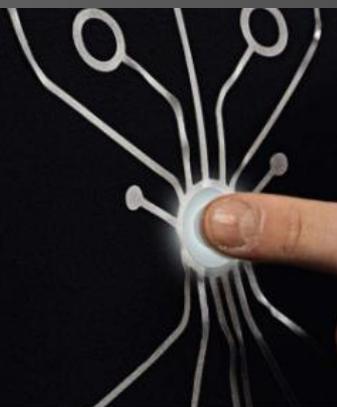


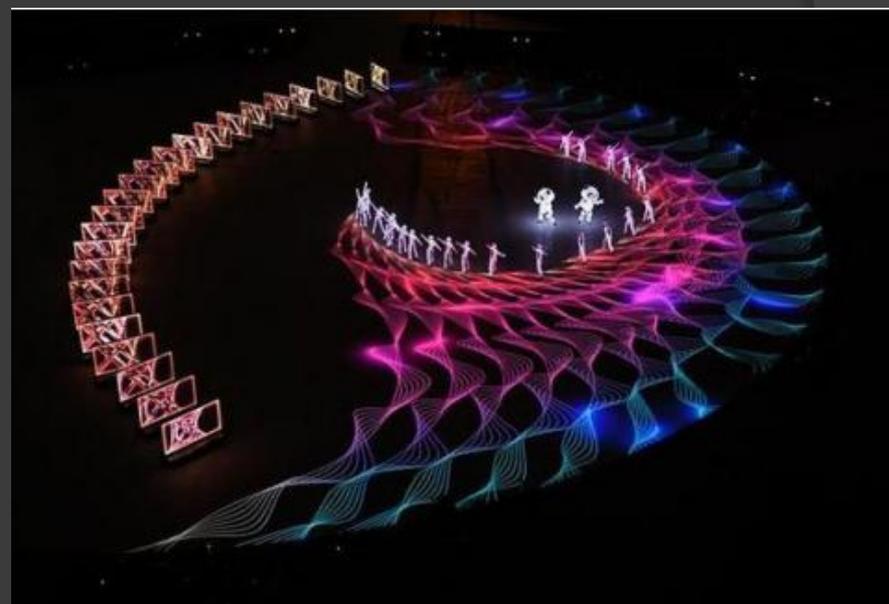


# 石墨烯功能纺织品产业化 应用技术说明

----- 未来已来



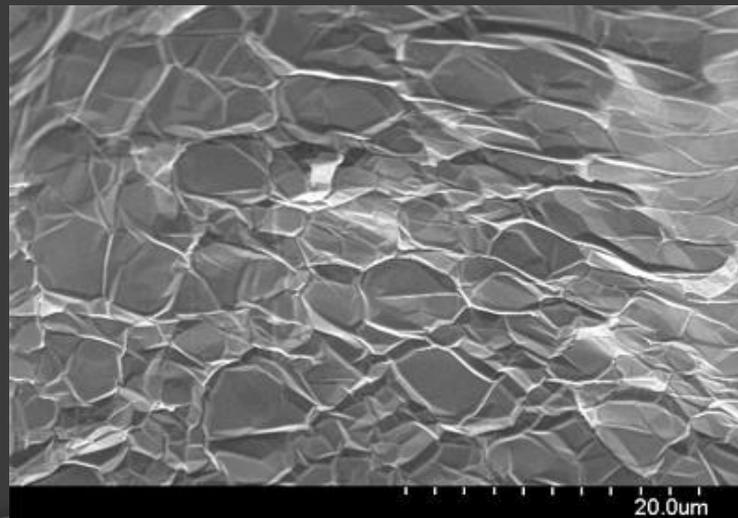
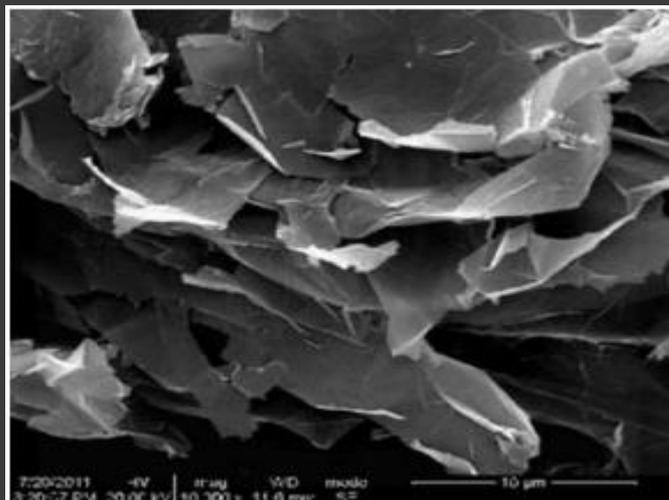
2018年韩国平昌冬奥会闭幕仪式上，文艺演出“北京8分钟”惊艳了全世界，表演包含了大量的“中国智慧”和“中国智造”，其中石墨烯智能发热、导电服演绎了一番传奇。



## 石墨烯究竟是什么？

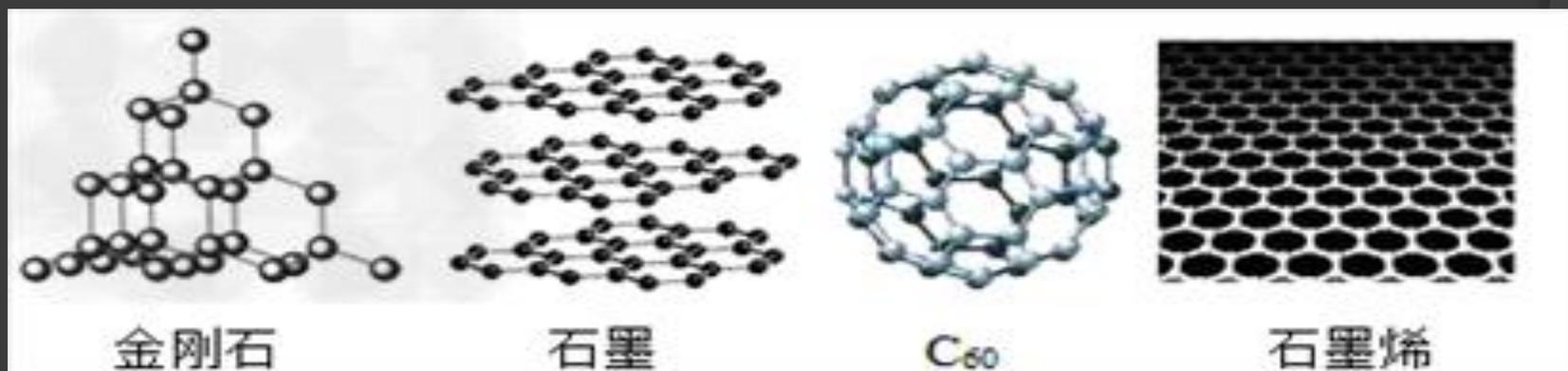
石墨烯（*Graphene*）是一种由碳原子以 $sp^2$ 杂化轨道组成六角型呈蜂巢晶格的二维碳纳米材料。

石墨烯具有优异的光学、电学、力学特性，在材料学、微纳加工、能源、生物医学和药物传递等方面具有重要的应用前景，被认为是一种未来革命性的材料。



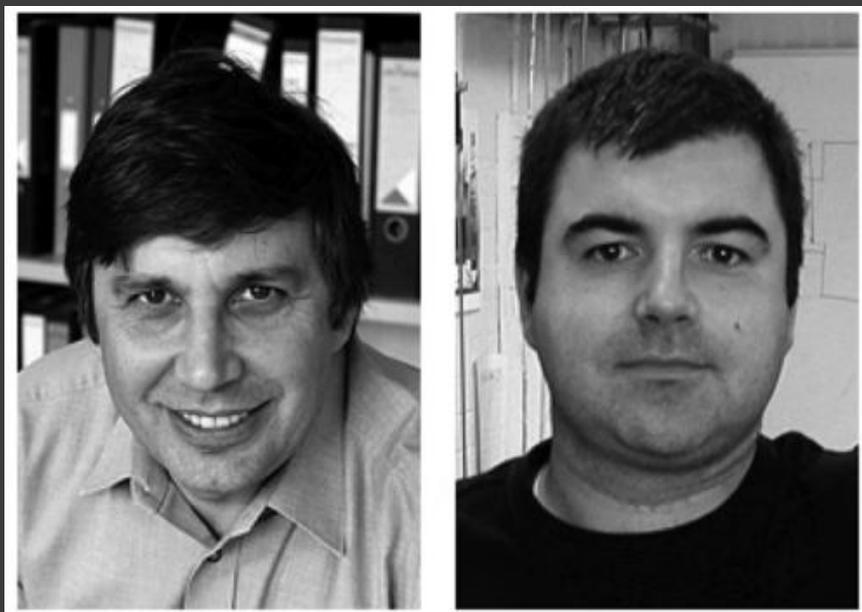
## 石墨烯的研究历史：

石墨烯本就存在于自然界，只是难以剥离出单层结构。石墨烯一层层叠起来就是石墨，厚1毫米的石墨大约包含300万层石墨烯。铅笔在纸上轻轻划过，留下的痕迹就可能是几层甚至仅仅一层石墨烯。



2004年，英国曼彻斯特大学的两位科学家安德烈·盖姆 (*Andre Geim*) 和康斯坦丁·诺沃肖洛夫 (*Konstantin Novoselov*) 用胶带粘撕法得到了仅由一层碳原子构成的薄片，这就是石墨烯。

