

文章编号: 1671-6612 (2020) 02-139-07

透光混凝土建筑室内环境光热效应实验研究

廖文生 陈 滨 周 智

(大连理工大学 大连 116024)

【摘 要】 透光混凝土由光纤、树脂、有机玻璃等透光性材料与普通混凝土制备而成, 具有通透自然光的特点, 不仅可以提高建筑整体采光水平, 降低人工照明能耗, 而且可以在一定程度上降低建筑窗墙比, 避免由于窗户的增加引起的冷风渗透、冷热桥等现象。对光纤、树脂和有机玻璃三种常见的导光体材料进行透光率测试, 长度为 200mm 的三种导光体材料的透光率分别为 18.27%、9.84% 和 12.96%, 兼顾导光体材料的经济性和施工工艺繁杂性因素, 确定有机玻璃作为本文透光混凝土砌块导光体材料, 并对制备的透光混凝土砌块进行抗压强度和冻融循环实验, 结果表明导光体与混凝土基体界面接触面积增加是影响其力学性能和耐久性下降的重要因素。以此为理论依据结合配筋砌体施工工艺, 确定透光混凝土砌块最佳尺寸并搭建透光混凝土建筑实验平台, 从建筑系统的视角出发, 在大连地区特定光热气候条件下, 对透光混凝土建筑所营造的室内光热环境进行分析评价。结果表明: 导光体体积掺杂比为 12.56%, 南向改造面积为 0.56m² 的透光混凝土实验房在冬夏两季、晴天和阴天两种不同天气工况下, 室内照度水平分别增加 62.1lux、86.6lux、22.4lux、28.5lux; 室内照度均匀度分别提升 2.38%、4.25%、1.32%、3.13%; 人工照明时间分别减少 3.48%、14.46%、2.95%、7.21%; 并对不同时间段透光混凝土墙体对室内热舒适影响效果进行了实证分析。

【关键词】 透光混凝土; 室内环境; 光热环境效应; 实验研究

中图分类号 TU113.5 文献标识码 A

Experimental Study on Indoor Photothermal Effect of Light-transmitting Concrete Building

Liao Wensheng Chen Bin Zhou Zhi

(Dalian University of Technology, Dalian, 116024)

【Abstract】 Characterized by transparent natural light, Light-transmitting concrete made of translucent materials such as optical fiber, resin, and plexiglass with normal concrete, not only can improve lighting level of buildings, but also reduces their energy consumption for artificial lighting, reducing window-wall ratio and avoiding occurrences of cold air infiltration, cold and hot bridge by the increase of windows. In this paper, three typical light conductive materials (optical fiber, resin and organic glass) are tested with lengths of 200mm, which their transmittances are 18.27%, 9.84% and 12.96%, respectively. Considering the economy of light conductive materials and its complicated construction technology, this research selects the organic glass as the transmittance material for Light-transmitting concrete block, tested by Compressive strength and freeze-thaw cycling experiment. The results show that the increase of contact area between light conductivity and concrete matrix is an important factor affecting the decline of its mechanical properties and durability. The optimal size of Light-transmitting concrete block is determined to construct the

基金项目: 国家自然科学基金项目“寒冷地区居住室内环境关联健康影响表征模型研究”(51578103);

“十三五”重点研发计划课题“村镇建筑需求适应性被动太阳能供暖技术研究”(2018YFD1100701-02)

作者简介: 廖文生 (1993.03-), 男, 硕士研究生, E-mail: 1458044124@qq.com

通讯作者: 陈 滨 (1960.11-), 女, 博士, 教授, E-mail: chenbin@dlut.edu.cn

收稿日期: 2019-03-30

experimental platform of translucent concrete building based on the theory upon with reinforced masonry construction process. From the perspective of building system, the indoor light and thermal environment in Light-transmitting concrete building is analyzed and evaluated under specific light and thermal climatic in Dalian. The results show that under the conditions of winter, summer, sunny and cloudy in the Light-transmitting concrete experimental room of which south reconstruction area is 0.56m² with light conductive volumetric doping ratio 12.56% , indoor illumination level increases by 62.1lux, 86.6 lux, 22.4 lux and 28.5 lux; Indoor illumination uniformity increased by 2.38%, 4.25%, 1.32%, and 3.13%; and artificial lighting time decreased by 3.48%, 14.46%, 2.95%, and 7.21%, respectively. It also analyzes the effect of Light-transmitting concrete wall on indoor thermal comfort in various time empirically.

