

轮胎厂蒸汽制冷更换为电制冷综合探究

宋月涛，曹勇飞，丁强强，李兆启，施绍松，崔在飞

(万达控股集团有限公司，山东 东营 257500)

摘要：本文聚焦轮胎厂蒸汽制冷更换为电制冷这一课题。首先阐述轮胎厂制冷需求特点，剖析蒸汽制冷与电制冷技术原理。通过能耗成本、设备维护、环保安全等多维度对比，揭示蒸汽制冷现存问题，凸显电制冷优势。研究表明，轮胎厂将蒸汽制冷更换为电制冷具有显著的降本增效、节能减排效果，对提升轮胎厂竞争力意义重大。

关键词：轮胎厂；蒸汽制冷；电制冷；制冷技术更换；效益分析

中图分类号：TQ330.8

文献标识码：B

文章编号：1009-797X(2025)08-0022-03

DOI:10.13520/j.cnki.rpte.2025.08.005

0 研究背景

在轮胎制造行业，稳定且适宜的温度环境对确保产品质量与生产效率至关重要。传统的蒸汽制冷系统在长期运行过程中，暴露出诸多问题。一方面，蒸汽制冷较高的能耗与碳排放愈发不符合可持续发展的要求。另一方面，其设备老化、维护成本上升等问题给轮胎厂的稳定生产带来挑战。电制冷技术因其独特优势，逐渐成为轮胎厂制冷系统升级改造的重要选择。

1 简介

1.1 国内外发展现状

国外在轮胎厂制冷技术应用方面，电制冷技术的普及率相对较高。例如，美国固特异轮胎厂早在2010年就完成了蒸汽制冷到电制冷的更换，通过智能化的电制冷系统，实现了制冷量的精准调节，使车间温度控制在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的范围内，有效提高了轮胎产品的质量稳定性。国内轮胎厂在制冷技术升级方面也在积极探索，但整体上蒸汽制冷仍占据一定比例。

1.2 研究方法

本研究采用文献研究法，梳理国内外相关研究成果，了解制冷技术发展动态；运用案例分析法，深入剖析典型轮胎厂制冷系统更换的实践经验；通过对比研究法，对蒸汽制冷与电制冷进行全方位对比。

2 轮胎厂制冷需求特点分析

2.1 轮胎生产工艺对温度要求

轮胎生产主要包括炼胶、成型、硫化等关键工

序，每个工序对温湿度都有严格要求，具体数据见表1。在炼胶工序，温度需控制在 $40\sim 60^{\circ}\text{C}$ ，湿度控制在 $50\%\sim 60\%$ RH之间。若温度过高，橡胶分子链易断裂，导致胶料性能下降；湿度过大，则可能引发橡胶制品出现气泡、脱层等缺陷。成型工序要求温度保持在 $25\sim 35^{\circ}\text{C}$ ，湿度在 $40\sim 50\%$ RH，适宜的温湿度有助于保证轮胎部件的贴合精度与成型质量。硫化过程中，温度通常控制在 $140\sim 160^{\circ}\text{C}$ ，湿度对硫化反应速率和产品性能也有一定影响。精确控制温湿度环境，可有效降低产品次品率。研究表明，当温湿度控制在理想范围内时，轮胎次品率可降低至3%以下，而超出该范围，次品率可能上升至8%以上。

表1 轮胎生产各工序温湿度要求及次品率对比表

序号	工序	湿度要求 /RH	温度要求 / $^{\circ}\text{C}$	温湿度在理想范围时次品率	温湿度超出范围时次品率
1	炼胶	$50\%\sim 60\%$	$40\sim 60$	$\leq 3\%$	$\geq 8\%$
2	成型	$40\%\sim 50\%$	$25\sim 35$	$\leq 3\%$	$\geq 8\%$
3	硫化	有一定影响	$140\sim 160$	$\leq 3\%$	$\geq 8\%$

2.2 车间空间布局与制冷负荷分布

轮胎厂车间通常具有面积大、设备布局复杂的特点。以某大型轮胎厂为例，其生产车间面积达 $50\,000\text{ m}^2$ ，不同区域的制冷负荷差异显著。炼胶车间由于设备运行产生大量热量，制冷负荷高达 30 kW/m^2 ；成型车间制冷负荷相对较低，约为 15 kW/m^2 。且随着生产设备的启停、季节变化等因素，制冷负荷呈现动态波动。这种不均匀且动态变化的制冷负荷分布，对制冷

