

DOI: 10.12164/j.issn.1003-8965.2024.05.016

# 外部环境对建筑材料热值检测结果的影响研究

王俊<sup>1</sup>, 毛子怡<sup>2</sup>, 高妍<sup>2</sup>

(1. 河北双诚建筑工程检测有限公司, 河北 石家庄, 050021;

2. 河北科技大学 建筑工程学院, 河北 石家庄, 050018)

**摘要:** 燃烧热值是评估建筑材料火灾危险性的重要指标, 其测定精度对消防设计和火灾风险评估至关重要。为了研究环境温度对热容量标定和燃烧热值的影响, 通过氧弹量热法在不同温度条件下进行试验。结果表明, 环境温度升高会导致热容量标定值和燃烧热值下降, 且温度波动显著影响结果的稳定性。建议在测定过程中严格控制环境温度, 以提高结果的准确性和可靠性。

**关键词:** 非金属建筑材料; 燃烧热值; 环境温度; 热容量标定; 氧弹量热法

**中图分类号:** TU111.2 **文献标志码:** B **文章编号:** 1003-8965(2024)05-0072-05

## Research on the influence of external environment on the thermal value testing results of building materials

WANG Jun<sup>1</sup>, MAO Ziyi<sup>2</sup>, GAO Yan<sup>2</sup>

(1. Hebei Shuangcheng Architectural Engineering Test Co., Ltd., Shijiazhuang 050021;

2. School of Civil Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018)

**Abstract:** The calorific value of combustion is an important indicator for evaluating the fire hazard of building materials, and its measurement accuracy is crucial for fire design and fire risk assessment. In order to study the influence of environmental temperature on thermal capacity calibration and combustion heat value, experiments are conducted using oxygen bomb calorimetry under different temperature conditions. The results show that an increase in environmental temperature can lead to a decrease in thermal capacity calibration value and combustion heat value, and temperature fluctuations significantly affected the stability of the results. It is recommended to strictly control the environmental temperature during the measurement process to improve the accuracy and reliability of the results.

**Keywords:** non-metallic building materials; combustion heat value; environmental temperature; thermal capacity calibration; oxygen bomb calorimetry

## 0 前言

建筑材料的种类和应用范围不断扩大, 特别是在建筑装饰和保温材料领域, 新型材料的应用显著提高了建筑物的节能效果和功能性。然而, 随之而来的火灾隐患也增加了。如何准确评估这些材料的燃烧性能, 进而为建筑防火设计提供可靠的数据支持, 成为当前研究的重要议题之一<sup>[1-2]</sup>。

燃烧热值作为衡量建筑材料火灾危险性的重要参数, 直接关系到火灾荷载的计算和建筑物防火性能的评估。燃烧热值指单位质量材料在完全燃烧时所释放的总热量, 是评估材料火灾危险性和火灾负荷的重要指标<sup>[3]</sup>。目前, 氧弹量热法被广泛应用于建筑材料燃烧热值的测定, 该方法通过测量材料在氧弹中燃烧所释放的热量来确定其热值。然

而, 尽管氧弹量热法在理论上具有较高的精度, 但实际测定中, 环境条件、样品制备及试验操作的规范性等因素对结果的准确性有显著影响<sup>[4]</sup>。环境条件如温度和湿度的波动对燃烧热值测定结果的影响尤为显著。研究表明, 实验室温度的变化不仅影响氧弹量热仪的热容量标定值, 还会通过改变材料的燃烧过程, 直接影响燃烧热值的测定结果<sup>[4-5]</sup>。湿度的变化则可能通过影响样品的含水量, 进而影响燃烧的完全性和热量释放的效率<sup>[1-4]</sup>。因此, 在进行燃烧热值测试时, 严格控制环境条件, 确保其稳定性, 是保证结果准确性的重要前提。另一方面, 样品制备的质量和操作流程的标准化对燃烧热值的测定也有重要影响。例如, 不同材料的物理化学性质差异较大, 有机材料如聚氨酯、聚苯乙烯的燃烧热值较高, 火灾危险性显著, 而无机材料如岩棉、硅酸钙板的燃烧热值较低, 相对安全<sup>[6]</sup>。此外, 低热值材料在燃

