**2023年宁波市科学技术奖提名成果公示信息**

1. **项目名称：**夏热冬冷地区相变储热墙体材料高性能化与低碳设计基础研究
2. **提名单位：**宁波工程学院、哈尔滨工业大学
3. **提名奖项类别：**基础研究类
4. **提名奖励等级：**一等奖
5. **项目简介：**

水泥基材料的发明至今已有近200年历史，目前和未来数十年都将是各类土木建筑工程中用量最多、使用范围最广的基础建筑材料。传统水泥基材料主要以提供力学强度为主，存在蓄热量低、调温能力差，功能与结构性能兼容性差等问题，无法满足极端环境下建筑居住热舒适和“双碳”目标下的建筑节能降耗要求。开发先进低碳建筑材料，探究性能调控机理，已成为建筑材料领域的研究热点。面向国家重大战略需求，经过十余年的研究，该项目组通过建立相变材料性能调控构效关系，开发低碳水泥基材料设计新途径，提出相变储热水泥基材料热-力性能增强机制，为解决极端环境下建筑建造及运维的碳排放高与热供给时空不匹配等问题提供了新材料和理论基础。本项目的重要科学发现如下：

（1）原创了准共晶体系相变材料梯级温度成核生长调控思路，实现了相变储热材料在设定温度区间的连续调温功能；探明了载体材料/添加剂对定型相变材料焓值、热导率、过冷度及宽域调温性能的影响规律及作用机理；研发了陶粒载体原位造孔及其梯度分布、相变材料材性精准调控新方法、新技术，解决了相变材料易泄露、导热低及材性可塑性差等瓶颈问题。

（2）研发了凝灰岩尾矿石粉、钢渣脱硫副产物等惰性固废的多重活化技术，探明了内源性硫酸盐在混凝土内的时空变化及其带来的损伤程度，发展了低碳胶凝材料制备方法及其绿色水泥基体设计准则；揭示了碳捕集下水泥基体-骨料界面纳米碳酸钙生长与尺寸调控机制，形成了原位反应自生效应的相变储热骨料-水泥基体界面区强化技术；进而构建了基体强化设计和微界面调控的相变储热水泥基材料协同体系。

（3）建立了复杂气候下交变温度-相变蓄热多场耦合的墙体温度时空演化预测模型，阐明了相变材料对围护结构热惰性的提升机理，开创了基于保温隔热-相变蓄热协同作用的相变储热墙体节能控温理论与方法；优化了夏热冬冷地区季节适应性储能相变墙体的设计准则、构造措施及施工工艺，开发了相变材料梯级利用墙体，提出了复杂气候下储热墙体的热/湿性能调控、预测与节能评价方法。

项目已发表SCI论文70余篇，包括Journal of Materials Chemistry A、Cement and Concrete Composites、Journal of Cleaner Production、Energy、Renewable Energy等建筑材料和能源领域国际著名期刊，入选ESI高被引论文10篇（包括1篇热点论文），该项目10篇代表性论文总计被Joule、Energy & Environmental Science等期刊SCI他引530次，单篇最高他引114次，获得了国际学术界的认可。获授权发明专利10余项、软著3件，编制国家标准与行业规范3部。研究成果在美丽乡村建筑节能、地下空间结构建造与运维等国内重点工程得到了成功应用，取得良好的经济、社会和环境效益，并受到国际同行广泛关注与认可。

1. **客观评价：**

本项目的10篇代表性论文被 SCI他引530次，单篇最大他引114次。

**1） 对代表性论文1 (Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 2022, 117, 103169)的评价：**

目前被SCI他引8次。国际知名期刊Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures（影响因子=3.5）在 (2022, 45, 2958-2977)、 (2022, 45, 2940-2957)文章中均引用了本工作。并在(2023, 63, 105542)肯定了研究团队的工作：“Review of available works reveals that some test specimens including SCB short and long cracked beams subjected to three- or four-point bending, center cracked Brazilian disk under diametric compression, and the ENDB are among the common used test samples for investigating mixed modes I and II fracture in asphaltic materials.”。

**2） 对代表性论文 2 (Engineering Failure Analysis, 2022, 137, 106278)的评价：**

目前被SCI他引5次。国际知名期刊Journal of Building Engineering（影响因子=6.4）在 (2023, 65, 105720)、Construction and Building Materials（影响因子=7.4）在 (2022, 352, 129023)文章中均引用了本工作。国际知名期刊Ocean Engineering(影响因子=5.0) 2023年文章(2023, 276, 114314)肯定了研究团队的工作：“In the literature (Yin et al., 2022), a series of transport models for sulfate ion in concrete are commended, and in these models, various factors like diffusion behavior, liquid advection, ion-ion interaction, electrical field and temperature effect etc. affecting the ion transport are considered more or less.”。

**3） 对代表性论文 3 (Journal of Cleaner Production, 2018, 196, 726-738)的评价：**

目前被SCI他引48次。国际知名期刊Cement and Concrete Composites (影响因子= 10.5) 2023年文章(2023, 140, 105103) 、（2020,110,103569）、Journal of Cleaner Production（影响因子= 11.1）2021年文章(2021, 278, 123897) 、（2019,225 ，1169-1183）均引用了本工作。国际知名期刊Fuel(影响因子= 7.4) 2019年文章(2019, 245, 1-12)引用了本文的实验过程，并得到了验证。

**4）对代表性论文 4 (Journal of Cleaner Production, 2018, 191, 220-232)的评价：**

目前被SCI他引114次。国际知名期刊Composites Part B: Engineering (影响因子= 13.1) 2022年文章(2022, 247, 110328) 、(2022, 232, 109654) 、高水平期刊Journal of Cleaner Production (影响因子=11.1) 2019年文章(2019, 218, 273-283)；Cement and Concrete Research 2022年文章(影响因子=11.4) (2021, 141, 106387)均引用了本工作。国际知名期刊Cement and Concrete Composites(影响因子= 10.5) 2023年文章(2023, 137, 104934) 肯定了研究团队的工作:“ It enables the formation of MOS cement paste with improved strength gain and volume stability.”。

**5） 对代表性论文 5 (Journal of Visual Communication and Image Representation, 2019, 61, 141-148)的评价：**

目前被SCI他引9次。国际知名期刊International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation (影响因子= 7.2) 2023年文章(2023, 122，103428)引用了本工作。高水平期刊International Journal of Advanced Robotic Systems（影响因子= 2.3）2020年文章(2020, 17, 3)肯定了研究团队的工作：“…… used the image processing of intelligent buildings as the basic theoretical platform, and based on the pattern recognition technology, studied image processing, image extraction, and image recognition in image processing of building intelligent environment, and proposed reasonable solutions.”。

**6）对代表性论文 6 (Energy Conversion and Management, 2022, 183, 791-802)的评价：**

目前被SCI他引31次。国际知名期刊Renewable and Sustainable Energy Reviews (影响因子= 15.9) 2022年文章(2021, 140, 110751) 、Sustainable Cities and Society（影响因子= 11.7）2022年文章(2022, 79, 103690) 、高水平期刊Applied Energy (影响因子=11.2) 2021年文章(2021, 301, 117467)、(2023,331, 120471) 均引用了本工作。高水平期刊Energy and Buildings（影响因子= 6.7）2023年文章(2023, 258, 111824)肯定了研究团队的工作：“30 % reduction in energy consumption over 3 days when PCM wallboard is used.”。

**7） 对代表性论文 7 (Energy, 2019, 167, 1031-1039)的评价：**

目前被SCI他引83次。国际知名期刊Renewable and Sustainable Energy Reviews (影响因子= 15.9) 2022年文章(2022, 168, 112806) 、Applied Energy（影响因子= 11.2）2022年文章(2022, 323, 119594) 、（2022,321，119347）、高水平期刊Sustainable Cities and Society (影响因子=11.7) 2020年文章(2020, 53, 101884)均引用了本工作。高水平期刊Aggregate(影响因子=18.8) 2023年文章(2023, 24, 10)肯定了研究团队的工作：“In addition, MOFs composed of nitrogen-containing organic ligands such as methylimidazole can generate nitrogen-doped carbon nanomaterials after pyrolysis, resulting in higher thermal conductivity.”。

**8）对代表性论文8 (Journal of Materials Chemistry A, 2016, 4, 18134-18143)的评价：**

目前被SCI他引58次。国际知名期刊Advanced Composites and Hybrid Materials（影响因子= 20.1）2023年文章(2023, 6, 74-87) 、Applied Energy(影响因子= 15.1) 2021年文章(2021, 292, 116845) 、Cement and Concrete Composites (影响因子=10.5) 2020年文章(2020, 110, 103596)均引用了本工作。高水平期刊Journal of Cleaner Production (影响因子=11.1) 2020年文章(2020, 276, 123300)肯定了研究团队的工作：“…...indicating that the increasing addition of FA plays an adverse role on the pore structure of FA-CM sample under RT curing at early age”。

**9）对代表性论文 9 (Renewable Energy, 2018, 115, 734-740)的评价：**

目前被SCI他引84次。国际知名期刊Chemical Engineering Journal (影响因子= 15.1) 2022年文章(2022, 3, 708-741) 、International Materials Reviews（影响因子= 16.1）2023年文章(2023, 68, 140-183) 、高水平期刊Applied Energy(影响因子=11.2) 2023年文章(2023, 331, 120375)均引用了本工作。国产高水平期刊Journal of energy storage (影响因子=9.4) 2022年文章(2022, 53, 105108)肯定了研究团队的工作：“This improved nucleation effect can promote the formation of a more ordered PA-SA structure, which will lead to an increase of latent heat.”。