【Keywords】 Transparent concrete; Indoor environment; Photothermal environmental effect; Experimental study

0 引言

根据世界能源组织 (International Energy Agency) 统计, 到 2020 年世界能源需求将比 1990 年高 50% 以上^[1]。建筑物的能耗在总能耗中具有举足轻重的地位。研究围护结构节能技术, 开发高性能、低能耗、多功能、工厂化的新型围护结构材料以及构造构件对于缓解能源压力、改善环境质量、提升人民幸福指数显得尤为重要。未来, 我国随着城镇进程的不断推进, 城镇建筑土地的资源将越来越匮乏, 建筑群体间的互相遮挡将无可避免, 尤其对于超高层建筑附近的建筑群以及地下室而言, 如何使室内获得良好的自然采光显得尤为重要。为此透光混凝土技术应运而生, 它利用透光性材料将室外绿色环保的自然光传输到室内, 从而提高建筑采光水平、降低室内照明能耗, 彻底颠覆传统墙体给人们沉闷、密实阴暗的感觉。

透光混凝土概念是由匈牙利的建筑师 Aron losonczy^[2]在 2002 年率先提出, 随后便引起众多学者的关注。国内外学者针对不同类型的透光混凝土展开大量的力学性能、耐久性研究, 并对这些性能指标的影响因素进行分析^[3-5]。也有部分学者从透光混凝土透光、节能的视角出发, 对如何提高透光混凝土的透光性能、透光混凝土面板的最佳倾斜角度、热工性能以及透光混凝土降低的人工照明能耗等进行研究, 确定透光混凝土的环保节能效果^[6-9]。然而目前国内外学者针对透光混凝土对建筑室内光热环境影响的研究较少, 且大多是通过数值模拟的方法进行研究。

本文旨在通过对透光混凝土砌块的力学性能、耐久性和透光性能实验研究的基础上, 搭建透光混凝土建筑实验平台, 对透光混凝土建筑光热环境效应、舒适性、节能等进行研究。

1 实验概述

1.1 透光混凝土砌块研制

透光混凝土是由混凝土基体和导光体两部分复合而成的功能性建材, 本研究对光纤、树脂和有机玻璃三种常见的导光体材料进行如图 1 所示的透光率测试, 长度为 200mm 的三种导光体材料的透光率分别为 18.27%、9.84% 和 12.96%, 兼顾导光体材料的经济性和施工工艺繁杂性因素, 确定有机玻璃作为本文透光混凝土砌块导光体材料。混凝土基体采用自密实混凝土浆体, 借鉴现有自密实混凝土材料配比的成功经验和自己多次配比尝试最终配备出表 1 所示的和易性较好的自密实混凝土浆体。随后按照标准化制备工艺制备出如图 2 所示的透光混凝土砌块, 并参照 GB/T 50081-2002《普通混凝土力学性能试验方法标准》和 GB/T 50082-2009《普通混凝土长期性和耐久性实验方法标准》进行如图 3 所示的力学性能和耐久性研究, 结果表明透光混凝土砌块的力学性能和耐久性随导光体体积掺杂比的增加而下降, 导光体与混凝土基体界面接触面积影响其下降的重要因素^[11]。为此以导光体相同体积掺杂比, 界面面积尽可能小、导光体尺寸尽可能大的原则, 兼顾为了保证透光混凝土砌块高层砌筑过程稳定性而采用的配筋砌体的施工工艺, 最终确定了如图 4 所示的透光混凝土砌块尺寸。

