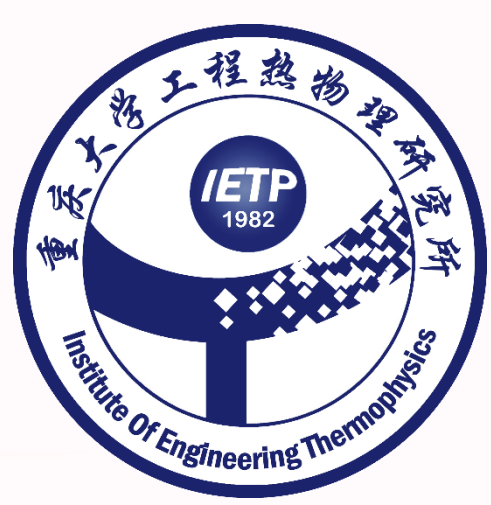
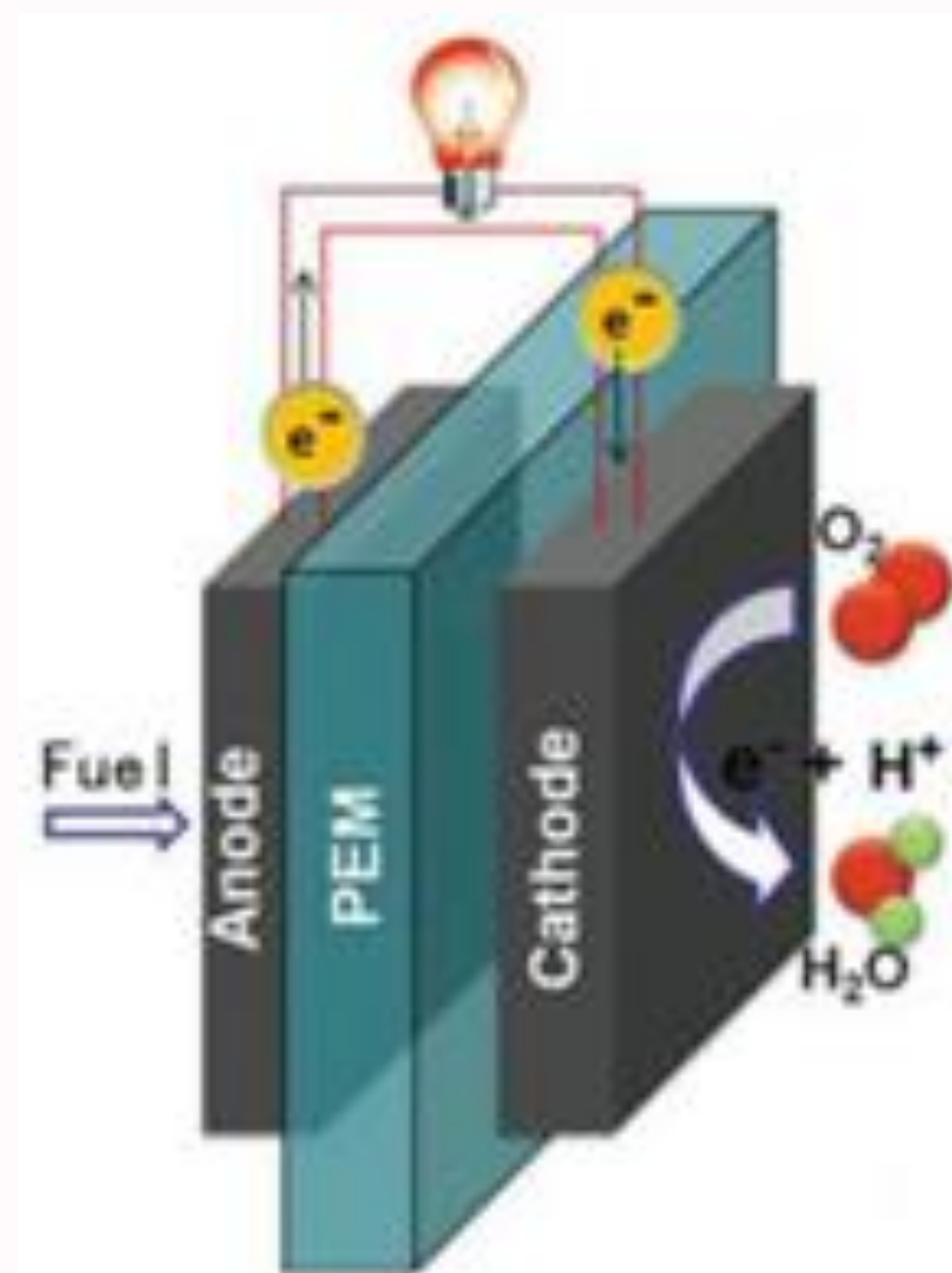




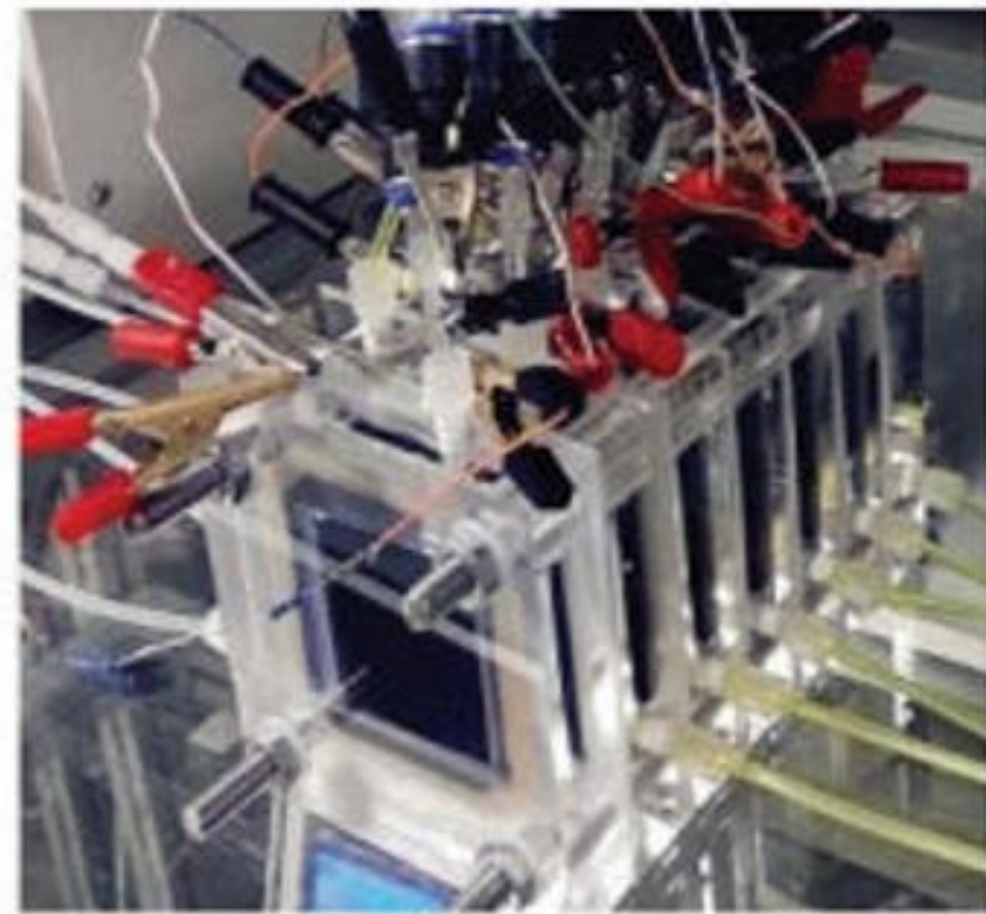
方向Ⅲ-电化学能源转化

前沿研究点

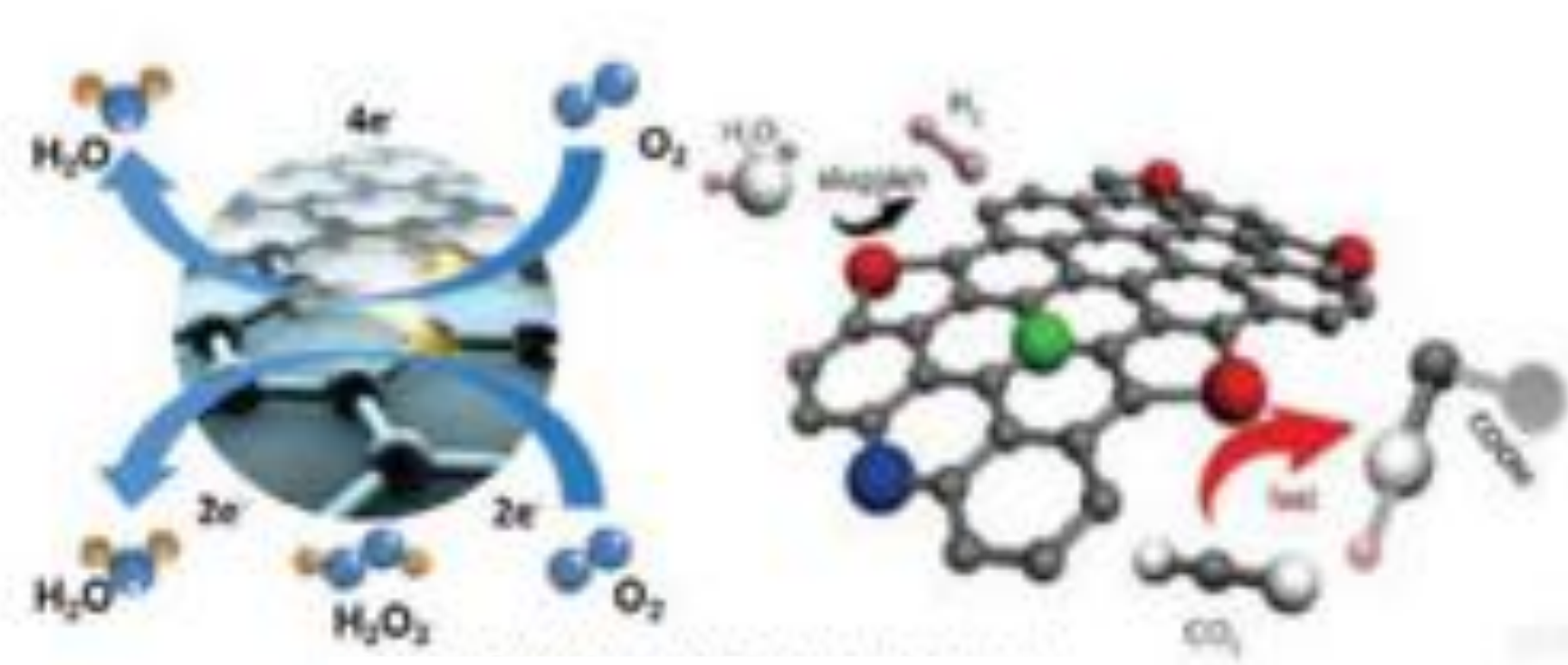
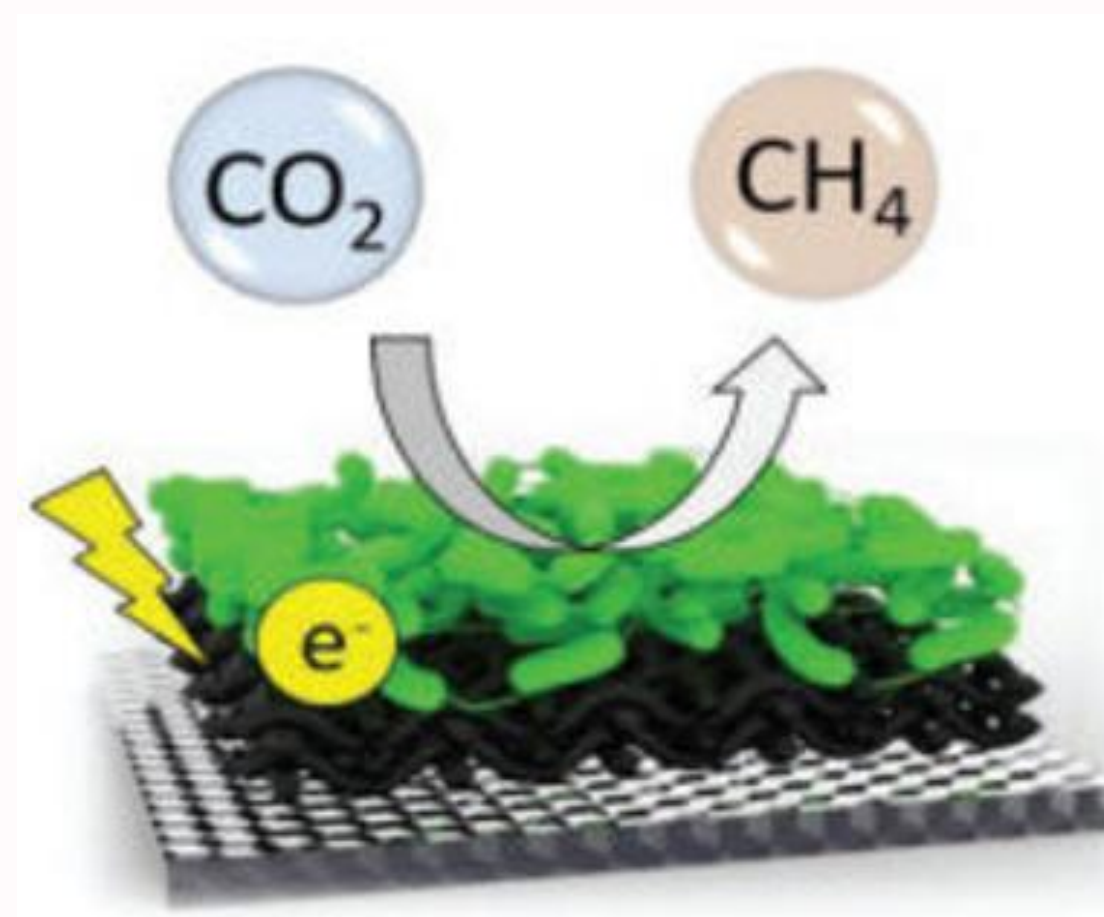
- 质子交换膜电解水制氢技术
- 电还原CO₂制燃料及化学品技术
- 微生物燃料电池技术
- 微流体燃料电池技术
- 微纳电源技术
- 热再生电池技术
- 甲醇自热重整制氢技术



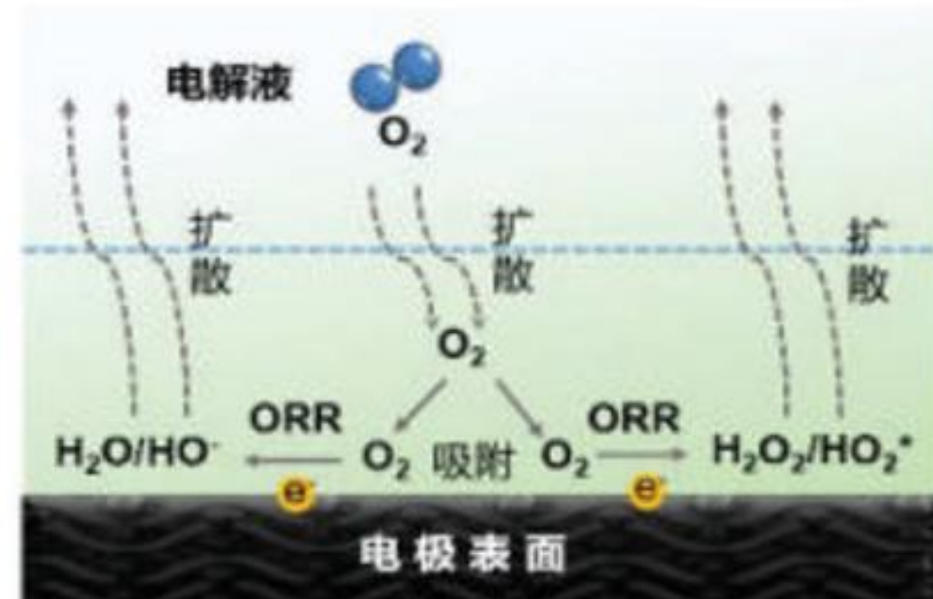
电化学能源转化示意图



微生物燃料电池



电催化剂反应机理



电极界面物质传输过程

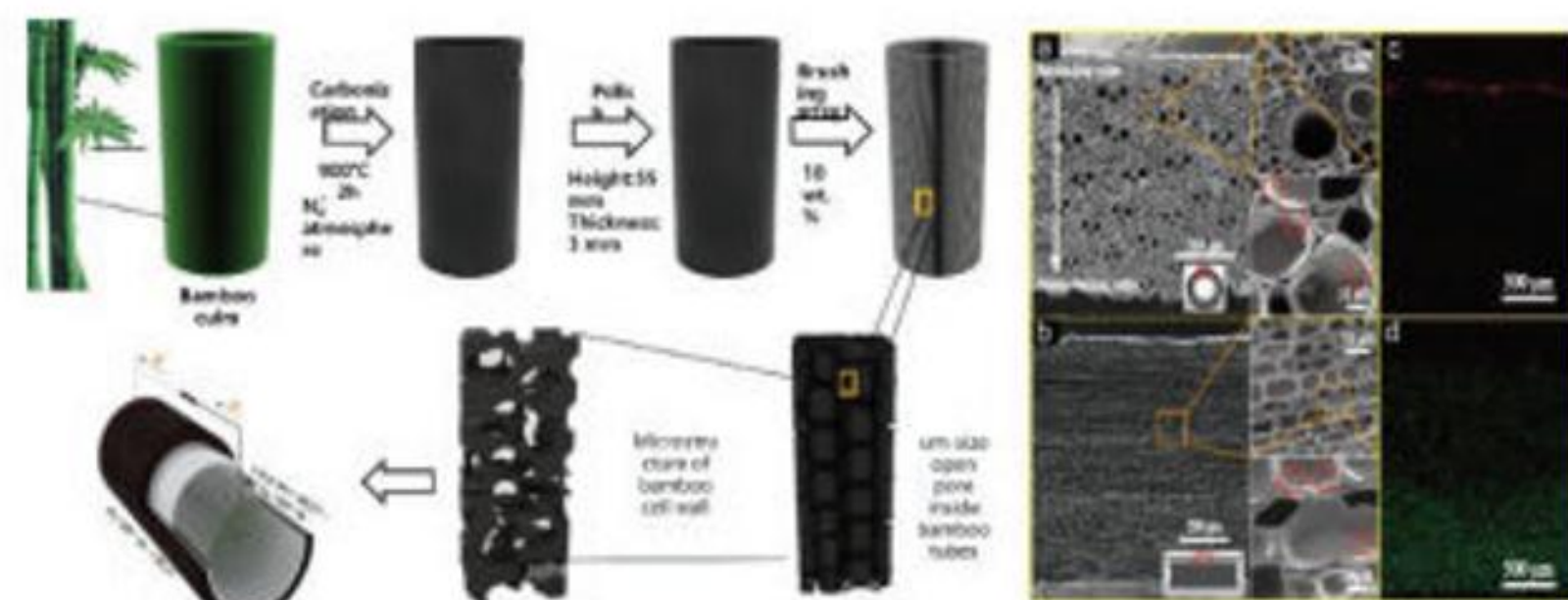
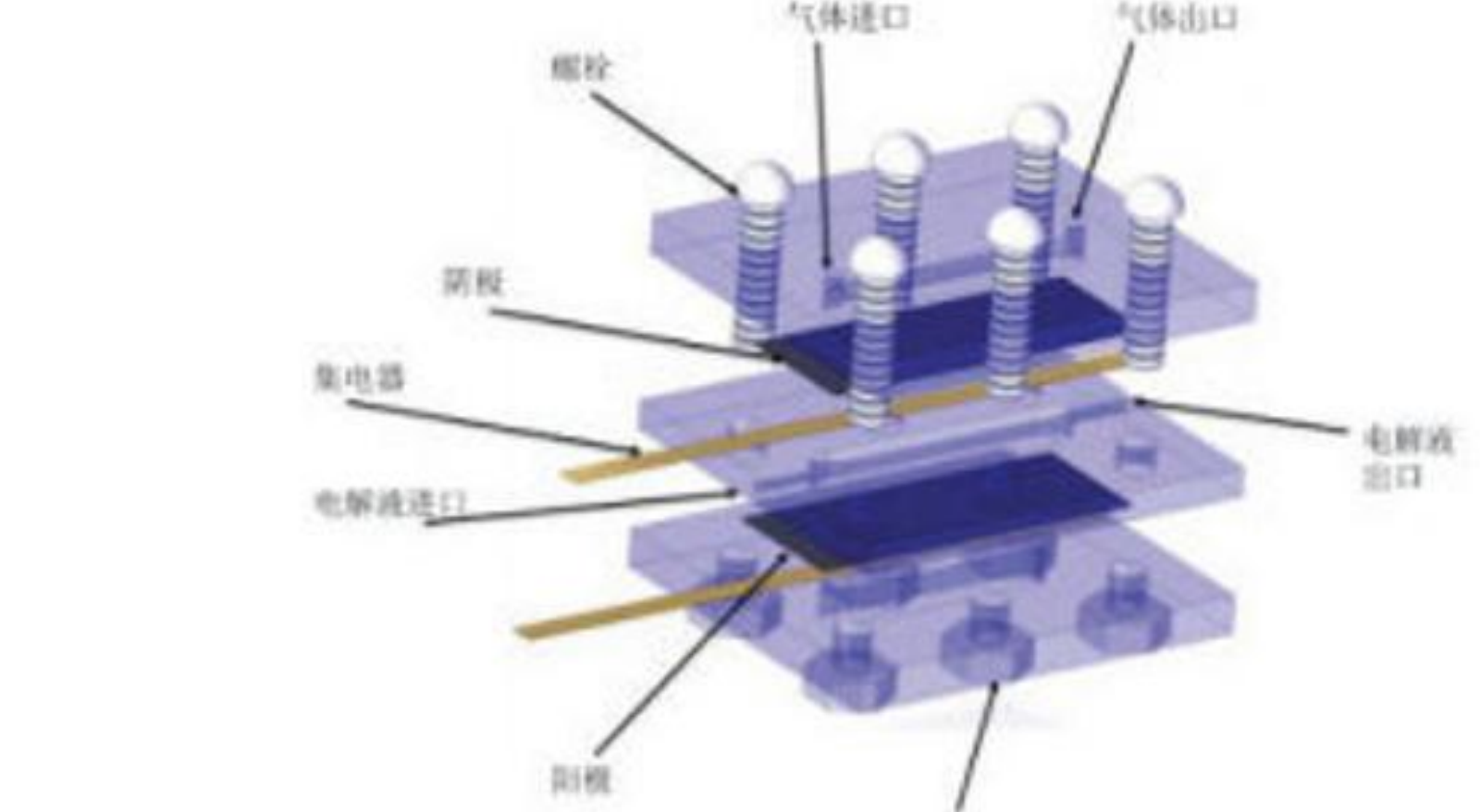


图10 竹炭管阴极合成示意图

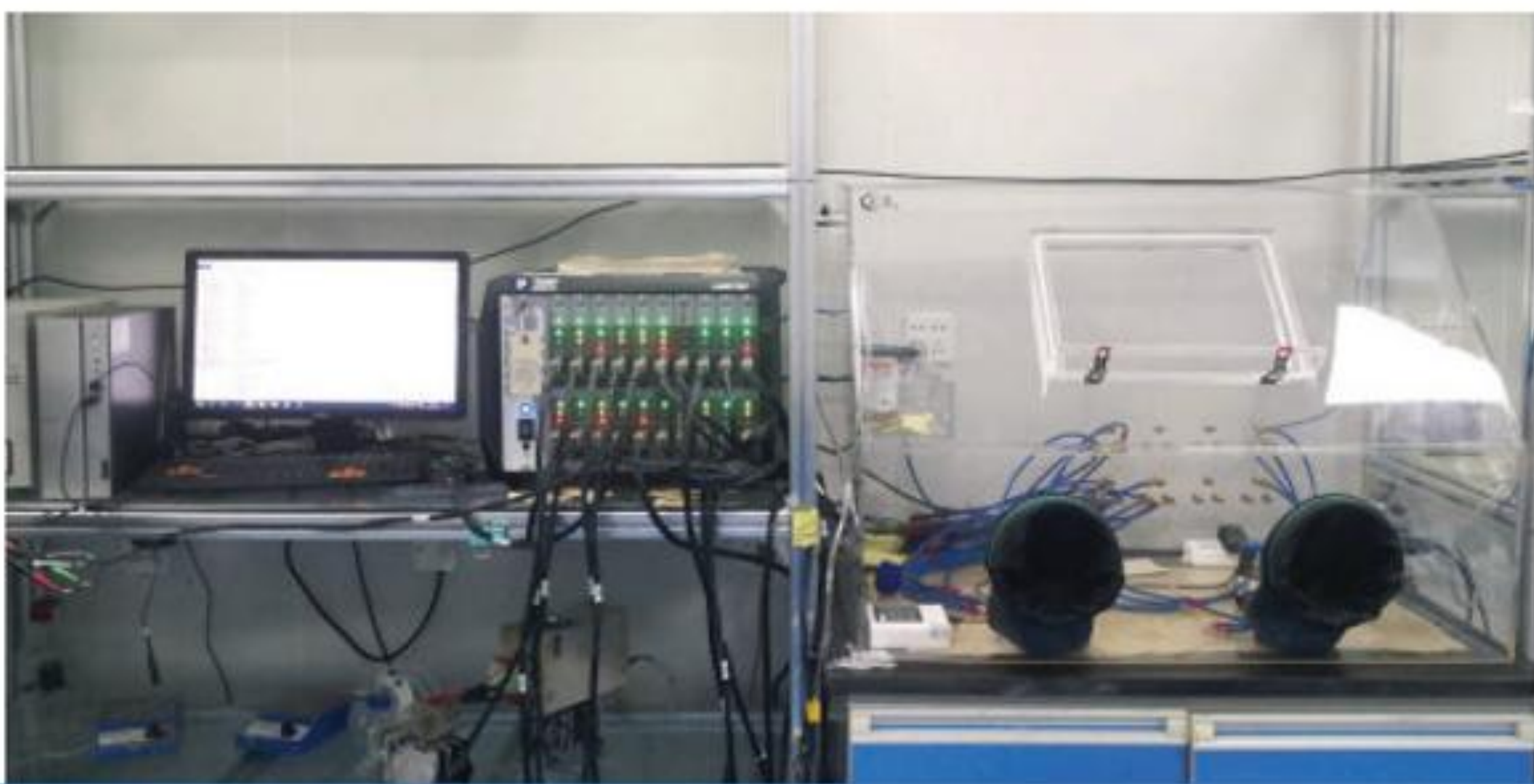
图11 竹炭管阴极SEM图

高效微生物燃料电池电极



微生物电化学合成燃料

电化学能源转化实验室条件



燃料电池及电化学合成实验室



微生物燃料电池恒温室



电化学合成实验恒温室

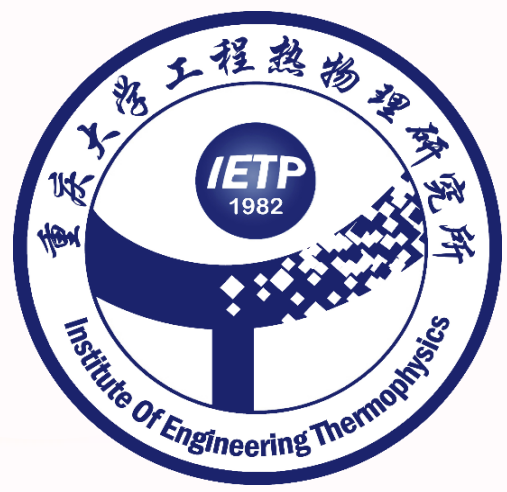


PEMEC电解水制氢实验室

四间实验室+校外中试场地 具备电极制备和组装能力，仪器设备齐全



Welcome to CQU



低成本、高效、高安全质子交换膜电解水制氢技术

一、质子交换膜电解水简介

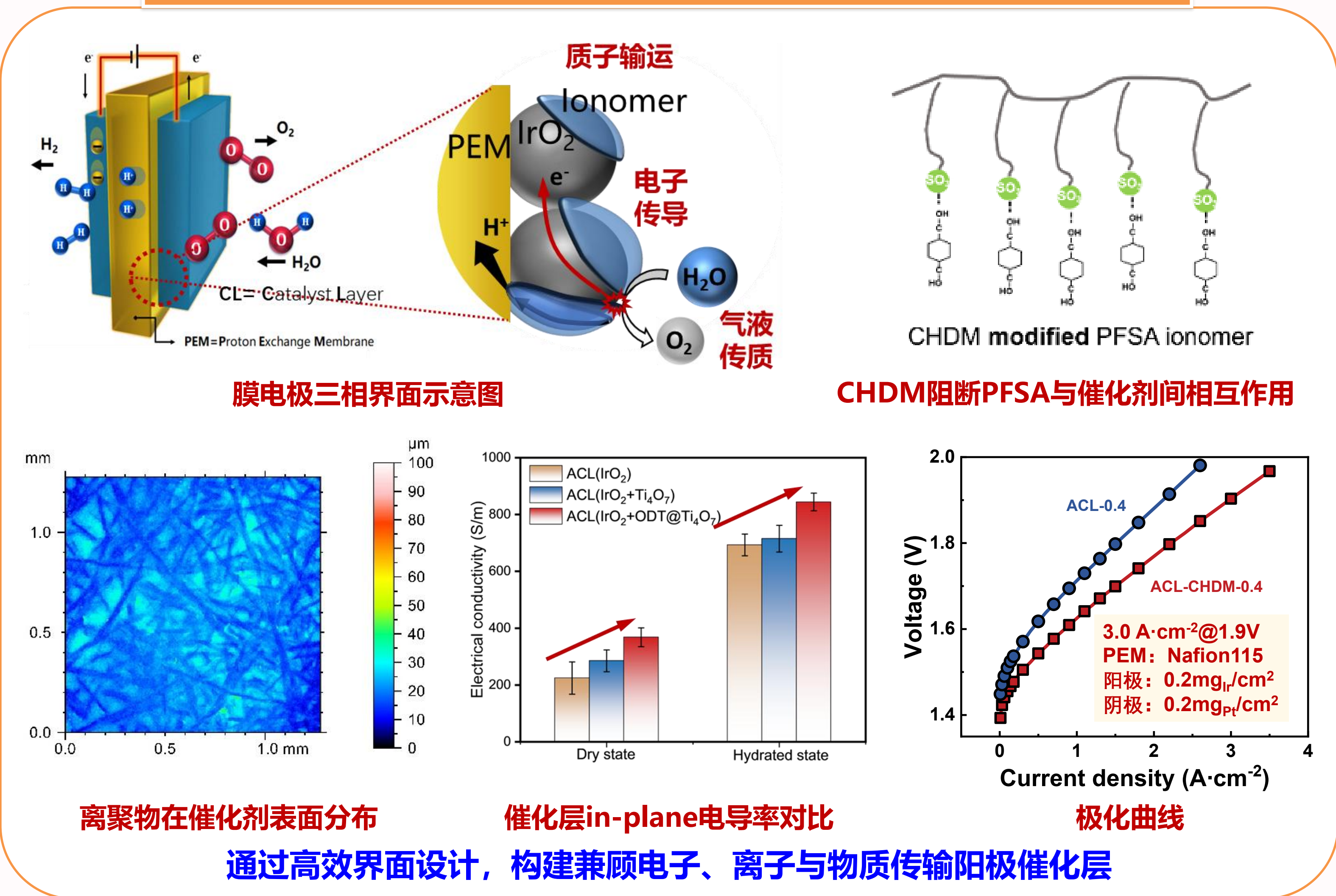
质子交换膜电解水（PEMWE）是一种高效制氢技术，利用质子交换膜（如Nafion）作为固态电解质，在直流电作用下将水分子分解为氢气和氧气。其核心组件膜电极（MEA）集成了阳极Ir基和阴极Pt/C催化剂，实现快速电化学反应与质子传导，同时流场板负责电子传导与气液传输。该技术具有响应快、效率高（70-80%）、产氢纯度高（>99.99%）及结构紧凑等优势，适合可再生能源耦合与动态负载场景，是绿氢制备的关键发展方向。

二、主要研究内容

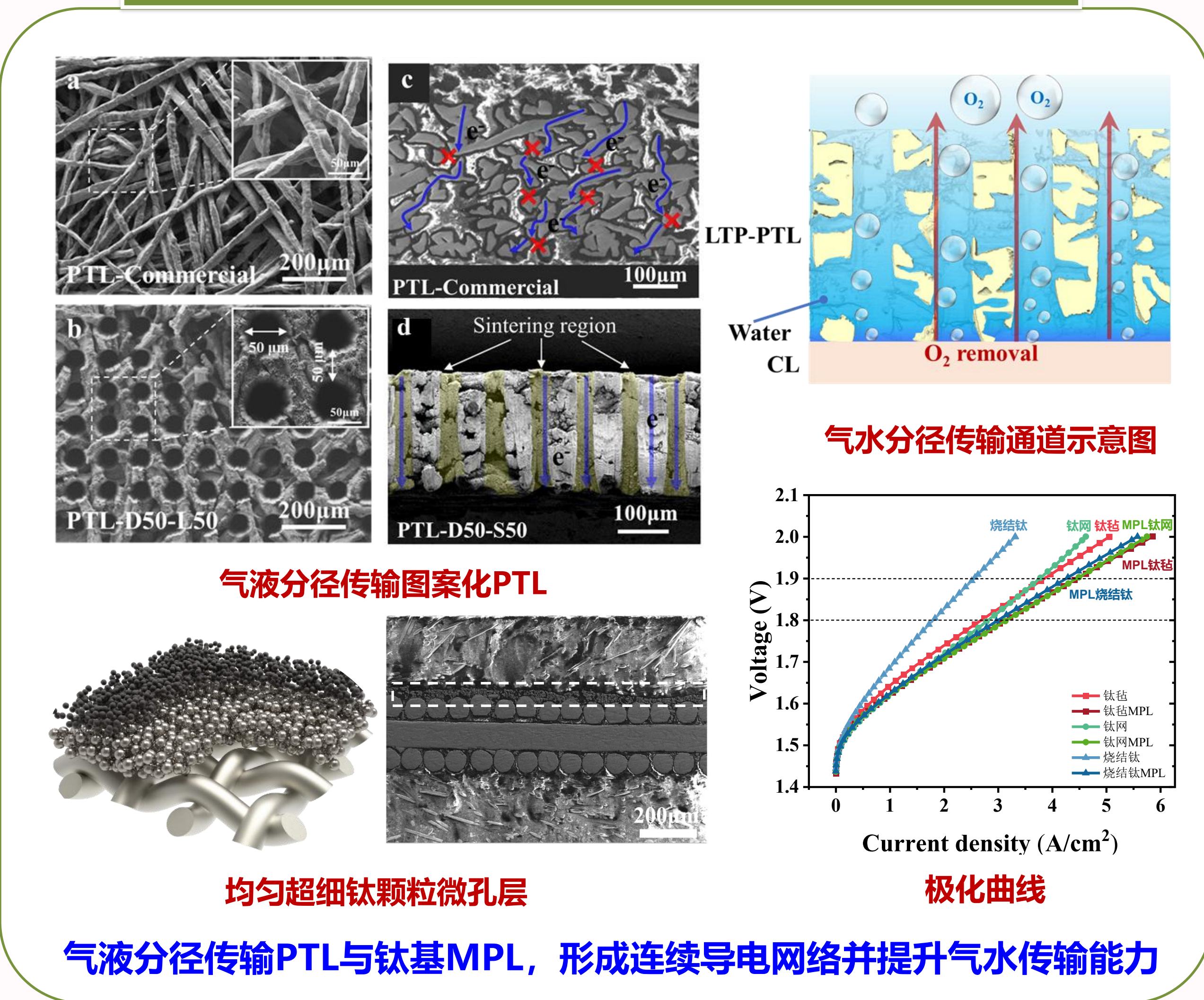
本研究围绕质子交换膜电解水制氢技术开展系统性攻关，重点突破催化层微结构精确调控以实现低载量高性能膜电极的构建，开发具有气液有序输运特性的多孔传输层及双极板流动均一性强化技术，攻克高一致性电解堆的装备集成与批量化制造难题，并建立兆瓦级PEM制氢系统集成优化方法，通过材料-部件-装备-系统的全链条创新，显著提升电解效率、耐久性与功率密度，形成具有国际竞争力的质子交换膜电解水制氢整体解决方案。

