

附件

教育部工程研究中心年度报告

(2020 年 1 月——2020 年 12 月)

工程中心名称：弹性体材料节能及资源化教育部工程研究中心

所属技术领域：化工、冶金与材料

工程中心主任：张立群

工程中心联系人/联系电话：卢咏来/13641362425

依托单位名称：北京化工大学

2021 年 1 月 31 日填报

编 制 说 明

- 一、报告由中心依托单位和主管部门审核并签章；
- 二、报告中主管部门指的是申报单位所属国务院有关部门相关司局或所在地方省级教育主管部门；
- 三、请按规范全称填写报告中的依托单位名称；
- 四、报告中正文须采用宋体小四号字填写，单倍行距；
- 五、凡不填写内容的栏目，请用“无”标示；
- 六、封面“所属技术领域”包括“机械与运载工程”“信息与电子工程”“化工、冶金与材料工程”“能源与矿业工程”“土木、水利与建筑工程”“环境与轻纺工程”“农业”“医药卫生”；
- 七、第八部分“年度与运行情况统计表”中所填写内容均为编制周期内情况；
- 八、报告提交一份 WORD 文档和一份有电子章或盖章后扫描的 PDF 文件至教育部科技司。

编制大纲

一、技术攻关与创新情况（结合总体定位和研究方向，概述中心本年度技术攻关进展情况和代表性成果，字数不超过 2000 字）

“弹性体材料节能和资源化教育部工程研究中心（简称工程中心）”依托于北京化工大学，以材料科学与工程学院“材料学”国家重点学科、“材料科学与工程”一级学科和“材料加工工程”北京市重点学科为支撑。工程中心围绕我国节能减排、发展低碳经济和循环经济的重大战略方针，结合弹性体产业环境协调和可持续发展的迫切需求，在节能弹性体材料、弹性体资源化、弹性体复合材料节能制造 3 个主要方向展开研究工作。2020 年主要成果概述如下：

1、节能弹性体材料

（1）生物降解 TPV

化石资源日益匮乏，且不可再生，通过生物基原料来制备全生物基 TPV 材料，满足可持续性发展的要求。北京化工大学对生物基 TPV 研究较早，取得了一系列的研究成果，并申请了专利，该发明的生物基热塑性弹性体拉伸强度 5MPa-25 MPa，断裂伸长率 100%-400%，压缩永久变形 55%-75%，邵氏硬度 70-98A，并且具有可降解性、无毒。并将制备的全生物基 TPV 材料进行了 3D 打印的探索研究，发现材料的粘结性较好，打印后的表面平整光滑，拓宽了生物基 TPV 应用领域。

（2）耐油耐温丙烯酸酯 TPV

ACM 类 TPV 是一种具有优异耐热性和耐油性热塑性弹性体。北京化工大学通过自主设计制造了可在线取料的双螺杆挤出机，具有高长径比（52）、直径 45mm、高转速（最大 1200rpm）、小间隙（ $\leq 0.2\text{mm}$ ）、温度精度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 、螺纹元件自行组合能力强等特点。已经成功开发出相态精细、性能优异的 ACM/PA6、ACM/TPEE 等系列耐油 ACM TPV，在国内尚属首家。

2、弹性体资源化

2.1 废橡胶材料低污染资源化利用技术

目前，我国的废橡胶综合利用仍将以制备再生橡胶为主，此外重点突破精细胶粉的大消纳比的下游高值化再利用技术。其中，制备再生橡胶技术设备在前期研发的 LJR-5000Y 多阶螺杆连续制备再生橡胶基础上，进一步向节能、环保、高效和智能化取得了较大进展；胶粉的下游应用技术，研发了废胶粉连续制备流体橡胶技术装备，流体橡胶产品可应用于轮胎、道路沥青、防水卷材等领域。

2.2 生物基工程弹性体技术

（5）生物基衣康酸酯弹性体

生物基衣康酸酯弹性体是基于衣康酸酯、二烯烃（异戊二烯或丁二烯）及少量官能化单体（甲基丙烯酸缩水甘油酯），通过乳液聚合制备的新型弹性体材料，突破了

传统石油基合成橡胶分子设计与制备的格局，首创基于生物质单体合成生物基弹性体的新思路，具有完全的自主知识产权，系我国原创新胶种。

(6) 生物基聚酯弹性体

在本年度工作中，我们对生物基聚酯弹性体的合成、表征、应用以及工业化推广各方面进行了广泛的探究和实践，取得了丰硕的成果。生物基聚酯弹性体，顾名思义，是以大宗生物基单体为原料，如丁二酸、癸二酸、衣康酸、1,3-丙二醇、1,4-丁二醇，通过缩合聚合而成的高分子化合物。本年度进行了生物基聚酯弹性体中试、生物基聚酯弹性体/炭黑复合材料的应用、新型生物基聚酯弹性体的合成、生物基可降解口香糖的制备以及生物基聚酯弹性体的降解性能研究。

(7) 生物基医用弹性体

在生物医用弹性体材料制备与加工等方面，开展了介电弹性体材料的前沿基础研究。针对周围神经损伤的修复，通过静电纺丝技术，制备了单轴取向纤维作为拓扑结构因子，梯度密度增加的活性纳米粒子作为趋向性因子，制备了组织工程修复支架。解决了组合式人工间盘制备过程中的关键问题。针对目前临床上使用的针线缝合等手术切口闭合方式造成的，设计了一次性无创皮肤缝合器。

2.3 天然橡胶高性能化及改性技术

(8) 环保型高性能天然橡胶产业化

针对天然橡胶传统生产工艺存在自动化水平低、环境污染严重，以及产品一致性差、性能差等问题。中心团队与西双版纳圣百润橡胶新材料研究院有限公司合作共同开发了“高性能超聚态天然橡胶产业化关键技术和装备”与进口胶相比，力学性能指标普遍低于进口天然橡胶，只能满足于中低端大众化普通橡胶制品的要求。国防军工橡胶产品、航空轮胎、高端汽车轮胎等高端橡胶制品所用高性能天然橡胶只能依赖进口。

(9) 环氧化橡胶的制备及其应用研究进展

橡胶的环氧化改性是橡胶改性中最简单、易操作的方法，几乎适用于所有的二烯弹性体，因此具有非常好的应用前景。在橡胶分子链上引入环氧基团可以赋予橡胶诸多优异的性能，如改善其亲水性和耐油性等。环氧基团的存在还可以提高橡胶大分子链与高表面能纳米颗粒(如纳米二氧化硅 SiO₂、氧化石墨烯等)间的相互作用，提高纳米颗粒的分散性，克服传统橡胶与极性填料间分散不佳的问题。此外，环氧基团还可以作为反应活性点，进行进一步改性，获得多种功能的新型橡胶材料。

2.4 第二天然橡胶技术

(10) 蒲公英橡胶

2020 年度，本课题组对于蒲公英橡胶小试工艺参数进行优化，设计与制备小试关键提取装备，在此基础上放大至中试工艺路线，分别进行了 100 吨级工艺包设计，物料衡算研究、设备一览表的制定以及委托设计院进行 100 吨绿色、水基、高效、低成本蒲公英橡胶提取装置的工程化设计，包括：总平面图、施工说明以及公共工程等，完成 100 吨中试装置建设。

(11) 杜仲胶

由于分子规整易堆砌结晶，结晶熔点 60℃ 左右，因此赋予杜仲胶优异的低温可塑性和形状记忆特性。此外杜仲胶还具有优异的高抗冲击、耐磨、耐屈挠等特性。因此

可以利用杜仲胶的上述特点开发出完全适应于运动员个体的个性化可穿戴体育护具，将在体育运动防护领域，特别是在冰球、高山滑雪、高台跳雪等需要严密保护的冰雪运动，以及残疾运动员从事的冰雪运动中拥有广泛的应用。

3、弹性体复合材料节能制造

(12) 无 VOC 排放白炭黑偶联剂的合成与应用

围绕制备低 VOC 低滚阻高耐磨白炭黑/橡胶轮胎的目标，本年度重点开展了新型偶联剂的结构设计以及在“绿色轮胎”中的应用。采用酯交换反应制备了 6 种含有不同长碳链聚醚结构的偶联剂（M1-Si69~M6-Si69），通过接枝长链一方面减少了 VOC 气体（乙醇）排放，同时新型低 VOC 偶联剂含有的聚醚长碳链结构还促进了纳米二氧化硅在橡胶基体中分散，提升了纳米粒子与橡胶基体的相容性。

(13) 低填充高性能白炭黑/天然橡胶纳米复合材料节能制备

纳米填料在水介质中均匀纳米分散是液相复合技术的一大关键，决定了所制备的纳米复合材料的结构与性能。本研究通过浆液高速分散技术成功实现了炭黑的液相纳米分散，采用粒径分析仪和 Z 电位原理表征了纳米填料在水相介质中的纳米分散状态，考察了不同的炭黑处理工艺和炭黑固含量的影响规律。采用旋转黏度仪表征了炭黑在水相介质中的网络结构，并考察了不同炭黑固含量的网络结构的变化。本工作为下一步实现炭黑与胶乳液相复合提供了稳定均一的纳米分散炭黑浆液。并过通过高速射流技术制备高分散、低生热炭黑的液相纳米分散技术，以及改进的喷雾干燥技术制备出高性能橡胶纳米复合材料。

二、成果转化与行业贡献

1. 总体情况（总体介绍当年工程技术成果转移转化情况及其对行业、区域发展的贡献度和影响力，不超过 1000 字）

工程中心非常注重产学研合作，以及成果的转移转化工作，超越其他高校或者科研院所以专利或者技术秘密点对点一次性转化的传统模式，形成和行业内有力的企业成立联合研发中心的新模式，工程中心的老师及研究生下沉企业、企业的技术骨干进入工程中心，双方紧密合作、联合科研攻关、同心协力，因此成果转化效果更好。具体有三种成果转化方式：

1) **历史传承/紧密合作/企业内攻关企业内转化。**最著名也最具显示度的案例就是 2002 年依托北京化工大学 TPV 技术成立的山东道恩高分子材料股份有限公司和双方一起建立的道恩-北化联合研发中心。2013 年工程中心批复之后，道恩-北化联合研发中心也纳入工程中心的日常管理，针对企业发展中遇到的各种技术问题联合攻关，成果实时就地转化。此外，遇到国外卡脖子技术以及国防军工和国计民生的重大需求，及时牵头成立研发团队依托国家或者地方重大或者重点研发项目，进行联合攻关，所取得科研成果也及时得到转化，形成了你中有我，我中有你，合作共赢的良好发展局面。2020 年道恩公司收入 45 亿，纳税 3.8 亿，新增就业 260 人，其中不乏工程中心培养出来的研究生。企业的发展对于地方的经济以及解决地方就业做出重大贡献。而对我国 TPV 行业来说，很多成果打破了国外垄断，填补了国内空白。

2) **创新技术的逐步完善再创新。**这类转化具有使原有技术完善再创新的特点。

比如依托于工程中心开发的“多阶螺杆连续脱硫绿色制备再生橡胶成套技术”成立南京绿金人橡塑高科有限公司。由于使用创新技术，在适应市场化的过程中，需要逐步完善再创新，并实现产品系列化开发，满足不同客户群的需求。在 2020 年 3 月，该技术装备与杭州中策橡胶集团再次签订 3 条多阶螺杆连续脱硫制备再生橡胶工艺生产线的设备销售合同，销售额 2300 万元，实现中策橡胶了年产 2.5 万吨再生橡胶示范生产线的建设，为轮胎行业自建废轮胎橡胶循环体系和践行生产者责任延伸制提供了示范。2020 年度还分别与中策橡胶签订了 LJR-300H 生产线，其产品应用于轮胎领域；于中远沥青签订了 2 条 LJR-2000R 生产线，其产品应用与改性沥青领域。

3) 当年新增转移转化技术。这类转化技术具有不太稳定和成熟的特点。比如依托中心开发的“高性能超聚态天然橡胶产业化关键技术和装备”成立的西双版纳圣百润橡胶新材料研究院有限公司。工程中心转移转让了两专利技术(2020 年批准变更)。专利号分别为 201710165302.8；201710026495.9，针对高性能天然橡胶、天然橡胶纳米/白炭黑复合母胶和天然橡胶纳米复合材料进行开发。新增转化技术尚需进一步完善成熟，以满足市场的需求。。

工程中心技术转移转化的模式也在逐步摸索和完善当中，目前基本实现工程技术的转移、完善、再创新，最终形成企业内攻关企业内转化的紧密合作模式，为属地的经济发展和就业做出重大贡献，为行业的创新发展提供源源动力。

2. 工程化案例（当年新增典型案例，主要内容包括：技术成果名称、关键技术及水平；技术成果工程化、产业化、技术转移/转化模式和过程；成果转化的经济效益以及对行业技术发展和竞争能力提升作用）

1、节能弹性体材料

1.1 热塑性弹性体材料工程化

热塑性硫化胶（Thermoplastic Vulcanizates, TPV）是采用动态全硫化法制得的共混型热塑性弹性体。在高温和高剪切应力作用下，橡胶相在交联的同时被剪切成大量微米级颗粒（粒径一般在 0.2-2 μm 左右），均匀分散在塑料相基体中（如图 1-1 所示），形成独特的“海-岛”微观相态结构，赋予 TPV 既具有接近硫化橡胶的弹性，又可以像热塑性塑料一样加工成型的特性。

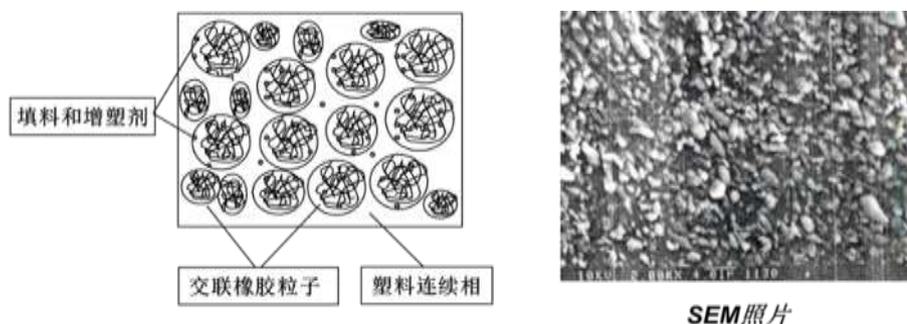


图 1 TPV 微观相态图

目前市场上 TPV 的主要类型是 EPDM/PP TPV，近年来，随着 TPV 的快速发展及应用范围的不断扩大，陆续出现了一些新型高性能 TPV。这类 TPV 主要有耐油耐温、可生物降解、高阻隔等类型。

(1) 生物降解 TPV

化石资源日益匮乏，且不可再生，通过生物基原料来制备全生物基 TPV 材料，满足可持续性发展的要求。另外，二氧化碳导致的温室效应已经严重危害到地球。化石资源的炼制产生大量的二氧化碳，而生物基原料是从植物发酵得到的，植物的生长周期中会吸收大量二氧化碳，有利于缓解温室效应。生物基 TPV 中的塑料相和橡胶相多选自于生物基材料，最常见的备选对象即生物基塑料聚乳酸（PLA）。聚乳酸（PLA）是一种利用乳酸或其二聚体丙交酯为原料聚合得到的热塑性脂肪族聚酯。由于乳酸单体可通过玉米或甘蔗等农产品经过发酵合成，因此 PLA 原料来源丰富并可再生。此外，PLA 具有良好的生物相容性和生物降解性的同时，还具有强度和模量高、透明性好、易于加工等优点，被认为是一种非常有前途并可取代传统石油基聚合物的生物基聚合物材料。因此，在生物基 TPV 领域，PLA 是充当生物基 TPV 产品中塑料相的最佳选择，见图 2。

北京化工大学对生物基 TPV 研究较早，取得了一系列的研究成果，并申请了专利，该发明的生物基热塑性弹性体拉伸强度 5MPa-25 MPa，断裂伸长率 100%-400%，压缩永久变形 55%-75%，邵氏硬度 70-98A，并且具有可降解性、无毒。北京化工大学高宇制备了生物基聚酯弹性体（PBBSI）/PLA 生物基 TPV，并将制备的全生物基 TPV 材料进行了 3D 打印的探索研究，发现材料的粘结性较好，打印后的表面平整光滑，拓宽了生物基 TPV 应用领域。



图 2 生物基 TPV 的制备

生物基 TPV 是随着环境保护意识的逐渐增强以及石油资源危机的日益凸显，而逐步收到人们的重视。目前北京化工大学正在积极开发可降解鼻托和耳带料用于口罩产品。“十四五”生物基 TPV 的发展目标是科研机构与企业形成“产学研”联盟，建

