

文章编号:1671-1637(2012)02-0024-08

足尺沥青混凝土路面加速加载动力响应

管志光^{1,3}, 庄传仪^{2,3}, 林明星¹

(1. 山东大学 机械工程学院, 山东 济南 250061; 2. 山东省交通科学研究所 高速公路养护技术交通行业
重点实验室, 山东 济南 250031; 3. 山东交通学院 工程机械系, 山东 济南 250023)

摘要:采用足尺沥青混凝土路面加速加载试验设备,检测了移动车辆荷载下路面结构的动力响应,分析了面层底部的动应变和土基顶竖向压应力,研究了车辆轴重、行驶速度和轮胎胎压对路面结构动力响应的影响,分别建立了动力响应与轴重、车速的回归模型,在不同轴重、车速和胎压下对4种路面结构进行了试验。分析结果表明:在行车荷载作用下,面层底部应变响应呈拉压应变交替状态;在中等试验温度条件下,面层底部应变响应随轴重的增加而线性增加,土基顶竖向压应力呈单向应力状态,且随轴重增加而增大;车速显著影响面层底部应变响应,但对竖向压应力影响不大,仅影响应力的脉冲持续时间;随车速增加,应力脉冲时间缩短,面层底部应变响应减小;重载车辆在低速行车时对路面的破坏作用更严重,但胎压对面层底部应变和土基顶竖向压应力影响较小。

关键词:沥青混凝土路面;加速加载试验;重载;足尺试验路;动力响应;应变

中图分类号:U416.217

文献标志码:A

Accelerated loading dynamic response of full-scale asphalt concrete pavement

GUAN Zhi-guang^{1,3}, ZHUANG Chuan-yi^{2,3}, LIN Ming-xing¹

(1. School of Mechanical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, Shandong, China; 2. Key Laboratory of Expressway Maintenance Technology of Ministry of Transport, Shandong Communications Science Research Institute, Jinan 250031, Shandong, China; 3. Department of Mechanical Engineering, Shandong Jiaotong University, Jinan 250023, Shandong, China)

Abstract: The dynamic response of pavement structure under moving vehicle loads was measured by using the accelerated loading test facility of full-scale asphalt concrete pavement. The dynamic strain at the bottom of surface layer for the pavement and the vertical compressive stress at the top of subgrade were taken as analysis objects, and the influences of axle load, speed and tire pressure on the dynamic response were studied. The regression models among dynamic response, axle load and speed were established respectively. Four kinds of pavement structures were tested in different axle loads, speeds and tire pressures. Analysis result shows that under moving vehicle loads, the strain response at the bottom of surface layer is in the alternative condition of tensile strain and compressive strain. Under intermediate test temperature, the strain response at the bottom of surface layer increases linearly with the increase of axle load, the vertical compressive stress at the top of subgrade shows uniaxial stressed state, and it increases with the increase of axle load. Speed affects the strain response at the bottom of surface layer significantly, but it has little influence on the vertical compressive stress, and affects the stress

收稿日期:2011-11-18

基金项目:交通运输部行业联合科技攻关项目(2009353337500);山东省交通科技项目(2008Y018);山东交通学院科研基金项目(Z200916)

作者简介:管志光(1980-),男,山东单县人,山东交通学院讲师,山东大学工学博士研究生,从事机电系统检测与控制研究。

导师简介:林明星(1966-),男,山东栖霞人,山东大学教授。

pulse duration only, and the stress pulse duration and strain response at the bottom of surface layer reduce with the increase of speed. The destroy degree of pavement is more serious in low speed and heavy load, but tire pressure has little influences on the strain at the bottom of surface layer and the vertical compressive stress at the top of subgrade. 5 tabs, 13 figs, 14 refs.

Key words: asphalt concrete pavement; accelerated loading test; heavy load; full-scale test road; dynamic response; strain

Author resumes: GUAN Zhi-guang(1980-), male, lecturer, doctoral student, +86-531-80687304, guanzhiguang_001@163.com; LIN Ming-xing(1966-), male, professor, +86-531-80687304, mxlin2000@163.com.

