

基于海绵城市理念的透水铺装系统抗冻融破坏性能改良试验

谭从奎¹, 李晓锋²

¹湖北亿联商务有限公司 湖北十堰

²宁夏阅海实业集团有限公司 宁夏银川

【摘要】海绵城市理念作为解决城市水环境问题的重要方案,强调水的自然循环与合理利用。透水铺装系统作为其核心组成部分,在城市建设中得到了广泛应用。针对透水铺装系统在寒冷地区面临的冻融破坏问题,本文通过实验研究,对透水铺装材料的抗冻融性能进行改良,以提高其在极端气候条件下的耐用性和稳定性。试验通过改良材料配比和增强技术,发现适当的改良措施能够有效提高透水铺装的抗冻融破坏能力,从而延长其使用寿命,优化海绵城市的建设效果。研究结果为透水铺装 in 寒冷地区的应用提供了理论依据与实践指导。

【关键词】海绵城市; 透水铺装; 抗冻融性能; 材料改良; 环境适应性

【收稿日期】2025 年 2 月 12 日 **【出刊日期】**2025 年 3 月 16 日 **【DOI】**10.12208/j.ace.202500095

Experimental study on improving the frost-thaw damage resistance of permeable pavement systems based on sponge city concept

Congkui Tan¹, Xiaofeng Li²

¹Hubei Yilian Business Co., Ltd., Shiyan, Hubei

²Ningxia Yuehai Industrial Group Co., Ltd, Yinchuan, Ningxia

【Abstract】As a crucial solution to urban water environment issues, the sponge city concept emphasizes the natural circulation and rational utilization of water. As a core component of this concept, permeable pavement systems have been widely applied in urban construction. Aiming at the frost-thaw damage problem faced by permeable pavement systems in cold regions, this paper conducts experimental research to improve the frost-thaw resistance of permeable pavement materials, so as to enhance their durability and stability under extreme climatic conditions. Through modifying material proportions and enhancing technologies, the experiment finds that appropriate improvement measures can effectively enhance the frost-thaw damage resistance of permeable pavements, thereby prolonging their service life and optimizing the construction effects of sponge cities. The research results provide a theoretical basis and practical guidance for the application of permeable pavements in cold regions.

【Keywords】Sponge city; Permeable pavement; Frost-thaw resistance; Material improvement; Environmental adaptability

引言

随着全球气候变化的加剧,城市水环境问题日益严峻。尤其在寒冷地区,冻融循环对透水铺装的破坏已经成为制约其长期稳定应用的重要因素。海绵城市作为一种新的城市发展理念,强调通过自然水循环系统来缓解城市排水压力,提升城市水资源利用效率,尤其是透水铺装在这一体系中的应用尤为

重要。由于受到冻融循环影响,透水铺装材料容易出现开裂、剥落等现象,影响其功能性和耐用性。提高透水铺装系统的抗冻融破坏性能,成为推动海绵城市建设在寒冷地区顺利实施的关键。本研究通过对透水铺装材料的改良,探索其在冻融环境下的适应性,为寒冷地区海绵城市建设提供理论依据和技术支持。

1 透水铺装材料冻融破坏机理分析

透水铺装材料的冻融破坏主要与其吸水性、结构特性和所处环境的温度变化密切相关。在寒冷地区,透水铺装材料吸水后,水分在低温环境下结冰膨胀,导致材料内部产生应力。随着冻融循环的进行,这种应力不断积累,最终引发材料表面裂纹、剥离或剥落等破坏现象。透水铺装的多孔结构虽然能够有效地提高雨水渗透性,但过多的孔隙也使得材料容易积水,一旦水分进入并被冻结,膨胀力的作用便会加速材料的劣化。

透水铺装材料的粘结强度和孔隙率也对冻融破坏具有重要影响。高孔隙率的材料虽然具有较好的透水性,但其结构的致密性较差,导致材料在冻融过程中不易保持原有形态。反之,低孔隙率的透水铺装虽然能在一定程度上抵抗冻融破坏,但可能会影响透水功能,无法满足海绵城市的建设需求^[1]。除了材料的结构因素外,温度波动也是冻融破坏的一个重要因素。在冬季,昼夜温差较大时,材料表面会经历频繁的冻融循环,这种温度变化加剧了冰水交替作用,进一步加速了材料的劣化过程。

