

Research on Optimization of Vulcanization Process and Enhancement of Strength and Reliability of Fuel Belt Joints in Thermal Power Plants by

Weiguo Zhou

Jilin Thermal Power Plant, Guoneng Jilin Longhua Thermal Power Co., Ltd., Jilin, Jilin, 132021, China

Abstract

As a critical component in material supply systems for thermal power plants, fuel belt conveyor systems rely heavily on belt joints—vulnerable parts whose strength and vulcanization processes directly determine operational safety and efficiency. In high-temperature and heavy-load environments, joints in some thermal power plants frequently experience delamination and fractures, jeopardizing equipment integrity and production continuity. This study systematically analyzes joint failure mechanisms under typical operating conditions and identifies technical limitations in conventional vulcanization processes. Through structural optimization of joints, refinement of vulcanization parameters, application of novel vulcanizing agents, and intelligent temperature control systems, significant improvements in joint strength and durability were achieved. Mechanical tests and field evaluations demonstrate that optimized processes increased joint strength by over 20% while markedly reducing failure rates. The research proposes systematic optimization pathways and quality assurance measures, providing theoretical and engineering support for safe belt operations and sustainable development in thermal power plants.

Keywords

Thermal power plant; Fuel conveyor belt; Joint vulcanization; Process optimization; Strength and reliability; Failure mechanisms

火电厂燃料皮带接头硫化工艺优化及强度可靠性提升研究

周维国

国能吉林龙华热电股份有限公司吉林热电厂，中国·吉林 吉林 132021

摘 要

燃料皮带运输系统是火电厂物料供应的关键环节，皮带接头作为易损部位，其强度与硫化工艺直接关系到系统的安全与高效运行。部分火电厂因高温、高载荷等环境，接头易脱层、断裂，威胁设备安全和生产连续性。本文基于典型工况，系统分析了接头失效机理，梳理了传统硫化工艺的技术瓶颈。通过优化接头结构、改进硫化参数、应用新型硫化剂和智能温控，实现了接头强度与耐久性的显著提升。力学试验与现场测试表明，优化工艺使接头强度提升20%以上，失效率明显下降。研究提出了系统优化路径和质量保障措施，为火电厂皮带安全运行和高质量发展提供了理论与工程支撑。

关键词

火电厂；燃料皮带；接头硫化；工艺优化；强度可靠性；失效机理

1 引言

火电厂作为我国能源结构中的主力发电方式，其燃料供应链高度依赖皮带运输系统的高效稳定运行。燃料皮带机承担着煤炭等物料从接卸到锅炉的连续输送任务，皮带的安全可靠性直接决定了机组的运行安全与生产效率。在整个皮带系统中，接头处因受力复杂、工艺难度大，是易损薄弱环节。实际生产中，皮带接头常因工艺不规范、材料老化、环境恶劣等多重因素出现强度下降、脱层开裂、早期失效等问题，导致输送中断、设备损坏，甚至影响发电机组安全稳定

运行。

皮带接头的制作工艺主要包括机械接头与硫化接头两大类。硫化接头因其整体性好、强度高、运行平稳而被广泛应用于火电厂等高强度工业输送场合。然而，硫化接头的实际性能与其工艺流程密切相关，受接头结构设计、硫化材料配比、温度压力控制、现场操作质量等多因素影响，稍有偏差即可能导致接头强度不达标、早期失效等严重后果。如何在复杂工况下提升硫化接头的强度与可靠性、降低失效率与维护成本，已成为火电厂皮带运维管理的技术难题与研究重点。

本文以火电厂燃料皮带运输系统为研究对象，结合典型失效案例和力学测试数据，系统分析接头硫化的失效机制与主要影响因素，探讨工艺参数优化与新材料、新技术应用

【作者简介】周维国（1974-），男，中国山东安丘人，本科，工程师，从事机车检修、燃料皮带研究。

路径,提出了强度可靠性提升的系统性解决方案。研究旨在为火电厂燃料皮带接头硫化工艺标准化、智能化、绿色化提供理论依据和实践经验,助力设备安全高效运行和电力行业可持续发展。

2 火电厂燃料皮带接头失效机理分析

2.1 接头失效类型及特征

燃料皮带接头失效通常表现为接头部位的剥离、断裂、脱层、龟裂等多种形式。剥离失效多发生在粘接层或硫化层,断裂则集中在力学应力集中的搭接区。脱层和龟裂常与环境老化、温度冲击、材料疲劳等相关。失效初期常伴有局部开裂、鼓包、边缘翘起等征兆,若未及时干预,易在持续运行或突发冲击载荷下发生彻底断裂。失效特征具有明显的渐进性和突发性,给皮带系统带来较大安全隐患。