三、主要研究进展

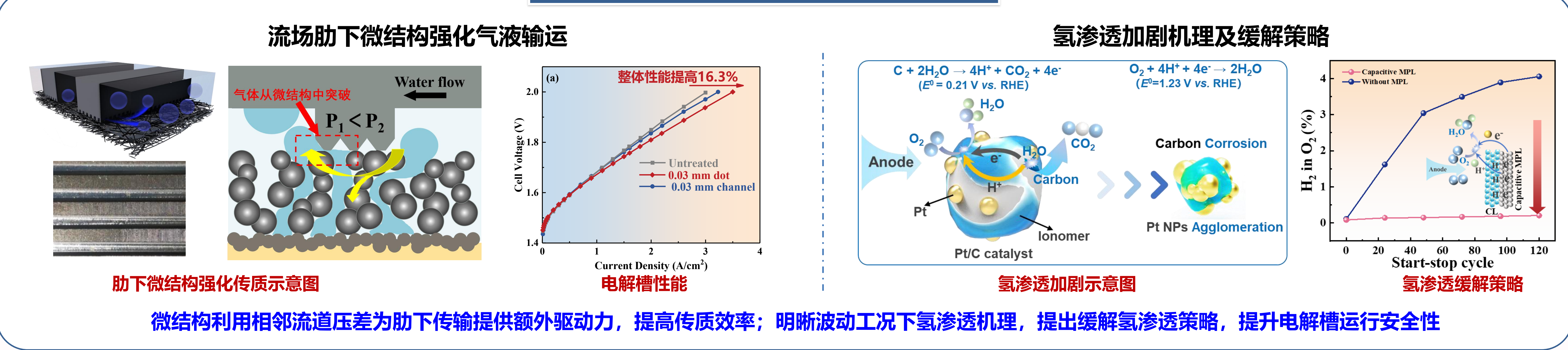
1.催化层微结构精确调控及低载量高性能膜电极构建



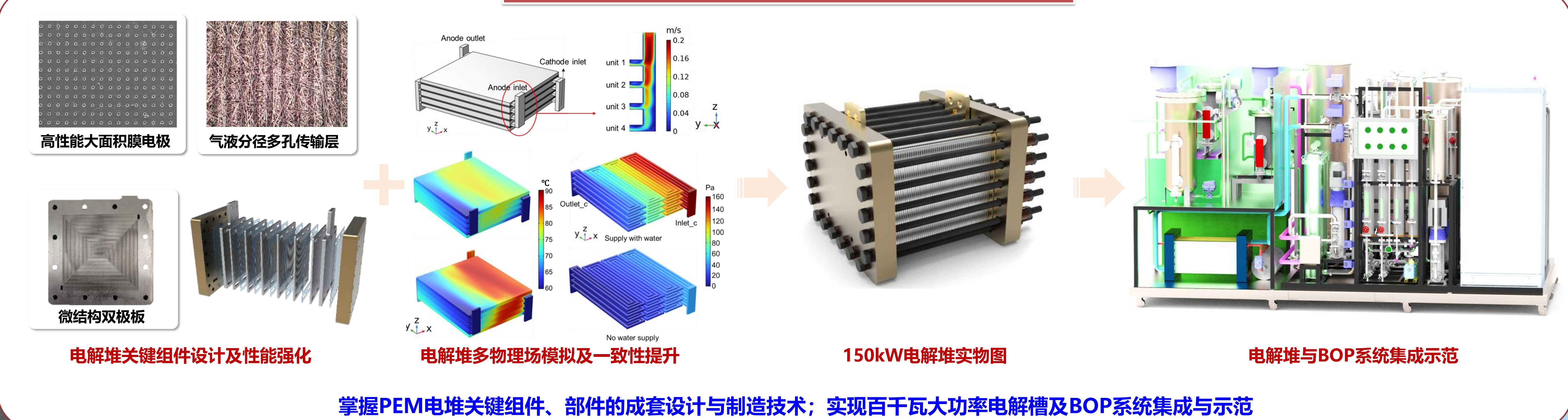
2.高性能气液分径多孔传输层技术



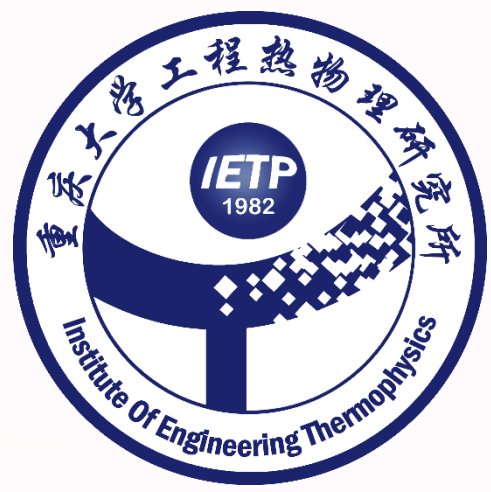
3.电解槽多相流动与热质传递过程研究



4.电解堆集成及系统优化



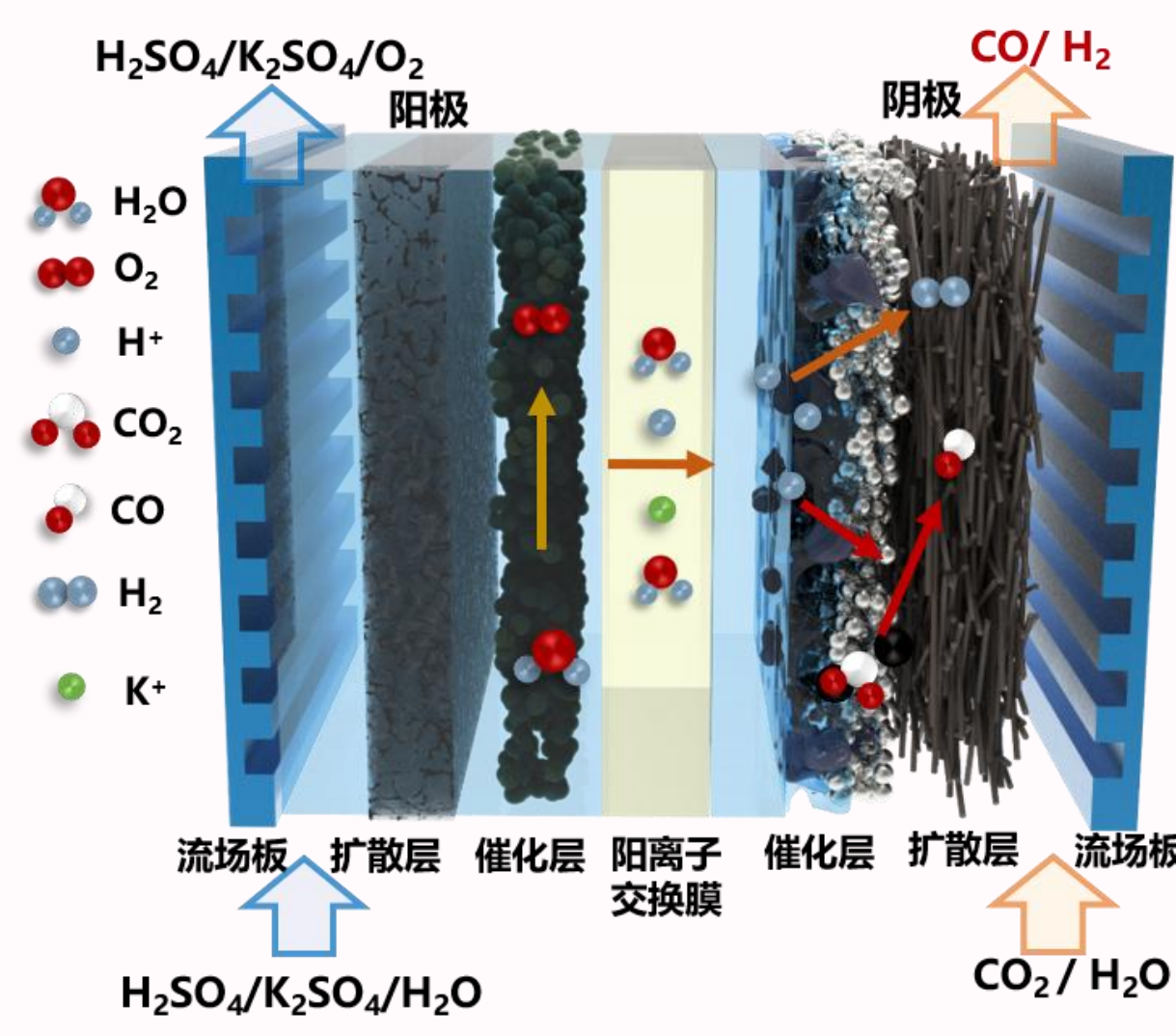
Welcome to CQU



电还原CO₂制燃料及化学品技术

一、CO₂电化学还原制燃料/化学品技术简介

CO₂电化学还原制燃料/化学品技术是一种利用可再生能源，通过电化学的方式转化利用 CO₂，生产合成甲烷、醇醚燃料、烷烃柴油、航空燃油等可再生合成燃料的技术路线。电化学反应过程所涉及的三相界面、催化层、气体扩散电极和反应器等空间尺度差异较大，存在的多尺度效应及多物理场耦合作用对物质传输转化及电催化特性有重要影响。该技术促进工程热物理学科多相流热物理学领域以及电化学工程和材料工程领域的交叉融合及发展，为突破CO₂电化学还原制燃料/化学品技术关键瓶颈问题奠定理论基础。



CO₂电化学还原制燃料/化学品技术原理图

二、主要研究内容

本课题组针对CO₂电化学还原制燃料/化学品技术，由局部到整体开展实验与理论相结合的研究工作。研究了三相界面CO₂/H⁺传输机理及其对竞争性反应影响规律，明晰了催化层异质结构内传质反应机理及产物碳氢比定向调控，阐明了多级有序孔隙气体扩散电极气液两相输运机制及性能强化，发展了含有电化学反应的气体扩散电极两相流动能质传输理论模型，明确了反应器内多物理场分布和电化学特性以及产物碳氢比调控方法，获得了反应器热-质-电多场耦合传输机理与高效协同调控策略。

三、主要研究进展

1. 界面反应-体相传质跨尺度模拟研究

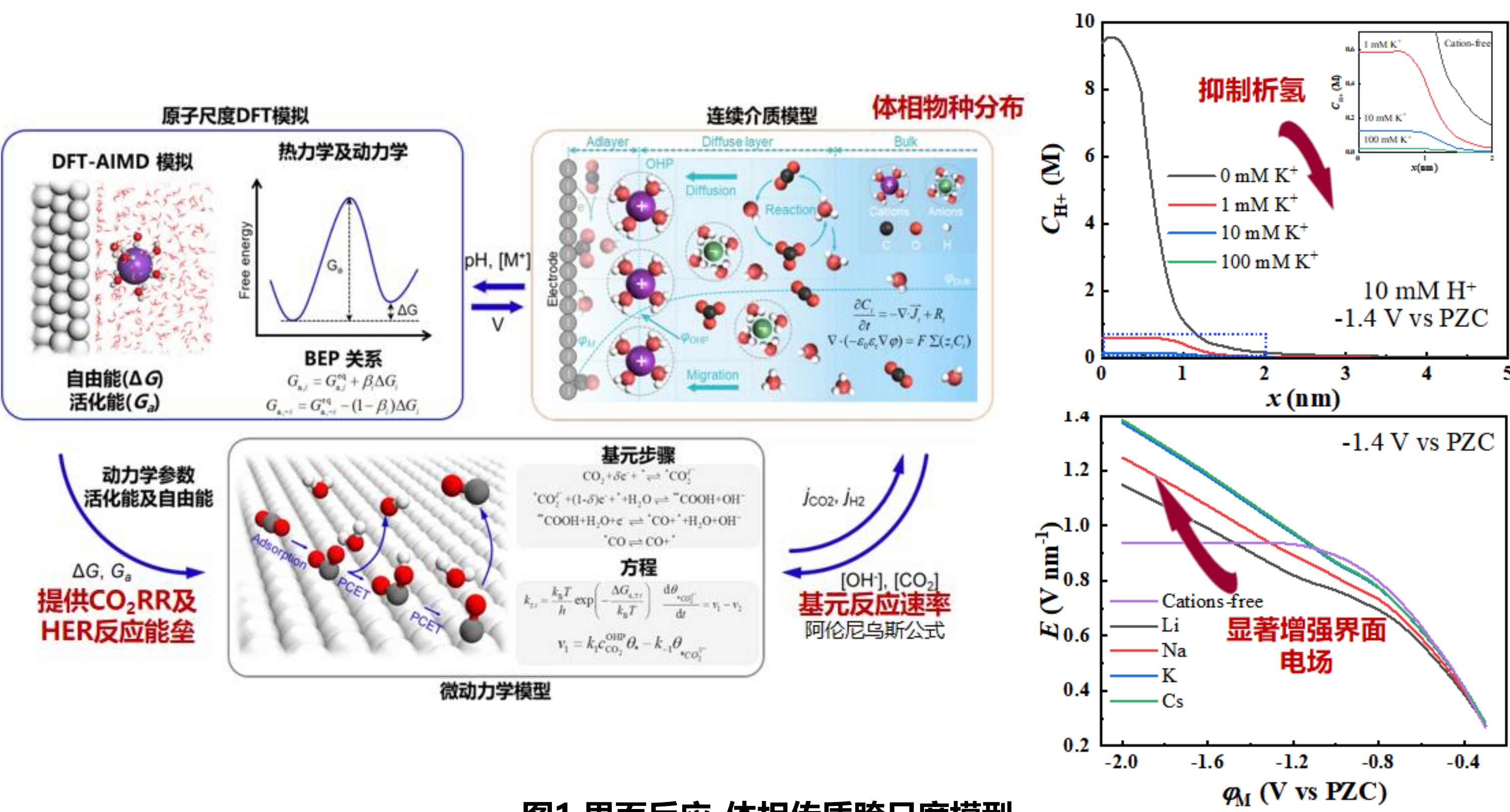


图1 界面反应-体相传质跨尺度模型

耦合AIMD、微动力学与能斯特普朗克泊松模型，构建了界面反应-体相传质跨尺度模型，揭示了碱金属阳离子诱导界面电场的作用机制

2. 气体扩散电极构建及其能质传输特性研究

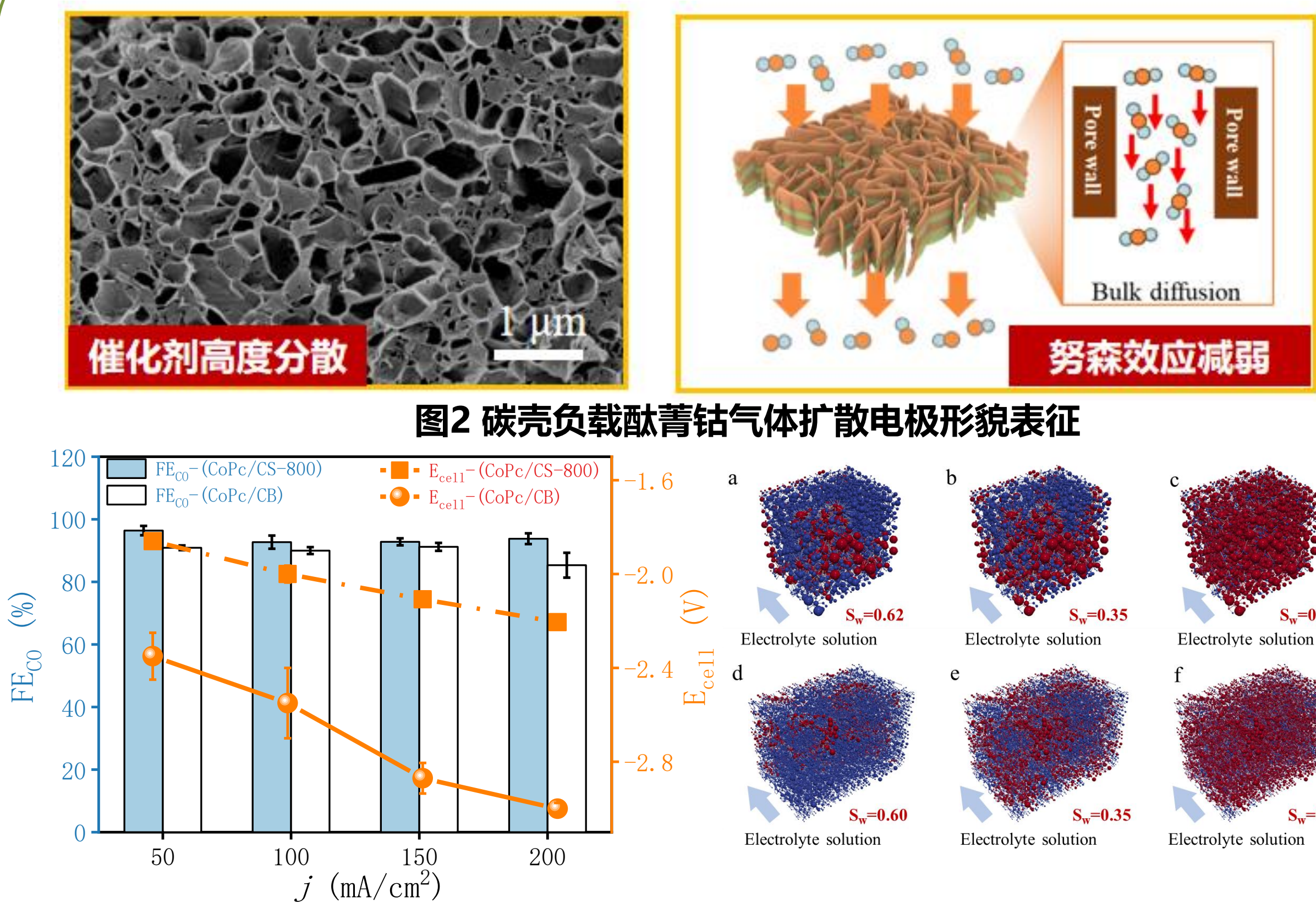


图2 碳壳负载酞菁钴气体扩散电极形貌表征

图3 电化学性能测试

图4 孔隙网络模拟结果：不同饱和度下的相分布

碳壳负载气体扩散电极FE_{CO}高、槽电压低、能量效率高，表明大孔径、高孔隙率GDE结构利于促进CO₂传输，提升了电催化活性

3. MEA反应器系统工况参数对电化学性能影响及仿真优化策略

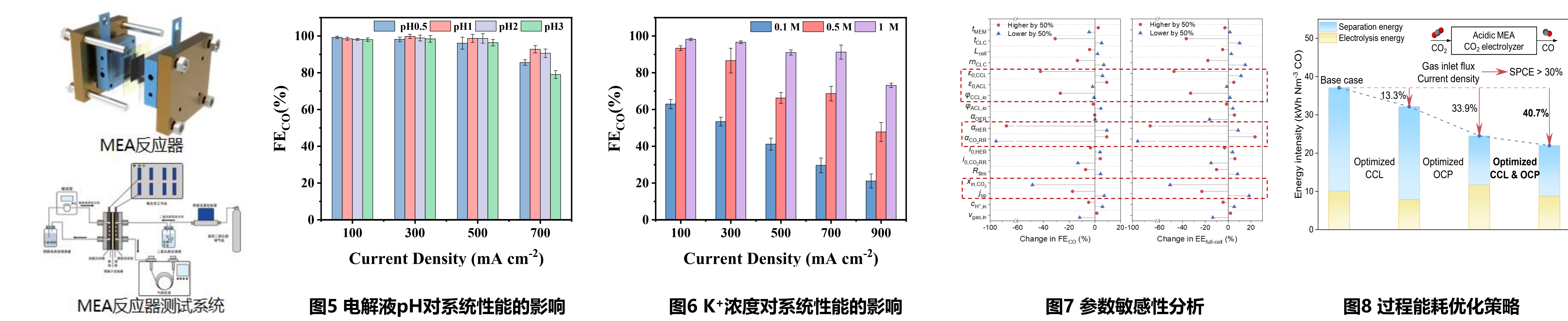


图5 电解质pH对系统性能的影响

图6 K⁺浓度对系统性能的影响

图7 参数敏感性分析

图8 过程能耗优化策略

酸性MEA反应器中FE_{CO}随pH变化呈火山曲线，在pH1拥有最高分电流密度，高K⁺浓度促进阳离子效应并抑制HER；通过敏感性分析确定了酸性体系电化学性能关键影响参数，并提出了过程能耗优化策略

4. 百吨级/年CO₂富集与电解制合成气一体化示范装置与系统



图9 电解短堆

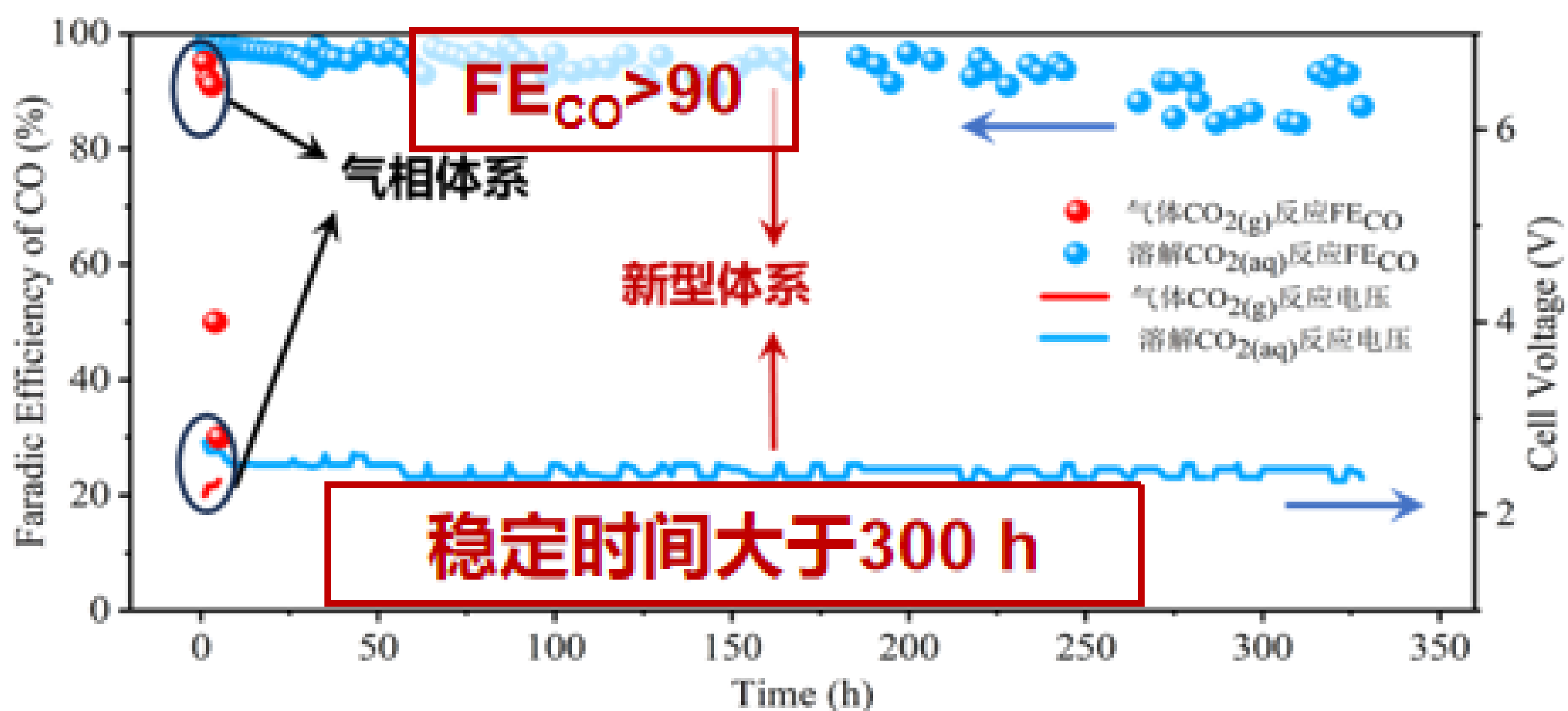
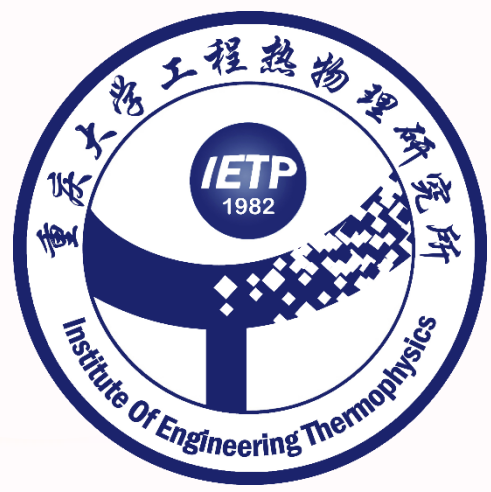


图10 电解短堆性能图



图11 首台套百千瓦级电解堆及示范工程

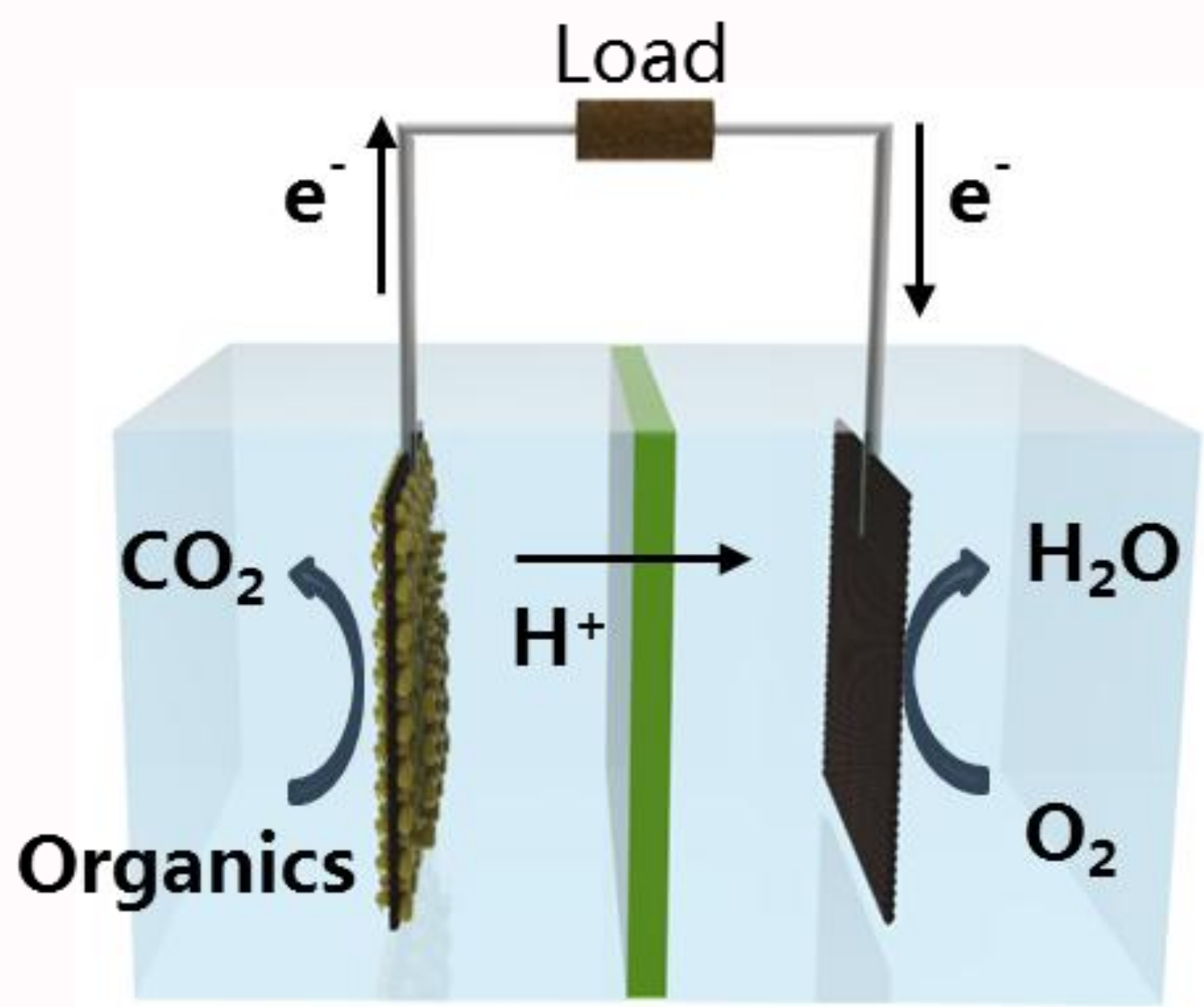
Welcome to CQU



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和方向，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

