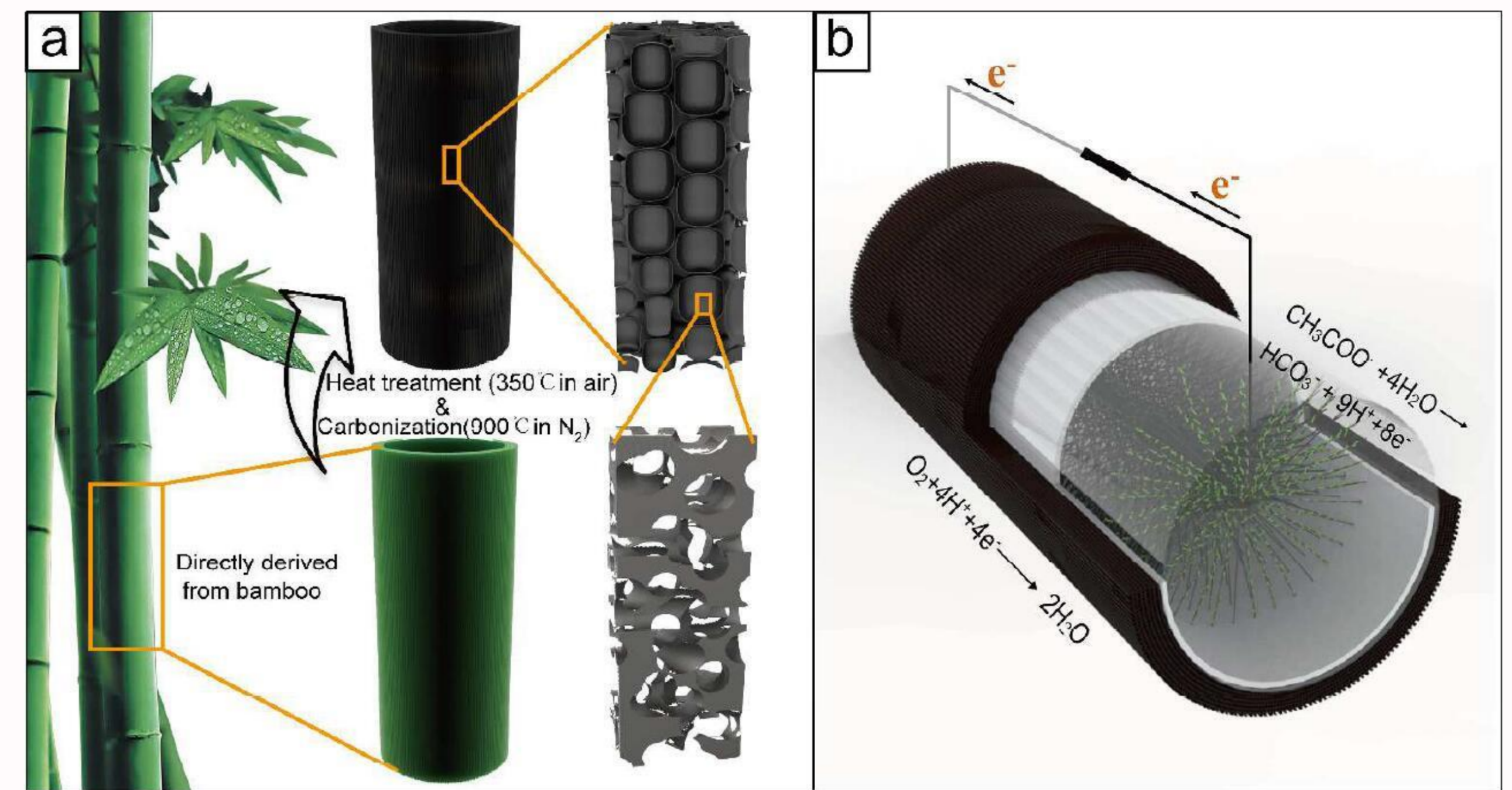


## 燃料电池及传递现象实验室

燃料电池是一种按电化学原理将储存于燃料或氧化剂中的化学能直接转化为电能的能量转换装置，具有能量转换效率高、环境友好、可靠性高、用途广泛等优点，被誉为是继水电、火力和核能之后的第四代发电装置。

燃料电池及传递现象实验室主要从事微生物燃料电池、微生物电解池、直接甲酸/甲醇燃料电池、质子交换膜燃料电池、微生物电合成系统、热再生氨电池以及燃料电池内能量、质量、质子、电子等耦合传输机理与转化特性研究，涉及传热传质学、两相流体力学、多孔介质理论、电化学、材料科学等领域的前沿交叉领域。



目前课题组研究团队成员包括教授2名，特聘研究员1名，副教授1名，在读博士生6名，在读研究生16名。承担和完成国家自然科学基金项目6项、教育部新世纪优秀人才支持计划1项、中国博士后科学基金一等资助项目1项、省部级自然科学基金项目4项。目前已在国内外重要刊物上发表研究论文100余篇，其中发表SCI收录论文60余篇，授权发明专利10余项。

## 主要研究方向

燃料电池内多相反应流传热传质，微生物电化学能源转化过程多相传递及强化，固碳产甲烷微生物电合成系统中多元多相传递及生物电化学转化特性，具有可再生阴极的碱性微生物燃料电池内多场驱动的多组分物质传输特性研究，微生物电化学系统中生物电化学反应的多组分物质传输及性能特性，具有容积式泡沫金属电极的平板式废热再生氨电池传递特性及性能强化，微生物燃料电池中可再生阴极电子受体的电化学和传输特性研究等。

## 主要科研项目

- 国家优秀青年科学基金项目 (NO.51622602)：微生物电化学能源转化过程多相传递及强化
- 国家自然科学基金面上项目 (NO.51176212)：具有可再生阴极的碱性微生物燃料电池内多场驱动的多组分物质传输特性研究
- 教育部新世纪优秀人才项目 (NO.NCET-11-0551)：微生物电化学系统中生物电化学反应的多组分物质传输及性能特性
- 国家自然科学基金青年基金 (NO.51606022)：具有容积式泡沫金属电极的平板式废热再生氨电池传递特性及性能强化
- 国家自然科学基金青年基金 (NO.51506017)：固碳产甲烷微生物电合成系统中多元多相传递及生物电化学转化特性
- 国家自然科学基金青年基金项目 (NO.50806087)：采用光照可再生阴极受体的循环式微生物燃料电池及传输特性研究
- 中央高校基本科研业务费重大项目 (NO.CDJZR13148801)：电化学活性生物膜结构调控与传输强化特性
- 重庆市自然科学基金 (NO.CSTC, 2008BB6176)：微生物燃料电池中可再生阴极电子受体的电化学和传输特性研究
- 重庆市自然科学基金 (NO.CSTC2015JCYJA90017)：可还原二氧化碳产甲烷的微生物阴极体系中多元多相传递特性



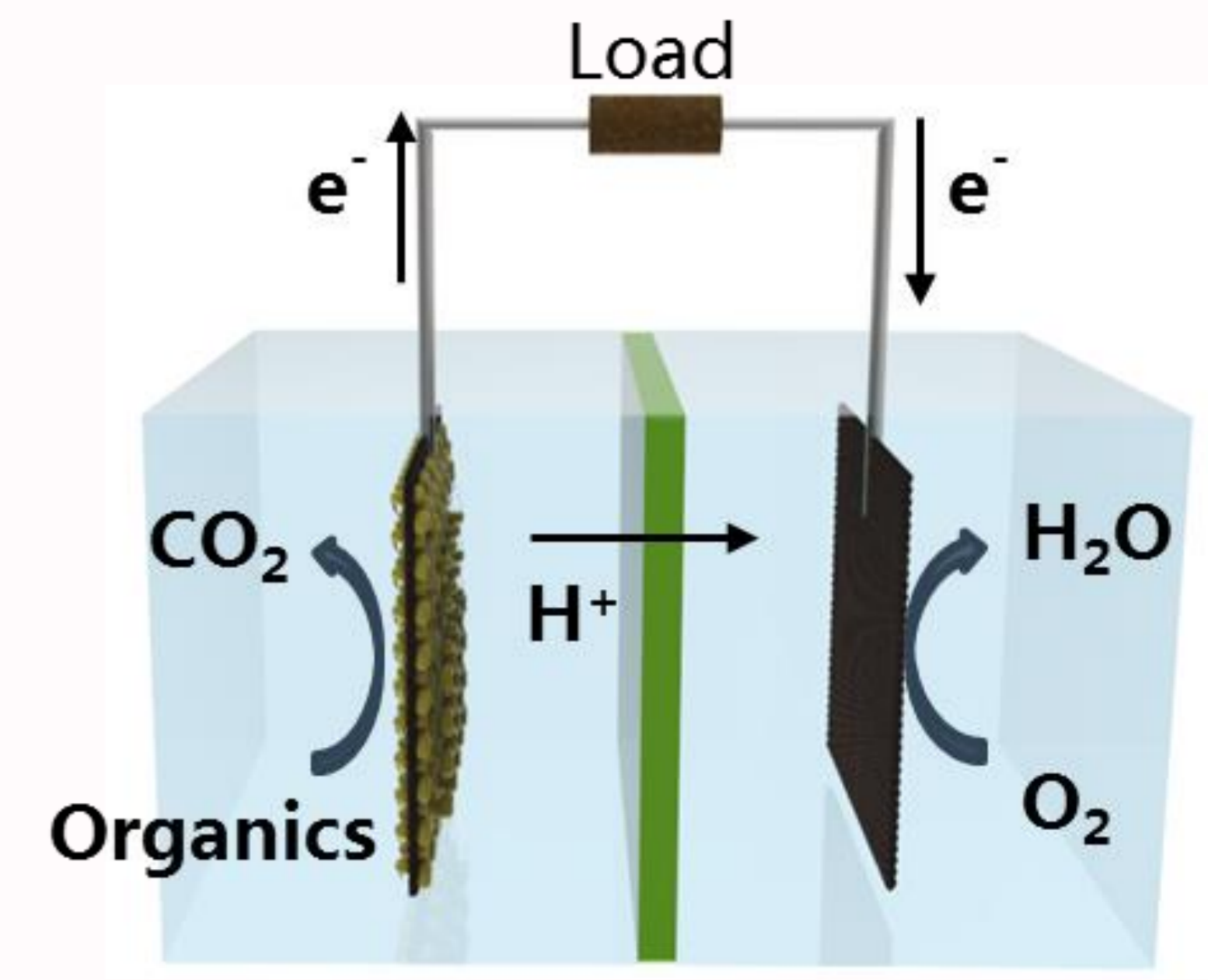




# 微生物燃料电池传输特性及性能强化研究

## 一、微生物燃料电池

微生物燃料电池 (Microbial Fuel Cells) 是一种以微生物为阳极催化剂, 将有机物中的化学能直接转化成电能的装置。利用MFCs不仅可以直接将水中或者污泥中的有机物降解, 而且同时可以将有机物在微生物代谢过程中产生的电子转化成电流, 从而获得电能。因此微生物燃料电池近年来受到了广泛关注, 在净化污水的同时也回收了废水中的能量, 这无疑为污水处理提供了新的思路 and 方向, 具有较大的应用前景。