**基金项目:** 河北省博士后基金(B2022003024)

**第一作者:** 王俊(1987-), 硕士, 高级工程师, 主要从事建筑材料检测工作。

烧热值测试中的难点也引起了广泛关注,这些材料在试验中往往难以完全燃烧,导致结果偏低,因此在测试中需通过人工干预,如添加助燃剂以确保样品的完全燃烧<sup>[2]</sup>。实验室间的检测能力差异也是影响燃烧热值测定结果一致性的重要因素。在实际能力验证计划中,不同实验室对于同一材料燃烧热值的测定结果存在显著差异<sup>[6]</sup>,这主要归因于实验室设备性能、操作人员技能及实验室环境控制等方面的不一致性<sup>[8]</sup>。这些差异不仅反映了实验室技术水平的不均衡,也揭示了当前燃烧热值测定方法在实际应用中的局限性<sup>[4]</sup>。

建筑材料的多样性对燃烧热值的测定提出了更高的要求。不同类型的材料,其燃烧特性差异显著<sup>[2]</sup>,在建筑外墙保温材料领域,不同材料的燃烧热值差异更明显,这直接影响了建筑材料的防火性能评估<sup>[5]</sup>。针对这些问题,研究和改进燃烧热值的测定方法,尤其是考虑环境温度对测定结果的影响,有重要的现实意义<sup>[8]</sup>。针对南方地区常见的生物质材料如竹、稻草等,其燃烧热值的研究也同样重要,这对于相关材料的利用及火灾防控策略的制定有重要影响<sup>[9]</sup>。保温材料作为建筑节能和安全的重要部分,其燃烧热值直接影响建筑物的安全性能,由于不同保温材料的燃烧热值差异显著,因此选择保温材料时必须充分考虑其燃烧性能,以确保建筑物的防火能力<sup>[10]</sup>。复合材料的复杂性也对燃烧热值的测定提出了新的挑战<sup>[11]</sup>。有研究指出,复合材料中有机和无机组分的混合使得燃烧热值的测定更加复杂。在燃烧热值测定中,热容量的准确标定和试验环境的控制是保证结果准确性的关键,这在建筑材料的实际应用中尤为重要<sup>[12-13]</sup>,测试复合材料的燃烧热值时,需特别注意材料各成分的燃烧特性<sup>[14]</sup>。

综上,燃烧热值作为建筑材料燃烧性能的重要指标,其准确测定对保障建筑物的防火安全有重要意义。然而,当前燃烧热值测定方法仍面临诸多挑战,包括环境条件的控制、样品制备的规范性、实验室检测能力的差异及复合材料的复杂性等。本研究旨在通过试验研究,探讨不同环境温度条件下建筑材料燃烧热值的变化规律,分析环境温度对测定结果的影响,并结合已有的研究成果,提出改进试验方法的建议,以为建筑材料的防火性能评价提供准确、可靠的数据支持。


## 1 试验装置与方法

### 1.1 试验材料

本研究选用了经检测合格的A1级燃烧岩棉板作为试验对象,其物理特性包括:样品尺寸为1200mm×600mm×100mm,密度为145kg/m<sup>3</sup>。试验中所有样品均从岩棉板的芯部均匀取样,样品质量约为200g,确保样品具有代表性和一致性。此外,试验过程中使用了标准物质苯甲酸,其燃烧热值为26470J/g,用于热容量的标定,如图1所示。

表1 试验样品信息

Tab.1 Experimental sample information

| 样品信息                                                                              | 长/mm | 宽/mm | 厚/mm | 密度/kg/m <sup>3</sup> |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|----------------------|
|  | 1200 | 600  | 100  | 145                  |

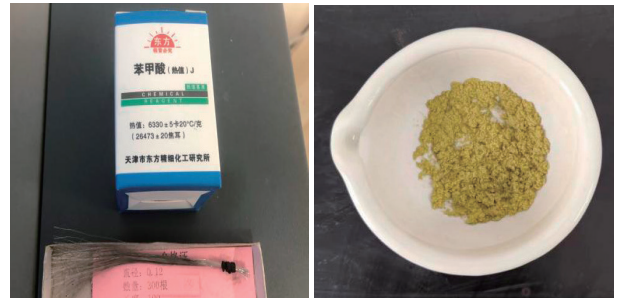


图1 标准物质苯甲酸和岩棉样品

Fig.1 Standard substance benzoic acid and rock wool samples

### 1.2 试验装置

1) 建材制品燃烧热值试验装置。本研究使用了RZ-3型氧弹量热仪,如图2,该装置能精确测定建筑材料的燃烧热值。其设计考虑了内外筒之间的热交换现象,通过改进的恒温技术有效减少了外界环境对热容量标定结果和热值测定结果的影响。

