

宁波探索石墨烯产业化科技创新路径—— 点墨成金，甬江畔看新“烯”望

本报记者 翁云骞 通讯员 贺元双 贝蕾

近日，国家石墨烯创新中心孵化企业——宁波沃沃新材料科技有限公司宣布在石墨烯纳米管领域取得重大技术突破，成功实现高性能产品的规模化量产。不仅如此，从电热膜到冷链设备再到改性面料，一连串石墨烯产业化成果的落地，让“石墨烯之父”——2010年诺贝尔物理学奖获得者安德烈·海姆感慨不已。“石墨烯产业化这条路，宁波走在了全世界的前面。”去年11月，在宁波参加

中国国际石墨烯创新大会时，他这样对国家石墨烯创新中心主任刘兆平说。20年前，安德烈·海姆在实验室扔掉的废弃胶带上，将石墨的层状结构分离开来，获得了人类第一个二维晶体材料——石墨烯。从此，这个无法用肉眼直接观察的微观世界吸引了无数研究者、创业者投身其中，在全球掀起一波波石墨烯热潮。2022年11月，工信部批复由宁波石

墨烯创新中心有限公司组建国家石墨烯创新中心(下称国创中心)，实现了浙江省国家级制造业创新中心零的突破。截至目前，国创中心获得授权专利300余项，其中数十项专利成果实现了产业化，并培育孵化石墨烯企业20余家。依托“国字号”平台，宁波如何点墨成金，为未来产业构筑适宜的创新创业生态？带着一连串的疑问，记者开启探寻之路。

电池“电量”有望提升50% 十多年前的实验室成果焕发新生

疾驰的新能源汽车上，动力电池犹如心脏。这颗心脏如何变得更强劲？去年11月，在镇海举行的中国国际石墨烯创新大会上，中国科学院宁波材料所研究员周旭峰发布了一项名为“石墨烯复合纳米硅碳负极材料”的新成果。该成果的创新点在于将石墨烯与硅碳负极材料进行有效混合，突破了后者的性能瓶颈。

“理想条件下，采用这种材料的动力电池能量密度(单位重量电池最多能储存的电量)可突破450瓦时每千克，是目前主流水平的1.5倍，汽车续航里程将显著提高。”周旭峰骄傲地说。正极材料和负极材料决定着锂电池的能量密度，其技术迭代格外引人关注。相比广泛应用的石墨负极，硅负极的“储电”能力要高近10倍，但硅材料容易膨胀，反复充放电后更会引起性能的衰减，进而影响电池寿命。为解决这个难题，周旭峰团队想到了石墨烯。

作为二维材料，石墨烯拥有强大的机械性能、优异的导电性和巨大的比表面积，3克石墨烯的比表面积就相当于一个足球场。正因为这些特点，复合了石墨烯的硅材料会变得更稳定。

“你可以把石墨烯想象成一张张又柔又韧的小网，在其包裹下，硅颗粒即便有膨胀也不会互相分离，造成电池负极的碎裂脱落。”周旭峰说，这个原理他们十多年前就已发现，但当时相关产业没起来，因此只停留在基础研究阶段。

一项十多年前的实验室成果，为何能在今天成为解决行业发展痛点的突破口？这背后，是一条由国创中心策源牵引、围绕商业化方向开展关键共性技术研究的崭新科创路径。

作为提升中国制造竞争力的重要举措，2016年起至今，国家先后在14个省(市、自治区)布局了30个国家级制造业创新中心。2017年，浙江省石墨烯制造业创新中心落户宁波。5年后，中心晋升为“国家级”。

相比其他载体，作为“国家队”的国创中心不仅能最大限度集聚资源，还呈现出鲜明的市场化运作特点，首批股东单位就包含数十家协同创新主体。

“我们与中国科学院宁波材料所共建研发设计中心，并联合上下游建设协同创新平台。”刘兆平解释，这种模式的好处在于，一旦石墨烯行业产生变革性需求，中心可以从科研和市场两个方向同时整合资源发力，从而加速新技术的迭代突破。

关键共性技术决定着产业发展的方向。新能源汽车方兴未艾，硅负极商用不断加速，这让周旭峰团队看到了实验室成果往前迈进一步的机会。

在国创中心支持下，周旭峰团队聚焦石墨烯与硅复合的工艺难题进行了反复验证，中心专家和股东单位也作为“智囊团”提出了许多建议，由此加快了“石墨烯复合纳米硅碳负极材料”的落地。

眼下，该新材料已在多家头部电池厂开展测试。周旭峰说，他们已建成百吨级的中试线，如果这个材料能顺利量产应用，将会大大提高硅负极的市场竞争力。

“借助石墨烯之后，硅在负极材料的用量会显著增加，动力电池性能‘天花板’也更有希望突破。”在刘兆平看来，这是石墨烯在新能源领域应用的一个里程碑，甚至有可能引发行业变革。

