

浅谈轨道检查车检测数据在线路冻害期的分析与利用

薛安镇

国能新朔铁路有限责任公司通信技术分公司 内蒙古 鄂尔多斯 010399

摘要：本文基于2024-2025年度冻害期轨道检查车检测数据，对正线73处冻害地段的轨道几何尺寸数据进行深入分析。研究发现，轨道质量指数（TQI）值变化与冻害严重程度紧密相关，在冻害高发期TQI值显著上升，不同类型冻害、特殊地段对TQI值影响各异。通过对检测数据的分析，总结冻害发生、发展规律，为线路冻害防治和养护维修提供科学依据，提出优化冻害整治策略、加强关键区域维护等建议，旨在提升铁路线路在冻害期的安全性和稳定性，保障铁路运输的高效运行。

关键词：轨道检查车；检测数据；线路冻害；TQI值；分析利用

引言：根据我国铁路运输网络在发展中面临线路冻害问题，特别是在寒冷地区，冬季气温骤降导致路基、道床易发生冻胀变形，影响轨道几何尺寸，威胁列车运行安全。轨道检查车作为关键检测工具，能精准采集轨道数据。本研究目的在于通过分析2024-2025年度冻害期轨道检查车数据，揭示轨道几何尺寸变化与线路冻害内在联系，总结冻害规律。这有助于铁路养护部门准确判断冻害影响，优化整治策略，提高养护维修效率，提升铁路运输服务质量与效率，具有重要现实意义。

1 轨道检查车检测数据概述

1.1 轨道检查车工作原理

轨道检查车集成了先进的惯性基准测量系统、摄像式图像测量系统等技术，基于车体、构架的轨道几何参数计算模型及算法，运用数字信号传输和数据采集同步控制技术，是目前最新的轨检动态检测设备。惯性基准测量系统通过高精度惯性传感器，实时感知轨道的空间位置和姿态变化，能够精确测量轨距、轨向、高低等几何参数。摄像式图像测量系统则利用高速摄像机拍摄轨道表面图像，结合图像处理技术，对轨道的磨损、裂纹等病害进行检测。两种测量方式相互配合，结合高度集成的新型数字信号传感器，实现对轨道状态的全面、精准检测。

1.2 检测数据类型与含义

GJ-6D检测设备在轨道检测中提供了丰富的数据类型，关键指标包括轨距、轨向、高低、水平和三角坑。轨距是指轨道两根钢轨内侧之间的距离，合理的轨距是列车安全运行的基础；轨向反映轨道中心线的直线性或曲线的圆顺程度；高低表示轨道沿线路方向的垂向平顺性；水平指轨道左右两股钢轨顶面的高度差；三角坑则是指在一段不太长的距离内，钢轨顶面连续出现两个正

负相反的水平差。这些数据综合反映了轨道的几何状态，是评估线路质量的重要依据。

1.3 数据准确性影响因素

检测数据的准确性受到多种因素影响。检测方式的不同会导致数据存在差异，偏差等级的确定标准也会对数据解读产生影响，若标准不一致，可能导致对轨道状态的误判。检测里程误差、传感器的校准情况以及检测过程中的环境因素，如振动、温度变化等，都可能干扰数据的准确性^[1]。

2 线路冻害期特点分析

2.1 冻害发生的原因与机理

线路冻害的发生主要由温度、水分和土质三个关键因素共同作用导致。当气温降至冰点以下时，路基土中的水分开始冻结，体积膨胀，从而产生冻胀力。如果路基土中含水量较高，且排水不畅，冻胀力会使路基发生隆起变形，进而影响轨道几何尺寸，不同类型的土质其冻胀敏感性不同，粉质土和粉砂质土由于颗粒细小，比表面积大，容易吸附水分，冻胀性较强。

2.2 冻害发展阶段特征

线路冻害通常经历发展期、稳定期和回落期三个阶段。在发展期（一般为冬季气温持续下降阶段），随着温度不断降低，路基土中的水分持续冻结，冻胀变形逐渐加剧，轨道几何尺寸偏差不断增大。稳定期（气温相对稳定的时段），冻胀达到一定程度后趋于稳定，轨道几何尺寸变化相对较小。回落期（春季气温回升阶段），冻土开始融化，路基土体积收缩，轨道几何尺寸偏差逐渐减小，但可能会因土体结构变化产生新的病害。

2.3 不同区域冻害特点差异

不同区域由于气候条件、地质状况和线路结构的不同，冻害特点存在显著差异。在寒冷且降水量较大的地

区,冻害发生频率较高,冻胀变形更为严重。山区线路因地势起伏大,排水条件复杂,容易形成局部积水,加剧冻害程度。而平原地区线路,若路基填筑质量不佳或排水系统不完善,也会出现冻害问题^[2]。此外,道岔、涵洞、隧道等特殊地段,由于结构和环境的特殊性,冻害表现也各不相同。