微生物燃料电池原理示意图

## 二、主要研究进展

### MFC阴极性能强化

#### 碳质阴极氧还原催化剂

##### 制备碳质阴极氧还原催化剂

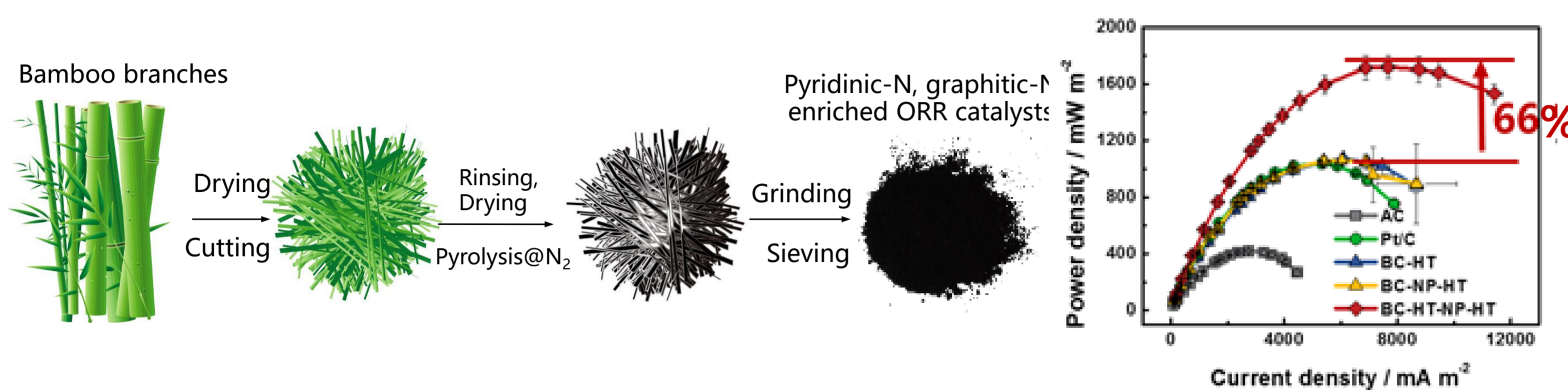


图1 竹炭还原催化剂的制备及性能测试

吡啉氮和石墨氮能够提升催化活性

##### 蛋白核小球藻制备高效的MFC阴极催化剂

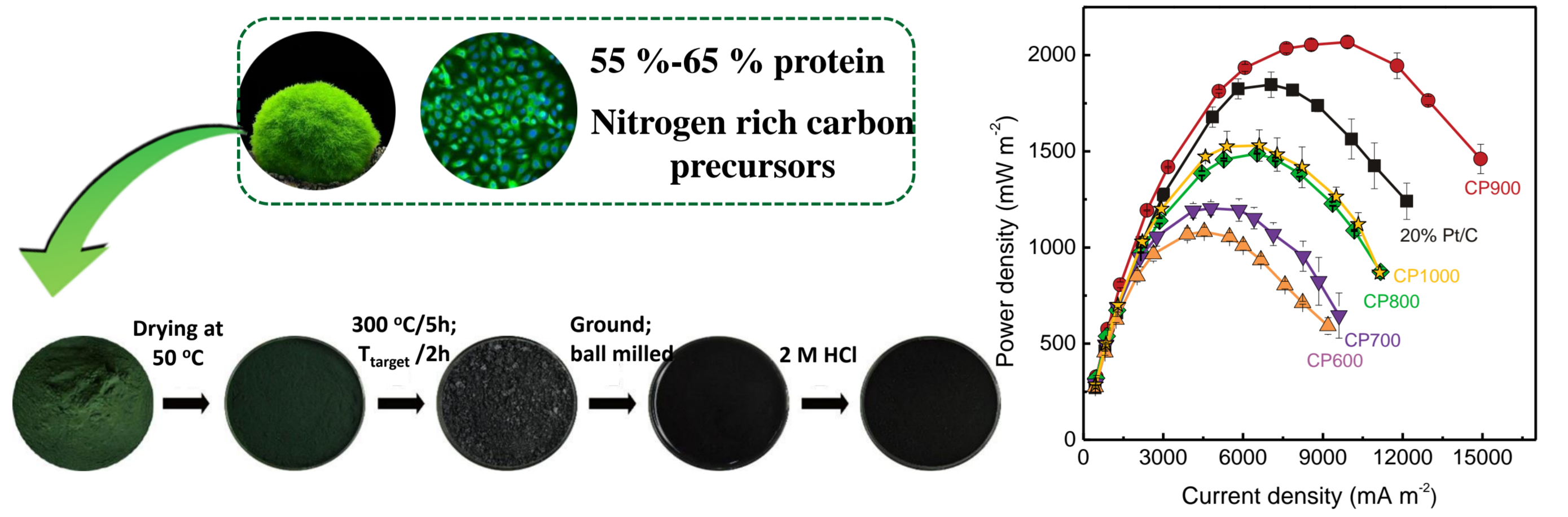


图2 蛋白核小球藻热处理制备MFC阴极催化剂

图3 小球藻阴极催化剂MFC性能

##### 水热法掺Fe-N-C合成氧还原催化剂



图4 催化剂合成流程图

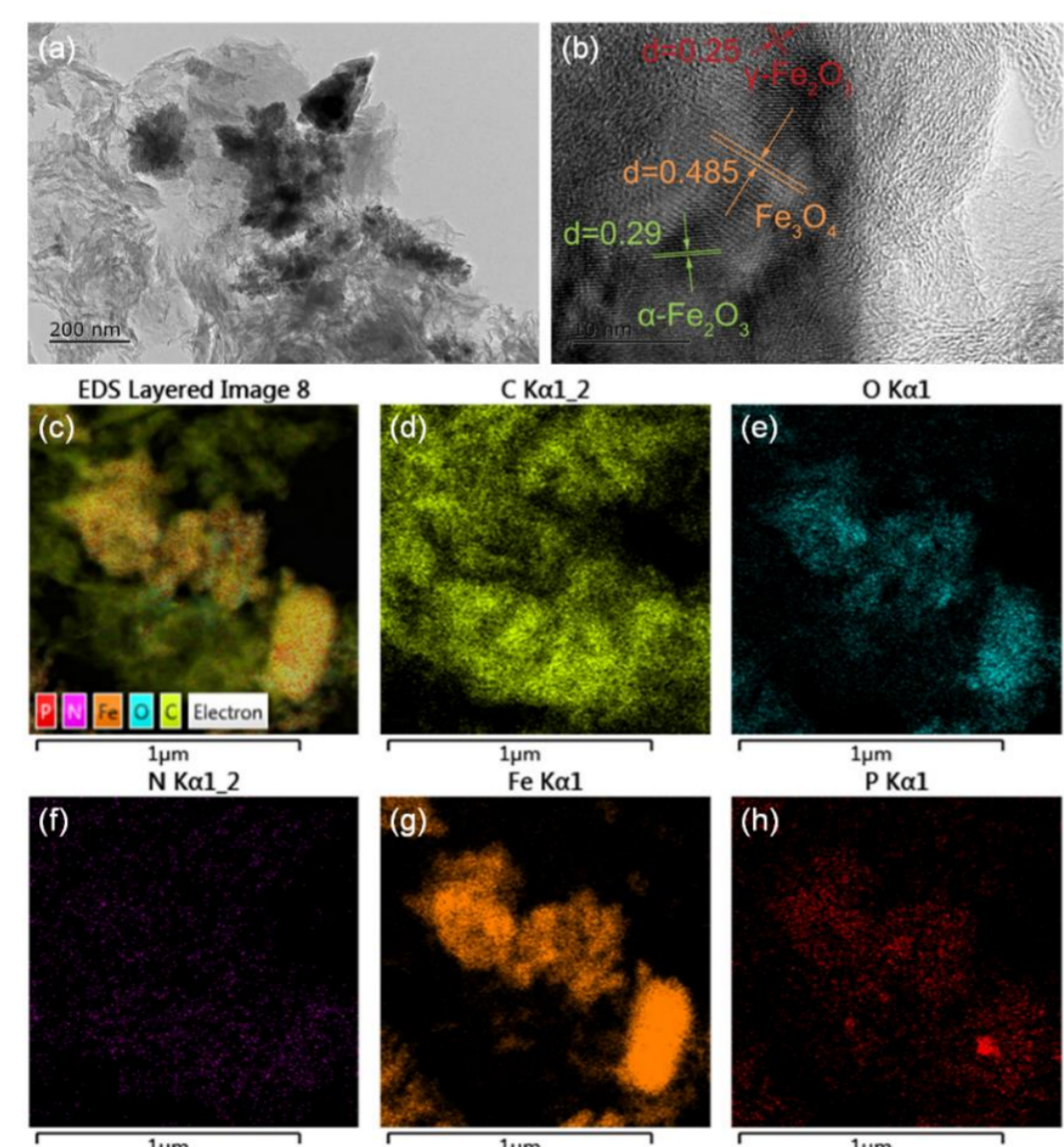


图5 TEM高分辨形貌样和电子能谱

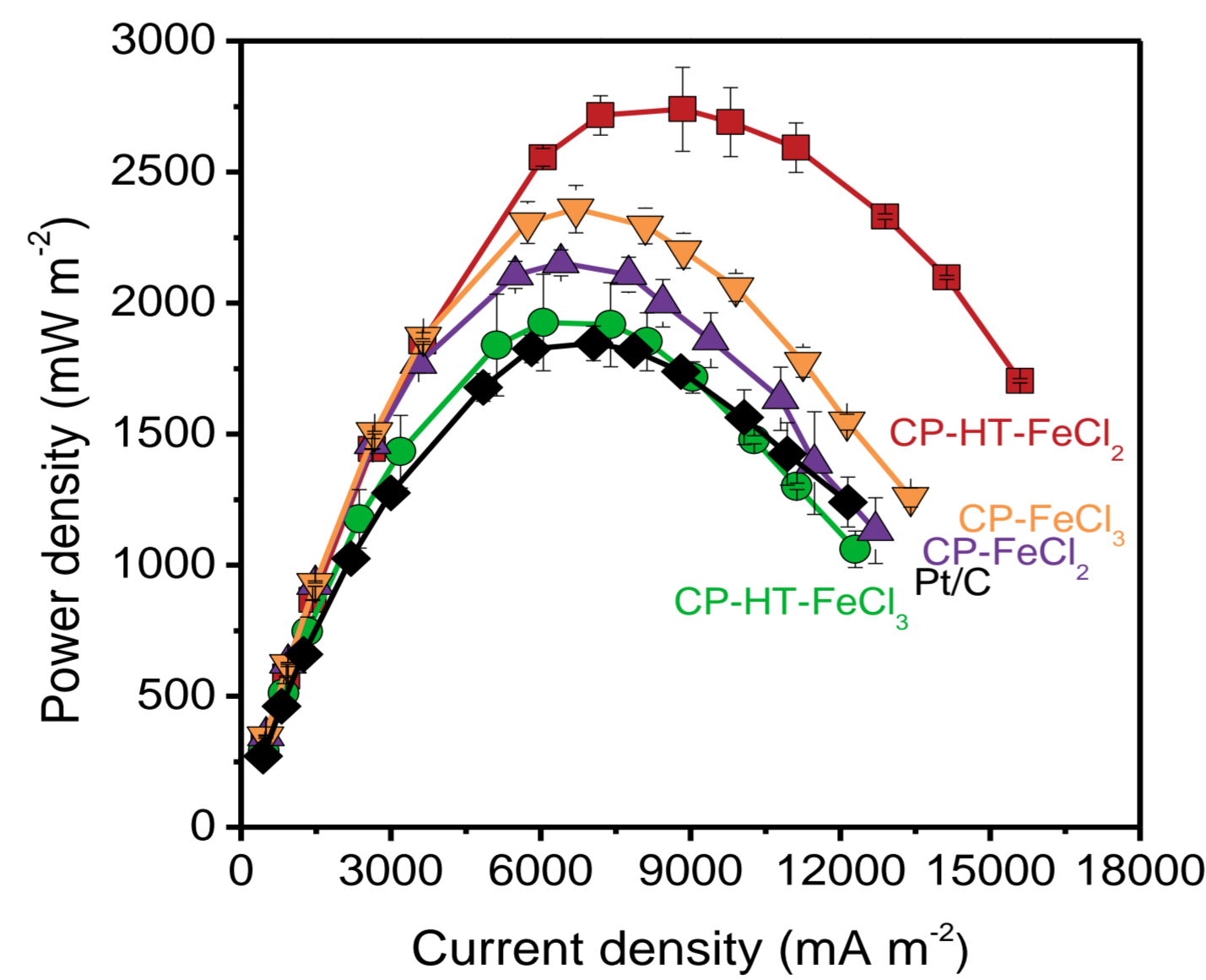


图6 电池性能特性

利用水热二价铁的方式进一步增强了碳质催化剂催化活性, 提高催化剂比表面积, 形成更多介孔结构促进阴极催化层内物质传输。

#### 阴极电极结构优化

##### 纸基阴极单室微生物燃料电池

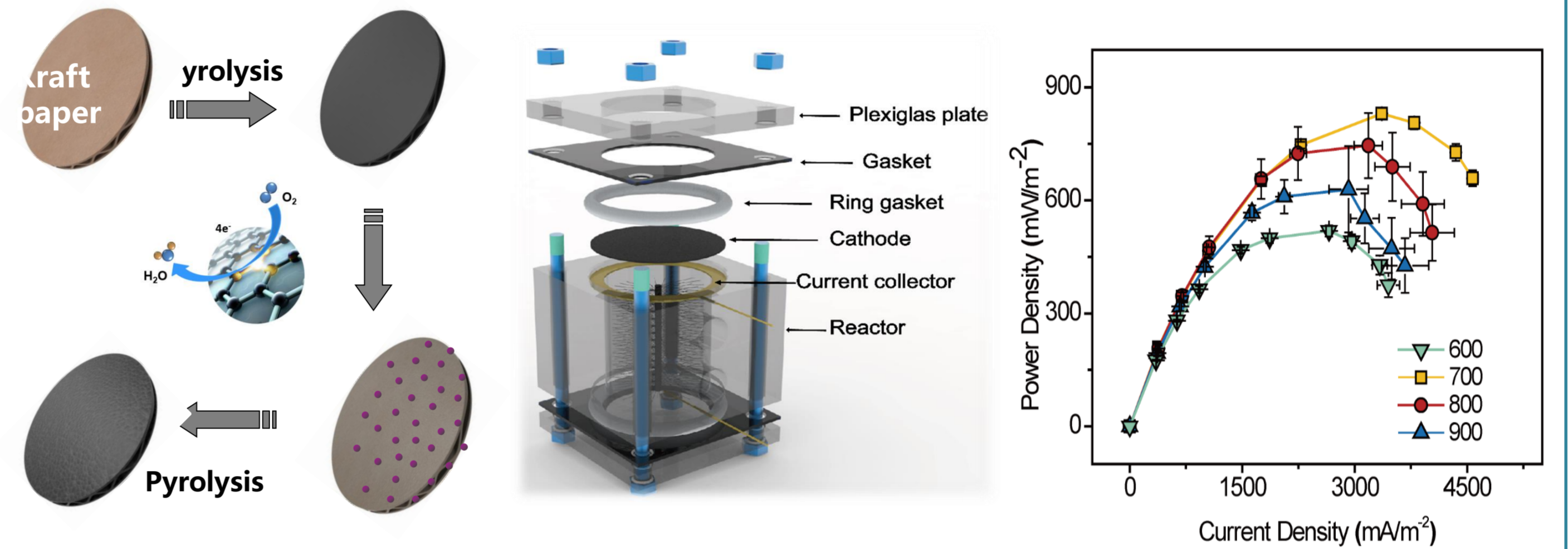


图7 纸基阴极合成图

图8 纸基阴极单室微生物燃料电池

图9 纸基阴极单室MFC电池性能

纸基空气阴极单室MFC电池性能提升, 同时减少了成本

##### 竹炭管阴极的单室微生物燃料电池

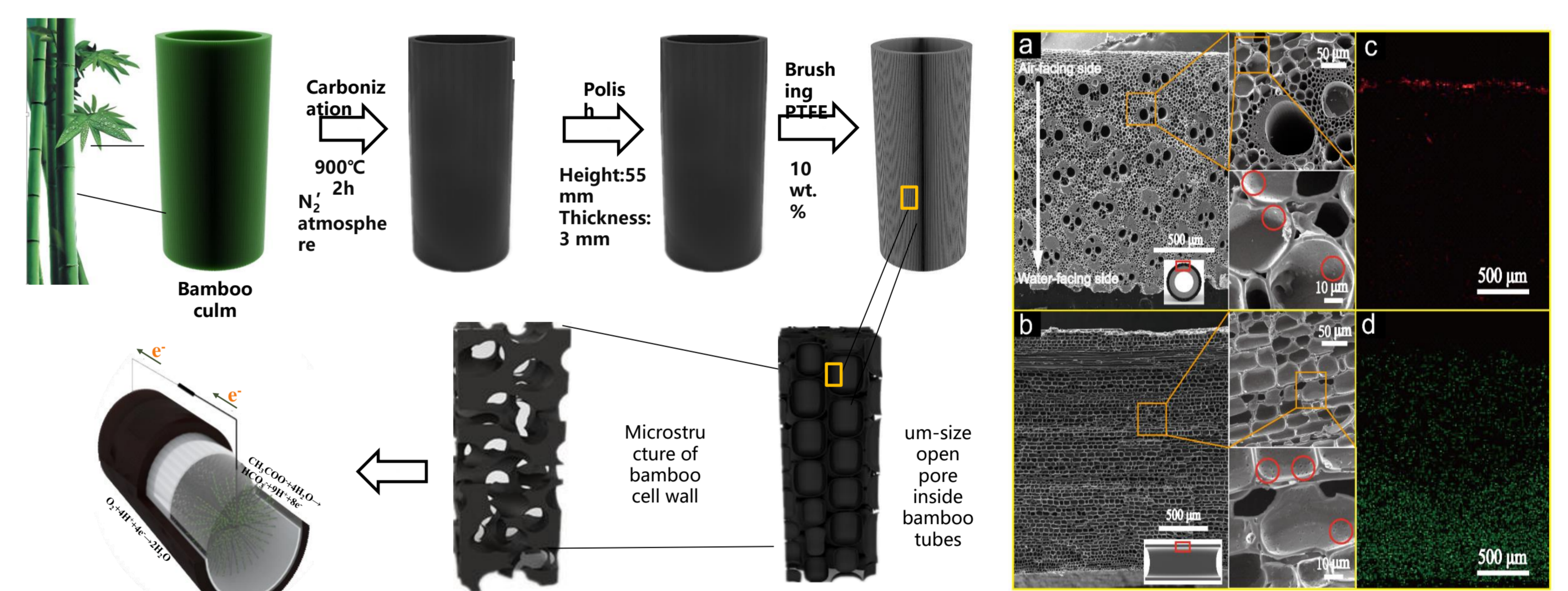


图10 竹炭管阴极合成示意图

图11 竹炭管阴极SEM图

竹炭管由于其多孔特性, 强化了氧气和质子传输

##### 梯度孔空气阴极的微生物燃料电池

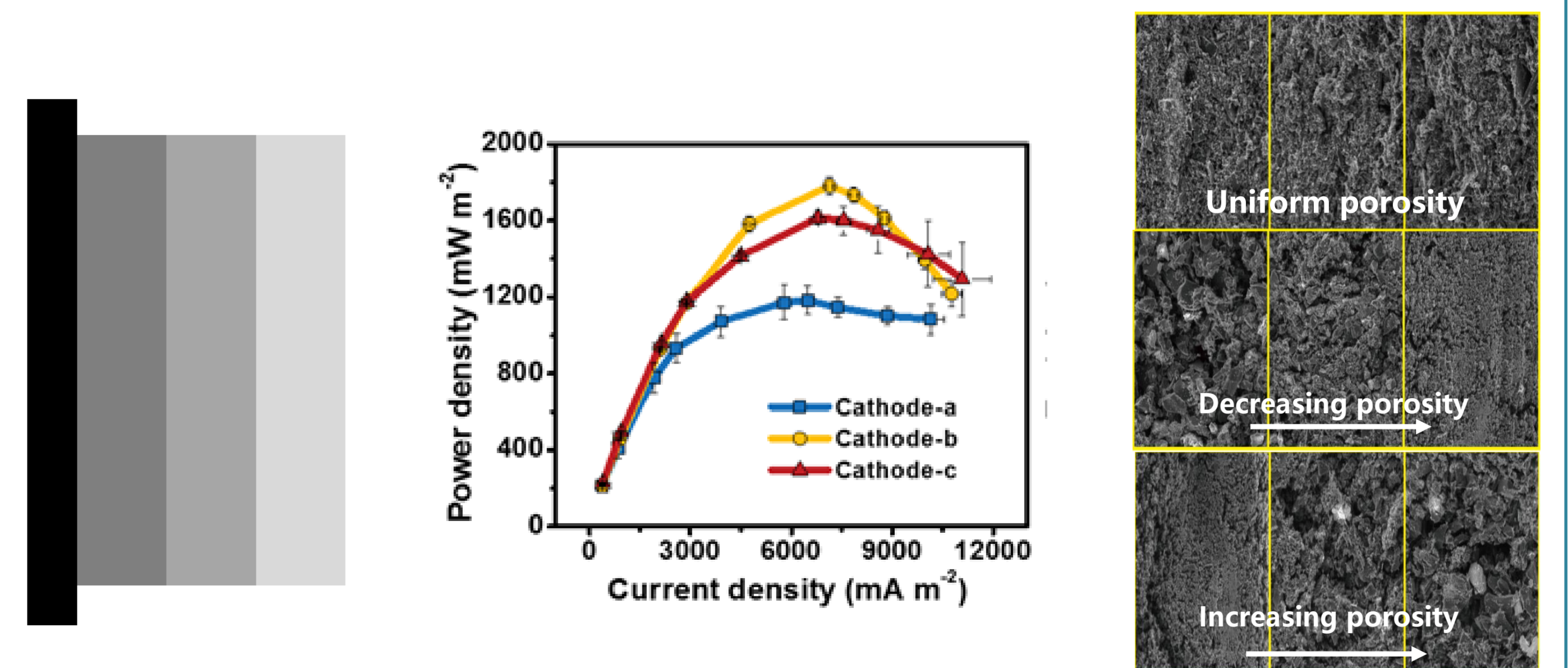


图12 梯度孔结构示意图

图13 梯度孔空气阴极MFC电池性能

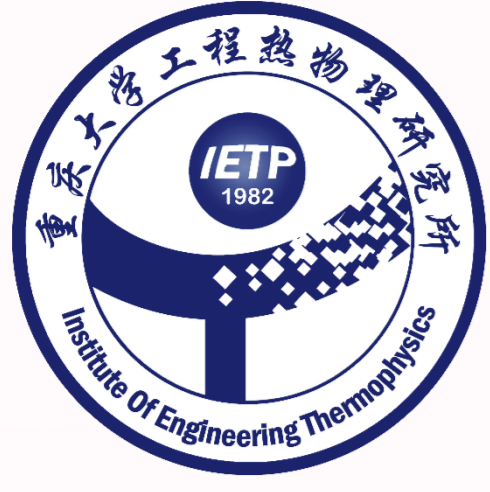
图14 梯度孔空气阴极SEM

梯度孔孔隙率增加或减小, 都会梯度孔空气阴极MFC性能



Welcome to CQU





# 微生物燃料电池传输特性及性能强化研究

## MFC阳极性能强化

### 阳极生物膜结构的调控

#### pH对生物膜结构与性能影响特性

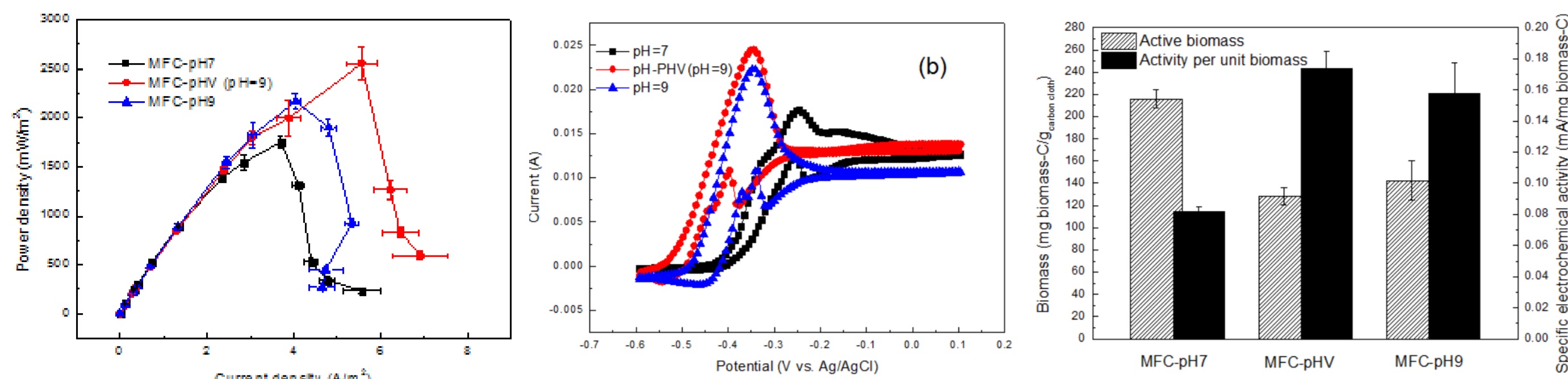


图1 不同pH下MFC性能

图2 不同pH下生物膜活性

图3 不同pH下生物量

通过pH变化培养微生物阳极，可获得较高的生物量及电化学活性，从而使电池性能提高70%

#### 不同表面处理方式对电极性质影响特性

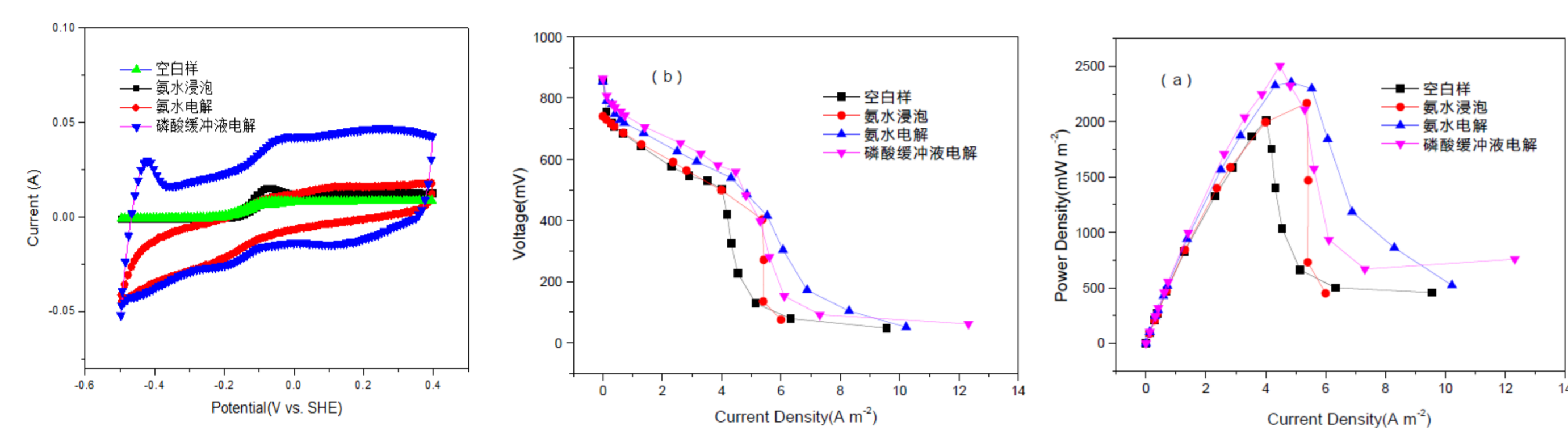


图4 不同表面处理方式电极电化学测试

通过在中性电解质中对电极进行电解而对电极进行改性，引入了大量的表面官能团，电极由原先的憎水变为亲水，且使得电极表面更加粗糙，更有利于细菌的吸附

## 新型阳极结构及底物传输

### 旋转阳极

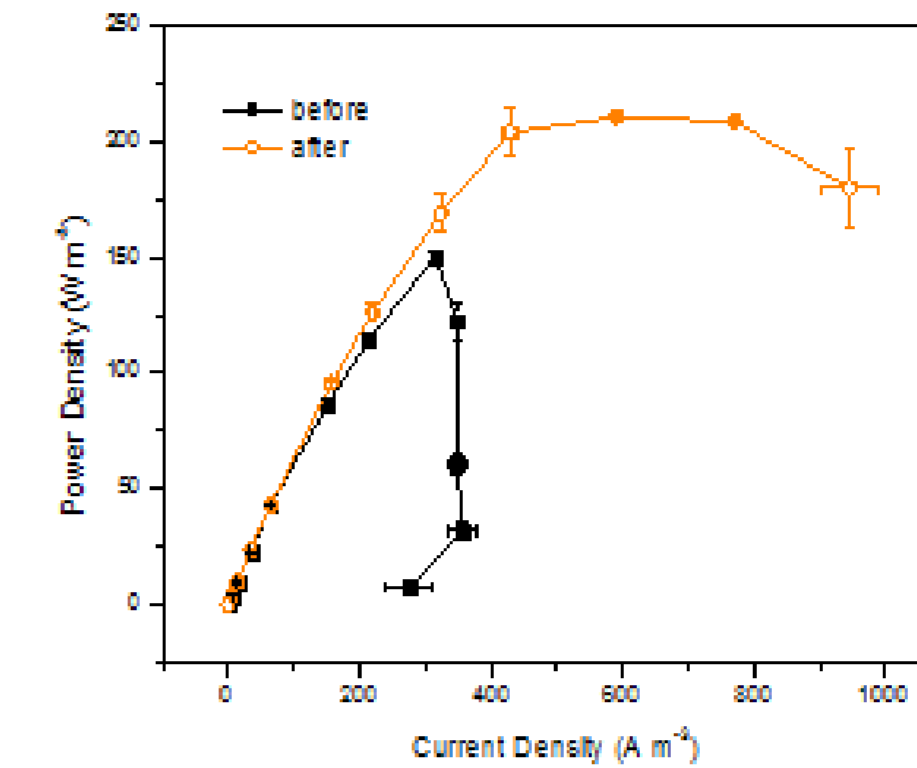
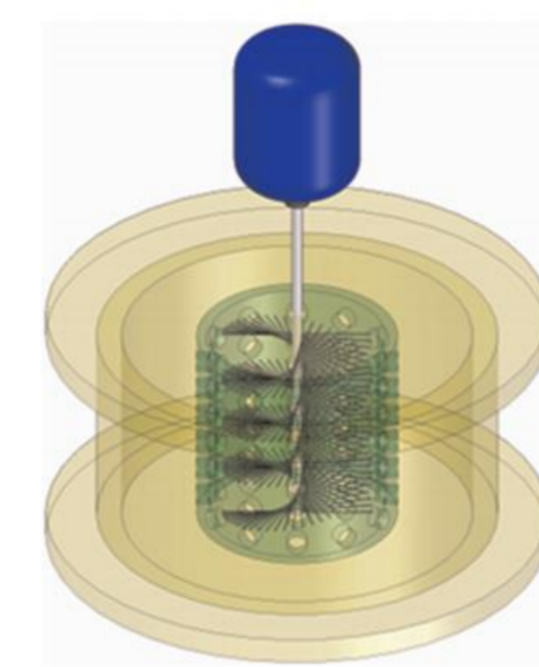


图5 旋转阳极MFC结构示意图

图6 旋转阳极MFC电池性能

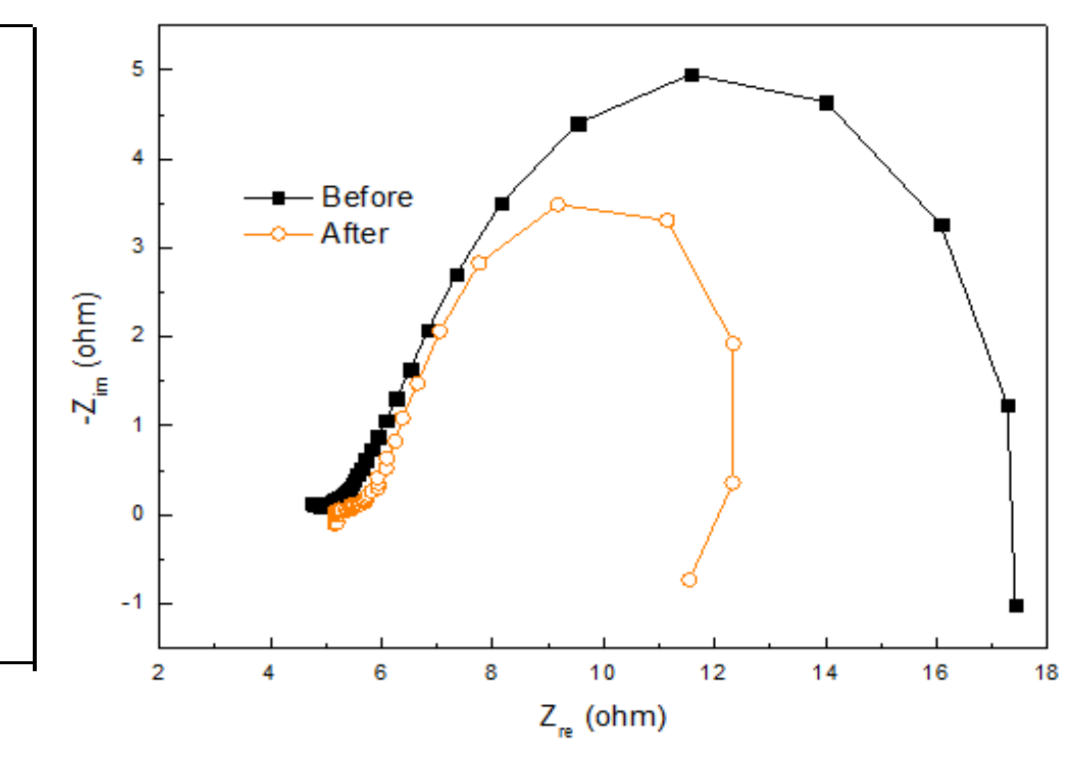


图7 旋转阳极MFC阻抗分析

采用旋转阳极的方法可强化生物阳极的产物和底物传输

### 竹炭管阳极

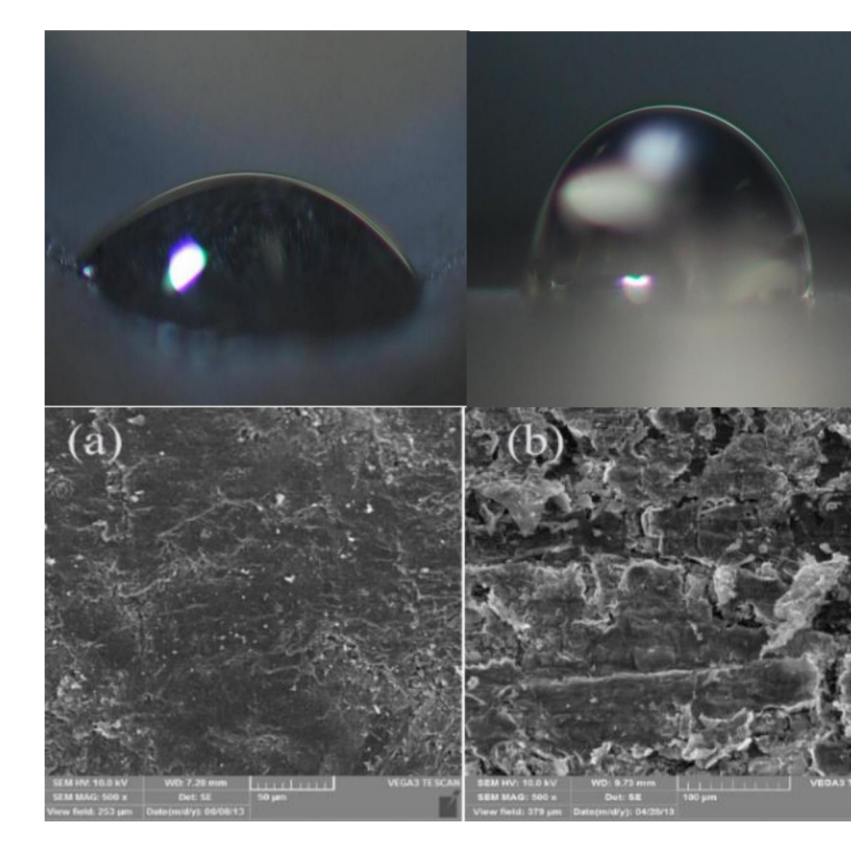
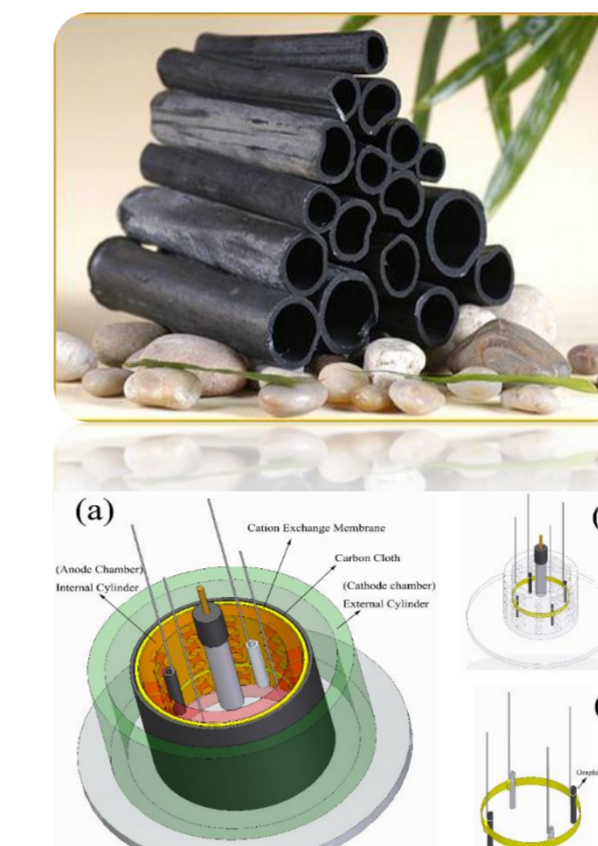


