

DOI: 10.3969/j.issn/1671-6841.2012.02.026

FWD作用下沥青路面动态弯沉数值分析

郑元勋¹, 熊晓莉², 黄静卿¹

(1. 郑州大学 水利与环境学院 河南 郑州 450001; 2. 河南工业大学 土建学院 河南 郑州 450001)

摘要: 在有限元原理的基础上,建立了沥青路面动力特性模型,并通过与实测数据进行对比分析验证所建模型的精度,研究了在FWD作用下路面厚度、模量、加载速度对路面动态弯沉的影响,研究结果有助于根据路面结构的动力特点进行路基路面结构设计,同时对分析路面损坏的原因及采取何种预防措施提供参考及依据。

关键词: 沥青路面; 动态弯沉; FWD; 数值分析

中图分类号: U 416.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-6841(2012)02-0120-05

0 引言

我国现行的沥青路面设计方法采用设计弯沉作为路面整体刚度的设计指标,高速公路、一级公路和二级公路的沥青路面除了按弯沉设计路面结构外,还需对沥青混凝土结构面层和半刚性基层、底基层进行层低拉应力的验算,城市道路路面设计尚需进行沥青混合料面层的剪应力验算。FWD作为目前道路检测领域主流的弯沉测量设备,很有必要研究FWD作用下的沥青路面弯沉及路面厚度、模量、加载速度对其的影响,进而了解路面弯沉变化特点,有助于优化路基路面结构设计,预防路面早期损坏的发生^[1-5]。

1 试验路段选取

选取一条典型路段,路面结构及材料参数如表1所示。

表1 试验路段结构

Tab.1 Structure of asphalt pavement

材料参数	厚度/cm	弹性模量/MPa	泊松比	内摩擦角/(°)	黏聚力/(kPa)	密度/(kg·m ⁻³)
面层 细粒式沥青混凝土	5	1 400	0.25	60	350	2 500
中粒式沥青混凝土	10	1 200	0.25	60	350	2 500
上基层 5%水泥稳定碎石	15	1 800	0.25	40	250	2 400
下基层 3%水泥稳定碎石	15	1 500	0.25	40	250	2 400
底基层 水泥石灰砂砾土	20	700	0.25	40	250	2 300
路基 土基	300	60	0.40	22	55	1 900

2 基于 ANSYS 有限元模型的建立及验证

建立三维有限元模型的相关假设、边界处理方法及有限元模型精度验证见文献[6]。三维有限元模型及尺寸见图1和2,有限元模型精度验证见表2^[6-12]。

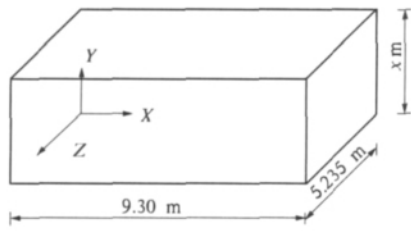


图 1 路面三维模型尺寸

Fig. 1 Sizes of three dimensional models of road

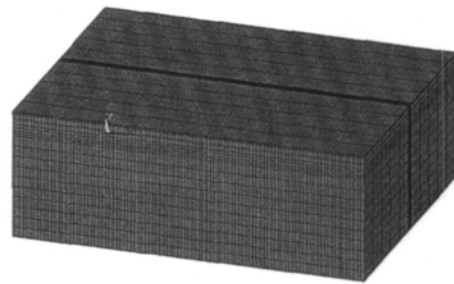


图 2 路面有限元模型

Fig. 2 Finite element model of pavement

表 2 FWD 动力加载作用下实测沥青路面结构弯沉与数值计算比较

Tab. 2 Vertical stress comparison between field measure and numerical calculation under FWD loading

距加载点距离/m	0.000	0.203	0.305	0.457	0.610	0.914	1.219	1.524	1.829
测点 1 弯沉值/ μm	193	145	126	117	98	73	52	41	36
测点 2 弯沉值/ μm	195	149	134	120	102	75	56	44	37
弯沉均值/ μm	194	147	130	119	100	74	54	43	37
数值计算/ μm	207	155	137	125	105	79	58	46	39
误差/%	6.7	5.4	5.4	5.0	5.0	6.8	7.4	7.0	5.4

由表 2 可知, FWD 作用下沥青路面动态弯沉的数值计算结果与实测值吻合较好, 误差控制在 5% 左右, 证明了利用有限元模型进行沥青路面结构分析是有效可行的.

3 基于 FWD 的沥青路面动力特性分析

3.1 沥青路面面层厚度对路面动力特性的影响

在只改变面层厚度的情况下研究不同面层厚度下沥青路面动力特性的变化, FWD 作用下沥青路面面层厚度变化对路面动力特性的影响如图 3 和 4 所示.

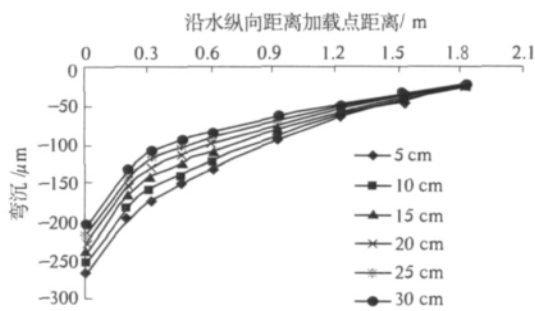


图 3 不同面层厚度沥青路面沿纵向弯沉比较

Fig. 3 Comparison of deflection along with longitudinal direction

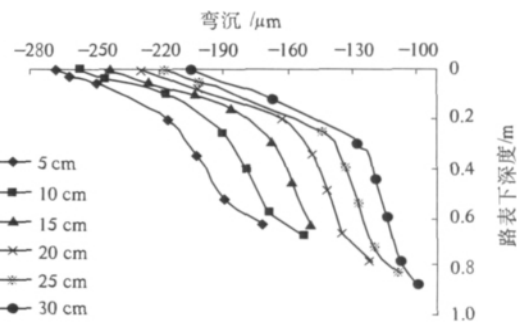


图 4 不同面层厚度沥青路面沿深度方向弯沉比较

Fig. 4 Comparison of deflection along with depth direction

由图 3 可以看出, 适当增加沥青路面厚度可以有效地控制路面弯沉指标, 尤其可以显著减小路表最大弯沉值, 当面层厚度从 5 cm 增加到 30 cm 时路表弯沉值呈均匀减小的趋势, 最大可降低 23.2%. 但随着距离加载点距离的增加, 面层厚度的增加对路面弯沉的减少呈逐渐减小的趋势, 在距离加载点 1.8 m 左右这种影响已相当微弱. 图 4 则表明路面厚度的增加对减小沿路面结构深度方向的动态弯沉亦具有明显的作用, 且在上基层底部深度处, 厚度的增加对减小弯沉值最显著, 最大可减小弯沉值 42.8%, 到达土基深度, 这种影响开始减弱.

3.2 沥青路面面层模量对路面动力特性的影响

为了研究沥青路面模量对沥青路面动力特性的影响, 在只改变沥青面层模量的情况对其在 FWD 动态加载作用下的动力特性进行计算, 计算结果如图 5 和 6 所示.

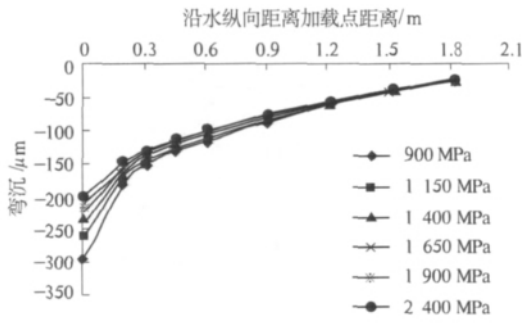


图5 不同面层模量沥青路面沿纵向弯沉变化情况
Fig. 5 Deflections along longitudinal direction

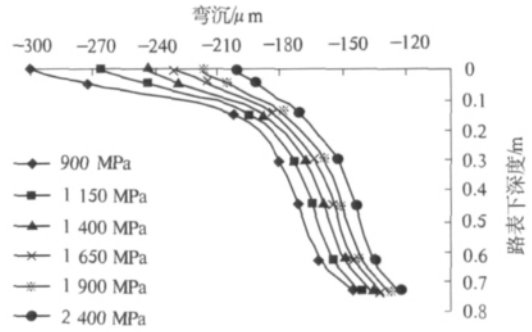


图6 不同面层模量沥青路面沿深度处弯沉变化情况
Fig. 6 Deflections along depth of AC pavement

由图5可以发现,适当提高沥青面层模量可以有效减小路面弯沉值,面层模量由900 MPa逐渐提高到2400 MPa时,路面弯沉值呈均匀减少趋势,尤其在加载点处,弯沉值最大减小量可达32.9%。距离加载点15 cm(均匀圆形荷载外缘)之外,模量的增加对弯沉值的减小作用迅速减小,在距加载点1.8 m处,这种影响已相当微弱。图6显示提高路面模量对减小道路竖向弯沉效果明显,但随深度的增减影响效果逐渐减少,至基层处处于稳定。

