

电渗析膜的长期运行稳定与经济发展前景

刘鑫阳（大唐内蒙古多伦煤化工有限责任公司，内蒙古自治区 锡林郭勒盟 027300）

摘要：本文主要就电渗析膜长期运行稳定性开展研究，分析影响电渗析膜稳定性的多种因素，依照实际案例，探讨膜材料、操作条件、溶液性质及膜改性等要素对电渗析膜稳定性的影响原理，并提出相应的优化方案，挑选恰当的膜材料、调整操作参数、开展有效的膜改性及把握溶液性质等途径，明显提升电渗析膜长期运行的稳定性，电渗析技术在化工等领域有较好的应用价值。

关键词：电渗析膜；长期运行稳定性；优化策略；经济发展

中图分类号：TQ028.8 文献标识码：A 文章编号：1674-5167(2025)027-0048-03

The long-term operational stability and economic development prospects of electrodialysis membranes

Liu Xinyang (Datang Inner Mongolia Duolun Coal Chemical Co., LTD., Duolun County Xilingol League Inner Mongolia Autonomous Region 027300, China)

Abstract: This article mainly conducts research on the long-term operational stability of electrodialysis membranes, analyzes various factors affecting the stability of electrodialysis membranes, and based on actual cases, explores the influence principles of membrane materials, operating conditions, solution properties, and membrane modification on the stability of electrodialysis membranes, and proposes corresponding optimization plans. By selecting appropriate membrane materials, adjusting operating parameters, conducting effective membrane modification and grasping the properties of the solution, the long-term operational stability of electrodialysis membranes can be significantly enhanced, which holds extraordinary value for the application of electrodialysis technology in fields such as chemical engineering.

Key words: Electrodialysis membrane; Long-term operational stability; Optimization strategy; Economic development

电渗析是一种借助于离子交换膜选择透过性的工艺，在施加的外部电场作用下让溶液里离子迁移，最终达成溶液的淡化、浓缩和分离的膜分离技术^[1]。它在诸如海水淡化、废水处理、化工生产、食品加工等领域应用广泛，电渗析膜在长时间运行期间，其性能一般会受到多种因素作用而下滑，造成运行成本上涨、处理效果变差等现象，实现电渗析膜长期运行稳定性对企业经济发展具有重要意义。

1 电渗析膜的长期运行稳定性研究

1.1 稳定性评价指标

①除盐率说明电渗析系统对溶液中盐分的去除效果，一般用淡化室出水的含盐量和进水含盐量的比例表示，在长久运行的阶段中，要是除盐率稳定不波动，说明膜具备较好的离子选择透过性，未产生明显的污染以及损坏情形；②电流效率是电渗析过程中实际用来使离子迁移的电流和总电流的比值^[2]。它反映出电能的利用程度，电渗析过程的能耗及经济性受电流效率稳定与否的直接影响；③膜电阻是衡量膜对离子迁移所产生阻力的一个关键参数，膜电阻的增大将引起电能消耗加大，电流效率变低，由此影响电渗析系统运行稳定性；④膜的物理化学性能，涉及膜的机械强度、化学稳定性、亲水性之类的，适宜的机械强度可保障膜在长期运行过程中不易破裂；化学稳定性可阻

止膜在特定溶液环境时发生化学降解；亲水性良好的膜对离子迁移有好处，减少浓差极化现象的出现次数。

1.2 长期运行稳定性实验研究

搭建电渗析实验装置，含有膜堆、电极、电源、流量计、循环泵等，采用某一特定的溶液体系，如一个特定浓度的氯化钠溶液，实施长期不间断的运行实验，按周期监测上述稳定性评价指标的变化情形。借助对实验数据的分析，留意到电渗析膜在运行初始阶段，各项指标相对平稳，但随着运行时间不断延长，除盐率缓缓下降，电流效率呈下降趋势，膜的电阻慢慢升高，这主要是鉴于膜表面不断出现了污染，引发离子迁移通道遭遇阻碍，同时膜的物理化学性能在一定程度上受到影响^[3]。

