Analysis of the Application of Bending and Settling Test Detection Technology for Highway Subgrade and Pavement

Mingyang Li

Cangzhou Jingtong Engineering Testing Co., Ltd., Cangzhou, Hebei, 061000, China

Abstract

In recent years, with the continuous development of highway construction in China, the quality of pavements and subgrades has been increasingly valued. Road bending and settling detection, as a key means to evaluate highway quality, has been widely applied in multiple tasks such as highway construction and maintenance. This paper analyzes the current situation of bending and settling detection work, detection methods, and their actual roles in road construction, probes into the technical characteristics, detection methods, and influencing factors of bending and settling determination technology, aims to discuss the applicability and development trends of bending and settling detection in various types of pavements, and puts forward corresponding improvement suggestions, so as to provide references for improving road quality.

Keywords

highway subgrade; pavement bending and settling; test detection technology; application analysis; pavement quality

公路路基路面弯沉试验检测技术应用分析

李明阳

沧州市精通工程检测有限公司, 中国·河北·沧州 061000

摘要

近年来,随着中国公路建设的持续发展,路面与路基的质量愈发受到重视。道路弯沉检测作为评价公路质量的关键手段,在公路建设、养护等多项工作中得到了广泛应用。本文通过对弯沉检测工作的现状、检测方法及实际在道路施工中的作用进行分析,对弯沉测定技术的技术特点、检测方法及影响因素进行探究,旨在探讨弯沉检测在各种类型的路面的适用性及发展趋势,并对其给出了相应的改进建议,为提高道路质量提供参考。

关键词

公路路基;路面弯沉;试验检测技术;应用分析;路面质量

1 引言

随着中国公路建设的高速发展,公路基层路面及结构的性能对道路寿命及行车的安全性有着十分重要的影响。公路的强度、公路平顺度以及承载能力直接影响车辆的行车安全及舒适性。弯沉检测是一种评价路基路面施工质量、路面维修养护以及评定与检测的主要测试手段,具有无破坏性、简便易于操作的优势,目前在公路建设、路面养护与评定中应用极为广泛。弯沉检测可精确检测路面和路基的承载力与弯沉特性,帮助工程技术人员及时发现公路病害并做出必要的修复措施。本文主要研究弯沉检测技术在不同类型路面中的应用状况,及其在提升公路质量、保障交通安全方面的地位与作用。

2 公路路基和路面质量的重要性

2.1 路基和路面对公路的影响

路面和路基作为公路组成结构中最为基础且关键的部分,其质量和承载力会直接影响到公路功能的有效发挥及使用寿命的长短。作为承受并传递车辆荷载的核心结构,路基必须具备足够的强度与刚度,以防止因地面沉降、结构变形引发的路基破坏,同时避免由此导致的路面施工条件恶化等问题,因此具有良好的路基是保证良好路面施工和形成顺利行车条件的基础,路基的行车质量直接影响了行人用车的行车舒适程度和公路行车安全的重要性。而路面是整个道路直接承受由汽车交通所产生的冲击及磨损等的作用部位,路面的行车条件不仅关系着人们的乘车舒适度,且对公路交通安全负有相当重要的作用。若路基、路面发生损坏,出现路基沉降、裂缝、滑塌等问题,不仅可能引发安全事故、缩短道路使用寿命,还会造成社会经济损失,因此维护高标准的道路路基路面是保障公路道路安全顺畅运行的重要因素^[1]。

【作者简介】李明阳(1996-),男,中国河北沧州人,本科,助理工程师,从事工程检测研究。

2.2 路面质量检测的必要性

为了保障道路交通安全性以及通行的舒适性，我们需要对公路的路况进行时时的检验与评定。汽车重量及交通量的增长都加速了路面的磨损程度，对公路的质量造成了较大的破坏，导致诸如路面的凹陷、龟裂、变形等问题加剧。因此，对其进行定期的路面路况评定，及时发现可能存在的道路质量问题，避免由于时间过长而未发现质量问题或是没有维护保养而造成的重大破坏和损失，为编制适当的维修与修理费用预算提供依据，从而尽可能的延长其使用寿命，获得更好的社会及经济价值，已经成为目前公路维修必不可少的步骤，公路弯沉试验已经成为其中重要的方式。

3 弯沉试验检测技术概述

3.1 弯沉试验的基本原理

弯沉法作为一种反应公路路面受力后弯沉值的路基路面质量检测方法，主要是向公路上施加特定的压力，观测和检测路表面中间和周边的垂直位移（即弯沉值），由此变化数据可以反映出路基和路面的抗压能力和形变性，并能在真实交通压力情况下反映路面状况，方便相关人员了解和确定路基路面状态，而弯沉值的大小和分布则主要受到路基土质、路基厚度和结构层材质以及受压程度等多种因素影响，弯沉值越大，表明路面结构的承载能力越弱，可能存在的问题主要包括路基沉降、路面结构性裂缝、局部变形等，因此通过弯沉法进行检测有利于准确进行道路健康状况评级^[2]。