2009年，他们在单层和双层石墨烯体系中分别发现了整数量子霍尔效应及常温条件下的量子霍尔效应，他们也因此获得2010年度诺贝尔物理学奖。



### 石墨烯发明者获2010年诺贝尔物理学奖

二人于2004年制成石墨烯材料，石墨烯被普遍认为会最终替代硅，从而引发电子工业革命

|  |  |
|--|--|
|   | 1958年 出生于俄罗斯的索契<br>1987年 在俄罗斯科学院固体物理学研究院获得博士学位<br>目前 同时受聘于英国曼彻斯特大学和荷兰奈梅亨大学，也是荷兰代尔夫特大学的名誉教授 |
|  | 1974年 出生于俄罗斯的下塔吉尔<br>2004年 在荷兰奈梅亨大学获得博士学位<br>读博士期间 他就与安德烈·海姆开始了合作研究                        |

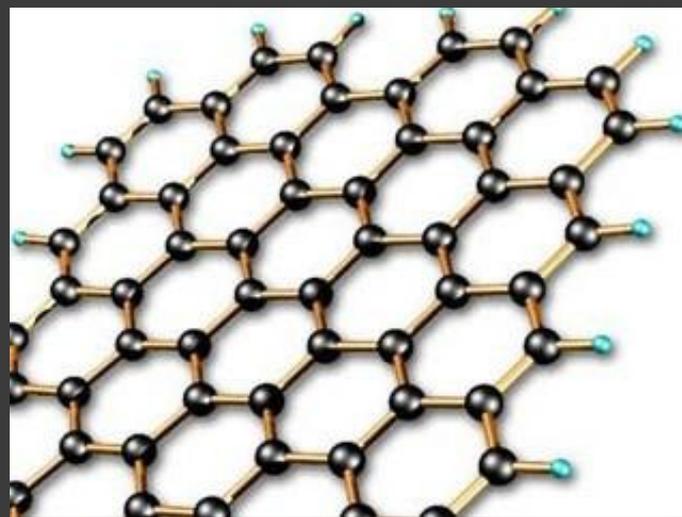
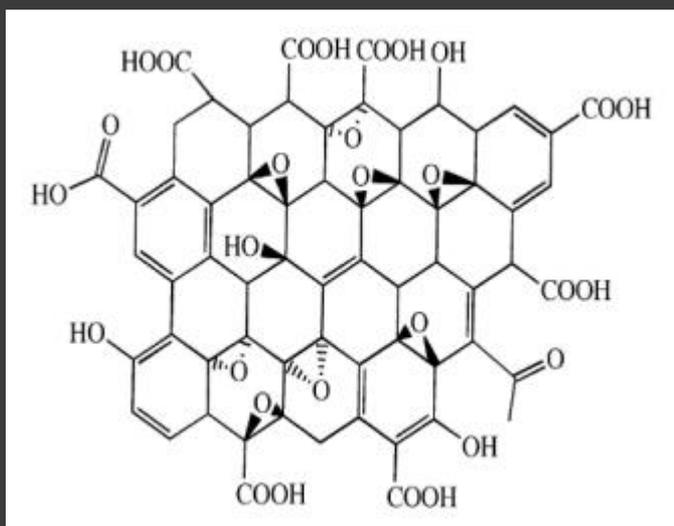
安德烈·海姆

康斯坦丁·诺沃肖洛夫

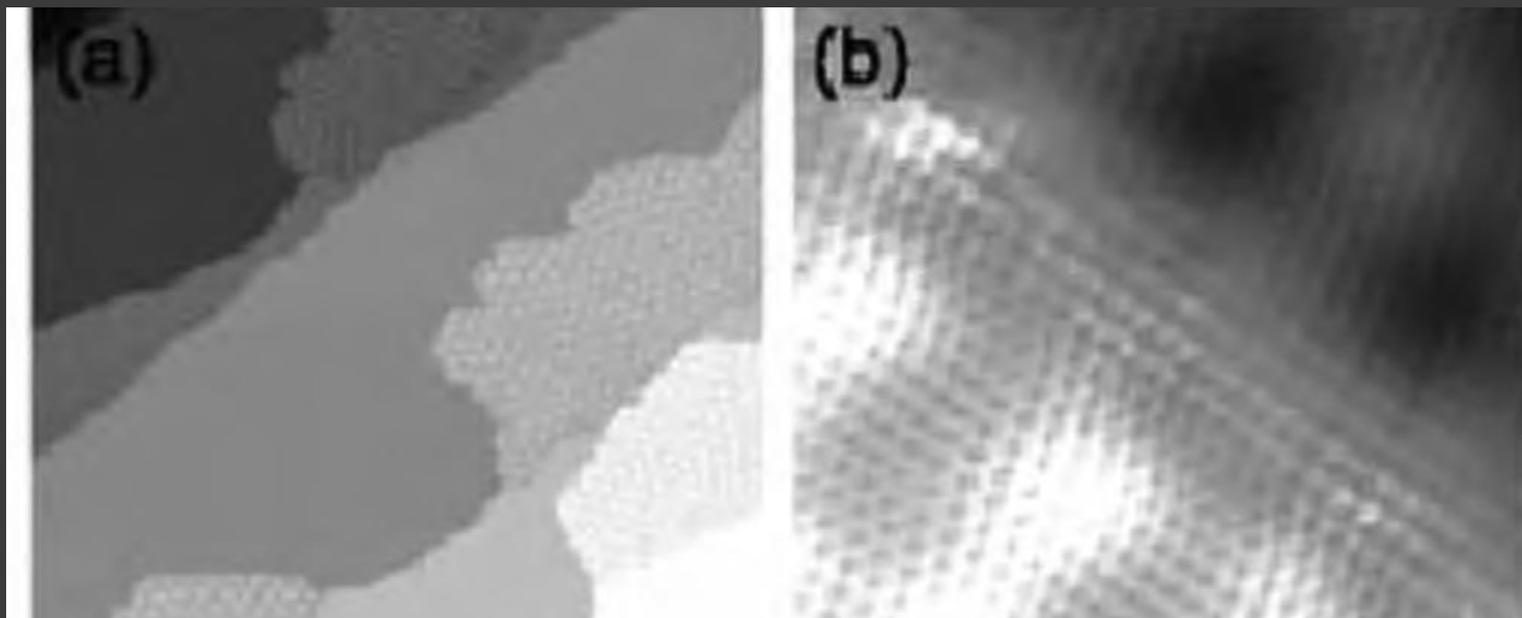
郑悦 编制 新华社发

## 石墨烯内部结构：

石墨烯内部碳原子的排列方式与石墨单原子层一样以 $sp^2$ 杂化轨道成键，并有如下的特点：碳原子有4个价电子，其中3个电子生成 $sp^2$ 键，即每个碳原子都贡献一个位于 $p_z$ 轨道上的未成键电子，近邻原子的 $p_z$ 轨道与平面成垂直方向可形成 $\pi$ 键，新形成的 $\pi$ 键呈半填满状态。



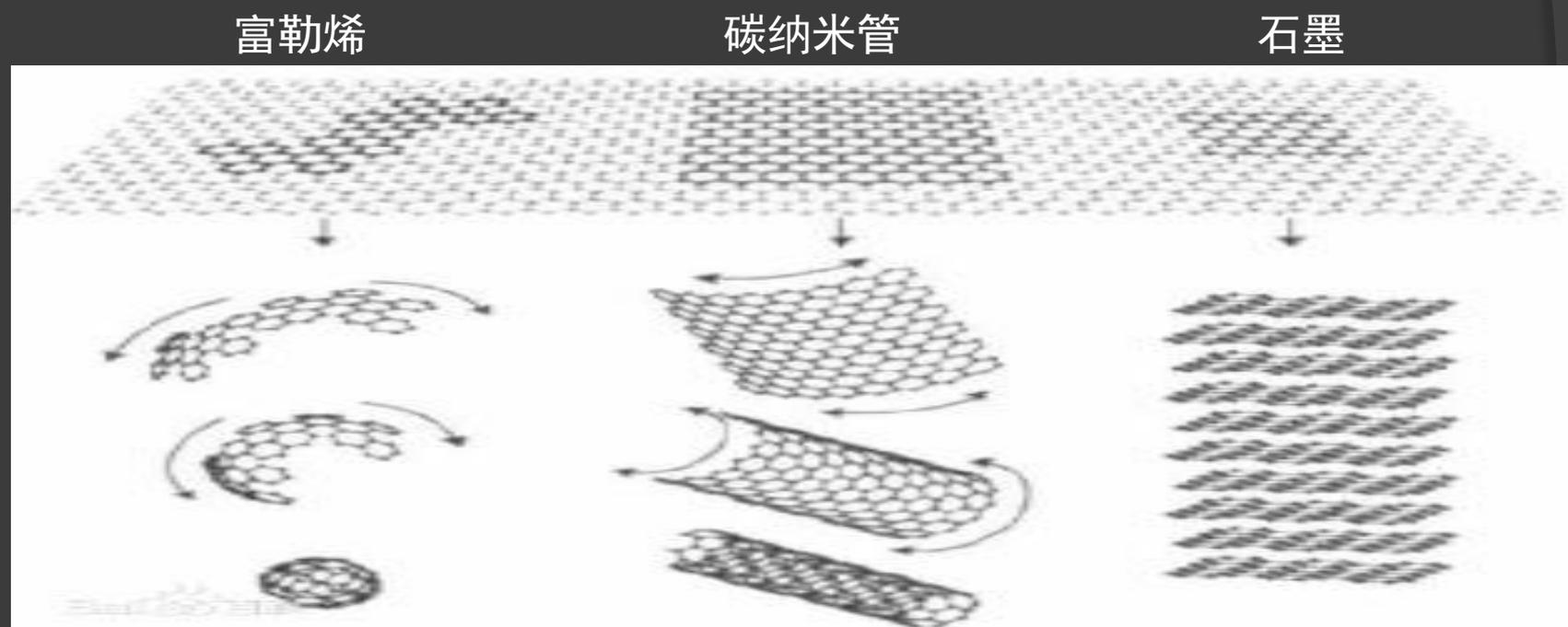
研究证实，石墨烯中碳原子的配位数为3，每两个相邻碳原子间的键长为 $1.42 \times 10^{-10}$ 米，键与键之间的夹角为 $120^\circ$ 。除了 $\sigma$ 键与其他碳原子链接成六角环的蜂窝式层状结构外，每个碳原子的垂直于层平面的 $p_z$ 轨道可以形成贯穿全层的多原子的大 $\pi$ 键（与苯环类似），因而具有优良的导电和光学性能。



