

哈尔滨工业大学（深圳）第五届大学生节能减排社会实践与科技竞赛参赛申报表

学院（章）

作品名称	数值算法驱动太阳光热界面高效减量膜浓缩垃圾渗滤液				
参赛主要成员	姓名	性别	学院	专业班级	联系方式
	赵子敬	男	理学院	21 数学 5 班	17341639048
	冉欣雨	女	土木与环境工程学院	21 环境 1 班	19147950605
	刘瑜哲	男	理学院	21 数学 5 班	18507510684
	林靖杰	男	计算机学院	21 计算机 7 班班	13712198939
	文字祥	男	理学院	21 数学 5 班	13651496265
指导老师	姓名	性别	职务职称	所在单位	
	路璐	男	院长助理/教授	哈尔滨工业大学（深圳）深圳土木与环境工程学院	

作品研究的目的及意义	<p>城市生活垃圾堆放存储及处理过程中，由于压实、自身分解、发酵等物理及生化过程，易液化渗出，且在降雨及地下水渗流作用下易形成具有高污染、高毒害性的垃圾渗滤液，通常需要膜处理来使得这些渗滤液能够满足严苛的排放标准，但在这些过程中也同时产生了额外的膜浓缩液。膜浓缩液的无害化处置是垃圾渗滤液全量化处置的关键，热蒸发可有效减量膜浓缩液，利用外部热源加热废水，使其中水分气化并将其体积减少约 90%，而难挥发污染物如重金属、无机盐及绝大部分有机物则保留在蒸发槽结晶中，实现渗滤液全流程零废液排放处理。但如浸没燃烧、机械压缩、负压蒸发等蒸发处理工艺直接对蒸发槽内膜浓缩液加热，能量利用率低、过程可持续性差、环境二次影响大，且蒸发器中挥发性有机物、氯离子产生的高温腐蚀、容器结垢也会对蒸发器正常运行产生影响。因此，还需要设计更为可行、操作便捷、低成本投入、高能量效率、低环境影响的膜浓缩液高效减量处置方法。</p> <p>近年来，利用太阳能驱动，且能量转换效率更高的光热界面蒸发理论表现出更具潜力的水体蒸发性能，该技术通过将吸收体置于气-液多相界面，可只加热水体界面薄层水产生蒸汽，而非整体加热水体，以获得更高的蒸汽转化效率。典型的多相界面蒸发系统主要包括：太阳能吸收层、热保温层、水输运及蒸汽逸散通道。入射太阳光首先被太阳能吸收层吸收并转换为热能。同时，在毛细作用力驱动下，水通过多孔材料输运管道浸润表层。转换热能加热表层水相界面，产生水蒸气。因此，基于光热界面蒸发理论，有望充分利用太阳能能源，实现清洁高效的水体蒸发处理。但由于上述过程仍有部分能量不可避免地向水体传导耗散，或与周围环境通过对流及辐射传热损耗，使得系统并不能完全利用转换热能。因此，有必要探究该过程具体的能量损失机制，分析限制其系统能效进一步提升的关键因素，并指导系统优化，从而为综合开发利用太阳能技术提供具有应用潜力的技术路线，有效降低膜浓缩液处置的能耗及成本，为城市废弃物资源循环利用及可持续低碳发展提出了有效措施。</p>
------------	--

参赛作品  
研究内容  
简介（不  
多于  
1000 字，  
可附页）

本作品综合利用可再生太阳能，实现膜浓缩液减量处置。在太阳能蒸发系统中，光热转换材料可吸收转化太阳光为热能，加快水体蒸发并迅速产生蒸汽。膜浓缩液蒸发是一个相变吸热过程，利用太阳能作为蒸发热源，从能量输入角度是可持续的。当将具有高效光热转换性能的光热蒸发材料置于水相界面时，可显著提高太阳能利用率与光热转换效率（图 1），提高蒸发速率。这类界面蒸发系统一般在多孔基底上修饰不同类型的光热材料以实现高效的太阳能捕获转换，本作品中将具有一定氧化还原能力的还原黑钛作为光热材料修饰在天然木材基底上，以抑制膜浓缩液蒸发过程中挥发性有机污染物溢出，同时这些材料价廉易得可持续，能够保证系统本身较低的环境足迹。

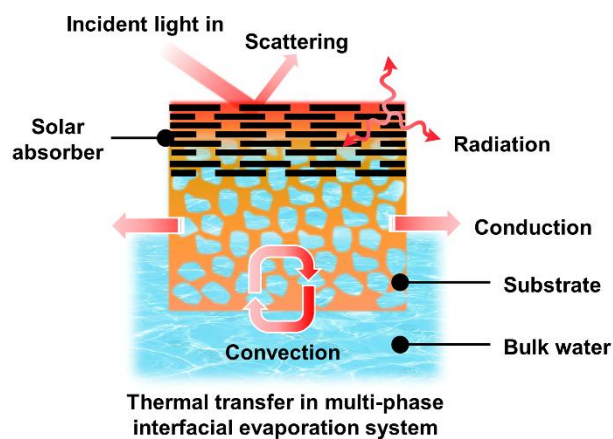


图 1 太阳能热驱动多相界面蒸发系统传质传热机制

随后结合机器学习算法（图 2），建立了一组评估光热界面红外测温图像序列的数据处理流程，以分析及评估这类光热界面蒸发系统的能量损失机制，通过机制分析得到结论：尽管光热界面蒸发系统能够在薄层气-液界面上形成相对集中的热值分布，但其与水体直接接触的区域仍存在温度梯度，仍会在膜浓缩液水体微弱的自然对流作用下产生热传递损失。