0 引言

近年来,中国高速公路运输结构发生了较大变化,呈现出重载、大流量和渠化交通等特点^[1],而现行的路面设计理论、方法和技术标准大都建立在传统低等级道路基础上^[2],未充分考虑超载超限、高胎压、低速行车对路面结构造成的影响,沥青混凝土路面早期破坏严重,路面长期性能明显不足。当前,公路交通超载超限现象依然严重,超载车辆为了保证行驶的稳定性,往往采取加大轮胎胎压,降低行驶速度等措施。载重车辆的单轴荷载从额定的100 kN增加到180 kN以上,轮胎充气压力从额定的0.7 MPa增加到1.0 MPa,甚至更高,远远超过了设计时的标准轴重。超载车辆在公路上行驶速度较低,对路面的破坏作用远大于标准轴重^[3],因此,在大轴重、高胎压、环境因素和慢速行驶耦合作用下,路面结构内部力学响应特性及其变化规律,以及路面结构的破坏形式和破坏机理,成为道路研究者面临的难题。前人在这方面陆续开展了相关的研究工作,董忠红等建立了移动荷载下粘弹性层状体系动力学模型,研究了重型车辆作用下沥青混凝土路面的动力响应规律,并进行了路面动力响应足尺试验研究,分析了温度、车轮偏移对路面动力响应的影响^[4],但未深入研究轴重、慢速行驶和胎压对路面结构动力响应的影响;张宏超等通过数值分析方法,建立路面结构有限元模型研究路面响应^[5];Siddharthan等利用弹性力学,建立移动荷载下层状体系的动力学模型^[6],但该方法采用的是弹性体的本构关系模型,在高温时仅仅是用沥青混合料的复模量代替弹性本构关系的模量,未经过试验路的检测和验证。

上述研究大都是建立在理论分析的基础上,由于理论分析存在诸多假定和简化,并缺少试验验证,使得部分结论存在一定的缺陷。为了真实模拟车辆在路面的实际运行状况,研究路面的破坏机理,深入

分析实际车辆荷载下路面结构的力学响应规律,本文通过自行开发研制的足尺沥青混凝土路面加速加载试验设备进行试验,根据试验结果构建了路面动力响应与车速、轴重的经验关系模型,分析了车速、轴重、胎压等参数对路面结构动力响应的影响规律,为分析与评价路面结构,改进路面结构设计,优化路面材料设计和施工工艺,提高道路建设的针对性、科学性和有效性提供参考。

1 足尺加速加载试验

1.1 足尺路面试验系统

足尺路面试验系统包括足尺沥青混凝土路面加速加载试验设备和数据采集系统。足尺路面试验系统利用足尺路面加速加载试验系统在试验路上模拟汽车施加荷载,数据采集系统及时采集和测定试验路的各种参数和状态,内容包括路表弯沉、路面结构内各结构层的应力应变动力响应、路面车辙、裂缝等。

通过修建足尺试验路并进行路面加速加载试验是目前国际上对路面结构设计理念和设计效果进行评价的主要手段之一^[7]。路面加速加载试验通过在短时间内采用可控制轴重的连续加载试验^[8-10],加速路面损坏,为路面破损的发展过程与机理及路面长期使用性能研究提供参考数据和技术支持。本文研制的具有完全自主知识产权的足尺沥青混凝土路面加速加载试验设备见图1^[11-12]。设备依靠单侧单轴或单侧双联轴施加荷载,实现单向循环式加载,加载有效长度可达9 m,最大轴重为280 kN,并能自动实现横向偏移,从而模拟实际道路行车荷载的轮迹分布,有效运行速度为10~26 km·h⁻¹,每天可对路面施加约9 000次单向设定轮载。轮胎为子午线全钢丝胎,双联轴轴距为1.4 m,双轮组轮隙宽度为11 cm。采用主动轮、从动轮双轮组碾压方式加载,提高了加载效率,真实再现了车辆在路面上的实际运行状态。

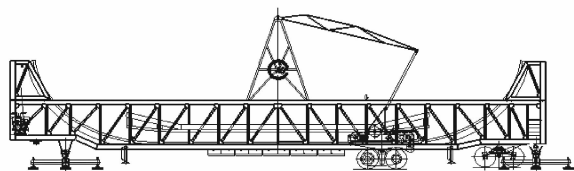


图 1 足尺沥青混凝土路面加速加载试验设备

Fig. 1 Accelerated loading test facility of full-scale asphalt concrete pavement

1.2 足尺沥青混凝土路面试验路概况

试验路位于山东交通学院路面加速加载实验室内,在水泥混凝土砌筑的试槽内铺筑足尺沥青混凝土路面。试槽长度为 50 m,宽度为 4 m,可减少试槽较窄时槽壁对路面应力分布状况的影响^[13],试槽深度为 2.5 m,足尺试验路路面与槽顶平齐。试验研究的目的之一是测量沥青混凝土面层底部动力响应,修订面层疲劳损坏模型。考虑到沥青混凝土结构层在半刚性基层路面结构中应变水平较低,导致疲劳寿命次数太多,因此,试验路采用级配碎石柔性

基层。根据试验路面层厚度和不同的土基类型分为 4 种路面结构,见表 1。按照路基、基层和面层施工技术规范进行试验路质量控制,按正常的施工工艺进行施工,筑路材料也都选用了当地高速公路建设所使用的各种材料,以保证试验路与实际的路面结构相同或接近。同时对原材料性能和混合料配比也做了相关试验,级配碎石采用《公路沥青路面设计规范》(JTG D50—2006)推荐的连续级配,沥青混凝土为 AC-13 型沥青混合料,其参数见表 2。

