

2019 年度国家技术发明奖提名项目公示

项目名称	人工革有害化学品源头替代及集成应用技术
提名者	中国轻工业联合会
<p>提名意见：</p> <p>我国是人造革、合成革制造大国，占世界产量70%以上。项目以人工革有害化学品源头替代及集成应用为目标，发明了环氧化端双酯和反应型增塑剂的制备及增塑剂耐迁移性提升技术、非偶氮环保发泡剂及光致激活低温发泡技术、水性涂层材料及涂层物性调控技术，攻克了偶氮类发泡剂、邻苯系增塑剂、溶剂型涂层剂等有害化学品的源头替代、增塑剂迁移性提升、人造革低温发泡等国际公认的技术难题。</p> <p>该项目核心技术已获国家授权专利 21 项，制订行业标准 3 项，发表 SCI 收录论文 33 篇，核心技术成果转化 49 项，三类替代材料行业采用率 35%，应用企业 200 多家，近三年 7 家代表性示范企业新增产值约 51.02 亿元，新增利税约 8.98 亿元。应用实践证明，采用该项目材料及技术可降低综合能耗 40%，邻苯系增塑剂替代度 100%，增塑剂耐迁移性提升 90%以上，涂层过程基本实现 VOC 零排放，产品质量达到国家标准和欧盟要求，社会和经济效益显著。该项目主要成果获得 2018 年度中国轻工业联合会技术发明一等奖。</p> <p>提名该项目为国家技术发明奖二等奖。</p>	

项目简介（限1页）

我国人造革、合成革（简称人工革）产量世界第一（占73%），2017年我国人工革产量70多亿米，产业链GDP达2.6万亿。但传统制革技术使用偶氮类高温发泡剂、邻苯系增塑剂、溶剂型涂层剂，导致行业的发展面临有机溶剂污染严重、化学品毒性残留、增塑剂不耐迁移（产品寿命缩短）和能耗高等共性技术的挑战。本项目以人造革、合成革有害化学品源头替代及集成应用为目标，通过与合作单位的持续研究，攻克了以上**国际公认**的技术难题，主要发明点包括：

（1）发明了环氧化端双酯和反应型增塑剂的制备及增塑剂耐迁移性提升技术。针对人造革用邻苯系增塑剂的毒性及替代型增塑剂环氧脂肪酸甲酯迁移性问题，创制了能与PVC链间结构互锁的环氧脂肪酸端双酯增塑剂及反应型增塑剂，发明了同步反应内增塑技术，100%替代了邻苯系增塑剂，增塑剂析出率从25%下降至0.25%；

（2）发明了非偶氮环保发泡剂及光致激活低温发泡技术。针对传统人造革用偶氮类发泡剂发泡温度高（220℃）和偶氮毒性残留等问题，发明了一类不含偶氮的磺酰肼类发泡剂及光致激活低温发泡技术，发泡温度降低至180-190℃，综合能耗降低40%，成革无偶氮残留；

（3）发明了系列水性涂层材料及涂层物性调控技术。针对人造革、合成革涂层材料有机溶剂污染严重、革中VOC残留量大等问题，发明了高固含、表面张力可调、具有高光、消光、疏水、防霉、耐磨、阻燃等功能的系列水性聚氨酯涂层材料，涂层过程基本实现VOC零排放，革中VOC含量<5mg/kg，从源头消除了VOC的排放。

（4）基于有害化学品源头替代的绿色制革新工艺。根据上述三项发明成果，发明了基于有害化学品源头替代的绿色制革新工艺，同时解决了能耗高、增塑剂不耐迁移、有害化学品造成的环境污染和毒性残留等国际公认技术难题。

