

天津市生态环境保护（碳达峰碳中和）
科技发展蓝皮书
(2022)



天津市科学技术局
天津市科学技术发展战略研究院
二〇二三年一月

天津市生态环境保护(碳达峰碳中和) 科技发展蓝皮书(2022)

天津市科学技术局

天津市科学技术发展战略研究院

二〇二三年一月

编辑委员会

编委会主任：王凤云 王华峰

编辑指导：王祯祥 党馨 樊少杰

主 编：王华峰

副 主 编：高 峰

责任编辑：薛瑞楠 赵红美 牛亚钗 徐 静

前 言

2020年，以习近平同志为核心的党中央提出“2030年前实现碳达峰，2060年前实现碳中和”的重大战略决策，并把碳达峰、碳中和纳入生态文明建设整体布局。为贯彻落实党的二十大提出的“积极稳妥推进碳达峰碳中和”，坚持先立后破，发挥创新驱动重要作用，编制《天津市生态环境保护（碳达峰碳中和）科技发展蓝皮书（2022）》，宣传推广天津市生态环保（低碳）领域的科技发展成效、技术成果和示范案例，推进技术研发、成果转化和产业发展。

本书涵盖科技创新篇和技术成果篇。科技创新篇围绕科技创新平台、科技型企业、科技计划项目、科技奖励以及技术交易等五个方面，介绍了天津市从创新驱动生态文明建设角度实施的一系列科技举措及取得的成效。技术成果篇展示了碳达峰碳中和、水污染治理、大气污染治理、固体废物处理处置及资源化、土壤及地下水修复、环境监测与监控等领域共计55项技术成果。

目 录

科技创新篇	1
0 引言	1
1 科技创新平台	3
2 科技型企业	10
3 科技计划项目	19
4 科技奖励	21
5 技术交易	30
技术成果篇	33
A、碳达峰碳中和技术	34
技术 1 高比能量动力锂离子电池用高镍正极材料关键技术	35
技术 2 港口能耗及排放智能分析技术与系统	37
技术 3 智慧能源双碳服务平台	40
技术 4 碳酸盐岩热储层地表水高效回灌技术	43
技术 5 基坑工程自稳型无支撑绿色支护技术及其工程应用	46
技术 6 膜法捕集 CO ₂ 技术及工业示范	49
技术 7 区县级国土空间规划碳排放预测、评估与规划调控技术	53
技术 8 基于全状态感知物联网技术的配电智能台区	56
技术 9 碳酸盐岩地热储层强化增产技术	59
技术 10 稀土绿色节能涂料	61
技术 11 面向高比例新能源的新型电力系统及电力市场长周期仿真系统	64
技术 12 轨道交通智慧能源管理与控制系统	67
技术 13 分布式低成本—低碳供能解决方案—低成本智能冷热双蓄绿色能源站	70
技术 14 绿色己内酰胺工艺技术	73
技术 15 双氧水法环氧丙烷技术（HPPO）	75
技术 16 含氨废气、废水零排放的氯化铵干燥工艺和系统	77
技术 17 丁二烯直接氰化法合成己二腈技术	80

技术 18 超低氮高效节能冷凝式供热装置与示范	82
技术 19 氧化矿降碳减排浮选药剂	85
技术 20 碳 e 管—工业企业双碳管理综合解决方案	88
技术 21 低碳稻作生物技术	91
技术 22 建筑碳排放模拟计算软件	95
技术 23 小型无人机碳通量监测设备及系统	97
B、水污染治理技术	101
技术 24 沿海大型散货港口储水生态湿地营造与水资源循环利用技术	102
技术 25 臭氧高级催化氧化技术	105
技术 26 蒸氨塔结合氨吸收塔联运工艺	107
技术 27 基于光电检测的牧场喷淋控制系统	109
技术 28 MABR 水环境污染治理技术	111
技术 29 天津经济技术开发区西区污水处理厂天津地标稳定达标成套技术工程示范应用	114
技术 30 高盐工业废水生物强化综合处理技术	117
技术 31 硫自养反硝化滤池深度脱氮技术	119
技术 32 滨海工业带高盐废水中无机盐分质结晶与资源化技术	122
技术 33 风险水域多功能安全监测技术及设备	125
技术 34 “查-控-处”一体化水环境风险管控整装成套技术	127
C、大气污染治理技术	129
技术 35 煤炭能源枢纽港口粉尘污染精准表征、智能监测与控制技术及应用	130
技术 36 工业固体废弃物与烧结烟气污染物协同处理及余热利用	134
技术 37 生物法治理工业源 VOCs 技术集成	137
技术 38 恶臭污染智能监管与预警溯源技术	140
D、固体废物处理处置及资源化	143
技术 39 垃圾智能分类系统平台关键技术	144
技术 40 新能源汽车动力电池单体自动化拆解及正负材料修复技术	147
技术 41 蚯蚓处理农村有机废弃物及市政污泥资源化利用技术	149

技术 42 生活垃圾生物节能减排处理及资源化利用技术	152
技术 43 秸秆菌丝成型材料的低成本发酵制造	155
E、土壤及地下水修复技术	159
技术 44 滨海重盐碱地区污染土壤生物-化学原位协同修复关键技术	160
技术 45 天津市污灌区菜地重金属 Cd 污染原位修复技术	162
技术 46 难降解有机污染土壤生物修复技术	164
技术 47 有机、无机复合污染土壤氧化-淋洗耦合绿色修复技术	166
技术 48 养殖源农田重金属污染高效阻控技术	169
技术 49 基于多源热脱附与靶向化学修复重污染土壤集成技术创新与应用	171
F、环境监测与监控	175
技术 50 大气污染防治网格化监管平台	176
技术 51 在航船舶尾气嗅探遥测技术及装备	179
技术 52 工业挥发性有机物排放在线监测技术及应用	182
G、其他	185
技术 53 渤海湾工业带水生态综合治理与生态修复集成技术模式	186
技术 54 基于栖息地保育的滨海人工湿地生境恢复技术	189
技术 55 盐碱区绿色生态屏障构建技术	191

科技创新篇

0 引言

近年来，天津市科技局深入学习贯彻习近平生态文明思想，认真贯彻落实国家决策部署和市委市政府工作要求，积极构建市场导向的绿色技术创新体系，完善科技体制机制改革、实施科技重大项目、提升优化科技创新平台、培育科技型企业、推动科技成果转移转化，为实现“双碳”目标、推动天津高质量发展提供科技支撑。

加强顶层设计，构建绿色低碳科技创新政策体系。为全面深入实施创新驱动发展战略，进一步发挥科技创新对绿色发展的引领作用，市科技局、市发展改革委于2019年联合制定了《关于构建天津市市场导向的绿色技术创新体系的落实方案》，为我市打好污染防治攻坚战、推进生态文明建设、推动高质量发展提供重要支撑。2022年，为深入贯彻落实党中央、国务院关于碳达峰、碳中和的重大战略决策，落实市委、市政府碳达峰碳中和工作要求，市科技局会同市发展改革委、市工业和信息化局、市生态环境局、市住房城乡建设委、市交通运输委联合印发了《天津市科技支撑碳达峰碳中和实施方案（2022—2030年）》，提出构建低碳零碳负碳技术创新体系，重点聚焦2030碳达峰目标、同时面向2060碳中和开展技术储备的策略，提出实施“技术创新攻关、创新要素优化配置、绿色低碳企业培育、低碳零碳成果转化与示范、开放协同创新”五大行动，进一步加强绿色低碳科技创新体系构建，有效发挥天津科技对实现碳达峰碳中和目标的关键支撑作用。

聚焦重点突破，加快绿色低碳核心技术攻关。持续推动生态环境基础研究，聚焦节能减排降耗、生态修复、污染源解析等领域，开展基础性、跟踪性研究，加强细颗粒物(PM_{2.5})、臭氧(O₃)协同治理。紧扣我市12条产业链布局“绿色低碳”创新链，组织实施重大专项，在高比能动力电池、可再生能源制氢、二氧化碳捕集与利用新技术等战略必争领域取得一批重大技术突破。通过支持“生态环境治理科技重大专项与示范工程”，推动工业挥发性有机污染物资源化、农业废弃物制备生物炭资源化等关键技术与示范；通过支持“安全天津与城市可持续发展科技重大专项”，推动既有建筑绿色化改造、建筑能耗管控、海绵城市建设等技术与应用示范；通过支持“海水淡化关键膜材料、能量回收装置研发及平台建设”“全海域岛用海水淡化成套技术及装备”等科技项目，攻克海水淡化节能降碳领域卡脖子技术，解决海水淡化设备核心关键问题；集聚40家科研机构和创新企业，打造中国首辆纯太阳能车“天津号”；采用“揭榜挂帅”机制，实施“碳达峰碳中和科技重大专项”，优先支持“钢铁烧结工序节能降碳与减排增效关键技术与示范”和“热浸镀锌关键工序控碳减排技术开发及应用示范”节能降碳项目。

统筹整合资源，强化绿色低碳创新力量培育。着力打造高能级创新平台，全市拥有生态环保（低碳）领域国家级和市级科技创新基地175个，其中，国家（部委）级平台29个，天津市级平台146个。在污染防治领域，拥有国家环境保护恶臭污染控制重点实验室、国家

环境保护城市空气颗粒物污染防治重点实验室、农业农村部产地环境污染防治重点实验室等国家（部委）级平台，并持续推动天津市城市生态环境修复与污染防治重点实验室、天津市大气污染防治重点实验室、天津市生物质废物利用重点实验室等市级重点平台建设。在海水淡化领域，推动省部共建分离膜与膜过程国家重点实验室、膜材料与膜应用国家重点实验室、天津市海水资源利用技术创新中心等重大创新基地建设，助力本优势领域发展。在新能源材料领域，依托南开大学和天津大学组建物质绿色创造与制造海河实验室，着力培育战略后备力量，建成国家锂离子动力电池工程技术研究中心、科技部“新型光伏发电技术国际科技合作基地”等。强化环境保护产业支撑，鼓励支持企业关键技术产品自主创新，在生态环保（低碳）领域，培育 955 家高新技术企业，扶持 984 家雏鹰、瞪羚、科技领军（培育）企业，聚集力神电池、捷威动力、巴莫科技等一批锂电池企业，泰达环保、津膜科技、同阳科技等一批环保企业，明阳叶片和中环半导体等一批风能光伏企业。

强化融合渠道，提高科技创新成果转化支撑力。以天津市科技成果展示交易运营中心为枢纽，汇集成果转化全要素，促进技术成果展示交易、供需对接、成果融资等。目前在展的“环保和资源”类科技成果共计 6100 余项，涉及“水污染治理”、“大气污染防治”、“资源利用与开发”、“清洁生产与循环经济”、“固体废弃物污染处理”、“环境监测”、“生态保护”、“节能环保”、“噪声污染处理”、“其它环保和资源”等类别。聚集技术转移机构 200 多家，发展 4 家中试基地，为绿色低碳等领域的各类创新主体提供成果路演、知识产权、法律咨询、成果评价、项目融资一站式服务。建成技术产权股权交易平台，促成绿色低碳成果挂牌交易，国网天津市电力公司的 66 项成果挂牌交易。线上线下多渠道展示推介绿色低碳科技成果，通过展厅展示、举办“双碳”项目临展活动、天津电视台“科技成果俏津门”宣传、线上平台发布等多种方式，展示、宣传、推介科技成果近 300 项。加强京津冀合作，京津冀三地联合举办京津冀双碳领域科技成果推介会，推介北京绿色成果 12 项。

1 科技创新平台

全市生态环保（低碳）领域国家级和市级科技创新基地共 175 个，其中，国家级重点实验室、部委级重点实验室、国家技术创新中心、国家企业技术中心等创新基地 29 个（表 1-1-1）；海河实验室、天津市技术创新中心、市级重点实验室、市级企业重点实验室、市级企业技术中心等市级创新基地 146 个（表 1-1-2）。

表 1-1-1 天津市生态环保（低碳）领域国家级科技创新基地

平台类别	平台名称	依托单位
国家重点实验室 (6)	省部共建分离膜与膜过程国家重点实验室	天津工业大学
	膜材料与膜应用国家重点实验室	天津膜天膜科技股份有限公司
	水利工程仿真与安全国家重点实验室	天津大学
	化学工程联合国家重点实验室	天津大学
	内燃机燃烧学国家重点实验室	天津大学
	化学与物理电源技术国家级重点实验室	中国电子科技集团公司第十八研究所
国家部委级重点实验室 (11)	国家环境保护恶臭污染控制重点实验室	天津市生态环境科学研究院
	环境污染过程与基准教育部重点实验室	南开大学
	国家环境保护城市空气颗粒物污染防治重点实验室	南开大学
	先进能源材料化学教育部重点实验室	南开大学
	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
	水路交通环境保护技术交通行业重点实验室	交通运输部天津水运工程科学研究院
	农业农村部产地环境污染防控重点实验室	农业农村部环境保护科研监测所
	农业农村部农产品质量安全环境因子控制重点实验室	农业农村部环境保护科研监测所
	绿色合成与转化教育部重点实验室	天津大学
	中低温热能高效利用教育部重点实验室	天津大学
智能电网教育部重点实验室	天津大学	
国家技术创新中心 (1)	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
国家级企业技术中心 (11)	天津膜天膜科技股份有限公司	
	天津泰达绿化集团有限公司	

天津巴莫科技有限责任公司
中材节能股份有限公司
天津市松正电动汽车技术股份有限公司
天津力神电池股份有限公司
天津市捷威动力工业有限公司
天津市中重科技工程有限公司
天津国安盟固利新材料科技股份有限公司
天津市天发重型水电设备制造有限公司
中国天辰工程有限公司

表 1-1-2 天津市生态保护（低碳）领域市级科技创新基地

平台类别	平台名称	依托单位
海河实验室（1）	物质绿色创造与制造海河实验室	南开大学、天津大学
天津市技术创新中心（2）	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
	天津市锂离子电池综合性技术创新中心	中电力神集团有限公司
天津市重点实验室（29）	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
	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
	天津市膜科学与海水淡化技术重点实验室	天津大学
	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
	天津市水资源与水环境重点实验室	天津师范大学
	天津市水质科学与技术重点实验室	天津城建大学
	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
	天津市大气污染防治重点实验室	天津市生态环境科学研究院
	天津市室内空气环境质量控制重点实验室	天津大学
	天津市生物质废物利用重点实验室	天津大学
	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
	天津市海洋资源与化学重点实验室	天津科技大学
	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
	天津市海洋气象重点实验室	天津市气象局
	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
	天津市光电子薄膜器件与技术重点实验室	南开大学

	天津市建筑物理环境与生态技术重点实验室	天津大学
	天津市电力系统仿真控制重点实验室	天津大学
	天津市能源材料化学重点实验室	南开大学
	天津市制冷技术重点实验室	天津商业大学
	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
	天津市智慧能源与信息技术重点实验室	天津大学
	天津市绿色化工过程工程重点实验室	天津工业大学
	天津市建筑绿色功能材料重点实验室	天津城建大学
	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
	天津市建筑环境与能源重点实验室	天津大学
	天津市城市交通污染防治研究重点实验室	南开大学
	天津市电工电能新技术重点实验室	天津工业大学
	天津市集成光电子技术与器件重点实验室	天津大学
天津市企业重点实验室（29）	天津市膜技术与水资源化工程企业重点实验室	天津膜天膜科技股份有限公司
	天津市绿色反应工程企业重点实验室	中国天辰工程有限公司
	天津市先进锂离子电池材料企业重点实验室	天津巴莫科技股份有限公司
	天津市绿色橡胶助剂企业重点实验室	科迈化工股份有限公司
	天津市汽车振动噪声与声学工程企业重点实验室	中国汽车技术研究中心
	天津市锂离子动力电池企业重点实验室	天津市捷威动力工业有限公司
	天津市电线电缆及材料企业重点实验室	天津市安正电力高分子材料有限公司
	天津市含重金属污水处理与资源回用企业重点实验室	天津滨环化学工程技术研究院有限公司
	天津市固体废弃物处理与利用企业重点实验室	天津泰达环保有限公司
	天津市水污染控制与生态修复技术企业重点实验室	天津市联合环保工程设计有限公司
	天津市海洋石油开发污染防治技术企业重点实验室	中海石油环保服务（天津）有限公司
	天津市锂电池负极材料企业重点实验室	天津市贝特瑞新能源科技有限公司
	天津市光伏逆变器及调速装置企业重点实验室	天津电气科学研究院有限公司

	天津市景观生态修复企业重点实验室	天津绿茵景观生态建设股份有限公司
	天津市溢油应急技术企业重点实验室	天津汉海环保设备有限公司
	天津市节水灌溉装备企业重点实验室	大禹节水(天津)有限公司
	天津市砷化镓光伏技术企业重点实验室	天津蓝天太阳科技有限公司
	天津市污泥处理及资源化技术企业重点实验室	天津市裕川置业集团有限公司
	天津市特种有机光电功能材料企业重点实验室	天津孚信达光电科技有限公司
	天津市电动汽车评价技术企业重点实验室	中国汽车技术研究中心
	天津市土木工程绿色建筑与节能技术企业重点实验室	中国建筑第六工程局有限公司
	天津市高性能锂电池电解液企业重点实验室	天津金牛电源材料有限责任公司
	天津市特种功能性聚酯薄膜材料企业重点实验室	天津世起科技发展有限公司
	天津市环境监测技术企业重点实验室	天津同阳科技发展有限公司
	天津市水力发电设备企业重点实验室	天津市天发重型水电设备制造有限公司
	天津市电力物联网企业重点实验室	国网天津市电力公司
	天津市绿色海水水处理药剂企业重点实验室	天津市中海水处理科技有限公司
	天津市工业烟气超低排放技术企业重点实验室	航天环境工程有限公司
	天津市硅单晶企业重点实验室	天津市环欧半导体材料技术有限公司
天津市企业 技术中心(85)	天津渤大硫酸工业有限公司	
	天津美腾科技股份有限公司	
	天津市大港仪表有限公司	
	天津市瑞德赛恩新材料开发有限公司	
	中交天航滨海环保浚航工程有限公司	
	中交天航环保工程有限公司	
	中铁上海工程局集团第四工程有限公司	
	东方电气(天津)风电叶片工程有限公司	
	天津汉海科技有限公司	

天津市大林新材料科技股份有限公司
天津泰达环保有限公司
天津中能锂业有限公司
通标标准技术服务（天津）有限公司
天津电力机车有限公司
天津金发新材料有限公司
天津瑞源电气有限公司
天津泰达滨海清洁能源集团有限公司
天津万峰环保科技有限公司
天津正达科技有限责任公司
中海石油环保服务（天津）有限公司
国能新能源汽车有限责任公司
力神动力电池系统有限公司
天津安捷物联科技股份有限公司
天津海泰环保科技发展股份有限公司
天津华迈燃气装备股份有限公司
天津蓝天太阳科技有限公司
天津绿茵景观生态建设股份有限公司
天津三源电力信息技术股份有限公司
天津天大求实电力新技术股份有限公司
天津同阳科技发展有限公司
天津壹鸣环境科技股份有限公司
天津英利新能源有限公司
天津能源投资集团有限公司
国网天津市电力公司
通号工程局集团电气工程有限公司
中建六局水利水电建设集团有限公司
天津电气科学研究院有限公司
天津华勘集团有限公司
中国能源建设集团天津电力设计院有限公司
中海油天津化工研究设计院有限公司

博奥赛斯（天津）生物科技有限公司
川铁电气（天津）股份有限公司
天津世纪天源集团股份有限公司
天津市渤海新能科技有限公司
中安广源检测评价技术服务股份有限公司
中冶天工集团天津有限公司
天津瑞能电气有限公司
优利康达（天津）科技有限公司
中汽（天津）系统工程有限公司
天津甘泉集团有限公司
天津市企美科技发展有限公司
天津市伟泰轨道交通装备有限公司
中铁十八局集团第四工程有限公司
中铁十八局集团第五工程有限公司
天津博威动力设备有限公司
天津辰创环境工程科技有限责任公司
天津金牛电源材料有限责任公司
天津金隅振兴环保科技有限公司
天津雅迪实业有限公司
天津中车风电叶片工程有限公司
博思特能源装备（天津）股份有限公司
大禹节水（天津）有限公司
华电水务膜分离科技（天津）有限公司
天津华赛尔传热设备有限公司
天津南玻节能玻璃有限公司
中国水电基础局有限公司
贝特瑞（天津）纳米材料制造有限公司
首瑞（天津）电气设备有限公司
天津荣盛盟固利新能源科技有限公司
天津市贝特瑞新能源科技有限公司
爱玛科技集团股份有限公司

	天津市大陆制氢设备有限公司
	天津博雅全鑫磁电科技有限公司
	天津华能北方热力设备有限公司
	天津市百利电气有限公司
	京瓷（天津）太阳能有限公司
	天津膜天膜科技股份有限公司
	天津泰达绿化集团有限公司
	天津市松正电动汽车技术股份有限公司
	天津巴莫科技有限责任公司
	天津力神电池股份有限公司
	中材节能股份有限公司
	天津市捷威动力工业有限公司
	天津国安盟固利新材料科技股份有限公司
	天津市天发重型水电设备制造有限公司

2 科技型企业

截至 2021 年底，天津市雏鹰、瞪羚和科技领军（培育）企业共 5569 家，其中生态环保（低碳）领域相关企业共 984 家。

表 1-2-1 天津市雏鹰、瞪羚、科技领军（培育）企业

企业类型	企业数量（家）	生态环保（低碳）企业数量（家）
雏鹰企业	4974	803
瞪羚企业	370	106
科技领军（培育）企业	225	75
总计	5569	984

从所属领域来看，雏鹰、瞪羚、科技领军（培育）企业中，生态环保（低碳）企业主要分布在节能环保材料、科技服务业、现代冶金、轨道交通装备、新能源材料等 24 个领域。其中节能环保材料领域企业数量最多，共计 265 家，占比 26.93%；其次为科技服务业企业和现代冶金企业，分别占比 19.82%和 7.01%；轨道交通装备、新能源材料、高端精细及专用化学品、海洋装备等其他 18 个领域企业数占比 46.24%，详情见图 1-2-1 和表 1-2-2。

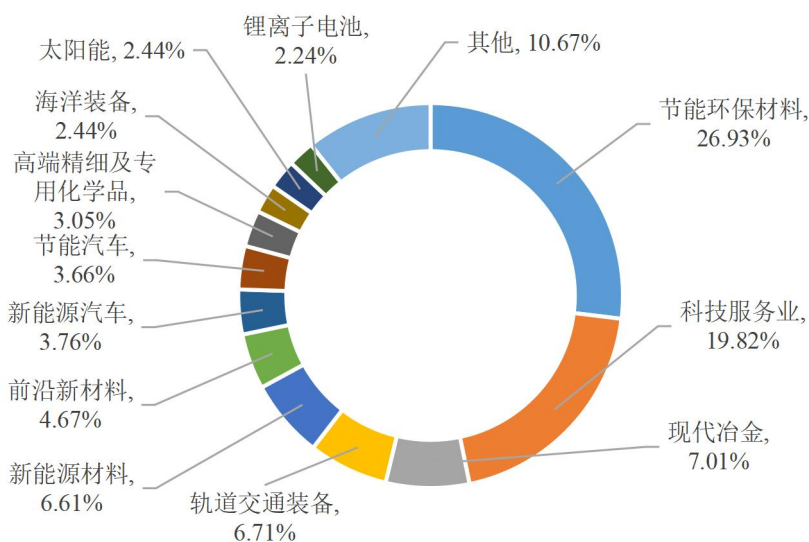


图 1-2-1 天津市雏鹰、瞪羚、科技领军（培育）企业中生态环保（低碳）企业细分领域分布

表 1-2-2 天津市雏鹰、瞪羚、科技领军（培育）企业中生态环保（低碳）企业细分领域

企业类型	企业细分领域	企业数量（家）
雏鹰企业	节能环保材料	221
	科技服务业	172
	现代冶金	62

	新能源材料	56
	轨道交通装备	47
	前沿新材料	37
	新能源汽车	29
	节能汽车	28
	太阳能	21
	高端精细及专用化学品	18
	锂离子电池	18
	资源与环境	17
	石化深加工	16
	海洋装备	15
	新材料	13
	风电	11
	新能源与节能	10
	先进制造与自动化	5
	智能网联汽车	4
	高技术服务	2
	高端装备材料	1
瞪羚企业	节能环保材料	22
	科技服务业	13
	轨道交通装备	12
	前沿新材料	8
	现代冶金	7
	新能源材料	6
	节能汽车	5
	新材料	5
	新能源汽车	5
	风电	4
	高端精细及专用化学品	4
	海洋装备	3
	先进制造与自动化	3
	资源与环境	3
	新能源与节能	2
	锂离子电池	1
	太阳能	1
	烯炔深加工	1
	智能网联汽车	1
	科技领军（培育）企业	节能环保材料
科技服务业		10
高端精细及专用化学品		8
轨道交通装备		7

海洋装备	6
风电	5
节能汽车	3
锂离子电池	3
新能源材料	3
新能源汽车	3
太阳能	2
前沿新材料	1
氢能	1
智能网联汽车	1

雏鹰企业中，生态环保（低碳）企业有 221 家为节能环保材料领域企业，占比 27.52%，其次为科技服务业和现代冶金领域企业，占比分别为 21.42%、7.72%，详情见图 1-2-2。从区域分布来看，雏鹰企业中生态环保（低碳）企业主要分布在高新区、西青区、北辰区、经开、武清区、静海区等，其中，高新区最多，有 82 家企业，占比 10.21%，西青区、北辰区占比分别为 10.09%、9.46%，详情见图 1-2-3。

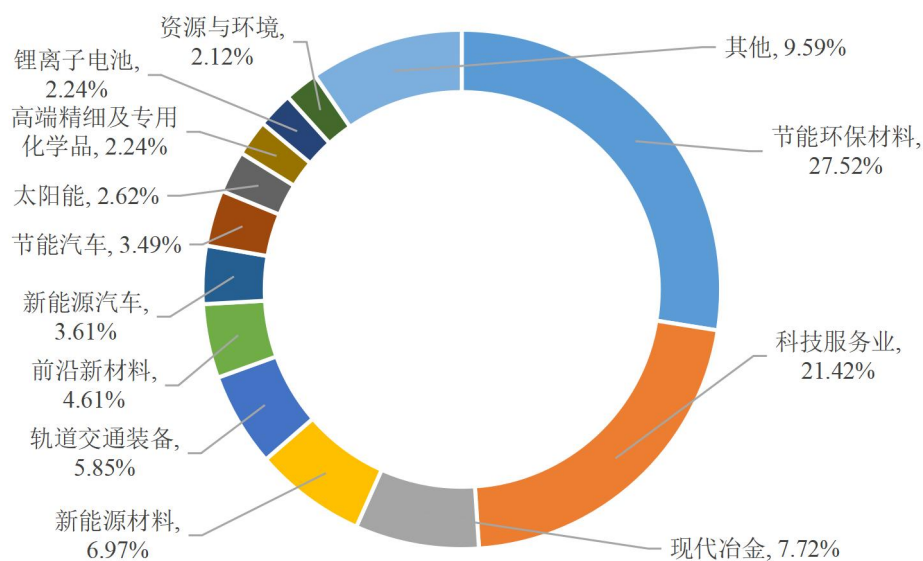


图 1-2-2 天津市雏鹰企业中生态环保（低碳）企业细分领域分布

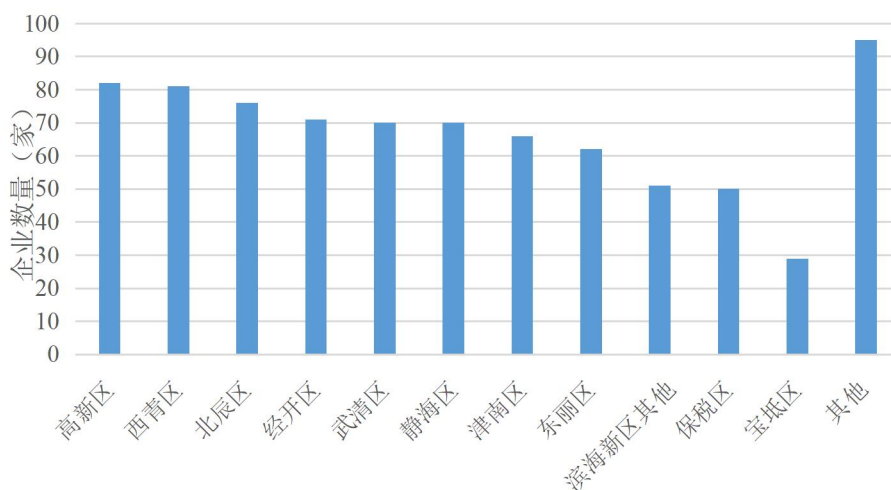


图 1-2-3 天津市雏鹰企业中生态环保（低碳）企业区域分布

瞪羚企业中，生态环保（低碳）企业主要分布在节能环保材料、科技服务业、轨道交通装备、前沿新材料等领域。节能环保材料领域企业数最多，为 22 家，占比 20.75%，其次为科技服务业和轨道交通装备领域企业，占比分别为 12.26%、11.32%，详情见图 1-2-4。从区域分布来看，瞪羚企业中生态环保（低碳）企业主要分布在武清区、经开区、高新区、静海区、西青区等，其中，武清区最多，有 15 家企业，占比 14.15%，经开区有 13 家企业，占比 12.26%，高新区、静海区同为 11 家，占比 10.38%，详情见图 1-2-5。

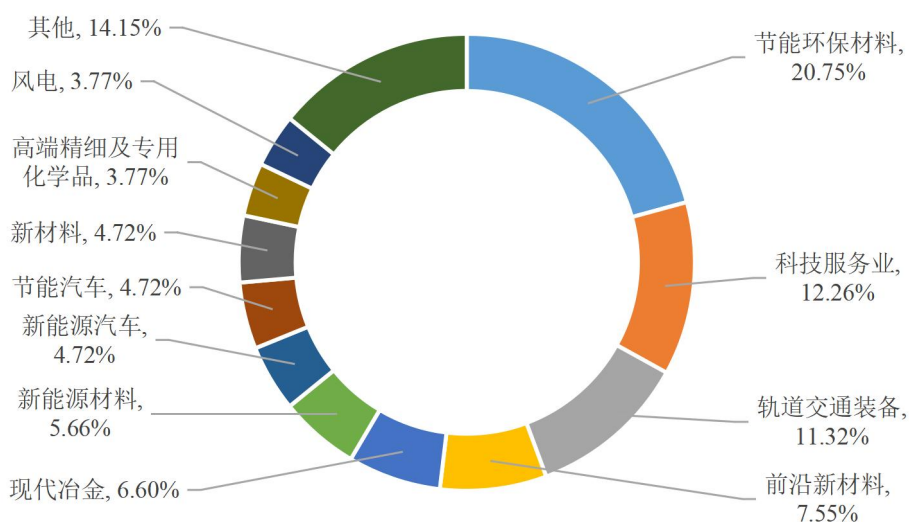


图 1-2-4 天津市瞪羚企业中生态环保（低碳）企业细分领域分布

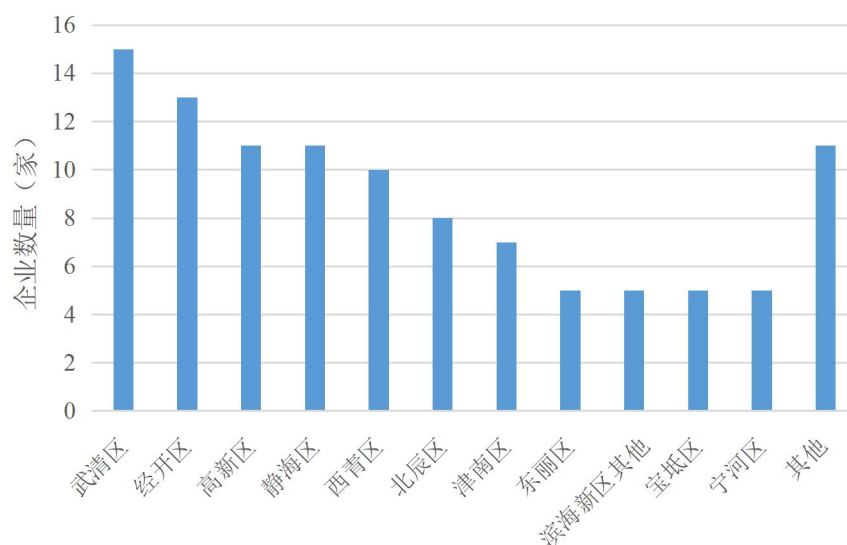


图 1-2-5 天津市瞪羚企业中生态环保（低碳）企业区域分布

科技领军（培育）企业中，生态环保（低碳）企业主要分布在节能环保材料、科技服务业、高端精细及专用化学品、轨道交通装备等领域，其中有 22 家为节能环保材料领域企业，占比 29.33%，其次为科技服务业、高端精细及专用化学品领域企业，占比分别为 13.33%、10.67%，详情见图 1-2-6。从区域分布来看，科技领军（培育）企业中生态环保（低碳）企业主要分布在经开区、高新区、北辰区、武清区、保税区等，其中，经开区企业数量居于首位，为 14 家，占比 18.67%，高新区、北辰区占比分别为 17.33%、16%，居于其后，详情见图 1-2-7。

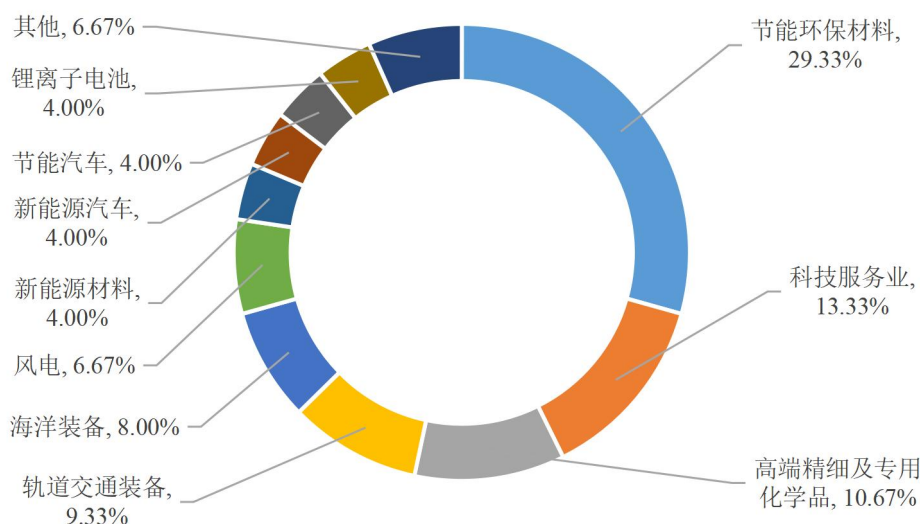


图 1-2-6 天津市科技领军（培育）企业中生态环保（低碳）企业细分领域分布

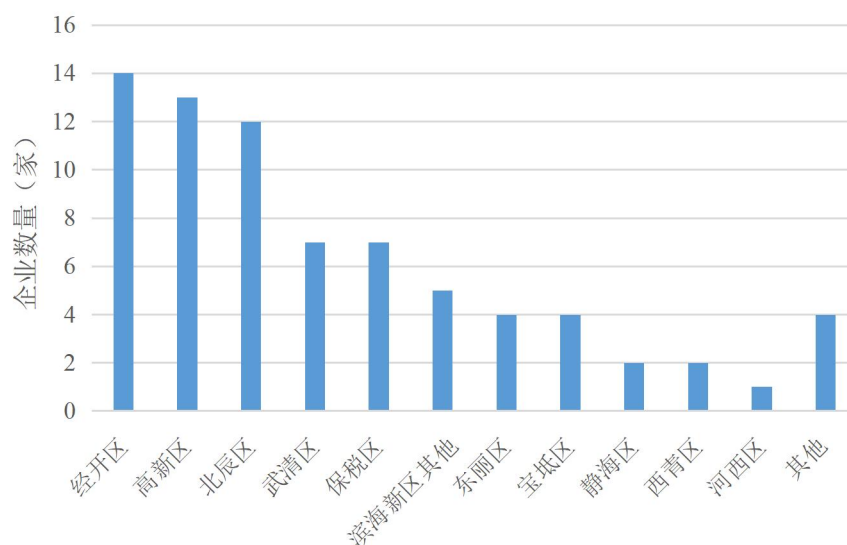


图 1-2-7 天津市科技领军（培育）企业中生态环保（低碳）企业区域分布

截至 2021 年底，天津市共有高新技术企业 9198 家，其中资源与环境领域共有 554 家企业，占比 6.02%；新能源与节能领域共有 401 家企业，占比 4.36%。

资源与环境领域的 554 家高新技术企业中，主要涵盖 8 项二级领域，其中企业数最多的为水污染控制与水资源利用技术领域，共 210 家企业，占比 37.91%，其次为大气污染控制技术领域和固体废弃物处置与综合利用技术领域，占比分别为 15.88%、13.72%，详见图 1-2-8。二级领域下主要涵盖 28 项三级领域，详细分类见表 1-2-3。

从区域分布看，资源与环境领域的高新技术企业主要分布在高新区、经开区、滨海新区其他、武清区、津南区、西青区等，其中高新区分布有 119 家企业，占比 21.48%，居于首位；经开区、滨海新区其他位列其后，分别有 64 家和 48 家企业，占比分别为 11.55%、8.66%；武清区、津南区均分布有 46 家企业，占比 7.67%，详情见图 1-2-9。

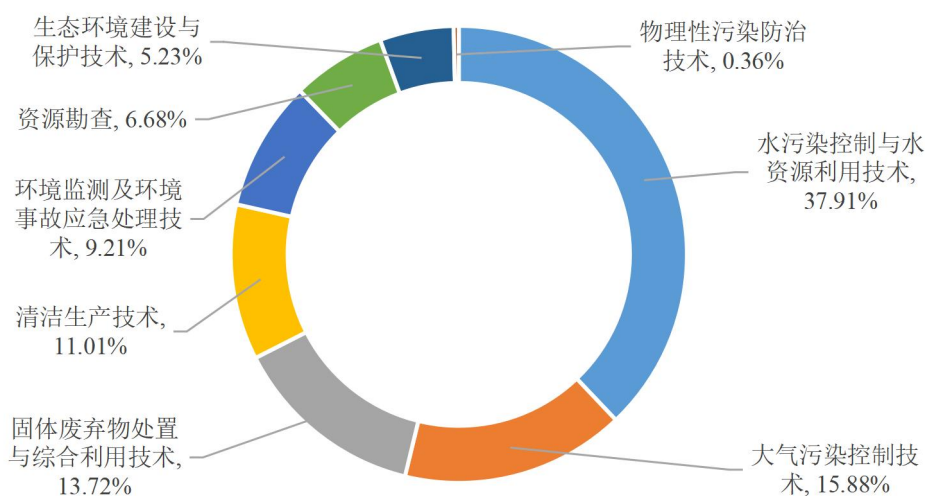


图 1-2-8 天津市高新技术企业中资源与环境领域企业二级领域分布

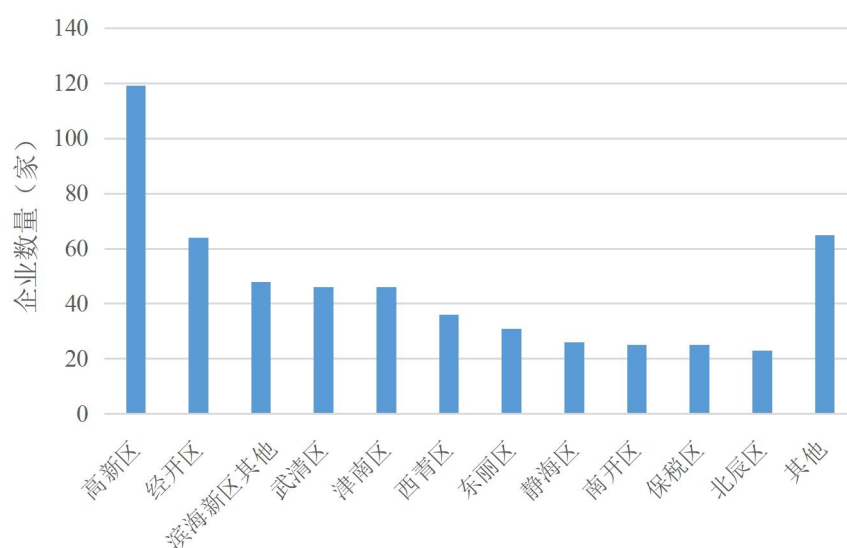


图 1-2-9 天津市高新技术企业中资源与环境领域企业区域分布

表 1-2-3 天津市高新技术企业中资源与环境领域下二级、三级领域分布

二级领域	三级领域	数目 (家)
大气污染控制技术 (88 家)	工业有害废气控制技术	36
	有限空间空气污染防治技术	26
	工业炉窑污染防治技术	15
	煤燃烧污染防治技术	9
	机动车排放控制技术	2
固体废弃物处置与综合利用技术 (76 家)	生活垃圾处置与资源化技术	19
	工业固体废弃物综合利用技术	13
	建筑垃圾处置与资源化技术	13
	危险固体废弃物处置技术	11
	社会源固体废弃物处置与资源化技术	10
	有机固体废物处理与资源化技术	10
环境监测及环境事故应急处理技术 (51 家)	环境监测预警技术	29
	生态环境监测技术	10
	非常规污染物监测技术	6
	应急环境监测技术	6
清洁生产技术 (61 家)	环保制造关键技术	36
	清洁生产关键技术	15
	重污染行业生产过程中节水/减排及资源化关键技术	10
生态环境建设与保护技术 (29 家)	/	29
水污染控制与水资源利用技术 (210 家)	工业废水处理与资源化技术	90
	城镇污水处理与资源化技术	67
	节水与非常规水资源综合利用技术	19

	饮用水安全保障技术	19
	流域水污染治理与富营养化综合控制技术	10
	农业水污染控制技术	5
物理性污染防治技术（2家）	核与辐射安全防治技术	1
	噪声/振动污染防治技术	1
资源勘查（37家）	高效开采与综合利用技术	37

新能源与节能领域的 401 家高新技术企业中，主要涵盖 4 项二级领域，其中高效节能技术领域企业最多，共 290 家企业，占比高达 72.32%，其次为可再生清洁能源领域（64 家）和新型高效能量转换与储存技术领域（44 家），占比分别为 15.96%、10.97%，详见图 1-2-10。二级领域下主要涵盖 17 项三级领域，详细分类见表 1-2-4。

从区域分布看，新能源与节能领域高新技术企业主要分布在高新区、西青区、武清区、北辰区等，其中高新区有 99 家企业，占比 24.69%，居于首位；西青区有 41 家企业，占比 10.22%；武清区和北辰区均有 32 家企业，占比 17.98%，详情见图 1-2-11。

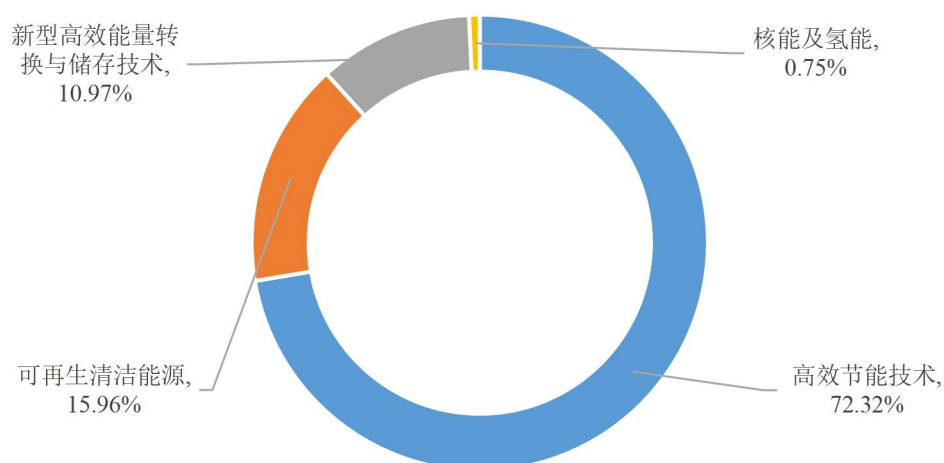


图 1-2-10 天津市高新技术企业中新能源与节能领域企业二级领域分布

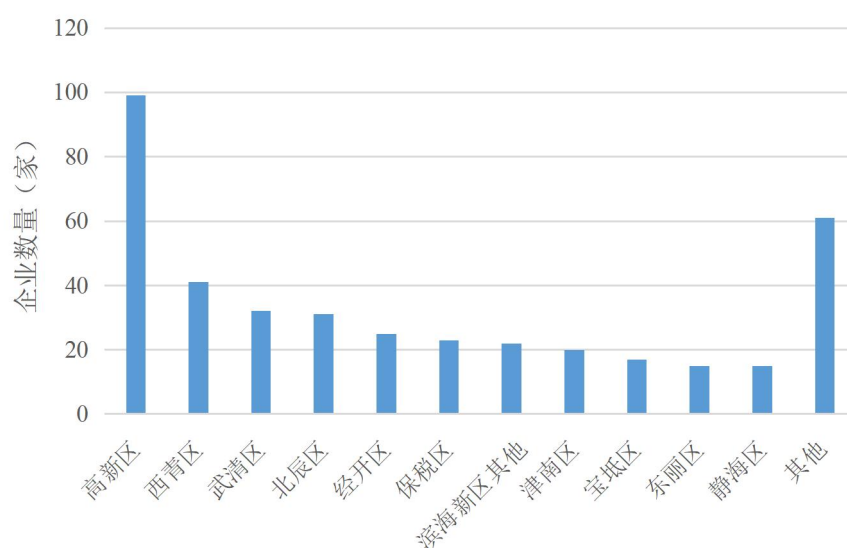


图 1-2-11 天津市高新技术企业中新能源与节能领域企业区域分布

表 1-2-4 天津市高新技术企业中新能源与节能领域下二级、三级领域分布

二级	三级	数目 (家)
高效节能技术 (290 家)	建筑节能技术	104
	工业节能技术	62
	能源系统管理/优化与控制技术	45
	能量回收利用技术	21
	节能监测技术	19
	蓄热式燃烧技术	16
	高温热泵技术	13
	输配电系统优化技术	10
核能及氢能 (3 家)	核能	2
	氢能	1
可再生清洁能源 (64 家)	太阳能	30
	风能	22
	生物质能	8
	地热能/海洋能及运动能	4
新型高效能量转换与储存技术 (44 家)	新型动力电池 (组) 与储能电池技术	22
	高性能绿色电池 (组) 技术	13
	超级电容器与热电转换技术	9

3 科技计划项目

自 2018—2022 年，市科技局围绕资源与环境、能源与交通、材料与化工、碳达峰碳中和等技术领域，累计支持 825 项科技计划项目，涉及 11 个计划共 55 个项目类别，投入财政资金达 3.17 亿元。

从计划类别来看，生态环保（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）、科技重大专项与工程为主。其中，自然科学基金立项 386 个，占比 46.79%；其次是重点研发计划，占比 20.48%。各计划类别立项情况见图 1-3-1。

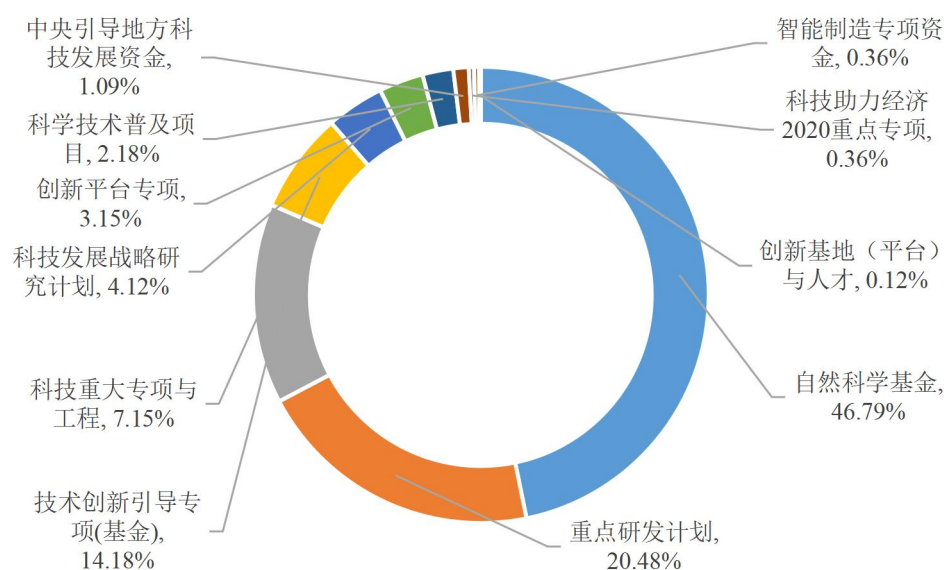


图 1-3-1 2018—2022 年天津市生态环保（低碳）领域科技立项计划类别分布

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 8055 万元，占比达 25.38%；其次是重点研发计划，财政支持累计 8037.6 万元，占比 25.32%；技术创新引导专项（基金）和自然科学基金的财政支持分别为 4785 万元和 4452 万元，分别占比 15.07%和 14.03%。详情见图 1-3-2。

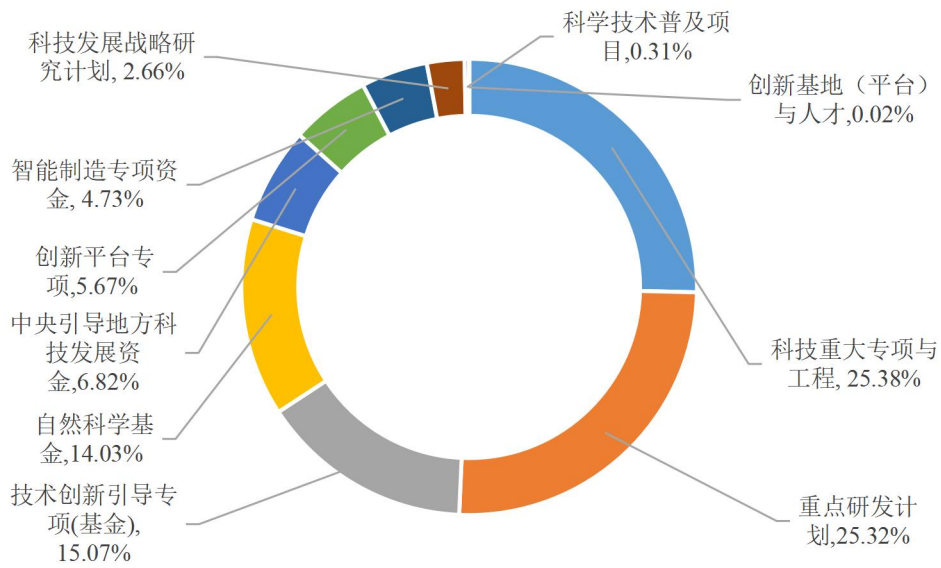


图 1-3-2 2018—2022 年天津市生态环保（低碳）领域科技立项财政支持

从项目承担单位类型看，承担单位以高校（学院）和企业为主，分别有 174 家和 166 家，分别占比 46.52%和 44.39%，承担项目数分别为 547 项和 211 项；其次是科研院所，有 30 家，占比 8.02%，承担项目数 61 项；政府机构和社会组织占比均较小，分别只有 3 家和 1 家，占比 0.8%和 0.27%，承担项目数分别为 4 项和 2 项，详情见图 1-3-3。

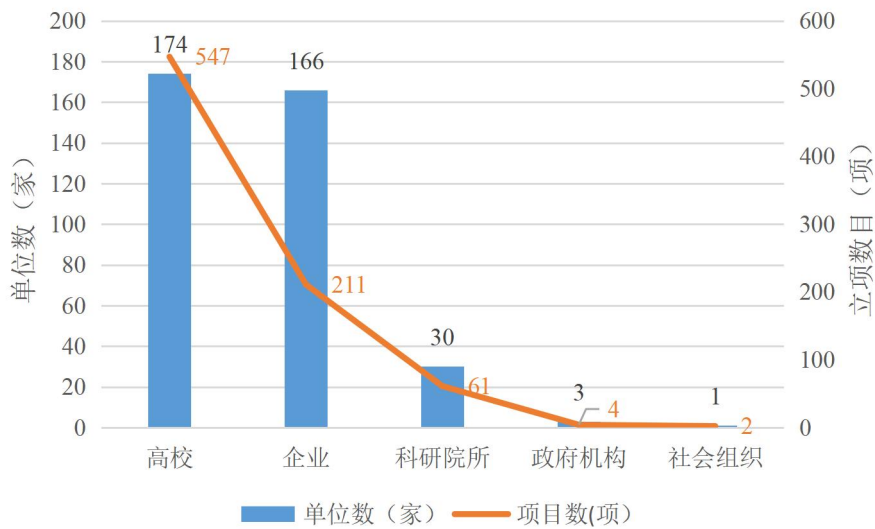


图 1-3-3 2018—2022 年天津市生态环保（低碳）领域科技立项项目承担单位总体分布

4 科技奖励

2021年,天津市在大气污染源防治、工业废水高效处理及资源化、海洋环境监测等生态环保领域及高比能动力电池、电网低碳绿色技术、汽车低碳节能关键技术等节能低碳领域涌现出一批重大科研成果,荣获中国环境科学学会环境保护科学技术奖1项(表1-4-1)、中国环境保护产业协会环境技术进步奖3项(表1-4-2)、天津市科学技术奖42项(表1-4-3)。

表 1-4-1 2021 年度中国环境科学学会环境保护科学技术奖天津市获奖名单

序号	年度	授奖等级	项目编号	项目名称	完成单位	完成人
1	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、浙江大学	侯立安、李安桂、王博、陈冠益、王晶

资料来源:2021年度中国环境科学学会《环境保护科学技术奖获奖项目名单》

表 1-4-2 2021 年中国环境保护产业协会环境技术进步奖天津市获奖名单

序号	年度	授奖等级	项目编号	项目名称	完成单位	完成人
1	2021	二等奖	HJJS-2021-2-05	屠宰与肉类加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
2	2021	二等奖	HJJS-2021-2-16	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
3	2021	二等奖	HJJS-2021-2-17	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

资料来源：2021 年度中国环境保护产业协会“环境技术进步奖授奖项目”公示

表 1-4-3 2021 年天津市科学技术奖获奖名单（生态环保（低碳）领域）

序号	年度	授奖等级	项目编号	项目名称	完成单位	完成人
1	2021	自然科学特等奖	2021ZR-1-001	流域抗生素胁迫抗性基因的污染特征、驱动机制和风险控制	南开大学、中国科学院广州地球化学研究所、生态环境部南京环境科学研究所、天津大学	罗义、应光国、毛大庆、张颖、王娜、牛志广、张芊芊、周丽君、郭欣妍
2	2021	自然科学一等奖	2021ZR-1-005	水系锌电池材料与器件	南开大学	牛志强、陈军、万放、张燕、黄朔、赵庆、铁志伟、戴熹、马华
3	2021	自然科学二等奖	2021ZR-2-008	木质纤维素高效解聚及高值化利用的绿色过程和机制	南开大学、天津大学	漆新华、于宏兵、吕学斌、郭海心、张璐鑫、王攀
4	2021	技术发明特等奖	2021FM-1-001	柔性交直流混合配电网保护与自愈控制关键技术及应用	国网天津市电力公司、天津大学、南京南瑞继保电气有限公司、天津凯发电气股份有限公司、天津三源电力智能科技有限公司	李斌、赵亮、何佳伟、姚程、王翀、李晔、尚学军、吕慧婕、袁中琛、温伟杰、王传启、朱海勇
5	2021	技术发明一等奖	2021FM-1-003	轻型汽油动力高强度、高品质关键技术及应用	天津大学、天津内燃机研究所（天津摩托车技术中心）、广州飞肯摩托车有限公司、浙江春风动力股份有限公司、柳州五菱柳机动力有限公司、浙江星月实业有限公司、浙江耀锋动力科技有限公司	舒歌群、卫海桥、张宝欢、孙月海、林漫群、梁兴雨、周磊、潘家营、贾滨

6	2021	科学技术 进步特等 奖	2021JB-1-006	基坑工程自 稳型无支撑 绿色支护技 术及其工程 应用	天津大学、上海勘 察设计研究院（集 团）有限公司、天 津建城基业集团有 限公司、中建三局 集团有限公司、上 海长凯岩土工程有 限公司、广东力源 液压机械有限公司	郑刚、顾国荣、 刘永超、周海祚、 余地华、杨石飞、 魏建华、刘畅、 叶建、程雪松、 冯欣华、陈晖
7	2021	科学技术 进步一等 奖	2021JB-1-009	边云协同的 大型建筑低 碳运维智慧 物联系统的 关键技术研究 及应用	天津安捷物联科技 股份有限公司、天 津大学、天津师范 大学、国家会展中 心（天津）有限责 任公司	胡清华、米玉淼、 王晓飞、安青松、 冯为嘉、汪运、 王立波、孙华志、 秦志兴、彭思诚、 肖敏、郭济语
8	2021	科学技术 进步一等 奖	2021JB-1-010	渤海稠油油 田采出液一 体化高效处 理关键技术 及应用	中海油（天津）油 田化工有限公司、 中海油研究总院有 限责任公司、中海 石油（中国）有限 公司天津分公司、 西南石油大学、长 江大学	张健、郭海军、 段明、张春生、 魏强、唐晓旭、 王玉、程艳、陆 原、靖波、王秀 军、方申文
9	2021	科学技术 进步一等 奖	2021JB-1-016	高比能动力 电池用高镍 氧化物材料 关键技术研究 和应用	天津巴莫科技有限 责任公司、成都巴 莫科技有限责任公司、南开大学	吴孟涛、徐宁、 吕菲、高学平、 吴景林、李龙庆、 封锡胜、孟凡玉、 熊家荣、程晓焜、 李磊、华源军
10	2021	科学技术 进步一等 奖	2021JB-1-018	高盐废水分 质结晶及资 源化关键技 术与产业化 应用	天津大学、河北工 业大学、上海东硕 环保科技股份有限 公司、东华工程科 技股份有限公司、 江苏瑞达环保科技 有限公司	郝红勋、谢闯、 纪志永、陈业钢、 吴越峰、周乔、 刘杰、喻军、赵 颖颖、黄欣、尹 秋响、王静康

