

电去离子（EDI）技术连续去除和浓缩磷酸盐及氨氮的研究

研究生：闫国凯；导师：张盼月 教授



研究背景

1. 自然水体中氮磷浓度过高，超过环境承载力，将会导致水体污染造成水体富营养化现象，造成水质恶化打破水环境生态平衡。
2. 同时，氮磷是植物生长必需的营养元素，是肥料的主要组成部分，可以作为资源进行回收。
3. 目前去除浓缩水中氮磷的方法有沉淀法、离子交换法、结晶法，这些方法有的运行成本较高，有的处理效果不佳，需要进行新工艺新方法的研究。
4. 电去离子（Electrodeionization, EDI）技术结合了电渗析和离子交换技术的优点，分为淡室和浓室，淡室中的氮磷不断迁移到浓室，一方面去除氮磷使淡室出水达标排放，另一方面使浓室浓缩浓水进行资源回收。
5. 目前，EDI在水处理中主要用于处理重金属废水及脱盐，同步去除回收水中氨氮和磷酸盐尚无研究。

研究方法

实验材料

离子交换树脂

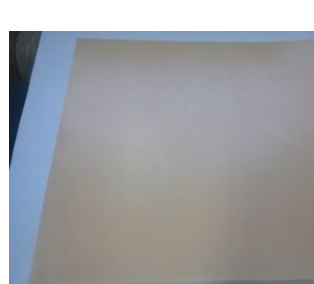


D001阳离子交换树脂

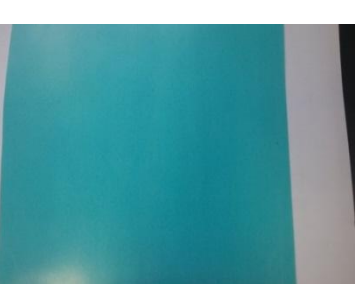


D201阴离子交换树脂

离子交换膜



阳离子交换膜
阳极：钛涂钨合金
阴极：不锈钢



阴离子交换膜

表1 离子交换树脂主要指标

指标名称	D001阳离子交换树脂	D201阴离子交换树脂
有效粒径 (mm)	0.40~0.70	0.40~0.700
含水量 (%)	45~55	50~60
体积全交换容量 (mmol/mL)	≥ 1.80	≥ 1.20
工作交换容量 (mmol/L)	≥ 1100	≥ 400
湿视密度 (g/mL)	0.77~0.85	0.65~0.73

表2 离子交换膜主要指标

指标名称	阳离子交换膜	阴离子交换膜
	HeCEM Grion 7321C	HeAEM Grion 7171C
干态厚度 (mm)	0.42	0.42
含水率 (%)	40~55	30~45
交换容量 (mol/kg)	2.0	1.8
膜面电阻 ($\Omega \cdot \text{cm}^2$)	11	13
选择透过率 (%)	93	95

装置构建

1. 循环式EDI装置

人工配制的含有一定浓度氮、磷的模拟废水在淡水槽中，通过蠕动泵驱动自下而上流经填充饱和和离子交换树脂的淡室，从上部流出后返回淡水槽，完成循环；浓室中溶液通过蠕动泵驱动先后流经两浓室，最后流出回到浓室槽，完成循环；极水循环过程与浓水循环相同。循环式EDI装置用于前期装置的可行性验证。

2. 连续式EDI装置（图1）

五个隔室水流独立控制，人工配制含有一定浓度磷酸盐的模拟废水从淡水槽中自下而上流经淡室，从上部流入出水槽中，不循环；两个浓室槽中的溶液通过蠕动泵驱动在浓室1和浓室2内部循环；极水循环过程与浓水相同。与循环式操作相比，模拟废水即原水在装置中只处理一次后即被排出，与工业化连续处理过程类似，淡室进水磷酸盐浓度保持固定值。

