

# 江苏省建设科技创新成果推荐书

## 一、基本情况

项目名称	大宗建材制造过程碳化增值关键技术研究		
完成人	蒙海宁、许彦明、潘钢华、卢豹、张卉伊、唐德波、陆小军、孙海龙、徐成龙、张文、朱翔		
完成单位	江苏镇江建筑科学研究院集团股份有限公司 东南大学 盐城工学院 镇江市静脉产业发展有限公司 北京耐尔得智能科技有限公司		
推荐单位（盖章） 或推荐专家（签字）	镇江市住房和城乡建设局		
任务来源			
计划、基金名称	项目名称	编号	验收结题时间
2020年度住房和城乡建设部科技项目	废弃混凝土制备高品质细骨料和低碳胶凝材料关键技术及产业化应用研究	2020-K-074	2023年6月6日
2021年镇江市重点研发计划项目	基于CO <sub>2</sub> 内养护的低碳混凝土制备关键技术研究	SH2021002	2023年6月16日
2016年镇江市住建局科学技术计划	拆除混凝土再生细骨料的改性与应用研究	-	2017年12月21日
授权发明专利（项）	8	授权其他知识产权（项）	5
起止时间	起始：2015年12月30 日	完成：2023年5月31日	

## 二、项目简介

我国 2006 年即成为世界上最大的 CO<sub>2</sub> 排放国，2019 年我国的 CO<sub>2</sub> 排放量首次超过了所有发达国家的排放量之和，占全球排放总量的 27%，达 98 亿吨。而以 CO<sub>2</sub> 为代表的温室气体，带来了诸如海平面升高等一系列严重的气候问题，因此，如何降低 CO<sub>2</sub> 排放是当前我国、乃至国际社会最为关注的热点之一。2020 年 9 月习近平主席在第 75 届联合国大会一般性辩论上首次提出 2030 年“碳达峰”和 2060 年“碳中和”的目标；随后在 2020 年气候雄心峰会上提出“到 2030 年中国单位国内生产总值 CO<sub>2</sub> 排放将比 2005 年下降 65%以上”等具体目标；2021 年 3 月 15 日，习近平总书记在中央财经委员会第九次会议上再次强调，要把碳达峰、碳中和纳入生态文明建设整体布局，拿出抓铁有痕的劲头，如期实现“30、60”目标。实现碳达峰、碳中和中长期目标，既是我国积极应对气候变化、推动构建人类命运共同体的责任担当，也是我国贯彻新发展理念、推动高质量发展的必然要求。

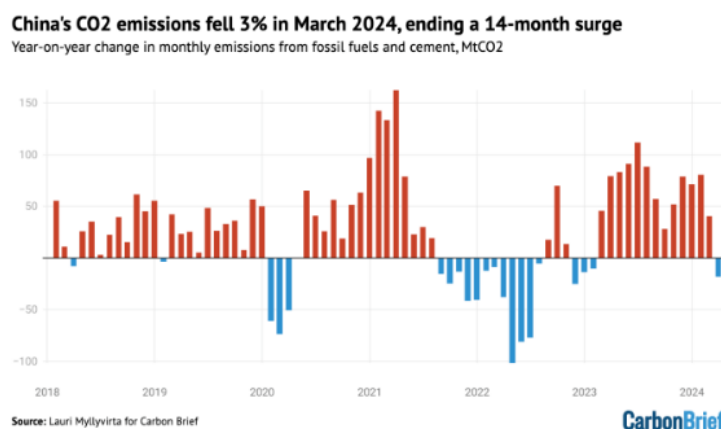


图 1 Carbon Brief 网站汇总的数据

据 Carbon Brief 网站汇总的数据，2024 年 3 月中国的 CO<sub>2</sub> 排放量下降了 3%，结束了自 2022 年 12 月以来连续 14 个月的增长趋势（见图 1），2022 年中国二氧化碳排放量为 114.8 亿吨，同比增长 9.1%，与此同时，据中国建材联合会 2021 年发布的《中国建筑材料工业碳排放报告》估算，中国建筑材料工业 2020 年二氧化碳排放 14.

①新型低碳水泥基胶凝材料碳化增值关键技术。

②辅助胶凝材料（镁渣、电石渣）碳化增值关键技术；

③砂石料（建筑垃圾再生骨料）碳化增值关键技术；

```

graph TD
    Title[大宗建材制造过程碳化增值关键技术研究]
    
    subgraph KeyQuestions [关键科学问题]
        Q1[阐述水泥基建材碳化增值技术要求]
        Q2[厘清辅助胶凝材料（镁渣、电石渣）碳化增值技术]
        Q3[形成砂石料（建筑垃圾再生骨料）加钙碳化增值方法]
        Q4[建立碳化专用设备成套设备体系]
    end
    
    subgraph ResearchContent [重点研究内容]
        C1[直接碳化制备高性能混凝土建材研究]
        C2[间接碳化制备高性能混凝土建材研究]
        C3[镁渣湿法碳化调控形成文石晶须及其增强水泥性能技术研究]
        C4["湿出-碳化"的方式制备得到高纯度球墨石和高温活性胶凝材料]
        C5[电石渣碳化调控形成高纯度球墨石及其水硬性技术研究]
        C6[外加钙源种类对再生骨料性能的研究]
        C7[碳化压力对再生性能规律的研究]
        C8[碳化设备设计]
    end
    
    subgraph ResearchObjectives [研究目标]
        O1[建立大宗建材制造过程碳化增值成套技术]
    end

    Title --> KeyQuestions
    Title --> ResearchObjectives
    
    KeyQuestions --> ResearchContent
    
    ResearchContent --> ResearchObjectives
  
```

图 2 大宗建材制造过程碳化增值关键技术研究示意图

## 一、水泥碳化增值关键技术

针对水泥在生产过程中的高耗能和高  $\text{CO}_2$  排放，本项目提出混凝土等大宗水泥基建材中的“水泥碳化增值技术”，利用  $\text{CO}_2$  气体与水泥浆体可以直接反应生成纳米  $\text{CaCO}_3$  的原理，通过纳米  $\text{CaCO}_3$  的纳米级尺寸效应，使其具有优异的晶核效应与填充效应。在混凝土等水泥基建材的搅拌过程中引入纳米  $\text{CaCO}_3$ ，一方面，可为水泥提供足够的成核位点，促进水泥水化，提高混凝土早期强度；另一方面，纳米  $\text{CaCO}_3$  可填充混凝土内部微小孔隙，降低孔隙率，使混凝土内部更为致密，从而抗压强度得到提升。在此理论基础上，研究了直接碳化法与间接碳化法两种实验方案。

(1) 直接碳化法：将混凝土搅拌机改造为密封体系，留有专门的进气口，在混凝土搅拌过程中直接通入二氧化碳，与水泥水化产物反应原位生成纳米  $\text{CaCO}_3$ ，研究  $\text{CO}_2$  通入量(0%、0.05%、0.1%、0.15%、0.2%、0.25%、0.3%，)、 $\text{CO}_2$  通入速率(2.4L/min、3.6L/min、4.8L/min、6L/min、7.2L/min)、不同掺合料种类与掺量、加水工艺以及静置时间(0min、30min、60min、90min、120min)对混凝土和易性和力学性能影响。

(2) 间接碳化法：预先将生石灰与拌合水按一定比例混合并搅拌均匀，在  $\text{CO}_2$  气管出气口安装气泡石用以分散  $\text{CO}_2$  气体。实验过程中将气泡石置于石灰乳浆液底部并通入气体，当石灰乳浆液质量不再增加或浆液 pH 降至 8 以下时碳化结束。将碳化处理后的悬浮液作为拌合水直接倒入混凝土搅拌机中与混凝土其他组分一同搅拌。实验研究了石灰乳质量分数(5%、10%、15%、20%、25%)、碳化反应温度(10℃、20℃、30℃)、生石灰掺量(1%、2%、3%、4%、5%)对碳化反应速率以及混凝土抗压强度的影响，并在不同标号混凝土中探究了方案的普适性。

## 二、辅助胶凝材料(掺合料)碳化增值关键技术

针对现有活性掺合料价格持续走高的现象，同时缓解镁渣、电石渣利用率较低等问题，本项目提出“镁渣湿法碳化、镁渣“浸出-碳化”及电石渣碳化增值”的技术，通过镁渣湿法碳化调控形成文石晶须及其增强水泥性能、镁渣“浸出-碳化”调控制备球霰石及高活性胶凝材料、电石渣碳化调控形成高纯度球霰石及其水泥性能技术研究，确定最佳的碳化增值技术，具体研究内容包括：

### (1) 镁渣湿法碳化调控形成文石晶须及其增强水泥性能技术研究

以大宗固废工业冶金废渣镁渣为研究对象，采用湿法碳化的方式，探究温度和不同  $\text{MgCl}_2$  浓度对镁渣碳化过程中文石晶须形成的影响，确定了镁渣碳化形成文石晶须的最优工艺参数，阐明文石晶须形成机理。并对镁渣碳化过程中的  $\text{CO}_2$  吸收能力进行了评价。进而探究了最优参数条件下得到的文石晶须为主的胶凝材料对水泥力学性能和微观结构的影响，提出了文石晶须为主的胶凝材料改善水泥性能的增强机理。

### **(2) 镁渣“浸出-碳化”调控制备球霰石及高活性胶凝材料**

以大宗固废工业冶金废渣镁渣为研究对象，首先采用浸出液浸出的方式，探究温度、氯化铵浓度、浸出时间和液固比等不同因素对镁渣中  $\text{Ca}^{2+}$  浸出速率的影响，确定镁渣  $\text{Ca}^{2+}$  浸出的最优工艺参数，然后得到滤渣和富  $\text{Ca}^{2+}$  的滤液，该滤渣即为高活性胶凝材料。探究了甘氨酸浓度对滤液碳化调控形成球霰石的影响，确定了高纯度球霰石形成的工艺参数，阐明了球霰石的形成机理，并提出了滤渣作为高活性胶凝材料改善水泥性能的作用机理。

### **(3) 电石渣碳化调控形成高纯度球霰石及其水泥性能技术研究**

以大宗固废工业冶金废电石渣为研究对象，探究甘氨酸晶型调控剂对碳化调控形成球霰石的影响，确定了球霰石形成的关键影响因素，阐明了球霰石形成机理。并探究了方解石和球霰石对水泥性能和微观结构的影响，明晰了球霰石增强水泥性能和微观结构的作用机理。

## **三、砂石料（建筑垃圾再生骨料）碳化增值关键技术**

针对建筑垃圾再生骨料在实际应用中存在的工作性不佳、强度偏低及强度不稳定的现象，本项目提出“加钙碳化”技术，通过对  $\text{CO}_2$  碳化强化工艺及在产品应用中的研究，确定最佳的钙源及碳化压力，具体研究内容包括：

(1) 外加钙源种类的影响研究。探究外加钙源种类（氧化钙、氯化钙和硝酸钙）、外加钙源掺量（ $0.01\text{mol/kg}$ 、 $0.05\text{mol/kg}$ 、 $0.25\text{mol/kg}$ ）对再生骨料及混凝土性能影响的规律研究。通过 XRD、SEM 探究骨料碳化机理，通过 MIP 研究碳化处理前后混凝土的孔隙率和孔径分布规律。

(2) 碳化压力的影响研究。探究不同碳化压力（ $0.5\text{MPa}$ 、 $1.0\text{MPa}$  与  $1.5\text{MPa}$ ）、碳化温度（ $25^\circ\text{C}$ 、 $50^\circ\text{C}$ 、 $75^\circ\text{C}$ ）对再生骨料及混凝土性能影响的规律研究。通过 XRD、

SEM 探究骨料碳化机理，通过 MIP 研究碳化处理前后混凝土的孔隙率和孔径分布规律。

#### 四、专用碳化设备开发

(1) 高浓度 CO<sub>2</sub> 高压高湿度专用固碳设备的设计及开发。针对现有固碳建材研发缺乏专用碳化设备的现状，本项目开发出“专用固碳开发设备”并商品化，创新性的采用釜式反应器机械结构，通过自主编程的算法代码，可以在高浓度二氧化碳及加压、加温、加湿度的环境下确保试验数据的可靠性。釜内包括制冷板换、加热棒、风机、外接蒸汽发生器、空压机、氮气、二氧化碳气体等。常压状态下很容易做到高浓度 CO<sub>2</sub> 环境，本项目通过对釜的内腔抽真空到特定的真空度，再瞬间将 CO<sub>2</sub> 气体注入釜内，达到高浓度二氧化碳环境的获取，创造一个混凝土吸收养护的快速环境，提高混凝土同期的强度，并对二氧化碳有再利用，中和的作用。

(2) 安全防护研究。由于 CO<sub>2</sub> 是无色无味气体，但是对人体发觉的时候会造成缺氧反应，试验人员做试验的过程中，由于中途放置试块会出现部分二氧化碳泄露到空气中，二氧化碳超标会带来人体的不是有。为了保护试验人员，在试验的同时，对室内的空气氧含量或二氧化碳含量进行了监控，如低于人体可承受范围，软件将会启动报警，并打开排风扇。同时，用门禁屏限制出入，在传感器发现 CO<sub>2</sub> 浓度偏高或氧气偏少的时候，会开启禁止入内的程序，并同时打开排风扇进行室内通风，安全地对人的健康进行了保护。

