

工业清洗行业 “十五五”发展规划

(待审议稿)

中国工业清洗协会

2026年4月

目 录

一、“十四五”以来行业发展特征及问题分析	1
（一）“十四五”以来行业发展成就和特征	1
（二）“十四五”以来存在的突出问题	8
二、“十五五”时期面临的形势和发展趋势分析	9
（一）“十五五”时期面临的国内外形势	9
（二）“十五五”时期行业发展的主要趋势	11
三、“十五五”时期发展思路与目标	13
（一）“十五五”时期指导思想	13
（二）“十五五”时期发展思路	14
（三）“十五五”时期主要目标	15
四、“十五五”时期重点任务、重点领域、重点项目	19
（一）“十五五”时期重点任务	19
（二）“十五五”时期重点领域	21
（三）“十五五”时期重点项目	25
五、“十五五”时期政策措施建议	43

前 言

中国工业清洗行业作为工业领域重要的服务型产业，对保障安全生产、推动节能降耗、促进经济社会可持续发展具有重要作用。“十四五”时期，我国工业清洗行业在转型升级、技术创新、绿色发展和标准化建设等方面取得了积极进展，为支撑工业高质量发展做出了重要贡献。然而，行业在快速发展过程中仍面临一些亟待解决的问题，例如：技术发展不平衡、产业结构有待优化、自主创新能力需持续提升、绿色低碳转型压力增大等。深入推进供给侧结构性改革，加速企业向高端化、智能化、绿色化转型，强化品牌培育与标准化建设，完善企业资质管理和安全作业评价体系，着力加强科技创新与成果转化，不仅是破解当前发展瓶颈的关键举措，更是推动我国工业清洗行业实现更高质量、更有效率、更可持续发展的核心动力。

“十五五”时期是我国全面建成社会主义现代化强国新征程的重要起步阶段，是夯实发展基础、塑造新质生产力、实现民族复兴伟业的重要阶段。为深入贯彻落实党的二十大及二十届二中、三中、四中全会精神，依据《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议》中关于“推进产业智能化、绿色化、融合化”、“加快发展新质生产力”的战略部署，中国工业清洗协会立足国家相关部门工作部署和行业发展实际，组织编制了《工业清洗行业“十五五”发展规划》（以下简称《规划》）。本《规划》的制定实施，对全面提升行业核心竞争力，引领行业迈入创新驱动、内涵增长的高质量发展新阶段具有里程碑意义。

《规划》系统总结了“十四五”时期行业发展成就，深刻剖析了当前面临的主要挑战与未来发展趋势，科学谋划并明确提出了“十五五”期间行业发展的指导思想、总体思路、主要目标、重点任务、优先发展领域、关键支撑项目，并配套提出了具有针对性的政策措施。本《规划》旨在为全行业未来发展提供清晰蓝图和行动指南，对各级清洗企业拓展市场、开展业务具有重要的指导价值。

一、“十四五”以来行业发展特征及问题分析

在工业生产全链条中，清洗环节是保障设备效能、提升产品质量、实现安全环保运行的关键工序。回顾“十四五”时期，中国工业清洗行业在前期积淀的基础上，发展态势呈现新特征：行业规模持续扩大，技术升级步伐加快，绿色低碳转型加速，服务领域不断向高端化、精细化拓展。在解决大型成套装置维护、精密零部件清洁、节能减排技术应用等生产实践难题方面取得进展，有力支撑了国家重大工程建设和制造业转型升级，其作为国民经济绿色、安全、高效发展重要支撑产业的地位日益凸显。

据协会统计及市场分析，“十四五”期间，我国工业清洗行业整体市场规模持续扩大，保持了稳健的增长势头。其中，以智能化、绿色化（环保型）技术为引领的高端清洗工程服务增长迅猛，占比持续提升；适应环保法规升级和特定工业场景需求的新型清洗剂（如水基、生物降解、低 VOC 等）及配套产品市场空间广阔；面向自动化、数字化需求的智能化清洗装备（如机器人清洗、在线监测清洗系统）成为产业升级的重要方向，三者共同构成了市场增长的主要驱动力。在国家“双碳”目标、安全生产强化以及产业智能化升级等政策与需求的多重推动下，工业清洗市场潜力巨大，其专业化、标准化、服务化的独立行业属性更加清晰。

（一）“十四五”以来行业发展成就和特征

1 “十四五”以来行业发展成就

1.1 发挥协会党支部在坚持党的领导、推动协会发展中的枢纽作用

中国工业清洗协会党支部始终沿着正确政治方向前进，将党中央的路线方针政策与国家关于产业发展、科技创新、绿色低碳的重大部署，精准转化为协会的工作目标和行业行动指南，确保党的意志贯穿于行业规划、标准制定、政策宣贯全过程。通过强有力的思想政治工作和组织建设，团结带领协会各专业委员会、广大会员单位及行业工作者，形成思想统一、步调一致、攻坚克难的强大合力，

共同服务于国家战略和行业高质量发展大局。协会党支部聚焦行业“卡脖子”技术攻关、绿色清洗工艺推广、智能化转型升级、安全标准提升等核心任务，发挥党支部统筹协调、资源整合的优势，链接政府、企业、科研院所，疏通堵点、破解难题，为协会有效履职和行业创新发展注入强劲动能。协会党支部还密切沟通联系上级党组织与行业党员群众，及时反映行业诉求，传达政策精神，在维护行业稳定、优化营商环境、构建和谐关系中发挥不可替代的粘合与保障作用。唯有切实强化党支部这一核心枢纽，方能确保清洗协会行稳致远，引领中国工业清洗行业在新时代新征程上实现更高水平、更高质量的发展。

1.2 深化品牌产品认定工作，扩容行业品牌建设主体

推进工业清洗行业品牌化建设与品牌培育，是引领企业转型升级、支撑制造强国建设的战略举措。其根本目标是驱动清洗产品、设备及辅机配件制造企业，全面提升自主创新、资源效率、产业结构、信息化水平与质量效益等核心能力。

“十四五”时期，工业清洗行业品牌化工作持续深化并取得新进展。截至“十四五”末，全国已建成工业清洗行业清洗化学品验证中心由原来的 7 个增加到 10 个，为行业品牌化建设提供了更坚实的技术支撑。具体包括：工业清洗行业清洗化学品（中化蓝星）验证中心、工业清洗行业清洗化学品（北京乐文）验证中心、工业清洗行业清洗化学品（华阳新兴科技）验证中心、工业清洗行业清洗化学品（广州人和）验证中心、工业清洗行业清洗化学品（兰州蓝星）验证中心、工业清洗行业清洗化学品（长沙艾森）验证中心、工业清洗行业清洗化学品（瑞思博新材料）验证中心。新增：工业清洗行业清洗化学品（海油发展装备技术公司工业防护中心）验证中心、工业清洗行业清洗化学品（铁岭龙首）验证中心、工业清洗行业清洗化学品（大庆油田设计院）验证中心。

认定工业清洗行业品牌产品也由原来的 18 个增加到 27 个。具体包含：VTC-R 系列油罐清洗系统（万博克环保科技（北京）有限公司），安替克系列等溶剂型清洗剂、净丝特系列等水基型清洗剂、安泰特系列防锈剂（华阳新兴科技（天津）集团有限公司），LX1-005C 金属油污清洗剂、Lan-826 多用酸洗缓蚀剂、LX1-002 无苯退漆剂（兰州蓝星清洗有限公司），SGR-0405 多功能酸洗缓蚀剂（欣格瑞（山东）环境科技有限公司），LX2000-007 三合一常温清洗剂（中化蓝星清洗

科技（北京）有限公司），QXXT-00 大型空冷散热器全自动清洗装置（沈阳仪表科学研究院有限公司），JC3201 高压柱塞泵（天津市精诚高压泵制造有限责任公司），PRIME 系列溶剂型清洗剂、PRIME 系列水基型清洗剂、PRIME 系列防锈剂（天津普罗米新材料有限公司），BSB 系列、GRB 系列“瑞宝牌”水基清洗剂，BSB 系列、GRB 系列“瑞宝牌”溶剂型清洗剂、BSB 系列“瑞宝牌”防锈剂（江西瑞思博新材料有限公司），HW250E 超高压柱塞泵（天津海威斯特高压泵制造有限公司）。新增：WR250/320 壁龍 W-02 轮式爬壁机器人（深圳市行知机器人技术有限公司），QXQ180 原油/成品油储罐机械清洗设备（山东澜达石油设备有限公司），XDQX-II 环保节能组合式储罐清洗装置（福建省迅达石化工程有限公司），LS-A 型高分子脱硫脱硝剂、LSHG-1 型换热器片清洗剂、TGJ-1/2 型锅炉防垢阻蚀剂、TGJ-3 型液体阻垢剂、LS-805D 型缓蚀阻蚀剂（铁岭市龙首精细化工有限公司），YHQP50 型-YHQP1200 型化学清洗泵站（合肥永好电站水泵有限公司）。

1.3 推动行业标准化工作，加强行业标准化体系建设

开展行业标准化工作，推进和完善行业标准化体系建设，提升行业标准化服务水平，是工业清洗行业高质量健康有序发展的重要基础性工作之一。

“十四五”时期，工业清洗行业制定行业标准 1 项：《化学清洗泵站及配套设备技术规范》（HG/T 6005—2022）。中国工业清洗协会团体标准 7 项：《加油站油罐机械清洗作业规范》（T/QX 005—2021）、《工业设备水射流清洗质量验收规范》（T/QX 006—2023）、《外浮顶原油储罐分步搅拌抽出式机械清洗作业规范》（T/QX 007—2023）、《油田污水罐机械清洗作业规范》（T/QX 008—2024）、《超声波清洗设备 真空碳氢超声波清洗机》（T/QX 009—2024）、《刚性骨架清管器》（T/QX 010—2025）、《管壳式热交换器管程高压水射流机械化清洗作业安全规范》（T/QX 011—2025）。参与编写行业标准 3 项：《陆上油气田储罐清洗作业安全规范》（AQ 3042）、《储罐机械清洗作业规范》（SY/T 6696）、《脱脂工程施工及验收规范》（HG/T 20202）。参与编写其它协会团体标准 1 项：《精细化工产品 分类》（T/CCIIA 0004—2024）。参与编制地方标准 1 项：《微电子和电子组装用清洗剂中挥发性有机物和特定有害物质限量》（DB 4403/584—2025）。

截至 2025 年底，协会将持续编制《超声波清洗设备 水基清洗剂型超声波清洗机》、《油田抽油杆管机械清洗作业规程》等标准，形成“环保限值-设备规范-作业安全”全链条标准矩阵，引领行业向绿色化、专业化高质量发展。

1.4 支持科技创新，推进技术进步

为充分发挥科技创新对工业清洗行业的支撑引领作用，驱动行业技术进步与高质量发展，中国工业清洗协会在“十四五”期间持续强化科技服务职能，推荐工业清洗企业申报专利、科技类项目及奖励，推动行业科技发展，全面激发行业创新活力。

