



守护蓝色海洋 · 赋能绿色工业



电化学技术在海水循环冷却 领域的应用前景

汇报人：侯相钰 正高级工程师

自然资源部天津海水淡化与综合利用研究所

2026年6月

CONTENTS

目录

01 海水循环冷却技术

02 电化学技术的应用
(海水循环冷却领域)

03 机遇与瓶颈并存

04 单位介绍



A futuristic cityscape at night, reflected in water, with a large planet and light trails in the background.

01

海水循环冷却技术

淡水资源紧缺催生海水利用需求

40 亿

全球约40亿人口每年至少一个
月面临缺水问题

60% 以上

工业冷却用水占城市总用水
量60%以上

50%

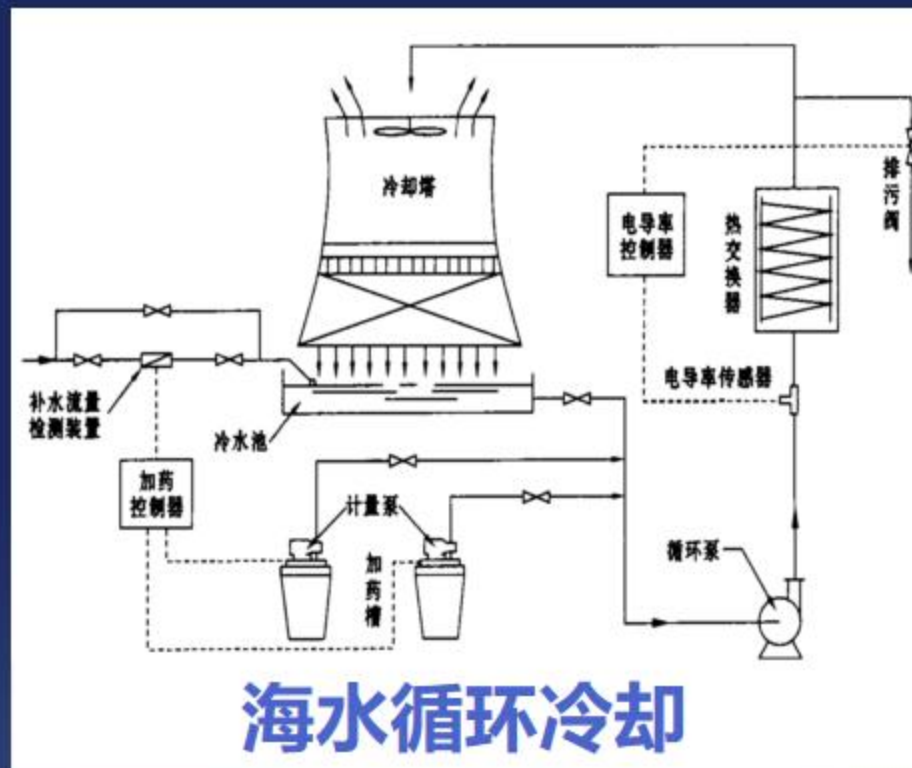
降低成本

95%

取排海水量减少

2%~5%

温排水量



以原海水为冷却介质，经换热设备完成一次冷却后，再经冷却塔冷却并循环使用。

