

智能化和数字化轮胎工厂建设实施方案

刘信忠

(杭州海潮橡胶有限公司, 浙江 杭州 321000)

摘要：在当今制造业迅速发展的背景下，智能化和数字化成为提升企业竞争力的关键。本文详细阐述了智能化和数字化轮胎工厂建设的实施方案，涵盖整体架构设计、技术选型、设备选取、车间布局优化以及能源与质量监控等方面，旨在通过先进技术手段全面提升轮胎生产水平，实现智能制造和可持续发展。

关键词：轮胎制造；智能装备；质量管控；能源数字化

引用论文：刘信忠. 智能化和数字化轮胎工厂建设实施方案 [J]. 橡塑技术与装备, 2026, 52(7):19-25.

中图分类号：TQ330.8

文章编号：1009-797X(2026)07-0019-07

文献标识码：B

DOI:10.13520/j.cnki.rpte.2026.07.005

0 引言

随着工业 4.0 时代的到来，制造业面临着深刻的变革。轮胎行业作为传统制造业的重要领域，也迫切需要借助智能化和数字化技术实现转型升级。智能化和数字化轮胎工厂的建设不仅能够提高生产效率、降低成本、提升产品质量，还能增强企业的市场竞争力，实现可持续发展。

1 智能化数字化轮胎工厂的整体架构设计

1.1 系统架构概述

智能化数字化轮胎工厂的整体架构应包括设备层、控制层、数据层、应用层。设备层涵盖各类生产设备、监测传感器和执行器；控制层负责对设备层的相关物体进行协调控制，实现各部件的无缝配合到达需要的动作；数据层进行数据的采集、存储和处理；应用层则利用数据层的相应数据建立生产管理平台、质量管控平台、能源管理平台、设备智能监测平台等各种系统平台并有效应用。

1.2 各层功能与交互

1.2.1 设备层

通过各种高精度传感器实时采集生产现场的过程数据，如温度、压力、流量、电流、震动等，这些数据对于监控轮胎生产过程、确保轮胎质量和设备运行状态有着极其重要的意义，为控制层提供全面的过程信息，使控制层实现最优逻辑流程和精准动作控制。

1.2.2 控制层

接收设备层的数据，依据预设的控制逻辑对设备进行精准控制，保证设备动作的安全、高效，确保生产过程的稳定性和准确性，从而提高产品质量、提升生产效率及减少能源消耗。

1.2.3 数据层

对来自设备层和控制层的数据进行有效梳理、归类储存、有序访问，为应用层提供丰富可靠的数据支持。

1.2.4 应用层

基于数据层对数据的筛选分析，方便有效地利用数据层实现建立生产计划管理平台、质量监控管理平台、能源消耗管理平台等系统平台的应用端。

各层的网路数据层级图，见图 1。



图 1 网络数据层级图

作者简介：刘信忠(1979-)，男，本科，高级工程师，主要负责公司设备改革创新和工厂智能化数字化工程建设工作。

1.3 数据安全与保障

为确保各系统之间数据交互的安全性和可靠性,应采用先进的加密技术、防火墙和访问控制策略,防止数据泄露和非法访问。

2 技术选型

2.1 智能化设备

轮胎制造的主要生产设备包括炼胶配料系统、密炼机、帘布压延线、内衬压延线、胎面胎侧压出线、帘布裁断机、钢丝圈缠绕贴合机、成型机、硫化机、均动检测机以及各工序之间的自动物流线。下面选取三个工序阐述有别于传统制造的数字化智能化轮胎制造工厂的轮胎生产关键点。

2.1.1 炼胶小料自动配料及智能输送的融合

2.1.1.1 自动配料

各轮胎一般在配料系统的称量过程中均能实现根据工艺配方进行各种小料的自动称量和精准控制,但用于装小料的塑料袋一般都是人工实现套袋,见图2,数字化智能化轮胎工厂在传统功能之外必须实现塑料袋自动套袋以及小料称量偏差报警功能,目前除国外厂商外,国内也有不少橡胶制造单位能够实现全自动套袋和封袋功能。