表 1 自密实混凝土基体配比

种类	水泥	粉煤灰	细沙	减水剂	水
重量/g	353	107	680	3.3	136

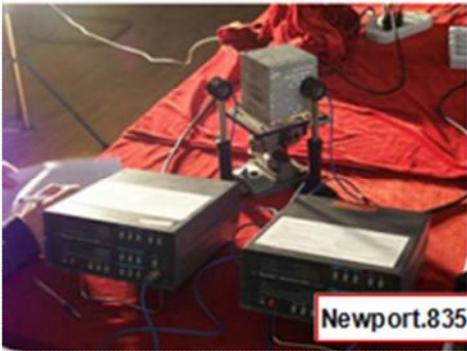


图 1 导光体透光率测试

Fig.1 Light guide light transmittance test

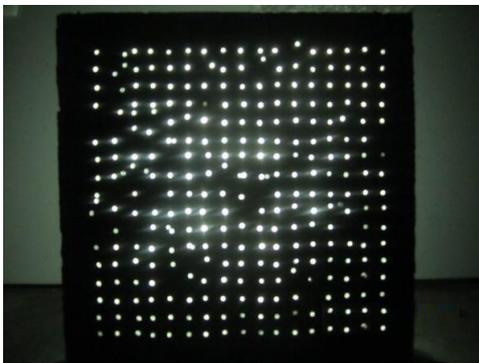


图 2 自行制备的透光混凝土砌块

Fig.2 Self-made transparent concrete block

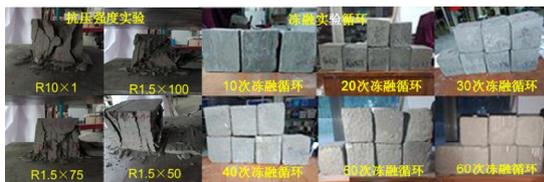


图 3 力学性能及耐久性实验

Fig.3 Mechanical properties and durability test

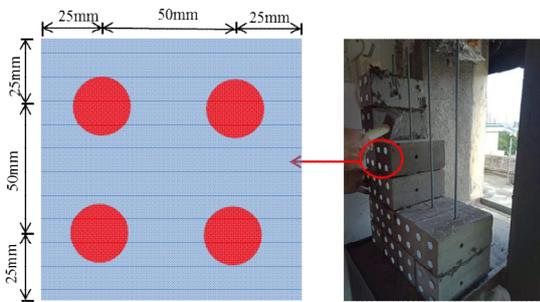


图 4 透光混凝土砌块尺寸

Fig.4 Light-transmissive concrete block size

1.2 实验平台

实验平台位于大连地区,由透光混凝土实验房和对比房组成,如图 5 所示。实验房和对比房建筑尺寸均为 3m×3m×3.5m,围护结构依据《严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准》进行设计。相对于对比房,在南外墙窗间墙位置增加了尺寸为 0.4m×0.7m 的两块透光混凝土墙体构件外,实验房与对比房的其他围护结构构造均相同。另外,依据 Ecotect 模拟计算确定透光混凝土构件的最小墙体改造面积和最佳改造位置^[11]。



(a) 实验房和对比房外景



(b) 实验房南立面外观及室内环境

图 5 实验平台

Fig.5 Test houses

1.3 测试方法

测试参数包括室外气象参数、室内工作面照度和室内温度、透光混凝土墙体内表面温度以及室内舒适性等。所有测试仪器如表 2 所示。测试仪器根据《建筑采光设计标准》^[12]、GB/T 50785-2012《民用建筑室内热湿环境评价标准》^[13]以及 ASHRAE55-2013^[14]规范要求进行布置,测点布置如图 6 所示。于 2018 年 7 月~2019 年 1 月分别对夏季和冬季两个季节进行了连续两周的测试,测试场景如图 7 所示。

