

文章编号:1671-8879(2012)04-0025-06

设置过渡层的半刚性基层沥青路面的合理结构

李海滨^{1,2}, 沙爱民²

(1. 西安科技大学 建筑与土木工程学院, 陕西 西安 710054;

2. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064)

摘要:针对半刚性基层在沥青路面使用过程中引起的裂缝破坏,使其在高等级公路中的适用性受到质疑的问题,通过设置级配碎石和沥青碎石过渡层使半刚性基层的层位实现向下放置,实现了改善半刚性基层受力和减少裂缝的目的。采用 ANSYS 计算设置不同厚度的级配碎石和沥青碎石过渡层,分析路面结构在荷载作用下基层厚度变化时轮隙中心的受力情况,以考察适宜的半刚性基层层位和厚度。力学分析结果表明:采用厚度为 12~15 cm 的级配碎石层和厚度为 25~35 cm 的半刚性基层、或设置厚度为 10~15 cm 的沥青碎石层和厚度为 20~30 cm 的半刚性基层这两种结构,完全可以满足控制路面结构开裂的指标要求;能减少路面结构出现裂缝,延长沥青路面的结构寿命。

关键词:道路工程;沥青路面;半刚性基层层位;级配碎石;沥青碎石;力学响应

中图分类号:U416.217

文献标志码:A

Rational composition of semi-rigid asphalt pavement based on setting transition layer

LI Hai-bin^{1,2}, SHA Ai-min²

(1. School of Architecture and Civil Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of the Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: According to the crack failure of semi-rigid base during its using process, the applicability of semi-rigid base in high grade highway was queried. The aims of improving force and reducing crack were achieved by the means of setting graded broken stone layer and asphalt macadam layer. The ANSYS software was used to investigate the suitable semi-rigid base horizon and depth, the forces of wheel clearance center was analyzed when the depth changes under different loads through setting different depths of graded broken stone layer and asphalt macadam layer. The mechanical analysis results show that the requirement of controlling crack can be completely satisfied by setting the graded broken stone layer with thickness from 12 to 15 cm and the semi-rigid base with thickness from 25 to 35 cm, or the asphalt macadam layer with thickness from 10 to 15 cm and the semi-rigid base with thickness from 20 to 30 cm. This method can obviously reduce the cracks and prolong the pavement life. 2 tabs, 6 figs, 15 refs.

Key words: road engineering; asphalt pavement; semi-rigid base layer; graded broken stone; asphalt macadam; mechanical response

收稿日期:2011-08-20

基金项目:交通运输部西部交通建设科技项目(2006 318 812 18)

作者简介:李海滨(1981-),男,山东潍坊人,西安科技大学讲师,长安大学工学博士,E-mail:lihaibin1212@126.com

0 引言

随着高速公路的发展和重载车辆的逐渐增多,让使用多年的半刚性基层沥青路面结构出现不适应性,其表现最明显的就是裂缝。裂缝的出现将影响沥青路面结构的整体性和承载能力,在外界因素的综合作用下会造成唧泥、沉陷和网裂等现象,不得不对路面结构进行大面积维修,严重影响了道路的服务功能^[1-4]。由于半刚性基层沥青路面裂缝的发生是多因素共同复杂作用的结果,因此在保证路用材料均合格的前提下,通过调整半刚性基层在路面结构中的位置,进一步改善基层的受力,从结构组合上提高半刚性基层的适应性,减少路面裂缝,对延长沥青路面寿命和提高道路的服务水平,具有重要的经济效益和现实意义^[5]。

相关研究表明,半刚性基层以其优良的性能,仍将是高等级公路的主要基层形式,但如何提高其适应性,以降低裂缝出现,是现阶段的研究重点。对半刚性基层沥青路面结构设置过渡层,可以有效缓解半刚性基层的不适应性,最常用的过渡层是级配碎石层和沥青碎石层。级配碎石层具有足够的抵抗应力和变形的能力,不仅可以消减和吸收部分由沥青面层传递的应力,而且具有减缓或阻止半刚性基层裂缝反射的作用;同时,也具有较好的抗疲劳能力和提高路面结构内部疏水的能力。沥青碎石层具有较好的柔性和变形能力,模量与沥青面层的模量接近,将使路面结构受力更均匀,且可以提供部分承载能力,并通过基层扩散到下方,对减小变形和提高抗疲劳能力有明显效果。同时,路面结构材料逐渐从柔性过渡到半刚性,将明显改善结构层的受力。目前,国内外对半刚性基层的研究仍主要集中在半刚性材料方面,或是通过用柔性基层替换半刚性基层的可行性,但对于如何在保证半刚性基层适用性的前提下,通过更加合理的使用半刚性基层,以达到充分发挥其作用的相关研究较少^[6-15]。

