

第十五届太阳能热利用科学技术 研究生论坛

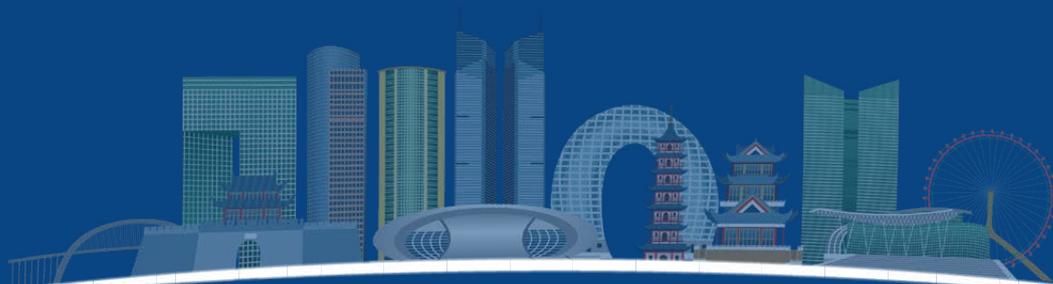
摘要集

主办单位：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟

承办单位：湖州工业控制技术研究院

浙江绿储科技有限公司

中关村新源太阳能热利用技术服务中心



目录

CONTENTS

前言	4
主题一：材料	5
单质硫储热介质粘度调控方法及变化规律研究	6
基于气相分解产物分析的硝酸基熔盐热稳定性表征方法研究	7
锰铝共掺杂钙基热化学储能材料用于高效热能储存储系统	8
基于多层封装的中空结构陶瓷结构复合相变材料制备及其储热特性研究	9
面向太阳能热利用的中空陶瓷球封装复合相变材料储热性能研究	10
基热化学储热颗粒的光吸收壳层与内部导热协同强化设计	11
天然钙基热化学材料与铝相变材料复合宏观胶囊高温储热性能研究	12
多功能 $\text{SrFeO}_{3.8}$ @Al复合大胶囊协同高温储热与空气分离的研究	13
321不锈钢在 NaNO_3 - KNO_3 - NaNO_2 熔盐中的腐蚀行为研究	14
基于FPMD模拟的 NaCl - KCl - CaCl_2 熔盐热物性预测以及微观结构解析	15
347H不锈钢在 NaNO_3 - KNO_3 - $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 熔盐中的腐蚀行为研究	16
新型宽温域四元硝酸-碳酸混合熔盐的制备及性能优化	17
Q345R碳钢在 NaNO_3 - KNO_3 - NaNO_2 中动静态腐蚀行为对比研究	18
基于相图分析的氯化物复合熔盐储热性能及腐蚀行为研究	19
大规模制备纳米B2-NiAl析出相强化的奥氏体不锈钢，兼具卓越强度-延展性与熔盐腐蚀抗性	20
三明治结构MXene/木基气凝胶太阳能界面蒸发研究	21
基于太阳能的MEA/ ChCl_2 -MPZ/MXene纳米流体用于高效吸附-解吸 CO_2	22
各向异性复合相变材料的制备及热管理应用	23
用于人体热管理的柔性光热水凝胶相变复合材料	24
基于高分子吸水聚合物的有机相变材料过冷度抑制改性方法研究	25
太阳能有机朗肯循环工质优选及其综合性能分析	26
主题二：部件设备	27
潜热集成聚光太阳能驱动低阶煤流化床反应器开发及模拟研究	28
应用于太阳能热能储存的大型高功率密度相变储热装置设计	29

光伏光热(PVT)阵列均流均相模拟研究	30
高电压电磁感应加热器的数值建模与分析.....	31
太阳能陶瓷反应器优化设计其陶瓷烧制性能研究.....	32
基于拓扑优化方法的仿生叶脉容积式反应器性能强化研究.....	33
太阳能蒸发装置窗口光热特性及性能优化研究.....	34
温度场反演技术用于真空集热管非接触式故障检测.....	35
一种集成相变蓄热及辐射制冷技术的脱木素木结构屋顶性能优化与实验研究.....	36
冰蓄冷冷库管翅式三流体换热器肋片开缝传热优化研究.....	37
集热管内置螺旋转子的抛物面槽式集热器热性能实验研究.....	38
消除复合双曲面聚光器多次反射的设计与性能研究.....	39

主题三：系统技术..... 40

燃煤电厂耦合熔盐储能系统设计及热力学分析.....	41
热流密度及颗粒粒径对太阳能驱动低阶煤热解产物特性的影响.....	42
下聚光式光热电站的多目标优化.....	43
太阳能热化学储热的理想热力循环解析与性能评价.....	44
太阳能驱动的颗粒/sCO ₂ 流化床-再压缩布雷顿循环系统热力学性能研究	45
PV/T驱动的卡诺电池运行参数分析与动态研究	46
一种快速且高精度的太阳能吸热器热性能预测模型.....	47
面向温室大棚的相变储热/冰蓄冷复合储能系统的能效优化与性能分析	48
非对称CPC聚光太阳能界面蒸发海水淡化系统研究	49
太阳能跨季节储热系统建模与控制策略研究.....	50
基于布雷顿循环的CO ₂ 热泵-熔盐储热发电系统的热力学分析及优化	51
高寒地区降雨及气流除尘对槽式系统光学性能的影响及预测研究.....	52
直接式太阳能集热器在活化过硫酸盐处理污水中的应用.....	53
基于异质储能与碳交易机制的风光互补三联供系统烟环境成本优化.....	54

前言

“太阳能热利用科学技术研究生论坛”（简称论坛）由国家太阳能光热产业技术创新战略联盟于2011年发起主办，以“我的研究，我的创新”为主题，旨在加强各高校和科研院所太阳能热利用科学技术领域的交流和合作，推动我国太阳能热利用科学技术的发展，同时也为广大研究生们搭建展示自我的平台，为相关企事业单位人才选择创造机会。论坛现已成功召开十五届，先后由华北电力大学、兰州理工大学、上海交通大学、云南师范大学（两届）、天津大学、西安交通大学、北京工业大学、清华大学、中国科学院上海应用物理研究所、内蒙古工业大学、浙江大学、河北工业大学、上海第二工业大学、湖州工业控制技术研究院 / 浙江绿储科技有限公司单位承办。

第十五届论坛于2025年6月8日在湖州西塞科学谷圆满闭幕。来自（按拼音排序）北京工业大学、河北工业大学、华北电力大学、华中科技大学、兰州理工大学、南京师范大学、内蒙古工业大学、上海第二工业大学、上海交通大学、天津大学、西安建筑大学、西安交通大学、燕山大学、云南师范大学、郑州航空工业管理学院、中国计量大学、中国科学院大学、中国科学院电工研究所、中国科学院上海应用物理研究所、中国矿业大学、中国农业大学的46位研究生围绕“材料”“部件设备”“系统”三大主题进行了报告交流。

为促进学术交流、拓宽学术视野，太阳能光热联盟特组织编制了本届论坛的报告摘要集，以供参考。

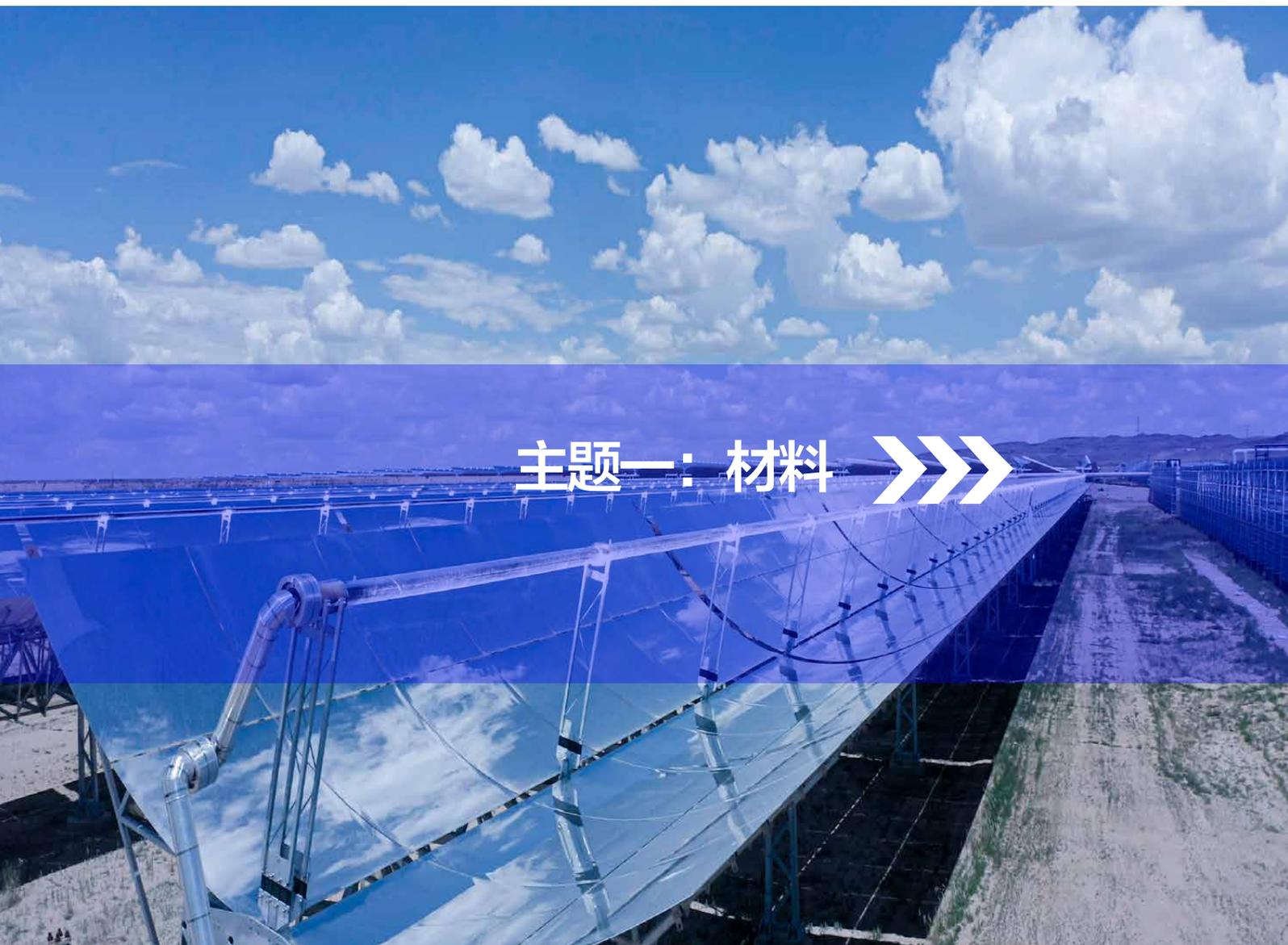
本报告引用格式为：国家太阳能光热产业技术创新战略联盟，第十五届太阳能热利用科学技术研究生论坛摘要集，2025年6月，湖州。



国家太阳能光热产业技术创新战略联盟副理事长

浙江大学热能工程研究所副所长

2025年6月



主题一：材料 >>>



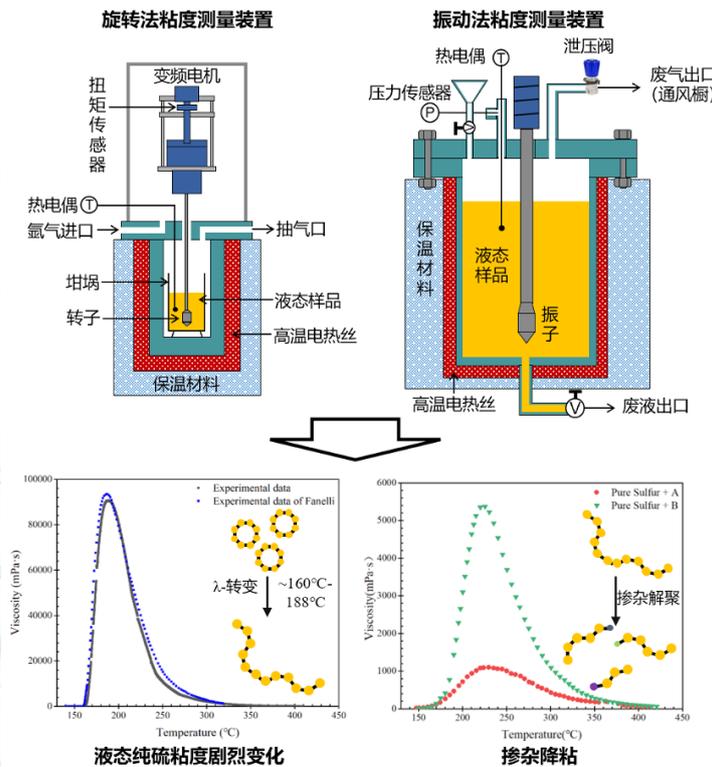
单质硫储热介质粘度调控方法及变化规律研究

李屹¹, 靳开元^{1*}, 杨荣贵²

1. 华中科技大学能源与动力工程学院, 430074, 武汉
2. 北京大学工学院, 100871, 北京

摘要: 高温热储能被誉为未来规模储能的中坚力量。相较于传统的熔盐储热材料, 液态单质硫凭借其低成本、低熔点以及优异的高温化学稳定性, 展现出成为新一代高温热储能材料的显著潜力。然而, 液态硫在 160-190℃ 左右 (λ -过渡区) 会发生粘度突增现象, 这一特性显著影响其在储热换热系统中的流动与传热效率。本研究采用掺杂改性降低粘度的思路, 研究对比了纯硫及掺杂硫在不同工况条件下粘度随温度的变化规律, 并阐明了测量时系统是否密闭以及剪切率变化等因素对于单质硫粘度测量结果的影响。研究证明了所选掺杂方法对于降低单质硫粘度具有显著效果, 但也发现在使用旋转法测量粘度的过程中, 由于系统无法完全密闭导致掺杂物质在高温下持续挥发, 其降粘效果不具备长期稳定性。在密闭的测试系统中采用振动法对相同的样品进行了类似的粘度测量, 结果表明掺杂硫的粘度在多次循环测试后基本维持稳定且显著低于纯硫。另一方面, 研究还发现不同测试方法剪切率差异较大, 对液态硫的峰值粘度具有较大影响, 旋转法对应的剪切率更接近低流速下的极低剪切率工况, 而振动法的测试结果更接近常见管道流动工况下的高剪切率条件。本研究为开发单质硫储热系统及相应的装备技术提供了重要的物性参数数据与理论基础, 相关研究方法与经验亦可以应用于其它储热与传热流体的粘度研究。

关键词: 热储能; 单质硫; 掺杂改性; 粘度; 密闭系统; 剪切率



第一作者: 李屹, 邮箱, 研究方向: 单质硫储热

通讯作者: 靳开元, 邮箱 kaiyuanj@hust.edu.cn, 研究方向: 高温热储能, 单质硫储热, 熔盐储热等

通讯地址: 湖北省武汉市珞喻路 1037 号华中科技大学清洁能源大楼 邮编: 430074

基于气相分解产物分析的硝酸盐熔盐热稳定性表征方法研究

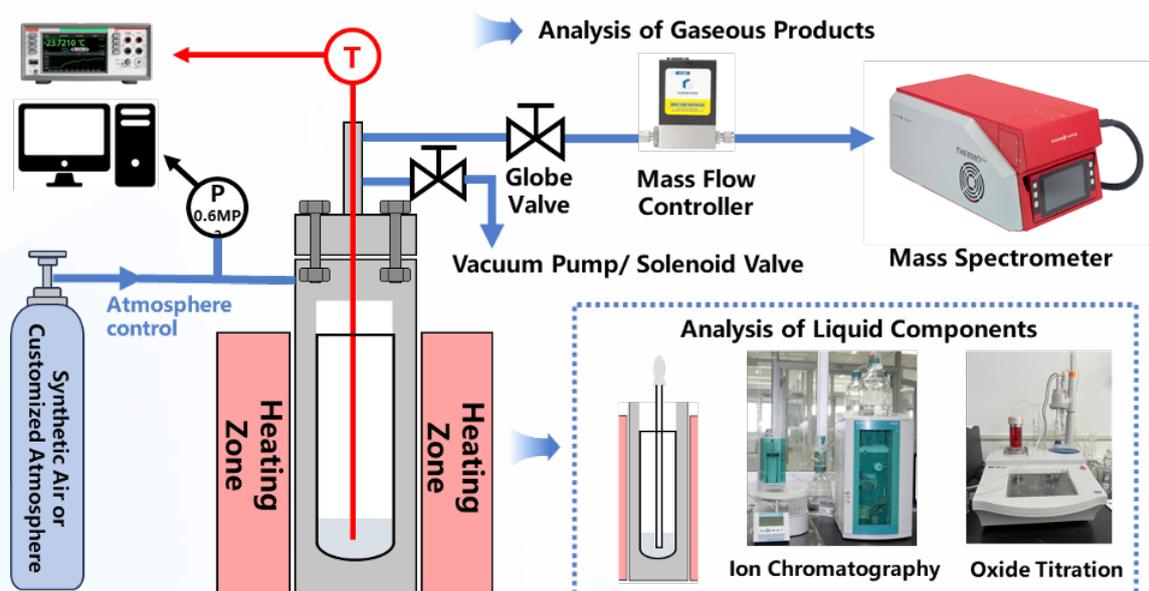
尤汉¹, 李小波¹, 靳开元^{1*}, 杨荣贵^{2*}

1. 华中科技大学能源与动力工程学院, 430074, 湖北

2. 北京大学工学院, 100871, 北京

摘要: 硝酸盐熔融盐是聚光太阳能电站、煤电灵活性改造项目等大型能源设施中常用的储热和传热介质, 但该类熔盐的高温稳定性较差, 在 565℃ 以上会发生复杂的分解劣化问题。近年来, 越来越多的研究团队开始关注提升硝酸盐熔盐热稳定性的方法, 例如掺混其它盐类得到新型熔盐配方、改变运行气氛等。然而, 如何准确定义并测量硝酸盐熔盐的热稳定性仍是一个难题, 如何阐明相关解决方案的分解抑制机理也亟待研究。本文提出了一种通过气相分解产物分析来量化熔融硝酸盐热稳定性的方法。相关实验系统由一个密闭的熔盐反应釜和标定后的气相质谱仪组成, 用于监测太阳盐 (60%NaNO₃/40%KNO₃) 在 565℃、600℃ 和 650℃ 等温度条件下达到分解平衡后的气体分解产物的浓度。我们发现 O₂ 和 NO 这两种气体分解产物在温度升高时期含量变化较为显著, 且分别能够和液体分解产物 NO₂⁻ 和 O₂⁻ 的含量变化相匹配, 说明系统气相空间中的 O₂ 和 NO 在分解平衡后的比例可以作为衡量硝酸盐熔盐分解剧烈程度的指标。考虑到 NO 和 O₂ 的产生对于熔盐以及储热系统的稳定性影响更甚, 我们选择将 NO 含量作为决定硝酸盐熔盐热稳定性的特征指标, 并且将太阳盐在 565℃ 合成空气氛围下测得的指标值作为参考值。若某一硝酸盐熔盐体系中该指标的数值低于该参考值, 则可以得到该体系较空气氛围下的太阳盐具有更高热稳定性的结论。最后, 该稳定性的分析方法被用于分析原始气氛中氧气浓度变化对于太阳盐稳定性的影响, 结果表明氧含量提高使得同温度下该指标的数值降低, 当系统在初始状态下具有 80% 的氧气, 其 616℃ 下的平衡态 NO 含量与 565℃ 空气氛围下太阳盐的平衡态 NO 含量相当, 说明增加原始氛围氧气浓度有助于提升太阳盐稳定性, 这一结论与文献中的结果相吻合。

关键词: 热储能; 熔融盐; 太阳盐; 热稳定性; 分解反应; 质谱分析



锰铝共掺杂钙基热化学储能材料用于高效热能储存储系统

刘辉¹, 魏进家^{1*}

1. 西安交通大学化工程与技术院, 陕西安, 710049

摘要: 耦合钙循环储能模块的太阳能光热发电是具有广阔前景的高效大规模太阳能利用技术。目前限制这种技术发展的一个关键问题是钙基储能材料在储能循环中的性能衰减。本研究分别以乙酸钙和低成本氢氧化钙为前驱体, 乙二胺四乙酸为螯合剂合成了 Mn、Al 共掺杂钙基材料。乙酸钙前驱体合成的共掺杂材料 Ca₁₀₀Mn₁₅Al₁₀-Ac 在 1000 次储能循环中表现出优异的稳定性, 性能仅衰减 23.2%, 且主要集中在前期, 其平均光吸收率也达到 70%。此外, 掺杂材料的初步放大合成以及在合成中添加微晶纤维素黏结剂不会对 Ca₁₀₀Mn₁₅Al₁₀-Ac 性能造成负面影响, 有利于后续大规模制备与成型。低成本前驱体氢氧化钙合成的 Mn、Al 共掺杂 Ca₁₀₀Mn₁₅Al₁₀-OH 仍然具有良好的循环稳定性, 在 200 次储能循环中性能基本无衰减, 表明材料的高性能与低成本能够同时兼顾。