图8 竹炭管阳极MFC

图9 竹炭及石墨电极亲疏水性和表面生物膜

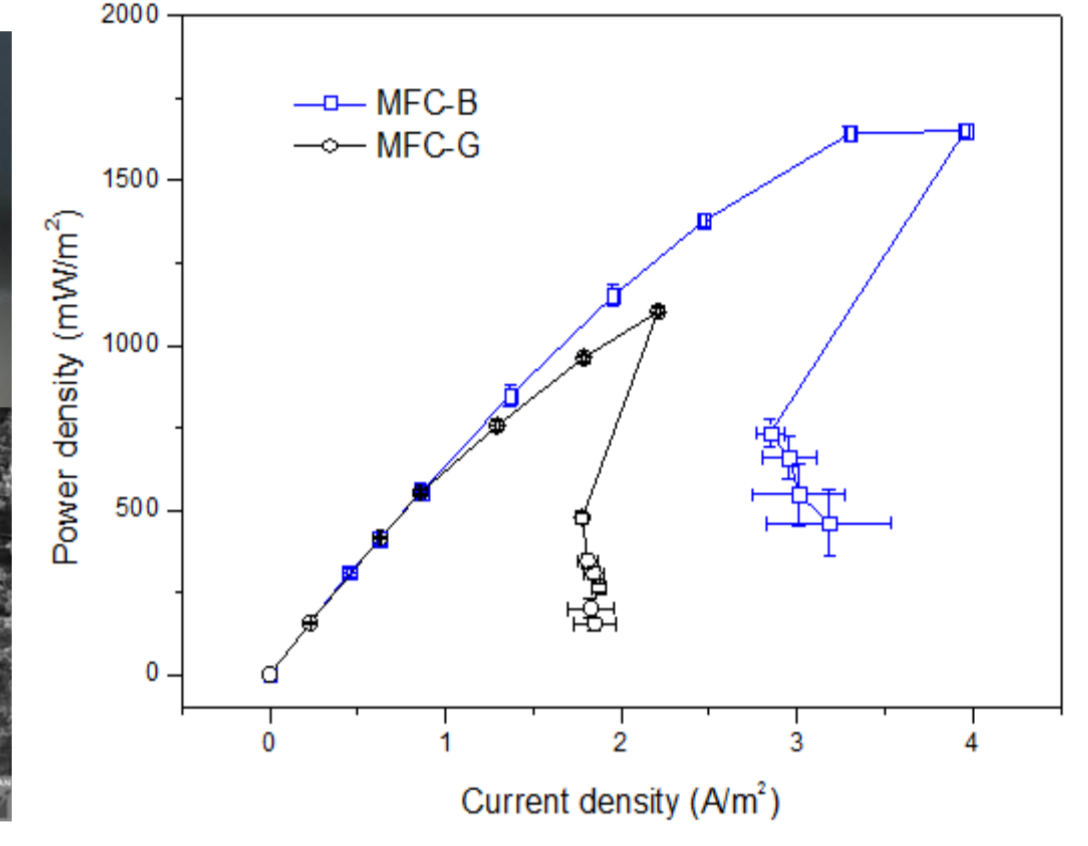


图10 竹炭管阳极和石墨电极性能对比

竹炭较石墨更亲水，采用竹炭阳极的电池性能较采用石墨阳极的电池性能提高1.5倍

## MFC质子传输强化

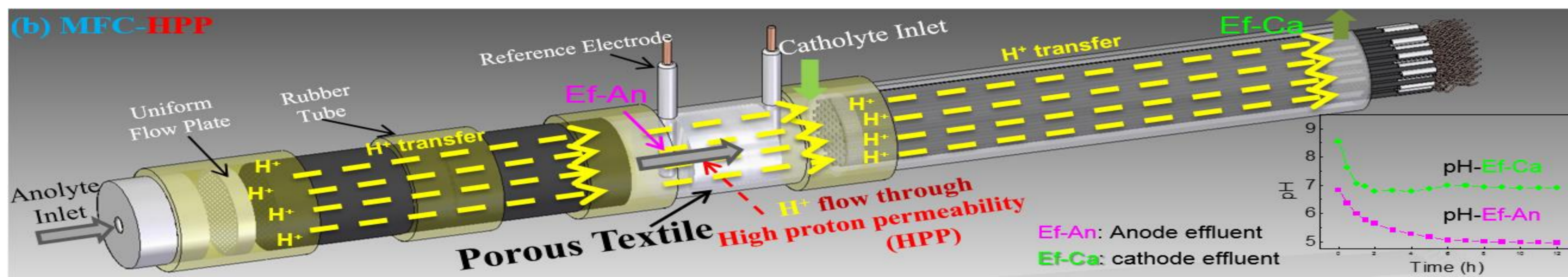


图11 直通型结构MFC示意图

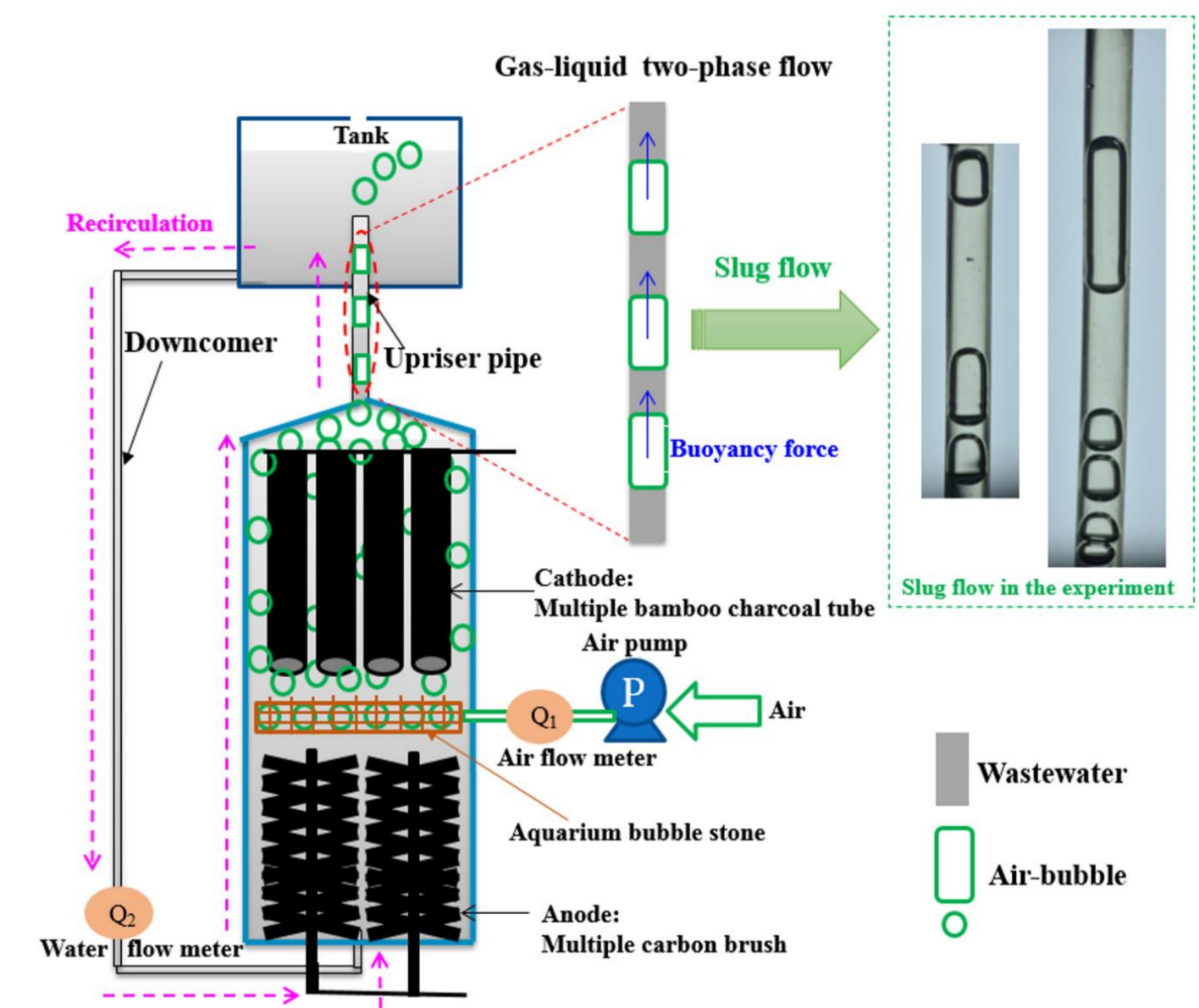


图15 电解液自循环MFC示意图

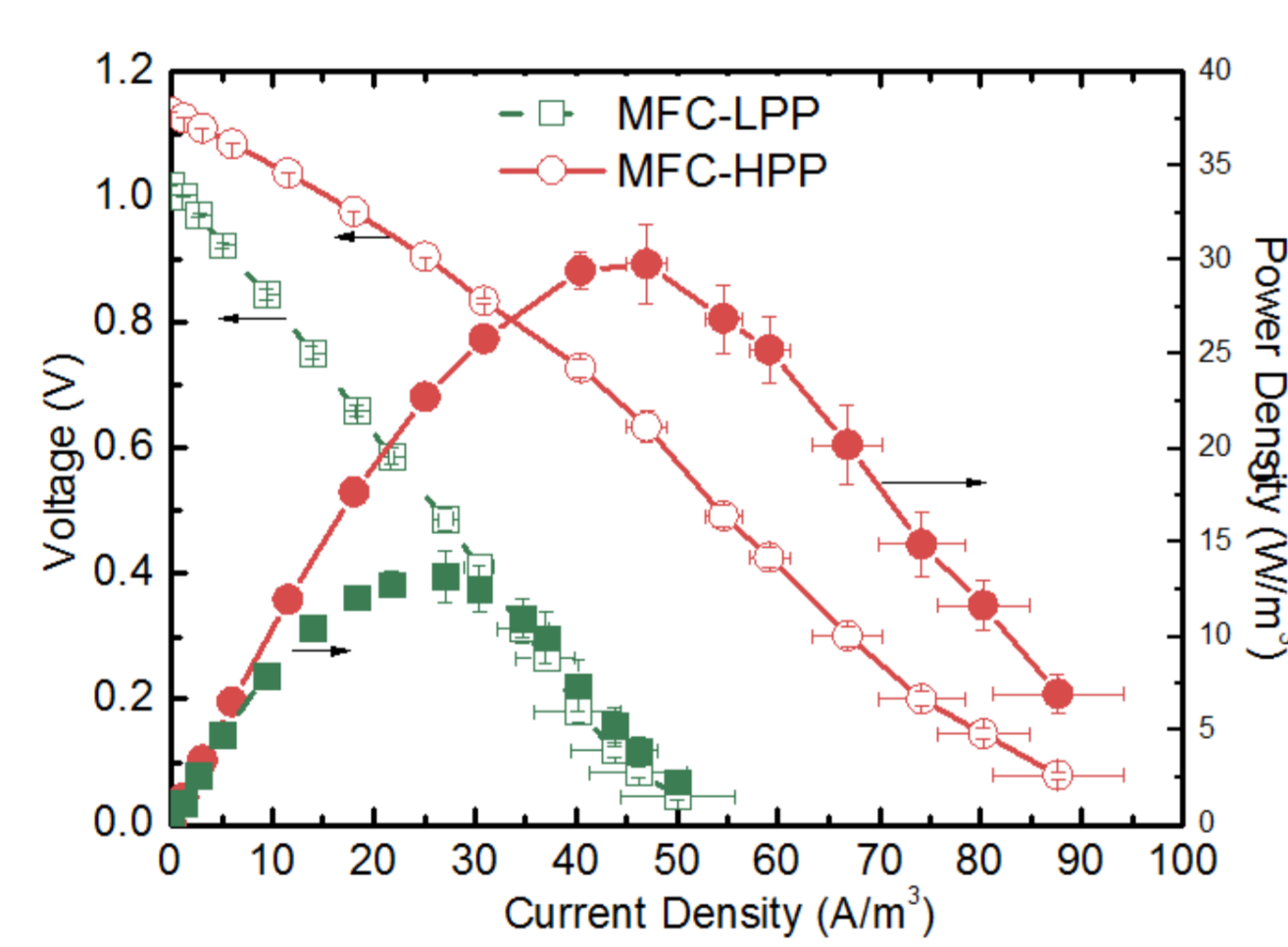


图12 直通型MFC性能曲线和放电曲线

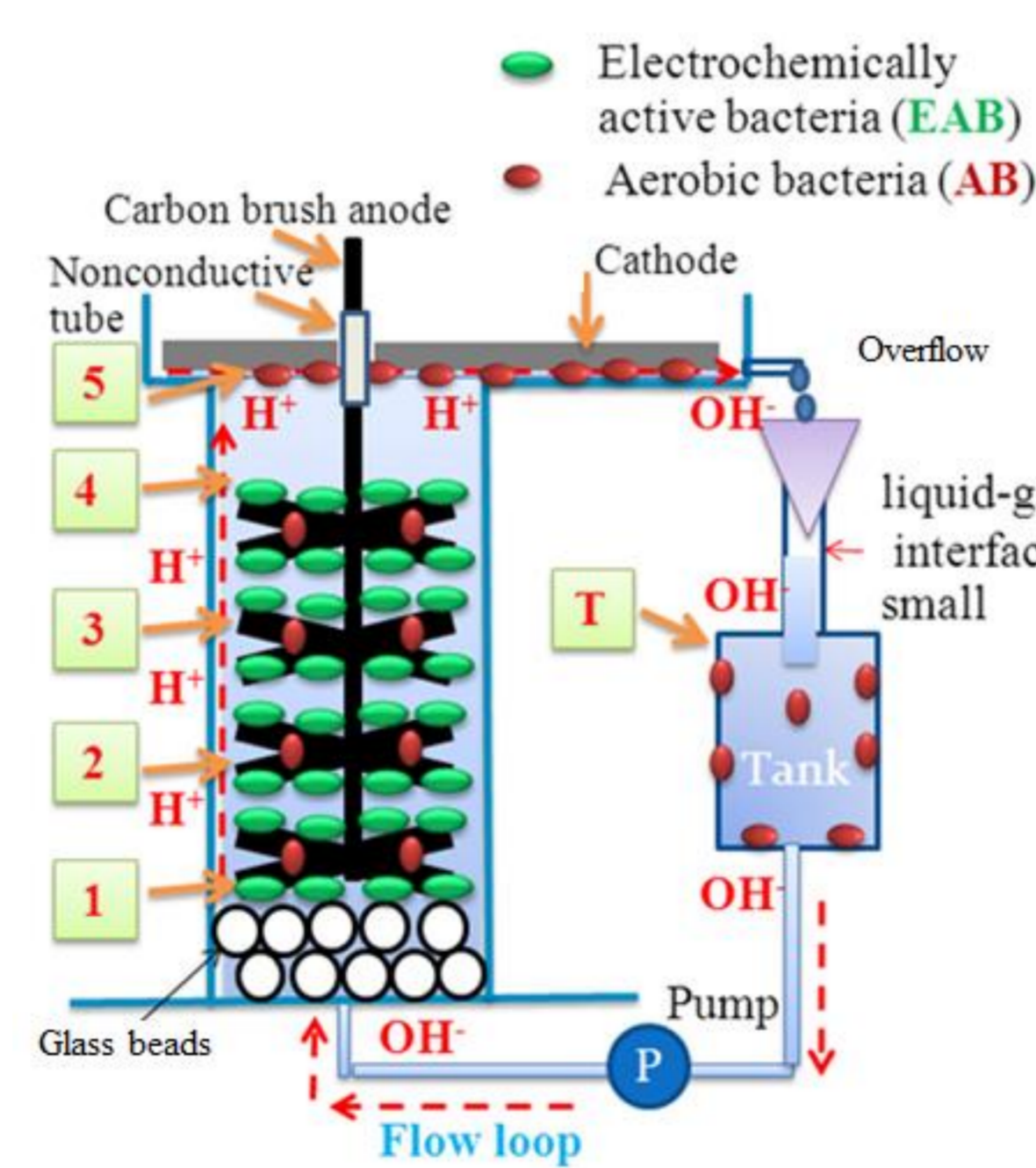


图13 循环流MFC示意图

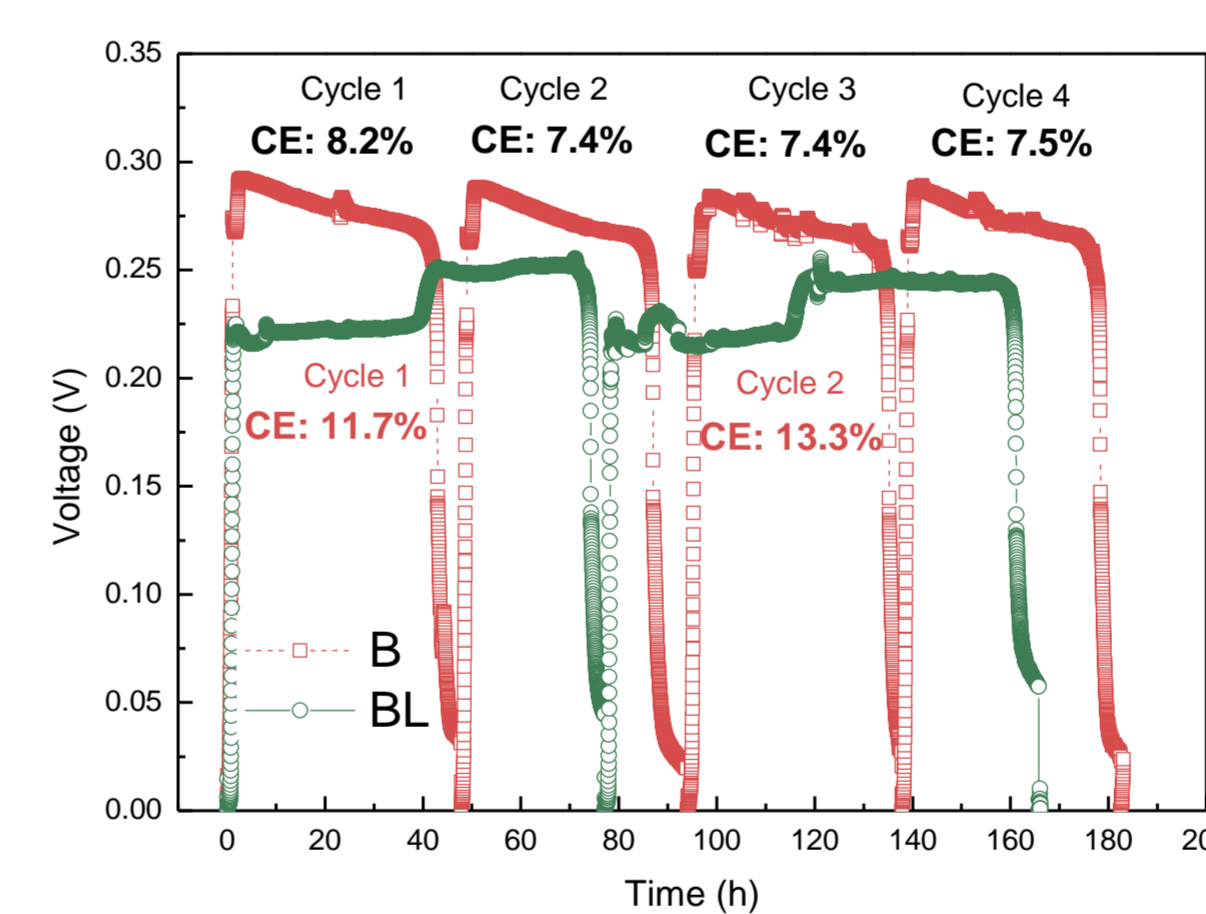


图14 循环流MFC性能曲线和放电曲线

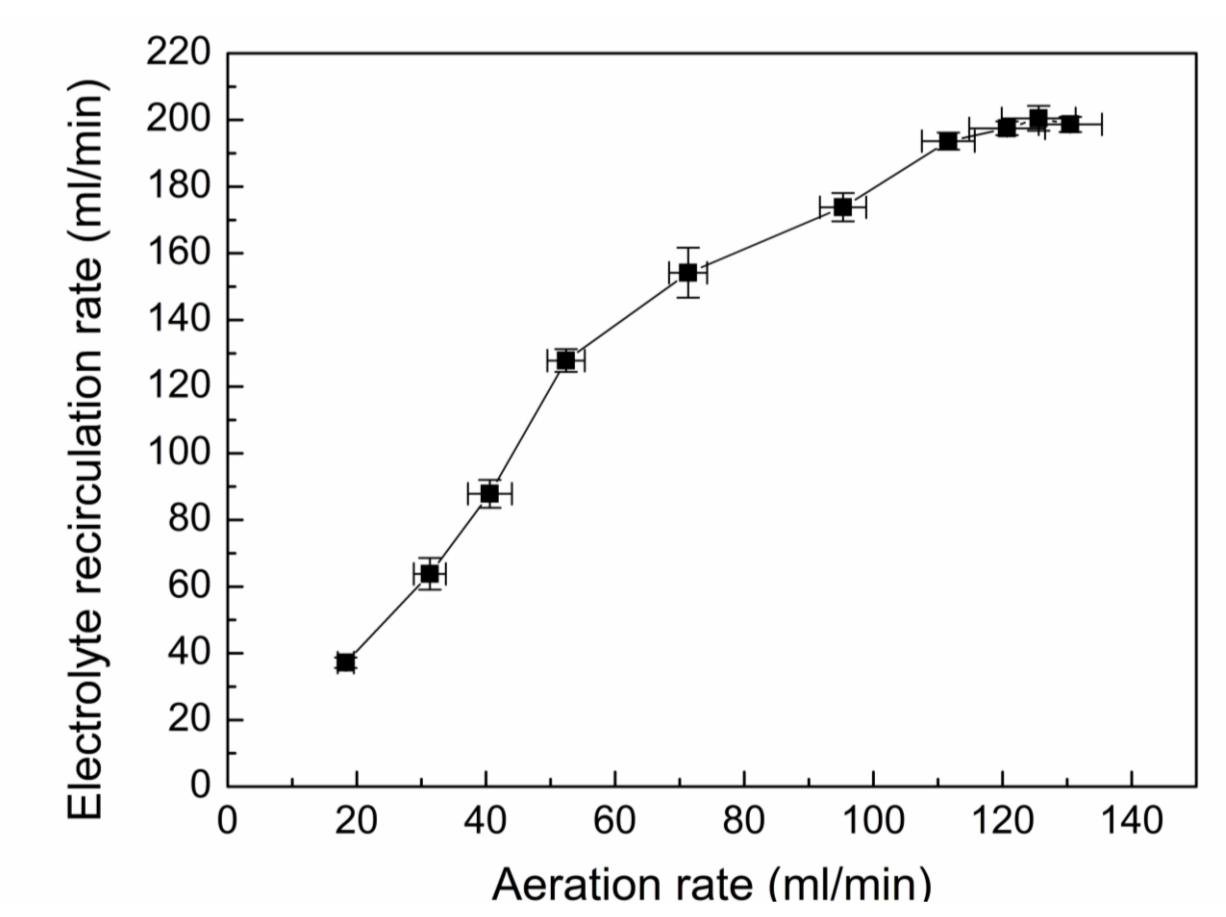


图16 空气流量与电解液自循环流量的关系

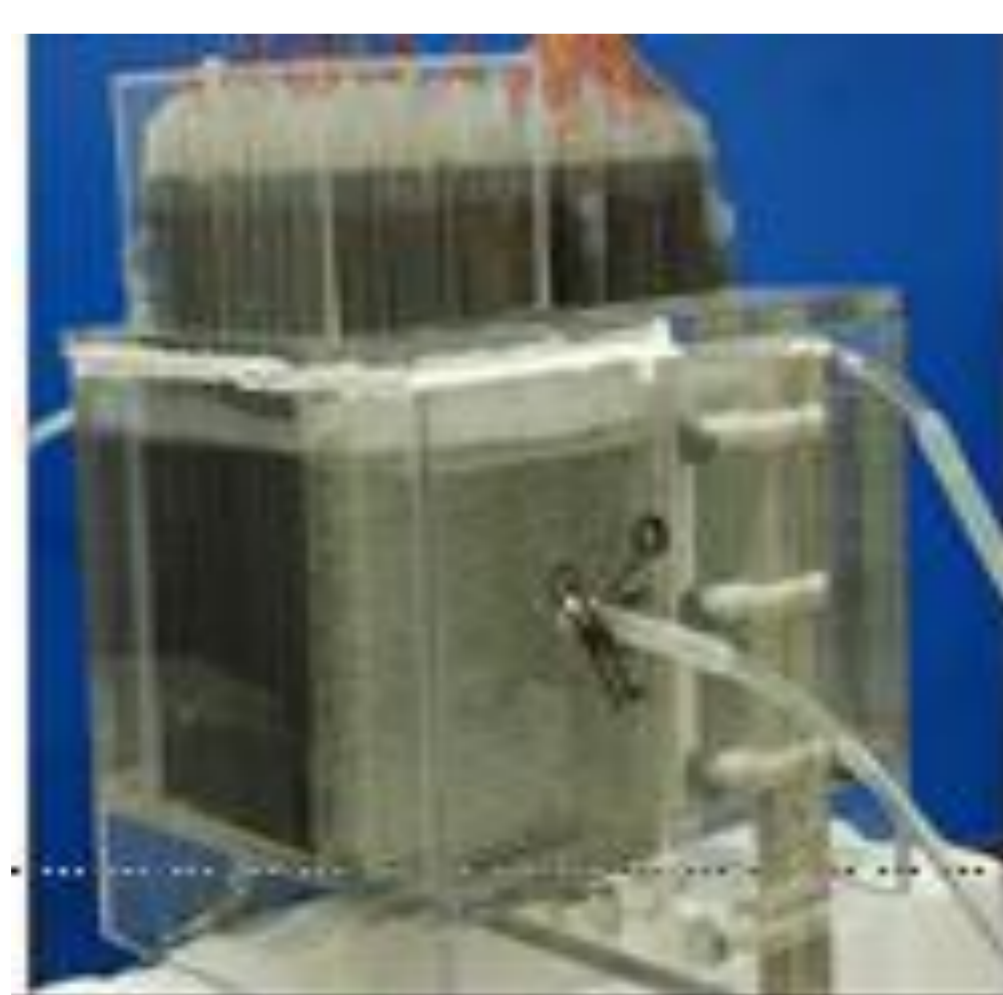


图17 Liter-scale MFC实物图

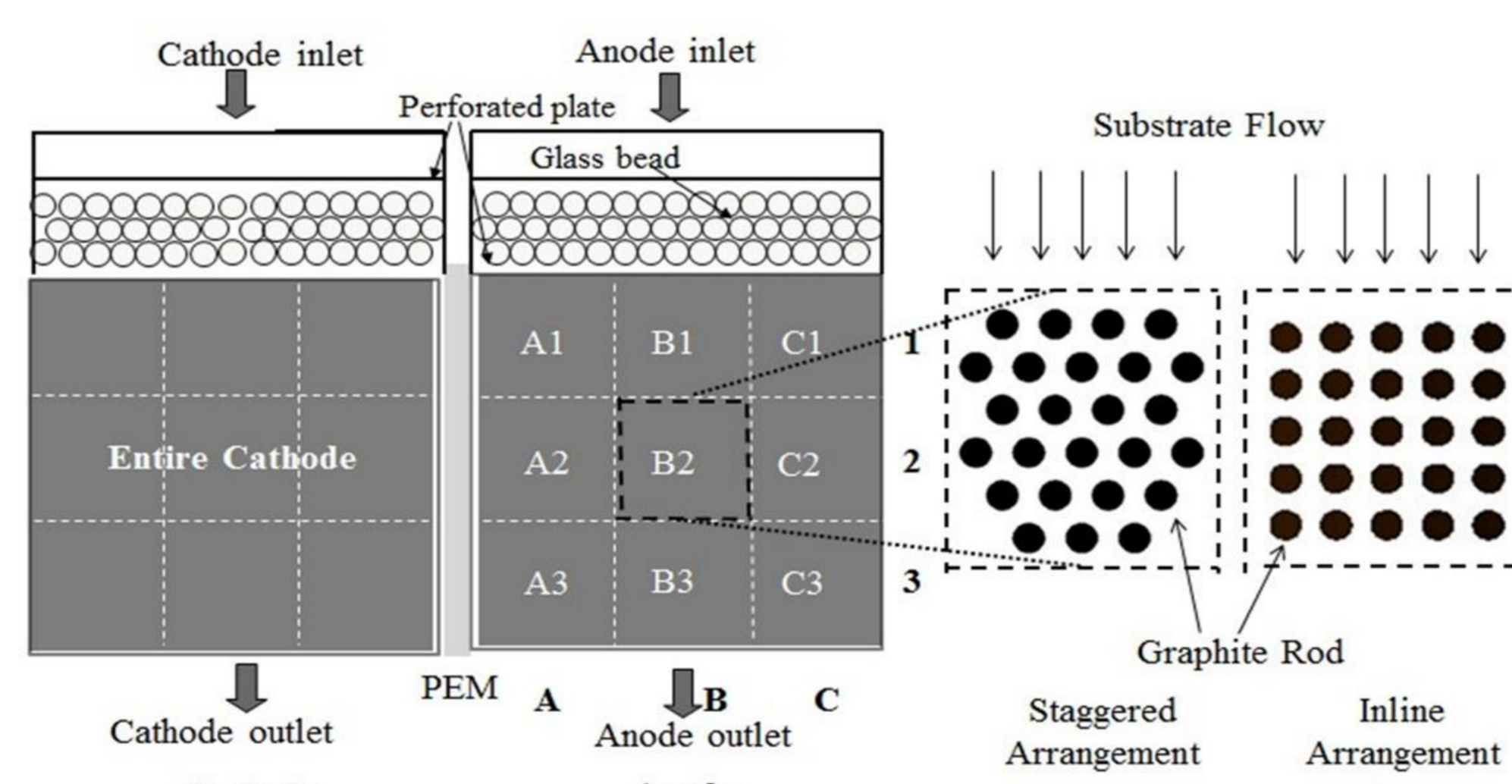


图18 阵列电极不同排列方式示意图

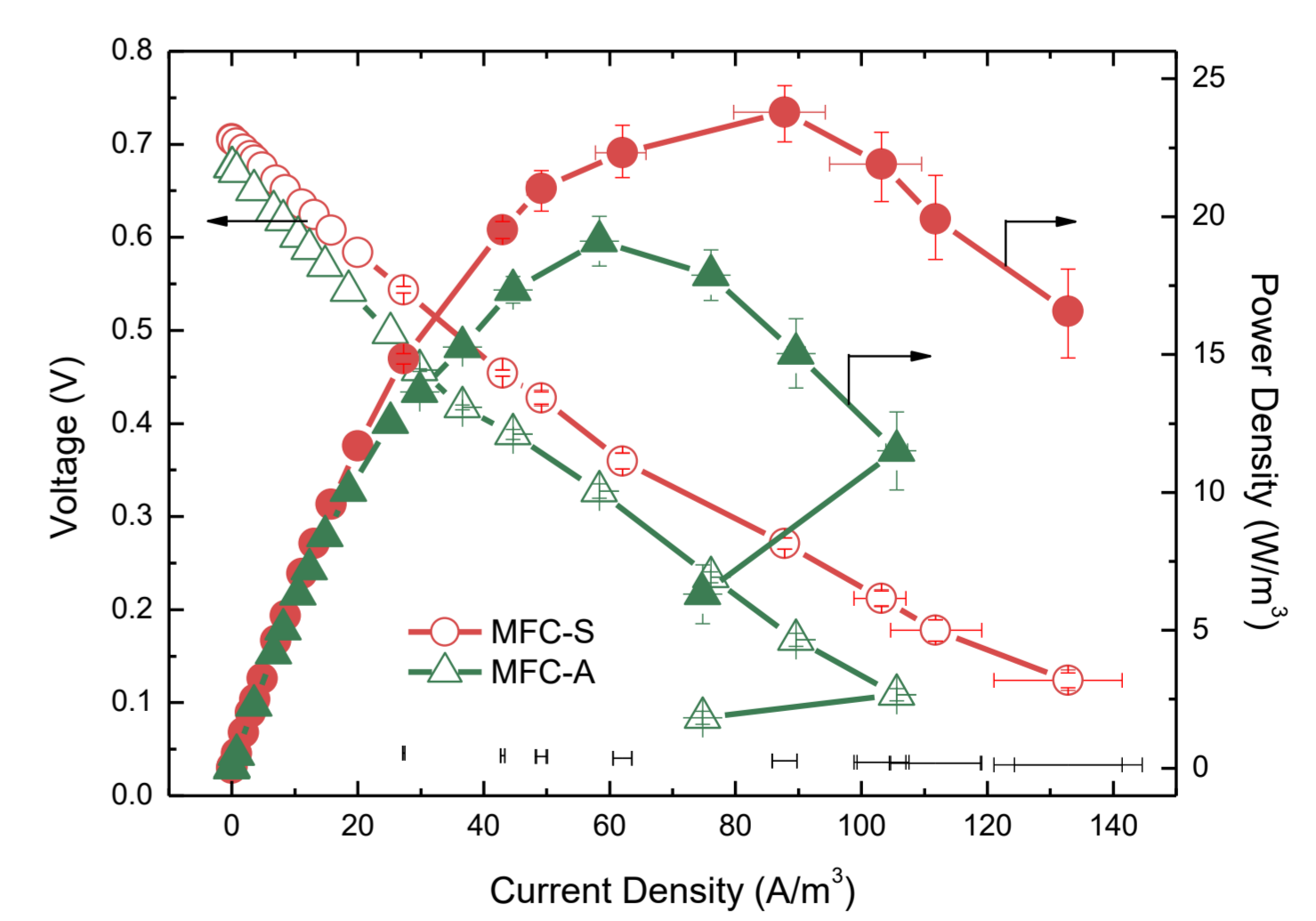
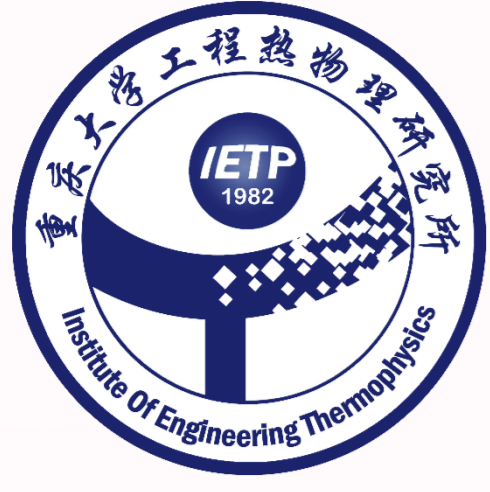