11	2021	科学技术 进步一等 奖	2021JB-1-022	满足国六标准柴油车排放后处理关键技术研发及产业化应用	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、南开大学、潍柴动力股份有限公司、中自环保科技股份有限公司、广西玉柴机器股份有限公司	李振国、吴志新、刘庆岭、王卫超、王建海、王意宝、刘志敏、叶宇、任晓宁、张晓丽、李凯祥、邵元凯
12	2021	科学技术 进步一等 奖	2021JB-1-025	智能化海洋环境信息观测、处理与导航关键技术及应用	天津大学、中国人民解放军 92859 部队、中国船舶重工集团公司第七〇七研究所、深之蓝海海洋科技股份有限公司	杨嘉琛、孙磊、魏建仓、吕辰刚、蔡俊华、王川、温家宝、王彦国、范龙、张红良、张敏、王洪达
13	2021	科学技术 进步一等 奖	2021JB-1-028	重污染化工废水高效处理及资源化关键技术与装备	天津城建大学、天津理工大学、天津市环境保护技术开发中心设计所有限责任公司、中海油天津化工研究设计院有限公司、天津大学、北京航化节能环保技术有限公司、天津现代职业技术学院	费学宁、李梅彤、孙贻超、李亮、冯辉、曹凌云、郝亚超、张天永、郑全军、袁文蛟、苏志龙、刘鹏
14	2021	科学技术 进步一等 奖	2021JB-1-034	面向滨海重大基础设施的绿色低碳自密实混凝土关键技术及工程应用	天津城建大学、天津大学、深圳大学、天津市建筑科学研究院有限公司、天津三建建筑工程有限公司、天津住宅集团建设工程总承包有限公司、天津二建建筑工程有限公司	龙武剑、张磊、张津瑞、王海良、董必钦、荣辉、罗启灵、纪慧宇、刘杰、张永坡、冯云、冉隆林

15	2021	科学技术 进步二等 奖	2021JB-2-047	大气波导监 测诊断技术 及应用	中国船舶重工集团 公司第七〇七研究 所、中国人民解放 军海军工程大学、 中国人民解放军 92859 部队	邓东黎、田斌、 察豪、薄文波、 高志宇、张永兵、 董金发、米洋
16	2021	科学技术 进步二等 奖	2021JB-2-050	电动汽车充 电兼容性关 键技术研究 及应用	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、 青岛特来电新能源 科技有限公司、比 亚迪股份有限公 司、特来电(天津) 新能源科技有限公 司	王芳、李川、王 娇娇、于德翔、 陈丽雪、王洪军、 徐泉、李杨
17	2021	科学技术 进步二等 奖	2021JB-2-061	高比能硅系 复合负极材 料关键技术 与产业化应 用	天津市贝特瑞新能 源科技有限公司、 天津理工大学	苗艳丽、宋大卫、 周皓镠、杨红强、 任建国、张洪周
18	2021	科学技术 进步二等 奖	2021JB-2-070	海上稠油热 采高效注热 关键技术研 究及应用	中海油田服务股份 有限公司、中海石 油(中国)有限公 司、中海石油(中 国)有限公司天津 分公司、中国石油 大学(华东)	孙永涛、徐文江、 刘义刚、阎洪涛、 李兆敏、王玉、 孙玉豹、姜维东
19	2021	科学技术 进步二等 奖	2021JB-2-072	海域动态天 空协同智能 监测系统关 键技术研究 及应用	天津航天中为数据 系统科技有限公 司、国家海洋技术 中心	李明、陈浩、王 厚军、雷建胜、 安玉拴、朱铁林、 曹海、荆俊平
20	2021	科学技术 进步二等 奖	2021JB-2-075	基于北斗的 智能土地及 环境在线监 察综合技术 研究与服务 平台建立	天津市勘察设计院 集团有限公司、天 津大学、星际空间 (天津)科技发展 有限公司	王珍、丁乐乐、 王震、潘宇明、 刘艳飞、张涛、 黄恩兴、郭博峰

21	2021	科学技术 进步二等 奖	2021JB-2-076	基于材料— 结构—工艺 一体化开发 的轻量化车 身关键技术 研究与应用	中国汽车技术研 究中心有限公司、天 津银宝山新科技有 限公司、天津大学	孟宪明、方锐、 王建海、李洪亮、 李杰、张赛、史 丽婷、崔东
22	2021	科学技术 进步二等 奖	2021JB-2-077	基于“人—车 —路”全工况 的汽车低碳 节能关键技 术研发及应 用	中汽研（天津）汽 车工程研究院有限 公司、中国汽车技 术研究中心有限公 司	杨建军、刘双喜、 张先锋、王建海、 李振国、聂国乐、 牛亚卓、白巴特 尔
23	2021	科学技术 进步二等 奖	2021JB-2-083	京津冀地面 沉降区轨道 交通服役状 态致灾机理 及对策研究	中国铁路设计集团 有限公司	李国和、黄大中、 王少林、王淑敏、 尚海敏、齐春雨、 张凤维、徐黎明
24	2021	科学技术 进步二等 奖	2021JB-2-086	面向“双碳”目 标的电网低 碳绿色调控 技术及应用	国网天津市电力公 司、华北电力大学、 天津大学、国网冀 北电力有限公司唐 山供电公司、天津 英利光伏电站技术 开发有限公司	陈艳波、迟福建、 徐其春、葛磊蛟、 刘书玉、王伟臣、 张金禄、佟萌
25	2021	科学技术 进步二等 奖	2021JB-2-091	软土地区地 下工程施工 中承压水引 发的环境影 响及渗漏灾 害控制技术	天津大学、中铁十 二局集团有限公 司、中铁十二局集 团第四工程有限公 司、上海广联环境 岩土工程股份有限 公司	程雪松、高琪、 刁钰、仲志武、 栗晴瀚、史小锐、 张晓斌、邵高波
26	2021	科学技术 进步二等 奖	2021JB-2-095	室内气态分 子污染控制 技术及应用	天津大学、美埃（中 国）环境科技股份 有限公司、世源科 技工程有限公司、 天津商业大学、天 津中天环境科技有 限公司	裴晶晶、刘俊杰、 刘庆岭、王志强、 陈玲、阎冬、张 群、徐敬

27	2021	科学技术 进步二等 奖	2021JB-2-099	新型干法水 泥低碳智能 制造关键技 术与装备	天津水泥工业设计 研究院有限公司、 清华大学、中材邦 业（杭州）智能技 术有限公司、中材 节能股份有限公司	何小龙、彭学平、 李振山、陈昌华、 刘涛、董兰起、 冯兰洲、孙利波
28	2021	科学技术 进步二等 奖	2021JB-2-101	源荷协同优 化的建筑能 源规划设计 技术	天津大学、天津大 学建筑设计规划研 究总院有限公司、 天津帝诚建筑科技 有限公司、中电建 铁路建设投资集团 有限公司、天津市 政工程设计研究总 院有限公司	田喆、丁研、芦 岩、毛宇飞、张 琦、李锋、王建 栓、牛纪德
29	2021	科学技术 进步二等 奖	2021JB-2-107	城市河道污 染溯源与水 质改善关键 技术与应用	天津市水利科学研 究院、天津大学、 天津市水务规划勘 测设计有限公司、 天津市排水管理事 务中心、上海市城 市建设设计研究总 院（集团）有限公 司	常素云、李保国、 刘哲、孙井梅、 姜衍祥、李金中、 吴彩霞、张洪贵
30	2021	科学技术 进步二等 奖	2021JB-2-108	城市缓流水 体灰绿耦合 综合整治关 键技术研究 与工程应用	天津大学、天津大 学建筑设计规划研 究总院有限公司、 天津港保税区环境 监测站、天津市水 利工程有限公司	季民、赵迎新、 王卫红、彭森、 杨冬冬、樊在义、 李洪飞、迟杰
31	2021	科学技术 进步二等 奖	2021JB-2-110	复杂恶臭气 体生物强化 除臭关键技 术及应用	天津大学、北京北 华清创环境科技有 限公司、青岛金海 晟环保设备有限公 司、中国市政工程 华北设计研究总院 有限公司、天津市 生态环境科学研究 院	王灿、季民、唐 群才、王永仪、 汪泳、邹克华、 王亘、刘世德

32	2021	科学技术 进步二等 奖	2021JB-2-111	复杂化学品 污染事故地 块应急管控 及土壤耦合 修复技术集 成与应用	天津生态城环保有 限公司、南开大学、 北京市生态环境保 护科学研究院、河 北工业大学	唐景春、宋震宇、 杨伟、王世杰、 袁珊珊、吕宏虹、 郑福居、钟茂生
33	2021	科学技术 进步二等 奖	2021JB-2-113	海水工厂化 养殖尾水高 效处理技术 的建立与示 范	天津农学院、中国 科学院海洋研究 所、大连海洋大学、 天津市水产研究 所、中国海洋大学	李贤、刘鹰、季 延滨、贾磊、王 金霞、李军、孔 庆霞、宋协法
34	2021	科学技术 进步二等 奖	2021JB-2-115	基于低碳导 向的污水资 源化关键技 术与应用	中国市政工程华北 设计研究总院有限 公司、天津大学、 天津城建大学、天 津万峰环保科技有 限公司	沈煜、郭兴芳、 池勇志、申世峰、 李彬、战树岩、 王强、刘佩春
35	2021	科学技术 进步二等 奖	2021JB-2-120	集约化养殖 重金属污染 全链条阻控 关键技术创 新及应用	农业农村部环境保 护科研监测所、农 业农村部规划设 计研究院、农业农 村部农业生态与资 源保护总站、西北 农林科技大学、山 东省农业科学院	孙约兵、周海滨、 张曦、郑顺安、 王小娟、师荣光、 徐应明、薄录吉
36	2021	科学技术 进步二等 奖	2021JB-2-135	应对气候变 化的排水设 计和内涝预 报预警气象 关键技术	天津市气象局、天 津大学	李明财、徐奎、 陈靖、曹经福、 杨晓君、李大鸣、 解以扬、李培彦
37	2021	科学技术 进步三等 奖	2021JB-3-137	12-126kV 环 保智能型系 列化真空断 路器的技术 研究及应用	天津平高智能电气 有限公司	张敬涛、汪宁、 方煜瑛、王小焕、 李小钊
38	2021	科学技术 进步三等 奖	2021JB-3-145	高效节能型 铁路真空卸 污系统产业 化关键技术 与应用	中国铁路设计集团 有限公司、飞泰交 通科技有限公司、 铁道第三勘察设 计院有限公司	李江雯、陈为民、 吴国华、车跃龙、 裴露

39	2021	科学技术 进步三等 奖	2021JB-3-154	面向碳中和 的汽车生命 周期评价关 键技术及应 用	中汽数据（天津） 有限公司、中汽数 据有限公司、天津 开发区精诺瀚海数 据科技有限公司	孙铎、任女尔、 刘晶、赵明楠、 徐树杰
40	2021	科学技术 进步三等 奖	2021JB-3-160	铁前工序节 能减排系统 集成技术 及应用	天津市新天钢联合 特钢有限公司、钢 铁研究总院	吴俊国、严定鏊、 聂荣恩、王锋、 邹宗来
41	2021	科学技术 进步三等 奖	2021JB-3-162	一种高效环 保缓蚀复配 融雪剂	中盐工程技术研究 院有限公司	宋礼慧、朱国梁、 吕本松、张仂、 苗玉成
42	2021	科学技术 进步三等 奖	2021JB-3-167	海河北系（天 津段）河流水 质改善关键 技术开发与 应用	天津市水利科学研 究院、天津市生态 环境科学研究院、 中国科学院生态环 境研究中心	李保国、董立新、 张晓惠、江燕、 刘学功

资料来源：《2021年度天津市科学技术奖获奖名单》

5 技术交易

2021 年，天津市技术市场工作始终坚持创新核心地位，坚持“以用立业、由智变金”的理念，持续深化“放管服”改革和“一制三化”审批制度改革，加速技术要素市场化流动，技术交易持续活跃。2018—2021 年，我市登记认定生态环保（低碳）领域技术合同成交量累计 7400 项，其中 2019 年、2021 年均破 2000，分别为 2130 项、2112 项；生态环保（低碳）领域技术合同成交额累计 776.68 亿元，其中 2021 年成交额最多，为 287.22 亿元。历年技术合同登记数量和成交额情况见图 1-5-1。

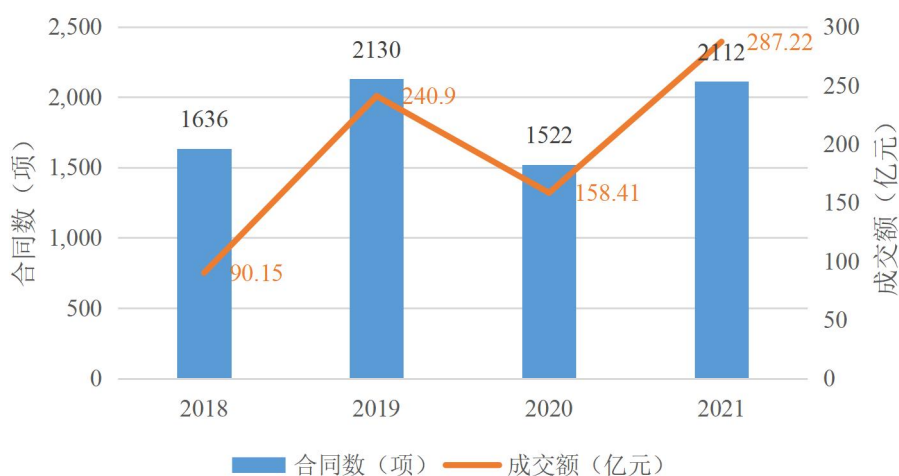


图 1-5-1 2018—2021 年天津市生态环保（低碳）领域技术合同成交情况

资料来源：《天津市技术市场统计年度报告》

从领域构成来看，生态环保（低碳）领域主要包括新能源与高效节能以及环境保护与资源综合利用。2021 年，新能源与高效节能领域技术合同成交量有所下降，为 799 项，技术合同成交金额达到近几年最大值，为 236.09 亿元，较上年同比增长 117.37%；环境保护与资源综合利用领域技术合同成交量较上年翻番，达到近四年最大值，为 1313 项，成交额为 51.13 亿元，与上年 49.8 亿元相比略有上升，详见图 1-5-2。

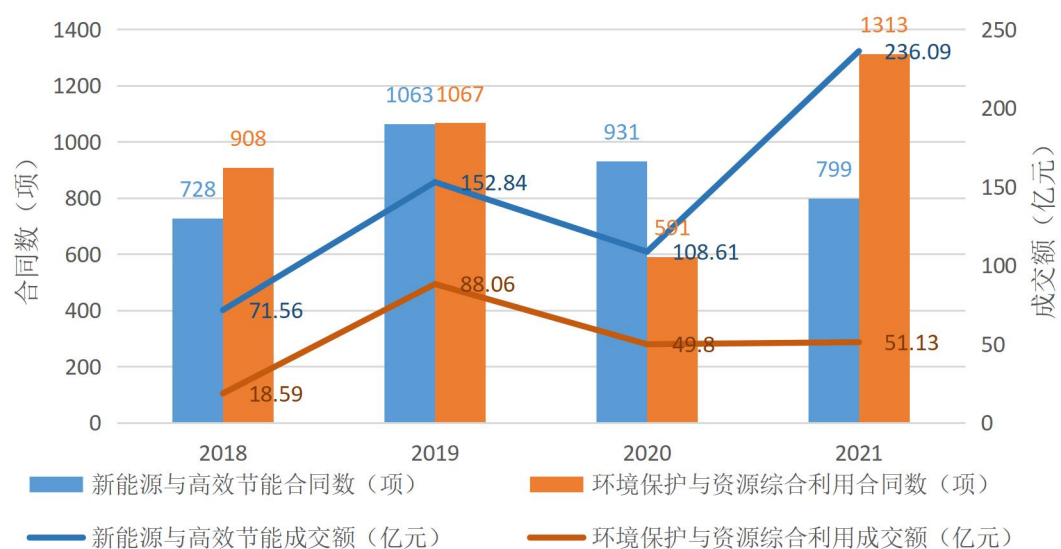


图 1-5-2 2018—2021 年天津市生态环保（低碳）领域分领域技术合同成交情况

资料来源：《天津市技术市场统计年度报告》

技术成果篇

技术成果篇共展示生态环境保护（碳达峰碳中和）领域先进适用示范性技术成果 55 项，涉及碳达峰碳中和技术 23 项、水污染治理技术 11 项、大气污染治理技术 4 项、固体废物处理处置及资源化技术 5 项、土壤及地下水修复技术 6 项、环境监测与监控技术 3 项、其他技术 3 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、碳达峰碳中和技术

技术 1 高比能量动力锂离子电池用高镍正极材料关键技术

1.1 技术提供方

天津巴莫科技有限责任公司成立于 2002 年，是一家集绿色环保电池材料的研究开发和生产于一体的锂离子电池正极材料国家级高新技术企业。公司现在天津高新技术产业园区、四川成都成阿工业园区同时建有国内智能化水平高、综合实力强的锂离子电池材料产业化基地。

1.2 技术简介

技术领域为碳达峰碳中和技术中的能源替代相关技术。技术成果来源于国家重点研发计划新能源汽车专项，已取得 6 项发明专利。

1.2.1 技术原理及工艺流程

本项技术主要解决高镍系材料容量小、循环衰减快、安全性差、加工困难以及生产成本高等主要问题。本项技术将前驱体、锂盐和添加剂按照一定的比例高速混合后，通过晶格修饰配方技术和富氧气氛合成技术得到掺杂均匀、颗粒内部密实、结晶度好、一次晶粒尺寸均匀的高镍材料，该材料经粉碎、过筛、后处理和包覆后二次焙烧得到终产物。通过多重纳米包覆技术在高镍系材料表面包覆一层具有储锂性能的包覆材料，一方面提升材料容量，另一方面减少材料与电解液直接的接触，达到减少副反应发生的目的，以提高材料的循环稳定性和安全性。本项技术工艺路线如图 2-1-1 所示。

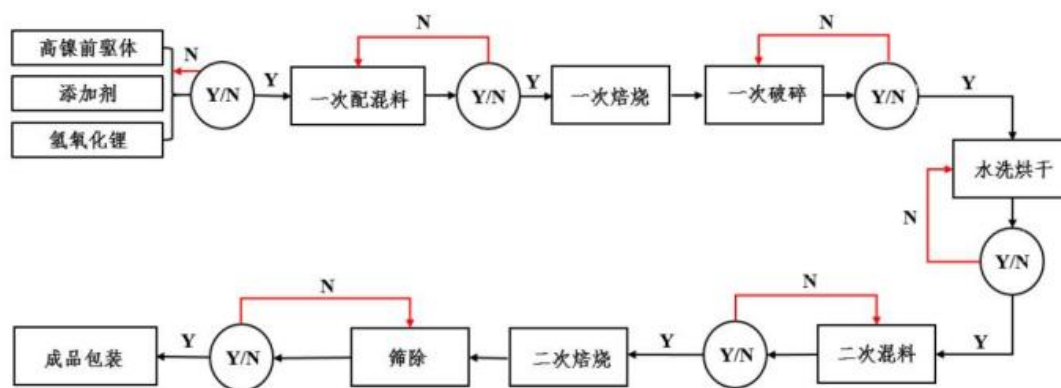


图 2-1-1 技术工艺路线图

1.2.2 技术成果适用性

本项技术适用于新能源锂离子动力电池行业，使用中无特定条件限制。

1.2.3 技术创新性及先进性

创新点：研发出控制晶粒生长取向技术；研发出富氧气氛二次固相合成技术；研发出多重纳米均质包覆技术；优化了水洗工艺后处理技术。

先进性：**比容量提升**。为使电池比能量密度达到 300Wh/kg，电池容量需达到 212mAh/g 以上，在高镍系正极材料中，Ni 含量提升可以显著提升材料容量，本项目通过控制前驱体

结晶合成技术，优化前驱体 $\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{M}_{(1-x-y)}(\text{OH})_2$ 中 Ni/Co/Mn 含量比例，合成 Ni、Co、Mn 分布均匀、球形度好的高镍正极材料；另一方面通过多重纳米均质包覆技术在高镍系材料表面包覆一层致密且均匀的具有储锂性能的包覆材料，提升比容量。将首次放电比容量从 205mAh/g 提升到 220mAh/g 以上，首次充放电效率达到 96% 以上。**循环改善**。一方面通过晶格修饰配方技术，得到掺杂均匀、结晶度和球形度好的高镍材料，并通过引入掺杂元素稳定材料的结构，进而改善其循环性能；另一方面通过多重纳米均质包覆技术在高镍系材料表面包覆一层致密且均匀的纳米包覆层，该纳米层可以避免电解液与材料的直接接触，减少材料与电解液的反应，保护材料表面不被腐蚀，进而改善其循环性能。

1.3 技术示范情况

自 2018 年 1 月至今，本项目成果在天津巴莫科技有限责任公司及子公司进行了转化应用，产品已在宁德时代、LG 化学和天津力神等全球前十的动力电池企业大规模应用，并出口到日韩等国际市场。

技术 2 港口能耗及排放智能分析与系统

2.1 技术提供方

交通运输部天津水运工程科学研究所（简称“天科院”）成立于 1974 年，是交通运输部直属正局级科研事业单位，坐落于天津市滨海新区，拥有一个本部两个基地。天科院长期致力于港口节能减排、碳达峰、碳中和等相关工作，完成国家重点研发计划战略性国际科技创新合作重点专项项目“国际化绿色港口枢纽及多式联运关键支撑系统合作研发”、交通运输部建设科技项目“利用物联网实现港口能耗及排放在线监测与动态分析优化技术研究”等多项研究课题。

2.2 技术简介

技术领域为碳达峰碳中和技术。技术来源为国家重点研发计划战略性国际科技创新合作重点专项项目、交通运输部建设科技项目、水运工程标准项目等，已取得 1 项发明专利及 2 项实用新型专利。

2.2.1 技术原理及工艺流程

本系统是一套以计量仪表数据集中采集为基础，能耗数据分类分项查询、统计、报表为重点，能耗数据分析、重点能耗设备监测为核心的综合性能耗管理系统。该系统通过与各个传感器的地址映射，确定各部分能耗情况，并实现作业情况展示、能耗变化趋势分析，数据预警、碳排放数据预测等多种功能。

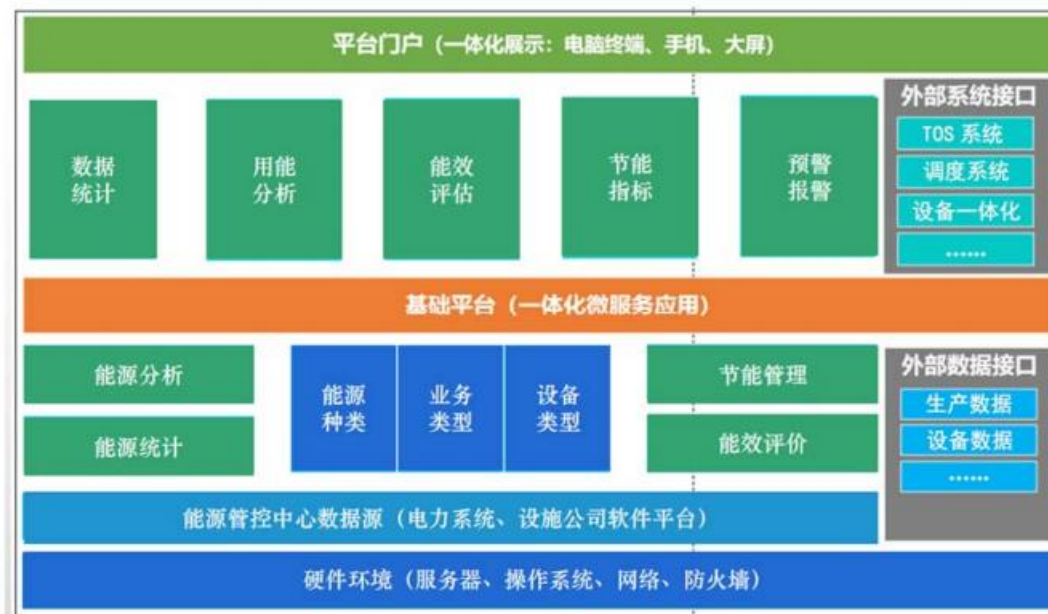


图 2-2-1 软件平台总体架构图

2.2.2 技术成果适用性

本项目可应用于国内各类港口的能耗在线监测与智能优化分析，基础设施方面需要配备足量的智能采集仪表和胜任大量数据存储分析的计算机硬件。

2.2.3 技术创新性及先进性

(1) 提出规范化的港口能源消耗监测系统建设要求

该标准规范用于港口能源消耗在线监测系统建设的设计、施工，覆盖采集、传输、存储、处理和运营等能耗管理全环节系统设计的要求，制定从设备安装、线缆敷设、供电接地及系统调试等全过程建设规范。

(2) 构建多元化的覆盖港口作业全流程的能耗在线监测系统

“一张图”尽览六大功能模块：能源管控平台融合能源系统、作业系统、分析预测、预警预报、绿色港口、碳排放六个模块，每个模块体现为“一张图”，各模块可通过大屏展示相关内容，实现能源数据一目了然。

“一平台”对接多个应用系统：针对“传统能源管理系统多、数据信息分散、收集汇总效率不高”等痛点，能源管控平台对接智能调控平台、智慧水务系统等现有管控平台，将不同单位、不同能源类型数据接入能源管控平台，同时对没有数据平台的计量设备建立数据接口，实现能源管控从“粗放管理”向“精细管控”的提升。

“全过程”实现数据闭环分析：能源管控平台开展“碳排放数据、能源综合要素”双维度统计分析，通过大数据比对分析，进一步加强了对能源消耗的源头管控，有效推动了港口智慧低碳的发展模式。

2.2.4 节能减碳或污染防治效果

(1) 提升企业能源管理智能化精细化水平

港口综合能源管控平台涵盖所有的用能单位和所有的用能种类，可实现能源管理全过程的实时监测、动态跟踪、量化分析、流程追溯、预警报警等，有效减少人为因素造成的能源浪费和统计差错，提升整体管理水平。

(2) 推动企业开展节能降碳工作

通过港口综合能源管控平台，对重点生产设备、生产环境能耗、单耗、碳排放、能源成本等进行大数据分析和智能挖掘，构建基于不同层级、不同对象、不同时期的能源消耗及碳排放动态分析机制，从节能减碳管理和节能降碳技术应用两个方面对节能降碳路径进行分析和效果评价，辅助企业进行节能降碳技术管理和应用。

(3) 助力绿色港口建设及双碳目标实现

通过港口综合能源管控平台，可基于不同统计口径和方式生成各类指标数据及报告报表，直观反映企业任何时段能源和碳排放情况，从而为港口能源的科学管理和智慧应用提供决策参考依据，为港口“碳达峰碳中和”目标的制定、规划、实施提供全面的数据支撑。

2.3 技术示范情况

天津港“综合能源管控平台建设”项目，于 2021 年 12 月 29 日完成验收。项目覆盖天津港股份公司、装卸板块单位、辅助单位、附属单位等，通过天津港电力公司智能调度平台、天津港设施中心的智慧水务系统、TOS 生产系统、智能调度指挥系统、设备管理等系统数据接口，进行电能、水、燃油、燃气等能源要素的在线监测和智能分析。平台构建了涵盖所有能源品种的可视化交互管控平台，使能源管理做到可实时、可量化、可追溯、可视化。设

备采集方面，数据采集为在线自动采集和现场人工采集两种方式。采集频次为电能自动采集频率为 15 分钟一次，最大时间间隔不大于 1 小时；水量自动采集频率宜为 6 小时一次，最大时间间隔不宜大于 24 小时；人工采集频率宜为每日一次，最大时间间隔不应大于每月一次。



图 2-2-2 天津港综合能源管控平台

技术 3 智慧能源双碳服务平台

3.1 技术提供方

天津市普迅电力信息技术有限公司是国家电网公司信息通信产业集团的直属单位，成立于 2004 年 6 月，以智慧能源服务运营为主营方向，提供电力数字化应用、智慧物联应用、智慧车联网、智慧运营等服务。在生态环境技术领域方面，自主研发“智慧能源+双碳”系列产品，面向政府、电网、社会等多方主体提供以能源为基础的绿色低碳服务。

3.2 技术简介

技术领域为碳达峰碳中和技术，在技术研发过程中已取得 3 项发明专利，6 项计算机软件著作权。

3.2.1 技术原理及工艺流程

平台采用标准云架构模式，以电气设备指纹提取、负荷用电细节数据预测、综合能效分析与计算、异常用能分析等高级算法为核心基础，聚焦电力系统全环节碳硫精准计量追踪与客户侧用能系统低碳运行技术的开发应用，通过集成区域范围内能源基础设施及独立管理系统，全面整合了电力、水务、燃气、政府、社会等多方数据，实现以电力为核心的能源数据的实时感知、传输、整合、分析以及“碳”数据应用开发。



图 2-3-1 平台工作原理图

提供大屏监控、Web 端应用和移动 APP 服务三种对外服务手段，解决了各能源子系统业务相互独立、碳排放管控数智化程度低、碳达峰实现路径缺少评估、碳资产管理信息化程度较低、碳减排缺少专业指导等问题。构建了基于“能-电-碳”模型的碳排放监测、碳达峰评估与碳排放预测等系列数据产品，实现从初步“观碳”到深度“感碳”再到前瞻“算碳”的跨越发展。

3.2.2 技术成果适用性

该项技术产品主要为政府、企业、社会提供智慧“能源+双碳”一体化服务，以信息平台

技术有效推进能源、资源、环境管理水平的数字化绿色化协同转型，使用中无特定条件限制。

3.2.3 技术创新性及先进性

技术创新方面：（1）提出了基于扩展 IEC-CIM 的数据治理标准规范，支撑多场景下综合能源数据的语义一致性融合，解决能源系统数据模型不统一、数据不互通的问题。（2）提出了云边协同与模块化微服务架构，解决多粒度对象多模态能源数据高效可视化需求，支持云边端混合架构下不同层次可视化分析及应用的快速响应。（3）提出了综合能源智慧应用平台主动推送算法，实现集精准感知、情势推演、智能响应等功能于一体，支持综合能源能效分析、负荷调控等多种场景定制化服务。（4）提出了计及多能源耦合损耗的综合能源调度模式，破解了电-气-热-冷耦合的异质能流模型差异大、大规模系统无法高效可靠求解的难题。（5）提出了差异化“能-电-碳”因子转换碳排计量、“电-碳”预测模型等，构建全量电力数据与社会生产的活跃度关联，解决跨行业能源数据缺失的难题。

技术先进性方面：该产品具有平台定位较高、用户服务全面、数据资源广泛、业务支撑高效、信息安全可靠这五大核心优势，市场占有率高。

3.2.4 节能减碳或污染防治效果

构建能源碳排监测算法，提供区域能源碳排数据和能源碳排热力图，直观反映区域能源碳排情况；以能源碳排监测数据为基础，通过算法辅助判断区域处于碳达峰哪个阶段，为开展“双碳”对标提供重要数据参考；以区域历史 GDP、用电量、清洁能源占比等数据为基础，为产业链上下游提供能源碳排放趋势预测。建立“电碳”指数，提供重点行业碳电强度分析、同行业企业碳电强度分析、企业与行业碳电强度对比分析，形成一套碳电强度分析可视化电碳生态地图，衡量区域、行业不同用能主体电气化程度，指导区域提升能源消费侧的电气化水平和节能提效水平。根据实际应用案例测算，典型园区（楼宇）用户可实现节能 20%。

3.3 技术示范情况

目前，相关技术成果已在上海、安徽、江苏等 10 余地市成功应用，形成了大规模、多主体、可支撑全国范围的能源综合服务能力。主要应用案例为上海智慧城市能源云平台项目，投资千万级，于 2018 年正式启动，2019 年 3 月 5 日 1.0 版本正式上线试运行，2021 年 5 月 30 日平台升级为智慧能源双碳云平台并上线运行，接入企业 6500 余家，覆盖行业 19 大类，入驻用户 171 户，其中 2 家政府机构，能源用户 149 家，能源服务商 13 家等，陆续推出电力经济指数等一系列“能源+”数据增值服务，累计服务企业 48 家。

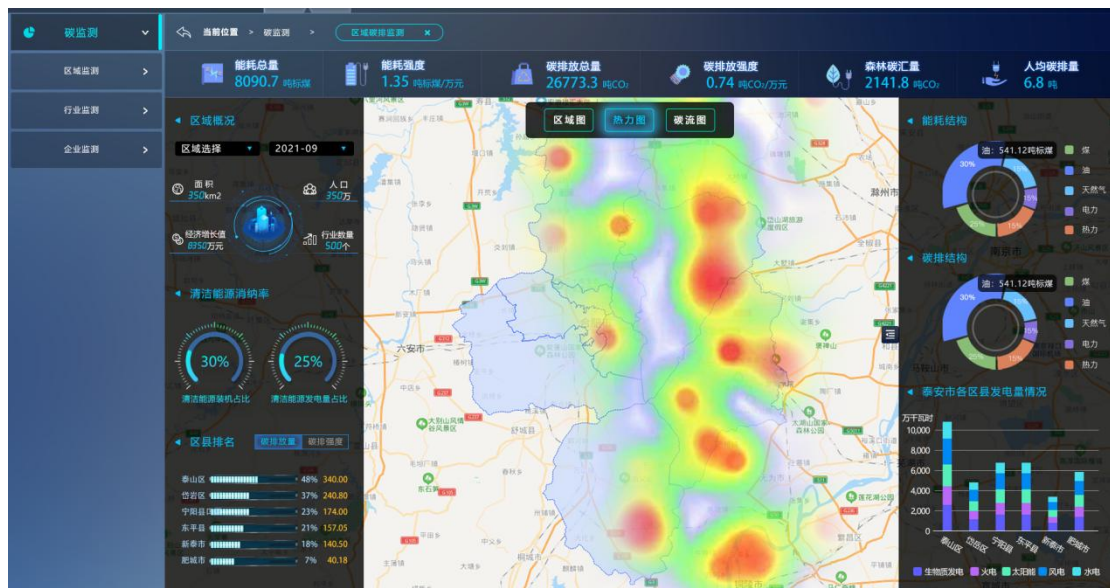


图 2-3-2 平台碳排放检测界面

技术 4 碳酸盐岩热储层地表水高效回灌技术

4.1 技术提供方

天津地热勘查开发设计院是天津市地质矿产勘查开发局直属的正处级公益二类事业单位，成立于 1975 年，是专门从事地热资源开发利用的技术队伍。拥有地球物理勘查、高难度超深地热井施工、浅层地热能勘查开发利用、地热资源集约节约利用、多能源耦合利用、砂岩热储和地表水回灌等一系列地热工程关键技术。

4.2 技术简介

技术领域为碳达峰碳中和技术。技术成果来源为天津市规划和自然资源局财政支持项目，已取得 4 项实用新型专利。

4.2.1 技术原理及工艺流程

碳酸盐岩热储层地表水高效回灌技术是综合运用地表水回灌的工程建设技术、水处理技术和运行监测技术，将丰水期以排涝弃水为主的地表水进行处理，达到回灌标准后，回灌至热储层中，增加热储补给量，实现保护地热资源、增加地热储量的目标。

依据区域地热地质条件、水文条件、地热开发利用等情况，选择地表水回灌目的层；进行动态监测、回灌试验和示踪试验，结合热储特征，建立地热地质模型，分析预测地表水回灌条件下水动力场和温度场变化趋势，确定回灌井布局方案和成井工艺，进行地热回灌井施工；同步开展地表水水质跟踪监测，对地表水进行多个模拟水处理实验，将实验产水、地热尾水以及混合水样与雾迷山组岩屑进行高温高压水岩反应实验，根据结果，确定水处理工艺流程（图 2-4-1），完成水处理设备选型和站房建设；应用地表水回灌运行监测技术，在线监测液位、水质、水温和水量等参数，根据进水水质、产水水质和水池液位变化，及时调整现场操作，同步监测地表水水质、周边井水位、水温和水质，分析地表水回灌条件下的地质环境影响；制定地表水回灌运行操作要求。具体技术路线见图 2-4-2。

4.2.2 技术成果适用性

本技术适用于地热资源开发利用中的回灌保护领域、水质监测领域、施工设计领域。

技术使用中的特定条件限制包括：1.本技术的最终目标是实现回灌补给，运行建设规模由回灌井的回灌能力决定；2.运行时间为地表水的丰水期。

4.2.3 技术创新性及先进性

目的层和回灌布局方面。提出了地表水回灌目的层选择的原则；利用研制的示踪剂投放装置进行示踪试验，确定区域优势渗流通道和流场特征；通过高温高压水岩反应实验和模型预测，探索回灌条件下地质环境变化特征。

回灌流体质量和水处理工艺方面。针对地表水和热储层地热流体的水质特征，提出地表水回灌的水质主要控制指标，设计了符合水质要求、处理成本低、运行稳定、工艺相对简单的水处理工艺流程并申请了相关专利。

系统运行监测方面。建立了运行监测、动态控制、地质环境监测体系，制定了地表水回灌运行操作要求，实现了水量、水位、水温、压力、电导率、pH、悬浮物、溶解氧、COD

等关键参数的在线监测。

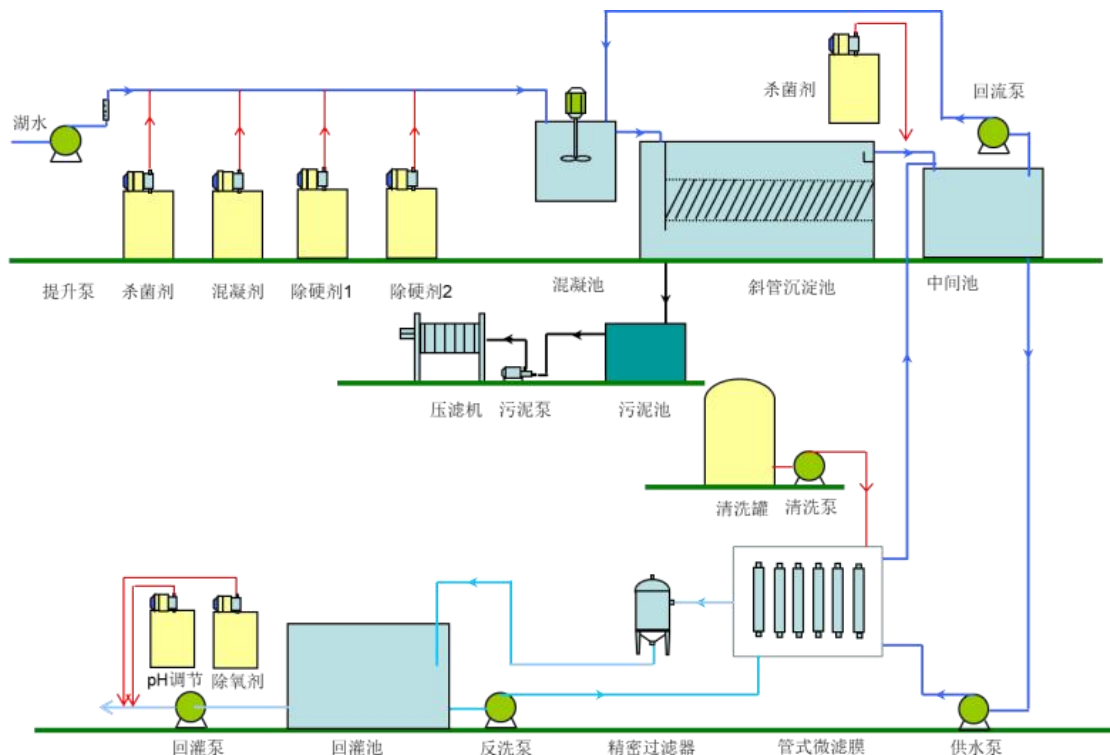


图 2-4-1 地表水回灌水处理工艺流程

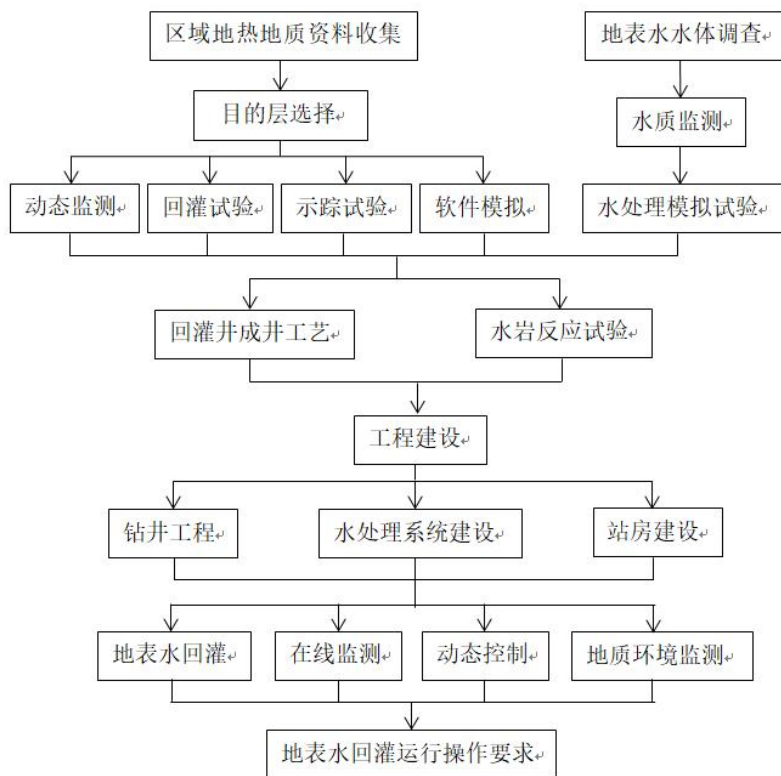


图 2-4-2 技术路线图

4.2.4 节能减碳或污染防治效果

依据天津市规划和自然资源局关于印发《天津市地热资源管理实施办法》的通知：“鼓励有条件的单位，通过建设利用地表水的热储回灌工程，在非供暖期进行地热回灌。利用地表水进行回灌的，可按照增加回灌量的 50% 申请增加年度开采指标”。

就应用本技术建成的东丽湖地表水回灌站而言，开凿的 3 眼地热井的总回灌能力大于 450m³/h，以回灌量 450m³/h 计，每年在丰水期 6 月至 9 月运行 120d 计算，系统的最大可灌量为 129.6×10⁴m³/a。考虑到实际运行过程中进行设备保养，反冲洗所占用的时间，实际回灌量约为 120×10⁴m³/a。可增加雾迷山组热储层回灌补给量约 120×10⁴m³/a，可增加 60×10⁴m³/a 的雾迷山组热储层开采指标。产生的热量相当的天然气量 9200×10³m³，节煤量 1117t，可降低向大气中排放二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物及悬浮质粉尘等各类污染物排放 28118t/a，其中二氧化碳 26655t/a，二氧化硫 190t/a，氮氧化物 67t/a，悬浮质粉尘 89t/a，固体废物煤灰渣 1117t/a。

就应用本技术建成的津南区北闸口镇地表水回灌站而言，地热井的总回灌能力大于 100m³/h，每年在丰水期 6 月至 9 月运行 120d 计算，考虑到实际运行过程中进行设备保养，反冲洗所占用的时间，实际回灌量约为 24×10⁴m³/a。可增加雾迷山组热储层回灌补给量约 24×10⁴m³/a，可增加 12×10⁴m³/a 的雾迷山组热储层开采指标。产生的热量相当的天然气量 2150×10³m³，节煤量 2610t，可降低向大气中排放二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物及悬浮质粉尘等各类污染物排放 6570t/a，其中二氧化碳 6228t/a，二氧化硫 44t/a，氮氧化物 16t/a，悬浮质粉尘 21t/a，固体废物煤灰渣 261t/a。

4.3 技术示范情况

案例一：东丽湖地表水蓟县系雾迷山组热储回灌工程

项目位于天津市东丽湖智景东道北侧，东丽湖 4 号供热站 1 期院内。该项目应用本技术建设了一座水处理能力达到 450m³/h（年回灌量约 120×10⁴m³）的地表水回灌工程，增加地热资源的补给量，达到保护资源和节能减排的目的。项目于 2017 年开始进行回灌站房全面建设和其他相关工作，包括 3 眼回灌井的开凿及回灌能力测验、示踪试验、水岩反应、回灌水模拟试验、水处理工艺设备、自动系统安装调试、地表水回灌试验等，并于 2021 年 6 月开始投入运行。现场试验时最大回灌量分别为 180.26m³/h、180.50m³/h 和 150.40m³/h，满足项目 450m³/h 的需求。

案例二：津南区北闸口镇蓟县系雾迷山组热储地表水回灌工程

项目位于天津市津南区北闸口镇国新供热有限公司院内。该项目应用本技术建设了一座水处理能力达到 100m³/h（年回灌量约 24×10⁴m³）的地表水回灌工程。项目于 2017 年施工了 1 眼地表水回灌井，2020 年开始水处理站房全面建设和其他相关工作，包括回灌能力测验、回灌水模拟试验、水处理工艺设备、自动系统安装调试、地表水回灌试验等，并于 2021 年 6 月开始投入运行。津南北闸口项目地热回灌井现场试验时最大回灌量为 99.08m³/h，经校正计算回灌能力可达到 168.29m³/h，满足项目 100m³/h 的需求。

技术 5 基坑工程自稳型无支撑绿色支护技术及其工程应用

5.1 技术提供方

天津大学是中华人民共和国教育部直属的首批全国重点大学，是国家“双一流”建设高校、国家“211 工程”和“985 工程”建设高校，中国工程院和教育部 10 所工程教育改革试点高校之一。学校科研实力雄厚，2016 年至 2020 年，共获国家三大奖 21 项，共有 4 个国家重点实验室，分别为水利工程仿真与安全国家重点实验室、内燃机燃烧学国家重点实验室、精密测试技术及仪器国家重点实验室和化学工程联合国家重点实验室。

5.2 技术简介

技术领域为碳减排技术。该技术来源于科学技术部十二五科技支撑计划子课题、国家自然科学基金项目及天津市住房和城乡建设委员会地方标准编制。

5.2.1 技术原理及工艺流程

技术原理：将桩体与垂直方向呈一定角度倾斜，达到不设置内支撑或锚杆的桩（墙）式支护结构，形成倾斜桩。垂直支护桩可与倾斜桩组合或由不同倾斜方向、倾斜角度倾斜桩组合形成的无支撑支护结构。倾斜桩无支撑支护技术具有五个重要的作用，如图 2-5-1 所示。

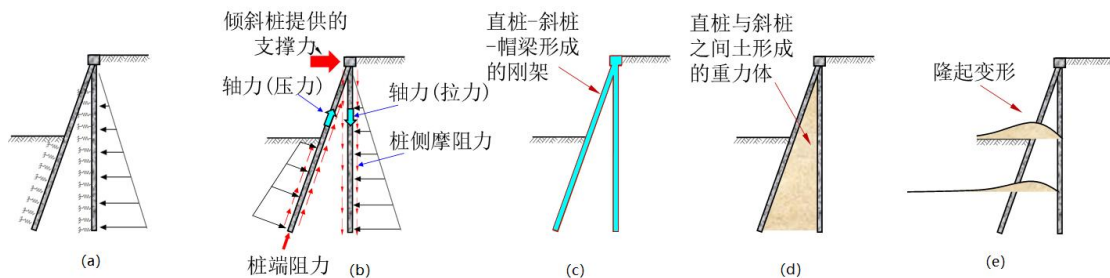


图 2-5-1 自稳型倾斜桩无支撑支护工作机理 (a) 地基梁作用 (b) 支撑作用(自撑作用) (c) 钢架作用 (d) 重力作用 (e) 减隆作用

工艺流程：为了实现在城市环境的倾斜桩施工，项目组研发了全球首台预制桩倾斜静压施工设备，适用于 0~20°的边斜桩施工和-20~20°的中斜桩施工。可实现方桩、管桩和钢板桩等不同桩型的低噪音、低振动施工，同时可满足前倾，后倾及竖直桩的施工，具备绿色环保、操作简便等技术优势。如图 2-5-2 所示。

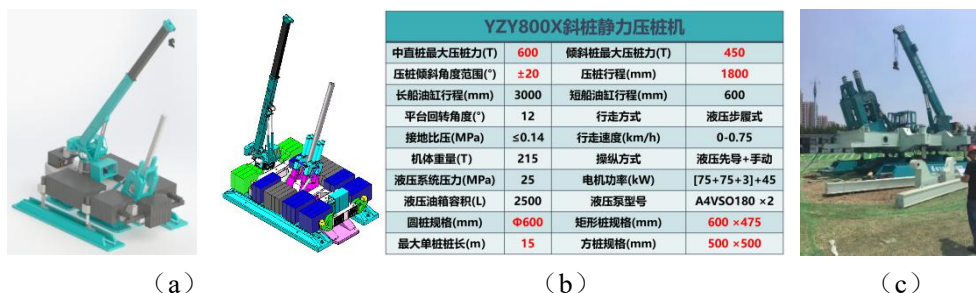


图 2-5-2 预制斜桩静力压桩机 (a) YZY300X 斜桩静力压桩机 (b) YZY800X 斜桩静力压桩机及技术参数 (c) 施工实景

5.2.2 技术成果适用性

倾斜桩无支撑支护技术适用于基坑工程，隧道工程，地下综合管廊等施工类型，一般应用于软土地区 5~15m 深大面积基坑，适用于预制桩与灌注桩。适用于城市环境的多桩型施工成套技术与系列装备已研发完成。

5.2.3 技术创新性及先进性

本项目经过杨秀敏院士担任主任，龚晓南院士等 20 余位中国工程院院士担任委员的奖励委员会评审，获得 2020 年度“建华工程奖”特等奖。本项目技术与国内外同类技术比较见表 2-5-1。

表 2-5-1 本项目技术与国内外同类技术比较

对比内容	现有技术水平	本项目创新性
基坑工程支护形式	数十年来长期、广泛采用水平内支撑支护形式	研发系列倾斜桩无支撑支护技术 研发系列自稳型支护技术 可取消内支撑
土方开挖与外运	土方开挖难度大 二次土方转运量大 土方开挖工期长	土方开挖难度小 无土方二次转运 土方开挖工期缩短约 15~60 天
支撑造价与施工	支撑造价占基坑工程总造价的 20%~40% 支撑建造与拆除为劳动密集型，施工工期占基坑工程总工期的 20%~40% 产生大量固体废弃物、振动、噪音、粉尘	基坑工程造价可降低 20~40% 基坑工程工期缩短 20%~40% 无拆除支撑的振动、噪音、粉尘、固体废弃物
地下结构施工	支撑下基础与柱钢筋绑扎、浇筑混凝土难度大 墙（柱）钢筋绑扎受支撑下净空高度限制，底板、外墙留孔洞多、渗漏隐患大 地下结构施工工期长	钢筋绑扎、混凝土浇筑方便 无净空限制 无或少预留孔洞，渗漏隐患小 地下结构工期缩短 20%~30%
地下结构工业化建造	地下结构采用现场绑扎钢筋、现场浇筑混凝土 工业化建造难度大	管廊可实现工业化建造

5.2.4 节能减碳或污染防治效果

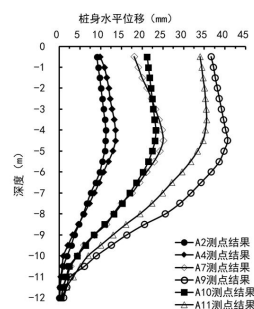
项目组研发的无支撑支护技术解决了软弱土地区深、大基坑长期以来对水平内支撑的依赖问题，大大减少了施工过程中建筑材料的消耗，改善了传统施工方法工期长，噪声大，污染重的弊端，推动了基坑工程的绿色发展。成果运用于软弱土地区开挖深度 5~15m 基坑取消水平内支撑进行基坑支护，可降低水泥、钢筋和砂石消耗 20%~40%，减少砂石的自然资源开采及其对生态环境的影响，节能、降耗和减碳效益显著。天津市首个国家重大基础设施——“大型地震工程模拟研究设施”项目，利用课题组研发的绿色无支撑支护技术，节省混凝土 8500 立方米，钢筋 1360 吨，等同于建造一幢 30 层建筑面积 20000 平方米的建筑物，推动科技成果转化成为实际优势，助力实现国家“双碳”战略行动计划。

5.3 技术示范情况

案例一：大型地震工程模拟研究设施是我国地震工程领域首个国家重大科技基础设施，建成之后将是世界最大地震工程模拟研究设施，工程投资 15 亿元以上。工程应用了项目组研发的自稳型倾斜桩梯级支护技术，其第一级支护的开挖深度为 8m，采用自稳型倾斜支护桩；第二级支护开挖深度 6.7m，采用了桩锚支护方案，总体上形成自稳型倾斜桩梯级支护，取消了水平内支撑，投入运行时间长达 8 个月。图 2-5-3 是基坑开挖过程实景及自稳型倾斜桩实测水平位移，第一级开挖完成后，自稳型倾斜桩支护的最大水平位移仅为 12~42mm，典型位移为 20~25mm，变形控制效果良好。



(a) 基坑开挖后实景



(b) 自稳型倾斜桩水平位移

图 2-5-3 国家重大科技基础设施“大型地震工程模拟装置”大面积基坑自稳型无支撑支护方案

案例二：武汉市三金潭基坑项目基坑主体开挖深度为 10m，场地包含 11.2m 厚淤泥质黏土层，地下水埋深 1.5m。该项目采用了项目组研发的自稳型前排倾斜后双排桩无支撑支护技术，工期缩短 72 天，直接造价节约 1100 万元，技术经济和社会效益非常显著。

技术 6 膜法捕集 CO₂ 技术及工业示范

6.1 技术提供方

天津大学是中华人民共和国教育部直属的首批全国重点大学，是国家“双一流”建设高校、国家“211 工程”和“985 工程”建设高校，中国工程院和教育部 10 所工程教育改革试点高校之一。学校始终聚焦国家重大战略需求、聚焦世界科技发展前沿，取得了丰硕的成果。截至 2022 年 8 月，学校共获批国家重点研发计划项目 101 项，其中涉及“CO₂ 高效捕集”、“城镇低碳规划”、“大气污染联防联控”、“城市污水综合处理”、“多源固废综合解决方案”、“土壤复合污染过程”等生态环境领域项目 20 余项，在节能减碳和环境污染防治等领域为国家和社会做出了重要贡献。

6.2 技术简介

膜法捕集 CO₂ 技术及工业示范聚焦 CCUS，属于碳达峰碳中和技术重点领域的碳捕获技术。技术成果来源于国家重点研发计划重点专项。

6.2.1 技术原理及工艺流程

本技术以天津大学开发出的 CO₂ 捕集性能国际领先的膜材料和分离膜为基础，首次形成了我国具有完全自主知识产权的完整 CO₂ 膜分离技术链（图 2-6-1）。

CO₂ 膜分离技术的基础是 CO₂ 分离膜。分离膜是一种对特定气体具有选择透过性功能的屏障，其核心是膜材料设计制备。本团队设计并规模化合成了高性能促进传递膜材料聚乙烯基胺（PVAm），由该材料所制膜可充分利用 CO₂ 与其他组分在渗透性、扩散性和反应性上的差异，促进 CO₂ 高速跨膜传递。进一步通过在原子、分子和聚集态层面综合调控膜结构，联合溶解、扩散、反应多种选择机制，强化了膜的 CO₂ 分离性能和耐高温耐压性能。

膜规模化制备和膜组件研制是实现高效膜法碳捕集的关键。本团队开发出“支撑体+中间层+分离层+保护层”逐层复合关键工艺（图 2-6-2a），国内首次设计建造了高性能 CO₂ 分离膜工业规模生产线（图 2-6-2b、2-6-2c），并制备出幅宽超 1 m（图 2-6-2d）的高性能 CO₂ 分离膜，年生产能力超 10 万 m²。基于所制膜，利用多物理场耦合模拟计算发展完善了卷式膜组件的复杂流道内流体力学状态和传质行为研究，设计出低浓差极化、低压力降和高装填密度的工业规模高性能膜组件（图 2-6-3a、2-6-3b）和相应的工业规模卷式组件自动卷膜设备（图 2-6-3c），所制膜组件（图 2-6-3d）有效面积超 30 m²，平均长度为 1020 mm。

膜分离工艺及装置建设运行是碳捕集膜技术的综合体现。本团队通过流程模拟和三维建模设计出膜法 CO₂ 分离中试试验装置工艺流程和装备布置方案，建造并运行了国内首套中试装置（图 2-6-4a-c）。基于此，开发出耦合预处理和三级三段膜过程的示范装置工艺包，成功建设并运行了国内首套膜法烟道气碳捕集工业示范装置（图 2-6-4d、2-6-4e），填补了国内相关技术领域的空白。

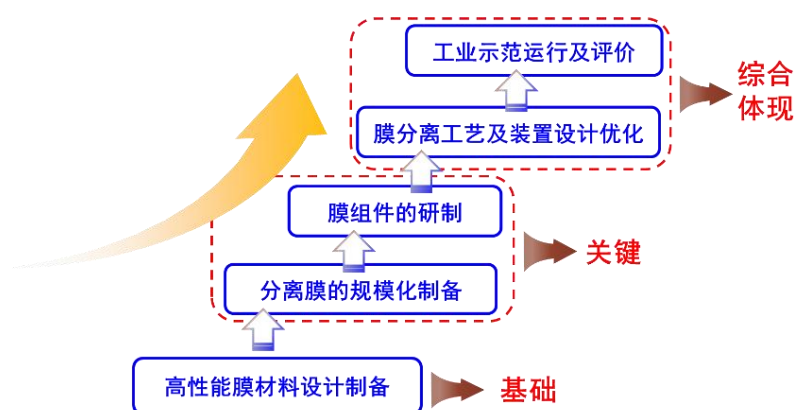


图 2-6-1 完整的 CO₂ 膜分离技术链

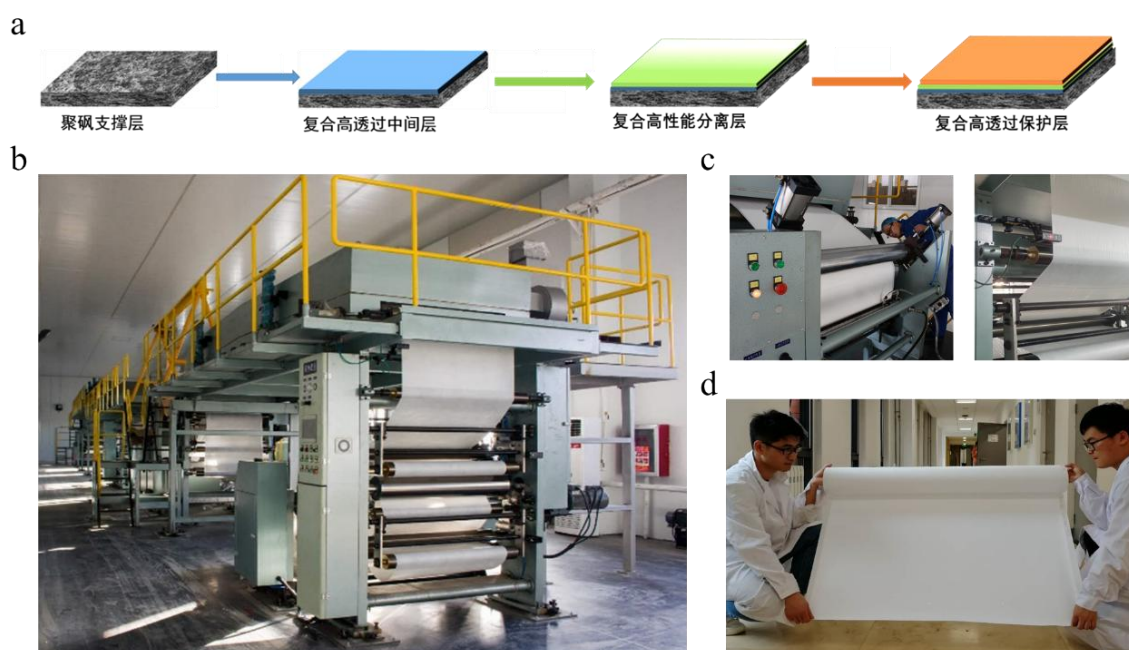


图 2-6-2 CO₂ 分离膜规模化制备。(a) 逐层复合关键工艺示意图，(b) 高性能捕集 CO₂ 分离膜工业规模生产线，(c) 生产线涂布单元和纠偏系统，(d) 生产线所制幅宽为 1m 的高性能 CO₂ 分离膜

