



中国科学技术大学

University of Science and Technology of China

党委统战部

徐铜文教授团队提出“离子精馏”新单元操作，实现高镁锂比盐湖卤水直接提锂

近日，中国科学技术大学徐铜文教授团队在高镁锂比盐湖卤水提锂领域取得重要进展。启发于传统的多级塔板精馏机制与层析色谱分离机制，针对化工特种分离领域复杂物料分离难题，团队原创性地提出一种“离子精馏”概念，并首次应用于高镁锂比盐湖提锂。

离子精馏技术极大地提升了特种物料间的分离效率，由盐湖卤水一步制取超电池级纯度的锂产品，解决了高镁锂比盐湖卤水提锂的技术难题。同时，该技术对不同溶质体系的盐湖卤水也具有广泛适用性，并有望实现卤水、海水、矿物中有价物质，如钾、铷、铯、镁、硼等的精细化筛分，推动目标物料的高值化利用。该研究成果以 Ion-“distillation” for isolating lithium from lake brine 为题，以快讯 (Letter) 形式发表于《美国化学工程会志》(AIChE Journal. 2022, e17710. DOI: 10.1002/aic.17710) 期刊上，该栏目主要报道化工领域具有前瞻性以及有潜在重大影响的工作。

锂是化学储能锂电池的重要原料，锂电是解决传统能源危机，并推动解决‘双碳’问题的重要手段。我国盐湖卤水具有高镁锂比的特点，而锂镁高效分离仍是高镁锂比盐湖提锂过程的突出问题，这也直接导致我国电池级的锂产品仍依赖进口，盐湖提锂逐渐成为保障我国锂资源安全的重要课题。

针对高镁锂比盐湖卤水锂镁分离问题，团队基于前期工作积累，聚焦化工特种分离应用前沿，另辟蹊径，启发于传统的塔板精馏与色谱分离技术，原创性的提出了“离子精馏”盐湖提锂技术。传统的电渗析系统采用阴/阳离子选择膜间隔排布，两种离子膜构成一个膜单元，离子筛分性能受限于单张离子选择膜。“离子精馏”打破传统电渗析单元内部的功能隔膜间隔排布方式，基于“同类同侧”原则，将多个同类型膜并列排布，并在电渗析单元内集成，设计理念如图 1。利用特种离子在堆叠离子膜中的多级筛分机制及离子选择性的级数放大效应，实现锂离子由高镁锂比盐湖卤水的精准分离。每张离子膜在离子精馏腔室的功能可视作精馏塔中的塔板，锂镁离子在堆叠的离子选择膜间迁移，由于锂离子与镁离子在离子膜相存在迁移速率差异，基于色谱分离层析机制，在电场力驱动下实现锂镁离子的电吹脱分离。

