

天津市资源与环境（绿色低碳） 科技创新蓝皮书（2024）

天津市科学技术局

天津市科学技术发展战略研究院

二〇二五年三月

编辑委员会

编委会主任：梅志红 王华峰

编辑指导：王光强 党馨 樊少杰

主 编：王华峰

责任编辑：高峰 董晓珊 万鹏 张玉娇

目 录

一、科技创新篇	3
1 科技创新平台	3
2 科技计划项目	14
3 科技奖励	16
4 技术交易	29
二、技术成果篇	30
A、绿色低碳技术	31
技术 1：满足国六汽车排放后处理关键技术研发及应用	31
技术 2：基于融合引擎的智慧充电管理关键技术及应用	43
技术 3：环形炉纯氧燃烧及其控制技术	47
技术 4：稀土红外蓄热温升纤维及面料制备技术	53
技术 5：全钒液流电池储能模块	58
技术 6：污水源-地热耦合煤炭清洁利用锅炉供热节能降碳关键技术	63
技术 7：垃圾电厂余热高效绿色回收技术	71
技术 8：蔬菜秸秆低碳高效资源化利用技术及装备	81
技术 9：高适应性可再生能源水电解制氢关键技术研发	86
技术 10：远风电动重卡的开发和应用	95
技术 11：“柔、稳”格栅织物制备与其工程加固系统界面性设计关键技术	100
技术 12：基于发动机系统安全的生物质制备可持续航空燃料工艺优化技术	115
技术 13：节能环保型聚丙烯绝缘电缆	120
技术 14：太阳能预制集成换热一体化机组	126
技术 15：低温等离子体无药化低碳种植技术	136
B、生态环境保护技术	142
技术 16：城市排水系统优化设计与实时控制关键技术研究	142
技术 17：MABR 地表水体净化技术	148
技术 18：水产养殖水体污染绿色防控技术	152

C、现代海洋技术	157
技术 19：疏浚工程泥沙扩散实时监测方法	157
技术 20：新型海水电解制氢技术	173
D、资源回收与废弃物资再利用技术	179
技术 21：市政污泥分质分离资源化利用关键技术	179
技术 22：退役动力电池免放电物理拆解技术	186

一、科技创新篇

1 科技创新平台

全市资源与环境（绿色低碳）领域国家级、部委级、市级科技创新平台共 286 个。其中，全国重点实验室、国家技术创新中心、国家产业技术工程化中心等国家级创新平台 46 个（表 1-1-1）；国家发展改革委企业技术中心、部委级重点实验室等部委级创新平台 77 个（表 1-1-2）；海河实验室、天津市重点实验室、天津市技术创新中心等市级创新平台 163 个（表 1-1-3）。

表 1-1-1 天津市资源与环境（绿色低碳）领域国家级科技创新平台（46 个）

序号	平台类别	平台名称	依托单位
1	全国重点实验室	先进内燃动力全国重点实验室	天津大学
2	全国重点实验室	特种化学电源全国重点实验室	贵州梅岭电源有限公司、南开大学、重庆大学
3	全国重点实验室	光伏材料与电池全国重点实验室	英利集团有限公司、南开大学、新特能源股份有限公司
4	全国重点实验室	水利工程智能建设与运维全国重点实验室	天津大学
5	全国重点实验室	整车先进设计制造技术全国重点实验室	湖南大学、中国汽车技术研究中心有限公司、上海汽车集团
6	全国重点实验室	蔬菜生物育种全国重点实验室	中国农业科学院蔬菜花卉研究所、天津市农业科学院、北京市农林科学院
7	全国重点实验室	化学与物理电源技术全国重点实验室	中国电子科技集团公司第十八研究所
8	全国重点实验室	车用动力系统全国重点实验室	中国北方发动机研究所、天津大学
9	全国重点实验室	智能配用电装备与系统全国重点实验室	河北工业大学、天津大学、国网冀北电力有限公司
10	全国重点实验室	化学工程与低碳技术全国重点实验室	清华大学、天津大学、华东理工大学、浙江大学
11	全国重点实验室	生物基纤维材料全国重点实验室	中国通用技术集团中国纺织科学研究院有限公司，浙江理工大学、天津科技大学
12	全国重点实验室	合成生物技术全国重点实验室	天津大学合成生物前沿研究院、天津大学
13	全国重点实验室	低碳合成工程生物学全国重点实验室	中国科学院天津工业生物技术研究所
14	全国重点实验室	元素有机化学全国重点实验室	南开大学
15	全国重点实验室	先进分离膜材料全国重点实验室	天津工业大学、天津膜天膜科技股份有限公司、浙江工业大学
16	全国重点实验室	贵金属功能材料全国重点实验室	云南省贵金属新材料控股集团股份有限公司、天津大学
17	国家技术创新中心	国家合成生物技术创新中心	中国科学院天津工业生物技术研究所
18	国家产业技术工程化中心	农药国家工程研究中心	南开大学
19	国家产业技术工程化中心	新型电源国家工程研究中心	中国电子科技集团公司第十八研究所

序号	平台类别	平台名称	依托单位
20	国家产业技术工程 化中心	电气传动国家工程研究中心	天津电气科学研究院有限公司
21	国家产业技术工程 化中心	精馏技术国家工程研究中心	天津大学
22	国家产业技术工程 化中心	工业酶国家工程研究中心	中科院天津工业生物技术研究所
23	国家产业技术工程 化中心	石化工业水处理国家工程实验室	中海油天津化工研究设计院有限公司
24	国家产业技术工程 化中心	生物饲料开发国家工程研究中心	天津博菲德科技有限公司
25	国家产业技术工程 化中心	水泥节能环保国家工程研究中心	天津中材工程研究中心有限公司
26	国家产业技术工程 化中心	港口水工建筑技术国家工程研究中 心	交通运输部天津水运工程科学研究院
27	国家产业技术工程 化中心	移动源污染排放控制技术国家工程 实验室	中国汽车技术研究中心有限公司
28	国家产业技术工程 化中心	城市轨道交通数字化建设与测评技 术国家工程研究中心	中国铁路设计集团有限公司
29	国家产业技术工程 化中心	机动车排放后处理技术国家地方联 合工程研究中心（天津）	中国汽车技术研究中心有限公司
30	国家产业技术工程 化中心	蓖麻生物质利用工程研究中心国家 地方联合工程研究中心（天津）	天津南大蓖麻工程科技有限公司
31	国家产业技术工程 化中心	氨基酸高效绿色制造国家地方联合 共建工程实验室（天津）	天津科技大学
32	国家产业技术工程 化中心	海水淡化技术国家地方联合工程实 验室（天津）	自然资源部天津海水淡化与综合利用 研究所
33	国家产业技术工程 化中心	绿色制药国家地方联合工程实验室	凯莱英医药集团（天津）股份有限公司
34	国家产业技术工程 化中心	汽车振动与噪声控制技术国家地方 联合工程实验室(天津)	中国汽车技术研究中心有限公司
35	国家产业技术工程 化中心	汽车模具智能制造技术国家地方联 合工程实验室	天津职业技术师范大学
36	国家产业技术工程 化中心	微网与智能配电系统国家地方联合 工程研究中心（天津）	天津大学
37	国家产业技术工程 化中心	固体废弃物建材资源化利用技术国 家地方联合工程研究中心（天津）	天津城建大学
38	国家产业技术工程 化中心	轨道交通智能供电系统安全与控制 国家地方联合工程研究中心(天津)	天津凯发电气股份有限公司
39	国家产业技术工程 化中心	智能车路协同技术国家地方联合工 程研究中心（天津）	天津职业技术师范大学
40	国家产业技术工程 化中心	超性能表面制造国家地方联合工程 研究中心	清华大学天津高端装备研究院
41	国家产业技术工程 化中心	生物质资源化利用国家地方联合工 程研究中心	南开大学
42	国家产业技术工程 化中心	高效能电机系统智能设计与制造国 家地方联合工程研究中心	天津工业大学
43	国防科技工业创新 中心	国防科技工业核材料技术创新中心 核理化院分中心	核工业理化工程研究院
44	国家科技资源共享 服务平台	国家海洋科学数据中心	国家海洋信息中心

序号	平台类别	平台名称	依托单位
45	国家大学科技园	天津大学国家大学科技园	天津大学
46	国家野外科学观测 研究站	天津环渤海滨海地球关键带国家野 外科学观测研究站	天津大学

表 1-1-2 天津市资源与环境（绿色低碳）领域部委级创新平台（77 个）

序号	平台类别	平台名称	依托单位
1	国家发展改革委企 业技术中心	TCL 中环新能源科技股份有限公司	TCL 中环新能源科技股份有限公司
2	国家发展改革委企 业技术中心	海洋石油工程股份有限公司	海洋石油工程股份有限公司
3	国家发展改革委企 业技术中心	科迈化工股份有限公司	科迈化工股份有限公司
4	国家发展改革委企 业技术中心	天津巴莫科技有限责任公司	天津巴莫科技有限责任公司
5	国家发展改革委企 业技术中心	天津渤海化工集团有限责任公司	天津渤海化工集团有限责任公司
6	国家发展改革委企 业技术中心	天津大桥焊材集团有限公司	天津大桥焊材集团有限公司
7	国家发展改革委企 业技术中心	天津灯塔涂料有限公司	天津灯塔涂料有限公司
8	国家发展改革委企 业技术中心	天津电气科学研究院有限公司	天津电气科学研究院有限公司
9	国家发展改革委企 业技术中心	天津钢管制造有限公司	天津钢管制造有限公司
10	国家发展改革委企 业技术中心	天津钢铁集团有限公司	天津钢铁集团有限公司
11	国家发展改革委企 业技术中心	天津港（集团）有限公司	天津港（集团）有限公司
12	国家发展改革委企 业技术中心	天津港航工程有限公司	天津港航工程有限公司
13	国家发展改革委企 业技术中心	天津国安盟固利新材料科技股份有 限公司	天津国安盟固利新材料科技股份有限 公司
14	国家发展改革委企 业技术中心	天津久日新材料股份有限公司	天津久日新材料股份有限公司
15	国家发展改革委企 业技术中心	天津凯发电气股份有限公司	天津凯发电气股份有限公司
16	国家发展改革委企 业技术中心	天津力神电池股份有限公司	天津力神电池股份有限公司
17	国家发展改革委企 业技术中心	天津立林机械集团有限公司	天津立林机械集团有限公司
18	国家发展改革委企 业技术中心	天津立中车轮有限公司	天津立中车轮有限公司
19	国家发展改革委企 业技术中心	天津膜天膜科技股份有限公司	天津膜天膜科技股份有限公司
20	国家发展改革委企 业技术中心	天津汽车模具股份有限公司	天津汽车模具股份有限公司
21	国家发展改革委企 业技术中心	天津市捷威动力工业有限公司	天津市捷威动力工业有限公司
22	国家发展改革委企	天津市金桥焊材集团股份有限公司	天津市金桥焊材集团股份有限公司

序号	平台类别	平台名称	依托单位
	业技术中心		
23	国家发展改革委企业技术中心	天津市松正电动汽车技术股份有限公司	天津市松正电动汽车技术股份有限公司
24	国家发展改革委企业技术中心	天津市天发重型水电设备制造有限公司	天津市天发重型水电设备制造有限公司
25	国家发展改革委企业技术中心	天津市新天钢中兴盛达有限公司	天津市新天钢中兴盛达有限公司
26	国家发展改革委企业技术中心	天津市政工程设计研究总院有限公司	天津市政工程设计研究总院有限公司
27	国家发展改革委企业技术中心	天津水泥工业设计研究院有限公司	天津水泥工业设计研究院有限公司
28	国家发展改革委企业技术中心	中材节能股份有限公司	中材节能股份有限公司
29	国家发展改革委企业技术中心	中国汽车工业工程有限公司	中国汽车工业工程有限公司
30	国家发展改革委企业技术中心	中国汽车技术研究中心有限公司	中国汽车技术研究中心有限公司
31	国家发展改革委企业技术中心	中国石油集团渤海石油装备制造有限公司	中国石油集团渤海石油装备制造有限公司
32	国家发展改革委企业技术中心	中国石油集团渤海钻探工程有限公司	中国石油集团渤海钻探工程有限公司
33	国家发展改革委企业技术中心	中国天辰工程有限公司	中国天辰工程有限公司
34	国家发展改革委企业技术中心	中国铁建大桥工程局集团有限公司	中国铁建大桥工程局集团有限公司
35	国家发展改革委企业技术中心	中国铁路设计集团有限公司	中国铁路设计集团有限公司
36	国家发展改革委企业技术中心	中海油天津化工研究设计院有限公司	中海油天津化工研究设计院有限公司
37	国家发展改革委企业技术中心	中海油田服务股份有限公司	中海油田服务股份有限公司
38	国家发展改革委企业技术中心	中交第一航务工程局有限公司	中交第一航务工程局有限公司
39	国家发展改革委企业技术中心	中交天津航道局有限公司	中交天津航道局有限公司
40	国家发展改革委企业技术中心	中水北方勘测设计研究有限责任公司	中水北方勘测设计研究有限责任公司
41	国家发展改革委企业技术中心	中铁第六勘察设计院集团有限公司	中铁第六勘察设计院集团有限公司
42	国家发展改革委企业技术中心	中铁十八局集团有限公司	中铁十八局集团有限公司
43	国家发展改革委企业技术中心	中冶天工集团有限公司	中冶天工集团有限公司
44	国家发展改革委企业技术中心	丹佛斯（天津）有限公司	丹佛斯（天津）有限公司
45	教育部重点实验室	海洋资源化学与食品技术教育部重点实验室	天津科技大学
46	教育部重点实验室	工业发酵微生物学部共建教育部重点实验室	天津科技大学
47	教育部工程研究中	吹填造陆与滨海软土工程技术教育	天津城建大学

序号	平台类别	平台名称	依托单位
	心	部工程研究中心	
48	教育部重点实验室	功能高分子材料教育部重点实验室	南开大学
49	教育部重点实验室	环境污染过程与基准教育部重点实验室	南开大学
50	教育部重点实验室	先进能源材料化学教育部重点实验室	南开大学
51	教育部工程研究中心	薄膜光电子技术教育部工程研究中心	南开大学
52	教育部工程研究中心	高效储能教育部工程研究中心	南开大学
53	教育部重点实验室	绿色合成与转化教育部重点实验室	天津大学
54	教育部重点实验室	先进陶瓷与加工技术教育部重点实验室	天津大学
55	教育部重点实验室	智能电网教育部重点实验室	天津大学
56	教育部重点实验室	滨海土木工程结构与安全教育部重点实验室	天津大学
57	教育部工程研究中心	材料复合与功能化教育部工程研究中心	天津大学
58	教育部工程研究中心	轻型动力教育部工程研究中心	天津大学
59	教育部工程研究中心	绿色精制过程教育部工程研究中心	天津大学
60	教育部工程研究中心	水利工程仿真与安全监测教育部工程研究中心	天津大学
61	生态环境部重点实验室	生态环境部恶臭污染控制重点实验室	天津市生态环境科学研究院
62	生态环境部工程技术中心	国家环境保护危险废物处置工程(天津)中心	国环危险废物处置工程技术(天津)有限公司
63	生态环境部重点实验室	生态环境部城市空气颗粒物污染防治重点实验室	南开大学
64	农业农村部重点实验室	农业农村部产地环境污染防治重点实验室	农业农村部环境保护科研监测所
65	农业农村部重点实验室	农业农村部农村厕所与污水治理技术重点实验室	农业农村部环境保护科研监测所
66	自然资源部重点实验室	自然资源部海洋环境信息保障技术重点实验室	国家海洋信息中心
67	自然资源部工程技术创新中心	自然资源部陆海统筹关键带国土空间规划与治理工程技术创新中心	天津大学
68	自然资源部工程技术创新中心	自然资源部海洋信息技术创新中心	国家海洋信息中心
69	自然资源部野外科学观测研究站	自然资源部天津中低温地热野外科学观测研究站	天津地热勘查开发设计院
70	自然资源部野外科学观测研究站	自然资源部环渤海海平面变化与海岸侵蚀野外科学观测研究站	国家海洋信息中心
71	国家市场监督管理总局技术创新中心	国家市场监督管理总局技术创新中心(石油石化产品质量安全)	天津市产品质量监督检测技术研究院
72	科技部国际科技合作基地	分布式能源与微电网国际科技合作基地	天津大学
73	科技部国际科技合	结晶科学与工程国际联合研究中心	天津大学国家工业结晶工程技术研究

序号	平台类别	平台名称	依托单位
	作基地		中心
74	科技部国际科技合作基地	新型光伏发电技术国际科技合作基地	南开大学
75	科技部国际科技合作基地	分离膜科学与技术国际联合研究中心	天津工业大学
76	科技部国际科技合作基地	城市交通污染防治国际科技合作基地	南开大学
77	科技部国际科技合作基地	合成生物技术国际科技合作基地	天津大学

表 1-1-3 天津市资源与环境（绿色低碳）领域市级创新平台（163 个）

序号	平台类别	平台名称	依托单位
1	海河实验室	物质绿色创造与制造海河实验室	南开大学、天津大学
2	天津市重点实验室	天津市锂电池负极材料重点实验室	天津市贝特瑞新能源科技有限公司
3	天津市重点实验室	天津市桥梁工程重点实验室	天津城建设计院有限公司
4	天津市重点实验室	天津市砷化镓光伏技术重点实验室	天津蓝天太阳科技有限公司
5	天津市重点实验室	天津市钨钼及复合材料重点实验室	安泰天龙钨钼科技有限公司
6	天津市重点实验室	天津市景观生态修复重点实验室	天津绿茵景观生态建设股份有限公司
7	天津市重点实验室	天津市轨道交通供电系统安全与控制技术重点实验室	天津凯发电气股份有限公司
8	天津市重点实验室	天津市水运工程测绘技术重点实验室	天津水运工程勘察设计院有限公司
9	天津市重点实验室	天津市工业烟气超低排放技术重点实验室	航天环境工程有限公司
10	天津市重点实验室	天津市耐高温工业酶重点实验室	天津强微特生物科技有限公司
11	天津市重点实验室	天津市海底管道重点实验室	中海油（天津）管道工程技术有限公司
12	天津市重点实验室	天津市干式变压器重点实验室	天津市特变电工变压器有限公司
13	天津市重点实验室	天津市地基与基础工程重点实验室	中国水电基础局有限公司
14	天津市重点实验室	天津市铝合金结构材料重点实验室	天津立中合金集团有限公司
15	天津市重点实验室	天津市绿色海水水处理药剂重点实验室	天津市中海水处理科技有限公司
16	天津市重点实验室	天津市锂离子动力电池重点实验室	天津市捷威动力工业有限公司
17	天津市重点实验室	天津市基础设施耐久性重点实验室	天津市政工程设计研究总院有限公司
18	天津市重点实验室	天津市药物绿色合成技术重点实验室	凯莱英医药集团（天津）股份有限公司
19	天津市重点实验室	天津市疏浚工程技术重点实验室	中交天津航道局有限公司
20	天津市重点实验室	天津市固态电池关键材料与技术重点实验室	天津国安盟固利新材料科技股份有限公司
21	天津市重点实验室	天津市先进锂离子电池材料重点实验室	天津巴莫科技有限责任公司
22	天津市重点实验室	天津市三次采油与油田化学重点实验室	大港油田集团有限责任公司
23	天津市重点实验室	天津市水下隧道建设与运维技术重点实验室	中交第一航务工程局有限公司
24	天津市重点实验室	天津市环境监测技术重点实验室	天津同阳科技发展有限公司
25	天津市重点实验室	天津市水污染控制与生态修复技术重点实验室	天津市联合环保工程设计有限公司

序号	平台类别	平台名称	依托单位
26	天津市重点实验室	天津市光伏逆变器及调速装置重点实验室	天津电气科学研究院有限公司
27	天津市重点实验室	天津市聚苯乙烯类树脂改性重点实验室	天津大沽化工股份有限公司
28	天津市重点实验室	天津市节能玻璃重点实验室	天津耀皮工程玻璃有限公司
29	天津市重点实验室	天津市工业微生物重点实验室	天津市工业微生物研究所有限公司
30	天津市重点实验室	天津市航空航天特种涂料重点实验室	天津灯塔涂料有限公司
31	天津市重点实验室	天津市膜技术与水资源化工程重点实验室	天津膜天膜科技股份有限公司
32	天津市重点实验室	天津市建筑玻璃结构功能优化技术重点实验室	天津北玻玻璃工业技术有限公司
33	天津市重点实验室	天津市绿色橡胶助剂重点实验室	科迈化工股份有限公司
34	天津市重点实验室	天津市海洋工程先进焊接制造与评价重点实验室	海洋石油工程股份有限公司
35	天津市重点实验室	天津市复杂条件钻井液重点实验室	中国石油集团渤海钻探工程有限公司
36	天津市重点实验室	天津市聚甲醛工程塑料改性重点实验室	天津渤化永利化工股份有限公司
37	天津市重点实验室	天津市电力物联网重点实验室	国网天津市电力公司
38	天津市重点实验室	天津市盐化工重点实验室	中盐工程技术研究院有限公司
39	天津市重点实验室	天津市管道加工与焊接技术重点实验室	中国能源建设集团天津电力建设有限公司
40	天津市重点实验室	天津市分子筛催化材料重点实验室	天津众智科技有限公司
41	天津市重点实验室	天津市先进液体燃料绿色合成重点实验室	天津大学滨海工业研究院有限公司
42	天津市重点实验室	天津市制冷空调压缩机技术重点实验室	丹佛斯（天津）有限公司
43	天津市重点实验室	天津市路桥工程材料重点实验室	中国电建市政建设集团有限公司
44	天津市重点实验室	天津市水性汽车涂料重点实验室	天津科瑞达涂料化工有限公司
45	天津市重点实验室	天津市车用功能塑料重点实验室	天津金发新材料有限公司
46	天津市重点实验室	天津市绿色反应工程重点实验室	中国天辰工程有限公司
47	天津市重点实验室	天津市油井管工程重点实验室	天津钢管制造有限公司
48	天津市重点实验室	天津市汽车轻量化注塑模具重点实验室	天津银宝山新科技有限公司
49	天津市重点实验室	天津市节水灌溉装备重点实验室	大禹节水（天津）有限公司
50	天津市重点实验室	天津市海洋石油开发污染防治技术重点实验室	中海石油环保服务（天津）有限公司
51	天津市重点实验室	天津市汽车在线电子控制技术重点实验室	天津市优耐特汽车电控技术服务有限公司
52	天津市重点实验室	天津市工业节水与废水资源化重点实验室	中海油天津化工研究设计院有限公司
53	天津市重点实验室	天津市汽车振动噪声与声学工程重点实验室	中国汽车技术研究中心有限公司
54	天津市重点实验室	天津市海洋石油环境和储层低伤害钻井液重点实验室	中海油田服务股份有限公司
55	天津市重点实验室	天津市土木工程绿色建筑与节能技术重点实验室	中国建筑第六工程局有限公司
56	天津市重点实验室	天津市智能网联汽车系统集成与仿	中汽数据（天津）有限公司

序号	平台类别	平台名称	依托单位
		真测评技术重点实验室	
57	天津市重点实验室	天津市电动汽车评价技术重点实验室	中国汽车技术研究中心有限公司
58	天津市重点实验室	天津市汽车电子与硬件在环测试重点实验室	中国汽车技术研究中心有限公司
59	天津市重点实验室	天津市港口岩土工程技术重点实验室	中交天津港湾工程研究院有限公司
60	天津市重点实验室	天津市高性能锂电池电解液重点实验室	天津金牛电源材料有限责任公司
61	天津市重点实验室	天津市中微量元素肥研制与应用重点实验室	天津水泥工业设计研究院有限公司
62	天津市重点实验室	天津市糊树脂重点实验室	天津渤天化工有限责任公司
63	天津市重点实验室	天津市汽车同步器重点实验室	天津天海同步科技有限公司
64	天津市重点实验室	天津市水力发电设备重点实验室	天津市天发重型水电设备制造有限公司
65	天津市重点实验室	天津市能源大数据仿真重点实验室	国网天津市电力公司
66	天津市重点实验室	天津市智慧城市规划重点实验室	天津市城市规划设计研究总院有限公司
67	天津市重点实验室	天津市钢结构绿色智能制造重点实验室	中建钢构天津有限公司
68	天津市重点实验室	天津市真空开关技术重点实验室	天津平高智能电气有限公司
69	天津市重点实验室	天津市海洋石油难动用储量开采重点实验室	中海油田服务股份有限公司
70	天津市重点实验室	天津市氢燃料电池关键材料重点实验室	中汽研(天津)汽车工程研究院有限公司
71	天津市重点实验室	天津市超导电缆应用重点实验室	富通集团(天津)超导技术应用有限公司
72	天津市重点实验室	天津市车用聚丙烯塑料改性重点实验室	天津美亚化工有限公司
73	天津市重点实验室	天津市中药植物资源高价值开发及其废弃物智能高效利用重点实验室	天津泰达绿化科技集团股份有限公司
74	天津市重点实验室	天津市生物饲料添加剂重点实验室	鼎正新兴生物技术(天津)有限公司
75	天津市重点实验室	天津市原料药绿色制备重点实验室	天津法莫西医药科技有限公司
76	天津市重点实验室	天津市金属与分子基材料化学重点实验室	南开大学
77	天津市重点实验室	天津市城市生态环境修复与污染防治重点实验室	南开大学
78	天津市重点实验室	天津市光电子薄膜器件与技术重点实验室	南开大学
79	天津市重点实验室	天津市港口与海洋工程重点实验室	天津大学
80	天津市重点实验室	天津市应用催化科学与工程重点实验室	天津大学
81	天津市重点实验室	天津市建筑物理环境与生态技术重点实验室	天津大学
82	天津市重点实验室	天津市电力系统仿真控制重点实验室	天津大学
83	天津市重点实验室	天津市先进纺织复合材料重点实验室	天津工业大学
84	天津市重点实验室	天津市改性与功能纤维重点实验室	天津工业大学

序号	平台类别	平台名称	依托单位
85	天津市重点实验室	天津市中空纤维膜材料与膜过程重点实验室	天津工业大学
86	天津市重点实验室	天津市工业微生物重点实验室	天津科技大学
87	天津市重点实验室	天津市制浆造纸重点实验室	天津科技大学
88	天津市重点实验室	天津市水产生态及养殖重点实验室	天津农学院
89	天津市重点实验室	天津市农业环境与农产品安全重点实验室	农业部环境保护科研监测所
90	天津市重点实验室	天津市能源材料化学重点实验室	南开大学
91	天津市重点实验室	天津市土木工程结构及新材料重点实验室	天津大学
92	天津市重点实验室	天津市材料复合与功能化重点实验室	天津大学
93	天津市重点实验室	天津市膜科学与海水淡化技术重点实验室	天津大学
94	天津市重点实验室	天津市现代机电装备技术重点实验室	天津工业大学
95	天津市重点实验室	天津市海洋资源与化学重点实验室	天津科技大学
96	天津市重点实验室	天津市制冷技术重点实验室	天津商业大学
97	天津市重点实验室	天津市软土特性与工程环境重点实验室	天津城建大学
98	天津市重点实验室	天津市水资源与水环境重点实验室	天津师范大学
99	天津市重点实验室	天津市功能分子结构与性能重点实验室	天津师范大学
100	天津市重点实验室	天津市水质科学与技术重点实验室	天津城建大学
101	天津市重点实验室	天津市电工电能新技术重点实验室	天津工业大学
102	天津市重点实验室	天津市工业生物系统与过程工程重点实验室	中国科学院天津工业生物技术研究所
103	天津市重点实验室	天津市大气污染防治重点实验室	天津市环境保护科学研究院
104	天津市重点实验室	天津市有机太阳能电池与光化学转换重点实验室	天津理工大学
105	天津市重点实验室	天津市室内空气环境质量控制重点实验室	天津大学
106	天津市重点实验室	天津市先进机电系统设计与智能控制重点实验室	天津理工大学
107	天津市重点实验室	天津市材料层状复合与界面控制技术重点实验室	河北工业大学
108	天津市重点实验室	天津市先进多孔功能材料重点实验室	天津理工大学
109	天津市重点实验室	天津市土木建筑结构防护与加固重点实验室	天津城建大学
110	天津市重点实验室	天津市功能晶体材料重点实验室	天津理工大学
111	天津市重点实验室	天津市新能源汽车动力传动与安全技术重点实验室	河北工业大学
112	天津市重点实验室	天津市自主智能技术与系统重点实验室	天津工业大学
113	天津市重点实验室	天津市装配式建筑与智能建造重点实验室	河北工业大学
114	天津市重点实验室	天津市智慧能源与信息技术重点实	天津大学

序号	平台类别	平台名称	依托单位
		验室	
115	天津市重点实验室	天津市绿色化工过程工程重点实验室	天津工业大学
116	天津市重点实验室	天津市稀土材料与应用重点实验室	南开大学
117	天津市重点实验室	天津市建筑绿色功能材料重点实验室	天津城建大学
118	天津市重点实验室	天津市卤水化工与资源生态化利用重点实验室	天津科技大学
119	天津市重点实验室	天津市生物质废物利用重点实验室	天津大学
120	天津市重点实验室	天津市跨介质复合污染环境治理技术重点实验室	南开大学
121	天津市重点实验室	天津市环渤海关键带科学与可持续发展重点实验室	天津大学
122	天津市重点实验室	天津市危险废弃物安全处置与资源化技术重点实验室	天津理工大学
123	天津市重点实验室	天津市清洁能源利用与污染物控制重点实验室	河北工业大学
124	天津市重点实验室	天津市化工安全与装备技术重点实验室	天津大学
125	天津市重点实验室	天津市建筑环境与能源重点实验室	天津大学
126	天津市重点实验室	天津市城市交通污染防治研究重点实验室	南开大学
127	天津市重点实验室	天津市动物多样性保护与利用重点实验室	天津师范大学
128	天津市重点实验室	天津市海洋气象重点实验室	天津市气象局
129	天津市重点实验室	天津市空间电能源控制技术企业重点实验室	中国电子科技集团公司第十八研究所
130	天津市重点实验室	天津市微特电机技术企业重点实验室	中国船舶重工集团第七〇七研究所
131	天津市技术创新中心	天津市合成生物技术创新中心	中国科学院天津工业生物技术研究所
132	天津市技术创新中心	天津市锂离子电池技术创新中心	中电科蓝天科技股份有限公司
133	天津市技术创新中心	天津市海水资源利用技术创新中心	自然资源部天津海水淡化与综合利用研究所
134	天津市技术创新中心	天津市轨道交通智能建造技术创新中心	中国铁路设计集团有限公司
135	天津市技术创新中心	天津市新型工业化装配式建筑技术创新中心	天津城建大学
136	天津市技术创新中心	天津市重盐碱地生态治理技术创新中心	天津泰达绿化科技集团股份有限公司
137	天津市技术创新中心	天津市工业废弃物绿色低碳循环利用技术创新中心	天津理工大学
138	天津市产业技术工程化中心	天津市高性能锂离子电池电解液工程研究中心	天津金牛电源材料有限责任公司
139	天津市产业技术工程化中心	天津市催化材料工程研究中心	中海油天津化工研究设计院有限公司
140	天津市产业技术工程化中心	天津市膜法水环境工程研究中心	天津膜天膜科技股份有限公司

序号	平台类别	平台名称	依托单位
141	天津市产业技术工程化中心	天津市聚合物材料改性技术研发与应用工程研究中心	天津金发新材料有限公司
142	天津市产业技术工程化中心	天津市智能汽车测评工程研究中心	中汽研汽车检验中心（天津）有限公司
143	天津市产业技术工程化中心	天津市有机固废安全处置与能源利用工程研究中心	天津大学
144	天津市产业技术工程化中心	天津市先进动力与储能材料工程研究中心	天津国安盟固利新材料科技股份有限公司
145	天津市产业技术工程化中心	天津市智能网联汽车安全技术产教协同工程研究中心	天津中德应用技术大学
146	天津市产业技术工程化中心	天津市新型锂离子电池材料工程研究中心	巴莫科技有限责任公司
147	天津市产业技术工程化中心	天津市重盐碱地生态治理工程研究中心	天津泰达绿化科技集团有限公司
148	天津市产业技术工程化中心	天津市高分子材料抗老化助剂工程研究中心	天津利安隆新材料股份有限公司
149	天津市产业技术工程化中心	天津市润滑油产品开发工程研究中心	中国石化润滑油有限公司润滑脂分公司
150	天津市产业技术工程化中心	天津市民航能源环境与绿色发展工程研究中心	中国民航大学
151	天津市产业技术工程化中心	天津市地热资源勘查开发工程研究中心	中国地质调查局水文地质环境地质调查中心
152	天津市产业技术工程化中心	天津市绿色化工与废弃物资源化工程研究中心	天津理工大学
153	天津市产业技术工程化中心	天津市新型电力系统工程研究中心	特变电工科技投资有限公司
154	天津市产业技术工程化中心	天津市固废处置二次污染控制与资源化利用工程研究中心	天津建昌环保股份有限公司
155	天津市产业技术工程化中心	天津市先进能源动力电池工程研究中心	天津市捷威动力工业有限公司
156	天津市产业技术工程化中心	天津市生物活性物绿色制造工程研究中心	华熙生物科技（天津）有限公司
157	天津市产业技术工程化中心	天津市树脂基复合材料研发工程研究中心	航天长征睿特科技有限公司
158	天津市产业技术工程化中心	天津市高性能铝酸盐产品及功能矿物工程研究中心	英格瓷（天津）新材料技术有限公司
159	天津市产业技术工程化中心	天津市海上二氧化碳利用（CCUS）工程研究中心	中海油田服务股份有限公司
160	天津市产业技术工程化中心	天津市纺织新材料数字智造工程研究中心	中昌（天津）复合材料有限公司
161	天津市产业技术工程化中心	天津市新能源汽车能源动力系统测试工程研究中心	中汽研新能源汽车检验中心（天津）有限公司
162	天津市制造业创新中心	天津市车联网创新中心	中汽研智能网联技术（天津）有限公司
163	天津市制造业创新中心	天津市先进功能纤维助剂创新中心	天津工大纺织助剂有限公司

2 科技计划项目

自 2019—2023 年，市科技局围绕资源与环境、能源与交通、材料与化工等绿色低碳重点技术领域，累计支持 889 项科技计划项目，涉及 12 个计划共 59 个项目类别，投入财政资金达 3.4 亿元，引导社会资金投入达 16.8 亿元。

从计划类别来看资源与环境（绿色低碳）领域科技计划项目主要以自然科学基金、重点研发计划、技术创新引导专项（基金）、中央引导地方科技发展资金为主。其中，自然科学基金立项 399 个，占比 44.88%；其次是重点研发计划，立项 158 个，占比 20.48%。各计划类别立项情况见图 1-2-1。

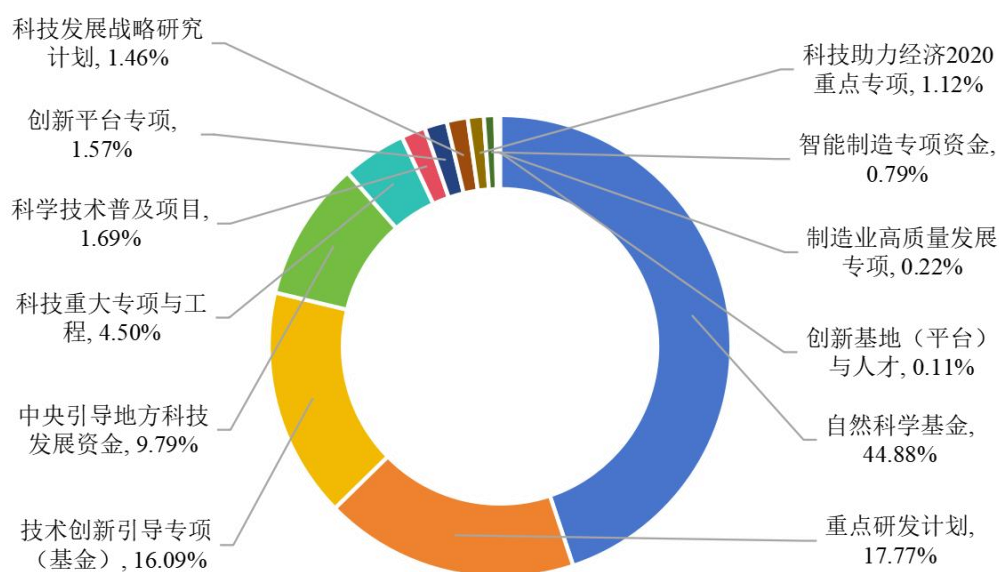


图 1-2-1 2019—2023 年天津市资源与环境（绿色低碳）领域科技立项计划类别分布

从财政投入来看，科技重大专项与工程财政支持最多，累计为 7430 万元，占比达 21.59%；其次是技术创新引导专项（基金），财政支持累计 7000 万元，占比 20.34%；重点研发计划和自然科学基金的财政支持分别为 6955 和 4454.3 万元，分别占比 20.21%和 12.94%，详情见图 1-2-2。

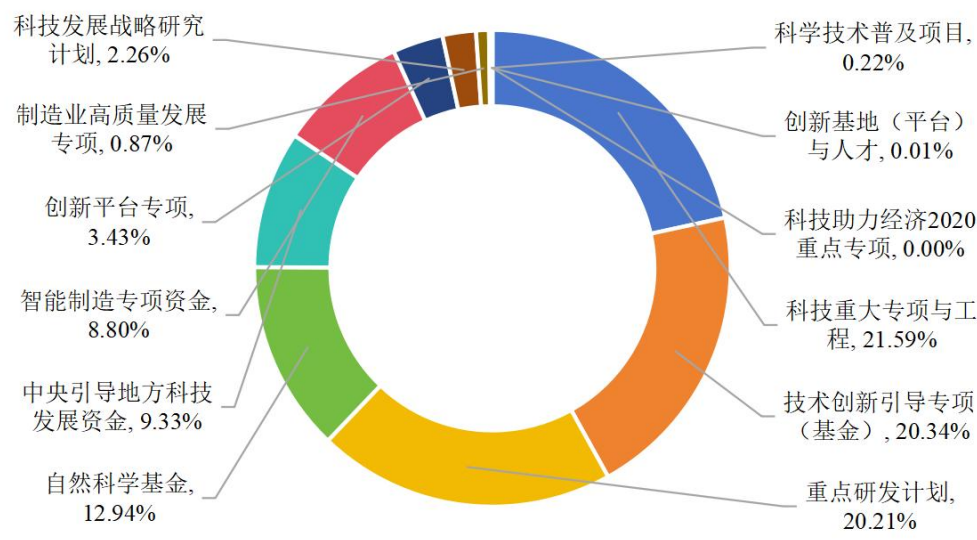


图 1-2-2 2019—2023 年天津市资源与环境（绿色低碳）领域科技立项财政支持

从项目承担单位类型看，承担单位以高等学校和企业为主，承担项目数量分别为 560 项和 216 项，分别占比 62.99%和 24.30%，单位数量分别为 18 家和 174 家；其次是科研院所，承担项目数量为 111 项，占比 12.49%，单位数量有 34 家，详情见图 1-2-3。

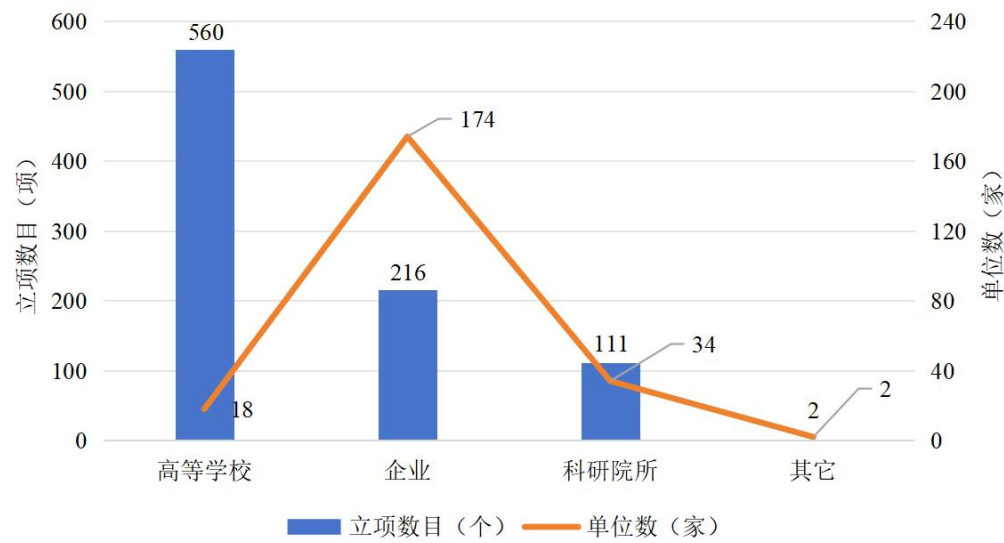


图 1-2-3 2019—2023 年天津市资源与环境（绿色低碳）领域科技立项项目承担单位总体分布

3 科技奖励

自 2018 年以来，天津市在绿色低碳、资源与环境领域涌现出一批重大科研成果，荣获国家科学技术进步 11 项（表 1-3-1）、环境保护科学技术奖 20 项（表 1-3-2）、环境技术进步奖 13 项（表 1-3-3）。2023 年，天津市科学技术奖绿色低碳领域获奖 51 项（表 1-3-4）。

表 1-3-1 2018-2023 年度国家科学技术进步奖资源与环境（绿色低碳）领域天津市获奖名单（11 项）

序号	年度	授奖等级	项目编号	项目名称	完成单位	完成人
1	2023	二等奖	F-311-2-01	聚合物熔体纳米纤维绿色高效制造技术及应用	北京化工大学、天津科技大学、北京化工大学、天津工业大学、北京化工大学、天津泰达洁净材料有限公司	杨卫民、程博闻、李好义、康卫民、阎华、杨文娟
2	2023	一等奖	J-217-1-01	海上风电安全高效开发成套技术和装备及产业化	中国长江三峡集团有限公司，天津大学，华电重工股份有限公司，东方电气风电股份有限公司，上海勘测设计研究院有限公司，中国三峡新能源（集团）股份有限公司，金风科技股份有限公司，中交第三航务工程局有限公司，中天科技海缆股份有限公司，明阳智慧能源集团股份公司	王良友、练继建、林毅峰、刘润、王武斌、赵迎九、刘世洪、高宏飙、吕鹏远、毕亚雄、雷肖、时蓓玲、肖世波、赵生校、王海军
3	2023	一等奖	J-213-1-01	新型膜法水处理关键技术及应用	浙江工业大学、中国人民解放军 96911 部队、杭州水处理技术研究开发中心有限公司、天津大学、北京师范大学、浙江大学、天津商业大学、东华大学、天津膜天膜科技股份有限公司、杭州科百特过滤器材料有限公司	侯立安、高从堦、郑裕国、陈冠益、李小年、杨波、张林、杨禹，张世超、陶俊宇、贡军贤、范宁、李宁、林赛赛、童小忠
4	2023	二等奖	J-215-2-02	基于二氧化碳资源化利用的绿色洁净炼钢技术及应用	北京科技大学、首钢京唐钢铁联合有限责任公司、酒泉钢铁（集团）有限责任公司、天津钢管制造有限公司、江苏省鑫钢铁集团有限公司、山东泰山钢铁集团有限公司、南京钢铁股份有限公司	朱荣、曾立、董凯、张丙龙、黄标彩、魏国立、赵长亮、冯超、王俊海、刘西峰
5	2023	二等奖	J-231-2-02	环境污染健康风险监测、管控与应急关键技术及应用	生态环境部华南环境科学研究所、生态环境部南京环境科学研究所、南开大学、盐城工学院、中山大学、杭州谱育科技发展有限公司、中科鼎实环境工程有限公司	于云江、陈思莉、石利利、展思辉、龙涛、丁成、董光辉、向明灯、刘立鹏、杨勇
6	2020	二等奖	J-231-2-03	基于 3S 维度的生物质固废	天津大学、北京化工大学、中国人民解放军火	陈冠益、李秀全、侯立安、王黎、郑

序号	年度	授奖等级	项目编号	项目名称	完成单位	完成人
				清洁高效燃气能源化关键技术及应用	箭军工程大学、武汉大学、中国环境保护集团有限公司、无锡湖光工业炉有限公司、西藏大学	朝辉、程占军、冯涛、高伟、徐颢闻，旦增
7	2019	二等奖	J-215-2-04	绿色高效电弧炉炼钢技术与装备的开发应用	中冶赛迪工程技术股份有限公司、北京科技大学、西安电炉研究所有限公司、长春三鼎变压器有限公司、天津钢管集团股份有限公司、无锡红旗除尘设备有限公司、中冶陕压重工设备有限公司	朱荣、黄其明、余维江、马全峰、李景禾、张豫川、魏光升、石秋强、朱贺、谢建
8	2019	二等奖	J-230-2-01	新能源汽车能源系统关键共性检测技术及标准体系	北京航空航天大学、中国汽车技术研究中心有限公司、北京交通大学、福建星云电子股份有限公司、天津力神电池股份有限公司	杨世春、吴志新、王芳、张彩萍、张欣、陈飞、刘震、周荣、秦兴才、刘桂彬
9	2019	二等奖	J-25101-2-05	重大蔬菜害虫韭蛆绿色防控关键技术创新与应用	中国农业科学院蔬菜花卉研究所，全国农业技术推广服务中心，山东省农业科学院植物保护研究所，天津市植物保护研究所，山东农业大学，长江大学，甘肃农业大学	张友军，魏启文，于毅，吴青君，薛明，刘峰，魏国树，许国庆，刘长仲，史彩华
10	2019	二等奖	J-25103-2-03	水产集约化养殖精准测控关键技术与装备	中国农业大学、北京农业信息技术研究中心、天津农学院、山东省农业科学院科技信息研究所、莱州明波水产有限公司、江苏中农物联网科技有限公司、福建上润精密仪器有限公司	李道亮、杨信廷、陈英义、邢克智、吴华瑞、阮怀军、傅泽田、翟介明、蒋永年、黄训松
11	2018	二等奖	Z-103-2-05	面向能源转化与存储的有机和碳纳米材料研究	南开大学、天津大学	陈永胜、万相见、黄毅、田建国、王成扬

资料来源：2023、2020、2019、2018 年度“国家科技奖励获奖情况”公示

表 1-3-2 2018-2023 年度环境保护科学技术奖天津市获奖名单（20 项）

序号	年度	授奖等级	项目编号	项目名称	完成单位	完成人
1	2023	一等奖	KJ2023-1-09	陆海水域微有害生物应急置技术装备与程应用	天津大学、中国环境科学研究院、厦门大学、中科同恒环境科技有限公司、大连海事大学、广东省深圳生态环境监测中心站、衡水学院	白敏冬、魏源、邱顺添、张钰博、方宏达、顾海峰、丁光茂、卞永宁、王天志、战国隆、余忆玄、熊向隰、武大勇、潘晓峰、李水根
2	2023	二等奖	KJ2023-2-01	国家噪声监测与评价关键技	中国环境监测总站、生态环境部、核与辐射安	毛玉如、刘砚华、翟国庆、汪贲、户

序号	年度	授奖等级	项目编号	项目名称	完成单位	完成人
				术突破与应用	全中心、浙江大学、北京市科学技术研究院城市安全与环境科学研究所、天津市生态环境监测中心	文成、温香彩、魏新渝、李宪同、陈筱青
3	2023	二等奖	KJ2023-2-16	恶臭污染智能监管关键技术研究及应用	天津市生态环境科学研究院、天津大学、天津同阳科技发展有限公司、天津迪兰奥特环保科技有限公司、北京雪迪龙科技股份有限公司	邹克华、王亘、陈文亮、张涛、荆博宇、张妍、张涛、李永帅、孟洁
4	2023	二等奖	KJ2023-2-31	工业园区水污染防治系统管控关键技术研究与应用	中日友好环境保护中心、天津大学、中环保水务投资有限公司	付军、刘洪波、周康、杨永奎、李焱佩、寇蓉蓉、刘尊文、李安定、徐伟
5	2023	二等奖	KJ2023-2-34	生活垃圾焚烧飞灰解毒调控与建材化利用关键技术及应用	中国环境科学研究院、上海大学、中国建筑材料科学研究总院有限公司、浙江京兰环保科技有限公司、天津壹鸣环境科技股份有限公司	黄启飞、钱光人、闫大海、崔长颢、何捷、刘美佳、陈超、李忠锋、徐昱巽
6	2022	二等奖	KJ2022-2-07	构建生态环境技术服务体系的理论、关键技术与应用	中日友好环境保护中心、中国环境科学研究院、中国环境保护产业协会、中国恩菲工程技术有限公司、南开大学	任勇、刘尊文、付军、徐成、李安定、尚光旭、寇蓉蓉、李焱佩、刘泉利
7	2022	二等奖	KJ2022-2-08	特大型钢铁工业园全过程节水减污技术集成优化与应用	鞍钢集团工程技术有限公司、中国科学院过程工程研究所、鞍钢股份有限公司、北京工业大学、天津大学	冯占立、谢勇冰、于丰浩、王义栋、李军、从海峰、杨冶、白旭强、赵月红
8	2022	二等奖	KJ2022-2-11	复杂恶臭气体高效稳定生物除臭关键技术创新及应用	天津大学、北京工业大学、上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司、西原环保(上海)股份有限公司、中国市政工程华北设计研究总院有限公司	王灿、张亮、张欣、鞠庆玲、汪泳、董磊、刘启凯、刘世德、胡旭睿
9	2022	二等奖	KJ2022-2-16	汽油车尾气细颗粒物排放特征、控制策略研究及应用	中国环境科学研究院、清华大学、北京理工大学、中汽研汽车检验中心(天津)有限公司、厦门环境保护机动车污染控制技术中心	胡京南、朱仁成、何立强、郝利君、苏盛、闫峰、刘乐、赖益土、祖雷
10	2022	二等奖	KJ2022-2-42	湖滨生态缓冲带划定与生态修复技术及应用	中国环境科学研究院、上海市农业科学院、中交(天津)生态环保设计研究院有限公司、江苏省林业科学研究院	叶春、刘福兴、李春华、王俊力、刘璟、邹国燕、王红玲、魏伟伟、郑烨
11	2021	科普类奖	KP2021-01	《看不见的室内空气污染》	中国人民解放军 96901 部队 23 分队、西安建筑科技大学、兰州大学、天津商业大学、浙江大	侯立安、李安桂、王博、陈冠益、王晶

序号	年度	授奖等级	项目编号	项目名称	完成单位	完成人
					学	
12	2020	二等奖	KJ2020-2-12	流域环境中抗生素耐药基因污染特征、传播机制及其风险管控研究	南开大学、生态环境部南京环境科学研究所、华南师范大学、江苏省常州环境监测中心	罗义、应光国、王娜、薛银刚、葛峰、毛大庆、汪庆、张爱国、崔玉晓
13	2020	二等奖	KJ2020-2-18	高浓渗滤液全量深度处理关键材料、技术装备研发与工程应用	南京大学、南京万德斯环保科技股份有限公司、中国环境科学研究院、南开大学、盐城海普润科技股份有限公司	高冠道、刘军、张孝林、安达、刘璐、常邦华、潘丙才、薛婕、官建瑞
14	2020	二等奖	KJ2020-2-27	大气颗粒物动态源解析关键技术与应用	中国环境科学研究院、南开大学、北京市环境保护监测中心、暨南大学、北京工业大学	高健、史国良、刘保献、李梅、韩力慧、王莉华、彭杏、张岳肿、马彤
15	2019	二等奖	KJ2019-2-22	危险废物水泥窑协同处置关键技术与应用	中国环境科学研究院、北京金隅集团股份有限公司、天津水泥工业设计研究院有限公司、生态环境部固体废物与化学品管理技术中心、中国建筑材料科学研究总院有限公司	闫大海、黄启飞、胡芝娟、姜雨生、李丽、候光胜、李海龙、何捷、刘玉强
16	2019	二等奖	KJ2019-2-27	有机废物制肥重金属移除和钝化关键技术研发及应用	中国环境科学研究院、西北农林科技大学、天津大学、桂林理工大学、浙江绿华环境科技有限公司	何小松、张增强、余光辉、李荣华、孙晓杰、张慧、崔骏、王权、吴书文
17	2018	一等奖	KJ2018-1-01	高含水有机废弃物高值化利用关键技术与应用	天津大学、北京化工大学、江苏工博环保能源研究院有限公司、苏州净瑞环保科技有限公司、中国市政工程华北设计研究总院有限公司	陈冠益、李秀金、朱复东、李荣伟、闵海华、高源山、贾树山、季祥、张景辉、丁辉、宋开波、马文超、颜蓓蓓
18	2018	二等奖	KJ2018-2-05	基于风险控制的危险废物分级分类管理关键技术与应用	中国环境科学研究院、环境保护部固体废物与化学品管理技术中心、中央民族大学、天津壹鸣环境科技股份有限公司	杨玉飞、黄泽春、胡华龙、纪涛、高兴保、唐阵武、刘景财、王菲、杨子良
19	2018	二等奖	KJ2018-2-14	环境多介质硝基芳烃类化合物监测技术体系研究与应用	天津市生态环境监测中心	魏恩棋、吴宇峰、李利荣、王艳丽、张丽红、时庭锐、张肇元、崔连喜
20	2018	二等奖	KJ2018-2-20	基于功能溯源、空间耦合的生态环境管控理论与技术应用体系研究	中国城市发展研究院有限公司、环境保护部环境工程评估中心、中节能咨询有限公司、中央财经大学、天津壹生环保科技有限公司	刘贵利、陈帆、霍中和、王伟、王晓、焦若静、郭健、纪涛、林齐

资料来源：2019-2023 年度《环境保护科学技术奖获奖项目名单》

表 1-3-3 2019-2023 年度环境技术进步奖天津市获奖名单 (13 项)

序号	年度	授奖等级	项目编号	项目名称	完成单位	完成人
1	2023	二等奖	HJJS-2023-2-07	面向重金属废水深度净化的荷电重构纳米复合材料研发与应用	燕山大学、秦皇岛天大环保研究院有限公司、唐山钢铁集团有限责任公司、天津润田环境科技有限公司、广东省环境科学研究院、济南赛辰高分子材料有限公司、广州市环境保护科学研究院有限公司	张庆瑞、武立杰、吴海东、杨雨佳、宋雅然、赵明梅、霍俊梅、邓一荣、刘俊卿、张宇霆、赵璐、和嫋嫋、王凌生
2	2022	一等奖	HJJS-2022-1-01	低维护-短流程村镇供排水净化技术装备	中国科学院生态环境研究中心、中车环境科技有限公司、中广核环保产业有限公司、浙江联池水务设备股份有限公司、天津膜天膜科技股份有限公司、江苏中科金汇生态科技有限公司、水艺控股集团股份有限公司	胡承志、曲久辉、孙境求、彭建雄、靳军涛、马百文、池文君、吕晓龙、徐锐、古振澳、王敏、刘天赋、胡肖怡、赵凯、芦超杰
3	2022	二等奖	HJJS-2022-2-06	基于多源大数据的柴油车综合管控技术研究	中国汽车技术研究中心有限公司、南开大学、中国环境科学研究院、天津布尔科技有限公司、中汽研汽车检验中心(天津)有限公司、中汽科技(北京)有限公司	李振国、毛洪钧、王军方、杨正军、闫方超、颜燕、吴琳、刘嘉、吴撼明、王懋让、邵元凯、任晓宁、李孟良、赵海光、杜汉字
4	2022	二等奖	HJJS-2022-2-17	海洋油气开发区在线监测技术研发与应用示范	中海石油(中国)有限公司天津分公司、国家海洋局北海环境监测中心、浙江大学、山东深海海洋科技有限公司	司念亭、李耀如、屈植、张蒙蒙、孙红栋、顾艳镇、宋鑫、赵玉慧、靳腾、王利明、曲良、孔令宇、赵鲁丹、王秋妍、文杨
5	2021	二等奖	HJJS-2021-2-05	污水深度处理臭氧催化高级氧化系统关键技术及应用	战树岩、刘佩春、李阳、杜静轩、贾振睿、刘玉斌、汪勋、姜勇、毛勇、高军、高涛、张才、王春华	天津市环境保护产业协会
6	2021	二等奖	HJJS-2021-2-16	复合有机污染土壤与地下水原位修复及智能控制关键技术研究	煜环环境科技有限公司、天津大学、中国环境科学研究院、华北电力大学、中国科学院地理科学与资源研究所、河北省生态环境科学研究院、北京和平宇清科技股份有限公司	何理、佟雪娇、徐铁兵、刘俐、阎秀兰、赵林、刘星海、卢宏伟、冯爱茜、杨文杰、杨永奎、马跃涛、张军、刘志鹏、张利昌
7	2021	二等奖	HJJS-2021-2-17	大型复杂污染场地绿色修复与可持续风险管控关键技术及应用	生态环境部环境规划院、北京北投生态环境有限公司、清华大学、天津渤化环境修复股份有限公司、北京建工环	张红振、魏国、杨成良、李书鹏、叶渊、董璟琦、康日峰、郑晓笛、刘鹏、雷

序号	年度	授奖等级	项目编号	项目名称	完成单位	完成人
					境修复股份有限公司、森特士兴集团股份有限公司、北京市劳动保护科学研究所	秋霜、梅丹兵、孟豪、李剑峰、张晓斌、李丁
8	2020	一等奖	HJJS-2020-1-06	水基钻井废物不落地处理及资源化装备与工程应用	中国石油集团安全环保技术研究院有限公司、中国石油集团长城钻探工程有限公司、中国石油集团渤海石油装备制造有限公司、中国石油集团渤海钻探工程有限公司	李兴春、任雯、谢水祥、张鑫、许毓、牟长清、王占生、雷先革、刘光全、张明栋、姚如钢、孙静文、翁艺斌、徐遵宏、张杰
9	2020	二等奖	HJJS-2020-2-11	屠宰与肉类加工工业全过程水污染控制与处理技术集成与应用	沈阳环境科学研究院、天津市生态环境科学院、中国环境科学研究院、中国动物疫病预防控制中心（农业农村部屠宰技术中心）、中国肉类食品综合研究中心、河南双汇投资发展股份有限公司	单连斌、赵勇娇、周羽化、赵燕、刘士军、高盛普、王允妹、魏子章、佟爽、陈星、门雅东、魏春飞、时德禹、张磊、雷晶
10	2020	二等奖	HJJS-2020-2-16	柴油车颗粒物排放治理用DPF 关键技术研究与应用	中国汽车技术研究中心有限公司、贵州焯缔科技股份有限公司、中国环境科学研究院、天津大学、唐山市环境监控中心、广西玉柴机器股份有限公司	李孟良、黄黎敏、王计广、陈伟程、王志伟、李志军、陶泽民、方茂东、吉喆、谢振凯、白振宇、陶汉国、王燕军、李军、方熙宇
11	2020	二等奖	HJJS-2020-2-22	危险化学品爆炸产地污染应急阻隔、调查评估及修复技术	北京市环境保护科学研究院、天津生态城环保有限公司	姜林、王世杰、杨伟、钟茂生、李慧颖、巢军委、任艳艳、张瑞环、袁珊珊、赵莹、贾琳、宋震宇、郑福居、樊艳玲、张丹
12	2019	一等奖	HJJS-2019-1-01	钢铁行业典型工序烟气半干法超低排放治理技术体系与应用	北京科技大学、北京北科环境工程有限公司、河钢集团有限公司、北京首钢股份有限公司迁安钢铁公司、天津荣程联合钢铁集团有限公司	邢奕、彭兆丰、苏伟、程华、孙祥超、宋存义、常金宝、贾广如、张洪波、郭子杰、常冠钦、赵荣志、李雪松、田京雷、鲁宁
13	2019	一等奖	HJJS-2019-1-06	典型有色金属高效回收及污染控制技术	清华大学、鑫联环保科技股份有限公司、清大国华环境集团股份有限公司、北京金隅琉水环保科技有限公司、天津仁新玻璃材料有限公司、生态环境部固体废物	李金惠、谭全银、张武、陈福泰、刘丽丽、练礼财、许涓、吴存根、梁岳兴、曾现来、冯国军、易家吉、褚

序号	年度	授奖等级	项目编号	项目名称	完成单位	完成人
					物与化学品管理技术中心	永前、杨志坚、李扬

资料来源：2019-2023 年环境技术进步奖授奖项目公示

表 1-3-4 2023 年度天津市科学技术奖资源与环境（绿色低碳）领域天津市获奖名单（51 项）

序号	年度	授奖等级	项目编号	项目名称	完成单位	完成人
1	2023	一等奖	2023ZR-1-003	偶氮基光响应材料的分子设计与能量转化基础理论	天津大学、北京大学、清华大学、西北工业大学	封伟、于海峰、王晓工、顾军渭、冯奕钰、秦盟盟、王东瑞
2	2023	一等奖	2023ZR-1-004	钙钛矿晶硅叠层太阳能电池中载流子调控与光管理的研究	南开大学	张晓丹、王鹏阳、罗景山、石标、赵颖、黄茜、丁毅、张德坤、侯国付、任慧志、陈新亮
3	2023	一等奖	2023ZR-1-007	电解水制氢与氢化材料的设计、可控转化合成与性能研究	天津大学	张兵、于一夫、刘翠波、王雨婷、吴永萌、史艳梅
4	2023	一等奖	2023ZR-1-008	城市和背景地区大气气溶胶的来源、形成机制和气候效应	天津大学、中国科学院大气物理研究所、清华大学、南开大学	傅平青、孙业乐、张强、朱佳雷、史国良、洪朝鹏、邓君俊、李海雁、王自发、冯银厂、贺克斌
5	2023	二等奖	2023ZR-2-016	面向氢能制取关键光电催化剂的设计合成、结构调控及应用	天津理工大学	安长华、姚爽、张志明、申勇立
6	2023	二等奖	2023ZR-2-020	城镇污水处理关键污染物去除机制及其环境行为与效应	天津大学、北京大学	童银栋、刘轶文、孙佩哲、赵迎新、翟思媛、朱婷婷、王学军、季民
7	2023	三等奖	2023FM-3-009	油气井返排流体无害化处理与再利用技术	中国石油集团渤海钻探工程有限公司、天津大学	王方祥、李轶、邹鹏、王林、张龙
8	2023	一等奖	2023JB-1-002	高性能锂离子电池关键材料技术研究与应用	南开大学、天津市捷威动力工业有限公司、物质绿色创造与制造海河实验室	陈军、程方益、马华、陶占良、高秀玲、李海霞、严振华、刘峰、李文文
9	2023	一等奖	2023JB-1-005	12 英寸太阳能硅片制造关键技术研究及应用	TCL 中环新能源科技股份有限公司、天津市环智新能源技术有限公司、天津环博科技有限责任公司、山东大学、	沈浩平、张雪囡、李建弘、靳立辉、高玉飞、危晨、王林、高润飞、郭俊文、张文霞、谷守伟、刘涛

序号	年度	授奖等级	项目编号	项目名称	完成单位	完成人
					内蒙古中环晶体材料有限公司、内蒙古中环光伏材料有限公司	
10	2023	一等奖	2023JB-1-007	大规模新能源变流器集群构网运行技术及工程应用	天津电气科学研究院有限公司、天津大学、河北工业大学、平高集团储能科技有限公司、天津平高智能电气有限公司、天津瑞源电气有限公司、国网山东综合能源服务有限公司	何晋伟、郭培健、王瑞琪、阮鹏、韩俊飞、王景芹、朱新山、穆朝絮、厉成元、汪宁、闫虎龙、陈元辉
11	2023	一等奖	2023JB-1-008	高效可靠非道路柴油机空气系统关键技术及应用	天津大学、潍柴动力股份有限公司、康跃科技（山东）有限公司	王天友、李志杰、刘正先、刘莹、李卫、曹树谦、施磊、李孝检、郭虎伦、祝成祥、刘俊龙、邵同林
12	2023	一等奖	2023JB-1-018	特色浆果绿色精准保鲜关键技术创新及应用	天津市农业科学院、浙江大学、天津科技大学、中国标准化研究院、天津金仓互联网科技有限公司、广东亚北农副产品有限公司、内蒙古食全食美股份有限公司	陈存坤、张娜、李莉、阎瑞香、纪海鹏、席兴军、罗自生、董成虎、于晋泽、刘光昭、黄秀芬、彭继远
13	2023	一等奖	2023JB-1-019	协同开放式多维安全汽车电子电气架构关键技术及应用	中国汽车技术研究中心有限公司、中汽研（天津）汽车工程研究院有限公司、天津大学、武汉理工大学、岚图汽车科技有限公司、徐州徐工汽车制造有限公司、安徽江淮汽车集团股份有限公司	龚进峰、庞彦伟、韩光省、戎辉、陈志军、司华超、周旋、魏翼鹰、曹家乐、刘江波、刘全周、汪春华
14	2023	一等奖	2023JB-1-020	有机污染化工废盐资源化高值利用关键技术与产业化	天津理工大学、生态环境部固体废物与化学品管理技术中心、天津城建大学、南昌航空大学、渤海水业股份有限公司、广西银亿新材料有限公司、浙江志澄环境资源科技有限公司	李梅彤、费学宁、袁文蛟、韦洪莲、邵鹏辉、曹凌云、张柯、王小丰、王超、施小林、和润秀、解玉红
15	2023	二等奖	2023JB-2-025	砷化镓 LED 外延、芯片绿色制造技术研究	天津三安光电有限公司、中国科学院过程工程研究所、河北工业大学、北京赛科康仑环保科	蔡坤煌、高文芳、陈芳芳、康飞、陶天一、陶莉、张东炎、熊伟平

序号	年度	获奖等级	项目编号	项目名称	完成单位	完成人
					技有限公司	
16	2023	二等奖	2023JB-2-036	城市水生态系统治理技术与管理體系研究及应用	中国市政工程华北设计研究总院有限公司	孙永利、刘静、张维、高晨晨、张岳、田腾飞、李家驹、黄鹏
17	2023	二等奖	2023JB-2-037	臭氧催化氧化污水深度处理关键技术与成套装备及应用	天津万峰环保科技有限公司、清华大学、南开大学、天津市政工程设计研究总院有限公司、清华大学深圳国际研究生院	战树岩、胡洪营、周明华、王文龙、夏文辉、刘佩春、吴乾元、杜静轩
18	2023	二等奖	2023JB-2-039	大尺寸单晶硅棒智能粘接关键装备研发及产业化	天津环博科技有限责任公司、天津大学、TCL 中环新能源科技股份有限公司、天津市环智新能源技术有限公司	靳立辉、崔振强、张涛、王国瑞、赵鑫、陈维琨、姚长娟、尹擎
19	2023	二等奖	2023B-2-040	大规模电力物联网信息采集、控制及安全关键技术研究与应用	天津科技大学、国网天津市电力公司、深圳市国电科技通信有限公司、国网信息通信产业集团有限公司	张翼英、武延年、郭晓艳、李温静、何业慎、梁琨、张贤坤、刘庆扬
20	2023	二等奖	2023B-2-041	大规模新能源接入下多源发电机组灵活供给与协同调度技术及应用	国网天津市电力公司、天津大学、华北电力大学、北京科东电力控制系统有限责任公司、国电联合动力技术有限公司	胡阳、解百臣、王坤、鄂志君、董健、牛玉广、任一丹、蒋建立
21	2023	二等奖	2023JB-2-042	大宗难利用工业固废高效制备低碳建筑材料关键技术与应用	天津城建大学、中国建筑材料科学研究总院有限公司、中冶节能环保有限责任公司、中冶天工集团有限公司、河南兴安新型建筑材料有限公司	张磊、叶家元、彭桦、岳昌盛、马全丽、王雪平、吴春丽、张梦
22	2023	二等奖	2023B-2-044	地下水压采区农业水资源高效利用技术模式创新与应用	天津市农业发展服务中心、沈阳巍图农业科技有限公司、国机亿龙（佛山）节能灌溉科技有限公司	郭云峰、王锐竹、郑育锁、付婷婷、王振营、于美荣、陈爱军、邢硕
23	2023	二等奖	2023JB-2-047	电力物联核心芯片及信息可靠交互技术、系列化装备与应用	国网天津市电力公司、国网智能电网研究院有限公司、北京智芯微电子科技有限公司、国网信息通信产业集团有限公司、天津大学	梁云、岳顺民、李德建、吕国远、杨挺、白巍、李温静、王忠钰

序号	年度	授奖等级	项目编号	项目名称	完成单位	完成人
24	2023	二等奖	2023B-2-048	电网云边算力动态调度关键技术及规模化应用	国网天津市电力公司、南开大学、南瑞集团有限公司、北京智芯微电子科技有限公司、曙光信息产业股份有限公司	宫晓利、王旭强、戴荣、霍超、李雨森、张万才、张旭、吕灼恒
25	2023	二等奖	2023JB-2-050	动力电池生命周期碳与溯源管理关键技术应用	中汽数据（天津）有限公司、河北工业大学、北京博萃循环科技有限公司、广汽乘用车有限公司	赵冬昶、孙铎、王攀、刘晶、任女尔、赵明楠、林晓、桂根生
26	2023	二等奖	2023JB-2-057	高耗能工业智慧节能关键技术研发、应用及推广	南开大学、天津领碳能源环保科技有限公司、天津大学、中国科学院半导体研究所	王恺、许智、由涛、张小军、彭文朝、过辰楷、唐君、王宇龙
27	2023	二等奖	2023JB-2-062	供需协同优化的建筑能源智能预测控制技术研究及应用	华德智慧能源管理（天津）有限公司、天津大学、中国建筑第八工程局有限公司、广东美的暖通设备有限公司	赵靖、李安邦、王震、王力、刘德涵、朱能、王冉
28	2023	二等奖	2023JB-2-064	光伏电站安全运行控制关键技术研究及应用	天津科技大学、中国人民解放军军事科学院系统工程研究院、内蒙古科技大学、天津海融科技有限公司、朗坤智慧科技股份有限公司	游国栋、廖微、侯晓鑫、赵双乐、张继红、刘志峰、孙海林、胡杰英
29	2023	二等奖	2023JB-2-065	硅气凝胶产业化关键技术开发及其在动力电池热防护中的应用	天津市建筑材料科学研究院有限公司、爱彼爱和新材料有限公司、天津大学、天津城建大学、河南爱彼爱和新材料有限公司	张鹏宇、李洪彦、李晓雷、王建恒、罗肖宁、刘凤东、杜泉岭、刘彤
30	2023	二等奖	2023JB-2-068	航天器次生污染环境测控技术及应用	河北工业大学、北京卫星环境工程研究所、天津大学、南开大学	魏强、院小雪、沈铸睿、梁砚琴、余黎明
31	2023	二等奖	2023B-2-077	基于物理先验感知的智能监测与制造及产业化应用	天津工业大学、中国民航大学、天津同阳科技发展有限公司、象限空间（天津）科技有限公司、清研中电（天津）智能装备有限公司	宋丽梅、李云鹏、修春波、吴军、杨燕罡、纪越、张涛、石磊
32	2023	二等奖	2023JB-2-078	近零能耗公共建筑能效提升与供需互动关键技术应用	国网天津市电力公司、国网（天津）综合能源服务有限公司、天津大学、天津生态城绿色建筑	于波、靳小龙、郭娟利、贺瑞、郭而郭、杨震涛、王旭东、张博文

