

# 基于AI智能识别内衬层自供胶系统的研发使用

舒航刚，武博，王旭，荣琪，林立君，敖玉元

（中策橡胶集团股份有限公司，浙江 杭州 310018）

## 0 引言

在全球轮胎制造业向高性能、轻量化及绿色化方向快速发展的同时，内衬层作为轮胎气密性与耐久性的核心部件，其生产工艺的优化需求日益迫切。传统人工供胶方式存在供胶不稳定、厚度不均、劳动强度大、胶料堆积行为不稳定导致的压延尺寸波动等问题，制约着轮胎生产成本控制与质量一致性的瓶颈<sup>[1]</sup>。现用设备难以满足现代轮胎生产线对高精度、高效率的要求。为此，我们开展了“内衬层压延自动供胶系统集成”的技术改造项目，随着工业自动化与智能制造技术的飞速发展，通过技术改造实现供胶工序的自动化、信息化与智能化，这将成为轮胎制造业转型升级的必然趋势<sup>[2]</sup>。

本文围绕该系统的设计、关键技术与实施效果展开研究和设计，旨在为同类制造企业的智能化升级提供理论参考与实践路径。本系统主要由供胶系统、胶料输送与摆动装置、堆积胶的视觉检测、堆积胶的趋势控制计算以及检测辅助单元等构成。开炼压延机上下辊供胶采用连续供胶，通过改变供胶宽度来改变上下辊的各自供胶总量，通过伺服控制摆胶装置将胶片迅速送至胶料减少位置，使得辊缝各点位的积胶量保持平稳，进而保证内衬厚度的平稳和均匀性，提高产品品质。

## 1 结构的设计与实现

机械结构是自动供胶功能的执行载体，其设计的合理性直接决定了系统的稳定性与精度，其中供胶单元又包括机械执行单元、传感检测单元、控制单元与数据管理平台等四部分结构。

### 1.1 供胶设备单元的设计

#### 1.1.1 开炼机裁刀硬件单元

裁刀单元作为开炼机压辊处的最终胶片宽度的核

心执行机构，其结构设计的合理性与精密性直接关系到生产效率和产品质量。本次设计的裁刀单元在结构上进行了重大革新，以成套的高精度、独立驱动的圆盘刀组合为一个单元，取代了传统的长条形裁刀，实现了结构的优化与性能的飞跃。

每套裁刀单元的核心结构由一把固定圆盘刀和一套伺服电机驱动的移动圆盘刀组成（见图1）。固定圆盘刀作为系统基准点，被稳固地安装在机架上，其位置在整个裁切过程中保持不变；而移动圆盘刀则构成了整个单元的精确定位模块，负责根据工艺需求调整裁切宽度，是实现柔性化裁切功能的关键执行部件。



图1 裁刀单元

该移动刀座模块结构精密，其核心传动部件为一根高精度滚珠丝杠。系统运行时，伺服电机接收来自控制器的脉冲信号，输出精确的角度和转速，再通过高性能联轴器将动力传递至滚珠丝杠。滚珠丝杠作为运动转换机构，将电机的旋转运动高效、平稳地转化为刀座的直线运动。由于采用滚珠滚动摩擦方式，该传动结构不仅摩擦系数小、传动效率高，更能有效避免传统滑动丝杠常见的爬行现象，从而保证移动刀座在频繁启停与换向过程中仍能保持运动平稳。

为进一步增强运动刚性与定位准确性，刀座整体通过直线轴承被严格约束在高刚性直线导轨上。直线导轨起到导向与支承作用，有效抑制移动过程中可能出现的侧向晃动与振动，确保移动圆盘刀在整个行程中始终与固定圆盘刀保持稳定的相对姿态。这一整套由“伺服电机—联轴器—滚珠丝杠—直线导轨”构成的闭环控制传动链，是移动刀座能够实现高定位精度的根本保障。在实际运行中，其重复定位误差可被严格控制在 $\pm 0.5\text{mm}$ 范围内，从机械结构层面为裁切宽度的一致性、准确性奠定了坚实基础，满足了现代高速、高精度裁切作业的严格要求。

从结构力学和实用性角度看，这种由长刀改为圆盘刀的设计，圆盘刀的优势是其刃口经过了精心的倒圆角处理，对其材料硬度进行了严格控制，使其在足以切断胶料的同时，绝不会割伤高硬度的辊筒表面，从根本上防止了辊筒表面被拉出凹槽，从而保障了所生产胶料的表现质量与均匀性。圆盘刀与开炼机辊筒的接触实现了外切的点接触，相比长刀而言，极大地减少了与辊筒的接触面积。这种结构不仅降低了运行阻力和摩擦生热，更关键的是，它显著减小了对辊筒表面的潜在磨损。

在控制逻辑上，该结构实现了完美的机电一体化，驱动伺服电机带动移动切刀行至目标位置，完成精准裁切的同时，系统保留了手动控制模式，操作人员可根据生产需求灵活设定并驱动刀座移动。这种基于精密机械结构的自动化与手动控制相结合的设计，最终实现了下片宽度在最大与最小限位之间的无级可调，使得生产线能够快速、灵活地响应不同配方、不同消耗量的生产需求，充分体现了现代工业设备高效、智能与柔性的特点。

### 1.1.2 摆胶输送部分硬件单元

摆胶输送系统是一套集成机械、气动与电气控制于一体的精密物料输送装置，见图2。其核心设计目标在于实现胶料在特定工位上的精准投放与位置调整，以满足下游压延机对供料节奏和铺放位置的工艺要求。

系统总体布局与核心导向结构最引人注目的部分是位于中部的两套呈V字型布置的滑轨，这两条滑轨共同构成了整个系统运动的基准与骨架，是摇摆功能实现的基础。它们被包裹在黄色的安全防护罩内，呈类圆弧形导向，构成了一个具有极高刚性和自对中

能力的导向系统。这种设计能有效抵抗来自各个方向的侧向力与扭力矩，确保运动部件在重载或受力不均的情况下，依然能沿预设轨迹平稳、精确地滑动，使摆胶装置无晃动或卡滞现象。为了实现工作范围的灵活调整，从机械结构上在防护罩后方也安装了一套直线运行滑轨系统，在此运行过程中起到了延伸摆胶架和提供辅助导向的双重作用，其位置正对着V字形滑轨系统的对称线上，可以整体性地拉动整个输送模块在前后方向上移动，伸出状态下依然具备足够的结构刚性和运动稳定性。这一设计赋予了设备强大的适应性，无需移动主机即可匹配不同的工作距离。



图2 摆胶系统

V字形布置的滑轨两端分别布置了两套通过一个连杆机构和专用的连接支座进行过渡的气缸作为执行元件，气缸内部的活塞在压缩空气的推动下，通过活塞杆输出直线推力来调节摆胶装置的左右移动。当控制系统发出指令，电磁阀切换气路，压缩空气驱动气缸活塞，进而通过该连杆机构，带动整个工作部件沿着高精度的滑轨做往复运动，完成“摆胶”的基本动作。这种设计可以将气缸的直线推力高效地传递至负载，同时补偿可能存在的微小的安装误差，保证了动力传递的顺滑与可靠。

### 1.1.3 辅助硬件系统

除了核心的圆盘刀系统和摆胶结构外，整套系统还集成了物料输送和本身的动力系统。通常由电机驱动通过一个减速器获得适宜的输出转速和增大的扭矩，随后带动整条输送带将胶料输送到压延机的上下辊位置。

## 1.2 电器元件的设计使用

所有这些精密的机械结构都通过右侧的控制柜见图3实现智能化控制，操作员通过触摸屏设定摆胶频

率、行程、输送速度等参数。控制系统根据指令，协调气缸的电磁阀与输送电机的工作，同时通过安装在关键位置的传感检测单元（包含红外视觉检测系统、射线测厚仪、张力传感器等）实时反馈数据，构成一个闭环控制，确保整个摆胶输送系统在安全、高效的状态下运行。



图3 控制柜

### 1.2.1 堆积胶视觉检测系统

机器视觉系统具有精度高、速度快、非接触等优点，在工业在线检测与自动控制领域得到了广泛应用<sup>[3]</sup>。该系统采用定制的红外视觉传感器，通过检测压延机两辊筒之间因胶料覆盖而产生的温差场，间接计算出堆积胶的总体积及其在宽度方向上的分布情况，并实时在控制台上显示出来，见图4。该非接触式测量为闭环控制提供了最关键的反馈信号。堆积胶视觉检测系统实时监测辊缝处胶料体积的堆积情况，并将其作为主反馈量。同时，供胶线路上的压力/流量传感器提供辅助反馈。PLC内置的PID控制算法对反馈信号与设定值进行比较、运算得出结果，输出控制伺服驱动给执行气缸信号，再根据生产线速度与制品厚度，在动态运行中自动调整裁刀宽度与摆胶位置，实现胶料的精准投放与均匀分布。确保辊缝积胶量恒定，从而保证压延胶片厚度的均匀性，以达到物料的工艺性效果。

### 1.2.2 控制系统以及其他数据平台

电气控制系统是自动供胶系统的“大脑”，负责信号处理、逻辑判断与运动控制，确保机械系统精准、协调地运行。控制系统以PLC为核心，集成伺服驱动器、变频器、触摸屏等。工控机作为上位机，运行人机界面HMI和数据采集软件，实现设备状态监控、参数设置、生产数据管理与报表生成，并通过标准协议

