

固废再生透水砖抗压强度与冻融耐久性关系的现场验证

霍月辉 高荣丽 董月彪

中铁建安工程设计院有限公司 河北 石家庄 050043

【摘要】：固废再生透水砖作为一种环境友好型建筑材料，因其能有效利用固体废弃物并具有良好的透水性能，受到广泛关注。研究中，通过现场验证实验探讨了固废再生透水砖的抗压强度与冻融耐久性之间的关系。结果表明，抗压强度与冻融耐久性呈正相关关系，且冻融循环次数对材料的强度衰减有显著影响。通过对现场数据的深入分析，发现优化固废再生透水砖的配比和生产工艺，可以有效提高其在复杂气候条件下的耐久性。此研究为固废再生透水砖在实际工程中的应用提供了理论依据和技术支持。

【关键词】：固废再生透水砖；抗压强度；冻融耐久性；现场验证；材料性能

DOI:10.12417/2811-0536.26.05.004

引言

固废再生透水砖作为一种新型建筑材料，在环保和可持续发展方面展现了巨大的潜力。透水砖具有良好的雨水渗透性能，能有效改善城市水文环境。随着使用环境的变化，特别是冻融循环的影响，其抗压强度和耐久性面临严峻考验。尤其是在寒冷地区，冻融作用可能导致透水砖性能的大幅下降，影响其长期使用效果。因此，理解固废再生透水砖的抗压强度与冻融耐久性之间的关系，成为材料改良和应用研究中的关键问题。通过现场验证实验，可以为固废再生透水砖的优化设计和实际应用提供更为可靠的数据支持。

1 固废再生透水砖的物理性能分析

固废再生透水砖作为一种新型的建筑材料，具备环保和高效资源利用的特点。其基本特性与物理性能的优越性直接影响其在实际应用中的表现，特别是在抗压强度和透水性方面。固废再生透水砖主要是以固体废弃物为原料，通过一定的工艺处理形成的透水性建筑材料，能够有效地解决城市洪涝问题，并在施工中大幅度降低资源消耗。固废再生材料的加入，不仅提高了砖体的可持续性，还使其在强度和稳定性方面具有一定优势。固废再生透水砖的抗压强度是衡量其耐久性和使用寿命的关键指标之一。根据不同固废成分和生产工艺的变化，透水砖的抗压强度表现出不同的特点。研究表明，当固废原料的粒度分布均匀且搭配适量增强组分时，透水砖的抗压强度得到有效提升。特别是在利用建筑垃圾、矿渣等废弃物作为原料时，固废颗粒的粘结力和结构稳定性较强，能够显著增加透水砖的抗压能力^[1]。相较于传统的透水砖，固废再生透水砖在抗压性能上具有更为优越的表现，能够满足高负载的施工需求。

透水性能则是固废再生透水砖另一项至关重要的

物理特性。其主要作用是改善城市的水文条件。通过水的渗透，减少地表径流并补充地下水。透水砖的透水性能主要取决于其孔隙率与孔隙连通性，而固废再生透水砖的生产工艺直接调控着这些结构特征。在适当调整固废再生材料的比例和施工方法后，透水砖的透水性可以得到增强，适用于不同环境下的降水、排水需求，具有较强的环境适应性。固废再生透水砖的物理性能不仅仅由原料的成分决定，还与其生产过程中的温度、压力和成型方法密切相关。通过合理的工艺参数优化，可以在保证透水性的同时，进一步提高其抗压强度和整体耐久性，从而扩大其在不同气候和使用条件下的应用范围。

2 冻融循环对固废再生透水砖抗压强度的影响

冻融循环对固废再生透水砖的抗压强度具有显著的影响，尤其是在寒冷地区，冻融作用往往成为影响材料长期使用性能的关键因素。随着温度的变化，水分在透水砖内部的冰冻和融化过程导致孔隙内的水分膨胀和收缩，这种反复的物理变化对透水砖的结构造成了一定的损伤。由于固废再生透水砖具有较高的开孔率和非均质的骨料-胶凝界面，其内部水分迁移路径复杂，冰晶生长易在固废颗粒与胶结相交界面处引发局部应力集中，从而诱发微尺度剥离与孔壁崩解。

在冻融循环的作用下，固废再生透水砖的抗压强度常常会发生下降，特别是在循环次数较多的情况下，砖体的微裂纹逐渐扩展，最终可能导致砖体的破损。现场观测表明，冻融损伤呈现明显的阶段性特征：在初期（0-20次冻融），强度损失较为缓慢，主要表现为可逆的弹性变形；进入中期（20-70次），微裂纹开始贯通，表面出现细小网状裂纹，强度衰减速率明显加快；至后期（70次以上），砖体角部剥落、边缘碎裂等宏观破坏现象频发，承载能力急剧下降。固废再生透水砖的抗压强度受冻融循环的影响程度与砖体

