

基于 Ansys 的水稳基层疲劳影响因素分析

李 斌, 梁乃兴, 班午东, 王鑫洋

(重庆交通大学 土木建筑学院, 重庆 400074)

摘要: 通过 Ansys 软件, 采用 soild45 单元, 分析各层在完全连续状态时, 水泥稳定基层在不同路面结构和材料参数下的底面拉应力。采用 AASHTO 2002 中半刚性基层疲劳方程计算各个因素水平下水泥稳定基层的疲劳寿命, 分析了各因素对基层疲劳性能的影响。结果表明: 基层底面拉应力随轮胎接地压力的增加而增加, 疲劳寿命则随之减小; 基层底面拉应力随基层模量增加而增加, 随面层和底基层模量的增加而减小; 基层底面拉应力随各结构层厚度增加均减小, 随基层厚度变化而减小的速度最大。

关键词: 水泥稳定基层; 疲劳寿命; 有限元

中图分类号: U416.214

文献标志码: A

文章编号: 1674-0696(2010)06-0925-03

Analysis of Influencing Factors on Fatigue Life of Cement Stability Base by Ansys

LI Bin, LIANG Nai-xing, BAN Wu-dong, WANG Xin-yang

(College of Civil Engineering & Architecture, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: Based on Ansys software, the tensile stress of the cement-stabilized base with different structure and material parameters was analyzed with soild45 unit; with the semi-rigid fatigue equation in AASHTO2002 and the tensile stress on base bottom, the corresponding fatigue life and the influence of each factor on fatigue life of the cement-stabilized base were analyzed. The results indicated that: the tensile stress on base bottom increased while the fatigue life decreased with the tire contact pressure increased; the tensile stress on base bottom increased with grass-roots modulus increased and it decreased with the sub-base and surface layer modulus increased; the tensile stress on base bottom decreased with each layer thickness increased, and the decrease rate of the tensile stress on base bottom was the fastest with the change of sub-base thickness.

Key words: cement-stabilized base; fatigue life; finite element

由于半刚性基层具有强度高、稳定性好、造价低等特点, 能适应较大的交通量和较重的轴载; 并且可以有效地减小面层底面的拉应力, 提高面层的抗疲劳性能。在路面设计中, 半刚性基层的疲劳性能已经成为路面结构性能的重要基础^[1]。但是由于路面结构参数的不同, 各结构层材料参数的变化以及半刚性材料的参数变化都会引起半刚性基层疲劳寿命的不同^[2]。笔者利用有限元软件 Ansys 对不同组合的路面结构参数和材料参数计算基层受力情况, 从而分析其对水泥稳定基层疲劳寿命的影响。

1 结构和材料参数选取及有限元模型

采用单变量变化进行基层底面拉应力计算, 即在标准结构参数的基础上, 每次只改变一个参数进行计算, 得出此参数下的基层底面拉应力。如计算面层模量对基层底面拉应力影响时, 分别取面层模量为: 1 000, 1 150, 1 300 和 1 450 MPa, 轮胎接地压

力为 0.7 MPa, 其他参数均取标准结构参数不变。依此类推进行其他参数对基层底面拉应力影响的计算。计算结果取基层底面拉应力最大值进行分析。计算中所选取的参数如表 1。

表 1 各参数值
Tab. 1 Parameter values

参数 水平	面层		基层		底基层	
	厚度/cm	模量/MPa	厚度/cm	模量/MPa	厚度/cm	模量/MPa
1	8	1 000	25	1 600	25	400
2	12	1 150	30	2 000	30	600
3	16	1 300	35	2 400	35	800
4	20	1 400	40	2 800	40	—
标准结 构参数	12	1 200	30	2 800	25	600

计算中标准结构的荷载圆半径为 10.65 cm, 两荷载圆中心距离为 31.95 cm^[3]。有限元模型采用一个车道宽度作为计算范围, 即宽度 × 长度 × 深度 = 3.75 m × 3.75 m × 3 m; 模型采用 soild45 单元, 进行

自由网格划分,其中面层分 2 层,基层分 15 层,底基层分 3 层,路基分 2 层。假定层间完全连续,网格划分后,采用 merge 方法进行操作。平行于道路方向平面约束 y 方向位移,横截面约束 x 方向位移,底面约束 z 方向位移^[4]。除路基泊松比取 0.3 以外,其余各层泊松比均取 0.25^[5]。所建有限元模型如图 1。

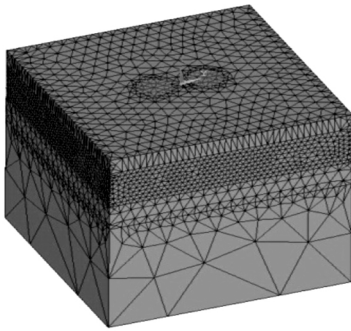


图 1 Ansys 有限元模型

Fig. 1 Finite element model of Ansys

2 轮胎接地压力对基层疲劳的影响

在其他机构参数和材料参数不变的情况下,分别计算轮胎接地压力为 0.7、0.9、1.1 和 1.3 MPa 时,基层受力和相应应力下的疲劳寿命。

基层底面拉应力随轮胎接地压力增加而增加。轮胎接地压力由 0.7 MPa 增加到 1.3 MPa 时,基层底面拉应力增大了 0.054 MPa,其增量基本保持不变。为便于比较其轮胎接地压力各个变化区间的变化趋势,采用基层底面拉应力相对变化率 Δ 进行对比:

$$\Delta = \frac{\sigma_i - \sigma_{i-1}}{\sigma_{i-1}} \times 100\%$$

式中: σ_{i-1} 、 σ_i 为对应的基层底面拉应力,MPa。

基层底面拉应力相对变化率随轮胎接地压力的变化情况如图 2。

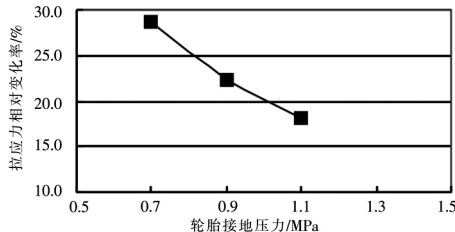


图 2 基层底面拉应力相对变化率随轮胎接地压力的变化

Fig. 2 Relative variation of tensile stress on base bottom with change of tire contact pressure

在轮胎接地压力变化过程中,拉应力相对变化率从 28.6% 减小到 18.2%。这说明基层底面拉应力随轮胎接地压力增加而增加,但是随轮胎接地压力的增加其相对增加幅度不断减小。根据计算得到

的基层拉应力情况,利用 AASHTO 2002 提出的半刚性基层疲劳方程^[6-11]进行基层在相应荷载下的疲劳寿命的计算。得到疲劳寿命随荷载变化的半对数曲线,如图 3。

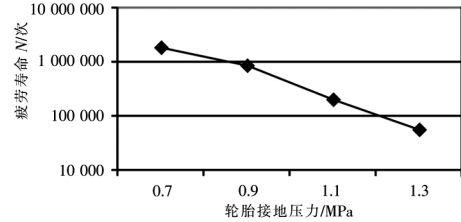


图 3 基层疲劳寿命随轮胎接地压力变化的半对数曲线

Fig. 3 Semi-logarithmic curve of fatigue life of base with change of tire contact pressure

半刚性基层的疲劳寿命随轮胎接地压力的增加而急剧减小,轮胎接地压力为 0.7 MPa 时,基层的疲劳寿命为 180 万次以上,当轮胎接地压力从 0.7 MPa 增加到 0.9 MPa 时,其疲劳寿命从 180 万降到了 80 多万次,其变化率达到了 56% 以上。但是轮胎接地压力从 0.9 MPa 增加到 1.3 MPa 时,基层的疲劳寿命随轮胎接地压力的增加,变化率呈现逐渐减小的趋势。这种现象主要是由于当基层承受 0.9 MPa 轮胎接地压力时,其疲劳寿命已经很低,当轮胎接地压力再增加时,其寿命减小幅度就相对减小。

3 各结构层模量变化对基层受力和疲劳影响

基层底面拉应力随面层模量和底基层模量的增加而减小,其计算结果如表 2。

表 2 各层模量对基层应力影响比较

Tab. 2 Effect of modulus on base stress

模量/MPa	面层		基层		底基层	
	最小	最大	最小	最大	最小	最大
	1 000	1 450	1 600	2 800	400	800
应力值/MPa	0.064 3	0.060 8	0.041 8	0.062 6	0.072 4	0.054 7
应力差/MPa	0.003 5		0.020 8		0.017 7	

当底基层模量从 400 MPa 增加到 800 MPa 时,基层底面拉应力减小了 0.017 8 MPa,而面层模量从 1 000 MPa 增加到 1 450 MPa 时,基层底面拉应力减小了 0.003 5 MPa,这表明了基层底面拉应力对于底基层的模量变化敏感性强于面层模量的变化;而基层底面拉应力随基层模量的增加而增加,基层模量从 1 600 MPa 增加到 2 800 MPa 时,基层底面拉应力增加了 0.020 8 MPa,增加幅度达到了 49.78%;这主要由于随着基层模量的增加,基层刚性增强,中性面不断上移,导致基层底面拉应力增大。

为了更直观的比较基层底面拉应力随模量的变化情况,给出了拉应力随模量变化的相对变化率曲

线,如图 4。

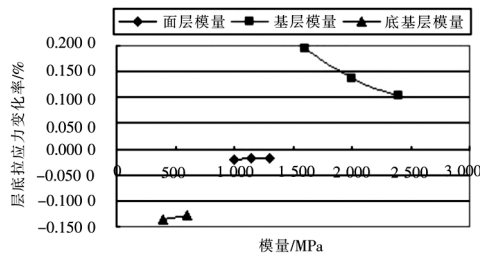


图 4 拉应力变化率随模量的变化
Fig. 4 Relative variation of tensile stress with the change of modulus

由拉应力变化率的图可以很直观的分析得出以下结论: ① 基层拉应力变化率随模量的增加而增加, 基层拉应力随面层和底基层模量的增加而减小, 且其减幅度逐渐减小; ② 基层拉应力随基层模量的增加而增加, 但增加幅度不断减小; ③ 基层拉应力对于各层模量变化的敏感性由强到弱依次为: 基层 > 底基层 > 面层。故在路面设计中, 为了减小基层底面拉应力, 应以减小基层模量和增加底基层模量为主。基层疲劳寿命随模量的变化情况如图 5。基层疲劳寿命随底基层和面层模量的增加而增加, 随基层模量的增加而减小; 且随面层模量的变化最为缓慢。这正好验证了基层底面应力随模量变化的规律。

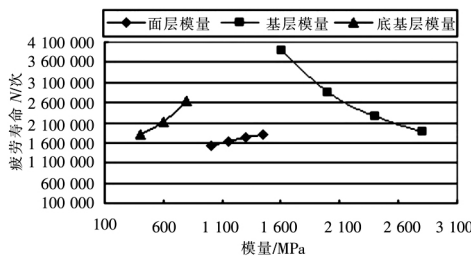


图 5 基层疲劳寿命随各层模量的变化
Fig. 5 Variation of fatigue life with the change of each layer's modulus

4 各层厚度对基层应力和疲劳的影响

基层底面拉应力随面层、基层和底基层厚度增加而减小, 其随基层厚度增加, 应力减小速度最快, 其次是面层和底基层。计算结果和变化情况如表 3 和图 6。

表 3 不同结构层厚度下基层底面拉应力

Tab. 3 Base bottom stress of thickness of different structures						
参数	面层		基层		底基层	
	厚度/cm	应力/MPa	厚度/cm	应力/MPa	厚度/cm	应力/MPa
1	8	0.083	25	0.101	25	0.068
2	12	0.077	30	0.077	30	0.061
3	16	0.067	35	0.067	35	0.052
4	20	0.064	40	0.061	40	0.051

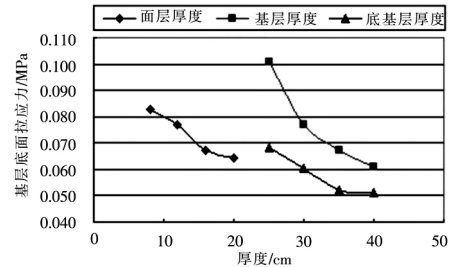


图 6 基层底面拉应力随各层厚度变化
Fig. 6 Variation of tensile stress with the change of each layer's thickness of base bottom

基层厚度达到 30 cm 时, 基层底面拉应力随基层厚度的变化趋势明显变缓。这说明增加基层厚度可以减小基层底面拉应力, 但是当基层厚度达到 30 cm 时, 再增加基层厚度来减小基层底面拉应力就不经济了。

基层底面拉应力随面层厚度和底基层厚度变化而变化的趋势基本相同, 均随层厚的增加而减小; 并且也呈现出先急后缓的趋势。但是它们的变化趋势要比基层的变化趋势缓和。这主要是由于轮胎接地压力不变的情况下, 厚度达到一定程度时, 轮胎接地压力对基层底面拉应力的影响相当小, 随着层厚的再增加, 基层底面拉应力的变化量也就相对减小的缘故。

疲劳寿命随各层厚度变化情况如图 7。基层疲劳寿命随着厚度的增加, 底面拉应力的减小而不断增加。厚度开始增加期间, 其寿命增加速度比较缓和, 随着厚度进一步增加, 基层疲劳寿命增加速度明显加快。这可能是因为, 起初拉应力虽有减小, 但是并没有达到使疲劳寿命骤增的应力比。当应力减小到一定程度时(如应力比小于 0.5), 疲劳寿命便会骤增的缘故。

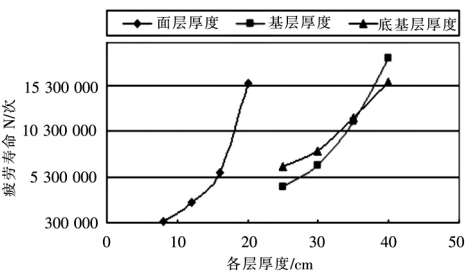


图 7 基层疲劳寿命随各结构层厚度的变化
Fig. 7 Variation of fatigue life with the change of each layer's thickness

5 结 论

经过计算和分析, 得出以下结论:

- 1) 基层底面拉应力随轮胎接地压力的增加而增加, 且随着轮胎接地压力的增加, 其底面拉应力的

(下转第 987 页)

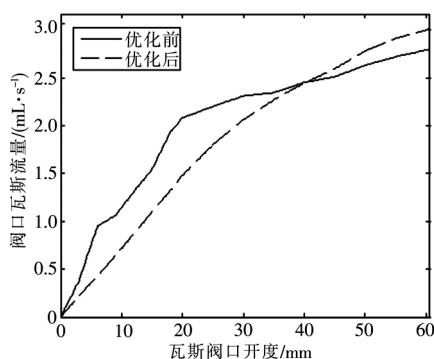


图4 优化前后瓦斯阀口流量特性曲线对比

Fig. 4 Comparison of flow characteristics curves before and after optimization

4 结 论

对方形瓦斯阀口流量特性建模分析表明: 方形阀口瓦斯流量与其开度呈非线性关系。因此, 原瓦斯发动机所用燃气混合器不具备线性控制的条件, 空燃比控制过程势必导致控制响应滞后, 控制系统难以达到稳定。通过运用流体力学原理分析, 确定了燃气混合器瓦斯阀口小开度和大开度时的流动模型, 采用“分段”“分模型”思想设计出了准线性瓦斯

阀口型线。仿真结果表明, 优化后的瓦斯阀口流量与其开度近似呈线性关系, 且线性度良好, 可以满足线性控制要求, 达到了优化设计目标, 为瓦斯电站的正常平稳运行提供了可靠保证。

参考文献:

- [1] 尹娟, 翁一武, SU Shi. 煤矿通风瓦斯在燃气轮机中的催化燃烧特性[J]. 动力工程, 2009, 29(2): 104-105.
- [2] 李光举. 燃气发动机空燃比控制系统研究与开发[D]. 淄博: 山东理工大学, 2008.
- [3] 王松龄. 流体力学[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004: 94-95.
- [4] 孟凡英. 流体力学与流体机械[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2006: 95-97.
- [5] 张道文. 混合器优化设计[J]. 汽车技术, 2003(7): 11-12.
- [6] 韩占忠, 王敬, 兰小平. FLUENT: 流体工程仿真计算实例与应用[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2004: 218-227.
- [7] 李新森, 张建卓, 毛君, 等. 基于 FLUENT 的大流量安全阀流场数值模拟[J]. 煤矿机械, 2009, 30(8): 45-46.
- [8] 曾贤启. 工程流体力学基础[M]. 北京: 航空工业出版社, 1993: 94-97.
- [9] 李鸿祥. 两类二阶变系数微分方程的求解[J]. 高等数学研究, 2002, 5(2): 10-11.

(上接第 927 页)

增加速度逐渐减缓; 疲劳寿命随轮胎接地压力的增加逐渐减小, 当轮胎接地压力从 0.7 MPa 增加到 1.3 MPa 时, 基层疲劳寿命与轮胎接地压力的半对数关系呈直线变化; 随着轮胎接地压力的增加, 基层疲劳寿命变化率基本保持恒定。

2) 随着基层模量增加, 基层底面拉应力增加, 而随着面层模量和底基层模量的增加, 基层底面拉应力减小。其中基层底面拉应力随基层模量的变化速度最快。因此减小基层底面的拉应力时, 应第 1 考虑减小基层模量, 但是基层模量减小到一定程度其作用减小, 故应选择适当的基层模量。

3) 基层底面拉应力随各结构层厚度增加均呈现出减小的趋势, 其变化随基层厚度的增加减小最为迅速。当厚度增加到一定程度时, 其减小趋势大为减缓。故在基层厚度选择时, 应充分综合考虑其对基层底面拉应力的贡献和经济性。

4) 基层底面拉应力随底基层和面层模量与厚度的增加而减小。在应力随模量变化中, 底基层模量变化对基层应力的影响明显比面层模量变化对基层底面拉应力影响要强。但是在应力随底基层和面层厚度变化中, 底基层的厚度变化对于基层应力的影响和面层厚度变化对基层应力的影响强度基本相同。

5) 疲劳寿命的变化趋势和基层底面拉应力的变化趋势基本相同。为研究方便, 在分析基层疲劳时, 也可从基层底面拉应力的角度进行分析。

参考文献:

- [1] 曾胜. 半刚性基层模量对沥青路面性能影响分析[J]. 中外公路, 2005, 25(6): 37-39.
- [2] 王宏畅, 况小根, 李海军. 半刚性基层、底基层应力影响因素正交法分析[J]. 交通科技, 2006, 31(4): 38-40.
- [3] 李丽民, 何兆益, 银力. 重载作用下大碎石柔性基层的抗车辙性能[J]. 土木建筑与环境工程, 2009, 31(1): 83-88.
- [4] 沙爱民, 张登良, 许永明. 无机结合料稳定级配沙砾的疲劳特性研究[J]. 土木工程学报, 2001, 26(3): 26-28.
- [5] 魏昌俊. 半刚性基层的弯拉和劈裂疲劳特性[J]. 重庆交通学院学报, 1998, 17(3): 40-44.
- [6] 支喜兰, 韩冰. 土工格栅加筋半刚性基层材料的抗弯拉及疲劳性能试验分析[J]. 重庆交通学院学报, 2005, 24(4): 62-66.
- [7] 刘忠根, 李世杰, 陈志国, 等. 半刚性基层材料室内试验研究[J]. 吉林建筑学院学报, 2003, 20(1): 38-42.
- [8] 贾侃. 半刚性基层材料的疲劳特性研究[D]. 西安: 长安大学, 2008: 20-100.
- [9] 沙爱民, 贾侃, 李小刚. 半刚性基层材料疲劳特性研究[J]. 交通运输工程学报, 2009, 9(3): 29-33.
- [10] 杨群. 沥青稳定基层与半刚性基层疲劳设计分析[J]. 公路交通科技, 2001, 18(4): 18-20.
- [11] 王旭东, 李晓松. 水泥颗粒级配集料疲劳特性研究[J]. 公路交通科技, 1993, 25(4): 39-41.