图2 小料自动套袋

2.1.1.2 智能输送

配料完成后要将称量好的小料通过智能物流输送系统按照规格分类存储到小料立库中,在使用时从立库中自动出库输送到密炼机投料口,完成自动投入及投料防错功能。

该系统主要包含接料缓存线、进出双通道RGV输送线(不同轮胎生产单位可根据自身实际需求情况选择输送方式)、自动立体库、立体库输送线、料箱式AGV系统、投料缓存线。其工作流程如下:

(1) 首先称量完成已经封口的小料包流入接料缓

存线,此处必须设有自动计量秤和RFID芯片绑定功能,绑定完物料信息后经过辊筒输送线至满框缓存辊筒线,等待RGV取料。

(2) RGV输送线接收命令之后行至对应机台位同时进行接满料框和送空框工作。

(3) 满料框进入立体仓库满框缓存线,可通过辊筒输送线运送至堆垛机叉取位,此处同样设有RFID读写以对满框进行入库前的信息识别及记录(以便出库时能够准确检索到需要用料所对应的货位),然后由堆垛机送入对应货位。

(4) 出库分为空框出库及满框出库,分别对应空框缓存线以及出库满框缓存线,其中满框进入出库满框缓存线等待料箱式AGV发布接取指令;而料箱式AGV首先将已携带的空框由料箱式AGV机械手依次放置在接取位,经辊筒线以及提升机进入空框缓存线;在AGV小车上的所有空框离开过渡辊筒线后发布接受指令,然后满框经过过渡辊筒线进入接取位,料箱式AGV机械手依次将料框放在AGV上的料箱内,再进行送满框任务(料箱式AGV同时可载多个料框)。

(5) 料箱式AGV携带满框行至对应机台位的满框接取位,由料箱式AGV机械手依次将满框放入满框接取位,经辊筒缓存线转至提升机;然后料箱式AGV行进至对应机台位的空框接取位,由料箱式AGV机械手将全部空框依次放入料箱内,再行进至待命区待命。

(6) 满框经过提升机再由输送线输送到密炼机机台前校验称,并复合总重及FRID物料信息,核实无误后经翻转倒料装置,投入缓冲下料斗缓存,等待上位机投料指令;投完料的空框回程时经校验称判断是否投料完成(若判断重量有误报警并发送投料失败的信息给上位机,进行报警),若无异常由辊筒线及提升机输送到空框缓存辊筒线。

2.1.2 纤维帘布压延线

纤维帘布压延线的设备3D示意图见图3,数字化智能化轮胎工厂的纤维帘布压延线必须具备的几个核心环节为:



图3 纤维压延线示意图

(1) 帘子布导开工序必须有物料用错的防错功能，通过扫描传感器对帘子布标签进行扫描核对，匹配正确才能投入使用。

(2) 四辊辊距必须采用伺服液压控制，特点为响应快、控制精准。

(3) 制品厚度必须配有在线厚度检测系统，采用激光、电涡流、气压或射线传感器对上下胶片和总厚的厚度进行测量，并且具有自我学习的深度算法，可以根据 MES 系统下传的生产计划所对应的规格厚度要求，利用伺服液压进行精准反馈控制辊距和轴交叉，制品厚度超过 $\pm 0.015 \text{ mm}$ 就要进行调控。

(4) 卷取大筒出料必须配有无缝对接到大筒帘布存放立体库及输送系统，该系统采用顶升、旋转、平移、堆垛机等方式完成大筒帘布从卷取工位到立体库仓储位工作，大筒入库必须采用扫码入库，关联工厂 MES 系统，立体库自身的 WMS 及 WCS 系统，使大筒帘布实现双精准，即物理入位精准，信息匹配基准，从而方便实现大筒帘布的先进先出管控要求，保证制品的质量，充分体现生产、储存过程的智能化和数字化。

2.1.3 成型机品质智能化

成型工序是轮胎制造过程中对轮胎品质起着极其重要的环节，所有半制品都在此工序全部有序地、精准地、智能地组合起来，形成轮胎的基本模型，称为轮胎胎胚。作为轮胎品质的关键工序，必须配备一系列的检测装置：胎体帘布检测，带束帘布检测，漏钢丝检测，冠带张力检测，胎面检测，传递环扇形块位置检测，胎胚重量检测等等，所有制品检测与设备动作参数建立一一对应的大数据，对超出规定限制的生产预调节模型，干预设备执行动作，使各制品部件的接头、长度、宽度达到工艺要求范围内。下面分别简述。

