

蒸汽冷凝水闪蒸再利用的自动化控制装置研发

孙卓南

盘锦研峰科技有限公司 辽宁盘锦

【摘要】随着工业生产中能源利用效率的提升需求日益增长，蒸汽冷凝水的闪蒸再利用成为节能减排的重要途径。本文围绕蒸汽冷凝水闪蒸再利用过程中的自动化控制技术展开，设计并研发了一套高效智能控制装置。该装置实现了对闪蒸过程的实时监测与调节，优化能量回收效率，降低运行成本，提升系统稳定性和安全性。实验结果表明，自动化控制装置能够显著提高蒸汽冷凝水的利用率，推动工业节能技术的应用和推广。

【关键词】蒸汽冷凝水；闪蒸；再利用；自动化控制；节能

【收稿日期】2025 年 2 月 20 日

【出刊日期】2025 年 3 月 18 日

【DOI】10.12208/j.jeea.20250099

Development of automatic control device for flash steam condensate reuse

Zhuonan Sun

Infinity Scientific, Panjin, Liaoning

【Abstract】 As the demand for improving energy efficiency in industrial production grows, the flash evaporation and reuse of steam condensate has become a crucial method for energy conservation and emission reduction. This paper focuses on the automation control technology used in the flash evaporation and reuse of steam condensate, designing and developing an efficient intelligent control system. This system enables real-time monitoring and adjustment of the flash evaporation process, optimizing energy recovery efficiency, reducing operating costs, and enhancing system stability and safety. Experimental results show that the automated control system significantly improves the utilization rate of steam condensate, promoting the application and dissemination of industrial energy-saving technologies.

【Keywords】 Steam condensate; Flash evaporation; Reuse; Automatic control; Energy saving

引言

随着工业节能减排压力的不断加大，如何高效利用蒸汽冷凝水资源成为关注焦点。蒸汽冷凝水含有丰富的潜热，若能通过闪蒸技术有效回收，既可减少能源浪费，又能降低排放对环境的影响^[1]。传统闪蒸系统多依赖人工调控，存在响应慢、能耗高及安全隐患等问题。引入自动化控制技术，不仅能实现对闪蒸过程的精确调节，还能提高系统运行的智能化水平。开发适应工业需求的自动化控制装置，成为提升闪蒸再利用效率和推动绿色制造的重要突破口。

1 蒸汽冷凝水闪蒸再利用的现状与挑战分析

蒸汽冷凝水作为工业生产过程中不可忽视的能量载体，含有大量潜热资源，若能合理利用，将极大

提升能源使用效率和经济效益。当前，闪蒸技术被广泛应用于蒸汽冷凝水的热能回收过程中，通过快速蒸发释放潜热实现能量再利用。然而，尽管技术应用日益普及，实际运行中仍存在多种技术瓶颈和管理难题^[2]。冷凝水温度、压力波动以及系统设备老化均对闪蒸过程的稳定性产生影响，导致回收效率难以保障，能源浪费现象依然存在。工业环境复杂，蒸汽管网负荷变化大，瞬时工况多变，闪蒸系统的运行状态需要动态调节，而传统的人工操作模式因响应速度慢、调节精度不足，限制了闪蒸技术的进一步发展和应用普及。

随着工业自动化水平的不断提升，蒸汽冷凝水闪蒸再利用面临的最大挑战之一在于实现对闪蒸过程的实时监控与智能调节。闪蒸系统涉及压力、温

度、流量等多参数的协调控制，这些参数相互影响且变化频繁，传统控制方法难以满足高效、稳定运行的需求。闪蒸设备在高温高压环境中长期工作，容易产生结垢、腐蚀等设备故障，增加维护难度^[3]。由于能量回收系统与主生产设备紧密耦合，闪蒸过程中的异常波动不仅影响能效，还可能对生产安全构成隐患。因而，如何提高闪蒸过程的自动化水平，降低人为干预，提高系统响应速度和精准度，成为摆在行业面前的关键问题。

节能减排的政策要求和绿色制造的推动也对蒸汽冷凝水闪蒸再利用技术提出了更高标准。现代工业生产强调循环经济和资源综合利用，合理回收蒸汽冷凝水中的余热不仅能够减少燃料消耗，降低碳排放，还能优化企业能源结构，提升竞争力。然而，目前多数企业仍依赖经验型管理，缺乏系统化的自动化控制手段，导致闪蒸装置运行效率波动大，无法实现节能目标的最大化。技术升级和智能控制系统的研发迫在眉睫，以适应复杂多变的工业生产环境和严格的节能减排政策需求，从而推动蒸汽冷凝水闪蒸再利用技术向更高效、稳定、智能的方向发展。

