

文章编号: 1002-0268 (2006) 04-0023-04

交通荷载作用下旧沥青路面裂缝 对加铺层的影响

陈团结, 钱振东, 黄 卫
(东南大学, 江苏 南京 210096)

摘要: 利用有限元对不同裂缝宽度、不同荷载作用位置、不同轴载等对加铺层中应力分布以及计算点位应力值进行了分析和对比, 发现考虑裂缝时加铺层中的计算点位的应力值均比不考虑裂缝时大; 随着荷载位置的变化, 简化模型中的最大拉应力和剪应力的作用位置逐渐从模型中下部转移到加铺层底和加铺层中, 应力值也随之发生大幅度增加; 交通荷载作用下横向裂缝对加铺层的影响远远超过纵向裂缝。这表明在进行加铺层设计时不仅仅要考虑旧路面的剩余模量, 更重要的是要考虑裂缝对加铺层的影响。

关键词: 加铺层; 旧路面裂缝; 三维有限元; 交通荷载; 应力分布

中图分类号: U416 217

文献标识码: A

Influence of Pavement Cracking on the Overlay under Traffic Load

CHEN Tuan-jie, QIAN Zhen-dong, HUANG Wei
(Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096, China)

Abstract: Rehabilitation is the most common way to improve the performance of the existing asphalt pavement. The cracks of the existing pavements are seldom considered in the rehabilitation design. The authors manage to analyze the condition of distribution and value of stress in the overlays under the influence of different width of cracks, different positions and value of the traffic load. By comparison, some conclusions have been reached which are different from those based on common sense. The stresses in the overlays on the cracks are bigger than those without cracks. Meanwhile the max tension and the shear stress in the simplified model will move upward with the increase of crack width. In addition, traffic load has much more influence on the overlays on the transverse cracks than those on the longitudinal cracks. These conclusions also prove that it is improper during the overlay design just to consider the residual modulus of the existing pavements and it is most important to pay more attention to the influence of the existing cracks on the overlay.

Key words: Overlay; Cracks in the existing pavement; 3-dimensional FEM; Traffic loads; Stress distribution

0 前言

沥青路面在使用一段时间后, 随着各种病害的出现, 其使用功能将随之发生衰减。根据大量的实际调查, 大多数结构性破损最初都是以裂缝形式表现出来的, 经过演变之后发展成为不同类型的病害^[1]。目前对于路面的结构性破损的修复较为普遍的做法是加铺

层罩面。国内外关于沥青路面加铺层的设计方法很多, 但是很少考虑旧路面存在的大量病害, 尤其是裂缝对加铺层的影响。

1 常用的路面裂缝处治方法及其影响

路面在使用过程中出现的裂缝病害大致可以分为龟裂、网裂、横向裂缝和纵向裂缝等 4 类。一般情况

下在加铺层施工前，旧路面存在的病害都需要进行专门处理。龟裂和网裂呈面状分布，在加铺层施工之前，会将其彻底铣刨。因此龟裂和网裂（假设基层良好）其实被彻底清除掉，不会对加铺层造成危害。而横向裂缝和纵向裂缝由于呈线状分布，目前无论规范规定还是实际操做均采用热沥青或者密封粘结剂等材料进行灌缝处理。然而在目前条件下，能够采用优质的灌缝材料和灌缝设备以及在灌缝过程中真正严格按照要求进行施工很难做到，这导致灌缝的失效率通常高达 90% 以上。而从理论上讲，灌缝材料仅可以在一定程度上起到防水的作用，其传递剪力及抵抗弯拉应力的能力很小^[2]，所以灌缝后的裂缝仍然会对加铺层产生不利影响。基于此，有理由认为旧路面存在的横向裂缝和纵向裂缝是对加铺层使用性能及寿命造成影响的最为直接的原因之一。

2 计算模型的简化和假设

为了计算交通荷载作用下旧路面裂缝对加铺层的影响，根据路况调查以及钻心取样结果等实际情况对计算模型做出如下假设：

- (1) 旧路面的横向裂缝和纵向裂缝缝隙宽度足以使缝隙两侧面在变形过程中不发生接触；
- (2) 旧路面基层及以下不存在质量缺陷或者病害，旧面层只存在裂缝类破损；
- (3) 路面各层材料均被视为各向同性的理想弹性材料；
- (4) 加铺层与旧路面之间以及旧路面层与基层之间的接触为半光滑状态。