表2 测试仪器

Table 2 Testing Instruments

实测参数	测试仪器	量程及精度	测试仪器照片
室外气象参数	阳光气象站-P3	-40—70℃, 0.1℃ 5—90%, 1%; 0—150000lx, 1lx	
室温、照度	日本双通道 TR74Ui 空气温湿度照度紫外强度记录仪;	0—130000lx, 0.1lx; 0—55℃, 0.1℃;	
围护结构表面温度测定	多通道热流温度仪 JTNT-B;	0—100℃, 0.1℃; 0—2000W/m ² , 0.5W/m ²	
透光混凝土构件内外表面温度	红外热像仪 (FLIR B250);	-20—120℃, 0.1℃	
黑球温度	黑球辐射温度计 JNT-04	0—120℃, 0.1℃	
热舒适	热舒适仪 Rlog-7730	0.01—20m/s, 0.1m/s; 0—2000W/m ² , 0.5W/m ² ; 10—90%, 1%; -20—60℃, 0.1℃	

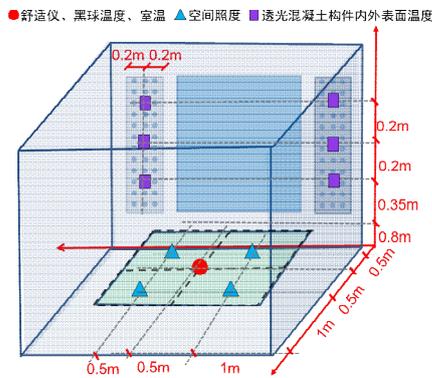


图6 测点布置

Fig.6 Test point profile



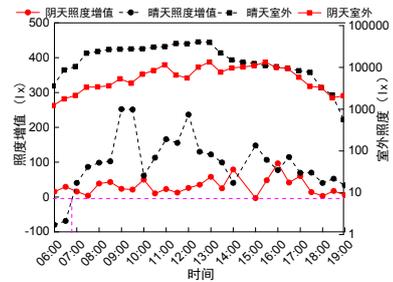
图7 测试场景图

Fig.7 Test scene diagram

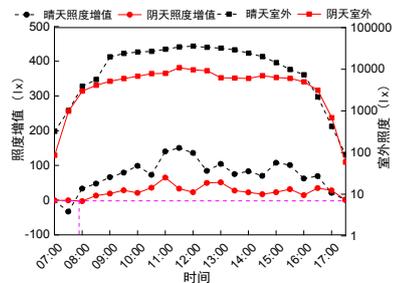
2 实验结果与分析

2.1 光环境效应分析

2.1.1 室内光环境改善效果



(a) 夏季



(b) 冬季

图8 透光混凝土引起的室内照度增值逐时变化

Fig.8 Timely variation of indoor illumination increase caused by light-transmitting concrete

图 8 表示安装透光混凝土构件的实验房分别在冬夏季晴天和阴天室内照度水平相比对比房的照度增加值逐时变化。对比房位于实验房东侧, 晴天受建筑方位的影响, 日出后一段时间对比房室内照度高于实验房。透光混凝土对室内照度的作用效果如图 9 所示。当在南向墙体设置的透光混凝土构件, 有机玻璃导光体掺杂比为 12.56%、面积为 0.56m²时, 在冬夏季晴天室内平均照度分别增加 62.1lx 和 86.6lx, 阴天分别增加 22.4lx 和 28.5lx, 且晴天室内照度的平均值和波动范围远高于阴天。