表 1 足尺试验路面结构

Tab. 1 Full-scale test pavement structures

结构	1	2	3	4
面层	7 cm AC-13	7 cm AC-13	9 cm AC-13	9 cm AC-13
基层	39 cm 级配碎石	39 cm 级配碎石	39 cm 级配碎石	39 cm 级配碎石
路基	粘土	粉土	粉土	粘土

原土基和刚性下卧层

表 2 沥青混合料参数

Tab. 2 Parameters of asphalt mixture

混合料类型	马氏试件标准密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	芯样毛体积密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	现场空隙率/ %	压实度/%	矿料间隙率/%	沥青饱和度/%
AC-13	2.5	2.4	5.0	97.6	14.5	65.8

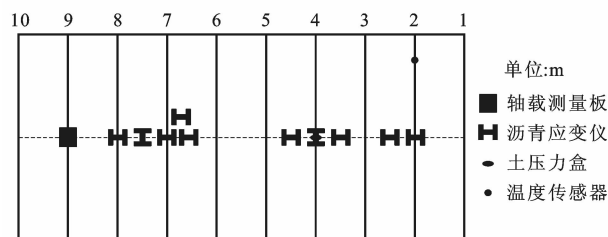
1.3 路面传感器埋设方案

分别在 4 种结构方案的面层层底埋设沥青应变仪,测量在行车荷载和环境因素作用下的动应变响应。在结构 2 粉土顶埋设土压力盒,观测车轮荷载传递下来的竖向压应力,为室内三轴试验及理论分析提供应力水平计算依据。在距面层层顶 2、5、9 cm 处以及路表各埋设一支温度传感器,路面环境采集系统实时监测路面温度和空气温度,每 15 min 自动采集和存储一次温度。路面传感器埋设见图 2,沥青应变仪分纵向和横向布置,分别观测面层层底纵向水平应变和横向应变,以及比较车轮横向偏移对面层动力响应的影响。

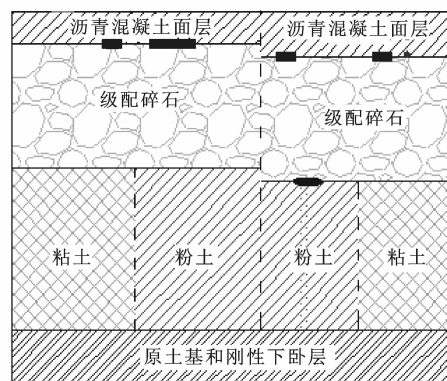
2 路面动力响应

2.1 力学响应计算

在《公路沥青路面设计规范》(JTG D50—2006)中,路面结构计算以弹性层状连续体系理论为基础,损坏模式主要考虑疲劳和路面结构的永久变形。为了分析沥青混凝土路面在加载过程中面层模量衰变以及应变响应规律,采用弹性层状体系理论作为理论计算模型,车轮荷载为双圆荷载,假定轮胎接地压力均匀分布,接地压强和当量圆随轮载的变化而变



(a) 水平面



(b) 竖直面

图 2 传感器埋设

Fig. 2 Sensor layout

化,而双圆中心距离和双轴距保持不变。轮胎接地压力根据轮压比与轴重比的经验关系确定^[14],即

$$p_c/p_s = (F_c/F_s)^{0.65} \tag{1}$$

式中： p_s 为标准轮压(MPa)； p_c 为计算轮压(MPa)； F_c 为计算轴重(kN)； F_s 为标准轴重(kN)。

轴重计算参数见表 3,材料参数选用 FWD 弯沉盆反算模量作为输入参数,FWD 弯沉检测时路面温度为 24.1℃;泊松比采用规范推荐值,路面结构参数见表 4,采用路面结构 2 和结构 4 进行计算。

表 3 轴重计算参数
Tab. 3 Calculating parameters of axle loads

轴重/kN	100	130	150	165	180	220
轮载/kN	25.0	32.5	37.5	41.3	45.0	55.0
接地压力/MPa	0.70	0.83	0.91	1.03	1.03	1.17
当量圆半径/cm	10.66	11.16	11.45	11.82	11.82	12.24

表 4 路面结构计算参数
Tab. 4 Calculating parameters of pavement structures

参数	实测厚度/cm		反算模量/MPa		泊松比
	结构 2	结构 4	结构 2	结构 4	
面层	8.8	8.2	7 837.5	7 693.9	0.35
基层	38.1	40.0	180.5	160.4	0.35
路基	75.0	80.0	117.4	127.9	0.30(结构 2)
下卧层			228.0	170.0	0.40

图 3 为结构 2 土基顶竖向压应力理论计算值与实测值,从中可以发现,路基顶竖向压应力随轴重的增加而增大,呈现线性变化关系,与埋设的路基顶土压力盒实测应力基本吻合,表现出高度一致性。