图19 电极排列方式对电池性能的影响



Welcome to CQU





# 燃料电池传输特性及性能强化研究

## MFC电堆中电池反极特性研究

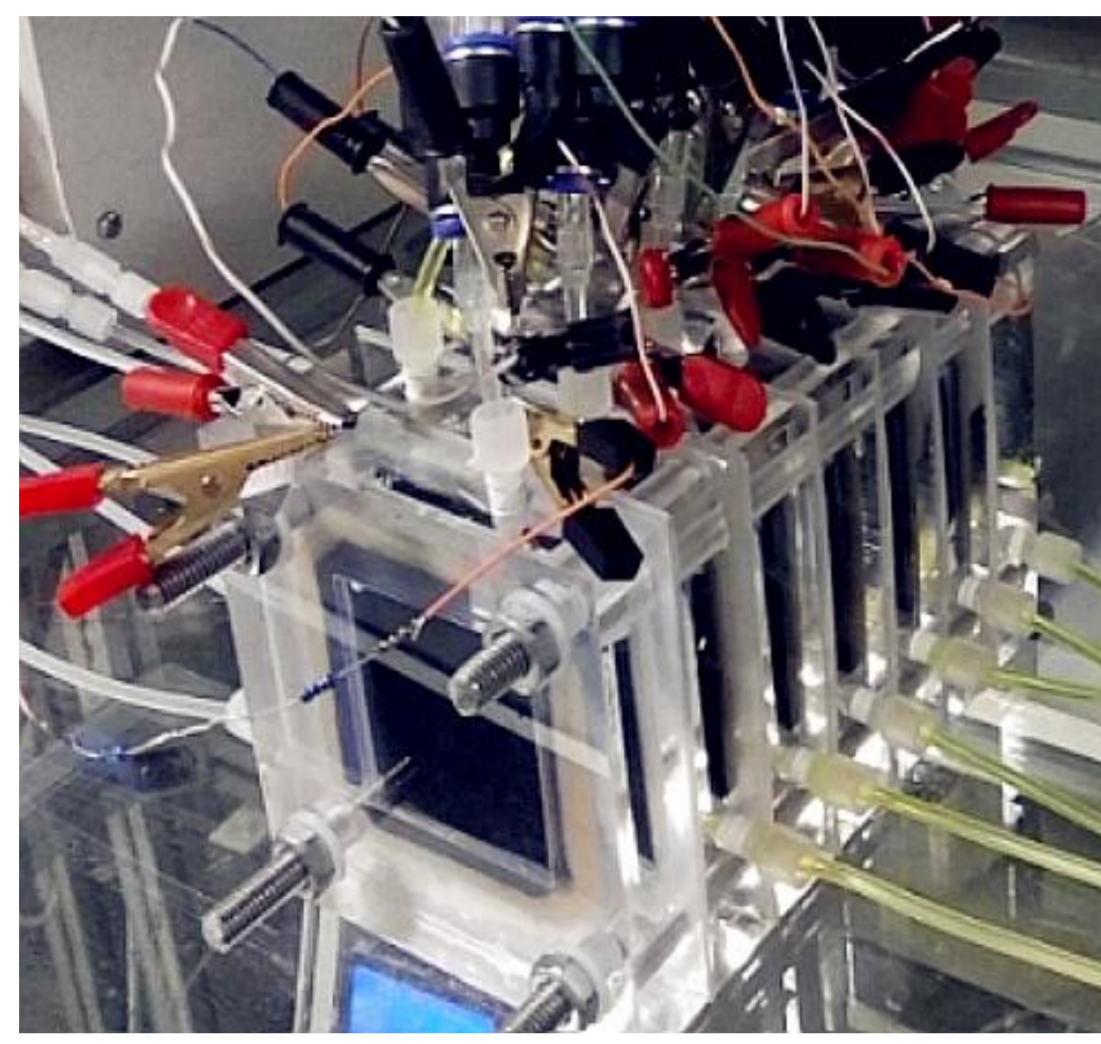


图1 MFC电堆实物图

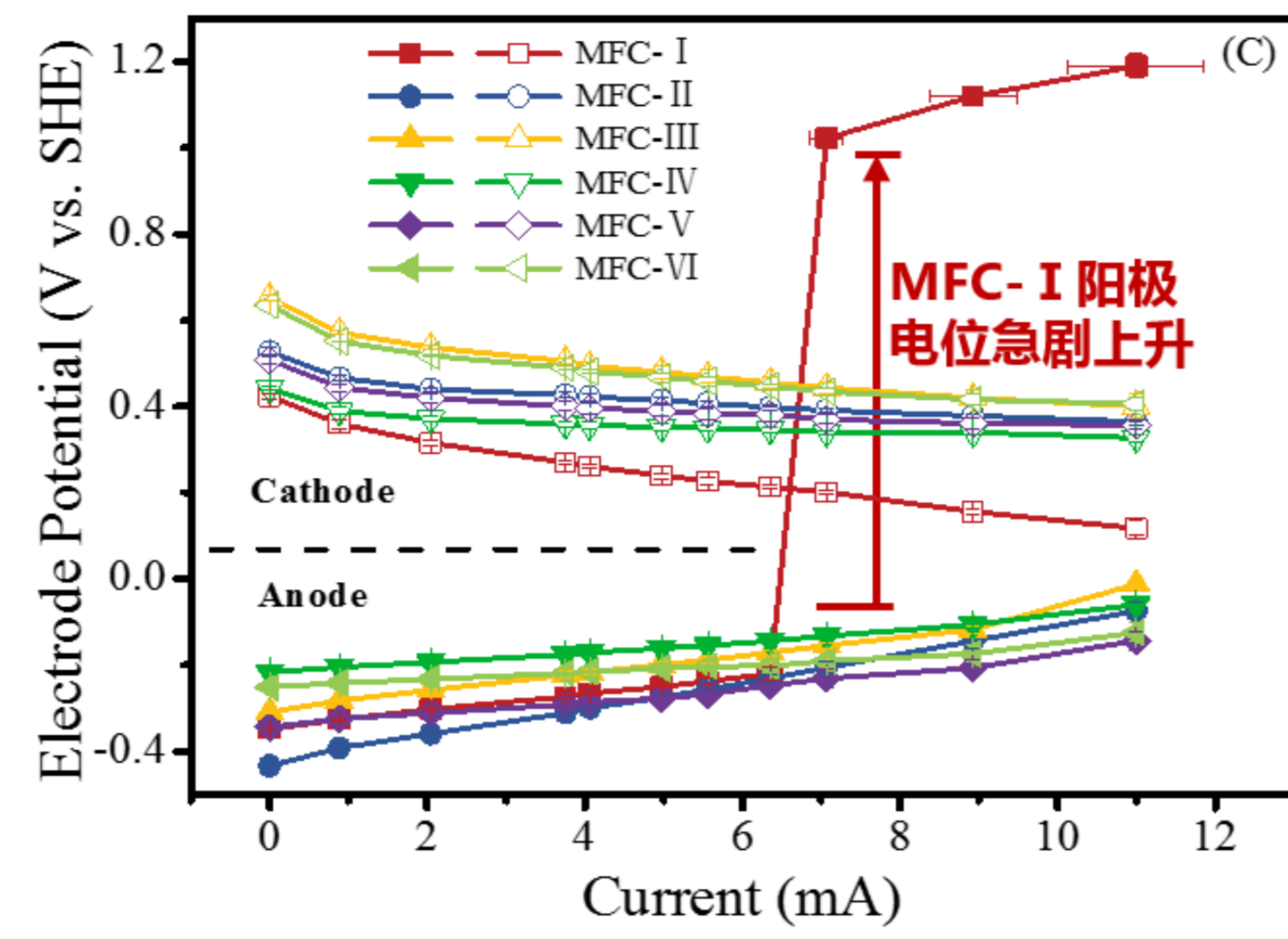


图2 MFC串联电堆单电池阴阳极极化曲线

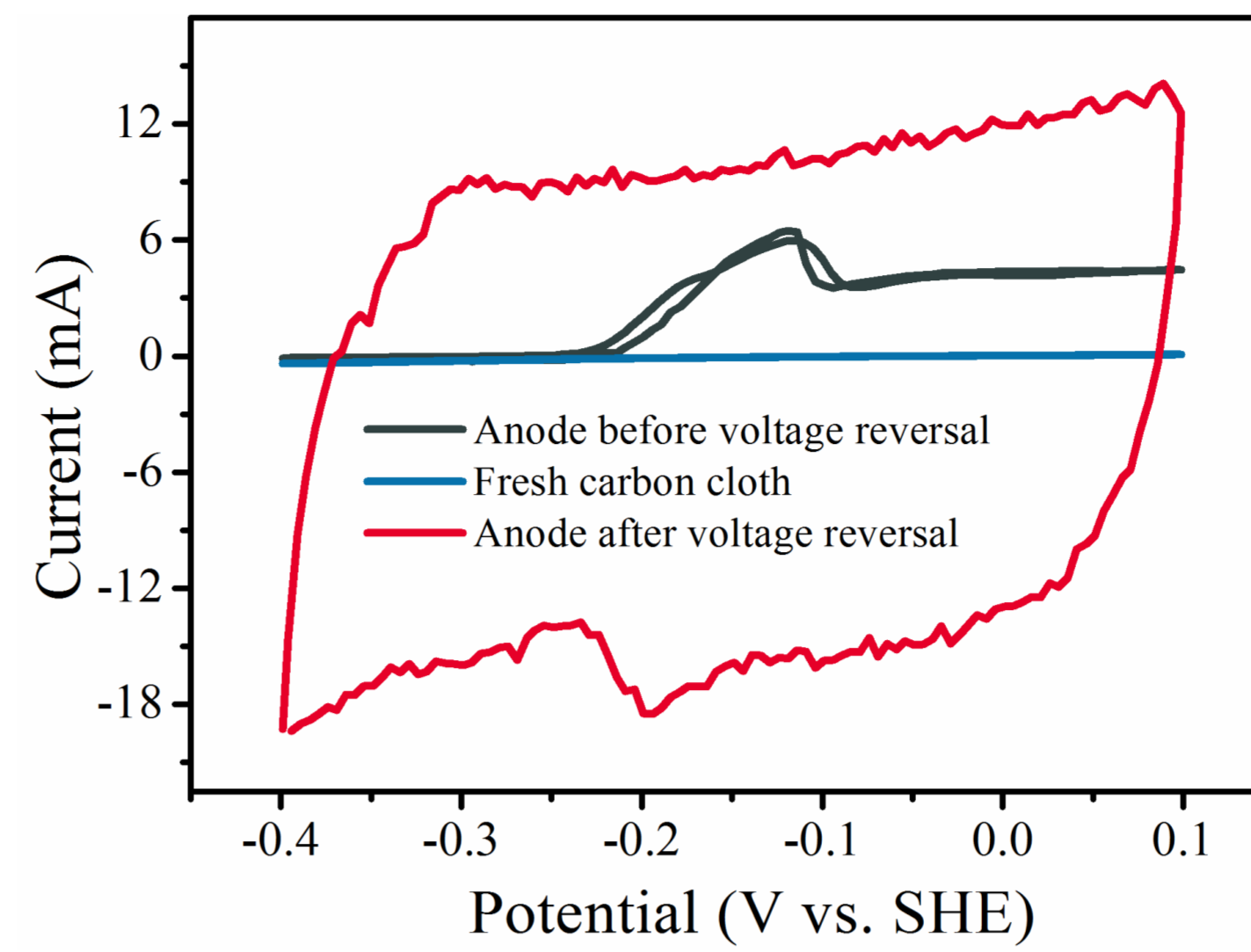


图3 反极电池阳极CV由典型的氧化还原峰变为双电层充电状态

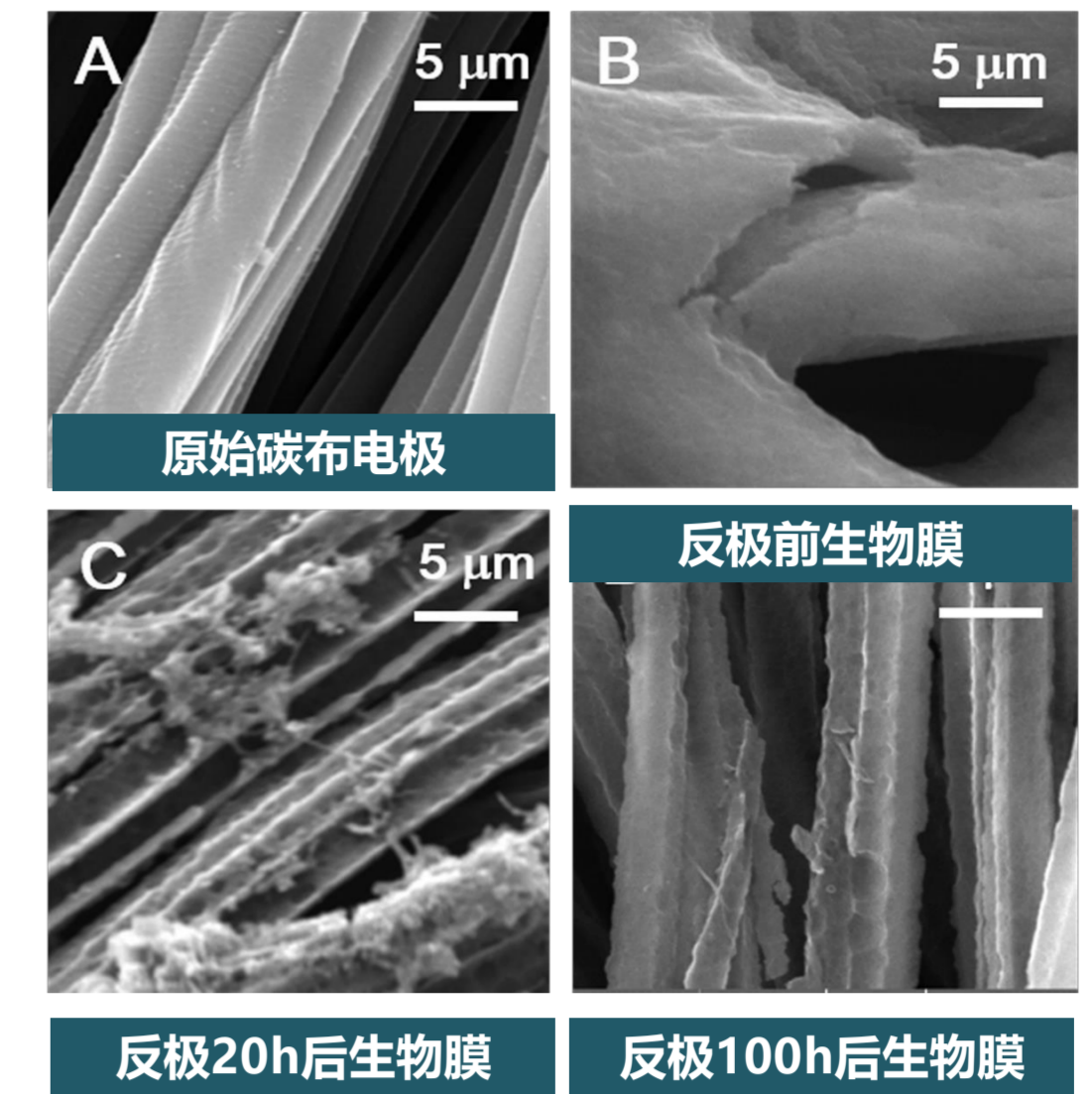


图4 阳极反极前后表面形貌SEM

MFC串联电堆运行过程中，性能最差MFC在超过其极限电流密度时，阴阳两极会发生反极现象——阳极电位急剧上升超过阴极电势，此时反极MFC不再向外输出电能而成为了耗能原件。本课题组研究发现MFC发生反极时会导致阳极生物膜脱落，并且在阳极电极表面发生碳腐蚀现象。

## MFC拓展应用

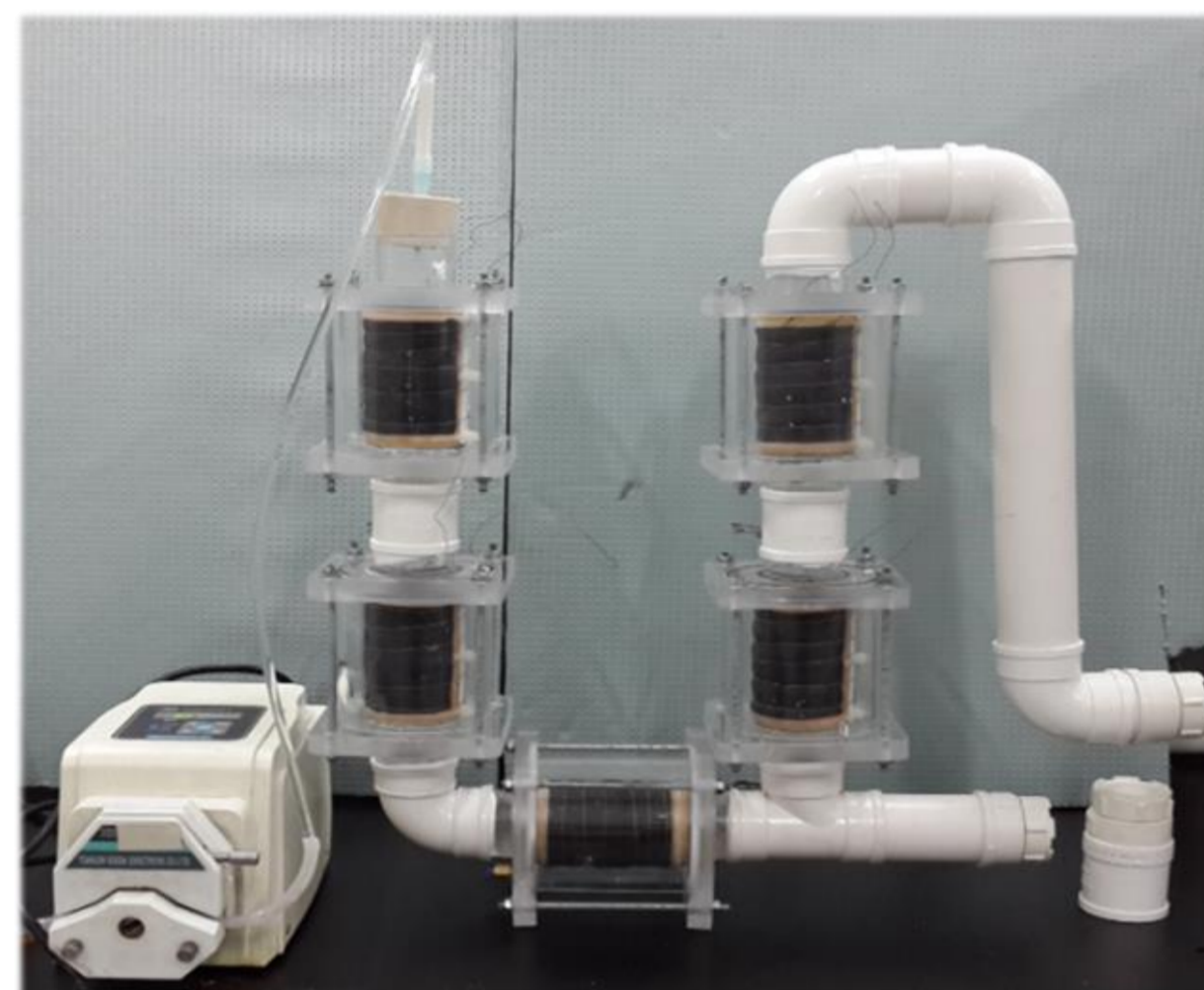


图5 下水道U形管集成的微生物燃料电池堆及性能曲线

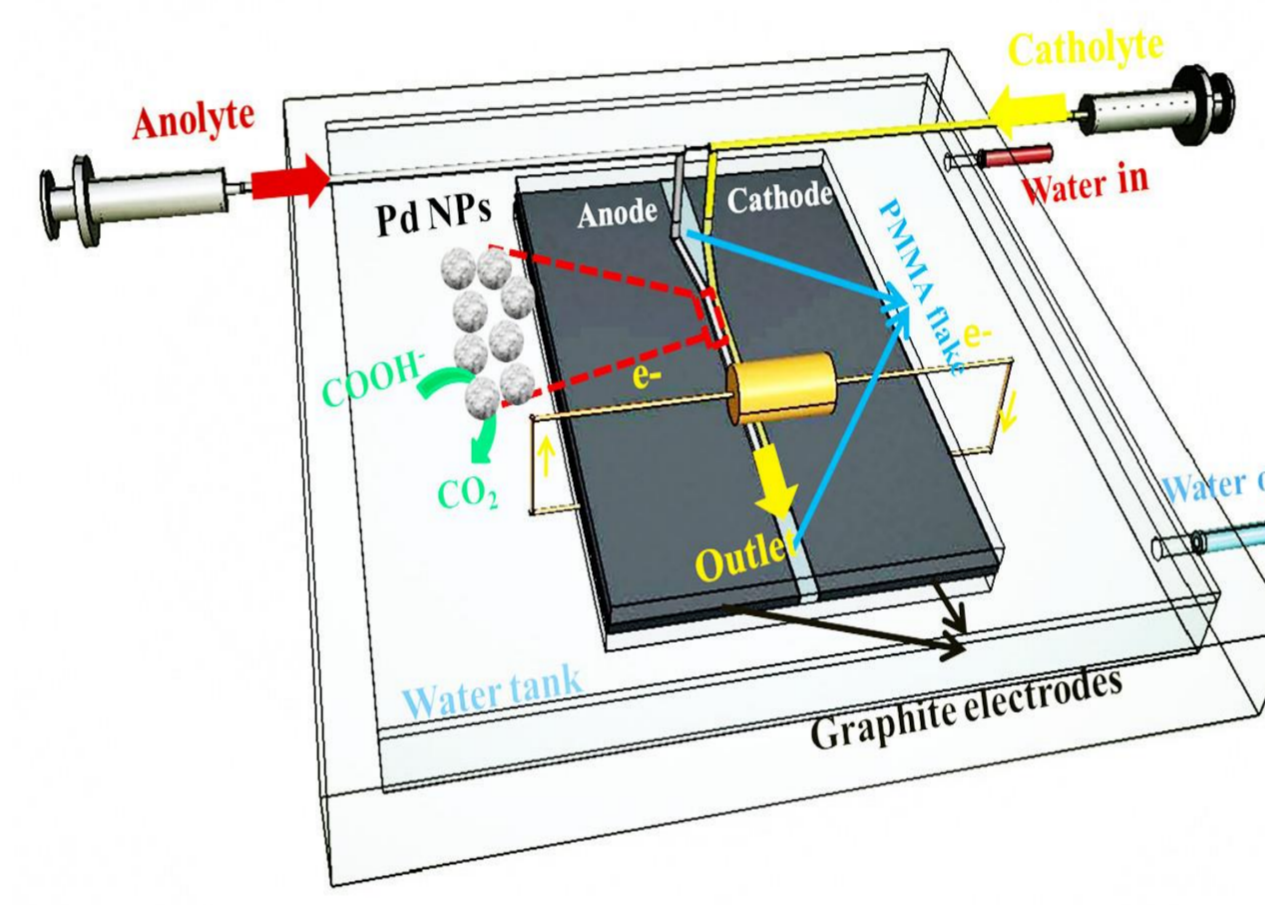
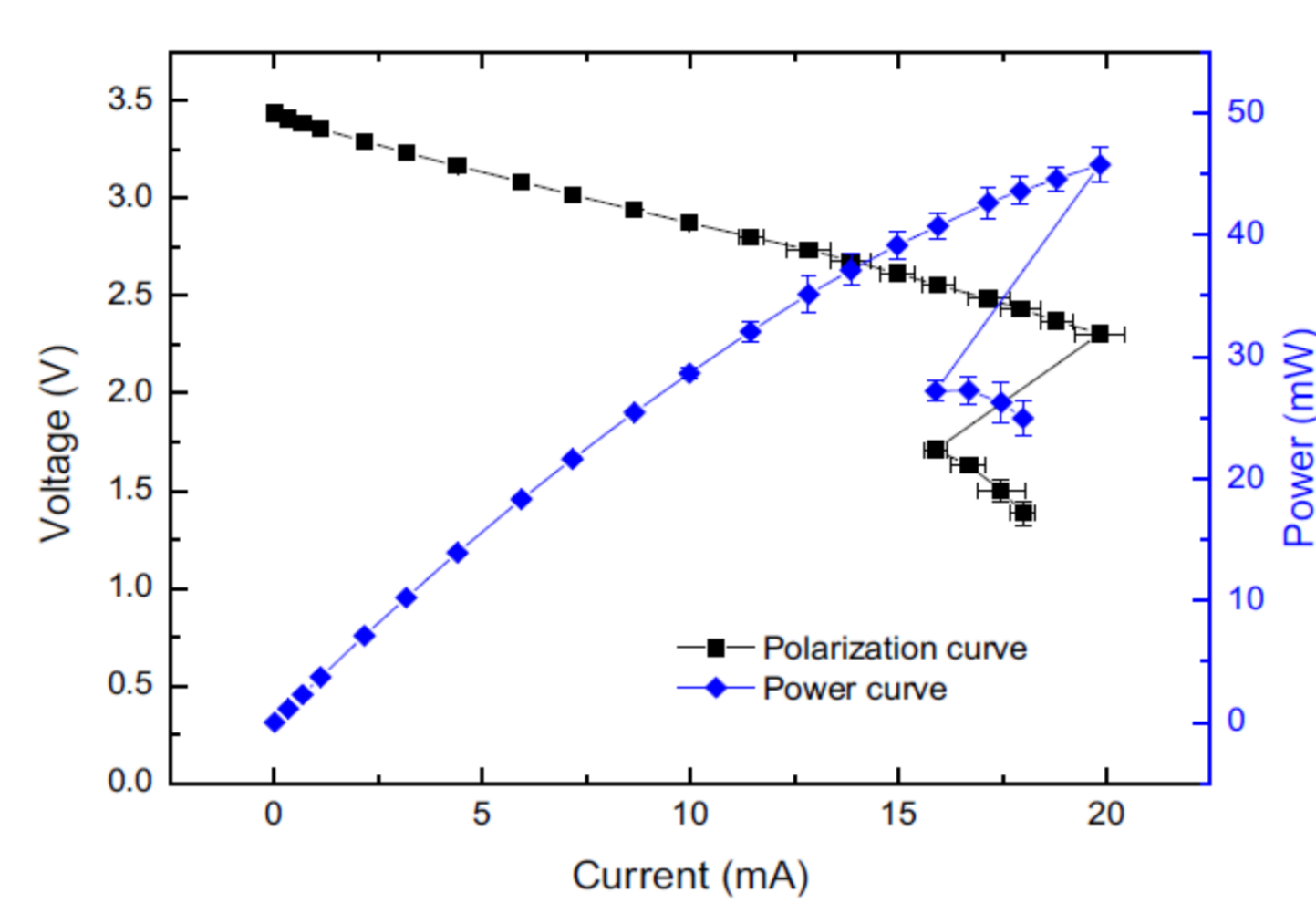


图6 微流体微生物燃料电池传感器及铬离子检测

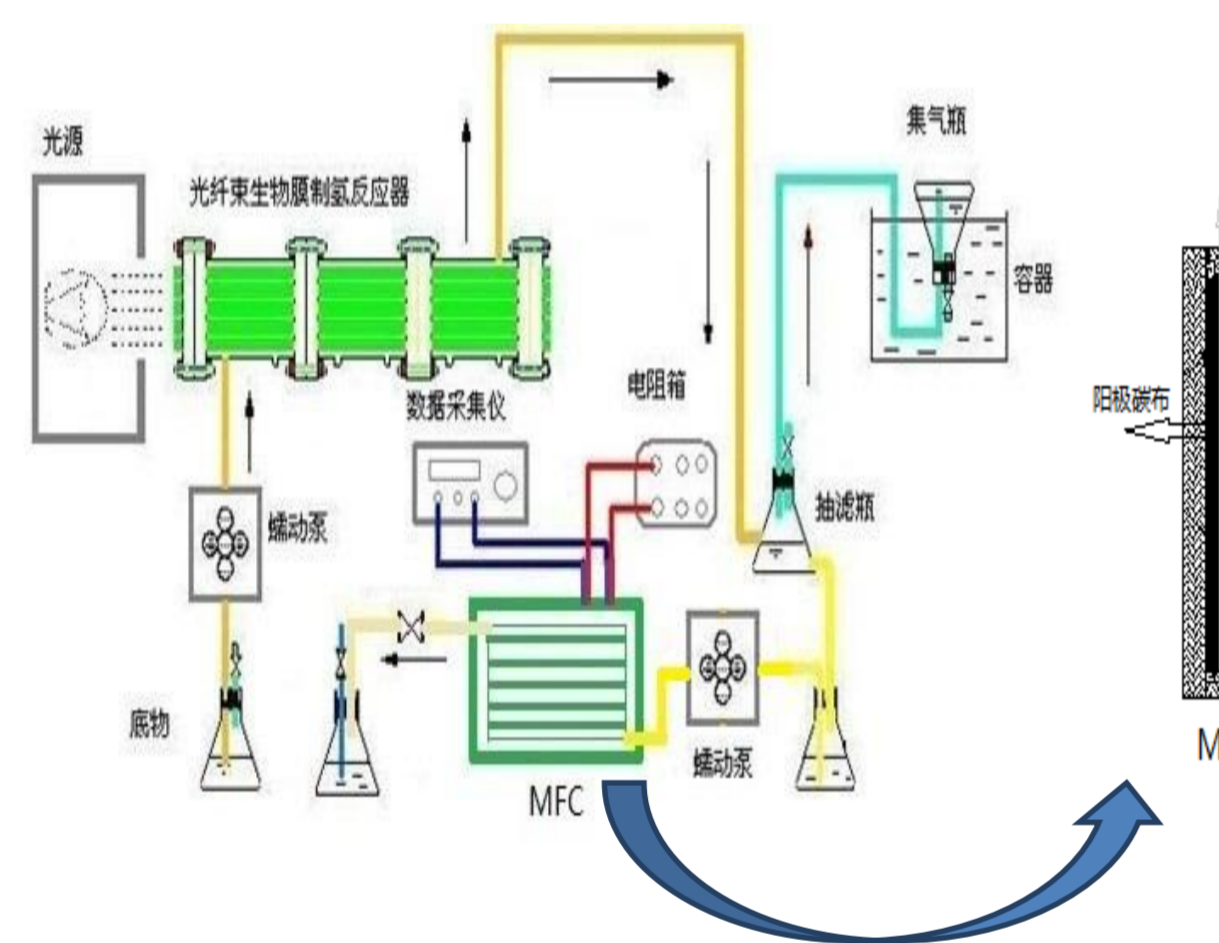
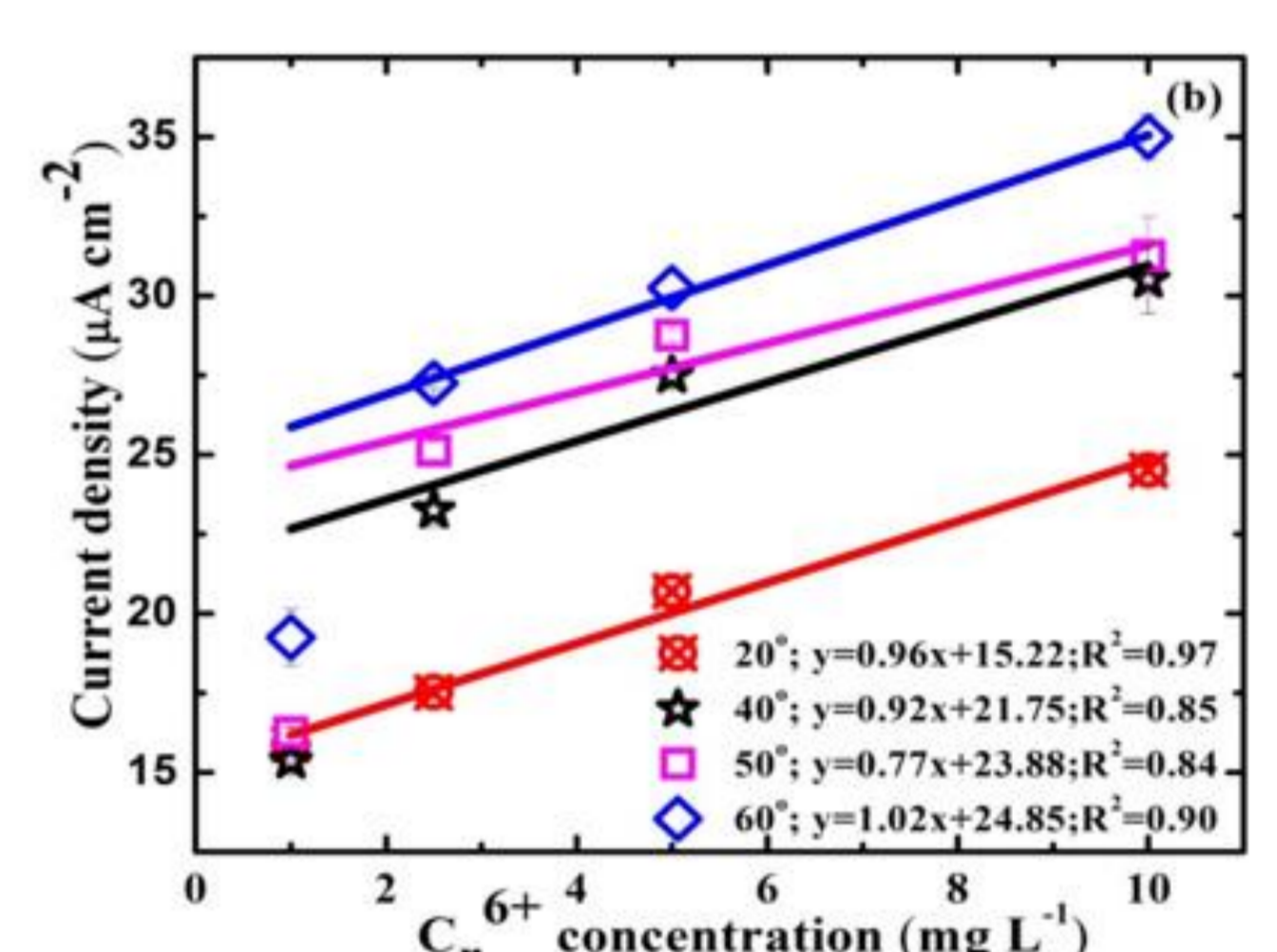


图7 光生物产氢系统与单室MFC的耦合结构示意图及流量对氢气和电能产量的影响

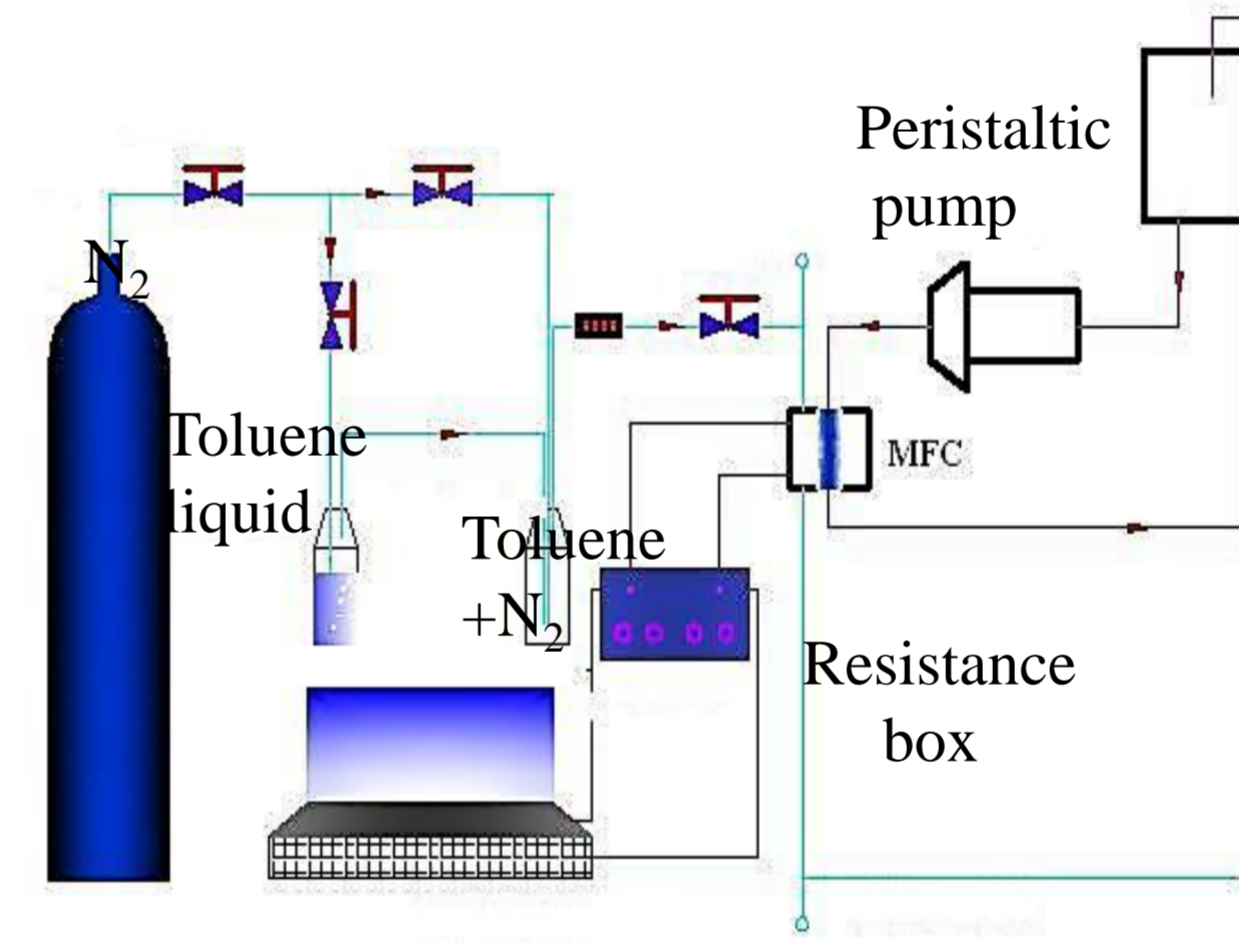
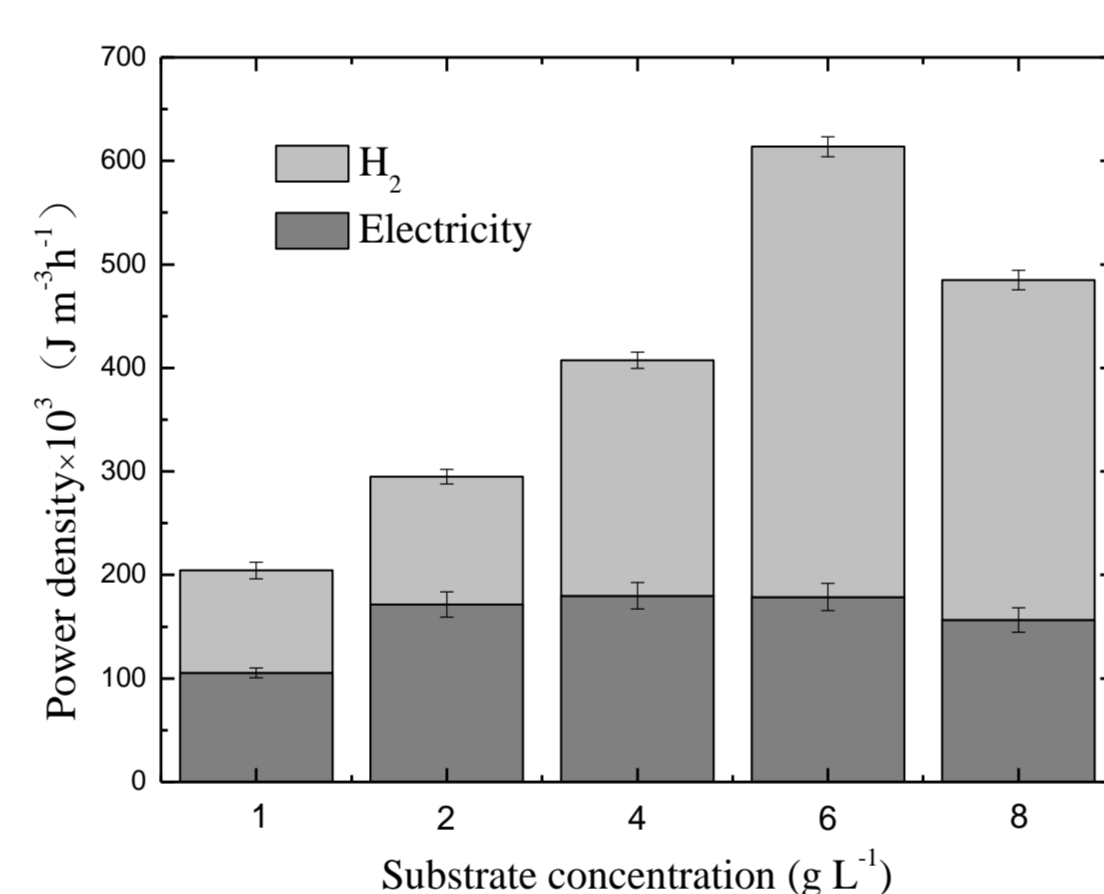
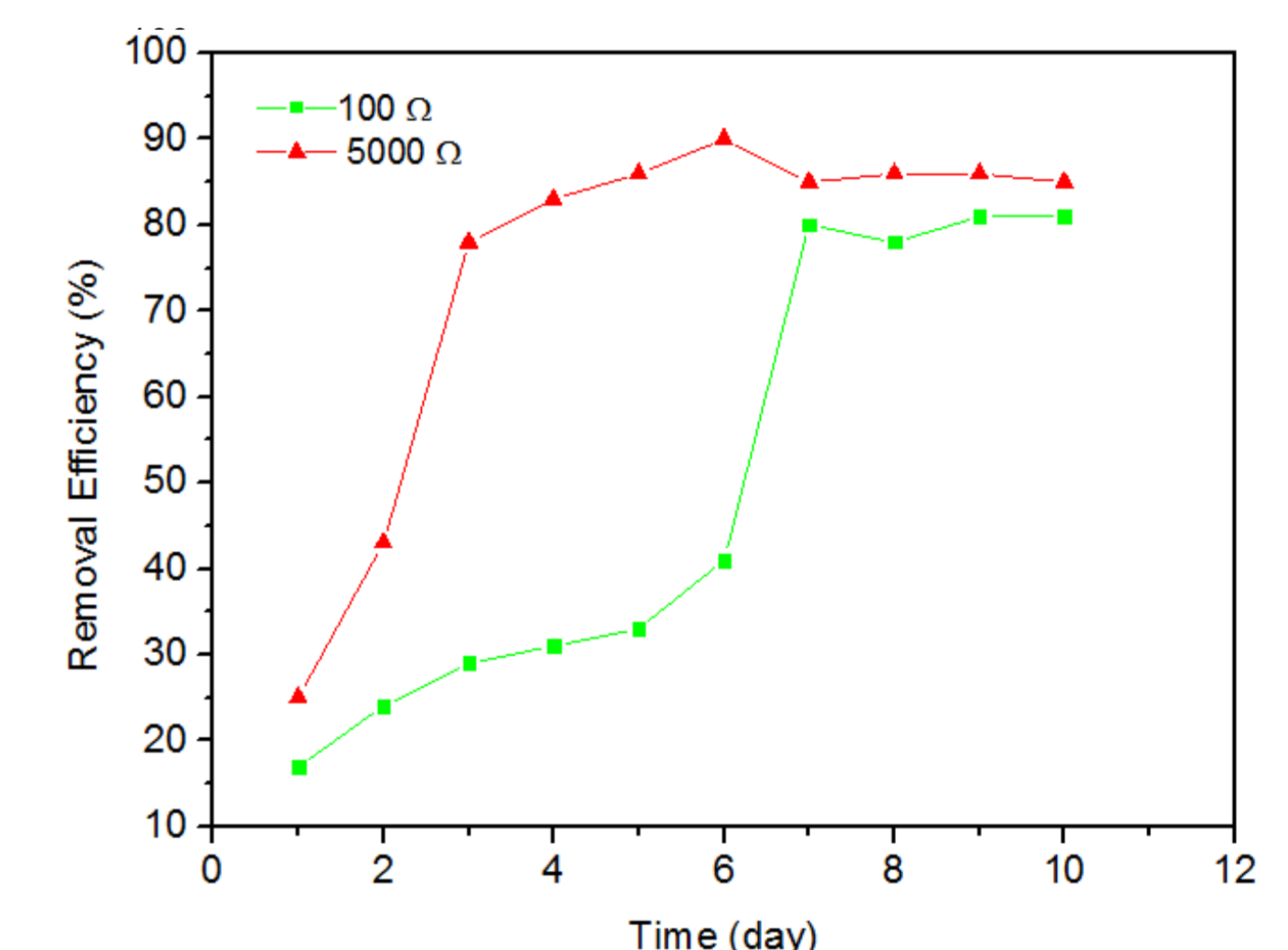


图8 以甲苯废气为有机碳源的单式MFC系统示意图及甲苯降解效率



## 整体式碳质阴极无膜碱性直接甲酸燃料电池

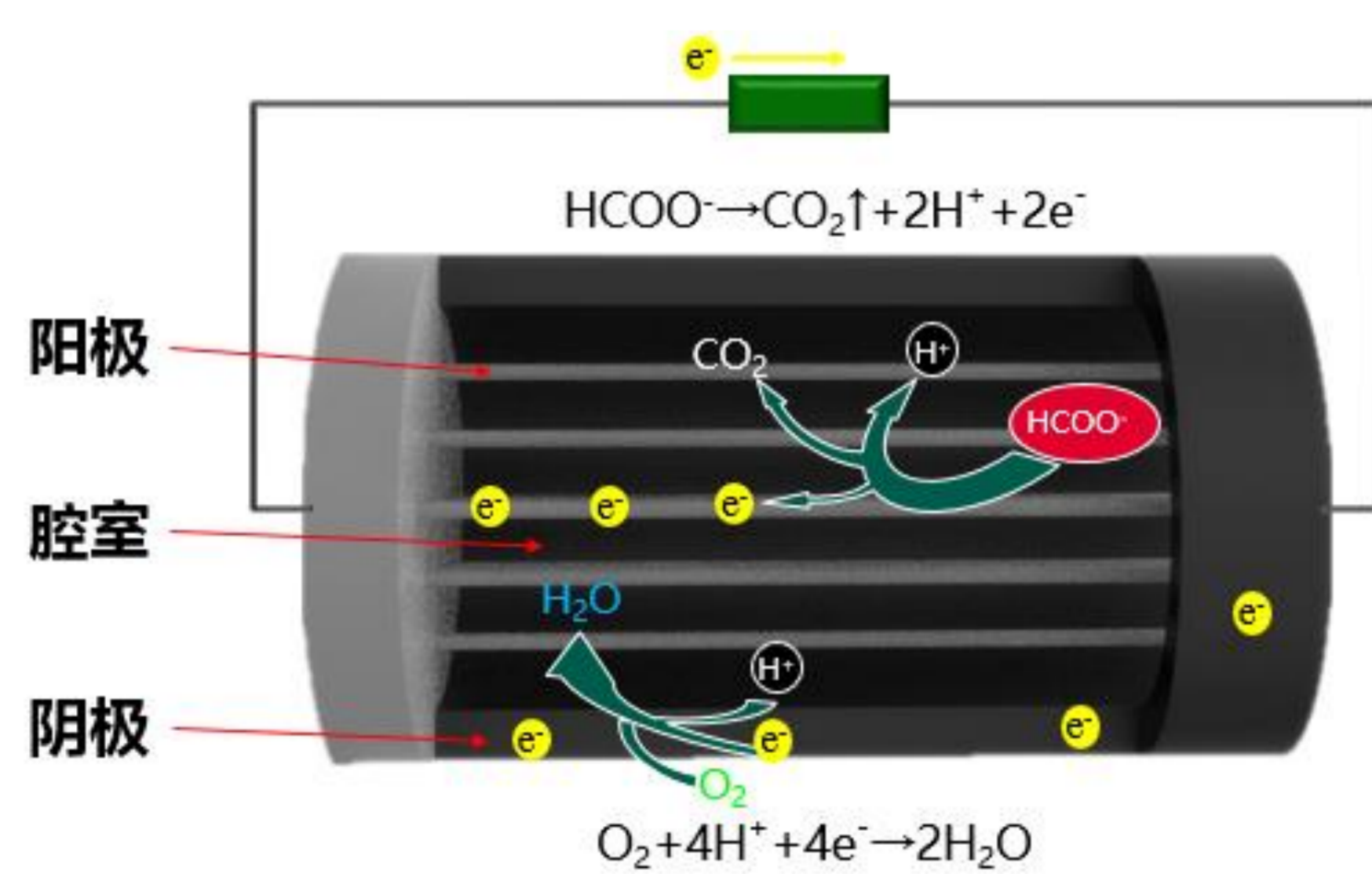


图9 无膜直接甲酸燃料电池原理图

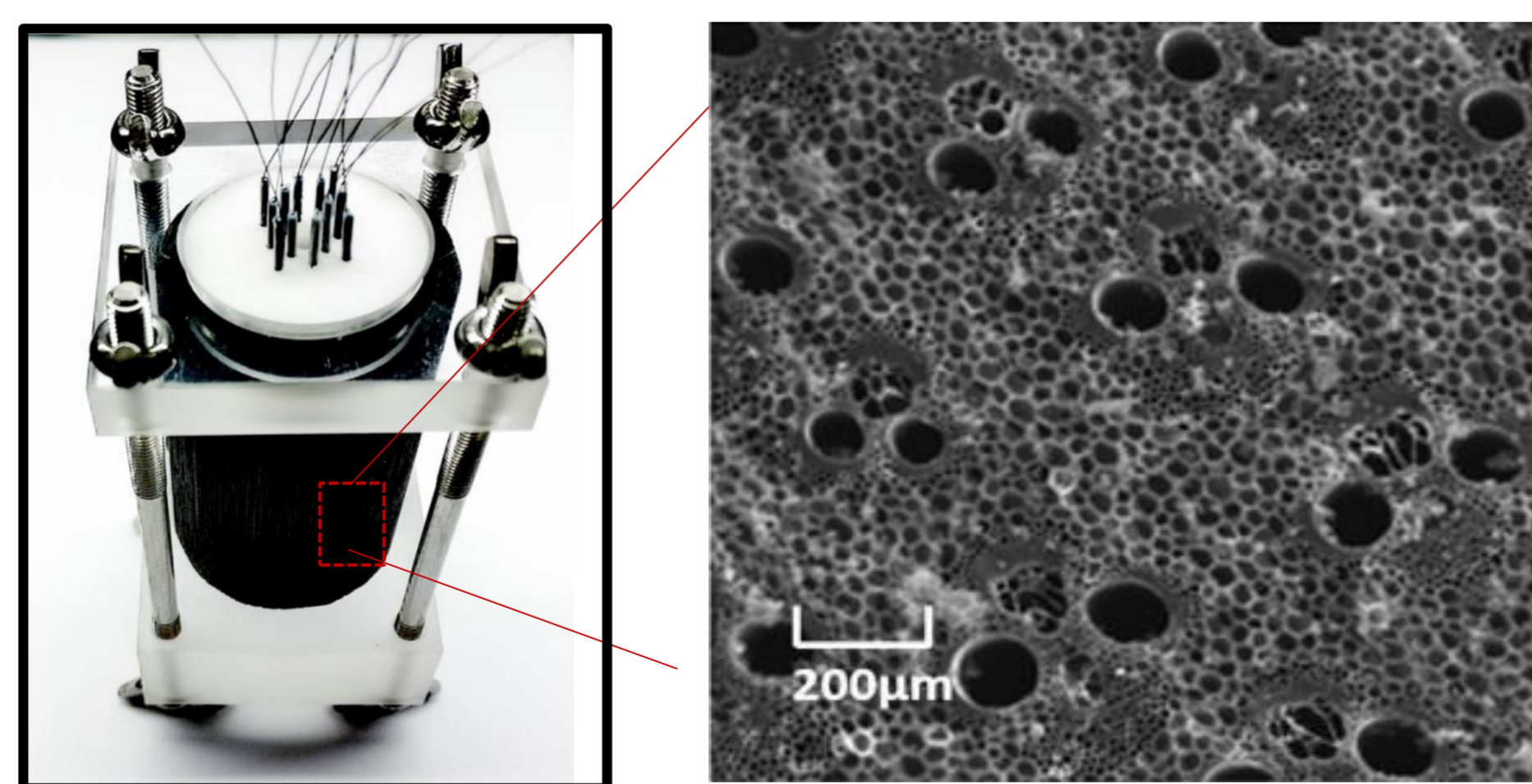


图10 整体式碳质阴极无膜直接甲酸燃料电池实物图与阴极内部发达空隙结构

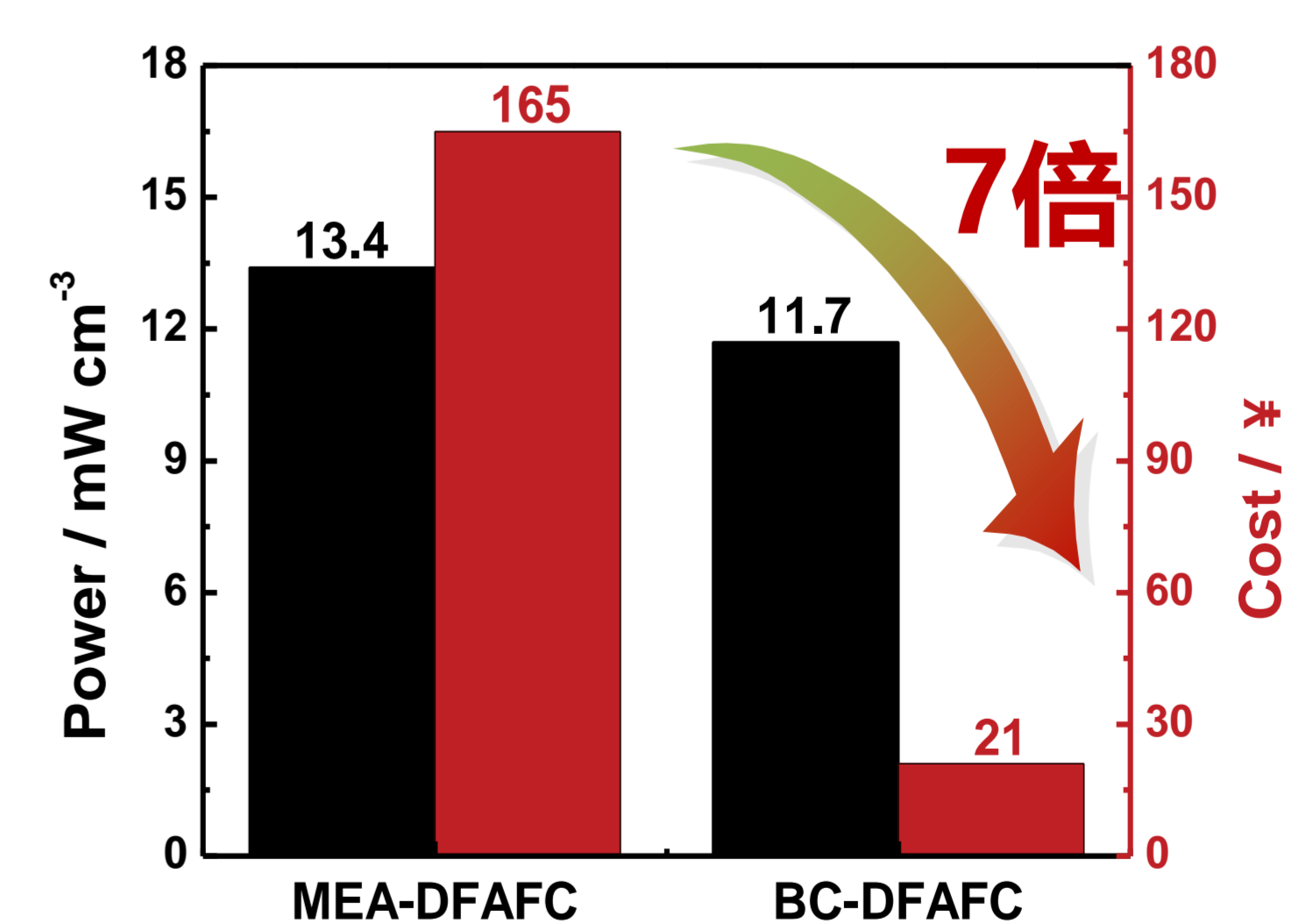


图11 与传统电池的性能及经济性比较

在性能相近的情况下，新型电池在经济性上优势明显



Welcome to CQU

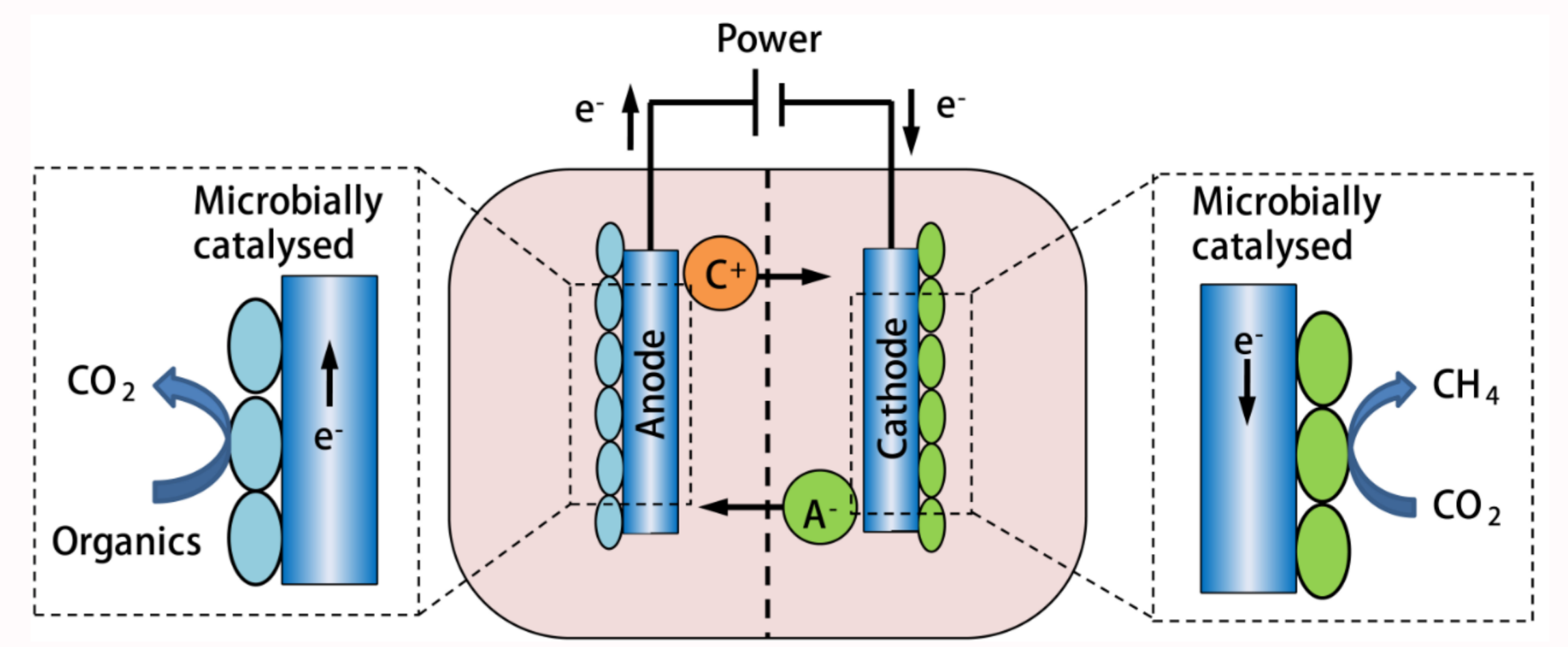




# 固碳产甲烷微生物电合成系统中多元多相传递及生物电化学转化特性

## 一、固碳产甲烷微生物电合成系统简介

固碳产甲烷微生物电合成系统以具有电化学生活性的微生物为催化剂，在降解废水中有机物的同时可以将二氧化碳转化为甲烷等生物燃料，是一种新型可再生能源技术。该系统中存在着复杂的多相流动和电子、质量传输现象，其多相流动及能质传输特性对系统的性能起着非常重要的影响。研究该系统中阴极侧微生物与电极的电子传递机制与生物膜内两相流动特性可有效促进该技术的发展并指导新型电极结构与反应器的设计。