由此可以采用 3 层体系计算模型，见图 1。该模型长 300cm，宽 300cm，纵向长度同样取 300cm；下卧层为旧路面基层以下的半无限大部分。旧路面层计算厚度采用 12cm，模量取 600MPa，泊松比 0.3；加铺层厚度取 4cm，模量取 1 200MPa，泊松比 0.25。模型采用双圆荷载体系，当量圆直径为 21.3cm，轮压 0.7MPa。荷载作用位置采用图 2 与图 3 所示的方式，

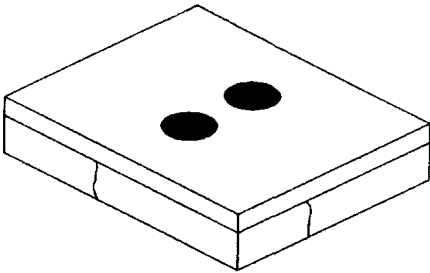


图 1 简化的计算模型
Fig 1 Simplified FEA model

其中荷位 I~III 为纵向裂缝的计算荷载位置，荷位 IV 为横向裂缝的计算荷载位置。A、B 两点分别表示与裂缝相对应的加铺层底横向和纵向的中心点位。

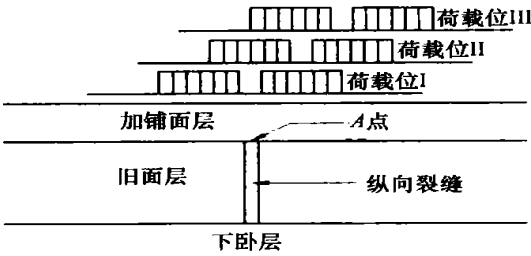


图 2 纵向裂缝处的计算荷载位置
Fig 2 Load positions on the longitudinal cracks

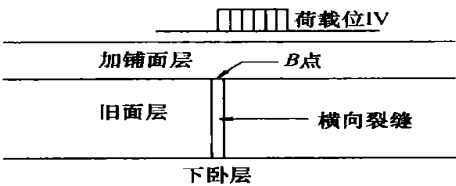


图 3 横向裂缝处的计算荷载位置
Fig 3 Load positions on the transverse cracks

层间接触用 Goodman 零厚度单元进行模拟，法向刚度取无穷大，切向刚度取 30MPa，接触面摩擦系数取 0.5 以模拟加铺层与旧路面层之间半光滑半接触状态^[3]。

3 纵向裂缝对加铺层影响分析

不同荷载形式下，裂缝宽度对加铺层应力分布影响的计算结果见表 1。

表 1 不同荷载形式和裂缝宽度情况下加铺层中的应力变化情况
Tab 1 Stress under different loads and crack widths

荷载形式	缝宽	A 点拉应力 /MPa	加铺层表最大拉应力 /MPa	加铺层底 /MPa	
				最大拉应力	最大剪应力
I	4	-0.789	0.212	0.332	0.498
	8	-0.780	0.213	0.332	0.498
	10	-0.776	0.213	0.332	0.498
	12	-0.773	0.213	0.332	0.498
	14	-0.769	0.214	0.330	0.498
II	4	-0.071	0.295	0.334	0.491
	8	0.394	0.296	0.394	0.490
	10	0.409	0.298	0.407	0.490
	12	0.425	0.299	0.423	0.490
	14	0.545	0.300	0.527	0.490
III	4	-0.260	0.640	1.224	0.605
	8	-0.231	0.668	1.285	0.605
	10	-0.100	0.712	1.341	0.604
	12	-0.074	0.730	1.386	0.604
	14	0.127	0.778	1.444	0.603

从表 1 可以看出, 随着裂缝宽度的增大, A 点的水平应力逐渐增大。当荷载处于荷位 II 且裂缝宽度较大时, A 点受拉, 其它条件下 A 点受压; 当荷载处于荷位 III 时, 加铺层中的剪应力值最大, 随裂缝宽度的增大, 剪应力值变化不大。在荷载位置不变的情况下, 层底及层表拉应力不随裂缝宽度变化或者变化幅度很小。但是当荷位发生变化时, 加铺层中的应力变化还是很大的, 这一点可以从图 7~图 9 中看出。

不同计算点位处拉应力指标随裂缝宽度的变化情况见图 4~图 6。

从图中可以看出, 荷位 II 时, A 点拉应力明显大于其它两种荷载位置。当旧路面裂缝较小时, 如小

于 6mm, A 点几乎不受拉应力作用。在荷载 I 作用下, A 点始终处于受压状态。当荷载位于荷位 I 和荷位 II 时, 加铺层表的最大应力值不随裂缝宽度的变化而变化, 当加铺层受荷载 III 作用时, 加铺层表最大拉应力值随裂缝宽度的变化不明显。在荷位不变情况下, 加铺层底拉应力值随裂缝宽度增加的变化幅度不大。不同荷载作用位置时, 计算点位处应力变化情况见图 7~图 9。

