



超级电容产业周报

2026年6月 第 1 期

- 超级电容+磷酸铁锂，百兆瓦级超级电容器电化学混合储能调频电站招标
- 广西灌阳150MW/600MWh构网型独立储能电站EPC招标，配套15MW/30s超级电容调频系统
- 强钧能源取得用于超级电容保护板MCU的双路隔离SPI电路专利，解决两路数字隔离芯片数据无法传输问题
- 智越盛电子申请基于超级电容模组的移动式储能智能均衡管控系统专利，显著提升均衡的及时性、精确性与能量利用效率
- 清研电子收购Maxwell中国超容代工线，筑牢干法超级电容产业优势
- 聚焦固态变压器、超级电容器等！国家新型储能创新中心与东阳光产业合作签约
- 广西大学李济恩课题组CEJ：插层-相变协同助力高能量密度非对称超级电容器
- CCC！清华 & 建科院团队：水泥基结构超级电容器综述 —— 制备、表征与性能调控全解析

【行业动态】

超级电容+磷酸铁锂，百兆瓦级超级电容器电化学混合储能调频电站招标

5月26日，百兆瓦级超级电容器电化学混合储能调频电站示范项目（金谷二期）招标公告发布。该项目位于山西省忻州市偏关县老营镇方城村，山西中电金谷储能科技有限公司为项目招标人。

项目规划配置总容量不低于50MW/81MWh的混合储能系统，其中包含10MW/1MWh超级电容储能单元、40MW/80MWh磷酸铁锂储能单元，并配套建设220千伏升压站、厂区道路、设备基础、管网及挡墙围墙等设施。项目计划工期7个月，设计、施工、设备质量均需满足国家及行业现行标准，整体工程验收需达到合格要求。

本次招标涵盖项目施工图设计、土建施工、储能设备采购供货、安装调试、试运行等全部内容，中标方还需负责办理电力工程质检、消防、并网验收等相关手续，并提供全周期质保与现场协调服务。

项目允许不超过三家单位组成的联合体投标。

原文如下：

百兆瓦级超级电容器电化学混合储能调频电站示范项目(金谷二期)招标公告

(项目编号:WED2026-- 0146)

招标项目所在地区:山西省忻州市偏关县

1. 招标条件

本项目百兆瓦级超级电容器电化学混合储能调频电站示范项目(金谷二期)(招标项目编号:D3201150734004620001)已由偏关县行政审批服务管理局以山西省企业投资项目备案证(项目代码:2502-140932-89-01-591098)批准建设,招标人为山西中电金谷储能科技有限公司,建设资金为自有资金及银行贷款,招标代理机构为沃尔德建设咨询集团有限公司,本项目已具备招标条件,现对本项目进行公开招标。

2. 项目概况与招标范围

2.1 项目概况

(1)建设地点:山西省忻州市偏关县老营镇方城村。

(2)项目计划建设本工程包含总配置容量不低于50MW/81MWh的混合储能系统(其中超级电容储能的装机容量10MW/1MWh,磷酸铁锂储能的装机容量40MW/80MWh,以及配套的电气、控制系统等)、220kV升压站(220kV GIS、50MW/81MW配套主变、SVG、35kV开关柜、二次系统),场地土方平整回填、周边挡墙围墙、厂区管网道路、设备基础及项目涉及的所有子项工程等。

(3)计划工期:7个月;

(4)质量标准:设计满足现行的工程建设标准、设计规范;施工达到国家现行有关施工质量验收规范合格标准;设备质量达到国家、行业及地方现行相关法律法规合格标准。

2.2 招标范围

(1)220kV升压站(220kV GIS、50MW/81MW配套主变、SVG、35kV开关柜、二次系统),场地土方平整回填(须配合项目所在地实际情况具体实施)、周边挡墙围墙、厂区管网道路、设备基础及项目涉及的所有子项工程等的施工图设计、项目工程施工、可靠性试运行及质量保证期内的服务、建设管理、项目工程保险;以及项目所涉及的相关协调工作(其中规划许可、开工许可、建设用地手续办理,承包人配合上述工作),经批准的水土保持、环境保护方案的实施,消防报建及验收、组织协调并网验收、并网调试、启动及试运行、工程移

交生产预验收、竣工验收等配合工作。

(2)包含总配置容量不低于50MW/81MWh的混合储能系统(其中超级电容储能的装机容量10MW/1MWh,磷酸铁锂储能的装机容量40MW/80MWh,以及配套的电气、控制系统等),电气设计、制造采购、出厂试验、包装、供货、运输、就位和安装、调试、验收、试运行、工程移交。

(3)质保期内质保服务。

(4)包含电力工程质检手续办理并取得合法合规性文件。

(5)招标范围内所有内容均包含在投标总价中。

3.投标人资格要求

3.1 投标人为中华人民共和国境内合法注册的独立企业法人或其他组织,具有独立承担民事责任的能力。

3.2 本次招标要求投标人须同时具备以下资质:

(1)设计资质:具备有效的工程设计综合甲级资质或工程设计电力行业乙级及以上资质或工程设计电力行业(送电工程、变电工程及新能源发电)专业乙级及以上资质;

(2)施工资质:具备有效的电力工程施工总承包贰级及以上资质,有效的安全生产许可证;

(3)投标人拟派项目负责人须具备相关专业一级注册建造师或电气工程师或一级注册结构师或一级注册建筑师执业资格,其中建造师须具备有效的安全生产考核合格证书(B证),在投标人单位注册;

(4)投标人拟派施工负责人须具备相关专业一级注册建造师,且具备有效的安全生产考核合格证书(B证),在投标人单位注册;

3.3财务要求:经会计师事务所或者审计机构审计的(2022-2024年度或2023-2025年度)财务审计报告。

3.4类似业绩:投标人近3年内具有至少1个电力工程总承包(EPC)业绩。

3.5未列入“国家企业信用信息公示系统”严重违法失信企业名单,未列入“信用中国”、“中国执行信息公开网”网站失信被执行人名单。

3.6单位负责人为同一人或者存在控股、管理关系的不同单位,不得参加同一标段投标或者未划分标段的同一招标项目投标。

3.7本次招标接受联合体投标。

(1)联合体数量不超过3个;

(2)联合体投标的应签订联合体协议,明确联合体牵头人,约定各方拟承担的工作和责任;

(3)由同一专业的单位组成的联合体,按照资质等级较低的单位确定资质等级;

(4)联合体各方不得再以自己的名义单独投标或参加其他联合体在本招标项目中投标,出现上述情况者,其投标和与此有关的联合体的投标均将被拒绝。

信息来源: <https://news.bjx.com.cn/html/20260527/1497382.shtml>

【行业动态】

广西灌阳150MW/600MWh构网型独立储能电站EPC招标，配套15MW/30s超级电容调频系统

5月21日，**广西桂林市灌阳县独立储能电站项目勘察设计施工总承包EPC招标公告发布**，项目总投资约6.6亿元，资金来源为企业自筹，现启动公开招标。

该项目为**150MW/600MWh构网型电网侧独立储能电站**，采用**磷酸铁锂电池储能系统**，**配套建设15MW/30s超级电容调频系统及控制系统等辅助设施**、一座220kV升压汇集站和高压外送线路，项目用地面积约50亩，总工期280天，建设地址位于灌阳县新圩镇和睦村民委员会上立湾屯水井里。

本次招标采用EPC总承包交钥匙工程模式，承包范围涵盖土地三通一平、勘察设计、设备及材料采购（储能系统为甲指乙购，其他设备及材料由总包方自行采购）、安装施工、培训、试验调试、验收、试运行以及各项手续办理等全流程工作。

本次招标允许联合体投标，联合体单位不超过三家。

原文如下：

灌阳县独立储能电站项目勘察设计施工总承包 EPC 招标公告
(招标编号: 2601-450327-04-01-148605)

项目所在地区: 广西壮族自治区, 桂林市

一、招标条件

本灌阳县独立储能电站项目勘察设计施工总承包 EPC 已由项目审批/核准/备案机关批准, 项目资金来源为自筹资金 66000 万元, 招标人为桂林市中碳聚合能源有限公司。本项目已具备招标条件, 现招标方式为公开招标。

二、项目概况和招标范围

规模: 灌阳县独立储能电站项目勘察设计施工总承包 EPC

范围: 本招标项目划分为 1 个标段, 本次招标为其中的:

(001) 灌阳县独立储能电站项目勘察设计施工总承包 EPC;

三、投标人资格要求

(001 灌阳县独立储能电站项目勘察设计施工总承包 EPC) 的投标人资格能力要求: 详见招标公告;

本项目允许联合体投标。

二、项目概况和招标范围

2.1 项目概况：项目规划建设总功率为 150 兆瓦（MW），总容量为 600 兆瓦时（MWh）的构网型电网侧独立储能电站，选用磷酸铁锂电池储能系统。项目配套建设一套 15MW/30s 超级电容调频系统和控制系统等必要的辅助设施、一座 220kv 升压汇集站和高压外送线路。项目用地面积 50 亩左右。