为此,本文通过改变半刚性基层的层位和厚度,采用数值模拟分析路面结构的受力情况,从力学角度对比分析半刚性基层层位改变对路面结构受力的改善程度,在保证半刚性基层使用的基础上,提出了半刚性基层的合理使用方式,并推荐了基于半刚性基层适应性的沥青路面结构组合设置。

1 构建力学模型

参考弹性力学层状体系原理,路面结构在水平

和深度方向取有限尺寸,应用三维实体单元进行离散处理。在模型非对称横断面上完全约束,对称面上限制横向 2 个方向的位移,底部完全约束,面层表面作为自由面施加荷载;各结构层间完全连续,不进行任何约束,不考虑温度对路面的影响,只分析荷载对路面结构的单独作用。由于计算机资源的限制,路面结构模型在水平方向和深度方向不可能取无限尺寸,而模型取一定尺寸时得到的结果与模型取无限尺寸时得到的结果,误差在既定范围内即可。

为方便有限元计算,将轮胎与地面接触面积简化为等宽单一矩形, $0.8712L \times 0.6L$, 其中 L 为面积简化过程中的参数,如图 1 所示。与路面接触面积 A_c 可由每个轮胎承受的荷载除以胎压求得, $A_c = 25 \times 103 / 0.707 = 35\,361 \text{ mm}^2$, 故 $L = 260 \text{ mm}$ 。计算时不同荷载作为单独荷载分别施加在路面模型中心,由于试算时结果在误差范围内,因此为节省计算资源,在 ANSYS 软件中建立路面体系的三维有限元模型,如图 2 所示。

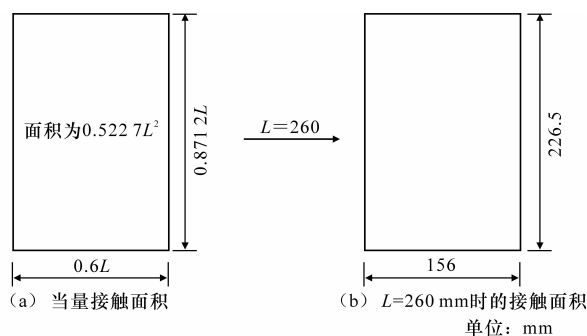


图 1 轮胎与路面的当量接触面积

Fig. 1 Equivalent contact area of tire and pavement

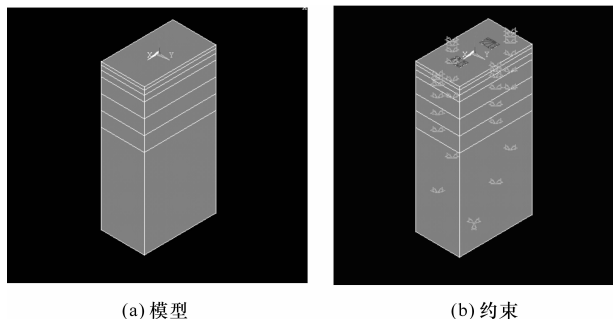


图 2 ANSYS 中的模型和约束

Fig. 2 Model and constraint in ANSYS

2 半刚性基层层位改变对路面结构的力学响应

在半刚性基层沥青路面结构中,沥青面层的层底主要受压应力或极小的拉应力,沥青层的拉应力

或拉应变对开裂起不到控制作用,而半刚性基层的层底拉应力对开裂起主要控制作用^[6]。因此,在《公路沥青路面设计规范》(JTG F50—2006)中,以弯拉应力作为控制结构层疲劳开裂的设计指标,防止半刚性基层底部开裂并进而发展为反射裂缝。本文以规范规定的半刚性基层的层底拉应力作为控制指标,通过设置不同厚度的过渡层而改变半刚性基层的层位。结合 PADS 软件的力学计算,归纳分析在半刚性基层不同层位时,路面各结构层的受力状态对产生裂缝的影响程度,在此基础上提出半刚性基层的合理层位和厚度,从结构组合上合理利用半刚性基层,提高半刚性基层的适应性。