关键词: 热化学储能, 钙基材料, 循环稳定性, 共掺杂

第一作者: 刘辉, lh3041594963@stu.xjtu.edu.cn, 太阳能光热利用
通讯作者: 魏进家, jjwei@xjtu.edu.cn, 太阳能光热及化学转化与利用
通讯地址: 西安交通大学化学工程与技术学院, 邮编: 710049

基于多层封装的中空结构陶瓷结构复合相变材料制备及其储热特性研究

石亮 a,b, 张光通 a,b, 刘臣臻 a,b, 饶中浩 a,b*

a. 河北工业大学能源与环境工程学院, 先进储能技术与装备河北省工程研究中心, 天津 300401

b. 河北工业大学能源与环境工程学院, 河北省热科学与能源清洁利用技术重点实验室, 天津 300401

摘要: 建筑能耗在全球能耗中所占份额达到 30% 以上, 开发建筑节能材料是实现节能低碳的关键。相变材料在建筑中的应用能够有效降低建筑能耗, 但其存在泄露、稳定性差等问题需要解决。本文以粉煤灰为原料, 经过造粒、干燥、高温烧结制备粉煤灰中空结构陶瓷作为基体材料, 选用十二水磷酸氢二钠和十水碳酸钠的二元无机水合盐作为相变材料, 采用真空浸渍法制备了二元无机水合盐 @ 粉煤灰复合相变材料。为克服泄露问题并提升循环稳定性, 依次使用环氧树脂胶和粉煤灰进行封装, 从而制备得到二元无机水合盐 @ 粉煤灰 @ 树脂胶 @ 粉煤灰的三层封装复合相变材料。研究表明, 经 1000 次热循环后无机水合盐的熔化潜热为 196.9J/g, 较循环前熔化潜热衰减率 <8%, 表明所制备的复合相变材料具有优异的循环稳定性, 可以作为建筑用骨料的候选材料。

关键词: 相变材料; 无机水合盐; 循环稳定性; 储热技术

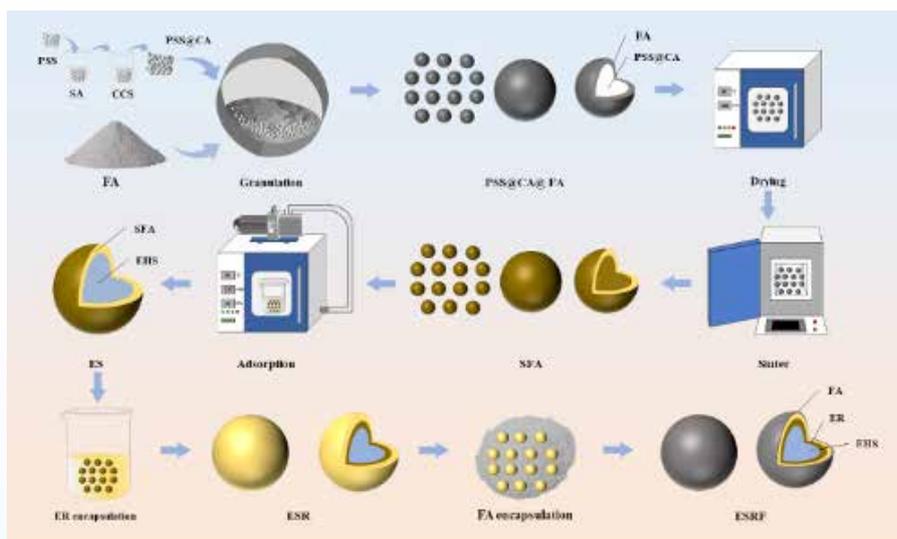


图 1 三层封装复合相变材料制备流程图

第一作者: 石亮, 1765951615@qq.com, 相变储热

通讯作者: 饶中浩, raozhonghao@hebut.edu.cn, 储热技术, 太阳能热利用

通讯地址: 天津市北辰区西平道 5430 号河北工业大学能源与环境工程学院, 邮编: 300400

基金项目: 国家重点研发计划子课题 (2022YFB3806503)

面向太阳能热利用的中空陶瓷球封装复合相变材料储热性能研究

杨皓 a,b, 张光通 a,b, 刘臣臻 a,b, 饶中浩 a,b*

a. 河北工业大学能源与环境工程学院, 先进储能技术与装备河北省工程研究中心, 天津 300401

b. 河北工业大学能源与环境工程学院, 河北省热科学与能源清洁利用技术重点实验室, 天津 300401

摘要: 有机相变材料因其高相变潜热的特点, 在太阳能热利用领域具有广阔的应用前景。然而, 有机相变材料在熔化时容易发生泄漏且循环稳定性较差。为此, 本研究以十八烷和月桂酸为相变材料, 以中空陶瓷球为封装材料, 制备了复合有机相变储热材料 (HCS-PCMCA), 其相变温度为 23.92°C , 相变潜热为 235.6J/g 。经过 80°C 高温泄露测试表明, 在 30h 后 HCS-PCMCA 的质量损失率为 0.08% , 并在 2000 次热循环后, 潜热衰减率为 2.4% , 泄露率为 0.5% 。表明该封装方式能够有效抑制相变材料的泄露, 提升复合有机相变材料的热循环稳定性, 适用于建筑节能及太阳能热利用等领域, 具有推广应用潜力。

关键词: 相变材料; 太阳能热利用; 陶瓷材料; 循环稳定性

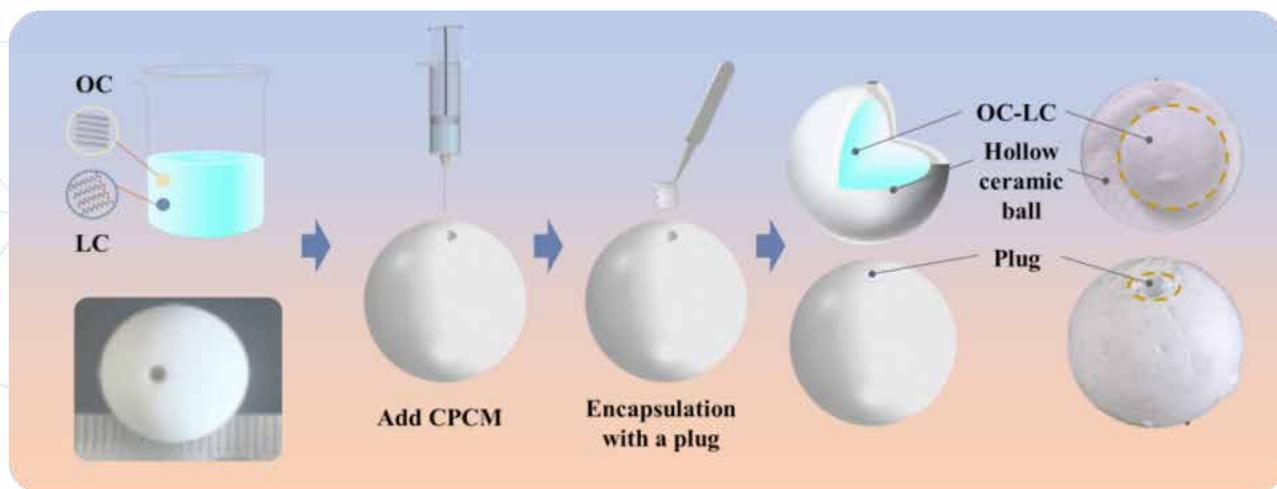


图 1 基于中空陶瓷球封装复合相变材料制备流程图

第一作者: 杨皓, yh19163328093@163.com, 相变储热

通讯作者: 饶中浩, raozhonghao@hebut.edu.cn, 储热技术, 太阳能热利用

通讯地址: 天津市北辰区西平道 5430 号河北工业大学能源与环境工程学院, 邮编: 300400

基金项目: 国家重点研发计划子课题 (2022YFB3806503)

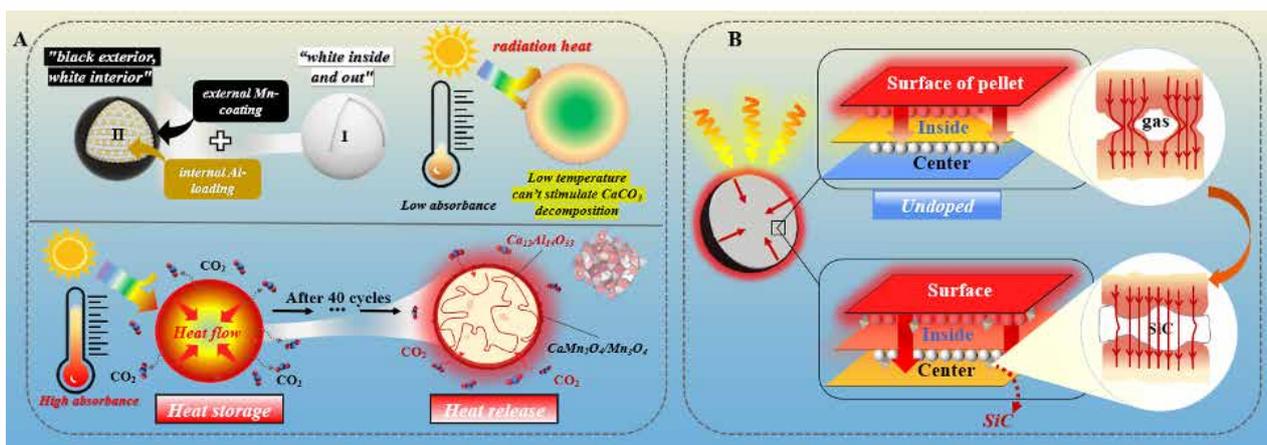
钙基热化学储热颗粒的光吸收壳层与内部导热协同强化设计

石祎, 毛吉云, 李晓彤, 孙健*

南京师范大学能源与机械工程学院, 202502, 南京

摘要: 钙循环 (CaL) 因其高理论储能密度和低成本成为太阳能光热电站 (CSP) 中极具潜力的高温热化学储能 (TCES) 技术。然而, 钙基材料固有白色外观, 吸光组分均匀掺杂无法同时实现光谱吸收和储能密度正收益, 这一问题极大程度制约其进一步发展应用。本研究旨在构筑“外黑内白”壳核钙基颗粒, 以解决吸光组分均匀掺杂带来的过度消耗活性 CaO 问题。通过疏水面辅助制备了暗 Mn 基吸光外壳, 同时负载 Al 基稳定剂提升颗粒整体循环性能。此外, 结合第一性原理计算 (DFT), 引入 SiC 添加剂优化颗粒内部热传输性能。实验表明, 采用 60wt% MnO_2 疏水面显著提升了颗粒的结构完整性和光谱吸收率达 86.39% (纯 CaO 为 19.36%), 抗压强度提升至 9.38 MPa (纯 CaO 为 0.6MPa)。40 次循环后储能密度提升 44.3% 达 1.07MJ/kg, 这归因于反应“自活化”效应, 内部硬骨架与外部软骨架的协同演化稳定了孔隙结构并加速碳酸化。SiC 的引入优化了热量传输路径和循环性能, DFT 计算证实 CaO 在 SiC (111) 面的吸附能 (-17.1eV) 显著高于 CaO (100) 面 (-1.48eV), 从原子尺度解释了材料稳定性。

关键词: 钙循环; 热化学储能; 壳核型; 光谱吸收; 热量输运



第一作者: 石祎, 231902007@njnu.edu.cn, 钙循环热化学储能

通讯作者: 孙健, jiansun@njnu.edu.cn, 低碳和清洁能源技术开发等研究

通讯地址: 南京市学林路 2 号南京师范大学能源与机械工程学院 邮编: 210023

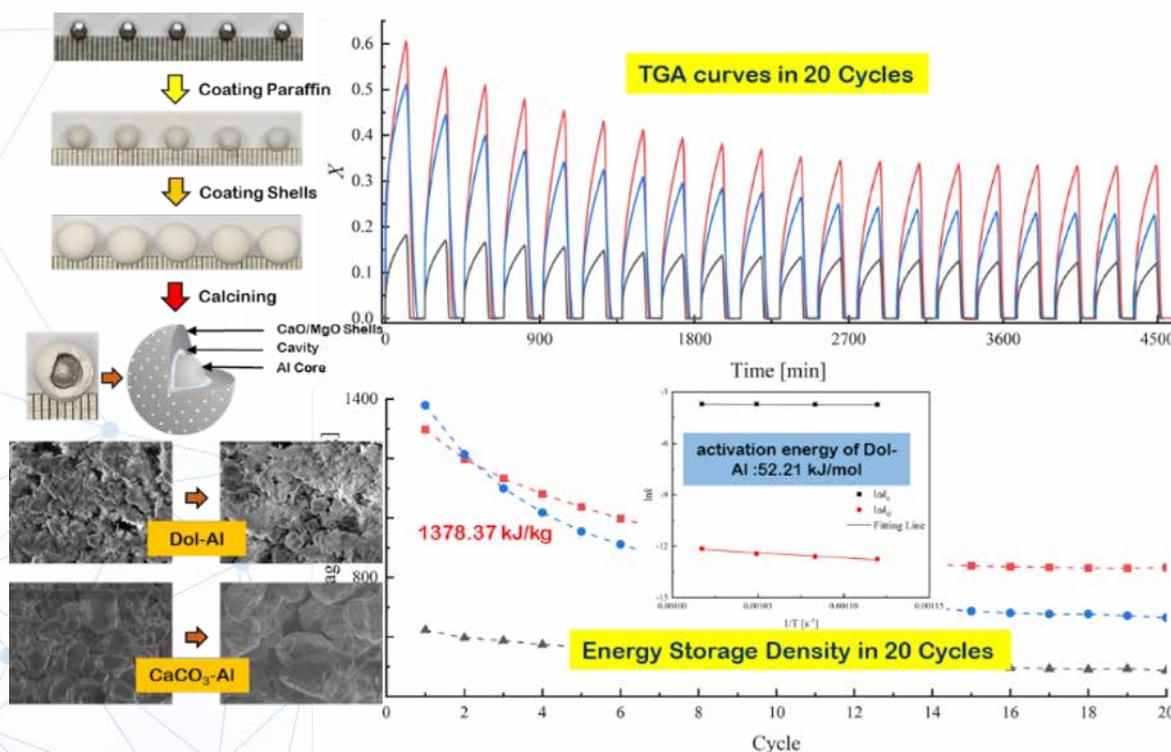
天然钙基热化学材料与铝相变材料复合宏观胶囊高温储热性能研究

刘顿¹, 赵博¹, 盛楠¹, 朱春宇^{1*}

1. 中国矿业大学低碳能源与动力工程学院, 221116, 徐州

摘要: 钙基热化学材料 (TCM) 和高温金属相变材料 (PCM) 作为先进的热能储存 (TES) 介质受到重视。然而, 这些材料的广泛应用受到关键问题的限制, 例如金属 PCM 的易泄漏和腐蚀以及钙基热化学材料易烧结与失活。这项研究以铝为 PCM 核芯, 白云石为 TCM 壳层前驱体制备了一种新型大胶囊, 对铝进行封装的同时也解决了 CaO 基储热模块内部反应活性不足的问题。改性后的白云石大胶囊显示出增强的循环稳定性和反应活性。在 650°C 的碳酸化温度下, 白云石大胶囊 20 个周期后的有效转化率达到 33.43%, 是白云石小球的 1.48 倍, 普通 CaO 胶囊的 2.4 倍。储能密度达到 833.95 kJ/kg, 分别是白云石小球和普通 CaO 胶囊的 1.25 倍和 1.7 倍。通过对胶囊碳酸化动力学机理进行研究, 得到白云石胶囊碳酸化活化能为 52.21 kJ/mol, CaO 胶囊活化能为 146 kJ/mol。这说明研究提出了一种具有良好循环稳定性、高反应活性和高储能密度的新型宏观储热胶囊, 表明其在高温 TES 系统和 CO₂ 捕获中的潜在应用。

关键词: 热能存储; 胶囊封装; 相变材料; 热化学材料; 天然钙基材料



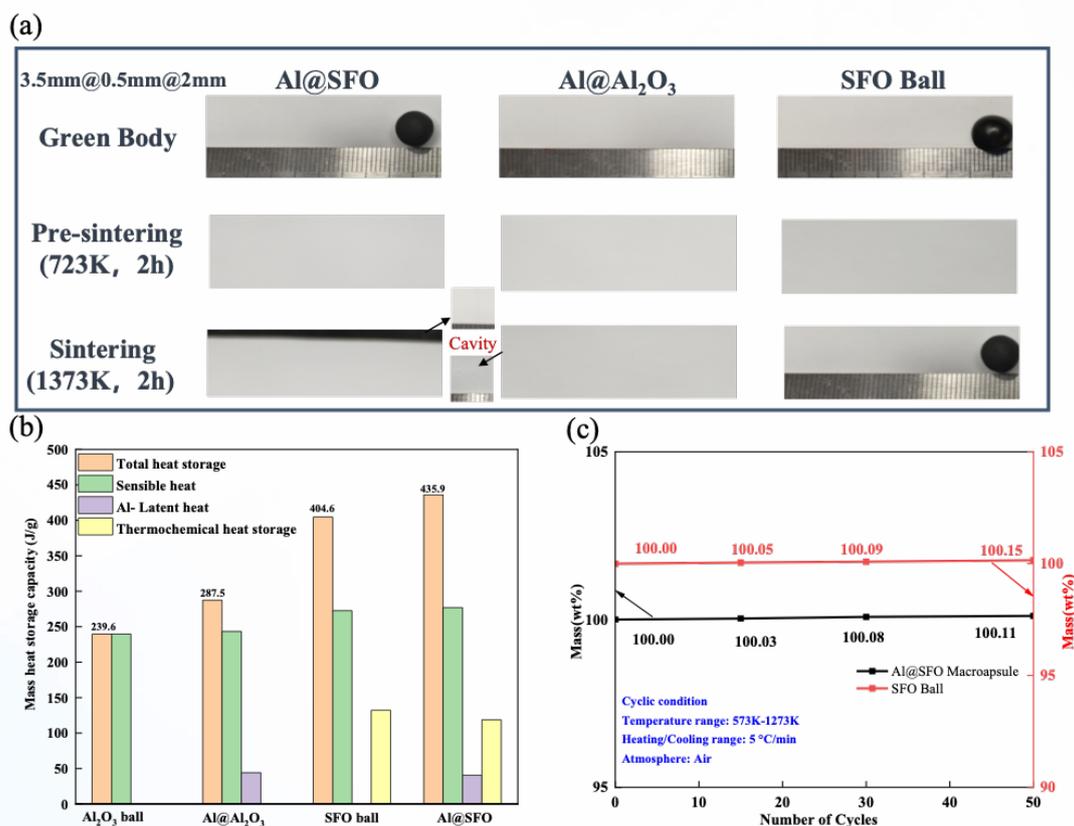
第一作者: 刘顿, liudun20001004@163.com, 热化学 / 相变储热
 通讯作者: 朱春宇, zcyls@cumt.edu.cn, 高温储热技术
 通讯地址: 中国矿业大学低碳能源与动力工程学院 邮编: 221116

多功能 SrFeO_{3-δ}@Al 复合大胶囊协同高温储热与空气分离的研究

王业库¹, 李生新¹, 盛楠¹, 朱春宇^{1*}

1. 中国矿业大学低碳能源与动力工程学院, 221116, 徐州

【摘要】 以超临界二氧化碳 (SCO₂) 作为工质的发电动力系统在太阳能热发电、核能发电等领域具有良好的发展前景。为研究超临界二氧化碳发电动力系统中典型材料的腐蚀行为, 开展了奥氏体钢 316L 和 321 在 550℃、25MPa SCO₂ 环境下的腐蚀实验, 曝光时间长达 2000h。结果表明: 316L 和 321 的腐蚀动力学近似符合抛物线规律, 两种材料均形成双层氧化物, 内表面为一层薄而密的富铬垢和少量锰铬尖晶石, 外表面形成富铁氧化物结节。碳主要沉积于腐蚀产物表面, 材料内部未发现渗碳现象。此外, 随着时间增加, 富铁氧化物结节数量增加, 双层腐蚀产物膜增厚。实验综合来看, 含铬量更高的 321 耐腐蚀性能比 316L 更优异。最后, 建立了两种奥氏体钢的腐蚀机理模型。



