

两种沥青路面的力学响应及结构层寿命对比分析

杨烨

(招商局重庆交通科研设计院有限公司, 重庆 400067)

摘要:采用弹性层状理论软件 BISAR 计算倒装式沥青路面与半刚性基层沥青路面的力学响应量,分析力学响应量与(级配碎石和水泥稳定碎石上)基层厚度的关系,结合抗拉强度结构系数,引入沥青路面结构层反算寿命的概念,对不同基层厚度的两种沥青路面的寿命进行分析。研究表明,两种沥青路面的力学响应量随基层厚度的变化有相似的变化规律,但倒装式沥青路面的弯沉和面层底拉应力更大,沥青面层内剪应力更小;级配碎石的设置可有效延迟半刚性基层开裂的时间,降低沥青路面发生反射裂缝的概率。

关键词:公路;倒装式沥青路面;半刚性基层沥青路面;级配碎石基层;疲劳寿命;基层开裂

中图分类号:U416.217

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2018)03-0073-04

在温度、湿度等综合作用下,半刚性基层易出现干缩和温缩裂缝,荷载的作用会加剧基层开裂,沥青面层底部对应的位置出现应力集中,很容易产生开裂现象,进而导致路面破坏。针对该问题提出了较多的方法,其中一种是设置可延缓反射裂缝发展的结构层,如级配碎石层,降低半刚性基层开裂时的能量,进而降低因应力过大而开裂的概率。但级配碎石层的模量较低,路面整体承载力较小,在路面厚度设计时需予以考虑。目前关于级配碎石层减少基层已开裂路面病害的机理等相关研究较多,但对于基层未开裂或开裂较少时级配碎石层对路面受力影响的研究较少,关于级配碎石基层厚度的研究更少。鉴于此,该文以级配碎石层厚度为研究对象,对倒装

式沥青路面进行研究,并与等厚度的半刚性基层沥青路面进行对比。

1 沥青路面结构、层间接触及荷载参数

假设路面各结构层为线弹性材料,且满足均匀、连续和各向同性等力学特性。层间接触条件对路面受力影响较大,结合 JTG D50-2006《公路沥青路面设计规范》及文献[7],对结构层间的接触状态进行假定:沥青层与级配碎石层为光滑接触,其他情况均为完全连续接触。轴载选用 BZZ-100。为研究级配碎石层厚度对路面力学响应的影响,选取等厚度半刚性基层沥青路面结构作对比,两种路面结构的力学参数见表 1 和表 2。

表 1 倒装式沥青路面的结构参数

层位	厚度/cm	回弹模量/MPa		泊松比
		15 ℃	20 ℃	
沥青面层	18	1 400	1 100	0.25
级配碎石基层	10~25	—	—	0.25
水泥稳定碎石基层	30	3 000(计算应力)	1 200(计算弯沉)	0.25
土基		35	35	0.35

表 2 半刚性基层沥青路面的结构参数

层位	厚度/cm	回弹模量/MPa		泊松比
		15 ℃	20 ℃	
沥青面层	18	1 400	1 100	0.25
水泥稳定碎石基层	10~25	3 000(计算应力)	1 200(计算弯沉)	0.25
水泥稳定碎石基层	30	3 000(计算应力)	1 200(计算弯沉)	0.25
土基		35	35	0.35

2 级配碎石基层弹性模量计算

级配碎石基层的参数包括厚度和模量两部分,路面结构参数变化时级配碎石层的模量会呈现非线性特征。因此,需计算不同条件下级配碎石层的模量。采用 Kenlayer 层状理论分析级配碎石的弹性模量,先将级配碎石层线性化,叠加级配碎石在标准轴载下产生的主应力,根据经验公式确定结构层的新模量,再将级配碎石层线性化,以此类推,直到模量精度达到要求。

国内外研究表明,级配碎石材料的弹性模量与第一应力不变量有下列关系:

$$E = K_1 q^{K_2}$$

式中: E 为级配碎石的弹性模量; q 为第一应力不变量; K_1 、 K_2 为材料参数,为方便计算分析,借鉴已有研究成果,取 $K_1 = 50 \text{ MPa}$ 、 $K_2 = 0.45$ 。