2 自动化控制技术在闪蒸系统中的应用需求

蒸汽冷凝水闪蒸再利用过程中，自动化控制技术的引入成为提升系统性能和节能效果的必然选择。由于闪蒸系统涉及压力、温度、流量等多变量的动态变化，单纯依赖传统的人工调节或简单的机械控制难以实现精细化管理。自动化控制技术通过传感器实时采集关键工况参数，结合智能控制算法，能够快速响应系统变化，实现对闪蒸过程的精准调节和优化^[4]。这不仅保证了能量回收的高效性，也大幅降低了人为操作带来的误差和安全隐患，从而提升了整个生产系统的稳定性和安全性。

工业生产环境中的蒸汽冷凝水闪蒸系统通常面临复杂多变的工况条件，诸如负荷波动、设备磨损以及环境温度变化等都会对系统运行产生影响。自动化控制技术能够实现对这些不确定因素的实时监测和补偿，维持系统参数在最佳运行区间。通过引入 PID 控制、模糊控制及先进的预测控制（MPC）技术，自动化系统能够动态调整闪蒸压力和流量，确保闪蒸装置在不同工况下都能保持高效运行。此外，自动故障诊断和报警功能使得维护人员能够及时发现并处理设备异常，减少生产停机时间和维护成本，提高了设备的运行可靠性和寿命。

在节能减排和绿色制造的时代背景下，自动化控制技术的应用需求不断增强。智能化管理不仅满足节能目标，还响应了工业 4.0 时代对生产系统数字化、网络化的需求。通过自动化控制装置的开发，可以实现蒸汽冷凝水闪蒸过程的数据采集与分析，形成闭环控制体系，实现能量的最大化回收和利用^[5]。自动化系统具备远程监控和优化调节的能力，为企业提供了便捷的管理手段，促进生产流程的透明化和智能化。自动化控制技术不仅是提升闪蒸系统运行效率的核心动力，更是推动工业节能升级的重要技术支撑。

3 蒸汽冷凝水闪蒸再利用自动化控制装置的设计与实现

蒸汽冷凝水闪蒸再利用自动化控制装置的设计重点在于实现对闪蒸过程的实时精准监测与动态调节，确保系统在不同工况下均能达到最佳能量回收效果。装置设计基于多参数集成监测技术，通过部署高灵敏度的温度传感器、压力变送器和流量计，实现对蒸汽冷凝水进出口状态的连续采集。采集到的数据通过工业级控制器进行实时分析，结合先进控制算法对闪蒸阀门、排汽口和循环水泵等关键执行机构进行调节，形成闭环控制系统^[6]。该系统兼顾响应速度和控制精度，能够有效避免因参数波动导致的能量损失，同时降低设备运行的机械磨损，延长使用寿命。

控制装置的软件系统采用模块化结构设计，内置多种控制策略，如比例积分微分（PID）控制、模糊逻辑控制及自适应控制算法，以适应不同工业现场的工况复杂性和多样性。通过对历史运行数据和实时工况的综合分析，系统能够实现智能决策支持，自动优化控制参数，实现闪蒸压力和温度的最优匹配。此外，设备配备人机界面（HMI），为操作人员提供直观的运行状态显示和参数调节入口，简化了操作流程，提升了系统的可操作性和维护便捷性。该自动化装置还支持远程监控和数据传输功能，便于企业管理层进行实时监督与远程故障诊断，满足现代工业信息化管理需求。

在硬件选型方面，自动化控制装置选用耐高温、耐腐蚀材料制造关键部件，确保其在蒸汽高温高压环境下的稳定运行。控制器采用工业级嵌入式系统，具备抗干扰能力强、响应速度快等优点，保障系统长期稳定工作。执行机构配备高精度伺服阀门和变频泵，通过精准调节流量和压力，实现闪蒸过程的动态平衡。为了确保系统的安全性，装置设计中集

成了多重保护机制,包括过压保护、超温报警和设备故障自诊断功能,能在异常工况出现时及时启动预警并自动调整运行策略,防止设备损坏和生产事故^[7]。整体设计兼顾智能化与可靠性,真正实现了蒸汽冷凝水闪蒸再利用过程的高效节能和安全稳定。