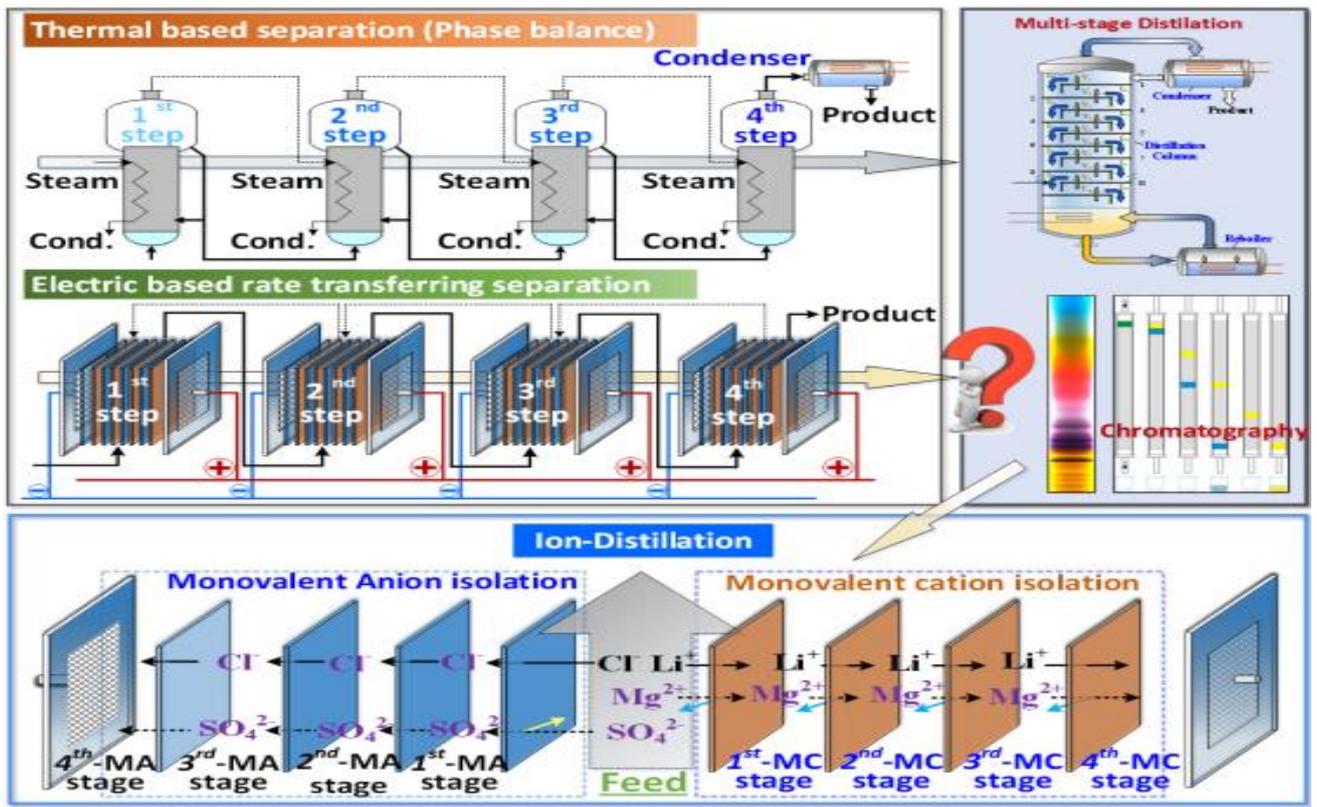


图1 离子精馏技术设计理念

实验构建一级至四级的离子精馏系统，并针对高镁锂的盐湖卤水（青海东台吉乃尔盐湖，镁锂比 >35 ），开展了研究。结果表明对于一级至四级离子精馏过程，锂镁的选择性由30（一级）逐级提升至1104（二级）、3297（三级）与26177（四级），二级与四级离子精馏获得的锂产品纯度为99.69%与99.98%，分别超过了工业级与电池级标准。最终从青海东台吉乃尔盐湖卤水中得到的碳酸锂与磷酸锂产品如图2所示。作为一种新型化工单元操作，离子精馏的分离效果显著优于目前文献中所报道的各类先进功能膜材料以及膜分离过程（如图3所示）。