高速发展与核心挑战

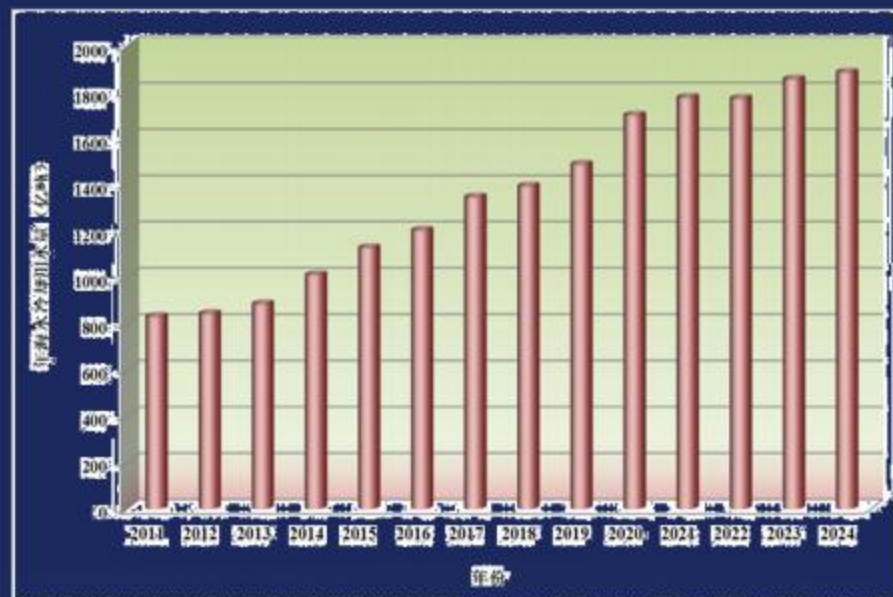


我国18000多千米海岸线

拥有18000多千米海岸线，沿海城市工业用水需求巨大



沿海地区采用海水替代淡水作为工业冷却水成为节约淡水资源的重要途径，党和国家高度重视，大力支持方向，快速发展



核心挑战：解决腐蚀、结垢、生物附着等关键问题。



腐蚀问题 氯离子穿透金属钝化膜，浓缩倍率提高加剧腐蚀倾向



结垢问题 钙、镁离子浓缩升温达到过饱和，影响传热效率



生物污损 微生物和贝类幼虫附着生长，降低换热效率并引发微生物腐蚀

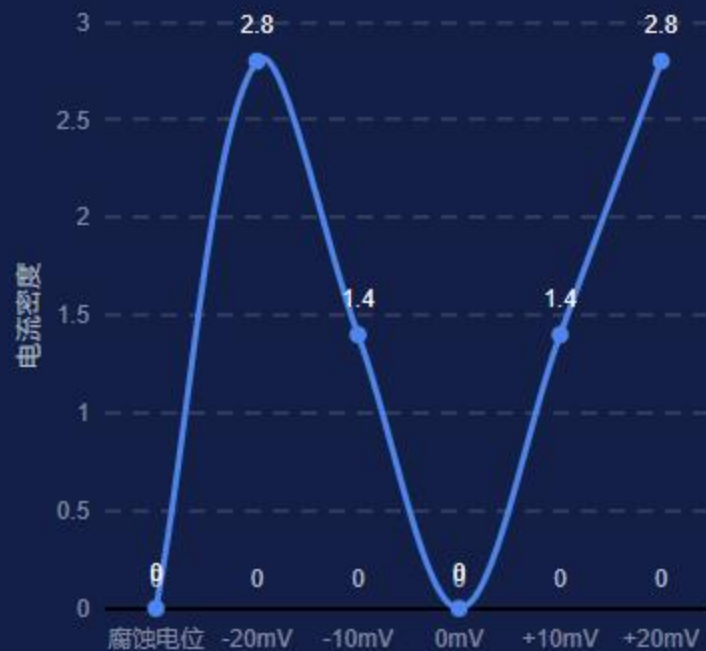
A futuristic cityscape at night, reflected in water, with a large planet and light trails in the background.

02

电化学技术的应用 (海水循环冷却领域)

