

# 以石墨烯材料开启烯碳文明新时代的研究

邓嫦妹 陈仁林 王联长 杨耀克 蒋光瑶

浙江正泰电器股份有限公司

DOI:10.12238/jpm.v6i8.8298

**[摘要]** 本文探讨了石墨烯材料对开启烯碳文明新时代的重大意义。自 2004 年石墨烯被发现以来，其独特的二维结构赋予了高强度、高载流子迁移率、高导热率等卓越性能。在制备上，“自上而下”与“自下而上”策略各有优劣。石墨烯在多领域应用广泛且成效显著：新能源领域突破储能与动力瓶颈；电子器件领域开启后硅时代；汽车工业重构轻量化与安全体系；生物医学革新诊断治疗范式；环保与军工拓展高性能材料边界。展望未来，石墨烯将推动构建低碳能源体系，赋能万物互联生态，引领绿色工业革命。尽管面临挑战，但石墨烯凭借巨大潜力，必将引领人类突破局限，全面开启烯碳文明新时代，为人类社会的可持续发展注入强劲动力。

**[关键词]** 石墨烯材料；烯碳文明；轻量化重构；绿色工业

## Research on opening a new era of graphene carbon civilization with graphene materials

Deng Changmei Chen Renlin Wang Lianchang Yang Yaoke Jiang Guangyao

Zhejiang Chint Electric Co., Ltd.

**[Abstract]** This article explores the significant importance of graphene materials in ushering in a new era of carbon civilization. Since its discovery in 2004, graphene's unique two-dimensional structure has endowed it with outstanding properties such as high strength, high carrier mobility, and high thermal conductivity. In terms of preparation, both top-down and bottom-up strategies have their own advantages and disadvantages. Graphene is widely used in various fields and has achieved significant results: breaking through the bottleneck of energy storage and power in the field of new energy; The post silicon era has begun in the field of electronic devices; Refactoring the lightweight and safety system in the automotive industry; Biomedical innovation diagnosis and treatment paradigm; Expanding the boundary of high-performance materials for environmental protection and military industry. Looking ahead, graphene will drive the construction of a low-carbon energy system, empower the interconnected ecosystem of all things, and lead the green industrial revolution. Despite facing challenges, graphene, with its enormous potential, will undoubtedly lead humanity to break through limitations and fully open up a new era of graphene carbon civilization, injecting strong impetus into the sustainable development of human society.

**[Key words]** Graphene materials; Carbon civilization; Lightweight reconstruction; green industry

### 引言

从史前石器工具的简单运用到现代硅基材料精细的发展过程当中，人类文明的发展总归能体现出材料科学的本质特点，2004 年时，英国曼彻斯特大学的研究人员用胶带粘贴法实现了对单层石墨烯的制备工作，并且此项成就让相关研究者获得了诺贝尔物理学奖荣誉，这项成果也给碳材料领域带去了革命性的变化与发展契机，它由单层碳原子所形成的二维晶体构成，凭借超过 130Gpa 的抗拉强度、最大可达到  $2 \times 10^5 \text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$  的载流子迁移速率以及 5300W/M.K 之高的热传导率等特性来突破常规认知当中有关物质性能的认知水平。石墨烯导电性能突破 109.6%IACS、氧化石墨烯显著提升水泥抗压强度达 46.9%、石墨烯基碳纤维助力“结构功能一体化”技术革新等一系列成

果的推动下，人类正逐步迈入从“硅基时代”迈向“烯碳文明”的关键历史时期，以碳元素为核心的技术革新，正在重塑传统工业体系的运行逻辑，并深刻改变着人类与材料、能源、生态之间互动的方式与路径<sup>[1]</sup>。

### 1 石墨烯材料概述

#### 1.1 石墨烯的制备技术

目前，石墨烯的制备方法主要分为“自上而下”和“自下而上”两种策略（表 1）。

#### 1.2 石墨烯的性能优势

石墨烯的独特性能使其在多个领域具有不可替代的作用（表 2）。

表1 石墨烯主要制备方法对比

| 制备方法         | 技术特点                   | 优势        | 局限性         |
|--------------|------------------------|-----------|-------------|
| 机械剥离法        | 通过胶带反复剥离石墨获得单层石墨烯      | 高质量、缺陷少   | 产率低、难以规模化   |
| 化学气相沉积 (CVD) | 在金属基底 (如 Cu、Ni) 上生长石墨烯 | 大面积、可控制备  | 成本高、需转移工艺   |
| 氧化还原法        | 通过氧化石墨烯再还原制备           | 成本低、适合量产  | 导电性较差、结构缺陷多 |
| 液相剥离法        | 在溶剂中超声剥离石墨             | 操作简单、可规模化 | 层数不均、产率较低   |

