

附件

2023 年拟申报厦门市科学技术奖公示信息

一、项目名称

面向全开式产品的柔性化智能包装生产线研发与应用

二、提名单位

厦门市科学技术协会

三、项目简介

近年来，消费者对烟草产品的需求日新月异，市场对于中高端中支细支烟产品的需求逐年上升，国家局要求高端新牌号产品申报必须采取机器生产的模式。由于当前福建中烟中支高端牌号产品规格多样且礼盒包装工艺复杂，在机器上生产难度很大，因此主要采取手工包的方式，人工成本较高，生产效率较低，无法满足日益增长的市场需求，受工艺限制礼盒包装内部的硫酸纸和丝带位置难以通过传统手段进行机械式定位。因此需要设计一种套能够实现多规格生产、能够利用视觉驱动的机械手智能化包装生产线。

本项目主要围绕自主研发一套满足中支规格产品的全开式柔性智能包装产线，有效解决全开式新牌号的研发申报问题，使福建中烟具备全开式中支规格生产能力，多模式生产方式，为高端产品的研发提供设备保障。在礼盒包装线使用智能机器人配合 3D 深度视觉相机进行礼盒包装，并设计切换装置使烟包可以在常规条包与礼盒包装生产线之间自

由切换。项目的创新点如下：

1. 创新性地设计出一种烟组一次成型装置，设计烟库烟支下落装置和推送装置，提高烟组推送稳定性，消除烟支褶皱等质量隐患，并且能够实现“18+2”、“10+10”等多模式柔性烟支供给系统，实现两种不同牌号的烟支组合。

2. 创新型地设计出一种全开式包装机烟包翻转系统，对烟包进行三次翻转，改变烟包的姿态，以满足下游条包生产线的对接需求。下游条包生产线与全开式设备并机生产常规条盒，通过切换装置实现下游柔性生产线与全开式包装机并机生产礼盒包装。

3. 率先提出了一种基于法线和颜色信息约束的 ICP 点云配准定位算法，并采用 OpenMP 并行化提高其计算效率，以提高 3D 视觉定位的精度和计算速度，实现对礼盒包装硫酸纸和丝带的精准识别。

4. 创造性地提出一种基于连续可微的摩擦模型和 RBF 神经网络结合地机器人摩擦补偿控制，显著地提高了系统的控制精度，满足机械手对礼盒包装的工艺要求。

5. 创新集成了一种基于狄利克雷过程聚类的机器人在线演示学习方法，实现机器人对多规格礼盒包装的工艺过程学习，满足柔性化生产的需求。

该成果授权专利 3 项、实用新型 4 项，出版论文 6 篇。成套技术在厦门烟草工业有限责任公司应用，大幅减轻了人工劳动，大幅提升生产效率，并且该生产线能够满足多种模式柔性生产，成果自 2022 年 1 月投入使用，截至 2023 年 6

月，实现销售收入 1447.91 万元，利润 176.21 万元，税收 1030.05 万元。该成果为福建中烟高端中支产品开发提供设备保障，为福建中烟培养建立一支熟练掌握设备工艺流程设计、零部件设计、3D 视觉、机械手控制等关键技术的高水平、智能化的人才队伍，为今后机械手智能化应用提供宝贵经验。

四、主要完成单位

1. 厦门烟草工业有限责任公司；2. 厦门大学。

五、主要完成人及其贡献

1. 李志勇，厦门烟草工业有限责任公司：对科技创新点一、二、三做出突出贡献，作为本项目主要负责人，提出整体研发技术路线，提出烟组成型供料系统改进方案，改进烟库烟支下落装置和推送装置，提高烟组推送稳定性，消除烟支褶皱等质量隐患，并且能够实现“18+2”、“10+10”等多模式柔性烟支供给系统，实现两种不同牌号的烟支组合。设计烟组一次成型装置；提出烟包输送翻转系统，设计水平翻转装置、垂直翻转装置、转角推送装置，对烟包进行三次翻转，改变烟包的姿态，以满足下游条包生产线的对接需求。

（实用新型专利，李志勇，王小平，唐为民，《烟组成型装置和卷烟包装机》；实用新型专利，李志勇，黄雯华，刘长胜，《烟包转角装置和烟包输送装置》；实用新型专利，李志勇，刘长胜，吴委源，唐为民，林岩，饶太春，王小平，《将棱柱状烟包从平置转向成直立的转向装置》；论文：李志勇，刘长胜，《ITM 全开式包装机烟包翻转系统设计》[J]，烟草科技；会议论文：李志勇，严斌，黄小平，刘长胜，马

存国，刘瞰东，《基于改进动态运动基元的机器人拆垛演示学习研究》，首届中国烟草科学数据大会。）

2. 刘瞰东，厦门大学：对创新点三、四、五做出重要贡献，提出了一种基于条件约束匹配点的并行 ICP 算法。基于条件约束匹配点的并行 ICP 算法通过引入条件约束匹配点策略、并行计算加速和多视点云融合等创新方法，解决了传统 ICP 算法中初始姿态不准确导致的局部最优问题，并提升了配准的精度、实时性和鲁棒性。这些技术创造性贡献为礼盒包装纸三维点云配准定位的研究和应用带来了重要的进步。

提出了一种基于半参数化摩擦建模与补偿的机器人高精度控制方法。使用已知的物理模型和实验数据来进行摩擦力参数化建模。非参数化模型使用 RBF 神经网络来估计未知工况下的建模误差。共同组成的半参数化模型可以灵活地适应未知的摩擦力变化，并提供更准确的摩擦力估计和补偿。

（论文：T D Liu, F Z Kong, M He, X M Wu and G Fang Shao, *Parallel 3D ICP Based on Conditionally Constrained Corresponding Points and Applications*, 2021 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC), Xiamen, China, 2021; 论文：Miao He, Xiaomin Wu, Guifang Shao, Yuhua Wen, Tundong Liu*, *A Semiparametric Model-Based Friction Compensation Method for Multijoint Industrial Robot*, Journal of Dynamic Systems Measurement and Control-Transactions of the ASME; 发明专利，刘瞰东，

吴晓敏，贺苗，高凤强，王若宇，《一种机器人关节摩擦力矩的补偿方法及系统》；会议论文：李志勇，严斌，黄小平，刘长胜，马存国，刘瞰东，《基于改进动态运动基元的机器人拆垛演示学习研究》，首届中国烟草科学数据大会。）

3. 刘长胜，厦门烟草工业有限责任公司：对科技创新点二、三做出重要贡献，参与项目中设备的研发设计和图纸绘制。

（实用新型专利，李志勇，黄雯华，刘长胜，《烟包转角装置和烟包输送装置》；实用新型专利，李志勇，刘长胜，吴委源，唐为民，林岩，饶太春，王小平，《将棱柱状烟包从平置转向成直立的转向装置》；核心期刊论文：李志勇，刘长胜，《ITM 全开式包装机烟包翻转系统设计》，烟草科技；会议论文：李志勇，严斌，黄小平，刘长胜，马存国，刘瞰东，《基于改进动态运动基元的机器人拆垛演示学习研究》，首届中国烟草科学数据大会。）

4. 吴晓敏，厦门大学：对创新点三做出重要贡献，针对传统的机器人香烟礼盒包装示教编程存在的示教效率低、示教过程繁琐耗时、轨迹调整困难等三个问题，提出了一种基于狄利克雷过程聚类的机器人在线演示学习算法。通过使用基于距离阈值的狄利克雷过程聚类方法实现了在线聚类，并引入 Welford 公式增量式更新模型参数，在聚类完成后即可获得模型近似解，提高了演示轨迹建模效率。为了提高轨迹泛化的稳定性，在传统高斯混合模型的基础上使用动态运动基元算法进行高斯混合回归轨迹的学习和泛化。实验结果

表明，相比传统基于期望最大化的高斯混合模型与回归算法，本项目所提的算法具备稳定的快速多轨迹编码和泛化能力，在求解效率和稳定性方面得到了显著提升，非常适合于香烟礼盒包装编程的应用。

（发明专利，刘瞰东，吴晓敏，贺苗，高凤强，王若宇，《一种机器人关节摩擦力矩的补偿方法及系统》；论文：Miao He, Xiaomin Wu, Guifang Shao, Yuhua Wen, Tundong Liu*, *A Semiparametric Model-Based Friction Compensation Method for Multijoint Industrial Robot*, Journal of Dynamic Systems Measurement and Control-Transactions of the ASME.);

5. 黄小平，厦门烟草工业有限责任公司：对科技创新点三做出重要贡献。

（会议论文：李志勇，严斌，黄小平，刘长胜，马存国，刘瞰东，《基于改进动态运动基元的机器人拆垛演示学习研究》，首届中国烟草科学数据大会。）

6. 严斌，厦门烟草工业有限责任公司：对科技创新点三做出重要贡献。

（会议论文：李志勇，严斌，黄小平，刘长胜，马存国，刘瞰东，《基于改进动态运动基元的机器人拆垛演示学习研究》，首届中国烟草科学数据大会。）

7. 马存国，厦门烟草工业有限责任公司：对科技创新点三做出重要贡献。

（会议论文：李志勇，严斌，黄小平，刘长胜，马存国，刘瞰东，《基于改进动态运动基元的机器人拆垛演示学习研

究》，首届中国烟草科学数据大会。)

8. 吴委源，厦门烟草工业有限责任公司：对科技创新点一、二做出重要贡献，参与本项目测绘、图纸设计。

(实用新型专利，李志勇，刘长胜，吴委源，唐为民，林岩，饶太春，王小平，《将棱柱状烟包从平置转向成直立的转向装置》；实用新型专利，吴委源；林岩；黄云波，《烟支输送装置和烟支包装机》。)

六、主要知识产权证明目录

知识产权类别	知识产权具体名称	国家(地区)	授权号	权利人	发明人
发明专利	《一种机器人关节摩擦力矩的补偿方法及系统》	中国	ZL201910052603.9	厦门大学	刘瞰东；吴晓敏；贺苗；高凤强；王若宇
发明专利	《一种机器人前馈力矩补偿方法》	中国	ZL201810178273.3	厦门大学	刘瞰东；吴晓敏；高凤强；贺苗；邵桂芳
发明专利	《一种基于强化学习的机器人关节运动控制方法及系统》	中国	ZL201910052849.6	厦门大学	刘瞰东；贺苗；吴晓敏；高凤强；王若宇
实用新型专利	《烟包转角装置和烟包输送装置》	中国	ZL202022985267.4	厦门烟草工业有限责任公司	李志勇；黄雯华；刘长胜
实用新型专利	《将棱柱状烟包从平置转向成直立的转向装置》	中国	ZL202120656441.2	厦门烟草工业有限责任公司	李志勇，刘长胜；吴委源；唐为民；林岩；饶太春；王小平
实用新型专利	《烟支输送装置和烟支包装机》	中国	ZL202023248047.X	厦门烟草工业有限责任公司	吴委源；林岩；黄云波
实用新型专利	《烟组成型装置和卷烟包装机》	中国	ZL202120413419.5	厦门烟草工业有限责任公司	李志勇；王小平；唐为民

七、发表论文、著作情况

论文、著作名称	作者	刊物名称	刊登时间	被收录及引用情况
ITM 全开式包装机烟包翻转系统设计	李志勇, 刘长胜	烟草科技	2021-12-15	/
基于 RBFNN 的机器人关节摩擦建模与补偿研究	贺苗, 吴晓敏, 邵桂芳, 刘瞰东*	仪器仪表学报	2020-12-11	EI 收录, 他引 14
机器人关节摩擦建模与补偿研究	吴晓敏, 刘瞰东*, 贺苗, 高凤强, 邵桂芳	仪器仪表学报	2018-10-15	EI 收录, 他引 37
A Semiparametric Model-Based Friction Compensation Method for Multijoint Industrial Robot	Miao He, Xiaomin Wu, Guifang Shao, Yuhua Wen, Tundong Liu*	Journal of Dynamic Systems Measurement and Control-Transactions of the ASME	2021-11-08	EI 收录, 他引 1
基于改进动态运动基元的机器人拆垛演示学习研究	李志勇, 严 斌, 黄小平, 刘长胜, 马存国, 刘瞰东	首届中国烟草科学数据大会	2023-07-26	/

八、推广应用情况

1. 全开式中支规格包装生产线应用于厦门烟草工业有限责任公司卷包车间, 完成 “古田成功” 中支产品生产工作, 自 2022 年 1 月投入使用, 截至 2023 年 6 月, 实现销售收入 1447.91 万元。

2. 机器人在线演示学习方法, 半参数化机器人摩擦补偿控制, 基于法线和颜色信息约束的 ICP 点云配准定位算法等, 应用于云南烟草机械有限责任公司机械手项目的研究过程中, 提供了有益的技术支持。

3. 烟组一次成型技术、“18+2” 双类型烟支柔性包装、参数化建模技术和条盒成型独立驱动等关键技术, 在上海洲

道公司对外技术改造中得到较好的应用。该项目部分研究成果如条盒成型独立驱动推广和参数化建模技术应用于三峡烟厂、南京烟厂等公司的设备改造，取得了良好的改造效果，有效地提升了设备改造效率。

主要应用情况							
应用单位名称	应用技术	应用起始时间		联系人	联系电话	应用情况	提交应用证明
		开始	结束				
厦门烟草工业有限责任公司	全开式中支规格生产线	2022.01	至今	朱炜平	0592-6536156	应用于生产七匹狼<古田成功中支>	是
云南烟草机械有限责任公司	机器人在线演示学习方法等	2022.03	2023.02	李宏彬	0871-68319325	应用于机械手项目研发工作	是
上海洲道实业有限公司	“18+2”柔性烟组包装等	2022.03	2023.03	纪洲	021-58681060	应用于三峡烟厂、南京烟厂等公司设备改造	是