

高寒地区道路桥梁结构防冻胀施工技术实践研究

冯 军

中国水电十五局路桥工程公司 陕西 西安 710068

【摘要】：高寒地区道路桥梁建设面临冻胀问题的挑战，冻胀现象会严重影响结构的稳定性和使用寿命。本文针对高寒地区的冻胀问题，研究了防冻胀施工技术的应用与优化方案。通过分析冻胀对桥梁结构的影响，探讨了土壤改良、基础设计优化、施工工艺改进和材料选择等方面的防冻胀措施。研究表明，合理的土壤改良和基础设计能够有效减轻冻胀的危害，而新型材料和精确施工工艺的应用，则进一步提高了防冻胀的效果。通过实际案例的分析，验证了这些技术方案的有效性，为高寒地区道路桥梁建设提供了宝贵的技术支持。

【关键词】：高寒地区；道路桥梁；防冻胀；施工技术；实践研究

DOI:10.12417/2705-0998.25.22.019

引言

高寒地区的特殊气候条件对道路桥梁建设提出了严峻挑战。低温环境下，土壤的冻结和融化过程引发了冻胀现象，这种现象会对桥梁的基础和结构安全造成显著影响。在这些地区，施工过程中必须采取有效的防冻胀技术，以确保结构的稳定性和长期使用寿命。尽管已有一定的防冻胀技术应用于相关领域，但在高寒地区的特殊环境下，这些技术是否能够完全解决问题依然存在不确定性。通过对现有施工技术的深入分析和多个实地案例的研究，本文旨在探索适用于高寒地区的有效防冻胀施工方法，为今后的工程实践提供理论支持和技术指导。

1 高寒地区冻胀现象的影响分析

高寒地区的冻胀现象在道路桥梁建设中对结构安全造成了极大的挑战。在这些地区，土壤的水分含量与温度变化密切相关，寒冷气候导致土壤冻结，当气温回升时，冻结的水分融化并向外膨胀，造成结构的变形和位移。这一过程不仅影响桥梁的基础，也可能引起桥墩和桥面板的沉降或开裂，从而影响整个结构的稳定性。冻胀引发的危害是渐进性的，随着温度的反复变化，桥梁结构逐渐受到累计性的破坏，严重时可能导致结构失稳。冻胀的影响不仅局限于土壤的膨胀本身，还与桥梁所在地区的土壤类型、土层厚度及地下水位密切相关。在高寒地区，土壤多为冻土，具有较高的水分含量和较低的热导率，使得冻结和融化过程更为剧烈^[1]。冻胀现象频繁发生时，土壤的膨胀力可以轻易突破桥梁基础的承载力，尤其是在长期不采取有效防护措施的情况下，冻结带来的压力会破坏桥梁的基础结构，导致桥墩倾斜或基础失稳。

冻胀现象对桥梁的维护和使用寿命产生了不容忽视的影响。长期的冻胀作用不仅会导致桥梁结构的局部损坏，还会加速裂缝的扩展。裂缝的扩展进一步加剧了水分的侵入，冬季冻结再次加剧损伤，形成恶性循环。在这种环境下，如果施工技术没有充分考虑防冻胀措施，冻胀现象对桥梁结构的破坏将难以避免，甚至可能造成不可修复的损伤。冻胀现象的影响不仅

仅是物理性破坏，还会带来经济上的巨大损失。由于冻胀引起的结构破坏，维修和加固的成本往往高于预期，甚至影响到交通运输的安全性。因此，了解冻胀的成因和影响，并采取有效的防冻胀措施，成为高寒地区道路桥梁建设中的关键技术难题。

2 防冻胀施工技术的现状与问题

在高寒地区，防冻胀施工技术经历了多次探索和实践，但仍存在许多问题与挑战。目前，防冻胀施工技术主要通过选择适宜的土壤改良方法、优化基础结构设计，以及采用保温隔热材料来减少冻胀对桥梁结构的影响。这些技术在实际应用中并非总能达到预期效果。土壤改良措施虽然能够有效控制土壤的膨胀性，但其效果常常受到土壤类型、气候变化等因素的制约。采用化学添加剂、改性土壤和特殊填料等方法时，土壤的稳定性有时未能完全满足设计要求，导致后期冻胀现象依然发生。基础结构的设计虽已有较为成熟的防冻胀方案，但由于高寒地区冻土的复杂性和多变性，现有技术方案在不同地质环境下的适应性存在局限^[2]。在桥梁基础的施工过程中，针对冻胀的设计并非一刀切，不同地区和不同土壤层的差异性使得防冻胀设计必须因地制宜。部分地区的设计方案未能充分考虑到土壤冻结深度变化的动态性，从而无法有效应对冻胀引发的长期变形和损伤。