第一作者: 王业库, wyk_1001@cumt.edu.cn, 热化学 / 相变储热

通讯作者: 朱春宇, zcyls@cumt.edu.cn, 高温储热技术

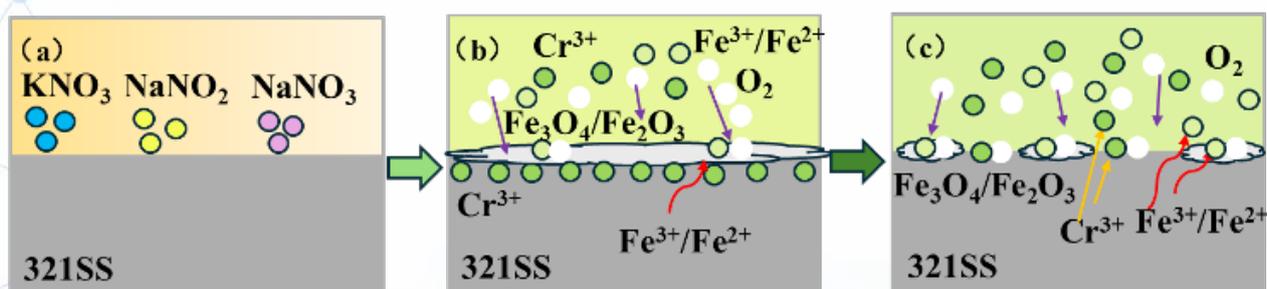
通讯地址: 中国矿业大学低碳能源与动力工程学院 邮编: 221116

321 不锈钢在 $\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3\text{-NaNO}_2$ 熔盐中的腐蚀行为研究

韩雪梅^{1,2}, 王峰², 刘伟华^{1,2}, 唐忠锋^{1,2*}
 中国科学院上海应用物理研究所, 201800 上海
 2. 内蒙古工业大学, 150000, 呼和浩特

摘要: $\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3\text{-NaNO}_2$ 熔盐作为高效传热介质, 有望在聚光太阳能发电系统中应用。相对于其他熔盐来说, 硝酸盐的腐蚀性较弱。但在高温条件下, 硝酸熔盐会引发不锈钢的氧化或局部腐蚀, 导致设备泄露或结构失效。本文采用 321 不锈钢为研究对象, 采用静态浸没的实验方法, 在 500°C 氮气气氛下, 研究 321 不锈钢在 $\text{NaNO}_3\text{-NaNO}_2\text{-KNO}_3$ 盐中的高温腐蚀行为。高温下熔盐对不锈钢的腐蚀会导致 Fe、Cr 等金属离子溶出。通过 ICP-OES 检测, 腐蚀后盐中 Fe 和 Cr 离子含量均有增加, 导致熔融状态下盐变色。通过 SEM 观察到, 321 不锈钢表面 Cr 贫化形成 $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 保护膜。 $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 保护膜较为疏松, 熔盐渗透加速界面反应, 形成 NaFeO_2 、 FeCr_2O_4 。同时 SEM 观察到, 不同腐蚀时间氧化层中形成的尖晶石结构不同。200h 呈现层状或片状结构, 1200h 多为棒状结构。截面 EDS 线数据可知, 靠近基体处有 Cr 的少量富集。这些发现有助于揭示 321 不锈钢在高温下硝酸熔盐的腐蚀机制, 具有重要学术意义和实际应用价值。

关键词: 高温; 熔盐; 321 不锈钢; 腐蚀; $\text{NaNO}_3\text{-NaNO}_2\text{-KNO}_3$



第一作者: 韩雪梅, hanxuemei@sinap.ac.cn, 熔盐储能
 通讯作者: 唐忠锋, tangzhongfeng@sinap.ac.cn 熔盐储能
 通讯地址: 中国科学院上海应用物理研究所, 邮编: 201800

基于 FPMD 模拟的 NaCl-KCl-CaCl₂ 熔盐热物性预测以及微观结构解析

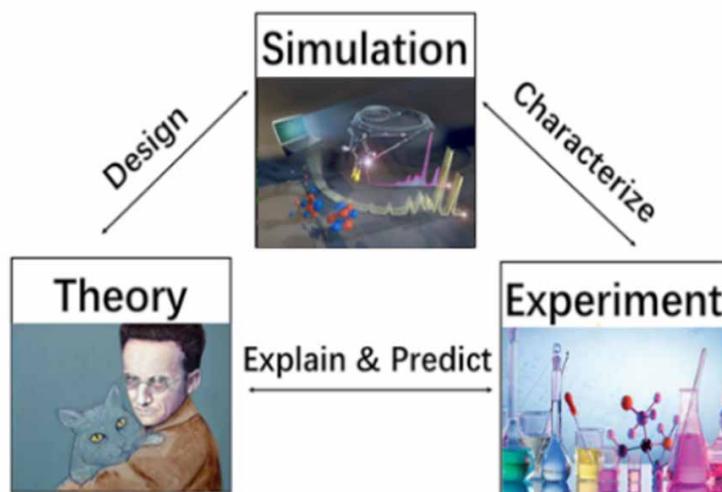
骆鑫^{1,2}, 凌长见^{1,2}, 徐婷睿^{1,2}, 刘伟华^{1,2}, 唐忠锋^{1,2*}

1. 中国科学院上海应用物理研究所, 201800 上海

2. 中国科学院大学, 100049, 北京

摘要: 下一代太阳能热发电系统(CSP)要求熔盐介质工作温度超过 700℃, NaCl-KCl-CaCl₂(NKC) 熔盐因其宽温域(550-850℃)和高温稳定性成为理想传蓄热介质, 但其热物性数据缺乏及高温腐蚀问题制约实际应用。本文首先通过第一性原理分子动力学(FPMD)模拟与实验相结合, 系统研究 NKC 熔盐热物理性质与结构演化。结果显示: FPMD 模拟的熔盐密度误差仅 3%, 平均定压比热(0.83 J·g⁻¹·K⁻¹)与我们所测实验值(0.91 J·g⁻¹·K⁻¹)高度吻合, 储能密度模拟值(560.6 J·cm⁻³)与实验值(559.9 J·cm⁻³)几乎一致; 1073 K 下剪切粘度预测值(2.29 cP)接近理论值(2.09 cP), 并揭示了熔盐多面体配位结构的演变机制。针对熔盐净化问题, 进一步研究 Mg 掺杂对 NKC 熔盐的影响: FPMD 模拟表明, Mg 的添加未改变离子扩散顺序($D_{Na^+} > D_{K^+} > D_{Cl^-} > D_{Ca^{2+}}$), 但使 873-1023 K 总离子扩散系数提升, 密度增幅 0.05%-0.68%; 比热在 873-1023 K 区间从 0.89 增至 1.19 J·g⁻¹·K⁻¹。873K, 923 K 粘度增加, 而更高温度 1023 K 因热运动主导粘度略有下降。机理分析表明, Mg²⁺ 通过增强离子相互作用促进局部有序结构形成, 高温时阳离子间距缩短导致密度降低, 而离子运动需吸收更多热量表现为比热提升。本研究为 NKC 熔盐物性预测与净化改性提供了理论支撑。

关键词: 熔盐; 相变材料; FPMD; 太阳能光热



第一作者: 韩雪梅, hanxuemei@sinap.ac.cn, 熔盐储能
 通讯作者: 唐忠锋, tangzhongfeng@sinap.ac.cn 熔盐储能
 通讯地址: 中国科学院上海应用物理研究所, 邮编: 201800

347H 不锈钢在 $\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3\text{-Ca(NO}_3)_2$ 熔盐中的腐蚀行为研究

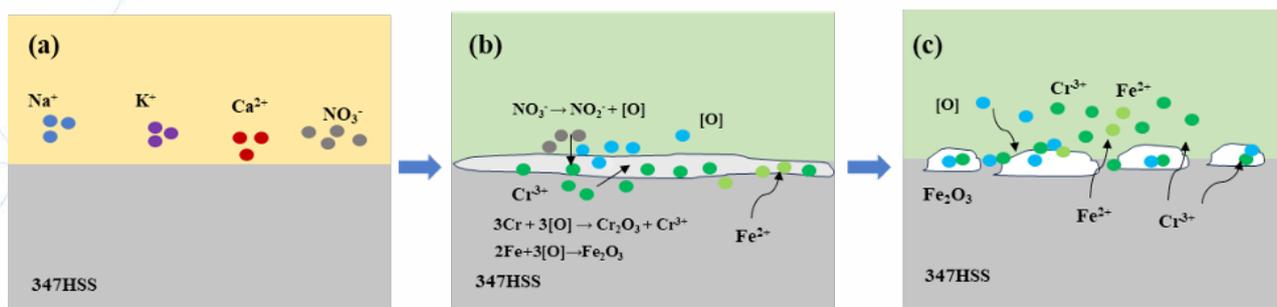
李洪泽^{1,2}, 申莹莹^{1,2}, 刘伟华^{1,2}, 唐忠锋^{1,2*}

1. 中国科学院上海应用物理研究所, 201800 上海

2. 兰州理工大学, 730050 兰州

摘要: $\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3\text{-Ca(NO}_3)_2$ 熔盐作为一种新型高温传热介质, 因其优异的热稳定性和传热性能, 在太阳能热发电 (CSP) 系统中具有广阔的应用前景。然而, 熔盐与结构材料的相容性问题是影响系统长期稳定运行的关键因素之一。本文通过静态腐蚀试验, 研究了 $\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3\text{-Ca(NO}_3)_2$ 熔盐与 347H 不锈钢在高温 (450°C) 下的相容性。通过 ICP-OES 检测, 腐蚀后熔盐中的 Cr、Fe 离子含量增加, 这表明熔盐可以使 Cr、Fe 元素从不锈钢基体溶出。另外通过扫描电子显微镜 (SEM) 和 X 射线衍射 (XRD) 分析, 在腐蚀过程中, 在不锈钢表面形成了稳定的保护性氧化物 (主要是 Cr_2O_3), 可能会阻止氧持续扩散到不锈钢基体中, 导致 347H 不锈钢在熔融 $\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3\text{-Ca(NO}_3)_2$ 盐中的弱腐蚀。本研究为 CSP 系统中结构材料的选择提供了重要参考, 对提高系统寿命和可靠性具有重要意义。

关键词: $\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3\text{-Ca(NO}_3)_2$ 熔盐; 347H 不锈钢; 相容性; 熔盐腐蚀;



第一作者: 李洪泽, lihongze@sinap.ac.cn, 熔盐储能
 通讯作者: 唐忠锋, tangzhongfeng@sinap.ac.cn, 熔盐储能
 通讯地址: 中国科学院上海应用物理研究所, 邮编: 201800

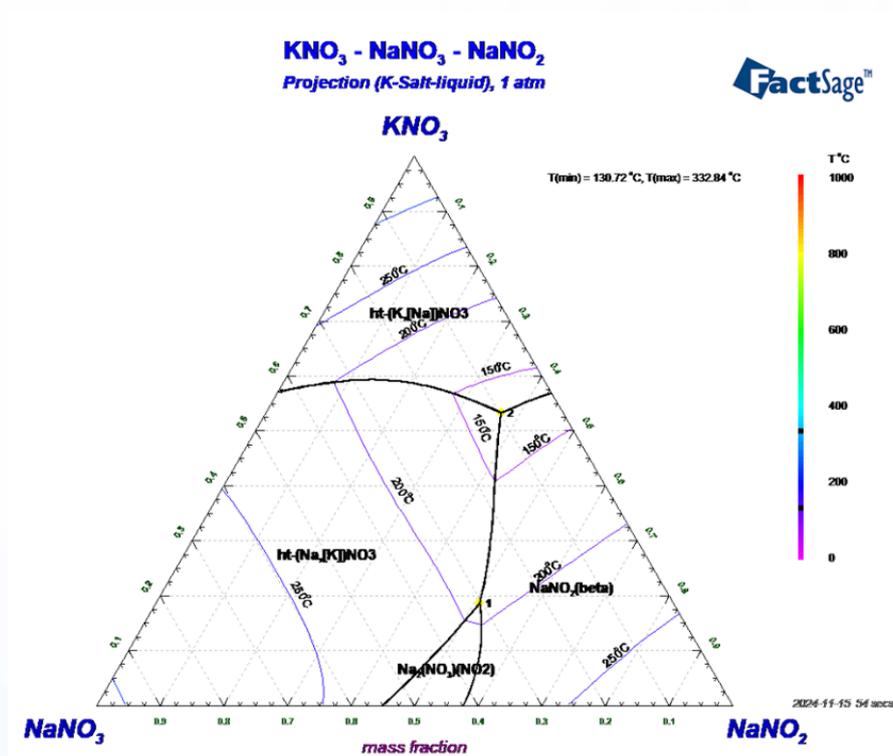
新型宽温域四元硝酸 - 碳酸混合熔盐的制备及性能优化

孟令然¹, 吴玉庭^{1*}

北京工业大学机械与能源工程学院, 100124, 北京

摘要: 熔融盐凭借其良好的储热特性, 已成为高温传热和热能储存系统的核心材料, 在聚光太阳能热发电 (CSP) 领域获得了广泛应用。但是目前广泛使用的 Solar Salt, Hitec 等熔盐介质分解温度较低、使用温度范围较窄, 限制了其在高温工况下的使用。本研究在共晶三元硝酸盐的基础上, 加入碳酸盐以提高其分解温度, 配置了五组混合熔盐。并根据测定的熔点、分解温度等实验数据进一步调整其组分间的比例, 获得了使用温度范围更宽的新四元硝酸 - 碳酸混合熔盐。其熔点仅为 144.69℃, 分解温度达到了 710.55℃。其平均比热为 1.3667J/(g·K), 储能密度为 710.684kJ/kg, 显热蓄热成本为 18.81 元/(kW·h), 相比于常见蓄热材料, 新四元盐成本具有较好的应用推广性。

关键词: 热能储存; 熔融盐; 相图计算; 热物性; 储能密度



第一作者: 孟令然, menglr@emails.bjut.edu.cn, 熔盐储热材料
 通讯作者: 吴玉庭, wuyuting@bjut.edu.cn, 可再生能源利用
 通讯地址: 北京市朝阳区平乐园 100 号北京工业大学 邮编: 100124

Q345R 碳钢在 $\text{NaNO}_3\text{-KNO}_3\text{-NaNO}_2$ 中动静态腐蚀行为对比研究

魏旭光^{1, 2, 3}, 张灿灿^{1, 2, 3, 2}, 吴玉庭^{1, 2, 3}

(1 传热与能源利用北京市重点实验室, 北京 100124)

(2 国家能源用户侧储能创新研发中心, 北京 100124)

(3 北京工业大学机械与能源工程学院, 北京 100124)

摘要: 以硝酸盐为主的 Hitec 熔盐因与火电机组蒸汽参数 (540–560℃) 高度匹配, 被广泛应用于耦合改造中, 通过削弱“炉机耦合”刚性关系, 实现深度调峰与热电解耦。然而系统中的熔盐因高温环境具有较强的腐蚀性。当前太阳能热发电技术中 Q345R 被选作为低温储罐材料, 而太阳能热发电低温熔盐罐熔盐温度一般在 290℃ 以下, 而对于 Q345R 在 400℃ 以上的腐蚀性研究鲜见报。因此本文以 Hitec 熔盐作为腐蚀介质, 分析 Q345R 在 400℃ 动静态环境下熔盐中的腐蚀规律。分别在 300h、500h、700h、1000h 进行取样, 并采用失重法对实验后的试样进行宏观分析, 通过 SEM、EDS、XRD 等技术手段对其腐蚀后形貌及产物进行系统分析, 得到相应的腐蚀规律。

关键词: 熔盐; 碳钢; 腐蚀; 动态

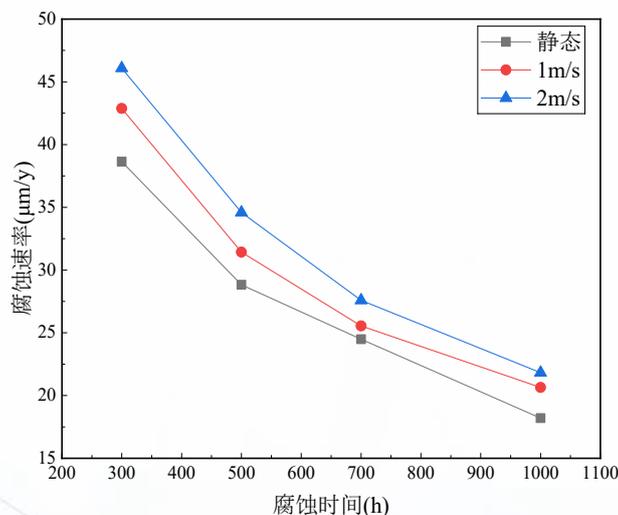


图 1 在不同流速下 Q345R 试片腐蚀 R_{depth} 的变化规律

Fig. 1 Change rule of corrosion R_{depth} of Q345R specimen under different flow rates

第一作者: 魏旭光, Email: wei17739463046@163.com, 主要从事熔盐腐蚀方向研究

通讯作者: 张灿灿, Email: zcc@bjut.cn,

通讯地址: 北京市朝阳区平乐园 100 号北京工业大学 邮编: 10020

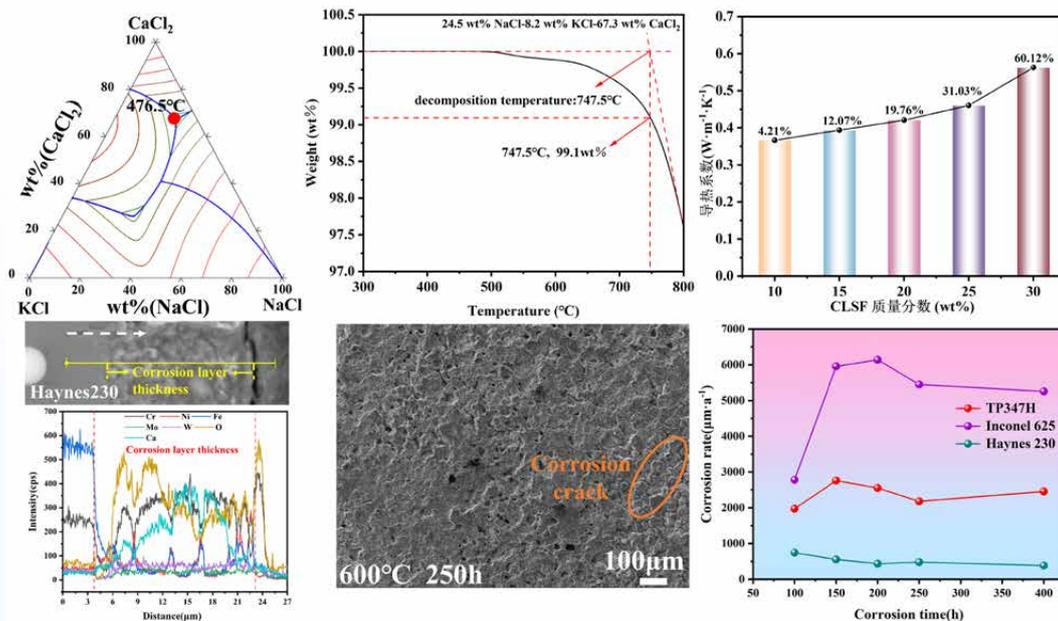
基于相图分析的氯化物复合熔盐储热性能及腐蚀行为研究

任建地, 肖俊兵*, 贾传坤

长沙理工大学能源与动力工程学院, 410114, 长沙

摘要: “双碳”背景下, 熔盐储热技术得到了迅速发展。氯化物熔盐因其良好的储能密度、宽工作温度范围及低成本等优势, 有望应用于太阳能光热发电与可再生能源调峰等领域。然而, 纯氯化物熔盐存在的热导率低以及腐蚀性强的问题是限制其大规模应用的主要挑战。本研究基于相图热力学计算设计 NaCl-KCl-CaCl₂ 熔盐, 其最高工作温度达 747.5°C, 超过下一代光热发电所需熔盐最低工作温度 700°C。与三元熔盐相比, NaCl-KCl-CaCl₂/CLSF 复合熔盐熔化焓最大降幅为 27.09%, 导热系数最大增幅为 60.12%。结合红外成像技术与数字图像处理技术分析丝瓜络碳材料 (CLSF) 对 NaCl-KCl-CaCl₂ 熔盐瞬态热响应性能的影响, 相同温度范围内加热时间和冷却时间分别最大减少了 62.50% 和 39.13%。同时, 系统研究 TP347H 不锈钢、Haynes230 和 Inconel625 合金在 NaCl-KCl-CaCl₂ 熔盐中的高温腐蚀行为。通过显微表征和元素分析测试分析合金样品在熔融氯化物熔盐中的腐蚀机理, 研究合金样品质量损失随腐蚀时间的变化以及腐蚀的主要影响因素。在 600°C 的条件下, TP347H 不锈钢、Haynes230 和 Inconel625 的平均腐蚀速率分别为 2383.628 μm·a⁻¹、487.639 μm·a⁻¹ 和 5437.520 μm·a⁻¹。TP347H 不锈钢腐蚀层内的保护性氧化层有效抑制了进一步的基体腐蚀。Haynes230 合金较高的 Ni 和 W 含量使得其具有良好的耐腐蚀性。本研究工作通过优化设计新型熔盐和优选合金类型, 对于保证熔盐储热系统的长期稳定性具有重要意义。