本项目既能消耗工业生产中所排放的 CO<sub>2</sub> 气体，又能减少水泥、粉煤灰等胶凝材料以及砂石料等天然资源的使用量，具有低碳、绿色、共性的优点和优势，适合在全国商品混凝土及装配式构件等大宗建材企业推广应用，发展前景十分乐观。

### 三、主要科技创新

本项目主要在水泥、辅助胶凝材料（掺合料）、砂石料（再生骨料）的碳化增值技术及专用开发设备方面进行工作，重点研究了三种碳化增值技术的工艺参数和专用开发设备的设计研发过程，其主要科技创新如下：

#### 一、水泥碳化增值关键技术创新点

2023 年，中国水泥行业的碳排放量占全国总排放的 13.5%，在工业行业仅次于钢铁，作为 CO<sub>2</sub> 排放的主力军，水泥行业应考虑如何将排放的 CO<sub>2</sub> 加以捕获、固定并利用，这也逐渐成为学者研究的热门方向。本项目提出在混凝土等大宗水泥基建材制造过程中通入 CO<sub>2</sub> 的技术，研究了不同 CO<sub>2</sub> 通入量、通入速率、不同掺合料种类与掺量、加水工艺、静置时间对砂浆抗压强度影响。本项目的研究表明：利用水泥基建材固碳技术可以有效提高抗压强度，最佳工艺为 CO<sub>2</sub> 通入量为水泥质量的 1% 左右，CO<sub>2</sub> 通入速率为 2.4L/min，通入 CO<sub>2</sub> 前先静置 1h 使水泥预先水化，掺合料选择为 10% 粉煤灰+20% 矿粉。

图 3 为不同 CO<sub>2</sub> 通入量对砂浆抗压强度影响，CO<sub>2</sub> 通入量占水泥质量 0.1% 以下时，随着 CO<sub>2</sub> 通入量的增加砂浆抗压强度上升，当 CO<sub>2</sub> 通入量达到水泥质量的 0.1% 时砂浆抗压强度达到最高。

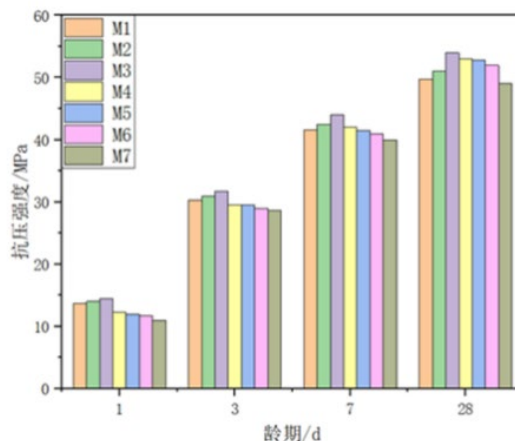


图 3 不同 CO<sub>2</sub> 通入量对砂浆抗压强度影响

图 4 为不同静置时间对砂浆抗压强度的影响，在通入 CO<sub>2</sub> 前先将砂浆静置 60min，较未静置空白组 1d 抗压强度提升 26.7%，3d 抗压强度提升 41.8%，7d 抗压强度提升 46%，28d 抗压强度提升 43%。

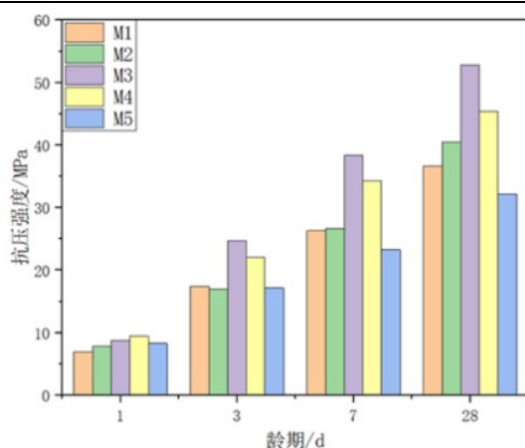


图 4 不同静置时间对砂浆抗压强度影响

创新性的通过外加针状  $\text{CaCO}_3$  晶种，诱导混凝土内部生成大量  $\text{CaCO}_3$  晶须，晶须是指以单晶形式生长的形状如短纤维，但尺寸远比短纤维小的须状微晶体。其原子排列高度有序，基本无空洞、位错及结构不完整等结构缺陷，是一种基本完全的晶体，其机械强度接近材料原子间价键的理论强度。晶须的基本特点是长径比大，是一种力学性能十分优异的新型复合材料补强增韧剂。图 5 为未经处理生成的  $\text{CaCO}_3$  形貌，图 6 为特殊处理生成的  $\text{CaCO}_3$  晶须。

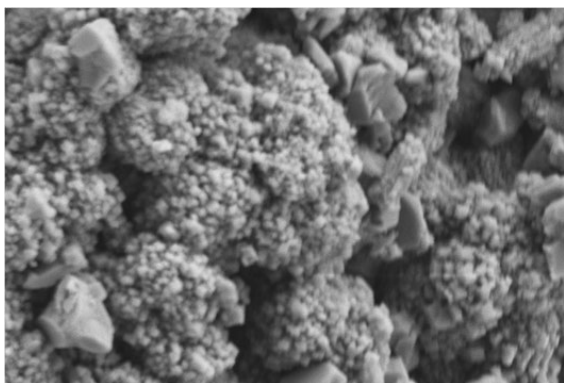


图 5 未处理  $\text{CaCO}_3$

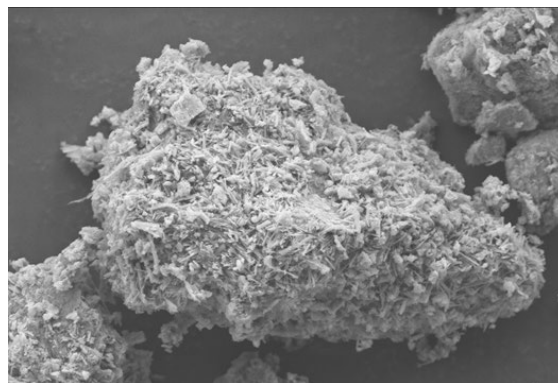


图 6 特殊处理后  $\text{CaCO}_3$

## 二、辅助胶凝材料（掺合料）碳化增值关键技术创新点

镁渣是一种金属镁冶炼过程中排放出的工业废渣，在中国金属镁冶炼行业中，采用硅热法（皮江法）为主，这种方法还原 1 t 金属镁的同时会排放出 5.5-10 t 镁渣，中国每年镁渣排放量达到 800 万 t 左右。目前，处理镁渣的方式主要有露天堆积和土壤回填，大量的镁渣堆积会导致一系列环境问题（如土壤盐化、粉尘污染、氟污染等）。



镁渣中富含的 C2S、f-CaO、f-MgO 具有良好的固碳能力。

本项目以镁渣为原料，开展“**镁渣湿法碳化调控形成文石晶须及其增强水泥性能技术研究**”，首次提出了镁渣湿法碳化调控形成具有高韧性的文石晶须为主的辅助性胶凝材料，并阐明了该胶凝材料增强水泥性能和微观结构的作用机理。

图 7 为不同温度和  $\text{MgCl}_2$  浓度条件下镁渣碳化调控形成文石晶须的 XRD 图，结果表明高温和提高  $\text{MgCl}_2$  浓度促进了文石晶须的形成。

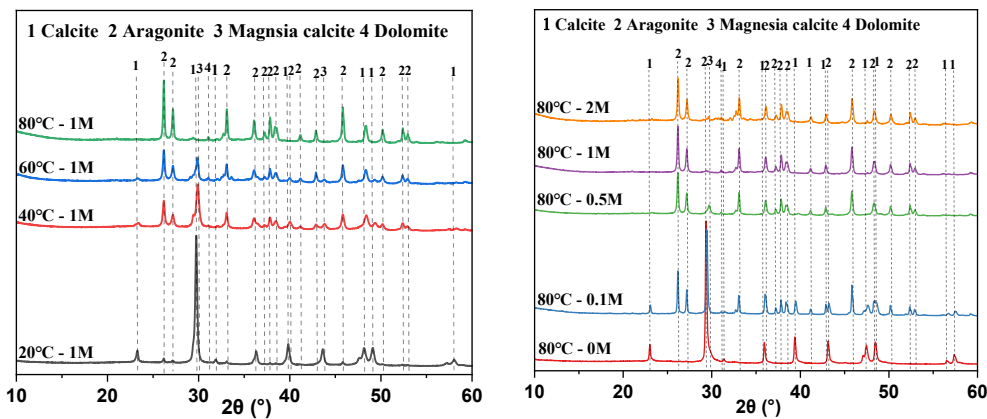
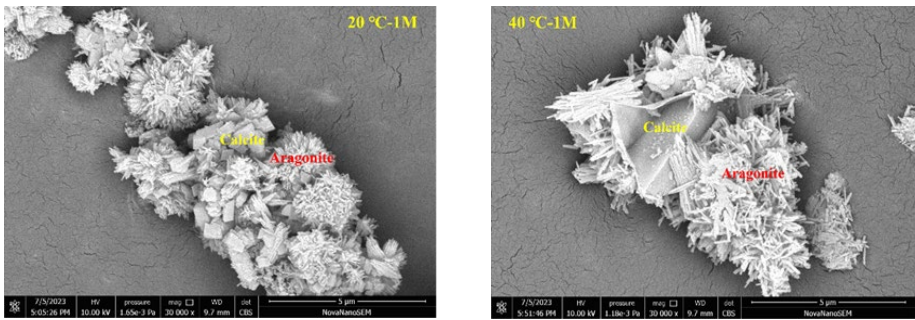


图 7 温度和  $\text{MgCl}_2$  浓度对镁渣碳化调控形成文石晶须的影响

图 8 为不同温度和  $\text{MgCl}_2$  浓度条件下镁渣碳化调控形成文石晶须的 SEM 图，结果表明高温和提高  $\text{MgCl}_2$  浓度有利于高长径比文石晶须的形成，但过高  $\text{MgCl}_2$  浓度易导致文石晶须团聚现象。当温度为  $80^\circ\text{C}$  和  $\text{MgCl}_2$  浓度为  $1\text{ mol/L}$  时可得到高含量、高长径比和分散性良好的文石晶须。



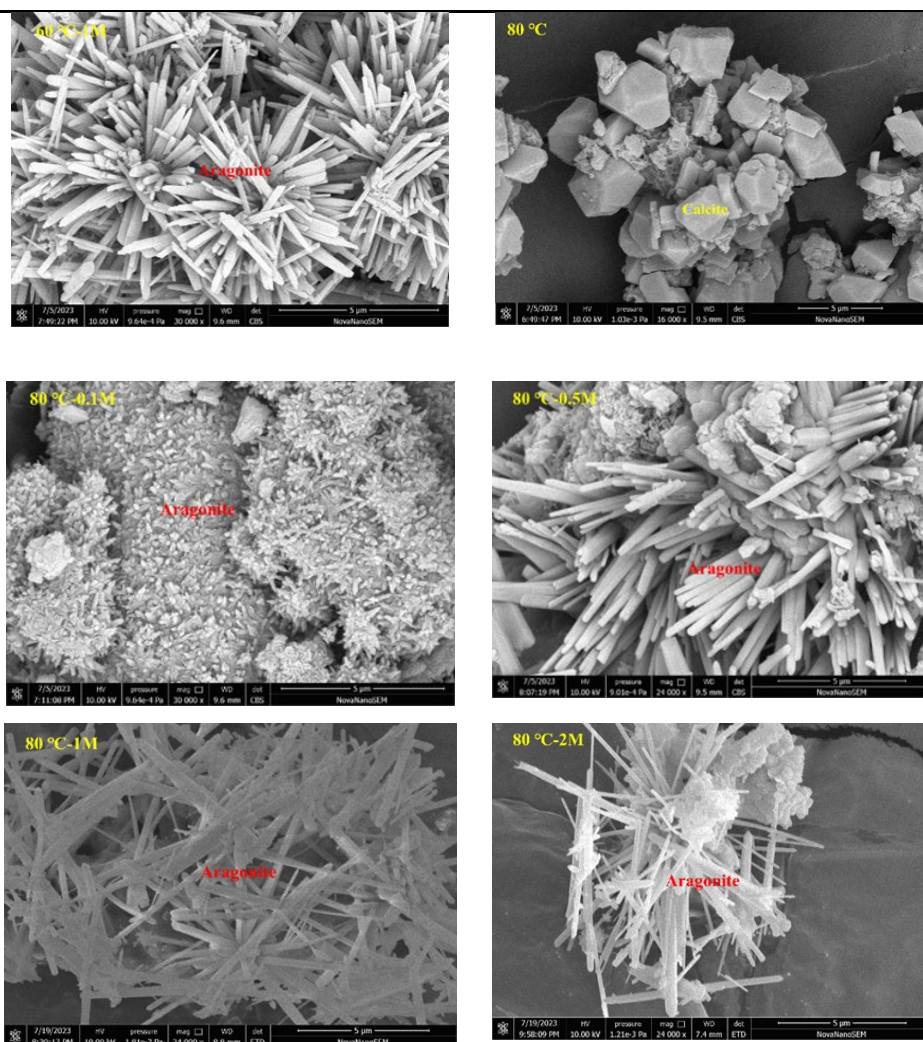


图 8 镁渣碳化调控形成文石晶须形貌图

图 9 为不同  $\text{MgCl}_2$  浓度条件下镁渣碳化调控形成文石晶须时  $\text{CO}_2$  吸收情况。结果表明  $\text{Mg}^{2+}$  的存在一定程度上抑制了碳化反应的进行，但镁渣仍然具有高的  $\text{CO}_2$  吸收能力。