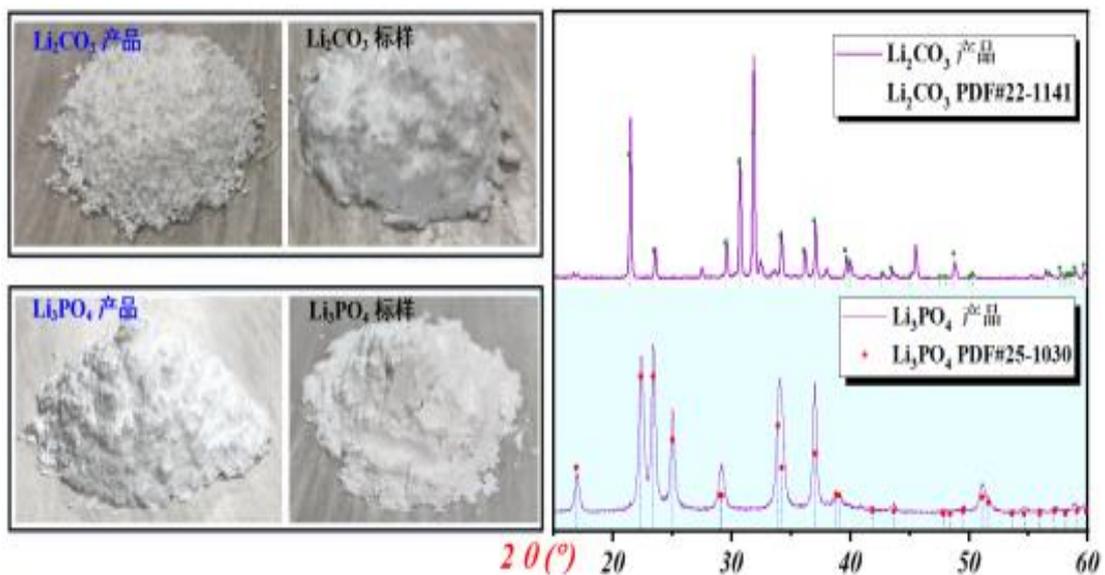


图2 通过离子精馏处理后得到的碳酸锂与磷酸锂样品

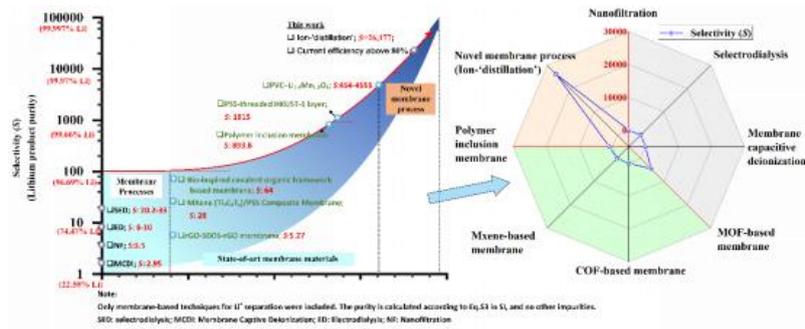


图 3 离子精馏技术与传统膜分离技术及先进功能膜材料的先进性对比

离子精馏技术有助于解决传统膜分离技术在盐湖提锂产业中存在的问题，保障我国锂资源安全。同时，离子精馏作为一个平台技术，集成了平衡分离（选择性高）与速率分离过程（运行成本低）的特色优势，将为锂同位素分离、稀土分离、海水精制、精细化学品分离、生物制药等特种分离场景提供有效解决方案，助力相关过程产业升级，特别是化工特种分离技术革新。相关技术已经申请了发明专利（CN202110868560.9；CN202110868710.6；CN202110868737.5；CN202111026979.6；CN202110980248.9；CN202110980229.6；）

中国科学技术大学蒋晨啸副研究员与陈秉伦博士后为该工作的共同第一作者，徐铜文教授为通讯作者。本工作得到了科技部国家重点研发计划“碱性离子交换膜制备技术及应用”项目，国家自然科学基金青年项目，以及安徽省科技重大专项项目支持。

全文链接：<https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/aic.17710>

Abstract

Lithium demands increase dramatically and make it highly attractive to develop advanced ion separation technology/material. However, high Mg^{2+}/Li^+ ratio impedes the extraction due to the difficulties in separation of the two ions. Here, we propose an ion- “distillation” technology based on electro-membrane stacking for the extraction of Li^+ from lake brine (Mg^{2+}/Li^+ ratio: 31.58). This technology employs commercially available monovalent ion-selective membranes, and ions are driven by electric. Using the four-stage ion- “distillation” technology, selectivity values of 26,177 and 27,000 are achieved between Li^+ and Mg^{2+} and between Cl^- and SO_4^{2-} , respectively. The electro-stripping mechanism when monovalent ion migrating across the membranes probably magnitudes the Li^+ selectivity, which is higher than the other reported values in the literature for membrane processes, and the purity of the final $LiCl$ product is greater than battery grade (99.95%). The proposed process can potentially be applied in efficient ion fractionation and special separations.