“十四五”期间行业科技创新工作取得显著成效：共有 15 个项目新入选石化联合会科技指导计划，4 个项目荣获石化联合会科技奖，4 个项目获得中国专利优秀奖，55 人通过初中级职称评审，16 项成果通过石油和化工企业管理创新成果认定。协会推荐项目连续五年在企业管理创新成果评选中表现优异，凭借专业的组织能力和高水平的指导服务，中国工业清洗协会再次荣获“优秀组织奖”，充分体现了其在推动行业管理创新方面的专业水准与广泛影响力。上述成果较“十三五”时期均有显著提升，为行业高质量发展注入了强劲科技动力。

1.5 完善培训体系、拓展广度深度

“十四五”期间，中国工业清洗协会持续完善培训基础工作。深化成熟技术培训科目（如工业设备清洗、中央空调清洗、储罐机械清洗、高压水射流清洗、PIG 管道清洗、清洗化验分析、水处理膜清洗、工业清洗项目经理、带电清洗、干冰清洗及安全作业等专业化认证），不断延伸培训的深度和广度。通过高质量培训与严格认证，持续提升协会培训认证工作的行业影响力和权威公信力。为提高学员实际作业能力，协会不断创新教学模式，深化现场教学。对关键培训项目，选定典型作业现场进行实地操作教学。由资深教师现场示范讲解，学员动手实践，在有限时间内最大化巩固学习效果、转化操作技能。在各实训基地的支持下，成功组织的高压水清洗实操演示、中央空调机房清洗实操演示等，取得了显著成效，广受学员和业界好评。

作为国家职业技能鉴定站的依托单位，协会夯实技能人才评价基础，及时修订完善技能鉴定国家题库，确保其反映行业最新技术标准和作业要求。聘请行业

资深专家教授参与鉴定工作，严格把关，保障职业技能鉴定质量，为行业输送合格人才。

1.6 推进信息交流，加强信息化建设

协会通过官方网站（“中国工业清洗协会官网：www.icac.org.cn”）、简报（《中国工业清洗》）、微信公众号（中国工业清洗协会、中国工业清洗）、合作媒体：（新华社、中化新网、《经济日报》、《中国化工报》、《中国质量报》、《中国石化报》、《证券时报》、《信息早报-化工专刊》、《清洗世界》、《石油化工建设》），对协会、行业、会员进行全方位、多角度的宣传报道，提升协会、行业、会员的知名度和影响力。

为纪念中国工业清洗行业 40 年奋斗历程，总结发展规律，推动科学进步，协会编辑出版了《实干兴业——中国工业清洗行业 40 年之新时代 10 年》。谨以此书，致敬为行业发展做出卓越贡献的开创者和实干家，铭记大家共同奋斗的岁月。

2 “十四五”以来行业发展特征

工业清洗已从辅助工序跃升为现代工业体系的核心保障环节，其战略价值在多重挑战下持续凸显。在“双碳”目标引领下，中国工业清洗行业正以绿色为底、智能为笔，书写高质量发展新篇。从武汉论坛发出技术革新倡议，到济南展会亮相节能降耗设备与国家 ODS 淘汰法规的刚性约束；从储罐清洗机器人的智能应用，再到服务石化维保与支撑国家大型科研项目——行业正通过绿色发展、智能驱动、服务国家重大战略三大核心路径，坚定践行转型升级。

2.1 践行“双碳”，绿色发展

随着“双碳”目标的提出，绿色成为工业清洗行业发展的底色。2021 年在湖北武汉举行的第二十一届全国清洗行业技术进步与产业发展论坛上，中国工业清洗协会理事长王建军发出倡议，号召行业企业以新技术研发应用和产业创新为先导，以管理促效益的转型升级理念促进全行业的高质量发展。王建军建议行业利用好标准、互联网等工具，在提高清洗作业安全水平、清洗设备智能化水平、

工业清洗融入工业化大生产物联网协同发展等方面发力，推动转型升级。

2023 年 10 月 18—21 日，第二十二届全国清洗行业技术进步与产业发展论坛在山东济南举行。“节能降耗”是高压水清洗执行机构研发企业关注的重点之一。上海洁固清洗设备有限公司展出了其研发的 250 系列超高压清洗机。这是当时国内市场上采用最多的一款泵型，其最大的特点是“省油”。柴油价格飙升，已经成为高压水清洗施工最大的成本来源。而该设备通过电控系统，可以降低约 25% 的油耗，既降低了成本，又能够助力企业减排降耗，一举多得。

2024 年 1 月 5 日，《国务院关于修改〈消耗臭氧层物质管理条例〉的决定》发布，对《消耗臭氧层物质管理条例》进行重要修改，并将于 2024 年 3 月 1 日开始施行。消耗臭氧层物质（ODS）在工业清洗行业用途广泛，中国工业清洗协会和行业企业对此积极发声。协会副理事长兼秘书长赵智科在接受《中国化工报》等媒体采访时表示：“《条例》的修改彰显了我国加强 ODS 管理的决心。希望清洗剂生产和使用企业认真学习新《条例》并严格遵守，及早研发替代清洗技术和清洗剂，加速淘汰含 ODS 产品。”

工业清洗行业过去使用的 ODS 主要有氟利昂 113(CFC-113)、四氯化碳(TCT)、一氟二氯乙烷(HCFC-141b)、五氟二氯丙烷(HCFC-225)、含氢氯氟烃(HCFCs)以及 1,1,1-三氯乙烷(TCA, 亦称甲基氯仿)，它们常用于金属零部件、电子零部件、一次性医疗器械的清洗。其中，CF113、CTC、TCA 已先后被淘汰，含 HCFCs 的硅油稀释剂和清洗剂也从 2023 年 12 月 31 日起在一次性医疗器械行业内禁止使用。中国清洗行业 HCFCs 的淘汰工作基本完成，生态环境部将于 2026 年 1 月 1 日起发布 HCFCs 在清洗行业使用禁令，预示着中国 ODS 第二阶段的淘汰工作取得了胜利，下一个阶段中国工业清洗协会将继续协助生态环境部在中国清洗行业大力推进全氟碳化合物的淘汰工作，为保护臭氧层作贡献。

2.2 驱动智能，护航发展

“一个行业发展的基础来自装备的自动化与现代化，当设备有了更新、改进，行业工作的安全性、质量稳定性、效率等必然有所提升。”2023 年 8 月 23 日，由中国工业清洗协会主办的“创新驱动储罐清洗工艺，赋能石化维保高速发展”专题交流会在天津举行，时任协会副秘书长杜斌的一席话，点燃了与会代表探讨

先进智能清洗装备和技术的热情。

近年来，各种“神通广大”的清洗机器人应运而生，受到业内广泛关注。实际上，工业清洗机器人并非新鲜事物。早在几年前，就有企业开始研发这类机器人，但在工业应用方面一直没有大规模推广。近年来，随着相关技术的日渐成熟，以及环保、智能制造等领域国家政策的不断落地，工业清洗机器人的应用受到越来越多的关注。

机器人作业相比人工作业优势显著。在除锈方面，人工喷砂除锈高危、高污染、低效率；在喷涂方面，人工喷涂依赖经验技术，难以保证一致性；在油泥抽取方面，储存原油、重油等化工产品的储罐，时间长了罐底会沉积一层厚厚的油泥，需定期清洗，且罐内属易燃易爆有毒环境，人工作业危险性高。而工业清洗机器人可降低安全风险、提高施工效率。此外，在焊缝打磨方面，传统焊缝打磨需人工手持打磨机、砂轮等工具和设备进行作业，而机器人操作更灵活、高效，能够实现焊缝自动打磨。综上所述，工业机器人正以其智能化的作业方式，深度驱动传统高危行业的转型升级。其精准、高效、安全的核心能力，不仅显著提升了生产效能与质量稳定性，更从本质上保障了作业人员的安全健康，为行业的绿色、安全、可持续发展提供了坚实的技术支撑与智能护航。

2.3 超洁净清洗，服务国家战略

“十四五”期间，我国基础科学前沿领域再添重大标志性成果——江门中微子实验（JUNO）于2025年8月26日正式投入运行取数。该实验是中国科学院战略性先导科技专项，由中国科学院高能物理研究所承担，并获广东省人民政府共建支持。实验主体位于广东江门开平市地下700米处，建有一个有效质量达2万吨、具备低本底与高透明度特性的球形液体闪烁体探测器（中心探测器）。其首要科学目标是精确测定中微子质量顺序，并开展多项重大前沿研究。

协会会员单位万博克环保科技（北京）有限公司作为这一“国之重器”建设的关键参建单位之一，其凭借在超洁净工业清洗领域深厚的技术积累，圆满完成了中心探测器关键系统的清洗项目。该清洗工作为探测器的运行要求提供了核心工艺保障，有力支撑了中国科学院战略性先导科技专项的成功建成与高质量运行，彰显了我国清洗企业在服务国家重大科技基础设施中的技术实力与责任担当。

（二）“十四五”以来存在的突出问题

工业清洗作为现代制造业不可或缺的关键环节，其发展水平深刻影响着石油化工、集成电路、生物医药、新能源材料等战略性新兴产业的产品质量、生产效率和可靠性。近年来，我国清洗行业在基础技术普及方面取得显著进展，应用范围不断扩大。然而，面对全球产业升级和高质量发展的迫切要求，行业深层次的结构性矛盾与挑战日益凸显，亟待突破。

一是技术发展不平衡性加剧：基础清洗技术普及度高，但面向集成电路、生物医药、新能源材料等高端领域的超精密清洗、无损清洗、在线智能清洗等核心技术与国际先进水平仍有差距，自主创新能力有待加强。

二是产业结构优化迫在眉睫：低端同质化竞争依然存在，具备提供全生命周期解决方案和高端定制化服务的龙头品牌企业数量不足，产业集中度有待提高，“小散弱”现象制约整体竞争力提升。

三是绿色低碳转型压力持续增大：环保法规日趋严格，对清洗过程的废弃物（尤其是危废）处理、资源循环利用、碳足迹管理提出更高要求，部分企业技术和成本压力显著。

四是标准化与人才体系支撑不足：新兴技术（如智能化装备、新型环保药剂）的标准制定相对滞后；同时，适应行业高技术化、绿色化发展需求的复合型、高技能专业人才存在缺口。

此外，清洗技术、方法、设备及药剂构成清洗行业的核心领域。“十四五”期间虽取得显著进展，但短板依然存在，具体进步与不足详见下表。

表 1 十四五期间清洗核心领域的进步与短板

领域	进步	短板
清洗技术	激光清洗、干冰清洗、等离子体清洗等绿色技术产业化加速；生物酶清洗技术在食品、医疗领域渗透率提升。	部分高端技术（如精密超精密清洗）依赖进口；复合清洗技术协同性不足；技术标准体系尚不完善。

清洗方法	流程标准化程度提高；在线监测与闭环控制系统应用增多；定制化清洗解决方案能力增强。	智能化决策水平有限；工艺参数优化依赖经验；全生命周期管理理念普及不足。
清洗设备	自动化、半自动化设备成为主流；大型化、集成化设备（如 CIP 系统）广泛应用；国产设备在性价比与服务上具备优势	高端精密设备（如单片晶圆清洗机）国产化率低；设备智能化、网络化水平有待提升；可靠性、稳定性与国际先进水平仍有差距。
清洗药剂	环保型水基清洗剂、低 VOC 溶剂替代进程加快；高效、低泡、可生物降解配方研发活跃；专用化药剂（如光伏、锂电清洗剂）发展迅速。	部分核心原料（高性能表面活性剂、环保溶剂）仍受制于人；半导体芯片光刻胶、清洗剂主要依赖进口；药剂性能与长效稳定性需提升；废弃药剂无害化处理技术及回收体系不健全。