立“千吨级”生产线，形成产业化规模，部分替代传统的热塑性硫化胶，减少对石油等不可再生资源的依赖，形成自主技术。



图3 双螺杆挤出机及 ACM/TPV 的相态结构

(2) 耐油耐温丙烯酸酯 TPV

丙烯酸酯橡胶（简称 ACM）是以丙烯酸酯为主单体经共聚而得的弹性体，其主链为饱和碳链，侧基为极性酯基。由于特殊结构赋予其许多优异的特点，可在 150—180℃ 下长期使用，仅次于氟橡胶和硅橡胶（230℃），优于丁腈橡胶（120℃），ACM 的共聚按照其单体结构可分为主单体和硫化点单体。ACM 类 TPV 是一种具有优异耐热性和耐油性热塑性弹性体，其同热塑性树脂一样，可用于整体成型（双色成型或嵌入成型），从而可用作汽车部件或工业部件。作为交联橡胶的替代品，被广泛应用于空气管道，密封件和其他汽车部件。其中 ACM 与 PA6 制备的 TPV，力学性能优异，并且在 ASTM 的 3 号标准油中的溶胀率小于 7%（150℃×72h）。该产品可以在 150℃ 下长时间使用，短时间耐热达 175℃ 以上。

北京化工大学通过自主设计制造了可在线取料的双螺杆挤出机，具有高长径比（52）、直径 45mm、高转速（最大 1200rpm）、小间隙（≤0.2mm）、温度精度 ±0.5℃、螺纹元件自行组合能力强等特点。已经成功开发出相态精细、性能优异的 ACM/PA6、ACM/TPEE 等系列耐油 ACM TPV，在国内尚属首家。

2、弹性体资源化

2.1 废橡胶材料低污染资源化利用技术

目前，我国的废橡胶综合利用仍将以制备再生橡胶为主，此外重点突破精细胶粉的大消纳比的下游高值化再利用技术。其中，制备再生橡胶技术设备在前期研发的 LJR-5000Y 多阶螺杆连续制备再生橡胶基础上，进一步向节能、环保、高效和智能化取得了较大进展；胶粉的下游应用技术，研发了废胶粉连续制备流体橡胶技术装备，流体橡胶产品可应用于轮胎、道路沥青、防水卷材等领域。

(3) 多阶螺杆连续脱硫绿色制备再生橡胶的应用推广

北京化工大学针对废橡胶再利用技术装备的应用推广，对外投资成立的学科性—南京绿金人橡塑高科有限公司，专业从事废旧橡胶绿色高值化循环再利用技术研发、专用设备制造和技术服务的国家级高新技术企业。在 2020 年度，多阶螺杆连续脱硫

制备再生橡胶技术装备，在原有 LJR-5000Y 设备的基础上，在环保、能耗、自动化上进一步优化，废气排放量进一步降低 20% 以上，且达到基本无感官异味；吨能耗进一步降低 20% 左右，实现年均吨能耗 700 度/吨；自动化控制方案进一步提升，降低了用工数量，可实现一人操作 4 条生产线；此外，实现了连续制备片状再生橡胶，下游客户应用时可实现连续上料，进一步降低了劳动强度。在 2020 年 3 月，该技术装备与杭州中策橡胶集团再次签订 3 条生产线的设备销售合同，实现中策橡胶了年产 2.5 万吨再生橡胶示范生产线的建设，为轮胎行业自建废轮胎橡胶循环体系和践行生产者责任延伸制提供了示范，见图 4。

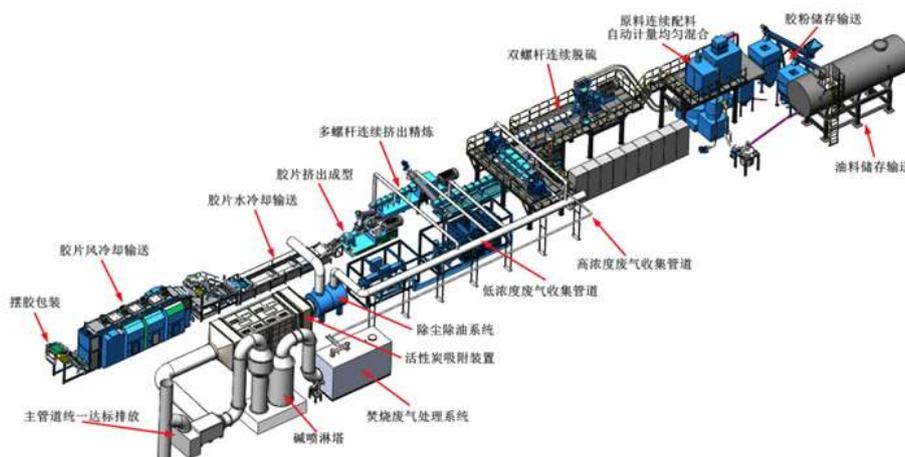


图 4 多阶螺杆连续脱硫制备再生橡胶工艺流程图

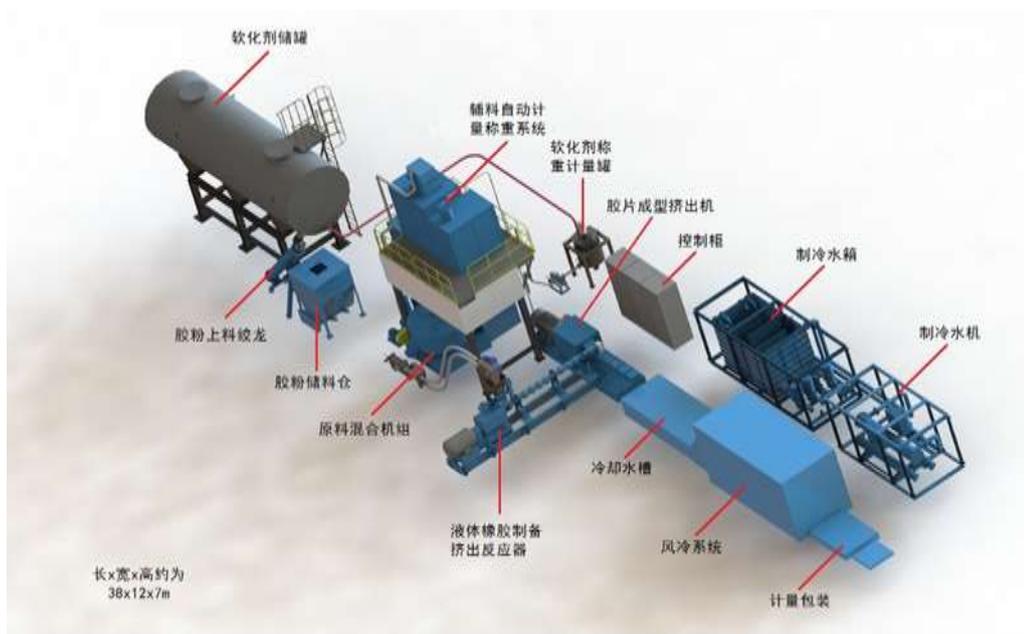


图 5 LJR-300H 型废胶粉连续制备流体橡胶技术装备工艺流程图

(4) 废胶粉连续挤出制备流体橡胶及其在轮胎和道路沥青中的应用推广

通过对废乘用车胎“中度裂解”机理的建立，并结合对废胶粉摩擦传递、复杂传热、渗透传质过程的研究，自主设计制造年产 3000 吨级废胶粉制备流体橡胶的专用成套装备，行业内首次连续制备得到流体橡胶，其溶胶含量高，溶胶分子量适中，黏度低，加工性能好；与橡胶结构相似，二者相容性好；具有可再交联的特性；炭黑仍具补强作用，可广泛应用于轮胎、道路沥青和防水卷材领域。2020 年度，该技术装备分别于中策橡胶签订了 LJR-300H 生产线，其产品应用于轮胎领域；于中远沥青签订了 2 条 LJR-2000R 生产线，其产品应用与改性沥青领域，见图 5。

2.2 生物基工程弹性体技术

(5) 生物基衣康酸酯弹性体

生物基衣康酸酯弹性体是基于衣康酸酯、二烯烃（异戊二烯或丁二烯）及少量官能化单体（甲基丙烯酸缩水甘油酯），通过乳液聚合制备的新型弹性体材料，突破了传统石油基合成橡胶分子设计与制备的格局，首创基于生物质单体合成生物基弹性体的新思路，具有完全的自主知识产权，系我国原创新胶种，见图 6。



图 6 生物基衣康酸酯橡胶制备路线

本年度围绕生物基衣康酸酯橡胶的应用开展，主要包含以下内容，包括低凝胶含量的衣康酸酯橡胶的优化，絮凝干燥参数的确定以及衣康酸酯橡胶与丁苯橡胶的性能对比。

1) 目前衣康酸酯弹性体目前仍存在凝胶含量高（大于 30%，环氧化的大于 80%），凝胶含量过橡胶的加工、品质影响很大，不利于商业化推广。本年度研究了衣康酸酯弹性体及环氧化衣康酸酯弹性体的合成反应机理及优化反应条件，从不同的聚合反应温度、聚合反应时间、叔十二硫醇用量及加入的时间节点，控制生胶的凝胶含量及门尼粘度，得到质量稳定的衣康酸酯橡胶。

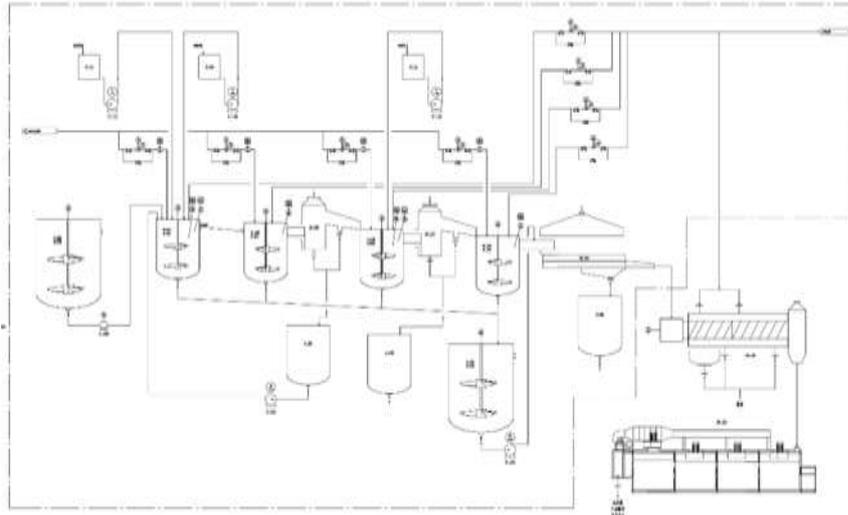


图 7 生物基衣康酸酯橡胶絮凝干燥线设计

2) 衣康酸酯橡胶作为一类新型的生物基合成橡胶，是衣康酸二丁酯与丁二烯两种单体经乳液聚合而形成的共聚物。所得到的衣康酸酯胶乳是衣康酸酯橡胶粒子在乳化剂作用下与水形成的水包油型稳定的分散体系，需要进一步凝聚、干燥才能得到衣康酸酯橡胶。考虑到成本、安全性以及生胶性能，选择高分子絮凝剂、硫酸的无盐体系作为衣康酸酯橡胶的絮凝体系，经过一系列探索，确定了合适的工艺参数，并引入少量的隔离剂十二烷基磺酸钠得到了底液澄清、粒径均一的胶粒，为生物基衣康酸酯橡胶絮凝干燥线的设计提供了参数，见图 7。

3) 基于轮胎工程应用方面，我们选择市售 SSBR 与其进行全方面对比。研究发现，使用白炭黑作为纳米填料增强环氧化衣康酸酯橡胶，其填料分散性、滚动阻力均优于 SSBR2466，且无需采用硅烷偶联剂，简化了复合材料制备过程，对环氧衣康酸酯橡胶进行合适的结构设计，对制备低滚阻绿色轮胎的制备具有很大的意义，见图 8。

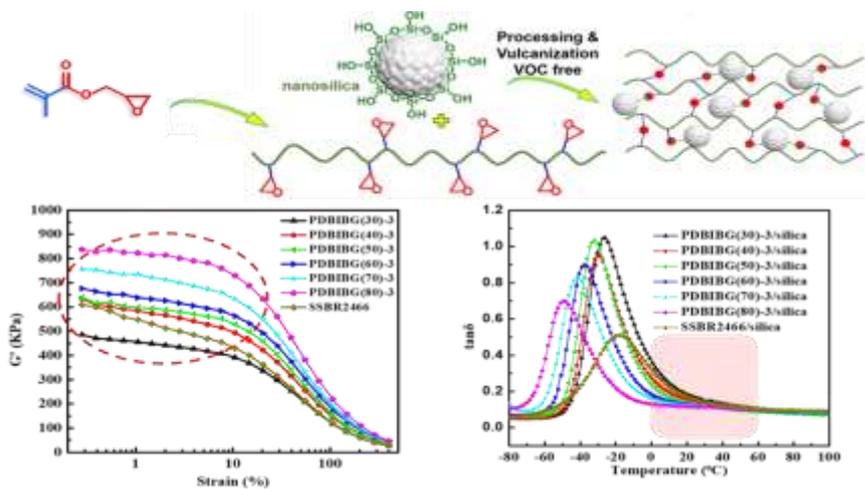


图 8 环氧化衣康酸酯橡胶与白炭黑作用机理及与 SSBR 性能对比

(6) 生物基聚酯弹性体 2020 年度总结报告

在本年度工作中，我们对生物基聚酯弹性体的合成、表征、应用以及工业化推广各方面进行了广泛的探究和实践，取得了丰硕的成果。生物基聚酯弹性体，顾名思义，是以大宗生物基单体为原料，如丁二酸、癸二酸、衣康酸、1,3-丙二醇、1,4-丁二醇，通过缩合聚合而成的高分子化合物。由于生物基聚酯弹性体的单体来源于生物质资源，对化石能源依赖较少，可以有效的缓解能源危机和环境污染问题，这也是生物基聚合物的一个显著的优势；除此以外，生物基聚酯弹性体还具有优异的降解性能，遗弃之后可以在自然条件下降解为水和二氧化碳，不会对环境造成污染和危害，具有巨大的应用潜力和空间。为此，本年度总结报告将对生物基聚酯弹性体的合成及表征、应用以及工业化来进行总结归纳，具体可以分为生物基聚酯弹性体中试、生物基聚酯弹性体/炭黑复合材料的应用、新型生物基聚酯弹性体的合成、生物基可降解口香糖的制备以及生物基聚酯弹性体的降解性能探究五个部分，详情见报告正文部分。

1) 生物基聚酯弹性体的工业化

在这部分工作中，我们旨在实现聚酯弹性体的分子量达到 8w 以上，并且期望实现连续化工业生产。在这个目标的指导下，我们在本年度经历了实验室合成、80L/300L 反应釜的中试，最后到千吨级连续化生产线的构建。

通过与企业进行合作研发，本年度 80L 反应釜合成的生物基聚酯弹性体的分子量已经达到了 8w，满足了我们的预期目标（GPC 曲线见 PPT 图 2.1），同时，对不同批次生产的生物基聚酯弹性体进行特性粘度的检测，我们发现，生物基聚酯弹性体的特性粘度最高可达 1.9dL/g。生物基聚酯弹性体的其他物性参数见下表所示。

表 1. 生物基聚酯弹性体中试产品物性表

种类	外观	密度 g/cm ³	特性粘度 dL/g
PIA 系列	淡黄色至金黄色	1.10-1.20	1.300-1.500
PBe 系列	暗黄色	1.10-1.25	1.300-1.900
PEPBSS	淡黄色	1.05-1.19	1.200-1.500

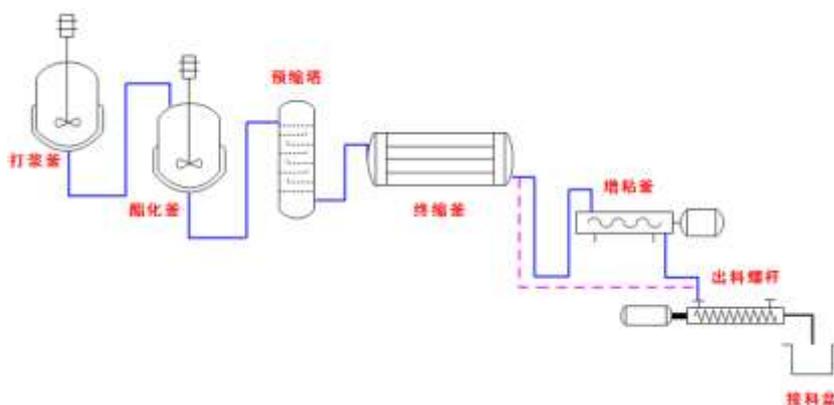


图 8 千吨级试验装置流程简图

在本年度，我们进行了生物基共聚酯弹性体的首次千吨级连续化生产试验。下图即为本次连续化试验用装置简图，见图 8。

据图可知，该套试验装置主要由 6 大部分组成，即：打浆釜、酯化釜、预缩塔、终缩釜、增粘釜和出料螺杆（接料盆不计）。

众所周知，连续化生产和间歇式生产是大不相同的。虽然当前，我们已经积累了大量间歇式生产的经验与教训，但针对连续化生产可能出现的问题我们只能给出有限的预判并根据问题给出一定的预案。以下我们将对本次试验的进展与所遇的问题进行一个介绍：