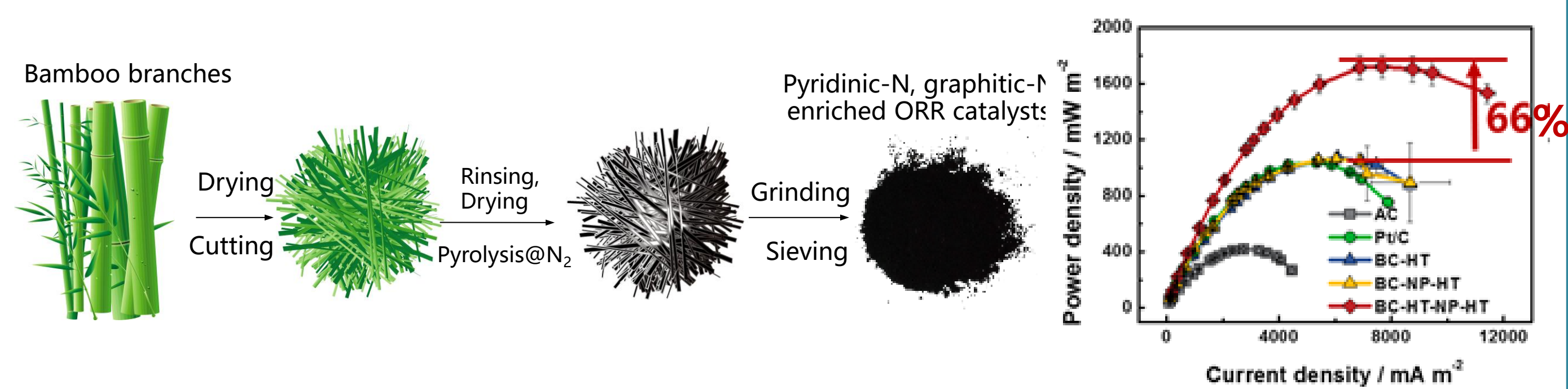


图1 竹炭还原催化剂的制备及性能测试

吡啶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

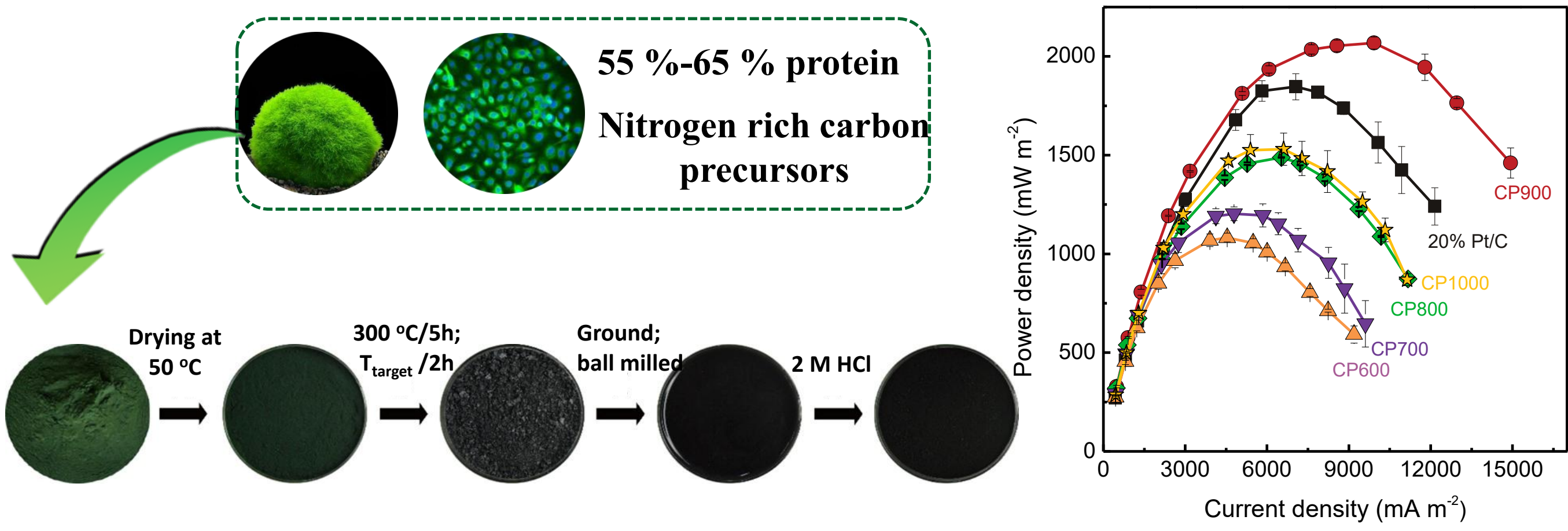


图2 蛋白核小球藻热处理制备MFC阴极催化剂

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

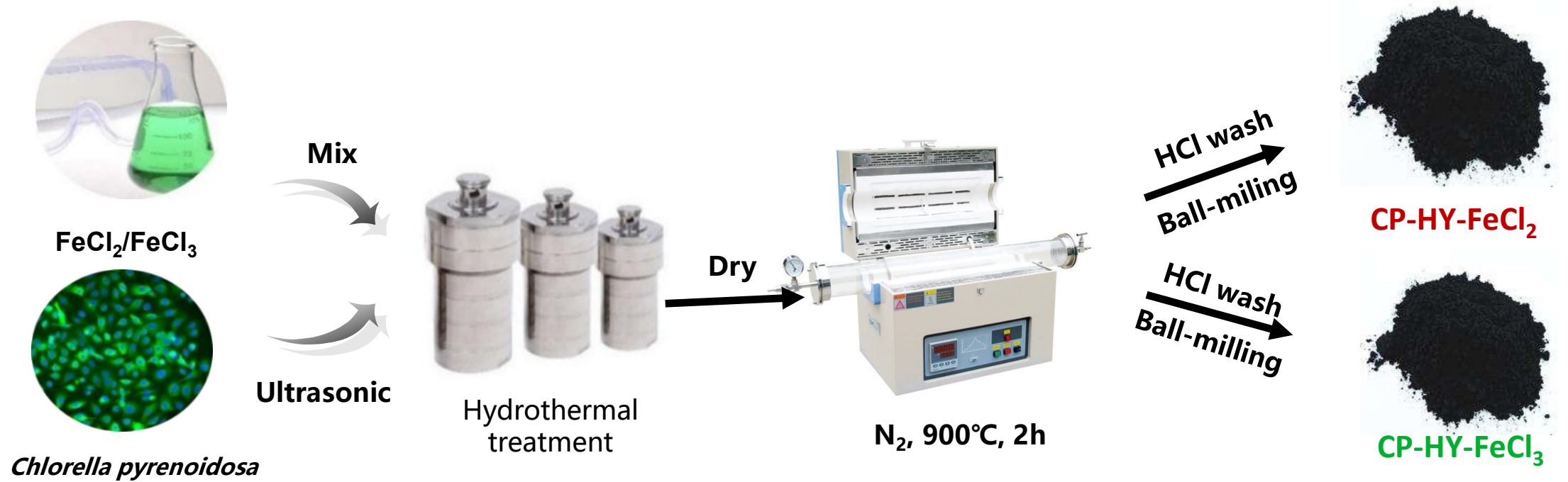


图4 催化剂合成流程图

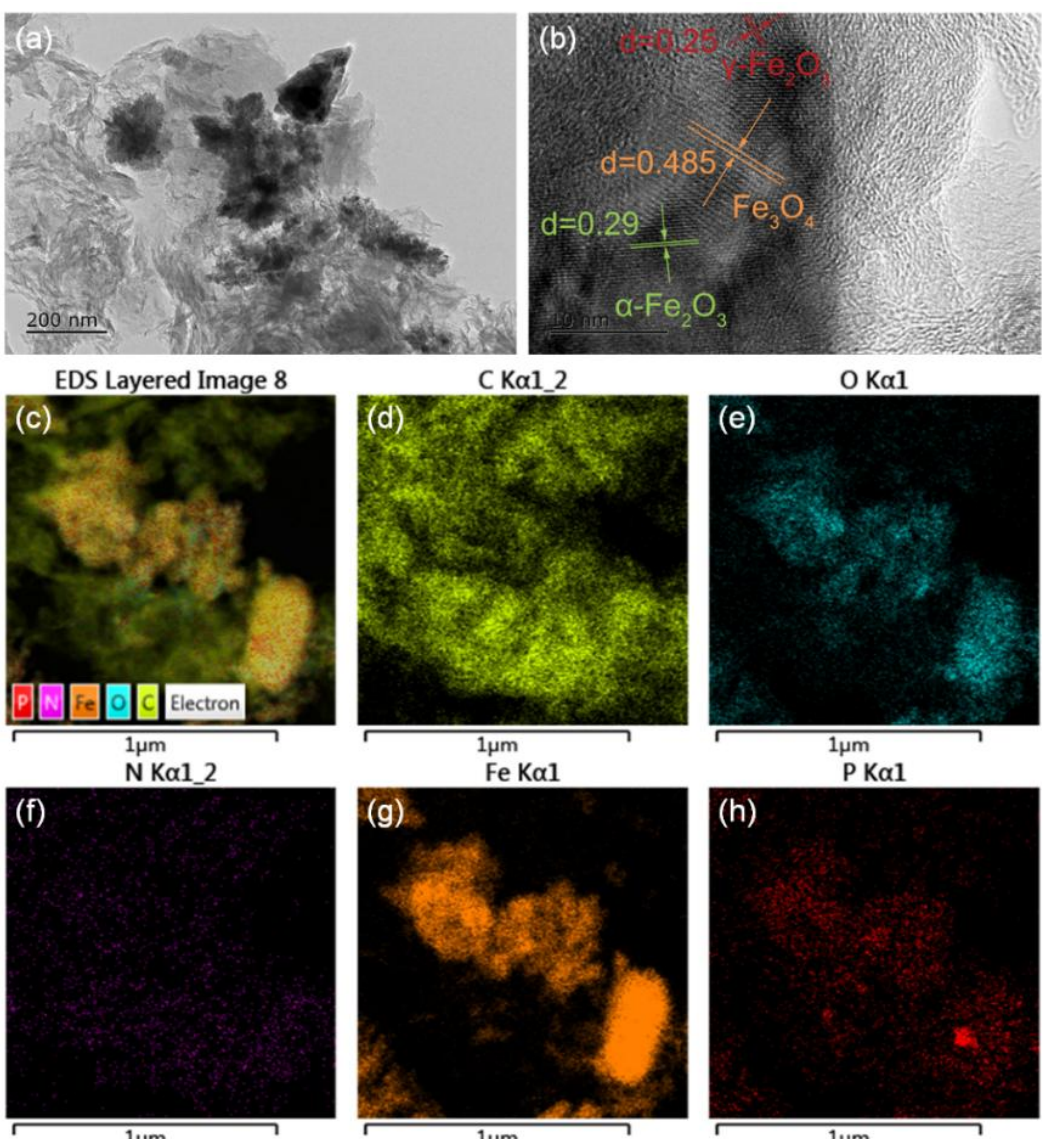


图5 TEM高分辨形貌和电子能谱

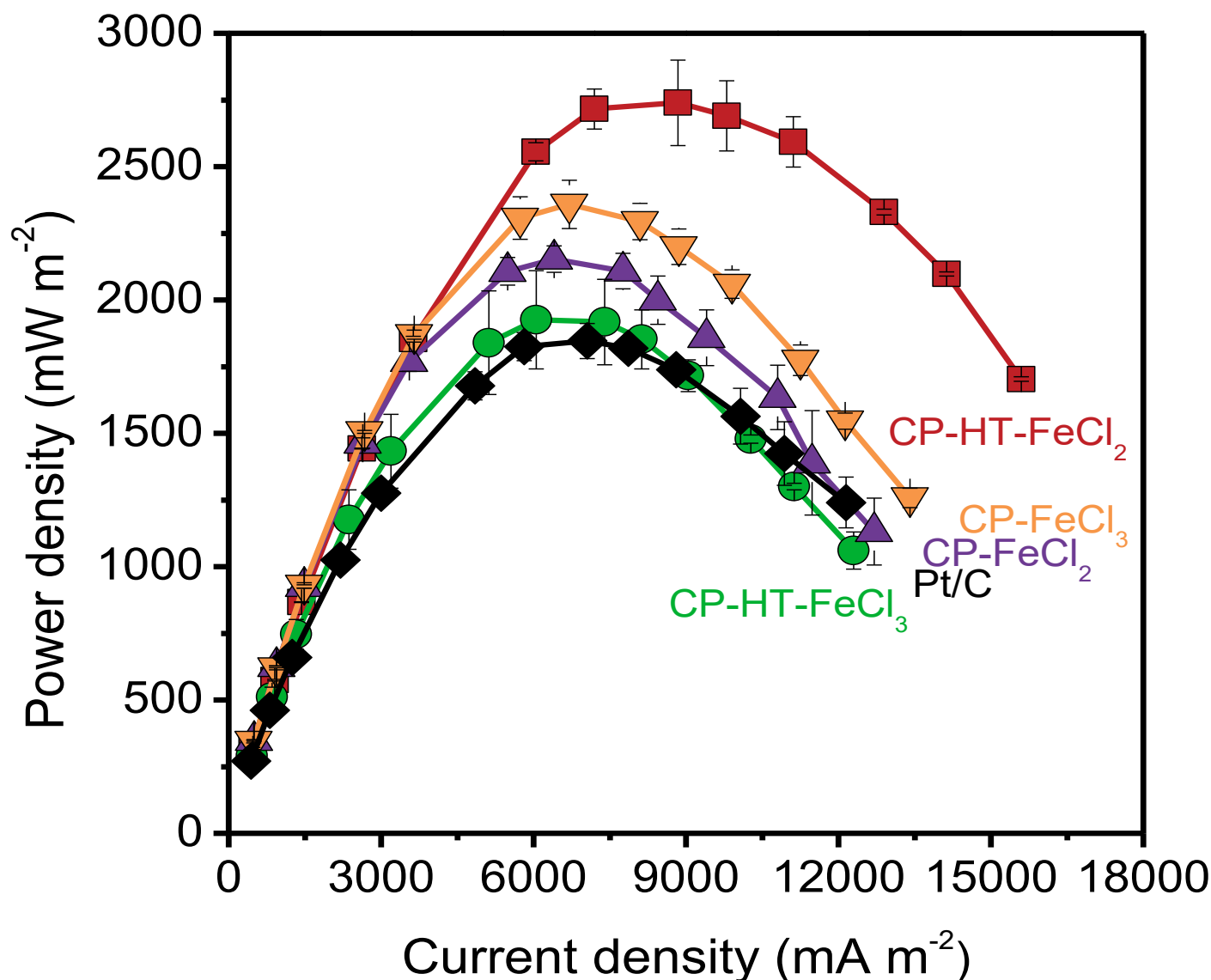


图6 电池性能特性

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

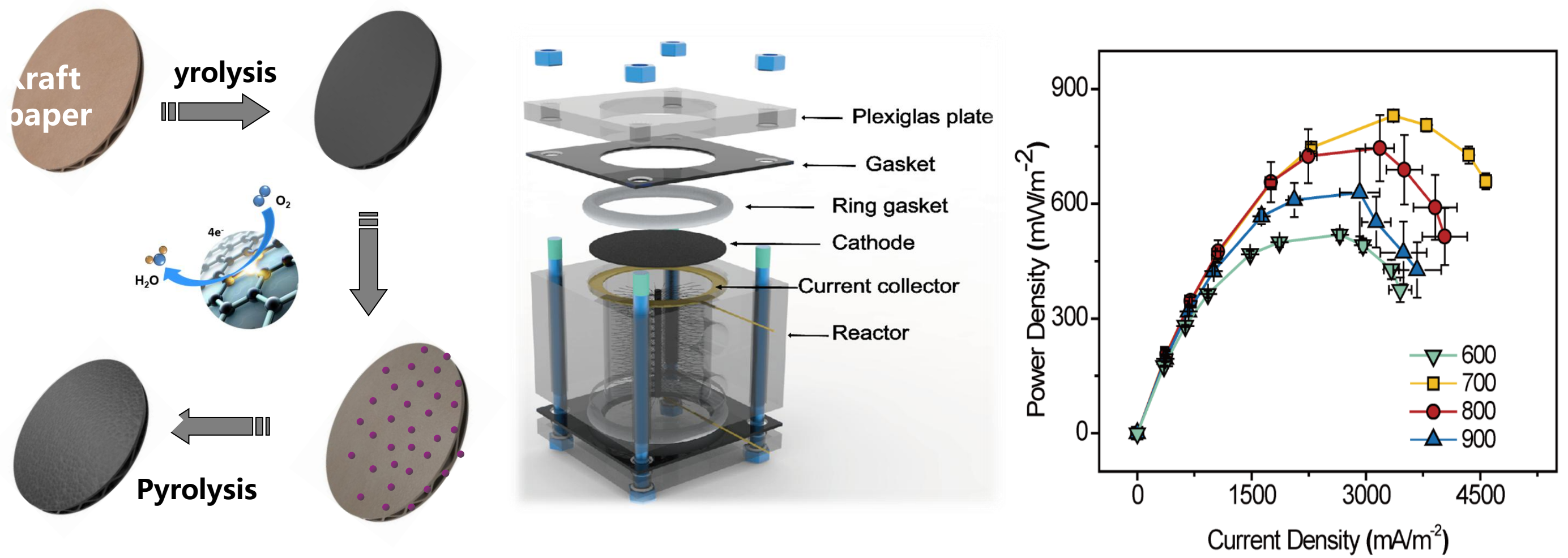


图7 纸基阴极合成图

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

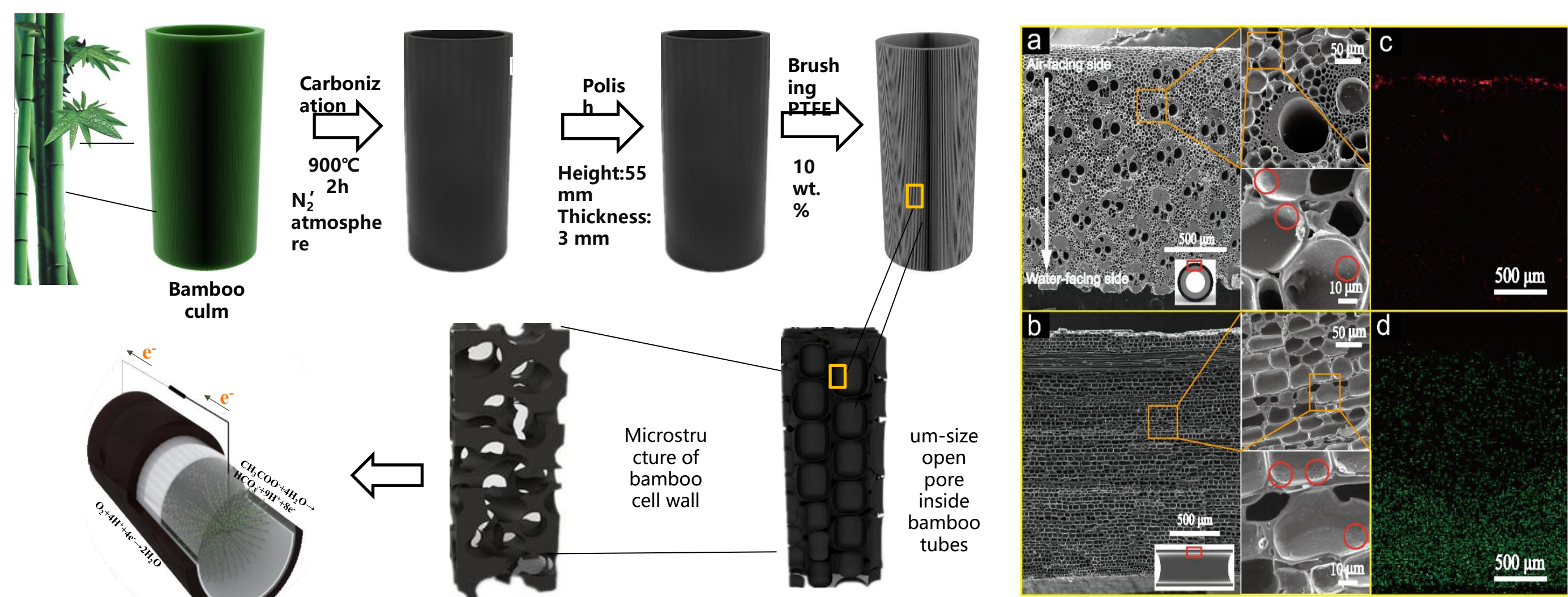


图10 竹炭管阴极合成示意图

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

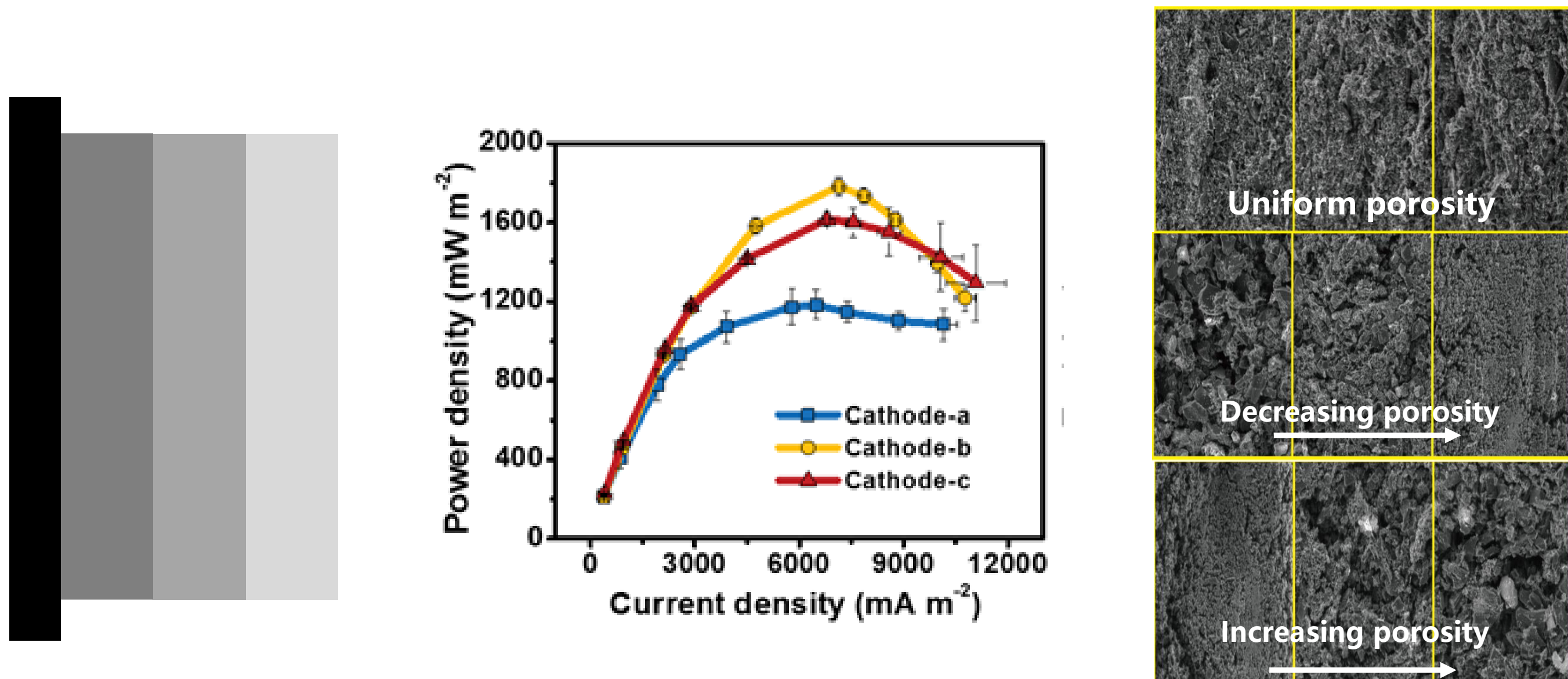


图12 梯度孔结构示意图

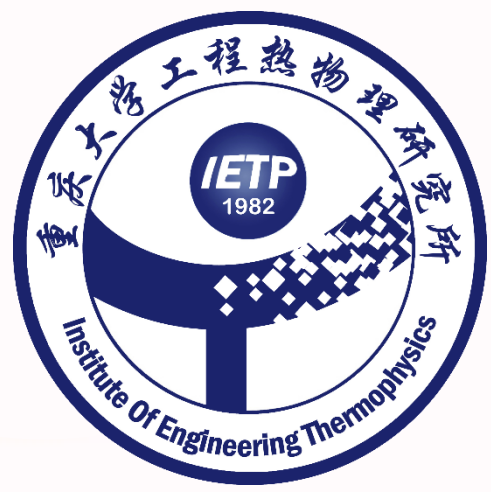
图13 梯度孔空气阴极MFC电池性能

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

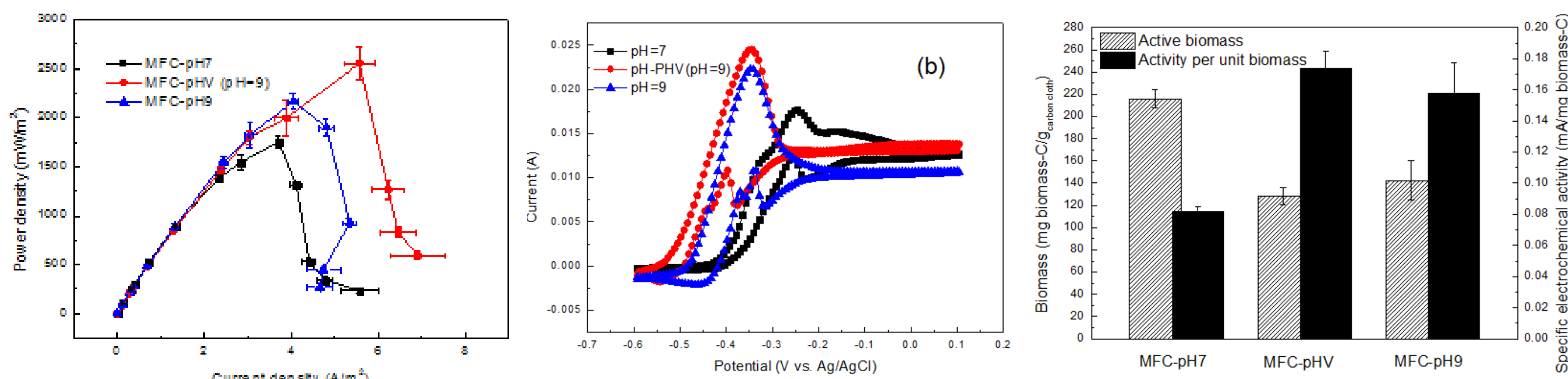


图1 不同pH下MFC性能

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

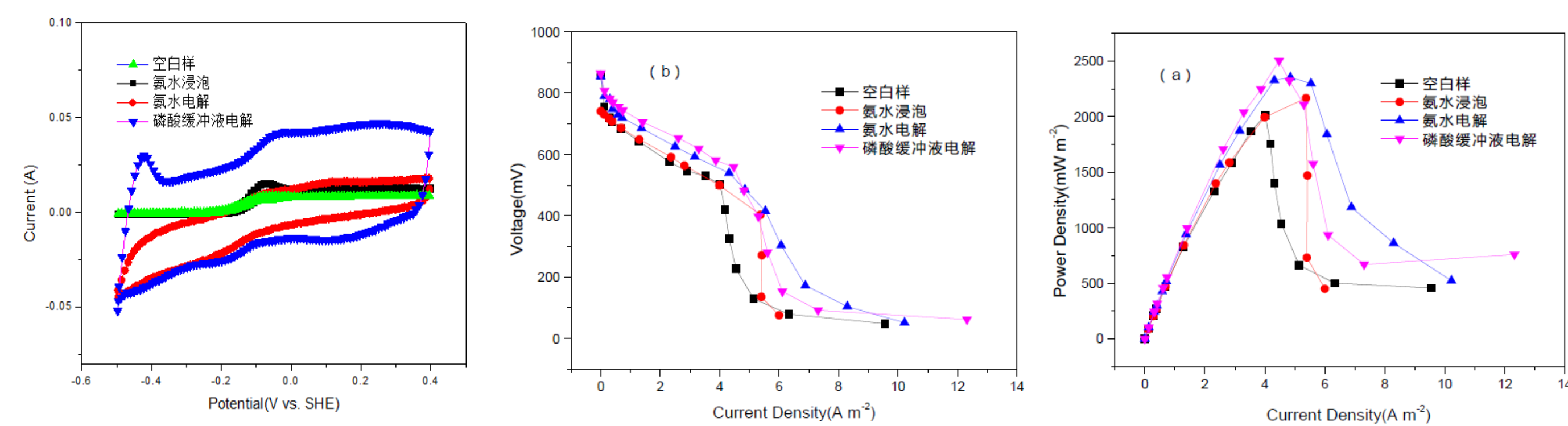


图4 不同表面处理方式电极电化学测试

通过在中性电解质中对电极进行电解从而对电极进行改性，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

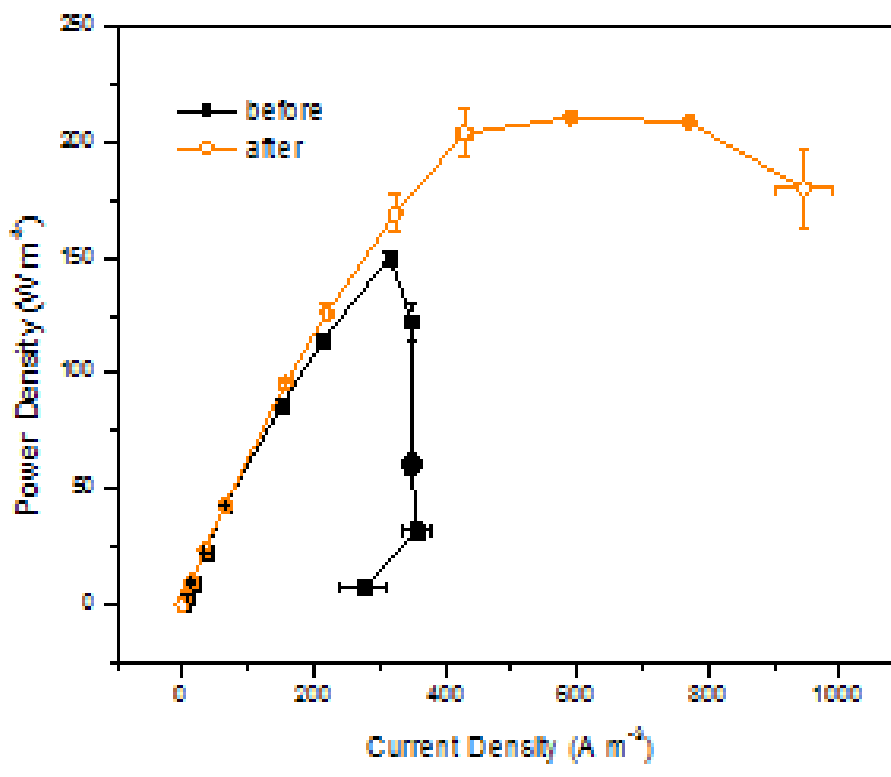
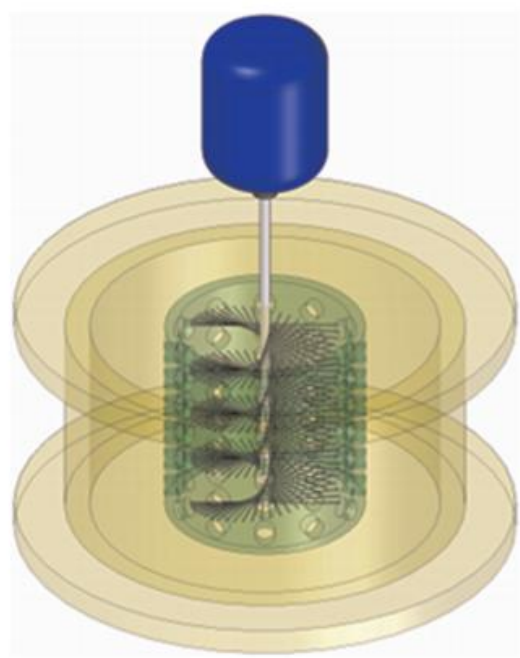


