

# 石墨烯导电、抗病毒纤维开发及推广

## 简介：

石墨烯导电、抗病毒纤维是一类具有长效稳定导电功能、兼具抗菌性的纺织纤维材料，其物理性能与穿着感受与普通的化学纤维相当。该纤维可以与普通纤维混合纺织，形成具有导电、抗病毒等功能性的面料，最终作为智能服装的关键原材料而使用。相比于目前智能服装所普遍使用的涂覆型导电纤维材料，石墨烯导电、抗病毒纤维具有传导功能长效保持、导电性稳定、兼具抗病毒特性、穿戴舒适等优势，能够连接智能服装的传感器与控制器，准确传递生理与控制信号。在长期监测生理指标、实时分区控温、可控防护等高端智能服装领域，石墨烯导电、抗病毒纤维良好解决了目前原材料功能性单一且不稳定、穿戴不舒适等问题，具有独特的竞争优势。

## 一、项目背景

### (1) 智能服装及其市场

随着服装工业的发展，电子与纺织工艺的学科融合，多种智能服装，如检测多种生理指标的内衣、监测肌肉运动数据的运动T恤、可加热保暖的外套、兼具定位及抗菌功能的鞋等纷纷涌现，在不久的将来，数码产品与衣服的界限会越来越模糊，未来的电子产品能完美地附着在日常的穿着和佩戴物品上，成为真正的可穿戴智能产品。这种智能服装不但能够满足部分消费者的个性化健康要求，更能够切实解决易感染患者、老年群体、野外作战部队、极限探险者等有特殊健康需求人群的实际需要。自2016年起，智能服装与功能服装从零起步，快速增长，目前相关产品的市场规模已经近1000亿元。据国内外多个机构预测，未来十年内，智能服装与功能服装的市场规模年均增速将达15-20%。

### (2) 传导功能性纤维及其市场

智能服装的设计中，具有特殊功能性的纤维具有不可替代的作用。实现服装的监测功能除了依赖于传感技术之外，利用衣物纤维本身的导电性将监测信号准确传递到处理芯片也十分重要，传导纤维的使用避免了服装内额外导线的添加，这可以显著提升相应的智能服装的耐用性及舒适度。而实现服装的自主加热功能同样需要依赖于纤维的导电性，将适当电阻的纤维束与供电单元构成导电通路能够在避免额外金属导线使用的情况下，为服装的任意区域模块提供可控的发热效果，服装的柔性亦得以保持。从实际应用角度考虑，接受治疗的患者、执行军事任务的军人、野外探险考察人员、高强度体育运动人员是使用智能服装最积极、最广泛的客户人群，上述人群的在避免身体遭受额外的微生物感染方面存在共同

的强烈诉求，尤其在近年新冠肺炎疫情爆发的背景下，抗病毒防护类产品尤其被各方看好，为智能服装中使用的导电纤维额外赋予微生物抗性，能够更好地保障智能服装使用人员的生命健康，提高智能服装在复杂环境下的使用效果。可传导纺织纤维材料作为智能服装的必要原材料，其市场规模目前已达 100 亿元，其中，具有复合导电特性的连续长纤维材料是技术含量高、附加值大的功能性纤维原材料，其目前的市场规模约为 15 亿元，且其市场规模拓展速度超过功能性服装原材料市场规模的平均增速，预计至 2030 年，整体市场规模将达 35 亿元。

### （3）传导功能性纤维存在问题

传统的天然及合成纤维多为聚合物材料，本身不具备任何的功能特性，将相应的功能性组分与纤维所用的聚合物原料进行结合，是制备功能性纤维的重要方法。目前实现市场化销售的功能性纤维多采用涂覆法制备，也就是将高浓度的功能性助剂完全附着于纤维的表面，形成表面具有功能性的纤维。德国 BASF 公司、日本帝人公司等在上世纪 60 年代即开发了该技术，但是，在实际应用中，研究者也发现这种功能性纤维只是在纤维表面附着功能成分，一般仅能够实现单一功能，且长期穿戴及反复洗涤后容易使功能性组分脱落，致使纤维功能性丧失，影响使用效果。

为解决涂覆法制备纤维存在的固有问题，近年来研究者提出了复合或共混法制备功能性纤维材料。该方法是将功能性助剂与制备纤维的聚合物材料共混复合后，再进行纤维成型加工。这一方法能够使功能性助剂沿纤维的轴向分布，有利于纤维的连续稳定导电，也有助于赋予纤维长效的微生物抗性。但是，抗病毒助剂的载体是无机颗粒，导电助剂也多为炭系材料，以上助剂与聚合物的相容性不佳，易于形成功能性组分的聚集结构，严重影响纤维成型加工的连续性，无法形成可以用于服装织造的纤维长丝。