2.2 招标内容与范围：工程建设模式为 EPC 总承包交钥匙工程，承包人负责招标范围内的土地三通一平（包括但不限于房屋的爆破拆除、场平等）、勘察、设计、设备/材料采购（其中储能系统为甲指乙购，其他设备及材料总包方自行采购）、安装、施工、培训、试验、调试、验收、试运行以及各项手续办理工作等（即便在招标范围内没有载明，但实际证明是确保项目发电运行所必须的，则需纳入设计、采购、安装施工及提供服务范围）；包括但不限于土地三通一平、储能系统勘察、设计、设备和材料采购、制造、供货、运输及储存、升压站区、储能站区等建（构）筑物及附属工程的施工安装、竣工、调试工作、试运行、性能试验（第三方检测），安全设施、消防设计审查验收、职业健康影响评价（职业卫生“三同时”）验收、消防报验、相关政府部门的验收申报和审批许可（含特种设备使用许可）验收，其他工作：负责办理项目施工许可、安全预评价报告编制及专家评审、土地征收事项社会稳定风险评估、外线输出相关手续（包括但不限于可研、规划、核准、水保、环评、稳评、青赔等）、各类试验等工作并承担相应费用。培训、移交生产、工程、设备质保期的服务及运营等，本项目所涉及的所有永久与临时工程均属在内。

2.3 建设地址：桂林市灌阳县新圩镇和睦村民委员会上立湾电水井里。

2.4 投资额：总投资约 66000 万元。

2.5 总工期要求：总工期 280 天，具体开工日期以开工令为准。

三、投标人资格要求

3.1 本次招标要求投标人须具备独立的法人资格，（提供有效证件的复印件，并加盖公章），营业执照的经营范围必须具有从事本项目的经营范围和能力。

3.2 本次招标要求投标人须具备下列资质之一：

（1）勘察设计公司须同时具备勘察和设计资质，即具备建设行政主管部门颁发的工程设计综合甲级资质，或工程设计电力行业乙级或以上设计资质，或工程设计电力行业（送电工程、变电工程、新能源发电）专业乙级或以上资质；还应同时具备工程勘察综合甲级，或工程勘察专业（岩土工程、工程测量）乙级（或以上）资质。

（2）施工资质要求：建筑工程施工总承包二级及以上、电力工程施工总承包二级及以上资

质、承装（修、试）电力设施许可证三级以上资质，并具备有效的安全生产许可证。（并提供资质和安全生产许可证证明文件加盖公章）。

（3）本项目允许联合体投标，联合体单位不得多于三家，其中勘察设计单位必须是一家单位。

3.3 工程总承包项目经理资质要求：

（1）工程总承包项目经理 1 名，具有（机电工程专业）注册建造师一级执业资格，且具有有效的安全生产资格证书（B 类），项目期间未担任任何其他在建项目的项目经理。（提供相关证明文件加盖公章）

（2）工程总承包项目经理不得同时在两个或者两个以上工程项目中担任工程总承包项目经理、施工项目负责人。

3.4 项目管理机构：

项目管理机构必须配置土建负责人、机电安装及调试负责人各一名、勘察负责人 1 名（具有国家注册土木工程师（岩土）证书或岩土类高级工程师）、设计负责人 1 名（注册电气工程师（发输变电专业）或电力电气类高级工程师）、采购负责人 1 名、安全负责人 1 名和质量负责人 1 名。

3.5 总承包单位不得是工程总承包项目的：代建单位、项目管理单位、监理单位、造价咨询单位、招标代理单位或者与前述单位有利害关系的关联单位。

3.6 提供拟派工程总承包项目经理、勘察负责人、设计负责人、施工负责人（土建负责人、机电安装及调试负责人）、采购负责人、安全负责人和质量负责人的社保机构出具的 2025 年任意一个月投标人为其缴纳的社保缴费证明【加盖社保公章或在社保中心参保缴费证明电子专用章或具有可验证的二维码（或验证码）】复印件加盖公章。在高等院校、科研机构、军事管理等从事工程勘察、设计、施工、采购的技术人员不能提供社保缴费证明的，由所在单位上级人事主管部门提供相应的证明材料复印件加盖公章。因退休人员（包括提前退休人员）无法提供社保证明，投标人可以提供身份证、退休证及投标人企业的聘用合同。提交的注册执业证书中聘用企业名称必须与投标人企业名称一致。

3.7 投标人在“信用中国”网站未被列入“失信被执行人”名单、重大税收违法失信主体、政府采购严重违法失信行为记录名单；在国家企业信用信息公示系统未被列入“严重违法失信企业名单”。

3.8 符合法律、法规规定的其他条件：

（1）投标人应无下列行为：

- a. 有违反法律、法规行为，依法被取消投标资格且期限未满的；
 - b. 因招投标活动中有违法违规和不良行为，被有关招投标行政监督部门公示且公示期限未满的。
- （2）工程总承包项目经理必须满足下列条件：
- 工程总承包项目经理不得同时在两个或者两个以上单位受聘或者执业：
- a. 未同时在两个及以上单位签订劳动合同或缴纳社会保险；
 - b. 未将本人执（职）业资格证书同时注册在两个及以上单位。
- （3）工程总承包项目经理可以兼任施工项目负责人或勘察负责人或设计负责人。
- （4）建设工程企业资质证书有效期延期执行国家及省、市相关文件规定。投标人须确保提交的证书真实有效，若处于换证期间，须同时提供相应的证明材料，否则将导致资格审查不通过。
- 3.9 本项目的相关项目管理的从业人员和企业能办理入桂手续（自行提前办理，费用自理）。

信息来源：<https://news.bjx.com.cn/html/20260522/1496786.shtml>

【行业动态】

强钧能源取得用于超级电容保护板MCU的双路隔离SPI电路专利，解决两路数字隔离芯片数据无法传输问题

国家知识产权局信息显示，**强钧能源技术（深圳）有限公司**取得一项名为“**用于超级电容保护板MCU的双路隔离SPI电路**”的专利，授权公告号CN224289285U，申请日期为2025年6月。

专利摘要显示，本实用新型公开了一种用于超级电容保护板MCU的双路隔离SPI电路，一种用于超级电容保护板MCU的双路隔离SPI电路，包括嵌入式芯片、第一数字隔离芯片、第二数字隔离芯片、第一AFE芯片和第二AFE芯片，嵌入式芯片通过第一数字隔离芯片与第一AFE芯片电连接，嵌入式芯片通过第二数字隔离芯片与第二AFE芯片电连接；嵌入式芯片的型号为HK32F103CET6A，该实用新型中，嵌入式芯片通过7个IO口对第一数字隔离芯片和第二数字隔离芯片发送/接受数据，对第一数字隔离芯片和第二数字隔离芯片的使能引脚EN进行控制，控制数字隔离芯片是否运行，**解决了两路数字隔离芯片数据无法传输，且IO口占用资源多的问题，更好的对超级电容进行保护。**

信息来源：https://www.sohu.com/a/1027614303_114984?scm=10023.20001_107-20001_107-0_20001.0-0.0-1-0-0-0.0&spm=smpc.csrpage.news-list.4.1779758231260aCWVGo2

【行业动态】

智越盛电子申请基于超级电容模组的移动式储能智能均衡管控系统专利，显著提升均衡的及时性、精确性与能量利用效率

国家知识产权局信息显示，**深圳市智越盛电子科技有限公司申请一项名为“基于超级电容模组的移动式储能智能均衡管控系统”的专利**，公开号CN122092441A，申请日期为2026年3月。

专利摘要显示，**本发明属于储能技术领域**，具体的说是基于超级电容模组的移动式储能智能均衡管控系统，包括多个串联连接的超级电容单体构成的储能模组；高精度同步采样单元，用于实时采集各超级电容单体的端电压、温度及漏电流参数，并支持毫秒级同步触发；

轻量化主动均衡单元，通过多路可控MOSFET开关网络实现相邻或跨距单体间的能量定向转移；以毫秒级同步数据为基石，融合负载工况识别与单体老化预测模型，能够动态生成并执行前馈-反馈复合均衡策略。**这使得系统在移动颠簸、脉冲放电等工况造成参数剧烈变化前，即可触发预防性均衡操作，将不一致性抑制在萌芽状态，从而显著提升了均衡的及时性、精确性与能量利用效率，延长了模组整体寿命。**

信息来源：

https://www.sohu.com/a/1028002225_114984?scm=10023.20001_107-20001_107-0_20001.0-0.0-1-0-0-0.0&spm=smcpc.csrpage.news-list.55.1779947052723dbmrE0m

【行业动态】

清研电子收购Maxwell中国超级电容代工线，筑牢干法超级电容产业优势

近日，**清研电子正式完成对Maxwell在中国超级电容器代工线的收购**，强势补齐产业核心资源，全力助推国产干法超容跻身全球一流阵营。短短数年间，干法超级电容产业实现从“受制于人”到“自主可控”，再到“全球布局”的跨越式发展。

01 技术突围：从破局到量产

2019年，特斯拉完成对Maxwell的全资收购，其手握的干法电极技术成为4680电池研发量产的核心技术依托，彼时国内新能源产业一度深陷该领域核心技术“卡脖子”困境。值此形势，清研电子依托深圳清华大学研究院先进储能材料及器

件实验室20余年技术积淀，于2020年成功突破技术壁垒，**推出无溶剂、低能耗、高能量密度的车规级干法电极，建成国内规模最大的超级电容器用干法电极生产线，年产能达100万平方米，为下游客户提供稳定可靠的国产替代方案。**2021年起，清研电子在深圳、东莞、常州布局总面积3.8万平方米生产基地，**构建起干法超容极片-单体-模组-系统垂直产业链闭环。**



02 产能升级：打通全链条闭环

2025年再落重子，清研电子收购Maxwell在中国超级电容器代工线，完成产线迭代升级。Maxwell电容产线成熟先进，产品一致性出众、运行稳定可靠，综合品质稳居行业前列。收购该产线后，注入自研PIFs核心工艺与车规级品控体系，开放成熟产线、高端供应链与优质客户资源，大幅缩短量产爬坡周期，实现技术与制造双向赋能。