关键词: 熔盐储热; 氯化物熔盐; 相图计算; 合金腐蚀; 光热发电



第一作者: 任建地, 14786667075@163.com, 相变储热技术

通讯作者: 肖俊兵, 副教授, xjb1th@163.com, 综合能源及储热系统优化研究

通讯地址: 长沙理工大学能源与动力工程学院 邮编: 410114

大规模制备纳米 B2-NiAl 析出相强化的奥氏体不锈钢，兼具卓越强度 - 延展性与熔盐腐蚀抗性

李瑞欣¹，于海存^{1*}，占发琦^{1, 2}，郑月红^{1, 2}，杨鹏辉^{1, 2}，喇培清^{1, 2**}

1. 兰州理工大学材料科学与工程学院，730050，兰州

2. 有色金属先进加工与再利用国家重点实验室，730050，兰州

摘要：310S 奥氏体不锈钢一般作为太阳能光热发电系统（CSP）中的储罐、吸热器、高温管道等部件用材，热轧制成的 310S 不锈钢板材（含 3wt.% Al，以吨为单位生产）后续经冷轧和退火处理获得的薄板，在奥氏体基体中形成了纳米级 B2-NiAl 析出相。当采用 60% 厚度冷轧压下量并在 700℃ 退火 20 min 的工艺时，该薄板获得了强度 - 塑性 - 熔盐腐蚀抗性的最佳协同性能：抗拉强度 1396.2 MPa、屈服强度 1000.5MPa、延伸率 30%，在 650℃ 碳酸盐熔盐中的腐蚀速率可达 118 μm/年。研究发现，尺寸约 30nm 的 B2-NiAl 析出相均匀分布于奥氏体中，体积分数约为 10%。这种合金兼具超高强度、优异塑性和熔盐腐蚀抗性的机理在于：大量纳米 B2-NiAl 析出相通过提高位错运动起始应力显著增强强度，同时通过界面裂纹扩展阻力实现最优加工硬化能力从而提升塑性；此外，纳米 B2-NiAl 析出相可持续提供充足的铝元素扩散至腐蚀表面，在高温熔盐中形成 Al 的氧化物保护层以获得良好耐腐蚀性。

关键词：大规模制备，310S 不锈钢，纳米 B2-NiAl 相，高强高塑性，熔盐腐蚀抗性

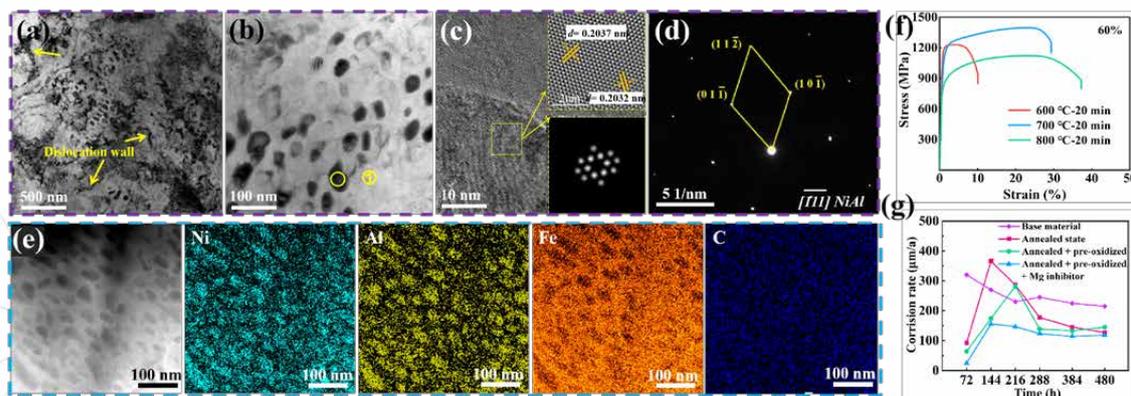


图 1 实验钢经冷轧、退火后的 (a, b) BF-TEM 图，(c) HRTEM，(d) SAED，(e) STEM 和 EDS 图；(f) 冷轧 60% 不同温度退火 20 min 的应力应变曲线；(g) 不同条件下在熔融碳酸盐中的腐蚀速率曲线

第一作者：李瑞欣，li12312646@163.com，熔盐腐蚀

通讯作者：喇培清，pqqla@lut.edu.cn，熔盐腐蚀、耐高温合金 余海存，hcyu@lut.edu.cn，耐高温合金

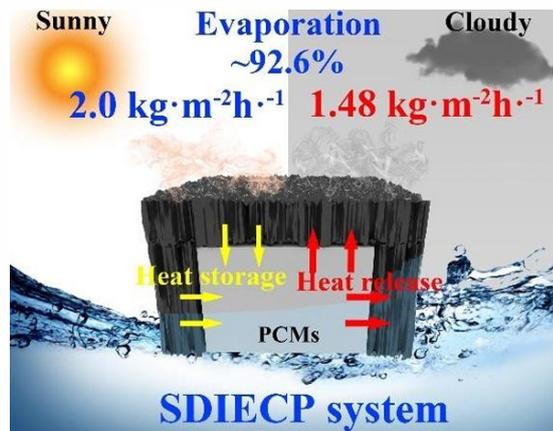
通讯地址：中国甘肃省兰州市七里河区兰州理工大学兰工坪路 287 号兰州理工大学材料科学与工程学院

邮 编：730050

三明治结构 MXene/ 木基气凝胶太阳能界面蒸发研究

徐海龙, 高欢, 邢乃慈, 于伟
上海第二工业大学能源与材料学院, 201209, 上海

摘要: 由于人类活动和环境污染, 淡水短缺仍然是世界上最严重的危机之一。寻求高效、低成本和可持续的海水淡化技术已迫在眉睫。太阳能驱动的蒸发技术由于其环境友好、可持续和低成本的特点, 吸引了研究人员的广泛关注。因此, 本文开发了一种绿色、高效、可持续的 PCMs 耦合的太阳能驱动的界面蒸发 (SDIECP) 系统。该系统主要由脱木质化木质气凝胶 (DWA) 榫卯结构分层 $\text{Ti}_3\text{C}_2(\text{d-Ti}_3\text{C}_2)$ -DWA 光热蒸发层和一个膨胀石墨 (EG) /1-十四醇复合 PCM 余热回收模块组成。蒸发速率高达 $2.0\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 能源效率为 92.6%, 在一个太阳的照射下, 每天的淡水产量可以达到 $15\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$ 。更重要的是, 通过使用交替太阳辐射模拟了多云天的蒸发速率也高达 $1.77\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 。此外, 在连续蒸发 5 天的情况下, 蒸发性能以及盐分积累都没有大的下降。这项工作所构建的系统为绿色、高效和可持续的淡水生产提供了一个有前途的解决方案。



第一作者: 徐海龙, 17641244168@163.com, 先进材料
通讯作者: 邢乃慈, ncbing@spsu.edu.cn, 热功能材料
通讯地址: 上海第二工业大学能源与材料学院, 邮编: 201209

基于太阳能的 MEA/ChCl/2-MPZ/MXene 纳米流体用于高效吸附 - 解吸 CO₂

汪健捷¹, 吴佳佳¹, 吕天尧¹, 朱大海^{1*}, 于伟^{1*}
上海第二工业大学能源与材料学院, 201209, 上海

摘要: 用于捕获 CO₂ 的化学吸附法具有卓越的选择性和捕获效率。然而, 传统策略仍然面临着能耗相对较高、无法对捕获的 CO₂ 进行自我再生等挑战。本研究提出了一种太阳能驱动的 CO₂ 吸附 / 解吸解决方案, 即将 MXene 纳米粒子和 2- 甲基哌嗪 (2-MPZ) 加入绿色吸附深共晶溶剂乙醇胺 / 氯化胆碱 (MEA/ChCl) 中。所制备的 MEA/ChCl/2-MPZ/MXene(MC2M) 纳米流体的 CO₂ 吸附能力显著增强, 从 MEA/ChCl 最初的 0.286 g/g 增加到 0.530 g/g。此外, MXene 的加入在提高光热转换效率方面发挥了关键作用, 在一个太阳光强度照射下, 光热转换效率达到了惊人的 89%。这一改进使纳米流体的峰值温度达到了 62.8°C。密度泛函理论计算显示, 2-MPZ 的加入加快了 CO₂ 吸附剂的吸附速度, 而 MXene 的加入则促进了高效解吸。MC2M 纳米流体具有出色的可回收性, 经过 10 次吸附 - 解吸循环后, 吸附容量仍保持在 0.467 g/g 的水平。实际应用凸显了所开发的纳米流体在调节 150 m³ 会议室 CO₂ 浓度方面的巨大潜力。本研究开发的纳米流体展示了在封闭环境中捕集 CO₂ 的潜力, 为今后的研究提供了宝贵的启示。

关键词: CO₂ 吸附 / 解吸; MC2M 纳米流体; 光热转换; 太阳能驱动

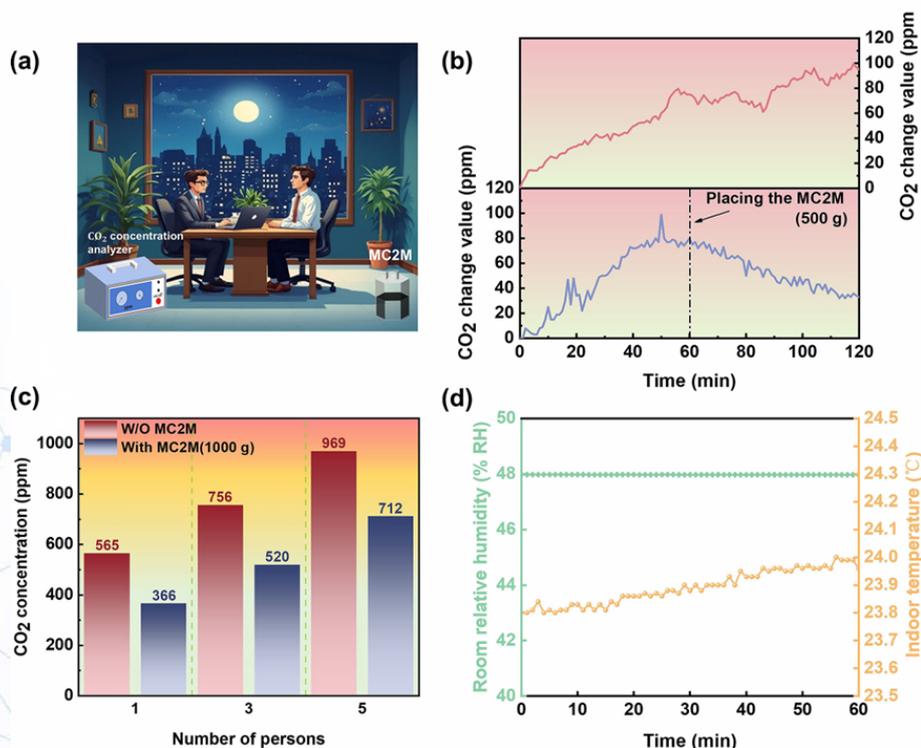


图 1. (a)会议室示意图以及 CO₂ 吸附和解吸系统的设置。(b)单人情景下的 CO₂ 浓度变化。(c)多人情景下的 CO₂ 浓度变化图。(d)MC2M 纳米流体对室内温度和湿度的影响。

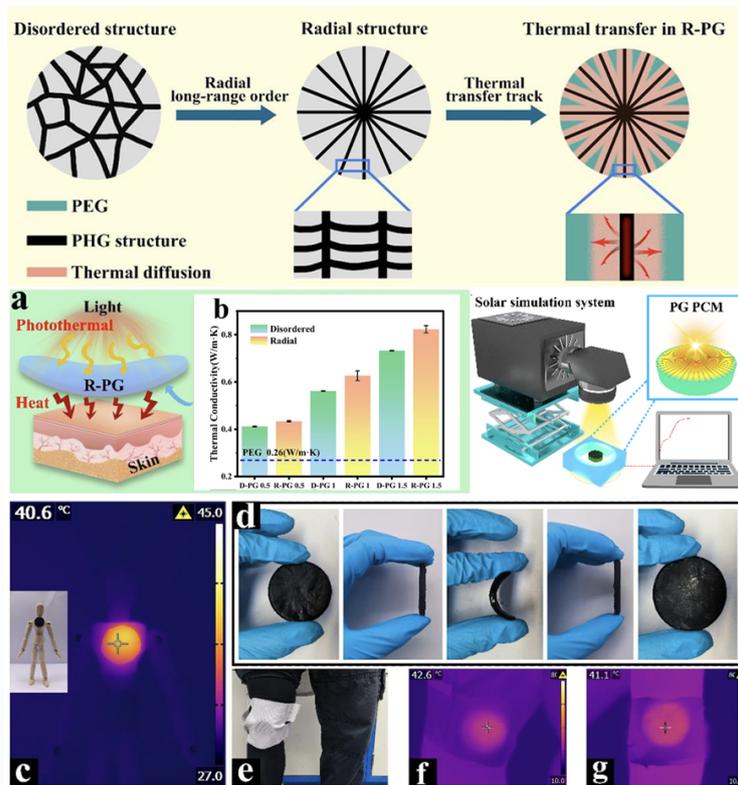
各向异性复合相变材料的制备及热管理应用

李潇猛, 朱黎恒, 于伟*

上海第二工业大学能源与材料学院, 201209, 上海

摘要: 在当前已有的相变储能材料中, 有机 PCMs 展现出了诸多优势, 包括相变过程中体积变化小、相变温度适宜且潜热高等特点, 因而在光热储能领域具有广泛应用前景。然而, 有机 PCMs 也存在着导热性能不佳、易泄漏以及功能单一等缺陷。本研究基于冰模板法技术, 以径向冷冻铸造提供的垂直和径向方向制备了具有各向异性的多孔聚乙烯醇 / 羟乙基纤维素 / 氧化石墨烯 (PHG) 气凝胶。此外, 采用真空浸渍法封装聚乙二醇制得复合 PCMs 可以改善泄露的缺点, 并具有高的负载率 (93%), 高导热性 ($0.82 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) 和优异的储能密度。同时, 这种各向异性的复合 PCMs 表现出优异的光热性能, 在 1 个太阳照射强度下, 复合相变材料表现出良好的光吸收性能, 光热转换效率高达 94.23%, 由于其热致柔性的特点, 适合用于热敷材料, 这表明在提高热舒适性应用中具有潜在价值。

关键词: PHG 气凝胶; 冰模板法; 光热转换; 柔性相变材料;



第一作者: 李潇猛, 邮箱: l_xm13@163.com, 研究方向: 先进能源材料与节能技术

通讯作者: 于伟, 邮箱: yuwei@sspu.edu.cn, 研究方向: 热功能材料

通讯地址: 上海市浦东新区金海路 2360 号, 邮编: 201209

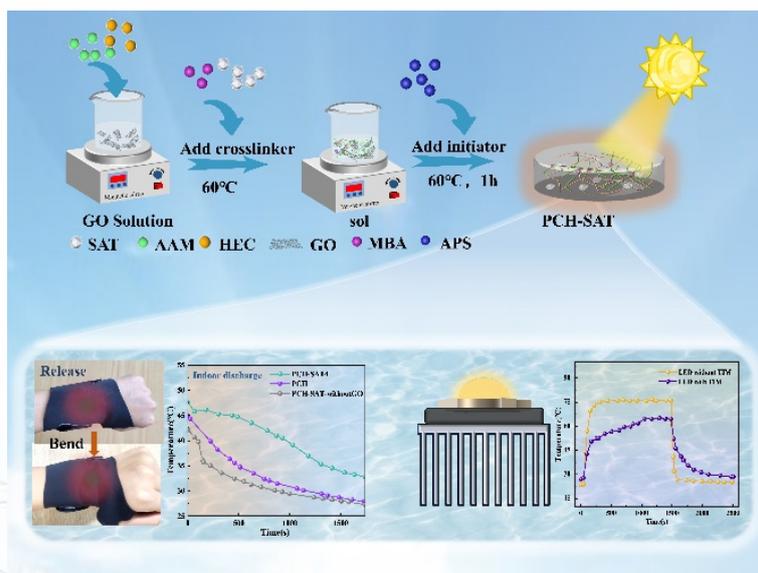
用于人体热管理的柔性光热水凝胶相变复合材料

余佳雪¹, 汪玲玲^{1*}, 王德兵¹, 谢华清¹, 李一凡^{1*}

1. 上海第二工业大学能源与材料学院, 201209, 上海

摘要: 在热管理方面, 传统的复合相变材料 (CPCMs) 面临着泄漏和柔韧性方面的问题, 这影响了它们在人体温度调节和电子设备散热方面的性能。本研究提出了一种创新的相变水凝胶, 它是通过溶胶-凝胶法, 使用丙烯酰胺 (AAM)、羟乙基纤维素 (HEC)、三水合醋酸钠 (SAT) 和氧化石墨烯 (GO) 合成的。这些成分的独特组合赋予了水凝胶防泄漏、柔韧性以及增强的光热转换效率等特性, 从而提升了其在人体和电子设备热管理方面的能力。此外, 掺入氧化石墨烯的复合材料在 1 个太阳光照强度下表现出高达 91.4% 的出色光热转换效率, 有助于在可穿戴设备中实现太阳能驱动的热疗; 同时, 其热导率相较于纯三水合醋酸钠提高了 150%。在人体关节热疗的实际应用中, 当环境温度发生变化时, 该材料能紧密贴合关节部位, 并在 20 分钟内提供 38 至 45°C 的温度环境, 有效缓解关节不适。本研究为推动复合相变材料技术在人体热管理方面的发展提供了坚实的基础。