### （4）本项目方向

本研究基于共混法制备功能性纤维材料技术，使用尼龙作为基体材料，引入石墨烯作为核心导电功能性组分，通过对石墨烯的表面修饰，使其与辅助纳米银助剂、辅助导电助剂、超支化助剂形成极易分散的预制填充物，由此减弱功能组分加入后聚集而对尼龙本身纤维成型加工过程的影响。在此基础上通过工艺的优化调整，主要开发出一种保持纺织用长纤维基本性能特点，具有导电性、兼具抗病毒特性的石墨烯导电、抗病毒纤维。该材料在与常规纤维材料混纺后可形成功能性织物，能够应用于兼具抗病毒、实时心电与呼吸监测、发热加温等智能功能的服装中。

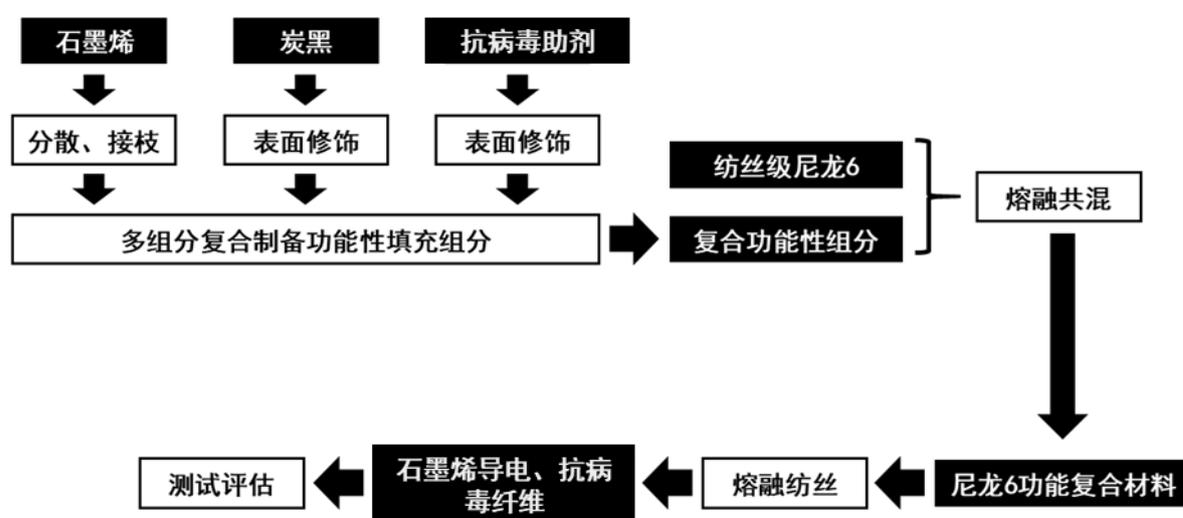
## 二、团队介绍

江苏清大际光新材料有限公司是由北京清大际光科技发展有限公司（成立于

2005年)投资创建,位于江苏省如东经济开发区庐山路99号。清大际光是国家高新技术企业、中关村高新技术企业,是一家从事新材料研发生产的高新技术企业。清大际光依托北京大学国家重点实验室,开发出物理电弧剥离法制备纳米材料技术,生产出高性能石墨烯、碳纳米角、富勒烯、碳纳米管等先进纳米炭材料。在此基础上,公司深入挖掘以上炭材料的独特性能特征,进一步开发出高强度石墨烯铜管、可弯折石墨烯导电导热膜、石墨烯功能纤维等具有优异综合性能的先进材料,在通讯、航天、交通运输等领域具有重要应用价值。

### 三、产品描述

#### (1) 产品介绍



本项目依据上图所示流程方法开展了共混法制备石墨烯导电、抗病毒纤维的研究,形成了石墨烯片层分离及改性技术、石墨烯为核心的功能性填充组分设计及制备技术、熔融共混制备功能性复合材料技术、可长效传导纺织纤维材料的熔融纺丝技术。通过功能性填充组分的可控“组装”,结合多种组分,实现微观结构设计及分散状态调节,克服共混法制备的功能性尼龙材料难以熔融纺丝问题。最终开发出具备良好导电性、抗病毒性、纤度、强度、断裂伸长率的FDY(全拉伸丝)纤维材料。该材料克服现有涂覆法制备的功能性纤维仅依靠表面涂层实现功能,存在洗涤20-30次或穿戴6-8月后功能性组分完全脱落失效问题,也解决了常规共混法制备的功能性纤维连续性不佳等问题。这为兼具抗病毒、实时心电与呼吸监测、发热加温等智能功能的智能服装提供更加理想的纤维原材料,为智能穿戴产品的发展助力,满足我国服装领域智能化升级的需要。

关键性能如下表所示：

性能	单位	技术指标
体积电阻率	$\Omega \cdot \text{cm}$	106-107
纤度	Dtex	20-40
断裂强度	cN/dtex	5-6
断裂伸长率	%	$\geq 30$