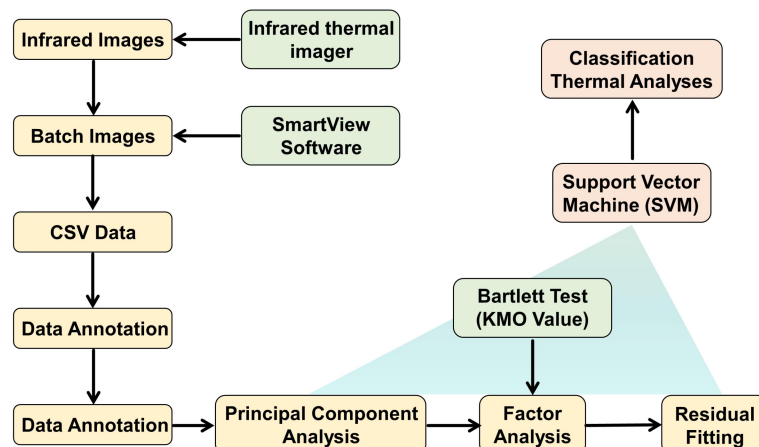


图 2 机器学习算法主要流程

基于此，设计了非接触式构型的光热界面蒸发系统（图 3），通过构建光捕获及热转换层-热传导层-红外热辐射层耦合来构建一种非接触式热蒸发过程，以充分提高膜浓缩液蒸发减量效率。并且，任何具有温度的物体表面也都会以红外波的形式向外辐射能量，这部分红外辐射能量也对应不同温度下的太阳能红外光区，而红外光区（包括近红外、中红外、远红外）的能量也能够被膜浓缩液直接吸收，同时相较于直接加热大量膜浓缩液，因其体积比热较大，导致大量热损失及较低的热能利用效率，这类太阳能辐射光热效应能够将转换热能只集中在膜浓缩液表面薄层，减少热扩散损失。因此基于上述说明，本作品将太阳能可见光区热能转换与红外光区热辐射过程耦合，构建基于太阳能辐射光热效应调控的膜浓缩液蒸发系统，以改进传统光热界面蒸发系统不可避免的界面热传递损失。

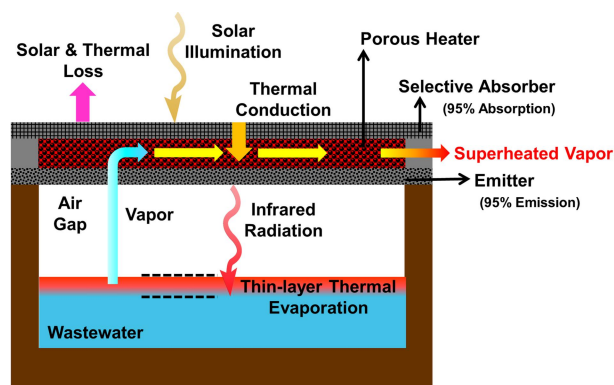


图 3 非接触式构型光热界面蒸发系统

	<p>综上所述，本项目基于膜浓缩液这类典型城市活动废弃物节约化处置出发，构建太阳能综合利用策略，设计膜浓缩液减量处理的“循环经济”路线，同步实现减污降碳协同增效，有望对城市生态资源可持续发展提供重要参考路线。</p>
参赛作品 主要创新 点	<p>本作品通过机器学习的手段，分析了当前抑制光热界面蒸发系统效能提升的瓶颈因素，并据此设计了改进的非接触式构型的光热界面蒸发系统，可对渗滤液全量化处理工艺起到良好的技术路线补充，使得出水全量达标排放，并有望实现零废液排放处理，减少环境二次污染风险，改善生态平衡，实现绿色低碳、多效增益的城市废弃资源再利用。</p> <p>成量堆积形成的垃圾在长期存放过程中受生理生化、雨水侵蚀、地下水渗透等因素协同作用影响而产生垃圾渗滤液这一高盐含量高毒害性组分废弃物，膜处理可以回收原生渗滤液中大部分水分，但由此产生的膜浓缩液更加难以处理，通过本项目所设计的基于太阳能辐射光热效应调控驱动膜浓缩液减量处置的策略，可以低能耗、低成本、低环境影响的方式对膜浓缩液进行高效减量，还可通过蒸发减量化处理等工艺消除污染物危害性，因垃圾本身即属于污染程度较高的废弃物，一旦产生流动性较强的渗滤液，深入地表后会对局部生态环境造成严重破坏，减量化处理一定程度上也能够阻止渗滤液土壤污染进程；同时本项目策略也能够以较低的成本和较高的效率运行处理过程，以便在较小的成本控制内快速完成整体处理任务；此外，对垃圾渗滤液减量化及资源化处理的重要现实意义还在于对二次污染的控制上，减量处理可以减少需要处置的固体废弃物量，同时也可以避免膜浓缩液这类高浓度毒害性污染物泄露至环境中所造成的潜在二次污染。</p>