**10）对代表性论文 10 (Solar Energy Materials & Solar Cells, 2017, 160, 18-25)的评价：**

目前被SCI他引90次。国际知名期刊Matter(影响因子=18.9) 2020年文章(2020, 3, 708-741) 、International Materials Reviews（影响因子= 16.1）2023年文章(2023, 68, 140-183) 、高水平期刊Applied Energy(影响因子=11.2) 2019年文章(2019, 238, 942-951)均引用了本工作。高水平期刊Journal of energy storage (影响因子=9.4) 2019年文章(2019, 24, 100794)肯定了研究团队的工作：“Liu et al. enhanced the thermal conductivity of sodium sulfate decahydrate and disodium hydrogen phosphate by 61.3% (solid phase) and 21.7% (liquid phase) with 4.5% alumina and maintained at 1.6 °C for supercooling over 60 cycles”。

1. **主要完成单位及创新推广贡献：**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **排名** | **单位名称** | **对本项目科技创新和推广应用支撑作用情况** |
| 1 | 宁波工程学院 | 作为本项目的主要完成单位，提出项目整体研究思路，主持项目全面工作 |
| 2 | 哈尔滨工业大学 | 开发基于原位反应自生效应的相变储热骨料-水泥基体界面区强化技术 |

1. **代表性论文（专著）目录：**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **作者** | **论文专著名称/刊物** | **年卷页码**  **（X年X卷X页）** | **发表时间** | **他引**  **总次数** |
| 1 | **Xiaodong Wen**; **Lei Feng**;  **Guangji Yin**; Qifeng Liang; M.R.M. Aliha;  P.J Haghighatpour | Relationship between low-temperature KIc and KIIc values of bitumen with different performance grades and comparison with naturally solid materials  / **Theoretical and Applied Fracture Mechanics** | 2022, 117, 103169 | 2022.02 | 8 |
| 2 | **Guangji Yin**; Ziqi Shan; Ling Miao; Yujuan Tang; Xiaobao Zuo; **Xiaodong Wen** | Finite element analysis on the diffusion-reaction-damage behavior in concrete subjected to sodium sulfate attack  / **Engineering Failure Analysis** | 2022, 137, 106278 | 2022.06 | 5 |
| 3 | Ling Qin; **Xiaojian Gao**; Qiyan Li | Upcycling carbon dioxide to improve mechanical strength of Portland cement  **/Journal of Cleaner Production** | 2018, 196, 726-738 | 2018.6 | 48 |
| 4 | Ling Qin; **Xiaojian Gao**; **Tiefeng Chen** | Recycling of raw rice husk to manufacture magnesium oxysulfate cement based lightweight building materials  **/Journal of Cleaner Production** | 2018, 191, 220-232 | 2018.4 | 114 |
| 5 | **Wei Cai**; **Xiaodong Wen**; Qiu Tu; Xiujuan Guo | Research on image processing of intelligent building environment based on pattern recognition technology  / **Journal of Visual Communication and Image Representation** | 2019, 61, 141-148 | 2019.05 | 9 |
| 6 | **Chaoen Li**; Hang Yu; Yuan Song; Yin Tang; Pengda Chen; Huixin Hu; Meng Wang; Zhiyuan Liu | Experimental thermal performance of wallboard with hybrid microencapsulated phase change materials for building application  /**Journal of Building Engineering** | 2020, 28, 101051 | 2020.03 | 31 |
| 7 | **Chaoen Li;** Hang Yu; Yuan Song; Hao Liang; Xun Yan | Preparation and characterization of PMMA/TiO2 hybrid shell microencapsulated PCMs for thermal energy storage  / **Energy** | 2019, 167, 1031-1039 | 2019, 01 | 83 |
| 8 | **Yushi Liu**; Mingjun Xie; **Xiaojian Gao**; **Yingzi Yang**; Yuan Sang | Experimental exploration of incorporating form-stable hydrate salt phase change materials into cement mortar for thermal energy storage  /**Applied Thermal Engineering** | 2018 (140) 112-119 | 2018.05 | 58 |
| 9 | **Yushi Liu; Yingzi Yang** | Form-stable phase change material based on Na2CO3•10H2O-Na2HPO4•12H2O eutectic hydrated salt/expanded graphite oxide composite: The influence of chemical structures of expanded graphite oxide  /**Renewable Energy** | 2018, 115, 734-740 | 2017.8 | 84 |
| 10 | **Yushi Liu; Yingzi Yang** | Use of nano-α-Al2O3 to improve binary eutectic hydrated salt as phase change material  /**Solar Energy Materials & Solar Cells** | 2017, 160, 18-25 | 2016.10 | 90 |