关键词: 柔性水凝胶; 相变材料; 热管理; 热界面材料; 电子设备冷却



第一作者: 余佳雪, 1298074128@qq.com, 太阳能热利用, 储能

通讯作者: 汪玲玲, llwang@sspu.edu.cn, 太阳能热利用, 储能

通讯地址: 上海市浦东新区金海路 2360 号 邮编: 201209

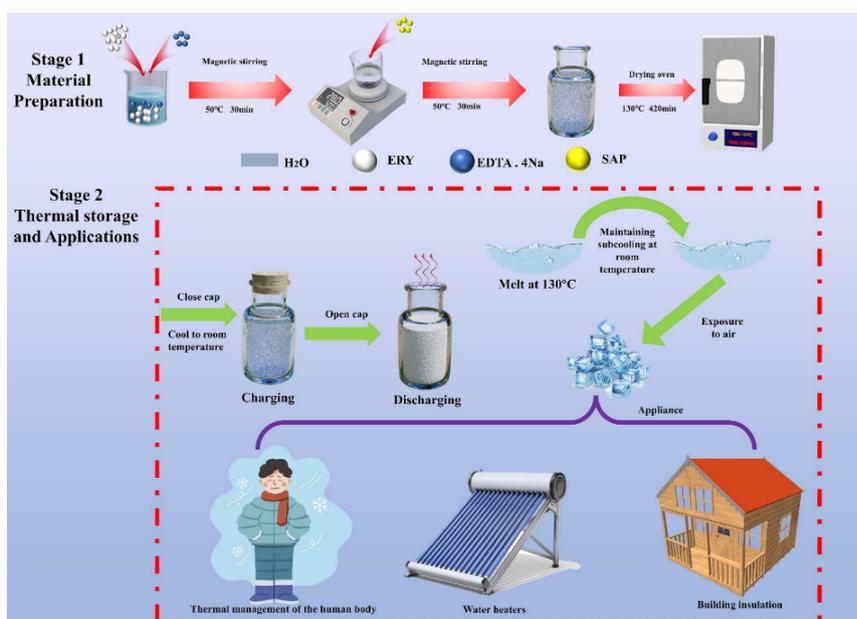
基于高分子吸水聚合物的有机相变材料过冷度抑制改性方法研究

潘明明¹, 汪玲玲^{1*}, 谢华清¹, 于伟^{1*}

1. 上海第二工业大学能源与材料学院, 201209, 上海

摘要: 有机相变材料 (PCMs) 的跨季节蓄热技术为可再生能源间歇性问题提供了极具潜力的解决方案。然而, 传统 PCM 在低温储存过程中易发生自发结晶, 导致潜热损失问题显著。针对这一挑战, 本研究通过在赤藓糖醇 (ERY) 中引入乙二胺四乙酸四钠 (EDTA-4Na) 与高吸水性聚合物 (SAP), 成功制备了一种新型复合相变材料 (EES-PCMs), 实现了热能储存过程的可控性与稳定性提升。实验结果表明, EDTA-4Na 与 SAP 的协同作用显著改善了 ERY 的过冷特性与相变性能: 当组分优化至 EES-PCMs-2 时, 其相变焓值达到 286.62 J/g, 较纯 ERY 体系提升约 15%。该材料展现出优异的长期稳定性, 在室温环境下储存 120 天后, 相变性能基本保持稳定; 经 100 次冷热循环测试后, 其相变焓与过冷度均无显著衰减, 验证了材料体系的结构可靠性。在结晶触发机制创新方面, 研究团队开发的空气触发结晶方法表现出高效的放热调控能力: 将过冷态 EES-PCMs 暴露于空气中, 仅需 320 秒即可触发结晶过程, 温度从室温迅速攀升至 48.21°C。该方法突破了传统电热触发机制的能耗限制与设备依赖, 通过环境湿度诱导实现无外加能量输入的结晶调控, 为构建低成本、易操作的热管理系统提供了新思路。综合来看, EES-PCMs 体系兼具高储热能力 (相变焓达 286.62 J/g)、长周期稳定性 (120 天储存性能保持) 及可控放热特性 (空气触发响应时间 320 秒), 在季节性太阳能热能储存、建筑跨季节热管理等领域展现出显著应用潜力, 成为可再生能源储存技术的重要候选材料。

关键词: 相变材料; 结晶; 季节性储热; 空气触发



通讯作者: 汪玲玲, llwang@sspu.edu.cn, 纳米流体, 热功能材料, 光吸收与储存
通讯地址: 上海市浦东新区上海第二工业大学 邮编: 201209

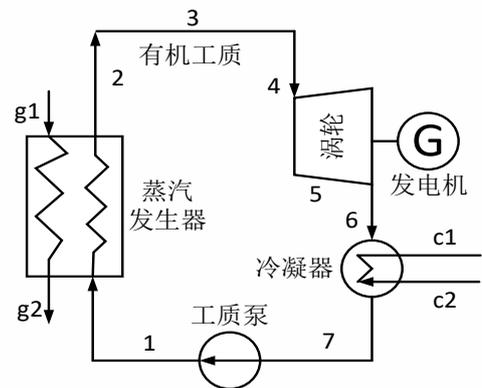
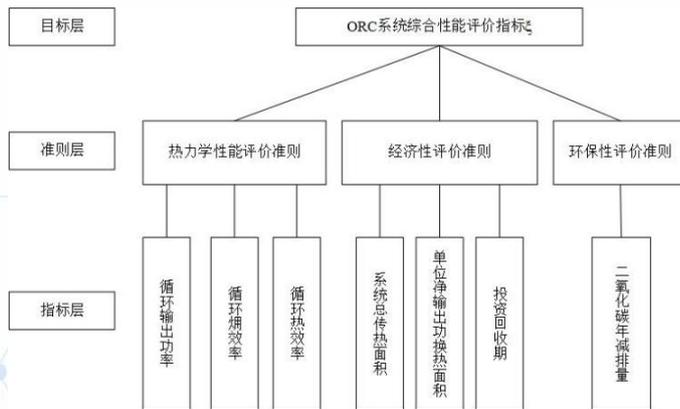
太阳能有机朗肯循环工质优选及其综合性能分析

李一帆¹, 江雨晨¹, 陈柯宇¹, 耿直*

郑州航空工业管理学院航空发动机学院, 450046, 郑州

摘要: “双碳”背景下, 针对中低温太阳能热发电领域, 通过有机朗肯循环系统筛选出最佳的有机工质, 以提升发电效率并促进环保目标的实现。通过建立热力学模型, 并采用 Matlab 软件进行编程, 调用 NIST Refprop 数据库对五种有机工质 (R236ea、R123、R1234ze、R245fa、R141b) 模拟分析有机朗肯循环系统各方面性能。在采用循环输出功率、焓效率和热效率等热力学指标研究系统热力性能的基础上, 分别采用换热面积和 CO₂ 年减排量作为评价系统经济性能和环保性能的指标。最终利用 AHP-熵层次分析法构建多指标能效综合评价模型。经过模拟计算, 结果表明: R1234ze 作为本系统循环工质的效果较优。

关键词: 太阳能发电; 有机朗肯循环; 层次分析法; 有机工质; 热力性





主题二： >>>

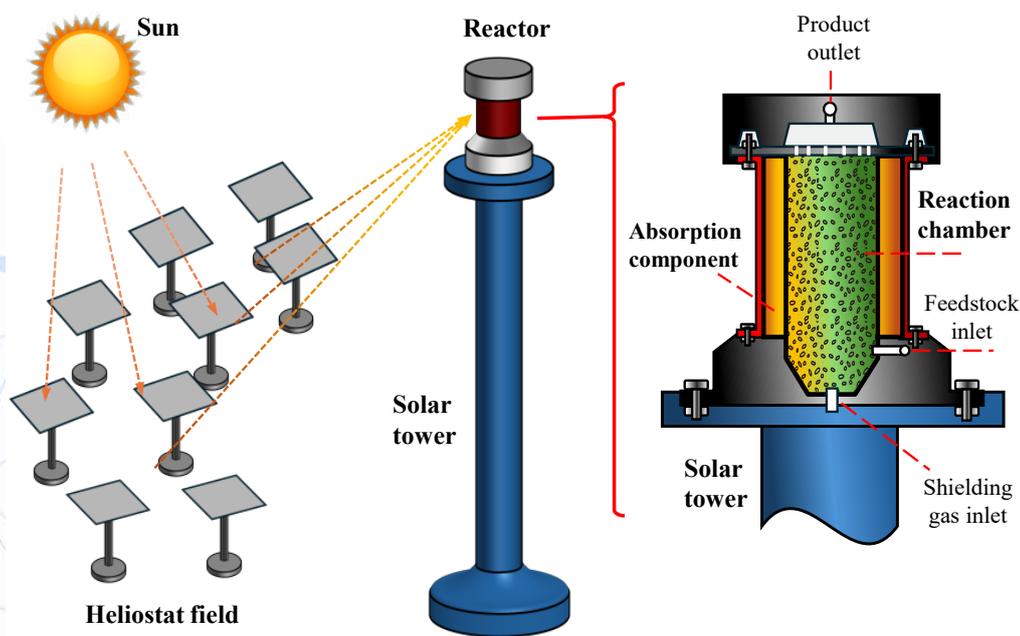
部件设备

潜热集成聚光太阳能驱动低阶煤流化床反应器开发及模拟研究

卢勇文¹, 方喆玉¹, 左宏扬¹, 曾阔^{1*}
华中科技大学能源与动力工程学院, 202505, 武汉

摘要: 聚光太阳能驱动流化床低阶煤气化技术, 为太阳能和煤炭的互补利用提供了一种清洁、高效且低碳的解决方案。然而, 太阳能固有的波动性和聚光辐射特性对反应器及其内部的气化过程带来了巨大冲击, 从而带来气化产物品质下降, 反应器损坏等问题。本研究开发了一种集成潜热储能 (LHS) 组件的太阳能驱动热化学反应器系统, 针对复杂太阳能 - 热 - 化学反应耦合过程, 提出了解耦分析方法以实现灵活、高效的反应器模拟。基于该方法构建了一个 9 kWt 级反应器的数值模型, 通过对比采用传统容积式接收器无储能结构的基准反应器和使用 41.461 kg SiC-NaF 复合相变材料作为潜热储能介质的新型反应器, 深入研究了潜热集成反应器在连续 / 间歇式太阳能辐照下的时变运行特性, 进一步针对 SiC-NaF 复合材料孔隙率 (0.4-0.6) 对系统性能的影响分析。数值模拟结果表明: 引入潜热组件的反应器的冷启动时间长了约 30min, 其热效率可从 21.64% 提高到 25.19%, 在 45 分钟的太阳能间歇期内, 气化反应温度可维持在 1100 K 以上。另一方面, 降低复合材料孔隙率可显著提升系统性能, 但在 0.4-0.6 的孔隙率区间内存在一定的边际效应衰减现象。

关键词: 相变储热; 聚光太阳能; 气化; 反应器



应用于太阳能热能储存的大型高功率密度相变储热装置设计

方喆玉¹, 卢勇文¹, 左宏扬¹, 曾阔^{1*}

华中科技大学能源与动力工程学院, 202505, 武汉

摘要: 相变储热技术因其相变温度恒定、储热密度高、体积变化小等优点, 在太阳能热能储存领域展现出广阔的应用前景, 大型相变储热装置的开发对于实现太阳能热能储存工业化发展而言不可或缺。然而现有研究多采用单管单元, 对于大型多管储热装置的熔化性能的表征具有不可忽略的误差, 从而导致在大型装置的开发中存在装置设计无法达到预定效果和性能估算上的问题。本研究以加入多孔介质强化结构的多管相变储热装置为基础, 通过构建多层交互作用特征熔化区域的方法达到更加准确表征大型多管装置储热性能的效果。通过研究特征区域内的多孔介质排布方式, 阐明大型装置中的换热机制。基于这一机制, 研究部分和完全填充多孔介质的多管结构, 以获得多管装置中的最优多孔介质填充策略并提出性价比评估方法。结果表明, 多管单元的换热性能主要受自然对流发展和多层交互作用区域的影响, 通过扩大影响区域而不损害自然对流的方法, 能够显著提升熔化性能, 减少熔化时间。因此, 部分填充多孔介质角度在 90° 和 240° 的时候, 兼顾了两方面的发展, 多管装置的换热效果最好。另一方面, 由于交互区域对整体性能提升影响显著, 在保持材料用量不变的情况下, 将多孔介质扩展到整个熔化区域, 有效提升了交互区域的换热性能。全填充多孔介质强化结构的换热性能相对于无强化结构的多管装置提升了 65.1%。

关键词: 相变储热; 多孔介质; 多层交互; 全填充



第一作者: 方喆玉, fangzheyu2001@163.com, 储热装置设计
通讯作者: 曾阔, zengkuo666@hust.edu.cn, 聚光太阳能光热利用
通讯地址: 湖北省武汉市洪山区珞喻路 1037 号 邮编: 430074

光伏光热 (PVT) 阵列均流均相模拟研究

涂尊浩¹, 代彦军^{2*}, 姜山², 刘蕾²

1. 上海交通大学中英国际低碳学院, 201306, 上海

2. 上海交通大学机械与动力工程学院, 200241, 上海

摘要: 光伏光热(PVT)作为一种实现太阳能电热联产的重要技术,其中使用制冷剂(如R134a等)作为吸热介质的PVT系统具有集热能力突出,组件温度低和光伏电池光电转换效率高特点,近些年来在太阳能的利用中发挥着重要作用。然而,PVT阵列组件间制冷剂分流和分相不均所导致部分PVT组件温度过高的问题制约着光伏电池光电转化效率和PVT系统能效的进一步提升。本研究使用模拟的方法,构建T型三通处的分流分相模型,通过优化T型三通支流的径向角度改善制冷剂在T型三通处的分相特点。此外,将T型三通分流分相模型、管路两相流压降模型和PVT热泵模型进行耦合,模拟分析T型三通支流不同的径向角度对PVT阵列均温性的影响。在辐照强度 $I=500\text{ W/m}^2$,环境温度 $T_a=298\text{ K}$,风速 $V_{\text{wind}}=1.5\text{ m/s}$,PVT组件数量 $N=6$ 块的条件下,径向角度优化后系统的质量流量分配指数 CV_m 从0.905下降至0.0083,干度分配指数 CV_x 从0.051下降至0.0076,组件平均集热功率 Q_{average} 从609.3W增大到686.5W,组件平均发电功率 $\eta_{\text{PV-average}}$ 从18.88%增大到19.14%。模拟结果表明通过优化T型三通支流的径向角度,可以有效改善PVT组件进口的干度差异和PVT阵列的均温性,从而提高PVT系统的能效。

关键词: PVT; 阵列均温性; 两相流; T型三通; 分相; 干度

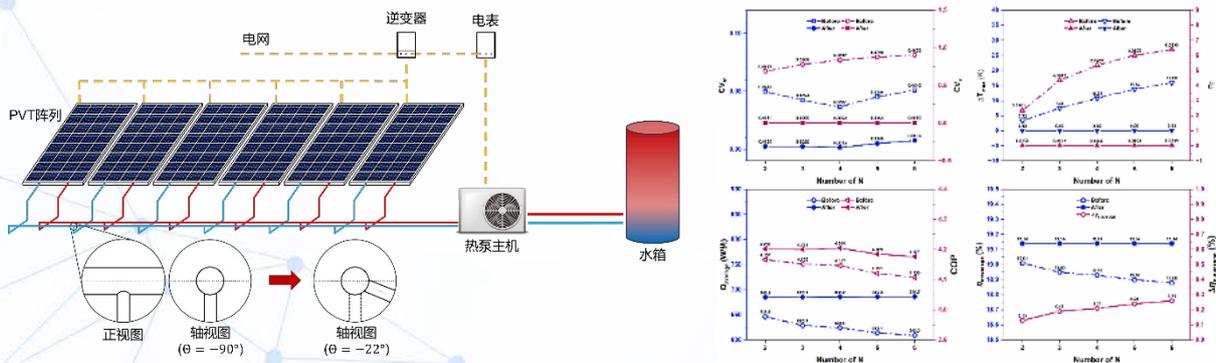


图1 系统模拟原理及结果对比图

第一作者: 涂尊浩 邮箱: tuzunhao@sjtu.edu.cn 研究方向: 光伏光热 (PVT) 均温性
 通讯作者: 代彦军 邮箱: yjdai@sjtu.edu.cn 研究方向: 太阳能热利用
 通讯地址: 上海交大机械与动力工程学院 A 楼 406 室 邮编: 200241

高电压电磁感应加热器的数值建模与分析

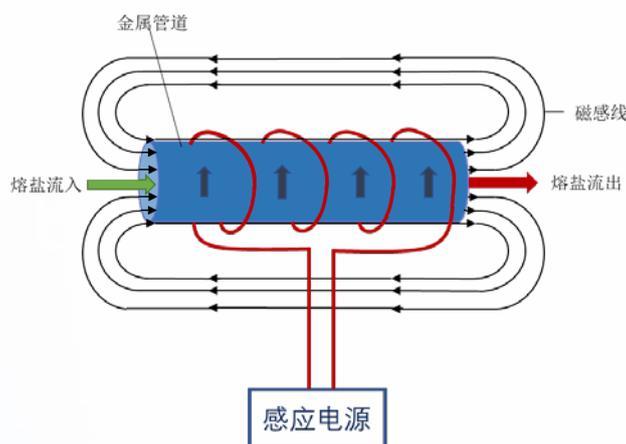
伍彩霞¹, 王跃社¹, 李小杰², 王卫刚², 余维江²

1. 西安交通大学动力工程多相流国家重点实验室, 710049, 西安

2. 西安慧金科技有限公司, 710061, 西安

摘要: 熔盐储热作为太阳能热发电的关键储能技术, 其高效、可靠的加热过程对系统整体性能至关重要。针对现有熔盐储能直连高压场景下电磁-热-流多场耦合机制不明、电压调控缺乏量化的问题, 本文以高电压熔盐电磁感应加热器为对象, 利用有限元数值模拟方法进行电-磁-热-流多物理场耦合, 构建熔盐电磁感应加热器的二维轴对称仿真模型。基于随温度变化的热物性参数, 改变激励电压、线圈频率、线圈结构、熔盐流速、加热器材料、熔盐材料、保温层壁厚, 研究对熔盐出口以及加热器壁面磁场和温度场的影响规律。研究表明: 电磁感应加热器能迅速将三元 HITEC 熔盐从 200 °C 加热到 446 °C, 加热效率达 87.39%, 熔盐温升主要集中在 10s~280 s。其中磁感应强度、管壁感应电流密度、加热器壁面温度及熔盐进出口温升随线圈电压、线圈匝数、加热器材料相对磁导率及导热系数的增大而显著增加, 线圈频率的升高影响磁场在电磁感应加热器内部的分布, 其中线圈电压的大小对熔盐加热温度影响最大; 流速分别为 0.4 和 0.8 m/s 时进出口温升分别为 85.396 °C 和 226 °C, 所对应的壁面最高温度分别为 464.91 和 938.28 °C。本研究为熔盐储能背景下高电压熔盐加热装备的调控与应用提供理论支撑, 对推动可再生能源高效消纳与多能互补系统建设具有重要意义。

关键词: 熔盐储能; 电磁感应; 熔盐加热; 数值模拟; 线圈电压



熔盐电磁感应加热器工作原理

第一作者: 伍彩霞, 硕士生, 熔盐储能技术及新型电加热系统

通讯作者: 王跃社, 教授, wangys@mail.xjtu.edu.cn, 太阳能热发电技术研究

基金项目: 西安市重点产业链技术攻关集群项目(高效大功率熔盐电加热装置在长时储能中的应用研究, 24LLRHZDZX0012)

太阳能陶瓷反应器优化设计其陶瓷烧制性能研究

张峻霖¹, 王志峰^{1*}, 祝子宸², 陶都罕³, 臧春城¹, 雷东强¹

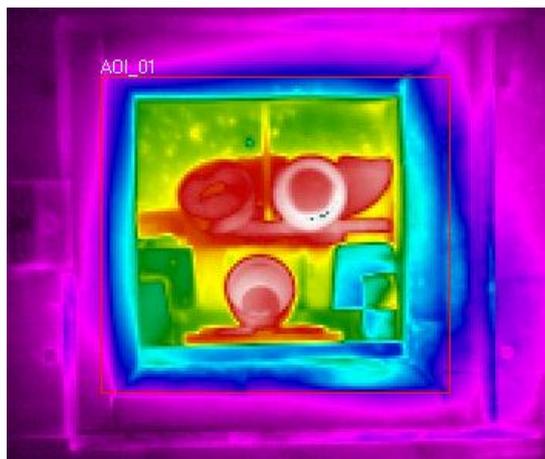
1. 中国科学院电工研究所, 100190, 北京

2. 清华大学未央书院, 100084, 北京

3. 河北美术学院雕塑与公共艺术学院, 050700, 新乐

摘要: 国家发改委在 2022 年将陶瓷行业列入了节能降碳改造升级的重点领域, 这对陶瓷烧成过程中碳排放提出了更高的要求, 探索零碳陶瓷烧成技术是当下的紧迫任务之一。本文基于聚光太阳能陶瓷窑设备做出改进, 针对其设备复杂、非均匀能流利用率低、产量低的问题, 提出了“法向烧结法”, 创新了辐射烧结窑内陶瓷器皿的布置方案。实验结果表明, “法向烧结法”能够在 90mins 内烧制出符合国标 GB/T 3532-2022 的陶瓷产品, 其物理性能 (如吸水率 3.57%、机械强度 88.96MPa、杯口形变率 0.97%) 与电炉烧成的陶瓷相当。在生产效率方面, 太阳能聚光技术在平均 DNI 为 650Whm^2 的条件下, 烧成过程耗时 90mins 即可完成釉层的玻化及坯体内晶体的生长、发育, 相比太阳能旋转烧结烧成陶瓷的 120mins, 效率提高 25%, 产量提高三倍, 比传统方法烧结陶瓷的 869mins 效率提高了约 9 倍。

关键词: 聚光太阳能陶瓷反应器 : 天量光场 : 陶瓷器皿 : 物理性能



第一作者: 张峻霖, Elliot1014@qq.com, 太阳能热利用
通讯作者: 王志峰, zhifeng@vip.sina.com, 太阳能热利用
通讯地址: 中国科学院电工研究所邮编: 100190

