

DOI:10.19431/j.cnki.1673-0062.2022.03.005

横向联系损伤的既有 T 梁桥安全性分析

梁茜雪,李增科

(广西交通集团有限公司,广西 南宁 530007)

摘要:以一座既有钢筋混凝土简支 T 梁桥为例,分析采用不同横向联系模拟方式时有限元理论挠度与静载试验实测值之间的相符性,并采用直接概率分析法计算结构可靠指标,研究模型拟合程度对桥梁安全评价结果的影响,提出了荷载试验和可靠度理论综合评估方法,采用以实测值标定的理论模型进行结构可靠性分析,保证了基本随机变量统计参数的准确,实现存在横向联系损伤的 T 梁桥承载能力的正确判断。

关键词:T 梁桥;横向联系;拟合;承载能力

中图分类号:U441*.4 **文献标志码:**A

文章编号:1673-0062(2022)03-0029-08 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



Safety Analysis of Existing T-beam Bridge with Transverse Connection Damage

LIANG Qianxue, LI Zengke

(Guangxi Transportation Science and Technology Group Co., Ltd., Nanning, Guangxi 530007, China)

Abstract: An existing reinforced concrete simply supported T-beam bridge was taken as an example to analyze the consistency between the theoretical deflection of finite element and the measured value of static load test under different transverse connection simulation methods. The structural reliability index was calculated by direct probability analysis method, and the influence of model fitting degree on the bridge safety evaluation results was studied. The proposed comprehensive evaluation method of load test and reliability theory adopts the theoretical model calibrated with measured values to analyze the structural reliability, which guarantee the accuracy of the statistical parameter of the basic random variables and realize the existence of transverse connection damage T-beam bridge bearing capacity of the correct judgment.

key words: T-beam bridge; horizontal connection; consistency; bearing capacity

收稿日期:2021-12-01

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2015CB057705);南宁市创新人才资助项目(2018-01-04)

作者简介:梁茜雪(1975—),女,高级工程师,硕士,主要从事桥梁检测评估、健康监测和加固设计等方面的研究。E-mail:306810019@qq.com

0 引言

T梁桥具有结构简单、受力明确、节省材料、施工难度小、架设安装方便、跨越能力大等优点,广泛应用于我国公路桥梁建设中。装配式T梁桥通过桥面板和横隔板连成空间结构,共同承担车辆等外部荷载。桥梁横向刚度越大,荷载的横向分布作用就越明显。T梁横向连接方式包括钢板式接头和环扣式接头,前者横梁预留钢板,通过焊接连接钢板实现横梁连接,横梁间隙仅用水泥砂浆填充;后者横梁预留钢筋,通过搭接预留钢筋、现浇湿接缝形成横向联系。钢板式接头整体性和耐久性均较差,极易出现横向联系损伤,主要表现为T梁翼板接缝开裂破损、横隔板焊接钢板脱焊等^[1-4]。横向联系的损伤会减弱横向分布作用,甚至造成荷载横向重新分布,降低T梁承载能力。

有关横向联系对结构影响的研究主要为横向分布系数的修正计算,李院军采用统计方法建立了考虑损伤折减系数横向分布系数函数(含竖向基频、线刚度和宽跨比三个参数),但受限于统计样本数量,适用性有待商榷^[5];邬晓光在刚接梁法的基础上考虑湿接缝刚度损伤对梁间剪力和弯矩传递的折减效应,推导出考虑湿接缝刚度损伤的修正刚接梁法^[6]。经过修正后的横向分布系数可提高计算精度,但横向分布系数引入目的是将空间结构转化成平面问题,以现有的软硬件发展水平已可轻松建立梁桥空间模型,采用实测数据直接标定空间计算模型模拟装配式梁桥横向联系的方法更简便、直接和有效。