3 检测数据在冻害分析中的应用

3.1 数据处理与分析方法

为准确分析检测数据,首先需要对原始数据进行预处理,包括数据降噪、滤波等操作,去除因干扰产生的异常数据。然后采用对比分析、趋势分析等方法,将不同时间段、不同地段的数据进行对比,分析轨道几何尺寸的变化趋势。同时,通过数据挖掘技术,进一步确认了冻害严重程度与TQI值升高之间的直接相关性。

3.2 基于数据的冻害定位与评估

通过对轨道检查车检测数据的分析,可以精准定位冻害地段。当某地段的轨距、轨向、高低等几何参数出现异常变化,且TQI值显著升高时,可判断该地段可能存在冻害。进一步结合历史数据和现场调查,能够评估冻害的严重程度。例如,TQI值升高幅度越大,表明轨道几何尺寸恶化越严重,冻害对线路的影响也越大。

3.3 案例分析-以某铁路线为例

以管内K35+583地段为例,在冻害高发期(1月至2月),其TQI值从12月的5.6mm升至1月的11mm,2月达11.7mm,3月回落至10mm。这充分证明冻胀作用对轨道几何尺寸,特别是高低平顺性的严重影响。同时,该地段左右高低TQI值在冻害期间也显著升高,左高低TQI值从1.5mm升至2.8mm,右高低TQI值从1.6mm升至2.4mm,进一步验证冻胀导致轨道高低不平顺加剧的结论。

4 冻害期检测数据分析结果

4.1 TQI值变化与冻害严重程度呈正相关

在冻害高发期(1月至2月),多数冻害地段的TQI值呈现显著上升趋势。除K35+583地段外,管内K31+955地段TQI值从12月的12.7mm升至2月的17.2mm,达到最高值,清晰地显示出轨道几何尺寸恶化与冻害高峰期的一致性。此外,冻害地段的左右高低TQI值普遍在冻害期间升高,如K66+185地段左高低TQI值从1.5mm升至2.8mm,右高低TQI值从1.6mm升至2.4mm,充分表明冻胀对轨道高低平顺性产生了严重影响。

4.2 原有冻害的TQI模式差异

对于原有冻害地段,其TQI值变化模式呈现出多样性。多数原有冻害地段,由于前期已采取一定的整治措施,在冻害期TQI值波动相对较小,轨道几何状态相对

稳定。然而,部分地段因整治措施存在缺陷或未充分考虑实际地质条件,导致整治效果不佳,TQI值出现明显变化。以K35+390地段为例,该地段此前进行了换填整治,但由于换填材料与周边土体的物理力学性质存在差异,在冻害期受温度变化影响,不同材料的冻胀特性不同,从而引发TQI值的异常波动。其TQI值从12月的6.5mm升至2月的10.6mm,升幅达63.1%。这一现象表明,该地段的整治方案未能有效抑制冻害发展,需要进一步优化^[3]。从工程实践角度来看,换填材料的选择和施工工艺对整治效果至关重要,若材料的抗冻性能不足或换填过程中压实度不达标,都可能导致冻害复发或加剧。

4.3 冻害类型对TQI的影响

不同类型的冻害对TQI值的影响存在显著差异。路基冻害由于涉及土体的整体冻胀变形,对轨道几何尺寸的影响范围广、程度深,多伴随TQI值大幅波动。以K124+400地段为例,该地段处于含水量较高的软土地基区域,在冻害期,随着土体中水分冻结,体积膨胀,产生较大的冻胀力,使得轨道发生明显的变形。其TQI值从4.6mm急剧升至11.8mm,增长了156.5%,充分反映出路基含水量高导致冻胀变形严重的状况。从力学原理分析,高含水量的土体在冻结时,冰晶的形成和膨胀会打破土体原有的应力平衡,导致土体向上隆起,进而带动轨道结构发生变形,引起TQI值的显著变化。而道床冻害,以淮池铁路K160+465涵通道床冻害为例,其TQI值在12月至3月保持在8.3mm-9.4mm,波动相对较小。这可能是因为道床污染使得道床的孔隙率降低,在一定程度上限制了水分的迁移和冻胀的发展,对轨道几何尺寸的影响相对稳定。然而,这并不意味着道床冻害可以忽视,长期的道床污染和冻胀作用仍会逐渐降低道床的弹性和排水性能,影响轨道的整体稳定性。

4.4 修复措施与TQI值回落

部分实施修复措施的地段,虽然TQI值有所下降,但轨道质量尚未完全恢复到理想状态。以K35+280涵通道床冻害地段为例,通过采取清理道床、改善排水等修复措施后,TQI值从12月的6.5mm降至3月的10.4mm。然而,与初始状态相比,其TQI值仍处于较高水平,这表明修复工作虽取得一定成效,未能从根本上消除冻害影响。可能是修复措施不够彻底,如排水系统的改善未能完全排除道床中的积水,或修复材料的性能无法满足抗冻要求。未修复地段,如K136+582曲线路堤冻害地段,缺乏有效的整治措施,TQI值持续升高至11.4mm。随着冻害的发展,轨道几何尺寸偏差不断增大,轨距、轨向等参数逐渐超出允许范围,严重威胁线路安全。若不及时采

取措施,可能引发列车脱轨等严重事故,急需对该地段进行全面、有效的整治。

4.5 特殊地段的异常数据

道岔地段和隧道地段在冻害期表现出独特的数据特征。道岔作为铁路线路的关键连接设备,结构复杂,部件众多,在冻害作用下更容易出现几何尺寸偏差。以管内K218+530道岔为例,其TQI值始终高于12mm,左高低TQI值达2.1mm-2.5mm。道岔区域的冻害不仅影响轨道的平顺性,导致道岔转换设备卡滞,影响列车的正常运行。因为道岔部件在冻胀作用下发生变形,相互之间的配合精度降低,影响道岔的正常工作。隧道地段由于其相对封闭的环境,温度变化相对较小,在一定程度上减缓冻害的发展。如K215+197隧道道床冻害,TQI值稳定在9.1mm-9.6mm。并不意味着隧道地段可以忽视冻害防治,长期的低温和潮湿环境仍会导致道床冻结、轨道结构受损,因此仍需定期对隧道地段进行检测和维护。

5 检测数据在线路养护中的利用

5.1 制定针对性的养护策略

根据检测数据分析结果,针对不同类型的冻害和不同地段的特点,制定差异化的养护策略。对于路基冻害严重且TQI值波动大的地段,应将加强路基排水系统的整治作为重点。可以通过增设排水盲沟、改善路基边坡坡度等方式,加快路基积水的排出,降低土体含水量,从而减少冻胀的发生。采用换填抗冻性好的填料,如砂砾石、碎石等,提高路基的抗冻性能。对于道床冻害地段,定期清理道床中的污染物,恢复道床的孔隙率和排水性能,改善道床的弹性。在冻害高发期,增加对重点地段的检测频率,从常规的每月一次检测调整为每半月一次,及时发现轨道几何尺寸的微小变化,将冻害隐患消除在萌芽状态。

5.2 优化维修作业流程

利用检测数据优化维修作业流程,能够显著提高维修效率和质量。根据TQI值变化趋势,建立维修优先级评估体系。对于TQI值持续升高或严重超标的地段,优先安

排维修人员和设备进行处理^[4]。在维修过程中,结合检测数据精准定位病害位置,利用轨检车提供的详细轨道几何参数,确定轨道变形的具体位置和程度,采用针对性的维修方法。对于轨向偏差较大的地段,采用拨道作业进行调整;对于高低不平顺严重的地段,进行起道和捣固作业。通过这种方式,减少不必要的维修工作,降低维修成本,提高维修效果。

5.3 案例验证-维修效果评估

以某修复地段为例,在采取整治措施后,通过对比维修前后的检测数据,科学评估维修效果。在该地段实施了换填抗冻填料和完善排水系统的整治措施后,首次检测数据显示TQI值从整治前的12.3mm降至9.8mm,轨道几何尺寸偏差明显减小。经过一个月的观察和再次检测,TQI值稳定在9.5mm-9.8mm之间,且轨距、轨向等各项参数均在允许范围内,说明维修措施有效改善了轨道状态。若维修后TQI值仍然较高或出现反复波动,需要对维修方案进行调整和优化,重新分析冻害原因,采取有效的措施,确保线路质量得到有效提升。

结束语

通过对轨道检查车检测数据的综合应用,成功将理论与实践相结合,为线路冻害的防治提供有力支持,不仅揭示冻害对轨道几何状态的具体影响,还通过案例分析验证维修措施的有效性。标志着我们在铁路线路维护领域取得重要进展。

参考文献

- [1]宋军,黄华,刘凤刚,等.基于ARIMA-BP组合模型的铁路路基冻害预测技术研究[J].铁道勘察,2024,50(06):63-69.
- [2]朱志有,李雄锐,王珍福,等.季冻区在建铁路路基冻害防治措施研究[J].河南科技,2021,40(29):110-112.
- [3]郭宏新,孙田,周天宝,等.高寒铁路隧道排水系统冻害主动热防护新技术研究[J].青海交通科技,2023,35(04):153-158
- [4]杨万平.轨检车在地铁轨道设备养修中的运用研究[J].低碳世界.2021(06):45-47.