

基于加速度的路面平顺性评价方法

周浩¹, 张桂霞², 赵兴驰¹, 朱伟杰¹

(1. 山东建筑大学交通工程学院, 山东 济南 250101; 2. 山东公路技师学院, 山东 济南 250103)

摘要: 道路平顺性的评价是道路服务性能的基础。为精准评价路面平顺性, 本文构建了加速度, 以及 GPS 信号的路面检测系统。可以高密度 (0.1m 测量一次) 测试路面的平顺性; 建立了路面脉冲变形高度模型, 通过实测汽车车速和加速度来自动计算其高度, 并记录其经纬度位置。

关键词: 传感器; 路面平顺性; 减速带高度; 病害定位

中图分类号: U416 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 07—0155—03

公路是重要的交通基础设施, 路面行驶平顺性是路面基本服务性能。路面上的病害和变形会影响平顺性, 并导致行驶汽车发生振动, 即在垂直方向的加速度, 对行驶舒适性、安全性、汽车和路面的使用寿命都会产生直接影响^[1-2]。道路学者对路面平顺性进行了大量研究^[3], 包括三米直尺法, 连续式平整度仪法, 车载式颠簸累积仪, 国际平整度指数法等。其中, 三米直尺法工具简单, 但需要耗费大量人力, 且测试速度极低; 国际平整度指数法等方法可实现动态测试, 极大提高了平整度检测的

效率和可靠性¹, 但只能表示每 10 或 20m 步长内的平整度平均值, 无法精确表征路面全线各点的具体情况, 且仅适于平稳随机状态的测试无法表征脉冲条件下的平顺性。

汽车所产生的振动脉冲是由路面变形和车速决定的, 基于研究振动脉冲 - 车速 - 变形的耦合, 可以通过测量车速、振动脉冲信号来反应路面变形情况^[4-5]。本文通过竖向加速度信号反映汽车在平稳路面的状态^[6-7], 确定路面是否为平整路段, 并通过加速度和速度信号耦

因为本项目试验段上游设计水头不超过管顶内壁, 所以试验水头以试验段上游管顶内壁加 2m 计算。从试验水头达规定水头开始计时, 观测管道的渗水量, 直至观测结束, 不断向试验管段内补水, 保持试验水头恒定。渗水量的观测时间不得小于 30min, 渗水量的实际检测结果必须控制在以下公式所规定范围内, 才能按照相关规范要求确保闭水试压过程的科学性和结果的合格性^[5]。

$$q = 0.0046D_i \quad (3)$$

式中: q 为 24h 闭水试验所得到的渗水量的允许值, m^3/km , D_i 为市政排水管道的内径取值, mm , 根据施工设计报告选取。

4 结语

因市政道路的排水工程属于地下隐蔽工程, 故工程的实施会受到多种外界因素的影响。一旦工程质量出现问题, 道路路况和周边居民的生活都会受到严重的影响。

本文针对沈阳西路管道检测及排水管道施工中存在的问题进行总结, 对不同的环境情况下产生的排水问题, 从做好施工控制、沟槽开挖及回填、管道结构性和

功能性修复、闭水试验等工作出发, 结合工程实际选用经济、合理的技术处理方案。同时, 需建立完善的质量控制体系, 对排水施工进行严格控制, 优化施工过程, 提升市政道路排水工程的整体质量, 这是实现城市基础设施建设的一个重要保障。

参考文献:

- [1] 孙昊辰. 浅谈市政工程给排水管道施工技术及其质量控制措施 [J]. 智能城市, 2018, 4(6): 143-144.
- [2] 曾强. 市政道路管线施工中的防渗漏施工技术措施分析 [J]. 智能城市, 2019, 5(1): 167-168.
- [3] 钟洪德. 排水管道缺陷内窥检测智能识别系统研究 [J]. 城市勘测, 2021, (05).
- [4] CJJ181-2012. 城镇排水管道检测与评估技术规程 [S].
- [5] 王广林. 市政排水管道闭水试验有关问题探讨 [J]. 黑龙江水利科技, 2021, 49(10).