项目核心技术-有害化学品源头替代及绿色制革新技术达到国际领先水平。申请国家发明专利36件，已授权21件，制订相关行业标准3项，核心技术成果转化49项（项目完成企业19项，其它企业30项）。近三年创制的三类替代材料累计销售约13.7万吨，**行业采用率达35%，应用企业200多家**。7家代表性示范企业近3年新增产值约51.02亿元，新增利税约8.98亿元，3家示范企业节省标煤约4.55万吨，减少1.8万余吨有机溶剂排放。应用实践证明，采用该项目创制材料及发明技术可降低综合能耗40%，邻苯系增塑剂替代度100%，增塑剂耐迁移率<0.25%，革中VOC<5mg/kg，涂层过程基本实现VOC零排放，产品质量达到国家标准和欧盟要求。

项目主要成果获得2018年度中国轻工业联合会技术发明一等奖，部分成果获2007年度教育部技术发明一等奖。发表SCI收录论文33篇，项目发明的新技术、新方法，如增塑剂的制备方法及耐迁移提升技术被法国Vincent Lapinte教授和伊朗科学家Fareghi-Alamdari评为“有趣、实用和最有效”技术。本项目首倡的“水性聚氨酯合成革制造技术”在国家十三五规划中被工信部（工信部《工业转型升级投资指南》，第32、283项）、工程院（中国工程院《工业强基战略研究》）列入**行业共性关键技术和鼓励类**产业技术清单，制订了第一个合成革绿色制造行业标准（聚氨酯合成革绿色工艺技术要求，QB/T5042-2017），项目成果为**国家政策调控提供了科技支撑**。

客观评价（限 2 页）

(1) 国内外学术界评价及影响

核心成果申请国家发明专利 36 件，已授权 21 件，制订相关行业标准 3 项，发表 SCI 收录论文 33 篇，研究成果在国际同行中产生了广泛和重要的影响。国际形状记忆聚氨酯科学奠基人、德国亥姆赫兹(Helmholtz)研究院的 Andreas Lendlein 教授曾在材料学顶级期刊 Advanced Materials (2010, 22: 3388; IF=21.95) 上撰文，大段引用了本项目在水性涂层材料领域的研究成果，肯定了水性涂层技术在提升革制品穿着舒适性方面的优势，并**图文引用**了本项目代表论文 (Journal of Membrane Science, 2007, 287: 192) 中的关键实验数据。此外，国家千人计划专家、香港理工大学的胡金莲教授也曾连续在 Progress in Polymer Science (2012, 37: 1720; IF=24.558)、Journal of Materials Chemistry (2010, 20: 3346)、Materials Chemistry Frontiers (2017, 1: 2027) 等杂志上发表论文，评价本项目在人工革水性涂层方向的研究工作为“**a new trend has been fueled by technological needs-技术需求推动下产生的新趋势**”；法国 Montpellier 大学 Charles Gerhardt Montpellier 研究所的 Vincent Lapinte 教授在 J. Poly. Sci, Part A: Polym. Chem 杂志上发表综述论文 (2016, 54:11)，正面评价项目组研发的反应型增塑技术是“an interesting and applicable grafting—一种**有趣和实用的** (PVC) 接枝 (技术)”；伊朗 Malek-Ashtar 技术大学化学与化工系 Reza Fareghi-Alamdari 教授在 Chemistry Select 杂志上发表研究论文 (2018,3:6617)，公开评价项目组在增塑剂迁移性提升方面的研究成果 (RSC Advances,2015,5:16980) 是“has been the most efficient one—(解决增塑剂迁移问题) **最有效方法**”。项目组成员近年 6 次应邀在美国、西班牙、印度、土耳其、日本等国家召开的国际皮革大会上，就本项目研究成果做主题报告和大会报告。

相关研究成果也为**国家决策提供了重要科技支撑**。制订了行业**第一个**合成革绿色制造标准 (QB/T5042-2017, 聚氨酯合成革绿色工艺技术要求)。在国家十三五规划中，**我们倡导的“水性聚氨酯合成革制造技术”**被工信部 (工信部《工业转型升级投资指南,第 32、283 项》)、工程院 (中国工程院《工业强基战略研究》)列入鼓励类产业技术和**行业共性关键技术** (工信部《产业关键共性技术发展指南 (2017)》第 9 项)。

