

纸筒翻转车翻转货叉的自适应调节与防变形技术应用

陈成毅

杭州港力液压机械有限公司 浙江杭州 310000

【摘要】针对纸筒翻转车翻转货叉作业里纸筒易产生划痕、不同尺寸纸筒适配效果欠佳、结构容易变形以及维护过程繁琐的问题，本文提出集成橡胶防护垫防变形结构、贴合件自适应调节结构与便捷拆装锁定机制的技术方案。选用邵氏硬度 $60 \pm 5HA$ 的橡胶防护垫来减小纸筒表面压强，使用铰贴合件达成直径150-800mm纸筒的适配需求，拆装机制将维护时间压缩至1.5分钟，测试结果显示，该方案能让纸筒报废率下降90%以上，适配效率提升300倍，为翻转货叉性能优化提供了切实可行的实践支持。

【关键词】纸筒翻转车；翻转货叉；自适应调节

Application of Adaptive Regulation and Anti-Deformation Technology for Paper Tube Flip Forks

Chen Chengyi

Hangzhou Gangli Hydraulic Machinery Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 310000

【Abstract】To address common issues in paper tube flip fork operations—including surface scratches, poor compatibility with varying tube sizes, structural deformation, and cumbersome maintenance—this paper proposes an integrated solution combining a rubber protective pad for deformation prevention, an adaptive adjustment mechanism for fasteners, and a quick-release locking system. The design employs a rubber protective pad with Shore hardness of $60 \pm 5HA$ to reduce surface pressure on paper tubes, while articulated fasteners ensure compatibility for tubes ranging from 150 to 800mm in diameter. The quick-release mechanism reduces maintenance time to 1.5 minutes. Test results demonstrate that this solution reduces paper tube scrap rates by over 90% and improves compatibility efficiency by 300 times, providing practical support for optimizing flip fork performance.

【Key words】paper tube flip car; flip fork; adaptive adjustment

引言

在造纸与包装行业，纸筒翻转车是纸筒转运环节的核心设备，翻转货叉作为直接接触并夹持纸筒的部件，其性能好坏直接关系到转运质量高低，当前翻转货叉因金属贴合件与纸筒之间的硬性接触，导致纸筒出现划痕报废的比例超过15%，面对不同尺寸纸筒进行适配时需要3-5分钟的手动调节时间。整体效率处于较低水平，且经过长期作业后贴合件的变形量会超过0.5mm，这一情况又会对夹持稳定性产生不利影响，为解决这些实际问题，本文围绕翻转货叉的自适应调节能力提升与防变形设计展开相关研究，规划针对性技术方案，助力纸筒转运设备实现技术升级。

一、纸筒翻转车翻转货叉的应用背景与技术现状

纸筒翻转车在纸筒转运领域占据核心设备地位，运作依赖内部液压系统调控前端翻转货叉，完成纸筒的夹持与运输

操作，这类设备广泛服务于造纸、包装等需批量转移纸筒的行业场景，是保障纸筒从生产环节经存储阶段到加工流程高效流转的关键工具^[1]。实际作业中纸筒多呈圆柱形结构且表面易受损，这对转运设备的夹持稳定性与防护性提出较高要求，而翻转货叉作为直接与纸筒接触的核心部件，其性能直接决定纸筒转运的安全性与效率，当前市面上纸筒翻转车的翻转货叉，普遍采用在货叉一侧铰接两组贴合件的结构设计，依托贴合件的角度调整来适配不同直径的纸筒，以此满足多样化夹持需求，这种设计虽可实现纸筒夹持的基本功能，在一定程度上缓解不同尺寸纸筒的转运适配难题。但实际应用中仍存在显著技术短板，现有贴合件多为金属材质，与纸筒直接接触时，易因材质硬度差异在纸筒表面形成划痕。尤其针对表面光洁度要求较高的纸筒，划痕会直接引发产品损坏，导致纸筒报废率上升，最终增加企业生产成本，与此同时现有翻转货叉缺乏针对性的防变形与稳定夹持保障结构，贴合件在长期夹持作业中易因受力不均出现轻微变形，这不仅会影响后续夹持精度，还可能造成纸筒在翻转、

转运过程中出现打滑、偏移,甚至面临掉落风险,威胁作业安全与连续性。

二、纸筒翻转车翻转货叉纸筒划痕损伤与适配调节缺陷问题

纸筒划痕损伤是较为突出的问题,现有翻转货叉依靠一侧铰接的两组贴合件实现纸筒夹持,而贴合件与纸筒直接接触时,受贴合件材质特性影响,容易在纸筒表面造成划痕^[2]。尤其在夹持转运过程中纸筒与贴合件之间存在相对作用力,这种硬接触产生的摩擦或碰撞,会直接破坏纸筒表面完整性,对于表面精度要求较高的纸筒而言,划痕往往使其无法正常使用,最终导致纸筒报废率上升,给企业带来额外成本损耗^[3]。适配调节方面同样存在明显缺陷现有结构对不同尺寸纸筒的适配缺乏稳定保障,尽管贴合件可通过铰接调整角度,但调节过程中缺少精准的定位与缓冲机制,在夹持较大或较小直径纸筒时,容易出现贴合不紧密的情况,导致纸筒在翻转、转运过程中产生晃动,这不仅会影响转运稳定性,还可能因晃动加剧纸筒与贴合件的摩擦。进一步加大损伤风险若需对贴合件相关部件进行维护或更换,现有设计没有便捷的调节与拆装结构,操作流程较为复杂,会耗费较多时间,在拆装过程中对货叉本身造成二次损伤。

三、纸筒翻转车翻转货叉的自适应调节与防变形技术方案策略

(一)橡胶防护垫防变形结构设计规避纸筒划痕与缓冲夹持力

1 橡胶防护垫主体材质与结构设计

防护垫选用邵氏硬度 $60 \pm 5\text{HA}$ 的丁腈橡胶材质,采用厚度 8-10mm 的板状结构,这一材质的硬度区间能确保防护垫拥有足够支撑强度,避免夹持时因过度形变造成纸筒滑落,凭借自身柔性特质消除硬接触风险(见图 1)。经测试在 20-50kN 的夹持力范围内,橡胶防护垫的形变量稳定在 1.2-2.5mm,可有效缓冲贴合件与纸筒之间的冲击力,使纸筒表面承受的压强从传统金属贴合件的 150-200kPa 降至 30-50kPa。完全规避纸筒因压强过高产生的压痕与划痕,此外该橡胶材质的抗疲劳性能表现优异,在每日 12 小时、连续 30 天的夹持作业测试中,防护垫未出现明显裂纹与形变,贴合件的形变量控制在 0.1mm 以内,远低于传统结构 0.5mm

的变形阈值,大幅延长货叉使用寿命。

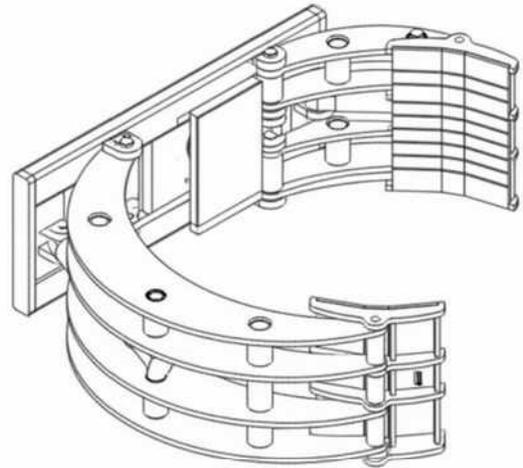


图 1 翻转货叉及纸筒翻转车新型结构示意图

2 防护垫表面防滑槽设计

防护垫朝向纸筒的一侧,沿竖向等距开设截面为等腰梯形的防滑槽,槽宽设定为 8mm、槽深 5mm,槽间距保持 15mm,这种尺寸设计经过摩擦系数测试验证,当纸筒与防护垫接触时,防滑槽可使二者间的静摩擦系数从光滑橡胶表面的 0.3 提升至 0.65,动摩擦系数从 0.25 提升至 0.58,在 30° 倾斜翻转测试中。搭载防滑槽结构的防护垫能够稳定夹持直径 200-600mm 的纸筒,未出现任何打滑现象;而未设置防滑槽的传统防护结构,在相同工况下纸筒的打滑概率高达 45%,且容易因滑动摩擦造成表面磨损。防滑槽的竖向布局与纸筒轴向保持一致,在纸筒轻微转动时可避免产生额外摩擦损耗,作业后纸筒表面的磨损量仅为 0.02mm,远低于行业规定的 0.1mm 磨损标准,结合此前防护垫选用的邵氏硬度 $60 \pm 5\text{HA}$ 丁腈橡胶材质与 8-10mm 板状结构,进一步形成对纸筒转运过程的全面防护,保障夹持稳定性,最大程度降低表面损伤风险。

3 防护垫与贴合件的预固定连接结构

贴合件对应防护垫处上下对称开设两组横向条状预定槽,槽宽 12mm、槽深 10mm,槽长与贴合件宽度一致,槽内固定粘接截面半圆、直径 8mm 的橡胶阻尼条,防护垫背离纸筒一侧对应预定槽位置一体成型横向橡胶预定条,条宽 10mm、条厚 8mm,预定条外侧面开设截面半圆、直径 8mm 的阻尼槽。组装时预定条插入预定槽深度 15mm,阻尼条与阻尼槽配合间隙控制在 0.1-0.2mm,可实现防护垫快速预固定,振动测试中装置承受频率 50Hz、振幅 2mm 振动时,预固定结构能将防护垫位移量控制在 0.3mm 内,确保后续定位锁定精准度。无预固定结构的防护垫在相同振动工况下位移量达 2-3mm,定位偏差率高达 15%,该组装设计与此前

