

# Application of Medium-high Temperature Phase Change Heat Storage Technology in Industrial Waste Heat Recovery

Tailin Ren

Sinoma Industrial Energy Storage Technology (Tianjin) Co., Ltd., Tianjin, 300000, China

## Abstract

As a new type of energy storage method, medium-high temperature phase change heat storage technology is particularly important for its application research in industrial waste heat recovery. Based on this, this paper introduces the basic concept of phase change heat storage technology, discusses the selection criteria of high temperature phase change materials in detail, and analyzes the design points of high temperature phase change heat storage system. Next, through case analysis, the article shows the application examples of high temperature phase change heat storage technology in waste heat recovery, and evaluates its potential in improving energy efficiency and reducing greenhouse gas emissions. Through continuous technological innovation, the medium-high temperature phase change heat storage technology is expected to play a strong role in the field of industrial waste heat recovery, and contribute to the realization of sustainable development goals.

## Keywords

medium-high temperature phase change heat storage; industrial waste heat recovery; phase change materials; energy efficiency; environment friendly

## 中高温相变储热技术在工业余热回收中的应用

任太琳

中材工业储能科技(天津)有限公司, 中国·天津 300000

## 摘要

中高温相变储热技术作为一种新型的储能手段,其在工业余热回收中的应用研究显得尤为重要。基于此,论文介绍相变储热技术的基本概念,详细探讨中高温相变材料的选择标准,分析中高温相变储热系统的设计要点。论文通过案例分析,展示中高温相变储热技术在余热回收应用实例,评估其在提高能源利用效率、减少温室气体排放方面的潜力。通过持续的技术创新,中高温相变储热技术有望在工业余热回收领域发挥较强的作用,为实现可持续发展目标贡献力量。

## 关键词

中高温相变储热; 工业余热回收; 相变材料; 能源利用效率; 环境友好

## 1 引言

随着全球能源危机愈发严重,进一步增强人们的环境保护意识,节能减排理念受到各行业的高度重视。工业生产过程中产生的大量余热,是能源浪费的重要来源,如何高效回收和利用这些余热,对于提高能源利用效率具有重要意义。中高温相变储热技术作为一种新兴的储热方式,因其高效的储热能力和稳定的储热性能,在工业余热回收领域展现出巨大的应用潜力。所谓相变储热技术是通过吸收利用物质在相变过程产生的热量,让中高温相变材料在短时间达到预期的温度范围,温度为 $100^{\circ}\text{C}$ ~ $600^{\circ}\text{C}$ 之间,使得其非常适

合用于工业余热的回收。与传统显热储热材料相比,相变储热材料具有高能量密度和温度稳定性,在较小的体积内储存大量热量,对于空间受限的工业环境具有重要作用。基于此,论文旨在探讨中高温相变储热技术在工业余热回收中的应用研究,期望为相关领域的科研人员和工程师提供有价值的参考,推动该技术在工业生产中的广泛应用,为实现可持续发展目标贡献力量。

## 2 相变储热技术概述

相变储热技术是利用物质吸收在相变过程中产生的热能,从而实现热能储存和释放操作。相变储热技术主要利用物质在固态、液态、气态之间的相变过程,如熔化、凝固、蒸发、冷凝等,实现热能的储存和利用。在相变过程中,物质会吸收大量的潜热,这种潜热远超物质在温度变化时释放的显热。因此,相变储热技术具有储热密度高、温度波动小、储热和放热过程近似等温等优点,非常适合用于建筑节能、

【作者简介】任太琳(1985-),男,中国山东莱州人,硕士,高级工程师,从事储热技术及储热装备的研发及应用研究。

工业余热回收、太阳能热利用等领域。而相变材料(Phase Change Material, PCM)是相变储热技术的核心,其在特定温度范围内发生相变,吸收或释放大热量,根据相变温度变化,相变材料分为低温相变材料(如石蜡、脂肪酸等,适用于建筑节能)和高温相变材料(如金属合金、盐类等,适用于工业热能储存)。目前,相变储热技术应用非常广泛,如在建筑领域通过将相变材料集成到墙体、地板中,利用其相变储热特性科学调节室内温度,减少空调系统能耗;在工业领域,相变储热技术被应用在回收和储存余热,提高能源利用效率;在可再生能源领域,相变储热技术用于储存太阳能或风能,解决可再生能源间歇性和不稳定性问题<sup>[1]</sup>。

### 3 电熔镁坨余热回收新工艺

电熔镁坨作为一种重要的耐火材料,在生产过程中会产生大量的余热,为了提高能源利用效率,减少环境污染,设计一种高效的余热回收新工艺显得尤为重要。在电熔镁坨的余热回收系统中,主要涉及三个阶段:首先是在余热回收室进行散热,其次是通过高温热交换塔进行热能转移,最后是对物料进行预热。在这一创新工艺流程中,需要配备一系列设备,包括除尘器、物料预热塔、破碎装置、鼓风机以及高温热交换塔等(如图1所示)。



图1 电熔镁坨余热回收新工艺流程图

#### 3.1 破碎前在余热回收室的散热过程

在电熔镁坨生产过程中,能源消耗是非常重要的成本因素,为了提高能源利用效率,减少环境影响,新工艺设计中引入余热回收系统,特别是在破碎前对电熔镁坨进行散热处理,这是非常关键的节能环节。电熔镁坨生产完成后,要将其从电炉中取出并放置在专门的余热回收室内,在密封脱壳室中去除镁熔坨外层钢板,脱壳后镁坨外表皮砂问题为1200℃左右。因此,在该室设计考虑多个因素,包括隔热性能、散热效率、操作便利性,余热回收室采用高效的隔热材料构建,这些材料能有效地减少热量向外界的散失,保存大量热量在室内,用于后续的回收利用。同时,在室内安装有散热片,这些装置通过自然对流和辐射散热的方式,将电熔镁坨表面的高温热量传递给循环水或空气,提高散热效率,为热量的初步回收提供可能。通过散热装置,热量被传递给循环水或空气,这些介质随后用于其他工艺过程,如预热原料、加热辅助设备,从而实现能源的循环利用<sup>[2]</sup>。

#### 3.2 破碎前在余热回收室的散热过程优化

为了优化这一过程,通过调节散热装置的工作状态,控制室内温度,确保电熔镁坨的散热速度适中,既不过快导致热量损失,也不过慢影响生产效率。同时,安装温度传感器和控制系统,实时监测电熔镁坨及室内温度,根据监测数据调整散热装置的工作参数,实现最佳的散热效果。当镁熔块中的电熔镁砂平均温度降至1200℃时,势必降低电熔镁块和相变储热材料之间的辐射换热效率,需要工作人员转移电熔镁块,将其放在余热回收室的破碎装置中,合理控制辐射换热时间,融化余热回收室中的Al-Si合金相变储热材料,保证其温度维持在716℃左右。接下来,利用鼓风机将30℃空气吹送到相变储热材料中,实现材料的通风取热操作,得到热风温度为380℃,帮助预热塔中的物料预热操作正常进行<sup>[3]</sup>。通过这种新工艺设计,电熔镁坨生产过程中的余热得到有效回收,降低能源消耗,减少环境污染,实现经济效益和环境效益的双重提升。

#### 3.3 破碎后在高温热交换塔的通风取热过程

电熔镁坨生产过程中产生的大量高温余热,如果能有效回收利用,不仅能降低能耗,还能减少环境污染。电熔镁坨在余热回收室散热后,先进行破碎处理,破碎后的镁渣温度仍然较高,这时鼓风机将30℃的空气送入高温热交换塔中,热交换塔内部设计有多层热交换器,通过强制通风系统,高温镁渣热量与进入塔内的冷空气进行热交换。在热交换塔内,冷空气经过多层热交换器的加热,温度逐渐升高,最终达到250℃~860℃的高温,这种高温热风具有很高的利用价值,用于工厂的其他加热需求,如预热燃烧空气作为干燥介质。在这种工艺应用时,其利用回收电熔镁坨的余热,减少能源浪费,提高能源利用效率,减少因能源消耗产生的二氧化碳等温室气体的排放,有利于环境保护。回收的热风直接用于生产过程中的加热需求,有效降低生产成本。电熔镁坨余热回收新工艺设计通过高温热交换塔的通风取热过程,实现余热的高效回收和利用,这种工艺提高能源利用效率,有助于减少环境污染,具有显著的经济和环境效益<sup>[4]</sup>。

#### 3.4 物料预热过程

在高温热交换塔中完成热交换后,镁渣的温度进一步降低,但仍含有一定的热量。这些镁渣随后被用于预热进入电炉的原料。通过专门的预热设备,如螺旋输送机或提升机,将镁渣与原料混合,利用镁渣的余热对原料进行预热,提高原料的初始温度,从而减少电炉的能耗,实现能源的循环利用<sup>[5]</sup>。这个工艺的核心在于利用传送带将菱镁矿原料输送到物料预热塔顶部料斗中。然后,热交换塔产生的250℃~860℃的热风以及余热回收室提供的380℃~470℃热风,从物料预热塔的底部进入,与菱镁矿原料进行充分的热交换,将原料预热至350℃。在物料预热塔内部,菱镁矿原料和热风进行热交换,交换后的气体通过塔侧面的排气口排出。这些气体接着被引导至除尘器进行除尘处理,处理后排

