

桥面维修加铺沥青层结构的安全性分析

周湘亮

(湖南路桥建设集团有限责任公司, 湖南 长沙 410004)

摘要: 随着城市交通量的急剧增加,桥面铺装层损毁陆续出现,一般采用直接在损坏桥面上加铺沥青层的方法进行修补,短期来看该方法确实解决了问题,但其没有经过细致的验算,后期铺装的沥青层对桥面会产生多大的影响未知。文中针对某跨度 30 m 预应力简支箱梁桥,以规范中车辆荷载大小为计算依据,采用桥梁博士软件计算加铺前后斜截面抗裂力及桥梁正截面承载力,获得加铺前后最大主拉应力及最大弯矩,将各截面的数值进行对比分析,明确桥梁结构受加载铺装的影响情况。

关键词: 桥梁;桥面;沥青铺装;安全性分析

中图分类号:U445.7

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2017)04-0157-04

目前中国桥面维修普遍采用沥青微表处 1 cm 的铺装方法,目的是缩短施工周期,同时降低恒载。但这种铺装方式的面层非常薄,且极易损坏,一旦返修,不仅增加施工成本,还影响交通运行;另一种常用的维修铺装方式是加铺 4 cm 厚沥青砼,这种方式可有效解决 1 cm 铺装容易损坏的问题,但容易产生反射裂缝;还有少数桥梁桥面维修铺装厚度超过 4 cm,常采用 10 cm,虽然实践证明加铺 4 cm 以上厚度沥青砼能提高桥梁耐久性,有利于克服后期桥梁使用中的反射裂缝,但这种铺设方法对桥梁本身产生的荷载相对较大,如不能经过精确验算使桥梁受力保持在合理范围,则存在较大安全风险。该文以某单跨 30 m 双向两车道预应力简支梁桥为例,分析桥面维修加铺沥青砼的安全性。

1 工程概况

该桥梁高 1.6 m,宽 11 m,底板厚 0.4 m,顶板厚 0.4 m,腹板厚 0.6 m。其立面和横截面见图 1~2。

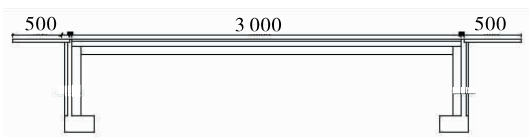


图 1 预应力简支箱梁桥立面图(单位:mm)

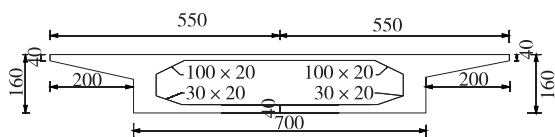


图 2 简支梁桥横截面图(单位:cm)

该桥在设计、使用初期未出现大的裂缝与病害,但随着交通量的不断增大,加上对大桥的破坏作用逐年增加,近几年桥面出现裂缝,影响车辆的正常通行。采取桥面加铺沥青砼的方法进行维修处理。

2 分析方案

桥面维修加铺沥青砼就等于在桥上增加载重,会影响桥梁的受力,需对加铺沥青层后的桥梁结构进行安全性分析,保证桥梁使用中的安全。计算模型见图 3。

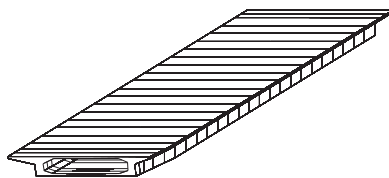


图 3 单跨简支梁桥计算模型

2.1 确定汽车荷载

JTG D60—2004《公路桥涵设计规范》将汽车荷载分为公路—I级、公路—II级两个等级,其中包括车辆荷载和车道荷载,应用车辆荷载计算桥梁局部加载情况、车道荷载进行结构整体计算。车道荷载由均布荷载和集中荷载组成,计算图示见图 4。