1) 酯化段，在制备酯化母液时，试验进展顺利，酯化物酯化率达 95%左右。但在初次打通酯化段连续化工艺的过程中，建立酯化段物料平衡期间，酯化物的酯化率迅速下降至 85%左右。当前，此时酯化率的下降是合理且可以预期的，但其长期无法回复至 94%~95%是异常的。其后，通过工艺优化，我们调整了酯化段温度、压力等相关参数，最后顺利地再次建立了酯化段的物料平衡，真正意义上的打通了酯化段的连续化工艺，且酯化率可达 94%~95%。

2) 增粘釜工作异常，物料于其中凝胶。在试验初期，由于增粘釜内仍有一定的聚酯塑料残料，为了保证增粘釜的使用，我们在建立酯化段平衡的同时，对增粘釜的残料进行了热解处理，热解温度 260~270℃。当然，将物料输入增粘釜之前，增粘釜内残料已经排尽，并结合氮气吹通。当在将物料输入增粘釜（平推流）时，由于局部管道残温过高（250~260℃），物料在输送过程中形成了一定的凝胶。其后，形成的凝胶导致增粘釜工作异常，且因为局部物料停滞时间过长，凝胶积累，堵塞管道。有鉴于此，其后增粘釜均未参与工作（停车后，排出凝胶残料）。

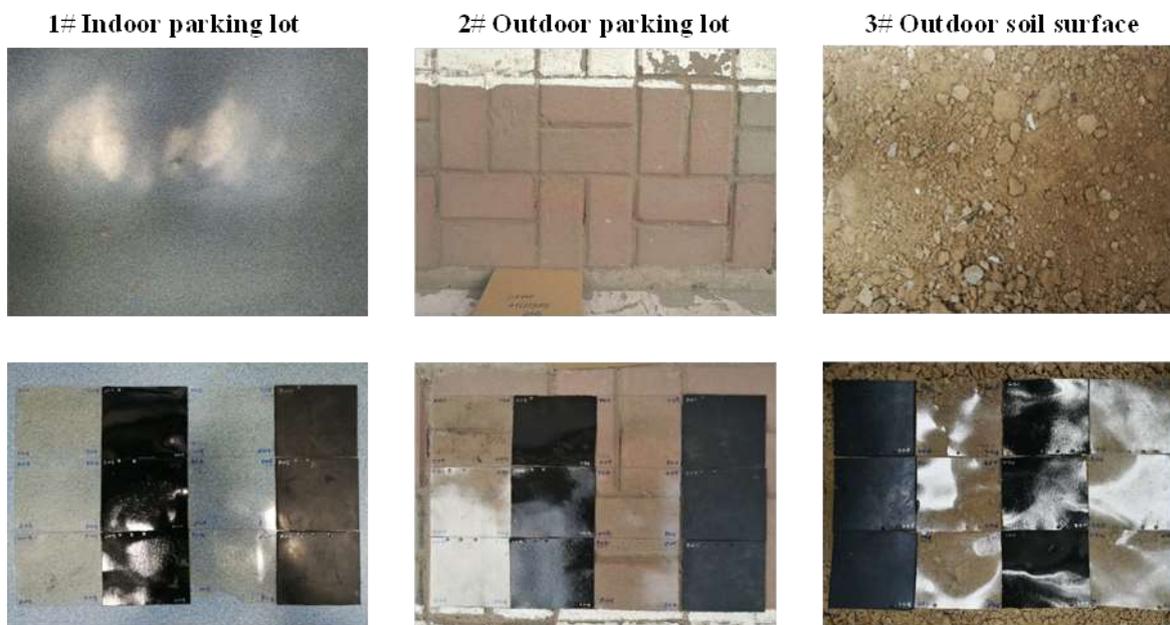


图 9. 常态环境及样品状态。

3) 生物基聚酯弹性体轮胎胎面胶的制备

将生物基聚酯弹性体用于胎面胶，用以制备生物基可降解轮胎材料，一直以来是我们的一个重要目标，为此，在实现了生物基聚酯弹性体中试生产后，我们将现有的生物基聚酯弹性体和炭黑/白炭黑进行复合，制备生物基聚酯弹性体/炭黑、生物基聚酯弹性体/白炭黑复合材料。通过测试，生物基聚酯弹性体复合材料的拉伸强度在18MPa 以上（见图 9），复合轮胎胎面胶的使用要求。除此以外，我们还测试了生物基聚酯弹性体复合材料的常态稳定性，发现，在常态下放置 1 个月，生物基聚酯弹性体/白炭黑、生物基聚酯弹性体/炭黑复合材料形态良好，质量变化极小，可忽略（见图 10）。



图 10. 放置 1 月后，样品状态

为了进一步验证生物基聚酯弹性体复合材料的常态稳定性，我们在接下来的工作中会继续测试样品常态稳定性，继续推进生物基聚酯弹性体复合材料的应。

(7) 生物基医用弹性体

1) 生物医用弹性体材料

在生物医用弹性体材料制备与加工等方面，开展了介电弹性体材料的前沿基础研究。通过分子设计结合掺杂改性制备了一种新的介电弹性体材料聚磷腈，具有无机材料的耐击穿性能和有机材料的柔性，具有目前最好的综合介电性能，且具有良好的生物相容性，基于该材料，制备了全柔性的人工心脏，具有和天然心脏几乎相同的工作状态和特性，拓展了介电弹性体材料的新的应用方向，有望日后用于治疗心衰患者。

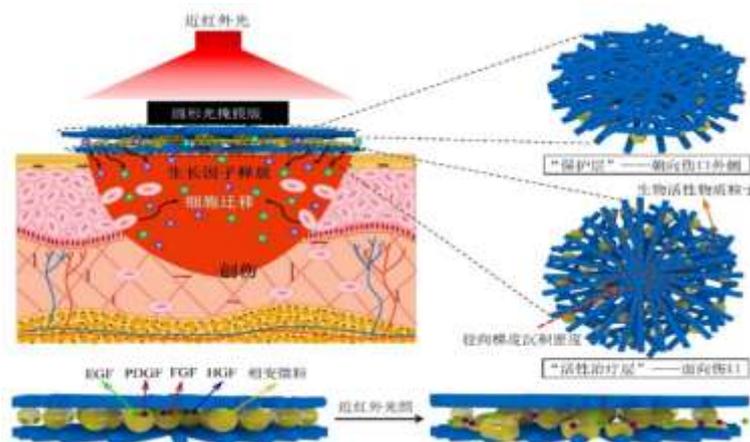


图 11 可程序设计的光热作用下多功能纤维支架用于皮肤创面修复

2) 组织工程修复支架

针对周围神经损伤的修复，通过静电纺丝技术，制备了单轴取向纤维作为拓扑结构因子，梯度密度增加的活性纳米粒子作为趋向性因子，并结合活性粒子中生长因子的可控释放，促进轴突的伸展及细胞迁移，并用于修复大鼠坐骨神经损伤的修复，研究了多层次多尺度多材质的神经导管的构筑与构效关系及其对神经修复的促进机制。针对皮肤创伤修复中的细菌感染及修复效果低等难题，见图 11。

利用相变材料作为无机载药纳米管的门控材料，并与水凝胶材料复合，制备了光热触发可控药物释放的复合凝胶材料，有效抑制细菌感染并促进感染后创面的愈合。在多层次有序静电纺丝纤维膜之间沉积含有光热剂吡啶菁绿与重组人血小板衍生生长因子的相变微粒，在可调尺寸与形状的光掩模板的作用下，采用近红外光热触发支架上不同位置处特定的生长因子定时释放，促进细胞的粘附增殖与迁移，加快了创面修复。利用酶响应的基团将药物接枝到纤维支架和钛支架表面，实现了炎症响应性的酶触发药物释放。

3) 人工颈椎间盘

基于 CT 影像建模、有限元分析，建立了新型人工颈椎间盘结构设计平台，进行了系列的动、静态测试；并进一步设计了新型的组合式结构，进行了纤维缠绕、包膜、焊接、抛光等多方面的工艺探索与结构优化，初步解决了分体式结构的系列核心工艺问题，研究并基本解决了组合式人工间盘制备过程中的关键问题，见图 12。

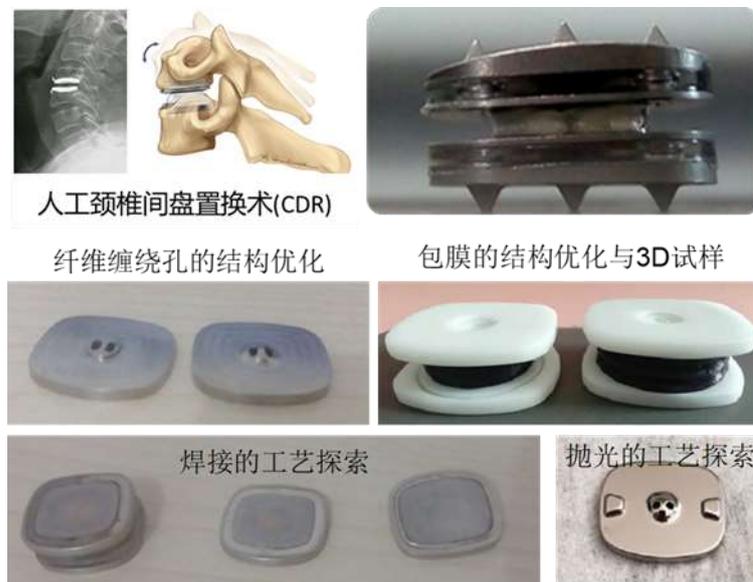


图 12 新型人工颈椎间盘及组合式结构的工艺设计探索

4) 无创伤口闭合器

针对目前临床上使用的针线缝合等手术切口闭合方式造成的，设计了一次性无创皮肤缝合器，采用注塑工艺得到具备切口隔离和动态加压功能的器件：主结构为抽拉缩合结构，操作简便，可缩短医护人员对伤口的缝合时间；辅结构为螺纹微调结构，

相比锁扣调节结构，更易实现伤口缝合度的调节，同时也能实现伤口的精准缝合。

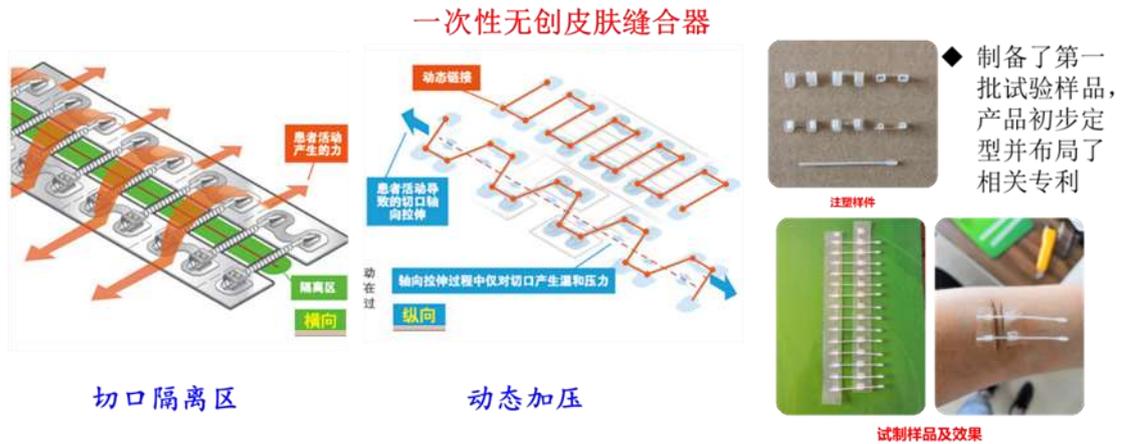


图 13 一次性无创皮肤缝合器的设计探索及试制样品

2.3 天然橡胶高性能化及改性技术

(8) 环保型高性能天然橡胶产业化

针对天然橡胶传统生产工艺存在自动化水平低、环境污染严重，以及产品一致性差、性能差等问题。与进口胶相比，力学性能指标普遍低于进口天然橡胶，只能满足于中低端大众化普通橡胶制品的要求。国防军工橡胶产品、航空轮胎、高端汽车轮胎等高端橡胶制品所用高性能天然橡胶只能依赖进口。



图 14 鉴定证书及鉴定意见

在此背景下，先进弹性体研究中心团队与西双版纳圣百润橡胶新材料研究院有限公司合作共同开发了“高性能超聚态天然橡胶产业化关键技术和装备”，并在 2020 年 11 月 29 日通过了中国石油和化学工业联合会的技术鉴定，鉴定结果为“该技术达到了国际先进水平，部分指标处于国际领先水平，引领力国际天然橡胶加工技术的发展方向”，见图 14 鉴定证书及意见。



图 15 高性能超聚态橡胶材料现场制备图

高性能超聚态天然橡胶生产技术彻底解决了传统工艺的环境污染问题，在生产过程中不产生任何废气、废水及废物排放。消除了传统工艺酸絮凝、剪切挤压脱水、锤磨造粒、高温干燥对天然橡胶的破坏，保持了天然橡胶超分子网络结构的完整性，提高了天然橡胶的性能和品质，整体性能达到进口 3 号烟片胶的水平，见图 15。

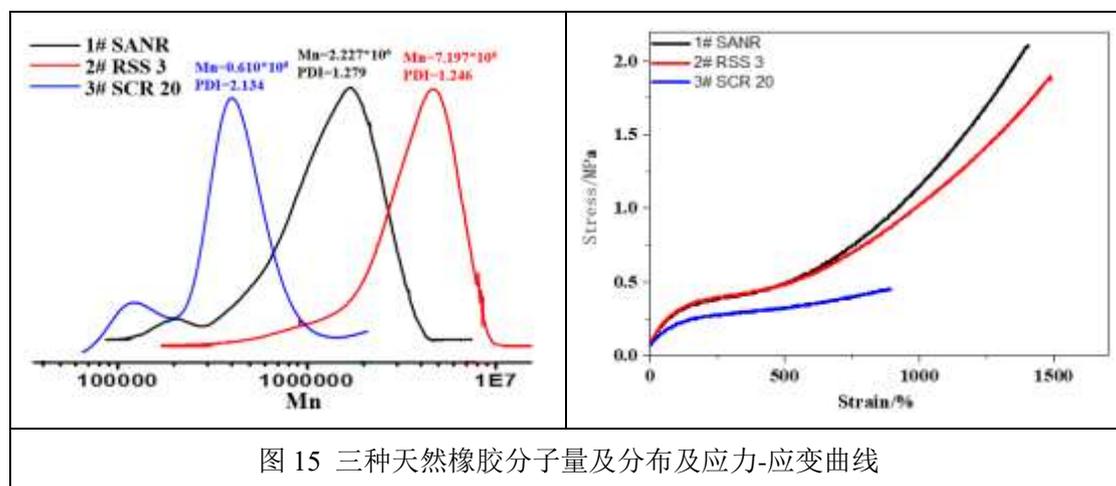


图 15 三种天然橡胶分子量及分布及应力-应变曲线

在该项技术和装备基础上进一步开发了高性能超聚态预硫化胶及超聚态天然橡胶纳米复合材料。

预硫化胶是在胶乳中完成天然橡胶与活化剂、防老剂及硫化剂等各类小料的混炼，最后通过高频无剪切干燥工艺烘干得到的产品。由于本项目技术的特殊性，干燥后的胶料是非常薄的胶膜，可以随意缠绕成型，直接硫化得到产品，保持了天然橡胶

的原始网络结构，具有更优异的力学性能。见表 2。

表 2 超聚态预硫化胶与泰国 3 号烟片胶硫化胶力学性能对比

样品名称	超聚态天然橡胶			泰国 3 号烟片胶		
	硫化条件 140℃	20min	30min	40min	20min	30min
扯断伸长率, %	743	739	789	828	819	844
拉伸强度, MPa	23.6	22.1	25.5	19.8	20.8	21.6

该产品已实现在矿山用高耐磨胶管、球磨机衬板、振动筛网、胶管阀门等应用，与国内相关产品对比使用寿命提高 4 倍以上，是国外进口产品寿命的 2 倍，见图 16。

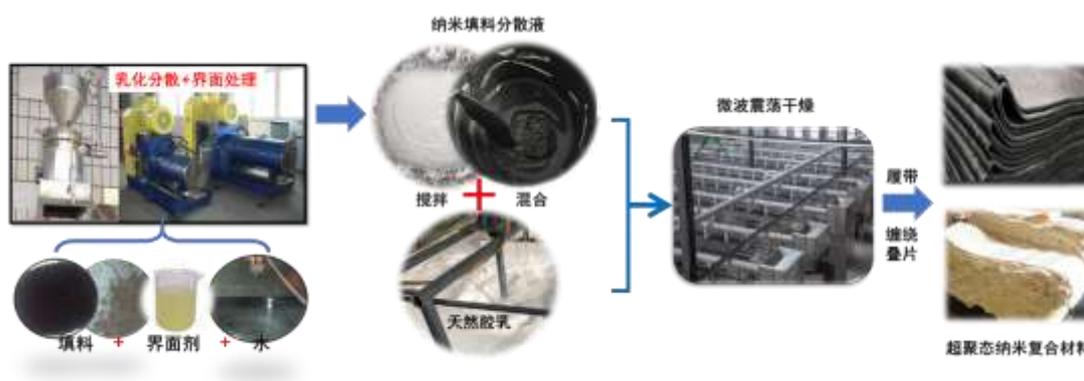


图 16 高性能超聚态橡胶纳米复合材料制备流程图

(9) 环氧化橡胶的制备及其应用研究进展

橡胶的环氧化改性是橡胶改性中最简单、易操作的方法，几乎适用于所有的二烯弹性体，因此具有非常好的应用前景。在橡胶分子链上引入环氧基团可以赋予橡胶诸多优异的性能，如改善其亲水性和耐油性等。环氧基团的存在还可以提高橡胶大分子链与高表面能纳米颗粒(如纳米二氧化硅 SiO₂、氧化石墨烯等)间的相互作用，提高纳米颗粒的分散性，克服传统橡胶与极性填料间分散不佳的问题。此外，环氧基团还可以作为反应活性点，进行进一步改性，获得多种功能的新型橡胶材料。

