

公路路基工程的压实度试验检测技术及其控制策略

张浩

中交一公局厦门工程有限公司

摘要：随着现代公路工程建设事业的快速发展，路基工程压实度试验检测工作面临崭新局面，对专业化的检测技术方法提出了更高要求，有必要对此做出分析与探究。基于此，本文首先介绍了路基压实度试验检测现状，分析了传统压实度评定方法及不足。在探讨公路路基压实度的试验检测及分析相关问题的基础上，结合相关实践经验，分别从多维维度探讨了公路路基压实度检测系统的构成及应用研究，望对相关实践形成参考借鉴意义。

关键词：公路路基；压实度检测；技术应用；控制策略

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.09.046

引言：

当今社会，基础设施建设事业突飞猛进，公路路基工程建设开辟进入新时期，使传统路基压实度试验检测方法面临严峻考验与挑战。当前形势下，有必要立足公路路基工程实际，创新压实度试验检测技术方式方法，拓展延伸试验检测技术路径，提高试验检测工作质效。

一、路基压实度试验检测现状

公路工程路基压实度是评判工程质量的重要指标，在工程标准评价体系中占据着关键地位。通过对公路路基工程开展行之有效的压实度试验检测，可更加全面地了解路基结构压实情况，为优化改进公路路基设计方法，提升公路路基施工作业质量等提供参考。近年来，国家相关部门高度重视公路路基工程压实度试验检测技术的应用与创新，在细化完善试验检测标准规范，强化压实度参数信息采集等方面制定并实施了诸多具有导向性的政策策略，为新时期全面提升压实度试验检测结果准确性提供了重要遵循，在专业化检测领域积累了丰富而宝贵的实践经验。同时，广大技术人员同样在破解压实度试验检测方法局限，构造压实度检测数据模型等方面进行了积极探索，拓展丰富了压实度试验检测方法内涵，形成了综合性的试验检测技术框架体系，成效突出。尽管如此，受限于诸多主客观要素，当前公路路基压实度试验检测技术水平尚有较大提升空间，应立足实际创新具体方法，提升试验检测质量^[1]。

二、传统压实度评定方法及不足

(一) 评定方法

1. 破坏性试验评定方法

破坏性试验评定主要以被检测路基结构为面向对象，通过施加外力作用等方式获取检测样本，以具有代表性的样本判断路基压实度状况。在实践中，常采用到的破坏性试验方法包括灌砂法、水袋法和环刀法等，不同的试验方法具有不同适用环境、操作要求与评定结果，应根据路基工程结构实际需求，予以综合优化择

定。以灌砂法为例，其将相对粒径范围内的砂粒进行垂直下落，在重力作用下砂粒会落入到特定容积的试洞中，根据其体积参数实施测定与分析，具有高效性特征。

2. 非破坏性试验评定方法

非破坏性试验评定方法对专业仪器设备的依赖性较强，通常应配置性能稳定的检测装置，通过装置作用向被检测对象发出射线信号。在信号传播遇到不同路基结构材料时，会形成差异化的衰减反馈，对衰减反馈强度和数量进行收集与分析，可计算判断出路基结构层的材料密度和含水量等，得出路基压实度检测结论。非破坏性试验评定不会对公路路基结构造成任何损伤，具有无损化优势，可在更短时间内完成更多数量的路基压实度试验检测任务，但经济成本相对较高。

(二) 不足

尽管不同类型的试验检测技术方法可得到压实度检测的最终结果，但由于外界扰动性因素的影响，往往容易出现诸多参数偏差，试验检测准确度往往受到限制。部分试验检测方法仅对所采集的样本负责，难以全面获取土层土质与路基压实度相关的数据信息，无法为公路工程压实施工作业提供基础参考，无形之中降低了试验检测技术价值。现代精细化试验检测理念体现不充分，对压实度测定结果的描述相对模糊，且容易对部分低质量路基形成漏检等状况。

