

冻融循环对寒区公路路基性能影响试验研究

张文慧

中晟龙泰（集团）有限公司 内蒙古自治区 兴安盟乌兰浩特 137400

【摘要】：寒区公路的路基在冻融循环作用下，会经历频繁的温度波动和水分变化，导致路基材料的性能发生显著变化。本文通过一系列冻融循环实验，研究冻融循环对寒区公路路基的物理性质、力学性能及稳定性的影响。实验结果表明，冻融循环对路基材料的抗压强度、抗剪强度及变形性能有较大影响，尤其是在冻融循环次数增加时，路基的整体稳定性显著下降。根据实验数据，提出了优化寒区公路路基设计与施工的建议，旨在提高寒区公路在冻融环境下的长期稳定性和使用寿命。

【关键词】：冻融循环；寒区公路；路基性能；试验研究；稳定性

DOI:10.12417/2811-0528.26.05.046

寒区公路路基的设计与施工面临着严峻的环境挑战，冻融循环是其中最为典型的自然因素之一。冻融过程通过改变土壤和路基材料的水分含量、温度状态，直接影响路基的结构稳定性和力学性能。尤其在寒冷地区，冻融循环频繁发生，其对路基的影响不仅仅体现在短期的物理损伤，更可能导致长期的结构性破坏。因此，深入研究冻融循环对寒区公路路基性能的影响，不仅有助于优化设计方案，还能为后期的路基维护和修复提供理论支持。本文将通过试验研究，揭示冻融循环对路基的具体影响，为寒区公路的耐久性设计提供基础数据和实践指导。

1 冻融循环对寒区公路路基物理性质的影响

冻融循环在寒区公路路基的物理性质方面产生了显著的影响，特别是对路基材料的水分含量、密实度和孔隙结构等方面的变化造成了影响。冻融过程导致水分在路基材料中的周期性冻结与融化，使得材料内部发生膨胀与收缩，进而改变了其微观结构。在冻融循环作用下，土壤或岩石的孔隙结构发生变化，孔隙率增加，土颗粒之间的联系受到破坏，导致材料的透水性和疏松度上升。这种变化不仅影响了路基的抗水渗透性，还降低了材料的密实度，增加了水分在路基中的滞留时间，进一步加剧了冻融对路基的破坏。

随着冻融循环次数的增加，路基材料中的水分分布不均，冻结水的体积膨胀对颗粒间的结合力产生了严重影响。这种物理性质的变化使得路基的稳定性大幅下降，特别是在高频冻融循环下，路基材料的抗冻性和抗压强度显著减弱^[1]。冻融循环还导致路基的颗粒分布发生变化，小颗粒的流失使得土体的结构更加松散，进一步影响路基的整体稳定性和耐久性。对于高水分含量的路基材料，冻融循环的影响尤为明显，因为水的结冰膨胀容易导致材料出现裂缝、裂纹，甚至发生粉化现象。

冻融作用还促使路基表层的土壤颗粒在冻融交替过程中发生剥离和侵蚀，尤其在冻融循环较为频繁的区域，土体的物

理性质变化更加显著，导致路基的表面强度降低。在寒区公路的施工过程中，冻融循环的影响往往需要特别重视，特别是在选择路基材料时，需要确保其具备较强的抗冻性和良好的水分管理能力。这些物理性质的变化直接影响路基的使用寿命和维护成本，进而决定了公路长期稳定运行的可行性。

2 冻融循环对寒区公路路基力学性能的影响

冻融循环对寒区公路路基的力学性能具有重要影响，尤其在长期冻融作用下，路基材料的强度、韧性和变形特性会显著发生变化。冻融过程中，水分的冻结与融化使得路基材料反复经历体积变化，导致材料内部的微裂缝逐渐扩大。随着冻融次数的增多，路基的抗压强度和抗剪强度会逐步降低，这一过程是由于水在冻结时膨胀，导致材料颗粒间的结合力被削弱，进而影响其整体力学性能。冻融循环还加剧了材料的脆性。在频繁的冻融作用下，原本具有一定塑性的路基材料可能变得更加脆弱，容易在外部荷载作用下发生断裂或粉化，尤其是在高含水量或颗粒较细的路基材料中尤为明显^[2]。随着冻融次数的不断增加，材料的抗拉强度和延展性逐步下降，导致路基在遭受外部荷载时，发生塑性变形的能力减弱，容易发生表面龟裂和沉降现象。

