

不同沥青路面结构反射裂缝产生与扩展影响因素分析*

黄慧¹, 胡省², 张洪刚², 何金兰¹

(1.广西公路技工学校, 广西南宁 530023; 2.广西道路结构与材料重点实验室, 广西南宁 530007)

摘要:以路面温度场和路面结构受力特性作为反射裂缝产生与扩展的主要因素,分析了广西地区典型结构下温度场分布、沥青层厚度、结构组合、重载等因素对基层开裂的产生及向上扩展的影响。结果表明,较薄的沥青面层在温度场分布、应力场分布上都会对基层产生不利影响,在重交通条件下会加速基层开裂;在半刚性基层沥青路面结构中,基层开裂后,在重交通条件下沥青层越薄,裂缝处的应力强度因子越大,越容易开裂;在复合式路面结构中,应力强度因子随复合式路面结构加铺层厚度的增加而减小,沥青层每增加 1 cm,应力强度因子平均衰减 12%。

关键词:公路;沥青路面;反射裂缝;应力强度因子

中图分类号:U418.6

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2017)02-0114-04

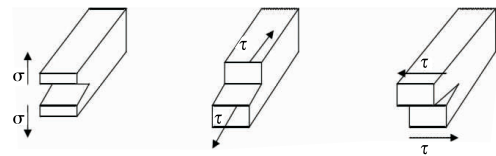
1 沥青路面反射裂缝的形成

沥青混合料是一种温度敏感性较强的柔性材料,能承受一定程度内的温度作用,单纯的低温很难将沥青混合料冻断(裂),沥青路面开裂大都来源于半刚性基层开裂或刚性基层接缝向上扩展造成的沥青路面反射裂缝。与刚性或半刚性基层材料相比,沥青材料的耐温性更强,即温缩作用引起开裂更多是先发生于刚性或半刚性基层结构上,基层裂缝继而向上扩展致使沥青面层开裂。

当基层开裂并向上扩展至沥青面层时,反射裂缝的形式可分为荷载型和温度型两种。在沥青路面中,荷载型反射裂缝属于剪切型裂缝,其扩展模式是两个裂缝面在剪应力 τ 的作用下相互滑移而扩展,剪应力 τ 平行于裂缝表面,作用方向垂直于裂缝方向[见图 1(b)]。

温度型反射裂缝分为两种:一种是低温收缩裂缝,在基层本身已开裂的新建沥青路面结构或改扩建工程中在旧路上铺筑沥青面层的结构中,由于温度收缩,在本已开裂的裂缝端会产生张开位移,使已存在温度收缩的沥青加铺层又增加一个附加拉应力 σ ,当附加拉应力和温缩应力相互叠加,且叠加应力超过沥青砼材料的抗拉强度时,沥青路面底面开裂,而后向上扩展到路表[见图 1(a)]。另一种是温度疲劳裂缝,它主要发生在昼夜温差较大的地方,无论

降温过程还是升温过程缝端都会产生拉应力,温差的循环作用使基层裂缝对应的沥青层底位置产生裂缝[见图 1(c)]。因此,路面温度场和路面结构受力特性是影响开裂的重要因素。



(a) 低温收缩裂缝 (b) 荷载型裂缝 (c) 温度疲劳裂缝

图 1 路面裂缝的基本类型示意图

以广西地区沥青路面结构为例,该地区冬季低温不明显,出现沥青路面材料因低温冻断(裂)的几率很小,更多是由于温度场梯度变化和路面结构受力引起基层开裂后向上扩展引起的反射裂缝。调查发现,反射裂缝主要发生在薄层(厚度 < 5 cm)复合式沥青路面结构和普通公路半刚性基层沥青路面结构(沥青层厚 5~9 cm)中,高速公路半刚性基层沥青路面(沥青层厚 18 cm)反射裂缝很少,这与广西地区的路面温度场、结构力学响应相关。因此,下面主要分析广西常用典型结构下基层开裂的影响因素及基层开裂后向沥青面层扩展过程中的影响因素,并通过对比揭示广西地区不同结构沥青路面反射裂缝发生的力学原因,基于力学响应分析探讨抗裂技术措施。

* 基金项目: 广西交通科技项目(20122636)

2 基层开裂的影响因素

2.1 温度场对基层开裂的影响

半刚性基层材料的温缩效应较强,尤其是在冬季温度骤然变化时,温度场梯度造成的温度应力是

引起半刚性基层开裂的主要原因。以广西地区冬季低温变化实际情况模拟冬季广西地区不同沥青路面结构骤然降温时的温度场分布特征及对半刚性基层开裂的影响,路面结构模型见表 1,冬季温度变化参数见表 2,计算结果见图 2~4。