三、公路路基压实度的试验检测及分析

(一) 试验方案

为准确测定公路路基压实度，应根据其施工技术规范要求，制定完善可行的试验检测技术方案，明确每个操作环节的具体要求，在静态标定试验和波形显示试验等层面作出优化选择。在当前技术条件下，影响公路路基工程压实度的要素趋于多样化，对路基压实度检测结果的干扰程度同样高低有别，应在检测试验方案中予以分别控制，以提高试验检测结果可信度。将路基压实度检测试验全过程细化分为若干子过程，通过设定各子过程的约束条件，控制各子过程的衔接效果，采集得到更为全面的原始数据，实现整体化的试验检测结论^[2]。

(二) 系统标定试验

公路路基压实度试验检测需要采用专业化的精密仪器，如何采取科学有效的标定操作方法，对试验检测仪器进行校准处理，是该项工作中实践中应予考量的重点问题。因此，在系统标定试验环节，可根据数据采集仪、机械振动试验台、示波器和电荷放大器等器材进行全面有效校订，调整优化其灵敏度，将仪器峰值和频率值等控制在技术允许范围内。选择特定目标范围内的公路路基结构进行预试验，根据预试验操作得到的振动波形，判断特征值是否符合技术规范要求。采用二次标定试验

方法,降低压实度试验检测不同参数间的相对误差。

(三) 振动台试验

受多类型外界因素的影响,压实度试验检测获取到的初始数据往往存在明显波动,与标定试验的预期结果相比,难以满足最全面的试验检测需求。对此,可采用振动台试验方式,从信号采集、过程模拟与显示试验等环节,客观全面地模拟公路路基工程施工状态,以清晰直观的方式观察试验过程,避免可能因外部因素影响而形成的试验检测中断。振动台试验的过程同时也是剔除干扰因素影响,降低试验检测结果误差的过程,应充分结合公路路基工程实际,细化优化各项具体试验方法,始终保持试验检测中激振频率的合理性。

(四) 路基土实时连续检测试验

1. 现场试验路基土的基本性质

根据《公路土工试验规程》等技术规范,不同地质条件下的公路路基土的性质存在明显差异,在不同筛孔尺寸下通过孔径土质量百分比高低差异明显,这可通过土级配组成曲线来描述。通常情况下,公路路基压实度评定中路基土物理的性质主要为固体颗粒特性,可根据粒径大小不同,划分为若干粒组,比如漂石粒组、卵石粒组、砾石粒组、砂砾粒组、粉粒粒组和粗粒粒组等。为获取准确的粒组比例,应对路基土级配进行分析,根据土粒直径、土粒密度、悬液密度等参数校核得到粒组质量^[3]。

2. 土的击实试验

击实试验是公路路基压实度试验检测的重要环节,可采用专业化压实试验装置对路基土样进行压实处理,在降低土质含水量,提高土质干密度后,得到试验结论,为调整优化路基土最佳含水量提供依据。通常情况下,可采用重型试验标准,设定击实试验落锤重量、击实距离、试筒容积和击实次数等参数,保证最终击实效果,得出不同取样样品的击实曲线。在击实曲线中,当试验土的含水量超出额定标准时,则会以曲线拐点的方式出现,表示相应的干密度下降。由于水的润滑作用明显,因此可经循环多次击实试验,得到中位数,降低最大干密度等数据误差。

3. 传感器安装

现代科学技术的创新发展与实践运用,为新时期公路路基压实度试验检测提供了更为灵活多变的工具载体,使传统技术条件下难以实现的试验传感检测效果更具实现可能。因此,可在公路路基工程目标范围内,配置性能稳定的多类型传感器,以能够反映出地基振动的位置为最佳,以连续性地感应获取试验检测数据。传感器安装应牢固有效,所有线路连接应采用胶带固定。在数据采集仪方面,应调整校准其最大静态误差、通道宽带频率和分辨率等参数,配合专业软件平台,对采集到的数据信息进行动态分析与处理,剔除存在明显偏差的参数。