的孔隙结构、原料配比以及生产工艺密切相关。透水砖的孔隙率较高，固废再生透水砖通常具有更多的微观空隙，这使得水分能够在低温条件下进入并冻结，反复的冻融作用加剧了其内部的物理损伤^[2]。原料的选择也会直接影响砖体的耐冻融能力。采用矿渣、建筑垃圾等固废材料时，如果材料的密度较低或颗粒不均匀，就可能导致透水砖在冻融循环中承受更大的物理压力，从而降低其抗压性能。

冻融循环的具体影响可以通过实验来量化。实验数据显示，随着冻融循环次数的增加，固废再生透水砖的抗压强度会逐渐下降。在一定的冻融次数后，透水砖表面可能会出现裂纹，甚至发生破损，严重影响其结构完整性和使用寿命。值得注意的是，冻融作用不仅削弱力学性能，还会干扰其核心功能——透水性。实验发现，在冻融 30 至 50 次期间，因微裂纹连通，透水性能可能短暂增强；但超过 80 次后，孔道被剥落碎屑堵塞，透水效率显著下降，功能与结构同步退化。通过优化固废再生透水砖的生产工艺，例如调节水泥和固废的比例，选择更合适的固废材料，可以有效提高砖体的抗冻融性能，减缓冻融循环对砖体的破坏程度。

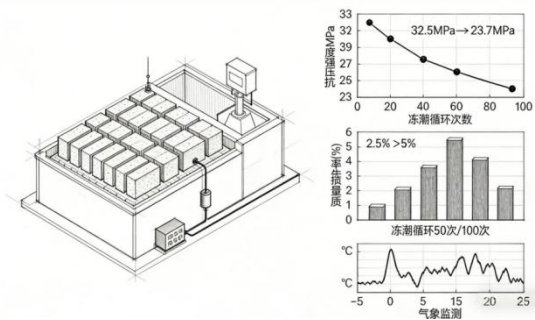
3 现场验证实验设计与数据采集

现场验证实验的设计是确保固废再生透水砖抗压强度与冻融耐久性关系研究能够准确反映实际应用情况的关键环节。在实际环境条件下，透水砖的性能不仅受到材料本身的影响，还会受到温度变化、湿度、降水等自然因素的作用。因此，设计一个合理的现场验证实验至关重要。实验地点选择应考虑到不同地区的气候条件，尤其是寒冷地区的冻融作用，才能充分模拟透水砖在极端气候条件下的表现。实验设计过程中，砖体的尺寸、形状及其排列方式需要统一标准化，以确保结果的可重复性和数据的准确性。

实验中的数据采集是现场验证过程中的核心环节。为了确保透水砖的抗压强度和冻融耐久性能够被准确测量，数据采集系统需要涵盖多个方面的监测内容。首先，抗压强度的测试通常通过标准化的加载设备来进行，确保每次测试都能够产生精确且一致的力值。在实验现场，采用压力传感器对透水砖在不同加载条件下的表现进行实时监测，通过逐步增加压力，记录砖体的破坏临界点和承载力的变化。这些数据可以为分析抗压强度与冻融循环次数之间的关系提供必要依据。在一项现场实验中，砖体的抗压强度在未经过冻融循环处理的情况下达到了 32.5 MPa，但在经历了 100 次冻融循环后，其抗压强度下降至 23.7 MPa，下降幅度达到 27.1%。

冻融耐久性的测试方法则侧重于通过设定不同的冻融循环次数，监测砖体在周期性冻融过程中出现的结构变化。实验中，透水砖在冻融箱内经过一系列冷冻和解冻循环，每次冷冻和解冻周期保持 24 小时，通过每次冻融后对砖体的外观、质量和抗压强度进行详细记录。现场验证实验要求实验数据具备高可靠性，因此，砖体的表面裂纹和质量损失也是数据采集的重点^[3]。实验数据显示，在冻融循环 50 次后，砖体表面已有明显的微裂纹出现，且表面重量损失达到 2.5%，而在冻融 100 次后，裂纹进一步扩展，砖体重量损失超过 5%。

现场验证实验的另一个重要环节是对环境因素的监测。实验地点的气象监测设备能够实时采集实验区域的温度、湿度、降水量等数据，这些环境数据与砖体的性能变化密切相关。在一个为期半年、环境温度波动较大的实验中，记录到的气温在 -5°C 至 25°C 之间变化，温差对砖体的冻融性能产生了较大影响。通过多维度的数据采集，不仅能够提供砖体在不同气候条件下的性能表现，还能够为后续的性能优化提供具体的参数依据。数据采集后的分析则采用统计学方法，对抗压强度与冻融耐久性之间的关系进行量化分析，确保实验结果能够反映出砖体在长期使用过程中可能出现的性能衰减趋势。



4 抗压强度与冻融耐久性关系的深入分析

抗压强度与冻融耐久性之间的关系，本质上反映了材料在反复环境胁迫下的结构稳定性与服役可靠性^[4]。现场验证数据表明，二者虽呈正相关趋势，但其关联并非简单线性，而是受到材料组成、微观结构及冻融历史的综合调控。研究发现，抗压强度的保留水平可作为评估冻融耐久性的关键指标：当冻融后强度保持在初始值的 80% 以上时，材料仍具备良好的工程适用性；一旦低于 65%，则结构完整性显著受损，建议视为耐久性失效的临界状态。