本项目所开发石墨烯导电、抗病毒纤维的微生物灭杀特征如下表所示：

序号	微生物项目	灭杀率
1	大肠杆菌	>99%
2	金黄色葡萄球菌	>99%
3	霉菌	>99%
4	流感病毒	>99%

## (2) 创新性

本项目的核心目标是开发共混法制备的石墨烯导电、抗病毒纤维，为相关的智能服装提供材料保障。与目前市场上多数通过纤维表面涂覆功能性组分的导电纤维不同，本项目基于材料具有良好导电性且兼具抗病毒特性进行设计，以尼龙6与石墨烯为主体的复合功能性组分共混改性后进行熔融纺丝为实现方法，通过复合功能性组分设计创新、功能性组分在聚合物复合材料中分散改善设计创新，最终创新性地实现聚合物填充复合材料的连续熔融纺丝。

### ① 石墨烯为核心的多元组装结构复合功能性组分设计

本项目的复合功能性组分设计能够降低整体成本，并且确保材料熔融纺丝加工成石墨烯导电、抗病毒连续长纤维。本项目避免了使用大量抗病毒助剂与大量导电剂叠加制备相应的功能性材料，而是以兼具导电及抗病毒功能的石墨烯作为核心，通过表面接枝修饰研究，构建了其与炭黑导电组分、无机抗病毒助剂间的紧密搭接的多元结构，形成功能完善的微观功能性单元。该结构单元既通过片层及球形导电助剂间结合实现导电作用的协同，又通过微生物吸附剂及灭活助剂间的结合实现抗病毒作用的协同。更为重要的是，无机离子抗病毒助剂会为导电提供帮助，而导电炭黑对微生物的吸附作用也能够更加有效地放大抗病毒作用，由此又形成导电及抗病毒作用间的协同。通过本项目复合功能性组分设计，抗病毒、导电助剂在聚合物中的作用效率得以显著提升，这意味着可以实现聚合物中复合功能性组分用量的降低。

### ② 剪切传递实现功能性组分在聚合物复合材料中分散改善设计

本项目的功能性组分在聚合物复合材料中分散改善设计能够根据表面修饰改性后的功能性组分的结构特征，设计对应的熔融共混挤出设备方案与挤出工艺方案，由此实现机械剪切通过尼龙6分子想功能性组分最大程度传递，充分帮助

功能性组分在尼龙 6 中充分分散。理论上,制备的功能性填充组分在尼龙基体中以微小颗粒形式完全铺展并均匀分散能够避免颗粒聚集,保障材料中导电网络的完善,并且促使材料各部分抗病毒作用的均匀,这意味着功能性填充组分可以在相对较低用量下,使材料达到预想的抗病毒、导电作用。更为关键的是,均匀分散的功能性填充组分对材料粘度及粘度均匀性影响较小,有利于材料通过熔融纺丝制备得到纤维。在本项目的实施中,首先在功能性填充组分的制备过程中,通过控制可相互反应的偶联剂用量,针对性地控制其尺度,避免过大粒径的填充组分存在,同时,通过表面活性剂在石墨烯、炭黑、抗病毒助剂表面接枝与包覆,尽可能减少了功能组分表面的活性基团数量,避免了制得的功能组分之间聚集。

### ③ 聚合物填充复合材料的熔融纺丝设计

本项目的聚合物填充复合材料的熔融纺丝设计在填充组分与聚合物基体两方面进行调整,为材料连续纺丝加工成石墨烯导电、抗病毒长纤维提供结构基础。聚合物纺丝过程中,熔融的聚合物需要通过孔径极小的孔板以形成长丝。这一过程中,填充颗粒的存在会增大聚合物分子间的相互作用,宏观上加大聚合物粘度,造成纺丝困难,同时,在聚合物复合材料通过孔板受到挤压时,填充颗粒也更加易于相互聚集,存在堵塞孔板的可能,这进一步加大了长纤维连续加工的难度。本项目首先在功能性填充组分设计中控制了填充组分的尺度,保持其尺度在数百纳米,其次是充分进行了填充组分的分散性改善设计,通过表面修饰增大了填充颗粒间的排斥作用,避免其发生聚集。同时,本项目在功能性聚合物复合材料的配方组分设计中增加了超支化聚合物作为润滑助剂,该助剂在微观上扩大了尼龙 6 分子链之间的空间,减弱了尼龙 6 与功能性填充组分间的摩擦作用,将材料整体粘度降低 5-8%,使材料更易通过纺丝孔板。

## (3) 竞争优势

本项目开发的石墨烯导电、抗病毒纤维材料具有良好导电性且兼具抗病毒性,与常规的尼龙 6 纤维(锦纶)具有几乎相当的物理性能与穿着感受,目前市场上没有同样兼具两种功能的纤维材料,因此该产品具有显著的独创优势。

### ① 与涂覆类纤维竞争的优势

目前市场上具有抗病毒、导电某一功能的纺织纤维材料多数以涂覆改性法制备。此类纤维的功能性由其涂层决定,因此,涂覆类纤维的功能性只能实现一种,更为重要的是,随着纤维的使用与洗涤,其功能性也会逐渐丧失。同时,存在于纤维表面的涂层会影响纤维的弹性、柔性,相比普通纤维的穿戴体感下降显著。而本项目开发的石墨烯导电、抗病毒纤维是由复合在其中的功能组分实现导电、抗病毒等多重功能性,不但功能性长期稳定保持,还不影响纤维材料本身的穿着体感,克服了涂覆类纤维的一系列缺陷。

