

2024 年度青岛市科技进步奖提名公示内容

一、项目名称

多源市政固废低碳高效能源化利用关键技术与应用

二、提名者：青岛西海岸新区工业和信息化局

提名意见：

青岛西海岸公用事业集团有限公司、上海康恒环境股份有限公司、青岛理工大学、清华大学山西清洁能源研究院、东方电气集团东方汽轮机有限公司、青岛西海岸康恒环保能源有限公司组成的项目组，在国家科技计划等资助下，从青岛市西海岸新区多源市政固废低碳处置利用出发，确定了静脉产业园中协同处置利用的主流路径，通过研发大型焚烧炉排、高参数余热利用系统、凝汽式高背压汽机技等高效焚烧及能源化关键技术，构建了高参数焚烧发电+余热供暖+沼气提纯制天然气的低碳协同高效能源化模式，研制高度适应多源固废宽燃料特性的大型炉排炉、高参数余热锅炉和高背压汽机等装备，形成的多源市政固废低碳高效能源化利用的成套技术体系在青岛西海岸新区静脉产业园首次实现工程化集成应用，项目成果在山东、河北、浙江、广东等多个省份超百余个固废处置项目上进行推广应用，取得了显著的经济、环境及社会效益。

经审核，确认该项目的提名材料的内容属实，申报单位与项目完成人员的排序无误；经在完成人所在单位和提名单位公示无异议。

该项目已征求了高翔（浙江工业大学、能源与环境）、白良成（中国城市环境卫生协会、固体废弃物处置）、李晓东（浙江大学、固废处置与污染物控制）、刘彦博（天津泰达环保有限公司、垃圾焚烧）、林泉（青岛市环境卫生科研所、环境科学与工程）等 5 名专家意见。

提名该项目为 2024 年度青岛市科学技术进步奖一等奖。

三、项目简介

在“碳达峰”“碳中和”的战略背景下，对多源市政固废处理及能源化利用的提质增效有了更多要求。提高能源利用效率是以垃圾焚烧为核心的固废处置实现双碳目标的有效途径，但是存在大型炉排结构复杂、余热锅炉换热面高温腐蚀等多项技术难题。本项目在国家科技计划等资助下，开发了可实现多源市政固废协同低碳处置的静脉产业园区模式，同时研发垃圾高效焚烧及能源化关键技术，形成了多源市政固废低碳高效能源化利用的成套技术体系。项目取得的主要创新成果有：

1. 从垃圾处理处置碳循环视角，基于生命周期评价方法系统分析了垃圾处置全流程的碳足迹，明确了垃圾分类的碳减排优势，并以市政固废中碳基质高效转化与利用为出发点，开发了多源市政固废高参数焚烧发电+余热供暖+沼气提纯制天然气的低碳协同高效能源化模式，解决了传统多源市政固废处置热能利用效率低、碳排放高等问题。

2. 针对大型炉排炉系统结构复杂、运行稳定性差的问题，研发耐温耐腐新型炉排片材质，设置热膨胀结构，创新炉膛结构优化和燃烧空气风管布置新方法，开发垃圾焚烧自动燃烧控制技术，构建了高度适应多源市政固废宽燃料特性的大型炉排焚烧炉技术体

系，突破了 750 吨级及以上的往复式顺推列动炉排装备，解决了大型炉排炉热膨胀量大及在复杂燃料组分条件下燃烧不均等技术难题。最大单炉规模达 1000t/d，炉渣热灼减率 $\leq 3\%$ ，三年内炉排片更换率 $< 2\%$ 。

3. 针对垃圾焚烧余热利用效率低的问题，确定分级防腐、强化换热的受热面设计方法，研发了 450°C、485°C 温度等级的高参数高温防腐余热锅炉技术，全厂发电效率最高可达 31.6%；研制小容积流量、高转速末级叶片，开发了凝汽式高背压汽机技术，形成了适应 8~55 kPa 宽背压调节的凝汽式高背压汽机设备，解决了高背压汽机冷端热损失大的技术难题，全厂热效率达 61.71%，实现了生活垃圾焚烧厂高效余热利用。

