

文章编号:1671-6833(2008)02-0123-04

车辆速度对沥青路面动力响应影响试验研究

董忠红, 郑仲浪, 吕彭民

(长安大学 道路施工与装备教育部重点实验室, 陕西 西安 710064)

摘要:通过野外现场试验,检测运动车辆荷载下沥青路面各层层底的动应变响应,以面层底部的动应变为分析对象,研究车辆速度对沥青路面结构动力响应的影响.研究发现,面层底部动应变既包括拉应变,又包括压应变,呈拉压应变交替状态,一定应力比下沥青混凝土的疲劳寿命与简单拉应力下的疲劳寿命差异严重,进行沥青路面结构设计时,应以应变或应力循环范围为动态设计控制参数;随着车速提高,最大拉应变和应变幅度总体呈现下降趋势,最大压应变和应变比总体呈上升趋势.重载车辆在低速状态对路面的破坏作用更加严重.应变比既受轴重的影响又受速度的影响,正常车辆速度下,14 t后桥轴重车辆作用下面层底部应变比约-2.6~-2.1,20 t后桥轴重车辆作用下面层底部应变比约-4.4~-3.6.

关键词:野外现场试验;沥青路面;动力响应;速度;应变比;疲劳寿命

中图分类号: U 416 **文献标识码:** A

0 引言

目前世界各国的沥青路面设计方法中,把车辆荷载视为静荷载或近似等效静荷载.随着车速增高,静载模式不能反映路面结构的实际受力状况.为确保设计方法能够良好反映现实交通状况,需要采用动态设计模式.动态设计模式与静态设计模式的根本差别在于动态设计模式考虑车辆速度对沥青路面结构力学行为的影响.

美国、欧共体、加拿大等发达国家投入大量资金修筑试验路^[1-3],研究运动车辆荷载下路面结构的动力响应. Siddharthan^[4-7]、Sebaaly^[4-7]、Hardy^[8]、Helwany^[9]等学者在试验研究的基础上建立了一定的物理模型,采用数值仿真技术研究沥青路面结构动响应.我国在该领域的研究相对较少,尤其在试验研究方面,主要通过研究路表弯沉评价沥青路面结构动态性能^[10-11].

笔者选择动应变这一直接参数评价沥青路面结构动态性能.修筑试验路,检测高速重载车辆荷载下沥青路面结构各个结构层的动态响应,分析车辆速度对路面结构动力响应的影响规律.

1 工程背景

西宝高速公路属国家重点工程,双向4车道

沥青路面结构,因长期服役出现各种不同程度的病害,无法满足交通需要,于2006年对西宝高速西安至宝鸡方向西兴段和蔡宝段进行路面大修.笔者于K180段修建试验段,试验段大修内容包括基层和面层,基层长度约600 m,面层与相邻标段结合,长约6 km.整修后沥青路面基层采用20 cm水泥稳定碎石结构,面层采用4层沥青混凝土结构,上面层和上中面层均为改性沥青,改性剂为SBS,上面层掺加5%的改性剂,上中面层掺加3%的改性剂,上面层采用4 cm AC-13C结构;中面层分上中面层和下中面层,均采用5 cm AC-20C结构;下面层采用6 cm AC-25C结构.

2 试验方案

为了验证沥青路面结构动态响应的重复性,选择3个断面进行检测,断面之间相距12 m.在表面层、上中面层、下中面层、底面层和基层的下表面布置传感器,可以获得各个结构层层底的弯拉应变.如图1所示,传感器方向有的沿车辆行驶方向,有的垂直车辆行驶方向,分别检测纵向应变和横向应变.目前常用载重车单个轮胎轮迹宽约200~260 mm,双排轮胎轮迹宽约540 mm.为保证试验车轮能够压住传感器,布置传感器横向(垂直车辆行驶方向)距离为200 mm.同时,在纵

收稿日期:2007-11-10;修订日期:2008-03-10

基金项目:西部交通建设科技资助项目(200531881212)

作者简介:董忠红(1975-),男,河南开封人,长安大学讲师,博士研究生,主要从事车辆—道路系统动力学研究.

向相距 400 mm 轮迹中间位置再埋设一个传感器. 整个试验路共布置 76 个传感器.