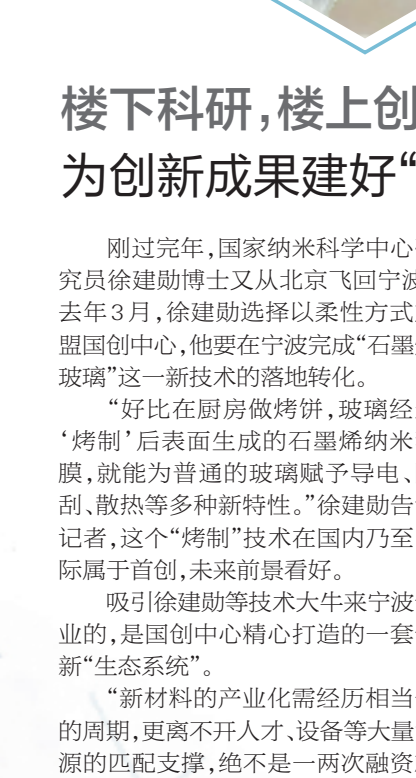
发展机遇转瞬即逝。对国创中心来说，一项重要使命就是筛选面向国家重大需求和行业发展需要的石墨烯创新方向，加快工艺和装备布局，从而避免“开盲盒”式的一拥而上。刘兆平告诉记者，中心坚持“有所为有所不为”，正围绕石墨烯动力电池、石墨烯铜基复合材料、石墨烯导热材料、石墨烯电热元件、石墨烯改性防腐涂料、碳基芯片等领域加速关键技术攻关，“争取到2028年，建设成具有国际影响力的石墨烯创新策源中心”。



大篇幅石墨烯薄膜卷材中试生产线。
拍友 严龙 摄



石墨烯电热膜项目团队工作人员安装石墨烯苗床，为幼苗冬季生长保驾护航。



宁波烯暖科技有限公司生产车间。

楼下科研，楼上创业 为创新成果建好“育苗箱”

刚过完年，国家纳米科学中心研究员徐建勋博士又从北京飞回宁波。去年3月，徐建勋选择以柔性方式加盟国创中心，他要在宁波完成“石墨烯玻璃”这一新技术的落地转化。

“好比在厨房做烤饼，玻璃经过‘烤制’后表面生成的石墨烯纳米薄膜，就能为普通的玻璃赋予导电、防刮、散热等多种新特性。”徐建勋告诉记者，这个“烤制”技术在国内外乃至国际属于首创，未来前景看好。

吸引徐建勋等技术大牛来宁波创业的，是国创中心精心打造的一套创新“生态系统”。

“新材料的产业化需经历相当长的周期，更离不开人才、设备等大量资源的匹配支撑，绝不是一两次融资就能轻松完成。这点往往不被石墨烯从业者所重视。”作为国内最早从事石墨烯产业化的专家，刘兆平深知石墨烯技术创新的艰难。

为提高石墨烯技术成果的转化效率，国创中心不仅建设了专门的成果

转化平台，更为创新团队量身定制了灵活多样的合作模式，既可带着学术论文来，也可带着商业计划书来……从成果验证到资源匹配，再到工程化放大，就像搭建起了一个石墨烯技术成果培育的专业“育苗箱”。

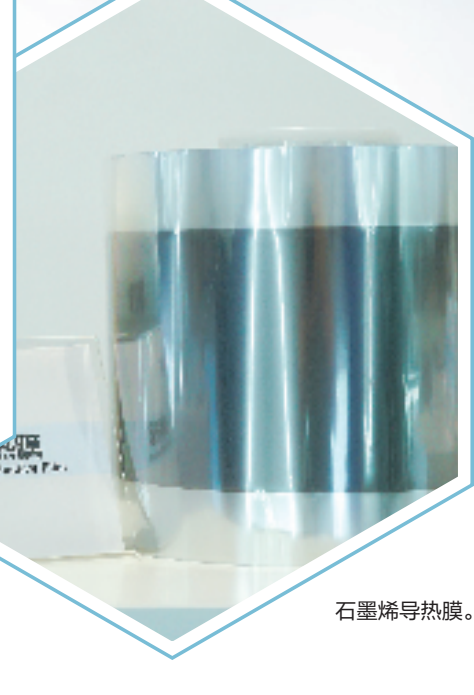
“楼下科研，楼上创业。”在徐建勋看来，这种模式能为他这样的学者型创业者带来更多机遇。“对接市场不是我们的强项，在宁波，这些事有人帮我们干了，我们只需把团队组建好，把产线调试好。”

精准培育下，毕业于中国科学院苏州纳米所的郭玉芬博士也看到了项目“破土”的希望。

着眼手机等消费电子产品的散热需求，5年前，郭玉芬采取了一条与同行不同的技术路线，研发石墨烯导热膜。在中心着力打造的石墨烯导热材料技术平台加持下，如今郭玉芬团队不仅可量产大篇幅的石墨烯导热膜产品，还可定制高性能的非标产品，拿到了不少头部手机厂的意向订单。