1) 环氧化橡胶的制备研究进展

围绕环氧化天然橡胶(ENR)的生产及应用开展，主要包含以下内容，包括新型 ENR 絮凝工艺，新鲜胶乳和浓缩胶乳作为生产原料的性能对比。

a) 目前 ENR 的生产存在絮凝难度大、絮凝成本高等问题，导致 ENR 的生产成本居高不下，应用范围受限。团队首创用蒸汽来絮凝 ENR 胶乳，得到的 ENR 胶乳与用乙醇絮凝得到的胶乳性能相近，并且成本降低了近 70%，并且蒸汽絮凝有利于工业化高效生产，便于制备质量优异稳定的 ENR。

b) ENR 是利用天然胶乳作为原料，而天然胶乳分为新鲜胶乳以及经过离心浓缩后的稳定性较好的浓缩胶乳。新鲜胶乳虽然机械、化学稳定性较差，但是成本较低，有利于工业化生产。团队成功利用新鲜胶乳制备得到了 ENR，整个反应过程稳定安全，得到的 ENR 性能与浓乳制备 ENR 相当，减少了产品前处理流程，降低了成本，见图

17。

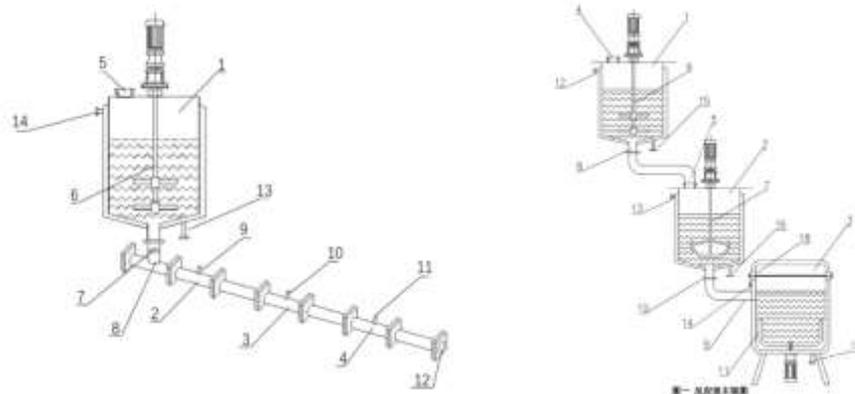


图 17 环氧化天然橡胶制备的生产装置设计

2) 环氧化橡胶在橡胶/白炭黑复合材料中的应用研究进展

目前“绿色轮胎”所用的橡胶/白炭黑复合材料在制备过程中以含硫硅烷偶联剂作为界面助剂，该过程会产生以醇类为代表的挥发性有机物(VOCs)，并会在高温作用下大量挥发。为解决橡胶纳米复合材料的低 VOCs 制备问题，团队提出以环氧化橡胶替代含硫硅烷偶联剂，利用环氧化橡胶中环氧基团与白炭黑表面的硅羟基之间反应，构建白炭黑-橡胶间的直接化学结合作用，实现白炭黑接枝及分散改性，从而能够有效地提高复合材料的动态性能及力学性能，同时完全避免橡胶/白炭黑复合材料制备中产生 VOCs 的问题，见图 18。

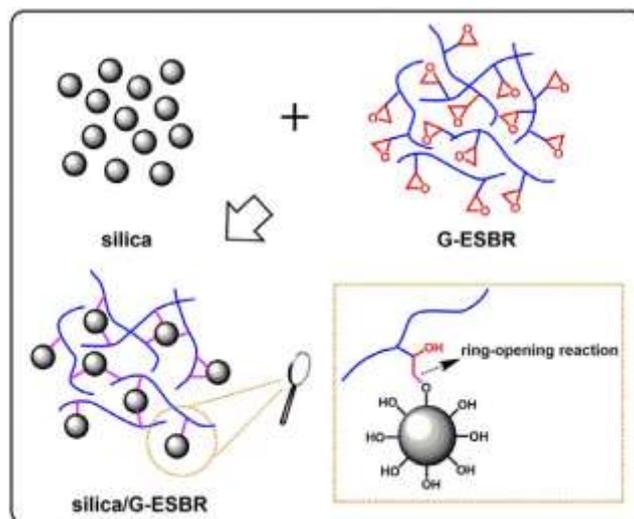


图 18 环氧化橡胶与白炭黑表面硅羟基的反应原理图

基于轮胎工程应用方面，团队选择市售溶聚丁苯橡胶(SSBR)与 ENR 进行全方面对比。研究发现，在轿车轮胎中使用 ENR 能够显著提高其力学性能、抗湿滑性能、耐磨性能等；相对 SSBR 而言，ENR 具有更优异的综合性能和加工性能，而且不需要偶联剂，减少了加工成本及 VOCs 排放；并且 ENR 作为一种绿色来源的橡胶能够完全替代

轿车胎中 SSBR 的使用，更符合可持续发展和绿色化需求。在提升了抗湿滑性和耐磨性的同时，对滚动阻力影响不大，是一种具有巨大潜力的绿色橡胶，对制备低滚阻绿色轮胎的制备具有重大意义

团队设计了包括在乳液聚合中引入甲基丙烯酸缩水甘油酯(GMA)单体制备环氧化乳聚丁苯橡胶(G-ESBR)以及在溶液中利用原位环氧化法制备环氧化溶聚丁苯橡胶(E-SSBR)两种方案。根据设计，环氧化丁苯橡胶可以通过环氧开环反应实现与白炭黑的接枝，在改善白炭黑分散性的同时，构建橡胶及白炭黑间的化学结合，使橡胶复合材料动、静态性能全面提升。从功能性上，环氧化丁苯橡胶既是橡胶基体也作为界面助剂而使用，能够完全替代含硫硅烷偶联剂这一传统界面助剂，在彻底避免 VOCs 产生的条件下，制备同样具有节油作用的橡胶纳米复合材料。另外值得关注的是，团队发现环氧化丁苯橡胶与白炭黑共混时，温度超过 60 °C，橡胶分子链上的环氧基团与白炭黑表面羟基间的反应即可进行，这意味着混炼温度在 60 °C 以上时白炭黑的偶联化反应即可实现，白炭黑分散性显著改善，其效果与加入含硫硅烷偶联剂的橡胶/白炭黑复合材料严格稳定在 150-160 °C 高温下混炼一段时间相当。环氧基团与硅羟基间环氧开环反应在温和条件下进行的特点使得用环氧化丁苯橡胶制备橡胶复合材料的过程中不再需要高温偶联化处理，仅需简单、温和的加工密炼过程便可完成橡胶纳米复合材料的制备，这既减少了材料制备过程能耗，又使材料加工便利性显著提高。

3) 在新型绿色交联体系中的应用研究进展

目前橡胶工业广泛使用的传统交联方法存在以下几个不可避免的问题：○1 交联体系中会使用有毒的物质；○2 交联反应过程会释放有毒且难闻的“硫化烟气”；○3 废弃的橡胶制品回收再利用十分困难，会带来严重的“黑色污染”。为了彻底解决橡胶传统交联方法存在的固有问题，我们提出了橡胶材料“绿色交联”的概念以及设计策略；即以环氧化橡胶中的环氧基团作为交联点，而以生物基的二羧酸作为绿色交联剂替代硫磺，构建新型绿色交联体系，见图 19。

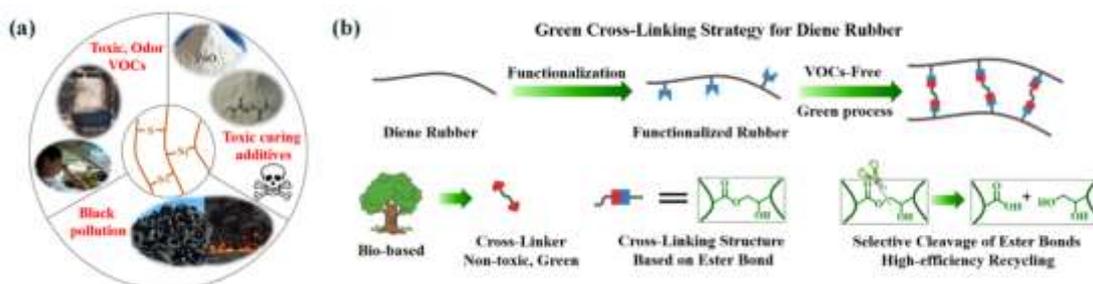


图 19. (a) 硫磺硫化体系存在的固有问题；(b) 新型绿色交联体系的设计策略

首先，团队通过绿色高效的原位环氧化改性法，成功地制备了环氧化三元乙丙橡胶(EPDM)。然后，以生物基癸二酸为交联剂，基于环氧化三元乙丙橡胶中的环氧基团与癸二酸中的羧基之间的反应，构建了含 β -羟基酯键的动态共价交联网络结构。生物基癸二酸交联的三元乙丙橡胶/炭黑复合材料具有优异的力学性能。此外，该共价交联体系避免了有毒的化学物质的使用，大大降低了硫化过程有毒且难闻 VOCs 的释放。由于 β -羟基酯键的存在，在酯交换催化剂和高温条件下，绿色交联三元乙丙橡胶复合

材料中的动态共价交联网络可以实现拓扑结构的重排，从而被赋予形状可塑性和再加工性能。经过 3 次重复加工后，复合材料的拉伸强度和断裂伸长率分别大于 15 MPa 和 200%，展现出良好的工业应用前景。

此外，基于环氧化乳聚丁苯橡胶(G-ESBR)中环氧基团与二羧酸中羧基之间的反应，构建“酯基”交联网络结构。因为链中的环氧基团具有较高反应活性，所以只需添加少量二羧酸作为交联剂（无需额外的添加剂），G-ESBR/CB 橡胶复合材料即可获得优异交联效率和交联速率。另外，该复合材料的机械性能可以通过控制二羧酸的类型和用量来灵活调节。随着二羧酸酸性的提高、二羧酸用量的增加或者环氧官能化程度的增加，橡胶的交联效率和交联密度等都呈现出显著地增加。最后，由于交联结构中酯基的存在，采用化学回收的方法，可以选择性地断开交联结构中的酯基，重新得到线性的橡胶分子链，达到废橡胶回收的目的。

2.4 第二天然橡胶技术

(10) 蒲公英橡胶

2020 年度，本课题组对于蒲公英橡胶小试工艺参数进行优化，设计与制备小试关键提取装备，在此基础上放大至中试工艺路线，分别进行了 100 吨级工艺包设计，物料衡算研究、设备一览表制定以及委托设计院进行 100 吨绿色、水基、高效、低成本蒲公英橡胶提取装置的工程化设计，包括：总平面图、施工说明以及公共工程等，完成 100 吨中试装置建设，工艺流程简图见图 20。



图 4-1 实验室级别的 TKS 提取工艺流程图

100 吨蒲公英橡胶中试装置的设计生产能力，年生产 7000 小时，以成品计为 15kg/h（24 小时连续运转）。本装置在原有小试试验性研究的基础上，以产业化为目标，设计了预处理单元、强水剪切单元、溶剂提纯单元、三釜凝聚单元和称量包装单元。整个系统集成多种技术，创新优化了生产工艺，并完善了相关产品的质量控制体系和相关标准。经过优化，溶剂法提胶的参数为：提取温度 50~60℃，提取时间

30 分钟，料液比 1:20，提取次数 3 次，所提取的橡胶纯度可达 97.4%，产率接近 97%，见图 21。

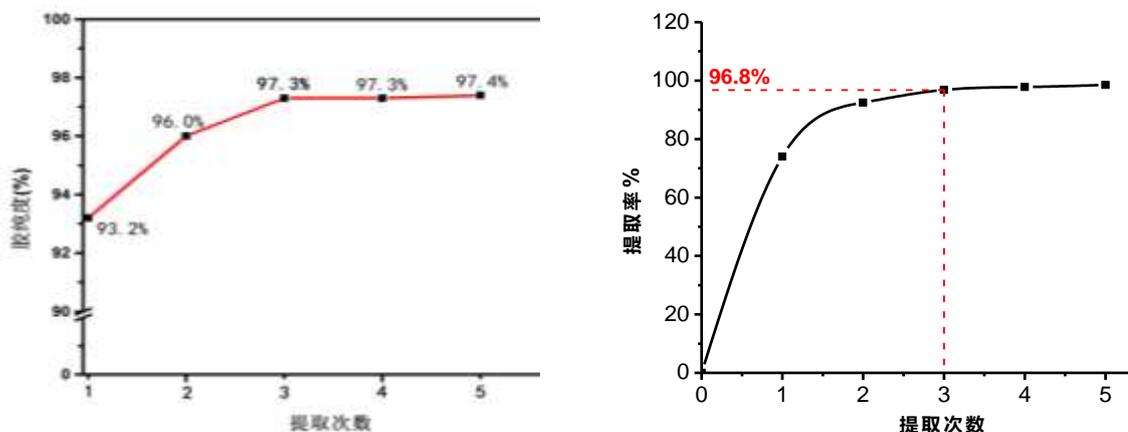


图 21 蒲公英橡胶纯度和提取率

将蒲公英橡胶与天然橡胶和合成异戊橡胶的性能进行对比，见图 22。我们可以看出 TKS 橡胶的数均分子量稍低于 NR 橡胶，而 IR 橡胶数均分子量则高于 NR 橡胶。在分子量的对比上，三者的差距不是很明显。力学性能分析发现 NR 纯胶的拉伸强度为 1.72MPa，TKS 纯胶的拉伸强度为 0.66MPa，而 IR 纯胶的拉伸强度 0.56MPa，断裂伸长率方面，NR 纯胶低于 TKS 和 IR 的纯胶。图中可以清晰的看出，TKS 纯胶和 IR 纯胶的应力应变曲线明显没有 NR 纯胶所具有的上扬趋势，说明 TKS 橡胶和 IR 橡胶不像 NR 橡胶那样有拉伸结晶现象，强度低于 NR 橡胶。总体来讲蒲公英橡胶的力学性能优于合成异戊橡胶，但是弱于天然橡胶，但是都满足工业化生产的要求。

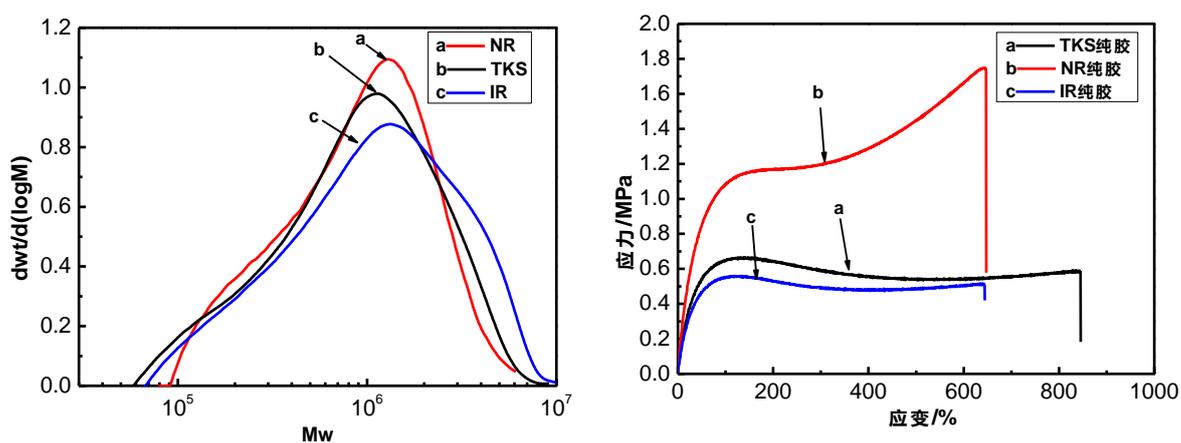


图 22 TKS 橡胶与 NR 橡胶、IR 橡胶的分子量和应力-应变曲线对比图

(11) 杜仲胶

2022 年我国将首次举办冬奥会，为了在家门口提高运动员的成绩，科技部特批“科技冬奥专项”，希望通过我国科研人员的努力，在比赛技术、运动器材及装备方面帮

助运动员提升成绩。由于分子规整易堆砌结晶，结晶熔点 60℃左右。因此赋予杜仲胶优异的低温可塑性和形状记忆特性。此外杜仲胶还具有优异的高抗冲击、耐磨、耐屈挠等特性。因此可以利用杜仲胶的上述特点开发出完全适应于运动员个体的个性化可穿戴体育护具，将在体育运动防护领域，特别是在冰球、高山滑雪、高台跳雪等需要严密保护的冰雪运动，以及残疾运动员从事的冰雪运动中拥有广泛的应用。工程中心孵化企业---山东贝隆新材料科技有限公司承担了《冬残奥运动员运动表现提升的关键技术，2018YFF0300600》项目运动护具护甲研制工作。2020 年工作如下：