(2) 国家级专业机构的技术检测报告

①本项目开发的低温发泡剂已通过宜家 (中国) 测试中心 (ITTC) 环保要求测试。结果显示，用该发泡剂制备的塑料制品白度达到 1 级，200℃ 下发泡倍率为 4.0，满足宜家不含偶氮品质要求。②本项目开发的环氧增塑剂经 SGS 检测，不含任何邻苯二甲酸酯系物质，测试结果符合欧盟 RoHS 指令 2011/65/EU 附录 II 的修正指令 (EU) 2015/863 的限值要求，同时不含欧盟禁用的 181 种高关注度物质。③采用风险化学品替代集成技术制备的 PVC 人工革已通过国家鞋类检测中心测试。结果表明，革样不含欧盟禁用的短链氯化石蜡及 26 种邻苯类化合物，无偶氮二甲酰胺残留，成革中 VOC 含量 < 5 mg/kg (革)，增塑剂的析出率 < 0.25%。

(3) 项目获奖

本项目部分研究成果已获 2018 年度中国轻工业联合会技术发明一等奖 (低碳、生态人造革制造关键技术及集成应用)，部分成果获 2007 年度教育部技术发明一等奖 (制革清洁生产关键技术)；项目负责人范浩军教授获中国皮革协会成立 30 周年颁发的 2018 年度“中国皮革行业杰出人物奖”，遴选委员会对他的评价是：“…促进皮革和人工革学科交叉融合，在国内**首倡合成革清洁生产**技术并进行了卓有成效的研究，是制革界最受尊敬的学者之一”。

(4) 与国内外技术主要参数对比

1) **风险化学品创制技术比较** 为满足发泡效率和增塑剂耐迁移性要求，国内外

技术离不开AC发泡剂和邻苯系增塑剂。发达国家虽有DOP的替代产品但仍依赖化石资源。本项目自主研发非偶氮低温发泡剂、环氧端双酯及反应型增塑剂、表面张力可调、固含量高等系列水性涂层剂，为人造革、合成革的绿色制造提供关键支撑材料，在该方向处于国内外先进水平。

2)制革工艺技术比较 国内外普遍采用 AC 高温发泡→邻苯系增塑剂增塑→溶剂型涂层的制革工艺技术，本项目国内外首次提出低温发泡→环保增塑→水性涂层的绿色制革技术路线，在发明光致激活低温发泡、同步反应内增塑等模块应用技术基础上，形成了集成的绿色制革工艺技术，国内外未见相关报道。该项目技术与国内外同类技术的比较如表 1。

表 1. 该项目技术与国内外同类技术的对比

技术	主要参数	国内水平	国际先进水平	本项目水平	本项目效果
发泡技术	发泡剂及发泡技术	偶氮类/高温发泡技术	偶氮类/高温发泡技术	磺酰肼类/低温发泡技术	解决了偶氮残留、PVC 高温分解和导热油老化等问题；综合节能 40%
	发泡温度	210-220℃	210-220℃	180-190℃	
	综合能耗（标煤）	10 吨/万平米	10 吨/万平米	6 吨/万平米	
增塑技术	增塑剂及增塑技术	DOP 为主/外增塑技术	DOP 加氢/外增塑技术	环保增塑剂/内增塑技术	解决了 DOP 毒性残留，资源的依赖和增塑剂迁移析出的技术瓶颈
	耐迁移率(70℃600h)	25%	2.5%	0.25%	
	邻苯增塑剂替代度	20-30%	100%	100%	
涂层技术	涂层树脂类型	溶剂型	部分水性	水性	源头解决了革中 VOC 残留和环境污染问题
	溶剂排放量(g/m 革)	80	5	0	
生产工艺	形成集成绿色新工艺	未形成	未形成	形成绿色制革新工艺	确保行业可持续发展

