

项目公示信息表

一、项目基本情况

| | |
|------------|--|
| 奖 种 | 国家技术发明奖 |
| 项目名称 | 植物纤维超微结构调控的废纸纤维高效利用关键技术创新及应用 |
| 完成人 | 万金泉，马邕文，王艳，陈克复，余仕发，陈德强 |
| 推荐单位 | 中国轻工业联合会 |
| 推荐单位 意见 | <p>我国是全球第一造纸大国，废纸的回收利用是解决原料短缺问题的关键，目前废纸已占我国造纸原料的 65%以上，且逐年上升。但废纸在造纸过程中发生的纤维品质衰变制约了其循环利用。</p> <p>项目通过调控植物纤维的超微结构解决了废纸回用于造纸生产时纤维性能衰变的问题。主要发明技术包括：（1）发现植物纤维在回用造纸过程中，纤维细胞壁孔隙发生不可逆关闭是导致废纸润胀性及成纸强度降低的主要原因，发明了变螺径碎浆机转子和渐开式梯形磨浆新技术，避免了纤维细胞壁孔的不可逆关闭，提升纤维强度性能；（2）发现了造纸过程中平行纤维素分子链发生共结晶并引起纤维强度下降规律，创新性研发了分段变温纸页干燥和复配生物脂肪酶浮选脱墨新工艺，有效缓解纤维共结晶的发生，提高纤维的可塑性和强度；（3）解析了纤维表面化学基团变化与纤维成纸强度的影响关系，发明了小分子物质修饰漆酶提高其活性和稳定性的方法和改性纤维新技术，通过嫁接羧基到纤维表面以提高纤维的润胀性能，进而提高成纸强度。</p> <p>项目技术从 2009 年开始已在福建省晋江优兰发纸业有限公司、福建希源纸业有限公司、广州造纸集团有限公司等企业推广应用实现了工业化生产，创造了显著的经济和社会效益，为实现我国造纸工业的绿色可持续发展做出了重大贡献。</p> <p>推荐项目为国家技术发明奖。</p> |

二、项目简介

造纸工业是我国国民经济中的重要支柱产业，作为全球第一造纸大国，原料短缺和污染严重是我国造纸工业发展的瓶颈问题。废纸的回收利用是解决这一问题的关键，目前废纸已占我国造纸原料的 65%以上，且逐年上升。但废纸在造纸过程中发生的纤维品质衰变制约了其循环利用。该项目研究了植物纤维的超微结构对纤维性能影响机制，研发了废纸纤维性能衰变抑制、造纸品质提升的关键技术，实现了制浆造纸技术的突破与创新、推动了造纸工业绿色可持续发展。

技术发明点主要包括：（1）阐明了植物纤维细胞壁空隙结构与纤维成纸性能的关系，研究发现植物纤维在回用造纸过程中，纤维细胞壁孔隙发生不可逆关闭是导致废纸润胀性及成纸强度降低的主要原因，发明的基于变螺径碎浆机转子和渐开式梯形磨片制浆新技术，可避免纤维细胞壁孔的不可逆关闭，提升纤维强度性能；（2）发现了造纸过程中平行纤维素分子链发生共结晶并由此引起的纤维强度下降规律，创新性研发了分段变温纸页干燥和复配生物脂肪酶浮选脱墨新工艺，有效缓解纤维共结晶的发生，提高纤维的可塑性和强度；（3）解析了纤维表面化学基团变化与纤维成纸强度的影响关系，发明了小分子物质修饰漆酶提高其活性和稳定性的方法和改性纤维新技术，通过嫁接羧基到纤维表面以提高纤维的润胀性能，进而提高成纸强度。

成果与国内外现有技术相比，可使废纸造纸成纸抗张指数提高 30.0%、撕裂指数提高 20.0%、环压指数提高 15%、吨浆节电约 13.0%以上。实现了废纸纤维的高效循环利用。已在全国多家造纸企业应用，每年新增利润 1.7 亿元，通过提升纤维品质、节电、节约造纸原料等为企业创造了良好的经济效益。

该项目得到国家“863”计划、国家自然科学基金、教育部博士点基金、广东省科技计划重点项目等资助，发表论文百余篇，在 JCR 一区 top 期刊《Bioresource Technology》连载 4 篇。获授权国家发明专利 17 件，授权实用新型专利 5 件。相关成果被广东省科技厅鉴定达到国际领先水平。出版学术专著 4 部，其中《造纸纤维性能衰变抑制原理与技术》获得广东省原创精品出版物、广东省优秀科技专著出版资金，2014 年被国家新闻出版总局列为国家“十二五”重点规划出版物。成果获中国轻工联合会技术发明一等奖、广东省专利金奖、教育部自然科学奖等科技奖励，为造纸行业培养硕士研究生 48 名、博士研究生 12 名，形成制浆造纸领域高水平研究队伍。

三、客观评价

在纤维细胞壁孔方面，项目完成人 2010 年发表于《Cellulose》(IF=3.600) 上的论文“Crystal and pore structure of wheat straw cellulose fiber during recycling”已被 SCI 他引 132 次。美国威斯康星大学生物工程系 (Department of Biological Engineering, University of Wisconsin-Madison) Zhu 教授 (J. Y. Zhu) 在《Bioenergy Research》(IF=3.562) 发表的论文“Substrate-Related Factors Affecting Enzymatic Saccharification of Lignocelluloses: Our Recent Understanding”，对我们提出的采用低温氮吸附法测定纤维孔径大小及比表面积给予了充分肯定，认为该方法是目前研究纤维孔隙结构最好的方法；加拿大拉瓦尔大学化学工程系 (Department of Chemical Engineering, Laval University) 的 Rodrigue 教授 (Denis Rodrigue) 在《Journal of Applied Polymer Science》(IF=1.289) 发表论文“Effect of Fiber Treatment on the Water Absorption and Mechanical Properties of Hemp Fiber/Polyethylene Composites”，对项目完成人在 2010 年发表于《Bioresource Technology》(IF=4.98) 上的论文“Effects of hemicellulose removal on cellulose fiber structure and recycling characteristics of eucalyptus pulp”关于纤维孔隙结构与半纤维素含量间关系的研究成果给予了高度评价。

在纤维结晶度与其性能关系方面，2010 年发表于《Bioresource Technology》(IF=4.98) 上的论文“Effects of hemicellulose removal on cellulose fiber structure and recycling characteristics of eucalyptus pulp”分别被国际上高水平期刊引用，如《Biotechnology for Biofuels》(IF=6.088)、《Biomacromolecules》(IF=5.479)、《Bioresource Technology》(IF=4.980)、《Carbohydrate Polymers》(IF=3.628) 等 SCI 他引 103 次。美国缅因大学生物与生态学院 (School of Biology and Ecology, University of Maine) 的 Howell 教授 (Caitlin Howell) 在《Cellulose》(IF=3.600) 发表的论文“Effects of hot water extraction and fungal decay on wood crystalline cellulose structure”，对项目完成人关于随着半纤维素去除，邻近结晶区域会结合在一起，发生共结晶现象的研究结果给予了高度评价；英国诺丁汉大学可持续生物能源研究中心 (BBSRC Sustainable Bioenergy Research Centre, University of Nottingham) 的 Ibbett 教授 (Roger Ibbett)，在国际著名期刊《Biotechnology for Biofuels》(IF=6.088) 发表的论文“Structural reorganisation of cellulose fibrils in hydrothermally deconstructed lignocellulosic biomass and relationships with enzyme digestibility”认为我们提出的植物纤维在回用过程中纤维素结晶度增加的原因为解释木质纤维在热解过程中结晶结构的变化提供了重要参考依据。

关于氨基酸带来的大量羧基能够有效地提高成纸强度成果已经在一区 top 期刊《Bioresource Technology》(IF=4.98) 上发表两篇论文。在氢键与纤维性能关系方面，项目完成人在《BioResources》上连载三篇论文“The content of different hydrogen bond models and crystal structure of eucalyptus fibers during beating” (2013)、“Effects of different deinking processes on fiber morphology, hydrogen bond models, and cellulose supramolecular structure” (2013)、“Fiber Properties of De-inked Old Newspaper Pulp after Bleaching with Hydrogen Peroxide” (2015)。

发表的论文“漆酶协同谷氨酸提高再生植物纤维成纸强度性能的机理研究”、“两种漆酶改性方法及其在造纸纤维改性中的应用”分别获 2016 年中国造纸学会年会优秀论文奖、2014 年广东省造纸学会科技论文一等奖。

2007 年福建省科技厅组织的鉴定会鉴定认为“创新性将生物酶脱墨剂和化学

脱墨剂配合应用于脱墨生产，优化了浮选工艺，提高了产品质量，项目总体水平国内领先”。2012年广东省科学技术厅组织的鉴定会认为“项目研究获得了新型纤维衰变抑制关键技术，具有明显的创新性，可以达到提高浆纸强度、增加纤维回用次数的目的，达到国际先进水平”。

在2013年中国工程院论坛、2014年中国造纸年会上，第一完成人受邀就“再生植物纤维的微观结构与其造纸性能”作大会报告，受到与会专家、学者的高度评价。

项目从纤维超微结构方面阐明了纤维在造纸过程中反应变化机理，发明了多项技术成果并应用，创造了的经济、社会和环境效益。获2016年中国轻工业联合会技术发明一等奖、2009年广东省专利金奖、2015年教育部自然科学二等奖。项目第一完成人万金泉教授2014年被中国造纸学会授予首届“中国造纸蔡伦科技奖”、2015年被广东省人民政府授予“广东专利发明人奖”。

项目出版专著4部，其中《造纸纤维性能衰变抑制原理与技术》（广东省科技出版社，2014年）是国内再生植物纤维研究领域第一部学术专著，该书成为再生植物纤维研究的重要参考书，获得广东优秀科技专著出版基金、广东原创优秀精品，2014年被国家新闻出版总局列为国家“十二五”重点规划出版物。

四. 推广应用情况

该项目技术成果已在全国多家造纸企业得到应用,通过提升废纸纤维造纸品质、节电、节约造纸纤维,为企业创造了良好的直接经济效益和环境效益。代表性应用本技术成果的造纸企业如下:

主要应用单位情况表

| 应用单位名称 | 应用技术 | 应用的起止时间 | 应用单位联系人/电话 | 应用情况 |
|----------------|-------------------------------------|------------|----------------------|----------------|
| 福建省晋江优兰发纸业有限公司 | 修饰漆酶/谷氨酸体系改性废纸纤维提升强度新技术 | 2012-12—至今 | 余仕发 85123827 | 废纸纤维回用生产特种纸 |
| 福建希源纸业有限公司 | 修饰漆酶/谷氨酸体系改性废纸纤维提升强度新技术 | 2012-12—至今 | 陈德强 13960661690 | 废纸纤维回用生产特种纸 |
| 广州造纸集团有限公司 | 纤维生物改性处理新技术 | 2014-10—至今 | 黄小慧 13332864949 | 废纸纤维回用生产新闻纸 |
| 东莞市上隆纸业有限公司 | 废纸纤维改性处理回用新技术 | 2011-01—至今 | 叶建光 13602352630 | 废纸纤维回用生产包装纸 |
| 湖北宜昌翔陵纸制品有限公司 | 纤维生物改性处理回用新技术 | 2013-10—至今 | 王海军 15872674529 | 废纸纤维回用生产高强瓦楞纸 |
| 江苏尚品大成纸业科技有限公司 | 制浆、干燥及纤维改生物改性新技术 | 2013-05—至今 | 潘俊良 0516-85180897 | 废纸纤维生产高强瓦楞纸 |
| 泉州华祥纸业有限公司 | 分段变温纸页干燥新工艺和修饰漆酶/谷氨酸体系改性废纸纤维提升强度新技术 | 2013-01—至今 | 林家发 13960411692 | 废纸纤维循环回用生产包装纸 |
| 东莞市道滘兴隆造纸厂有限公司 | 纤维生物改性新技术 | 2013-06—至今 | 刘柏洪 0769-8835233 | 废纸纤维回用生产包装纸 |
| 东莞市绿微康生物科技有限公司 | 生物酶复配及改性技术 | 2010-01—至今 | 王剑英 0769-39099667 | 生物酶生产制造 |
| 浏阳市天和纸业有限公司 | 废纸纤维改性处理回用新技术 | 2013-01—至今 | 吴志平 13907494111 | 废纸纤维回用生产白板纸 |
| 湖北盛大纸业有 限公司 | 纤维改性新技术 | 2011-11—至今 | 盛明样 0728-8236868 | 废纸纤维处理后回用包装纸生产 |