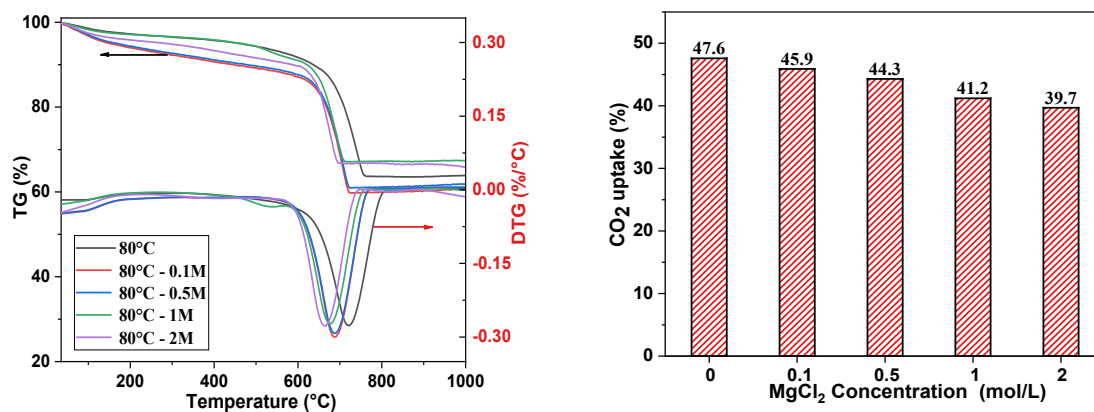


图 9 镁渣碳化调控形成文石晶须的 TG-DTG 和 CO<sub>2</sub> 吸收率图

图 10 为文石晶须为主的胶凝材料对水泥水化的影响。结果表明该材料促进了水泥水化速率，且提高了水泥水化累积放热量。

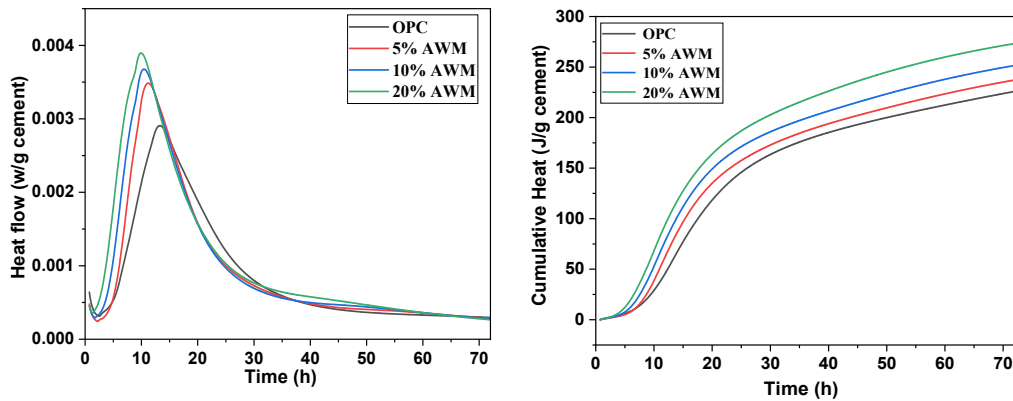


图 10 文石晶须为主的胶凝材料对水泥水化速率和累积放热量的影响

图 11 为文石晶须为主的胶凝材料对水泥力学性能的影响。结果表明该材料不仅改善了水泥砂浆抗压强度，而且显著改善了其抗折强度，并提出了该材料增强力学性能的作用机理主要为文石晶须短纤维增强效应、填充效应、化学效应和硅胶的火山灰效应。

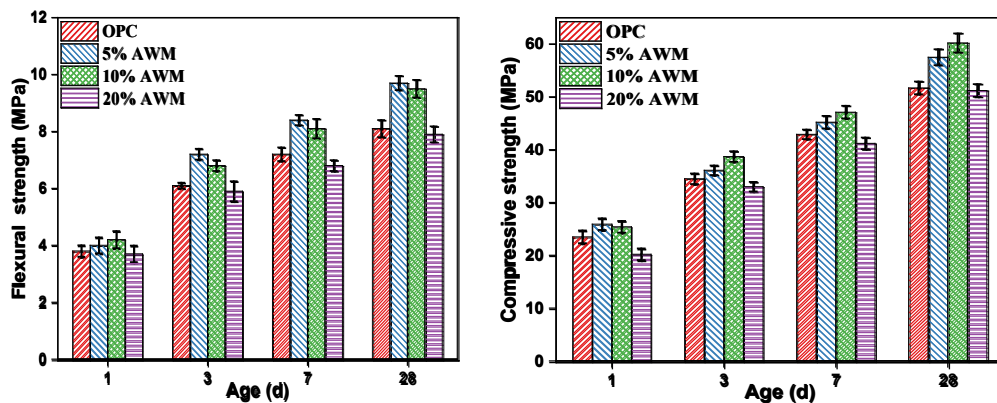


图 11 文石晶须为主的胶凝材料对水泥抗压强度和抗折强度的影响

本项目创新性采用“浸出-碳化”的方式制备得到高纯度球霏石和高活性胶凝材料。图 12 探究了不同时间、浸出温度、初始 NH<sub>4</sub>Cl 浓度和液固比对镁渣中 Ca<sup>2+</sup>浸出速率的影响。结果表明延长时间、提高温度、初始 NH<sub>4</sub>Cl 浓度和液固比均有利于镁渣中 Ca<sup>2+</sup>的浸出。

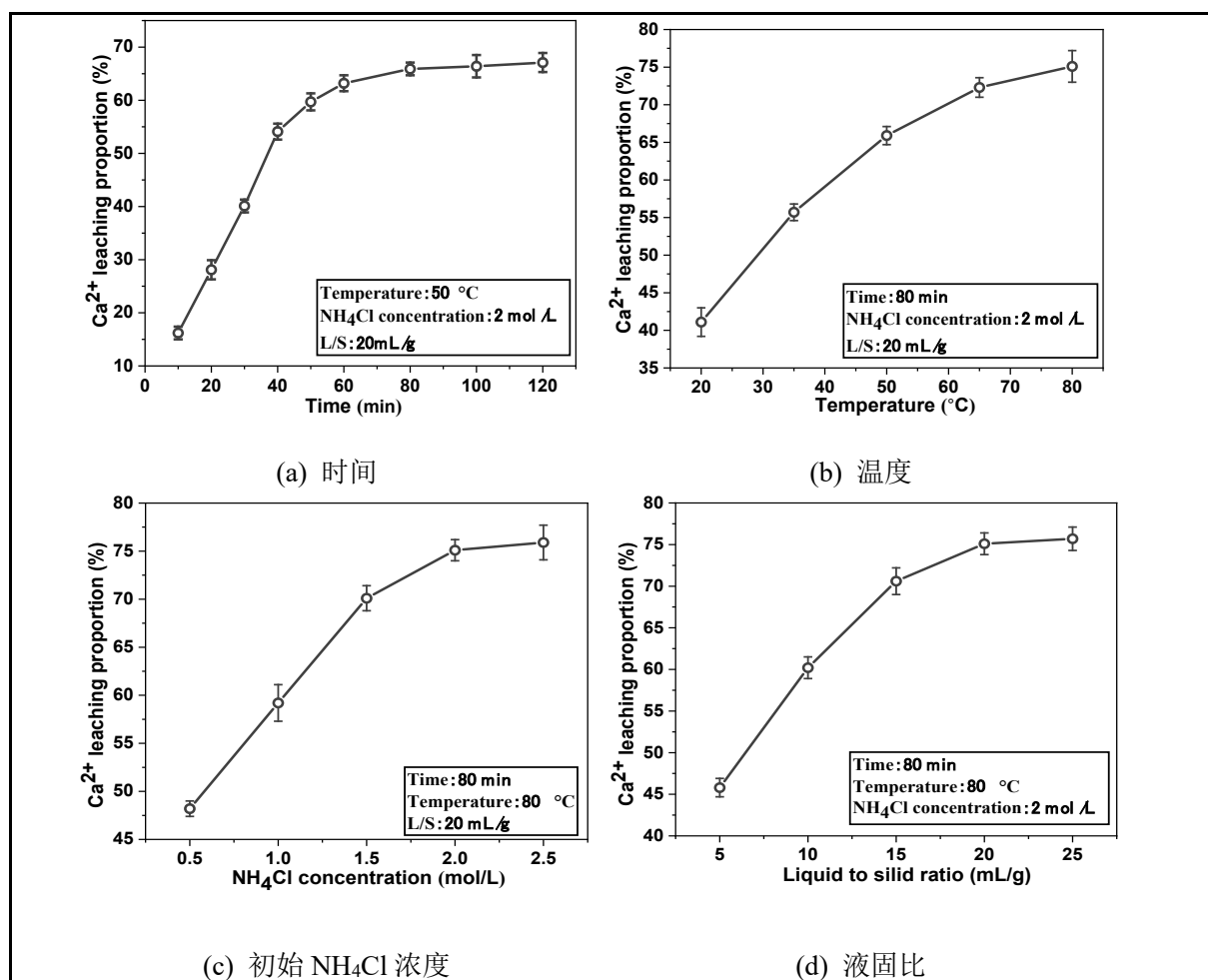


图 12 不同反应参数对镁渣中  $\text{Ca}^{2+}$  浸出速率图

图 13 探究了甘氨酸浓度对镁渣浸出液碳化形成球霏石的影响。结果表明提高甘氨酸浓度有利于球霏石的形成，当甘氨酸浓度为 2 mol/L 时，即可制备得到纯度搞到 95%左右的高纯度球霏石型碳酸钙。

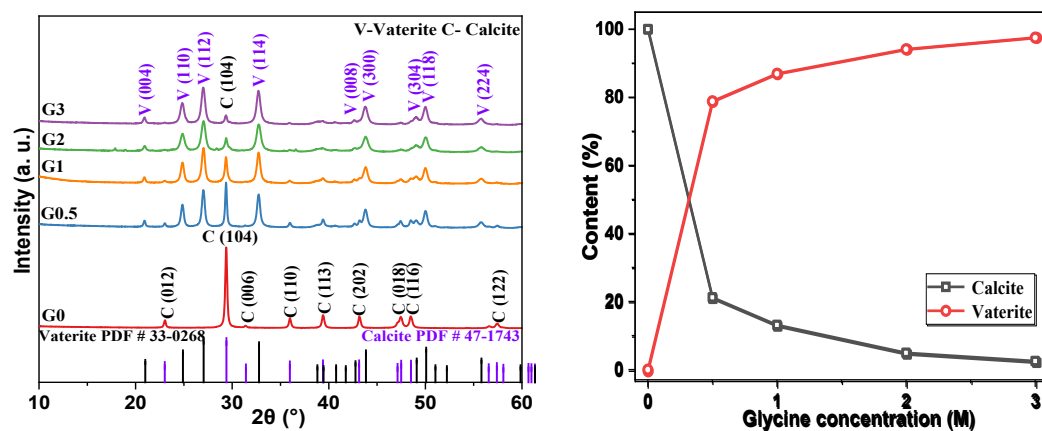


图 13 甘氨酸浓度对镁渣浸出液碳化形成球霏石的影响



图 14 探究了甘氨酸浓度对镁渣浸出液碳化形成球霏石形貌和粒度分布的影响。结果表明提高甘氨酸浓度有利于球状球霏石的形成，当甘氨酸浓度为 2 mol/L 时，即可制备得到球状较好及分散性较好的球霏石。

