北京石墨烯研究院入选 MRS（材料研究学会）全球最具代表性的新材料研究机构之一，并在国际材料大会上受到 MRSTV 专题报道。2020 年，著名期刊 Science 专题报道了北京石墨烯研究院双轮驱动的创新实践，形成了较大的国际影响力。北京石墨烯研究院有限公司 2022 年、2023 年连续两年实现营收超过 6000 万元，先后被认定为中关村高新技术企业、国家高新技术企业、北京市“专精特新”中小企业、中国“专精特新冠军”企业。BGI 的成立和运作充分展示了中国在石墨烯领域的前沿探索和对未来高科技产业发展的引领作用。

## **2.3 政产学研协同的科技体制机制创新试验田**

### **2.3.1 政府+大学+社会资本的多方共建机制**

BGI 由北京市政府、北京大学、行业龙头企业和专业投资机构共同发起成立，并采用研究院加公司的运行模式，充分体现了政、产、学、研、金五位一体的创新要素聚集和各方意志，确保 BGI 既能围绕核心技术长远布局研发资源，又能按照市场意志开展近期的技术研发与应用转化，可有效避免由政府单独投资变成纯粹的事业单位和常规研发机构，从而难以发挥市场在石墨烯产业化进程中的核心牵引作用；另一方面也避免了由企业完全主导的企业类研发中心的市场短视和急功近利问题，兼顾了当前的市场和未来的技术，为我国经济转型升级和高科技产业发展提供了良好的模式示范。政府和社会资本有机融合，共同发力，实现“双轮驱动”。一方面通过坚持不懈的原创性和颠覆性技术研发，从基础研究出发，发展规模化制备工艺和装备，抢占石墨烯产业的制高点，争夺未来石墨烯产业的核心竞争力，充分承载国家意志；另一方面对接市场需求，引导企业积极参与新型研发机构建设，确保市场牵引特色和可持续发展能力。

### **2.3.2 “研究院+公司”一体两翼的机制设计**

BGI 将打造石墨烯产业核心技术策源地，打造千亿级石墨烯产业确定为战略目标。研究院和公司是推进战略新兴材料石墨烯产业化的两大载体，拥有不同的职能定位。研究院是技术研发平台，是公司的技术源头，专注于石墨烯产业核心技术研发，持续产出国际领先的石墨烯科技成果，为公司石墨烯科技成果转化和产业化提供长期稳定的成果支撑和技术服务支撑前者。研究院面向石墨烯产业核心技术进行长远布局，由高水平基础研究和应用基础研究人员组成，重点关注未来石墨烯产业的核心竞争力，发展高端石墨烯原材料制备技术和装备、杀手铜级

应用和颠覆性技术、以及国防与航空航天等国家战略需求的核心技术，充分体现国家意志和北京市对新型研发机构的定位要求，研发经费主要由政府提供。公司是研究院科技成果转化、产业化的推进载体，为研究院发展建设提供资金支持和全方位的配套服务，通过委托研发、技术成果转让或使用许可、公司孵化、产业投资等各种市场化手段，与研究院共筑完整的石墨烯成果转化链条，打造千亿级石墨烯产业集群，并通过市场化的收益持续反哺研究院发展。“研究院+公司”的协同机制是 BGI 探索科技成果转化的重要机制创新，不但为研究院科技研发提供市场牵引，为科技成果提供落地通道，也为公司长远发展提供持续的技术创新动力与技术支撑。

BGI 从三方面着力推动“一体两翼”机制落地实施。组织机制上，构建了从基础研发到成果转化和产业化的全链条组织构架。除了 4 大基础研发部门，中试示范中心以 BGI 核心材料中试化为目标，提供最具竞争力的材料产品、制造技术及生产线解决方案。承上启下，推进石墨烯新材料的产业化，打造布局全国的石墨烯生产制造链。未来实验室致力开发石墨烯材料应用示范产品，为 BGI 石墨烯产业开拓潜在应用市场，打造新的产业板块；公司设立材料制造部，承接从规模化的石墨烯材料生产制造，实现了与中试示范中心的无缝衔接；同时设立市场营销部，针对石墨烯材料进行市场拓展和销售。BGI 成立了研究院和公司一体化的知识产权部，组建强大的知识产权团队，完全打通从知识产权布局、申请、运营、转化的各个环节，为未来石墨烯产业布局构建护城河。决策机制上，研究院和公司分别通过院长办公会和总裁办公会进行决策管理，同时设立研究院与公司联席会制度，定期开展工作协同对接；运行管理上，成立了人才资源工作委员会、财务工作委员会、公共关系委员会和安全生产委员会，协同双方的人力、财务、综合管理等部门推进日常管理高效运行。