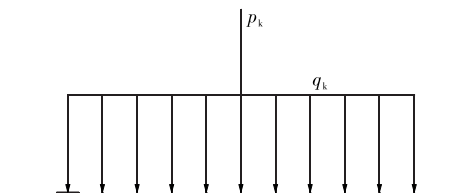


图 4 车道荷载计算图示

(1) 均布荷载标准值(公路—Ⅰ级): $q_k = 10.5$ kN/m。

(2) 集中荷载标准值: 桥梁计算跨径 $L_0 \leq 5$ m 时, $p_k = 180$ kN/m; $L_0 \geq 50$ m 时, $p_k = 360$ kN/m; L_0 为 5~50 m 时, p_k 采用直线内插法求得。

(3) JTG D60—2004 规范中汽车荷载分为公路—Ⅰ级、公路—Ⅱ级, 相当于旧规范中的汽车—超 20 级、汽车—20 级。

2.2 确定冲击系数

汽车经过桥梁必然对结构产生竖向冲击, 这种冲击产生的影响即为冲击系数。汽车荷载效应与冲击系数密切相关, 不同计算方式其影响也存在差别。规范中冲击系数的确定以结构基频为依据, 简支桥梁结构的基频按式(1)估算。

$$f = \frac{\pi}{2L_0} \sqrt{\frac{EI_c}{m_c}} \quad (1)$$

式中: f 为简支梁结构的基频; E 为弹性模量; I_c 为跨中截面惯性矩; m_c 为跨中单位长度质量, 按式(2)确定。

$$m_c = \frac{G}{g} \quad (2)$$

式中: G 为梁结构跨中处重力。

冲击系数 μ 的取值: 当 $f < 1.5$ Hz 时, $\mu = 0.05$; $1.5 \text{ Hz} \leq f \leq 14 \text{ Hz}$ 时, $\mu = 0.176 7 \ln f - 0.015 7$; $f > 14 \text{ Hz}$ 时, $\mu = 0.45$ 。

据此计算得该桥的基频 $f = 4.991$, 冲击系数 $\mu = 0.267$ 。

3 安全性分析

3.1 参数选择

依据规范, 选取汽车超—20 级进行计算: 人群荷载取 4 kPa; 非线性温度, 顶缘处为 20 °C, 距顶缘 100 cm 处为 6.7 °C、400 cm 处为 0 °C; 负非线性温度按正温度的一半计取; 温度荷载取升温 20 °C、降温 20 °C。

主梁采用 C50 砼、 $\phi^15.2$ 预应力钢绞线, $f_{pk} = 1860$ MPa, $E_p = 1.96 \times 10^5$ MPa。桥梁上部结构属 A 类预应力构件。

3.2 模型计算单元

将桥梁主梁单元拆分后进行计算, 每个单元长 1 m, 总计 32 个单元。后续进行受力分析时主要给出梁端头支点、 $L/4$ 处、 $L/2$ 处的值, 计算结果对应的节点为 1、9、17、25、32(见图 5)。

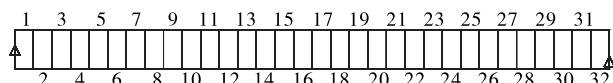


图 5 桥梁单元几何图

通过截面承载力验算、砼应力计算、砼抗裂性能和主梁变形验算, 获得对桥梁安全性影响较大的斜截面抗裂能力和正截面抗弯能力验算值, 将桥梁实际运算值与规定限值进行比较, 从而确定桥面铺装的安全性。抗裂能力通过计算各截面最大主拉应力值验证, 抗弯能力通过计算桥梁各截面的最大弯矩值验证。