基于拓扑优化方法的仿生叶脉容积式反应器性能强化研究

孔钰函, 刘赞*

华北电力大学能源动力与机械工程学院, 071003, 保定

摘要: 反应器是太阳能制氢的核心设备, 而多孔介质容积式反应器是目前实现太阳能热化学转换的最佳结构之一, 具有质量轻、传热性能好、热稳定性高、太阳能吸收特性好等优点。但反应器内部的传热过程复杂, 转化效率低, 且由于反应器表面非均匀辐射边界的分布, 太阳辐射分布不均匀, 造成局部高温, 影响反应器性能。本研究受到叶脉输送机制启发, 将仿生叶脉结构应用到多孔介质容积式反应器内部, 首先通过拓扑优化方法获得仿生叶脉流道, 然后在叶脉流道区和非叶脉流道区设置不同孔隙率和孔径构建叶脉流道结构模型。基于甲烷水蒸气重整制氢反应, 研究仿生叶脉结构、孔隙率和孔径对反应过程的影响, 通过拓扑优化找到最佳分布。结果表明: 将仿生叶脉结构应用于多孔介质容积式反应器中, 可以将甲烷集中于反应器的中心区域, 得到更高的甲烷转化率; 有利于太阳辐射进入反应器后段, 改善反应气体的分布, 使得反应气体分布与温度分布相匹配, 提高反应器的甲烷重整效率。

关键词: 多孔介质太阳能容积式反应器; 拓扑优化; 仿生结构; 多孔介质参数; 传热传质性能强化

太阳能蒸发装置窗口光热特性及性能优化研究

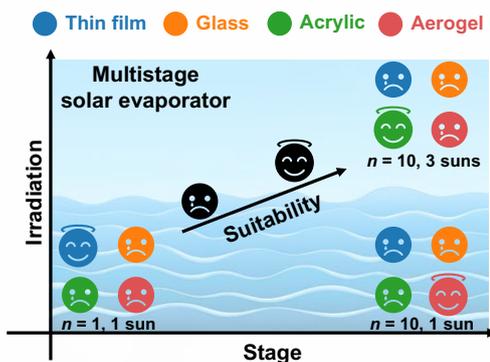
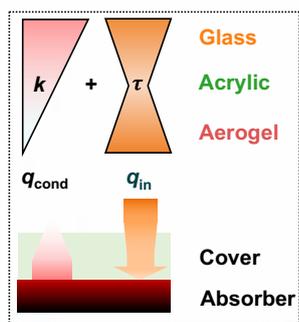
李士腾^{1, 2}, 邓帅^{2*}, 林蒙^{1*}

1. 南方科技大学机械与能源工程系, 518055, 深圳

2. 天津大学机械工程学院, 300072, 天津

摘要: 为解决全球水资源短缺问题并改善离网水生产, 本研究通过优化光学窗口材料的设计来提高倒置式太阳能蒸发装置的性能。通过结合数值模拟与实验方法, 系统地研究了包括气凝胶、有机玻璃和高透玻璃在内的各种光学窗口材料的光热特性, 以指导它们在不同工况下的合理设计。研究表明, 气凝胶具有高太阳光透过率和超低热导率, 在高级数和高太阳辐照度工况下显著提高了蒸发性能。然而, 在单级和低太阳辐照度工况下(1 sun), 其性能优势减弱, 蒸发速率仅比其它材料高出不足 $0.1 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 。在高太阳辐照度下, 气凝胶与其他材料的性能差距缩小, 有机玻璃成为一种兼具经济效益和机械稳定性的替代材料, 同时还能保持高效率。对光学窗口厚度优化的实验表明, 6 mm 厚气凝胶覆盖的蒸发装置在 1 sun 工况下实现了 $6.25 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 的蒸发速率。这些结果凸显了光学窗口材料光热特性在提高太阳能蒸发装置效率中的关键作用, 为开发高性能、可持续的水净化装置提供了指导。

关键词: 太阳能蒸发装置; 光学窗口; 光热特性; 窗口厚度



温度场反演技术用于真空集热管非接触式故障检测

缪思璐¹, 巩景虎¹

1. 西安建筑科技大学, 710055, 西安

摘要: 接触式太阳能真空集热管故障检测易造成元件损坏, 亟需开发非接触式检测方法。本文提出一种融合红外测温与物理信息神经网络的真空集热管内部温度场动态重建方法, 用于集热管外表面温度反演得到其内部温度场异常数据来进行内部故障识别。通过红外测温仪实时获取集热管外壁温度数据, 结合传热方程构建正问题模型。针对运行过程中环境参数与材料特性的动态变化, 建立基于物理信息神经网络 (PINN) 的参数反演机制, 通过机器学习实时校正对流换热系数、辐射率等关键参数。将反演所得参数代入改进的传热模型中, 采用正则化方法求解反问题, 实现三维温度场的优化重构, 精准定位集热管内壁涂层剥落、真空度泄漏等异常区域。进一步, 基于反演温度场特性, 建立故障类型 (如热阻异常、流体堵塞) 与温度分布特征的映射关系, 为故障诊断与修复策略提供数据支撑。该方法实现了真空集热管内部温度场的非接触式测量, 提出的故障检测新方法新思路, 为安全运维提供了高精度、高效率的技术手段。

关键词: 非接触式检测; 参数反演; 物理信息神经网络; 故障识别

第一作者: 缪思璐, 1556393843@qq.com, 黑箱中物理场的反演检测

通讯作者: 巩景虎, gongjinghu0103@163.com, 太阳能高温热发电及中低温采暖

通讯地址: 西安建筑科技大学 邮编: 710055

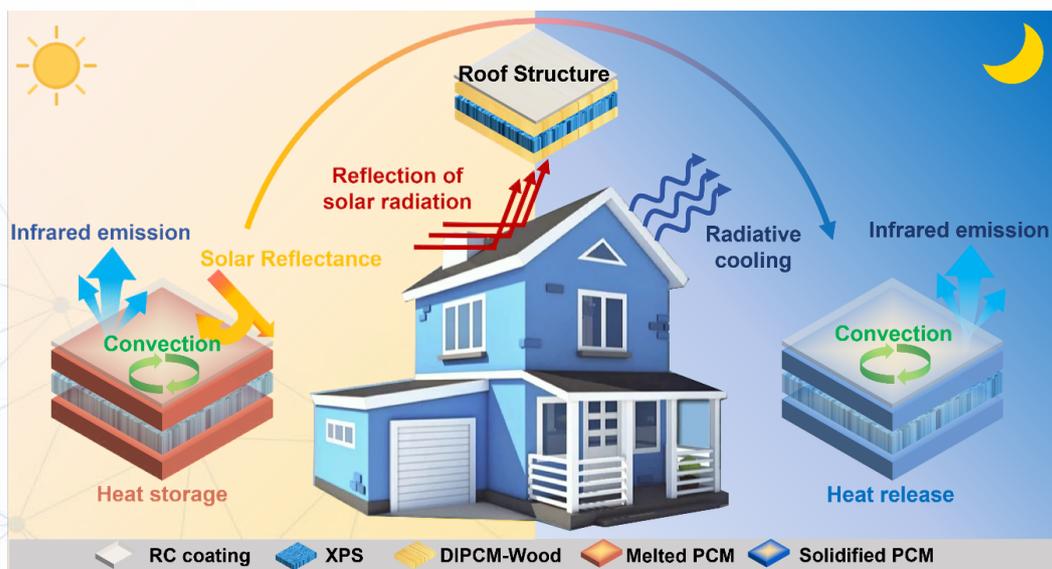
一种集成相变蓄热及辐射制冷技术的脱木素木结构屋顶性能优化与实验研究

霍子瑜, 杨昆*, 杜娜

燕山大学建筑工程与力学学院河北省低碳清洁建筑供热技术创新中心, 066004, 秦皇岛

摘要: 针对建筑节能需求, 本研究提出了一种耦合相变材料 (Phase Change Material, PCM) 与天空辐射制冷 (Sky Radiative Cooling, SRC) 的脱木素木结构复合屋顶 (DIPCM-SRC), 通过相变蓄热及辐射制冷技术的协同作用可缓解 PCM 蓄热释放速率受限及 SRC 制冷能力与冷负荷不匹配等问题。首先, 在 COMSOL 中搭建仿真模型, 并进行单因素与正交实验优化, 确定最佳结构参数为: PCM 相变温度 24.0 °C、脱木素相变层厚 30 mm、保温层厚 40 mm; 其次, 搭建了 DIPCM-SRC 屋顶结构性能测试实验平台, 对其性能进行实验研究, 结果表明: 较传统屋顶, DIPCM-SRC 屋顶可使外/内表面及室内空气峰值温度分别降低 7.4 °C、1.6 °C 和 0.8 °C, 并显著降低室内空气温度波动; 最后, 基于 EnergyPlus 对 DIPCM-SRC 屋顶在全国不同地区应用的能耗及碳排放进行模拟研究, 结果表明: DIPCM-SRC 屋顶可实现 17.4% 的平均冷负荷降幅, 碳减排强度达 3.2% (严寒地区外提升至 7.7%)。研究结果表明, 本研究提出的 DIPCM-SRC 屋顶结构通过相变蓄热与天空辐射冷却技术的协同作用, 有效提升了建筑中可再生能源的利用率并实现了建筑能源系统的低碳运行。

关键词: 相变蓄热; 天空辐射制冷; 脱木素木材; 能效提升; 碳减排



第一作者: 霍子瑜, 15130167605@163.com, 研究方向: 天空辐射制冷、建筑节能

通讯作者: 杨昆, yangkun@ysu.edu.cn, 研究方向: 人工智能与综合能源系统优化、综合能源系统热力学分析、可再生能源利用与建筑节能

通讯地址: 河北省秦皇岛市燕山大学 邮编: 066004

冰蓄冷冷库管翅式三流体换热器肋片开缝传热优化研究

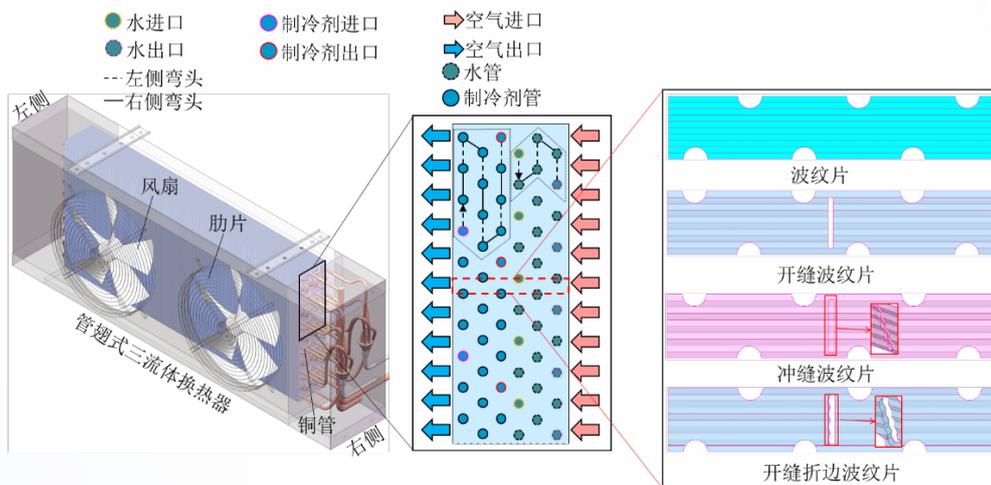
钟军^{1, 2}, 王云峰^{1, 2*}, 李明^{1, 2}

1. 云南师范大学能源与环境科学学院, 650500, 昆明

2. 西南联合研究生院, 650000, 昆明

摘要: 管翅式换热器的扩展表面满足了气液传热需求, 并且三流体换热器因其占用空间小, 节省成本的特点被广泛关注, 减少空气侧传热热阻是提高管翅式三流体换热器传热效率的核心, 其性能优化本质是强化流动对传热的贡献。本研究建立了集成水、制冷剂和空气的多能流耦合换热器数值传热模型, 通过实验和网格无关性验证了数值传热模型可靠性。为了找到最佳开缝类型, 使用建立的数值模型分析了波纹肋片、开缝波纹片和两种保留开缝面积的波纹片对换热器传热性能和压降性能的影响。结果表明, 开缝波纹肋片具有最优的综合性能, 随着入口空气流速的增大 ($2 \sim 6 \text{ m/s}$), 开缝肋片使传热量高出波纹片 $20.0\% \sim 25.5\%$, 压降增加 $5.0\% \sim 5.5\%$ 。等压降约束下与等泵功耗约束下, 开缝波纹肋片以波纹片为比较基准的综合性能因子均大于 1.0。本研究有望为冰蓄冷冷库三流体换热器翅片结构优化提供参考。

关键词: 三流体换热器; 数值模拟; 传热优化; 肋片结构; 压降性能



三流体换热器内部结构图

第一作者: 钟军, 17806292949@163.com, 强化传热传质

通讯作者: 王云峰, wangyf@ynnu.edu.cn, 太阳能热利用及制冷、MOFs 及储能材料制备

通讯地址: 云南省昆明市呈贡区云南师范大学能源与环境科学学院 邮编: 650500

集热管内置螺旋转子的抛物面槽式集热器热性能实验研究

江雨晨¹, 李一帆¹, 陈柯宇¹, 耿直^{*}

1. 郑州航空工业管理学院航空发动机学院, 450046, 郑州

摘要: 真空集热管作为槽式聚光集热装置中收集太阳能的核心设备, 其运行工况的优劣直接影响整个集热装置从光至热转换的全过程。在真空集热管内插入螺旋转子可实现稳定传热并提升 PTC 性能。本文通过实验对比了插入螺旋转子的 PTC (转子实验组) 与传统 PTC (对照组) 在流量、DNI、油泵电机频率三变量下的集热性能。实验表明, 相较于对照组, 转子实验组的瞬时集热效率与焓效率随 DNI 增长提升更显著, 10 月 22—24 日平均增幅分别达 30.21% 与 30.17%、28.45% 与 28.11%、17.09% 与 18.21%; 提升油泵电机频率使转子实验组流量变化幅度较对照组更小, 变化幅度降低 10.6%, 两组瞬时集热效率均提高, 转子实验组较对照组平均提升 15.98%; 定流量时集热器效率变化主要受管口温差演变控制, 较对照组相比, 转子实验组 PTC 集热效率平均提升 24.69%。综上所述, 集热管内插入螺旋转子可显著提升 PTC 集热性能, 为 PTC 技术进步与创新提供理论支撑。

关键词: 抛物面槽式集热器; 螺旋转子; 实验研究; 集热效率; 焓效率



对照组

转子实验组

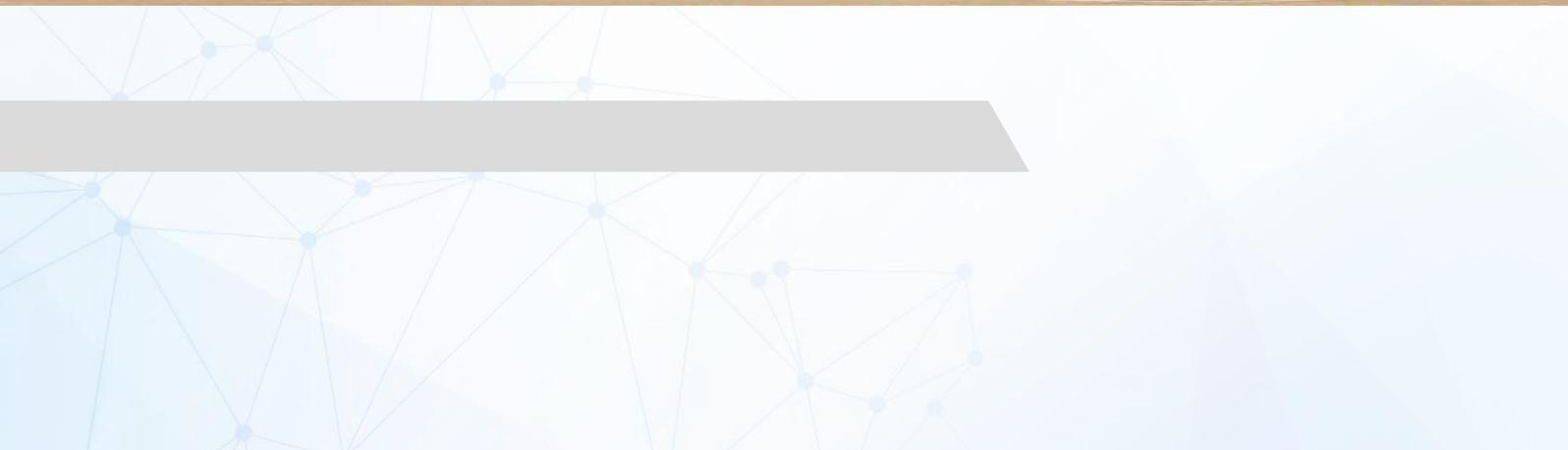
调控系统



主题三：



系统技术



燃煤电厂耦合熔盐储能系统设计及热力学分析

张帅博^{1,2}, 李有霞², 李小波¹, 杨荣贵^{1,3}

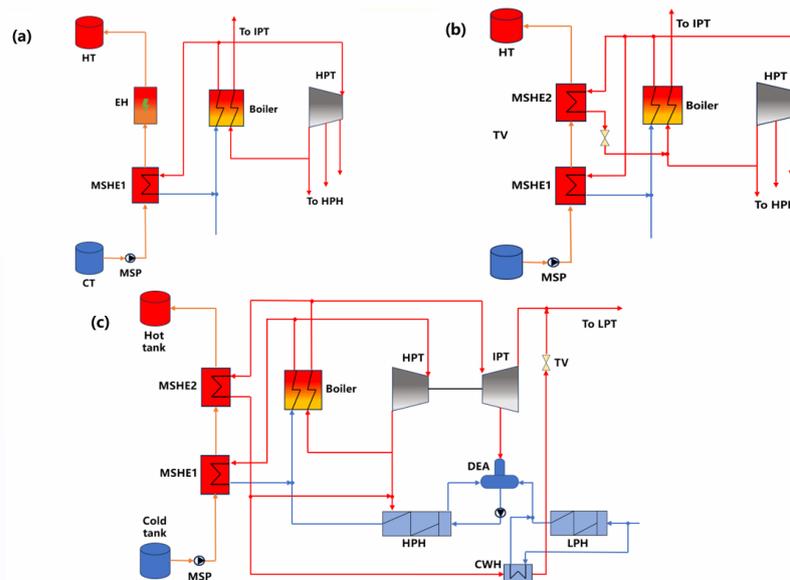
¹ 华中科技大学能源与动力工程学院, 煤燃烧国家重点实验室, 430074, 湖北 武汉

² 东方电气集团东方锅炉股份有限公司, 611731, 四川 成都

³ 北京大学工学院, 100871, 北京

摘要: 可再生能源发电的大量并网对燃煤电厂的调峰能力和运行灵活性提出了更高的要求。将熔盐热储能系统与燃煤发电厂耦合能有效提高机组调峰能力, 增强电网对可再生能源发电的消纳能力。本研究提出了利用熔盐储存蒸汽显热和潜热的热储能系统, 并根据热源的不同设计了抽取主蒸汽和电加热(方案 A)、仅抽取主蒸汽(方案 B)和抽取主蒸汽和再热蒸汽(方案 C)三种储热方案。为评估三种储热方案的性能, 提出了一系列评价指标并对储热和放热过程进行了建模和分析。结果表明在燃煤电厂中增加熔盐储热系统有效提高了其运行灵活性。方案 A、B、C 分别可使燃煤机组的最小输出负荷从 30%THA 降低至 18.69%THA、18.92%THA 和 16.11%THA; 方案 A 对汽轮机的运行影响最小, 方案 B 在储热过程中的热效率最高, 为 51.34%。通过对三种储热方案进行焓分析发现方案 B 的储热系统焓损失最小, 仅有 19.9MW, 储热焓效率高达 71.67%。增加储热系统对燃煤发电厂各部件及整体的焓效率均有影响。在放热过程中热储能系统可使机组的最大输出功率从 100%THA 提高至 106.47%THA, 且增加储热系统后机组的热效率相较于原机组有所下降, 而焓效率相较于原机组则有所提升。方案 B 拥有最高的往返效率, 可达 58.36%。经济性分析表明方案 B 的初始投资最低, 约为 4 千万元。通过对三种储热方案的分析, 确定方案 B 为储热过程中最优储热方案。

