

## 十二、环境治理技术

### 1. 高效空气净化消毒装置

#### 项目概述

本装置是将电离吸附技术与高频电离技术相结合，从传播途径和灭活两方面进行空气消毒。电离吸附是将空气中的微小固态或者液态的悬浮杂质离子化，并使空气中的气体分子电离，产生大量电子和离子，在移动过程中碰到气流中的尘埃、飞沫等使其荷电，荷电颗粒在电场力作用下与气流方向相反的极板做运动并沉积，从而高效去除空气中的微小固态或者液态的悬浮杂质，从传播途径上阻断病毒的扩散。高频电离是通过高压脉冲放电的形式将气体激活，产生大量离子氧，一旦和空气中的病毒接触，就能够立即破坏病毒的蛋白质衣壳等，从而达到消毒灭活的作用。本装置避免了传统空气消毒方法，如紫外线照射、臭氧等无法去除飞沫、需要在无人条件下使用、无法实现实时持续性作用、还容易存在照射不到的卫生死角等问题。本装置形式多样，有壁挂式、管道式等多种安装形式，采用模块化设计，无耗材，低功率，可以弥补现有消毒手段的不足。

#### 项目成熟情况

技术成熟度等级为 9 级。实际系统成功完成使用任务，本装置已经在舰船、方舱等获得成功应用。

#### 应用范围

目前正在舰船、方舱等获得成功应用。在医疗领域可以在隔离病区、重症监护区域、医院方舱等场合进行应用，增加医护人员等相关工作人员的安全性。也可以用于民用各个场合，例如超市、门卫、学校、家庭、车站等场合推广普及，将减少病毒空气传播带来的威胁，增强针对病毒扩散的处理能力。

### 2. 高效除雾器

#### 项目概述

在船舶航行和海上平台作业的过程中，海浪拍打撞击而产生大量海水飞沫和汽雾会随着空气进入空调、柴油机等设备的进气系统，而这些空气具有高湿高盐

的特点，如果没有经过处理直接被吸入进气系统，经过设备，会使得设备内表面凝结过多水汽，并在设备表面凝结成高盐凝水、盐雾结晶，造成腐蚀和损害。本项目所研制的高校除雾器是最新一代的进气处理装置。能够有效、快速的除掉空气中的水滴、盐雾，净化空气，从而大幅度降低设备腐蚀的风险，使船舶或平台的舱内设备得到有效的保护，延长使用寿命并安全运行。

#### 技术特点：

高效除雾器在适宜的风速条件下，利用惯性撞击和表面张力的作用，将气流中的液滴和盐雾颗粒等高效分离，并通过相应的排放装置有效排出。该除雾器采用先进的高性能航海级铝镁合金叶片，配以微弧氧化特种涂装，具有高性能、轻量化、超耐腐蚀的特点。除雾器还可根据具体需求，增配各种功能段体。如：过滤段、风雨密百叶窗、可关闭式水密盖、电动或气动关断风闸、矩形风筒、电伴热除冰雪等不同功能段。以满足风雨密、水密，自动关断、噪声控制及冰区航行等不同要求。

#### 主要技术指标：

叶片最大载水量：250 g water/ kg air；极限粒径可低至 12 $\mu$ m；高迎面风速：2~6 m/s；安装厚度约 150mm；具有较低的压降损失。

#### 项目成熟情况

项目技术成熟，市场广阔。

#### 应用范围

各类船舶、石油钻井平台和舰艇的 HVAC 进气系统；轮机室、舱室通风；舰船主机进气，柴油机进气和燃气轮机进气系统；以及海上风力发电机组、海上无人值守电站、船用冷藏集装箱等领域。

### 3. 低噪音布风器

#### 项目概述

随着造船事业的发展和人们对船舶居住性要求的提高，船舶舱室内的人体热舒适性及空气质量的研究受到了广泛关注。在对实船进行调研的基础上，本项目所研制的室内空气环境综合处理系统，集成了新型空气净化处理装置、舒适性低噪音送风装置及智能化供热装置，可以为改善舱内人员舒适性、形成良好空气品

