

基于金属材料理化特性化工设备节能工艺的研究

聂泽龙¹, 聂长曦², 李旭航³

- (1. 山东三品新能源有限公司, 山东 济宁 272000;
2. 北京市地铁运营有限公司供电分公司, 北京 100000;
3. 兖矿能源集团有限公司, 山东 济宁 272000)

摘要 工业技术不断发展, 化工设备在生产过程中的能源消耗问题日益突出。金属材料作为化工设备的主要构成材料, 其理化特性直接影响着设备的能源利用效率, 通过分析金属材料的导热性、耐腐蚀性及表面特性等关键因素, 可有针对性地制定节能工艺方案, 从而降低设备运行能耗。本文基于金属材料理化特性开展化工设备节能工艺研究, 旨在为促进企业经济效益的提升提供有益参考。

关键词 金属材料理化特性; 化工设备; 节能工艺

中图分类号: TQ05

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.02.004

0 引言

化工设备节能工艺是指在保证生产质量和安全的前提下, 通过优化设备结构设计、改进操作方法、提升材料性能等多种技术手段, 以降低能源消耗、提高能源利用效率为目标的工艺技术体系。在当前能源价格攀升、环保要求日益严格的背景下, 深入研究材料特性与设备性能的协同关系, 对推动化工行业绿色转型具有重要的现实意义, 充分发挥金属材料独特性能, 结合先进工艺技术, 可为化工设备节能改造开辟新的发展方向。

1 金属材料理化特性与化工设备能耗的关系

1.1 金属材料的物理性质对设备能耗的影响

金属材料的物理性质在化工设备运行过程中扮演着关键角色, 直接影响着设备的能源消耗水平。金属材料的导热系数、热膨胀系数、密度和强度等物理特性, 决定了设备在运行过程中的热传导效率和能量损失程度。高导热系数的金属材料能够快速传递热量, 减少热量在传递过程中的损失, 提高热交换效率; 合理的热膨胀系数能确保设备在温度变化时保持良好的密封性能, 避免能量的泄露损失^[1]。同时, 金属材料的密度和强度特性影响着设备的整体重量和结构稳定性, 进而影响设备运行时的机械能消耗。

在实际应用中, 金属材料的物理性质与设备能耗之间存在着复杂的相互作用关系。材料的导热性能直

接决定了热交换设备的换热效率, 良好的导热性能可显著降低热能损失, 提高能源利用率。材料的表面粗糙度会影响流体与设备壁面之间的传热系数, 进而影响整个系统的能量传递效率。此外, 金属材料的弹性模量和屈服强度等力学性能也会影响设备在运行过程中的变形程度, 过大的变形可能导致设备密封性能下降, 造成能源浪费。因此, 深入理解金属材料物理性质与设备能耗的关系, 对于优化设备性能具有重要的指导意义。

1.2 金属材料的化学性质与设备运行效率的关联

金属材料的化学性质在化工设备运行过程中起着决定性作用, 与设备的运行效率密切相关。化工生产环境中往往存在各种腐蚀性介质, 金属材料的耐腐蚀性能直接影响着设备的使用寿命和运行状态。当金属材料与介质发生化学反应时, 设备表面会逐渐形成腐蚀产物, 这些腐蚀产物不仅会降低热传导效率, 还会造成设备壁厚减薄, 影响设备的结构完整性。同时, 金属材料的氧化还原性质也会影响设备表面的钝化膜形成, 良好的钝化膜能够有效阻止进一步腐蚀, 保持设备的正常运转效率。

在高温高压的化工生产条件下, 金属材料的化学稳定性显得尤为重要。材料的相变温度、化学活性以及与工作介质的相容性等特性, 都会对设备的运行效率产生显著影响。化学性质不稳定的材料容易在高温环境下发生组织变化, 导致材料强度下降, 设备变形

加剧,进而引起能量损失增加。此外,金属材料表面的催化特性可能会促进某些不良化学反应的发生,在设备内壁形成结垢或沉积物,这些沉积物会降低传热效率,增加设备能耗。

1.3 材料导热性能与设备热能损失的关系

材料导热性能在化工设备运行过程中扮演着核心角色,直接决定着设备的热能传递效率和能量损失情况。金属材料的导热系数是衡量其导热性能的重要指标,较高的导热系数意味着热量能够更快速地在材料中传递。在化工设备中,热交换过程频繁发生,材料的导热性能显著影响着热量在设备各部件之间的传递效率。当材料导热性能较差时,热量在传递过程中会产生较大的温度梯度,导致局部过热现象,不仅增加了能量损失,还可能引发设备性能下降和安全隐患,特别是在高温工况下,材料的导热性能对设备整体热效率的影响更为显著,良好的导热性能可以确保热量快速均匀地分布,减少热量积聚造成的不必要损失^[2]。

在实际生产环境中,材料导热性能会随着使用时间的延长而发生变化。设备表面结垢、材料老化以及腐蚀等因素都会降低材料的导热性能,造成热能传递效率下降,特别是在高温工况下,材料导热性能的变化更为明显,热量在传递过程中的损失会随之增加。材料导热性能的衰减会导致设备需要投入更多的能量才能达到预期的工艺要求,这种额外的能量消耗直接转化为生产成本的增加。同时,导热性能的下降还会引起设备内部温度分布不均,造成热应力集中,影响设备的使用寿命和运行安全性。在长期运行过程中,材料导热性能的变化还会影响设备的整体热平衡状态,导致能量分配不合理,增加系统的热损失。

2 化工设备常见能耗问题分析

化工设备在运行过程中面临着多样化的能耗问题,热量损失是最为突出的现象之一。在高温工况下,设备壁面与环境之间存在显著的温度差,导致大量热量通过传导、对流和辐射方式散失。设备接口处的热桥效应加剧了热量损失,特别是在管道连接和法兰部位,热量流失现象更为明显。随着设备运行时间的延长,金属材料表面会出现氧化、结垢等现象,这些表面状态的改变降低了传热效率,增加了能源消耗。同时,设备内部流体的湍流损失和摩擦损失也是能耗增加的重要因素,特别是在输送系统中,这种损失更为显著。

材料性能退化是导致设备能耗增加的另一个关键问题。在腐蚀性介质的长期作用下,金属材料会发生

局部或整体腐蚀,导致设备壁厚减薄,强度下降,需要增加运行压力来维持正常工作状态。设备密封部件在交变载荷作用下容易发生疲劳损伤,造成密封失效,引起工质泄漏和能源浪费。材料的疲劳损伤还会导致设备变形,影响传热面的接触状态,降低换热效率。在高温环境下,金属材料的蠕变现象会引起设备尺寸的永久变化,影响设备的运行精度和效率。这些问题相互关联,共同导致设备能耗的持续增加^[3]。

3 基于金属材料特性的化工设备节能工艺优化方案

3.1 优化材料选型,提升设备能效

金属材料选型优化是提升化工设备能效的关键环节,需要综合考虑材料的导热性能、耐腐蚀性、机械强度等多个方面的特性。在选材过程中,应充分考虑设备的工作环境、操作温度、压力等工艺参数,选择最适合的金属材料。对于热交换设备,可选用导热系数高的铜合金或铝合金材料,这类材料具有优异的导热性能,能够显著提高热交换效率。在腐蚀性介质环境下,应优先考虑耐蚀性能好的不锈钢或钛合金材料,这些材料能够有效防止设备腐蚀损坏,延长使用寿命。同时,还需权衡材料的热膨胀系数,选择合适的材料以确保设备在温度变化时保持良好的密封性能。

在具体应用中,复合材料的选用也显得尤为重要。通过合理搭配不同性能的金属材料,可以实现性能的优势互补。例如,在反应釜设计中,可采用双层复合结构,内层选用耐腐蚀性能优异的哈氏合金,外层选用导热性能良好的碳钢,既保证了设备的耐腐蚀性能,又提高了传热效率。对于高温高压设备,可选用高温合金材料,这类材料在高温下具有良好的强度和抗蠕变性能,能够确保设备安全稳定运行。在选材时还需考虑材料的加工性能和经济性,选择适合的焊接方法和表面处理工艺,确保设备制造质量。通过科学合理的材料选型,可以显著提高设备的运行效率,降低能源消耗,实现节能减排的目标。

3.2 表面处理技术在节能中的应用

表面处理技术在化工设备节能中发挥着重要作用,通过改善金属材料表面性能来提高设备的能源利用效率。表面处理技术主要包括物理处理、化学处理和复合处理等多种方式。物理处理方面,可采用喷砂、抛光等方法调节表面粗糙度,优化流体与壁面的接触状态,减少流动阻力和能量损失。化学处理技术如阳极氧化、化学镀等工艺可在设备表面形成致密的保护层,既能防止腐蚀,又能改善表面的导热性能。等离子喷

