

电渗析技术在水质提升方面应用的文献计量分析

杨宏娟¹ 韩新盛¹ 王庆利¹ 何康丽¹ 马玉雯²

1. 银川中铁水务集团有限公司 宁夏银川 750001

2. 宁夏鑫悦洋科技服务有限公司 宁夏银川 750001

摘要: 本文基于 CNKI 数据库的 685 篇中文文献, 利用 Co-Occurrence9.9(COOC9.9)、知网文献计量分析和 VOSviewer 软件对电渗析在水质提升的研究进行可视化知识图谱分析, 研究发现: (1) 电渗析技术(ED) 经过长达 50 年的连续不断研究, 目前已经逐步向具体的场景化应用方向发展, 具备良好的技术和经济可行性; (2) 电渗析(ED) 技术在水质方面的研究重点集中在设备开发、膜材料研究、耦合技术拓展以及应用场景细化等几个方面; (3) 材料领域的研究深度极大地影响了 ED 技术在水处理、水质提升方面的进展, 同时也应关注在饮用水尤其是无机盐去除方面的研究; (4) ED 技术今后的发展很大程度上取决于能源来源耦合, 结合当前太阳能制氢等新技术的应用, 应注重考虑将新能源技术与 ED 技术进行耦合, 从而彻底解决能耗成本问题对 ED 技术在饮用水方面应用的极大限制问题。

关键词: 电渗析; 水质; 文献计量

Bibliometric analysis of the application of electro dialysis technology in water quality improvement

Hongjuan Yang¹, Xinsheng Han¹, Qingli Wang¹, Kangli He¹, Yuwen Ma²

1 Yinchuan China Railway Water Group Co., Ltd. Ningxia Yinchuan 750001

2 Ningxia Xinyueyang Technology Service Co., LTD. Ningxia Yinchuan 750001

Abstract: This paper conducts a visualization knowledge map analysis of the research on electro dialysis for water quality improvement based on 685 Chinese literature articles from the CNKI database. Co-Occurrence 9.9 (COOC9.9), CNKI literature metrological analysis, and VOSviewer software are used for the analysis. The study reveals the following findings: (1) After 50 years of continuous research, electro dialysis technology (ED) has gradually moved towards specific application scenarios, demonstrating good technical and economic feasibility. (2) Research on electro dialysis technology in water quality improvement mainly focuses on equipment development, membrane material research, expansion of coupling techniques, and refinement of application scenarios. (3) The depth of research in the field of materials greatly influences the progress of ED technology in water treatment and water quality improvement, with a particular emphasis on research in drinking water, especially inorganic salt removal. (4) The future development of ED technology largely depends on the coupling of energy sources. By integrating new energy technologies such as solar hydrogen production, it is important to consider coupling them with ED technology to completely address the significant limitations posed by energy consumption costs in the application of ED technology for drinking water.

Keywords: electro dialysis; water quality; bibliometrics

引言

电渗析(ED)是电场驱动带电荷离子分离的过程, 在不同电场梯度的作用下, 离子通过离子交换膜定向迁移实现分离^[1]。在以地表水为主要饮用水水源的前提下, 可采用 ED 技术去除其中以 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 为代表的无机盐离子, 以提高供水水质, 保证饮用水安全和健康。

现阶段 ED 技术^[2]主要作为工业废水处理、海水淡化^[3]工厂大规模采用的连续化工业技术进行利用, 且普遍和反渗透、蒸发浓缩、膜过滤等耦合应用, 工艺装置规模大^[4]、进水量大^[5]、进水水质复杂、耗能大等是工业化应用的一大特征, 但是应用于饮用水水质提升方面成果较少。究其原因主要是成本控制因素, 若无新电力来源, 对比传统饮用水处理并无成本优势, 是为后续 ED 技术顺利应用需要关注的地方。

为研究电渗析在饮用水水质提升方面的研究发展阶段

及现状, 本文提出采用 Co-Occurrence9.9(COOC9.9)^[6]、知网文献计量分析和 VOSviewer 可视化软件对研究线索进行追溯, 通过发文量、关键词以及研究热点等剖析国内研究现状, 与国内光催化技术应用发展情况进行综合分析, 预测后续研究热点及方向, 为相关研究人员提供参考。

一、研究方法和数据来源

1. 研究方法

为探讨电渗析在饮用水水质提升研究的发展现状, 采用文献计量分析法进行分析。具体操作如下: 首先对下载的文献进行数据清洗; 其次, 利用 Co-Occurrence9.9(COOC9.9) 软件、知网文献计量分析对关键词等数据进行共现分析。最后, 使用 VOSviewer 软件对文本分析结果进行核实以及可视化分析。