质，发展健康舒适的空气环境控制技术和产品开发提供服务。

技术特点：

低噪音船用布风器是可手动调节的单管布风器。采用欧洲最先进的材料和工艺，可提供更低噪声的舒适性通风，广泛应用于各类船舶、豪华邮轮、石油钻井平台和舰艇。可作为 CAV 定风量空调系统的舱室末端送风装置；可调节风量和送风温度，可配有末端加热元件，可选配圆形、方形散流器以及条缝式等其他形式送风装置。

主要技术指标：

低噪音布风器壳体为镀铝锌板；25mm 厚消音绝热层，MED 认证；底部手动流量调节旋钮；其中 LNC-100-160 型布风器送风量 250m<sup>3</sup>/h；总压降为 72Pa；单位声压级 38dB(A)。

#### 项目成熟情况

项目目前技术成熟，市场广阔。目前处于小批量生产阶段，已经应用于国内数条船舶。效果良好，得到了各方面的认可。

#### 应用范围

可以应用于船舶、各类建筑等领域。

## 4. 空气环境综合处理系统

#### 项目概述

随着造船事业的发展和人们对船舶居住性要求的提高，船舶舱室内的人体热舒适性及空气质量的研究受到了广泛关注。在对实船进行调研的基础上，本项目所研制的室内空气环境综合处理系统，集成了新型空气净化处理装置、舒适性低噪音送风装置及智能化供热装置，可以为改善舱内人员舒适性、形成良好空气品质，发展健康舒适的空气环境控制技术和产品开发提供服务。

技术特点：

空气环境综合处理系统中净化功能元件具有再生性，经过清洗可重复使用，无需耗材；整机长期工作稳定性好，能耗低，无噪音；具有高效灭菌，去除有机物和异味功能。舒适性送风末端装置具有送风均匀、低噪音、舒适性温度梯度的布风效果；能进行个性化智能调节，可调节风量和送风温度，可配有末端加热元

件。智能化供热装置具有温度可控，散热均匀、升温快速等特点。

主要技术指标：

空气环境综合处理系统中空气处理装置能有效杀灭送风及室内空气中的病菌、细菌、病毒等有害微生物，去除异味，试验结果除菌率大于 99%。在国家标准条件下，额定送风量情况下，舒适性送风末端装置工作时总声压级小于 50dB(A)。智能化供热装置能够产生高度舒适性的红外线辐射热量，并易于集成。

### 项目成熟情况

项目组已收集了大量国内外舱室内空气环境的有关资料，进行了多年船舶舱室空气环境的仿真、预测以及综合评价的研究，并取得了丰硕的成果。空气净化处理设备已经用于实际的船舶中，取得了良好的效果。舒适性送风末端设备、智能化供热设备已经成功试制出样品，得到了业内专家的一致好评，并已经确定在某船舶上使用。项目技术成熟，市场广阔。产品可以综合使用，也可以分开单独使用，同时可以用于建筑室内的空气环境构建和优化。