升级后的产线实现多项重大突破，质量一致性显著提升；产品内阻率大幅降低；导入激光焊产品导入；Maxwell品质基因注入，可快速适配市场多样化需求。



03 价值跃升：全产业链自主可控

此次收购，清研电子超导产业实现在技术、产能、成本、市场四大维度全面跃升。**技术层面深度对标并融合Maxwell中国超级电容器代工线；产能层面建成25ppm全自动化、年产300万只的超导产线；成本层面降低试错与认证投入；市场层面顺利切入全球高端核心供应链，助力国内干法电容产业在全球新能源赛道牢牢掌握发展主动权。**

未来，清研电子将以更完善的干法超导产品体系、更强大的制造能力与更开放的供应链，推动干法超导在全球储能、动力电池、高端装备等领域实现规模化落地，以技术创新与产业协同，引领全球干法电极技术迈向更高水平。

信息来源：

https://mp.weixin.qq.com/s/En_NH2Ttwca_kU9Ae4cyyg?scene=1&click_id=1

【行业动态】

聚焦固态变压器、超级电容器等！国家新型储能创新中心与东阳光产业合作签约

北极星储能网获悉，5月25日，**国家新型储能创新中心与东阳光产业合作签约仪式在广州市白云区国家储能大厦举行**。本次合作聚焦固态变压器（SST）与超级电容器等电力系统核心装备领域，推动源头技术研发与先进制造能力深度融合，助力新型储能产业高质量发展。

双方落地多项实质性合作举措，主要包括2项，**一是核心技术攻关，通过合资设立专业化科技公司，在固态变压器（SST）领域开展技术研发、工程化攻关与规模化落地工作。二是资本深度合作，通过交叉增资模式，在超级电容器等领域开展双向资本合作，加速核心技术迭代与产业化落地。**

国家新型储能创新中心主任、南网科技公司董事长表示，此次合作充分体现了各方共同服务国家战略、推动新型储能产业高质量发展的责任担当。下一步，国创中心将携手南网科技、东阳光等产业链上下游头部企业，**汇聚“政产学研用金”优质创新资源，在真实场景中打磨核心技术、验证系统方案，加快推动固态变压器、超级电容器等关键装备成熟定型、规模应用，以规模化场景验证推动行业标准成熟，形成可复制、可推广的中国方案，推动更多中国技术、中国装备、中国标准走向世界。**

东阳光表示，此次合作将**聚力打造适配人工智能、数据中心等场景的新型电力系统核心装备产线，深度契合当下数字能源融合发展趋势，未来有望树立起粤港澳大湾区储能与算力协同、能源装备与数字产业融合发展的新标杆。**

据悉，东阳光是东阳光集团旗下主营电子新材料的上市主体，围绕人工智能、电子材料、氟氯化工三大领域布局，已构建起电子元器件、化工新材料、能源材料、液冷科技与智能机器人等多元化产业体系；建有新能源研究院、人工智能研究院、博士后科研工作站和国

家级企业技术中心。东阳光拥有从铝锭到电容器的全产业链制造能力和积层箔全球先进技术，多款铝箔产品市场份额位居全球首位，超级电容器核心技术行业领先，并持续布局半导体电子材料及AI核心材料研发。近年来，东阳光积极拓展新型储能及算力配套产业合作，深度参与国家级储能创新平台建设，持续完善液冷、智能机器人等产业布局，推动高端制造、新型储能与数字产业融合发展。

信息来源：<https://m.bjx.com.cn/mnews/20260528/1497580.shtml>

【前沿技术】

广西大学李济恩课题组CEJ：插层-相变协同助力高能量密度非对称超级电容器

文章信息

第一作者：香懿娜

通讯作者：李济恩

单位：广西大学

研究背景

随着可穿戴电子设备与新能源系统的快速发展，对高能量、高功率、长寿命储能器件提出了迫切需求。超级电容器因其高功率密度和优异的循环稳定性受到广泛关注，但其能量密

度偏低，限制了实际应用。传统单一机理电极材料（插层型或相变型）难以兼顾高容量与高倍率：插层材料虽倍率好，但容量受限；相变材料容量高，却面临动力学缓慢、体积应变大、循环衰减快等问题。如何同时发挥两种机制的优势，是当前电极材料设计的核心挑战。

文章简介

近日，广西大学李济恩团队在国际知名期刊《Chemical Engineering Journal》上发表题为“NiV-OH/CoNi-MOF heterostructures enabling intercalation–phase transition synergy for high-energy asymmetric supercapacitors”的研究论文。

该工作通过在活性炭布上原位生长CoNi-MOF并进一步负载NiV双金属氢氧化物纳米片，构建出一种自支撑异质结构电极NV-OH-3@CNM/AC。该电极实现了K⁺插层与Ni²⁺/Ni³⁺、Co²⁺/Co³⁺氧化还原相转变的协同储荷机制。非原位XPS、FTIR、XRD与SEM系统证实：充放电过程中，Ni-V氢氧化物发生可逆K⁺插层，而CoNi-MOF骨架发生OH⁻诱导下转变成CoNiOOH后的可逆相转变。两者通过异质界面耦合，实现高效电子/离子传输。优化后的电极在1 mA/cm²下面积电容高达12.08 F/cm²，5000次循环后保持88.73%初始容量。组装的不对称超级电容器在4 mW/cm²功率密度下能量密度达1.35 mWh/cm²，即使提升至40 mW/cm²仍保持0.66 mWh/cm²，并成功点亮40颗LED，展示出优良的实际应用前景。

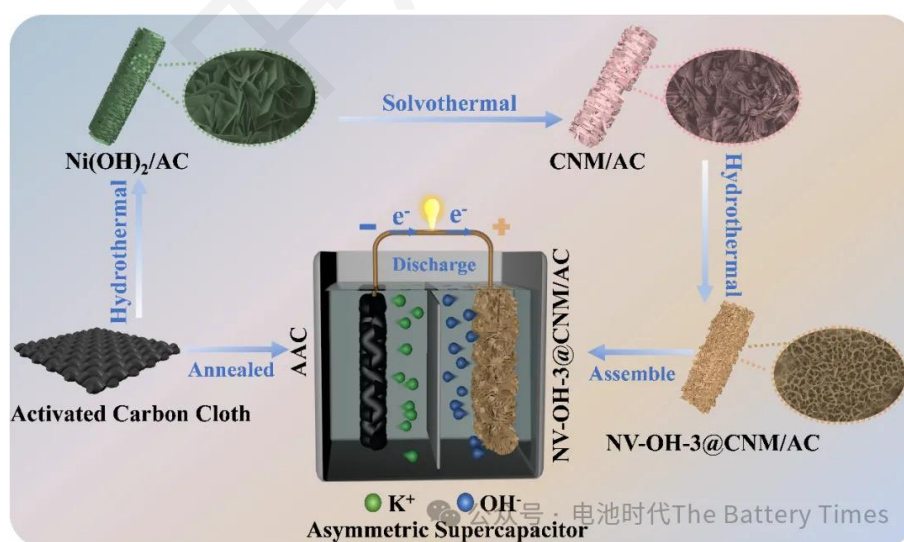


示意图1. 非对称超级电容器及NVOH3@CNM/AC制备过程示意图

本文要点

要点一：MOF/氢氧化物异质界面的可控构筑与结构表征

通过两步水热/溶剂热法，先在碳布上生长晶态CoNi-MOF（CNM），再以3小时水热反应负载非晶NiV-OH纳米片，形成多级孔异质结构。TEM与SAED显示：CNM具有清晰晶格条纹，而NV-OH呈非晶态（连续弥散环），两者界面紧密接触。EDS元素面扫表明V、Ni富集于表面薄层，Co均匀分布于体相骨架，证实异质结构成功构建。

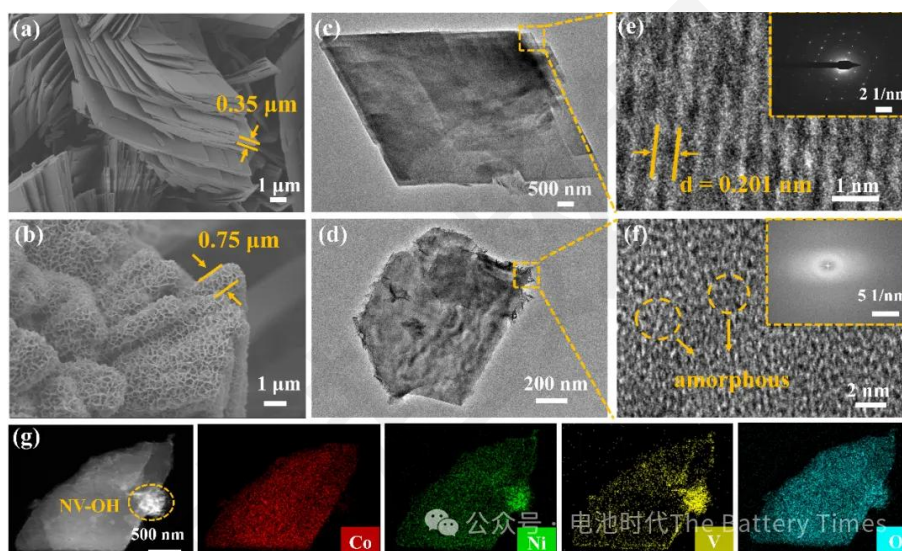


图1. (a) CNM/AC和 (b) NV-OH-3@CNM/AC的场发射扫描电镜（FESEM）图像；(c, e) CNM和 (d, f) NV-OH-3@CNM的透射电镜（TEM）及高分辨透射电镜（HRTEM）图像，插图中分别对应选区电子衍射（SAED）和快速傅里叶变换（FFT）花样；(g) NV-OH-3@CNM 的扫描透射电镜（STEM）图像及其对应的Co、Ni、V、O元素面分布图