2) 恒温恒湿测试系统。为探讨环境温度对燃烧热值的影响,试验中配置了可控温度范围为0~40℃,相对湿度为30%~80%的恒温恒湿测试系统。该系统能保持实验环境的温度和湿度稳定,提供了可靠的环境控制,如图2所示。

3) 点火丝。采用燃烧热值为3140J/g的点火丝,用于点燃样品,以确保试验的一致性和可重复性。



图2 RZ-3型氧弹量热仪和恒温恒湿测试系统

Fig.2 RZ-3 oxygen bomb calorimeter and constant temperature and humidity testing system

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 热容量标定

试验开始前,首先对氧弹量热仪的热容量进行标定,以保证后续试验的准确性和可靠性。在标定过程中,使用标准物质苯甲酸作为标定物,在不同的环境温度(21~25℃)下,分别测定其燃烧所释放的热量,并根据测得的热量数

据计算热容量。共进行5组标定试验,以确保数据的准确性和重复性。

### 1.3.2 燃烧热值测定

在热容量标定完成后,对岩棉板样品进行燃烧热值的测定。试验设计中,考虑外部环境温度变化对试验结果的影响。为此,在恒定相对湿度(50±5%RH)条件下,分别在21℃、22℃、23℃、24℃和25℃共5个温度点上进行燃烧热值测定。每个温度点下进行3次重复试验,以获得准确的平均值。试验过程中,通过控制恒温恒湿系统的温度变化,模拟实验室环境温度的波动,以评估环境温度对燃烧热值测定结果的影响。

### 1.3.3 数据处理与分析

试验数据的处理与分析采用标准偏差和极差等统计方法。通过对不同环境温度条件下的燃烧热值测试结果进行对比,分析环境温度对结果的影响。数据处理过程中,重点分析温度波动对试验结果的稳定性和一致性的影响,并通过绘制趋势曲线图展示试验结果的变化规律。此外,为验证试验结果的可靠性,对试验过程中的误差来源进行了分析和讨论。

### 1.4 试验条件控制

为确保试验结果的准确性和一致性,试验过程中严格控制试验条件,特别是环境温度和湿度。所有试验均在无外加辐射热源的实验室内进行,试验台面保持稳定,避免因人员流动或设备震动对试验结果产生干扰。同时,实验室温度严格控制在标准要求范围内(23±2℃),湿度控制在50±5%RH,以最大限度减少外部环境变化对试验结果的影响。

### 1.5 试验步骤

- 1) 标定热容量: 将氧弹量热仪调至恒定温度状态,使用苯甲酸标定热容量,记录不同温度下的热容量值。
- 2) 准备样品: 从岩棉板芯部取样,称取样品质量并记录,放置于量热仪中。
- 3) 调整温度: 设置恒温恒湿系统的环境温度,分别调至21℃、22℃、23℃、24℃和25℃,每个温度点下进行燃烧热值测定。
- 4) 点燃样品: 通过点火丝点燃样品,记录燃烧过程中的温度变化及释放的热量。
- 5) 数据记录与处理: 记录试验数据,分析不同温度条件下的燃烧热值变化,计算平均值,并进行数据对比。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 环境温度对热容量标定结果的影响

在不同环境温度条件下,通过使用标准物质苯甲酸对氧弹量热仪的热容量进行标定,得到热容量随温度变化的试验结果。数据显示,随着环境温度的升高,热容量值呈现一定的下降趋势。这表明环境温度变化会直接影响仪器的热容量标定结果,进而影响材料燃烧热值的测定精度,同时随着苯甲酸的质量增加,热容量测试值也随之降低。