既有桥梁安全性分析实质是对已有结构承载能力的评定,比较成熟的有检算分析法、荷载试验分析法和概率分析法。荷载试验分析法是通过在桥梁上施加与设计作用等效的荷载,比较结构实际响应与理论响应的关系以评价桥梁受力状况的方法;设计检算分析法依据桥梁设计理论,结合桥梁现状修正设计表达式,验算承载能力是否达到设计或实际运营荷载要求;概率分析法基于可靠度理论,分析各基本随机变量的统计特性,研究以抗力和作用效应组成的功能函数,评估结构可靠性。三种方法中,荷载试验分析法因简单、直接且可观察结构真实响应,应用最广,但试验仅能得出弹性状态时实际与理论响应的关系,不能评价承载力;设计检算分析法在保留设计验算方式的基础上考虑了结构性能退化和运营车载的变化,可

较好地评估桥梁安全状况;概率分析法是直接通过失效概率评价结构安全性的方法,故而最为准确,但准确程度还与随机变量统计参数取值有关。

综上所述,本文提出一种综合荷载试验和概率分析优势的桥梁安全性分析法。该方法采用空间有限元模型模拟主梁横向联系,利用静载试验实测数据标定模拟方式,同时引入抗力综合影响因子以考虑既有桥梁实际抗力变化,按可靠度理论分析结构可靠指标评估桥梁安全性。为解释方法原理并论证方法有效性,以一座横向联系损伤的装配式钢筋混凝土简支T形梁桥为例进行安全性分析,并对比多种横向模拟方式对承载能评定的影响,证明模拟方式是影响安全评估的重要因素。

1 桥梁概况

某二级公路上一座旧桥建成于1986年,全长87 m。桥梁按单幅设计,上部结构采用3×20 m(3跨20 m的结构)钢筋混凝土简支T梁,横向布置8片T梁;下部结构采用U型桥台、重力式实心墩,基础为明挖扩大基础。设计荷载和验算荷载分别为汽车-20级和挂车-100。桥梁立面见图1,上构横断面布置见图2。

2 主要病害表现及分析

2.1 T梁病害

外观检查时发现全桥各跨T梁腹板均有多道裂缝,为分布于底面的横向裂缝和侧面的竖向裂缝,部分裂缝连通形成U形裂缝。每片梁平均出现60余条裂缝,但裂缝宽度较小,均小于0.20 mm。

2.2 T梁铰缝及横隔板病害

各跨T梁在3#铰缝(3#梁与4#梁间铰缝)和5#铰缝(5#梁与6#梁间铰缝)处均出现渗水,混凝土开裂、剥落和钢筋锈蚀,纵向分布长度接近全跨长。各跨另有部分铰缝有渗水和局部混凝土破损,但纵向分布范围较短,最长为3.22 m。

每片T梁纵向布置5道横隔板,梁间横隔板下部采用钢板焊接连接,接缝采用砂浆填充。检查时半数以上横隔板接缝砂浆已开裂、脱落。3#铰缝和5#铰缝处横隔板除端板外其余焊接钢板均已锈蚀且脱焊;各跨另有2~3处横隔板焊接钢板脱焊,分布于不同T梁间横隔板。