关键词: 燃煤机组, 熔盐储能, 调峰能力, 焓分析



第一作者: 张帅博, 男, 硕士, 邮箱: m202371353@hust.edu.cn 研究方向为热储能

通讯作者: 李有霞, 女, 高级工程师, 邮箱: liyouxia@dbc.com.cn 研究方向为熔盐储能; 李小波, 男, 副教授, 邮箱: xbli35@hust.edu.cn 研究方向为热储能、热管理; 杨荣贵, 男, 教授, 邮箱: ronggui@hust.edu.cn 研究方向为热运输、热储能、热管理。

通讯地址: 湖北省武汉市洪山区珞喻路 1037 号; 邮编: 430074

热流密度及颗粒粒径对太阳能驱动低阶煤热解产物特性的影响

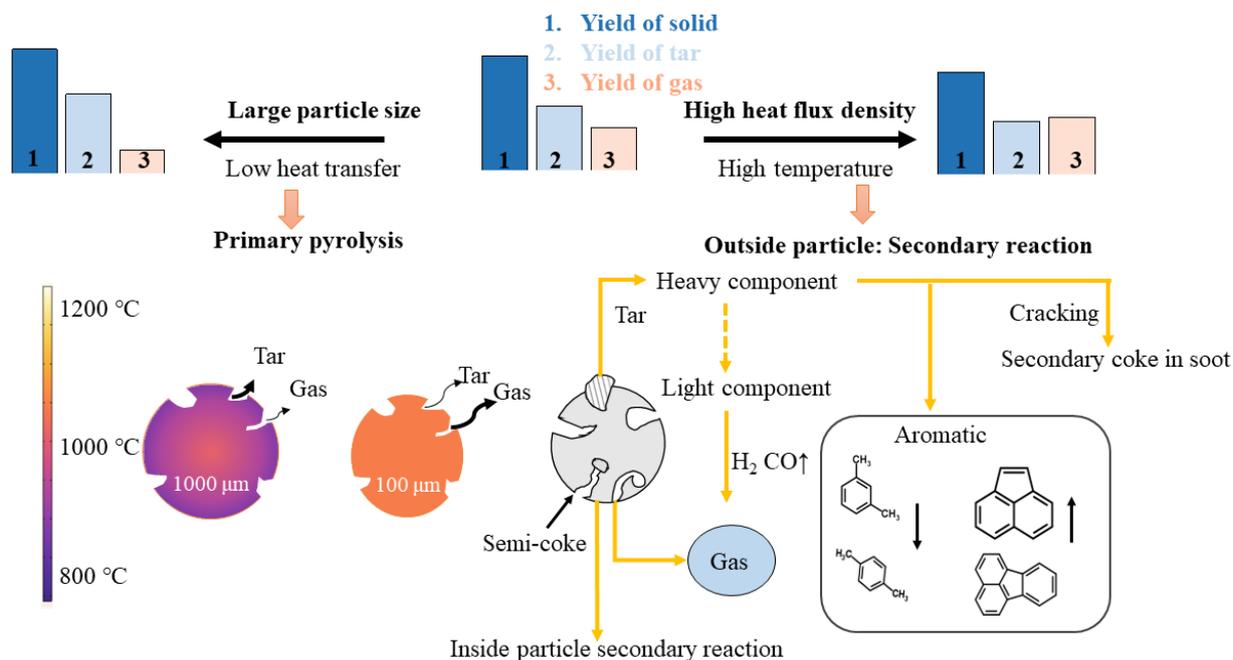
陈鑫¹, 盛成敏¹, 钟典¹, 李俊¹, 曾阔^{1*}

1. 华中科技大学能源与动力工程学院, 430074, 武汉

摘要: 太阳能驱动低阶煤热解可实现低阶煤高值化利用, 并对间歇性太阳能进行储存。聚光太阳能高温速率及单向加热的特点使得粒径对低阶煤热解的影响有别于传统加热。为了探究热通量密度和粒径对LRC太阳热解特性的影响, 本文采用不同热流密度(0.56、0.65、0.74 MW/m²)对不同粒径(100-1000 μm)的神华烟煤进行热解。随着热通量密度的增加, 焦炭和焦油的产量同时降低, 促进了颗粒外二次反应的发生。随着颗粒尺寸的增加, 低阶煤中主要发生一次热解反应的程度进一步提高。对300-1000 μm粒径范围内太阳能热解焦的气化反应性进行比较发现, 大粒径热解焦存在较强的扩散阻力, 降低了气化速率。对于100-300 μm的热解焦, 气化速率最低, 石墨化程度最高, 说明太阳能低阶煤传热的影响大于颗粒内外扩散的影响。这项工作从热通量密度和粒径的角度为低阶煤的高效太阳能热解提供了新的思路, 有利于了解产物特性的演变。

关键词: 太阳能; 热解; 气化; 煤焦; 颗粒粒径; 热流密度;

插图 (1张):



第一作者: 陈鑫, Chen1873027@163.com, 太阳能驱动低阶煤高值化利用
 通讯作者: 曾阔, zengkuo666@hust.edu.cn, 太阳能燃料和电/热储能研究
 通讯地址: 湖北省武汉市洪山区关山街道1037号, 邮编: 430074

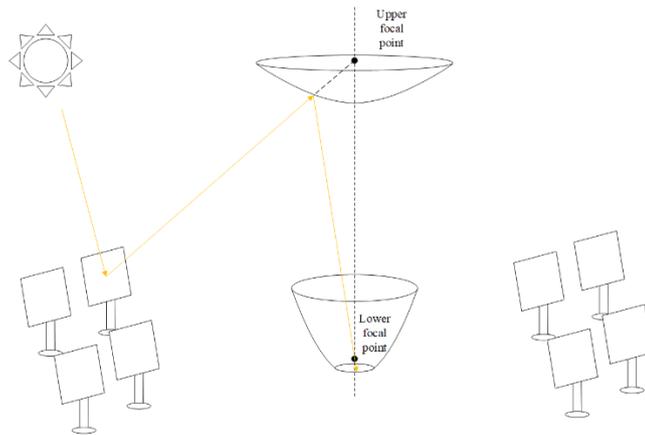
下聚光式光热电站的多目标优化

谭持中¹, 代彦军²

1. 上海交通大学机械与动力工程学院, 200240, 上海

摘要: 太阳能下聚光式光热电站, 相较于普通塔式光热电站, 具有更少的泵功和更低的安装维护难度, 具有良好的应用前景。然而, 目前对太阳能下聚光式光热电站的多目标优化研究较少。本研究以循环温度、压力、设计 DNI 和 SM 为变量, 通过 matlab 软件使用 NSGA- II 算法对下聚光式电站进行总效率、初投资、回收期三个目标的多目标优化, 并通过 LINMAP 决定策略得到最优点。结果表明最优点对应的总效率为 19.79%, 对应的初投资为 301566243 \$, 回收期为 16.8 年。

关键词: 下聚光式; 光热电站; 多目标优化; NSGA- II



第一作者: 谭持中, leizuh1@sjtu.edu.cn, 光热电站优化
通讯作者: 代彦军, yjdai@sjtu.edu.cn, 太阳能热利用
通讯地址: 上海市闵行区东川路 800 号上海交通大学机械与动力工程学院制冷与低温工程研究所
邮编: 200240

太阳能热化学储热的理想热力循环解析与性能评价

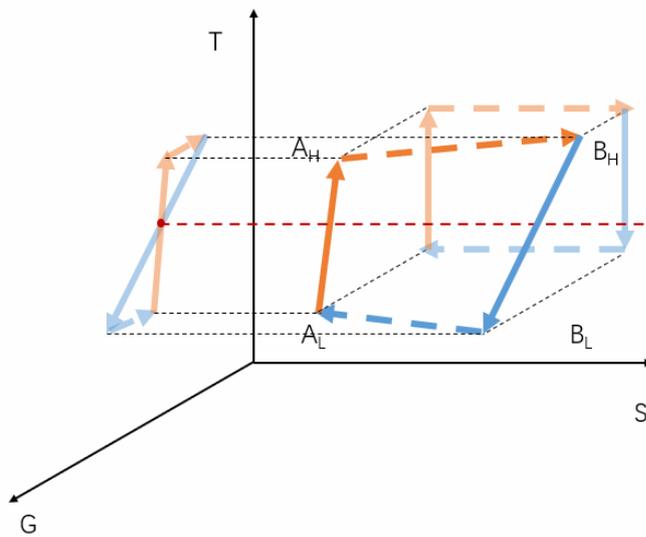
裴佳琪¹, 赵力^{1*}, 陈瑞华^{1*}, 黄锐腾¹, 肖刚^{2*}, 周劲松^{2*}

1. 天津大学先进内燃动力全国重点实验室, 300350, 天津

2. 浙江大学能源高效清洁利用全国重点实验室, 310027, 杭州

摘要: 热化学储热技术凭借高储热密度及长周期储热能力等优势, 在太阳能光热发电领域受到广泛关注, 但仍存在能量转换效率低, 转换机制不明确等问题。现有研究多聚焦于材料性能优化, 尚缺乏从热力循环角度进行提升能量转换效率的探究。本文着眼于热化学储热的热力循环本质和“热-化学能”双向转换热力过程, 在传统二维温-熵分析图的基础上, 将吉布斯自由能拓展为第三维度, 对热化学储热的理想热力循环进行了构建和展示, 建立了以不可逆损失和焓效率为指标的热化学储热循环性能评价方法。通过对可逆-不可逆循环的渐进分析, 发现热化学储热循环性能主要受储放热温差支配, 焓效率可精确地量化温差对储放热循环中“热-化学能-热”转换效率及不可逆损失的影响。本研究建立了热化学储热的理想热力循环模型及其性能评价方法, 有望为高效储热材料的研发及系统优化提供理论指导。

关键词: 热化学储热; 太阳能储存; 热力循环; 三维构建



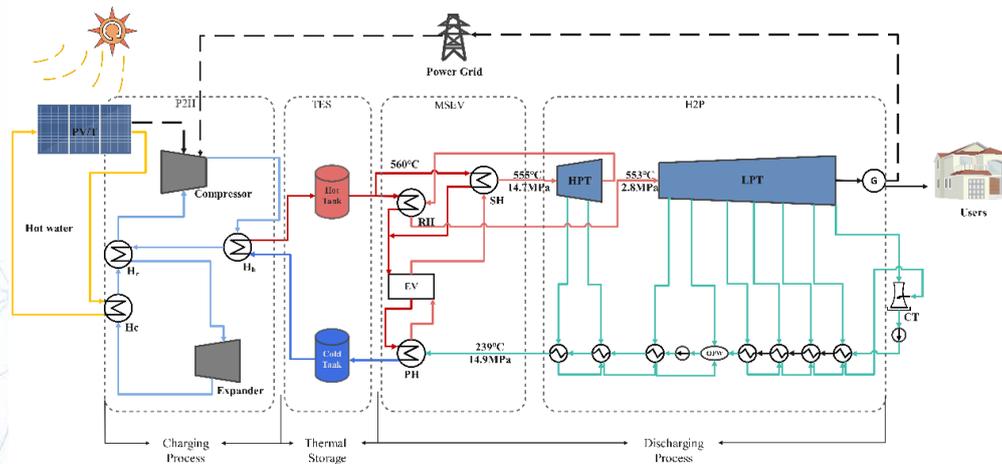
PV/T 驱动的卡诺电池运行参数分析与动态研究

宋诗语¹, 朱超², 王跃社^{1*}

1. 西安交通大学动力工程多相流国家重点实验室, 710049, 陕西 西安; 2. 国网陕西省电力有限公司电力科学研究所, 710100, 陕西 西安

摘要: 聚焦于火电厂灵活性改造, 本文提出了一种基于光伏/光热 (PV/T) 驱动的熔盐卡诺电池储能系统, 旨在提升传统火电厂的运行效率并增强可再生能源的消纳能力。基于 TRNSYS 和 Aspen Plus 软件平台, 构建 100MW 亚临界机组耦合的熔盐卡诺电池系统模型, 探讨热源温度对系统性能的影响规律, 并深入分析该系统在不同季节下的性能表现。结果表明, 低温热源入口温度对系统性能的影响远大于高温热源入口温度, 因此提出将 PV/T 发电集热单元与系统耦合以提升低温热源入口温度的新技术路径。耦合 PV/T 后的卡诺电池系统往返效率可达 65%, 相较于传统火电厂, 该系统的效率提升了约 25%, 且相较于未耦合 PV/T 的卡诺电池储能系统性能也有所提升, 在四季变化中均展现出优异的稳定性和可靠性。通过对焓效率、焓生态系数及可持续性指数的研究发现, 即使在环境复杂变化的条件下, 该耦合系统的焓效率整体稳定在 62%-63% 之间, 焓生态系数均值为 2.7, 可持续指数均为正值, 综合评估下验证了系统在复杂环境下的强适应性和可持续性。所得结论课为火电灵活性改造及新能源的高效利用提供了新的技术解决方案。

关键词: 卡诺电池; 火电厂灵活改造; 可再生能源; 焓; 可持续性



第一作者: 宋诗语, ssy116@stu.xjtu.edu.cn, 卡诺电池性能提升
 通讯作者: 王跃社, wangys@mail.xjtu.edu.cn, 太阳能热发电技术研究
 通讯地址: 西安交通大学动力工程多相流国家重点实验室 邮编: 710049

一种快速且高精度的太阳能吸热器热性能预测模型

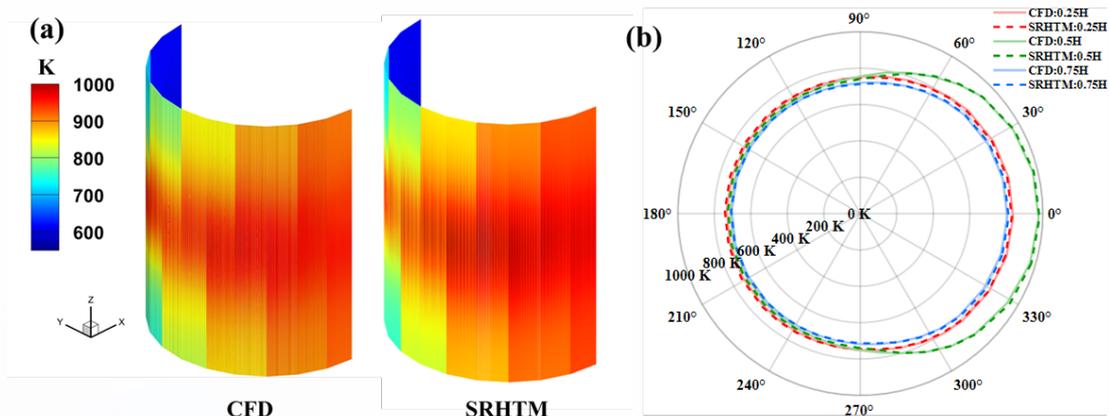
李校龙¹, 方嘉宾^{1*}, 醋文凯¹, 魏进家¹, 帅争锋², 葛殿辉²

1. 西安交通大学化工学院, 710049, 西安

2. 中国三峡新能源(集团)股份有限公司, 101199, 北京

摘要: 太阳能外露管式吸热器是光热电站中应用最广泛的吸热器, 其热性能分布直接关系到电站的发电效率与运行安全。然而, 受限于其复杂结构和大量吸热管, 采用计算流体力学(CFD)方法进行建模虽能获得高精度结果, 但计算代价高, 难以满足工程中对热性能快速预测与优化设计的需求。现有解析类简化模型在效率上具有优势, 但由于预测精度有限, 难以用于吸热器的力学评估与安全性分析。本研究提出一种快速且高精度的太阳能吸热器热性能简化模型(SRHTM)。该模型充分结合吸热器几何特征, 优化了空间离散策略, 并引入面积修正因子, 以提高局部温度与熔盐吸热量的预测精度。通过与CFD结果对比验证, SRHTM在不同运行工况下均表现出良好的准确性: 系统热效率的最大误差为0.7%, 熔盐出口温度误差为0.3% (2.7 K), 吸热器峰值温度误差为0.7% (7.2 K)。此外, 该模型的计算时间仅为144秒, 显著优于CFD方法, 具备在工程应用中实现快速预测与热性能优化设计的潜力。

关键词: 太阳能吸热器; 计算流体力学; 热性能简化模型



(a) CFD 和 SRHTM 整体温度对比图; (b) CFD 与 SRHTM 不同高度下管壁温随方位角变化对比图

第一作者: 李校龙, lx2001@stu.xjtu.edu.cn, 研究方向: 太阳能吸热器

通讯作者: 方嘉宾, 邮箱: jiabinfang@mail.xjtu.edu.cn, 研究方向: 太阳能光热发电

通讯地址: 陕西省西安市长安区西安交通大学创新港 19 号楼 邮编: 710049

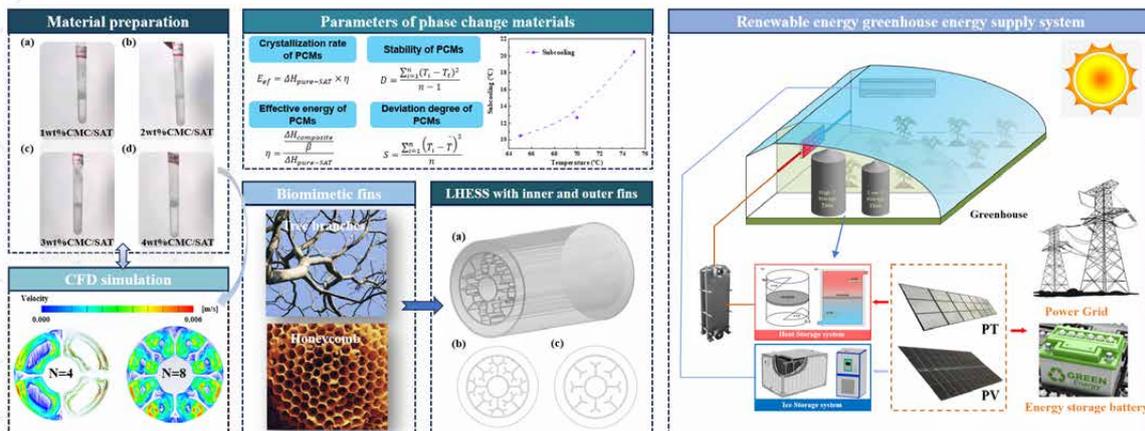
面向温室大棚的相变储热 / 冰蓄冷复合储能系统的能效优化与性能分析

徐啸宇¹, 余强^{1*}

1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 100083, 北京

摘要: 能源储存技术在缓解可再生能源波动性与间歇性问题中具有重要意义。基于相变储热与冰蓄冷耦合的可再生能源利用模式, 本文提出了一种面向温室大棚的新型综合储能方案。该方案通过采用相变材料构建单罐斜温层, 实现热能的储存与释放, 以调控温室内部环境; 并结合谷电时段的冰蓄冷系统, 有效降低用电峰值负荷。研究选用三水合醋酸钠 (SAT) 为相变材料, 通过引入羧甲基纤维素 (CMC) 与十二水合磷酸氢二钠 (DSPD), 将其结晶温度优化至 58.3°C , 显著抑制了过冷现象至 3.5°C 。同时, 添加 5 wt.% 膨胀石墨 (EG) 可将其导热率提升 181.4%, 达到 $1.722\text{ W/m}\cdot\text{K}$ 。为进一步强化储热效率, 本文设计了仿生结构翅片, 实验与仿真结果表明, 优化参数下 ($\beta=120^{\circ}$, $L=3\text{ mm}$) 熔化时间缩短至 358.17 s, 其中一阶翅片配置 ($N=8$) 可将放热时间缩短 59.94%。本研究为农业设施的高效能量调控与可持续运行提供了理论依据与工程实践路径。

关键词: 储能; 冰蓄冷; 温室大棚; 可再生能源消纳; 能效提升



第一作者: 徐啸宇, 1398111849@qq.com, 储能技术

通讯作者: 余强, yuqiang_21st@sina.com, 太阳能光伏 / 光热发电技术

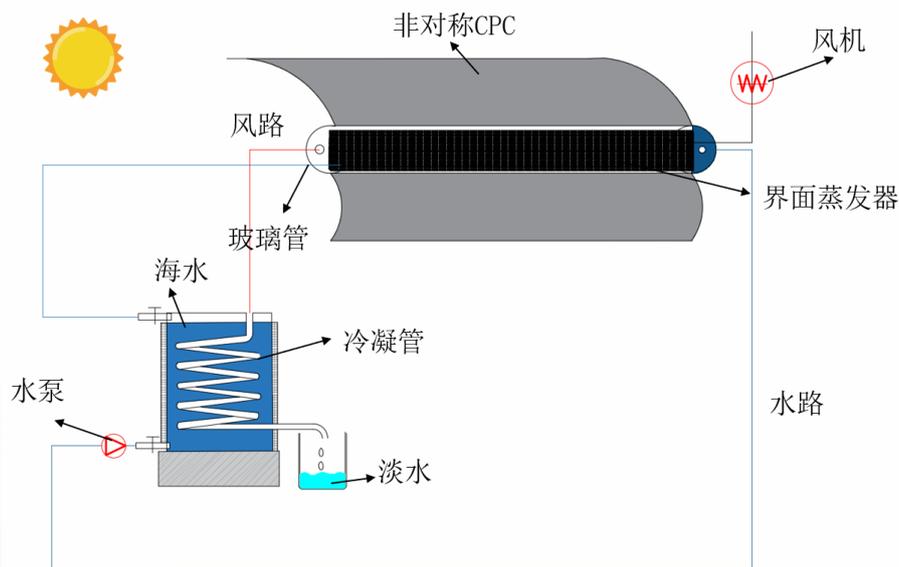
通讯地址: 中国农业大学信息与电气工程学院 邮编: yuqiang_21st@sina.com

