

文章编号: 1671-6612 (2024) 03-345-06

近零能耗居住建筑围护结构性能研究

孙庆龙 丁晓欣

(吉林建筑大学 长春 130119)

【摘要】 研究近零能耗居住建筑围护结构的力学性能和保温性能, 有利于为现场施工相变材料掺量提供理论依据。以硬脂酸和月桂酸为相变材料制备相变混凝土砂浆, 研究了不同相变混凝土围护结构的性能变化。结果表明, 随着相变复合体系替代比例的增加, 相变混凝土围护结构的密度、塌落度、抗压强度、抗拉强度、墙体中心温度峰值和侧面温度峰值均下降。相变复合体系替代比例为 30% 时, 相变混凝土围护结构满足 C45 的强度等级要求, 相比普通混凝土, 相变混凝土围护墙体中心温度峰值降低幅度为 9.7%, 侧面温度峰值降低幅度为 12.4%。相变复合体系替代比例为 50% 时, 相变混凝土围护结构满足 C30 的强度等级要求, 相比普通混凝土, 相变混凝土围护墙体中心温度峰值降低幅度为 16%, 侧面温度峰值降低幅度为 23.5%。

【关键词】 近零能耗; 建筑; 围护结构; 换热性能

中图分类号 TU377 文献标志码 A

Research on the Performance of Surrounding Structures for Residential Buildings with Near Zero Energy Consumption

Sun Qinglong Ding Xiaoxin

(Jilin Jianzhu University, Changchun, 130119)

【Abstract】 Studying the mechanical and thermal insulation properties of the enclosure structure of nearly zero energy residential buildings is beneficial for providing theoretical basis for the dosage of phase change materials in on-site construction. A phase change concrete mortar was prepared using stearic acid and lauric acid as phase change materials, and the performance changes of different phase change concrete enclosure structures were studied. The results indicate that as the replacement ratio of phase change composite system increases, the density, slump, compressive strength, tensile strength, peak temperature at the center and side of the phase change concrete enclosure structure all decrease. When the replacement ratio of the phase change composite system is 30%, the phase change concrete enclosure structure meets the strength grade requirement of C45. Compared with ordinary concrete, the peak temperature at the center of the phase change concrete enclosure wall decreases by 9.7%, and the peak temperature at the side decreases by 12.4%. When the replacement ratio of the phase change composite system is 50%, the phase change concrete enclosure structure meets the strength grade requirements of C30. Compared with ordinary concrete, the peak temperature at the center of the phase change concrete enclosure wall decreases by 16%, and the peak temperature at the side decreases by 23.5%.

【Keywords】 Near zero energy consumption; Architecture; Surrounding structure; Heat exchange performance

基金项目: 吉林省科技创新项目 (JC2022124)

作者简介: 孙庆龙 (1996-), 男, 在读硕士研究生, E-mail: 1649805530@qq.com

通讯作者: 丁晓欣 (1964-), 女, 硕士, 教授, E-mail: 17643195720@163.com

收稿日期: 2024-02-05

0 引言

近年来,随着人们对环境和可持续发展的关注日益增加,建筑行业也逐渐转向更加绿色、高效、可持续的方向^[1-3]。在这一背景下,近零能耗建筑备受关注,成为了未来建筑发展的重要方向之一。近零能耗建筑致力于最大程度地减少能耗,实现建筑能源的高效利用^[4-6]。其中,相变混凝土围护结构作为近零能耗建筑中的重要组成部分,其在建筑节能方面具有巨大的潜力。传统的建筑围护结构在保温、隔热、节能方面存在一些缺陷,无法满足越来越严苛的节能要求。而相变混凝土的独特特性,使其成为一种极具潜力的节能材料^[7-10]。相变混凝土主要通过相变储能的方式,在昼夜、季节间等变化环境下吸热或放热,以实现建筑内部温度的调节。这种储能特性使相变混凝土能够有效地减少传统围护结构对降温或升温所需的外部能源消耗,从而提高建筑的能耗效率。