2.1.3.1 胎体帘布的接头检测

采用高精度视觉传感器安装在胎体供料装置的前端下部，检测胎体帘布接头重叠程度（见图 4），并用数字化显示出来，通过模型算法，调整贴合鼓与供料传送带的伺服控制速度匹配，使帘布接头达到工艺要求之内。

2.1.3.2 带束帘布接头、长度检测

检测传感器安装位置如图 5，接头检测同帘布检测原理相同，长度检测需另外增加高精度光电开关安装在边缘检测辊上，当带束材料边缘碰到检测辊时，光电管开关和伺服控制器将开始对电机脉冲进行计数，直到达到所需的长度。



图 4 帘布接头检测示意图

控制逻辑，当带束材料长度在工艺要加的误差范围内，贴合器传送装置的速度将自动适应材料长度；当带束材料长度过短时，贴合器传送装置的速度将相对于贴合鼓的速度减慢；当带束材料长度过长时，贴合器传送装置的速度将相对于贴合鼓的速度加快。

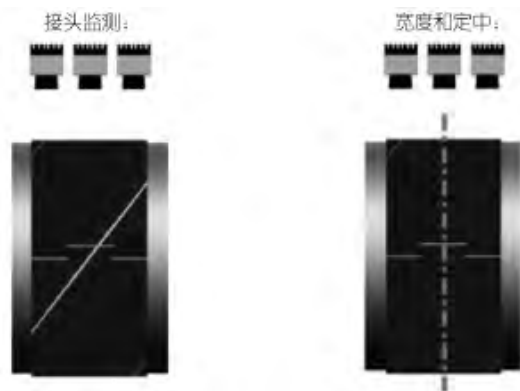


图 5 带束接头检测示意图

2.1.3.3 漏钢丝检测

漏钢丝检测装置利用漏钢丝与金属辊筒接触导电，形成电路回路的原理来实现带束帘布是否有漏钢丝，如图 6。

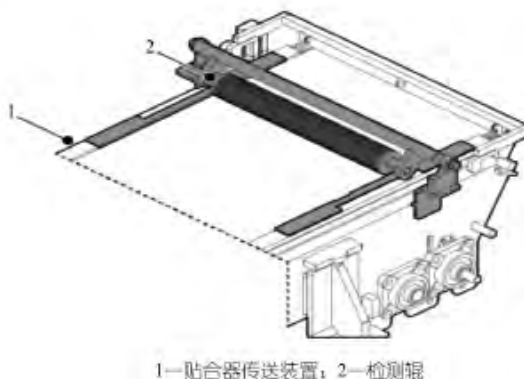
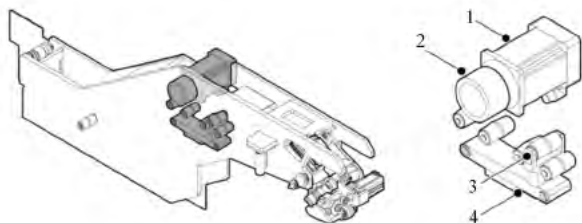


图 6 带束漏钢丝检测装置示意图

2.1.3.4 冠带张力检测

冠带张力检测通过安装在冠带条贴合器上辊筒张

紧传感器,如图7检测辊筒的受力来反馈冠带张力的大小,从而控制冠带牵引的驱动伺服电机的输出扭力,使冠带张力的张紧度到达并保持工艺要求的范围,可实现恒张力和变张力的稳定控制,如图8。



1—驱动电机；2—辊（电机传动）；3—辊；4—张紧传感器

图7 冠带张力检测控制示意图

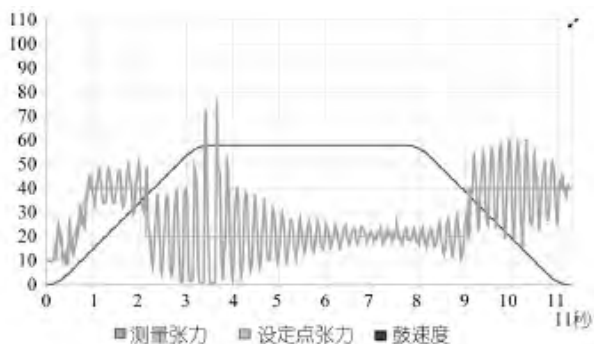
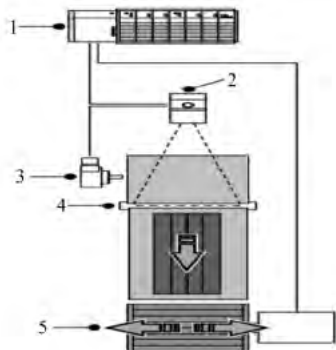