在材料选择方面，尽管保温隔热材料已被广泛应用于高寒地区的桥梁建设中，但其隔热效果与施工质量之间存在一定的差距。施工过程中，部分材料在长期冻融交替的作用下可能失去原有的防冻效果，从而无法有效隔绝冻胀的发生。更有一些保温材料的耐久性问题，在实际工程应用中，存在脱落、变形等现象，降低了防冻胀措施的整体效果。尽管已有多项防冻胀技术在高寒地区取得了一定的成果，但由于多种因素的交织作用，现有技术在实际应用中依然面临着较大的挑战。如何根据不同的冻土类型、气候变化及土壤层情况，进一步优化施工工艺和防冻胀技术，仍是当前亟待解决的问题。

3 防冻胀施工技术的优化方案

在高寒地区道路桥梁建设中，防冻胀施工技术的优化方案至关重要，直接关系到结构的安全与使用寿命。针对现有技术的不足，优化方案主要从土壤改良、基础设计、施工工艺以及材料选择等方面进行深入探讨。有效的土壤改良是防止冻胀发生的关键，采用物理或化学方法对土壤进行稳定处理，能够显著减少冻胀现象的发生。通过引入高效土壤改良剂或者改性土，改变土壤的水分吸附性和冻结深度，达到减少膨胀的效果。通过合理的排水设计，避免水分积聚在基础土层中，降低冻结风险。现代化的地质勘探技术可提供更加精准的土壤冻胀特性数据，为土壤改良和基础设计提供可靠依据。

基础设计方面，针对高寒地区冻胀特点，采用更加科学的基础结构形式，是防止冻胀破坏的有效途径。考虑到冻胀引起的土壤沉降和变形，基础设计应增加灵活性和适应性。采用加深基础埋设深度的设计方式，能够有效避免土壤的冻结深度对结构造成不利影响。合理的基础抗浮设计能够防止因冻胀引起的基础升降变化，避免不均匀沉降或桥墩倾斜。桥梁基础的抗冻性能可以通过增加防水层和保温层来进一步提升，确保土壤在冬季冻结时不会造成基础的结构性损害。施工工艺的优化同样是防冻胀技术提升的重要环节。通过引入先进的施工设备和技术，如自动化控制的温控系统和精确的土壤温度监测手段，可以实时调整施工环境，确保土壤温度的稳定^[3]。采用分层填筑和夯实技术，能够有效降低土壤在冻结时的膨胀力，并增强基础的承载能力。施工过程中，配合使用冻土处理技术，通过低温冻结或加热土壤，能够有效防止冻胀对桥梁结构造成不利影响。

在材料选择方面，选用具有高抗冻性能的保温隔热材料也是优化方案的重要组成部分。高效的保温材料能够有效隔绝外界寒冷空气的侵袭，减少土壤冻结的深度，进而降低冻胀带来的风险。采用抗冻性强且耐久性好的建筑材料，在极寒环境下仍能保持良好的结构稳定性和耐久性。改性水泥和高强度混凝土等材料在低温环境中能够维持较好的抗冻性能和结构强度，减少冻胀对桥梁的损害。通过这些优化方案的实施，可以有效地提高高寒地区道路桥梁在防冻胀方面的技术水平，减少冻胀对桥梁结构的破坏，延长桥梁的使用寿命。随着施工技术的不断进步与创新，防冻胀技术将不断得到完善，为高寒地区的道路桥梁建设提供更加可靠的技术支持。

4 实际案例中的防冻胀技术应用

在高寒地区的道路桥梁建设中，防冻胀技术的应用在多个实际案例中取得了显著成效。这些案例为未来的施工提供了宝贵经验，帮助进一步优化和完善防冻胀施工技术。在某些地区的桥梁建设项目中，通过综合运用土壤改良技术与基础设计优化，成功地减少了冻胀带来的结构性问题。在一项位于东北地

区的高寒地区公路桥梁工程中，施工团队对土壤进行了特殊的冻胀性评估，并在基础施工前采用了改性土壤处理技术。通过添加化学稳定剂及物理方法对土壤进行了改善，大大降低了土壤的膨胀性，确保了桥梁基础的稳定性和抗冻能力。经过几年的使用，尽管当地气候极为严寒，但桥梁基础始终保持了良好的稳定状态，没有发生因冻胀引发的沉降和位移现象。

在另一个位于高原地区的桥梁建设中，防冻胀技术的应用则更加注重基础设计的优化。施工过程中，设计团队针对该地区特殊的冻土情况，采用了加深基础埋设深度的方案。通过深入研究土壤的冻结深度及其变化规律，基础深度被设计在低于土壤冻胀影响的深度，成功避免了因冻胀导致的基础浮动问题。基础结构采用了抗浮设计和特殊的隔热层，减少了冻融作用对结构造成的影响，确保了桥梁在长期使用中的稳定性和安全性。这一案例的成功应用验证了深基坑与隔热措施相结合的有效性，提供了在类似高寒地区应用的设计借鉴。