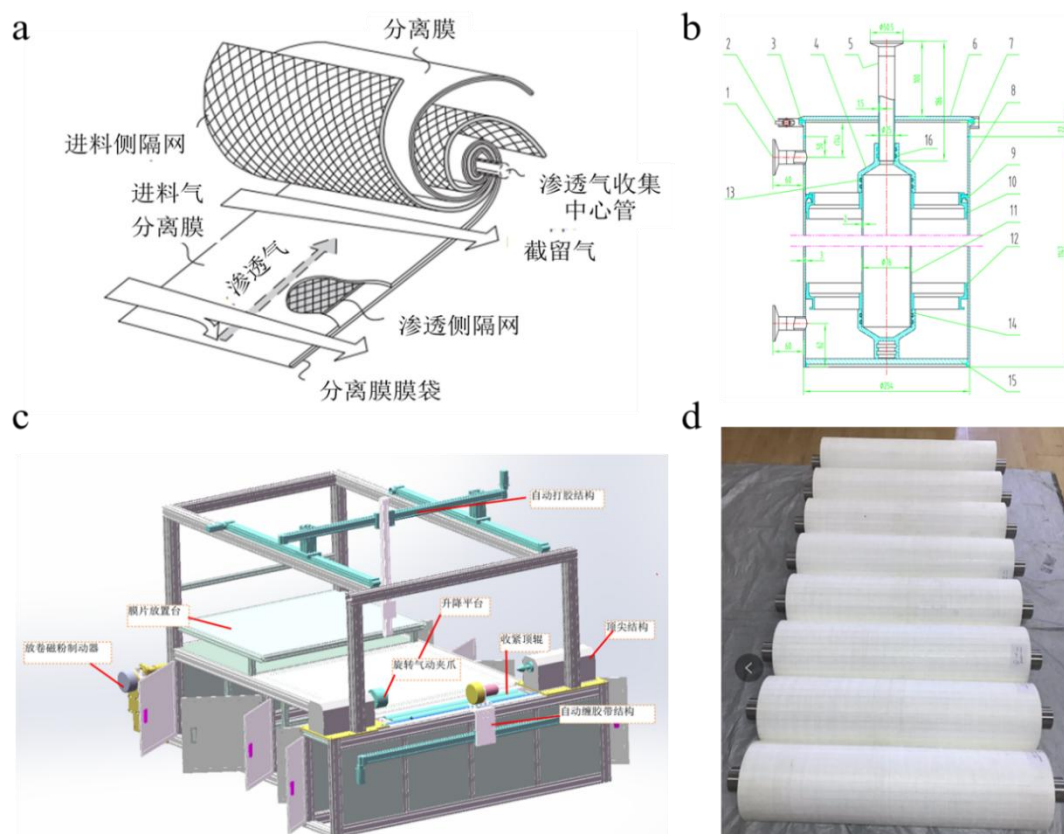


图 2-6-3 CO₂ 分离卷式膜组件及制备。(a) 工业规模卷式膜组件结构示意图，(b) 工业规模卷式膜组件设计图，(c) 工业规模卷式组件自动卷膜设备，(d) 膜组件实物图

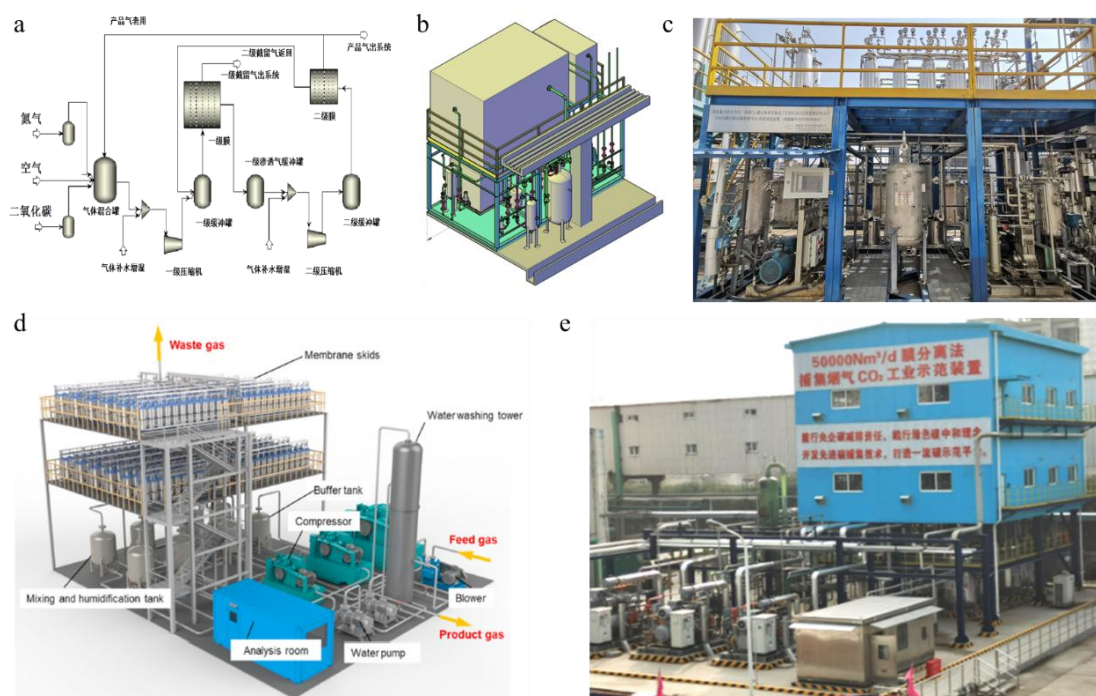


图 2-6-4 碳捕集膜分离工艺及装置。(a) 膜法 CO₂ 分离中试试验装置工艺流程，(b) 膜法 CO₂ 分离中试试验装置装备布置方案，(c) 膜法 CO₂ 分离中试试验装置现场图，(d) 膜法烟道气碳捕集工业示范装置装备布置方案，(e) 膜法烟道气碳捕集工业示范装置现场图

6.2.2 技术成果适用性

膜法碳捕集技术适用于处理包括化石燃料烟道气、化工尾气、沼气/天然气和化石能源采出气等含 CO₂ 的排放源。

6.2.3 技术创新性及先进性

该技术是国内首次实现完全自主知识产权的膜法碳捕集技术链，相关指标在国际上处于先进水平（如表 2-6-1），相关技术指标已通过科技部组织的专家组评定，对提高我国气体膜分离技术的全球竞争力具有重要意义。

表 2-6-1 膜法烟道气碳捕集工业示范装置相关指标与国际上公开报道的装置指标对比

公司/研究机构	烟道气来源	地点	年份	运行时长	规模 [#]	纯度	回收率
墨尔本大学	燃煤电厂	澳大利亚	2015	98 h	7.5 m ²	N/A	N/A
亥姆霍兹研究中心	燃煤电厂	德国	2016	740 h	12.5 m ²	68.2%	42.7%
MTR公司	燃煤电厂	美国	2016	1000 h	20 TPD	45%	85%
俄亥俄州立大学	燃煤电厂	美国	2019	500 h	1.4 m ²	94.5%	44%
天津大学 牵头团队	燃煤电厂	中国	2021	720 h	10.4 TPD	96.2%	81.3%
					10.6 TPD	92.5%	86.3%

[#]规模为膜面积（m²）或CO₂捕集量（TPD=ton of CO₂ per day）

6.2.4 节能减碳或污染防治效果

可显著降低烟道气碳捕集过程的能耗和操作成本，有效减少碳排放，为实现“双碳”目标提供了重要技术支撑，有力支持了生态环境领域高质量可持续发展。

6.3 技术示范情况

基于本团队开发的工业规模高性能 CO₂ 分离膜和膜组件制备技术，本团队设计、建成并成功运行了国内首套自主研发的**膜法烟道气碳捕集工业示范装置**。该装置建于中国石化集团南京化学工业有限公司动力部内。该装置稳定运行 720 小时，产品气 CO₂ 浓度为 96.6%，CO₂ 捕集率为 81%，CO₂ 年捕集量达 3800 吨。装置运行能耗为 3.05 GJ/ton CO₂，较传统单乙醇胺法（5.0 GJ/ton CO₂）综合能耗降低 39.1%，展现出国际领先的碳捕集性能。

技术 7 区县级国土空间规划碳排放预测、评估与规划调控技术

7.1 技术提供方

天津大学是中华人民共和国教育部直属的首批全国重点大学，是国家“双一流”建设高校、国家“211 工程”和“985 工程”建设高校，中国工程院和教育部 10 所工程教育改革试点高校之一。学校科研实力雄厚，2016 年至 2020 年，共获国家三大奖 21 项，共有 4 个国家重点实验室，分别为水利工程仿真与安全国家重点实验室、内燃机燃烧学国家重点实验室、精密测试技术及仪器国家重点实验室和化学工程联合国家重点实验室。

7.2 技术简介

技术领域为碳减排技术。技术成果来源于国家重点研发计划、国家自然科学基金面上项目、国家自然科学基金青年项目及天津市社科重大项目。技术内容已申报国家发明专利 3 项，获取软件著作权 2 项，立项行业标准 4 项。

7.2.1 技术原理及工艺流程

技术原理：立足于空间规划对于低碳发展的引领作用和空间布局对于碳排放的锁定效应，搭建并量化了碳排放与区县国土空间规划关键指标的关联关系。

工艺流程：

国土空间规划碳排放预测技术。基于区县历史碳排放数据与国土空间规划指标数据，搭建“区县国土空间规划-碳排放”之间的关联关系，搭建基于随机森林的碳排放预测模型，实现通过输入区县国土空间规划数据，预测该规划条件下的区县碳排放总量。

国土空间规划碳排放评估技术。基于预测技术生成的区县碳排放总量预测结果，综合地区的资源禀赋条件及国土空间规划的各项指标，从总量、特征、潜力三个方面进行评估，确定低碳国土空间规划的整体情况以及国土空间规划治理部门情况。

国土空间规划低碳调控技术。一方面基于评估技术生成的整体与部门评估结果，并综合考虑区县控碳减排目标，进行国土空间规划目标调控，确定规划调控的力度与重点调控部门。另一方面基于关联关系研究结果，构建动态指标评价模型对国土空间规划指标进行评价，进而确定规划指标要求，并提供相关的规划策略建议。

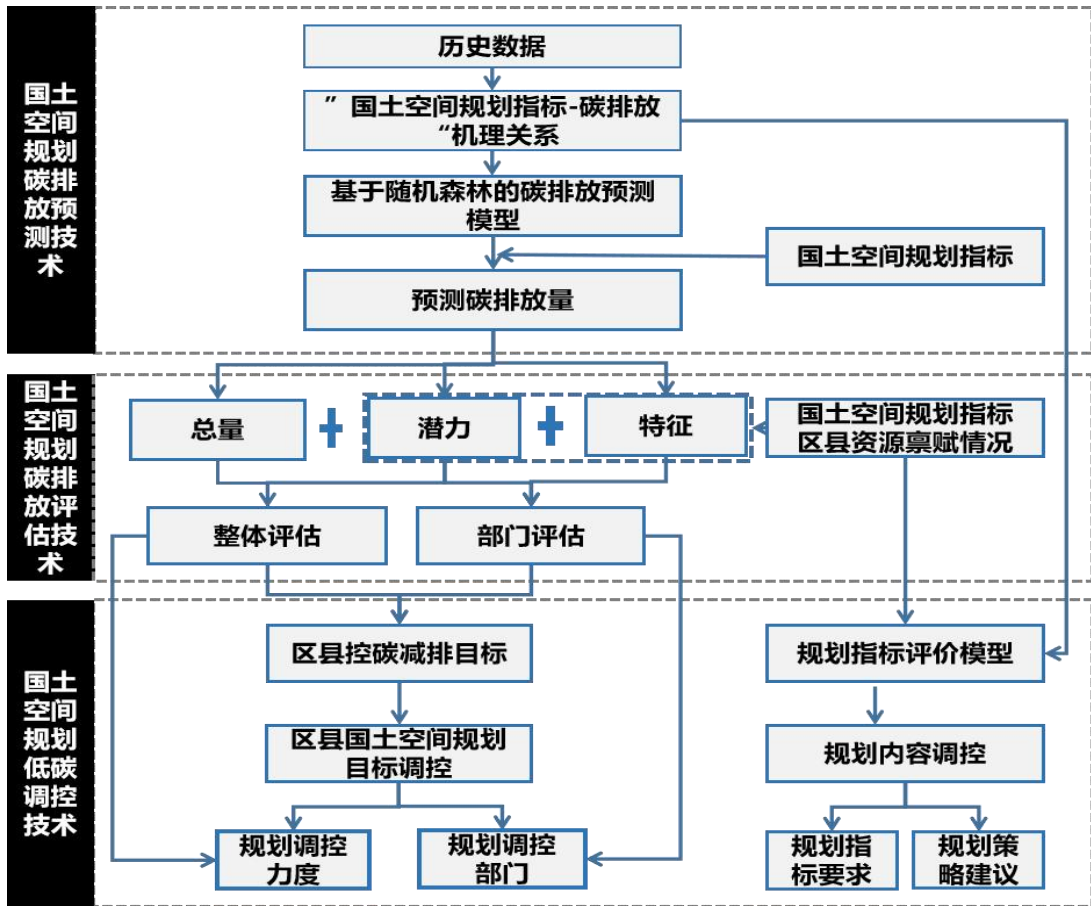


图 2-7-1 技术路线图

7.2.2 技术成果适用性

该技术适用于国土空间规划技术领域，适用于区县级城乡建设与行政管理单位，无特殊条件限制。

7.2.3 技术创新性及先进性

(1) 首次提出国土空间规划碳排放预测技术，从区域特征的角度预测县域的碳排放量，具有更快的速度、更高的准确度、更强的泛化能力的优点。该项关键技术已在全国区县进行运用，并申报 1 项国家发明专利。

(2) 碳排放评估技术综合考虑控碳治理的复杂性，考虑碳排放外在格局、驱动要素内在机理、控碳治理调整难度，扩展了区县碳排放评估的维度，提升了碳排放评估的治理应用性与现实性。该项关键技术已在全国区县进行运用，申报了 2 项国家发明专利，通过科技查新验证，并取得行业专家认可。

(3) 规划调控技术对接国土空间规划管控体系，为国土空间规划在低碳层面提供实施反馈和及时修正的重要指导依据。该项关键技术已在全国区县进行运用，立项 4 项行业标准，获取 1 项软件著作权，并取得行业专家认可。

(4) 整体技术采取智能流程和线上平台进行管控，降低了应用门槛。整体技术已在全国区县进行运用，并获取 1 项软件著作权。

7.2.4 节能减碳或污染防治效果

技术可为城镇人居环境理论与治理方法研究提供新技术手段,可衔接县级国土空间低碳规划方法体系,指导国土空间规划的低碳实施与低碳评估,提供重点控碳部门、关键约束标准,可提升各区县制定控碳目标的准确性与合理性,并通过碳排放配额或碳排放权交易增加其经济收益。技术实施节能减排效果良好,在示范县运用的人均碳排放、单位 GDP 碳排放、单位通勤距离碳排放优化效率良好,均优于欧盟先进改进率。

7.3 技术示范情况

案例一：蓟州区国土空间规划。规划研究范围为蓟州区全域,隶属天津市,位于天津市最北部,总面积 1590 平方公里。采用随机森林算法、Tapio 模型等技术方法提供蓟州区县级城市国土空间规划碳排放预测分析,进而进行国土空间规划方案的碳排放评估,并制定低碳规划目标和规划调控方法。将国土空间规划关键减排路径与降碳增汇能力进行汇总,蓟州区可通过国土空间规划减少碳排放 171.13 万吨。

案例二：武安市国土空间规划。规划研究范围为武安市全域,位于河北省南部,总面积 1818 平方公里。以武安市为典型示范县域,开展国土空间规划层面碳排放的预测、评估与规划工作。通过国土空间规划关键重点部门识别,进行低碳优化。重点关注产业结构调整,优化制造业能源结构和采取节能降耗的先进工艺,可以实现全部减排量的 75.9%;采取发展循环经济,降碳贡献率可达 12.4%。国土空间规划对武安市碳排放的整体潜力为 2223.17 万吨。通过国土空间规划调控,可降低武安碳排放总量 21.9%,降低人均碳排放水平 34.2%。

案例三：长兴县国土空间规划。规划研究范围为长兴县全域,隶属于浙江省湖州市,县域面积 1430 平方公里。“以点带面”的示范路径,从全域范围对碳排放现状进行分析,明确控碳方向,制定低碳发展战略与目标;以典型乡村住宅的“能源系统”为切入点,将乡村住宅建筑的能源系统优化和被动节能优化作为乡村居民点控碳的主要技术,进行了重点研究,并将这一技术纳入典型乡村规划方案中。

技术 8 基于全状态感知物联网技术的配电智能台区

8.1 技术提供方

天津市渤海新能科技有限公司是一家专注于电力领域的智能化服务提供商。公司是国家专精特新小巨人企业，天津市企业技术中心。公司以“智慧能源”为发展核心，聚焦人工智能物联网技术、聚焦配电网和综合能源微网的智能化治理，在电网信息化领域耕耘十余载，业务包含智能配网、智能微网、智慧工地、智慧安全、数字孪生、能源工程六个领域，为电网企业提供全业务链服务。公司自主研发的电网安全建设管理系统及配电网标准化设计系列软件被列为国家电网全国统推项目，在全国 10 余个网省、百余地市提供配电网设计、建设、智能运维的技术支撑。

8.2 技术简介

技术领域为碳达峰碳中和技术领域。该技术已取得 6 项软件著作权。

8.2.1 技术原理及工艺流程

基于全状态感知物联网技术的配电智能台区是在原台区系统的基础上，将先进的测量技术、新型的传感器、计算机处理技术和信息采集技术综合应用到台区中，同时对原网络系统架构进行改造，优化信息网络，将配电终端采集的信息全方位及时地传送到调度中心，以便于电力企业及时掌控台区的运行状况。配电台区是直接面对用户的一层，其智能化发展也有利于用户参与到电力管理中，及时了解用电信息，并根据信息采取措施做到绿色用电。

通过“配变-分支箱-表箱”三层级终端的信息采集，开展具备信息化、数字化的智能配电台区建设，深入挖掘低压配网运行数据信息价值，实现低压台区全景式监测，解决设备数量多、数据量大、分布式安装、接入设备种类多、标准不统一等问题，深化终端接入与统一物联，解决配网最后一公里管控难的问题，为配电网运维打下基础。如图 2-8-1 所示，在物联网+智慧低压配电网的监控下，实现生活智能低压配电，智慧监控，智慧管理。

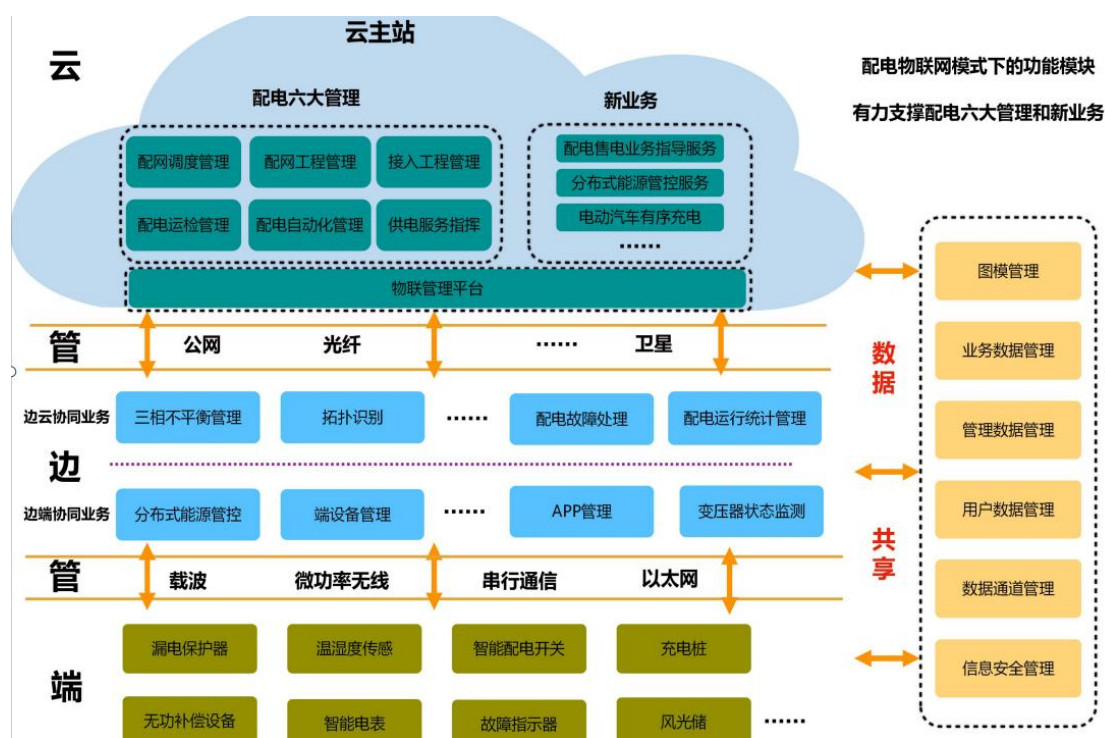


图 2-8-1 物联网+智慧低压配电网

8.2.2 技术成果适用性

技术适用于新型电力系统电力行业。

8.2.3 技术创新性及先进性

(1) 在天津市首次建设基于互联网、物联网、云储存和大数据分析技术的低压配电台区，建立配电、用电设备的智能化监管平台，真正实现低压配电网络的智能化、全方位提升智能电网信息感知深度，实现电网智能化管理。

(2) 研发物联网+智慧低压配电平台，实现对低压配电情况智能监管，减少人力资源损耗，提升分布式能源配电的运营效率。

(3) 引入物联网技术，开发智能终端及软件，做到终端即插即用、设备广泛互联、状态全面感知、应用模式升级、业务快速迭代、资源高效利用，并实现配电台区设备及环境等信息的物联网接入和数字化采集，实现台区拓扑就地自动生成，电能质量实时监测，分布式新能源接入和全消纳，煤改电、电动充电桩的有序用电管理，收集参与电力生产到电力消费环节中的各类对象的信息，并进一步实现数据的交流共享，以此为基础，实现对配电网状态的实时管控。

(4) 深入应用 5G、LoRa、NB-IoT 等先进技术，进入人与人、人与物、物与物的深化大连接阶段，从本质上提升配电网建设、运维、管理水平。

8.2.4 节能减碳或污染防治效果

本技术成果利用智能化台区监测，提高了分布式微网供电可靠性与消纳能力，为进一步推进台区融合终端建设与应用，深化配电网故障研判主动抢修、停电主动上报、台区拓扑自动生产等业务应用，实现设备状态全面感知、在线监测、主动预警和智能研判。通过新型电

力系统的搭建，特别是保证新能源发电侧安全稳定接入电网系统，从而达到碳减排的作用。

8.3 技术示范情况

产品已多次应用于低压配网及新能源接入场景中，尤其在分布式光伏接入与消纳场景中发挥了独特优势，以下列举 3 个典型案例。

案例一：安徽省某县智能配电台区试点应用

试点台区自 2021 年底安装至今，终端安装 163 台，终端接入 163 台，终端在线率 100%，安装末端传感器数 362 台。均已完成智能融合终端高级 APP 应用部署，并将数据送至配电自动化主站。通过在智能融合终端开发 6 类基础采集 APP，采集配电变压器监测、低压故障传感器监测、集中器数据采集、环境温湿度采集、六氟化硫气体监测、烟雾感应等末端感知/监测信息，同时部署 4 类高级应用 APP，实现低压线路状态感知及各类延伸服务，如可开放容量、故障定位、低压拓扑识别、精益线损、故障定位、可开放容量等功能，实现“边”侧应用。

案例二：天津城西某光伏并网项目

针对城西公司光伏现场情况，将现有的并网断路器更换为光伏并网智能断路器。光伏并网智能断路器（防孤岛开关），具有测量、保护、远程控制等功能。可实现分布式光伏的过载/短路等保护、过/欠电压保护、电能质量分析、孤岛保护等功能。可通过 485 与电表、融合终端通信，或通过 HPLC 与台区智能融合终端通信。

针对调度需求，监测用户光伏发电量（光伏出力），可在光伏发电表，或光伏发电表后开关位置安装 LTU（智能低压传感器），采集光伏发电的实时及累计电量，通过 HPLC 传送至融合终端，融合终端将数据通过 4G 远传至四区主站。

案例三：天津市滨海新区融合终端试点项目

截至 2021 年底，该试点智能融合终端完成安装 2881 台，终端接入 2881 台。配电物联网示范区建设情况，10 千伏馈线 26 条、配电室 88 座、箱式变电站 58 座、用户 4.2 万户、配电台区 350 个、环网箱 114 座。目前高级 APP 应用建设采用分步走的方式，通过试点先行，其他台区高级 APP 分步实施的办法进行有序建设。通过在台区智能融合终端部署 6 类基础采集 APP，采集配电变压器监测、智能低压开关、低压自投装置、局放监测终端等末端感知/监测信息，打造边缘计算底层生态；同时利用 9 类高级应用 APP，为配电台区进行智慧化赋能，延伸出各类服务，实现可开放容量分析、故障定位与精准主动抢修、低压拓扑识别、精益线损分析、电能质量优化等功能。

技术 9 碳酸盐岩地热储层强化增产技术

9.1 技术提供方

中国地质调查局水文地质环境地质调查中心是自然资源部中国地质调查局直属的正局级事业单位，是集水工环地质调查和物探、遥感、钻探、仪器研发为一体的专业地质调查队伍。作为中国深部地热勘查开发的领军机构、自然资源部地质环境监测技术研发和设备研制领军机构，主要承担地热（干热岩）资源、水资源、自然资源综合调查和评价、以及监测技术方法研究、仪器设备研发与推广工作，向社会提供公益性地质服务和成果转化应用，拥有自然资源部地质环境监测工程技术创新中心、自然资源部水文地质环境地质检测中心、天津市地热资源勘查开发工程研究中心多个科研平台。近年来，承担了京津冀深部地热科技攻坚战、青海共和盆地干热岩勘查与试采科技攻坚战相关的国家项目，获得了大量地热资源勘查开发工程的理论与技术研究成果，积累丰富的成果转化经验，服务国家能源结构战略，支撑天津、雄安新区、青海省地方政府和国有大型企业的地热清洁能源转型、开发利用规划与工程实践。

9.2 技术简介

技术领域为碳达峰碳中和技术。技术成果来源为（1）国家重点研发计划课题、自然资源部地质调查项目、自然资源部地质调查项目。

9.2.1 技术原理及工艺流程

碳酸盐岩地热储层强化增产技术包括两项核心技术，一是酸化改造缓释酸液体系，二是强化增产改造工艺。

9.2.2 技术成果适用性

该技术适用于碳酸盐岩热储，实际运行效果取决于当地地热井热储埋深、孔隙率、渗透率等，对于不同地热井需要根据具体条件参数进行设计。

适用地层：碳酸盐岩热储；

适用井深、井型：0~4000m，直井或定向井，裸眼或筛管完井；

井径：100~600mm；

最高压力：70MPa；

最高温度：150℃。

9.2.3 技术创新性及先进性

碳酸盐岩热储具有极强的非均质性，同时在钻井会因钻井液和水泥浆对裂隙造成堵塞，开采或回灌过程会因结垢而影响产能和回灌率，储层强化增产技术解决了深部岩溶热储高温高压环境下酸岩反应强烈、酸洗作用半径小等难题，可以有效沟通热储裂隙通道、增强热储层导流能力，提高地热井产能，为碳酸盐岩储层的高效开发提供技术支持。

9.2.4 节能减碳或污染防治效果

地热能是一种储量丰富，稳定可靠的绿色清洁能源，在发展国民经济中已显示出越来越重要的作用。我国碳酸盐岩型（岩溶）中低温地热资源分布较广、资源量丰富，主要分布

在京津冀、山东、山西、贵州等地，是目前我国地热资源开发利用的主力热储，其中碳酸盐岩裂隙型地热资源约占我国水热型地热资源的 70~80%。随着地热资源勘探开发向更深的热储不断推进，因碳酸盐岩地热储层地质条件复杂、非均质性强，孔隙、裂缝及溶洞分布不均匀，钻井和开采过程使用泥浆和结垢往往还会对储层造成堵塞等问题导致的单井产能不足、热储潜力无法充分挖掘的问题越来越突出。据统计，京津冀地区预计有 15~20%的碳酸盐岩地热井，因上述问题而无法发挥最大产能或回灌困难。

储层强化增产技术可以有效提高碳酸盐岩热储产能，具有较大的节能减碳潜力。天津东丽区的储层强化增产试验结果显示：CGSD-01 井增产后储层改造后单井最大涌水量 1680 m³/d，增产达到 54%。新增产能可支撑清洁能源供暖面积约 10 万平方米。估算每年可节约标准煤约 4100 吨，减少 9800 吨二氧化碳排放，减少 70 吨二氧化硫、氮氧化物 25 吨、悬浮质粉尘 33 吨、煤灰渣 4 吨等有害物质排放，节约治理费用 327 万元。

9.3 技术示范情况

案例：天津东丽湖 4000 米地热深井碳酸盐岩热储改造增产

储层改造后单井最大涌水量从 3120 m³/d 提升到 4800 m³/d，增产 54%，新增产能可支撑供暖面积约 10 万平方米。

技术 10 稀土绿色节能涂料

10.1 技术提供方

天津包钢稀土研究院有限责任公司是包头稀土研究院在天津设立的独立法人实体，是东丽区“122”计划引进的第一家科研机构。建院以来，引进多家合作企业及团队，在研究院搭建了创新工作室、稀土转光材料研发中心、耐火材料研发中心、医疗材料研发中心等 6 个科研平台，开展了稀土高性能隔热、稀土转光、稀土防伪稀土检测等多个方向的创新研发工作。

10.2 技术简介

本技术包含稀土反射隔热节能涂料和稀土红外辐射节能涂料，技术领域为碳达峰碳中和技术。其中稀土绿色节能涂料技术来源于包头市科技计划项目、国瑞科创项目和北方稀土项目。稀土红外辐射节能涂料技术来源于北方稀土项目。

10.2.1 技术原理及工艺流程

稀土反射隔热节能涂料技术原理：稀土反射隔热节能涂料反射层具有高太阳光反射率，将太阳光中 90% 以上辐射反射到太空，隔热层具有低导热系数，阻隔热量向物体内部传递，降低建筑的外表面、室内环境温度，起到减少能耗的作用。**稀土反射隔热节能涂料工艺流程：**采用高温固相法进行粉体制备，将稀土化合物和其他金属、非金属化合物等以一定比例混合均匀，在 1000℃ 以上的高温下煅烧，煅烧后的产物经过破碎、粉碎，研磨至 200 目。粉体与水、分散剂混合，研磨得到固体颗粒中心粒径为 1.0μm 的浆料，与树脂乳液、填料和助剂混合，高速搅拌状态均匀，得到不同颜色的稀土反射隔热涂料。

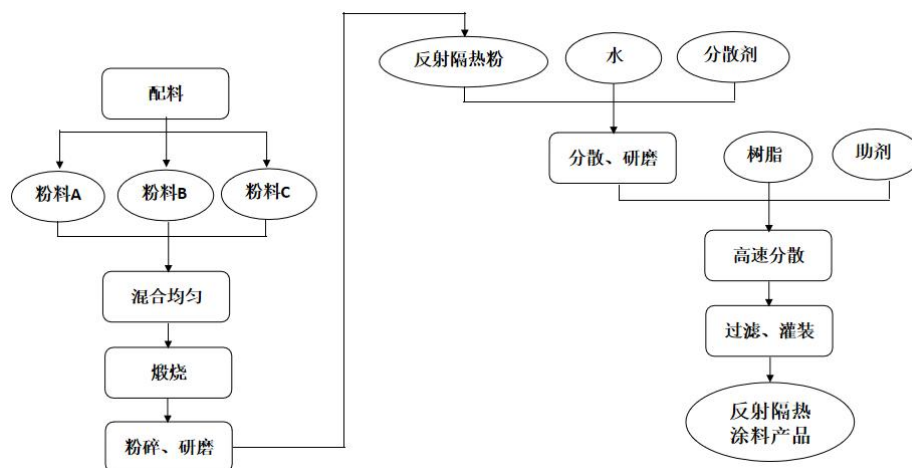


图 2-10-1 稀土反射隔热节能涂料工艺流程

稀土红外辐射节能涂料技术原理：稀土红外辐射节能涂料具有高的红外发射率和低导热系数，应用于高温窑炉耐火材料表面，将耐材在高温下的红外发射率由 0.5~0.6 提高到 0.9 以上，高效地吸收、辐射红外线，加强炉内传热，改善炉内温度场强及均匀性，提高反应效率。此外，涂层具有较低的导热系数，炉体隔热能力增强，减少热量通过炉壁的散失，进一步降低能耗，实现节能降耗。**稀土红外辐射节能涂料工艺流程：**采用高温固相法，通过添加稀土元素提高红外辐射材料的发射率和高温稳定性。将稀土化合物和其他金属/非金

属化合物均匀混合后在高温下煅烧，煅烧后的产物经过粉碎研磨至一定细度得到稀土红外辐射材料粉末，与粘结剂混合，加入分散剂、固化剂等助剂，充分搅拌分散，制得稀土红外辐射节能涂料。

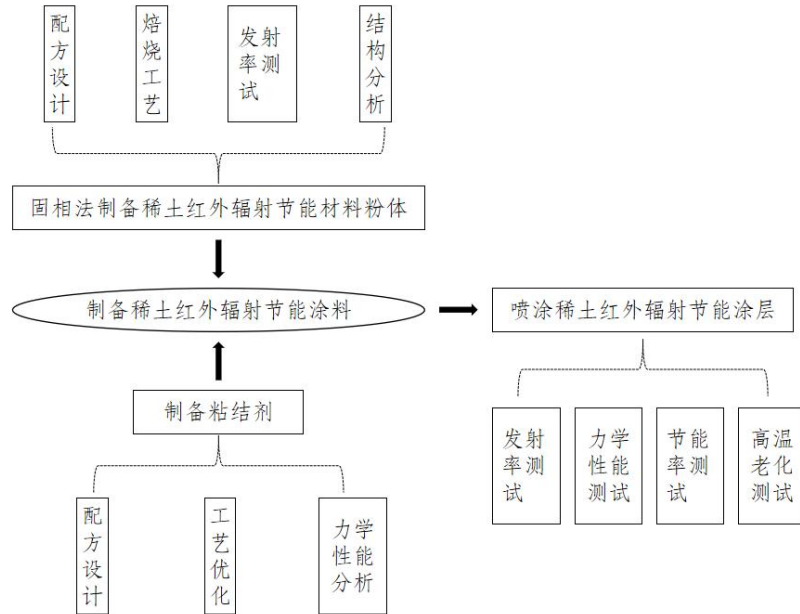


图 2-10-2 稀土红外辐射节能涂料工艺流程

10.2.2 技术成果适用性

稀土反射隔热节能涂料使用范围广泛，包括建筑、通信、交通运输、航空航天、石油化工等。稀土红外辐射节能涂料应用于高温窑炉，包括加热炉、点火炉、热风炉等各种需要保温或加热的耐材表面。稀土反射隔热节能涂料和稀土红外辐射节能涂料使用前均应对基材进行处理，保证表面清洁、干燥、牢固、无浮灰，施工时避免雨雪、寒冷、大风扬尘天气。

10.2.3 技术创新性及先进性

稀土反射隔热节能涂料采用稀土白色、彩色无机颜料，以稀土白色颜料制备底漆，稀土彩色颜料制备反射面漆，双层涂刷，提高反射率。稀土无机颜料为环保型颜料，不含有毒、有害重金属，涂料产品均为绿色环保涂料。涂料反射率高，可以阻隔 90% 以上的太阳辐射，高于市场同类产品，污染后太阳光反射比变化率小于 2%，比一般的反射隔热涂料耐污性高 50% 以上。

稀土红外辐射节能涂料掺杂稀土元素，与过渡金属氧化物形成固溶体。稀土元素较大的离子半径在烧结过程中引起晶格畸变，提高振动活性，在 1~22 μm 波段的红外发射率高于 0.95，使用稀土改性高温粘结剂，涂层具有高温稳定性，可在 1400 $^{\circ}\text{C}$ 以上使用，抗热震次数达 30 次以上，节能率高于 13%，相关指标优于市场同类产品。

10.2.4 节能减碳或污染防治效果

稀土反射隔热节能涂料涂覆在物体的表面，可使物体表面温度下降 15~20 $^{\circ}\text{C}$ ，室内温度降低 3~5 $^{\circ}\text{C}$ ，节省 15%~20% 的空调费用。本产品显著降低制冷、取暖的能源消耗，减少碳排放，缓和城市的热岛效应，具有显著的节能减碳效果。

稀土红外辐射节能涂料应用于工业电炉、加热炉、热风炉等高温窑炉，具有明显的节能降耗效果。稀土红外辐射节能涂料的应用每年在钢铁厂电炉的能源降耗可达到 279.6 万吨标准煤。在水泥、玻璃、陶瓷等高耗能行业，稀土红外辐射节能涂层的使用和推广对节能降耗、工艺升级的推动作用也将十分显著。

10.3 技术示范情况

案例一：稀土反射隔热涂料集装箱工程。天津市泰达中小企业园一个集装箱改装仓库，总面积 50m²。太阳光照射下，涂刷稀土反射隔热节能涂料的集装箱外表面温度降低 15~20℃，内部温度降低 3~5℃，具有明显的隔热降温效果，减少空调使用。

案例二：稀土红外辐射节能涂料（黑）热风炉工程案。黑龙江省伊春市西林区西林钢铁集团，两个热风炉，单个热风炉体积 580m³。风温持平的情况下煤气消耗量较未覆涂锁热控能材料的低 7%，送风时长较未覆涂材料的长 5.36%；若送风温度提高到 1200℃，且两者送风时长如果一致，煤气消耗能降到 13%以上。年度可降低标煤 4200 吨（按年产铁水 63 万吨测算）；若节约煤气全部用于燃气发电，年度可创造效益 750 万元。

技术 11 面向高比例新能源的新型电力系统及电力市场长周期仿真系统

11.1 技术提供方

天津华大亿电科技有限公司成立于 2020 年初，专注于为电力行业企业提供全方位电力市场领域解决方案。联合华北电力大学专家团队，自主研发了针对国内电力现货市场的仿真系列产品，包括 MARS-ST、MARS-LT、MARS-Cloud，产品在国内技术领先。

11.2 技术简介

技术领域为碳达峰碳中和技术（化石能源高效利用、新能源并网消纳、氢能和可再生能源开发利用、新型电力系统建设等方面的能源绿色低碳安全高效转型技术）。技术成果来源于企业自主研发，取得 5 项软件著作权。

11.2.1 技术原理及工艺流程

面向高比例新能源的新型电力系统及电力市场长周期仿真系统是基于经济学、电力系统及电力市场等基础理论，实现对电力系统运行和电力市场出清的模拟仿真。



图 2-11-1 系统架构

该产品采用世界最先进商用求解器，求解大规模混合整数线性规划问题，以解决优化安排大型电力系统的最优发电调度、系统的生产成本及系统的可靠性指标。通过分析和预测各发电机组的启停机、发电量及燃料耗量、新能源的上网电量以及电力市场电价等信息，以用于电源和电网规划、新能源消纳分析以及电力系统供电可靠性评估，为双碳稳步推进、电力系统科学决策、电力市场设计提供理论指导和技术支持。

11.2.2 技术成果适用性

本技术适用的行业为电力行业，其适用性包括：（1）电网企业（如国家电网公司、南方电网公司）采用该技术进行风电光伏新能源的消纳能力评估、促进新能源消纳的灵活性资

源规划、为保证电力供应充裕性的可靠性分析等；（2）发电企业（如国家能源集团、华能集团等）采用该技术进行新建风电光伏电站的消纳预测和经济性预测、新能源的电力交易决策、电力市场的电价预测等；（3）政府机构（国家能源局、地方能源主管部门等）采用该技术进行双碳目标推进效果评估、电力市场设计的辅助决策等。

技术使用中的特定条件限制：主要需构建客观的电力系统发电侧、电网侧和负荷侧的仿真数据，确保仿真结果的准确性和合理性。

11.2.3 技术创新性及先进性

创新点 1：创新性地设计了能够对未来电力市场连续长周期自动出清算法；**创新点 2：**根据省级电力市场的交易和出清规则，通过对发电侧、电网侧和负荷侧的精细化建模，对省级电力市场进行仿真，准确计算电力市场中所有电网节点的边际电价、发电机组最优发电计划、新能源消纳等关键的电力市场运行指标；**创新点 3：**仿真系统能够对多类型发电电源进行建模，适配电力市场中所有电源的仿真需求，包括煤机发电、燃机发电、燃气联合循环发电、风电光伏发电、抽水蓄能发电以及储能发电等技术路线，对各类发电机组在电力市场中的发电功率、发电量、市场电价、收入、成本、利润等运营情况进行仿真计算和预测。

先进性：本技术国内领先，电力市场价格预测准确度达到 90%以上，已经被多家央企应用于实际的生产经营中。

11.2.4 节能减碳或污染防治效果

本技术能够对适应大规模新能源消纳的新型电力系统的运行和规划提供辅助决策。通过本技术应用，能够提前预判风电和光伏在未来消纳水平，即根据每个省份的电源结构和电网状况，预测在指定年份，例如十四五末期，是否存在新能源无法消纳，弃风弃光的情况，进而判断是否能够按时实现清洁能源的利用和化石能源的退坡。能够在预判新能源消纳困难的情况下，提前对帮助消纳新能源的灵活性资源进行规划，例如储能技术、火电灵活性改造技术等，通过仿真计算，提出合理的灵活性资源配置规模，避免社会资源的浪费。

11.3 技术示范情况

案例一：“双碳”目标下“新能源+储能”优化配置方案及接入系统规划方法研究（天津市电力公司）

应用本技术深入研究支撑新能源消纳的储能优化配置方案，针对配置储能的新能源场站或场站集群研究科学合理的接入系统规划方法，对提高电力系统新能源消纳水平具有重要促进作用，以更好满足“双碳”目标下新能源高质量发展要求。

案例二：面向调峰资源稀缺型电网负荷侧调节资源的研究（国家电网总部的管理咨询项目）

应用本技术设计和规划电力负荷侧调节资源的实施路径。根据该项目成果，已运行的充电桩、分布式储能、可控负荷等各类负荷侧资源提供调峰电力近 4 万千瓦，调峰电量 1958 万千瓦时，促进了 1958 万千瓦时新能源消纳。

案例三：碳中和背景下储能促进新能源消纳的研究（北方工业大学）

应用本技术，针对冀北电网高比例新能源的情况，对冀北电力系统进行仿真计算，判断

其新能源的消纳能力。通过研究储能的技术特征和应用场景，并分析储能行业面临的问题，提出促进新能源消纳的储能行业政策建议，为河北省稳步推进碳中和目标进行储能规划提供了重要依据。

案例四：关于可再生能源参与电力市场环境下公司应对策略的建议（天合光能股份有限公司）

应用本技术，分析光伏发电技术的应用前景和光伏发电的消纳水平，为国内光伏制造业头部企业天合光能在未来新型电力系统和电力市场环境下的经营策略提供战略咨询。

案例五：8760 小时级电力市场仿真系统开发服务（国家能源集团）

基于电力系统仿真模型模拟储能在“源-网-荷”等不同场景的规模化应用情景，模拟未来高比例新能源接入的电力系统结构、运行特点及储能的作用和影响。基于电力市场仿真及政策评估模型量化研究结果，研判未来储能业务发展市场空间、重点技术方向与可行商业模式，为集团进行储能板块的战略布局提供决策支撑。

技术 12 轨道交通智慧能源管理与控制系统

12.1 技术提供方

天津凯发电气股份有限公司注册于天津滨海高新区，公司专注于电气化铁路和城市轨道交通两大领域，主营业务为铁路供电及城市轨道交通自动化设备和系统的研发、生产、销售与技术服务，是国内最早开始研制和生产高速电气化铁路牵引供电自动化系统的制造商，也是天津市专业从事轨道交通自动化产品的企业。

中国铁路设计集团有限公司是中国国家铁路集团有限公司所属的唯一设计企业，主营业务包括铁路、城轨、公路等工程勘察、设计、监理、工程总承包等。具有工程设计综合资质甲级证书，是国家首批认定的高新技术企业。

12.2 技术简介

本技术属于交通低碳零碳领域。技术成果来源于 2020 年天津市智能制造大数据全业态集聚发展项目，中国铁路设计集团有限公司科研项目，已取得 6 项发明专利，2 项实用新型专利，8 项软件著作权。

12.2.1 技术原理及工艺流程

轨道交通智慧能源管理与控制系统（简称能源管控系统）基于智慧互联网技术和环境控制综合技术，采用边缘计算和分布式技术架构，通过智能机器学习算法，实现逐层对数据处理和分析，并对城市轨道交通系统沿线各车站的机电设备和车站环境数据进行监测、管理和分析，具有能耗数据分析、节能控制、碳排放量计算与考核等功能。能源管控系统具有与电力监控系统、综合监控系统、BAS 系统，AFC 系统、智能表计进行通信的功能，同时也可以将能耗数据、碳排放量数据分别转发到线网平台或者省、市能耗数据中心的功能，如图 2-12-1 所示。

轨道交通智慧能源管理与控制系统主要有 10 点内容：（1）轨道交通运营期间碳排放量评价体系，（2）能源数据分布式存储系统，（3）过渡性空间环境参数及主观舒适感评价技术，（4）客观指标和主观舒适融合的过渡性舒适环境标准，（5）高速超大空间活塞风计算方法及消除与利用技术，（6）土壤蓄热特性计算及周期性利用技术，（7）地下巨型天窗太阳辐射负荷及连通空间分区瞬时负荷计算，（8）首创轨道交通车站环境控制系统，（9）通风、采光、隔热一体化应用技术，（10）近零能耗环境调节技术。

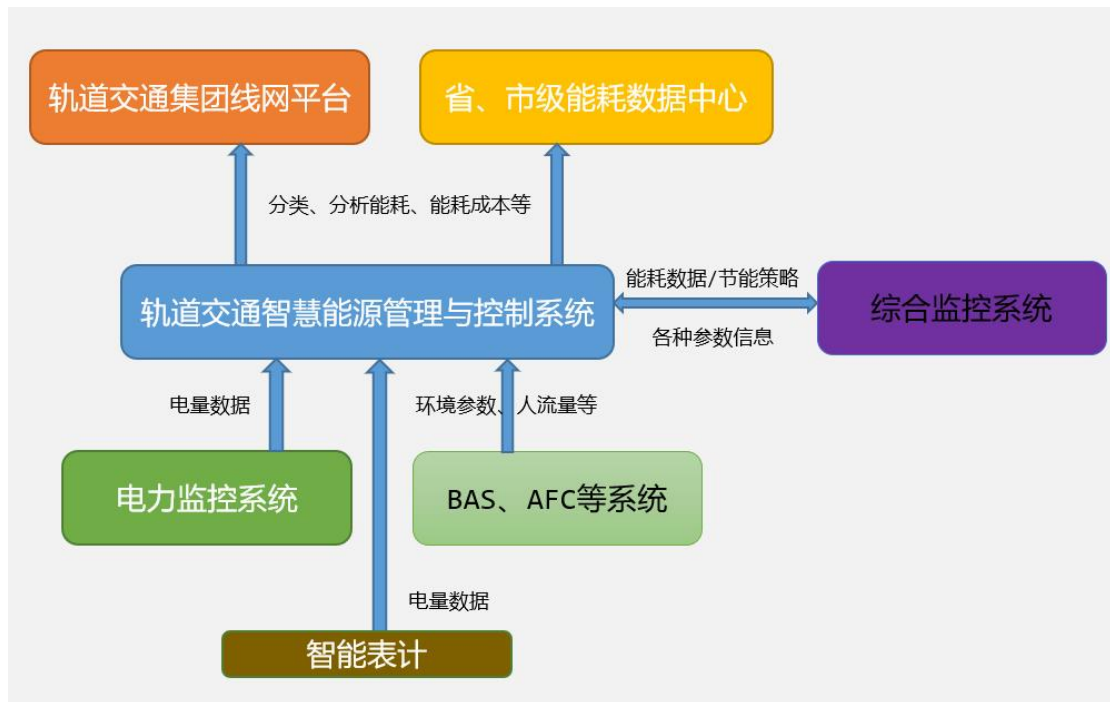


图 2-12-1 轨道交通智慧能源管理与控制系统框图

12.2.2 技术成果适用性

轨道交通智慧能源管理与控制系统适用于轨道交通行业能源数据存储与监控以及碳排放评价领域以及环境控制综合技术领域。

12.2.3 技术创新性及先进性

(1) 建立了轨道交通运营期间碳排放量评价体系。(2) 建立了轨道交通能源数据分布式存储系统，保障了轨道交通能耗数据和环境数据分析、处理和存储。(3) 建立了超大空间活塞风、土壤周期蓄热、高大连通空间分区瞬时负荷计算方法，得到了其对环境及能耗的影响规律，为后续的应用研究与示范奠定了基础。(4) 首创基于节能及过渡性舒适理论的轨道交通环境标准，该研究成果已纳入《绿色城市轨道交通车站评价标准》。(5) 首创了轨道交通环境优化控制系统。该技术的成功研究应用，使得地下高铁车站不退站台，不设置站台门成为可行的工程方案。(6) 建立轨道交通光、热耦合分析模型，实现通风、采光、隔热一体化应用，有效节约照明系统运行费用 100 万元/年。(7) 首次确定了轨道交通列车火灾规模，建立了适用于轨道交通的防排烟标准。(8) 研发了“光伏一体化出入口地面厅”“光伏一体化轨道交通高架车站环境调节系统”“地铁车站热回收型通风空调系统”“城市轨道交通具有通风及净化功能的屏蔽门端门”、“多功能冷却风筒”、“可折叠式清洗水槽”6 项绿色轨道交通环境调节装置，实现“就地取材，就地使用”，免费调节环境，近零能耗提高乘客舒适度。

12.2.4 节能减碳或污染防治效果

轨道交通智慧能源管理与控制系统的地下综合交通枢纽环境控制综合技术研究成果成功应用于天津于家堡地下综合交通枢纽、青岛胶州东国际机场枢纽，取得良好示范效果。节省地下综合交通枢纽工程初投资超过 1 亿元，降低机电系统运营费用 424 万元/年，节省用电

约 424 万 kWh, 每年可减少碳排放量 4227t。

12.3 技术示范情况

案例一：天津于家堡综合交通枢纽（现滨海站）建设工程-综合监控（BAS 及能源管理）工程

于家堡综合交通枢纽于 2015 年 9 月 20 日投用运营。该综合交通枢纽部署了综合监控（BAS 及能源管理）系统，对电表，水表和热力表数据进行采集、统计、分析，监测该枢纽整体用能，考核各系统用能情况，指导用能计划实施，降低能耗，减少碳排放量。

案例二：厦门地铁 2 号线综合监控管理系统-能源管理系统

厦门地铁 2 号线综合监控管理系统-能源管理系统竣工于 2020 年 8 月份，竣工验收结果合格，全线 36 个车站及车辆段和主所、停车场。该能源管理系统全线通过直采 35kV 和 400V 高低压侧智能表计数据，并通过采集 BAS 转发的客流量，用水量，环控系统用能设备能耗数据，温、湿度和二氧化碳浓度等信息，综合监测地铁能耗数据以及碳排放量数据，在配置界面能够对所有表计自由组合成自定义对象（分类和分项对象），能够对该对象进行对比、同比和环比数据的分析，并对地铁各级进行能耗考核以及能耗评价，能耗告警提示，并能综合地铁各级用能情况提出节能策略和预警信息。

案例三：合肥地铁 5 号线能源管理系统（南段）

合肥地铁 5 号线能源管理系统（南段），于 2020 年 12 月份投入运行，全线 24 个车站及车辆段和主所、停车场，经投运以来，运行数据符合设计要求。该能源管理系统系统全线通过直采 35kV 和 400V 高低压侧智能表计数据，在配置界面能够对所有表计自由组合成自定义对象，能够对该对象进行对比、同比和环比数据的分析，并对地铁各级进行能耗考核以及能耗评价，能耗告警提示，并能综合地铁各级用能情况提出预警信息。目前该项目已经验收并处于稳定运行期间。

技术 13 分布式低成本—低碳供能解决方案—低成本智能冷热双蓄绿色能源站

13.1 技术提供方

天津市龙津科技有限公司，系国家高新技术企业、国家科技型中小企业。公司主营业务为电磁加热热能设备的研发制造、智能化热能装备的研发制造，为客户提供核心热能装备和系统配套智能化节能控制集成，并提供全程清洁用能、节能节费服务。公司为核心电磁加热装备的研发制造单位，并负责项目的推广落地建设。天津市坤宇清源科技有限公司为龙津科技与天津大学合作成立的科研创新型企业，负责本项目的技术集成研发与项目技术支持。

13.2 技术简介

分布式低成本—低碳供能解决方案，是天津市龙津科技有限公司 2016—2020 年自主研发的清洁能源绿色采暖制冷供能技术体系的总称，并得到南开区 2017 年重点科研项目支持和资助。本技术体系属于碳达峰碳中和技术，当前全部相关的专利 12 项、软著达到 22 项。

13.2.1 技术原理及工艺流程

本分布式低成本—低碳供能解决方案专为北方区域内的工商业建筑、市政建筑等不饱和采暖制冷需求的建筑，提供低成本的清洁采暖制冷能源而开发设计，满足建筑的低成本-低碳能源供应。

低成本智能化冷热双蓄绿色能源站，是分布式低成本—低碳供能解决方案的实现载体和基本单元的一种，能够以较低的成本，实现建筑的清洁采暖制冷所需的能源供应。热源站一般包括电磁锅炉机组、蓄热/冷热双蓄单元、空气源/地源/水源热泵机组、冷暖能源站智能运行控制单元、远程智慧物联网平台等主要部分，及配套的循环泵、开关阀门管件、检测传送器材，形成一套完整的热源站系统。

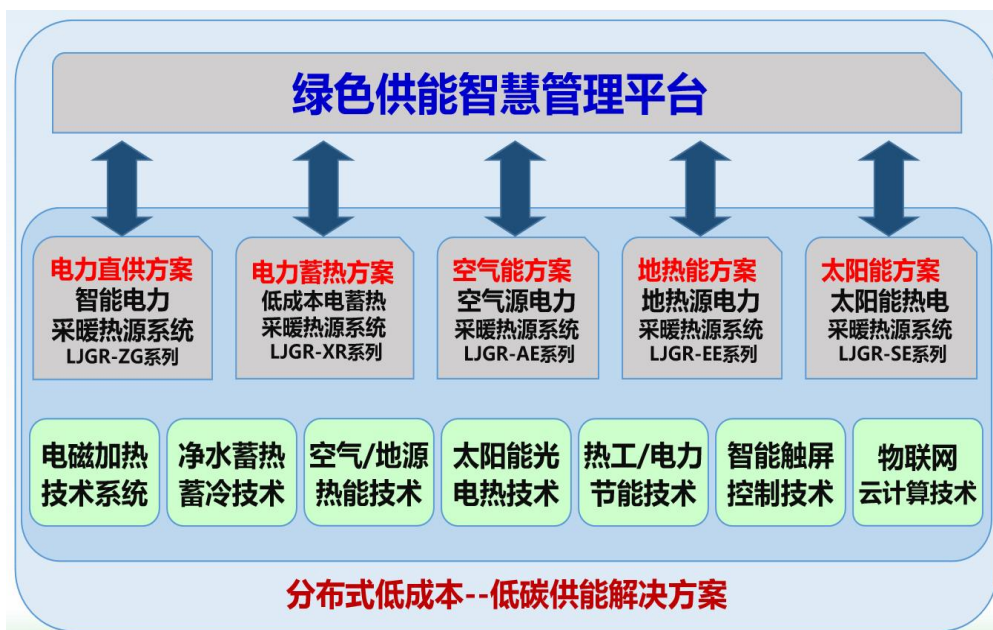


图 2-13-1 分布式低成本—低碳供能解决方案技术体系

13.2.2 技术成果适用性

本技术体系及热源系统，适用于：（1）城镇各类非饱和供热/供冷需求的建筑热能供应；（2）各类需要维持恒定温度的农业设施用能；（3）各类需要稳定中低温热能供应的化工、食品等行业的生产清洁用能等。

本技术及相关系统，需要有以下合适的条件：（1）享受峰谷电价政策；（2）有合适场地条件可以配套使用；（3）电力容量能够保障（一般 20 年以内的建筑无需增容，老旧标准建设的建筑预留的电力容量需要核算）。

13.2.3 技术创新性及先进性

（1）多种类型的清洁热源系统，按需要和条件就地建设，配置远程绿色采暖制冷智慧管理平台，组成分布式绿色热力能源网络；改变“集中燃煤+大管网输送+末端粗放供热”的传统模式，实现大规模精细化就地清洁采暖，重新定义供暖热源系统。

（2）采用全水系统，全面兼容主流清洁热源（各类电力采暖热源、空气源热能系统、地源/水源热能系统、太阳能热能系统），方便因地制宜地采用各种新能源热能。

（3）低成本设计+低能耗运行+无人值守运行，系统的综合成本优势明显，实现低成本的清洁采暖，改变了人们“清洁电力采暖成本高”的固有看法，能够轻松支持合同能源管理项目。

（4）本技术方案充分利用电网的峰谷特性和相关电力价格政策，削峰用谷，充分发挥电网和客户现场的配电资源（一般无需变压器增容），提高电网的利用率和经济性。

13.2.4 节能减碳或污染防治效果

应用本技术体系落地建设的采暖能源站，用于达到三步节能标准的普通办公建筑，供热冬季期间仅消耗电能： $45\sim 55\text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ ，且没有其它耗投入，折算标准煤耗量： $5.8\sim 7.1\text{ Kgce}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ ，远低于当前能耗平均水平，且优于设定的低碳目标；平均耗能成本： $15\sim 20\text{ 元}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ ，节费、降碳效果非常显著。本技术项目大面积推广，不仅有助于实现区域清洁采暖的目标，避免采暖能源浪费，降低能耗和碳排放量，还可以给客户提提供低成本的廉价热能，节约采暖成本，同时提高电网的利用率，改善区域能源供应结构，实现多方共赢。

13.3 技术示范情况

案例一：首个低成本电磁蓄热采暖热源验证项目（2016 年）：津南区成达石油设备机械公司

津南区中型企业，冬季需要为 2500 平米的工作区域供暖。该企业经过论证后，采用本技术方案（电磁加热锅炉+热水蓄能系统+自动运行控制）供热采暖。运行以来，安全稳定，截止目前无需维护。客户对技术给予高度评价。2500 平米的车间和办公一体化建筑，2016 年底以项目技术验证的方式建成电磁蓄热采暖热源系统，总投资 24.2 万元。近 6 年来年均耗能 8.96 万 kWh 电能，平米电耗 $35.84\text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ ，折算标准煤 $4.6\text{ kgce}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 。

案例二：低成本电磁采暖供热普及项目：天津市南开区多个街道办事处多个新建党群服务中心

2020 年底通过政府招标采购的形式，成功中标南开区体育中心街道新建设的 4 个社区

党群服务中心采暖供热热源建设项目，共计 2200 平米。2021 年 1 月陆续交付投入使用，为南开区行政服务机构建筑低成本低碳清洁采暖做出贡献，运行两个供热季以来，系统案例稳定。

案例三：正在建设的中大型项目：南开区政府第二联合办公场地（原天津理工大学）

低成本智能冷暖双蓄能源站示范工程项目（预计 2023 年 5 月投入使用），计划配置低成本电磁热能+空气源热能+冷暖双蓄热源系统。

技术 14 绿色己内酰胺工艺技术

14.1 技术提供方

中国天辰工程有限公司隶属于中国化学工程集团有限公司，为国有大型企业。经过 60 多年发展，现已成为集技术研发、工程总承包、实业运营、国际贸易和投融资五大能力于一体的国际工程公司。公司非常注重在环保领域的发展，着重于工业污水处理及污水回用处理，在传统煤化工（合成氨、尿素、焦化）、现代煤化工（煤制甲醇、天然气、MTO 等）、PVC 及氯碱、纯碱、己内酰胺、己二酸、丁苯橡胶等行业的污水处理和污水回用处理方面具有成熟的经验和专有技术。

14.2 技术简介

技术成果领域属于碳减排技术，为中国天辰工程有限公司自主研发，拥有 3 项实用新型专利，36 项发明专利。

14.2.1 技术原理及工艺流程

己内酰胺生产采用环己酮氨肟化、贝克曼重排技术，以环己酮、双氧水、氨为原料，在发烟硫酸存在条件下生产己内酰胺。生产过程主要包括：氨肟化、肟萃取、废气处理、重排反应、中和、加氢精制、蒸发精制、硫酸铵蒸发。

14.2.2 技术成果适用性

该技术适用于己内酰胺生产行业，下游用生产尼龙 6 以及纺丝行业。

该技术主要原料为环己酮、双氧水、液氨，受制于原料，需要建造相应配套装置以及外买原料。同时氢气由于受限运输方式只能采用管路运输，需要附近有氢气生产企业。

14.2.3 技术创新性及先进性

绿色己内酰胺生产使用的环己酮氨肟化新技术工艺是世界上最先进、推广应用最快的生产工艺，具有流程合理，副产物少，设备投资少，消耗指标低，环境影响小，产品质量好等特点。

（1）本工艺最大建设规模为 30 万吨/年，与世界上其它的同类工艺相比，具有高产能、低成本的特点。

（2）本工艺采用世界上先进的技术，在操作控制、能量利用方面有很大的提高，原料和公用工程耗用率低，达到世界领先水平，竞争能力强。

（3）本工艺吨己内酰胺的苯消耗最低。国际上商业化的己内酰胺有五种工艺，本项目是苯消耗最低的工艺。

（4）产品质量优良，各项指标均远超过国家标准，可适用于各类不同需求的精织或高速精纺的纺织品和特殊工程产品。

（5）消耗低于行业内消耗水平。

（6）己内酰胺质量优于国标优等品指标，下游高端高速纺客户忠诚度高。

14.2.4 节能减碳或污染防治效果

本项目采用氨肟化法相对于铜铵法，具有工艺简单、设备少、投资低、副产硫酸铵少、

环境影响小等显著优点。

本技术的节能减碳措施描述如下：

- (1) 本项目主要原材料的消耗低于行业消耗水平，同样的产量产生的碳排放低。
- (2) 本项目采用多效蒸发，以及 MVR 等生产技术降低能量消耗，减少碳排放。

14.3 技术示范情况

天辰公司已建成和正在建设的项目主要有：福建天辰耀隆新材料有限公司 33 万吨/年己内酰胺项目；山东华鲁恒升化工股份有限公司 30 万吨/年己内酰胺项目；沧州旭阳化工有限公司 30 万吨/年己内酰胺项目；兖矿鲁南化工有限公司 30 万/年吨己内酰胺项目；福建永荣科技有限公司年 60 万吨/年己内酰胺二期工程项目等。天辰公司累计设计的己内酰胺总产能近 300 万吨/年，占国内己内酰胺总产能的 50%以上。

技术 15 双氧水法环氧丙烷技术 (HPPO)

15.1 技术提供方

中国天辰工程有限公司隶属于中国化学工程集团有限公司，为国有大型企业。经过 60 多年发展，现已成为集技术研发、工程总承包、实业运营、国际贸易和投融资五大能力于一体的国际工程公司。公司非常注重在环保领域的发展，着重于工业污水处理及污水回用处理，在传统煤化工（合成氨、尿素、焦化）、现代煤化工（煤制甲醇、天然气、MTO 等）、PVC 及氯碱、纯碱、己内酰胺、己二酸、丁苯橡胶等行业的污水处理和污水回用处理方面具有成熟的经验和专有技术。

15.2 技术简介

技术成果领域属于碳减排技术，为中国天辰工程有限公司自主研发，拥有 4 项实用新型专利，16 项发明专利。

15.2.1 技术原理及工艺流程

本技术采用双氧水做氧化剂，在特制钛硅分子筛 (TS-1) 催化剂存在下，以甲醇为溶剂，将丙烯氧化为环氧丙烷，同时产生少量副产物。反应产物经分离精制，将未反应的过量丙烯、甲醇、水、副产物分离，获得产品环氧丙烷。未反应的丙烯分离出废气后，循环使用。甲醇与水及副产物分离后亦循环使用。

本工艺技术 6 个单元：

(1) 反应单元。聚合级丙烯、50%浓度的双氧水溶液与溶剂甲醇混合后送入反应器，在催化剂的催化作用下，反应生成环氧丙烷和水。丙烯环氧化为环氧丙烷为强放热反应，因此反应器有取热控温措施。反应后的物料经一级初步分离后进入丙烯分离单元。

(2) 丙烯分离单元。丙烯分离单元的主要目的是将反应产物中的过量丙烯分离。反应产物中的过量丙烯经多级精馏与溶剂、水和产物环氧丙烷分离，从塔顶采出后送入丙烯回收压缩单元。

(3) 丙烯回收压缩单元。来自丙烯分离单元的丙烯气用经冷冻水预冷的甲醇进行洗涤，洗涤后塔顶采出几乎不含环氧丙烷的丙烯气体，之后气体去除氧气、氮气后送入丙烯压缩机压缩后送回反应器循环使用。塔釜的环氧丙烷甲醇溶液送回丙烯分离单元。

(4) 产品分离精制单元。采用精馏将环氧丙烷从环氧丙烷、水、甲醇以及含有少量其他副产物如丙二醇、醛类、脂类等的混合物中提纯精制，分离得到的纯品环氧丙烷送入罐区储存。

(5) 甲醇分离回收单元。来自丙烯分离单元、产品分离精制单元的富含甲醇的物料送入甲醇分离回收单元的多效蒸发设备，采用经热量耦合降低能耗的方式对其进行提纯，得到纯度达标的甲醇，循环回反应器，同时含丙二醇等的废水送入废水预处理单元。

(6) 废水预处理单元。废水经多效蒸发后获得丙二醇副产品，同时使废水中 COD 降至设计值排至废水管网。

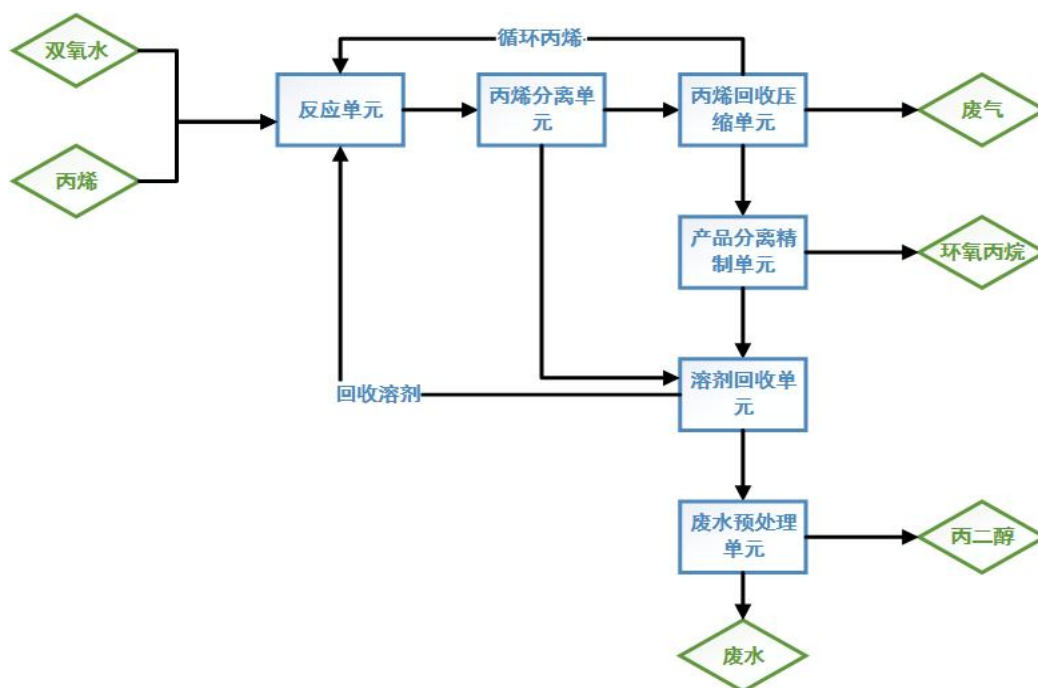


图 2-15-1 本工艺技术六个单元

15.2.2 技术成果适用性

本技术适用于环氧丙烷生产领域，原料为丙烯和双氧水，通常上游配套建设双氧水装置。

15.2.3 技术创新性及先进性

(1) 通过调控催化剂的孔道结构和活性位点，自主研发具有特殊孔结构和性能优异的新型 TS-1 分子筛催化剂，双氧水转化率达 99% 以上，环氧丙烷选择性达 98% 以上。

(2) 基于冷模试验和仿真模拟，创新性地开发了用于列管式反应器的多相液体分布器，实现了反应过程中各相液体均匀分布，降低了轴向温度梯度及列管间反应效果的差异，实现了反应特性均一化。

(3) 采用梯级分离，热耦精馏、低品位热源再利用等相结合的方式，提高了能量集成度，大大降低工艺过程的能耗。

15.2.4 节能减碳或污染防治效果

本技术为完整的双氧水法环氧丙烷工艺技术，能够替代当前的氯醇法工艺，实现丙烯消耗相比传统氯醇法降低 1.5%，废水减排 98% 以上，废固减排 80% 以上，可推动环氧丙烷产业向高端化、绿色化发展。

15.3 技术示范情况

在江苏富强 10 万吨/年环氧丙烷装置案例中，本技术开发了完整的双氧水丙烯直接氧化法环氧丙烷生产工艺流程，能量集成度高、能耗低。通过优化环氧化反应条件，并设置精制反应去除循环溶剂系统中的残余双氧水，从源头减少了轻组分杂质的含量。另外通过在产品分离精制系统中设置酸碱体系，利用添加剂对环氧丙烷产品进行进一步精制除杂，最终实现了环氧丙烷纯度 99.99% 以上，水含量 100 ppm 以下，醛含量 30 ppm 以下的远优于国标优等品的环氧丙烷产品品质。

技术 16 含氨废气、废水零排放的氯化铵干燥工艺和系统

16.1 技术提供方

中国天辰工程有限公司隶属于中国化学工程集团有限公司，为国有大型企业。经过 60 多年发展，现已成为集技术研发、工程总承包、实业运营、国际贸易和投融资五大能力于一体的国际工程公司。公司非常注重在环保领域的发展，着重于工业污水处理及污水回用处理，在传统煤化工（合成氨、尿素、焦化）、现代煤化工（煤制甲醇、天然气、MTO 等）、PVC 及氯碱、纯碱、己内酰胺、己二酸、丁苯橡胶等行业的污水处理和污水回用处理方面具有成熟的经验和专有技术。

16.2 技术简介

技术成果领域属于碳减排、水污染治理、大气污染治理，是中国天辰工程有限公司自主研发，取得 1 项实用新型专利。

16.2.1 技术原理及工艺流程

本技术以减少含氨废气排放、提高氨回收、减少 CO₂ 排放、回收水分、降低洗水量等为目标，利用联碱法生产中的原料气 CO₂ 作为流化床的流化气，并辅助蒸汽对湿氯化铵在流化床中进行加热干燥；根据流化气含尘、含氨的特点，进行了干法、湿法除尘；湿法除尘中分级洗涤，分别回收含氯化铵洗水和含氨洗水，以便分别利用；通过酸碱中和原理、冷却、冷凝除水原理，在不添加或少添加新鲜洗水的基础上，对流化气的游离氨和水分进行全吸收和回用，流化气中的水分全吸收回用；利用流化床系统中设备、管道阻力降，进行风机等动设备的压力分配，构造出闭路循环干燥，系统无含氨废气排出；氯化铵干燥床和冷却床独立设置，避免干燥湿气和冷却气混合造成对冷却产品不利、除尘设施粘结等问题，延长生产周期。

工艺流程简述：二氧化碳流化气增压后经外部蒸汽加热器加热进入干燥床底部，经流化床布风板与上部进入的湿氯化铵滤饼进行直接流化接触，同时通过干燥床内置蒸汽换热器进行加热，湿氯化铵中的游离氨、水分、细粉等被二氧化碳流化气从流化床顶部带出。含尘、含氨、含湿的二氧化碳流化气经旋风分离器、布袋除尘器等干法除尘设施进行除尘，得到的氯化铵细粉重回干燥床或去下游细粉包装，微量含尘的流化气进一步经过除氯洗涤塔、除氨冷却除湿塔等湿法设施进行分级除尘洗涤，经洗涤净化的流化气重新经风机增压、加热器加热后送回干燥床重新利用，形成一个闭式循环干燥回路，使得整个回路无含氨废气外排。得到的含氯洗水和含氨洗水分别去联碱工艺中回收利用，实现系统废水无外排。

闭路循环冷却工艺路线为：二氧化碳经引风机增压后进入冷却床底部，经流化床部风板与上部干燥床底部星型下料器排出的热氯化铵直接流化接触，同时通过冷却床内置循环水换热器进行冷却，含尘的二氧化碳流化气经旋风分离器、布袋除尘器等干法除尘设施进行除尘后通过引风机增压重新送回冷却床利用，形成一个闭式循环冷却回路，使得整个冷却回路无废气外排。闭式冷却的流化气可以采用二氧化碳，也可以采用空气。开式冷却的工艺路线是采用新鲜空气进行流化并将流化气通过合格的除尘设备除尘达标后直接排空。

16.2.2 技术成果适用性

该技术适用于纯碱联碱行业和热法制备氯化铵行业，具体涉及到其中的氯化铵干燥装置。其他氯化铵干燥或者含氨尾气处理等行业可以参照使用。

16.2.3 技术创新性及先进性

本技术开创性的提出并应用以联碱生产的原料气二氧化碳为流化气，干燥床和冷却床独立设置，干法除尘和湿法除尘、除湿、除氨相结合的闭路循环氯化铵干燥工艺和系统，实现了废气零排放、系统废水零排放、系统新鲜洗水零添加、游离氨全回收、二氧化碳和水回收利用、流化气重复利用、操作车间无氨、设备腐蚀少、操作周期长，是一种节能、节水、环保的工艺和系统。本技术不引入新的吸收剂、不产生新三废，不消耗环境空气，不增大生产成本，大规模联碱生产易于实施，处理方法经济实用。

表 2-16-1 本含氨废气、废水零排放的氯化铵干燥工艺和系统与传统流化床干燥工艺的对比

对比项	含氨废气、废水零排放的氯化铵干燥工艺和系统	传统氯化铵干燥工艺干法除尘工艺	传统氯化铵干燥工艺干法除尘工艺
产能（注 1）	40 万吨/年	单线 20 万吨/年，共 2 条线	单线 20 万吨/年，共 2 条线
含氨尾气排放	零	55000~70000m ³ /h	55000~70000m ³ /h
氨排放至大气	零，全部回收	135~175kg/h 排放，回收量很小	60~80kg/h 排放，回收量小
氨排放浓度	零	2000~3000ppm	若用 100m ³ /h 新鲜洗水洗涤，尾气含氨浓度为 900~1300ppm
二氧化碳排放	零	150~200kg/h	70~90kg/h
废水	零	不适用	废水量大，与最终尾气含氨量要求有关
湿氯化铵中水分回收情况	全回收	3300~3500kg/h 排放至大气中	1900~2100kg/h 排放至大气
新鲜洗水	极少，操作好时为零	不适用	洗水量大，与最终尾气含氨量要求有关
回收的含氨洗水浓度	高达 45~50tt	不适用	浓度低，0.1~0.5tt
回收含氨洗水重复利用	全部重复利用	不适用	无法全部利用
是否用酸洗	无	无	部分工艺需要，产生额外酸性废水
运行周期	长	短	短
设备管道外腐蚀情况	不明显	腐蚀严重	腐蚀严重
车间环境	环境整洁，基本无氨味	氨味严重，操作环境恶劣	氨味严重，操作环境恶劣
电耗（额定功率）	1278kW	1210kW	1250kW

注 1：以规模 40 万吨/年的氯化铵干燥计

16.2.4 节能减碳或污染防治效果

废气零排放、系统废水零排放，不产生新的三废，解决传统工艺尾气氨、粉尘排放超标、排放温室气体二氧化碳、废水量大、酸性废水无法处理或处理成本高的问题，该技术是一种绿色、环保工艺；湿氯化铵（滤饼）中的氨、二氧化碳、水均得到了全部回收，减少了联碱原料氨、二氧化碳的消耗和系统新鲜水的补充，该技术是一种节能、节水、成本低的工艺；极大改善了干燥车间的操作环境，车间无氨味，车间干燥整洁，无跑冒滴漏，设备腐蚀少；极大延长了流化床干燥工艺的操作周期，减少了流化床频繁洗涤、清理等产生的废水、废气、废固等问题。

16.3 技术示范情况

2016年，河南金大地化工有限责任公司与中国天辰工程有限公司签订“河南金大地 60 万吨/年联碱项目”设计合同，其中涉及到氯化铵干燥部分的为单线氯化铵干燥产能 40 万吨/年，共 2 条线，位于河南舞阳县产业集聚区化工园区。项目自 2018 年底完成施工并顺利投产以来，实现了废气零排放、废水零排放、粉尘零排放、新鲜洗水零添加、氨全回收等。随后，双方于 2020 年签订了“河南金大地联碱节能技术优化项目”，于 2021 年签订了“河南金大地联碱节能技术改造项目”，均顺利投产，经济、社会和环保效益明显。

技术 17 丁二烯直接氰化法合成己二腈技术

17.1 技术提供方

中国天辰工程有限公司隶属于中国化学工程集团有限公司，为国有大型企业。经过 60 多年发展，现已成为集技术研发、工程总承包、实业运营、国际贸易和投融资五大能力于一体的国际工程公司。公司非常注重在环保领域的发展，着重于工业污水处理及污水回用处理，在传统煤化工（合成氨、尿素、焦化）、现代煤化工（煤制甲醇、天然气、MTO 等）、PVC 及氯碱、纯碱、己内酰胺、己二酸、丁苯橡胶等行业的污水处理和污水回用处理方面具有成熟的经验和专有技术。

17.2 技术简介

技术领域属于碳减排，该技术用于生产尼龙产业链重要的中间体。该技术属于中国天辰工程有限公司自主研发，共获得 12 项发明专利，8 项实用新型专利。

17.2.1 技术原理及工艺流程

该技术以丁二烯、氢氰酸为原料，采用自主研发的催化剂体系及工艺流程生产己二腈。丁二烯与氢氰酸在催化剂的作用下，在一定温度、压力及溶剂的条件下经一级氢氰化反应合成出戊烯腈及同分异构体甲基丁烯腈。戊烯腈与氢氰酸在催化剂的作用下，在一定温度、压力及溶剂的条件下经过二级氢氰化反应得到己二腈。甲基丁烯腈在一定条件下可以发生异构化反应转化为戊烯腈，从而进一步提高戊烯腈的收率及己二腈的选择性。该技术主要包括催化剂制备、丁二烯氰化、异构化、己二腈合成、己二腈产品精制。该技术的主要工艺流程如图 2-17-1。

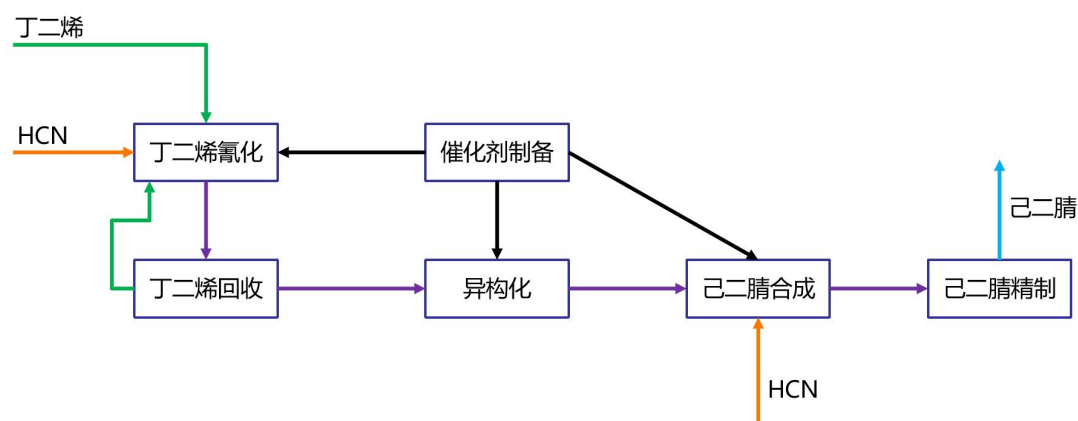


图 2-17-1 工艺流程框图

17.2.2 技术成果适用性

该技术适用于尼龙行业，用于生产尼龙 66 的重要中间体己二腈，运行规模为 20 万吨/年，上游需要配套 12 万吨/年氢氰酸装置，下游配套 20 万吨/年己二胺装置。

17.2.3 技术创新性及先进性

丁二烯直接氢氰化法合成己二腈技术创新性及先进性如下：

(1) 开发了丁二烯直接氢氰化法合成己二腈的成套工艺技术，打破了国外的技术垄断，填补了国内行业空白。

(2) 开发了用于丁二烯直接氢氰化法合成己二腈的催化剂体系，实现并掌握了该催化剂的工业化制备技术。

(3) 开发了催化剂在线回收工艺技术及关键设备的优化设计，大大降低了催化剂的用量，从而提高了本工艺的经济效益。

(4) 开发了多塔精馏系统及特殊的工艺方式将纯度为 99% 的氢氰酸提纯至 99.96% 以上。

17.2.4 节能减碳或污染防治效果

当前全球己二腈生产工艺路线主要有己二酸（ADA）催化氨化法、丙烯腈（AN）电解二聚法、丁二烯（BD）法和己内酰胺法四种，其中丁二烯法又分为丁二烯氯化法和直接氰化法。通过对这几种生产技术的比较，丁二烯直接氰化法具有成本低、污染小、收率高等优势，是目前国际生产己二腈的主要工艺，该工艺占据己二腈市场的 50% 以上，是目前最先进、最理想的生产工艺路线。国内目前还没有采用该工艺技术的工业化生产装置。

17.3 技术示范情况

该技术成功运用于山东省淄博市天辰齐翔新材料有限公司尼龙新材料项目年产 20 万吨己二腈装置，2022 年 7 月 31 日顺利打通全流程，开车成功并产出优级产品，彻底打破了国外对我国己二腈的技术封锁和垄断，填补了国内技术和产业空白，对促进我国高端聚酰胺产业长效安全健康发展具有重要意义。该项目的建成投产，将带动尼龙 66 产业链及相关产业群的完善。项目一期占地 1800 亩，以丁二烯为主要原料，生产 20 万吨/年己二腈以及丙烯腈、己二胺、尼龙 66 成盐及切片等产品。

技术 18 超低氮高效节能冷凝式供热装置与示范

18.1 技术提供方

蓝焰高科（天津）燃气技术有限公司是以燃气为能源的供热、制冷、供生活热水和发电技术为核心，集产品优化设计、研发、测试、生产、专业培训等业务为一体的人才密集型公司，拥有强化换热、燃气燃烧、燃气供热、燃气空调、智能控制、计算流体力学仿真技术、计算燃烧学仿真技术、数值传热仿真技术等多方面的高端研究人员。

18.2 技术简介

技术领域为碳达峰碳中和技术的清洁能源领域。该技术属于自主研发，拥有 1 项发明专利，4 项实用新型专利，6 项外观设计专利。

18.2.1 技术原理及工艺流程

超低氮高效冷凝式供热装置集铸铝换热器、燃烧器、烟道、水道于一体。铸铝热交换器具有良好的抗腐蚀性，能在有限的体积内，采用肋柱增大换热面积。燃烧室及出入口位于主热交换器上方，进水口位于底部，水流自下而上，温度逐渐增加，烟气自上而下温度逐渐降低，营养流动，以保证热交换之中各点都能进行充分热交换，吸收烟气中的显热和大部分水蒸气潜热，有效降低排烟温度，使烟气中的水蒸气饱和析出，达到高效、节能、环保的目的（图 2-18-1，图 2-18-2）。

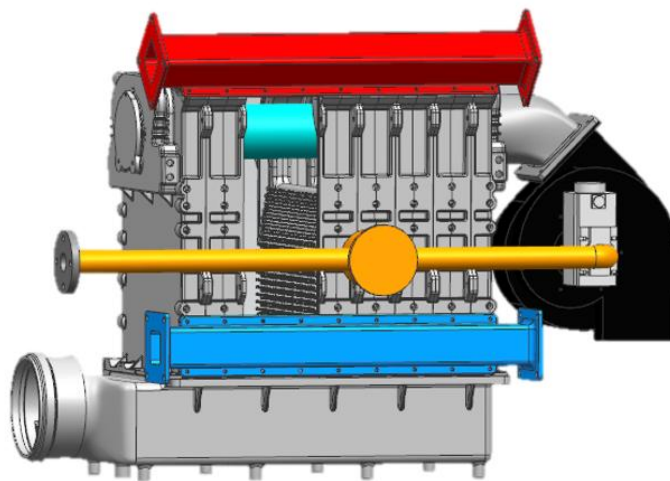


图 2-18-1 超低氮高效冷凝式锅炉本体

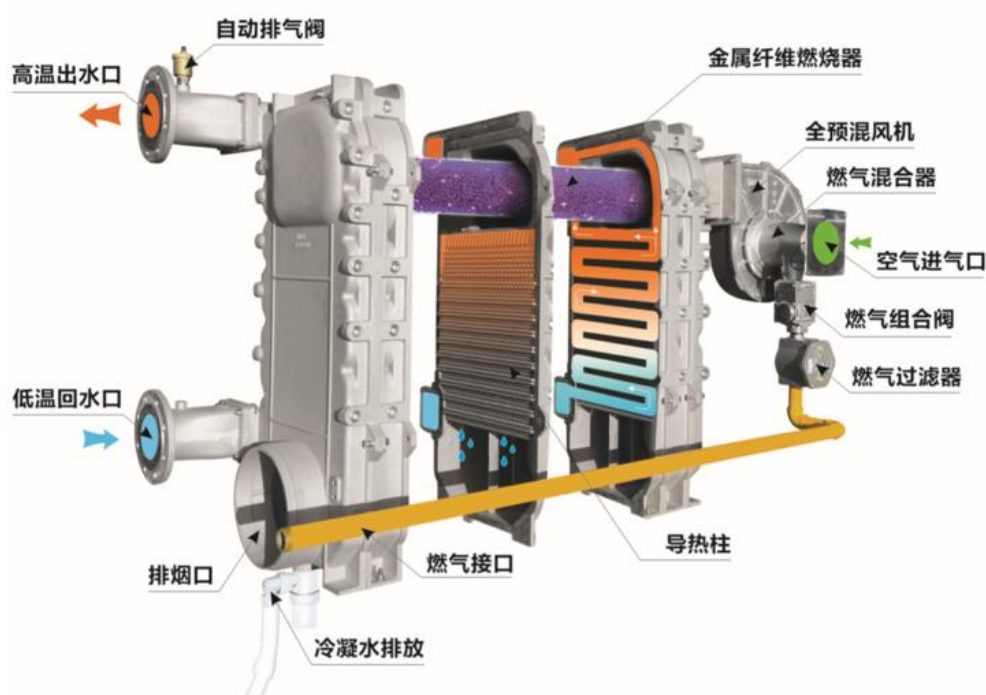


图 2-18-2 超低氮高效冷凝式锅炉原理图

本工艺采用金属纤维燃烧器，利用金属纤维表面燃烧的蓝焰效应，将火焰温度控制在 850℃左右，可大幅度减少热力型氮氧化物产生；采用高效变频技术，通过智能控制系统自动调节火焰大小来满足实际热负荷需求；采用冷凝技术，使排烟温度降至 60℃以下，从原理上有效回收烟气中高温水蒸气的热量。

18.2.2 技术成果适用性

随着节能减排政策的实行，全民低碳意识的提高，冷凝技术是未来的发展趋势。从能源结构看，天然气作为一种洁净环保的能源必定会被广泛应用。近年来，冷凝燃气锅炉显现出明显的优势，低氮冷凝燃气锅炉成为锅炉市场主导是大势所趋。预计到 2025 年在产业或领域内推广可达到市场推广比例的 70%以上，将为国家节能减排目标和发展战略做出贡献。

18.2.3 技术创新性及先进性

(1) 燃烧室炉膛面积相比其他同类产品大 50%，炉膛表面温度更低；(2) 炉膛周围的水道采用回转式设计，从结构上避免了同类产品应用过程中出现的干烧现象；(3) 换热器本体水容积比其他同类产品大 22%，水道截面积增加，水道倒角经过仿真优化设计，水阻力更小，结垢可能性降低；(4) 水道内部独特的导流槽设计，增加了换热面积，紊流效果增强，进而强化了内部传热。

18.2.4 节能减碳或污染防治效果

超低氮高效冷凝式供热装置采用独特的换热器结构设计，确保炉体温度分布均匀，避免局部高温，有效遏制 NO_x 生成，实现超低氮氧化物排放，NO_x≤30mg/m³，严格控制在国家排放要求范围内。装置所采用的燃气金属纤维燃烧器，可实现 15~100%负荷调节，通过比

例调节阀和变频风机的调节，保证最佳空燃比，降低烟气冷凝温度点，有效回收烟气中的水蒸气潜热，总的热效率高达 108%。

高效低氮冷凝燃气锅炉在节能方面具有以下优势：（1）采用世界先进的冷凝换热器，可将排烟温度控制在 60℃以下；（2）采用全预混技术，实现天然气与空气 100%全预混，避免空气过量（冷空气吸收热量后直接排出）或燃气过量（燃烧不完全造成能源浪费）造成的燃料、热量浪费，有效提高燃料利用率，提高锅炉综合效率，降低氮氧化物排放；（3）采用先进的智能控制系统自动调节火焰大小，输出比例由 15%至 100%实现曲线输出，避免档位式输出造成的能量过剩或不足的问题，较 15%至 100%的调节更加机动灵活，响应迅速，能有效提高锅炉效率，节约天然气，提高收益。综合节能约 30%，节能环保优势明显。

18.3 技术示范情况

针对超低氮高效冷凝式供热装置项目，蓝焰高科（天津）燃气技术有限公司初期建设用地面积 1753 平方米，项目规划总占地面积 3000 平方米，项目总投资 500 万元。截止到本年度第三季度，公司实现营业收入 1270 万元，其中，主营业务底单冷凝燃气锅炉生产及销售收入为 1140 万元，占营业总收入的 85%。

技术 19 氧化矿降碳减排浮选药剂

19.1 技术提供方

天津天宝翔科技有限公司为国家高新技术企业、国家科技中小企业，控股鞍山市津翔工业有限公司子公司。主营业务为铁矿石、稀土、萤石、钛铁矿、磷矿等氧化矿选矿药剂的科研、生产、评价和应用推广。公司通过自主创新，研发了常温选铁捕收剂、常温选铁高效抑制剂、低温稀土捕收剂、低温萤石捕收剂等 8 类 30 多种浮选药剂，获冶金科技成果奖三等奖 1 项，天津市专利优秀奖 1 项，1 项技术入选 2022 年钢铁行业优秀环保技术案例目录，国内外发表选矿药剂论文 20 多篇。

19.2 技术简介

技术领域为碳达峰碳中和技术中的碳减排相关技术。技术成果来源于企业自主研发，已取得 5 项发明专利以及 7 项实用新型专利。

19.2.1 技术原理及工艺流程

本技术主要药剂为选铁低温浮选药剂（选铁常温捕收剂、选铁常温抑制剂）、稀土低温捕收剂、选磷低温捕收剂、萤石低温捕收剂。

选铁常温捕收剂分子结构中同时含有羧酸基、磺酸基、氨基、醚基、羟基、磷酸键等官能团，同时精确调控碳链的长度、不饱和度、支链含量和空间构型，可以形成螯合环，克服了传统捕收剂在低温下难溶解、泡沫大、分散性差等缺点。捕收剂合成过程精确控制每一步反应的投料比、反应温度、反应时间等，引入了多种高效分散剂、螯合剂和催化剂，充分发挥协同作用，提高了药剂的捕收能力、分散性、选择性及温度适应性。捕收剂与矿物表面的螯合效应如图 2-19-1 所示。

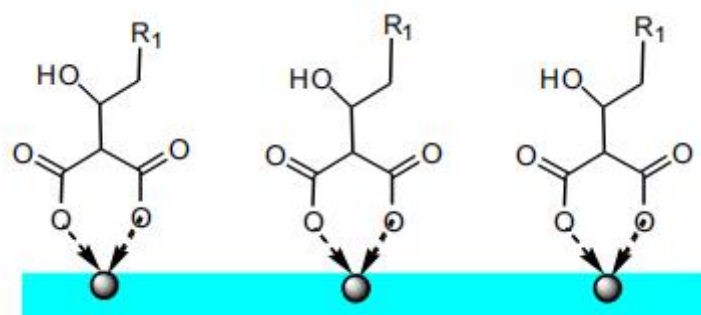


图 2-19-1 捕收剂与矿物表面的螯合效应

选铁常温抑制剂是以天然高分子碳水化合物为原料，采用绿色方法合成的新型高效抑制剂。通过取代、酯化、氧化等多种反应进行多步改性，在分子结构中接枝乙氧基链、醛基、羟丙基等官能团，并控制产品的分子量分布和类型，使其对铁矿物，尤其对微细粒铁矿物实现高效选择性抑制，提高铁资源的利用率和铁精矿产量。

稀土低温捕收剂利用配位原子的特性和螯合物整体的化学性质，增强捕收剂中螯合基团的选择性，增强捕收剂的耐低温性。利用螯合剂活性化学基团特定的空间几何大小，使其对

稀土矿物的结合力达到最佳，达到降低尾矿品位的效果。在分子结构中引入次活性基团，改变活性基团配位原子与稀土矿物表面金属离子键合的能力，使得捕收剂在低温下仍然具有较强的捕收性能。在分子结构中引入-OH、C-O-C 等结构，增强低温下捕收剂分子在矿浆中的溶解和分散能力。稀土低温捕收剂与矿物表面的螯合效应如图 2-19-2 所示。

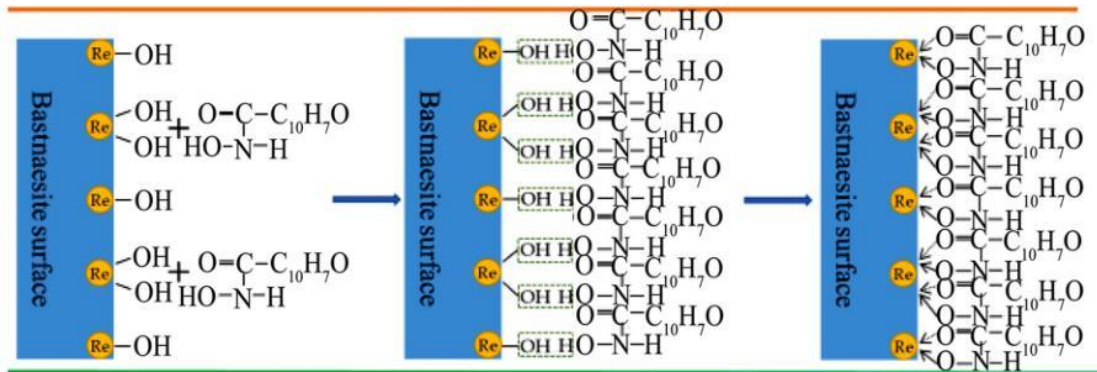


图 2-19-2 稀土低温捕收剂与矿物表面的螯合效应

选磷低温捕收剂是一种螯合型捕收剂，能与磷灰石表面的钙原子形成螯合环，显著提高低温条件下捕收剂分子与磷灰石表面的作用力，从而提高捕收剂浮选磷矿精矿的产量。

萤石低温捕收剂是一种氧-氧螯合型捕收剂，能与萤石表面的钙原子形成螯合环，显著提高低温条件下捕收剂分子与萤石表面的作用力，能明显提高萤石精矿的品位和产量。

19.2.2 技术成果适用性

选铁低温浮选药剂主要适用于鞍钢、太钢等鞍山式铁矿、白云鄂博铁矿、安徽李楼铁矿等矿石的反浮选；稀土低温捕收剂主要适用于白云鄂博选铁尾矿选稀土、德昌稀土等；选磷低温捕收剂主要适用于河北承德等选铁尾矿选磷；萤石低温浮选药剂主要适用于白云鄂博选稀土尾矿选萤石、永和碳酸钙型萤石矿等。

19.2.3 技术创新性及先进性

创新点：（1）合成了一种氧-氧螯合型捕收剂，能形成 2 个以上螯合环，提高低温时药剂与矿物表面的作用力和选择性；（2）精控疏水链长短、双键含量和空间构型等方法，增加其低温水中的分散性；（3）合成了一种含有醛基、羟基、醚键和羧基的高分子抑制剂，提高了细小颗粒矿物表面的作用力；（4）抑制剂分子量正态分布的合成方法，增加宽粒级矿物的抑制能力和选择性。

与同类技术相比的特点和优势：（1）降碳减排。氧化矿低温浮选药剂既能减排二氧化碳，又能通过降低尾矿品位，起到减少排放尾矿的效果；（2）绿色矿山。氧化矿低温浮选药剂生产过程无“三废”排放，应用过程中易自然降解。（3）提质增效。氧化矿低温浮选药剂用于氧化矿浮选过程，能提高精矿品位，大幅度降低浮选尾矿的品位，提高精矿的产量，低温浮选能降低能耗。

19.2.4 节能减碳或污染防治效果

截止 2022 年 8 月，公司研发的氧化矿降碳减排浮选药剂，已经应用于鞍钢、太钢、河钢和包钢等集团所属选矿企业 10 多家，浮选温度普遍降低 20℃以上，有的选矿企业还实现

了常温浮选，即全年不需要向矿浆中添加蒸汽，累计减排二氧化碳 200 多万吨、尾矿 200 多万吨。

19.3 技术示范情况

(1) 铁矿物低温浮选药剂及其应用：铁矿石低温浮选药剂包括低温浮选捕收剂和高效抑制剂，在**鞍钢集团矿业有限公司齐大山分公司浮选作业区**，从 2019 年 10 月开始使用至今，全年不需要向矿浆中添加蒸汽，特别是鞍山地区冬季室外温度可达 -20°C 以下，各项选矿指标均达标，年产浮选精矿 200 万吨左右。全年节省蒸汽费用 8500 万元，减排二氧化碳 5 万多吨，减排尾矿 4 万多吨。

(2) 铁矿石高效抑制剂：铁矿石高效抑制剂在**太钢集团岚县矿业有限公司浮选作业区**，从 2019 年 4 月开始使用至今，浮选温度降低 12°C ，各项选矿指标均达标，年产浮选精矿 900 万吨。全年节省蒸汽费用 13500 万元，减排二氧化碳 6 万多吨，减排尾矿 30 万多吨。

技术 20 碳 e 管—工业企业双碳管理综合解决方案

20.1 技术提供方

天津中创碳投科技有限公司是北京中创碳投科技有限公司全资投资的核心技术研发和执行机构，核心业务包括：政府侧碳排放峰值研究、碳中和路径规划、温室气体清单编制等，并提供面向政府和企业的绿色低碳信息化产品业务、教育培训业务、绿色投融资业务等。目前，由天津子公司参与研发的“企业碳 e 管”、“双碳视界”、“环 e 查”、“唐博士在线”在业内反响良好，获得高度评价和认可。

20.2 技术简介

技术领域为碳达峰碳中和技术中的碳减排管理、碳资产管理等相关技术。技术成果来源于企业自主研发，已取得 6 项计算机软件著作权。

20.2.1 技术原理及工艺流程

碳 e 管平台功能包括碳数据模块、碳减排管理模块、碳项目管理模块、碳资产管理模块、碳托管管理模块、碳交易管理模块以及碳管理数据一张屏，同时对于中小型企业，碳 e 管碳管理服务系统更加轻量级，操作简便，并增加碳披露、碳资讯与碳教育模块。

碳数据模块分为排放统计、排放对标、排放预测等，排放统计展示已填报数据年份的具体信息，支持查看累计年度报告与重新核算等操作。内嵌“能电碳”算法模型，基于企业生产经营数据，实现企业碳排放量和碳排放强度预测。

碳减排管理模块通过生产计划预测跟踪，预测碳排放量及配额预警情况；制定企业碳排放下降目标，实现减排目标管理与预警；通过建立集团减排技术信息库，实现减排新技术与案例的推送、共享。

碳项目管理模块支持对项目计划开发、项目审定、项目备案等提供全生命周期管理和资料归档，进行签发减排量统计分析。进行减排量监测，量化各类型项目减排量。

碳资产管理模块一方面基于碳排放数据进行配额测算预警，预测集团配额盈亏情况，指导履约交易；另一方面通过跟踪集团企业实际持有碳资产变更以及履约记录，辅助形成集团内部碳资产台账。

碳托管管理模块对于账户托管的需求，系统支持统一管理控排企业的托管账户、托管合同、托管协议，为各企业提供托管业务流程的进程跟踪，对于托管资产亦可进行提供匹配撮合服务，降低总体履约成本。

碳交易管理模块基于中创碳投自主研发的内部交易匹配模型，给出内部交易匹配建议，同时进行交易风险评估，结合碳市场行情数据的研判，提升集团整体碳资产交易风险应对能力。

碳管理数据一张屏，针对集团用户，平台设计碳管理数据一张屏，打造多维、立体、动态的科技效果，实现对集团碳管理工作成效的全景展示，一屏查看集团总体碳排放与碳资产变化情况、企业排放分布特征与排名对比情况。



图 2-20-1 碳管理数据一张屏展示图

20.2.2 技术成果适用性

目前，碳e管已覆盖电力，钢铁，化工，有色，电解铝、石化、平板玻璃、造纸等多个行业，并后续规划扩展制造、纺织、食品等其他行业。

20.2.3 技术创新性及先进性

在**低碳核算**方面，碳e管引入自主研发的“能-电-碳”模型，建立能源消耗、电力消费与碳排放关联关系的预测，以实现通过能耗数据、电力消费数据，直接测算企业碳排放数据，分析碳排放特征和目标；在**低碳数字化咨询**方面，集成“碳项目-碳减排-碳咨询”模块，构建中创碳投“能环碳经”数据资产和减排技术/项目/专家信息库，服务企业对接先进技术和优质减排项目，疏通企业与行业专家沟通渠道；在**低碳管理方面**，基于中创碳投自主研发“B端双碳管理模型”原理，内置“碳资产-碳交易-碳托管-碳资讯”几大模块，助力企业盘活碳资产、参与碳交易，并服务企业科学决策，实现绿色收益最大化；在**数据管理方面**，碳e管平台数据范围与类型、数据服务均属创新型业务。通过引入大数据治理方法论，基于平台自身的数据基础，建立了重点工业行业大数据管理系统，支撑绿色制造系统解决方案的研发与执行，在行业内具备较强的创新性与示范性。

20.2.4 节能减碳或污染防治效果

截至2022年7月，碳e管工业企业碳管理平台服务企业数量500余家，为华电集团、国电投等大型央企搭建集团统一的碳综合管理系统，为中铝、浙能、晋控、广东能源等大型集团提供碳资产综合管理信息平台系统。覆盖工厂数量300余家，平台应用管理碳排放量已超过12亿吨，约占全国排放量总量的12%。以目前全国碳市场碳排放配额每吨50元平均价格估算，客户于本平台管理碳资产总价值在600亿元左右。以客户在应用系统对碳资产进行精细化管理后效益提升2%左右进行估算，平台创造间接效益已经达到12亿元左右。

20.3 技术示范情况

案例一：国家电力投资集团——碳排放管理系统

国电投集团在2017年12月上线碳资产管理系统，实现数据信息管理、碳资产管理、

CCER 项目管理、预警管理、市场信息查询、履约分析、综合信息管理和政策咨询 8 个基础功能。平台助力全集团对碳排放数据和碳资产及时掌控。

案例二：晋能控股——碳资产综合管理信息平台

晋控电力集团有限公司在应用碳资产管理系统后，碳资产的精细化管理水平提升，每年节约配额 200~300 万吨左右，按每吨 50 元计，可产生效益近亿元左右。

案例三：浙能集团——碳资产管理信息系统

平台为浙能集团、碳资产公司及 20 余家下属企业提供碳资产管理的信息化系统，实现集团全层级统一碳资产管理的信息化。系统主要包括信息总览、碳排放和能耗数据管理、碳资产管理、碳项目管理、系统管理等 5 个模块的部分功能。

技术 21 低碳稻作生物技术

21.1 技术提供方

中国科学院天津工业生物技术研究所是由中国科学院和天津市人民政府共建、从事生物技术创新推动工业领域生态发展的科研机构。围绕“以可再生碳资源替代化石资源、以清洁生物加工方式替代传统化学加工方式、以现代生物技术提升产业水平”的三大战略主题，重点开展“工业蛋白质科学与生物催化工程、合成生物学与微生物制造工程、生物系统与生物工艺工程”三个领域方向的基础研究和应用基础研究。现已建有中国科学院系统微生物工程重点实验室、天津市工业生物系统与过程工程重点实验室、天津市生物催化技术工程中心等创新平台，建有高通量筛选平台、系统生物技术平台、发酵过程优化与中试平台等先进的技术装备体系，正在牵头建设由中国科学院与天津市政府共建的国家合成生物技术创新中心。

21.2 技术简介

技术领域为碳减排技术。技术成果来源于中国科学院战略性先导科技专项（A类）、国家自然科学基金青年项目、天津市自然科学基金面上项目、天津市重点研发计划等十个项目，已取得 8 项发明专利。

21.2.1 技术原理及工艺流程

稻田长期灌溉造成厌氧环境，其中产生的甲烷和一氧化二氮是稻田直接碳排放的主要来源。稻田间接碳排放的主要来源是化肥使用。利用具有固氮、解磷、解钾、抗旱、促生等功能的微生物及有机肥，部分（约 20%~30%）替代化学肥料和农药以减少化学肥料和农药的使用量，同时减少水稻灌溉以减少甲烷和一氧化二氮的产生，实现水稻的间接和直接碳减排，并改良土壤生态环境，提升水稻的产量和品质。

生产工艺流程：将具有固氮、解磷、解钾、抗旱、促生等功能的微生物在发酵罐进行发酵生产，形成微生物菌剂产品。利用腐熟微生物菌剂将农业废弃物（秸秆、动物粪便等）在反应器中进行好氧腐熟，形成有机肥产品。将微生物菌剂和有机肥进行复配形成生物有机肥产品。将固体生物有机肥或有机肥作为底肥在水稻田进行施加，将液体微生物菌剂作为追肥在水稻生长期进行施加。

使用工艺流程：在水稻种植前，将生物有机肥施入土壤作为底肥，在水稻生长期追加施用生物有机肥（抛洒或冲施）2 次。

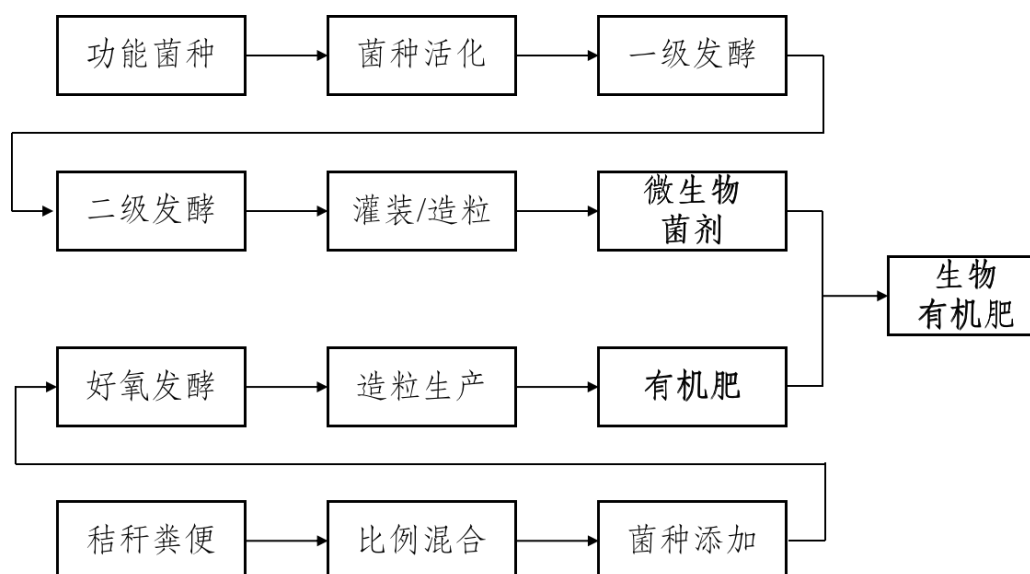


图 2-21-1 生物有机肥的生产工艺



图 2-21-2 微生物发酵罐

21.2.2 技术成果适用性

该技术适用于农业，土壤修复，环保行业等领域。该技术中微生物的培养需要使用特定培养基和发酵罐，有机肥的生产需要使用秸秆、动物粪便和特定反应器，微生物菌剂和有机肥等产品的使用需要遥控飞机、施肥机等机器设备。

21.2.3 技术创新性及先进性

该技术功能多样。该技术将包含固氮菌、解磷菌、解钾菌、抗逆菌、拮抗菌等多种可在

作物根系定殖的功能微生物，可通过固氮、解磷、解钾等功能提高肥料利用率，减少化肥和农药用量。

该技术养分全面。该技术包含配比适宜的长效有机养分和速效无机养分。有机养分包含的腐殖酸不仅可为有益微生物提供定殖空间，而且有利于植物生长，此外还可以吸附化肥，减少化肥损失。

21.2.4 节能减碳或污染防治效果

(1) 与常规稻田施肥技术相比，该技术可减少稻田化肥用量 20~30%，从而可减少稻田间接碳排放。

(2) 与常规稻田施肥技术相比，该技术可减少稻田灌溉，从而减少甲烷和一氧化二氮的产量，进而可减少稻田直接碳排放。

(3) 与常规稻田施肥技术相比，该技术可减少化肥用量，从而可减少土壤及地下水的氮、磷等污染。

(4) 与常规稻田施肥技术相比，该技术可减少农药用量，从而可减少农药在土壤、地下水、作物等中的残留。

21.3 技术示范情况

案例：低碳稻作生物技术在盘锦的应用

项目位于盘锦市盘山县张家村。本项目在 2018 年 5 月—10 月，在盘锦市盘山县张家村两个地块（地块一 87 亩，种植水稻品种为玉粳香；地块二 30 亩，种植水稻品种为盐星 1 号），利用生物有机无机复混肥替代化肥用于水稻种植。关键设备为施肥机。

本次大田示范所用氮磷钾复合肥 N-P-K 为 15-15-15，总养分 $\geq 45\%$ 。有机肥 N-P-K 为 12-0-3，总养分 $\geq 15\%$ 。硫酸铵，一般氮含量 $\geq 21\%$ 。锌肥，一般氮含量 $\geq 25\%$ 。氮钾复混肥，一般氮含量 $\geq 13\%$ ，一般氧化钾含量 $\geq 46\%$ 。尿素，一般氮含量 $\geq 46\%$ 。

根据肥料的养分含量，对传统稻作化肥技术和低碳稻作生物技术的化肥使用量进行测算。传统稻作化肥技术的化学肥料为 34.235kg。其中氮肥量为 11.335kg/亩，磷肥量为 7.5kg/亩，钾肥量为 14.4kg/亩，锌肥量为 1kg/亩。低碳稻作生物技术的化学肥料为 8.95kg。其中氮肥量为 6.36kg/亩，磷肥量为 0kg/亩，钾肥量为 1.59kg/亩，锌肥量为 1kg/亩。低碳稻作生物技术比传统稻作化肥技术可减少化肥用量 74%。其中氮肥减少 44%，磷肥减少 100%，钾肥减少 89%。

根据不同肥料的使用量和价格核算传统稻作化肥技术和低碳稻作生物技术的成本。结果显示传统稻作化肥技术的成本为 240 元/亩，低碳稻作生物技术的成本为 201.2 元/亩。低碳稻作生物技术比传统稻作化肥技术节省成本约 39 元/亩，节省成本 16%。

在种植玉粳香的地块中，低碳稻作生物技术比传统稻作化肥技术增产 132 斤/亩，增产率为 13%；在种植盐星一号的地块中，低碳稻作生物技术比传统稻作化肥技术增产 98 斤/亩，增产率为 8%。

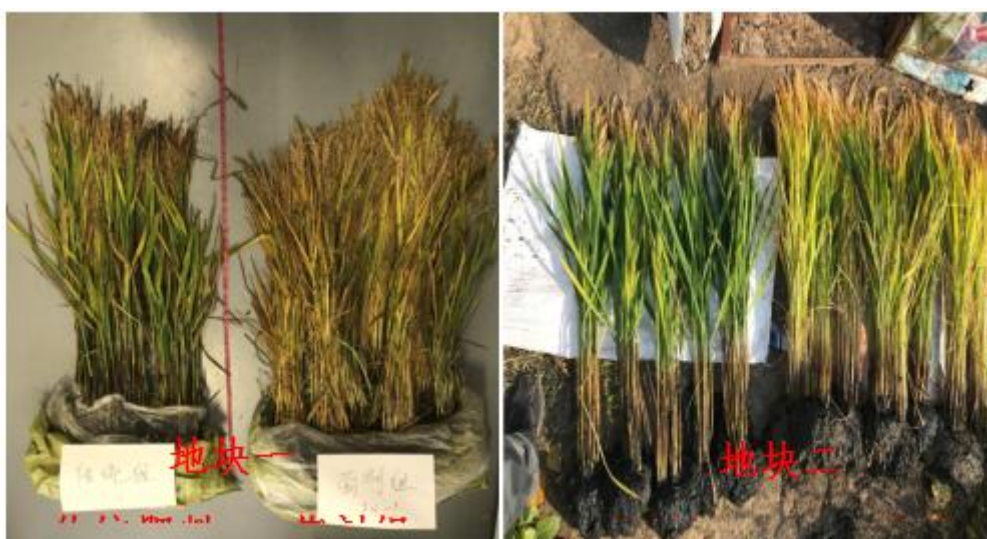


图 2-21-3 不同技术的水稻比较

(左侧均为传统稻作化肥技术处理，右侧低碳稻作生物技术处理)

技术 22 建筑碳排放模拟计算软件

22.1 技术提供方

天津安捷物联科技股份有限公司是一家创新型科技企业，其业务经营范围包括智慧运维服务、综合能源全生命周期服务、智慧能源产品研发等。目前，安捷已成为立足天津，服务北京、上海、深圳等十余省市的全国性企业，服务用户超过 1400 家，涵盖工业企业、商业地产、公共服务、产业园区等多个领域，每年帮助各类用户降低能源运行成本超过 5 亿元，减少碳排放近百万吨。

22.2 技术简介

技术领域为碳减排领域相关技术。技术成果来源为企业自主研发。

22.2.1 技术原理及工艺流程

该软件计算方法参考 GB51366 建筑碳排放计算标准。软件内提供建筑简图绘制功能，简单绘制即可计算；根据各类气象数据集，软件内置了 336 个城市和地区的地理、气象等参数；参考各类相关规范标准，提供了建筑围护结构、设备系统等推荐值作为参考；参考发改委公告、IPCC 数据库等来源，提供各能源的碳排放因子库，为用户初期规划提供便利。

该软件在使用时需要根据建筑规划方案，输入建筑基本参数、建筑分区属性、建筑简图、暖通系统、生活热水、电梯、照明和可再生能源等参数。输入过程根据规划阶段可提供的参数情况进行了简化，减少用户输入工作量。

用户在软件中输入建筑方案、暖通方案、热水方案、照明方案、电梯方案和可再生能源利用方案，软件会计算得出各个系统能耗值，再根据碳排放因子库，计算得出建筑碳排放量，并将计算结果做图形化展示和导出，使用户能够在建筑规划阶段预估建筑能耗和碳排放。

用户可在线查看和下载建筑碳排放计算报告，计算结果可与标准中的推荐限值进行对比，若不符合预期目标，可及时调整建筑规划方案，有利于节能降碳措施的应用。

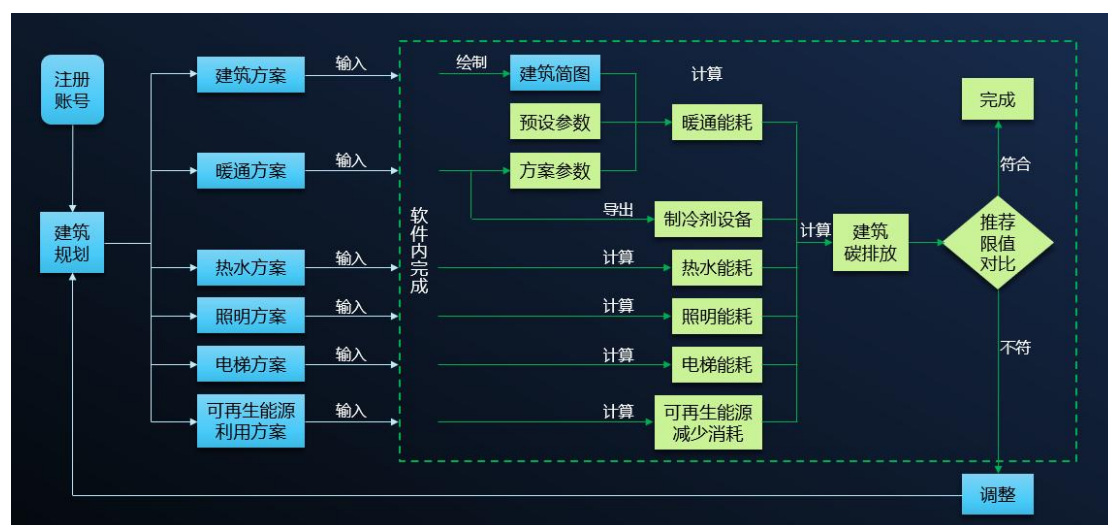


图 2-22-1 软件工作流程

22.2.2 技术成果适用性

该软件适用于建筑碳排放领域，应用于建筑规划阶段，预测运行阶段能耗和碳排放量。软件运行平台和操作系统为 Ubuntu20.04 64 位。

22.2.3 技术创新性及先进性

建筑碳排放计算分析软件处于起步阶段，专用工具少、使用门槛高、分析功能弱、数据溯源难等成为了行业普遍面临的痛点和难点。常见碳计算软件要求有完整的设计图纸，此时许多细节已经固定，无法向低碳方向调整。该软件针对建筑规划阶段，有更多调整的余地，同时软件提供大量预设值，减少使用者输入工作量，有利于节能降碳措施的采用。