序号	年度	授奖等级	项目编号	项目名称	完成单位	完成人
					筑研究院有限公司、天津天大求实电力新技术股份有限公司	
33	2023	二等奖	2023JB-2-084	面向动态异构网络的智能汽车网络信任平台关键技术研究与应用	中汽智联技术有限公司、南开大学、中汽数据（天津）有限公司	张亚楠、李同、吴宇飞、范玲玲、李岩、刘哲理、赵万里、杨发雪
34	2023	二等奖	2023B-2-086	面向高品质电力计量需求的新一代智能量测关键技术及应用	国网天津市电力公司、中国电力科学研究院有限公司、天津大学、河南许继仪表有限公司、中电装备山东电子有限公司	张卫欣、杨挺、王晓东、姜洪浪、何海航、翟峰、何泽昊、李祯祥
35	2023	二等奖	2023B-2-089	面向智能网联汽车信息安全的风险评估关键技术与应用	中汽数据（天津）有限公司、南开大学、中国汽车技术研究中心有限公司	张亚楠、孙航、张瑶、刘天宇、贾先锋、李宝田、武智、张巧
36	2023	二等奖	2023JB-2-091	能源交通信息耦合下城市充电网风险诊断与灵活调节技术及应用	国网电动汽车服务（天津）有限公司、天津大学、国网智慧车联网技术有限公司、华北电力大学、国电南瑞科技股份有限公司	刘艳丽、吴俊峰、姚明路、胡俊杰、李磊、陈良亮、韩庆雯、伦小翔
37	2023	二等奖	2023JB-2-092	汽车行业碳中和系统关键技术与产业化	河北工业大学、中汽数据（天津）有限公司、重庆长安汽车股份有限公司、中信戴卡股份有限公司、深圳市信润富联数字科技有限公司	刘晶、孙铎、曾澄、姚建丰、任女尔、乔侠、刘兴华、季海鹏
38	2023	二等奖	2023JB-2-094	全模块化汽车焊装柔性生产系统研发与应用	中国汽车工业工程有限公司、天津理工大学、机械工业第四设计研究院有限公司	阮兵、葛为民、刘凉、王刚、刘增昌、张海康、高海东、常楠楠
39	2023	二等奖	2023JB-2-095	全装配式桥梁绿色高效建造关键技术及应用	中国建筑第六工程局有限公司、北京工业大学、中建桥梁有限公司、天津大学	高璞、韩强、黄克起、刘晓敏、王殿永、靳春尚、朱劲松、张广达
40	2023	二等奖	2023JB-2-101	深厚软土海域风机基础动力灾变机理与防控关键技术及工程应用	天津城建大学、中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司、北京工业大学、交通运输部天津水运工程科学研究所、中国长江三峡集团有限公司	程星磊、汪明元、王丕光、狄圣杰、解鸣晓、徐海滨、鹿群、祝文龙

序号	年度	授奖等级	项目编号	项目名称	完成单位	完成人
41	2023	二等奖	2023JB-2-105	适应大规模新能源接入的安全灵活电网构建配置技术及应用	国网天津市电力公司、上海交通大学、中国能源建设集团天津电力设计院有限公司、中国华电集团有限公司天津分公司、天津龙源新能源开发有限公司	柳璐、罗涛、闫大威、宣文博、程浩忠、王魁、李慧、张德政
42	2023	二等奖	2023B-2-106	水处理过程膜污染精准感知与优化调控关键技术及应用	天津工业大学、北京美能环保科技有限公司、北京航空航天大学、天津膜天膜科技股份有限公司、深圳技术大学	张梦、武春瑞、陈玲玲、张阳、孟淑娟、王丽莉、吕晓龙、张宏伟
43	2023	二等奖	2023JB-2-107	水利水电领域遥感影像智能解译关键技术	中水北方勘测设计研究有限责任公司、天津大学	谢津平、朱鹏飞、王旗龙、奚歌、张云姣、詹昊、许健、曹兵
44	2023	二等奖	2023JB-2-115	园区微能网高品质供电、灵活调控关键技术及工程应用	国网天津市电力公司、天津大学、国网（天津）综合能源服务有限公司、平高集团储能科技有限公司、国网综合能源服务集团有限公司	肖迁、马世乾、梁刚、曹晓男、杨佳霖、张柳丽、孙冰、吴明雷
45	2023	三等奖	2023B-3-123	地下污水管网智能应急管理平台关键技术及应用	天津中德应用技术有限公司、河北工业大学、天津市融创软通科技股份有限公司	张磊、牛炳鑫、庞科、张林福、杨亮
46	2023	三等奖	2023JB-3-125	多功能油田泵车节能环保关键技术研究及应用	中国石油集团渤海石油装备制造有限公司	张建华、马潮、张志敏、桑勇、张杰
47	2023	三等奖	2023B-3-126	多效蒸发制盐工艺节能关键技术及应用	中盐工程技术研究院有限公司、天津科技大学、中盐舞阳盐化有限公司	孟兴智、张蕾、徐发权、张仉、吕本松
48	2023	三等奖	2023JB-3-132	交通装备轻量化用复合材料技术及产业化应用	天津中科先进产业有限公司、四川省玻纤集团股份有限公司、中国科学院宁波材料技术与工程研究所	吴正斌、祝颖丹、李军、窦南南、马鑫磊
49	2023	三等奖	2023JB-3-134	锂离子电池后段生产线成套智能制造装备及系统	天津齐物科技有限公司	叶妍、王莉、索政伟、张建楠、娄本相
50	2023	三等奖	2023B-3-136	面向汽车产品质量监控	中汽信息科技（天津）有限公司、中	尤嘉勋、王军雷、高铁杠、顾洪建、

序号	年度	授奖等级	项目编号	项目名称	完成单位	完成人
				大数据分析 联邦学习架 构关键技术 研究与应用	汽传媒（天津）有 限公司、南开大学	田程
51	2023	三等奖	2023JB-3-140	双碳背景 下道路建设 关键技术 与应用	天津市交通科学研 究院、天津高速公 路集团有限公司、 天津新展高速公路 有限公司	王德群、商耀祥、 孙建勇、李正中、 罗春来

资料来源：《2023 年度天津市科学技术奖获奖名单》

4 技术交易

2019—2023 年，我市登记认定资源与环境（绿色低碳）领域技术合同成交量累计 10059 项，其中 2019 年、2021 年、2022 年和 2023 年均破 2000 项，分别为 2130 项、2112 项、2168 项和 2127 项；2019—2023 年资源与环境（绿色低碳）领域技术成交额累计 1446.9 亿元，其中 2023 年成交额最多，为 384.21 亿元。历年技术合同登记数量和成交额情况见图 1-4-1。

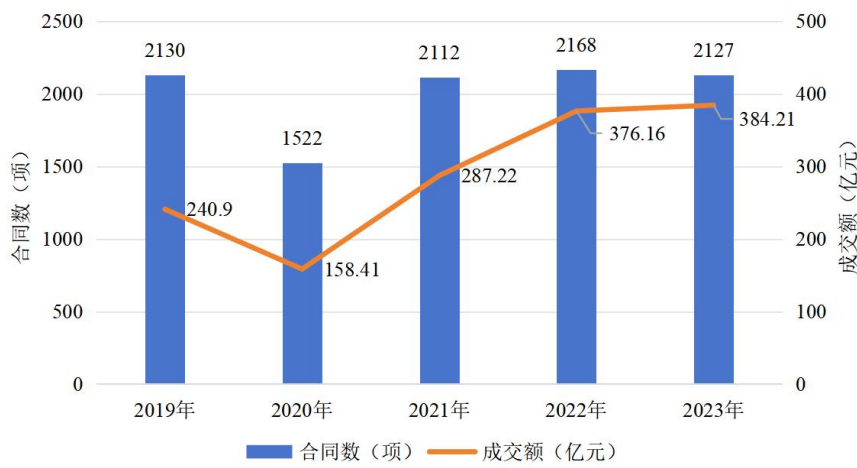


图 1-4-1 2019—2023 年天津市资源与环境（绿色低碳）领域技术合同成交情况

资料来源：《天津市技术市场统计年度报告》

从领域构成来看，资源与环境（绿色低碳）领域主要包括新能源与高效节能、环境保护与资源综合利用两个领域。与上年相比，2023 年新能源与高效节能领域技术合同成交量明显上升，为 1039 项，但技术合同成交金额则略有下降，为 302.86 亿元，同比下降 1.35%；2023 年环境保护与资源综合利用领域技术合同成交量较上年下降，为 1088 项，但技术合同成交金额则显著增加，为 81.35 亿元，同比增长 17.66%，详见图 1-4-2。

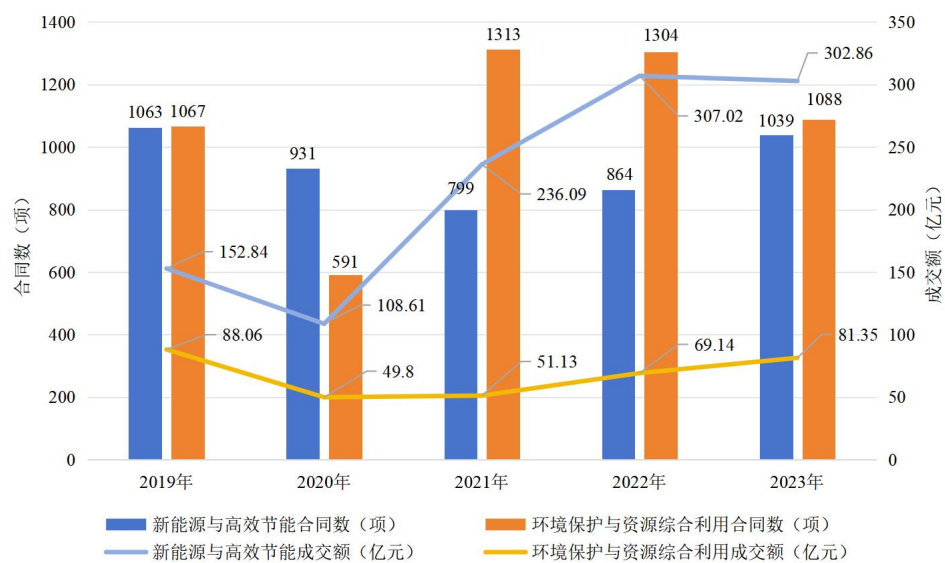


图 1-4-2 2019—2023 年天津市资源与环境（绿色低碳）领域分领域技术合同成交情况

资料来源：《天津市技术市场统计年度报告》

二、技术成果篇

技术成果篇展示资源与环境（绿色低碳）领域先进适用示范性技术成果 22 项，涉及绿色低碳技术 15 项、生态环境保护技术 3 项、现代海洋技术 2 项、资源回收与废弃物资再利用技术 2 项。通过深化绿色技术推广，为推动经济社会发展全面绿色转型，实现碳达峰碳中和目标提供有力技术支撑，具体技术内容列示如下。

A、绿色低碳技术

技术 1：满足国六汽车排放后处理关键技术研发及应用

技术 1.1：满足国六柴油车排放后处理关键技术研发及产业化应用

1.1.1 技术提供方

本技术提供方为中国汽车技术研究中心有限公司、中汽研汽车检验中心(天津)有限公司。

中汽研汽车检验中心（天津）有限公司是由中国汽车技术研究中心（中央企业）投资建立的独立第三方汽车产品检测及技术服务机构，拥有行业全面、前沿、优质的汽车产品检测及技术服务能力。2021-2023 年，公司年营业收入均在 20 亿元以上，且年增长率在 14%以上。在汽车主被动安全、节能环保、新能源、智能网联等领域，具有对汽车整车、底盘、发动机、灯具、车身附件、汽车电器、动力电池、驱动电机等全系列产品试验能力，能够承担汽车产品质量监督检查、产品定型试验、型式认证、强制性产品认证检验、出口认证检验、委托检验、产品研发改进、技术咨询等多项工作。在生态环境领域方面，开展节能与排放相关科研工作，覆盖标准法规的研究与制定、前沿技术研究运用与开发、监管政策研究与制定、仿真测试研究等科研工作，历年来承担数十项国家及省部级课题研究，为国家和地方政府提供决策支持工作。

1.1.2 技术成果简介

1.1.2.1 技术成果名称和领域

技术成果名称：满足国六柴油车排放后处理关键技术研发及产业化应用

技术领域：大气污染防治

1.1.2.2 技术成果来源

本技术成果是天津市生态治理重大专项等支持下，打破分子筛 SCR 技术垄断，突破低贵金属 DOC/CDPF 技术，大幅提升系统可靠性。具体项目信息如下：

“满足移动源柴油车国 VI 标准排放后处理装置研发与应用”属省级及以下地方计划项目，项目类别为科技重大专项与工程，项目编号为 18ZXSZSF00060，项目经费 800 万元。

涉及的授权发明专利 8 项，具体如下：

表 2-1-1 技术相关授权发明专利

序号	知识产权名称	授权号	权利人
1	一种采用磷酸-有机胺溶液制备 SAPO-34 基 SCR 催化剂的方法及催化剂的应用	ZL201710978991.4	中国汽车技术研究中心有限公司
2	涂层浆液的制备方法及其涂覆型 Cu 分子筛 SCR 催化剂的制备方法	ZL201710980286.8	中国汽车技术研究中心有限公司
3	一种用于柴油车尾气净化的 SAPO-34 分	ZL201710440154.6	中国汽车技术研究中心有限公司

序号	知识产权名称	授权号	权利人
	子筛催化剂的原位负载改性方法		
4	基于 SCR 化学反应数学模型改善发动机 NOx 排放量的方法	ZL201810724830.7	中国汽车技术研究中心有限公司、中汽研汽车检验中心（天津）有限公司
5	基于双 NOx 传感器的 SCR 催化剂老化修正方法	ZL201810724842.X	中国汽车技术研究中心有限公司、中汽研汽车检验中心（天津）有限公司
6	一种 CHA-OFF-ERI 共生结构分子筛、制备方法及其催化剂在 Urea-SCR 技术中的应用	ZL202011061668.9	中汽研汽车检验中心（天津）有限公司
7	一种用于制备蜂窝陶瓷催化剂的涂覆料浆及制浆方法	ZL201811188920.5	中汽研汽车检验中心（天津）有限公司
8	一种混合动力车辆排放后处理系统的温度控制方法	ZL201910340761.4	中国汽车技术研究中心有限公司、中汽研汽车检验中心（天津）有限公司

1.1.3 技术内容

1.1.3.1 技术原理及工艺流程

技术原理：国VI阶段，采用DOC+DPF+SCR+AOC后处理集成技术路线解决柴油车污染排放问题。其中，DOC（柴油氧化催化剂）深度催化氧化去除一氧化碳（CO）、碳氢化合物（HC）、可溶性有机成分（SOF）和含硫燃料燃烧产生的二氧化硫（SO₂）；DPF（颗粒捕集器）过滤拦截大部分颗粒物（PM）；SCR（选择催化还原剂）在选择催化还原氮氧化物（NO_x）转变为N₂，AOC（氨氧化催化剂）消除逃逸的氨气。最终，将尾气中的主要污染物转化为无害的气体成分排放到空气中。

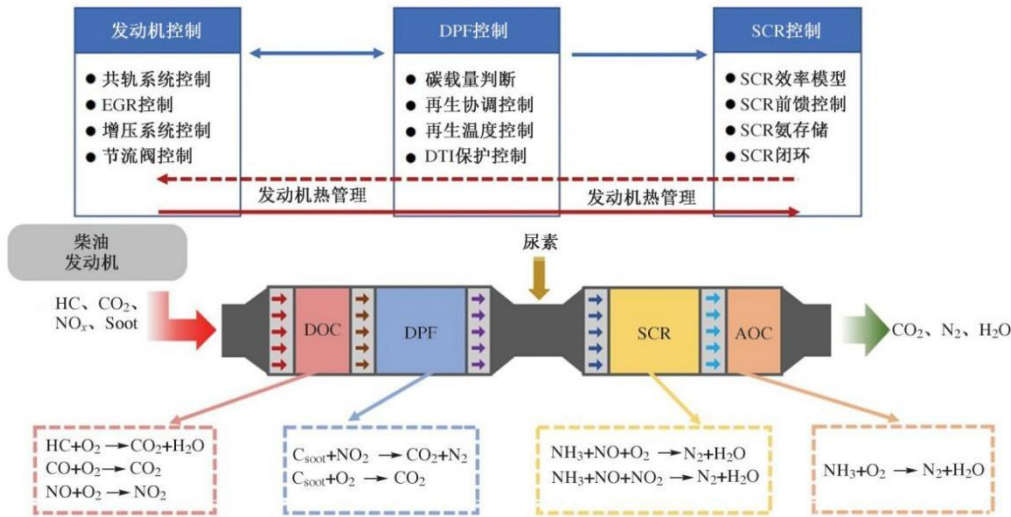


图 2-1-1 国六柴油车后处理系统催化净化示意图

本成果针对柴油车污染排放问题，基于自主开发的 DOC、DPF、SCR 关键催化涂层材料，以及包括制浆、涂覆、焙烧工艺等工程化工艺技术，进行后处理装置的系统集成与优化，形成新型高效满足国六标准的轻/重型柴油车后处理装置，在发动机台架上进行排放性能验证，匹配国内两款及以上发动机，开展成果应用示范。

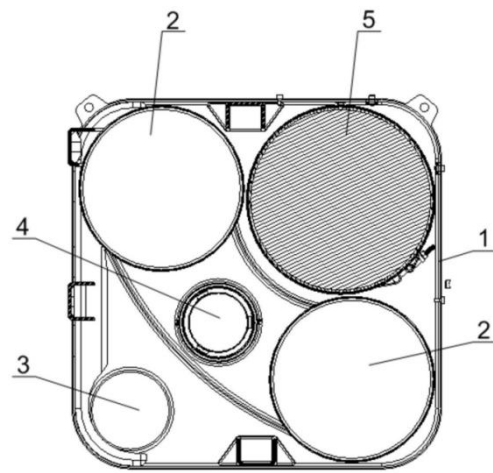


图 2-1-2 集成式 DOC-DPF-SCR 后处理装置的内部布局结构示意图

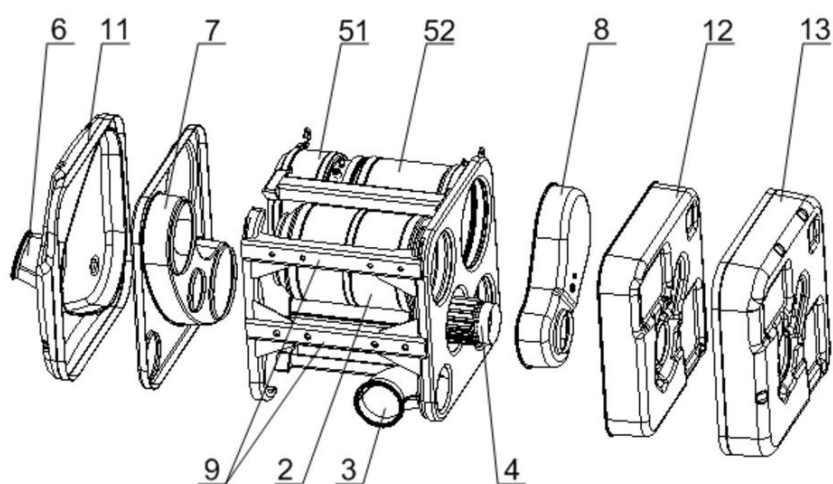


图 2-1-3 集成式 DOC-DPF-SCR 后处理装置的爆炸结构示意图

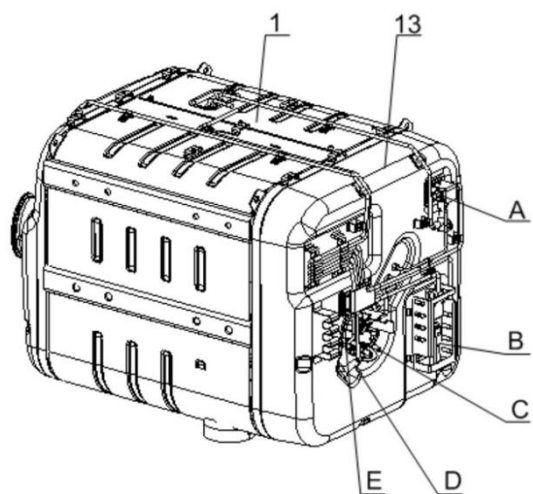


图 2-1-4 集成式 DOC-DPF-SCR 后处理装置的装配结构示意图

（其中，1 为箱体、11 为前端盖、12 为后端隔热罩、13 为后端盖、2 为 SCR 单元、3 为排气管、31 为排气口、4 为尿素混合器、5 为 DOC-DPF 单元、51 为 DOC 单元、52 为 DPF 单元、6 为进气管组件、7 为第二连接盘、8 为第一连接盘、9 为安装支架、A 为压差传感器、B 为氮氧传感器电子集成单元、C 尿素喷嘴、D 为氮氧传感器探头、E 为温度传感器。）

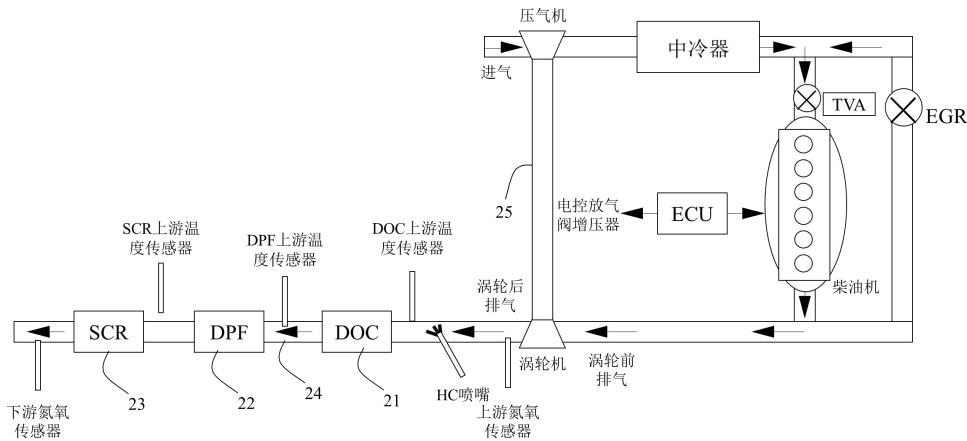


图 2-1-5 直通式后处理效率控制方法结构示意图

1.1.3.2 技术成果适用性分析

本技术成果适用于轻型柴油车、重型柴油车、非道路用柴油机、船舶用柴油机、机车用柴油机和发电用柴油机等领域，与排量为 3-10 L 国六柴油机/车匹配应用。

1.1.3.3 技术创新性及先进性

（1）针对催化剂配方专利壁垒、成本高等问题，探明了超声促溶法快速成核机制，自主开发了高硅 AFX 和富铝 CHA 型分子筛 SCR 催化剂配方，打破国外专利壁垒，拓宽了 NO_x 温度窗口（T₉₀=173-600℃），低温性能显著提升；提出锰铜“共交换”抑制分子筛高温失活机理，解决了催化剂水热失活难题；揭示了中心 Mn 原子间协同利于 O₂ 活化和 NO 氧化反应能垒降低的化学反应机制，开发了高水热稳定性“莫来石部分替代贵金属”DOC/CDPF 催化剂体系，催化剂成本显著降低。

（2）针对催化剂产品涂层耐久性差等问题，发明了高分散原位研磨制浆技术，提高了涂层耐久性（脱落率<0.32wt%）；发明了高稳定性“类水滑石限域活性元素”原位生长工艺，大幅提高催化剂水热稳定性（750℃，劣化率≤3%）。

（3）针对后处理系统可靠性差等问题，发明了高瞬态精度喷射控制策略，建立了老化修正和尿素结晶因子模型，保证了 SCR 系统实车耐久性；发明了基于废气流量等修正因子的喷油闭环控制策略，实现了 DPF 再生温度精确控制，实车运行可靠性大幅提高。

经天津市科学技术评价中心组织鉴定，由郝吉明院士担任主任、苏万华院士担任副主任委员的鉴定委员会认为：“该成果总体达到国际先进水平，在核心催化材料&催化剂技术方面取得重大突破，达到国际领先水平。”

1.1.3.4 其他

本技术成果的应用有效提高了移动源排放控制龙头企业的自主创新能力和相关产品的国际竞争力，打破国外企业对 SCR 技术的专利垄断，突破后处理系统低温性能差、耐久性差等技术瓶颈，大幅降低 DOC/CDPF 催化剂贵金属用量及成本，为我国汽车产业的发展提供理论和技术支撑，带动了行业的全面升级。

技术开发期间，成功获批“移动源污染排放控制技术国家工程实验室”，在天津市建成汽/柴油车、船用柴油机工程化、应用示范、测试评价、成果转化和创新服务平台，为我国移动源排放控制关键技术开发和应用提供了平台支撑，填补了天津市乃至我国该领域的空白。

突破的多项制约产业发展瓶颈技术，引领了我国汽车产业技术发展，带动了行业的全面升级。

1.1.4 节能减碳或污染防治效果

本技术成果环境效益显著，对于改善民生、促进社会可持续发展发挥了巨大的作用。成果应用有助于推动国六标准的实施，助力我国积极参与全球环境治理，落实减排承诺。成果应用期间（2018-2020 年）累计减少 NO_x 排放约 2.85 万吨、颗粒物（PM）排放约 33.5 吨，为我国大气污染治理提供了有利支撑，减少了雾霾等环境问题的频繁发生，降低了柴油车对外界环境及公众健康产生的危害。

1.1.5 技术示范情况

本技术成果应用于潍柴 WP7、WP10，玉柴 S06、K08 等多款国六柴油机，在中通、北奔等整车企业实现了装车应用；应用后，产品低温性能优异、可靠性高。第三方检测报告表明，该产品排气污染物（台架、车载法）、耐久性（台架）均满足国六法规 6b 阶段的排放限值要求。

开发的高性能柴油车后处理装置，匹配玉柴 YCY30/YCK05、潍柴 WP10 国六发动机后，依据 GB17691-2018《重型柴油车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）》法规进行验证。结果表明，自主研发的后处理系统 WHTC 和 WHSC 循环，四种污染物排放量均满足法规中 6b 阶段的排放限值要求（表 2-1-2、2-1-3），明显优于国外市场产品，低于国六法规限值（0.40g/kW·h 和 0.46g/kW·h）。同时，本项目工程化工艺制备的样件产品一致性高。不同批次的催化剂样件 NO_x 转化率曲线高度吻合，NO_x 起燃温度（T50）均低于 200℃，在 225-475℃ 范围内 NO_x 转化率≥90%（GHSV=30,000h⁻¹）。

表 2-1-2 自主研发后处理装置 WHSC 试验结果

检验项目	国六标准限值	匹配机型			符合性判定
		WP10	YCK05	YCY30	
CO mg/kW·h	1500	13.20	0	17.9	符合
THC mg/kW·h	130	6.06	0	9.1	
NO _x mg/kW·h	400	144.62	184.0	220.00	
NH ₃ ppm	10	0.30	1.3	1.2	
PM mg/kW·h	10	0.42	1.6	3.36	
PN #/kW·h	8.0×10 ¹¹	5.68×10 ¹⁰	1.55×10 ¹¹	1.25×10 ¹¹	
CO ₂ g/kW·h	—	613.7	684.03	670.73	

表 2-1-3 自主研发后处理装置 WHTC 试验结果

检验项目	国六标准限值	匹配机型			符合性判定
		WP10	YCK05	YCY30	
CO mg/kW·h	4000	12.34	10.5	65.0	符合
THC mg/kW·h	160	5.69	1.3	6.8	
NO _x	460	334.21	332.9	264.85	

检验项目	国六标准限值	匹配机型			符合性判定
		WP10	YCK05	YCY30	
mg/kW·h					
NH ₃ ppm	10	0.28	0.5	2.1	
PM mg/kW·h	10	0.96	0.4	1.37	
PN #/kW·h	6.0×10 ¹¹	5.06×10 ¹⁰	6.01*10 ¹⁰	1.08×10 ¹¹	
CO ₂ g/kW·h	——	628.2	690.8	686.5	



图 2-1-6 台架法规循环试验照片：匹配玉柴 YCY30 发动机（左）；匹配潍柴 WP10 发动机（右）

开发的后处理装置耐久性能，依据 GB17691-2018《重型柴油车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）》中发动机台架耐久测试方法进行。后处理装置匹配玉柴 YCK08 国六发动机后，台架耐久测试结果满足法规中 6b 阶段对排放耐久性的限值要求。耐久前测试起始点采用冷热态 WHTC 加权后的排放数据（NO_x 排放值为 172.4mg/kW·h），发动机台架运行 1460 小时后（约等于实车运行 23 万公里），耐久后测试结束点为 1 次热态测试排放数据（NO_x 排放值为 160.2mg/kW·h）。耐久性测试结果（表 2-1-4）可以看出，项目开发的后处理装置耐久后性能未衰减，耐久性能优异，可靠性高。

表 2-1-4 WHTC 耐久试验结果

项目	里程（km） /时间（h）	CO mg/kW.h	THC mg/kW.h	NO _x mg/kW.h	NH ₃ ppm	PM mg/kW.h	PN #/kW.h	CO ₂ g/kW.h
国六排放限值		4000	160	460	10	10	6.0×10 ¹¹	--
试验 结果	0km/0h （冷态）	77.5	0.0	882.8	0.9378	3.4	3.3×10 ¹⁰	690.4
	0km/0h （热态）	0.0	0.0	172.4	1.8186	4.7	3.8×10 ¹⁰	675.8
	233600km/1460h （热态）	0.0	0.0	160.2	2.8344	2.3	5.8×10 ¹⁰	681.7



图 2-1-7 台架耐久试验发动机照片（左）；耐久试验催化器照片（右）

开发的后处理装置匹配潍柴、玉柴等多款国六发动机后，应用于北奔（ND5310ZLJZ16）、陕汽（SX4259MC4Q）、柳汽（LZ5250XXYH5CC1）等多家整车厂。产品实际运行过程中，后处理系统保持高转化效率，实际车辆污染物排放得到了有效控制。为了验证催化器在整车实际道路运行过程中的性能，整车 PEMS 排放性能经第三方检测机构在盐城汽车试验场及周边高速进行检测。检测结果表明，该装置应用于东风柳州汽车有限公司乘龙卡车（LZ5250XXYH5CC1）后，各排气污染物（CO、HC、NO_x、PN）均符合 GB17691-2018《重型柴油车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）》6b 阶段排放限值（车载法）要求。根据功基窗口法计算，该样车 CO、NO_x、PN 窗口通过率分别为 100%、90.8%、100%，符合标准中>90%的测试要求。

表 2-1-5 整车 PEMS 试验结果

项目	CO	THC	NO _x	PN	CO ₂	测试时间 (h)
平均排放 (mg/km)/（#/km）	6.0	——	539.6	3.89×10 ¹¹	773479.6	2
平均比排放 (mg/kWh) /（#/kWh）	5.2	——	475.3	3.43×10 ¹¹	681248.6	
再生因子修正后	——	——	——	——	——	
窗口通过率（%）	100	——	90.8	100	——	
排放限值	≤6	≤240(LPG) ≤750(NG)	≤690	≤1.2×10 ¹²	——	
通过率要求（%）	>90	>90	>90	>90	——	
符合性判定	符合					



图 2-1-8 测试路线（左）；测试车辆照片（右）

1.1.6 成果转化推广前景

1.1.6.1 技术推广前景

本技术成果中柴油车后处理催化剂技术，具有高活性、高耐久性特性，在中自环保股份有限公司、安徽艾可蓝环保股份有限公司、凯龙蓝烽新材料科技有限公司、山东宇洋汽车尾气净化装置有限公司等多家催化剂公司已实现产业化。该技术成果打破了国外在排放后处理领域的技术垄断，大大缩减产品开发周期及成本，解决了核心催化材料结构稳定性差、催化剂低温冷启动性能差等一系列问题。通过实施该成果，显著提升了该公司的自主创新能力和品牌竞争力。

开发的高可靠性后处理系统集成技术成果，应用于广西玉柴机器股份有限公司 YCY30、YCS04、YCS06、YCK08、YCK09 等多款国六机型，污染物排放满足柴油车国六排放法规要求，为该公司柴油机排放控制技术升级提供了支撑，为新产品开发奠定了坚实的基础。

开发的柴油车排放控制技术，不仅适用于国内主要车用柴油发动机，还可进一步辐射至工程机械、农用机械、小通机等非道路机械领域及船用发动机领域，从而提高我国在全领域柴油机后处理方面的产品开发能力，最终提升我国发动机排放控制学科的科学研究、产品开发等方面的总体水平。

上述技术成果已成功应用于我国主流柴油车和后处理企业 10 余家，显著提升了骨干企业的市场竞争力，市场占有率近 20%。

此外，开发的柴油机后处理系统开发及匹配标定技术和平台，为潍柴动力、云内动力、济南重汽等国内外知名排放后处理企业提供研发技术服务，开发的多项后处理产品，在多家整车企业实现批量供货应用，产生巨大的经济效益。

根据柴油车年新增 300-400 万台的趋势判断，预期在 2025 年，本技术成果的市占率将进一步增加，有望突破 20%。本成果中的柴油车排放控制技术，不仅适用于车用柴油机，未来将进一步辐射至船用发动机、工程机械、农用机械等非道路机械领域及船用发动机领域，助力我国移动源污染排放控制技术的发展。

1.1.6.2 技术推广障碍及应对措施

(1) 面临巨大的国内后处理市场，国六标准的全面实施为本项目技术成果带来巨大的应用机遇，目前应用推广范围仍需进一步扩大，下阶段将进一步与潍柴、锡柴、全柴、康明斯、上柴、常柴、云内等企业合作加大技术成果及相关后处理产品的全面市场推广。

(2) 我国整车厂以及后处理企业尚缺乏完整的系统集成和匹配优化应用经验，面对未来超低排放法规政策发展趋势，现阶段就需要布局高度集成的后处理系统技术路线，进一步开展超低排放相关技术研究，促进我们大气污染防治工作的推进。

技术 1.2：满足国六天然气发动机排放后处理关键技术开发及应用

1.2.1 技术提供方

本技术提供方为中汽研汽车检验中心（天津）有限公司，中国汽车技术研究中心有限公司。

中汽研汽车检验中心（天津）有限公司是由中国汽车技术研究中心（中央企业）投资建立的独立第三方汽车产品检测及技术服务机构，拥有行业全面、前沿、优质的汽车产品检测及技术服务能力。2021-2023 年，公司年营业收入均在 20 亿元以上，且年增长率在 14%以上。在汽车主被动安全、节能环保、新能源、智能网联等领域，具有对汽车整车、底盘、发动机、灯具、车身附件、汽车电器、动力电池、驱动电机等全系列产品试验能力，能够承担汽车产品质量监督检查、产品定型试验、型式认证、强制性产品认证检验、出口认证检验、委托检验、产品研发改进、技术咨询等多项工作。在生态环境领域方面，开展节能与排放相关科研工作，覆盖标准法规的研究与制定、前沿技术研究运用与开发、监管政策研究与制定、仿真测试研究等科研工作，历年来承担数十项国家及省部级课题研究，为国家和地方政府提供决策支持工作。

1.2.2 技术成果简介

1.2.2.1 技术成果名称和领域

技术成果名称：满足国六天然气发动机排放后处理关键技术开发及应用

技术领域：大气污染防治

1.2.2.2 技术成果来源

中汽中心指南类项目《重型天然气发动机排放后处理技术研究及产业化应用》（21243416），项目经费：620 万。

涉及的授权发明专利具体如下：

表 2-1-6 知识产权列表

序号	知识产权名称	国家	授权号	权利人
1	复合氧化物担载贵金属纳米簇催化剂及其制备和应用	中国	ZL201911319636.1	中国汽车技术研究中心有限公司
2	一种三元催化剂及其制备方法与应用	中国	ZL202310664653.9	中国汽车技术研究中心有限公司,中汽研汽车检验中心（天津）有限公司
3	一种 OFF+ERI 结构 msect-4 分子筛、其制备方法及应用	中国	ZL202210381426.0	中汽研汽车检验中心（天津）有限公司
4	高耐久核壳结构 BEA 分子筛催化剂、制备方法及其应用	中国	ZL202110716496.2	中汽研汽车检验中心（天津）有限公司
5	一种 CHA-OFF-ERI 共生结构分子筛、其制备方法、其催化剂及其催化剂的应用	中国	ZL202011061668.9	中汽研汽车检验中心（天津）有限公司
6	一种 AEI-CHA 共生分子筛及其催化剂	中国	ZL202210002965.9	中汽研汽车检验中心（天津）有限公司

序号	知识产权名称	国家	授权号	权利人
7	一种直接制备 H 型 CHA 结构分子筛的合成方法及应用	中国	ZL202110985026.6	中汽研汽车检验中心（天津）有限公司
8	三效催化剂及其制备方法	中国	ZL202310776917.X	中汽研汽车检验中心（天津）有限公司,中国汽车技术研究中心有限公司
9	一种夹心结构的氨泄漏催化剂及其制备方法和应用	中国	ZL201811410295.4	中汽研汽车检验中心（天津）有限公司
10	一种用于制备蜂窝陶瓷催化剂的涂覆料浆及制浆方法	中国	ZL201811188920.5	中汽研汽车检验中心（天津）有限公司
11	整体式催化剂的涂覆方法及整体式催化剂	中国	ZL202310685630.6	中国汽车技术研究中心有限公司,中汽研汽车检验中心（天津）有限公司
12	OFF-ERI 構造の msec-4 モレキュラーシーブ、その製造方法及び使用	日本	2022-198404	中国汽车技术研究中心有限公司,中汽研汽车检验中心（天津）有限公司

1.2.3 技术内容

1.2.3.1 技术原理及工艺流程

天然气车以“一碳”气体甲烷作为燃料，排放污染物及二氧化碳大幅削减。国六阶段天然气车采用理论空燃比发动机+三效催化剂技术路线，存在贵金属用量大、催化剂易失活、系统可靠性差等问题，严重制约了天然气车的推广普及和产业发展。

本项目依据微孔限域效应，将贵金属限域在纯硅分子筛的五元环贯通孔道中，提高贵金属的分散均匀性，显著降低贵金属用量。构建高耐久核壳结构催化剂配方体系，将高熔点金属氧化物包裹在纯硅分子筛外，利用具有高热稳定性的氧化物壳层抑制贵金属的高温迁移，大幅提高催化剂的耐久性。发明多重助剂催化涂层浆料配方，利用有机媒介化学键合作用，实现催化剂颗粒与载体间的紧密充分接触，有效提高涂层强度。优化设计集成式后处理装置，提升系统通用性。开发的低成本天然气发动机后处理系统可靠性高，满足国六排放标准要求。



图 2-1-9 分子筛限域贵金属三效催化反应示意图（左）及高稳定核壳结构催化剂示意图（右）

1.2.3.2 技术成果适用性分析

本项目技术成果不仅适用于天然气车尾气净化，还可进一步辐射至船舶、农用机械、工程机械发动机后处理系统及固定源天然气发电机组的尾气净化。

1.2.3.3 技术创新性及先进性

本项目成果突破了超低贵金属天然气车三效催化剂制备技术，发明了纯硅分子筛限域贵金属减量技术，实现了贵金属原子级分散，贵金属用量显著降低；发明了分子筛限域催化剂一步原位合成工艺，大幅缩短合成周期；发明了多重助剂催化涂层浆料配方，有效提高涂层强度；优化设计了集成式后处理装置，提升了系统通用性；开发的低成本天然气发动机后处理系统可靠性高，满足国六排放标准要求。苏万华院士任主任的鉴定委员会认为“该成果整体达到国际先进水平，分子筛限域贵金属催化剂技术达到国际领先水平”。主要技术指标与国内外先进同类技术比较如下：

表 2-1-7 与国内外同类技术对比

关键技术	技术指标	本项目成果	国际/行业竞品	技术水平
催化剂配方	贵金属负载量 (g/ft ³)	35	70	国际领先
	涂层脱落率 (%)	0.33	2.00	
工程化工艺	催化剂劣化率 (%)	3.88	5.60	国际先进
	污染物排放量	CO 304.1	2367.3	
高可靠性后处理三效催化器	(劣化系数修正后)	CH ₄ 61.3	391.1	国际先进
	(mg/kW·h)	NO _x 152.0	290.7	

1.2.4 节能减碳或污染防治效果

项目成果为我国天然气车后处理系统应用提供了技术手段与科学支撑，有力推动了满足国六标准天然气车的推广应用，大幅度降低了污染物和二氧化碳排放，促进了我国移动源排放控制基础理论创新和产业技术进步，为我国打赢蓝天保卫战、达成双碳战略目标提供了有力保障。

(1) 科技进步：项目紧密结合我国天然气车排放控制技术产业和技术需求，攻克了天然气车排放领域核心催化材料与工艺、系统集成等多项“卡脖子”技术。项目成果的应用有效提高了移动源排放控制企业的自主创新能力和相关产品的市场竞争力，为我国汽车产业的发展提供理论和技术支撑，带动了行业的全面升级。

(2) 环保效益：项目成果的应用有力推动了天然气车的发展与应用，为我国大气污染治理提供了坚实的技术支撑，显著降低了污染物排放，成果应用期间，HC 和 NO_x 排放量累计减少 942 吨和 2,168 吨，有效减轻了雾霾等环境问题，降低了机动车对生态环境和公众健康产生的危害，为构建美丽中国、实现绿色发展贡献了重要力量。

(3) 应用拓展：项目成果应用于多家国内主流机厂，，推动了上下游产业链的发展。项目成果还可进一步推广应用至船舶、农用机械、工程机械发动机后处理系统及固定源天然气发电机组的尾气净化。

1.2.5 技术示范情况

项目成果已在凯龙蓝烽、昆明贵研和无锡威孚实现了产业化，应用于玉柴、潍柴等多款国六机型，应用情况如下：

案例一：昆明贵研催化剂有限责任公司是我国主要后处理三效催化剂产品生产厂商之一。该公司运用本项目天然气后处理核心催化剂及产业化技术，解决了催化剂成本高与高温水热易失活问题。

案例二：凯龙蓝烽新材料科技有限公司从事发动机尾气后处理催化器及其载体的研发与生产，应用本项目研发的低脱落涂层技术，提升了催化剂涂层的稳定性和一致性。

案例三：无锡威孚力达催化净化器有限责任公司为国内内燃机后处理行业骨干企业，应用本项目开发的技术有效降低了贵金属用量，保证催化器活性与耐久性的同时大幅度降低了生产成本，切实提高了公司的品牌竞争力。

1.2.6 成果转化推广前景

1.2.6.1 技术推广前景

2023 年以来，国内天然气重卡全年销量达 15.2 万辆，同比增长 307%，创下历史新高；2024 年 1 月至 5 月市场累计销量 9.25 万辆，同比增长 127%。中国卡车信息网数据显示，预计 2024 天然气重卡销量达 28.2 万辆，同比增长 85.4%。若按同比增长率 85.4% 计算，预计 2025 年天然气重卡销量将达 52.3 万辆，配套相应后处理催化器 52.3 万套。后处理催化器体积按 10 L 进行计算，应用本项目成果后，预计单套后处理催化器贵金属含量降低 50%，生产成本节约 1.8 万元。

与传统汽油车和柴油车相比，天然气车的二氧化碳和污染物排放量大大减少。例如与汽油汽车相比，天然气车二氧化碳排放减少 90% 以上，碳氢化合物排放减少 70% 以上，氮氧化物排放减少 35% 以上。该项目成果可有效促进天然气车的推广应用，降低排放污染、保证能源安全、改善空气质量。

1.2.6.2 技术推广障碍及应对措施

对于天然气车而言，基础设施的建设是一个不可忽视的大问题。相比加油站，加气站的数量和分布密度远远不够。这不仅会限制天然气车的使用范围，也会影响到消费者的接受度。除了加气站，天然气管道的铺设也是一个需要长期投资和规划的项目。这些基础设施的建设不仅成本高昂，而且需要与居民生活燃料供应相协调。

技术 2：基于融合引擎的智慧充电管理关键技术及应用

2.1 技术提供方

本技术提供方为天津平高易电科技有限公司。

为天津平高易电科技有限公司（以下简称“平高易电”），成立于 2023 年，公司注册资本 9000 万人民币，隶属于中国电气装备集团平高集团（平高集团持股比例 50.78%，天津平高持股比例为 49.22%），是平高集团充换电等绿色智慧能源业务技术创新策源地和实践基地，致力于支撑我国实现“碳达峰、碳中和”目标和能源清洁低碳转型，成为“电气技术引领者、能源革命推动者、绿色发展践行者”。先后荣获“中国充电设施大功率直流充电技术领跑企业”和“中国充电设施光储充一体化技术领跑企业”等荣誉称号，自主研发的“基于融合引擎的智慧充电管理系统”，顺利通过电工技术学会主持的科技成果鉴定，达到国际领先水平。

2.2 技术成果简介

2.2.1 技术成果名称和领域

技术成果名称：基于融合引擎的智慧充电管理关键技术及应用

技术领域：碳减排技术

2.2.2 技术成果来源

技术成果来源：公司内部科技项目计划

本技术涉及的授权专利情况如下：

表 2-2-1 知识产权列表

序号	知识产权名称	类型	授权号	权利人
1	一种电动汽车充电调度方法和系统	发明专利	ZL202311537037.3	天津平高易电科技有限公司
2	并离网自动切换的光储充放电一体机	实用新型		天津平高易电科技有限公司，平高集团有限公司
3	智慧充电管理平台 V1.0	软件著作权	2023SR1399002	天津平高易电科技有限公司

2.3 技术内容

2.3.1 技术原理及工艺流程

本项目基于云端的 SaaS 模式，设计开发了一种基于融合引擎的智慧充电管理平台。平台拥有完全自主知识产权，是以融合引擎为基座、以智能模型为核心的一体化能源互联网 SaaS 平台。平台融合先进的物联网、微服务、大数据、数据挖掘相关技术，形成新型的集快速采集、信息治理、数据挖掘、智能分析及预测的融合引擎，在各类型充电桩的海量数据基础上，融合多元化充电数据，实现全面数据整合和即时、高效、可靠的深度交叉分析，致力于为充电系统提供涵盖充电管理、智能运维、智能分析、智能预测等功能的充电管理一站式服务。从用户层面，提供用户管理、设备管理、智能运维、有序充电等个性化、智能化、便捷、高效的用户体验，从平台层面，已形成融合引擎+智能模型为生态体系的“车充网云”四维一体协同生态布局，可助力用户和系统达成充电管理、有序充电、设备全生命周期维护、

故障精准诊断与前瞻性预测以及智能调度优化的充电全方位管控，平台兼具高可靠性、互通性、包裹性，针对各企业电桩互通具备完整的集成技术优势，为智慧充电注入智能与创新的基因，促进充电系统的智能决策、业务优化和创新，为用户提供更加便捷高效的充电体验的同时为配电网的平稳运行保驾护航。

2.3.2 技术成果适用性分析

本项目主要应用于充换电、光储充检等新能源领域，涵盖电动车充电基础设施、电动车充电服务、智能化运维、能耗监测等各个方面，包括但不限于电动车充电站管理、电动车充电站导航、电动车充电计费、充电设备监控、能源管理、车队管理、数据分析和报告、政府和城市规划、智能家居和小区管理、智能能耗管理、可再生能源集成等。

2.3.3 技术创新性及先进性

项目主要创新内容有以下 5 项：

(1) 基于云端 SaaS 模式开发物联网多租户智能化充电管理平台,为管理者及用户提供不限于充电管理、客户管理、电桩管理、计费管理、告警管理、数据可视化等功能，以及高可靠性、高可维护性、高安全性、高拓展性的优质服务。

(2) 开发了一种融合引擎。融合引擎集合微服务和数据挖掘分析架构，进行生态系统整合。微服务架构基于云化构架搭建，底层集成高性能的异步消息及持久化框架，配合异步处理、应用解耦、流量削峰技术，内置熔断、自动扩容机制，兼容高流量并发应对策略。数据挖掘架构集合数据采集服务、流式处理服务、消息队列服务、数据湖服务、智能业务模型、模型评估服务等。微服务与数据挖掘架构之间数据相互联通、架构相互独立。

(3) 设计了 4G 网络监控及调配的深度 Q 网络+银行家算法的电动汽车有序充电策略模型，通过分析电网负载、用户行为和设备状态等多个参数，调控负载和充电桩容量占比，调控充电中的桩头实时功率；扩大区域内可用充电设备数量，实现区域级分散式充电桩充电控制策略的有序调配，满足用户需求的同时减少峰值负荷，提高电网稳定性。

(4) 设计了梯度提升树与多层感知机融合的充电桩故障检测模型，提升故障诊断精度，提前预测充电设备故障，采取预防性维护措施，实现故障实时响应、半自动化运维。

(5) 设计了一种基于充电过程数据的锂离子电池健康状态评估方法，通过监测、分析电池在充电时的性能和行为，对电池健康状态进行实时估算，诊断潜在问题，确保电池系统的安全性和效率，提高电池的可靠性。

2.4 节能减碳或污染防治效果

目前已建设充电站 1224 座，电桩终端 6795 台，年总充电量约 800 万度，可每年减少碳排放 6280 吨，相当于植树 8 万棵。通过推动电动车的普及、提供高效的充电基础设施和有效的充电管理，项目有助于减少尾气排放，改善空气质量，应对气候变化。其次，该平台提高了充电设备和电力网络的利用效率，减少能源浪费，促进了能源可持续性。社会交通拥堵问题得到改善，城市居民享受更清静的城市环境，而项目也创造了就业机会，促进了经济增长，充电管理平台生成丰富的数据，可用于城市规划、交通流量管理和能源需求管理，有助于政府和企业更有效地决策，通过平滑电动车的充电需求，项目有助于提高电力网络的稳定性，减少了尖峰负荷和需求波动。此外，支持可再生能源的集成，有助于能源多样化，减少

对化石燃料的依赖。最重要的是，该项目为智能城市的发展奠定了基础，提高了城市的可持续性、可靠性和生活质量。通过数据驱动的决策支持和电力网络稳定性的提高，社会受益于更智能、更环保和更便捷的出行方式。

2.5 技术示范情况

案例：平高易电临潼澜泊湾充电站

工程规模：该充电站占地面积约 2000 平方米，设计有 10 个充电车位和 30 个快速充电桩终端，总充电功率达到 3600kW。

该电站选址于城市交通枢纽附近，交通便利，周边新能源汽车保有量高，充电需求旺盛。建设包括充换电站基础建设、电力接入系统、换电设备安装、充电桩部署、智能监控系统集成等。关键设备为平高易电自主研发的快速充电桩、箱式变电站及智能充换电运维平台。

投入运行时间：2024 年 5 月

业主及联系方式：西安市临潼区朗元电力服务有限公司，联系电话：13662032590

案例地址：西安市临潼区 G108 旁澜泊湾 (东南 1 门)

电站运行流程及主要参数：用户车辆驶入充电站，通过自动识别系统确认身份后，快速充电桩为车辆提供充电服务。

充电时间：平均 10 分钟

充电桩功率：单枪最高可达 120kW

箱式变电站容量：1250kVA

智能监控系统响应时间：<5 秒

充电桩转换效率：≥95%

目前该电站每月充电量 12 万度左右，每月助力碳减排 94.2 吨，相当于植树 1200 棵。

应用效果：快速充电模式极大缩短了用户等待时间，提高了充电效率，用户满意度显著提升；增加充电容量：日均服务车辆超过 500 辆，有效缓解了周边新能源汽车的充电压力；相比传统燃油车，每年可减少碳排放约 1130 吨；充换电站运行过程中无废水、废气排放，噪声控制在国家标准以内；电池管理系统实现电池梯次利用，废旧电池交由专业机构回收处理，资源化利用率高。

能源、资源节约和综合利用情况：充电站无废水产生，设备运行过程中无废气排放，几乎无噪声，各项环保指标均符合国家相关标准。通过智能调度系统优化充电策略，减少电网负荷峰谷差，提高能源利用效率；结合车电分离模式，推动新能源汽车市场化进程，促进新能源汽车产业链的协同发展。

2.6 成果转化推广前景

2.6.1 技术推广前景

本项目目前已应用于天津、河南、江苏、上海、山东、山西等国内多个电站，最早自 2022 年 8 月至今稳定运行。可不同程度解决大规模充电带来的电网冲击、维护成本、充电安全、用户体验等问题。其多租户模式使电站运营商增加收入、使企业车队实现智慧管理、使个人车主享受优质充电服务。项目可提供对于充电管理、远程监控、充电策略、数据分析和预测性维护等智能化、自动化和数据分析的全面解决方案，完善了充电系统总体生态，使

得充电设施与充电服务全生命周期管理更加完整化和智能化。预计 2025 年能达到 2000 座左右电站，电桩终端 1.2 万台以上，可每年减少碳排放 11300 万吨，相当于植树 14 万棵。

2.6.2 技术推广障碍及应对措施

部分地方政府对充换电设施建设的支持力度不够，缺乏明确的补贴和激励政策。相关充换电标准制度不健全，充换电设施建设成本高，需要大量资金投入，对企业和个人造成一定经济压力。

应对措施：持续关注国家充换电方面的政策，深入研究充换电实施标准，不断引进充换电领域相关人才，解决充换电等待时间长、效率低、以及充换电安全的问题。

技术 3：环形炉纯氧燃烧及其控制技术

3.1 申报单位基本情况

该技术提供方为天津钢管制造有限公司。

天津钢管制造有限公司（简称天津钢管），又名“大无缝”，是我国“八五”期间为保障能源安全战略建设的重点项目，是中信泰富特钢集团控股子公司。天津钢管具备年产 350 万吨无缝钢管生产能力，其中油井管年产能超过 150 万吨，工艺技术和装备水平国内先进，是品种规格齐全的石油套管生产基地，是我国乃至全球无缝钢管行业领军企业之一。

近三年，天津钢管经营状况持续向好，营业收入不断攀升，2023 年更是突破 191 亿元，成功实现扭亏为盈，天津钢管已步入高质量发展快车道。

天津钢管以生态优先和绿色发展为导向，持续加大投入力度，加强生态环境保护与低碳发展，将“绿色发展、循环发展、低碳发展”与各项工作深度融合。2021 年全面启动超低排放改造，于 2023 年通过中钢协超低排放有组织、无组织、清洁运输三方面评估公示。2023 年又陆续建设实施了光伏发电、加热炉全氧改造、余热利用造等节能降碳项目，获评“钢铁绿色发展标杆企业”。2024 年，168 机组环形炉智能绿色低碳改造项目入选国家第一批绿色低碳先进技术示范项目清单，获得第二批中央大气污染防治专项资金项目补助资金支持；参与的基于二氧化碳资源化利用的绿色洁净炼钢技术及应用项目荣获国家科学技术进步奖二等奖。

3.2 技术成果简介

3.2.1 技术成果名称和领域

我公司将纯氧燃烧技术应用于环形加热炉属国内首创，形成了“环形炉纯氧燃烧及其控制技术”技术成果。该技术成果通过采用新型纯氧无焰烧嘴，配备由一个总阀台和多个分阀台组成的供气系统，以及多套新型残氧检测仪，在确保燃料充分燃烧的基础上，提高燃料热能利用效率，大幅度减少大气污染物 NO_x 及温室气体 CO_2 的排放。

该成果涉及绿色低碳领域和生态环境保护领域。为工矿企业能源绿色低碳转型和工业低碳降碳创出可行之路。根据纯氧燃烧的特点，在生态环境保护领域，大幅度降低大气污染物和温室气体的排放。

3.2.2 技术成果来源

该技术成果来源于公司绿色低碳发展实践，为公司自研原创项目。2024 年 3 月 30 日，《168 机组环形炉智能绿色低碳改造项目》入选国家第一批绿色低碳先进技术示范项目清单。同时获得第二批中央大气污染防治专项资金项目补助资金 835 万元支持。

3.3 技术内容

3.3.1 技术原理及工艺流程

纯氧非预混燃烧技术，采用全新纯氧无焰烧嘴，根据实际需要配置多套具备点火功能和火焰检测功能的点火烧嘴，实现手动/自动点火。

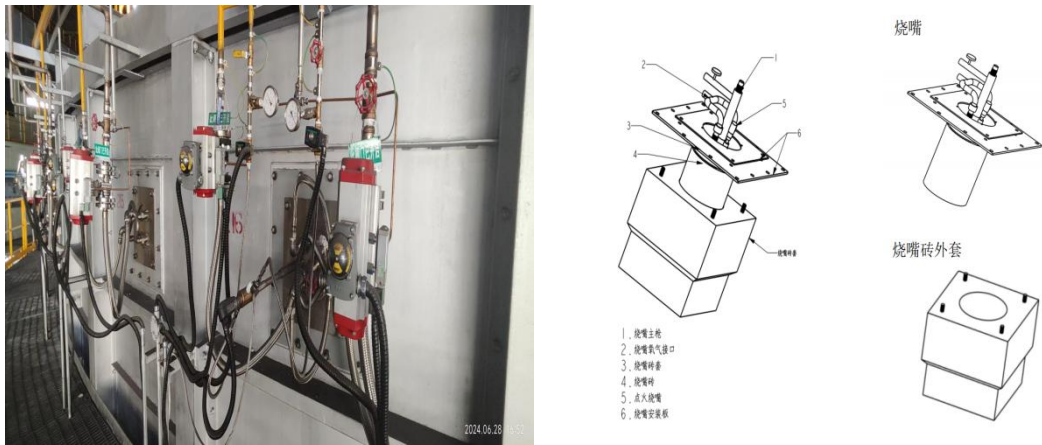


图 2-3-1 纯氧无焰烧嘴

全新的气体供应系统，由一套主阀台、多套分阀台以及嘴前阀组组成；阀台采用整体撬装结构，其安全性和质量保证也大大提高。



图 2-3-2 气体供应系统

全新的供气系统，通过智能控制系统以及残氧分析系统、温度检测系统，实现炉膛氛围和温度精确的控制，并且具备高低压报警，高低压切断功能，确保用气安全。

根据加热分区安装多套残氧检测仪，并配备残氧分析系统，实时监控炉膛氛围，确保炉膛残氧在 3% 以下，提高燃料利用率，减少氧化烧损。

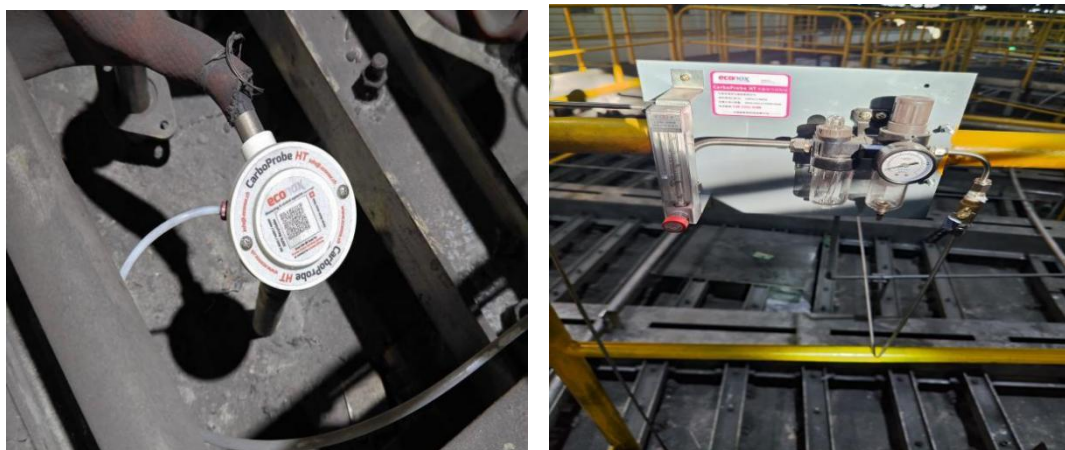


图 2-3-3 残氧检测仪

3.3.2 技术成果适用性分析

该技术成果除了应用于钢铁冶金行业高温加热炉之外，在玻璃、有色金属等行业也可广泛应用。也可用于热处理炉等高温加热需求领域。

环形炉纯氧燃烧及其控制技术，燃料主要为天然气等高热值碳氢化合物，并需要稳定的氧气来源，氧气浓度要求 93%以上。

该技术对于炉体大小暂无限制，适用于低合金、高合金等各种材质钢坯加热。

3.3.3 技术创新性及先进性

该技术成果经过天津市科学技术信息研究所查询对比，国内外均未见与该项目技术特点相同的文献报道。

经天津市科技评价中心专家评审，成果总体技术达到了国际先进水平。

其创新性及先进性如下：

（1）配备全新的燃烧系统。对燃烧发生装置燃烧器的选择，由原空气预热非预混燃烧器更换为纯氧非预混燃烧器，燃烧介质直接参与燃烧；

（2）燃烧器核心部件选用新型非金属耐磨耐高温材料。提高烧嘴使用寿命，减少维修频率；

（3）在新型燃烧器的加持下，天然气和氧气喷射速度最高可达 100m/s，实现燃料在炉膛内边混合边燃烧，一方面可减少高温区面积，同时带动炉内气氛，具有烟气回流的作用，提高炉膛温度均匀性；

（4）在保持原加热分区的基础上，配备一套总阀站和多套分阀站（根据环形炉加热区数量配备）。阀台具备安全切断功能，天然气-氧气流量比例控制功能，并具备完善的高低压报警；

（5）每个加热区各安装 1 套新型残氧监测装置，与智能燃烧系统相结合，实时调节氧燃比，控制炉膛气氛，降低烟气残氧水平，降低坯料的氧化烧损率，从而达到节能降耗，降低氮氧化物排放的目的。

3.4 节能减碳或污染防治效果

（1）该技术成果采用纯氧助燃，天然气单耗降低 28%以上，由燃烧公式可以看出天然气能耗的降低直接决定二氧化碳的排放降低；烟气排放量减少 75%以上；且因燃烧氛围中

氮气的减少，减少高温条件下 NO_x 的产生，小时氮氧化物折算值降低到 $100\text{mg}/\text{Nm}^3$ （8%基准氧含量折算）以下。

（2）常规空气助燃，由于参与燃烧反应的氧气在空气中仅占 21%，而 79% 氮气不参与燃烧的放热反应，却吸收大量热量用于自身的升温，因此增加了燃料消耗和烟气排放量，降低了燃烧效率和系统热效率。

而纯氧燃烧技术的一个显著特征是，燃烧过程中无氮气，减少了氮气吸热带走的热量，且在纯氧助燃的条件下，燃料燃烧充分，热效率高。燃烧火焰中的三原子结构，具有更强密度的红外辐射频谱，因而辐射效果更强。通常用空气助燃的烟气中， CO_2 和 H_2O 的体积百分数之和一般不超过 30%，而纯氧助燃，燃烧产物中几乎全部为 CO_2 和 H_2O ，辐射系数可提高 20% 以上。

在高温燃烧中，燃料的燃烧热主要以辐射的方式传递给坯料及炉壁。炉气中的三原子及多原子气体具有较强的辐射能力，而双原子气体，如 O_2 ， N_2 等几乎没有辐射能力。热辐射主要来自 CO_2 和 H_2O 分子。由于在纯氧燃烧气氛中没有或非常低的氮含量，具有强辐射效果的 CO_2 和 H_2O （三原子结构）的浓度将非常高，辐射热传递显著增加。

3.5 技术示范情况

（一）案例概况

环形炉纯氧燃烧及其控制技术，首先应用于天津钢管制作有限公司轧管事业部一轧管分厂《168 环形炉智能绿色低碳改造项目》，该项目于 2023 年 4 月 28 日正式立项，2023 年 10 月 23 日开始实施，11 月 26 日投产运行。2024 年 4 月份各项指标达到预期。2024 年 7 月份验收。主要技术路线及实施过程内容如下：

- （1）所有原设计侧墙布置常规空气直焰烧嘴更改为天然气无焰纯氧烧嘴，新烧嘴安装位置与改造前保持一致，新烧嘴砖外形尺寸设计与改造前烧嘴砖外形尺寸一致；
- （2）原布置于炉顶的常规空气平焰烧嘴侧墙布置天然气无焰纯氧烧嘴；
- （3）烧嘴控制模式为分区控制，可实现单烧嘴远程开闭，氧燃比动态自动可调；
- （4）在各加热分区根据需求配置低功率纯氧点火烧嘴；
- （5）拆除原设计助燃风机、热风和天然气供应管网系统，更新氧气和天然气供应管网系统，新的供气系统由 1 个总管阀站、多个分区阀站和嘴前控制阀组组成；
- （6）根据新的纯氧燃烧系统配备新的电气仪表控制系统；
- （7）增加炉内气氛动态控制系统。由多套新型残氧检测仪及其残氧分析系统组成；
- （8）更新排烟系统，拆除换热器及换热器前排烟管道更换为新的排烟管道及炉压控制闸板，烟囱出口缩径处理，增加两台引风机（一备一用），更新炉压控制程序。

（二）工艺流程及主要参数

天津钢管公司轧管事业部一轧管分厂工艺流程图如下：

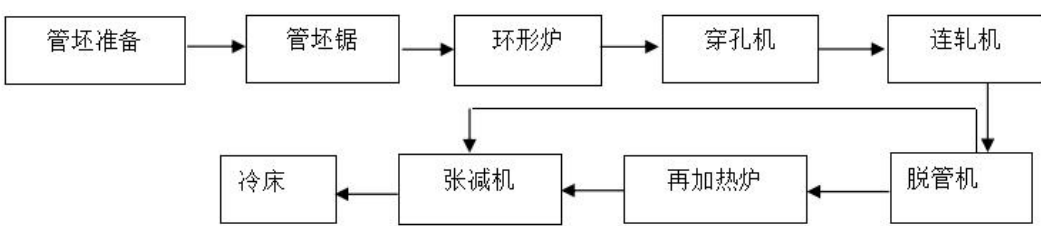


图 2-3-4 管事业部一轧管分厂工艺流程图

天津钢管公司 168 环形炉, 中径 3325mm, 炉膛宽度有效宽度 4368mm, 圆坯直径 150mm、200mm、210mm; 由装料区、预热区、加热区、均热区以及出料区组成; 燃烧介质采用天然气和纯度达到 93%以上纯氧, 最高加热温度 1300℃; 设计产量 120t/h。其工艺流程图如下:

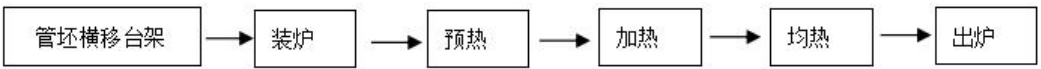


图 2-3-5 168 环形炉工艺流程图

(三) 应用效果

2023 年 168 环形炉智能绿色低碳改造后, 环保效益显著。经过不断调试各项指标达到预期指标, 其中年化天然气消耗降低近 34%, 年化烟气排放量减少 95%以上, 年化 NO_x 排放吨位降低 99%以上, 年化 CO₂ 排放量降低近 34%。

(四) 二次污染防治

纯氧燃烧产物主要为二氧化碳和水, 无二次污染。

(五) 能源、资源节约和综合利用情况

该技术成果成功应用于天津钢管公司一轧管分厂《168 环形炉智能绿色低碳改造项目》, 经过近一年的运行, 节能降耗成果显著, 经济效益十分可观, 年化经济效益近 1500 万元; 减污降碳协同增效, 为天津钢管公司积极响应国家“双碳”目标, 实施“高端化、智能化、绿色化”发展的宏伟蓝图贡献力量。

(六) 投资和运行成本

2023 年环形炉智能绿色低碳改造投资金额共 2000 余万元, 其中成套设备采购 1600 余万元, 建安工程 400 余万元。

到 2024 年 4 月份各项指标达到预期效果。与改造前同期相比, 天然气吨管单耗同比降低 28%以上; 电耗降低约 6 度/t; 烧损降低 0.2 个百分点以上; 新增氧气单耗 63Nm³/t 以下。按照天津钢管 168 机组的年均产量, 经济效益约 1500 万元, 投资回收期约 18 个月。

经测算, 吨钢运行成本约为 200 元。

3.6 成果转化推广前景

(一) 技术推广前景

目前该技术尚无其他案例, 为全国首创。2025 计划在天津钢管制造有限公司 258 环形炉及中信泰富特钢靖江特钢 258 环形炉上应用。预计节能率均能达到 20%以上, 国内其他加热炉也逐步开始论证实施的可行性。

（二）技术推广障碍及应对措施

鉴于该技术目前仅用于天然气等高热值碳氢化合物燃料，且高度依赖氧气来源，需要综合考虑天然气和氧气价格，计算经济效益，对于长流程钢铁企业使用混合煤气等低热值低价副产品的工业炉窑，在经济效益核算上具有一定的局限性；对于无高纯度氧气来源的单工序工厂，需解决成本更低的氧气供应问题。

技术 4：稀土红外蓄热温升纤维及面料制备技术

4.1 技术提供方

本技术提供方为天津包钢稀土研究院。

天津包钢稀土研究院成立于 2012 年，是包头稀土研究院在天津设立的独立法人实体，企业性质为国有企业。现有职工 50 人，其中硕士以上学历 40 人，占职工总数 80%；科研人员 42 人，占职工总数的 84%。

注册资本 4550 万元，实验楼占地面积 5045.24 平方米。主营业务包括稀土、冶金技术研究开发、技术转让、咨询、服务、分析检测；冶金工程设计；稀土产品、冶金产品、化工产品（化学危险品及易制毒品除外）、稀土功能材料销售；日用陶瓷制品销售；服装服饰零售；服装服饰批发；产业用纺织制成品销售；户外用品销售；玩具销售；化妆品零售；化妆品批发；个人卫生用品销售；针纺织品及原料销售；针纺织品销售；日用品销售；日用品批发；工艺美术品及礼仪用品销售（象牙及其制品除外）。

近三年来，公司收入逐年增加，企业净利润保持相对稳定的状态，先后被认定为“国家高新技术企业”、“天津市技术领先型企业”、“天津市专精特新企业”、“天津市产业技术研究院”、“天津市科技成果概念验证平台”、“天津市瞪羚企业”等。

生态环境领域技术工作情况简介：开发出的稀土蓄保暖纤维及其面料制备技术提高了面料的保暖性能，减少了冬季的取暖能耗；开发出的稀土纳米断热系列材料，在保持可见光高透过率前提下实现 95%以上红紫外线吸收，阻隔热量，大幅降低室内空调能耗；开发出的稀土多彩反射隔热涂料，可以降低建筑外墙、金属表面因太阳辐射引起的对内热量传导，热反射率可达 90%以上，可使物体表面温度下降 15-20 度，室内温度降低 1-3 度；开发出的稀土耐火材料大幅提高了工业窑炉、热风炉、蓄热炉等炉体的热能利用效率，综合节能率可达 10%以上。

4.2 技术成果简介

4.2.1 技术成果名称和领域

技术成果名称：稀土红外蓄热温升纤维及面料制备技术

技术领域：碳减排技术

4.2.2 技术成果来源

技术成果来源于北方稀土科技项目《稀土基红外温升面料的研发及应用》，项目编号 BFXT-2022-D-0025。

本技术涉及的专利情况如下：

表 2-4-1 知识产权列表

序号	知识产权名称	专利号
1	一种稀土基保暖复合纤维及其制备方法和应用	CN114525595B
2	一种红外蓄热功能纤维母粒及其制备方法	CN114539741B
3	一种稀土基红外升温保暖织物及其制备方法和应用	CN114541138B
4	一种稀土基红外反射保暖织物及其制备方法和应用	CN114525676B

4.3 技术内容

4.3.1 技术原理及工艺流程

稀土红外蓄热温升纤维制备技术原理（图 2-4-1）：将稀土纳米粒子通过后整理或母粒法添加到纺织材料中，调控织物在可见-近红外波段(400~2500nm)，以及远红外波段(5~14 μm)的吸收和发射，改变纺织材料与太阳能量和人体辐射的作用状态，赋予织物蓄热温升的功能。稀土红外蓄热温升材料可以吸收太阳热和循环人体热，提升织物的保暖性能。

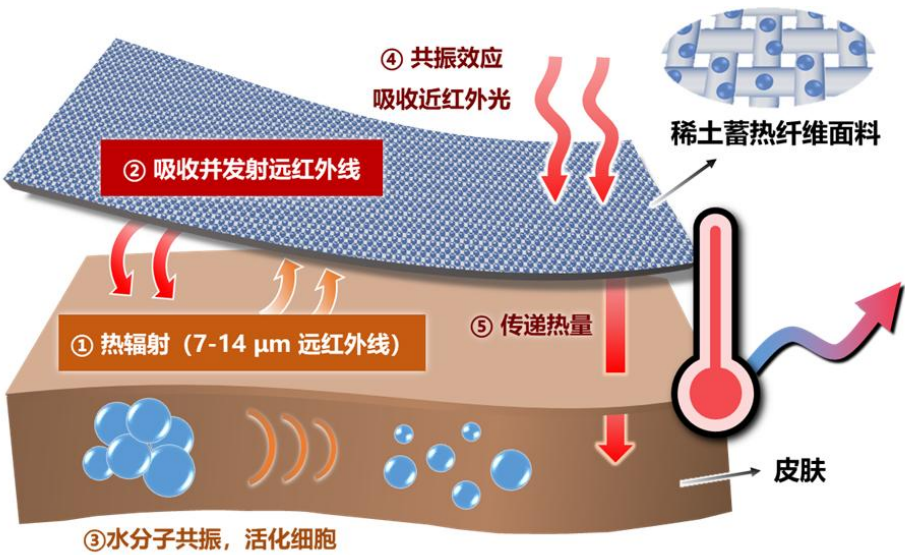


图 2-4-1 稀土红外蓄热温升纤维制备原理图

稀土红外蓄热温升浆料制备工艺流程（图 2-4-2）：将原料 A 和原料 B 按比例混合后放入鼓风烘箱中干燥；粉碎后还原煅烧得到稀土红外蓄热温升混合粉体；将稀土红外蓄热温升混合粉体与去离子水混合均匀，加入助剂经球磨和砂磨得到稀土红外蓄热温升浆料。

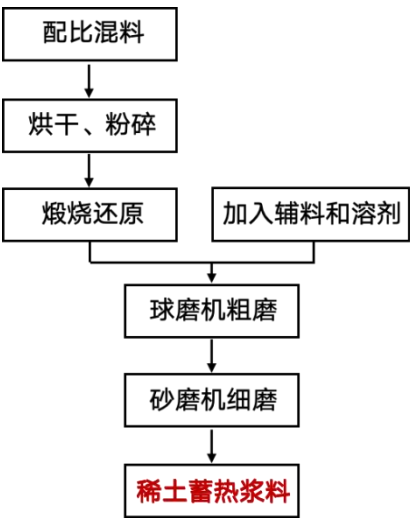


图 2-4-2 稀土红外蓄热温升浆料的制备工艺流程图

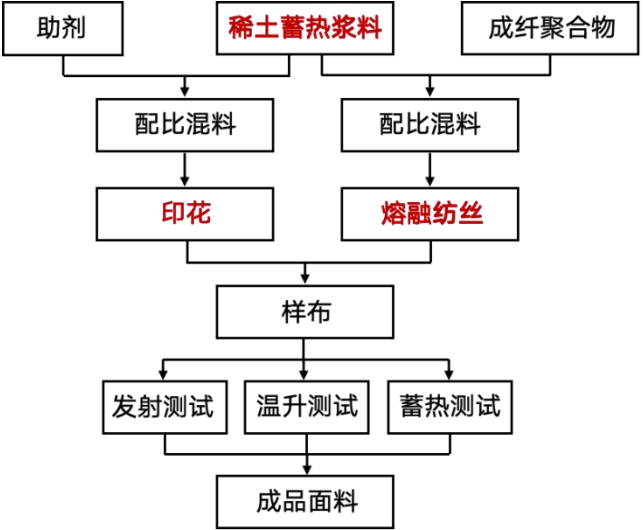


图 2-4-3 稀土红外蓄热温升纤维及面料制备工艺流程图

稀土红外蓄热温升面料制备工艺流程（图 2-4-3）：（一）将稀土红外蓄热温升浆料浓缩后与成纤聚合物共混再经过干燥，造粒，切粒，熔融纺丝，织造得到稀土红外蓄热温升布料。（二）将稀土红外蓄热温升浆料与印花助剂按比例混合后经印花工艺得到稀土红外蓄热温升印花面料。

4.3.2 技术成果适用性分析

本技术成果适用于需要户外作业的行业，如交警、建筑工人、输电线路运检工、快递员，也适用于中老年人理疗保健。本技术提供的稀土红外蓄热温升纤维主要是在冬季使用，在冬季户外使用时可减少热量流失，同时吸收太阳光为人体提供热量，户内使用时应贴身穿着，可辐射人体远红外线，具有理疗和保暖的效果。

4.3.3 技术创新性及先进性

本技术制备的稀土红外蓄热温升纤维可以用于制备稀土蓄热纺织品，可吸收太阳热（400~2500nm）和循环人体热（5~14μm），面向功能性纺织品市场，开发蓄热保暖材料，具有高发射率，轻薄舒适，保暖保健的特点。其中光蓄热最大温升能达到 9.6℃，远红外温升值为 4.4℃，远红外发射率为 94%，在国际和国内同类技术中所处优秀水平，其中石墨烯印花面料远红外温升值为 2.7℃，陶瓷印花面料为 2℃，Columbia 热反射布料为 1.9℃，UA 热反射面料为 1.8℃。

4.4 节能减碳或污染防治效果

本技术在稀土红外蓄热纺织材料的开发上取得了显著成果，这些技术不仅提高了纺织品的性能，还减少了因取暖带来的暖能空调的能耗。通过这些高效的蓄热材料，显著降低了纺织品在生产和使用阶段的能源消耗，同时减少了对传统保温材料如羊毛和羊绒的依赖，为环保贡献力量。

本技术的蓄热纺织品通过提高保暖效率，直接减少了冬季取暖的能源需求。初步估算，使用这种稀土蓄热温升材料的纺织品相较于传统纺织品可减少约 10% 的室内取暖能耗，换算为每个家庭一个冬天能减少约 144 度电。在纺织生产过程中，以现有小型化纤生产厂家年产 100 万吨产能为例，通过使用稀土蓄热材料可去掉重污染的印染环节，并且实现了约 15%

的能源节约，约 840000 度电。该技术减少了因传统制备流程所产生的 CO₂ 和其他温室气体排放。通过减少使用化石燃料来源的能源，预计每年可减少约 2000 吨的 CO₂ 排放，相当于少种约 140000 棵树。减少对羊毛和羊绒的使用，也减轻了对动物资源的压力。采用稀土蓄热技术的羽绒服和其他冬季服装，在不牺牲舒适度和轻便性的前提下，可以提高 5 到 9℃ 的保暖效果，广泛适用于服装和家纺产品。

4.5 技术示范情况

案例一：稀土热返面料的开发及其在羽绒服中的应用

案例概况：将稀土蓄热剂涂覆到面料表面制备稀土蓄热印花面料，而后与安踏（中国）有限公司合作，将该面料用于炽热科技羽绒服里料中。材料制备过程中涉及到的关键设备包括管式炉、球磨机、砂磨机等，面料制备过程中涉及到的关键设备包括滚涂机、剪裁机等。项目由中国北方稀土（集团）高科技股份有限公司提供资金支持，验收单位为北方稀土，已于 2024 年 3 月验收通过。案例地址位于天津市东丽东华明工业园 b 座 5 号楼。

工艺流程如下图所示：

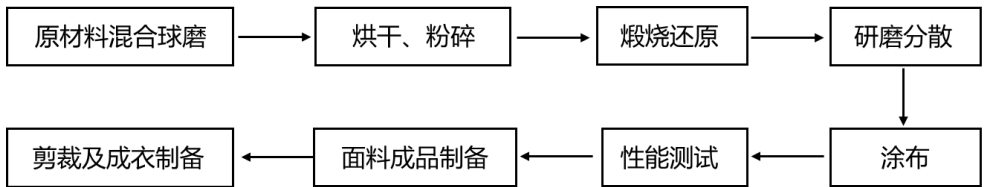


图 2-4-4 稀土热返面料制备工艺流程图

应用效果：稀土红外蓄热剂中的稀土纳米粒子吸收人体辐射出的远红外线，并以 94% 的发射率高效发射回人体皮肤表面，形成热循环效应，减少热量流失，提升保暖性。羽绒服的远红外辐照温升值为超过 4 度，达到国家纺织品辐照温升标准的 2.5 倍，显著提高了产品的市场竞争力和消费者满意度。

4.6 成果转化推广前景

4.6.1 技术推广前景

稀土红外蓄热温升纤维的制备技术，是一项将稀土材料应用于纺织领域的创新技术。目前，该技术在国内外尚处于发展阶段，市场地位逐渐提升，但普及率仍有待提高。随着人们对健康、环保和功能性纺织品需求的增加，以及全球对于节能减排和碳中和目标的追求，该技术具有广阔的市场前景。

技术成熟度方面，稀土基红外温升面料已经完成了实验室研究，小规模试生产和中试生产，部分产品已经进入市场并得到了积极的反馈。预计到 2025 年，随着技术的进一步成熟和市场的扩大，该技术在产业内的应用比例有望达到 5%-10%，尤其在高端户外服装、运动服饰和家纺产品中。

市场容量方面，考虑到全球纺织行业的庞大规模和对新型功能性材料的需求，稀土基红外温升面料的市场容量预计将持续增长。结合技术经济性条件，该技术的成本效益比正在逐步优化，预计到 2025 年，可以实现规模化生产，降低成本，提高市场竞争力。在节能减碳和环境污染防治方面，稀土基红外温升面料可以有效降低冬季取暖能耗，减少温室气体排放。

预计到 2025 年，该技术的应用可以为纺织行业减少 5%-10% 的能源消耗，同时减少相应的碳排放量，对环境污染防治具有积极影响。

4.6.2 技术推广障碍及应对措施

技术推广障碍主要包括：

（1）稀土材料在纺织面料中的均匀分散和稳定性问题，以及提高远红外性能和降低成本的平衡。

（2）稀土材料的供应和成本控制，以及扩大生产规模所需的资金投入。

（3）在市场接受度、消费者认知度需要与传统产品的市场竞争。

应对措施包括：

（1）持续优化稀土材料的制备工艺，提高其在纺织面料中的应用性能和稳定性。

（2）与稀土材料供应商建立稳定的合作关系，确保原材料供应，同时寻求政府和金融机构的资金支持。

（3）市场推广：通过品牌合作、广告宣传和消费者教育，提高市场接受度和消费者认知度，增强产品的市场竞争力。

技术 5：全钒液流电池储能模块

5.1 技术提供方

本技术提供方为天津泰然储能科技有限公司。

天津泰然储能科技有限公司（以下简称“泰然储能”或“公司”）成立于 2023 年 8 月，注册在滨海新区经济技术开发区，是天津唯一一家专注长时储能领域中液流电池研发、设计、生产和销售的科技公司。注册资本 1111 万元。公司已获得国家科技型中小企业和天津市雏鹰企业认定，与天津大学、泰达控股、天津能投等企业有密切的合作关系。泰然储能是国内少数深耕多种液流技术路线，并拥有行业领先的自主技术储备的企业。公司开发并量产出 50kW/200kWh 的高性能全钒液流电池系统，在工业园区微电网内稳定运行。系统在质量和技术指标上通过了具备 CMA/CNAS 资质的电力储能行业第三方权威检测机构中国电科第十八研究所的检测认证，十余项核心指标性能均处于行业领先水平。公司与天津大学通过横向课题、自然科学基金等方式已经开展了深度合作，并参与了液流电池长时储能技术实验室建设，充分利用高校科研资源和企业生产资源推进产学研融合和高新技术落地，实现合作共赢。公司目前与泰达新能源和山东枣庄台儿庄区政府分别签订的百兆瓦项目订单的潜在意向订单，合计产值超过 20 亿。

5.2 技术成果简介

5.2.1 技术成果名称和领域

技术成果名称：全钒液流电池储能模块

技术领域：绿色低碳领域-能源绿色低碳转型方向

5.2.2 技术成果来源

该技术成果为申报单位自研，已在公司园区得到应用。该技术成果目前已授权发明专利两项，受理发明专利一项，受理实用新型专利一项，软件著作权三项。

本技术涉及的专利情况如下：

表 2-5-1 知识产权列表

序号	知识产权名称	授权号/申请号
1	一种用于全钒液流电池的三级梯度多孔电极及其制备方法	ZL202410014187.4
2	一种盘管-散热一体的液流电池电堆进出液管结构	ZL202410014187.4
3	一种用于全钒液流电池的电极活性原位监测装置及方法	202411025516.1
4	一种封闭式流道的液流电池电极框	202421765845.5

5.3 技术内容

5.3.1 技术原理及工艺流程

液流电池是一种新型的电化学储能技术，具有高效、长寿命和安全性等优点，特别适用于大规模储能系统。其基本原理是通过可循环使用的电解液进行电化学反应，将化学能与电能之间进行转换，如图 2-5-1 所示。

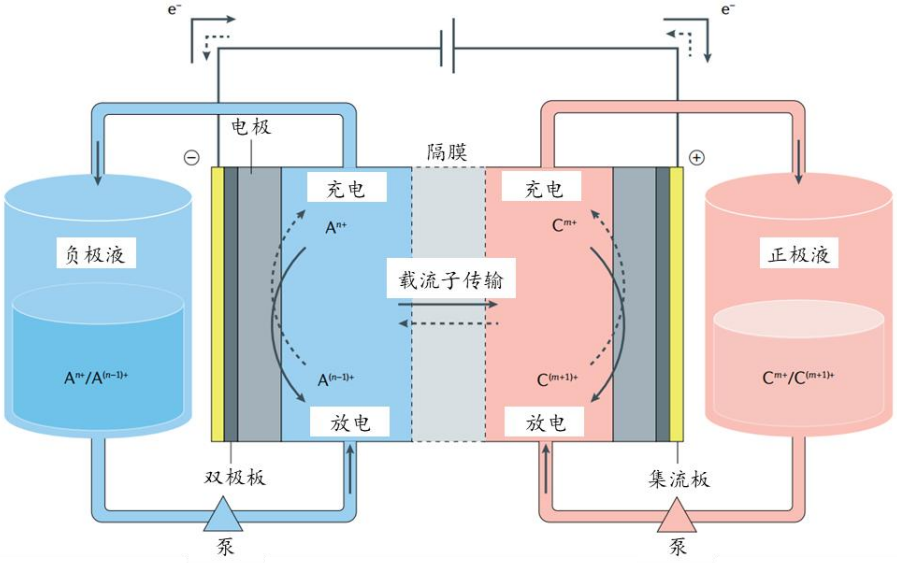


图 2-5-1 液流电池结构与原理

液流电池的核心是两个储存不同电解液的储罐。电池工作时，电解液通过泵输送到电池堆，电解液中含有的活性物质在电池堆的正负极上发生氧化还原反应，产生电流或存储电能。主要反应可以简单描述为：

充电时：通过外部电源给电池施加电压，正极上的氧化物被还原，负极上的还原物被氧化，储存电能。

放电时：氧化还原反应逆转，电解液释放电能，通过外部电路供电。

每种电解液循环独立，反应物保存在储罐中，循环电解液通过电池堆中分离的两极进行反应。这种结构使得电池容量与电池的电解液体积相关，而功率与电池堆的面积相关，因此容量和功率可以独立调节。

液流电池的基本构成为：

储罐：分别存储正极和负极电解液。

泵和管道系统：用于输送电解液至电池堆。

电池堆：电化学反应的主要场所，包含电极和隔膜。

电极：通常为惰性材料，提供氧化还原反应的表面。

离子交换膜：用于分隔正负极反应区，同时允许离子通过以维持电荷平衡。

液流电池生产的工艺流程为：

电解液制备和储存：正极和负极电解液制备并存储于独立的储罐中，通常为含金属离子的溶液，例如钒液流电池中的钒离子溶液。

电解液循环：电解液通过管道和泵送到电池堆中的反应区域。

充电过程：电解液在电极上发生氧化还原反应，将外部电源的电能转化为化学能，储存在电解液中。

放电过程：电解液中的活性物质在电极上逆向反应，释放电能，通过外部电路供电。

电解液回流：反应后的电解液通过管道回到储罐，完成一个循环。随着电解液的循环，系统可以连续运行。

5.3.2 技术成果适用性分析

该技术成果可应用于以下行业：

电力行业：电网调峰调频、可再生能源储能、离网发电系统；

工业领域：工业用电削峰填谷、备用电源系统、微电网系统；

交通运输业：新能源汽车充电站、港口与机场能源管理；

商业建筑业：商业设备备用电源、智能楼宇与能源管理；

国防和军事：军事基地的独立电力系统、可移动发电系统；

数据中心：数据中心备用电源、节能优化；

公共设施：医院、学校和政府建筑备用电源；

能源出口与共享：建造共享社区。

5.3.3 技术创新性及先进性

该微电网侧全钒液流电池储能模块集成了核心高性能液流电池电堆和先进电池管理系统。该电堆采用了我们自主研发的多级尺度孔多孔电极改性工艺和全激光焊机密封工艺，能量效率 $\geq 85\%$ ，运行期间无漏液现象。由该高性能电堆集成的液流电池系统效率 $\geq 83\%$ ，库伦效率 $\geq 95\%$ ，在行业内属于领先水平。

5.4 节能减碳或污染防治效果

假设一个光伏电站年发电量为 100,000 兆瓦时，弃光率为 20%（即 20,000 兆瓦时未被使用）。通过部署液流电池储能系统，消纳率可以从 80%提升到 90%-95%。这意味着液流电池每年可以额外存储并释放 10,000-15,000 兆瓦时的电力。

具体的光伏消纳量提升计算如下：

原有消纳量：100,000 兆瓦时 $\times 80\%$ =80,000 兆瓦时

提高后消纳量：100,000 兆瓦时 $\times 90\%-95\%$ =90,000-95,000 兆瓦时。光伏消纳量增加：10,000-15,000 兆瓦时。

碳减排量的计算主要基于替代的化石燃料发电所产生的二氧化碳排放。全球平均来看，燃煤发电每兆瓦时电力约排放 0.9 吨二氧化碳。因此，液流电池每年提高的光伏消纳量将直接替代化石燃料发电，减少相应的碳排放。

根据上述光伏消纳量的增加，我们可以估算出碳减排量：

碳减排量=光伏消纳量提升量 $\times$ 每兆瓦时减排的二氧化碳量

以每兆瓦时发电减少 0.9 吨二氧化碳计算，液流电池每年提升的 10,000-15,000 兆瓦时的光伏消纳量将减少：

10,000 兆瓦时 $\times 0.9$ 吨/兆瓦时=9,000 吨二氧化碳

15,000 兆瓦时 $\times 0.9$ 吨/兆瓦时=13,500 吨二氧化碳

对于年发电量为 100,000 兆瓦的液流电池每年能够提高 10,000-15,000 兆瓦时的光伏消纳量，从而减少 9,000 至 13,500 吨的二氧化碳排放。这一碳减排效果相当于减少了约 2,000-3,000 辆燃油汽车一年的碳排放，对环境保护和节能减排具有显著的贡献。

5.5 技术示范情况

该技术成果目前已转化为一项储能电站项目应用在了泰达无人装备产业园。项目名称为

《微电网侧 50kW/200kWh 全钒液流电池储能系统》，选址为天津市滨海新区经济技术开发区南海路泰达无人装备产业园通厂 28B。该项目建设内容为 50kW/200kWh 全钒液流电池储能系统，该储能系统以集装箱预制舱的形式安装在工厂外围空地，占地面积为 16.8 平方米，直接接入工厂 400V 交流母线向园区供电。

该项目主要设备为本技术成果 50kW/200kWh 全钒液流电池储能模块，该储能模块中包含 3 组由公司自主研发的 17kW 高性能电堆、液流电池供液系统、液流电池温度控制系统、液流电池管理系统和双向储能逆变器。基本运行策略为“谷充峰放”，即利用夜间 00:00-6:00 电价低谷段对储能系统进行充电，在白天 9:00-11:00 和 14:00-16:00 利用储能系统对工厂供电，在节约企业用电成本的同时缓解了当地火电机组调峰压力，预计每年节省电费收益 7 万余元。

该项目采用全钒液流电池一体化集成技术，所有设备集成在集装箱预制舱内，外形尺寸为 3m×7.2m×2.8m，如图 2-5-2 所示。其中，电堆总功率为 51kW，单个电堆功率为 17kW，输出直流电压范围为 64V-102V，电堆能量效率为 85%。使用电解液体积为 11 立方米，浓度为 1.7mol/L。配置一套电池管理系统主要对电池模块进行实时监控，管理电池组，并监测所有电堆电压、电池组总电流、电解液温度等，并使用监测数据对 PCS 实施闭环控制，实现电池的充放电、均衡、巡检、温度监测等功能。配置 100kW 储能变流器主要应用于储能系统与电网之间的充、放电的功率控制，实现电池储能系统与交流电网之间的交、直流变换和能量传递。储能变流器由 DC/AC 双向变流器、控制单元等构成。



图 2-5-2 50kW/200kWh 全钒液流电池系统

该液流电池储能系统经过具备 CMA/CNAS 资质的中电科第十八研究所检验了十三项核心性能指标，其中额定功率和额定容量均达到标称数值，能量效率达到 83%，容量衰减率低于 1%/200 次循环，各项关键性能指标均为行业领先水平。

该系统总投资额为 60 万，使用过程中通过电池管理系统实现远程管理和自动充放电切换，无运维管理成本。使用过程中无废气、污染物排放。

5.6 成果转化推广前景

5.6.1 技术推广前景

在当前的储能技术中，全钒液流电池与锂离子电池相比，市场占有率仍较低。然而，全钒液流电池由于其长寿命（循环次数超过 1 万次）、可持续性（电解液可循环使用）等特性，

正在逐步受到重视。

相比其他储能技术，如钠硫电池、铅碳电池等，全钒液流电池在大规模储能、长时储能方面的竞争力明显，特别适合日夜之间的能量调节，或季节性能源储存，逐渐占据市场的特殊应用场景。随着技术的逐步成熟和成本的下降，全钒液流电池在储能市场中的占比有望提升到 5%-10%。

市场容量方面，随着可再生能源的快速发展和全球能源结构转型的加速，储能市场呈现爆发式增长。根据国际能源署（IEA）的预测，到 2025 年，全球储能市场容量将达到 230 吉瓦时，其中长时储能技术的需求会明显增加，这为全钒液流电池的推广提供了巨大空间。

技术经济性方面，全钒液流电池的最大优势在于其长期运行中的低维护成本和高循环寿命。虽然初期投资较高，但其寿命远超锂离子电池，达到 1 万次以上的充放电循环次数。因此，从全生命周期成本来看，全钒液流电池的经济性逐步显现，尤其是在大规模储能应用场景中。考虑到技术进步、成本下降以及政策支持，全钒液流电池到 2025 年有望实现以下市场规模和推广比例：

全球市场推广比例：预计到 2025 年，全钒液流电池在全球储能市场中的占比可能提升至 5%-8%。这主要得益于其在大规模长时储能领域的独特优势。尤其是在中国和美国等拥有大规模光伏、风能发电的国家，全钒液流电池的推广速度会更快。

市场容量：预计到 2025 年，全钒液流电池的全球市场容量有望达到 10-15 吉瓦时。其中，中国市场将占据主要份额，达到 7-10 吉瓦时。大规模的风光储能项目将在中国西北部、新能源基地和城市微电网中得到广泛应用。

节能减碳与环境污染防治潜力：全钒液流电池在帮助提升可再生能源消纳率和减少碳排放方面具有显著潜力。通过提高风能、太阳能等间歇性能源的利用效率，全钒液流电池能够减少对传统化石燃料电厂的依赖，从而减少温室气体排放。结合 2025 年可能达到的市场规模，全钒液流电池的节能减碳潜力分析如下：

节能潜力：假设全钒液流电池能够提高光伏消纳率 20%-30%，并减少弃光率 5%-10%，以每吉瓦时光伏电量减少 3000-5000 吨二氧化碳计算，2025 年全钒液流电池全球 10-15 吉瓦时的容量每年可以减少 3,000 万-7,500 万吨二氧化碳排放。

环境污染防治潜力：全钒液流电池使用的钒电解液可循环利用，电池寿命长达 20 年左右，较少产生电子废物，减少了锂电池和铅酸电池带来的环境污染风险。在长生命周期中，其环境影响较小，且可以实现电池模块的循环利用，进一步减少对资源的依赖。

到 2025 年，全钒液流电池在全球储能市场中的占比有望稳步提升，特别是在长时储能领域，其市场份额有望达到 5%-8%。随着技术的成熟和经济性的提升，全钒液流电池将成为推动可再生能源消纳、实现节能减排目标的重要储能技术。通过提高光伏、风能的消纳率，该技术将为减少碳排放和防治环境污染作出重要贡献，具备巨大的推广潜力。

5.6.2 技术推广障碍及应对措施

与锂电池相比，全钒液流电池工艺复杂、设备体积较大，初期投资成本较高，这在一定程度上限制了其普及速度。

技术 6：污水源-地热耦合煤炭清洁利用锅炉供热节能降碳关键技术

6.1 技术提供方

本技术提供方为天津市热力有限公司、北京天地融创科技股份有限公司。

天津市热力有限公司（以下简称公司）成立于 1985 年，注册资金 4899.6 万元，为有限责任公司（法人独资），是天津能源投资集团有限公司控股企业。主要经营范围是热力生产和供应，主营业务收入为采暖费。

截至目前，公司正式职工 249 人，主要承担南开、河西、河东、西青、东丽、红桥、北辰、津南和海河教育园区的供热服务工作，供热面积 3072 万平方米，应供热用户 25.37 万户。热源涵盖燃气蒸汽、燃气热水、高效清洁煤粉锅炉、热电联产、地热、污水源热泵等多种供热形式，热源总装机容量达 1808 兆瓦。

近年来，在市、区城管委、生态环境局和属地政府部门的指导下，热力公司坚持贯彻执行“加强煤炭清洁高效利用”与“加快规划建设新型能源体系”能源战略，新建一座 9 兆瓦污水源热泵能源站，一座 4 兆瓦地热热泵能源站，实施 70 千瓦光伏“近要碳”建筑改造，打造以高效煤粉锅炉为主，新能源供热形式为辅的“1+N”综合性清洁型能源供热基地。在传统供热模式上有效融合清洁能源供热形式，激活双碳转型技术创新，在集中供热领域具有一定的示范效应。其中，高效清洁煤粉锅炉已达到超低排放水平，热效率高于 92%，在极寒天气和杨柳青热电厂故障期间多次快速响应，向“一张网”反输热量，切实发挥民生兜底保障作用。

6.2 技术成果简介

6.2.1 技术成果名称和领域

技术成果名称：污水源-地热耦合煤炭清洁利用锅炉供热节能降碳关键技术

技术领域：碳减排技术

6.2.2 技术成果来源

其他来源，自行改进及建设。该技术相关的知识产权如下：

表 2-6-1 知识产权列表

序号	类型	知识产权
1	实用新型专利	CN220567335U 一种利用城市污水余热的热网回水加热系统
2	实用新型专利	CN216654060U 一种高效煤粉炉 SNCR 脱硝稀释风预热装置
3	成果登记	津 20210743 58MW 高效煤粉工业锅炉低氮燃烧改造及优化
4	成果登记	津 20220527 高效环保型煤粉智慧供热锅炉研发与应用
5	天津市科技进步奖	2019JB-3-167-D1 一种大型高效清洁煤粉工业供热锅炉技术的应用
6	天津市创新方法大赛	天津市华苑 9×58MW 煤粉清洁高效利用示范项目（三等奖）
7	论文	58MW 高效煤粉工业锅炉低氮燃烧改造及优化（区域供热 2020.6）
8	论文	58MW 煤粉工业锅炉 SCR 脱硝系统改造及优化 （2021 中国供热优秀学术论文集）
9	论文	煤粉工业锅炉炉膛结焦的影响因素及改进对策

序号	类型	知识产权
		(煤质技术 2024.05)
10	论文	双碳背景下热力公司“1+N”地源热泵工程实例分析 (2024 中国供热优秀学术论文集)

6.3 技术内容

6.3.1 技术原理及工艺流程

污水源-地热耦合煤炭清洁利用锅炉供热技术的核心原理在于热能的综合利用。具体来说，该技术通过以下几方面实现：

污水源热泵技术：利用城市污水处理厂排放的污水中所携带的热能，污水源热泵提取污水中的低品位热能，经压缩后转化为高温热能用于加热锅炉回水，提升锅炉回水温度，来达到节煤的目的。这种方式不仅有效利用了城市废水中的余热，还能显著降低工业锅炉的燃煤消耗量。

地热能利用技术：地热能作为一种可再生清洁能源，通过地热井提取浅层或中深层地热能，利用热交换器将地热能传递至锅炉回水系统，提升锅炉进水温度，进一步减少燃煤耗量，降低污染物排放。

煤粉燃烧技术再升级：在保留传统煤粉锅炉燃烧技术的基础上，通过优化燃烧器和锅炉分级配风系统，提升燃烧效率，降低飞灰烧失量，进而降低煤粉消耗量，并减少污染物排放。主要从两个方面进行优化：一是升级燃烧器旋流片组件，通过数值模拟和试验的方法，将旋流强度从 0.83 增加至 2，通过更换燃烧器旋流叶片，旋流强度的提高，火焰在炉膛内更加饱满，从炉膛温度测点可以看出，炉膛的整体温度提高 50℃左右。

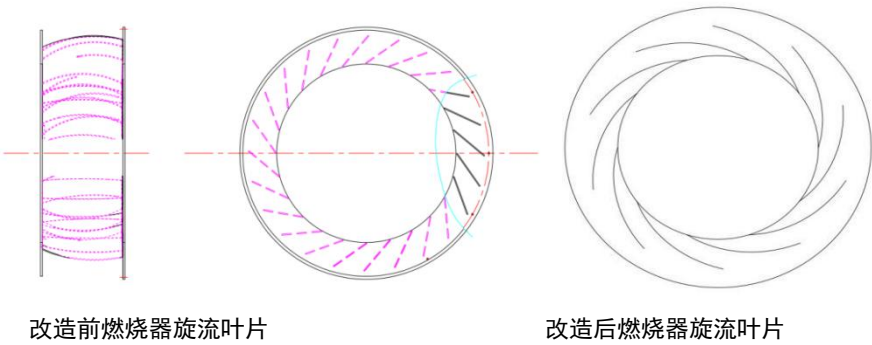


图 2-6-1 燃烧器旋流叶片优化对比图

二是优化分级配风系统，增设四次风，提高煤粉燃尽率，降低飞灰烧失量。燃料分级燃烧技术，一般按过量空气系数大于 1 或者小于 1，将炉膛空间分为主燃区、再燃区和燃尽区三个区域。大部分燃料（80%-85%）在预燃室及炉膛上部形成主燃烧区，该过量空气系数一般大于 1(或接近 1)，主燃区呈贫燃料燃烧状态，该区域内会生成大量的 NO_x；剩余的 (15%-20%)再燃燃料从主燃区进入炉膛，主燃料区生成的大量 NO_x 经过再燃区还原性气氛，使得还原 NO_x 为 N₂，最后由炉膛中部进入的助燃空气作为燃尽风，以保证燃料的燃尽，飞灰的残 C 尽可能的低。新增炉膛中部的四次风系统，就是通过空气分级燃烧的方式，使四次风作为燃尽风来，实现低氮燃烧和煤粉燃尽的作用。

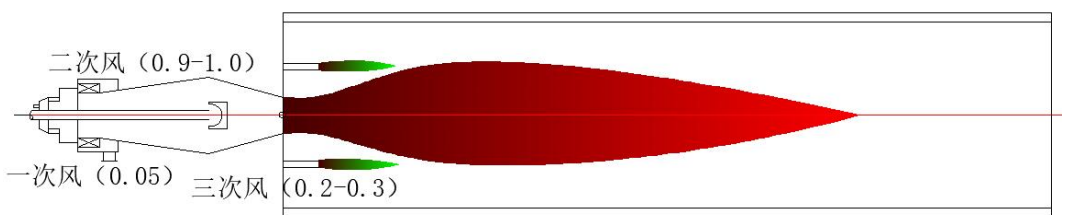


图 2-6-2 原有配风示意图

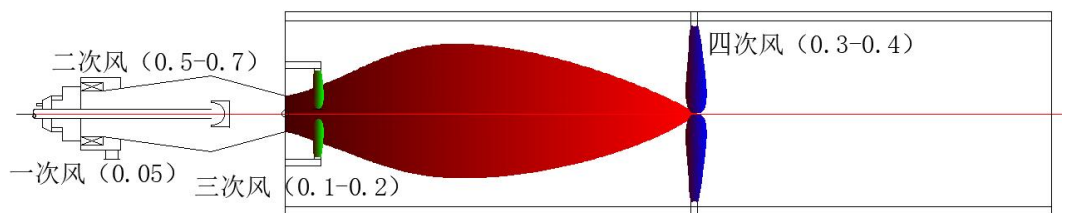


图 2-6-3 锅炉分级配风改造示意图

污水源耦合热电联产大温差供热技术：污水源热泵技术虽然能够提取污水中的低品位余热，来实现加热锅炉回水用于供热，但是由于冬季气温的降低，污水温度也会降低，导致热泵系统无法满负荷运行。因此利用热电联产市政侧一次网回水加热污水源热泵中介水，弥补污水温度的不足，保证污水源热泵冷凝器侧的温度，来保证热泵系统满负荷甚至超负荷运转。与此同时也降低了市政一次网回水温度实现大温差供热，既节省了煤粉工业炉的煤耗也进一步降低热电联产锅炉进水温度，助力降碳节能减排“双收益”。

耦合控制技术：通过智能化控制系统，实现污水源、地热能和煤粉燃烧的动态调节与优化配置，根据外界环境条件和负荷需求实时调整各热源的供热比例，以达到最优的节能降碳效果。

与此同时，除污水源热泵技术及地热能利用技术之外，补充热源可应用其他同品类的、便于获得的低温热源进行替代，如工业余热、数据中心余热、光伏/风力电蓄热，热电联产回水等。

6.3.2 技术成果适用性分析

行业：城市供热。

限制：超过 100 万平方米热用户的、以燃煤锅炉或燃气锅炉等独立单一热源的供热热网；周边有城市污水、地热、工业余热、光伏/风力电蓄热，热电联产回水等低温余热资源。

6.3.3 技术创新性及先进性

将热泵清洁能源站与传统燃煤/燃气锅炉热源结合，使用热泵加热一次管网回水温度，在锅炉出水和流量不变的前提下减少化石能源消耗量和碳排放。同时在燃煤/燃气锅炉作为主力热源的前提下，可以使热泵能源站长时间保持在设计工况下运行，最大化发挥清洁能源的替代作用。本供热技术在多个方面具有广泛的适应性和应用潜力：

（1）资源适应性：该技术充分利用了城市污水和地下地热资源，这些资源在大多数城市和工业园区都有一定的可获取性。通过因地制宜地设计和调整系统，可以适应不同地区的资源条件，灵活应用。

（2）环境适应性：该技术能够显著降低传统煤粉锅炉的燃煤量，减少 CO₂、SO₂ 和 NO_x

等污染物的排放，符合国家和地区的环保政策和减排要求。特别适用于对空气质量有较高要求的城市和工业园区。

(3) 经济适应性：污水源热泵和地热利用的初期投资相对较大，但随着技术的成熟和规模化应用，其成本逐渐降低。同时，节省的燃煤成本和减排效益可以在一定时期内收回投资，具备较高的经济可行性。

(4) 技术适应性：该技术在传统煤粉锅炉基础上进行升级改造，保留了原有系统的主体结构，具有较好的技术兼容性和易操作性，适合在现有锅炉系统上进行改造和应用推广。

6.4 节能减碳或污染防治效果

该技术创新性地将污水源热泵、地热能利用与煤粉燃烧有机结合，通过智能控制系统实现多热源动态调节和优化配置，显著提高了供热系统的整体效率。合理利用低品位的污水余热和地热资源，减少了高碳排放的煤粉消耗，有效降低了供热过程中的大气污染，符合绿色环保的发展方向。采用先进的智能控制技术，对多热源供热系统进行实时监测和动态调节，保证了供热系统的稳定运行和高效能量利用，提升了系统的运行管理水平和适应能力。

污水源热泵系统利用城市污水中的余热后，将温度较低的污水排放回环境中，这不仅减少了直接热污染，还提高了污水的回用效率，对水资源保护起到了积极作用；地热水经过热交换后以封闭循环的形式重新回灌地下，避免了对地下水资源的过度开采和浪费，同时也防止了地面沉降和地热水资源枯竭等潜在环境问题。

热力公司通过在华苑清洁热源中心 9×58MW 高效煤粉锅炉房搭设试点，建设 9MW 污水源热泵能源站和 4MW 地热热泵能源站，装机量共计 13MW。采暖季运行小时数约 3100 小时，年供热量达 14.5 万吉焦，折合标煤约 5,400 吨，减排二氧化碳约 1.4 万吨，减排二氧化硫约 46 吨，减排氮氧化物约 40 吨。

6.5 技术示范情况

(一) 案例概况

(1) 案例名称：

华苑“1+N”低碳高效综合能源基地

(2) 工程规模：

9×58MW 煤粉锅炉+9MW 污水源热泵能源站+4MW 地热热泵能源站

(3) 建设条件：

华苑清洁热源中心地处天津市西青区万卉路与卉康道交口西南侧，建设一期 5×58MW 和二期 4×58MW 高效煤粉锅炉，规划供热面积 1200 万 m²，运行供回水温度 95/45℃，供回水压力 0.4/0.25MPa，供热主干线分为东西干线，管径为 DN1200，区域年供热总量约 310 万 GJ。中心临近西青区排管处污水φ1200 干管，冬季污水温度保持在 13℃左右，水量约 1300m³/h。地热开采井及回灌井各 1 口，位于西青区万卉路西侧。年开采量 17 万 m³，开采温度 46℃，回灌温度 8℃，以热泵形式加热市政回水可实现对外供热能力约 4.604MW

主要建设或改造内容：污水源热泵站房、引退水坑、流道式换热器、地热井、除砂间、板式换热器、离心式热泵、螺杆式热泵

关键设备：离心式热泵、螺杆式热泵

投入运行时间：2022 年 11 月
项目验收情况：良好
项目验收单位：天津市热力有限公司
验收日期及结论：2023 年 3 月，达到设计目标

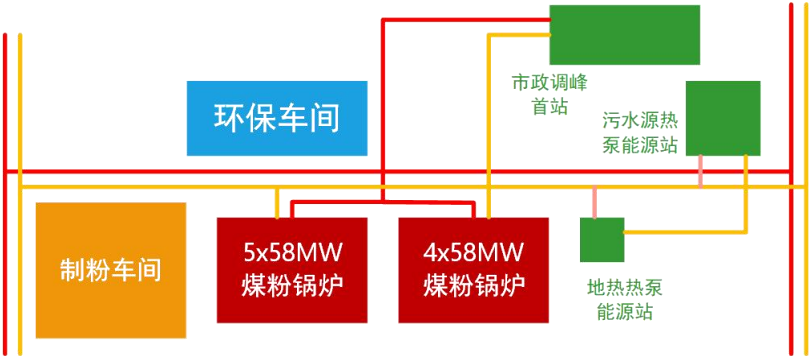


图 2-6-4 华源清洁能源中心热源配置示意图

（二）工艺流程及主要参数

污水源热泵能源站：采用间壁式换热系统，与污水换热采用先进的宽流道式换热器，提高换热效率，将 15℃污水经污水换热器降至 10℃后排放回污水渠；8℃的热泵中介水经污水换热器后提升至 13℃进入热泵机组的蒸发器；45℃的锅炉房一次回水进入热泵冷凝器后加热至 55℃再回到锅炉一次回水母管进燃煤锅炉继续加热。

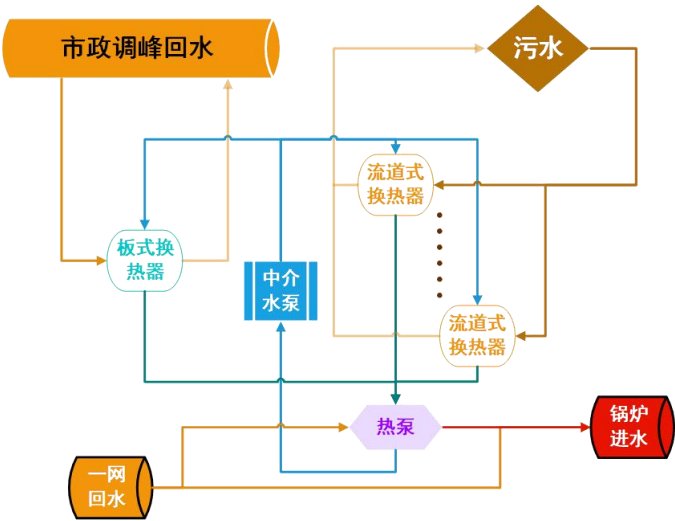


图 2-6-5 污水源热泵原理图

地热热泵能源站：新建馆陶组地热井 1 对及配套能源站 1 座，配套地热 PERTII 输送管线，管径为 DN200，路由长度 360m。新建配套市政侧回水管线，管径为 DN400，路由长度 90m。采用地热回灌热水梯级利用技术，46℃地热水流入一级板式换热器与一级中介水进行换热，地热水由 46℃温度降至 20℃，一级板式换热器换热量 2593kW。一级板式换热器将 18℃中介水加热到 30℃，然后进入离心式热泵蒸发器进行换热，中介水流量 186t/h。离心式热泵冷凝器侧进口市政回水温度 45℃，出口温度 53℃，冷凝器侧水流量 330t/h，离心式热泵总输出热量为 3065kW；经过一级板式换热器换热后 20℃地热水流入二级板式换热器与二级中介水进行换热，地热水由 20℃温度降至 8℃，二级板式换热器换热量 1197kW。二

级板式换热器将 6℃ 中介水加热到 18℃，然后进入螺杆式热泵蒸发器进行换热，中介水流量 85.7t/h。螺杆式热泵冷凝器侧进口市政回水温度 45℃，出口温度 50℃，冷凝器侧水流量 265t/h，电热泵总输出热量为 1539kW。

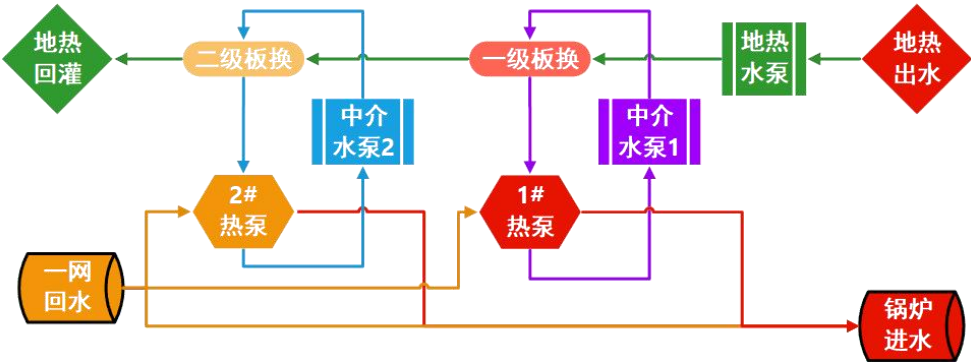


图 2-6-6 地热热泵原理图

运行过程中，智能化控制系统根据实时热负荷需求和外部环境条件，调节污水源、地热能与煤粉燃烧三者的供热比例，以实现最优的节能效果。通过综合调度和优化控制，保障供热系统的稳定运行。该控制系统基于主力热源的热量调控，对环境数据进行分类得到分类数据；获取预测需求量调整主力热源供给热量，解决了供热热量和用户端热负荷需求不一致，从而会出现短期内反复出现热量盈余和热量缺口，从而产生热量的浪费的技术问题。即使出现了预测需求量与实际的需求量出现偏差，导致实际需求与主力热源供给热量存在差异，此时也可通过地热井对热能进行吸收或补充，从而减少了能源消耗，显著提高地热井的利用效率。

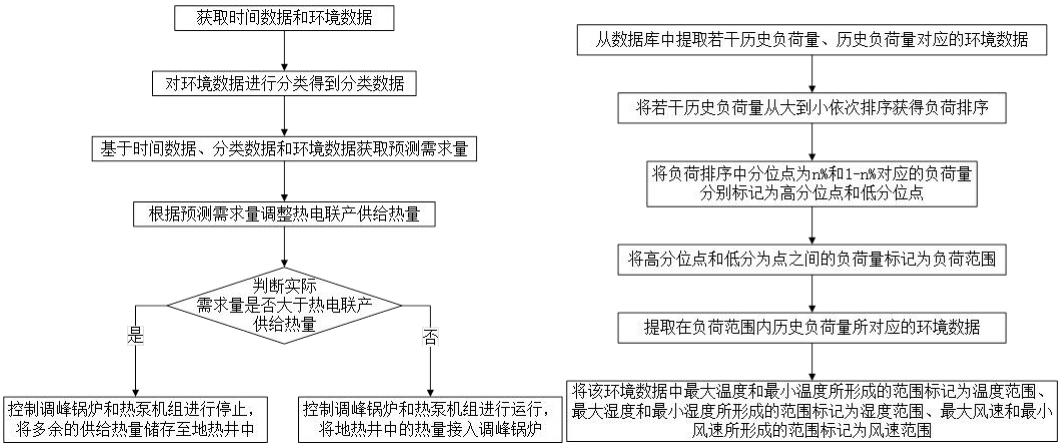


图 2-6-7 智能调控流程示意图

（三）应用效果

《污水源-地热耦合煤炭清洁利用锅炉供热节能降碳关键技术》通过合理利用污水余热和地热能，减少煤粉消耗，显著提高了节能降碳和污染防治效果。以下是具体的成效分析：

（1）显著的节能效果

通过综合利用污水源热泵和地热能，该技术有效降低了煤粉锅炉的燃煤需求，提升了整体系统的能源利用效率。具体节能效果如下：

降低燃煤消耗：传统煤粉锅炉依靠燃烧大量煤粉来提供热能，而污水源和地热能的引入

可以替代部分燃煤量。通过该技术的应用可减少燃煤量 5400t，大大降低了燃料成本和能源消耗。

提高系统热效率：通过多热源耦合，避免了锅炉的小负荷调峰，保持锅炉在高负荷运行，热能利用效率明显提升。与单一燃煤锅炉相比，热效率明显提高。这种高效的热能利用不仅节约了能源，也减少了不必要的热损失。

（2）显著的碳减排效果

减少煤粉燃烧量直接带来了碳排放量的减少。污水源热泵和地热能利用技术在减少 CO₂ 排放方面表现尤为突出：

减少二氧化碳排放：由于燃煤减少，CO₂ 排放量显著下降。根据实际运行数据分析，采用该技术的供热系统每年可减少 CO₂ 排放约 1.4 万吨，有效缓解了温室气体排放对大气的影响，助力实现“碳达峰、碳中和”的战略目标。

降低碳足迹：该技术的应用减少了化石燃料的使用，降低了整体碳足迹，特别是在大规模工业企业中，其减碳效益更加显著，有助于企业提高环保绩效，符合国家绿色低碳政策的要求。

（3）有效的污染防治效果

除节能降碳，该技术在减少污染物排放方面也具有显著成效：

减少烟气污染物排放：通过减少煤粉的燃烧量，该技术有效降低了烟气中 SO₂、NO_x 和颗粒物等污染物的排放量。具体而言，每年 SO₂ 排放可减少 46 吨，NO_x 排放减少 40t，颗粒物排放减少 540 吨以上，显著改善了周边大气环境质量。

降低污水热污染：污水源热泵系统利用城市污水中的余热后，将温度较低的污水排放回环境中，这不仅减少了直接热污染，还提高了污水的回用效率，对水资源保护起到了积极作用。

地热水的可持续利用：地热水经过热交换后以封闭循环的形式重新回灌地下，避免了对地下水资源的过度开采和浪费，同时也防止了地面沉降和地热水资源枯竭等潜在环境问题。

（4）长期环境和经济效益

通过对能源的高效利用和污染物的有效控制，该技术在长期内具有显著的环境和经济效益

环境效益：持续减少的燃煤量和污染物排放量对城市和工业园区的空气质量改善起到了关键作用，有助于区域环境质量的全面提升和生态系统的保护。

经济效益：随着燃煤成本的升高和碳排放权价值的提高，该技术的应用为企业减少了能源开支和碳排放费用。同时，减少的污染治理成本和提高的能源效率进一步增强了企业的经济效益。

（5）社会效益

污水源-地热耦合煤炭清洁利用锅炉供热技术的推广和应用，不仅能提升工业企业的能源利用效率和环保水平，还对社会可持续发展有着深远的影响：

推动绿色转型：该技术符合国家节能减排和绿色发展的战略方向，助力传统工业领域实现绿色转型和可持续发展，为社会提供更多绿色能源解决方案。

促进技术进步：作为一种创新性的供热技术，该技术的应用推广将推动相关领域的技术进步和产业升级，增强我国在清洁能源利用领域的国际竞争力。

提升公众环保意识：通过实际的节能减排效果展示，该技术有助于提升公众的环保意识，促进全社会共同参与和支持环保事业。

（四）二次污染防治

无二次污染。

（五）能源、资源节约和综合利用情况

采暖季运行小时数 3100 小时，供热量达 14.5 万吉焦，折合标煤约 5,400 吨，减排二氧化碳约 1.4 万吨，减排二氧化硫约 46 吨，减排氮氧化物约 40 吨。运行效果良好，可有效缓解煤粉工业锅炉的频繁启动调峰，环保效益和节能效益显著。

（六）投资和运行成本

建设费用约 4973 万元，电价 0.8 元/kWh，人工费 5300 元/月，年运行小时数 3100 小时，直接成本 49 元/GJ，含折旧 66.5 元/GJ。对比煤粉锅炉，直接成本 62 元/GJ，含折旧 92 元/GJ，具有较为明显的价格优势，预计 14 年收回成本。

6.6 成果转化推广前景

6.6.1 技术推广前景

该技术非常符合国家“双碳”背景下，传统集中供热模式的绿色转型，与燃煤锅炉、燃气锅炉、热电联产等有效耦合，既能达到节能、减排、降碳的目的，又能保留原锅炉的供热保证工程，以备应急需求。该技术成熟度较高，技术普及率较低，燃煤锅炉或燃气锅炉热源都可以建设同类项目。

6.6.2 技术推广障碍及应对措施

该技术需要在热源附近距离污水干管较近，因地制宜与热源高效耦合。此外，由于大部分供热企业为大工业用电用户，绿色转型新建绿色热源项目，电费需要给与一定的政策支持。

技术 7：垃圾电厂余热高效绿色回收技术

7.1 技术提供方

本技术提供方为天津市城安热电有限公司。

天津市城安热电有限公司（以下简称城安热电）于 2009 年 6 月 22 日分立于天津市津安热电有限公司并正式挂牌运营，是天津市热电联产集中供热的骨干企业之一。公司由天津津能股份有限公司控股，国家能源集团华北电力有限公司及天津市热电有限公司参股。股权结构为天津津能股份有限公司 40%，国家能源集团华北电力有限公司 35%，天津市热电有限公司 25%。目前，城安热电主要负责陈塘热电搬迁后的燃气热电厂为热源的供热管网建设和供热运营服务。供热区域主要在河西区，市内供热范围为：东至海河；南至外环线；西至紫金山路、卫津路；北至马场道。供热管网能力 2400 万平方米，为 12 万多户居民和公建单位提供集中供热。供热一次主管网总长度 326 公里（双线），换热站 438 座。

城安热电近三年收入总计为 118894.59 万元，2021 年为 39283.37 万元。2022 年为 39500.7 万元，2023 年为 40110.52 万元。每年稳步增长。主营业务涵盖多个领域，包括热力生产和供应、供冷服务、制冷及空调设备销售、电气设备修理、建筑装饰、水暖管道零件及其他建筑用金属制品制造、隔热和隔音材料销售、仪器仪表修理等。此外，城安热电还致力于节能管理服务、合同能源管理、新兴能源技术研发、余热余压余气利用技术研发、在线能源监测技术研发等多项高科技服务。

7.2 技术成果简介

7.2.1 技术成果名称和领域

技术成果名称：垃圾电厂余热高效绿色回收技术。

主要形式：电厂冷却循环水余热直供，对垃圾电厂机组汽轮机实施高背压改造，提高供暖期内汽轮机排汽背压，通过提取凝汽器循环冷却水余热给市政回水管网补热的方式对外供热，系统采用与周边锅炉房系统串联的运行方式，机组凝汽器冷却水余热提供基础负荷，燃气锅炉房作为调峰热源，这种方式跟电驱动压缩式热泵相比，项目不新增占地面积，无需新增电力配套，系统流程简单，操作方便。

在工作过程中不产生任何污染物，如二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物等，它是一种清洁、环保的能源利用技术，可以有效减少对环境的污染。并且减少冷却水损耗，提高能源利用率。

7.2.2 技术成果来源

为能源集团 2023 年度重点科技项目《电厂烟气余热取热及利用方式研究项目》。

7.3 技术内容

7.3.1 技术原理及工艺流程

为保障项目实施后电厂设备和热力管网长期安全、可靠运行，在本项目实施中，主要对汽轮机本体、凝汽器进行更换改造，新增热网循环水泵、开式冷却水泵、热计量等工艺设备及配套控制系统。

（1）汽轮机本体

为实现供热季高背压运行与非供热季期低背压运行，需对汽轮机实施改造。汽轮机本体

改造主要技术方案及措施包括：

- >更换后四级叶轮叶片；
- >更换后四级隔板；
- >更换后四级隔板汽封；
- >配合汽轮机常规检修；
- >转子高速动平衡试验；
- >汽轮机轴瓦推力核算。

（2）凝汽器

实施供热改造后，进入凝汽器需要满足供热参数要求，循环水工作压力提升到 0.7MPa，循环水出水温度最高至 60℃，通过与厂家沟通，目前凝汽器水室及管板的设计强度不能满足改造后的运行要求，按照纯凝工况设计的凝汽器在循环水供热状态下运行风险较高，因此需要对凝汽器及进出口管道进行强化设计。

- >保留现凝汽器喉部、外壳体；
- >对凝汽器水室进行加强型设计，保证供热季凝汽器安全运行；
- >更换全新的端管板，提高水侧承压能力；
- >改造更新为全新的不锈钢冷却水管，提高换热能力；
- >更换凝汽器进、出口原支管循环水管道。

（3）工艺流程

本项目余热侧拟采用热力管网与电厂机力通风冷却塔并联运行，互为备用的形式，当热力管网事故工况时，可切换至机力通风冷却塔降温，不影响电厂的安全稳定运行；通过对汽轮机进行高背压工况改造，供热期提高汽轮机的排汽背压，并将凝汽器循环冷却水出、入口直接接入供热系统，由热网循环水充当凝汽器循环冷却水。市政侧采用循环水与燃气锅炉房串联运行的模式，热网循环水首先经过凝汽器进行一次加热，吸收低压缸排汽潜热再送至锅炉房加热，构成一个完整的循环水路满足基本负荷，不足部分由燃气锅炉房补充。当电厂事故工况时循环水解列运行，区域供热完全由燃气锅炉房提供，不影响用户的正常用热需求。

供热结束后，凝汽器循环水切换到原循环冷却水状态，增加循环水流量，汽轮机排汽参数恢复到正常水平，形成低背压，即汽轮机恢复原纯凝工况运行。

对机组实施高背压供热改造后，供热季内机组排汽背压约 16kPa，非供热期内机组仍能维持低背压运行（背压 6.0kPa），供热期与非供热期内电厂主、辅机运行方式存在较大的差别。由于供热季循环冷却水温度升高，需要对电厂辅机冷却水系统进行增容改造。

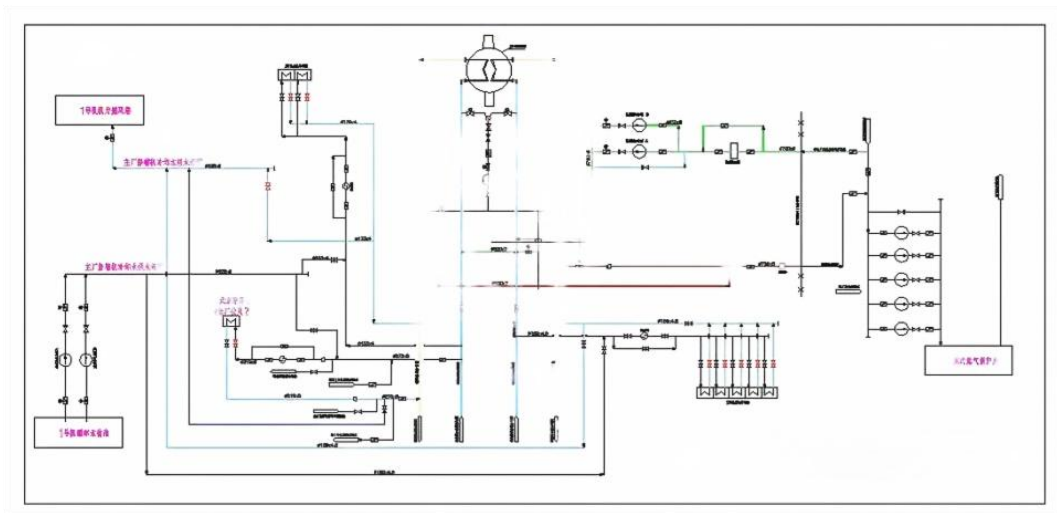


图 2-7-1 系统图

7.3.2 技术成果适用性分析

（1）本技术余热回收直接从凝汽器提取，适用不进行大规模改造的电厂，进行余热回收，投资较少。

（2）本技术由于与电厂发电系统直连，使用中注意热网安全稳定运行，否则会影响发电系统正常运行。

7.3.3 技术创新性及先进性

对电厂机组汽轮机实施高背压改造，提高供暖期内汽轮机排汽背压，通过提取凝汽器循环冷却水余热给市政回水管网补热的方式对外供热，市政侧设计供回，系统采用与燃气锅炉房系统串联的运行方式，机组凝汽器冷却水余热提供基础负荷，燃气锅炉房作为调峰热源，项目不新增占地面积。电厂冷却循环水余热直供具有投资费用最低、无需新增热泵占地、无需新增电力配套、系统流程简单，操作方便，只需要每年进行一次切换等优势。

7.4 节能减碳或污染防治效果

本技术不属于资源开发类，没有对金属矿、煤矿、石油天然气矿、建材矿以及水（力）、森林等自然和矿产资源的开发，故不影响资源开发，仅涉及资源综合利用以及节能减排。一是降低电耗，通过采用高效、节能的供热设备，动力设备（水泵）采用变频调速控制，适应负荷的变化。二是减低水耗，机力通风塔供暖期不运行，仅作为备用，减少电厂机力通风塔蒸发及风吹损失水量。三是通过提取余热对周边锅炉房供热，降低现状燃气锅炉房的天然气该项目消耗量。

7.5 技术示范情况

为深入贯彻落实习近平总书记对能源领域“四个革命、一个合作”能源安全战略要求，助力集团落实中央和市委、市政府“碳达峰、碳中和”工作部署，作为天津市第一个垃圾电厂余热回收项目，天津市城安热电有限公司组织实施了泰达生活垃圾焚烧电厂绿色零碳热源开发项目，作为余热暖民项目示范，通过建设高效采集、管网输送、终端利用供热体系，探索建立余热资源用于供热的典型模式。

典型应用案例内容应包括：

（一）案例概况

案例名称：泰达生活垃圾焚烧电厂绿色零碳热源开发项目。

建设内容：一是对 2#机组汽轮机后四级叶轮叶片进行改造，提高供暖期内汽轮机排汽背压和温度，并且实现非供热季期低背压运行。二是对凝汽器改造，将工作压力提升到 0.7MPa，循环水出水温度最高至 60℃，更换全新的不锈钢冷却水管，在保证安全运行的基础上提高换热能力。三是新建 2 台循环泵以及 1.2 公里 DN700 一次管网，实现运行流量约 2300t/h，保证余热全部输出；新建 1 台开式循环冷却水泵，保证 1 号汽轮机停机工况下，2 号机发电机空气冷却器、油冷却器和闭式循环水冷却器冷却水用水需求，提升系统安全容错性。

建设规模：建设完实现对周边锅炉房提供 27MW 供热能力。

投入情况：项目于 2023 年 11 月 29 日正式运行，2024 年 3 月 15 日停运，持续供热达 123 天。累计输出热量 27.4 万 GJ，项目运行期无任何事故。项目于 2023 年 10 月 31 日完成验收。

双港垃圾焚烧发电厂，隶属于天津泰达环保有限公司，联系人高体瀛，联系方式 19902155260。

案例地址：天津市津南区泰新路 1 号。

（二）工艺流程及主要参数

（1）热网循环水系统

本工程工艺系统由电厂汽轮机凝汽器、热网循环水泵及相应辅助设备组成，系统的设计力求简洁、经济、切换方便。主要工艺流程如下：

冬季运行时，在不影响汽轮机安全运行的情况下，将凝汽器进出水温度提高，本项目按照 40/50℃ 设计；将 40℃ 热网回水通过循环水泵送至电厂凝汽器侧，利用汽轮机乏汽潜热将循环水加热至 50℃，将原本送至机力通风塔的热热水输送到热力管网，与现状燃气锅炉房串联。其流程如下：

40℃ 的市政热网回水→循环水泵→40℃ 的冷却水→凝汽器进口→50℃ 的热水→市政热网回水→现状燃气锅炉房

补水：机组冷却循环水系统补水由设置于燃气锅炉房内的补水系统完成，不另设补水装置。同时监测补充水水质情况，保证水质满足设备正常运行的要求。

（2）辅机冷却水系统

电厂循环冷却水除去凝汽器冷却汽轮机乏汽外，还需要承担辅助设备的冷却水，主要包括闭式循环水冷却器、发电机空气冷却器和油冷却器。通过调整冷却水流量，保证油冷却器出口油温在 35~45℃ 之间。

辅机冷却水取自凝汽器入口循环水管道，夏季循环水温度最高设计值为 33℃。汽轮机高背压供热改造后，凝汽器入口循环水温度提高到约 40℃~47℃，无法满足闭式循环水冷却器、发电机空气冷却器和油冷却器的散热量。

不同工况下工艺流程如下：

非供热季：油冷却器和闭式冷却器冷却水取自凝汽器入口 A 侧循环水管道，发电机空

气冷却器冷却水取自凝汽器入口 B 侧循环水管道；在换热器吸热后，油冷却器冷却水回至机力塔水池，闭式冷却器 冷却水回至凝汽器出口 B 侧循环水管道，发电机空气冷却器冷却水回至凝汽器出口 B 侧循环水管道。

闭式冷却器为汽轮机公用设备，进出口冷却水管道与汽轮机凝汽器入口循环水管道联络。汽轮机油冷却器冷却水回水汇合后分两路去机力塔。

供热季工况一：2 号汽轮机高背压运行，1 号汽轮机纯凝工况运行。2 号汽轮机闭式冷却器冷却水取自 1 号汽轮机凝汽器入口循环水管道，热水回至 1 号汽轮机凝汽器出口循环水管道；2 号汽轮机油冷 却器冷却水取自 1 号汽轮机凝汽器入口循环水管道，热水回至 1 号机机力塔水池；2 号机发电机空气冷却器冷却水取自 1 号汽轮机凝汽器入口循环水管道，热水回至 1 号汽轮机凝汽器出口循环水管道。

供热季工况二：2 号汽轮机高背压运行，1 号汽轮机停机。开式循环冷却水自吸水前池经开式循环冷却水泵升压后送至 2 号机发电机空气冷却器、油冷却器和闭式循环水冷却器冷却水，换热后回水汇合通向机力塔水池。

(3) 主要工艺设备

本项目实施中，主要涉及工艺设备有汽轮机本体、凝汽器、循环水泵、开式循环冷却水泵及阀门等。

- a. 汽轮机本体改造
- b. 凝汽器改造
- c. 新增热网循环水泵
- d. 开式循环冷却水泵

电厂综合水泵房内设置 1 台开式循环冷却水泵，保证应急工况下实现辅机冷却。

e. 管道及阀门

站内管道采用螺旋焊缝钢管（GB/T3091-2015），材质为 Q235B；保温材质采用聚氨酯管壳或超细玻璃棉，外护层采用彩钢板。管道防腐材料采用防腐专用材料，内外壁防腐均采用改性环氧涂料底漆/面漆各一道，干膜厚不小于 400um。