1) 高山滑雪队个性化杜仲胶高抗冲击护甲

在 2020 年的基础上，通过多次下队调研，与教练及运动员多次沟通，并且与国内运动服装大公司，探路者公司进行了合作，目前已经制备出了适于残疾人运动员的改善滑雪护具，受到教练员和运动员的欢迎，见图 23。



图 23 高山滑雪护甲



图 24 高山滑雪下肢护具

2) 高山滑雪队-个性化护腿

考虑到高山滑雪运动员在比赛过程中，为了冲击好的比赛成绩，往往会贴近赛道旗杆，主动贴近并擦着旗杆快速滑行。鉴于旗杆是由聚丙烯材料制成，主动擦杆过程，

往往造成旗杆的反弹，而撞击到运动员的胸部、胳膊、和腿部，因此除了胸部护甲之外，在四肢部分也穿戴合适的护甲，可是运动员免受伤害，见图 24。

此外，项目组还做了护具防护效果调查问卷统计，结果表明，参与调查问卷的同一个志愿者的疼痛感，在佩戴和不佩戴护具的条件下存在明显差异，由此证实了运动护具在防护外界冲击上的重要性。佩戴杜仲胶足球护腿板时人体疼痛感的统计平均值为 2.5，说明此时疼痛感降低效率为 400%。

3) 个性化上肢残疾选手的拉手

针对国家残疾人单板队运动员在出门时需要残肢挂钩来提升出门速度，项目组进行了上肢残疾选手的拉手研制。为了使拉手能够与残肢完美结合且固定不脱落，项目组将可塑性具有形状记忆功能的杜仲胶与柔软高弹性的天然橡胶相结合，突破天然胶、杜仲胶共硫化分段一体成型技术，研制出个性化上肢残疾选手的拉手。该拉手残肢套能够根据不同人员残肢情况完美塑形，贴合完美，同时还能够配合运动员的体能测试，见图 25。



图 25 高山滑雪下肢护具

3、弹性体复合材料节能制造

(12) 无 VOC 排放白炭黑偶联剂的合成与应用

围绕制备低 VOC 低滚阻高耐磨白炭黑/橡胶轮胎的目标，本年度重点开展了新型偶联剂的结构设计以及在“绿色轮胎”中的应用。主要工作如下：

在本部分研究中，采用酯交换反应制备了 6 种含有不同长碳链聚醚结构的偶联剂（M1-Si69~M6-Si69），通过接枝长链一方面减少了 VOC 气体（乙醇）排放，同时新型低 VOC 偶联剂含有的聚醚长碳链结构还促进了纳米二氧化硅在橡胶基体中分散，提升了纳米粒子与橡胶基体的相容性。通过原位改性的方法，我们制备了一系列的含有新型低 VOC 偶联剂（M1-Si69~M6-Si69）与传统的硅烷偶联剂 Si69 的白炭黑/橡胶纳米复合材料，均匀的分散使得添加偶联剂 M2-Si69 的白炭黑/橡胶纳米复合材料表现出极低的滚动阻力和良好的抗湿滑性能，其与传统的偶联剂 Si69 相比可以节省 20% 以上能量损耗，减少 70% 左右的 VOC 气体排放。此外，研究发现，新型偶联剂在炭黑/天然胶体系中可以进一步提升轮胎的耐磨性能，降低轮胎的滚动阻力和生热性能。这为传统的炭黑体补强橡胶体系提供了一种新型的橡胶助剂。本部分工作我们已经开展了小试，并给玲珑、黑猫、中策、固特异等轮胎厂家寄送了样品，见图 26 和图 27。

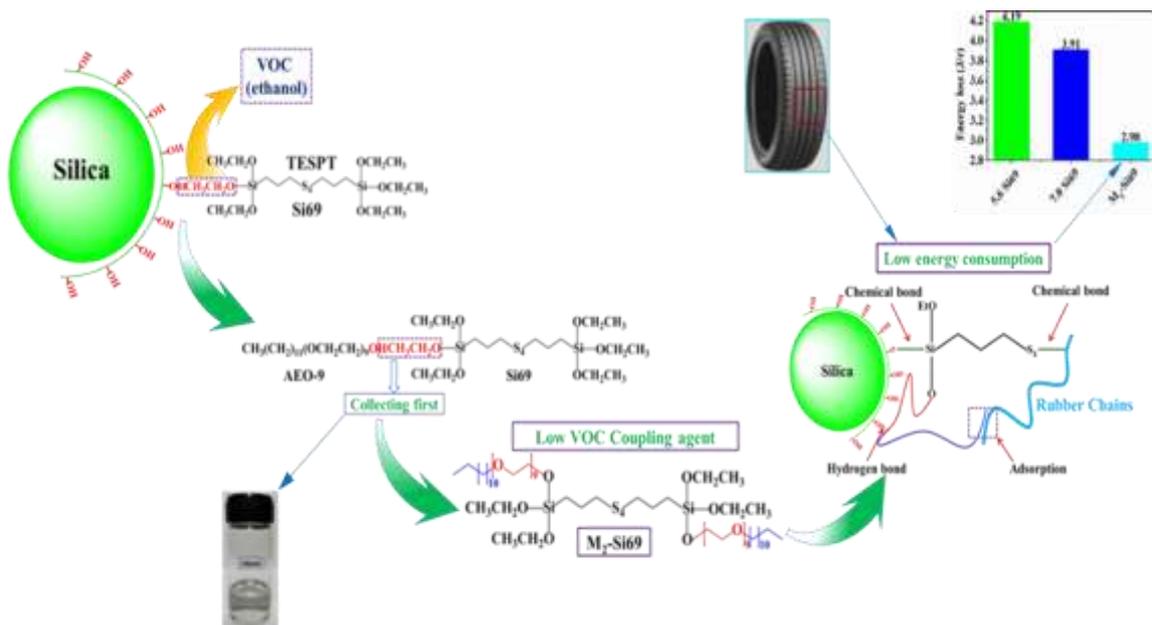


图 26. 新型偶联剂的结构设计以及应用性能表现



图 27. 新型偶联剂实验室小试

(13) 低填充高性能白炭黑/天然橡胶纳米复合材料节能制备

1) 通过浆液高速分散技术实现炭黑的液相纳米分散

纳米填料在水介质中均匀纳米分散是液相复合技术的一大关键，决定了所制备的纳米复合材料的结构与性能。本研究通过浆液高速分散技术成功实现了炭黑的液相纳米分散，采用粒径分析仪和 Z 电位原理表征了纳米填料在水相介质中的纳米分散状态，考察了不同的炭黑处理工艺和炭黑固含量的影响规律。采用旋转黏度仪表征了炭黑在水相介质中的网络结构，并考察了不同炭黑固含量的网络结构的变化。本工作为下一步实现炭黑与胶乳液相复合提供了稳定均一的纳米分散炭黑浆液，见图 28。

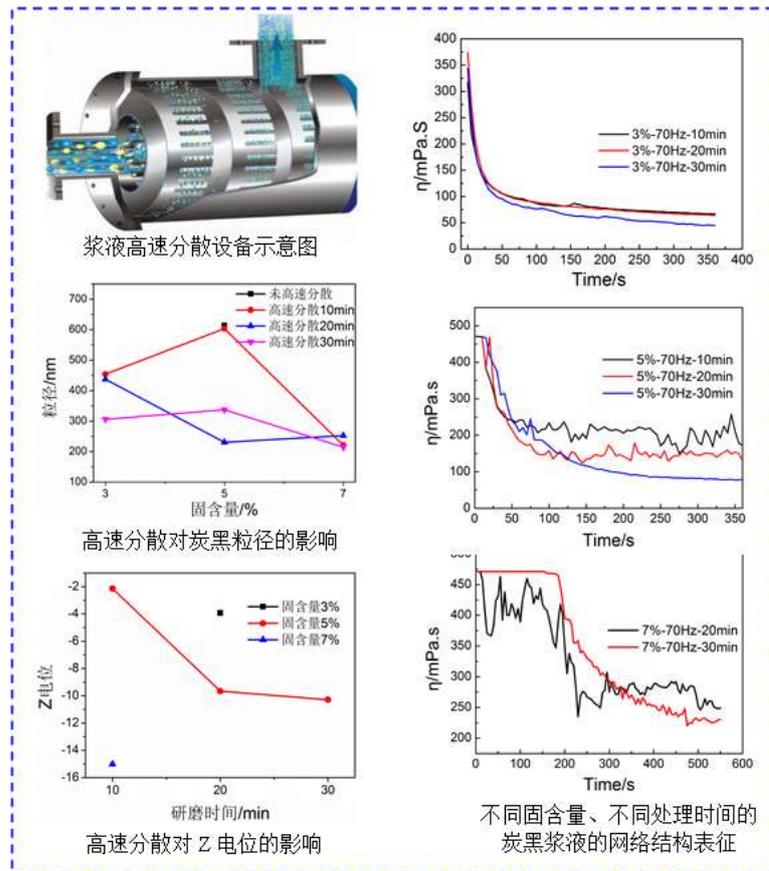


图 29 通过浆液高速分散技术实现炭黑的液相纳米分散

2) 通过高速射流技术制备高分散、低生热炭黑的液相纳米分散

通过高速射流技术实现炭黑浆液流速高达 100m/s，与天然橡胶胶乳高速对撞混合，实现炭黑水浆与天然橡胶胶乳瞬间凝固，且无损失，实现炭黑/天然橡胶纳米复合材料稳定制备。制备的炭黑/天然橡胶纳米复合材料中炭黑分散更均匀，网络结构更低，损耗更小，定伸应力低，断裂伸长率大，拉伸强度高，滚动阻力低，如图 30 所示。申请中国发明专利：202010137605.0。

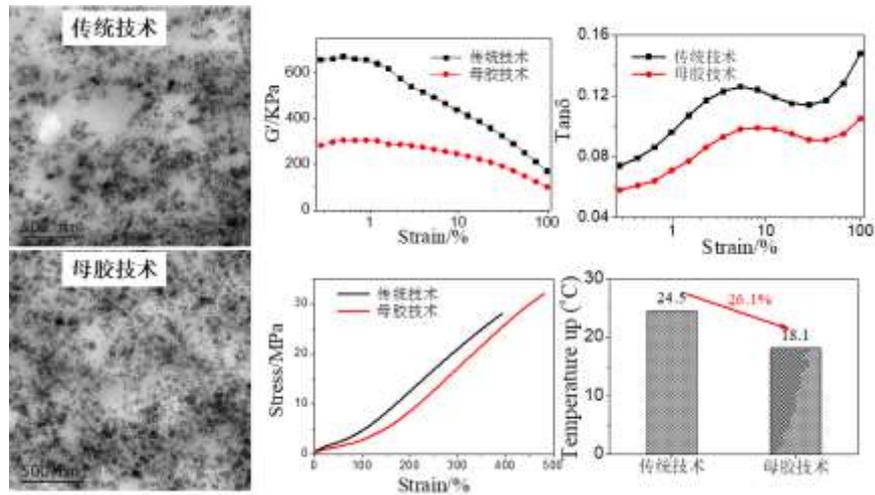


图 30 高速射流技术制备的炭黑/天然橡胶复合材料结构与性能关系图

3) 采用改进的喷雾干燥技术制备橡胶纳米复合材料

采用改进的喷雾干燥技术，通过包括 1.混合液过滤系统、2.混合液上料系统、3.风冷系统、4.隔离剂系统、5.吹扫系统、6.余热回收系统等六大系统改造实现橡胶基纳米复合材料的制备，制备的白炭黑/天然橡胶纳米复合材料与传统工艺体系相比，采用液相复合体系，白炭黑分散更均匀，网络结构更低，损耗更小，断裂伸长率长，滚动阻力降低；制备的炭黑/天然橡胶纳米复合材料能够实现母胶中炭黑份数的精确控制，炭黑分散更均匀，网络结构更低，断裂伸长率长，滚动阻力降低，见图 31 和图 32。

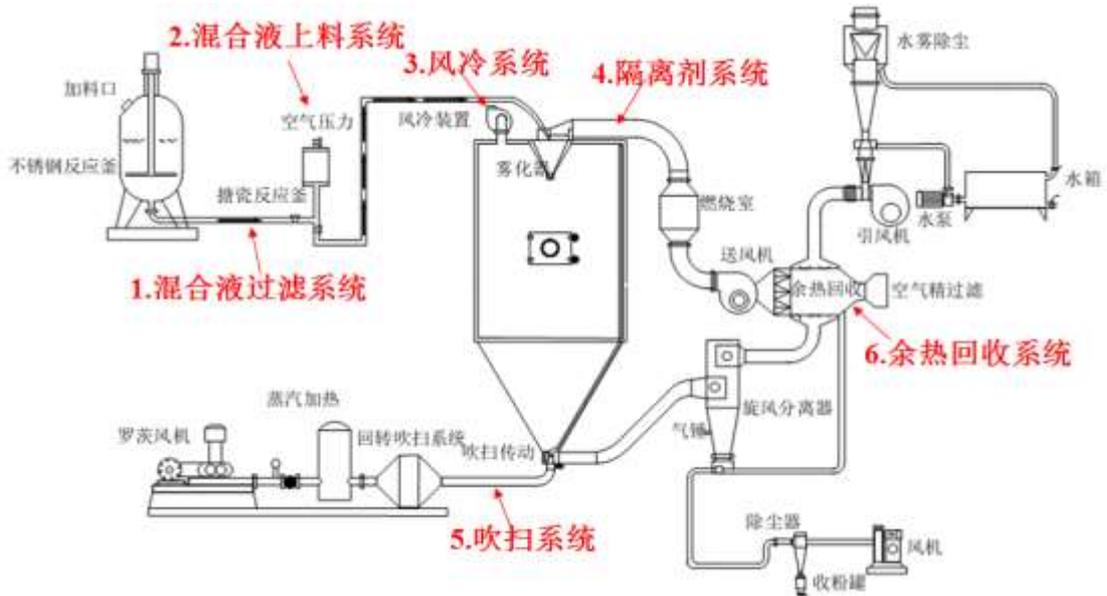


图 31 改进的喷雾干燥技术

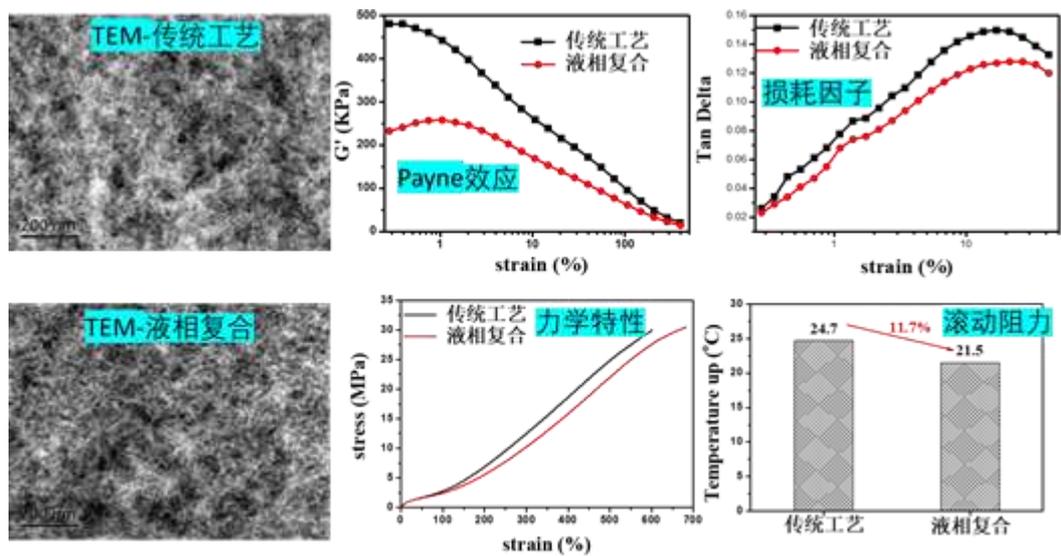


图 32 液相白炭黑/橡胶纳米复合材料微观结构与性能

3. 行业服务情况（本年度与企业的合作技术开发、提供技术咨询，为企业开展技术培训，以及参加行业协会、联盟活动情况）

3.1 工程中心与企业的合作技术开发、提供技术咨询情况

2019 年度工程中心与企业签订技术开发合同 17 项，合同金额 1885.2 万元，签订技术服务合同 3 项，合同金额 93 万元。

表 5 工程中心与企业的合作技术开发、提供技术咨询情况

序号	技术合同名称	主持人	委托单位	委托省份	时间	技术合同类型	合同额（万元）
1	生物基可降解高分子材料与超级弹性体的应用开发	王朝	彤程化学（中国）有限公司	上海	2019-01	技术开发	1000.0
2	新型覆盖层材料设计	秦璇	中国船舶工业系统工程研究院	北京	2019-03	技术开发	28.8
3	裂解炭黑活化改性及应用研究	叶欣	江西黑猫炭黑股份有限公司	江西	2019-04	技术开发	80.0
4	生物基热塑性聚氨酯弹性体的设计	王朝	北京化工大学教育基金会	北京	2019-04	技术开发	80.0

	计、合成和性能研究						
5	合成橡胶可控自由基聚合方法改性技术研究	石艳	中国石油化工股份有限公司北京北化院燕山分院	北京	2019-05	技术开发	18.0
6	融雪剂道路抗滑及融冰雪性能检测	石艳	北京市城市管理研究院	北京	2019-05	技术服务	8.4
7	天然乳胶发泡技术研究及乳胶发泡枕的开发	邹华	江苏圣耐普特新材料研究院有限公司	江苏	2019-06	技术开发	40.0
8	关于成立“北京化工大学—江苏圣耐普特矿山设备制造有限公司联合研发中心”的协议	叶欣	江苏圣耐普特矿山设备制造有限公司	江苏	2019-06	技术开发	50.0
9	无氨原生态天然橡胶的研究与制备	叶欣	江苏圣耐普特新材料研究院有限公司	江苏	2019-06	技术开发	10.0
10	关于成立“北京化工大学—辽源市长江胶管有限公司特种输油胶管联合研发中心”的协议	邹华	辽源市长江胶管有限公司	吉林	2019-06	技术服务	50.0
11	地宝驱动轮包胶材料的开发	吴友平	科沃斯机器人股份有限公司	江苏	2019-06	技术开发	30.0
12	特种输油胶管的研制	邹华	辽源市长江胶管有限公司	吉林	2019-06	技术开发	50.0
13	擦窗机器人用驱动同步带的开发	吴友平	科沃斯机器人股份有限公司	江苏	2019-06	技术开发	30.0
14	原生态天然橡胶在隔震支座中的应用研究	赵秀英	江苏圣耐普特新材料研究院有限公司	江苏	2019-06	技术开发	10.0
15	高不饱和度丁基橡胶	秦璇	黄河三角洲京博化工研究院有限公司	山东	2019-07	技术开发	100.0
16	全饱和非卤化丁基橡胶	石艳	黄河三角洲京博化工研究院	山东	2019-07	技术开发	150.0

			有限公司				
17	轮胎气密层用高性能溴化丁基橡胶纳米复合材料	吴晓辉	黄河三角洲京博化工研究院有限公司	山东	2019-07	技术开发	100.0
18	热塑性硫化胶(TPV)专用IIR及BIIR的开发与应用	于冰	黄河三角洲京博化工研究院有限公司	山东	2019-07	技术开发	100.0
19	覆膜状态编织石英纤维增强二氧化硅材料失效机理与吸湿模拟研究	高洋洋	航天材料及工艺研究所	北京	2019-07	技术服务	28.0
20	压力下丁苯橡胶体系的分子动力学模拟计算	高洋洋	中国船舶重工集团公司第七二五研究所(洛阳船舶材料研究所)	河南	2019-09	技术服务	15.0

3.2 工程中心为企业开展技术培训及交流情况

中心副主任卢咏来参加中国合成橡胶工业协会弹性体分会(TPE)培训课程。突如其来的新冠肺炎疫情打乱了我们工作生活的节奏,全国上下迅速进入了全面抗击疫情的战斗中,中国合成橡胶工业协会弹性体分会(TPE)原定于5月召开的有关培训和研讨会因此也无法按时推进。为顺应形势变化并减少疫情对相关工作的影响,经过前期的积极准备,中国合成橡胶工业协会热塑性弹性体分会组织了系列线上课程。我中心主任卢咏来教授应邀作为第一期线上课程的授课讲师,以期在疫情期间也能与广大橡胶行业、TPV行业、轮胎行业等的同仁们深入交流,相互启发,分享相关领域最新研究进展,见图33。



图 33 卢咏来教授线上授课

2020年4月2日晚七点半，卢咏来教授开展了一场别开生面的线上授课报告，本次授课的名称是《非充气新结构轮胎现状与发展》，李凡珠博士和王润国副教授对于课件制作提供大力支持。在介绍了先进弹性体材料研究中心的发展情况后，卢教授从美科幻剧西部世界和 NASA 登月用的非充气轮胎引出了报告主题，随后系统地介绍了轮胎发展历史、非充气轮胎的国内外发展现状、结构与性能关系、发展痛点和解决方案、以及我们中心在非充气轮胎的研究上所做的工作，包括高性能聚氨酯材料的设计制备、3D 打印和注塑成型工艺的开发等。课程最后，卢教授对非充气轮胎的发展进行了展望，比如非充气轮胎与整车设计相结合、结构-材料-工艺-性能验证等多方面综合考量、与前沿技术（节能环保高性能可回收材料、仿生学设计、智能控制与智能驾驶、磁悬浮等）的融合并进、针对高速、噪音、“泥浆磁铁”等痛点问题的协同创新等等。卢教授指出十多年来关于非充气轮胎的实际产品和概念性产品层出不穷，非充气轮胎的发展可能是轮胎技术的革命，值得整合行业协力合作，不断取得技术突破，为我国非充气轮胎的发展献计献策，贡献力量。整个报告持续了约 1 小时 15 分钟。课程结束后，卢咏来教授与线上观众们进行了互动讨论，就大家感兴趣的问题进行了深入解答。

山东京博控股集团到访弹性体材料节能及资源化教育部工程研究中心。2020年6月9日，山东京博控股集团党委书记、董事局主席马韵升，总裁汪君华，董事栾波，技术开发中心主任蔡颖辉等二十余人到访弹性体材料节能及资源化教育部工程研究中心。中心副主任卢咏来教授带领参观了科技大厦实验室和道恩有机楼可重复利用口罩实验线，见图 34。



图 34 山东京博控股集团访问交流

随后，在道恩有机楼 312 会议室进行了双方合作项目交流会。中心张立群教授、卢咏来教授、田明教授、王文才教授、吴卫东副教授等参加了本次交流会。交流会上，中心王润国副教授做了“生物基衣康酸酯橡胶制备及产业化示范”的报告，于冰副教授做了“热塑性硫化胶专用 IIR 及 BIIR 的开发与应用”的报告，吴晓辉博士做了“高

气密层硅酸盐/溴化丁基橡胶纳米复合材料”的报告，石艳副教授做了“全饱和非卤化丁基橡胶”的报告，秦璇博士做了“高不饱和丁基橡胶”的报告。会场上，双方针对报告内容进行了深入交流，为后续项目研发工作的顺利开展奠定了基础。

3.3 工程中心参加行业协会及联盟活动

中心组织参加“第七年全球轮胎技术论坛”。由中国橡胶工业协会主办“第七年全球轮胎技术论坛”于2020年10月26-29日在无锡召开。此次会议聚焦“标准与法规”、“轮胎动力学”、“材料应用研究”、“汽车与轮胎”、“绿色环保”等内容进行了深度研讨，把脉中国轮胎行业技术创新和科技进步的热点、痛点和难点，紧跟时代前沿，激荡创新发展磅礴力量，助力轮胎行业高质量发展。本届论坛得到了确成硅化、通用股份、彤程新材、圣奥化学、轮胎动力学协同创新联盟等企业的鼎力支持。来自轮胎及上下游相关企业、高等院校、科研院所、检测机构的200多位代表参加了会议。目前正面临“十四五”起步，第二个百年目标开启新征程的关键时刻，也恰逢行业转型升级、加快步入高质量发展的难得契机。本届论坛是轮胎技术的一次饕餮盛宴，与会专家、代表充分交流，深入探讨行业的技术热点、难点和关键点，共同推进技术进步，让科技创新为新发展提供有力支撑，护卫我国轮胎产业十四五发展新征途，破浪前行，实现高质量发展。

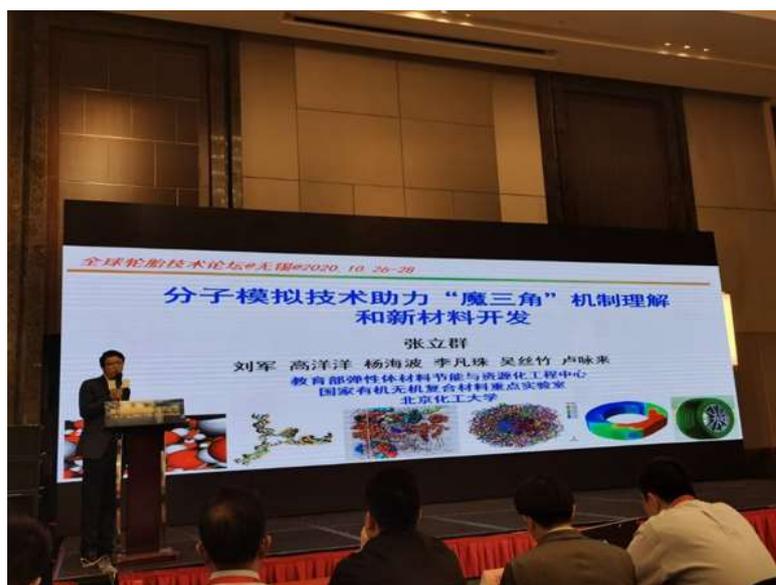


图 36 张立群教授作报告

我中心张立群教授受邀参加了本次会议，张立群教授作了题为“分子模拟技术助力“魔鬼三角”机制理解和新材料开发”的大会报告，见图36。重点介绍先进弹性体材料研究中心利用分子模拟技术来更好地理解轮胎“魔鬼三角”机制，并为之进行了相关新材料的开发。会议期间，张立群教授就利用分子模拟技术来理解橡胶科学基础问题等前沿领域科学问题，和参会人员开展了深入系统的交流。

中心组织参加 2020 年全国高分子材料科学与工程研讨会。“2020 年全国高分子材料科学与工程研讨会”于 2020 年 10 月 27-31 日在海口召开。此次会议由中国化学会、中国机械工程学会和中国材料研究学会联合主办，由海南大学和清华大学共同承办。来自高等院校、科研院所以及相关企业的 800 多位专家学者参加了会议。大会聚焦高分子材料科学最新研究进展，旨在促进我国高分子学科的可持续发展和创新。会议共设 8 个大类主题，交流内容包括：高分子材料合成与表征、高分子材料结构和性能、高分子材料成型加工与 3D/4D 打印、聚合物复合材料与纳米复合材料、功能和自组装高分子材料、生物医用与环境友好高分子材料、高分子材料产业化与新仪器新装备、先进天然与合成橡胶加工与改性八个主题。此次会议交流的报告和墙报充分展示了国内高分子材料科学与工程相关领域研究的最新进展和水平。会议期间，代表们通过广泛的学术交流，增进学术交流，加深相互了解。

我中心张立群教授受邀参加了本次会议，张立群教授作了题为“面向可持续发展和绿色化需求：天然橡胶的改性以及生物基合成橡胶材料”的大会报告，见图 37。会议期间，张立群教授就橡胶材料的可持续发展和绿色化需求等前沿领域科学问题，和参会人员开展了深入系统的交流。

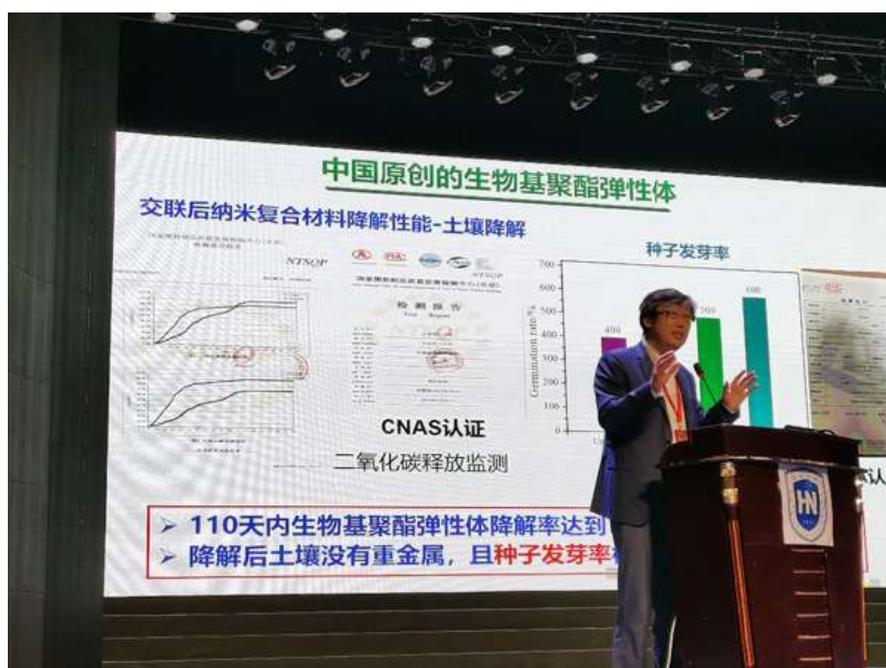


图 37 张立群教授作报告

工程中心组织“高性能超聚态天然橡胶产业化关键技术和装备”项目科技成果鉴定会。2020 年 11 月 29 日，中国石油和化学工业联合会(以下简称“石化联合会”)在云南省西双版纳傣族自治州组织召开了由西双版纳圣百润橡胶新材料研究院有限公司和北京化工大学共同完成的“高性能超聚态天然橡胶产业化关键技术和装备”项目科技成果鉴定会。



图 38 鉴定会现场

本次鉴定会由石化联合会科技与装备部王翊民处长主持，中国工程院院士、大连理工大学蹇锡高教授担任鉴定委员会主任，解放军原总装科技委委员曹保榆将军担任副主任，北京化学工业集团有限公司副总经理陈宇，浙江大学白勇教授，化工行业生产力促进中心刘久贵高级工程师，国高材高分子材料产业创新中心有限公司宁红涛总经理，杭州中策橡胶有限公司卢青处长，山东玲珑轮胎股份有限公司陈雪梅副总经理，中国化学桂林工程公司邓文忠副总经理，云南煤化工集团有限公司任梵副总工程师，海南橡胶集团海橡公司李德新董事长等九位行业内著名专家担任委员。石化联合会党委常委、副秘书长胡迁林出席会议并讲话；同时，北京化工大学张立群副校长作为合作方代表也出席了本次会议。

最后，鉴定委员会专家一致认为：该成果达到了国际先进水平，部分指标处于国际领先水平，引领了国际天然橡胶绿色加工技术的发展方向，建议加快技术和产品推广应用。

工程中心组织《蒲公英橡胶含量测定的便携式近红外设备研发》项目验收暨成果鉴定会。2020年12月29日，由中国石油和化学工业联合会组织《蒲公英橡胶含量测定的便携式近红外设备研发》项目验收暨成果鉴定会在北京化工大学会议中心召开。原总装科技委曹保榆将军、北京化工大学张立群副校长、中国天然橡胶协会郑文荣副会长以及来自精密仪器制造、橡胶植物研究、分析计量测试和资源环境管理领域国内顶级专家出席了此次会议，见图 35。



图 39 鉴定会现场

京化工大学生命科学与技术学院董益阳教授代表项目组对便携式近红外设备研发进行了全面介绍和深入讲解。项目组通过建立近红外光谱数据库，优化了能够准确表征橡胶草鲜根橡胶含量的 NIR 模型，并将其集成为便捷仪器、开发检测方法，在满足高精度检测的同时检测通量可达到 400 样/天，大大缩短了橡胶草含胶量的检测时间。项目组成员现场演示可移动式热裂解气相色谱法定量分析蒲公英橡胶，同时使用本项目成果便携式近红外样机快速测定蒲公英橡胶草鲜根样品中的橡胶含量，结果比对相对误差在 0.5% 实际含量水平仅为 1.85%，测试准确度优异。

三、学科发展与人才培养

1. 支撑学科发展情况(本年度中心对学科建设的支撑作用以及推动学科交叉与新兴学科建设的情况，不超过 1000 字)

工程中心依托于北京化工大学，以材料科学与工程学院“材料学”国家重点学科、“材料科学与工程”一级学科和“材料加工工程”北京市重点学科为支撑。工程中心的科研工作以及科研成果转化工作也不断推动着学科的发展，支撑着学科的建设。

比如在节能弹性体材料方面，工程中心开发的全生物基可降解 TPV 材料、ACM 类耐油 TPV 材料增加了材料学学科的内容，丰富了材料学科的内涵。此外，上述材料的研发过程中也会涉及到一些物理的、化学的、材料学的一些基本原理，比如在研究材料结构与性能的关系过程中就会面临一些新的科学问题需要解决，同时也会面临一些关键工程技术的攻关，比如聚集态结构的优化，性能的提升，产能的放大等。因此在