作者简介：宋月涛（1982—），男，本科，高级工程师，主要从事橡胶轮胎、石油化工方面工程技术专业技术职务等工作。

系统的精准调控能力提出了很高要求。传统蒸汽制冷系统在应对这种复杂工况时，往往难以实现按需供冷，导致能源浪费。

3 蒸汽制冷与电制冷技术原理分析

3.1 蒸汽制冷原理及常见系统介绍

蒸汽制冷分为压缩式制冷和吸收式制冷，目前应用较多的是蒸汽溴化锂制冷机，属于吸收式制冷。

蒸汽溴化锂制冷机组是一种以蒸汽为动力源的大型制冷系统。它利用蒸汽与溴化锂溶液反应时吸收热量的原理，通过蒸发、冷凝循环来实现制冷。该制冷方式的制冷剂是易于回收再利用的水和溴化锂，制冷效果慢。蒸汽溴化锂制冷机组耗蒸汽量大，制冷效果慢，出水口温度高。

3.2 电制冷原理及主流技术解析

压缩式电制冷基于逆卡诺循环原理，电制冷机是一种利用电能驱动压缩机工作，通过压缩制冷剂实现制冷的设备。其工作原理主要依赖于压缩机对制冷剂进行压缩，使其温度升高，随后在冷凝器中释放热量

并冷凝成液体，再通过节流阀降压后进入蒸发器，吸收室内热量并蒸发成气体，从而实现制冷循环。电制冷机具有制冷速度快、占用空间小、无污染环保、效率高等优点。例如，采用新型制冷剂 R410A 的电制冷系统，在制冷工况下，压缩机将低温低压的 R410A 蒸汽压缩成高温高压的蒸汽，其排气温度可达 80℃左右，排气压力约为 2.5 MPa。

4 轮胎厂蒸汽制冷问题探究

4.1 能源消耗与成本分析

蒸汽制冷系统的能源消耗较高，主要源于蒸汽的产生和制冷循环过程。以某轮胎厂为例，其蒸汽制冷系统每年消耗蒸汽量达 9 000 t，按照当地蒸汽价格 220 元/t 计算，每年蒸汽采购成本高达 198 万元。同时，蒸汽制冷系统的能效比（COP）相对较低，一般在 2.5~3.5 之间。相比之下，电制冷系统的能效比可达到 4.0~5.0。在相同制冷量需求下，电制冷系统的耗电量虽有所增加，但综合考虑能源价格，电制冷的单位制冷量成本更低，具体数据对比见表 2。

表 2 蒸汽制冷与电制冷系统能耗成本对比表

序号	制冷方式	蒸汽用量 /t	蒸汽单价 /t	能效比/(cop)	总成本 / 万元	成本对比
1	蒸汽制冷	9 000	220	2.5~3.5	198	较高
2	电制冷	/	/	4.0~5.0	约 100	较低

4.2 设备维护成本分析

蒸汽制冷设备结构复杂，涉及众多管道、阀门、压力容器等部件，维护难度大且成本高。据统计，该轮胎厂每年在蒸汽制冷设备维护方面的费用约为 15 万元，包括设备检修、零部件更换、管道维护等。同时，由于蒸汽的高温、高压特性，设备容易出现泄漏、腐蚀等问题，导致故障频率较高。

4.3 环保与安全隐患剖析

蒸汽制冷过程中，若以煤炭等化石燃料为蒸汽热源，会产生大量的温室气体排放。例如，每生产 1 t/h 蒸汽，约排放 150 kg 二氧化碳。电制冷系统在运行过程中不产生温室气体排放，对环境友好，且电制冷设备运行压力相对较低，不存在高温蒸汽泄漏的风险，安全性更高。

5 轮胎厂蒸汽制冷问题探究

5.1 节能潜力挖掘

电制冷系统的高效节能特性在轮胎厂应用中表现

突出。以采用变频技术的螺杆式电制冷机组为例，其能效比相较于传统定频机组可提高 20%~30%。通过对制冷量的精准调节，根据车间实际制冷负荷变化调整压缩机转速，避免了传统制冷系统的“大马拉小车”现象。在某轮胎厂的的实际应用中，更换电制冷系统后，每年耗电量虽有所增加，但综合能源成本降低了 50 万元，节能效果显著。

5.2 精准控温与智能调控实现

电制冷系统借助先进的传感器技术和智能控制系统，能够实现对车间温湿度的精准控制。温度控制精度可达 ±1℃，湿度控制精度可达 ±3% RH，满足了轮胎生产工艺对环境的严格要求，有效提高了产品质量的稳定性。

5.3 设备集成与空间利用优化

电制冷设备通常采用模块化设计，结构紧凑，占地面积小。相比传统蒸汽制冷系统庞大的设备体积和复杂的管道布局，电制冷系统可节省约 30% 的车间空间。例如，某轮胎厂在更换电制冷系统后，利用节省