## 石墨烯力学特性：

石墨烯是已知强度最高的材料之一，同时还具有很好的韧性，且可以弯曲，石墨烯的理论杨氏模量达1.0TPa，固有的拉伸强度为130GPa。而利用氢等离子改性的还原石墨烯也具有非常好的强度，平均模量可大0.25TPa。

石墨烯构成富勒烯、碳纳米管和石墨示意图：



## 石墨烯导电效应：

石墨烯在室温下的载流子迁移率约为 $15000\text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ ，这一数值超过了硅材料的10倍，是已知载流子迁移率最高的物质锑化铟(InSb)的两倍以上。

在某些特定条件下，石墨烯的载流子迁移率甚至可高达 $250000\text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ 。与很多材料不一样，石墨烯的电子迁移率受温度变化的影响较小， $50\sim 500\text{K}$ 之间的任何温度下，单层石墨烯的电子迁移率都在 $15000\text{cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ 左右。

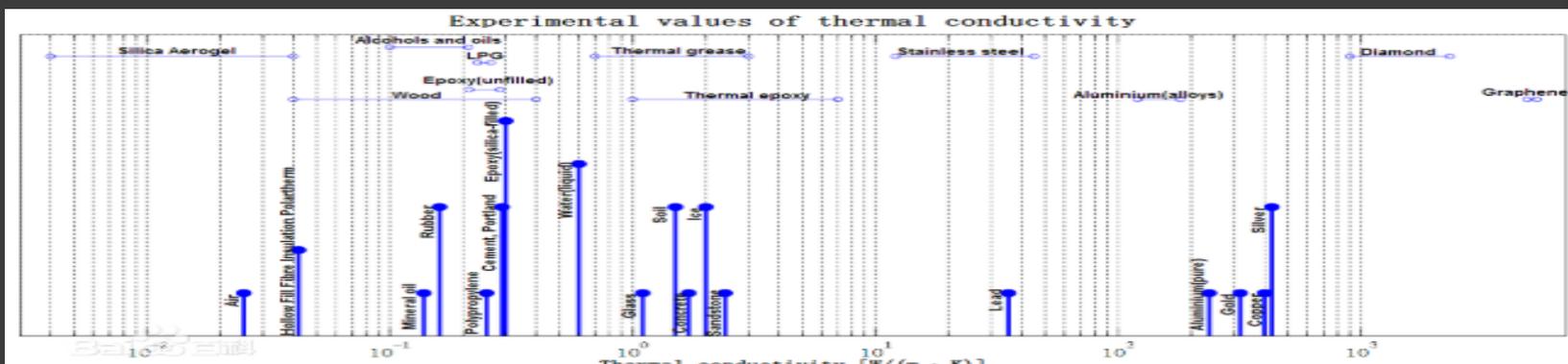


## 石墨烯的热性能：

石墨烯具有非常好的热传导性能。纯的无缺陷的单层石墨烯的导热系数高达5300W/mK，是为止导热系数最高的碳材料，高于单壁碳纳米管（3500W/mK）和多壁碳纳米管（3000W/mK）。当它作为载体时，导热系数也可达600W/mK。

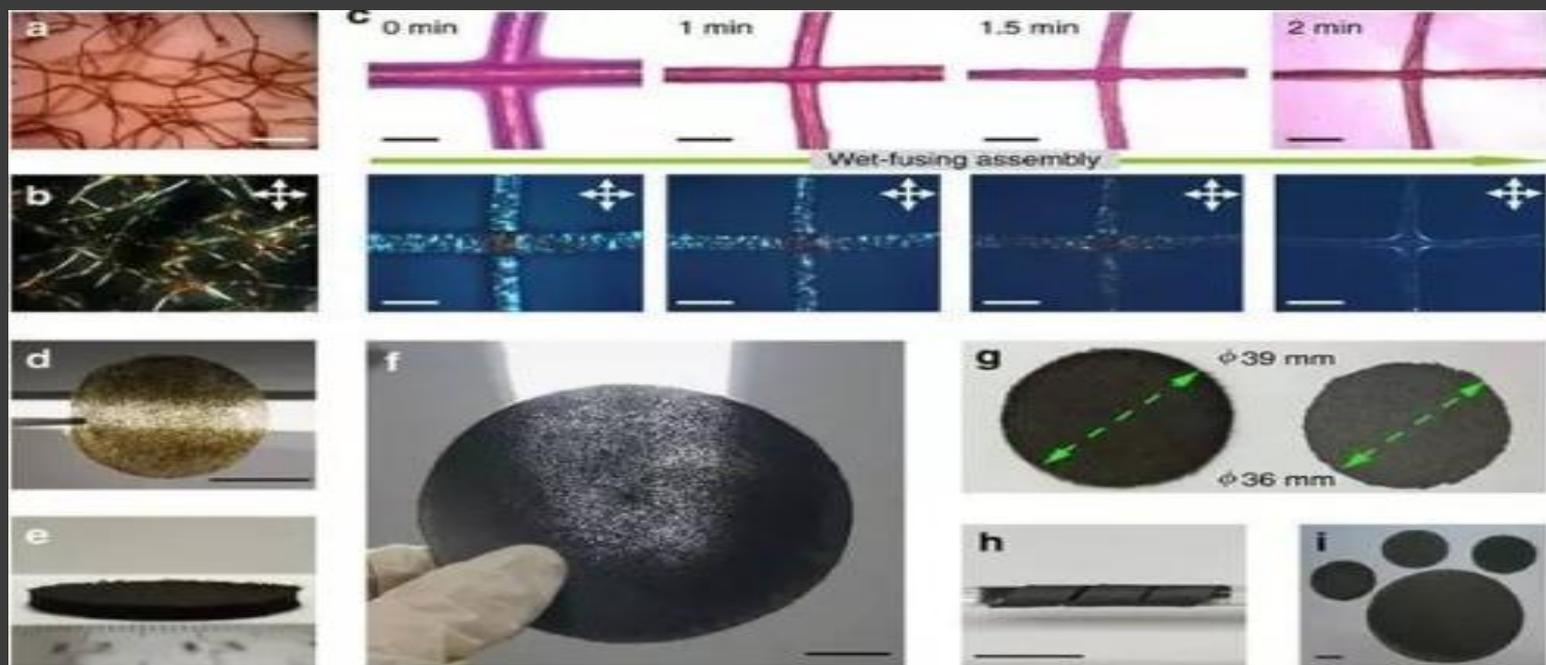
This table shows the resistivity, conductivity and temperature coefficient of various materials at 20 °C (68 °F, 293 K)

| Material                 | $\rho$ ( $\Omega \cdot m$ ) at 20 °C | $\sigma$ (S/m) at 20 °C | Temperature coefficient [note 1] ( $K^{-1}$ ) | Reference |
|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------|---|-----------|
| Carbon (graphene)        | $1.00 \times 10^{-8}$                | $1.00 \times 10^8$      | -0.0002                                       | [16]      |
| Silver                   | $1.59 \times 10^{-8}$                | $6.30 \times 10^7$      | 0.0038  | [17][18]  |
| Copper                   | $1.68 \times 10^{-8}$                | $5.96 \times 10^7$      | 0.003862                                      | [19]      |
| Annealed copper [note 2] | $1.72 \times 10^{-8}$                | $5.80 \times 10^7$      | 0.00393                                       | [20]      |
| Gold [note 3]            | $2.44 \times 10^{-8}$                | $4.10 \times 10^7$      | 0.0034  | [17]      |
| Aluminium [note 4]       | $2.82 \times 10^{-8}$                | $3.50 \times 10^7$      | 0.0039  | [17]      |



## 石墨烯光学性能：

石墨烯具有非常好的光学特性，在较宽波长范围内吸收率约为2.3%，看上去几乎是透明的。在几层石墨烯厚度范围内，厚度每增加一层，吸收率增加2.3%。大面积的石墨烯薄膜同样具有优异的光学特性，且其光学特性随石墨烯厚度的改变而发生变化。这是单层石墨烯所具有的不寻常低能电子结构。