五、主要知识产权证明目录（不超过 10 件） ZL201310380070.X

| 知识产权类别 | 知识产权具体名称 | 国家(地区) | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 | 发明专利有效状态 |
|--------|-----------------------------|--------|------------------|------------|-----------|--------|---------------------------------------|----------|
| 发明专利 | 一种高温-低温组合干燥方式提高废纸纤维强度的方法 | 中国 | ZL200910192255.1 | 2010.10.27 | 第691389号 | 华南理工大学 | 万金泉 王艳 马邕文 肖青 | 有效 |
| 发明专利 | 一种基于氨基酸末端羧基的漆酶改性方法及应用 | 中国 | ZL201310380060.6 | 2014.10.08 | 第1494225号 | 华南理工大学 | 万金泉 陈杨梅 张全升 马邕文 王艳 黄明智 | 有效 |
| 发明专利 | 基于生物酶的中碱双回路浮选废纸脱墨工艺 | 中国 | ZL201310386144.0 | 2015.10.28 | 第1828872号 | 华南理工大学 | 万金泉 孟庆林 马邕文 王艳 黄明智 陈杨梅 | 有效 |
| 发明专利 | 一种可在高浓碎浆过程中减少废纸纤维损伤的方法 | 中国 | ZL201310375862.8 | 2015.10.28 | 第1827781号 | 华南理工大学 | 万金泉 袁龙婷 马邕文 王艳 黄明智 陈杨梅 | 有效 |
| 发明专利 | 基于置换抽滤两步法屏蔽造纸纤维氢键的方法 | 中国 | ZL201310375696.1 | 2015.10.28 | 第1827804号 | 华南理工大学 | 万金泉 李想 马邕文 王艳 黄明智 陈杨梅 | 有效 |
| 发明专利 | 一种提高废纸细小纤维强度的两性聚丙烯酰胺乳液的制备方法 | 中国 | ZL201310075603.3 | 2016.01.06 | 第1911238号 | 华南理工大学 | 王艳 李想 万金泉 马邕文 黄明智 | 有效 |
| 发明专利 | 一种废纸浆料的漂白方法 | 中国 | ZL201310202792.6 | 2015.10.28 | 第1825882号 | 华南理工大学 | 万金泉 孟庆林 王艳 马邕文 黄明智 陈杨梅 | 有效 |
| 发明专利 | 一种基于氨基酸末端氨基的漆酶改性方法及应用 | 中国 | ZL201310380070.X | 2015.03.11 | 第1602102号 | 华南理工大学 | 马邕文 张全升 万金泉 陈杨梅 王艳 黄明智 | 有效 |
| 发明专利 | 一种纳米两性聚丙烯酰胺助剂的制备方法 | 中国 | ZL200810198488.8 | 2010.10.27 | 第691189号 | 华南理工大学 | 万金泉 马邕文 王艳 晏溶 | 有效 |
| 发明专利 | 一种检测生物膜纤维素酶活性的分析方法 | 中国 | ZL201010223543.1 | 2010.07.09 | 第1094927号 | 华南理工大学 | 万金泉 黄蓉姿 王艳 马邕文 | 有效 |

六、主要完成人情况表

| | | | | | |
|---|--------|-----|---|------|-----|
| 姓 名 | 万金泉 | 排 名 | 1 | 技术职称 | 教授 |
| 工作单位 | 华南理工大学 | | | 行政职务 | 副主任 |
| 完成单位 | 华南理工大学 | | | | |
| <p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>1.项目总负责人，负责项目总体设计、技术研发和工程应用；</p> <p>2.对主要技术发明点 1、技术发明点 2、技术发明点 3 均有重要创造性贡献；</p> <p>3. 八 项 授 权 发 明 专 利 [ZL201310380060.6 ； ZL200910192255.1 ； ZL201010223543.1 ； ZL200810198488.8 ； ZL201310375696.1 ； ZL201310386144.0 ； ZL201310375862.8 ； ZL201310202792.6]排名第一，一项授权发明专利[ZL200910192256.6]排名第二，一项授权实用新型专利[ZL201020171639.3]排名第一；</p> | | | | | |

| | | | | | |
|---|--------|-----|---|------|----|
| 姓 名 | 马邕文 | 排 名 | 2 | 技术职称 | 教授 |
| 工作单位 | 华南理工大学 | | | 行政职务 | 无 |
| 完成单位 | 华南理工大学 | | | | |
| <p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>1. 项目主要完成人，主要负责技术中试与工程应用推广，具体实施试验研究；</p> <p>2. 基于高强剪切力场的废纸高浓碎浆新方法和高低温分段干燥技术主要发明人之一，对技术发明点 1 和 2 有创造性贡献；</p> <p>3. 一项授权发明专利“一种基于氨基酸末端氨基的漆酶改性方法及应用” [ZL201310380070.X]排名第一，一项授权实用新型专利[ZL200920053589.6]排名第一；</p> | | | | | |

| | | | | | |
|---|--------|-----|---|------|-----|
| 姓 名 | 王艳 | 排 名 | 3 | 技术职称 | 副教授 |
| 工作单位 | 华南理工大学 | | | 行政职务 | 无 |
| 完成单位 | 华南理工大学 | | | | |
| <p>对本项目技术创造性贡献：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 项目主要完成人，负责项目的基础理论研究及技术开发等工作； 2. 发现了废纸纤维共结晶的产生规律，对技术发明点 2 和技术发明点 3 有创造性贡献； 3. 两项授权发明专利[ZL200910192256.6、ZL201310075603.3]排名第一、一项授权发明专利 [ZL200910192255.1]、两项授权实用新型专利[ZL200920053589.6; ZL201020171639.3]排名第二； | | | | | |