3.3 正常使用极限状态斜截面抗裂能力验算

根据规范中公路—Ⅰ级及短期荷载效应组合, 按规范中车辆荷载大小计算相应截面最大主拉应力, 结果见表 1。

表 1 梁斜截面最大主拉应力验算结果

节点号	梁截面	主拉应力/MPa		验算结果
		最大值	允许值	
1	梁端 1(支座)	-0.781 1	-1.325	符合规范要求
5	$L/8$ (左侧)	-0.093 5	-1.325	符合规范要求
9	$L/4$ (左侧)	-0.031 8	-1.325	符合规范要求
13	$3L/8$ (左侧)	-0.168 9	-1.325	符合规范要求
17	箱梁跨中	-0.008 9	-1.325	符合规范要求
21	$3L/8$ (右侧)	-0.172 1	-1.325	符合规范要求
25	$L/4$ (右侧)	-0.031 8	-1.325	符合规范要求
29	$L/8$ (右侧)	-0.098 8	-1.325	符合规范要求
32	梁端 2(支座)	-0.781 1	-1.325	符合规范要求

根据表 1, 梁斜截面最大主拉应力出现在两梁支座截面, 即节点 1、节点 32 处, 约为 0.781 MPa。根据 JTG D60—2004《公路桥涵设计规范》, A 类预应力砼构件在荷载短期效应组合下的主拉应力为 1.325 MPa, 验算结果符合安全要求, 抗裂能力安全储备为 $1.325/0.781 1 = 1.696$ 。

3.4 承载力极限状态正截面抗弯能力验算

按规范中车辆荷载, 选择公路—Ⅰ级进行计算, 获得荷载基本效应组合, 以此为条件计算各节点正截面最大弯矩值, 结果见表 2。

由表 2 可知: 梁正截面最大弯矩值出现在跨中, 为 26 200 kN·m, 小于该截面的抗弯能力 34 800 kN·m, 验算结果符合安全要求, 抗弯能力安全储备为 $34 800/26 200 = 1.3$ 。

表 2 梁正截面最大弯矩值验算结果

节点号	梁截面	弯矩值/(kN·m)		验算结果
		最大值	允许值	
1	梁端 1(支座)	0	20 800	符合规范要求
5	L/8(左侧)	9 420	26 700	符合规范要求
9	L/4(左侧)	18 800	33 000	符合规范要求
13	3L/8(左侧)	24 400	34 800	符合规范要求
17	箱梁跨中	26 200	34 800	符合规范要求
21	3L/8(右侧)	24 400	34 800	符合规范要求
25	L/4(右侧)	18 800	32 900	符合规范要求
29	L/8(右侧)	94 20	26 700	符合规范要求
32	梁端 2(支座)	0	20 800	符合规范要求

4 加载铺装沥青层对桥梁结构的影响

现今许多桥梁使用过程中出现损害,修补多在原桥面进行,加铺沥青层是最常见手段,施工前对桥梁缺乏全面仔细的安全验算,没有经过有效结构分析。实际施工中加铺沥青层多为两种,即 4 和 10 cm,下面以规范中公路—I 级为活荷载计算依据,针对加铺 4 和 10 cm 沥青层两种工况下桥梁的安全性进行验算,并对比桥梁加铺前后受力差异,分析加载铺装对桥梁结构的影响。

4.1 参数选择

沥青层铺装层的宽度为桥面 11 m+人行道宽 1.5 m;厚度为 4 cm;重度取 23 kN/m³;所加铺的 4 cm 沥青层简化为均布荷载,按汽车荷载公路—I 级标准计算。加铺所产生的二期恒载为 0.04×8×23=7.36 kN/m。

4.2 加铺 4 cm 沥青层验算

4.2.1 正常使用极限状态斜截面抗裂能力验算

桥面加铺 4 cm 沥青层后,正常使用极限状态下相应截面最大主拉应力见表 3。

根据表 3,桥面加铺 4 cm 沥青层后,梁最大主拉应力出现在两梁支座截面,为 0.867 1 MPa,小于允许主拉应力值 1.325 MPa,符合安全要求,抗裂能力安全储备为 1.325/0.867=1.528。

