

Prevention and Treatment of Frozen Damage of Railway Line in Seasonal Frozen Soil Area

Guohua Ji

Engineering Technology Department of Guoneng Shuohuang Railway Company, Beijing, 100000, China

Abstract

This paper systematically examines the concept, causes, prevention, and remediation methods of railway line frost damage in seasonal frozen soil regions. By analyzing both natural and human-induced factors contributing to frost damage, and through a case study of the Shenchinan Station on the Guoneng Shuohuang Railway in a typical seasonal frozen soil area, the paper details the implementation of drainage methods, replacement and thermal insulation techniques, and salt injection methods at the station. It emphasizes the need to enhance design and construction quality by conducting thorough surveys and detailed planning during the engineering phase, fully considering variations in temperature, soil composition, and moisture content. Through comprehensive analysis of frost damage causes, targeted and meticulous preventive measures are formulated to achieve optimal results. The study provides valuable references for frost damage prevention in railway technical stations and explores the application of new technologies and materials in frost damage control.

Keywords

frost damage; seasonal frozen soil area; frost damage slope; drainage method; replacement and insulation method; salt injection method; strengthening design and construction quality; prevention and remediation effect.

季节性冻土区铁路线路冻害的预防与整治

冀国华

国能朔黄铁路公司工程技术部, 中国 · 北京 100000

摘 要

本文系统阐述了季节性冻土区铁路线路冻害的概念、成因、预防及整治方法。通过分析自然环境因素和人为因素导致的冻害成因, 结合国能朔黄铁路神池南站典型季节性冻土区典型案例, 通过对排水法、换填+隔温法、注盐法在神池南站的具体的工程实施和整治情况, 提出了加强设计与施工质量, 在工程设计阶段进行详细的勘察和设计, 充分考虑温度、土、含水情况等的差异, 综合分析、研判冻害的成因, 制定有针对性而细致的冻害预防整治措施, 从而达到理想的预防及整治效果, 为铁路技术站冻害的防治工作提供有益的参考, 并展望了新技术、新材料在冻害防治中的应用。

关键词

冻害; 季节性冻土区; 冻害顺坡; 排水法; 换填+隔温法; 注盐法; 加强设计与施工质量; 预防及整治效果

1 引言

铁路线路冻害是指土壤中的水分在低温条件下结冰膨胀, 导致土壤体积增大, 进而对铁路线路基础造成挤压和抬升, 导致铁路线路及其附属设施出现冻结、膨胀、变形等病害, 进而影响轨道几何尺寸稳定性和行车安全的现象。

季节性冻土指地表冬季冻结而在夏季又全部融化的土, 我国季节性冻土面积大约 513.7 万平方公里, 占国土面积 53.5%, 季节性冻土区铁路线路路基的冻结与消融可能导致上部的线路轨道、道岔等关键设施出现变形, 严重影响列车运行的平稳性和安全性, 是冬季铁路维护的重点防治对象。

因此, 针对冻害的成因进行深入分析, 并采取有效的整治措施, 对于确保铁路运输的顺畅和安全具有重要意义。

2 季节性冻土区铁路线路冻害成因分析

铁路线路冻害成因复杂多样, 主要包括气候条件、地质条件、水文条件等自然环境因素, 工程设计及施工、设备维修保养等设备管理因素。

2.1 自然环境因素

气候条件和地质条件是铁路冻害形成的重要因素。为了有效整治铁路冻害, 必须充分考虑这些自然环境因素的影响, 采取针对性的措施来改善土壤环境、增强轨道结构的抗冻性能, 从而确保铁路运输的安全和稳定。

气候条件方面, 季节性冻土区的冬季气温低且持续时间长, 导致土壤中的水分结冰, 体积膨胀, 从而对铁路路基

【作者简介】冀国华 (1982-), 男, 中国山西原平人, 本科, 工程师, 从事铁路工程研究。

和轨道结构产生冻胀力。这种冻胀力会破坏路基的稳定性，引发轨道几何尺寸的变化，严重时甚至会导致轨道断裂，影响列车的安全运行；

地质条件方面，土壤的类型、透水性、导热性、含水量、地下水位以及排水性能等特性各异，直接影响着土壤冻胀的敏感性和程度均会影响冻害的发生。例如，在黏性土壤地区，由于土壤颗粒细小、透水性差，细粒土由于毛细作用强，水分迁移量大，水分易于积聚，因此冻胀现象往往更为严重。而在砂性土壤地区，由于土壤颗粒较粗、透水性好，水分不易积聚，冻胀现象相对较轻。此外，地质构造如断层、裂隙等也可能为水分的迁移提供通道，从而加剧冻害的发生。