模拟废水

模拟氮磷废水分别由氯化铵、磷酸二氢铵和磷酸二氢钾配制。

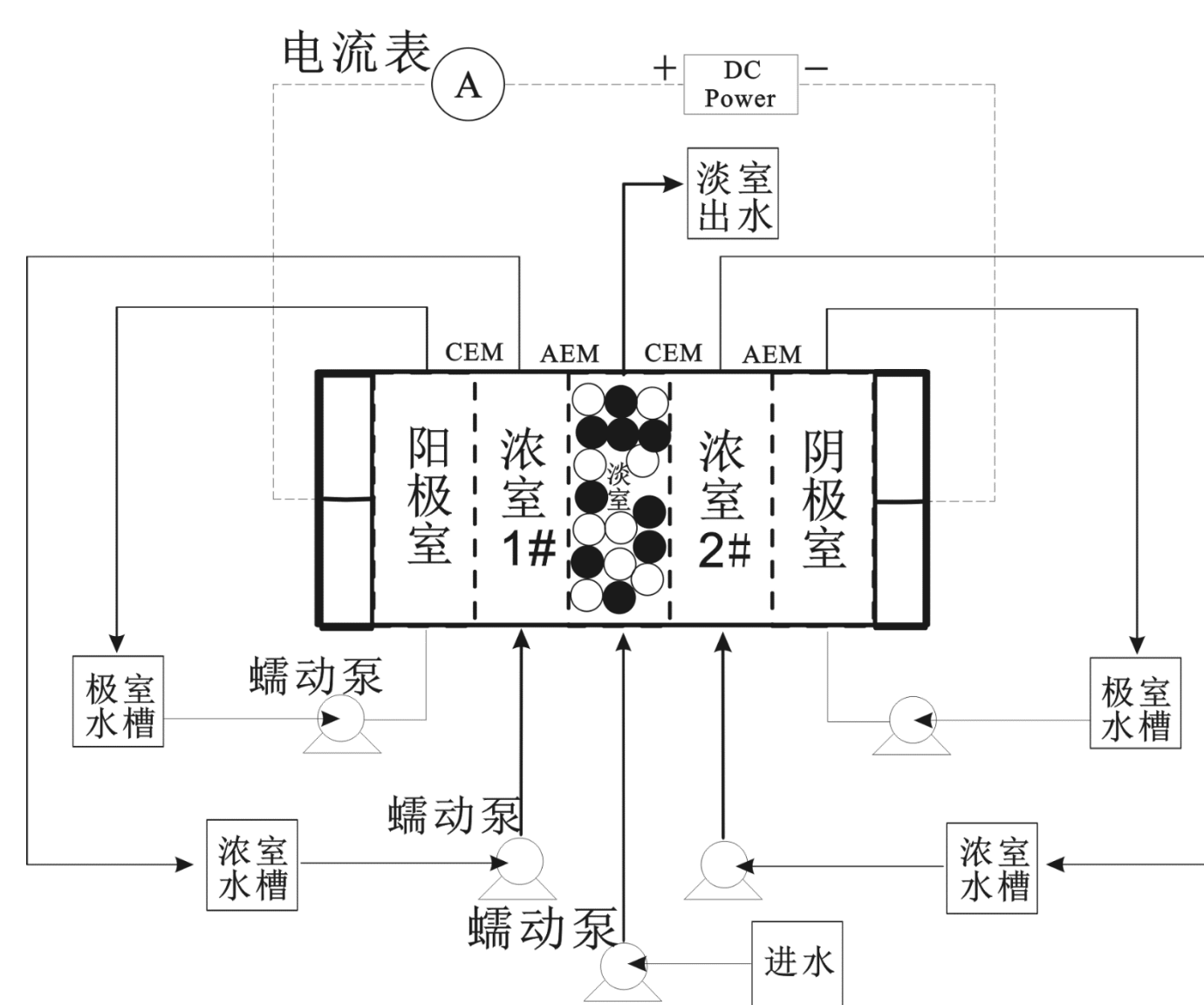


图1 连续式EDI装置

结果与讨论

离子交换树脂交换容量

对离子交换树脂进行预处理后，进行动态吸附试验，确定D001和D201两种大孔型离子交换树脂对铵根离子和磷酸根离子的实际工作交换容量。

表3 离子交换树脂实际交换容量

型号	实际交换容量 (mmol/L)	出厂数据 (mmol/L)
D001	1660	≥ 1100
D201	470	≥ 400

装置可行性验证

随着EDI装置的运行，淡室氨氮和磷酸盐溶液浓度逐渐降低而浓室浓度逐渐升高。说明 NH_4^+ 和 PO_4^{3-} 离子都可以在电场力作用下有效地进行迁移，使原水浓度逐渐降低。