(5) 科研项目验收及成果鉴定结论

① 2018 年 6 月，中国轻工业联合会组织专家对项目组完成的研究工作“低碳、生态人造革制造关键技术及集成应用”进行了科技成果鉴定，鉴定意见认为：“该项目…解决了偶氮类 AC 发泡剂能耗高、残留的技术难题；…获得了利用低碘值油脂制备环保增塑剂的新方法；突破了增塑剂不耐迁移的技术瓶颈；…攻克了制约行业发展的共性技术难题，…经济社会效益显著。…该项目成果创新明显，技术达到**国际领先水平**。”

②2017 年 8 月 22 日，中国轻工业联合会组织专家对项目组完成的“全水性聚氨酯生态合成革及智能化清洁生产技术”项目进行了科技成果鉴定，鉴定意见认为：该项目是水性合成革集成清洁生产技术，…首创无离型纸直接涂层工艺，节约了昂贵离型纸资源…生产过程无 VOC 排放，…产品符合欧盟 REACH 法规要求，具有自主知识产权，总体技术达到**国内领先水平**。

③2014 年 8 月，江苏省科技厅、人事厅组织专家对项目组完成的江苏省高层次创新创业人才计划项目“低能耗合成革制造技术研发”（苏人才办（2011）32 号）进行了验收。主要结论为：“该项目利用低温、环保发泡剂成功开发出了低能耗人造革制造技术，降低综合能耗 40%，…产品无偶氮残留，满足欧盟人造革出口资质，…取得明显社会和经济效益。

(6) 项目查新报告

2018 年 5 月，教育部科技查新工作站 Z05 对项目组完成的“低碳、生态人造革制造集成技术”进行了查新，主要涉及非偶氮低温发泡剂、环保增塑剂及反应型增塑剂的制备及集成应用技术，主要结论为：“除该项目组成员的前期研究成果外，在所检国内外文献范围未见相同报道”。

应用情况（限 2 页）

本项目开发的低温发泡剂和水性涂层剂已在浙江德美博士达高分子材料有限公司投产，产能分别达到 5000 吨/年和 5 万吨/年；环保增塑剂已在河北金谷再生资源开发有限公司产业化，产能达到 10 万吨/年。上述完成单位近 3 年累计生产和销售产品约 13.7 万吨，有力地促进了传统人造革、合成革制造用有害化学品替代工作的开展。迄今为止，上述替代材料及人工革绿色制造集成技术，已在我国 10 余个省的 200 余家制革企业推广应用（采用集成或单元技术），企业采用率超过 35%，集成技术应用企业 36 家，在产生显著环境效益的同时，也提高了制革企业的经济效益。其中，7 个有代表性成果应用单位的情况如下：

主要应用单位情况表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人/电话
1	河北金谷再生资源开发有限公司（完成单位）	环保增塑剂生产技术	环氧脂肪酸端双酯产能 10 万吨/年；反应型增塑剂产能 1.5 万吨/年；已在全国 200 余家软质 PVC 企业推广应用	2013 年 3 月-至今	赵敏仲 /15130111396
2	浙江德美博士达高分子材料有限公司（完成单位）	低温发泡剂及水性表处剂生产技术	低温发泡剂产能 5000 吨/年；水性涂层剂产能 5 万吨/年；已在全国 150 余家革企推广应用	2013 年 12 月-至今	李成祥 /15118738319
3	扬州市德运塑业科技股份有限公司	低温发泡剂、环保增塑剂和水性涂层剂集成应用技术	近 3 年低温发泡剂使用量 358.4 吨，反应型增塑剂使用量 2240 吨，水性表处剂使用量 2706 吨，人造革产量 2145 万米	2013 年 4 月-至今	孟雨亭 /13905254981
4	东台市富安合成材料有限公司	低温发泡、环保增塑及水性表处集成技术	近 3 年使用低温发泡剂 484.4 吨，环氧双酯增塑剂 14750 吨，水性涂层剂 5504 吨，生产人造革、合成革 5640 万米	2011 年 10 月-至今	周平 /13770253801
5	成都市恒通人造革厂	环保发泡剂、增塑剂和涂层剂集成应用技术	近 3 年累计使用反应型增塑剂 5500 吨，低温发泡剂 415 吨，水性涂层剂 3520 吨，制造并销售人造革 1688 万米	2014 年 3 月-至今	廖有联 /13550016666
6	清远市齐力合成革有限公司	水性涂层材料及合成革绿色制造技术	近三年使用水性树脂 11664 吨，生产水性合成革 2278.8 万米	2010 年 5 月	罗志清 /13509257121
7	成都众信塑胶有限责任公司	人造革清洁生产集成技术	近 3 年累计使用低温发泡剂 284.8 吨、环氧脂肪酸端双酯增塑剂 7300 吨、水性涂层材料 1456 吨，制造高端 PVC 人造革 3059 万米	2015 年 6 月-至今	石贵平 /13881921332

(1) 直接经济效益

单位：万元（人民币）

年份	新增产值	新增利润	新增税收
2016年	28962.9	6662.5	2724.5
2017年	45647.06	10060.8	4147.3
2018年	54573.64	12955.8	5721.5
累计	129183.6	29679.1	12593.3

经济效益的有关说明及各栏目的计算依据：

(1) 直接经济效益数据由完成单位河北金谷再生资源开发有限公司、浙江德美博士达高分子材料有限公司提供；

(2) 河北金谷再生资源开发有限公司：近3年累计销售环氧脂肪酸端双酯增塑剂 94500 吨（均价 7400 元/吨）、巯基类增塑剂 15800 吨（均价 9700 元/吨），新增产值共计 $94500 \text{ 吨} \times 7400 \text{ 元/吨} + 15800 \text{ 吨} \times 9700 \text{ 元/吨} = 85256 \text{ 万元}$ ，新增利润共计 19789.3 万元，新增税收=所得税+增值税+附加税 $\approx 8269.8 \text{ 万元}$ ；

(3) 浙江德美博士达高分子材料有限公司：近3年累计销售低温发泡剂 4982 吨（均价 18000 元/吨）、水性表处剂 21850 吨（均价 16000 元/吨），新增产值共计 $4982 \text{ 吨} \times 18000 \text{ 元/吨} + 21850 \text{ 吨} \times 16000 \text{ 元/吨} = 43927.6 \text{ 万元}$ ，新增利润共计 9889.8 万元，新增税收=所得税+增值税+附加税 $\approx 4323.5 \text{ 万元}$ ；

(4) 上述两家完成单位近3年：

新增产值共计 $85256 \text{ 万元} (\text{金谷}) + 43927.6 \text{ 万元} (\text{德美}) = 129183.6 \text{ 万元}$ ；

新增利润共计 $19789.3 \text{ 万元} (\text{金谷}) + 9889.8 \text{ 万元} (\text{德美}) = 29679.1 \text{ 万元}$ ；

新增税收共计 $8269.8 \text{ 万元} (\text{金谷}) + 4323.5 \text{ 万元} (\text{德美}) = 12593.3 \text{ 万元}$ 。

(2) 间接经济效益

本项目发明的人造革、合成革用替代材料及绿色制革集成技术在主要完成单位的大力推动下，已在我国 10 余个省的 200 余家制革、制鞋和膜材企业获推广应用。根据具有代表性的 5 家革企出具的证明材料，近3年部分或全部采用本项目创制的材料和发明的技术，新增产值约 38.11 亿元，新增利润 40149.45 万元，新增税收 7394.64 万元，能耗节支 5150.8 万元。具体如下：

①东台市富安合成材料有限公司近3年累计生产人造革、合成革 5640 万米，新增产值 16.92 亿元，新增利润 1.9032 亿元，新增税收 3227.6 万元。减排 VOC 共计 3852.8 吨，节省标煤 22560 吨，能耗节支 1240.8 万元。

②成都市恒通人造革厂近3年累计制造并销售人造革 1688 万米，新增产值 34636.5 万元，新增利润 3639 万元，新增税收 936.3 万元；近3年能耗节支约 2300 万元，减少 VOC 排放 2464 吨。

③清远市齐力合成革有限公司近3年累计生产水性合成革 2278.8 万米，新增产值 8.659 亿元，新增利润 8582 万元，新增税收 1458.94 万元，减排 VOC 计 7275.8 吨。

④成都众信塑胶有限责任公司近3年累计制造高端人工革 3059 万米，新增产值达 3.7229 亿元，新增利润 1954.45 万元，新增税收 938.6 万元；近3年节省标煤 15392 吨，能耗节支 1200 余万元。

⑤扬州市德运塑业科技股份有限公司近3年生产人造革 2145 万米，新增产值 53400 万元，新增利润 6942 万元，新增税收 833.2 万元，节省标煤约 7500 吨，能耗节支 410 余万元，有机溶剂减排 4600 余吨。

主要知识产权和标准规范等目录（不超过 10 件）								
知识产权类别	知识产权（标准）具体名称	国家	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人（标准起草人）	发明专利状态）
发明专利 1	低品质动植物油改性及深度环氧化制备环保增塑剂的方法	中国	ZL 2014 1 0065747.5	2015年12月2日	1863721	四川大学	范浩军, 陈意, 贾茂林, 李成祥, 刘若望, 石碧	有效
发明专利 2	一种人造革用环保低碳发泡剂及其制备方法	中国	ZL 2015 1 0710296.0	2017年11月24日	2712635	四川大学	范浩军, 郭学方, 陈意, 颜俊, 王芳, 石碧, 汪峰	有效
发明专利 3	一种低能耗生态人造革制造方法	中国	ZL 2013 1 0734103.6	2015年8月19日	1758749	四川大学	陈意, 范浩军, 彭必雨, 刘世勇, 李成祥, 石碧	有效
发明专利 4	一种基于水性树脂和 TPU 树脂的发泡合成革制造方法	中国	ZL 2013 1 0734113.X	2015年11月18日	1844848	四川大学	范浩军, 陈意, 宁继鑫, 刘世勇, 王伟, 廖学品	有效
发明专利 5	一种多级酯交换制备脂肪酸甲酯的方法	中国	ZL 2014 1 0366045.0	2017年8月4日	2575823	河北金谷再生资源开发有限公司	赵敏仲, 赵占群, 郭少谈	有效
发明专利 6	一种基于内增塑改性的聚氯乙烯人造革制造方法	中国	ZL 2015 1 0593093.8	2017年6月16日	2519485	四川大学	陈意, 王芳, 贾茂林, 杨涛, 范浩军, 彭必雨	有效
发明专利 7	一种芳香族高固含水基聚氨酯的制备方法	中国	ZL201310026511.6	2015年5月27日	1680581	浙江德美博士达高分子材料有限公司	范浩军, 李成祥	有效
发明专利 8	一种人造革、合成革用水性耐磨耐刮表剂及制备方法	中国	ZL 2015 1 0712723.9	2017年6月6日	2508381	四川大学	范浩军, 盖静, 陈意, 颜俊, 郭学方, 汪峰	有效
发明专利 9	一种环境友好的半聚氨酯革的制造方法	中国	ZL201110351519.0	2013年07月03日	1228560	四川大学	范浩军, 王珊珊, 陈意, 杨坡, 陈新, 刘世勇	有效
轻工行业标准 10	聚氨酯合成革绿色工艺技术要求	中国	QB/T5042-2017	2018-04-01 实施	60707-2017	浙江五洲实业有限公司, 四川大学, 浙江德美博士达高分子材料有限公司等 15 单位	张才, 范浩军, 夏金莲, 许刚, 张献慧, 陈意, 张磊等 17 人	有效

主要完成人情况						
姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目技术创造性贡献
范浩军	1	教育部重点实验室主任	教授	轻纺与食品学院	四川大学	为本发明研究内容的整体负责人，负责项目总体思路的设计与执行，相关工作的协调安排，指导新材料的设计、合成与中试放大，并协助开展产业化，对本发明的发明点 1、2、3、4 均作出了贡献，是知识产权目录中专利 1、2、4、7、8、9 的第一发明人。
陈意	2	合成革研究中心副主任	教授	轻纺与食品学院	四川大学	长期从事环保、功能型增塑剂的研发工作，与河北金谷再生资源开发有限公司合作，发明了环氧脂肪酸端双酯的制备方法，是含巯基的反应型增塑剂及其合成路线的设计者，是同步反应内增塑学术思想的提出者，对发明点 1、2 中所述的研究成果做出了重要贡献，是知识产权目录中专利 3、6 的第一发明人，是专利 1、2、4 的主要发明人。
赵敏仲	3	技术总监	高工	河北金谷再生资源开发有限公司	河北金谷再生资源开发有限公司	与本发明第 2 完成人陈意教授在新型环保增塑剂的开发方面长期合作，完成了环氧脂肪酸端双酯及反应型增塑剂的产业化转化，是知识产权目录中专利 5 的第一发明人。
李成祥	4	技术总监	工程师	浙江德美博士达高分子材料有限公司	浙江德美博士达高分子材料有限公司	对低温发泡剂和水性涂层剂的施工方式、用量、发泡/塑化温度、表面涂层效应和功能进行了优化，完成了上述新材料与 PVC 人造革用助剂、制造设备、工艺条件的配伍性评价工作，在人造革风险化学替代及集成应用技术（发明点 4）的推广应用工作中发挥了重要作用，是知识产权目录中专利 1、3 的主要发明人。
颜俊	5	/	高工	轻纺与食品学院	四川大学	参与完成了 PVC 用低温发泡剂的研制工作，尤其是在低温发泡剂的合成、结构表征及施工条件优化方面做了大量创造性实验工作，对发明点 2 做出了重要贡献，是知识产权目录中专利 2、8 的主要发明人。

完成人合作关系说明

第一完成人范浩军教授、第二完成人陈意教授、第五完成人颜俊高级工程师均为四川大学制革清洁技术国家工程实验室固定研究人员。3人是项目的共同参与者，共同申请发明专利，共同发表研究论文，共同获奖。四川大学为本项目完成的主体单位，负责项目总体方案的设计与执行，相关工作的协调安排，完成新材料的设计、合成，并指导第三、第四完成人所在合作企业完成三大类替代材料的产业化及集成应用，对本发明的每一发明点均作出了贡献，是知识产权目录中除专利 5、7 外的发明单位。

第三完成人赵敏仲高工是河北金谷再生资源开发有限公司技术总监，作为本发明第二完成单位与四川大学合作，负责进行环氧脂肪酸端双酯和巯基类环保增塑剂的产业化工作，完成了设备和工艺的配伍性研究，建成环保增塑剂生产线，并对产品的推广应用做出了重大贡献，为人造革风险化学品替代提供了高物性环保增塑剂，赵敏仲高工也是知识产权目录中专利 5 的第一发明人，与第 1,2,4,5 完成人共同完成的科研成果获中国轻工业联合会技术发明一等奖。

第 4 完成人李成祥工程师浙江德美博士达高分子材料有限公司技术总监，作为本发明的第三完成单位与四川大学保持长期友好合作，参与了低温发泡剂 FA 的和水性涂层材料的产业化和推广应用工作，完成了设备选型和工艺的配伍性研究，建成年产 5000 吨/年低温发泡剂生产线和 5 万吨/年水性涂层材料生产线，为人造革健康风险控制提供了低温、环保发泡剂和水性涂层剂等关键支撑材料。同时，该公司利用自身销售网络，积极推动低温发泡剂、水性涂层及在下游制革企业的推广应用，产生了良好的经济效益和社会效益，是发明专利 7 的发明单位；李成祥工程师在人工革有害化学品替代及集成应用技术（发明点 4）的推广应用工作中发挥了重要作用，是知识产权目录中专利 1、3 的主要发明人，与第 1,2,3,5 完成人共同完成的科研成果获中国轻工业联合会技术发明一等奖。