2.2 失效的主要影响因素

燃料皮带接头的失效机理复杂多样,既与结构设计的科学性密切相关,也深受材料性能、工艺参数控制以及现场操作质量等多重因素影响。实践中,若接头搭接长度不足、胶层厚度分布不均匀、斜口角度设计不合理,容易造成应力集中,显著削弱接头整体的力学承载能力。此外,硫化所用的粘接剂和胶料若配比不当,或材料本身耐温、耐湿、耐腐蚀性能较差,极易在服役过程中出现老化失效,导致粘结力下降、层间脱离加剧。工艺过程中的温度、压力及硫化时间等参数若控制不严,亦会导致硫化反应不充分,形成虚接、夹杂或气泡等工艺缺陷,使得接头胶层结合力下降,降低其服役寿命。与此同时,现场操作的规范性直接影响最终成品质量。若操作流程不规范、搭接面清洁度不达标、压力分布不均匀,或受外部环境温湿度变化影响,均可能在局部区域形成硫化薄弱点,成为早期失效的隐患。这些影响因素相互交织、相互作用,是造成火电厂燃料皮带接头早期剥离、断裂及失效的主要根源,也是硫化工艺优化和接头可靠性提升亟须关注和系统解决的重点。

2.3 典型失效案例剖析

某大型火电厂多条主燃料皮带在高温高湿季节,接头处出现开裂与剥离,现场检测发现搭接区粘结不牢、胶层厚薄不均、硫化温度波动大。力学试验显示失效接头拉伸强度不足设计要求60%,疲劳循环寿命下降明显。通过材料分析,发现部分硫化胶料老化加速,微观结构存在多处微裂纹和杂质。该案例说明,工艺参数失控与材料性能衰减共同导致接头早期失效,需系统优化接头硫化工艺与质量控制流程。

3 接头硫化工艺的传统技术与不足

3.1 传统硫化工艺流程及技术要点

传统接头硫化工艺在火电厂燃料皮带的维护与运行保障中应用广泛,其流程主要涵盖下料、搭接、涂胶、加压、加热、保温以及冷却等关键环节。具体来看,下料与搭接阶段要求作业人员对皮带材料进行精准裁切,确保搭接区域表

面平整、无杂质残留,这对于后续胶层的均匀性和粘结质量具有重要影响。涂胶环节通常采取人工多层涂刷方式,操作时需将专用粘结剂均匀施加在搭接面,随后进行自然风干,以便形成良好的粘接界面。加压和加热环节多借助电热板与手动液压装置,通过对接头区域施加适宜压力和温度,促使胶层发生充分硫化反应。实际操作中,硫化温度一般控制在145℃至155℃之间,压力保持在1.0至1.2MPa左右,保温时间则需结合胶层实际厚度和环境温度作相应调整,以确保硫化过程均匀彻底。在硫化工序完成后,通常需进行自然冷却,待温度降至常温后方可拆模并进行外观及力学强度检查,以判断接头的成品质量。整体来看,传统硫化工艺对操作工人的经验水平、现场环境和设备条件均提出较高要求,稍有疏忽便可能影响接头成品的整体性能与运行寿命。

3.2 传统工艺存在的主要问题

传统燃料皮带接头硫化工艺虽然经过多年工程实践检验,但在现代火电厂高强度、长距离输送与复杂运行环境下,仍暴露出诸多技术短板和质量隐患。首先,工艺参数波动较大是当前生产中普遍存在的问题。由于工艺环节中人工操作占比较高,现场温度、压力和时间等关键参数易受操作人员技能差异、设备状态波动及现场环境变化等因素影响,导致硫化过程难以实现精准、可控,最终造成接头产品批次间性能一致性差,可靠性不足。其次,硫化材料适应性相对较弱。部分国产硫化剂、粘结剂对火电厂高温、高湿、油污等特殊工况的耐受性有限,易出现胶层老化、脱层等失效现象,直接影响接头服役寿命和运行安全。此外,传统工艺在搭接结构设计上存在一定局限,常采用单一45°斜口或直口形式,未能充分结合皮带运行时的多方向载荷分布,导致局部应力集中,疲劳损伤加剧,降低了接头整体的力学性能与长期服役能力。更为突出的是,当前大多数现场硫化过程缺乏智能监控和质量追溯手段,质量管控主要依赖人工巡检和经验判断,难以及时发现工艺异常与质量缺陷,影响接头成品的稳定性和现场运维效率。随着皮带输送系统运行规模的扩大和自动化水平的提升,传统工艺的这些短板已成为制约皮带接头可靠性提升和火电厂运维效率的关键瓶颈,迫切需要通过新材料、新技术和智能化工艺手段进行系统升级与优化。

3.3 对生产安全与经济效益的影响

传统硫化工艺的不稳定性直接导致接头失效率高,皮带维护与更换频繁,影响燃料供应连续性与电厂经济效益。接头失效还可能引发生产事故,造成设备损坏与人员伤亡,带来安全与环保双重风险。因此,优化接头硫化工艺、提升强度可靠性,是保障电厂高效安全运行的必然要求。

4 接头硫化工艺优化与新技术应用

4.1 接头结构与材料的优化设计

针对皮带接头受力特性,采用多层错位斜口、阶梯搭接、波纹齿型等力学优化结构设计,分散搭接应力,减少局部应

力集中,提高整体承载能力。在材料选择方面,优选耐高温、耐磨、抗老化性能优异的新型橡胶基体和复合硫化剂,提升粘结层的内聚力和界面结合强度。引入纳米填料或功能助剂,增强胶层抗疲劳和自愈合能力,提高接头长期服役寿命。结构与材料的协同优化是接头强度可靠性提升的核心基础。