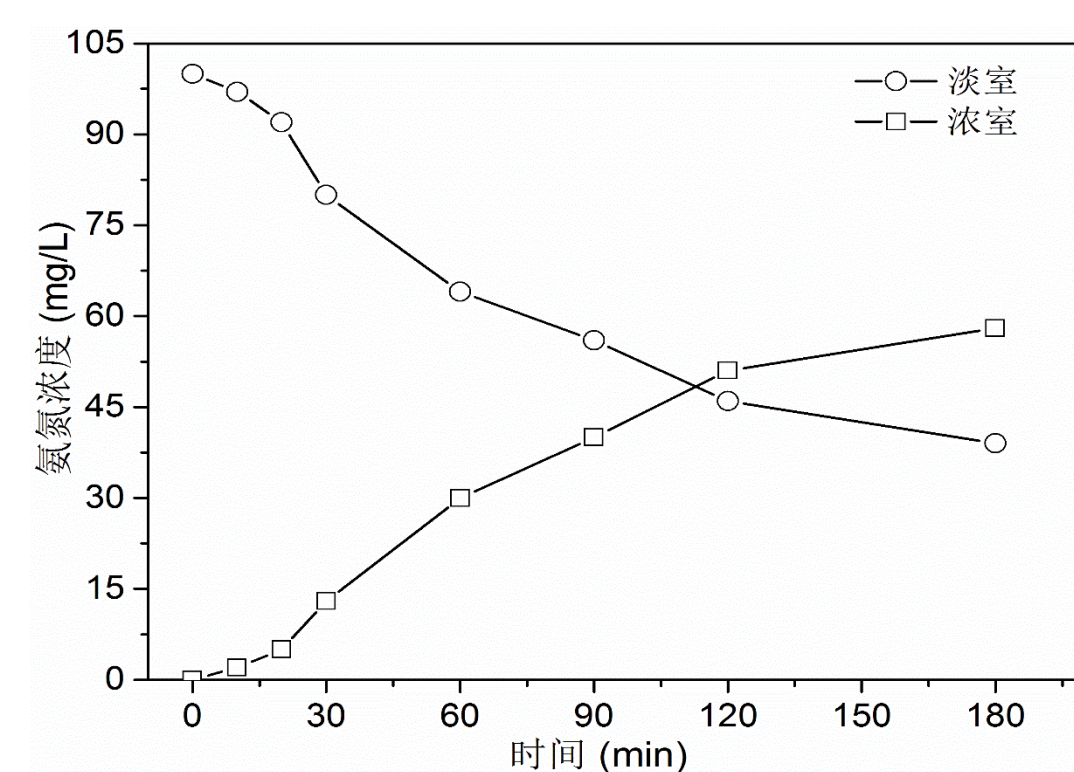


图2 循环处理氨氮废水

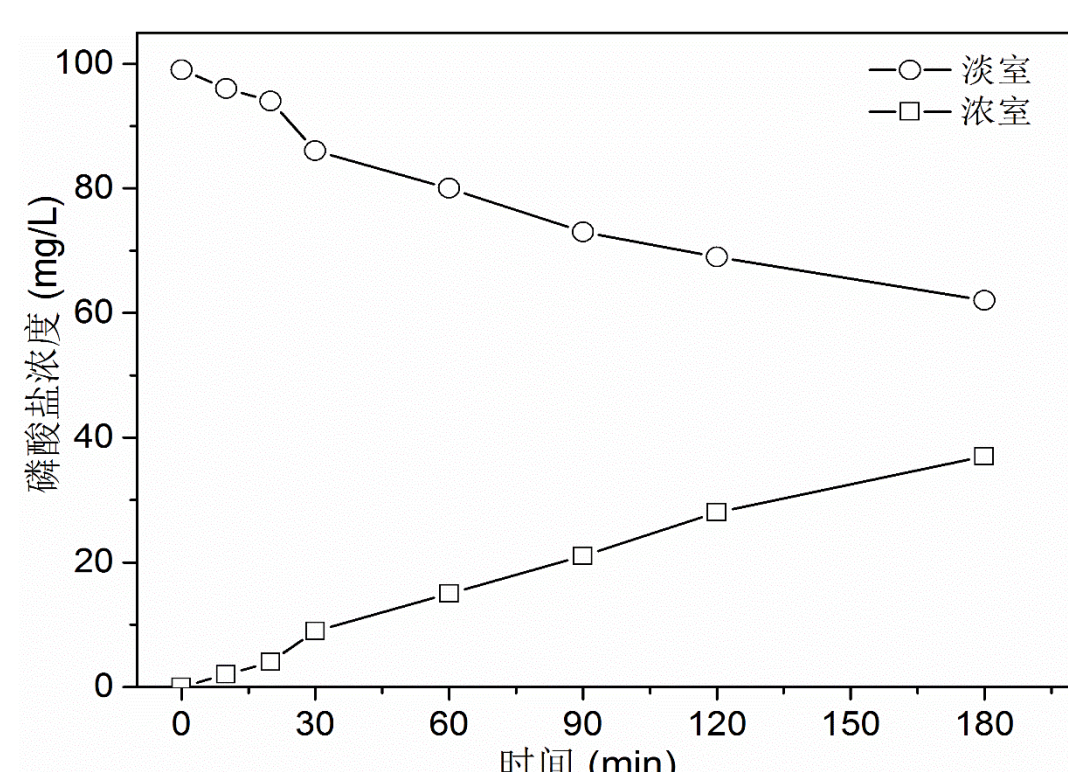


图3 循环处理磷酸盐废水