2.1 设置级配碎石过渡层

级配碎石具有良好的防止反射裂缝和避免产生过大塑性变形的作用,对于设置级配碎石过渡层,从路面结构施工工艺、材料本身性能发挥和既有经验的角度考虑,本文在半刚性基层和面层之间设置厚度为 10~20 cm 的级配碎石过渡层,使得半刚性基层的层位得以向下放置,具体的各结构层计算参数见表 1。假定结构层间完全连续,荷载为双圆均布荷载 BZZ-100,选取路表回弹弯沉值、沥青面层层底拉应力、半刚性材料层层底拉应力和拉应变作为考察指标。在改变级配碎石过渡层和半刚性基层厚度时,分别对上述指标进行力学计算,归纳分析路面结构在半刚性基层不同层位和厚度时的结构受力状况,从力学角度得出能够改善路面结构受力、对减少路面裂缝有利的半刚性基层的适应层位和厚度,具体计算结果如图 3、图 4 所示。

表 1 设置级配碎石层的沥青路面结构参数
Tab. 1 Asphalt pavement structure parameters of setting gradation stone layer

路面结构	弯沉计算	层底应力	高温	低温	厚度/ cm
	用模量/ MPa	计算用模 量/MPa	模量/ MPa	模量/ MPa	
沥青面层	1 400	2 000	600	3 000	18
级配碎石层	500	500	500	500	10,12,15,18,20
半刚性基层	1 500	1 500	1 500	1 500	10,15,20,25,30,35
底基层	700	700	700	700	20
土基	50	50	50	50	

由图 3、图 4 的计算结果可知,随着级配碎石过渡层厚度和半刚性基层厚度的增大,路表弯沉和半刚性基层的层底应力和应变均减小,基层厚度不变时,上述参数随着过渡层厚度增大而逐渐减小;沥青面层的层底拉应力随过渡层厚度增大而增大,随半刚性基层厚度增大而逐渐减小;且当基层厚度达到

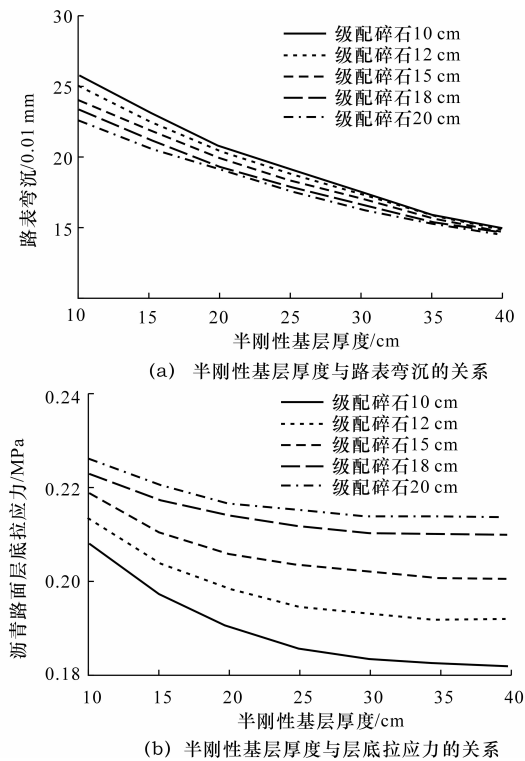


图 3 不同级配碎石层的路表弯沉和沥青路面层底拉应力与基层厚度的关系
Fig. 3 Relations of surface deflection and bottom layer tensile stress associated with the thickness of gradation stone layer and semi-rigid base