2.2 设备管理因素

工程设计及施工因素和设备维修是设备管理因素主要的方面。为了有效预防和整治铁路技术站的冻害问题，我们必须从设备管理因素入手，加强工程设计及施工的质量控制，确保设施设备的合理性和安全性。同时，也要加大设备维修的投入力度，提高维护保养的水平 and 效率，确保设施设备始终处于良好的运行状态，保障铁路运输的安全和畅通。

首先，工程设计是导致冻害的重要原因之一。在季节性冻土区的设计和施工过程中，如果存在对地质、气候等自然条件考虑不周，排水系统设计不合理、路基结构设计不当以及缺乏针对寒冷地区特点的专门设计等工程设计缺陷，就在设备管理源头埋下了隐患。因此，在工程设计阶段，必须充分考虑寒冷地区的气候特点，采用科学合理的设计方法，以确保季节性冻土区铁路工程在极端气候条件下的稳定性和安全性。

其次，施工质量问题也是引发铁路冻害的一个重要因素。施工过程中对材料选择、施工工艺及施工质量控制等方面的疏忽，为冻害的发生埋下了隐患。如：地基处理不当，排水系统坡度控制等隐蔽工程卡控不严格，水分易于在地基中积聚并结冰，从而产生冻胀现象。因此，必须严格执行施工规范和质量标准，加强施工过程的监督和管理，确保每一个施工环节都符合质量要求，从而有效降低冻害发生的概率。

最后，设备维修不科学也是导致冻害的一个关键因素。设备的维护保养方法及理念至关重要。冻害的整治需秉承“冬病夏治”的理念，合理安排线路清筛等解决道床排水的施工，机械化捣固时根据冻害标记进行提前预垫板，从而提升线路设备抵御冻害的能力。特别是在极端寒冷天气下，缺乏有效维护保养的设施设备更容易受到冻害的侵袭，甚至可能引发严重的安全事故。

3 国能朔黄铁路神池南站铁路线路冻害情况及应急整修方式

国能朔黄铁路神池南站是国家能源集团的一级技术作业站，承担煤炭运输的编组、技检、换挂等核心作业，是中国西煤东运大通道的关键节点。神池南站位于山西省忻州市神池县，地处晋西北黄土高原，平均海拔约 1500 米，属

温带大陆性季风气候，冬季平均气温低于 -10°C ，极端最低气温可达 -30°C 以下，属于典型的季节冻土区，冻结期为每年 11 月到次年 3 月中旬，神池南站路基填料多为低液限粉质粘土。站场路基出现冻胀、翻浆、融沉等病害数量较多。经统计，神池南站 2024 至 2025 年冬季期间的冻害数量达到 46 处，最大变形量达 30mm。每年冻害上涨和春融回落期间线路质量不稳定，分散多发的冻害与春融期的不均匀沉降呈周期性的变化对铁路运输安全和效率构成严重威胁。

3.1 神池南站冻害监测、监测情况

图 1 为 2024 至 2025 年神池南站气温、冻胀变形和冻深变化监测结果。冻害的发展阶段：从 11 月初到 12 月底，冻胀变形量呈现直线快速上升的趋势，在第二年 1 月初到 2 月末保持稳定。3 月初变形量又出现波动上升的趋势，此时冻胀变形量达到最大，其后随着融化趋于稳定，变形值迅速减小后逐步消失。铁路冻结期轨道变形一般可分为初始波动、快速冻胀、稳定冻胀、冻融循环和春融回落 5 个阶段。快速冻胀阶段和春融回落阶段历时均为 15-20 天，这两个阶段变形大发展迅速，是线路维护的重难点阶段。

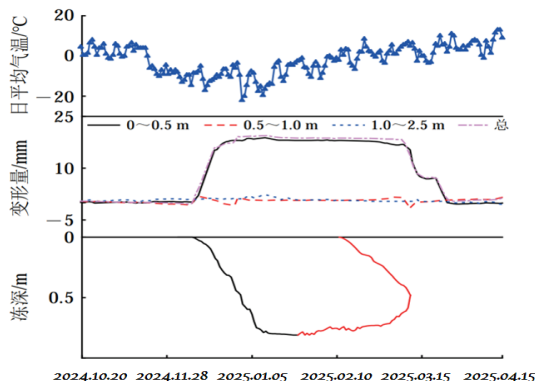


图 1 山西省忻州市神池县朔黄铁路段冻害监测结果

3.2 神池南站冻害垫板应急整修作业

目前神池南站冻害应急整修的方式为冻害垫板作业，主要对冻害冻起及回落地段前后进行顺坡、顺撬，恢复线路几何尺寸，满足正常通行列车的条件，主要程序为：

一是确认标准股：冻害上涨时，直线上先垫冻起高度较高一股钢轨，然后根据此股，按照水平和轨距把另一股钢轨垫好、改好道，曲线上先垫外股，后垫里股，以防造成超高不够或反超高；冻害回落时，直线上先撤较少的一股，曲线上则必须先撤下股，以免影响行车安全。

二是根据历年冻害发生情况，对冻害较严重处所，进行夏季预垫板，冬季撤板的方法整治，使用调高扣件时，垫板厚度可达 20mm；道床冻结后，根据冻起高度撤出调高垫板。

三是针对冻起高度不超过 15 mm 地段，可用调高垫板整修，每处调高垫板不得超过 2 块，总厚度不得超过 15mm。使用大调量扣件，每处调高垫板不得超过 3 块，总厚度不得超过 25mm。

四是针对冻起高度达到 15-30mm 地段，在冻害的冻起

最高点撤下原来 10mm 厚的轨下胶垫, 换上 3-7mm 厚的调高胶垫, 两端顺坡之间应有不小于 10m 的过渡段, 其坡度应与线路坡度一致, 垫板厚度超过 20mm 时, 每隔四根轨枕使用轨距杆加强。

五是针对冻起高度超过 30mm 以上时, 应每隔 1 根轨枕穿入 1 根木枕, 垫板顺坡完成后按外二里一打入道钉, 并每隔 1 根轨枕使用轨距杆加强。

六是在线路上垫入或撤出冻害垫板, 在正线、到发线上顺坡长度, 不少于冻起高度的 600 倍, 其他站线最低不少于 400 倍。冻起高度超过 20mm 时, 两端顺坡之间应有不小于 10m 的过渡段, 其坡度应与线路坡度一致。辙叉及转辙部分不得有边坡点。

4 国能朔黄铁路神池南站铁路线路冻害预防及整治措施

在季节性冻土区处理冻胀应从影响土体冻胀的土质、水分、温度三大要素出发一般采取机械法(土体强夯、粗颗粒换填等措施)、热物理法(土体疏干、铺设绝热层、热交换等)、物理化学法(添加无机化合物改变离子成分、憎水物、电化学处理等)。国能朔黄铁路神池南站在铁路线路冻害预防及整治方面, 采取了排水法、换填+隔温法、注盐法等措施。

4.1 排水法整治线路冻害

排水法主要针对神池南站股道众多、站场中间股道排水不良的 I、II 场东咽喉区以及东岔区下行正线路堑地段两侧山体排水不良等处所。采取了一下措施:

一是进行线路机械清筛, 确保石砟清洁、排水坡合理, 改善道床基面表层排水, 解决道床连续不均匀冻胀问题。同时进行削平路肩、清理排水沟及截水沟, 疏通整体排水系统。

二是在路堑段线路外侧原有水沟下修渗水井和渗水盲沟等引排水设施并从路肩侧面修建横向排水孔, 保证基床底层的积水顺利排出。减少地表水对本体冻胀的影响。

图 2 排水法主要解决了神池南站地下水丰富东咽喉路堑区域冻害, 通过疏通排水, 减少道床缝隙间的含水量, 该地段冻害高度从最大值 37mm 降低至 10mm, 起到减缓冻害发生的目的。