### 应用范围

可以应用于船舶、各类建筑等领域智能化供热设备，还可应用于汽车、铁路、航空。

## 5. 空气清新除臭装置

### 项目概述

本空气清新除臭装置能够快速消毒灭菌、去除异味，清新空气。

技术特点：

#### (1) 模块化设计

体积小，安装方便，可以不同方式组合使用。可以适用于衣柜、鞋柜以及其他空间。可远程手（自）动控制。

#### (2) 高效除味

能高效去除颗粒，高效灭活，除有机物和异味。有效杀灭空气中的病菌、细菌、病毒等有害微生物。

#### (3) 再生性

各单元经过清洗均可重复使用，无需耗材。

#### (4) 低能耗

无噪音，长期工作稳定性好。

主要技术指标：

高效去除异味，出口有益负离子浓度大于 5 万/cm<sup>3</sup>，有效清新空气，杀菌率 > 90%。

#### 项目成熟情况

项目目前技术成熟，市场广阔。目前处于批量生产阶段，已经应用于国内数条船舶。

#### 应用范围

可以应用于船舶、各类建筑等领域，还可应用于汽车、铁路、航空等领域。

## 6. 船舶生活污水氮磷处理关键技术

#### 项目概述

本项目是从船舶生活污水的水量与水质出发，综合国内外现有污水深度处理装置的发展现状及存在的问题，在分析比较现行的船舶污水处理系统运行状况的基础上，开发新型高效的船舶生活污水处理及回用技术，为该法的实际生产应用提供理论依据和技术支持。生活污水采用以 A/O/A-SBR 为主体生物处理单元，为了更加有效的达到回用目的，在生物处理单元之前设置物化处理单元，即超声强化铁内电解过程，后续设置集成深度处理单元，即混凝沉淀/反渗透过滤/紫外氧化集成处理。通过研究整个处理系统的影响因素，协同发挥各处理单元优势，提高处理效能，研发出适于船舶使用的高性能处理技术。

生活污水采用以 A/O/A-SBR 为主体生物处理单元，为了更加有效的达到回用目的，在生物处理单元之前设置物化处理单元，即超声强化铁内电解过程，后续设置集成深度处理单元。采用超声强化铁内电解的方式可以利用超声的空化作用，振荡和破碎作用可增大铁屑内铁和炭的接触效率，而且超声有再生内电解填料的作用，延长其使用寿命。采用超声强化内电解不仅可以提高污染物去除效率，还能加快反应时间、缩小反应装置、节省船舶空间。内电解柱中废铁屑电解产生的三价铁离子是良好的絮凝剂，可有效去除污水中的 P 元素和 SS，无需投加其他混凝剂；内电解过程可有效提高废水的可生化性，提高后续 A/O/A-SBR 生物处

理单元去除有机物效能，同时有利于废水中难降解有机物的去除；内电解过程中产生的铁元素进入 A/O/A-SBR 生物处理单元将促进反应器中微生物的生长繁殖，同时铁离子的絮凝作用可有效改善生物处理单元中活性污泥的沉降性能，减少污泥膨胀的发生。铁屑来源于加工厂的废弃物，能够达到废物利用，节约成本，同时提高处理效果的作用。集成深度处理单元，为污水的回用和零排放提供保障，采用混凝沉淀/反渗透膜过滤/紫外氧化结合的集成处理单元。分别以模拟船舶生活污水和实际生活污水为处理对象，考察以超声强化内电解—A/O/A-SBR—混凝/反渗透膜过滤/紫外氧化深度处理集成技术的去除效能，研究影响因子对工艺的影响规律。为将整体工艺技术推广应用到实际工程中提供运行参数。考察处理系统中微生物群落结构与功能的关系，并从稳定运行的工艺中筛选出高效反硝化聚磷菌，为进行生物强化技术研究提供理论基础。深入考察超声强化内电解及集成深度处理技术的效能，分析机理，为实际生产应用提供理论和技术支持。

### 项目成熟情况

项目目前处于基础研究阶段。本项目在前期已开展研究工作的基础上而提出的。项目组具备的良好研究基础为本项目关键问题的突破提供了理论和技术保障。项目组在以往的研究中已开发出基于膜生物反应器为主体工艺的船舶生活污水处理技术，由于新的排放标准的提出，该技术无法满足 N、P 排放标准的要求。通过以往研究已获得了一定的经验，对于本项目提出的新型高效的超声强化内电解—A/O/A-SBR—混凝/反渗透膜过滤/紫外氧化集成处理系统的深入研究提供了基础。项目组在超声强化内电解及过硫酸盐氧化部分都已开展了前期初步研究工作，包括部分影响因素分析，都获得了一定的效果。