本项目开发的可长效传导纺织纤维材料与涂覆类纤维竞争的优势如下表所

示：

	本项目产品性能	涂覆导电纤维	涂覆抗病毒纤维
导电性能	发热、传导皆可	发热、传导皆可	无
抗菌性能	广谱抗菌抗病毒	无	广谱抗菌抗病毒
功能性保持	长久保持	逐渐丧失	逐渐丧失
纤维性能	与普通锦纶纤维相当	比普通锦纶纤维柔性差、弹性差	比普通锦纶纤维柔性差、弹性差

## ②与其它长效功能纤维竞争的优势

市场上以皮芯结构为代表的永久导电长纤维材料同样仅具有导电性，但是其纤度较大，且纤维柔软度、弹性都不够理想，而价格约 200 元/kg。普通共混制备的导电纤维目前多数停留在产品转化阶段，虽然纤度达到与传统纺织纤维相当的程度，但是其强度、弹性仍不理想，纤维连续化制备也存在诸多问题，少有长纤维产品。本项目开发的石墨烯导电、抗病毒纤维具有同样良好的导电性、兼具抗病毒特性，纤维的力学性能、纤维特性、穿着感受都与普通纤维产品相当，而价格仅在 160 元/kg，相比现有市场上的类似产品具有绝对优势。

本项目开发的长效传导纺织纤维材料其它长效功能纤维竞争的优势如下表所示：

	本项目产品性能	皮芯结构导电纤维	普通共混导电纤维
导电性能	发热、传导皆可	发热、传导皆可	发热、传导皆可
抗菌性能	广谱抗菌抗病毒	无	无
纤维性能	与普通锦纶纤维相当	比普通锦纶纤维纤度差、柔性差、弹性差	比普通锦纶纤维强度低、弹性差、连续性差
价格	160 元/kg	200 元/kg	高于 200 元/kg

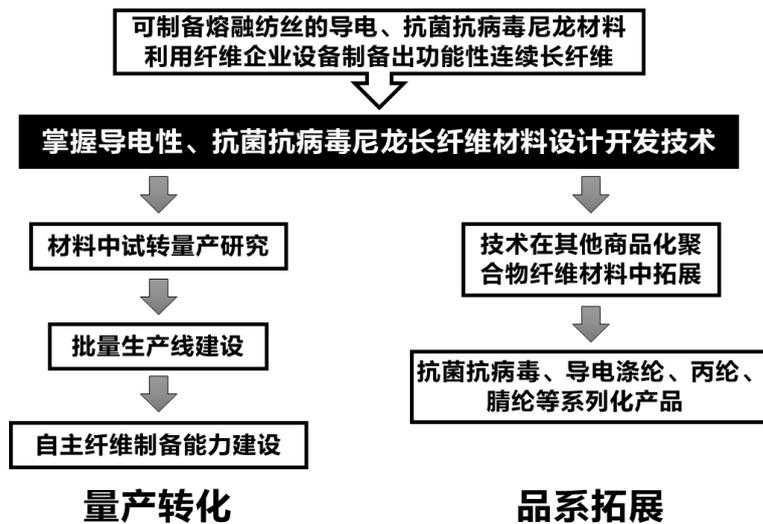
## 四、研究与开发

### (1) 项目技术路线

在此前的研究中，本项目首先根据外观尺度及活性基团存在情况进行石墨烯、炭黑及抗病毒剂牌号种类筛选，之后分别在溶液相中对选定的石墨烯、炭黑及抗病毒剂进行相应预处理，石墨烯主要进行分散性改善并接枝一定的偶联剂与表面活性剂，炭黑与抗病毒剂在表面接枝同类的偶联剂。之后，利用接枝在石墨烯表面偶联剂与接枝在抗病毒剂、炭黑表面偶联剂之间的相互反应作用，通过各组分

加入量及反应条件控制，制备得到依据设计的多组分复合功能性填充组分，该反应过程中同样可以引入表面活性剂，对功能性填充组分做进一步的结构及表面特性控制。接下来将纺丝级尼龙原料与复合功能性组分熔融共混，控制设备组合、共混工艺及润滑、抗氧化等必要组分加入，制备得到尼龙 6 功能性组分复合材料。最终，将得到的复合材料在适宜的工艺条件下完成熔融纺丝，得到可长效传导纺织纤维材石墨烯导电、抗病毒纤维料。

