



百川公司的单丝生产车间



陈庆华(左)与其他专家正在查看由废旧纤维生产出的拉链基布。

泉州是纺织服装、制革制鞋和石材加工等特色产业集聚区,每年产生近千万吨边角废料。在科技创新的驱动下,固体废弃物被梯次耦合高质高值利用——

# 跨界耦合技术链 串起绿色价值链

□本报记者 陈旻 张颖 文/图

**核心提示**  
废布料、碎牛皮、废石块……这些本需要付费处理的工业固废,可以成为颇具经济价值的生产原料。  
1月14日,“十三五”国家重点研发计划“固废资源化”重点专项——“东南轻工建材特色产业集聚区固废综合利用集成示范”项目,在泉州顺利通过示范线现场核查与指标论证。  
与会专家一致表示,项目打造出多源固废绿色梯次高质利用和耦合

高值利用的“泉州模式”,并实现了纺织服装固废利用率>70%、制革制鞋固废利用率>80%、石材加工固废利用率>90%的目标;带动年消纳固废总量提高100万吨以上。  
该固废综合利用集成示范项目缘何落地泉州?某一产业的固体废物是如何经过循环再利用,成为另一个产业的原料,实现跨行业的“产业共生”?不同行业的固废综合利用,如何构建可持续的商业模式?为此,记者深入了解。



百川的彩纱展示墙

## 学思想 强党性 重实践 建新功 ——党报记者八闽调研行

### 场景:固废闭环“重生”

2024年元旦刚过,泉州石狮市海风猎猎,兴业皮革科技股份有限公司的示范生产线也是一片风生水起。

示范线上水汽蒸腾,废旧牛皮打碎形成的牛皮纤维浆料被送入高压水刺机组,在200~350公斤的压力下,被水牢牢“刺”在基布上,经过轧干、烘干、冷却、切边、打磨等一系列流程,成为一卷卷牛皮纤维再生革。

“这些再生革应用于汽车内饰、鞋面、服装等领域,单条生产线可月产20万~30万米。由于再生革尺码不受限制、颜色丰富,产品供不应求,已进入阿迪达斯、耐克、ZARA等国际知名企业的供应名录。目前第二条新生产线已完成安装,即将上马。”生产线负责人曹经理告诉记者,兴业科技作为皮革生产大厂,每年处置牛皮边角废料的费用高达数百万,两条再生革生产线全部达产后,不仅节省了处理费,还将带来每年近2亿元新产值。

除了牛皮,牛毛也是兴业科技产生的一大固废。在另一条生产线上,皮革鞣制前脱下的牛毛,经过清洗、干燥、预处理、水解、浓缩等工序,成为两种产品。“其一是改性角蛋白复鞣剂,用于皮革鞣制工序,节省了鞣制剂;另一产品是角蛋白粉,可作为饲料的原料。”项目课题三负责人、四川大学林伟教授介绍说,从废料中提取出有价值的成分,让牛毛变废为宝。兴业科技研发部负责人刘博文说,“目前生产线已完成小试、中试,申请了3件国家发明专利。”

此时,位于泉港的福建省百川资源再生科技股份有限公司,厂房内也是一派热火朝天的景象。在这里,废旧塑料瓶和废布料、废纤维等正在经历数次“重生”。

寻常可见的废旧PET(聚酯树脂)塑料瓶,在百川的示范生产线上,经过分选、破碎、清洗等一系列工序,成为超洁净回收瓶片,可作为原料生产涤纶长丝,它是服装、鞋面、帽子、书包、被褥等各类织物的原料。“纺织服装产业生产过程中产生的废纱线、织布边角料,经过团粒,成为这种灰黑色的颗粒,俗称泡泡料。”百川公司董事长张飞鹏介绍说,泡泡料经增黏造粒后被再次利用——一部分可替代回收瓶片,经过混合均化、纺丝、无水着色等过程,最终成为一锭锭色彩各异的免染再生彩纱;另一部分则直接被制作成拉链链牙用的再生聚酯单丝。