2 影响电渗析膜长期运行稳定性的因素分析

电渗析膜的长期运行稳定性受多种因素影响，主要包括膜材料、操作条件、溶液性质和膜改性^[4]。这些因素相互作用，决定了膜的性能和使用寿命。

2.1 膜材料的影响

膜材料是影响电渗析膜稳定性的关键。均相膜离子交换容量大、选择透过性好，但机械强度低；非均相膜机械强度高，但离子交换容量和选择透过性稍弱。膜的制备工艺也会影响其性能，通过控制聚合途径和交联程度，可以优化膜的孔隙结构和表面性质。长期

运行中，膜材料在电场和溶液环境中会老化，导致离子交换基团脱落、机械性能降低和化学稳定性变弱。因此，选择合适的膜材料和优化制备工艺对提高膜的稳定性至关重要。

2.2 操作条件的影响

操作条件对电渗析膜的稳定性有显著影响。电流密度是重要参数，过高会导致浓差极化加剧，增加膜电阻，降低电流效率，并引起热效应，影响膜的物理化学性能。溶液流速也影响膜的运行稳定性，适当的流速可减少浓差极化，提高离子迁移效率，但流速过高会增加能耗和膜的机械磨损。温度变化会影响膜的性能，高温会加速离子迁移，也会导致膜热膨胀和老化。因此，合理控制电流密度、流速和温度是确保膜长期稳定运行的关键。

2.3 溶液性质的影响

溶液性质对电渗析膜的稳定性影响显著^[5]。溶液初始浓度影响离子迁移阻力，低浓度溶液中离子迁移阻力小，脱盐效率高，但随着除盐进行，浓度降低，迁移速度减缓。高浓度溶液中，离子迁移阻力大，浓差极化突出，易导致膜结垢和堵塞。溶液的pH值影响膜的离子交换性能和化学稳定性，酸性或碱性溶液可能引起膜的化学降解。溶液中的杂质如有机物、微生物和悬浮颗粒会污染膜表面，降低膜的性能。因此，运行前需对溶液进行预处理，去除杂质，减轻对膜的污染和损害。

2.4 膜改性的影响

膜改性是提高电渗析膜稳定性的有效手段。表面改性通过引入化学基团或物理处理，改善膜表面性质，增强抗污染能力和离子选择透过性。亲水性改性可减少有机物和微生物吸附，表面涂层技术可增强膜的抗菌和抗腐蚀性能。复合改性结合不同膜材料和改性方法，制备综合性能优良的复合膜，提高膜的离子交换容量、机械强度和化学稳定性。通过添加纳米材料或功能填料，优化膜的微观结构和性能，进一步提高膜的长期运行稳定性。

3 提高电渗析膜长期运行稳定性的优化策略

3.1 合理选择膜材料

依照电渗析系统的具体应用要求及溶液特性，挑选恰当的离子交换膜类型，在实施选择时，应当综合考量膜的离子交换容量、离子选择透过性、机械强度、化学稳定性以及价格等方面，在需要达到高除盐效率的应用场合里，可优先抉择离子交换容量大、选择透过性佳的均相膜；而对于需要抵御较大机械应力的系统，可采用机械强度较高的非均相膜，应当留意膜材料的耐久性与抗老化特性，以保证电渗析膜在长时间运行时的稳定性。