## 石墨烯化学性质：

石墨烯的化学性质与石墨类似，石墨烯可以吸附并脱附各种原子和分子。当这些原子或分子作为给体或受体时可以改变石墨烯载流子的浓度，而石墨烯本身却可以保持很好的导电性。

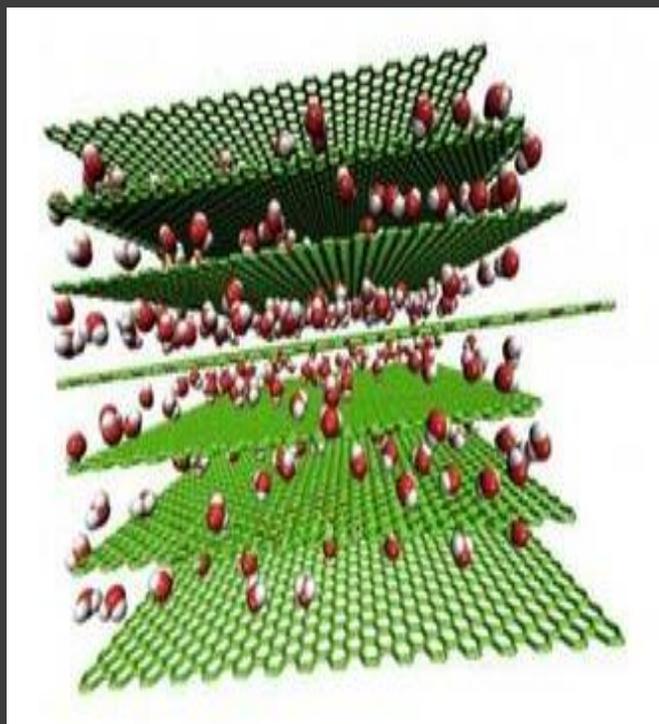
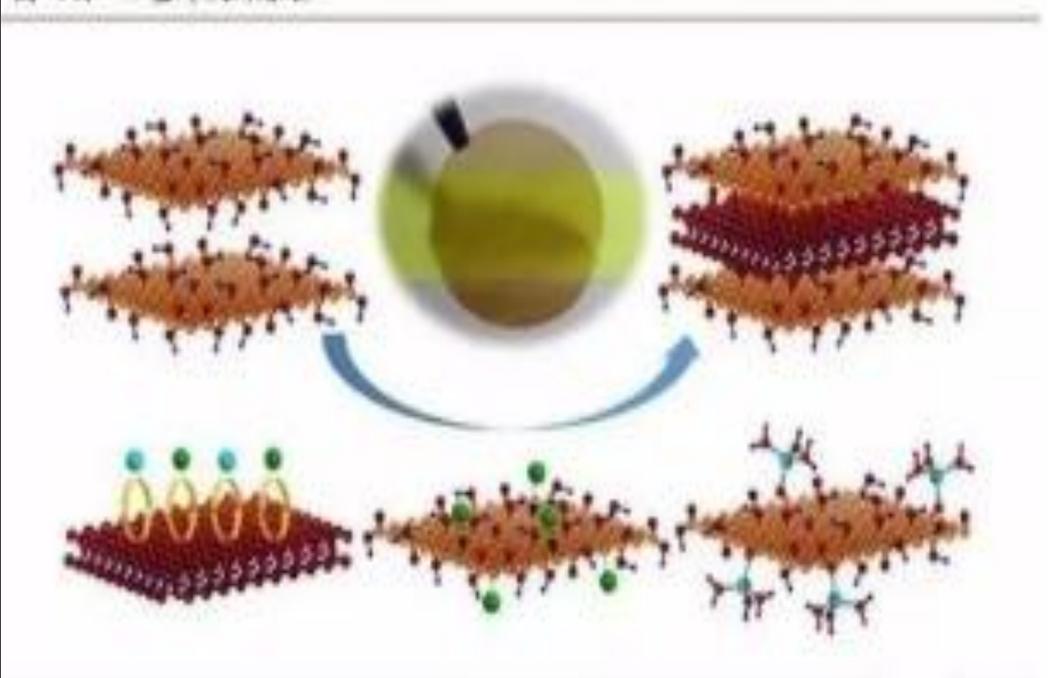


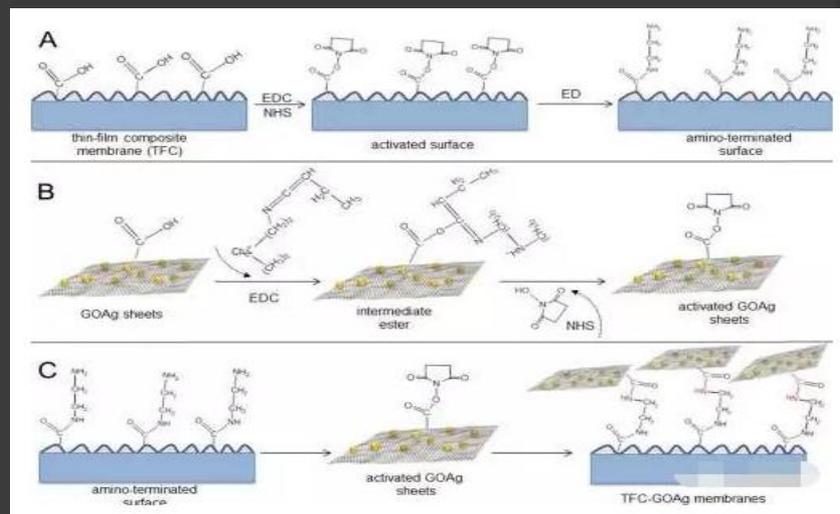
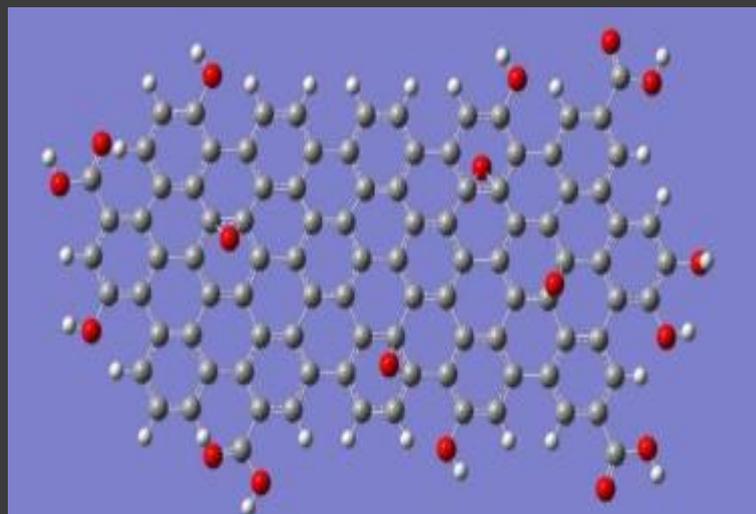
图 11: 石墨烯吸附原理



## 石墨烯生物相容性：

羧基离子的植入可使石墨烯材料表面具有活性功能团，从而大幅度提高材料的细胞和生物反应活性。石墨烯呈薄纱状与碳纳米管的管状相比，更适合于生物材料方面的研究。并且石墨烯的边缘与碳纳米管相比，更长，更易于被掺杂以及化学改性，更易于接受功能团。

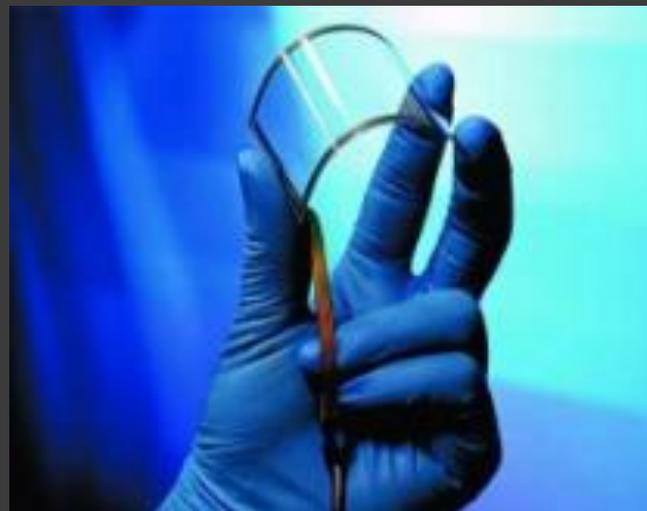
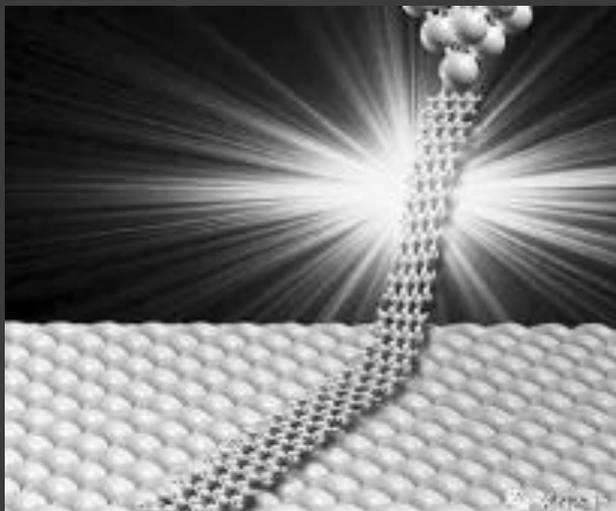
利用石墨烯上的双键，可以通过加成反应，加入需要的基团。



## 石墨烯的稳定性：

石墨烯的结构非常稳定，碳碳键 (*carbon-carbon bond*) 仅为1.42。石墨烯内部的碳原子之间的连接很柔韧，当施加外力于石墨烯时，碳原子面会弯曲变形，使得碳原子不必重新排列来适应外力，从而保持结构稳定。这种稳定的晶格结构使石墨烯具有优秀的导热性。

另外，石墨烯中的电子在轨道中移动时，不会因晶格缺陷或引入外来原子而发生散射。由于原子间作用力十分强，在常温下，即使周围碳原子发生挤撞，石墨烯内部电子受到的干扰也非常小。