表 1 温度场计算采用的路面结构类型及其组合、厚度

结构类型	沥青面层	水稳基层(基层+底基层)	水泥砼层	水稳基层	级配碎石垫层	土基
结构 1:路网公路半刚性基层沥青路面	7(较薄)	30	—	—	20	300
结构 2:高速公路半刚性基层沥青路面	18	53(18+35)	—	—	20	300
结构 3:复合式沥青路面	5(薄层)	—	26	35	18	300

表 2 广西地区冬季骤然降温时的温度参数

温度状况	代表值
日最高气温/°C	15
日最低气温/°C	5
日太阳辐射总量/(MJ·m ⁻²)	30
日有效日照时数/h	12
日平均风速/(m·s ⁻¹)	2

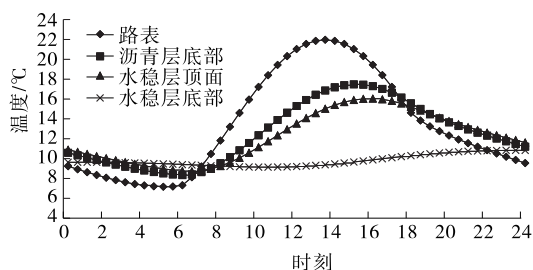


图 2 冬季降温时结构 1 的温度场分布特征

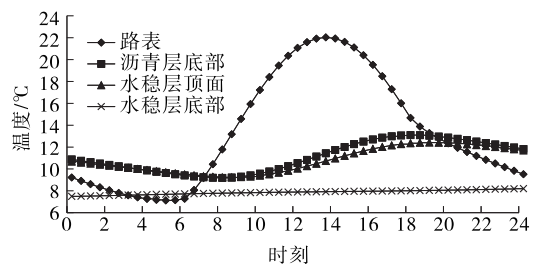


图 3 冬季降温时结构 2 的温度场分布特征

由图 2~4 可知:结构 1 与结构 3 由于沥青加铺层较薄,基层温度场梯度明显大于结构 2;相同温度变化条件下,结构 1 的水稳层顶面当天内的温度差最大为 8 °C,结构 2 的水稳层顶面当天内的温度差最大仅 2 °C,结构 3 的砼面板顶面当天内的温度差最大为 9 °C,结构 1 和结构 3 中同一层位的温度变

化比结构 2 明显;相同温度变化条件下,结构 1 的水稳基层层顶与层底最大温度梯度差约 7 °C,结构 2 的水稳基层层顶与层底最大温度梯度差仅 4 °C,结构 3 的砼面板层顶与层底最大温度梯度差为 9 °C,结构 1 和结构 3 中同一层位内纵向位置的温度梯度比结构 2 明显。说明温度变化时,沥青加铺层越厚,温度场变化对基层的影响越小;沥青加铺层越薄,基层的温度场变化幅度越大,对温度变化越敏感,容易引起基层因温度因素开裂。

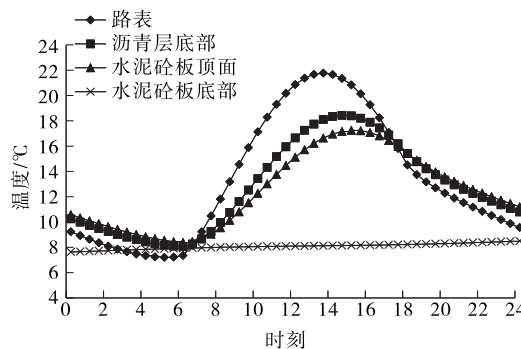


图 4 冬季降温时结构 3 的温度场分布特征

2.2 结构受力对基层开裂的影响

已有研究表明,半刚性基层沥青路面结构拉应力主要分布于基层内部,基层层底拉应力是控制基层因荷载因素开裂的主要力学指标。因此,以表 1 中结构 1(面层厚度取 5、7、9 cm)和结构 2 为对象,通过有限元软件模拟对比不同路面结构组合的基层层底拉应力及超载对基层层底拉应力的影响。计算模型采用多层弹性理论体系,计算中采用双圆均布荷载,荷载 P 为 0.7 MPa。考虑超载时,超载水平依次为超载 25%、50%、75%、100%。计算结果见图 5、图 6。

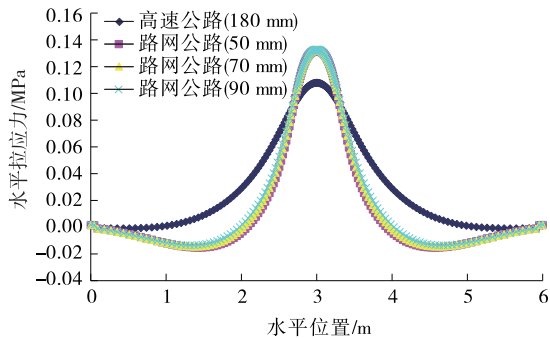


图5 荷载作用下半刚性基层层底水平拉应力对比

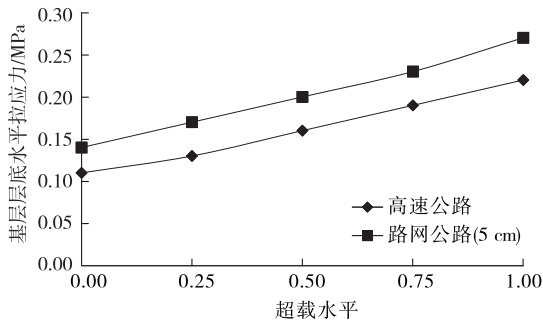


图6 不同荷载水平下两种结构基层层底水平拉应力对比

由图5可知:结构1中半刚性基层层底拉应力峰值约为0.14 MPa,结构2中半刚性基层层底拉应力峰值约为0.11 MPa,削减幅度达21.4%。相比于路网公路采用较薄的沥青面层和较薄的水稳基层,高速公路沥青路面结构采用较厚的基层和较厚的面层组合,较厚的沥青面层对路表车辆荷载传递的应力进行了有效扩散,较厚的基层提供了足够的承载力,有利于整个路面结构内部的应力分布,从而有效削弱了半刚性基层层底拉应力。

由图6可知:随着超载水平的增长,两种结构的基层层底水平拉应力均呈线性增加,即超载对基层层底产生了非常不利的影响;尤其是路网公路结构采用较薄的沥青面层和较薄的水稳基层,超载对其影响更不利,超载50%以上时,其半刚性基层层底水平拉应力峰值超过0.2 MPa,在超载车辆反复作用下,基层受荷载因素影响而开裂的可能性很大。

综上所述,较薄的沥青面层在温度场分布、应力场分布上都会对基层产生不利影响,尤其是在重交通下会加速半刚性基层的开裂。

3 反射裂缝扩展影响因素

根据断裂力学理论,以应力强度因子作为裂纹尖端附近应力奇异性程度的表征参量,它是衡量裂纹尖端区应力场强度的重要指标,以数值大小反映

不同裂缝尖端趋向开裂的程度,应力强度因子越大,裂缝越可能出现失稳扩展,裂缝疲劳扩展速度也就越快。下面以应力强度因子为指标分析半刚性基层开裂后及复合式路面砼面板接缝向上扩展的机理和影响因素。

以表1所示3种结构为对象分别建立半刚性基层已开裂和复合式路面砼面板存在接缝的有限元模型(见图7),并考虑重载交通条件,超载水平依次为超载25%、50%、75%、100%。应力强度因子计算结果见图8、图9。

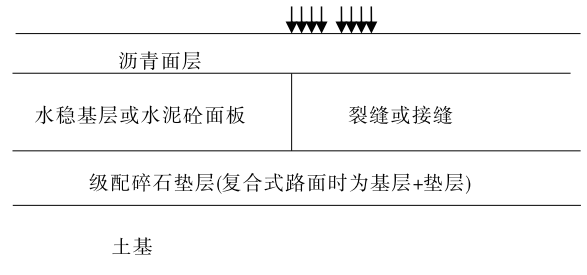


图7 半刚性基层沥青路面结构计算示意图

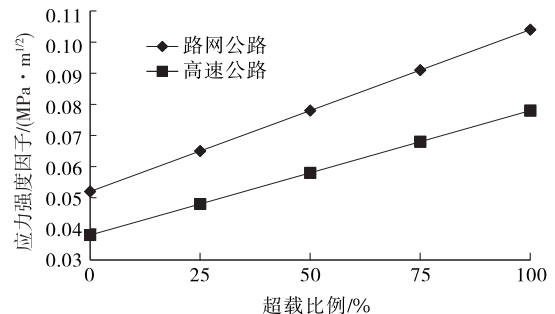


图8 半刚性基层沥青路面基层开裂后裂缝处的应力强度因子

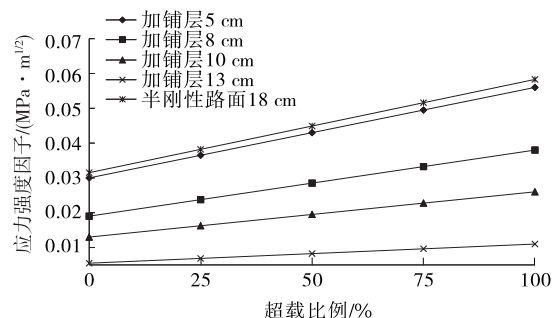


图9 复合式沥青路面砼面板接缝处的应力强度因子

由图8可知:同为半刚性基层沥青路面结构时,基层开裂后,相同交通条件下,沥青层较薄的结构1在裂缝处的应力强度因子明显大于沥青层较厚的结构2,前者约为后者的1.3倍,且其应力强度因子的重载影响敏感性较强,说明在重载交通条件下结构1的沥青层更易开裂。