微生物电合成系统原理图

## 二、主要研究内容

在微生物电合成系统阴极侧，产甲烷菌可通过直接电子传递或间接电子传递两种途径从阴极表面获得电子。在直接电子传递中，产甲烷菌直接从阴极表面获得电子并还原二氧化碳；在间接电子传递中，电子首先与溶液中氢离子反应生成氢气，产甲烷菌利用氢气将二氧化碳还原为甲烷。本项目针对可还原二氧化碳产甲烷的微生物电合成系统，实验研究阴极侧微生物与电极的电子传递机制，同时研究施加电势、生物膜内两相流动特性、二氧化碳浓度及pH值等参数对阴极侧生物膜结构及其整个系统电化学性能的影响。

## 三、主要研究进展

### 1. 利用电化学表征方法证明产甲烷菌能够直接还原CO<sub>2</sub>

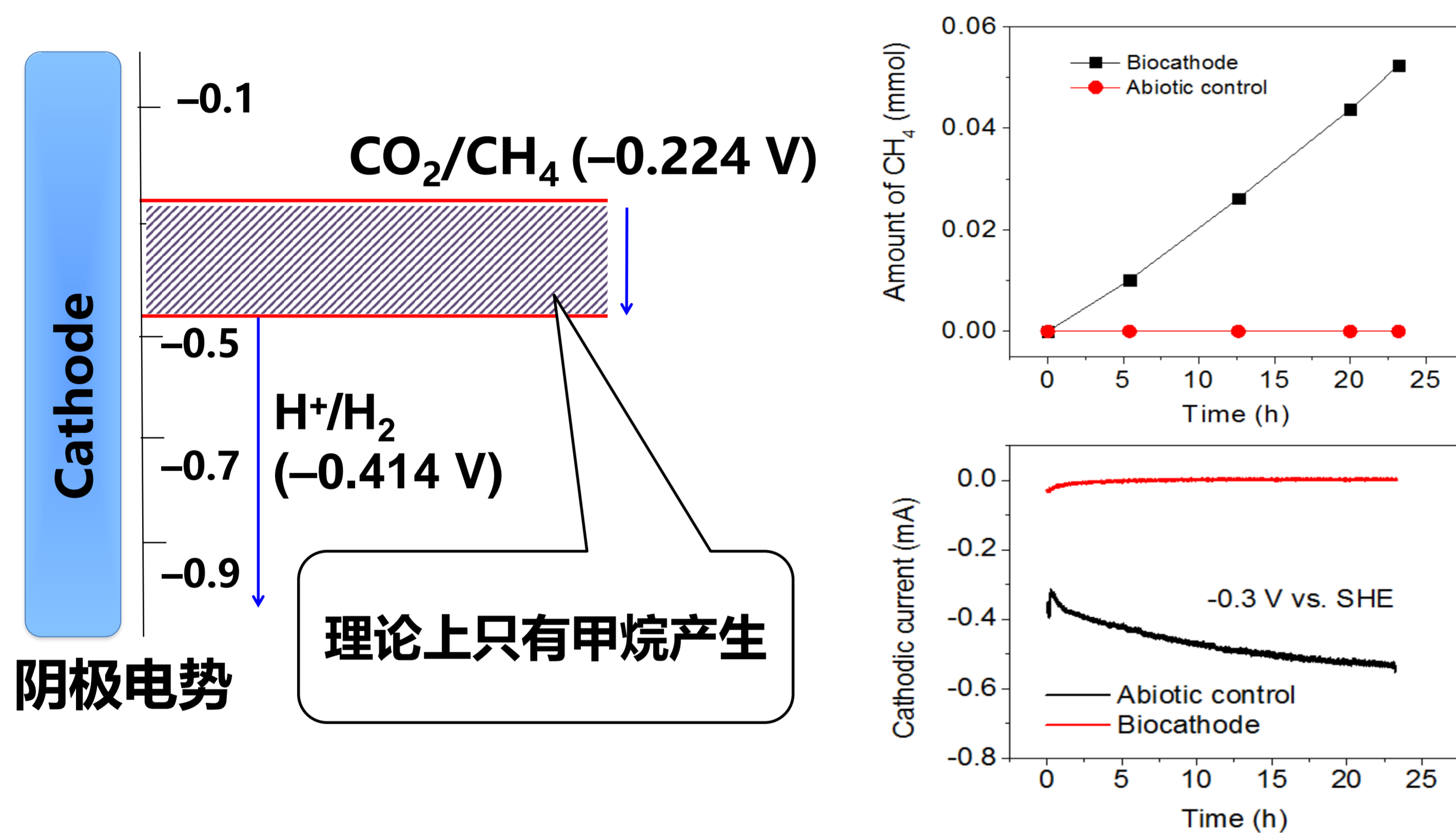


图1 微生物阴极在-0.3 V vs SHE下性能

证明阴极表面与微生物之间的电子传递途径为直接电子传递，不需要中间体及 H<sub>2</sub> 的参与

### 2. 同位素标记法证明CH<sub>4</sub>均由CO<sub>2</sub>还原产生

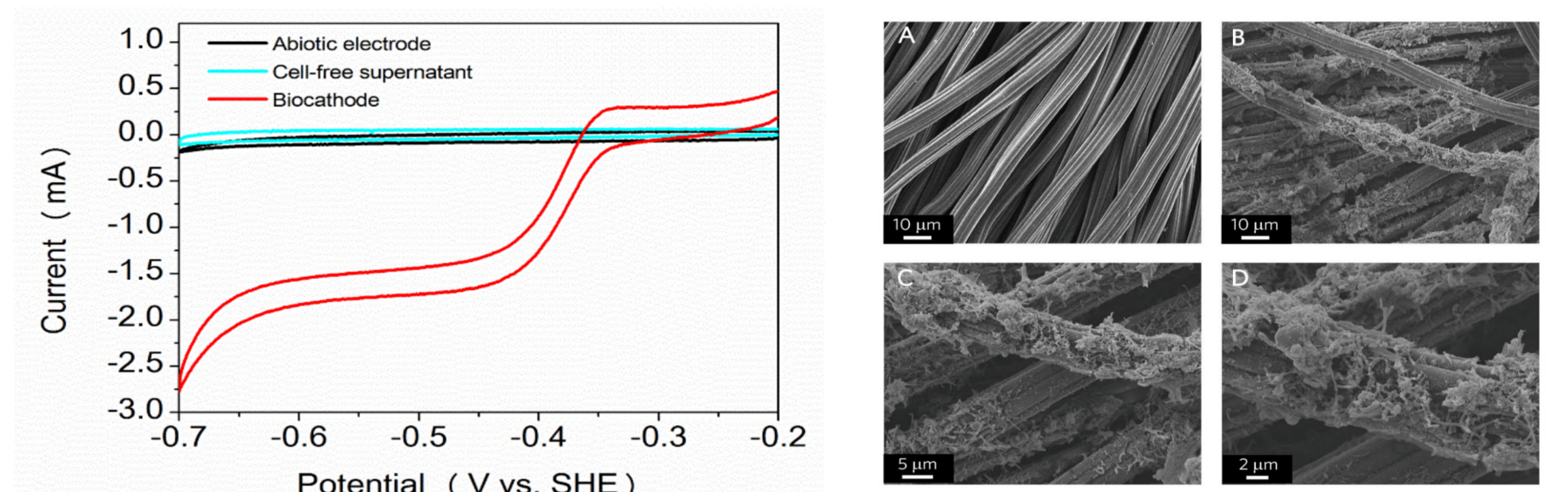


图2 具有直接电子传递特性的微生物阴极典型CV曲线

图3 微生物阴极与碳布阴极SEM图

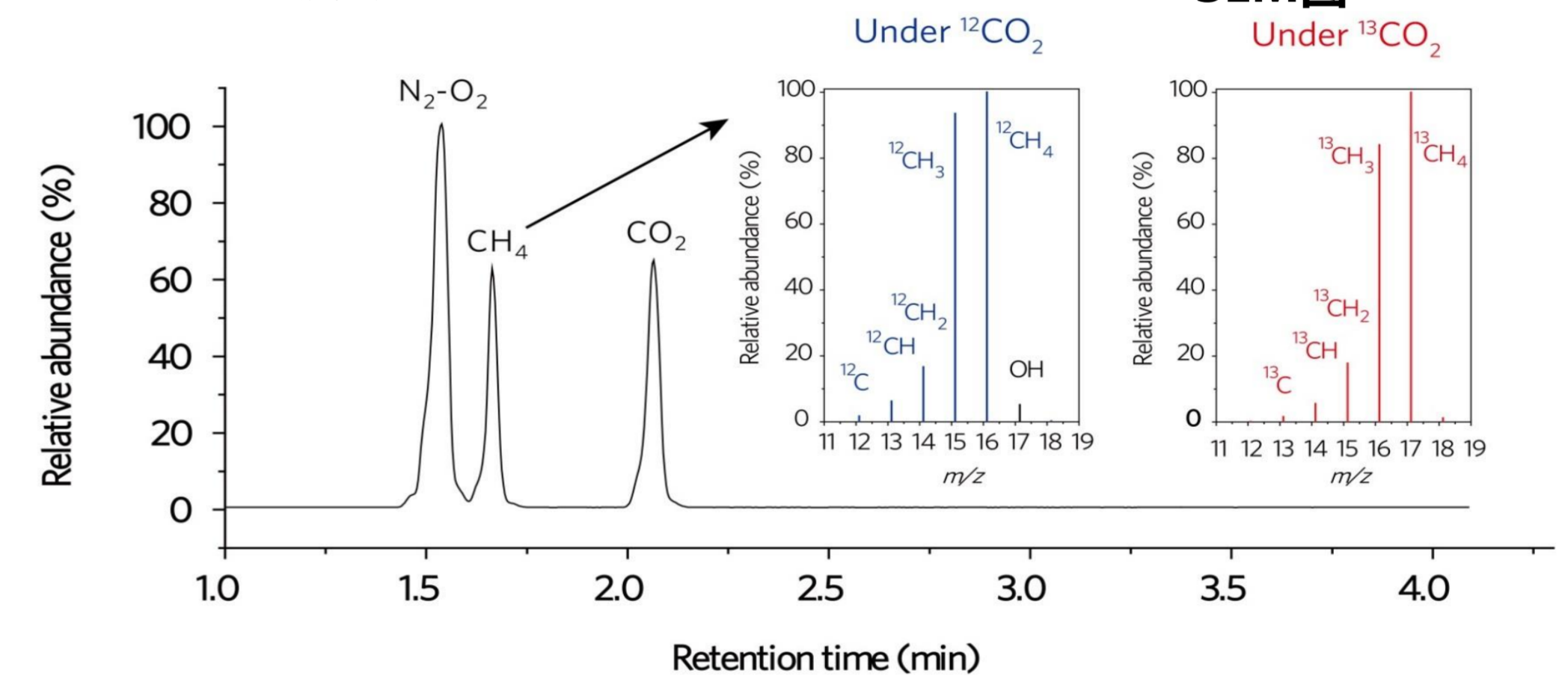


图4 以<sup>12</sup>C<sub>2</sub>与<sup>13</sup>C<sub>2</sub>为碳源条件下微生物阴极甲烷测试

### 3. 确定直接与间接电子传递分界电位

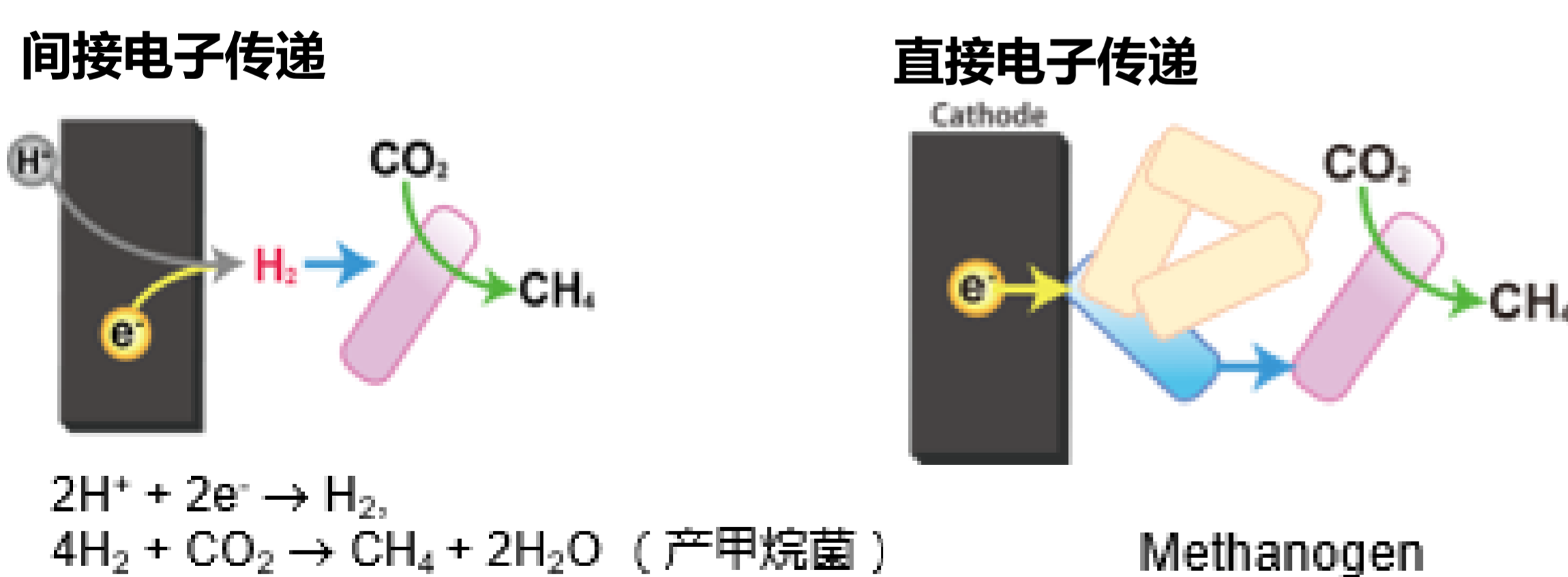


图5 间接电子传递与直接电子传递示意图

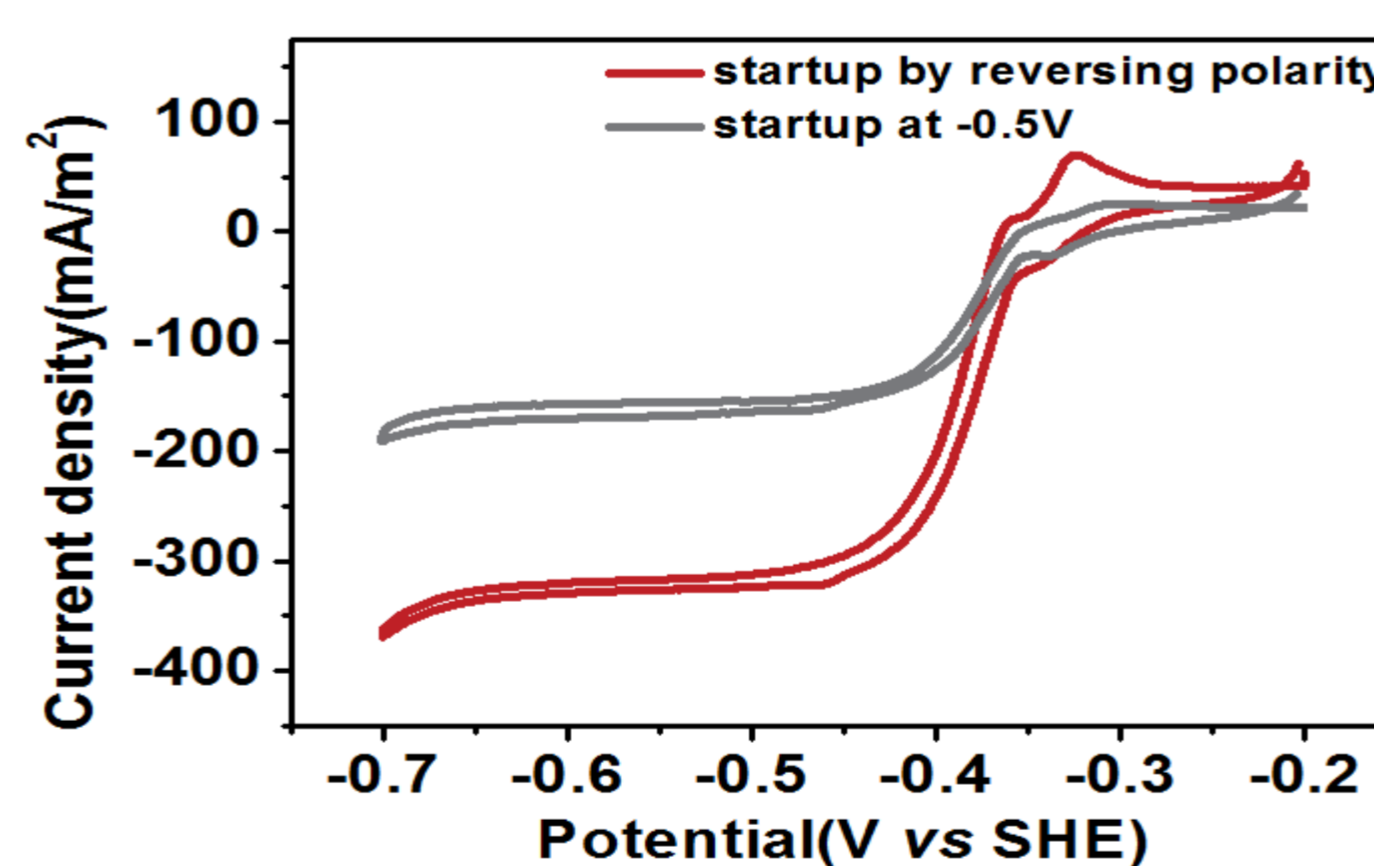


图6 不同电位培养的微生物阴极CV曲线

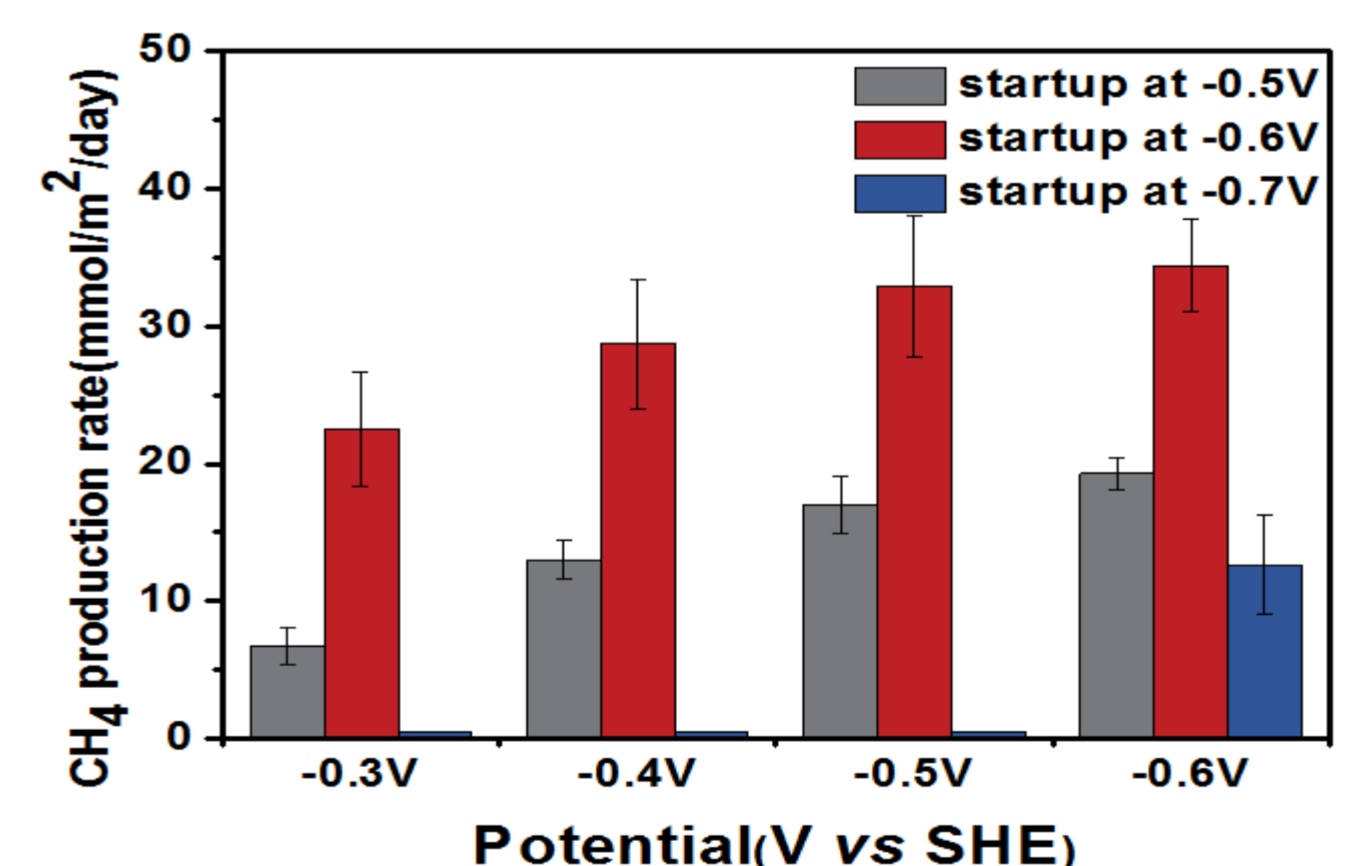


图7 不同电位培养的微生物阴极性能测试

证明微生物阴极侧直接与间接电子传递方式存在分界电位，且分界电位在-0.6 V vs. SHE左右