非对称 CPC 聚光太阳能界面蒸发海水淡化系统研究

王方兴¹, 王腾月², 赵斌¹, 雷东强^{2*}, 王志峰²
1. 长沙理工大学能源与动力工程学院, 410114, 长沙
2. 中国科学院电工研究所, 100190, 北京

摘要: 界面蒸发技术虽具有 80% 以上蒸发效率优势, 但其实际应用仍受限于实验室环境与工程化瓶颈。本研究针对非对称复合抛物面聚光器 (CPC) 界面蒸发系统进行双重改进: 在聚光单元创新性地采用流线型曲面设计替代传统方程法构造方案, 同时在蒸发单元构建基于 TiN 纳米颗粒 / 木浆棉复合基底的新型界面蒸发器。实验结果表明: (1) 流线型非对称 CPC 相较于传统构型, 在聚光效率提升 12% 的同时实现能流密度分布均匀度改善 25%, 且在相同聚光比条件下具有更低的高宽比, 兼具更高的经济性和结构稳定性; (2) 通过海藻酸钠凝胶固化工艺制备的 TiN-木浆棉蒸发器, 在 1 个标准太阳光照强度 ($1 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$) 下实现 $2.7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ 的蒸发速率, 并保持 72 小时持续稳定蒸发性能。该研究为解决界面蒸发技术室外应用中的聚光匹配与蒸发体耐久性问题提供了有效方案, 推动了高效太阳能海水淡化系统的工程化进程。

关键词: 太阳能; 非对称 CPC; 界面蒸发; 海水淡化;



太阳能跨季节储热系统建模与控制策略研究

阚新好^{1 2}, 王志峰^{1* 2}

1. 中国科学院电工研究所, 100190, 北京

2. 中国科学院大学, 100190, 北京

摘要: 在太阳能跨季节储热领域, 传统控制策略因忽略太阳辐照动态变化及储热系统温度分层特性, 导致集热效率低下、太阳辐照波动引发的水体温度分层结构破坏, 以及能耗优化不足等问题。与现有研究不同, 本研究聚焦于塔式太阳能跨季节储热系统, 提出一种创新的充热过程控制策略。该策略全面考虑了太阳辐照时变特性与水体温度分层特性, 通过耦合系统物理模型与高精度预测模型, 构建了基于注意力机制、多属性决策分析方法 (TOPSIS) 和非支配排序遗传算法 II (NSGA-II) 的最优控制参数生成框架。所提方法通过多目标优化, 实现了集热量最大化、水泵能耗最小化及充热温差波动最小化的协同控制目标。仿真结果表明, 与基于规则的控制 (RBC) 相比, 该优化控制策略使集热量增加了 3.1%, 充热温度偏差降低了 0.4° C。研究结果为塔式太阳能跨季节储热系统的充热运行提供了高效稳定的解决方案。

关键词: 太阳能跨季节储热; 太阳辐照波动; 水体温度分层; 多目标优化



第一作者: 阚新好, kxy18854889510@163.com, 太阳能热利用
通讯作者: 王志峰, zhifeng@vip.sina.com, 太阳能热利用
通讯地址: 中国科学院电工研究所 邮编: 100190

基于布雷顿循环的 CO₂ 热泵 - 熔盐储热发电系统的热力学分析及优化

齐迪 1, 吴玉庭 1*, 杜彦君 1, 王轩轩 1

1. 传热与能源利用北京市重点实验室, 国家能源用户侧储能创新研发中心, 北京工业大学机械与能源工程学院, 北京 100124

摘要: 本文针对以 CO₂ 为工质的布雷顿循环热泵熔盐储热发电系统, 提出了一种可行工况筛选方法, 并基于热力学建模对系统性能进行了深入分析。通过设定不可避免与可避免的限制条件, 系统性筛选了充放电过程中压缩机压比、入口压力、低温储热罐温度与高温储冷罐温度等六个关键参数范围内的所有工况, 明确了系统的稳定运行区间。在此基础上, 采用焓分析方法评估了关键部件的能效优化潜力, 识别了主要的焓损失来源。研究表明, 在筛选得到的可行工况中, 系统往返效率最高可达 65.20%; 最优工况下, 膨胀机与压缩机为主要的焓损失源, 占总损失的 73.17%, 而低温换热器与空冷器因传热不可逆性表现出最低的焓效率, 具备显著的优化潜力。本研究构建了基于限制条件与焓分析相结合的性能评估框架, 不仅为组件级能效优化提供了理论支撑, 也为下一代热机械储能系统的设计与运行策略提供了技术指导。研究成果具备良好的应用前景, 特别适用于未来耦合高温热源 (如太阳能热能) 的储能与发电场景。

关键词: 热泵储电; CO₂ 布雷顿循环; 熔盐储热; 焓分析

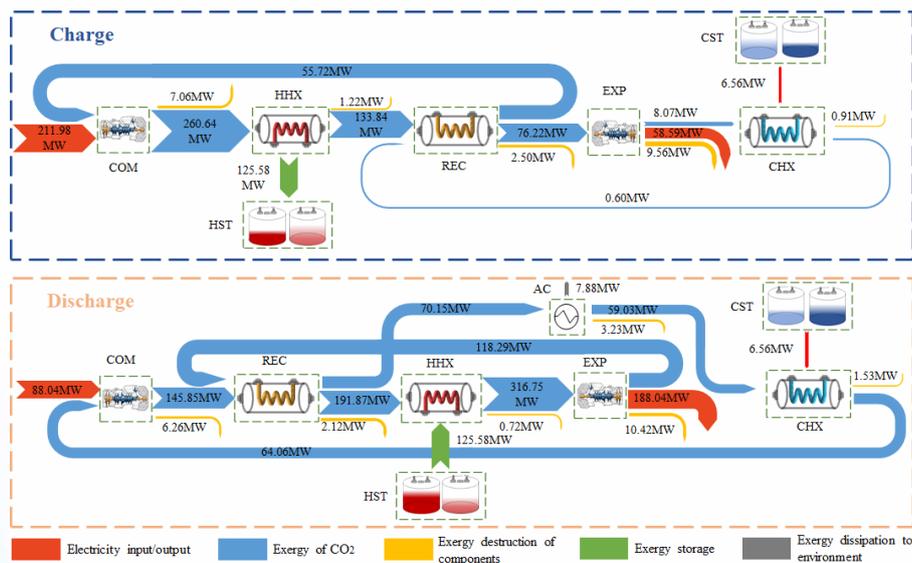


图 1 基于布雷顿循环的 CO₂ 热泵-熔盐储热发电系统的焓流图

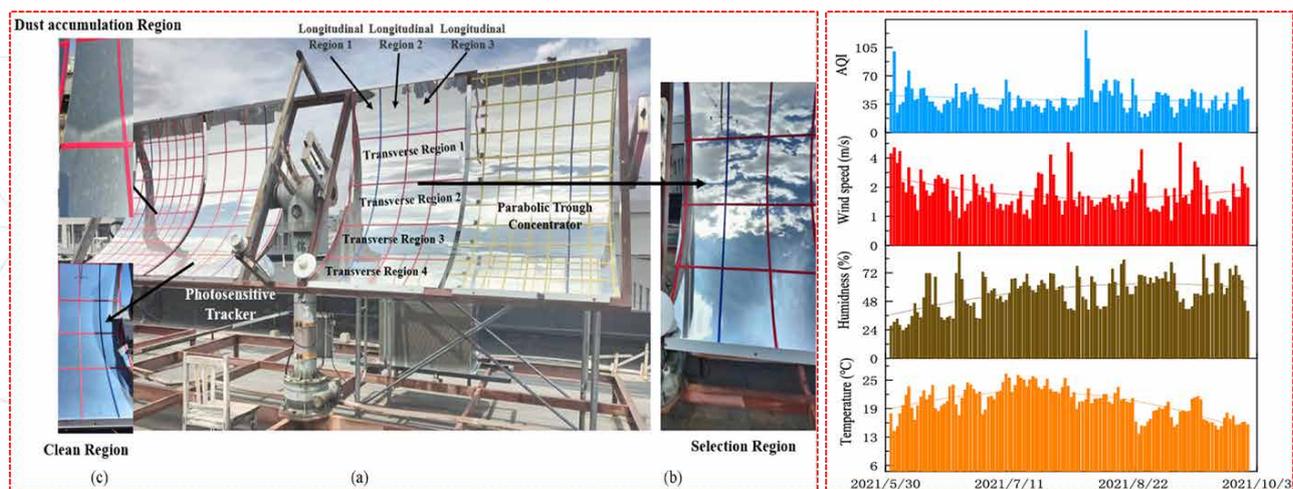
高寒地区降雨及气流除尘对槽式系统光学性能的影响及预测研究

孔繁策¹, 王志敏^{1*}, 袁拓, 王星

1. 内蒙古工业大学能源与动力工程学院, 010080, 呼和浩特

摘要: 槽式热发电技术是现今最成熟、成本最低的大规模太阳能光热发电技术之一, 目前已广泛应用。然而, 因抛物型聚光器户外运行受到灰尘沉积导致光学聚焦损失进而制约其高效利用。本研究针对高寒地区不同自然降雨强度, 协同应用压缩空气来进一步高效除尘, 设计实验方案对以降雨强度和除尘倾角为变量的系统光学性能展开研究。结果表明: 小规模降雨在超过阈值为 2~5.4 mm 之间存在正清洁作用。中强度以上降雨对镜面所有区域有正清洁作用, 60° 倾角及 38.9 mm 降雨量下清洁效果最佳, 中雨量和 0.4 MPa 压缩空气联合作用后清洗效率可达 70%, 当除尘喷头倾角为 33° 横向区域 1 清洗效率可达 24.24%, 反射率大于 80%, 验证压缩空气用于雨后除尘的有效性。高降雨量可将清洁效率提高 38%~50%, 相较于降雨强度, 倾角对积尘脱附更敏感。另外构建 PSO-BP 神经网络对反射率进行预测, 平均相对误差和均方根误差分别为 3.82% 和 0.061%, 拟合精度较高。

关键词: 高寒地区; 槽式太阳能系统; 自然降雨强度; 反射率; PSO-BP 神经网络



第一作者: 孔繁策, 18106368854@163.com, 太阳能高效利用

通讯作者: 王志敏, wzm.imut@163.com, 太阳能高效利用

通讯地址: 内蒙古自治区呼和浩特市土默特左旗内蒙古工业大学金川校区 邮编: 010080

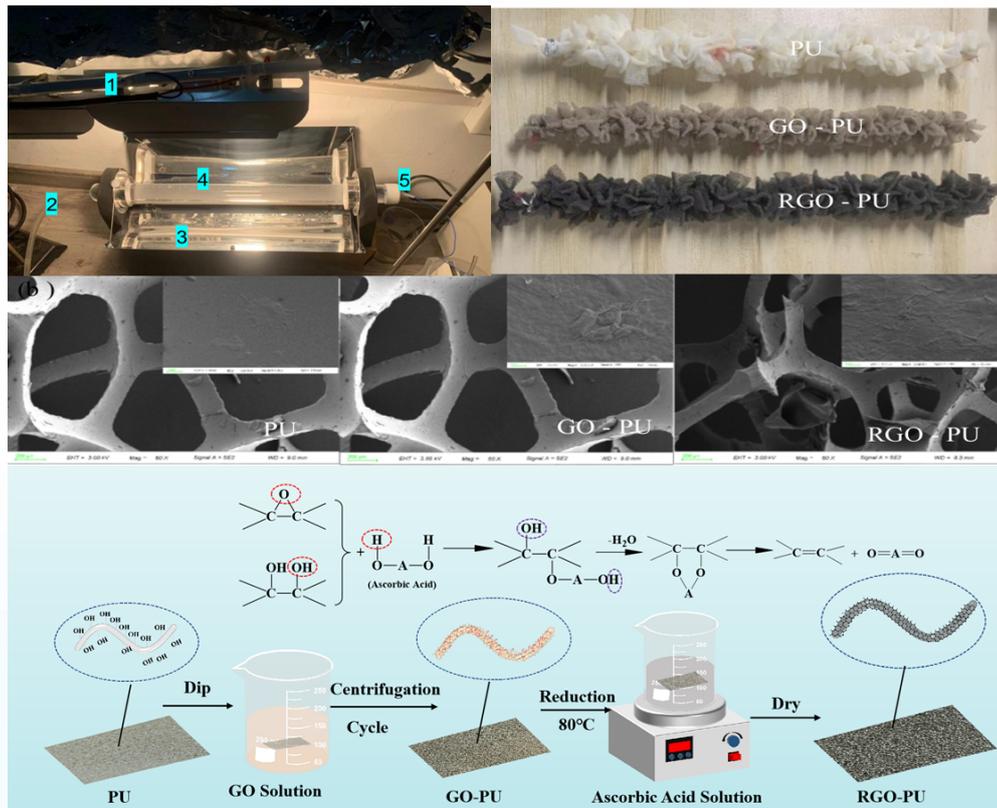
直接式太阳能集热器在活化过硫酸盐处理污水中的应用

王景晨¹, 王德兵^{1*}, 谢华清¹, 于伟^{1*}

1. 上海第二工业大学能源与材料学院, 201209, 上海

摘要: 基于过硫酸盐的高级氧化工艺 (PS-AOPs) 是一种利用过硫酸盐作为氧化剂, 在适当的条件下产生高活性的硫酸根自由基, 进而氧化分解有机污染物的先进氧化技术。然而, 因其运行成本高、反应条件控制困难等问题, 使其在扩大应用规模时面临障碍。在本研究中, 我们设计出了与太阳光相匹配的直接式槽式太阳能集热器光热活化过硫酸盐系统, 制备了可规模化生产的负载型还原氧化石墨 - 聚氨酯海绵光热填料 (RGO-PU), 详细阐述了其工作原理、工艺参数、技术优势以及经济可行性, 为垃圾渗滤液的绿色、高效处理提供了新的思路和解决方案。结果表明: 本项目开发的直接式太阳能集热器能够满足活化过硫酸盐所需的温度要求, 并且使光热转化效率提高 18.7%。同时, 构建的太阳能光热耦合过硫酸盐高级氧化系统 (SP-AOPs), 实现污水处理能耗降低 58.9% 与 TOC 去除率突破 97.66% 的双重突破, 并采用实际废水通过长期连续运行实验验证其可靠性。

关键词: 槽式太阳能集热器; 高级氧化工艺; 水处理; 过硫酸盐



第一作者: 王景晨, 670519848@qq.com, 新型环境功能材料开发及水处理性能应用
 通讯作者: 王德兵, dbwang@ssp.edu.cn, 太阳能热利用与存储, 污水处理与资源化利用
 通讯地址: 上海市浦东新区上海第二工业大学 邮编: 201209

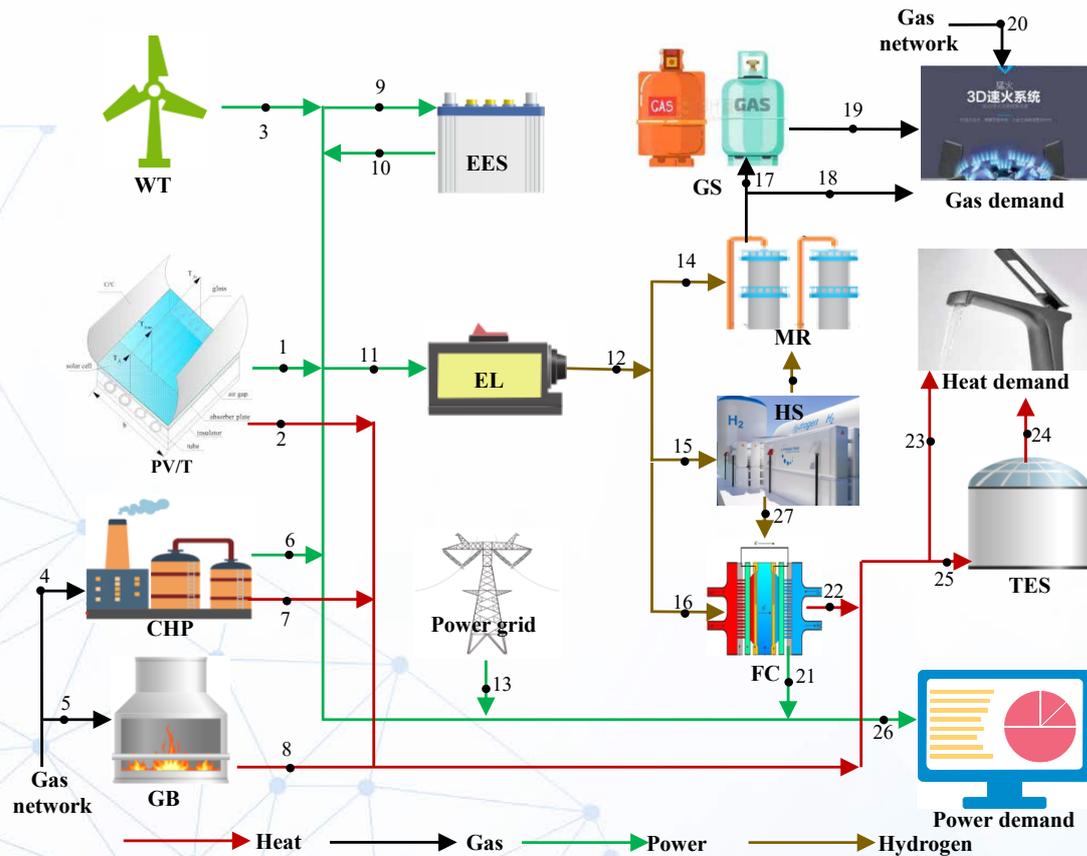
基于异质储能与碳交易机制的风光互补三联供系统烟环境成本优化

陈玉柱^{1, 2*}, 杨凯峰², 胡建军²

1. 燕山大学亚稳态材料科学与技术国家重点实验室, 秦皇岛 066004;
2. 燕山大学土木工程与力学学院河北省低碳清洁建筑供暖技术创新中心, 秦皇岛 066004;

摘要: 随着生活水平提升与工业增长, 全球能源消费持续攀升, 清洁能源需求日益迫切。然而, 可再生能源的固有波动性与需求侧负荷波动对系统稳定性构成严峻挑战。为实现系统与用户侧能源平衡并提升风光消纳能力, 本研究构建了融合热、气、电、氢多元储能技术的太阳能-风能-天然气耦合三联供系统。为确定设备最优调度方案, 采用烟-环境成本法, 在考虑阶梯碳交易机制下以能源产品运行成本最小化为目标进行优化。结果表明, 整合风力机组与光伏光热一体化机组的方案综合效益最优, 其碳成本为 124.6 美元, 电力成本为零, 单位烟环境比成本最低达 0.029 美元/千瓦时。敏感性分析显示, 碳价升高将促进低碳密集度能源使用, 虽可降低天然气成本, 但会引发烟环境比成本上升。研究证实了可再生能源技术与异质储能系统协同优化在提升烟环境成本效益方面的潜力。

关键词: 异质储能协同; 需求响应; 风光互补; 烟-环境成本; 调度优化



第一作者: 陈玉柱, E-mail: chenyzhu@ysu.edu.cn
 通讯作者: 陈玉柱, E-mail: chenyzhu@ysu.edu.cn
 通讯地址: 河北省秦皇岛市海港区河北大街西段 438 号燕山大学 邮编: 066004





关注太阳能光热联盟
微信公众号



关注湖州工控院
微信公众号



关注绿储科技
微信公众号

国家太阳能光热产业技术创新战略联盟秘书处

地址：北京市海淀区中关村中国科学院电工研究所北院 313 室

电话：010-82547214 转 801

邮箱：cnste@vip.126.com