国创中心九龙湖园区。



石墨烯导热膜。

产品“七十二变” 石墨烯释放更多光和热

10秒速热，从25度升温至100度仅需4分钟……去年“双十一”，一款应用了石墨烯电热元件的家用暖菜板在电商平台爆卖数万台。为该产品提供关键材料的，正是坐落于镇海的柔碳科技。

早在7年前，柔碳科技便已建成百米宽幅、千米级长度的石墨烯薄膜卷对卷中试生产线，率先实现大篇幅石墨烯薄膜卷材生产。历经多次技术迭代，柔碳石墨烯卷材驶上产业化快车道。

“原先都是埋头搞科研，现在这种思维方式逐渐转过来了。”柔碳科技董事长汪伟告诉记者，石墨烯薄膜卷材对工艺要求极高，但这在某种意义上也成为产业化初期的“瓶颈”。“‘曲高和寡’的东西别人不敢用，你必须考虑石墨烯能为生产生活带来什么。”

以暖菜板产品为例，石墨烯在其中的用料占比并不高，但凭借其超强的导热性，一款暖菜板可以在功率不变的前提下，大幅提升热能输出的效率，从而吸引“路人粉”尝鲜购买。

在国创中心产业化应用项目支持下，柔碳科技大胆延伸在智能家电、可穿戴等领域的新产品研发触角，产值节节高的同时，还在当地形成了一条从石墨烯薄膜卷材制备到应用的产业链。近期，他们还与吉利汽车研究院达成合作，未来将借助石墨烯的独特性能，进军百亿级汽车热管理市场。

不止暖菜板，只有一个原子层厚的石墨烯正在成为一些传统行业迭代升级的催化剂。烯冷新能源与头部物流企业合作开发石墨烯热管理增强制冷装备，解决冷链运输难题；尚烯科技开发的石墨烯改性面料，让衣物拥有抑菌、防静电、吸湿、速干等多重功能；高芯热能则聚焦“暖”经济，实现家居地暖、育苗床电暖等石墨烯产品的“七十

二变”……在国创中心所在的宁波镇海区，这种催化效应尤其明显。前不久，一家专门生产接插件产品的本土企业还找到柔碳科技，希望为昂贵的导电银材料找到“平替”。

在汪伟看来，这正是石墨烯作为未来材料的魅力所在。这些年，“柔碳”每年向中车研究院提供铜基石墨烯薄膜，由对方加工成“超级铜”后，尝试应用于高铁牵引电机上。“这个产品即将进行整车验证，未来或将培育出又一个千亿元的新产业。”

未来产业不是空中楼阁，如何将其与现有产业有机融合，实现协同发展，考验着地方的智慧。

以产业强区镇海为例，依托中国科学院宁波材料所、国家石墨烯创新中心等平台，当地很早就推出石墨烯等未来产业的专项扶持政策，可谓布局甚早。而今顺应新质生产力培育的需要，当地的发展思路也在转变。“通过更加精准的引导，加速创新成果落地转化，更好为地方经济服务。”镇海区经信局副局长童凯说。

这两年，镇海逐渐聚起柔碳科技、尚烯科技、云涂新材、烯冷新能源等十数家石墨烯企业，形成了颇具影响力的创新生态。围绕省级未来产业先导区培育，镇海正加快推进“三核一链”的石墨烯创新发展新局面——九龙湖、骆驼负责小试中试，漕浦建产业化基地，此外，还将把附近废弃的厂房改造成石墨烯等高新产业科创中心，并命名为“光明科创微城”。

以点带面，串珠成链，一张由石墨烯催生的产业创新图谱正在甬江畔铺开。“打好基础，小步快跑，相信石墨烯会释放出更多的光和热。”童凯士满怀憧憬。

链接 石墨烯产业发展史

萌芽期(2010-2012):
2010年发现石墨烯的两位科学家被授予诺贝尔奖，掀起全球石墨烯研究热潮。2012年，工信部出台《新材料产业“十二五”发展规划》，首次明确提出支持石墨烯新材料发展。

形成期(2013-2015年):
石墨烯产业化发展浪潮席卷全国，企业和专利数快速增加，应用产品陆续问世。2015年，国家金融信息中心发布全球首个石墨烯指数。2015年底，三部门印发《关于加快石墨烯产业创新发展的若干意见》，提出将石墨烯产业发展成先导产业。

发展期(2016-2018年):
在政策和资金的双重支持下，企业数量进入爆发期。制备技术不断突破，下游应用市场逐步打开。2018年，石

墨烯散热膜首次应用于华为手机，这是以石墨烯为主体的散热材料首次商业化应用。石墨烯市场规模年均增长率高达58%。

调整期(2019-至今)
产业发展趋于理性，一些不具备核心竞争力企业开始被市场淘汰，产业集聚效应逐步凸显。石墨烯市场规模持续扩大，2023年已接近400亿元。截至2023年底，我国登记注册的石墨烯单位达17870家，居全球之首。我国石墨烯技术专利中，请量占全球比例超过70%。

(资料来源:中国石墨烯产业发展蓝皮书(2024))