二、“十五五”时期面临的形势和发展趋势分析

（一）“十五五”时期面临的国内外形势

1 “十五五”时期国际形势

当前，工业清洗领域正面临大国科技博弈、产业链重构与绿色规则升级的三重冲击，全球竞争格局加速演变。

（1）技术竞争白热化

“十五五”期间，大国科技博弈将持续升级。西方国家对关键清洗设备核心部件（如高精度传感器、纳米级过滤系统）、工业软件（AI 驱动的工艺控制系统）及特种化学材料的出口管制可能进一步收紧。工业清洗行业需加速突破超精密零部件国产化瓶颈，构建自主可控的供应链体系，同时通过“一带一路”合作开拓替代性技术来源。

（2）全球产业链“双轨制”风险加剧

发达国家“制造业回流”与新兴国家低成本替代的双向挤压将更显著。欧美通过《芯片与科学法案》（CHIPS 法案）和《通胀削减法案》等政策强化本土高端制造布局，推动了半导体等清洗设备及服务供应商提升其全球运营能力；东南亚、印度等地区凭借劳工成本优势承接中低端产业转移。国内企业需通过智能化降本与技术差异化守住市场份额。

（3）绿色壁垒成为新战场

欧盟“碳边境调节机制”（CBAM）将产品全生命周期碳排放（含清洗环节能耗）纳入成本核算，叠加化学品的注册、评估、授权和限制（REACH）等法规对清洗化学品的限制，共同倒逼清洗设备及服务企业提升低碳技术与跨国合规能力。企业面临全生命周期环保认证压力，低碳清洗技术将成为提升国际竞争的必备能力。

在此背景下，构建技术自主性、提升全球合规能力、抢占绿色技术制高点，成为清洗企业突围全球市场的关键战略支点。

2 “十五五”时期国内形势

“十五五”将是行业从被动适应转向主动引领的关键窗口期，唯有抓紧技术升级、推动智能应用、强化综合能力，方能在复杂变局中实现高质量发展。

（1）核心驱动力深刻变革，高质量发展成为主旋律

“十五五”期间，国内清洗行业的核心增长动能将彻底告别粗放式规模扩张，进入以“价值创造”为核心的深度转型期。一方面，宏观经济增速趋稳，叠加产业升级浪潮，驱动需求结构向高端化、服务化跃升。战略新兴产业（如集成电路、生物医药）对纳米级无损清洗、在线监测等尖端技术的需求爆发式增长；同时，行业竞争焦点加速从单纯设备销售转向提供涵盖“清洗工艺设计+运维服务”的全生命周期解决方案，以破解低端同质化困局，提升服务附加值和客户粘性。服务化转型成为企业构建差异化竞争力的关键路径。

（2）需求场景持续拓展，科技与人口结构重塑行业形态

市政基础设施（如地下管网、大型储能设备）的智能化清洗维护需求激增，成为稳定市场的重要支撑。劳动力短缺的刚性约束则强力推动行业向无人化、远程运维方向加速演进，智能化装备渗透率将大幅提升。与此同时，科技革命深度赋能产业融合，AI 与工业互联网驱动清洗工艺自优化和故障预测能力跃升。

（3）政策标准与能力建设双轮驱动，构筑可持续发展护城河

面对绿色发展与合规性要求持续加码，“十五五”时期政策与标准体系的完善成为行业健康发展的关键保障。行业面临的核心挑战在于技术突破（如精密零部件“卡脖子”问题需产学研联合攻关）、模式创新（发展“平台+模块化服务”满足柔性需求）、绿色竞争力构建（布局碳足迹管理，变环保成本为溢价能力）及复合型人才培育（校企共建培养精通 AI、化学、机械的工程师）。能否在这些关键领域实现突围，将直接决定企业在变局中的生存与发展空间。

（二）“十五五”时期行业发展的主要趋势

“十五五”时期，中国工业清洗行业将迈入深度转型与创新升级的关键阶段。在高质量发展要求的驱动下，以及新质生产力理念的引领下，行业的发展动能与格局将发生深刻重塑。先进技术广泛渗透、智能化水平显著跃升、绿色低碳理念深度融入、品牌标准体系加速构建、服务模式向一体化与定制化深度拓展，共同勾勒出行业未来发展的清晰图景。

1. 先进清洗技术应用深化与拓展

激光清洗、干冰清洗、等离子清洗等高效、环保的先进清洗技术，其应用范围将持续扩大，渗透至更多工业细分领域。例如，激光清洗凭借其高精度、无接触的特性，在航空航天领域对飞机关键部件（如发动机叶片、机身蒙皮）的除漆、除锈作业中展现出显著优势；而干冰清洗凭借其无残留、不损伤基材的特点，在食品加工行业对生产线设备（特别是难以拆卸或对化学残留敏感的部件）的清洁维护中受到青睐。这些技术的广泛应用不仅提升了清洗效率，更大幅降低了传统清洗方式对环境的影响。

2. 智能化清洗技术加速兴起

人工智能（AI）、物联网、大数据等前沿技术的深度融合，正驱动工业清洗向智能化方向跃迁。未来的清洗设备将集成智能控制系统，具备实时参数监测（如压力、温度、流量、洁净度）、自适应工艺调整、精准故障诊断及预测性维护等功能。通过部署传感器网络，系统能够动态感知清洗过程状态，并基于数据分析自动优化清洗参数，从而显著提升清洗效果的稳定性、一致性和整体效率，实现清洗过程的智能管控与远程监控。

3. 绿色环保清洗技术蓬勃发展

在可持续发展理念的驱动下，开发环境友好型清洗技术将成为行业重要趋势。这包括大力研发和推广高效、低毒、可生物降解的水基清洗剂及生物基清洗剂，以替代传统有害溶剂，最大限度减少对生态环境和操作人员的影响。同时，行业将持续改进清洗工艺流程，着力提升水资源循环利用率，减少废水排放和能源消耗，力争实现清洗全过程的节能减排。

4. 品牌化建设与标准化体系完善

中国工业清洗协会将继续积极推动行业品牌化进程，更多具有技术实力和服务优势的品牌企业将脱颖而出，引领市场发展。与之并行的是，覆盖技术、设备、服务、安全、环保等全方位的行业标准体系将加速构建并日臻完善。健全的标准不仅有助于规范市场竞争秩序，遏制低质低价竞争，更能有效提升行业整体的产品可靠性、服务质量和安全环保水平。

5. 一体化综合服务模式成为主流

工业清洗企业正加速从单一工业清洗服务、工业清洗设备供应服务或清洗剂供应服务，向提供“工业清洗+N”的“一站式多种工业清洗服务方案”提供者转型。未来的服务模式将深度整合清洗方案咨询与设计、专用设备选型与定制、系统安装与调试、专业操作人员培训、长期维护保养以及高效售后服务等环节。这种全方位、全生命周期的服务模式，旨在为客户提供更科学、更系统、更便捷、更灵活、更具价值的清洗整体解决方案。

6. 定制化清洗需求与服务显著增长

面对不同工业领域（如精密电子、重工机械、生物医药、能源电力等）在清洗对象、工艺要求、洁净度标准及环保法规方面存在的显著差异，行业将更加注重满足客户的个性化需求。未来，清洗企业将投入更多资源，深入理解特定客户的独特应用场景和技术挑战，从而提供高度定制化的清洗工艺方案、专用设备配置以及适配性强的清洗产品，精准解决客户的特殊清洗难题。

三、“十五五”时期发展思路与目标

（一）“十五五”时期指导思想

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻落实党的二十大及二十届历次全会精神，立足新发展阶段，贯彻新发展理念，紧扣国家“十五五”规划关于绿色低碳转型、数字智能升级、产业基础高级化的战略部署，围绕制造强国、质量强国、美丽中国建设目标，以绿色化、智能化、高端化、服务化为主线，推动工业清洗行业技术革新、产业升级与结构优化。坚持和加强党的领导，坚持以人民为中心，深刻把握“十五五”时期的风险与机遇，以服务中国式现代化为根本，将发展工业清洗领域新质生产力作为核心任务。强化全球视野与战略思维，立足保持制造业合理比重、支撑现代产业体系安全的战略高度，突出创新驱动、融合共生、绿色低碳、智能转型与安全发展。充分发挥科技创新的核心引领作用，以智能化、绿色化、融合化为根本方向，推动工业清洗深度融入高端制造、战略性新兴产业及传统产业升级，显著增强行业发展的质量、韧性与国际竞争力，为我国工业高质量发展和全面建设社会主义现代化国家提供坚实支撑。

坚持科技自立自强，以提升自主创新能力、突破关键核心技术瓶颈为紧迫任务，加强应用研究与基础研究协同，取得一批具备国际先进水平的自主知识产权成果。大力发展节能高效、安全可靠、环境友好的智能化、专业化清洗技术、产品与装备，聚焦服务扩大内需特别是消费升级、保障产业链和供应链的安全稳定，支撑国家重大工程等战略需求，全面提升行业核心竞争力和价值创造能力。

积极构建以市场为导向、企业为主体、产学研用深度融合的协同创新体系，

优化资源配置，加速科技成果工程化、产业化。面对新发展阶段的新机遇与新挑战，协同政府相关部门，加强行业规划与标准引领，助力企业提升技术创新与精益管理能力，坚定走“专精特新”发展道路。坚持高水平开放合作，统筹发展与安全，鼓励企业在“一带一路”等框架下提升国际化经营能力，广泛整合国内外资源，引导行业从规模扩张转向内涵式发展。推动工业清洗在“十五五”时期实现质量变革、效率变革、动力变革，为我国新型工业化和制造强国建设提供坚实保障，做出更大贡献。

（二）“十五五”时期发展思路

1. 强化党建引领，筑牢高质量发展根基

为深入贯彻党的二十大精神及历次全会部署，坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面落实《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议》要求，本协会将持续强化党支部的政治核心与战斗堡垒作用，巩固拓展“不忘初心、牢记使命”主题教育成果。重点推进以下工作：加强行业非公党建工作的示范引领与经验推广，遴选并宣传一批企业党建创新典型案例；充分利用行业会议、媒体平台等渠道，积极传播党的政策主张与先进党建经验；充分发挥党员先锋模范作用，凝聚行业共识与发展合力，以高质量党建赋能行业治理现代化，引领行业沿着正确方向持续健康发展。

2. 深化品牌战略，构建行业竞争新优势

系统性开展品牌化建设。依托协会官网、简报、微信公众号及新闻媒体，全域推广行业品牌产品与技术；严格实施《工业清洗品牌产品管理办法》，从严把控品牌产品与验证机构认定标准，提升行业公信力与国际认可度。