与制造执行系统MES进行数据交互，控制层以一台高性能PLC西门子S7-1500系列为核心控制器，通过PLC的广泛接口，对供胶压力、各点温度、设备振动、润滑油状态、能源消耗（水、电、气）等参数进行毫秒级采集。负责执行所有的控制逻辑、算法运算，并处理与各类子系统的通信，它们通过Profinet工业网络与PLC连接，构成一个分布式的实时控制网络。



图4 视觉监测显示画面

## 2 结论

本文详细阐述了一套轮胎内衬层自动供胶系统的整体设计方案，并重点从机械与电气两个层面进行了深入技术剖析，解决了以下问题：

- （1）胶片厚度均匀，缩小胶片厚度极限差值；
- （2）胶片厚度的均匀性得到改善，减少了低湿料的出现，改善了胶料品质；
- （3）堆积胶料平稳均匀，减少了露白的概率，降低了废品率；
- （4）无需人工看守堆积胶，解放了劳动力，降低了劳动强度。

关键技术采用伺服驱动的圆盘裁刀与基于复合轨道的摆胶系统，能够实现胶料的精准制备与智能投放，为高质量复合奠定了物理基础。以PLC为核心融合机器视觉、传感检测与工业网络技术，构建的多闭环控制系统，有效解决了供胶均匀性、帘布对中与厚度控制等一系列关键技术难题。

系统集成方面通过伺服控制、机器视觉、物联网与预测性维护等先进技术，实现了胶料供应的精准化、自动化与智能化，数据垂直集成与工业物联网平台的应用，显著提升了产品质量与综合运维效率。研究表明，“预测性维护通过分析设备状态监测数据与历史数据，对设备故障进行预测与健康管理，是实现智

能制造和降低运维成本的关键技术<sup>[54]</sup>。为进一步与AI工艺优化模型、云端远程运维平台深度融合,实现全流程无人化操作与自适应工艺调整奠定了基础。

### 参考文献：

- [1] 陈晓明,刘长锋.橡胶压延过程中胶料堆积行为及其对厚度均匀性的影响.高分子材料科学与工程,2021,37(8):112-

118.

- [2] 黄卫东, 张弛. 智能制造在轮胎行业的应用现状与发展趋势. 中国机械工程出版, 2020, 31(16):1 929-1 937.
- [3] 徐志强, 周海涛. 基于机器视觉的工业带材纠偏系统设计 [J]. 仪器仪表学报, 2019, 40(5):178-185.
- [4] 赵飞, 王磊. 工业物联网在设备预测性维护中的架构与关键技术 [J]. 计算机集成制造系统, 2021, 27(6):1 635-1 649.



(上接第2页)

能力与长期主义布局的时代已经到来。

玲珑轮胎提出“品牌向上、产品向上、渠道向上”融合增长战略，正是对这一行业命题的系统性回应。三者形成了“品牌拓空间、产品筑支撑、渠道聚口碑”的正向循环闭环，清晰展现了中国头部轮胎企业从“规模扩张”转向“价值增长”、从“中国制造”转向“中

国智造”、从“中国主流”迈向“全球主流”的进阶逻辑。

站在行业视角看，玲珑轮胎锚定 2030 年的中长期发展目标与落地路径，不仅为自身穿越周期构建了核心护城河，也为中国轮胎产业整体向全球价值链高端攀升提供了可参考的实践样本。

摘编自“中国轮胎商务网”



(上接第5页)

检测，及时调整生产工艺，保障产品质量稳定性；三是推动企业智能化升级，实现生产过程的可视化、可追溯与信息化管理，加快企业产业结构优化。

该系统为轮胎行业智能化工厂建设提供了完整的解决方案与实践标准，其核心技术与实施经验可在行业内广泛推广，带动轮胎行业向工业4.0智慧工厂快速转型，助力行业实现高质量发展。未来，可进一步优化系统功能，增加AI算法对重量偏差的预测与自动调整功能，提升系统的智能化水平，为企业创造更大的经济效益与社会效益。

## 参考文献：

- [1] 王兆义. 工业自动化仪表与控制系统 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2019.
- [2] 李方园. PLC 控制系统设计与应用实例 [J]. 自动化技术与应用, 2020,39(5):123-126.
- [3] 张宏军. 动态称重技术在工业生产中的应用研究 [J]. 计量学报, 2021,42(3):389-394.
- [4] 刘建国. MES 系统在轮胎行业的应用与实践 [J]. 中国橡胶, 2019,35(8):45-48.
- [5] 陈立刚. 电阻应变式称重传感器的应用与校准 [J]. 计量与测试技术, 2020,47(7):68-70.