由图3可见,环境温度从21℃升高至25℃,热容量标定值逐渐降低,可能是由于温度升高引起仪器内部热交换效

率降低所致。因此,在进行建筑材料燃烧热值测定时,必须充分考虑环境温度对热容量标定的影响,以保证测定结果的准确性。

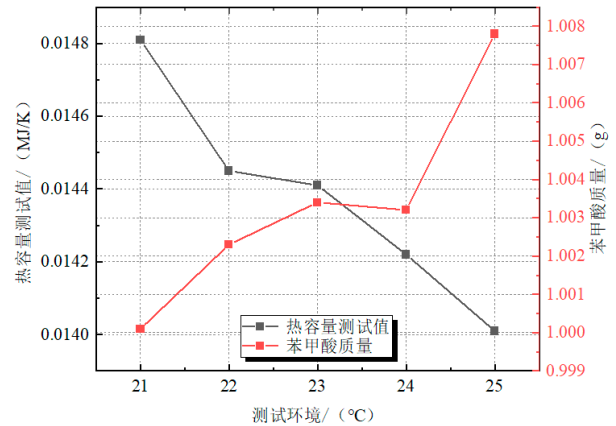


图3 环境温度对热容量标定结果的影响

Fig.3 The influence of environmental temperature on the calibration results of thermal capacity

### 2.2 环境温度对燃烧热值测试结果的影响

在保持恒定相对湿度的条件下,不同环境温度对燃烧热值的测试结果如图4所示。结果表明,随着环境温度的升高,岩棉板样品的燃烧热值呈现下降趋势,且不同温度下的测试值存在一定波动。

从图4可以看出,在环境温度为21~23℃的区间内,燃烧热值的变化较小,但当温度升高至24℃及以上时,燃烧热值的平均值出现显著下降。这表明环境温度越高,材料的燃烧热值测试结果越容易出现偏差,尤其在高于标准测试温度范围时,影响更加明显。图5为试验采集曲线。

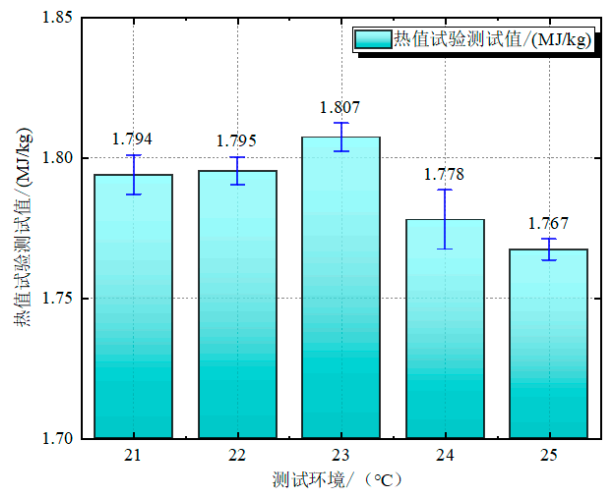


图4 环境温度对燃烧热值结果的影响

Fig.4 The influence of environmental temperature on combustion heat value results

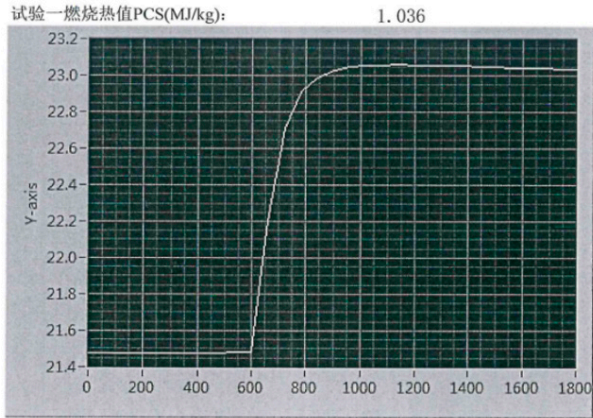


图5 试验采集界面曲线

Fig. 5 Experimental collection interface curve

2.3 环境温度波动对燃烧热值结果稳定性的影响

在进一步研究中,考察环境温度的波动对燃烧热值测试结果稳定性的影响。试验以初始调节温度23℃为基础,分别设计3个不同的温度条件:试验温度下降2℃、恒定温度23℃、试验温度上升2℃及以上。结果如图6所示。