设备连接的阀门均选用金属硬密封蝶阀，材质为碳钢，供水泵出口阀门承压等级 PN16，耐温 100℃。所有阀门均为法兰连接。

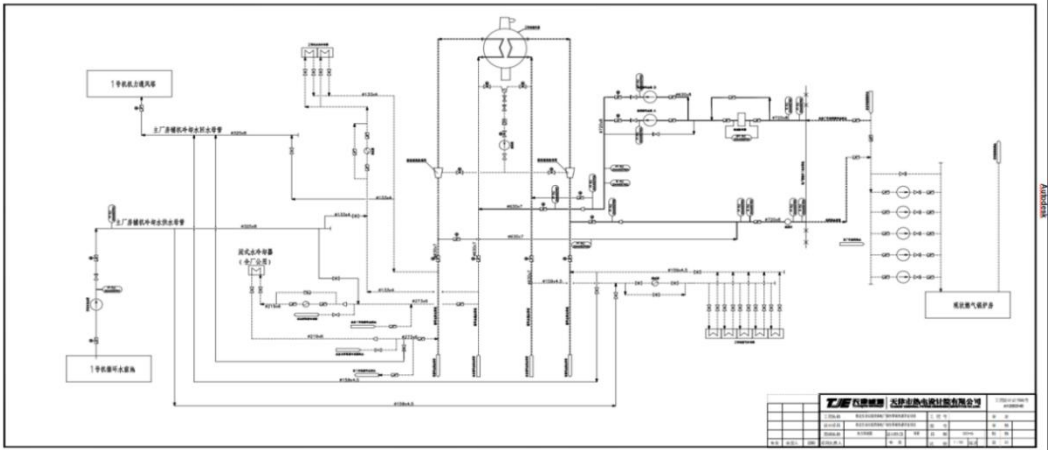


图 2-7-2 余热利用系统图

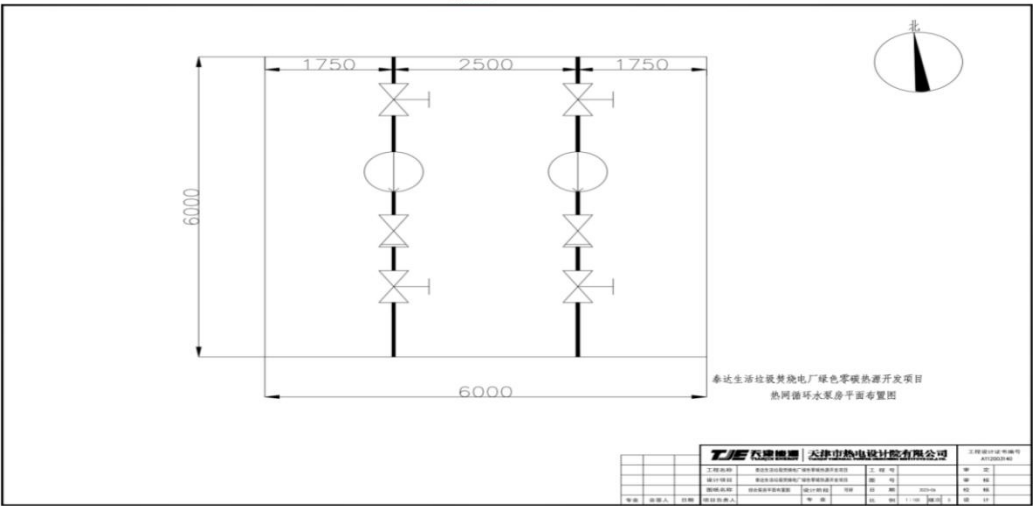


图 2-7-3 循环水泵房布置图

表 2-7-1 主要设备表

序号	设备名称	设备参数	数量	备注
1	汽轮机	型号：N12-3.8,单缸直联冷凝式；额定进汽流量 51.17t/h	1	改造
2	凝汽器	换热面积 1200m² 工作压力 0.7MPa 循环水冷水温度 40℃ 循环水热水温度 50℃	1	改造
3	循环水泵	Q=1400t/h H=18m N=90KW 设计压力 1.6MPa 设计温度 70℃	2	新增变频运行
4	开式循环冷却水泵	Q=325t/h H=12m P=15.0kw	1	新增单级单吸离心泵，工频
5	快速除污器	DN700,流量 2000t/h	1	
6	手动金属硬密封蝶阀	DN600	2	
7	手动金属硬密封蝶阀	DN700	4	
8	电动金属硬密封蝶阀	DN600	12	
9	止回阀	H44H-25 DN700	1	
10	止回阀	H44H-25 DN600	2	
11	手动闸阀	DN300, DN200, DN150	40	

本项目新建冷却循环水管线自泰达垃圾电厂循环冷却水主管线上抽头 DN700 管线，出厂后沿五大街向东南方向敷设，至五大街与香港街交口东侧九鼎大厦处，横过九鼎大厦至旭阳热力锅炉房院内，与旭阳热力现状 DN800 管线衔接。管线全程采用直埋敷设方式，根据道路实测确定敷设定位。



图 2-7-4 电厂外管网示意图

同时项目新建热网循环水泵，通过钢制管道与电厂凝汽器、热力管网相连接。由于热网循环水压力高于电厂原有循环冷却水压力，现状凝汽器进出口支管承压能力低，不满足热网循环水运行要求，需要对其进行更换为钢制管道，满足承压要求，更换内容主要为凝汽器进、出口 DN600 支管，并对油冷系统去机力冷却塔的 DN150 管道更换为 DN300 管道。电厂院内管网布局如下：

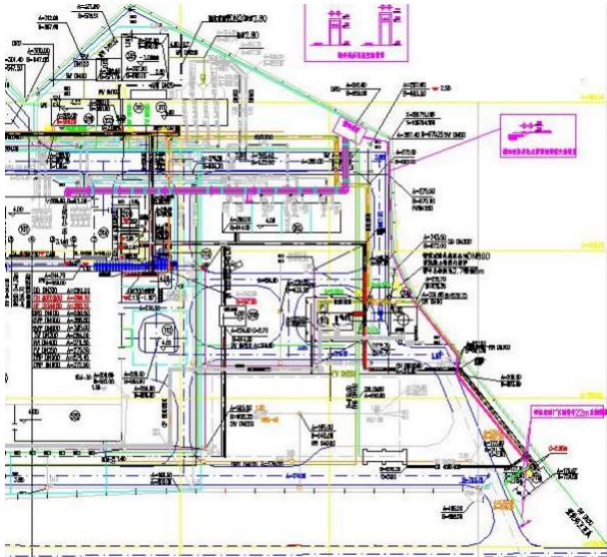


图 2-7-5 电厂内管网示意图

（三）应用效果

采暖季累计回收余热 27.4 万 GJ，节省天然气 828.8 万立方米，折合标准煤约 1 万吨，同时减排二氧化碳 2.6 万吨，二氧化硫 85 吨，氮氧化物 75 吨，节约开式冷却用水 10.44 万吨，节省财政燃气费用补贴约 1500 万，具有显著的社会及环境效益。汽轮机改造后，纯凝标准工况下电功率较改造前提升 207.1KW，汽耗率降低 0.095kg/kWh，既提升了发电效率，

又增加了余热利用收益。

（四）二次污染防治

本项目一是通过将发电厂纯凝机组改造为高背压机组，将原本凝汽器散失的余热资源进行回收利用，实现了低品位余热资源的有效利用。二是汽轮机改造兼顾非采暖季低背压运行工况，确保机组发电效率不受影响。三是通过提取凝汽器循环冷却水余热给市政回水管网补热，建设零碳热源，实现“绿热”供给，无废水、废气、固废、噪声与振动的产生。

（五）能源、资源节约和综合利用情况

本项目的节能效果显著，综合经济指标达到国内先进水平。相较于现状燃气锅炉，本工程实施完后其节约效益如下：

（1）节约燃料效益

该项目实施后电厂 2#机力通风塔供暖期不运行，仅作为备用，可减少通风塔的开启时间和耗电量，又能降低现状燃气锅炉房的天然气耗量，经初步计算本项目可节省燃料消耗量折算标煤约为 8887.7t。

表 2-7-2 燃料消耗节省量

位置	主要能源	减少消耗量	折算系数	折算标准煤（t）
燃气锅炉房	天然气	730.5×10 ⁴ m ³	12.14t/10 ⁴ m	8868.1
电厂通风塔	电力	16.0×10 ⁴ kW·h	1.229t/10 ⁴ kW·h	19.6
合计				8887.7

注：表中天然气热值按照 35.17MJ/Nm。锅炉效率取 94%，通过全年供热量 241497GJ 折算天然气耗量；电厂 2#机力通风塔电量为 2 台 55KW 电机，一般冬季只运行 1 台 55KW 电机，按照采暖期不运行来计算电力消耗量。

（2）节水效益

该项目实施后，可减少电厂机力通风塔的开启时间和耗水量，按照 1×12MW 机组蒸发及风吹损失水量约 862.5m³/d 计算，采暖季 121 天总节约水量约 10.44 万 t，按照海河水补水单价 4.05 元/t 计算，每年可节约费用约 42.3 万元。

（3）综合能耗指标

项目实施前电厂 2 号机供电煤耗约为 637.8g/kW·h。项目实施后非供热季 2 号机折算供电煤耗为 644.7g/kW·h，供热季 2 号机折算供电煤耗为 184.0g/kW·h。按照运行天数加权平均后，项目实施后电厂 2 号机折算供电煤耗为 484.5g/kW·h。其中电厂 2 号机全年运行时间约 345 天，项目实施后供热季运行时间约 120 天，垃圾焚烧炉效率取 80%，厂用电率取 15.73%。

（六）投资和运行成本

项目总投资约 2900 万元，财务内部收益率税后为 5.05%，投资回收期税后为 9.79 年，技术、经济上满足可研要求，有助于推动实现 2030 年碳达峰、2060 年碳中和目标的实现，具有良好的社会效益和环保效益，对提高人民生活水平和生态城市建设具有积极意义。

7.6 成果转化推广前景

7.6.1 技术推广前景

目前天津市有 13 座垃圾电厂，通过泰达电厂余热回收成功应用，可逐步推广应用。另外在一些如化工、冶金、建材能源密集型行业，同步推广应用。具有重大的经济、环境和社

会效益。

表 2-7-3 垃圾电厂明细表

序号	名称	焚烧炉规模	汽轮机规模	供热能力 MW	进度	区域
1	泰达双港垃圾电厂	3×400t/d	2×12MW	23	已运行	津南区
2	中节能垃圾电厂	3×800t/d	2×40MW	71	施工中	东丽区
3	泰环垃圾电厂	2×500t/d	2×10MW	55	施工中	东丽区
4	光大环保生活垃圾电 厂	3×750t/d	2×30MW	160	已调研	西青区
5	高能垃圾电厂	2×800t/d	1×25MW	60	已调研	静海区
6	北辰光大垃圾电厂	4×750t/d	2×45MW	50	已调研	北辰区
7	青光辰兴力克垃圾电 厂	2×300t/d	1×12MW+1×6MW	10	调研中	北辰区
8	宝坻垃圾电厂	2×350t/d	1×12MW	10	已调研	宝坻区
9	武清垃圾电厂	2×500t/d	1×18MW	50	调研中	武清区
10	蓟州垃圾电厂	3×350t/d	1×12MW+1×6MW	50	调研中	蓟州区
11	宁河垃圾电厂	2 台 250t/d+2 台 75t/h	1×7.5MW+2×15MW	50	调研中	宁河区
12	滨海新区第一综合垃 圾电厂	3×500t/d	2×15MW	50	调研中	滨海新区
13	滨海新区第二综合垃 圾电厂	2×500t/d	2×7.5MW	25	调研中	滨海新区

7.6.2 技术推广障碍及应对措施

（一）余热回收技术推广障碍

（1）技术认知不足，许多企业和用户对余热回收技术了解有限，不清楚其能带来的经济效益和环境效益。他们可能认为余热回收设备投资成本高，回报周期长，从而缺乏采用的动力。部分企业对新技术存在疑虑，担心技术不成熟、不稳定，会影响生产的正常进行。

（2）初始投资成本高，余热回收系统通常需要一定的初始投资，包括设备采购、安装调试等费用。对于一些中小企业来说，这笔投资可能会造成较大的资金压力。虽然从长期来看，余热回收可以降低能源成本，但企业在决策时往往更关注短期的资金流动情况。

（3）技术适应性问题，不同行业、不同企业的余热资源特点各异，温度、流量、压力等参数各不相同。这就要求余热回收技术具有较强的适应性，但目前市场上的一些技术可能无法满足特定企业的需求。部分企业的生产工艺较为复杂，余热回收系统的安装可能需要对现有生产设备进行改造，这也增加了技术推广的难度。

（4）缺乏政策支持，虽然国家在节能环保方面出台了一些政策，但对于余热回收技术的具体支持力度还不够。例如，缺乏专项资金支持、税收优惠政策不明确等。政策的执行力度也有待加强，一些地方政府对余热回收技术的推广重视不够，导致政策难以落地。

（5）行业标准不完善，目前余热回收技术的行业标准还不够完善，缺乏统一的技术规范和评价标准。这使得企业在选择余热回收技术和设备时缺乏依据，容易出现盲目投资的情况。行业标准的缺失也影响了余热回收技术的市场秩序，一些低质量的产品和技术可能会混入市场，影响整个行业的发展。

（二）应对措施

(1) 加强技术宣传和培训，行业协会和企业可以通过举办技术研讨会、培训班、展览展示等活动，向企业和用户普及余热回收技术的知识和应用案例。利用媒体、网络等渠道，广泛宣传余热回收技术的经济效益和环境效益，提高社会各界对该技术的认知度。鼓励企业与科研机构、高校等合作，开展技术培训和交流，提高企业技术人员的专业水平。

(2) 提供资金支持和政策激励，政府可以设立专项资金，支持余热回收技术的研发、示范和推广。对采用余热回收技术的企业给予财政补贴、税收优惠等政策支持，降低企业的投资成本。鼓励金融机构为余热回收项目提供融资支持，创新金融产品和服务，如绿色信贷、融资租赁等。制定相关政策，鼓励企业将余热资源纳入能源管理体系，提高企业对余热回收的重视程度。

(3) 加强技术研发和创新，加大对余热回收技术的研发投入，鼓励科研机构和企业开展技术创新，提高技术的适应性和效率。针对不同行业、不同企业的余热资源特点，开发个性化的余热回收技术和设备。加强对新型余热回收技术的研究，如有机朗肯循环、热泵技术等，拓展余热回收的应用领域和范围。建立产学研合作机制，促进科研成果的转化和应用。

(4) 完善政策法规和行业标准，政府应加强对余热回收技术的政策支持，明确税收优惠、财政补贴等政策措施，提高政策的可操作性和执行力度。制定完善的余热回收技术行业标准和规范，明确技术要求、性能指标、检测方法等，为企业选择技术和设备提供依据。加强对余热回收市场的监管，规范市场秩序，打击假冒伪劣产品和技术，保障用户的合法权益。

(5) 建立示范项目和推广平台，政府和企业可以共同投资建设一批余热回收示范项目，展示余热回收技术的应用效果和经济效益。通过示范项目的带动作用，引导更多的企业采用余热回收技术。建立余热回收技术推广平台，整合技术、设备、资金等资源，为企业提供一站式的服务。加强技术交流合作，促进余热回收技术的推广应用。

技术 8：蔬菜秸秆低碳高效资源化利用技术及装备

8.1 技术提供方

本技术提供方为天津市农业科学院。

天津市农业科学院成立于 1979 年，是一个以应用研究为主、学科较齐全、优势突出、具有较强实力和地方特色的社会公益类综合性农业科研机构，员工共计 524 人，其中享受国务院政府津贴专家 11 人，天津市杰出人才 1 人，突出贡献专家 4 人，天津市授衔专家在职 2 人，国家产业技术体系岗位专家 1 人，天津市产业技术体系首席专家 4 人，农业部“杰出农业青年科学家”1 人。单位拥有国家级观测站 1 个、工程中心 1 个、重点实验室 3 个，省部级技术工程中心 10 个、重点实验室 3 个，建有占地 3000 亩的现代农业科技创新基地和占地 500 亩的现代畜牧业科技创新基地。

技术研发单位——天津市农业科学院农业资源与环境研究乡村环境团队主要从事农业农村环境治理、农业废弃物资源化技术与示范推广工作。团队拥有天津市科委认证的“天津市农村生态环境技术工程中心”、“农业农村生态环境治理”科普教育基地以及国家农技协认定的“农业碳循环科普教育基地”。近三年主持、承担了国家重点研发计划项目子课题“农田尾菜资源化全量利用技术集成示范”、中国科协“蔬菜秸秆有机肥在设施农业中固碳量及碳排放效益评价”等多项国家级、省部级重点项目。获天津市科技进步三等奖 1 项、津沽农业科技创新成果科技进步类杰出成果奖 1 项，发表文章 20 余篇，授权专利 10 余项。

8.2 技术成果简介

8.2.1 技术成果名称和领域

技术成果名称：蔬菜秸秆低碳高效资源化利用技术及装备

技术领域：绿色低碳领域

8.2.2 技术成果来源

（1）天津市科技局重点研发计划——科技支撑项目，蔬菜秸秆膜处理技术及装备研发，20YFZCSN00740，50 万元。

（2）天津市农业农村委农业成果转化与示范推广项目，秸秆废弃物综合处理与循环利用技术集成与示范，201801010，130 万元。

（3）天津市农业农村委农业成果转化与示范推广项目，乡村生活垃圾和农业废弃物综合利用技术装备集成示范，201901030，100 万元。

所涉及知识产权如下：

表 2-8-1 知识产权列表

类型	名称	专利号
发明专利	一种农业废弃物的资源化处理系统及方法	ZL202211030638.0
	基于秸秆类农业废弃物粉碎堆肥一体化控制装置	ZL202210620171.9
	一种秸秆废弃物发酵反应器组合及发酵方法	ZL202110156636.5
实用新型专利	一种适用于蔬菜废弃物的粉碎机	ZL202222930749.9
	一种高分子纳米膜堆肥用移动式覆膜机	ZL202221144813.4
	一种制备可燃垃圾燃料棒的装备	ZL202221342673.1

类型	名称	专利号
软件著作权	纳米膜堆肥综合控制系统 v1.0	2022SR0708628
	用于处理农业废弃物的好氧堆肥智能控制系统 V1.0	2021SR0317968

8.3 技术内容

8.3.1 技术原理及工艺流程

（1）蔬菜秸秆高效资源化技术与装备

打破传统单一集中处理模式，构建分散和集中处理模式下 3 种蔬菜秸秆处理组合发酵系统。技术包括：①在处理模式上分为分散就地处理和集中处理；②在组合发酵系统上，分散就地处理采用基于秸秆类农业废弃物粉碎堆肥一体化控制装置和小型好氧发酵装置进行初级发酵减量后，定期送至集中场站采用高分子纳米膜覆盖堆肥进行集中后腐熟；对运送至场站的打捆蔬菜秸秆和散料秸秆采用组合发酵方法进行快速处理；③在发酵原料配比上分别构建蔬菜秸秆+粮食作物秸秆、蔬菜秸秆+畜禽粪便的协同处理系统。3 种初级发酵装备可分别通过并联实现处理规模的扩大，无需建设厂房。蔬菜秸秆+粮食作物秸秆协同处理系统与常规堆肥相比，腐熟周期缩短 70%，纤维素降解率提高 20%，减少有机肥氮素损失 20%，恶臭气体去除率达到 98%。该技术系统可实现蔬菜秸秆的及时、全量资源化。

（2）有机污染物消减技术

基于长期施用有机肥土壤有机污染现状，针对蔬菜秸秆+畜禽粪便的协同处理系统中典型农药、抗生素的去除开展相关研究。通过控制发酵工艺参数，多种农药消解普遍下降 52.4%-93.3%，物料中抗生素磺胺类基因丰度普遍下降 50%和 66%，有效降低发酵产物后续利用对土壤—作物/蔬菜系统中抗生素抗性基因和农残的传播风险；发酵过程中产生的废液经生物小球藻 L38 低碳处理，使磺胺类抗生素去除率达 88%，可降低渗滤液再利用风险。

（3）热解碳化处理技术及装备

本技术应用于可燃废弃物快速减量制备高密度燃料棒的方法及装备。它包括进料装置、破碎装置、挤压装置、废气净化系统和电气控制系统。主要针对可燃废弃物体积松散、不易储存和运输、单位体积热值低等一系列问题，提出一种可燃农业废弃物快速减量制备高密度燃料棒的方法及装备，将可燃废弃物制成方便运输和使用的棒状结构，具有工艺简单、适合大规模生产、成本低、无二次污染等技术优势。实验结果显示，可燃垃圾经破碎、挤压成燃料棒后，体积缩减了 10 倍以上，热值由 17.65 MJ/kg 增加到 21.09 MJ/kg，提高了 19.5%。

（4）有机肥替代化肥减量技术

利用发酵产物加工有机肥可达到国家相关标准，可替代 30%化学氮肥，对比常规施肥，蔬菜产量增加 8.1%，表层土壤有机质、土壤全量氮、磷分别提升了 38.3%，15.9%和 14.7%。基于排放因子法科学建立了蔬菜秸秆有机肥利用周期内的碳排放核算方法，经测算，每吨蔬菜秸秆有机肥替代化肥可碳减排量为 90.6kgCO₂e。

8.3.2 技术成果适用性分析

本技术体系可进行多模式组合，适宜在我国主要蔬菜产区，针对不同处理规模、不同类型的蔬菜废弃物的分散、集中处理与推广应用。

8.3.3 技术创新性及先进性

技术形成了针对农村地区蔬菜废弃物收运处理模式 3 套，建立了“区域处理+组合发酵+肥料利用”耦合技术体系和绿色高效配套装备。系统技术具有占地少、运行成本低。通过减量、保氮、促腐、降污等工艺优化组合可以实现蔬菜废弃物的快速消纳、无污染、产物安全利用，实现废弃物全量资源化。相关技术具有国际先进水平。技术对比情况具体详见表 2-8-2。

表 2-8-2 蔬菜秸秆组合处理系统与当前国内外同类研究、同类技术的综合比较

比较内容	国内研究	国外研究	本项目
好氧处理工艺	槽式、条垛堆肥为主流，处理方式单一。	槽式、静态堆肥、纳米膜、立式发酵等。	根据不同处理量基于初级发酵设备+高分子纳米膜组合工艺实施。
发酵周期	部分蔬菜秸秆因纤维素、木质素含量高，物料进料率低导致粉碎效果不佳，完全腐熟周期较长 3-6 个月左右，多与其畜禽粪便协同发酵缩短腐熟周期。	欧美发达国家对腐熟标准控制严格。	研发专用蔬菜秸秆粉碎设备，提升粉碎效果，并优化配比及工艺多因素缩短腐熟周期，45 天完全腐熟。
成品外观、品质	绳类、塑料、布类杂物导致成品机械杂质较多，因此多与畜禽粪便混合发酵，成品虽然符合有机肥标准，但对抗生素类污染物研究较少。	与农民种植习惯有关，原料机械杂质较少，有机肥外观较好。	前端初步分选减少杂物产生，成品品质大幅提升；降低污染物浓度及传播风险。
渗滤液、喷淋液等废液	废液存满后无处理回用。	工程集中处理	生物介质小球藻低耗处理后回用。
塑料地膜资源化	无法收集、回用，影响成品品质	大型处理厂才具备相关工艺装备	小型设备，就地减量，适用性强
占地及综合运行成本	占地面积较大；处理过程中设备极易损坏，运行维护成本高，难以在农村普及。	——	占地面积小；系统性解决蔬菜秸秆收运及处理问题，综合运行维护成本低。
厂房建设	需要	——	不需要
系统复杂性	运行处理过程中各类故障问题频发，降低运行企业积极性。	大型处理设备较多，机械化程度高。	核心装备多为智能控制，易上手操作。
环境污染	环境污染风险大	环保达标	环保达标

8.4 节能减碳或污染防治效果

针对蔬菜废弃物原料季节性波动大、收运人工作业时间长、腐熟周期长、塑料地膜杂物多等特点，针对不同处理规模形成组合发酵促腐、污染物消减、发酵产物绿色资源利用低碳集成技术。该技术体系具有占地少、运行成本低、不受季节影响，可蔬菜秧、尾菜及其掺杂物的快速消纳及全量资源化。

蔬菜废弃物较常规条垛堆肥腐熟周期缩短 70%，纤维素降解率提高 20%，氮素损失减少 20%；氨气、硫化氢等恶臭气体去除率达 98%；经处理后的渗滤液 COD、总氮、总磷、氨氮数值分别降低 62%、71%、81%、90%，磺胺类抗生素降低 88%，实现安全再利用；筛分残余可燃物经挤压成燃料棒后，体积缩减 10 倍以上，热值提高了 19.5%。生产的有机肥可替代 30%化学氮肥减量，实现碳减排。可实现蔬菜废弃物 100%资源化利用，制成的有机肥回用于农田，可替代 30%化学氮肥，表层土壤有机质、土壤全氮、全磷分别提升 38%、16%和 15%，每吨蔬菜秸秆有机肥替代化肥可碳减排量为 90.6kgCO₂e。与常规施肥相比，蔬菜产量平均增产 8.06%以上，社会及生态效益显著。

8.5 技术示范情况

案例一：武清现代农业创新基地废弃物资源化工程

地址：天津市武清区福源道与高王路交口武清现代农业创新基地

2013 年完成一期建设并投入使用；2018 年完成二期扩建建设。工程总投资额 300 万元，总占地 5000m²，主要处理园区内大田作物秸秆、蔬菜秸秆、尾菜、畜禽粪便、污泥、杂草等各类有机废弃物，年处理量最大可达 2000 吨，有机肥生产能力为 10 吨/天。场地包括晾晒场、有机肥生产车间、室内粉碎区、发酵区、室外发酵区、试验区、办公区、成品储存、展示区。关键处理工艺包括立式好氧发酵系统、膜堆肥系统、仓式发酵系统等组合发酵系统，以及燃料棒挤压成套设备。生产产品为有机肥、土壤改良剂、栽培基质。

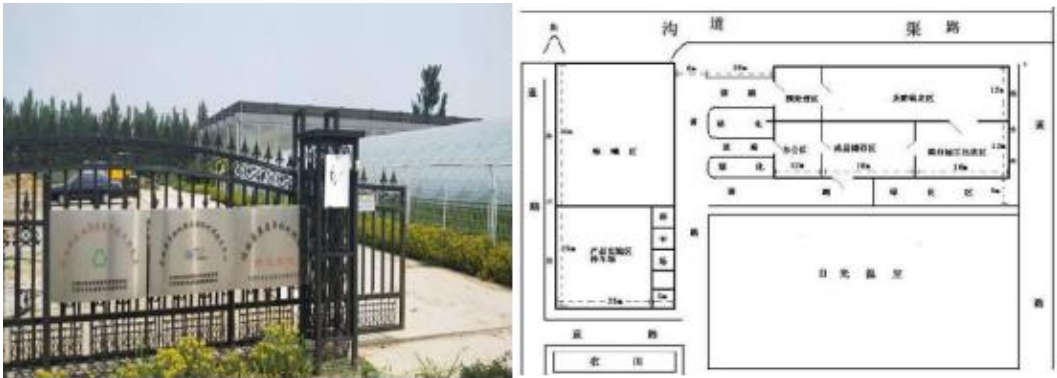


图 2-8-1 基地情况

案例二：下伍旗镇北白庄村废弃物处理工程

地址：武清区下伍旗镇北白庄村内

2022 年完成一期建设并投入使用。工程总投资额 50 万元，总占地 3 亩，主要处理村内设施大棚产生的蔬菜秸秆、周边冷库尾菜、大田作物秸秆等各类有机废弃物，年处理量最大可达 4000m³。场地包括晾晒场、粉碎区、发酵区、办公区。处理工艺主要采用膜堆肥好氧发酵工艺，以及燃料棒挤压成套设备、低温焚烧系统。生产产品为有机肥，回用于当地设施大棚。



图 2-8-2 膜堆肥好氧发酵工艺

8.6 成果转化推广前景

8.6.1 技术推广前景

项目涉及的技术及装备主要在天津市武清现代农业创新基地、下伍旗镇北白庄村进行了技术实验、示范推广与实践，填补天津地区技术空白。同时，与山东王工环保科技有限公司进行合作及应用，以组合好氧发酵工艺为核心，由山东公司负责推广应用，已在山东的德州

和青岛、河北保定、宁夏银川等地进行了应用，处理后的有机肥全部售卖，应用示范面积达 17 万亩，收集处理蔬菜秸秆 4.07 万吨，粮食作物秸秆和畜禽粪便 1.28 万吨，推广相关装备 35 台套，场地环境等指标均有较大改观，取得了较好的应用效果。预测到 2025 年底申报技术可推广 1-2 家企业、单位等用户应用，可实现年处理蔬菜废弃物 2000 吨规模，有效抑制农田环境污染、土传病害等发生，有效提升耕地质量，提高作物品质，实现化肥、农药双减。

8.6.2 技术推广障碍及应对措施

（1）推广措施主要采取与合作企业进行联合推广，同时为合作企业提供技术支撑。同时开放专利许可进行技术许可、转让等多种举措进行技术推广。

（2）本成果存在局限性：一是在蔬菜废弃物收集运输阶段，适应不同设施蔬菜大棚秸秆收运装备需要进一步研发；二是强化纤维素含量高的蔬菜废弃物在冬季低温条件下快速腐熟工艺技术、装备降低能耗的技术瓶颈仍需突破。成果在应用阶段不存在政策、市场、技术等风险。

技术 9：高适应性可再生能源水电解制氢关键技术研发

9.1 技术提供方

本技术提供方为天津市大陆制氢设备有限公司与中国科学院广州能源研究所、尚恩光电（天津）有限公司、中国科学院山西煤炭化学研究所。

天津市大陆制氢设备有限公司（THE）（民营企业）成立于 1994 年，是一家从事水电解制氢技术开发和设备制造的专业厂家，国家级高新技术企业，天津市专精特新中小企业，注册资金 3394 万元人民币，占地面积 30 余亩，建筑面积 1.2 万平方米，是我国唯一生产分立式循环水电解制氢设备的专业厂家，主营业务生产水电解制氢设备和气体纯化设备，公司坐落在天津市静海区天宇科技园泰安路 1 号。2021 年营业收入 3900 万元，2022 年营业收入 5793 万元，2023 年营业收入 10280 万元。大陆公司拥有 300m² 研发实验室，200m² 办公区，200 m² 实验测试区。研发实验中心与国内几十家大学、科研机构、科技公司建立了密切的技术开发合作关系，在隔膜开发测试，电极开发测试、电解槽结构开发测试、电流效率、电解槽防腐蚀等方面做了众多研究，2023 年以来申请发明专利 11 项，参加全国创新创业大赛，参赛项目水电解制氢用“新型聚芳基哌啶膜”获得 2023 年天津创新创业大赛一等奖，中国创新创业大赛（全国）优秀奖。大陆公司致力于发展绿色清洁能源，利用光伏发电、风电和水电解制氢技术结合，开发绿电制绿氢技术，承担及参与多项国家重点研发计划项目、天津市重点研发计划项目，推动国家“双碳”战略目标。

9.2 技术成果简介

9.2.1 技术成果名称和领域

技术成果名称：高适应性可再生能源水电解制氢关键技术

技术领域：碳减排技术

技术的内容特点：氢能以其清洁、高效的特点，被称之为“人类的终极能源”。当前，氢正处在从工业原料成为大规模能源载体重要转折点。水电解是一种成熟的氢气获取方式。风、光等可再生能源发电具有极大的波动性。本项目研发的高适应性水电解制氢系统功率调节范围 20%~120%，更适用于可再生能源制氢，必将促进水电解系统在氢能领域更快、更大规模布署，为我国转变能源消费结构、保障能源安全、降低碳排放提供有力的产品支撑，助力我国“双碳”战略目标。

9.2.2 技术成果来源

技术成果来源：天津市重点研发计划，新能源育动能院市合作重点任务专项，20YFYSGX00030，项目总经费 1660 万元。该技术为自主研发技术，关键零部件已实现国产化。

本技术涉及的专利如下：

表 2-9-1 发明专利

序号	类型	授权号/申请号
1	一种超亲水的钼掺杂碳化钨纳米阵列材料及其制备方法	CN202110842644.5
2	一种超低贵金属载量的水电解双层阳极	202210389328.1

序号	类型	授权号/申请号
3	一种采用气相诱导相转化法制备基于聚苯并咪唑的多孔聚合物离子交换膜的方法及其应用	ZL202010902538.7
4	一种具有高长径比的铈氧化物纳米线及其水电解膜电极的制备方法	CN202110784464.6
5	一种高度有序氮掺杂介孔炭作为自组装载体的铂基催化剂及其制备方法和应用	CN202110784464.6
6	一种含有亲水和疏水双侧链的聚芳基哌啶型阴离子交换膜及其制备方法	202210665437.1
7	大陆制氢可远程控制的碱性水电解制氢设备自动控制程序系统 V2.1	2023SR0136231
8	大陆制氢可远程控制的碱性水电解制氢设备安全预警程序系统 V1.2	2023SR0136230

9.3 技术内容

9.3.1 技术原理及工艺流程

(一) 技术原理

碱性水电解（AWE/Alk）制氢技术的原理主要涉及水分子在直流电的作用下被解离生成氧气和氢气，这个过程分别从电解槽的阳极和阴极析出，碱性水电解技术在利用可再生能源生产大规模绿色氢气方面显示出最大的潜力。

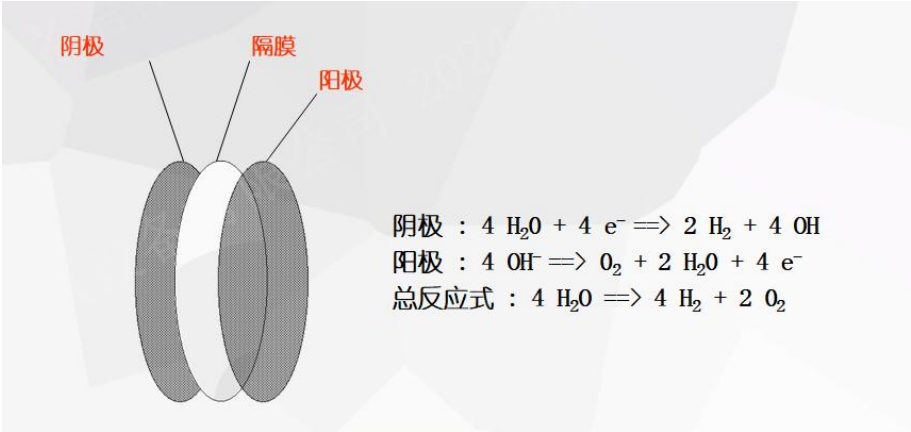


图 2-9-1 碱性水电解（AWE/Alk）制氢技术原理示意图

(二) 工艺流程

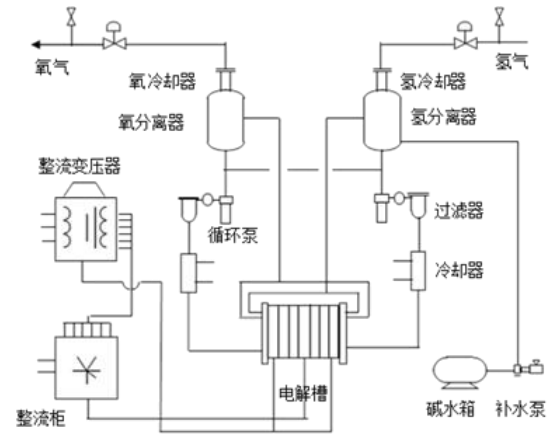


图 2-9-2 工艺路线图

（三）装备结构

当前国内生产的压力型水电解槽多采用左右槽并联/串联型两种结构，并联结构中间极板接直流电源正极，两端极板接直流电源负极，串联结构在电解槽两端一端接直流电源正极，另一端接直流电源负极。采用双极性极板和隔膜垫片组成多个电解槽，并在槽内下部形成共用的进液口和排污口，上部形成各自的气体和液体通道。

随着电解槽单槽功率越来越大，电解槽用电“大电流、低电压”的特点越来越增加电源的投入成本。从电源角度考虑，优先选择一正一负供电方式，比一正两负供电方式，电压高一倍，电流减小一倍，电源成本方面较低。但一正一负供电方式易漏电和短路，槽结构和操作管理比单极式复杂，所以，为生产安全考虑，本项目仍然使用一正两负供电方式。



图 2-9-3 水电解制氢技术装置结构图

9.3.2 技术成果适用性分析

基于“弃水、弃风、弃光”的电力制取氢具有重要的意义，不仅可以降低直接的经济损失，同时对推进我国的氢能源综合利用和开发具有重要的意义。为此，我国实施顶层规划，积极推动此类技术和项目的研究和应用。利用可再生能源制氢气和储氢气技术，并通过燃料电池这个关键的设备产生电力。这种可持续的循环能源思路非常适合国土辽阔、可再生能源丰富但分布不均匀的国家，对于消减电力峰值、高效储运电力作用明显。加快制氢、储氢、氢燃料电池技术的研发和应用对于推动我国的可再生能源产业健康发展、优化能源结构都具有十分重要的意义。高适应性碱性水电解制氢设备的研制成功，将更好的满足可再生能源制氢需要，促进水电解设备在氢能领域更快更大规模布署，进一步推动绿氢发展，有利于改善我国能源结构，提高能源利用效率，促进经济社会全面协调可持续发展。氢能和可再生能源电力有机结合不但大大提升可再生能源使用占比,也是改善世界环境、降低碳排放的重要技术方向。

水电解制氢的应用领域包括能源、化工、冶金、电力电子、交通等领域，尤其是合成氨行业、煤炭深加工、降碳减碳行业具有显著的降碳效果。水电解制氢技术通过电解水的方式产生氢气，这一过程在多个领域中有着广泛的应用。首先，在合成氨行业中，水电解制氢技术为合成氨提供了必要的氢源，这对于氨的生产和后续应用至关重要。此外，水电解制氢还在煤炭深加工领域发挥重要作用，通过就近用于煤炭深加工示范项目，帮助实现降碳减碳的

目标。这些应用不仅展示了水电解制氢技术的实用性，也体现了其在推动能源转型和减少碳排放方面的潜力。

该技术应用范围广泛，适用于光伏发电，风力发电资源丰富的地区。该技术为实现“绿电制绿氢”降碳的目的，上游需配备光伏发电、风力发电等资源，下游应用范围广阔可做能源、交通、化工、冶金电子电力等各行各业应用。

9.3.3 技术创新性及先进性

技术创新点：

(1) 设计新型大容量电解槽结构，包括电极与隔膜间距的缩小及流道、进出口的设计；主、负极板装配结构及尺寸的设计。

(2) 通过采用碳复合过渡金属双阴离子化合物析氢催化剂，降低能耗；建立新型电极材料成分、结构、性能之间构效关系。

(3) PPS 通过与聚苯并咪唑（PBI）共混的改性策略，即采用浸没沉淀相转化法，使聚合物与去质子化的 PBI 的咪唑化物阴离子之间的离子交联可增强稳定性，同时提升亲水性，降低孔隙率，改善膜电导率和降低膜面电阻，并保持机械强度和碱性稳定性，进而提高碱性电解水的工作效率。

(4) 采用新型整流与配电系统，使可再生能源电力与水电解制氢装置经济合理的联接。

我国水电解制氢工艺于 20 世纪 50 年代研制成功第一代水电解槽，多为仿苏的常压型，单台最大生产能力为 200m³/h，1.6MPa 的中压型电解槽单台产氢量最大只有 60m³/h。九十年代后，常压电解槽逐步被淘汰，中压型电解槽单台产氢量发展到 200m³/h、250m³/h。21 世纪初我国碱性水电解槽单台产氢量达到了 350m³/h、375m³/h，挪威常压型水电解制氢设备单台最大产氢量可达 400m³/h，德国 Lurgi 公司中压槽单台容量为 200m³/h，组合式可达 750m³/h。如今的水电解工艺和设备已臻成熟，碱性水电解制氢的方法已在众多行业广泛采用。电解槽出口气体温度约 90℃，经分离碱液和水份后的氢气纯度可达 99.9%，氧气纯度可达 99.5%。但目前 600Nm³/h 以上的大容量装置尚未大规模工业化使用。

利用“弃水、弃风、弃光”的电力来制取氢气，将氢气作为二次能源或是燃料应用工业中，是近年来氢储能和氢能源发展的思路。氢储能技术已被认为是解决弃电问题的最有效途径，目前我国和欧美国家均开展了广泛研究，并在部分地区建成了示范运行项目。比较著名的案例有挪威在优特西拉岛建设了一套风力发电和氢气储能并发电全面结合的供电系统，岛上的供电系统在风力较大时，风能电力过剩时，用过剩的风电通过水电解技术制取氢气并储存起来，在风力较小时，氢气燃料电池会利用储存的氢气生产必需的电力，从而保证岛上居民正常用电。近年来我国也加快了可再生能源制氢示范项目的建设，例如，2016 年河北建投新能源公司借鉴德国勃兰登堡州在开发利用可再生能源、改善生态环境等方面的经验和做法，引进德国 McPhy 能源公司的风电制氢技术，规划、建设“沽源风电制氢示范项目”。此外金风科技集团在吉林获批的风电装机 100MW，也包含了 10MW 的制氢容量。这些项目的实施和开展为我国后续的风、氢耦合项目以及氢能源综合利用提供了较好技术参考。

宽功率超大型碱性水电解设备在同等产气量的情况下具有以下优势：

(1) 能够减少附属配套设备，降低单位产气量的投入。如一套 1000Nm³/h 制氢系统的

价格就是二套 500Nm³/h 制氢系统价格的 70%-75%，即折算至单位产气量下，1000Nm³/h 电解系统的设备投入较低。

(2) 占用场地比较少，有效节约空间成本。

(3) 单位产氢能耗更低，节约运行成本。

因此，研发宽功率超大型电解槽有利于电解水制氢技术大规模工业化的应用，特别是与风、光伏发电配套，有极大的商业市场。

碱性水电解制氢电能单耗是主要问题，国外碱性水电解制氢的电流密度约 2500A/m²，能耗约为 4.4-4.9 kw·h/Nm³H₂，见表 2-9-2；而国内一般厂家生产的水电解制氢设备的电流密度约 2000-2300A/m²，单位氢气电耗为 4.7-5.5 kw·h/Nm³H₂。

表 2-9-2 国外碱性水电解槽的能耗

序号	生产厂家	现有技术指标 kw·h/Nm ³ H ₂	计划 2022 年指标 kw·h/Nm ³ H ₂
1	Fluer-Daniel	4.4	
2	Norsk-Hydro	4.9	4.1~4.3
3	Teledyne Brown	4.3	4.0
4	Stuart Energy	4.7	
5	Model Values	4.5	4.0

9.4 节能减碳或污染防治效果

节能量与节能率：依据 GB32311-2015“水电解制氢系统能耗限定值及能耗等级”，我公司生产的高效低能耗水电解制氢装置能耗为 4.1-4.2kw·h/Nm³H₂，能耗等级优于 1 级，制氢系统能效值>82%。

水电解制氢的碳减排量与碳减排率取决于许多因素，包括制氢的原料、生产过程和使用方式等。一般来说，水电解制氢是一种清洁的制氢方式，因为它不产生碳排放。制氢过程中只消耗水和电能，而电能可以来自可再生能源，如太阳能和风能，从而实现碳减排。如果制氢的原料是化石燃料，如煤或天然气，那么制氢过程中就会产生碳排放。在这种情况下，水电解制氢的碳减排量和碳减排率取决于所使用的化石燃料的碳排放量，以及制氢过程中电能的来源和使用方式。

总的来说，水电解制氢是一种有潜力的清洁能源技术，可以帮助减少碳排放，但具体的碳减排量和碳减排率需要根据具体情况进行计算和评估。该项目工程利用可再生能源制氢，该技术利用的电能为光伏发电和风力发电，在购入电力方面，无碳的参与，实现了碳减排率达 100%，该技术消耗的原料只有纯水，在原料方面无碳的参与，同样实现了碳减排率达 100%，在电解制氢过程中，只消耗来自新能源的电力，同样无碳参与，能实现碳减排率达 100%，制备的氢气作为能源，其燃烧后排放物为水，无污染，无碳排放，碳减排率达到 100%。综上所述，利用光伏和风力发电，水电解制氢技术真正达到了绿色环保的目的，是实现双碳目标非常有利且工业成熟的技术。

9.5 技术示范情况

(一) 案例概况

2022 年 10 月，我公司与陕西建工安装集团签订了“建设工程买卖合同”，该合同规定了我公司为其提供 4 台套 1000m³水电解制氢装置，总金额达 2641.8 万元。该项目因“鄂尔多斯

准格尔旗那日松光伏制氢产业示范项目制氢部分 EPC 总包”工程设备采购需要，本合同同时为中国长江三峡集团有限公司牵头承担的国重 1.6 项目《十万吨可再生能源水电解制氢合成氨示范工程》提供制氢设备配套。该项工程名称为“鄂尔多斯准格尔旗那日松光伏制氢产业示范项目制氢部分 EPC 总承包”，工程施工地点为“鄂尔多斯准格尔旗哈沙圪堵经济开发区的工业园区”。2023 年 6 月 29 日，我国首个万吨级新能源制氢项目——内蒙古鄂尔多斯市准格尔旗那日松光伏制氢产业示范项目（以下简称“纳日松项目”）成功产出氢气。该项目目前已经安全平稳运行了 3 个月，是三峡集团贯彻落实习近平总书记在内蒙古考察时强调“要推动传统能源产业转型升级，大力发展绿色能源”重要讲话精神的具体举措，为打造可复制、可推广的新能源制氢示范项目探索新路径，助力内蒙古自治区建设国家重要能源和资源战略基地。

纳日松项目是内蒙古自治区第一批风光制氢一体化示范项目，由中国三峡新能源（集团）股份有限公司（简称三峡能源，股份代码 600905）与满世投资集团有限公司合资建设。项目利用采煤回填区建设光伏电站，年均发电量约为 7.4 亿千瓦时，其中 20% 将直接输送至当地电网，剩余 80% 用于氢气生产。项目安装 15 套 1000Nm³/h(标方每小时)的碱水制氢装备，年产氢气约 1 万吨、副产氧气约 8 万吨，主要应用于化工和交通领域。氢能是打破现有能源领域行业板块壁垒、实现不同能源形式之间深度融合的关键媒介，有助实现交通运输、工业和建筑等领域大规模深度脱碳。纳日松项目将高效、密切结合太阳能与氢能两大清洁能源，利用太阳能产出的绿电，将水通过电解水装置分解成氢气和氧气，通过探索无污染、零排放的绿电制氢新模式来解决可再生能源高比例并网存在的电力电量平衡与消纳这一关键问题。

纳日松项目成功产氢将为我国绿电制氢规模化、商业化发展积累宝贵经验，助力我国提升氢能“制-储-输-用”产业链整体水平，为内蒙古自治区经济社会绿色发展作出更多贡献。

该项目系统经过 300 小时测试验证，实现了以下结论：

（1）该设备可在电压 328V，电流 12780 条件下系统安全稳定运行，电压电流波动浮动不超过 1%，产气量 1000Nm³/h。

（2）电解槽各小室电压均匀，除端压板处小室电压略高 0.02V 外，其他各小室电压均在 1.74-1.78V 间，小室平均电压 1.76V 即系统能耗为 4.2kW·h/Nm³ H₂。

（3）氢气纯度在 99.93-99.96%，氧气纯度在 99.50-99.58% 范围内波动。

（4）系统实现了远程操控，能够调节系统压力，流量，电压，电流，自动控制/手动控制切换等方面的操作。

该制氢系统与传统的制氢系统对比，每产 1m³ 氢气，将节约电能 0.3-0.6kW·h，该工业园区年产氢 1 万吨，预计每年将节约电能 0.3-0.6 亿度电，约 12290 吨标准煤。该项目采用绿电制氢的工艺，清洁环保，生产过程中无碳排放。

（二）工艺流程及主要参数

（1）主要技术指标

- a. 单台装置制氢量 1000Nm³/h；
- b. 系统功率调节范围 20%~120%；
- c. 在额定工况下，直流电耗≤4.3kWh/m³H₂；

d. 氢气纯度>99.9%，氧气纯度>99.0%

为实现可再生能源与氢能之间的转化，大容量的制氢设备是必备的，大陆制氢公司开发的单台 1000Nm³/h 电解制氢装置已安全、可靠运行长达 5 年之久，2022 年开始，大陆制氢公司联合天津大学已经开始研制 3000Nm³/h 电解制氢装置，该技术将更好的适配可再生能源制氢。另外为适应可再生能源的波动性，我公司的水电解制氢设备做出了对应的工艺调整，可在 20%~120%范围内稳定、安全运行。在 4000A/m²的操作条件下，直流低至 4.2 kWh/m³H₂，能够有限的节约制氢的用电成本。

(2) 能效指标对比

碱性水电解制氢电能单耗是主要问题，国外碱性水电解制氢的电流密度约 2500A/m²，能耗约为 4.4-4.9 kw·h/Nm³H₂，见表 2-10-3；而国内一般厂家生产的水电解制氢设备的电流密度约 2000-2300A/m²，单位氢气电耗为 4.7-5.5 kw·h/Nm³H₂。

表 2-9-3 国外碱性水电解槽的能耗

序号	生产厂家	现有技术指标 kw·h/Nm ³ H ₂
1	Fluer-Daniel	4.4
2	Norsk-Hydro	4.9
3	Teledyne Brown	4.3
4	Stuart Energy	4.7
5	Model Values	4.5

降低产氢能耗的最关键环节在于采用新型的隔膜和新型高效电极，降低阴阳极过电位。

国外对于水电解隔膜的选择，在 50—70 年代同样选用的是石棉隔膜布，80—90 年代选用石棉纤维纸，即石棉纸多层重合，制成石棉膜作为水电解隔膜。从上世纪八十年代开始，美国杜邦公司成功研制了全氟磺酸离子膜，在氯碱行业广泛采用，作为电解食盐水的隔膜用，也开始应用于水电解隔膜，但其售价太高，根据型号不同，每平米高达 640-1100 美元。作为碱性水电解槽国内目前多采用 JC211 石棉隔膜布。国内水电解制氢设备厂已开始水电解隔膜非石棉化研究，如本公司和 718 研究所。而 718 所主要从国外进口（挪威）成品非石棉布隔膜，加工配套在自己的水电解产品上。在国防科工委、科技部、天津市科委等的资助下，我公司与中国原子能研究院及有关高校共同承担了碱性水电解槽用新型隔膜的有关研制项目，合作研发了幅宽达新型聚苯硫醚（PPS）隔膜。

传统碱性水电解催化剂/电极结构主要为镍网、镍片、泡沫镍等。为了增加催化电极的比表面积，采用镍与铝或锌在基底表面共沉淀，然后将铝/锌在强碱中溶解，可以得到多孔的雷尼镍，其比表面积要比光滑的镍电极高三个数量级左右，氢气析出速率显著提高，电化学活性得到提高。为了提高催化剂在电极材料表面的结合强度，对镍基体进行铁离子改性获得的镍铁催化电极材料，250mA/cm² 电流密度下的工作电压降低 162mV，将制备每立方氢能耗降低 0.39 kWh，可长时间稳定运行不失活，产氢能耗为 4.01k·Wh/m³。目前研究重点为通过原位生长方法在镍、碳布、微孔碳材料表面制备催化剂，通过热处理和直接磷化的方式制备得到具有强结合作用的支撑过渡金属磷化物产氢电催化剂。

我公司开发的高效低能耗水电解制氢装置，能耗达 4.1-4.2kw·h/Nm³H₂，目前已达到国

际先进水平。

（三）应用效果

水电解制氢的碳减排量与碳减排率取决于许多因素，包括制氢的原料、生产过程和使用方式等。一般来说，水电解制氢是一种清洁的制氢方式，因为它不产生碳排放。制氢过程中只消耗水和电能，而电能可以来自可再生能源，如太阳能和风能，从而实现碳减排。如果制氢的原料是化石燃料，如煤或天然气，那么制氢过程中就会产生碳排放。在这种情况下，水电解制氢的碳减排量和碳减排率取决于所使用的化石燃料的碳排放量，以及制氢过程中电能的来源和使用方式。

总的来说，水电解制氢是一种有潜力的清洁能源技术，可以帮助减少碳排放，但具体的碳减排量和碳减排率需要根据具体情况进行计算和评估。该项目工程利用可再生能源制氢，该技术利用的电能为光伏发电和风力发电，在购入电力方面，无碳的参与，实现了碳减排率达 100%，该技术消耗的原料只有纯水，在原料方面无碳的参与，同样实现了碳减排率达 100%，在电解制氢过程中，只消耗来自新能源的电力，同样无碳参与，能实现碳减排率达 100%，制备的氢气作为能源，其燃烧后排放物为水，无污染，无碳排放，碳减排率达到 100%。综上所述，利用光伏和风力发电，水电解制氢技术真正达到了绿色环保的目的，是实现双碳目标非常有利且工业成熟的技术。

9.6 成果转化推广前景

9.6.1 技术推广前景

电解海水制氢技术结合可再生能源，如太阳能和风能，能解决这些能源的间歇性问题，实现能源的稳定供应。当可再生能源充足时，通过电解海水制备氢气并储存起来，当能源不足时，则可以利用这些储存的氢气以满足能源需求。这种储存和利用方式有效地解决了可再生能源间歇性的问题，推动了可再生能源的大规模应用。此外，电解海水制氢技术的制氢过程是零排放的，不会产生二氧化碳等有害气体，相比传统的石化能源，更加环保，能够有效降低碳排放，减少对环境的污染。这有助于减少碳排放和改善环境，促进可持续发展。

然而，目前电解海水制氢技术的应用仍面临一些挑战。海水中的盐分对电解过程有一定的影响，可能会导致电解效果下降。此外，该技术的成本较高，仍需要进一步的研发和改进来降低制氢成本。海水制氢技术的规模化应用也需要更多的基础设施和技术支持。电解海水制氢作为一种可再生能源储存和利用的新途径，具有巨大的应用前景。通过不断的技术研发和优化，电解海水制氢技术有望在未来能源领域发挥重要作用，为实现清洁能源转型和应对气候变化做出贡献。

9.6.2 技术推广障碍及应对措施

光伏制氢的技术障碍主要包括氢能产业链整体成本偏高、关键零部件和产品技术与国外最先进的技术存在较大差距、以及加氢站技术方面的不足。

氢能产业链整体成本偏高是一个重要的技术障碍。尽管光伏制氢技术路线成熟，设备简单，运行和管理较为方便，制取氢气纯度较高且无污染，但整体成本仍然偏高，尚未突破规模化降本难点。这限制了光伏制氢的广泛应用和推广。

为了克服这些技术障碍，可以采取以下措施：

降低成本：通过技术创新和规模效应来降低光伏制氢的整体成本，例如提高光伏组件的效率和耐用性，优化电解水制氢的技术路线，降低设备成本。

加强研发：加大对关键零部件和产品的研发力度，提高自主创新能力，实现降本增效。

政策支持：政府可以通过提供税收优惠、资金支持等方式，鼓励企业加大在光伏制氢技术研发和应用方面的投入，促进技术的进步和产业的升级。

技术 10：远风电动重卡的开发和应用

10.1 技术提供方

远风电动重卡知识产权、销售权和品牌使用权归属天津远海金风新能源有限公司。

天津远海金风新能源有限公司成立于 2020 年 8 月 26 日，由中远海运（天津）有限公司和金风科技股份有限公司合资成立。中国远洋海运集团有限公司由中国远洋运输（集团）总公司与中国海运（集团）总公司重组而成，是中央直接管理的特大型国有企业。2022 年世界 500 强排行榜中，中远海运集团位列榜单 127 位。集团聚焦数智赋能、绿色低碳，构建“航运+港口+物流”一体化服务体系，打造全球绿色数智化综合物流供应链服务生态，创建世界一流航运科技企业。

新疆金风科技股份有限公司成立于 1998 年，是中国风电事业蓬勃发展的亲历者和推动者，致力于成为全球清洁能源和节能环保解决方案的行业领跑者。作为在深交所、港交所两地上市的公司，公司连续多年中国风机制造商排名第一。目前金风科技全球风电装机容量已超 111GW，49000 台风电机组在全球 6 大洲、38 个国家稳定运行。

天津远海金风新能源有限公司在双方股东的大力支持下，基于绿色港航产业的场景和需求，结合能源领域的技术与市场研究，选择分布式能源和电动重卡作为核心业务。建设全球首个绿色智慧零碳码头，并发布《港口碳中和实践白皮书》，拥有分布式能源及电动重卡方向自主知识产权专利 10 余项，已投入使用的分布式电站超 60 个，并网容量超 150MW，“双擎驱动”助力港航企业实现双碳目标。

10.2 技术成果简介

10.2.1 技术成果名称和领域

技术成果名称：远风电动重卡的开发和应用

技术领域：绿色低碳领域中交通运输低碳部分

10.2.2 技术成果来源

本技术成果是贯彻执行《国民经济和社会发展第十四个五年规划纲要》和相关专业产业规划纲要的需要。

国家《国民经济和社会发展第十四个五年规划》第九章发展壮大战略性新兴产业，第一节构筑产业体系新支柱“聚焦新一代信息技术、生物技术、新能源、新材料、高端装备、新能源汽车、绿色环保以及航空航天、海洋装备等战略性新兴产业，加快关键核心技术创新应用，增强要素保障能力，培育壮大产业发展新动能。”第三十八章持续改善环境质量，第四节积极应对气候变化，“落实 2030 年应对气候变化国家自主贡献目标，制定 2030 年前碳排放达峰行动方案。完善能源消费总量和强度双控制度，重点控制化石能源消费。实施以碳强度控制为主、碳排放总量控制为辅的制度，支持有条件的地方和重点行业、重点企业率先达到碳排放峰值。推动能源清洁低碳安全高效利用，深入推进工业、建筑、交通等领域低碳转型。”第三十九章加快发展方式绿色转型，第三节大力发展绿色经济“坚决遏制高耗能、高排放项目盲目发展，推动绿色转型实现积极发展。”“推动城市公交和物流配送车辆电动化。构建市场导向的绿色技术创新体系，实施绿色技术创新攻关行动，开展重点行业 and 重点产品

资源效率对标提升行动”

本技术成果是基于公司在“双擎驱动”战略背景下项目：远风电动重卡的开发和应用。其市场范围是主要是城市物流运输等，本项目的建设有利于发展环保、节能物流，同时有利于提升天津市及其周边地区新能源汽车制造业的发展，改善汽车产业结构，提高我国节能、环保水平，发展新能源汽车这一战略性新兴产业，有利于我国国民经济持续稳步健康发展，因此本项目的建设是贯彻国家国民经济和社会发展规划“十四五”规划和国家相关专业产业发展政策的需要。

10.3 技术内容

10.3.1 技术原理及主要产品

（1）技术原理：依托自主开发的“远风”系列动力系统，打造超长续航+超低能耗的“远风电动重卡”，配套“光储充”一体的智慧能源站和“IDEAS”智能监控调度平台，为客户提供一站式高效绿色物流解决方案。

（2）主要设备/产品：

远风动力系统：包括电机、电机控制器、电池、整车控制器、多合一辅助控制器、冷却机组、电动无油空压机，车联网系统，充电桩，IDEAS 系统。



图 2-10-1 远风动力系统



图 2-10-2 远风充电桩及 IDEAS 系统

10.3.2 技术成果适用性分析

技术适用于定点运输场景：港口内短距离运输场景，中短程定点运输场景，城市内生活运输场景。

应用该技术时所需具备的条件：车辆续航里程可往返覆盖的场景，起点或者终点按照每

两台车辆配备一台充电桩即可；车辆续航里程可单程覆盖的场景，起点和终点按照每两台车辆配备一台充电桩即可；车辆续航里程不可单程覆盖的场景，除起点和终点外，中途按照车辆续航里程距离配备充电桩。

10.3.3 技术创新性及先进性

目前市场上唯一一款搭载387kWh大容量动力电池系统的6×2牵引车，最大牵引量35.5T，与主流6×4车型相同的前提下，车身自重更轻，续航里程更长，可达到200-300km。对比现在柴油车方案可节碳18%，节能61.7%。

表 2-10-1 市场车型与远风车型性能对比

性能指标	市场车型	远风一号	差异化
动力型式	6*4	6*2	减少冗余设计
牵引车重量(吨)	12.5	10.5	轻量化减少车身自重
最大载货量(吨)	30.5	30.5	满足集装箱载重要求
电池电量(Kwh)	282	387	提升电池电量
整车能耗(Kwh/km)	1.6	1.2	降低每公里电耗
续航里程(km)	120-140	240-300	提高续航里程
质保条件	5 年 30 万公里	6 年 60 万公里	提升运营时间
智能网联	无	实时监控、智能调度	智能、安全、高效

10.4 节能减碳或污染防治效果

节能降碳效益：每辆车年运营里程 13.2 万公里，传统柴油车耗油量为 4.4 万升^[1]，碳排放量约为 118.3 tCO₂^[2]，能耗为 54.5tce^[3]。电动车耗电量约为 17 万 kWh^[4]，碳排放量约为 97 tCO₂^[5]，能耗为 20.9tce^[6]。每辆车年节碳量达到 21.3tCO₂（18%），每辆车年节能量 33.6tce（61.7%）。

10.5 技术示范情况

项目名称：山东物流项目（示范项目）介绍：

项目概况：项目场景为港口至公司仓库货物运输，单程约 220km，每天每辆车往返一次。起点和终点各设立一台 360kW 充电桩，在运营路线中点附近配备补电车一辆作为应急使用。2022 年投放试用车 2 辆，试用八个月后反馈良好，于 2023 年投放正式车辆四台运营，2024 年初追加六台车辆和配套的充电桩投放。

^[1] 计算公式为：13.2 万公里 × 油耗 0.33 升/公里；

^[2] 计算公式为：耗油量 4.4 万升 × 密度 0.00085 吨/升 × 柴油 CO₂ 排放因子 74.1kg CO₂/GJ × 柴油的净热值 0.0427GJ/kg。其中柴油 CO₂ 排放因子摘自《IPCC 国家温室气体清单编制指南》（2006 年），柴油的净热值摘自《GB/T2589-2020 综合能耗计算通则》附录 A；

^[3] 计算公式为：耗油量 4.4 万升 × 密度 0.00085 吨/升 × 折标煤系数 1.457kgce/kg；其中柴油的折标煤系数摘自《GB/T2589-2020 综合能耗计算通则》附录 A；

^[4] 计算公式为：13.2 万公里 × 电耗 1.3kWh/公里；

^[5] 计算公式为：耗电量 17 万 kWh × 0.5703tCO₂/MWh，其中电网 CO₂ 排放因子摘自《关于做好 2023—2025 年发电行业企业温室气体排放报告管理有关工作的通知》；

^[6] 计算公式为：耗电量 17 万 kWh × 折标煤系数 0.1229kgce/kWh，其中电力的折标煤系数摘自《GB/T2589-2020 综合能耗计算通则》附录 B；

应用效果：使用电动车替代了传统的柴油车，柴油车每公里费用 2.31 元^[7]，电动车每公里费用为 1.3 元^[8]，使用电动车每公里节约费用 1.01 元。每年车辆运营费用相较柴油车节约 13 万元（43.7%）^[9]，节约柴油约 1.9 万升^[10]。按照单程 220km 计算往返拉货一趟即可节省 404 元，每辆车全年^[11]共计可节省约 13.3 万元。

应用该技术充电服务费收益：每辆车每年收益为 3.4 万元^[12]。充电桩项目共计每年收益 40.8 万元。配合场景应用设立的充电桩，空闲时可以为其他社会车辆进行补电。

客户反馈：2022 年投放两辆试用车辆，经客户为期八个月的试用后，反馈良好，并继续扩大应用范围。

绿电重卡，零碳未来——兴隆盛物流打造绿电重卡绿色运输，引领行业新潮流

玲珑集团有限公司 2023-11-07 19:56 山东

日前，山东玲珑兴隆盛物流公司与远风新能源电卡厂家达成合作--用纯绿色电动重卡代替传统的燃油卡车，通过8个月专线运营的反复验证，在续航方面，招远-黄岛单程可顺利到达，中途无需充电；在成本费用方面，对比燃油车，电卡车辆单程利润率提升76%。



图 2-10-3 客户反馈及新闻报道

能源节约：每辆车年运营里程约 13.2 万公里，传统柴油车耗油量约为 4.4 万升，碳排放量约为 118.3 吨，能耗折合标煤为 54.5 吨。适用电动车耗电量约为 17 万度，碳排放量约为 97 吨，能耗折合标煤为 20.9 吨。项目共计每年节碳量 255.6tCO₂，节能量 403.2tce。

10.6 成果转化推广前景

10.6.1 技术推广前景

中国汽车工业协会发布的《中国新能源汽车产业路线图 V2.0》中的主要里程碑规划 2025 年中国纯电动汽车的市场渗透率将达到 20%，按重卡年产量 125~130 万辆计算，纯电动重卡产量将达到约 25 万辆/年，市场规模约 2000 亿。

^[7] 计算公式为：油价 7 元/升 × 油耗 0.33 升/公里；

^[8] 电耗 1.3kWh/公里 × 电价 1 元/kWh；

^[9] 电动车每公里节约费用 1.01 元 × 年运营里程 13.2 万公里；

^[10] 电动车每公里节约费用 1.01 元+油价 7 元/升 × 年运营里程 13.2 万公里；

^[11] 全年按照 330 天计算；

^[12] 13.2 万公里 × 电耗 1.3kWh/公里 × 充电服务费 0.2 元/kWh；

《节能与新能源汽车技术路线图 2.0》- 主要里程碑				
		2025年	2030年	2035年
主要里程碑	乘用车	乘用车（含新能源）新车油耗达到 4.6L/100km (WLTC)	乘用车（含新能源）新车油耗达到 3.2L/100km (WLTC)	乘用车（含新能源）新车油耗达到 2.0L/100km (WLTC)
	商用车	货车油耗较2019年降低8%以上 客车油耗较2019年降低10%以上	货车油耗较2019年降低10%以上 客车油耗较2019年降低15%以上	货车油耗较2019年降低15%以上 客车油耗较2019年降低20%以上
	节能汽车	传统能源乘用车新车平均油耗 5.6L/100km (WLTC)	传统能源乘用车新车平均油耗 4.8L/100km (WLTC)	传统能源乘用车新车平均油耗 4L/100km (WLTC)
		混动新车占传统能源乘用车的50%以上	混动新车占传统能源乘用车的75%以上	混动新车占传统能源乘用车的100%
	新能源汽车	新能源汽车占总销量20%左右	新能源汽车占总销量40%左右	新能源汽车成为主流 (占总销量50%以上)
		氢燃料电池汽车保有量达到10万辆左右	氢燃料电池汽车保有量达到100万辆左右	
	智能网联汽车	PA/CA级智能网联汽车占汽车年销量的 50%以上， HA级汽车开始进入市场， C-V2X终端新车装备率达50%	PA/CA级智能网联汽车占汽车年销量的 70%， HA级汽车占比超过20%， C-V2X终端新车装备基本普及	各类网联式高度自动驾驶车辆广泛运行于中国广大地区， 中国方案智能网联汽车与智慧能源、智能交通、智慧城市深度融合

数据来源：《节能与新能源汽车技术路线图 2.0》；盖世汽车整理

图 2-10-4 《节能与新能源汽车技术路线图 2.0》主要里程碑

2022 年重卡总销量 67.1 万辆，其中新能源重卡销量 2.5 万辆，渗透率 3.7%。

2023 年重卡总销量 91.1 万辆，其中新能源重卡销量 3.4 万辆，渗透率 3.7%。

随着电动重卡的普及，物流端和司机端对于新能源的接受程度越来越高，市场新能源充电网络的完善也逐步解决续航里程焦虑的问题，商用车的使用场景多为定点运输，非常适用于电动重卡的推广。预计每投入一辆电动重卡车辆，可形成 21.3tCO₂/辆/年的降碳量。

10.6.2 技术推广障碍及应对措施

（1）电动重卡的成本比传统油车贵一倍，前期投入相对较大，经济效益没能在短期内体现，应推出多元化的金融支撑手段，如分期、以租代售、补贴等模式来实现更快的推广。

（2）电动重卡续航里程较短，普遍续航里程在 300 公里以内，无法满足长途运输，应用场景受限，且很多社会商业充电桩场地由于限高及充电桩功率较小，无法与乘用车共用场地；建议加大商用车的充电桩场地建设及大功率充电设施投放，满足途中补电需求。

（3）在港口、矿山、钢厂等短途应用场景中，电动重卡可以完全实现对燃油重卡的替代，但由于平均运营里程较短，在全生命周期内经济性难以体现，除国家政策导向外，建议增加相应的行业政策导向，如高速费用减免、装卸货绿色通道等。

技术 11：“柔、稳”格栅织物制备与其工程加固系统界面性设计关键技术

11.1 技术提供方

本技术提供方为天津工业大学、卡本科技集团股份有限公司。

天津工业大学是教育部与天津市共建、天津市重点建设的全日制普通高等学校。2017 年入选国家“双一流”世界一流学科建设高校，2018 年获批国防科工局与天津市共建高校，深度融入军民融合发展战略，是我国最早开展纺织高等教育的学府之一。天津工业大学以现代纺织学科为依托的工程、材料、化学和数学 4 个学科进入全球 ESI 前 1%，纺织科学与工程学科在 2016 年全国学科评估中获得 A+；学校建有国家重点实验室 2 个、国家级国际联合研究中心 1 个，国家地方联合工程中心 1 个、2018 年获批国家国防科工局联合共建高校、连续 9 年获得 11 项国家科技奖，先进纺织复合材料教育部重点实验室多次承担国家航空航天、国防军工科研任务。

卡本科技集团股份有限公司是一家民营企业质的高新技术企业，自成立以来，始终秉承“绿色创新，科技引领可持续发展”的核心理念，致力于城市更新与改造加固行业，现已发展为结构加固、路桥养护、建筑及桥梁工业化、建筑涂装等领域的产品研发、生产和技术服务的国家级高新技术企业、国家级专精特新小巨人企业、天津市瞪羚企业、天津市专精特新中小企业。近三年在工程加固领域实现销售额近 17000 万，实现上缴本市税收 2100 万。

11.2 技术成果简介

11.2.1 技术成果名称和领域

技术成果名称：“柔、稳”格栅织物制备与其工程加固系统界面性设计关键技术

所属领域：格栅织物作为产业用纺织品重要分支，能嵌锁基料，被广泛应用于工程领域

11.2.2 技术成果来源

（1）省级和地方计划项目，天津市教育委员会，天津市教委科研项目，2018KJ194，编织结构对碳纤维/聚合物复合材料共振疲劳寿命影响机理，6 万。

（2）省级和地方计划项目，天津市科学技术局，天津市科技计划项目，20JCZDJC00070，石墨烯量子点梯度调控碳纤维增强树脂复合材料抗辐射机制，20 万。

（3）省级和地方计划项目，天津市科学技术局，天津市科技计划项目，16JCZDJC37800，预成型-RTM 联用构建的石墨烯复合材料力学与导电性能，20 万。

（4）省级和地方计划项目，天津市科学技术局，天津市科技特派员项目，23YDTPJC00480，钢纤维网格织物结构设计与其加固系统界面性能研究，6 万。

项目授权国家发明专利 9 项，发表论文 18 篇并被引 712 次，获批地方标准 1 项，培养多名高级工程师与数十名优秀研究生，为纺织行业转型升级和土木工程行业的绿色、可持续发展提供强有力的技术与人才支撑。