### 2.3.3 “研发代工”一对一订制化研发合作新模式

“研发代工”是由 BGI 提出的一种新型研发合作模式：研发机构针对企业特定的技术需求，组建高水平专业人员构成的专门研发团队，开展订制化的技术研发。“研发代工”模式创新性地将研发机构与企业需求紧密结合，“研发代工方”与“企业方”通过全过程利益捆绑，实现从基础研究到产业化落地的无缝衔接，这是一个全新的、适合中国国情的产学研结合模式，有望解决我国企业创新能力不足、高校和科研院所的科研成果转化率低的难题。

“研发代工”模式是长期稳定的捆绑式合作，通过共同努力实现技术与市场的对接。企业负责提供研发经费，研发成果优先落地到代工企业，合作双方按约定比例分享成果转化带来的利益。这种协同创新模式有助于双方共同打造品牌产品，提高市场竞争力。“研发代工方”与“企业方”通过全过程利益捆绑，实现从基础研究到产业化落地的无缝衔接。特定高科技领域的大型研发代工平台，可



对接众多的相关企业。通过知识和硬件设施共享、技术团队专有的运行模式，有效降低研发成本。在政府资金和风险投资的支持下，研发代工机构还可以布局中长期技术研发，体现国家意志，确保高科技领域的核心竞争力。

#### 2.3.4 多元化的人才评价与培养机制

人才培养与使用方面，BGI 注重营造良好的创新文化，积极吸纳各类基础研究人才、工程化人才、产业化人才和管理人才，不唯文章、不唯帽子，提倡“科学精神”和“工匠精神”，建立多元化的人才评价机制，鼓励上书架去做研究，上货架去做产业，科研与产业化人才多路径发展，打造科技成果与人才评价机制改革示范区。对于做“上书架”事业的科研人员，给予足够的费用、足够的时间，自己规划自己，以小同行评价方式对科研人员进行考核；对于从事“上货架”事业的研发人员，评价目标为开发实用的石墨烯材料及相关生产装备，建立新产品生产线，新生产工艺包。例如，在职称自主评价的标准上，制订了符合 BGI 特色的成果评价标准，重点突出研发人员在石墨烯制备核心工艺技术、石墨烯装备开发、石墨烯生产线、检测与标准研制，以及科技成果转化与产业化方面的成效。

为了打造后备人才梯队和创业人才，北京石墨烯研究院推出了“孵烯学者”计划和“孵烯创业营”计划。“孵烯学者”计划是北京石墨烯研究院为吸引和凝聚优秀创新人才、优化人才生态系统、完善人才发展机制、支撑研究院长远发展而打造的人才培育计划。该计划面向从事石墨烯核心技术研发和石墨烯未来产业发展的优秀青年科技人才，针对契合北京石墨烯研究院战略发展需求，开展创新性地探索，推动研究院在原始创新能力提升以及实现产业高质量发展上取得较大突破的科研人员。

为培养属于 BGI 自己的石墨烯产业高层次创业人才，提高员工科创意识，增强科技创新能力和产业转化力，努力建设一批具有持续创新能力、全球视野、工程思维、企业家精神、社会责任感的高水平科技创业人才。BGI 启动了“孵烯创业营”计划，面向全体员工，遴选第一批科创“种子”，探索 BGI 科创企业家培养模式。主要形式包括专家培训：邀请投资圈、科创圈、孵化器、商学院等相关专家导师，对孵烯创业营成员开展战略执行、管理沟通、商业路演等系列培训；参观访学：实地参观拜访成功的科创企业，交流学习，对接资源；研习交流：产业研究分享会、科技创业案例分享会，学员定期分享商业案例，共同成长。

### 3. 重点案例介绍：蒙烯玻璃纤维的成果转化之路

#### 3.1 背景介绍

航空器结冰被航空界认定为影响飞行的六大气象因素之一。据统计，由结冰导致空难事故超过 15%。电加热除冰技术由于其防/除冰效率高，防/除冰速度快，有效热利用率高，能耗低，能精确控制除冰位置、除冰强度等优势已经成为目前

最前沿的防/除冰技术。但与此同时，该技术对电加热材料的柔性、结构轻量化、电加热效率、稳定性等都提出了极高的要求。石墨烯玻璃纤维基电热材料具有加热均匀性高、升温速度快、电热转换效率高、循环稳定性好等优势，同时石墨烯玻璃纤维由于特殊的结构与组分特点使其可与航空器基体稳定复合，形成稳定的复合界面，与原有的基体材料具有优异的兼容性，因此在航空装备电热防/除冰中及相关电热领域展现出巨大的应用前景。石墨烯玻璃纤维是由 BGI 自主研发的新型石墨烯材料，充分结合了石墨烯和玻纤材料的性能优势，赋予传统玻纤材料高导电、高导热等全新功能。其升温度极快，且具有极高的电热转换效率，已经成功应用到我国的某尖端装备上。石墨烯玻纤是 BGI 走通研发-中试-量产的标杆项目，是 BGI 产业化的重要里程碑。