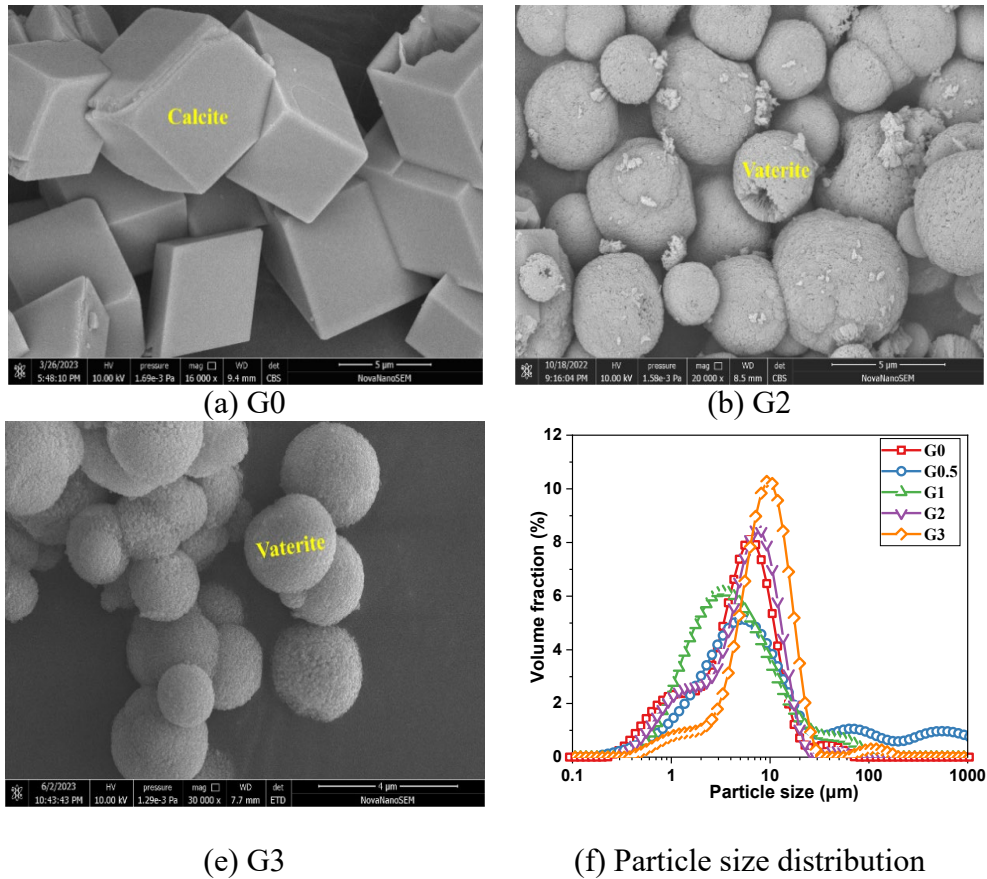


图 14 甘氨酸碳化调控形成球霏石形貌及粒度分布图

图 15 是采用氯化铵浸出镁渣后得到的滤渣 XRD 和 FTIR 图。结果表明滤渣主要为无定形硅胶组成，具有高火山灰活性。

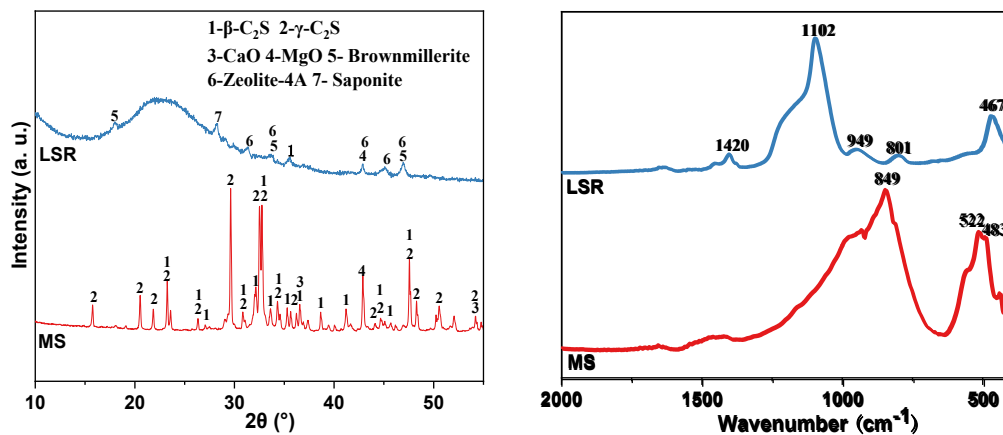
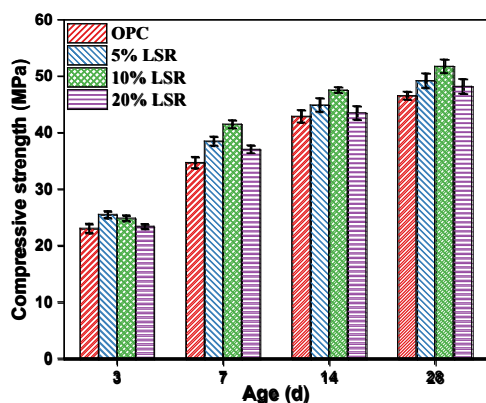
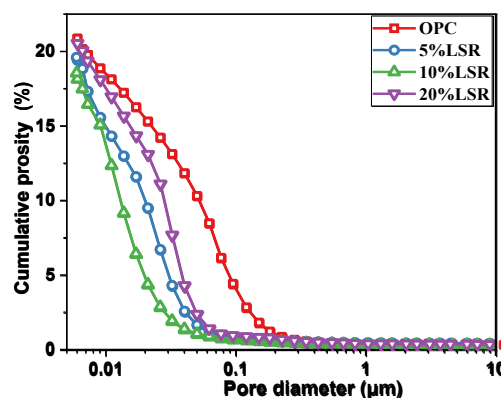


图 15 镁渣浸出后的滤渣 XRD 和 FTIR 图

图 16 是高活性胶凝材料滤渣作为水泥混合材，结果发现滤渣的掺入有效的改善了水泥砂浆抗压强度和孔结构。并提出了滤渣的高比表面积和高活性无定形硅胶的火山灰是改善水泥性能的关键因素。



滤渣对水泥砂浆抗压强度影响



滤渣对水泥砂浆孔结构影响

图 16 滤渣对水泥砂浆抗压、孔结构影响

电石渣(CS)是电石 ( $\text{CaC}_2$ ) 水解生成乙炔( $\text{C}_2\text{H}_2$ )气体的过程中产生的一种碱性工业固体废渣，主要成分为氢氧化钙( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )。乙炔常用来生产聚氯乙烯(PVC)，是一种常用的化工原料，每生产 1 吨的 PVC 就会产生 1.5~1.9 吨干电石渣。中国拥有丰富的电石资源，加工过程中的废弃电石渣年产量约为 650 万吨，其中只有大约 40%得到有效利用。目前，由于电石渣缺乏成熟有效的回收利用方法，未利用的 CS 通常被露天堆放于渣场或直接进入垃圾填埋场，遇水后呈强碱性，容易随雨水排出导致土地和水环境碱化。作为富含  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  化学组成的电石渣具有优异的固碳能力。本研究以电石渣为原材料，创新开展“电石渣碳化调控形成高纯度球霰石及其水泥性能技术研究”，采用晶型调控技术实现电石渣碳化调控形成球霰石，阐明了球霰石形成机理，并探究了方解石和球霰石对水泥性能和微观结构的影响，提出了球霰石改善水泥性能和微观结构的作用机理。

图 17~19 探究了甘氨酸浓度对电石渣碳化调控形成球霰石的影响，结果表明纯电石渣碳化主要得到立方状的方解石，而提高甘氨酸浓度促进了球霰石的形成。当甘氨酸浓度达到 2mol/L 时，可得到含量高、球状形貌且分散较好的球霰石碳酸钙。并提出了甘氨酸碳化调控球霰石的形成机理。

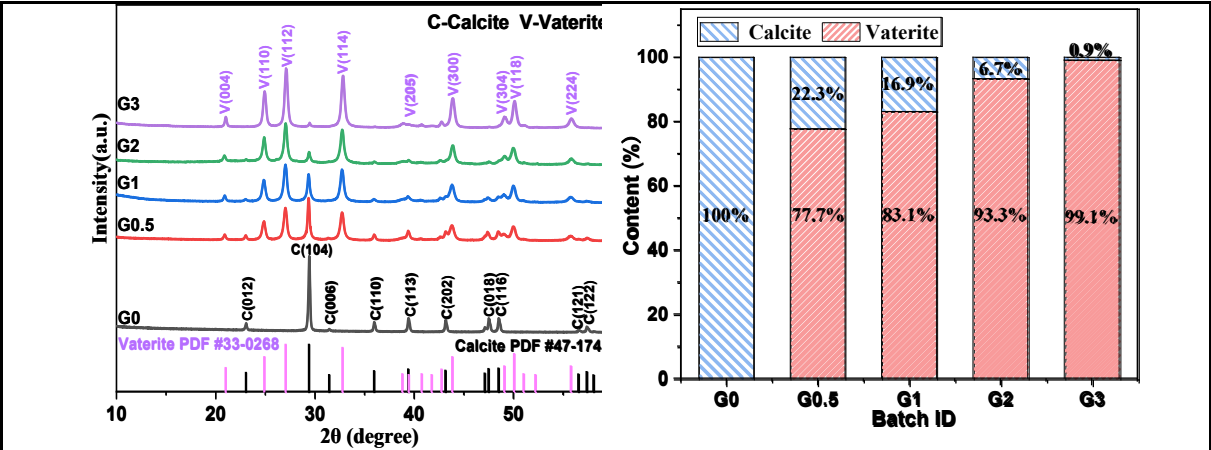


图 17 甘氨酸调控电石渣碳化形成球霏石 XRD 和含量

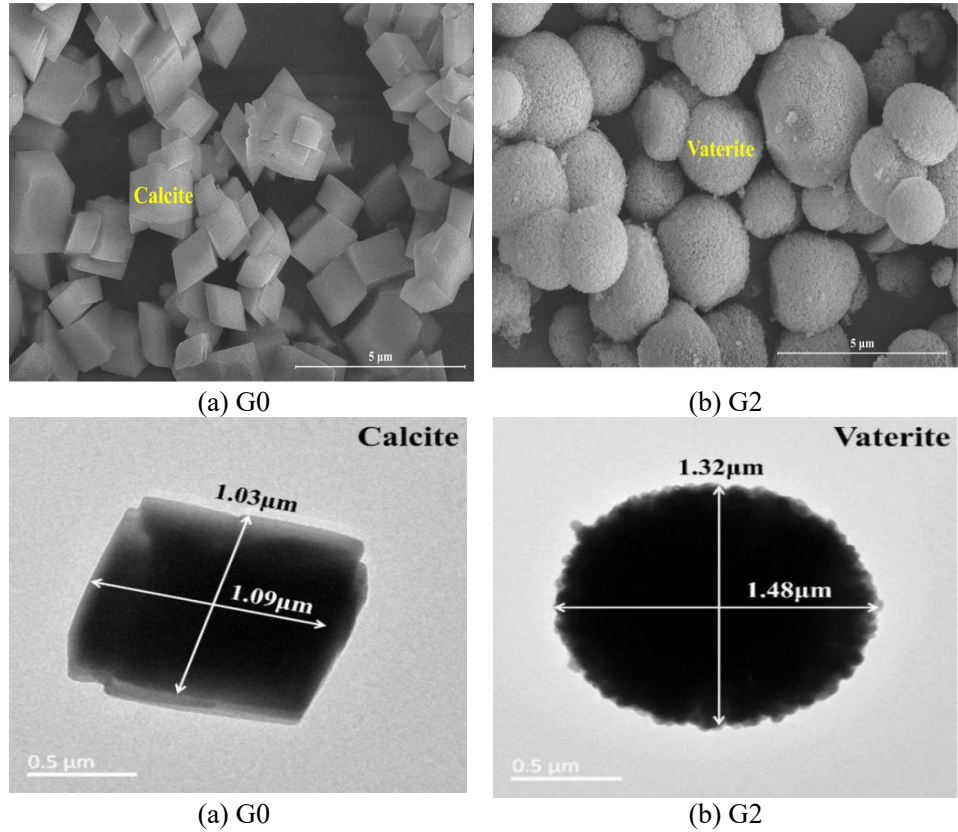


图 18 甘氨酸调控电石渣碳化形成球霏石 SEM 和 TEM



图 19 甘氨酸调控电石渣碳化形成球霰石机理分析

图 20~23 探究了方解石和球霰石对水泥性能和微观结构的影响，结果表明：与方解石相比，球霰石可加速水泥水化，改善水泥砂浆流动性和抗压强度。球霰石的反应活性高于方解石，因此球霰石样品具有更致密的孔结构特性。

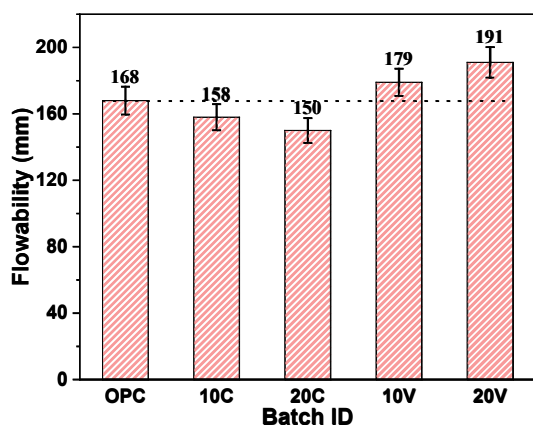


图 20 方解石和球霰石对水泥砂浆流动性影响

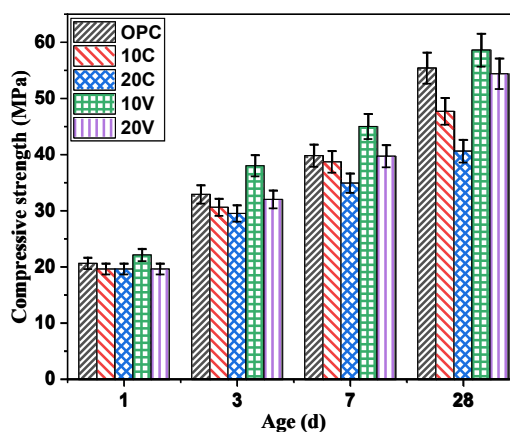


图 21 方解石和球霰石对水泥砂浆抗压强度影响

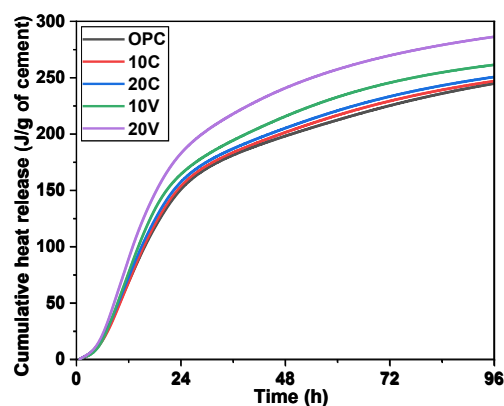
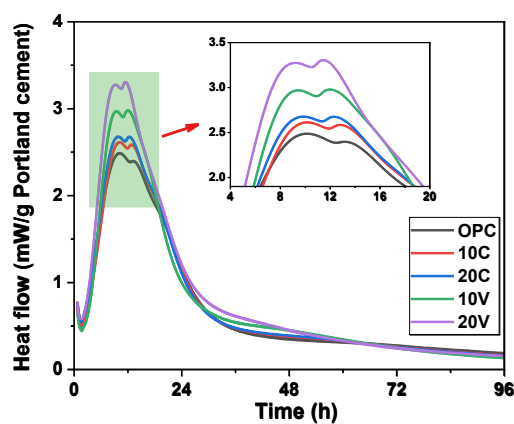




图 22 方解石和球霏石对水泥水化速率和累积放热量影响

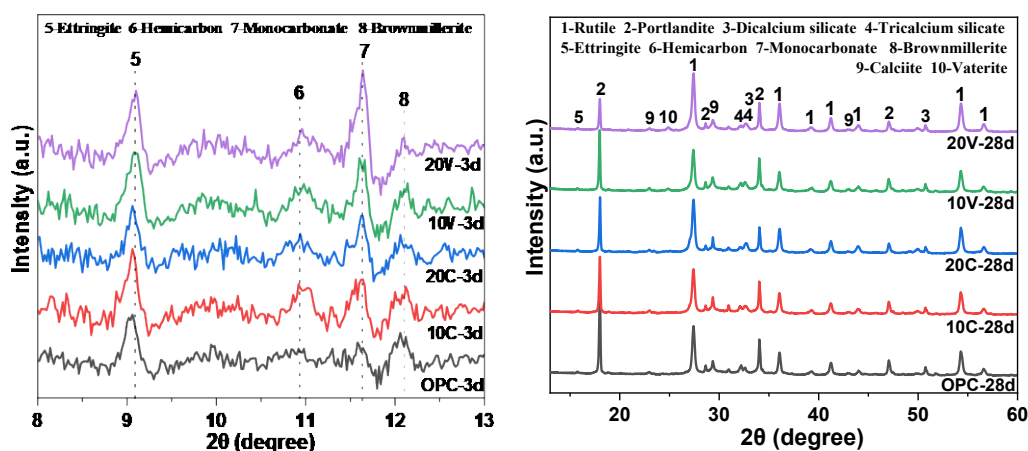


图 23 方解石和球霏石对水泥水化产物影响

### 三、砂石料（建筑垃圾再生骨料）碳化增值关键技术创新点

为解决陈旧再生骨料可碳化物质不足、传统碳化强化效果较差的问题，本项目创新性的提出了  $\text{CO}_2$  加钙碳化的技术，通过选择性的添加外加钙源，探索碳化强化再生细骨料机理与最佳试验条件，进而提高混凝土基本性能，并探究骨料含水率、 $\text{CO}_2$  气体浓度、钙源种类及掺量、 $\text{CO}_2$  气体压力、碳化温度诸多因素对碳化强化效果的影响。试验结果证明， $\text{CO}_2$  加钙碳化强化存放时间较长的拆除混凝土再生细骨料是可行的，最优处理条件是：外加钙源优选氢氧化钙，掺量为  $0.01\sim 0.05\text{mol/kg}$ ， $\text{CO}_2$  浓度为 70%，骨料含水率约 5%，碳化温度为  $25^\circ\text{C}$ 。

表 1 为  $\text{CO}_2$  加钙碳化处理前后再生骨料性能对比，可以看出，通过  $\text{CO}_2$  加钙碳化处理后的再生骨料，其压碎值、微粉含量及吸水率分别较未处理前降低了 27.8%、35.9% 及 62.1%，其胶砂需水量比较未处理前降低了 9.4%、胶砂强度比提升了 9.5%。

表 1  $\text{CO}_2$  加钙碳化处理前后再生骨料性能对比

骨料种类	压碎值/%	微粉含量/%	吸水率/%	胶砂需水量比	胶砂强度比
原状骨料	18	14.2	4.35	1.17	0.95
处理后	13	9.1	1.65	1.06	1.04

图 24 为再生骨料  $\text{CO}_2$  加钙碳化处理后表面微观形貌，表面附着有大量薄片状物质存在，如图中箭头所示，经 EDS 分析得该物质即为  $\text{CaCO}_3$ 。此外，利用 MIP 测试

方法测得的经最优方案处理前后骨料孔隙率从 6.56 降低至 4.43。

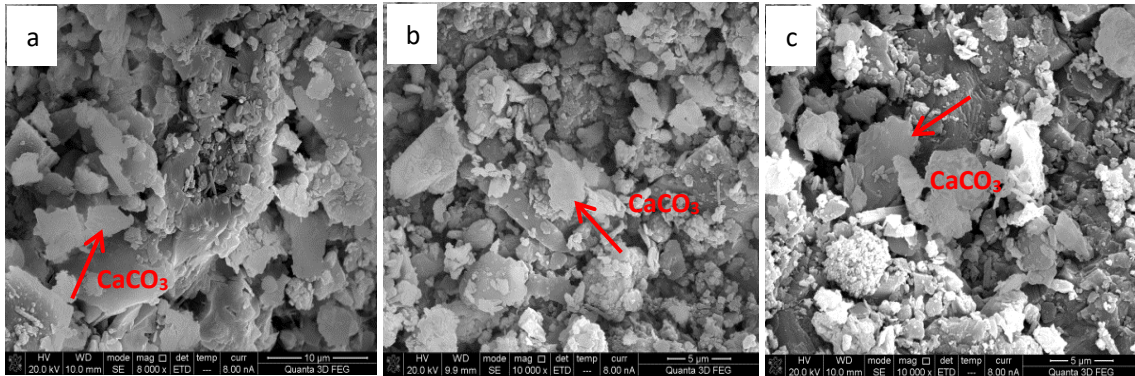


图 24 通过 CO<sub>2</sub> 加钙碳化处理后的再生骨料表面 SEM 图

表 2 为与原状再生细骨料砂浆相比，由最优条件处理的再生细骨料配制的 M10 砂浆具体性能指标。可以看出，再生砂浆的需水量减小，保水率提高，2h 稠度损失减小，凝结时间和砂浆浆体表观密度略有变化，但均符合预拌砂浆标准 GBT 25181-2010 要求。28d 抗压强度较原状再生砂浆变化不明显，但较天然砂浆提高近 21%~26%。在一定程度上解决了再生砂浆流动性差、稠度损失大等问题。

表 2 砂浆基本性能的比较

砂浆 种类	水胶 比	稠度 /mm	2h 稠度 损失/%	保水 率/%	表观密度 /(kg/m <sup>3</sup> )	凝结时间 /(h:min)	28d 抗压强度 /MPa
	0.95	82	21.0	90.6	1840	6:55	11.9

#### 四、专用碳化设备开发创新点

##### (1) 釜式 CO<sub>2</sub> 环境试验装置

利用釜式反应器，在试验的过程中，压力试验范围宽，从-0.090MPa~1.2Mpa，其特点是在混凝土碳化养护和试验的过程中，大大缩短碳化反应的时间，提高试验及工厂二氧化碳养护混凝土的效率，大大降低设备及人工成本，增加试验及生产效益。

##### (2) 氮气灌入增加压力

CO<sub>2</sub> 在釜内的浓度，受空气中的其他成份及湿度影响，在需要高压试验的时候，采用氮气灌入的方法，将高压氮气灌入 CO<sub>2</sub> 反应釜，在提高釜内试验压力同时，避免了空气进入，使得湿度不受空气进入的影响，同时避免空气中 CO<sub>2</sub> 对釜内浓度的影响。

##### (3) 压力蒸汽发生器增加湿度

由于试验釜的压力比较高，普通的加湿方式不能满足湿度的要求，因此，采用压力蒸汽发生器进行加湿，容易达到湿度要求。

#### **(4) 电机水循环冷却**

试验条件为高压高温环境，对于高温的试验，内置的风机由外连接的电机驱动，釜内的温度将带给电机，电机工作不能超过 50 度，因此，在釜的工作温度超过 50 度的时候，采用循环冷却水的方式，给风机上的电机进行冷却，确保电机正常运行。

#### **(5) 高浓度 CO<sub>2</sub> 负压吸入法**

由于试验时，需要超过 90% 的 CO<sub>2</sub> 充入釜内，直接冲入带来压力高，但 CO<sub>2</sub> 在常压下直接灌入 CO<sub>2</sub>，会带来釜内空气的压缩，造成湿度增加，为了增加 CO<sub>2</sub>，不影响其他指标，也会在不加高压的情况下，获取高浓度的 CO<sub>2</sub>，因此，采用先抽真空后，再充进 CO<sub>2</sub>，大大提高试验数据的精确性。

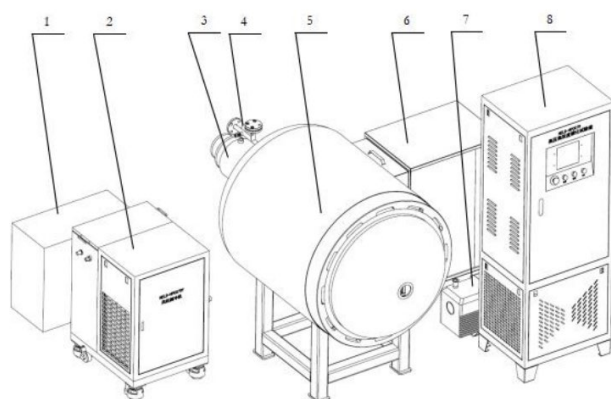
#### **(6) 试验后自动安全排气监控**

试验后，釜内压力、温度、湿度及 CO<sub>2</sub> 浓度，都保持在试验状态，开门对人的安全产生风险，因此，在试验后，控制程序开启排气阀门，为了更好的排除里面的 CO<sub>2</sub>，采取排期后抽真空的方法，将釜内的 CO<sub>2</sub> 余气排出，直至控制器采集的 CO<sub>2</sub> 浓度达到人体可以接受的浓度范围。

#### **(7) 生命安全防护**

为了更好的保护试验人员，避免 CO<sub>2</sub> 泄露带来的室内人员缺氧隐患，设计了 2 种安全措施，一个是由反应釜的控制软件，采集室内的 CO<sub>2</sub> 浓度，超过安全要求进行报警，并启动排风，二是由门禁系统，控制人员进场，在 CO<sub>2</sub> 浓度超标的情况下，室内报警，并锁定门禁系统，人员只能出不能进，全方位的监测室内 CO<sub>2</sub> 浓度，保护试验人员不会缺氧。

#### **(8) 设备整体示意图**



高温高压碳化箱

1-空气压缩机；2-风机冷却系统；3-循环风机；4-二氧化碳排气管；5-碳化箱箱体；  
6-加湿系统；7-真空泵；8-控制柜

图 25 改进版示意图

## (9) 商品化

首台高温高压碳化箱为耐尔得公司与镇江建科院共同设计，并于 2021 年商品化，运用于镇江建科院“低碳建材实验室”，现阶段为改进版本，已获得订单 4 份。



初代产品（现在镇江建科院）



改进版本

图 26 商品化产品实拍图

#### 四、第三方评价

##### 评价一：2020 年度住房和城乡建设部科技项目《废弃混凝土制备高品质细骨料和低碳胶凝材料关键技术及产业化应用研究》

2023 年 6 月 6 日，受住房和城乡建设部标准定额司的委托，江苏省住房和城乡建设厅在南京主持召开了由镇江建科建设科技有限公司承担的住房和城乡建设部科学技术计划项目——“废弃混凝土制备高品质细骨料和低碳胶凝材料关键技术及产业化应用研究”（项目编号：2020-K-074）结题验收会，验收委员会听取了汇报，审阅了相关资料。经质询和讨论，形成验收意见如下：

一、提交的验收资料齐全，符合验收要求。

二、项目以废弃混凝土为原料，采用碳化、微生物矿化、化学强化等改性方法提高了再生细骨料的品质。研制了再生砂浆专用复合外加剂，提升了砂浆的性能。采用粉磨和煅烧等多种活化技术制备再生混凝土微粉，并与石膏矿渣水泥和地聚合物复合制备出低碳胶凝材料。