图8 张力值显示曲线图

2.1.3.5 胎面定中、长度、接头检测

胎面定中的作用是确保胎面材料定中贴到贴合鼓上。在胎面传送带上方安装视觉传感器见图9,测量形成图像,根据图像通过软件计算出胎面所在位置,然后在贴合时进行贴合鼓的左右微动来实现胎面定中的功能;长度和接头测量和控制机理与带束材料一样。



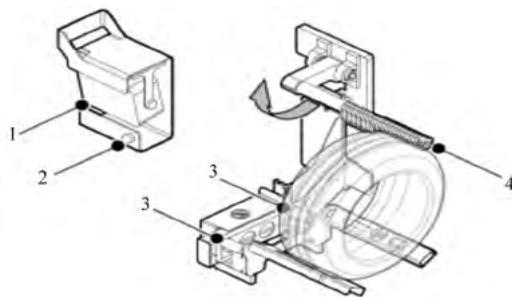
1—PLC；2—摄像头；3—编码器；4—LED灯条；5—带束鼓

图9 胎面定中/长度/接头检测装置示意图

2.1.3.6 胎胚重量检测

成型胎胚完成之后,在卸胎后输送位置安装两个

载荷传感器,测量其胎胚重量见图10。当生胎的重量介于配方中规定的极限值之间时,生胎移走装置会向机器人(后方位置)移动。如果没有介于极限值之间,生胎移走装置会移动到前部位置进行检查。拦截重量不符合胎胚,并报警提醒操作人员,以防止不合格轮胎流入下工序。



1—称重数值显示器；2—检查指示灯；3—载荷传感器；4—上部夹取装置

图10 胎胚重量检测装置示意图

2.1.4 全工序自动物流线

围绕MES数据信息流,采用自动化输送带,AGV小车、立体库等实现物料全工序物料的高效搬运和智能配送。

2.1.4.1 半制品物流线

把帘布、胎面、胎侧、内衬、胎圈的各工序生产好的半成品都通过AGV小车根据MES任务的指令无人化地运输到立体库入库口,再通过立体库的WMS和WCS的系统将装有半制品物料的工装小车按照库位管理进行一一入位;入位后根据成型工序所需半制品物料的需求,MES系统联络立库的WMS系统及AGV小车的调度系统,调用立体库中的物料,使AGV小车与立库的堆垛机、运输转台动作无缝衔接,实现半制品到成型工序之间的物料智能储存智能搬运输送,见图11。



图11 物料小车AGV自动输送实物图

2.1.4.2 成型到硫化物流线

将成型胎胚送至物流线,全程使用胎胚托盘自动送至胎胚立体库,按照轮胎规格归类有序存放,遵循

先进先出的品质管控原则，进行硫化机与胎胚立体库通过 MES 系统的无缝衔接，最终由高速高精度桁架输送胎胚到硫化机台。整套系统实现任意一台成型机生产的胎胚，可以送至任意一台硫化机，全过程采用 3DSCADA 系统，对胎胚进行全过程管理，对设备状态进行监控，见图 12。



图 12 胎胚从成型到硫化实物图

2.1.4.3 成品胎物流线

通过物流线进行输送，将硫化后的成品胎，送至成品检验车间，分流进行刮毛刺，在外检平台进行检验，外观合格后输送按照规格分类自动分流道各条均动线体，进行均匀性，不圆度和动平衡的自动检测，过程见图 13。