越来越多的研究学者开始关注相变混凝土在建筑围护结构中的应用潜力,并对其性能进行深入研究^[11-14]。王艳等人^[15]研究了相变砂浆的热力学性能,以高密度聚乙烯、固体石蜡、膨胀石墨制备相变材料,发现相比普通水泥砂浆试块,掺入量 30% 相变材料的砂浆试件表面温度可有效降低 9.7℃,热应变降低了 27.54%。孙艳刚等人^[16]采用膨胀珍珠岩复合相变材料制备相变砂浆,得到纤维素醚、可再分散乳胶粉和粉煤灰的最优加入比例为 0.7%、2.2%和 20%,KH550 硅烷偶联剂改性气凝胶替代膨胀珍珠岩复合相变材料,替代量为 25%时相变储能砂浆保温性能符合国家标准。蒋睿等人^[17]将熔融石蜡作为相变材料,同时向相变材料中掺入石墨烯和石墨,多孔陶瓷为载体,采用熔融真空压注法制备相变复合材料,发现相比石蜡,加入 20% 石墨烯和 20% 石墨的相变材料导热率升高了 266.67%和 120.83%,相变潜热降低了 27.09%和 44.50%。

目前学者的研究主要集中在相变材料的选择、相变温度的确定、相变材料所占比例的优化等问题^[18],将相变混凝土围护结构的力学性能和保温性能结合分析的研究较少,本文以硬脂酸和月桂酸为相变材料制备相变混凝土砂浆,研究不同相变混凝土围护结构的基础物性、抗压强度、抗弯拉强度、保温性能变化,有助于促进近零能耗建筑的发展与

推广,并为相关建筑设计、施工等领域提供科学依据与技术支持。

1 相变混凝土围护结构制备及性能试验

选用硬脂酸和月桂酸作为基础相变材料,按照硬脂酸和月桂酸质量比 3:7 熔融方式进行复合制备,采用玻化微珠作为多孔吸附载体,吸附温度为 55℃,吸附时间为 60min,玻化微珠对相变材料的容留率为 152%,采用环氧树脂和水泥封装相变复合体系,将玻化微珠倒入到半液态环氧树脂中并进行搅拌,玻化微珠外表面全部被环氧树脂包裹后用漏勺将其捞出,放置在水泥粉中直至颗粒之间相互分离,用筛子将多余水泥粉去除静置 24h 固化。P.O42.5 普通硅酸盐水泥由上海海螺水泥有限责任公司生产;细骨料采用天然河砂;粗骨料采用粒径为 6 mm 至 10mm 的天然碎石;采用聚羧酸高性能减水剂,由四川东润百盛新材料有限公司生产;塌落度设计范围为 80mm 至 100mm 区间,强度为 C30,水泥、水、粗骨料、细骨料按照 4:1:10:8 的比例进行配比,每 100kg 水加入 1kg 的减水剂以提高混凝土强度和性能,相变复合体系按照一定比例等质量替代粗骨料,质量替代比例变化范围为 0% 至 50%,变化梯度为 10%,如图 1 所示。



图 1 相变水泥砂浆试块

Fig.1 Phase change cement mortar test blocks

按照比例将减水剂掺入自来水中,按照替代比例混合天然碎石和相变复合体系形成粗骨料,将粗骨料、细骨料和水泥倒入搅拌器内搅拌均匀,分三次加入减水剂和水的混合物,继续搅拌得到相变水泥砂浆,制备流程如图 2 所示。为模拟厚度为 240mm 的建筑外部墙体,将相变水泥砂浆倒入

240mm×240mm×240mm 的模具中进行浇筑, 在振动台上去除砂浆内部气泡。自然凝固 2 天后脱模在温度为 20℃、相对湿度为 98%的环境下继续养护 28 天, 相变水泥砂浆试块如图 1 所示。制作完成后按照 GB/T 50080-2016《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》和 GB/T 50081-2016《普通混凝土力学性能试验方法标准》进行塌落度试验和力学试验。万能材料试验机由济南菱悦精密仪器有限公司生产, 用于测量相变混凝土试块抗压强度和抗拉强度。采用功率为 200W 的红外灯模拟光源照射相变混凝土试块的侧面, 照射时间设置为 90min, 在相变混凝土试块内部中心位置和另一侧中心位置设置温度传感器采集温度变化数据, 环境温度变化如图 3 所示。

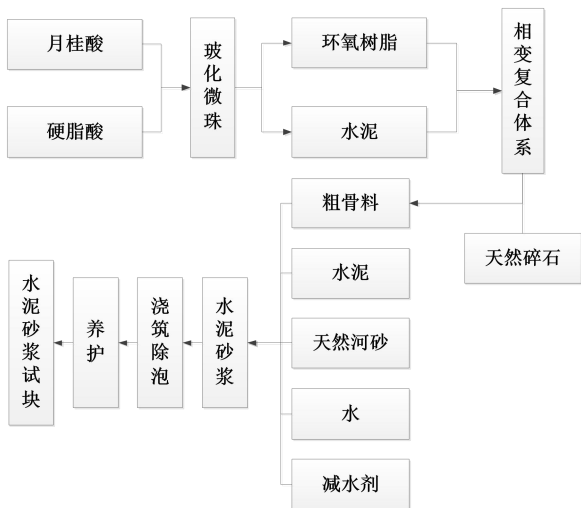


图 2 相变水泥砂浆试块制备工艺流程图

Fig.2 Process flowchart for preparing phase change cement mortar

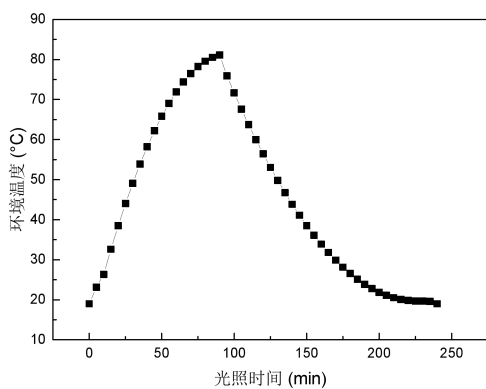


图 3 光照环境温度变化

Fig.3 Phase change cement mortar test blocks

2 建筑围护结构性能分析

2.1 相变混凝土围护结构基础性

替代比例 0%代表普通混凝土结构, 提高相变复合体系替代比例得到相变混凝土围护结构的密度和塌落度变化, 如图 4 所示。

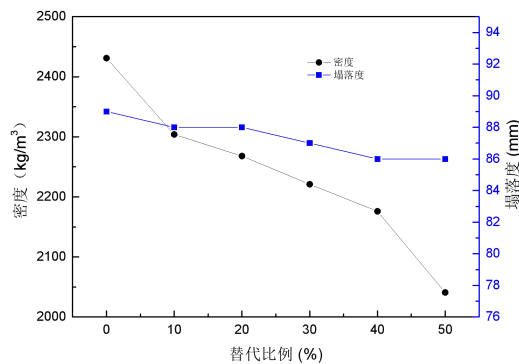


图 4 相变混凝土围护结构密度及塌落度

Fig.4 Density and slump of phase change concrete enclosure structure

由图 4 可知, 随着相变复合体系替代比例的增加, 相变混凝土的密度明显降低, 塌落度降低程度较小, 主要原因是玻化微珠内部存在较多的连通孔隙, 玻化微珠、硬脂酸和月桂酸密度低于天然碎石, 替代比例越高, 相变混凝土整体密度明显下降, 对其强度产生较大影响。当替代比例由 0%升高至 50%时, 相变混凝土的密度由 2431kg/m³降低至 2041kg/m³, 其中, 替代比例在 40%至 50%区间内变化时, 相变混凝土密度降低程度较大。玻化微珠采用环氧树脂和水泥封装, 环氧树脂的吸水率较低, 对混凝土内的水分含量影响较小, 塌落度变化较小, 混凝土具有良好的流动性。当替代比例由 0%升高至 50%时, 相变混凝土的塌落度由 89mm 降低至 86 mm, 均在 80mm 至 100mm 的设计区间内, 满足设计要求。依据塌落度试验方法, 混凝土坍塌稳定后从半径为二分之一的外部 and 内部分别取 1 升混凝土砂浆, 得到内外混凝土砂浆的粗骨料含量的比值为 97%, 说明混凝土砂浆的均匀性较好。

