

## 7.2 石墨烯散热领域产业化方向探索（素材）

石墨烯散热领域结合了碳纳米技术与导热性能极佳的石墨烯的平面热管理技术, 主要形态包括石墨烯散热片、石墨烯散热膜、石墨烯涂料等。此外, 与 PET、PVA 等材料的复合形式, 更是赋予了石墨烯散热材料柔韧性和再加工性, 拓宽了其应用范围。

石墨烯散热材料在主要下游领域的产业化进展及应用如下:

### 国防军工领域

石墨烯导热性好, 石墨烯散热材料与传统散热材料相比, 重量轻、导热率高、辐射系数高、加工性能好, 适用于雷达、电磁炮、激光武器、电力设备等高功率高集成度产品的散热。

石墨烯可作为修饰锂离子电池阴极的理想材料, 其另外一个优点是可制造柔性薄膜阴极。以氧化锡纳米粒子改性的石墨烯结合集电器, 具有很高的阳极容量和电化学稳定性。这种基于纳米材料的锂离子电池具有很大的潜力, 可将太阳能或者热能有效吸收, 可用来制造可穿戴的轻便型电力存储设备, 从而减少充电, 适合军队人员的需求。韩国研究者设计并制造了集成到衣物中的轻便型电力存储设备, 将人体生成的热转化为电能, 通过这种设备有望将士兵的电池负重降低 4~5kg。

### 航空航天领域

在航空航天领域, 有效的热管理显得尤为重要, 特别是在外太空极端环境下, 它直接关系到航天器系统的寿命和功能。航空航天装备对材料导热性能和可靠性的严苛要求, 对石墨烯散热材料具有潜在的应用需求, 石墨烯可以应用于航天器及卫星的散热系统中, 保护设备的正常工作。

产业化进展, 目前主要体现在石墨烯复合材料的应用。西安交通大学的研究团队通过 PVA 与石墨烯片的结合, 制备了 PVA/石墨烯气凝胶复合 PCM, 这种材料不仅满足了航天器热管理对低密度、高热焓和高热导率的高性能 PCM 的需求, 还克服了石墨烯气凝胶含量较低时的制备难题; 同时, 通过单向冷冻技术, 团队构建了具有各向异性多孔结构的复合材料, 石墨烯和 PVA 的协同作用促进了石墨烯片的定向组装, 这种材料不仅热导率更高, 而且 PCM 负载能力出众, 进一步提升了航空器散热效果。浙江烯界热管理技术有限公司研发的高烯®石墨烯材料及构件被成功应用于两颗卫星, 凭借其高效散热、减重减震的功效, 为卫星关键探测设备的运作提供了强有力的保障。

### 电力能源领域,

石墨烯散热材料在电力能源领域的应用主要包括变压器散热、太阳能电池板散热、BMS 散热等，主要材料形态为石墨烯涂料。

### 1) 变压器

变压器的散热直接关系到运行效率、使用寿命以及整个电力系统的稳定性。过热不仅会加速绝缘材料的老化过程，削弱其性能，还可能引发绝缘击穿和油质恶化，进而对变压器造成严重损害。同时，不良的散热还会增加额外的损耗，降低能效，造成不必要的资源浪费。因此，采取高效的散热措施对于保障变压器的稳定运行至关重要。

目前，石墨烯散热材料在变压器中的应用形式主要为石墨烯涂料。涂装石墨烯导热涂层后，可以加快电力设备变压器的散热速度，从而降低变压器的工作温度。此外，石墨烯散热涂料还能增强变压器的过载能力，提升其在负荷波动较大的情况下的工作可靠性。这种涂料将原有的传导对流传热方式升级为传导对流加热辐射，显著提升了散热效果，尤其在高温下的辐射波长主要在近红外-中红外波段，具有较高的热辐射率

### 2) 太阳能电池板

在太阳能电池板领域，石墨烯可用于提高光电转换效率。通过使用石墨烯散热材料，可以有效降低太阳能电池板的温度，从而提高其发电效率。石墨烯的高导热性能使得热量能够迅速散发，避免了因过热而导致的效率下降问题。这种材料的应用有助于提升太阳能电池板的整体性能和可靠性。

### 3) BMS（电池管理系统）

石墨烯散热材料除极高的导热性能、稳定性外，在电池管理系统应用还有如下优势：一是可轻量化设计：石墨烯材料密度低，能够在保证散热效果的同时，减轻 BMS 的整体重量，有助于提升电动汽车的续航里程，二是易于加工：石墨烯散热涂料施工便捷，可以轻松喷涂应用于各种形状和大小的 BMS 散热器上，具有良好的可加工性。三是与其他材料的兼容性：石墨烯散热涂料可以与其他散热材料（如金属、陶瓷等）复合使用，形成性能更优的散热解决方案。