4. 检测数据采集与分析

公路路基压实度的试验检测通常将模拟信号转化为能够被系统操作识别的数字信号,并按照特定规则进行

离散化处理,形成有序排列,确保等长时间间隔。将采集到的试验检测数据实际值与目标值进行比对分析,在试验场地范围内保持对数据的持续优化分析,保证压实度试验测量结果可靠性。采用谐波比值法等对试验检测数据的特征值做出判定,使信号测试和记录过程更趋合理,保持振动频率的优化分布状态。在不同细粒含量的砂砾土影响下,试验检测到的部分数据可能存在差别,应结合压实度与加速度有效值之间的回归关系,确定最终数据信息。

四、公路路基压实度检测系统的构成及应用研究

(一) 基本原理

路基压实度检测系统旨在充分运用加速度传感器、前置放大器和低通滤波器等设备,将其安装在压实机械设备的指定位置,在其感应作用下搜集路基路面压实度等参数,属于间接测量技术范畴。在检测系统支持下,可按照连续性检测作业方法要求,输出具有特定强度的数据信号,完成高阻抗和低阻抗之间的优化转换,使试验检测数据更准确,尤其可对压实强度不足的路段进行有效检测。在精细化检测要求下,路基压实度检测系统的整体稳定性更强,由前置放大电路所形成的电压信号更加稳定,压实度数值偏差相对更小。

(二) 压实度检测系统的组成

在当前技术条件下,公路路基压实度检测系统主要由振动压路机、加速度传感器、采集仪和计算机软硬件等构成,上述不同的构成要素在功能条件与参数配置等方面存在明显差异,需要结合公路路基工程客观实际特点,予以优化构造。以加速度传感器的选型为例,应按照极化现象的一般特点与规律,优化控制机械力作用下的电荷类型与电荷形态,避免压电效应对检测结果产生的影响,其主要指标见表1。

(三) 信号的分析与处理

信号的分析与处理是路基压实试验检测系统应用的关键环节,需要对不同类型的信号进行分类分层处理,使其按照特定规则方法进行分量叠加,用曲线化的方式描述信号特征,形成相应的频谱信号。随着信号处理及路基压实度检测要求的提高,幅值谱和相位谱的应用更具广泛性,可采取滤波或变换等方法,排除存在明显畸变的频谱信号,完成对压实度试验检测各类数据的动态测试与优化。在振动压路机激振信号分析中,则应重点突出对标准化规则的运用,准确地从中提取有价值信号,抑制干扰或噪声^[4]。

(四) 信号的时域分析与频域分析

1. 时域分析

信号的时域分析应充分结合信号的特征值,从多类型的信号特征值角度出发,优化压实度检测特征值的最大值、最小值、平均值和有效值等,并利用峰值曲线和峰谷曲线等方式表达出来。设定振动压路机的恒定运行参数,对峰值状态下的静态分量进行相关分析,构造基于有效值的波形曲线,准确体现各相关要素间的对等关联关系,辅助辨识影响压实度参数的干扰因素。通过上述方式,技术人员可根据数据表征特点分析压实度近似

表 1 加速度传感器的主要指标

技术指标	KD1010L-1551 型号	KD1010-0338 型号	KD1010-0339 型号
电荷灵敏度 (pC/ms ⁻²)	—	13.01	11.96
电压灵敏度 (mV/ ms ⁻²)	10.72	—	—
最大横向灵敏度 (%)	< 5	< 5	< 5
绝缘电阻 (Ω)	100	> 10 ¹⁰	> 10 ¹⁰
工作温度 (℃)	-20-100	-20-100	-20-100
最大可测值 (ms ⁻²)	500	6000	6000
内置电路电压 (V)	15-24	—	—
工作电流 (mA)	2	—	—
谐振频率 (kHz)	25	23	23
使用频率 (kHz)	0.5Hz-6	0.5Hz-7	0.5Hz-7