22.2.4 节能减碳或污染防治效果

建筑碳排放模拟计算软件主要应用于建筑规划阶段，预测其运行阶段的系统能耗和建筑碳排放量，其计算结果相对准确。

22.3 技术示范情况

以天津安捷物联科技股份有限公司为例。该建筑位于天津市西青区华科五路与海泰大道交口，为地上五层和地下一层的办公建筑，总建筑面积为 17599 平方米；供热时间为 10 月 16 日至 4 月 15 日，供冷时间为 5 月 16 日至 9 月 15 日；该建筑同时具备供冷和供热设备，冷源设备为地源热泵和电机驱动冷水机组，热源设备为地源热泵；生活热水采用的是电锅炉供热水，设计热水温度为 60℃，设计冷水温度为 5℃；该建筑还采用了光热和光伏两种可再生能源，光热用于供热和供生活热水，光伏用于发电。将以上参数输入到软件中，通过计算得到建筑全年能耗和碳排放。对搜集到的数据进行整理，获取全年月度能耗并与软件计算结果进行对比，该建筑物的全年月度能耗与实际月度能耗进行数据对比，年度总结论误差仅为 5%，在误差允许范围以内。由此可见该软件计算结果较为准确，计算结果误差较小，可在建筑规划阶段对其运行阶段的能耗和碳排放量进行较为准确的预测，便于使用者及时调整建筑方案，有利于节能降碳措施的采用。



图 2-22-2 结果展示界面

技术 23 小型无人机碳通量监测设备及系统

23.1 技术提供方

天津飞眼无人机科技有限公司成立于 2015 年，注册于滨海高新区，是一家基于智能无人机平台提供生态环境无人机监测系统全套解决方案的高新技术企业，拥有全自主知识产权的碳监测无人机、气体和水质检测设备、数字孪生和云计算分析技术，并可提供无人机生态环境监测完整服务输出成果。飞眼科技使用自主研发的生态环境无人机监测系统，已经为国家生态保护红线、环渤海和长江经济带环境调查项目，国家第二次青藏科考对敦煌、兰州地区进行生态系统地表通量监测项目提供服务并成功交付数据成果。

23.2 技术简介

技术领域为碳达峰碳中和技术。技术成果来源于生态环境部项目，已取得 3 项外观设计专利，3 项实用新型专利和 2 项软件著作权。

23.2.1 技术原理及工艺流程

本项目采取的技术路线主要分为区域尺度小型无人机碳通量监测设备研制和碳监测数据后处理工具研发两个方面。其中，无人机碳通量监测设备研制涉及到两个方面的内容，一是碳通量监测系统的集成，二是碳通量监测系统与小型无人机平台的集成。

碳通量监测系统集成主要是指对搭载在无人机平台上的涡动相关观测仪器和辅助观测设备进行有效集成，实现所有观测仪器的数据同步采集、保存、数据滤波、数据传输及数据导出等功能；碳通量监测系统与无人机平台的集成是指通过对现有垂直起降固定翼无人机进行改装，将监测系统安装在无人机平台内部及外表面，使之形成一套统一的移动碳通量监测平台，集成与安装不能对无人机的飞行安全造成影响，对涉及到无人机外形的改装需要满足不影响无人机飞行安全的要求。通过第一部分的研发内容形成小型无人机碳通量监测设备的硬件基础。然后研发基于小型无人机碳通量监测设备的后处理工具，实现区域尺度碳通量计算、区域尺度碳收支评估的功能。最终通过软硬件的集成，形成整套的小型无人机碳通量监测系统。

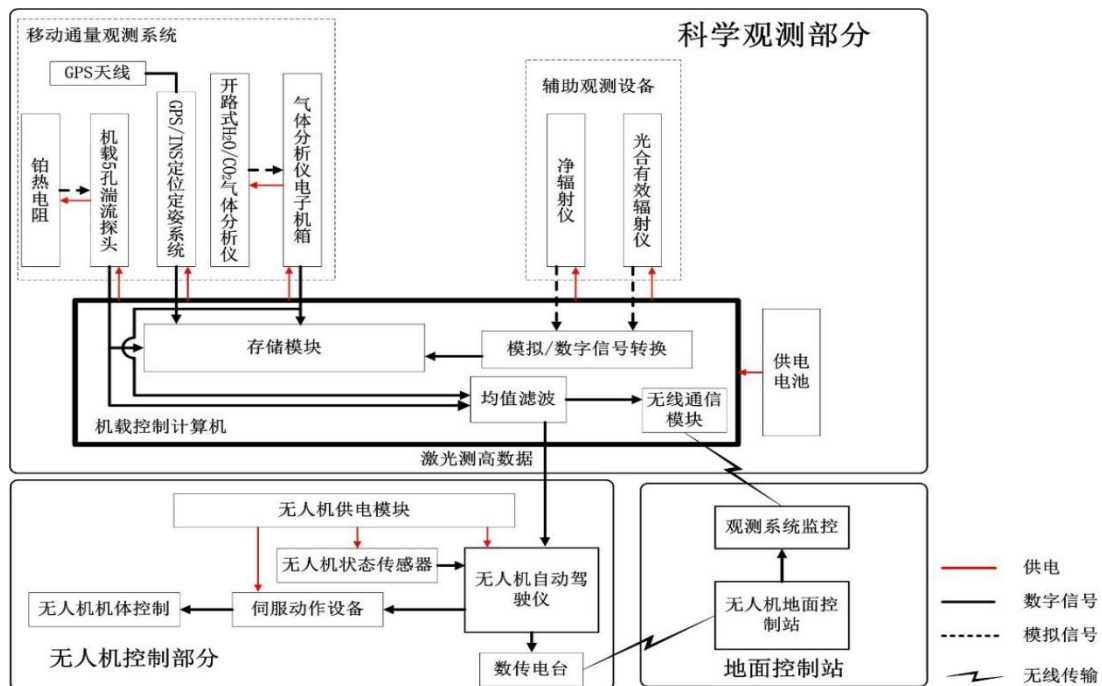


图 2-23-1 技术工艺路线图

23.2.2 技术成果适用性

本项技术适用于对大范围空间区域的生态系统功能及现状调查、生态环境保护、区域尺度碳源/汇管理、碳排放核算、监测、核查以及监管等多个方面，相比有人驾驶飞行器，无人机观测极具便携性，且实施成本更为低廉、操作方便、安全性更高、更具有推广性。

23.2.3 技术创新性及先进性

本项目研制了一整套小型无人机碳通量监测设备，开发了区域碳通量、碳收支评估方法，具备高精度、区域评估、成本低、实施简单等特点，解决了目前区域尺度陆地生态系统碳通量观测数据直接获取困难的问题，为在我国开展区域尺度陆地生态系统碳通量监测、碳收支评估提供了重要技术支撑。技术水平处于国内先进水平，取得的主要突破具体表现为以下三个方面：解决了区域尺度陆地生态系统碳源/汇强度直接观测难题；解决了如何对区域 CO_2 通量观测进行解混，获取典型地类碳源/汇强度数据；解决了如何将瞬时的区域碳通量观测进行时间扩展，形成日尺度的区域碳收支观测数据。

23.2.4 节能减碳或污染防治效果

获取区域尺度上碳循环收支量的准确观测数据，是提高我国陆地碳循环和碳收支核算评估精度的关键，也是当下制约我国在区域和全球尺度上开展碳收支相关研究的主要因素之一。

本项目采用我国自主研发的无人机涡动相关通量观测系统，开展基于区域 CO_2 通量观测的典型功能区碳收支核算评估方法研究，通过选择典型功能区开展区域尺度无人机 CO_2 通量观测飞行，解决当下区域尺度碳收支观测数据获取困难的问题，然后研究区域内不同用地类型的碳源/汇强度分析方法研究，获取不同用地类型的碳收支清单并开展区域碳收支核算评估，最终形成从区域碳通量数据直接采集到碳收支核算评估整套技术流程，对查清典型

区域碳源/汇状况、科学制定城市群节能减排方案等应用具有重要指导意义。

23.3 技术示范情况

根据项目任务安排,在内蒙古自治区呼伦贝尔市西南部的辉河国家级自然保护区呼伦贝尔森林草原交错区野外生态试验研究站开展了无人机生态系统观测实验,并结合传统地面观测站(通量塔)对无人机观测结果(主要为生态系统感热通量、潜热通量、CO₂通量和动量通量)数据成果进行评价。

辉河国家级自然保护区无人机示范观测实验开展时间为2020年10月16日至2020年10月23日,由于空域及气象条件影响,共开展了4天共12个架次的无人机生态观测飞行,观测任务包括测试飞行、系统安装误差校准飞行、廓线飞行、通量观测对比验证飞行、区域通量飞行观测。本次示范观测实验通过在低温及大风条件下实施无人机飞行,较好地测试了无人机在近极端条件下的飞行性能。通过与传统的地面生态观测站点的对比观测,获得了一致性较为良好的观测结果,证明了本项目所研发的小型无人机碳通量监测设备具有对生态系统状态变量(大气中CO₂浓度和H₂O浓度)及关键过程变量(CO₂通量、感热通量、潜热通量)准确的获取能力,达到了本项目的研究目标。

B、水污染治理技术

技术 24 沿海大型散货港口储水生态湿地营造与水资源循环利用技术

24.1 技术提供方

交通运输部天津水运工程科学研究院（简称“天科院”）成立于 1974 年，是交通运输部直属正局级科研事业单位，坐落于天津市滨海新区核心区，拥有一个本部两个基地。在生态环境领域，主要从事交通行业环境保护技术研究，致力于解决港口及内河航道生态修复和重建等方面重大技术问题，承担上海港、天津港等国家重大工程的环境保护技术与咨询，获得多项国家和省部级科技奖励和全国优秀环评单位等荣誉。

24.2 技术简介

技术领域为水污染治理相关技术。技术成果来源于国家重点研发计划项目、水体污染控制与治理科技重大专项以及天津市科技计划项目，已取得 3 项发明专利、4 项实用新型专利和 4 项国际专利。

24.2.1 技术原理及工艺流程

本技术面向沿海大型散货港口“海绵港口”建设的迫切需求，以提升港口非常规水源利用率、缓解资源型缺水为目标，针对港口非常规水源利用率不高、储水湿地生态化建设技术与理论缺失等突出瓶颈和短板，综合运用分子微生物学、长周期中试试验、大数据分析、智能感知等手段，研发了港口多类异质非常规水源“快速收集-深度处理-循环利用”全过程高效资源化利用技术、集“景观提升-生境营造-生态净水”为一体的港口储水湿地生境营造与生态功能提升关键技术、用水主体多样化和用水需求差异化复杂约束下港口非常规水源精细化调配及一体化管控技术，形成系列创新技术、装备和系统，建立了沿海大型散货港口“海绵港口”建设新模式，形成了港口水资源高效利用及智能管控新途径，为生态文明建设、交通强国建设、世界一流港口等国家和行业重大战略提供技术支撑。



图 2-24-1 技术路线图

24.2.2 技术成果适用性

本项技术适用于水污染治理、工业废水处理及资源化利用，解决沿海大型散货港口存在的水资源循环利用和水生态安全保障等瓶颈难题。

24.2.3 技术创新性及先进性

创新点一：突破压载水、雨污水等多种非常规水源快速收集-深度处理-循环利用技术瓶颈，开展了港口非常规水源高效资源化利用关键技术研发。（1）研发了适应船舶随机到离特征的压载水快速接收技术，填补了压载水能接收装备等行业空白；（2）研发了港口含油雨污水生化处理系统安全稳定运行调控技术，为处理系统长期稳定运行提供完善的理论支撑；（3）研发了港口综合雨污水处理及循环利用技术，形成了占地面积小、运行成本低、处理效果稳定的港口雨污水综合处理新途径。

创新点二：基于物种保育和生态平衡理论，从景观架构设计、物理生境构建、生物群落恢复三方面开展了港口储水湿地生境营造与生态功能提升关键技术研发。（1）研发了基于栖息地保育的港口储水湿地生态景观架构及生境营造技术，解决了湿地生境设计缺乏定量化科学依据的难题；（2）研发了基于复合生态位的港口储水湿地水质保障技术，提高了湿地景观生态系统的多样性、稳定性和完整性。

创新点三：解决港口用水主体多样化和用水需求差异化等复杂约束条件下港口非常规水源快速优化调配难题，开展了港口非常规水源精细化调配及一体化管控关键技术研发。（1）

构建了基于多源异构数据融合的分布式港口非常规水源要素特征联合动态监测体系，实现了船舶到离、生产作业、环境气象、水量水质等多元信息的全面智能感知；（2）研发了港口非常规水源精细化调配及一体化管控平台，实现港口来水、储水、调水以及用水循环的全过程管控。

24.2.4 节能减碳或污染防治效果

本研究环境污染防治效果如下：

- （1）研发了压载水岸基自适应主动接收装备，港口年压载水接收量提升 3.6 万吨；
- （2）研发了港口含油雨污水生化处理系统安全稳定运行调控技术，含油污水生化处理系统中石油类降解优势菌属及其相对含量分别为：Clostridium(7.10%)、Pseudomonas(6.39%) 及 Comamonas (5.90%)；
- （3）研发了港口综合雨污水处理及循环利用技术，SS 去除率达到 75.35%，平均浓度为 7.50mg/L，油类去除率达到 90.46%，平均浓度为 0.65mg/L，可满足污水排放一级 A 标准要求；
- （4）构建了基于鸟类栖息地保育的生境类型占比核算技术体系。北方沿海地区，鸟类栖息保育区域内建议至少建设生态岛、浅滩和水域三种类型的生境，生态岛建议建设面积占比为 6.9%±15%；浅滩建议建设面积占比为 53.3%±15%；水域建议建设面积占比为 39.8%±15%；
- （5）研发了储水湿地复合生态位植物搭配净水技术。千屈菜+睡莲+苦草（LNV）系统对 COD、TN、TP 的去除率达到 87.1%、65.6%、77.1%；
- （6）建立了基于多源异构数据融合的分布式港口非常规水源要素特征联合动态监测体系，实现了船舶到离、生产作业、环境气象、水量水质等信息的全面智能感知；
- （7）研发了港口非常规水源精细化调配及一体化管控平台，形成了非常规水源多元监测信息全覆盖、跨部门协同的“港口非常规水源调配一张图”，实现非常规水源实时监测、调度管理、控制管理和预警预报。

24.3 技术示范情况

研究成果已在以黄骅港、天津港为代表的北方沿海缺水地区港口，以宁波舟山港、广西北部湾港为代表的南方沿海降雨频发港口等应用，产生了显著的经济价值，累计超 7000 万元。其中，国能黄骅港“两湖三湿地”储水生态湿地营造与水资源循环利用工程，建成 3 座煤污水处理站，建成收集储存船舶压载水、雨水、中水等的“莲园”生态湖和“和园”景观湖 2 处，接纳处理港口生产废水、含煤雨水兼具调蓄洪涝功能的“涟珠园”湿地、“汇芳园”湿地和西湿地 3 处，总面积约 63 万平方米，蓄水能力 125 万立方米，项目已于 2018 年建成并投入运行，实现港区污水零排放，港口雨污水、压载水等非常规水源回收利用量达总用水量的 53%，实现各类水源回收利用量超 300 万方，年节约用水成本超 1800 万元，循环经济效益凸显。同时储水生态湿地提升了港口生态系统的多样性和稳定性，在原来寸草不生的盐碱荒滩上建成吸引大雁、猫头鹰、雉鸡、苍鹭、戴胜、野鸽子、燕子、喜鹊、黄鼬、野兔、刺猬、狐狸等众多野生动物安家落户的栖息繁衍乐园。

技术 25 臭氧高级催化氧化技术

25.1 技术提供方

天津绿诺环保科技有限公司是国家高新技术企业，公司一直致力于水的深度处理和提标改造工艺技术的研究及应用，经过多年的工程实践，积累了包括臭氧高级催化氧化、高效磁混凝技术、一体化生物流化床技术并成功应用到市政污水处理厂的提标改造、工业废水的点源处理、工业园区及油田回注水等工程项目中。

25.2 技术简介

技术领域为水污染治理，技术成果来源于企业自主研发，已取得 1 项实用新型专利。

25.2.1 技术原理及工艺流程

永磁高级催化氧化技术，主要采用永磁磁场理论，对污水中水分子、有机物分子、离子氛的团簇结构进行磁化作用，打破原先污水中各个微观形态体的团簇结构，打破了水分子与有机物分子及离子的水合、缔合效应，改变了污水的物理、化学、分子力学等性能，表现为：

(1) 污水中水分子团簇变小、张力变小粘性变小、渗透性增加、流动性变好，有利于气相分子的溶解。(2) 污水中有机物、离子与水分子的缔合分子团簇变小、有机物分子与氧化剂接触更容易，同时极性有机物分子被拉长、有机物分子对外电荷重新分布、有利于下一步与氧化剂的反应。(3) 减小了有机物分子、离子在固相催化剂表面的吸附能力，提高了固相催化的界面反应效率。

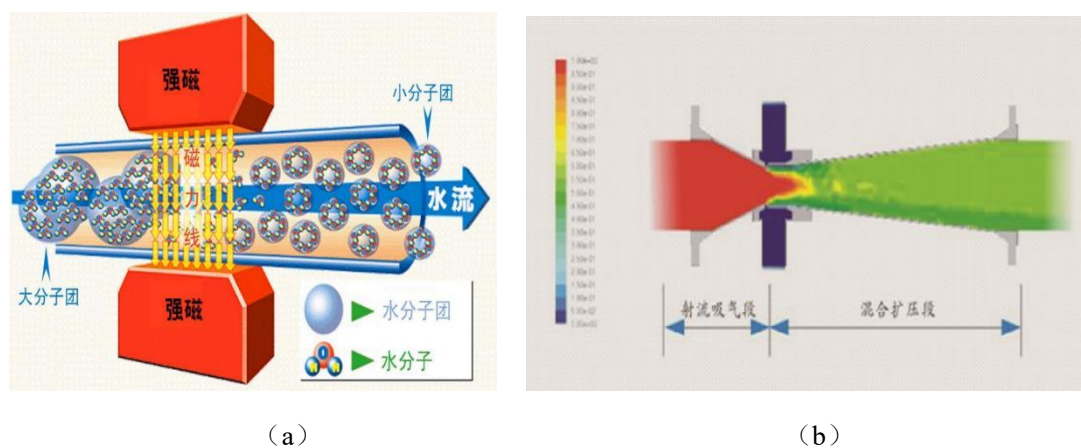


图 2-25-1 (a) 永磁模块原理，(b) 高效溶气射流器

永磁高级催化氧化系统，在射流泵出口管道上设置高效催化投加装置，装置内设有内置 8000GS 永磁模块、文丘理射流器、倒流防止器、ORP、电解催化装置、涡街流量计、压力变送器、电动调节阀、PLC 自反馈系统，高效投加装置的作用如下：(1) 通过永磁模块的作用改变水分子的团簇结构使其改性成溶解性及分子运动更强的小分子水，大大的增加了臭氧的溶解特性及反应特性。(2) 专业设计的文丘里射流器实现臭氧的气液传质，臭氧的溶气效率可达 95% 以上。(3) 电解催化装置，内设阴阳两极，两极间的氧化还原电位 1.2eV，通过此氧化还原电位促进臭氧羟基自由基的转换率。

工艺流程：废水自上级处理系统进入臭氧高级催化氧化系统，在射流泵出口管道上设置高效催化投加装置，通过高效催化投加装置后的臭氧和水的混合液，由二次扩散投加装置进入气水分配专用滤砖，再进入贵金属的催化剂层，催化剂表面具有外墙电位，有效的激发产生羟基自由基，羟基自由基的氧化还原电位为 $E_0=2.8\text{eV}$ ，在如此高的氧化电位的作用下大部分难降解的有机物发生断链反应形成短链的有机物或直接被氧化至 CO_2 和 H_2O ，最终出水可达设计排放标准。

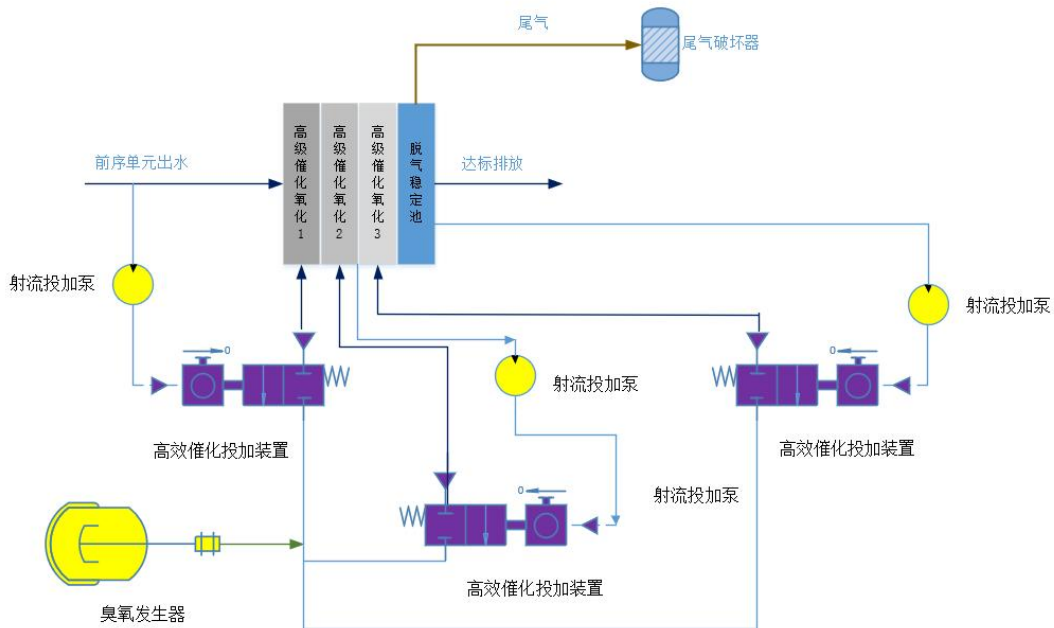


图 2-25-2 工艺流程图

25.2.2 技术成果适用性

技术应用范围：包括化工、造纸、制药、印染以及工业园区废水、市政污水的升级改造，可应用于各种大、中、小型污水处理厂及平台的污水处理项目。

技术使用中的特定限制条件：对于本工艺技术的原料，臭氧浓度 $\geq 10\text{wt}\%$ 。

25.2.3 技术创新性及先进性

射流投加系统：大大增加臭氧在水中的溶解效率，提高臭氧的利用率，低压溶气，降低水泵扬程，节省耗电，从而降低运行成本。贵金属催化剂：有效促进羟基自由基的生成，提高高级氧化反应效率。永磁活化装置：改变水分子团簇结构，增加臭氧在水中的溶解能力，同时使难降解有机物更容易被氧化去除。

25.2.4 节能减碳或污染防治效果

应用本技术，臭氧高级催化氧化的臭氧利用率可以达到 99%，大大降低了臭氧的消耗量，其臭氧消耗量只是传统的臭氧氧化 1/3。

25.3 技术示范情况

盐城陈北污水处理厂尾水深度处理工程：本项目主要建设内容是新建一套臭氧高级催化氧化工艺。采用臭氧高级催化氧化技术后污水 COD 从 50 降到 30，达到地表水四类标准。

技术 26 蒸氨塔结合氨吸收塔联运工艺

26.1 技术提供方

天津绿诺环保科技有限公司是国家高新技术企业，公司一直致力于水的深度处理和提标改造工艺技术的研究及应用，经过多年的工程实践，积累了包括臭氧高级催化氧化、高效磁混凝技术、一体化生物流化床技术并成功应用到市政污水处理厂的提标改造、工业废水的点源处理、工业园区及油田回注水等工程项目中。

26.2 技术简介

技术领域为水污染治理、零排放、资源利用。

26.2.1 技术原理及工艺流程

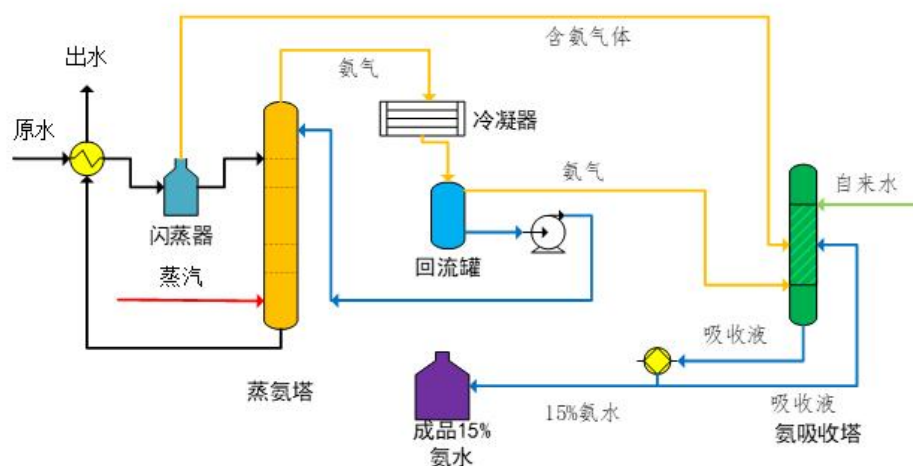


图 2-26-1 工艺流程图

采用蒸氨塔结合氨吸收塔联运工艺处理氨氮废水，选用公司自主开发、国内先进 STGV 导向筛板并结合波纹板规整填料对氨气的高效吸收，实现达标排放。该氨氮废水处理系统操作弹性大，在确保达标排放的前提下，可通过对循环吸收的控制，调节得到所需浓度（5%~20%）的工业氨水。

蒸氨塔：来料废水（来料首先经过管道混合器加碱调 pH 到 10 左右）经过塔顶冷凝预热及塔釜液预热后，进入到蒸氨塔中，塔釜蒸汽直接加热，塔顶升汽冷凝后经回流泵回流，不凝氨气进入到氨吸收塔；塔釜连续排残。

氨吸收塔：用水做吸收剂，来自蒸氨塔的不凝氨气首先输送到吸收塔的匀压区，均布后的气体经过不等速迂回式的两级循环吸收、一级清水吸收，使气液两相充分逆流接触完成氨气的吸收过程；第三级喷淋连续补入一次清水，来确保排放口尾气中没有氨气；前两级喷淋吸收为吸收液循环喷淋，体系内吸收液按氨水浓度梯度自动均布，并在塔釜连续得到较高浓度氨水收集。

26.2.2 技术成果适用性

技术应用范围：废水处理、零排放、资源利用技术领域。

26.2.3 技术创新性及先进性

核心内件：LN-STGV 塔板。LN-STGV 塔板是在垂直筛板塔板的设计理念的基础上开发出来的专利塔板，它同样是利用喷射态的传质机理，以气相为连续相、液相为分散相，气体通过提升液体进行喷射传质。不同的是 LN-STGV 塔板针对水质较差的物料具有更强的适用性，抗堵能力、抗雾沫夹带能力更强，特别是适用于高 COD 以及含油类的物料。在液气比特别大的时候，可以设计成具有特殊的导液结构，能够及时将塔板上已传质的液体导走，降低返混，提高传质效率。

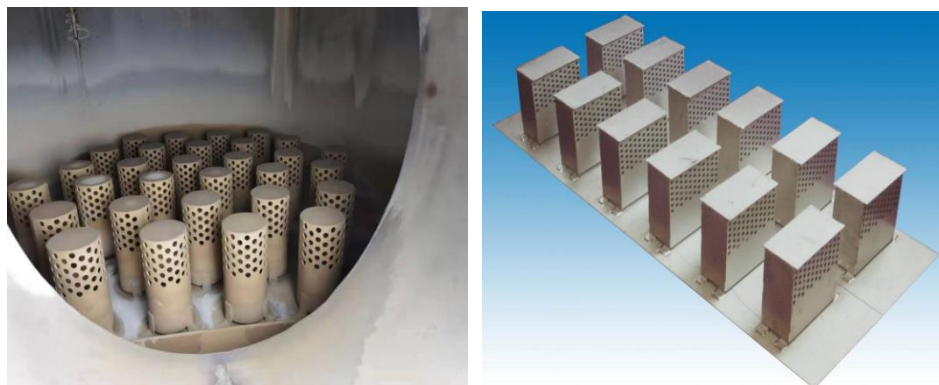


图 2-26-2 LN-STGV 塔板图片

26.2.4 节能减碳或污染防治效果

本工艺采用前端闪蒸塔将水中的碱度加热分解掉，后通过蒸氨塔进行蒸氨。脱除了碱度后的废水，在调节 pH 值的时候，酸耗量与碱耗量节省了将近 80%。本工艺可以有效的降低高碱度废水中的碱度，同时降低蒸氨所需要的酸碱耗量，同时使氨水纯度大幅度的增加，保证了药剂的耗量与产出更高纯度的氨水。

26.3 技术示范情况

山东蓝帆化工有限公司造气凉水塔异味综合治理项目，采用蒸氨塔结合氨吸收塔联运工艺后，废水氨氮从 2000 降到 50，以满足后续工艺要求。

技术 27 基于光电检测的牧场喷淋控制系统

27.1 技术提供方

天津神悦高精机器人自动化有限公司坐落于天津华明高新区，为国家级高新技术企业。公司致力于机器人自动化、工业和农牧业自动化及安防等领域的传感检测及系统解决方案的研究，积极跟踪国际国内关于精密光学、磁感应、红外探测、MEMS 等技术前沿，同时与市场紧密结合，抓住细分市场的需求，提供高性价比的产品，如机器人 AGV 避障、定位导航，立体仓储的自动分拣识别，无人机避障，安防领域的防撞防夹防尾随，机械设备的安全防护，智慧牧场的智能喷淋等。

27.2 技术简介

技术领域为水污染治理领域。技术取得 1 项实用新型专利和 1 项软件著作权。

27.2.1 技术原理及工艺流程

本系统由主控箱、温度传感器、红外传感器、电磁阀等组成。外置温度传感器探头可以实时监测养殖舍温度，用户可根据温度高低编程喷淋时间，利用红外传感器精准感知牲畜位置并智能喷淋，有效降低动物体温，同时也能有效降低污水的排放和处理成本、节约用水，达到节能减排降废环保的要求。

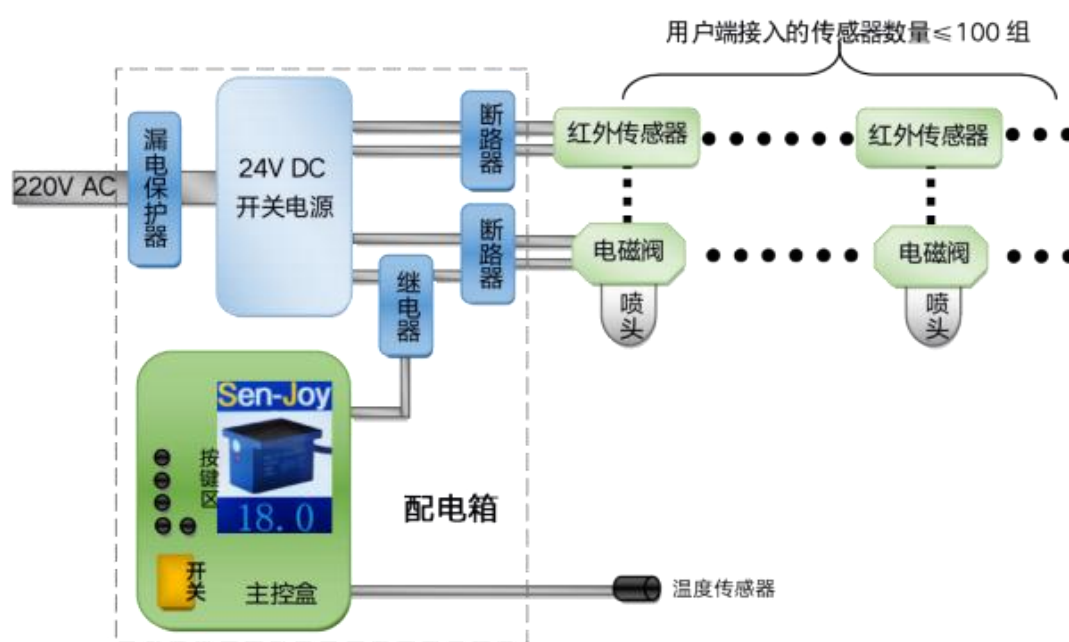


图 2-26-1 系统框架示意图

实现原理，系统根据实时采集的环境温度与各温区设定值进行比对，当环境温度达到某个阶梯温度设定的限值后，系统自动调整电磁阀主路的通、断电时间间隔。在系统处于某一温区的通电状态下，会通过红外传感器检测动物是否存在，实现对喷淋作业的实时控制；例如：环境温度为 30℃，满足系统第三温区设定的通电 30s、断电 5min 的时间参数，当奶牛

进入红外检测区后，并停留足够时间，系统会按照设定值进行喷淋控制，即：按照 5min 间隔喷淋，每次喷淋 30s。当奶牛离开检测区域，不管设置参数如何，系统会立即停止喷淋。

27.2.2 技术成果适用性

该系统主要应用于牧场奶牛降温，在牛棚及挤奶厅均可安装，有效避免牛产生热应激反应，另外也可以应用到其它养殖喷淋以及自动喷淋消毒等场合。

27.2.3 技术创新性及先进性

(1) 逻辑清晰，实时采集温度信息数据，作为喷淋模式的选择依据。

(2) 精准检测，采用独立红外传感器精准监测每一个牛位，避免用微波传感器等多牛位检测的不准确。

(3) 牧场环境复杂，腐蚀性气体及飞溅的草料对传感器有很大影响，传感器采用环氧树脂灌封，有效隔离水、有害气体的侵蚀，同时设计采用专利外壳进一步有效防护。

(4) 单套系统可以控制多达 100 个牛位。

27.2.4 节能减碳或污染防治效果

根据测算 1000 头牛的牧场安装智能喷淋系统后，每天可以节水 250 吨左右，按照每年需要喷淋 90 天估算，即节水（同时较少污水排放）22500 吨，直接经济效益和社会效益巨大。

27.3 技术示范情况

本系统及定制的红外传感器应用于智慧牧场奶牛夏季降温，实现精准检测（每个牛位独立检测），智能喷淋，有效避免奶牛产生热应激反应，提高产奶量约 20%，同时实现节水 50~60%，产生良好的经济效益和社会效益。与北京龙凤达制冷设备有限公司合作，共同为三元奶业多个牧场提供智能喷淋系统，共 4100 个牛位，如：三元奶业集团平谷牧场、北京首农集团兰溪分公司、北京南口第二牧场、北京大兴金银岛牧场。

技术 28 MABR 水环境污染治理技术

28.1 技术提供方

天津海之凰科技有限公司成立于 2006 年，是一家高新技术企业，致力于为河道湖库流域水体治理、城镇及农村生活污水处理、工业废水处理等市场提供高性价比的综合解决方案与高品质服务。公司在 MABR 技术及产品的研发、制造和应用方面居于国际领先地位。公司拥有专利四十多项，先后承担了多项国家重点研发计划、国家科技支撑计划、国家海洋局公益性行业科研专项、水利部科技计划项目，以及天津市科技支撑计划及海洋科技等国家和地方政府科技项目。

28.2 技术简介

技术领域为水污染治理领域。技术成果来源于天津市科技计划项目，已取得 1 项发明专利以及 25 项实用新型专利。

28.2.1 技术原理及工艺流程

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。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。

MABR 水环境污染治理技术应用于地表水治理工艺包括以下三种：（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。（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。（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。MABR 水环境污染治理技术应用于城镇污水处理厂增效减碳工艺路线包括以下三种：（1）将 MABR 膜块直接植入原有污水处理厂生化池内，强化生化处理效果（原位强化），达到提标减碳目的。（2）将 MABR 工艺设置在原有污水处理厂的二沉池下游（异位强化），以实现提标效果。（3）新建城市污水处理厂生化处理单元直接采用 MABR 设备和工艺（高效节能减碳）。



图 2-28-1 MABR 膜块安装示意图

28.2.2 技术成果适用性

MABR 水环境污染治理技术适用于河道、湖泊、水库等地表水体净化以及各种规模的新建及已建城镇污水处理厂的提标减碳。

28.2.3 技术创新性及先进性

在现有污水处理工艺基础上耦合 MABR 工艺，原位实现污水处理的能耗降低、无外加碳源、温室气体减排、出水水质提升、系统稳定和运行成本降低。

28.2.4 节能减碳或污染防治效果

MABR 应用于地表水污染防治效果：目前，地表水环境治理领域产生的温室气体种类主要包括 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 三种，治理过程中直接产生的 CO_2 是生物成因，不计入计算过程，影响温室气体总排放量的主要因素是能源消耗，具有较大的减排空间。传统换水、曝气及增氧技术能耗高、温室气体排放量较大，MABR 地表水污染治理技术氧气利用率高、能耗低、碳排放少。通常水质治理要求越高，温室气体排放量越大。参考 IPCC 计算方法及相关资料，污水处理电能消耗的 CO_2 排放因子为 $0.997\text{kg/kW}\cdot\text{h}$ ，传统污水处理的能耗一般为 $0.2\sim 0.4\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ 。MABR 技术供气设备能耗较传统供气设备降低 50% 以上，同等治理条件下，可减少碳排放 50% 以上，即每立方米污染水体治理减少碳排放约 $0.1\sim 0.2\text{kg}$ 。

MABR 应用于城镇污水处理厂增效减碳效果：（1）电耗节约，城镇污水处理厂（ $25000\text{m}^3/\text{d}$ ）耦合 MABR 系统后，可减少曝气量 24% 左右，内回流比降低约 60% 以上，节约用电约 30 万 $\text{kW}\cdot\text{h}/\text{年}$ 。（2）碳源节约，MABR 示范污水处理厂运行平稳，增加 MABR 系统后，在不投加碳源的情况下出水总氮可进一步降低，节约原系统投加的碳源。（3）碳排放减少，根据测算，可减少二氧化碳排放量约 380 吨/年。

28.3 技术示范情况

案例一：天津高新区海泰南北大街河道水质提升项目

该项目位于天津高新区海泰南北大街附近。项目根据河道水质特点，治理段 1600m 范围内 MABR 膜单元共布置 200 组，系统主要由 MABR 膜单元、供气设备、管路系统及电控单元组成。膜组件的数量及布置方式是由被处理水体中要去除的污染物总量（由水体总量、污染物含量、处理要求等确定）和单位膜面积或膜组件的处理能力所决定的。MABR 膜系统在通入空气的条件下，提高水体中的溶解氧，改善水体生态，培养增殖本土微生物，利用微生物降解污染物质。

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)四类标准：COD \leq 30mg/L，氨氮 \leq 1.5mg/L，溶解氧 \geq 3mg/L。碳排放量减少共计 4t/月。

案例二：南京桥北污水厂一期 1 号池改造项目

该项目位于南京市浦泗公路与滨江大道交叉口西南角根据桥北污水处理厂现场情况，MABR 技术将应用于该污水处理厂一期项目中，一期项目设计处理规模为 10 万 m³/d，分四组生化系统，单组处理规模 2.5 万 m³/d，原生化工艺为 A2/O+A/O。MABR 技术应用于 1# 生化系统，根据该厂现场条件及运行情况，设计安装两种 MABR 膜块：①膜块规格（外形尺寸）4m \times 2m \times 4m，数量 20 组；②膜块规格（外形尺寸）2m \times 2m \times 4m，数量 74 组。利用原供气系统，从供气主管道分出供气支管为 MABR 膜块供气。其它三组生化系统仍按原工艺运行。

改造后水质由《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918-2002）中一级 A 标准提标至《地表水环境质量标准》类IV类标准：即 COD \leq 30mg/L，氨氮 \leq 1.5mg/L，总氮 \leq 10mg/L（夏季），总磷 \leq 0.5mg/L。每年可减少二氧化碳排放量约 380 吨。

技术 29 天津经济技术开发区西区污水处理厂天津地标稳定达标成套技术工程示范应用

29.1 技术提供方

天津泰达新水源科技开发有限公司,于 2001 年 10 月 11 日在天津经济技术开发区注册。2012 年经控股公司决定,同原泰达自来水公司合并,成立泰达水业有限公司。随后,天津泰达新水源科技开发有限公司一直为泰达水业有限公司的全资子公司,是以污水处理和再生水生产为主营业务的高新技术企业。

29.2 技术简介

技术成果属于水污染治理领域。本技术成果来源于“十三五”水专项。取得 2 项实用新型专利。

29.2.1 技术原理及工艺流程

本技术包含 4 个关键技术:1、适用于工业废水超净排放的多模块单元耦合工艺技术;2、基于二沉池复氧消解器设置的反硝化滤池进水 DO 控制技术;3、冬季时段水质 COD 稳定达标风险物质筛选及控制技术;4、芬顿高级催化氧化单元药剂筹措及运行优化。其技术原理及工艺流程如下。

(1) 适用于工业废水超净排放的多模块单元耦合工艺技术

天津市《城镇污水处理厂污染物排放标准》(DB12/599-2015)要求现有污水处理厂从 2018 年 1 月 1 日执行新的污水排放标准,处理规模 ≥ 1 万吨/天,执行 DB12/599-2015 中 A 标准。技术示范工程—天津经济技术开发区西区污水处理厂(以下简称西污)提标改造后形成的工艺技术路线为进水+旋流沉砂池+A2/O+二沉池+反硝化滤池+芬顿高级催化氧化+炭吸附脉冲澄清池+高速气浮池+纤维转盘滤池+紫外消毒。在该工艺路线下,可确保出水稳定达标。

由于该工艺技术路线链长,处理单元较多,导致运行成本(电耗、药耗)高。因此,在分析多年来进出水水质、运行参数基础上,提出了基于分时段的可调的多模式工艺技术路线。总体上可分为两种类型的典型工艺技术路线,一种是冬季模式,另一种是非冬季模式。

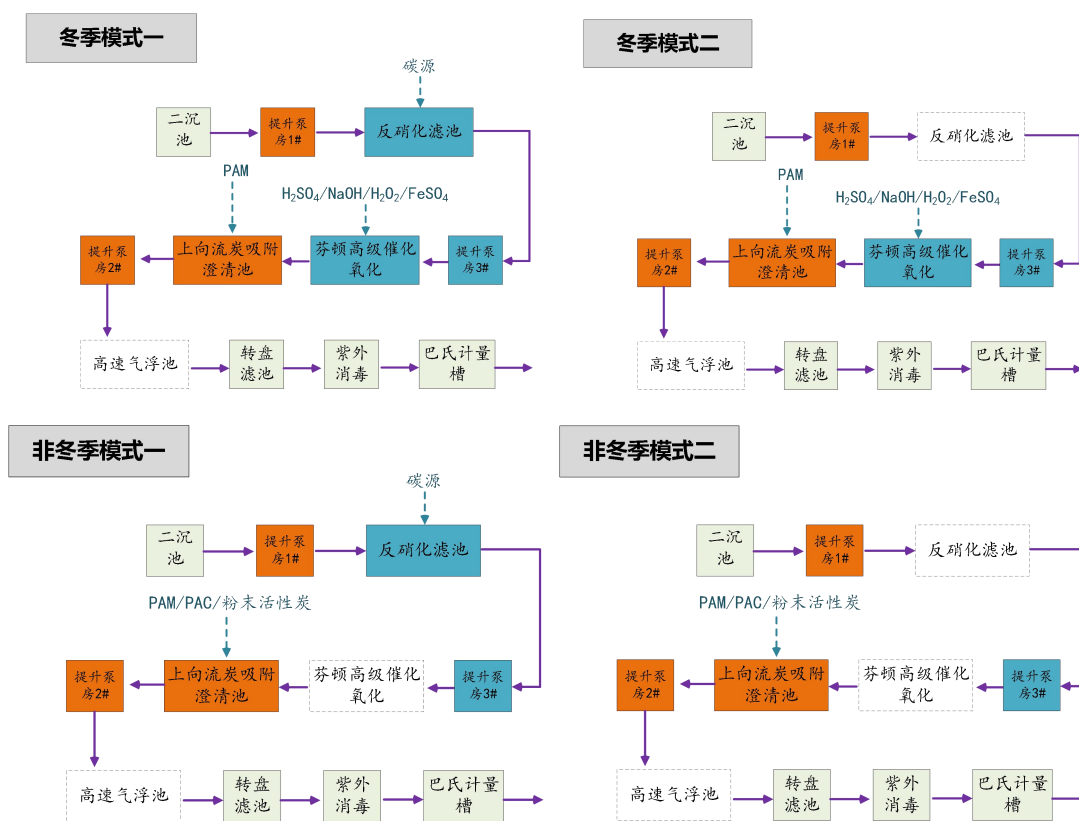


图 2-29-1 工艺流程图

(2) 基于二沉池复氧消解器设置的反硝化滤池进水 DO 控制技术

根据西污二沉池跌水高度不同，提出了“基于二沉池复氧消解器设置的反硝化滤池进水 DO 控制”的优化措施，通过制作一个结构特殊且相对密闭的收水装置（复氧消解器）放置于二沉池出水口，利用复氧消解器内部的收水口高度，可以使环形出水堰内的水位升高，污水从二沉池池面流入环形出水堰时，避免了第一次跌水。从复氧消解器底部进入的水，通过密闭的收水管道直接排入出水口，避免了第二次跌水的产生。从而保证二沉池出水 DO 值不会增加太多。

(3) 冬季时段水质 COD 稳定达标风险物质筛选及控制技术

控制措施：通过活性炭纤维对这些环状物质进行吸附去除，实验结果显示可获得满意的效果，工艺上可采用向芬顿单元后续的澄清池表面投加活性炭纤维，经过纤维的吸附去除后，降低该环状物质带来的 COD 值，可确保出水 COD 稳定达标。

(4) 芬顿高级催化氧化单元药剂筹措及运行优化

芬顿高级催化氧化单元对于确保西污出水 COD 连续稳定达标，起到了至关重要的作用，但其药剂使用量大，致使运行成本高。为节能降耗，选择价格低廉的废硫酸、废硫酸亚铁替代价格高的工业硫酸、硫酸亚铁是一种简单、直接的方法。

在废硫酸+废硫酸亚铁条件下，反应后的 COD 值与示范工程现采用的“工业硫酸和工业硫酸亚铁”的出水 COD 值相接近，其他指标也未见明显的增加，这表明采用价格更便宜的工业废酸、及废硫酸亚铁替代价格更高的工业级硫酸、硫酸亚铁可行。

29.2.2 技术成果适用性

本技术可为以工业废水比例高、水质水量波动大、溶解性难降解有机污染物含量高的天津滨海工业带污水处理厂的工艺技术提升与水质达标提供可靠的技术支撑。

29.2.3 技术创新性及先进性

(1) 针对西污不同季节进水水质情况，可灵活选择四种运行模式，确保出水水质稳定达标情况下，有效降低运行成本。

(2) 技术应用后西污反硝化滤池外加碳源平均损耗降低 5.71mg/LCOD，以乙酸钠 COD 当量 0.6g COD/g 乙酸钠计，则反硝化滤池外加碳源乙酸钠溶液（含量 25%）投加量平均节省 38mg/L，以西污现状平均进水量 3.5 万吨/日和碳源乙酸钠溶液价格 1450 元/吨计，碳源高效利用优化措施实施后反硝化滤池平均碳源投加成本节约 5.7 万元/月，结合西污反硝化滤池运行实际（一般运行 5 个月），则西污反硝化滤池碳源投加成本平均节省约 28.5 万元/年，经济效益显著。

(3) 通过水质分析，确定了影响西污冬季时段出水 COD 稳定达标的风险物质——饱和环状有机物，并建立了可行性的控制措施，对有效降低出水超标风险具有重要的保障作用。该技术可为类似的工业园区污水处理厂的工艺选择与设计提供基础数据支撑。

(4) 在对西污芬顿高级催化氧化单元的优化改进中，结合西污的实际运行，开发出一种新型污泥重力浓缩池，相关实用新型专利《一种污泥重力浓缩池》已于 2021 年 1 月 19 日获得授权。

29.2.4 节能减碳或污染防治效果

(1) 通过碳源筹措研究，西污的反硝化滤池外加碳源乙酸钠溶液（含量 25%）投加量平均节省 38mg/L。

(2) 西污应用本技术后出水水质全部达到天津市《城镇污水处理厂污染物排放标准》（DB12/599-2015）A 标（日均值 COD \leq 30mg/L、SS \leq 5mg/L、NH₃-N \leq 1.5（3.0）mg/L、TN \leq 10mg/L、TP \leq 0.3mg/L）的要求。实现 COD、NH₃-N、TN、TP 年消减量分别为 2565 吨、214 吨、350 吨、28.5 吨以上。

29.3 技术示范情况

天津经济技术开发区西区污水处理厂位于西区中心庄路以东、杨北公路以南、蓟港铁路以北。目前设计处理污水能力为 5 万 m³/d。污水处理工艺采用 HYBAS 工艺（A₂/O 工艺，其中曝气池中投加填料，使悬浮活性污泥与生物膜共存），出水设计达到（GB18918-2002）中一级标准的 B 标准。同时于 2016 年开展了水质深度处理改造，新增脉冲炭吸附澄清池与高速气浮池两个单元，通过改造后，出水中 COD、SS 和 TP 可稳定满足一级 B 标准中相应的水质排放限值。2017 年底完成提标升级改造，工程总投资 1.48 亿元，新增反硝化滤池和芬顿高级催化氧化两个单元，并且通过重新梳理工艺路线，出水水质可稳定达到天津市地方标准《城镇污水处理厂污染物排放标准》（DB12/599-2015）中 A 标准规定的水污染物排放限值。

技术 30 高盐工业废水生物强化综合处理技术

30.1 技术提供方

中国科学院天津工业生物技术研究所是由中国科学院和天津市人民政府共建、从事生物技术创新推动工业领域生态发展的科研机构。研究所重点开展“工业蛋白质科学与生物催化工程、合成生物学与微生物制造工程、生物系统与生物工艺工程”三个领域方向的基础研究和应用基础研究。现已建有中国科学院系统微生物工程重点实验室、天津市工业生物系统与过程工程重点实验室等创新平台，建有高通量筛选平台、系统生物技术平台等先进的技术装备体系。

30.2 技术简介

技术领域为水污染治理技术。技术成果来源为国家重点研发计划，已取得 2 项发明专利。

30.2.1 技术原理及工艺流程

本技术针对含盐量大于 3% 的高浓度、高矿化度化工废水，提出一种生物强化和污泥减量的新工艺，复配不同污染物降解的功能菌剂，组成耐盐功能菌群，通过代谢控制和遗传稳定性驯化，提高菌剂环境耐受能力。通过整合分类收集和“一步法”高效生物处理，污泥减量 90% 以上，废水处理效率提高 50% 以上，运营成本和周期大幅度缩短，实现了含盐化工废水达标排放。

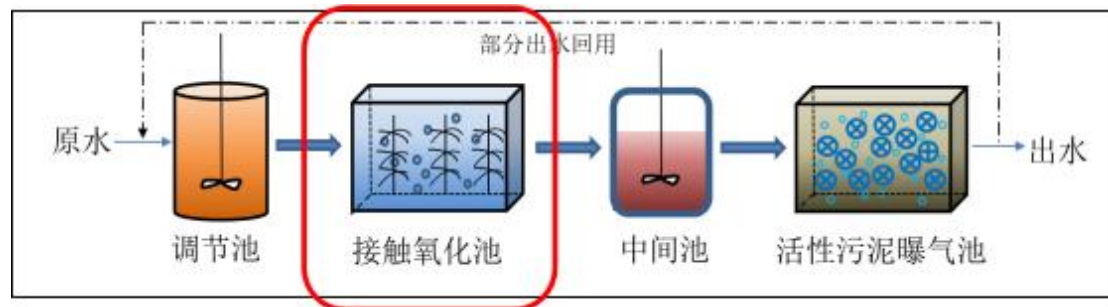


图 2-30-1 “一步法”高盐废水生物强化综合治理技术

30.2.2 技术成果适用性

本技术适用于高盐化工废水处理，树脂行业废水处理，醇类、胺类、有机酸、芳烃和小分子卤代烃类化工废水处理。

工业废水处理菌剂，运行规模不限，辅助物料为氮磷营养素供应，以及必要的酸碱类 pH 调节剂，针对 5000mg/L 苯酚，8000mg/L 以下的甲醛，50000 mg/L 以下的酚醛工业废水，同时针对丙酮，甲醇，四氢呋喃，丙烯酸，丁二醇，己二胺等化工污染废水，也具有较强的处理能力。菌剂运行条件和环境要求同好氧活性污泥类似，需要 2 mg/L 以上的溶解氧，pH 6~9，温度 25~35℃。核心高耐受和高降解活性的微生物复合菌剂，对于地理条件和原料来源无明确限制。

30.2.3 技术创新性及先进性

在超过 3% 的高盐条件下，细胞渗透压增加，对难降解有机污染物的处理尤其困难，本

项目中的高活性复合微生物菌剂，可以实现在包括甲醛、苯酚、乙酸乙酯、甲醇、苯、甲苯、二甲苯、环氧氯丙烷、乙二醇、苯乙烯、丁醇、糠醇、氯苯、丙烯酸、乙酸、苯胺等有机物的快速降解，在配合固定化细胞技术的条件下，实现了本技术较传统活性污泥法效率提高 50%，停留时间减少 50%，活性污泥产量减少 90%以上，出水指标降低 40%以上，实现稳定达标排放要求。

30.2.4 节能减碳或污染防治效果

对比传统的絮凝-水解酸化-厌氧-好氧-沉淀-活性污泥-二沉工艺相比，高盐工业废水生物强化综合处理技术在以下几方面具有独特优势：

1、取代芬顿和厌氧：缩短处理周期 50%以上，成本降低 96%，（芬顿 300 元/T，生化 10 元/T）；2、高耐受性能：苯酚耐受 5000 mg/L，甲醛耐受 8000 mg/L 以上，COD 耐受 50000 mg/L 以上，较传统工艺提升 2.5~6 倍；3、流程简单，一步法或二级生化处理，节约占地面积 60%以上；4、低运行费：只需氮磷补充和曝气，污泥减少 70~95%，危废成本节约 50~80%；5、酚醛降解率近 100%，危废转化普通固废，处理成本降低 90%以上。

30.3 技术示范情况

案例一：塘沽鑫宇环保烃类废水处理项目

项目位于天津市塘沽区新北路，日处理量 3 万吨，天津市鑫宇环保有限公司使用该技术两年，累计处理工业废水 2000 万吨以上，1200 万吨废水得以回用，COD 去除率超 90%，有效降解氨氮、芳烃、烷烃，新增销售收入 900 余万元。

案例二：山东省滨州市滨化集团丙二醇废水处理项目

项目位于山东省滨州市滨城区黄河八路渤海二路，滨化集团工业水运营中心。该项目日处理水量 300T，盐度 5.5%，通过菌剂生物强化，可提高活性污泥 5~10%的 COD 降解性能，提高进水量 5~10%，水处理过程节约停留时间 5~10 小时。

技术 31 硫自养反硝化滤池深度脱氮技术

31.1 技术提供方

天津城建大学为天津市属普通高等学校。学校现有城市规划、城市建设、城市管理、生态城市、智慧城市、城市经济、城市文化 7 大学科群，1 个天津市一流学科（土木工程）、1 个天津市一流（培育）学科（环境科学与工程）、4 个天津市服务产业特色学科群、6 个天津市重点学科等。

东莞市台腾环保材料科技有限公司是一家高新技术企业，专注一体化污水处理设备、生物菌种、污水处理药剂的开发及生产。经过长时间的研发及大量案例的实践，不仅具备优良的水处理能力，并且完全掌握与水处理相关的设备、菌种、药剂的先进生产技术。

31.2 技术简介

技术领域为水污染治理领域相关技术。技术成果来源于国家自然科学基金青年基金项目、天津市自然科学基金青年基金项目、天津市科技计划项目以及天津市教委科研计划项目，已取得 3 项发明专利以及 3 项实用新型专利。

31.2.1 技术原理及工艺流程

本技术针对低碳氮比水质条件下，生物脱氮效率低的问题，研发了硫自养反硝化深度脱氮工艺，可实现高效脱氮。

传统生物处理系统联合硫自养高效脱氮工艺中，在缺氧区在活性污泥的作用下利用进水中的有机物及回流硝化液中的硝酸盐进行异养反硝化，以去除有机物和硝酸盐；混合液进入好氧区后，进行曝气以去除氨氮；传统生物处理系统未去除的硝酸盐进入硫自养工艺段，以硫磺为电子供体，硝酸盐为电子受体，进行反硝化反应，强化脱氮效果。传统生物处理系统联合硫自养反硝化深度脱氮工艺后，可实现有机物、总氮、总磷的高效去除。COD/TN 比为 3~8 时，传统生物处理系统联合硫自养高效脱氮工艺可消减有机物 85% 以上，消减氮污染物 90% 以上。