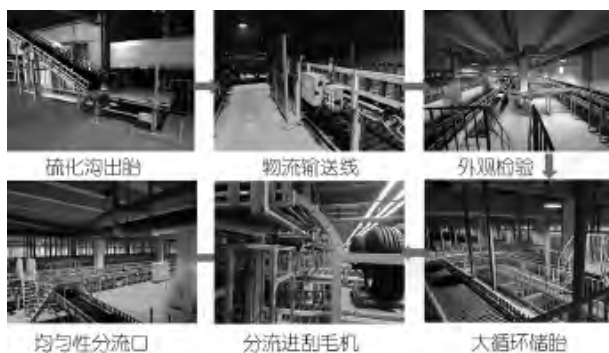


图 13 成品胎从硫化到均动设备实物图

2.1.4.4 龙门分拣装框物流线

检验后合格的成品胎，经过线体按要求分流，并按比例进行 X 光机钢帘线分布和 SDS 汽包情况的抽检，可入库的轮胎根据规格进行分流入龙门，通过龙门进行桁架自动装框入库，过程见图 14。

2.2 人工智能技术

2.2.1 机器视觉

利用机器视觉技术对轮胎外观进行自动检测，提高检测效率和准确性，在压延压出裁断成型等工序均

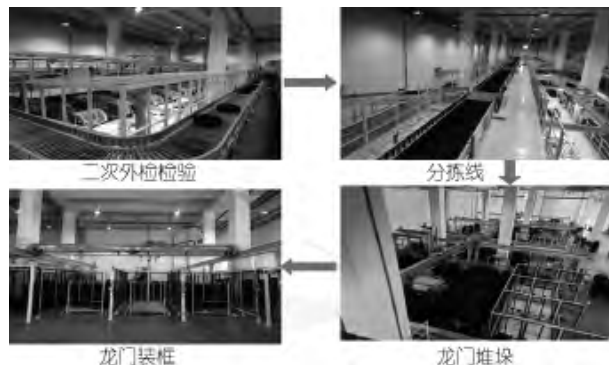


图 14 成品胎从二检到装框实物图

有大量应用。

2.2.2 预测性维护

基于机器学习算法，对设备的运行状态进行预测，实现预防性维护。比如针对关键设备部署在线振动监测系统，通过无线物联网多轴震动传感器进行实时多维度震动和温度监测，分析预警，保证设备装置故障的提前预警，做好预见性维修。保证设备长期有效运行，系统界面见图 15。

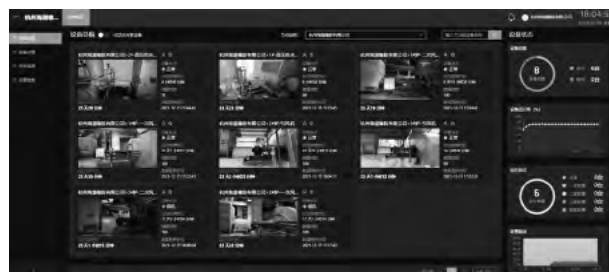


图 15 设备状态在线检测平台界面

3 物流仿真优化车间布局

3.1 物流仿真模型建立

采用计算机专业的仿真、虚拟制造等技术，搭建智能化数字化物流车间 3D 模型，包括原材料存储区、生产车间、成品库，实现对产线布局、工艺流程、制造过程以及生产物流的仿真。

3.2 仿真实验与分析

模拟不同的生产场景和物流方案，分析物流流程中的瓶颈和潜在问题，提前预知生产节拍、尖峰流量、运行逻辑等要素的适合性，下图 16 为其中成型到硫化工序过程的物流仿真界面。