11.3 技术内容

11.3.1 技术原理及工艺流程

创新点一：开发了“柔、稳”并济格栅织物制备技术

（一）兼具柔韧性与结构稳定性的碳纤维格栅织物成型技术

现有碳纤维格栅织物由以一定间距分布的经纬碳纤维条形板粘接固定制成，虽然拥有良好的结构稳定性，但因条形板刚性大较难弯曲，无法应用于凹凸面或变截面工程构件的加固。为此，本项目研发了编织与浸胶固化一体化成型工艺与设备（图 2-11-2），主要工艺路径为：编织→收卷→浸胶→挤胶→收卷→固化→脱模。

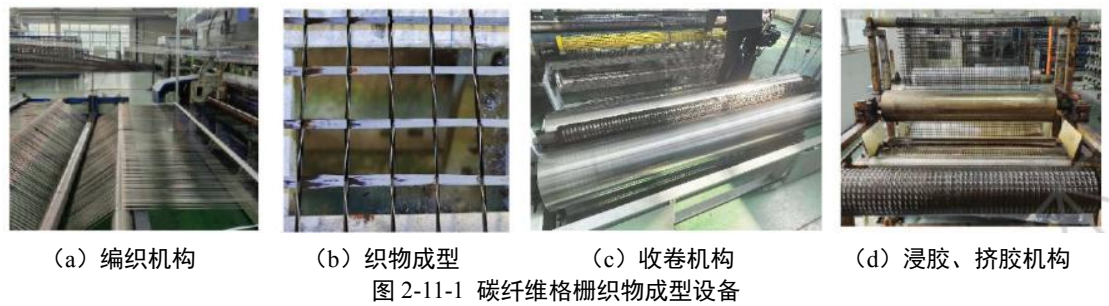
对于碳纤维格栅织物，传统梭织技术织造与常规浸胶工艺，存在开口机构运动控制难、行程不易调整、收卷力不均匀等问题，难以使其具有优异的结构稳定性。为解决上述技术问题，本项目实施了如下技术创新：

（1）针对碳纤维格栅织物结构特点，在经向引入热熔纱线，为了避免热熔纱线偏移，采用双开口机构，通过热熔纱线绞综框与碳纤维经纱地综框的相互配合，使热熔纱线绞织于碳纤维经纱周围（图 2-11-1（b）），向经纬组织点施加第一约束力，形成绞合孔；在收卷工序前使织物经过加热装置，织物表面分布的热熔纱线受热熔融与经纬纱线粘结于一体，从而向织物结构施加第二约束力，行成稳定的具有应力均匀配载特点的绞纱组织网格布结构。

（2）在收卷工艺中，常规机织物的收卷方式为中心收卷，即依靠传动电机带动收卷轴实现收卷，而该收卷方式易使碳纤维格栅织物层间卷取力随卷取直径的增大而减小，发生层间错位而弯折。本项目首次使用变频闭环矢量控制表面收卷技术，利用两个传动辊的摩擦力带动织物转动（图 2-11-1（c）），在双工位收卷系统运行中叠加转矩，对在不同收卷节点的织物进行张力补偿。传动辊的转速和转矩不随织物直径的增加而变化，使每层织物受力均匀，解决了织物因层间受力不均匀而发生变形的问题。

（3）对浸胶、挤胶的工艺和设备进行优化设计（图 2-11-1（d））。在浸胶槽上方设置三个浸胶辊与两个挤胶辊，通过控制相邻辊轴间距并施加驱动力，既能实时调节经纱张力以保证织物平直度，也能精确控制上胶量，避免浸胶不足带来的织物性能低以及浸胶过量而引发的织物硬度大、柔韧性差的问题。

综上所述，本项目开发的热熔纱线绞转在线缠结碳纤维双开口织造工艺，双轴恒张力自卷取与浸胶成型工艺以及成套设备，实现了碳纤维格栅织物柔韧性与结构稳定性的协同提升。



（二）基于“刚、挠”双界面的钢纤维格栅织物热轧粘合技术

现有机织织造技术制备的钢纤维格栅织物的经纱为硬质钢纤维，纬纱为柔性玻璃纤维，经纬纱线的刚度差异较大，致使织物的平整度与结构稳定性不足。因此，本项目开发了钢纤

维格栅织物热轧粘合工艺与成套设备（图 2-11-2），具体工艺为：钢纤维放丝集丝→钢纤维表面除油除杂→钢纤维预热烘干→钢纤维涂胶→玻璃纤维格栅上轴→钢纤维/玻璃纤维格栅热轧粘合→钢纤维格栅织物梯度冷却牵引收卷。钢纤维格栅织物制备原理为：在经向连续且均匀排列的钢纤维层底部涂覆热熔胶，将上层钢纤维层与下层柔性玻璃纤维格栅共同穿过多对热轧复合辊，利用加热辊施加的温度与压力，将钢纤维粘接于玻璃纤维格栅表面，冷却后，制备得到钢纤维/玻璃纤维三维格栅织物。

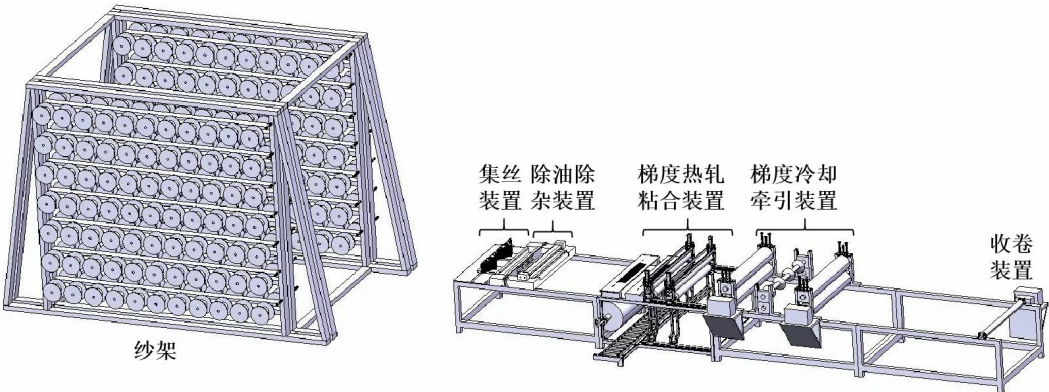


图 2-11-2 钢纤维格栅织物成型设备

对于钢纤维格栅织物，传统热轧粘合工艺存在经向钢纤维排列密度不可控、张力不匀以及玻璃纤维格栅粘合不牢而掉落等问题，难以使其具有优异的结构稳定性。为解决上述技术问题，本项目实施了如下技术创新：

（1）为了精确控制钢纤维层张力的高度均匀性，保证加热辊对每根钢纤维施加压力一致，从而确保每根钢纤维均与玻璃纤维格栅有效粘结，本项目在纱架上设置导向轮组（图 2-11-3（a）），导向轮组的各个导向轮独立运动，可以精准调节单根钢纤维的张力。

（2）为了精确控制钢纤维分布间距的一致性，本项目采用了以下技术措施：① 设置集丝装置（图 2-11-3（b）），包括移动平板、移动平板滑轨、集丝辅助盘和集丝板，集丝辅助盘可移动调节并内设集丝滑轮（图 2-11-3（c）），既能提高钢纤维分布间距的灵活控制性，又能降低钢纤维受到的摩擦阻力；② 在钢纤维与玻璃纤维格栅热轧粘合工序前设置多道辅助钢筘，将钢纤维穿过钢筘，进一步控制了钢纤维分布的均匀性。

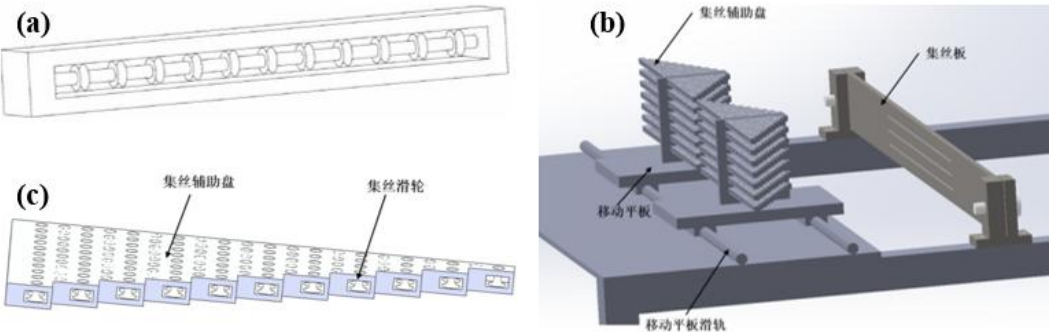


图 2-11-3 （a）导向轮组，（b）集丝装置，（c）集丝辅助盘

（4）为了提高钢纤维与玻璃纤维格栅的粘合性能，本项目首先明确了最有效的钢纤维表面油层处理方法，并设计开发了钢纤维除油除杂工艺与装置；其次确定了最佳的梯度热轧

粘合工艺，并设计开发了配套装置。具体如下：

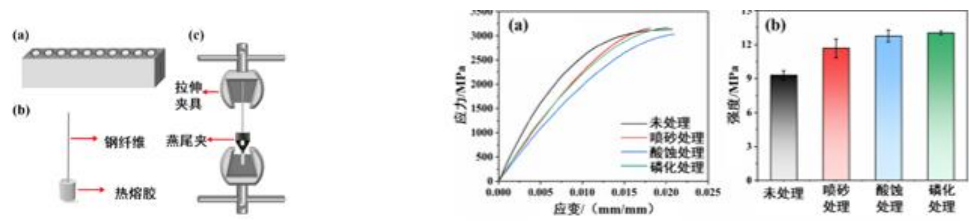


图 2-11-4 (a) 模具，(b) 试样，(c) 试验装置 图 2-11-5 (a) 钢纤维拉伸应力-应变曲线，(b) 钢纤维与热熔胶的界面粘结抗剪强度

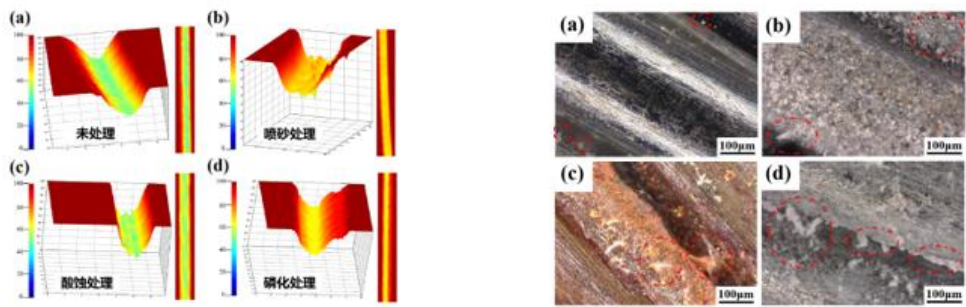


图 2-11-6 钢纤维表面形貌：(a) 未处理，(b) 喷砂处理，(c) 酸蚀处理，(d) 磷化处理 图 2-11-7 钢纤维从热熔胶拔出后的表面形貌：(a) 未处理，(b) 喷砂处理，(c) 酸蚀处理，(d) 磷化处理

由于工业用钢纤维表面含有油层，会影响其与玻璃纤维格栅的粘合性能。为了确定有效的钢纤维表面油层处理方法，本项目对钢纤维分别进行了喷砂、酸蚀与磷化处理。同时，为了表征钢纤维表面油层处理方法对其与热熔胶界面粘结性能的影响，自主设计了粘结抗剪模具与试样制备方法（图 2-11-4）。结果发现，上述油层去除方法不仅不会明显降低钢纤维的拉伸强度，反而提升了钢纤维与热熔胶的界面粘结强度，喷砂、酸蚀和磷化处理分别使钢纤维与热熔胶的界面粘结强度提升 27.7%、37.51%和 40.46%（图 2-11-5）。为探究原由，对处理前后钢纤维进行超声 C 扫描（图 2-11-6），发现喷砂处理使钢纤维表面分布有凸起与凹坑，酸蚀与磷化处理使钢纤维表面形成微孔结构和无规则的“槽道”，均提高了钢纤维与热熔胶的有效粘结面积与机械嵌合作用力。进一步地，对处理前后钢纤维从热熔胶拔出的表面形貌进行超景深表征（图 2-11-7），发现磷化处理的钢纤维表面粘附有大量热熔胶，这是因为磷化处理不仅能有效去除钢纤维表面油层，还在表面形成磷酸盐晶体膜，促进钢纤维与热熔胶的化学键合作用，提升二者界面粘结强度。基于此，本项目最终确定采用超声波与磷酸盐溶液对钢纤维进行超声磷化处理工艺。同时，为了规避水分对钢纤维与玻璃纤维格栅的粘合影响，采用风热机构对除油除杂处理后的钢纤维进行预加热，使钢纤维保持干燥状态。

为了进一步提高钢纤维与玻璃纤维格栅的粘合性能，开发了钢纤维/玻璃纤维格栅梯度热轧粘合工艺与装置（图 2-11-8（a）），以及钢纤维格栅织物梯度冷却牵引、收卷工艺与装置（图 2-11-8（b））。

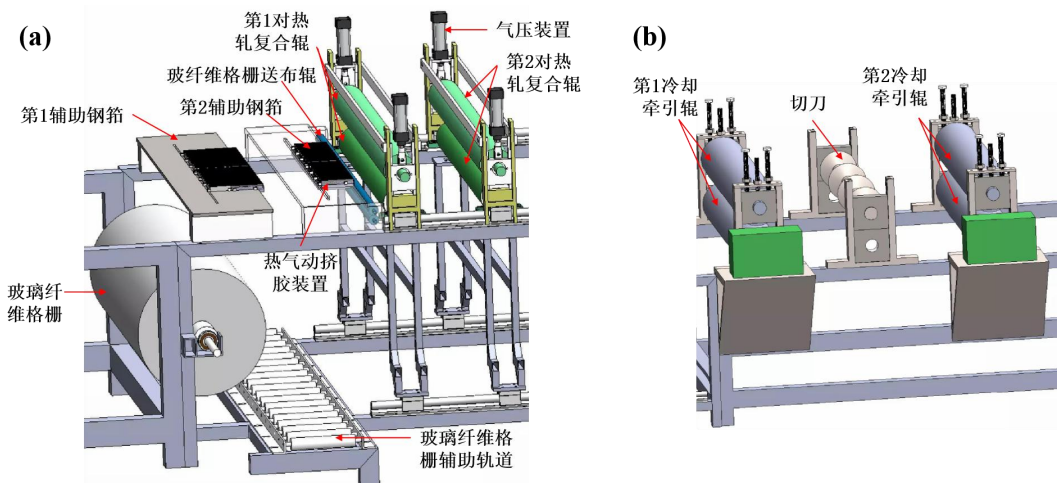


图 2-11-8 (a) 梯度热轧粘合装置, (b) 梯度冷却牵引装置

第 1 辅助钢箱处设置加热装置,对钢纤维进行预加热,加热温度低于热熔胶的熔点温度,目的是为了防止温度过高使热熔胶熔融而粘度过小,使钢纤维与热熔胶难以粘结;

第 2 辅助钢箱下热气动挤胶装置,该装置内设气动推板,气动推板受气压作用向上移动,且气动推板内设加热装置,经加热使气动推板上放置的热熔胶块受热熔融,从第 2 辅助钢箱凹槽底部均匀流出,与钢纤维实现初步粘结;

底部粘附有热熔胶的钢纤维与玻璃纤维格栅叠合共同穿过 2 对热轧复合辊,在温度与压力作用下,将钢纤维粘结于玻璃纤维格栅表面。其中,热气动挤胶装置与第一热轧复合辊间为连续风热场,控制风速吹除钢纤维两侧多余热熔胶,并使底部热熔胶变为倒锥状,增加钢纤维与玻璃纤维格栅的粘结性能;

依次设置两个低温、常温冷却牵引辊,形成梯度冷却温度,有助于热熔胶冷却,避免后续收卷时发生层间粘连,并设置收卷装置实现织物连续收卷。

综上所述,本项目从材料、工艺、设备多维度进行创新研究,最终创建了“刚、挠”双界面的钢纤维格栅织物热轧粘合技术,该技术使钢纤维格栅织物具有优异的结构稳定性,可以大规模产业化应用。

本技术内容获得授权发明专利 2 项:一种高强度钢丝布的生产工艺及设备,一种高强钢丝布的生产工艺和生产设备;发表论文 1 篇:《Interface Bonding Properties and Mechanism of Steel Fiber and Hot Melt Adhesive via Interface Design Engineering》。

创新点二: 建立了砂浆/格栅织物/砂浆“三明治”结构的界面评价新方法

砂浆/格栅织物/砂浆“三明治”结构用于构件加固时,常出现以下失效形式(图 2-11-9): (a) 构件内聚破坏; (b) 内层砂浆层间破坏; (c) 外层砂浆开裂; (d) 格栅织物与砂浆界面脱粘; (e) 砂浆与构件界面脱粘。可见,格栅织物/砂浆/构件间的界面粘结性能直接影响了砂浆/格栅织物/砂浆结构对构件的加固效果。现有的界面评价方法中,仅有 GB 50550-2010《建筑结构加固工程施工质量验收规范》中提出的正拉粘结测试方法,但该方法表征形式单一且较为粗泛,仅能评价无荷载状态下及局部小范围的界面粘结性能,难以满足实际工程应用。因此,迫切需要创建更为精准可靠的砂浆/格栅织物/砂浆结构界面评价方法。

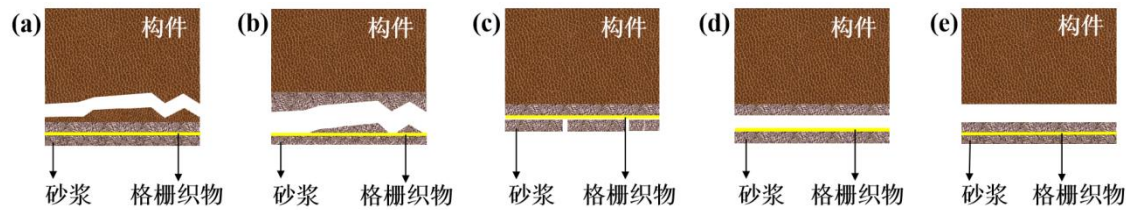


图 2-11-9 格栅织物增强砂浆加固构件失效形式

首先，本项目对经砂浆/格栅织物/砂浆加固后构件的受力进行深度剖析，发现被加固构件发生挠度变形或受到动载时，格栅织物/砂浆界面受到平行于界面方向的剪切力，存在织物滑移引发界面粘结失效（图 2-11-9（d））的潜在风险。本项目根据上述原理进行现有界面评价方法优化及试样型式设计（图 2-11-10（b）-（c）），发明了界面剪切（即握裹力）测试新方法。该测试方法能够对外应力作用下砂浆/格栅织物/砂浆“三明治”结构的界面粘结性能进行评价，其界面受力状况和最大荷载下的失效形式与工程应用中一致，是一种更加精准可靠的界面评价方法。

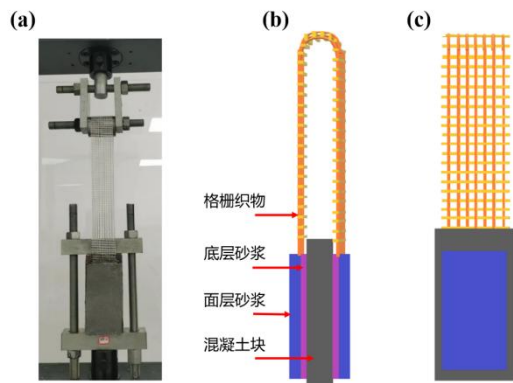


图 2-11-10 （a）界面剪切测试工装，（b）-（c）界面剪切测试试样

其次，针对上述砂浆/格栅织物/砂浆“三明治”结构的界面评价新方法，本项目研发了配套的测试工装（图 2-11-10（a））。通过固定格栅织物并由上部辊轴对织物施加活荷载，由格栅织物将荷载传递入格栅织物/砂浆界面并形成剪切力，界面剪切力不断增大直至织物从砂浆层拔出，模拟实际工程加固中构件出现挠度变形或动载作用导致的格栅织物与砂浆界面脱粘。

最后，本项目还进一步确定了砂浆/格栅织物/砂浆“三明治”结构中格栅织物/砂浆界面界面剪切强度计算方法：

$$\sigma_1 = \frac{F_1}{2 \times A_1}$$

式中： σ_1 ——格栅织物与砂浆的界面剪切强度（MPa）； F_1 ——格栅织物从砂浆层中拔出的最大载荷（N）； A_1 ——格栅织物与砂浆的粘结面积（mm²）。

本项目自主研发的格栅织物增强砂浆“三明治”结构的界面评价方法经过大量工程应用被证明是有效可靠的，已被编入地方标准。

本技术内容获批地方标准 1 项：DB21/T 3696-2023《高强钢丝布聚合物砂浆加固技术规程》；授权发明专利 2 项：一种碳纤维网格握裹力试样的制备方法，一种用于伸缩缝快速修

补的抗开裂环氧砂浆及其制备方法；发表论文 2 篇。

创新点三：创制了增强格栅织物/砂浆界面粘结的纤维表面活化技术

在砂浆/格栅织物/砂浆“三明治”结构加固构件的失效形式中，格栅织物/砂浆界面失效形式频频发生，这是由于格栅织物表面与砂浆活性较低，二者难以高效粘结，使得格栅织物/砂浆界面在载荷作用下的界面成为受力薄弱点，从而发生界面失效。格栅织物/砂浆的界面粘结性能严重影响着砂浆/格栅织物/砂浆结构对构件的加固效果。因此，亟需对碳纤维、钢纤维格栅织物表面进行活化处理，构筑高应力分散界面，提升格栅织物/砂浆界面粘结性能。

（一）面向碳纤维格栅织物/砂浆界面优化的纤维表面发泡层开发

碳纤维表面呈现化学惰性，碳纤维格栅织物与砂浆难以化学键合并形成有效粘结，本项目创造性地进行活性涂层设计与织物表面发泡处理，实现了碳纤维格栅织物表面活化与粗糙化改性，提升其与砂浆的界面粘结性能。具体如下：

首先，本项目在环氧体系内引入稀释剂（聚丙二醇二缩水甘油醚），并采用酚醛胺固化剂代替聚醚胺类固化剂（图 2-11-11），改善了碳纤维格栅织物涂层的耐候性与力学性能。其次，在此基础上对涂层进行发泡处理，生成三维开孔结构（图 2-11-12），构筑碳纤维格栅织物与砂浆间的互穿结构。三维开孔结构受到外界应力时能消耗部分应力，增加砂浆/碳纤维格栅织物/砂浆结构的抗冲击性能，从而提升被加固构件的抗震性能，避免动载引发的碳纤维格栅织物/砂浆界面脱粘。

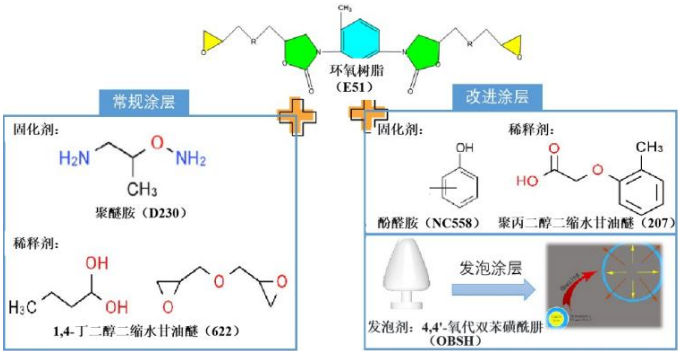


图 2-11-11 碳纤维格栅织物涂层工艺优化思路图

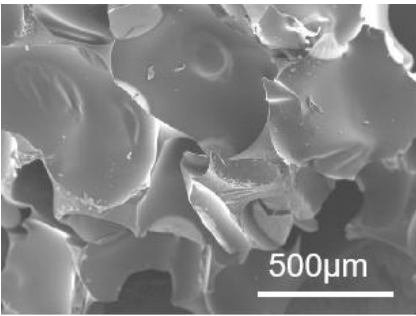
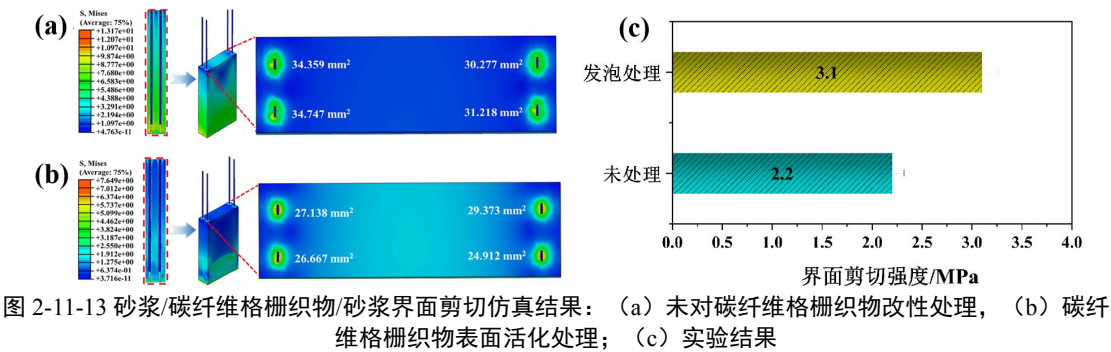


图 2-11-12 碳纤维格栅织物发泡层

此外，本项目构建了砂浆/碳纤维格栅织物/砂浆的界面剪切试样几何模型（图 2-11-13（a）-（b）），施加拉应力至碳纤维拔出失效，比较织物表面活化处理前后界面剪切试样内部的应力分布情况，发现活化处理的砂浆/碳纤维格栅织物/砂浆界面剪切试样内部的应力水平与应力传递范围更小，不易发生应力集中，表明浸润活性涂层可以提升碳纤维格栅织物

与砂浆的界面应力分布均匀性，进而提升二者的界面粘结性能。此外，本项目为了印证仿真结果的可靠性，根据仿真试样模型制备了界面剪切试样，测试结果表明活化处理的试样界面剪切强度高于未处理试样（图 2-11-13（c）），与模拟分析结论一致。



综上所述，本项目通过在碳纤维格栅织物表面引入活性涂层并进行发泡处理，提升其与砂浆界面粘结性能的创新技术具有可行性，为其他纤维格栅织物的界面优化提供较强的科学依据。

本技术内容获得授权发明专利 2 项：一种具有三维开孔泡沫结构的碳纤维复合材料及制备方法，一种用于伸缩缝快速修补的抗开裂环氧砂浆及其制备方法；发表论文 2 篇：《Study on the Mechanical Properties and Strengthening Mechanism of Interface-Modified Carbon Fiber Mesh Reinforced Cement-Based Composites with SCA&HMC》，《Reduce and concentrate graphene quantum dot size via scissors: vacancy, pentagon-heptagon and interstitial defects in graphite by gamma rays》。

（二）面向钢纤维格栅织物/砂浆界面优化的纤维表面杂化涂层开发

本项目已通过钢纤维表面磷化处理提升了钢纤维表面活性，能够与活性较高的热熔胶稳定粘结，但与砂浆材料的粘结能力依旧不足。为了解决该问题，在钢纤维格栅织物表面构建三维球状二氧化硅/环氧树脂杂化涂层，提升钢纤维格栅织物/砂浆的界面性能，并基于该表面活化技术进行砂浆/钢纤维格栅织物/砂浆结构界面粘结模拟分析与实验验证，具体如下：

首先，为探究用于钢纤维格栅织物表面处理环氧树脂涂层的选型，本项目建立球状、片状的纯填料、填料/环氧树脂的模型，获得 Von Mises 应力分布图。图 2-11-14（a₁，b₁）表明球状填料的应力分布均匀，且承受 Von Mises 应力较小，更适宜作为涂层填料。此外，基于该模型分析和指导，本项目分析了纯环氧树脂以及不同含量二氧化硅/环氧树脂复合材料的拉伸强度，发现 1wt%二氧化硅/环氧树脂复合材料的拉伸强度最优（图 2-11-15），最适宜作为钢纤维格栅织物的杂化涂层。

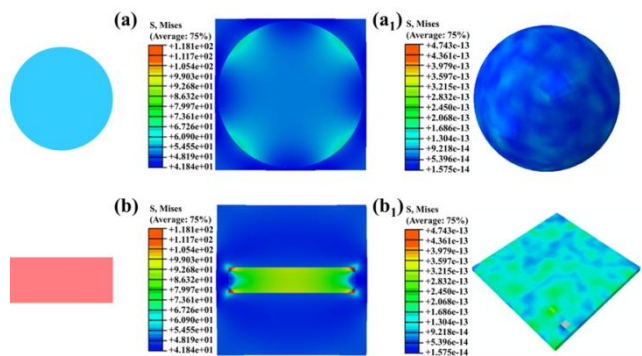


图 2-11-14 (a) 球形填料/环氧树脂 2D 模型, (a₁) 球形填料 3D 模型, (b) 层状填料/环氧树脂 2D 模型, (b₁) 层状填料 3D 模型的 Von Mises 应力分布

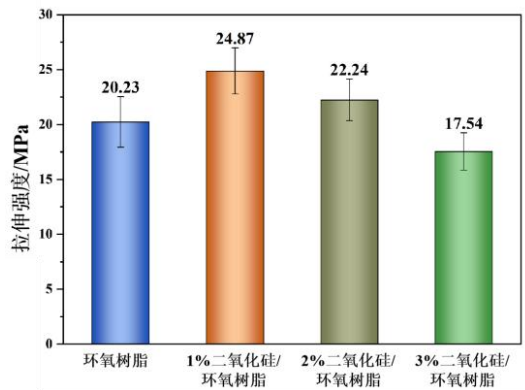


图 2-11-15 环氧树脂、二氧化硅/环氧树脂复合材料的拉伸强度

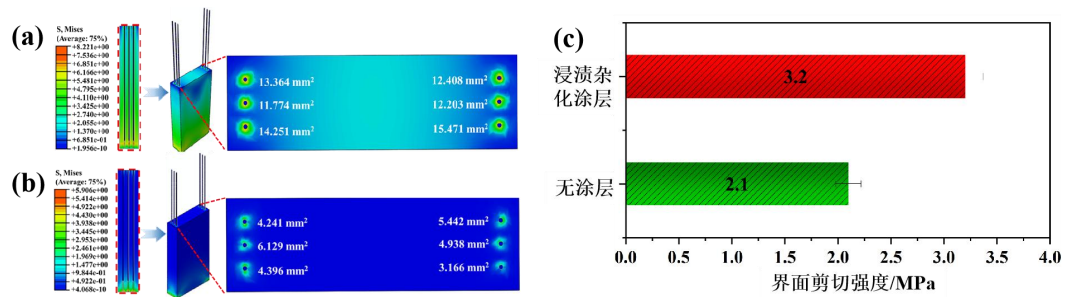


图 2-11-16 砂浆/钢纤维格栅织物/砂浆界面剪切仿真结果: (a) 钢纤维格栅织物表面无涂层, (b) 钢纤维格栅织物浸渍杂化涂层; (c) 实验结果

确定杂化涂层填料形状与涂层含量后, 本项目构建了砂浆/钢纤维格栅织物/砂浆的界面剪切试样几何模型(图 2-11-16 (a) - (b)), 施加拉应力至钢纤维拔出失效, 比较浸渍活性涂层前后界面剪切试样内部的应力分布情况, 发现浸渍活性涂层的砂浆/钢纤维格栅织物/砂浆界面剪切试样内部的应力水平与应力传递范围更小, 不易发生应力集中, 表明浸润活性杂化涂层可以提升钢纤维格栅织物与砂浆的界面应力分布均匀性, 进而提升界面粘结性能。此外, 本项目为了印证仿真结果的可靠性, 根据仿真试样模型制备了界面剪切试样, 测试结果表明浸渍杂化涂层的试样界面剪切强度高于未浸渍试样(图 2-11-16 (c)), 与模拟分析结论一致。

综上所述, 本项目通过在钢纤维格栅织物表面构建三维球状二氧化硅/环氧树脂活性涂层, 提升其与砂浆界面粘结性能的创新技术具有可靠性, 为其他纤维格栅织物的界面优化提

供较强的参考价值。

本技术内容获得发表论文 2 篇：《Sustainable green reinforcement engineering: High-performance GTRM reinforced composites with interfacial gradient structure》，《Improving corrosion resistance of epoxy coating by optimizing the stress distribution and dispersion of SiO₂ filler》。

创新点四：提出了格栅织物增强砂浆与被加固构件间的梯度界面层构筑技术

本项目通过格栅织物的表面活化技术显著提升了格栅织物/砂浆的界面粘结性能，有效避免了格栅织物/砂浆界面脱粘等失效。但是，格栅织物增强砂浆复合材料与被加固构件性能差异大，载荷传递效率低，外加载荷下易引起界面开裂。因此，设计格栅织物增强砂浆与被加固构件之间的界面过渡层，改善界面区域应力分布，优化载荷传递效率，减少裂纹扩展，是确保格栅织物增强砂浆复合材料与被加固构件之间形成牢固结合的关键手段。

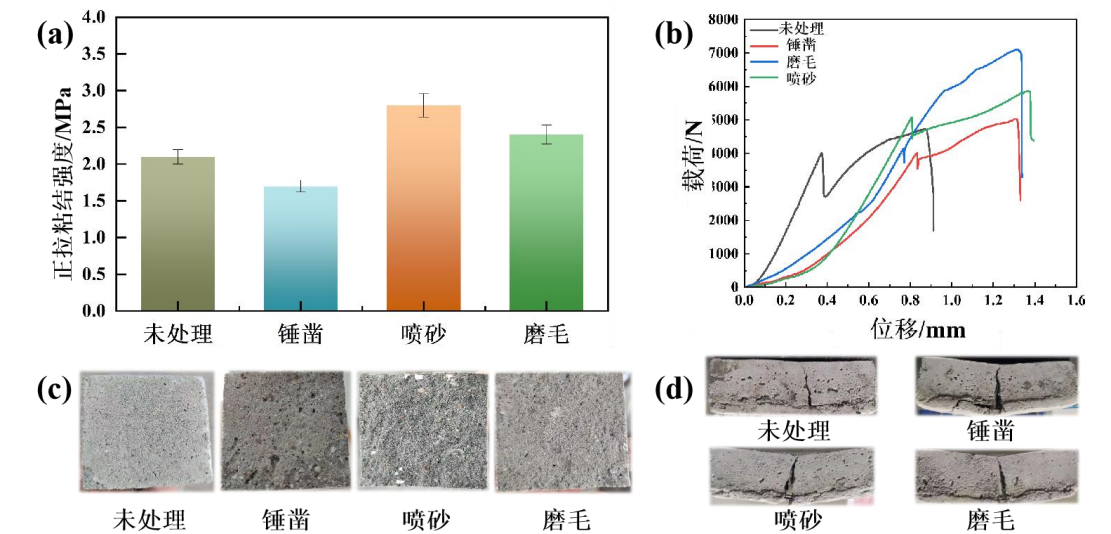


图 2-11-17 格栅织物增强砂浆加固不同基面处理混凝土块的性能测试结果及破坏失效图：正拉粘结性能测试：（a）、（c）；抗折性能测试：（b）、（d）

首先，以混凝土块作为待加固构件典型，采用格栅织物增强砂浆对不同基面处理方式的混凝土块进行加固，并测试加固后混凝土块的正拉粘结强度与抗折强度（图 2-11-17（a）-（b））。试验发现喷砂处理混凝土块的测试结果最高，这是因为磨毛与锤凿处理仅能改善混凝土块表面粗糙度，并容易在混凝土块表面产生微裂纹（图 2-11-17（c）-（d）），导致界面结合强度提升有限甚至低于未处理试样。而喷砂处理既能有效去除混凝土块表面的疏松层，又在混凝土块表面附着致密石英砂层，构筑了简易界面过渡层，提升了混凝土块表层硬度，有利于混凝土块与格栅织物增强砂浆的模量平缓过渡，减小应力集中。

基于上述研究启发，本项目创造性地在格栅织物增强砂浆与被加固构件间引入高渗透界面胶，使其扩散渗透与砂浆、混凝土构件中的水化产物反应，增强渗透层的模量，精准构筑了厚度、模量可调的界面过渡层，提升了格栅织物增强砂浆与构件的载荷传递效率，实现了模量的梯度过渡，解决了由于应力集中导致的界面开裂问题。

为进一步探究界面过渡层厚度的影响机制，本项目通过正拉粘结与抗折测试深入分析了不同界面胶涂覆量的格栅织物增强砂浆加固混凝土块的界面结合强度，发现涂覆界面胶对界

面结合强度提升显著，且界面胶涂覆量存在某一临界值，当涂覆量超过该临界值时，界面结合强度不再提升（图 2-11-18（a）-（b）），这是因为界面胶在砂浆与混凝土构件中的渗透量是有限的，过量的界面胶反而易致使砂浆与构件间的界面滑移。从试样破坏失效形貌（图 2-11-18（c）-（d））可以看出，界面胶含量最优时，失效形式为构件内聚破坏，说明界面结合强度高于构件本体强度。

综上所述，本项目通过在格栅织物增强砂浆与被加固构件界面间引入高渗透界面胶构筑的梯度界面层，显著提升了界面结合性能，这为其他纺织品与被加固构件间的界面性能提升奠定理论基础。

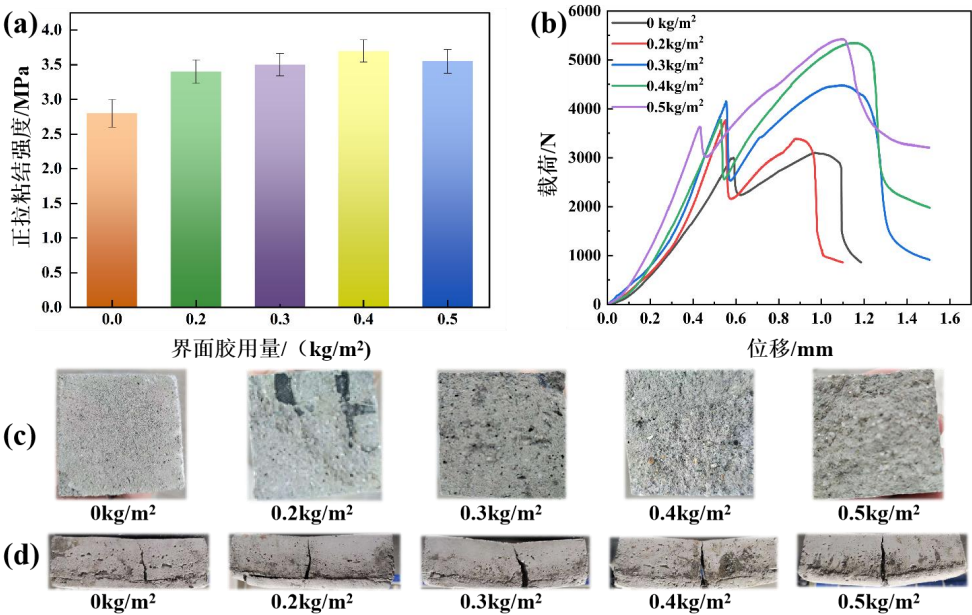


图 2-11-18 不同界面胶涂覆量下，格栅织物增强砂浆加固混凝土块的性能测试结果及破坏失效图：正拉粘结性能测试：（a）、（c）；抗折性能测试：（b）、（d）

本技术内容获得授权发明专利 4 项：一种碳纤维网格加固混凝土梁的试验检测方法，一种碳纤维网格加固混凝土梁端部的锚固试验方法，一种可室温固化耐高温浸渍胶及制备方法，一种用于伸缩缝快速修补的抗开裂环氧砂浆及其制备方法；发表论文 2 篇：《Optimizing Epoxy Interfacial Bonding Properties and Failure Mechanism between Carbon Textile-Reinforced Mortar Composites and Concrete Substrates》，《Optimization of interfacial microstructure and mechanical properties of carbon fiber/epoxy composites via carbon nanotube sizing》。

11.3.2 技术成果适用性分析

格栅织物加固复合材料，作为一种集高强度、耐腐蚀、轻质、易施工等优点于一身的新型材料，近年来在多个行业领域得到了广泛应用。其独特的网状结构与高性能纤维材料相结合，不仅增强了材料的整体力学性能，还赋予了其良好的适应性和耐久性，成为现代工程建设中不可或缺的重要材料之一。以下是对格栅织物加固复合材料适用行业及具体领域的详细阐述：

（1）土木工程

在土木工程中，格栅织物加固复合材料常被用于地基加固、边坡稳定、隧道衬砌等方面。其良好的抗拉强度和抗剪性能，能够有效提高土体的整体稳定性，减少因地基沉降或边坡滑

动引起的工程风险。

（2）水利工程

水利工程中，格栅织物加固复合材料在堤防加固、河道治理、水库除险加固等方面发挥着重要作用。它能够增强水工结构的抗冲刷能力，保护河岸和堤防免受水流侵蚀，同时提高水利设施的整体安全性和耐久性。

（3）道路与交通

在道路与交通领域，格栅织物加固复合材料被广泛应用于路面加筋、路基处理、桥梁加固等方面。通过增强道路结构的承载能力，减少路面裂缝和沉降，提高道路的使用寿命和行车安全性。此外，在铁路工程中，也可用于轨道床加固，提升轨道稳定性。

（4）园林绿化

园林绿化工程中，格栅织物加固复合材料可用于植被护坡、景观造型等方面。其良好的透气性和透水性，有利于植物生长，同时能够保持土壤结构稳定，防止水土流失，为城市绿化和生态修复提供有力支持。

（5）环保工程

在环保工程中，格栅织物加固复合材料可用于垃圾填埋场覆盖、污水处理池加固等场景。其耐腐蚀性和耐候性，能够确保在恶劣环境下长期稳定运行，有效防止污染物渗漏和扩散，保护周边环境和地下水安全。

（6）建筑工程

建筑工程中，格栅织物加固复合材料可用于地下室防水、墙体加固、楼板加固等方面。其轻质高强的特点，能够减轻建筑物自重，提高结构抗震性能；同时，其良好的柔韧性，能够适应建筑结构的复杂变形，确保结构安全。

（7）海洋工程

海洋工程中，格栅织物加固复合材料在防波堤、人工岛、海底管道保护等方面具有广泛应用。其优异的耐海水腐蚀性和抗风浪冲击能力，能够确保海洋工程设施在恶劣海洋环境下的长期稳定运行。

（8）农业设施

在农业设施领域，格栅织物加固复合材料可用于温室大棚骨架、农田灌溉渠道衬砌等方面。其良好的承载能力和耐久性，能够支撑起温室大棚的庞大结构，为农作物提供适宜的生长环境；同时，其透水性有助于保持土壤湿度，促进作物生长。

综上所述，格栅织物加固复合材料凭借其独特的性能优势，在土木工程、水利工程、道路与交通、园林绿化、环保工程、建筑工程、海洋工程以及农业设施等多个行业领域均有着广泛的应用前景。随着技术的不断进步和市场的不断拓展，其应用领域还将进一步拓宽，为现代工程建设提供更加高效、可靠的解决方案。

11.3.3 技术创新性及先进性

该成果针对网格织物增强混凝土的关键技术进行了从材料、制造到加固效果的全流程研究，主要创新点和取得的成效如下：

（1）在碳纤维网格生产过程中进行设备及工装改进，优化工艺路线，改进涂层配方，

有效解决了碳纤维网格生产制造过程中的网格浸胶不足、网格纬向直线度差、经线断裂问题，碳纤维网格强度及模量得到提升。

(2) 提高了钢丝网格生产过程中产品结构稳定性，通过热熔胶筛选验证将 EVA 热熔胶作为粘结材料，确定了温度、压力等关键工艺参数，显著提升产品粘结效果

(3) 通过网格织物加固结构构件力学性能试验，明确了界面受力机理及失效模式，验证了碳纤维和钢丝网格加固钢筋混凝土构件的有效性。

该项目开发的碳纤维网格及钢丝网格产品已在全国范围内土木工程中推广应用，具有显著的社会和经济效益。

建议：增加加固结构的数值模拟分,加强理论基础研究，拓宽产品应用范围。

项目经专家组鉴定达到国际先进水平，获授权发明专利 9 项、实用新型专利 29 项和外观设计专利 11 项，发表论文 18 篇，获批地方标准 1 项。

本项目开发的格栅织物与行业龙头企业 kerakoll 和 chomarat 的产品相比，拉伸性能提升 5~30%，界面结合性能分别提升 45%和 210%，如表 2-11-1。

表 2-11-1 主要参数比较

性能	本项目	chomarat	Kerakoll
碳纤维格栅织物的拉伸强度/MPa	经向 4401 纬向 4678	经向 4163 纬向 3656	/
钢纤维格栅织物的拉伸强度/MPa	经向 3124	/	经向 2974
碳纤维格栅织物增强砂浆与被加固混凝土的 界面结合强度/MPa	3.1	1.0	/
钢纤维格栅织物增强砂浆与被加固混凝土的 界面结合强度/MPa	3.2	/	2.2

11.4 节能减碳或污染防治效果

碳纤维格栅织物加固技术被中国建筑节能协会绿色社区专业委员会的专家评审团认可为全国城镇老旧小区改造中的创新技术,这一评价体现了该技术在提升老旧小区建筑安全性、耐久性及能效方面的显著优势。该技术主要通过以下几种方式发挥其节能减碳或环境污染防治效果：

针对老旧小区中常见的墙体开裂、梁柱损伤等问题，格栅织物可以通过特殊的粘结剂粘贴于受损部位，显著提高结构的承载能力和抗震性能。由于格栅织物具有良好的耐腐蚀性，能够有效抵抗外界环境因素如潮湿、盐雾等对建筑结构的侵蚀，从而延长建筑的使用寿命。同时，其良好的柔韧性和抗裂性也能有效防止结构因温度变化、地基沉降等原因产生的裂缝。

在加固过程中，结合保温材料的使用，碳纤维格栅织物还能提升建筑的保温隔热性能，减少能源消耗，符合绿色建筑的发展理念。相比传统的加固方法，碳纤维格栅织物加固技术施工更为简便快捷，对现场环境要求较低，且施工过程中产生的噪音和废弃物较少，有利于减少对居民生活的影响。

因此，格栅织物加固技术在全国城镇老旧小区改造中的应用，不仅能够有效解决老旧建筑的安全隐患，提升居住品质，还能促进建筑行业的绿色转型和可持续发展。这一创新技术的推广和应用，对于推动我国城镇老旧小区改造工作的深入开展具有重要意义。

11.5 技术示范情况

(一) 案例概况

典型案例情况详见表 2-11-2。

表 2-11-2 本技术应用案例情况

序号	案例名称	运行时间	验收情况	业主
1	北辰区北河庄桥、机排河桥加固项目	2018.8-2020.9	已验收	中海建(天津)工程有限公司
2	北辰区李辛庄生产桥加固项目	2018.8-2020.9	已验收	中海建(天津)工程有限公司
3	天津滨海新区安阳道跨海河大桥加固项目	2021.4—2022.12	已验收	天津国林新材料科技有限公司
4	沈阳夏宫城市广场加固项目	2020.10—2021.7	已验收	沈阳众邦建筑加固工程有限公司

(二) 工艺流程及主要参数

(1) 天津市北辰区北河庄桥、机排河桥两座大桥板底均存在竖向裂缝，墩柱混凝土掉落及钢筋锈蚀等病害，李辛庄生产桥桥梁板底和翼缘板分别存在少量横向裂缝和混凝土剥落病害，辛候庄生产桥存在着腹板竖向裂缝和墩柱混凝土剥落病害，采用本项目开发的砂浆/钢纤维格栅织物/砂浆“三明治”结构对梁板底、腹板和翼缘板进行加固修复，采用本项目开发的砂浆/碳纤维格栅织物/砂浆“三明治”结构对墩柱进行加固修复。该加固技术解决了传统桥梁板底、腹板及翼缘板使用碳纤维复合材加固载荷提升不足 20%的问题，同时也解决桩基加固需要围堰、施工周期长及维护成本高等问题，有效提高了桩基的承载力和使用寿命。

(2) 在天津中医药大学附属保康医院改造提升项目中，应用了本项目开发的砂浆/碳纤维格栅织物/砂浆“三明治”结构加固技术，加固总厚度约 1.5-2cm，在不进行拆改和基本不增加层高的情况下，提高了混凝土楼板、梁体的承载能力及砌体侧向抗剪、弹塑性阶段抗变形能力，解决了传统钢筋网片加固工艺存在的加固层厚度过大（10cm 左右）、增加结构自重、耐久性差、施工周期长、成本高等问题，为延长民用砖混结构使用寿命和保障结构安全发挥了重要作用。

(3) 西流高架桥梁板下部出现大量纵向裂缝及腹板锈胀裂缝等复杂病害，采用砂浆/钢纤维格栅织物/砂浆结构进行加固，有效抑制了裂缝拓展，梁板挠度方向的法向约束应力显著提升，抗弯承载力提升 20%。

(4) 刘家堡汾河大桥上部承重构件存在网状裂缝、钢筋锈蚀、纵向裂缝、横向裂缝、渗水、剥落、掉角等病害，总体技术状况等级被评定为 4 类。为延长桥梁使用寿命，采用砂浆/钢纤维格栅织物/砂浆结构对其进行加固，有效抑制了裂缝拓展，桥梁构件抗弯承载力由 3006kN·m 提升至 3350kN·m。砂浆/钢纤维格栅织物/砂浆加固技术的成功应用，打破了大厚度板底空心板桥难以有效加固的局面。

(5) G228 瑞安大桥桥梁上部承重结构存在裂缝、混凝土破损等病害，广州东南西环高速匝道桥的翼缘板及腹板存在混凝土剥落、胀裂及局部钢筋外露锈蚀等病害，京沪高速公路济莱段桩基及腹板出现混凝土局部破损、出现大量裂缝等病害，均采用砂浆/碳纤维格栅织物/砂浆结构进行加固，结构安全系数相较于加固前提升了 25%-30%，有效增强结构安全性

和耐久性。

(6) 济源市 G327 连固线称弯隧道的土建构件出现衬砌侵蚀渗水病害, 采用砂浆/双向碳纤维格栅织物/砂浆结构对隧道墙壁及拱顶进行加固, 有效约束拱顶裂缝的拓展, 显著提升了隧道拱顶及墙壁刚度与抗扰动能力。

(7) 沈阳夏宫城市广场地下结构出现渗水和明显结构性裂缝等病害, 地上部分原框架结构和梁体因使用功能改变引起承载力不足的风险。经过勘察鉴定后, 应用本项目开发的砂浆/双向碳纤维格栅织物/砂浆“三明治”结构加固技术阻止结构性裂缝进一步扩展, 并应用本项目开发的砂浆/G1200 钢纤维格栅织物/砂浆“三明治”结构对混凝土柱进行环向加固、对楼板和梁体沿受力方向进行满铺加固。既确保了结构安全, 缩短了施工周期, 节约了经济成本, 取得了显著经济效益。

(三) 应用效果

该加固技术解决了传统板底、腹板及翼缘板使用碳纤维复合材加固荷载提升不足 20% 的问题, 同时也解决桩基加固需要围堰、钢套筒加固周期长、后续维护成本高等问题, 有效提高了桩基的承载力和使用寿命。施工周期相比于传统桩基修复技术缩短约 50%, 全生命周期综合成本节省约 40%, 为桥梁桩基以及房屋加固加固修复提供了新的解决方案和思路。

11.6 成果转化推广前景

碳纤维格栅织物 2017 年被认定为天津市中小企业“专精特新”产品。碳纤维格栅织物, 2022 年经建筑材料工业技术情报研究所—中国建筑节能协会工程改造与加固分会组织的专家评审, 被评价为“既有建筑改造加固领域”优秀技术产品。碳纤维格栅织物加固技术, 经中国建筑节能协会绿色社区专业委员会组织的专家评审, 被评价为“全国城镇老旧小区改造”创新技术。

本项目技术成果成功应用于数百项公路桥梁、民用建筑等加固工程, 2021 年至 2023 年完成单位与应用单位新增收入 7.0 亿元、利税 4.9 亿元, 经济效益显著, 并得到应用单位的一致认可。

本项目技术成果在天津市以及其他地区多座代表性桥梁、代表性建筑等加固工程得到成功应用, 在我国的旧桥维修、公路改扩建、老旧小区改造、历史古建筑维系等工程中极具推广价值, 将为我国交通设施安全、交通网络顺畅、城市更新发展、保留历史建筑原有风貌提供重要技术支撑。本项目研制的高性能材料与加固技术, 还可以用于风电、核能、水利水电基础设施等工程结构加固, 应用前景广阔。

技术 12 :基于发动机系统安全的生物质制备可持续航空燃料 工艺优化技术

12.1 技术提供方

本技术提供方为中国民航大学、北京航空航天大学、武汉兰多生物科技有限公司。

中国民航大学隶属于中国民用航空局，是一所工、管、理、经、文、法、艺等多学科协调发展的行业性大学，是中国民用航空局、天津市、教育部共建高校，是天津市“双一流”建设高校和水平特色大学建设高校。学校现有 1 个国家空管运行安全技术重点实验室，5 个民航局重点实验室，5 个天津市重点实验室，1 个天津市技术创新中心，1 个天津市工程研究中心，7 个省部级智库。围绕行业“卡脖子”问题开展联合攻关，为 C919 大型客机适航取证提供重要技术支持，顺利完成“十三五”期间 7 个大飞机专项和 2 个民机专项科研项目验收，获得省部级二等奖及以上科技奖励近 30 项。新增“可持续航空燃料”民机专项重大科研项目、科技部国家重点研发计划项目 7 项。获批国家交通运输科普基地、天津市首批优秀大学科技园和天津市高校知识产权运营中心，完成科技成果转化 290 余项，科技成果转化企业年产值突破亿元。学校也通过国家质量（ISO 9001 标准）、环境（ISO 14001 标准）、职业健康安全（ISO 45001 标准）（QES）管理体系认证。

12.2 技术成果简介

12.2.1 技术成果名称和领域

技术成果名称：基于发动机系统安全的生物质制备可持续航空燃料工艺优化技术

技术领域：绿色低碳领域

12.2.2 技术成果来源

来源国家主体科技计划，具体有：

- （1）MJ 专项，XX 可持续航空燃料认证技术，2023 年-2025 年，4600 万元。
- （2）2017 年，与俄罗斯中央燃气涡轮研究院合作开展“新型替代燃料航空发动机适航关键技术”研究，由中国工业和信息化部与俄罗斯教育科学部共同支持，获批工信部重大共性关键技术项目。
- （3）2019 年 4 月，与马德里理工大学分别作为中欧双方负责单位向中欧政府提交“航空替代燃料可持续评价”项目申请。

12.3 技术内容

12.3.1 技术原理及工艺流程

（1）可持续航空燃料安全评价技术：中国民航大学与北京航空航天大学针对替代燃料认证标准及方法进行了多年研究，提出了可持续燃料作为航空发动机特殊部件的创新理念，提出以安全等效为唯一认证准则的适航审定新路径。联合商发、动力所、石科院与马德里理工大学、赛峰、法宇航等一流机构共同制定中-欧可持续燃料安全认证标准，目前该研究已取得了一定突破，赢得了国际认可，掌握通航替代燃料适航关键技术，为新型燃料的大发动机应用奠定基础（见图 2-12-1）。

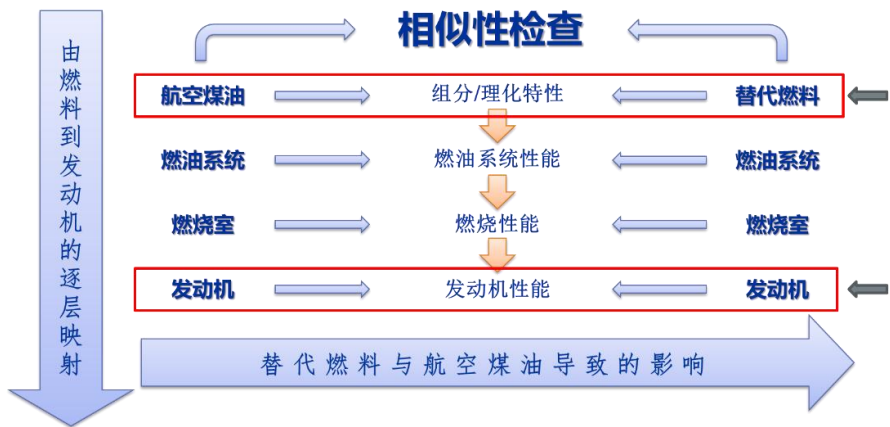


图 2-12-1 燃料认证相似性检查层级

(2) 可持续航空燃料可持续性评价技术：中国民航大学与北京航空航天大学基于中国民航长期参与国际气候谈判，应对 ICAO（国际民航组织）的 CORSIA（国际航空碳抵消和减排计划）市场机制以及欧盟 EU-ETS（欧盟排放交易体系）的成功经验，在可持续航空燃料可持续标准制定、全生命周期排放计算方法、政策制定以及认证流程上积累了丰富经验，为建立完善的“原料—炼制—认证—运输—加注—使用”的完整产业链，围绕全过程的碳排放建立了基本的碳排放理论模型，可以支撑 SAF 的可持续认证。

(3) 提出了适合中国国情的可持续航空燃料发展路径，以生物质为原料制备 SAF 工艺流程（见图 2-12-2），以木质纤维素生物质为原料，经预处理后进入快速热解装置，通过高温、绝氧、快速热解产出热解气和生物炭。热解气经部分氧化、净化、压缩、变换、脱碳后制取合成气，再经一系列合成反应装置，生产 SAF 及柴油等。生产线设有 7 个生产单元：原料预处理、热解、部分氧化、净化及转换、FT 合成、加氢改质、分离等单元。

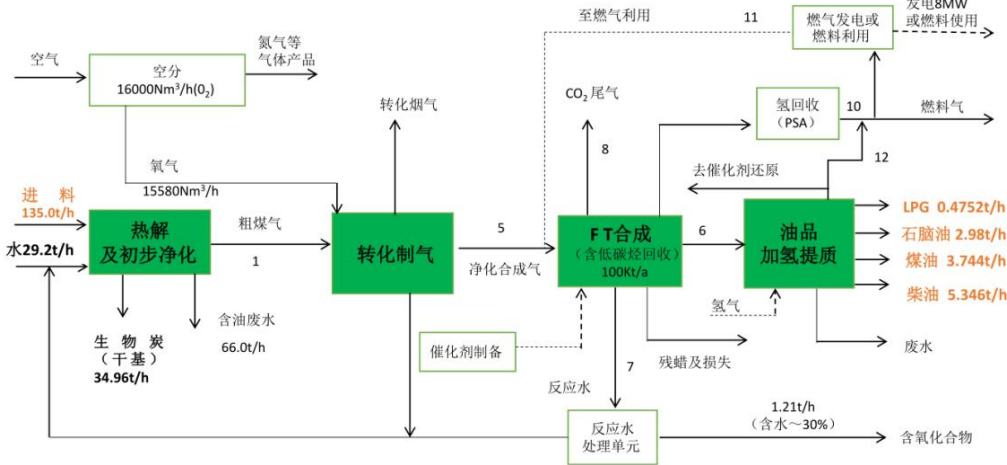


图 2-12-2 3 万吨 SAF 工艺流程图

热解装置：全球首创无热载体蓄式辐射快速解技术，热解温度可分区控制，反应时间短，单炉处理量大。本项目主要设备见图 2-12-3：



图 2-12-3 生物质热解装置

12.3.2 技术成果适用性分析

1. 技术适用的行业 and 具体领域

(1) 提出新的燃料认证流程：在国际范围内建立基于标准认证设施的安全性认证体系，促进 SAF 适应民航国际化运营要求，有利于各国（特别是后发国家和无 OEM 国家）结合其特点参与 SAF 研制，加快碳中和进程。

(2) 建立自主可控的可持续认证体系，可有效支撑航空碳抵消的市场机制发展，支撑国际航空气候谈判，破解美欧在气候变化问题上的施压，支撑中国民航构建自主双碳路径，助力我国航空业实现绿色高效发展，推动我国航空制造业在绿色发展领域抢占先机。

(3) 本成果可用于生物航油的优异掺混组分，可供相关科研院所研究使用，规模化后可满足航司等可持续航空燃料使用需求。

后期也可以从原料种植、SAF 炼制、认证等全套技术推广到一带一路等国家。解决当地 SAF 和碳减排需求。

2. 技术使用中的特定条件限制

(1) 指导 SAF 设计和生产。

(2) 运行规模：千吨或万吨以上；原料来源：生物质；上下游关系：能够在航空发动机安全使用（通过安全性认证），可减碳（可持续认证）。

12.3.3 技术创新性及先进性

(1) 技术方案：进行了生物质制备 SAF 工艺优化方法和燃料系统设计。创新了 SAF 安全性认证模式，发明了基于全生命周期自主可控的可持续航空燃料可持续评价方法，在保障安全性要求的前提下优化 SAF 炼制工艺和发动机燃料系统设计，进一步降低 SAF 的综合成本，促进商业化应用，国际领先。

(2) 技术优势：该技术的最大优势是基于安全性和可持续性约束下进行 SAF 工艺优化以提高产能和降低成本，得到规模化供应和可低成本生产的负碳排放航空燃料。

（3）产品化：利用中度、重度盐碱地可以种植木质纤维素生物质，20 万亩生物质（如芦竹）可产 10 万吨绿色油品（3 万吨 SAF），包括 SAF、汽柴油、生物炭。

（4）产业化：利用民航大学已有技术形式，组建 SAF 产业联盟，建设两个认证中心，结合 SAF 生产，带动石化行业绿色转型，得到包括 SAF 在内的绿色成品油（SAF、汽油、柴油、LPG）。

12.4 节能减碳或污染防治效果

该成果可以有序有力有效保障我国航空深度脱碳，是提升我国民航脱碳能力、维护行业发展权益、拓展行业发展空间的重要手段，具有巨大的社会效益和经济效益，应用前景广阔。该技术路线减碳效果显著，结合土壤固碳，可减碳 120%以上。

12.5 技术示范情况

（一）案例概况

能源植物芦竹制备 SAF 中试项目，正在南港工业园区选址。

（二）能源、资源节约和综合利用情况

若耦合风电、绿氢，则环境效益更佳。

（三）投资和运行成本

以能源植物芦竹为例，产业化的情况如下：

成本和利润：产业化后按 3 万吨 SAF（10 万吨绿色油品）估计，油品成本约为 7267 元/吨，销售收入为 155208 万元，销售利润预测 60918 万元。

若考虑碳市场的减排收益，按照一吨碳 60 元测算，3 万吨 SAF 的全生命周期减排量为 $3 \times 3.15 \times 1.2 = 11.34$ 万吨，则收益为 680.4 万元，考虑到生物炭分摊到 SAF 的碳减排收益为 $28.08 \times 3 / (0.9 + 3 + 3 + 3.99) \times 44 / 12 \times 60 = 1701.8$ 万元，则总的 SAF 碳减排收益为 2382.2 万元。

年产值、利税预测：产业化后按 3 万吨 SAF（10 万吨绿色油品）估计，营业收入（不含税）可达 155428 万元，利税预测 81224 万元，SAF 碳减排总收益可达 2382.2 万元。

投资回收期预测：根据 3 万吨 SAF（10 万吨绿色油品）规模的数据预测，建设期约为 2 年，投资回收期约为 2.46 年。

12.6 成果转化推广前景

12.6.1 技术推广前景

（1）本项目提出基于可持续性和安全性约束下 SAF（新）工艺评价及决策的理论与技术，得到建立环境友好、经济可行、能耗较低等可持续评价体系约束下的可持续航空燃料 SAF 安全利用工艺路径筛选方法，得到了基于安全性和可持续性约束下的生物质转化制备可持续航空燃料技术，进而解决制约可持续航空燃料 SAF 工业化的关键瓶颈问题。

本项目制备的可持续航空燃料的成本在不计算负碳补贴的情况下，可以与化石航煤相当，应用前景广阔，具有巨大商业成功的可能，也是大国博弈的胜负手。

（2）对于我国而言，国内航空市场发展强劲，民航“十四五”绿色发展专项规划中就明确提出“十四五”末实现 5 万吨的消费量，2025 年达到 2 万吨/年的消费量；预期我国将于 2027 年强制加入 CORSIA 计划，若其中的一半通过全生命周期 80%（按照我们计算的减排数重新计算）减排的 SAF 进行抵消。按照我国统计标准，航空煤油碳排放因子为：3.15 吨 CO₂/

吨燃油。则 SAF 需求量为：

2027 年： $857.04/3.15*50\%/80\%=170$ 万吨

2035 年： $2650/3.15*50\%/80\%=525$ 万吨

预计 2060 年 SAF 使用量需达到 7000 万吨。

按照现有碳减排（减碳 80%）测算，我国民航 2027 年 SAF 需求量预计需达到 170 万吨，HEFA 主要是利用餐饮废油，可以满足到 2027 年的国内 SAF 需求；2035 年预计需求量需达到 525 万吨，将主要依靠 FT 技术，按照一亩地 5 吨干基物质和一吨干基物质纤维素类生物质生产 30kg SAF 测算（保守估计），需要全国 2.3%盐碱地（全国盐碱地 15 亿亩），预计 2060 年 SAF 需求量需达到 7000 万吨，全国 31.1%盐碱地可满足要求；

如果结合负碳收益以及工艺优化，所需面积会进一步减少。按照减碳 120%测算，2035 年预计需求量需达到 350 万吨，按照一亩地 5 吨干基物质和一吨干基物质生产 80kg SAF 测算（优化工艺），需要全国 0.6%盐碱地，预计 2060 年 SAF 需求量需达到 4700 万吨，全国 7.8%盐碱地可满足要求；

本项目 3 万吨 SAF/年需要 20 万亩芦竹，按照 2%的掺混要求，满足 2019 年 3684 万吨的航煤需求则需要 25 个 3 万吨/年产能的工厂。

先期面向国内，后期也可以从原料种植、SAF 炼制、认证等全套技术推广到一带一路等国家。解决当地 SAF 和碳减排需求。

12.6.2 技术推广障碍及应对措施

- （1）化工园区用地：项目需要在化工园区。
- （2）原料：项目需要集中就近提供生物质原料。

技术 13：节能环保型聚丙烯绝缘电缆

13.1 技术提供方

本技术提供方为天津大学。

天津大学为高等院校，属事业单位。以培养高等学历人才，促进科技文化发展为宗旨，业务范围涉及文学类、理学类、工学类、管理学类学科高等专科、本科以及研究生学历教育，博士后培养及相关学科研究、继续教育、专业培训与学术交流。自 2022 年以来，天津大学的财政拨款收入在总收入中占据重要比例，且逐年有所增加，体现了国家对高等教育的重视和支持。同时，事业收入也呈现出稳定增长的趋势，反映了学校在教育服务和科研活动方面的良好表现。此外，在教育服务与科研成果方面，学校近三年内承担了多项国家级和省部级科研项目，发表了大量高水平学术论文，获得了多项科研成果奖励。并积极推动科技成果转化和产业化发展，为地方经济和社会发展做出了积极贡献。在未来阶段，学校将继续坚持“内涵式发展”的道路，不断提升教育质量和科研实力。同时提升学校的国际影响力和竞争力。天津大学在生态环境领域的技术工作涵盖多个方面，主要包括以下几个领域：①水污染治理；②空气污染控制；③固废处理与资源化利用；④生态修复与可持续发展；⑤气候变化与碳中和。天津大学的研究在国内外都具有较高的影响力，并与多家环保企业、政府机构和国际组织合作，推动相关技术的应用和发展。

13.2 技术成果简介

13.2.1 技术成果名称和领域

技术成果名称：节能环保型聚丙烯绝缘电缆

技术领域：绿色低碳领域

13.2.2 技术成果来源

（1）国家重点基础研究发展计划（973 计划）子课题：大容量直流电缆输电和管道输电关键基础研究——多场耦合作用下固体绝缘介质空间电荷和电导特性研究，课题编号：2014CB239501-2，资助经费：53 万元。

（2）国家自然科学基金面上项目：基于聚集态结构的聚丙烯直流电缆绝缘电气和力学性能协同调控，课题编号：52077148，资助经费：58 万元。

在知识产权方面，天津大学围绕聚丙烯绝缘电缆相关内容展开了大量研究，并取得相关内容的专利授权。具体内容如下：

表 2-13-1 发明专利情况

序号	类型	授权号
1	一种高压直流电缆绝缘层仿真方法、装置、设备及介质	ZL202211381443.0
2	一种高压直流电缆及挤出模塑式接头绝缘减薄方法及系统	ZL202311186057.0
3	聚丙烯基复合绝缘材料及制备方法	ZL201810997568.3
4	一种高压直流电缆用聚丙烯基绝缘材料改性方法	ZL201910144430.3
5	一种基于苯偶酰提高聚丙烯薄膜击穿场强的方法	ZL201811445278.4
6	一种氮化硼纳米片包覆纳米二氧化钛核壳结构填料及其制备方法、用途	ZL201910997974.4
7	一种电树枝劣化实验用的热塑性绝缘样品制备方法	ZL202010397598.8

13.3 技术内容

13.3.1 技术原理及工艺流程

（1）技术原理

传统的热固性交联聚乙烯绝缘电缆在电力设备退役后，绝缘无法熔融回收再利用，并且绝缘加工制造过程中需要交联工序、耗能大、交联副产物排放多。本项目开发了以热塑性聚丙烯为主绝缘的节能环保型聚丙烯绝缘电缆，具有优良的电气绝缘性能、制造过程节能（每公里电缆节约 1kW·h 电能）和退役后绝缘可回收再利用的特点。然而由于聚丙烯的结晶尺寸较大且结晶度较高，使得聚丙烯材料的刚性较大而韧性不足，容易产生脆性开裂。本技术通过将接枝改性聚丙烯与聚烯烃弹性体进行熔融共混，实现了聚丙烯绝缘材料电气、力学、耐热性能的综合优化，聚丙烯绝缘关键性能参数均达到或超过北欧化工进口±535kV 直流电缆料水平。