3.2 优化操作条件

①电流密度控制。依靠实验探索和理论解析，找出合适的电流密度范围，在保证电渗析效率达标的基本上，尽量把较低的电流密度选上，以降低浓差极化现象跟热效应造成的不利影响，可按照溶液浓度、温度等条件的转变，实时调控电流密度，以做到电渗析过程的优化开展；②流速调节。基于电渗析系统的结构及溶液性质，挑选恰当的流速范围，利用增加溶液的流速快慢，可切实减小浓差极化，增进离子的迁移功效，但同时需关注把流速控制在合理的范畴，防止系统能耗以及膜的机械磨损加重，在实际开展运行阶段，可借助调节循环泵的转速或改变管道直径等手段来调节流速；③采用可行的温度调控办法，使电渗析系统运行温度维持在恰当的范围，可借助安装制冷设备或制热设备，依照溶液温度的变化实时调节系统的温度，以此保障膜的物理化学性能稳定可靠，提高膜的使用年限，需杜绝温度出现剧烈的起伏，以防对膜造成热冲击破坏。

3.3 控制溶液性质

第一，溶液浓度调节。依据电渗析系统的处理目标跟溶液性质，恰当抉择溶液的初始浓度，处理高浓度溶液的时候，可采用稀释或者分段处理之类的方式，将溶液浓度控制于恰当范围里，以此减少浓差极化现象以及膜表面结垢的可能，要按照电渗析实施中的除盐效率变动，及时把溶液的浓度调整好，以保障系统实现稳定运行。

第二，pH值调节。依照所运用的离子交换膜类型及溶液性质，采用适配的酸碱调节剂，把溶液的pH值调整到合适的范围以内，若涉及阳离子交换膜，能把溶液的pH值调节到弱酸性或者中性范围，为提高膜的离子交换功能及化学稳定性；说到阴离子交换这一类型的膜，则能把溶液的pH值调节到弱碱性和中性，当调节pH值之际，要留意杜绝过量添加酸碱调节剂，以防对膜造成化学破坏。

第三，溶液预处理。在电渗析系统投入运行前，对溶液做预处理，清理掉里面的杂质，普遍采用的预处理方法有沉淀、过滤、吸附、氧化还原等，运用沉淀和过滤能去除溶液中悬浮着的颗粒以及大颗粒杂质；采用吸附法能去除溶液中的有机物和部分重金属离子；利用氧化还原法可去除溶液中的还原性或氧化性物质，有效的预处理可减少溶液内杂质对电渗析膜形成的污染和损害，增强膜的长期运行稳定性。

3.4 膜改性与维护

按照电渗析膜的性能要求及实际应用状况，抉择恰当的膜改性手段，针对存在有机污染难题的系统，可采用亲水性方面的改性技术，增强膜的抗污染本事；

要是需要提升膜的化学稳定性的场合，能采用表面涂层或者复合改性的途径，强化膜的抗腐蚀本领，凭借膜改性技术的采用，能显著改善电渗析膜的性能与长期运行稳定性。

按周期对电渗析膜开展清洗与维护，以消除膜表面的污染物及沉积物，推动膜的性能复原，依照膜的污染类型及程度，抉择恰当的清洗途径和清洗剂，面对物理堵塞的情况，能采用物理清洗举措，诸如反冲洗、空气搅拌之类；若出现化学污染现象，可采用化学清洗的办法，诸如进行酸碱清洗、进行氧化剂清洗等。

4 电渗析膜技术应用对经济发展的促进

4.1 新型膜材料的开发与应用

材料科学的飞速发展，促使涌现更多新型的离子交换膜材料，如：高性能的聚合物膜、无机膜还有复合膜等，这些新型膜材料具备更优的离子选择透过性、机械强度、化学稳定性与抗污染能力，有望使电渗析膜长期运行的稳定性再上一个台阶，纳米复合膜凭借在聚合物基体里引入纳米材料，可改良膜的微观结构，提高膜的性能；而无机膜展现出良好的耐高温、耐腐蚀性能，可在一些特殊环境状况下开展电渗析，要加加强新型膜材料研发以及应用研究工作，探究其在各类电渗析系统里的性能状况和优化参数，为电渗析技术的演进提供更出色的基础材料。