涂技术则可在设备表面形成具有特定功能的涂层,如低发射率涂层可减少辐射热损失,耐磨涂层可延长设备使用寿命,提高运行效率^[4]。

在实际应用中,复合表面处理技术展现出更大的优势。通过多层镀膜工艺可在设备表面形成具有多重功能的复合涂层,实现防腐、绝热、导热等多种性能的协同优化。例如,在换热设备表面采用纳米复合涂层处理,可显著提高传热效率;在反应釜内壁采用特氟龙涂层处理,可防止结垢和沉积物的形成,保持良好的传热效果。离子注入技术能够改变材料表层的物理化学性质,提高表面硬度和耐磨性,减少机械能损失。此外,表面微观结构的设计和调控也是提高能效的重要手段,通过在表面制造微沟槽或微凸起等特殊结构,可以增强传热效果,提高换热效率。表面处理后的性能监测和维护同样重要,需要定期检查涂层完整性,及时修复损坏部位,确保表面处理效果的持久性。

3.3 新型复合材料的节能效果研究

新型复合材料在化工设备节能领域展现出显著的应用价值,通过合理组合不同材料的优势特性,实现了性能的优化提升。金属基复合材料通过在基体金属中添加碳纤维、陶瓷颗粒等增强相,显著提高了材料的导热性能和机械强度。在高温环境下,碳纤维增强金属基复合材料表现出优异的热稳定性和抗疲劳性能,有效降低了设备的能量损失。陶瓷增强金属基复合材料则具有良好的耐磨性和抗腐蚀性,在化工设备的关键部位应用后,明显延长了设备的使用寿命,减少了因部件更换带来的能源浪费。同时,新型纳米复合材料的应用,通过纳米尺度的界面效应,进一步优化了材料的传热性能和表面特性。

在化工设备的具体应用中,多功能梯度复合材料展现出独特优势。通过在材料中设计功能梯度结构,实现了材料性能的连续过渡,避免了传统单一材料在使用过程中的性能局限。例如,在反应釜内壁采用耐腐蚀金属层与导热金属层的梯度复合结构,既保证了设备的耐腐蚀性能,又提高了传热效率。智能响应型复合材料的开发应用,使设备能够根据工况变化自适应调节性能,在温度剧烈变化时保持稳定的传热效果。此外,新型复合材料在制造工艺上也取得突破,通过3D打印技术可实现复杂结构的精确制造,为设备结构优化和性能提升提供了新的途径。这些创新性的复合材料应用,为化工设备节能工艺的发展开辟了广阔前景。

3.4 材料改性技术与能耗控制措施

材料改性技术在化工设备节能领域展现出巨大潜

力,通过物理改性和化学改性等手段对材料性能进行定向调控,有效提升设备的能源利用效率。物理改性方面,通过调控材料的晶体结构和显微组织,可以优化材料的导热性能和力学性能。例如,通过热处理工艺调控金属材料的晶粒大小和分布,可以显著提高材料的导热系数;通过冷加工和时效处理相结合的方式,能够改善材料的强度和韧性,减少设备变形带来的能量损失。化学改性技术则通过添加合金元素或表面化学处理,改变材料的化学组成和表面特性,提高材料的耐腐蚀性能和表面传热效果^[5]。

在能耗控制措施方面,材料改性技术的应用需要与具体工艺参数相结合。通过在材料中引入纳米级分散相,可以增强材料的导热性能和抗氧化能力;采用表面微合金化技术,能够在材料表层形成具有特殊功能的合金层,提高设备的耐磨性和密封性能。在高温工况下,通过在材料中添加稀土元素,可以提高材料的热稳定性和抗蠕变性能,减少高温变形造成的能量损失。同时,采用等离子表面处理技术对材料进行改性,能够在设备表面形成具有特定功能的改性层,既提高了设备的使用寿命,又降低了运行能耗。这些改性技术与能耗控制措施的有机结合,为化工设备节能提供了有效的技术支持。

4 结束语

金属材料理化特性与化工设备能耗的关系研究具有深远的理论和实践意义。通过深入探究材料特性对设备能耗的影响机制,揭示了材料性能与设备运行效率之间的内在联系。随着新型材料技术的不断发展,化工设备节能领域将迎来更多的创新突破,为实现工业生产的绿色低碳发展提供强有力的技术支撑。

参考文献:

- [1] 廖宇. 化工设备升级与节能改造方法分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(12): 33-35.
- [2] 李涛. 化工设备升级改造和节能技术探讨[J]. 中国设备工程, 2023(03): 216-218.
- [3] 乔平. 试论化工设备升级改造和节能技术[J]. 当代化工研究, 2020(17): 148-149.
- [4] 杨学民. 化工工艺及典型化工设备节能策略[J]. 化工设计通讯, 2020, 46(05): 125, 131.
- [5] 魏平霞. 关于金属材料理化特性化工设备节能工艺的探讨[J]. 世界有色金属, 2020(02): 140, 142.