基金项目: 国家自然科学基金 (项目编号: 61702269); 江苏省自然科学基金 (项目编号: BK20171074);

合计算双轮障碍（减速带）高度，并可以记录这些变形的精确经纬度位置，可以为路面养护精细化提供支持。

1 典型路面加速度信号

图1为典型路面实测加速度信号，其中I处的加速度为车辆碾压减速带产生的脉冲振动，其特点是振动强度高，一般超过1.2g，可达1.6g甚至更高，并且持续时间很短，同时波峰偶然出现；而II段为平整沥青路面振动，其特点是波峰值较小，一般不超过1.05g，由于地球引力产生1g加速度，故此时竖向加速度约为0.05g，并且临近时段的波峰值几乎都是一致的；在粗糙路段，车身竖向加速度一般超过1.05g，可以达到约1.1g，且相邻峰值较为一致。所以可以通过车身加速度判断路面平顺性状态，如表1所示。

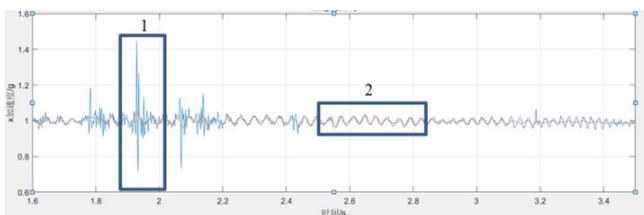


图1 路面实测加速度信号

表1 路面平顺性判别标准

	加速度幅值 (g)	加速度形状
光滑路面	<0.05	平稳，相邻幅值一致
粗糙路面	≥0.05 < 0.1	较平稳，相邻幅值较一致
脉冲变形（减速带）	≥0.2	脉冲

2 双轮脉冲振动障碍分析

当车辆产生加速度脉冲值（一般大于0.2g）且在x轴方向无旋转角度，Y轴方向有旋转角度（定性）时，通过为经过减速带等贯穿路面宽度的变形。

车辆经过减速带时产生的振动加速度是减速带高度和车速耦合的结果，可以通过车-路耦合作用模型进行分析^[8-9]。通过建立合适的车辆-路面耦合模型，将车辆简化成弹簧-质量-阻尼元件组成的有限自由度的力学系统，从而计算车辆的响应等参数。从而对汽车-路面相互作用关系进行理论和系统的研究。如半车或整车的，四自由度，七自由度模型。通过耦合模型可以模拟计算在不同车速和减速带高度，以及不同汽车机械参数条件下的，汽车车身竖向加速度^[10]，以及车轮，乘

客等的振动状态。

王亮通过建立多自由度的车辆-减速带相互作用模型，对减速带高度-车速-车身加速度关系进行了较为系统的研究^[11]，其结果如图2所示。从图2中可以看出，车身加速度随减速带高度的提高而提高，基本呈线性；随车速的提高，加速度提高，然后稳定。

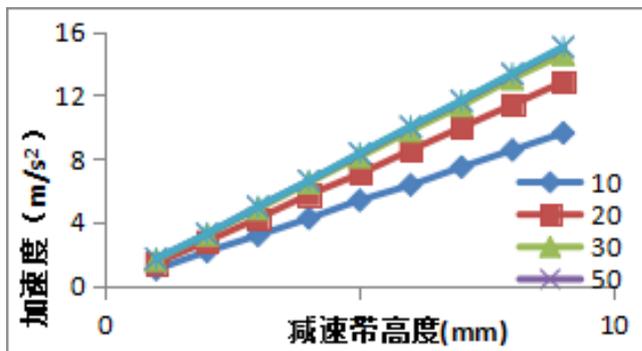


图2 不同车速条件下车身加速度-减速带高度关系

为获得具体的减速带高度的计算方法，本文建立以减速带高度为目标函数，以车速和加速度为自变量建立回归拟合模型。多元回归可以分析更多因变量同时影响下的指标变化规律，并得到具体的数学模型；且多项式回归比线性回归更灵活，可以模拟非线性的、较为复杂的关系，但次数选择不当容易过拟合。根据车身加速度-减速带高度-车速数据具体情况，本文选择完全多元二次回归分析法^[12]，其拟合公式如式（1）所示：

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_m x_m + \sum_{1 \leq j \leq k \leq m} \beta_{jk} x_j x_k + \varepsilon \quad (1)$$