### 4. 提出新型培养方式加速微生物阴极成膜速度

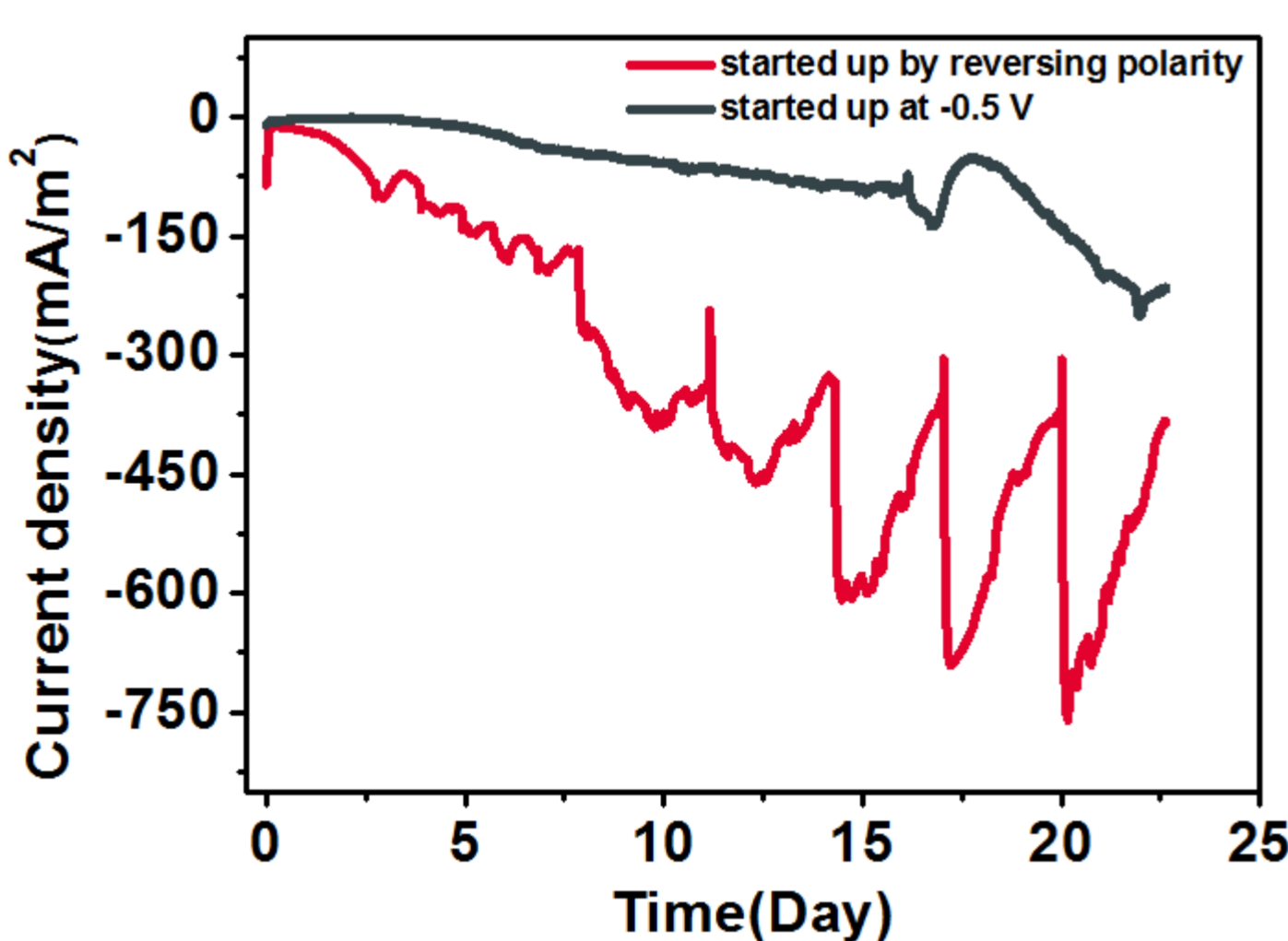


图8 采用不同培养方式培养的微生物阴极的启动曲线

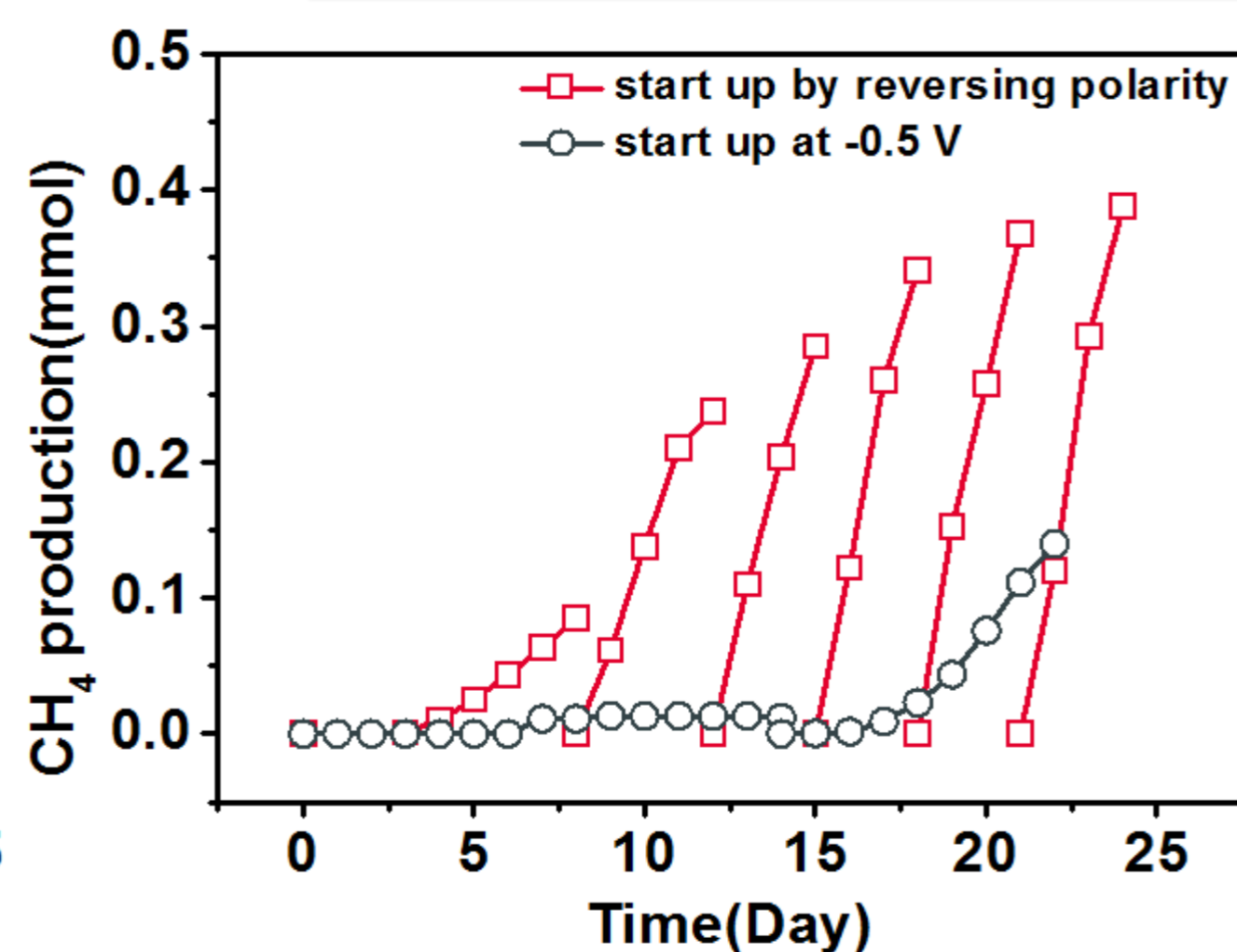


图9 采用不同培养方式培养的微生物阴极的甲烷产量

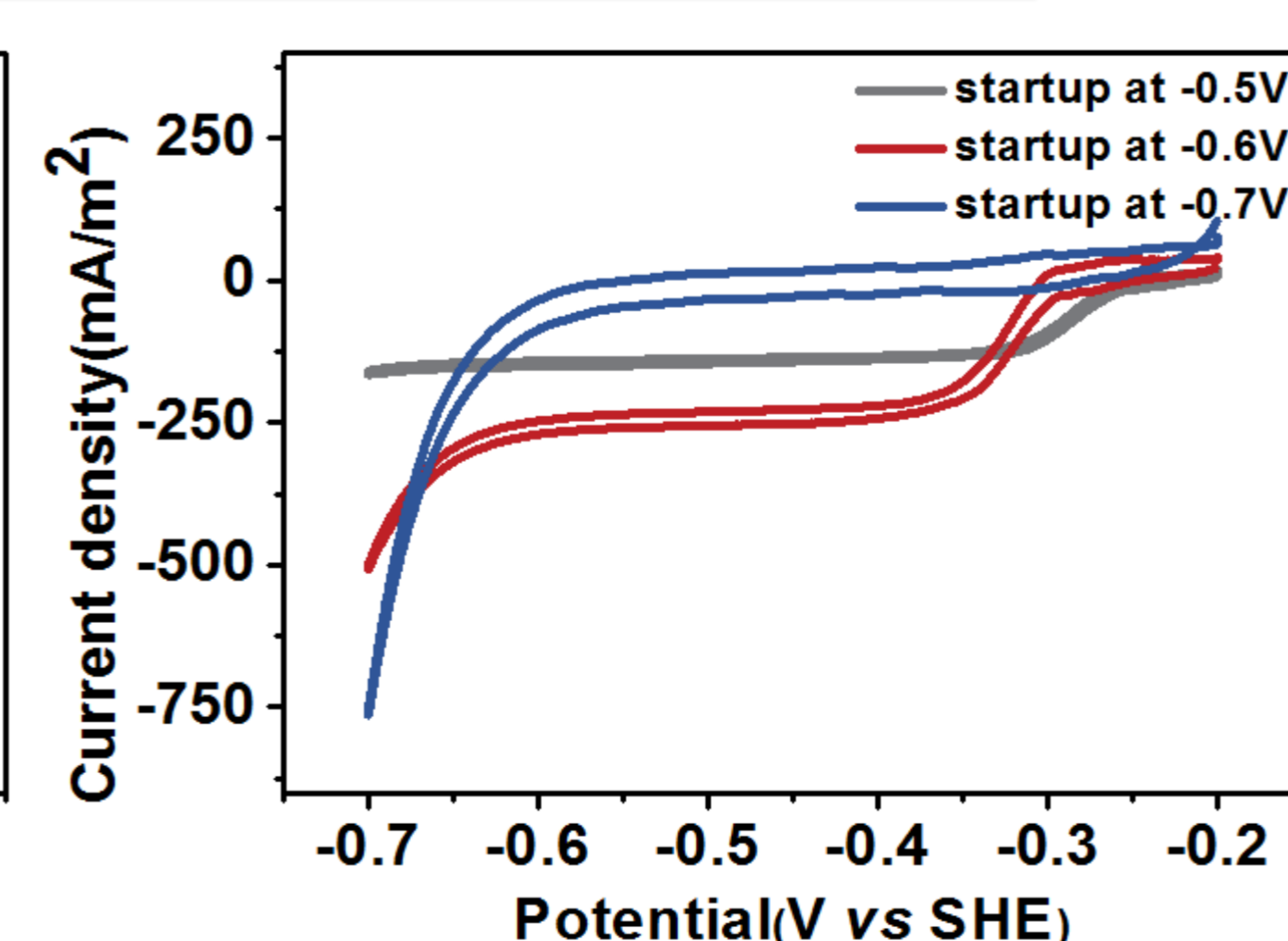


图10 采用不同培养方式培养的微生物阴极CV曲线

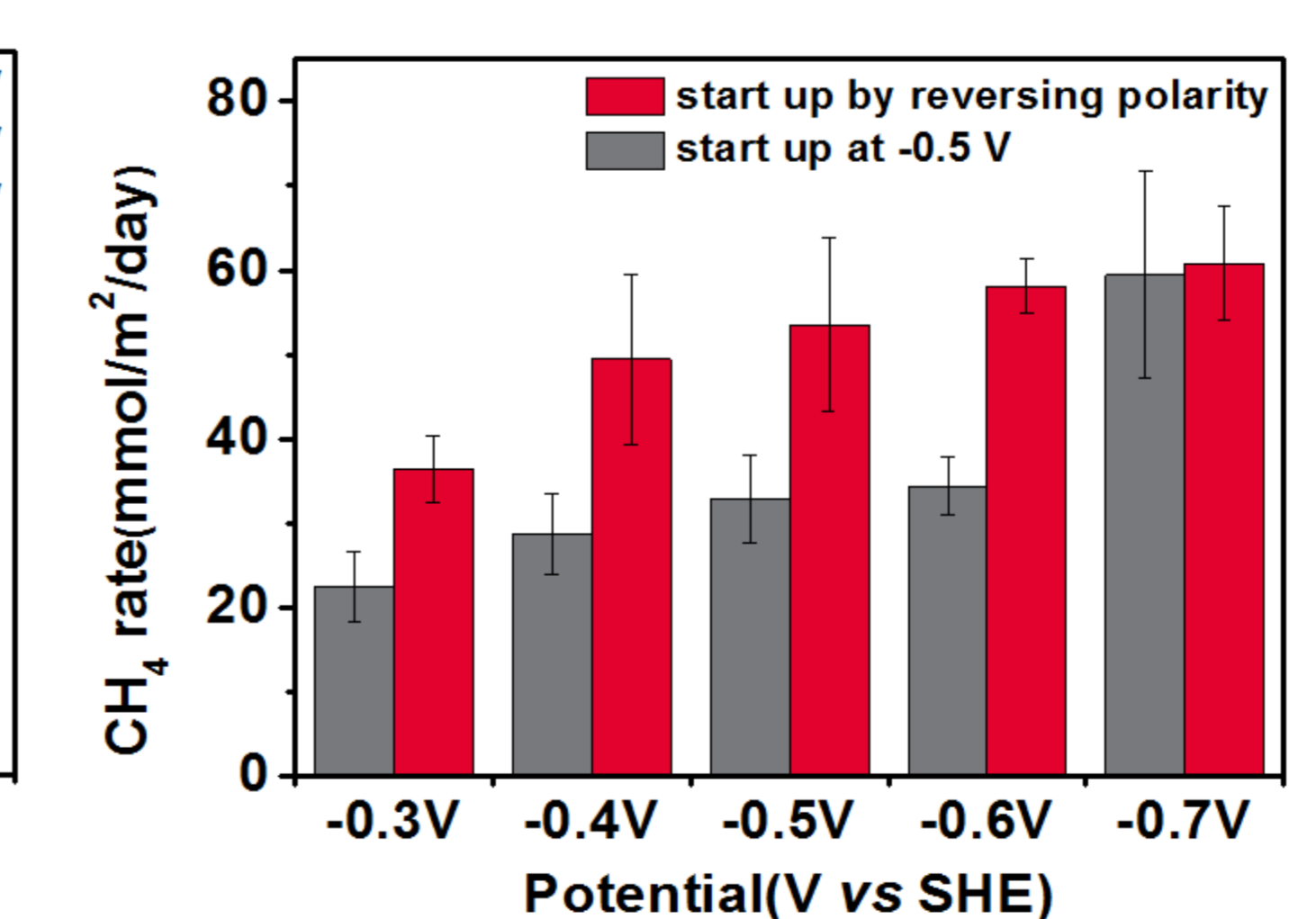


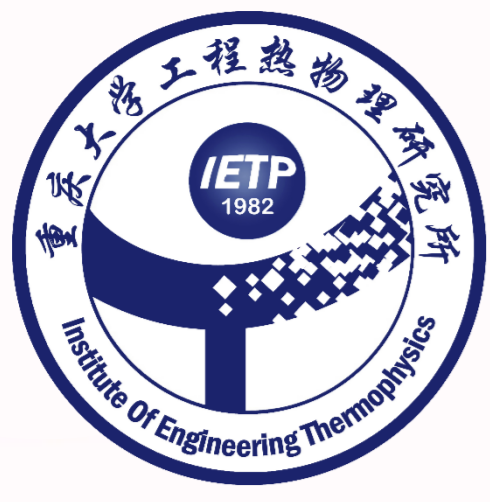
图11 采用不同培养方式培养的微生物阴极性能测试

基于共生效应提出先启动生物阳极富集产电菌，随后改变电极极性以富集产甲烷菌的新型培养方式。在20天实验周期内，新的培养方式得到的微生物阴极最大电流密度提高2.02倍，最大甲烷产量提高1.77倍



Welcome to CQU





# 基于低温废热回收的热再生氨电池传输特性及性能强化

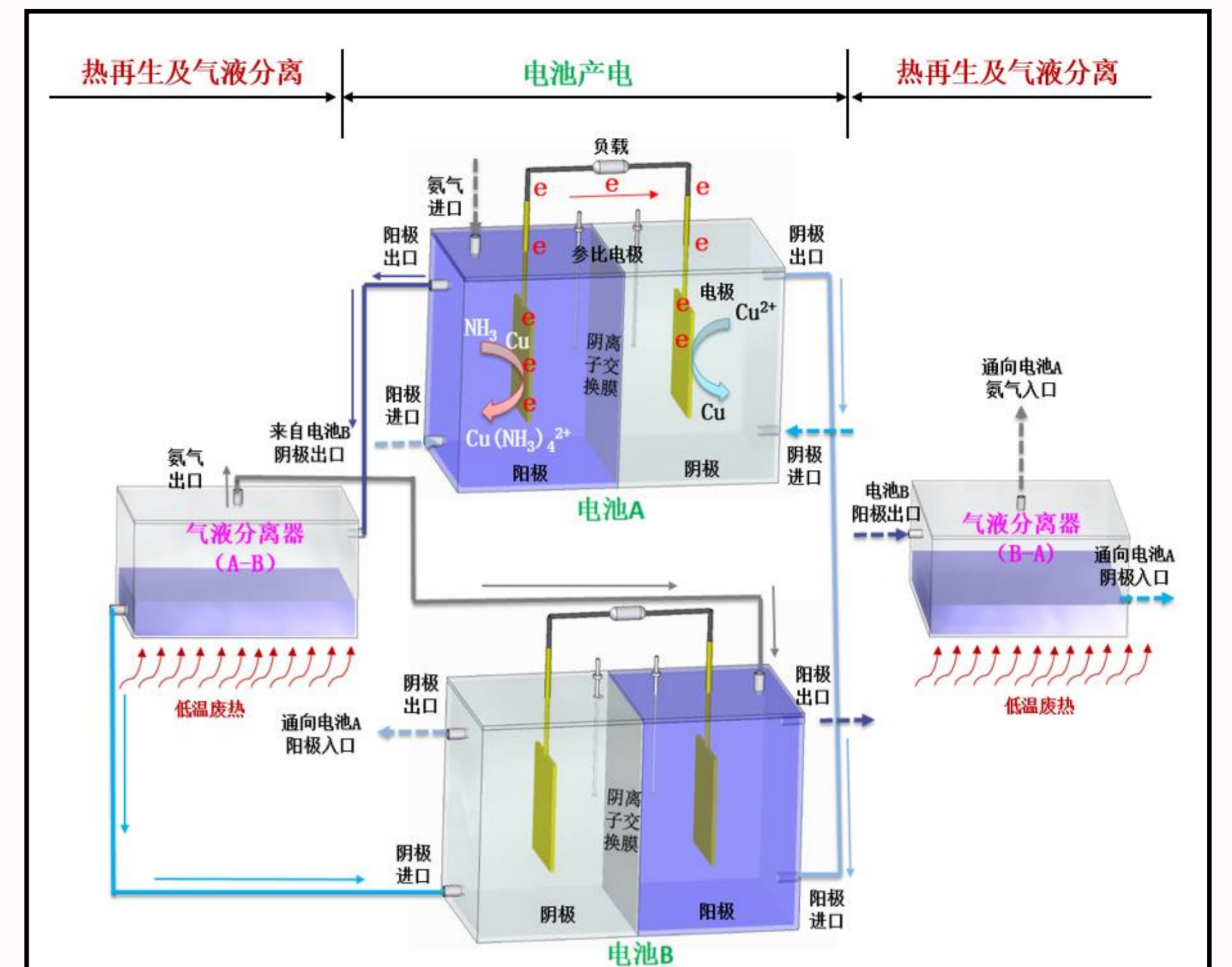
## 一、热再生氨电池简介

热再生氨电池 (TRAB) 是一种通过热分解反应将热能转化为物质的化学能，再通过电极反应将化学能最终转化为电能，最终实现低温余热利用的新型电化学系统产电技术。该系统中涉及到带有电化学反应的多组物质传输和电子传输现象。其物质传输特性对电池性能起着非常重要的作用。研究电池内部物质传输特性以及氨传输调控规律可指导反应器设计和提升热再生氨电池的性能，促进该技术的发展与应用。

## 二、主要研究内容

研究热再生氨电池内多组物质流动与传输规律、多孔介质电极孔隙变化规律及产电特性进行系统的实验和理论研究工作，获得电池内变孔隙率多孔介质内物质传输和多孔介质孔隙结构变化及对电池性能的影响规律，获得电池结构、电极结构及参数、运行参数和操作参数对电池性能的影响规律，分析泡沫金属多孔介质电极结构、物质传输与电池性能三者之间相互作用关系。建立能够描述上述TRAB内物质流动与传输特性的理论模型，获得电化学反应致变孔隙率多孔介质内物质流动及多过程耦合的传递机理与规律。探讨多孔介质内物质传输调控手段，解决TRAB中物质传输受限和氨渗透等问题。