图 7 表明: 当荷载处于荷载位 II 时, A 点拉应力最大。图 8 与图 9 表明: 从荷位 I 到荷位 II, 层表与层底拉应力增长幅度不大, 但是当荷载从位置 II 变化到位置 III 时, 层表与层底的拉应力均发生明显增长, 其中荷位 III 时层底的拉应力接近荷位 II 时的近 3 倍。

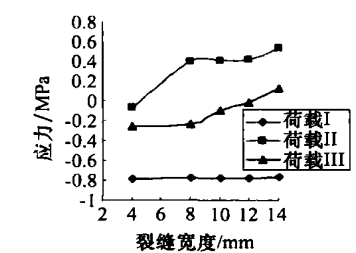


图 4 A 点拉应力变化

Fig 4 Tensile stress of Position A vs crack length

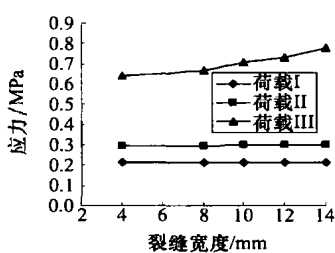


图 5 层表最大拉应力变化

Fig 5 Max tensile stress of the surface vs crack length

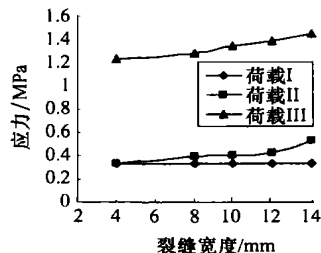


图 6 层底最大拉应力变化

Fig 6 Max tensile stress of the bottom vs crack length

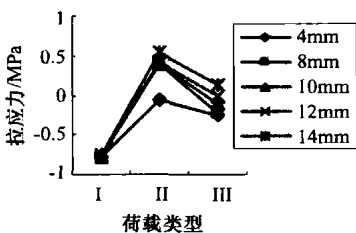


图 7 不同荷位时 A 点拉应力

Fig 7 Tensile stress of point A under different load positions

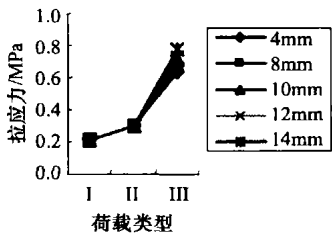


图 8 不同荷位时层表拉应力

Fig 8 Tensile stress of the layer surface under different load positions

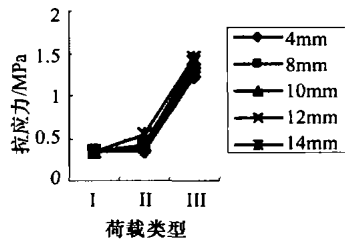


图 9 不同荷位时层底拉应力

Fig 9 Tensile stress of the layer bottom under different load positions

综上, 通过对不同裂缝宽度以及荷载位置的计算分析, 可以发现: 荷位 III 时加铺层底与层表的拉应力最大, 分别达到 1.445MPa 与 0.778MPa。因此在考虑纵向裂缝对加铺层影响时, 建议选取荷位 III 为计算荷位。

4 横向裂缝对加铺层的影响分析

采用图 3 所示的计算模型对不同横缝宽度在相同荷载作用下, 拉应力与剪应力分布情况进行了计算, 结果见表 2。

表 2 不同横缝宽度时加铺层中的应力分布

Tab 2 Stress of the overlay on the existing pavement with different crack widths

缝宽 /mm	B 点 /MPa		层底 /MPa		层表 /MPa		MAX /MPa	
	拉应力	剪应力	拉应力	剪应力	拉应力	剪应力	拉应力	剪应力
4	-0.385	2.103	1.11	0.806	2.103	1.353		
8	-0.335	2.213	1.045	0.851	2.215	1.354		
12	-0.0725	2.395	0.984	0.949	2.395	1.367		
14	0.284	2.489	0.955	1.026	2.489	1.389		

从表 2 中可以看出, 横向裂缝中心对应的加铺层 B 点的拉应力值始终小于层底和层表拉应力值, 且当

横缝宽度较小时, B 点受压应力。不同裂缝宽度时的最大拉应力发生在层底 (距 B 点水平距离 2.7cm 处), 最大剪应力发生在 B 点所在的加铺层的垂直面上, 距层底 1cm 左右; 最大拉应力与最大剪应力的位置不随横缝宽度变化而发生变化。

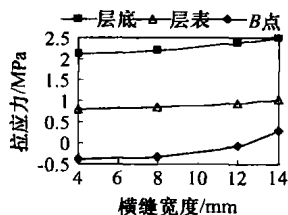


图 10 加铺层中拉应力随横缝宽度变化

Fig 10 Tensile stress of the overlay vs crack widths

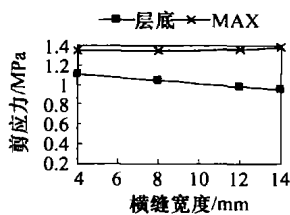


图 11 加铺层中剪应力随横缝宽度变化

Fig 11 Shear stress of the overlay vs crack widths

从图 10 及图 11 可以看出, 随着横缝宽度的变化, B 点、层底和层表最大拉应力都有相应增加, 但是幅度不大。与之相比层底最大剪应力则随横缝宽度的变化而减小, 这说明: 当荷载处于最不利荷载位置时, 加铺层中最大拉应力与剪应力的大小与裂缝宽度关系不大, 这一点与纵缝处的计算结果是相同的。另外, 荷载位于荷位 IV 时加铺层表最大拉应力和剪应力均比荷位 III 时大很多, 这表明交通荷载作用下横缝对加铺层的影响要远大于纵向裂缝的影响。因此如果旧路面存在较多横向裂缝时或者纵向裂缝与横向裂缝并存时, 建议用荷位 IV 作为加铺层设计的临界荷位。

5 考虑裂缝对加铺层设计造成的影响

我国公路沥青路面设计规范中对加铺层的设计方法的规定为: 首先根据旧路面表面弯沉值并利用布辛尼斯克半无限大地基上的一般解, 反算出旧路面及以下各层的整体的综合模量 E_t , 再利用弹性层状体系进行加铺层设计。这种计算方法对设计来说比较方便, 但是不方便与有限元方法的计算结果进行比较。因此本文利用 Bisar 计算程序对前文假设的层状体系进行分析, 计算得出加铺层表与层底的弯拉应力分布, 见图 12 及图 13。

可以看出, 当加铺层厚度为 4cm 时, 层表最大拉应力发生在双圆荷载的轮隙, 最大值为 0.147MPa; 层底最大拉应力发生在荷载作用位置范围内, 最大值为 0.306MPa, 均小于考虑横向裂缝或者纵向裂缝时

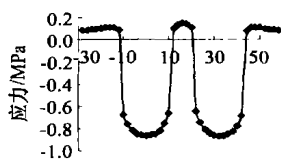


图 12 不考虑裂缝时加铺层表的拉应力分布

Fig 12 Tensile stress of the overlay surface without considering cracks

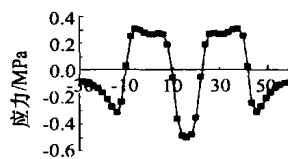


图 13 不考虑裂缝时加铺层底拉应力分布

Fig 13 Tensile stress of the overlay bottom without considering cracks

的应力值。这表明: 由于裂缝的存在, 依照现有方法设计的加铺层厚度将偏小, 在实际使用中加铺层将处于更加不利的应力状态。

6 结论

(1) 通过对纵缝处不同荷位下加铺层应力状态的分析, 表明荷载作用位置的变化对加铺层内应力的大小及其分布的影响是显著的, 其中荷载作用位置 III 是纵缝作用下的最不利荷载位置。当加铺层为 4cm 时, 裂缝宽度为 5mm 时, 考虑裂缝条件下的加铺层底的最大拉应力值较不考虑时约大 4 倍以上。

(2) 通过对横缝处荷载在最不利荷载位置下加铺层的应力分析, 发现加铺层中最大拉应力值为不考虑裂缝时的 3 倍左右, 达到 2.0MPa 以上。

(3) 考虑横向裂缝时加铺层中的拉应力要远远大于考虑纵向裂缝时的应力值, 因此建议在加铺层设计时应优先考虑横向裂缝对加铺层的影响。

参考文献:

- [1] A H de Bondt Design of Asphaltic Overlays [C]. Proceedings of 5th International Conference on Structural Design of Asphalt Pavement, 1982.
- [2] 沙庆林. 高等级公路半刚性基层沥青路面 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
- [3] 黄仰贤 (美). 路面分析与设计 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
- [4] 武和平. 高等级公路路面结构设计与方法 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1999.
- [5] 邓学钧, 黄晓明. 路面设计原理与方法 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [6] 郑健龙, 周志刚, 等. 沥青路面抗裂设计理论与方法 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [7] 孙立军, 等. 沥青路面结构行为理论 [M]. 上海: 同济大学出版社, 2003.
- [8] 布查南 (美). 有限元分析 [M]. 北京: 科学出版社, 2002.