3.3 沥青道路基层厚度对路面动力特性的影响

为了研究沥青道路基层厚度对沥青路面动力特性的影响,在只改变沥青道路基层厚度的情况下对其在FWD动态加载作用下的动力特性进行计算,计算结果如图7和8所示。

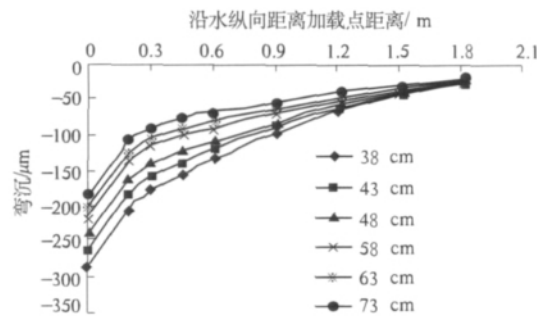


图7 不同基层厚度沥青路面沿纵向弯沉比较

Fig. 7 Comparison of deflection along with longitudinal direction

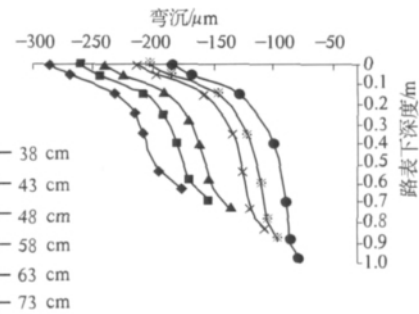


图8 不同基层厚度沥青路面沿深度方向弯沉比较

Fig. 8 Comparison of deflection along with depth direction

由图7可以看出,沥青基层厚度的适当增加可以有效地减小路面弯沉值,如基层厚度从38 cm增加到73 cm过程中,路表弯沉值呈均匀减小的趋势,最大可降低34.7%。但随着距离加载点距离的增加,基层厚度的增加对路面弯沉的减少呈逐渐减小的趋势,在距离加载点1.8 m左右这种影响已相当微弱。图8则表明基层厚度的增加对减小沿路面结构深度方向的动态弯沉亦具有明显的作用,且在基层深度处,厚度的增加对减小弯沉值最显著,最大减幅达54.5%。到达土基深度,这种影响开始明显减弱。

3.4 沥青路面基层模量对路面动力特性的影响

为了研究沥青道路基层模量对沥青路面动力特性的影响,在只改变沥青基层模量的情况下对其在FWD动态加载作用下的动力特性进行计算,计算结果如图9和10所示。

图9表明沥青基层模量的适当增加可以有效地减小路面沿纵向的弯沉值,如基层模量从1300 MPa增加到2550 MPa的过程中,路表弯沉值呈均匀减小的趋势,最大降幅达22.3%。但随着距离加载点距离的增加,基层模量的增加对路面弯沉的减少呈逐渐减小的趋势,在距离加载点1.8 m左右这种影响已相当微弱。图10则表明基层模量的增加对减小沿路面结构深度方向的动态弯沉亦具有明显的作用,尤其是在基层深度处,最大减幅达27.5%。到达土基深度时,影响呈减弱趋势。

3.5 土基模量对沥青路面动力特性的影响

为了研究沥青土基模量对沥青路面动力特性的影响,在只改变沥青面层模量的情况对其在FWD动态加载作用下的动力特性进行计算,计算结果如图11和12所示。

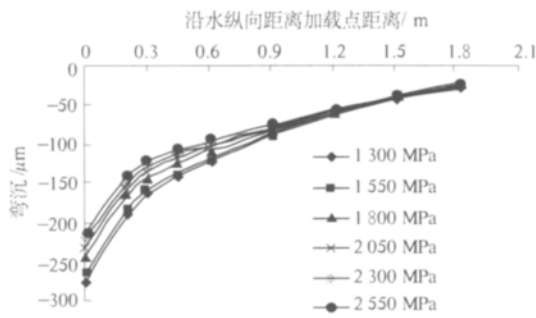


图 9 不同基层模量沥青路面沿纵向弯沉比较

Fig. 9 Comparison of deflection along with longitudinal direction

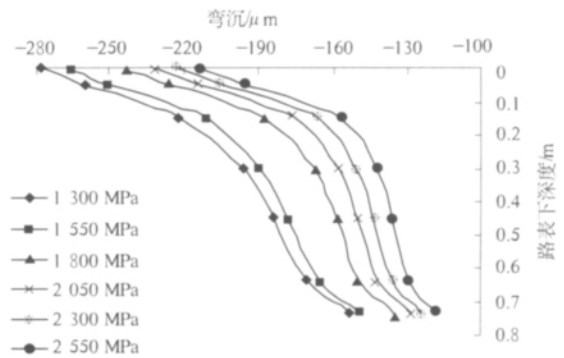


图 10 不同基层模量沥青路面沿深度方向弯沉比较

Fig. 10 Comparison of deflection along with depth direction

由图 11 可以发现, 土基模量的适当增加虽然可以适当减小路面沿纵向的弯沉值, 但相对增加面层模量与基层模量的影响而言, 土基模量的增加对弯沉值的减少有限, 如基层模量从 30 MPa 增加到 100 MPa (增幅 230%) 的过程中, 路表弯沉值最大降幅仅为 17.5%。且随距加载点距离的增加, 基层模量的增加对路面弯沉的减少呈逐渐减小的趋势, 在距离加载点 1.8 m 左右这种影响接近于零。

图 12 则表明土基模量的增加对减小沿路面结构深度方向的动态弯沉亦具有一定的作用, 尤其是在面层以下, 到达土基深度时, 这种影响依旧存在。

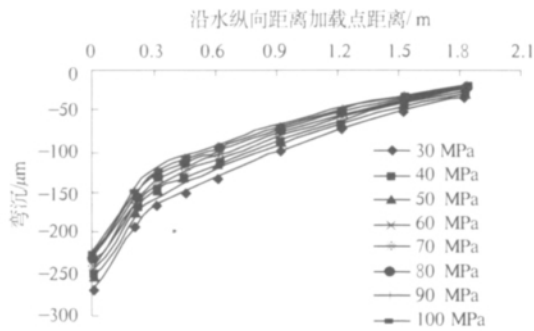


图 11 不同强度土基沥青路面沿纵向弯沉比较

Fig. 11 Comparison of deflection along with longitudinal direction

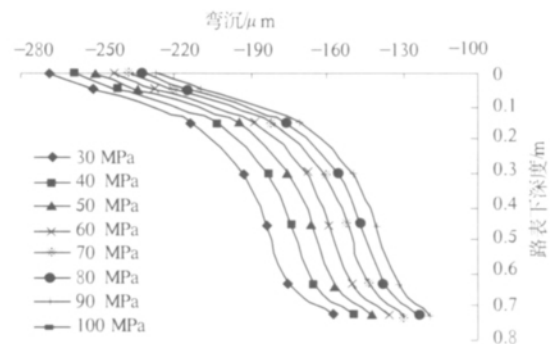


图 12 不同强度土基沥青路面沿深度方向弯沉比较

Fig. 12 Comparison of deflection along with depth direction

3.6 加载时间对沥青路面动力特性的影响

为了研究不同加载时间对沥青路面动力特性的影响, 在只改变加载时间的情况对其在 FWD 动态加载作用下的动力特性进行计算, 计算结果如图 13 和 14 所示。

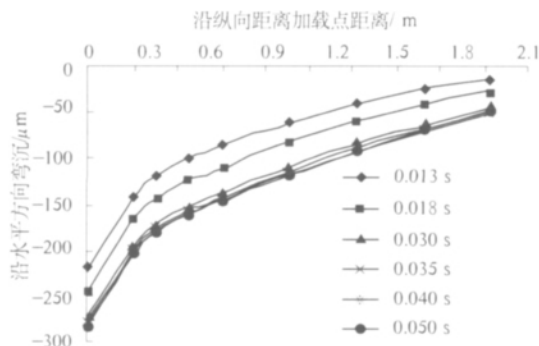


图 13 不同加载时间下沥青路面沿纵向弯沉比较

Fig. 13 Comparison of deflection along with longitudinal direction

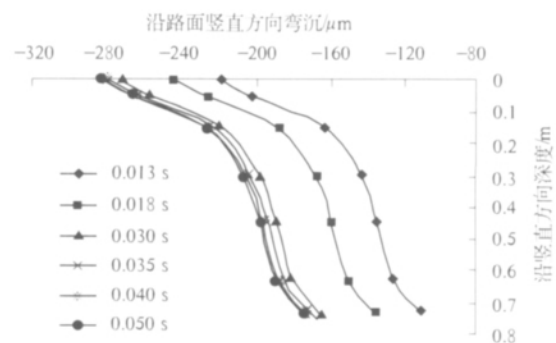


图 14 不同加载时间下沥青路面沿深度方向弯沉比较

Fig. 14 Comparison of deflection along with depth direction

由图 13 可以发现: 随加载时间的增长, 路面沿纵向的弯沉值呈增加趋势, 但当加载时间大于 0.030 s 以后, 加载时间的增加对弯沉值的影响快速减小, 并稳定在一定水平。如加载时间从 0.013 s 增加到 0.030 s 时, 路面沿纵向弯沉值增长较快, 最大增幅达 25.2%。加载时间达到 0.030 s 后, 加载时间的增加对弯沉值的