项目组承担了在青岛西海岸新区全区的市政固废收运及处置，2023 年全年西海岸新区累计收运处理多源市政固废 77.54 万吨，服务全区 261.4 万人。项目研发产业模式及技术成果首次在西海岸新区静脉产业园集成应用，有效破解了当地固废处置难题，且满足民生急需用电和供热需求。其中年外供电量 $3.1 \times 10^8 \text{kWh}$ ，供天然气 400 万方，供热量 78.4 万 GJ/采暖期。园区可实现年碳减排 11.19 万 $\text{tCO}_2\text{-eq}$ ，近两年产值共计 64993 万元。

项目技术成果已获授权发明专利 17 项；实用新型 13 项，论文 30 篇，专著 3 项，标准 5 项；项目研发的低碳协同资源化利用模式已推广应用在山东、河南、广西等多个省份的静脉产业园；项目研发的大型机械炉排等关键技术设备已推广应用在全国超 120 多座固废处置项目和山东、山西等多个省份的供热项目中，固废处理总规模超 17 万吨/日（超过全国总规模的 1/5），供热能力超 1240MW。项目带来的碳减排效益超 2600 万吨/年，服务人口近 2 亿；成果近两年累计销售额~15.96 亿元、利润~2.89 亿元，取得了显著的经济、环境和社会效益。

四、主要知识产权和标准规范等目录

知识产权（标准）类别	知识产权（标准）具体名称	国家（地区）	授权号（标准编号）	授权（标准发布）日期	证书编号（标准批准发布部门）	权利人（标准起草单位）	发明人（标准起草人）	发明专利（标准）有效状态
发明专利	一种垃圾焚烧炉炉排的热膨胀补偿装置及其安装方法	中国	ZL202011569804.5	2023.08.22	6259100	上海康恒环境股份有限公司	龙吉生；严梦帆；於志华；陈宇翔；傅崇振；曹阳；胡文涛；杨宏威；沈咏烈；黄丽萍	有效
发明专利	一种适用于生活垃圾焚烧电厂的焚烧炉炉墙的布置结构	中国	ZL201510075743.X	2017.04.19	2460435	上海康恒环境股份有限公司	龙吉生；朱晓平；王春风；黄洁；瞿兆舟；张艳平；卫劲风；倪鲲鹏；郑勇；董文芳	有效
发明专利	一种生活垃圾焚烧炉自动燃烧炉膛温度控制系统	中国	ZL201310176042.6	2016.01.20	1905170	上海康恒环境股份有限公司	龙吉生；朱晓平；周生光；石剑菁；瞿兆舟；王高尚；张会妍；王云翔；王涛；智瑞敏；裴雷	有效
发明专利	一种垃圾焚烧炉炉膛压力控制的方法	中国	ZL201510419880.0	2017.06.30	2536016	上海康恒环境股份有限公司	龙吉生；朱晓平；周生光；石剑菁；瞿兆舟；王高尚；张会妍；王云翔；王涛；智瑞敏；裴雷	有效
发明专利	一种垃圾焚烧锅炉受热面防腐布置结构和布置方法	中国	ZL202110608796.9	2023.03.17	5789371	上海康恒环境股份有限公司	龙吉生；刘亚成；杜海亮；曹阳；白力；高峰；许绍进；沈咏烈；李桐；王延涛	有效

发明专利	一种余热锅炉扰流装置	中国	ZL202011491709.8	2022.09.30	5488816	上海康恒环境股份有限公司	龙吉生；郝章峰；刘建；黄洁；曹阳；王延涛；白力；杜海亮；李桐；沈咏烈	有效
发明专利	一种余热回收锅炉一体化装置	中国	ZL202011491709.8	2024.06.25	7138902	清华大学山西清洁能源研究院	郑忠海；张雯；荣杏；刘海燕	有效
发明专利	一种汽轮机阀门运动及故障监控方法	中国	ZL 202111634558.1	2024.02.13	6710856	东方电气集团东方汽轮机有限公司	刘雄；方宇；张晓东；罗勇；文园园；袁超；钟刚云；周永	有效
发明专利	反应分区可调的两级缺氧/好氧生物膜污水处理系统	中国	ZL202010376383.8	2021.09.03	4658569	青岛理工大学	毕学军；周小琳；樊星；王晓东；陈珊珊	有效
发明专利	一种市政污水管网用污水净化处理装置	中国	ZL202110216399.7	2022.09.16	5457476	青岛西海岸市政工程有限公司	李寿辉；孙海兵；相里德福	有效