4.2 硫化工艺参数的精细化控制

硫化工艺参数对接头性能影响显著。本文提出基于智能温控的精细化工艺控制方法,通过数字温控系统和压力闭环反馈,实现硫化全过程温度、压力、时间的精准调节。优化温度曲线,防止局部过热或冷斑,保证硫化反应均匀进行。采用多点压力分布监测装置,调节液压系统实现搭接面受力均匀。针对不同厚度和结构的接头,制定差异化硫化保温曲线,提升工艺适应性。精细化控制大幅度提升了接头成品率和强度一致性,降低了人工误差与批间波动。

4.3 新型硫化剂与智能温控技术应用

在硫化材料方面,引入高性能新型硫化剂和增强型粘结剂,改善传统材料耐温、耐湿和抗老化性能。部分新型硫化剂可在较宽温度窗口内实现快速反应,有效缩短硫化周期,提高生产效率。智能温控系统集成热电偶、红外、无线监测等多种传感技术,实时监测硫化板温度分布,实现自动调节与异常报警,确保关键工艺环节无死角监控。硫化全过程可实现数据存储与追溯,为后期质量管理和工艺优化提供数据支撑。新材料与智能温控技术的深度融合,有效提升了接头硫化工艺的安全性和可靠性。

5 皮带接头强度可靠性提升的现场应用与评价

5.1 力学性能测试与失效寿命对比

通过静态拉伸、剪切强度、疲劳循环等力学试验,对比分析传统与优化工艺下皮带接头的强度表现。实验数据显示,优化工艺接头的极限拉伸强度提升20%以上,剪切强度和疲劳寿命也明显优于传统工艺。优化后的多层搭接结构能有效分散载荷,提高抗冲击和耐久性能。现场长期运行监测表明,优化工艺接头在连续高载荷和复杂工况下的失效率显著降低,平均寿命延长30%~50%,大幅降低了维护与更换频率。

5.2 工程应用效果与经济技术分析

在某大型火电厂主皮带机应用中,通过优化硫化工艺,皮带接头在连续运行半年内未出现脱层与断裂等故障,显著提升了皮带系统的整体稳定性和燃料输送效率。与优化前相比,设备维护成本降低了约25%,燃料供应中断时间减少近80%,大幅提升了机组的运行保障能力。系统化的工艺优化不仅带来了直接的经济效益,还有效降低了因接头失效

导致的安全风险和生产事故。工程实践表明,优化后的接头强度和可靠性有了质的飞跃,为新型硫化工艺在火电厂的推广应用提供了有力的实证支撑,也为燃料皮带系统的高效、安全运行积累了宝贵经验。

5.3 现场质量控制与标准化管理措施

为有效保障皮带接头硫化工艺的质量,建议在施工现场建立标准化操作流程和多级质量检验体系。首先,应制定详细的工艺操作规程,明确各环节参数控制、操作要点及质量验收标准,规范化每一步作业。引入智能监控系统,对硫化温度、压力、时间等关键工艺参数进行实时采集、分析与报警,实现全过程的自动记录和数据留存,确保工艺可控、过程可溯、质量可追。同时,加强对施工人员的技能培训和岗位责任制落实,提升操作人员的专业水平和质量意识。建立健全质量事故追溯与责任倒查机制,及时发现并纠正操作失误或工艺偏差,形成闭环管理。通过上述标准化与精细化的质量管理措施,不仅可大幅降低接头失效风险,夯实接头强度的可靠性,还为燃料皮带运输系统的安全、稳定和高效运行提供坚实保障。

6 结语

燃料皮带接头作为火电厂物料输送系统的关键环节,其强度与可靠性直接关乎机组的安全运行与经济效益。本文基于典型工况与失效案例,系统分析了接头失效的主要机理和传统硫化工艺的技术瓶颈,提出了结构设计优化、材料创新、工艺参数精控与智能温控等系统性改进措施。实验与现场应用均表明,工艺优化显著提升了接头强度和寿命,降低了失效率与运维成本。未来应进一步推进硫化工艺的数字

参考文献

- [1] 邓毅坤.火电厂燃料系统皮带机滚筒胶面磨损研究[J].设备管理与维修,2024,(20):72-75.
- [2] 范嘉良,齐志攀.谈火电厂循环流化床锅炉燃料输送系统设计[J].科技创业家,2012,(19):125.
- [3] 李浩.火电厂燃料输煤系统运行安全探析[J].电力设备管理,2025,(04):240-242.
- [4] 刘盛雷,万伟.火电厂新型封闭式带式燃料输送机研究[J].电气技术与经济,2024,(07):201-204.
- [5] 周铁梁,火电厂燃料输送系统智能管控关键技术研究与应用.北京市,华电重工股份有限公司,2020-12-16.