### 应用范围

船舶海洋工程。

## 7. 城市污泥（含新冠疫情地区）与固体废弃物协同处理与资源化

### 项目概述

目前全国每年的污泥排放量约 5000 万吨，而这些污泥处理处置的无害化和资源化利用率较低。数据显示，国内污水处理厂污泥处理处置真正达到无害化的

比例在 20-30%，这在很大程度上直接影响了整个污水处理产业的发展效率。“十二五”和十三五大期间进行了较大投资。但是，目前可以大宗量或者完全可以将污泥减量化、无害化和资源化的技术还没不成熟。2015 年发布的水污染防治行动计划（简称水十条），要求各级政府必须重视污泥无害化和资源化的问题。同时，今年新冠肺炎的大面积传染，需要对其的污泥进行无害化处理。

利用城市生活污水及工业污泥，与建筑垃圾、建筑残土等废弃物磨成的粉末其中的一种或多种复合，具有以下特点：污泥掺量大：污泥掺加量为总重量的 50%~85%；污需要能源少：干污泥的热值 $>3000\text{kJ/kg}$ ；进行成球及烧结，制备出密度等级为  $500\sim 1300\text{ kg/m}^3$  轻质、保温、隔音的轻质材料；防止微生物污染：高温下一切细菌都会烧死，防止微生物扩散；重金属离子固化：生成共熔物和氧化物，重金属离子固化效果好，其重金属离子固化率高达 90%以上，彻底解决恶臭，并将其资源化，符合国家的环保要求。

### 项目成熟情况

形成技术方案,已完成了哈尔滨三个污水处理厂、福建污水处理厂、辽宁本溪等多个污水处理厂污泥的陶粒烧结及性能评价试验,并形成污泥烧结陶粒的原材料配制、成球及烧结温度控制的全套技术,同时完成了小窑的中试试验。

### 应用范围

目前，国内各地主要是采用干化-焚烧法进行污泥处理，各地污泥处理的政府补贴费用不同，约从 200-770 元/吨不等。采用污泥添加工业和城市大宗固体废弃物进行轻质材料的烧结，可生产出无恶臭、无异味、无毒且可以作为隔热保温材料的骨料，同时该种方法的处理污泥的成本低，目前看来是最可行的污泥处理方法。因此，将污泥烧结成陶粒的产业化前景极其广阔，还我们绿水青山。特别是可以用于新冠肺炎疫情中的污水污泥的无害化和资源化处理，该轻质陶粒及其制品可以用在需要轻质、节能的工程，如建筑、路面和桥梁等工程中。

## 8. 高效船舶生活污水处理

### 项目概述

针对目前 IMO 提出的日益严格的船舶生活污水处理标准，研发出 A-O 膜生物法，联合电絮凝、过滤、紫外等物化方法的处理装置。具有出水水质好、体积小、

抗冲击负荷能力强、自动化程度高、尤其具备脱氮除磷效果好的突出优点。规划进一步与大型企业开展联合申报课题、开发应用产品等密切合作，促进该新技术的产业规模化应用，固定行业领先地位。

具体上，搭建出新型船舶生活污水处理装置总容积约  $1.8 \text{ m}^3$ ，有效容积  $1 \text{ m}^3$ ，设计处理量为  $2100 \text{ L/d}$ （相当于 30 人每天产生的黑水量）。与同类型装置相比，该装置具有体积小、抗冲击负荷能力强、自动化程度高等突出优点。在实际运行过程中，处理量达到  $5000 \text{ L/d}$ （相当于 70 人每天产生的黑水量）时，该装置仍然能够达标排放。

该新型装置对船舶生活污水中有机污染物具有高效处理效果。当考察该装置对 COD 的处理效果时，当进水 COD 浓度由通常的  $300 \text{ mg/L}$  增加到  $1000 \text{ mg/L}$  以上时，系统出水 COD 始终保持在  $100 \text{ mg/L}$  以下，完全满足 IMO 排放标准。

另一方面，该新型船舶生活污水处理装置具有良好的脱氮除磷效果，其主体——多级环流膜生物反应器的独特运行模式使之对总氮具有较好处理能力。装置中的除磷吸附柱对船舶生活污水中的磷具有良好去除效果，可以达到 IMO 新标准对总氮和总磷的处理要求（出水总氮小于  $20 \text{ mg/L}$  或去除率大于 70%，以及出水总磷小于  $1 \text{ mg/L}$  或去除率大于 80%）。