3. 推动标准创新，促进行业高质量发展

推动工业清洗领域标准创新，以《国家标准化发展纲要》为指引，紧扣工业清洗绿色化、智能化、专业化、国际化转型方向，立足现有体系，补短板、强弱项、优结构、提效能，构建“结构科学、覆盖全面、协同高效、国际接轨”的

新型标准体系，支撑行业高质量发展。构建以团体标准为基础，国家标准、行业标准为目标的，更加完备的新型工业清洗标准体系，覆盖基础通用、清洗剂、清洗装备、清洗作业、安全环保、资质评价六大核心领域，为行业规范化、高质量发展奠定基础。加强国际交流，积极推动工业清洗标准国际化；动态对接国家战略需求，主导制修订清洗剂、安全防护等细分领域标准，强化行业话语权。

4. 筑牢安全底线，升级行业治理能力

构建“大安全”管理体系：丰富工业清洗企业资质类别、优化企业资质评审与安全作业能力评价机制，完善《工业清洗安全作业证书》全流程监管；指导企业建立标准化安全管理体系，通过全媒体宣传提升安全证书公信力，促进行业规范发展。

5. 创新服务生态，激活行业发展动能

培训体系升级：拓展“技术+管理”复合型培训（如项目经理职业化课程），深化产教融合；利用新媒体精准推送培训信息，扩大行业技能认证影响力。

数字化平台赋能：优化协会官网、公众号、视频号及短信平台功能，构建会员企业信息共享生态圈；升级《中国工业清洗》简报内容，联动骨干企业提供技术前沿与市场洞见。

（三）“十五五”时期主要目标

“十五五”时期，工业清洗行业发展的主要目标将以国家战略为纲，实现行业规划与国家“十五五”规划的深度融合与同频共振。行业将紧扣高质量发展、新质生产力、绿色低碳、数字智能、安全韧性、现代化产业体系等国家核心关键词，精准找准自身在国家发展蓝图中的定位与发力点。通过将行业重点任务全面嵌入国家目标体系，推动工业清洗从配套保障向战略支撑跃升，以绿色化、智能化、高端化、服务化为主线，深度服务制造强国、质量强国、美丽中国建设，为构建现代化产业体系和全面建设社会主义现代化国家提供坚实有力的行业支撑。

表 2 国家“十五五”规划重点部署与工业清洗行业发展目标衔接表

国家“十五五”核心方向	工业清洗行业的契合点与体现
发展新质生产力	推动清洗技术、装备、药剂的创新与高端化突破， 培育行业新质生产力
绿色低碳转型（双碳）	淘汰高污染工艺，发展绿色/水基/低 VOCs 清洗剂，推进节能清洗，降低碳排
数字中国/智能化	研发智能清洗机器人、在线监测系统、AI 视觉识别、数字化运维平台
现代化产业体系/高端制造	服务新能源、半导体、高端装备等战略产业，提供精密、高效、定制化清洗解决方案，打造专业化人才队伍
安全发展/安全生产	提升危险环境、高危设备（化工、电力）清洗的安全性及标准化，保障产业链供应链安全稳定
科技创新/自立自强	攻克高端清洗核心技术，打破国外垄断，突破“卡脖子”技术

到 2030 年，在工业清洗行业实现以下目标：

1. 深化绿色低碳转型，引领行业可持续发展

全面推广碳中和路径清洗技术：大力发展超低能耗、零排放、碳捕集利用的清洗工艺与技术，逐步推动清洗过程全生命周期的碳足迹核算与管理。重点突破生物基、可完全生物降解、超低 VOCs 清洗剂的规模化应用。

强化资源循环与近零排放：推动清洗废液、废渣的高值化、资源化利用技术（如贵金属回收、溶剂精馏再生、无害化污泥利用）达到工业化成熟应用。实现清洗环节水资源高效循环利用及近零液体排放技术的普及。建立覆盖全行业的清洗废物智能收集、转运与集中处理体系。

绿色供应链建设：推动清洗剂、设备制造商建立绿色供应链管理体系，从源头减少环境足迹。

2. 加速智能化与数字化转型，重塑产业形态

AI 驱动的智能清洗系统：深度融合人工智能、机器视觉、大数据分析，实现清洗过程的自主感知、智能决策、精准执行、实时优化。开发基于数字孪生的清洗工艺仿真与优化平台。

工业互联网平台应用：构建行业级或企业级工业互联网平台，实现清洗设备互联互通、远程监控、预测性维护、能效优化管理、服务模式创新。

机器人化与无人化作业：在复杂、高危（如核电、深海、高空、密闭空间）、精密（如半导体、光学）清洗场景，大规模应用高度柔性、高精度、自适应的清洗机器人及无人化解决方案。

3. 聚焦国家重大战略与前沿领域需求，突破“卡脖子”技术

尖端制造配套清洗技术：重点攻克服务于先进集成电路（3nm 及以下）、新型显示、大飞机/航天器高温合金/复合材料、可控核聚变装置、量子器件、生物医药（mRNA, 细胞治疗）等领域的超精密、无损、无残留、功能化清洗技术及专用装备。

新能源产业深度清洗：开发高效、低损伤的氢能储运装备（储氢瓶、管道）、大功率燃料电池电堆、新型储能电池（固态电池、液流电池）、光伏电池等生产制造与维护保养专用清洗技术。

极端环境适应性清洗：突破适用于深空、深海、极地、强辐射、超高温/超低温等极端环境下的特种清洗材料、工艺和设备。

4. 强化标准体系与质量品牌建设，提升国际话语权

标准体系升级与国际化：按照国家标准管理要求，做好现有标准体系所有标准项目的复审工作，紧跟行业技术发展和管理实际，完成现有标准项目的更新迭代和技术内容更新。围绕国家“十五五”规划，重点制定智能清洗、绿色低碳清洗、新兴领域专用的清洗作业、安全、环保、质量验收及评价标准。围绕国家“一

带一路”积极参与乃至主导国际标准（ISO 等）的制定，提升中国标准影响力。

质量品牌提升工程：持续培育具有国际竞争力的“专精特新”和隐形冠军企业，打造一批世界知名的工业清洗技术品牌、装备品牌和服务品牌。建立行业质量信用体系和追溯体系。

5. 构建高效协同的创新生态，筑牢发展根基

国家/行业级创新平台建设：依托龙头企业、顶尖高校和科研院所，组建国家级工业清洗技术创新中心或重点实验室，聚焦前沿基础研究、关键共性技术攻关和工程化验证。

产、学、研、用深度融合机制：建立更紧密的“需求牵引-协同研发-快速转化-应用反馈”闭环机制。鼓励大型用户企业开放应用场景，联合攻关。

创新成果高效转化：完善中试孵化、知识产权运营、风险投资等服务体系，显著提高科技成果转化效率和产业化速度。

6. 保障产业链供应链安全稳定

关键材料与部件自主可控：重点突破高性能特种清洗剂单体、高端过滤膜材、耐腐蚀超高压泵阀、精密传感器、高端工业机器人核心部件等“卡脖子”材料的国产化替代与规模化生产。

增强产业链韧性：优化产业布局，建立关键物资储备和应急保障机制，防范供应链风险。

7. 打造高素质专业化人才队伍

复合型人才培养：加强“绿色+智能+专业”复合型人才的培养和引进。推动高校设立或强化相关交叉学科。完善职业教育培训体系，大规模开展新技能培训。

高层次人才集聚：吸引和培育具有国际视野的领军人才、顶尖科学家和创新团队。完善人才评价和激励机制。

这些任务旨在推动中国工业清洗行业从“跟跑”、“并跑”向部分领域“领跑”转变，成为支撑制造强国、质量强国、数字中国、美丽中国建设的关键力量。

四、“十五五”时期重点任务、重点领域、重点项目

（一）“十五五”时期重点任务

针对我国工业清洗行业存在的突出问题，紧紧围绕行业的需求及《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议》要求，“十五五”时期工业清洗行业发展应完成以下重点任务：

1. 战略引领与体系构建

（1）强化战略导向：围绕产业结构优化升级、突破资源能源环境制约、服务国家重大工程与国计民生需求，超前部署前沿技术，稳定支持科技成果产业化。

（2）建设科技创新体系：强化基础研究，建设国家级/行业级创新平台（含重点实验室/创新中心），加速技术工程化转化。

（3）构建创新政策体系：突破阻碍自主创新的政策束缚，制定完善并加大实施激励政策（尤其科技成果转化奖励），形成激励自主创新的政策环境。

（4）统筹创新资源与制度：

①以加快发展科技生产力为根本出发点，以制度创新推动科技创新。

②充分发挥市场配置资源作用，统筹行业校企科技资源，加强产学研结合，建立健全科技资源共享与互动协调机制。

③夯实科技基础条件平台建设，提高全行业科技资源利用效率。

2. 核心技术攻关与突破

（5）攻克“卡脖子”与前沿技术：

①极限精密清洗：突破半导体清洗、航空航天精密部件无损清洗等关键技术。

②复合协同清洗：研发物理（超声波、激光、等离子体）+化学（新型药剂）+生物（酶）的高效协同机制。

③在线/原位智能清洗：开发集成传感器与 AI 算法的实时污垢监测、智能决

策与自优化清洗系统。

（6）发展高性能清洗技术：

① 高端化：积极发展高端成套自动化清洗设备的制备与产业化技术。

② 高性能低成本化：重点突破和发展高性能化、低成本化清洗技术。

③ 精细化专用化：重点突破和发展产品精细化、专用化、高附加值化清洗技术。

（7）推广关键应用技术：开发和推广大型设备免拆解清洗技术。

3. 绿色低碳与可持续发展

（8）发展节能环保技术：大力发展服务于节能减排的清洗技术；优化清洗设备的热回收、水循环、药剂减量系统，显著降低能耗物耗。

（9）强化环保处理能力：加强清洗废液处理装置的研制和工业化生产。

（10）推动药剂环保升级：促进清洗药剂向环保化、高效化、功能化升级。

（11）服务资源能源领域：着力发展服务于新型油气勘探开发、重质油等劣质资源高效利用、现代煤化工、生物工程等领域的清洗产品、设备及技术。

4. 产业升级与智能化转型

（12）推动清洗方法升级：向标准化、智能化、服务化转型；应用大数据、AI 进行污垢分析预测、工艺参数智能匹配与动态优化。

（13）推动清洗设备升级：向智能化、模块化、高端化迈进。

（14）培育品牌与企业：培育、支持、扶植推广工业清洗行业品牌产品和品牌产品生产制造企业。

（15）满足重大需求：大力发展满足国家重大工程及国计民生重大需求的清洗产品、设备及工程技术。

5. 标准质量体系建设

（16）完善标准体系：完成工业清洗行业标准体系建设，加快修订清洗作业、

清洗设备、清洗（药）剂、清洗服务、质量验收与检测、清洗三废处理的全产业链标准。力争完成 3-5 项国家标准和行业标准编制与修订，完成 6-10 项协会团标标准的编制。

（17）提升检测认证能力：提升清洗行业检测认证能力。

6. 人才培养与职业技能提升培训

（18）扩大与优化人才队伍：扩大科技人力资源总量，显著提高从业人员中高、中级技术人员比例。

（19）完善人才培养体系：加强高校专业设置与职业教育，培养复合型技术人才与技能型工匠。

（20）加强从业人员职业技能培训：加强对行业清洗操作人员的职业技能培训，不断提高行业从业人员的技能水平和作业能力。

7. 数字化赋能

（21）建设数字化体系：建设行业大数据中心，推广工业互联网平台应用，促进信息共享与协同制造。

（二）“十五五”时期重点领域

清洗行业的未来发展将呈现系统性、集成化、绿色智能的升级特征。其核心在于：用更智能、更高效的设备减少人力依赖、提升精度和可控性。用更环保、更安全的药剂保护环境和人员健康，满足法规要求。提供更专业、更数字化、更具价值的服务，成为客户生产运营中不可或缺的合作伙伴。

1. 清洗设备

（1）高度自动化与智能化：

机器人广泛应用：替代人工进行危险、繁重或高精度清洗（如核电、航空航天、复杂管道、大型储罐）。协作机器人将更普及。

集成传感器与物联网：设备实时监控运行状态（压力、流量、温度、振动）、

耗材寿命、能耗，实现预测性维护，减少停机。

AI 优化工艺：基于实时数据和历史经验，AI 自动调整清洗参数（如压力、温度、时间、药剂浓度）以达到最优清洗效果和效率。

数字孪生应用：在虚拟环境中模拟和优化清洗过程，降低试错成本。

（2）高效节能与资源循环：

高效能设计：采用变频技术、高效电机、优化流体动力学设计，显著降低能耗（水、电）。

闭路循环系统：开发和完善水、清洗液的循环过滤、再生利用系统，最大限度减少新鲜水消耗和废水排放。高压水射流设备的水回收技术是重点。

热能回收：在需要加热的清洗过程中（如热水清洗、蒸汽清洗），集成热能回收装置。

（3）多功能集成与模块化：

一站式解决方案：设备集成清洗、漂洗、干燥、废液初步处理等功能于一体。

模块化设计：便于根据客户需求灵活配置、升级和维护。

（4）绿色化与低排放：

设备密封性提升：减少清洗过程中的飞溅和气溶胶产生，降低 VOCs 无组织排放。

集成废气/废水预处理单元：在设备源头处理污染物。

2. 清洗服务

（1）专业化与精细化：

深耕细分市场：针对特定行业（如半导体、生物制药、食品饮料、新能源电池、精密制造）开发高度专业化的清洗工艺和服务标准。

效果导向服务：从“洗干净”转向“满足特定洁净度标准”（如颗粒度、残留离子、微生物限度），提供验证和认证服务。

（2）数字化与数据驱动：

服务过程透明化：利用物联网、移动终端记录服务过程关键参数（时间、地点、人员、使用设备/药剂、关键数据），生成电子报告。

数据化管理：帮助客户建立设备清洗档案，分析清洗效果趋势，优化维护保养计划。

远程诊断与支持：专家通过 AR/VR 技术远程指导现场操作或进行初步故障诊断。

（3）增值服务拓展：

一体化解决方案：集成设备供应+专用药剂+技术服务+人员培训+废弃物处理的工业清洗闭环服务。

咨询与评估：提供清洗工艺审计、效率评估、环保合规性咨询、成本优化建议。

预防性维护：基于设备状态监测数据，主动提供维护服务，避免设备故障导致停产。

（4）绿色服务认证：

建立绿色服务标准：涵盖节能、减排、资源消耗、废弃物管理等方面，并通过第三方认证。

碳足迹追踪：量化服务过程中的碳排放，提供减碳方案。

（5）安全与合规：

强化安全培训与规范：严格遵守国家安全生产法律法规，特别是在密闭空间、高空、危险化学品操作等场景。

3. 清洗药剂

（1）绿色环保化：

生物可降解性：成为基本要求，重点发展基于可再生资源的表面活性剂（如

糖苷类、氨基酸类）。

低/无 VOCs 配方：水性配方是主流，开发高效的水性替代品。

无危害配方：减少或消除对皮肤刺激性、致敏性、致癌性、致突变性、生殖毒性、环境激素等危害。

无磷/低磷、无硼、无重金属、无受限物质：满足全球各地法规要求。

（2）高效性与多功能性：

开发更高效的表面活性剂和助剂：在低温、低浓度下仍能保持优异清洗力，减少能源和资源消耗。

“一剂多能”：开发同时具备清洗、缓蚀、防锈、杀菌等功能的配方，简化工艺。

针对性配方：针对特定污垢（如油脂、积碳、水垢、生物膜、光刻胶）开发专用高效清洗剂。

（3）智能化与可控性：

智能响应型药剂：开发对 pH 值、温度、光等外界刺激敏感的“智能”清洗剂，实现更精准的控制和更易漂洗。

易于在线监测：药剂成分或浓度便于通过传感器在线监测，实现自动添加和工艺控制。

（4）循环利用与资源化：

延长使用寿命：开发稳定性更好、不易分解失效的药剂。

药剂再生技术：研究清洗废液中有效成分的分离、提纯和再利用技术。

废液资源化：探索从废清洗液中回收有价值物质（如金属）的技术。

（5）安全性与易用性：

提升本质安全：降低闪点、腐蚀性、毒性。

改进包装与标识：使用更安全的包装材料，提供清晰、全面的安全信息和操

作指南。

便捷的投加系统：设计便于自动化、精确投加的包装和配送系统。

（三）“十五五”时期重点项目

为实现“十五五”时期行业发展主要目标，围绕重点任务，要着力支持、推进以下重点项目。

1 倒极电化学设备在循环水系统中的开发应用

项目名称：倒极电化学设备在循环水系统中的开发应用

承担单位：欣格瑞(山东)环境科技有限公司

1.1 研究背景

《水污染防治行动计划》和国家水资源以及生态环境保护法律法规的不断发布及实施，企业取水和污水排放受到越来越多的限制，用水成本越来越高，节水对企业的发展甚至生存的影响日益显著。

由于现在国家对企业节能减排的要求，促使各企业进一步提高浓缩倍数，形成超浓缩水，循环水的结垢、腐蚀、粘泥问题加剧，循环水质越来越差，严重影响企业正常运转及系统的安全稳定运行，增加企业检修负担，由此排出的水对污水处理单元构成冲击，直接影响企业环保达标。有效改善超浓缩水水质、降低企业排污难度、减少补充水量的水处理技术需求越来越高。

目前，市场上可用于循环冷却水系统水质稳定控制的处理方法有：物理清洗法、化学清洗法、化学药剂法、电化学法、超声波法、高压静电阻垢技术、磁化及电磁处理法等。使用最多的控制结垢的方法为化学药剂法，通过投加药剂起到阻垢效果，但随着药剂法的长久发展，所出现的问题也越来越多，常见问题有：

- （1）药剂法为被动阻垢方式，成垢离子不能去除，影响浓缩倍数极限。
- （2）因浓缩倍数受限，需大量补水。
- （3）浓缩后的水中各种离子和污染物含量多，排污难度大，后续处理复杂；

水体中药剂成分残留，造成二次污染。

(4) 随着人口的增长与社会的发展，取水越来越难，补水水质越来越差，导致药剂投加量越来越多，且对一些高硬和高碱水质系统，药剂并不能完全控制系统结垢。

电化学水处理工艺为综合水处理系统优化提供了一条全新、可靠、简便、清洁、经济的思路，具体表现为：

(1) 本技术是主动除垢技术，其原理就是利用电沉积方法使水中钙、镁等易结垢离子在电化学设备阴极电极表面沉积，减少进入循环水系统中的易结垢离子数量，节省了需要化学清洗的时间和清洗费用。

(2) 通过极板反应，在阳极产生大量的自由氯及羟基自由基等强氧化物质，可达到杀菌及氧化污染物的效果，同时阳极还能实现循环水中碱度的去除，降低结垢倾向。

(3) 应用在工业循环水的处理中，可以代替或减少药剂投加量，使循环冷却水的浓缩倍率提高至药剂法的 2-3 倍，从而使循环水系统在超浓缩的情况下安全稳定运行，同时降低药剂带来的二次污染。

电化学除垢技术是国家工信部、水利部 2019 年-2023 年连续发文明确支持和鼓励的新技术，具有环保、节水、节能等优势，将会成为未来循环水处理的方向。

1.2 国内外研究现状

目前，国内外对电解循环冷却水的研究主要集中在可行性研究、电极材料和电化学反应器的结构等方面，对电解参数和阴极结垢剥离方式的研究仍然存在不足。国内对电解槽阴极壁面垢层去除方式的研究主要集中在超声波法除垢、高压水冲洗除垢、倒极除垢、刮刀除垢等几个方面。

以上两种方式目前已很少使用，刮刀除垢是目前较多使用的除垢方式，机械刮削法需要在阴极和阳极之间安装刮刀来周期性地刮除阴极上的结垢，但机械刮刀的安装需要占据较大的空间，并且增大了阴极和阳极的极间距，造成硬度去除

效率降低，能耗增加，设备体积庞大，安装场地受限；刮刀系统机械故障较多，设备不稳定运行率较高。

本计划倒极电化学技术摒弃了以上缺陷，采用倒极除垢处理循环水的过程中，阳极连接电源的正极，阴极连接电源的负极，当阴极壁面的结垢需要清除时，阴极接电源正极，阳极接电源负极，通过极板表面产生的 H^+ 和 O_2 气泡将极板内层水垢酸解并使得整块水垢脱落，从而达到去除效果。与传统的机械刮削法相比，具有以下优势：

（1）因气泡在极板表面产生，所以剥垢更彻底，除垢效率高；

（2）对极板镀层无损害，延长极板寿命，维护成本低；

（3）极板间距小，有效提高设备空间利用率，降低设备的整体能耗，运行费用低；

（4）除垢和剥垢同时进行，提高整体处理效果，易于实现设备自动化。

本计划产品倒极电化学为新一代电化学产品，具有效率高、使用成本低、自动化等更鲜明的优势，对工业企业节水、减排、节能等作用显著，有利于工业企业高质量发展，对建设节水型社会有一定促进作用。

1.3 研究内容

主要研究内容包括：

（1）进行市场调查，全面了解电化学市场发展趋势，循环水行业痛点和本项目实施可行性分析。

（2）进行实验室小试实验，确定包括极板材料、电流电压、极板间距等一系列实验参数，筛选最佳反应，形成标准化反应模式和数据表格，供后续设计参考。

（3）利用实验参数，设计电化学装置，确定装置结构、尺寸、附属设备选型、材质等，绘制设备生产图纸。进行放大实验和中试实验，调试参数，据此设计制造工程样机，进行小规模循环水系统实际使用，并进行现场运维调试，进行现场实验。

（4）设计建造电化学设备生产线和生产工艺，新建生产厂房和全工艺生产线的建造，利用钢材、钛材、电器配件等原材料，采用图纸设计-来料检验-下料-焊接成型-打压试漏-组装-整机调试-包装入库等工艺流程，进行规模化、系统化设备生产。

（5）进行实验室实验和现场试验，更新迭代设备，优化设备构型和生产方式，扩展设备应用领域和规模型号。

1.4 技术的创新性及先进性

（1）高效率多功能极板材料

可以有效替代市面上单一功能的电化学极板，使用独创材料，提升阴极除垢效率，在具有除垢效果的同时，阳极产生大量强氧化性基团，具有杀菌灭藻作用，同时所选材料可有效防止阳极溶蚀现象，在满足倒极极性交换要求的同时，增加了极板使用寿命。