### 3.2 项目历程

中国航空制造技术研究院（简称“制造院”）是专门从事航空与国防先进制造技术与专用装备开发的综合性研究机构，主要承担航空材料、制造工艺、专用装备等基础、应用和工程转化研究工作，为中国新型飞机、发动机、导弹等航空装备研制和航空工厂的技术改造提供先进制造技术和工艺装备。为了推动石墨烯等纳米碳材料在航空及装备领域的应用，2019 年 10 月 25 日成立北京石墨烯研究院-中国航空制造技术研究院前沿技术联合实验室。

启动初期：联合实验按照联合实验室双主任模式，由制造院主任与 BGI 主任牵头，建立互访例会制度，开展石墨烯材料在航空领域的应用需求对接和技术可行性验证，验证项目包括铜基石墨烯、石墨烯透明导电膜、石墨烯玻璃纤维等，经过 1 年的论证，团队决定聚焦石墨烯玻璃纤维布在航空器防除冰方向开展联合应用研发，并建立专门课题组针对应用需求开展工作。

项目研发阶段：明确需求。2021 年 1 月双方启动产品性能验证，制造院针对场景和装机需求，经历 3 个月的时间，对不同性能的石墨烯玻纤材料在实际应用下的性能表现作出系列评估，BGI 成立石墨烯玻璃纤维课题组，在材料生长工艺方面进行了大量验证试验，2021 年 3 月，制造院针对某型号的实际需求确定了石墨烯玻纤材料的各项性能参数并建立了研制标准。双方自此展开进一步的联合攻关。

分工推进：针对特定参数的石墨烯材料，石墨烯玻纤课题组从材料生长机理、生长方法，检测方法等方面开展材料研发工作，为制造院提供试制材料。制造院负责对材料复合制件的工艺开发、性能评估、环境适应评估等工作。过程中，BGI 团队对材料的生长方法进一步优化，试样整体性能进一步提升，制造院团队对材料复合成型工艺改进优化定型，最终制件通过风洞关键实验。2021 年 6 月，造院对石墨烯玻纤材料的参数最终定型，并启动对首件试制材料的全性能检测。2021 年 8 月，石墨烯玻璃纤维织物的 10 项全系性能检测通过制造院检测，通过

制造院材料评审。

工艺技术攻关：2021 年 8 月，BGI 成立石墨烯玻纤产品攻关团队，团队由研发课题组与材料制造部玻纤量产组共同组建，针对石墨烯玻纤量产技术、量产装备改造问题进行联合攻关，同月，石墨烯玻璃纤维防/除冰加热元件上机工艺评审通过，2021 年 9 月装机评审通过，标志着在石墨烯玻纤材料及制件的整套制造工艺、性能满足客户需求，满足产品供货条件。

2021 年 10 月，攻关团队针对特定参数的石墨烯玻纤材料量产工艺取得重大突破，实现石墨烯玻纤布的卷对卷连续制备，同时，材料制造团队建立标准原材料复验规程、工艺规程、检验规程、产品企业标准等系列文件，按质量管理体系要求进行标准化生产，攻关团队以提升产能、提升产品良率、降低生产成本为目标，全面开启石墨烯玻纤材料的量产工作，开始向客户批量提供标准产品。

2021 年 12 月 16 日，各方在现场进行首件鉴定工作，对材料生产过程、特殊过程（石墨烯 CVD 制备）、设备条件、生产条件、产品质量全过程进行审查评定，产品通过鉴定。可按照质量体系要求进行材料生产发货任务。BGI 正式实现了石墨烯玻璃纤维布批量供货，对于石墨烯应用具有重大示范意义。

2022 年 6 月 14 日，烯烯玻碳事业部正式成立。事业部定位是以特种需求牵引为基石，拓展石墨烯材料产品的多元化应用，提供最具竞争力的石墨烯玻璃纤维材料及制品，成为独具 BGI 特色的“专、精、特、新”型石墨烯材料供应商。事业部下设市场开发、产品制造、质量管理三个业务板块，在北京石墨烯研究院有限公司的支撑下以独立板块运行，按市场化模式推进材料业务。

