

# 2024 年度自然资源科学技术奖（科技进步奖） 公示材料

## 一、成果名称

滨海城市海水淡化综合利用技术研究及应用

## 二、提名奖项和登记

自然资源科学技术奖（科技进步奖）

一等奖或二等奖

## 三、主要完成单位

山东省水利科学研究院，自然资源部天津海水淡化与综合利用研究所，哈尔滨工业大学，中国海洋大学，山东大学，中国水利水电科学研究院，南京水利科学研究院，山东海水淡化与综合利用产业研究院，青岛百发海水淡化有限公司，华能威海发电有限责任公司

## 四、主要完成人

李福林，王琳，梁恒，王志宁，陈华伟，任建波，贾燕南，白朗明，阮仕平，康权，徐克，刘利，谷东起，杨鑫，于信波

## 五、推荐单位及推荐意见

**推荐单位：**山东省海洋局

**推荐意见：**海水淡化综合利用是滨海城市缓解水资源供需矛盾、优化供水结构、强化开源补源的重要措施，对于保障沿海地区水安全、推动经济社会高质量发展具有重要意义。项目针对我国北方沿海城市水资源短缺、海水淡化成本较高、并网供水困难、激励政策不匹配等问题，结合科技部和水利部节水型社会创新试点建设，依托“水资源高效利用”国家重点研发计划“滨海城市海水淡化综合利用技术研究及应用”项目，围绕海水淡化“取-制-输-用-排”等重要环节，按照“技术装备研发-机制政策研究-集成应用示范”的总体研究思路，通过多学科、多专业的联合攻关，研发了海水淡化取水口优化布局与预处理技术、面向节能高效的海水淡化关键技术及组合装备、浓海水资源化利用与污染零排放技术、淡化海水纳入城市供水系统水质安全保障技术、基于海水淡化利用的城市多水源调配

技术与政策保障及海水淡化综合利用系统性集成技术与管理方案，形成了“取水-制水-输水-用水-排水”全链条的海水淡化综合利用与污染零排放整体技术方案、产品和装备，建成了华能威海电厂 3 万 m<sup>3</sup>/d 海水淡化集中供水工程、华能山东石岛湾核电厂 500m<sup>3</sup>/d 海水淡化生活小区集装箱式供水示范工程，支撑了威海市节水型创新城市试点建设；设计并指导完成了青岛市海润集团自来水与青岛百发 10 万 m<sup>3</sup>/d 淡化水掺混工程，保障了青岛市市区生活和工业用水，有效缓解了滨海城市缺水局面；提出了将淡化水纳入山东沿海城市群的多水源优化配置方案，形成了可复制、可操作、可推广的海水淡化综合利用模式，提升了我国沿海城市水资源可持续利用和精细化管理水平。

项目共获得授权专利 89 项（其中发明专利 67 项），制定了 17 项国家、地方和团体标准，发表论文 187 篇（其中 SCI 收录 97 篇），出版专著 3 部，登记软件著作权 10 项，系列技术和装备在青岛、威海、广州等多个城市得到推广应用，推进了海水淡化综合利用“产-学-研-用-管”协同创新，引领了海水淡化综合利用和多水源配置的发展方向，取得了显著的经济、社会和生态效益。

本单位推荐该项目申报自然资源科学技术奖（科技进步奖），推荐等级为一等奖或二等奖。

## 六、成果简介

### 1、主要技术内容

项目面向国家水安全保障战略需求，针对北方沿海城市缺水、海水淡化成本高、淡化海水用于城市供水存在水质安全风险、水量保障程度不高等问题，研发形成了淡化水纳入城市供水和区域水资源配置的水量-水质安全保障技术。

（1）研发形成面向城市供水系统的海水淡化预处理与核心处理关键技术，提出滨海电厂“UF+RO”和“UF+NF+MED”以及“UF+FO”节能高效淡化技术方案，建成威海电厂超滤和反渗透组合淡化工程。（2）研发形成以脱硼、再矿化处理、掺混工艺为核心的淡化水纳入城市供水系统水质安全保障技术，提出多套选择技术方案，实施了威海市和青岛市自来水-淡化水掺混工程。（3）研发形成以磷酸镁氨提取为核心的浓盐水梯级资源化利用技术，构建“取-制-输-用-排”整套技术方案，大大降低海水淡化成本。（4）研发形成基于“水-能-经济”协调关系（WEEN）的淡化水纳入城市供水的多水源优化配置技术，提出了威海试点城市及山东省沿海淡化水纳入城市及区域水资源配置的优化方案。

## 2、授权专利及其他成果情况

项目共获得授权专利 89 项（其中发明专利 67 项），制定 17 项国家、地方和团体标准；发表论文 187 篇（其中 SCI 收录 97 篇），出版专著 3 部；登记软件著作权 10 项。

## 3、技术经济指标

（1）研制的以超滤为核心的多级屏障预处理中试设备，产水率 91%以上，出水  $SDI_{15}$  小于 3，浊度小于 0.1 NTU，预处理成本 1.05 元/ $m^3$ ，更具技术经济优势。（2）研制的以分子筛为制备混合基质填充材料的高通量反渗透膜材料和膜组件，膜片脱盐率 99.5%、水通量  $46.8L/(m^2 \cdot h)$ ；8 英寸膜组件产水量  $43.1m^3/d$ 、脱盐率 $\geq 99.7\%$ 、水通量较同类产品提高 26.4%，国产化率 100%。（3）制备的石墨烯量子点/银掺杂薄层纳米复合膜（TFN）和氮化碳/银掺杂薄层纳米复合膜（TFN），膜片水通量  $67.0L/(m^2 \cdot h)$ ，较现有产品提升 4.79 倍；反向盐通量  $3gMH$ ，脱盐率 97.8%，其高渗透性、抗污性和低能耗指标居国际先进水平。（4）研制的以锆基复合金属有机骨架材料为吸附剂的集装箱式淡化水除硼设备，脱硼吸附剂再生后吸附容量 94%，硼浓度由 0.90-2.07mg/L 降为 0.5-0.7mg/L，处理后水质符合国家饮用水标准。（5）研制的可自动补料再矿化反应器，石灰石填料粒径 1-2mm、 $CO_2$  通入比 0.12、矿化反应器高径比 1.6，大大提高反渗透淡化水出水矿物质含量。（6）研制的淡化水电解次氯酸钠消毒发生器，与投加商品次氯酸钠溶液相比，三卤甲烷消毒副产物生成量减少 50%以上，有效保障水质安全。（7）研制的全生命周期  $30m^3/d$  海水淡化中试装置，为威海华能电厂设计施工 3 万  $m^3/d$  的海水淡化工程提供技术支持。

## 4、应用推广情况

系列技术、装备在青岛、威海、广州等多个城市推广应用，推进了海水淡化“产-学-研-用-管”协同创新，引领了水利行业非常规水利用和多水源配置的发展方向，取得了显著的经济、社会和生态环境效益。

## 六、客观评价

### 1、科技部关于项目综合绩效评价

中国 21 世纪议程管理中心组织验收认为，项目完成了任务书规定的任务，达到项目目标和考核指标，对“水资源高效开发利用”重点专项目标实现具有支撑作用，同意通过项目综合绩效评价。项目研发了多级屏障海水淡化预处理、磷

酸铵镁提取和制盐制碱相结合的浓海水资源化利用和近零液体排放、基于复合金属有机材料吸附法的淡化水除硼、石灰石颗粒反应法的淡化水再矿化、基于“水-能源-经济”协同的多水源调配利用等关键技术，研制了以分子为制备混合基质填充材料的高通量反渗透膜材料和膜组件；提出了“取-制-输-用-排”全链条海水淡化整体技术方案；建成了海水淡化集中供水、海水淡化临时供水、风光能源互补海水淡化生活供水等示范工程；在国家节水型社会创新试点威海市开展了整体技术方案与政策价格的集成示范。

## 2、科技查新报告

经查新检索，除了委托人论文专利外，目前国内外未见与本项目查新点相同的文献报道。

**附表：主要知识产权和标准规范等目录（不超过 10 件）**

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	一种滤料内设置清洗管的取水装置	中国	CN 1115765 51 B	2024.09.06	ZL 2020 1 045910 8.2	山东省水利科学研究院	李福林，王开然，陈华伟，徐丹丹，吴振，傅世东，仇钰婷，张欣，李冰	有效
发明专利	一种用于淡化海水脱硼的吸附剂及其制备方法与应用	中国	CN 1136342 34 B	2023.08.22	ZL 2021 1 086350 7.X	山东省水利科学研究院，山东师范大学	李福林，孙婷婷，陈华伟，辛宏杰，张其坤，束庆香，张晓旻	有效

发明专利	A system and method for utilizing seawater (一种海水资源化利用系统和方法)	澳大利亚	202010090437.4	2020.02.13	2020102247	山东省水利科学研究院	李福林, 陈华伟, 张其坤, 辛宏杰, 高泽, 樊雪玉, 束庆香, 赵亚楠	有效
发明专利	海水淡化水的可补料型矿化系统	中国	CN 113173667 B	2022.12.06	ZL 202110603843.0	中国海洋大学	王琳, 张程贻, 牟春霞	有效
发明专利	一种基于二硫化钼油相掺杂的纳米薄膜复合膜的制备方法及其应用	中国	CN 114210215 B		ZL 202111403223.9	哈尔滨工业大学	白朗明, 王紫, 丁爱明, 赵瑞, 梁恒, 李圭白	有效
发明专利	一种高通量含 a-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> /Ag <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 复合材料的正渗透膜及其制备方法	中国	CN 110935322 B	2021.11.01	ZL 201911200244.3	山东大学	王志宁, 王栋	有效
发明专利	全自动高浓度次氯酸钠发生系统	中国	CN 110295374 B	2021.08.10	ZL 201910484336.2	福建浩达智能科技有限公司, 中国水利水电科学研究院	贾燕南, 刘文崇, 李晓琴, 鄢晓梅, 张生荣, 郑振天, 宋卫坤, 谢薇	有效
国家标准	反渗透海水淡化产品水水质要求	中国	GB/T 43230-2023	2023.09.07	国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会	自然资源部天津海水淡化与综合利用研究所、青岛百发海水淡化有限公司、国家海洋标准计量中心、天津大学	阮国岭、葛云红、王晓楠、赵河立、徐克、吴水波、张乾、冯厚军、张晓东、李艳苹、赵剑超、王玉	有效

						红、吴秀丽、蔡诚、马丹丹、李树鑫		
标准	纳入城乡自来水管网的海水淡化配水水质标准	中国	T/CAQI 331-2023	2023.08.10	中国质量检验协会	山东省水利科学研究, 自然资源部天津海水淡化与综合利用研究所, 山东省城市供排水水质监测中心, 中国水利水电科学研究院, 湖南沁森高科新材料有限公司, 青岛海水淡化有限公司, 青岛百发海水淡化有限公司, 山东大学, 山东师范大学, 青岛市市政工程设计研究院有限责任公司, 北京碧水源科技股份有限公司, 青岛中质脱盐质量检测有限公司, 北京中质国研环境科技研究有限公司	李福林, 陈华伟, 任建波, 贾燕南, 赵河立, 辛宏杰, 赵清华, 张其坤, 王志宁, 王开然, 傅世东, 李弘强, 张所新, 张晓东, 刘利, 车淑娟, 李红岩, 苑萍, 陈学凯, 曹峰, 葛云红, 胥建美, 赵翠, 仇钰婷	有效

山东省地方标准	海水淡化水纳入城市供水系统水质安全保障技术标准	中国	DB37/T 5268-2023	2023.10.10	山东省住房和城乡建设厅山东省市场监督管理局	<p>青岛市市政工程设计研究院有限责任公司, 中国海洋大学, 青岛海水淡化有限公司, 青岛市海润自来水集团有限公司, 青岛市水务事业发展服务中心, 青岛百发海水淡化有限公司, 青岛水务碧水源海水淡化有限公司</p>	<p>王琳, 刘利, 赵焕军, 孟涛, 姚智文, 张先贵, 张所新, 于崇涛, 王晓芳, 黄绪达, 王琳, 刘洁, 于小强, 宋永健, 姜丽娜, 牟春霞, 潘慧慧, 吴婧, 牟晓伟, 杨鑫, 李珂, 祝敏, 周正帅, 杨飞, 张晓东, 刘骁智, 冯历, 相洪旭, 房宝智, 蔺世平</p>	有效
---------	-------------------------	----	------------------	------------	-----------------------	---	--	----