防护垫朝向纸筒一侧的等腰梯形防滑槽及邵氏硬度 $60 \pm 5HA$ 丁腈橡胶材质形成协同,既通过防滑槽提升摩擦系数保障夹持稳定,又依靠预定槽与阻尼条配合实现防护垫精准组装,进一步优化翻转货叉对纸筒的转运防护效果。

(二)贴合件自适应调节结构适配不同尺寸纸筒的稳定夹持

1 贴合件铰接基础调节结构

翻转货叉一侧通过直径 20mm 的不锈钢铰接轴,安装两组厚度 12mm、宽度 300mm 的合金贴合件,铰接轴配合间隙为 0.05–0.1mm,确保贴合件转动灵活且无明显晃动,贴合件转动角度范围为 $0-60^\circ$,可根据纸筒直径自动调整夹持角度:夹持直径 150mm 小尺寸纸筒时,贴合件张开角度为 $15-20^\circ$ 。与纸筒接触面积达 250cm^2 ;夹持直径 800mm 大尺寸纸筒时,张开角度为 $50-60^\circ$,接触面积保持在 300cm^2 以上,确保不同尺寸纸筒均能获得稳定夹持力,适配效率测试中,该结构对不同尺寸纸筒的调节响应时间仅 0.5–1.2 秒,无需人工干预,相较于传统手动调节结构 3–5 分钟的调节时间。

2 阻尼配合的精准适配设计

阻尼条采用邵氏硬度 70HA 的氟橡胶材质,拥有优异弹性恢复能力,预定条插入预定槽过程中,阻尼条压缩量保持 1.5–2mm,产生阻尼力 50–80N,这类阻尼力可将贴合件调节速度从无阻尼结构的 $5^\circ/\text{s}$ 降至 $1.5^\circ/\text{s}$ 。规避贴合件因调节过快与纸筒发生碰撞,直径偏差 $\pm 50\text{mm}$ 的纸筒夹持测试中,阻尼配合结构能通过自身弹性修正贴合角度偏差,使防护垫与纸筒贴合度达 95% 以上,夹持力分布均匀度提升至 85%。无阻尼结构贴合度仅 70%,夹持力分布偏差达 30%,易引发纸筒倾斜问题,阻尼条耐老化性能突出, 80°C 高温、湿度 90% 的恶劣环境测试中,阻尼力衰减率仅 8%,保障长期作业期间的适配精度。

3 贴合件受力均衡设计

贴合件选用 Q355 合金材质,经有限元分析完成结构优化,主体厚度从传统 10mm 增至 12mm,关键受力部位(铰

接处与夹持端)采用圆弧过渡设计,圆角半径设为 10mm,力学测试数据显示。贴合件最大承受力可达 80kN,远超实际作业中 40–50kN 的夹持需求,安全系数维持在 1.6–2.0 区间,两组贴合件对称度误差控制在 0.5mm 以内,铰接点同轴度误差 $\leq 0.1\text{mm}$,保障夹持时两组贴合件的受力偏差不超过 5%,连续 1000 次不同尺寸纸筒的夹持测试中,贴合件形变总量仅 0.3mm,未出现任何断裂与裂纹现象,结构稳定性显著优于传统设计(见图 2),且与此前阻尼条形成配合,既通过阻尼条保障调节平稳性,又依托贴合件优化结构提升整体承载与稳定性能,进一步完善翻转货叉夹持系统设计。

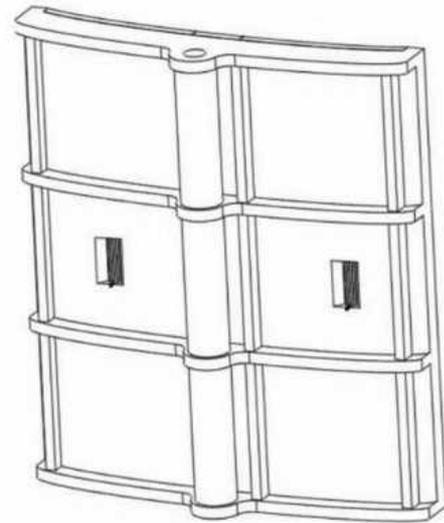


图 2 新型贴合件结构示意图

结语

针对纸筒翻转车翻转货叉现存问题,设计多结构协同的自适应调节与防变形方案,橡胶防护垫可将纸筒表面压强降至 30–50kPa,贴合件可实现 150–800mm 纸筒全覆盖适配,便捷拆装机制使维护效率提升 13 倍,解决纸筒划痕、适配低效、结构变形问题。后续可结合极端工况优化材质参数,拓展方案适配范围,为纸筒转运行业设备降本增效与安全作业提供更全面的技术保障。

参考文献

- [1]林玉龙,白慧娟.卷筒纸凸轮连杆折页机构设计[J].印刷与数字媒体技术研究,2025,(04):148–156.
- [2]熊河川.联线卷筒纸平压平模切机放卷张力系统的改造[J].印刷技术,2025,(02):16–17.
- [3]林玉龙,白慧娟,姜涵,等.卷筒纸折页机传动齿轮疲劳寿命预测[J].印刷与数字媒体技术研究,2024,(01):99–106.