图5 旋转阳极MFC结构示意图

图6 旋转阳极MFC电池性能

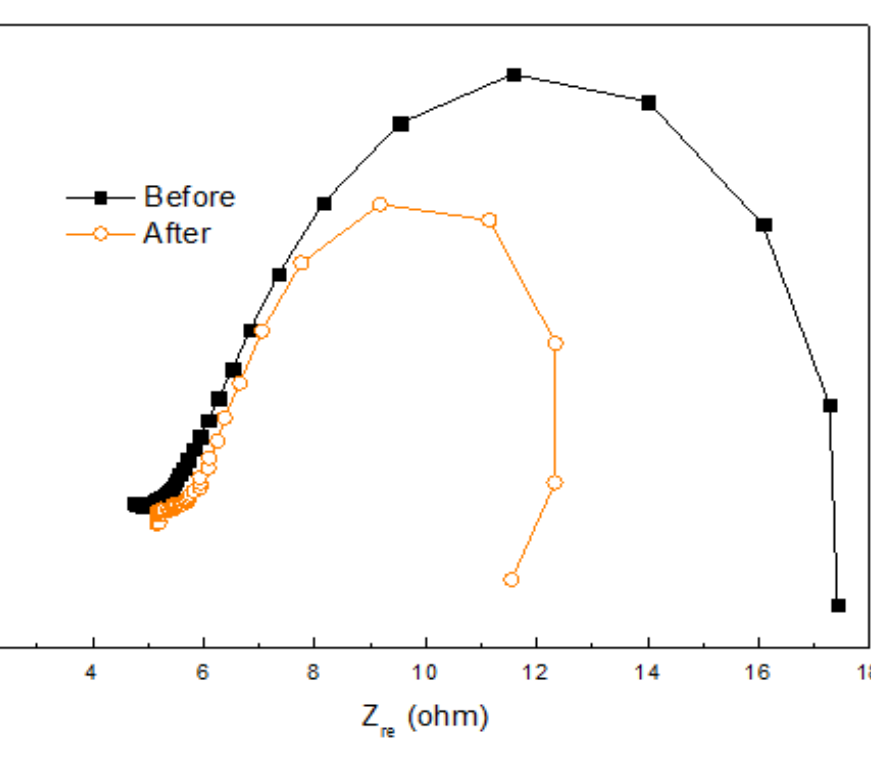


图7 旋转阳极MFC阻抗分析

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

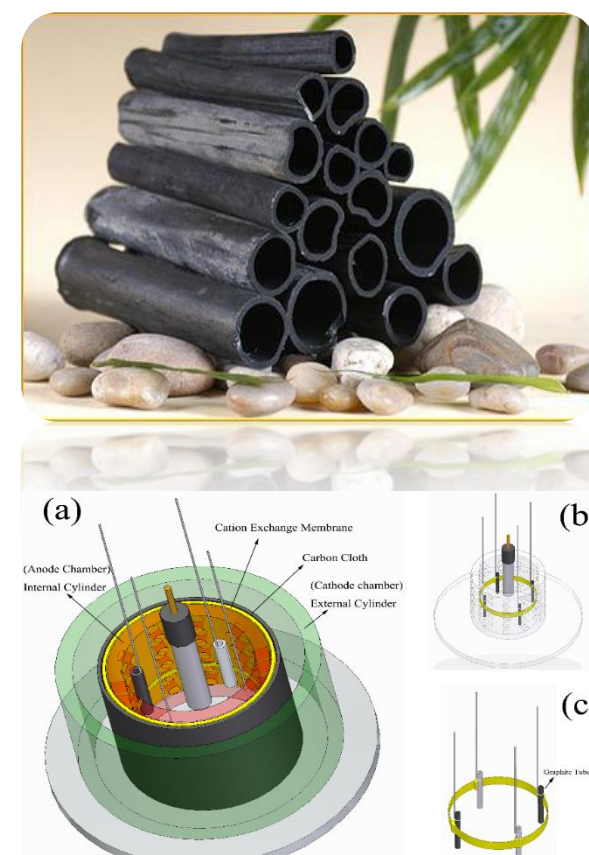


图8 竹炭管阳极MFC

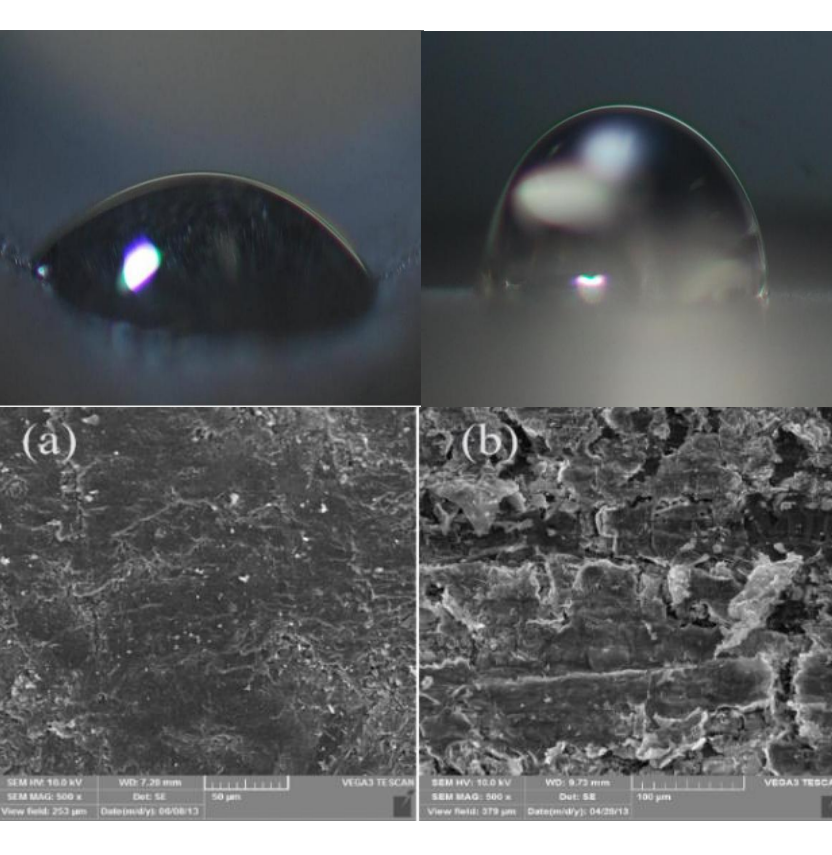


图9 竹炭及石墨电极亲疏水性及表面生物膜

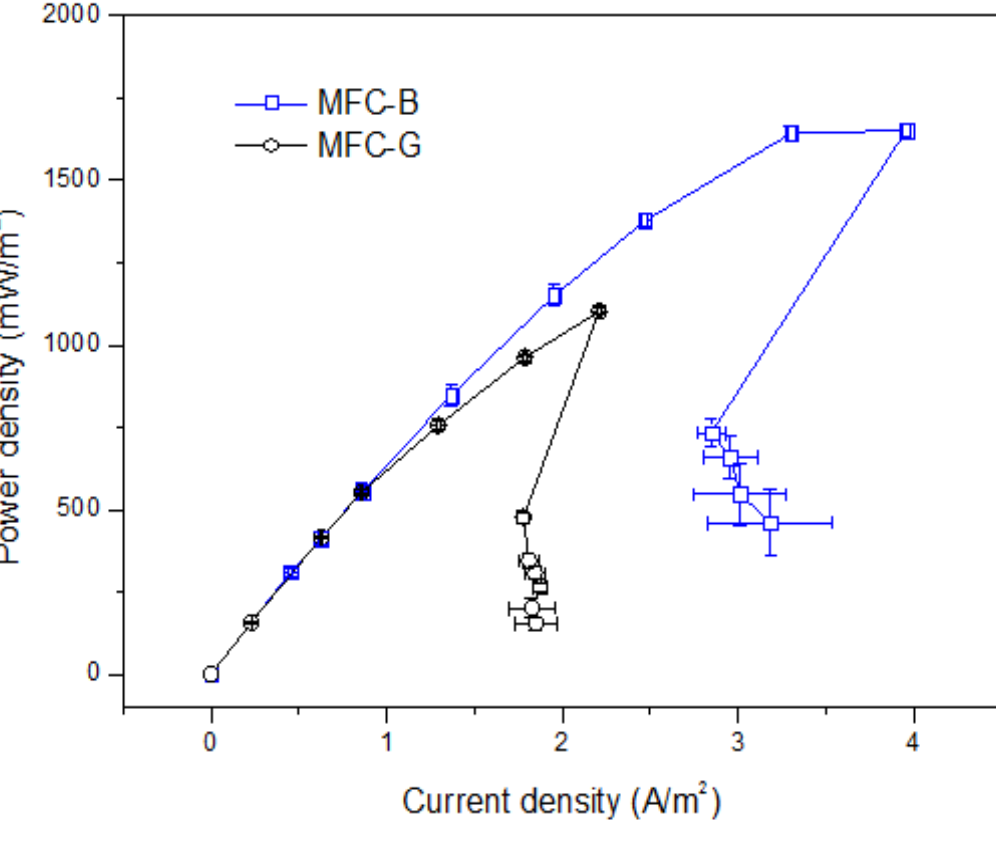


图10 竹炭管阳极和石墨电极性能对比

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

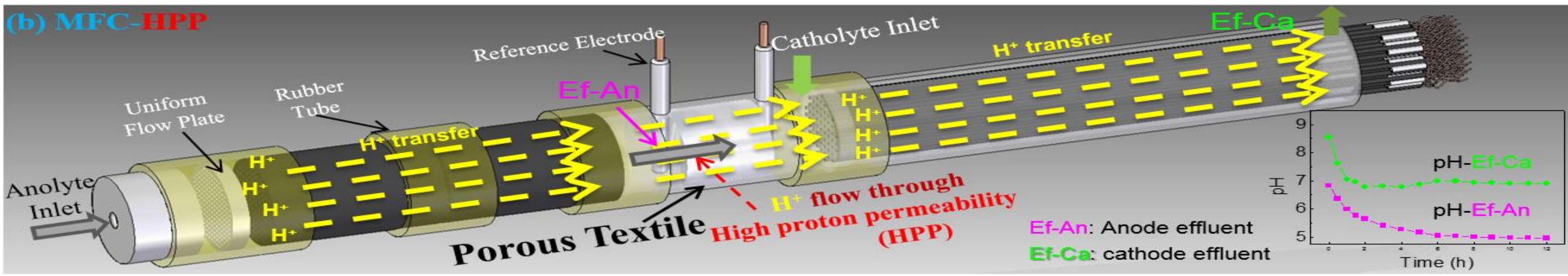


图11 直通型结构MFC示意图

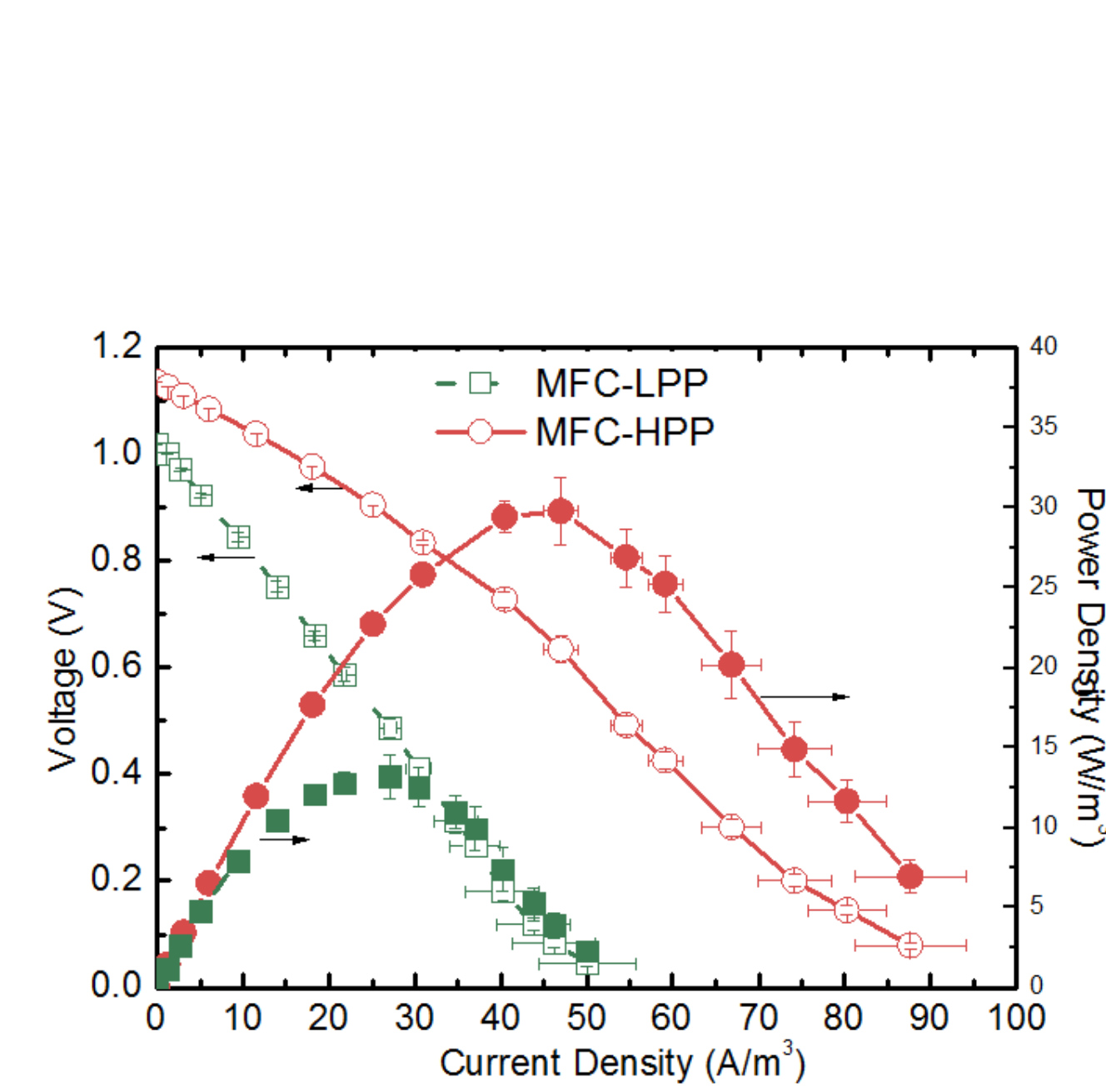


图12 直通型MFC性能曲线和放电曲线

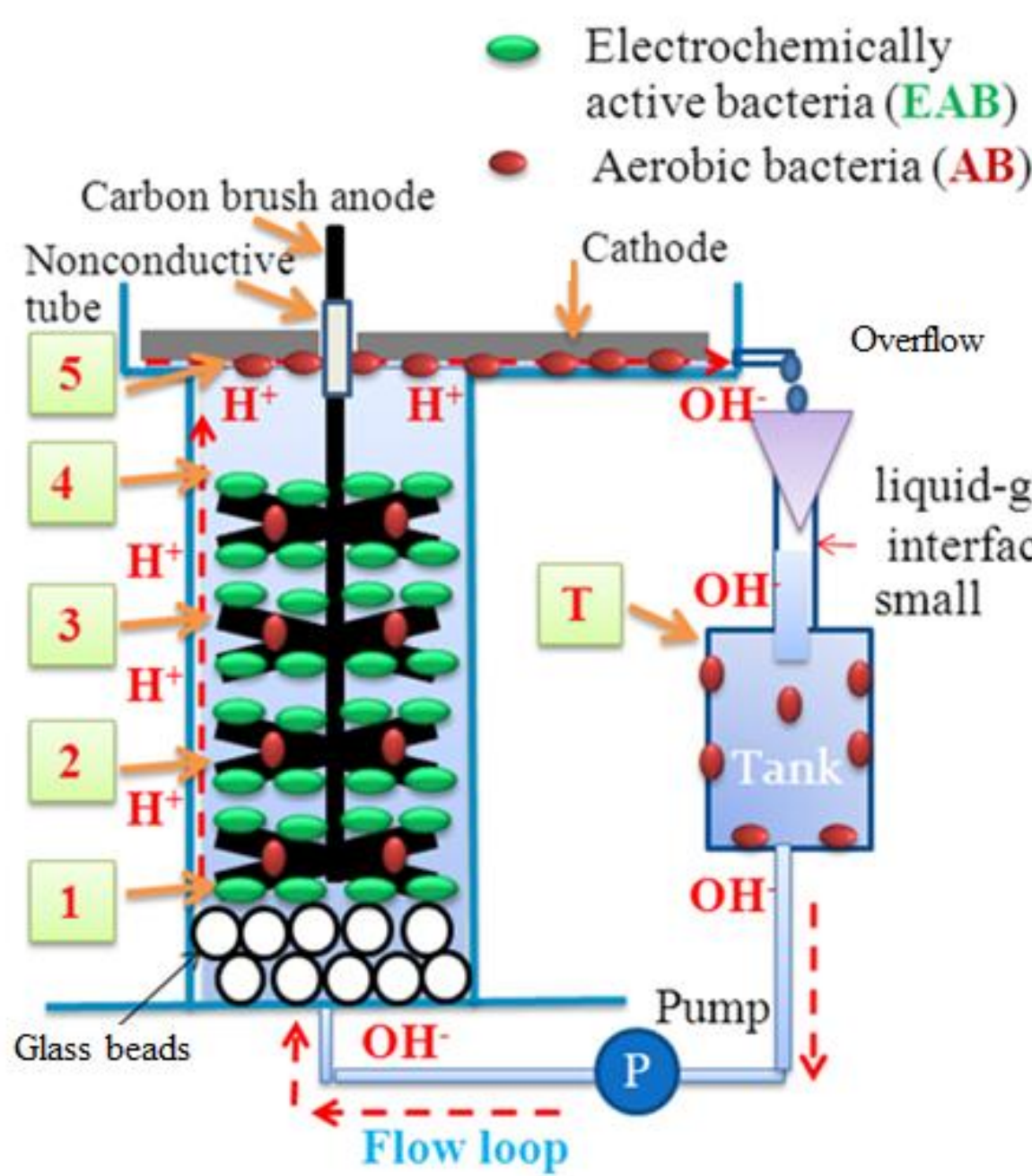


图13 循环流MFC示意图

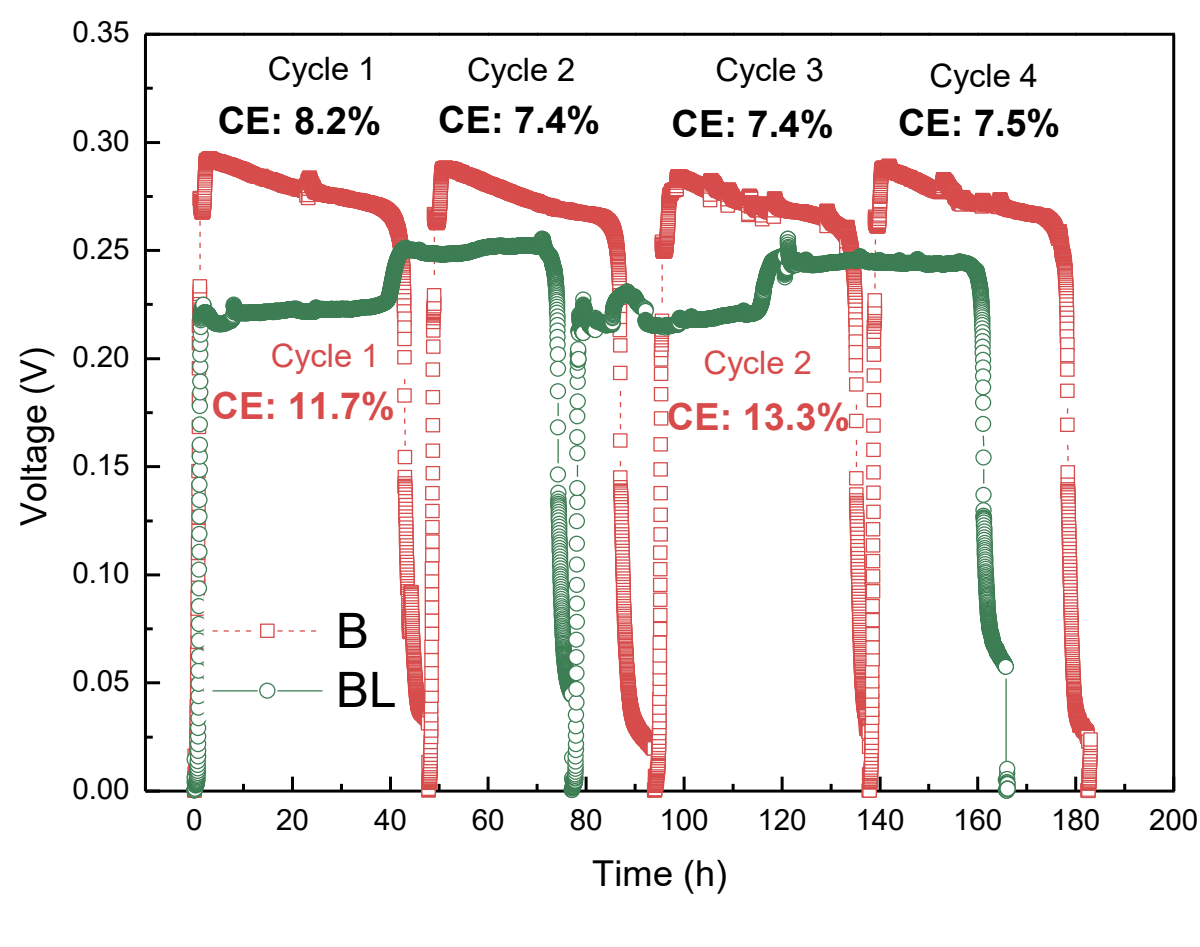


图14 循环流MFC性能曲线和放电曲线

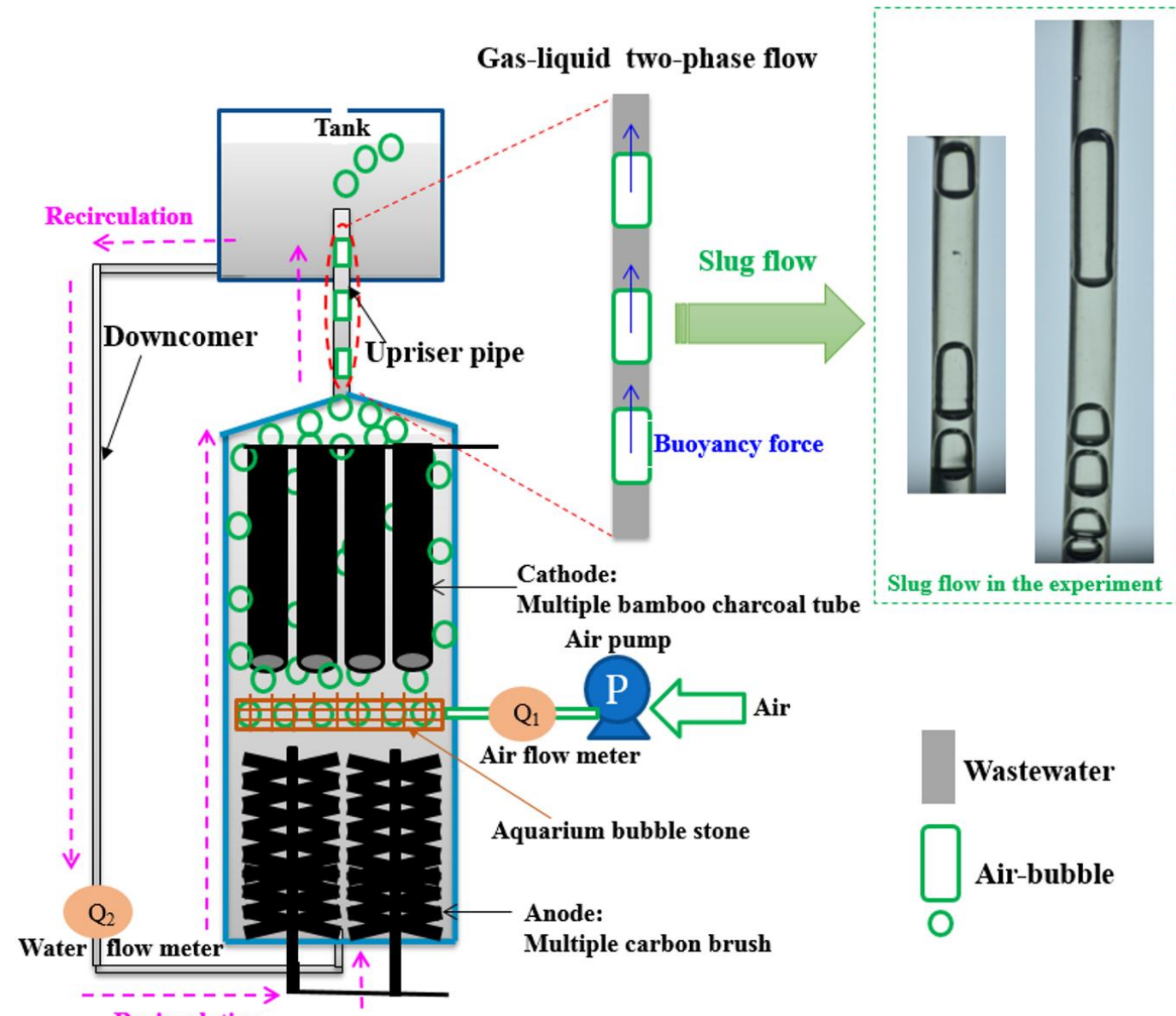


图15 电解液自循环MFC示意图

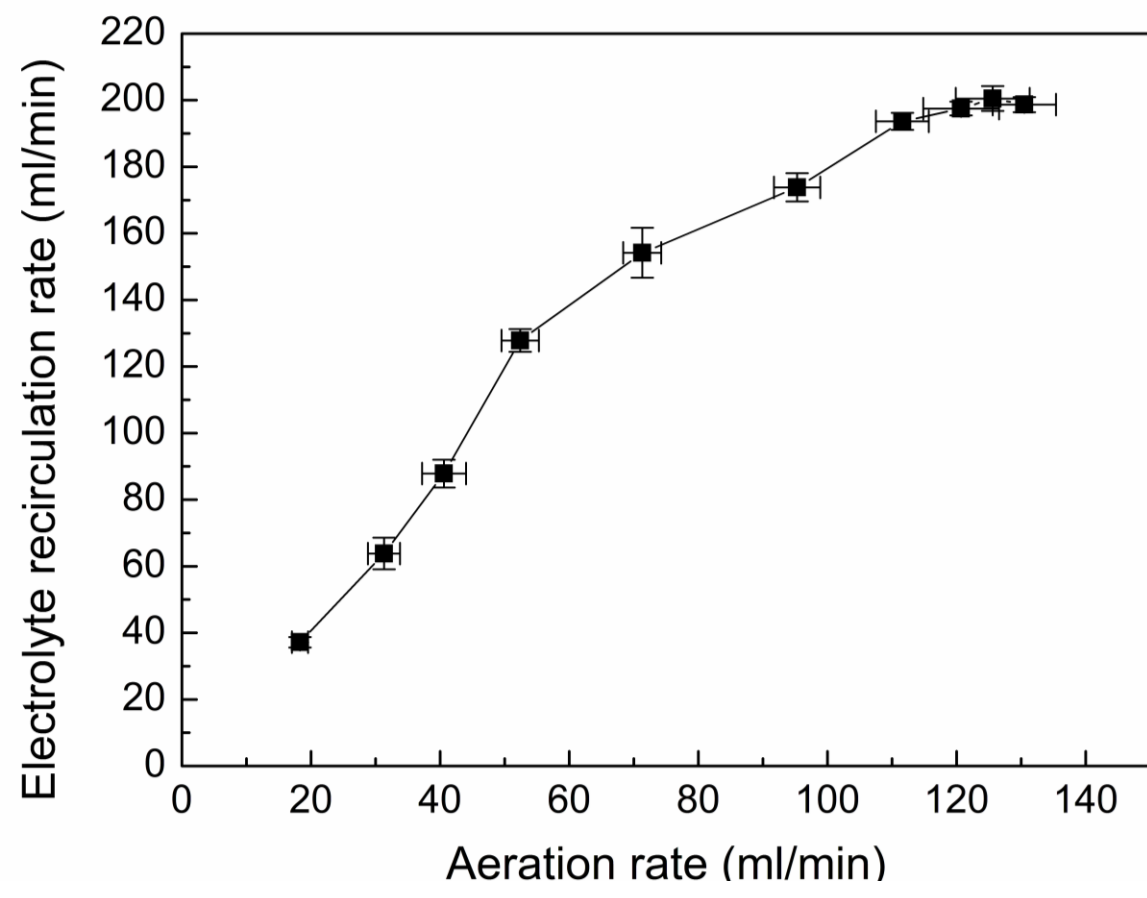


图16 空气流量与电解液自循环流量的关系

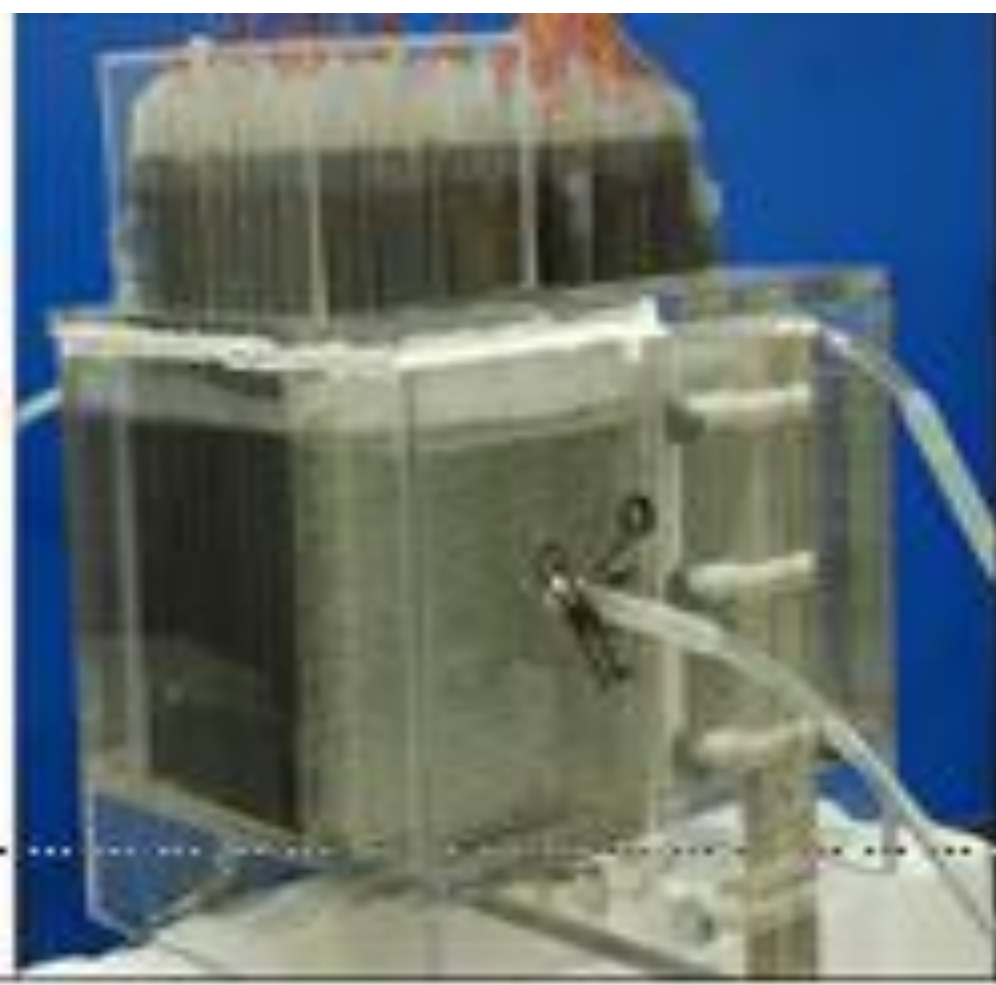


图17 Liter-scale MFC实物图

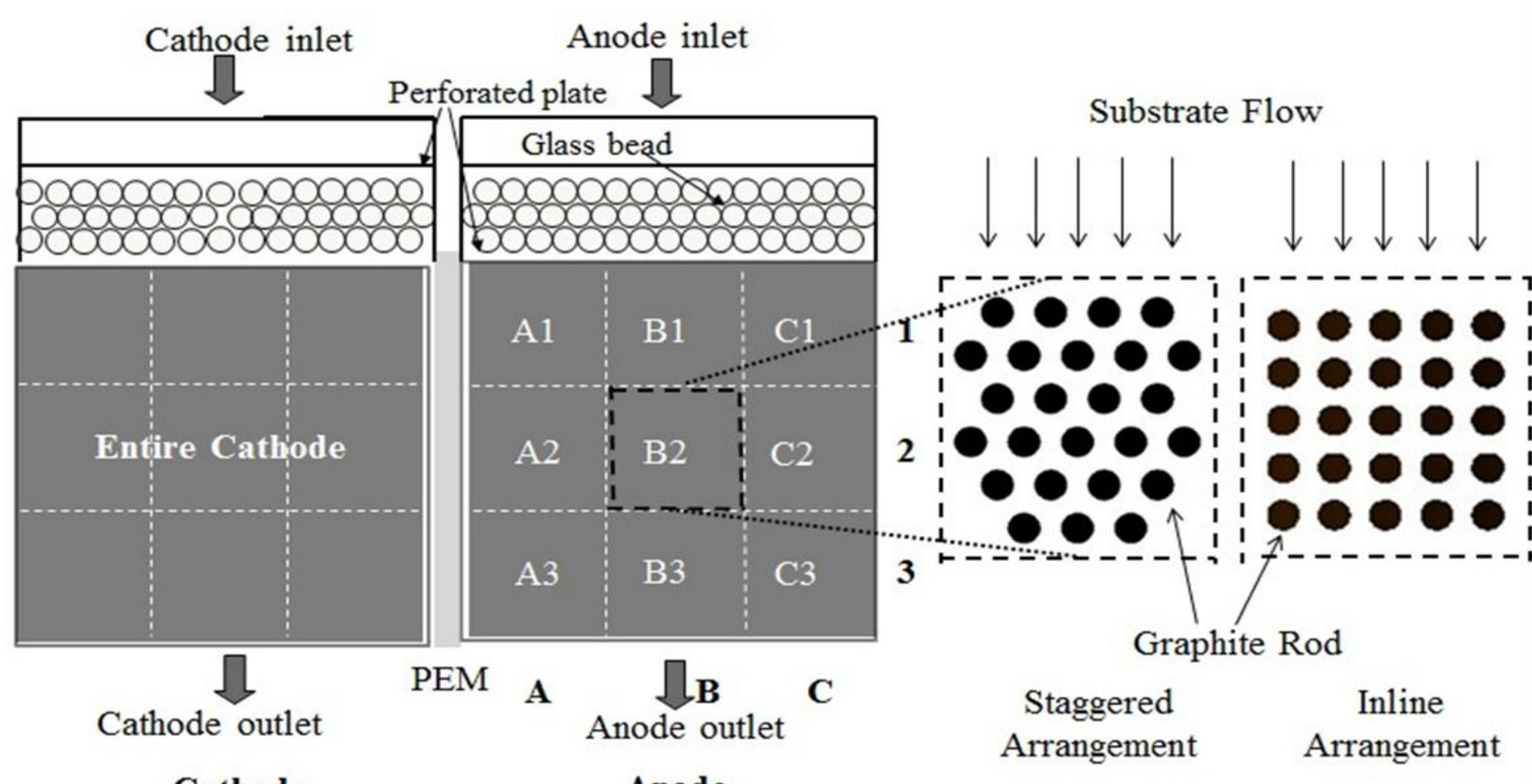


图18 阵列电极不同排列方式示意图

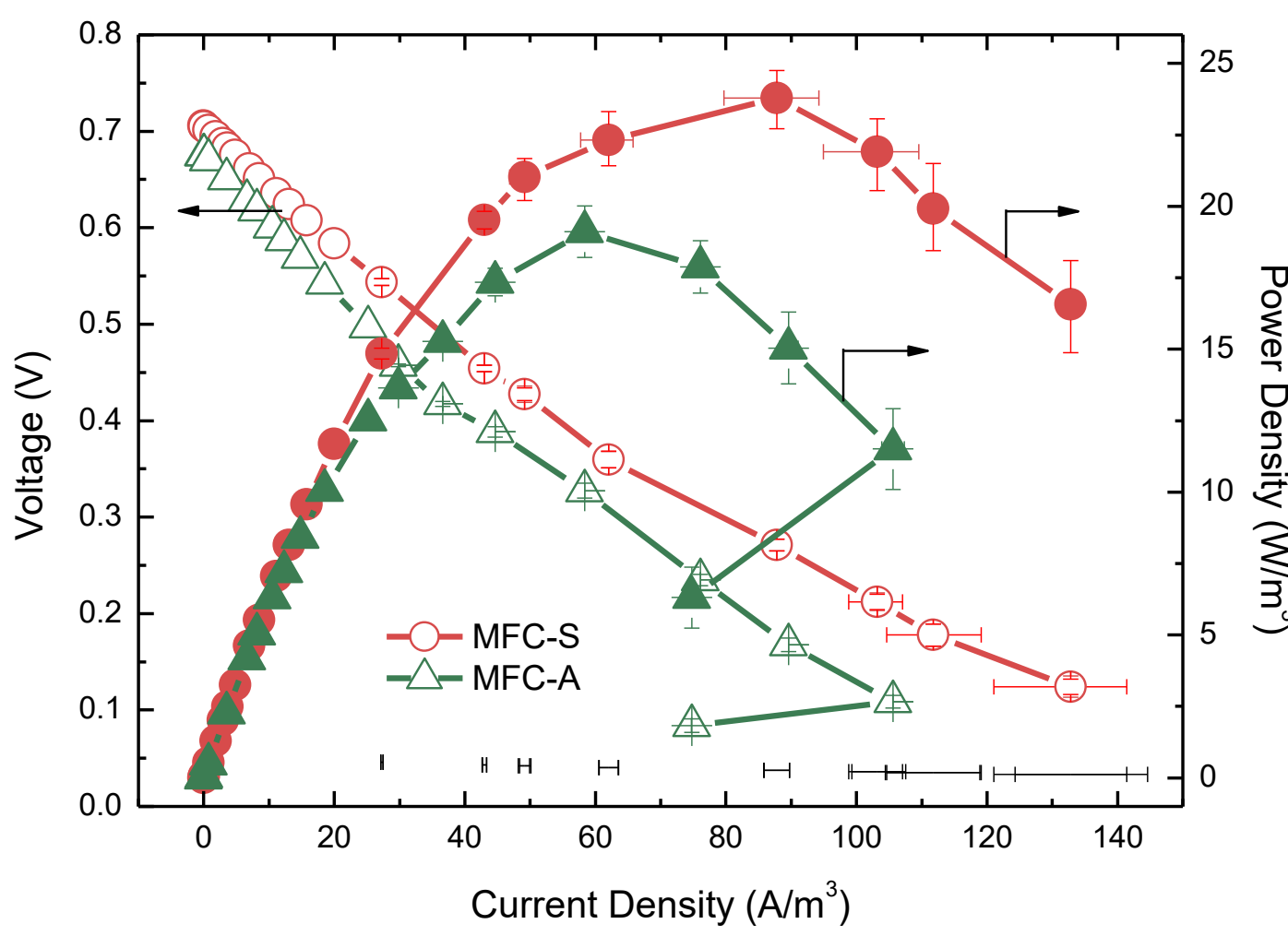
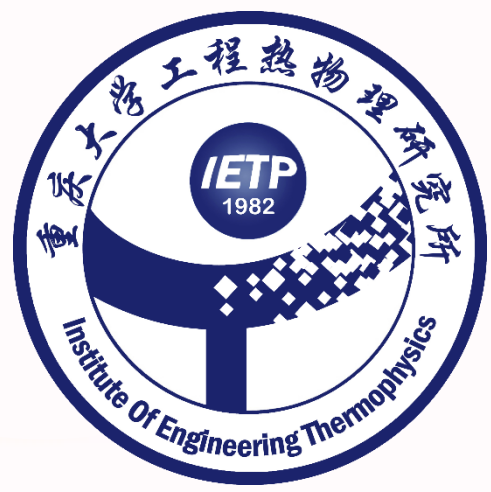