冻融作用对路基的变形性能也有显著影响。冻融周期会导致路基在冻胀和融缩过程中反复受力，从而使材料的弹性模量和剪切模量显著降低。路基在冻融循环下的变形能力受损，容易导致路基不均匀沉降，产生裂缝和塌陷。冻融过程中的温度变化和水分交换加速了材料的力学性能劣化，使得冻融作用下的路基不再具备良好的承载能力和稳定性，增加了后期维护和修复的难度。冻融循环还改变了路基的应力分布。在反复冻融过程中，水分迁移使得路基的不同区域承受不同的应力，导致局部应力集中，进一步加剧了路基的破坏。冻融作用频繁发生的区域，特别是冻融强度较高的区域，其力学性能退化较为明显，可能导致路基的整体承载能力和稳定性大幅下降。

3 优化寒区公路路基设计的策略与建议

优化寒区公路路基设计的关键在于提高路基对冻融循环的适应性,从而增强其稳定性和耐久性。在路基设计中,选择合适的材料至关重要。针对冻融作用,材料的抗冻性、透水性以及密实性需要优先考虑。采用具有较强抗冻性、低水吸收性和较好透水性的土壤或碎石材料,有助于减少冻融过程中的体积变化和结构破坏。低膨胀性的粘土或冻融性较好的碎石作为基础材料,可以有效减少冻融引起的损害。在路基设计时,还应考虑合适的路基厚度和结构层次。路基厚度过薄容易导致温度波动较大,而过厚则可能增加材料的压力,合理设计路基层次,确保厚度适中且具备足够的稳定性,能够有效减缓冻融作用的影响。优化路基结构时,应结合具体气候条件和冻融循环频率,选用具有抗冻膨胀能力的材料并合理配置不同粒径的骨料,使得各层路基材料的物理性质和力学性能能够相互配合,以提高整体结构的稳定性。

对于水文条件的控制,也是寒区公路路基设计中不可忽视的部分。水分的迁移在冻融过程中起着至关重要的作用。在设计阶段,需要对水文条件进行详细分析,并采取有效的排水措施,以避免水分滞留在路基内部。增加排水层的设计、设置渗水管道或设置防水屏障等手段,都有助于减少水分进入路基材料内部,从而降低冻融作用带来的影响。同时,做好路基表层的防护,防止表面水分过多渗透到内部,也能有效防止冻融引起的损害^[1]。设计阶段应注重路基温度控制。在寒区环境下,温度是影响冻融循环发生的主要因素。可以通过设置保温层或

采用温度调控材料,控制路基的温度波动幅度,从而有效减少冻融循环的次数和强度。设置土工合成材料或保温板来控制路基表面的温度变化,能够显著减少路基受冻融循环影响的程度。

路基施工工艺的合理选择也是优化设计的重要环节。施工过程中,要确保材料的密实性和均匀性,避免施工过程中引入过多的裂缝或不均匀分布的材料。压实过程应严格按照设计要求进行,确保每一层土壤或碎石的密实度达到标准,从而提高路基材料的抗冻性和抗压强度。合理的施工工艺和先进的技术手段能够有效保证路基结构的长期稳定性。优化寒区公路路基设计需要从多个方面入手,结合材料选择、结构设计、水文控制以及施工技术,综合提高路基的抗冻性和稳定性,最大限度地减少冻融循环对路基性能的影响。通过科学合理地设计和施工,寒区公路路基的长期耐久性和承载能力能够得到显著提升。

4 结语

冻融循环对寒区公路路基的影响显著,通过对冻融循环作用下路基物理和力学性能的深入研究,可以为寒区公路设计、施工和维护提供理论依据。优化路基设计、选用抗冻性强的材料、控制水文条件以及采用合理的施工工艺,能够显著提高路基的稳定性和耐久性,降低冻融循环带来的破坏性影响。综合考虑各方面因素,有助于确保寒区公路的长期使用寿命和良好的行车性能,推动寒区公路建设的可持续发展。

参考文献:

- [1] 隆腾飞.新疆高寒山区公路边坡安全风险评估方法研究[D].重庆交通大学,2025.
- [2] 李续靖.寒区泡沫轻质土路基的动静力学试验研究[D].河北建筑工程学院,2025.
- [3] 崔洪涛.寒区真实服役环境下混凝土梁桥结构性能退化规律研究[D].哈尔滨工业大学,2024.