要点二：异质结构对化学态与孔结构的调制

XRD分析（图2a）表明，CNM/AC呈现出与CoNi-MOF模拟图谱一致的特征衍射峰，

结晶性良好；而NV-OH-3@CNM/AC基本保留了CNM/AC的主要衍射峰，但峰强显著减弱且略微向低角度偏移，这与NV-OH的非晶态特征吻合，证明异质结构中晶态MOF与非晶氢氧化物的共存。FTIR与拉曼光谱（图2b-c）进一步证实了羧酸配体、苯环及金属-氧键的存在，且V-O键的强信号出现在 819 cm^{-1} ，确认了NV-OH的成功负载。XPS显示：NV-OH-3@CNM/AC中Co 2p_{3/2}结合能相比CNM/AC正移0.30 eV，O 1s中M-O峰负移1 eV，表明电子环境被显著调制。O 1s谱中出现典型OH-峰，证实NV-OH引入。BET测试表明，复合后比表面积从 $4.91\text{ m}^2/\text{g}$ 提升至 $13.1\text{ m}^2/\text{g}$ ，平均孔径约 10.77 nm ，有利于电解液渗透与离子扩散。

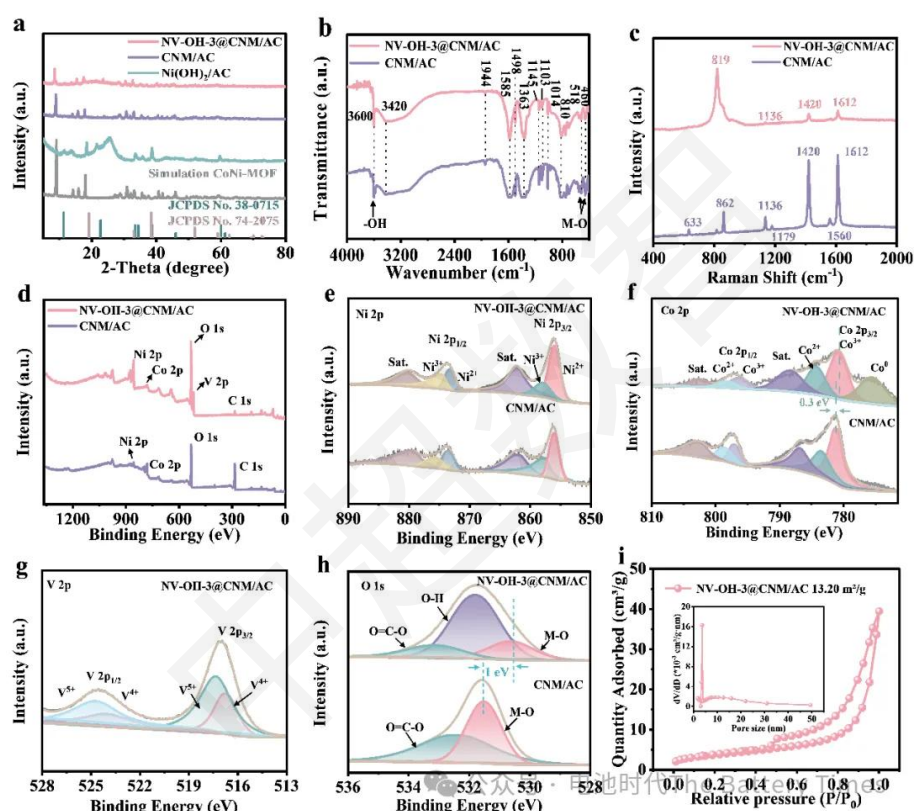


图 2. (a) NV-OH-3@CNM/AC、CNM/AC和Ni(OH)₂/AC的X射线衍射（XRD）谱图；(b) 傅里叶变换红外光谱（FTIR）对比；(c) 拉曼光谱对比；(d-h) X射线光电子能谱（XPS）全谱及Ni 2p、Co 2p、V 2p、O 1s的高分辨谱图；(i) NV-OH-3@CNM/AC的N₂吸附-脱附等温线，插图为对应的BJH孔径分布曲线

要点三：单电极卓越的面积电容与反应动力学

在1 M KOH中，NV-OH-3@CNM/AC电极在1 mA/cm²下面积电容达到12.08 F/cm²（优于单相CNM的6.48 F/cm²），在30 mA/cm²高电流密度下仍保持7.32 F/cm²。Randles-Sevick计算显示：电解质离子扩散系数显著提升（阳极 2.03×10^{-5} cm²/s），电化学活性面积（ECSA）达154 cm²。b值（0.73/0.61）与定量分析表明：电荷存储由扩散控制与电容控制共同贡献，且即使在10 mV/s 高扫速下，扩散贡献仍占10%（CNM仅2%），说明异质结构有效缓解了扩散限制。

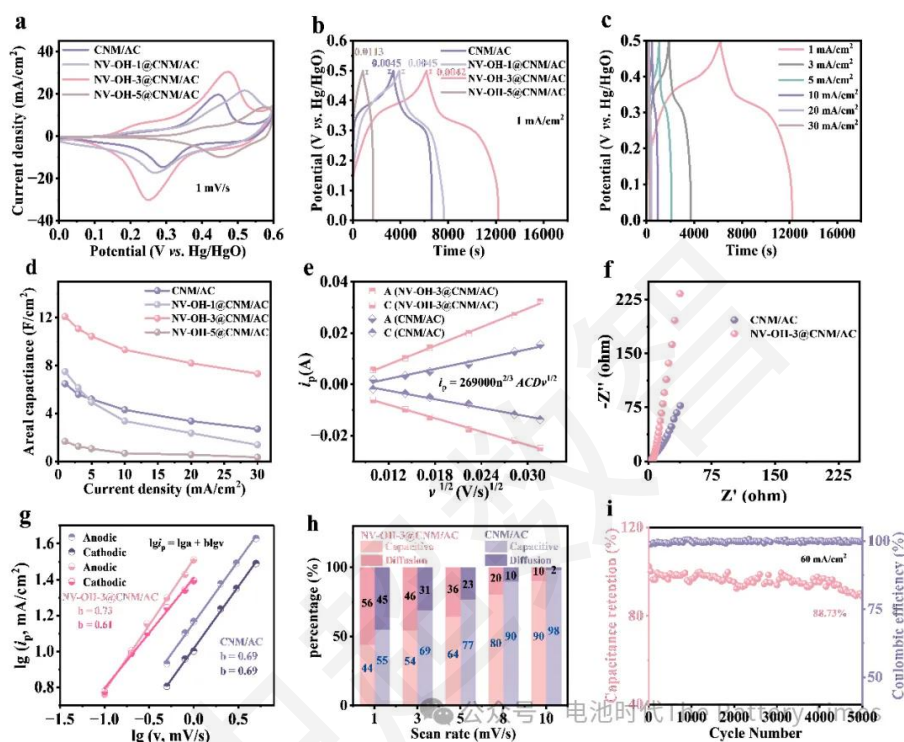


图 3. CNM/AC与NV-OH-1、3、5@CNM/AC电极的 (a) CV曲线对比和 (b)恒流充放电（GCD）曲线对比；(c) NV-OH-3@CNM/AC的GCD曲线；(d) 面积电容对比；(e) 峰值电流与扫描速率平方根的关系图；(f) 奈奎斯特图；(g) $\lg(i_p)$ 与 $\lg(v)$ 关系图；(h) 电容贡献与扩散贡献分析；(i) NV-OH-3@CNM/AC的循环性能

要点四：非原位表征揭示的插层-相变双机制协同储荷

选取了GCD曲线上五个特征状态进行非原位XPS、FTIR、XRD、SEM分析：

•Ni 2p与Co 2p XPS显示：充电时 $\text{Ni}^{2+} \rightarrow \text{Ni}^{3+}$ 、 $\text{Co}^{2+} \rightarrow \text{Co}^{3+}$ ，放电时可逆还原，且 $\text{Ni}^{3+}/\text{Ni}^{2+}$ 比值从0.63升至0.80后恢复至0.67。

•FTIR中M-OH峰在充电时减弱、放电时增强，证实可逆相转变。

•在XPS全谱中出现K 2p信号，且其强度随充放电循环变化，证实 K^+ 可逆插层/脱出。

•XRD中可标定出 $\text{K}_0.51\text{V}_2\text{O}_5$ 相，以及 CoNiOOH 特征峰的强弱演变，直接证明插层与相变机制共存。