（2）倒极除垢技术

自主研发独家倒极剥垢技术，改变传统机械刮垢形式，与传统的机械刮削法相比，具有以下优势：

表 3 倒极除垢技术的优势

指标名称	行业指标	本品指标
同容积设备极板反应面积	60%	90%
极板清垢效率	60%	90%
除垢率	45%	95%
总硬度去除率	6.1%-9.8%	16.4%-21.4%
极板使用寿命	3 年	5 年

1.5 研究目标

本计划总目标为研发设计出一套具有除垢、杀菌灭藻和缓蚀功能的电化学设备，具有自研极板和独家倒极脱垢技术，逐步进行放大实验至实际工程应用；本计划还包括小试实验及设备设计制造，包括初代机的设计、运维、调试、使用，设备的迭代更新设计和生产线的建造及后续扩产。

本项目通过研发的倒极电化学水处理设备，提高循环水利用率，为企业降本增效。结合公司自研欣格瑞品牌系列水处理化学药剂，实现工厂近零排放处理，成为工厂身边的水管家。

本项目最终要达到两项技术成果。

成果一:倒极电化学设备。经过技术原理论证，效果验证实验，样机运行调试，现场试用，设备量产的研究路线，最终形成能够量产，能够满足现场应用要求的倒极电化学设备。

成果二:多功能极板材料。根据倒极技术对极板的要求，设计制备出能够满足倒极要求的抗溶蚀且价格低廉的极板材料，不但能应用于倒极电化学设备，也能做一般电化学设备的阳极。

1.6 拟采取的技术路线



图 1 技术路线

1.7 建议及诉求

电化学技术目前还未被业界广泛认可，特别是倒极电化学技术的行业认知更低，下一步需进行项目的相关推广和技术推介，打开技术知名度。

电化学除垢设备目前主要应用于循环水行业，其具有的杀菌灭藻和除盐效果对其他水体理论上也具有处理效果，目前环保污水除盐相关的需求越来越多，废水除盐研究也有很多，但多集中于高校实验室阶段，实际应用案例较少。希望通过这一技术延伸至环保废水除盐方向进行相关研究，力求实现将电化学技术应用于废水处理及其他水体的治理，进行电化学技术的进一步推广。

2 安全型可蒸馏回收电池壳清洗剂

项目名称：安全型可蒸馏回收电池壳清洗剂

承担单位：华阳新兴科技(天津)集团有限公司

2.1 研究背景

电动汽车电池壳是封装和保护电池的外壳。在任何汽车中，电池对于启动车辆、控制电气部件和保持最佳功能至关重要。目前，全球新增的电动汽车电池壳的产能中绝大部分集中于中国，许多中国本土汽车零部件企业凭借着在多年的发展过程中积累的客户资源、生产规模、资金实力、技术优势等快速进入电动汽车电池壳行业，不断扩大电池壳产品生产线。

近年来，用于开发电动汽车电池外壳的材料范围不断扩大，并且正在解决重量、组装甚至冷凝问题。由于铝的结构刚性和重量轻，通常制造电动汽车电池外壳的首选材料是铝。

在目前生产中使用的清洗设备及冲压油清洗剂，大多为水性清洗剂产品，由于近两年新能源汽车各厂家将目光聚焦在价格与续航方面，因此下游产业的成本压力愈加增大，由于水性清洗剂的不可重复利用特性，各电池壳生产厂家逐渐选择优质的可蒸馏回收溶剂型清洗剂对传统的水性清洗剂进行替换。因此，开发出国内自主开发，可配合蒸馏清洗设备使用的高效清洗剂变得格外重要。

2.2 国内外研究现状

国内外的电池壳清洗剂一般分为两类：水基清洗剂和溶剂清洗剂。目前电池壳行业使用水基型清洗剂为大多数厂商的第一选择，水基清洗剂主要是利用表面活性剂、缓蚀剂等溶解力去除冲压油残留，通过超声波以及升温等辅助作用增强去污能力。水基清洗剂初期成本低、适用规模较小或刚涉足生产清洗的厂家，同时适配于喷淋设备，但随着国内新能源的发展，喷淋较为低效的方式逐步被取代。由于酸性清洗剂易对铝制电池壳造成损伤，所以早期使用的水基清洗剂主要为碱性，由于冲压油内存在多种润滑、防锈剂，清洗剂使用后无法回收，烘干时间长，对处在降本增效的新能源下游产业成本依然较高。

溶剂清洗剂最初多采用低闪点的溶剂油，其具有溶解力高、易挥发等优点，但闪点低、味道大，对现场实际操作的工人容易造成身体伤害。因此这种清洗剂逐步被淘汰。替代的有机清洗剂为碳氢类清洗剂，其特点味道小、闪点高、可蒸馏回收利用、清洗高效、适用设备广泛等。同时可以添加醇类等对电池壳冲压过程中的加工油进行有效清洗，整体工艺过程中的清洗、漂洗乃至蒸汽干燥，都使用溶剂，因而不需要纯水制备和废水处理。这类清洗剂技术已是成熟技术，大多具有良好的清洗效果。但在铝制电池壳生产过程中产生的金属碎屑、积碳等目前还无法有效清洗，达到客户要求，急需改进完善。

目前在各新能源电池壳制造厂商，由于成本控制，产量提升的问题，寻求替代品的意愿十分强烈。因此，有必要研发一种新型的可配合清洗设备使用的电池壳清洗剂，以克服目前成本高，清洗周期长的缺陷，以满足现有生产需要。

2.3 研究内容

本项目的研究内容有以下四点：

（1）查阅相关资料和文献，根据污染物的类型、清洗机理及产品使用功能的设计要求，筛选符合产品需求、具良好可靠性的原材料进行实验室配方试验，试制产品样品；

（2）对实验室试制的产品样品进行使用性、稳定性、安全性等各性能指标的测试验证，根据测试结果调整产品配方，对不符合项进行再调整、优化原料选

择并最终确定配方；

(3) 根据实验室产品配方进行中试生产，确定产品生产所需的设备、工艺过程、工艺参数等各项生产条件，筛选出最优生产条件的工艺参数；

(4) 投放市场，根据清洗现场的清洗效果和反馈，对产品进行微调，使配方最优，符合最初设计的理念和要求，达到客户的满意。

2.4 技术的创新性及先进性

其创新性及先进性有以下几点：

溶剂碳氢型清洗剂产品，清洗能力强，冲压油、积碳、金属屑残留可得到有效清洗，生产效率高；

可蒸馏回收使用，降低使用成本，降低挥发性气体排放；

对各类金属具有良好的兼容性；

干燥彻底，无残留；

安全环保，符合 VOC 标准，不含强碱，磷等有毒和危害环境的物质，无废水排放问题。

2.5 研究目标

(1) 总目标

1) 对在电池壳生产加工中产生的冲压油、金属碎屑、积碳等多种冲压拉伸残留物和污染物有良好的清洗效果，可满足客户洁净度的要求；

2) 对各类金属板材等安全，对性能无影响；

3) 可蒸馏回收使用，可配合现有的生产设备使用。

4) 清洗剂安全、环保，所选用的原材料要无毒，不对人体和环境造成危害。

(2) 技术指标

具体技术指标及指标要求见表 4。

表 4 性能指标要求

序号	项目	测试方法	指标要求
1	外观状态	目测	均匀透明
2	气味	嗅辨	无刺激性气味
3	闪点	GB/T 3536	≥60
4	洗净力	目测	无残留
5	馏程	GB/T 6536	较低

2.6 建议及诉求

目前，电池壳生产行业产能随着我国新能源汽车行业的崛起日益攀升，作为新能源系统中最基础、最重要的部件，同时追求更快、更好，成本更加低廉的生产方式方法，人们对电池壳清洗工艺不断提高，对溶剂清洗的安全、高效、节能也越来越严苛，一款性能优异的电池壳清洗剂可以大大提高产品合格率，提高生产效率，降低生产成本，同时对未来开拓国内外市场有积极作用。

3 溶剂型快干金属封闭剂

项目名称：溶剂型快干金属封闭剂

承担单位：华阳新兴科技(天津)集团有限公司

3.1 研究背景

目前，全球金属材料行业发展趋势稳步增长，金属材料广泛应用于工业领域，但在应用过程中易受腐蚀、氧化及环境介质（如湿度、盐雾、化学品）的侵蚀，导致性能退化。为了避免这些潜在问题的发生，金属封闭剂应运而生。例如，镁铝合金经微弧氧化处理后形成的陶瓷膜虽具备耐磨性，但表面微孔和微裂纹会加速腐蚀，需通过封闭剂填补缺陷以提高耐腐蚀性。此外，热镀金属材料（如镀锌

钢)需用封闭剂增强防护膜的耐蚀性,延长使用寿命。

金属封闭剂是一类通过物理或化学手段在金属表面形成保护层,以提高金属制品的耐氧化、耐腐蚀性和美观度等功能性材料。其应用广泛,涵盖汽车制造、航空航天、电子设备、建筑材料等多个领域。随着工业制造对金属表面防护性能要求的提升,金属封闭剂作为防腐、防锈及延长材料寿命的关键涂层技术,其市场需求持续增长。据预测,2025-2030 年全球金属封闭剂市场规模年均增速将达 6%-8%,其中亚太地区(尤其是中国)因工业化进程加速,成为增长最快的市场,尤其在汽车、航空航天、电子器件等领域的应用潜力显著。然而,传统金属封闭剂存在干燥速度慢、溶剂环保性差、重金属成分(如镍)污染等问题,难以满足现代工业对高效、环保、低能耗的迫切需求。在环保政策的推进和技术创新的加速下,金属封闭剂行业呈现多元化、绿色化发展趋势。在此背景下,开发兼具快干性、高耐蚀性及环境友好性的溶剂型快干金属封闭剂成为行业技术升级的核心方向。

溶剂型快干金属封闭剂是一种以有机溶剂为载体的液态保护材料,通过快速挥发溶剂形成致密保护膜,实现对金属表面的防腐蚀、防氧化和耐磨损保护。其核心优势在于快速干燥(通常几分钟内表干)和强渗透性,适用于高效率生产线和复杂工件表面处理。此类封闭剂广泛应用于汽车、机械制造、航空航天、电子等领域。

3.2 国内外研究现状

(1) 溶剂体系与干燥机理的优化

溶剂型封闭剂的干燥速度主要取决于溶剂的挥发速率和成膜性能。国外研究较早关注低沸点溶剂的开发,例如采用酮类(如丙酮)或酯类(如乙酸乙酯)溶剂,通过降低体系黏度加速溶剂挥发,同时结合高固含配方减少溶剂用量。例如,BASF 等企业推出的产品通过优化溶剂配比,将干燥时间缩短至 10 分钟内。但酮类和酯类溶剂由于安全性、气味性等问题导致使用受限。

国内研究近年来也取得进展,如武汉艾特普雷等企业开发的快干封闭剂,通过引入改性醇酸树脂与快干溶剂的协同作用,干燥时间可控制在 15-30 分钟,但仍需在耐候性方面进一步突破。

（2）固化剂技术的创新

三聚体固化剂的应用显著提升了干燥速度。例如，国外企业（如 Nippon Shokubai）开发的三聚体异氰酸酯固化剂，能在常温下快速交联成膜，干燥时间较传统产品缩短 30% 以上。国内研究则聚焦于水性化与溶剂型产品的平衡，如郑州德源精细化工推出的快干封闭剂，通过复合固化体系（如聚氨酯与环氧树脂结合）实现快速固化，但溶剂残留问题仍需解决。

（3）工艺与设备的协同改进

国外实验室通过集成真空干燥与溶剂蒸发技术（如 Genevac HT-12 系统），在保持封闭剂性能的同时，将干燥时间从传统冻干的 48 小时缩短至 16 小时，并支持多溶剂体系的高效处理。国内企业则更多依赖传统加热干燥设备，效率相对较低，但近年逐渐引入自动化涂装线以减少工艺环节时间。

技术瓶颈：国内产品在干燥速度上接近国际水平，但耐化学性和长期稳定性仍有差距。例如，部分国产封闭剂在高温高湿环境下易出现返黏现象，影响干燥效率。此外，快干可能牺牲涂层的致密性和耐腐蚀性，因此要想法平衡干燥速度与性能。针对溶剂型快干封闭剂的研究，国外研究以高端应用和环保技术创新为核心，国内则在政策驱动下逐步向绿色化、自动化转型，但技术差距仍存。

3.3 研究内容

1) 查阅关于溶剂型快干金属封闭剂的相关资料和文献，根据已掌握的封闭理论及此种类型封闭剂的快干机理，设计配方；

2) 配方设计与筛选围绕快速成膜与长效保护展开：基于高性能合成树脂（如丙烯酸树脂）、溶剂（低毒）及功能性助剂（缓蚀剂、促进剂）的复配研究，优化成膜速度与耐盐雾性能。其中溶剂：作为载体，溶解其他成分并促进渗透，挥发性强的溶剂可加速干燥。成膜物质（如树脂、脂肪族聚酯）：决定涂层的机械强度和耐候性。例如，脂肪族聚酯可有效隔绝氧气和水分。筛选符合产品需求、具有良好可靠性的原材料进行实验室配方试验，试制产品样品；

3) 对实验室研制的样品进行干燥速度、漆膜厚度、耐盐雾性等各项测试，对于不符合项进行再调整，优化原料选择并最终确定配方；

4) 进行车间中试, 调整生产釜的生产温度、搅拌速度, 确定原料投料顺序和生产时间, 跟踪和监控生产全过程生产釜内物料状态, 筛选出最优生产条件的工艺参数;

5) 批量生产, 投放市场, 根据现场工况的封闭效果和反馈, 对产品进行微调, 使配方最优, 符合最初设计的理念和要求, 最终让客户满意。

3.4 技术的创新性及先进性

华阳新兴科技(天津)集团有限公司自主研发的溶剂型快干封闭剂适用于汽车制造、航空航天、电子设备、建筑材料等多个领域各种金属表面封闭防护。

其创新性及先进性有以下五点:

1) 快干性: 通过快挥发溶剂与快干树脂的结合, 实现涂装后在 $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 烘箱烘干 5min 即可实现干燥进入下一工序, 同时可以降低能源消耗;

2) 平衡性: 通过加入硅烷偶联剂, 复配不同类型的树脂平衡干燥速度与涂层致密性和耐腐蚀性等;

3) 多功能性: 兼具防锈、防变色、高渗透性及高附着力特性, 适用于复杂工件表面;

4) 环保性: 采用无镍、无重金属、无苯配方, 低毒环保;

3.5 研究目标

(1) 总目标

1) 快速干燥, $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 可在较短时间内 (小于 10min) 实现干燥, 不影响生产线整体速度, 满足客户对干燥速度的要求;

2) 对封闭后的金属表面无影响, 封闭后不变色、不产生印迹, 外观美观;

3) 易清洗无残留, 用常见溶剂型清洗剂可轻松洗净, 对后序加工工艺无影响;

4) 具有一定防护性, 满足金属 30-60 天的工序间无锈蚀、无变色。

(2) 技术指标

- 1) 干燥时间 $\leq 10\text{min}$ ($60\pm 5^{\circ}\text{C}$) ;
- 2) 耐盐雾性能: 3h 开始出现腐蚀 (GB/T 6458-1986) ;
- 3) 附着力: 0 级 (GB/T 9286-1998) ;

技术指标及测试方法见表 5。

表 5 产品技术指标及测试方法

序号	项目	测试方法	指标要求
1	外观状态	目测	无色至淡黄色透明液体
2	干燥时间 ($60\pm 5^{\circ}\text{C}$) $\leq$	GB/T 1728-2020	10min
3	耐盐雾性	GB/T 6458-1986	3h
4	附着力	GB/T 9286-1998	0 级

3.6 建议及诉求

目前, 溶剂型快干金属封闭剂广泛应用于汽车、机械制造、航空航天、电子等领域各类金属表面的防腐蚀、防氧化和耐磨损保护。随着性能要求提高与环保趋势, 一款溶剂型快干封闭剂不仅可以大大提高干燥速度, 提升工作效率, 还能有效节能减排。

4 环保型镀锌设备多用酸洗缓蚀剂研制

项目名称: 环保型镀锌设备多用酸洗缓蚀剂研制

承担单位：大连扬澳科技发展有限公司

4.1 研究背景

全世界每年的金属腐蚀成本巨大，占据全球 GDP 的 3%-5%。我国每年因金属腐蚀造成的经济损失占据我国 GDP 的 4%-5%，损失巨大。

锌作为使用最广泛的金属之一，它在全球金属生产和消费中排名第四。钢铁表面镀锌是保护钢铁免受腐蚀的一种有效和经济的选择。

由于镀锌设备工作环境的复杂性，镀锌设备经长期使用后经常覆盖油污、锈垢、水垢等积垢。积垢的存在使导热性能下降，不但浪费能源，增大污染，而且影响生产的正常进行，甚至会引发安全事故。

积垢性质不同，需要选择不同清洗剂，其中最常用也最有效的清洗剂是氨基磺酸、盐酸、氢氟酸和土酸等。

然而，这些清洗剂会快速腐蚀镀锌层，必须添加有效缓蚀剂，才能保证设备安全。但是目前世界范围内，仅研发出针对个别清洗剂的缓蚀剂，且效果均不理想。

高效、无毒、无味、易降解的环保型缓蚀剂，或者适用于多种清洗剂体系的缓蚀剂尚未研制成功。因此，开发研制环保型镀锌设备多用酸洗缓蚀剂意义重大。

4.2 国内外研究现状

在国外，目前仅德国研制成功一种适于氨基磺酸清洗的镀锌设备缓蚀剂，烟色，固体，缓蚀效果优良。其它镀锌设备清洗缓蚀剂未见报道。

国内近几年研发热情很高，先后有几种镀锌设备的氨基磺酸和盐酸清洗缓蚀剂，如北京和润海澜、烟台金沅力达、杭州冠洁、大连扬澳和淄博友联等。但是这些缓蚀剂均存在严重问题，或缓蚀效果不佳，或味道极大，或产生沉积，或颜色难看，或严重附着，或用量太大，使得操作困难，环境污染，容易脱锌。

4.3 研究内容

依据分子结构特征、吸附理论和软硬酸碱理论等筛选环保型缓蚀组分，研究

其协同效应，通过正交试验、析因实验和模糊分析等方法确定配方组成，研发出环保型镀锌设备多用酸洗缓蚀剂，并采用失重法、电化学方法和形貌分析等手段对缓蚀剂的各种性能进行全面评价。

4.4 技术的创新性及先进性

由于锌的电极电位很低，而且极易形成宏观电偶，因此其缓蚀剂研制难度很大，尤其适用于多种体系的缓蚀剂研发难度更大。

环保型镀锌设备多用酸洗缓蚀剂的研制成功，将填补国内外清洗领域及缓蚀领域重要空白，是一项重要创新，会处于国际领先水平。

4.5 研究目标

总目标：成功研发环保型镀锌设备多用酸洗缓蚀剂。

技术指标：（1）腐蚀速率小于 $0.5\text{g} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$ 。

（2）镀锌样管 8 小时不脱锌。

（3）味道小，颜色浅，无毒无害，安全环保。

5 基于绿色低碳目标的防爆机器人智能装备系统在石化储罐维保中的示范应用

项目名称：基于绿色低碳目标的防爆机器人智能装备系统在石化储罐维保中的示范应用

承担单位：深圳市行知机器人技术有限公司

5.1 开发背景

钢制储罐作为石油化工行业核心基础设施，承担着原油、成品油及化工原料的战略储备职能。据统计，我国在役大中型储罐超 3 万座，总库容逾 4500 万立方米，其安全运行直接关系能源保障与生态安全。然而，储罐长期暴露于复杂工况下，罐体受电化学腐蚀、硫化亚铁沉积、保温层下腐蚀等影响，导致壁板减薄甚至开裂，构成重大安全隐患。

传统人工除锈采用喷砂、角磨机等工艺，存在三大突出问题：1）作业危险性高，涉及高空、受限空间及易燃易爆环境，事故率超石化装置平均水平；2）环保风险突出，扬尘污染严重，违背《中国制造 2025》绿色发展要求；3）效率低下，人工成本占比达 40%-60%，且面临“用工荒”难题。国务院《中国制造 2025》明确将“节能环保技术装备推广应用”作为制造强国战略核心任务。行业亟需通过智能化装备实现“三替代”：以机器人替代人工、以超高压水射流替代干式喷砂、以闭环回收系统替代开放式污染。

5.2 成果介绍

行知行开发的 EX-02 防爆机器人成套装备基于高压水射流除锈技术，以防爆爬壁机器人为作业平台，专用于石化储罐内外壁的除锈、喷涂作业。操作人员通过防爆摄像头远程操控机器人，规避罐内危险环境。系统配备污水回收装置，抽干作业面水分防止返锈，含锈渣/漆渣的废水经处理过滤后环保排放，并通过喷涂模块实现表面修复。该技术集成远程操控、污水循环、智能喷涂等功能，兼具防爆安全性与作业高效性，解决了传统人工进入受限空间作业的风险，形成除锈-抑锈-喷涂的绿色闭环工艺流程。如图 2 所示。