进一步分析显示，不同配比的固废再生透水砖在相同冻融条件下表现出显著差异的耐久性能。例如，

掺入适量粉煤灰或矿渣微粉的试件，其强度衰减更为平缓，即使经历 100 次冻融，仍能维持较高的承载能力；而以未经处理的建筑垃圾为主要骨料的试件，则在 50 次冻融后即出现明显强度骤降。这说明固废原料的活性与界面结合能力，是决定冻融耐久性的内在因素。此外，仅依靠抗压强度单一指标可能低估早期损伤风险。微观观测与无损检测结果表明，在冻融初期，材料内部已发生界面脱粘和微孔闭合，但宏观强度变化尚不显著；随着冻融次数增加，这些隐性损伤逐渐累积并转化为可见裂纹，最终导致强度快速下降。因此，建议在工程评价中结合质量损失率、表面裂纹密度及超声波传播速度等多维度参数，构建更全面的冻融耐久性评估体系。从实际应用出发，应将实验室获得的性能关系转化为可操作的工程设计准则。例如，在年冻融循环频繁的严寒地区，推荐优先选用初始抗压强度高且经冻融验证后强度保留率稳定的配方。这种基于现场性能反馈的设计思路，有助于实现材料研发与工程需求的有效对接，提升固废再生透水砖在复杂气候条件下的长期可靠性。

5 固废再生透水砖性能优化的实践建议

为了增强固废再生透水砖的综合性能，可以通过调整原料的配比、改进生产工艺以及优化设计方案来实现。固废材料的选择对透水砖的整体性能有着直接影响。选用高强度、耐久性好的固废原料，如矿渣、粉煤灰等，可以提高透水砖的基础抗压强度。这些材料本身具有较好的粘结性，能够增强透水砖的内部结构稳定性，减少冻融循环过程中发生裂纹的概率。在配比方面，通过合理控制水泥、固废材料和骨料的比例，能够有效提高固废再生透水砖的密实度。优化水泥与固废的配合比例，不仅能增强砖体的强度，还能改善其在冻融循环中的表现。适量加入一些添加剂，如防冻剂、保水剂等，能够在一定程度上改善透水砖的抗冻性能，减少水分在冻融过程中的膨胀与收缩，从而提高其冻融耐久性。

参考文献：

- [1] 段炎红.利用建筑固废再生骨料制备混凝土透水砖及其性能研究[J].河南科技,2021,40(18):116-119.
- [2] 南宁,刘明宝,崔孝炜,等.建筑固废掺烧污泥制备透水砖及性能研究[J].非金属矿,2023,46(03):88-90+94.
- [3] 赵威,王之宇,周春生,等.建筑固废制备高性能透水砖的研究[J].非金属矿,2020,43(06):101-104.
- [4] 李阳锋,邓美林,申铁军.基于 BP 神经网络的高性能混凝土高温后抗压强度预测研究[J].四川建筑,2025,45(06):189-190.
- [5] 徐行军,黄树榕.建筑陶瓷固废制备环保透水砖的工艺优化及性能研究[J].佛山陶瓷,2025,35(08):71-73.

生产工艺的改进也是提升透水砖性能的重要途径。通过调整成型温度、压力等参数，可以有效改变砖体的孔隙结构。提高压实度可以减少砖体的孔隙率，从而减少冻融循环对砖体的破坏^[5]。控制烧结过程中的温度和时间，有助于形成均匀致密的微观结构，进一步增强砖体的抗压强度和耐冻融能力。此外，采用新型的成型技术如高压成型技术，可以显著提高砖体的密度和强度，使其在极端气候条件下依然能够保持优良的性能。设计方面，透水砖的厚度、孔隙率和孔隙分布对其性能有着重要影响。通过优化透水砖的设计，可以有效提高其抗压强度和冻融耐久性。适当调整砖体的孔隙结构，增加孔隙之间的连通性，有助于提升其透水性，同时降低冻融作用引起的结构性损伤。减少不必要的空隙，不仅能够提高砖体的抗压能力，还能有效降低水分进入砖体的深度，从而减少冻融对砖体的破坏。

现场应用中的保养措施也不容忽视。通过加强透水砖的日常养护，保持其表面完整性，减少外部环境对砖体的侵害，可以在一定程度上延长其使用寿命。在严寒地区，可考虑对铺装完成的透水砖面层施加防护涂层或进行防冻处理，以进一步提升其长期耐寒性能。通过从原料选择、配比调整、工艺改进以及设计优化等多个角度出发，可以显著提高固废再生透水砖的抗压强度与冻融耐久性，使其更好地适应多变的环境条件，为实际工程中的应用提供坚实的基础。

6 结语

固废再生透水砖作为一种环保型建筑材料，其抗压强度和冻融耐久性的研究为提升其在恶劣气候条件下的使用性能提供了重要数据支持。通过优化原料配比、改进生产工艺和设计，能够有效增强透水砖的耐久性和抗压能力。进一步的研究与实践将有助于推动固废再生透水砖在更多实际工程中的广泛应用，助力可持续发展和城市环境治理。