2. 数据来源

数据来源于 CNKI 数据库, 为保证文献分析的全面性、系统性于准确性、以主题为检索方式。基于此, 对检索后的文献进行筛选、合并、删除、提取、去重以及整理, 最后得到 683 篇文献作为研究样本。

数据库: CNKI 中国学术期刊网络出版总库、博士、硕士学位论文全文数据库等

检索方式: 电渗析 水质

文献类型: 期刊、硕博士论文

时间跨度: 1972 年 4 月 -2023 年 3 月

筛选后的结果: 中文期刊论文 695 篇

清洗后的结果: 中文期刊论文 683 篇

二、研究结果对比分析

1. 发文量及发文趋势

通过对比国内自 1972 年至今研究趋势, 采用 COOC、知网文献计量对发文量及发文趋势进行分析, 得到下图 1-3:

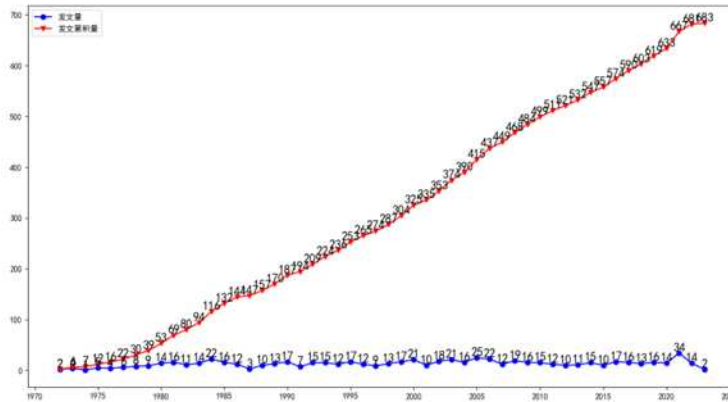


图 1 COOC 文献年代分布和累计分布图

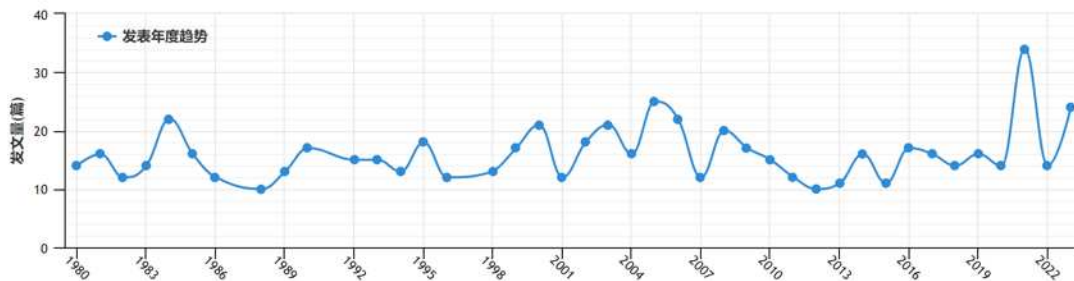


图 2 知网分析文献年代分布图

对上图 1、2 进行对比分析, 可以得出如下结论:

(1) 采用 COOC 和知网文献计量分析方法, 对比国内自 1972 年至今研究趋势, 发文量分布及发文趋势分析图波动性一致。在样本数相同的条件下, 两种分析方法的分析结果相同, 保证了分析结论的准确性。但知网分析缺少发文累积分布, 不能很好的反映整体发文情况的变化;

(2) 对图 1、2 趋势图进行解读, 存在较为明显的 3 个波峰点, 即 1984、2005、2021 年, 发文量分别达到 22、25、34 篇, 由图 3 可验证。通过对这 3 个时间节点的文献整体分析, 存在以下特点: 1984 年主要对电渗析技术应用的评价、经济效益分析方面的讨论, 2005 年集中于膜技术的开发、机理机制以及实验条件下的研究等, 2021 年更加注重电渗析在各项工程使用场景条件下的应用研究, 如炼油污水、高盐水、脱硫废水等。由此可以看出, 随着工业技术以及研究成果的不断发展与积累, 电渗析技术也历经了讨论、分析、引入、小试、中试以及工业化应用的阶段, 经过了漫长的、连续不断的实验验证与研究, 电渗析技术在分离纯化水方面的基础已经做好了大量的基础工作, 具有技术与经济的双重可行性;

(3) 对 2022 年至 2023 年已发文献情况进行解析, 研究热点更加注重于双极膜、膜集成技术以及聚合膜方向的研究, 由此可以反映出, 我国在材料领域前沿的研究成果正在逐步反馈至电渗析技术的发展上, ED 技术能否持续不断的进行场景应用也确实取决于材料技术领域的突破发展;