影响不大,如加载时间从0.030 s增加到0.050 s时,弯沉值最大增幅不到1%。同时可以发现,随距加载点距离的增加加载时间的延长对路面沿纵向弯沉值的影响衰减缓慢,在1.8 m距离处依旧较为明显。由图14发现,与加载时间的增长对沿纵向弯沉值的影响相似,沿深度方向处的弯沉值亦随加载时间的增长而增大,但同样当加载时间达到0.030 s以后,其影响稳定在一定程度,弯沉值不再随加载时间的增长而显著增加。同时,随深度的增加,加载时间对弯沉值的影响衰减较慢,基本保持在一稳定值。

4 小结

1) 研究表明,通过增加沥青面层及基层厚度可以有效减小沥青路面弯沉值,从而达到对路面最大弯沉值的控制。

2) 通过提高面层和基层模量值也可以达到减小路面弯沉的目的;适当提高土基强度也可以在一定程度上减小路面弯沉值。

3) 加载时间的长短亦是影响路面弯沉的一个重要因素。计算结果表明,在加载时间小于0.030 s时,随加载时间的增长,路面弯沉快速增加;但当加载时间大于0.030 s后,加载时间对路面弯沉的影响基本稳定在一定程度。

参考文献:

- [1] 郑元勋,蔡迎春,张亚敏. FWD与BB工作性能对比及其测试数据相关性研究[J]. 郑州大学学报:工学版,2010,31(6):39-42.
- [2] Zheng Yuanxun, Kang Haiguil, Cai Yingchun, et al. Effects of temperature on the dynamic properties of asphalt mixtures [J]. Journal of Wuhan University of Technology: Mater Sci Ed, 2010, 25(3): 534-537.
- [3] Xu B, Ranjithan S R, Kim Y R. New relationships between falling weight deflectometer deflections and asphalt pavement layer condition indicators [J]. Transportation Research Record, 2002, 1806: 48-56.
- [4] 任瑞波,谭忆秋,张肖宁. FWD动荷载作用下沥青路面层状粘弹路表弯沉的求解[J]. 中国公路学报, 2001, 14(2): 9-17.
- [5] Abbas A R, Papagiannakis A T, Masad E A. Linear and nonlinear viscoelastic analysis of the microstructure of asphalt concretes [J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2004, 16(2): 133-134.
- [6] 王延龙,郑元勋. 沥青路面三维有限元模型的建立及验证[J]. 佳木斯大学学报:自然科学版, 2011, 25(5): 699-702.
- [7] 陆辉,孙立军. 轮载作用下沥青路面三维非线性有限元分析[J]. 土木工程学报, 2004, 37(7): 64-67.
- [8] 偶昌宝. 沥青路面动力响应分析[D]. 杭州:浙江大学, 2005.
- [9] 郑元勋. 沥青路面动态弯沉及其反算模量的温度修正研究[D]. 大连:大连理工大学, 2010.
- [10] Garg N, Thompson M R. Structural response of LVR flexible pavements at Mn/Road project [J]. Journal of Transportation Engineering, 1999, 125(3): 238-244.
- [11] 侯芸,郭忠印,田波,等. 动荷作用下沥青路面结构的变形响应分析[J]. 中国公路学报, 2002, 15(3): 6-10.
- [12] 刘小云,田润利. 解析解下沥青路面动力响应分析及应用[J]. 郑州大学学报:理学版, 2009, 41(2): 120-124.

Numerical Study of Dynamic Deflection of Asphalt Pavement under FWD

ZHENG Yuan-xun¹, XIONG Xiao-li², HUANG Jing-qing¹

(1. School of Hydraulic and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;

2. School of Civil Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The model of dynamic properties for asphalt pavement was established based on the principle of finite element. Then model accuracy was verified through comparative analysis with measured data. Under FWD, the influences of surface thickness, modulus, loading speed on dynamic behavior were studied. Results contributed to pavement structural optimal design and damage analysis.

Key words: asphalt pavement; dynamic deflection; FWD; numerical study