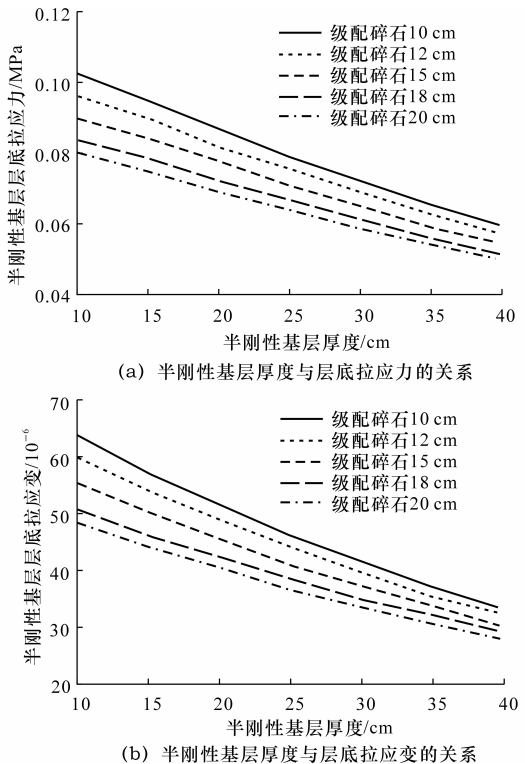


图 4 不同级配碎石层的半刚性基层层底拉应力和拉应变与基层厚度的关系
Fig. 4 Relations of bottom layer tensile stress and tensile strain of semi-rigid base associated with the thickness of gradation stone layer and semi-rigid base

35 cm 时,沥青面层层底的拉应力趋于稳定。

当级配碎石过渡层厚度由 10 cm 变化至 15 cm 时,对应的基层厚度减少 2~4 cm,半刚性基层的层底拉应力远远小于当路面结构在荷载和温度耦合作用下半刚性基层的层底拉应力^[8]。此时,半刚性基层的厚度为 25~35 cm,且该区间内路面结构的各项力学参数趋于稳定,厚度从 10 cm 增加到 12 cm 时,半刚性基层的层底拉应力和路表弯沉明显减小。同时,当半刚性基层厚度达到 35 cm 时,随着级配碎石层厚度的增大,路表弯沉和基层层底拉应力的变化已经不明显。当级配碎石过渡层厚度由 15 cm 变化至 20 cm 时,对应的基层厚度大约减少 4~7 cm,基层的层底拉应力继续减小,此时半刚性基层的厚度为 17~25 cm,且该区间内路面结构的各项力学参数变化较为明显。因此,当半刚性基层达到一定厚度时,其向下放置深度不必太深。

由于设置过渡层的厚度受修建成本的影响,因此,在目前常用的厚度范围内,通过计算对比路面力学性能改善的优劣,在防止基层与面层接触面裂缝和使路面结构受力最优的基础上,结合对比分析的计算结果、现阶段半刚性基层沥青路面的施工现状、经济性和使用效果,提出半刚性基层厚度宜为 25~35 cm;设置级配碎石过渡层的厚度范围即半刚性基层向下放置的深度宜为 12~15 cm。在此区间内路面结构受力较小,能够最大限度的避免路面结构出现裂缝,从结构层位设置角度充分发挥了半刚性基层的适应性。

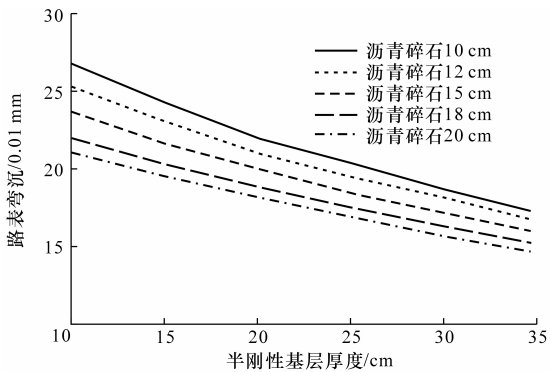
2.2 设置沥青碎石过渡层

沥青碎石具有良好的抗疲劳能力,作为过渡层时,为保证压实要求,厚度一般不应小于 10 cm^[7]。设置沥青碎石过渡层进行分析时的路面结构的计算参数见表 2。假定结构层间完全连续,荷载为双圆均布荷载 BZZ-100,选取路表回弹弯沉值、沥青碎石层的层底拉应力、半刚性基层的层底拉应力和压应变作为考察指标。在改变沥青碎石过渡层和半刚性基层厚度时分别对上述指标进行力学计算,归纳分析路面结构在半刚性基层不同层位和厚度时的结构受力状况,从力学角度得出能改善路面结构受力、减少路面裂缝的半刚性基层的适应层位和厚度,计算结果如图 5、下页图 6 所示。