由图9可知:1)比较超载对半刚性路面(基层已开裂)和不同加铺层厚度复合式路面裂缝尖端的应力强度因子,加铺层厚度为5cm的复合式路面结构接缝处应力强度因子与半刚性基层路面结构(沥青层厚18cm)裂缝尖端应力强度因子相当,均较大,且重载影响敏感性强。这是温差较大地区半刚性基层沥青路面反射裂缝较多的主要原因,也是薄层复合式路面面层开裂同样普遍的原因。2)在复合式路面结构中,沥青加铺层厚度是削弱接缝处应力强度因子的关键因素,应力强度因子随复合式路面结构加铺层厚度的增加而减小,沥青层每增加1cm,应力强度因子平均衰减12%,并且随着加铺层厚度的增加,应力强度因子的重载影响敏感性降低,当加铺层厚度达到13cm时应力强度因子已很小,且重载影响敏感性大大降低。

综上所述,沥青层厚度是抵抗反射裂缝的最直接、有效的技术措施,在综合考虑道路等级、荷载水平、工程造价等条件下,应尽量选择较厚的沥青层以提高沥青路面的使用性能和使用寿命。

4 结论与建议

(1)降温时,沥青加铺层越厚,温度场变化对基层的影响越小;加铺层越薄,基层的温度场变化幅度越大,对温度变化越敏感,越容易引起基层开裂。

(2)沥青层越薄,在超载车辆反复作用下,基层

受荷载因素影响而开裂的可能性越大。较薄的沥青面层在温度场分布、应力场分布上都会对基层产生不利影响,加速半刚性基层的开裂。

(3)半刚性基层开裂后,在重载交通条件下,沥青层越薄,裂缝处的应力强度因子越大,越容易开裂;在复合式路面结构中,应力强度因子随复合式路面结构加铺层厚度的增加而减小,沥青层每增加1cm,应力强度因子平均衰减12%,同样是沥青层越薄越易产生反射裂缝。

(4)在综合考虑道路等级、荷载水平、工程造价等条件下,应尽量选择较厚的沥青层。

参考文献:

[1] 孙立军.沥青路面结构行为理论[M].上海:同济大学出版社,2003.
 [2] 苏卫国,孙浩.旧水泥混凝土路面直接加铺薄层沥青罩面方案选择分析[J].公路工程,2015,40(2).
 [3] 张洪刚,黄慧,岳爱军.不同结构类型的旧路改造升级沥青罩面结构的力学响应研究[J].公路工程,2013,38(1).
 [4] 郑健龙,张洪刚,钱国平,等.水温冻融循环条件下沥青混合料性能衰变的规律[J].长沙理工大学学报:自然科学版,2010,7(1).
 [5] 梁丽蓉,黄慧,邓坚平.广西路网公路沥青路面病害调查及分析[J].西部交通科技,2011(11).

收稿日期:2016-09-22

(上接第113页)

越多。说明压实度也是影响水稳基层材料抗冲刷性能的一个较为重要的因素,压实度越高,其抗冲刷能力越强。

3 结论

(1)水泥稳定碎石材料的抗冲刷性能随水泥强度的提高而增强,随水泥剂量的增大而增大。

(2)细集料含量为35%左右时骨架密实结构的抗冲刷性能较好。

(3)养生龄期对基层材料的抗冲刷性能影响较大,龄期越长,其抗冲刷性能越强。

(4)基层材料的抗冲刷性能随着压实度的增大而增强。

参考文献:

[1] 沙爱民,胡利群.路面基层材料抗冲刷性能试验研究

[J].岩土工程学报,2002,24(3).

[2] 朱唐亮,谈至明,周玉民.半刚性基层材料抗冲刷性能的试验研究[J].建筑材料学报,2013,16(4).

[3] 朱唐亮,谈至明,周玉民.水泥稳定类基层材料抗冲刷性能的试验研究[J].建筑材料学报,2012,15(4).

[4] 沙爱民,胡利群.半刚性基层材料抗冲刷性能试验方法研究[J].中国公路学报,2002,15(2).

[5] 张敏江,关贺,梁鸿颀.半刚性基层材料抗冲刷性能的研究[J].沈阳建筑大学学报:自然科学版,2006,22(3).

[6] JTG E30-2005,公路工程水泥及水泥混凝土试验规程[S].

[7] JTG E51-2009,公路工程无机结合料稳定材料试验规程[S].

[8] JTG D50-2006,公路沥青路面设计规范[S].

[9] 胡利群.半刚性基层材料结构类型与组成设计研究[D].西安:长安大学,2004.

收稿日期:2016-09-20