（2）工艺流程

a. 原料准备：主要原料为聚丙烯树脂、弹性体 POE、接枝单体抗氧剂 3052 和引发剂过氧化二异丙苯（dicumyl peroxide, DCP）。抗氧剂 3052 的添加剂量为 0.5 wt%，过氧化二异丙苯的添加剂量为 0.3 wt%，聚丙烯树脂和弹性体 POE 的质量比为 7:3。

b. 材料熔融共混：将双螺杆挤出机加热至 200°C，加入适量的聚丙烯树脂，混炼 10 min 后取出，完成清洗双螺杆的步骤。然后将聚丙烯树脂加入清洗完成的双螺杆挤出机，待聚丙烯基体充分熔融后，根据所添加的聚丙烯基体比例加入抗氧剂 3052 和 DCP，混炼 20 min，使接枝反应充分发生，无试剂残余。最后加入 POE，继续混炼 15 min，得到目标聚丙烯基绝缘材料。

c. 电缆挤出成型：经过接枝反应的熔融物料通过挤出机口模挤出，形成条状产品。连上机头后排料 20 分钟。观察表面情况，如表面良好，进行出胶量测试，150 挤塑机稳定转速，每 2 min 截取称重，记录重量及电流的变化，记录 10 组后，如出胶量稳定，走线生产。走线后合上伸缩管，打开测偏仪，观察每层结构以及平均厚度曲线若能显示正常，则拍照记录结构测试数据。期间观察电流及测偏仪上的厚度变化，直至生产完成。

13.3.2 技术成果适用性分析

环保型聚丙烯绝缘电缆在电力系统中可以广泛应用，特别是在高压和超高压领域。研发的环保型聚丙烯绝缘电缆制造依赖于大规模的挤出设备和配套的工艺线，特别是在大批量连续生产中。选用的聚丙烯基料要求具有高纯度、稳定的分子量分布和较好的抗老化性能，一般选择等规聚丙烯。接枝单体需选择抗氧剂 3052。制备的环保型聚丙烯绝缘电缆可在环境温度低于 100°C 的条件下长期运行，具备低温抗脆性和抗紫外线老化能力，具有优异的防水性能和抗化学腐蚀能力，可在海底或潮湿环境中应用。聚丙烯绝缘电缆具有可熔融再回收利用的优势，可提升电力电缆绝缘生产-使用-回收全寿命周期中环境友好性，是实施“绿色能源”战略的重要举措。

13.3.3 技术创新性及先进性

聚丙烯绝缘优异的绝缘、耐热以及免交联可回收的优点代表了未来绿色电缆绝缘发展方向。本技术以此为出发点，利用弹性体共混的方法改善聚丙烯的机械韧性，利用接枝抗氧剂

的方法提升了聚丙烯的绝缘性能和耐老化性能，实现了聚丙烯电缆性能的综合提升，对加速开发聚丙烯基绝缘电缆，提高我国高压电缆绝缘水平具有重要意义，符合节能降耗、减污降碳和绿色环保的政策要求。与国际同类技术的关键技术指标对比如表 2-13-2 所示。

表 2-13-2 本技术与国际同类技术的关键技术指标对比

项目与条件		单位	本项目节能环保型 聚丙烯绝缘	北欧化工±535kV 直 流电缆料
熔融指数（210℃/2.16kg）		g/10min	1.62	0.40
低温冲击脆化（-40℃）		15/30	0	0
热变形（130℃/1kg 恒温 1h 负重 1h）		%	5	15.4
拉伸强度		MPa	29.26	40
断裂伸长率		%	820	550
热延伸(130℃/0.2MPa，15min)	负荷下伸长率	%	0	15
	冷却后永久变形		0	5
熔融温度 Tm (℃)			162.1	105
体积电导率	30℃	S/m	5.635×10^{-16}	20℃， 1.25×10^{-15} ， 105℃， 9×10^{-13}
	50℃		2.125×10^{-15}	
	70℃		9.405×10^{-15}	
	90℃		1.543×10^{-14}	
	105℃		7.200×10^{-14}	
交流击穿场强	30℃	kV/mm	138.67	75.30
	50℃		131.80	67.57
	70℃		118.13	54.78
	90℃		98.64	48.98
直流击穿场强	30℃	kV/mm	394.37	367.32
	50℃		377.48	343.27
	70℃		335.96	310.45
	90℃		288.98	289.76
相对介电常数（50Hz）	30℃	/	2.50	2.38
	90℃		2.36	
	105℃		2.29	
介质损耗因数	30℃	/	4.86×10^{-3}	20℃ 1.2×10^{-4} 90℃ 11×10^{-4}
	90℃		5.36×10^{-2}	
	105℃		1.10×10^{-1}	

13.4 节能减碳或污染防治效果

相比于传统的交联聚乙烯绝缘电缆，节能环保型聚丙烯绝缘电缆在节能减碳和环境污染防治方面具有显著优势。

一方面，传统的交联聚乙烯绝缘电缆生产时难以避免生成多种副产物（如枯基醇、苯乙酮、甲烷等），交联副产物的排放污染空气环境，并会对人体的健康造成不利影响。同时，交联聚乙烯绝缘在生产过程涉及高温硫化和脱气过程，挤出工艺需精密控制以防止焦烧等现象，生产工艺过程相对复杂，能源消耗高。与此相比，节能环保型聚丙烯绝缘电缆的生产不会产生交联副产物，没有交联和脱气工艺，生产流程简化节能并大幅减少温室气体排放。据统计，中低压节能环保型聚丙烯绝缘电缆每公里至少可以节省 4900kg 的碳排放，与交联聚

乙烯绝缘电缆相比减少了 39%，具有节能和环保优势。

另一方面，对于传统交联聚乙烯绝缘电缆，由于在交联过程中聚乙烯从热塑性材料转变成了热固性材料，在电缆寿命到期退役后绝缘无法被再次熔融加工利用，将不可避免地产生大量的废弃交联聚乙烯电缆绝缘材料从而产生环保问题。焚烧、裂解、掩埋等手段不仅消耗大量能源，还将对环境产生很大负面影响。节能环保型聚丙烯绝缘具有可熔融再回收利用的优势，可提升电力电缆绝缘生产-使用-回收全寿命周期中环境友好性，以中压节能环保型聚丙烯绝缘电缆为例，每 1 km 线芯截面为 185 mm² 的电缆可回收 500 kg 优质塑料。另外，节能环保型聚丙烯绝缘电缆在节省化石燃料和水资源方面也贡献了环保效益，与交联聚乙烯绝缘电缆相比分别节省了 44%与 70%。

13.5 技术示范情况

节能环保型聚丙烯绝缘电缆技术在电力传输领域得到了广泛应用。其凭借高效的绝缘性能、优越的耐热性和环保可回收性，成为传统交联聚乙烯电缆的绿色替代方案。其应用规模涵盖了全国范围内的多项项目，显著提高了电缆的能效和使用寿命，有效的减少了传统电缆材料对环境的污染，成为推动节能减排的重要技术手段。目前通过宁波东方电缆股份有限公司研发了 35 kV 节能环保型聚丙烯绝缘电缆，通过江苏上上电缆集团有限公司成功研发了 ±200 kV 聚丙烯绝缘电缆，通过昆明电缆集团昆电工电缆有限公司研发的 35 kV 节能环保型聚丙烯绝缘电缆已经成功挂网运行，这是我国首条高原 35 kV 环保聚丙烯电缆。通过对环保型聚丙烯绝缘电缆的应用，实现了显著的节能效果和环保效益。使用该技术可有效降低电力系统的能量损耗、延长设备使用寿命，并减少废弃材料对环境的影响。其推广应用不仅为企业节省了成本，还为生态环境保护和碳排放控制提供了有力支持。

（一）案例概况

（1）通过昆明电缆集团昆电工电缆有限公司研发的 35 kV 环保型聚丙烯绝缘电缆为铜芯热塑性聚丙烯绝缘钢带铠装聚烯烃护套无卤低烟阻燃 A 类电力电缆，型号规格为 WDZA-PY23-26/35 3×150，于 2024 年 5 月 9 日，在昆明挂网运行。这是近年来大力推动环保技术和产品的典型实践，在践行我国绿色发展理念，推动绿色电网建设方面具有重要作用。

（2）通过宁波东方电缆股份有限公司研发的 35 kV 节能环保型聚丙烯绝缘电缆型号规格为 ZC-PV22 3×630 26/35 kV。根据 GB/T 12706.3-2020、GB/T 2951.11-2008 和 T/CEEIA 591-2022 等标准，对生产的大截面 35kV 聚丙烯绝缘电缆进行了结构和尺寸检查试验、局部放电试验、热循环试验、冲击电压试验及工频电压试验等共 20 项试验，所检测的试验项目均符合要求。

（二）工艺流程及主要参数

首先，开始进行设备温度整定，屏蔽及绝缘机组及机头实际预热达到 3 小时以上。所有相关材料在烘房中烘 8 小时。环保型聚丙烯绝缘电缆的具体生产流程为：（1）按照正常开机流程准备工作就绪；（2）不合机头，三台挤塑机分别排胶至出胶塑化良好后，挤出各区温度设置参见下表 2-13-3；（3）线速度设定为 2.2 米/分钟，内屏挤出机转速设定为 5.5rpm，绝缘挤出机转速设定为 21.8rpm，外屏挤出机转速设定为 7.7rpm。（4）对成品电缆进行结构检测，进行数据记录，所有检测内容合格。

表 2-13-3 环保型聚丙烯绝缘电缆挤出机温度设置

	料斗/℃	1 区/℃	2 区/℃	3 区/℃	4 区/℃	5 区/℃	夹具/℃	导胶管/℃
70 机	/	150	180	190	200	/	200	200
150 机	85	160	175	180	190	200	200	200
95 机	/	150	180	190	200	/	200	200

（三）应用效果

减少了电缆在生产制造过程中的碳排放量，符合国家绿色低碳环保要求。通过宁波东方电缆股份有限公司研发的 35kV 环保型聚丙烯绝缘电缆产品，每米电缆产品在原材料获取阶段温室气体排放量为 71.57 千克二氧化碳当量,制造阶段温室气体排放量为 4.05 千克二氧化碳当量，总温室气体排放量为 75.62 千克二氧化碳当量。系统边界为从摇篮到大门。

（四）二次污染防治

环保型聚丙烯绝缘电缆为热塑性可回收绿色材料，对于更换下来的废旧电缆通过专业回收处理，确保无二次污染。

（五）能源、资源节约和综合利用情况

使用环保型聚丙烯绝缘电缆替代传统的交联聚乙烯绝缘电缆，可以有效降低生产制造过程中的碳排放量，与交联聚乙烯绝缘电缆相比，环保型聚丙烯绝缘电缆全寿命周期二氧化碳排放可减少 40%。并且环保型聚丙烯绝缘电缆凭借优异的绝缘性能和耐热性能减少了人工维护和更换频率，降低了资源消耗。同时，聚丙烯材料可回收再利用，实现资源的综合利用。

（六）投资和运行成本

在云南挂网运行的我国高原首条 35 kV 环保聚丙烯电缆是天津大学、昆明电缆集团昆电电缆有限公司和上海电缆研究所有限公司，以及浙江万马高分子材料有限公司共同合作的成果，是云南省重大科技创新项目。相较于传统的交联聚乙烯绝缘电缆，环保聚丙烯电缆无有害气体排放，可回收再利用，同时载流量相较同规格交联聚乙烯电缆可提高 15%以上。环保型聚丙烯绝缘电缆在满足社会需求的同时，可以更好保护生态环境，助力绿色可持续发展。为打造青山常在、绿水长流、空气常新的美丽中国作出巨大贡献。

13.6 成果转化推广前景

13.6.1 技术推广前景

近十几年来聚丙烯绝缘电缆在国外受到极大重视，聚丙烯绝缘开发与应用在国外快速发展，目前已实现环保型电缆的开发与应用；而国内大多尚处于基础研究阶段，亟待进一步开展相关聚丙烯电缆绝缘料的配方开发、批量制备与应用技术研究。

项目组在近十年研究基础上，已就节能环保型聚丙烯绝缘电缆展开大量研究工作，在国内处于领先地位。已经提出聚丙烯基热塑性电缆绝缘电-热-机械性能多元协同调控关键技术；建立环保型 26kV/35kV 中压电缆绝缘配方体系与制备工艺；实现 26kV/35kV 聚丙烯电缆绝缘料批量试制，并制备长度不低于 1km 的 26kV/35kV 节能环保型聚丙烯绝缘电缆，并挂网运行。在此基础之上，进一步研制±200 kV 节能环保型聚丙烯绝缘电缆，电缆通过耐压试验，并取得一系列该技术领域的自主知识产权。节能环保型聚丙烯绝缘电缆的生产工艺经过多年的研发，已经在上述多个项目中得到应用并验证了其性能优势。随着生产工艺的进一步优化和规模化生产，技术成熟度将进一步提高。

根据市场研究，预计到 2025 年，中国电线电缆市场业绩将达到 13917.1 亿元人民币。随着可再生能源项目和智能电网建设的推进，环保型聚丙烯绝缘电缆的需求将迅速增长。

聚丙烯作为石油化工的一种基础产品，具有产量大、价格低等经济性优势。因此，节能环保型聚丙烯绝缘电缆在生产成本上具备优势。此外，由于其可回收特性，在电缆寿命结束后能够有效减少废弃物，降低处理成本。结合这些因素，预计该技术的推广将使生产和使用成本进一步降低，具有较高的市场竞争力。

国家在十三五期间将大力推动“新塑料经济”发展，废塑料循环利用产业作为再生资源产业的重要组成部分，节能环保型聚丙烯绝缘材料回收再利用不但能够大幅降低电力电缆设备的购置成本，同时可拓宽电缆产业布局方向。与交联聚乙烯电缆相比，聚丙烯绝缘电力电缆的生产无交联和去气工序，大幅降碳减排，具有节能优势；聚丙烯绝缘层可在电缆达到使用寿命后回收利用，具有环保优势。据统计，对于中低压节能环保型聚丙烯绝缘电缆，每公里可以至少节省 4900kg 的碳排放，与交联聚乙烯绝缘电缆相比减少了 39%，随着电压等级的升高，优势将更加显著。在节省化石燃料和水资源方面也贡献了环保效益，与交联聚乙烯相比分别至少节省 44%与 70%。节能环保型聚丙烯绝缘电缆的符合“双碳”目标理念，成功研制该产品可有效指导并推动电缆系统和电缆制造设备“绿色化”升级换代。

如前所述，节能环保型聚丙烯绝缘电缆的技术进步和成果应用，将直接推动我国电力电缆设备制造业研发和制造水平的提高，从而产生巨大的社会和经济效益。

13.6.2 技术推广障碍及应对措施

目前，电网中广泛使用的电力电缆以交联聚乙烯绝缘电缆为主，已成功应用于 $\pm 320\text{kV}$ 直流输电和 500kV 交流输电工程。中国现有 600 多条交联聚乙烯电缆生产线，许多制造商已建立成熟的制备体系。因此，为了将传统交联聚乙烯绝缘电缆生产线改造为节能环保型聚丙烯绝缘电缆的制造技术，需要相应的政策支持，以促进聚丙烯电缆的批量生产和应用。

技术 14：太阳能预制集成换热一体化机组

14.1 技术提供方

本技术提供方为天津生态城绿色建筑研究院有限公司（以下简称“绿建院”）。

绿建院成立于 2011 年 6 月，由天津生态城国有资产经营管理有限公司、中国国检测试控股集团股份有限公司、天津市建筑设计研究院有限公司、中国建筑科学研究院天津分院及御道工程咨询（天津）有限公司共同出资成立，其中天津生态城国有资产经营管理有限公司控股 60%，单位性质为有限责任公司。

绿建院营业收入近三年实现连续增长。2021 年全年收入 3398 万元，利润总额 860 万元，资产总额 5900 万元；2022 年全年收入 4603 万元，利润总额 519 万元，资产总额 7012 万元；2023 年全年收入 4634.万元，利润总额 616.97 万元，资产总额 8187.43 万元。

绿建院以全过程绿色建筑评价、研究、咨询为核心，自成立之初一直致力于生态、绿色、节能、低碳领域的研究，截至目前，已经完成了 3000 万平米的绿色建筑全过程评价与技术审查，申报国家绿色建筑标识百余项，参与国家或地方绿色建筑设计、运行、技术应用相关课题 30 余项。同时在太阳能热水一体化领域大胆实践，创新提出太阳能预制集成换热一体化机组概念，并经研发、试点投入市场，在建筑节能降碳领域实现新的突破。目前公司在业务上形成了涵盖生态城市、绿色建筑、可再生能源等从顶层设计到专项技术的绿色低碳综合解决方案。

14.2 技术成果简介

14.2.1 技术开发背景

通过长达十年的市场追踪，太阳能热水技术日益成熟，天津市应用规模不断扩大，出现的问题也日益突出。太阳能热水系统由于设计和产品选择质量不高，在运行阶段频繁发生系统老化、设备爆管、噪音扰民、运营不善等问题，不同程度上影响了居民的生活热水使用体验，制约了可再生能源技术的发展与推广。项目太阳能热水系统运行情况也直接关系到城区节能减排相关指标的达成和绿色低碳理念的实施进程。

中新天津生态城作为中新两国合作开发的示范城区，是全市乃至全国最早要求居住建筑全部安装太阳能热水系统的区域，在设计规范引导和审查制度监管的双重管控下仍存在使用效果不佳的情况，仅从设计和管理角度难以根除问题。

我院从设备本身收入，通过研究开发太阳能预制集成式换热一体化机组，提升太阳能热水系统工业化水平和设备选材品质，解决噪音、漏水、腐蚀、换热不稳定、控制缺失等情况，同时以机组稳定运行所需的系统环境为要求，对太阳能热水系统集热侧和用户侧分别提出设计和施工要求，形成完整解决方案从问题根源解决太阳能热水系统存在问题，保障系统稳定运行，促进行业高质量发展。

14.2.2 技术成果名称和领域

技术成果名称：太阳能预制集成式换热一体化机组

技术领域：碳达峰碳中和技术中的可再生能源开发利用

14.2.3 技术成果来源

技术成果来自企业独立自主开发，开发资金由我院自筹。为持续保障机组稳定运行，我院自主开发太阳能热水系统监控平台，实时监测机组运行数据。技术成果研发经历技术研究、产品试验、产品型号标准化、配套信息化平台开发等阶段，累计投入研发经费 260 万元。

太阳能预制集热换热一体化机组由天津生态城绿色建筑研究院有限公司自主研发，并获取多项知识产权，具体如下：

表 2-14-1 知识产权情况

序号	类型	专利号
1	预制集成式换热机组的控制方法、控制器及存储介质	ZL 2024 1 0627969.5
2	一种用于太阳能热水系统的一体化装置	ZL 2019 2 1593699.1
3	太阳能热水系统能效及环境基本信息的实时监测系统 V1.0	2020SR0170406
4	太阳能热水系统项目分布实时运营监测系统 V1.0	2020SR0181467

14.3 技术内容

14.3.1 技术原理及工艺流程

太阳能预制集成换热一体化机组（以下简称“一体化机组”）是一种专为太阳能光热利用设计的设备，由集热循环泵组，供热循环泵组，热交换器，压力、温度、热量等传感器，定压罐（或膨胀水箱）和控制柜等组成。

设计初衷打破了传统太阳能机房设计思维，将太阳能“机房”平移至工厂，在工厂进行预制生产和设备组装，首次将建筑集成式和装配预制式的概念引入到太阳能热水系统中，孵化出创新性的产品，并提升了工艺质量，同时兼顾设备运行维护等内容，形成了适用于太阳能热水系统的集成、智慧、高效换热设备。



图 2-14-1 室内一体化机组（左）和室外一体化机组（右）3D 模型

技术原理：集热循环泵组与集热器通过管道连接，用于集热器侧循环介质的循环；供热循环泵组与户内水箱换热盘管通过管道连接，用于供热循环侧介质的循环；热交换器分别与集热侧和供热侧管道连接，用于集热侧和供热侧热量交换；压力传感器、温度传感器和热量表安装在管道上，压力传感器、温度传感器和热量表通过电缆与控制柜连接；膨胀水箱通过管道与供热循环泵组连接；定压罐通过管道与集热循环泵组连接。

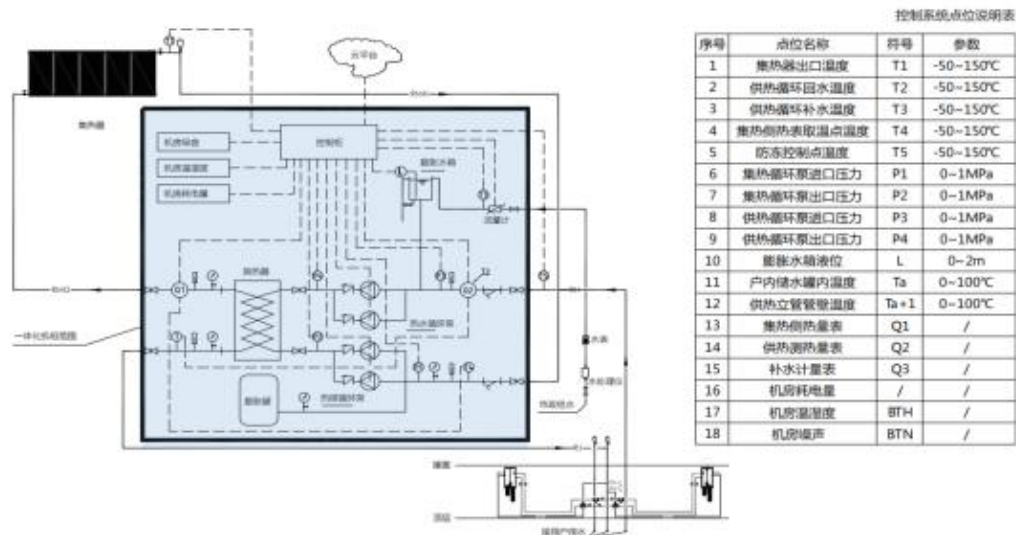


图 2-14-2 一体化机组运行原理图及智慧监测原理图

关键工艺：一体化机组采用电脑 3D 建模、自动机加工数据生成、激光切割下料、自动化焊接等工艺制造。并采用先进的 5G 控制模块，集成搭载城区级监测系统，出厂即已完成调试，免除反复现场调试，为顺利通过项目验收节省宝贵时间，降低开发成本。所搭载的太阳能热水系统城区级监控平台是由我院自主研发的协助进行城区级太阳能热水系统专业化运行维护服务的专项平台，可进行项目运行情况的监测与跟踪，并针对异常数据进行告警，同时可以进行实时派单、配件调配、跟踪巡检等专业运维工作。该产品占地面积小、加工精度高、质量可靠、外形美观、控制系统高效节能，可充分解决设备机房安装质量差、易渗漏、运行噪音大等问题。

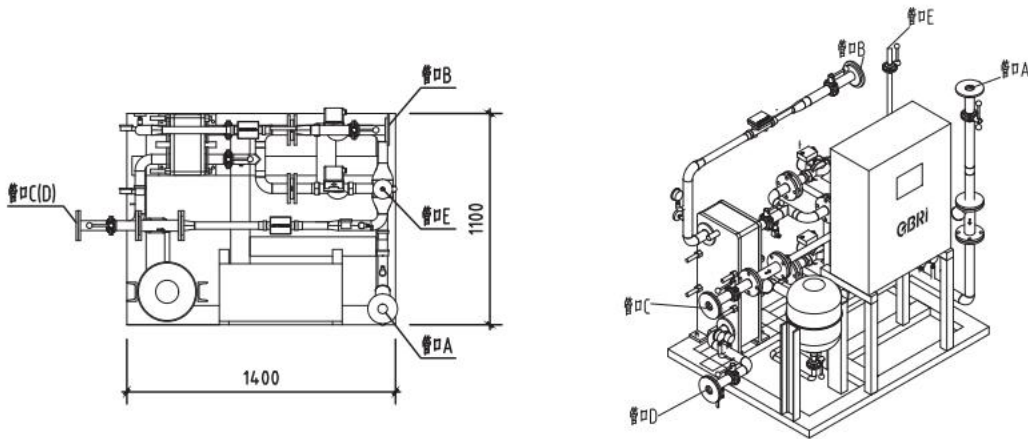


图 2-14-3 一体化机组设计图纸和 3D 模型示例

工艺流程：如图 2-14-4 所示，一体化机组的生产工艺流程主要包括以下步骤：

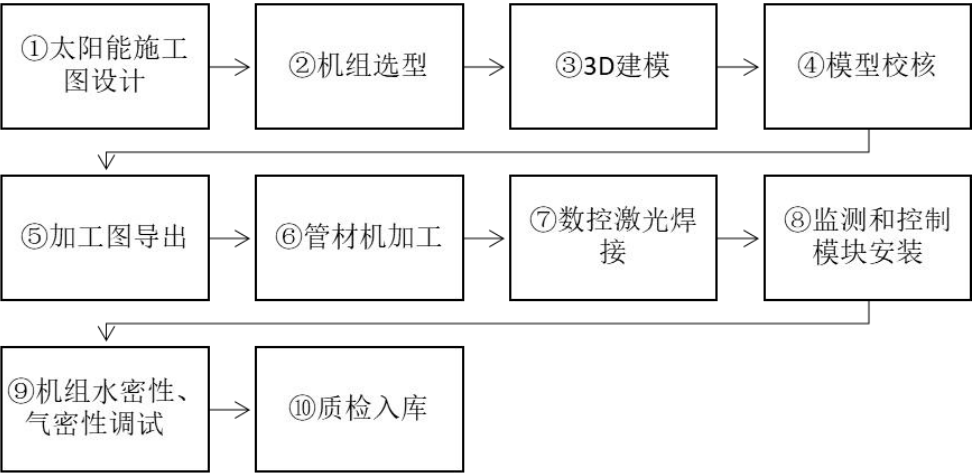


图 2-14-4 一体化机组生产工艺流程

14.3.2 技术成果适用性分析

（1）技术适用范围

一体化机组主要适用于可再生能源行业太阳能光热利用领域，配适各类型太阳能热水系统，在全国范围内皆适用。一体化机组配适各类太阳能热水系统，在民用建筑工程中有广泛的应用前景。也可与其他类型可再生能源供热系统，例如空气源热泵系统、地源热泵系统等进行耦合应用。

（2）技术适用条件

资源条件：机组应用在民用建筑集中分散式太阳能热水系统，需要通过管路与集中集热循环（太阳能集热器部分）和分散储热循环（太阳能户内水箱部分）相连通，以达到在两个循环之间进行高效换热的效果。此外，机组的运行依赖电力，需要外接电源。

技术条件：机组应在专业技术人员指导下进行安装和调试。劳动力条件：单台机组安装需要专业技术人员 2 名，工期约 2 天。

14.3.3 技术创新性及先进性

一体化机组采用高于行业标准的预制集成工艺，相较于传统太阳能热水系统，是国内首例产品化并推广应用的太阳能系统集成换热机组，具有明显的创新性和先进性：

（1）采用工业化预制替代传统的现场施工，减少现场的工作量、提升施工精度并降低人工成本。一体化机组采用 3D 建模制图，实现仿真模拟，精准还原现场情况，除常规型号外还可根据现场条件灵活定制。机组在工厂完成预制和组装，一体化运输和安装，现场无需进行管路管件的切割焊接，可极大缩短现场作业工期，保证竣工验收。与同体量太阳能热水系统相比，机房的施工周期可由 1 至 2 月大幅度缩短到 3 天时间。

（2）一体化机组采用 3D 集成设计，打破传统设备分散平铺的设计方法，最大限度压缩设备占用的空间，节约设备机房的面积，缓解机房设计与容积率计算的冲突。如图所示，一体化机组可大幅度优化设备机房的空間利用率，占地面积减少 50%以上。一体化机组简化系统设计，将复杂的换热过程和设备设施进行整合，一台机组即可替代原设备机房的多个设备设施，设计方便、施工快捷、维护简单，免除设计施工到运行维护方案的重重困扰；集

成式设计使核心部件集中排布，增加了检修空间，为日后设备维修维护提供便利，确保系统的正常运行。一体化机组还可在出厂前根据国家标准进行性能检测，相较传统太阳能热水系统，机组的检测成本低、条件便利，可有效把控工程建设品质。

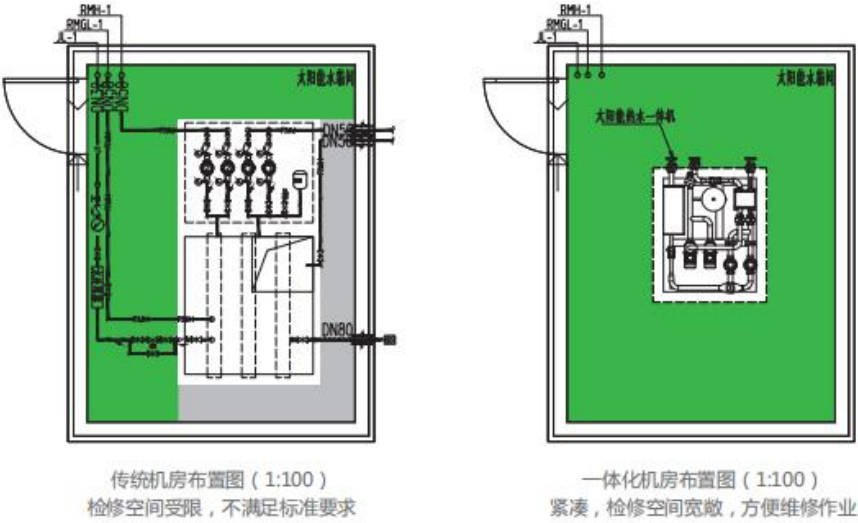


图 2-14-5 一体化机组机房空间优化示例

(3) 一体化机组采用先进的 5G 控制模块，集成搭载城区级监测系统，出厂即已完成调试，免除反复现场调试，为顺利通过项目验收节省宝贵时间，降低开发成本。所搭载的太阳能热水系统城区级监控平台是由我院自主研发的协助进行城区级太阳能热水系统专业化运行维护服务的专项平台，可进行项目运行情况的监测与跟踪，并针对异常数据进行告警，同时可以进行实时派单、配件调配、跟踪巡检等专业运维工作。



图 2-14-6 一体化机组城区级监测系统（左）和机组本地控制系统（右）

(4) 一体化机组致力于通过精细化设计加工以及高性能组件的选配来提高行业标准。在兼容各类太阳能集热器的前提下，从性能外观、生产制造、施工维护等方面均领先于传统太阳能热水系统。例如，采用全自动数控机床切割和激光焊接，现代化生产线作业，高品控标准，解决施工质量管控难题，提升业内工艺新高度；多重减振降噪措施，解决项目运行阶段的噪音投诉问题，免除开发单位质保期的额外投入；为室外应用场景设计耐候外壳，可有效保护室外设备设施，延长系统使用寿命的同时，避免屋面管线排布杂乱。

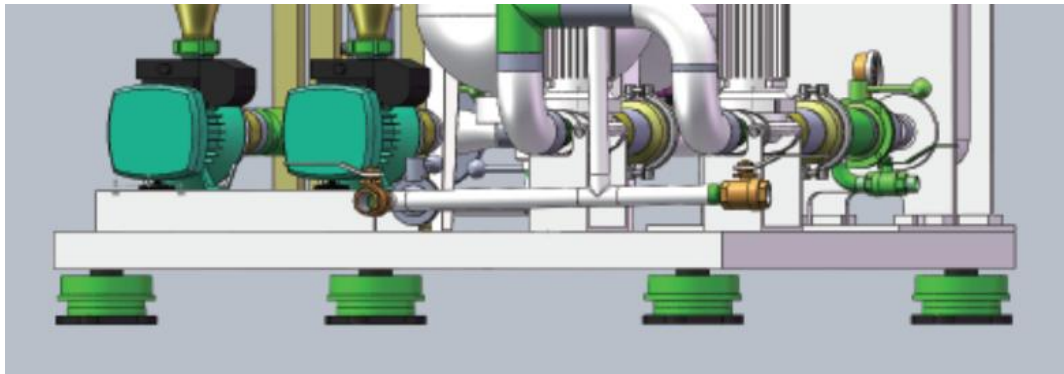


图 2-14-7 一体化机组多重减震设计示意

14.4 节能减碳或污染防治效果

截至 2024 年 6 月底，一体化机组已在 34 个项目应用安装，累计安装数量 706 台。从用户端节能水平方面看，以机组为核心的新型集中分散式太阳能热水系统每年可实现 2.6 万吨二氧化碳减排量，平均每个系统（机组）每年可实现 37.6 吨二氧化碳减排量，平均每户居民（每个机组服务约 80 户）每年平均减少 0.47 吨二氧化碳减排量，为每户居民生活热水节约用电约 500 千瓦时。从机组运行能耗水平方面看，机组正常运行能耗水平约为每日 2.8kWh 至 4kWh 之间负浮动，相较于传统太阳能热水系统，系统运行节能率约 50%，每年运行能耗节电量约为 1460kWh。系统（机组）运行能耗每日最高可节约 2.28kg 二氧化碳，每年约能实现 0.83 吨二氧化碳减排量。

目前机组年销售安装的数量在 100 台左右，预期到 2025 年底累计安装数量可达 900 台左右，全部机组项目正常运行的情况下，预计用户端每年可实现约 3.38 万吨二氧化碳减排量，系统（机组）运行能耗每年节电量约为 131.4 万度电，相当于 0.75 万吨二氧化碳减排量。

太阳能预制集成式换热一体化机组是专为传统太阳能热水系统设计研发的换热设备。产品的节能减碳效益主要来源于设备运行功效和全生命周期碳排放两个方面。

首先，一体化机组的运行功效主要体现于太阳能（可再生能源）被太阳能集热器以热量形式吸收后，在集热循环介质与供热循环介质进行热交换过程中，可有效提高换热效率、降低系统热损及循环动力组件的能耗。相较于传统的太阳能热水系统换热装置，一体化机组优选高性能的组件和耐候设计，使用先进的控制系统，优化泵组等用电组件的用能策略，并通过实时监测手段确保系统在高效状态下平稳运行。

其次，一体化机组在全生命周期过程中，节能减碳的效果优于传统换热装置。机组采用的高精度加工工艺可有效延长系统使用寿命，避免出现频繁的设备更换，减少太阳能热水系统全生命周期内的碳成本；数控加工系统相较于传统现场切割焊接的工艺，更加充分利用管材原材料且用电更集约，可有效节约生产过程中的能源和资源；机组使用一体化运输和安装方法，可有效节约运输和施工安装过程中的碳排放。

目前国内太阳能热水系统因其系统组件和形式易受地域气候、建筑条件等限制条件影响，系统形式复杂多样，尚未形成碳排放基准。我院致力于通过一体化机组技术逐渐形成太阳能行业内换热组件和设备机房设计的标准化、模块化的行业标准要求，将逐步填补太阳能热水领域基于设备的节能减排研究空白。

14.5 技术示范情况

案例一：阳光海岸项目三期住宅太阳能热水建设工程

（一）基本信息

天津阳光海岸项目三期住宅太阳能热水建设工程项目（以下简称“力高项目”）位于天津市滨海新区旅游区航北路与湖滨路交口东侧。本项目 2021 年完成设备安装，于 2021 年 6 月验收合格，验收单位为力高（天津）地产有限公司。2022 年项目及太阳能热水系统正式交付并投入使用。

（二）案例建设内容

本项目总用地面积 81612.7m²，总建筑面积 428056.21m²，其中地上建筑面积 309312.13m²，地下建筑面积 118744.08m²。本项目为新建住宅建筑，项目涵盖 3#~5#、11#、12#、16#、17# 楼共 7 栋超高层楼宇，均为 33 层超高层，一梯四户，项目使用集中分散式太阳能热水系统提供居民生活热水，共投入 7 台太阳能预制集成式换热一体化机组，每台机组平均服务 132 户。该项目机组应用的主要建设内容包含设备供应、设备安装、设备调试以及运行数据远程传输。

（三）工艺流程及主要参数

（1）系统原理和工艺流程

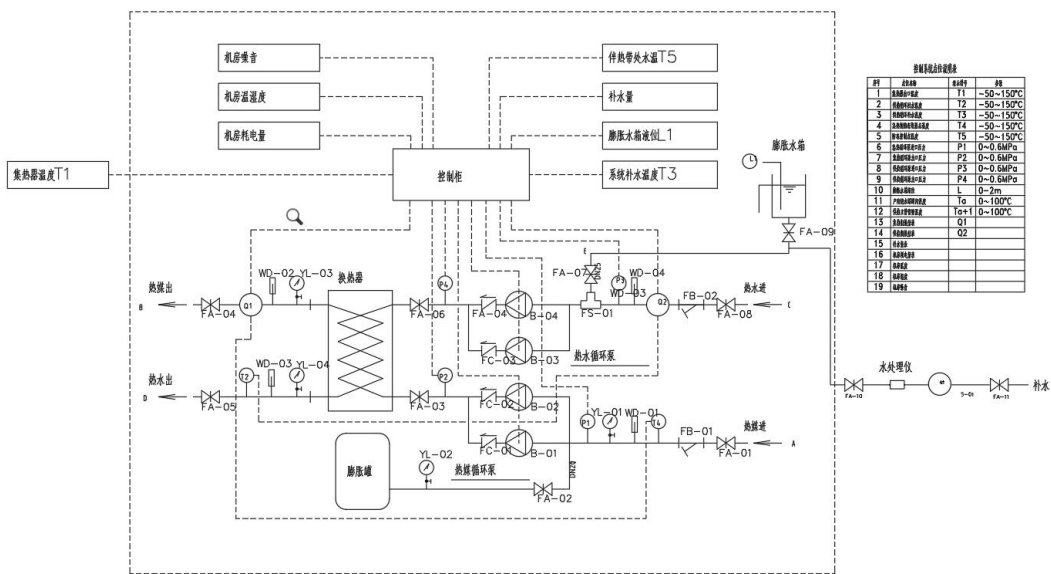


图 2-14-8 力高项目一体化机组系统原理图

（2）主要参数

表 2-14-2 力高项目机组主要参数表

项目	参数	项目	参数
板换面积	8m ²	膨胀罐规格	60L*1 个
集热泵型号	扬程 8 米	用水量适用范围	4500—6000kg
流量	11.5 吨/小时	电压	220V
集热侧管径	DN65	额定功率	8KW

供热泵型号	扬程 9 米，流量 7 吨	预留电伴热带功率	2.5KW
供热侧管径	DN65		

（四）应用效果

本项目太阳能热水系统保证率 54.53%，太阳能热水系统覆盖率 100%，太阳能热水系统年节电量为 752458kwh。该项目全年能耗为 6952472kwh，可再生能源利用率达到 9.68%。

表 2-14-3 力高项目一体化机组应用效果

楼号	层数	f=80% 可供热 水层数	总 户 数	用 水 人 数	集热 器效 率	热损 系数	直接系 统集热 器总面 积(m ²)	间接系 统集热 器总面 积(m ²)	角度 补偿	补偿后 总面积 (m ²)	安 装 面 积/ m ²	保证 率核 算
3#	34	18	134	402	0.48	0.28	289.62	297.48	0.96	309.87	172	44.4%
4#	34	18	134	402			289.62	297.48	0.96	309.87	172	44.4%
5#	34	18	134	402			289.62	297.48	0.96	309.87	172	44.4%
11#	34	19	136	408			293.94	301.92	0.96	314.50	184	46.8%
12#	34	19	136	408			293.94	301.92	0.96	314.50	184	46.8%
16#	27	21	100	300			216.13	222.00	0.96	231.25	184	63.7%
17#	33	21	124	372			268.01	275.28	0.96	286.75	184	51.3%

（五）二次污染防治

不涉及。

（六）能源、资源节约和综合利用情况

（1）节能降碳效益

根据监测数据显示，该项目 2022 年平均每月约为 24.1 吨二氧化碳减排量，截至 2023 年 3 月总二氧化碳减排量约为 361.4t CO₂，年二氧化碳减排量约为 298.1t CO₂。

（2）经济效益

该项目机组设备总投资额 659931.3 元，使用寿命 15 年，单位二氧化碳减排量投资成本约为 147.6 元/t CO₂。

（3）社会效益

有效降低了建筑能源领域污染物减排，提升了居民低碳生活水平，促进民众对生活中的节能减碳技术的进一步了解，对双碳目标的实现起到了积极引导和推动作用，具有显著的社会效益。此外机组的生产加工以及安装运维，对当地就业情况起到积极影响，提供了相当的就业岗位。

（七）投资和运行成本

表 2-14-4 机组投资运行成本对比（单位：元）

费用	常规机组		一体化机组	
初期投资	设备基础	70000	设备基础	84000 整装基础，专业减震设计
	分散设备	438130	整套设备	523600 设备质量较高，增加数据监测版块
	安装费	140000	安装费	70000

费用	常规机组		一体化机组	
			工厂预制，现场组装	
	调试费用	21000	调试费用	14000
运行费用	防冻液	3000	防冻液	1000
	电费	46720	电费	46720
	系统保养	10000	系统保养	5000
	维修管理	5000	维修管理	2000

案例二：天津海富园住宅太阳能热水建设项目

（一）基本信息

海富园位于天津市中新天津生态城旅游区，用地南至玉林道，东至绿化带、海湾，西至现状空地，北至天成温泉酒店。规划用地总面积为 20304.20m²，容积率 2.45，地上总建筑面积 49740m²，地下建筑面积 16316.8m²。

（二）案例建设内容

海富园项目主要建设 9 套集中一分散式太阳能热水系统，太阳能热水的住户比例为 100%。太阳能集热板全部集中设置在屋顶，集热板面积共 1165m²，安装倾角为 40 度。缓冲水箱及一、二次循环泵布置于水箱间，分户设 80L 换热水箱及电辅助加热，系统采用间接加热，一二次侧均为机械循环。

（三）节能降碳效益

海富园生产生活热水原本需排放温室气体量为 505.158t，应用太阳能热水后需要排放温室气体 101.007t，应用太阳能热水系统后排放的温室气体总量比项目原总排放量整体下降 80%。

（四）经济效益

海富园应用太阳能热水系统后，每年累积节约电量 656118.365KWh，预计节约每年 37.4 万元。海富园太阳能热水项目总计投入 251.25 万元，投资回收期为 6 年 7 个月。

（五）环境效益

海富园安装 9 套太阳能热水系统，每年可降低 404.15 吨二氧化碳减排量，平均每个系统（机组）每年可实现 44.9 吨二氧化碳减排量，平均每户居民每年平均减少 0.97 吨二氧化碳减排量，为每户居民生活热水节约用电约 1577.2 千瓦时。从机组运行能耗水平方面看，机组正常运行能耗水平约为每日 2.8kwh 至 4kwh 之间负浮动，相较于传统太阳能热水系统，系统运行节能率约 50%。

目前国内太阳能热水系统因其系统组件和形式易受地域气候、建筑条件等限制条件影响，系统形式复杂多样，尚未形成碳排放基准。我院致力于通过一体化机组技术逐渐形成太阳能行业内换热组件和设备机房设计的标准化、模块化的行业标准要求，将逐步填补太阳能热水领域基于设备的节能减排研究空白。

（六）社会效益

将太阳能热水一体化作为住宅建筑可再生能源利用的示范应用，已在天津生态城地区广泛推广应用，有效降低了建筑能源领域污染物减排，提升了居民低碳生活水平，促进民众对生活中的节能减碳技术的进一步了解，对双碳目标的实现起到了积极引导和推动作用，具有

显著的社会效益。此外机组的生产加工以及安装运维，对当地就业情况起到积极影响，提供了相当的就业岗位。

14.6 成果转化推广前景

14.6.1 技术推广前景

自双碳战略实施以来，建筑可再生能源利用越发被重视，不仅仅停留在应用技术，更关注系统投入运行后的实际效果。目前太阳能热水系统行业仍以传统设备散装，分散布局为主，各设备之间的适配性不佳，设备选型标准不一，若无专业单位运维，系统难以稳定持续运行。

绿建院自主研发的一体化机组大幅提升传统太阳能热水产品的工业化水平，设备之间适配性高，连接工艺精细，可规避常见的漏水、保温损坏、换热效率不佳、噪音等问题。机组全部在工厂内生产组装，根据现场情况进行不同程度分解，现场直接组装，降低现场施工带来的环境污染和碳排放，缩短施工工期，契合城市绿色低碳发展主题和开发商项目建设进度需要，同时能为居民带来稳定的热水供应，提升居民体验感。

目前该项技术成果在中新天津生态城新建建筑普及率接近 60%，居住建筑普及率近 100%。该项技术成果成熟可靠，已成规模生产，未来预计持续占领生态城居住建筑太阳能热水系统市场，并推出公建应用机型，扩大在生态城内的市场份额。随着太阳能热水系统作为天津市居住建筑设计的必要条件，天津市太阳能热水应用规模将迅速扩张，该技术成果具有领先性，我院正与各太阳能热水企业联合，向天津市其他区辐射，2025 年推广比例将至少达到天津市总体太阳能热水建设规模的 20%。

14.6.2 技术推广障碍及应对措施

市场推广方面：目前太阳能热水系统在生态城居住建筑 100%应用，但在生态城以外区域，应用较少。随着《天津市碳达峰实施方案》和国家《建筑节能与可再生能源利用通用规范》设计标准的发布，太阳能热水系统将逐渐成为居住建筑设计建设的标配，绿建院作为一体化机组产品研发及推广企业，将加强与太阳能热水系统企业合作，共同拓展市场。

成本方面：一体化机组的整机成本略高于常规散装设备，一方面目前开发商均有战采企业，源头采购，设备价格远低于市场价格，而绿建院由于生产能力有限，采购量有限，未能与材料供应企业签订更为经济的采购协议。另一方面，一体化机组运行稳定可靠，并非传统设备的供应安装，设备采购质量标准较高，承诺质保期高于市场常规质保期限。绿建院正积极联合行业头部企业建立行业高质量发展标准，提升行业产品应用水平，杜绝劣质产品进入太阳能热水市场，未来随着市场份额增加，将建立高效生产线，提高生产效率，实现不降低品质前提下的生产成本降低，向市场寻找更加优质的材料供应商，从而降低机组生产成本，降低机组销售价格，增强市场竞争力。

技术 15：低温等离子体无药化低碳种植技术

15.1 申报单位基本情况

本技术提供方为离享未来(天津)科技有限公司。

离享未来（天津）科技有限公司（以下简称“离享未来”）成立于 2021 年 9 月，是一家专业从事低温等离子技术研发、产品生产及市场推广的科技型公司，国家科技型中小企业和天津市雏鹰企业。公司以低温等离子技术为核心，以按需定制为特色，以现代农牧业全产业链运营作为核心建造，以智能制造工业带动农业科技创新，以资本化运作和品牌化运营助推综合发展，健全产业链、打造供应链、提升价值链，提高产业综合效益。离享未来已取得了 7 项发明专利，3 项实用新型专利，2 项软著专利，多项发明专利处于实质审查阶段，拥有多款自主研发的纳秒脉冲等离子体电源和等离子体发生器，实现了等离子体设备的批量化生产，量产产品包括设施农业板块、新能源板块、新材料板块 4 大系列，10 余款产品，离享未来等离子体设备的成功投放获得了市场的认可。

15.2 技术成果简介

15.2.1 技术成果名称和领域

技术成果名称：低温等离子体无药化低碳种植技术

技术领域：农业减排固碳

15.2.2 技术成果来源

该技术成果源于单位自研。涉及主要知识产权如下

表 2-15-1 知识产权情况

序号	类型	名称	专利号/登记号
1	发明名称	一种低温等离子氨气分解处理装置	ZL 2023 1 1411596.X
2	发明名称	一种六合一植保机	ZL 2023 1 0986980.6
3	发明名称	一种低温等离子水下放电固氮装置	ZL 2024 1 0063373.7
4	软著名称	智能植保嵌入式控制系统 V1.0	2024SR0093579

15.3 技术内容

15.3.1 技术原理及工艺流程

技术的基本原理为低温等离子发生技术，通过低温等离子电源和低温等离子发生装置的有效结合，对棚内空气及灌溉用水进行等离子化处理，结合智能化控制系统，科学设定植物的种植标准，用生态防治方式处理种植过程中普遍存在的气生菌害和土生虫害，并且对叶面和土壤进行标准化、精准化的有机肥施用，无药化，低碳化绿色种植，节药减肥，节省 80% 人工，增产增质，增效增收。

低温等离子无药化低碳种植技术由低温等离子氧化设备、低温等离子空气反应舱设备及低温等离子氢化设备 3 个低温等离子核心设备和 1 套核心智能控制系统组成。

用于对灌溉用水进行离子化，赋予其强氧化性，用于设施农业内的植表除菌。辅助设备还可以高效溶解有机肥，用于叶面雾化施肥和土壤滴灌施肥。通过大功率工作风机将设施农业棚室内含有气生菌害的空气循环至等离子灭菌反应舱中，并在舱内将气生菌害完全杀灭，

用于设施农业内的空气除菌。对灌溉用水进行离子化和富氢化处理，达到促进植物根系强壮，增加产量的效果。

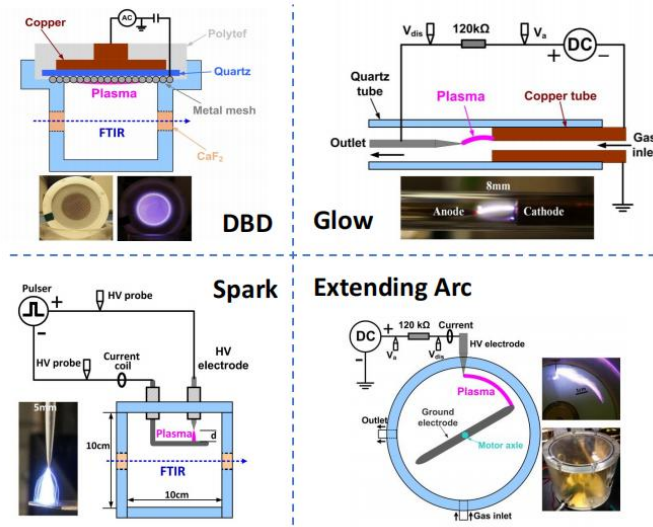


图 2-15-1 技术原理图

核心智能控制系统作为整个系统的大脑，由液晶触碰屏，PLC 集成模块，等离子电源和植物种植标准数据库组成，可根据不同植物的生长特点，有针对性且标准化的进行空气杀菌、植表除菌、强根增产、叶面施肥和土壤施肥等系列操作。既可以通过现场触碰显示屏进行操作，也可以远程遥控操作，使得农事劳作简单便捷，精准高效。

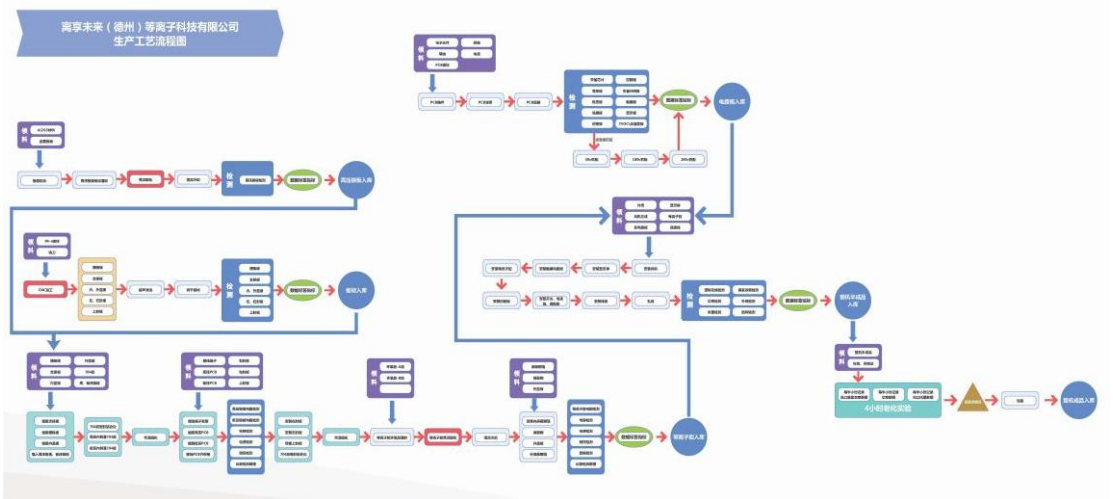


图 2-15-2 工艺流程图

该设备的应用，将彻底杜绝农药的使用，保护土壤和地下水不受农药的污染，低温等离子空气固氮功能的使用还能节约氮肥的使用量。

核心装备包括：低温等离子射流发生器，低温等离子 DBD 介质阻挡发生器，低温等离子多栅型发生器，低温等离子电源。

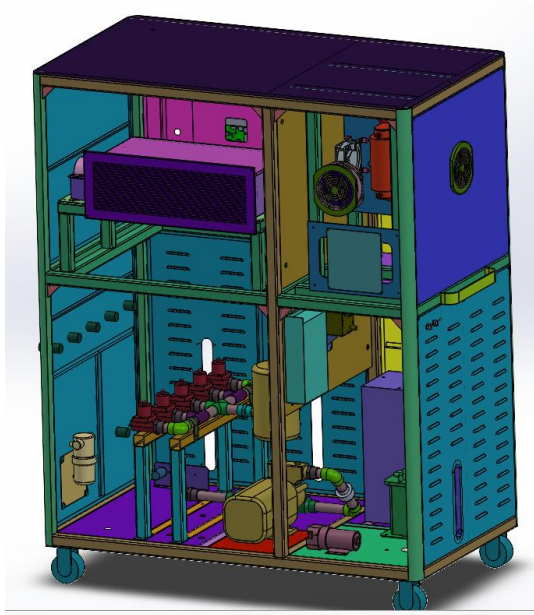


图 2-15-3 装备结构简图

15.3.2 技术成果适用性分析

适用范围：设施大棚内使用的新一代绿色防控技术。

低温等离子多功能植保机是离享未来公司自主研发生产的,应用于设施大棚内的农作物病虫害的绿色防控设备,获得了 2 项国家发明专利,1 项实用新型,1 项软著专利,是国内首款也是目前唯一一款用低温等离子技术实现农作物病虫害绿色防控的设备,绿色防控效果可达 90%。只要设施大棚内有农业用电和灌溉用水即可使用,操作简单,使用方便。

15.3.3 技术创新性及先进性

1. 将低温等离子技术用于农作物病虫害防控属于国内首创,目前国外无同类型产品。
2. 通过低温等离子技术,可实现农作物种植全程不使用任何剂量的农药,同时等离子体空气固氮功能可减少氮肥的使用,降低碳排放,真正实现了绿色防控,因种植过程不再使用农药,农产品品质达到绿色食品标准,同时提升了产量,节约了人工成本。
3. 通过使用低温等离子多功能植保机,农户节约了农药化肥成本,减少了人工成本,增加了农作物的品质和产量,综合收益增加了 147.88%。

15.4 节能减碳或污染防治效果

化肥、农药的使用成为土壤板结,污染地下水等环境污染的主要方面之一。化肥又是种植业生产过程中的第一大碳排放源,占投入环节碳排放总量的 60%左右。从化肥内部结构来看,每 1kg 氮肥、磷肥以及钾肥分别会排放 3.932kg、0.636kg 以及 0.108kg 的标准碳,几乎相当于一棵树半年的吸碳量。农药是继化肥之后种植业的第二大碳排放源,橡树岭国家实验室测算出每 1kg 化学农药会产生 4.9341kg 的标准碳。每亩西红柿每年大约使用化肥 310 公斤,使用农药约 100 公斤,折算后每年每亩地将减少 754.09kg 标准碳的产生。

用低温等离子体技术代替化学农药解决了气生菌害与土生虫害对植株的侵扰问题,仅使用电能实现了设施农业全流程无药化低碳种植。采用等离子技术,不仅可以生成含有大量活性物的等离子活化水,能够完全替代化学农药的使用,还可以生成富氢水,以用于作物的灌

溉，在有效解决气生菌害与土生虫害对植株的侵扰问题的同时，让作物根茎生长更加粗壮，使农产品的产量得到明显提升。通过等离子技术还能有效杀灭悬浮于空气中的细菌，避免棚室内的细菌随空气流动而污染整个棚室植株，应用除菌率可以达到 90%以上。有效绿色防治农作物病虫害，减少了对环境的污染和破坏，有助于维护生态平衡，有助于提高农产品的质量和安全性，提升农业生产的效率和经济效益，对推动农业现代化和科技创新也具有重要意义，更重要的是可实现设施种植的零碳排放，满足我国制定的双碳目标。

15.5 技术示范情况

（一）案例概况

离享未来与山东绿源美东农业科技有限公司于 2023 年 5 月达成了合作协议，共同建立低温等离子绿色种植基地，占地面积约 50 亩，绿源美东提供 10 个设施大棚，负责农资的采购和日常种植管理；离享未来投资 100 万元，布设了 16 台低温等离子多功能植保机，负责提供技术支持。绿色种植基地目前运营情况良好，所种出的西红柿国家绿食办指定检测机构进行农残检测，所检测项目均为“未检出”状态，符合国家绿色食品要求。

植保机专门针对设施农业使用，只要是设施大棚，棚内有农业用电和灌溉用水，设备就能使用，操作简单，使用方便，技术应用条件非常宽泛。

关键设备：低温等离子多功能植保机。

表 2-15-2 西红柿年亩产效益分析

序号	项目	等离子种植方式	传统种植方式
1	闷棚+土壤除虫	400.00	200.00
2	种苗	7500.00	5000.00
3	农药	0.00	500.00
4	肥料	2000.00	400.00
5	人工	8000.00	20000.00
6	设备费用	3700.00	0.00
7	产量（斤）	36000.00	30000.00
8	批发单价（元/斤）	5.00	3.00
9	年收益	180000.00	90000.00
10	净收益	158400.00	63900.00

以西红柿为例，在空棚状态下使用低温等离子土壤除虫机，通过输出富含羟基、羧基、高能电子、活性氧原子、自由基等物质的高浓度等离子体活化水，可有效杀灭土壤中的虫卵和幼虫，在种植过程中全程使用低温等离子多功能植保机，能够根据植物的生长特点及当前环境情况，有针对性且标准化的进行农作物病虫害的绿色防控，进行空气杀菌、植表除菌、强根增产、叶面施肥和土壤施肥等系列操作，在不使用农药和减少化肥使用的基础上，节省了人工，同时提高了农作物的质量和产量。

项目验收单位：齐河绿源美东农业科技有限公司

案例地址：齐河县宣章屯镇姚庄村

验收日期及验收结论：2024 年 3 月，美东农业基地技术负责人对项目过程全程监督，确定种植过程未使用任何剂量的农药，对项目成果表示认可。同时，该等离子体设施农业示

范基地也已申请科技小院成功。

业主及联系方式：王道国，15266930866

（二）工艺流程及主要参数

核心技术工艺包括 2 种等离子体发生器：

DBD 介质阻挡等离子体发生器：将悬浮于空气中的细菌病毒泵吸至等离子体发生器中，在高压电场的作用下杀灭细菌病毒，避免了气生菌害的传播，实验室检测除菌率达 99%，实际应用除菌率达 90%。

射流等离子体发生器：可生成富含羟基，羧基，高能电子，自由基与活性粒子等大量活性物质的等离子活化水，杀灭土壤和植表上的虫害和菌害，90%替代化学农药，实现物理除虫，绿色种植。

主要技术参数：

适用大棚面积：2.5 亩；整机功率：2.2KW；等离子活化水产量：2.5 m³/h；植表除菌率：99%；表层土壤除菌率：99%；空气除菌：99%；富氢水产量：2.0 m³/h。

（三）应用效果

低温等离子设备的高质量体现在果蔬品质的提升和绿色环保两方面。首先，在使用农业用电和灌溉用水的前提下，用低温等离子体技术代替化学农药，在种植全流程中不再需要施用任何计量的农药（含有机目录下的生物制剂药），解决了气生菌害与土生虫害对果蔬的危害问题，从种植源头上保证了食品安全，确保基地所生产的果蔬农产品符合国家绿色食品级标准，其次，低温等离子设备在运行中可实现空气固氮，从而减少一定比例的氮肥使用量，在自身零碳排的基础上每亩地每年间接减少 754.09kg 的标准碳排放，促进了绿色农业的可持续发展，增加了农户收益，最后低温等离子设备在处理过程中不会产生有害废气和废水，能够有效杜绝环境污染，符合绿色生产的要求，杜绝对环境的污染和破坏，综合保护空气、土壤和地下水源，综合效益相当显著。

（四）二次污染防治

无二次污染。

（五）能源、资源节约和综合利用情况

使用低温等离子多功能植保机每天的成本费用低于 5 元，使用成本低，以物理防治代替化学农药解决了气生菌害与土生虫害对植株的侵扰问题，仅使用水电，无耗材，不污染土壤和空气，实现了设施农业全流程无害化无药化种植，不需要再使用其他能源。

（六）投资和运行成本

低温等离子多功能植保机的技术研发费用约 350 万元，且我司已完全投入，并已实现植保机量产。植保机生产线投资约 120 万元，生产人员工资为 11 万元/月。

低温等离子多功能植保机日均运行时间 2 小时，每天仅耗电 2.2 元，维保与巡视人员工资为 4 万/月。

低温等离子多功能植保机销售单价为人民币：4.8 万元/台

机器适用面积为 2.5 亩地，市场零售价格为 4.8 万元。以德州市齐河县全部设施农业用地规模为例计算，需使用低温等离子多功能植保机 $14800/2.5=5920$ 套，销售额约为 2.8 亿元。

如果在德州全市推广，销售额将不低于 400 亿元。如果推及全国市场，销售额将在万亿元以上。

15.6 成果转化推广前景

15.6.1 技术推广前景

通过绿色防控技术所生产出的绿色农产品具有广阔的市场前景。

国内的蔬菜品质要求：无公害蔬菜，绿色蔬菜，有机蔬菜的占比是 50%，40%，10%。北京、上海、广州、深圳等一线城市对于绿色食品的需求比例在 60%以上。目前我国一二三线城市消费者对绿色食品标志的知晓率已达 73.5%，绿色食品售价比同类普通食品平均高出 20%左右。2021 年我国绿色食品的销售额超过 5000 亿元，2022 年超过 6500 亿元，2023 年超过 8000 亿元。

根据《中国的食品质量安全状况》表明,中国出口的绿色食品已得到 40 多个贸易国的认可，无公害、绿色、有机等品牌农产品已成为出口农产品的主体,占到出口农产品的 90%，并且以年均 40%以上的速度增长。

我国蔬菜出口量最大的作物是大蒜，占全部出口量的 19.1%，其次是番茄，占 10.4%，其他主要品类还有胡萝卜及萝卜、洋葱、蘑菇、马铃薯、生姜等。

山东省作为农产品出口大省，2023 年出口农产品 1476 亿元，增长 6.3%，占全国农产品出口总值的 21.2%，继续保持农产品出口第一大省的地位。其中，蔬菜、水果出口增势良好，全年出口蔬菜及食用菌 362.8 亿元，增长 25.8%，占同期山东省农产品出口总值的 24.6%

因此，绿色食品的大范围推广，必将带动绿色防控技术的快速推广，也必将带动六合一植保机的快速增长。我司选定首先从山东省德州市打开市场，德州坐拥 105 万亩设施农业规模，无论是农业站位定位，政策支持力度，设施土地面积，种植品种总量等均拥有一席之地。预计到 2025 年底，仅德州地区，就可实现六合一植保机 5000 台的销售，实现产值 2.4 亿元。

15.6.2 技术推广障碍及应对措施

对于低温等离子设备的应用与推广，现下面临的主要问题是市场教育成本高，示范周期较长。为此，希望政府相关部门能够针对创新技术及设备的普及应用提供一些示范指引式的政策支持和相应的政策补贴，让使用者能获得政策上的支持和成本上的补贴，加速低温等离子设备的推广进度，让使用者早日实现绿色种植，增效增收。

B、生态环境保护技术

技术 16：城市排水系统优化设计与实时控制关键技术研究

16.1 技术提供方

本技术提供方为中国市政工程华北设计研究总院有限公司。

中国市政工程华北设计研究总院有限公司是一家隶属于国务院国有资产监督管理委员会管理的中国建设科技集团股份有限公司的综合设计研究企业。主营业务包括城市供水、污水处理、燃气、道路桥梁、轨道交通、集中供热、垃圾处理、智慧城市及大型工业与民用建筑工程等，提供从工程规划、咨询、勘察、设计到施工、监理、运维等全生命周期工程建设服务。截至 2024 年 2 月，公司中标项目数量达 2630 项，荣获省部级及以上奖项 820 余项，包括多项国家级科技进步奖和国际奖项。在城市水环境系统治理、污水处理提质增效、海绵城市建设等领域取得显著效果，如城市黑臭水体治理技术和管理体系的研究与应用，以及盐碱区雨水综合利用技术的创新突破。

16.2 技术成果简介

16.2.1 技术成果名称和领域

技术成果名称：城市排水系统优化设计与实时控制关键技术研究

本项目应用于生态环境保护领域中的城市排水系统设计和运行管理，尤其涉及利用实时控制技术提升水环境和城市排水防涝领域工程优化设计和运营的智慧管理水平。

16.2.2 技术成果来源

本项目为本单位 2019 年申报的中国建设科技集团有限公司科技创新基金项目，全称为“城市排水系统优化设计与实时控制关键技术研究”，项目编号为：Z2019J02。

相关成果及知识产权如下表所示：

表 2-16-1 相关成果及知识产权情况

序号	类型	名称
1	技术报告	《城市排水系统优化设计与实时控制关键技术研究》技术报告
2	技术标准	《排水系统源-网-厂-河一体化运行技术标准》（初稿）
3	技术产品	城市排水系统实时控制物理模型试验装置 1 套，城市排水系统实时控制决策支持软件 1 套
4	新增收入	在岳阳东风湖水环境综合治理、漳州市区内河水环境综合整治 PPP 项目等获得实际应用，直接带动产值 5000 余万
5	论文	《流域治理视角下构建弹性城市排水系统实时控制策略》
6	论文	《流域治理视角下排水系统匹配性评估方法》
7	论文	《基于马斯京根方法的概念模型在城市排水系统中的构建与应用》
8	发明专利	3 项（专利号：202010562772.X、202010563919.7、202011463043.5）
9	实用新型专利	1 项（专利号：ZL 2020 2 2009888.9）
10	软件著作权	排水管网在线监测分析系统[简称：MEPipeMonitor]V1.0
11	软件著作权	水务监测设备物联网通讯服务系统[简称：MECommServer]V1.0

序号	类型	名称
12	软件著作权	排水系统智慧运行管理平台 V1.0
13	软件著作权	城市水系统控制仿真模型软件 V1.0

16.3 技术内容

16.3.1 技术原理及工艺流程

项目从城市排水系统实时控制的关键技术出发，包含相关多目标优化调度模型研究、自主知识产权模型软件开发、实体物理实验室建设以及国内实时控制相关标准体系研究，涉及了排水系统实时控制的规范、设计和研究的全方位内容，初步完善了我国城市排水系统优化设计研究内容与实时控制关键技术体系。

本项目的总体研究思路为：结合国际发展趋势，梳理现有城市排水系统优化设计与实时控制关键技术和产品，同时去美国、欧洲、加拿大等地典型实时控制项目进行实地考察，深入学习国外实时控制理念及主要做法，并对相关案例进行测试总结。通过不同技术、产品的筛选和比对，初步构建实时控制关键技术系统集成综合评价指标体系，并利用指标体系筛选可靠的技术和产品。与此同时，选取典型城市排水系统进行研究，根据现有规划设计方案构建计算机模型，检验设计方案是否合理，发现方案中存在的薄弱环节和不足，进而对规划设计方案进行进一步优化调整和再评估，最终通过比较多个方案的模拟分析结果，科学、高效地确定优化设计方案。然后以此为基础构建城市排水系统实时控制物理模型试验装置和多目标联合调度模型，构建多调度情景，进行大规模优化计算，最终得出不同情景的排水设施联合调度模式。进一步开发城市排水系统实时控制决策支持软件，作为排水设施数据展示、调度方案评估及优选的平台。技术路线图如图 2-16-1 所示。

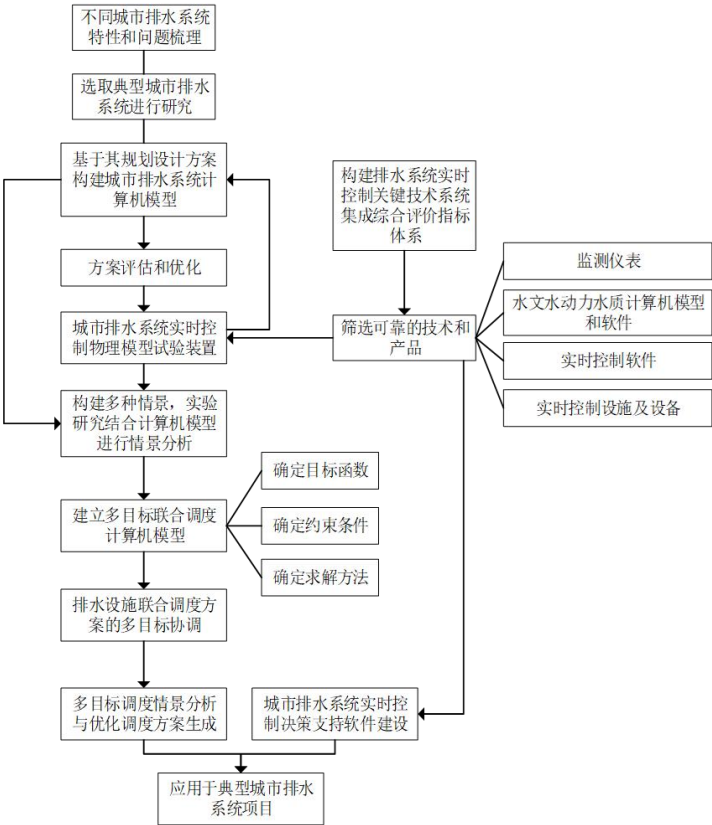


图 2-16-1 技术路线图

16.3.2 技术成果适用性分析

本研究以城市水环境质量全面达标为根本目标，从全局优化控制角度出发，研发具有自主知识产权的城市排水系统优化设计与实时控制关键技术，形成实时控制集成技术，达到国际先进水平，可填补国内城市层级排水系统实时控制技术空白，提升集团在水环境和城市排水防涝领域工程优化设计和运营等方面的智慧管理水平和行业引领作用，助力我国水行业从工业 3.0（以自动化为主要特征）到工业 4.0（以智能化为主要特征）的跨越。

本研究可在排水系统物理实验室“微模型”实验平台，包含汇水区、管道、调蓄池（含泵站）、污水处理厂的岳阳东风湖流域进行运行。其中，汇水区的产流和流量传输过程可以依据马斯京根方法或者非线性水库法，管道的流量传输过程遵循马斯京根方法，因此马斯京根参数率定主要围绕汇水区和管道进行。调蓄池、污水处理厂也以概化模块的形式表示，输入参数为实际参数，如建设体积、泵功率等。

由于片区中包含诸多汇水区和错综复杂的管网，为了减轻计算负担，构建马斯京根模型的关键是对汇水区和管网进行合理的概化，要在提高计算速度的同时保证一定的准确性。具体的概化方式由片区的实际汇水排水情况和模拟目的决定，通常具有一定灵活性，同时需对各个子区域的汇水区和管网分别进行概化。机理模型概化示意图如图 2-16-2 所示。

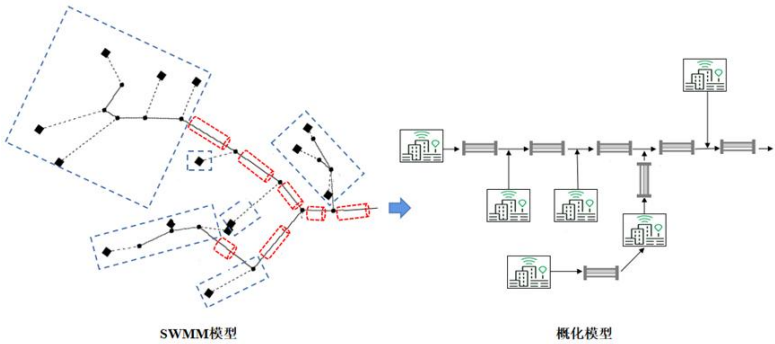


图 2-16-2 机理模型概化示意图

对于汇水区的概化，通常遵循以下几个原则：（1）调蓄池、溢流堰等可控设施需作为独立元件存在；（2）概化后的汇水区面积不宜过大；（3）多个子汇水区合并时需要考虑其实际空间位置和降雨分布，不宜相距过远；（4）多个子汇水区合并需依据管网的连接和走向，同时要明确旱季入流的情况。由于子汇水区合并过程中会有部分管道被纳入汇水区模块，因此汇水区和管网的概化是相互关联的。管网概化的原则是关注重要节点和重要管段，如保留具有调蓄能力的大型箱涵，而将流量小的分支进行概化。

根据前期东风湖流域概化模型的构建，在实验室平台搭建相应的物理“微模型”，配备各排水设施、管道，能可靠地表示各概化分区产流量和各概化管道传输过程，实现了“源头-过程”的有效模拟。物理实验室“微模型”三维展示如图 2-16-3 所示。

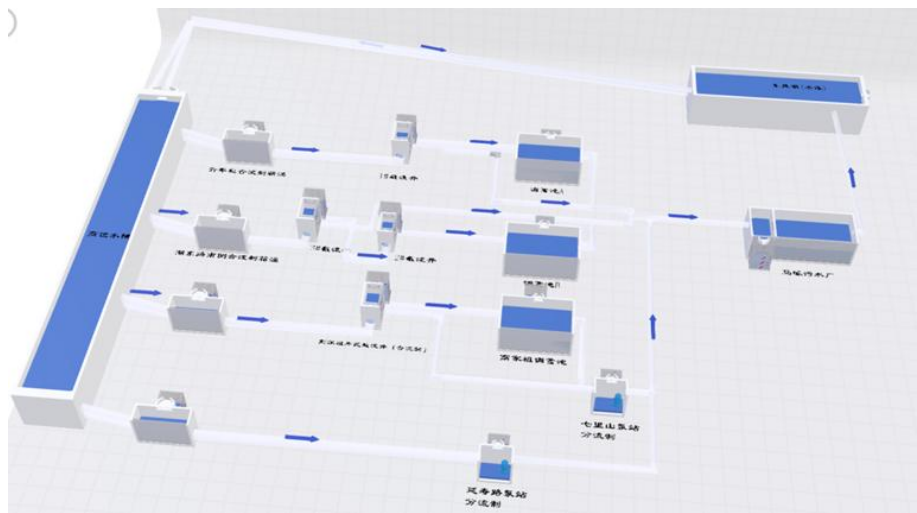


图 2-16-3 物理实验室“微模型”三维展示图

模拟来水的水槽底面积约 2500mm×500mm，最大深度约 0.5m，长边用来接多路放水口；截流井底面积约 300mm×300mm，最大深度约 0.5m；调蓄池底面积约 1000mm×1000mm，最大深度约 0.5m；主要管路由长 1000mm，直径 100mm 的塑料管组合。

循环水池模块采用水泥构建，尺寸 L×W×H=5000mm×1500mm×700mm，池内安装一液位计，用以监测该模块水位。为下游三个支路提供来水，三个支路各有两路电磁阀控制进水，以模拟不同的来水工况。有两路进水管，一路为系统循环水管，另一路为系统补水管。

源头蓄水模块模拟真实场景中的上游检查井（汇水集合），采用亚克力板构建，尺寸 L×W×H=800mm×300mm×700mm，池内安装一液位计，用以监测该模块水位，有两路进水管和一路出水管，分别由一个电磁阀控制开关。

末端截流井模块模拟真实场景中的末端截流井，采用亚克力板构建，尺寸 L×W×H=500mm×300mm×700mm，池内安装一液位计，用以监测该模块水位，有一路进水管和两路出水管，流向下游污水厂的出水管由一个电磁阀控制开关，当需要调蓄（例如初雨）时，电磁阀关闭，水通过另一出口进入调蓄池。

调蓄池模块模拟真实场景中的调蓄池，采用亚克力板构建，尺寸 L×W×H=1000mm×1000mm×700mm，池内安装一液位计，用以监测该模块水位，安装一水泵，用以根据策略适时（例如错峰）排水，有一路进水管和一路出水管。

泵站水池模块模拟真实场景中的泵站水池，采用亚克力板构建，尺寸 L×W×H=500mm×500mm×700mm，池内安装一液位计，用以监测该模块水位，安装一水泵，用以根据策略排水，有一路进水管和一路出水管。

污水厂模块模拟真实场景中的污水厂，采用亚克力板构建，尺寸 L×W×H=1500mm×1000mm×700mm，池内安装一液位计，用以监测该模块水位，安装一水泵，用以根据策略排水，有一路进水管和一路出水管。

一级强化模块模拟真实场景中的雨季一级强化处理设施，采用亚克力板构建，尺寸 L×W×H=1000mm×1000mm×700mm，池内安装一液位计和，用以监测该模块水位，安装一水泵，用以根据策略排水，有一路进水管和一路出水管。

受纳水体模块模拟真实场景中的河湖水体，采用亚克力板构建，尺寸 $L \times W \times H = 1500\text{mm} \times 1000\text{mm} \times 700\text{mm}$ ，池内安装一液位计，用以监测该模块水位，安装一水泵，用以打回循环水池循环利用，有一路进水管和一路出水管。

16.3.3 技术创新性及先进性

本项目研究已达预期目标。本项目研究填补了国内多项空白，其技术水平出于国内领先地位。其中，城市水系统控制仿真模型、实施仿真控制方法及系统已申请相关专利，获得软件著作权，技术水平已处于国际先进地位。

主要创新点分别为：

(1) 一种用于城市排水系统实时控制模拟的物理模型试验装置。该物理模型试验装置可为城市排水系统控制策略仿真提供实体模型试验的平台，通过该平台可以模拟真实排水系统的核心过程，验证课题相关技术产品的应用效果，为今后的技术研发提供重要的实验基地。

(2) 一种用于城市“源-网-厂-河”一体化运行模拟的城市水系统控制仿真模型（Simuwater）。Simuwater 是在对国内排水系统实际情况的深入研究和长期探索，以及对排水系统运行模拟工具的深度使用后，在发现现有部分软件工具无法满足我国排水系统目前和未来的使用需求的情况下，是分布式水文、水力、水质模拟模型，它主要应用于汇水区、LID、城市雨污水管道、水体、泵站、调蓄池等水循环系统的连续动态仿真模拟，可实现源-厂-网-河联合模拟，可模拟降雨径流、面源冲刷、管网水力传输、污染物降解等，可设置控制规则，通过识别水系统节点或链接状态变量，动态调整水泵、堰等控制设施启闭。Simuwater 的成功研发和使用将为我国排水系统一体化运行带来可靠的技术助力。

16.4 节能减碳或污染防治效果

实时控制技术通过对水环境治理设施的动态监测和调节，能够在不同的环境条件下自动优化运行。例如，在降雨期间，系统能够实时调整水泵的运行频率和排水量，从而有效减少城市溢流污染。根据相关研究，采用实时控制技术后，城市排水设施的使用效率可提高约 20%-30%。相较于传统的固定运行模式，这一技术的引入使得设施的能耗降低了 15%-25%，从而实现了显著的节能减碳效果。

通过对水质的实时监测，系统能够及时发现污染源并采取相应措施，减少内涝和水体污染的发生。研究数据显示，应用该技术后，城市内涝事件的发生频率降低了 40%，而水体污染物的浓度平均降低了 30%。这些数据表明，实时控制技术在环境治理中的有效性和必要性。

通过优化运行，减少设备的频繁启停和过载运行，设施的维护成本降低了约 20%。这不仅提高了设施的经济性，也为后续的环境治理提供了更为坚实的基础。

16.5 成果转化推广前景

16.5.1 技术推广前景

本次申报的城市排水系统优化设计与实时控制关键技术已在实验模型平台和多个实施项目中进行了验证，技术可靠。目前国内尚无一款定位于城市排水系统源-网-厂-河一体化运行模拟的软件产品，国际上同类产品相对成熟的有 Simuba 和 Csoft 两款软件，与其相比，本公司申报的城市排水系统优化设计与实时控制关键技术研究所包含的城市水系统控制仿

真模型（Simuwater）在模拟设施范围、模拟精度和模拟速度上已经全面达到同一水平，在实时优化控制以及多原理模型耦合应用等方面超越国际同类产品。

当前，城市排水系统的优化运行正受到多项政策文件的高度关注与积极支持。国家通过发行国债、设立专项资金等方式，为城市排水设施的建设与改造注入了强劲动力。例如，住房和城乡建设部《关于推进城市基础设施生命线安全工程的指导意见》（建督〔2023〕63号）明确了要对城市基础设施运行状况进行实时监测、模拟仿真和大数据分析，加强对城市运行状况的监测分析、统筹协调、指挥监督和综合评价；《住房和城乡建设部 国家发展改革委关于印发“十四五”全国城市基础设施建设规划的通知》（建城〔2022〕57号）要求对城市安全风险进行源头管控、过程监测、预报预警、应急处置和综合治理。政策文件支持的也为相关企业带来了前所未有的发展机遇。随着技术的不断进步和应用，城市排水系统将更加智能化、高效化、环保化，为城市的可持续发展贡献更大的力量。

本技术的应用，满足水务设施的智能化联动管理模式，从而实现水厂、泵站等设施节能降耗的需要，且使得排水系统能够根据环境变化的实际情况，灵活调整运行状态，确保污水与雨水得到妥善处理与排放，有效遏制了环境污染的扩散与加剧。

该技术已在长春市、廊坊市、岳阳市、镇江市、张家口市、常州市、三亚市和呼和浩特市等多个城市的项目上展开了应用，市场普及率逐渐提高，目前市场上并没有该类技术在项目中的应用，预计该技术在2025年推广可达到的市场推广比例为10%。

16.5.2 技术推广障碍及应对措施

该技术的使用需要可靠的监测数据支撑，目前排水管网流量、水质在线监测仍有较大的提升空间。其中主要的制约因素包括监测原理、传感器制造工艺水平等，需要大量基础性的研究工作。此外关于排水管网监测点的布设和应用，目前还缺乏统一的标准规范，需要结合项目实施中的经验，进行系统性的探析和总结，以指导相关实践。

随着技术的快速发展和市场需求的变化，政策制定有时难以跟上步伐，这可能导致一些创新性的技术在缺乏明确政策支持的情况下难以推进。且水务项目涉及多个部门和领域，如水利、环保、建设、信息等，各部门之间的职责、利益和管理方式存在差异，导致在政策制定和执行过程中难以形成合力。针对以上问题，应积极与政府部门建立良好的沟通机制，主动汇报项目进展，反映遇到的问题和困难，争取政府的支持和帮助。

此外，该技术的使用需要大量的资金投入，包括设备购置、系统建设、运营维护等各个方面。然而，由于资金实力有限，很多地方政府难以承担这样的投入。针对这一问题，可以关注中央专项资金的支持，并优化资源配置，提高资金使用效率。

人才培养方面，智慧水务的发展需要跨学科、高素质的复合型人才。然而，目前这类人才相对匮乏，需要制定和完善人才激励机制，吸引和留住优秀人才，并加强与国内外先进企业和机构的交流与合作。

技术 17：MABR 地表水体净化技术

17.1 技术提供方

本技术提供方为天津海之凰科技有限公司。

天津海之凰科技有限公司 2006 年 8 月成立于天津，由国家特聘专家创办，江苏省政府产业投资基金 A 轮投资。国家高新技术企业，天津市专精特新企业，天津市瞪羚企业。承担完成国家和天津市科技计划项目近二十项，包括国家科技部、国家海洋局、天津科技局、农委等科技计划项目。企业注册资金 1400 万元，至 2024.5 资产总额 5227 万元；净利润 216 万元；企业资信良好。

海之凰科技以技术创新为本构建核心竞争力，自主研发 MABR 污水处理技术与产品，整体居于国际领先水平；主编《MABR 中空纤维膜组件》国家标准（中英文）、MABR 污水处理技术规程团体标准、MABR 河道净化工艺标准团体标准；获得国内国际授权专利 70 余项；技术产品已广泛应用于我国 50 多个城市的水环境治理。

17.2 技术成果简介

17.2.1 技术成果名称和领域

技术成果名称：MABR 地表水体净化技术

技术领域：生态环境保护

17.2.2 技术成果来源

天津市科技计划项目，EHBR 河湖水体净化技术应用研究，18YFJLCG00100。相关发明专利如下：

专 利 号：2014100042521；2018215416403；2018213908795；201821380224X；2018205987314；201920095704X；2018218446006；2018214609466；2018214607193；2018220305167；2018220309223；2018222057335；201822212257X；2018222056347；2018213879472；2018222056332；2019201167414；2018221537462；2019200394904；2019200947461；2018222102646；2018222102504；2018213908808；201821460949X；2018207967480；2019217339961。

17.3 技术内容

17.3.1 技术原理及工艺流程

1. 技术原理

MABR（膜曝气生物膜反应器，商业名称 EHBR）是一种有机地融合了气体膜技术和生物膜技术的新型污水处理技术。微生物膜附着生长在透氧中空纤维膜表面，污水在中空纤维膜周围流动时，水体中的污染物在浓差驱动和微生物吸附等作用下进入生物膜内，经过生物代谢和增殖被微生物利用，使水体中的污染物同化为微生物菌体固定在生物膜上或分解成无机代谢产物，从而实现对水体的净化，是一种人工强化的生态水处理技术，能使河湖水体形成一个具备自我修复功能的自净化水生态系统。MABR 具有常规水处理技术无法比及的技术优势、工程优势、成本优势和运行管理优势。

图 2-17-1 为 MABR 工艺原理图，氧气和污染物分别在生物膜的两侧向生物膜内传递扩

散并被逐渐消耗, 构筑了 MABR 生物膜特有的分层结构。

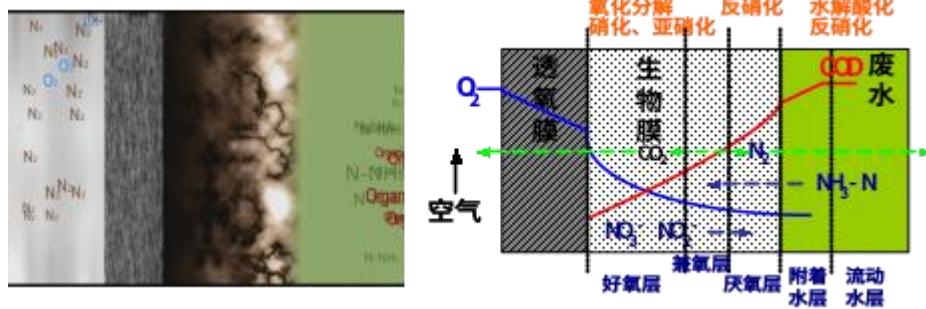


图 2-17-1 MABR 工艺原理示意图

2. 工艺流程

MABR 地表水污染治理工艺系统包括三种：帘状固定式、浮岛式以及旁路治理，分别适用于不同工况条件的水体环境。

(1) 对于流动的河道，采用帘状固定式膜净化系统。固定在支架上的 MABR 膜组件之间通过气管串联，膜组件直接铺设固定在河底，原位净化水体，不增加任何土建，持续降解水体中的 COD、氨氮等污染物。

(2) 对于大面积水域（如湖泊、水库等），采用浮岛式膜净化系统，依靠浮体浮力漂浮于水面，按照系统服务面积布设，提高水体透明度、增加水体溶解氧、提升水质。

(3) 对于流速大于 1m/s 的河道，开挖边渠或利用已有渠塘，将 MABR 膜系统放置在边渠中，河道水引入边渠治理后再排入原河道。

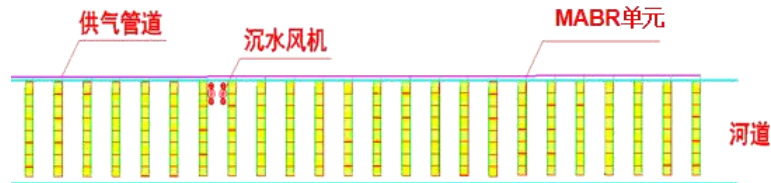


图 2-17-2 帘式 MABR 膜单元安装示意图

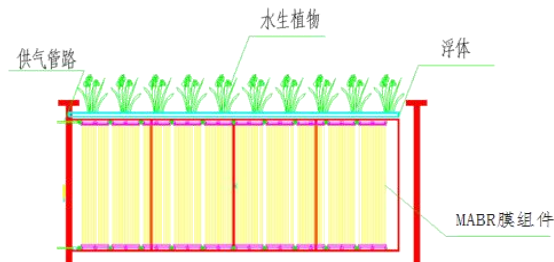


图 2-17-3 浮动式 MABR 单元安装示意图

17.3.2 技术成果适用性分析

MABR 地表水污染治理技术适用于河道、湖泊、水库等黑臭及劣五类水体净化，对于高流速及行洪河道建议采用旁路治理模式，通常要求水深大于 0.8 m。

17.3.3 技术创新性及先进性

目前已掌握 MABR 核心技术的国家包括中国（天津海之凰科技）、法国（苏伊士水务）

和美国（杜邦公司、富朗世集团）等少数国家。在应用方面，苏伊士、杜邦以及富朗世三家企业多数处于传统污水处理领域实验及中试研究阶段，部分开始工程应用测试，还没有进入大型项目示范阶段，没有涉及在地表水体原位治理中的商业应用。

天津海之凰科技有限公司是全球最早研制出并规模化制造 MABR 中空纤维膜与膜组件的科技企业，也是国内 MABR 膜生产规模最大、应用案例最多、技术力量最强的企业。公司主持编写了“MABR 中空纤维膜组件”国家标准（已发布），技术水平据国内领先地位（专业机构鉴定）。

17.4 节能减碳或污染防治效果

（1）循环利用：MABR 系统处理后的水体可以用于各种环境需求，如城市景观用水、工业生产循环用水以及农业灌溉。

（2）提高水资源利用率：污水循环利用有助于节约淡水资源，减少对地下水和河流的开采，有利于水资源的可持续利用。

（3）节能低碳：MABR 耦合了气体膜技术与生物膜技术，比传统生物处理系统更节能高效。通过间歇曝气和调整生物膜厚度均匀化，可缓解 N_2O 的排放，减小污水处理碳足迹。MABR 技术供气设备能耗较传统供气设备降低 40% 以上，同等治理条件下，AAO 工艺碳排放强度 $0.2798\text{kgCO}_2/\text{m}^3$ ，MABR 工艺碳排放强度 $0.2493\text{kgCO}_2/\text{m}^3$ ，MABR 技术可减少碳排放 10% 以上。

17.5 技术示范情况

实例名称：东排明渠人工强化水生态修复项目

业主单位：天津经济技术开发区建设和交通局

项目地址：工程位于天津经济技术开发区东区，本次治理段起于第八大街和滨海高速交口东侧，止于天津新港海关办公楼后。

验收时间：2020 年 5 月 20 日

投资总额：732 万元

实例规模：河道长约 2.3 公里，水面宽度约为 25~40 m，边坡比约为 2:1~1:1，水深 1~3 米。

建设时间：2020 年 3 月 20 日-2020 年 4 月 30 日

运营时间：2020 年 4 月 30 日至今

技术应用：MABR 技术

建设内容：根据东排明渠水质特点，治理段 2300m 范围内 MABR 膜单元共布置 300 组。

关键设备：MABR 膜组件 2140*210mm，沉水风机 $7.5\text{m}^3/\text{min}$ ，50KPa，11kw

运行效果：治理后水体主要指标（COD、氨氮和溶解氧）达到《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）V 类标准：COD $\leq 40\text{mg/L}$ ，氨氮 $\leq 2\text{mg/L}$ ，溶解氧 $\geq 2\text{mg/L}$ 。

运行成本：①电费：运行功率为 22KW，按照 1 元每度电计算，运行系数 0.8，每天电费为 422 元/d；②人员工资：两人运行管理，每人工资 200 元/d，共需 400 元/d；③维修管理费：按照年维修管理费用为总投资的 2% 计算，约 401 元/天；④综合核算运营成本为： $(422+400+401)\text{元}/70000\text{m}^2=0.017\text{元}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ 。



图 2-17-4 MABR 膜组件



图 2-17-5 MABR 系统施工现场图片

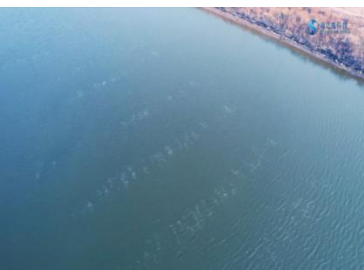


图 2-17-6 东排明渠治理后图片

17.6 成果转化推广前景

17.6.1 技术推广前景

MABR 地表水污染治理技术在改善水环境的同时，能够节省大量宝贵的水资源。该技术已经完成了多项工程的建设和运行，具备完善的工艺路线设计及系统集成。其产品及装置和系统已在水环境领域得到了推广应用。2021 年该技术成果鉴定获得国际领先水平，具有很高的性价比和很强的市场竞争力。到 2025 年，力争在膜产品设计和规模化生产、膜应用技术开发和大型工程实施、服务质量、品牌认知度、市场份额等方面在国内外市场具领先优势，为水污染防治领域提供成熟稳定先进可行的技术支撑。

该技术应用范围广泛，可用于各类地表水体治理、面源污染治理、流域环境综合治理等，符合国家绿色低碳政策，推广应用和产业化前景广阔。

17.6.2 技术推广障碍及应对措施

作为一个新的技术进入市场，需要一个市场培育和市场接受期，因而存在着一定的市场风险。但本技术因应市场需求而开发，市场需求度高，采取适当的市场营销策略，可将市场培育和市场接受期缩到最短，降低风险。此外，由于技术含量高，因而进入的门槛也较高，短时期内不易形成大批跟进者竞争的局面，在相当长的时间内将保持该工程技术在市场上的领先性，因而短期内市场风险不大。另外，强化新一代技术与产品研发，保持领先性，有利于降低各种风险。

技术 18：水产养殖水体污染绿色防控技术

18.1 技术提供方

本技术提供方为天津市农业科学院。

天津市农业科学院是一个以应用研究为主、学科较齐全、优势突出、具有较强实力和地方特色的社会公益类综合性农业科研机构。本院设置有 13 个专业研究所和 5 个机关处室，拥有国家级观测站 1 个、工程中心 1 个、重点实验室 3 个，有省部级技术工程中心 10 个、重点实验室 3 个。建有占地 3000 亩的现代农业科技创新基地和占地 500 亩的现代畜牧业科技创新基地。主要研究领域包括作物遗传育种、农业生物技术、畜牧兽医、农业资源与环境、植物保护、蔬菜遗传育种、农产品质量安全与营养、农业信息、农产品保鲜与加工技术等。

农业资源与环境研究所，隶属于天津市农业科学院，本所在农村生态环境和废弃物处理资源化利用、农村生活垃圾和生活污水的处理、土壤微生物修复和养殖水体生物修复等方面取得了多项技术成果。其中，水体微生物团队针对水产养殖水体污染从减少污染源和降低污染物两个方面开展了绿色防控关键技术创新研究。

18.2 技术成果简介

18.2.1 技术成果名称和领域

技术成果名称：水产养殖水体污染绿色防控技术。

技术领域：水污染防治

水产养殖水体污染绿色防控技术包含饲料发酵技术和水质调控技术。饲料发酵技术采用微生物饲料发酵剂，以提高饲料的消化吸收率，减少污染源输入；水质调控技术利用微生态制剂降低水体中氨氮、亚硝态氮、有机质等污染物含量，净化水质，改善养殖环境。本技术成果可用于海、淡水养殖环境的外塘、工厂化养殖车间水体污染防控。

18.2.2 技术成果来源

技术成果主要来源如下：

- （1）天津市科技局，重大专项与工程项目“南美白对虾新型微生物饲料发酵剂的研发”（17ZXYENC00070）
- （2）天津市科技局，重点研发项目“养殖水体高效修复微生态制剂工业生产技术研究”（16YFZCNC00670）
- （3）天津市科技局，企业特派员项目“异养硝化好氧反硝化脱氮菌的筛选及应用研究”（19JCTPJC57700）；
- （4）天津市农业科学院，青年科学人员创新基金项目“利用原生质体诱变、融合技术选育高生物量、高蛋白小球藻新品系”（2018007）。

该技术目前已授权发明专利 3 项，实用新型专利 1 项，具体如下：

表 2-18-1 相关成果及知识产权情况

序号	类型	名称
1	发明专利	一种希氏乳杆菌及其应用，ZL202010939069.6
2	发明专利	一株小球藻 <i>Chlorella sorokiniana</i> TX 及其高密度快速培养方法，ZL201910065782.X

序号	类型	名称
3	发明专利	一株同步硝化反硝化枯草芽胞杆菌 K8 及其应用, ZL202010939007.5
4	实用新型专利	一种小球藻高浓度半开放连续培养装置 ZL201921013400.0

18.3 技术内容

18.3.1 技术原理及工艺流程

本技术原理：微生物饲料发酵剂是利用微生物的生长和代谢活动降解底物中难以被消化吸收的大分子物质，生成有机酸、可溶性多肽等小分子物质，从而形成营养丰富、适口性好、活菌含量高的生物饲料。微生物水质调控剂是利用微生物的生长和代谢活动，分解残余饵料、死亡的藻类和粪便等代谢废物，转化氮素、抑制病原微生物，维持养殖环境水质稳定。工艺流程如下：在大规模优良微生物种资源筛选与改良的基础上，以降低饵料系数及水体环境中的氮源污染物为目标，研发饲料发酵剂、水质调控剂；降低成本、提高产品质量为目的，研发微生态制剂的发酵工艺，完善工业化生产技术；以提高微生态制剂使用效果的稳定性为目标，研究微生态制剂配套使用技术；微生态制剂及配套的生产和使用技术在生产上示范应用，达到防止水体富营养化、提高养殖效益、促进无公害水产品生产、保护生态环境的目的，为水产养殖健康可持续发展提供技术支撑。

本技术成果的核心是发明了光合细菌、小球藻、乳酸菌、EM 菌（由酵母菌和乳酸菌组成）的简易规模化生产技术。光合细菌连续规模生产技术：利用玻璃缸或大型筒状透明塑料薄膜作为发酵容器，一次性接入菌种和培养基，自然光照培养 7~10 d 即可。该技术不受生产场地、设备、能源限制，可节省生产成本 70%以上，生产的光合细菌有效活菌数达到 2.0×10^9 CFU/mL 以上。小球藻半开放高密度培养技术：开放条件下利用玻璃缸或透光性强的容器，接入藻种和培养基，自然光源培养 4~5 d，生长周期缩短一半以上，藻细胞浓度可达 9.9×10^7 cells/mL，藻细胞浓度高于市售产品的 1 倍以上，生产成本节约 35%以上。乳酸菌（EM 菌）规模发酵技术：将培养基的 10 倍浓缩液 115 °C 灭菌 20 min，分装到盖上带气阀的塑料桶中，以发酵罐培养的发酵液作为菌种，接种量 10%左右，接种后补满自来水，室温（25°C~30°C）下发酵 1~2 d，无杂菌污染。

18.3.2 技术成果适用性分析

本技术适用于水产养殖行业。微生态制剂的规模生产技术不受场地和设备限制，只需要洁净的水源和空旷的场地，养殖户、技术人员利用简易设备在养殖池边就能实现微生态制剂的规模生产。本技术特定的条件限制：需利用本单位自主选育的高效种质资源及研发的配套培养基配方和发酵工艺。

18.3.3 技术创新性及先进性

项目组针对养殖水体污染从减少污染源和降低污染物两个方面开展了绿色防控关键技术创新研究，取得以下成果：

（1）选育出高效水体污染防治的专用菌、藻种质资源

创建了 1 个拥有 592 份水体污染防治专用菌藻种质的资源库，选育出高效饲料发酵种质 9 份，水质调控种质 15 份。其中，小球藻 TX，能将水体中氨氮和硝态氮转化成藻细胞蛋白，蛋白含量高达 67.16%，为一种优质天然饵料；门多萨假单胞菌 X49，具异养硝化好氧反硝

化功能，氨氮去除速率高达 26.39 mg/(N·L·h)；枯草芽胞杆菌 K8，具同步硝化反硝化特性，24 h 对 50 mg/L 氨氮和 12.5 mg/L 亚硝态氮混合氮源去除率分别达 89.1%和 100%；希氏乳杆菌 RX，具净化水质和饲料发酵双重功效。选育的高效种质缓解了行业种质匮乏、防控效果差的局面。

（2）创制出两大系列代表性水体污染绿色防控制剂

基于自建库种质资源研发出饲料发酵剂 3 种、水质调控剂 5 种。饲料发酵剂使饲料总酚和氨基酸含量分别提高 6.58%和 6.63%，养殖生物消化酶活性提高 5.43%以上，饵料系数降低 21.1%；水质调控剂 24 h 对氨氮、亚硝态氮去除率达 89%以上，突破饲料利用率低、微生物修复效果慢的技术难点。

（3）颁布实施生态型高效制剂生产与使用技术地方标准

率先颁布实施了微生态制剂生产与使用技术地方标准 5 套，使生产成本降低 35%以上，菌种浓度高于国标 10 倍以上，攻克了规模生产易污染、有效活菌浓度低、成本高等关键技术瓶颈，引领行业生产标准化。

（4）首次提出一种防控协同发力的养殖水体污染绿色治理策略

该策略选用饲料发酵剂提高饲料利用率，减少污染源输入；择用水质调控剂净化水质，降低污染物含量，实现防控协同发力，改善养殖生态环境，提高水产品产量和品质，促进水产养殖产业绿色升级。

天津市科学技术评价中心组织专家对技术成果进行了评价，专家组一致认为该项目研制的饲料发酵、水质调控等微生态制剂及配套技术，很好地解决了水产微生态制剂选育效率低、高菌种资源缺乏、标准化生产技术和使用技术缺失等问题，攻克了水产微生态制剂有效活菌浓度低、饲料利用率低、水体污染物降解速度慢、效率低等技术难点，技术成果总体达到国际先进水平。

18.4 节能减碳或污染防治效果

本技术主要通过饲料发酵剂提高饲料利用率，降低污染源输入和利用水质调控剂净化水质，减少污染物含量。饲料发酵剂可使饲料中总酚、氨基酸和总蛋白较对照分别提高 6.58%、6.63%和 5.12%以上。田间饲喂效果评价发现，投喂发酵饲料南美白对虾消化道中蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶活性较对照提高 5.43%以上，血液中溶菌酶、酚氧化酶和超氧化物歧化酶活性分别较对照提高 23.1%、22.3%和 23.2%，碱性磷酸酶活性提高 104.1%，饵料系数降低 21.1%，产量提高 10.6%，说明饲料转化率大幅提升，残剩于水体中饲料大量减少，从源头上有效降低了污染物的输入，利于养殖水体的污染防治。水质调控剂中的反硝化细菌、芽胞杆菌、乳酸菌、小球藻和 EM 菌，均表现出高效的脱氮效果。在室内模拟水体中，24 h 对亚硝态氮、氨氮，去除率分别达 90%、89%以上。田间应用效果也比较突出，芽胞杆菌可使水体中亚硝态氮含量逐渐降低，同时可使氨氮维持在一个较低的水平；乳酸菌对亚硝态氮也表现出较好的去除效果，EM 菌则能高效去除水体中氨氮和亚硝态氮，使水体亚硝态氮和氨氮一直到试验后期，维持在一个较低的水平，水体中的 pH 值也比较稳定。

18.5 技术示范情况

（一）光合细菌简易规模化生产技术

本技术成果不需要特殊设备，利用自然光照作为能源，生产过程中节约能源 70%以上，本技术成果绿色环保，无二次污染。工艺流程如下：

- (1) 场地：选择光照好无遮阴的平坦空旷地带。
- (2) 容器：一般为大型筒状塑料布，双层，长 5-6 米，宽 2 米左右。或者干净的白色塑料桶。
- (3) 水源：可饮用的干净的深井水，自来水。
- (4) 将白色双层塑料布铺在地上，系紧一头，另一头加入培养基，同时放干净水，将膏用热水化开，加入到塑料袋中，加入菌种 150kg 左右，补水 1 吨，系紧另一头。将两头抬起。
- (5) 在阳光下暴晒 7-10 晴天，如有阴天，适当延长时间。平时注意观察，防止渗漏。
- (6) 发酵好后会成长成深红色的成品，细胞浓度达到 20-30 亿/毫升，具有淡海腥味。可以使用其中的四分之三到五分之四，剩余的再当菌种，继续加入培养基和水，进行下一次培养。

(二) 小球藻高密度连续扩培技术

本技术成果不需要特殊设备，利用自然光照作为能源，生产过程中节约能源 35%以上，本技术成果绿色环保，无二次污染。工艺流程如下：

- (1) 藻种：小球藻藻种为本土分离，经过原生质体诱变和融合，其生长速度提高 1 倍以上，藻液浓度可达到 0.9 亿/毫升。
- (2) 规模生产技术要点：
 - a. 选择干净的 1 吨白色透明容器，取小球藻培养基溶解，共加干净水 900 公斤。
 - b. 接种小球藻藻种 100 公斤，接种量为 10%。
 - c. 用干净纱布密封，在散射光下曝气生长 3-4 天。
 - d. 生长完成后会长成深绿色的成品藻液，细胞浓度达到 0.9 亿/毫升。容器中留五分之一作为藻种，继续加入培养基和水，进行下一次培养，实现连续培养。

光合细菌简易规模化生产技术和小球藻高密度连续扩培技术已在天津民生淡水鱼养殖专业合作社、唐山市丰南区福盛育苗场、辽宁鼎盛达原生态种养殖专业合作社等多个养殖公司和个体养殖户推广和使用。使用技术成果的单位和个人按照技术流程进行扩培，均成功获得了高浓度的菌液和藻液。使用技术成果后，池塘、养殖车间的氨氮和亚硝态氮保持在较低水平，水质比较稳定，鱼虾摄食活跃，养殖期间无需换水，饵料系数也大幅降低。技术成果的应用同时减少了抗生素、消毒剂等化学药品的投入，降低了养殖尾水排放对环境造成污染的风险，达到了养殖水体污染的绿色防控目标，生产的水产品品质也得到了提升。

18.6 成果转化推广前景

18.6.1 技术推广前景

国内水产微生态制剂虽然起步较晚，但发展比较快，养殖户从一开始持怀疑态度，到现在普遍接受和使用。一些养殖技术比较先进的地区，尤其是集约化高密度养殖区域，在整个养殖周期均会使用微生态制剂来改善养殖环境。本技术成果自 2012 年起在生产上推广和使用，经过十几年的发展和技术更新，目前已经在津、冀、辽、鲁、苏等地推广和使用。本技

术与市场上的同类技术相比具有以下优势：一是菌种资源均来源于水产养殖环境或养殖生物肠道，定植能力强、针对性强；二是研发的制剂经过严苛的效果评价，效果稳定；三是对制剂的配套发酵技术和使用技术进行了研究，保证了有效活菌浓度和使用效果。本技术的成熟度高、针对性强，下一步加大宣传和推广力度，加强与企业合作，有望在 2025 年在本市的应用面积达到 30%以上，将饲料的蛋白利用率提高 1 倍以上。饲料中大约只有 20%~30%的氮和 15%~30%左右的磷能被水生物利用，其余的则会排入水中。天津现有养殖面积约 35 万亩，养殖产量约 24.7 万吨，饵料系数按 1.3 计，需要饲料约 32.11 万吨。如提高饲料利用率，将饵料系数降至 1.0，则可节约饲料 7.41 万吨，可节约 4149.6 吨氮排放，741 吨磷排放。

18.6.2 技术推广障碍及应对措施

近两年由于消费市场疲软加上进口水产品的冲击，水产养殖大环境不理想，养殖户在养殖水体污染防治上的投入减少，导致本技术成果的推广受到限制。应对措施：一是通过发明微生态制剂的简易规模化生产技术来降低生产成本，从而降低用户的使用成本；二是通过技术服务和技术培训，使养殖户熟练掌握微生态制剂扩培技术，提高扩培菌剂的质量，从而降低单位面积的使用成本。

C、现代海洋技术

技术 19：疏浚工程泥沙扩散实时监测方法

19.1 技术提供方

本技术提供方为天津筑航检测科技有限公司。

天津筑航检测科技有限公司是由天津市建筑设计研究院有限公司和中交天津航道局有限公司共同出资组建的合资公司。服务领域涵盖试验检测、结构监测、水环境监测、测绘业务、城市更新、工程质量咨询等。

公司技术经验丰富，人才队伍坚实，中高级职称人员占比达 80%以上，拥有专业技术人员 50 余人，一级注册结构工程师 1 人，各类检测师 40 余人。公司实验室占地面积 2700 m²，配备各类国内外先进的分析、检测试验仪器 500 余套。同时，与中科院、中国海洋大学、自然资源部第一海洋研究所等国内知名院校长期保持“产学研”合作关系，联合开展新材料、新工艺、新装备的设计研发，并不断扩大创新成果共享，实现产业链、创新链、价值链的深度融合，公司现已有专利 16 项。

公司拥有国家检验检测机构资质认定证书（CMA）、公路水运工程试验检测机构乙级资质（水运材料、水运结构）、建设工程质量检测机构资质证书、水利工程质量检测乙级资质、乙级测绘资质、ISO 管理体系认证，是一家集检测、监测、测绘、咨询、运维为一体的综合性服务商。

19.2 技术成果简介

19.2.1 技术成果名称和领域

技术成果名称：疏浚工程泥沙扩散实时监测方法

技术领域：海洋污染防治及资源化、环境监测与监控

19.2.2 技术成果来源

伊拉克 AL Faw 港航道疏浚项目

19.3 技术内容

19.3.1 技术原理及工艺流程

泥沙扩散实时监测：采用实时浊度监测技术，结合分层搭载传感器的海洋浮标、双频测深仪等先进设备，对疏浚过程中产生的悬浮泥沙层进行全方位、动态监测。通过实时监测数据，掌握泥沙扩散的范围、速度和浓度变化，确保弃土作业对弃土区及周边敏感区域的海床影响在可控范围内。

淤泥流变特性原位监测：利用 RheoTune 音差密度仪等原位监测设备，对淤泥的粘度和屈服应力进行实时测量，并给出纵深剖面梯度变化曲线，更为全面的给出疏浚土倾倒活动时弃土经历悬浮、输送扩散、絮凝、再悬浮或固结这一完成阶段时的全过程数据。

粘性疏浚弃土运动特性研究：基于实时监测数据，运用数学模型和数值模拟方法，通过立体式布设监控点位的监测数据，结合全疏浚施工周期下的船舶日报和潮汐数据，系统分析

疏浚工程倾倒活动导致的泥沙含量变化规律。对粘性疏浚弃土在水域中的运动特性进行深入研究,包括弃土的扩散路径、沉积模式、固结速率等,为制定科学合理的防控措施提供理论依据。

工程手段防控疏浚弃土扩散:根据监测数据和研究成果,提出并实施一系列工程手段,如优化抛泥区选址、调整疏浚作业参数、设置挡沙设施等,以有效控制疏浚弃土的扩散范围,保护周边海洋环境。

主要工艺流程如下:

前期准备:选定研究区域,明确监测目标和任务。准备监测设备,包括海洋监测浮标、双频测深仪、RheoTune 音差密度仪、污泥浓度电极等。制定详细的监测方案,包括监测点位布置、监测频次、数据记录和分析方法等。

设备安装与调试:在选定的监测点位安装监测设备,确保设备正常运行。对监测设备进行调试和校准,确保数据准确可靠。

实时监测与数据采集:启动监测设备,对疏浚过程中的悬浮泥沙层、淤泥流变特性等进行实时监测。实时收集监测数据,并进行初步处理和分析。

数据分析与研究:对采集到的监测数据进行深入分析,研究泥沙扩散和沉降固结特性。运用数学模型和数值模拟方法,对粘性疏浚弃土的运动特性进行模拟预测。

制定防控措施:根据研究成果,提出科学合理的防控疏浚弃土扩散的工程手段。制定详细的实施计划,明确各项措施的具体操作步骤和时间节点。

实施与验证:按照实施计划,逐一落实各项防控措施。对实施效果进行持续监测和评估,确保防控效果达到预期目标。

总结与反馈:对整个研究过程进行总结,提炼研究成果和经验教训,为类似工程提供借鉴和参考。

19.3.2 技术成果适用性分析

(1) 运行规模:该技术成果适用于不同规模的疏浚工程项目,从小型港口扩建到大型航道疏浚均可应用。然而,在实际应用中,需要根据项目的具体规模和复杂度调整监测方案、仪器设备的配置以及数据处理的方法,以确保监测数据的准确性和可靠性。

(2) 物料性质限定:技术主要关注泥沙的扩散和沉降固结特性,因此对泥沙的物理和化学性质有一定的要求。不同地区的泥沙特性可能存在显著差异,包括粒径分布、比重、含泥量等,这些因素会影响泥沙的扩散和沉降行为。因此,在应用该技术时,需要对泥沙的物料性质进行详细的分析和测试,以便制定合适的监测方案和数据处理方法。

(3) 与上下游技术间的特定匹配关系:该技术成果作为疏浚工程中的一重要监测手段,需要与仪器设备供应、疏浚施工、航道维护等上下游技术紧密配合。在施工过程中,需要确保监测设备的安装和运行不会干扰正常的疏浚作业;同时,监测数据也需要及时反馈给施工和相关部门,以便及时调整施工方案和维护策略。

(4) 产品技术使用环境要求:技术成果的应用需要满足一定的环境要求。例如,在海上作业时,需要考虑到风浪、潮汐等自然因素对监测设备的影响;在港口或航道等特定区域内,还需要考虑到船舶航行、船舶排放等人为因素对监测数据的影响。因此,在应用该技术

时，需要充分评估环境因素的影响，并采取相应的措施来减少干扰和误差。

(5) 特定的地理条件：该技术成果适用于多种地理条件下的疏浚工程项目，包括河口、海湾、近海等区域。然而，在不同的地理条件下，泥沙的扩散和沉降行为可能存在显著差异。因此，在应用该技术时，需要根据具体的地理条件调整监测方案和数据处理方法，以确保监测结果的准确性和可靠性。

19.3.3 技术创新性及先进性

1. 实时监测方法与装备支持：本项目在疏浚工程泥沙扩散的实时监测上，采用了先进的传感器技术和自动化监测平台，实现了对泥沙扩散过程的实时、连续监测。这一创新不仅提高了监测数据的准确性和时效性，还为后续的数据分析和模型验证提供了有力支持。

2. 淤泥流变特性原位监测：针对淤泥流变特性的原位监测，项目引入了高精度的仪器设备，能够在不破坏原有淤泥层结构的情况下，准确测量其流变参数。这种原位监测方法相较于传统的取样分析方法，具有更高的精度和更低的误差。且该监测方法为疏浚行业首次应用，同时在疏浚领域也具备较高的工程推广价值。

3. 防控疏浚弃土扩散的工程手段：项目提出了多种防控疏浚弃土扩散的工程手段，如优化抛泥区位置、设置防扩散屏障等。这些手段基于实时监测数据和研究成果，具有针对性和实效性。同时，项目还考虑了不同工程条件 and 环境因素，提出了综合防控策略，进一步提高了技术成果的先进性和适用性。

19.4 节能减碳或污染防治效果

疏浚工程实施期间，挖泥船对土体的扰动和弃土倾倒时，会形成大量的泥沙悬浮物，对附近海域的海洋沉积物质量、水深地形（包括海底覆盖层厚度、覆盖物的物理性质）、海水水质（光照度下降，COD、重金属、叶绿素等）均产生了一定的影响，这些变化对海洋生物群落结构，特别是浮游生物、底栖生物多样性和生物数量将产生直接影响，部分鱼类也会因生态系统的改变和水质的变化受到影响，严重的还会危及到保护物种。

本项目通过实时监测和数据分析，得到疏浚工程中被扰动泥沙和倾倒疏浚土的运动特性，能够及时发现潜在的污染风险，并采取相应的防治措施，如调整抛泥区位置、优化疏浚方式等，最大限度地减少海洋环境污染，对保护海洋生态环境具有重要的现实意义。

19.5 技术示范情况

（一）案例概况：

案例名称：伊拉克法奥港项目，该项目位于伊拉克南部城市巴士拉，巴士拉是伊拉克唯一临海城市，离乌姆盖萨尔港约 50 公里，位置位于东经 48.61，北纬 29.86。

工程规模：工程主要对法奥港码头基槽、港池航道以及祖拜尔沉管隧道进行疏浚开挖，其中法奥港疏浚包总工程量约 10673 万 m^3 ，祖拜尔隧道沟渠疏浚包工程量约 260 万 m^3 ，总工程量约 10933 万 m^3 。

建设条件：基槽/港池/航道区域土质情况，根据所提供岩土勘探报告，码头基槽区域无钻孔资料，需参考港池区域内土质，港池和航道区域内总共有 6 个钻孔点（SBH-02/04/09/CPTU-02/03/04），其中 3 个钻点为静力触探实验，各钻孔点位置分布如下图：

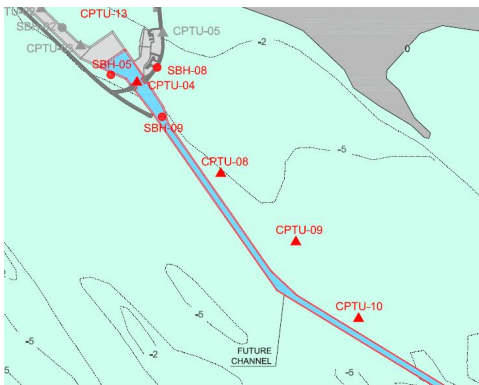


图 2-19-1 钻孔点位置图

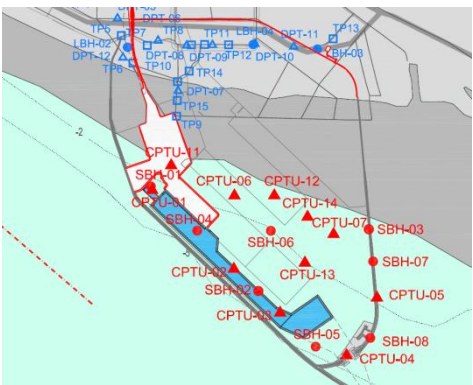


图 2-19-2 港池/航道钻孔平面位置图

根据钻孔土质分析，各施工区域内有主要存在 A2-1、A2-2、A2-3、B 四个土层，各土层描述如下：

表 2-19-1 土层厚度及描述

土层	泥层厚度	标贯	土质描述
A2-1	4	N<5	软黏土/黏质粉土，略有固结
A2-2	7	N<5	粉质黏土/黏土粉砂，存在非常薄的细砂层，中度固结
A2-3	6	N<10	粉质黏土/黏土粉砂，存在薄薄的砂层，从中度固结到正常固结
B	3	N<30	砂，粉质砂和粉质黏土，存在分散的泥炭层

投入运行时间：2023 年 7 月

项目验收情况：正在运行中

项目验收单位：DAEWOO Engineering &Construction

案例地址：伊拉克法奥港

（二）工艺流程及设备主要参数

（1）抛泥区悬浮沉积物浓度监测

1.1 监测对象：耙吸船施工期间在用的抛泥区、疏浚航道。

1.2 监测设备：自动监测平台 9 套、MIK-PTU-8011 型浊度仪传感器。

1.3 监测点布置：监测位置为每个抛泥区的边角上，每个抛泥区布设 4 个监测点；为保证浊度仪能够在靠近海床的位置进行测量，每个监测点水样有 4 个采集深度，分别为海床往上 1m-3m、5m-7m、9m-11m、20m-24m。

1.4 监测频率：每 10 分钟记录一次数据，并实时传输至陆地端。

1.5 监测方法：

1.5.1 自动监测平台安放：使用起锚艇将自动监测平台托运至弃土区，使用 RTK 定位找到并确定安放位置。将浮体吊送至水面，将定位锚拖至偏向抛泥区的一侧下放。根据线缆长度记录浊度仪传感器的下放深度。

1.5.2 建立浊度—悬浮物浓度转换关系

OBS 法测量得到的数值是水体悬浮颗粒的浊度值，这种浊度值校准在仪器出厂时已经进行过严格的校正。他通常是用 4000NTU 的浊度校准液，通过稀释而得到不同的浊度校准。由 OBS 法测量得到的数据是一个浊度值，需要经过泥沙校准才能得到水体泥沙实际浓度值。

通过测量时与 OBS 同步采集水样，然后测定现场采集水的含沙浓度，再对 OBS 浊度进行标定，通常采取垂线测量取样的方法，即将 OBS 放入不同水深的水体中，用实时观测的方法测量，每一层保持 20-30 秒时间；在同一水深采集水样，称重可得到一组相应泥沙的实际值，然后用回归法对所测得到浊度值进行标定。在一个全潮周期内作两次采样标定，因为涨急和转流时泥沙颗粒组成和浓度有很大差异，而粒径对 OBS 浊度值测量影响较大。抛泥作业开始后，由于泥沙比例发生变化，泥沙粒径随时间发生变化，在自然状态下测得的数据就会不那么准确，因此，应再次校准浊度值，以保证建立的回归模型处于更为精准的状态。同时，抛泥开始后的前 6 个月每月都应该对浊度仪进行一次校准，6 个月后每 3 个月进行一次校准。



图 2-19-3 水样采集器

1.5.3 日常维护

项目开展后，我单位将对移动监测站进行日常维护与定期巡检，以确保监测工作的稳定、连续运行。日常维护与定期巡检是确保系统正常运行、保证测量精度、提升系统使用寿命、延长无故障时间等的重要工作内容。本系统的日常维护与定期巡检主要包括以下几项重要内容：

（1）备用设备及器材的配备

海上环境极为复杂，设备及相关部件均有可能出现异常或损坏情况，因此，对于浮标体、各类观测传感器、北斗通讯机、数据采集器、耐压电池包等长期使用部件，均按 1.3-2.0 的比例配备一定数量的备件，以应对现场观测站工作异常时的应急部件更换。

（2）定期能源系统更换

定期更换能源系统是维持系统稳定长期运行的必需保障工作，本系统能源系统包括浮标体内电池更换、太阳能供电装置更换两项，根据电池包容量及设备耗电需求，拟每 3-4 个月进行一次电池更换工作，每次电池更换操作时间不超过 6 小时，更换时采用备用电池进行替换中转，尽量实现电池更换期间，数据缺失时间不超过 3 小时。

（3）定期设备维护

主要包括海生物附着的清除、换能器的清洁、水密部件的更换等，以确保观测数据的可靠性与准确性。潮位观测站的设备维护主要包括对观测站的安装进行加固处理、水浪井的防腐处理、海生物附着处理等。



图 2-19-4 清理浊度仪探头

(4) 定期现场检查

监测站的定期现场检查是定期对现场进行巡视检查，主要检查内容包括浮标体/平台的外观、仪器仓与设备井的外观检查，以及时发现浮标遭受意外碰撞、活动部位卡住、仪器仓变形进水等情况，避免观测数据的失常与系统故障情况。

1.5.4 数据输出

通过卫星通讯的实时传输，在地面工作站可以接收到浊度仪传感器通过自动监测平台送出的浊度仪编号、浊度值和记录时间数据，在终端设备上可以形成数据记录表格。进而将测量值与形态模型在同一位置、同一施工阶段的泥沙浓度输出值进行比较。

2. 抛泥区边界外泥面标高监测

2.1 监测对象：耙吸船施工期间在用的抛泥区（两个抛泥区同时使用）。

2.2 水深测线布置：抛泥区边界线、边界外 50m 线、边界外 100m 线。

2.3 采用双频单波束测深仪：高频不低于为 200 kHz，低频为 33 kHz 左右。

2.4 监测频率：抛泥开始后的前 6 个月每月监测一次，6 个月后每 3 个月进行一次测量。

2.5 测量方法

2.5.1 平面定位

外业测量时平面定位拟采用美国 Trimble SPS461 型 DGPS 信标机作为移动站，实时接收来自陆地 RTK 基站信号。在 HYPACK MAX 软件的支持下，实现定位数据采集。该套仪器的标称定位精度优于 0.25m+1ppm，按规范规定此仪器可满足水深测量定位需要。



图 2-19-5 美国 Trimble SPS461 型 DGPS 信标机

DGPS 信标机在工前需要在控制点上上进行稳定性比对，采集 1 个小时以上数据，内、外符合精度需达到标称精度和满足规范要求。

2.5.2 水深测量

基本要求如下：

①水深测量深度误差见表 2-19-2 所示。

表 2-19-2 水深测量深度误差允许值

项目	误差允许值	
水深范围（m）	$H \leq 20$	$H > 20$
深度误差限值（m）	± 0.2	$\pm 0.01H$

- ②采用海图式，基面以下为正，基面以上为负。
- ③测深应在风浪较小的情况下进行，当波高超过 0.4 米时应停止作业以保证测深精度。
- ④测量船的航速需控制在规定航速内。
- ⑤实测航迹线与设计测线的偏差不大于 5m。
- ⑥GPS 天线与测深仪换能器位置必须在同一铅垂线上。
- ⑦作业前测深仪要进行比测。
- ⑧高程系统要用水准测量进行比测。
- ⑨测量数据格式，测图比例及对外业原始资料的提交均按相关规范要求进行。

2.5.3 数据处理与成图

拟使用 HYPACK MAX 软件对外业采集的数据进行处理。将处理后的测量数据通过软件自动绘制水下断面图及水深图。整个过程无需人工干预，全部自动化，然后使用 CAD 出图。

3. 抛泥区边界外流变特性的监测

3.1 监测对象：耙吸船施工期间在用的抛泥区及使用完成的 3 个月内的抛泥区。

3.2 监测点布置：根据双频测深结果，浮泥/流泥泥层厚度高于 0.5m，每 1km 采集一次数据，长度低于 1km 采集 1 次。

3.3 监测频率：抛泥开始前 6 个月每月监测一次，6 个月后每 3 个月进行一次测量。

3.4 监测方法：

3.4.1 浮泥层厚度监测

应采用双频回声测深来描绘床层反射在高频和低频之间的电平差异，其中高频（210 kHz）在水和泥浆界面反射，低频（33 kHz）反映在密度较大的沉积物上。通过高频与低频反馈的测深数字信号不同，可以初步判定浮泥层的厚度。同时，还可以使用 STEMA 公司开发出的 SILAS 走航式适航水深测量系统，对测得的浮泥层厚度进行校正。其原理是 SILAS 可以采集到双频单波束的 Signal、TVG 和 Trigger 三种原始信号，利用双频测深仪的低频声波信号，声波到达海底后，部分声波被反射而另一部分声波将穿透海底。反射回波的信号强度取决于海底沉积层的密度变化。利用标定过的声源信号来记录反射信号的强度，则可以高精度地测定密度的梯度变化。再通过 Rheotune 进行单点密度测量，可以建立起绝对密度和反射强度之间的对应关系，从而确定整条剖面不同深度上的密度值和浮泥层厚度（密度值小于 1550 kg/m³ 的为浮泥）。

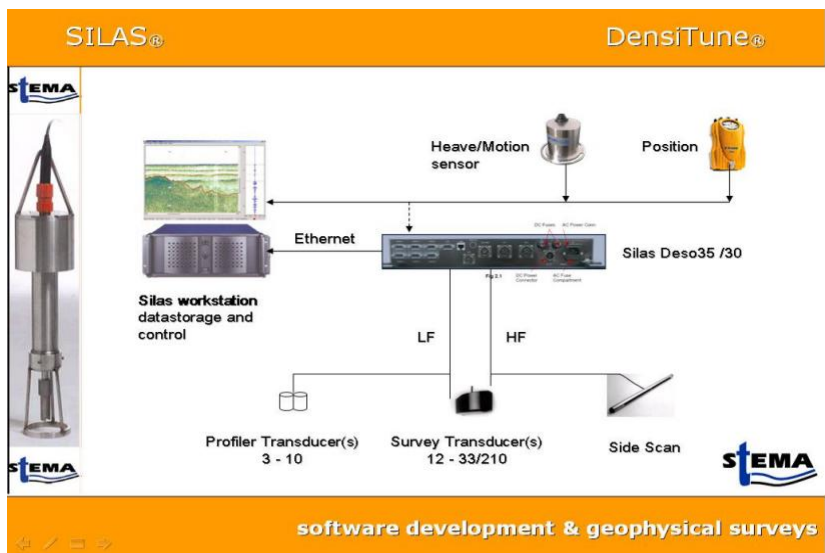


图 2-19-6 SILAS+Rheotune 工作原理

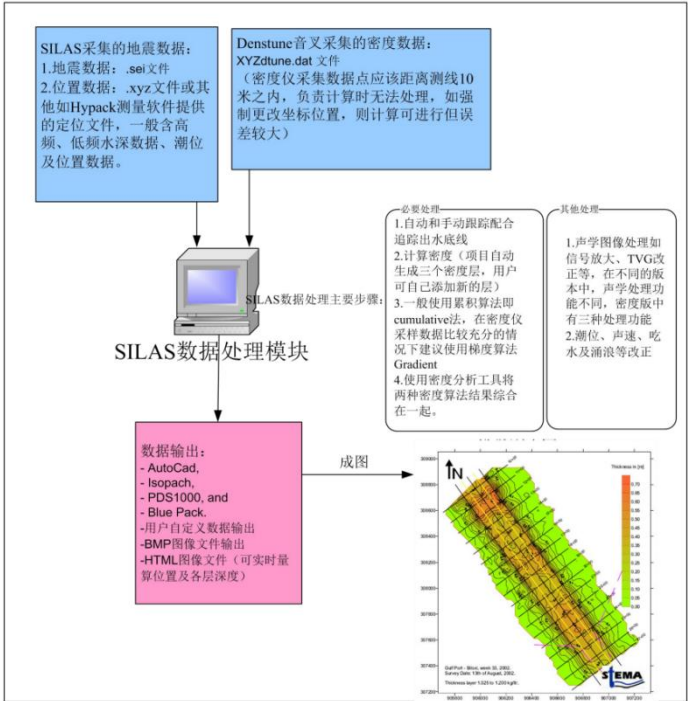


图 2-19-7 数据后处理展示

3.4.2 流变特性监测

对 Silas 模拟出的淤泥层厚度高于 0.5m 的边界区域，按照每 1km 布设 1 个监控点的方式，进行流变特性监测。其方法就是将 Rheotune 泥浆密度仪在选定地点垂直下放，进而得出该点位淤泥层特性（包括密度和粘度）的垂直分布。该测量将用于定义通过双频测量测量的低密度半流体泥浆厚度的特性，从而确定对流体动力作用不稳定的部分泥沙。同时，水深测量和流变特性调查的数据，将反映出抛泥区边界处在弃土作业影响下泥沙的沉降速率，该沉降速率结果需要与同一地区、同一施工阶段的数学模型结果进行比较。

4. 抛泥区内固结监测

4.1 监测对象：耙吸船施工期间在用的抛泥区（两个抛泥区同时使用）。

4.2 监测点布置：抛泥区内每 2km² 布设一个监控点，监测深度至在水流作用下不会再直

接悬扬的流塑淤泥层，密度为 1550-1700 kg/m³。

4.3 监测频率：每月进行一次监控测量，监测频率会根据施工进度实时调整。

4.4 监测方法

固结监测的方法与流变特性的监测方法相同。本次调查的初始结果将用于确定和验证最佳弃土方法，以便获得较高的初始密度值。此后，这些测量还要提供该防扩散系统的管理信息。

5. 仪器设备

表 2-19-3 仪器设备

序号	产品名称	规格型号	数量	单位	备注
1	自动监测平台	/	9	套	中国
2	浊度仪	MIK-PTU-8011	27	个	中国
3	双频单波束	STEMA	1	台	荷兰
4	GPS	Trimble SPS461		台	美国
5	RheoTune 泥浆密度仪	STEMA	1	台	荷兰
6	SILAS 数据处理软件	STEMA	1	套	荷兰
7	测量船	25m*5m	1	艘	带吊机

5.1 主要仪器介绍如下：

5.1.1 自动监测平台配置

表 2-19-4 自动监测平台配置

组成	规格	说明
一、浮体组件	直径 1.8 米，高度 0.7 米	表层采用模塑聚脲结合聚脲肋骨层制作，内部填充不吸水弹性泡沫材料，采用不锈钢骨架增强。防腐性能好、耐老化性强，耐挤压耐碰撞，储备浮力超过 900 公斤。设有两个直径 220mm 的仪器井，玻璃钢筒形结构，内部安装仪器固定组件。水下仪器固定采用扭转开启结构，固定可靠，易于维护。
二、电力组件		
1.太阳能板	高效 ETFE 柔性太阳能板，60 瓦 *4 块+35 瓦*1 块	60w 太阳能板竖直安装，1 块 35w 太阳能板水平安装；背板材质使用防风防浪防腐的玻璃钢板；加装 12 伏 20 安太阳能充电控制器
2.铅酸蓄电池	12V100AH	阀控式免维护 12V100AH 铅酸蓄电池，固定在蓄电池舱底部。
三、通讯组件		
1.通讯天线	4G 鞭状天线	安装在密封舱内
2.卫星通讯模块		
3.云服务器		
4.APP 及配套软件		数据接收及手机展示用
四、数据采集传输模块	RS485*2+RS232*2+模拟量*6+开关量*2+继电器输出*1	安装在密封舱上部，集成数据传输模块
五、锚缆模块		
锚链	16mm	适合水深 20 米
钢制锚	200kg	
六、监控模块组件		内置 GPS 定位、舱内环境监测、电源状态监测、开舱报警、浸水报警等模块。

组成	规格	说明
七、其他组件		
1.航标灯	YX-L180A	太阳能一体化 LED 航标灯，灯质符合 IALA 标准， 射程 3 海里
2.雷达反射器	YX-F320	安装在上部支架上部，反射面积大于 10 平方米
3.避雷系统		含铜制避雷针和避雷引线

5.1.2 浊度仪

表 2-19-5 浊度仪

规格	详细信息
测量范围	(0.01~4000)NTU
测量精度	小于测量值的±2%,或±0.1NTU,取大者
重复性	±2%
分辨率	(0.01~0.1)NTU,视不同量程而定
压力范围	≤0.4Mpa
流速	≤2.5m/s、8.2ft/s
传感器主要材料	机身：SUS316L/钛合金/PVC，上下盖：POM，线缆：PUR
供电电源	直流供电：12VDC
通讯输出	RS485 输出，MODBUS-RTU 通讯协议
工作温度	(0~45)℃(不结冰)
重量	1.65kg
防护等级	IP68/NEMA6P
电缆长度	标配 10 米电缆，可延长至 100 米

5.1.3 双频单波束测深仪

①频率

高频：100 kHz-1MHz；

低频：3.5 kHz-50kHz

②功率

输出高频：900 W RMS at 200 kHz

输出低频：2 RMS

③输入：110 or 220 V AC - 24 V DC, 120 W

接口：4xRS232，以太网接口

④输出

原始地震摆动(用户选择采样率)

数字化测深仪(预先设置回声测深仪)

实时密度等级(需要校准)

⑤传感器的选择

3-7 kHz

10-14 kHz

24/33 kHz

⑥垂直分辨率（取决于所选的频率和周期）

24 kHz 1 cycle < 10 cm

4 kHz 1 cycle < 40 cm

⑦穿透（取决于土壤类型和频率）

24 kHz:clay/mud,typical 5m

4 kHz:clay/mud,typical 10–20m

4 kHz:sand,typical 5m

5.1.4 RheoTune 泥浆密度仪

技术参数:
输出数据: 密度、屈服强度、粘度、干固体、温度、深度、物质分类。
密度:
精度: <1% (牛顿流体)
分辨率: 1g/l
量程: 800–1500g/l, 半流体物质, Bingham 屈服强度<1 kPa
1500-1800g/l, 半流体物质经过合适的校准
屈服强度 (Bingham):
精度: 屈应力的约 5%
分辨率: 1 Pa
量程: 0-500Pa
粘度:
精度: 取决于现场校准。粘度数据需要现场物质在实验室内通过旋转流变仪的测试获得。
分辨率: 1 Pa S
量程: 0-600 Pa S
温度:
精度: 2%FS
分辨率: 1 °C
量程: 0-60 °C
深度 (压力传感器):
精度: 0.25% FS
分辨率: 0.01m
量程: 0-60 m
壳体: 不锈钢叉 (IP68, 250m)
控制盒: 塑料, IP65
尺寸: 探头 75cm 长, 15cm 直径;
运输箱: 80x 58 x48cm
重量:
探头: 15kg(+9kg 配重可选),
运输: 35kg(不含其它重量)
电源: 110/220V AC, 35W
输出:
类型: UDP 和网络 (标准), WIFI 可选,
数据更新率: 20Hz



图 2-19-8 RheoTune 泥浆密度仪

(三) 应用效果

(1) 前期数值模拟研究的结论，对两个工程阶段的监测显示，港口港池每年增加超过 10 亿公斤，而进港航道北部地区每年增加近 30 亿公斤。据估计，港口港池 45%至 60%的沉积物沉降在作业区域内，低于-10mCD。

在抛泥区以外的任何地方，包括抛泥区边缘 200 米以内的区域，淤积深度不得超过 0.3 米，此时抛泥活动对海洋底栖生物的影响在可接受范围内；抛泥区边界区域 SSC 阈值为 500mg/L，此时抛泥活动对海洋鳃类生物的影响在可接受范围内。