2.2 相变混凝土围护结构抗压强度变化

改变相变复合体系替代比例得到相变混凝土围护结构的抗压强度变化, 如图 5 所示。

由图 5 可知, 随着相变复合体系替代比例的增加, 相变混凝土围护结构抗压强度大幅度下降, 主要原因是玻化微珠内部存在大量的孔隙, 虽然硬脂

酸和月桂酸填充在内部,但其过程属于自然吸附无充填压力,致使相变复合体系的抗压强度低于致密紧实的天然碎石,相变复合体系对天然碎石的替代比例越大时,整体的抗压强度下降越快。当相变复合体系替代比例由 0% 升高至 30% 时,相变混凝土围护结构抗压强度由 35.8MPa 降低至 30.1MPa,满足 GB 50010-2010《混凝土结构设计规范》中 C45 的强度等级要求。当相变复合体系替代比例由 30% 继续升高至 50% 时,相变混凝土围护结构抗压强度由 30.1MPa 降低至 23.2MPa,无法满足 C45 的强度等级要求,但仍可满足强度等级 C30 的要求。工程设计人员应考虑建筑物的类型及相变混凝土围护结构的具体应用场景,根据强度等级要求选择合适的相变复合体系替代比例。

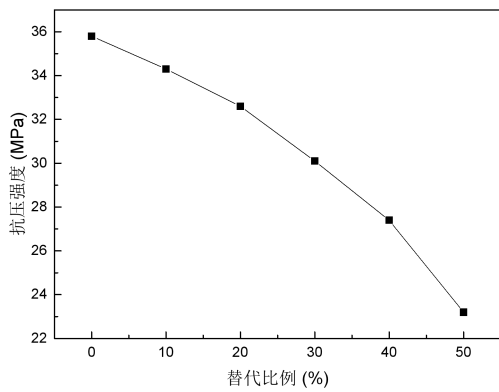


图 5 相变混凝土围护结构抗压强度变化

Fig.5 Changes in compressive strength of phase change concrete enclosure structure

2.3 相变混凝土围护结构抗拉强度变化

改变相变复合体系替代比例得到相变混凝土围护结构的抗拉强度变化,如图 6 所示。

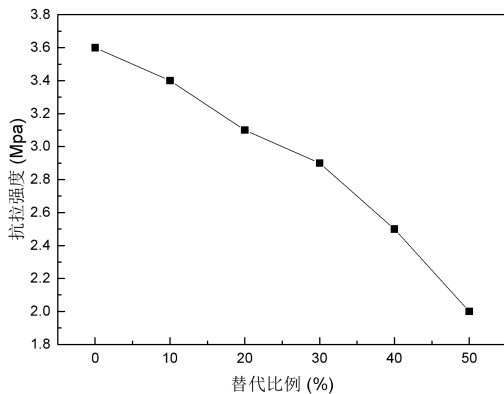


图 6 相变混凝土围护结构抗拉强度变化

Fig.6 Changes in tensile strength of phase change concrete enclosure structure

由图 6 可知,随着相变复合体系替代比例的增加,相变混凝土围护结构抗拉强度快速降低,这是因为相比不规则形状的天然碎石,球状的玻化微珠对混凝土内部不同物质之间的连接性较差,破坏了粗骨料形成的网状连接结构,混凝土与玻化微珠球形表面的粘结性较差,外力作用下两者易分离,成为相变混凝土受拉的脆弱位置,而天然碎石不规则表面可有效粘接其他物料,对混凝土内部结构之间具有良好的连接作用,相变复合体系的掺入致使相变混凝土围护结构的抗拉强度降低。当相变复合体系替代比例由 0% 升高至 40% 时,相变混凝土围护结构抗拉强度由 3.6MPa 降低至 2.5MPa,满足 GB 50010-2010《混凝土结构设计规范》中 C45 的强度等级要求。当相变复合体系替代比例由 40% 继续升高至 50% 时,相变混凝土围护结构抗拉强度由 2.5MPa 降低至 2MPa,满足强度等级 C30 的要求。

2.4 相变混凝土围护结构墙体中心温度变化

改变相变复合体系替代比例得到相变混凝土围护结构墙体中心温度随光照时间的变化曲线,如图 7 所示。

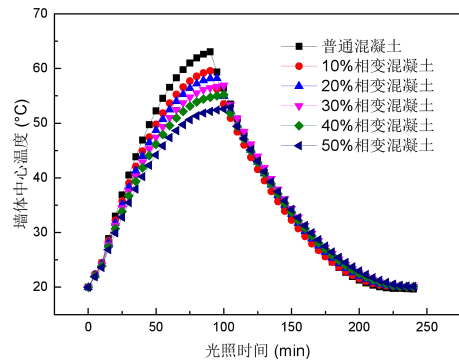


图 7 相变混凝土围护结构墙体中心温度变化

Fig.7 Temperature variation at the center of the phase change concrete enclosure structure wall