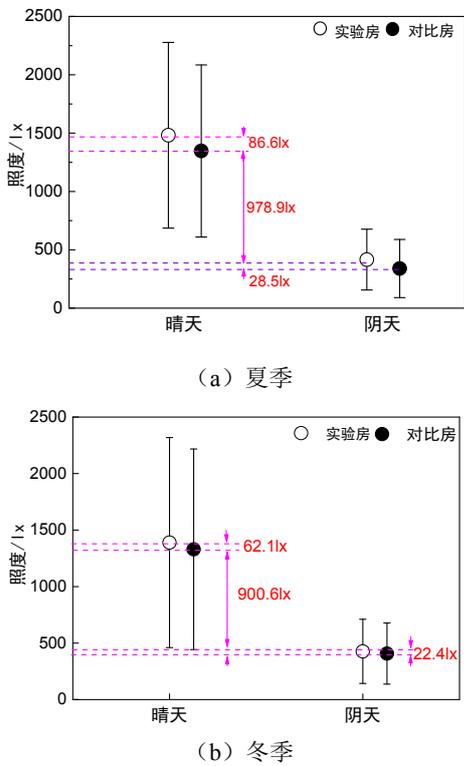


图 9 不同天气工况下室内逐时照度误差棒

Fig.9 Indoor hourly illuminance error bar in winter and summer

透光混凝土构件对室内采光水平的影响效果在关注其“量”大小的同时更应关注其“质”的好坏, 为了评价室内采光质量的好坏, 本实验采用室内照度均匀度进行评价, 以一天为例, 不同天气条件下照度均匀度改善效果如图 10 所示。冬夏季透光混凝土墙体使室内晴天照度均匀度分别提升 2.38%和 4.25%; 阴天照度均匀度分别提升 1.32%和 3.13%, 且阴天室内照度均匀度明显高于晴天, 夏季高于冬季, 这主要是由于冬夏季太阳高度角不同所致。

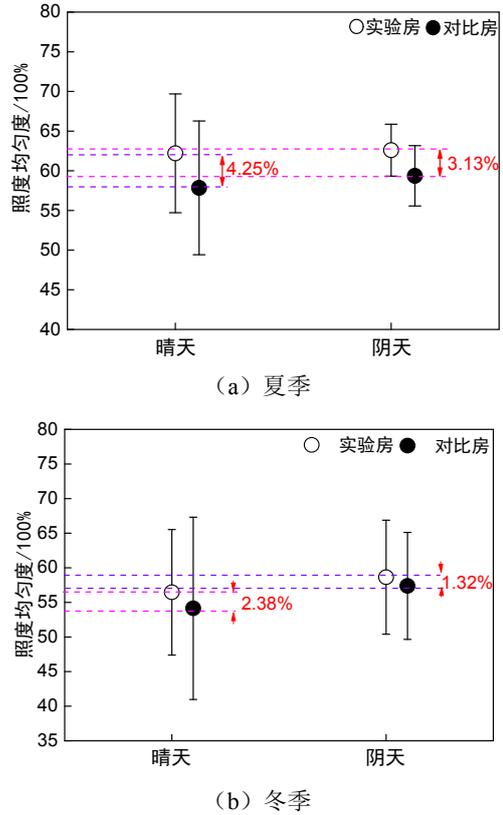
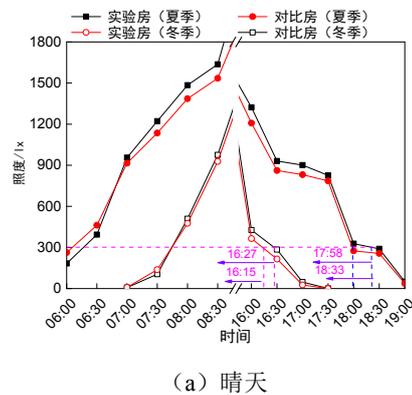


图 10 不同天气工况下室内逐时照度均匀度误差棒

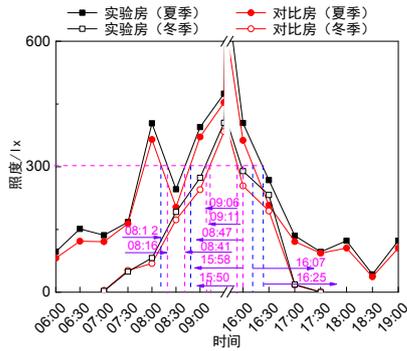
Fig.10 Indoor hourly illumination uniformity error bar in winter and summer

2.1.2 节能

以正常校园办公作息时间 8:00–22:00 为例, 根据《建筑照明设计标准》(GB 50034–2013) [13] 规定, 办公室内工作面照度不低于 300lx, 当室内照度低于 300lx 时, 室内需采用灯光照明以弥补自然采光的不足。由图 11 可知, 冬夏季晴天开灯时间分别延迟 12min 和 35min, 节能 3.48%和 14.46%; 阴天开灯时间分别延迟 13min 和 28min, 节能 2.95%和 7.21%。