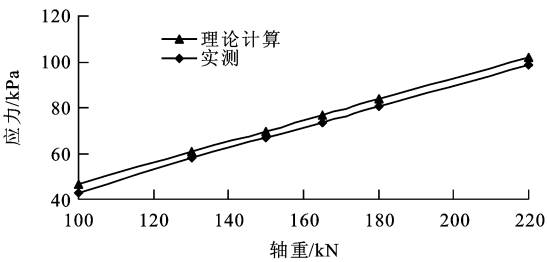


图 3 土基顶竖向压应力
Fig. 3 Vertical compressive stresses at top of subgrade

图 4 为不同轴重作用下,结构 2 和结构 4 面层层底应变响应和路基顶竖向压应力响应,可见,面层层底应变响应与轴重呈线性关系,随轴重的增加而增大,应变响应受路面结构层厚度影响较大;参数取值对计算结果同样有较大的影响,在实际行车荷载作用下,不同行驶速度对路面结构材料的影响不同,一般通过材料参数来体现,如结构层模量,上述计算中采用 FWD 实测弯沉反算模量作为输入材料参数,并不完全符合实际行车荷载作用下的材料特性。在目前理论体系中,很难准确选取合适的材料参数

值,无法通过理论计算获得真实的路面结构受力状态,因此,通过埋设先进的路面传感器,借助于足尺路面加速加载试验设备,分析路面结构动力响应随轴重、行驶速度及胎压的变化规律,以期路面结构设计提供参考。

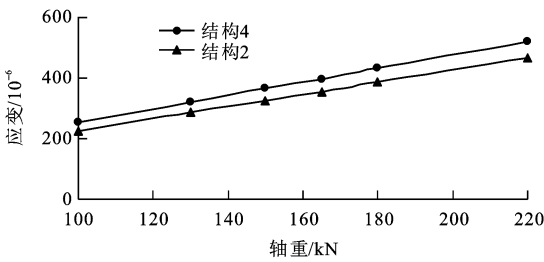


图 4 面层层底应变响应
Fig. 4 Strain responses at bottom of surface layer

2.2 路面动力响应试验设计

本次路面加速加载试验是在常温条件下进行的,研究路面结构动力响应随轴重、胎压和车速的变化规律。加速加载试验按照胎压、轴重和速度 3 个因素考虑,对 4 种路面结构进行了 18 种不同工况的试验(表 5),采集不同工况下的路面结构动力响应。

表 5 加速加载试验采集工况
Tab. 5 Measuring conditions of accelerated loading test

轮胎胎压/MPa	轴重/kN	运行速度/(km·h ⁻¹)		
0.8	100	17.8	22.6	26.5
0.8	130	17.8	22.6	26.5
0.8	165	17.8	22.6	26.5
1.0	100	17.8	22.6	26.5
1.0	130	17.8	22.6	26.5
1.0	165	17.8	22.6	26.5

足尺路面加速加载动力响应试验按表 5 工况,采取单侧单轴双轮组加载方式,采集应力、应变响应数据,同时记录路面温度数据,使用 DATAQ 高频数据采集系统对应变传感器采集数据。在加速加载试验设备运行时,应变传感器的输出信号随应变的变化而变化,在每种工况数据采集前,加速加载试验设备均在该工况下运行 5 min,完整地记录路面结构在运动荷载作用下的动力响应过程。

3 动力响应试验数据分析

3.1 轴重对沥青混凝土路面结构动力响应的影响

以面层层底动拉应变和土基顶压应力为指标,分析轴重对路面结构动力响应的影响。试验时,设定的加载速度为 22.6 km·h⁻¹,轮胎胎压为 0.8 MPa,通过调整液压缸压力改变轴重,并通过便携式动态称重仪校验轴重。试验中共进行了 100、130、165 kN