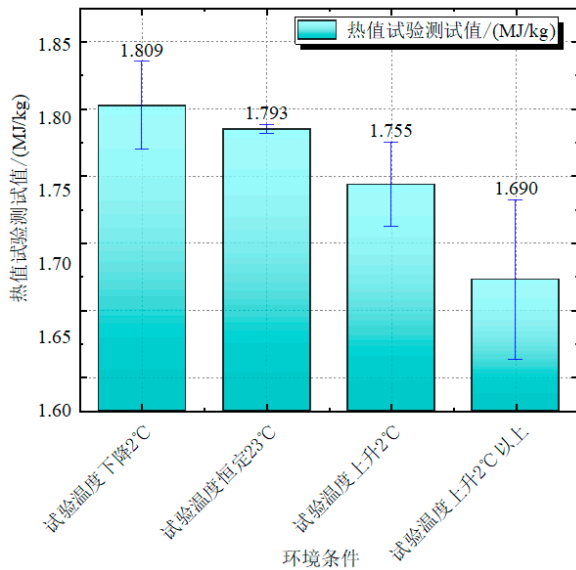


图6 环境温度波动变化对燃烧热值结果的影响

Fig.6 The influence of environmental temperature fluctuations on combustion heat value results

由图6可见,温度下降2℃和温度恒定在23℃时,燃烧热值测试结果较为稳定,数据偏差不大。然而,当温度上升2℃及以上时,测试结果的偏差显著增加,尤其是在温度上升超过2℃的情况下,偏差较大。这表明温度波动对燃烧热值的稳定性有重要影响,特别是在较高温度环境下,测试结果更易受到影响。

其中,燃烧热值的计算按照式(1)<sup>[14]</sup>进行:

$$PCS = \frac{E(T_m - T_i + c) - b}{m} \quad (1)$$

式中:

PCS—总热值, MJ/kg;

E—量热仪、氧弹及其附件以及氧弹中充入水的水当量, MJ/K;

$T_i$ —起始温度, K;

$T_m$ —最高温度, K;

b—试验中所用助燃物的燃烧热值的修正值,如点火丝、棉线、“香烟纸”、苯甲酸或其他助燃物, MJ。

3 结论与展望

3.1 结论

本研究通过试验探讨了外部环境温度对建筑材料燃烧热值测试结果的影响,得出了以下主要结论:

1) 试验表明,随着环境温度的升高,氧弹量热仪的热容量标定值呈现逐渐下降的趋势。这可能是由于温度升高导致仪器内部热交换效率降低所致。由此可见,环境温度的变化会直接影响热容量标定的准确性,从而间接影响燃烧热值的测定结果。

2) 研究发现,在21~25℃的温度范围内,随着环境温度的上升,岩棉板样品的燃烧热值测试结果呈现逐渐下降趋势。这表明环境温度的变化对燃烧热值测试结果有显著影响,尤其在温度超出标准测试温度范围时,测试结果更容易出现较大的波动和偏差。

3) 通过考察环境温度波动对燃烧热值测试结果的影响,结果表明,当环境温度波动较小时(±2℃以内),燃烧热值测试结果较稳定,数据偏差较小。然而,当温度波动较大时,尤其是在温度上升超过2℃的情况下,测试结果偏差显著增加,表明温度波动对测试结果的稳定性有重要影响。

可见,外部环境温度对建筑材料燃烧热值测试结果的影响不可忽视。在进行燃烧热值检测时,必须严格控制试验环境的温度,以确保测试结果的准确性和可靠性。

3.2 展望

本研究为建筑材料燃烧性能评估中的燃烧热值测试提供了试验依据和理论支持。然而,外部环境对测试结果的影响不仅限于温度变化,还可能包括湿度、气压、实验室空气流动等多种因素。未来研究应进一步扩展至其他环境条件的影响,以全面提升燃烧热值测试的精度和稳定性。

随着建筑材料种类的多样化和应用场景的复杂化,燃烧性能评估的方法和技术应不断创新和发展。例如,可以探索新型量热仪器的开发,进一步优化现有的试验装置和方法,以适应更复杂的试验需求。特别是在大规模工程应用中,如何在不同环境条件下保持燃烧热值测试结果的一致性和可靠性,是未来研究的一个重要方向。标准化的检测程序和更严格的实验室环境控制措施的制定,有助于减少实验室间的结果差异,提高检测结果的可比性和科学性,这对于建筑材料的安全评估和应用推广有重要意义。

随着科技发展,结合智能化控制技术和大数据分析手段可进一步提高燃烧热值测试的自动化程度和数据处理的精确度,这不仅有助于改进现有的燃烧性能检测方法,也能推动建筑材料防火安全领域的整体发展。