三、项目实现了再生细骨料和低碳胶凝材料的应用，可解决废弃混凝土的资源化利用问题，有利于建筑行业的低碳发展。

验收委员会认为，项目已完成了申报书预定的目标和任务，同意通过验收。

##### 评价二：2021 年镇江市重点研发计划项目《基于 CO<sub>2</sub> 内养护的低碳混凝土制备关键技术研究》

2023 年 6 月 16 日，镇江市科学技术局组织专家对江苏镇江建筑科学研究院集团股份有限公司承担的 2021 年度镇江市重点研发计划-社会发展“基于 CO<sub>2</sub> 内养护的低碳混凝土制备关键技术应用研究”项目（编号：SH2021002）进行了验收。验收专家组听取了项目实施情况汇报，审阅了相关资料，经质询和讨论，形成如下验收意见：

1. 验收资料齐全、规范，符合验收要求。

2. 项目重点研究了 CO<sub>2</sub> 内养护砂浆、外加钙源混凝土试件的制备工艺，在提高力学性能的前提下，保障了固碳效果。经测试，各项技术指标达到合同规定要求，且

CO<sub>2</sub> 混凝土满足 GB/T 50204-2015《混凝土结构工程质量验收规范》里的 7.3 混凝土拌合物中的性能要求。

3.申请发明专利 2 件，获授权实用新型专利 1 件。

4.经审计，项目经费使用合理、规范，符合相关规定要求。经示范应用，每方混凝土节约 9.22 元原材料成本，节约碳税 0.24 元。

**评价三：2016 年镇江市住建局科学技术计划《拆除混凝土再生细骨料的改性与应用研究》**

2017 年 12 月 21 日，镇江市科技局组织专家对江苏镇江建筑科学研究院集团股份有限公司承担的“拆除混凝土再生细骨料的改性与应用研究”项目进行科技成果鉴定。鉴定委员会听取了项目研究报告，审查了相关资料，经质询和讨论，形成如下意见：

一、提供的资料齐全，符合鉴定要求。

二、项目组通过碳化强化、微生物矿化强化、化学强化以及外掺外加剂之间的性能和成本比较，获得了提高混凝土再生细骨料性能的最优方法。该项目成果提高了混凝土再生细骨料的综合利用率，减少了建筑垃圾对环境的污染。

三、该混凝土再生细骨料制备的砂浆产品经镇江市建科工程检测中心有限公司检测所有性能均满足 GB/T25181-2010《预拌砂浆》相关标准规定的要求，项目研究成果具有创新性，申请国家发明专利两项，其中一项已授权。

鉴定委员会一致同意通过鉴定，并认为项目研究成果达到国内领先水平。

建议:进一步加强应用技术研究，加快科技成果转化。

## 五、推广应用情况、经济效益、社会效益和环境效益

### 1、推广应用情况（应用证明请标明应用时间）

目前，系列产品已在近 20 家客户得以应用并且得到了客户的高度认可。主要应用情况如下：

#### （1）江苏建宇混凝土有限公司

我司采用本项目“大宗建材制造过程碳化增值关键技术研究”技术，所制备的商品混凝土综合性能良好，符合建筑材料工业的可持续发展需要。

#### （2）镇江博越新型材料有限公司

我司采用本项目“大宗建材制造过程碳化增值关键技术研究”商品混凝土碳化增值技术，所制备的商品混凝土综合性能良好。此项目在在大宗建材的生产制造过程中进行碳化处理，将 CO<sub>2</sub> 减排这个全球性的课题同建材的生产制造结合，对建筑材料工业的可持续发展和缓解温室气体带来的气候变化问题具有十分重要的意义。

#### （3）江苏城科建设发展有限公司

我司采用本项目“大宗建材制造过程碳化增值关键技术研究”加钙碳化强化拆除混凝土再生细骨料，所制备的商品混凝土综合性能良好。

#### （4）镇江市京口区杰睿达混凝土有限公司

我司采用本项目“大宗建材制造过程碳化增值关键技术研究”商品混凝土碳化增值技术，所制备的商品混凝土综合性能良好。此项目在在大宗建材的生产制造过程中进行碳化处理，将 CO<sub>2</sub> 减排这个全球性的课题同建材的生产制造结合，对建筑材料工业的可持续发展和缓解温室气体带来的气候变化问题具有十分重要的意义。

#### （5）镇江盘隆建宇混凝土有限公司

我司采用本项目“大宗建材制造过程碳化增值关键技术研究”商品混凝土碳化增值技术，所制备的商品混凝土综合性能良好。此项目在在大宗建材的生产制造过程中进行碳化处理，将 CO<sub>2</sub> 减排这个全球性的课题同建材的生产制造结合，对建筑材料工业的可持续发展和缓解温室气体带来的气候变化问题具有十分重要的意义。

#### （6）江苏云阳集团混凝土有限公司

我司采用本项目“大宗建材制造过程碳化增值关键技术研究”再生骨料所制备的

商品混凝土综合性能良好。每方 C25 混凝土到 C45 混凝土可在原材料上节约 3-7 元，CO <sub>2</sub> 吸收量达到每方 4-7kg，节约碳税 0.2-0.28 元，并且采用该工艺与配比成型混凝土，28d 抗压强度与空白组基本持平，部分实验组的抗压强度略有提升，其中 C25 混凝土处理后 28d 抗压强度提升约 3%，C40 混凝土处理后 28d 抗压强度提升约 2.3%，C45 混凝土处理后 28d 抗压强度提升约 0.7%。				
2、近年直接经济效益单位：万元人民币				
	完成单位		其他应用单位	
年份	新增销售额	新增利润	新增销售额	新增利润
累计				
经济效益的有关说明及各栏目的计算依据： 标号为 C25、C30、C35、C40 和 C45 的混凝土，平均可在原材料上节约 9.22 元，平均每立方混凝土节约碳税 0.24 元。				
3、社会效益（限 200 字） 本项目主要针对江苏省大宗建材行业的高能耗和高二氧化碳排放现状，在项目调研的基础上，研究再生细骨料、镁渣、电石渣水泥的碳化增值技术，以及专用设备的开发。为大宗水泥建材的低碳化利用提供一条经济、可行的绿色共性技术，打通资源化利用产业链，促进企业提高烟气 CO <sub>2</sub> 利用率、降低天然资源的使用率、提高企业经济效益；此外，通过对烟气 CO <sub>2</sub> 的综合利用，可以大幅度降低建筑垃圾和镁渣、电石渣堆存及处置的环境风险，为主管部门提供预处理改性及资源化利用的技术支撑。				
4、环境效益（限 200 字） 碳化混凝土可以大幅度提高混凝土的抗压强度，也可以提高其抗冲击与耐火性能，可在工程实践中广泛的应用于桥梁、隧道、公路等重要工程上。另外，碳化混凝土可以使混凝土结构更为致密，提高混凝土的抗渗性和耐久性，使得混凝土在后期暴露于空气中时减少空气中二氧化碳侵蚀。二氧化碳在水泥工业中的合理利用已得到人				



们的广泛重视，既可以减少水泥用量，也可以降低工程对环境的污染，符合可持续发展的理念。

## 六、代表性论文论著情况

### 1、代表性论文论著目录（不超过 5 篇）

序号	论文论著名称/刊名/	发表时间 (年/月/日)	作者	备注
1	Effect of temperature on CO <sub>2</sub> curing, compressive strength and microstructure of cement paste/ Cement and Concrete Research	2022年4月26日	Bao Lu,Sarra Drissi,Jianhui Liu,Xiang Hu,Baixin Song,Caijun Shi	
2	High-purity vaterite CaCO <sub>3</sub> recovery through wet carbonation of magnesium slag and leaching residue utilization in cement/ Cement and Concrete Composites	2022年11月9日	Bao Lu,Yeqiang Zhou,Lei Jiang,Zhensen Liu,Guihua Hou	
3	Increasing flexural strength of CO <sub>2</sub> cured cement paste by CaCO <sub>3</sub> polymorph control/ Cement and Concrete Composites	2024年2月9日	Fengshun Wu,XuJia You,Mingming Wang,Tiejun Liu,Bao Lu,Guihua Hou,Ruiyu Jiang,Caijun Shi	
4	Preparation of aragonite whisker-rich materials by wet carbonation of magnesium slag: A sustainable approach for CO <sub>2</sub> sequestration and reinforced cement/ Construction and Building Materials	2024年2月9日	Dongqing Zhong,WenwenZhang,Shuwei Zhang,Guihua Hou,Bao Lu	
5	Distinguishing between new and old mortars in recycled aggregate concrete under carbonation using iron oxide red /Construction & Building Materials/	2019年6月20日	Renjie Mi,Ganghua Pan,Yang Li,Tong Kuang, Xiaojun Lu	

承诺：上述论文论著知识产权归国内所有且无争议。以下情况和规定已向所有未列入项目主要完成人的作者明确告知并征得同意：①上述论文论著用于推荐江苏省建设科技创新成果；②江苏省建设科技创新成果获奖项目所用论文专著不得再次参评。其中，未列入项目主要完成人的第一作者、通讯作者（含共同第一作者、共同通讯作者）已出具知情同意书面签字意见，与其他作者的有关知情证明材料均存档备查。因未如实告知上述情况而引起争议，且不能提供相应存档备查的证据，本人愿意承担相应责任，并接受处理。上述论文信息真实，因引起争议，本人愿意承担相应责任，并接受处理。

第一完成人签名：

## 2、代表性论文论著被他人引用的情况（不超过 5 篇）

序号	被引代表性论文论著题目	引文题目/作者	引文刊名/影响因子	引文发表时间（年月日）
1	Effect of temperature on CO <sub>2</sub> curing, compressive strength and microstructure of cement paste	Enhancing the treatment efficiency of recycled concrete fines with aqueous carbonation/ Yi Jiang, Ligang Peng, Zihan Ma, Jian-xin Lu, Peiliang Shen, Chi Sun Poon,	Cement and Concrete Research/ 11.4	2023.10.3
2	High-purity vaterite CaCO <sub>3</sub> recovery through wet carbonation of magnesium slag and leaching residue utilization in cement	Carbonation curing of magnesium-coal slag solid waste backfill material: Study on properties of flow, mechanics and carbon sequestration/ Zhiyu Fang, Yuheng Gao, Wei He, Mengbo Zhu, Lei Xia, Pengyu Yang, Dongsheng Liu, Jun He	Case Studies in Construction Materials/ 6.2	2024.4.24
3	Increasing flexural strength of CO <sub>2</sub> cured cement paste by CaCO <sub>3</sub> polymorph control	Role of partial limestone calcination in carbonated lime-based binders/ Xiong Qian, Xinyu Zhou, Chuanlin Hu, Fazhou Wang, Shuguang Hu,	Cement and Concrete Research/ 11.4	2024.6.6
4	Preparation of aragonite whisker-rich materials by wet carbonation of magnesium slag: A sustainable approach for CO <sub>2</sub> sequestration and reinforced cement	Performance of cementitious materials prepared with magnesium slag and concrete slurry waste/ Kairong Jin, Xiangming Zhou, Dezhi Wang, Wanli Bi, Yu Lu, Jinghui Wang	Journal of Building Engineering / 6.4	2024.4.17
5	Distinguishing between new and old mortars in recycled aggregate concrete under carbonation using iron oxide red	New insights into diffusion and reaction of CO <sub>2</sub> gas in recycled aggregate concrete/Mi, RJ <a href="#">_</a> ; Liew, KM <a href="#">_</a> ; Pan, GH	CEMENT & CONCRETE COMPOSITES/1061	2022.05.19

## 七、主要知识产权目录

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家 (地区)	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	发明	一种利用二氧化碳强化再生混凝土细骨料的方法	中国	ZL 2015105 87289.6	2017.05.1 0	2480422	东南大学; 镇江建科建设科技有限公司	潘钢华; 陆小军; 付明华
2	发明	一种利用微生物沉积碳酸钙强化再生混凝土细骨料的方法	中国	ZL 2016101 80571.7	2018.04.2 0	2890062	东南大学; 镇江建科建设科技有限公司	潘钢华; 陆小军; 付明华; 朱祥; 蒙海宁
3	发明	一种再生自硬性胶凝材料及其制备方法	中国	ZL 2015109 10156.8	2018.04.1 7	2887881	江苏镇江建筑科学研究院集团股份有限公司;东南大学	潘钢华; 伊立;周 冬林;杨 琳
4	发明	一种再生活性掺合料及其制备方法	中国	ZL 2015105 49555.6	2018.07.2 7	3014677	东南大学; 镇江建科建设科技有限公司	陆小军; 潘钢华; 杨琳
5	发明	一种水化硅酸钙早强剂的制备方法及一种自密实混凝土	中国	ZL 2017113 3 1837.4	2019.10.0 1	3547000	镇江建科建设科技有限公司	蒙海宁; 左李萍; 张敏杰; 许彦明; 陆小军
6	发明	一种免蒸养混凝土预制构件及其成型方法	中国	ZL 2017113 3 1839.3	2020.01.1 0	3661286	镇江建科建设科技有限公司	陆小军; 蒙海宁; 左李萍; 张敏杰; 许彦明
7	发明	一种矿物掺合料表面原位生长水化硅酸钙的方法	中国	ZL 2018102 26554.1	2021.01.1 2	4202466	东南大学; 江苏镇江建筑科学研究院集团股份有限公司	潘钢华; 周飞飞 陆小军; 朱祥; 蒙海宁
8	发明	一种利用铁尾矿细砂制备再生骨料的方法	中国	ZL 2021104 6 7445.0	2022.11.2 2	5594500	东南大学; 江苏镇江建筑科学研究院集团股份有限公司	潘钢华; 高敏;蒙 海宁;朱 祥;陆小 军
9	实用新型	一种固碳水泥基材料制备设备	中国	ZL 2022208 47081.9	2022.09.0 6	17353283	镇江建科建设科技有限公司	蒙海宁; 徐成龙; 敖林;陆 小军