4.2.2 正截面抗弯能力验算

桥面加铺 4 cm 沥青层后,按规范中的车辆荷载,选择公路—I 级进行计算,获得荷载基本效应组合,再进行梁正截面抗弯能力验算,得到各节点正截面最大弯矩值(见表 4)。

表 3 加铺 4 cm 沥青层后梁斜截面最大主拉应力验算结果

节点号	梁截面	主拉应力/MPa		验算结果
		最大值	允许值	
1	梁端 1(支座)	-0.867 1	-1.325	符合规范要求
5	L/8(左侧)	-0.121 1	-1.325	符合规范要求
9	L/4(左侧)	-0.047 0	-1.325	符合规范要求
13	3L/8(左侧)	-0.181 9	-1.325	符合规范要求
17	箱梁跨中	-0.008 9	-1.325	符合规范要求
21	3L/8(右侧)	-0.182 5	-1.325	符合规范要求
25	L/4(右侧)	-0.047 0	-1.325	符合规范要求
29	L/8(右侧)	-0.121 1	-1.325	符合规范要求
32	梁端 2(支座)	-0.867 1	-1.325	符合规范要求

表 4 加铺 4 cm 沥青层后梁正截面最大弯矩值验算结果

节点号	梁截面	弯矩值/(kN·m)		验算结果
		最大值	允许值	
1	梁端 1(支座)	0	20 800	符合规范要求
5	L/8(左侧)	9 750	26 700	符合规范要求
9	L/4(左侧)	19 500	33 000	符合规范要求
13	3L/8(左侧)	25 300	34 800	符合规范要求
17	箱梁跨中	27 110	34 800	符合规范要求
21	3L/8(右侧)	25 300	34 800	符合规范要求
25	L/4(右侧)	19 500	32 900	符合规范要求
29	L/8(右侧)	9 750	26 700	符合规范要求
32	梁端 2(支座)	0	20 800	符合规范要求

由表 4 可知:桥面加铺 4 cm 沥青层后,梁正截面最大弯矩值出现在跨中,为 27 110 kN·m,小于允许弯矩值 34 800 kN·m,抗弯能力安全储备为 1.284。

4.3 加铺 10 cm 沥青层验算

4.3.1 斜截面抗裂能力验算

桥面加铺 10 cm 沥青层后,正常使用极限状态下相应截面最大主拉应力见表 5。

根据表 5,桥面加铺 10 cm 沥青层后,梁斜截面最大主拉应力出现在两梁支座截面,为 1.1 MPa,小于允许主拉应力值 1.325 MPa,符合安全要求,抗裂能力安全储备为 1.325/1.00=1.325。

4.3.2 正截面抗弯能力验算

桥面加铺 10 cm 沥青层后,各节点正截面最大弯矩值见表 6。

表5 加铺10 cm 沥青砼后梁斜截面最大主拉应力
验算结果

节点号	梁截面	主拉应力/MPa		验算结果
		最大值	允许值	
1	梁端1(支座)	-1.000 0	-1.325	符合规范要求
5	L/8(左侧)	-0.168 0	-1.325	符合规范要求
9	L/4(左侧)	-0.069 8	-1.325	符合规范要求
13	3L/8(左侧)	-0.204 2	-1.325	符合规范要求
17	箱梁跨中	-0.011 7	-1.325	符合规范要求
21	3L/8(右侧)	-0.207 1	-1.325	符合规范要求
25	L/4(右侧)	-0.064 7	-1.325	符合规范要求
29	L/8(右侧)	-0.176 1	-1.325	符合规范要求
32	梁端2(支座)	-1.000 0	-1.325	符合规范要求

表6 加铺10 cm 沥青砼后梁正截面最大弯矩值
验算结果

节点编号	梁截面	弯矩值/(kN·m)		验算结果
		最大值	允许值	
1	梁端1(支座)	0	20 800	符合规范要求
5	L/8(左侧)	10 310	26 700	符合规范要求
9	L/4(左侧)	20 520	33 000	符合规范要求
13	3L/8(左侧)	26 620	34 800	符合规范要求
17	箱梁跨中	28 610	34 800	符合规范要求
21	3L/8(右侧)	26 620	34 800	符合规范要求
25	L/4(右侧)	20 520	32 900	符合规范要求
29	L/8(右侧)	10 310	26 700	符合规范要求
32	梁端2(支座)	0	20 800	符合规范要求

表7 桥面加铺沥青砼前后截面最大弯矩值对比

节点号	梁截面	加铺前弯矩	加铺4 cm后弯矩	加铺10 cm后弯矩	$ M_1 - M_2 / M_1$	$ M_1 - M_3 / M_1$
		$M_1 / (\text{kN} \cdot \text{m})$	$M_2 / (\text{kN} \cdot \text{m})$	$M_3 / (\text{kN} \cdot \text{m})$		
1	梁端1(支座)	0	0	0	0.0	0.0
5	L/8(左侧)	9 420	9 750	10 310	3.5	9.4
9	L/4(左侧)	18 800	19 500	20 510	3.7	9.1
13	3L/8(左侧)	24 400	25 300	26 610	3.7	9.0
17	箱梁跨中	26 200	27 110	28 610	3.4	9.2
21	3L/8(右侧)	24 400	25 300	26 610	3.7	9.0
25	L/4(右侧)	18 800	19 500	20 510	3.7	9.1
29	L/8(右侧)	9 420	9 750	10 310	3.5	9.4
32	梁端2(支座)	0	0	0	0.0	0.0

由表6可知:桥面加铺10 cm 沥青砼后,梁正截面最大弯矩值出现在跨中,为28 610 kN·m,小于允许弯矩值34 800 kN·m,抗弯能力安全储备为1.216。

4.4 桥面加铺前后对比

4.4.1 斜截面抗裂能力对比

桥面加铺4、10 cm 沥青砼前后各截面最大主拉应力对比见图6。

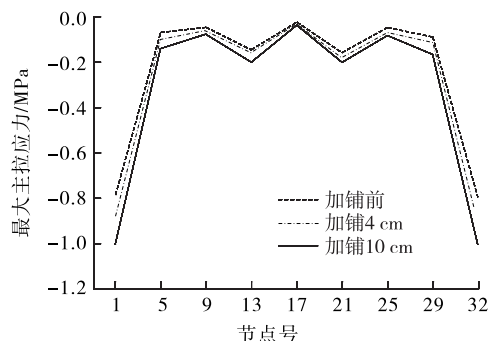


图6 桥面加铺沥青砼前后各截面最大主拉应力对比

由图6可知:支座处最大主拉应力最高,加铺前、加铺4和10 cm 沥青砼后分别为0.781、0.867、1 MPa,加铺4和10 cm 沥青砼后截面最大主拉应力明显增加,分别增大11.01%、28.17%。桥面加铺沥青砼会对梁斜截面抗裂能力产生明显影响。

4.4.2 正截面抗弯能力对比

加铺4、10 cm 沥青砼前后各截面承载能力极限状态下荷载基本组合最大弯矩值对比见表7。

由表7可知:桥面铺设4、10 cm 沥青砼后,各截面最大弯矩值明显增加,增幅分别为3.7%、9.4%左右。加铺沥青砼会直接影响桥梁承载能力,且影响程度较大。

表5 应变值分析

测点	实测应变值/ $\mu\epsilon$	弹性应变值/ $\mu\epsilon$	理论计算值/ $\mu\epsilon$	校验系数	残余值/ $\mu\epsilon$	相对残余/%
B1	30	33	40	0.75	-3	-10
B2	55	55	61	0.90	0	0
B3	66	64	82	0.80	2	3
B4	64	62	92	0.70	2	3
B5	68	65	102	0.67	3	4
B6	63	66	112	0.56	-3	-5
B7	46	48	83	0.55	-2	-4
B8	44	44	54	0.81	0	0