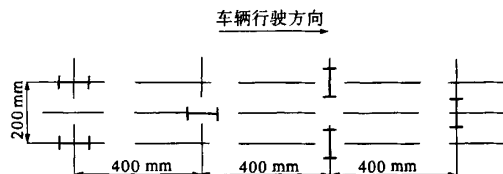


图 1 传感器布点图

Fig. 1 Layout of the Sensors

为保证传感器位置的材料性质与其它位置的一致,检测结果能够反映道路结构实际力学行为,笔者选择在施工过程中埋设传感器,传感器上不作特殊保护.运料车的轮胎和摊铺机的履带容易粘结导线,拉动传感器,因此,运料车到来前,在运料车轮胎和摊铺机履带碾压到的相应位置摊铺些沥青混合料,盖住导线,如图 2 所示.



图 2 传感器埋设现场

Fig. 2 Embedding the Sensors

3 试验结果

试验中选用单后桥和双后桥车辆作为加载装置,每种车辆有 6 个轴重等级,每个轴重等级进行 6 个速度等级的试验研究.限于篇幅,这里只给出后桥轴重为 14 t 和 20 t 的单后桥车辆作用下沥青路面面层底部动应变时间历程,以下面层底部动应变为评价指标,研究车辆速度对沥青路面结构动力响应的影响.对于这 2 个轴重等级的试验车,试验速度有 5、20、30、50、60、70 km/h 等 6 个速度等级.

图 3 和图 4 为后桥轴重为 14 t 的单后桥车辆通过时,各个速度下的面层底部动应变响应曲线.图 5 和图 6 为后桥轴重为 20 t 的单后桥车辆通过时,各个速度下的面层底部动应变响应曲线.从曲线上明显看出,实际车辆荷载下,面层底部弯拉应变既有拉应变,又有压应变,呈拉压应变交变状

态.项目组采用 MTS 试验机进行了不同应力比下的小梁弯曲疲劳寿命试验,结果发现,其疲劳寿命及断口与仅有拉应力下的常规疲劳试验结果差异显著.因此,在路面设计时,以面层底部拉应变(或拉应力)为控制指标存在明显不足.进行沥青路面结构动态设计时,应该以应变(或应力)循环幅度为设计参数,以应变(或应力)循环次数为设计指标.

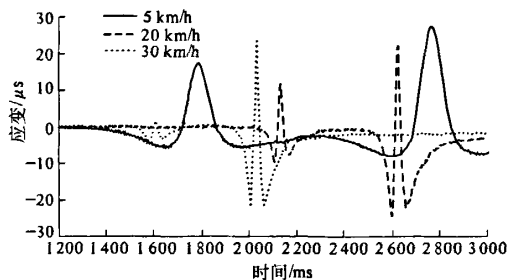


图 3 14 t 后桥轴载时面层底部动应变(I)

Fig. 3 Dynamic Strain at the bottom of the AC layer under 14 t Rear Axle Load Vehicle (I)

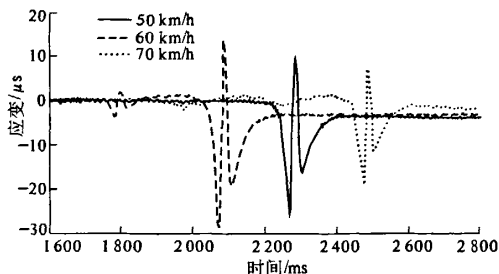


图 4 14 t 后桥轴载时面层底部动应变(II)

Fig. 4 Dynamic Strain at the bottom of the AC layer under 14 t Rear Axle Load Vehicle (II)

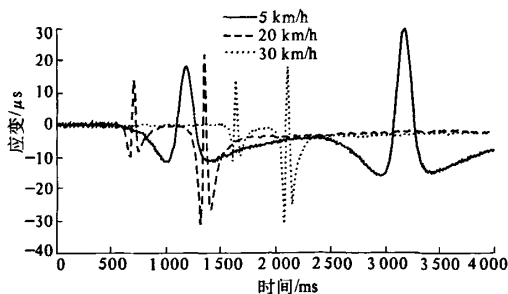


图 5 20 t 后桥轴载时面层底部动应变(I)

Fig. 5 Dynamic Strain at the bottom of the AC layer under 20 t Rear Axle Load Vehicle (I)

从各个图中知道,后桥产生的动响应比前桥大.为便于分析,这里统计出各个速度下后桥作用下,面层底部产生的最大拉应变(ε_{\max})、最大压应

变(ε_{\min})、应变幅度($\Delta\varepsilon$)、最大压应变和最大拉应变的比值(r).如表 1 和表 2 所示.

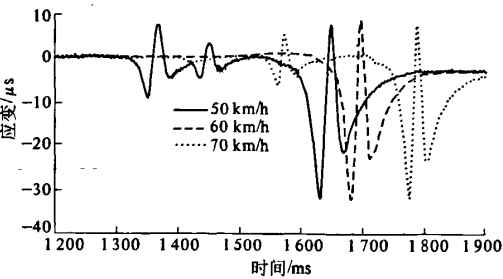


图 6 20 t 后桥轴载时面层底部动应变(Ⅱ)
Fig.6 Dynamic Strain at the bottom of the AC layer under 20 t Rear Axle Load Vehicle (Ⅱ)

表 1 后桥轴重为 14 t 车辆作用下面层底部动应变

Tab.1 The dynamic strain at the bottom of the AC layer under 14t Rear Axle Load Vehicle

速度 (km/h)	最大拉应变 $\varepsilon_{\max}/\mu\varepsilon$	最大压应变 $\varepsilon_{\min}/\mu\varepsilon$	应变幅度 $\Delta\varepsilon/\mu\varepsilon$	应变比 r
5	27.2	7.8	35	-0.3
20	22.6	24.1	46.7	-1.1
30	24.1	21.7	45.8	-0.9
50	9.9	25.4	35.3	-2.6
60	14.0	28.7	42.7	-2.1
70	8.3	19.4	27.7	-2.3

表 2 后桥轴重为 20t 车辆作用下面层底部动应变

Tab.2 The dynamic strain at the bottom of the AC layer under 20t Rear Axle Load Vehicle

速度 /km·h	最大拉应变 $\varepsilon_{\max}/\mu\varepsilon$	最大压应变 $\varepsilon_{\min}/\mu\varepsilon$	应变幅度 $\Delta\varepsilon/\mu\varepsilon$	应变比 r
5	30.2	16.0	46.2	-0.5
20	22.2	31.0	53.2	-1.4
30	18.3	29.6	47.9	-1.6
50	7.3	31.9	39.2	-4.4
60	9.2	32.8	42	-3.6
70	7.5	31.9	39.4	-4.3

由表 1 和表 2 可知:

(1)对于最大拉应变,2 个轴重等级下总体情况是随着速度的增加,最大拉应变减小.14 t 后桥轴重车辆荷载作用下,速度为 50 km/h 时产生的拉应变相当于 5 km/h 时的 44%.20 t 后桥轴重车辆荷载作用下,速度为 50 km/h 时产生的拉应变相当于 5 km/h 时的 24%.一般认为,面层底部拉应变是产生疲劳破坏的主要原因.因此,速度越低,车辆对路面的破坏作用越严重.同时还说明实际交通荷载下沥青路面的动力响应较静态荷载下分析结果小.

(2)对于最大压应变,2 个轴重等级下总体情况是随着速度的增加,最大压应变增加.14 t 后桥轴重车辆荷载作用下,速度为 50 km/h 时产生的压应变相当于 5 km/h 时的 3.3 倍.20 t 后桥轴重车辆荷载作用下,速度为 50 km/h 时产生的压应变相当于 5 km/h 时的 2.0 倍.

(3)2 个轴重等级下,应变幅度基本上随车速增加而减小.主要因为沥青路面存在着严重的阻尼和迟滞效应.随着速度增加,轮胎作用下沥青面层层层拉应变明显减小,从而使应变范围趋于下降.

(4)对于实际重载运输车辆,车速一般在 50 ~ 70 km/h.从表中知道,该速度区间内,面层底部压应变明显大于拉应变.因此,进行沥青路面结构设计时,仅以拉应变(或拉应力)作为设计控制指标是不合理的.众所周知,静荷载下,沥青混凝土材料的抗压强度远高于抗拉强度.但在移动车辆荷载下,这种由“沥青胶泥+集料”组成的材料,承受反复交变应变作用,压应变作用时,集料会发生一定的转动,沥青胶泥和集料之间的粘结作用容易遭到破坏,使得抗拉强度大幅度下降,因此,沥青路面动态设计时,不但要考虑面层底部拉应变的作用,而且要考虑压应变的作用,疲劳寿命试验时应考虑应变比(即最大压应变与最大拉应变之比)的影响.