将图2中的汽车加速度振动模拟奉献结果，带入式（1）进行拟合分析，最终建立高度模型如式1，以及关系分析结果图3所示：

$$H = 1.637 - 0.126CS + 0.87990.0919SJS - 0.004CS^2 - 0.0017SJS^2 + 0.0049CS \cdot SJS \quad (2)$$

其中H为减速带高度，单位cm；CS为车速，单位km/h；SJS为竖向加速度，单位1m/s²=0.1g。

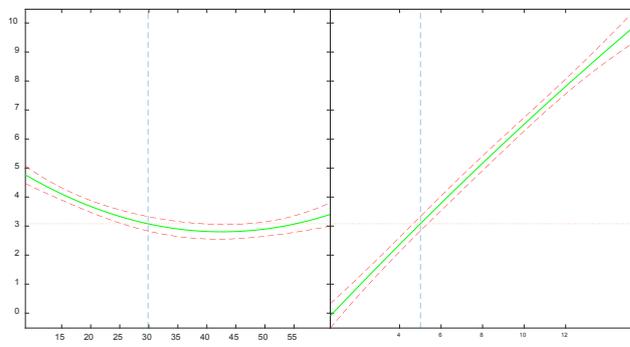


图3 车速-加速度-减速带高度耦合关系

从图3中可以看出，车身加速度随车速的提高开



始降低,但超过一定阈值后基本稳定;在减速带高度为4.5cm时,这个加速度停止增长的速度阈值为40km/h;大量数据分析表明,当减速带高度提高时,这个阈值也会提高,且加速度-车速曲线形状变化相对较大。加速度随减速带高度的提高而单调提高,基本接近线性。

高填方路基-桥台过渡段产生的错台结构也能导致路面脉冲加速度,也可以照此方法进行计算。此外水泥路面不同面板的高度差也会产生脉冲加速度,但其数值一般较小,约0.1g左右,对路面平顺性影响一般不大。

本文所搭建的系统可以自动记录加速度脉冲值出现的经纬度位置,通过导航软件可以自动确定病害的地理位置并导航,极大方便道路变形的复检和养护。

3 结论

(1) 本文建立了基于加速度的路面平顺性检测系统,可以高密度地反应路面平顺性情况,并确定了光滑路面,粗糙路面,脉冲变形路面的判别标准;

(2) 通过完全二元二次回归法,完全建立了路面脉冲变形(减速带)模型,可以通过汽车车速和加速度的实测值来计算路面脉冲变形(减速带)高度,并自动记录其经纬度位置;

(3) 分析了车速和减速带高度对车身加速度的影响规律。

参考文献:

- [1] 翟萍依. 汽车平顺性脉冲输入行驶试验研究. 长安大学, 2015.
- [2] 付梓君. 车-路耦合作用下沥青路面振动规律及能量谱表征研究 [D]. 长安大学.
- [3] 曹昱语. 路面平整度计量装置设计及其误差溯源研究

[D]. 哈尔滨工业大学, 2020.

[4] 路面减速带对汽车平顺性和安全性影响的仿真与试验研究. 南京工程学院. 2015

[5] 张金喜, 王琳, 周同举, 等. 基于行车振动的路面平整度智能检测方法研究 [J]. 中外公路, 2020, 40(1):6.

[6] Barbosa R S. Vehicle dynamic response due to pavement roughness[J]. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences & Engineering, 2011, 33(3):302-307.

[7] 宋开明. 基于车-路耦合系统振动测试的路面平整度估计方法 [D]. 哈尔滨工业大学, 2018.

[8] 许海亮, 何炼, 何兆才, 等. 考虑路面不平整度因素的车路耦合系统非线性数值模型 [J]. 公路交通科技, 2017, 34(8):6.

[9] Zhang H L, Yang W Q. Evaluation method of pavement roughness based on 5-DOF human-vehicle-road vibration model[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2010.

[10] 苗宏伦. 基于二自由度车辆模型的车路相互作用动力学试验研究 [D]. 石家庄铁道大学, 2015.

[11] 王亮. 基于减速带与路面作用救护车平顺性仿真与多目标优化. 吉林大学. 2017.

[12] 乔懿通. 油气井工作流体多性能参数自择优化技术研究 [D]. 中国石油大学(北京), 2018.