连续去除与浓缩磷酸盐溶液

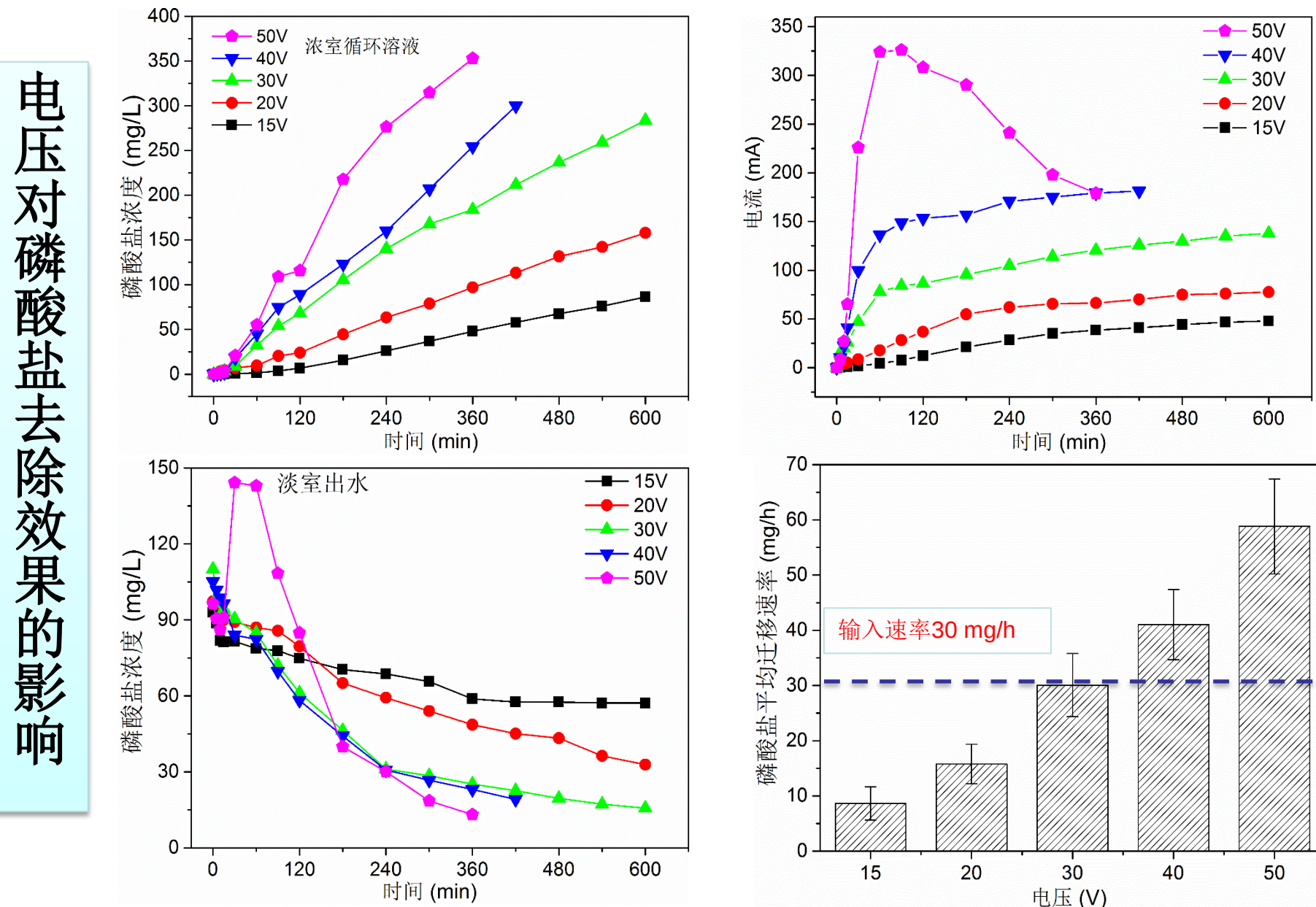


图4 不同电压下EDI淡室、浓室、电流及迁移速率变化

1. 进水浓度：100 mg/L，进水流速：2.5~15 mL/min，浓室/极室流量：20 mL/min，电压：30V，运行时间：600 min。

2. 增大流速，磷酸盐在淡室停留时间减少，出水浓度大。
3. 增大流速一定程度上增加了系统导电性，提高了迁移速率，根据输入与迁移速率确定最适流速 5 mL/min。