推动材料科学与工程学科的发展方面也有较大贡献。

在弹性体资源化方面，工程中心开发的生物基聚酯橡胶、生物基衣康酸酯橡胶、杜仲胶属于国际原创技术，蒲公英橡胶属于国内原创技术，超聚态天然橡胶性能接近印尼 1 号烟片胶，有望利用国内三叶橡胶资源制备出可替代国外烟片胶的高性能天然橡胶材料，填补国内空白，环氧化天然橡胶增加了天然橡胶的功能属性，丰富了天然橡胶的应用内涵，这些不仅涉及材料的创新，而且也推动了材料制备技术和装置的创新。不仅丰富了材料学科的内容，而且还支撑了材料科学与工程学科和材料加工工程学科的发展。

弹性体复合材料节能制造方面，无 VOC 排放白炭黑偶联剂的合成与应用，低填充高性能白炭黑/天然橡胶纳米复合材料节能制备。更大比例推动了材料加工工程学科的发展，但是本身制备的材料以及里边涉及的科学问题和工程技术问题也对材料学科和材料科学与工程学科有较大贡献。

工程中心的科研工作推动学科交叉以及新兴学科建设方面的作用比较明显。比如热塑性硫化胶（TPV）的研发与制造涉及材料、机械、化工、力学等学科内容的支撑，而随着热塑性硫化胶内容的不断丰富，可以逐渐升级为热塑性硫化胶制造新兴学科。生物基工程弹性体的研发与制造涉及化学、材料、微生物、化工等学科内容的支撑，同样随着生物基工程弹性体内容的不断丰富，可以逐渐升级为生物基工程弹性体制造新兴学科。天然橡胶的研发与制备涉及材料、林学、植物学、化工等学科内容的支撑，随着第二天然橡胶内容的不断丰富，可以逐渐升级为第二天然橡胶制造新兴学科。在弹性体复合材料节能制造方面，涉及更多的是材料、机械、化工的学科交叉研究。在研发过程中产生的新知识、新技术、新的原理会丰富上述学科的内容。

2. 人才培养情况（本年度中心人才培养总体情况、研究生代表性成果、与国内外科研机构和行业企业开展联合培养情况，不超过 1000 字）

2020 年度工程中心总计在读研究生 365 人，其中博士研究生 45 人，硕士研究生 320 人，当年博士毕业 13 人，硕士毕业 85 人，本科 70 人。研究生是工程中心科研的主题，承担了工程中心绝大部分科研工作。在科学问题的解决方面，工程中心的研究生发表了 15 篇有影响力的 SCI 文章，见附录一，典型成果举例如下：

1) 博士生王嘉栋采用超声强制浸润法制备了一种弹性 PU/CNTs 纳米复合材料，其热导率可达 6.028 W/mK。该方法简便、可靠，为设计和制备高导热复合材料及其它功能高分子复合材料提供了一种新的策略。Composites science and technology, 2021, 202, 108582。

2) 博士生曹仁伟成功开发了丁苯橡胶/天然杜仲胶(70/30) 吸声复合材料，与纯丁苯橡胶相比，在 2.5 MPa 下 3~8 kHz 频率范围内，丁苯橡胶/杜仲橡胶(70/30)复合材料的平均吸声系数提高了 24.23%。丁苯橡胶/天然杜仲胶复合材料可以应用于水下吸声材料。Polymer. 2020, 213, 123292。

3) 博士生李京超通过将传统乳胶共混法与氧化石墨烯凝胶化特性相结合，实现了天然胶乳与氮化硼片的三维组装，配合热压硫化制备了具有超高面内热导率的高强

高韧天然橡胶复合材料膜，得益于混炼胶的自粘性，可以实现取向方向的垂直调节，在柔性电子设备衬底、热界面材料领域展现出良好的应用前景。Carbon. 2020, 162, 46-55.

4) 博士生李京超利用氧化石墨烯与纳米氧化铝的静电匹配特性，简便地实现了两者水相静电自组装，配合乳胶共混策略，在天然橡胶基体中构筑了乳胶隔离网络结构，赋予了橡胶复合材料高导热、高强度特性，通过调节纳米氧化铝包覆量，还可以可控调节材料的体积电阻，满足了电子设备多场景散热需求。Composites Science and Technology. 2020, 186, 107930.

在工程关键技术的突破方面，工程中心的研究生参与攻关，2020 年共取得了 15 项授权专利，其中发明专利 13 项，实用新型 2 项。上述专利成果大部分为和企业联合培养学生所完成，典型成果举例如下：

1) 硕士生耿漪亭参与发明一种 3D 打印用聚酯材料及其制备方法，解决了聚氨酯材料 3D 打印轮胎胎面的难题。ZL201710654634.2

2) 博士生张刚刚参与发明一种纳米氧化锌/橡胶复合材料及其制备方法，解决了纳米氧化锌在橡胶中不易分散的难题。ZL201711067574.0

3) 博士生叶静静参与发明一种一种感染响应型引导组织再生膜的制备方法，解决了抗感染型引导组织再生膜的制备难题。ZL201611265580.2

4) 博士生王嘉栋参与发明一种具有超低滚动阻力的丁二烯橡胶-聚氨酯弹性体材料及制备方法，开创性发明一种超低滚动阻力橡胶材料。ZL201810443374.9。

5) 博士生王军军参与发明一种种用于实心车轮胎的高抗湿滑弹性体纳米复合材料及制备方法，解决了实心轮胎不耐湿滑的难题。ZL201710805723.2。

2020 年度没有和国外机构联合培养学生。

3. 研究队伍建设情况（本年度中心人才引进情况，40 岁

以下中青年教师招聘、成长情况，不超过 1000 字）

2019 年 9 月薛佳佳博士以“北京化工大学海外高层次人才引进人才”见习教授职位引入工程中心参加工作。薛佳佳于 2010 年本科毕业于北京化工大学，同年保送到本校攻读研究生（指导老师：张立群教授），并于 2015 年取得工学博士学位。2015 年至 2019 年，在美国佐治亚理工学院从事博士后研究（合作导师：夏幼南教授）。近年来，在 Chem. Rev., Acc. Chem. Res., Angew. Chem. Int. Ed., ACS Nano, Adv. Funct. Mater., Biomaterials 等杂志发表学术论文 30 余篇，论文总引用次数为 1100 余次，参与撰写英文专著 2 章，中国授权发明专利 2 项。主要研究方向为：纳米材料与弹性体材料用于组织工程及再生医学。

工程中心目前有 40 岁以下青年教师 7 名。其中以副教授引进中心工作一名，教授 2 名，副教授 4 名，讲师 1 名。工程中心非常重视中青年教师的培养工作，体现在以下三个方面：

1) 科研工作方面，做好老中青结合，放手大胆让青年教师承担重任，比如国防 173 项目，中心放手让其中 3 名 40 岁以下的青年教师主持相关课题，目前课题进展良好。另外让经验成熟老教师予以指导把关，让青年教师在压力中成长。

2) 工程项目产业化放大方面, 青年教师更是生力军, 工程中心的主要工作就是不断将实验室的科研成果, 逐步放大, 变成国民经济中的生力军, 国防军工的重要力量。其中在十三五期间, 工程中心承担千吨级生物基衣糠酸酯橡胶中试放大装置的研发任务、千吨级生物基聚酯橡胶中试放大装置的研发任务, 百吨级蒲公英橡胶中试放大装置的研发任务。其中千吨级生物基衣糠酸酯橡胶和千吨级生物基聚酯橡胶中试放大装置的研发任务都是由青年教师承担, 通过与企业紧密合作, 得到了磨炼。

3) 在教学方面, 青年教师也承担了相当多的教学任务, 特别是本科生的工程专业实验, 基本都是由青年教师承担。鉴于青年教师在工程化项目中担纲主力, 因此理论结合实践, 给本科生教授的实验课也取得较好的效果。

其余在党建、团建、以及工程中心的日常运营的公益活动, 也注重青年教师的生力军作用。

四、开放与运行管理

1. 主管部门、依托单位支持情况(主管部门和依托单位本年度为中心提供建设和运行经费、科研场所和仪器设备等条件保障情况, 在学科建设、人才引进、研究生招生名额等方面给予优先支持的情况, 不超过 1000 字)

“弹性体材料节能和资源化教育部工程研究中心(简称工程中心)”依托于北京化工大学。为了支持工程中心的建设以及发展, 依托单位北京化工大学特出台《北京化工大学省部级以上科研机构管理办法》北化大校 科发(2012012018)3 号。文件共六章二十六条。明确了工程中心的主管机构以及日常管理办法, 使得工程中心的日常运行有章可依。

在工程中心的运行经费和仪器设备方面, 每年拨付《中央高校基本科研业务费》10 万元支持工程中心的一般科研工作。

在科研场所方面, 为了支持北京化工大学先进弹性体材料流科研团队的建设, 已将给予工程中心 5128m² 科研场所的支持。此外, 北京化工大学高精尖大厦正在紧张建设当中, 不日完工, 也将视情况给予一定的科研面积支撑工程中心的发展。其三, 鉴于工程中心的核心目标是科研成果的工程化放大, 因此中试基地的建设非常重要, 在这方面依托单位也会优先考虑工程中心的需求。

在学科建设方面依托的是北京化工大学材料科学与工程学院“材料学”国家重点学科、“材料科学与工程”一级学科和“材料加工工程”北京市重点学科。本身就是依托单位重点支持发展的学科, 因此也会给予工程中心大力支持。

在人才引进、研究生招生方面, 结合工程中心的研究方向, 会给与倾斜支持。目前工程中心每年招研究生 80 人左右。2020 年引进高层次人次 1 名。

2. 仪器设备开放共享情况(本年度中心 30 万以上大型仪器设备的使用、开放共享情况, 研制新设备和升级改造旧设备等

方面的情况)

工程中心 30 万以上大型设备列表如下，中心的所有设备对社会开放，一些共性热门设备使用频率较高，对外测试频繁。比如 DMA，低场核磁。一些聚焦于结构相态性能研究和表征的设备工程中心内部使用频率较高，外部需求较少，比如显微镜类。一些专有设备，只有相关专业人士使用，频率较低，比如高压加氢装置，具体情况见列表。此外，本年度没有研制新设备和升级改造旧设备情况发生。

表 6 中心 30 万以上大型仪器设备的使用、开放共享情况

序号	设备名称	型号	原值 (万元)	存放地点		使用情况	开放共享情况
				建筑物	房间号		
1	橡胶材料热机械动态性能测试	MK-3000	99.5	有机楼	106	利用率饱满	玲珑轮胎测试样品
2	低场核磁共振成像分析仪	VTMR20-010V-1	99.4	科技大厦	1215	利用率饱满	玲珑轮胎测试样品
3	动态机械分析仪	DMA-1	49.5	科技大厦	1215	超负荷测试 排队2周以上	玲珑轮胎， 中策轮胎， 北橡院测试样品
45	毛细管流变仪	RH2200	48.9	科技大厦	1215	专业使用	--
6	三辊压延机组	XY-3r1500	255.0	昌平科技园	104	专业使用	--
7	疲劳裂纹扩展测试仪	DMA+1000	238.0	科技大厦	1215	利用率饱满	玲珑轮胎测试样品
8	场发射扫描电子显微镜	S-4800	230.0	有机楼	112	超负荷测试 排队2周以上	玲珑轮胎测试，北橡院， 无锡宝通测试样品
9	高分子加氢中试装置	定做	183.1	昌平科技园	橡胶合成实验室	专业使用	--
10	电子万能材料试验机	ZWICK/ROELL	158.2	科技大厦	1215	利用率饱满	--
11	动态热机械分析仪	VA3000	125.3	科技大厦	1215	超负荷测试 排队2周以上	玲珑轮胎测试，北橡院 测试样品
12	原子力显微镜	multimode8	110.0	有机楼	112	超负荷测试 排队2周以上	外单位较少 测试

13	橡胶加工分析仪	RPA2000	99.8	科技大厦	1215	超负荷测试 排队2周以上	外单位较少 测试
14	转矩流变仪	14CERNE T	91.9	北胶房	橡胶工 艺实 验室	利用率饱满	外单位较少 测试
15	流变仪	ARES-G2	83.0	北胶房	橡胶工 艺实 验室	利用率饱满	外单位较少 测试
16	可在线多段取料 双螺杆挤出机	HTS-40	80.1	昌平科 技园	104	专业使用	中石油测试
17	密炼机	X (S)M-7 5/6-60	80.0	昌平科 技园	104	专业使用	--
18	挤压一体机	JTPG60	80.0	昌平科 技园	204	专业使用	--
19	材料试验机	LLOYD LR30K PLUS	79.4	有机楼	102	利用率饱满	外单位较少 测试
20	超薄切片机	UC7/EM FC7	79.2	有机楼	112	超负荷测试 排队2周以上	外单位较少 测试
21	交联密度谱仪	XLDS-15	74.7	科技大 厦	1217	利用率饱满	玲珑轮胎测 试, 北橡院 测试样品
22	钢制通风柜	1805615 S-18056 18S	65.2	天津产 学研基 地	701	专业使用	--
23	鼓式硫化机	DLG-700 &1400	61.0	昌平科 技园	104	专业使用	--
24	丁晴橡胶加氢增 配设备	KSB35-3 80	55.0	昌平科 技园	橡胶 合 成 实 验 室	专业使用	--
25	橡胶加工分析仪	Model;r pa2000	54.8	科技大 厦	1215	利用率饱满	外单位较少 测试
26	耐臭氧试验机	OZ-0500 AH	53.0	有机楼	126	专业使用	--
27	差热分析仪	TGA/DSC I	51.8	科技大 厦	1217	超负荷测试 排队2周以上	北橡院测试 样品
28	TPU双螺杆挤出 机	-	45.1	昌平科 技园	104	专业使用	--

29	扫描热显微镜	VITA	43.7	科技大厦	1217	超负荷测试 排队2周以上	外单位较少 测试
30	哈克密炼机	1823077 S	43.0	橡胶工 艺实验 室		利用率饱满	外单位较少 测试
31	25T自动均温平 板硫化机	1811518 S-18115 19S	37.5	有机楼	126	利用率饱满	玲珑轮胎加 工样品
32	气体透过量测试 仪	vac-v2	36.5	科技大 厦1215	1215	专业使用	--
33	喷雾干燥机	SSD-12	35.0	昌平科 技园	204	专业使用	--
34	同向混炼双螺杆 挤出机	TS-50	34.0	昌平科 技园	204	专业使用	--
35	炼塑机	SK-550	33.9	昌平科 技园	104	专业使用	--
36	光学粒度分析仪	1805761 S	33.0	科技大 厦	1217	利用率饱满	外单位较少 测试
37	纳米纤维静电纺 丝	NANON-0 1	32.0	科技大 厦	810	利用率饱满	外单位较少 测试
38	炼塑机	SK-550	32.0	昌平科 技园	104	专业使用	--
39	导热系数测定仪	DTC-300	31.6	科技大 厦	1215	利用率饱满	玲珑轮胎测 试样品
40	凝胶渗透色谱仪	1260	30.0	科技大 厦	1216	利用率饱满	玲珑轮胎测 试样品
41	固定床反应装置	1806081 .0	30.0	综合楼	331	专业使用	--

3. 学风建设情况（本年度中心加强学风建设的举措和成果，含讲座等情况）

工程中心非常重视学风建设，具有良好的学习风貌和端正的科研态度是出好成果、大成果的基础。在学风建设方面，除了遵守依托单位北京化工大学制订的各种规章制度以外。工程中心还根据具体情况开展宣讲、讲座、论坛等方式引导广大研究生重视科研素质的塑造和良好学风的建立。

1) 工程中心每年冬季和夏季举办一次弹性体青年学术论坛，要求研究生 2 年级的学生正装参加报告，梳理总结一年来的科研工作内容。工程中心的教师作为评委共同参与中心举办的弹性体青年学术论坛，针对研究生的学术报告，进行讨论、引导、并评出相应成绩，科研工作优异的予以鼓励表扬，科研工作不太好的要及时纠错，督促其进入到正确的科研道路上来，进而在整个中心形成，人人积极从事科研工作，热

爱科研工作的气氛中来。

2) 工程中心每年春季和秋季举办一次实验室安全培训, 邀请常年工作在实验室一线的教师, 以及从事化学合成, 材料加工的老师宣讲科研工作中的安全问题。主要内容涉及, 实验室的清洁卫生、科研工作中的个人安全培训, 设备安全培训。做到所有研究生进入实验室之前知晓各种安全隐患。必须针对化学合成实验, 要防火、防爆、防腐蚀、防泄漏、防中毒; 针对材料加工实验, 要防砸伤、防烫伤、防夹伤。做好个人安全培训的同时, 还要培养按章操作, 杜绝违规操作, 做到实验室实验装置和仪器的安全, 不得损坏设备仪器, 造成不必要的损失。

3) 设立奖学金制度, 通过奖学金制度, 引导学生积极从事科研工作, 热爱科研工作。工程中心积极与企业合作设立各类企业奖学金 20 余项, 总金额接近 200 万元, 有力地支撑了奖学金制度长效运行。

4) 鼓励研究生参与国内外学术交流, 工程中心允许研究生每年参加一次与自身科研方向密切相关的学术会议, 允许博士生参与一次国际学术会议, 费用报销。鼓励研究生以口头报告、墙报的形式积极表达自己的科研成果, 锻炼自己学术能力。进而在研究生中树立良好的科研态度, 形成积极向上的学习风气。

4. 技术委员会工作情况 (本年度召开技术委员会情况)

2019 年度技术委员会原定于 2020 年 1 月中旬择时召开, 主题是盘点过去一年的科研工作, 布局未来一年的科研工作内容, 展望未来行业的发展方向, 面向国家、行业的重大需求, 及时调整工程中心科研方向。但是突然爆发的新冠疫情打乱了开会部署, 计划在 2021 年 3 月 31 日前召开线上的年度技术委员会。

五、下一年度工作计划 (技术研发、成果转化、人才培养、团队建设和制度优化的总体计划, 不超过 1500 字)

2021 年度, 工程中心在巩固现有科研工作的基础上, 继续在节能弹性体材料、弹性体资源化、弹性体复合材料节能制造 3 个主要方向向纵深推进研究工作, 具体如下:

1) 技术研发方面, 推进可回用可热愈合充气内胎热塑性丁基橡胶研究, 尽快实现新型热塑性内胎轻薄产品高端竞技自行车内胎应用。推进新型汽车轮胎用聚酰胺柔性合金材料研究, 实现高阻隔聚酰胺柔性合金替代热固性硫化丁基橡胶作为轮胎气密层批量应用验证。积极探索全生物基可降解 TPV 材料及制品的研发, 耐油 ACM 类 TPV 的研发。加快百吨级公英橡胶产业化中试提取装置的建设, 按计划于 2021 年 6 月完成。加快冬残奥科技专项个性化杜仲胶冰球头盔的研发, 助力助力冬残奥运动员在 2022 北京冬奥会取得好成绩。推进无 VOC 排放白炭黑偶联剂的合成与应用, 低填充高性能白炭黑/天然橡胶纳米复合材料节能制备研发工作, 扩大试产和验证规模。推进生物基衣康酸酯弹性体在轮胎领域的应用, 推进生物基聚酯弹性体在生物基聚酯弹性体/炭黑复合材料、生物基可降解口香糖的等领域的应用。积极推进生物基医用弹

性体的基础研究和基础应用研究。推进 10000 吨级性能化天然橡胶高国产化生产，推进环氧化橡胶的工程化应用。

2) 成果转化方面，针对历史传承/紧密合作的企业，比如道恩高分子材料股份有限公司，继续扩大合作规模，加速企业内攻关企业内转化的力度。同时面向国家重大需求，国外垄断的高端 TPV 牌号，要加大科技攻关力度，早日实现成果转化。针对创新技术的逐步完善再创新的合作企业，比如南京绿金人橡塑高科有限公司。要继续帮助企业攻关克难阻碍企业产品发展的技术难题，同时也要积极帮助企业拓展市场，是转化的成果真正落实到经济效益上。针对当年新增转移转化技术企业，比如山东贝隆新材料科技有限公司。要积极帮助企业稳定现有转化的技术成果，使之更加成熟，适应市场发展，满足客户需求，同时帮助企业拓展市场，是企业进入稳定发展轨道，2021 年的重点是销售渠道的拓展，实现稳定的现金流。同时要梳理工程中心现有技术体系，按照成熟度排序，择机与相关企业密切合作积极推进成果落地。比如生物医用弹性体项目也处成熟期，可以积极推进成果落地转化。

3) 人才培养，工程中心非常注重人才培养工作，2021 年度继续以科研攻关为导向，引导青年人才积极投入到工程中心的科研工作中去，在工作中不断完善自己，在压力中不断成长，逐步磨炼为工程中心的骨干力量。

4) 团队建设和制度优化，工程中心主任是教育部长江学者特聘授、国家杰出青年基金获得者张立群，目前成员中有教授 8 人、副教授和高级工程师 6 人，固定人员 40 余人。工程中心围绕张立群主任为科研核心，以中年教授主导、以青年教师担纲科研攻关、以老年教师经验把关，不出错误，成了老中青金字塔形人才团队。在制度优化方面，结合依托单位北京化工大学业绩考核制度以及科研成果转化效益分配制度，以目标成果为导向，辅助以工程中心内部奖励制度，激励广大师生投身科研工作，多出成果，出好成果。

六、问题与建议（工程中心建设运行、管理和发展的的问题与建议，可向依托单位、主管单位和教育部提出整体性建议）

在《教育部办公厅关于进一步加强和规范教育部工程研究中心运行管理的通知，教科技厅函〔2020〕13 号》文件中，实际上已经列出了工程中心目前存在的一些问题，这里就不在赘述了，关键是狠抓落实。工程中心也会对照通知提到的 8 项要求，逐一落到实处，发挥出工程中心解决国家和行业重大技术问题的主战场作用。此外，目前教育部工程中心的建设与日常运行没有专属经费支持，主要靠各自依托单位筹集的科研经费支撑。因此会面临经费不足的问题。如果教育部主管部门可以实时给予一些经费支持，可以更好地发挥工程中心的作用。

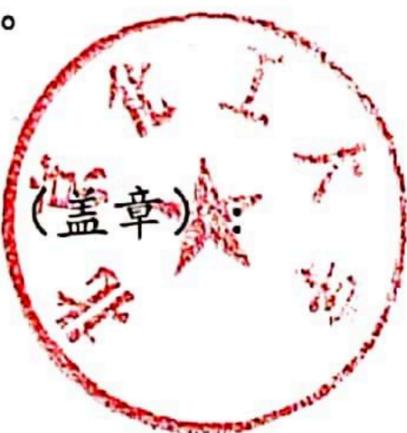
七、审核意见（工程中心负责人、依托单位、主管单位审核并签章）

内容属实。

工程中心负责人签字： 

内容属实。

依托单位



八、年度运行情况统计表

研究方向	研究方向 1	弹性体资源化	学术带头人	张立群	
	研究方向 2	节能弹性体材料	学术带头人	田 明	
	研究方向 3	弹性体复合材料节能制造	学术带头人	卢咏来	
工程中心面积	5128m ²		当年新增面积	0m ²	
固定人员	40 人		流动人员	351 人	
获奖情况	国家级科技奖励	一等奖	项	二等奖	项
	省、部级科技奖励	一等奖	项	二等奖	项
当年项目到账总经费	4283 万元	纵向经费	3068 万元	横向经费	1215 万元
当年知识产权与成果转化	专利等知识产权持有情况	有效专利	15 项	其他知识产权	项
	参与标准与规范制定情况	国际/国家标准	项	行业/地方标准	项
	以转让方式转化科技成果	合同项数	项	其中专利转让	项
		合同金额	万元	其中专利转让	万元
		当年到账金额	万元	其中专利转让	万元
	以许可方式转化科技成果	合同项数	项	其中专利许可	项
		合同金额	万元	其中专利许可	万元
		当年到账金额	万元	其中专利许可	万元
	以作价投资方式转化科技成果	合同项数	1 项	其中专利作价	2 项
		作价金额	100 万元	其中专利作价	100 万元
产学研合作情况	技术开发、咨询、服务项目合同数	20 项	技术开发、咨询、服务项目合同金额	1978.2 万元	
当年服务情况	技术咨询	5 次	培训服务	40 人次	

学科发 展与人 才培养	依托学科 (据实增删)	学科 1	材料学国家重 点学科	学科 2	材料科学与工 程一级学科	学科 3	材料加工工 程北京市重 点学科
	研究生 培养	在读博士	45 人		在读硕士		320 人
		当年毕业 博士	13 人		当年毕业硕士		85 人
学科建设 (当年情况)	承担本科 课程	280 学时	承担研究生 课程	32 学时	大专院校 教材	0 部	
研究队 伍建设	科技人才	教授	9 人	副教授	7 人	讲师	2 人
	访问学者	国内		人	国外	人	
	博士后	本年度进站博士后		2 人	本年度出站博士后		3 人

附件一：2020 年度发表文章

序号	作者	文章题目	发表刊物	年,卷(期),页
1	Jingchao Li, Xiuying Zhao, Wenjie Wu, Zhaoxu Zhang, Yue Xian, Yutao Lin, Yonglai Lu, Liqun Zhang	Advanced flexible rGO-BN natural rubber films with high thermal conductivity for improved thermal management capability	Carbon	2020, 162, 46-55
2	Jingchao Li, Xiuying Zhao, Zhaoxu Zhang, Yue Xian, Yutao Lin, Xiaowang Ji, Yonglai Lu, Liqun Zhang	Construction of interconnected Al ₂ O ₃ doped rGO network in natural rubber nanocomposites to achieve significant thermal conductivity and mechanical strength enhancement	Composites Science and Technology	2020, 186, 107930
3	Jiadong Wang, Xiaowen Zhang, Yingxue Liu, Chenxin Xu, Hao Zhang, Daming Wu, Tianwei Tan, Xuan Qin, Jingyao Sun, Liqun Zhang	Preparation of flexible and elastic thermal conductive nanocomposites via ultrasonic-assisted forced infiltration	Composites Science and Technology	2020, 202, 108582
4	Guanyi Hou, Guanyi Hou, Xinlei Zhou, Sai Li, Ruifeng Jiang, Zhiyu Zhang, Mengjie Dong, Jun Liu*, Yonglai Lu*, Wencai Wang*, Liqun Zhang*, and Shihu Wang	Exploiting Synergistic Experimental and Computational Approaches to Design and Fabricate High-Performance Elastomer	Macromolecules	2020, 53, 15, 6452-6460
5	Xi Zhang, Shuquan Sun, Nanying Ning, Shouke Yan, Xiaohui Wu*, Yonglai Lu*, and Liqun Zhang	Visualization and Quantification of the Microstructure Evolution of Isoprene Rubber during Uniaxial Stretching Using AFM Nanomechanical Mapping	Macromolecules	2020, 53(8), 3082-3089
6	Mengjie Dong, Jichuan Zhang, Guanyi Hou, Li Liu, Xiubo Qu, Yang Yu, Chongyang Yuan, Xiaoyan Wang	Thermal conductivity of GP/ZnO@CNTs nanocomposites improved greatly by orientation of CNTs under shear field	Composites Communications	2020, 17, 61-65
7	Zongchao Xu, Stephen Jerrams, Hao Guo, Yanfen Zhou, Liang Jiang, Yangyang Gao, Liqun Zhang, Li	Influence of graphene oxide and carbon nanotubes on the fatigue properties of silica/styrene-butadiene rubber composites under uniaxial and	International Journal of Fatigue	2020, 131, 105388

	Liu,Shipeng Wen	multiaxial cyclic loading		
8	Xiuying Zhao, Tao Shou, Riran Liang, Shikai Hua, Peng Yu, Liqun Zhang	Bio-based thermoplastic polyurethane derived from polylactic acid with high-damping performance	Industrial Crops & Products	2020, 154, 112619
9	Shikai Hu, Tao Shou, Xiuying Zhao, Shijia Zhang, Xuan Qin, Mingming Guo, Liqun Zhang	Rational Design of a Novel NDI-based Thermoplastic Polyurethane Elastomer with Super Heat Resistance	Polymer	2020, 205, 122764
10	Renwei Cao, Linhui Deng, Zhibo Feng, Xiuying Zhao, Xiaolin Li, Liqun Zhang	Preparation of natural bio-based Eucommia ulmoides gum/styrene-butadiene rubber composites and the evaluation of their damping and sound absorption properties	Polymer	2020, 213, 123292
11	Shikai Hu, Tao Shou, Mingming Guo, Runguo Wang, Jun Wang, Hongchi Tian, Xuan Qin, Xiuying Zhao, and Liqun Zhang	Fabrication of New Thermoplastic Polyurethane Elastomers with High Heat Resistance for 3D Printing Derived from 3,3-Dimethyl-4,4'-diphenyl Diisocyanate	Industrial & Engineering Chemistry Research	2020, 59(22) 10476–10482
12	Ke Gao, Haixiao Wan, Emily Jia Li Tsen, Jun Liu, Alexey V Lyulin, Liqun Zhang	Unveiling the Mechanism of the Location of the Grafted Nanoparticles in Lamellar-Forming Block Copolymer	Langmuir	2020, 36,(1)194-203
13	Chaohao Liu , Mingming Guo , Xiaobo Zhai , Xin Ye , and Liqun Zhang	Using Epoxidized Solution Polymerized Styrene-Butadiene Rubbers (ESSBRs) as Coupling Agents to Modify Silica without Volatile Organic Compounds	Polymers	2020, 12, 1257
14	Shuyang Cui,Jichuan Zhang,Yunhan Chen,Mengjie Dong,Guoxin Liu,Jianjie Zhang,Liangliang Li,HuiYue	Study on degrees of mesomorphic zone of polymer. III.Determination of the degree of crystallinity of Eucommia Ulmoides gum by VTFTIR and VTWAXD	Polymer Testing	2020, 89, 106605
15	Mengjie Dong,Tianxin Zhang,Jichuan Zhang,Guanyi Hou,Minli	Mechanism analysis of Eucommia ulmoides gum reducing the rolling resistance and the application study in	Polymer Testing	2020, 87, 106539

	Yu,Li Liu	green tires		
16	崔树阳; 张继川; 张立群; 马勇; 聂秋海; 王锋; 董益阳	蒲公英橡胶产业的研究现状与未来展望	中国农学通报	2020年; 36卷(10期); 33-38

附件二：2019 年度授权专利

序号	发明人	授权公告日	发明名称	授权号
1	张立群; 耿漪亭; 胡潇然; 李炎; 张奇男; 王润国; 周建辉; 鲁代仁; 董栋	2020.01.10	一种 3D 打印用聚酯材料及其制备方法	ZL201710654634.2
2	张立群; 张刚刚; 李昊; 李晓林	2020.02.14	一种纳米氧化锌/橡胶复合材料及其制备方法	ZL201711067574.0
3	张立群; 叶静静; 石锐; 田伟	2020.01.10	一种感染响应型引导组织再生膜的制备方法	ZL201611265580.2
4	张立群, 郑骏驰, 张宇, 董栋, 孙敏利, 卢咏来, 冯予星	2020.07.28	一种使用腰果酚缩水甘油醚改性白炭黑的橡胶复合材料及其制备方法	ZL201710805627.8
5	张立群、任冬云、史金炜、戈风行、陈成杰、汪冯新、王杰、张植俞、陆涛、刘晓博、杨晓彤	2020.10.02	一种多阶螺杆连续脱硫制备再生橡胶的方法	ZL201711102594.7
6	张立群, 秦璇, 卢咏来, 程仕华, 毛立新, 韩丙勇	2020.10.27	一种热塑性溶聚丁苯橡胶-聚氨酯弹性体材料及制备方法	ZL201710805708.8
7	张立群, 秦璇, 韩丙勇, 毛立新, 吴晓辉, 刘军, 张宁, 董栋	2020.06.09	一种高性能轮胎用溶聚丁苯橡胶-聚氨酯弹性体材料及其制备方法	ZL201610348007.1
8	张立群; 张刚刚; 李晓林; 卢咏来; 刘超豪; 赵秀英	2020.07.31	一种环氧化三元乙丙橡胶、制备方法及弹性体	ZL201810352806.5
9	张立群, 秦璇, 王嘉栋, 韩丙勇, 毛立新,	2020.10.02	一种具有超低滚动阻力的丁二烯橡胶-聚氨酯	ZL201810443374.9

	吴晓辉, 刘军, 张宁		弹性体材料及制备方法	
10	卢咏来, 张立群, 秦璇, 王军军, 邹华, 冯予星, 伍社毛, 赵素合	2020. 06. 09	一种用于实心力车轮胎的高抗湿滑弹性体纳米复合材料及制备方法	ZL201710805723. 2
11	李高平, 张立群, 张宏忠, 朱鹏飞, 卢咏来, 胡静, 蔡庆, 周志峰, 韩成勇, 王婷	2020. 04. 24	呼吸过滤器及防护口罩	ZL202020367559. 9
12	李高平, 张立群, 张宏忠, 朱鹏飞, 卢咏来, 胡静, 蔡庆, 周志峰, 韩成勇, 王婷	2020. 04. 24	防护口罩	ZL202030099185. 2
13	赵秀英, 岳耀, 张立群, 伍社毛, 张志, 杨海波	2020. 08. 28	一种支座用高性能阻尼材料、制备方法及其橡胶减震支座	ZL201710555444. 5
14	张继川 李亮亮 张立群 岳慧 高瑞文	2020. 07. 28	一种四肢用护具	ZL201821157288 . 3
15	田明、刘美玉、宁南英、张立群、孙海斌	2020. 09. 11	一种硅胶/碳纳米管介电弹性体复合材料及其制备方法	ZL201810338081. 4