由图 7 可知,随着光照时间的增加,相变混凝土围护结构墙体中心温度随之上升,当光照停止后,温度持续下降至原有水平。随着相变复合体系替代比例的增加,相变混凝土围护结构墙体中心温度峰值逐渐降低,相变复合体系材料替代比例由 0% 升高至 10% 时,墙体中心温度峰值降低程度最大。对于普通混凝土,墙体中心温度峰值为 63℃,当相变复合体系材料替代比例升高至 10% 时,墙体中心温度峰值降低至 59.5℃,降低幅度为 5.6%;当相变复合体系材料替代比例继续升高至 30% 时,墙体中心温度峰值降低至 56.9℃,相比普通混凝土

温度降低幅度为 9.7%;当相变复合体系材料替代比例继续升高至 50%时,墙体中心温度峰值降低至 52.9℃,相比普通混凝土温度降低幅度为 16%;说明相变材料通过相变吸热在混凝土内部储存部分热能,具有良好的调温性能,但需要注意的是,在光照 0min 至 50min 过程中,相变材料的调温性能并不突出。

2.5 相变混凝土围护结构墙体侧面温度变化

改变相变复合体系替代比例得到相变混凝土围护结构墙体侧面温度随光照时间的变化曲线,如图 8 所示。

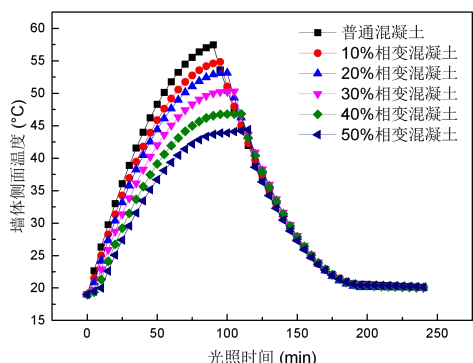


图 8 相变混凝土围护结构墙体侧面温度变化

Fig.8 Temperature changes on the side of the phase-change concrete enclosure structure wall

由图 8 可知,相比墙体中心温度,相变复合体系对墙体侧面温度的影响更大。随着相变复合体系替代比例的增加,相变混凝土围护结构墙体侧面温度峰值明显降低,且达到最高温度的时间延长,说明相变材料除了具有储能隔热性能的同时,还具备温度迟滞功能,延长了室内温度舒适区的时长。其主要原因是在光照加热过程中,硬脂酸和月桂酸液化吸收储存部分热量,导致侧面峰值温度较低,由于部分热量用于加热相变材料,需要一定的加热时间,导致相变复合体系替代比例高的相变混凝土达到温度峰值的时间更长。当相变复合体系替代比例由 0%升高至 30%时,墙体侧面温度峰值由 57.4℃降低至 50.3℃,降低幅度为 12.4%;当相变复合体系替代比例继续升高至 50%时,墙体侧面温度峰值降低至 43.9℃,相比普通混凝土温度降低幅度为 23.5%。

3 结论

(1) 随着相变复合体系替代比例的增加,相

变混凝土围护结构的密度、塌落度、抗压强度、抗拉强度、墙体中心温度峰值和侧面温度峰值均下降。

(2) 相变复合体系替代比例为 30%时,相变混凝土围护结构满足 C45 的强度等级要求,相比普通混凝土,相变混凝土围护墙体中心温度峰值降低幅度为 9.7%,侧面温度峰值降低幅度为 12.4%。

(3) 相变复合体系替代比例为 50%时,相变混凝土围护结构满足 C30 的强度等级要求,相比普通混凝土,相变混凝土围护墙体中心温度峰值降低幅度为 16%,侧面温度峰值降低幅度为 23.5%。

参考文献:

- [1] 郑坚,冯毅,陈超俊,等.夏热冬冷地区某近零能耗办公建筑水蓄能空调系统应用分析[J].建筑节能(中英文),2023,51(12):96-101.
- [2] 封媛,陈柳,杨婷婷,等.夏热冬暖地区近零能耗建筑 PV/T 除湿新风复合系统研究[J].建筑科学,2023,39(12):184-195.
- [3] 宋锴,段鹏飞,薛庆雯,等.寒冷地区近零能耗建筑参数优化研究[J].扬州大学学报(自然科学版),2024,27(01):69-73.
- [4] 黄艺,胡冗冗,黄炜.寒冷地区近零能耗装配式复合墙保温构造设计[J].建筑节能(中英文),2023,51(10):118-124.
- [5] 冯国会,陈菲,常莎莎.近零能耗建筑围护结构多目标优化研究[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2023,39(4):699-706.
- [6] 田路遥.光伏储能系统在零能耗建筑的应用[J].智能建筑电气技术,2024,18(1):93-99.
- [7] 韩爱民.近零能耗建筑技术应用与经济分析[J].工程技术研究,2024,9(3):203-205.
- [8] 李德贤,徐舟,庞小辉,等.杭州某近零能耗居住建筑空调形式对比[J].暖通空调,2023,53(6):75-84.
- [9] 王庆辉,马语辰,黄凯良,等.严寒地区近零能耗办公建筑负荷特性分析[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2024,40(1):141-147.
- [10] 王富谦,李庆晓,汪妮,等.寒冷地区近零能耗公共建筑气密性分析[J].粉煤灰综合利用,2023,37(1):108-111.
- [11] 王智刚,李立,赵峰,等.关中地区公共建筑近零能耗关键技术研究[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2022,54(5):718-727.

- [12] 高凤,冯璐,刘宾灿,等.国内外低能耗建筑研究标准体系发展综述[J].建筑节能(中英文),2023,51(12):123-128.
- [13] 张喜明,王俊廷,陶进.近零能耗建筑中新型相变供暖方式研究[J].吉林建筑大学学报,2022,39(5):45-50.
- [14] 何福群,聂金哲.近零能耗建筑外墙保温材料及适宜厚度研究[J].煤气与热力,2022,42(7):15-20.
- [15] 王艳,曾长女,李皖皖,等.基于定形相变材料的相变砂浆热力学性能[J].地球科学,2023,48(12):4680-4688.
- [16] 孙艳刚,王敬维,李冠杰,等.相变储能保温砂浆的制备与性能研究[J].化工新型材料,2023,51(S2):520-524.
- [17] 蒋骞,潘大伟,艾天,等.铁尾矿与采剥废石基多孔陶瓷复合相变储能材料的制备与表征[J].化工矿物与加工,2023,52(5):24-31.
- [18] 康美华,邓琴琴,聂金哲,等.近零能耗居住建筑典型结构性热桥对围护结构传热系数影响模拟分析[J].新型建筑材料,2021,48(5):109-115.

(上接第 304 页)

- [16] J Ling, N Dai, J Xing, et al. An improved input variable selection method of the data-driven model for building heating load prediction[J]. Journal of Building Engineering, 2021,44(1):10325501-10325511.
- [17] 祁鑫,王福忠,张丽,等.基于 SVD-LSTM 的高校学生宿舍空调负荷预测[J].电子科技,2020,33(11):59-66.
- [18] Y Ding, Q Zhang, T Yuan, et al. Effect of input variables on cooling load prediction accuracy of an office building[J]. Applied Thermal Engineering, 2018,128(1): 225-234.
- [19] 何超.基于深度强化学习的建筑节能方法研究[D].苏州:苏州科技大学,2019:26-33.
- [20] 肖紫薇,刚文杰,袁嘉琦,等.基于长短期记忆网络的短期空调冷负荷预测[J].暖通空调,2022,52(4):132-137.
- [21] 王新雨,郭振伟,于丹,等.基于 PCA-PSO-BP 神经网络的住宅供热逐时负荷预测[J].暖通空调,2023,53(3):138-142,160.
- [22] 梁煜,张金铭,张为.一种改进的卷积神经网络的室内深度估计方法[J].天津大学学报(自然科学与工程技术版),2020,53(8):840-846.
- [23] 牛纪德,林欣怡,张恒,等.基于模型校准的建筑冷负荷短期预测模型人工内扰特征变量获取方法[J].暖通空调,2023,53(3):54-60.