4.2 膜改性技术的创新与突破

膜改性技术是促进电渗析膜性能和稳定性提升的关键方式，虽说已经有好些成熟的膜改性途径，但依旧有一些局限方面和不足之处，一些表面的改性方法也许会让膜的离子交换容量下降，而复合改性方法也许会面临膜层间结合不紧密等情况。未来要在膜改性技术上实现创新与突破，开发出更高效、稳定且对环境友好的改性手段，利用先进的纳米、等离子体、基因工程等技术，对电渗析膜实施表面修饰或结构管控，完成膜性能的全面升级，需着重膜改性技术的绿色化及可持续发展，减少改性操作对环境的不良影响，使膜的使用成本下降。

4.3 智能化运行与监测技术的发展

信息技术与自动化技术不断提升，智能化运行与监测技术在电渗析系统应用越来越受瞩目，凭借创建在线监测系统，可实时掌握电渗析膜的各项性能指标数据，诸如包含了除盐率、电流效率、膜电阻等，及时发现膜的性能起伏和潜在隐情，结合借助智能控制算法，能凭借监测数据自动调整电渗析系统的操作参数，实现系统的高效优化运行，依照膜的污染程度自动调整清洗的频率与强度，按照溶液浓度的改变自动调整电流密度与流速等，应用智能化运行与监测技术，可提高电渗析膜长

期运行的稳定性，还可以削减人工操作成本与运行风险，提高系统自动化程度及运行成效。

4.4 多学科交叉研究的深化

电渗析膜长期运行稳定性方面的问题牵扯到材料科学、化学工程、物理化学、环境科学等多个学科领域的知识技术，应进一步推动多学科交叉研究的深入开展，引导不同学科之间协同搞创新，依靠材料科学跟化学工程的结合，研制出具备高性能的膜材料及膜改性技术；以物理化学和环境科学研究为途径，深入探究膜的污染原理以及稳定性的影响元素；经由自动化技术与信息技术的采用，实现电渗析系统的智能运行与监控，多学科交叉研究不断向纵深发展，会为解决电渗析膜长期运行稳定性问题，提供更全面、深入的理论支撑和技术手段，促使电渗析技术在更宽领域的应用和成长。

5 结论

电渗析膜的长期运行稳定性对技术应用效果和经济性至关重要。通过合理选择膜材料、优化操作条件、控制溶液性质和实施有效的膜改性与维护，可显著提升电渗析膜的长期运行稳定性，降低运行成本，提高处理效率。在实际应用中，应根据具体系统和溶液特性，制定合理的运行方案和维护策略，充分发挥电渗析技术的优势。随着电渗析膜性能和稳定性进一步提升，这为解决水资源短缺、环境污染治理和化工生产中的分离净化等问题提供更可靠的技术支持，同时显著降低运营成本，提高经济效益，推动经济可持续发展。

参考文献：

- [1] 余稷, 李明一, 陈建兵, 等. 电渗析法脱除脱硫胺液热稳定盐性能研究 [J]. 炼油技术与工程, 2025, 55(06):5-8.
- [2] 刘逸天, 涂雅兰, 齐鑫钢, 等. 电渗析浓缩净化湿法磷酸研究 [J]. 离子交换与吸附, 2025(06):1-9.
- [3] 余稷, 李明一, 陈建兵, 等. 电渗析法脱除脱硫胺液热稳定盐性能研究 [J]. 炼油技术与工程, 2025, 55(06):5-8.
- [4] 张亚南, 马来波, 李露, 等. 置换反应电渗析同步脱盐和浓缩高盐高硬纳滤浓水 [J]. 盐科学与化工, 2025, 54(06):39-42.
- [5] 余稷, 李明一, 陈建兵, 等. 电渗析法脱除脱硫胺液热稳定盐性能研究 [J]. 炼油技术与工程, 2025, 55(06):5-8.

作者简介：

刘鑫阳（1996.03—），男，满族，河北承德人，承德石油高等专科学校，环境监测与治理技术专业，大专，助理工程师，研究方向：水处理。