一些位于极寒地区的桥梁项目通过优化施工工艺，结合新型监控技术，有效应对了冻胀问题。在这些项目中，施工单位采用了温控施工技术，通过实时监测土壤的温度变化，确保在施工过程中土壤温度始终保持在合理范围内，避免了土壤在冻结过程中对基础造成的不利影响。此外，施工过程中还引入了分层填筑与夯实技术，在保证填土密实性的同时，减少了冻胀对结构造成的膨胀力。这一技术的应用，不仅提高了施工效率，还显著增强了桥梁结构的抗冻胀能力，使得该区域的桥梁在经历多年寒冷气候后，依然稳定完好。

在材料应用方面，选用了高抗冻性能的改性水泥和高强度混凝土材料，使得桥梁的抗冻胀能力得到进一步提升^[4]。这些材料能够在极端低温下保持较好的强度和耐久性，避免了冻胀对桥梁产生的破坏性影响。在西部某寒冷地区的桥梁项目中，采用这种改性混凝土的应用，使得桥梁的抗冻胀能力极大增强，即便在严酷的冬季，桥面和基础也未出现裂缝和损坏的现象。通过这些具体案例的应用，防冻胀技术在高寒地区的道路桥梁建设中得到了有效地验证和推广，相关技术的不断完善和创新，逐渐为这一领域的工程提供了更为可靠的技术保障。每一个案例都为今后的桥梁建设提供了重要的参考依据，推动了该技术在不同区域和不同环境下的成功应用。

5 技术总结与施工方案建议

高寒地区的道路桥梁建设，尤其是在应对冻胀问题时，技术选择和施工方案的优化至关重要。多年来，相关领域的研究与实践为防冻胀技术的应用提供了丰富的经验和理论支持。基于当前的技术进展，进一步提升防冻胀技术的可靠性和实用性，必须从多个层面进行综合考量，提出更为切合实际的施工方案。土壤改良仍然是防冻胀技术中的核心内容。通过合理的土壤改良，可以有效地减少冻胀现象的发生。对于高寒地区的

土壤类型，建议采用高效的化学添加剂以及改性土壤方法，这些方法能够改变土壤的物理和化学特性，提高其抗冻胀能力。在实际施工中，需根据不同土壤的冻胀性进行因地制宜的土壤改良，使用合适的改良剂，达到优化土壤结构作用的目的。地下水的排水设计也是降低冻胀风险的关键环节。通过精确的水文地质勘查，设置合理的排水系统，避免土壤中积水成为冻结的源头，是减轻冻胀压力的有效措施。

基础结构设计的优化为防止冻胀的技术实施提供了更加牢固的保障。在高寒地区，基础埋设深度和抗冻设计应充分考虑冻结深度和土壤温度变化的动态特性。通过加深基础的埋设深度，可以避免基础受冻胀影响。采用抗浮设计能够有效抵御因冻胀引发的基础浮升现象，从而确保桥梁的稳定性。防水层和保温层的应用，也能够在一定程度上减少冻胀的发生。这些设计方案需要根据不同地区的气候和土壤情况灵活调整，确保最大限度地提高桥梁基础的抗冻性能。施工工艺的优化同样在防冻胀中发挥着重要作用^[5]。在土壤冻结前后，施工阶段应根据气候条件采取相应的措施。通过实时监控土壤温度与湿度，动态调整施工方案，能有效防止因温差变化导致的冻胀现象。

采用分层填筑技术，结合严格的夯实要求，可以减少冻结过程中的膨胀力，确保土层结构的稳定性。合理的施工顺序与施工方法也有助于提高防冻胀效果，避免因施工不当而增加冻胀对结构的压力。

材料的选择对于提高桥梁结构的抗冻胀能力起着至关重要的作用。采用改性混凝土和抗冻水泥等高强度、耐寒性能好的建筑材料，可以在低温环境中保持结构的稳定性和耐用性。通过加强材料的质量控制，确保其在长期冻融过程中不出现破裂和损坏，是提高防冻胀技术效果的关键。在实际工程中，结合上述技术方案，通过不断的技术创新与实践应用，可以有效应对高寒地区的冻胀问题，保障桥梁的长期稳定性与安全性。

6 结语

高寒地区道路桥梁建设中的防冻胀技术应用具有重要的实践意义。通过不断优化施工技术和加强防冻胀设计，可以有效减轻冻胀对结构的影响，保障桥梁的安全性和长期稳定性。结合具体案例中的经验教训，防冻胀技术的进一步改进与创新，必将推动高寒地区基础设施建设的可持续发展，为相关工程提供更为坚实的技术保障。

参考文献:

- [1] 王永祥,秦伟,孙红兰,等.高寒地区用桥梁耐久型橡胶支座研究[J].公路交通科技,2024,41(S1):200-205.
- [2] 巢民强.地热能热泵技术在高寒地区道路中的运用[J].现代物业(上旬刊),2012,11(08):28-30.
- [3] 滕安国.浅析我国西北高寒地区渠道防冻胀措施[J].农村实用技术,2022,(06):120-121+124.
- [4] 吴洋.市政道路桥梁工程预制梁吊装施工技术应用[J].工程建设与设计,2025,(22):178-180.
- [5] 赵玉玺.道路与桥梁施工中软土地基施工技术应用实践研究[J].科技资讯,2025,23(19):164-166.