10	实用新型	一种改进用吨袋打包的装置	中国	ZL 2015205 79001.6	2015.12.0 2	4799934	镇江建科 建设科技 有限公司	陈福松; 李春;焦 海胜;洪 常青;冷 国生;陆 小军;朱 祥
11	实用新型	一种固体物料筒仓料位测量装置	中国	ZL 2015205 66466.8	2015.12.0 9	2015.12.0 9 4836668	镇江建科 建设科技 有限公司	陈福松; 李春;焦 海胜
12	实用新型	一种用于混凝土预制墙板安装过程中的可调节定位工装	中国	ZL 2021234 03661.3	2022.06.1 7	16742346	镇江建科 建设科技 有限公司	陈研;褚 兰哲;陆 小军;蒙 海宁;冷 国生;丁 海亮
13	实用新型	一种高精度性的混凝土预制墙板灌浆饱满度检测装置	中国	ZL 2021233 97887.7	2022.09.0 6	17365804	镇江建科 建设科技 有限公司	陈研;陈 国庆;陆 小军;蒙 海宁;冷 国生;丁 海亮

承诺：上述知识产权和标准规范等用于推荐江苏省建设科技创新成果的情况，已征得未列入项目主要完成人的权利人（发明专利指发明人）的同意。

第一完成人签名：

## 八、完成人情况

姓名	蒙海宁	性别	男	排名	1
出生年月	1987.08			民族	汉
国籍	中国			居住地	江苏镇江
行政职务	副主任	归国人员	否	归国时间	无
工作单位	江苏镇江建筑科学研究院集团股份有限公司			办公电话	0511-89988609
通讯地址	江苏镇江市丹徒区高资镇建科科技园			邮政编码	212114
电子信箱	mhningcz@163.com			移动电话	18921590557
技术职称	高级工程师			最高学位	博士
曾获科技奖励情况	华夏建设科技奖三等奖两项，江苏省建设系统创新成果三等奖三项；江苏省“双创计划”工程、江苏省“333工程”学术技术带头人、镇江市“169工程”学术技术带头人、江苏省有突出贡献的中青年专家、江苏省“我们身边的好青年”、镇江市有突出贡献的中青年专家、镇江市“企业首席专家”。				
参加起止时间	2015.12.30~2023.6.16				
<p>主要贡献：（限 300 字）</p> <p>蒙海宁博士担任本项目的负责人，具体负责项目研发内容的开发，以及研发项目的推动。能够根据项目的目标要求，积极推动研发项目的开展。根据原材料的特点特征，以及标准中对材料的性能要求，开展针对性的实验。对研发进程中出现的问题能够及时调整解决，对工作实用性、耐久性等问题能够进行详细、客观的分析，并在相关实验结论的基础之上，带领研发团队开展项目实验，为项目提供了理论依据。</p>					
<p>承诺：</p> <p>本人同意完成人排名，并严格按照江苏省住房城乡建设厅对推荐工作的具体要求，如实提供了本推荐书及相关材料，且不存在任何违反国家保密法律法规及侵犯他人知识产权的情形。</p>			<p>工作单位声明：</p> <p>本单位对该完成人政治、品行、作风、廉洁等情况进行了审核，不存在依规不得推荐的情况。确认该完成人情况表内容真实准确，对该完成人被推荐无异议。如发生争议，将积极配合协助调查处理。</p>		
<p>本人签名：</p> <p>年 月 日</p>			<p>单位（公章）：</p> <p>年 月 日</p>		

## 八、完成人情况

姓名	许彦明	性别	男	排名	2
出生年月	1987.8			民族	汉
国籍	中国			居住地	江苏镇江
行政职务		归国人员		归国时间	
工作单位	江苏镇江建筑科学研究院集团股份有限公司			办公电话	
通讯地址	镇江市檀山路8号			邮政编码	212000
电子信箱	917391718@qq.com			移动电话	13805290772
技术职称		高级工程师		最高学位	硕士
曾获科技奖励情况		2022年江苏省创新成果奖			
参加起止时间					
<p>主要贡献：（限 300 字）</p> <p>探究外加钙源种类（氧化钙、氯化钙和硝酸钙）、外加钙源掺量（0.01mol/kg、0.05mol/kg、0.25mol/kg）对再生骨料及混凝土性能影响的规律研究。通过 XRD、SEM 探究骨料碳化机理，通过 MIP 研究碳化处理前后混凝土的孔隙率和孔径分布规律。</p>					
<p>承诺：</p> <p>本人同意完成人排名，并严格按照江苏省住房和城乡建设厅对推荐工作的具体要求，如实提供了本推荐书及相关材料，且不存在任何违反国家保密法律法规及侵犯他人知识产权的情形。</p>			<p>工作单位声明：</p> <p>本单位对该完成人政治、品行、作风、廉洁等情况进行了审核，不存在依规不得推荐的情况。确认该完成人情况表内容真实准确，对该完成人被推荐无异议。如发生争议，将积极配合协助调查处理。</p>		
<p>本人签名：</p> <p>年 月 日</p>			<p>单位（公章）：</p> <p>年 月 日</p>		

## 八、完成人情况

姓名	潘钢华	性别	男	排名	3
出生年月	1959.01			民族	汉
国籍	中国			居住地	江苏南京
行政职务	教授	归国人员	否	归国时间	无
工作单位	东南大学材料科学与工程学院			办公电话	025-52090668
通讯地址	江苏省南京市东南大学材料A楼446			邮政编码	210089
电子信箱	101004929@seu.edu.cn			移动电话	13357827675
技术职称		教授		最高学位	博士
曾获科技奖励情况		2021年华夏建设科学技术奖 2022年江苏省建设科技创新成果奖			
参加起止时间		2015.12.30~2023.6.16			
主要贡献：（限 300 字） 1、再生骨料的碳化强化；获得发明专利授权 1 项。 2、再生微粉制备复合矿物掺合料和低碳自硬性胶凝材料；获得发明专利授权 2 项。 3、铁尾矿机械活化、加热活化和化学活化，获得发明专利授权 1 项。					
承诺： 本人同意完成人排名，并严格按照江苏省住房和城乡建设厅对推荐工作的具体要求，如实提供了本推荐书及相关材料，且不存在任何违反国家保密法律法规及侵犯他人知识产权的情形。			工作单位声明： 本单位对该完成人政治、品行、作风、廉洁等情况进行了审核，不存在依规不得推荐的情况。确认该完成人情况表内容真实准确，对该完成人被推荐无异议。如发生争议，将积极配合协助调查处理。		
本人签名： 年 月 日			单位（公章）： 年 月 日		



## 八、完成人情况

姓名	卢豹	性别	男	排名	4
出生年月	1981.9			民族	汉
国籍	中国			居住地	江苏盐城
行政职务	教授	归国人员		归国时间	
工作单位	盐城工学院			办公电话	
通讯地址	江苏省盐城市			邮政编码	211816
电子信箱	andymoliwu@njtech.edu.cn			移动电话	13913015136
技术职称		教授		最高学位	博士
曾获科技奖励情况		广东省土木建筑学会科学技术奖一等奖 广东省优秀工程勘察设计奖二等奖			
参加起止时间		2016.12.30~2023.6.16			
主要贡献：（限 300 字） 针对项目需求，组织了相关团队成员，制定了有效的项目计划，为项目的顺利完成提供了可靠的保证；为缓解钢渣露天堆放与利用率低等问题，提出了“钢渣固碳制备辅助性胶凝材料”的技术，利用钢渣作为碳化的原材料，通过力学性能分析、热重分析以及碳酸钙的微观形貌，确定最佳的固碳技术；提出了碳酸钙晶型调控技术，使钢渣固碳后生成文石晶须，进一步提升固碳钢渣辅助性胶凝材料的性能；开发设计了专用固碳设备，通过该设备对混凝土进行预处理，既能消耗工业生产中所排放的 CO <sub>2</sub> 气体，又能减少水泥、粉煤灰等胶凝材料以及砂石料等天然资源的使用量。					
承诺： 本人同意完成人排名，并严格按照江苏省住房和城乡建设厅对推荐工作的具体要求，如实提供了本推荐书及相关材料，且不存在任何违反国家保密法律法规及侵犯他人知识产权的情形。			工作单位声明： 本单位对该完成人政治、品行、作风、廉洁等情况进行了审核，不存在依规不得推荐的情况。确认该完成人情况表内容真实准确，对该完成人被推荐无异议。如发生争议，将积极配合协助调查处理。		
本人签名： 年 月 日			单位（公章）： 年 月 日		

## 八、完成人情况

姓名	张卉伊	性别	女	排名	5
出生年月	1968.8			民族	汉
国籍	中国			居住地	北京海淀
行政职务	董事长	归国人员		归国时间	
工作单位	北京耐尔得智能科技有限公司			办公电话	010-82755175
通讯地址	北京市海淀区王庄路1号清华同方科技广场B座503			邮政编码	100083
电子信箱	teena@neld.com.cn			移动电话	18612621333
技术职称		无		最高学位	大专
曾获科技奖励情况					
参加起止时间					
<p>主要贡献：（限 300 字）</p> <p>项目总工，在高浓度高压高温碳化釜的研发过程中，结合目前跨行业的技术特点，组织研发部门，对二氧化碳浓度高、并同时满足高压、高温的试验条件进行可行性分析，对实现的方法进行创新，对结构设计、电器控制设计、软件设计进行阶段性的评审，并给出相应的建议，在项目计划周期内协调研发进度，检查研发事项按照 ISO9001 标准执行，有效的完成项目，并组织对项目结果进行验收。</p>					
<p>承诺：</p> <p>本人同意完成人排名，并严格按照江苏省住房和城乡建设厅对推荐工作的具体要求，如实提供了本推荐书及相关材料，且不存在任何违反国家保密法律法规及侵犯他人知识产权的情形。</p>			<p>工作单位声明：</p> <p>本单位对该完成人政治、品行、作风、廉洁等情况进行了审核，不存在依规不得推荐的情况。确认该完成人情况表内容真实准确，对该完成人被推荐无异议。如发生争议，将积极配合协助调查处理。</p>		
<p>本人签名：</p> <p>年 月 日</p>			<p>单位（公章）：</p> <p>年 月 日</p>		

## 八、完成人情况

姓名	唐德波	性别	男	排名	6
出生年月	1982.4			民族	汉
国籍	中国			居住地	江苏镇江
行政职务	总经理	归国人员		归国时间	
工作单位	镇江市静脉产业发展有限公司			办公电话	05118096290 0
通讯地址	镇江市丹徒区高资街道陈丰村01号			邮政编码	212100
电子信箱	Tangdebo1983@sina.com			移动电话	13862456322
技术职称		高级工程师		最高学位	本科
曾获科技奖励情况		2016年度优秀科技项目 2022年江苏省建设科技创新成果三等奖			
参加起止时间					
<p>主要贡献：（限 300 字）</p> <p>本人主要负责在建材固废碳化机理的基础上，对建筑固废进行遴选，针对再生细骨料在实际应用中存在的工作性不佳、强度偏低或不稳定的现象，分析再生细骨料微粉含量、颗粒形貌与级配、吸水率对再生砂浆性能的影响机理；确定碳化强化的最佳条件；降低微粉含量的不良影响，提高再生细骨料的工作性和力学性能。通过 CO<sub>2</sub> 反应，在混凝土材料中永久储存 CO<sub>2</sub>，减少混凝土中的水泥用量，提高混凝土早期强度。</p>					
<p>承诺：</p> <p>本人同意完成人排名，并严格按照江苏省住房和城乡建设厅对推荐工作的具体要求，如实提供了本推荐书及相关材料，且不存在任何违反国家保密法律法规及侵犯他人知识产权的情形。</p>			<p>工作单位声明：</p> <p>本单位对该完成人政治、品行、作风、廉洁等情况进行了审核，不存在依规不得推荐的情况。确认该完成人情况表内容真实准确，对该完成人被推荐无异议。如发生争议，将积极配合协助调查处理。</p>		
<p>本人签名：</p> <p>年 月 日</p>			<p>单位（公章）：</p> <p>年 月 日</p>		

## 八、完成人情况

姓名	陆小军	性别	男	排名	7
出生年月	1979.6			民族	汉
国籍	中国			居住地	江苏镇江
行政职务	副院长	归国人员	否	归国时间	无
工作单位	江苏镇江建筑科学研究院集团股份有限公司			办公电话	0511-8998860 9
通讯地址	江苏镇江市丹徒区高资镇建科科技园			邮政编码	212114
电子信箱	tcfire2003@163.com			移动电话	18952800281
技术职称		研究员级高级工程师		最高学位	本科
曾获科技奖励情况		江苏省建筑业科技进步二等奖；中国建筑学会科技进步三等奖；江苏省建设系统创新成果三等奖两项；江苏省“333工程”学术技术带头人、镇江市“169工程”学术技术带头人、镇江市有突出贡献中青年专家			
参加起止时间					
<p>主要贡献：（限 300 字）</p> <p>陆小军研究员级高级工程师担任本项目的项目指导，主要为本项目提供技术指导、相关事宜的协助和协调。</p>					
<p>承诺：</p> <p>本人同意完成人排名，并严格按照江苏省住房城乡建设厅对推荐工作的具体要求，如实提供了本推荐书及相关材料，且不存在任何违反国家保密法律法规及侵犯他人知识产权的情形。</p>			<p>工作单位声明：</p> <p>本单位对该完成人政治、品行、作风、廉洁等情况进行了审核，不存在依规不得推荐的情况。确认该完成人情况表内容真实准确，对该完成人被推荐无异议。如发生争议，将积极配合协助调查处理。</p>		
<p>本人签名：</p> <p>年 月 日</p>			<p>单位（公章）：</p> <p>年 月 日</p>		