•SEM观察到充电中出现的半球状新相（羟基氧化物）在放电后消失，为相转变提供了直观形貌证据。

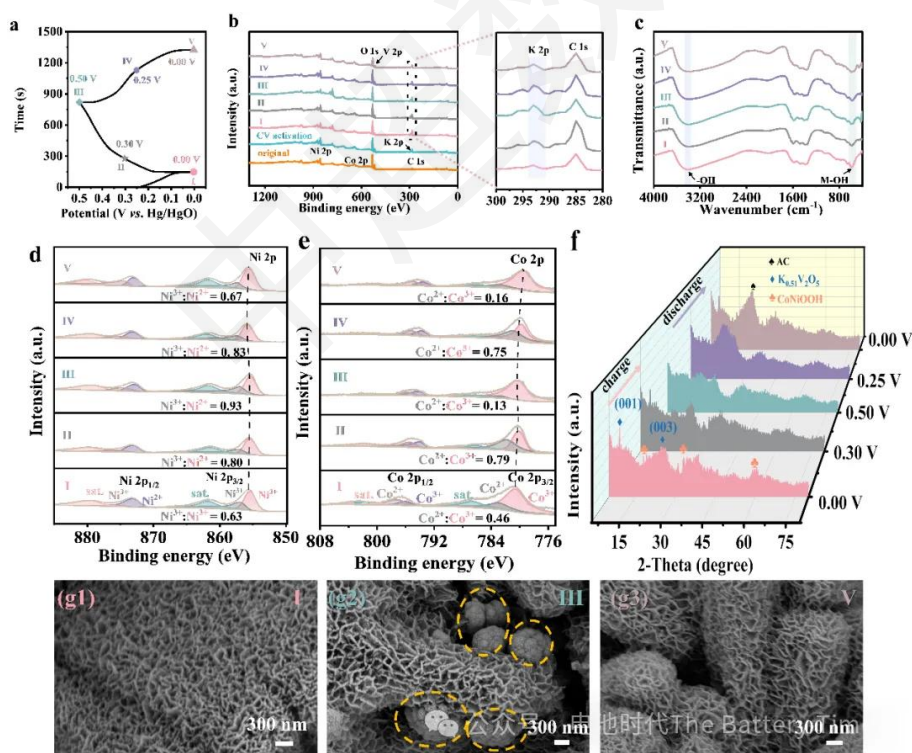


图 4. (a) GCD曲线及不同充放电状态对应的非原位测试结果；(b) XPS全谱；(c) FTIR谱图；(d) Ni 2p高分辨谱；(e) Co 2p高分辨谱；(f) XRD谱图；(g1–g3) 状态I、III、V 下的FESEM 图像

要点五：非对称超级电容器性能

以NV-OH-3@CNM/AC为正极、活性炭布（AAC）为负极组装ASC，工作电压拓宽至1.6 V。在5 mA/cm²下电容为3.74 F/cm²，倍率性能达50%（50 mA/cm²）。Ragone图中，能量密度为1.35 mWh/cm²功率密度保持在4 mW/cm²，即使功率密度升至40 mW/cm²仍保持0.66 mWh/cm²，优于多数已报道Ni-Co基ASC。循环5000次后电容保持84.19%，库伦效率100%。更直观的是：两个串联ASC可稳定点亮40颗LED达15分钟，展示了实际供电潜力。

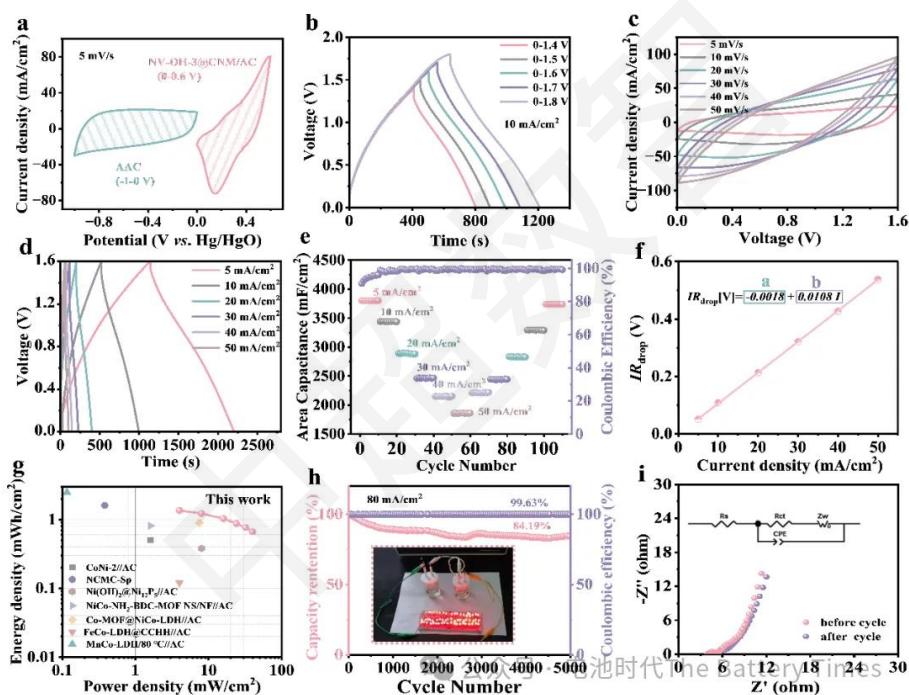


图 5. (a) NV-OH-3@CNM/AC 与 AAC 的 CV 曲线。水系电解液中 ASC 器件的电化学性能：(b) 不同电压窗口下的 GCD 曲线；(c) CV 曲线；(d) GCD 曲线；(e) 变电流循环响应；(f) IRdrop 随电流密度的变化；(g) Ragone 图；(h)循环性能（插图为点亮 LED 的照片）；(i) 奈奎斯特图

文章链接

NiV-OH/CoNi-MOF heterostructures enabling intercalation–phase transition synergy for high-energy asymmetric supercapacitors Yina Xiang, Shumin Qin, Shuang Luo, Hui Zhou, Guochuang Tian, Feng Zhan, Jien Li* Chemical Engineering Journal

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2026.176806>

通讯作者简介

李济恩博士，广西大学资源环境与材料学院副教授。研究方向为金属有机框架（MOF）及其衍生物、过渡金属氢氧化物/氧化物在超级电容器、电池等领域的应用。近年来在Chemical Engineering Journal, Journal of Colloid and Interface Science, Advanced Functional Materials等期刊发表多篇论文。

信息来源: <https://news.bjx.com.cn/html/20260522/1496786.shtml>

【前沿技术】

CCC! 清华 & 建科院团队：水泥基结构超级电容器综述——制备、表征与性能调控全解析

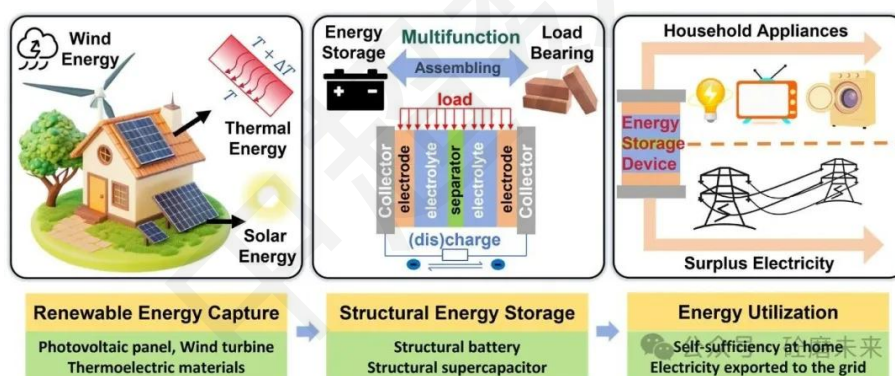


DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2026.106673

关键词

结构超级电容器；储能；水泥基材料；建筑环境；微观结构

建筑行业能耗与碳排放占全球比重极高，传统建筑仅承担承重围护功能，无法实现能源自储与就地消纳。常规超级电容器占用空间大、造价高、存在安全隐患，难以直接集成建筑本体。水泥基结构超级电容器（CMSSC）可同时具备承重 + 储能双重功能，是零能耗建筑、智慧基建的核心方向。但目前存在体系杂乱、制备工艺不统一、微观机理模糊、性能调控缺乏通用框架，且力学与电化学性能难以兼顾，制约工程规模化应用。



建筑物中可再生能源捕获、存储和利用的示意图

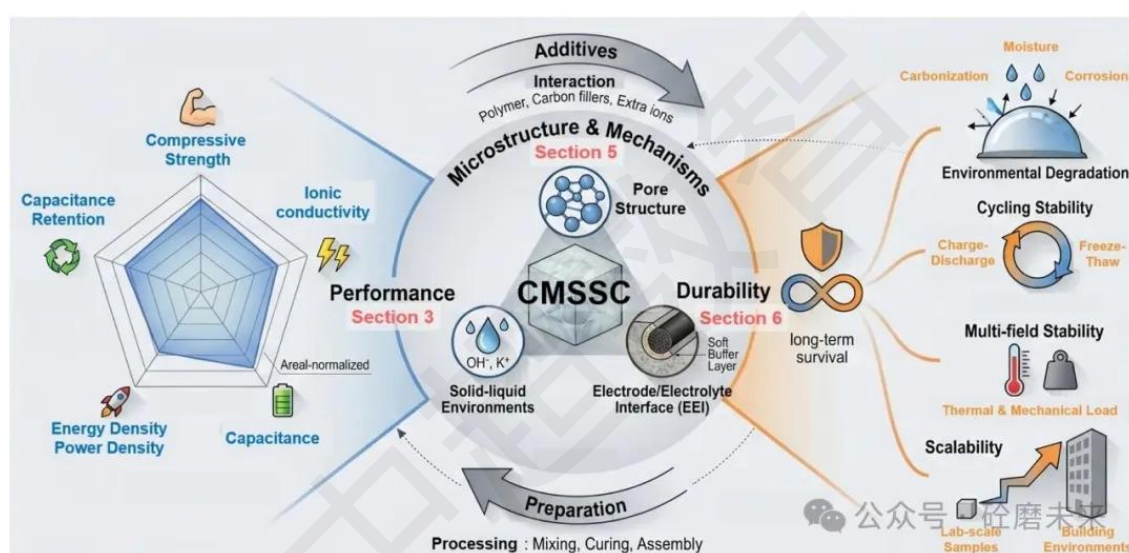
研究出发点

针对当前水泥基结构超级电容器材料体系繁杂、制备路线不规范、表征方法零散、微观构效关系不清等痛点，系统梳理电极 / 电解质选材、成型工艺、测试表征体系。构建微观结

构—性能—耐久性统一分析框架，厘清孔结构、固液相环境、界面作用的调控机制，指出当前研究短板与未来多场耦合优化方向，为下一代建筑储能一体化设计提供理论参考与技术路径。