图19 电极排列方式对电池性能的影响



Welcome to CQUET



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

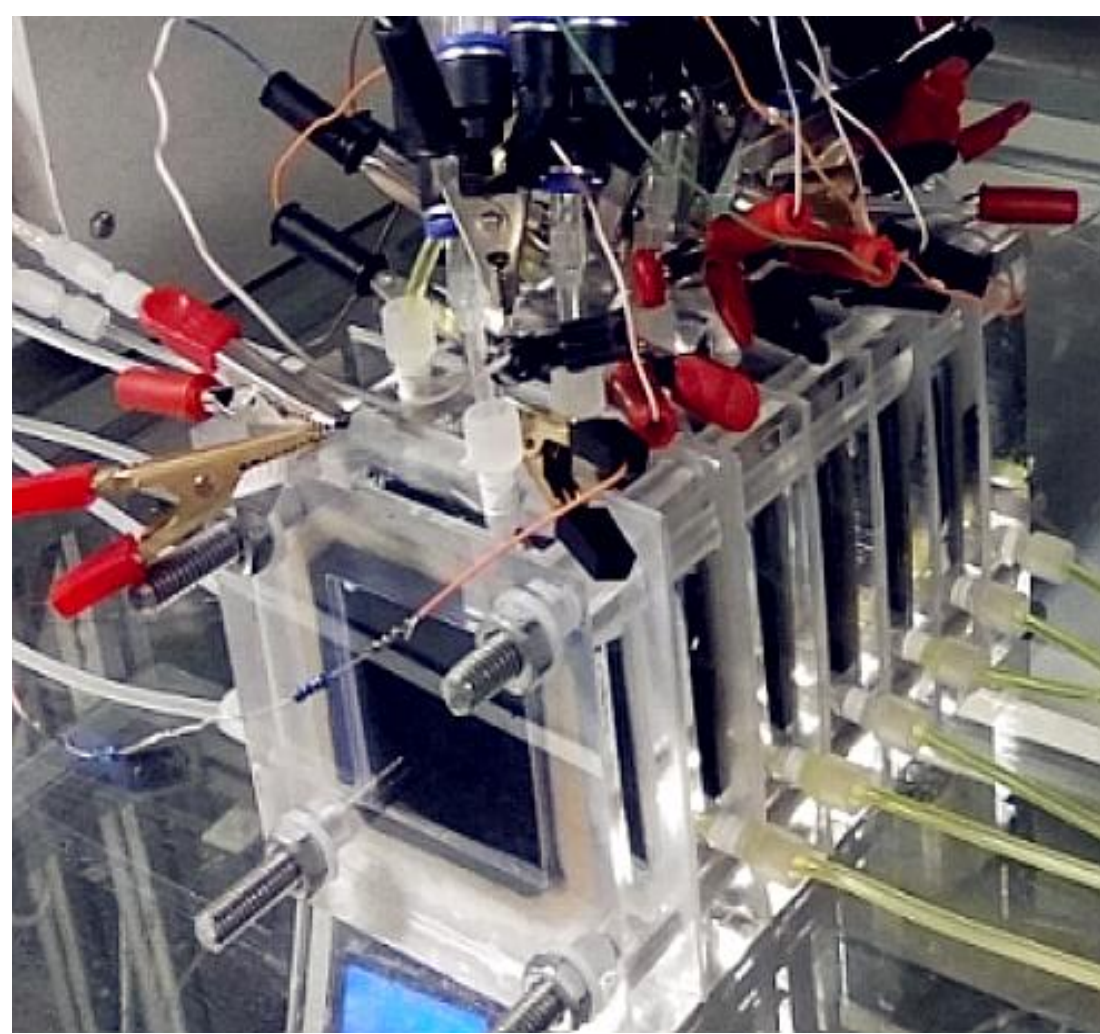


图1 MFC电堆实物图

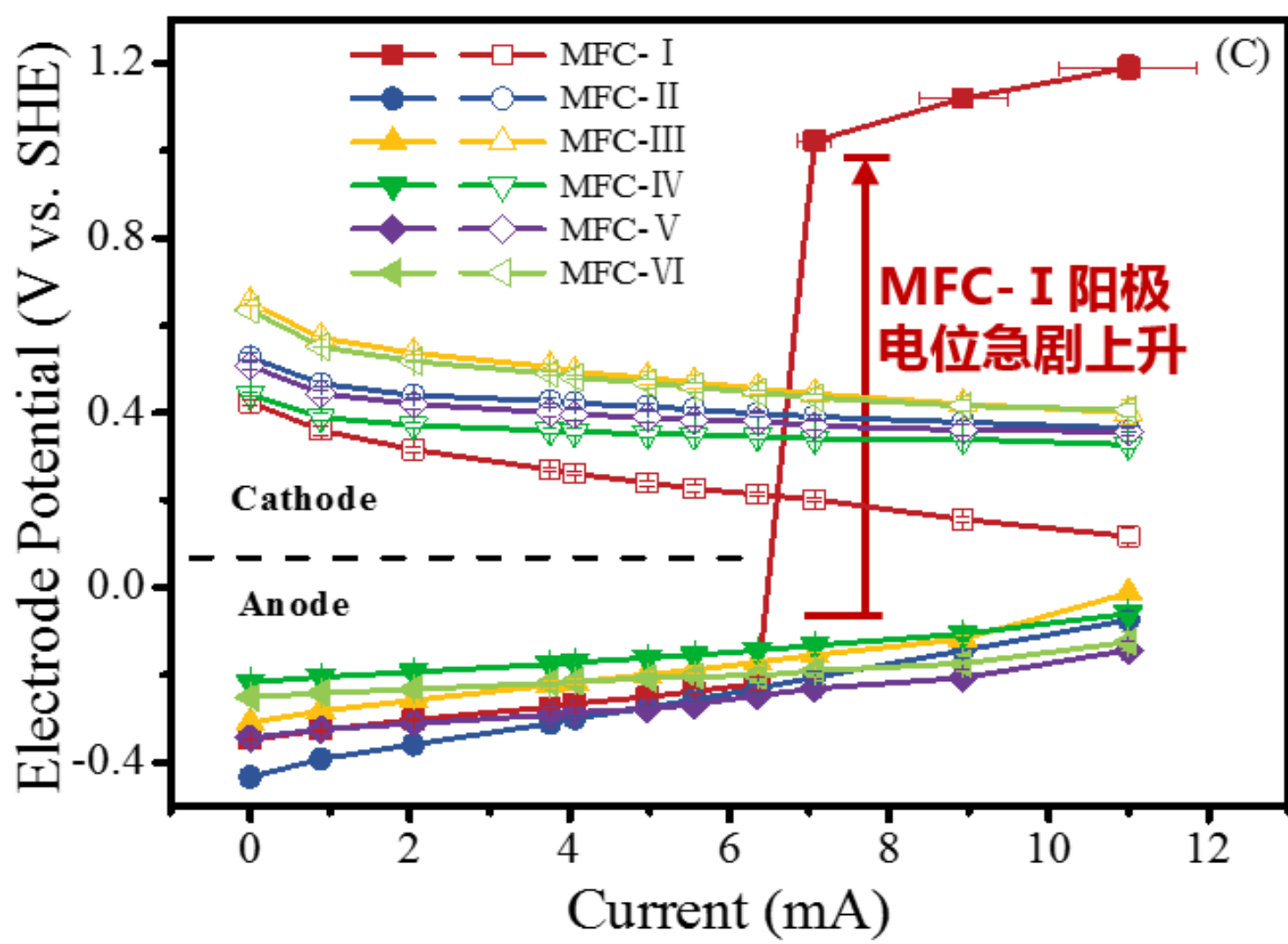


图2 MFC串联电堆单电池阴阳极极化曲线

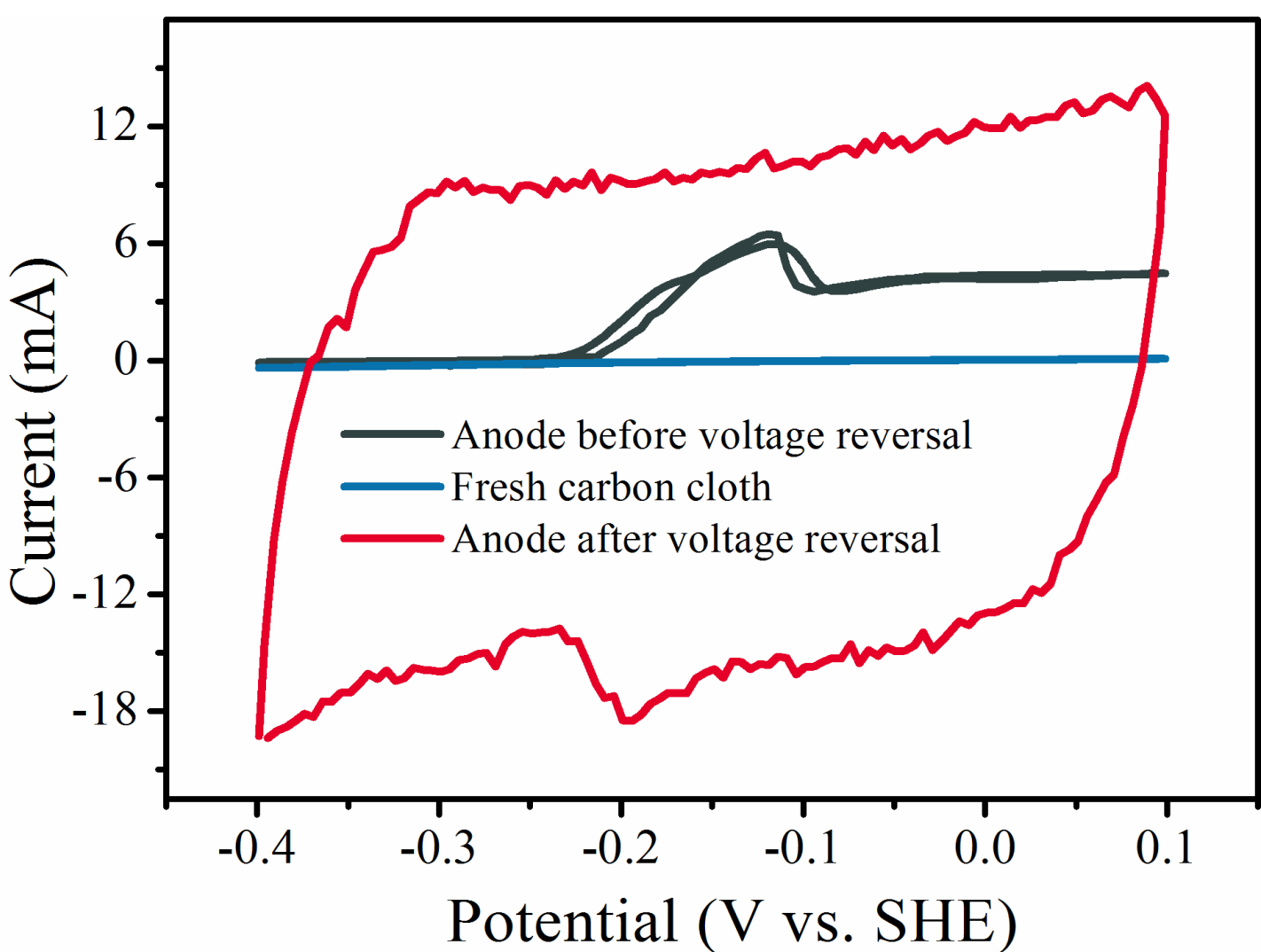


图3 反极电池阳极CV由典型的氧化还原峰变为双电层充放电状态

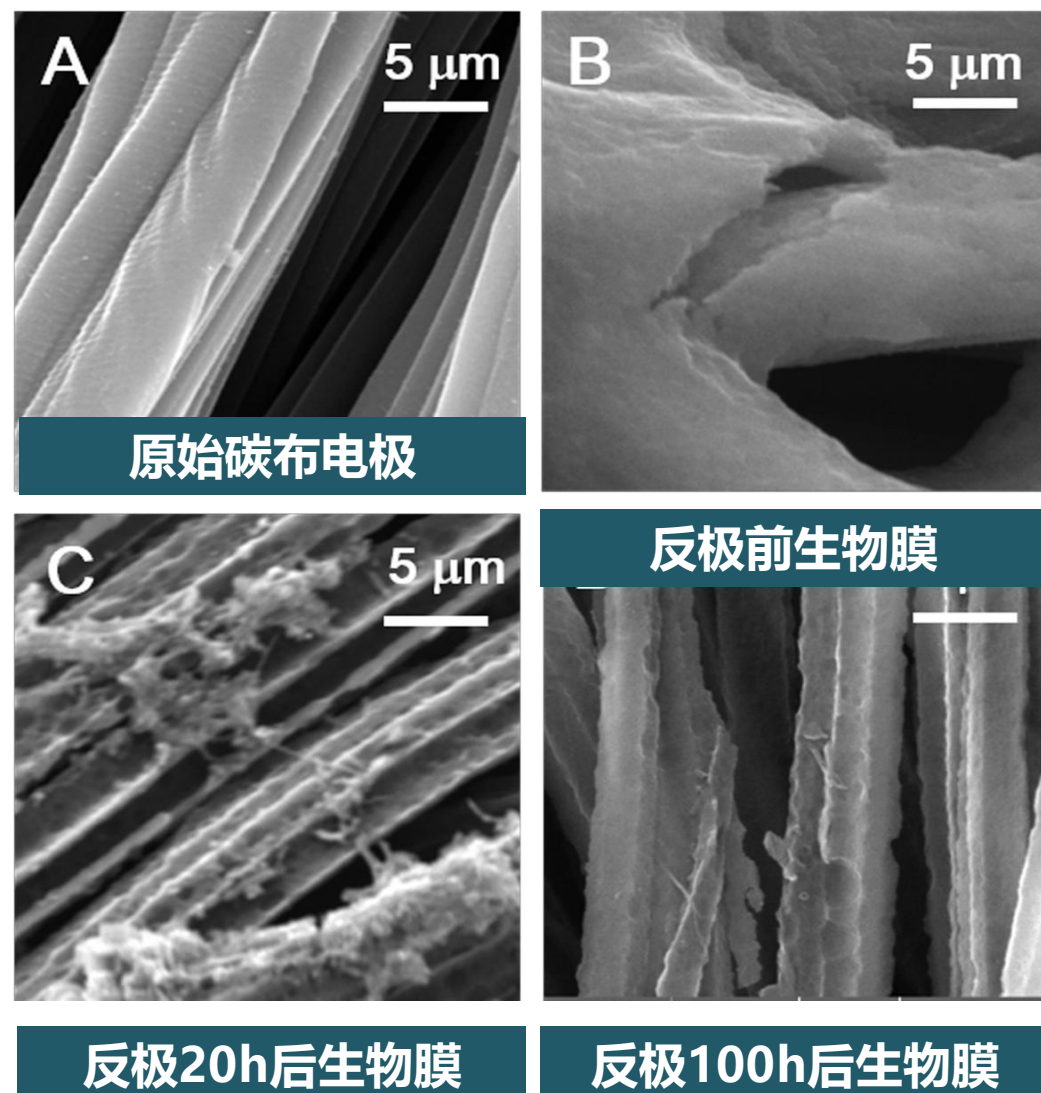


图4 阳极反极前后表面形貌SEM

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

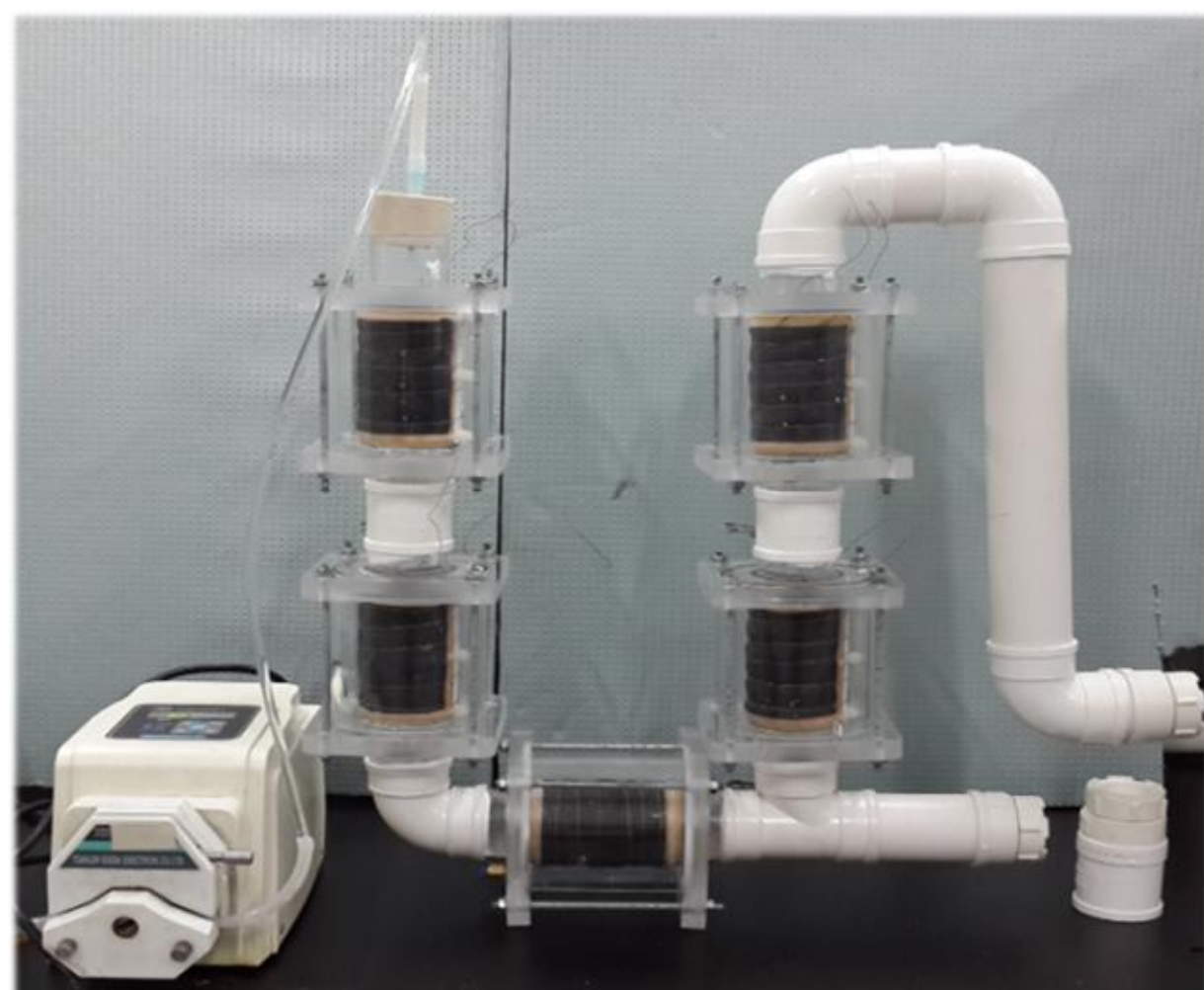


图5 下水道U形管集成的微生物燃料电池堆及性能曲线

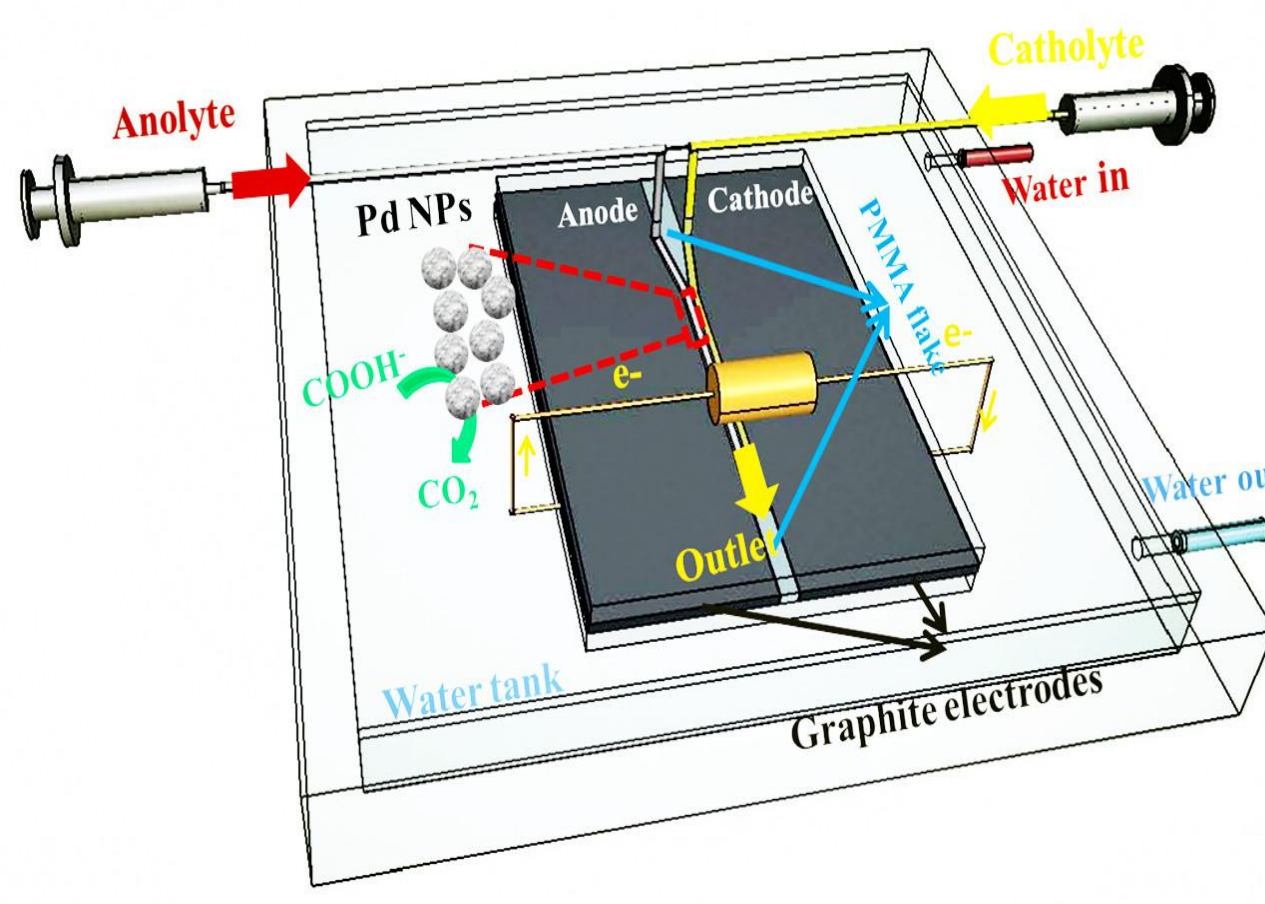
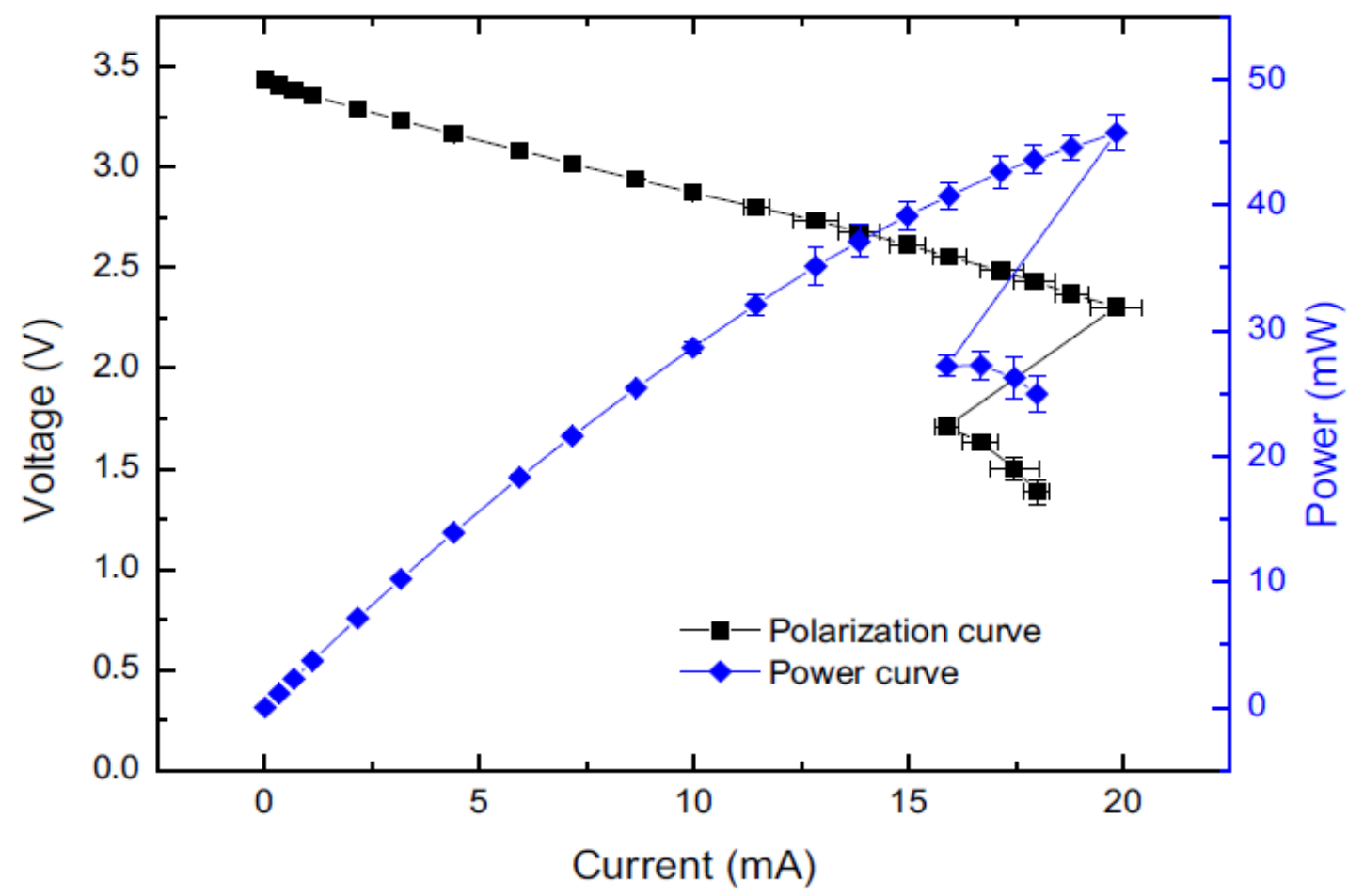


图6 微流体微生物燃料电池传感器及铬离子检测

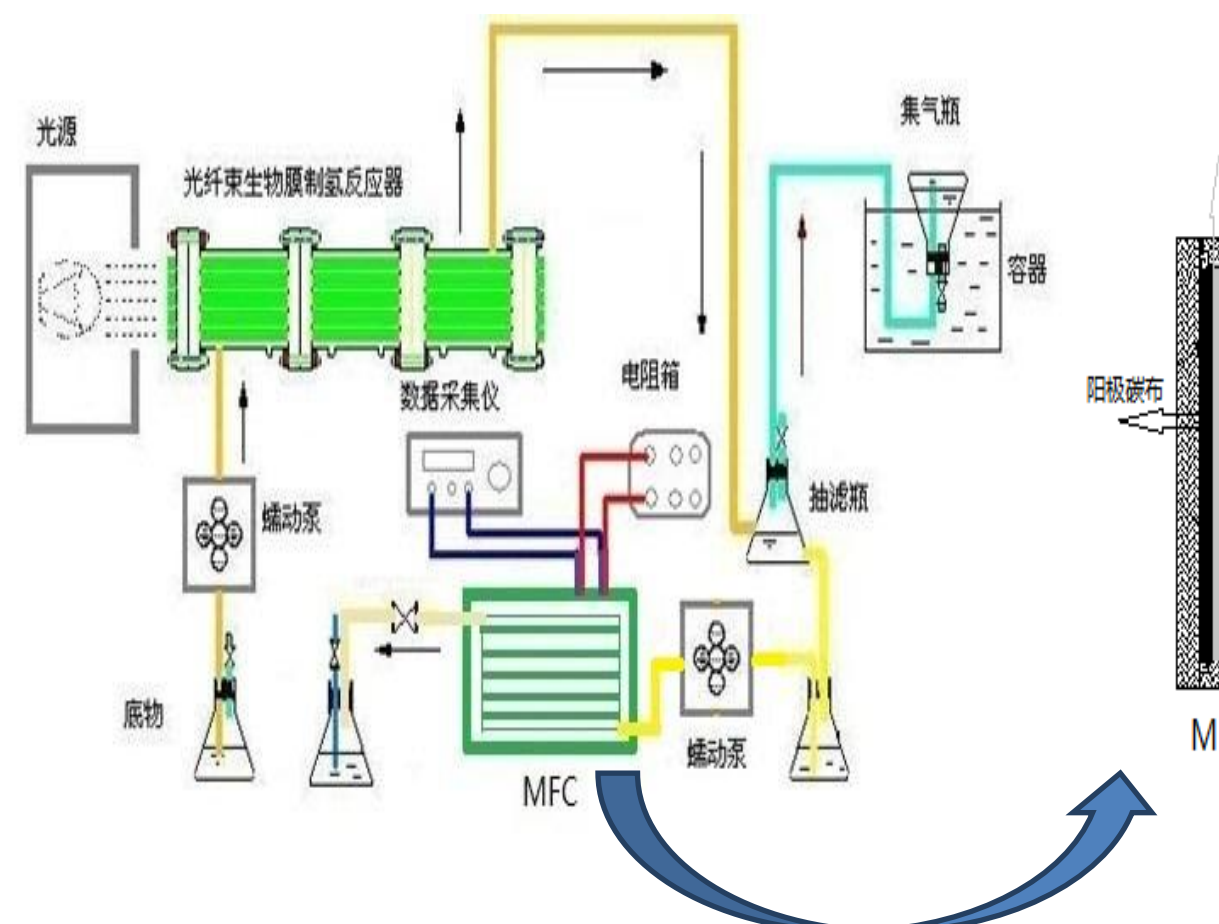
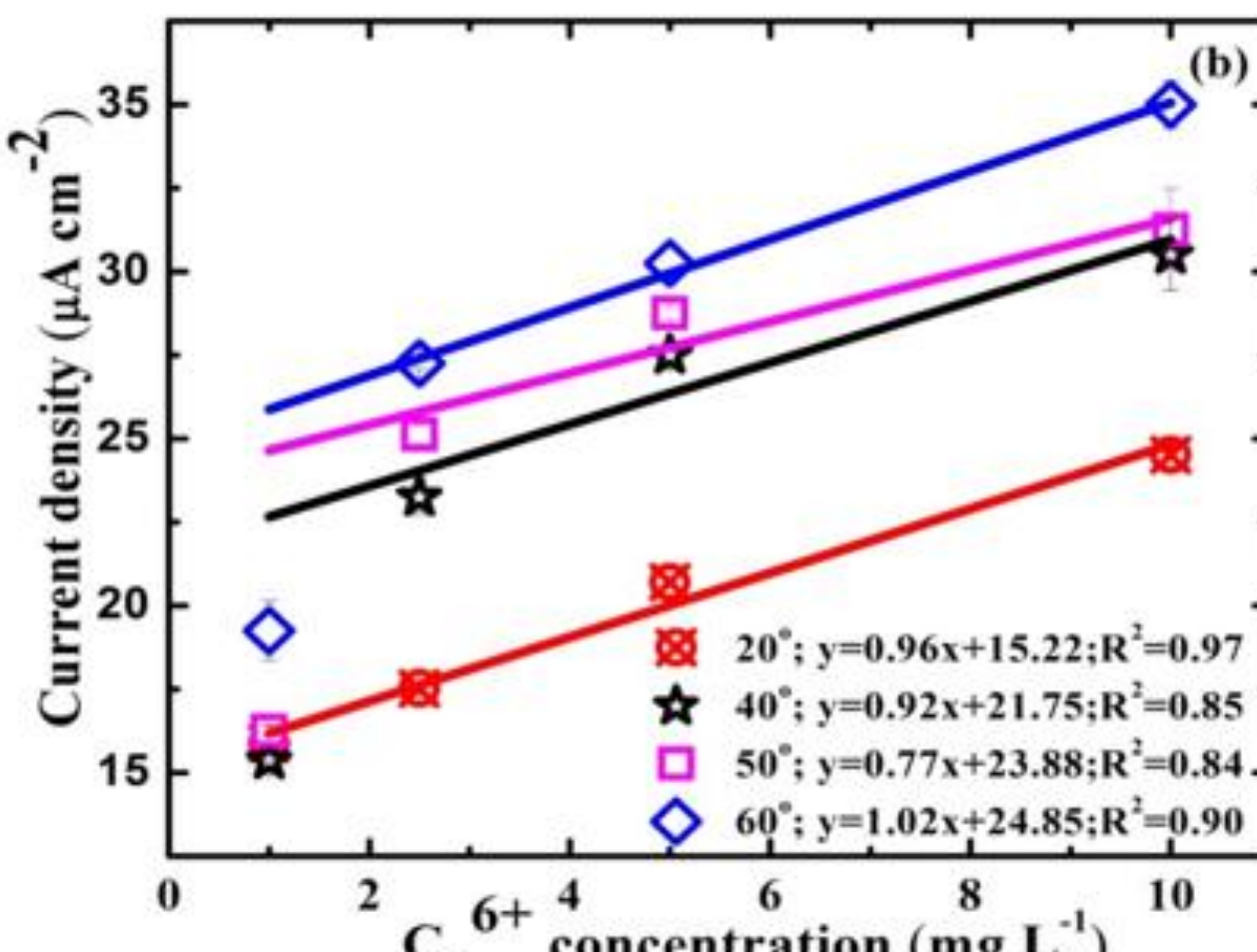


图7 光生物产氢系统与单室MFC的耦合结构示意图及流量对氢气和电能产量的影响

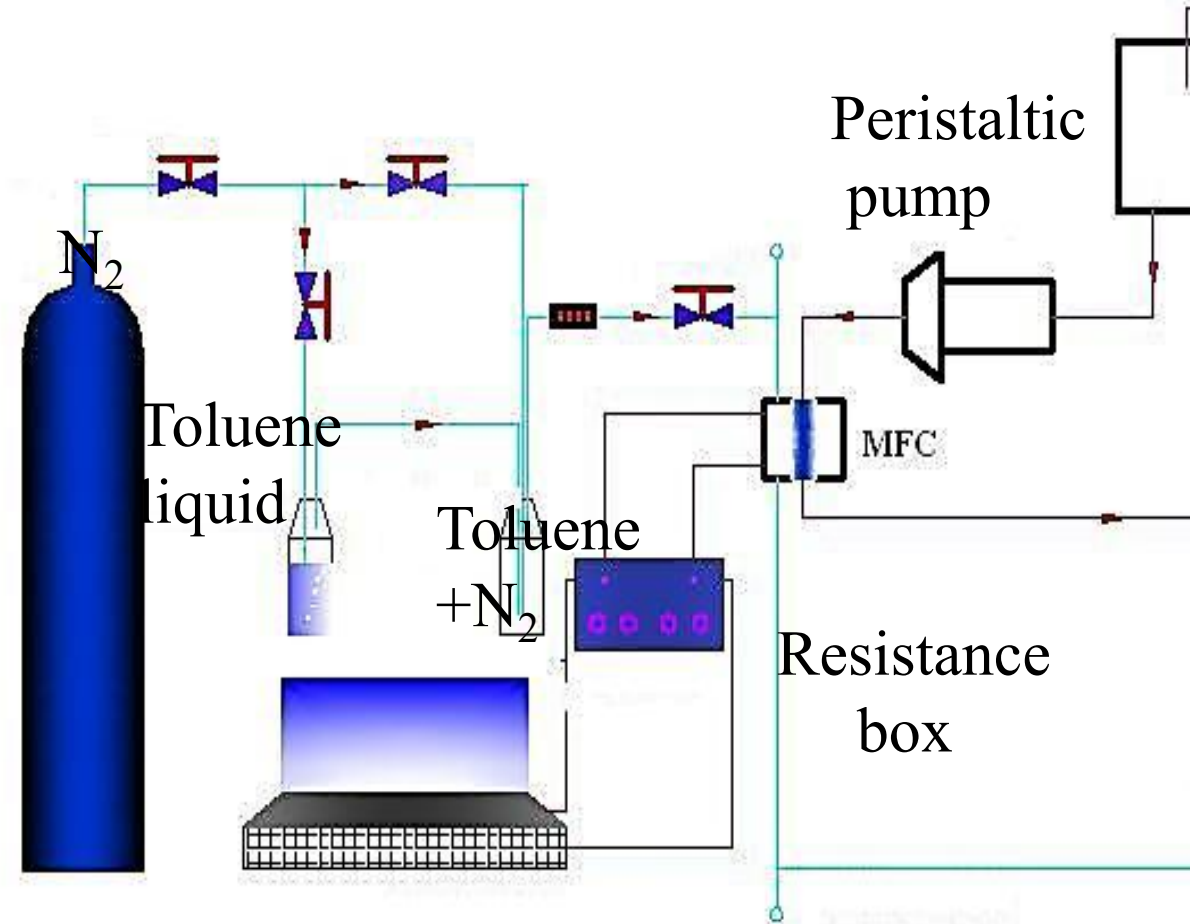
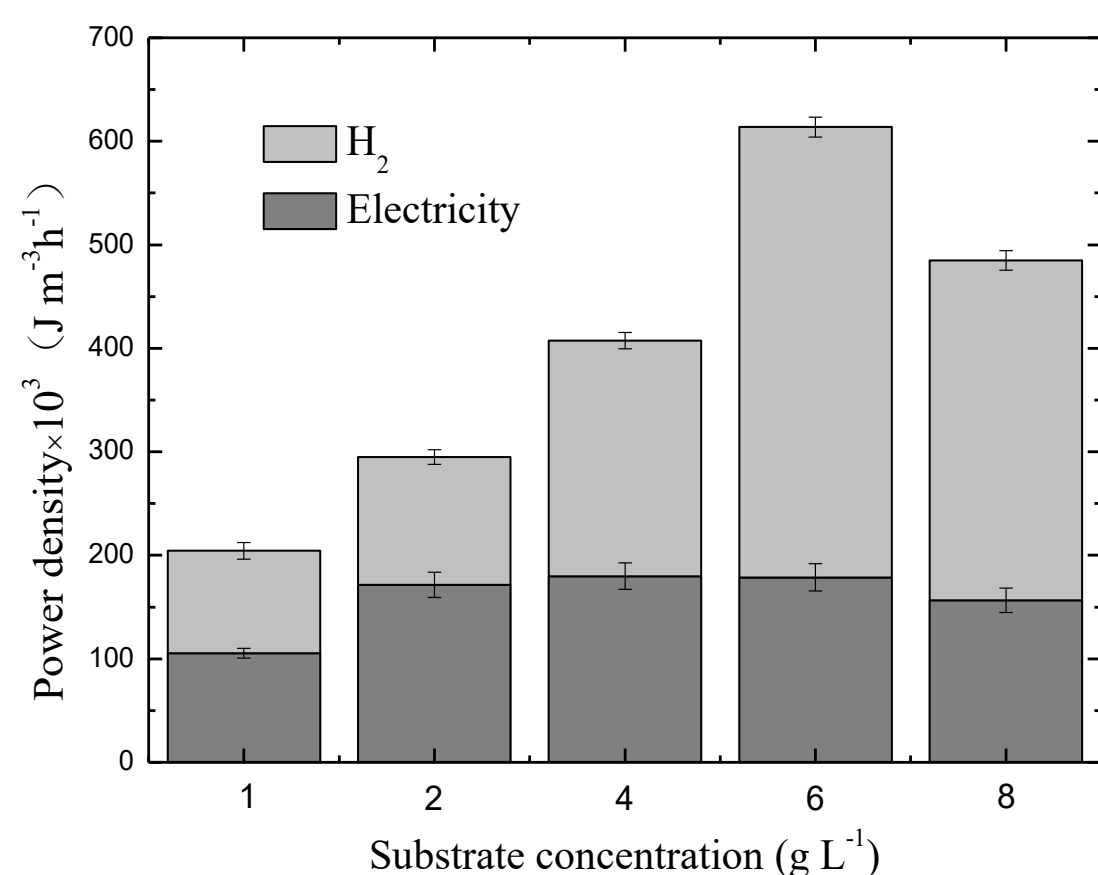
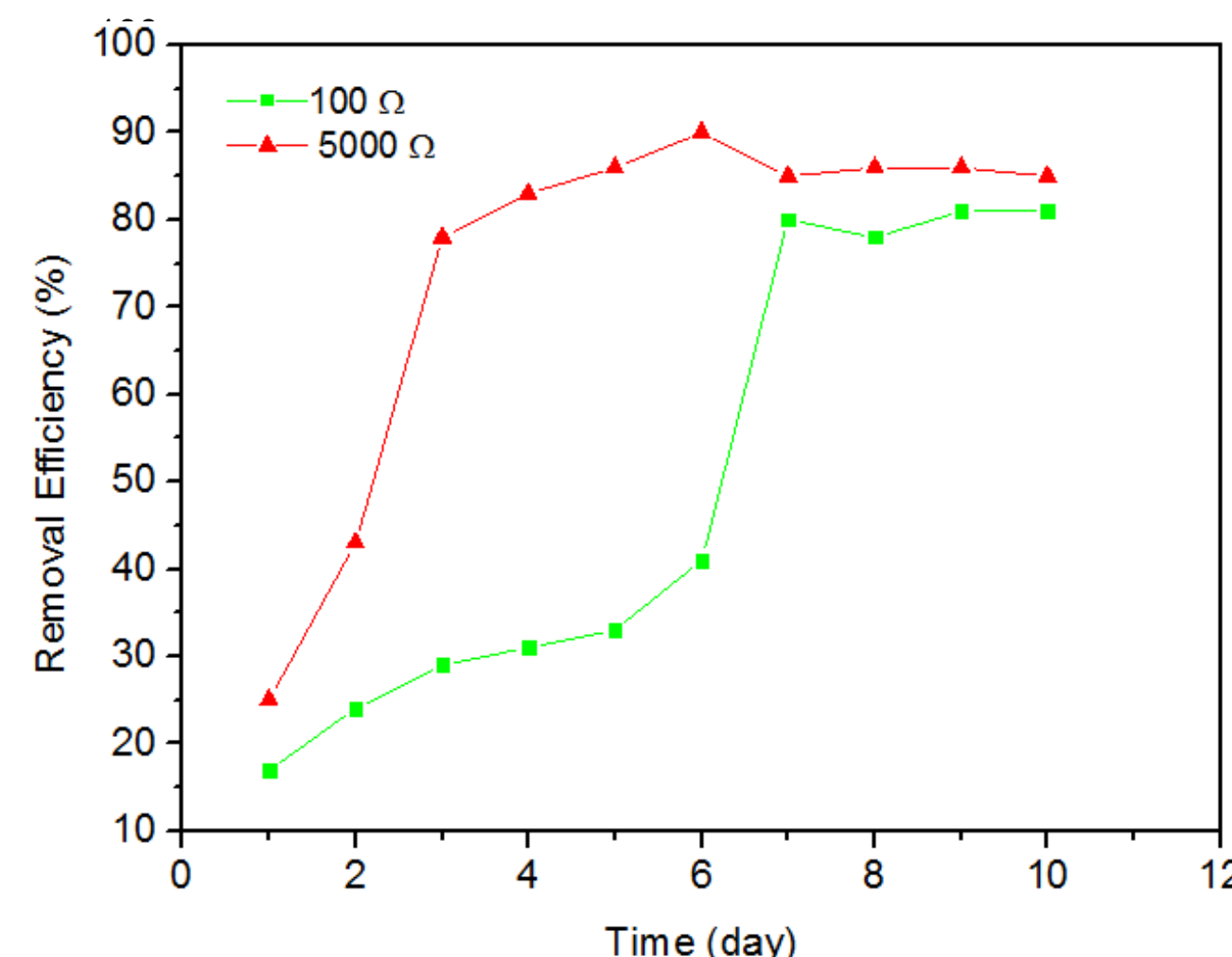


图8 以甲苯废气为有机碳源的单式MFC系统示意图及甲苯降解效率



整体式碳质阴极无膜碱性直接甲酸燃料电池

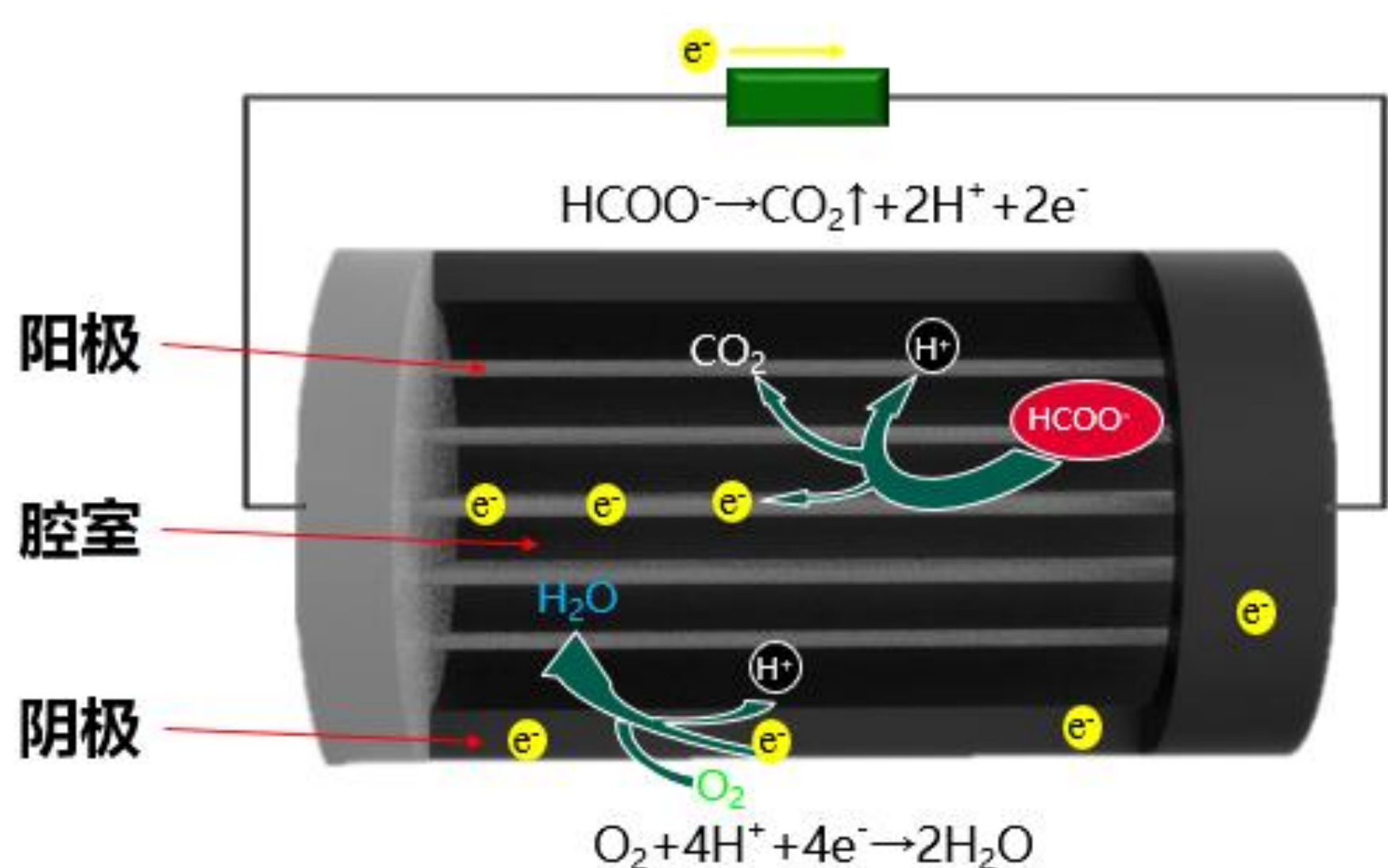


图9 无膜直接甲酸燃料电池原理图

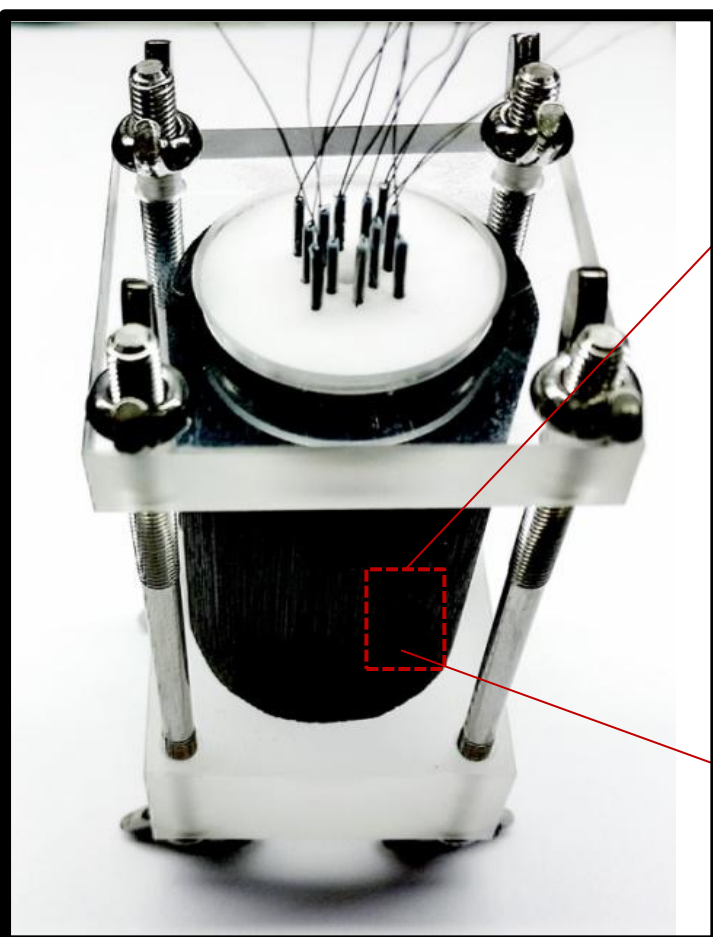


图10 整体式碳质阴极无膜直接甲酸燃料电池实物图与阴极内部发达空隙结构

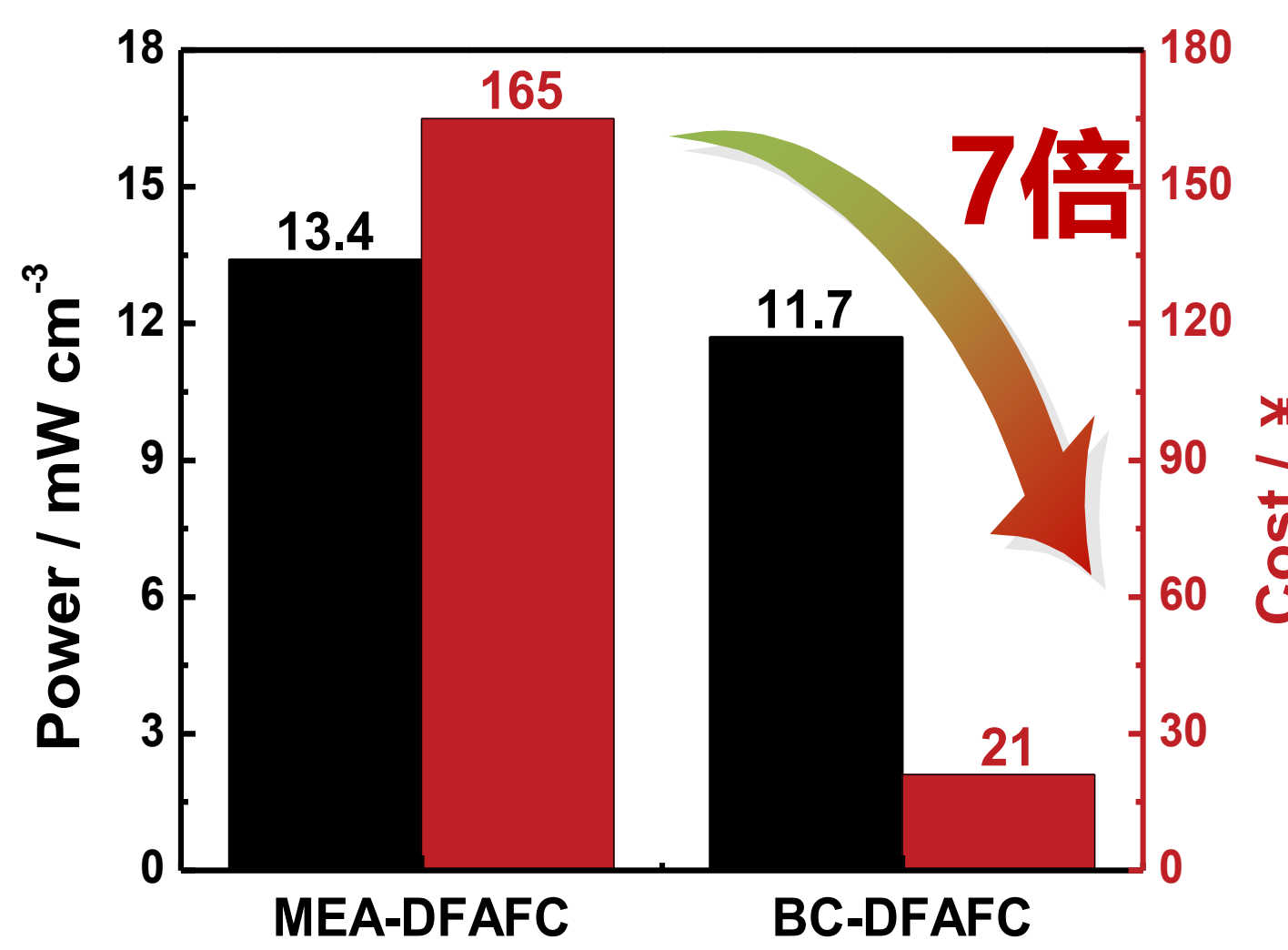
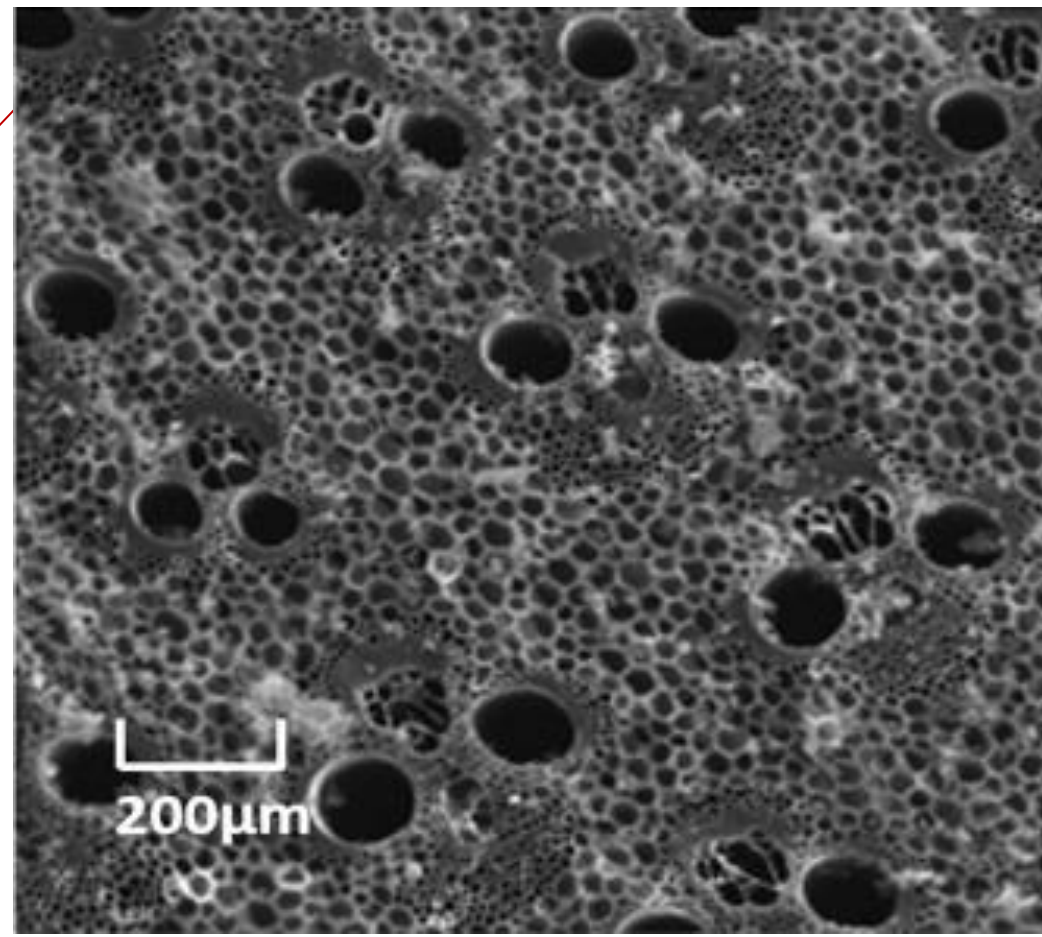
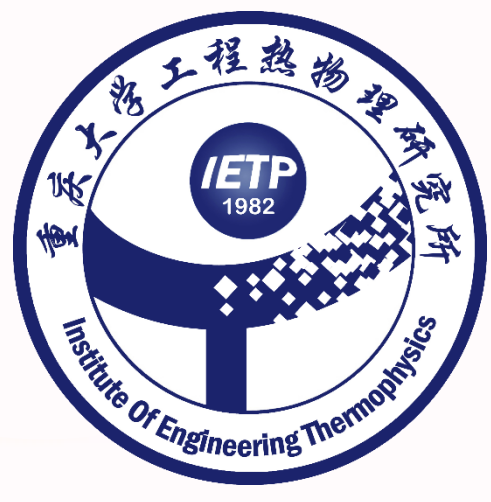


图11 与传统电池的性能及经济性比较

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

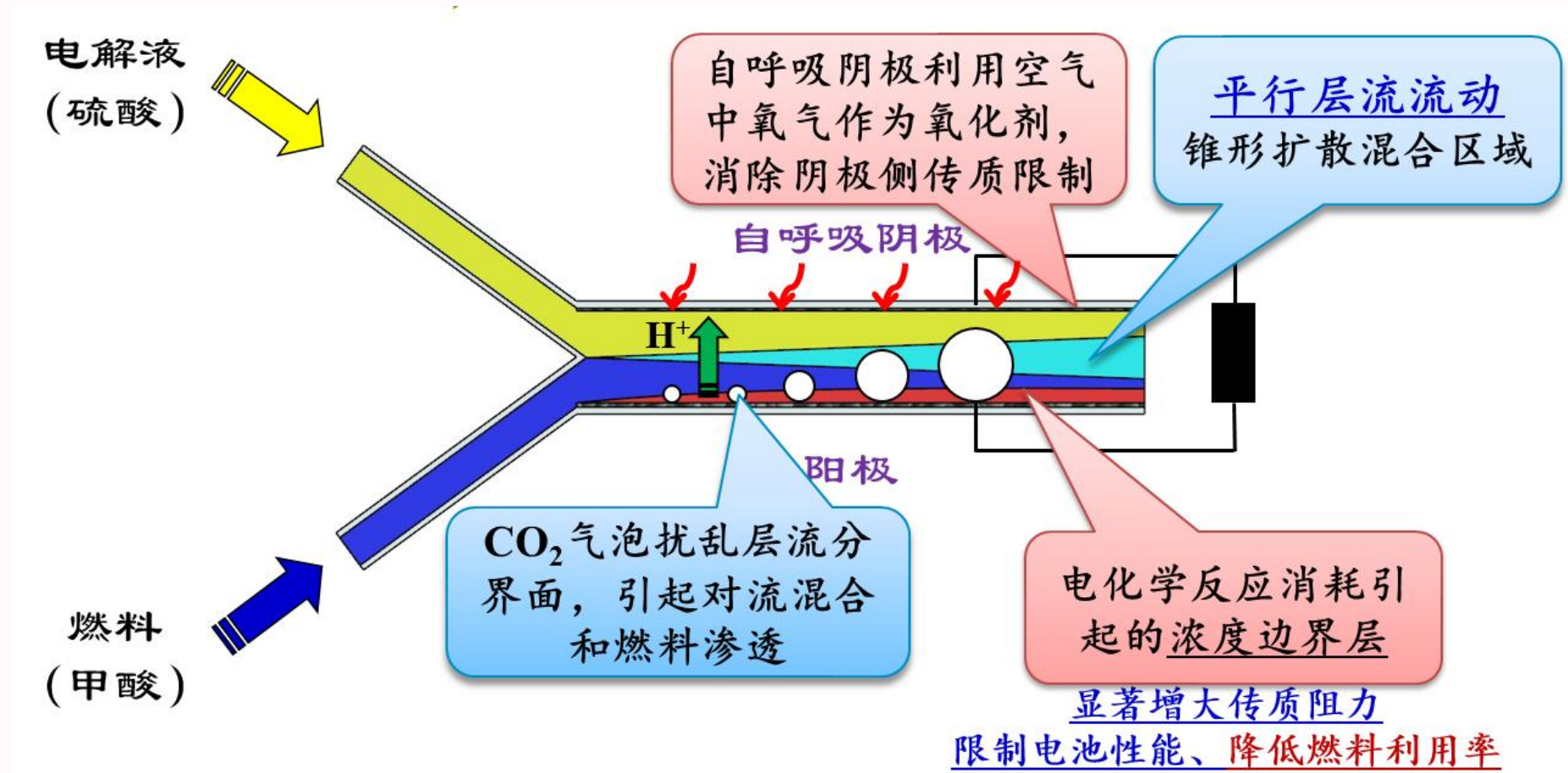


微流体燃料电池中多相能质传递及产电特性

一、微流体燃料电池简介

微流体燃料电池又称为基于层流流动的燃料电池或无膜燃料电池，是一种将反应物输送与排出、反应区域和电极结构都包含在一个微流体通道中的燃料电池。微流体燃料电池利用微通道内平行层流流动分隔氧化剂和燃料，去除了质子交换膜，消除了膜老化降解难题，简化了结构，降低了电池内阻。具有反应比表面积大、强化物质传输等特点，是便携式电子设备和微型传感器理想的微型电源。

二、微流体燃料电池中多相反应流传输及转化特性和强化方法



微流体燃料电池工作原理示意图

本课题组主要研究基于无膜微流体燃料电池内两相流动、物质传输和电化学反应之间的耦合特性。通过强化反应物的传输并构建高性能的催化层，强化反应物的转化来提升微流体燃料电池的性能。针对所构建的微流体燃料电池内的两相流动问题，通过实验和理论研究获得两相流动对电池内物质传输及转化的影响规律以及微槽道内的相分布规律。同时构建了新型被动式微流体燃料电池。所得相关成果对微流体燃料电池技术的发展奠定理论基础。