五、主要完成人情况

姓 名	龙吉生	排 名	1
技术职称	高级工程师	行政职务	董事长兼首席科学家
工作单位	上海康恒环境股份有限公司	完成单位	上海康恒环境股份有限公司
对本项目技术创造性贡献：			
<p>牵头项目研究技术路线的顶层设计，组织团队开发了项目关键技术与核心装备，对创新点 1~3 做出主要创造性贡献。提出了以大规模垃圾焚烧高效能源化为核心的静脉产业园模式的基本思想，组织开发了大型化炉排和高参数余热锅炉、凝汽式高背压供热汽机技术与装备。领导项目团队实现了基础研究、技术开发和推广应用，取得了显著的经济效益、社会效益和环境效益。</p>			

姓 名	李寿辉	排 名	2
技术职称	高级工程师	行政职务	董事长
工作单位	青岛西海岸公用事业集团有限公司	完成单位	青岛西海岸公用事业集团有限公司
对本项目技术创造性贡献：			
<p>对创新点 1~3 做出创造性贡献，牵头青岛西海岸新区的包括垃圾清运及处置在内的市政工作，主持完成西海岸静脉产业园的总体规划与项目建设、环境影响评价等，主持规划园区对西海岸新区内企业及居民的供电、供暖等能源及粗油脂、建筑骨料等资源能源的产出及利用。</p>			

姓 名	毕学军	排 名	3
技术职称	教授	行政职务	环境与市政工程学院院长
工作单位	青岛理工大学	完成单位	青岛理工大学
对本项目技术创造性贡献：			
<p>对创新点 1 做出创造性贡献，提出了西海岸新区静脉产业园各处置单元间物质、能量循环流动的具体模式，形成了可协同处置生活垃圾、餐厨垃圾等多源市政固废、具备物质、能量双循环的西海岸静脉产业园固废处置模式。</p>			

姓 名	刘雄	排 名	4
-----	----	-----	---

技术职称	高级工程师	行政职务	工业透平事业部副总经理
工作单位	东方电气集团东方汽轮机有限公司	完成单位	东方电气集团东方汽轮机有限公司
对本项目技术创造性贡献：			
对创新点 3 做出创造性贡献，主持完成汽轮机设备的研发与技术攻关，开发了适应于多源市政固废低碳高效利用所匹配的高性能凝汽式高背压汽轮机，牵头高背压汽机在西海岸静脉产业园的试验，并负责高背压供热汽机在全国范围内的推广应用。			

姓 名	郑忠海	排 名	5
技术职称	教授级高工	行政职务	碳中和研究所副所长
工作单位	清华大学山西清洁能源研究院	完成单位	清华大学山西清洁能源研究院
对本项目技术创造性贡献：			
对创新点 3 做出创造性贡献，对垃圾焚烧发电厂余热节能、节水、消白的减污降碳一体化技术方案展开研究，结合基于动态和空间分布的城市能源规划方法和市政基础设施条件，形成了一套余废热深度梯级利用的、热电协同的供热系统。			

姓 名	李世文	排 名	6
技术职称	高级工程师	行政职务	总经理助理
工作单位	青岛西海岸公用事业集团有限公司	完成单位	青岛西海岸公用事业集团有限公司
对本项目技术创造性贡献：			
对创新点 1、2 做出创造性贡献，组织了青岛西海岸新区内多源市政固废的收集、清运、及处置，牵头设计了西海岸新区内的垃圾清运路线及方案，同时牵头组织了垃圾智能分类收运系统在区域内的应用示范。			

姓 名	白力	排 名	7
技术职称	高级工程师	行政职务	研究院院长
工作单位	上海康恒环境股份有限公司	完成单位	上海康恒环境股份有限公司
对本项目技术创造性贡献：			

对创新点 2、3 做出重要贡献，牵头大规模垃圾焚烧机械炉排设备的研发与设计，创新设计了摆动式架桥破解装置和推料器机械同步运行装置；牵头高参数余热锅炉防腐涂层技术的开发与余热锅炉的结构优化，形成了高参数垃圾焚烧余热锅炉技术。

