

“柔基强面”共振碎石化路面结构在港区市政重载道路的应用

张歆瑜

(中交第三航务工程勘察设计院有限公司,上海市 200032)

摘 要:通过“柔基强面”共振碎石化路面结构在一条港区市政重载道路的实际应用,分析“柔基强面”共振碎石化新型路面结构在港区市政重载道路工程设计应用技术的难点问题及解决办法,并总结了港区市政重载道路采用“柔基强面”共振碎石化新型路面结构的适用性及和现有规范体系很好结合的设计方法和控制要点。对于该路面结构的相关设计应用推广,具有一定的借鉴和参考价值。

关键词:柔基强面;共振碎石;港区市政重载;反射裂缝;强度因子

中图分类号:U416.221

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2023)06-0045-05

0 引言

随着城市化进程的加快,一些港区疏港道路建设和使用标准采用了市政道路标准,但使用要求和荷载以港区重荷载为特点,该类道路为适应港口流动荷载的大集度和专业性一般原路面结构均采用承载能力强的混凝土路面,后期为满足市政化要求,往往进行了沥青加铺,俗称“白加黑”,但后续使用效果普遍不佳,“白加黑”固有的易产生反射裂缝的缺点在港区市政道路重载作用下越发明显,加铺层裂缝水浸后车辙、孔洞、沉陷等严重影响道路的正常使用和市政道路的景观,因此采用有效的方法对该类道路进行改造,既能满足专门的重荷载使用要求,又能考虑到施工时维持交通的通行需求,选择经济合理适用的路面改造结构非常迫切。

共振碎石化路面是一种对混凝土路面沥青化改造的路面结构型式,将符合要求的混凝土路面采用专用的共振设备产生高频低幅的振动能量进行有规律的破碎,作为加铺沥青结构的柔性基层,可以有效防止和延缓反射裂缝,解决“白加黑”路面固有缺陷。共振碎石化技术由国外引进国内,在一些“白改黑”的市政道路和公路上得到了推广和应用,具有施工简便、效率高、绿色环保、并能很好的消除改造后反射裂缝的优点。对于港区市政重载道路,充分利用共振碎石化“柔基”消除应力集中防止反射裂缝,通过

合理厚度多层次沥青的“强面”承载大集度港区特性重载,成功进行混凝土路面的“白改黑”设计,在港区市政重载道路的改造应用中取得良好的效果。

1 工程概况

东方大道(滨海大道—东西大道)是嘉兴港区重要的对外联络通道,北与 S202 省道相接,南至嘉兴港口二期核心区域,两侧分布有大量的厂矿、企事业单位和居民区,承担了疏港和市政的功能。东方大道 2000 年建成,2011 年进行水泥路面上加铺沥青面层改造。作为港区市政道路,随着区域的发展,道路交通量增长快速,港区大型货车比例也逐年提高,路面结构的大量损坏开始出现,主要病害形态为车辙、裂缝、坑洞等,行车的舒适性和安全性受到严重影响。为提高道路服务水平,适应港区市政道路港区重载为主的特点,降低后期养护维修成本,实现路面结构整体性性能的长期保存和全寿命周期内效益最优化,需及时采取有效的改造措施。工程总体布置见图 1。

2 主要设计条件

2.1 道路设计标准^[1]

道路等级:城市主干路,路面结构设计参照一级公路标准;设计速度:60 km/h;路面设计标准荷载:BZZ-100 型车,并考虑港区代表荷载;路面维修设计使用年限:15 a。

2.2 东方大道路面技术现状调查与评定

东方大道各种病害主要有:横缝、龟裂、坑槽,通过取芯和落锤式弯沉仪对路面结构和强度情况进行

收稿日期:2022-08-29

作者简介:张歆瑜(1974—),男,学士,教授级高级工程师,从事道路桥梁岩土设计工作。



图1 工程总体平面布置

的现场检测和评估,取得了现场路面损坏状况指数(PCI)、路面行驶质量指数(RQI)、路面结构强度指数(PSSI)等主要技术评价参数,通过钻孔芯样进行劈裂实试验检测测得旧混凝土面层的弯拉强度标准值为 5.66 MPa,表明原混凝土路面整体材料性能较高,可有效保证碎石化后材料品质。为更加详细的了解路面结构内部损伤状况,采用探地雷达无损检测技术对东方大道进行全面的检测^[2],见图 2。

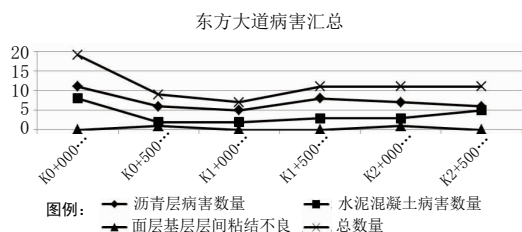


图2 探地雷达检测

2.3 东方大道荷载特点

东方大道作为港区城市主干路,使用荷载不同于单纯市政道路,根据现场实地调查结合港区直接进入道路的荷载,驶入改造道路的大部分为专用的运输车辆,主要有平板车、集装箱专用拖挂车和特种多轮平板车。集装箱专用拖挂车的轮、轴距与公路运输半挂车的轮、轴距相近,但轴载比公路法定最大轴载大 2~3 倍,轮胎接地压强也高一些,驶入嘉兴港区东方大道的流动机械荷载,基本均大于公路或市政道路的荷载等级,改造道路的荷载标准必须要综合考虑港口工程流动机械荷载分级标准,有针对性的选择代表流动荷载。

交通调查也得出路段主交通流方向为北向南方向,即进港方向,方向不均匀系数为 54%;路段交通量车型服务港口的重载货车占比很大,典型重载车辆见图 3。



图3 典型重载车辆

3 “柔基强面”共振碎石化路面结构方案的提出

(1)原道路“白加黑”路面结构缺陷分析

原路直接在承受温度、湿度影响的混凝土路面上铺设 10 cm 沥青,当原混凝土路面接缝、裂缝等产生不同程度的膨胀时,在港区市政道路重载的作用下,混凝土板块沿基层移动。由于沥青混凝土面层与水泥混凝土基层的热胀冷缩性能存在较大差异,从而使温度应力不连续地存在于两层之间的裂缝上,形成温度型反射性裂缝^[3];作为路面基层的水泥混凝土板刚度较大,接缝两侧的板在车辆荷载尤其是重荷载的反复作用下,对荷载传递不均匀,容易产生差异的沉降,造成荷载反射性裂缝。沥青混凝土面层一旦超过结构强度极限,将在原有裂缝和连接处由底部向上发展,最终导致沥青混凝土面层开裂,实际是由于混凝土基层板的不均匀沉降或不同程度的收缩,会使裂缝和板连接处周围的沥青混凝土面层产生拉应力和剪应力。

(2)“柔基强面”和传统的“强基薄面”裂缝影响分析

混凝土板块进行共振碎石化以后,形成上层小粒径,下层大粒径的柔性基层结构,对比传统的半刚性基层,采用裂尖处应力强度因子理论分析,通过有限元模型得到如图 4~图 7 所示关系^[4]。

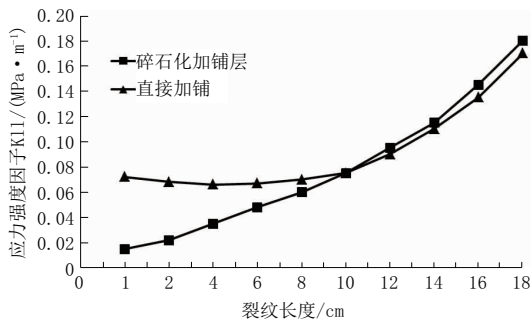


图4 柔基和强基结构的应力强度因子

图 4 表明强基结构(混凝土板或半刚性基层)直接加铺沥青接缝处的开裂趋势要远大于柔性基层(碎石化)沥青罩面层层底裂缝的产生,图 5 表明随着面层荷载的增大是影响裂缝扩展的重要影响因素,图 6 表明过大的共振结构层模量值使得剪切型

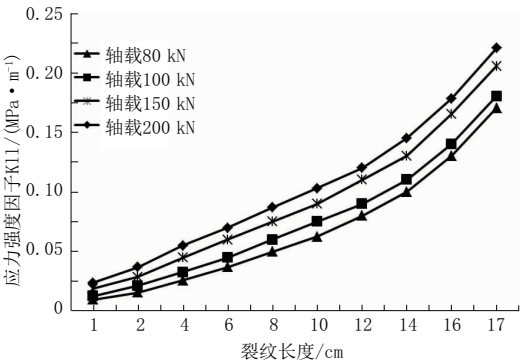


图 5 荷载大小对应的应力强度因子

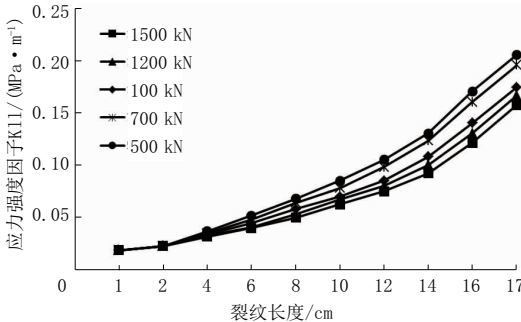


图 6 共振结构模量的应力强度因子

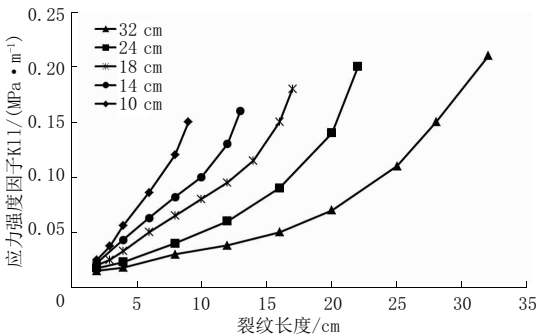


图 7 面层厚度对应强度因子

裂缝开裂趋势增大,图 7 显示,薄层沥青层往往容易出现剪切式裂纹,因此影响路面使用寿命的关键在于面层厚度的控制,这一点在路面结构设计中是非

常重要的。分析表明柔基强面(碎石化基层并加厚,加强沥青面层)比强基薄面(刚性基层薄层沥青)更能够适合东方大道重荷载下的路面结构。

(3)“柔基强面”共振碎石化路面结构方案

为解决重载、保持市政黑色路面特色、尽快实施并保证交通且少开挖等重点要求,结合已建周边同类型道路的不同结构方案,从技术经济等方面对路面改造方案进行了多方案的比较,主要选择见表 1。

通过比较,考虑路段交通繁忙,路面结构的耐久性需要保证,综合技术比较,东方大道路面改造设计方案采用柔基强面共振碎石化路面结构。

4 设计关键问题

共振碎石化道路,上基层为柔性基层,使得反射裂纹和温度裂纹得到抑制,沥青面层的疲劳开裂、永久变形成为沥青加铺层可能出现的损坏形式。而在基层,半刚性基层的损坏主要是通过开裂的方式出现,存在着疲劳性的开裂,也有温度的开裂,也有干缩的裂缝;柔性基层以永久变形为主要的损害形式。共振碎石化路上基层(破碎板层)可能出现永久的变形,而下基层(老路半刚性基层)则可能因碎石化施工而产生了一定破损,但是,在应力集中的地方,半刚性基层上的碎石化层能够有效地吸收应变能,因而半刚性基层的层底拉应力已经不起主要的控制作用^[5]。

共振碎石化作为“柔基强面”结构仍采用双圆均布垂直荷载作用下的弹性层状连续体系理论,考虑到港区间市政重载道路的特点,以沥青层层底拉应力(温度和疲劳)、沥青混合料永久变形量作为设计指标。

表 1 路面结构方案主要比较表

结构方案	方案简介	优缺点比较	造价估算 / (元·m ²)
方案一 柔基强面共振 碎石化路面	4 cmSBS 改性沥青 SMA-13 9 cmSBS 厂拌热再生沥青 EME-20(高模量剂 PR) 9 cm 热再生改性沥青 ATB-25 4 cm 热再生 SBS 改性沥青 AC-13F 1 cm 热融 SBS 改性沥青封层 共振碎石原 30 cm 混凝土路面 原 25 cm 厚粉煤灰三渣基层	有效消除反射裂缝,不需要大开挖,施工期短,开放交通快,路面结构耐久性好。采用柔基,模量相对小,需加铺厚沥青形成强面满足承载要求,路面抬高较大	516
方案二 强基薄面 连续配筋 混凝土结构	4 cmSBS 改性沥青 SMA-13 8 cmSBS 厂拌热再生沥青 EME-20(高模量剂 PR) 挖除原 30 cm 混凝土路面改造成 32 cm 厚连续配筋混凝土 原 25 cm 厚粉煤灰三渣基层修复	无法利用既有水泥路面,施工周期长,需大开挖,交通维护压力大,但承载能力强,结构刚度大,造价大	840
方案三 白加黑修复 改造	4 cmSBS 改性沥青 SMA-13 8 cmSBS 厂拌热再生沥青 EME-20(高模量剂 PR) 修复原整体技术状况尚好的混凝土路面基层 原 25 cm 粉煤灰三渣基层	改造工作量大,造价低,但无法消除面板引起的反射裂缝,道路有效使用年限短	300

根据计算模型,共振碎石层顶面当量回弹模量是一个非常关键的参数,是“柔基强面”组合结构沥青层加铺层设计厚度的计算依据,也是共振碎石化基层施工质量的重要且便于操作的控制指标,设计中根据东方大道重载设计荷载和加铺沥青设计厚度结合设计年限内当量交通荷载及重轴荷载反算,共振碎石层顶面当量回弹模量应不小于 220 MPa,利用以下公式^[5]换算成便于现场检测控制的等代弯沉值为不小于 60(0.01 mm)。

共振碎石顶面回弹模量弯沉计算公式:

$$l_0 = 9\ 308\ E_0^{-0.938} \quad (1)$$

式中: E_0 为共振碎石基层顶面回弹模量; l_0 为共振碎石基层顶面的弯沉值(0.01 mm)。

5 设计方案的实施和控制要点

东方大道共振碎石化路面设计考虑了以下的控制因素:

(1)为保证施工时交通不中断,要求分路幅施工,并考虑一定的横向搭接宽度。

(2)东方大道共振碎石化道路将旧沥青面层刨铣后将下覆混凝土大板破碎,再加铺强面沥青层,整体标高将抬高 17 cm,需考虑和周边厂矿道路的结构衔接,和东方大道相交的中山西路为连续配筋混凝土复合路面结构,也必须考虑相应的衔接。具体实施时均采用了专门的结构进行控制(见图 8)。

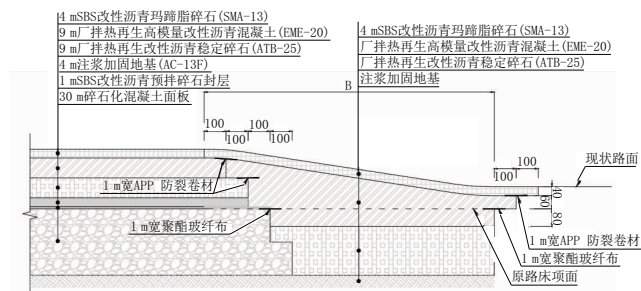


图 8 结构衔接示意图(单位:cm)

(3)路基对水非常敏感,是否能够提供充分的结构承载力,或者在碎石化路面运营后消除反射裂缝,使强面发挥良好的承载能力,设置专用的排水系统很有必要。

针对路面排水问题,在侧石及一定宽度侧分带下增设横向碎石盲沟,并与雨水口连通,通过其排除内部水分十分有效(见图 9)。

(4)对于共振碎石化基层施工达不到回弹模量标准的路段,采用低聚合物注浆进行加固,路基注浆的深度以原路基顶向下 1 m 控制,注浆完成后弯沉应确保满足设计要求。

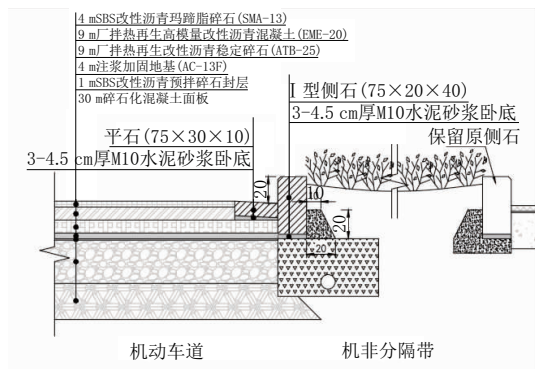


图 9 排水系统示意图(单位:cm)

6 建成使用效果

东方大道共振碎石化路面改造于 2021 年 8 月 7 日开始施工,2021 年 12 月 22 日竣工,施工速度很快,现已投入使用超过半年,使用效果良好,在港区重载占很大比重的重载交通量作用下,路面平整度保持了良好状态,几乎没有车辙裂缝,对比周边采用传统白加黑改建道路使用不久,在重载作用下很快就发生裂缝和破坏的情况,采用“柔基强面”共振碎石化路面改建的该道路取得了较好的使用效果(见图 10、11)。



图 10 道路建成竣工现状一



图 11 道路建成竣工现状二

7 结 语

(1)港区市政道路是一种有着特殊荷载的市政道路,兼具市政服务和疏港道路功能,采用“柔基强面”共振碎石化路面结构,可以充分利用原混凝土路面

共振破碎形成层状柔基结构,消除白改黑反射裂缝隐患,采用较大厚度高模量的沥青混凝土加铺层形成强面,适应专用重载交通,是一种适合本项目的路面结构形式。

(2)共振碎石化路面实际有多种计算模型,采用双圆均布垂直荷载作用下的弹性层状连续体系沿袭国内沥青路面设计理论,以沥青层层底拉应力(温度和疲劳)、沥青混合料永久变形量作为设计指标和现有沥青路面设计规范结合较好,便于设计。

(3)共振碎石化基层以下一般为不易透水的半刚性基层,因此共振碎石化路面相比刚性和半刚性基层更易于积聚水分,如不尽快的排除,无论施工期的碾压和使用期承载使用荷载,均会造成基层承载力的丧失,给沥青路面带来隐患。因此渗入的水一旦长时间滞留在碎石化层内,造成路基模量损失,引起路面结构承载能力降低^[6],后果会很严重。因此设计时

必须重视该项要求。

(4)共振碎石化作为一种较新的白改黑路面结构方案,在加强面层成为“柔基强面”结构后实际使用证明完全能够满足港区市政重载道路的使用要求,证明了该结构在此类道路改建设计中具有广泛的推广应用价值。

参考文献:

- [1] 嘉兴港区东方大道(滨海大道—东西大道)提升改造施工图设计(相关设计部分)[Z]. 上海:中交第三航务工程勘察设计院有限公司,2021.
- [2] 嘉兴港区东方大道(东西大道—滨海大道)三维探地雷达病害检测报告[R]. 济南:山东省交通科学研究院,2020.
- [3] 代煜.基于分形理论的共振碎石化施工路面裂缝研究[D]. 南昌:南昌航空大学,2020.
- [4] 刘煜.共振碎石化路面结构应用研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2020.
- [5] JTG/T F20-2015,公路路面基层施工技术细则[S].
- [6] 吴青峰,凌建明.水泥路面共振碎石化加铺技术研究与应用[D]. 上海:同济大学,2007.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smcdi.com