## 3C 电子及电子设备领域

随着 5G 和物联网技术的迅猛发展，也推动了电子设备性能的提升和对散热材料需求的增加。石墨烯导热膜凭借其出色的导热率、轻量化和柔韧性，成为集成电路、大功率器件、LED、电池等器件不可或缺的散热材料。石墨烯散热片不仅导热性能出众，散热能力更是普通铝合金的四倍有余，在高温环境下，其稳定性超强，能实现高效散热，确保电子设备的稳

定运行。

目前，在消费电子产品领域，石墨烯散热膜已应用在芯片、GPU、CPU、服务器、5G 基站等高功率器件的热管理。以芯片为例，随着手机、平板电脑、路由器等电子产品运行速度加快，芯片性能上升，但产生的热量也同步攀升，若无法及时为芯片散热，将直接影响芯片性能，甚至导致芯片烧坏。石墨烯散热膜可以帮助芯片散热，让芯片发挥出最优性能，且石墨烯的超高导热性能，远超众多传统材料，热导率方面，石墨烯导热膜是铜的近 3 倍。近年来折叠屏智能手机的兴起进一步推动石墨烯散热膜的市场需求。

2018 年，华为公司与石墨烯散热企业常州富烯科技联合开发了“石墨烯+VC 液冷”散热方案，并成功应用于旗舰手机华为 Mate20X 上，这是石墨烯散热材料在高端电子产品的首次商业化应用，引发全球关注。当前，石墨烯散热正逐渐成为智能手机等高端电子产品的主流热管理方案之一。据不完全统计，目前华为、荣耀、小米、OPPO、联想、一加等 30 余款手机产品采用了石墨烯散热方案，特别是在旗舰机和游戏机上，大幅提升了产品性能和用户体验；而且 2023 年以来，石墨烯散热产品的应用领域已逐渐拓宽，如不但应用于平板电脑、固态硬盘等消费类电子产品中。

根据公开资料整理，目前国内已有数十家厂商进入石墨烯散热领域，其中既有常州富烯、广东墨睿、中科悦达、杭州高烯、深瑞墨烯等石墨烯企业；也有中易碳素、深圳垒石等原来生产人工石墨膜等其他散热产品的厂商；还有如中石伟业、深圳飞荣达、浙江道明、江苏斯迪克等上市公司新增项目或子公司，而且基本上分布在长三角和珠三角地区。

目前，国家石墨烯创新中心正推动石墨烯导热材料产业化，解决芯片发展过程中导热性能遇到的瓶颈问题，将石墨烯导热膜和导热体的应用落地落实，2024 年 5 月正处在中试阶段。

未来，石墨烯散热片凭借其高导热系数、高密度特性以及良好的机械性能和耐腐蚀性，在高功率或局部高热流密度的电子产品中有着不可估量的应用潜力。无疑，它将成为现代电子设备及精密零部件领域中的关键散热技术。

### **数据中心、算力中心领域**

在信息时代下，越来越多的行业和领域都需要大数据分析的支持，数据中心数量不断增多。数据中心的耗电大户是 IT 设备和制冷系统，其耗电量占数据中心整体耗电量 80%。因

此，散热系统直接影响到数据中心的整体效率和 PUE。据相关数据显示，在数据中心的全生命周期中，其建造成本占总费用的 20%左右，而其电费成本用占总费用的 64%左右。将 3D 石墨烯散热技术应用到数据中心的散热系统，如在服务器等大功率器件上涂装石墨烯涂料等，可迅速地降低数据中心的运行成本，

同时，人工智能大模型发展加快，产生了高算力芯片而来的高功耗、高热量问题。作为目前已知热导率最高的材料，石墨烯散热方案综合优势显著，有望成为解决算力中心散热瓶颈的备选方案之一。

### **新能源汽车领域**

石墨烯散热材料在新能源汽车中的应用，能有效提升电池及关键电子设备的散热性能，从而增强整车的安全性和性能。主要应用在电池、热管理方面。

1) 电池散热：石墨烯散热涂料在新能源汽车电池领域的应用显著提升了散热效率。其高效性使得设备产生的热量能够迅速传递至周围环境，从而有效降低设备温度，提升散热效率。此外，石墨烯散热涂料还能减少传统散热方式中的能量损失，提高电子设备的能效，实现节能减排。

2) 热管理技术：石墨烯材料的高导热性和轻薄特性使其成为理想的热管理材料。例如，应用于智能座椅、方向盘、驾驶座中央手靠箱体等全车部位的采暖，提高了整车热能传导效率，更加节能环保。如石墨烯发热膜将温控开关和智能算法结合，将石墨烯热管理系统运用于车载发热之中，将电能转化为远红外光波，通过辐射换热被驾乘人员接收，无需加热空气，能效极高，舒适温感。