三个轴重等级下的动力响应试验,实测面层中间深度处路面温度为 26.3°C ,图 5 为轴重为 100 kN 时结构 4 面层水平纵向应变时间历程曲线。

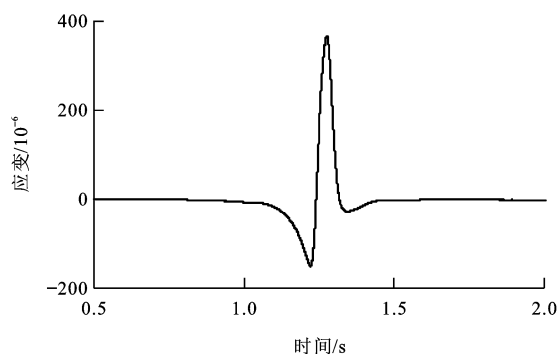


图 5 面层底部应变曲线

Fig. 5 Strain curve at bottom of surface layer

从图 5 可知,在移动车辆荷载作用下,面层底部动应变响应既有拉应变又有压应变,呈现明显的拉压应变交变状态,车轮到来和离去时,呈现压应变状态,且车轮离去时产生的压应变较车轮到来时产生的压应变明显偏小;车轮到达时,呈现拉应变状态,拉应变大于车轮到达前的压应变,最大拉应变约为最大压应变的 2.42 倍。本文采用 UTM-100 试验机进行了拉压应变交变状态的小梁弯曲疲劳试验,结果发现,其疲劳寿命与仅有拉应变下的常规疲劳试验结果差异显著,路面结构内水平拉压应变的交替变化是影响路面结构疲劳破坏的最重要因素之一,因此,在进行沥青混凝土路面疲劳寿命分析时,不但要考虑面层拉应变作用,而且要考虑压应变的作用,单纯以面层底部拉应变(或拉应力)为控制指标存在明显不足,应以应变幅值(即最大拉应变与最大压应变之差)作为控制指标。

图 6 为轴重为 100 kN 时结构 2 粉土路基顶竖向压应力时间历程曲线,土基顶部只受压应力作用,呈单向应力状态,响应时程曲线不对称,松弛时间略长于应力集中时间,但残余应力为 0,这说明在中等路面温度下,土基顶竖向应力受沥青混合料粘滞性的影响较小。

图 7 为结构 4 面层底部最大纵向应变响应随轴重的变化,可以看出,在不同的轴重等级下,面层层底纵向应变仍呈现拉压应变交变状态,车轮到达前的最大压应变、车轮到达时的最大拉应变和应变幅值均随轴重的增加而增大,能够反映轴重对其动力响应的影响,说明面层层底纵向应变幅值可以作为评价其力学性能的一个指标。在试验温度为 26.3°C 下,沥青混凝土路面体系的动力响应与轴重

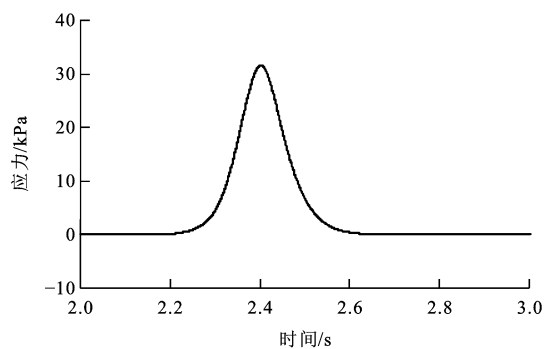


图 6 竖向压应力随时间变化曲线

Fig. 6 Change curve of vertical compressive stress with time

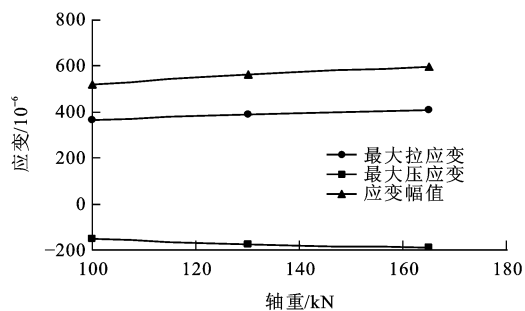


图 7 最大应变随轴重变化曲线

Fig. 7 Change curves of maximum strains with axle load

呈线性关系,可用线弹性体系理论研究柔性路面结构的动力特性与疲劳寿命。

图 8 为结构 2 土基顶最大竖向压应力随轴重的变化,随着轴重的增加,土基顶部的竖向压应力增大,能够反映轴重对其动力响应的影响。通过实测 FWD 弯沉反算粉土路基及其刚性下卧层在此应力水平下的等效模量约为 $170\sim 190\text{ MPa}$,因此,计算路基顶部竖向压应变为 $(1.88\sim 2.51)\times 10^{-4}$,Monismith 建议路基顶部竖向压应变在额定载荷下应控制在 2×10^{-4} 以内,在 130 kN 轴重作用下达到永久路面设计许用值,故可用路基顶部竖向压应力(压应变)作为级配碎石柔性基层沥青混凝土路面设计指标之一。分析发现,竖向压应力与轴重满足的对数关系为

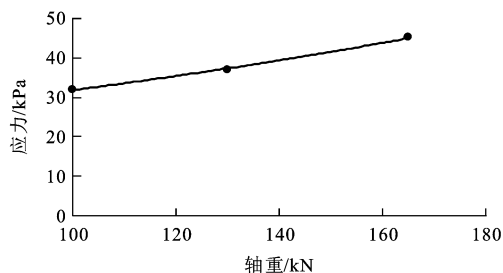


图 8 竖向压应力随轴重变化曲线

Fig. 8 Change curve of vertical compressive stress with axle load

$$\sigma = 18.694e^{0.0053W} \quad R^2 = 0.9978 \quad (2)$$

式中: σ 为土基顶承受的最大竖向压应力(kPa); W 为汽车轴重(kN); R^2 为判定系数。

3.2 车辆速度对路面结构动力响应的影响

为了考察车辆速度对级配碎石柔性基层沥青混凝土路面动力响应的影响,进行4个速度等级下路面结构动力响应加速加载试验,车辆速度分别为11.6、17.8、22.6、26.5 km·h⁻¹,轴重设置为130 kN,胎压设置为0.8 MPa。