姓 名	卞荣星	排 名	8
技术职称	副教授	行政职务	无
工作单位	青岛理工大学	完成单位	青岛理工大学

对本项目技术创造性贡献：

对创新点 1 做出重要贡献，探究了垃圾处理处置模式以及多源市政固废协同焚烧处置对碳排放的影响，探索了高参数焚烧发电、余热供暖、沼气提纯等园区物质能量流优化措施的碳减排效益，主持完成了西海岸静脉产业园全园区的碳足迹分析。

姓 名	张永伟	排 名	9
技术职称	工程师	行政职务	总经理
工作单位	青岛西海岸康恒环保能源有限公司	完成单位	青岛西海岸康恒环保能源有限公司

对本项目技术创造性贡献：

对创新点 1~3 做出创造性贡献，负责西海岸静脉产业园的项目建设和运营，负责大规模垃圾焚烧机械炉排、高参数余热锅炉及凝汽式高背压汽机关键技术及设备在西海岸静脉产业园的试验、调试及应用。

姓 名	周小琳	排 名	10
技术职称	讲师	行政职务	无
工作单位	青岛理工大学	完成单位	青岛理工大学

对本项目技术创造性贡献：

对创新点 1 做出创造性贡献，负责西海岸新区静脉产业园全园区物质流、能量流、水流代谢的分析与测算，系统分析了静脉产业园物质能量循环的情况，评估了静脉产业园资源、能源的利用效率。

姓名	郝章峰	排名	11
技术职称	高级工程师	行政职务	无
工作单位	上海康恒环境股份有限公司	完成单位	上海康恒环境股份有限公司
对本项目技术创造性贡献：			
对创新点 3 做出创造性贡献，对焚烧厂多种烟气深度余热利用方案进行了多角度的测算和分析，确定了西海岸新区静脉产业园凝汽式高背压汽机乏汽供热的技术方案，主持了高背压汽机供热系统的工程改造。			

姓名	李振文	排名	12
技术职称	高级工程师	行政职务	投资发展部部长
工作单位	青岛西海岸公用事业集团有限公司	完成单位	青岛西海岸公用事业集团有限公司
对本项目技术创造性贡献：			
对创新点 3 做出创造性贡献，负责西海岸静脉产业园凝汽式高背压供热技术方案的应用效果评估，主持调度静脉产业园对西海岸新区内居民的能源供热，负责西海岸新区内供热站、热水管网、蒸汽管网的总体设计。			

姓名	刘栋	排名	13
技术职称	工程师	行政职务	总经理助理
工作单位	青岛西海岸康恒环保能源有限公司	完成单位	青岛西海岸康恒环保能源有限公司
对本项目技术创造性贡献：			
对创新点 1、2 做出创造性贡献，负责西海岸新区静脉产业园垃圾焚烧厂的运营，主持生活垃圾大规模焚烧炉排及自动燃烧控制系统在园区内垃圾焚烧厂的调试、运行与维护。			

姓名	彭金龙	排名	14
技术职称	工程师	行政职务	工业透平产品技术部主机组长
工作单位	东方电气集团东方汽轮机有限公司	完成单位	东方电气集团东方汽轮机有限公司
对本项目技术创造性贡献：			

对创新点 3 做出创造性贡献，针对高背压汽机供热过程中存在的末级叶片含湿量大的问题，对汽机末级叶片进行了气动及结构强度的针对性设计优化，形成了针对高背压供热场景的高转速末级叶片技术与装备。

姓名	张雯	排名	15
技术职称	工程师	行政职务	碳中和研究所供热项目负责人
工作单位	清华大学山西清洁能源研究院	完成单位	清华大学山西清洁能源研究院

对本项目技术创造性贡献：

对创新点 3 做出创造性贡献，针对垃圾焚烧电厂运行和排放特性，对适用于垃圾焚烧发电的乏汽余热回收利用技术方案进行了优化，同时对项目所在地及周边热负荷需求进行合理化预测，实现了供需两端的动态热平衡。

六、主要完成单位情况

单位名称	青岛西海岸公用事业集团有限公司	排名	1
------	-----------------	----	---

对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：

青岛西海岸公用事业集团有限公司对创新点 1~3 做出了重要贡献。公司承担着西海岸新区内供热、市政、智慧城市等市政基础设施的建设、运营、服务，负责西海岸新区内垃圾投放点及收运路线的规划和及时优化，牵头推进建设西海岸新区城市管理一网统管系统，包括垃圾智能分类收运系统及厂区智慧化管理系统等的总体功能设计、以及在西海岸新区内的推广和应用。此外，公司还负责大规模垃圾焚烧炉排、高参数余热锅炉、凝汽式高背压汽机在西海岸静脉产业园的工程化应用推广、实际应用效果的评估等工作。