## 八、完成人情况

姓名	孙海龙	性别	男	排名	8
出生年月	1994.11			民族	汉
国籍	中国			居住地	江苏省南京市
行政职务		归国人员	否	归国时间	
工作单位	东南大学			办公电话	
通讯地址	江苏省南京市浦口区浦珠南路30号			邮政编码	211816
电子信箱	lp9411@126.com			移动电话	17356538582
技术职称				最高学位	博士
曾获科技奖励情况		无			
参加起止时间					
<p>主要贡献：（限 300 字）</p> <p>对钢渣微粉原料组成和结构进行了表征；在专用固碳设备中使 CO<sub>2</sub>、钢渣微粉接触并发生碳化反应，制备了不同碳化程度的钢渣微粉；探究了钢渣微粉碳化产物组成与微结构的变化规律；研究碳化工艺条件对钢渣微粉碳化速率、碳化产物组成结构的影响规律，构建钢渣微粉的碳化反应模型，揭示了钢渣微粉碳化反应的机制；研究了碳化钢渣微粉对水泥基材料力学强度、安定性等性能的影响规律，揭示了碳化钢渣微粉的水化机理；结合实验数据和理论模型，对该项科研项目的发展前景进行了深入的分析和讨论，为该项科研项目提供了理论支撑。</p>					
<p>承诺：</p> <p>本人同意完成人排名，并严格按照江苏省住房和城乡建设厅对推荐工作的具体要求，如实提供了本推荐书及相关材料，且不存在任何违反国家保密法律法规及侵犯他人知识产权的情形。</p>			<p>工作单位声明：</p> <p>本单位对该完成人政治、品行、作风、廉洁等情况进行了审核，不存在依规不得推荐的情况。确认该完成人情况表内容真实准确，对该完成人被推荐无异议。如发生争议，将积极配合协助调查处理。</p>		
<p>本人签名：</p> <p>年 月 日</p>			<p>单位（公章）：</p> <p>年 月 日</p>		

## 八、完成人情况

姓名	徐成龙	性别	男	排名	9
出生年月	1988年10月3日			民族	汉
国籍	中国			居住地	镇江
行政职务		归国人员		归国时间	
工作单位	江苏镇江建筑科学研究院集团股份有限公司			办公电话	18118957261
通讯地址	镇江市丹徒区高资街道香山大道一号建科科技园			邮政编码	
电子信箱	810563710@qq.com			移动电话	18118957261
技术职称		工程师		最高学位	专科
曾获科技奖励情况		获奖证书：低品位铁尾矿协同互补制备绿色建材关键技术研究与应用；			
参加起止时间		2022年04月			
<p>主要贡献：（限 300 字）</p> <p>进行 CO<sub>2</sub> 内养护低碳混凝土的研制，探究 CO<sub>2</sub> 内养护对混凝土组成、结构和性能的影响规律；研究 CO<sub>2</sub> 内养护混凝土的耐久性能，探索 CO<sub>2</sub> 内养护在新拌混凝土中的应用工艺和技术，通过研究 CO<sub>2</sub> 外养护混凝土技术，对其工艺方法、养护后混凝土的力学性能、养护过程中的温度变化对二氧化碳养护混凝土的影响。</p>					
<p>承诺：</p> <p>本人同意完成人排名，并严格按照江苏省住房城乡建设厅对推荐工作的具体要求，如实提供了本推荐书及相关材料，且不存在任何违反国家保密法律法规及侵犯他人知识产权的情形。</p>			<p>工作单位声明：</p> <p>本单位对该完成人政治、品行、作风、廉洁等情况进行了审核，不存在依规不得推荐的情况。确认该完成人情况表内容真实准确，对该完成人被推荐无异议。如发生争议，将积极配合协助调查处理。</p>		
<p>本人签名：</p> <p>年 月 日</p>			<p>单位（公章）：</p> <p>年 月 日</p>		

## 八、完成人情况

姓名	张文	性别	男	排名	10
出生年月	1982.1			民族	汉
国籍	中国			居住地	北京房山
行政职务	设备研发主管	归国人员		归国时间	
工作单位	北京耐尔得智能科技有限公司			办公电话	010-82755175
通讯地址	北京市海淀区王庄路1号清华同方科技广场B座503			邮政编码	100083
电子信箱	jiaguolong@neld.com.cn			移动电话	15210082664
技术职称		高级工程师		最高学位	硕士
曾获科技奖励情况					
参加起止时间					
<p>主要贡献：（限 300 字）</p> <p>软件开发及算法工程师，对二氧化碳高浓度、高压、高温的试验条件下完成测量的准确性及设备的安全性分析，完成压力、温度、湿度、二氧化碳各类传感器的准确测量所涉及的试验运行逻辑，并对各种参数的交叉影响，为保证试验数据的准确性，研发出适合的算法，并结合市场现有的设备情况，以及现有装备的缺陷，对在研项目进行先进性的评估及创新，按照 ISO9001 标准完成项目执行。</p>					
<p>承诺：</p> <p>本人同意完成人排名，并严格按照江苏省住房和城乡建设厅对推荐工作的具体要求，如实提供了本推荐书及相关材料，且不存在任何违反国家保密法律法规及侵犯他人知识产权的情形。</p>			<p>工作单位声明：</p> <p>本单位对该完成人政治、品行、作风、廉洁等情况进行了审核，不存在依规不得推荐的情况。确认该完成人情况表内容真实准确，对该完成人被推荐无异议。如发生争议，将积极配合协助调查处理。</p>		
<p>本人签名：</p> <p>年 月 日</p>			<p>单位（公章）：</p> <p>年 月 日</p>		

## 八、完成人情况

姓 名	朱翔	性 别	男	排 名	11
出生年月	1990.1			民 族	汉
国 籍	中国			居 住 地	镇江市
行政职务	/	归国人员	/	归国时间	/
工作单位	江苏镇江建筑科学研究院集团股份有限公司			办公电话	/
通讯地址	镇江市檀山路8号			邮政编码	212000
电子信箱	1596057133@qq.com			移动电话	18952800220
技术职称		高级工程师		最高学位	学士
曾获科技奖励情况					
参加起止时间					
<p>主要贡献：（限 300 字）</p> <p>通过控制掺入混凝土内 CO<sub>2</sub> 浓度以及调整各种掺合料的配比制备出优于现有混凝土的制品。研究成果将有效减少水泥及其下游混凝土工业的碳排放 对于实现我国“碳达峰”和“碳中和”战略目标具有十分重要的意义。</p>					
<p>承诺：</p> <p>本人同意完成人排名，并严格按照江苏省住房城乡建设厅对推荐工作的具体要求，如实提供了本推荐书及相关材料，且不存在任何违反国家保密法律法规及侵犯他人知识产权的情形。</p>			<p>工作单位声明：</p> <p>本单位对该完成人政治、品行、作风、廉洁等情况进行了审核，不存在依规不得推荐的情况。确认该完成人情况表内容真实准确，对该完成人被推荐无异议。如发生争议，将积极配合协助调查处理。</p>		
<p>本人签名：</p> <p>年 月 日</p>			<p>单位（公章）：</p> <p>年 月 日</p>		



## 九、主要完成单位情况

### 1、主要完成单位情况

单位名称	江苏镇江建筑科学研究院集团股份有限公司			统一社会信用代码	913211007965265339
法人代表	伊立	单位性质	科研院所	传真	0511-85601500
联系人	周梅	联系电话	0511-85601500	移动电话	18952800298
通讯地址	镇江市檀山路8号			邮政编码	212004
电子信箱	jianke@vip.163.com				
<p>科技创新和推广应用情况的贡献：（限600字）</p> <p>江苏镇江建筑科学研究院集团股份有限公司为本项目由主要完成，本项目所需研发的资金；相关设备采购、安装、调试；项目具体研发工作、产品生产、产业化工艺确定等工作都由江苏镇江建筑科学研究院集团股份有限公司完成。</p> <p>江苏镇江建筑科学研究院集团股份将CO<sub>2</sub>减排这个全球性的课题同建材的生产制造结合，牵头提出了“大宗建材制造过程碳化增值”技术，分别从大宗水泥基建材主要组成出发，即：水泥、辅助胶凝材料（掺合料）、砂石料（再生骨料），研究新型低碳水泥基胶凝材料碳化增值关键技术；辅助胶凝材料（镁渣、电石渣）碳化增值关键技术；砂石料（建筑垃圾再生骨料）碳化增值关键技术及被开发。</p> <p>在本项目的实施过程中，镇江建科院主要完成了相关产品研发、以及产业化技术研发工作，同时，积极配合各单位完成相关技术的落地，以及相关技术的推广和应用工作。</p>					
声 明	<p>本单位同意完成单位排名，严格按照《江苏省建设科技创新成果推荐及评审工作细则（试行）》和江苏省住房城乡建设厅对推荐工作的具体要求，对被推荐项目完成人在本单位期间的政治、品行、作风、廉洁等情况进行了审核，不存在依规不得推荐的情况。确认该项目材料内容真实准确，且不存在任何违反国家保密法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如产生争议，愿意积极配合调查。</p> <p>如有不符，本单位愿意承担相关后果并接受相应的处理。</p> <p>法定代表人签名：_____ 单位（公章）：_____</p> <p>年 月 日 年 月 日</p>				

## 2、其他完成单位情况

排名	单位名称（公章）	统一社会信用代码	单位所在地	单位属性	通讯地址、邮政编码	本项目的贡献（指创新点）
2	东南大学	1210000046606770Q	南京	高校	江苏省南京市玄武区新街口四牌楼2号，210018	砂石料（建筑垃圾再生细骨料）固碳技术研究
3	盐城工学院	12320000466007191Q	盐城	高校	江苏省盐城市希望大道中路1号，224003	冶金废渣碳化调控制备高附加值材料技术研究
4	镇江市静脉产业发展有限公司	91321112MA1Y9291XN	镇江	企业	镇江市丹徒区高资街道陈丰村01号，212000	碳化混凝土抗压强度可行性验证及应用推广
5	北京耐尔得智能科技有限公司	91110108788992147K	北京	企业	北京市海淀区王庄路1号B座4层5-D-04号，100083	CO <sub>2</sub> 专用固碳设备的开发及CO <sub>2</sub> 捕捉器、反应釜的开发

注：1、排名必须与推荐书封面上完成单位的顺序一致。2、单位名称必须与单位公章一致。3、通讯地址必须详细至街道和门牌号码。

## 十、推荐单位意见（专家推荐不填）

推荐单位	镇江市住房和城乡建设局		
通讯地址	镇江市正东路33号	邮编	212000
联系人	陈瑾	联系电话	0511-85581838
电子邮箱	917391718@qq.com	传真	
<p>推荐意见：（不超过 600 字）</p> <p style="margin-top: 20px;">同意推荐！</p>			
声 明	<p>本单位严格按照《江苏省建设科技创新成果推荐及评审工作细则（试行）》和江苏省住房城乡建设厅对推荐工作的具体要求，如实提供了本推荐书及相关材料，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如被推荐成果发生争议，将积极配合工作，协助调查处理。</p> <p style="margin-top: 10px;">如有不符，本单位愿意承担相关后果并接受相应的处理。</p> <p style="text-align: right; margin-top: 10px;">推荐单位（盖章）：</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>		

## 十一、推荐专家意见（单位推荐不填）

推荐专家一		工作单位		专家类别	
推荐专家二		工作单位		专家类别	
推荐专家三		工作单位		专家类别	
推荐专家一 通讯地址				邮编	
联系人				联系电话	
电子邮箱				传真	
<p>推荐意见：（不超过 600 字）</p>					
声 明	<p>本人严格按照《江苏省建设科技创新成果推荐及评审工作细则（试行）》和江苏省住房城乡建设厅对推荐工作的具体要求，如实提供了本推荐书及相关材料，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如被推荐成果发生争议，将积极配合工作，协助调查处理。</p> <p style="text-align: center;">如有不符，本人愿意承担相关后果并接受相应的处理。</p> <p style="text-align: right;">推荐专家（签名）：</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>				

## 十二、附件

- 1、主要研究报告；
- 2、核心知识产权证明及国家法律法规要求审批的批准文件（不超过 10 件）
- 3、评价证明
- 4、应用证明
- 5、代表性论文论著（不超过 5 篇）
- 6、代表性论文论著他引用情况（不超过 5 篇）
- 7、其他证明
  - 7.1 检索报告
  - 7.2 各完成单位内部公示
  - 7.3 推荐单位公示