在国家自然科学基金支持下，我们利用先进分子生态学技术对装置内的功能微生物进行了机理研究。采用荧光原位杂交技术对装置内进行有机物去除的  $\beta$ -变形菌、进行脱氮的氨氧化菌进行了定量分析。分析结果表明，随着处理过程的延伸， $\beta$ -亚纲变形菌增长较快，逐渐形成 MBR 反应器中优势菌群，在 COD 去除率最大时  $\beta$ -亚纲变形菌丰度达到峰值。这与装置对进水 COD 的较好去除效果相对应。另一方面，微生物群落中氨氧化细菌丰度较高，平均约占总菌的 11.6%，占  $\beta$  亚纲变形菌的 72.6%，从机理上解释了装置的良好脱氮效果。

### **项目成熟情况**

技术成熟，已有产品应用。

### **应用范围**

海洋工程、船舶工程等领域。

## 9. 高效船舶压载水处理

### 项目概述

针对 IMO 提出的最新船舶压载水处理排放标准，开发出基于“高梯度磁过滤-紫外催化二氧化钛-臭氧后处理”的新型船舶压载水梯级处理系统，可通过各单元的有效偶联对船舶压载水中不同种类、大小微生物进行梯级去除，实现船舶压载水处理过程的高效、稳定、节能与集成。规划与国外高校、国内知名企业开展进一步国际产学研合作，共同申报国际合作项目，开发应用新产品。

项目组设计开发出船用新型 MVAUV 压载水处理系统，通过优化后确定了以“高梯度磁过滤-紫外灭菌-臭氧后处理”为压载水整体处理技术，通过影响因子定量化组合、人工神经网络及计算流体力学仿真模拟、降解酶活分析、催化剂制备、荧光原位杂交分子检测、膜组件显微观察等先进技术，进行了新型 MVAUV 压载水处理系统中微生物群落的分子诊断、协同去除机制与模拟仿真研究。通过相应的分子及智能调控结果进行理论支撑，实现了 MVAUV 对船舶压载水去除的高效性、稳定性、可靠性。

当紫外线灯管排布方式为横置式的反应器时，在流量为最大梯度 3000L/h，臭氧制取量为最小值 300mg/h 时，试验所得到的细菌总数 338cfu/100ml 就已经完全满足国际海事组织提出的 D-2 标准了。按照试验所绘制成的四条曲线全部位于代表着 D-2 标准的红线以下，这说明该装置的杀菌效果较好，完全满足 D-2 压载水处理标准。

对装置内的关键文丘里渐缩渐扩管进行了流场仿真分析（图 9），研究表明，文丘里管内突变的收缩-扩张截面比流线型过渡的截面具有更高的水流速度，因此能够实现更好的空化效果。在喉部直径相同的情况下，喉部长度愈小时流速越快，可实现更好的系统空化效果与混合过程。

### 项目成熟情况

小试成功，有待推广。

### 应用范围

海洋工程、船舶工程等领域。

## 10. 船舶废弃物处理

### 项目概述

新型膜生物反应器和一体化生物降解反应器相偶联的新型船舶废弃物处理系统。该系统一方面可进行船舶废弃物的高效梯级降解与无害化处理，另一方面在降解过程可产生生物柴油、氢气、甲烷等能源物质，实现船舶废弃物的资源化回收利用。规划进一步开展船舶多元废弃物的降解产能工艺与理论研究，尽快实现船舶多元废弃物资源化处理过程的产业化应用，开展国际合作，提高我校在该领域的国内、国际知名度与行业领先地位。

设计并搭建出体积为 3L 和 15L 的小试规模船舶废弃物处理装置，包括主体装置、进出水箱、耦合加热系统等结构单元，在利用船舶废弃物的同时能够高效同步产氢产甲烷。