(a) 晴天



(b) 阴天

图 11 不同天气工况下室内照度逐时变化

Fig.11 Timely variation of indoor illumination in winter and summer

2.2 舒适性

图 12 是利用热成像原理对典型时刻透光混凝土墙体表面温度场进行可视化描述, 透光混凝土墙体内部的导光体以及四周衔接处有冷热桥现象, 其保温性能有待提高。假设人员活动代谢率 $M=135W/m^2$ 、冬夏季服装热阻 f_{cl} 分别为 2clo 和 0.5clo、外部活动量 $W=0W/m^2$, 利用热舒适仪采集的数据对不同工况下室内舒适性进行评价, 结果如图 13 所示。日间透光混凝土墙体内表面温度明显高于周围墙体内表面温度、透光混凝土墙体四周有热桥现象以及透光混凝土透过的太阳光增加室内的辐射得热等综合因素使冬夏季室内 PMV 升高, 随着室外温度的降低, 夜间透光混凝土墙体表面温度低于四周墙体以及四周的冷桥现象使冬夏季室内 PMV 降低。透光混凝土墙体构件对室内舒适度的影响效果如图 14 所示, 冬夏季, 室内平均 PMV 在晴天日间分别提升 0.09 和 0.01, 夜间分别降低 0.01 和 0.03; 阴天日间分别提升 0.03 和 0.01, 夜间分别降低 0.02 和 0.01。

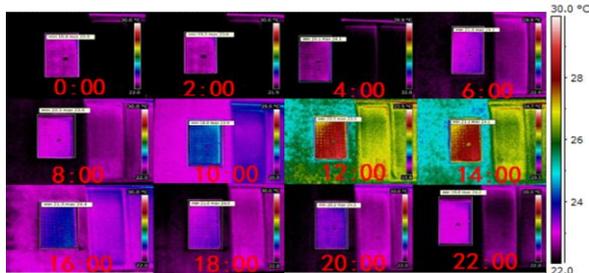


图 12 典型时刻透光混凝土墙体表面温度场可视化描述

Fig.12 Visualization of surface temperature field of transparent concrete wall at typical time

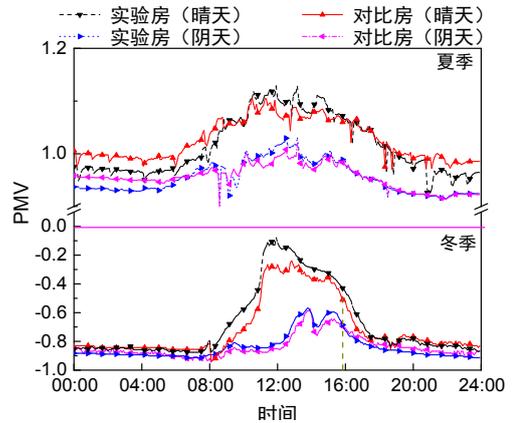
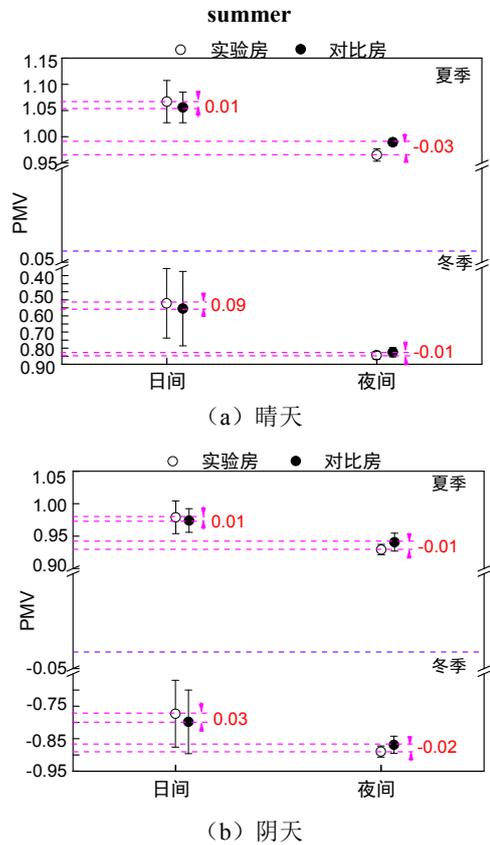