表2 石墨烯与其他材料的性能对比

| 性能指标                           | 石墨烯         | 硅 (Si)      | 铜 (Cu)                 | 钢 (Steel)              |
|--------------------------------|-------------|-------------|------------------------|------------------------|
| 电导率 (S/m)                      | $\sim 10^6$ | $\sim 10^3$ | $\sim 5.9 \times 10^7$ | $\sim 1.4 \times 10^6$ |
| 热导率 (W/m·K)                    | $\sim 5000$ | $\sim 150$  | $\sim 400$             | $\sim 50$              |
| 杨氏模量 (GPa)                     | $\sim 1000$ | $\sim 170$  | $\sim 130$             | $\sim 200$             |
| 比表面积 ( $\text{m}^2/\text{g}$ ) | $\sim 2630$ | —           | —                      | —                      |

## 2 石墨烯材料在烯碳行业中的实践应用

### 2.1 新能源领域：突破储能与动力瓶颈

石墨烯凭借高导电性、高比表面积及优越的电化学稳定属性石墨烯在新能源领域的关键功能特性，做锂离子电池的负极材料时候，它的特别片层孔隙结构既可做到理论比容量到达 540mAh/g，又优化了充放电动力学性质，经 Co304 复合改性之后，阳极材料的比容量上升到 935mAh/g，美国 PNNL 国家实验室凭借石墨烯技术攻克了锂空气电池能量密度的技术障碍。在超级电容器这个领域，用石墨烯做的电极材料具备 197kW/kg 的功率密度，超过十万次的循环稳定性，并且可以在-20℃到 100℃的温区内有效开展充放电工作，在城市公交快速充电系统上完成工程化使用，利用石墨烯当载体构建出的三维储氢体系，在常压状况下取得 41g/L 的高储氢率，给氢能产业给予重要的技术支撑<sup>[2]</sup>。

### 2.2 电子器件领域：开启后硅时代新纪元

石墨烯载流子迁移率高达  $2 \times 10^5 \text{cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ ，约为硅材料的 140 倍，加上室温下弹道传输的特点，使它成为集成电路互连材料的优质候选者，IBM 研制的石墨烯基芯片即便在 127℃高温下也能稳定运行 10GHz，显示了其在极端条件下的可靠性，借助量子限域效应制成的石墨烯纳米带激光器已取得光通信方面的重大突破，在柔性显示技术领域，用化学气相沉积法生产的石墨烯薄膜拥有 97.7%的高透光率，并且电导率比 ITO 高四倍，被用于触摸屏和 OLED 显示器的透明电极制造当中，爱尔兰科研团队打造的自供电石墨烯可穿戴传感器可以即时检测呼吸频率，心率等生物信号，给智能穿戴设备的商业化应用赋予了新想法<sup>[3]</sup>。

### 2.3 汽车工业领域：重构轻量化与安全体系

石墨烯在汽车产业的应用是多元化的，在动力系统方面，石墨烯制成的负极复合材料使得锂离子电池的能量密度提升了大概 30%，续航里程超过 600 公里，铝离子电池用石墨烯薄膜当作正极材料的时候，能量密度达到 60Wh/kg，而且有着-20℃到 100℃的宽广温度范围；车身结构方面，石墨烯加强的聚苯乙烯复合材料凭借出色的导热性能（导热系数高达 2000W/mK），被普遍用作电加热座椅，做到温度场的均一化；石墨烯防腐涂层在海水中耐蚀性提升了将近 10 倍，尤其适合

用于危化品运输车辆的轮胎上，从而削减静电带来的安全隐患，在润滑系统当中，石墨烯基润滑油依靠“滚珠轴承”效应把摩擦系数下降了大约 40%，进而让发动机的寿命增长了大概 30%；石墨烯夜视传感器被嵌入到前挡风玻璃之后，夜间能见度会翻倍以上，极大地优化了行车的安全性能<sup>[4]</sup>。