典型的联合硫自养反硝化深度脱氮工艺流程如下所示：

工艺路线一：缺氧/好氧联合硫自养高效脱氮

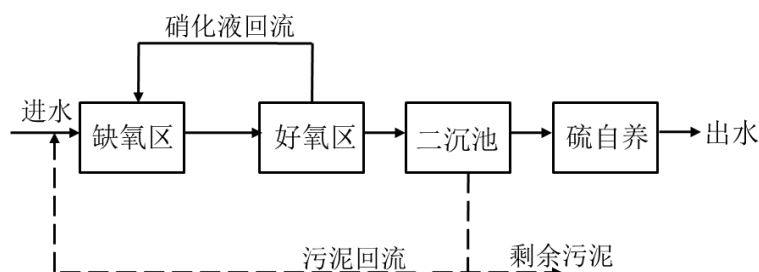


图 2-31-1 缺氧/好氧联合硫自养高效脱氮工艺路线

工艺路线二：A2O 联合硫自养高效脱氮

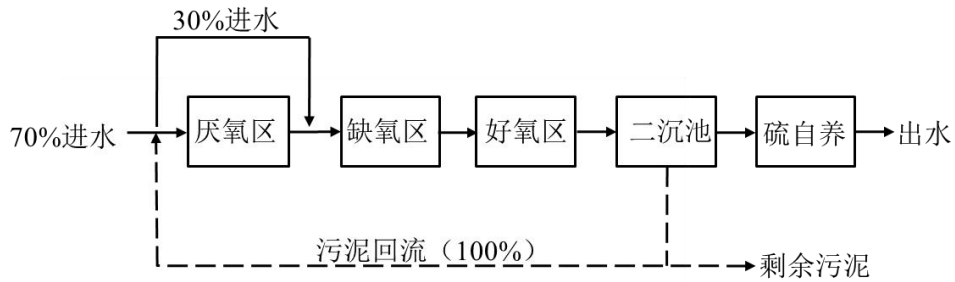


图 2-31-2 A2O 联合硫自养高效脱氮工艺路线

工艺路线三：改良 A2O 联合硫自养高效脱氮除磷工艺

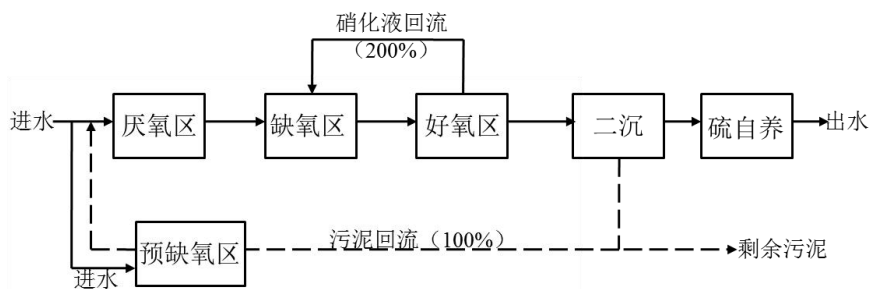


图 2-31-3 改良 A2O 联合硫自养高效脱氮除磷工艺

工艺路线四：强化除磷联合硫自养高效脱氮工艺

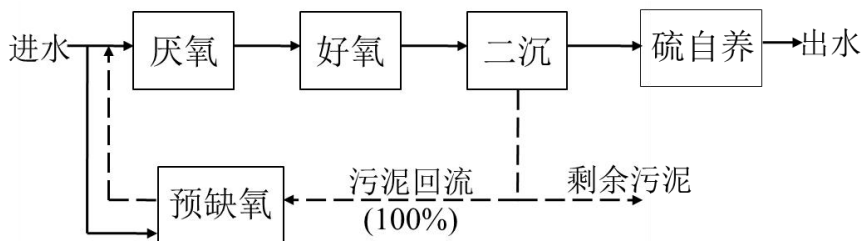


图 2-31-4 强化除磷联合硫自养高效脱氮工艺

工艺流程中各功能区的作用如下所示：

- ①预缺氧区：经反硝化作用，去除回流污泥中的硝氮，给厌氧区提供释磷条件；
- ②厌氧区：聚磷菌利用有机物，释放磷并合成 PHA（聚羟基脂肪酸酯），利于其在好氧段过量吸收磷；
- ③缺氧区：利用硝化液回流中的硝氮进行异养反硝化脱氮；
- ④好氧区：进行硝化反应，将氨氮转化为硝氮；同时通过聚磷菌进行磷的过量吸收；
- ⑤二沉池：进行泥水分离；
- ⑥硫自养区：利用硫自养反硝化，深度去除二沉尾水中的硝氮。

31.2.2 技术成果适用性

本项技术适用于污水处理行业，特别是对于低碳氮比污水的脱氮效果显著，碳氮比适用

范围在 3~8 之间。工艺所需的载体填料为改性的硫磺填料（技术自有），便于加工，对上下游产业的依赖性较小。使用该工艺处理低碳氮比污水，出水有机物浓度（以化学需氧量 COD 计）低至 50 mg/L 以下，出水总氮去除效率达到 90% 以上，对低碳氮比市政污水及工业废水具有较好的适用性。通过对传统生物处理系统的升级及硫自养段填料的改性，可实现有机物、总氮、总磷的高效去除，低碳氮比市政污水经该系统处理后出水氮磷指标满足或优于《地表水质量标准》（GB3838-2002）V 类水质标准。

31.2.3 技术创新性及先进性

针对有机物限制条件下，脱氮除磷效率低的现状，借助传统生物污水处理系统耦合硫自养反硝化深度脱氮系统，以实现有机物、氮和磷污染物的高效去除。COD/TN 比为 3~8 的工业污水，传统生物处理系统联合硫自养高效脱氮工艺可消减工业污水中有机物 85% 以上，消减氮污染物 90% 以上。对于低碳氮比的市政污水，处理后出水氮磷指标达到地表水 V 类标准及以上，可将其作为城市河道的补充水源，实现污水的处理及其资源化的应用。硫自养反硝化工艺可作为低碳氮比水质条件下，生物脱氮技术重要补充。相对于针对低碳氮比污水的新型脱氮工艺，如短程硝化反硝化、厌氧氨氧化等技术，硫自养工艺不需要精确控制运行条件，如温度、pH、碱度、溶解氧等条件，这便于工艺的推广应用。具有操作简单，可实施性强，启动快等特点。

31.2.4 节能减碳或污染防治效果

节能减排收益上，联合硫自养反硝化的高效脱氮技术较传统添加碳源的运行方式相比，出水总氮浓度可达到 2~3 mg/L，吨水的运行成本可降低 0.32~0.35 元。扣除每年补充硫磺或改性硫磺载体的费用，吨水处理成本可降低 0.20~0.25 元。

碳减排上，若将总氮浓度 15 mg/L 降至低于 2~3 mg/L，硫自养深度脱氮工艺处理每吨低碳氮比市政污水时，可减少有机碳源投加（以纯醋酸钠计）108~117 g。其中约 40% 的醋酸钠经微生物异化作用转化为 CO₂ 计，处理每吨市政污水可减少因添加醋酸钠而产生的 CO₂ 46~50 g。若以日处理十万吨的市政污水处理厂计，CO₂ 年减排量：46~50 克 CO₂/吨污水×10 万吨/天×365 天≈1752 吨。因此，硫自养深度脱氮工艺较传统添加碳源的运行方式相比，以日处理十万吨污水厂计，每年可减少因添加醋酸钠而产生的 CO₂ 1752 吨。而全国污水产生量为 1.92×10⁸ 吨/天，若硫自养深度脱氮工艺普及率得到提升，碳减排效果明显，污染防治能力强。

31.3 技术示范情况

案例：贵阳市餐厨废弃物资源化利用和无害化处理项目深度脱氮工艺废水处理工程

该项目位于贵州省贵阳市白云区麦架镇马堰村，现已完成脱氮工艺所需要的 7 套设施，污水处理厂已停止投加碳源 100 多天，目前 7 套硫自养深度脱氮设施已进入正常运行阶段，并已安排生产值班人员专业理论和实操培训。根据现有废水情况，采用硫自养反硝化深度脱氮技术进行改造，污水处理总量按 700 m³/d，进水总氮 650 mg/L，出水总氮低于 70 mg/L，达到脱氮负荷 406 kg N/m³·d 的目标。脱氮池进水引自一期和二期污水超滤处理后出水，脱氮池根据现场环境可采用一体化设备形式。

技术 32 滨海工业带高盐废水中无机盐分质结晶与资源化技术

32.1 技术提供方

天津市生态环境科学研究院始建于 1975 年, 分别于 2011 年 4 月和 2013 年 10 月加挂天津市环境规划院和天津市低碳发展研究中心的牌子, 是天津市唯一市属综合性生态环境科研与服务机构。现已发展成为涵盖大气、水、土壤、固废、生态、规划、低碳、应急等生态环境保护全领域, 集科学研究、管理支撑、技术开发、技术服务、技术咨询、技术评估、污染损害鉴定、成果转化推广于一体的综合性生态环境科研机构, 为天津市乃至全国生态环境保护事业发挥了重要作用。

32.2 技术简介

技术领域属于水污染治理(工业废水处理及资源化利用), 技术成果来源于国家科技重大专项(“十三五”国家水体污染控制与治理科技重大专项)。取得 3 项实用新型专利。

32.2.1 技术原理及工艺流程

针对滨海工业带含盐废水水质成分及无机盐组分和含量的不同, 采用纳滤技术进行无机盐分质研究, 重点考察无机盐类型、组分、浓度、膜压力、膜类型等影响因素, 分析对比各分质技术对一价和二价阴阳离子的截留率和通量的变化。技术路线图如图 2-32-1 所示。

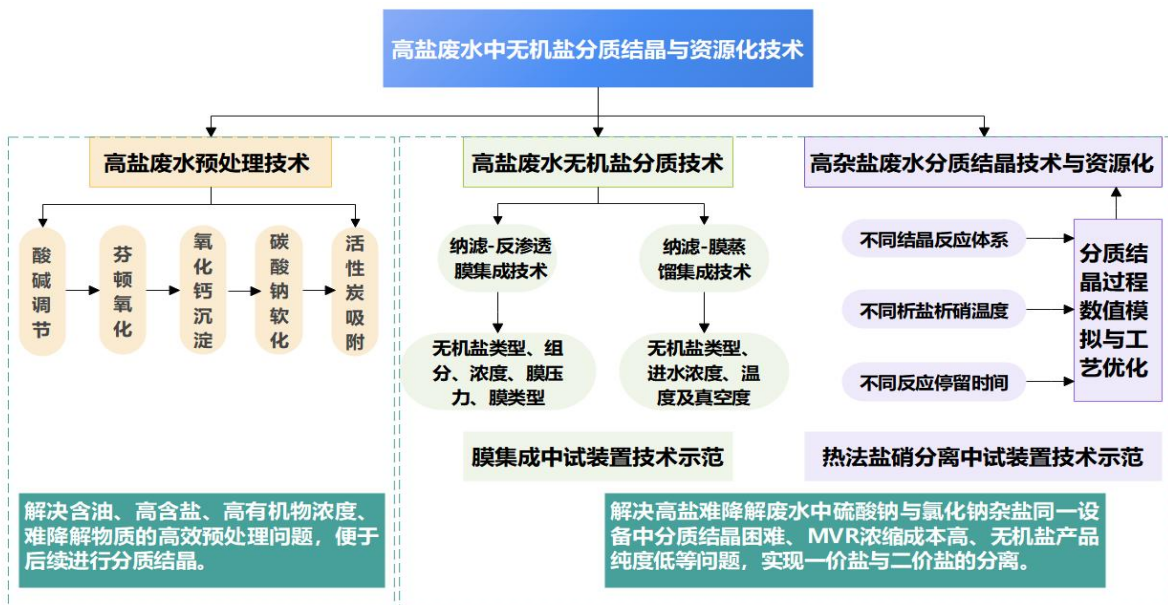


图 2-32-1 技术路线图

(1) 该试验采用自制的纳滤膜集成装置, 装置材质为 316 不锈钢。首先对高盐废水进行预处理, 构建以砂滤-碳滤-超滤-臭氧为预处理工艺, 通过原水泵从原水箱向超滤装置中抽取高盐废水进行有机物大分子和油分的去除, 之后进入缓存水箱。

(2) 经过预处理后的废水经高压泵送入纳滤系统, 过滤后的浓水返回到缓存水箱继续循环, 淡水流入淡水箱。纳滤系统采用某品牌两支聚酰胺卷式膜串联运行, 单支有效膜面积

为 8.3m^2 。为避免纳滤膜受机械性损伤，在纳滤膜系统前设置保安过滤器。实验过程中记录压力、浓水流速、淡水流速、淡水电导率和废水温度，浓水和淡水出口溶液的含盐量。试验开始时，通过调节变频器使高压泵压力维持在 $40\sim 45\text{ bar}$ ，温度为 25°C ，运行过程中维持稳定压力和流量。

(3) 进而采用反渗透技术，将纳滤淡水通入反渗透组件达到无机盐分质的目的。实验过程得到淡水和浓水，淡水回流入原水箱中循环以达到稀释作用，浓水流入浓水箱，过程中记录压力、浓水流速、淡水流速、淡水电导率和废水温度，浓水和淡水出口溶液的含盐量。



图 2-32-2 试验流程

32.2.2 技术成果适用性

本技术适用于滨海新区工业带各园区污水的处理和再生利用，尤其是一些高盐难降解工业废水的技术攻关和应用，促进工业带内水资源的多种途径循环利用。

32.2.3 技术创新性及先进性

(1) 基于膜处理的滨海工业带高杂盐废水无机盐分质技术重点考察了无机盐类型、组分、浓度、膜压力、膜类型等影响因素，分析对比各分质技术对一价和二价阴阳离子的截留率和通量的变化。(2) 通过 MVR 含油高盐废水无机盐分质结晶与资源化技术，以硫酸钠和氯化钠废水为研究重点，结合不同结晶反应体系，研究结晶过程，并与冷却结晶进行分析对比，实现废水中杂盐的分质结晶。(3) 开展了高浓度杂盐废水体系的分质结晶热力学和动力学研究，利用 Fluent、Matlab 等软件探索用数学模型来精确表征不同运行条件下分质结晶工艺条件，进行工艺操作策略优化。通过查新证明，国内外均未见具备该研究内容的工业带高盐废水中无机盐分质结晶与资源化技术地文献报道。

32.2.4 节能减碳或污染防治效果

本技术开展的高盐难降解废水的控制研究及集成可有效提高工业废水污染防治效果。高盐难降解废水中的水与无机盐都是可以回收利用的资源，开发高盐难降解废水资源化技术能够实现高盐难降解废水的“零排放”或“趋零排放”，是解决滨海工业带及全国高盐难降解废水处理难题的主要途径之一。

32.3 技术示范情况

本技术构建的以砂滤-碳滤-超滤-臭氧为预处理工艺的纳滤-反渗透中试组合工艺，在连续稳定运行的条件下进行高盐废水分盐结晶处理，分析高盐废水中硫酸根和氯离子的分离效果以及结晶盐的纯度。该技术已在天津市茂联科技有限公司进行了中试试验。通过在现场进

行的中试试验，得出的结果满足考核标准，实现一价二价盐的脱除，其中一价盐脱除率为 70~90%，二价盐脱除率达 90%以上；氯化钠、硫酸钠等结晶盐干盐纯度达到工业干盐二级（II类）标准以上；无机盐分质结晶与资源化处理成本在 200 元/ m³ 以下。

技术 33 风险水域多功能安全监测技术及设备

33.1 技术提供方

天津市生态环境科学研究院始建于 1975 年, 分别于 2011 年 4 月和 2013 年 10 月加挂天津市环境规划院和天津市低碳发展研究中心的牌子, 是天津市唯一市属综合性生态环境科研与服务机构。现已发展成为涵盖大气、水、土壤、固废、生态、规划、低碳、应急等生态环境保护全领域, 集科学研究、管理支撑、技术开发、技术服务、技术咨询、技术评估、污染损害鉴定、成果转化推广于一体的综合性生态环境科研机构, 为天津市乃至全国生态环境保护事业发挥了重要作用。

33.2 技术简介

技术领域属于水污染治理, 技术成果来源于国家科技重大专项(“十三五”国家水体污染控制与治理科技重大专项)。取得 2 项实用新型专利。

33.2.1 技术原理及工艺流程

风险水域多功能安全监测技术及设备能够实现无人多功能式作业, 能够在线监测 pH 值、溶解氧、温度、电导率、全盐量、叶绿素 a 以及蓝绿藻等主流参数; 设备船体总长度 4.5 米, 空载负荷 1.5 吨, 满载负荷 2.5 吨, 水中稳定最大航速 6kn, 通讯距离最大 10 公里(作业及航行距离)。船体能够同时满足陆地及滩涂泥泞环境下正常行驶, 可在强酸、强碱以及高盐条件下正常作业; 可实现对于目标水体及底泥(沉积物)的定点悬停采样, 其中水体的单次作业采样量为 24×1L, 样品具有自动打包功能, 船体操控技术能对采样点位以及采样时间进行准确记录。

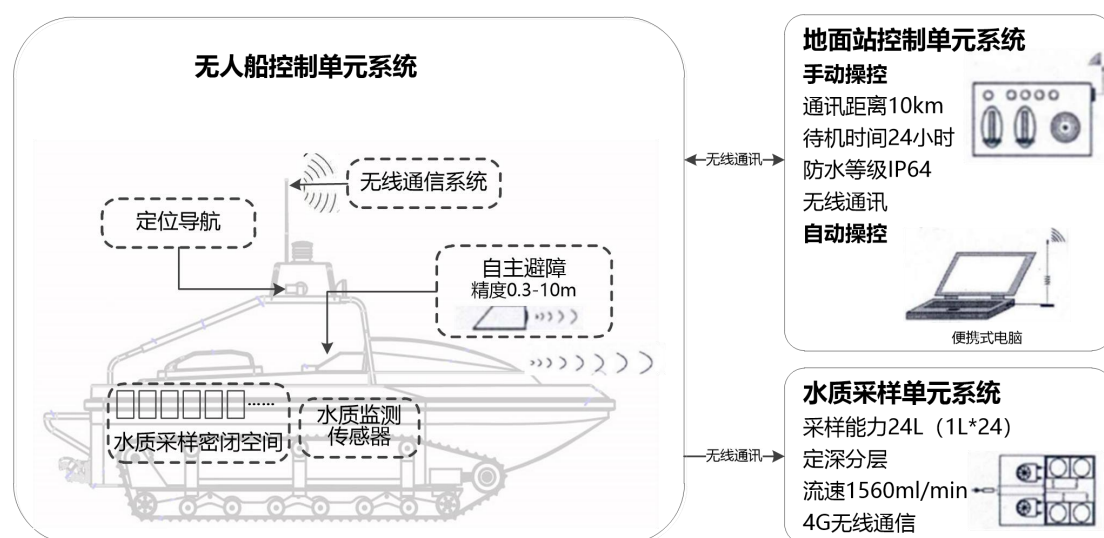


图 2-33-1 风险水域移动式水陆两栖无人监测采样艇控制系统总结构图

风险水域多功能安全监测技术及设备由水质监测单元、水样采集单元、4G 无线通信模块、上位机系统、控制单元等组成, 同时实现了路线规划、自主避障、定点分层采样等功能。控制单元由嵌入式系统构成, 包括电机驱动模块、通信模块、GPS 定位模块、电子罗盘模

块、超声波避障模块等，控制单元接收上位机下达的指令并执行，收集当前智能水质监测数据并上传，并且可以实现自主巡航功能及人工远程遥控功能。上位机系统下达控制指令，实时显示无人船的航行与工作状态，实时显示水质传感器监测到的实时数据及实时显示当前监测水域的水面影像。设备在航行过程中，可以预先制定好航线及各个航路点，由航向和航速控制器实时送出船舶给定航向、给定航速，使得船舶能够按照预定航线高速航行，并在航行过程中实时采集周围障碍物信息实现对船舶的自主避障，最终到达目的地。无人船设备通过 GPS 等设备，在两船会遇或前方有障碍物时能够发出避碰报警信息并给出合适的避碰策略，实现船舶的自主避碰。该技术和设备可以最大限度上避免监测人员在有毒有害区域作业过程中的身体接触，并有效确保监测数据代表性与准确性。

33.2.2 技术成果适用性

适用于水陆两栖盐碱、滩涂及危险事故采样监测环境。

33.2.3 技术创新性及先进性

- (1) 实现国内首台水陆两栖水泥采样监测智能化无人船的零突破；
- (2) 对自主控制技术、定点分层采样技术、在线监测与水/泥样品采集功能等核心技术进行了系统集成，在功能整合上具有一定的创新性；
- (3) 实现了水、底泥样品的采集与监测，以及大气数据的实时抓取；
- (4) 突破事故现场应急监测单次采样量小等问题，实现一次性采集 24 瓶（1L/瓶）水质样品；
- (5) 立体组合避碰中采用基于仿生眼球运动控制机理的三维声纳仿生云台，解决前视避碰声纳受到浪涌、水流的影响，造成声纳图像模糊、变形，无法有效识别水下障碍物的问题。

33.2.4 节能减碳或污染防治效果

风险水域多功能安全监测技术及设备可以对地形复杂的事故水域进行现场快速采样、监测及结果显示，进而为污染防治处理措施、处置设备的实施提供及时的参考依据，可以有效地遏制污染事故的进一步蔓延。

33.3 技术示范情况

风险水域多功能安全监测技术及设备已应用于京津冀区域水污染事件应急处理及管理工作。目前，风险水域多功能安全监测关键技术和设备已经成功用于京津冀生态环境部门和天津市宝坻区政府在天津市宝坻区潮白河流域开展的京津冀突发水环境联合应急演练现场。以上的推广应用验证了课题成果对环境突发应急事件进行应急取样监测的能力，有效地支撑了京津冀一体化国家重大战略。

技术 34 “查-控-处”一体化水环境风险管控整装成套技术

34.1 技术提供方

天津市生态环境科学研究院始建于 1975 年, 分别于 2011 年 4 月和 2013 年 10 月加挂天津市环境规划和天津市低碳发展研究中心的牌子, 是天津市唯一市属综合性生态环境科研与服务机构。现已发展成为涵盖大气、水、土壤、固废、生态、规划、低碳、应急等生态环境保护全领域, 集科学研究、管理支撑、技术开发、技术服务、技术咨询、技术评估、污染损害鉴定、成果转化推广于一体的综合性生态环境科研机构, 为天津市乃至全国生态环境保护事业发挥了重要作用。

34.2 技术简介

技术领域为水污染治理, 技术成果来源于国家科技重大专项水体污染控制与治理——京津冀区域综合调控重点示范。取得 1 项实用新型专利, 1 项软件著作权。

34.2.1 技术原理及工艺流程

本技术成果针对事故危险水域样品采集高危、高难, 废水污染特征识别难度大, 事故废水应急处置技术体系性不强、设备集成度不高、应急处置方案不完善的瓶颈问题, 采用大数据、物联网、人工智能手段, 集成风险水域多功能安全监测技术、滨海工业带典型事故废水应急处置关键技术和侦察、监测、管控方面的一般技术, 构建滨海工业带园区水环境风险应急监管体系, 并形成区域预警-应急-处置联动响应整体机制。

技术成果以风险水域多功能安全监测技术、突发水环境应急平台构建技术、滨海工业带典型事故废水应急处置技术为支撑技术, 分别应用于系列化装备与应急监管平台。具体如下:

(1) 事故发生后, 物联网在线监测系统第一时间报警, 事故现场移动水质实验室、无人化监测平台对事故水域水样进行采样检测、侦测并将数据反馈到应急平台;

(2) 事故处置过程中, 基于事故区域周边风险源数据库信息、现场返回数据以及应急过程中可能用到的基础数据库, 利用数字化指挥、通信系统进行决策与指挥;

(3) 事故初步得到控制后, 基于环境应急设备物资库预制的组合模式, 通过污染物匹配工艺设备; 物资库管理系统能够对应急物资进行数字化管控, 及时了解物资位置、性能参数、数量状态等信息, 还可以配合应急监管平台完成应急物资调度, 实现利用模块化的事故废水应急处理工艺及装备快速处理难降解有机废水、重金属、含油废水。

34.2.2 技术成果适用性

本技术成果适应行业 and 具体领域为生态保护和环境治理行业, 环境保护领域。

34.2.3 技术创新性及先进性

研发形成风险水域多功能安全监测技术与设备, 该技术与设备面向满足风险事故区极端条件下的环境监测需求进行研发, 高于普通监测船体材质需求, 在移动性上可以实现多功能环境下的快速反应以及监测数据和环境影像的稳定传输, 进而解决污染事故区域的陆域屏障。

形成滨海工业带典型事故废水应急处置技术及设备, 在国内首次建成了 1 处超过 5000 平方米的大型环境应急设备物资库, 通过物资库管理平台, 能够实现对应急物资的数字化管

控，及时了解物资位置、性能参数、数量状态等信息，配合完成应急物资调度、模块组合搭建、应急处理装置设计等。

建成了滨海工业带园区水环境风险应急监管平台，该平台提出了突发性重大水环境污染事故预警指标选择时关注的环境要素，针对突发性事故预警的特征，构建了预警方法体系并应用。

34.2.4 节能减碳或污染防治效果

水环境应急管控体系的研发全面提升了滨海工业带水污染事故应急处置能力，实现了突发事故处理的综合、高效和快速，解决了因缺少技术或装备而延缓事故处置进程的问题。在应急监测方面，推动建立了机动化、信息化的“天-地-水”一体化环境风险应急侦测系统，提升应急响应能力和科学决策水平；在应急管控方面，推动建立了“预警-应急-处置”联动响应长效机制，为水环境污染事故应急防控提供管理支持；在应急处置方面，推动区域建立滨海工业带事故废水应急处置体系并加强环保应急物资保障建设，产生了很好的社会效益。

34.3 技术示范情况

滨海工业带水环境风险应急监管平台。平台于 2019 年 12 月 4 日启动平台业务化运行。面积超过 4000 平方米，接入 103 家各级企业和 30 座工业带地表水自动监测站，集成现场监控、管网排口信息、企业污染源清单、化学品库、设备库、专家库、案例库来进行事故的综合分析判断和优选处置方案，实现水环境日常管理情况下地表水、企业数据的收集、统计、预警以及水环境事故情况下区域水环境平台化管控。同时，水污染应急处置系统还能作为前出系统在现场进行指挥，满足基础信息查询、现场侦测、分析预测、处置方案制定、命令指挥等需求。

滨海工业带园区水环境风险应急监管平台主要针对我国对突发水污染事故应急处置能力不强，应急管理体系不完善等问题，通过集成滨海工业带的环境风险源、污染事故应急防控的基础信息库、企业可视化系统、应急监控预警-响应机制等，构建滨海工业带园区水环境风险应急监管平台并实现业务化运行，实现系统、有效、快速和先进的应急处置，为全国类似水污染突发事件的应急防控提供样板。

C、大气污染治理技术

技术 35 煤炭能源枢纽港口粉尘污染精准表征、智能监测与控制技术及应用

35.1 技术提供方

交通运输部天津水运工程科学研究院（简称“天科院”）成立于 1974 年，是交通运输部直属正局级科研事业单位，坐落于天津市滨海新区核心区，拥有一个本部两个基地。在大气污染领域，主持完成了国家自然科学基金“动态作业特征下港口散货堆场矿石尘源释放总量估算模式研究”、中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目“港口环境管理信息系统研究”等粉尘污染防治技术纵向研究课题 20 余项。

35.2 技术简介

技术领域为大气污染治理-无组织排放控制相关技术。技术成果来源于国家重点研发计划战略性国际科技创新合作重点专项及天津市交通运输科技发展项目，已取得 2 项发明专利，2 项实用新型专利。

35.2.1 技术原理及工艺流程

本技术主要由粉尘智能化云监测、粉尘精准控制运算模型和粉尘智能控制系统三部分组成。

粉尘智能化云监测通过“1+1+N”监测系统，能够实现港口区域监测的全覆盖效果；粉尘精准控制运算模型通过智能统计划定网格区域内加权粉尘浓度，对比网格矩阵对该次污染过程的贡献率大小，实现高排放的智能识别；粉尘智能控制系统是基于粉尘精准控制运算模型开发出的智能联动控制软件，通过生产指挥中心智能控制堆场喷枪，实现粉尘智能控制，通过监测数据实现粉尘超标预警。

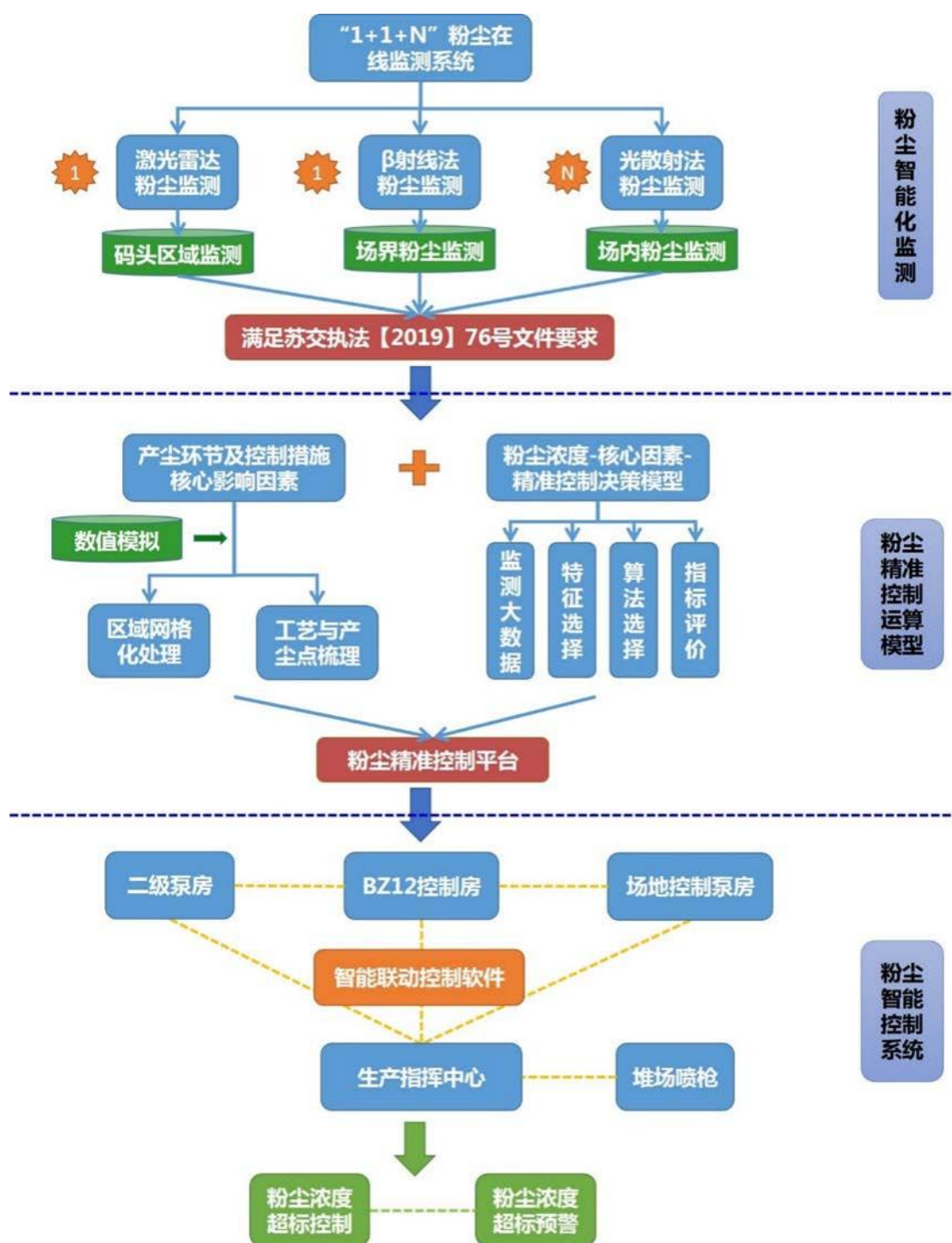


图 2-35-1 系统架构及工艺流程图

35.2.2 技术成果适用性

本技术的适用对象为散货港口的粉尘污染防治领域，用于智能监测港口粉尘浓度；智能识别溯源起尘源；精准控制散货港口粉尘污染。局限性在于雷达的监测技术原理所限，雨雪雾天气和雾霾对监测均会产生一定影响，需要通过算法将监测误差剔除。

35.2.3 技术创新性及先进性

本技术创新性地将颗粒物激光雷达应用于大型散货港口作业环节粉尘浓度监测，实现了

港口区域的粉尘面域网格化智能监测。开发了粉尘溯源算法，建立港口散货装卸精准抑尘模型，实现港口堆场粉尘排放点的精准溯源，进而提供了一种无组织排放的总量核算和粉尘浓度预测新方法。构建了大型散货港口作业环节粉尘精准控制系统总体架构和各子系统的架构及技术，研发了大型散货港口作业环节粉尘精准控制系统并应用，实现除尘频率和强度的科学化和精准化，抑尘效率达到 95% 以上。

35.2.4 节能减碳或污染防治效果

本技术建立了港口起尘规律模型；实现了散货港口粉尘无组织排放全域智能监测；建立了基于高斯反推模式的精准溯源模型，利用全域监测大数据实现起尘点位的精准捕捉；研发散货港口粉尘智能控制系统，实现港口环境智慧动态联动，系统综合抑尘效率达到 95% 以上，大幅提升散货港口粉尘污染控制水平。

35.3 技术示范情况

技术已在张家港港、国能天津港、镇江港、鼠浪湖矿石码头（宁波-舟山港）等示范应用，产生直接经济效益成果 1000 万元。

案例一：张家港港务集团粉尘智能监测与控制系统建设

张家港港务集团于 2019 年—2020 年间，基于“1+1+4”的散货港口粉尘智能云监测系统，开发并建设了一套适用于张家港港务集团的港口粉尘智能化监测与控制系统。项目建设实现了散货港口粉尘的智能化监测与控制，经鉴定，粉尘控制效率达到 95% 以上；项目建设使原有的粉尘喷淋设备人工手动控制模式升级为现在的智能控制模式，所有喷淋设备控制策略均由系统智能判断、智能决策；项目的实施大大提升了喷淋系统的使用效率，减少了人工管理的时间和经济成本，实现了散货港口粉尘监测和控制的智能化管理。

张家港扫描雷达—2019.06.04 13:19-14:56

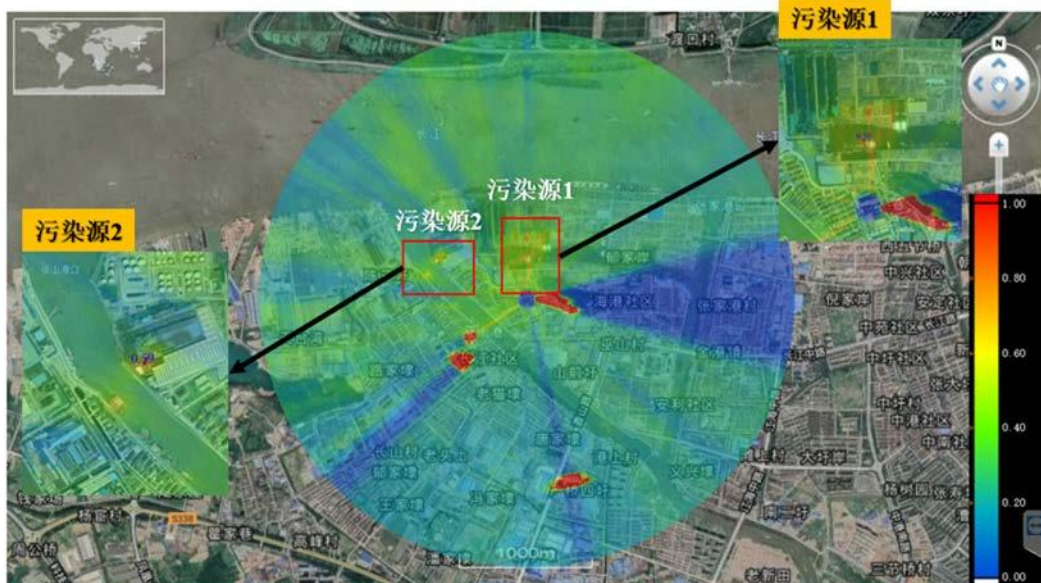


图 2-35-2 张家港扫描雷达监测情况

案例二：镇江金港粉尘多维度云监测与智能控制系统建设

项目位于镇江新区，建设了基于本技术的粉尘多维度云监测与智能控制系统。通过系统建设实现了散货码头的粉尘监测全覆盖与抑尘智能联动控制。项目在原有的技术功能基础上，开展了技术迭代的“雷达反向控制技术”研发，实现了大机作业与粉尘雷达扫描监测的联动控制效果。项目建设实现了港口粉尘的智能化监测与控制，系统运行期间，已连续开展了 400 余天 24 小时不间断的全域粉尘监测与智能控制，经鉴定，粉尘控制效率达到 95% 以上。

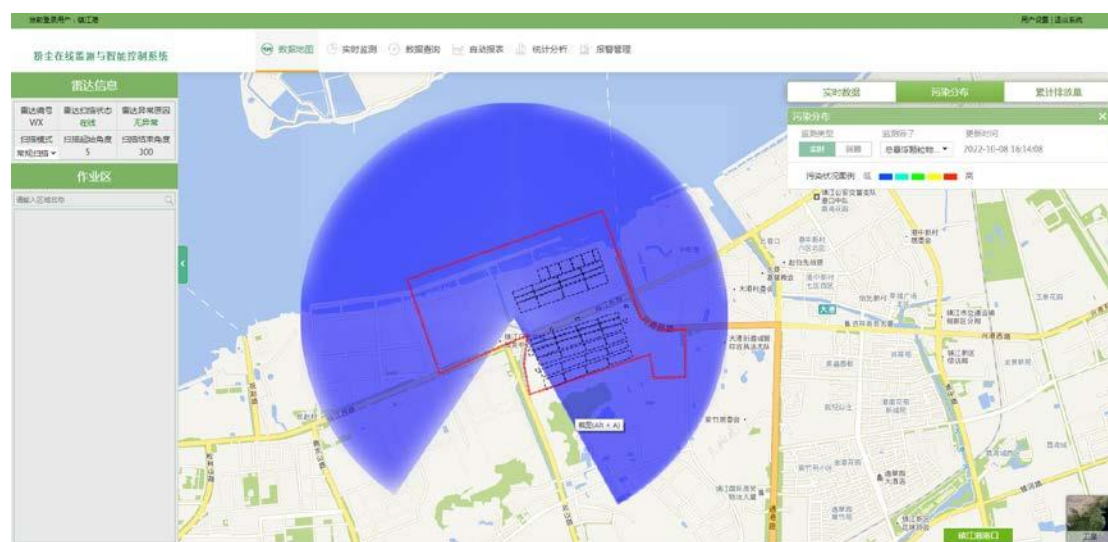


图 2-35-3 镇江金港粉尘多维度云监测与智能控制系统

技术 36 工业固体废弃物与烧结烟气污染物协同处理及余热利用

36.1 技术提供方

中晟工程技术（天津）有限公司以深度协同治理气废、固废和危废为目标，研发了多项发明专利并应用于钢铁厂烧结烟气，油田、化工厂的油泥和污水处理厂污泥及多个领域目级超细粉的治理，为客户提供协同治理方案。公司核心技术已经成功应用于钢铁行业，有效处理了钢铁厂固废和烧结机废气，各类指标完全满足国家超低排放标准，通过使用含碳类固废做为燃料，余热回收后综合利用，单个项目每年为客户创造 2.5 亿元经济效益。

36.2 技术简介

技术领域为大气污染治理和固体废物处理处置及资源化相关技术。技术成果来源于企业自主研发，已取得 11 项实用新型专利以及 2 项发明专利。

36.2.1 技术原理及工艺流程

该项目技术原料可用高炉煤气和混合固废，在处理烧结烟气的同时协同处理固废资源。技术采用高温理论路线对烧结烟气中的常规污染物二噁英、二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳、颗粒物等协同减排，二噁英、一氧化碳转化为无害气体，二氧化硫、氮氧化物、颗粒物等排放量均大幅降低，达到国家排放标准。

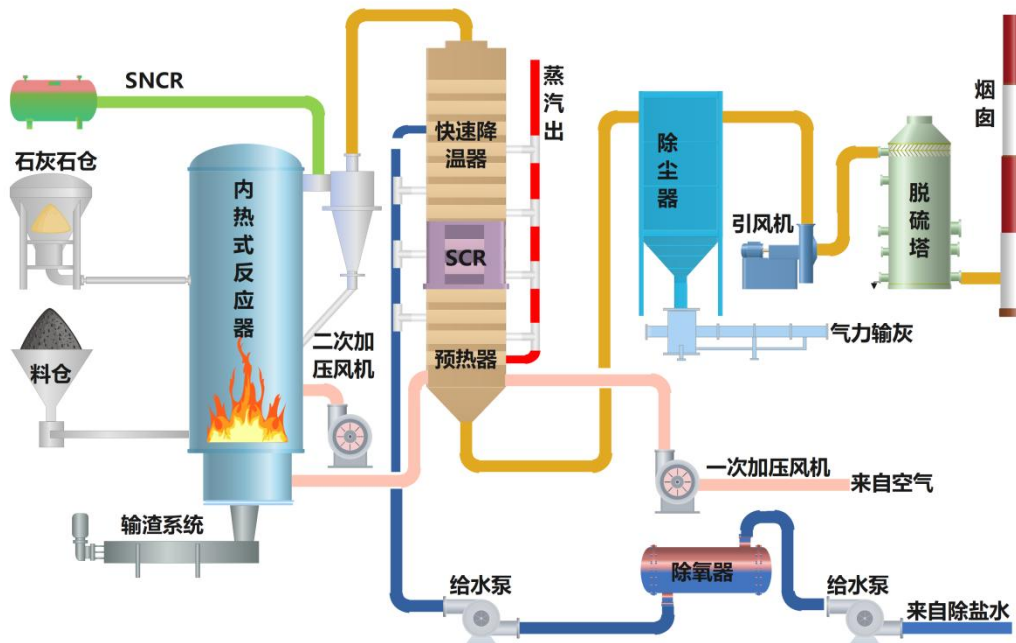


图 2-36-1 工艺流程图

固废燃料经给料机送入内热式反应器下部与一部分烧结烟气进行燃烧反应，待反应器下部温度大于 900°C 以上时，另一部分烧结烟气，进入内热式反应器中下部，进行烟气混合燃烧。反应器内的高温烟气可达 $800\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 。出内热式反应器的高温烟气经旋风分离器进行烟尘分离，分离后的高温烟气再进入快速降温器降温后，依次通过布袋除尘器、引风机，湿

法脱硫塔脱硫后达标排放。

36.2.2 技术成果适用性

本项技术可广泛应用于钢铁、化工、市政污泥、石油油泥、电解铝赤泥等产生工业固废、气废和水废的行业。该技术只针对有工业固废和气废的企业，工业固废需要有一定的热值（混合后热值高于 1500 大卡即可）。

36.2.3 技术创新性及先进性

该技术具有科学性、前瞻性、符合国家资源综合利用超低排放不产生二次污染的政策，其主要特点如下：（1）该技术采用内热式反应器脱硝+SCR 两级脱硝处理工艺，高温 SCR 无催化剂中毒发生，脱硝稳定，可以连续运行达到超低排放；（2）采用内热式反应器脱硫+二次脱硫的两级脱硫工艺，降低了脱硫成本和硫化物的排放浓度，且达到超低排放标准；（3）该工艺采用混合固废（市政污泥，钢厂除尘灰等）和高炉煤气作为原料，在处理烟气的同时一起处理固废资源，真正达到一体化协同处理；（4）该工艺采用氧化法协同处置半干法脱硫产生的亚硫酸钙，形成稳定的硫酸钙，实现脱硫产品稳定化，不产生二次污染；（5）该工艺可取消烧结烟气循环系统，提高烧结机利用系数，增加烧结产量；（6）该工艺可完全分解脱除烧结烟气中的二噁英（此技术为高温分解，有别于 CFB 脱硫的布袋吸附技术），将二噁英转化为二氧化碳、水及无机盐；（7）该工艺可完全去除烧结烟气中的一氧化碳，将一氧化碳氧化为二氧化碳，并利用其氧化反应产生的热量产生经济效益；（8）该工艺可协同处理钢渣，将钢渣转化为优质水泥原料，并减少脱硫剂消耗，具有良好的经济效益；（9）烧结烟气中的重金属高温氧化反应形成氧化物，后与 SO₂ 反应形成稳定硫酸盐。重金属硫酸盐在经过 SCR 催化剂的过程中被大量的硫酸钙裹挟着带走，和催化剂发生反应的几率大大降低，因而催化剂不会重金属中毒。不产生二次污染。系统内存在能量转换，减少新增能耗；（10）不产生二次污染；（11）系统内存在能量转换，减少新增能耗；（12）利用了烧结烟气中的物理热和化学热；（13）快速降温器可以产生高品质蒸汽，作为工艺副产品，可产生直接经济效益。

36.2.4 节能减碳或污染防治效果

该项目“以废治废”，一套装置实现处理固废、脱硫、脱硝、重金属、分解二噁英和去除一氧化碳的功能。最终排放达到国家现行超低排放标准，并且提前有效处理一氧化碳、二噁英等国家尚未严格要求的污染物。此技术在国内同行业首创。按照三年后该技术占领钢铁行业 3.33% 的份额测算，每年能够减少钢铁行业颗粒物排放 3800 吨，减少 SO₂ 排放 14000 吨，减少 NO_x 排放 21720 吨，减少二噁英排放 228.8gTEQ。该技术最后排放标准，完全满足国家超低排放标准：

SO₂ 排放浓度≤35mg/Nm³

NO_x 排放浓度≤50mg/Nm³

粉尘排放浓度≤10mg/Nm³

二噁英排放浓度≤0.5ng-TEQ/Nm³

排烟 CO 浓度<6000Mg/m³

36.3 技术示范情况

该技术已经成功应用于**山西高义钢铁有限公司** 1×360 m² 烧结机头烟气超低排放升级改造工程，三年销售 4 亿元，实现了国内钢铁行业该领域首台套的突破。为客户年减排颗粒物约 49t、年减少二氧化硫排放约 223t、减少 NO_x 排放约 815t、减少 CO 排放约 7055 万 m³、减少二氧化碳排放约 13.8 万 t。在满足环保超低排放要求的同时该项目产生大量余热，有效回收利用发电，为客户每年节省电费 2.5 亿元，经济效益显著。

该技术在化工行业已成功应用于 186 套设备，市场占有率 95%以上，有效处理化工厂产生的固废、气废、水废，在达到环保目的的同时，每年为全国化工行业客户创造 70 多亿元经济效益。

该技术在市政污泥处理行业已成功应用于**广东省东莞市市区污水处理厂污泥深度处理服务项目**，每年处理市政污泥 7.2 万 t，每年为客户创造经济效益 1452 万元。

技术 37 生物法治理工业源 VOCs 技术集成

37.1 技术提供方

中国科学院天津工业生物技术研究所是由中国科学院和天津市人民政府共建的科研机构，主要从事工业生物技术类的科研研发与应用转化工作，包括以可再生碳资源替代化石资源、以清洁生物加工方式替代传统化学加工方式、以现代生物技术提升工业产业水平等业务。以天津市科技重大专项与工程为支持，由研究所黄志勇研究员组织研发的生物法治理 VOCs 技术不仅在 2019 年被列入天津市大气环境治理技术推荐目录，在 2020 年获得了天津市环境科学学会颁发的“天津市环境保护科技技术三等奖”。

水云天(天津)生物科技发展有限公司是一家以生物法为核心的生物科技公司，由海归留学高科技人才创立于 2014 年，于 2019 年认定为天津市“雏鹰”企业。自 2018 年起确立了公司的主营业务方向，包括：水气一体化解决方案、工业有机废气（VOCs）生物治理、工业污水创新治理技术、生态环境修复；同时合作开发了微生物生态免冲洗厕所、农业微生物菌肥等家居环保产品。

37.2 技术简介

技术领域为大气污染治理领域。技术成果所属具体项目是天津市科技重大专项与工程计划的生态环境治理科技示范工程项目。

37.2.1 技术原理及工艺流程

生物法治理工业源 VOCs 技术集成的核心是微生物对 VOCs 分子的代谢过程，通过控制适宜的环境条件，培养并驯化出特定的微生物，其利用废气中的污染物作为碳源和能源维持其生命活动，同时将污染物转化为 CO_2 、 H_2O 等无机物从而达到净化的目的，具有处理效率高、投资运行费用低、节能环保的优势。

负载有填料的生物箱是生物法治理 VOCs 技术的核心工艺环节，将微生物细胞附着在多孔填料表面并形成生物被膜，气态污染物与液态微生物营养液在填料表面逆向交互，污染物分子从气相扩散到液相并进一步被微生物细胞捕捉作为营养，通过生物的同化与异化作用，转化为微生物细胞、生物大分子、 CO_2 和水，实现污染物的净化目的。

在实际应用中，工况中有废气带有粉尘颗粒，无机酸、碱等无法进行生物降解的物质进行去除，在温度、污染物浓度和废气温度方面也各有特点。常规情况下预处理装置为清水塔，主要起到去除粉尘、平稳浓度和温度的作用，为微生物正常发挥功能创造条件（图 2-37-1）。

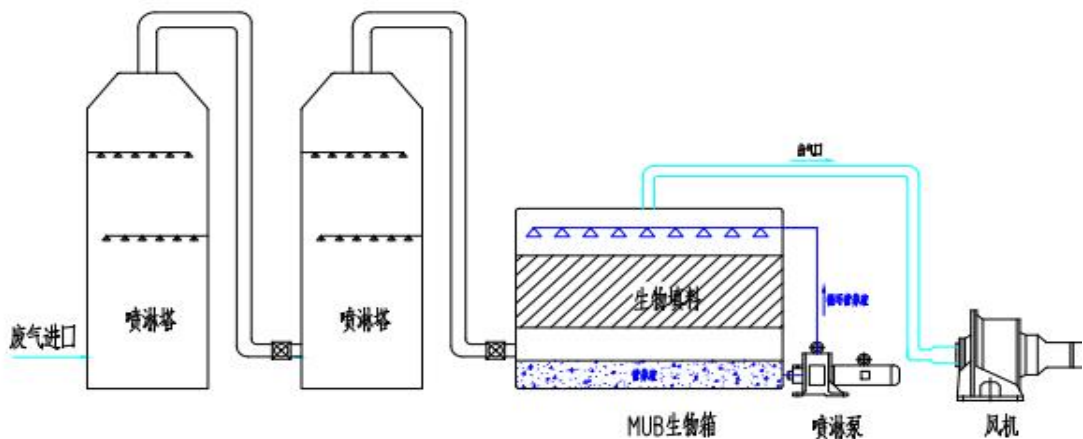


图 2-37-1 生物法治理 VOCs 技术工艺流程图

37.2.2 技术成果适用性

该技术主要针对于工业源 VOCs 的治理，包括但不限于工业企业在生产、贮藏和污水处理系统环节中产生的 VOCs 类物质。目前已经通过中试与工程验证的化工行业包括有机硅树脂、环氧树脂、酚醛树脂、喷涂涂装、原料药生产行业以及污水处理厂等。

技术使用中的特定条件限制：（1）污染物浓度：过高的污染物浓度会导致生物处理装置的体积过大，从而在一些空间和环境受限的场所无法实施。同时较高的污染物浓度也会使附着的微生物过量导致填料层发生堵塞，从而造成处理失效；（2）卤代物：卤素基团与有机物结合的键能很强，微生物对其降解速率较低，在气体处理中无法实现高效的降解。同时还会由于微生物的钝化作用转化为无法被微生物利用的化学形式，导致二次污染的产生。即使在处理含氯有机物这类较易处理的污染物时，也会因微生物的脱卤作用而形成含盐水体，需要进行外排以削减盐度对微生物活性的影响，这种情况也增加了生物系统的处理成本，从而导致技术的经济性下降。

37.2.3 技术创新性及先进性

通过本项目的研发，建立了新型的“吸收-吸附-生物膜”，更加符合实际运行时，生物滴滤系统的复杂性。而针对不同填料层高度微生物群落结构和代谢特征的解析，则为微生物功能菌剂的研制提供了重要的指导。

项目的成功实施，实现了生物治理技术在化工 VOCs 治理方面的工程应用。使得这项低能耗、低污染和安全系数高的治理技术可以在更多的领域进行应用。

生物技术的核心是功能微生物菌种/菌群。项目研发过程中形成的 VOCs 降解功能菌种库，是对现有生物技术的有力补充。拥有具有自主知识产权的菌种/菌群，对废气组分实现具有针对性的模块化组合与治理。

生物治理 VOCs 的过程是以微生物细胞为工厂，以微生物群落构建完整的产品生态产业链，实现对有机污染物（原材料）的无害化处理（产品与市场）。微生物通过自身复杂的微观代谢机制和群落调控机制实现了对有机污染物物质形态的转变，而宏观上只需控制好常规的生长环境参数即可。相比大多数其他技术，具有建设和运维成本低廉的优势。

37.2.4 节能减碳或污染防治效果

生物法治理工业源 VOCs 技术在节能减排和大气污染防治方面均有较为明显的效果。

技术研发过程的效果: 在技术研发过程中, 不仅建立了生物法治理工业源 VOCs 的工艺技术体系, 在实验室进行了小试试验验证, 还分别在山东滨化集团水处理运营中心和天津市津津药业有限公司原料药车间进行了现场的中试运行, 并获得了用户的认可。总体运行效果如下: (1) 建立生物强化法治理 VOCs 工程运行, 处理后的废气气体优于天津市《工业企业挥发性有机物排放控制标准》(DB12/524-2014) 中的相关标准, 其中苯的浓度不超过 $1\text{mg}/\text{m}^3$, 甲苯和二甲苯合计不超过 $20\text{mg}/\text{m}^3$, VOCs 浓度不超过 $50\text{mg}/\text{m}^3$; (2) 排放速率按照 15 米烟囱标准执行, 低于 $6\text{kg}/\text{h}$, 项目完成时的经济效益主要体现在节约运行企业的成本, 相比采用催化燃烧工艺, 生物法可以节约投资成本约 $1/3$, 运行成本约 3~20 万元/万立方气体; (3) 相比燃烧法, 具有更低的碳排放效果。在生物处理过程中, 对进出气 CO_2 的排放增量进行了连续检测, 结果表明, 有 43.06% 的碳为微生物所同化利用, 56.21% 的碳量以气相形式随出口气体排出, 仅有 0.73% 的碳以有机碳的形式溶于营养液中。相比燃烧法 90% 以上的 CO_2 转化, 降低了 37.54%。

工程实施效果: 在后续的工程实施中, 生物法治理工业源 VOCs 技术也体现了低廉的运行费用、有效的治理效果, 保证企业排放达标的同时, 进一步削减了碳排放和污染物排放量。特别是在运行费用方面, 仅仅是风机、水泵的电费支出, 使得应用企业不仅可以承受在生产过程中保持设备的运行, 在停工检修和法定节假日期间也能承受设备连续运行的费用, 不仅避免了采用其他处理工艺出现的偷停, 不开的问题, 这种连续的排风处理也极大地改善了车间的空气质量环境, 受到了一线工人的好评。

37.3 技术示范情况

案例一: 旭有机材树脂(南通)有限公司树脂生产车间和污水站废气治理工程

2018 年 11 月开始实施旭有机材树脂(南通)有限公司树脂生产车间和污水站的废气处理工程, 采用一级水洗喷淋塔+二级生物法废气处理装置进行, 工程于 2019 年 5 月正式验收。在正常生产工况下经处理的出气达标, 解决了废气环保问题, 确保了生产的稳定运行。

案例二: 常熟东南塑料有限公司 VOCs 废气治理工程

2019 年 9 月开始实施常熟东南塑料有限公司树脂生产车间、储罐区和污水站的废气处理工程, 采用一级水洗喷淋塔+二级生物法废气处理装置进行, 工程于 2019 年 12 月正式验收。在正常生产工况下经处理的出气达标, 解决了废气环保问题, 确保了生产的稳定运行。

技术 38 恶臭污染智能监管与预警溯源技术

38.1 技术提供方

天津市生态环境科学研究院是天津市唯一市属综合性生态环境科研与服务机构。现已发展成为涵盖大气、水、土壤、固废、生态、规划、低碳、应急等生态环境保护全领域，集科学研究、管理支撑、技术开发、技术服务、技术咨询、技术评估、污染损害鉴定、成果转化推广于一体的综合性生态环境科研机构。现有国家环境保护恶臭污染控制重点实验室、国家环境保护危险废物处置工程技术（天津）中心等 8 个省部级科技创新平台。“十三五”以来，承担了国家科技重大专项、国家重点研发计划项目等国家及省部级科研项目 50 余项。完成《天津市碳达峰碳中和促进条例》等重大技术支撑项目约 100 项。

38.2 技术简介

技术领域为大气污染治理领域。技术成果来源为国家重大科学仪器设备开发专项、环境保护部公益性行业科学专项、天津市科技计划重点项目以及天津市自然科学基金青年项目，已取得 4 项发明专利。

38.2.1 技术原理及工艺流程

本研究以解决恶臭污染监测难、采样难、溯源难的问题，提升恶臭监管能力为目标，通过电子鼻、远程留样器和全地形采样机器人等设备以及嗅阈值、指纹图谱、数值模拟等研究，研发恶臭电子鼻智能监测集成系统，结合大数据、物联网、云平台技术构建恶臭污染监管一体化系统，为恶臭污染的监测和管理提供一整套解决方案和技术。关键技术包括 4 个方面：电子鼻智能监测集成系统研发、恶臭指纹图谱溯源技术研究、恶臭数值模拟技术研究、恶臭电子鼻监测预警溯源体系及平台建立。技术路线如图 2-38-1 所示。

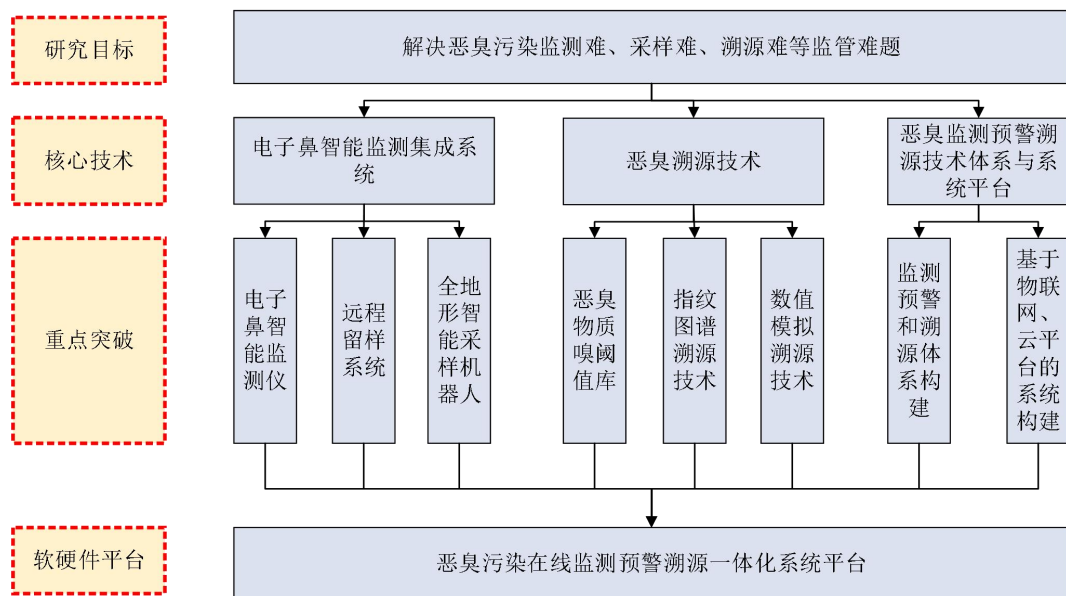


图 2-38-1 技术路线图



图 2-38-2 自主研发的恶臭电子鼻监测仪（左图）和留样器（右图）

38.2.2 技术成果适用性

该技术成果适用于含涉恶臭行业的企业、工业园区和产业集群，应用范围广泛，产品对使用环境要求低。

38.2.3 技术创新性及先进性

首次构建恶臭监测智能集成系统，解决了远程留样控制、复杂地形采样等技术难题，恶臭异味实时监测灵敏度达到 10ppb 级、精密度小于 5%、示值误差小 5%，打破国外的恶臭监管设备垄断和技术壁垒，为环境管理与执法提供了有效支撑。

建立首个符合我国人群特征的恶臭物质嗅阈值库，并首次利用气味活度值构建了表征污染源恶臭排放特征的指纹图谱，开发了图谱识别技术和溯源模型，实现了恶臭污染来源的快速、精准识别，解决了环境管理恶臭溯源的难题。