2022 年底，成功实现蒙烯玻纤布材料的批量供货和合同签订，这是石墨烯材料首次规模化应用于高端国防装备，对于研究院和石墨烯产业发展具有标志性的意义。2023 年 3 月 14 日，蒙烯玻纤材料在风电叶片样机上吊装成功，未来有望应用于风电叶片除冰，打开了该材料民用领域的重大应用通道。2023 年 12 月 26 日，全球首列应用 BGI 蒙烯玻纤的电热座椅在北京亦庄线装车成功。2024 年 1 月，成功中标华能集团叶片除冰项目，石墨烯玻纤材料走上产业化快车道。

#### 4. 推动硬科技领域科技创新与成果转化的思考与建议

在我国成果转化链条中，最为缺乏的是四到六级工程化技术研发的承载主体，以及研究机构与产业界的协同创新机制。以 BGI 的机制创新为例，新型研发机构是推动解决经济与科技两张皮的重要机制创新。但是，在已经拥有庞大数量的高校和科研院所基础上，再增加几个基础研究机构，很难产生战略性和全局性的影响。因此，新型研发机构建设须有别于高校和现有科研院所，须拥有完全不同的功能定位；同时应当充分发挥企业的创新主体作用，通过企业实现科技成果的落地转化。真正高效的模式是作为创新主体的企业，内部研发人员、工程师

和企业家密切合作，类似于一台机器运转，因此应该更加重视企业的力量。

#### **4.1 充分发挥新型研发机构“政产学研”协同创新机制体制优势**

在“十四五”期间，由中央或地方政府主导，选择典型的高新技术领域，整合高校和科研院所的科技创新资源，吸纳企业和社会资本参与，建设若干以“政产学研”协同创新机制探索为主要目的的“新型研发机构”。政府可以按 PPP 模式，参与建设新型研发机构，并在土地使用、人才引进、税收等诸方面给予政策倾斜。在北京、上海、深圳、武汉或其他有条件的城市首先试点，建立由政产学研各方共建的若干大型高科技产业研发平台，推进产学研协同创新，通过政策支持和引导，以及利益机制设计，实现科研机构与企业的深度捆绑，推动从基础研究到产业化落地的无缝衔接。

#### **4.2 探索政府和社会资本有机融合的“双轮驱动”模式**

强化政府的支持力度，坚持不懈地推进原创性和颠覆性技术研发，充分体现国家意志。政府的作用极为重要，通过政策引导和真正投入从政策层面予以引导，强制性引导企业重视研发。“卡脖子”技术是“熬出来的”，绝不是“突击”出来的，需要久久为功。我国企业的特质决定了国企和央企缺少布局未来的积极性，而绝大多数私企又缺少布局未来的能力，因此必须强化政府投入和自上而下的有效组织。这也是我国“谋划长远，集中力量办大事”的制度优势所在。另一方面，通过政策导向，鼓励企业积极参与新型研发机构建设。企业的参与可调动起市场的积极性，充分发挥市场引领作用，避免高校和科研院所纸上谈兵、不接地气的市场脱节问题；而政府的参与又可以避免市场行为的“短视、近视”问题。

#### **4.3 推进“研发代工”模式创新**

由科研院所和高校针对特定企业的技术需求，组建由高水平专业人员构成的专门研发团队，面向市场需求开展定制化的技术研发。企业方负责明确的应用牵引和市场渠道，科研院所负责技术研发，多方共同推动研发代工模式落地。鼓励研发机构积极为企业成立研发代工中心，开展“一对一”的定制化研发服务，解决企业的研发需求，与企业一道打造“品牌”产品，同时提高新型研发机构的可持续发展能力。持续探索模式创新，冲破阻碍产学研合作的体制机制藩篱。“研发代工方”专注于技术研发，“企业方”专注于产业化和市场开拓，各司其职，充分发挥各自的优势，既能回避“教授办企业”等诸多问题，也可大幅度增加科研人员推进成果产业化的意愿和效率。

#### **4.4 充分重视人才作用**

人是创新的本源，也是创新的源泉。随着时间的推移，企业可能会倒闭，但是人不会因为企业倒闭而消失，而是在行业中流动。在行业中深耕多年的创新者是这个行业的宝贵财富。从创新的公式来看，他们有着行业中最广泛最新的信息，

同时他们经过多年的创新工作已经对“尤里卡时刻”非常熟悉，他们是这个行业的“卖油翁”。因此，企业应该广泛吸纳懂得卡脖子技术的“卖油翁”。通过大量吸纳“卖油翁”，可以使企业快速积累起卡脖子模块的有用信息，并快速解决“切断供应链”的卡脖子手段。有了大量信息的积累后，很有可能“尤里卡时刻”就在某个时刻光临了这个幸运的团队中的一员，帮助企业找到绕过这个模块专利的另一条技术路径，那就解决了“专利封锁”的卡脖子手段。甚至，企业可能因为团队一员的“尤里卡时刻”演进出下一代技术，也就不难创造短时间赶超的奇迹了。