## 三、主要研究进展



热再生氨电池系统原理图

### 1. 传质对热再生氨电池性能的影响

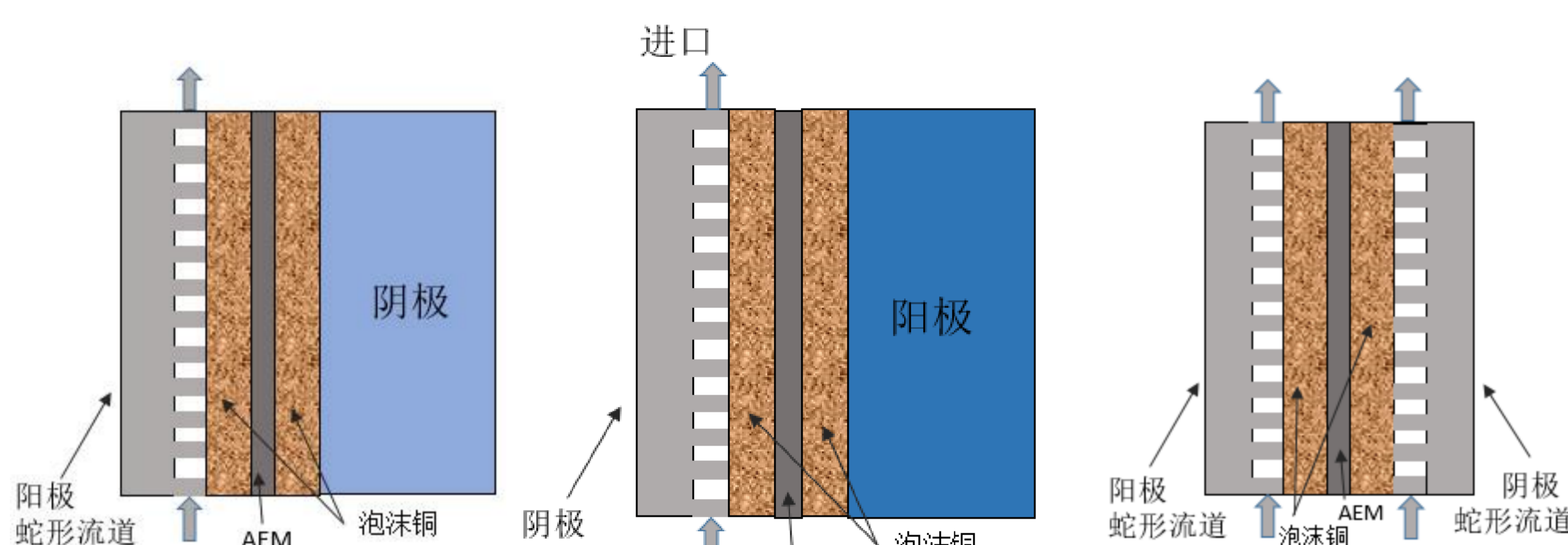


图1 不同传质方式TRAB结构示意图

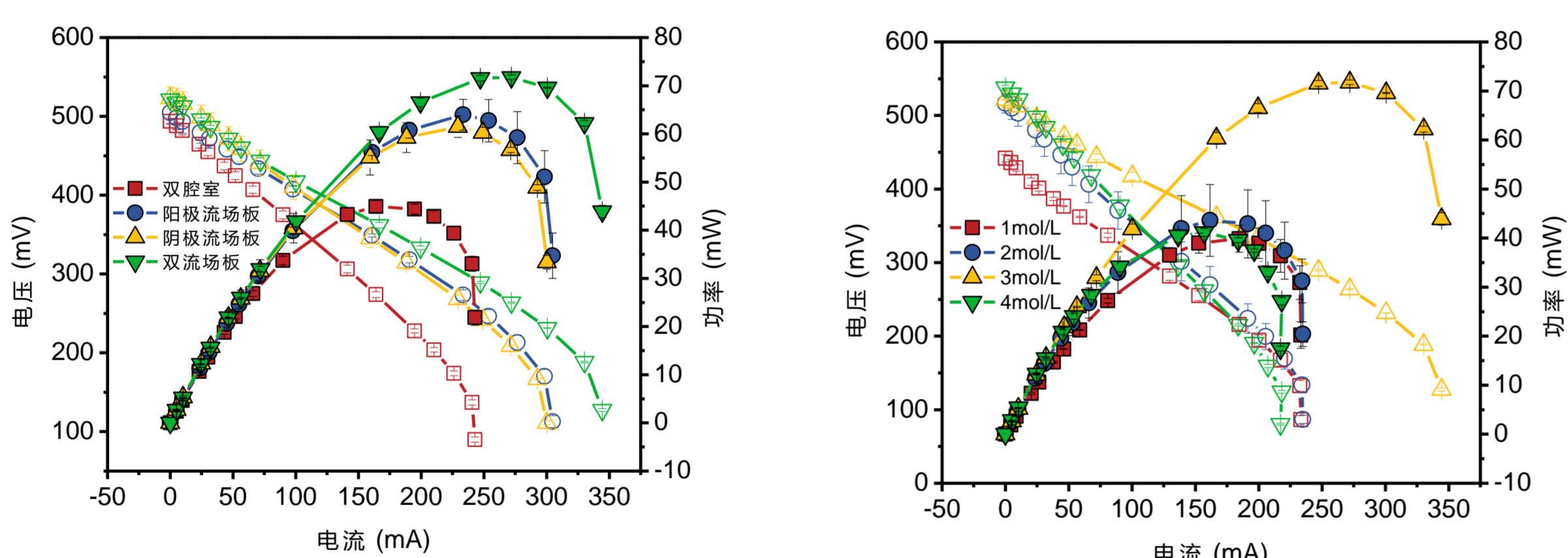


图2 不同传质方式TRAB性能曲线

图3 不同氨水浓度下TRAB性能曲线

采用流场板有利于物质传输，促使TRAB性能提升

### 2. 具有泡沫铜电极的热再生氨电池性能研究

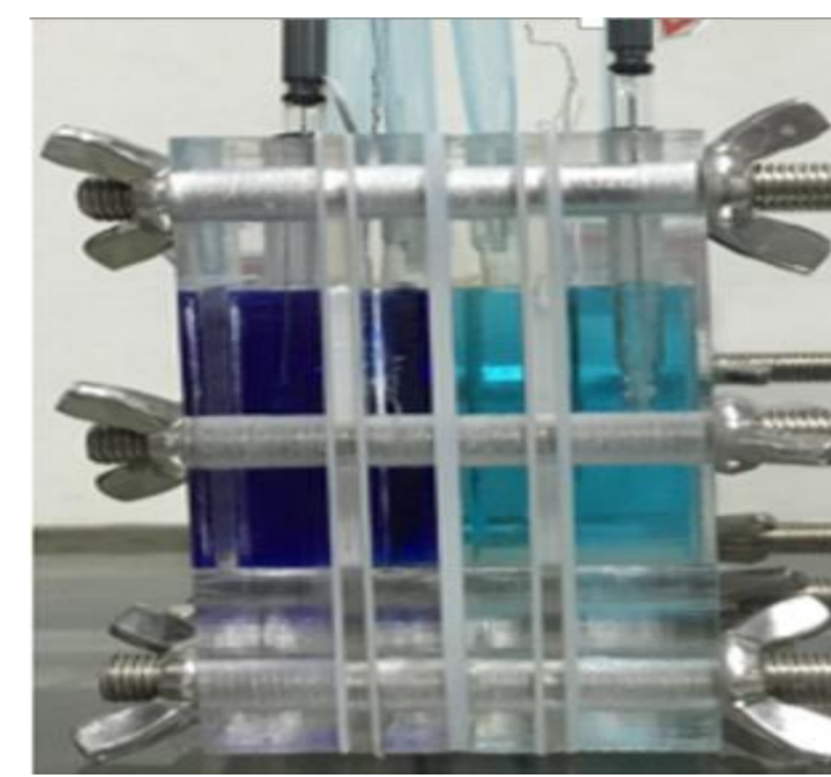


图4 电池结构示意图

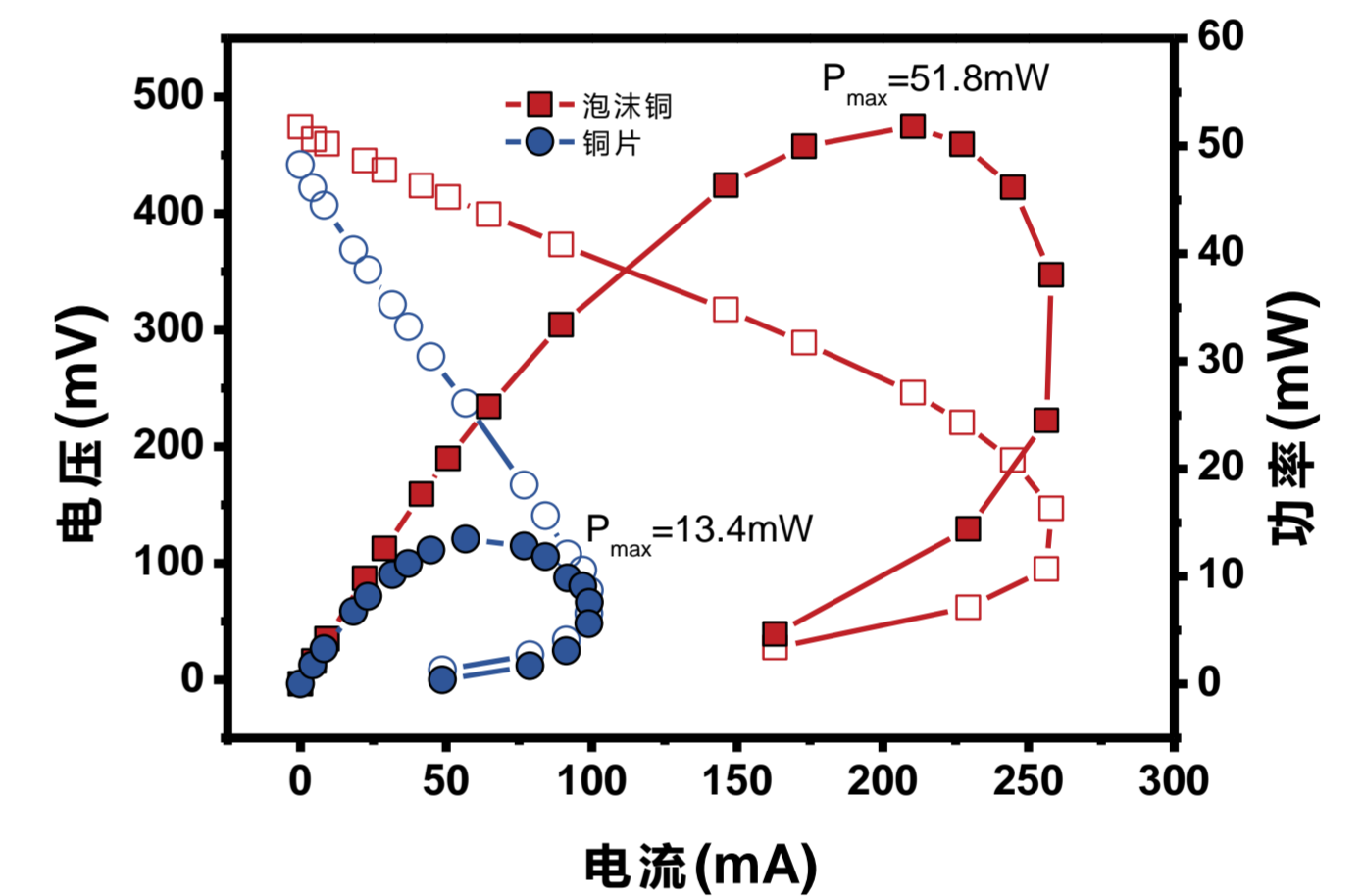


图5 铜片与泡沫铜性能对比

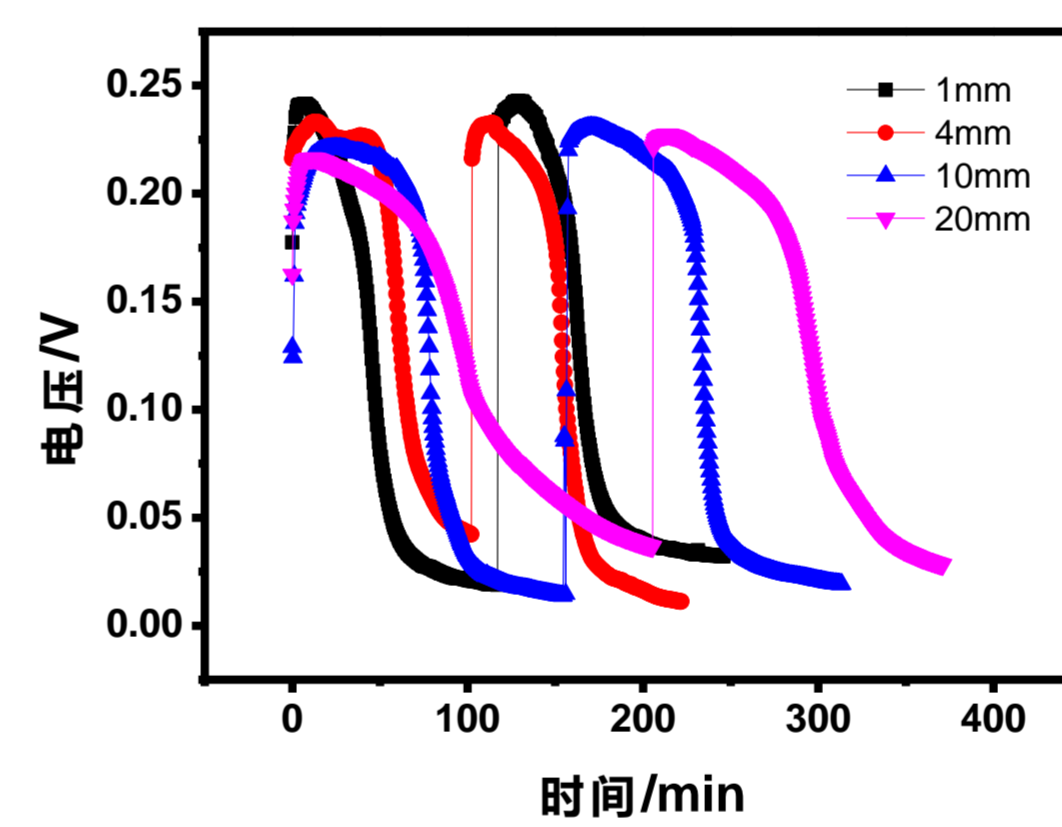


图6 不同厚度泡沫铜放电曲线

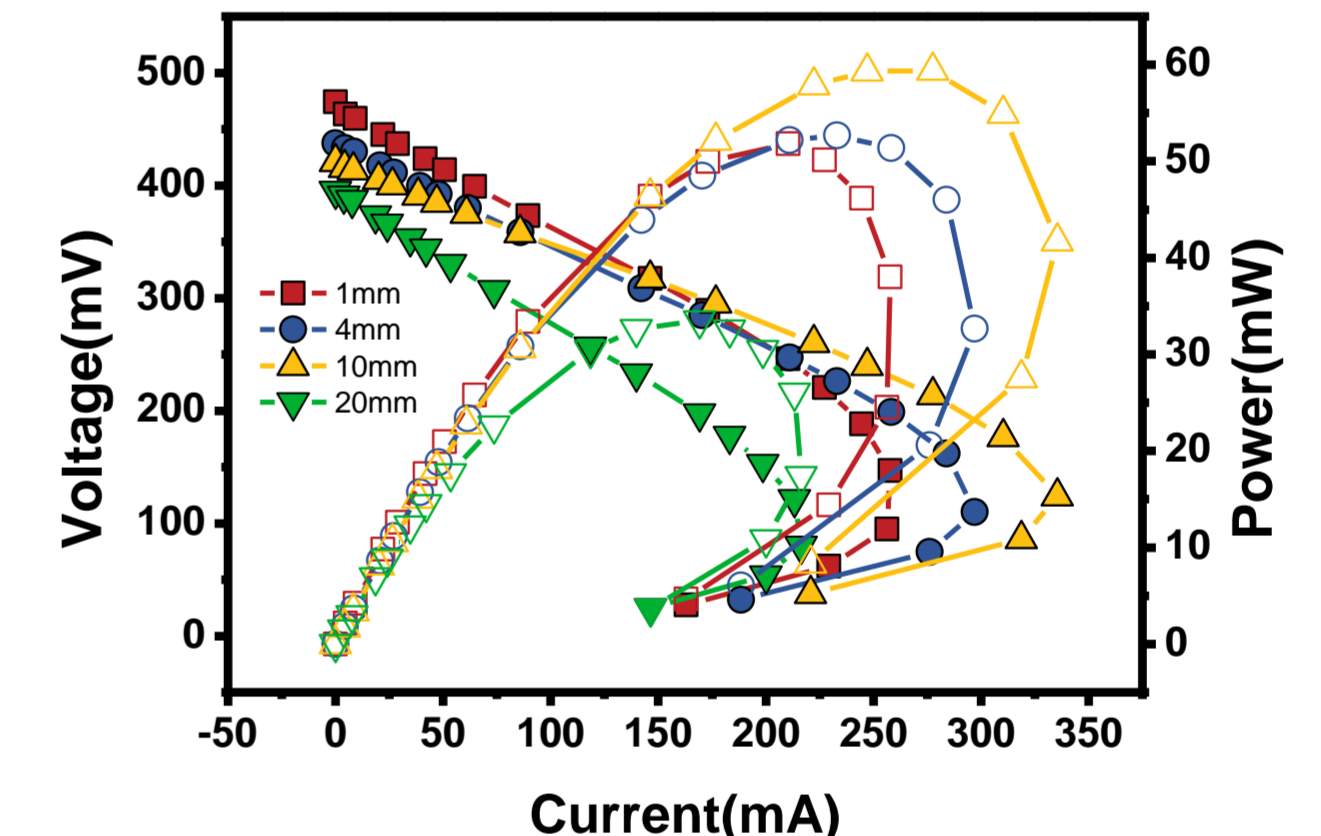


图7 不同厚度泡沫铜性能对比

构建具有泡沫铜电极的热再生氨电池，相比于采用铜片电极的TRAB性能有了明显提升；同时一定范围内增加泡沫铜厚度可以提升电池性能。

### 3. 无膜热再生氨电池可视化及性能研究

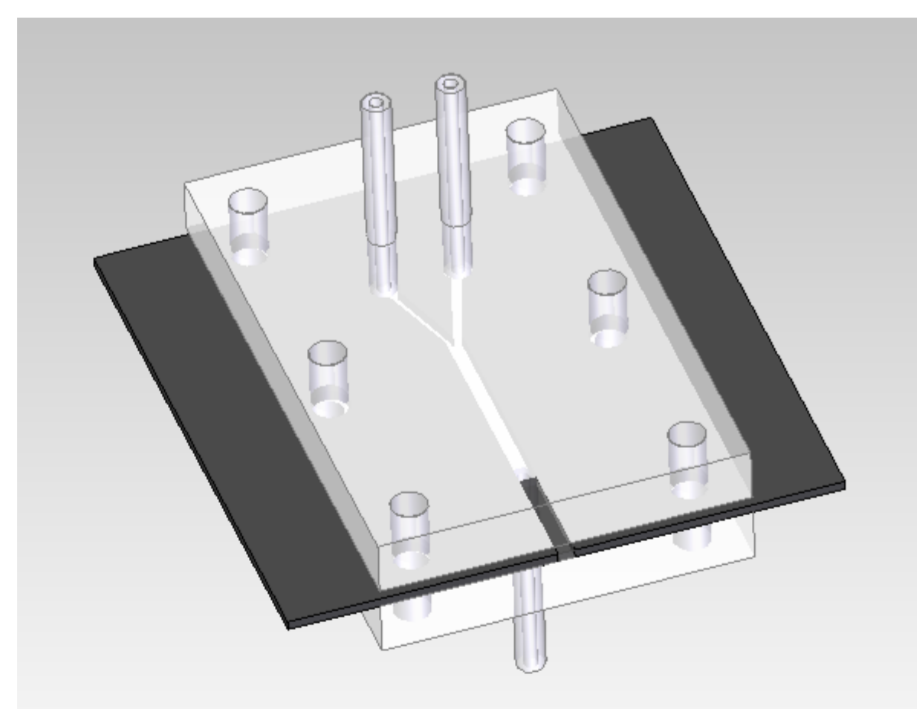


图8 电池结构示意图

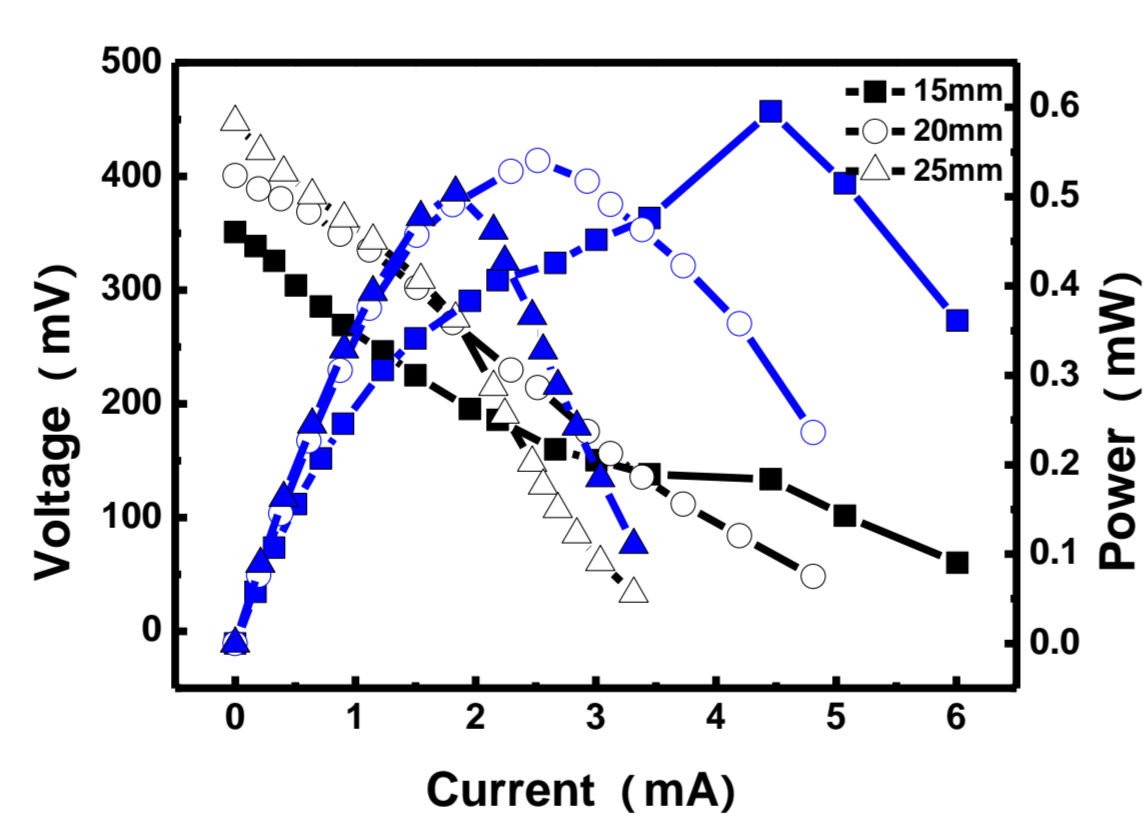


图9 不同槽道长度电池性能

构建无膜的热可再生氨电池，研究不同槽道长度，不同电解液流量、不同氨浓度等因素对电池性能的影响；

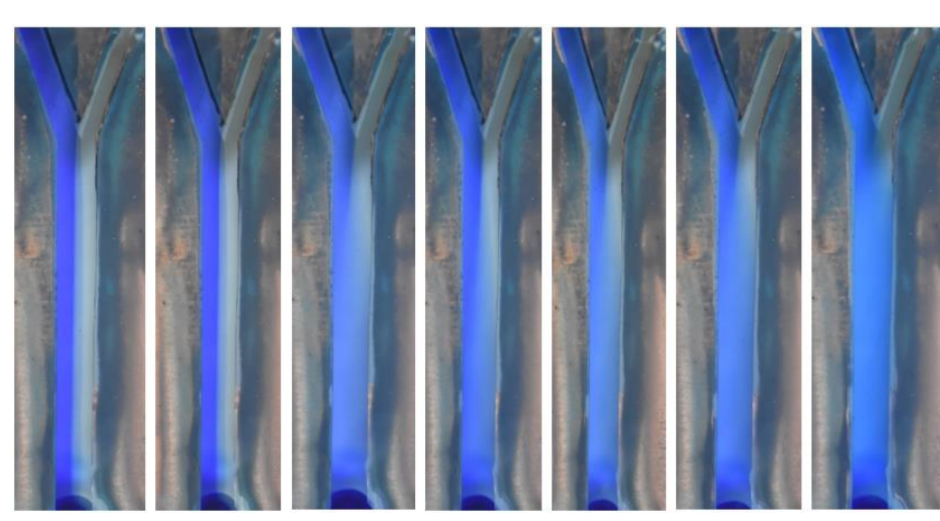


图10 不同氨浓度下层流可视化

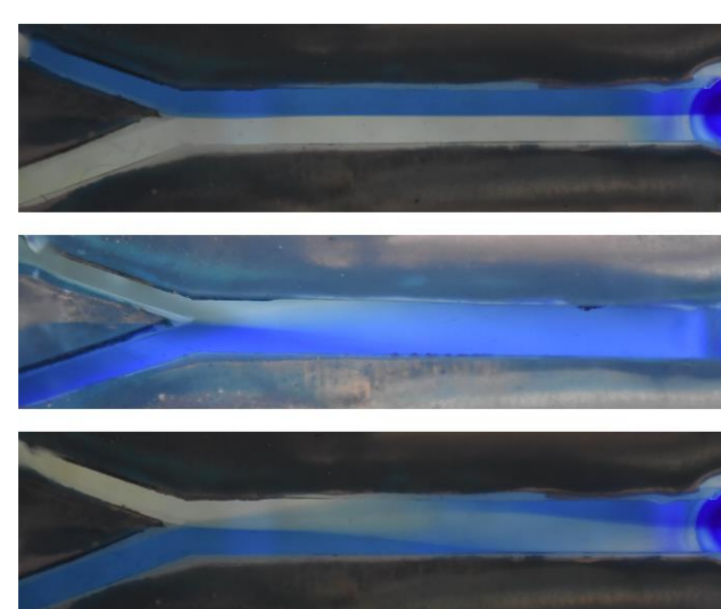


图11 不同放置方式下层流可视化

通过层流可视化观察不同氨浓度，不同放置方式等因素对电池层流的影响；

### 4. 氨气自呼吸式热再生氨电池传输特性及性能强化

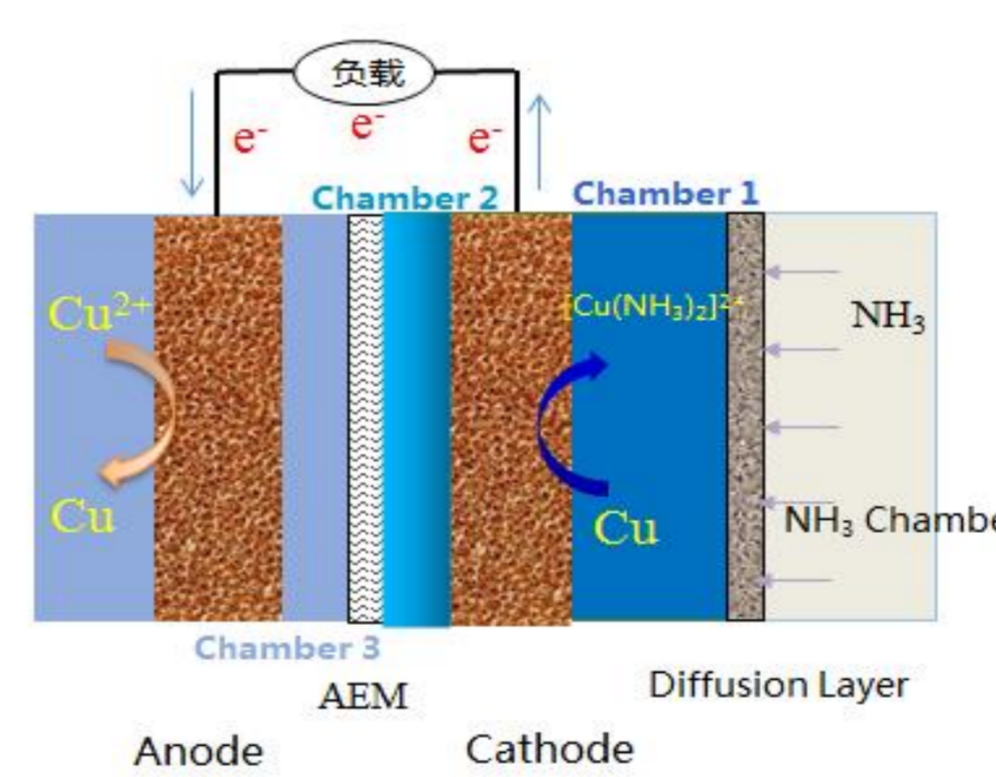


图12 氨气自呼吸式结构热再生氨电池示意图

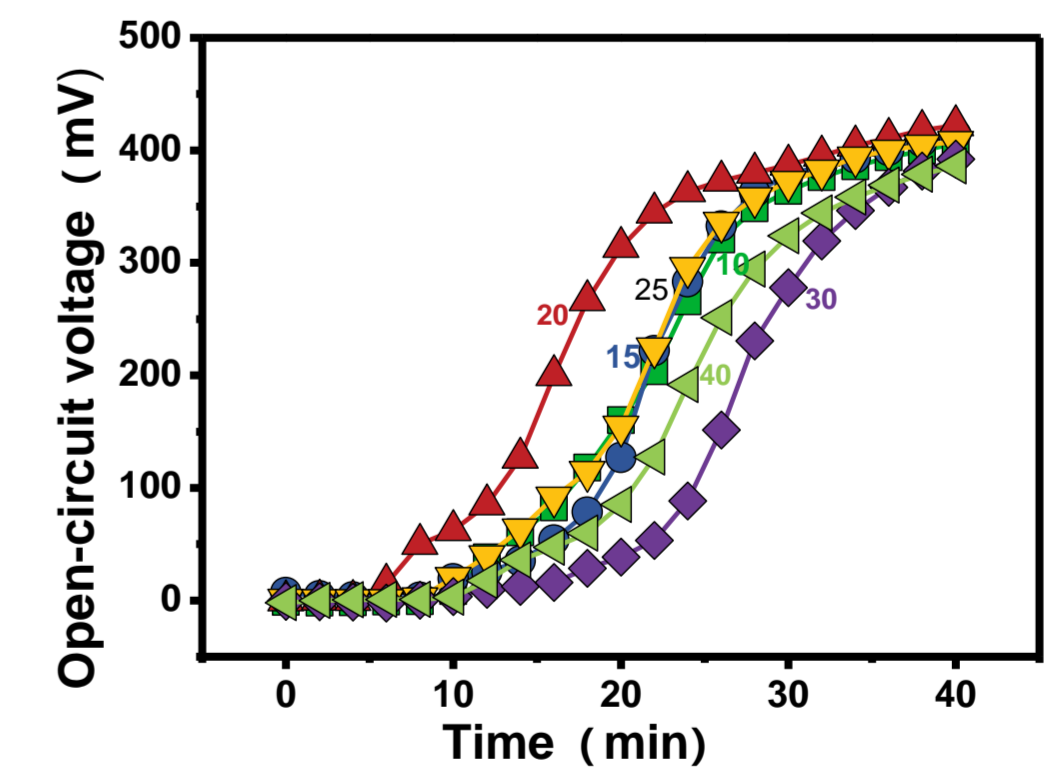


图13 不同气体扩散层结构电池开路电压变化曲线

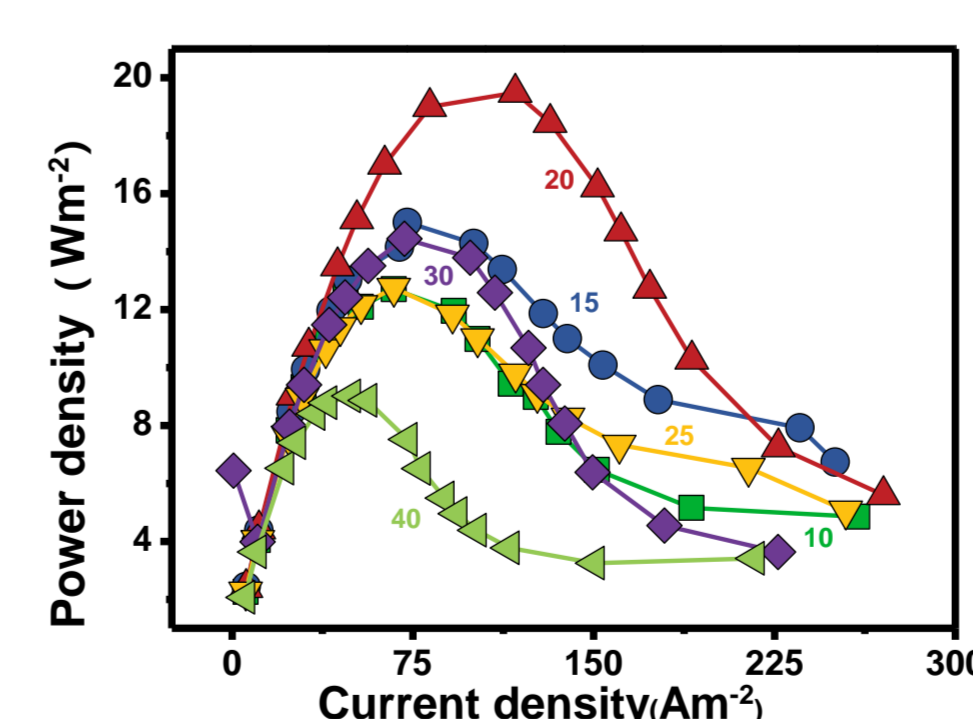


图14 不同气体扩散层结构电池功率密度曲线

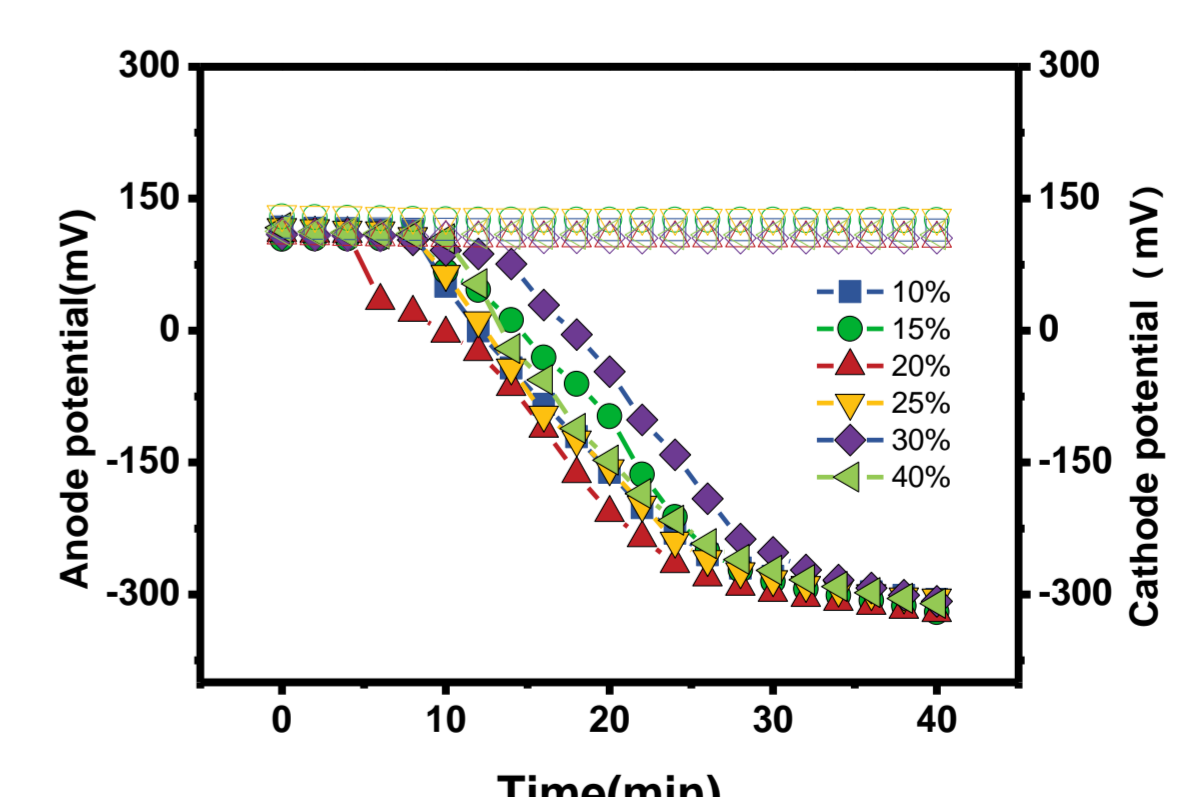


图15 不同气体扩散层结构电池阴阳极电势变化曲线

可视化实验表明氨气自呼吸式结构可以有效减缓氨渗透现象。结果表明，采用20% PTFE载量的气体扩散层具有最佳的电池性能



Welcome to CQU