

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2022.06.019

混凝土连续梁桥沥青铺装层病害调研与分析

杨波¹, 曹卫东^{2*}, 巩渭华¹, 张志栋², 唐文涛¹

(1. 山东高速潍坊发展有限公司, 山东 潍坊 262500; 2. 山东大学 齐鲁交通学院, 山东 济南 250002)

摘要:为了探求混凝土梁桥沥青铺装层病害的分布规律与发生的内在机理,该文依托某高速公路4座沥青铺装层已发生不同病害程度的预应力混凝土连续梁桥,采用新的桥面铺装层区域划分与病害统计方法开展现场调研。通过对各铺装层区域的病害调研及分布的量化统计、桥梁结构力学及铺装层有限元模拟分析,发现病害严重的区域多为拉应力、剪力与竖向挠度较大的区域,表明荷载产生的不利力学响应是引起桥面铺装层病害的一个重要内在原因。

关键词:混凝土连续梁桥; 沥青铺装层; 病害调研; 分布规律; 力学分析

中图分类号: U443.33

文献标志码: A

沥青铺装层作为混凝土桥面系的主要组成部分,不仅提供行车舒适的服务功能,而且承受车辆荷载及雨雪等环境影响,起到保护主梁结构、桥面板及钢筋的作用,因此对桥梁的寿命有着重要的影响。然而,现行规范未对桥面铺装层进行专门的设计,通常的做法是把路面结构的上面层和中面层直接套用作为铺装结构的沥青面层^[1-2]。近年来,随着交通量与轴载的迅猛增大,一些桥面沥青铺装层出现了大量病害与严重破坏,而且往往比路段上的路面病害发生得更早、更严重,值得深入思考并研究其发生的机理与内在原因。

桥面沥青铺装层常见的病害形式可分为3类^[3]: ① 变形类病害,包括车辙、拥包、推移等; ② 裂缝类病害,包括横向裂缝、纵向裂缝、网状裂缝等; ③ 破损类病害,包括松散、剥落、坑槽等。实际上,不同结构的水泥混凝土桥面沥青铺装层在经受交通、环境荷载共同作用下,病害的主导类型及其成因均有其独特性,且与地区、桥梁结构、交通条件、气候环境、施工条件、设计水平等因素有关^[4-5]。因此,在进行桥面铺装病害诊治时必须进行有针对性的调研与分析。目前人们在桥面铺装病害调研时往往只是对整个桥面病害的类型及程度进行现场查看、必要的测量及拍照,很少进行分布规律的统计与分析^[6-9]。该文依托某高速公路混凝土连续梁桥沥青铺装层病害调查,采用新的桥面铺装层区域划分与病害统计方法进行了病害分布规律分析,并通过结构力学响应计算揭示病害发生的内在原因,为桥面沥青铺装层病害诊治及铺装层设计提供理

论依据与技术参考。

1 病害调研与分布规律统计

1.1 调研内容和方法

该文调研了某高速公路4座混凝土连续梁桥的桥面铺装病害,主要通过现场查看、测量、拍照与无人机航拍等方式进行。4座桥均为钢筋混凝土连续箱梁结构,跨径布置及调研的行车方向见表1,主要病害形式为坑槽与坑槽修补块破损类病害,典型的病害形式及分布如图1所示。

表1 混凝土连续箱梁跨径及行车方向

桥梁名称	跨径	方向
1 [#] 桥	3×30 m×3联	南京方向
2 [#] 桥	3×40 m+4×30 m×8联+5×30 m+3×30 m×2联+3×40 m	天津方向
3 [#] 桥	4×30 m×2联+3×30 m	天津方向
4 [#] 桥	4×30 m×4联+3×30 m×2联	天津方向



图1 典型的病害形式及分布

收稿日期:2020-08-19

基金项目:山东高速集团科技研发项目(编号:2019QL08)

作者简介:杨波,男,大学本科,正高级工程师.E-mail:qlgsgcyhk@163.com

*通信作者:曹卫东,男,博士,副教授.E-mail:cwd2001@sdu.edu.cn

为了深入分析桥面铺装病害程度及分布规律与桥梁车辆荷载分布及结构受力特点的联系,提出了桥面铺装层区域划分方法与病害统计方法,具体如下。

(1) 桥面铺装层区域划分方法

首先,把每跨桥的桥面铺装层分成 15 个区域(横向 3 个×纵向 5 个)。横向上从里至外划分为第 1 车道(超车道)、第 2 车道、第 3 车道 3 个区域。纵向上划分为天津方向支座处、天津方向 1/4 跨处、跨中处、南京方向 1/4 跨处、南京方向支座处 5 个区域;当跨径为 30 m 时,定义距支座处前后 5 m 为支座处,距支座处 5~10 m 为 1/4 跨处,距支座处 10~15 m 为跨中处;当跨径为 40 m 时,定义距支座处前后 7 m 为支座处,距支座处 7~13 m 为 1/4 跨处,距支座处 13~20 m 为跨中处。其次,划分每联桥的桥面铺装层区域。横向上的区域划分方法同每跨桥的桥面铺装层区域划分方法。纵向上划分为滑动支座处、边跨靠滑动支座的 1/4 跨处、边跨跨中处、边跨靠固定支座的 1/4 跨处、固定支座处、中间跨 1/4 跨处、中间跨跨中处 7 个区域。上述划分主要是因为每联桥边跨的受力情况与中间跨的受力情况有所差异,边跨各区域的受力情况差异较大,而中间跨两个方向的支座处和 1/4 跨处受力情况较为相似。

(2) 病害统计方法

由于受现场交通管制条件限制及安全考虑,个别路段无法直接测量病害面积,而病害形式几乎都为坑槽破损类,因此病害程度与分布采用坑槽及修补块在各区域的面积和数量两个指标来表征。对于病害数量的统计,若有一处病害跨 N 个区域,统计上则认为有 N 处病害;对于病害面积的统计,需要测量坑槽及修补块所在区域的长度、宽度,并计算相应的破损或修补面积。

1.2 病害分布规律

4 座桥梁共 25 联 88 跨,共计 231 处破损类病害,实测了 35 处修补块、2 处坑槽的破损尺寸,总面积为 459.6 m²。病害在桥梁横向与纵向的分布规律如下。

(1) 病害横向分布规律

病害在桥梁横向上的分布统计如表 2 所示。由表 2 可知:第 2 车道(中间车道)的病害数量最多,占 55%,第 1 车道(超车道)的病害数量最少,占 15%;按病害的面积统计,第 3 车道(最外侧车道)的病害面积最多,占 61%,第 1 车道的病害面积最少,占 2%。

(2) 病害纵向分布规律

病害在桥梁纵向上的分布统计如表 3 所示。

表 2 桥梁横向上病害数量及面积统计

横向位置	病害数量/处	病害面积/m ²
第 1 车道	34	8
第 2 车道	127	172
第 3 车道	70	279

表 3 桥梁纵向上病害数量及面积统计

横向位置	病害数量/处	病害面积/m ²
A	26	17
B	28	34
C	30	53
D	24	55
E	62	123
F	40	79
G	21	97

注:A、B、C、D、E、F、G 分别代表滑动支座处、边跨靠滑动支座的 1/4 跨处、边跨跨中处、边跨靠固定支座的 1/4 跨处、固定支座处、中间跨 1/4 跨处、中间跨跨中处。

由表 3 可知:固定支座处(E)的病害数量最多,占 27%,中间跨 1/4 跨处(F)次之,占 17%,边跨跨中处(C)的病害数量占 13%,中间跨跨中处(G)的病害数量最少,占 9%;按病害的面积统计,固定支座处(E)的病害面积最大,占 27%,中间跨跨中处(G)次之,占 21%,滑动支座处(A)的病害面积最小,占 4%。

2 桥面铺装病害机理分析

桥面铺装病害一般由桥梁结构、铺装层结构与材料、交通荷载、气候环境、施工条件等众多因素综合作用引起,该文重点从连续梁结构受力与铺装层力学响应上分析病害产生的内在机理,探究病害分布规律与力学响应的联系。

2.1 恒载力学响应分析

与铁路桥梁不同,公路桥梁恒载在整个桥梁荷载中占有较大比重,对结构设计起着主要控制作用^[10]。为了分析恒载对桥梁纵向上部结构的力学响应,把桥面板与箱梁相结合简化为连续梁结构,再将铺装层自重换算为均布荷载导入结构力学求解器分别计算,得出弯矩图。调研桥梁以联为单位,共有 3×30 m、3×40 m、4×30 m、5×30 m 4 种连续梁结构,并对其进行计算。4 种结构的弯矩图如图 2 所示。

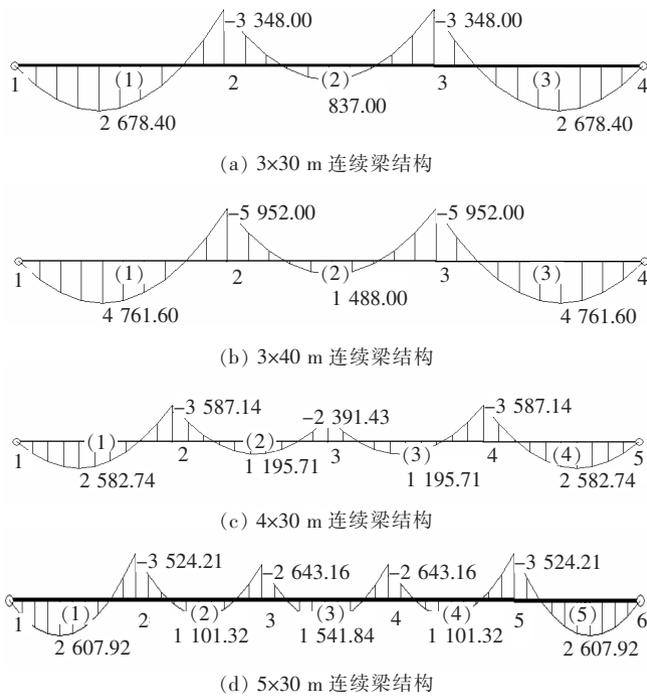


图2 4种连续梁结构的弯矩图(单位: $\text{kN} \cdot \text{m}$)

由图2可以看出:4座连续箱梁结构的弯矩分布规律相同,即滑动支座处、边跨靠滑动支座的 $1/4$ 跨处、边跨跨中处和中间跨跨中处4个区域的桥面板顶部均受压,最大正弯矩均在边跨跨中处;负弯矩分布在固定支座附近区域,且在固定支座处出现峰值,说明固定支座处的桥面板顶部受到的拉应力最大。由于铺装层与桥面板有良好的黏结性与追随性,铺装层也会受到较大的拉应力,因此连续梁固定支座处的沥青铺装层易发生开裂,当水进入裂缝后,在动水压力的反复作用下逐渐形成坑槽等破坏类病害。

2.2 车辆荷载力学响应分析

车辆荷载不仅会使铺装体系的力学响应在桥梁横向产生较大的差异,还会影响其在纵向上的分布。此外,超载和偏载对桥面铺装的损害情况也有很大的影响。为了研究车辆荷载的力学响应,采用有限元软件Abaqus,选取有代表性的一跨进行建模计算。考虑到边跨的病害程度较中间跨更严重,且桥梁跨径多为30 m,因此选择1[#]桥右幅的第一联第一跨为模型进行建模。荷载作用区域的网格进行了加密,以跨中荷位为例,有限元模型如图3所示。

该模型做如下假定:

(1) 沥青混凝土与混凝土桥面板是均匀、连续、各向同性材料,采用线弹性理论分析铺装层内各种力学响应。

(2) 两层铺装层之间、铺装层与混凝土桥面板之

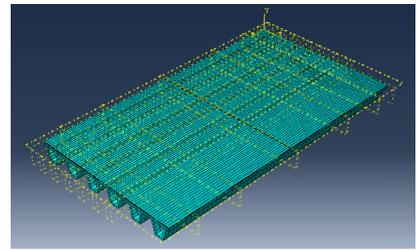


图3 桥面铺装计算模型

间为完全连续状态。

(3) 不考虑结构的自重,忽略桥梁振动的影响。

为了分析超载、偏载情况,以寻求最不利响应,横向上,根据调研的交通荷载分布情况,在3条车道上同时布置不同的车辆荷载,第1车道车辆荷载的大小采用小型汽车胎压0.25 MPa,第2车道采用标准荷载胎压0.7 MPa,第3车道重载交通沥青路面设计胎压0.85 MPa^[11];纵向上,在调研中定义的5个区域的中央处,按照离固定支座侧分别为2.5 m、7.5 m、15 m、22.5 m、27.5 m处分别布置车辆荷载,依次命名为荷位1、2、3、4、5。荷载类型设为静载,按面积等效原则将双轮荷载转换为两个 $0.2 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}$ 矩形面积荷载,双轮中心间距1.8 m^[12]。选取铺装层内最大拉应力、铺装层内最大剪应力、铺装层表面最大竖向位移作为病害的力学控制指标^[13]。铺装体系相关材料结构参数见表4,模拟计算结果见表5。

表4 铺装体系相关材料结构参数

层位	厚度/mm	弹性模量/MPa	泊松比
SMA-13 上面层	40	954	0.25
AC-20 下面层	60	1 071	0.25
防水层	3	200	0.25

分析表5的计算结果可知:

(1) 横向上各指标在3个车道的最不利响应有所差异。各荷位作用下,第3车道铺装层内最大拉应力与最大剪应力均大于其他车道,最大拉应力的平均值分别比第2车道和第1车道大23%和264%,最大剪应力的平均值分别比第2车道和第1车道大22%和244%;荷位1、2、4作用下,第3车道的铺装层表面最大竖向位移最大,荷位3、5作用下,第2车道的铺装层表面最大竖向位移最大;各荷位作用下,第1车道铺装层表面最大竖向位移的平均值分别比第2车道和第3车道小26.7%和27.3%。

(2) 纵向上3个车道的力学指标在5个荷位上的最不利响应有所不同。各车道上第1荷位铺装层内最

表 5 各车道力学指标在各荷位下的最不利响应结果

荷位	最大竖向位移/mm			最大剪应力/kPa			最大拉应力/kPa		
	第 1 车道	第 2 车道	第 3 车道	第 1 车道	第 2 车道	第 3 车道	第 1 车道	第 2 车道	第 3 车道
1	0.096	0.249	0.281	246	685	823	39.8	108.3	131.3
2	0.580	0.770	0.792	241	677	824	35.7	101.5	123.6
3	1.309	1.779	1.774	234	667	815	28.7	92.2	115.2
4	1.093	1.448	1.451	234	667	815	28.7	92.1	115.3
5	0.416	0.523	0.512	241	677	824	34.7	101.0	123.5
均值	0.699	0.954	0.962	239	675	822	33.5	99.0	121.8

大拉应力与最大剪应力都大于其他荷位,但数值差异不大;各车道上第 3 荷位铺装层表面最大竖向位移较其他荷位都大,且差异显著。

当铺装层内拉应力较大时,则引发沥青铺装层开裂;当铺装层内剪应力较大时,可能引发剥落、松散、车辙及拥包、推移等病害;当铺装层表面竖向位移较大时,则表明产生了较大的车辙病害。因此,根据上述力学响应的对比分析可得出:横向上,第 1 车道的病害程度最轻,第 3 车道的病害程度最严重;在纵向上,固定支座处的病害程度最严重,跨中处的病害程度次之,这与调研得到的病害分布规律是一致的。

3 结论

(1) 提出了一种新的桥面铺装层区域划分与病害统计方法,按照不同的荷载水平和结构受力特点,以跨为单位划分区域并进行病害调研,分析得到了病害的分布规律:横向上,第 1 车道的病害程度最轻,第 3 车道的病害程度最严重;在纵向上,固定支座处的病害程度最严重,跨中处的病害程度次之。

(2) 连续梁恒载产生的负弯矩分布在固定支座附近区域,且在固定支座处出现峰值,因此该处附近的沥青铺装层易发生开裂,产生裂缝后在动水压力反复作用下逐渐演化为坑槽等破损类病害。

(3) 车辆荷载分布不同是造成铺装病害横向分布差异的一个重要原因,各荷位作用下,第 3 车道铺装层内最大拉应力与最大剪应力均大于另外两个车道;纵向上,各车道在第 1 荷位处(固定支座)铺装层内的拉应力与剪应力最大,这与病害的分布规律是一致的,揭

示了病害产生的内在机理。

参考文献:

- [1] 中交公路规划设计院有限公司. 公路桥涵设计通用规范: JTG D60—2015[S]. 北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.
- [2] 中交路桥技术有限公司. 公路沥青路面设计规范: JTG D50—2017[S]. 北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.
- [3] 杜铁军. 钢筋混凝土箱梁桥桥面铺装有限元分析[D]. 大连:大连理工大学,2011.
- [4] 汪双杰,李志栋,黄晓明. 水泥混凝土桥沥青铺装系设计与铺装技术发展[J]. 筑路机械与施工机械化,2017,34(2):34—41.
- [5] 黄晓明. 水泥混凝土桥面沥青铺装层技术研究现状综述[J]. 交通运输工程学报,2014,14(1):1—10.
- [6] 柳海涛. 混凝土桥面沥青铺装层修筑技术研究[D]. 西安:长安大学,2014.
- [7] 马融,陈飞. ERS 钢桥面铺装病害调研及原因分析[J]. 中外公路,2019,39(3):175—178.
- [8] 王建伟,于力,罗桑. 南京长江第二大桥环氧沥青混凝土铺装服役 13 年回顾[J]. 公路,2015,60(8):37—40.
- [9] 潘友强,李娣. 环氧沥青钢桥面铺装多维度检测评估体系研究[J]. 公路,2017,62(12):151—155.
- [10] 范立础. 桥梁工程[M]. 北京:人民交通出版社,2017.
- [11] 吴正光,王超,沈燕,等. 基于实测的高速公路重载交通轴载分析[J]. 科学技术与工程,2017,17(27):303—308.
- [12] 刘苏. 混凝土桥沥青混凝土桥面铺装层间稳定性分析[D]. 西安:长安大学,2017.
- [13] 赵宴刚. 沥青混凝土铺装层对桥面结构力学性能影响的有限元分析[J]. 公路工程,2018,43(2):224—228.