(5)应变比不仅受速度影响,还受轴重大小影响.进行疲劳寿命试验研究时,应根据应力(应变)比选择合适的试验荷载.从表 1,表 2 中知道,荷载越大,应变比越大.14 t 轴重交通荷载时,应变比在 -2.6 ~ -2.1 之间;20 t 轴重交通荷载时,应变比在 -4.4 ~ -3.6 之间.

4 结论

笔者通过检测实际重载车辆下沥青路面结构动应变响应,以面层底部弯拉应变为研究对象,分析车辆速度对沥青路面结构动力响应的影响,可以得到如下结论:

- (1)实际移动车辆荷载下,沥青路面面层底部产生的动应变既包括拉应变,又包括压应变,呈拉压应变交变状态.沥青路面动态设计时应该以应变或应力循环幅度为设计参数,以应变或应力循环次数为设计指标.
- (2)随着车辆速度的增加,最大拉应变总体呈减小趋势.面层底部弯拉应变是产生疲劳破坏的主要原因.因此,低速重载车辆对路面结构疲劳

破坏作用更大。

(3)随着车速的增加,最大压应变总体呈上升趋势。

(4)应变幅度随车速提高总体呈下降趋势,应变比随速度增加在明显增加。实际运输重载车辆行驶速度一般在50~70 km/h,14 t轴重交通荷载下,应变比约为-2.6~-2.1;20 t轴重交通荷载下,应变比约为-4.4~-3.6。

参考文献:

- [1] PRIESTA L, TIMM D H. A full-scale Pavement structural study for mechanistic-empirical Pavement design [J]. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, 2005, 74: 110-114.
- [2] VACIN O, MARK K. Field strain criteria for asphalt mixes at the CPATT test road [J], Proceedings 50th Anniversary Edition, 2004.
- [3] IMAD L A Q, YOO P J. Effects of tire configurations on Pavement damage [J]. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, 2005, 74: 133-138.
- [4] ZAFIR Z, SIDDHARTHAN R, PETER S. Dynamic Pavement-strain histories from moving traffic load [J]. Journal of Transportation Engineering, 1994, 120(5).
- [5] RIDDHARTHAN R, YAO J, SEBBALY P. Pavement strain from moving dynamic 3D load distribution [J]. Journal of Transportation Engineering, 1998, 120(6): 277-281.
- [6] SIDDHARTHAN R, SEBBALY P. Heavy off-road vehicle tire-Pavement interactions and response [J]. Journal of Transportation Engineering, 2005, 131(3): 741-745.
- [7] SIDDHARTHAN R, SEBAALY P. Investigation of tire contact stress distributions on Pavement response [J]. Journal of Transportation Engineering, 2002, 128(2): 1370-1375.
- [8] HARDY M S A, CEBON D. Response of continuous Pavements to moving dynamic loads [J]. Journal of Engineering Mechanics, 1993, 9(9): 1762-1780.
- [9] SAM H, DYER J, Leidy J. Finite-element analysis of flexible Pavement [J]. Journal of Transportation Engineering, 1998, 124(5): 2214-2219.

Experiment Study on the Influence of the Vehicle Velocity on the Asphalt Pavement Dynamic Response

DONG Zhong-hong, ZHENG Zhong-lang, LÜ Peng-min

(Key Laboratory for Highway Construction Technology and Equipment of the Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: To study the dynamic response of the asphalt pavement under real traffic load, the dynamic strain at the bottom of each layer was examined in field, and the influence of the vehicle speed on the dynamic response of the asphalt pavement was discussed based on the the dynamic strain at the bottom of the AC layer. The results show that there is not only tensile strain but also compressive strain in the dynamic response, especially, there is quite difference between the fatigue life of asphalt concrete under some strain ratio condition and that under simple tension condition, so the strain or stress changing scope should be considered as a design parameter. With the increase of running speed, the maximum tensile strain and strain changing scope decrease, while the maximum compressive strain and strain ratio increase as a whole. Therefore, the fatigue damage caused by slow speed truck is more serious than that by high speed truck. The strain ratio is markedly affected by axle load, such as the strain ratio is about -2.6~-2.1 when vehicle axle load is 14t, while it is about -4.4~-3.6 when vehicle axle load is 20 t.

Key words: field test; asphalt pavement; dynamic response; speed; strain ratio; fatigue life