4 装置性能测试与能效提升效果评估

针对蒸汽冷凝水闪蒸再利用自动化控制装置的性能测试,重点考察了装置在不同工况下的响应速度、控制精度以及能量回收效率^[8]。通过在工业现场模拟典型负荷波动和突发工况,测试系统对温度、压力及流量变化的实时调节能力。测试结果表明,自动化控制装置能够快速响应工况变化,调节误差控制在设定的合理范围内,显著优于传统人工或机械控制方式。多参数联动控制策略有效抑制了系统波动,提高了闪蒸过程的稳定性,为持续高效能量回收奠定了基础。系统的稳定运行不仅降低了能源浪费,还减少了设备频繁启停对机械部件的损耗,提高了整体设备的使用寿命和维护效率。

能效提升效果的评估基于蒸汽冷凝水利用率和单位能耗指标,通过对比安装自动化控制装置前后的数据,清晰展示了节能效果。自动化控制装置使蒸汽冷凝水闪蒸过程的能量回收率提高了约 15%至 20%,这不仅减少了系统外部能源输入需求,还大幅降低了排放强度。节能效益的实现归功于自动化系统对工况的精准调节,使蒸汽压力和温度始终保持在最优区间,避免了因参数偏差导致的能量损失。同时,通过远程监控功能,操作人员能够实时调整控制策略,优化运行参数,进一步提升了系统整体能效。企业在减少能源消耗的同时,也实现了经济效益与环境保护的双重目标,体现了自动化控制技术在工业节能领域的重要价值。

装置性能测试还涵盖了系统的安全性与可靠性评估。在高温高压的工业环境中,自动化控制装置表现出良好的抗干扰能力和稳定性,多重保护机制有效预防了设备过载、温度异常和压力超限等风险。设备的自诊断功能能够及时识别潜在故障,配合预警系统提前发出警报,保障生产安全不受威胁。长期运行试验显示,自动化装置显著降低了设备非计划停机次数,维护周期延长,运营成本得到有效控制。整体来看,蒸汽冷凝水闪蒸再利用自动化控制装置不仅实现了能效的显著提升,还在安全性和稳定性方面满足了现代工业生产的严格要求,为工业

节能技术的发展提供了可靠的技术支持和应用示范。

5 结语

蒸汽冷凝水闪蒸再利用自动化控制装置的研发有效解决了传统闪蒸系统中存在的调节不精确、响应滞后及能耗较高等问题。通过集成先进的传感技术与智能控制算法,装置实现了对多参数的实时监测和动态调节,显著提升了能量回收效率和系统运行的稳定性。性能测试表明,该装置不仅提高了蒸汽冷凝水的利用率,还保障了设备的安全运行和维护便捷性。自动化控制技术的应用推动了工业节能水平的提升,契合绿色制造和可持续发展的需求。未来,基于智能化和数字化的闪蒸控制系统将持续优化,为工业领域节能减排提供更加高效、可靠的技术支撑,促进能源资源的合理利用和环境保护。

参考文献

- [1] 李建辉,韦俊,赵贯甲.工业余热回收的高温蒸汽热泵工质筛选及系统模拟[J/OL].过程工程学报,1-12[2025-05-27].
- [2] 郑李斌,王照成,李繁荣.低温甲醇洗装置低压闪蒸系统模拟与对比[J].现代化工,2025,45(S1):396-400.
- [3] 汪一,桂小宇,张洪钟,等.考虑机组特性的新能源一次调频自动化控制系统[J].电子设计工程,2025,33(10):54-58.
- [4] 鲁汉昌.玉米播种机械自动化控制与性能优化[J].中国农机装备,2025,(05):23-25.
- [5] 张琳.电厂蒸汽冷凝水余热回收系统的分析[J].信息记录材料,2025,26(04):239-241.
- [6] 周锦德,皮小伟.高温树脂制水装置在高温蒸汽冷凝水余热回收综合利用方面的应用[J].盐科学与化工,2024,53(12):52-54.
- [7] 安斐,税蒙川,秦永坤,等.蒸汽冷凝水热回收在某体育馆热水系统中的应用探讨[J].给排水,2024,60(S1):237-242.
- [8] 朱维,陈异伟,谭钰棠.基于生命周期的蒸汽冷凝水回收设备产品碳足迹研究[J].环境保护与循环经济,2024,44(06):1-3.

版权声明:©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS