

城市道路交叉口沥青加铺层路面结构分析与设计

尹应梅, 张荣辉, 林思能

(广东工业大学 土木与交通工程学院, 广东 广州, 510006)

摘要: 结合 S120 大修工程实际, 总结和分析了交叉口沥青路面加铺层车辙、裂缝等病害及其产生原因, 同时针对交叉口的运行特点对路面结构进行力学分析; 确定旧水泥混凝土路面加铺沥青路面结构的最大剪应力区和抗车辙区, 为交叉口路面结构和材料的抗车辙、抗裂设计提供依据。根据力学计算分析结果, 提出几点适合交叉口的路面结构组合和材料选择的建议。

关键词: 沥青路面; 交叉口; 车辙; 力学分析; 路面结构

中图分类号: U416.2

文献标志码: A

文章编号: 1007-7162(2011)03-0091-04

交叉口是城市道路交通的枢纽位置, 相交道路的各种车辆和行人都要在交叉口处汇集、通过, 由于交通管制和交通信号灯的设置, 交叉口附近成为各种车辆经常刹车停住和起动的地方; 再者, 由于交通量的快速增长, 重载车辆的日益增多, 交管部门为提高道路交叉口的通行能力, 通常又在交叉口的各路口减小车道宽度, 增加车道数, 这进一步加剧了交叉口区域的渠化交通程度。上述几方面因素的综合作用使得道路交叉口区域出现了不同程度的路面病害。沥青混凝土路面以其平整度好、维修方便等诸多优势特点而成为公路新建和改建的主流路面结构, 近年来在市政工程中也得到了越来越广泛的应用^[1-4]。目前旧路面大、中修通常是在原路面上加铺黑色沥青混凝土层。但是由于交通量的快速增长、重载车辆的日益增多、长期高温以及车辆长期渠化行驶等因素, 新加铺的沥青罩面部分路段在 1~2 年内就出现较严重的车辙^[5], 特别是平面交叉口位置的特殊性, 车辆频繁刹车、起动、转向, 致使沥青路面推挤、车辙、开裂等病害非常严重, 影响了道路的舒适、安全性能。本文以东莞市 S120 旧水泥混凝土路面交叉口改造工程为例, 对交叉口路面结构设计进行力学分析和设计, 为交叉口合理的路面结构加铺方案设计提供理论依据。

1 路面损坏类型及原因分析

城市道路交叉口主要的病害是车辙, 此外还有裂缝、松散、坑槽等, 这大大降低了交叉口的通行能

力, 严重影响行车质量和行车安全。对城市已有道路交叉口调查研究发现, 产生这些损坏是由于在车辆频繁刹车、起动、转向的过程中, 在车轮水平荷载和垂直荷载综合作用下导致沥青路面结构层内产生的剪应力超过材料的抗剪强度, 或在车辆循环荷载作用下产生剪切疲劳导致其剪切塑性变形不断累积。从东莞市 S120 交叉口改造实际情况分析, 交叉口病害的主要原因还有交通量大、重型车辆多和气温过高且持续时间长。

2 路面结构力学分析

由于交叉口交通管制、交通信号灯的设置以及交通组织的影响, 相交道路的各种车辆和行人都要在交叉口处汇集、通过, 同时交叉口也成为各种车辆频繁刹车、起动和转向的地方, 而且随着交通量增加, 渠化交通严重。在车辆荷载作用下, 路面反复承受车辆荷载垂直应力和水平应力的综合作用, 这不仅要求道路交叉口路面有良好的抗剪切、抗冲击及抗弯拉能力, 而且要求有足够的摩阻力。因此, 只有充分了解交叉口路面结构的受力情况, 才能有针对性地进行路面结构设计和材料设计。

东莞市 S120 交叉口路面改造工程是在旧水泥混凝土路面上加铺沥青混凝土路面。由于旧水泥混凝土路面上沥青加铺层厚度设计主要依据旧路面结构的承载力及当地的经济状况, 选用合理的加铺层方案。交叉口路面主要的病害是车辙和裂缝, 沥青加铺层太薄, 容易产生反射裂缝; 加铺层太厚, 造价又

收稿日期: 2011-01-25

基金项目: 广东省公路管理局科技资助项目(粤公研 2008-12)

作者简介: 尹应梅(1976-), 女, 讲师, 博士, 主要研究方向为道路工程。

会过高,经济上难以承受,故加铺层应有一个较合理的厚度.根据国内外的经验和路面调查的状况^[3-8],采用 AASHTO 法和有效厚度法计算确定水泥混凝土加铺层的加铺平均厚度为 18 cm.为使路面结构方案更优化,材料组成设计更合理,充分发挥材料的力学性能,延长道路交叉口的使用寿命,需要通过力学分析确定加铺层主要的应力应变状态.

2.1 力学模型

根据 AASHTO 法和有效厚度法^[8],结合 S120 的实际情况,旧水泥混凝土路面采用冲击破碎击实法,拟定加铺层采用三层(4 cm+6 cm+8 cm)进行设计.借鉴以往的研究成果,发现沥青加铺层各层所

处位置特点不一样,其功能也不一样^[7-8].为此,建立力学模型如图 1 所示.汽车荷载采用后轴为 100 kN 的标准轴载,其作用半径 $r = 10.65$ cm,垂直标准荷载 $p = 0.707$ MPa;对于水平荷载,根据车轮与路面之间的摩擦系数确定,即: $q = f \times p$,式中 q 为水平荷载,MPa; p 为垂直荷载,MPa; f 为摩擦系数,对交叉路口、停车站等缓慢制动地点摩擦系数为 0.2,对偶然的紧急制动摩擦系数为 0.5,为了研究交叉口不同的水平荷载对路面结构受力的影响,摩擦系数分别取 0.0、0.1、0.3 和 0.5^[9];交叉口重载计算中取垂直荷载 p 为 1 MPa 和 1.2 MPa.

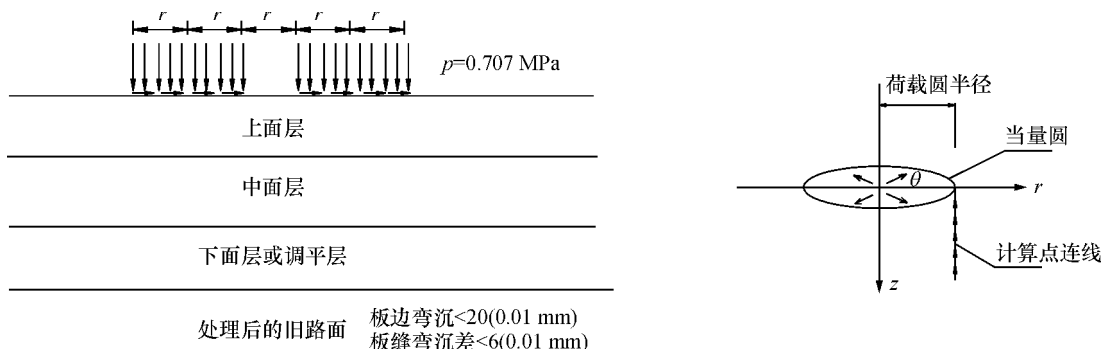


图1 标准轴载作用路面结构及计算点示意图

路面结构力学分析时选取的各层材料计算参数见表 1,其中材料模量的选取考虑到改性与非改性等因素,借鉴规范的推荐值,模量的取值为一个范围.

表1 各层材料计算参数

材料	厚度均值/cm	模量/MPa	泊松比
上面层	4	1 000 ~ 1 600	0.35
中面层	6	800 ~ 1 600	0.35
调平层或下面层	8	800 ~ 1 600	0.35
旧路面(基层)	24	20 000 ~ 30 000	0.25
土基	∞	200	0.4

表2 不同层间接触状态力学计算结果¹⁾

层间接触状态	作用荷载/MPa	路表弯沉/ ($\times 0.01$ mm)	6 cm 中面层 层底弯拉应力/MPa	8 cm 下面层或调平 层底弯拉应力/MPa
完全连续	0.7	9.5 ~ 12.5	-0.17 ~ -0.20	-0.12 ~ -0.13
	1.0	13.4 ~ 17.6	-0.24 ~ -0.27	-0.17 ~ -0.18
	1.2	16.0 ~ 21.1	-0.29 ~ -0.34	-0.20 ~ -0.22
半连续半滑动	0.7	12.6 ~ 15.5	0.28 ~ 0.36	0.17 ~ 0.30
	1.0	17.8 ~ 21.9	0.40 ~ 0.52	0.24 ~ 0.42
	1.2	21.4 ~ 26.3	0.48 ~ 0.62	0.29 ~ 0.50

1) 表中“-”表示压应力.

由表知,无论层间连接为完全连续还是半连续半滑动,加铺层的路表弯沉和层底弯拉应力均随着作用荷载增大而增大.当层间接触为完全连续时,3

2.2 结果分析

沥青混合料抗剪性能与沥青路面车辙病害有较强的相关性.因此,用最大剪应力来确定抗车辙区域.应用弹性层状体系理论,利用 BISAR3 和 20 节点有限元程序,计算分析结果如下:

1) 层间接触状态影响分析

当假设各层间接触分别为完全连续或半连续半滑动时,计算结果见表 2.

种作用荷载下加铺面层的各个分层受力情况均为压应力,说明这种情况下加铺层处于受压状态,因此加铺层因受拉应力而产生裂缝的可能性较小.但是在

层间接触半连续半滑动状态下,加铺层的各分层均产生拉应力,其中中面层层底的拉应力最大,下面层次之。

2) 不同垂直荷载作用对路面结构影响。

图2描述了不同荷载作用下剪应力随路面深度的变化情况。由图2可知,剪应力随着垂直荷载的增大而增大,加铺层剪应力最大值的位置在4~7 cm处,位于中面层,由此知,中面层为最容易产生车辙的一层。

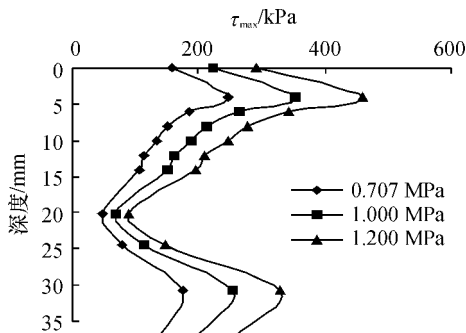


图2 不同垂直荷载作用下路面结构剪应力

3) 中面层模量变化对路面结构力学影响。

除中面层外,各路面结构层取中值,中面层以400 MPa变化,在标准轴载作用下,计算剪应力的变化情况,结果见图3。

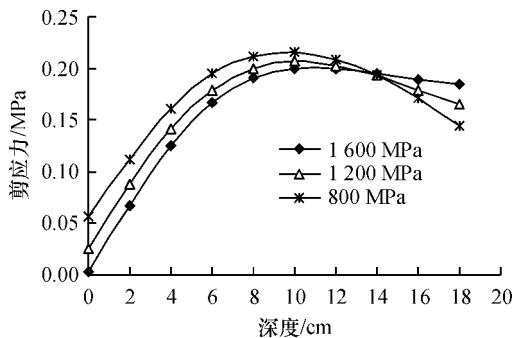


图3 路面结构剪应力对中面层模量依赖性

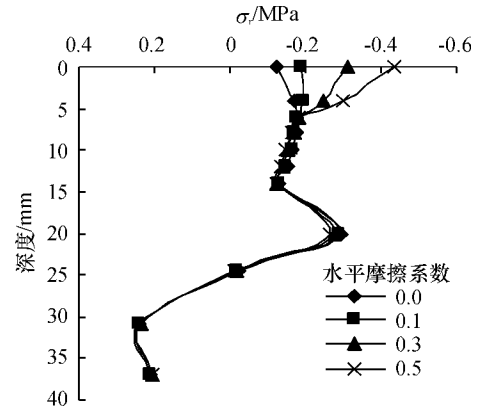
由图3知,在10 cm内的剪应力处随着模量的增大而明显减小;但是在18 cm处,模量越大,剪应力有增大趋势。为此,建议中面层可适当提高模量,而且在沥青面层与旧水泥混凝土路面接触的位置采取处理措施。

4) 不同水平荷载对路面结构的力学影响分析。

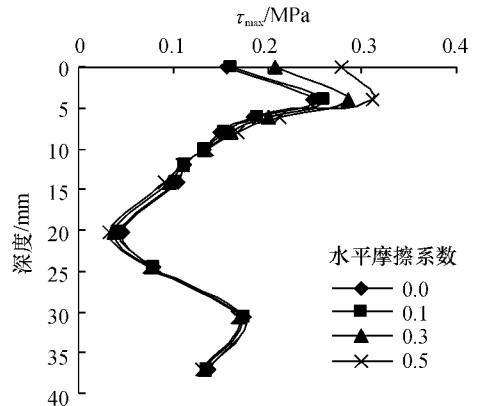
交叉路口频繁刹车与制动,为了研究不同的水平荷载对路面结构受力的影响,取摩擦系数分别取0.0、0.1、0.3和0.5^[3];对于上述力学模型中,模量分别取中值,垂直荷载选用标准荷载,不同水平荷载下的计算结果见表3和图4。

表3 水平荷载对旧水泥混凝土路面加铺沥青层应力的影响

水平摩擦系数	面层(加铺层)底面弯拉应力/MPa	基层底面弯拉应力/MPa	最大剪应力峰值/MPa
0.0	-0.196	0.582	0.248
0.1	-0.186	0.576	0.260
0.3	-0.167	0.562	0.285
0.5	-0.148	0.549	0.311



(a) 拉应力沿深度分布



(b) 剪应力沿深度分布

图4 水平荷载对路面结构应力的影响

由表3和图4知,水平荷载作用的影响范围基本上在面层8 cm以内,在此深度范围以外的应力变化幅度很小,路表面受水平荷载的影响最大。最大剪应力峰值出现在上面层3~7 cm处,所以上面层与中面层之间的联结一定要好,否则,将因受剪切应力过大而产生过早脱离和车辙等病害。

力学分析表明,中面层是最不利一层,其受力最为复杂,剪应力最大;上面层受汽车刹车制动的影响较大,在旧路面中应力变化较明显,旧路面处治好坏直接影响到裂缝的扩展。从耐久性路面设计理念出发,面层采用高质量的沥青混合料,中间层采用高模量的沥青混合料,新旧路面交接处采用吸收应力粘结力好的路面材料。因此,应该对中、上面层的材料组成设计进行重点研究,采取多种材料组成方案进行路用性能试验比较,以优选出最佳的材料组成方案。

3 交叉口路面设计建议

根据以上力学分析,借鉴国内外已有的研究成果^[5-8],结合东莞市气候环境特点、交通荷载以及交叉口位置的特殊性等因素的影响,对 S120 大修工程交叉口设计提出以下几点建议:

(1) 中面层是沥青加铺层中最不利的一层,车辆刹车和制动影响较大的是上面层和中面层,且中面层模量增大可有效降低剪应力,即减轻车辙病害。因此,中面层和上面层是交叉口研究的重点层。

(2) 从道路交叉口车辙发生区域以及抗剪角度出发,在路面结构组合及材料设计时应从多方面考虑来提高中、下面层的抗变形和抗剪切性能。沥青路面因便于养护和行车舒适等特点,在市政道路养护和建设中广泛应用。对于沥青路面,可从材料设计角度来提高路面抗车辙和抗剪切能力。比如可以通过采用调整级配、使用低标号基质沥青、改性沥青或添加抗车辙剂等方式提高沥青混合料的抗车辙性能。此外,施工中要提高面层的压实度,避免二次压密性车辙。

(3) 旧水泥混凝土路面沥青加铺层底部出现拉应力和剪应力,良好的黏结效果可以减小结构层的最大剪应力和最大拉应力。因此,在设计和施工中一定要重视层与层之间的黏结。考虑到旧水泥混凝土路面接缝和裂缝会产生尖端应力,建议在接缝和裂缝处特别处理或处理后设置缓冲层,这样将有效减小裂缝病害。

(4) SMA 是一种由沥青、稳定剂、矿粉及少量细集料组成的粗集料嵌挤型断级配沥青混合料。目前在欧美广泛应用于重交通道路、机场和港区道路,

具有较好的高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性、耐久性与抗滑性能,能够全面地提高沥青路面的使用性能。ATB 沥青稳定碎石也是一种粗骨架结构,具有足够的抗车辙、抗剪切能力。建议交叉口采用改性沥青 SMA + ATB 结构,ATB 也可用其他抗车辙和抗剪切材料替代;SMA + ATB 这种骨架嵌挤结构有较强的抵抗荷载变形能力及高温抗车辙能力。考虑到破碎旧混凝土面板容易损害加铺层,为了保证加铺效果,在实际工程中,建议优先选择传荷能力改善后铺设应力吸收层 + 抗车辙和抗剪切中间层 + SMA 或 AC 改性沥青面层的方案。

参考文献:

- [1] 张勇,白子建. BRT 专用车道路面结构分析与组合设计 [J]. 中国市政工程,2010,144(1):13-15.
- [2] Priest A L, Timm D H. Transfer functions for mechanistic empirical flexible pavement design [R]. USA Alabama: Auburn University NCAT Report 06-03,2006.
- [3] 邓学钧. 路基路面工程 [M]. 人民交通出版社,2002:1.
- [4] Huang Yang H. Pavement Analysis and Design [M]. 2nd edition. USA NJ Englewood Cliffs: Pearson/Prentice Hall, 2004.
- [5] 曾胜,何宇航. 旧水泥混凝土路面沥青加铺层结构力学分析 [J]. 长安大学学报:自然科学版,2008,28(2):18-21.
- [6] 倪富健,尹应梅,高明生. 聚酯玻纤布防荷载型反射裂缝室内模拟试验 [J]. 东南大学学报:自然科学版,2007,37(1):128-131.
- [7] 戴震. 沥青路面结构受力机理分析 [J]. 南京 东南大学, 2004.
- [8] 赖用满. 旧水泥混凝土路面沥青加铺层结构及材料性能研究 [J]. 南京 东南大学,2004.

Pavement Analysis and Design of Urban Road Intersection Asphalt Overlay

Yin Ying-mei, Zhang Rong-hui, Lin Si-neng

(Faculty of Civil and Traffic Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: The causes of the rutting, cracks and other diseases of intersection asphalt overlays are summarized and analyzed according to the S₁₂₀ maintenance engineering practice. Meanwhile the mechanical characteristics of the intersection of pavement structure were analyzed regarding the operating characteristics of intersections. The maximum shear stress area and anti-rutting area of asphalt overlays were identified on the old cement concrete pavement, which provides the basis for the anti-rutting, cracking design of intersection pavement structures and materials. Based on the results of the mechanical calculation, several suggestions on the combination of pavement structures and selection of materials for urban road intersections are provided.

Key words: asphalt pavements; intersection; rutting; mechanical analysis; pavement structure