**9、主要知识产权和标准规范目录**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **知识产权（标准规范）类别** | **知识产权（标准规范）具体名称** | **国家**  **（地区）** | **授权号**  **（标准规范编号）** | **授权（标准发布）日期** | **权利人（标准规范起草单位）** | **发明人（标准规范起草人）** | **发明专利（标准规范）有效状态** |
| 发明专利 | 一种工程废弃土免烧功能梯度复合陶粒及其制备方法 | 中国 | CN110156427B | 2021-04-27 | 宁波工程学院 | **温小栋**;张盛楠;**冯蕾**;张振亚;  冉泽;孙华强 | 有效 |
| 发明专利 | 製鋼スラグ脱硫副産物と建設残土を利用した制御型低強度材料及びその製造方法 | 日本 | JP7128557(B1) | 2022-08-23 | 宁波工程学院 | **温小栋;冯蕾**;  张胜权;**殷光吉**;陈诺 | 有效 |
| 发明专利 | 一种地铁工程废弃泥浆制备的免烧生态砖及其制备方法 | 中国 | CN110183202B | 2021-08-06 | 宁波工程学院 | **温小栋**;张盛楠;**冯蕾**;**蔡伟**;  梁艳鸿;孙华强 | 有效 |
| 发明专利 | 一种泡沫混凝土复合板材的制备方法 | 中国 | CN105619596B | 2017-11-03 | 厦门天润锦龙建材有限公司;宁波工程学院 | **温小栋**;黄洪财;桂苗苗;杨善顺;徐仁崇;黄快忠;**王赛赛**;寿柳嫣 | 有效 |
| 发明专利 | 基于有限元法的混凝土结构内离子浓度的获取方法及装置 | 中国 | CN 112257305B | 2022-06-24 | 宁波工程学院 | **殷光吉;**缪玲**;**  **温小栋**;**冯蕾**;  律清 | 有效 |
| 发明专利 | 一种有机相变储热材料体积变形的测试装置与方法 | 中国 | CN105352990B | 2017-11-07 | 哈尔滨工业大学 | **高小建;** 肖慧娟; 叶焕 | 有效 |
| 发明专利 | 一种基于相变储热材料的热交换装置及其封装方法 | 中国 | CN103925822B | 2015-12-02 | 哈尔滨工业大学 | **高小建;** 连纪峰; 谢家斌 | 有效 |
| 发明专利 | 一种高导热二元低共融水合盐相变材料及其制备方法 | 中国 | CN107523272B | 2021-02-05 | 哈尔滨工业大学 | **刘雨时; 杨英姿;高小建** | 有效 |
| 软著 | 相变储能墙体湿度数据采集系统V1.0 | 中国 | 2021SR1889891 | 2021-11-25 | 宁波工程学院 | **蔡伟; 温小栋;**  **李超恩;**  邵璟璟;**王赛赛** | 有效 |
| 软著 | 相变储能墙体能耗监控系统V1.0 | 中国 | 2021SR1889890 | 2021-11-25 | 宁波工程学院 | **蔡伟; 温小栋;**  邵璟璟; **李超恩;**  **王赛赛** | 有效 |

**10、主要完成人及技术贡献：**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **排名** | **姓名** | **技术职称** | **工作单位** | **对本项目主要科技创新的创造性贡献** |
| 1 | 温小栋 | 教授 | 宁波工程学院 | 对创新点1、2、3做出贡献 |
| 2 | 高小建 | 教授 | 哈尔滨工业大学 | 对创新点2和3做出贡献 |
| 3 | 李超恩 | 讲师 | 宁波工程学院 | 对创新点1和2做出贡献 |
| 4 | 刘雨时 | 副教授 | 哈尔滨工业大学 | 对创新点2、3做出贡献 |
| 5 | 吴佳育 | 讲师 | 宁波工程学院 | 对创新点1做出贡献 |
| 6 | 蔡 伟 | 副教授 | 宁波工程学院 | 对创新点1做出贡献 |
| 7 | 周明 | 副教授 | 宁波工程学院 | 对创新点3做出贡献 |
| 8 | 陈铁峰 | 讲师 | 哈尔滨工业大学 | 对创新点3做出贡献 |
| 9 | 殷光吉 | 讲师 | 宁波工程学院 | 对创新点1做出贡献 |
| 10 | 杨英姿 | 教授 | 哈尔滨工业大学 | 对创新点2做出贡献 |
| 11 | 冯蕾 | 副教授 | 宁波工程学院 | 对创新点1做出贡献 |
| 12 | 王赛赛 | 讲师 | 宁波工程学院 | 对创新点1做出贡献 |

1. **提名单位：**

宁波工程学院；浙江宁波江北区风华路201号；联系人：汪兴上；联系电话：0574- 87616860，15658220772。