(4) 对发文情况进行梳理发现, 目前研究普遍集中于工业用水处理及海水淡化方面, 仅有部分研究关注了饮用水水质方便 ED 技术的应用, 且多数均围绕除氟方面的研究, 对于无机盐离子去除研究较少, 究其原因一方面是成本控制, 也与小型化设备的研制以及新能源耦合方面研究较少有关。

2. 关键词共现分析

为了解电渗析在饮用水水质提升研究的起源和发展现状, 运用 Co-Occurrence9.9(COOC9.9)、知网文献计量分析和 VOSviewer 软件对关键词进行可视化图谱分析。

对 683 篇中文期刊关键词进行筛选、合并、删除操作后, 筛选前 20 个出现次数较高的关键词总结如下表 1, 并绘制柱状图、树形图如下图所示:

表 1 关键词频次表

序号	关键词	次数(次)	序号	关键词	次数(次)
1	电渗析	319	11	电渗析淡化	28
2	电渗析器	154	12	电去离子	27
3	水处理	60	13	脱盐	24
4	反渗透	50	14	离子交换树脂	24
5	电渗析技术	42	15	高纯水	23
6	离子交换膜	38	16	电渗析法	22
7	水处理技术	38	17	浓水循环	22
8	离子交换	34	18	应用	21
9	水解离	33	19	含盐量	20
10	双极膜	32	20	饮用水	20

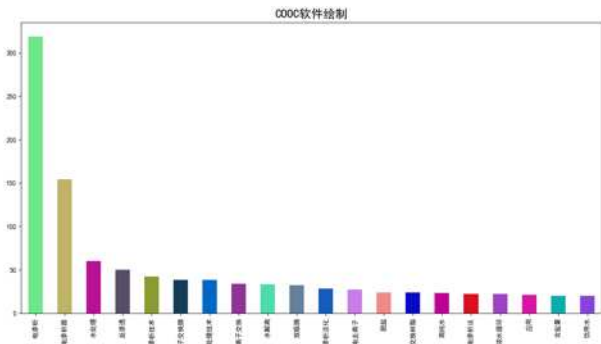


图 3 COOC 绘制关键词频次柱状图

由上图3可以看出，电渗析、电渗析器、水处理、反渗透、电渗析技术等为研究频次及成果最多，在总统计中文献683篇中出现概率达到了91.5%，由此充分说明国内相关研究主要集中于这5个方面。

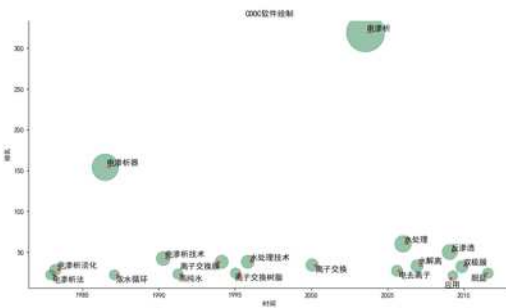


图 4 COOC 绘制关键词主题演化图

采用 VOSviewer 可视化软件对关键词进行可视化分析，得到下图 5：

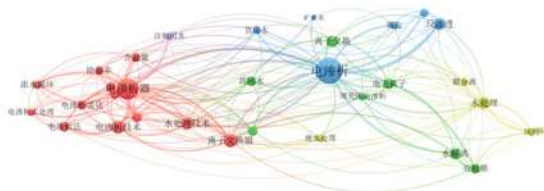


图 5 VOSviewer 绘制关键词可视化图谱

由上图可以看出，电渗析技术的研究一直围绕在设备开发、膜材料研究、耦合技术拓展以及应用场景细化等几个方面，也验证了关键词频次分析的结果。ED 技术的研究一直在向着实际应用转化方向进行发展，同时也有赖于前期几十年连续不断的研究打下的良好基础。说明，一项工业技术的成熟应用离不开基础研究 + 实验验证 + 可行性分析这一科学理念。