1 金属腐蚀的监测

➤ 线性极化法 (LPR) 腐蚀检测技术



电位扰动范围

$\pm 10 \sim 20 \text{ mV}$

核心关系

极化电阻 $\propto$ 腐蚀电流密度

应用案例

意大利第勒尼安海
沿岸电厂

➤ 弱极化腐蚀监测技术

克服LPR局限性



解决海水高电导率环境中线性极化法的适用性限制



η 值20~70 mV区域

可同时获得腐蚀电流密度和Tafel斜率双参数



与线性极化结合

有效降低腐蚀电位波动对监测结果的影响

1 金属腐蚀的监测

➤ 电化学阻抗 (EIS) 技术

宽频阻抗测量

测量不同频率下腐蚀体系的阻抗响应，覆盖从高频到低频的完整频谱特征。



成膜过程追踪

清晰反映缓蚀剂成膜过程及流速变化对腐蚀行为的影响机制。

动力学参数提取

获得电荷转移电阻、双电层电容、扩散阻抗等关键电化学动力学信息。

➤ 电化学噪声 (EN) 技术

监测局部腐蚀

EN是监测局部腐蚀的有效手段，对点蚀、缝隙腐蚀敏感。



小波分析点蚀

通过小波分析可有效判断点蚀发生，实现早期预警。

无需外部扰动

不需要施加外部扰动信号，避免干扰腐蚀体系自然状态。

自然波动测量

直接测量腐蚀体系自然产生的电位和电流波动信号。

2 混凝土结构钢筋腐蚀的监检测



腐蚀风险

- 长期暴露于高湿度、高盐分环境
- 氯离子渗透破坏钢筋钝化膜
- 混凝土胀裂后腐蚀迅速发展



监测方案

- EIS技术系统研究不同温度、浓度下的阻抗特性
- 可嵌入传感器直接埋入混凝土结构，实时监测
- 测量腐蚀电位和宏电池电流评估腐蚀风险

3 腐蚀防护技术

➤ **牺牲阳极阴极保护：** 利用电位更负的金属产生保护电流，使被保护金属阴极极化

核心优势



**无需外接
电源**

不需要外
部电源



**施工
简便**

管理维
护容易



**适用
无电场合**

无电力供
应或不便
接入电源

锌合金

铝合金

镁合金

电厂海水冷却系统内的应用



外壁防护

采用锌合金牺牲阳极，保护寿命30年



内壁防护

采用铝合金牺牲阳极，保护寿命10年



联合防护策略

"阴极保护+涂层保护"双重防护

3 腐蚀防护技术

➤ 外加电流阴极保护

外部直流

电源驱动

外加电流阴极保护核心原理

⚡ 通过外部直流电源向辅助阳极施加电流

🛡️ 使被保护金属成为阴极

技术优势

⚡ 输出电压和电流可调

📏 保护范围大，使用寿命长

🏠 适用于大型或长距离管道保护

➤ 电化学溶解氧去除

阴极氧还原反应



90%+

除氧效率 工业规模测试验证

应用瓶颈

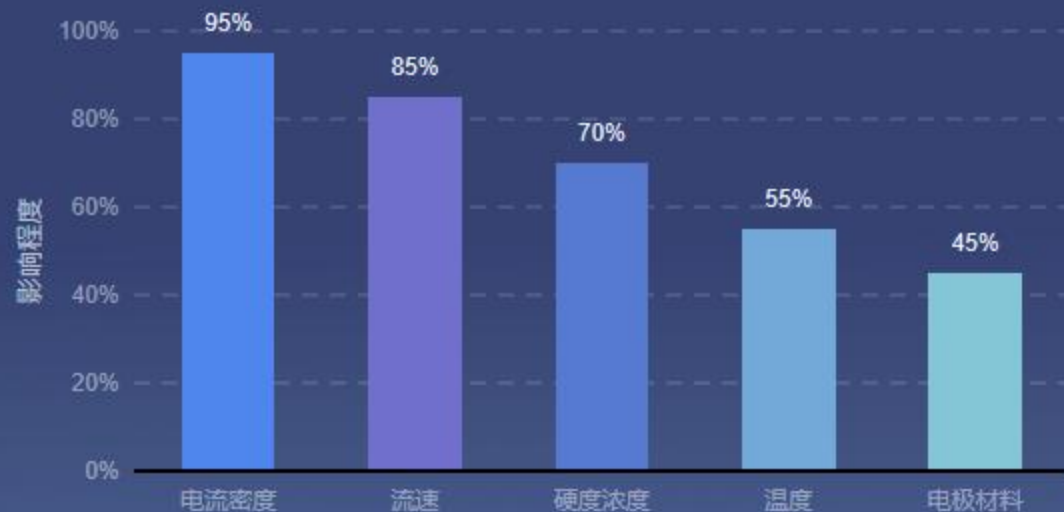
- 能耗制约大规模应用
- 电极材料成本高昂

4、电化学应用于海水除垢

阴极表面发生水的还原反应



影响因素分析



关键发现：较高电流密度和较低流速有利于提高除垢效率

局部pH值升高，促使钙、镁离子以碳酸钙、氢氧化镁形式析出

- 阴极区 OH^- 浓度增大，形成碱性微环境
- Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 与 CO_3^{2-} 、 OH^- 结合生成难溶盐