## 石墨烯分类：

- 1、单层石墨烯 (*Graphene*)：指由一层以苯环结构（即六角形蜂巢结构）周期性紧密堆积的碳原子构成的一种二维碳材料。
- 2、双层石墨烯 (*Bilayer or double-layer graphene*)：指由两层以苯环结构（即六角形蜂巢结构）周期性紧密堆积的碳原子以不同堆垛方式（包括AB堆垛，AA堆垛等）堆垛构成的一种二维碳材料。
- 3、少层石墨烯 (*Few-layer*)：指由3-10层以苯环结构（即六角形蜂巢结构）周期性紧密堆积的碳原子以不同堆垛方式（包括ABC堆垛，ABA堆垛等）堆垛构成的一种二维碳材料。
- 4、多层石墨烯又叫厚层石墨烯 (*multi-layer graphene*)：指厚度在10层以上10nm以下苯环结构（即六角形蜂巢结构）周期性紧密堆积的碳原子以不同堆垛方式（包括ABC堆垛，ABA堆垛等）堆垛构成的一种二维碳材料。

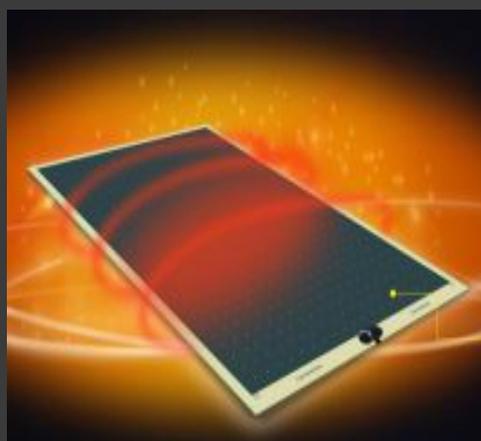
石墨烯的研究与应用开发持续升温，广泛应用于电池电极材料、半导体器件、透明显示屏、传感器、电容器、晶体管等方面。鉴于石墨烯材料优异的性能及其潜在的应用价值，在化学、材料、物理、生物、环境、能源等众多学科领域已取得了一系列重要进展。

恩沅科技致力于通过各项工艺的改进，走向石墨烯科技纺织品产业化，通过对石墨烯工艺的不断优化和改进，降低制备成本使其优异的材料性能得到更广泛的应用。



随着时代的进步，人们穿着的服装也不仅仅只需求舒适与美观，更多的注重一些具有特殊功能的服装。

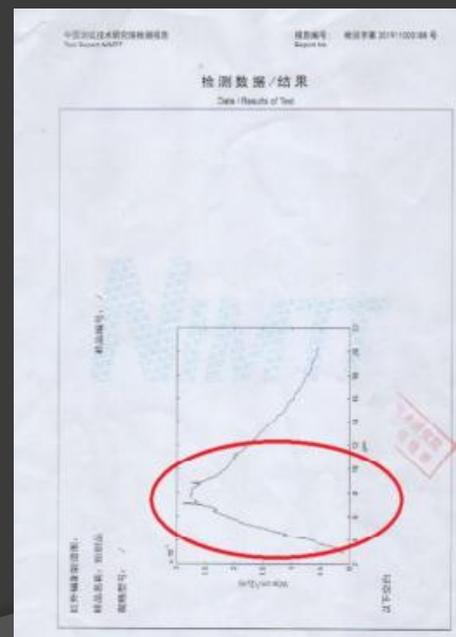
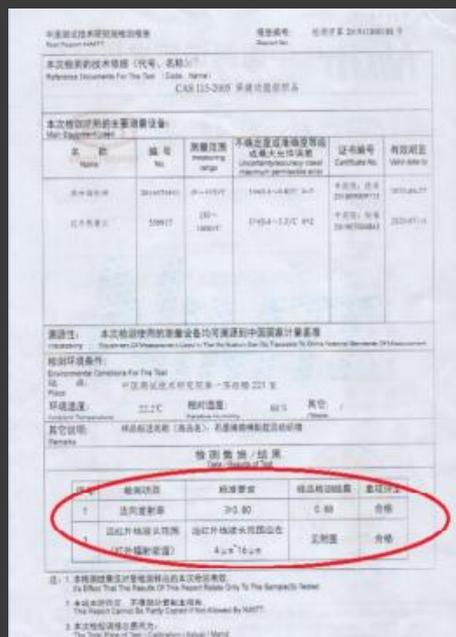
从功能性需求来看，抗静电、保暖、抗菌的功能性面料位居前三位，然而没有一种材料的纺织品可以把这多种功能性最大程度的结合起来，石墨烯纺织品具有低温远红外、吸湿透气、抗菌抑菌、防静电防电磁、防紫外线、自发热等多功能特性，对提升纺织工业创新能力和推动高附加值产品开发具有重大意义和市场价值。



# 石墨烯服饰的功能包含以下几点于一身：

## 低温远红外性能

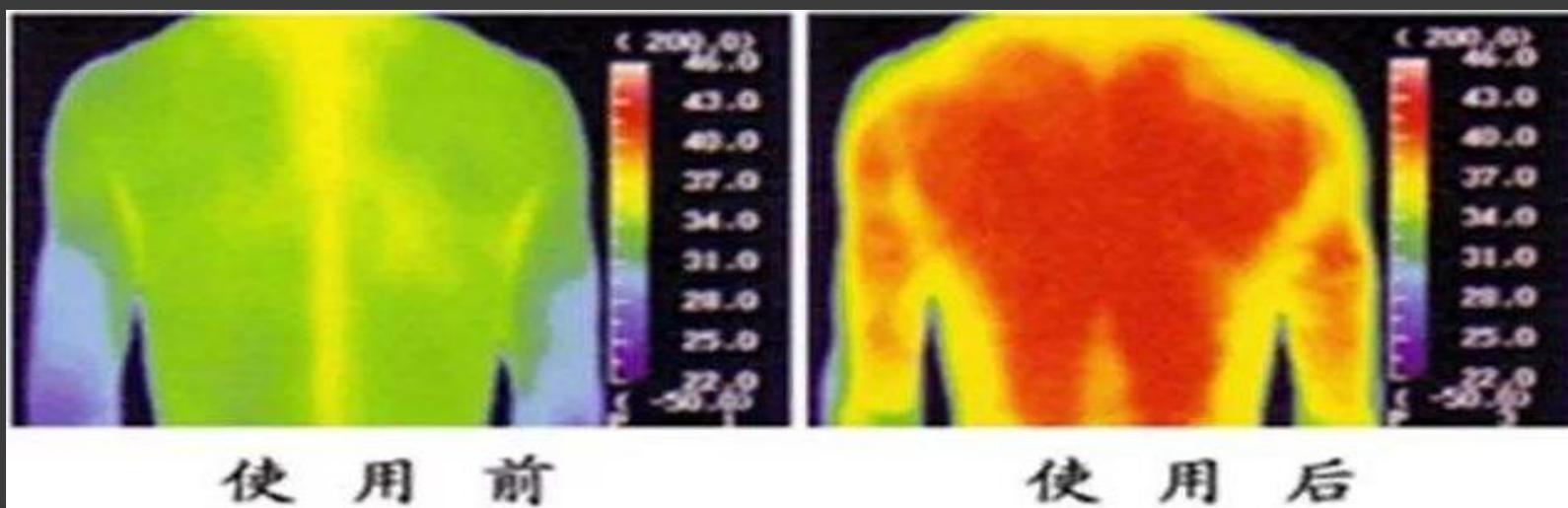
按照GB/T30127-2013 纺织品远红外性能的检测和评价测试结果：常温下石墨烯织物的法向发射率大于89%远红外辐射升温达1.6-3度，明显高于对照样。石墨烯属于常温光热转换远红外高辐射材料，光热转换率高，无需热源，具有可吸收环境热量以远红外能量形式输出的特点。



## 红外共振及理疗保健功能

人体既能向外辐射远红外，又能吸收远红外辐射。人体组织所拥有的热点振动频率和回转周波对应的波长大部分在 $3\mu\text{m}\sim 6\mu\text{m}$ 波段。

根据匹配吸收波长相对应时，物体分子共振吸收。石墨烯发射的 $4\mu\text{m}\sim 14\mu\text{m}$ 波段远红外振动频率与人体组织中相同振动数的水分子相遇，引起共鸣共振作用，进而深入皮下组织，使生物体中偶极子和自由电荷在电磁场作用下发生排序振动，造成分子、原子的无规则运动加剧，产生热反应，使皮下组织升温，进而改善微循环，加强了细胞的再生能力，提高了免疫细胞的吞噬功能，促进生物体的代谢及生长发育，达到对人体的保健作用。



# 石墨烯面料红外检测结果：

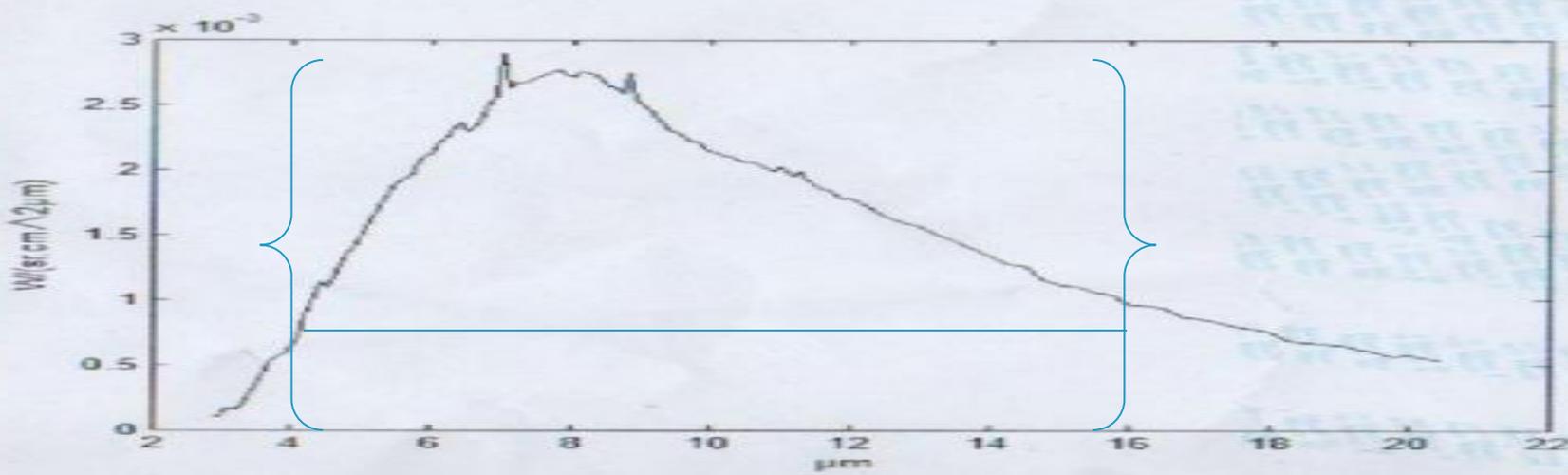
Place  
 环境温度: 22.2℃      相对湿度: 60%      其它: /  
 Ambient Temperature      Relative Humidity      Others

其它说明: 样品标注名称 (商品名): 石墨烯腈棉黏胶混纺织物  
 Remarks

**检测数据 / 结果**  
 Data / Results of Test

| 序号 | 检测项目                 | 标准要求                       | 样品检测结果 | 单项评定 |
|----|----------------------|----------------------------|--------|------|
| 1  | 法向发射率                | ≥0.80                      | 0.88   | 合格   |
| 2  | 远红外线波长范围<br>(红外辐射能谱) | 远红外线波长范围应在<br>4 μm ~ 16 μm | 见附图    | 合格   |

型号: /



空白

## 导电性能

石墨烯的电导率为 $1 \times 10^6 \text{S/m}$ ，是良好的导电材料，石墨烯具有很高的电子迁移率，石墨烯平面内的电子迁移率可达 $1.5 \times 10^5 \text{cm}/(\text{V}\cdot\text{s})$ ，比目前最好的硅材料的电子迁移率高100倍。

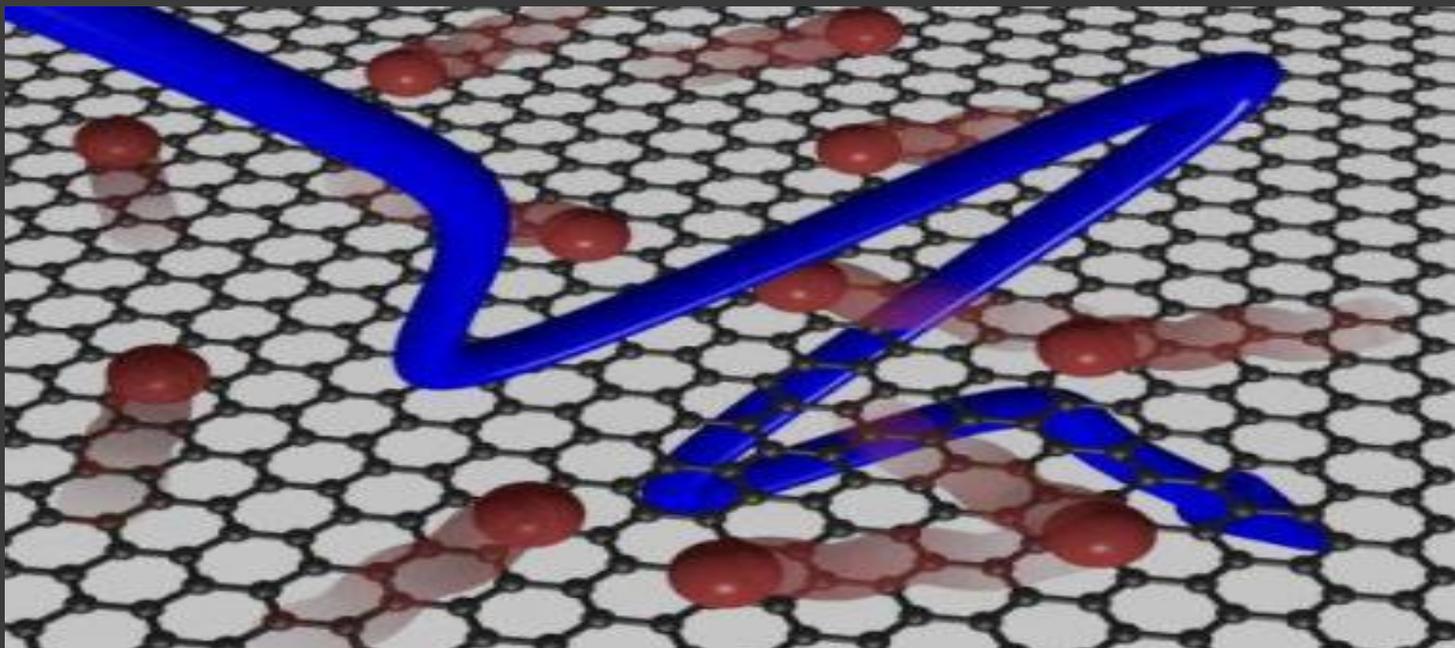
石墨烯面料可作为智能穿戴服装的良好载体进入实际运用中。



## 防静电性能

因为具有良好的导电性，将石墨烯添加到面料上，会提高纤维材料的防静电性能。

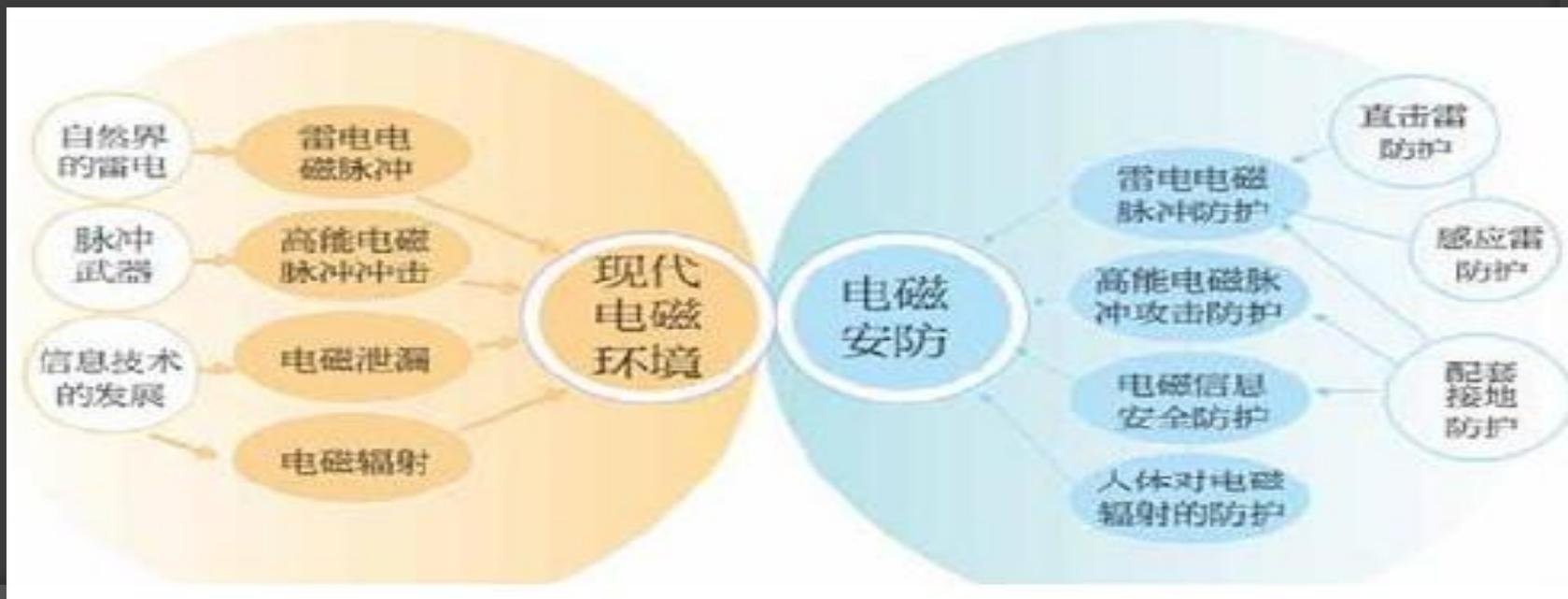
按照国标GB12703.3-2009 纺织品静电性能的评定。说明石墨烯的加入可降低纤维表面电阻率，将产生的静电荷迅速泄露，同时赋予材料表明一定的润滑性，降低摩擦因数，从而抑制和减少静电荷的产生。



## 防电磁性能

作为一种新型材料的石墨烯其本征强度高达130 GPa，常温下的电子迁移率可达到 $15\,000\text{ cm}^2 / (\text{V} \cdot \text{s})$ ，是目前电阻率最小的材料。二维片状的石墨烯具有高的比表面积( $2\,630\text{ m}^2 / \text{g}$ )以及特异的热、电传导功能，对微波能产生较强的电损耗。

石墨烯材料以其优异的电磁性能成为一种有效的新型微波吸收材料。并且石墨烯具有室温量子霍尔效应和良好的铁磁性，与其他材料相比，拥有独特性能的石墨烯可以突破碳材料原有的局限，成为一种新型有效的电磁屏蔽和微波吸收材料。

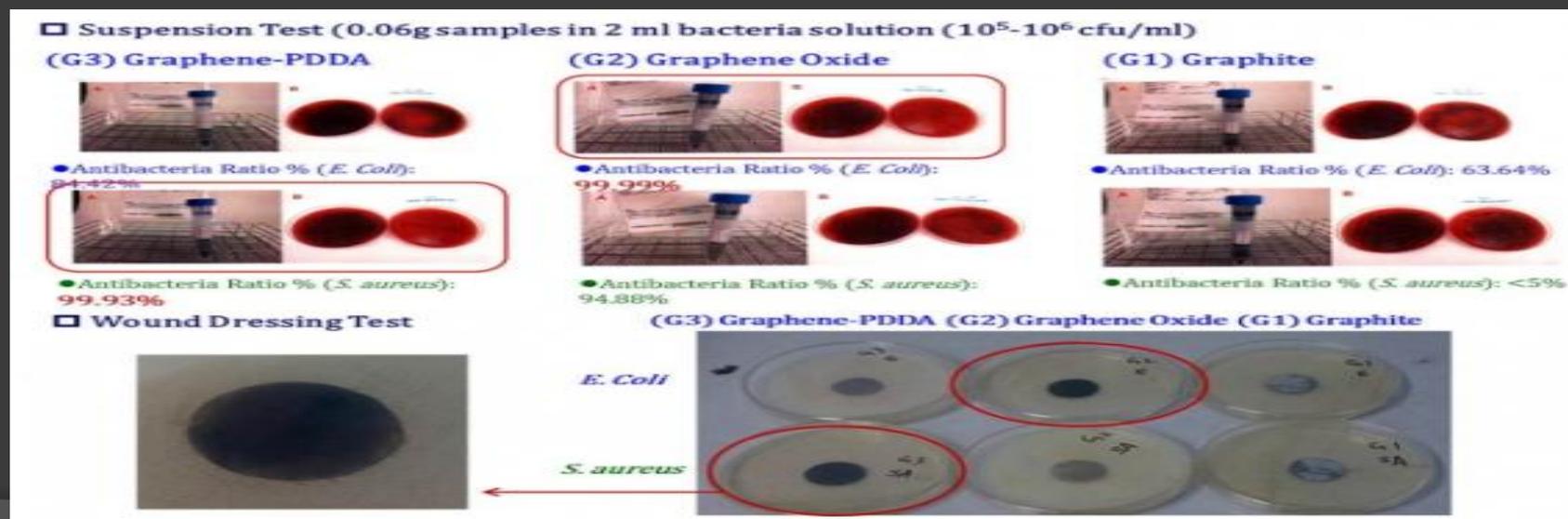


## 抗菌抑菌性能

按照国标GB/T20944.3-2008 纺织品抗菌性能的评价。石墨烯抗菌抑菌机理：各类细菌黏附于石墨烯织物上，石墨烯通过尖锐的边界切割细胞膜，接着超氧离子介导氧化应激，最终导致细菌死亡。

石墨烯不仅通过接触切割作用对细菌细胞膜进行破坏，还通过大规模的直接抽提细胞膜上的磷脂分子，以破坏细胞膜并杀死细菌。

石墨烯与细菌作用时表现出优异的抗菌性能，与细胞或生物体作用时只表现出微弱的细胞毒性，说明石墨烯是一种既具有抗菌性又具有良好生物相容性的纳米材料，在生物医用纺织品方面具有很好的应用潜力。



# 石墨烯面料抗菌报告：





## 检验检测报告

防伪查询网址: www.gttc.net.cn  
防伪码: SVAA-1205-14  
No: 190382198 共1页 第1页




| 委托单位                       | 广州恩津新材料科技有限公司<br>地址: 广州市番禺区桥南街番禺大道北1451号206、207、208  |                            |   |        |            |    |        |                          |     |   |     |  |  |  |  |  |
|----------------------------|--|----------------------------|---|--------|------------|----|--------|--------------------------|-----|---|-----|--|--|--|--|--|
| 客户认定信息                     | 平纹布料 40cm×40cm<br>颜色: 黑色   |                            |   |        |            |    |        |                          |     |   |     |  |  |  |  |  |
| 检验性质                       | 委托检测   | 样品受理/测试开始日期                | 2019-11-18  | 报告签发日期 | 2019-11-26 |    |        |                          |     |   |     |  |  |  |  |  |
| 判定依据                       | ---  |                            |   |        |            |    |        |                          |     |   |     |  |  |  |  |  |
| 综合检验结论                     | ---  |                            |   |        |            |    |        |                          |     |   |     |  |  |  |  |  |
| 检验检测结果                     | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>检验检测项目<br/>(计量单位)<br/>[样品识别]</th> <th>测试方法</th> <th>标准值及允差</th> <th>检验检测结果</th> <th>判定</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>● 抗菌效果</td> <td>GB/T 20944.3-2008<br/>振荡法</td> <td>---</td> <td>                     抑菌率:<br/>                     金黄色葡萄球菌 99%<br/>                     大肠杆菌 &gt;99%<br/>                     白色念珠菌 97%<br/>                     样品具有抗菌效果                 </td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table> | 检验检测项目<br>(计量单位)<br>[样品识别] | 测试方法  | 标准值及允差 | 检验检测结果     | 判定 | ● 抗菌效果 | GB/T 20944.3-2008<br>振荡法 | --- | 抑菌率:<br>金黄色葡萄球菌 99%<br>大肠杆菌 >99%<br>白色念珠菌 97%<br>样品具有抗菌效果 | --- |  |  |  |  |  |
| 检验检测项目<br>(计量单位)<br>[样品识别] | 测试方法   | 标准值及允差                     | 检验检测结果  | 判定     |            |    |        |                          |     |   |     |  |  |  |  |  |
| ● 抗菌效果                     | GB/T 20944.3-2008<br>振荡法   | ---                        | 抑菌率:<br>金黄色葡萄球菌 99%<br>大肠杆菌 >99%<br>白色念珠菌 97%<br>样品具有抗菌效果 | ---    |            |    |        |                          |     |   |     |  |  |  |  |  |
| 备注                         | 本报告中检验检测项目均在相应标准规定的环境条件下进行(有注明的除外)<br>复印件、副本未重新加盖报告书确认章无效。<br>本报告检验检测地址为广州市番禺区珠江路1号。   |                            |   |        |            |    |        |                          |     |   |     |  |  |  |  |  |




签发: 刘圆 工程师 刘圆 ———— 本报告结束 ————

总部: 广州市番禺区珠江路1号 电话: 020-61994598/61994599  
 花都实验室: 广州市花都区狮岭镇康时河溪西路1号 电话: 020-37721161