下来的空间增加了一条轮胎生产线,提高了生产效率和场地利用率。同时,电制冷设备的安装和调试相对简便,可缩短施工周期,减少对正常生产的影响。

6 轮胎厂蒸汽制冷更换电制冷的实践案例研究

6.1 案例选取与背景介绍

选取国内某知名轮胎厂作为研究案例,该厂拥有多条先进的轮胎生产线,年产能达500万条。原蒸汽制冷系统运行多年,设备老化严重,能耗居高不下,且无法满足日益严格的环保要求。为实现节能减排、提高生产效率的目标,该厂决定进行蒸汽制冷到电制冷的更换改造。整个更换改造过程历时2个月,期间通过合理安排施工计划,尽量减少了对生产的影响。

6.2 改造效果评估与效益分析

在相同制冷量条件下,电制冷机制冷效果通常优于蒸汽溴化锂制冷机组的。蒸汽溴化锂制冷机组虽然初始电功率较低,但由于需要蒸汽作为动力源,总体能耗(包括蒸汽和少量电能消耗)高于电制冷机。

改造后,该轮胎厂的制冷系统性能得到显著提升。电制冷机输入总功率为520 kW,按平均电费0.7元/度,第一个月未装电表,按1个月计算安装单独电表每天耗电量2200度电,满负荷运行费用:2200度×30天×0.7元/度=4.6万元,7~9月开机时间长电表总显示259680度,满负荷运行费用:259680×0.7元/度=18.17万元,合计22.77万元。蒸汽溴化锂制冷机,

能源消耗高,每天用蒸汽消耗30 t/天×116天×260元/=90.48万元,(6~9月共开机116天)节约运行费用67.71万元。

生产效率方面,由于车间温湿度控制更加稳定,产品次品率从原来的5%降低至2%,每月产量提高了10000条轮胎,生产效益变化情况如图1所示。在经济效益方面,每年因降低次品率和提高产量带来的额外收益约为80万元。同时,由于电制冷系统运行稳定,设备维护成本降低了约10万元。在环保效益方面,减少了大量的温室气体排放,提升了企业的环保形象。



图1 某轮胎厂更换制冷系统前后产品次品率和产量变化图

7 结论与展望

本研究通过对轮胎厂蒸汽制冷更换为电制冷的深入探究,明确了电制冷在节能降耗、提高生产效率、保障产品质量等方面具有显著优势。通过多维度对比分析和实际案例验证,提出了切实可行的更换方案和应对策略。研究表明,轮胎厂实施蒸汽制冷到电制冷的更换,不仅能降低企业运营成本,还能提升企业的环保形象和市场竞争力。

Comprehensive investigation into the replacement of steam cooling with electric cooling in tire factories

Song Yuetao, Cao Yongfei, Ding Qiangqiang, Li Zhaoqi, Shi Shaosong, Cui Zaifei

(Wanda Holding Group Co. LTD., Dongying 257500, Shandong, China)

Abstract: This paper focuses on exploring the relevant issues of tire factories transitioning from steam refrigeration systems to electric refrigeration systems. Firstly, the characteristics of tire factories in terms of refrigeration demand was elaborated in detail, and the technical principles of steam refrigeration and electric refrigeration were analyzed in depth. By comparing systems from multiple dimensions such as energy consumption cost, equipment maintenance, environmental safety, etc., the many problems currently existing in steam refrigeration have been revealed, while highlighting the significant advantages of electric refrigeration technology. The research results indicate that replacing steam refrigeration systems with electric refrigeration systems in tire factories can not only significantly reduce costs and improve efficiency, but also

Key words: tire factory; steam refrigeration; electric refrigeration; refrigeration technology replacement; benefit analysis



South Korea develops marine biodegradable material PEA, which degrades 92% in one year

由 Hyun-Yeol Jeon 博士和 Hyo-Jeong Kim 博士领导的韩国化学技术研究所 (KRICT) 研究团队, 成功研发出一种聚酯酰胺 (PEA) 聚合物, 有效解决了传统材料的局限性。他们将酯键的生物降解性与尼龙中提供强度的酰胺键巧妙结合在一起。该研究的高级研究员兼共同第一作者 Sungbae Park 博士解释称: “这种材料克服了传统可生物降解塑料的局限性, 同时具备尼龙级别的性能。”

该研究的关键突破之一是开发了一种两步熔融聚合工艺，此工艺无需使用传统生产此类材料所需的有毒有机溶剂。目前，该团队已在一个 10 L 的反应器中演示了高达 4 kg 的工业规模生产，这表明该材料已具备进行更大规模商业应用的条件。

摘编自“生物塑料研究院”