三、主要研究进展

1. 具有可渗透阳极的自呼吸微流体燃料电池

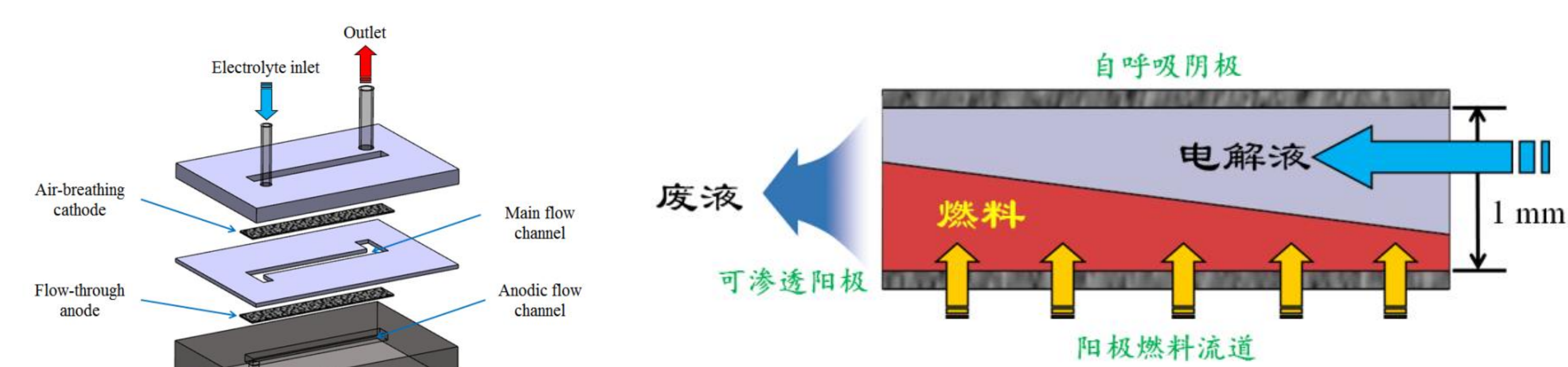


图1 电池结构示意图

图2 电池内的流动示意图

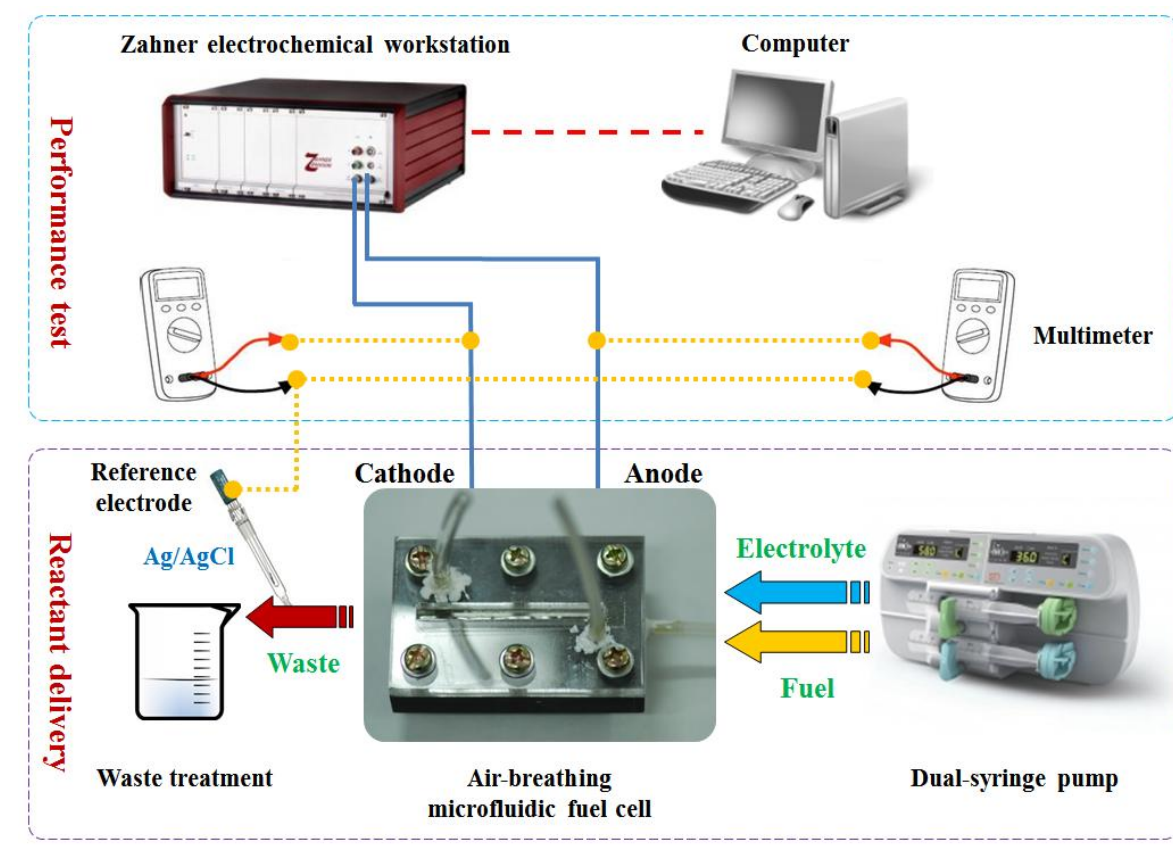


图3 实验系统示意图

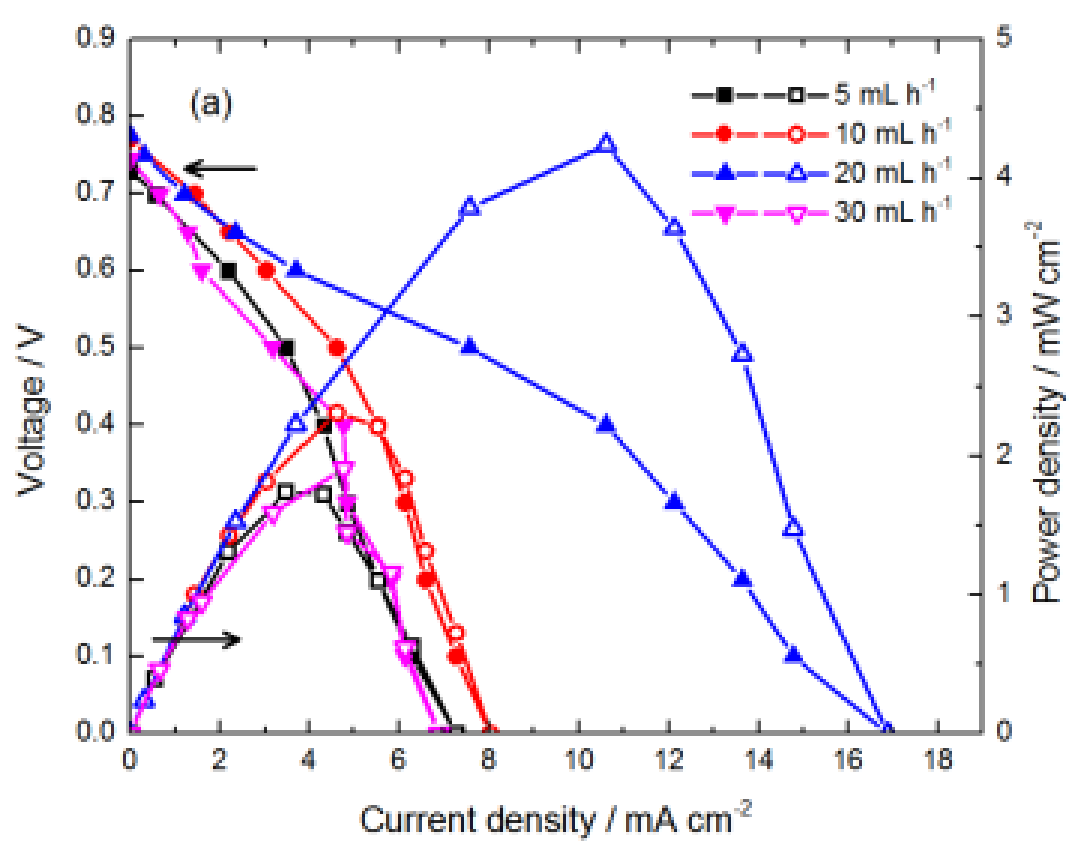


图4 电池性能特性

具有可渗透阳极强化燃料传输，自呼吸阴极消除氧传输限制

2. 微流体燃料电池内的两相流动及相分布规律

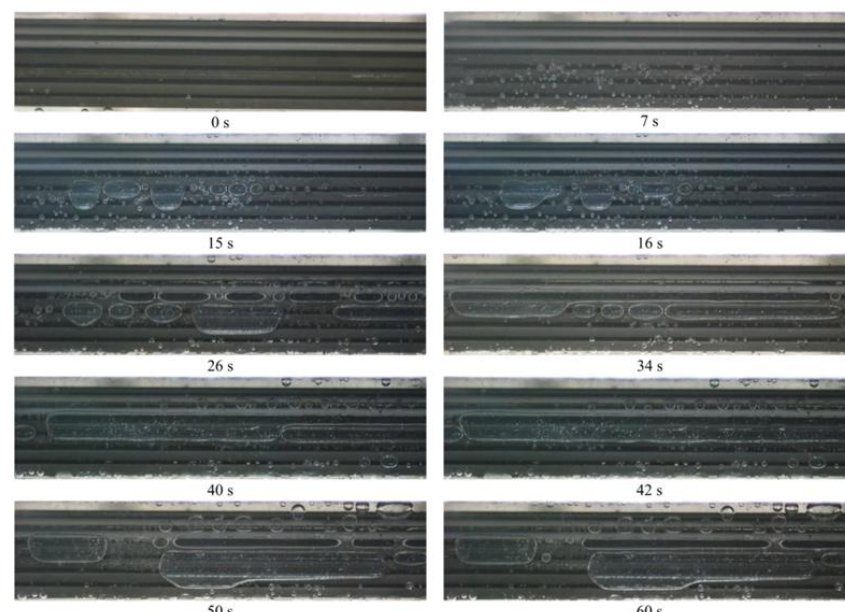


图5 CO₂气泡的动态行为特性

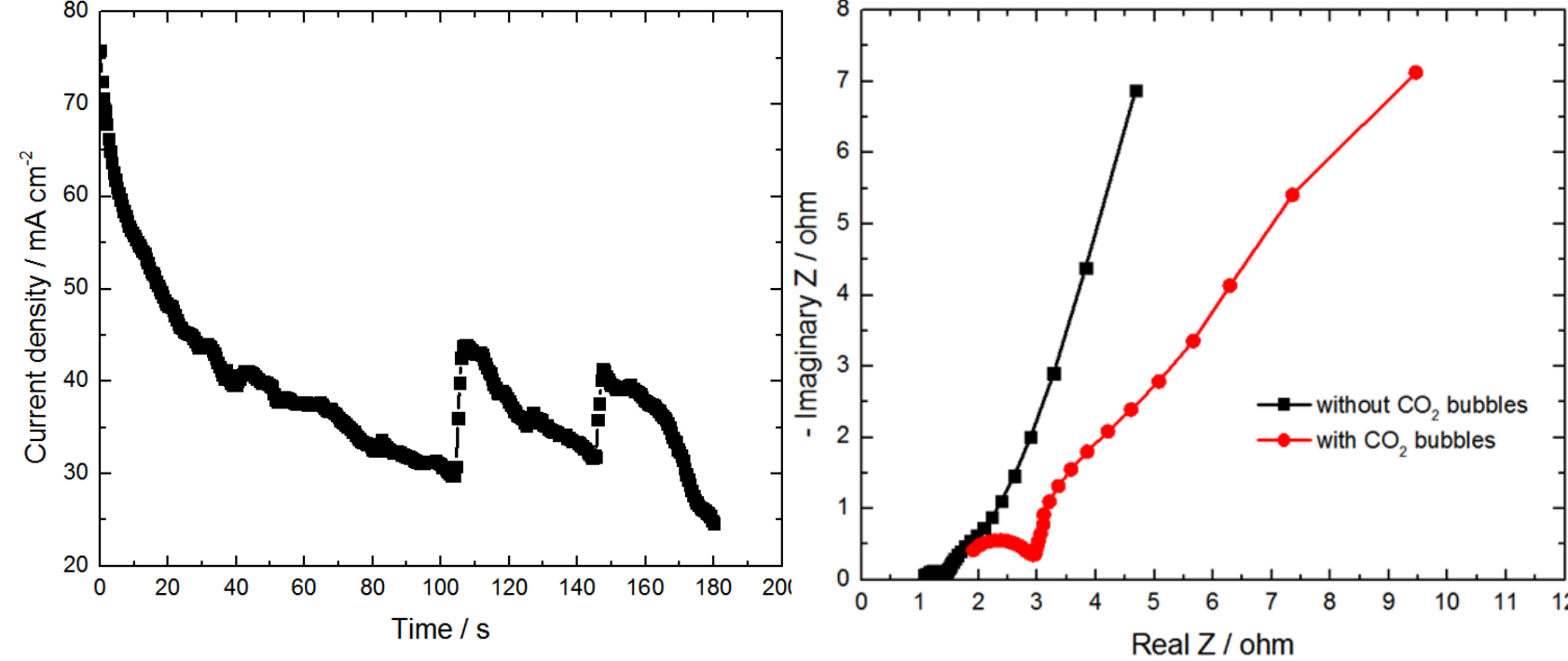


图6 CO₂气泡的动态行为对电池性能的影响

三维阳极自呼吸微流体燃料电池内气泡动态行为及其对电池性能的影响规律

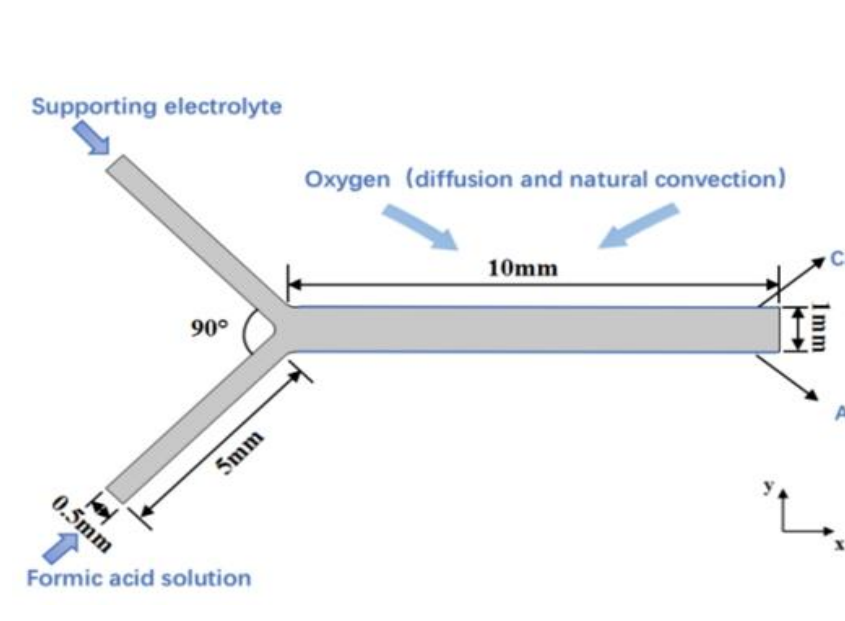


图7 计算模型

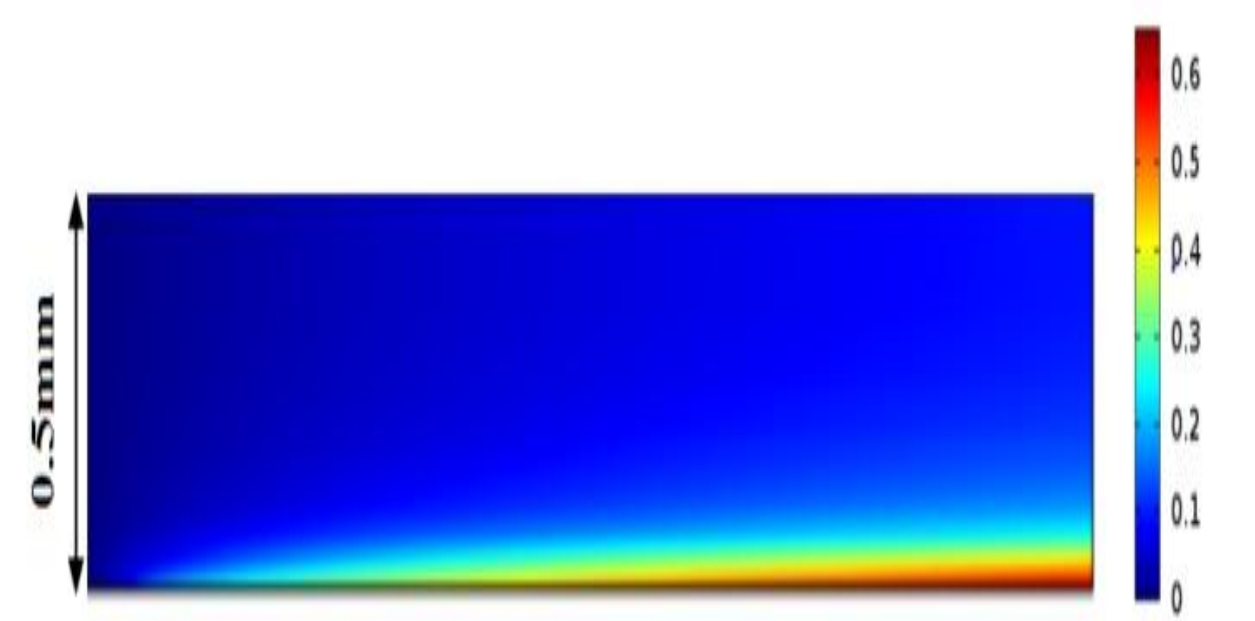


图8 阳极表面CO₂体积分数云图

可渗透阳极自呼吸微流体燃料电池数学模型及阳极表面的气相分布规律

3. 具有容积式三维阵列阳极的自呼吸微流体燃料电池

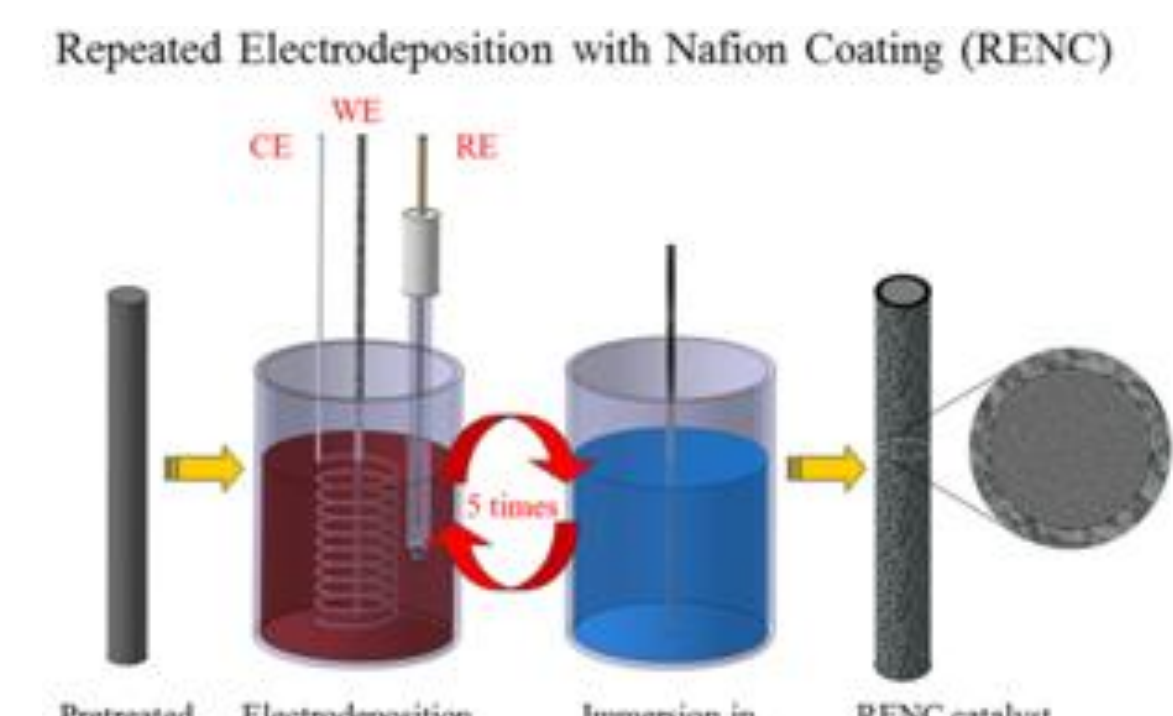


图9 曲面电极催化剂层制备方法

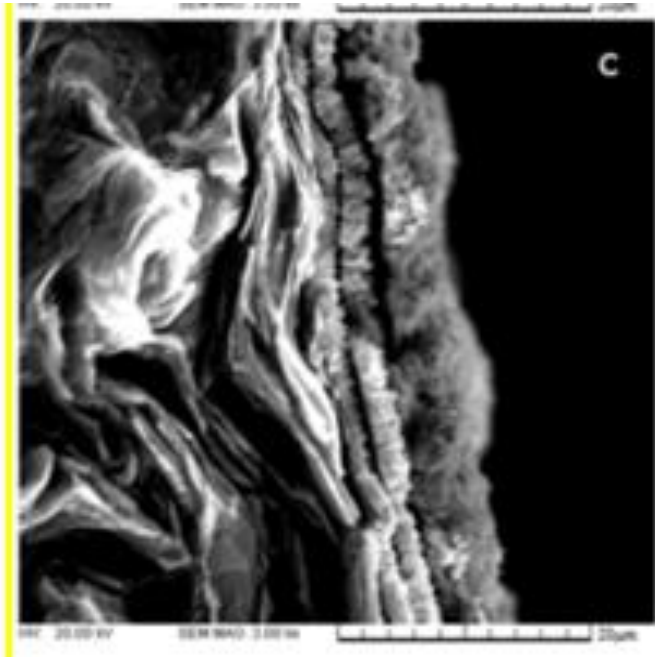


图10 催化剂层横截面形貌

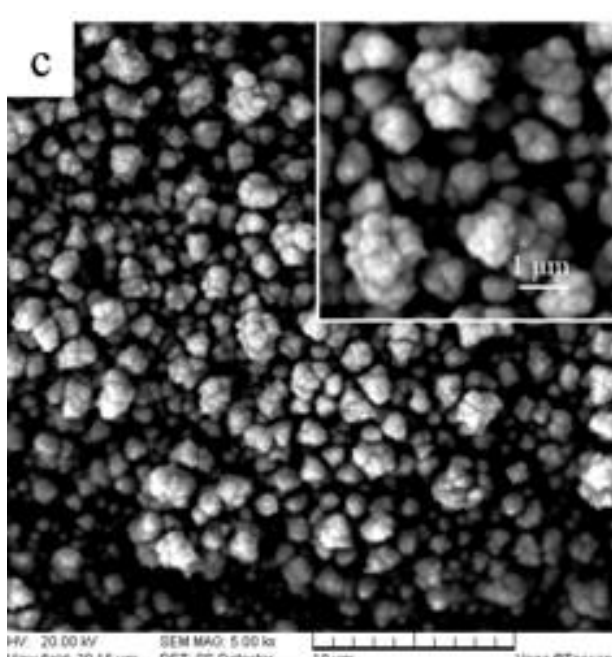


图11 催化剂层微观形貌

提出了一种新型的反复沉积浸渍法制备曲面电极催化层

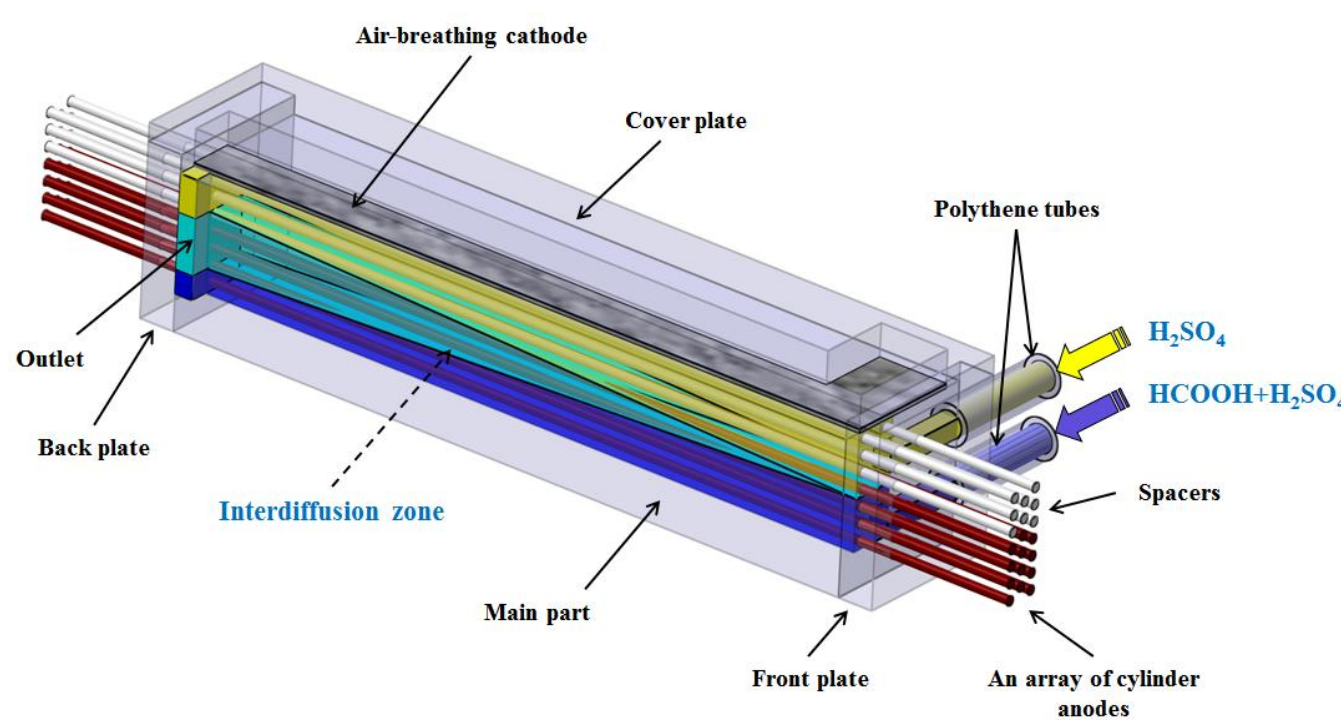


图12 电池结构示意图

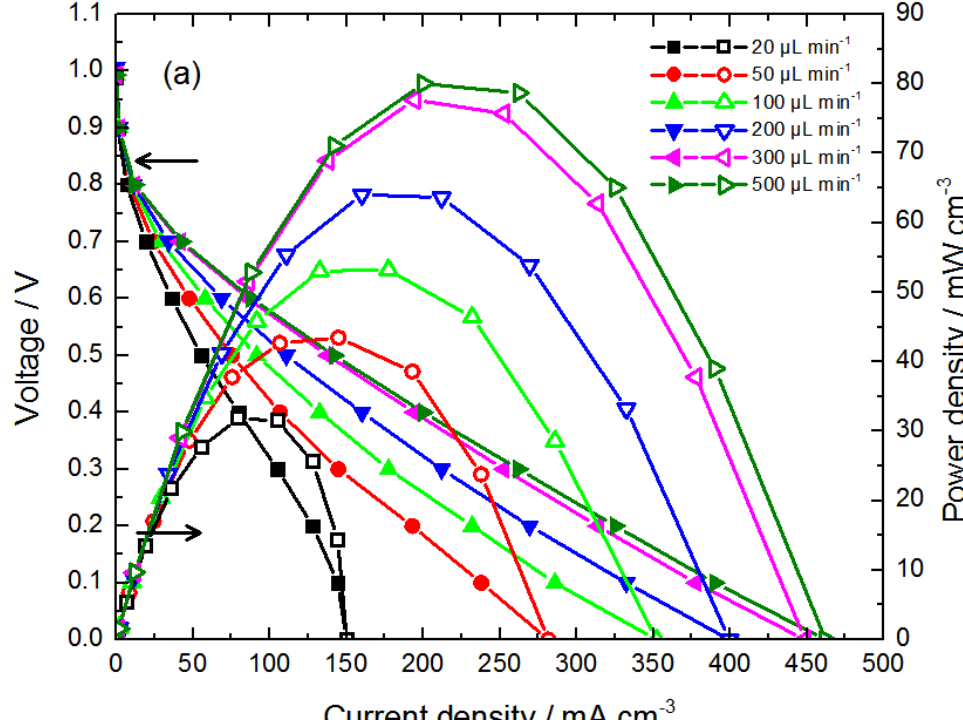


图13 电池性能特性

构建容积式三维阵列阳极的自呼吸微流体燃料电池，有效扩展反应面积、强化燃料传输

4. 电池动态响应与新型电池构型

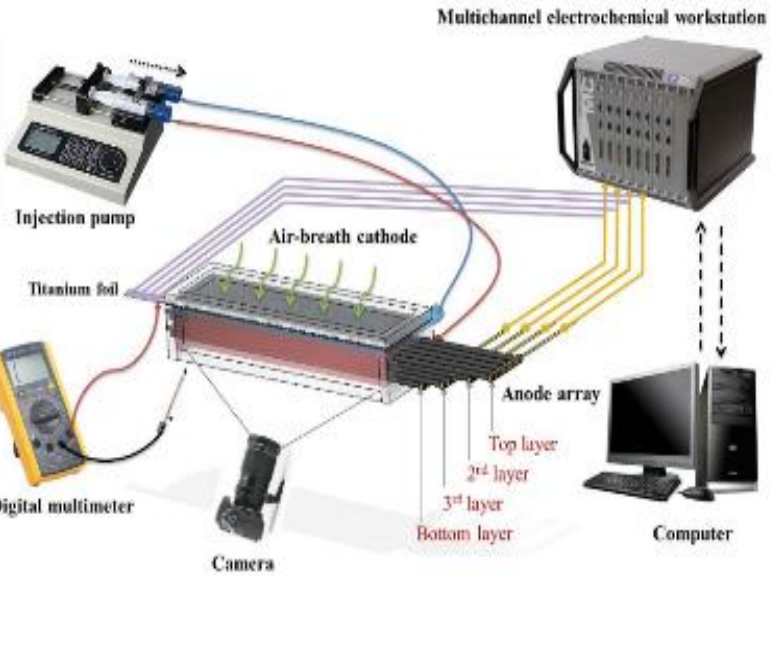


图14 测试系统图

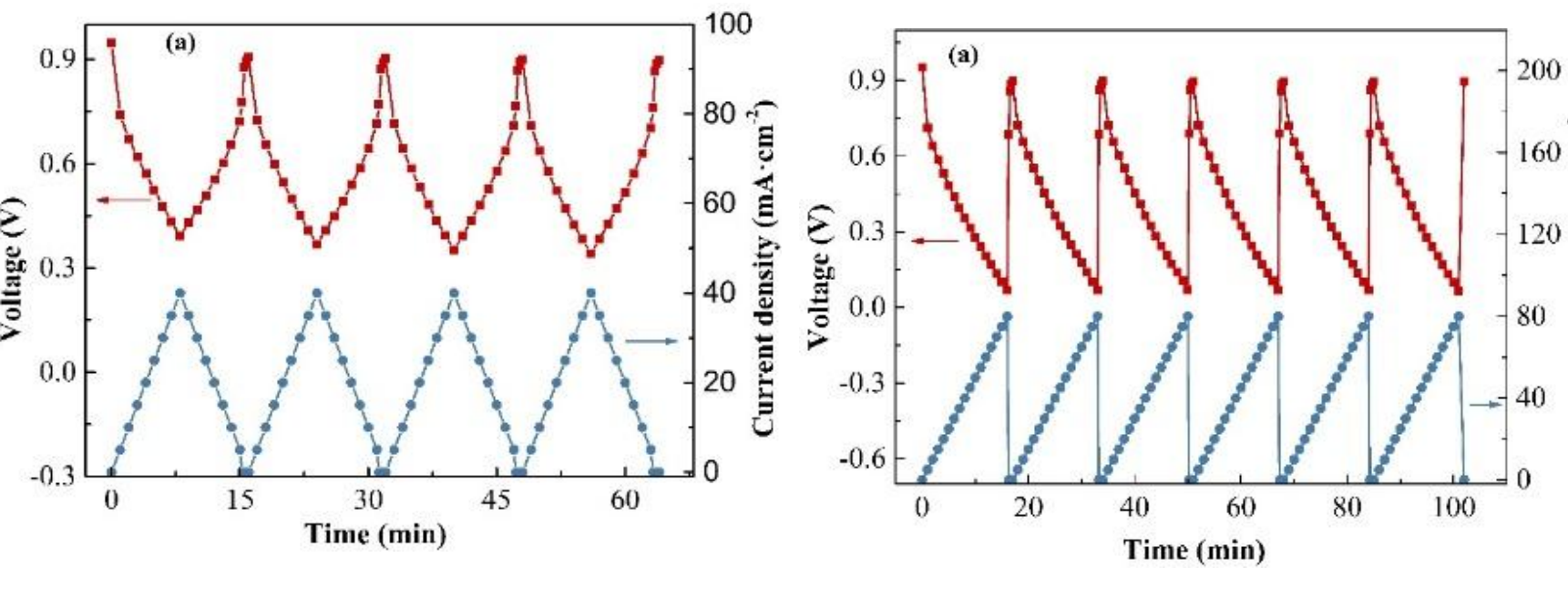


图15 碱性电解液持续加载/持续（瞬间）卸载时电池的动态响应

构建三维阳极自呼吸无膜微流体燃料电池，获得电池对负载变化的响应特性

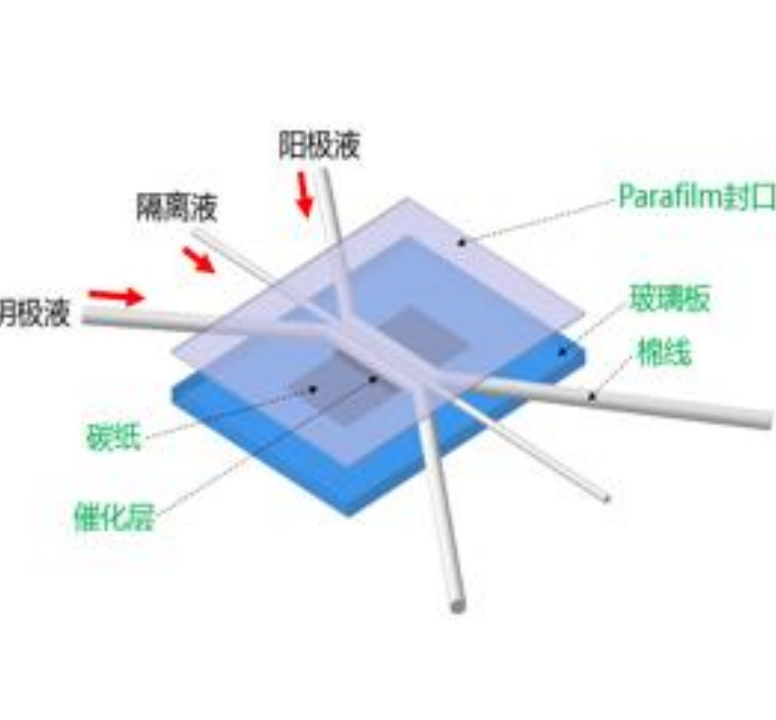


图16 电池结构示意图

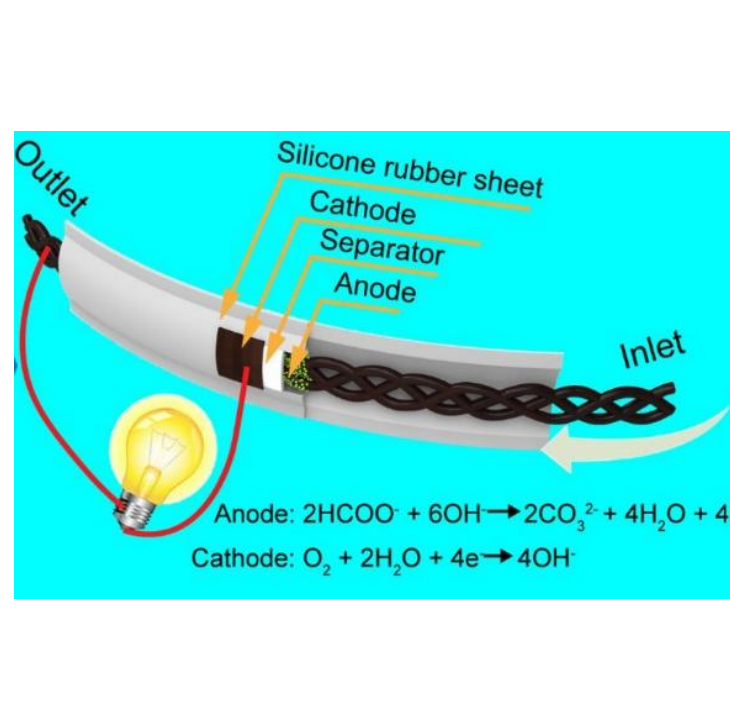
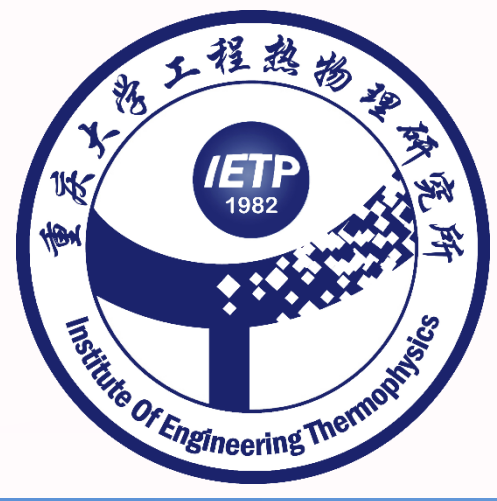


图17 电池的性能特性

构建线基微流体燃料电池，获得纤维内输运特性对其电池性能的影响规律



Welcome to CQU



微纳可穿戴/植入燃料电池在生理环境下的多元物质传输与能量转换特性

一、微纳可穿戴/植入能源系统简介

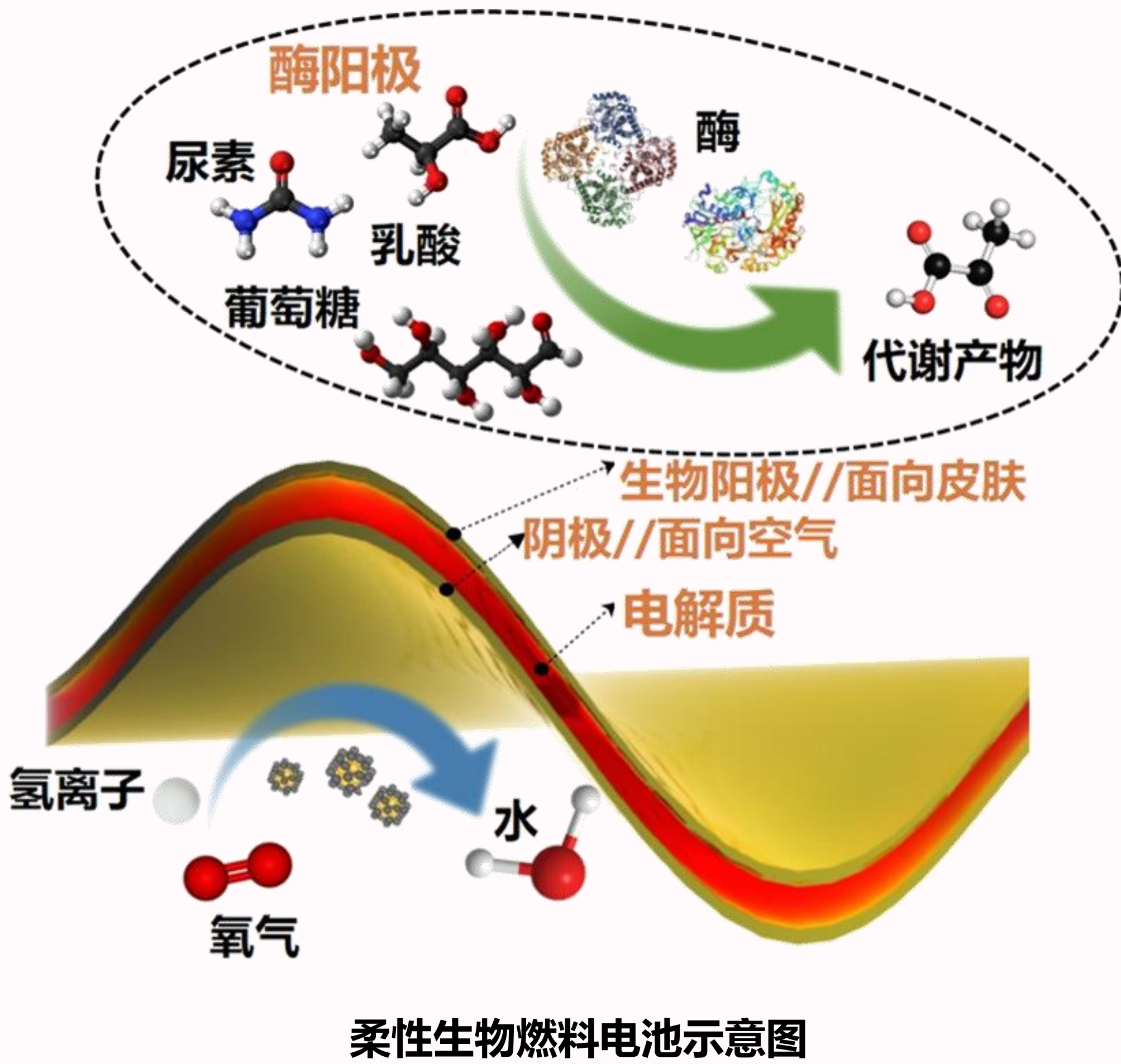
可穿戴/植入微纳能源系统是一种将生物燃料、甲酸盐等燃料转化为电能，实现在人体动态生理环境中集成给药、监测与靶向治疗功能，实现自供能闭环诊疗。该系需要工作在复杂的力学环境、多元物质传输及燃料供给不连续等极端环境，引发的供能失稳问题直接决定实际应用的有效性。本方向通过探究上述系统物质传递-能量转化-力学性能的多场耦合机制，希望有效促进技术发展并指导新型生物电子系统供能模块设计。

二、主要研究内容

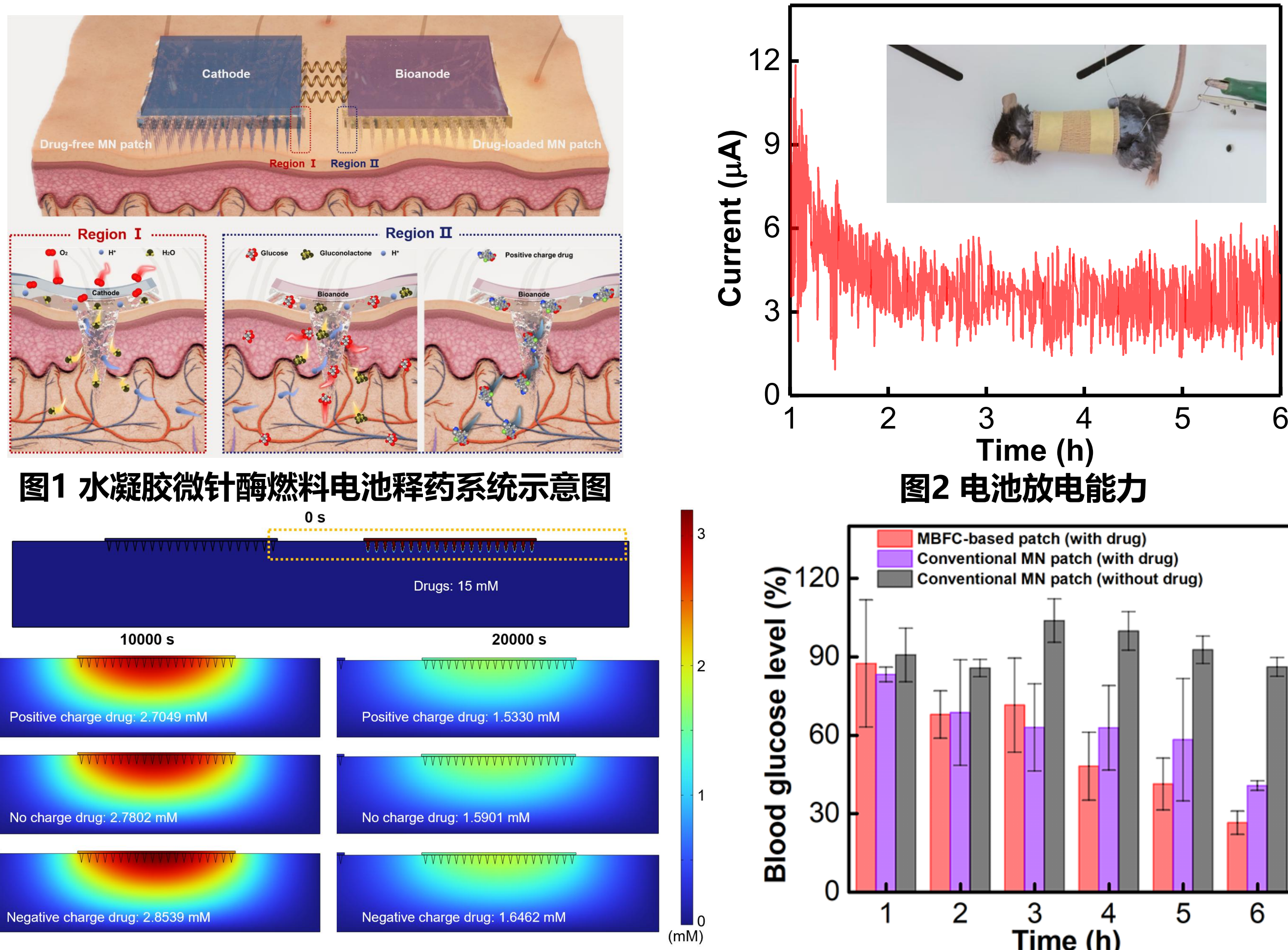
本方向与重庆医科大学、陆军军医大学紧密合作开展微纳能源装置中系统与人体间的力学适配能力、流体流动与物质传输规律与产电特性进行系统性的实验与理论研究，获得在复杂力学和电场环境下，电池内和电池与人体之间的物质交换与能量传递规律，分析物质传递-能量转化-力学性能等多物理场相互作用关系，并建立描述耦合上述多物理场的有限元数值模型，并根据不同诊疗需求设计供能装置。

三、主要研究进展

本方向在国家自然科学基金创新研究群体、优秀青年、重庆市杰出青年基金等项目的资助下开展医工交叉基础研究，已在 *Adv. Mater.*、*Innovation*、*Adv. Sci.*、*Adv. Funct. Mater.* 等发表一系列高水平论文。

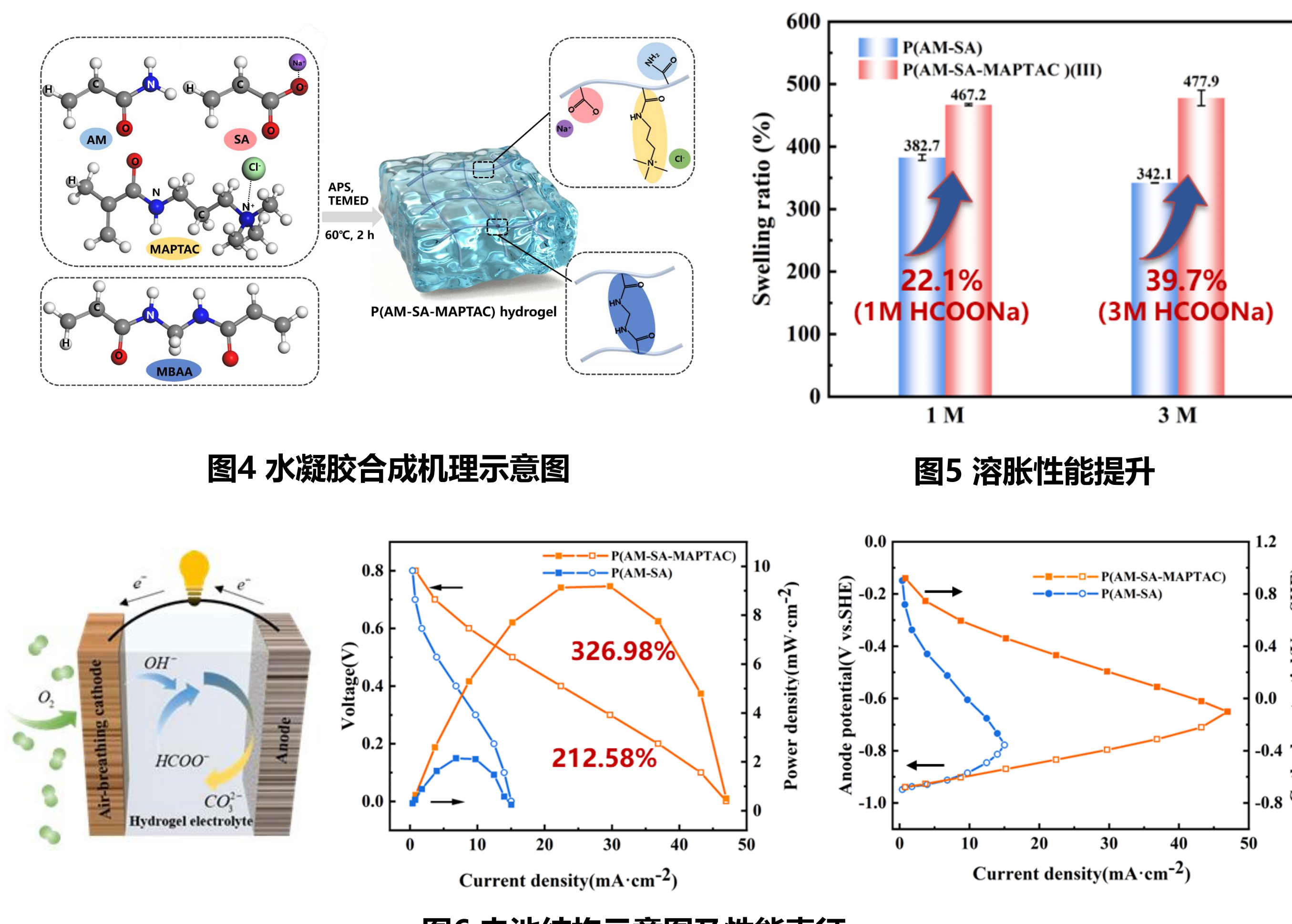


1. 利用水凝胶微针酶燃料电池电刺激强化药物释放



水凝胶微针酶燃料电池能够长时间放电，并刺激药物释放降低小鼠血糖，较无电刺激的释药系统具有更优异的降糖能力

2. 两性离子水凝胶高性能甲酸盐燃料电池



构建了一种新型两性离子水凝胶，与传统阴离子水凝胶相比，在机械性能、溶胀性能、传质性能和电池性能等方面均表现出优越的特性

3. 植入式酶燃料电池电刺激组织生长

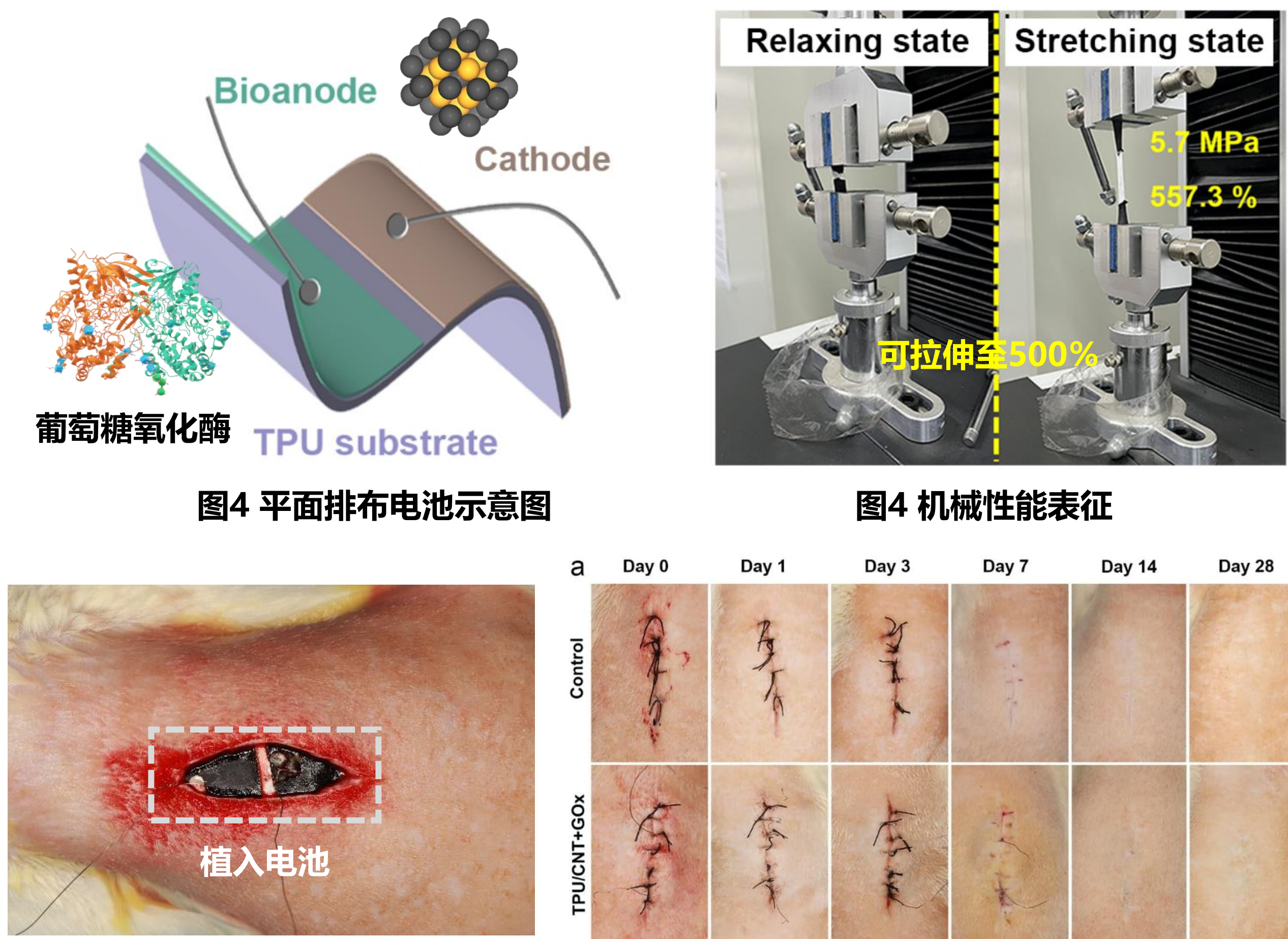


图4 有无电刺激组织生长情况对比

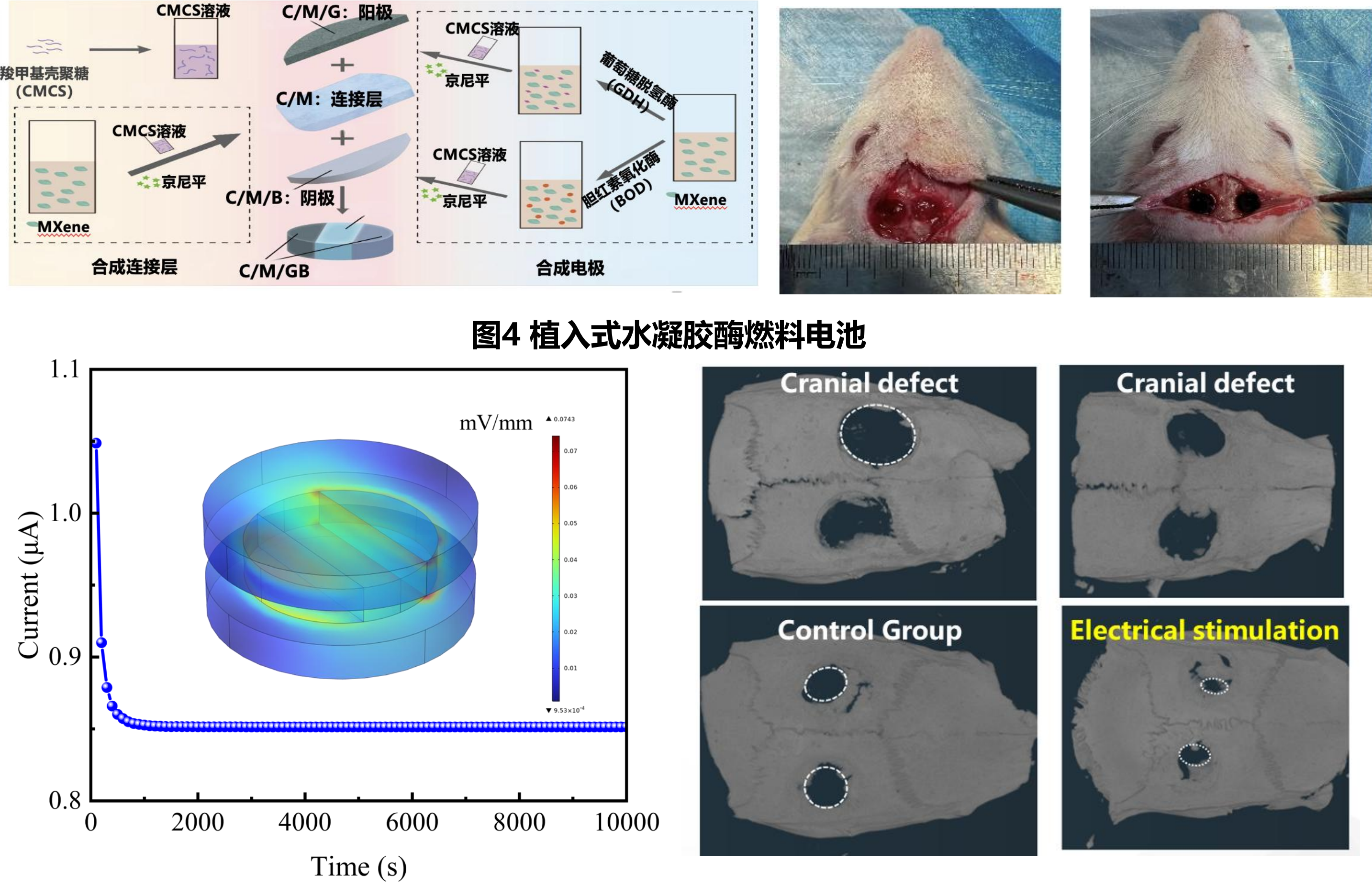


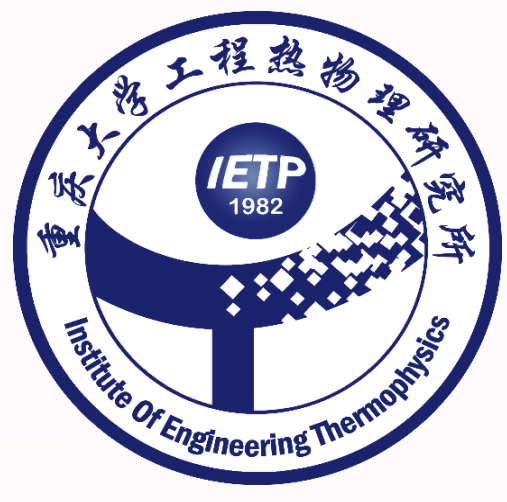
图4 体内电场强度分布模拟

图4 生长8周后的颅骨CT扫描图

生物燃料电池具有高生物相容性，能够在体内自发降解，同时能够提供稳定的电信号，刺激细胞分泌、增殖和分化，从而促进组织修复和伤口愈合



Welcome to CQU



热再生电池热质传递调控及性能强化

一、热再生电池简介

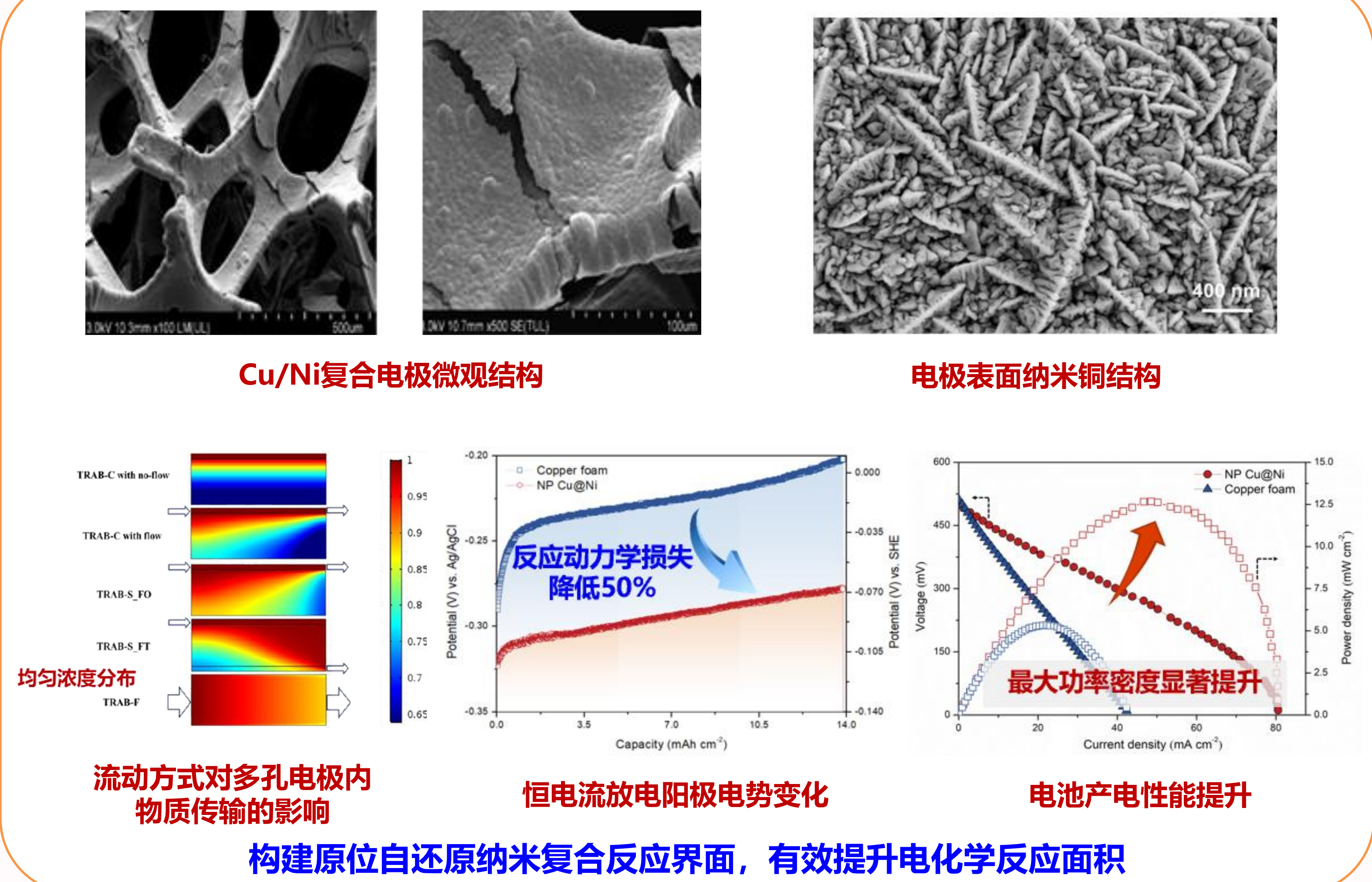
热再生电池（TRB）是一种将热能直接转化为电能电化学系统，同时具备储能和能量转换功能。热再生电池包括电池产电和热再生两个过程，阳极发生络合反应，产生电子，电子通过外电路到达阴极从而实现产电。为了产电可持续，反应完后的阳极电解液通过热再生分解，进入到下一个产电循环。其核心原理是通过温度变化驱动电化学反应的可逆进行，实现热能与化学能的相互转换。在能源高效利用、低碳转型、可持续发展等多个维度体现出重要的意义。

二、主要研究内容

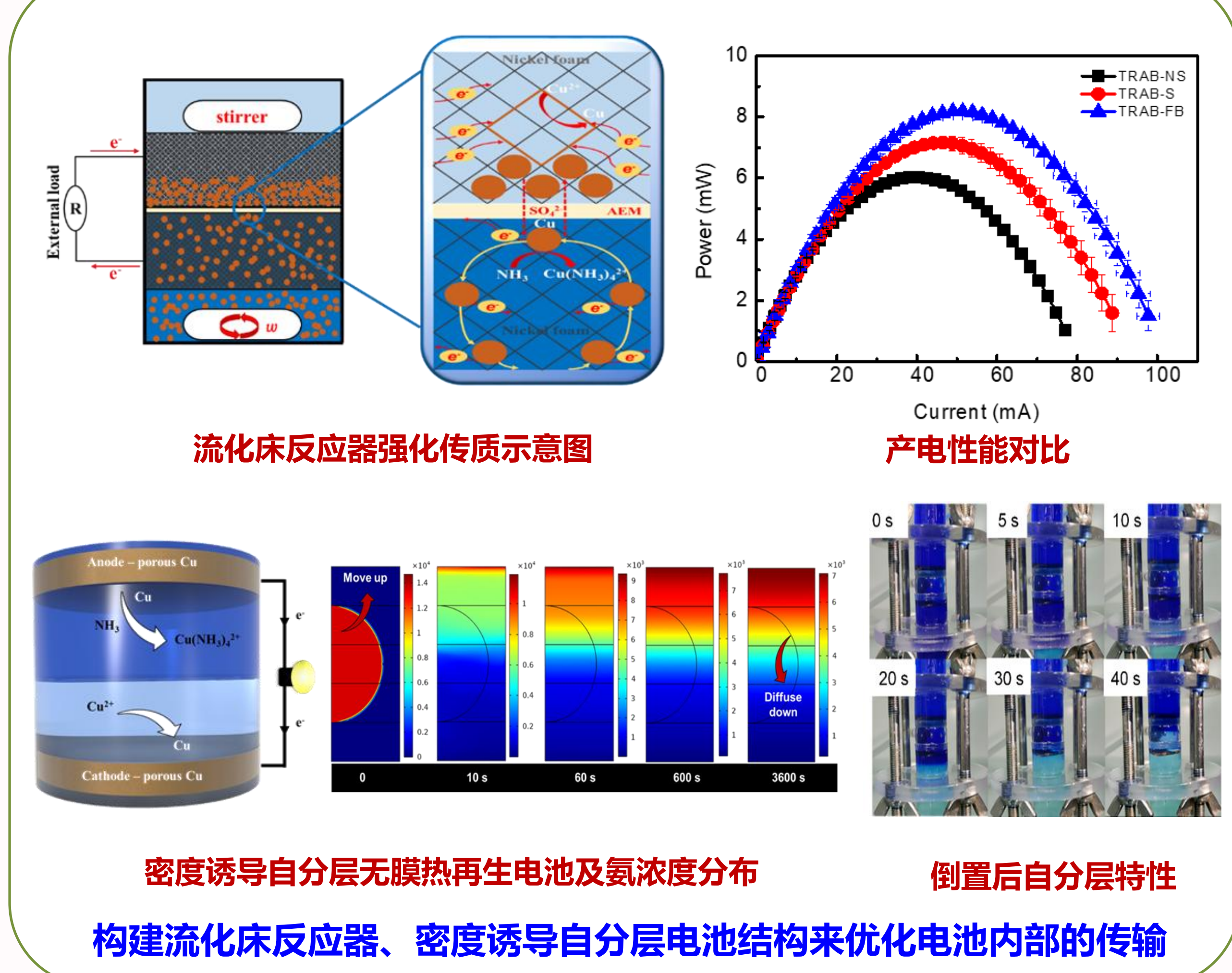
针对目前存在的反应界面调控难、多孔电极传递阻力大、过程损耗大电池性能低、系统循环性差等瓶颈难题，本研究聚焦含电化学反应多孔介质内热质传递调控与转化机理关键科学问题，构建了多孔复合电极并对孔隙结构进行了优化设计，解决了电极比表面积小、传质阻力大的问题。通过电池结构优化、流化床反应器设计等调控解决了反应物传输能力弱的问题。通过构建闭式循环系统，搭建热质传递与转化模型等方法有效提高了热再生系统产电性能和循环稳定性。

三、主要研究进展

1. 多孔复合电极构建及调控

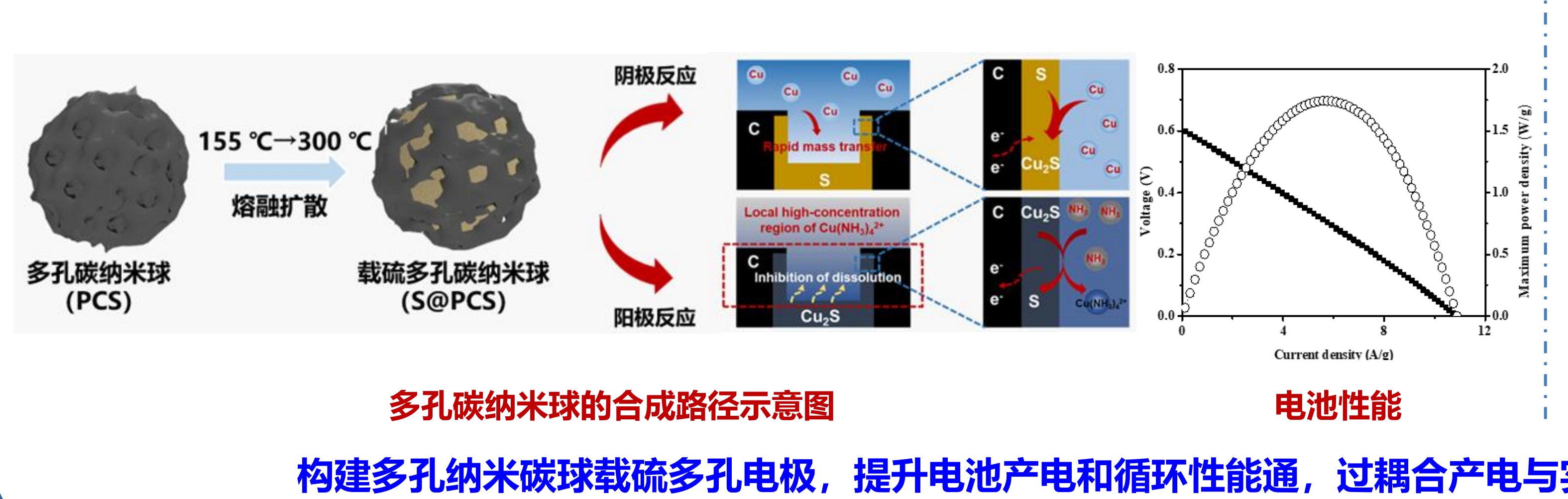


2. 电池传递调控及产电强化

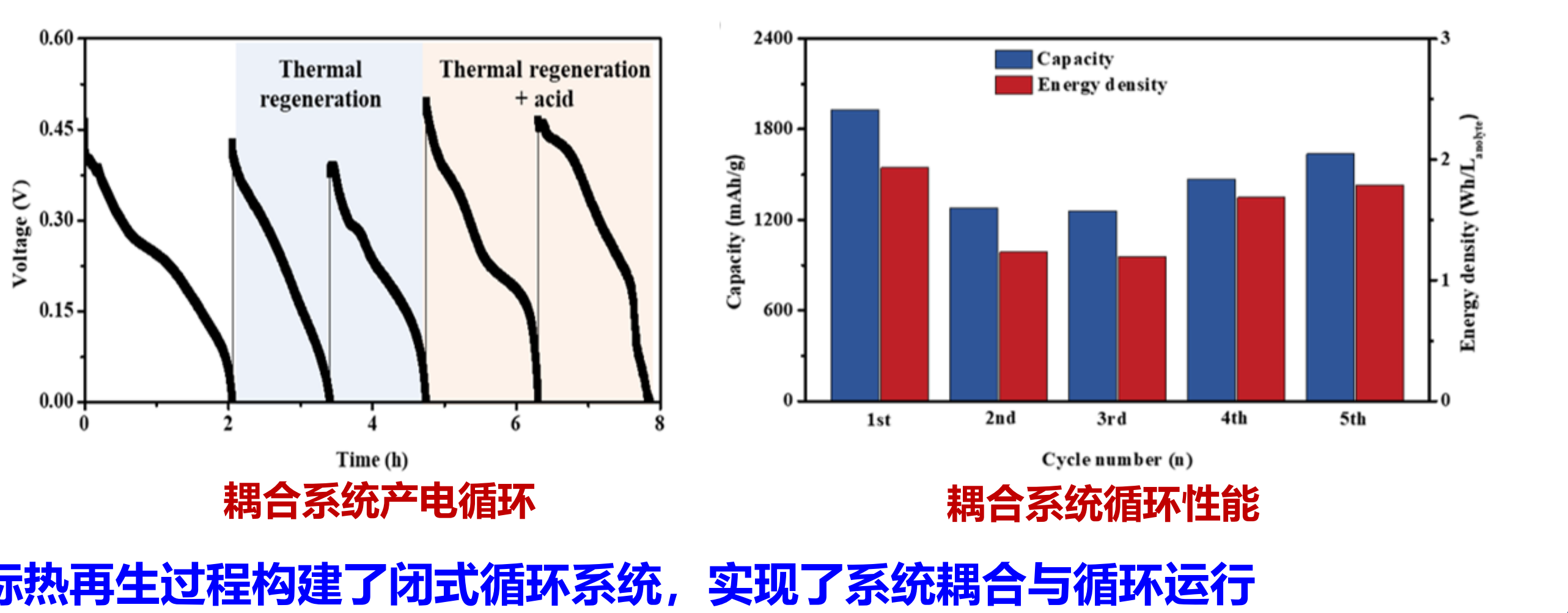


3. 系统性能提升研究

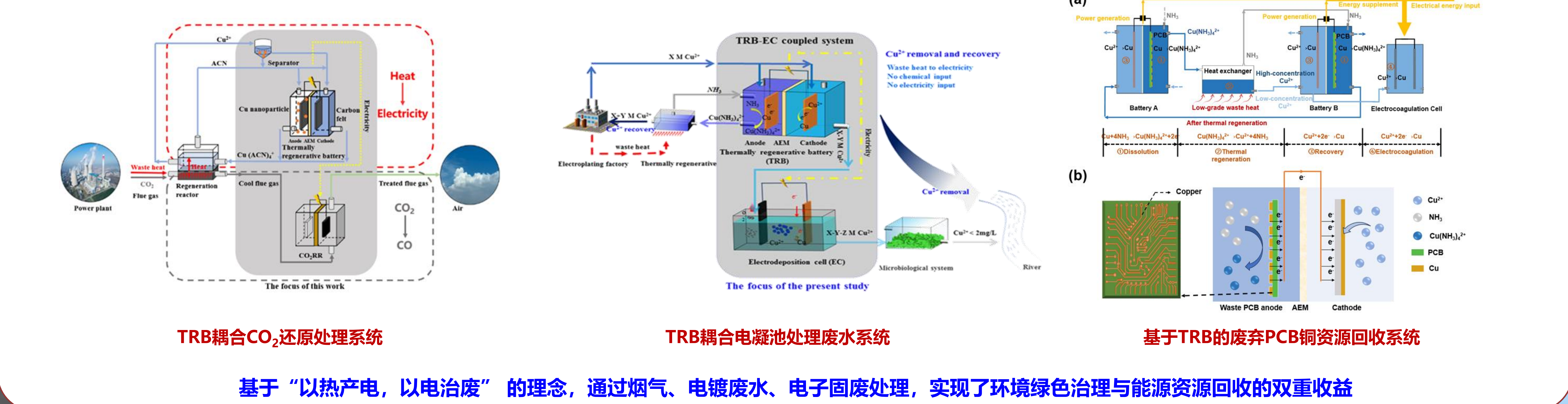
产电过程性能强化



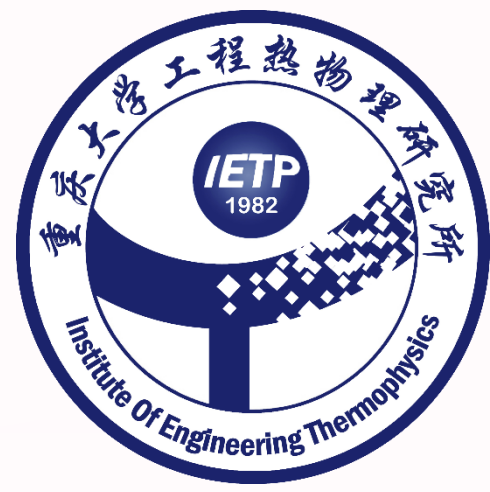
热再生耦合系统



4. 系统及拓展应用



Welcome to CQU



甲醇自热重整制氢系统热质传递调控及技术开发

一、自热式甲醇重整制氢技术简介

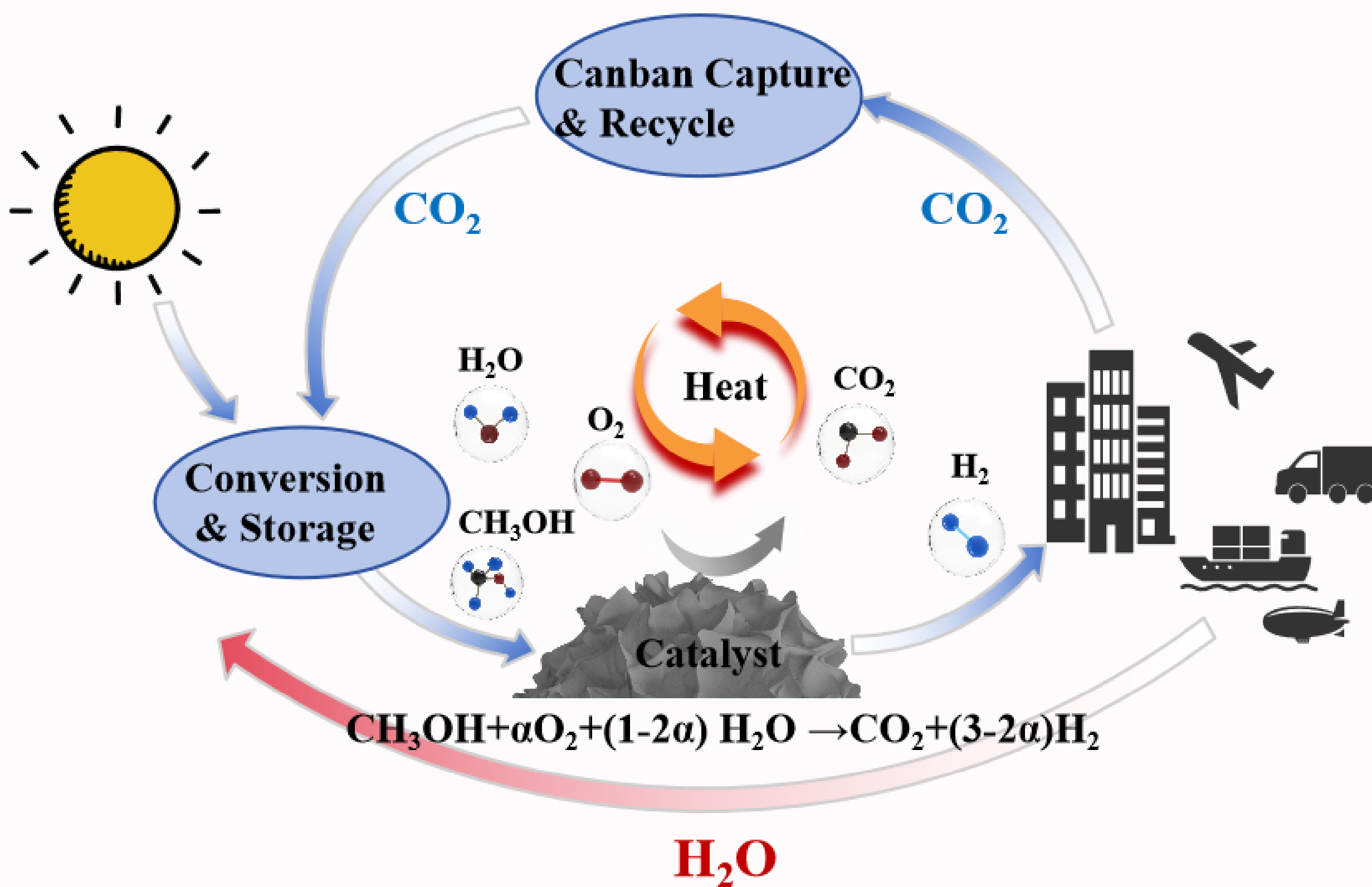
自热式甲醇重整制氢技术耦合甲醇催化燃烧与水蒸气重整反应，满足能量自平衡的同时实现高效分布式制氢，满足氢气即产即用需求。该系统在高温高压、动态负载及强耦合传热传质的复杂工况下运行，面临局部积碳、催化剂烧结及整体能效不足等挑战。本方向旨在探究反应器内“热量传递-物质转化-流体输运”多场协同机制，以提升系统集成度与动态响应特性，为便携式制氢系统研发提供理论支撑，推动分布式制氢产业发展。

二、主要研究内容

本方向聚焦催化剂-反应器-制氢系统三个核心层面开展研究：阐明催化剂构效关系对制氢性能的影响规律，构建结构化催化剂载体并研制条件温和、高效稳定的甲醇重整制氢催化剂；设计新型甲醇自热重整反应器构型，揭示耦合吸放热反应的流体流动与热质传递特性，指导微反应器腔室优化布置；研发高集成度制氢系统，建立系统模型分析关键参数对制氢性能与热效率的影响规律；拟构建成套高效紧凑型甲醇自热重整制氢系统并开展示范应用，旨在满足不同规模与场景的制氢工艺需求。

三、课题研究进展

课题组依托国家自然科学基金、军工等项目，建成完备的实验与计算平台，在*Renew. Sustain. Energy Rev.*、*Phys. Fluids*等期刊发表系列论文，获多项专利授权，参与制定国家标准，获得多级科技奖项，支撑了系列化制氢系统的示范应用。



自热式甲醇重整制氢技术应用示意图

1. 高性能催化剂设计与制备

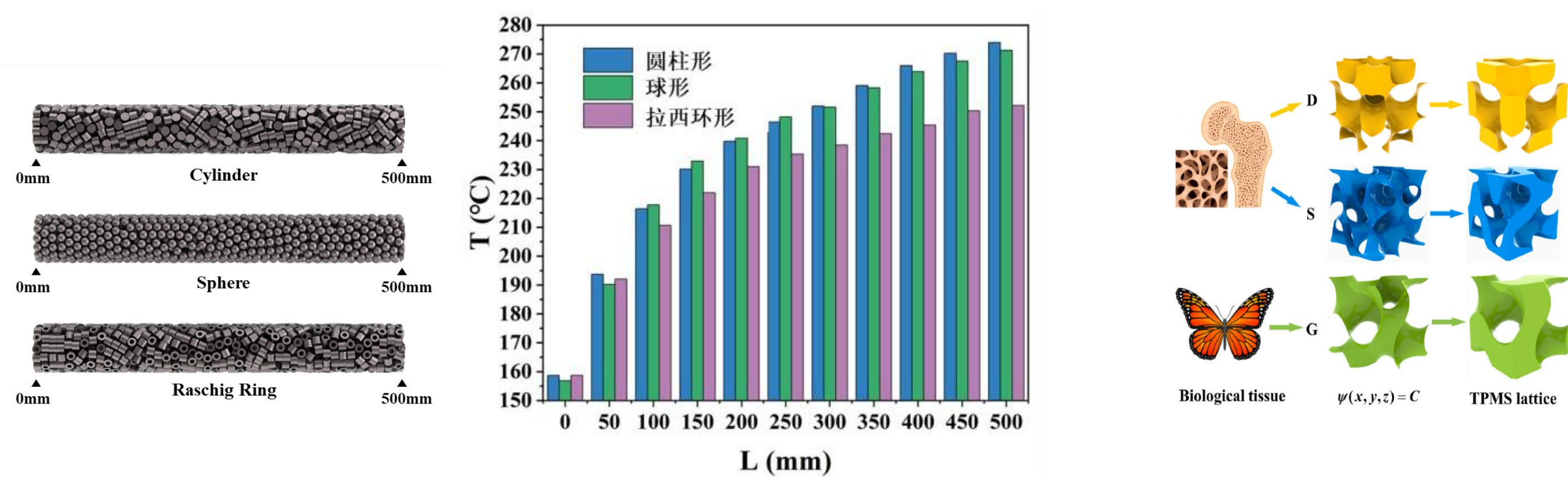


图1 不同形状催化剂的传热特性

图2 仿生甲醇重整制氢催化剂载体设计

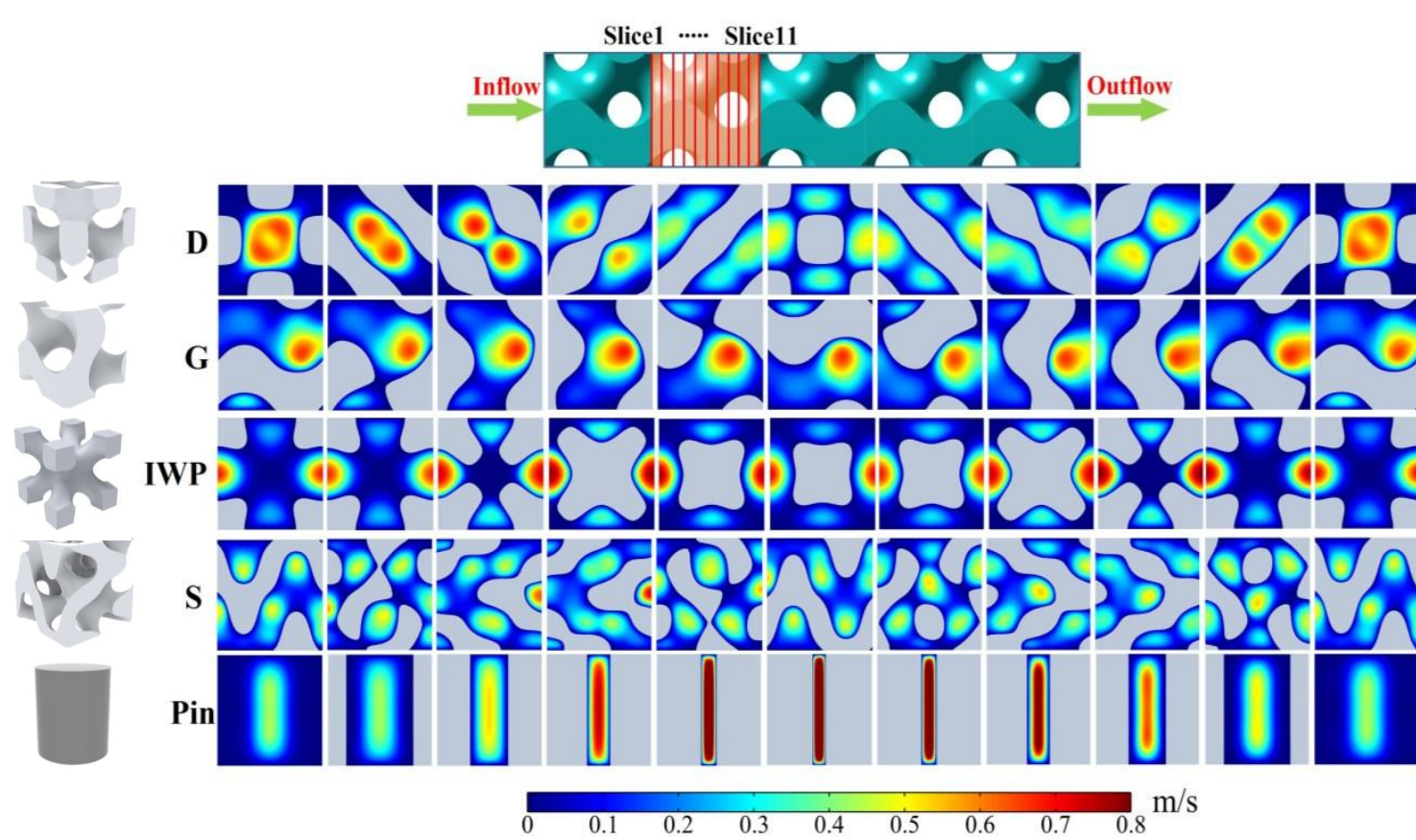


图3 TPMS结构的流动特性

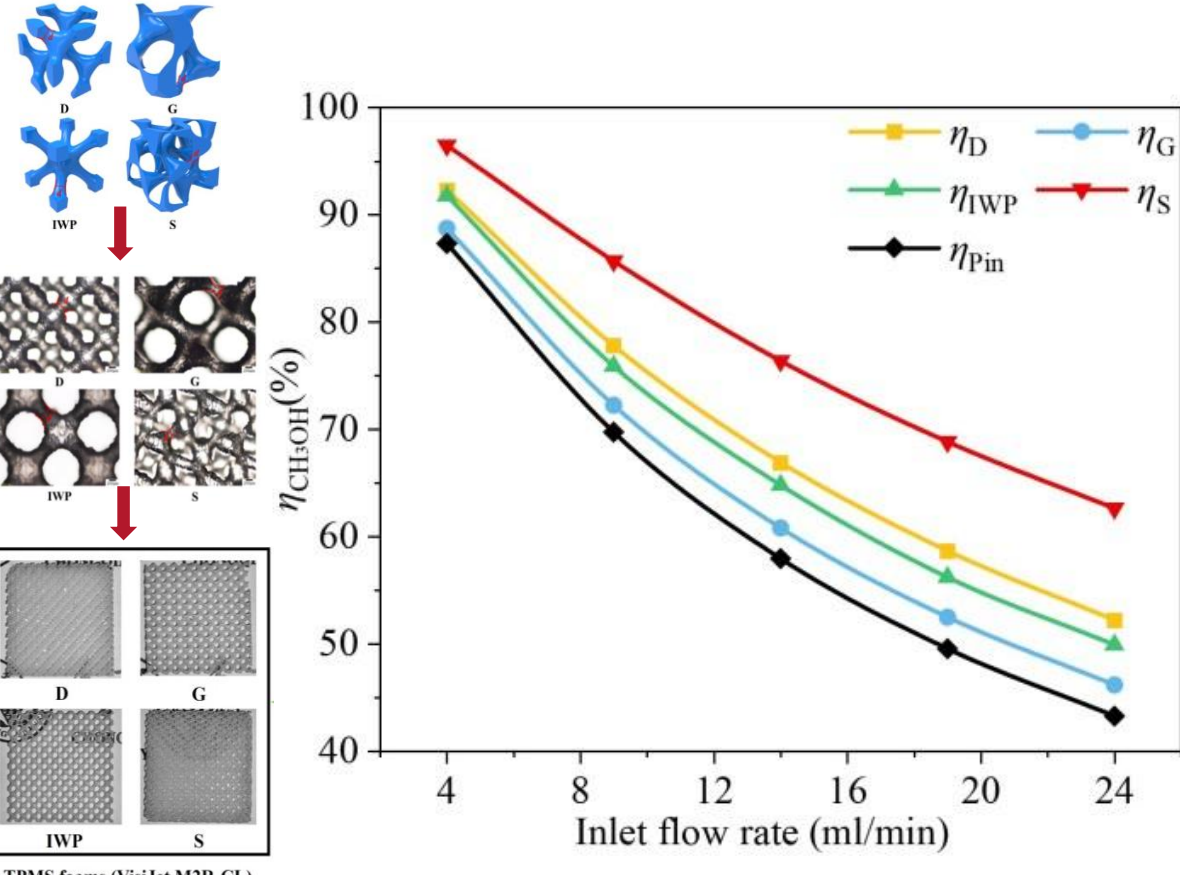


图4 催化剂载体3D打印制备及反应性能对比

仿生催化剂载体结构显著提升反应流场速度分布均匀性，较传统微针结构展现出更优异的甲醇重整效率

2. 甲醇重整制氢反应器研发与优化

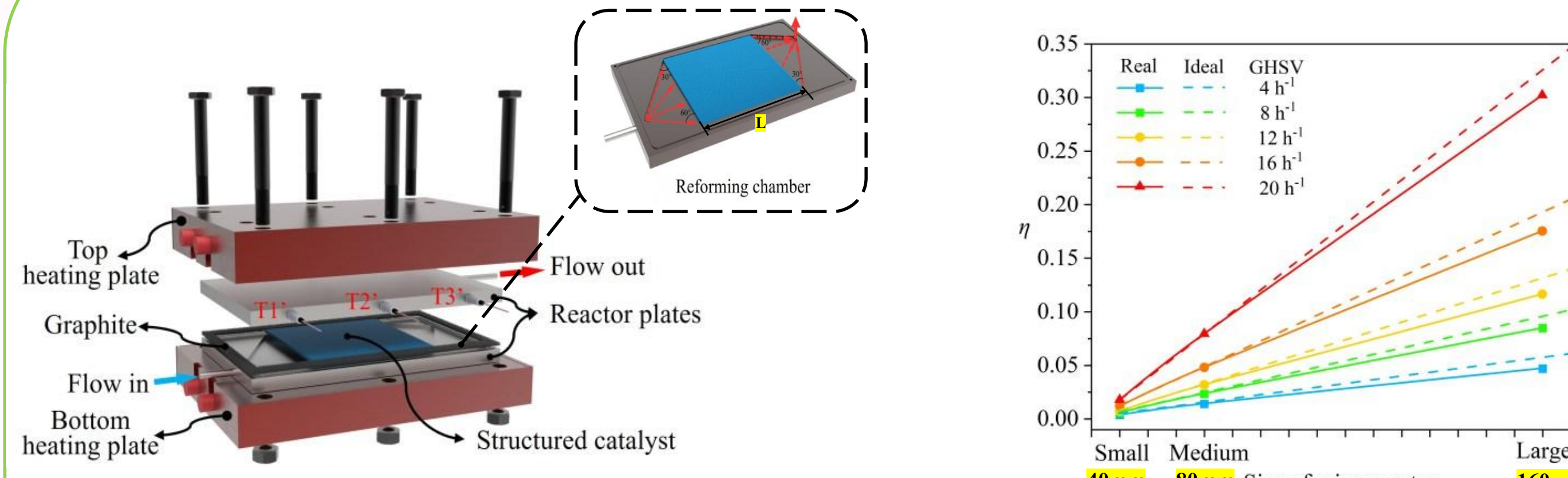


图5 TPMS板式微反应器及尺寸放大传热能对比

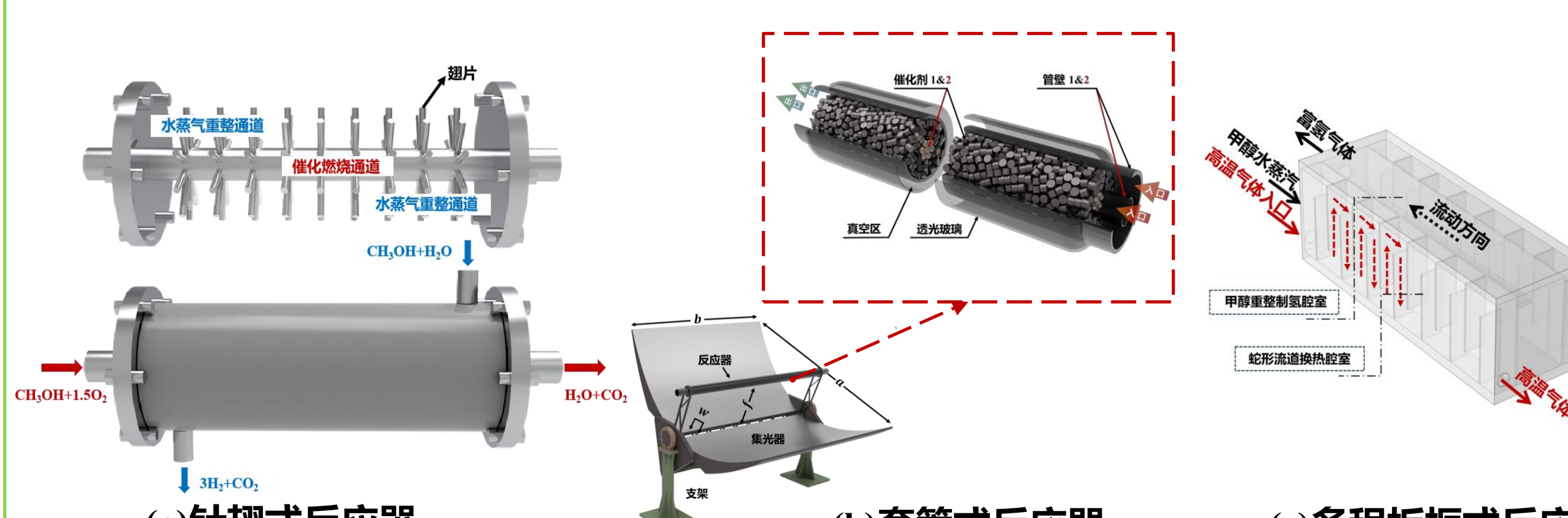
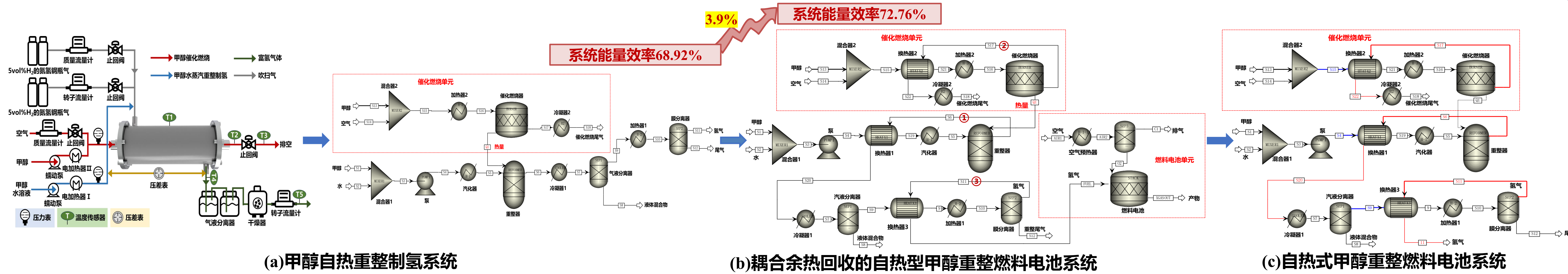


图6 自热式甲醇重整制氢反应器示意图

通过优化反应器结构显著强化传热传质，实现尺寸放大效应减弱、反应均匀性及系统能效的同步提升

3. 甲醇自热重整制氢系统集成与示范



(a) 甲醇自热重整制氢系统

(b) 耦合余热回收的自热型甲醇重整燃料电池系统

(c) 自热式甲醇重整燃料电池系统

图7 自热式甲醇重整制氢系统模型



图8 甲醇重整制氢系统实验平台

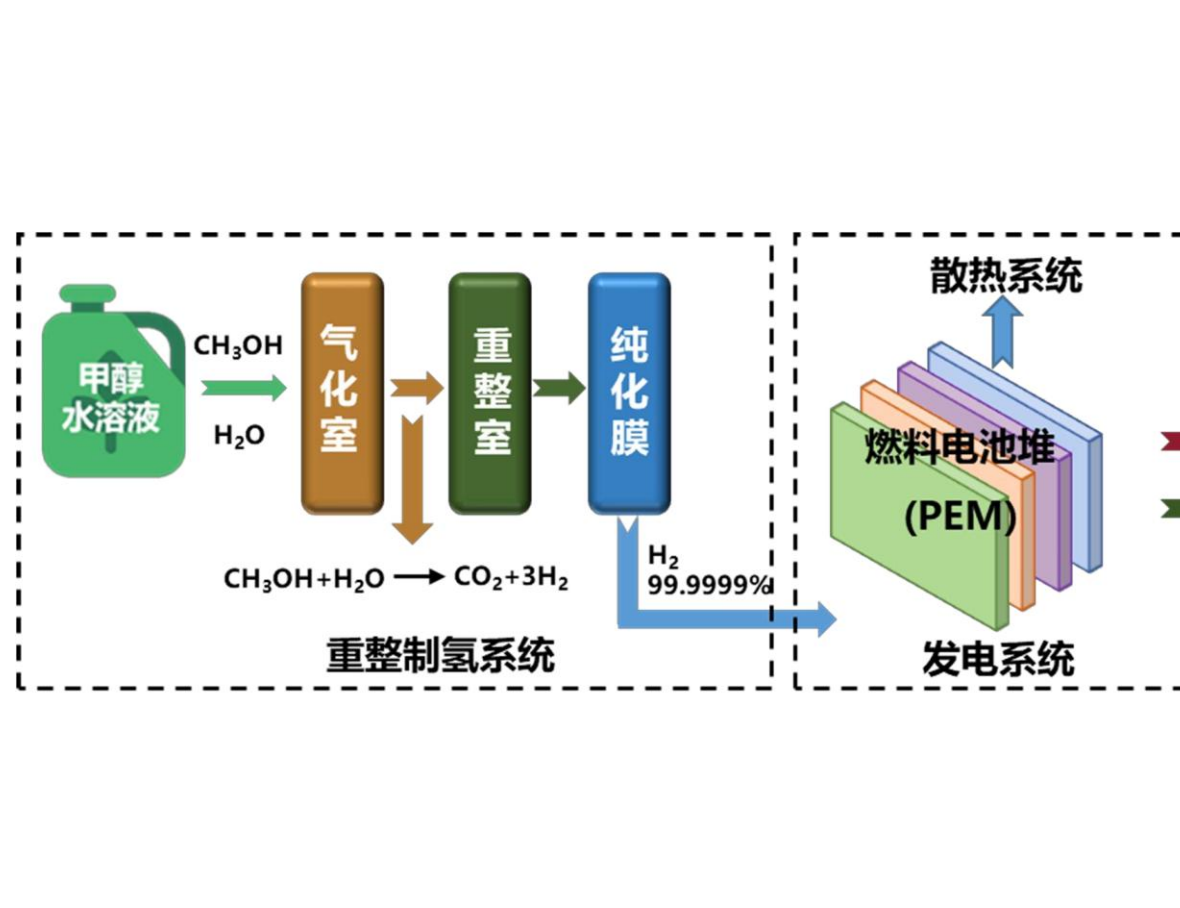


图9 甲醇重整制氢+燃料电池技术

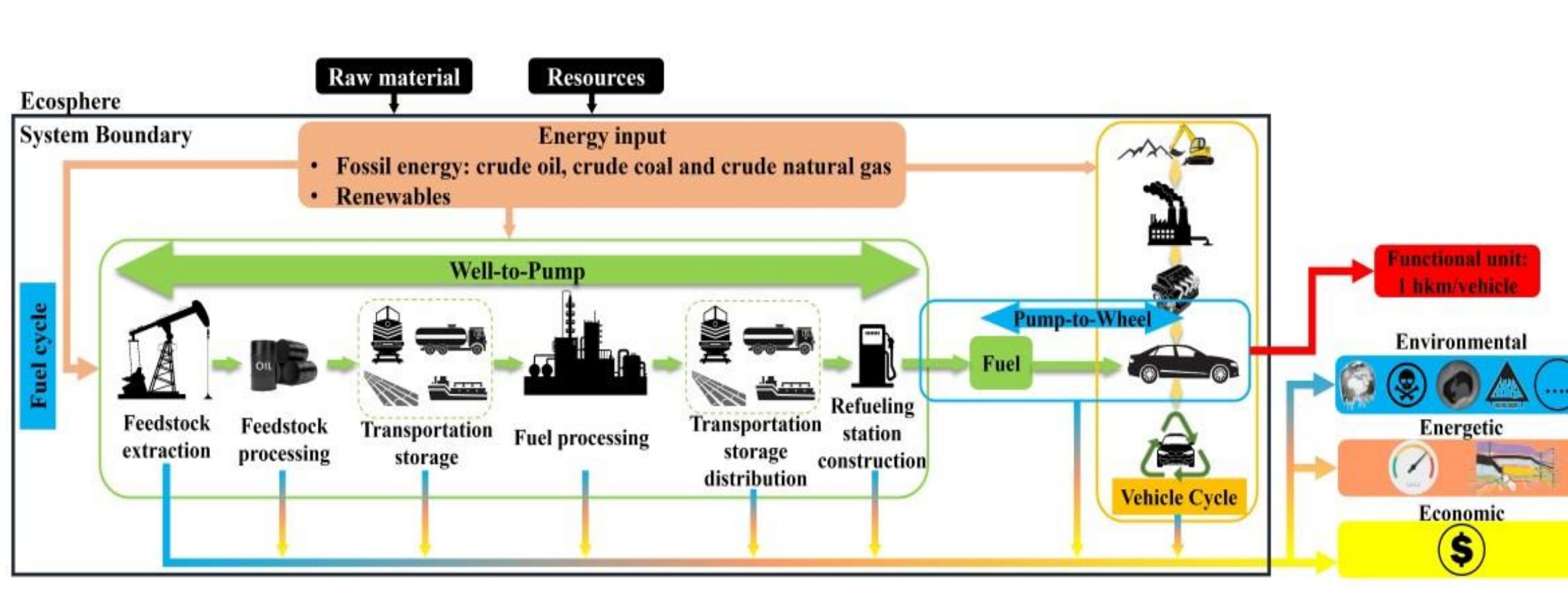


图10 3E“并到轮”(a)甲醇及(b)氢能经济全生命周期研究

甲醇自热重整制氢系统通过尾气余热回收提升系统能量利用率，构建成套装置实现稳定供氢，进而推动甲醇重整制氢-氢能发电的集成应用



Welcome to CQU