在已掌握技术路线的基础上，计划后续将该技术进一步放大化应用，该计划分为产品量产转化与产品品系拓展两大板块。在产品量产转化方面，拟进一步进行技术放大研究，形成自身的生产转化能力，将长纤维熔融纺丝所用的抗病毒、导电尼龙材料放大到批量生产，形成固定的量产工艺，得到批量稳定的产品；在此基础上，引进熔融纺丝所用的设备，研究开发自主的石墨烯导电、抗病毒纤维生产工艺。在产品品系拓展方面，拟将长纤维聚合物材料的抗病毒、导电改性技术拓展到包括聚对苯二甲酸乙二酯（PET、涤纶）、聚丙烯（PP、丙纶）、聚丙烯腈（PAN、腈纶）在内的其他常用商品化聚合物纤维材料中，进一步满足不同领域，不同功能要求客户的需要，拓展产品覆盖面。



## (2) 项目技术积累

本研究通过共混法先制备出功能性的尼龙 6 材料，再通过熔融纺丝的方法制备出尼龙 FDY 长纤维。为实现纤维具有良好导电性、兼具抗病毒性，本项目为尼龙 6 引入以石墨烯为主体的填充组分，并通过组分的设计调整确保其抗病毒、导电性能在纤维材料中的展现。为保证复合改性后的尼龙 6 能通过熔融纺丝获得具有良好物理性能的长纤维，本项目还对石墨烯为主体的填充组分微观结构及其在尼龙 6 中的分散状态进行调整。由此获得的技术积累包括：

### ① 石墨烯片层分离及改性技术

本项目通过在水相中加入改性剂，实现独特工艺条件下对石墨烯的片层分离

及分散改性，由此控制了石墨烯片层结构聚集厚度，改善了分散状态，充分发挥石墨烯在导电与抗病毒方面的多元作用。

石墨烯是一种由纯碳原子在二维结构上以六边形组成的材料，其相邻碳原子之间相互连着形成 $\sigma$ 键，同时，碳原子还以 $px$ 和 $py$ 形态相互组合在一起，在平面形成 $sp^2$ 杂化体，每个碳原子剩余的 $p$ 轨道组成大 $\pi$ 键，电子能够在其中离域，这使石墨烯本身具有优良的导电能力。将石墨烯在聚合物中充分铺展后，可以形成连续层叠状结构，以此构建形成一个完善的导电网络，进而使聚合物由绝缘体变为导体。同时，石墨烯利用其强吸附能力可以吸引病毒与其结合，此时石墨烯其锋利的边缘能够插入并割裂病毒的生物结构，促使其大块的磷脂分子层降解，从而破坏病毒外壁，引发生物毒性、实现抗病毒活性。因此，将石墨烯与聚合物复合后还能够为聚合物赋予抗病毒特性。能够兼具抗病毒与导电功能性，是本项目选择石墨烯作为尼龙的核心填充改性组分的重要原因。

严格意义上来讲，单层的石墨才能称为石墨烯，但是真正意义上的石墨烯非常难以制备获得，也非常难以充分铺展分散在聚合物基体中。而工业意义中，厚度小于 $10nm$ 的多层石墨材料都可称为石墨烯，这类材料可以使用电弧剥离等方法由更多层的石墨制备得到。但是，在石墨烯制备过程中也会引入大量活性基团，使剥离后的石墨烯片层间存在物理、化学结合的相互作用，由此使经剥离后的石墨烯依然堆叠。从理论上讲，石墨烯所具有的少片层结构及巨大比表面积是高效发挥其抗病毒、导电特性的关键因素。因此，本项目将获取的石墨烯原料使用机械搅拌与超声处理结合的方法，在乙醇水溶液中进行石墨烯的预分散及改性。为实现石墨烯聚集结构被分散开后进一步防止聚集，同时为石墨烯提供后续与炭黑及抗病毒助剂结合的位点，在乙醇水溶液中引入了多聚醚结构的表面活性剂及含环氧基团的硅烷偶联剂，由此大量占用石墨烯表面的活性基团，并且在石墨烯片层表面形成了一层助剂层。修饰改性后的石墨烯片层分离状态得以保持并不再聚集，更接近于真正的单层结构石墨烯，同时石墨烯的片层分离状态保持并不再聚集。

## ②石墨烯为核心的功能性填充组分设计及制备技术

本项目使用机械搅拌的方法，在水相中进行炭黑及抗病毒剂的接枝改性，主要使用含有氨基的硅烷偶联剂，配合使用聚乙二醇类表面活性剂占据炭黑及抗病毒剂表面其他活性基团。将改性后的石墨烯、炭黑、抗病毒剂水相浆液按照比例进行混合，通过机械搅拌及温度控制，实现浆液中固体物质浓缩，进而拉近固体颗粒间的距离，促使石墨烯表面环氧基团偶联剂与炭黑及抗病毒剂表面氨基偶联剂相互反应，经过充分干燥后，形成石墨烯-炭黑-抗病毒剂三相结合的复合功能性填充组分。

根据此前文献归纳的聚合物导电复合材料导电机理，在聚合物中使用可导电

的填充物构建出导电通路是材料导电特性实现的关键。使用多种形态结构的导电助剂结合，有助于在立体结构上更加高效地形成导电通路，而将不同形态的导电助剂充分搭接，则能够更加提高导电通路的构建效率。同样，在聚合物抗菌材料的设计中，不同抗病毒机理的助剂结合使用，也能够产生协调作用，增强材料抗菌作用的效果。