3.1.1 弯沉试验设备与检测原理

（1）贝克曼梁弯沉仪：由杠杆式百分表组成，通过静态加载（通常采用标准车）测量路面回弹弯沉。其原理是利用杠杆放大效应，将路面微小变形转化为百分表读数，精度可达0.01mm，但检测效率较低。（2）落锤式弯沉仪（FWD）：通过重锤自由下落产生瞬时冲击荷载，同步采集多测点弯沉值，生成弯沉盆曲线。可计算路面结构层模量，检测效率是贝克曼梁法的8-10倍，适用于大规模检测。

3.2 弯沉试验的常用方法

3.2.1 静态检测法与动态检测法

方法	原理	优势	局限	适用场景
贝克曼梁法	静态加载测回弹弯沉	设备简单、成本低	效率低，受人为操作影响大	农村公路、小型养护工程
FWD法	动态冲击荷载测瞬时弯沉	数据全面，可反算模量	设备昂贵，需专业操作	高速公路、城市主干道验收及大规模检测等场景

3.2.2 操作流程与规范

（1）贝克曼梁法：在检测点放置测头，标准车（后轴重100kN）缓缓驶至指定位置；待百分表稳定后读取初始值，车辆驶离后读取回弹值，差值即为回弹弯沉；检测需在气温 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 条件下进行，沥青路面需进行温度修正。

（2）FWD法：将传感器阵列按30cm间距布设在测点前方；设定落锤重量（50-100kN）与落高，触发冲击后自动记录各测点弯沉值；每测点需重复检测3次，取后两次的平均值作为结果。

4 弯沉试验检测技术在公路路基路面中的应用

4.1 路基弯沉检测的应用

4.1.1 路基承载力评估

路基承载力是公路结构安全的核心保障，贝克曼梁法通过静态加载测量回弹弯沉直观反映其承载能力。操作需将后轴重100kN的标准车置于检测点，利用杠杆原理放大变形，通过百分表读取精确至0.01mm的弯沉值。不同等级公路弯沉阈值不同，一般公路 $\leq 230-250$ （0.01mm），高速公路 ≤ 25 （0.01mm）。某高速公路K12+300段检测值达450（0.01mm），经碎石桩处理后降至280（0.01mm），满足通车要求。

4.1.2 路基沉降分析与优化

FWD法凭借动态冲击荷载优势，通过多测点弯沉盆数据反算路基回弹模量，为沉降预测提供量化依据，尤其适用于软土地区公路。在某沿海软土路段施工中，原状路基回弹模量仅18MPa，初始沉降速率达15mm/天，远超规范限值。技术团队采用FWD每周监测，通过弯沉盆曲线特征分析地基固结程度：预压20天时，模量升至32MPa，沉降速率降至8mm/天；45天时模量达50MPa，沉降速率稳定在3mm/天以下，据此判断地基已完成80%以上固结，适时终止预压，既保证了路基稳定性，又缩短了10天工期^[3]。

4.2 路面弯沉检测的应用

4.2.1 路面强度评估

路面强度直接决定其抵抗荷载变形的能力，而弯沉值是衡量承载能力的核心指标。在沥青路面设计中，顶面弯沉值需严格匹配交通荷载等级，例如高速公路沥青路面的设计上限为20（0.01mm），一级公路则放宽至30（0.01mm）。FWD检测通过动态冲击荷载模拟重车行驶状态，能精准捕捉路面结构的瞬时变形特性。实际检测数据显示，当沥青路面弯沉值超过25（0.01mm）时，面层与基层的粘结力下降30%以上，车辙深度月均增长可达5mm，远超正常损耗速度。某省道养护工程中，FWD检测发现K34+100-K34+500段弯沉值达32（0.01mm），现场取样显示沥青混合料马歇尔稳定度不足，随即采用铣刨4cm面层后重铺改性沥青的方案，处理后弯沉值降至18（0.01mm），车辙发展得到有效控制。

4.2.2 病害预警

弯沉检测对路面隐性病害的预警作用尤为关键，尤其适用于水泥混凝土路面的结构健康监测。由于板块间接缝是应力集中区域，接缝处弯沉差超过0.5mm时，表明基层与面板间已出现脱空，若持续承受荷载，6个月内板块断裂概率可达60%。某城市主干道检测中，FWD对2000个接缝