技术优势

-  **无需添加化学药剂**
-  操作简便，易于自动化控制
-  钙离子去除率可达**80%以上**

电化学处理与少量药剂联合使用

减少化学药剂用量，降低运行成本和环境风险



03

发展前景

机遇与瓶颈并存



核心优势

清洁环保

仅消耗电能
不引入化学药剂，避免药
剂排放造成的二次污染

响应快速

数分钟甚至数秒内获得
腐蚀速率等关键参数
适合在线实时监测

多功能集成

同一系统可同时实现
腐蚀监测、阴极保护
和电化学除垢

可控性强

通过调节电位、电流
等参数精确控制处理
效果

智能化支撑

设备向小型化、智能化、
无线化发展
为系统智能化管理提供技
术支撑

存在的主要问题和关键技术瓶颈

1、电极材料寿命与稳定性问题

-  牺牲阳极材料长期服役逐渐消耗，需定期更换
-  辅助阳极在海水高氯环境中的耐蚀性影响系统可靠性
-  阴极表面钙镁沉淀物过度积累导致电流效率下降

2、能耗效率瓶颈

-  电化学溶解氧去除技术的能耗制约大规模应用
-  电极材料成本较高

3、复杂环境适应性问题

-  海水循环冷却系统工况复杂多变
-  浓缩倍率、流速、温度等参数波动影响技术稳定性

未来发展方向



多技术耦合应用

- 电化学与膜分离、离子交换技术耦合
- 与超声波、磁化处理等物理技术联合
- 实现物理化学协同增效
- 形成组合工艺提升整体效能

- 电化学传感器与分散控制系统 (DCS) 集成
- 现水处理方案动态优化调整
- 腐蚀污垢热阻一体化在线监测装置

智能化监测与控制



绿色低碳与资源化

- 电化学技术契合绿色低碳发展理念
- 海水资源化利用实现变废为宝
- 推动海水循环冷却技术可持续发展



01

单位简介

守护蓝色海洋 · 赋能绿色工业

自然资源部天津海水淡化与综合利用研究所

(1978年经国务院批准成立，我国唯一专门从事海水资源利用技术研究的国家级研究所)

45

省部级以上科技奖励
其中国家科技进步奖2项

200+

授权发明专利
核心技术自主可控

70+

国家及行业标准
其中国家标准23项

160+

省部级以上科研项目
连续30年科技攻关



全国海标委海水淡化与综合利用分技术委员会秘书处



拥有多项专业资质认可和认证



海洋行业工程
设计甲级资质



海洋工程咨询
甲级资信



ISO 9001:2015
质量管理体系



ISO/IEC
17025:2017 实验室
管理体系和实验室
认可 (CNAS)



国家计量 (CMA)
认证

平台体系：多维立体的科产融合平台

国家级

- 国家海水资源利用工程技术研究中心
- 海水淡化技术国家地方联合工程实验室
- 海水利用国家质量标准实验室

省部级

- 自然资源部海水淡化与膜材料重点实验室
- 新疆咸水资源化利用工程技术中心
- 天津市海水资源利用技术创新中心
- 水利部非常规水高效开发利用技术创新中心
- 天津海水淡化技术工程研究中心

企业级

- 分离膜研发联合实验室
- 金矿绿色开发与利用技术联合实验室
- 新能源与资源循环利用技术联合实验室
- 海洋资源开发与利用工程技术联合实验室
- 盐湖镁资源综合开发与利用工程技术联合实验室
- 极地水安全与环境保障技术实验室

其他

- 中国太平洋学会脱盐分会
- 膜行业液体分离膜产品检验检测中心
- 全国海水淡化产业联盟
- 天津海水淡化产业（人才）联盟
- 山东海水淡化与综合利用产业研究院



国家海水资源利用工程技术研究中心专家可行性论证会



自然资源部海水淡化与膜材料重点实验室成立仪式



极地水安全专项实验室签约仪式



全国海水淡化产业联盟成立大会

绿色高效海水循环冷却技术研发与产业化方面

- **独立的专业研究室**——直接利用技术研究室
- **重点实验室**——天津市“绿色海水水处理药剂”企业重点实验室
- **大型中试平台**——自然资源部天津海水淡化与综合利用创新基地
- **全资成果转化公司**——天津市中海水处理科技有限公司，入选天津市战略性新兴产业领军企业，通过国家高新技术企业认定。



- **生产线**：建有年产万吨级的生产线
- **示范工程**：建成千吨、万吨、10万吨级海水循环冷却示范工程
- **主要产品**：形成海水循环冷却缓蚀、阻垢、菌藻抑制成套技术，及并形成系列产品

THE END

谢谢大家!

感谢各位的宝贵时间! 期待能得到大家的宝贵建议, 共同推动电化学技术在海水循环冷却领域的发展。谢谢!