结合本项目的具体来看，石墨烯的宝贵之处在于其本身兼具导电、抗病毒两种功能，这是无法被其他助剂所取代的，更为重要的是，石墨烯表面的大量活性基团能够接枝不同类型的改性助剂，使其存在构建与其他助剂物理、化学结合作用的可能，因此，石墨烯依然是功能性填充组分的核心。在导电方面，炭黑是一种低密度的无定形纳米颗粒，呈现三维聚集态结构，与二维片层结构的石墨烯在结构形态上互补程度较高，能够提升聚合物内导电通路的构建效率。同时，炭黑的价格很低，电导率也相对较高，引入炭黑，对于控制功能性填充组分的整体成本作用显著。在抗病毒方面，无机银系抗病毒剂是利用银离子本身所具有的病毒灭杀能力，通过物理吸附方法，将其负载于多孔磷酸盐上的一类抗病毒剂。该抗病毒剂与微生物接触时，能够发生造成肽链结构失活的反应，从而快速地杀灭微生物，抗病毒机理与石墨烯附微生物并物理破坏微生物结构的机理互补性很强。

### ③熔融共混制备尼龙 6 功能性复合材料技术

本项目首先对双螺杆挤出机的螺杆组合进行调整，适当加强混合段的剪切强度，增加部分组件适当提高尼龙 6 在螺杆中停留时间，这能够适应于功能性组分在相对较低粘度的尼龙 6 中充分填充、分散的加工需要，并且确保不发生明显的材料降解。接着通过调整材料的挤出温度、挤出速度，得到最佳工艺参数。在此基础上，根据尼龙 6 的抗氧化需要，为材料引入抗氧化剂组分；同时，尝试引入能够减弱尼龙 6 分子与功能性组分间摩擦作用的润滑助剂，将尼龙 6 复合材料的材料粘度及流动性调节至与纯尼龙 6 相近的程度，以此为材料后续的熔融纺丝加工提供基础。

本项目的核心目标是开发具有导电性、抗病毒性的改性尼龙长纤维材料，这就要求赋予材料功能性的同时，也要确保材料能够连续纺丝成长纤维。理论上，将石墨烯-炭黑-无机抗病毒剂三者结合的复合功能性填充组分单元完全均匀分散在尼龙基体中，使材料各部分抗病毒助剂浓度一致，且导电组分充分搭接形成完善的导电网络，体系内亦不存在显著的颗粒聚集，以此制备的尼龙 6 功能复合材料对达到预设的核心目标帮助巨大。实现该材料的制备需要结合尼龙 6 的熔融流动特性、功能性填充组分的表面修饰状态、设备的剪切输送工况，综合设计相应的复合材料共混工艺。

本项目利用采用熔融共混技术，将由以石墨烯为核心的功能性填充组分与尼龙 6 进行复合。在这一过程中机械混炼提供的剪切力可以通过尼龙分子传递给功

能性填充组分，帮助功能性组分在尼龙 6 中进行填充及分散。同时，混合过程中的热量又能够使功能性组分表面接枝的改性助剂与尼龙 6 分子链形成适当的物理及化学结合，帮助功能性组分进一步在聚丙烯中铺展并且分散。

#### ④功能性尼龙 6 纤维材料的熔融纺丝技术

尼龙 6 熔融纺丝的关键是在设备可承受的温度及压力条件下，使材料连续不断通过孔径极小的孔板以形成长丝，该长丝纤维经过收卷形成最终的产品。本项目针对熔融共混制备的尼龙 6 功能性复合材料粘度偏大、分子量均一度偏大问题，尝试使用工业化纺丝设备进行物料加入速度、物料压力、纺丝各段温度、喷丝口直径、喷丝速度、收卷速度等工艺参数调整，确保纺丝过程的连续进行，制备得到符合性能预期要求的石墨烯导电、抗病毒纤维材料产品。

### (3) 专利情况

目前取得已授权专利 1 项，为《具有石墨烯-碳纳米管复合结构的导电尼龙母粒及其制备方法》（专利号：202010926529.1）。另外，仍有 2 项拟申请专利，包括《一种用于熔融纺丝的尼龙复合颗粒及其制备方法》《一种抗菌、导电复合填充组分的制备及其在尼龙 6 中的使用》。

### (4) 经费使用情况

目前本项目前期已投入研发经费 100 万元，具体投入情况如下表所示：

开支项目	开支名称	开支金额（万元）
设计费	调研费	3
	差旅费	5
	资料费	2
设备费	改造费	5
	购置费	5
	使用费	5
人员费用	劳务费	10
	专家咨询费	5
材料费	尼龙 6 原料	7
	导电助剂	5
	抗菌助剂	4
	其他助剂	4
试验费	测试费	15
	加工费	25
合计		100