技术路线

梳理国内外相关文献→归类电极 / 电解质 / 隔膜原材料体系→总结各类制备成型工艺→汇总宏观 + 微观表征测试方法→建立构效关系理论框架→对标商用储能器件性能→剖析现有瓶颈→展望多尺度设计与工程应用路径。



“微观结构—性能—耐久性”框架简要解析

研究内容

实验材料

①核心原料：

电极材料：碳黑、石墨烯、碳纳米管、活性炭、金属氧化物 / 导电聚合物等；

胶凝基体：普通硅酸盐、碱激发、磷酸镁、铝酸盐水泥；

电解质组分：聚合物、离子盐、碱性溶液、凝胶体系；

辅助组分：发泡剂、改性剂、填料、导流相材料。

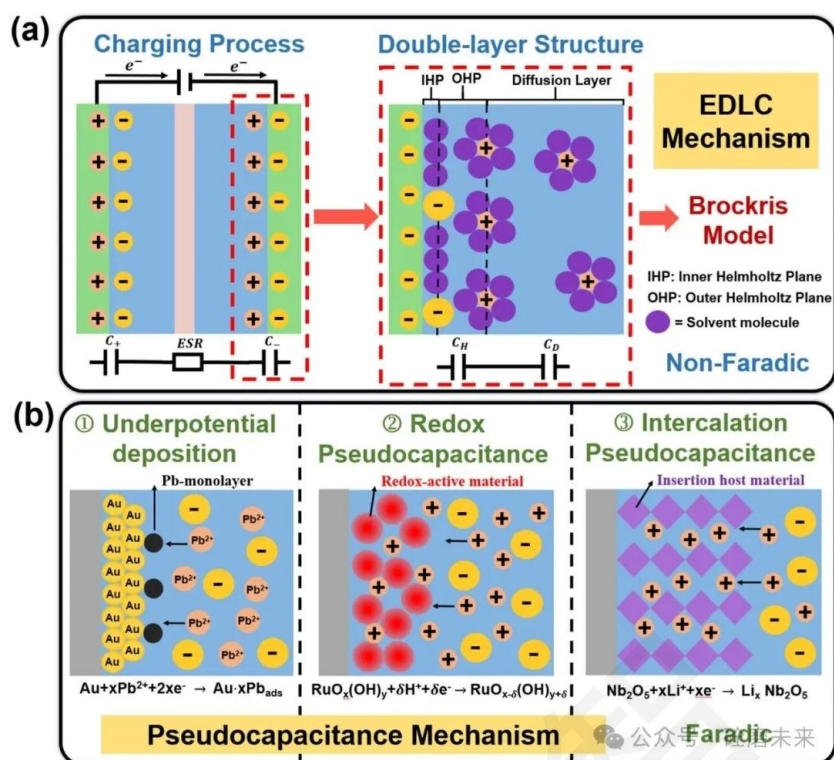
实验方法

①宏观性能测试：

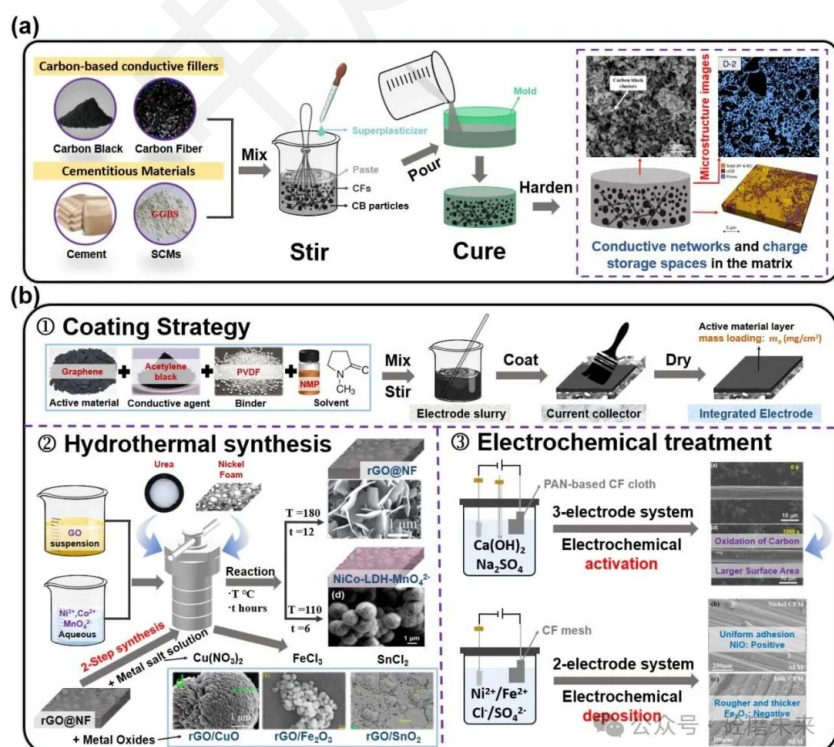
- 电化学性能：CV 循环伏安、GCD 恒流充放电、EIS 电化学阻抗；
- 力学性能：抗压强度、韧性、变形相容性；
- 功能性能：能量密度、功率密度、循环稳定性、温湿度适应性。

②微观性能测试：

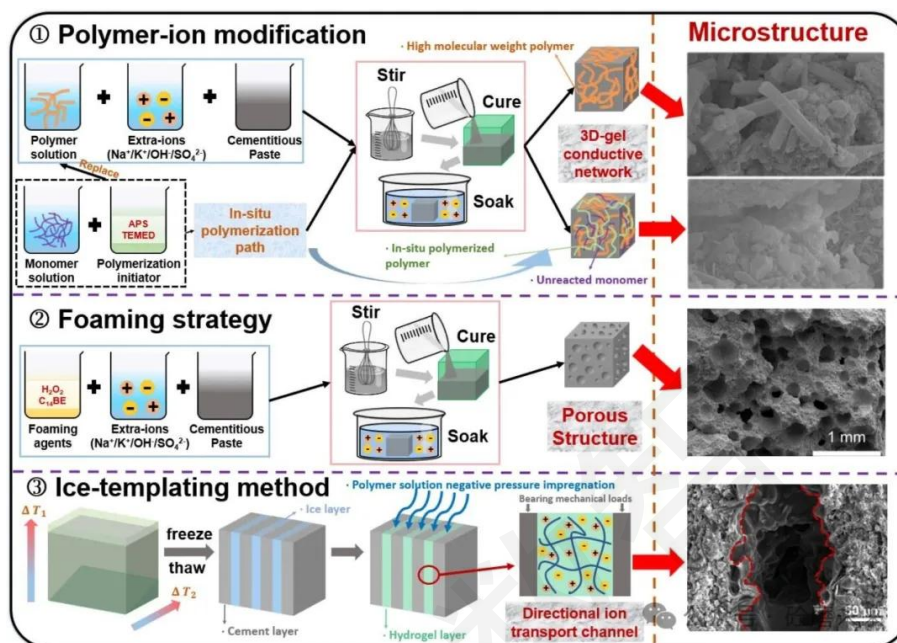
XRD 物相分析、FTIR 红外光谱、SEM 微观形貌、MIP 孔结构、BET 比表面积、TG-DSC 热分析、元素分布表征；