关系，将压实度响应幅值和相位差控制在合理范围内。

2. 频域分析

频域分析是基于时域描述而来的分析方法，可按照振动压路机信号强度、性质和条件等功能，采取具有层次化的频域变化方法，表达不同维度范围内的压实状态。配置性能稳定的频域分析工具，将若干连续周期内的信号进行拓展延伸，并配合优化运算算法的应用，排除压实度扰动条件影响，提高压实度试验检测结论的客观性。选择具有代表性的评价参数，对频域分析结果进行评判分析，以此为参照纠正路基压实施工作业偏差，结合压实采样频率等增强频域分析内涵。

(五) 振动压路机的信号分析与处理

1. 噪声分析

研究表明，振动压路机运行中的噪声强度对压实度试验检测数据的影响较大，若不注重对噪声作出优化分析，则势必会影响试验检测结果。由于振动压路机噪声更多来源于发动机、振动轴和传动轴等构件，部分情况下多来源的信号频率具有高度吻合性，因此应在特定频率范围内消除噪声信号，并配置性能更加稳定的液压泵和液压马达等装置。准确采集通道中的噪声信号，若其强度超出事先所设定的标准额度，则应予以滤除，强度较小则可忽略。

2. 信号奇异点分析

受限于路基填方、结构构造与水文地质等要素，公路路基压实度试验检测中往往会出现部分信号奇异点，对最终检测结果存在较强干扰，需要在客观分析的基础上予以排除。一般情况下，可将公路路基土层土质设定为恒定状态，赋予相关恒定参数，用其偏离幅度判断土壤的压实度变化，降低空间局部化性质影响。受外界环境温度等要素影响，振动信号会出现零点漂移等状况，可采用偏离基线方法，消除趋势项，确保振动信号采样数据。

3. 采样数据的平滑处理

纵观以往路基压实度试验检测实际，普遍存在离散数据欠光滑这一共性问题，且高频成分在数据类型中的

所占比例较高，因此应通过平滑处理方式予以排除。根据振动压路机运行工频及倍频等参数，采用平均法校核同一类型采样数据的平均值，得到平滑处理后的结果，以此削弱干扰信号作用。优化设定滤波因子与加权平均因子的逻辑关系，利用直线滑动加权平均法确定压实遍数。在试验检测均匀性约束下，通过平滑处理后的采样数据更可保持连续性^[5]。

五、结语

综上所述，受路基结构、压实施工与检测技术等要素影响，当前公路路基工程压实度试验检测实践中依然存在诸多短板与不足，束缚着最终整体检测效果的优化提升。因此，技术人员应摒弃传统陈旧试验检测技术方法束缚，建立健全基于全流程的压实度试验检测方法体系，优化配置多类型的试验检测系统，提高对各项技术参数的计算准确度，排除各类潜在干扰因素的影响，为全面提升路基工程压实度试验检测成效奠定基础，为促进公路事业高质量发展贡献力量。

参考文献

[1] 郑鑫. 便携式落锤弯沉仪在高速公路路基压实质量检测中的应用[J]. 交通世界(下旬刊), 2023, (31): 55-57.
 [2] 梁晓燕, 王玉珀. 高速公路土方路基压实度的施工质量控制与检测技术研究[J]. 信息记录材料, 2022, 18(03): 26-27.
 [3] 杨杰. 基于PFWD的高速公路路基压实质量快速检测技术应用研究[D]. 石家庄铁道大学, 2022.
 [4] 蔡玉洁, 王伟. 动态回弹模量测试仪在高速公路路基压实质量检测上的应用[J]. 科学技术创新, 2021, (09): 139-140.
 [5] 雍少宁, 张富奎, 王海林. 基于EVD的一种高速公路路基压实度快速检测方法研究[J]. 中国建材科技, 2023, 27(02): 9-11.

作者简介: 张浩, 1989.9, 男, 河北省衡水市, 汉, 本科, 工程师, 研究方向: 公路工程试验检测。