| | | | | | |
|---|--------|-----|---|------|----|
| 姓 名 | 陈克复 | 排 名 | 4 | 技术职称 | 院士 |
| 工作单位 | 华南理工大学 | | | 行政职务 | 无 |
| 完成单位 | 华南理工大学 | | | | |
| <p>对本项目技术创造性贡献：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 项目主要完成人，对项目的总体研发方向及技术发明点 1、2 有重要贡献； 2. 利用生物酶脱墨降低纤维素结晶度新技术主要发明人之一； 3. 两项授权发明专利[ZL200610035737.2、ZL200710026420.7]排名第一，一项授权发明专利 [ZL2009101936075]排名第二； | | | | | |

| | | | | | |
|---|----------------|----|---|------|-------|
| 姓名 | 余仕发 | 排名 | 5 | 技术职称 | 高级工程师 |
| 工作单位 | 福建省晋江优兰发纸业有限公司 | | | 行政职务 | 技术经理 |
| 完成单位 | 福建省晋江优兰发纸业有限公司 | | | | |
| <p>对本项目技术创造性贡献：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 项目主要完成人，负责项目中试及工程应用，对技术发明点 2 和 3 有贡献； 2. 修饰漆酶提高其活性和稳定性以及修饰漆酶/谷氨酸体系改性废纸纤维中试研究和该技术的应用推广参与者，对技术发明点 3 提出了新颖的见解； 3. 两项授权发明专利[ZL201110345024.7、ZL200710008633.7]排名第一，三项实用新型专利[ZL201020218940.5、ZL201020219125.0、ZL201020219124.6]排名第一； | | | | | |

| | | | | | |
|--|------------|----|---|------|-------|
| 姓名 | 陈德强 | 排名 | 6 | 技术职称 | 高级工程师 |
| 工作单位 | 福建希源纸业有限公司 | | | 行政职务 | 研发部经理 |
| 完成单位 | 福建希源纸业有限公司 | | | | |
| <p>对本项目技术创造性贡献：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 项目主要完成人，负责组织实施技术中试与工程应用推广，对技术发明点 3 有贡献； 2. 共同参与了纤维生物处理新技术的中试及示范点的建立，对技术发明点 3 提出了新颖的见解以及协助该项目中修饰漆酶工艺研究、参数修订和工程应用。 | | | | | |

七、完成人合作关系说明

2007 年第一完成人承担了国家“863”计划“再生植物纤维高效循环利用关键技术的研究”(2007AA03Z433)，本计划参与者包括项目第二完成人马邕文和第三完成人王艳。2008 年项目第一完成人万金泉主持的广东省科技计划重点项目“废纸造纸过程中纤维衰变抑制关键技术”(2008A0302008)与第二完成人马邕文、第三完成人王艳、第四完成人陈克复院士共同承担，并于 2012 年通过广东省科学技术厅鉴定。2007 年项目第一完成人万金泉与第六完成人陈德强共同承担福建省科技计划项目“低污染废纸脱墨浮选工艺的开发与应用”(2004HZ03-3)，该项目于 2008 年通过福建省科学技术厅鉴定。

在项目实施期间，第一完成人与第二、第三完成人共同发表学术论文多 68 篇，获授权专利 10 项，共同撰写了学术专著《废纸造纸及其污染控制》(2004 年)、《造纸纤维性能衰变抑制原理与技术》(2015 年)。项目第一完成人与第六完成人陈德强自 2005 年至今共同在《中国造纸》、《造纸科学与技术》等期刊发表学术论文 5 篇，2016 年在《中国造纸学报》共同发表的论文“漆酶协同谷氨酸提高再生植物纤维成纸强度性能的机理研究”获中国造纸学会学术论文优秀奖。项目第一完成人自 2012 年开始与第五完成人余仕发、第六完成人陈德强联手开展该项目技术产业化应用工作，为技术成果的示范与推广提供了良好的支撑条件，并与第五完成人余仕发共同在《中国造纸学报》发表学术论文“纤维原料的细胞壁孔结构对其成纸性能的影响”、《中国造纸》发表学术论文“漆酶对不同漂段纸浆催化氧化木素的效果研究”。

项目第一、第二、第三完成人共同完成的“再生植物纤维微观结构与其循环利用性能”获得 2015 年教育部自然科学二等奖。