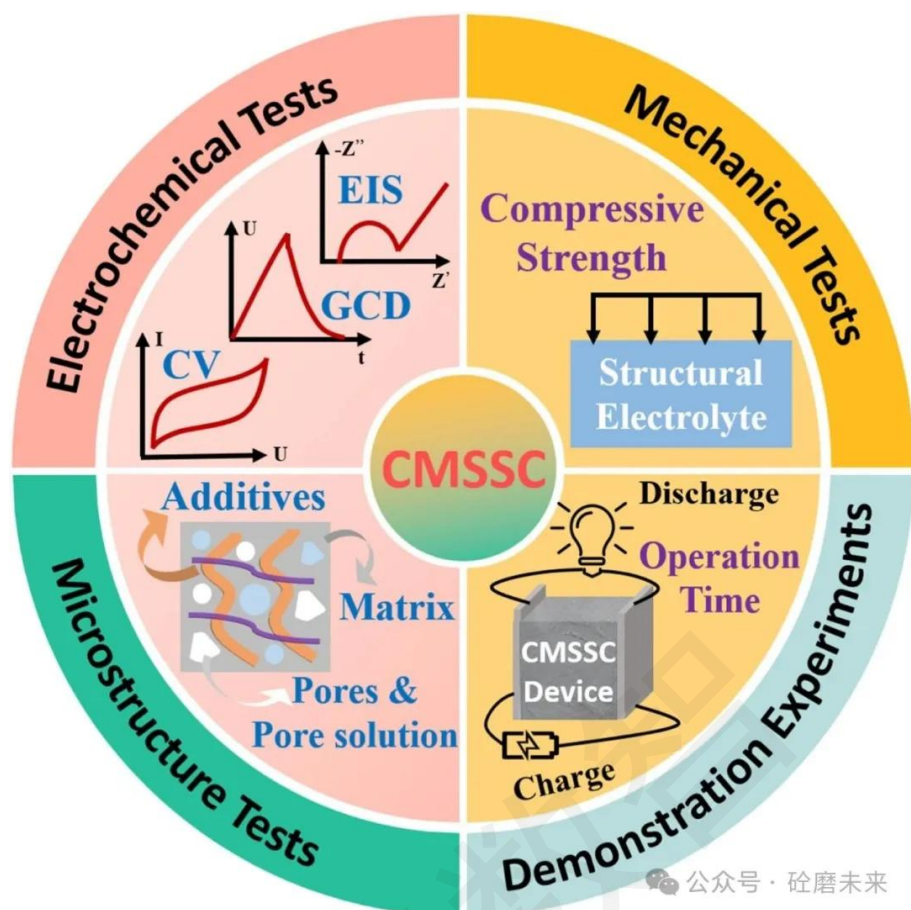
(a) EDLCs 的储能机制; (b) PCs 的储能机制



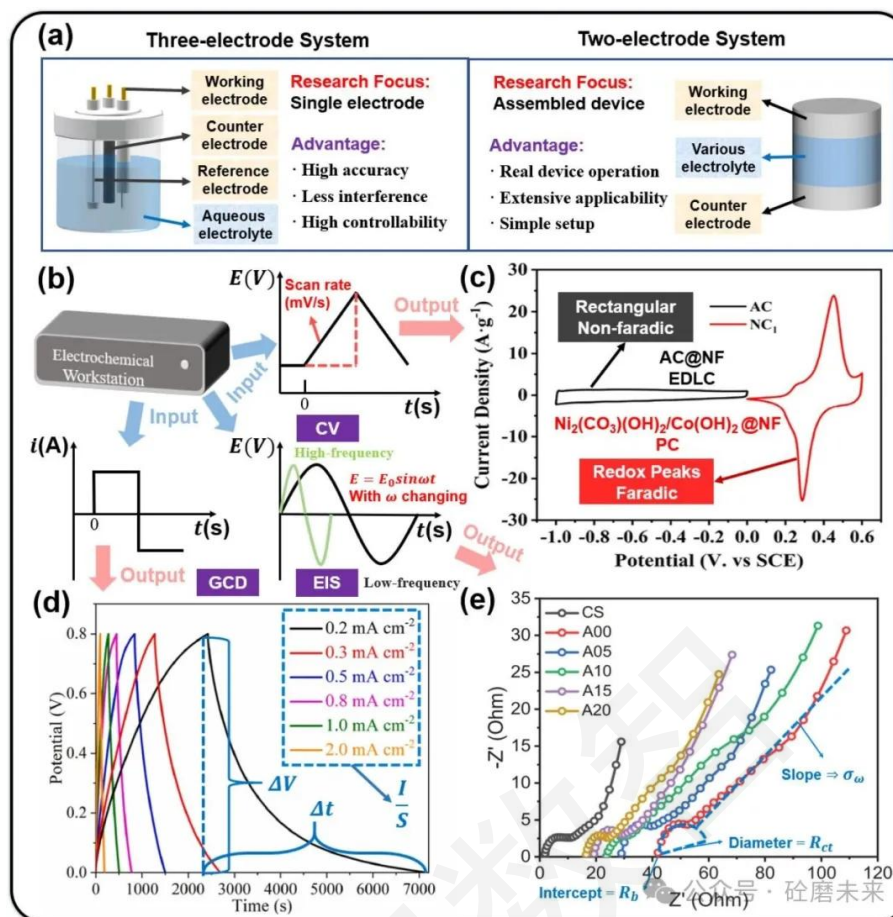
CMSSC 电极的制备过程和微观结构



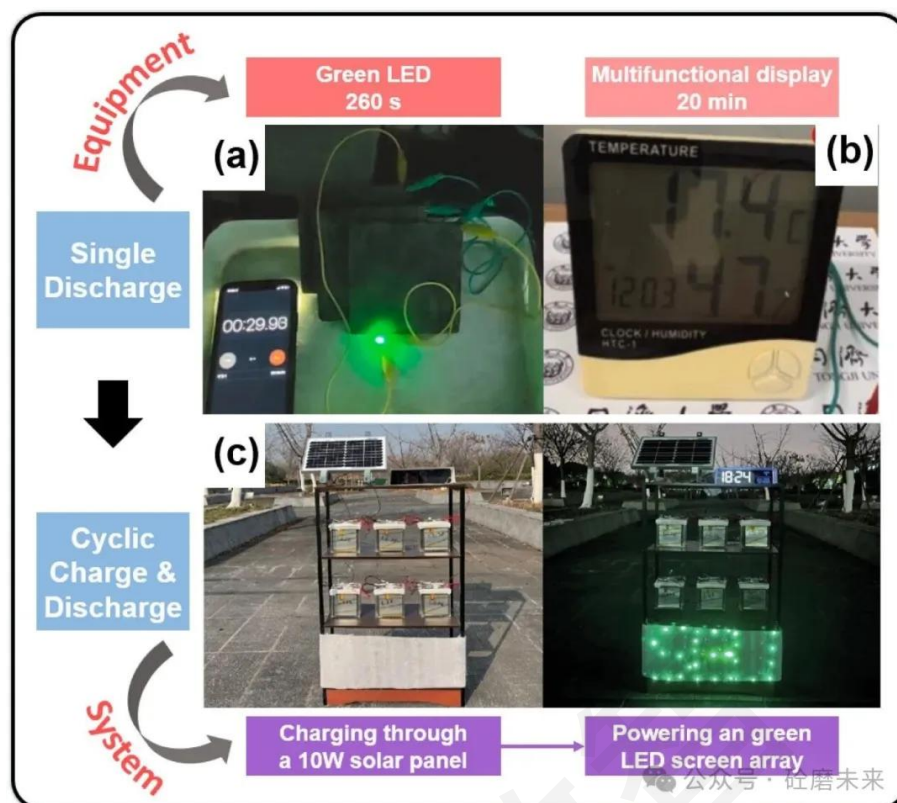
基于水泥基材料的CMSSC电解质的制备过程和微观结构



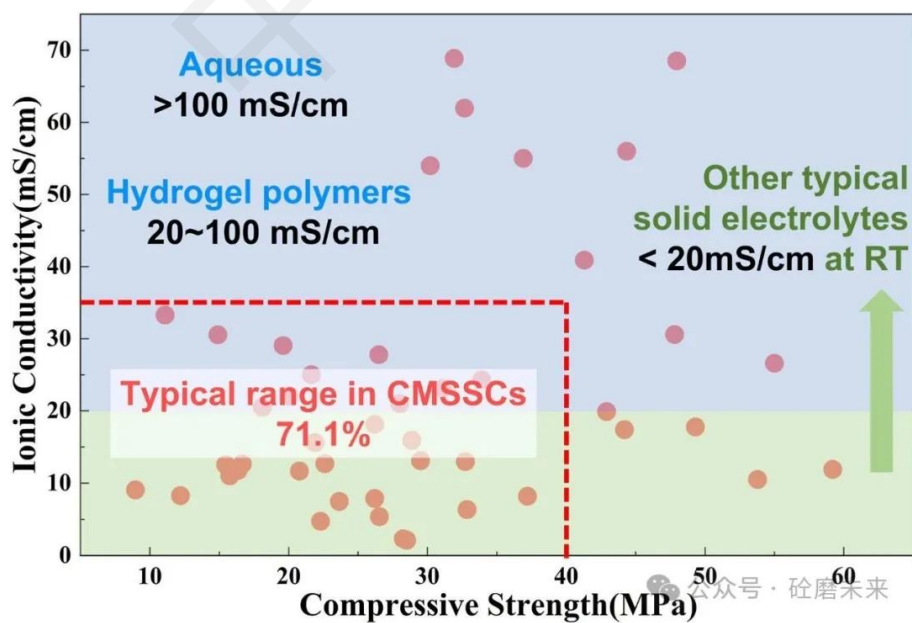
CMSSCs的性能表征和测试方法



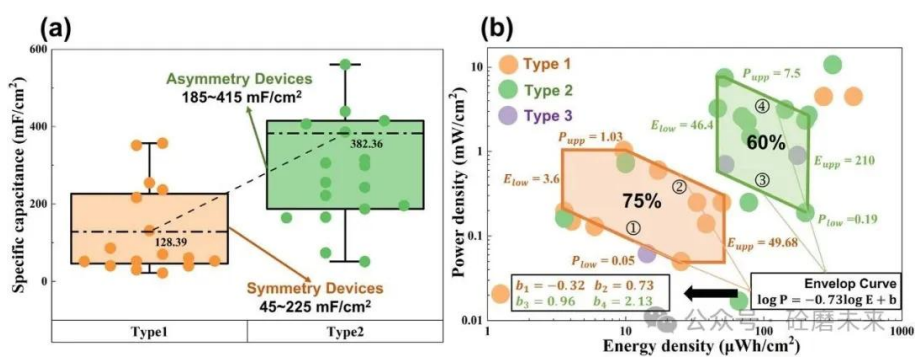
CMSSCs的性能表征和测试方法



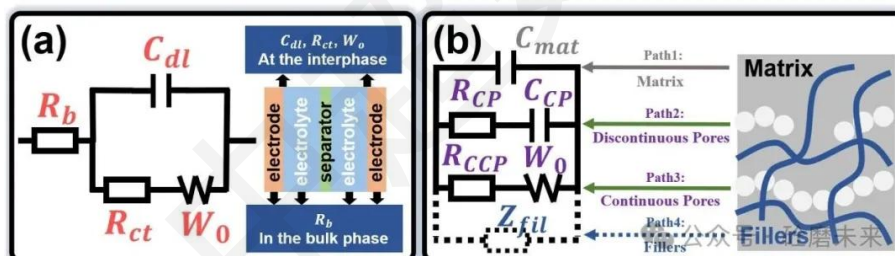
从单个放电过程演示实验的CMSSCs



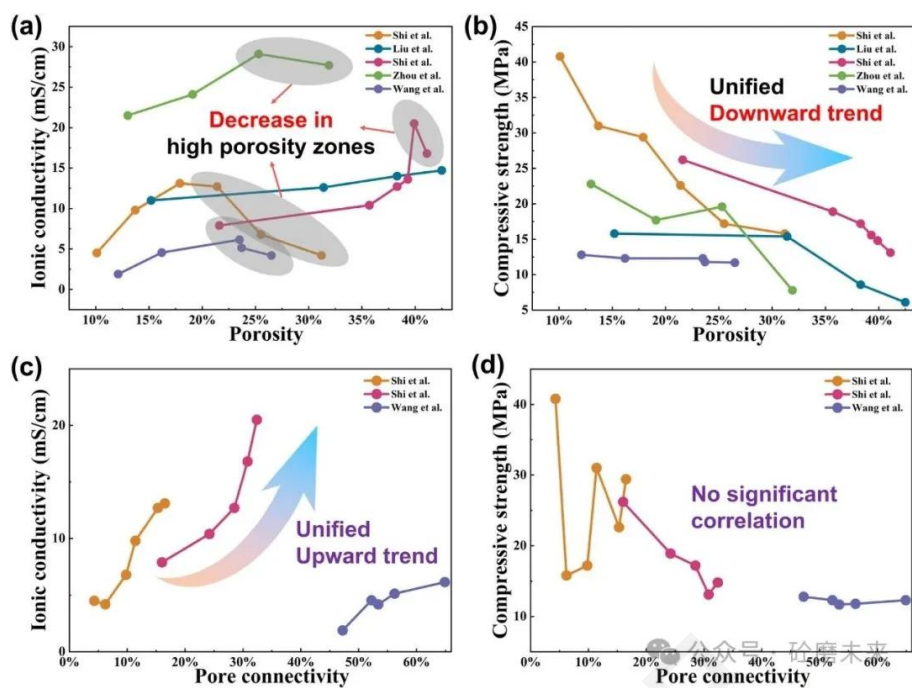
在CMSSC中的水泥基电解质的抗压强度和离子电导率