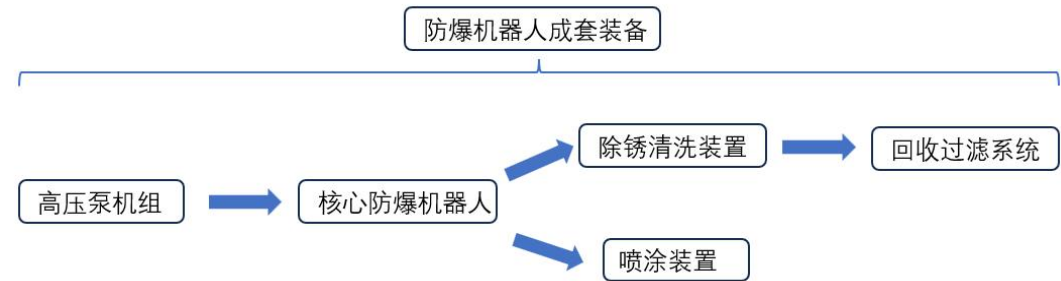


图 2 石化储罐绿色除锈喷涂工艺流程

5.3 技术创新性及先进性

EX-02 防爆机器人成套装备为国内首款工程化应用的石化储罐维护智能化装备，集成除锈清洗、表面处理及防腐喷涂全流程功能，核心技术特征如下：

（1）高负载运动系统

基于 Halbach 磁路阵列优化技术，结合铝合金轻量化框架与多级差速驱动轮组，实现 12mm 越障能力及 60kg 动态载荷，保障高空曲面连续作业；

采用柔性铰接自适应机构，动态维持磁隙 $0.5 \pm 0.2\text{mm}$ ，适应 500 立方以上储罐曲面贴合，安全余量 $>15\%$ 。

（2）高效表面处理系统

搭载 280MPa 超高压水射流单元，匹配自旋式高压水喷头，达到 Wa2.5 级表面处理标准；

集成真空回收系统，实现 $>98\%$ 废水回收率，符合石化厂绿色环保目标。

（3）智能控制体系

工艺数据库支持多种涂层体系参数匹配，PID 算法实现膜厚控制精度 $\pm 15\ \mu\text{m}$ ；

工业物联网平台实现作业参数实时监控与历史数据追溯，支持 5G 远程维护。

（4）本质安全设计

通过 Ex d ib IIB T4 Gb 防爆认证（GB3836.1-2010），适配 II 类石化危险区域；

经中石化、中石油系内的多家企业验证，本装备较传统人工效率提升 3-5 倍，2024 年机器人累计作业储罐超过 300 万立方米。

5.4 技术指标

表 6 Ex-02 防爆机器人参数

项目	参数	单位
除锈效率	30-40	m ² /h
防爆等级	II	级
喷涂效率	120-180	m ² /h

负载重量	60	kg
尺寸	990×1000×560	mm
本体重量	100	kg

表 7 SR-01 污水回收机参数

项目	参数	单位
最大回收量	5	t/h
可连接设备	2	台
最大真空度	0.09	Mpa
污水出口扬程	5	m
供气压力	0.6-0.7	Mpa
外形尺寸	2750×2200×2300	mm
设备重量	2.5	t

5.5 工程化应用示范案例及示范应用效果

(1) 典型工程应用案例及效果说明

施工地点：湖南长岭某炼化厂

储罐概况：罐体容积 10000 m³ 的内浮顶罐，总高度为 19.77 米，直径为 30 米。工程包括：罐内壁及罐底除锈：合计约 2500 m²；刷漆：合计约 2500 m²。

作业要求：除锈后的钢材内壁除锈等级 Sa2.5。防腐涂层设计：底漆刷 3 道环氧非碳系导静电底漆（红色），干膜厚度 50 μm/道，面漆为 3 道环氧树脂非碳系导静电面漆（淡灰），干膜厚度 50 μm/道。

效果说明：

使用两台机器人同时作业。除锈效果达 Sa2.5，除锈效率达 35 m²/h，比人工更加干净、彻底，同时，避免了粉尘污染，施工环境得到大大改善。喷涂效率达 125 m²/h，相比人工更加均匀，避免返工。不需要搭建脚手架，工人无需登高作业，在地面操作机器人即可完成作业，有效防止了高空坠落事故的发生。综合使用成本降低 40%。废水统一回收，排进吸污车，然后拉到污水处理厂，实现了工程施工绿色环保目标。

（2）技术经济性

防爆机器人成套装备的应用与推广，推动了石化储罐维保行业从传统人工除锈喷涂向智能化机器人作业的转型，显著提升了行业自动化水平。数据显示，新型机器人工艺在除锈清洗环节的效率达到人工喷砂的 3-4 倍，喷涂效率为人工的 2-3 倍，整体生产成本降低 40%以上，人力需求缩减超 70%。这一变革不仅助力企业实现了精益化生产转型，还为清洗公司增强市场竞争力提供了有力支撑，同时为绿色石化园区建设提供了高效的技术保障。

（3）推广应用前景及应用范围

防爆机器人成套装备与超高压水射流技术的深度融合，正在重塑石化设备维护新范式。随着技术迭代加速与规模化应用带来的成本下探，防爆机器人系统有望在未来 3-5 年内覆盖石化行业 80%以上的储罐维保场景，推动全行业自动化率突破 60%。在政策引导与行业标准体系持续完善的推动下，这种“机器人+绿色工艺”的创新模式，将加速成为石化行业智能运维的基准配置，为万亿级石化产业转型升级提供核心驱动力。

5.6 建议及诉求

（1）建议通过“揭榜挂帅”模式支持 EX-02 在储罐维保场景应用，配套建立技术经济性评价体系。

（2）依托中石化标准研究院，编制《石化防爆机器人设计应用规范》，衔接 GB3836 系列防爆标准和《防爆工业机器人通用技术规范》团体标准。

五、“十五五”时期政策措施建议

为将清洗服务深度融入化工园区工业服务体系，保障化工装置全生命周期安全稳定运行，推动清洗行业向绿色化、智能化、规范化转型升级，特提出以下政策措施建议：

（一）强化顶层设计与政策引导

纳入园区一体化规划：在国家和地方“十五五”规划及化工园区专项规划中，明确将一体化清洗产业基地建设作为重要内容，将其定位为保障园区安全、环保、高效运行的核心工业服务环节。

加大财税金融支持：专项资金与补贴，设立清洗行业绿色技术研发、环保设备升级、智能化改造、循环经济示范项目专项资金。对采用绿色清洗剂、节能设备、资源回收技术的企业给予购置补贴或运营补贴。**税收优惠：**对符合高新技术企业、绿色制造、资源综合利用等标准的清洗企业落实相关税收优惠政策（如研发费用加计扣除、所得税减免）。**绿色金融支持：**引导金融机构开发针对清洗行业绿色转型、技术升级的信贷产品和绿色债券。

（二）深化绿色转型与循环发展

推广绿色清洗技术：制定并实施化工等重点领域环保清洗剂替代路线图和时间表，限制或淘汰高污染、高毒性传统清洗剂。大力推广成功企业的环保清洗技术经验，将绿色环保清洗技术列为“十五五”重中之重，在政策、资金、标准上重点倾斜。鼓励研发和产业化应用生物降解清洗剂、超临界 CO₂ 清洗、激光清洗、干冰清洗等绿色低碳技术。

构建清洗循环经济体系：鼓励大型园区、大型清洗项目建立清洗废液（水）、废溶剂回收再生利用设施。制定清洗废弃物分类、回收、再生利用的技术规范和标准，建立区域性或园区级的集中处理中心。对实现高比例资源回收再利用的企业给予奖励或税费减免。

（三）健全标准体系与规范管理

完善全链条标准规范：加快制修订覆盖清洗技术、服务流程、安全环保、质

量评价、人员资质、工程造价及取费标准等全链条的国家、行业及团体标准。统一工程造价及取费标准：依据建议框架（明确目的范围、深入成本调研、科学制定直接费/间接费/利润税金标准、建立监督评估机制），建立公开透明、科学合理的清洗服务价格体系，促进行业公平竞争和健康发展。

加强质量安全监管与行业自律：建立清洗服务质量安全强制性或推荐性认证制度。强化对清洗服务过程（尤其涉及危化品、特种设备、环保排放）的日常监督检查和执法力度。充分发挥行业协会作用，制定严格的自律公约，建立行业诚信档案并公开共享，严厉惩戒恶性竞争、偷排漏排、数据造假等行为。

（四）驱动科技创新与数字化转型

支持关键技术研发攻关：设立清洗领域重点研发计划，支持高效低耗清洗工艺、智能清洗装备、在线监测诊断技术、新型环保材料（如绿色清洗剂）的研发与工程化应用。鼓励产学研用深度融合，建立国家级或区域性清洗技术创新平台。

加速行业数字化智能化升级：鼓励企业应用物联网、大数据、人工智能(AI)、云计算技术，建设清洗服务数字化管理平台，实现服务过程可视化、质量可控化、决策智能化、资源调度优化。推广智能清洗机器人、远程运维系统在危险环境或大型装置中的应用。

（五）优化产业结构与人才支撑

促进集约化与区域协同发展：培育一批技术领先、服务优质、品牌卓著的龙头企业。推动不同区域、不同类型清洗企业建立战略联盟，实现资源共享、优势互补、区域协同，共同拓展高端市场（如半导体、新能源、生物医药）。

构建多层次人才培养体系：支持职业院校开设或强化清洗相关专业（化工清洗、智能清洗运维、环保技术等），定向培养技术技能人才。建立行业技术培训和认证体系，定期开展从业人员技术、安全、环保、法规培训，提升专业素质。完善人才引进政策，吸引高层次技术研发、数字化、管理人才加入清洗行业。

（六）拓展市场空间与国际合作

开拓新兴应用领域与市场：制定政策鼓励清洗企业向高端制造（集成电路、

精密光学）、新能源（光伏、风电、氢能）、航空航天、生物医药等新兴高附加值领域拓展服务。支持有实力的企业“走出去”，积极参与国际竞争与合作，开拓海外市场。深化国际交流与技术引进：搭建国际清洗技术交流合作平台，鼓励企业、研究机构参与国际标准制定、技术研讨和项目合作。优化技术引进政策，支持引进、消化、吸收国际先进的清洗技术、管理经验和环保标准。

（七）营造良好发展环境

加强宣传引导与文化建设：宣传清洗行业对保障工业安全、促进节能减排、实现循环经济的重要价值，提升行业社会形象和认知度。引导企业重视企业文化建设，树立诚信、专业、安全、环保的服务理念，提升客户服务体验和行业整体信誉。

通过上述系统性政策措施的实施，可有效推动清洗行业在“十五五”期间实现质的飞跃，使其成为支撑我国制造业高质量发展、保障工业安全绿色运行不可或缺的关键力量。

结束语

工业清洗已从简单的辅助工序演变为支撑现代工业高效、绿色、高质量发展不可或缺的关键技术链。其发展呈现出绿色环保、精密智能、集成定制三大核心趋势。未来，多学科交叉融合（材料、化学、物理、生物、自动化、信息技术）将持续驱动清洗技术创新，解决日益复杂的工业清洁挑战。

同时，在可持续发展目标引领下，开发更低环境负荷、更高资源效率的清洗技术和产品将成为行业永恒的追求。深入理解各类清洗技术、设备及药剂的原理、特性与适用边界，是科学选择和优化清洗方案、实现最佳经济与环境效益的基础。

“十五五”时期是我国清洗行业实现由大到强战略性转变的关键窗口期。唯有牢牢把握绿色化、智能化、高端化、服务化的发展主线，在核心技术、先进装备、环保药剂、智能方法上实现系统性突破，构建起创新活跃、结构优化、安全韧性强、绿色底蕴足的现代产业体系，才能在全球产业链重构中占据有利位置，为我国制造业高质量发展和生态文明建设贡献不可或缺的“清洗力量”。