3.3 优化方案实施

根据仿真结果，对车间布局进行优化，如调整设备位置、优化物流通道、合理设置缓存区等，提高物流效率，减少物料搬运时间和成本。

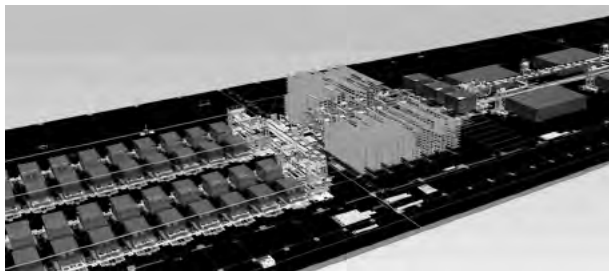


图 16 物流仿真系统界面

4 数字化监控质量和能源节能降耗

4.1 质量监控系统

在线质量监控系统是提升轮胎产品质量的重要工具，是实现智能化、无人化管控轮胎产品品质的重要保障。部分应用界面如图 17。

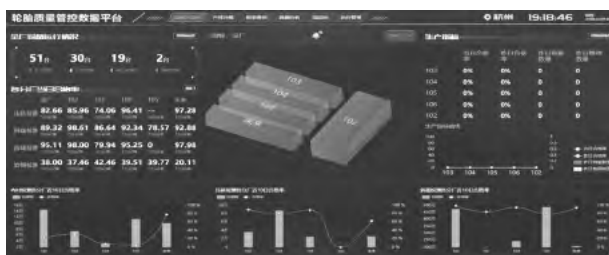


图 17 质量管控平台界面

4.2 质量数据的在线采集

在生产线上配置足够的点、线、面激光检测传感器以及高精度视觉传感器，配合高速网络通信技术，边缘计算技术，先进的检测设备技术，实时采集轮胎的各项轮胎质量参数，包括制品的宽度、厚度、角度、接头错角、接头搭接量、轮廓形状，异物杂质等等重要的品质参数，改变传统的人工抽查到机器的自动全检。

4.3 质量分析与控制

利用检测数据对设备进行 CMK 的自动计算以及嵌入 SPC 工具统计过程控制对质量数据进行分析，及时发现质量波动，并使每条生产线进行采取措施进行调整和改进。

4.4 能源管控系统

4.4.1 基础数据的数字化采集

通过安装智能电表，蒸汽、空气、水等流量计，实时采集各生产线的能源消耗数据见图 18。

4.4.2 能源消耗数据的分析与优化

(1) 所有能耗数据可以按小时、日、月为单位的纵向对比分析功能，及时掌握上 1 h 与下 1 h、昨天与今天、上个月与这个月的消耗趋势对比，见图 19。

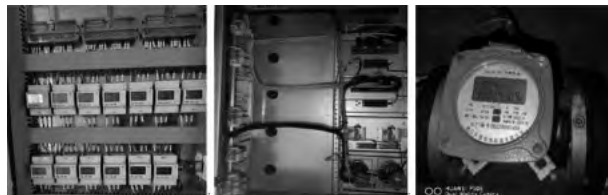


图 18 能源介质数据采集



图 19 日能耗数据及图表

(2) 具有横向各车间生产消耗的能源数据对比分析功能，通过对比促进车间相互的能耗管理水平，见图 20。



图 20 各车间能耗数据及图表

(3) 具有同类生产线消耗的绝对量和单耗能源数据对比分析功能，找出相对单耗高生产线的异常点，见图 21。

(4) 能源管控系统与阿里钉钉系统的深度融合，数据收集分析+数据异常推送功能的深度应用，下图即为日常的能源数据定时推送即实施异常报警推送到钉钉群，见图 22。

通过以上这些大数据的图表化，具体项的数字化分析对比，对异常消耗能够非常方便地找到问题的根源，实现了能源使用全过程的精细化管控，从而形成



图 21 同类设备能耗比较图

管理上的提升，不断完善机制流程，并为节能降耗技术创新提供方向，更是为能耗管理团队和工程技术团队带来绝对的信心和充沛的工作动力。



图 22 能源数据同步钉钉平台推送图

5 小结

智能化和数字化轮胎工厂的建设是轮胎行业实现转型升级的必然选择。通过精心设计的整体架构、合理的技术选型、科学的设备选取、优化的车间布局以及有效的能源和质量监控，能够显著提升轮胎生产的效率和质量，降低成本，增强企业的竞争力。在实施过程中，应充分结合企业的实际情况，逐步推进智能化和数字化建设，持续优化和改进，以适应市场的变化和行业的发展趋势，实现可持续发展的目标。

Implementation plan for the construction of an intelligent and digital tire factory

Liu Xinzhong

(Hangzhou Haichao Rubber Co. LTD., Hangzhou 321000, Zhejiang, China)

Abstract: In the context of the rapid development of manufacturing today, intelligence and digitalization have become the key to enhancing corporate competitiveness. This article elaborates on the implementation plan for the construction of an intelligent and digital tire factory, covering aspects such as overall architecture design, technology selection, equipment selection, workshop layout optimization, and energy and quality monitoring. The aim is to comprehensively enhance tire production levels through advanced technological means, achieving intelligent manufacturing and sustainable development.

Key words: tire manufacturing; intelligent equipment; quality control; digital energy management

(R-03)