3. 关键引文及共引分析

为了解电渗析在饮用水水质提升研究的起源和发展现状，利用知网文献计量对文献共引关系及关键引文进行分析，得到下图 6 及表 2：

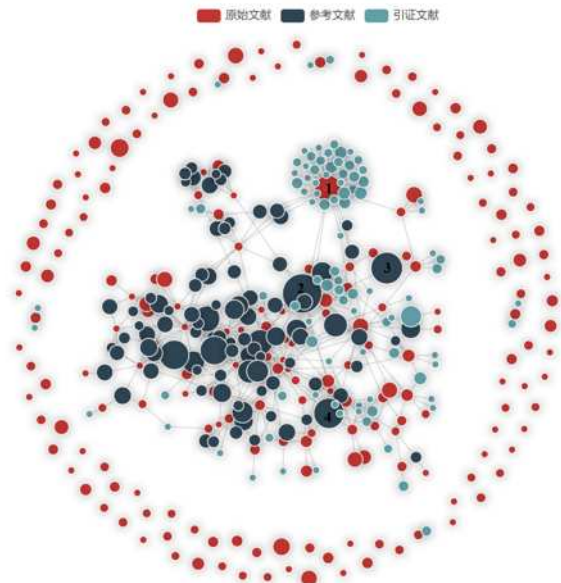


图 6 知网绘制文献共引分析

文献共引分析图主要展示了文献间相互引用关系，圆圈越大代表被引用次数越多，其重要性也就越高，不同颜色代表了文献类型，红色为原始文献，其重要性不言而喻。

同时也可以发现围绕内部区域在外围形成了一圈具有明显原始创新性的文献，经过解读，均为该项研究在其所在领域的首篇刊登文献，主要集中在具体化的场景应用方面，如含铬废水的电化学法处理技术及研究进展等。

图 10 中已标注的 4 个面积较大的文献情况如下表 2 所示：

表 2 关键文献共引明细

序号	文献名称	作者	期刊 / 杂志名称	发文年代	被引次数	文献类型
1	电化学水处理技术研究进展	胡承志	环境工程学报	2018	111	原始文献
2	电渗析工程学	张维润	电渗析工程学	1995	315	参考文献
3	国内外海水淡化技术的进展	阮国岭	中国给水排水	2008	185	参考文献
4	Electrodialysis, a mature technology with a multitude of new applications	H.Strathmann	Electrodialysis	2010	165	参考文献

通过这项工作，一方面可以清楚的看到电渗析领域最基础也是最可靠知识的来源，被引次数就是很好的证明，证明该项研究成果得到了大多数研究人员的认可，可以作为基础资料进行引用、对比等，

三、结论与研究展望

基于 CNKI 数据库的 685 篇中文文献，利用 Co-Occurrence9.9(COOC9.9)、知网文献计量分析和 VOSviewer 软件对电渗析在水质提升的研究进行可视化知识图谱分析，研究发现：

1. 电渗析技术 (ED) 经过长达 50 年的连续不断研究，目前已经逐步向具体的场景化应用方向发展，具备良好的技术和经济可行性；

2. 电渗析 (ED) 技术在水质方面的研究重点集中在设备开发、膜材料研究、耦合技术拓展以及应用场景细化等几个方面；

3. 材料领域的研究深度极大地影响了 ED 技术在水处理、水质提升方面的进展，同时也应关注在饮用水尤其是无机盐去除方面的研究；

ED 技术今后的发展很大程度上取决于能源来源耦合，结合当前太阳能制氢等新技术的应用，应注重考虑将新能源技术与 ED 技术进行耦合，从而彻底解决能耗成本问题对 ED 技术在饮用水方面应用的极大限制问题。

参考文献：

[1]VAN DER BRUGGEN B. Ion-exchange membrane systems—Elec-trodialysis and other electromembrane processes [M] //Fundamental Modelling of Membrane Systems. Amsterdam: Elsevier, 2018: 251-300.

[2]MONDAL S, CHATTERJEE S, DE S. Theoretical investigation of cross flow ultrafiltration by mixed matrix membrane: A case study on fluoride removal [J] . Desalination, 2015, 365: 347-354.

[3]SCARAZZATO T, BARROS K S, BENVENUTI T, et al. Achievements in Electrodialysis processes for waste and water treatment [M] . New York : Elsevier, 2020: 127-160.

[4]AMOR Z, BARIOU B, MAMERI N, et al. Fluoride removal from brackish water by electrodialysis [J] . Desalination, 2001, 133 (3) : 215-223.

[5]LAHNID S, TAHAIKT M, ELAROUI K, et al. Economic evaluation of fluoride removal by electrodialysis[J]. Desalination, 2008, 230 (1/2/3) : 213-219.

[6]学术点滴,文献计量. COOC 一款用于文献计量和知识图谱绘制的新软件 [EB/OL].(2020-01-12)[2021-11-09]. https://mp.weixin.qq.com/s/8RoKPLN6b1M5_jCk1J8UVg.

作者简介: 杨宏娟(1987-05-14),女,蒙古族,辽宁新民,硕士研究生,毕业于辽宁石油化工大学,工程师,研究方向:从事水生态环境保护及水质安全保障研究。