首创了我国基于峰均值因子的恶臭数值模拟技术，开发了不同垂直高度下恶臭发生频率模拟方法，有效地解决了传统大气扩散模型仅模拟均时大气污染影响的问题，可以有效的预测评估瞬时、阵发恶臭污染。

构建了恶臭污染在线监测、预警、溯源体系，基于物联网技术、大数据技术和云计算平台，建立具有恶臭污染的在线监测、预警和溯源等功能的一体化系统平台，实现恶臭污染“实时监测、及时预警、科学溯源”，有效地提升了恶臭污染防治监管能力。

38.2.4 节能减碳或污染防治效果

该技术成果着力解决恶臭污染“监测难、采样难、溯源难”的问题，建立了恶臭污染智能监管与预警溯源技术，实现了恶臭污染的“实时监测、及时预警、精准溯源”，通过信息化、智能化的技术手段，有效提升了管理部门对恶臭污染的环境监管能力，降低了恶臭污染事件的发生，大幅度减少了恶臭投诉。

项目成果对完善我国恶臭污染防治技术体系有重要意义，为恶臭污染监测、溯源、评估及管理提供了先进的技术方法，有助于实现新形势下恶臭污染的有效防治，促进区域环境空

气质量的综合改善。

38.3 技术示范情况

案例：天津市典型工业园区恶臭在线监控预警构建与示范

项目位于天津经济技术开发区。项目根据工业区地理位置和污染源空间分布特征，结合区域常年主导风向、信访投诉分布和大气污染传输规律，从源（园区）、厂界和敏感点 3 个层面进行监测设备布点，建立了信息化恶臭污染监管系统。同时，厂界恶臭污染监测设备超标报警后，设备启动自动留样器，自动采集污染样品并进行分析。管理部门根据信访情况、恶臭排放规律和溯源结果，有针对性地开展现场检查，发现问题及时整改。通过数据分析恶臭排放规律，明确产臭点位和薄弱环节，整治后环境改善显著，恶臭污染投诉信访事件大幅度降低。

D、固体废物处理处置及资源化

技术 39 垃圾智能分类系统平台关键技术

39.1 技术提供方

天津同创云科技股份有限公司注册在天津市滨海新区高新技术产业园区,为股份制民营企业以及国家高新技术企业。公司主营业务主要包括垃圾分类智能终端设备的研发、生产,智慧垃圾分类平台相关技术和环保领域产业化研究,在天津市、济南市、青岛市、武汉市等多个大中城市运营实施了十多项垃圾分类环保项目。

39.2 技术简介

技术领域为生活垃圾固体废物处理处置及资源化。技术成果来源于 2017 年天津市科技重大专项与工程,已取得 9 项实用新型专利,26 项软件著作权。

39.2.1 技术原理及工艺流程

本项目通过互联网云服务技术、RFID 物联网技术、4G/5G 无线通讯技术、神经网络技术,有效地将采集终端设备、网络传输、Socket 数据通讯、互联网存储等软硬件资源进行整合,融合微服务平台应用,架构了一套服务能力强、拓展性强的服务云平台。

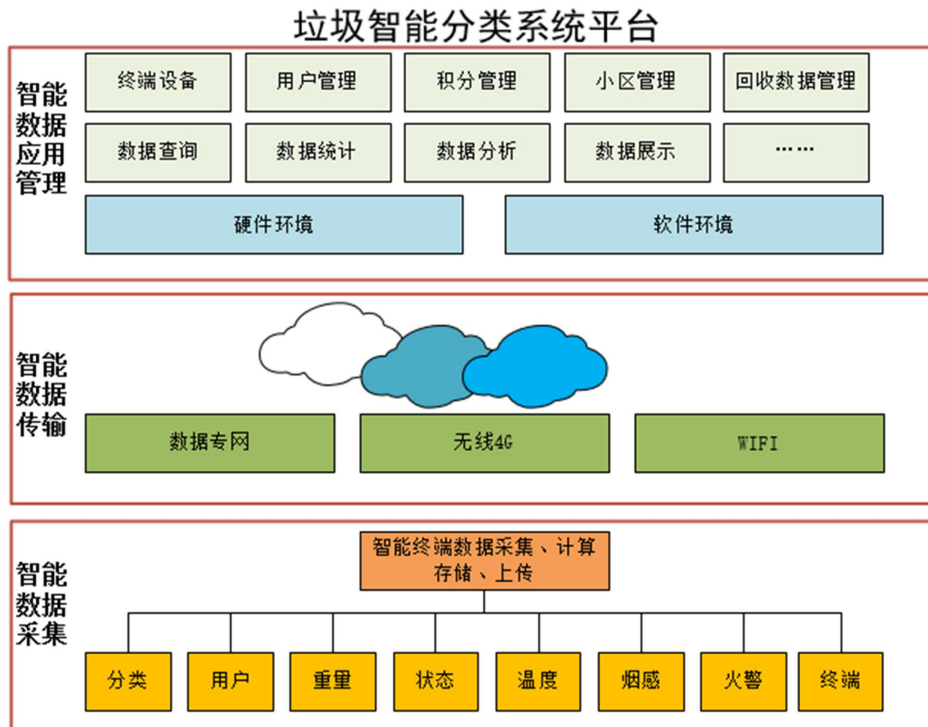


图 2-39-1 垃圾智能分类系统应用方案架构图

考虑到设备使用环境主要在室外,条件较为严苛,以及考虑外型美观、易吸引人的注意力和使用意愿、使用便利度,本技术设计了触屏式人机交互界面型设备。在材料上,外壳主体采用镀锌钢板,喷涂防紫外线涂料,可确保整机使用寿命满足客户要求;电子部件、线缆等,采用工业级产品,可在较为严格的室外环境下确保性能稳定。在结构设计上采用 IP65 级防护等级,利用液体监测模块,确保各电子部件的工作稳定可靠。底部结构增加了防水和

防潮设计，减少对关键部件的运行影响。温度调节方面，设备内部集成了温度传感器、加热装置、降温装置，能检测根据环境因素导致的设备内部过高或过低的温度，利用气体监测模块监测火情或温度异常情况，并根据预定的调温策略，启动加热或降温装置，使设备内部电子部件的工作环境温度维持在一定的范围之内。

39.2.2 技术成果适用性

本项目适用于环保领域，尤其是智慧垃圾分类行业应用。主要供居民、回收企业、处理企业、环保部门共同使用，形成一个大型物资和数据集散中心。该平台应用门槛低，现场设备易于部署投放，平台采用云服务方式提供产品化服务。

39.2.3 技术创新性及先进性

该项目在国内外垃圾分类领域属于技术领先水平。本项目的主要技术特征：（1）智能回收应用利用嵌入式开发技术，将计算积分算法集成到存储芯片中，设备离线在线状态下都能即时显示积分值。通过 4G 网络，利用串口数据传输重复发送和验证清除机制保证数据有效到达，降低数据缺失概率；同时平台通过终端编号+用户 ID+时间戳实现数据的去冗余机制，保证数据唯一性；（2）垃圾智能回收设备安装了视频监控，能根据视频+投放分类+投放时间，快速定位投放垃圾的人员身份，实现对每笔投递行为的全程溯源功能；（3）平台设置了对数据的自动校验机制，通过设置的异常规则，对异常投放数据产生的积分进行标识，正常投放数据进行自动积分确认。

39.2.4 节能减碳或污染防治效果

（1）减少垃圾总量，降低垃圾处理碳排放。通过垃圾分类，将可回收的垃圾分门别类交给相关企业、单位去处理，将会有效减少真正垃圾的数量。（2）节省社会自然环境资源。把使用过的商品回收分解加工变成原料，就可以使之循环使用，有效的减少对树木、石油、矿产等资源的依赖。（3）避免社区生活环境污染。垃圾不仅有碍观瞻、影响城市形象，有些垃圾还具有有毒有害性，通过垃圾分类，这些物质可以集中到专业机构进行无害化处理，有些有毒有害垃圾经过处理后还可以变废为宝。

39.3 技术示范情况

垃圾智能分类系统平台自 2017 年 3 月至 2019 年 12 月间在天津市滨海新区，济南市历下区、历城区、平阴县等区县，青岛市即墨区，石家庄井陉矿区，北京市房山区，武汉市经开区等地的多个小区落地实施，进行现场运营使用。

案例一：天津市西青区赤龙南街垃圾分类运营服务管理

项目位于天津市西青区赤龙南街，在辖区内 19 个小区，建设 153 个投放点，投放 42 套智能回收设备及厢房，121 套垃圾分类亭，部署智慧垃圾分类云平台，开展垃圾分类运营服务。

案例二：天津滨海高新区垃圾分类运营服务管理

项目位于天津滨海高新区高新区，在辖区内 18 个小区，建设 89 个投放点，投放近 100 套智能回收设备及厢房，近 200 家企业开展垃圾分类运营服务，部署智慧垃圾分类云平台。

案例三：中新天津生态城垃圾分类运营服务管理

项目位于中新天津生态城，在辖区内 60 个小区，建设 172 个投放点，投放 238 台套智能回收设备及厢房，部署智慧垃圾分类云平台，开展垃圾分类运营服务。



图 2-39-2 垃圾分类大数据展示

技术 40 新能源汽车动力电池单体自动化拆解及正负材料修复技术

40.1 技术提供方

天津赛德美新能源科技有限公司,是一家专注于新能源汽车动力电池梯级利用和再生利用的科技创新型企业。公司于 2017 年 4 月在天津滨海高新区成立,是国家级高新技术企业、雏鹰企业;被工信部评定为“京津冀地区新能源汽车动力蓄电池回收利用试点示范单位”,进入《新能源汽车废旧动力蓄电池综合利用行业规范条件》第二批企业名单。

40.2 技术简介

技术领域为固体废物处理处置及资源化,技术成果来源为自主开发,已获得发明专利 5 项,实用新型专利 30 项。

40.2.1 技术原理及工艺流程

赛德美自主开发了我国首条废旧动力电池自动化拆解、精确分离、全组份回收生产线。该工艺是将电池单体中各组份精准分选分离、洁净分类、全部回收。过程中无高温和化学处理,无固废产生,分选出的正极材料和负极材料进入物理法修复工序。物理法修复是根据正、负极材料各自的合成工艺及独特的使用环境,采用成分调整、高温焙烧、粒度控制技术对其进行直接修复,修复的材料可直接用于电池生产制造。工艺流程如图 2-40-1 所示。

40.2.2 技术成果适用性

现有技术未能实现退役磷酸铁锂电池精细分选与正极材料高值化利用。赛德美研发建立退役磷酸铁锂动力电池免放电安全破碎与精细分选系统、磷酸铁锂正极材料精准修复再生技术,并将废磷酸铁锂正极粉制备成电池级碳酸锂和电池用磷酸铁产品,进一步提高有价值组分回收率和产品价值,是提高退役磷酸铁锂电池回收利用经济性的必然趋势。

40.2.3 技术创新性及先进性

该技术是将电池单体中各组份精准分选分离、洁净分类、全部回收。过程中无高温和化学处理,无固废产生,分选出的正极材料和负极材料进入物理法修复工序。与湿法冶金相比,该技术无需对废旧电极材料进行酸或碱溶解、沉淀、分离、萃取等复杂的工艺步骤,工艺简单、成本低廉、环保效果显著,具有明显的经济效益和社会效益。

40.2.4 节能减碳或污染防治效果

该技术实现单位产品能耗 640kgce/t,与传统湿法冶金相比,降低 1340 kgce/t。

40.3 技术示范情况

目前赛德美已建成 3 条废旧锂电池回收生产线,包括 1 条电池包拆解生产线、1 条电池单体拆解回收生产线、1 条电极材料修复生产线;具备拆解 1.08 万吨动力锂电池包的能力,并延伸拆解磷酸铁锂电池单体 2500 吨/年,拆解三元材料电池单体 1400 吨/年、修复磷酸铁锂材料 450 吨/年、修复负极材料 450 吨/年。

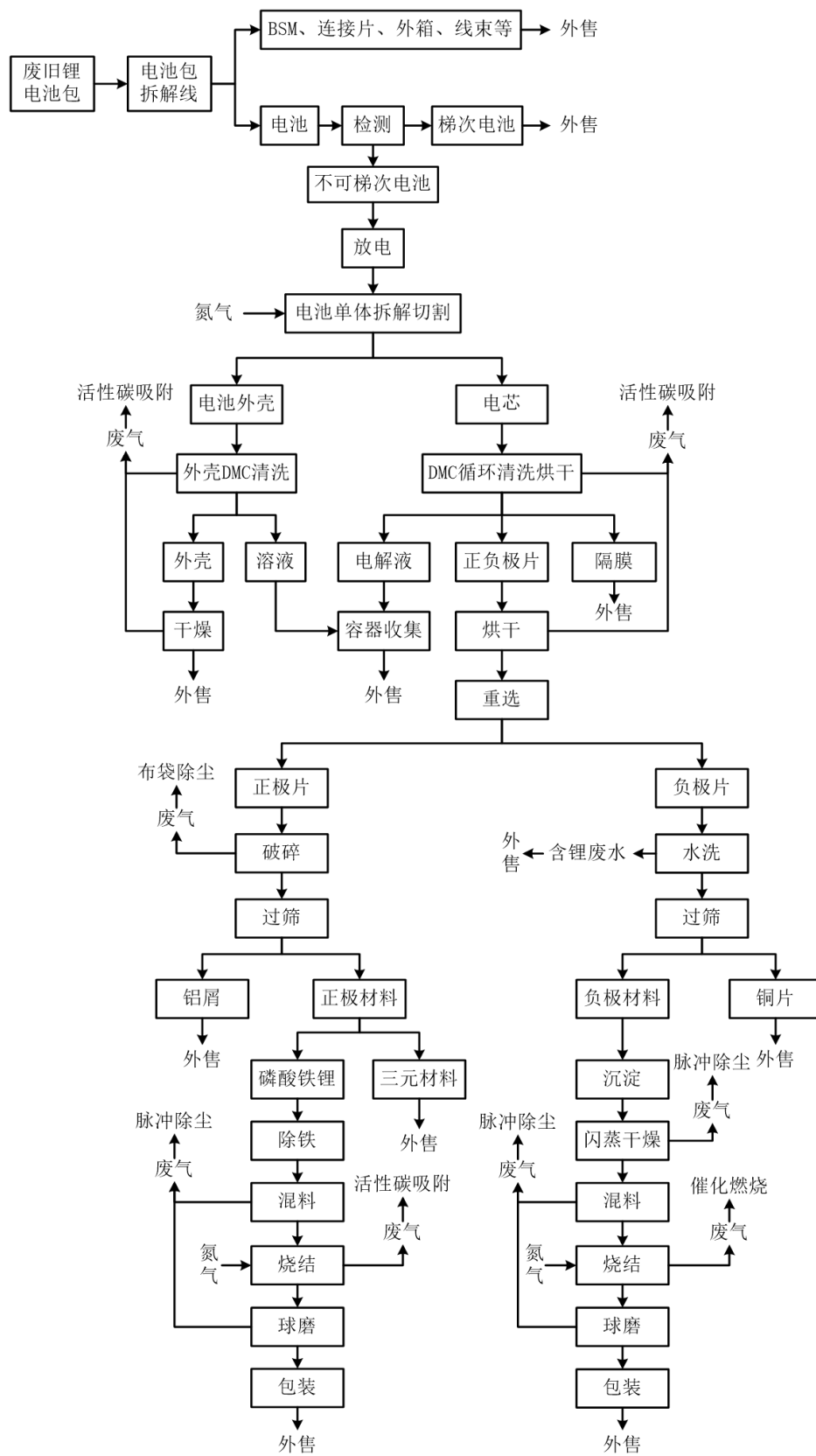


图 2-40-1 工艺流程图

技术 41 蚯蚓处理农村有机废弃物及市政污泥资源化利用技术

41.1 技术提供方

天津市百鸣科技发展有限公司位于天津滨海高新区华苑产业园区,是一家集研发、生产、销售、技术咨询服务于一体的科技公司。公司致力于运用生物工程形式处理一般废弃物的技术研发及产业化应用,在新型环保领域着力解决农业废弃物、生活垃圾、餐厨垃圾、污水厂食品厂污泥的无害化处理和循环化利用的难题。同时公司综合利用林木种植与蚯蚓养殖,大力发展林下经济,取得了显著的成绩,经济效益和社会效益的双丰收。

41.2 技术简介

技术领域为固体废物处理处置及资源化领域。技术成果来源于企业自主研发,已取得 13 项实用新型专利。

41.2.1 技术原理及工艺流程

本技术针对我市厕所粪污、秸秆、尾菜、畜禽粪污等有机废弃物以及农村生活有机垃圾,以一种全新的处理方式,利用成熟的发酵设备对市政污泥进行发酵,投入含水量为 80%~90% 的市政污泥,再投入含水量为 10%左右的有机物,后加入混合菌剂进行混合发酵 3 小时,然后在防渗层设施上进行堆肥处理,发酵后的市政污泥无刺激性臭味,有机物含量高。通过把发酵后的市政污泥与秸秆,尾菜,畜禽粪污等材料混合,开展蚯蚓的工厂化立体养殖与林下蚯蚓立体复合种养殖,建立了蚯蚓高效养殖方法。

采用生物工程定向培育技术培育出处理污泥专用蚯蚓品种。蚯蚓通过采食以发酵后市政污泥为主要成分的饲料,将有机物转化为无机物,产生适合植物生长的肥料,同时蚯蚓把市政污泥中的重金属进行富集。蚯蚓富集的重金属通过超临界二氧化碳萃取技术进行分离,同时建立蚯蚓活性地龙蛋白提取的技术流程和方法,提高蚯蚓的附加值。

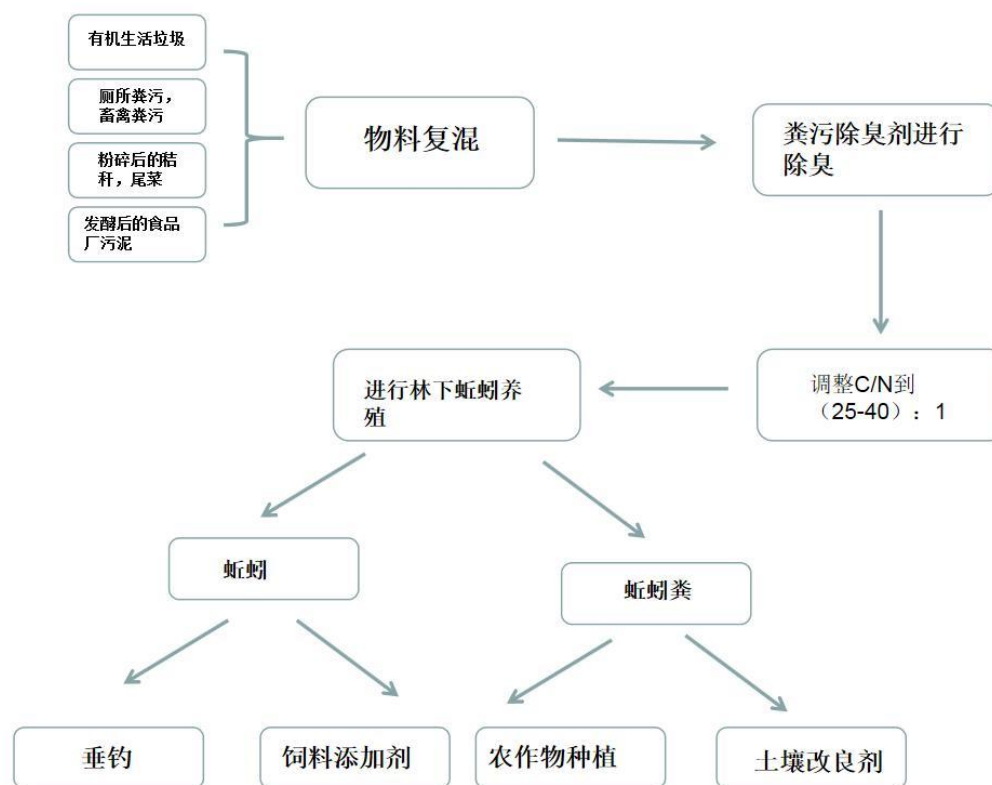


图 2-41-1 工艺流程图

41.2.2 技术成果适用性

本项技术适用于市政污泥处理，畜禽粪污处理，农业固废（秸秆秧蔓等）处理，食品厂污泥处理。

技术应用条件：具备养殖区土地或林地，气候条件为最低气温在零下 20℃，最高温度为 40℃。因蚯蚓喜潮湿阴暗的环境，该技术实施应具备水源。若气温低于零下 20℃的区域，可采用大棚方式进行有机生活垃圾、厕所粪污、秸秆、尾菜、畜禽粪污等有机废弃物的处理；物料性质必须为一般固废，市政污泥及食品厂污泥符合 GB/T24600-2009《城镇污水处理厂污泥处置土地改良用泥质》及 GB/T23486-2009《城镇污水处理厂污泥处置园林绿化用泥质》标准。原料来源仅限于生活污水处理厂的污泥。

41.2.3 技术创新性及先进性

该技术充分利用林下的土地，促进林下经济发展，整个处理过程实现废水、废气等的零排放，避免二次污染。能实现节能降耗，蚯蚓养殖过程中喷洒的水，可同时提供给林木，实现一水两用，节约水能源的损耗。

蚯蚓处理有机废弃物的过程中，可对林下的土壤进行疏松改良，蚯蚓粪可促进林木的生长，降低林木的养护费用。并且蚯蚓可以处理林木产生的枯枝落叶，防止森林火灾的发生，蚯蚓和蚯蚓粪绿化营养土可实现良好的经济效益。

农作物的秸秆及林木的枯枝落叶可实现绿色循环经济，同时提升农村的人居环境，蚯蚓粪绿化营养土用于农业种植，提高了农产品的产量和品质。蚯蚓生态转化农业有机废弃物的

处理方式改变了以往传统处理方式（如堆肥法）容易造成二次污染、占地面积大、发酵不完全的弊端，能够将有机物完全分解，几乎无残留。

蚯蚓能破碎、分解和混合有机质。加快地表物的周转，降低地表物厚度和 0 层土壤中碳含量。蚯蚓的取食活动加强了植物残体分解中的生物过程，富含易水解氮的蚓粪又加快了周围凋落物的矿化过程。同时项目组创新实行林下——蚯蚓立体复合种养模式，做到了不与农业争地。

41.2.4 节能减碳或污染防治效果

本项目将园林园艺用地和蚯蚓养殖充分结合，利用树木果树产生的树荫遮阴蚯蚓养殖区，蚯蚓蠕动可以改善土壤的物理、化学性状，提高土壤孔隙度、降低土壤 pH 值和盐碱度、增加土壤微生物的含量及活性，同时蚯蚓粪养分被树木果树吸收利用，促进林木果树的生长剂有机水果的生产。通过示范林下（柳树、葡萄）蚯蚓立体种养技术，在破解蚯蚓养殖占有农田难题的同时，创新林下符合生态种养模式，促进有机农业的发展，并为我市盐碱地土壤改良提供良好的模式参考。蚯蚓处理市政污泥可以有效降低土壤中的重金属含量。

41.3 技术示范情况

案例：蚯蚓处理中街冰点食品厂污泥项目

项目位于天津市静海区大丰堆镇齐家庄村口，具有蚯蚓养殖面积 10 亩，具有物料预处理防渗设施 1 处，年处理污泥 1000 余吨。该技术应用后，生活污水完全转化为蚯蚓粪有机营养土，资源转化后的各项参数符合 GB/T24600-2009《城镇污水处理厂污泥处置土地改良用泥质》及 GB/T23486-2009《城镇污水处理厂污泥处置园林绿化用泥质》标准。蚯蚓粪有机营养土符合《NY525-2021》标准。

技术 42 生活垃圾生物节能减排处理及资源化利用技术

42.1 技术提供方

中国科学院天津工业生物技术研究所是由中国科学院和天津市人民政府共建的科研机构。天津工业生物所以天津市及我国社会经济发展的重大需求为目标，重点开展“工业蛋白质科学与生物催化工程、合成生物学与微生物制造工程、生物系统与生物工艺工程”三个领域方向的基础研究和应用基础研究。现已建有中国科学院系统微生物工程重点实验室、天津市工业生物系统与过程工程重点实验室、天津市生物催化技术工程中心等创新平台，建有高通量筛选平台、系统生物技术平台、发酵过程优化与中试平台等先进的技术装备体系。

42.2 技术简介

技术领域为固体废物处理处置及资源化，已申请 3 项发明专利。

42.2.1 技术原理及工艺流程

针对生活垃圾中的厨余垃圾难处理的瓶颈问题和现状，研发了一套嗜热耐盐耐油抗逆性复合菌群及其在高盐高油厨余垃圾降解中的应用，即一组降解蛋白质、淀粉、脂类和纤维素的抗逆性微生物菌株及其应用，按照特性进行组合配比，使其能够快速分解厨余垃圾并达到除臭功能的菌群，从而弥补现有技术的不足。

根据厨余垃圾有机质含量高和易腐降解的特点，采用微生物处理技术实现厨余垃圾的“四化”处理，投资低，运维简单，安全性高，还推动小型厨余垃圾处理设备，占地面积小。

42.2.2 技术成果适用性

技术成果适用于生活垃圾的处理和资源化利用领域，具体涉及生活垃圾处理过程中的固废、废水、废油和废气的综合治理。在此技术使用过程中，对环境与地理条件、原料来源等特定条件无特殊要求。

42.2.3 技术创新性及先进性

采用此技术，将厨余垃圾废渣 24 小时降解率 85%，可连续运行 6~12 个月，废液可经处理达标排放或回用，废油回收，废气无臭排放。厨余垃圾“水-油-气-固”一体化生物处理技术安全无臭，缩短了降解周期，无二次污染，成本低廉，投资少，实现了其就地资源化、无害化、减量化、低成本化。本课题组采用合成生物学技术，突破厨余垃圾高盐高油的屏障，实现在宽温度、盐度、pH 范围内连续运行，且匹配了厨余垃圾“水-油-气-固”一体化生物处理技术，处理过程中实现了碳减排。

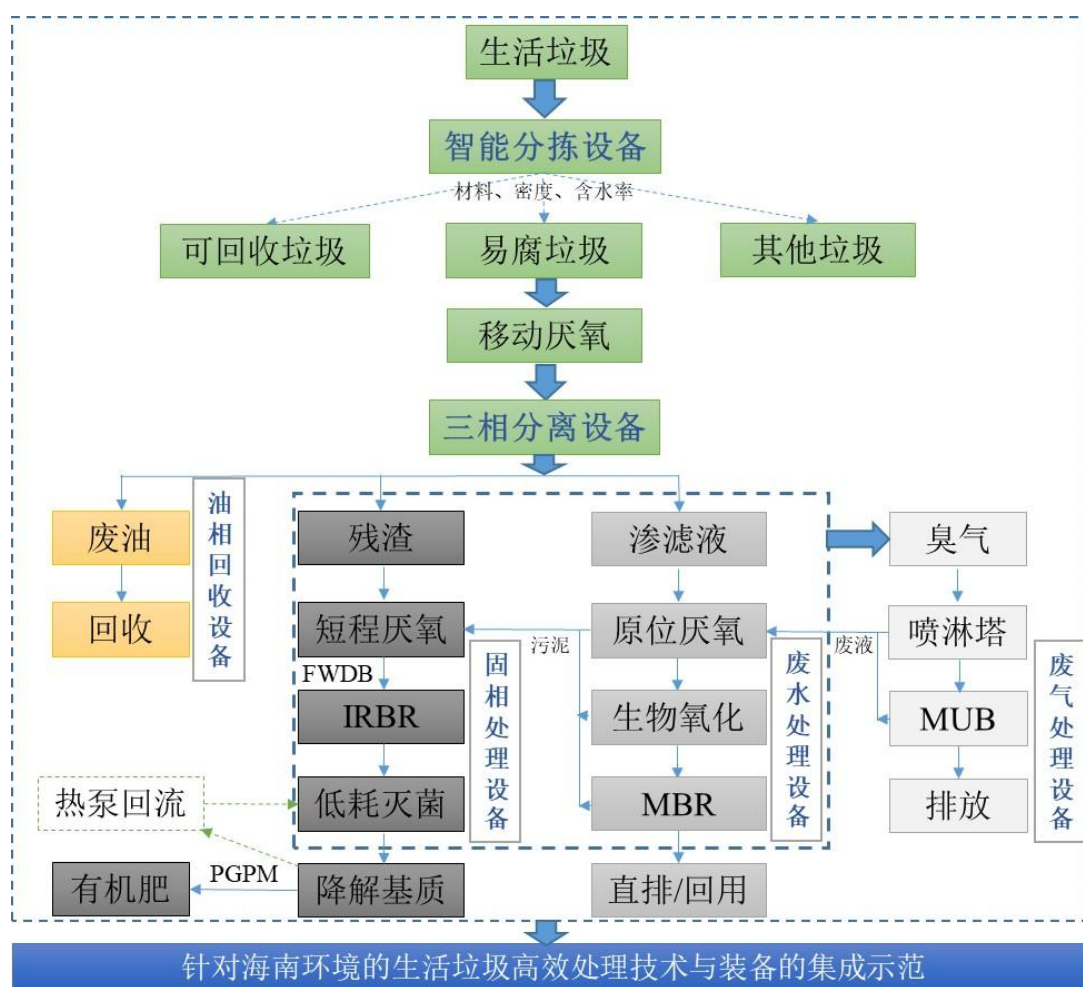


图 2-42-1 项目技术原理流程图

注：PGPM: Plant growth promoting microorganism 植物促生菌;FWDB: Food waste degrading bacteria 厨余垃圾降解菌;IRBR: In-situ rapid biological reduction 原位生物快速降解;MBR: Membrane bioreactor 膜生物反应器;MUB: Membrane ultra bacteria 膜增强生物反应。

42.2.4 节能减碳或污染防治效果

利用质量平衡模型，在核算生活垃圾处理技术碳排放的基础上，通过低碳化程度评价方法，建立了面向不同层次需求的生活垃圾低碳化策略。研究表明，根据目前生活垃圾的处理情况，估算我国每年生活垃圾处理过程将形成甲烷排放超过 600 万吨，总碳排放约 1.5 亿吨，而通过实施低碳化处理策略，总碳排放减少至 1.3 亿吨。以回收利用率、碳排放和全周期费用为衡量指标，结果表明，好氧生物处理生活垃圾可以产生肥料并通过腐殖化固定有机碳，其回收利用率与厌氧消化接近，好氧堆肥在充分供氧的条件下，碳排放由 420kg/t 降低至 10kg/t。

42.3 技术示范情况

案例一：海口龙华区贵族小区厨余垃圾处理项目

本项目位于海口市龙华区滨海贵族小区，关键设备为生物好氧集成处理设备，日处理量可达 2 吨。项目结果显示，相对于集中处理，厨余垃圾的就地处理更能从源头促进垃圾减量，

减少处理成本，避免二次污染。厨余垃圾设备利用全国最先进的微生物降解技术将有机垃圾快速转化为有机肥，提升了垃圾资源化利用。

案例二：海口东风桥厨余垃圾处理项目

该项目位于海口市东风桥，2020年9月投入使用 JYJ-CYSW-2000KG 型号设备，是海口市首个垃圾分类和厨余垃圾处置试点单位，覆盖的范围包括琼苑广场、海润花园及建山里农贸市场，这套设备每天可以就地处理 2 吨的厨余垃圾，每吨可以转化为 150 公斤的有机肥料，最大的特点就是日产日清，24 小时内就可以把厨余垃圾就地处理掉，而且全程无异味。

案例三：保亭县保城镇厨余垃圾处理项目

该项目位于保亭县保城镇黎族苗族自治县环卫站，2021年9月23日，公司自主研发的“金特尔貔貅”系列之 GTC-1500B 型厨余垃圾处理设备顺利通过验收并正式投入使用。

技术 43 秸秆菌丝成型材料的低成本发酵制造

43.1 技术提供方

中国科学院天津工业生物技术研究所是由中国科学院和天津市人民政府共建、从事生物技术创新推动工业领域生态发展的科研机构。生物所围绕“以可再生碳资源替代化石资源、以清洁生物加工方式替代传统化学加工方式、以现代生物技术提升产业水平”的三大战略主题，重点开展“工业蛋白质科学与生物催化工程、合成生物学与微生物制造工程、生物系统与生物工艺工程”三个领域方向的基础研究和应用基础研究。生物所现已建有中国科学院系统微生物工程重点实验室等创新平台，以及发酵过程优化与中试平台等先进技术装备体系。

43.2 技术简介

技术领域为固体废物处理处置及资源化相关技术。技术成果来源于天津市科技支撑计划重点项目，已取得 4 项发明专利。

43.2.1 技术原理及工艺流程

“秸秆菌丝成型材料”是以豆秸、棉秆、麸皮、木屑等可再生的木质纤维素类碎屑为主原料，固态发酵培养大型真菌，在模具中真菌生长的纤维状的菌丝形成立体的网状，将木质纤维素碎屑固定结合成一个整体，干燥定型得到的一种块状的新型生物基复合材料。本成果无需无菌操作，发酵工艺和投资成本低。

该材料安全环保，对人无毒无害，使用和废弃后易处理，可腐烂降解，可焚烧。秸秆成型材料以废弃的秸秆等可再生的生物质资源替代石油等不可再生的化石资源，原料的来源广，不与人畜争粮争地，生产成本低，具有优异的生物降解性、较低的密度、较好的保温性能和吸声性能、适宜的吸湿和放湿性能、较好的吸油性能，可以替代某些领域应用的石油基有机材料。比如：用作包装材料、三维调湿材料、吸油材料、花盆、临时标志、吸声保温板等。技术原理见图 2-43-1。

43.2.2 技术成果适用性

本项技术适用于缓冲包装、保温包装、苗木种植和移栽的容器、三维调湿材料、吸油材料等领域，还能为某些植物提取物工厂、中药厂、特定工业园区的木质纤维素类固体废弃物、某些废菌糠提供一种低成本的绿色利用方式。由于以秸秆（如大豆秸秆、棉秆、木屑等）为主要原料，生产厂宜接近主原料产地。

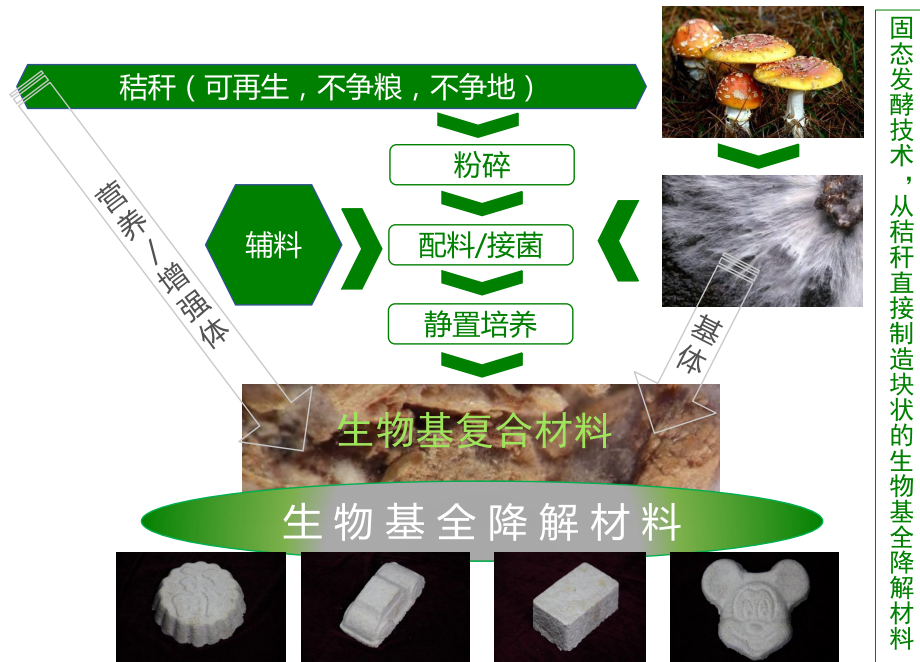


图 2-43-1 技术原理图

43.2.3 技术创新性及先进性

本技术开创了以“无灭菌敞开式深层发酵”制备液体菌种的方式——是一种简单开放的深层液态发酵方式，发酵罐或发酵槽和发酵培养基无需灭菌，不添加抗菌剂或抑菌剂或消毒剂，发酵过程中发酵罐或发酵槽无需密封，甚至可以是敞开的。

首创了材料制造的“开放式生料固态发酵”工艺，该工艺是一种简单开放的固态发酵方式，发酵原料不经灭菌或消毒处理，不经堆肥预处理，不添加抗菌剂或抑菌剂或消毒剂，发酵过程不需要无菌的环境，也不需要无菌操作。

由于不需无菌操作，原料无需高温灭菌，发酵及其相关设备的投资少，操作简单。由于模具无需灭菌，模具材质的选择范围宽，增加了模具材质选择的灵活性，降低模具的成本。

不使用酶制剂糖化，无需单独的糖化工艺；生产工艺、操作、控制和管理较简单，生产设备投资较少，能耗和水耗低，生产成本低。

该材料可染色，可涂层。表观密度 $160\sim 240\text{ kg/m}^3$ ，吸水饱和后，仍然浮于水面。以豆秸为主原料的“豆秸-菌丝复合材料”的最终生物分解率(180 d)为 75%，超过 GB/T 20197-2006《降解塑料的定义、分类、标志和降解性能要求》对混合物的技术要求。

具有较高的压缩强度，材料压缩 50%时，压缩应力一般在 0.45 MPa 以上。依照 GB/T 17657-2013《人造板及饰面人造板理化性能试验方法》测定材料的内结合强度为 0.18~0.22 MPa，握钉力为 45~48 N。

根据 GB/T 10294-2008《绝热材料稳态热阻及有关特性的测定防护热板法》测定，豆秸-菌丝复合材料的导热系数（平均温度 25°C ）为 $0.05\sim 0.07\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ，是较好的保温材料【通常将导热系数小于 $0.25\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 称为保温材料，小于 $0.05\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 的材料称为高效

保温材料】。依据 GB/T 18696.1-2010《声学阻抗管中吸声系数和声阻的测量第 1 部分：驻波比法》测定，该材料的降噪系数 NRC（刚性壁）为 0.35~0.7，根据标准 GB/T 16731《建筑吸声产品的吸声性能分级》判定该材料为较好的吸声材料。

按照 GB 8624-2012《建筑材料及制品燃烧性能等级》的划分是可燃材料。以 GB/T 8627-2007《建筑材料燃烧或分解的烟密度试验方法》测定的烟密度是 51.2，产烟毒性按照 GB/T 20285-2006《材料产烟毒性危险分级》的划分是安全级（AQ2）。

43.2.4 节能减碳或污染防治效果

本材料不使用石油基原料，97%以上的原料是可再生的生物质，是碳中性的，通过替代石油基材料减少碳排放。

本成果以大型真菌的生长来实现块状材料的成型，制备过程中的能耗低；由于不使用热灭菌工艺过程，制造的工艺成本低，投资少；生产过程的碳排放少。

原料安全环保：主原料是秸秆等可再生的木质纤维素类天然产物，不仅无害而且有助于固体废弃物的可持续利用。不添加甲醛、挥发性有机物（VOCs）等有毒有害的化学品。为适应国情，不与其他行业争原料，不使用木屑、棉籽壳、麻类，而是选用废弃的秸秆作为主原料，辅料尽可能使用废弃物、副产物、下脚料。比如，将某些废菌糠的使用量提高到 40% 以上，用废弃硫酸钙代替了商品石膏。

生产安全环保：生产过程以固态发酵为主，生产条件温和，无高温高压，废水、废气以及废渣的产生量少，生产的安全成本和环保成本低。

该材料使用废弃后易处理，可腐烂降解；可焚烧，烟气的安全性好。

E、土壤及地下水修复技术

技术 44 滨海重盐碱地区污染土壤生物-化学原位协同修复

关键技术

44.1 技术提供方

天津泰达绿化科技集团股份有限公司成立于 1987 年，是国有独资企业，隶属于天津泰达投资控股有限公司。泰达绿化科技是集研发、设计、施工、养护为一体的科技型绿化公司，已经形成了以研发、设计、建设和管理为主轴的集团运作架构，具备盐碱地生态绿化技术研究产品开发、景观规划设计、绿化工程建设与管理、生态修复、绿地养护、生态旅游等覆盖全产业链一体化运营的综合业务能力。公司在生态环境领域研究方面处于领先地位，承担并开展了包括国家 863 计划、948 项目等在内的 60 多项国家、省市级科研课题，40 余项成果获得国家和省部级奖项。

44.2 技术简介

技术领域属于土壤和地下水修复。技术成果来源于天津市科技计划项目，已取得 6 项发明专利，2 项实用新型专利。

44.2.1 技术原理及工艺流程

滨海土壤重盐碱治理技术——采用“浅潜水暗管排盐方法”专利技术、土壤水盐运移、地下水动力学、绿化植物生物生态学原理，开展盐碱地绿化暗管排盐、自集水型抗盐碱植被群落构建工程模块技术研究。优化工程改良集成技术关键参数设计，提高改良工程施工和土壤改良效率。采用野外定位观测研究方法对水盐动态进行连续监测。利用多元回归方法分析土壤季节性积盐规律与气候、土壤水分、土壤质地等环境因素之间关系，建立相关数学模型。

污染土壤生物修复技术——（1）植物修复技术。结合生长指标和生理指标探究了植物对不同重金属的响应机制并揭示了其耐受机理；建立植物耐受重金属评价指标体系；筛选适合本地区生长的高富集且耐污染植物种类并探究了其生产、应用模式。培育高抗月季新品种。（2）微生物修复技术。通过研究植物、重金属污染物和微生物群之间的相互关系，筛选出了具有较强降解能力的菌属和适宜共生的植物并开发了微生物固化技术。

土壤修复固化剂技术——采取三元或多元加成与缩聚技术进行定向的分子结构组装；引入醚化体系进一步改善固化剂的土壤污染物质固化性能与环境安全性能；研究水溶性固化剂的固化效果、固化机理以及固化动力学等；以土壤中的微生态变化作为土壤修复评价和调控的指标，表征水溶性固化剂对土壤微生态环境的影响。

生物-化学协同处置技术——季节动态调查植被群落结构、植物多度等群落特征；调查分析土壤重金属及有机污染物变化情况和土壤水分、养分、盐分、结构、微生物等性状，采用综合评价法分析协同治理技术对土壤质量的影响。

污染场地植物废弃物高效利用技术——研发了占地小，可移动，无污染物质释出的纳米膜植物废弃物全自动腐熟系统，辅以特异性高效降解微生物菌株，迅速分解腐熟物中的污染物质，在实现废弃物安全处置的同时，又能实现废弃物的资源化利用。

44.2.2 技术成果适用性

技术适用的行业为建筑行业，具体领域为生态环境建设领域（特定的地理条件：滨海重盐碱地、重金属复合污染场地）。

44.2.3 技术创新性及先进性

首次针对滨海重盐碱地区土壤污染状况，开发超富集耐污染植物种质培育技术，解决本领域目前种质资源相对缺乏问题；首次研发出水溶性土壤污染物固化剂的合成工艺，可实现土壤污染物原位、快速、低成本固定；首次提出梯级污染控制与修复理念，发展生物-化学原位协同处置技术；首次将纳米膜植物废弃物全自动腐熟系统应用于重盐碱地区修复植物的后期处置，在实现植物废弃物安全处置的同时，又能实现植物废弃物的资源化利用。

44.2.4 节能减碳或污染防治效果

（1）通过应用本项目滨海土壤重盐碱治理技术可将治理对象土壤盐分含量降到 0.3%以下，pH 降至 8.5 以下且达到了国家标准《园林绿化工程盐碱地改良技术标准》(CJJ/T-283-2018) 的种植土指标；（2）水溶性土壤污染固定剂可将土壤中的重金属等物质固定 90%以上，满足植物生长的需要；（3）污染土壤生物修复技术中筛选出来的重金属富集植物进行配置，可保证治理区植被覆盖率提高到 90%以上，并可对污染物进行长期有效吸附；（4）通过纳米膜植物废弃物全自动腐熟系统，植物废弃物 80%以上可以实现循环利用。

44.3 技术示范情况

南港工业区污染土壤改良项目。该试验地为永久的公用绿地，土壤为新围海吹填的吹填土。土壤质地粘紧，通气、透水不良，瘠薄，土壤含盐量高，且主要以氯化钠为主，由于地处工业区，重金属含量超标。综合应用化学-生物原位修复技术治理本项目污染场地，使该地块含盐量、pH 等指标达到《绿化种植土壤标准》（CJ/T340-2016）标准，镉、铬、铅等重金属含量达到《土壤环境质量建设用土壤污染微信管控标准》（GB36600-2018）的第二类用地标准。

技术 45 天津市污灌区菜地重金属 Cd 污染原位修复技术

45.1 技术提供方

天津华北地质勘查总院（天津华勘环境治理工程有限公司）为华勘局下属的正处级事业单位，成立于 1995 年，是华勘局整合全局地质、物化探、测量及遥感信息、水工环、环境科学、环境工程等全学科技术人员和专业设备组建的地质勘查及环境调查队伍。单位主营地矿资源勘查、环境地质灾害调查/评价/治理、建设用地调查评估及治理修复、农用地调查及安全利用、环境与生态监测等。

天津大学团队近几年来先后承接了“石化污染场地修复工艺技术及设备研发项目”、“长江流域典型金属矿山酸性土壤及地下水污染修复技术研发项目”、“黄河流域生态保护和高质量发展——聊城市茌平区节水型城市创建及城市精细化管理项目可行性研究项目”等项目。

45.2 技术简介

技术领域为土壤和地下水修复。技术成果来源于 2016 年度天津华北地质勘查局 B 类科研项目和 2019 年天津市农业科技成果转化与推广项目。该技术目前已授权 21 项实用新型专利和 2 项计算机软件著作权。

45.2.1 技术原理及工艺流程

本技术是采用分区、分类、分级治理思路，利用天然岩石矿物、土著微生物研发钝化、阻隔材料与产品及其应用技术为重点，建立了农田重金属原位精准修复技术及设备集成应用模式，形成了针对不同镉污染程度下水稻田、污灌旱地和矿区污染农田的修复技术集成方案。

通过南方和北方典型污染地块的集成示范，构建了钝化阻控与植物阻隔耦合技术、钝化阻隔与植物萃取移除耦合技术、钝化阻控与农艺调控耦合技术和植物萃取+微生物活化与钝化阻隔耦合技术的应用模式。

45.2.2 技术成果适用性

本技术适用于我国重金属污染农田的安全利用，提升了污染农田原位修复技术的产业化应用水平。

45.2.3 技术创新性及先进性

（1）建立了钝化修复功能菌群构建技术。整合多组学挖掘、元件理性设计、模块组装等合成生物学方法，建立了钝化修复功能菌群构建技术，提高了功能菌株的钝化修复效率并降低了构建成本。

（2）建立了农田重金属原位精准修复技术及设备集成应用模式。根据不同镉污染程度下水稻田、旱地和矿区污染农田的修复技术集成方案，构建了针对重污染农田的植物萃取、化学钝化和农艺调控技术集成以及中轻度污染农田的微生物修复、材料修复和农艺调控技术集成应用模式，使农产品镉含量平均降低 25%，经济作物达标率增加到 90%以上。

（3）形成了基于人工智能和云计算的农田土壤重金属污染修复及安全利用综合评估信息平台。基于暴露组学，构建了多维度、全链条的重金属钝化材料及修复技术的适宜性评价技术，以及田间区域尺度的农田土壤重金属污染修复与安全利用效果评估技术。

45.2.4 节能减碳或污染防治效果

本技术重点是改善土壤肥力、降低农作物和蔬菜中重金属含量，确保农产品食品安全达标，增加亩产经济收入。安全利用措施实施以后土壤污染物镉等重金属有效态降低 25%以上，并确保安全利用措施实施以后 2 年内当地主栽农作物小麦、玉米等经济作物能连续达标。

45.3 技术示范情况

本技术已在天津、湖南、湖北、广西、江西、贵州及内蒙古等地区推广，示范面积约 15 万亩，另外已授权的软件已在天津、河北及内蒙等地 40 多家单位推广使用，效果俱佳。

针对巴彥淖尔市乌拉特后旗巴音宝力格镇农田土壤修复示范项目，天津华北地质勘查总院和天津大学主要针对重金属 Cd、Pb 污染耕地采取低积累品种替代种植+钝化修复措施，辅以农艺调控措施，项目修复区土壤中 Pb、Cd 有效态含量显著降低，其中污染土壤 Pb 有效态含量降低率 20%以上，Cd 有效态含量降低率 30%以上，修复效果自检验收中关注污染指标均低于相对应修复目标值，达到预定修复效果。

技术 46 难降解有机污染土壤生物修复技术

46.1 技术提供方

中国科学院天津工业生物技术研究所是由中国科学院和天津市人民政府共建的科研机构，生物所围绕“以可再生碳资源替代化石资源、以清洁生物加工方式替代传统化学加工方式、以现代生物技术提升产业水平”的三大战略主题，重点开展“工业蛋白质科学与生物催化工程、合成生物学与微生物制造工程、生物系统与生物工艺工程”三个领域方向的基础研究和应用基础研究。现已建有中国科学院系统微生物工程重点实验室等创新平台以及高通量筛选平台、系统生物技术平台、发酵过程优化与中试平台等先进的技术装备体系。

46.2 技术简介

技术领域为土壤和地下水修复技术。技术成果来源为国家重点研发计划、天津科技计划项目、天津市院市合作生态环境治理重大专项等，已取得 4 项发明专利。

46.2.1 技术原理及工艺流程

本技术利用驯化、人工合成等生物技术手段对苯并(a)芘降解菌、石油污染降解菌进行筛选与构建，获得了对苯并芘降解效率在 70%左右的菌群两个，多个对苯并芘降解效率在 80%以上的单菌，获得 2 套高效稳定的去除土壤中石油污染（石油烃及氮氮化合物）的多功能微生物修复菌剂，并研制成功了 2 个针对不同程度石油污染的干旱土壤的复合微生物制剂，根据共代谢的原理研发了共代谢底物，并对菌剂对苯并芘污染土壤的修复工艺进行了优化；针对天津地区有机烃类（含苯并芘）污染土壤，建立了相应的生物修复-调控技术及修复工艺，建立了一个体量为 8000 方土壤的苯并芘污染土壤修复示范工程，修复后的苯并芘去除率达到 78.03%，并对其修复效果进行了评价，经修复后的土壤达到了建筑用地的土壤污染风险筛选值，对人体健康的风险可以忽略。此外，结合生物堆肥和淋洗施肥的修复方法，经过工艺改进和技术路线优化，在试验田中取得了较好的修复效果，并建成了超过 4000 平方米的示范试验田，经过物理-生物联合修复，其中的总石油烃含量、盐度都在持续稳定下降，恢复了植物生长的基本条件，作物长势良好。

46.2.2 技术成果适用性

本项目中的多功能微生物菌群的处理工艺和制备技术转化，将有助于石油污染土壤修复的推广和应用。

46.2.3 技术创新性及先进性

本技术所涉及的苯并芘降解菌株在苯并芘浓度为 100mg/L 的无机盐培养基中，对该体系中的苯并芘去除率最高可达 80%，添加适量的共代谢底物，如甲酸钠、乙酸钠、丙酮酸钠、丁二酸钠，可对其降解效率有一定的提高，同时，该菌还可利用多种多环芳烃为唯一碳源生长，具体为：芘、芴、咔唑、荧蒽、蒽、菲、蒾、蔡。相比较已发表的数据而言，在微生物的种类方面具有创新性，同时降解的效率较其他微生物高，具有创新性。

46.2.4 节能减碳或污染防治效果

修复后的苯并芘去除率达到 78.03%，并对其修复效果进行了评价，经修复后的土壤达到了建筑用地的土壤污染风险筛选值，对人体健康的风险可以忽略。

经过物理-生物联合修复，石油污染土壤中的总石油烃含量、盐度都在持续稳定下降，恢复了植物生长的基本条件，作物长势良好。

可修复的苯并芘污染土壤范围为 5~100mg/kg。

46.3 技术示范情况

案例：苯并芘污染土壤修复

项目位于天津市东丽区，工程规模为 8000 立方米苯并芘污染土壤，向土壤中添加的菌剂及物料包括：硫酸铵 2 吨、葡萄糖 5 吨、麦麸粉 5 吨、小麦秸秆粉 10 吨，腐熟菌剂 2 吨，苯并芘降解菌剂 20 吨。按预定试验区划分后分别施用各项原料，并将菌剂混匀后均匀喷洒于土壤表面，然后翻土混匀、补充水分。试验期间每隔 7 天取样检测苯并芘降解情况。

经过约 60 天的降解后，土壤中的苯并芘残余量从初始的 6.1mg/kg 降解到最低值 1.34mg/kg，降解率达到了 78.03%，基本达到了本项目任务合同书中的技术指标。同时，对现场苯并芘污染土壤的修复效果达到了建筑用地的筛选值，风险筛选值即在特定土地利用方式下，土壤中污染物含量等于或低于该值的，对人体健康的风险可以忽略。

技术 47 有机、无机复合污染土壤氧化-淋洗耦合绿色修复技术

47.1 技术提供方

天津生态城环保有限公司为国家级高新技术企业。公司在土壤、地下水污染修复领域有良好的研究和工程实践基础。“复杂化学品污染事故地块应急管控及土壤耦合修复技术集成与应用”等成果获天津市科技进步一等奖（2013 年）和天津市科技进步二等奖（2021 年）各 1 项。获授权发明专利 8 项，实用新型专利 29 项。完成天津港“8·12”火灾爆炸事故场地修复项目（投资 5.25 亿）、中新生态城污水库治理项目（投资 15.6 亿）等多个大型修复项目。

47.2 技术简介

技术领域为土壤和地下水修复领域。技术成果来源于天津市科学技术委员会科技创新体系及平台建设、天津市人民政府批示应急项目、天津市滨海新区人民政府委托项目以及企业自选项目，已取得 1 项发明专利以及 3 项实用新型专利。

47.2.1 技术原理及工艺流程

有机、无机复合污染土壤修复技术体系主要包括两个核心环节，分别为氧化环节、淋洗环节。其具体工艺流程为：有机、无机复合污染土壤，经过前期的破碎筛分，经化学氧化剂氧化，达到一定含水率后进行氧化，氧化一段时间，采取部分样品针对无机物、有机物指标进行检测分析，若有机物超标则进行进一步的氧化；若有机物合格，无机物超标则进入下一步淋洗阶段；若有机物、无机物均检测合格则进入验收阶段。采用淋洗设备针对经氧化后未能达标的污染土壤开展进一步的处理处置，待土壤压滤脱水后取样检测，若检测结果不合格则重新进入淋洗环节进行淋洗，若检测合格，则开展后续验收工作。

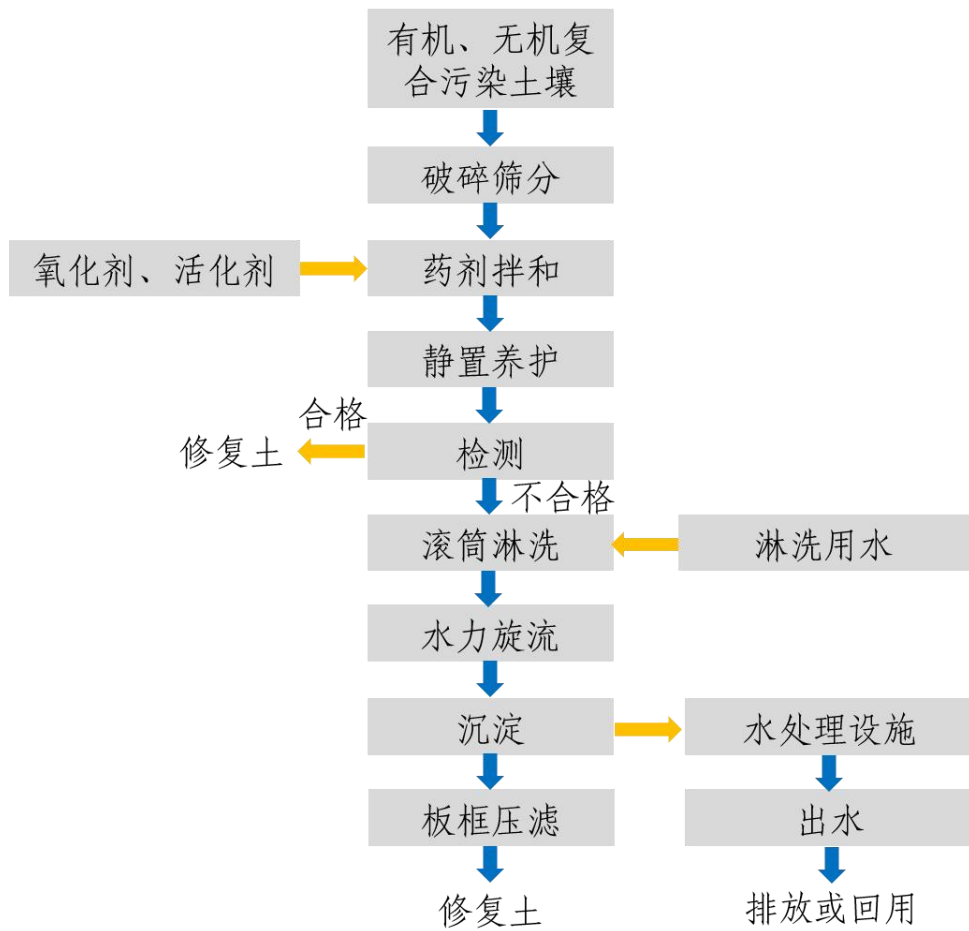


图 2-47-1 工艺流程图



图 2-47-2 淋洗设备图

47.2.2 技术成果适用性

本项技术适用于土壤和地下水修复行业，特别针对有机、无机复合污染土壤的修复。其中，有机污染物包括氯代烃、石油烃、多环芳烃等污染物；无机污染物包括重金属、氧化物、氟化物等污染物。技术应用较为灵活，氧化环节采用专有修复施工机械配合，可满足少量或批量修复；淋洗环节采用专有模块化淋洗设备，各个单元部件均为撬装式设备，可根据工程实际规模进行放大。无运行规模、地理条件的限制。

47.2.3 技术创新性及先进性

国内目前绝大多数有机、无机复合污染土壤修复项目所选择的修复技术都为水泥窑协同处置技术。传统的水泥窑协同处置技术应用过程中存在的问题主要是消耗大量的热能，同时通过燃煤排放大量的温室气体。此外，土壤是不可再生资源，水泥窑协同处置后，土壤被彻底消耗掉。与水泥窑协同处置技术相比，氧化淋洗耦合技术的优势是不依赖热能，能量消耗主要是淋洗过程中使用的设备的电耗。另外，土壤经过氧化淋洗修复后，仍然保持土壤的特性和使用功能，有效的保护了土壤资源。

47.2.4 节能减碳或污染防治效果

与国内有机、无机复合污染土壤修复过程中使用最多的水泥窑协同处置技术相比，节能减碳效果分析如下：水泥窑热解处置污染土能耗为 96kg 煤/吨污染土，1 吨煤相当于 2.7 吨二氧化碳，因此，水泥窑热解处置污染土二氧化碳排放量为 259.2kg/吨污染土；氧化淋洗技术单位污染土壤修复消耗电能为 15kWh，产生 1 度电相当于 1kg 二氧化碳排放量，因此氧化淋洗技术修复污染土二氧化碳排放量为 15kg/吨污染土；减排量为 $(259.2-15)/259.2=94\%$ ；本技术提供的氧化淋洗耦合技术与水泥窑协同处置技术相比，减碳率达 90%以上，具有良好的降碳效果。

47.3 技术示范情况

案例：天津港“8·12”爆炸事故场地废物清理及污染土壤修复项目

该项目位于天津市滨海新区天津港，项目建设 2500m² 钢结构罩棚用于污染土壤的预处理和化学氧化施工，建设 2 万 m² 的污染土壤待检存放区，建设 500 吨/天淋洗设备。本项目完成了 18 万吨氟化物有机复合污染土壤的达标治理。修复后的场地作为一类用地修建海港公园使用。现海港公园已建设完成。

技术 48 养殖源农田重金属污染高效阻控技术

48.1 技术提供方

农业农村部环境保护科研监测所成立于 1979 年，是我国从事农业农村环境保护科学研究和监测的非营利性科研机构，1997 年划归中国农科院。重点围绕农田污染防治、农业环境监测与预警、生态循环农业和乡村生态环境治理四大学科领域的基础性、战略性、关键性、应急性重大科技问题开展研究工作。监测所主持国家重点研发计划项目 7 项，课题 20 余项，获批国家自然科学基金项目、省级重点研发计划项目等省部级项目 30 余项，累积经费 4000 多万元，拥有多个省部级实验室、市级工程中心、国际联合实验室等创新平台。

根据知识产权归属，其他共同研发单位有：农业农村部规划设计研究院、农业农村部农业生态与资源保护总站、西北农林科技大学、山东省农业科学院。

48.2 技术简介

技术领域为土壤及地下水修复。技术成果来源于公益性行业（农业）科研专项、国家重点研发专项课题。

48.2.1 技术原理及工艺流程

通过对集约化养殖重金属污染全链条控制的优先序确立、阻控关键技术和工艺研发、标准规范制定以及示范与推广应用，支撑保障我国养殖业持续健康发展，助推农业绿色发展。

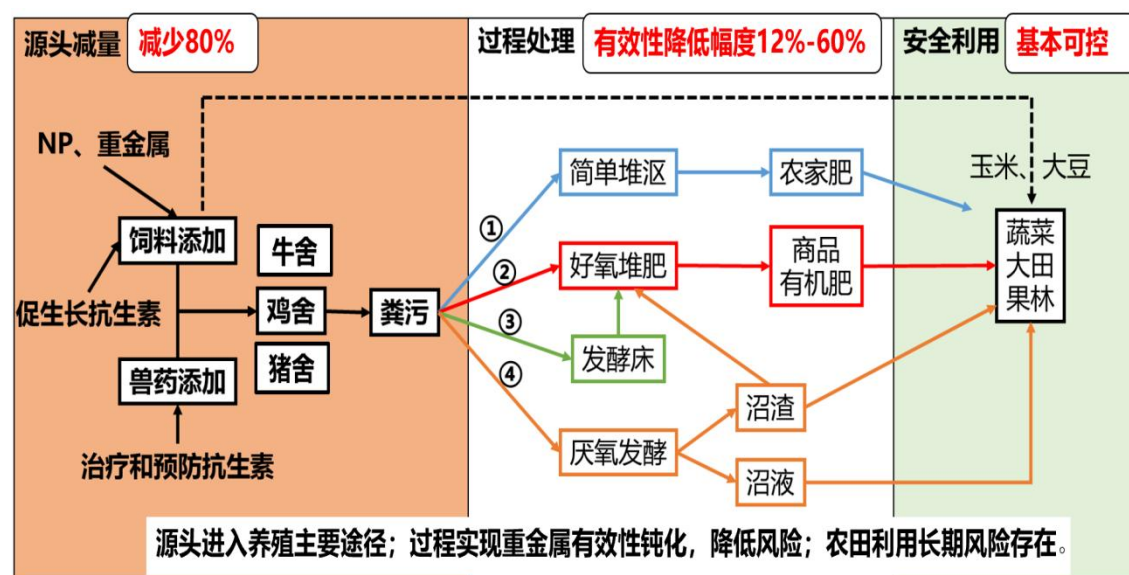


图 2-48-1 养殖源重金属污染控制路径

本技术核心工艺包括：（1）养殖源重金属污染控制的优先序体系构建；（2）有机肥快速腐熟和重金属协同钝化的堆肥发酵工艺及其适用技术参数；（3）鸡粪生物炭功能材料对水—土—有机肥多介质重金属钝化技术；（4）基于重金属环境容量和养分需求的二维畜禽粪便安全还田施用量计算方法。

48.2.2 技术成果适用性

本技术适用于集约化畜禽养殖重金属污染防治，农田土壤污染修复。无限制条件。

48.2.3 技术创新性及先进性

查新报告：2021 年，委托中国农业科学院科技文献信息中心（国家一级科技查新咨询单位）对本项目进行科技查新，查新结论显示，在所查的国内外文献中，除该项目团队外，未见相同技术的他人报道。

科技部认定的第三方机构评价：2021 年 9 月 17 日，天津技术产权交易有限公司组织有关专家对“集约化养殖重金属污染阻控关键技术研究及应用”进行了论证，鉴定委员会一致认为研究成果整体上达到了国际先进水平。

第三方检测报告：委托广电计量检测（湖南）有限公司对本项目北京和山东两个示范点有机肥重金属有效态和总量进行检测结构显示应用示范效果明显，重金属有效性降低了 12%~28%钝化，达到了有机肥无害化目标。

其他评价：提出养殖环节重金属污染特征和通量关系的观点，许多学者给予了大量的引用和充分的肯定，单篇引用 167 次，为区域农田土壤重金属污染风险筛选值的畜禽粪污农田承载力估算、有机肥施用对蔬菜及其土壤环境中重金属含量的影响及健康风险评估等重要参考。

48.2.4 节能减碳或污染防治效果

本技术在天津、山东 30 余家集约化养殖场和有机肥企业推广应用；在天津、北京、湖南 6500 多亩核心农产品产地进行重金属污染阻控技术应用与示范；支撑张家口、廉江、定州、鹤山等地创建全国禽粪污资源化利用试点县。培训技术骨干和种养大户 1000 余人次，经济效益高达 20.6 亿元，获农业农村部高度认可，社会效益和生态环境效益显著。

48.3 技术示范情况

养殖关键环节重金属污染阻控技术应用与示范：本项目在天津、山东等地养殖企业和有机肥生产企业开展大规模应用。通过饲料源头减量化措施，可减少 46% 的重金属进入养殖环节；通过发酵技术和工艺应用，实现重金属 Cu、Zn、Cr、Cd、Pb、As 可交换态钝化率分别高达 69.3%、50.7%、68.7%、46.3%、54.3%和 29.5%，种子发芽抑制率为-3.4%，有机肥达到较高程度的无害化效果，同时有机肥各项指标达到相关标准。

集约化养殖粪污资源化示范县建设：项目研究支撑建设了鹤山市畜禽粪污资源化利用整县推进项目、定州种养生态循环绿色农牧业发展规划以及示范县创建项目、定州市畜禽粪污资源化利用整县推进项目、张家口宣化区畜禽粪污资源化利用试点县项目和廉江市畜禽粪污资源化利用整县推进项目，为该区域种养循环发展和农业绿色发展提供了重要科技支撑。

重金属污染阻控修复技术应用与示范：本项目在天津、湖南开展了大面积农田重金属污染阻控与修复示范与推广，已验证获得新材料、新技术在实际生产的应用效果。

技术 49 基于多源热脱附与靶向化学修复重污染土壤集成技术创新与应用

49.1 技术提供方

天津市生态环境科学研究院始建于 1975 年，分别于 2011 年 4 月和 2013 年 10 月加挂天津市环境规划院和天津市低碳发展研究中心的牌子，是天津市唯一市属综合性生态环境科研与服务机构。现已发展成为涵盖大气、水、土壤、固废、生态、规划、低碳、应急等生态环境保护全领域，集科学研究、管理支撑、技术开发、技术服务、技术咨询、技术评估、污染损害鉴定、成果转化推广于一体的综合性生态环境科研机构，为天津市乃至全国生态环境保护事业发挥了重要作用。

49.2 技术简介

技术领域为土壤和地下水修复，技术成果来源于中央财政资金项目、天津市重大科技专项及天津市环境保护专项资金项目，取得 3 项发明专利，8 项实用新型专利，技术成果于 2020 年 1 月获天津市科学技术进步奖二等奖 1 项。

参与技术研发主要单位：①天津市生态环境科学研究院；②南开大学；③国环危险废物处置工程技术（天津）有限公司；④天津市固体废物及有毒化学品管理中心；⑤天津环科立嘉环境修复科技有限公司。

49.2.1 技术原理及工艺流程

基本原理：天津市作为老工业基地，土壤污染问题表现为污染物类型多样、重污染土壤比例高，针对该问题，结合技术成果形成了多源热脱附-靶向化学法-末端恶臭控制的技术创新链，构建了技术开发-装备研发-工程示范的应用体系，并建立土壤污染修复效果评估标准，成功解决一系列技术难题，取得了原创性突破。

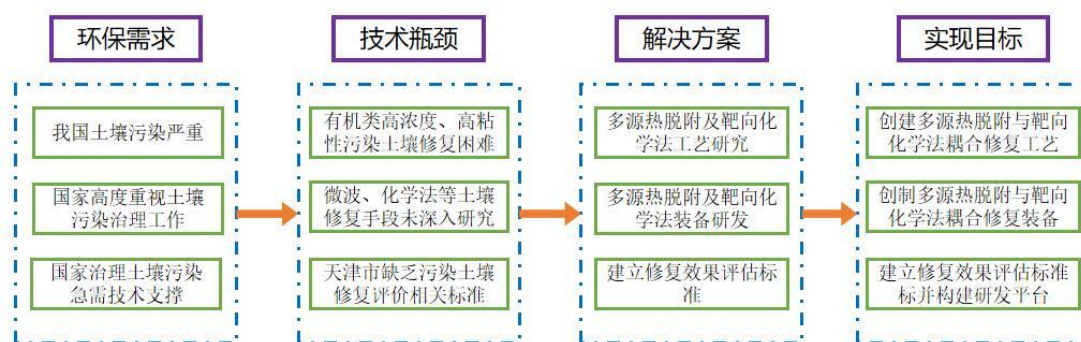


图 2-49-1 总体思路

核心内容：

(1) 创建了多源热脱附-靶向化学法耦合修复技术。以化学法定向分解大分子污染物为先导，耦合微波预热催化处理和转窑逆向热传导的多源协同热脱附处理，实现高浓度有机物高效修复，综合能效可提高 20%、去除率可达 99%，恶臭得到明显抑制，技术可针对不

同污染状况单独或联合施用，兼具工艺灵活性与高效性的特点。

(2) 创制了多源热脱附-靶向化学法耦合修复装备。修复装备均采用模块化设计，各模块可独立工作，也可耦合联用，提高了技术实施的灵活性和拓展性；装备采用全密闭结构并配备高效烟气净化系统，烟气中典型污染物去除效率可达 98%，避免修复过程产生二次污染；装备已修复超过 20 万立方米污染土壤。

(3) 为应对天津市突发环境事件污染场地应急处置需求，构建了集技术研究，人才培养，污染应急处置于一体的研发应用平台。平台具备 28.5 万吨/年各类型污染土壤修复条件，显著提高我市污染土壤应急修复处置能力。依托平台形成一套土壤污染修复效果评估标准，完善了天津市污染地块土壤环境管理技术支撑体系，填补了天津市污染场地土壤环境风险评价与治理修复技术方案评审标准的空白。

49.2.2 技术成果适用性

本技术适用于土壤修复治理领域。基于研究成果和实践经验，构建研发应用平台，以平台为支撑形成了一套土壤污染修复效果评估标准，技术使用中的条件限制包含以下两部分：

(1) 污染场地土壤环境风险评价筛选值编制：标准规定了用于居住用地和商业用地的土地利用类型下土壤污染物的环境风险评价筛选值及使用规则，适用于潜在污染场地开发利用时是否开展土壤环境风险评估的判定。(2) 污染地块风险管控与治理修复技术方案评审导则编制：本标准规定了污染地块风险管控与治理修复技术方案评审的一般原则、程序、基本内容和评审要点。本标准适用于对污染地块风险管控与治理修复技术方案的评审。本标准不适用于涉及放射性污染地块的风险管控与治理修复技术方案的评审。

49.2.3 技术创新性及先进性

(1) 在微波技术和热脱附技术方面：从整体上提出了天津市典型污染场地的修复解决方案，打破了现有研究聚焦于利用微波技术去除单一污染物的局限，创建多源热脱附修复工艺，并成功应用于工程实践，工程实践充分考虑避免对外界环境造成二次污染；(2) 在化学法处理技术方面：针对土壤污染种类和程度采用靶向化学法修复工艺，提出“微环境缓释效应”理念，实现药剂靶向修复，可显著抑制并分解有机磷土壤中的恶臭成分，降低实施过程的环境敏感性；(3) 在污染场地应急处置与修复技术研发基地建设方面：建成天津首座集产业发展、学科建设、科学研究于一体的示范性污染场地应急处置与修复技术研发基地。

49.2.4 节能减碳或污染防治效果

技术成果创建了多源热脱附-靶向化学法耦合技术。开创性的提出了“多源热脱附”、“靶向化学”以及“耦合修复”等理念，可有效处理高粘性、高浓度有机磷农药污染土壤，最终综合修复效率超过 99%。以此为基础，研发出了与技术相匹配的土壤修复装备，采用上述技术及修复装备完成现场中试示范工程，修复效果均达到并超过修复技术要求，本项目成果填补了国内对有机重污染土壤修复技术的工艺、装备的研究空白，系统性的解决了这一世界性难题。

项目建成了天津市首座污染场地应急处置与修复技术研发应用平台并投入使用。平台具

备 285000 吨 / 年污染土壤综合应急修复处置能力，可处理包括重金属及有机污染物在内的绝大部分污染土壤类型。同时依托平台为国内环保、能源领域的企事业单位提供技术服务、工程硕士培养和技术人员培训服务，目前已累计培训全国十多个省市各单位专业技术人员 150 余人次，基地的建成提高了天津市环境应急处置能力，也为我国环保人员的培养锻炼提供了平台。

49.3 技术示范情况

案例一：技术成果应用于污染场地修复治理

(1) 沈阳化工股份有限公司南厂区农药分厂、庆新福利厂污染场地修复治理工程：采用研究成果对场地有机污染土壤采用化学氧化与热脱附技术进行综合修复，共完成 3 万立方米污染土壤修复治理，项目已经竣工并通过验收。

(2) 聚醚部东丽厂区场地污染修复治理项目：采用研究成果对场地有机污染土壤采用异位化学氧化修复和异位热脱附技术进行综合修复，涉及修复约 10 万立方米污染土壤。本项目修复施工已经开始实施。

(3) 天津市武清区黄花店镇污水坑塘环境改善工程：采用研究成果对污染场地内约 2 万方含苯系物污染土壤进行热脱附修复治理，实现产值约 1600 万元，处理后的土壤全部达到验收标准。

(4) 金茂天津河东一热电项目污染场地修复工程：采用研究成果完成约 3 万方多环芳烃污染土壤化学氧化修复，项目已经竣工并通过验收。

案例二：技术成果应用于河道治理

河道污染底泥干化减容项目：采用研究成果对脱水后底泥进行热解干化，高效率的实现了底泥的干化减容和底泥吸附有机污染物的热解处置，实现底泥的无害化处置。

案例三：技术成果应用于环保产品生产

天津市武清区年生产滤料 6.8 万立方米项目：采用研究成果，通过对本项目工艺与设备的优化改进，提高原料的烧制、固化和生物质的热解效能，同时保证了废气达标排放率，年生产能力约 6.8 万立方米。

案例四：技术成果应用于污染土壤修复技术深化拓展研究及技术方案编制

(1) 基于生物表面活性剂的苯系物污染土壤修复技术研究：采用研究成果，在含苯系物土壤添加鼠李糖脂，能提高污染土壤生物活性，提高苯系物污染物降解率，其去除效率最高达 82.5%。

(2) 本项目研究成果应用于天津市污染场地修复技术方案编制项目，如天津北辰区高峰路天重三期修复方案等项目中，对地块内约 11.6 万立方米污染土壤实施修复工作。

F、环境监测与监控

技术 50 大气污染防治网格化监管平台

50.1 技术提供方

天津同阳科技发展有限公司注册于滨海高新区，主营业务为环境在线监测仪器、环境物联网系统解决方案和环境在线运维服务。市场遍布全国 18 个省市，为石化、纺织、化工及各地环保部门提供服务。公司在环境监测领域深耕 14 年，承担了 20 余项国家及省部级重大科研项目，实现了高灵敏光谱技术、遥感技术、气体和颗粒物传感器等关键核心技术攻关，在大气监测集成领域补短板，技术水平达到国际领先和国际先进。

50.2 技术简介

该项技术属于环境监测与监控领域，成果来源于天津市重点研发计划院市合作项目，已取得 9 项发明专利，1 项外观设计专利，以及 7 项软件著作权。

50.2.1 技术原理及工艺流程

大气污染防治网格化监管平台利用物联网、5G、大数据等先进技术，采用多种监测手段，打造大气环境立体监测网络。针对重点监管区域进行大范围、高密度的布设空气质量监测微型站，形成大气环境精细化监控网格，实现对污染物浓度的全面监管，立体感知区域大气环境变化情况。构建先进立体化的大气网格化监管体系，建立能源技术与末端污控技术数据库与边际成本优化模型，实现对未来不同能源与污控情景组合下的控制成本与减排效果的动态评估。

数据感知层负责区域内环境数据的采集和逻辑动作的执行，是系统的“眼、耳、口、鼻”以及“手、脚”。数据传输层负责将各种环保传感器及数据采集设备通过各类宽带接入网络。数据应用层为应用平台业务系统提供通用的业务服务功能，如门户、业务流程、数据报表、地理信息、数据分析。

系统组成上，立体监测网络根据不同监控需求及环境特征，将目标区域划分为不同的网格进行点位布设，采用多种监测手段，对各网格中相关污染物浓度进行实时监测；精细化监管平台设置站点地图，可进行污染过程反演，分析污染影响关系，并进行污染报警及推送，同时可进行数据挖掘及分析。



图 2-50-1 大气污染防治网格化监管平台

50.2.2 技术成果适用性

本技术可广泛应用于环境背景点、省/市控站、路边站、工业园区、网格布点等。客户主要面向各级环境监管部门。

50.2.3 技术创新性及先进性

(1) 构建低成本、密集网监测的大气污染防治大数据分析技术，实现街镇级别空气监测网络连续稳定运行，在国内率先实现街镇尺度空气质量自动监测、评价分析的应用；(2) 研究海量环境信息智能化数据挖掘方法，采用 Hadoop 分布式架构、高斯烟羽扩散模型并行数值模拟方法和深度神经网络架构大气污染物 GIS 扩散仿真模型，进行大气污染事件非线性预测，从而完成区域性预测预警，为监管人员提供国际领先的智能辅助决策工具；(3) 研究大气污染多维度高时空分辨率精细化分析算法，实现了时间尺度精细至小时级别、空间尺度精细至街镇级别和 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 空间网格、对象源类尺度精细至具体企业的多维度溯源分析。

50.2.4 节能减碳或污染防治效果

本平台利用“云+链”技术，结合监测感知设备，可集成全链条减污降碳协同管控与评估模块，实现具备多源数据管理、精细核算、协同管控、综合评估等功能的大气污染网格化智能监管平台，大大提升减污降碳协同的效率和智能化水平，提升环保决策的科学性和效率，并为国家、地方及企业环境治理实践提供了真正具有监管功能的智能监管平台。

同时实现了污染源精准识别，有效提高了智能监管效率和自动预警准确率；能够实现远程智能监管模式，把传统的“目标驱动监管”转化为“数据驱动监管”，对重要污染事件智能识别，自动预警，对于任何生态环境违法信息能够第一时间掌握，解决了违规事件取证难、取证慢的问题。基于深度学习的污染源识别技术能够加大监管力度，实现精细化管理，帮助决策者进行快速执行决策，实现快速发现、快速响应、应急指挥等闭环操作，推动了智能技术

与当地生态环境监管业务的深度融合。

50.3 技术示范情况

案例：韩城市智慧环保网格监管中心建设项目

项目具有精细的监测网络，将韩城市重点区域、环境敏感区域和企业内区域列为首要监控地带，共建设视频监控设备 100 套，微型空气质量监测站 113 个，监测因子包括常规空气质量六参数（PM₁₀、PM_{2.5}、SO₂、NO₂、O₃、CO）、总挥发性有机物、非甲烷总烃、苯系物、硫化氢等。通过监测网络的部署，及时发现异常数据并摸清污染物浓度变化规律，为大气污染成因分析提供基础数据支撑。

项目具有精准的管控系统，在两个省控站周边一公里范围内的 8 个方位各安装 8 台小型空气监测站，通过实时监控数据进行每小时数据比对，发现异常数据后，通过风向进行分析判断，锁定污染来源方向，提前布控。在工业区至城区传输通道部署 5 台小型空气监测站，进行数据分析，找到工业区对城区的影响，开展限时管控。



图 2-50-2 智慧环保网格监控中心

项目具有全天候的值守，在两个省控站周边一公里范围内的 8 个方位各安装 8 台小型空气监测站，通过实时监控数据进行每小时数据比对，发现异常数据后，通过风向进行分析判断，锁定污染来源方向，提前布控。在工业区至城区传输通道部署 5 台小型空气监测站，进行数据分析，找到工业区对城区的影响，开展限时管控。同阳委派专业的监控人员驻扎在韩城市智慧环保网格监控中心，24 小时轮岗值班，查看平台实时监测数据、厂区/城区视频图像，数据异常报警、图像异常，通过手机 APP 下交办单给到各街办、厂区负责人。

污染企业依据监测数据，治污措施 2020 年 3 月份整改完毕，根据韩城市 2020 年 3 月份监测数据显示，与 2019 年同期相比，空气中 PM₁₀ 浓度下降 12.2%，PM_{2.5} 浓度下降 24.4%，SO₂ 浓度下降 8.7%，NO₂ 浓度下降 15.2%，CO 浓度下降 15.0%，臭氧浓度下降 12.4%；综合质量指数 4.38（2019 年同期 5.20，下降 15.8%），大气环境质量各项指标全面好于历年同期。今年空气质量排名关中第一，同时，1~3 月优良天数排名关中第二，2020—2021 秋冬季优良天数排名关中第二、三项排名均创历史最佳。

技术 51 在航船舶尾气嗅探遥测技术及装备

51.1 技术提供方

交通运输部天津水运工程科学研究所是交通运输部直属正局级科研事业单位，主要从事水路交通运输领域中具有基础性、战略性、前瞻性等共性技术和重大工程建设关键技术研究，并承担水动力及潮流泥沙、水工结构、环保生态、安全节能等领域的科研实验、技术咨询、政策研究与战略规划等科技服务。

51.2 技术简介

技术领域为环境监测与监控。技术成果来源包括交通运输部、天津科技计划和单位内部创新基金和产业化发展基金，已取得 9 项发明专利，1 项实用新型专利以及 6 项软件著作权。

51.2.1 技术原理及工艺流程

嗅探遥测应用工艺主要分为四步。第一步，根据航道岸边、跨江大桥、海巡艇和无人机这四种平台的优劣势，因地制宜选择合适的平台，安装设备（固定站点）或驾驶平台（移动站点），连续监测空气中的 CO_2 和 SO_2 浓度。第二步，根据开发的基于船舶尾气信号波峰尖锐、 CO_2 和 SO_2 浓度同步先升后降特征的自动识别算法，识别到船舶尾气的出现。第三步，自动丈量 CO_2 和 SO_2 浓度波峰的面积，计算两者比值，得到燃油硫含量估算值。第四步，调取周边船舶 AIS 数据和风速风向数据，计算每一艘船舶是该尾气源头船舶的可能性。

装备包括尾气采集与分析模块、被测船舶识别模块、数据采集与远程传输模块，以及户外连续运行保障模块这四个模块。尾气采集与分析模块包括进气柱、抽气风机，以及 SO_2 分析仪和 CO_2 分析仪；被测船舶识别模块包括外置风速风向传感器、船舶 AIS 接收器及外置天线；数据采集与远程传输模块包括工控机以及提供网络的 4G 路由器；户外连续运行保障模块包括定制的防水机柜、电路与控制开关，以及保证仪器稳定工作环境的嵌入式空调。

51.2.2 技术成果适用性

技术适用对象是海事局危管防污处，用于高效、精准识别违规使用高硫油的船舶，解决传统登轮检查的盲目性和成本过高的问题。局限性为，嗅探遥测是一种被动的遥测方法，需要尾气扩散到监测点位，监测效果主要受风、距离、船舶大小、设备精度影响。

51.2.3 技术创新性及先进性

技术源自欧美排放控制区的研究积累，在剔除 NO 干扰、多平台技术应用体系、自动识别与溯源算法、装备小型化方面有所突破，经评议成果达到国际领先水平。

51.2.4 节能减碳或污染防治效果

本成果兼具船舶大气污染防治的环境效益和降低监管执法成本的经济效益。本成果应用后可对在航船舶进行遥测监管，对违规船舶的精准识别能力能够起到震慑作用，杜绝船东的侥幸心理，极大提高船舶合规率，有利于船舶大气污染物减排目标的实现。假设在航期间船舶违规率为 10%，则实际减排效果约 77%，成果应用后可逼近 86% 的理论减排效果；另外，即便假设所有船东不采取“在航用重油、靠港用轻油”的应对检查的手段，传统登轮抽检的执

法资源浪费率为 90%。

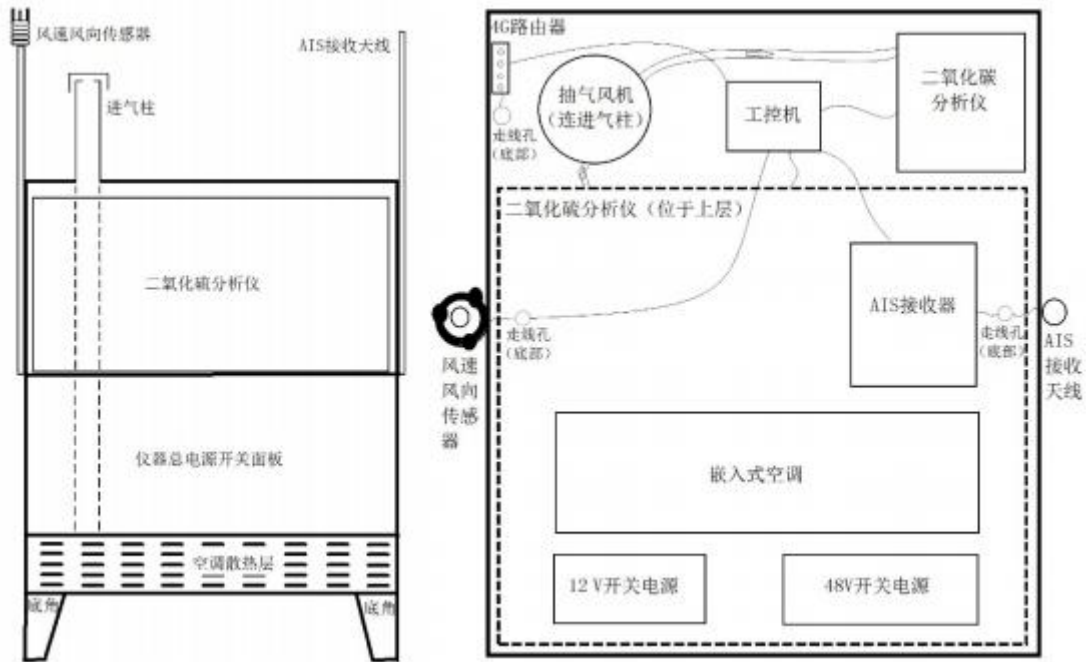


图 2-51-1 装置图

51.3 技术示范情况

技术已在天津、江苏、上海、广东、河北等海事局示范应用，产生直接经济效益超过 3000 万元。

案例一：天津海域船舶尾气排放遥测站点建设

天津海域船舶尾气排放遥测站点建设项目位于天津港 8 处码头和天津海事局 2 艘海巡艇。通过购置 10 套船舶尾气遥测仪，分别安装于岸基固定式及海巡艇移动式平台；购置无人机船舶尾气遥测技术服务，增加遥测覆盖范围和响应速度。依托岸基固定式遥测站实现主要航道在航船舶 24h 全天候船舶尾气监管覆盖，配合艇载和无人机载船舶尾气遥测设备实现监管区域全覆盖，最终实现天津进出港船舶尾气遥测监管“一港八区”全覆盖管理模式。

试运行 4 个月（5~9 月）内，除去仪器调试及系统关停时间，8 个固定式船舶尾气排放遥测站点及 2 个移动式船舶尾气排放遥测站点共经过 3000 总吨以上进出港船舶数量为 8584 艘次，船舶尾气排放遥测站点共监测到 5680 艘次在航船舶的尾气，抽检率计算为 $5680/8584=66.2\%$ 。查处 3 条船舶硫含量超标，同时发现船用脱硫塔效果不佳导致船舶尾气排放超标疑似案例 1 起，其余船舶检测结果均在 0.5% 以下。



图 2-51-2 天津海域船舶尾气排放遥测站点建设情况

案例二：上海海事局在航船舶尾气监测服务（2019—2022）

上海海事局在航船舶尾气监测服务项目位于长江航道上海段和黄浦江的海事局码头。通过购买艇载船舶尾气遥测和无人机组船舶尾气遥测服务,实现长江口上海水域船舶尾气遥测监管全覆盖,保障 11 月初进博会期间的空气质量。在宝山海事局、浦东海事局、吴淞海事局、洋山港海事局的海巡艇上安装船舶尾气遥测仪,每艘监测约 7~14 天,每次至少查获 1 起违规案件。在宝山海事局、浦东海事局、吴淞海事局、杨浦海事局、黄浦海事局的码头上开展无人机监测,每个海事局查获至少 1 起违规案件。

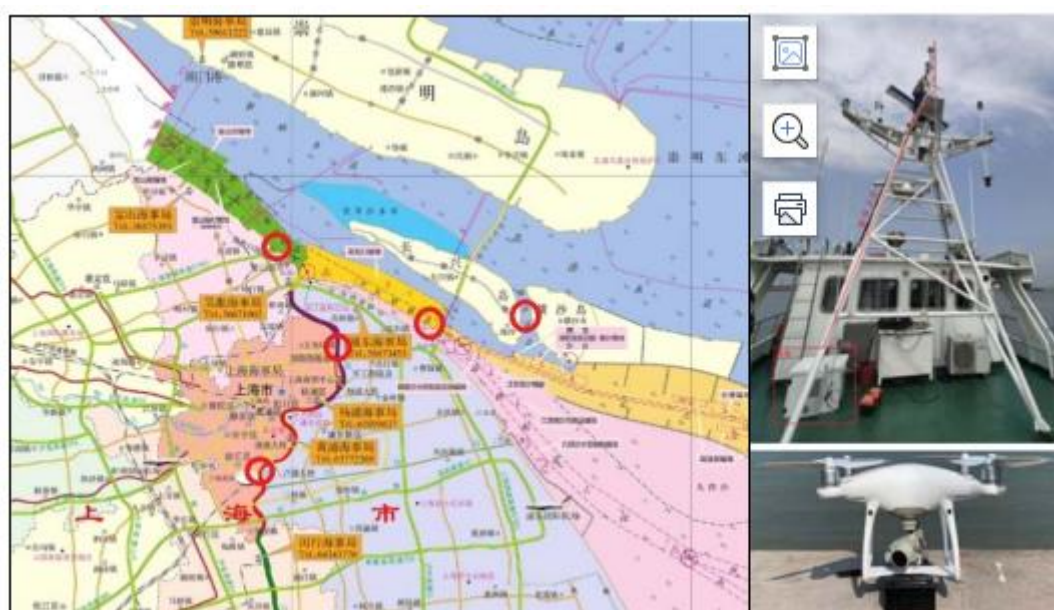


图 2-51-3 上海海事局在航船舶尾气监测服务项目

技术 52 工业挥发性有机物排放在线监测技术及应用

52.1 技术提供方

天津津普利环保科技股份有限公司是一家由中国石化集团与天津七一二通信广播股份有限公司共同投资创立的一家绿色智能制造企业，为国有企业。主要业务包括环境监测装备研发、生产和销售，环境监控系统集成，环境监测设备运维，大气污染控制与治理、工业园区环境综合服务（环保管家服务）。在生态环保领域，公司成功研制国内首套自主知识产权挥发性有机物在线监测系统，拥有国内第一家挥发性有机物监测工程技术中心——天津市挥发性有机物监测工程技术中心。公司研制的挥发性有机物在线监测系统产品已经广泛应用于石油、化工、电力等行业，获得 2016 年全国十大最受欢迎固定源挥发性有机物在线分析仪品牌第一名，全国市场占有率名列前茅，入选环保部固定源挥发性有机物在线监测产品目录。

52.2 技术简介

技术领域为环境监测与监控技术。技术成果来源为天津市科技计划项目，已取得 4 项实用新型专利以及 3 项计算机软件著作权。

52.2.1 技术原理及工艺流程

技术原理：利用载气将样品带入色谱柱中，根据各组分在色谱柱中保留能力不同进行分离，分离后的各组分依次进入 FID（氢火焰离子化检测器）中，利用氢火焰燃烧产生的高温将组分进行离子化，通过收集器和放大器将电离后的离子信号转化为电信号输出色谱图，不同的物质在色谱柱上的保留时间不同，利用保留时间实现物质的定性，根据峰面积的大小实现物质的定量分析。

有机化合物进入检测区域将产生如下化学反应，并生成离子： $\text{RH} + \text{O} \rightarrow \text{RHO}^+ + \text{e}^- + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ ；R=carbon compound（碳化合物）。一个带极化电压的集电极同样安装在检测室中，反应产生的离子被吸引到此电极上。由于向集电极迁移而形成电流，氧化产生火焰的碳氢化合物的浓度跟此电流成线性关系。

系统组成：系统组成包括样品采集/传输装置、样品预处理系统、在线分析仪、尾气参数监测设备、数据采集处理和传输设备及辅助设施。

工艺流程：烟气采样器通过伴热带将烟气从烟道输送到预处理系统。预处理系统先除掉烟气中的固态粉尘，把烟气变成干净的待测样气，再将待测气体抽取到分析仪中进行检测分析。数据实时采集后经网络传输至管理部门。



图 2-52-1 在线监测系统示意图

52.2.2 技术成果适用性

本技术适用于石油化工、汽车制造、电子工业、印染、纺织、制药、塑料制品、皮革生产等重点行业企业固定排放源、生产车间、企业厂界的非甲烷总烃、苯系物及其他有机物特征因子在线监测和监控；适用于我国城市和区域环境空气中的痕量挥发性有机物在线监测分析；适用于我国环境管理部门的环境执法监督管理。

52.2.3 技术创新性及先进性

技术创新优势明显，拥有完全自主知识产权核心技术，包括 FID 检测器技术、电子压力控制技术、预处理技术、数据信息处理技术等，可以连续监测总烃、苯系物、有机硫、烯烃、醛、酮、酯等 50 多挥发性有机物组分及浓度。公司在线监测技术产品具有量程宽、线性度好、检出限低、可靠耐用等优点。产品系统具备高可靠性、高稳定性、高可维护性，操作简单、运维方便，整体上属于国内先进水平。数据信息处理软件采用先进的 Qt+Sqlite 框架，可以跨平台部署；采用模块化设计，可以根据用户需求加载不同的统计、通信模块；具备非常高的可靠性和安全性，可长期稳定运行；具有丰富的数据统计、展示功能，用户界面友好，操作简便。

52.2.4 节能减碳或污染防治效果

围绕挥发性有机物在线监测的关键共性技术问题，公司研发具有完全自主知识产权的挥发性有机物在线监测关键技术及系列装备，包括高精度温控伴热采样技术、气体预处理技术、色谱分离技术、动态标定校准技术等，能够连续监测非甲烷总烃、苯系物、有机硫、烯烃、醛、酮、酯等 50 多种组分及浓度，同时可灵活配置氢火焰离子化、光离子化等检测器和功能丰富、操作便利的控制软件，具有量程宽（ $0\sim 5000\text{mg}/\text{m}^3$ ）、检测限低（ $\leq 0.08\text{mg}/\text{m}^3$ ）、分析周期短（ $\leq 2\text{min}$ ）等优点。技术装备已成功应用于我市及全国重点行业企业挥发性有机物监管工作，为改善区域环境空气质量、打赢蓝天保卫战做出了重要贡献。

52.3 技术示范情况

案例一：中石化北京燕山分公司挥发性有机物连续监测项目

中石化燕山石化东方有机化工厂（北京东方石油化工有限公司有机化工厂）环保设施 RTO 炉 2009 年建成使用，为三塔蓄热氧化式燃烧炉，最大废气处理量 3 万 m³/h，负责处理 EVA 装置料仓废气 VAE 装置工艺废气、VAC 装置工艺废气产品及原料罐区废气。在原设计中无自动监测设备和联网系统，为了有效监控烟气中污染物的排放浓度满足环保规定，RTO 炉新增在线监测系统，在 RTO 炉新安装的在线监测项目，主要包括 CEMS（烟气连续监测系统）和 NMHC-CEMS（挥发性有机物连续监测系统）。

案例二：宁夏煤业有限责任公司厂界挥发性有机物检测项目

宁夏煤业有限责任公司煤制油分公司根据建设项目环境影响文件批复及相关环保管理要求，在“常年主导风下风向设置厂界环境空气在线监测系统”。该项目结合考虑常年主导风向，以及主要无组织排放源污水场罐区、气化装置的位置情况，拟在厂界南侧、西侧和北侧各设置 1 座固定式在线监测系统。监测因子为挥发性有机物、硫化氢、臭氧和细颗粒物(PM_{2.5})。

案例三：中石化中原石油化工有限公司总烃在线监测项目

为落实企业环境管理主体责任，减少挥发性有机物污染，中原石化开展了储油库油气回收设施安全隐患治理工作，对油库油气回收设施安装挥发性有机物在线监测系统设备，经采样探头采样后，进入分析单元注样分析。分析后的数据转化成电流或者电压信号送给数据处理的上位机软件，信号经过计算比对转化成浓度信号，一部分存入数据库，另一部分则通过通讯设备传送给环境保护部门。

G、其他

技术 53 渤海湾工业带水生态综合治理与生态修复集成技术模式

53.1 技术提供方

天津市生态环境科学研究院始建于 1975 年, 分别于 2011 年 4 月和 2013 年 10 月加挂天津市环境规划院和天津市低碳发展研究中心的牌子, 是天津市唯一市属综合性生态环境科研与服务机构。现已发展成为涵盖大气、水、土壤、固废、生态、规划、低碳、应急等生态环境保护全领域, 集科学研究、管理支撑、技术开发、技术服务、技术咨询、技术评估、污染损害鉴定、成果转化推广于一体的综合性生态环境科研机构, 为天津市乃至全国生态环境保护事业发挥了重要作用。

53.2 技术简介

技术领域为水环境综合治理、水生态修复与生境恢复, 技术成果来源于国家科技重大专项(“十三五”国家水体污染控制与治理科技重大专项), 取得 3 项实用新型专利。

53.2.1 技术原理及工艺流程

渤海湾入海河流以滨海新区为典型区域, 以生态系统健康理论为基础, 针对水资源短缺、水污染物排放特征和水生态环境状况, 开展水生态环境关键因子识别、生态系统健康诊断技术研究。综合分析区域特点、自然条件和区域内社会经济压力、水体污染负荷、水体环境状态三者的关系, 建立适用于天津滨海新区的水生态环境关键因子识别及生态系统健康评估体系, 在对生态系统现状(湖库、湿地及景观水体)调研的基础上对区域水生态环境关键因子进行识别, 构建湖库、湿地及景观水体的健康评估体系, 并对天津滨海新区湖库、湿地及景观水体水生态系统健康状况进行综合评价, 为水生态系统修复模式和技术选择、方案制定等提供支持。

天津市的河道一般都具有防洪功能, 在非汛期还起到景观蓄水作用, 出于“保水和通航”的考虑, 大多数的河道实际上成为没有径流的河道式蓄水库。这导致河道水流滞缓, 水体更新缓慢, 水体自我净化能力低, 对污染物的容纳能力低, 河流生态系统极其脆弱等。因此当大量污染物排入水体时, 水质会迅速恶化并且恢复比较缓慢, 需要对其采取一定的措施进行生态修复, 严重者还需进行生态治理, 才能达到水质保质和生态多样性的维持。

通过对现有的水生态综合治理和修复技术进行梳理, 按照流域综合治理及生态修复的思路对各类技术进行分类, 按照污染源识别—污染源控制—污染物拦截—污染物削减—水质改善—生态修复逐步开展研究。相对应的综合治理及修复技术分为“控源截污—污染治理—生态修复—生境恢复”四大类。对每一种技术按照其技术原理、技术优点、适用范围、成本等 9 个指标进行了整理, 建立了水生态综合治理及修复技术评估指标体系。按照水体类型及天津市滨海工业带的特点, 以建立的评估指标为基础, 运用某种设定方法, 利用数学模型对现有的水污染治理及生态修复技术进行综合评估, 构建出基于生态多样性及水质保持的北方浅水型湖库、缓滞/丰水河道水体和典型区域(工业园区、产业复合区) 3 大类 7 种渤海湾工业带水生态综合治理与修复集成技术模式, 以指导生态修复技术。主要研究技术路线见图 2-53-1。

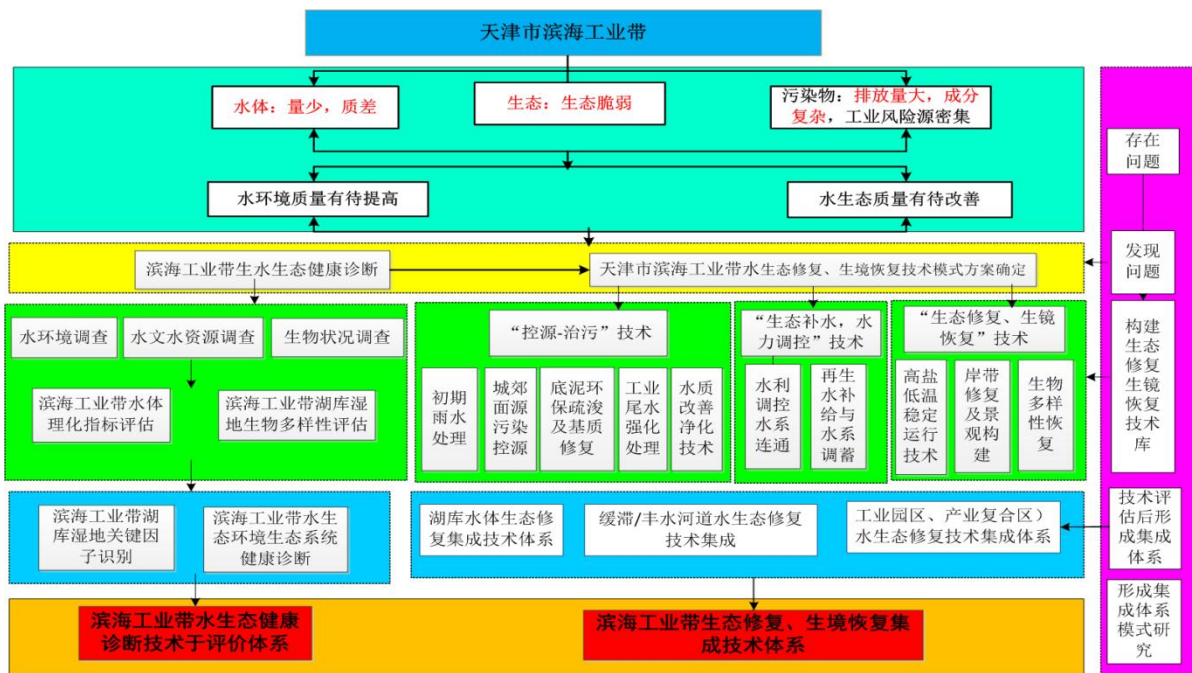


图 2-53-1 渤海湾工业带水生态综合治理与生态修复集成技术模式研究技术路线图

53.2.2 技术成果适用性

本技术适用于渤海湾工业带滨海新区景观河道，湿地和湖库，水质污染程度（如劣 V 类、V 类和 IV 类水质），水源来源（如各类企业及污水处理厂尾水、面源污染、过境水和出水雨水）等的 3 大类 7 种渤海湾工业带水生态综合治理与生态修复和生境恢复集成技术模式。

53.2.3 技术创新性及先进性

(1) 以滨海新区为典型区域，针对水资源短缺、水污染物排放特征和水生态环境状况，开展水生态环境关键因子识别、生态系统健康诊断技术研究，建立适用于天津滨海新区的水生态环境关键因子识别及湖库、湿地及景观水体的健康评估体系。

(2) 按照渤海湾入海河流域综合治理及生态修复的思路对各类水生态综合治理及修复技术进行分类，将技术分为控源截污、污染治理、生态修复和生境恢复三个大类。并对每一种技术按照其技术原理、技术优点、适用范围、成本等 9 个指标进行了整理，建立了水生态综合治理及修复技术评估指标体系。

(3) 针对渤海湾工业带水环境特点，首次提出从点到面、从控源截污到生态治理、从生态修复到生境恢复的全方位的 3 大类 7 种渤海湾工业带水生态综合治理与生态修复和生境恢复集成技术模式。

53.2.4 节能减碳或污染防治效果

开发出的技术适用基于生态多样性及水质保持的北方浅水型湖库生态修复和生境恢复；基于水质稳定改善的大水量、富营养化水体生态修复；基于水量小，停滞时间较长水体的生态修复；微小流量、农村沟渠、断流水体生态修复的三种河道水体生态修复以及工业园区水生态修复、产业复合园区水生态修复的 3 大类 7 种渤海湾工业带水生态综合治理与生态修复

和生境恢复集成技术模式。

53.3 技术示范情况

本技术成果已应用于天津市污染防治攻坚战指挥部印发的《天津市打好渤海综合治理攻坚战强化作战计划》和《天津市入海河流污染治理“一河一策”工作方案》的实施过程中，核心内容有力支撑了全市工业、城镇、农业“三水共治”和全市 12 条入海河流的科学治污与精准治污，首次在全市范围内实现了“点面结合、陆海统筹”的系统治理与协同治理，为全市近年来陆海水质的大幅改善提供了有力顶层指导和技术支撑，并取得了良好的环境效益。2019 年，全市优良水体（I-III类）比例首次达到 50%，较基准年（2014 年）增加 25 个百分点；劣V类比例首次下降至 5%，较基准年（2014 年）减少 60 个百分点。海河、子牙新河、北排水河等 7 条国控入海河流实现年均消劣，独流减河及 4 条市控河流于年末实现消劣。近岸海域优良（一、二类）水质比例提升至 81.0%，达到近 10 年最好水平。

技术 54 基于栖息地保育的滨海人工湿地生境恢复技术

54.1 技术提供方

天津市生态环境科学研究院始建于 1975 年, 分别于 2011 年 4 月和 2013 年 10 月加挂天津市环境规划和天津市低碳发展研究中心的牌子, 是天津市唯一市属综合性生态环境科研与服务机构。现已发展成为涵盖大气、水、土壤、固废、生态、规划、低碳、应急等生态环境保护全领域, 集科学研究、管理支撑、技术开发、技术服务、技术咨询、技术评估、污染损害鉴定、成果转化推广于一体的综合性生态环境科研机构, 为天津市乃至全国生态环境保护事业发挥了重要作用。

54.2 技术简介

技术领域属于典型脆弱生态修复与保护, 技术成果来源于国家科技重大专项(“十三五”国家水体污染控制与治理科技重大专项)。

54.2.1 技术原理及工艺流程

技术原理: 基于生态分区理论、焦点物种理论, 从鸕鹚类栖息、觅食、安全等生境需求出发, 营建大面积浅滩作为觅食地基质, 浅滩为无植被或稀疏低矮植被覆盖。在浅滩区外围进行深挖, 创造局部深水沟渠系统, 恢复水动力, 既保证水鸟的迁徙、觅食等活动不受干扰, 又能提高保育区内部的连通性和整合度。通过构建岛屿、环流渠、缓冲林等地形地貌多样性改造, 为鸕鹚类创造低干扰空间。结合区域乡土物种特点, 进行底栖、鱼类、植被生态恢复, 通过科学合理的生物群落快速重建, 修补和完善人工湿地受损生物链。

工艺流程:

(1) 生态调查与问题诊断。结合人工湿地生态调查, 分析基地环境特征、生物资源特征、空间格局特征、人工干扰影响, 诊断生态退化问题表现, 分析成因。

(2) 焦点物种确定及生境需求分析。基于焦点物种理论, 选取了白腰杓鹬、红脚鹬、环颈鸕作为滨海工业带人工湿地生境保育的焦点物种。围绕水域、植被、食物、基质等生态要素以及捕食者、噪音、恶劣天气等干扰要素, 探析焦点物种水鸟栖息、觅食、躲避干扰等最有利生境条件。

(3) 物理生境构造。基于焦点物种生境需求, 营建无植被或稀疏低矮植被覆盖浅滩作为觅食基质, 为焦点物种营造足够的栖息和觅食空间。每个浅滩区域空间上相互独立、互不干扰, 通过邻近深水沟渠的生态廊道作用实现彼此关联。考虑焦点物种受不同因素(捕食者、噪音、风)干扰, 设计岛屿、环流渠、缓冲林, 为焦点物种创造低干扰空间。

(4) 生物群落重建。以临港湿地二期人工湿地生态恢复为目标, 选择同区域、同盐度水平、生态状况更好的(近)天然湿地(北大港湿地和临港湿地一期)为参考湿地, 基于临港二期湿地与参照湿地的多样性特征比对, 同时结合调研资料, 将临港二期湿地底栖动物快速重建近期目标确定为: Shannon-Wiener 生物多样性指数达到 1.58; 生物密度恢复至 300 个/m², 底栖动物群落快速重建物种清单为三带环足摇蚊、喜盐摇蚊、三段二叉摇蚊等 15 种; 鱼类群落重建种类为鲫、鲤、鳊、鲢、草鱼、麦穗鱼、团头鲂、青鳉、乌鳢、鳊、鲃、鮠、泥鳅、

鲇、梭鱼等 14 种。

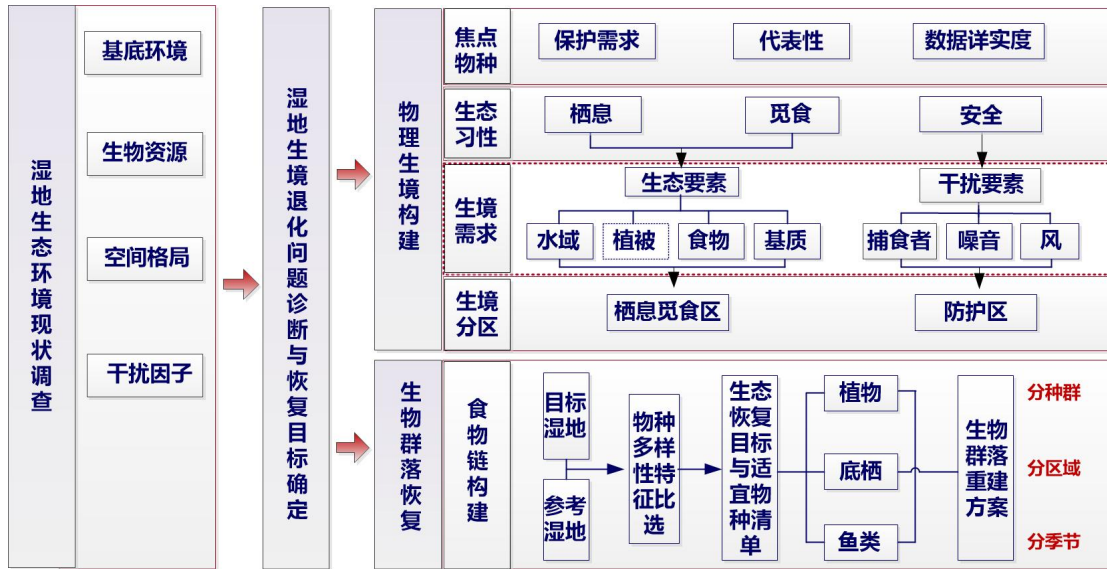


图 2-54-1 技术路线图

54.2.2 技术成果适用性

本技术适用于北方围海造陆区受损人工湿地生态系统修复和鸕鹚类水鸟栖息地营造；本技术的适用对象要求为北方滨海人工湿地。

54.2.3 技术创新性及先进性

本技术针对滨海湿地，尤其是围海造陆区湿地恢复过程中物理生境构造及生物群落快速重建缺乏理论指导与有效参考的问题，建立了以鸕鹚类水鸟保育为核心的滨海工业园区人工湿地生境构造方法，构建以乡土物种为主的滨海湿地植物物种清单、底栖物种清单、鱼类物种清单，提出分种群、分区域、分季节生物群落快速重建放流方法，从而为滨海湿地恢复提供模式指导与范例参考。本技术已在天津临港经济区湿地二期区域进行了示范应用和第三方评估，取得了良好效果。通过查新证明，国内外均未见具备本技术特征相同的文献报道。

54.2.4 节能减碳或污染防治效果

由于滨海工业带人为活动加剧，滨海滩涂湿地丧失、退化及生境破碎化问题严重，威胁水鸟尤其是鸕鹚类生存。本技术支撑滨海工业园区人工湿地建设，提升人工湿地景观效益的同时，增强人工湿地对于生态环境改善和鸟类保护的生态价值。所构建的深水沟渠、环流渠等多样化生境，能够有效提升水动力，减少富营养化，在一定程度上起到净化水质的效果。

54.3 技术示范情况

在滨海工业带尾水人工湿地示范工程（生境保育区）案例中，本技术示范区域面积为 58.47 公顷（其中核心恢复区 41.56 公顷）。植物与鸟类恢复的示范成效由天津师范大学进行第三方监测评估，示范区中本地植物物种比例 95.5%，2020 年下半年湿地鸟类达到 77 种，显著高于营造前鸕鹚类水鸟种群数量，人工湿地生境恢复效果良好。

技术 55 盐碱区绿色生态屏障构建技术

55.1 技术提供方

天津绿茵景观生态建设股份有限公司创立于 1998 年，为 A 股上市的生态修复与绿地养护企业，公司以生态修复和运营养护为双轮驱动，以生态文旅产业和林业绿地碳汇为两翼支撑，具备集规划设计、研究研发、投资建设、运营养护四维一体的生态全产业链。公司是国家级高新技术企业、天津市科技领军企业、中国北方地区生态建设领军企业，拥有天津市景观生态修复企业重点实验室等平台，是京津冀立体绿化及生态景观产业技术创新联盟理事长单位、天津园林绿化行业协会会长单位、国家林草局“盐碱地生态修复国家创新联盟”副理事长单位等。

55.2 技术简介

技术领域属于典型脆弱生态修复与保护，技术成果来源于天津市科技计划项目——天津市创新平台专项，已取得 3 项发明专利以及 5 项实用新型专利。

55.2.1 技术原理及工艺流程

盐碱区绿色生态屏障构建技术围绕树穴内苗木根系活动层，采用穴下增渗排盐、穴内调理改盐、表层覆盖抑盐，同时结合耐盐碱植物选用及合理群落配置等综合措施进行盐碱区绿地系统构建。具体措施包括：（1）根据不同栽植区域，采用微喷灌、滴灌等节水灌溉措施，通过设置条带状排盐措施，达到土壤快速脱盐的目的；（2）根据不同土壤条件及植物习性，通过物理-化学-微生物相结合的改良措施，达到改善土壤结构、调节酸碱、降低盐分和培肥土壤的目的；（3）通过采用地表覆盖园林有机废弃物、无机矿物材料或种植地被等方式减少地表水分蒸发，达到抑制地表返盐的目的；（4）在构建植物习性数字管理库的基础上优化适法建植技术体系。



图 2-55-1 盐碱区绿地系统生态修复技术路线图

55.2.2 技术成果适用性

技术适用于典型脆弱生态修复与保护领域,主要涉及北方滨海地区处于盐碱土壤立地条件下的绿色生态屏障的构建,解决土壤盐碱含量高、透气透水性差,地下水位高,苗木成活率低等问题。

采用此技术的前提条件为,项目区有排水出路,多余的土壤水可以排到项目区范围外。

55.2.3 技术创新性及先进性

(1) 根据不同土壤条件,围绕植物根系层,分别从增渗排盐、调理改盐、覆盖抑盐和耐盐碱植物选用及配置等多角度系统考虑,对盐碱区绿色生态屏障进行构建。

(2) 通过节水灌溉方式,采用小流量、多频率的盐分淋洗方式,避免破坏土壤结构的同时,节约淋洗用水量。

(3) 针对土壤改良材料和覆盖抑盐材料,选用园林有机废弃物的再利用,实现绿色低碳循环发展。

(4) 在构建植物习性数字管理库的基础上优化适法建植技术体系。

55.2.4 节能减碳或污染防治效果

传统盐碱地治理多采用“客土”的方法,但此技术破坏耕地资源,对原生土壤生态破坏性大。同时随着土地资源越来越贫乏,已经很难找到满足要求的好的客土,所以该项技术可持续性不好。

盐碱区绿地系统生态修复技术针对盐碱原土进行改良,不使用客土,有效的保护了耕地资源不被破坏,节省了施工成本约 10%~15%。该技术围绕植物根系层,分别从增渗排盐、调理改盐、覆盖抑盐和耐盐碱植物选用及配置等多角度系统考虑,对盐碱区绿地系统构建进行综合修复,极大的提高了植物的成活率,快速构建盐碱区绿地系统,改善生态环境。该技术通过节水灌溉方式,采用小流量、多频率的盐分淋洗方式,避免破坏土壤结构的同时,节约淋洗用水量,与传统漫灌方式相比可节约用水量 10%~20%左右。该技术根据造林苗木栽植特点,针对性的采用条带状排盐方式,比常规满铺淋层排盐方式可节约施工成本约 20%~30%。同时针对土壤结构改良材料和覆盖抑盐材料,选用园林有机废弃物的再利用,打通循环经济,实现绿色低碳循环发展。

55.3 技术示范情况

案例一：天津市津南区 2019 年造林绿化 EPC 项目

项目位于天津市津南区八里台镇、北闸口镇和小站镇。项目主要建设内容为造林绿化 EPC 项目的设计、采购、施工及相关服务。造林绿化建设规模约 5150 亩,其中八里台镇约 2250 亩、北闸口镇约 1700 亩、小站镇约 1200 亩。

案例二：天津市津南区小站镇 2020 年造林绿化工程

项目位于天津市津南区小站镇。项目主要建设内容为平整土地、盐碱土壤改良,栽植树木、水系整理等造林绿化工程。建设面积 2349.07 亩。