抑菌率：

金黄色葡萄  
球菌99%

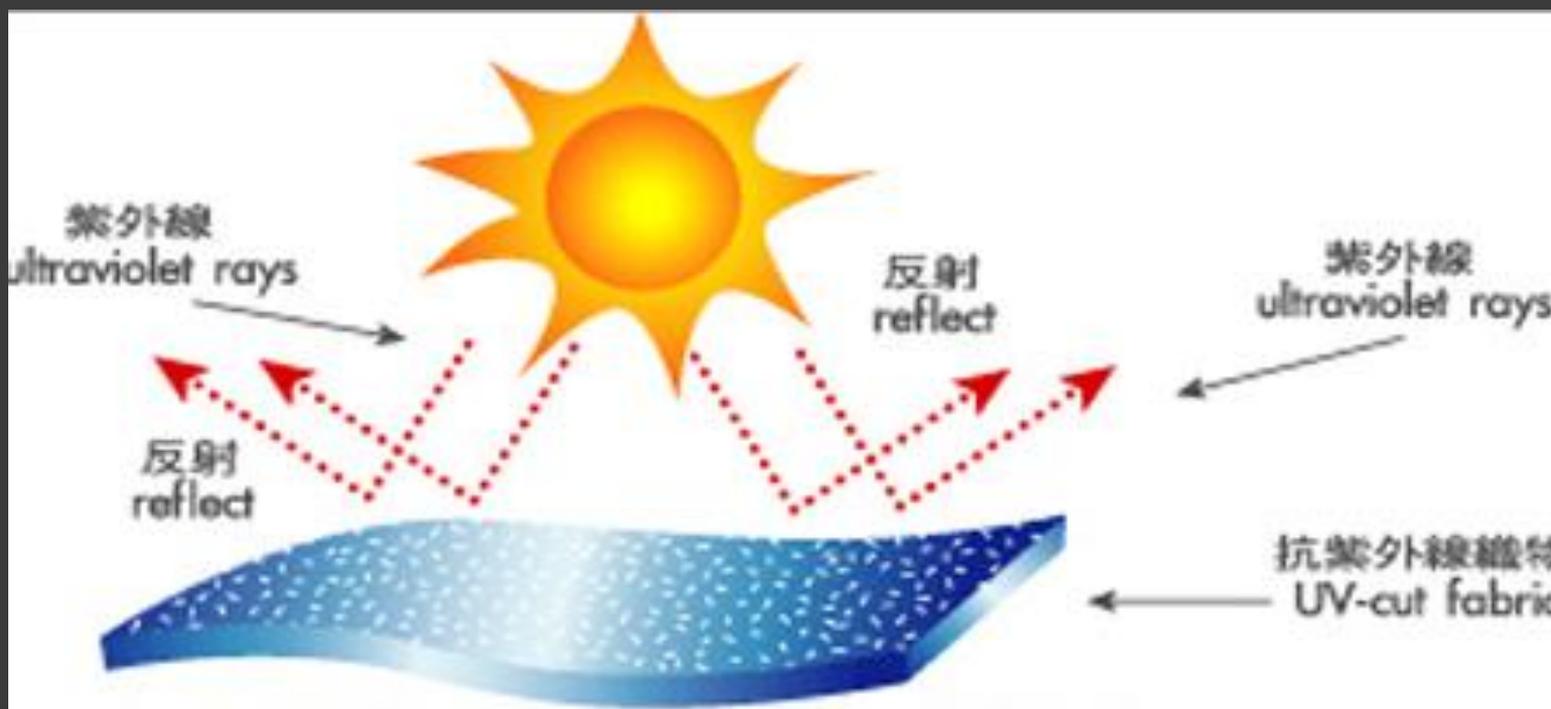
大肠肝菌  
99%

白色念珠菌  
97%

## 防紫外线性能

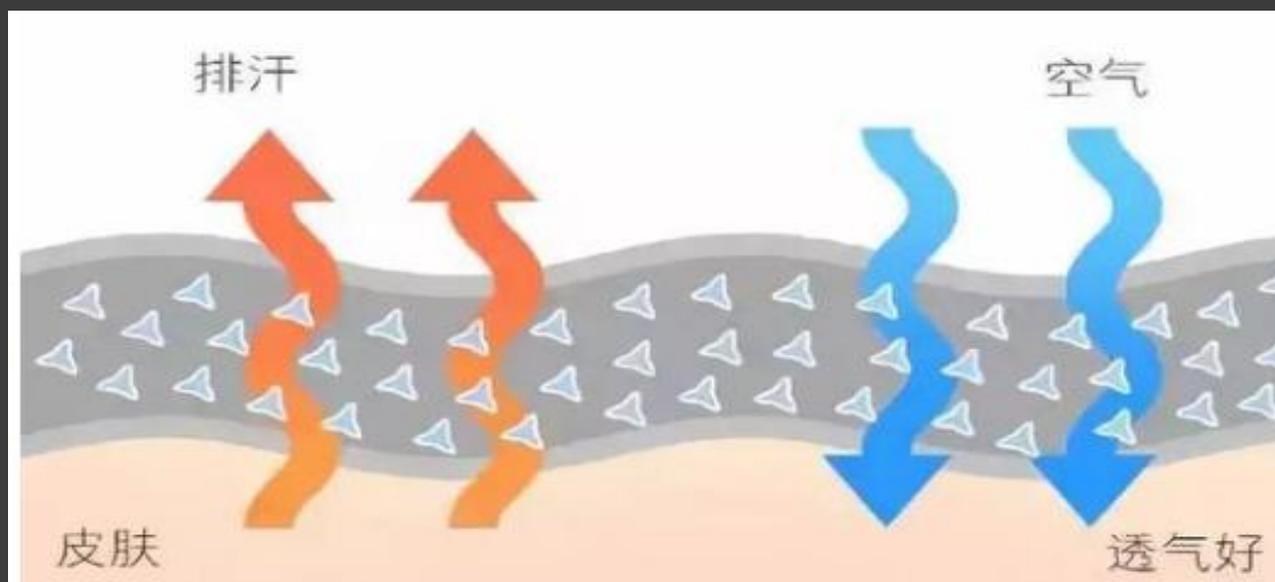
按照GB/T18830-2009 纺织品防紫外线性能的测定规定，当样品的紫外线防护系数 $UPF > 40$ ，且 $T(UVA)AV < 5\%$ 时则织物具有很好的防紫外线性能。加入石墨烯后织物均具有良好的防紫外线性能。

石墨烯二维平面结构对各类光线的反射效率高，屏蔽效果好，石墨烯主要通过吸收对紫外线进行防护，吸收高能量紫外线后转换为荧光，磷光或热能形式释放出去。



## 吸湿透气性能

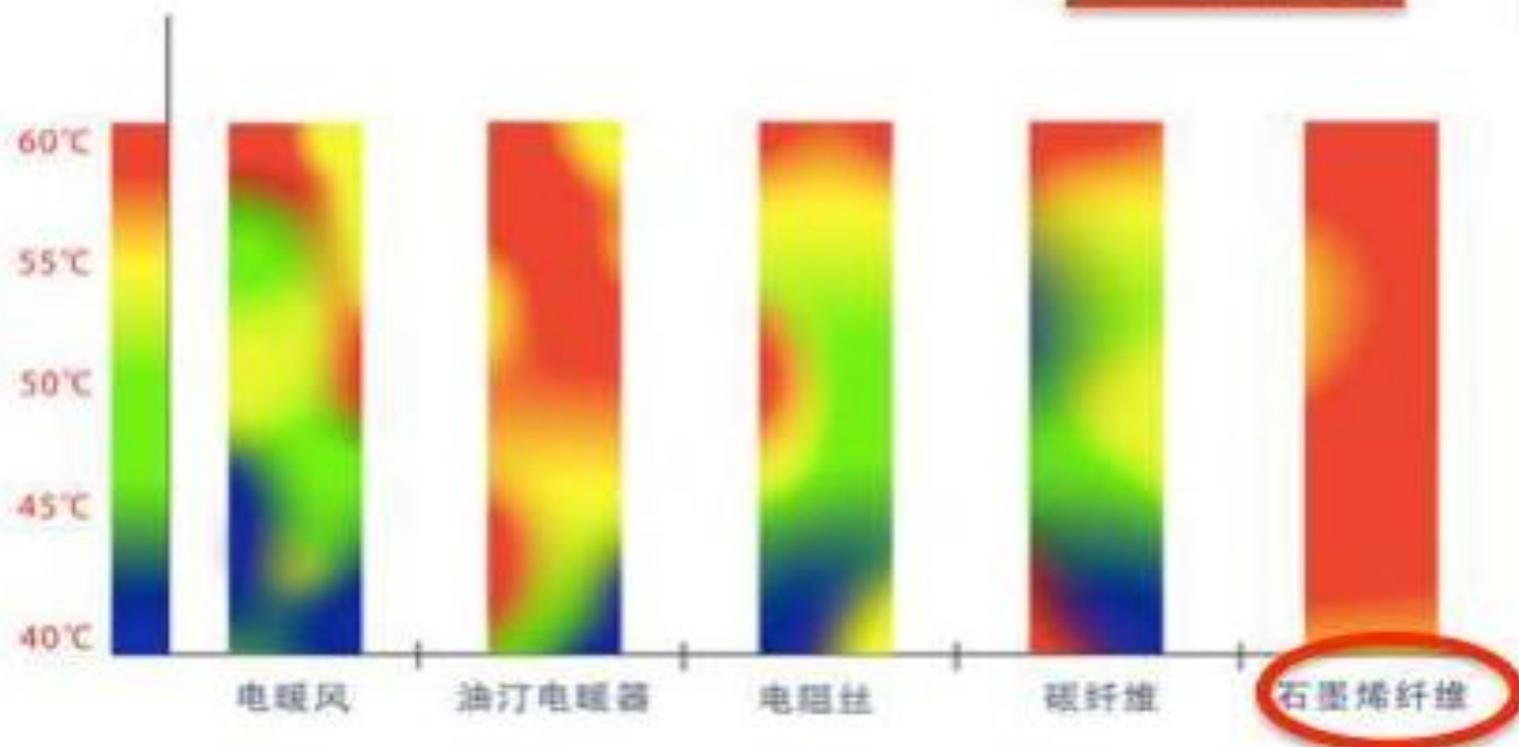
石墨烯是由碳六元环组成的两维周期蜂窝状点阵结构，它可以翘曲成零维的富勒烯，卷成一维的碳纳米管或者堆垛成三维的石墨。由于其具有二维空间吸水能力特别强，数据显示石墨烯可以吸收5000%的水分。可以使得运动员在剧烈的运动状态下不会感觉到身体有粘度或者出汗带来的不适。



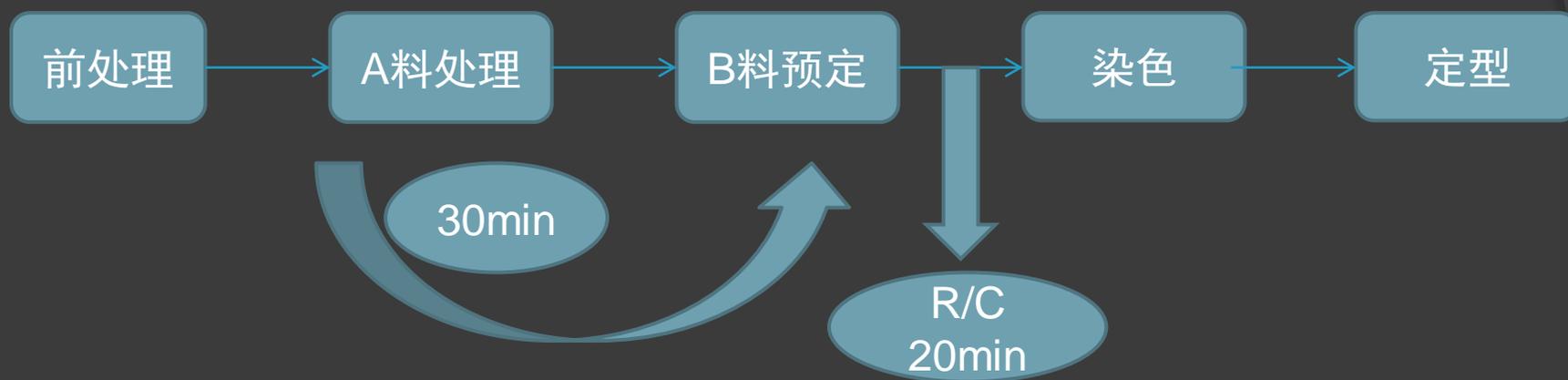
## 石墨烯均匀自发热性能

内含矿物质石墨烯快速内暖，蓄热均匀，在智能发热服的应用上有着至关重要的作用。

发热均匀度对比



## 石墨烯纺织品制备工艺：



我们会确保您获得更好的关怀和承诺。

我们将与您一起探讨如何使用我们的技术，更好地帮助贵公司提升附加值。

我们的技术及服务将是您发展的助力。



# Thank you!

---