透水铺装材料的化学成分和矿物质结构也在冻融破坏中起着关键作用。含有较高比例的硫酸盐、氯化物等成分的材料,会因为冰冻过程中的盐分溶解和再结晶作用,引发更加严重的物理化学反应,从而加速破坏过程。为了提高透水铺装系统在寒冷地区的抗冻融性能,必须综合考虑材料的组成、孔隙率、强度以及抗冻能力等多个因素,寻找合适的材料改良方案,优化其在极端环境下的表现。

2 改良透水铺装系统的试验设计与实施

为了提升透水铺装系统在寒冷地区的抗冻融性能,本研究设计并实施了一系列改良试验,以评估不同材料配比和增强技术对透水铺装抗冻融破坏能力的影响。试验选用了常见的透水混凝土、透水砖等透水铺装材料,并通过加入适量的改良剂(如抗冻剂、纤维增强材料、纳米材料等)来提高其耐冻融性能。改良试验主要通过模拟冬季极端气候条件,在低温环境下进行冻融循环,观察材料在冻融过程中力学性能的变化,如抗压强度、抗折强度及耐久性等。通过对比不同改良方案的效果,进一步分析其在抗冻融破坏中的实际表现。

在试验设计中,除了材料的配比和改良剂的使用,冻融循环的次数和温度范围也是关键因素。试验

采用了符合国家标准冻融循环实验设备,通过设置不同的温度变化范围(例如 -10°C 至 -25°C),模拟不同气候条件下的冻融环境。每个周期的温度变化都会对透水铺装材料产生影响,因此在设计时特别注重温度变化的稳定性和均匀性。为确保实验结果的科学性与可靠性,试验过程中严格控制了试样的尺寸和质量,并对每种改良配方的试验数据进行多次重复,以排除偶然因素的干扰,确保数据的准确性和代表性。

实验结果显示,某些改良方案显著提升了透水铺装材料的抗冻融破坏能力。特别是当纳米材料与纤维增强剂结合使用时,透水铺装的抗压强度和耐冻融性能有了显著提高。通过纳米材料的掺入,材料的微观结构得到了优化,孔隙度适度降低,增强了材料的抗冻性能。纤维增强材料则有效提升了透水铺装的韧性,降低了因冻融循环造成的裂纹扩展速度^[2-5]。这些改良措施不仅提升了透水铺装材料在冻融环境下的稳定性,还在一定程度上保持了透水性能,为海绵城市的可持续发展提供了新的技术支持。最终,改良透水铺装系统的试验成果为在寒冷地区应用透水铺装材料提供了理论依据,并为未来的透水铺装技术发展提供了可行的改进方向。

3 透水铺装改良技术对抗冻融性能的影响

透水铺装改良技术的应用对抗冻融性能的提升起到了显著的作用,尤其是在寒冷地区,这些技术能够有效降低透水铺装材料在冻融循环中发生破坏的风险。改良技术主要通过优化材料配比、增强材料结构的稳定性以及改善水分的管理等方面来提升抗冻融能力。在本研究中,应用了多种创新技术,包括纳米技术、纤维增强技术、以及抗冻剂的掺入等手段,这些改良方法能够在一定程度上改变透水铺装的物理和化学性能,从而提高其在低温环境下的耐久性和抗冻融破坏能力。

纳米材料的引入对透水铺装的改良效果尤为显著。纳米材料具有较高的表面积和特殊的物理化学特性,能够在微观结构上优化透水铺装的孔隙结构,使其吸水性适中,避免过度吸水导致冻结膨胀时的应力积累。纳米技术改善了材料的密实度和强度,从而提高了其抵抗冻融破坏的能力。纳米材料的表面活性可以改善水分在材料内部的分布,减少水分的聚集与冰冻膨胀现象,极大地减轻了冻融循环对透水铺装的负面影响。研究表明,纳米掺入后的透水

铺装材料在抗冻融性能上具有显著提升,尤其是在经历数次冻融循环后,表面裂纹和剥落现象明显减少。

纤维增强技术也为透水铺装提供了有效的改善方案。通过在透水铺装材料中加入一定比例的纤维增强材料,能够在材料中形成强度更高的内部网络结构,这样不仅提高了透水铺装的整体韧性和抗压强度,还增强了其抵抗冻融引发的裂纹扩展能力^[6]。纤维的引入起到了桥接和加固的作用,使得透水铺装材料在受冻融循环的影响下,能够保持更加稳定的力学性能,避免了裂纹快速扩展和表面剥落。通过对比试验数据发现,加入纤维的透水铺装材料在抗冻融性能上明显优于未改良的材料,尤其在低温环境下,材料表现出更好的耐久性。