剩下的部分废料被运向周边,还将在不同企业的生产线上再度发光发热。

距离百川80公里以外,是全国人造石头部企业——福建鹏翔实业有限公司。董事长王少芳已从事再生石的制造近20年。此前,他从未想过会与纺织行业产生关系,但现在来自百川的纤维废料,成了他的香饽饽。

在鹏翔的厂房中,巨型“豆腐”般的人造大理石骨料正在等待凝固、切片。“我们有两种产品应用了废旧纤维。其一是再生有机人造石,它由回收碎石等天然石材加工废料和不饱和树脂耦合后,经搅拌混合、真空振荡压制成型、室温固化得到方料,再经切割、研磨抛光后制成。”生产部负责人李建成介绍说,其中新研发出的“再生纤维不饱和树脂”,是来自百川的纤维废料经上游企业可控制解和缩聚制备而成,这不仅降低了原料成

本,且生产出的人造大理石在抗压、抗折、线性热膨胀系数等性能上,均有良好表现。

另一产品是再生无人造石,它由天然石材加工废料经筛分后加入废纤维碎屑或再生聚酯单丝进行增强,拌入水泥粘料,经真空振荡成型、室温养护、切割、表面研磨抛光制成。在鹏翔的产品展厅中,加入了玛瑙、拉长石、云母片甚至玻璃珠等不同骨料的再生石色彩斑斓,被制作成各类摆件、装饰画,成了家居装饰的新宠,畅销国内外。

项目课题四负责人、广东省科学院戴子林教授说,原本增强无机石,加的是玻璃纤维,现在加的是纤维废料。“经测试,水磨石产品的抗折性能比以往更加优秀。”

“人造有机石和无机石,本就是本地石材行业产生的碎石废料进行再利用。”王少芳说,没想到石材行业的固废与纺织行业的固废结合后,不仅生产出优质再生石,实现降本增效,还为消纳固废、循环经济作出了贡献。

这条“再生之路”还未抵达终点。在位于泉州安溪县的福建中科三净环保股份有限公司,难以再生的固废熔于一炉,发挥余热。

在中科三净的示范生产线上,来自百川的纤维碎屑、来自兴业科技的皮革鞋材废料、来自废旧织物的纤维聚酯前驱体……被聚合起来,经过破碎、研磨,在反应釜中变成“橡塑复合建材”,用于建设橡塑跑道。福建中科三净环保股份有限公司总经理潘碧峰自豪地说,目前,这条生产线的产品已用于漳州金峰实验小学、泉州步新小学、安溪沼海中学等8所学校的跑道建设;此外,有机人造石加工中产生的磨切粉料与生物基纤维结合,还能制作成高强度水泥砂浆。

至此,纺织服装、制革制鞋、石材加工三大行业的固废被一轮“吃干榨净”,互为原料、闭环流动,形成了“产业共生”链条。这正是“东南轻工建材特色产业集聚区固废综合利用集成示范项目”(以下简称“固废综合利用集成示范项目”)要实现的目标。

### 背景:开展联合攻关

固废综合利用集成示范项目落地泉州,并非偶然。

泉州,作为纺织服装、制革制鞋和石材加工集聚区,每年产生近千万吨的固废,长期以来,主要靠焚烧、填埋来解决。

“当前,固废处理存在产量大、利用效率低、处理不妥当等问题,造成了环境问题和资源浪费,制约了我省特色产业的绿色可持续发展。”教授级高工、福建师范大学副校长陈庆华告诉记者,行业、研究机构、地方都在积极寻求固废处置的更优解。

### 愿景:奔向更绿未来

经过4年探索,一个基于产业耦合高值利用的绿色价值链在泉州初见雏形。校地、校企合力突围,开展绿色创新技术研发,建立绿色技术集成方案,推动政策和标准制定,构建可持续商业模式,为传统产业的新一轮减排降碳、构建经济效益良好的循环产业链贡献智慧,共同奔向更绿的未来。

目前,在新版《固废法》里,一般工业固废已经列入了法律监管,在无害化、资源化、资源化末端处置之外,模式创新和管理创新方面的要求同样不可忽视。罗永晋说,不止于技术创新,也不是简单地将实验室成果运用示范,更要探索构建稳定的商业模式,让新技术获得更多的认可,从而被更广泛地运用。“产业化水平持续提升,可促进国家生态