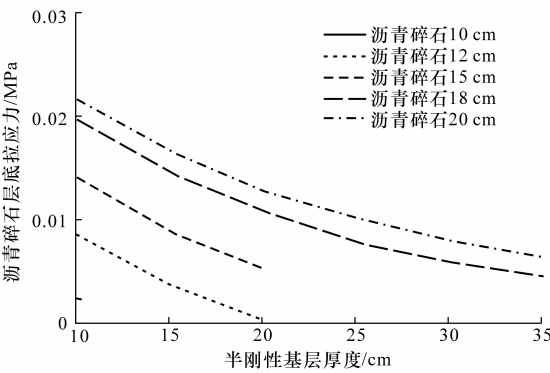
由图 5、图 6 的计算结果可知,随着沥青碎石过渡层厚度和半刚性基层厚度的增大,路表弯沉和半刚性基层层底的应力应变均减小,基层厚度不变时上述参数随过渡层厚度的增大而逐渐减小;沥青碎

表 2 设置沥青碎石层的沥青路面结构参数
Tab.2 Asphalt pavement structure parameters of setting asphalt stone layer

路面结构	弯沉计算 用模量/ MPa	层底应力 计算用模 量/MPa	高温 模量/ MPa	低温 模量/ MPa	厚度/ cm
沥青面层	1 400	2 000	600	3 000	10
沥青碎石层	1 200	1 400	700	3 000	10,12,15,18,20
半刚性基层	1 500	1 500	1 500	1 500	10,15,20,25,30,35
底基层	700	700	700	700	20
土基	50	50	50	50	



(a) 半刚性基层厚度与路表弯沉的关系



(b) 半刚性基层厚度与层底拉应力的关系

图 5 不同沥青碎石层的路表弯沉和沥青碎石层底拉应力与基层厚度的关系

Fig. 5 Relations of surface deflection and bottom layer tensile stress of asphalt stone layer associated with the thickness of asphalt stone layer and semi-rigid base

石过渡层的层底拉应力随层厚的增大而增大,随半刚性基层厚度的增大而减小。

当沥青碎石过渡层厚度由 10 cm 变化至 15 cm 时,所对应的基层厚度减少 5~8 cm,当路面结构在荷载和温度耦合作用下,半刚性基层的层底拉应力远小于半刚性基层的层底拉应力^[8]。此时,半刚性基层厚度为 20~30 cm,且各项参数的变化趋于稳定。当沥青碎石过渡层厚度由 15 cm 变化至 20 cm 时,所对应的基层厚度减少 3~5 cm,基层的层底拉

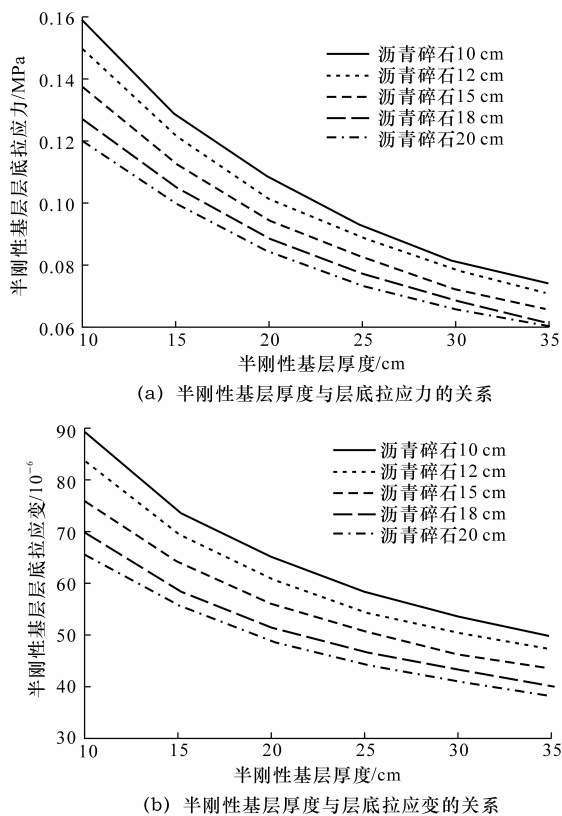


图6 不同沥青碎石层的半刚性基层层底拉应力和拉应变与基层厚度的关系

Fig. 6 Changes of bottom layer tensile stress and tensile strain of semi-rigid base associated with the thickness of asphalt stone layer and semi-rigid base

应力继续减小,此时,半刚性基层的厚度为20~25 cm,该区间内路面结构的各项力学参数变化较为明显,且沥青碎石层厚度的增加,将影响工程的经济合理性。

由于设置过渡层的厚度受修建成本的影响,因此在目前常用的厚度范围内,通过计算对比路面力学性能改善的优劣,在使路面结构受力最优的基础上,结合对比分析的计算结果、现阶段半刚性基层沥青路面的施工现状、经济性和使用效果,提出半刚性基层厚度宜为20~30 cm。设置沥青碎石过渡层的厚度范围,即半刚性基层向下放置深度宜为10~15 cm,在此区间内路面结构受力较小,能够最大限度的避免路面结构出现裂缝,从结构层位设置角度充分发挥了半刚性基层的适应性。

3 结 语

(1)在沥青面层和半刚性基层之间增加一层过渡层,使半刚性基层层位在路面结构组合中向下放置,可以明显改善结构层的受力,完全满足控制开裂的指标要求,有效减少路面结构出现裂缝,对实现半

刚性基层作用和降低路面养护费用具有重要意义。

(2)通过设置级配碎石层实现半刚性基层向下放置时,能够明显改善路面结构的受力情况,且级配碎石散粒结构的特性会使基层顶面裂纹尖端的拉应力不会在碎石层面形成应力集中,能阻碍基层裂缝向上扩展;当把级配碎石作为过渡层时,其厚度的适宜范围为12~15 cm,此时半刚性基层的适宜厚度为25~35 cm。

(3)通过设置沥青碎石层实现半刚性基层向下放置时,能够明显改善路面结构的受力情况,且沥青碎石层的柔性和变形能力避免了沥青面层与半刚性基层因为材料性质不同而产生的受力不一致,达到延缓和减少路面裂缝发生的要求;当把沥青碎石作为过渡层时,其厚度的适宜范围为10~15 cm,此时半刚性基层的适宜厚度为20~30 cm。

参考文献:

References:

- [1] 支喜兰,王威娜,张超,等.高速公路沥青路面早期性能评价模型[J].长安大学学报:自然科学版,2009,29(2):1-4.
ZHI Xi-lan, WANG Wei-na, ZHANG Chao, et al. Evaluation model of early performance of freeway asphalt pavement[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2009, 29(2): 1-4. (in Chinese)
- [2] 樊海玮,张国翊. BP改进算法及其在路面裂缝检测中的应用[J].长安大学学报:自然科学版,2010,30(1):46-52.
FAN Hai-wei, ZHANG Guo-yi. Improved BP algorithm and its application in detection of pavement crack[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2010, 30(1): 46-52. (in Chinese)
- [3] 王艳,倪富健,马翔.不同基层开裂状态的沥青路面应力对比[J].交通运输工程学报,2008,8(6):34-38.
WANG Yan, NI Fu-jian, MA Xiang. Stress comparison of asphalt pavements with different base crack states[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2008, 8(6): 34-38. (in Chinese)
- [4] 岳福青,杨春风,魏连雨.半刚性基层沥青路面反射裂缝形成扩展机理与防治[J].河北工业大学学报,2004,33(1):70-74.
YUE Fu-qing, YANG Chun-feng, WEI Lian-yu. Mechanism of reflective crack's propagation in semi-rigid base AC pavement and preventing strategies[J]. Jour-