根据上面的计算模型及路面结构计算参数计算不同条件下级配碎石层的模量,结果见表 3。

表 3 不同级配碎石基层厚度下级配碎石基层的模量

厚度/cm	模量/MPa	厚度/cm	模量/MPa
10	600.3	20	532.5
12	586.7	25	498.7
15	566.4		

3 级配碎石(水稳上)基层厚度对倒装式沥青路面结构受力的影响

3.1 路表弯沉

为比较倒装式沥青路面与半刚性基层沥青路面的路表弯沉,分析倒装式(半刚性基层)沥青路面的路表弯沉随级配碎石基层厚度(半刚性基层)的变化趋势,利用 BISAR 软件计算双圆荷载中心位置处的路表弯沉,结果见图 1。

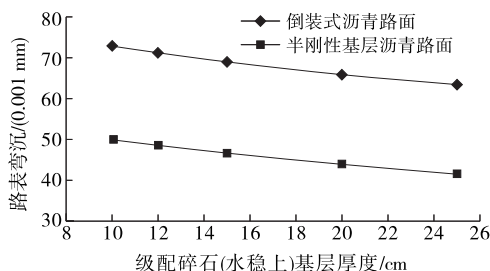


图 1 不同级配碎石(水稳上)基层厚度下沥青路面弯沉

由图 1 可知:随着级配碎石基层厚度的增加,倒装式沥青路面的路表弯沉近似呈线性减小,但变化

较小,说明级配碎石层的设置一定程度上可降低沥青路面的弯沉;半刚性基层沥青路面表现出类似的特征,随着水稳基层厚度的增加,沥青路面的路表弯沉逐渐减小。两者的弯沉曲线近似呈平行关系,即弯沉受级配碎石基层厚度及水稳基层厚度的影响程度相差不大,任意基层厚度的倒装式沥青路面的弯沉大于等厚度半刚性沥青路面的弯沉,这是因为级配碎石为松散类材料,模量较低,变形较大。

3.2 沥青面层层底拉应力

为比较倒装式沥青路面与半刚性基层沥青路面沥青面层层底部最大拉应力,分析倒装式(半刚性基层)沥青路面面层层底部最大拉应力随级配碎石(水稳上)基层厚度的变化趋势,利用 BISAR 软件计算双圆荷载中心与双圆荷载位置处的层底拉应力,取较大值作为沥青面层层底部最大拉应力,结果见图 2。

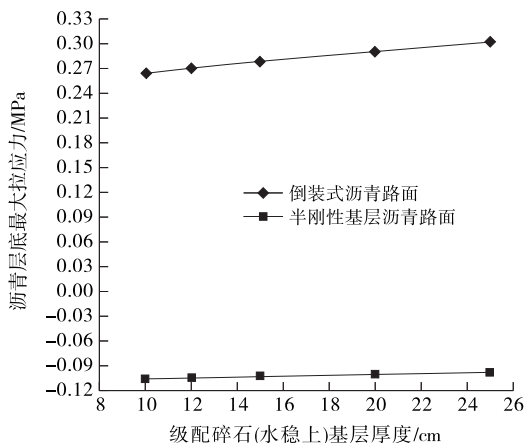


图 2 不同级配碎石(水稳上)基层厚度下沥青面层层底部最大拉应力

由图 2 可知:随着级配碎石基层厚度的增加,倒装式沥青路面沥青面层层底最大拉应力近似呈线性增加,级配碎石基层厚度由 10 cm 增加到 25 cm 时增加 14.4%,说明级配碎石层的设置对于基层未开裂或少开裂的沥青面层不利;随着水稳基层厚度的增加,等厚度半刚性基层沥青路面面层层底部压应力近似呈线性减小,但减小较少,水稳基层厚度由 10 cm 增加到 25 cm 时仅减少 7.5%,说明水稳基层厚度对沥青面层的影响不大。

3.3 半刚性基层层底拉应力

为比较倒装式沥青路面与半刚性基层沥青路面半刚性基层底部最大拉应力,分析倒装式(半刚性基层)沥青路面半刚性基层底部最大拉应力随级配碎石基层厚度(半刚性基层)的变化趋势,利用 BISAR