采用响应曲面法考察了环境要素中容积负荷、pH 和碱度及其交互作用对船舶废弃物降解产能效能的影响（图 11）。采用响应曲面试验设计得出了有机负荷、pH 和碱度适宜取值范围，其数值分别为  $12 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ，6.0 和 400 mg/L。

用荧光原位杂交技术解析了装置启动过程中 *Clostridium* spp. 和总菌的空间分布和动态变化。*Clostridium* spp. 和总菌数量均随装置启动过程逐渐增加，*Clostridium* spp. 在总菌中所占比例亦逐渐增加，为装置后续的稳定高效降解产能提供了良好条件。

### 项目成熟概况

小试中试成果，有待推广。

### 应用范围

海洋工程、船舶工程等领域。

## 11. 有机废弃物梯级处理与协同产能技术

### 项目概述

基于秸秆、海藻废弃物、厨余垃圾等典型废弃物的生物降解特性，研发出具有自主知识产权的新型高效一体化降解与产能装置（IBR），目前拥有多套小试和 1 套中试设备。已进行 IBR 系统利用秸秆、浒苔等生物质的前期试验研究，结

果表明 IBR 系统能够较好实现秸秆、浒苔等生物质的降解产能过程。

进行了中试装置的工艺运行试验研究,表明其在废弃物处理产能过程中具有产气速度快,底物利用率高,容积负荷高的突出优点。在较短的启动期后,COD 去除率升至 93.4%,后期也稳定在 90%左右。中试装置 CSTR 区产气量最大达到了 1578 L/d。UASB 区产气量最大达到 1842 L/d,在国内外相关研究中处于先进地位。

### 项目成熟情况

小试中试成功,有待推广。

### 应用范围

海洋工程、船舶工程等领域。

## 12. 智能化船舶生活污水处理系统

### 项目概述

针对目前 IMO 提出的日益严格的船舶生活污水处理标准,研发出 A-0 膜生物法,联合电絮凝、过滤、紫外等物化方法的处理装置。具有出水水质好、体积小、抗冲击负荷能力强、自动化程度高、尤其具备脱氮除磷效果好的突出优点。规划进一步与大型企业开展联合申报课题、开发应用产品等密切合作,促进该新技术的产业规模化应用,固定行业领先地位。

具体上,搭建出新型船舶生活污水处理装置总容积约 1.8 m<sup>3</sup>,有效容积 1 m<sup>3</sup>,设计处理量为 2100 L/d(相当于 30 人每天产生的黑水量)。与同类型装置相比,该装置具有体积小、抗冲击负荷能力强、自动化程度高等突出优点。在实际运行过程中,处理量达到 5000L/d(相当于 70 人每天产生的黑水量)时,该装置仍然能够达标排放。

该新型装置对船舶生活污水中有机污染物具有高效处理效果。当考察该装置对 COD 的处理效果时,当进水 COD 浓度由通常的 300 mg/L 增加到 1000 mg/L 以上时,系统出水 COD 始终保持在 100 mg/L 以下,完全满足 IMO 排放标准。

另一方面,该新型船舶生活污水处理装置具有良好的脱氮除磷效果,其主体——多级环流膜生物反应器的独特运行模式使之对总氮具有较好处理能力。装置中的除磷吸附柱对船舶生活污水中的磷具有良好去除效果,可以达到 IMO 新标准

对总氮和总磷的处理要求（出水总氮小于 20 mg/L 或去除率大于 70%，以及出水总磷小于 1 mg/L 或去除率大于 80%）。

在国家自然科学基金支持下，我们利用先进分子生态学技术对装置内的功能微生物进行了机理研究。采用荧光原位杂交技术对装置内进行有机物去除的  $\beta$ -变形菌、进行脱氮的氨氧化菌进行了定量分析。分析结果表明，随着处理过程的延伸， $\beta$ -亚纲变形菌增长较快，逐渐形成 MBR 反应器中优势菌群，在 COD 去除率最大时  $\beta$ -亚纲变形菌丰度达到峰值。这与装置对进水 COD 的较好去除效果相对应。另一方面，微生物群落中氨氧化细菌丰度较高，平均约占总菌的 11.6%，占  $\beta$  亚纲变形菌的 72.6%，从机理上解释了装置的良好脱氮效果。

#### 项目成熟情况

技术成熟，已有产品应用。

#### 应用范围

海洋工程、船舶工程等领域。

## 13. 等离子空气净化器

#### 项目概述

目前对室内空气中污染的主要预防技术有通风换气、过滤、化学消毒、臭氧消毒、紫外线消毒等。然而，这些技术都有其缺点和不足，如维护成本高，对人体都具有一定的危害等。因此，低温等离子体技术是相对理想的杀菌消毒技术。目前国内的等离子体技术产业化进程仍处于起步阶段，还存在很多不足。因此，为使等离子体技术得以商业化，必须进一步改善其处理速度、能量利用效率、系统降压等技术环节。

#### 项目成熟情况

相关技术已开发成熟。

#### 应用范围

环境保护等领域。

## 14. 污水硫化物快速分析仪器

#### 项目概述

对污水中硫化物进行快速检测分析，分析时间 10 分钟，检测下限 0.5 毫克/升，分析不受污水色度的影响，不使用有毒化学试剂，不产生二次污染。本仪器可广泛用于石油、化工、制革、印染及矿山等行业或企业生产污水中硫化物的快速准确分析，对企业污染监控和安全生产有极大帮助，可产生良好的经济效益和社会效益。

#### 项目成熟情况

已有成型样机，可以生产推广。

#### 应用范围

污水中硫化物分析。

## 15. 有机放射性废液深度净化处理装置

#### 项目概述

本项目的背景为针对核材料生产、核动力装置运行、检修及退役去污等过程中产生的放射性有机废液及含有机物的放射性废水处理方面的技术需求，突破超临界水氧化法+二级反渗透+膜蒸馏处理有机废液及含有机物放射性废液的关键技术，开发出集高级氧化、反渗透与膜蒸馏于一体的组合处理工艺，实现放射性废物最小化的目标，技术成熟度等级为五级。本项目应用超临界水氧化技术氧化分解有机物，对超临界水氧化技术处理有机废液后产生的废水进一步采用超滤和反渗透技术进行处理，之后再采用膜蒸馏技术对反渗透浓缩液进行处理，最大限度地降低需要暂时贮存及固化处理的浓缩液体积，且实现处理装置的小型化与模块化。项目来源于总装备部预研管理中心，合作单位为中广核研究院。本项目的研究成果主要应用于核材料铀、钚的生产过程中产生的废 TBP 有机废液、核设施运行及检修等过程产生的废机油、含有机物的放射性废液处理等方面，也可用于其他放射性废液的处理。

技术指标为：

(1) 有机废液经超临界水氧化处理后，出水 COD 在 50mg/L 以下，或目标有机物去除率不低于 99.5%；

(2) 针对超临界水氧化处理后的废液，超滤+反渗透分离单元去污因子不低于  $10^3$ ，出水的放射性总活度在 10Bq/L 以下；

(3) 上述反渗透浓缩液经膜蒸馏处理后，体积减小因子不低于 3，且去污因子不低于  $10^3$ 。

### **项目成熟情况**

成果成熟度等级为 4 级。开发出了有机废液超临界水氧化处理样机、超滤+二级反渗透废水处理样机、膜蒸馏处理高盐废液样机。使用这些样机分别对 TBP/煤油、润滑油等模拟有机废液进行了超临界水氧化处理、超临界水氧化产水的反渗透处理、反渗透浓水的膜蒸馏处理等试验研究，结果经第三方检测达到相应的技术指标要求。

### **应用范围**

本项目的研究成果主要应用于核材料铀、钚的生产过程中产生的废 TBP 有机废液、核设施运行及检修等过程产生的废机油、含有机物的放射性废液处理等方面，也可分单元用于其他放射性废液的处理。