- nal of Hebei University of Technology, 2004, 33(1): 70-74. (in Chinese)
- [5] 张绍阳, 马玉兰, 王选仓. 基于关联分析的路面病害成因确定方法[J]. 中国公路学报, 2008, 21(2): 98-103. ZHANG Shao-yang, MA Yu-lan, WANG Xuan-cang. Genesis judgment method of pavement disease by association analysis[J]. China Journal of Highway and Transport, 2008, 21(2): 98-103. (in Chinese)
- [6] JTG D50—2006, 公路沥青路面设计规范[S]. JIG D50-2006, Specifications for design of highway asphalt pavement[S]. (in Chinese)
- [7] 宋若原, 钱振东. 组合式基层长寿命路面结构优化[J]. 交通运输工程与信息学报, 2011, 9(1): 102-105. SONG Ruo-yuan, QIAN Zhen-dong. Structure optimization of perpetual asphalt pavement with composite base[J]. Journal of Transportation Engineering and Information, 2011, 9(1): 102-105. (in Chinese)
- [8] 李海滨. 基于半刚性基层适应性的沥青路面结构研究[D]. 西安: 长安大学, 2010. LI Hai-bin. Study of the pavement optimization design based on adaptability of semi-rigid base[D]. Xi'an: Chang'an University, 2010. (in Chinese)
- [9] 车 法, 陈拴发, 李增宏, 等. 荷载作用下沥青路面表面开裂的扩展[J]. 公路交通科技, 2010, 27(5): 26-30. CHE Fa, CHEN Shuan-fa, LI Zeng-hong, et al. Analysis of cracks propagation on asphalt pavement surface under load[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2010, 27(5): 26-30. (in Chinese)
- [10] 郭德栋, 许宏妹, 李小刚, 等. 级配类型对纤维沥青混合料路用性能的影响[J]. 广西大学学报: 自然科学版, 2010, 35(1): 117-119. GUO De-dong, XU Hong-mei, LI Xiao-gang, et al. Influence of graduation types on pavement performance of fibers-reinforced asphalt mixture[J]. Journal of Guangxi University: Natural Science Edition, 2010, 35(1): 117-119. (in Chinese)
- [11] 张敏江, 王 亮, 周 宇. 级配碎石上基层沥青路面结构力学响应分析[J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学版, 2011, 27(1): 64-69. ZHANG Min-jiang, WANG Liang, ZHOU Yu. Asphalt pavement structure analysis of the upper base of the graded crushed stone[J]. Journal of Shenyang Jianzhu University: Natural Science, 2011, 27(1): 64-69. (in Chinese)
- [12] 张 海, 马光超, 张民江. 级配碎石基层对沥青路面反射裂缝抑制机理分析[J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学版, 2011, 27(2): 247-252. ZHANG Hai, MA Guang-chao, ZHANG Min-jiang. Mechanism analysis of graded aggregate preventing reflection cracks of asphalt pavement[J]. Journal of Shenyang Jianzhu University: Natural Science, 2011, 27(2): 247-252. (in Chinese)
- [13] 王书延. 混合式基层沥青路面材料与力学性能研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2008. WANG Shu-yan. Study on the material and mechanics performance of asphalt pavement of composite base[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2008. (in Chinese)
- [14] 张艳红, 王晓帆. 对两种复合式基层沥青路面剪应力的分析与思考[J]. 中外公路, 2010, 30(3): 107-110. ZHANG Yan-hong, WANG Xiao-fan. Analysis and thinking of shear stress about two kinds of compound base asphalt pavement[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2010, 30(3): 107-110. (in Chinese)
- [15] 董 鑫, 马朝鲜. 设级配碎石过渡层沥青路面的非线性力学响应分析[J]. 筑路机械与施工机械化, 2012, 29(5): 47-50. DONG Xin, MA Chao-xian. Analysis on nonlinear mechanical response of asphalt pavement with transition layer of graded gravel[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2012, 29(5): 47-50. (in Chinese)

说 明

本刊 2012 年 32 卷第 3 期《带铰平面梁元几何非线性有限元分析》一文编排时, 因版面调整压缩, 对该文部分参考文献进行了调整。现根据作者意见, 本刊将《带铰平面梁元几何非线性有限元分析》一文的参考文献[4]更正为“蔡松柏, 沈蒲生. 大转动平面梁有限元分析的共旋坐标法[J]. 工程力学, 2006, 23(增 1): 69-72”(第 72 页)。

特此说明。