文明试验区建设,加快‘无废城市’建设步伐,为当地带来更好的就业和税收机会。”他说,不同行业的固废,因价值不同,有不同的商业模式。

例如,梯次高质利用的纺织服装生态产品,由于环境效益和经济效益兼备,因此可以采用以鼓励社会资本投资、市场竞争为主,金融财税支持为辅的梯次高质再生产品盈利商业模式,实现最大的价值。

对于鞣前牛毛、皮革废料等制革制鞋产品,在创新技术推动下,2021年生态环境部将含铬皮革废料纳入《危废豁免管理清单》。而该产品具有较好的环境效益,但是经济效益不佳,应采用产废企业投资、降低危废处置费用的闭环循环回用商业模式,尽量实现无害化处置。

而石材废料利用相对低值,在原有协会统一回收处置、政府配套阶梯补助政策的基础上,通过打破技术壁垒,石材加工产业固废与轻纺产品实现了耦合高值利用,具有良好的环境效益。

“中国工业门类齐全,工业固废问题的复杂性和普遍性是世界罕见的。泉州的轻工建材产业集群区域极具特色,为固废资源化利用行业高质量发展蹚出新路,正是我们课题组的责任和意义所在。”作为项目首席专家,陈庆华表示,“在补齐科研短板之外,我们同步推动制定相关的标准和政策,从而真正形成一个规范的运行模式,有力支撑我省‘国家生态文明试验区’建设。”

根据固废循环利用经济链条,泉州研究出台相关政策,涵盖教育、产业指导、经济责任、行政处罚、群众监督、黑榜、红榜、津贴、减税或免税等方面。泉州市科技局有关负责人表示:“如何用好用足政策激励工具,为轻工建材行业企业共生提供强大的外部驱动力,这是循环经济发展的长远命题。”

此外,福建师大还牵头制定相关地方标准——《工业园区废旧高分子材料回收和资源利用技术准则》,参与了《再生资源加工基地管理规范》《废旧高分子材料加工基地管理规范》等一系列行业标准制定工作,并抓紧《福建省低零碳循环化工业园区创建及评价指南》这一地方标准的起草工作。

在此基础上,陈庆华将目光瞄准了泉州特色产业的全链条管控。他认为,“十四五”时期,在国家“双碳”目标和绿色高质量发展的大背景下,泉州的轻工等特色产业应该从“末端治理”拓展到“源头减量”,从关注“单一环节”转变为“聚焦全产业链”,以实现全产业链条的提质增效。

2023年12月,陈庆华主持的“十四五”国家重点研发计划“循环经济关键技术与装备”专项——“东南特色橡塑产业提质增效循环经济集成技术及示范”项目获科技部正式批准立项。福建师大联合清华大学、北京工业大学、中国皮革和制鞋工业研究院(晋江)有限公司、匹克(中国)等高校科研院所、行业协会、龙头企业,组成政产学研联合攻关团队,开展技术攻关。

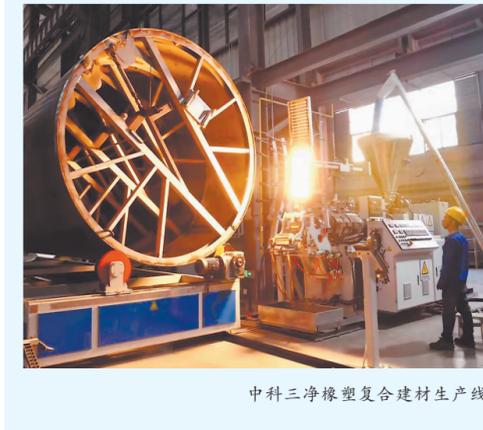
“该项目从生态设计开始,将突破鞋服产品的‘一体化设计—绿色拆解—高质再生—闭环回用’全产业链核心技术,解决其全生命周期碳排放量大的难题。”陈庆华说。



百川再生布生产车间



鹏翔再生石生产车间



中科三净橡塑复合建材生产线