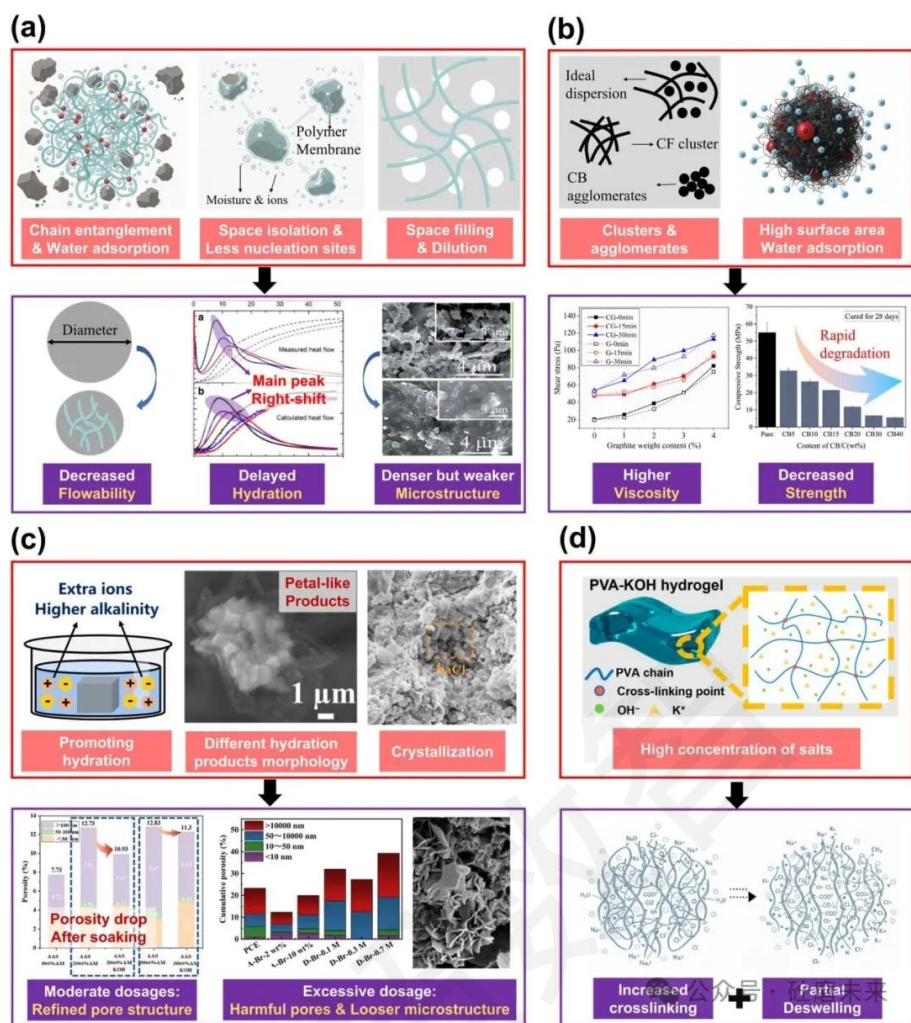
当前阶段CMSSCs的能量存储参数



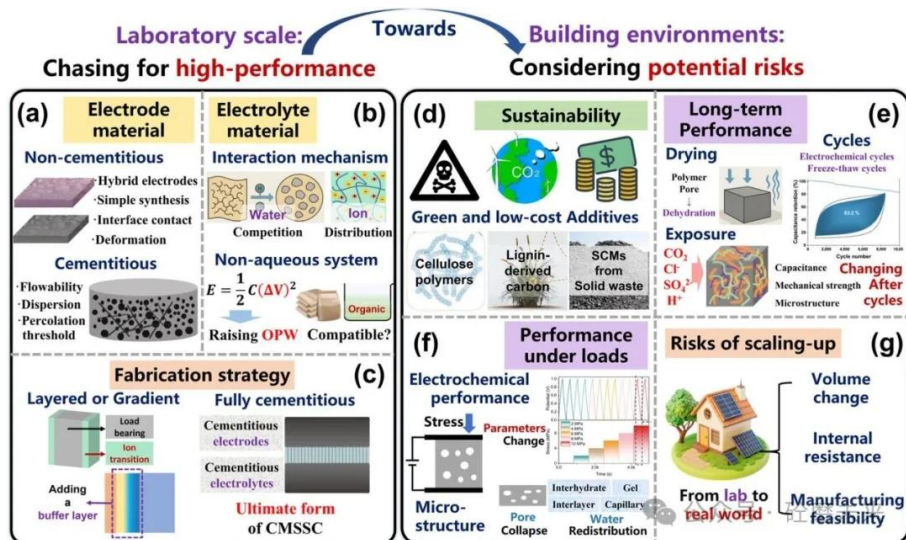
等效电路模型



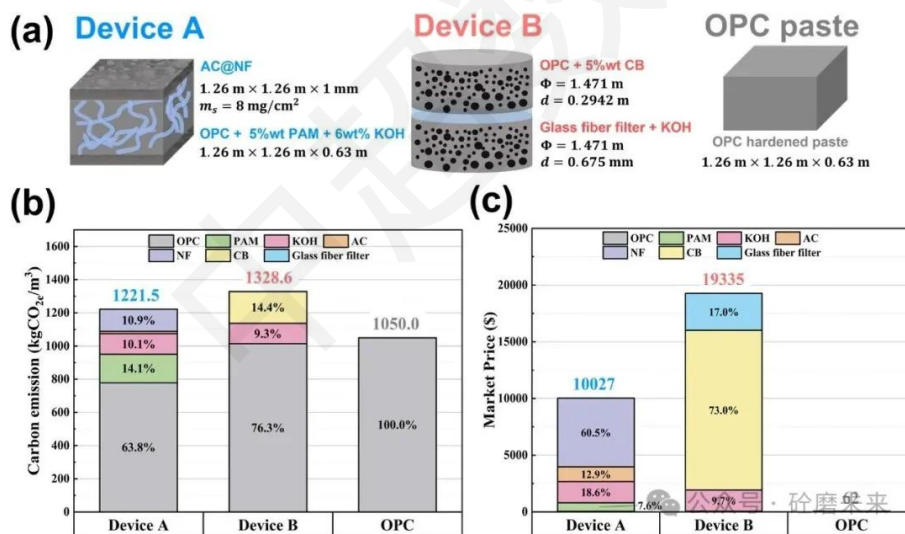
相关性分析



CMSSC系统中存在的相互作用



CMSSCs的主要研究差距和潜在前景



CMSSC设备的环境和经济影响评估

核心结论

- 1、明确电极、电解质、基体适配选材体系，不同水泥基各有适配应用场景与性能优势。
- 2、成型工艺决定微观孔道与界面结构，是兼顾力学与储能性能的关键控制点。
- 3、孔隙特征、固液相环境、电极界面三大核心因素共同决定器件电化学效率。
- 4、现有 CMSSC 功率密度尚可，但能量密度与长期循环稳定性仍存在明显差距。
- 5、需从多尺度结构优化、界面改性、耦合耐久性、低成本材料开发突破产业化瓶颈。

信息来源：https://mp.weixin.qq.com/s/PilzWW3_kauXtwZQMZHAZA