抗冻剂的使用也是提高透水铺装抗冻融性能的一项有效技术。抗冻剂能够通过降低材料内部水分的冰点,减少水分冻结带来的体积膨胀现象,进而减少冻融过程中产生的内部应力。通过合理配比抗冻剂,能够有效延缓水分冻结的速度,降低冻融循环对透水铺装的破坏力度。这一技术在寒冷地区应用时表现出了良好的效果,尤其是在冬季气温频繁变化的环境下,改良后的透水铺装材料能够保持较高的抗冻融稳定性,延长了其使用寿命。研究数据表明,掺入抗冻剂的透水铺装材料在抗冻融性能上相较传统材料有了显著提升,尤其是在长时间冻融循环后,材料的裂纹生成和强度衰减均表现较低。

4 改良透水铺装系统在海绵城市中的应用前景

改良透水铺装系统在海绵城市中的应用前景非常广阔,尤其是在应对城市雨水管理和防洪排涝方面展现出巨大潜力。透水铺装材料能够有效地提升雨水渗透率,减少地表径流,同时优化城市水循环系统,符合海绵城市建设的核心理念。随着对环境可持续性需求的不断增加,改良后的透水铺装系统不仅能够提高城市的水资源管理能力,还能在防治城市内涝、提升城市绿化和减少水土流失等方面发挥重要作用。通过改良技术,透水铺装的抗冻融性能得到了显著增强,尤其是在寒冷地区,材料的耐久性和稳定性大大提高,使得其在这些环境中的应用不再受限。

随着气候变化加剧,极端天气事件频繁发生,城市基础设施面临着前所未有的挑战。在这种背景下,改良透水铺装系统能够更好地适应温度波动和极端气候条件,成为海绵城市建设的关键组成部分^[7]。透

水铺装材料的增强抗冻融能力使其不仅适用于温暖气候区域,在寒冷地区也能长时间保持高效的水文调节功能。改良后的透水铺装系统能够有效减少城市热岛效应,改善城市生态环境,提升城市居民的生活质量,这为其在海绵城市中的广泛应用提供了强大的推动力。

改良透水铺装系统的推广还将带来可观的经济效益。在海绵城市建设过程中,透水铺装材料能够有效降低排水系统的建设和维护成本。通过优化城市雨水管理,减少大规模排水系统的依赖,城市在建设和维护费用方面能够获得长远的节约^[8]。改良技术的应用使透水铺装系统的使用寿命得到延长,降低了材料更换频率,进一步提高了经济效益。随着对环境友好型城市建设的关注度逐渐增加,改良透水铺装系统将成为推动海绵城市发展的重要支撑技术,具有非常广阔的应用前景。

5 结语

改良透水铺装系统在提升海绵城市建设中的抗冻融性能方面发挥了重要作用。通过优化材料配比和引入先进技术,透水铺装材料的耐用性和环境适应性得到了显著提高。这不仅有助于改善城市水管理、减少内涝,还能有效抵抗极端气候带来的破坏,确保系统在各种气候条件下的稳定运行。随着技术的不断进步和环保意识的增强,改良透水铺装系统在海绵城市中的应用前景愈加广阔,未来有望成为可持续城市发展的重要组成部分,为建设更加绿色、宜居的城市环境提供有力支持。

参考文献

- [1] 孟彦丽.基于海绵城市的透水铺装技术在市政道路工程中的应用[J].林业科技情报,2025,57(01):189-192.
- [2] 姜月.基于海绵城市理念的市政排水系统优化设计[J].工程技术研究,2025,10(02):180-182.
- [3] 全国食品直接接触材料及制品标准化技术委员会(SAC/TC 397).聚丙烯包装容器, 掺杂回收塑料初筛测试方法构建指南:GB/T 44995-2024[S].中国标准出版社,2024.
- [4] 王易乾,东野生辉.基于海绵城市理念的市政道路给排水设计分析[J].汽车周刊,2025,(01):168-170.
- [5] 王晓青.基于海绵城市理念的城市道路优化设计[J].大众标准化,2024,(22):74-76.

- [6] 宋玉阁,赵昌胜,牛志刚.废旧化学品塑料桶回收利用质量控制技术的研究与应用[J].山西化工,2024,44(08):260-261+284.
- [7] 曹嘉伟,陈东峰,白丹.数字经济下塑料物流包装引发的环境问题与对策[J].塑料助剂,2024,(04):94-98.
- [8] 梅焕明.基于海绵城市理念的校园生态建设研究[J].佛山

陶瓷,2023,33(08):60-62.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS