工程热物理所在高温含尘烟气滤层内流动传热特性研究中取得进展

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/7855.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

冶金、化工、建材等高能耗行业能耗占工业总能耗约70%。余能占工业总能耗48%，其中烟气余热占余能35%，烟气余热回收率目前仅为29%，相当于2.4亿吨标煤未得到回收利用，与国外平均水平存在15-20%差距，烟气余热回收节能潜力巨大。含凝尘高温烟气在有色、钢铁、化工、建材等领域的炉窑中广泛存在，例如铜冶炼闪速炉、转炉、电石炉、玻璃窑等。其粉尘成分复杂，烟气温度高，在过滤时部分粉尘处于熔融态，高温余热直接回收困难，目前也没有有效解决此问题的好技术。针对高温含凝尘烟气，要实现高品位热量回收，必须在高温条件下对烟气进行除尘，解决换热装置粘附、堵塞、腐蚀等问题。而现有的除尘技术像布袋除尘、电除尘不适宜于高温烟气（800°C），陶瓷过滤耐高温，但当有凝尘存在时，会发生堵塞现象，一旦堵塞后过滤装置无法清灰。颗粒床过滤对于高温黏结性凝尘烟气净化是唯一的选择。

在国家重点研发计划的支持下，中国科学院工程热物理研究所项目团队在颗粒床孔隙流道高温含尘烟气流动传热特性研究方面，针对含凝尘相变过程的高温烟气与过滤床间的特殊传热特性，进行了凝尘处于不同状态时的对比实验研究。通过调节颗粒床入口温度和出口温度来控制凝尘的相变过程，获得了不同条件下的含尘烟气与滤层换热Nu数，结果如图1所示，图1中所对比的计算公式为该项目中采用数值分析获得的含固态粉尘高温烟气与颗粒床的换热计算关系式。结果表明，在凝尘处于固态时（图1中Temperature 1），其传热特性与采用数值分析获得的流动传热Nu计算关系式吻合较好，最大误差小于7%；当凝尘处于相变过程时（图1中Temperature 2），由于凝尘的凝结放热，强化了颗粒床内的流动传热，Nu数高出约20%以上，且该强化过程同凝尘的质量流量和凝尘熔化热有关；当凝尘处于液态时（图1中Temperature 3），会减弱颗粒床内的流动传热，该弱化过程同凝尘的浓度有关。基于实验研究数据修正了粉尘处于固相时含尘烟气与滤层间的换热Nu数计算公式，获得了粉尘处于不同条件下的Nu数计算关联式。基于相关研究揭示了凝尘不同状态时的高温含尘烟气滤层内流动传热特机制，所拟合的计算关联式最大误差＜10%，可用于处于不同状态的含凝尘高温烟气过滤过程传热设计计算，为含凝尘高温烟气高效除尘调控颗粒床热设计提供计算经验关联式。

在颗粒床内置换热管余热回收技术方面，研究人员研究了氧化铝空心滤料与实心滤料在高温条件下含辐射特性的有效热导率特性，在温度高于约100°C后，辐射对有效热导率的影响比重逐渐增强，空心颗粒床有效热导率随着温度升高快速升高，其有效热导率升高速度高于实心颗粒床有效热导率随温度的升高速度，在温度高于约800°C后，空心滤料内部辐射能量高于同粒径下实心滤料内部导热量，空心滤料颗粒床有效热导率开始高于实心滤料颗粒床有效热导率，因此，高温下采用空心滤料不但可以提高颗粒床单位质量容尘量，降低排料热损失，而且强化了颗粒床有效热导率，更利于余热回收。根据实验结果拟合了实心颗粒床与空心颗粒床有效热导率计算关联式，

拟合误差＜10%，为高温颗粒床余热回收传热设计提供了计算方法，拓展了现有颗粒床有效热导率计算关联式适用温度范围上限，并填补了空心球颗粒床有效热导率计算的空白。

根据以上研究设计了高温含尘烟气颗粒床过滤与余热回收一体化结构，研究了不同参数对余热回收系数的影响规律，如图2所示，与含固态粉尘的高温烟气余热回收过程相比，凝尘主要粘附于第一排换热管道，导致换热系数下降，但后几排换热管换热系数上升，综合作用提高了余热回收效率；过滤开始时，由于粉尘的加入强化了烟气与换热管间的换热系数，粉尘含量越高换热系数强化率越大，但随着过滤的进行，粉尘在换热管表面粘结阻碍了烟气与换热管间的换热，换热系数逐渐降低，且入口粉尘含量高的条件下换热管表现粘结粉尘更多，换热系数下降更快，总体效果导致了入口粉尘含量越高反而余热回收效率越低，但在研究范围内余热回收效率均高于70%，满足课题考核指标要求。凝尘粘附导致换热系数最低衰减50%左右，考虑粉尘粘结在设计内置余热回收换热结构时采用0.5的校正系数修正烟气与滤层内换热管间的传热计算关系式，保证余热回收效率满足设计要求，为颗粒床内余热回收换热结构的设计提供了计算经验关联式，指导高温含凝尘烟气除尘净化与余热回收结构设计。

基于相关研究成果，该项目在国内外会议及学术期刊上共发表学术论文11篇，其中SCI检索3篇，EI检索4篇；申请发明专利6项，其中授权1项，所参与课题顺利结题并获得优的评价。