由表5可知:试验加载工况下,控制截面各测点相对残余均小于10%,校验系数均小于《大跨径混凝土桥梁的试验方法》的上限1.0,说明结构弹性性能较好,满足设计要求。

5 结论

(1) 梁格法的计算精度比单梁法高,更符合曲线梁桥的受力特性,是曲线梁桥结构分析的一种有效方法。合理地使用梁格法进行建模分析,可较准确地计算桥梁结构控制截面的各项内力值。

(2) 荷载试验的实测值和理论计算值较吻合,该桥满足设计要求。

参考文献:

- [1] 赵站伟,刘锋民.曲线梁桥设计计算分析[J].山东交通科技,2013(1).
- [2] 李春旗,邱波,唐明亮.梁格法在曲线梁桥结构设计计算分析中的运用[J].西部交通科技,2014(5).
- [3] 刘美兰.midas Civil在桥梁结构分析中的应用[M].北京:人民交通出版社,2012.
- [4] 叶见曙,李国平.结构设计原理[M].北京:人民交通出版社,2014.
- [5] 王海丰.预应力曲线梁桥受力特点及设计中应注意的问题[J].北方交通,2009(3).
- [6] 傅伟,刘超群,常柱刚,等.双反弯“S”形曲线钢箱梁桥空间计算分析[J].中外公路,2012,32(3).
- [7] 曾彦.基于静载试验的桥梁结构性能评价[J].华北水利水电学院学报,2013,34(4).
- [8] CJJ/T 233-2015,城市桥梁检测与评定技术规范[S].
- [9] JTG/T J21-01-2015,公路桥梁荷载试验规程[S].

收稿日期:2017-03-04

(上接第156页)

- [5] 杨万理.深水桥梁动水压力分析方法研究[D].成都:西南交通大学,2011.
- [6] 魏凯,伍勇吉,徐灿,等.桥梁群桩基础-水耦合系统动力特性数值模拟[J].工程力学,2011,28(1).
- [7] Wei Kai, Yuan Wan-cheng. Experimental and numerical assessment of the three-dimensional modal dynamic re-

sponse of bridge pile foundations submerged in water [J]. Journal of Bridge Engineering, 2013, 18(10).

- [8] 王晓伟,叶爱君.大跨度斜拉桥地震反应谱分析中计算振型数研究[J].结构工程师,2011,27(4).

收稿日期:2017-03-08

(上接第160页)

5 结论

该文针对30 m简支箱梁桥面维修,对桥面分别加铺4、10 cm沥青层,通过计算得到梁斜截面抗裂能力及正截面抗弯能力,分析加铺沥青层后结构的安全性。主要结论如下:桥面维修加铺4、10 cm厚沥青层后,截面最大主拉应力明显增高,分别增加11%、28%,加铺沥青面层会显著影响桥梁斜截面抗裂能力;各截面最大弯矩值明显增高,增幅分别为3.7%、9.4%左右,加铺沥青面层会显著影响桥梁抗弯能力。

实际施工中可能会遇到各类桥梁,结构存在差

异,且桥面加铺沥青层厚度也会不同,在加铺前需进行全面验算,明确安全性。

参考文献:

- [1] 丁勇,黄奇,黄剑源.连续桥面简支梁桥静动力特性的理论分析方法研究[J].工程力学,2015,32(9).
- [2] 王岗,谢旭,申永刚.简支梁桥拱型桥面连续构造的受力性能[J].浙江大学学报:工学版,2014,42(6).
- [3] 温晓强.桥梁桥面连续构造设计与施工技术[J].公路交通科技:应用技术版,2013(1).
- [4] 杨芳.水泥桥面加铺沥青混凝土面层施工技术探讨[J].山西建筑,2013,39(31).

收稿日期:2017-02-26