点的弯沉差进行筛查,发现23处差值在0.6-1.2mm的脱空区域,集中分布在公交站台附近——长期重载导致基层压实度下降是主因。通过高压注浆填充脱空层后,复测弯沉差均控制在0.3mm以内,成功避免了次年雨季可能发生的板块碎裂事故,减少直接经济损失约80万元。

4.3 不同类型公路的应用差异

4.3.1 高速公路

高速公路作为大运量、重荷载交通载体,对路面结构整体性要求极高,FWD法凭借高效动态检测特性成为核心技术手段。其全断面检测方案需覆盖行车道、超车道及硬路肩,每公里按梅花形布设10个测点,纵向间距100米,横向在路宽方向均匀分布3-4个检测点,确保数据能反映路面整体承载状态。重点监控区域包括桥面铺装层,此处因刚性基层与柔性面层结合处易产生应力集中,需每50米增设1个测点,弯沉值需控制在15(0.01mm)以内;桥头跳车段则需加密至每20米1个测点,通过对比台背与路基的弯沉差值(允许差 $\leq 5(0.01\text{mm})$)评估过渡段处理效果。某高速扩建工程中,FWD检测发现K78+200桥尾弯沉差值达8(0.01mm),及时采用注浆加固台背填土,使差值降至3(0.01mm),有效消除跳车隐患^[4]。

4.3.2 城市道路

城市道路交通流复杂,需结合贝克曼梁法静态精度与FWD法动态效率优势。在主干道交叉口,因频繁启停导致路面受力集中,采用“FWD法全范围扫描+贝克曼梁法重点复测”模式:先以FWD每50米1个测点筛查,对弯沉值超25(0.01mm)区域,用贝克曼梁法按2米间距加密检测,精准定位破损范围。公交站台区域则需单独制定检测方案,在站台边缘1米范围内布设5个测点,要求回弹弯沉 $\leq 30(0.01\text{mm})$ 。某市中心道路改造中,通过该组合方法发现3处公交站台弯沉值达42(0.01mm),经铣刨重铺后降至22(0.01mm),保障了重载条件下的路面稳定性。

5 弯沉试验检测技术面临的挑战与发展趋势

5.1 当前检测技术的局限性

虽然弯沉检测是目前一种较为常见的路面检测方法,但其误差和精度问题还是不能解决。由于温度、气候、仪器、检测人员技术等多种外在因素的存在,会导致测量得到的弯

沉值发生一定程度的误差,如温度、天气、地面状况等各种不同因素可能会对弯沉测试结果产生影响,使检测数据的准确性无法做到保证。除此之外,目前的弯沉检验仪器在普遍检测过程中还有一些缺陷和不足,需要重点解决数据准确度和准确定位的问题,这是目前技术主要发展之一。

5.2 弯沉试验技术的未来发展方向

弯沉测试未来技术的发展趋势是朝着智能化、自动化检测技术研究发展。用人工智能、大数据、物联网技术可以实现使弯沉检测仪器能够自我诊断检测仪器的问题,实时传输数据,同时能够对数据进行智能化分析,例如智能化检测系统可依据当前交通量大小、气象条件变化等多种因素自适应调整检测计划,自动生成自动化的报表以及报警。通过智能化、自动化的检测,可实现对路面质量监控工作有效而精确地执行,并可为公路营运管理养护工作提供科学和有效的解决方案。

6 结论

弯沉检测技术作为公路建造和维修的重要方法,能够客观真实地检测路面路基的承载能力和变形潜力,为其检测质量提供了科学依据。当前,随着科技技术的进步和创新,弯沉检测的方法手段还渐渐完善了检测精度和便捷性,并且逐步发展出智能化、自动化、更快、更精准的检测手段。未来,弯沉检测技术与先进的信息技术相结合显得非常必要,更能服务于公路的建造、维修管理。除此之外,对于不同类型、不同级别的公路,还应编制细化检测计划,实现更好的公路质量检测。

参考文献

- [1] 张晓明;李明伟.公路路基路面弯沉试验技术应用研究[J].交通工程与技术,2023(6):45-50.
- [2] 王建华;高志涛.弯沉试验检测技术在公路质量控制中的应用[J].公路工程,2022(8):12-16.
- [3] 刘俊峰;杨国华;徐文杰.弯沉试验在高速公路路面检测中的应用探讨[J].现代交通科技,2021(4):65-69.
- [4] 周鹏飞;陈志刚.弯沉检测技术的创新与发展趋势分析[J].道路建设与管理,2023(1):75-80.
- [5] 张瑞霞;陈文杰.公路路基弯沉试验检测技术的现状与发展[J].交通科学与工程,2022(10):100-104.