图1 凝尘不同状态时含尘烟气与滤层换热Nu数变化特性

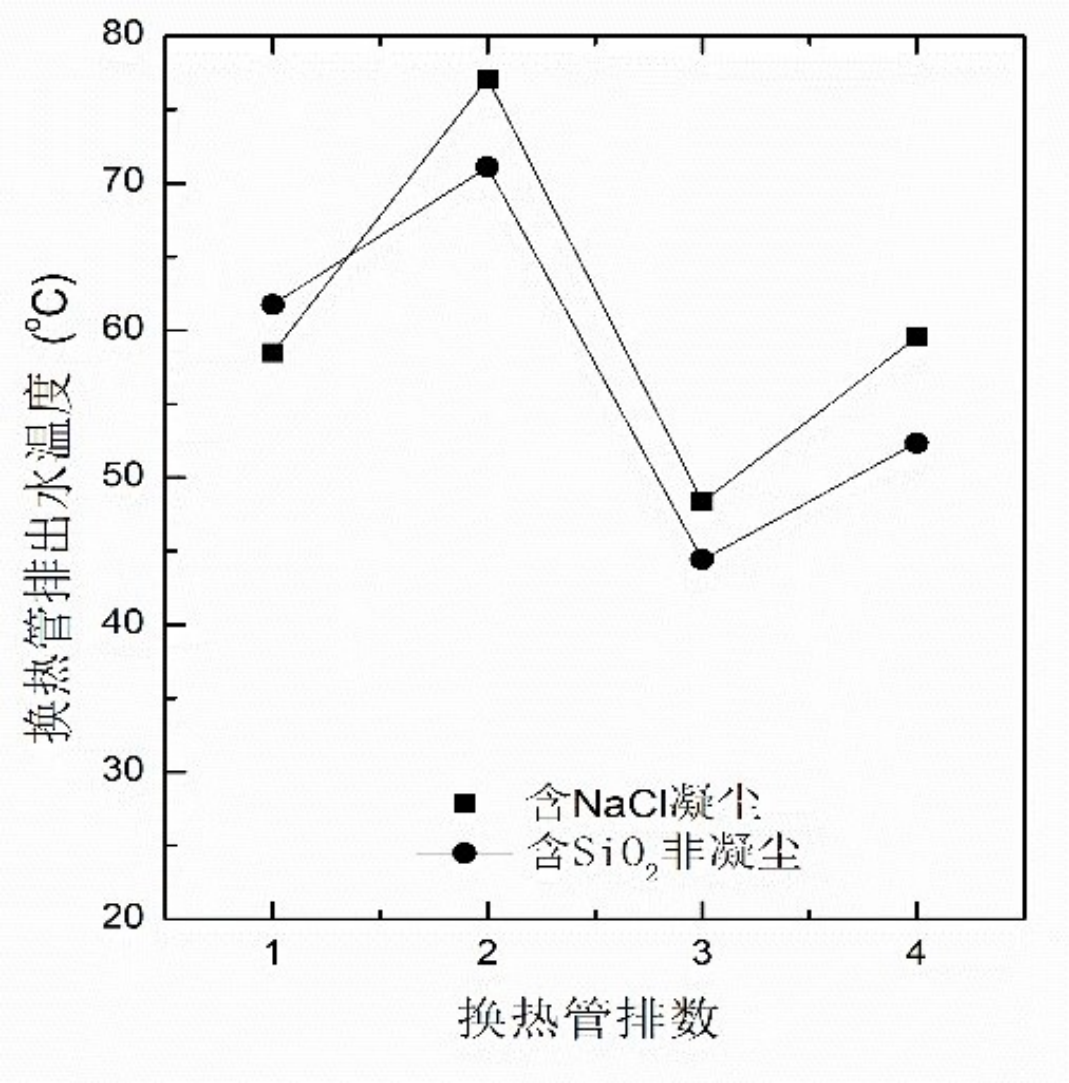

图2-1 凝尘及入口粉尘浓度对余热回收率的影响规律

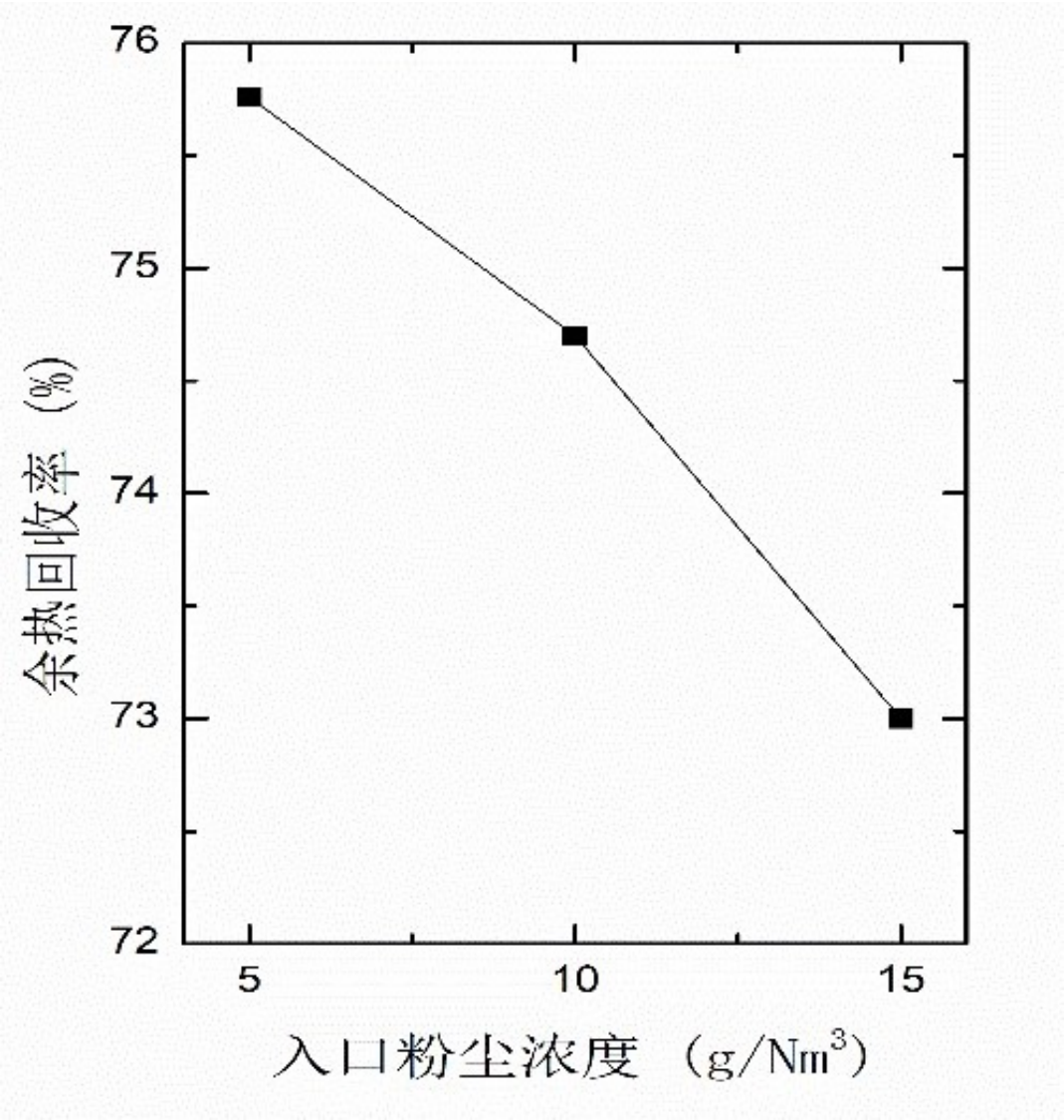

图2-2 凝尘及入口粉尘浓度对余热回收率的影响规律

研究团队单位：工程热物理研究所

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发