### 2.4 生物医学领域：革新诊断与治疗范式

石墨烯有着不错的生物相容性以及较高的载流子迁移率，在生物医学上有着广泛的应用前景，就疾病诊断而言，依靠石墨烯场效应晶体管的 DNA 传感技术可以准确地检测到单链 DNA 的构象变化，灵敏度达到 0.1pM，荷兰莱顿大学开发的石墨烯基电子生化传感平台能够有效地辨别 HIV 蛋白，检测限低至 1fM，在治疗方面，石墨烯氧化物凭借光热效应完成肿瘤精准消融，实验数据表明，808nm 激光照射之下 4T1 乳腺癌细胞的杀伤率超过 92%，把阿霉素负载到石墨烯纳米载体上之后，肿瘤局部药物浓度增长将近 5 倍，而且明显减小了全身毒性（下降了 60%），石墨烯牙科植入物通过表面改性处理以后，推动骨整合效率，种植体稳定性指数 (ISQ) 相较于传统材料提升 25%，石墨烯人工喉利用振动信号分析算法，给失语症患者赋予较为精准的语音重建支撑，识别准确率冲破 90%<sup>[5]</sup>。

### 2.5 环保与军工领域：拓展高性能材料边界

环境科学里，石墨烯膜依靠精准调节层间距做到了高效的海水淡化功能，脱盐率高达 99.9%，而且运行能耗比传统的反渗透膜低大概 40%。氧化石墨烯在水泥基复合材料中有明显的优势，当掺入量达到 0.03%的时候，抗压强度增长将近 47%，碳排放量缩减大约 12%。军事用途上，石墨烯吸波材料凭借梯度结构设计，在 2-18GHz 频段内有着很好的宽带吸收性能（反射损耗小于-20dB），并且具备很强的电磁屏蔽能力。石墨烯基太空推进系统利用光压效应，光电转换效率提升到 35%，给卫星轨道调整给予了可靠的能源支撑。国内的研究团队开发的石墨烯/碳纤维复合材料，拉伸强度达到 6.5GPa，已经被应用到歼-20 战斗机的机身结构当中，既达成减轻重量的目的，又很大程度上改进了整体性能表现<sup>[6]</sup>。

## 3 石墨烯材料迈向“烯碳文明”新时代

### 3.1 低碳能源体系：重构全球能源格局

石墨烯技术革新有望推动能源结构走向清洁化，储能领域

或将取得重要突破，通过锂离子电池性能改良，其能量密度可达到 500Wh/kg 以上，联合超级电容器技术达成毫秒级充放电功能，从而化解电动汽车续航里程焦虑状况，铝-石墨烯电池在-40℃到 120℃宽温区间内依然维持 90%以上的容量稳定水平，为极寒或者高温环境下的能源供应赋予新思路，在发电方面，依靠量子隧穿效应改良的石墨烯光伏材料把光电转换效率提升到 35%，而且凭借透明导电膜技术削减组件成本大约 40%，使得太阳能成为主流能源之一。石墨烯人工光合作用体系在二氧化碳转化效率上有了明显的突破，最高可以达到 6.8%，它的集成化装置表现出将工业尾气有效转变成甲醇燃料的可能，给形成闭环碳循环体系给予了技术上的支持，按照国际能源署的估计，到 2040 年的时候，石墨烯能源器件大概会削减全球化石能源耗费达 30%，这会给达成碳中和目的给予重要的帮助<sup>[7]</sup>。

### 3.2 智能材料网络：赋能万物互联生态

石墨烯独特的传感特性和良好的导电性能正在改变着人机交互的方式，在医疗领域，植入式的石墨烯生物传感器能够对 200 多种生物标记物，比如血糖、多巴胺等进行精确监测，并且可以利用 5G 通信技术将数据实时传送到云端智能平台，从而实现疾病的早期预警以及个性化诊疗方案的设计，它拥有超过 300%的延展性和大约 1000kPa-1 的超高灵敏度，使其成为仿生假肢触觉反馈系统的理想材料，帮助截肢者恢复部分触觉感知能力<sup>[8]</sup>。在智慧城市构建上，石墨烯光纤传感器网络可以嵌入到基础设施当中，依靠 0.001%级别的微裂缝检测精度，使得桥梁、道路等重要结构的安全性得到极大提升，自修复石墨烯混凝土把服役时间延长到了 150 年以上，低成本的石墨烯 RFID 标签（单片成本小于 0.1 美元），将会促使全球的商品都能够实现唯一的标识编码，进而优化物流供应链管理的效率并推动资源的合理分配。按照麦肯锡所给出的数据预测，到 2030 年的时候，石墨烯智能材料网络大概会给全球经济增添大约 12 万亿美元的价值，而且会促使形成包含“感知—决策—执行”整个链条的智能化生态系统<sup>[9]</sup>。