图 13 冬夏季室内环境 PMV 逐时变化

Fig.13 Indoor and outdoor PMV changes in winter and summer



(b) 阴天

图 14 不同天气工况下实验房和对比房室内环境平均 PMV 误差棒

Fig.14 In door average PMV error bars in test houses in winter and summer

3 结论与展望

3.1 结论

本研究通过搭建透光混凝土建筑实验平台, 主

要得到以下研究结论:

(1) 200mm厚的光纤、树脂、有机玻璃棒三种导光体材料的透光率分别为18.27%、9.84%和12.96%。

(2) 透光混凝土砌块材料的抗压强度和耐久性随导光体掺杂比的增加而下降,导光体和混凝土基体的界面面积的增加是导致抗压强度和耐久性下降的重要因素。

(3) 透光混凝土墙体的改造改善了室内采光质量,冬夏季,晴天室内平均照度分别增加62.1lx和86.6lx,照度均匀度分别提升2.38%和4.25%;阴天平均照度分别增加22.4lx和28.5lx,照度均匀度分别提升1.32%和3.13%;

(4) 冬夏季,节省人工照明能耗晴天分别为3.48%和14.46%,阴天分别为2.95%和7.21%;

(5) 透光混凝土墙体在冬季日间和夏季夜间一定程度上提高了室内舒适性,在冬季夜间和夏季日间室内舒适性略有降低。

3.2 展望

目前基于透光混凝土的研究仍处于初步探索阶段,受制备工艺和材料成本的限制,距透光混凝土大规模市场化推广应用还有一定距离。本研究尚有很多不足、可改进以及进一步研究的地方如下:

(1) 对南向透光混凝土墙体所营造的室内光热环境效果进行分析,未与其他方位进行对比分析。

(2) 针对不同天气工况下透光混凝土建筑的室内光热环境进行短周期检测和研究,缺乏长周期检测。

(3) 仅对透光混凝土的灯光照明节省进行分析,缺乏建筑整体能耗分析研究。

参考文献:

[1] Li M, Xiao Q. Environment and sustainable development[J]. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2008,12(9):2265-2300.
[2] Losonczi A. Building block comprising light

transmitting fibres and a method for producing the same[P]. US Patent: 8091315, 2012-01-10.

- [3] 吴源华.智能透明混凝土制品及其性能研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2010.
[4] 丁泓力,林荣辉,郭杨.透光混凝土在博物馆建筑节能环保方面的应用研究[J].江西建材,2015,34(9):5.
[5] Anton P, Sofia B, Anna K, et al. Decorative light transmitting concrete based on crushed concrete fines[C]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018,365:032046.
[6] Aashish Ahuja, Khalid M Mosalam, M ASCE, et al. Computational Modeling of Translucent Concrete Panels[J]. Journal of Architectural Engineering, 2015,21(2):B4014008.
[7] 周智,高锡鹏,申娟,等.树脂透光混凝土制品的热工性能及其保温隔热效果评估[J].混凝土,2017,(2):105-109.
[8] Pagliolico S L, Verso V R M L, Torta A, et al. A Preliminary Study on Light Transmittance Properties of Translucent Concrete Panels with Coarse Waste Glass Inclusions[C]. Perino, M. Energy Procedia, 2015,78:1811-1816.
[9] Aashish Ahuja, Khalid M Mosalam. Evaluating energy consumption saving from translucent concrete building envelope[J]. 2017,153(10):448-460.
[10] 高锡鹏.树脂透光混凝土制品的制备及其性能研究[D].大连:大连理工大学,2016.
[11] 廖文生,陈滨.透光混凝土建筑室内环境营造技术[C].中国可再生能源学术大会,2018.
[12] GB 50033-2013,建筑采光设计标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.
[13] GB/T 50785-2012,民用建筑室内热湿环境评价标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
[14] ASHRAE. Thermal environmental conditions for human occupancy: ASHRAE Standard 55-2013[S]. Atlanta: ASHRAE, 2013:11-12
[15] GB 50034-2013,建筑照明设计标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.