单位名称	上海康恒环境股份有限公司	排名	2
------	--------------	----	---

对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：

上海康恒环境股份有限公司对创新点 1~3 做出了重要贡献，专注于固废治理等环保领域，在垃圾焚烧炉排和余热利用技术等方面开展了创新性技术研发和应用。主要创新成果包括：创新性提出了以大规模垃圾焚烧高效能源化为核心的静脉产业园模式的基本思想；自主开发了高适应性大型机械炉排焚烧技术，率先研制了国产千吨超大型垃圾焚烧炉；创新性开发了高参数余热锅炉技术及长周期安全运行策略，全厂发电效率可达 31% 以上；在垃圾焚烧领域开发了凝汽式高背压汽机供热技术，并首次将其应用在垃圾焚烧厂，实现了能源的高效利用。上海康恒环境股份有限公司将本项目成果推广至青岛、杭州、南京、沈阳、宁波、廊坊等全国总计百余个垃圾焚烧项目，取得了显著的环境效益、社会效益与经济效益。

单位名称	青岛理工大学	排 名	3
<p>对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：</p> <p>青岛理工大学对创新点 1 做出了重要贡献，研究了垃圾处置模式以及多源市政固废协同焚烧处置对碳排放的影响，提出了协同处置生活垃圾、餐厨垃圾等多源市政固废的方法。在此基础上，牵头规划西海岸新区静脉产业园各处置单元间物质、能量流动的循环模式，通过各处置单元间物质流、能量流及水平衡的设计与测算，实现园区内物质能量利用效率的最大化。同时，通过研究高参数焚烧发电、余热供暖、沼气提纯等园区物质能量流优化措施的碳减排效益，提出了“高参数焚烧发电+余热供暖+沼气提纯制天然气”的绿色低碳园区协同处置模式，并且主持完成了西海岸静脉产业园全园区的碳足迹分析。</p>			

单位名称	清华大学山西清洁能源研究院	排 名	4
<p>对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：</p> <p>清华大学山西清洁能源研究院对创新点 3 做出了重要贡献。研究院在碳中和研究领域具有深厚的基础，特别在清洁能源研究及技术开发领域具有领先地位与优势。研究院针对垃圾焚烧电厂运行和排放特性，优化适用于垃圾焚烧发电的乏汽/烟气余热回收利用技术方案，基于此提出了垃圾焚烧发电厂余热节能、节水、消白的减污降碳一体化技术方案，并且结合基于动态和空间分布的城市能源规划方法和市政基础设施条件，形成一套余热深度梯级利用的、热电协同的供热系统。同时，研究院还对项目所在地及周边热负荷需求进行合理化预测，系统地研究对外供热方案，实现供需两端的动态热平衡，并进一步对整体供热系统进行经济性比选，降低供热成本的同时提高发电的灵活性收益，为工程实践和商业运营提供技术经济可行支撑。</p>			

单位名称	东方电气集团东方汽轮机有限公司	排 名	5
<p>对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：</p> <p>东方汽轮机有限公司对创新点 3 做出了重要贡献，负责项目中汽轮机设备的研发与技术攻关，开发了适用于多源市政固废低碳高效利用所匹配的高性能汽轮机，完成了基于垃圾发电领域的先进的宽负荷高效通流设计技术应用以及针对高背压供热场景的高转速末级叶片及高性能排气模块优化设计等关键技术的研究。同时将本项目高背压汽轮机供热技术成功应用于我国黑龙江、吉林、山西、陕西、山东等省份累计超过 12 台（套），此外还有数十个工程项目正在规划设计中，经济及社会效益十分显著。</p>			

单位名称	青岛西海岸康恒环保能源有限公司	排 名	6
<p>对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：</p> <p>青岛西海岸康恒环保能源有限公司对创新点 1~3 做出了重要贡献。公司作为西海岸新区静脉产业园的建设、运营单位，推进大规模垃圾焚烧机械炉排、高参数余热锅炉及凝汽式高背压汽机关键技术及设备在西海岸静脉产业园的工程化应用。</p>			