### 3.3 可持续制造：引领绿色工业革命

石墨烯复合材料正开始颠覆传统制造工艺，存在广泛应用可能，航空航天领域，石墨烯增强型铝基复合材料因其良好性能而被普遍关注，其比强度达 500MPa/(g·cm<sup>3</sup>)，使 C929 客机结构减重 25%，且可提升燃油效率约 18%，石墨烯气凝胶隔热层耐温可达 3000℃，相比传统陶瓷瓦减轻 40%，大幅改良航天器再入大气层时的热防护体系，建筑领域，经石墨烯改进的混凝土抗压强度增进 50%，能吸收 CO<sub>2</sub>，其含量达每立方米 120 公斤，而且具有光催化涂层，对 PM<sub>2.5</sub> 分解效果超过 95%，为“负碳建筑”概念给予了技术支撑。石墨烯原子级制造技术在单层石墨烯向纳米管高效转化上取得重大突破，“自下而上”的组装工艺有效降低材料损耗，利用区块链技术打造的追溯体系形成产品全生命周期绿色供应链系统，世界经济论坛预计 2035 年石墨烯可持续生产模式可使全球工业碳排放总量缩减

45%，推动人类社会迈向“零废弃”文明新时代<sup>[10]</sup>。

## 4 总结

石墨烯这一单层碳原子构筑的“神奇材料”，以其卓越性能成为开启烯碳文明新时代的钥匙。从制备技术的不断突破，到在新能源、电子器件、汽车工业、生物医学、环保军工等领域的广泛应用，石墨烯正全方位重塑人类社会的生产与生活模式。站在历史的关键节点，石墨烯所开启的烯碳文明新时代，不仅是材料科学的重大飞跃，更是人类与自然和谐共生的新征程。尽管前路或许面临技术瓶颈与成本挑战，但石墨烯的巨大潜力已清晰可见。我们有理由相信，随着研究的深入与应用的拓展，石墨烯将引领人类突破现有局限，迈向一个更加高效、智能、绿色的烯碳文明新时代，书写人类文明发展的崭新篇章

## 【参考文献】

- [1]郑雪莲.富勒烯洋葱和石墨烯碳基纳米材料中功能单元对其非线性光学性质影响的理论研究[D].重庆大学, 2021.
  - [2]刘磊, 安升辉, 张建.氮掺杂缺陷类石墨烯碳纳米材料的制备及电催化氧化还原性能研究[J].当代化工研究, 2020 (14): 2.
  - [3]郭南平, 鲁轶卓, 钮准, 等.PVDF 烧结时间对类石墨烯碳/LiFePO<sub>4</sub> 正极材料性能影响的研究[J].化学工程与技术, 2021, 11 (4): 7.
  - [4]林少锋, 石刚, 江大志.石墨烯材料在热管理领域的应用进展[J].科技导报, 2023, 41 (21): 79-89.
  - [5]马立安, 黄旭, 陈松, 等.激光辐照含铜软木制备 LIG/CuO 复合材料及场发射性能[J].物理学报, 2025, 74 (13): 136102.
  - [6]陈客举.石墨烯及碳纳米管增强铜基复合材料组织与性能研究[D].黑龙江科技大学, 2021.
  - [7]孟全华, 邓雯雯, 李长明.类石墨烯类活性炭材料的简易合成及其在锂电池中的应用研究[J].电化学, 2020, 26 (5): 10.
  - [8]佚名.神奇的“新材料之王”——石墨烯[J].建材发展导向, 2020 (24): 5-5.
  - [9]陈洪派.碳源优选及石油基石墨烯纳米碳材料电化学性能研究[D].中国石油大学(北京), 2023.
  - [10]邢一龙.电化学沉积制备新型石墨烯材料及其性能研究[D].中国民用航空飞行学院, 2020.
- 作者简介：邓嫦妹，1981.08.28，女，中国，汉族，本科，中级工业电器工程师，研究方向：机电制造，信息技术；
- 陈仁林，1976.11.08，男，中国，汉族，本科，中级工业电器工程师，研究方向：机电制造，信息技术；
- 王联长，1982.12.25，男，中国，汉族，本科，副高级工业电器工程师，研究方向：机电制造，信息技术；
- 杨耀克，1983.12.29，男，中国，汉族，本科，中级工业电器工程师，研究方向：机电制造，信息技术；
- 蒋光瑶，1988.2.25，女，中国，汉族，本科，中级工业电器工程师，研究方向：机电制造，信息技术。