放到大气中,确保了热能的有效回收,并降低了排放气体中的粉尘含量,满足了环保的相关要求。在将其预热至 350℃ 的菱镁矿原料,直接送入三相电弧炉进行冶炼,这种高温预热显著提高冶炼效率,减少电弧炉的能耗,缩短冶炼周期,增强生产效率<sup>[6]</sup>。

#### 4 镁坨热平衡计算

电熔镁坨余热回收新工艺热量平衡表如表 1 所示。

表 1 电熔镁坨余热回收新工艺能量平衡表

	项目	数值 /kJ	百分比 /%
热收入项	镁坨含有物理热	$4.57 \times 10^7$	100
热支出项	破碎过程热损失	$8.86 \times 10^6$	19.4
	高温热交换塔取热过程热损失	$1.34 \times 10^6$	2.9
	排出电熔镁砂带走热量	$1.30 \times 10^6$	2.8
	管道总热损失	$2.87 \times 10^6$	6.3
	物料预热过程热损失	$6.01 \times 10^6$	13.1
	PCM 中剩余热量	$7.31 \times 10^6$	16.0
	菱镁矿吸热	$1.80 \times 10^7$	39.5

根据提供的电熔镁坨余热回收新工艺能量平衡表,发现镁坨含有物理热为  $4.57 \times 10^7$  kJ, 占总热收入的 100%, 表明这是热回收工艺的唯一热源; 破碎过程热损失为  $8.86 \times 10^6$  kJ, 占总热支出的 19.4%, 是最大的热损失项; 高温热交换塔取热过程热损失为  $1.34 \times 10^6$  kJ, 占总热支出的 2.9%, 表明这部分的热损失相对较小; 排出电熔镁砂带走热量为  $1.30 \times 10^6$  kJ, 占总热支出的 2.8%, 也是较小的热损失; 管道总热损失为  $2.87 \times 10^6$  kJ, 占总热支出的 6.3%, 说明管道系统的热损失较为显著; 物料预热过程热损失为  $6.01 \times 10^6$  kJ, 占总热支出的 13.1%, 表示在物料预热过程中有一定程度的热损失; PCM 中剩余热量为  $7.31 \times 10^6$  kJ, 占总热支出的

16.0%, 这部分热量可能被用于其他工艺过程或储存。针对破碎过程和管道总热损失较大的情况, 考虑改进破碎设备和管道保温措施, 有效减少热损失。对于菱镁矿吸热较大的情况, 考虑优化菱镁矿的使用方式, 进一步提高整体热效率<sup>[7]</sup>。

#### 5 结语

综上所述, 随着全球能源危机的加剧和环境保护意识的提高, 工业余热回收已成为节能减排的重要途径。中高温相变储热技术作为一种高效的能量存储和释放手段, 其在工业余热回收领域的应用研究日益受到关注。论文通过对中高温相变材料的筛选、储热系统的设计以及实际工业应用案例的分析, 探讨了该技术在提高能源利用效率、降低环境污染方面的潜力。未来, 随着材料科学的进步和储热技术的不断创新, 相信中高温相变储热技术将在更广泛的工业领域得到应用, 为实现绿色低碳发展目标贡献力量。

#### 参考文献

- [1] 凌宇. 高温相变储热技术在供热领域的生产效益分析[J]. 能源与节能, 2023(6):46-50.
- [2] 高进. 基于芳纶纳米纤维/石墨烯三维骨架封装的相变复合材料制备与性能研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2023.
- [3] 葛云飞. 基于引入空腔策略的铜基金属相变胶囊的制备及储热特性研究[D]. 徐州: 中国矿业大学(江苏), 2023.
- [4] 李芳芳. 芳纶纳米纤维基相变复合材料的制备及性能研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2023.
- [5] 刘伟, 李振明, 刘铭扬, 等. 高温相变储热材料制备与应用研究进展[J]. 储能科学与技术, 2023, 12(2):398-430.
- [6] 钟武泳. 高温相变储能材料 Al-30wt%Si 合金双壳层微胶囊化研究[D]. 长沙: 湖南理工学院, 2023.
- [7] 程子杰. 铝硅合金相变储热系统喷液加湿强化换热特性研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2023.