软件计算双圆荷载中心与双圆荷载位置处的层底拉应力,取较大值作为半刚性基层底部最大拉应力,结果见图 3。

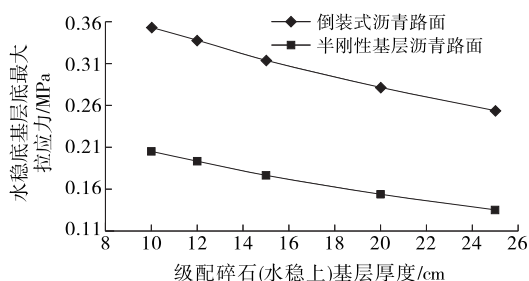


图 3 不同级配碎石(水稳上)基层厚度下半刚性基层底部最大拉应力

由图 3 可知:随着级配碎石(水稳上)基层厚度的增加,半刚性基层底最大拉应力近似呈线性减小,级配碎石基层厚度由 10 cm 增加到 25 cm 时,两种沥青路面拉应力分别减少 28.2% 和 34.1%,由于弯拉应力较大,基层将出现裂缝,使沥青路面出现反射裂缝。对于基层未开裂或少开裂的沥青路面,级配碎石的设置可从根本上解决沥青路面反射裂缝问题。倒装式沥青路面基层层底应力大于相同厚度半刚性沥青路面基层底应力。

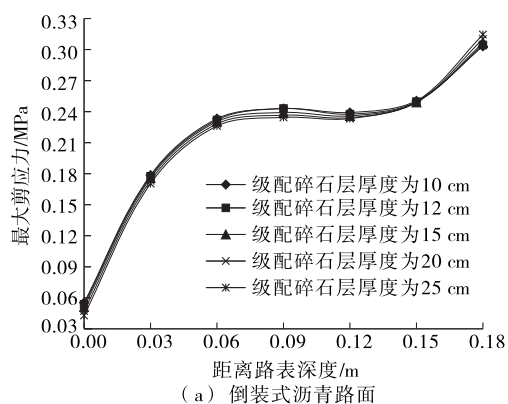
3.4 沥青面层内最大剪应力

相关研究普遍认为沥青面层内剪应力是车辙大小的重要影响因素。为研究级配碎石(水稳上)基层厚度对路面车辙的影响,采用 BISAR 软件,计算不同级配碎石(水稳上)基层厚度下路面各深度处的最大剪应力,结果见图 4。

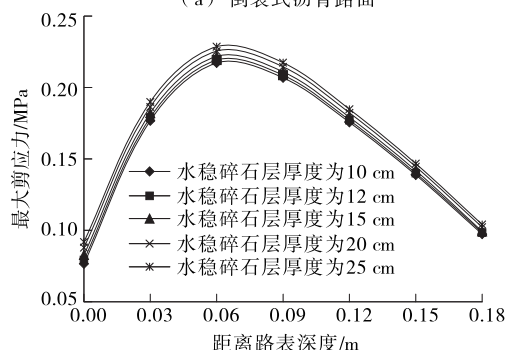
由图 4 可知:2 种沥青路面的面层内最大剪应力随深度的变化规律不同,倒装式沥青路面最大剪应力随着深度的增加逐渐增加,到一定深度后基本不变,之后继续增加,最大剪应力出现在下面层位置;半刚性基层沥青路面最大剪应力随着深度的增加先增加后减小,最大剪应力出现在中面层位置。级配碎石基层厚度对沥青面层内剪应力影响较小,设置级配碎石层对减小沥青路面车辙意义不大。半刚性基层沥青路面的面层内剪应力有类似的规律。总体上,倒装式沥青路面结构面层内剪应力大于等厚度半刚性基层沥青路面面层内剪应力,倒装式沥青路面的车辙深度更大。

4 级配碎石(水稳上)基层厚度对沥青路面结构层寿命的影响

为研究级配碎石(水稳上)基层厚度对沥青路面



(a) 倒装式沥青路面



(b) 半刚性基层沥青路面

图 4 不同级配碎石(水稳上)基层厚度下沥青面层内最大剪应力

各结构层疲劳寿命的影响,考虑到室内疲劳试验与实际工程的差别导致按照室内试验结果推导出的疲劳方程计算的疲劳开裂寿命与实际开裂寿命偏差较大,提出沥青路面结构层反算寿命的概念,选取 JTG D50—2006《公路沥青路面设计规范》中沥青砼与无机稳定细集料的抗拉强度系数计算沥青层及水泥稳定碎石层的弯拉疲劳开裂寿命,其中公路等级系数及沥青砼级配系数均为 1,沥青层与水泥稳定碎石层的疲劳方程见式(1)、式(2),计算结果见表 4。

$$N_e = \left(\frac{\sigma_{sp}}{0.09 \times \sigma} \right)^{1/0.22} \quad (1)$$

$$N_e = \left(\frac{\sigma_{sp}}{0.35 \times \sigma} \right)^{1/0.11} \quad (2)$$