3.2.1 车辆荷载脉冲时间模型的构建

在路面结构中沥青混合料是粘弹性材料,其动态模量是车辆加载频率和路面温度的函数。实验室内沥青混合料、粒料和土等的重复加载试验的加载波形和时间历程都应模拟野外实际情况,而道路实际的应力应变脉冲时间的确定对研究路面动力响应特征和指导材料试验有重要意义。本文借助足尺路面加速加载试验,实测了结构2在4种车速下土压力计的竖向应力,见图9,可见车速对竖向应力影响不大,仅影响竖向应力的荷载作用持续时间。图10为不同速度时竖向应力的脉冲持续时间,随着车速的增加,路基顶竖向压应力脉冲时间缩短,但并非按线性比例缩减,而是随车辆行驶速度的增加,脉冲时间缩短速率明显变缓,主要原因在于荷载作用频率越高,材料力学性质越趋向于弹性,沥青混凝土的黏度越小,动力荷载下的响应迟滞性明显减小。

回归分析应力脉冲时间与车速的关系,发现应力脉冲时间与车速间满足相关性较高的指数关系模型,即

$$t = 0.8482e^{-0.0494V} \quad R^2 = 0.9707 \quad (3)$$

式中: t 为应力脉冲时间(s); V 为车速(km·h⁻¹)。

脉冲时间受路面结构组合和厚度的影响很大,式(3)未考虑路面结构厚度,且样本量有限,随着加

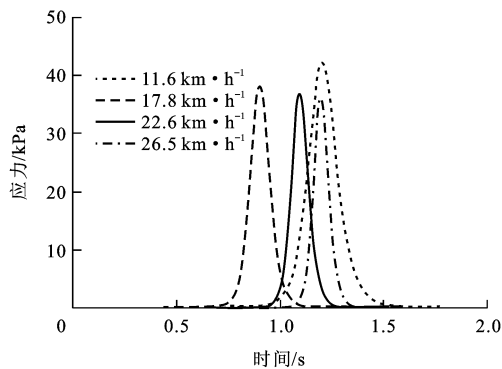


图9 不同车速下竖向压应力
Fig. 9 Vertical compressive stresses under different speeds

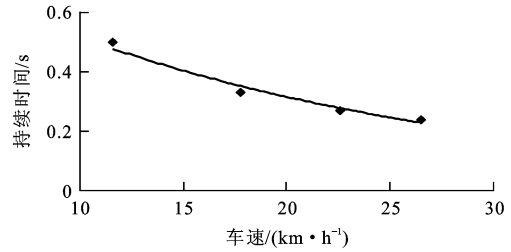


图10 不同车速下的应力脉冲持续时间

Fig. 10 Stress pulse durations under different speeds

速加载试验路和长期性能观测试验路数据的积累,可进一步对该模型进行标定和修正。

3.2.2 车速与路面响应

车辆行驶速度不仅直接关系到荷载的作用时间和应力应变响应的脉冲时间,而且粘弹性材料的模量受车速的影响较大,通常速度越大,模量越大,而路面的应力应变响应越小。

借助于直线式加速加载试验仪器,实测了低速行驶状态下路面结构动力响应。图11为结构4在相同轴重作用下应变响应与行驶速度的关系,图12为结构2在相同轴重作用下土基顶竖向压应力与行驶速度的关系,发现车速显著影响面层层底应变响应,但对路基顶竖向压应力影响不大,且随着车速的增加,应变和应力响应变化明显趋缓。