4.2 换填法 + 隔温法整治线路冻害

采取“路基换填+隔温”目的是换除路基土体中的不均匀土质或改良土的性质, 以消除和减少路基土体的冻胀。道床采取隔温工程措施后, 部分冻胀土脱离冻结层, 从而减少路基土体的冻胀, 主要采取措施是铺设 EPS 保温板。

在神池南站 1# 道岔、II 场股道口前后车径路道岔主要采取了“路基换填+铺设保温层+铺设排水管”主要用于解决由于非渗水性土质路基渗水性差, 道床与路基间积水凝结形成的冻害。施工顺序为: 预备补充石砟→开挖病害整治线路段落(挖至枕木下方 60cm)→铺设中粗砂保护层(5cm)并形成路拱→铺设 EPS 保温层(5cm)→铺设防水层(两布一膜)→开挖断面单侧(或两侧)安装 PE 双壁渗水波纹管(裹透土工布)→铺设中粗砂保护层(10cm)→回填干净石砟→线路养护→线路开通。

对重车场道口前后进行了换填综合整治, 效果明显,

该地段冻害高度从最大值 39mm 降低至 12mm, 起到减缓冻害发生的目的。

4.3 注盐法整治线路冻害

冻害垫板顺坡通过扣件调节轨道高程以消除冻胀变形的影响也是一种解决方法, 但目前常规的有砟轨道扣件调高量为 10mm-20mm 且不能调低, 尤其在道岔处所的冻害, 调节量远小于冻胀变形量。既有的扣件调节量无法满足要求且调节时间较长。因此, 采用注盐法特别适用于道岔区的冻害整治, 溶于水中的盐类能使水溶液的冰点低于淡水, 而且浓度越大, 冰点越低, 在道床中注盐可以起到减轻冻害的作用。

神池南站在 2023 至 2025 年利用小型机械清筛道岔契机, 对 2063# 道岔、2071#、2099# 道岔尖轨中部、辙叉部位存在冻害处所采取撒防冻液, 线路道床掺入适量的盐分后溶液的冰点下降, 导致土体中冻结温度发生了改变, 且随着氯化钠的掺入, 含水率最大值所出现的位置也发生了改变。冻害高度从最大值 35mm 降低至 15mm。

5 结语

综上所述, 季节性冻土区在工程设计阶段应进行详细的勘察和设计, 结合现场设备具体情况, 充分考虑温度、土、含水情况等的差异, 采取有效的防冻胀设计措施。在重点冻害处所, 综合分析、研判冻害的成因, 科学采取防排水、路基填料换填+隔温法、注盐法等工程措施, 制定有针对性而细致的冻害预防整治实施方案, 达到理想的预防及整治效果。经过神池南站冻害整治的实际效果评估表明, 这些措施有效减轻了冻害对神池南站的影响, 验证了整治措施的有效性和实用性, 为冻害的防治工作提供了有益的参考。展望未来, 随着科技的不断进步和新型耐冻材料的研发应用, 冻害的预防与整治将迎来更多的解决方案, 为铁路运输的安全和顺畅提供坚实保障。

参考文献

- [1] 兰新铁路西段路基冻害特征分析及整治技术研究 兰州理工大学, 2022年第01期
- [2] 准池铁路路基病害整治技术研究 石家庄铁道大学, 2023年6月
- [3] 季节冻土区铁路路基主动温度控制措施的冻害整治效果研究 石家庄铁道大学, 2025年6月
- [4] 浅谈利用渗水盲沟结合新型调高混凝土深槽枕综合整治路基冻害的方法 哈尔滨铁道科技, 2025 (03)
- [5] 丹大铁路路基冻害原因分析及整治对策 铁道建筑 2019(09):59
- [6] 寒区路基冻害数据分析及整治方案 哈尔滨铁道科技 2018 (02)
- [7] 谈大秦线冻害的预防与整治 山西建筑 2017 ,43 (13)
- [8] 滨绥线哈牡段路基冻胀特点及其应对措施研究 中国铁道科学研究院, 2016年第12期
- [9] 寒区重载铁路路基冻害变形限值研究 石家庄铁道大学, 2021年第04期
- [10] 准池铁路人工供热路基的冻胀控制效果研究 地下空间与工程学报, 2023 ,19
- [11] 季节性冻土区铁路路基冻害研究现状 中国铁路 2022 (03)