由表 4 可知:随着级配碎石基层厚度的增加,沥青面层的疲劳寿命逐渐减小,半刚性基层的疲劳寿命逐渐增加,说明级配碎石层的设置对基层未开裂或少开裂的沥青路面面层不利、对半刚性基层有利。产生这种现象的原因在于级配碎石的设置相当于增加了半刚性基层顶部柔性结构,导致沥青面层的水平方向受力为零的点下移,此时半刚性基层的位置也向下移动,因而出现面层底部拉应力增加、半刚性基层底部拉应力减小的现象。理想状态下的沥青路

表4 不同级配碎石(水稳上)基层厚度下沥青路面结构层的疲劳寿命

级配碎石(水稳上)基层厚度/cm	沥青面层寿命/($\times 10^6$ 次)		半刚性基层寿命/($\times 10^6$ 次)	
	倒装式沥青路面	半刚性沥青路面	倒装式沥青路面	半刚性沥青路面
10	24.13	—	0.33	46.03
12	21.64	—	0.49	78.52
15	18.89	—	0.96	180.00
20	15.62	—	2.58	627.00
25	13.09	—	6.66	2 030.00

面,半刚性基层早于沥青面层开裂,因而级配碎石的设置可有效延迟半刚性基层的开裂时间,降低沥青路面发生反射裂缝的概率。

5 结论

(1) 随着级配碎石基层与水稳上基层厚度的增加,沥青路面路表弯沉近似呈线性减小,但变化较小,两者的弯沉曲线近似呈平行关系,前者大于后者。这是因为级配碎石为松散类材料,模量较低,变形较大。

(2) 随着级配碎石基层厚度的增加,沥青面层底最大拉应力近似呈线性增加,半刚性基层底最大拉应力近似呈线性减小,级配碎石基层的设置对基层未开裂或少开裂的沥青路面面层不利、对其基层有利。等厚度半刚性基层沥青路面有类似的规律,但倒装式沥青路面层底应力大于相同厚度半刚性基层沥青路面层底应力。

(3) 级配碎石(水稳上)基层厚度对沥青面层内剪应力的影响较小,倒装式沥青路面结构面层内剪应力大于等厚度半刚性基层沥青路面面层内剪应力,倒装式沥青路面的车辙深度更大。

(4) 随着级配碎石基层厚度的增加,沥青面层的疲劳寿命逐渐减小,半刚性基层的疲劳寿命逐渐增加。理想状态下的沥青路面,半刚性基层早于沥青面层开裂,级配碎石的设置可有效延迟半刚性基层的开裂时间,降低沥青路面发生反射裂缝的概率。

参考文献:

- [1] 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).
- [2] 蒋智禹.倒装式沥青路面结构的力学性能研究[D].长沙:湖南大学,2012.
- [3] 杨尚阳.加铺碎石过渡层减少路面反射裂缝研究[D].济南:山东大学,2006.
- [4] 张海,马光超,张敏江,等.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).
- [5] 王宏畅,黄晓明.级配碎石沥青路面反射裂缝扩展及寿命研究[J].武汉理工大学学报,2010,32(7).
- [6] JTG D50—2006,公路沥青路面设计规范[S].
- [7] 沈金安.高速公路沥青路面早期损坏分析与防治对策[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [8] 刘星.级配碎石的级配与模量研究[D].西安:长安大学,2007.
- [9] 王丰胜.影响级配碎石模量的结构因素敏感性分析[J].合肥工业大学学报:自然科学版,2009,32(9).
- [10] 钟梦武,吴善周.级配碎石回弹模量试验方法研究[J].公路,2007(6).
- [11] 朱洪洲,郑和平,何兆益,等.柔性路面级配碎石基层弹性模量取值研究[J].重庆交通学院学报:自然科学版,2006,25(5).
- [12] 李霖,闫瑾.超载下倒装式沥青路面结构有限元分析[J].公路交通科技,2015,32(8).

收稿日期:2017-07-12

(上接第72页)

content in aggregate and water stability of rubber asphalt mixture[J].Advanced Materials Research;Advances in Civil Infrastructure Engineering,2013,639—640.

- [7] Lin C,Zheng X,Weimin L V.Effect of clay content in fine aggregate on water stability of asphalt mixture[J].Tongji Daxue Xuebao/Journal of Tongji University,

2006,34(5).

- [8] 毕玉峰.沥青混合料抗剪试验方法及抗剪参数研究[D].上海:同济大学,2004.
- [9] 景志远.粗集料含泥量对沥青混合料性能影响分析[J].公路交通科技:应用技术版,2015(8).

收稿日期:2018-01-14