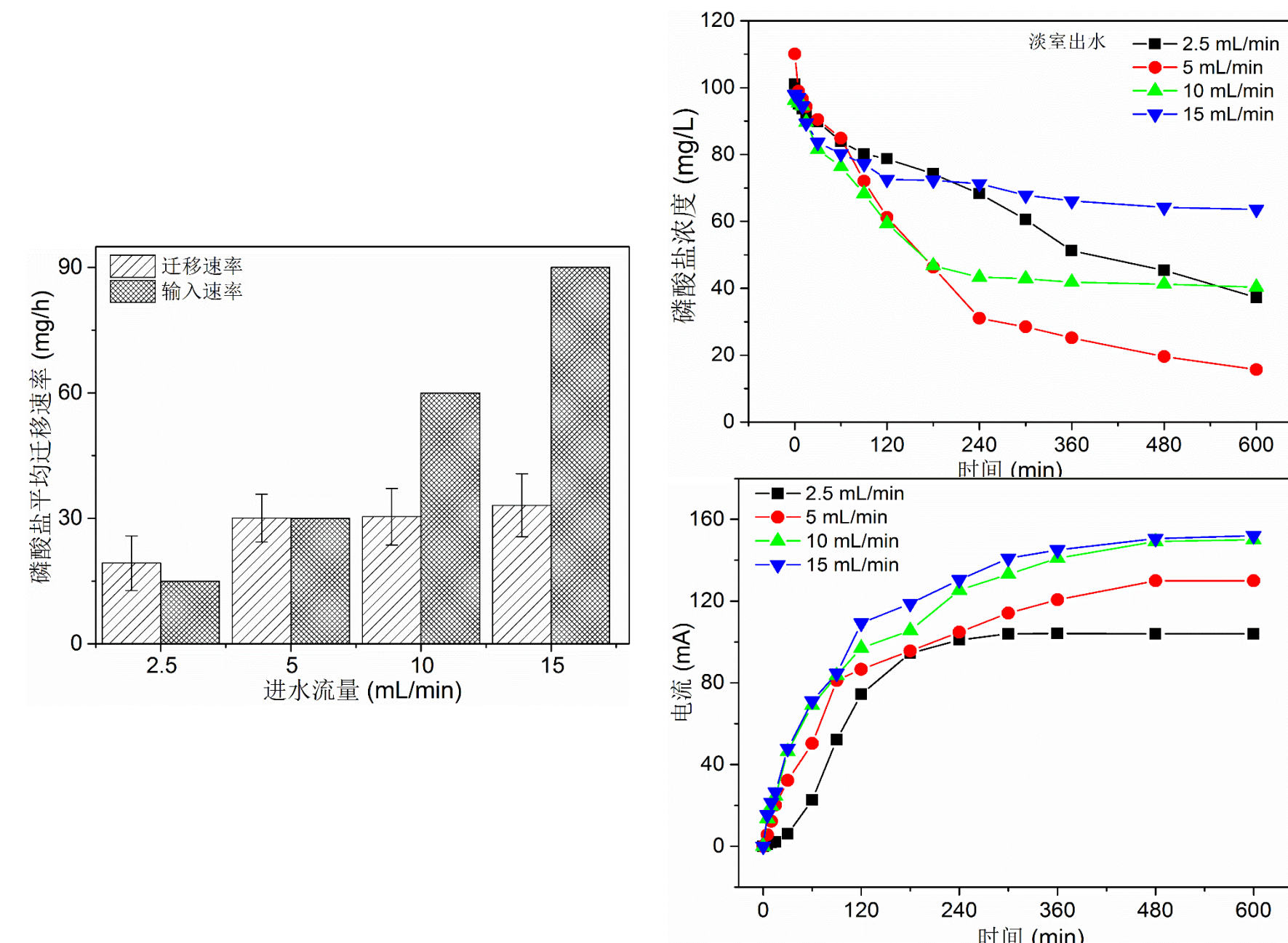


图5 不同流速下EDI淡室、电流及迁移速率变化

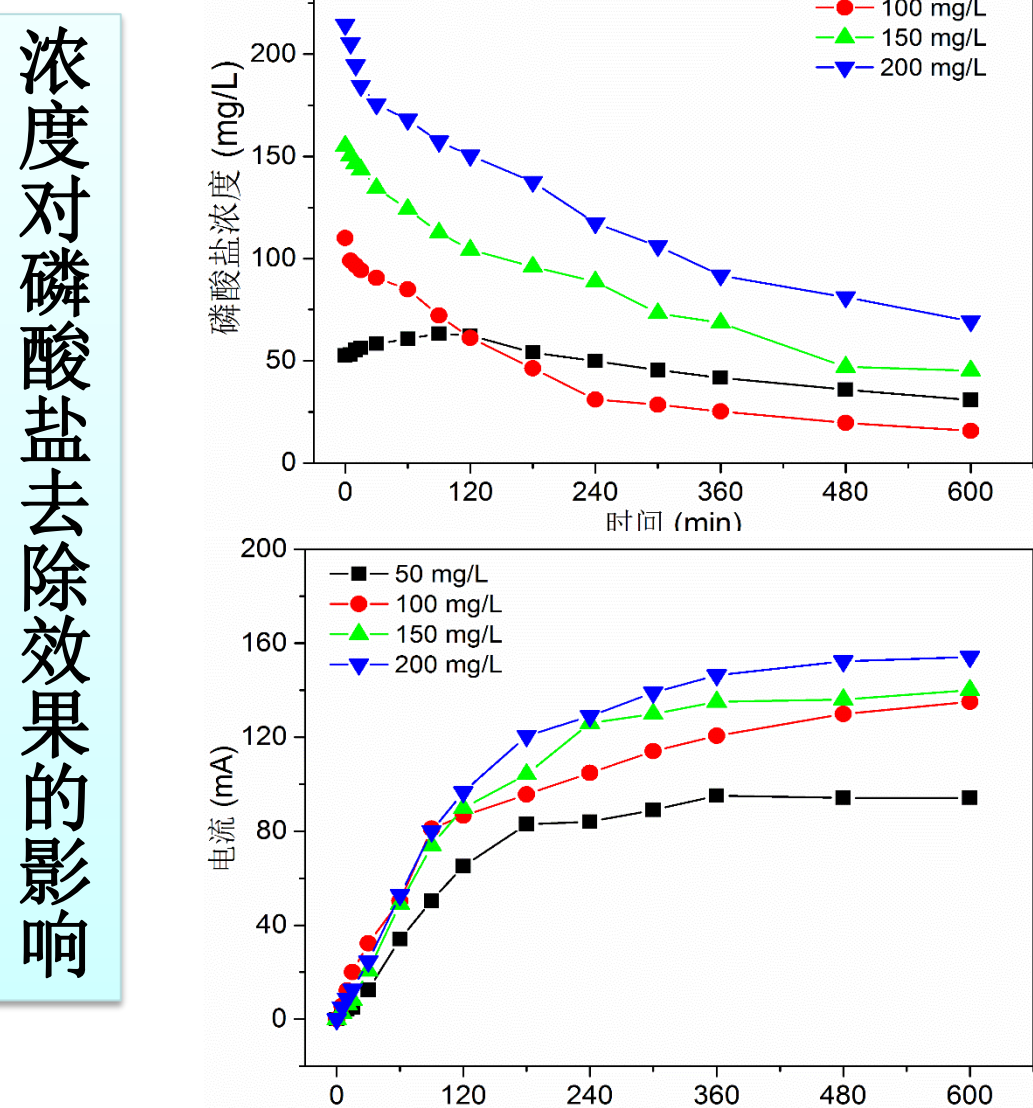


图6 不同浓度下EDI淡室、电流及迁移速率变化

电流效率

表4 不同运行参数下EDI系统电流效率

运行参数	电压 (V)			进水磷酸盐浓度(mg/L)				进水流速(mL/min)			
	15V	20V	30V	50	100	150	200	2.5	5	10	15
电流效率(%)	50.8	54.2	56.6	39.4	56.6	55.6	53.8	49.1	56.6	53.0	52.5

结论

1. 自主设计制作的EDI反应器很好地实现磷酸盐的连续去除和浓缩：淡室连续进水100 mg/L，在电压30 V的条件下，连续运行10 h，得到出水磷酸盐为15.68 mg/L，去除率86.3%，浓室浓缩倍数为2.58，电流效率为56.6%。装置运行状态一般在6h后趋于稳定，平均磷酸盐迁移速率30.05 mg/h，与磷酸盐输入速率接近，系统运行稳定。
2. 通过对不同电压下EDI运行效果进行分析，明确了电压在EDI运行过程中的主导作用；进水浓度通过控制系统导电性来影响迁移速率；进水流速通过控制离子在EDI反应器中停留的时间来影响迁移速率。
3. 循环式同步去除和浓缩氨氮和磷酸盐最优条件是：淡室、浓室氨氮150 mg/L，磷酸盐166 mg/L，流量20 mL/min，电压40 V，运行时间3 h，氨氮去除率95%，浓缩倍数1.36；磷酸盐去除率94.5%，浓缩倍数1.15。

致谢

感谢张盼月老师对课题研究的指导，感谢叶捷师兄对实验的大力帮助。

取得的主要研究成果：

1. H. Wang, Q. Zhou, G. Zhang, G. Yan, H. Lu, & L. Sun. A novel PSB-EDI system for high ammonia wastewater treatment, biomass production and nitrogen resource recovery: PSB system[J]. Water Science & Technology, 2016.
2. 闫国凯,张盼月.电去离子（EDI）技术连续去除水中磷酸盐的研究.第十三届全国水处理化学大会摘要集[C].南京,2016.