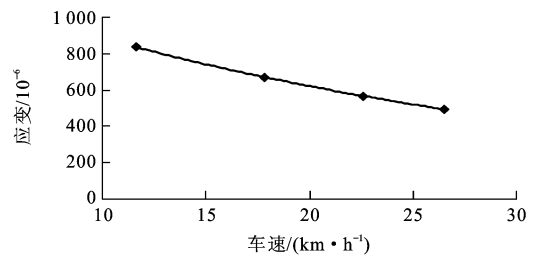


图11 车速与应变关系

Fig. 11 Relation between speed and strain

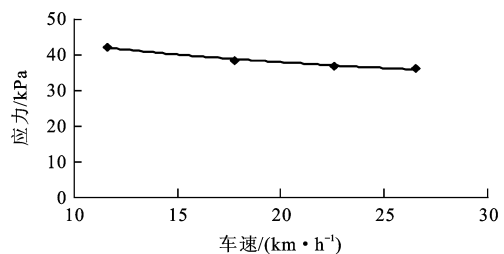


图12 车速与竖向压应力关系

Fig. 12 Relation between speed and vertical compressive stress

回归分析表明,最大应变与车速指数关系模型相关性最高,面层层底最大应变幅值 ϵ 与车速 V 的关系模型为

$$\epsilon = 1259.8e^{-0.0353V} \quad R^2 = 0.9997 \quad (4)$$

土基顶承受的最大竖向压应力与车速之间的对

数关系模型相关性最高,关系模型为

$$\sigma = -7.4786 \ln(V) + 60.422 \quad R^2 = 0.9869 \quad (5)$$

3.3 胎压对沥青混凝土路面结构动力响应的影响

为了考察胎压对级配碎石柔性基层沥青混凝土路面动力响应的影响,进行 2 个胎压等级下路面加速加载试验研究。胎压设为 0.8、1.0 MPa 两个等级,试验轴重设为 130 kN,加载速度为 $22.6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$,图 13 为面层层底应变和土基顶竖向压应力随胎压的变化曲线。

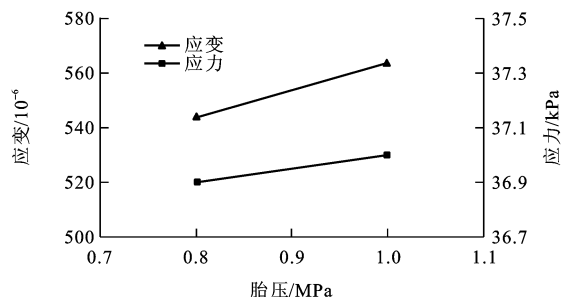


图 13 应变和应力随胎压变化曲线

Fig. 13 Change curves of strain and stress with tire pressure

由图 13 可以看出,面层层底部动应变、土基顶竖向压应力均随胎压的增加而增大,说明胎压的增加提高了车辆对路面结构的破坏作用,但动力响应受胎压影响较小,从 0.8 MPa 到 1.0 MPa,面层层底部动应变增大了 3.7%,土基顶竖向压应力仅增大了 0.3%,表明胎压对面层层底应变和土基顶竖向压应力影响均不大,但对面层内部最大剪应变或者面层层底部最大剪应变影响严重,且越靠近路表,受胎压影响愈大,这也能从一方面解释路面纵向裂缝从上向下扩展的形成机理。

4 结 语

(1)在行车荷载作用下,沥青混凝土面层层底部动应变响应呈拉压应变交变状态,车轮到来和离去时,呈现压应变状态,且车轮离去时产生的压应变较车轮到来时产生的压应变明显偏小;车轮到达时,呈现拉应变状态,拉应变大于车轮到达前的压应变。拉压应变交变状态的小梁弯曲疲劳试验与仅受拉应变作用时结果差异明显,因此,在进行沥青混凝土路面疲劳寿命计算时,面层层底部拉应变和压应变均需考虑,以应变幅值作为沥青混合料疲劳寿命的设计参数。

(2)在试验温度(26.3°C)下,最大压应变、最大拉应变和应变幅值均随轴重的增加而线性增大,因此,可采用线弹性体系理论研究中温度条件下柔

性路面结构的动力特性和疲劳寿命。

(3)路基顶承受单向压应力状态,响应时程曲线不对称,松弛时间略长于应力集中时间。随轴重增加,路基顶部的竖向压应力增大,路基顶部竖向压应力(压应变)可作为级配碎石柔性基层沥青混凝土路面设计指标之一,回归分析表明最大竖向压应力与轴重满足对数关系。

(4)车速显著影响面层层底应变响应,但对竖向应力影响不大,仅影响竖向应力的脉冲持续时间;应力脉冲持续时间与车速满足相关性较高的指数关系,随着车速的增加,路基顶竖向压应力脉冲时间缩短,且脉冲时间缩短速率显著减缓。

(5)随车速的增加,级配碎石柔性基层沥青混凝土路面结构的面层层底应变幅值减小。实测面层层底最大应变幅值与车速满足相关性较高的指数关系模型,路基顶竖向压应力与车速的对数关系模型相关性最高。

(6)胎压对面层层底拉应变和土基顶竖向压应力影响很小,但胎压升高对面层剪应力或剪应变影响严重,为路面从上向下裂缝的产生机理指明了研究方向。

参 考 文 献 :

References :