本项目目前已进入量产转化、产品系列规划及市场拓展阶段，后续投入主要用于产品量产转化研究、产品品系拓展研究、设备适应性改造、整体产能扩大、市场拓展需要等领域。拟进一步投资 2700 万元，主要分两个阶段进行，其中项目一期建设目标是在技术方面进一步开发满足熔融纺丝制备石墨烯导电、抗病毒 PET、PP、PAN 等材料，实现相关材料的批量生产转化，建设可纺丝导电抗病毒聚合物材料专用批量生产线及车间，具备原材料的自行检测分析要求，投资经费 1400 万元；项目二期进行可长效传导纺织纤维材料量产线建设，引进相关设备，研究优化自主的功能性长纤维材料生产工艺，实现长纤维产品的量产，并形成相应的纤维检测评估能力，对接终端目标客户并实现导入，预估投资经费 1300 万元。

其中项目一期建设，重点是建设作为石墨烯导电、抗病毒纤维原材料的导电抗病毒尼龙复合材料生产线建设，建立产品的质量体系，实现年产 2000 吨的规模，项目一期初步估算投资资金 1400 万元。除必要的研发经费投入及场地厂房改造费用之外，主要包括引入导电及抗病毒分散与预处理改性专用设备、改造适应于功能性组分与尼龙复合的螺杆挤出机、引入复合材料粘度及流动性专用检测设备、引入导电性检测设备、购置必要的启动所用原材料。

投入费用明细如下表：

研发投入			
No	项目	金额 (万元)	说明
1	抗病毒、导电 PET	60	开发新的材料体系
2	抗病毒、导电 PAN	60	开发新的材料体系
3	抗病毒、导电 PP	60	开发新的材料体系
4	中试转量产工艺开发	40	材料中试转化开发投入
合计		220	
检测投入			
No	项目	金额 (万元)	说明
1	表面/体积电阻测试仪	20	满足材料导电性能测试
2	转矩流变仪	90	满足材料老化实验测试
3	聚合物剪切粘度谱测量仪	80	满足材料粘度测试
4	恒温万能力学试验设备	120	满足材料力学性能测试
5	检测实验室配套及改造	20	满足测试配套条件
合计		330	
生产必需设备			
1	控温反应釜	100	助剂预处理改性设备
2	超声震荡水槽	20	助剂预处理改性设备
3	喷雾干燥设备	70	助剂预处理改性设备
4	高速搅拌混合机	20	生产均混搅拌设备
5	失重喂料系统	80	生产精确加料设备
6	双螺杆挤出生产线	150	生产熔融共混设备
7	切粒及包装设备	30	产品包装设备
8	原材料采购资金	80	原材料
合计		550	
厂房改造			
1	1000m <sup>2</sup> 厂房扩建	200	生产保障
产品贮存场地建设			
1	500m <sup>2</sup> 贮存仓库建设	100	原料及产品贮存保障
项目一期必需资金合计 (万元)			
整体项目初始合计		1400	

项目二期建设重点是引进长纤维制备及检测的相关设备,通过规模化生产线设计、品质管控体系建设,实现石墨烯导电、抗病毒纤维材料的自主生产,整体产能达到 5000 吨/年,实现纤维产品的销售渠道拓展,项目二期初步估算投资资金 200 万元。除必要的研发经费投入外,主要包括引入并调试熔融纺丝设备、导电抗病毒复合材料产线扩能、纺丝厂房专项改造、市场拓展等。

投入费用明细如下表：

研发投入			
No	项目	金额（万元）	说明
1	聚合物纤维纺丝工艺研发	100	研究纤维熔融纺丝工艺
合计		100	
检测投入			
No	项目	金额（万元）	说明
1	纺织纤维强度测试仪	20	满足纤维强度测试
2	纤维细度分析仪	90	满足纤维细度测试
3	纤维表面瑕疵检测	20	满足纤维表面质量检测
4	纤维比电阻测试仪	10	满足材料力学性能测试
5	检测实验室配套及改造	20	满足测试配套条件
合计		160	
生产必需设备			
1	高速搅拌混合机	20	生产均混搅拌设备
2	失重喂料系统	80	生产精确加料设备
3	双螺杆挤出生产线	150	生产熔融共混设备
4	熔融纺丝生产线	350	生产均混搅拌设备
5	单螺杆挤出生产线	80	配合熔融纺丝设备使用
6	原材料采购资金	60	原材料
合计		740	
厂房改造			
1	1000m <sup>2</sup> 厂房扩建	200	生产保障
产品贮存场地建设			
1	500m <sup>2</sup> 贮存仓库建设	100	原料及产品贮存保障
项目一期必需资金合计（万元）			
整体项目初始合计		1300	

## 五、行业与市场分析

### （1）行业历史与前景

随着服装工业的发展，电子与纺织工艺的学科融合，出现了多种智能服装，如检测多种生理指标的内衣、监测肌肉运动数据的运动T恤、可加热保暖的外套、具有定位功能的鞋纷纷涌现，在不久的将来，数码产品与衣服的界限会越来越模糊，未来的电子产品能完美地附着在日常的穿着和佩戴物品上，成为真正的可穿戴。这种智能服装有望成为可穿戴设备的终极形态。

目前在智能服装领域进行创业的厂商主要来自芬兰、加拿大、比利时、瑞典等国家。核心原因在于作为传统服装工业中心，实现产业升级转型的需求比较强烈，而当地科研机构如比利时 IMEC 与根特大学，瑞典布罗斯大学智能服装研究中心等，拥有较强的跨领域人才与技术储备，客观上成为智能服装的先行者，产生了芬兰 Clothing+（除自有品牌外，也为耐克等其他品牌做 OEM，工厂位于中国浙江德清）、加拿大 Omsignal 等著名品牌。

智能服装与医疗器械结合，可以将传统的电生理监测融入到衣服中，利用导电纤维，可以实现多种生物电信号的测量，如心电图、肌电图等，或者利用到导电纤维形变引发的电信号改变，利用光学等传感器监测血流流速等指标，从而实现动态高血压、癫痫、中风、呼吸暂停综合症等多项生理指标。

近年来智能服装市场的迅猛发展使得大量可穿戴设备随之涌现。最初智能服装是专为运动员设计的，现在很多可穿戴设备都兼具了医疗的功能，CircuiteX、SmartLife、Clothing+ 和 Ohmatex 等公司纷纷推出了自己的智能服装。例如 Clothing+ 设计了一款具有断层拍摄功能的背心，它可以扫描穿着者肺部的液体；Ohmatex 公司也利用压力的原理设计的一款智能袜子。这种袜子通过测量穿着者的腿围来监测其是否出现浮肿；SmartLife 则设计了可以收集双向信号的绷带，从而检测并记录绷带的拉伸度，这样以来它不仅检测使用者的动作，还能帮助医务工作者更准确地使用绷带。

使这些智能服装成为可能的核心是一种导电纤维。在制作衣服的过程当中可以根据需要将导电纤维编织进整件衣服或其中的某一部位。以上各公司推出的智能服装产品普遍使用到了导电纤维。衣服中的导电纤维不但可以作为传感器检测人体的电子信号，形成心电图来测量心率或肌动电流图来检测肌肉活动，还能够将其他温度、振动传感器的信号传递至处理器，形成对应的健康指标反馈信息。随着智能纺织品的不断研发，具有导电、抗菌等功能的纤维越来越多地应用于可穿戴纺织品中，人们对功能性纤维材料的性能要求也将随着需求量的增长而不断提高。

## （2）市场规模及增长趋势

近年来，我国服装市场的规模以年均 6% 左右的速度在稳步增长，至 2021 年，市场规模已达到近 2.5 万亿元。从需求方面看，国内服装市场进入精品消费时期，服装消费个性化多样化特征基本形成。运用功能性材料或者智能材料与服装相结合形成的智能服装及功能服装不但能够满足部分消费者的个性化要求，还能够切实解决有特殊需求人群的实际需要。因此，自 2016 年起，智能服装与功能服装从零起步，快速增长，目前相关产品的市场规模已经近 1000 亿元。据国内外多个机构预测，未来十年内，智能服装与功能服装的市场规模年均增速将达 15-20%，增长迅速。

作为功能性服装的主要原材料，具有导电作用、兼具抗病毒效果的可长效传导纺织纤维材料也必将在未来十年迎来需求量的爆发式增长。为常用的纺织纤维赋予导电、抗病毒等功能性的同时，又保持纤维本身特性，必将符合功能性服装企业对原材料的要求，从而占据功能性服装原材料的广阔市场。根据功能性服装市场规模估计，至 2030 年，功能性纤维原材料的市场规模也将达到 200-300 亿元，预计其中以导电为主要功能的纤维材料市场规模约 100 亿元，需求量数万吨，其中连续长纤维材料预计市场规模将在 30-35 亿元，需求量在 2 万吨左右，这一功能性纤维细分市场是技术含量较高的单一细分市场，预计到 2030 年，也仅有少数国内外龙头企业能够量产出满足该细分市场要求的纤维材料。本项目开发的可长效传导纺织纤维材料具有多重功能，且功能能够长效保持，材料整体物理性能也与未经改性的常规聚合物纤维材料基本一致，而在价格方面又能够与仅具有单一功能的纤维基本相当，具备快速占领市场的巨大潜力。

### (3) 经济效益分析

表 可长效传导纺织纤维材料销售预计

年度	预计销售量		预计销售收入 (万元)	预计利润 (万元)
	纤维 (吨)	原材料 (吨)		
2022	0	200	2400	700
2023	0	500	6000	1750
2024	300	1000	16800	5300
2025	800	1500	30800	10050
2026	1200	1800	40800	13500
2027	1800	1800	50400	17100
2028	2400	1800	60000	20700
2029	3200	1500	69200	24450
2030	4000	1000	76000	27500

## 六、融资计划

暂无