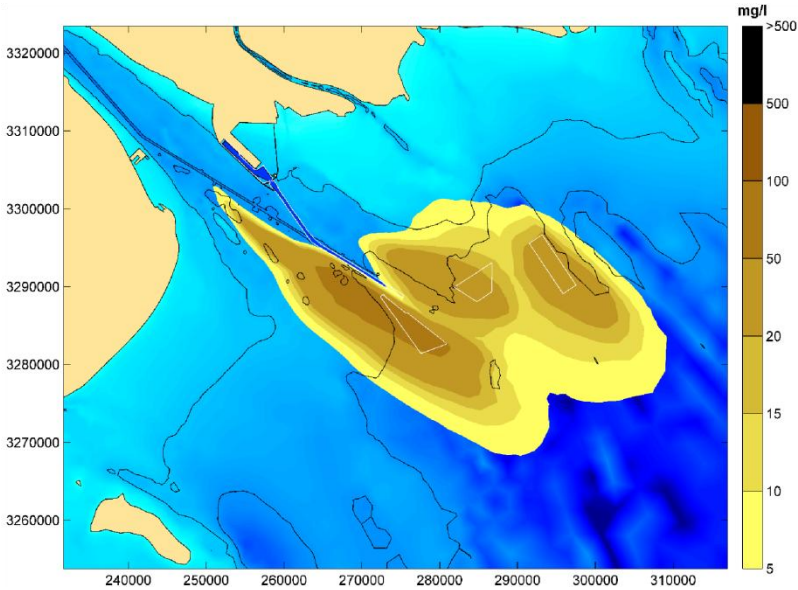


图 2-19-9 在平静条件下的 15 天中，抛泥区产生的最大浓度

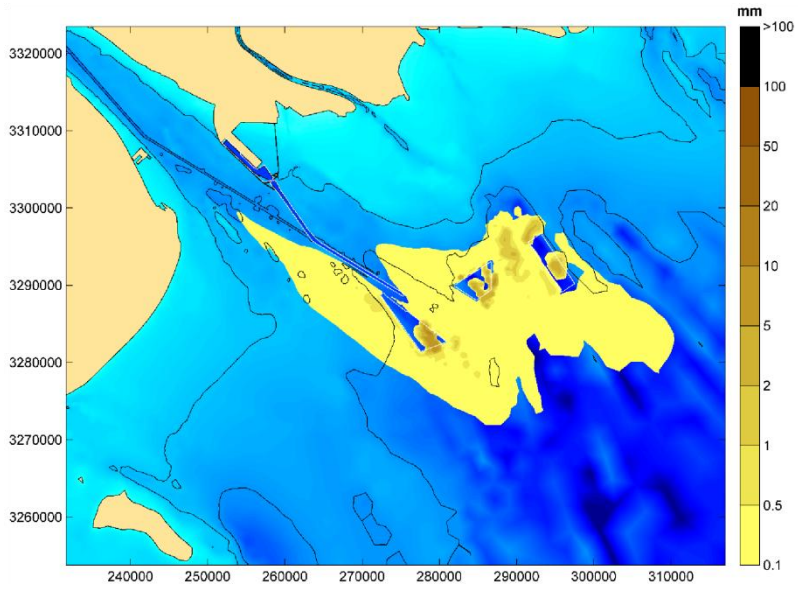


图 2-19-10 在平静条件下的 15 天监测中，抛泥区产生的最大沉积量

(2) 现场监测数据结果分析：

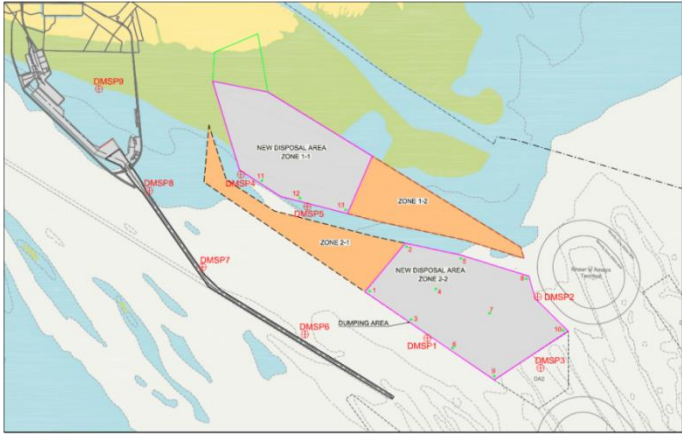


图 2-19-11 工程现场抛泥区位置和 SSC 监测点位

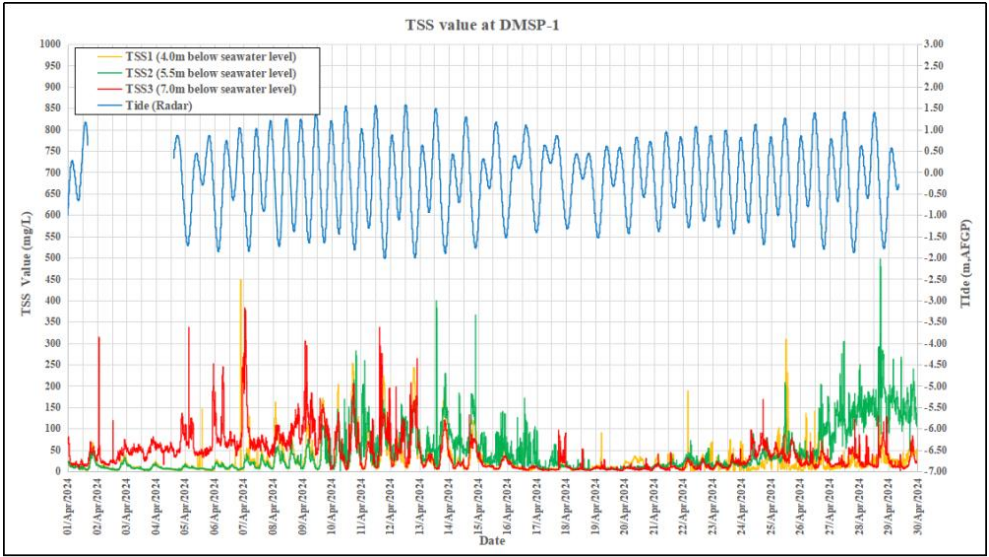


图 2-19-12 监测点 1 TSS 数值

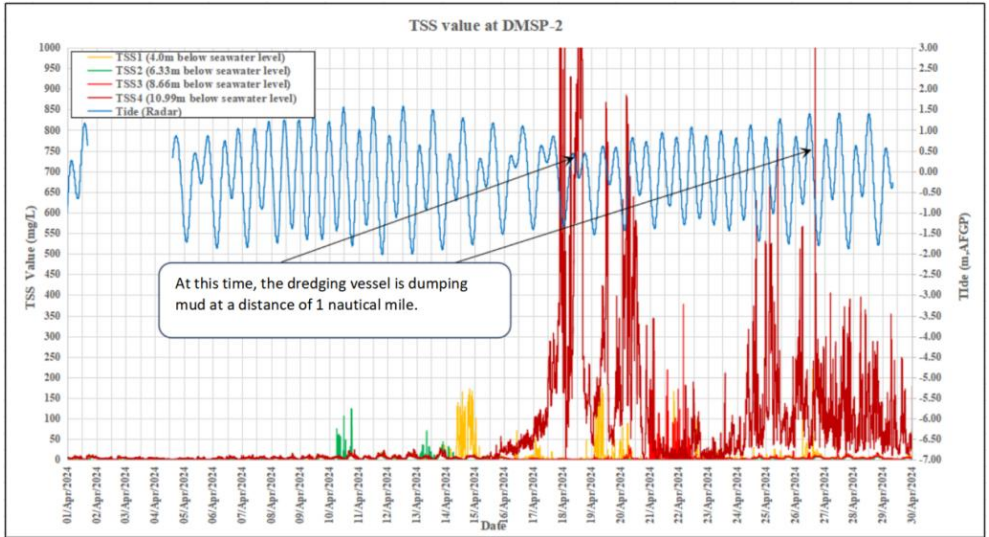


图 2-19-13 监测点 2 TSS 数值

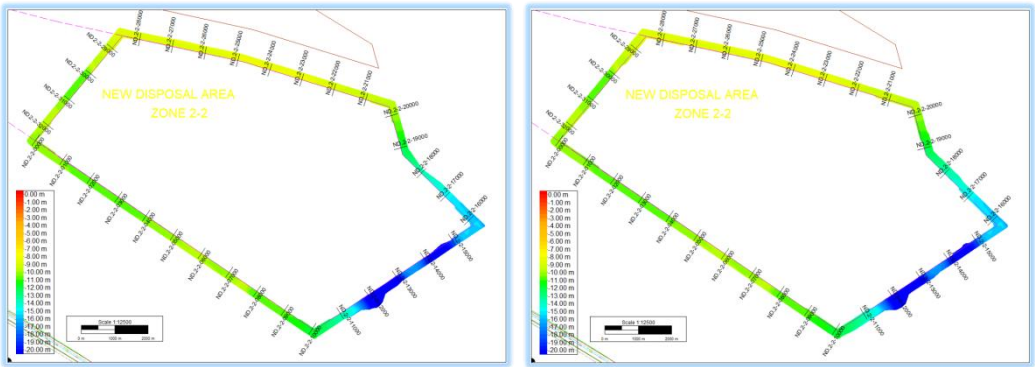


图 2-19-14 zone2-2 高频与低频测深图

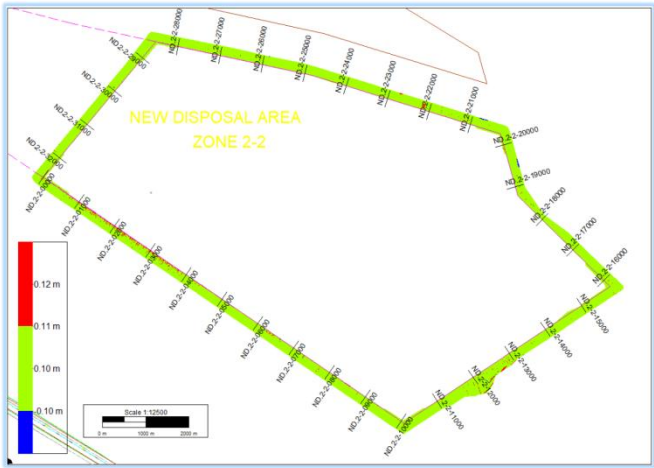


图 2-19-15 zone2-2 高频与低频测深对比差值

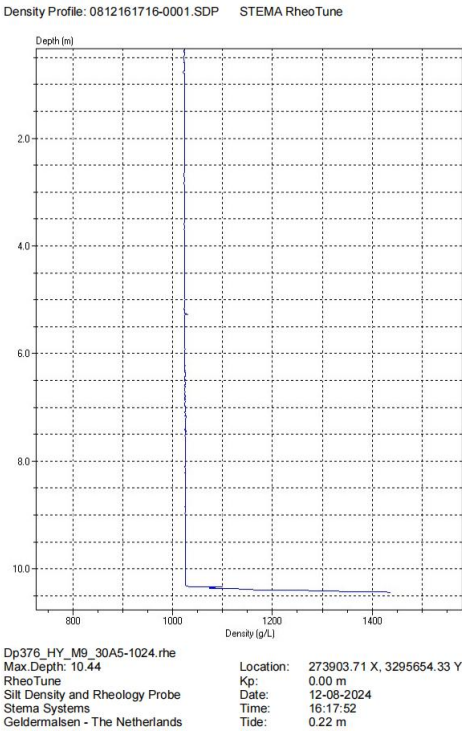


图 2-19-16 zone2-2 边界处某点位 RheoTune 泥浆密度仪测定的泥浆密度剖面变化

通过现场监测的 TSS 数值，可以得出以下结论：

第一：从抛泥船抛泥作业位置来看，结合抛泥船施工作业日志，通过监测点位 TSS 数值（图 2-20-12、图 2-20-13）可知，2024 年 4 月 1 日至 16 日，抛泥船在 zone2-2 抛泥区靠近 1 号监测点的位置 1.5 海里的位置，1 号监测点 SSC 污泥浓度在 150-300mg/L 区间，而此时距离抛泥点位 2.5 海里的 2 号监测点 SSC 污泥浓度基本在 30mg/L 以下；2024 年 4 月 17 日至 30 日，抛泥船在 zone2-2 抛泥区靠近 2 号监测点的位置 1 海里的位置，此时 2 号监测点 SSC 污泥浓度明显偏高，其峰值最高可达到 1000 mg/L 左右。由此得出结论，抛泥船抛泥作业应距离抛泥区边界超过 1 海里，否则会对抛泥区之外的环境造成影响。

第二：通过 2 号监测点位 TSS 数值（图 2-20-13）可知，2024 年 4 月 17 日至 30 日，抛

泥船在 zone2-2 抛泥区靠近 2 号监测点的位置 1 海里的位置抛泥时，TSS1（水面下 4 米）、TSS2（水面下 6.33 米）的 SSC 污泥浓度基本在 150mg/L 以下，而 TSS3（水面下 8.66 米）、TSS4（水面下 10.99 米）的 SSC 污泥浓度则有超过 500mg/L 的峰值。由此得出结论，抛泥船抛泥作业在距离点 1 海里的位置仍可对水面下 8.66 米以下的水域形成较大影响。

第三：图 2-20-15 是使用双频单波束对 zone2-2 边界处测量水深时高频与低频的差值，可见，抛泥船完成抛泥后，弃土并不会立刻沉降固结，而是会形成厚度在 10cm~20cm 的悬浮泥沙层，这与图 2-20-16 RheoTune 泥浆密度仪的测量结果是一致的。这一悬浮层会随着洋流潮汐作用被冲刷、输送，致使悬浮泥沙的沉降固结量远小于 20cm。

第四：从图 2-20-12 来看，SSC 污泥浓度会随着潮汐规律呈现一定的变化，潮差越大，SSC 数值也会越大，且对上层的海水影响要大于下层。

（四）投资和运行成本

设备成本投入：294 万；

工程运行物耗、能耗费用 13 万；

铱星信息服务费：23 万。

19.6 成果转化推广前景

19.6.1 技术推广前景

目前我国对港口建设项目施工期的环境管理仍处于自发的、不规范的阶段。上世纪八十年代我国正式开展工程监理工作，但多年来环境保护未能纳入工程监理范围，项目施工过程中缺少有效的环境管控措施，导致施工阶段环境污染和生态破坏没有得到有效的控制。显然，该泥沙扩散原位监测系统，可以对疏浚工程过程中的悬浮泥沙层、淤泥絮凝层、固结层进行全方位、立体式的实时监测，可以较全面的掌握疏浚工程中被扰动泥沙和倾倒疏浚土的运动特性，提出相应的环境保护措施，实施施工期工程环境监理，对最大限度地减少环境污染，保护海洋生态环境具有重要的现实意义，且该监测方法为疏浚行业首次应用，同时在疏浚领域也具备较高的工程推广价值。

19.6.2 技术推广障碍及应对措施

技术难题：

（1）该项目位于境外，而实时监测平台主要设备均是在中国设计制造，一旦出现损坏情况，维修将面临困难，由于实时监测平台布设在海上，当发生故障时需要第一时间掌握故障信息，并进行维修。

（2）北斗卫星在伊拉克无法使用，需要选择其他卫星通讯方式作为替代。另外，卫星传输可能会在云层遮挡情况下丢失数据，需要采取措施保证数据的完整性。

（3）实时监测平台是采用太阳能板给蓄电池补充电量，当遇到阴雨季节，太阳能板不能正常工作，无法给蓄电池供电。

解决办法：

（1）在设计实时监测平台时，采用可分离的连接方式，并对易损坏的零部件提前准备做好备件，对现场技术人员进行检测及维修培训，最大程度实现现场自修。建立实时监测平台状态预警系统，包括电量、进水、位置偏离等信息，通过网站监测平台状态，及时维修。

同时，备用两台实时监测平台，以备替换使用。

（2）选择铱星卫星作为实时传输的通讯方式，铱星卫星是近地轨道卫星，可以在全球范围内使用。同时，在浮标数据传输模块设计时预设数据补发功能，并在采集端增加了 SD 卡存储功能，等到信号正常时将未能发送成功的数据依次补发。

（4）加大实时监测平台的电池容量，并在浮标体上预设充电口，当浮标电池发出报警时能采用交通船充电。

技术 20：新型海水电解制氢技术

20.1 技术提供方

该技术提供方为天津市大陆制氢设备有限公司。

天津市大陆制氢设备有限公司(THE)（民营企业）成立于 1994 年，是一家从事水电解制氢技术开发和设备制造的专业厂家，国家级高新技术企业，天津市专精特新中小企业，注册资金 33,94 万元人民币，占地面积 30 余亩，建筑面积 1.2 万平方米，是我国唯一生产分立式循环水电解制氢设备的专业厂家，主营业务生产水电解制氢设备和气体纯化设备，公司坐落在天津市静海区天宇科技园泰安路 1 号。2021 年营业收入 3900 万元，2022 年营业收入 5793 万元，2023 年营业收入 10280 万元。大陆公司拥有 300 m²研发实验室，200 m²办公区，200 m²实验测试区。研发实验中心与国内几十家大学、科研机构、科技公司建立了密切的技术开发合作关系，在隔膜开发测试，电极开发测试、电解槽结构开发测试、电流效率、电解槽防腐等方面做了众多研究，2023 年以来申请发明专利 11 项，参加全国创新创业大赛，参赛项目水电解制氢用“新型聚芳基哌啶膜”获得 2023 年天津创新创业大赛一等奖，中国创新创业大赛（全国）优秀奖。大陆公司致力于发展绿色清洁能源，利用光伏发电、风电和水电解制氢技术结合，开发绿电制绿氢技术，承担及参与多项国家重点研发计划项目、天津市重点研发计划项目，推动国家“双碳”战略目标。

20.2 技术成果简介

20.2.1 技术成果名称和领域

技术成果名称：新型海水电解制氢技术

技术的内容特点：氢能具有可持续、绿色清洁以及能量密度高等优点，将是低碳社会能源体系的重要组成部分。该技术利用海水电解技术将可再生能源转化为氢能是制氢的理想途径之一，符合国家“双碳”战略目标“碳减排技术”，同时又满足海洋资源高效绿色开发的需求，“海水电解制氢技术”是未来海洋战略性新兴产业及产业，全球范围内市场前景广阔。

（1）该技术可与深远海的海上风电、光伏等结合，实现深远海风光绿色电力就地消纳，解决深远海风电难以传输回陆地的难题，大幅降低风电传输/消纳成本和制氢成本，并进一步就地转化生产绿氨、绿醇等高附加值化工产品，加快推进海洋可再生能源的综合开发和利用。

（2）在内陆地区，该技术可用于石化领域气田采出水/油田采出水、火电厂脱硫废水等工业废水制氢，以及城市内的生活污水制氢，有效降低水处理成本，实现产氢增值，为绿色节能环保和可持续发展贡献力量。

（3）针对西北地区风光资源丰富但水资源匮乏的现状，该技术可以充分利用当地生活生产废水、苦咸水、盐湖水等制氢，切实解决清洁能源消纳和利用问题，促进经济和社会高质量发展。

20.2.2 技术成果来源

该技术成果来源如下：

“中央引导地方科技发展资金”计划，新型海水电解制氢技术的研发，24ZYYYGX00040，

项目总经费 500 万元。

20.3 技术内容

20.3.1 技术原理及工艺流程

新型海水电解制氢技术用膜蒸馏耦合水电解过程，以被动方式向水电解池提供水蒸气。水隔膜在液态水和电极之间隔出一个气体间隙，使液态水不直接接触电极和电解质。当水电解消耗了电解质和电极孔隙中的水，就造成一个供应侧液态水与电极侧水之间的化学位差，于是此化学位驱使供应侧的水通过水隔膜和气体间隙补充到电解质和电和电极孔隙中。

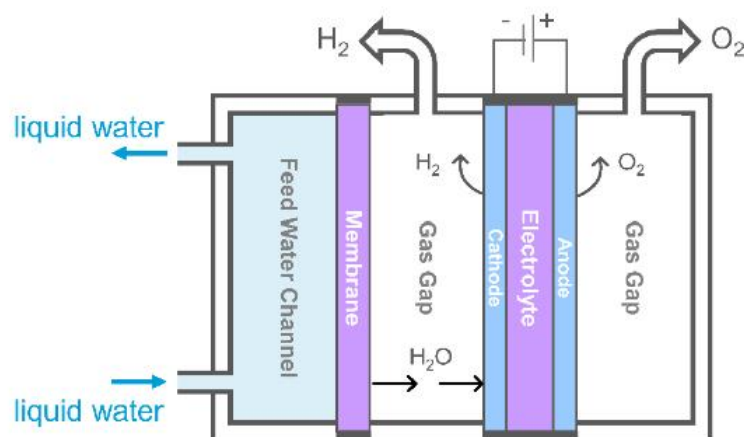


图 2-20-1 型海水电解制氢技术原理示意图

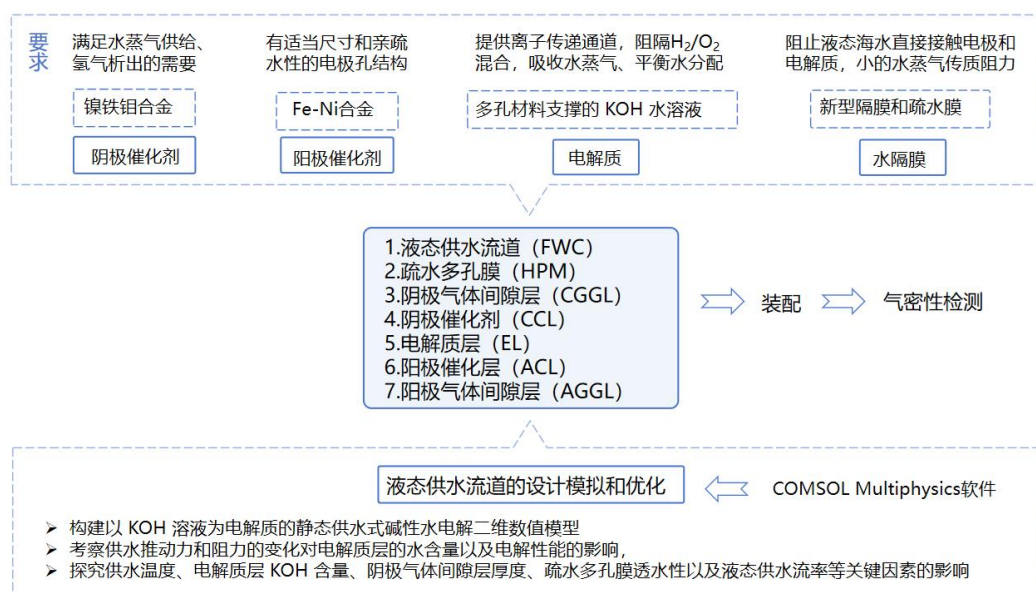


图 2-20-2 海水电解制氢的工艺路线图

通过合理设计膜蒸馏单元,将其模块嵌入到流场板里,使流场板中部为蒸馏模块补偿电解用水,周边为电子导电通路,实现各个小室间的电连接。

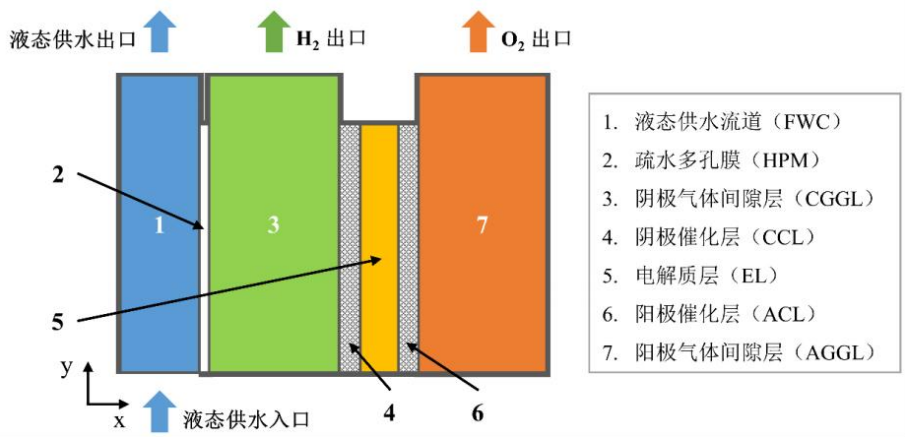


图 2-20-3 海水电解制氢技术装置结构简图

20.3.2 技术成果适用性分析

(1) 该技术可与深远海的海上风电、光伏等结合，实现深远海风光绿色电力就地消纳，解决深远海风电难以传输回陆地的难题，大幅降低风电传输/消纳成本和制氢成本，并进一步就地转化生产绿氨、绿醇等高附加值化工产品，加快推进海洋可再生能源的综合开发和利用。

(2) 在内陆地区，该技术可用于石化领域气田采出水/油田采出水、火电厂脱硫废水等工业废水制氢，以及城市内的生活污水制氢，有效降低水处理成本，实现产氢增值，为绿色节能环保和可持续发展贡献力量。

(3) 针对西北地区风光资源丰富但水资源匮乏的现状，该技术可以充分利用当地生活生产废水、苦咸水、盐湖水等制氢，切实解决清洁能源消纳和利用问题，促进经济和社会高质量发展。

该技术应用范围广泛，无特定的条件限制使用，主要解决在条件较为恶劣的环境下的能源、环境等问题，如深远海、孤岛、西北内陆水资源匮乏地区及工业废水等地区。该技术为实现“绿电制绿氢”降碳的目的，上游需配备光伏发电、风力发电等资源，下游应用范围广阔可做能源、交通、化工等各行各业应用。

20.3.3 技术创新性及先进性

技术创新点：

(1) 新型催化电极材料。镍基负载铁镍系非贵金属催化剂作为析氧电极，镍钼铝合金涂层电极作为析氢电极，在静态供水方式下长期保持稳定。

(2) 新型隔膜和海水隔膜材料。通过表面改性，新型隔膜能够更好的适配静态供水的方式，同时满足其阻气性要求；新型海水隔膜可高效实现海水的膜蒸馏过程。

(3) 新型静态供水式碱性水电解装置。膜蒸馏与碱性水电解一体化设计，结构更紧凑，热利用效率更高效。

(4) 通过在供水流道的进出口处引入矩形空流道的方式，有效地改善供水流动状况，防止由于流道内未完全充满水使得有效供水面积不足、电解质层局部区域缺水而导致系统失稳。

(5) 建立以 KOH 溶液为电解质的静态供水式碱性水电解二维数值模型，全面考虑系

统内部质量、动量、能量和电荷传递以及电化学反应之间的耦合关系，对系统内发生的膜蒸馏过程和水电解反应之间的复杂耦合关系进行描述。

表 2-20-1 国内外指标技术对比

项目	丹麦 “Brande Hydrogen” 项目-2020	荷兰 PosHYdon 项目-2020	本项目
直流能耗 (kwh/Nm ³ H ₂)	4.4~4.7	4.5~4.7	4.2
结构类型	海水淡化+制氢	海水淡化+制氢	一体式结构
热能损失	较高	较高	较低
氧气纯度	≥99.00	≥99.00	≥99.50
氢气纯度	≥99.90	≥99.90	≥99.90

注：一体式结构设计在国际工程领域上空白。

20.4 节能减碳或污染防治效果

海水电解制氢的碳减排量与碳减排率取决于许多因素，包括制氢的原料、生产过程和使用方式等。一般来说，水电解制氢是一种清洁的制氢方式，因为它不产生碳排放。制氢过程中只消耗水和电能，而电能可以来自可再生能源，如太阳能和风能，从而实现碳减排。如果制氢的原料是化石燃料，如煤或天然气，那么制氢过程中就会产生碳排放。在这种情况下，水电解制氢的碳减排量和碳减排率取决于所使用的化石燃料的碳排放量，以及制氢过程中电能的来源和使用方式。

总的来说，水电解制氢是一种有潜力的清洁能源技术，可以帮助减少碳排放，但具体的碳减排量和碳减排率需要根据具体情况进行计算和评估。该海水电解制氢项目利用可再生能源制氢，该技术利用的电能为光伏发电和风力发电，在购入电力方面，无碳的参与，实现了碳减排率达 100%，该技术消耗的原料只有海水，在原料方面无碳的参与，同样实现了碳减排率达 100%，在电解制氢过程中，只消耗来自新能源的电力，同样无碳参与，能实现碳减排率达 100%，制备的氢气作为能源，其燃烧后排放物为水，无污染，无碳排放，碳减排率达到 100%。综上所述，利用光伏和风力发电，水电解制氢技术真正达到了绿色环保的目的，是实现双碳目标非常有利且工业成熟的技术。

20.5 技术示范情况

（一）案例概况

2018 年团队（天津大学化工学院）受中国航天员科研训练中心委托开发开发“静态供水电解”项目。

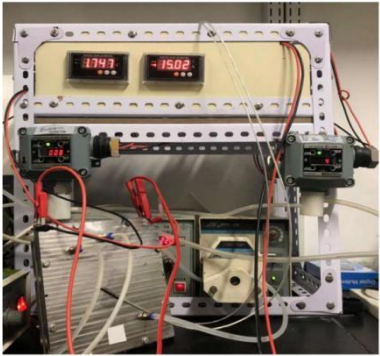


图 2-20-4 天大的“静态供水电解”

2018 年参考 NASA 技术路线为载人太空船供氧而提出，相当于膜蒸馏与水电解的耦合，蒸汽压差驱动。

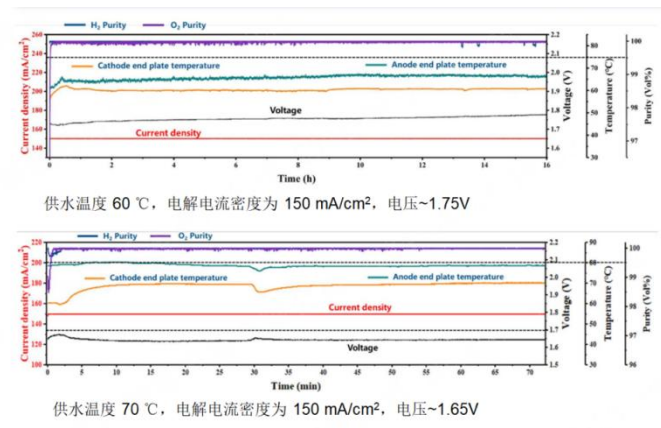


图 2-20-5 该“静态供水电解”项目测试数据

(二) 工艺流程及主要参数

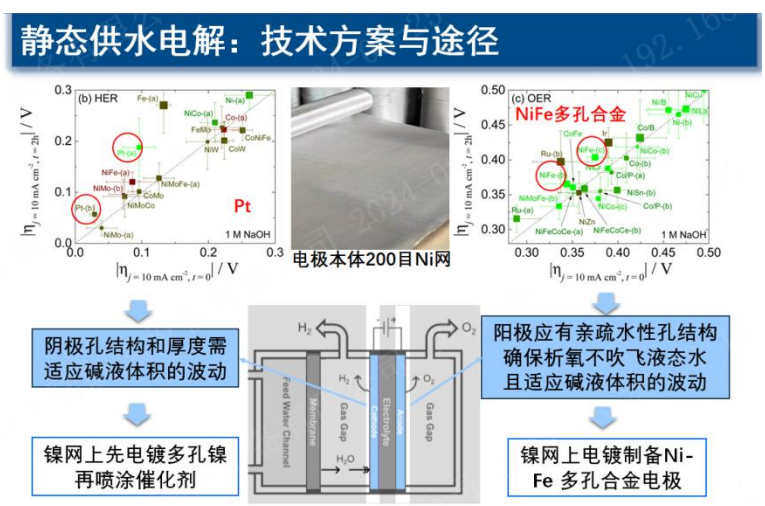


图 2-20-6 海水电解制氢技术路线

产品技术性能指标: 实现单台装置制氢产量: 1Nm³/h; 单位氢气电耗: ≤4.2kWh/Nm³ H₂; 气体纯度: 氢≥99.90%; 氧≥99.50%; 系统实现稳定运行达 500 小时且衰减不超过 1%。

20.6 成果转化推广前景

20.6.1 技术推广前景

电解海水制氢技术结合可再生能源，如太阳能和风能，能解决这些能源的间歇性问题，实现能源的稳定供应。当可再生能源充足时，通过电解海水制备氢气并储存起来，当能源不足时，则可以利用这些储存的氢气以满足能源需求。这种储存和利用方式有效地解决了可再生能源间歇性的问题，推动了可再生能源的大规模应用。此外，电解海水制氢技术的制氢过程是零排放的，不会产生二氧化碳等有害气体，相比传统的石化能源，更加环保，能够有效降低碳排放，减少对环境的污染。这有助于减少碳排放和改善环境，促进可持续发展。

然而，目前电解海水制氢技术的应用仍面临一些挑战。海水中的盐分对电解过程有一定的影响，可能会导致电解效果下降。此外，该技术的成本较高，仍需要进一步的研发和改进来降低制氢成本。海水制氢技术的规模化应用也需要更多的基础设施和技术支持。电解海水

制氢作为一种可再生能源储存和利用的新途径，具有巨大的应用前景。通过不断的技术研发和优化，电解海水制氢技术有望在未来能源领域发挥重要作用，为实现清洁能源转型和应对气候变化做出贡献。

20.6.2 技术推广障碍及应对措施

海水电解制氢技术推广的障碍主要包括技术挑战和高成本问题，应对措施包括技术创新、政策支持、规模化生产和成本优化。

海水电解制氢作为一种清洁、高效的能源生产方式，具有广阔的应用前景。然而，其推广过程中面临着多重挑战，主要包括：

（1）技术挑战：海水的成分复杂性增加了电解制氢的技术难度，尤其是阳极析氯反应和电能需求较高，导致能量效率低和工作寿命短。

（2）高成本问题：电解水制氢的成本相对较高，需要通过技术创新和规模生产来降低成本。

为了克服这些障碍，可以采取以下应对措施：

（1）技术创新：发展新的电解槽设计，如混合海水电解制氢技术，利用小分子阳极氧化反应取代高能耗的析氧反应，降低电能需求，提高能量效率。耦合膜蒸馏技术创新，降低水电解制氢风热的浪费的同时提供静态供水的成本。

（2）探索使用醇类、醛类或生物质衍生物的阳极氧化，同时在海水制氢过程中生产高附加值的化工品或燃料，增加经济可行性。

政策支持：

（1）制定行业规范性标准，明确氢能在新型电力系统应用发展的路线图，进行应用引导和优化补贴，鼓励产学研结合，加快产品产业化进程，推进氢医疗、氢健康等领域的发展。

（2）规模化生产和成本优化：通过自主研发的关键部件替换进口产品，提高膜电极、电解槽等核心产品的性能，降低制造成本。

（3）建设自动化、批量化产线，提高生产效率，降低单位产品的固定成本。

综上所述，海水电解制氢技术的推广需要克服技术挑战、降低成本、并得到政策支持，以实现清洁能源的高效生产和广泛应用。

D、资源回收与废弃物资再利用技术

技术 21：市政污泥分质分离资源化利用关键技术

21.1 技术提供方

本技术提供方为天津壹新环保工程有限公司。

天津壹新环保工程有限公司成立于 2015 年 2 月，是一家环保领域的民营企业，专业化承接污水、污泥处理处置综合业务。公司拥有一批核心高端人才及独有的业内领先的污泥处理处置资源化利用技术，具备提供多种商业模式的实力，可及项目投资（BOT/BT/ROT/PPP）、设计、工程建设施工及运营管理于一体，为客户提供全方位的污水、污泥处理解决方案和服务。

壹新自成立至今，主营业务的营业额逐年上升。2019 年营业额突破 1000 万元，2022 年营业额突破 2000 万元，截止到 2023 年底，壹新的资产总额已经超过 5000 万元，市场估值超过 1 亿元。

壹新自创立之初一直致力于技术研发，针对农村污水处理、工业污水处理、市政污水处理开发了独有的处理技术并申请了相关专利。市政污泥处理方面，在总经理王学科的带领下成功研发出市政污泥分质分离资源化利用关键技术。该技术改善了污泥的脱水效果，降低污泥的含水率，提升有机物含量和热值，并且能够对污泥中的各组分分别资源化利用，变废为宝，扭转“污泥围城”的局面。

21.2 技术成果简介

21.2.1 技术成果名称和领域

技术成果名称：市政污泥分质分离资源化利用关键技术

技术领域：资源回收与废弃物资再利用

21.2.2 技术成果来源

市政污泥分质分离资源化利用关键技术为天津壹新环保工程有限公司自主研发。

相关专利如下：CN201510630990.1，CN201521144240.5，CN201521130180.1，CN201521142607.X，CN201620748527.7，CN201621198826.4，CN201610969807.5，CN201710425610.X，CN201921409278.9，CN202021941345.4，CN202021947852.9，CN202021953592.6，CN202223254619.4，CN201710282292.6，CN201811067721.9，CN201810742757.6，CN202010928330.2，CN201710983524.0，CN202010933834.3，CN201810742752.3。

21.3 技术内容

21.3.1 技术原理及工艺流程

市政污泥中干基只占不到 20%，而有机物含量仅在 50%左右甚至更低，大量无机物的存在使得污泥体量增大，导致了污泥热值低，制约了污泥各处理工艺的效率。污泥分质分离资源化利用关键技术是通过化学复配药剂对污泥进行灭菌和改性，同时溶出铝、铁、磷等无

有机物，破坏污泥胞外聚合物的粘性，使得紧密结合在一起的污泥中的有机物和泥砂分开，然后再通过无机物和有机物的比重差（大约为 3-4 倍），利用“重力分选”原理实现最后有机物和泥砂的分离，从而得到有机物含量更高的有机污泥、泥砂、含磷的无机污泥以及含铝、铁的除磷药剂。有机污泥后续结合污泥焚烧、协同焚烧等处置方式时可实现不需添加任何辅助燃料便能达到热能平衡的效果。

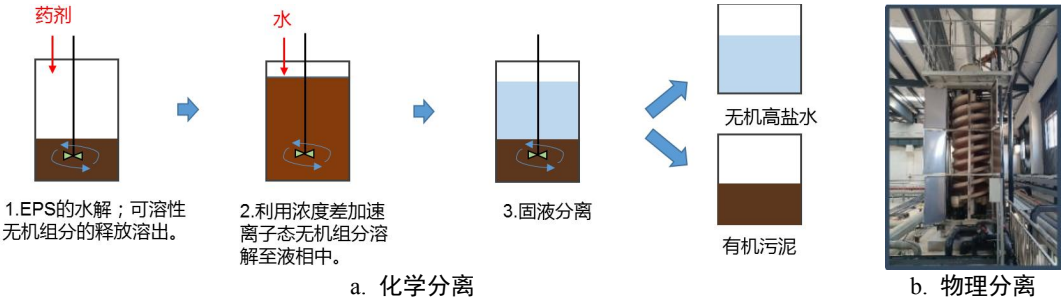


图 2-21-1 技术原理图

21.3.2 技术成果适用性分析

市政污泥分质分离资源化利用关键技术适用于固体废弃物中市政污泥、河道底泥等的预处理。

市政污泥经分质分离后，有机污泥的有机物含量和热值得到了提升，适用于匹配下游任何的污泥处置工艺，例如厌氧、焚烧、堆肥等，均可满足其对污泥有机物含量的要求。如果后续结合污泥干化焚烧工艺，可不添加任何化石燃料即可满足热平衡。如污泥分离+脱水+干化焚烧工艺和我司研发的污泥焚烧炉相结合，适用于单日处理 500 吨（含水率 80%计）以下规模的污泥厂。

21.3.3 技术创新性及先进性

（1）污泥有机质含量提升

污泥的分质分离及资源化主要是将污泥中的无机物溶出，进而提升污泥中有机质的含量，提升污泥的热值，从而可以结合后续单独焚烧、协同焚烧、堆肥、厌氧等工艺进行稳定化处理。分质后的污泥有机质可达到 60%以上。经过脱水和低温干化后可以制成生物质燃料进行资源化利用，绿色降碳。

（2）磷和铝铁的回收利用

污泥中的铝、铁、磷等无机物质主要是污水处理过程中投加大量的聚合氯化铝、铁等絮凝剂产生的。经过污泥的有机无机分离后，污泥中的磷和铝铁分别被溶出，然后分别被回收利用，可以得到含磷量在 10%以上的无机污泥以及铝铁除磷药剂，回收铝铁均在 70%以上。含磷丰富的无机污泥可以作为有机无机复混肥的原料进行资源化利用，降低碳排放。含铝铁的除磷药剂是污水处理厂的理想除磷药剂，可以替代絮凝剂投加量的 50%左右，节约了成本，间接减少了碳的排放量。

（3）降低泥饼含水率

经过分质后得到的有机污泥结合水被释放出来，污泥的脱水速率和脱水效果得到了明显的改善，经过高压板框可以脱水至含水率为 65%以下的泥饼。

21.4 节能减碳或污染防治效果

根据资料调研发现工艺过程中碳排放产生方式的不同，分为直接碳排放、间接碳排放和碳汇 3 部分。而针对污泥分质分离资源化利用工艺，需要核算污泥处理处置运行过程中温室气体产生的直接排放、消耗的物料和能量产生的间接排放以及产物或能量输出用于替代原料或燃料而产生的碳汇。此外，根据 IPCC 指南的规定，污泥生物降解或焚烧产生的 CO₂ 直接排放为生物成因，不纳入国家排放总量。以 100 吨规模（含水率 80%）污泥分离+脱水+干化+协同焚烧处理项目为例核算碳排放边界如图 2 所示，项目碳排效果计算是：污泥处置及外运协同焚烧工艺段碳排放量为 14349.22kg，其中污泥处置厂内碳排放量为 7904.32kg，使用资源化产品的碳排放量为-22439.74kg。综合计算，总碳排放量为-8090.52kg。所以，本项目工艺降低了碳排放，符合可持续发展的政策要求。

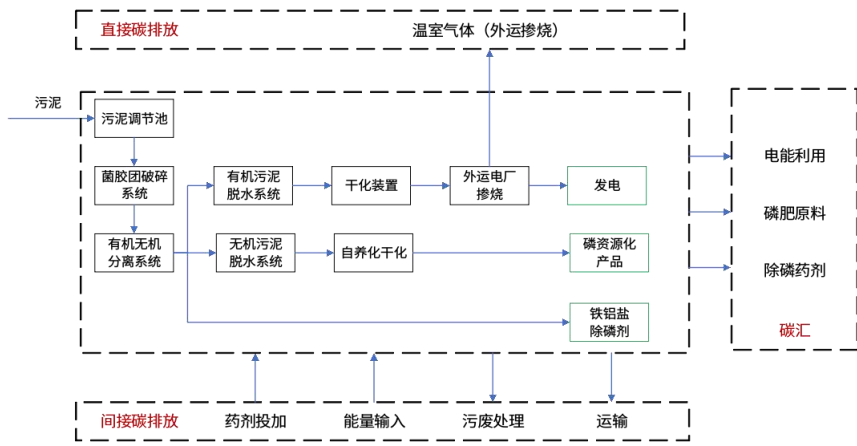


图 2-21-2 分离工艺碳排放核算边界

21.5 技术示范情况

项目名称：武清污水处理厂项目

（一）项目概况

该项目一期处理规模 130 吨/天（含水率 80%），占地 15 亩，投资 6000 万元，建设地点位于天津市武清区新城城区西南方向，采用 BOT 合作模式，运营期限 30 年。项目于 2016 年 10 月开工建设，2017 年 8 月建成，2017 年 9 月通过了验收并开始试运营。该项目建成后承担了天津市武清区全部生活污水处理厂的污泥处理。



图 2-21-3 应用案例厂址图

（二）项目处理工艺流程及参数指标

首先将污泥进行调质灭菌处理，使污泥中的细菌与微生物全部灭活，杜绝后续处理过程中恶臭废气产生，灭菌同时使污泥中胞外聚合物等粘性物质彻底失去作用，为后续污泥除砂和污泥脱水创造最优条件；灭菌后的污泥进入有机无机分离装置进行成分分离；分离后剩余的有机污泥进行旋流除砂，然后进入高压脱水装置，含水率降至 65%以下，然后继续进行热干化，最终制成含水率 15%以下的污泥质燃料颗粒，进入污泥焚烧炉进行燃烧，产生的热量回至前端污泥热干化使用，其余热量可进行余热利用；分离出无机污泥进行脱水后外售给建材厂家，作为建筑基材使用。产生的废水废气处理后达标排放。

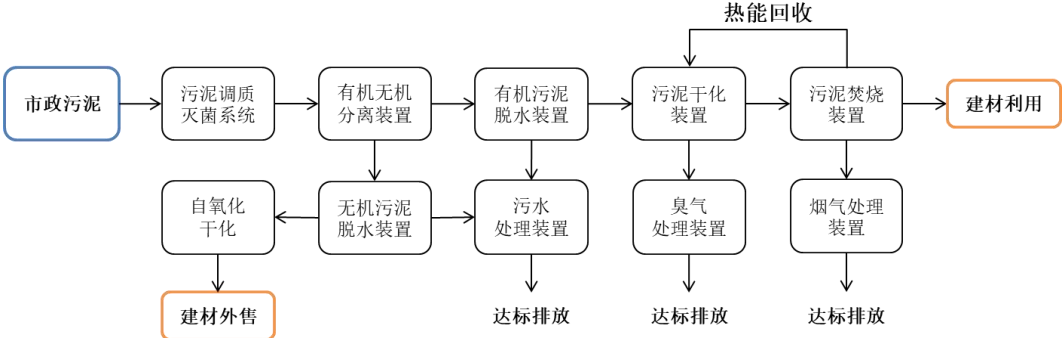


图 2-21-4 武清污泥处理厂工艺流程图

武清污泥处理厂项目采用污泥分离+脱水+干化+焚烧工艺路线，涉及的工艺单元主要有收泥单元、调质单元、灭菌单元、分离单元、水洗单元、除砂单元、有机/无机污泥脱水单元、除臭单元、干化单元、焚烧单元、烟气处理单元、热能回收单元。分离单元使用复配药剂控制调节污泥的 pH 范围在 1.0~2.0，反应时间控制在 30~60min，搅拌强度：200r/min-500r/min，反应后的污泥进入水洗单元，水洗至 TDS<500，同时每级停留时间约为 2h。

灭菌罐、分离池、5 级水洗池、旋流除砂器等为分离工艺的主要设备。



图 2-21-5 有机板框压滤机



图 2-21-6 污泥焚烧炉

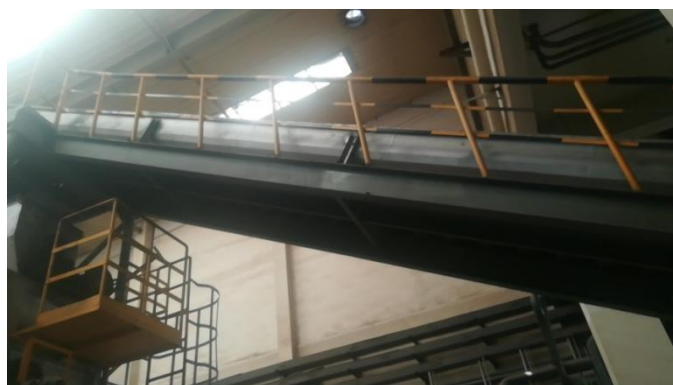


图 2-21-7 倾斜式螺旋输送机



图 2-21-8 分离后有机污泥和无机污泥

（三）污染防治效果及达标情况

武清污泥处理厂项目工艺为污泥分离预处理结合后续单独焚烧。由于污泥经过有机无机分离后得到的有机污泥有机物含量上升，热值升高至 2500kcal/kg 以上，污泥可以实现不

添加任何的化石燃料即可单独焚烧。焚烧炉各类污染物的排放浓度和排放速率均可满足 GB18485-2014《生活垃圾焚烧污染控制标准》标准限值要求。分离工艺产生臭气单元主要是灭菌和分离单元，臭气则主要是氨、硫化氢、甲硫醇等物质，臭气浓度经抽吸至除臭系统处理后排放，能够满足 DB12/-059-95《恶臭污染物排放标准》中相应标准限值要求。粗略计算采用分离技术后，污泥干基可减量化 30%，因此整体焚烧废气可削减至少 30%以上。

分离后无机泥饼可以作为建材的原料，满足城镇污水处理厂污泥处理制砖用泥质》（CJ/T289-2008）及《城镇污水处理厂污泥处置水泥熟料生产用泥质》（CJ/T314-2009）的要求。

（四）二次污染情况

武清污泥处理厂项目符合国家及天津产业政策。运营期废气可做到达标排放；废水可做到达标排放并有合理的排放去向；厂界噪声可满足达标排放要求；固体废物处置去向得以落实后，不会产生二次污染；环境风险发生概率控制在接受水平内，整体建设符合清洁生产和循环经济要求。

（五）能源、资源节约和综合利用情况

武清污泥处理厂项目采用污泥分离+脱水+干化+单独焚烧的工艺模式。污泥经过有机无机分离后，有机污泥的热值提升至 2500kcal/kg 以上，可以满足单独焚烧要求，同时可以利用焚烧产生的热能对污泥进行干化，降低了干化过程中的热能消耗，节约了电能、天然气等化石能源。同时分离出了无机污泥，无机污泥经过自氧化干化后可以作为建筑材料资源化利用，使得污泥减量化明显，同时能实现资源化利用。

（六）项目投资及运行情况

武清污泥处理厂项目由天津壹新环保和武清远恒两家企业共同投资建设，其中壹新占股比例 49%，远恒占股比例 51%，项目共投资 3600 万元，均为自有资金进行投资。项目处理污泥为 130 吨/天（含水率 80%计），采用污泥分离+脱水+干化+焚烧工艺，共投资约 3600 万元，其中设备投资 2000 万元，土建及配套投资 1600 万元。

项目处置收费为 310 元/吨，直接成本 170 元/吨，间接成本 59.83 元/吨，整体运行费用为 229.83 元/吨，则每年利润 375.20 万元，项目整体投资费用是 3600 万元，则投资回收期是 9.59 年。

对于武清项目，我们采用 BOT 合作模式。我司与武清远恒组成联合体成立项目公司天津远新环保科技有限公司实施项目，然后天津远新环保科技有限公司与政府签订特许经营协议，共同承接项目的投资、运营和维护，在规定的期限内许可融资建设和经营特定的公用基础设施，并准许处置污泥向政府收取费用，回收投资及赚取利润。

21.6 成果转化推广前景

21.6.1 技术推广前景

市政污泥分质分离资源化利用关键技术解决了市政污水厂产生的市政污泥含水率高，有机质含量低，脱水困难等问题，提出了市政污泥全面资源化利用的技术方案，实现了污泥中各组分的资源化利用，并在全国开展了技术推广和应用。

市政污泥分质分离资源化利用技术是污泥的预处理工艺，经过分离后的市政污泥有机物

含量得到了提高，污泥的热值升高，能更好的和现有的污泥处理工艺如焚烧、厌氧，好氧堆肥等相衔接，同时能够降低投资和运营成本，符合国家建设资源节约型、环境友好型社会的需求，促进污泥处理行业的可持续发展。

该技术已经在全国三个项目中成功应用，分别为武清污泥处理厂项目，工艺路线是分离+脱水+干化+焚烧；宜昌污泥处理厂项目，工艺路线为分离+脱水+堆肥；黄陂污泥处理厂项目，工艺路线为分离+脱水+干化+焚烧。污泥分离工艺结合后续的干化焚烧，可以实现不添加任何化石燃料便可满足热能平衡，并且可在小型城市进行推广应用，预计 2025 年实现新增处理规模为 100-500 吨/天的项目 1-2 项，形成销售收入 5000 万元，新增利润 1000 万。

21.6.2 技术推广障碍及应对措施

污泥分质分离资源化利用技术是污泥预处理技术，可以实现污泥各组分的资源化利用。该技术在行业内处于领先地位，颠覆了传统污泥处理技术理念真正做到了资源化利用，因此推广有一定的限制。今后公司会加快和市场对接，做好宣传，实现营业额的增长。

技术 22：退役动力电池免放电物理拆解技术

22.1 技术提供方

本技术提供方为天津巴特瑞科技有限公司。

天津巴特瑞科技有限公司系巴特瑞科技全资子公司，主营退役动力锂电池回收并进行无害化、减量化、循环化的拆解利用。2020 年落地天津子牙经济技术开发区，公司整体占地 60 亩，项目分两期建设计划投资 2.8 亿元，计划拆解动力锂电池 5 万吨/年，一期拆解能力 1 万吨/年，已经于 2022 年 3 月份达产。是京津冀地区首个动力锂电池“自动化免放电物理拆解”工程化基地，也是京津冀地区新能源汽车回收利用示范试点单位之一。

公司 2022 年达产后年均收入两千万元以上，纳税上百万元，提供新就业岗位近 50 个，并且回收拆解了千吨以上的新能源汽车退役下来的报废动力锂电池，避免这些电池流入到小作坊造成安全和环保的危害。

公司采用的报废锂电池拆解工艺技术系自主研发，可以实现报废锂电池高效、自动化、环保的拆解，获得高收率的产品，生产过程中的废气采用负压统一收集处理，经专业的环保设施处理后，达标排放，生产过程中无新增污染物产生。公司参与制定多项国标和行标，目前有 6 项发布，公司拥有近 30 项专利，并且于 23 年获得生态环境部《国家先进污染防治技术目录(固体废物和土壤污染防治领域)》和工信部《国家工业资源综合利用先进使用工艺技术设备目录》的认定。

22.2 技术成果简介

22.2.1 技术成果名称和领域

技术名称：退役动力电池免放电物理拆解技术。

技术领域：资源回收与废弃物资再利用领域---动力蓄电池拆解技术、维修再制造等固废减量与循环再利用等方向。

22.2.2 技术成果来源

技术主要以集团提供和自主研发为主。天津巴特瑞的母公司下设研发团队哈尔滨巴特瑞研发出部分专利，并在天津巴特瑞进行导入应用，后期跟天津巴特瑞共同研发该项技术。相关专利如下：

表 2-22-1 相关专利

序号	类别	名称	授权号	发明单位
1	发明专利	一种锂离子电池的回收方法	201510515203.9	哈尔滨巴特瑞资源再生科技有限公司
2	实用新型	一种锂离子电池的回收装置	201520631915.2	哈尔滨巴特瑞资源再生科技有限公司
3	实用新型	二次锂电池电子健康档案系统	201520827653.7	哈尔滨巴特瑞资源再生科技有限公司
4	发明专利	一种锂电池破碎拆解回收方法	201610322411.1	哈尔滨巴特瑞资源再生科技有限公司
5	发明专利	一种报废动力锂电池氮气保护破碎设备	201611075907.X	哈尔滨巴特瑞资源再生科技有限公司

序号	类别	名称	授权号	发明单位
6	发明专利	一种报废锂离子动力电池带电破碎组合装置	201611075908.4	哈尔滨巴特瑞资源再生科技有限公司
7	实用新型	一种电动汽车电池信息采集及传输装置	201620030671.7	哈尔滨巴特瑞资源再生科技有限公司
8	实用新型	一种动力废旧电池带电破碎装置	201620917496.3	哈尔滨巴特瑞资源再生科技有限公司
9	实用新型	用于报废锂离子动力电池的破碎装置	201620970894.1	哈尔滨巴特瑞资源再生科技有限公司
10	实用新型	一种报废动力锂电池氮气保护破碎设备	201621295661.2	哈尔滨巴特瑞资源再生科技有限公司
11	发明专利	一种锂电池和锂电池模组破碎方法	201810201621.4	哈尔滨巴特瑞资源再生科技有限公司
12	实用新型	一种破碎带电锂电池和锂电池模组的系统	201820333302.4	哈尔滨巴特瑞资源再生科技有限公司
13	实用新型	一种锂电池电解液去除设备	201822184715.3	哈尔滨巴特瑞资源再生科技有限公司
14	实用新型	一种破碎后锂电池分选设备	201822211295.3	哈尔滨巴特瑞资源再生科技有限公司
15	实用新型	一种破碎后锂电池极片隔膜分离装置	201822211341.X	哈尔滨巴特瑞资源再生科技有限公司
16	实用新型	一种锂电池物料输送装置	201921538767.4	哈尔滨巴特瑞资源再生科技有限公司
17	实用新型	一种星型卸料阀及其锂电池废料处理设备的进料机构	202022316804.6	哈尔滨巴特瑞资源再生科技有限公司 天津巴特瑞科技有限公司
18	实用新型	一种锂电池隔膜收集器及其连续回收设备	202023157150.3	哈尔滨巴特瑞资源再生科技有限公司 天津巴特瑞科技有限公司
19	实用新型	一种锂电池黑粉全自动打包收集装置	202123029303.0	哈尔滨巴特瑞资源再生科技有限公司 天津巴特瑞科技有限公司
20	实用新型	一种锂电池机械手抓取装置	202123029491.7	哈尔滨巴特瑞资源再生科技有限公司 天津巴特瑞科技有限公司
21	实用新型	一种废旧锂离子动力电池组外壳切割装置	202321476507.5	天津巴特瑞科技有限公司
22	实用新型	一种锂电池极片研磨分选隔膜设备	202321640270.X	天津巴特瑞科技有限公司
23	实用新型	一种锂电池立体库房消防装置	202321640281.8	天津巴特瑞科技有限公司
24	实用新型	一种锂电池托盘爬坡输送装置	202321640292.6	天津巴特瑞科技有限公司
25	软件著作权	动力锂电池拆解线上位机系统 V1.0	2021SR1892672	天津巴特瑞科技有限公司
26	软件著作权	动力锂电池拆解线拆解工位客户端 V1.0	2021SR1892383	天津巴特瑞科技有限公司
27	软件著作权	动力锂电池拆解线 mes 系统 V1.0	2021SR1892384	天津巴特瑞科技有限公司

22.3 技术内容

22.3.1 技术原理及工艺流程

报废锂电池包在专门的操作台上经由工人用专用工具拆解后得到电池模组后，装入特殊

托盘进入立库系统，由立库系统经过 MES（生产执行制造信息化系统）调度后，出库到后面的自动化破碎设备的进料皮带口后，由机器人自动夹取上料完成破碎，破碎后的报废锂电池中的主要污染物由有机溶剂和无机盐（六氟磷酸锂）组成，具有易燃性、对人体有毒性。公司研发的连续进料密封装置在加热条件下把液态电解液转化成气态燃料，经负压管道收集、传送至后端 RTO（蓄热式氧化燃烧炉）中当作燃料燃烧成水和二氧化碳，剩余酸性物质通过碱洗塔中和吸收后达标排放，从而实现报废锂电池安全、环保的拆解。主要工艺流程分为：加热破碎后的锂电池→加热蒸发电解液→管道负压收集→RTO（蓄热式氧化燃烧炉）燃烧→碱吸收→尾气排放。锂电池的组成及结构复杂，包含金属外壳、塑料隔膜、塑料绝缘件和被电池级粉包覆的铜铝箔片（微米级别）。其中电池级粉里面包含新能源产业必须的锂、钴、镍等大量我国依赖进口的矿产，也是循环利用的重点材料。按照目前国内再生利用技术水平需要将电池级粉与其他材料分离干净，才能获得电池级的电池材料前驱体。故电池材料的分离是电池再生的重要环节，根据这些成份的不同性状和物理特性，公司开发出一套自动分选技术采用流水线的方式分离不同种类的材料。报废锂电池材料自动分选的工艺流程为破碎后的电池物料先进行筛分，分离出大部分电池级粉（业内称为黑粉）和一半左右的金属外壳；剩余材料由传输带输送至公司自研的外壳分选机，分离剩余的 50% 外壳；剩余材料输送至精细破碎设备中，在此环节获得剩余的黑粉和铜铝混合粒，黑粉在此处进行整体打包，获得成品；铜铝混合粒继续往后走进入比重分选机，按照金属不同的比重实现铜、铝的分离。经过这套系统，最终获得了金属外壳、铜、铝、塑料和黑粉产品。

22.3.2 技术成果适用性分析

- （1）技术适用的行业：报废锂动力电池，报废储能电池。
- （2）技术适用具体领域：资源回收与废弃物资再利用领域---动力蓄电池拆解技术、维修再制造等固废减量与循环再利用等方向。
- （3）该技术适用于规模化生产中，小时处理能力在 0.5 吨以上，7 天*24 小时连续生产上更具有经济性。专门处理报废锂动力和储能电池，没有其他限制条件。

22.3.3 技术创新性及先进性

1. 技术创新点：

（1）国内首家免放电思路并实现，取消了传统盐水放电环节，避免处理高盐废水的问题，提高安全性。电池包拆解至模组环节后可以直接进行破碎，无需拆解至单体，缩短工艺链，提升生产效率，降低生产成本。自主开发柔性立库、托盘及机械人上料系统，消除了因报废电池规格多样性带来的标准化难题，实现了全系统的自动化。

（2）国内首家提出把气态电解液作为燃料应用，传统的处理方式是在同样高温的燃烧器中导入天然气进行燃烧；而本技术无需额外天然气，仅需要高温既可自身燃烧，节约能耗。独家设计的生产装置可以确保在连续进料的情况下，控制加热装置内的气体组分来保证易燃的电解液不发生燃爆，实现安全生产。

（3）空气比重装置和筛分装置有效结合，可以分离尺寸跨度大和比重差异小的物质，成功分离电池外壳、塑料和铜铝。多级细破的结合应用，有效的把由粘结剂附着在铜铝箔上的黑粉干净剥离，提升了黑粉和铜铝产品的纯度。该分选技术可以实现产品的高回收效率，

电池整体回收效率在 90%以上（损失大部分为电解液）。报废锂电池拆解行业此前由于技术限制，一直在外壳回收上采用人工切割的方式进行，由于电解液的原因，既不利于环保且对工人身体有伤害，同时人工效率低下，单人每天 12 小时能拆解电池 0.3-0.8 吨，效率低下，而本技术小时处理能力在 1 吨以上，提升效果显而易见。同时由于产线全自动化且设备均采用密封负压形式，车间环境干净整洁，几乎不需要工人参与生产环节。

2. 技术先进性

（1）国国内首家采用自动化上料的企业，同时直接破碎模组和免放电无需检测报废电池状态的技术处于国内领先。22 年在国内即可以实现千吨级别以上的量产，并通过相关先进性鉴定。

（2）23 年入选工信部《国家工业资源综合利用先进使用工艺技术设备目录》。

（3）23 年入选生态环境部《国家先进污染防治技术目录(固体废物和土壤污染防治领域)》。

（4）2024 年纳入中国环境保护产业协会《2024 年生态环境保护实用技术装备和示范工程名录》，生态环境保护示范工程--（六）固体废物处理处置与资源化第 50。

22.4 节能减碳或污染防治效果

1.本技术对比同行业的固废处置方面，在工艺链路上减少了两个环节，即前处理放电环节和电池模组拆解至电池单体环节，同时还实现了一个自动化，即上料自动化，由此可以降低整个产业链的能耗水平，进一步的降低碳排放量。传统放电工艺破碎只能单只进行破碎，产能低，每小时只能有几百公斤，而采用此工艺每小时至少可处理 2 吨电池，从而又降低了单吨电池的破碎能耗，节能至少约 50%以上。由于采用柔性设计，彻底解决了自动化上料的难题，可以实现工厂 7 天*24 小时连续生产，并在上料车间可以实现黑灯工厂，整个产线生产效率提升一倍，碳排放进一步减少。

2.传统报废锂电池拆解行业对于电解液基本是作为无组织排放散逸到大气中，对环境和生态破坏严重；或者用水法转移至废水中，因高盐废水处理难度大，造成了较严重的二次污染，处理代价高昂。本技术成果采用蒸发负压收集的方式，从源头上解决了这一问题，液态转化成气态，避免了难处理的高盐废水问题发生，也彻底改善了生产车间的生态环境，消除工人发生职业健康风险的隐患。在应用过程中把电池中电解液气化并作为燃料导入到二级燃烧器中，大幅度的减少了天然气的消耗；同时采用 RTO(蓄热式氧气燃烧炉)作为二级燃烧器，把燃烧尾气余热通过蓄热陶瓷换热后加热助燃新风，更进一步降低燃料的消耗。综上，相同工况如果用天然气作为燃料小时耗量 120 立方米，而采用此方法仅需要 40 立方米，节约能耗近 67%。

3.报废锂电池拆解行业的难题在于电池中的黑粉由于属于纳米级别，在回收过程中极易造成粉尘扩散，且由于里面含有石墨成分，有很强的附着力和导电性，造成生产车间环境脏，电器容易短路等问题。同时大量无组织的粉尘也对车间生产工人的健康有较大危害。本技术可以实现车间生产自动化，几乎取消了生产工人的参与；同时密封负压的系统也保证了车间的环境卫生。综上所述，该技术的应用在大气污染防治方面起到了很显著的效果，采用该技术后车间环境符合环保和职业卫生健康方面的相关规定，并实际应用情况来看远高于上述规

定。由于采用流水线自动化的分选方式进行材料的分离，效率由单人每天 0.3-0.8 吨提升至单机每天 24 吨的生产能力，并且在设计的时候前后系统的生产节拍完全匹配不存在浪费的情况，且由于是自动化产线，可以实现 7 天*24 小时连续生产方式，所以产线整体的单吨处理能耗降低 50%以上，从这方面又减少了一半的碳排放。

22.5 技术示范情况

（一）案例概况

1. 案例名称：天津巴特瑞科技退役动力电池物理拆解再生利用项目一期。

2. 工程规模：总占地面积 40023.9 平方米，一期建筑面积 14799.71 平方米，工程总投资 11222 万元。

3. 主要建设内容：1#生产厂房、原材料车间、成品车间、倒班宿舍、餐厅、固废间、消防泵房及水池、门卫等。

4. 关键设备：电解液去除系统、废气管道系统、环保系统。

5. 投入运行时间：2021 年 11 月 10 日。

6. 验收情况：

工程竣工验收组织单位为天津巴特瑞科技有限公司，2021 年 9 月 23 日完成竣工验收，

验收意见：该工程竣工验收程序和内容严格按照有关法律、法规、和验收标准进行，验收结果符合涉及及规范要求，同意验收。

验收结论：经对本工程综合验收，各分部分项工程符合设计要求，施工质量均满足有关质量验收规范和标准要求，竣工验收合格。竣工环境保护验收为天津巴特瑞科技有限公司自主验收。2021 年 9 月 24 日完成了验收监测报告编制，2021 年 9 月 25 日组织召开自主验收评审会，包括建设、验收监测报告编制、验收监测、环境影响评价报告书编制、环保设施设计及施工单位。符合竣工环境保护验收合格条件，竣工环境保护验收。

案例地址：天津市静海区子牙镇子牙经济循环产业园区九号路 1 号。

（二）工艺流程及主要参数

1. 工艺流程：本工艺技术采用自主研发设备可处理带有电量的退役动力电池包（Pack），首先对电池包进行拆解得到电池模组，将电池模组不放电直接破碎后采用低温蒸发有效去除电解液后，将物料按照电池组分进行分类收集，为下游厂商提供外壳（塑料、金属）、隔膜、铜粒、铝粒、正负极混合粉料。本工艺除电解液外的其余物料均可以回收，剩余材料的回收率高于 90%。本工艺主要包括预处理、自动上料、破碎、电解液蒸发去除、1-4 级分选，系统采用密封式结构可以做到废气全部统一收集处置达标排放、无生产废水产生。

2. 工艺参数：

（1）破碎：使用破碎机对电池进行破碎，配备了 38 对刀片和 16 件锤头对带电电池可直接进行破碎处理，破碎能力可达到 2 吨/小时。

（2）电解液去除：采用高密封性的单体回转窑，进行低温蒸发去除电解液，可连续处理电池量 1.4 吨/小时。

（3）分选：使用自动一体化的分选设备，包含风选型的比重机，分离物料中的电池外壳等重物料，使极片中的黑粉脱离。分选线产能为 1.4 吨/小时。

(4) 研磨：分别采用了 2 台 55 千瓦细破机和研磨机，对金属极片进行研磨处理，通过专用的摇摆筛、铜铝分离设备对黑粉、铜粒、铝粒进行筛分。

(5) 环保：环保设备主要包括 RTO（蓄热式氧气燃烧炉）进行高浓废气的焚烧处理、循环水系统、低浓度除尘系统、污泥处理系统，保证了环保的废气达标排放以及废水循环利用，无废水排出。

(三) 应用效果

产线运行良好，累计处理报废锂电池千吨以上，电解液去除效率达到 99.5% 以上，废气排放符合国家和地方要求。经 2024 年第一季度环境监测数据得出：

废水总排口，化学需氧量 86 毫克/升、氨氮 40.4 毫克/升，总磷 5.76 毫克/升，总氮 59.9 毫克/升。

排气筒出口浓度：镍 4.2 微克/立方米、颗粒物 1.4 毫克/立方米、氮氧化物 15 毫克/立方米、烟气黑度 <1、氟化物与二氧化硫未检出。

相关检测数据均达到《工业企业挥发性有机物排放控制标准》（DB12/524-2020）、《工业炉窑大气污染物排放标准》（DB12/556-2015）、《大气污染物综合排放标准》（GB16297-1996）。

(四) 二次污染防治

无二次污染物。

(五) 能源、资源节约和综合利用情况

1. 节能降碳方面：用电解液废气替代大部分天然气，并且回收的燃烧后的尾气余热，使整个系统的能耗降低 67%。

2. 厂房屋顶安装了 1.1 兆瓦光伏发电项目，按 25 年使用期限，可提供清洁电力约 3572.8 万千瓦时，与燃煤电厂相比，按平均供电煤耗 350 克/千瓦时计算，可节约标煤 13073.2 吨，减少碳排放 8734.92 吨。

3. 碳减排成效方面每年减少二氧化碳约 1359.6 吨，二氧化硫排放量约 11.5 吨，氮氧化物约 5.23 吨，烟尘约 8.89 吨具有良好的节能效益、环境效益和社会效益。整个工艺流程中，2023 年节约天然气消耗 40% 左右，年度节约吨标煤 50.83 吨，减少碳排放 34.06 吨，2022 年年度节约吨标煤 110.19 吨，减少碳排放 73.82 吨。

4. 项目年碳减排量：2023 年光伏用电 208509.52 千瓦时，减少碳排放 25.63 吨；RTO（蓄热式氧气燃烧炉）减少碳排放 34.06 吨，合计减排 59.69 吨。

(六) 投资和运行成本

工程固投总投资 11222 万元，设备占工程投资的 27%。

运行成本方面：工程运行时破碎电池成本 3276~4437 元/吨，其中人工成本 1100~1900 元/吨、能耗 1186~1337 元/吨、设备折旧 990~1200 元/吨。

22.6 成果转化推广前景

22.6.1 技术推广前景

在新能源汽车产业快速发展的同时，动力电池退役量也在逐年攀升。根据中国锂产业报告白皮书统计，2025 年中国失效锂离子电池理论退役量 185 万吨。退役动力电池产量增大，

目前该产业属于朝阳产业，也是国家大力发展“双碳”背景下的钢需行业，前景广阔。该技术适用于从新能源汽车上直接退役下来的报废锂电池，目前该技术也成为业内的主流技术，目前新项目基本采用此类型工艺技术。

22.6.2 技术推广障碍及应对措施

目前制约技术推广的主要原因是市场资源即报废锂电池资源垄断造成了市场价格倒挂，对企业新建和扩建项目影响巨大，2023年下半年起，大部分报废锂电池回收拆解再生利用项目均缓建或取消。为了应对这整个行业的整体严冬，需要研究新的商业模式，联合上下游企业，借助当前的各国对新能源汽车主要原材料矿产资源垄断的前提，锁定报废锂电池中的有价资源，把这块资源的效益放大至最优。

同时本行业还面临众多的小作坊的围追堵截，类似于前期无序的报废铅酸电池行业，正规企业在成本上没有任何抵抗能力，呼吁国家加严对此行业的立法。