- [1] 傅 珍. 超载运输对路面结构的损伤研究[D]. 西安: 长安大学, 2004.
FU Zhen. Damage on pavement structure by overloading transport[D]. Xi'an: Chang'an University, 2004. (in Chinese)
- [2] 崔 鹏, 邵敏华, 孙立军. 长寿命沥青路面设计指标研究[J]. 交通运输工程学报, 2008, 8(3): 37-42.
CUI Peng, SHAO Min-hua, SUN Li-jun. Research on design indices of perpetual asphalt pavement[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2008, 8(3): 37-42. (in Chinese)
- [3] 刘大维, 陈 静, 霍 炜, 等. 车辆行驶速度对路面损伤的研究[J]. 农业机械学报, 2003, 34(1): 11-13.
LIU Da-wei, CHEN Jing, HUO Wei, et al. Effect of vehicle speed on damage of pavement[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2003, 34(1): 11-13. (in Chinese)
- [4] 董忠红, 吕彭民. 交通荷载下沥青路面结构动力响应理论研究[J]. 郑州大学学报: 工学版, 2007, 28(4): 88-91, 95.
DONG Zhong-hong, LU Peng-min. Theoretical research of the dynamic response of asphalt pavement structure under traffic loads[J]. Journal of Zhengzhou University: Engineering Science, 2007, 28(4): 88-91, 95. (in Chinese)
- [5] 张宏超, 孙立军. 沥青路面早期损坏的现象与试验分析[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2006, 34(3): 331-334.

- ZHANG Hong-chao, SUN Li-jun. Development and analysis of premature failures of the asphalt pavements[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2006, 34(3): 331-334. (in Chinese)
- [6] SIDDHARTHAN R V, SEBAALY P E, EL-DESOUKY M, et al. Heavy off-road vehicle tire-pavement interactions and response[J]. Journal of Transportation Engineering, 2005, 131(3): 239-247.
- [7] 郑南翔,牛思胜,许新权.重载沥青路面车辙预估的温度-轴载-轴次模型[J].中国公路学报,2009,22(3):7-13.
- ZHENG Nan-xiang, NIU Si-sheng, XU Xin-quan. Temperature, axle load and axle load frequency model of rutting prediction of heavy-duty asphalt pavement[J]. China Journal of Highway and Transport, 2009, 22(3): 7-13. (in Chinese)
- [8] 孟书涛. 沥青路面合理结构的研究[D]. 南京:东南大学, 2005.
- MENG Shu-tao. Study on reasonable structure of asphalt pavement[D]. Nanjing: Southeast University, 2005. (in Chinese)
- [9] MARTIN A E, WALUBITA L F, HUGO F, et al. Pavement response and rutting for full-scale and scaled APT[J]. Journal of Transportation Engineering, 2003, 129(4): 451-461.
- [10] BROWN S F. Accelerated pavement testing in highway engineering[J]. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Transport, 2004, 157(3): 173-180.
- [11] 管志光,王旭光,张吉卫.路面加速加载数据采集系统的设计[J].筑路机械与施工机械化,2011,28(3):78-80,84.
- GUAN Zhi-guang, WANG Xu-guang, ZHANG Ji-wei. Design of data acquisition system for pavement accelerated loading device[J]. Road Machinery and Construction Mechanization, 2011, 28(3): 78-80, 84. (in Chinese)
- [12] 管志光,王旭光,张吉卫.路面加速加载试验设备控制系统的研究[J].山东交通学院学报,2010,18(2):59-61,86.
- GUAN Zhi-guang, WANG Xu-guang, ZHANG Ji-wei. Research on control system of highway accelerated loading testing facility[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2010, 18(2): 59-61, 86. (in Chinese)
- [13] 颜利,周晓青,李宇峙,等.基于直道足尺车辙试验的沥青路面重载轴载换算方法研究[J].公路交通科技,2006,23(3):35-39.
- YAN Li, ZHOU Xiao-qing, LI Yu-zhi, et al. Research on heavy-load axle conversion for asphalt pavement based on rutting test on full scale linear track[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2006, 23(3): 35-39. (in Chinese)
- [14] 聂亿华.全柔式长寿命沥青路面(FF-LLAP)结构及其设计方法研究[D].长沙:中南大学,2007.
- NIE Yi-hua. Study for structures and design methods of full flexible long life asphalt pavement (FF-LLAP)[D]. Changsha: Central South University, 2007. (in Chinese)

《建筑科学与工程学报》入编《中文核心期刊要目总览》

2012年1月,《中文核心期刊要目总览》2011年版编委会公布了中文核心期刊名单,《建筑科学与工程学报》入编《中文核心期刊要目总览》2011年版之建筑科学类核心期刊。

《中文核心期刊要目总览》2011年版系第六版,为了使期刊评价更加科学合理,《中文核心期刊要目总览》2011年版编委会课题组在总结前五版研制经验的基础上,进一步改进评价方法,运用定量评价和定性评价相结合的方法,根据被引量、被摘量、被引量、他引量、被摘率、影响因子、被国内外重要检索工具收录、基金论文比、Web下载量9个评价指标进行定量评价,经过筛选和专家定性评审,从14400多种期刊中评选出1982种中文核心期刊。《建筑科学与工程学报》系首次入选,标志着《建筑科学与工程学报》在稳步发展中迈上了一个新台阶。