## 参考文献

- [1]刘惠婧. 建筑材料燃烧总热值的测定能力验证结果分析[J]. 品牌与标准化,2023(3):147-149.
- [2]姚钟莹. 几种常见保温材料燃烧热值分析[J]. 墙材革新与建筑节能,2015(11):51-52.
- [3]郑坚. 关于低热值材料燃烧热值结果的影响因素探讨[J]. 中国建材科技,2024,33(03):130-132.
- [4]李征,李维胜. 基于建筑隔热保温材料燃烧热值检验结果的分析[J]. 绿色环保建材,2018(8):19.
- [5]徐桂灵. 低热值高效保温材料的制备研究[J]. 河南建材,2016(1):17-18+21.
- [6]GB 8624-2012,建筑材料及制品燃烧性能分级[S].
- [7]杨光辉,杨森,孙玉泉,等. 几类典型外墙保温材料燃烧热值探析[C]//中国阻燃学会. 2012年中国阻燃学术年会论文集,2012:6.
- [8]尹碧军,刘东发,李业添,等. 建筑装饰材料燃烧热值测定影响因素的研究[J]. 建材世界,2016(3):24-26.
- [9]杨修飞,黄蕾,徐玉梅,等. 我国南方地区几种常见生物质材料的热值测定[J]. 节能,2017(8):27-29+2.
- [10]刘欢,刘涛,龙志凡. 常见的保温材料燃烧热值分析[J]. 建材与装饰,2020(10):39-40.
- [11]张艳,徐晶晶. 建筑材料燃烧热值试验问题探讨[J]. 中国设备工程,2020(10):147-148.
- [12]金富. 浅谈建材燃烧热值试验结果的影响因素[J]. 品牌与标准化,2017(11):85-86.
- [13]张希瑜,尚云峰,姬宝生. 建筑材料燃烧热值测定[J]. 消防科学与技术,2013(6):582-585.
- [14]ZHANG X, SHANG Y, JI B. Determination of building materials combustion heat value[J]. Fire science and technology, 2013,32(06):582-585.
- [15]刘占清,袁志欣,周俊钧,等. 影响建筑材料燃烧热值测试结果的主要因素及解决措施[J]. 中国建材科技,2013,22(02):4-6+15.
- [16]GB/T 14402-2007,建筑材料及制品的燃烧性能燃烧热值的测定[S].
- (上接第56页)
- building engineering, 2023,80:108088.
- [29]魏鹏. 煤矸石-气化渣喷射混凝土配比优化与骨料改性研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2023.
- [30]XIAO M, JU F, HE Z. Research on shotcrete in mine using non-activated waste coal gangue aggregate[J]. Journal of cleaner production, 2020,259:120810.
- [31]陈海霞,张志权,宋学庆. 再生骨料喷射混凝土基本性能试验[J]. 西安科技大学学报,2020,40(03):434-440.
- [32]刘家明. 再生骨料喷射混凝土制备试验研究[J]. 低碳世界,2022(11):184-186.
- [33]DUARTE G, BRAVO M, DE BRITO J, et al. Mechanical performance of shotcrete produced with recycled coarse aggregates from concrete[J]. Construction and building materials, 2019,210:696-708.
- [34]NOBRE J, BRAVO M, DE BRITO J, et al. Durability performance of dry-mix shotcrete produced with coarse recycled concrete aggregates[J]. Journal of building engineering, 2020,29:101135.
- [35]LI P, CHEN L, MA H, et al. Spatial distribution characteristics and microscopic mechanisms for enhancing mechanical properties of MWCNTs in recycled coarse aggregate shotcrete[J]. Construction and building materials, 2023,364:129927.
- [36]杨贺,陈伟,马双狮,等. 高钛重矿渣隧道喷射混凝土力学性能试验研究[J]. 钢铁钒钛,2023(3):118-122.
- [37]SUN J K, LI R, LI L D, et al. Develop a sustainable wet shotcrete for tunnel lining using industrial waste: A field experiment and simulation approach[J]. Advances in concrete construction, 2023,15(5):333-348.
- [38]HOU S, LI F, TANG H, et al. Investigations on the performance of shotcrete using artificial lightweight shale ceramics as coarse aggregate[J]. Materials, 2022,15(10):3528.
- [39]SERATI M, JAKSON N, ASCHE H, et al. Sustainable shotcrete production with waste glass aggregates[J]. SN applied sciences, 2022,4(3):14-82.