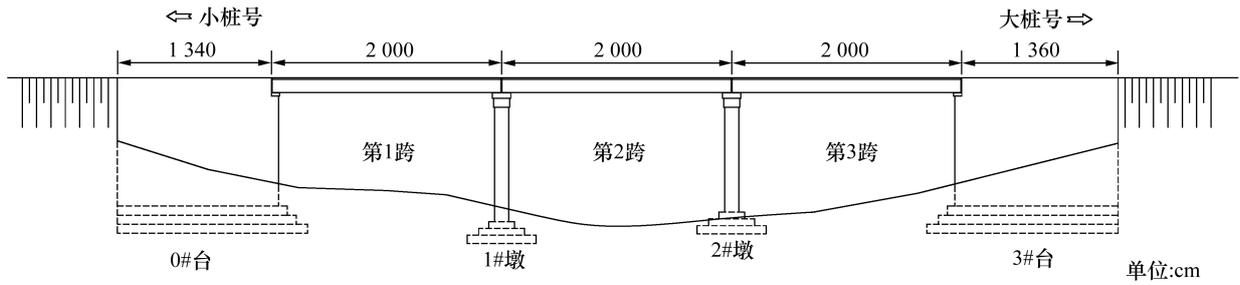


图 1 某钢筋混凝土简支 T 梁桥立面图

Fig. 1 Elevation view of a reinforced concrete simply supported T-beam bridge

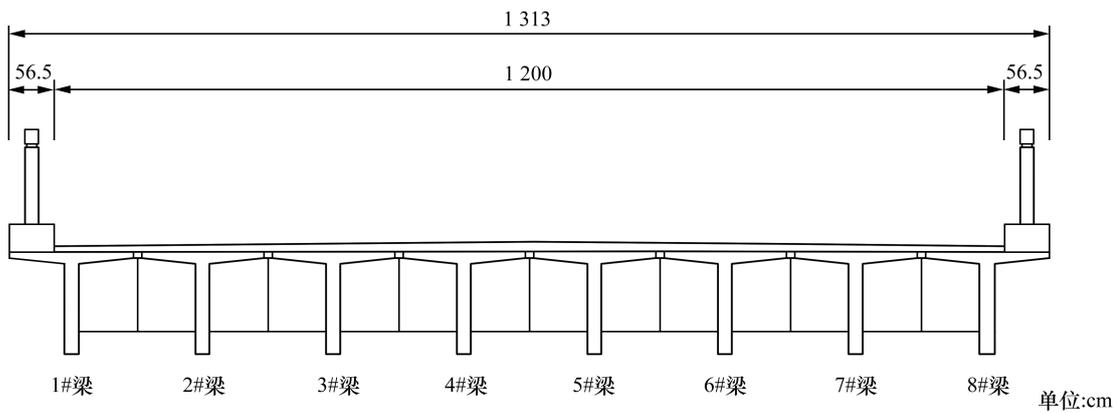


图 2 某钢筋混凝土简支 T 梁桥上构横断面布置图

Fig. 2 Layout drawing of the upper structure cross section of a reinforced concrete simply supported T-beam bridge

2.3 桥面铺装病害

桥面铺装为水泥混凝土铺装层,未布设钢筋。各跨桥面铺装均有纵向裂缝,裂缝位于 T 梁铰缝处桥面,最长纵缝已接近全跨长,最短纵缝长为 5.32 m。部分桥面铺装已严重破损,不能分辨铰缝处是否出现裂缝。

2.4 病害成因分析

T 梁间铰缝厚度仅为 8 cm,横隔板也只在下部用钢板焊接,横向联系较弱,在汽车荷载作用下,相邻 T 梁存在较大变位差,铰缝易开裂。当重车较多时,铰缝开裂加剧,变位差进一步增大,造成横隔板间砂浆开裂、脱落,连接钢板脱焊失效。铰缝处桥面铺装受纵向负弯矩作用,产生横桥向拉应力,但铺装层未布设钢筋网,因此极易沿铰缝方向开裂,形成纵桥向裂缝,严重时甚至延伸至全跨。桥面破损后,雨水流至铰缝,铰缝钢筋锈蚀断裂,严重时铰缝失效。

3 荷载试验检测与分析

3.1 荷载试验目的

根据 JTG/T J21—2011《公路桥梁承载能力

检测评定规程》规定^[7],可采用主要挠度测点和主要应力测点校验系数的最大值查取对应的检算系数 Z_2 ,用 Z_2 修正极限状态表达式中的抗力函数,以验算结构承载能力,评价桥梁安全性。装配式梁桥选取作用效应最大的梁片作为控制梁片,以控制梁计算挠度或应变的校验系数。装配式结构在横向联系受损后,荷载在梁间重分配,各片梁的作用效应相应变化,如仍以设计状态计算理论响应,其校验系数必然失真,造成承载能力误判。鉴于以上原因,此类桥梁的荷载试验首先应设置用于识别出横向联系真实传力能力的工况,工况通过在控制截面横向调整加载位置实现,再根据测试结果标定有限元模型横向连接的模拟方式,得出符合各梁间相对变形趋势的模型。以此模型按最不利原则设计加载工况,测试控制截面的主要响应值,作为确定检算系数 Z_2 的依据。

3.2 荷载试验设计

由外观检查结果了解到各跨病害情况相近,本次选取易于布设仪器的两边跨即第 1 跨和第 3 跨作为试验跨。为修正有限元模型中的横向连接参数,在第 1 跨安排正载、偏左侧和偏右侧 3 个工

况,在第3跨安排正载和偏右侧2个工况,共5个工况。挠度和应变测点分别布置于试验跨跨中截面各片梁底,每片梁1个测点;在每片梁梁端各布置1个支座压缩测点,测试支点沉降,用于在计算梁挠度时扣除支点变位的影响。

3.3 荷载试验结果

因T梁跨中截面附近已分布多道裂缝,本次

应变测点布置于腹板底板的纵向钢筋上,但为减少对T梁截面的削弱,凿除混凝土的区域受限,应变测试结果规律性略差,故以挠度作为标定模型的主要依据。表1为工况1~5时试验跨跨中截面实测挠度结果,表中挠度已扣除了残余挠度和支点沉降的影响。

表1 各工况满载时跨中截面实测挠度结果

Table 1 Measured deflection results of mid-span section under full load in various working conditions

单位:mm

工况序号	工况描述	T梁编号								
		1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	
1	第1跨	正载	1.78	5.87	10.04	11.96	11.90	9.23	5.51	1.70
2		偏右	-0.29	1.01	2.29	4.99	8.20	14.56	12.90	11.50
3		偏左	11.81	13.26	14.76	10.40	5.68	1.36	0.71	0.02
4	第3跨	正载	2.16	5.58	9.25	13.59	13.24	10.03	5.96	1.88
5		偏右	0	0.81	1.25	5.68	10.75	14.70	13.21	11.73

3.4 横向联系标定分析

本次标定分析共设置6个有限元横向联系模拟模式,以全面考虑可能出现的各种连接情况,通过调整有限元模型中铰缝和横隔板的连接参数,得出与实际横向联系趋势最相符的情况。表2为有限元模型中T梁横向联系的各项参数设置说明。

表2中的“严重损伤铰缝”指3#铰缝(3#梁与4#梁间铰缝)和5#铰缝(5#梁与6#梁间铰缝);“钢板脱焊横隔板”也是对应这两道铰缝的横隔板,其余脱焊的横隔板较少且零星分布于不同铰缝下,对横向力分配影响较小,未在模型中考虑。

表2 有限元模型横向联系模拟模式说明

Table 2 Description of the finite element model lateral connection simulation mode

模式编号	普通铰缝		严重损伤铰缝		普通横隔板		钢板脱焊横隔板	
	连接方式	传递内力	连接方式	传递内力	连接方式	传递内力	连接方式	传递内力
1	刚接	剪力、弯矩	/	/	刚接	剪力、弯矩	/	/
2	铰接	剪力	/	/	刚接	剪力、弯矩	/	/
3	铰接	剪力	/	/	铰接	剪力	/	/
4	铰接	剪力	/	/	释放约束	无	/	/
5	铰接	剪力	释放约束	无	释放约束	无	/	/
6	铰接	剪力	释放约束	无	铰接	剪力	释放约束	无

在有限元模型中分别计算模式1~6时正载和偏载工况下的T梁跨中截面挠度,计算挠度与实测挠度结果见表3和表4;在图3中将计算和实测挠度沿桥梁横向绘制成曲线,以观察计算与实测趋势的吻合程度。偏载工况均按偏右计算,为便于与偏左侧工况比较,图3(b)将工况3时的T梁横向位置反转。分析表3、表4和图3数据及

图形后可得出以下结论:

1)模式1将所有T梁铰缝和横隔板均按刚性连接模拟,模式2与1的区别在于模式2中铰缝按铰接模拟。两种模式下正载和偏载的计算结果均很接近,说明T梁间的接缝厚度偏薄,传递的剪力可忽略,将其视为铰缝是合理的。横隔板在横向联系中的贡献较大,在保证其刚性连接情况下,

无论T梁接缝按铰接还是刚接模拟,挠度分布曲线均较均匀,且偏载时基本呈线性。

表3 正载工况时T梁实测挠度和计算挠度结果

Table 3 Measured deflection and calculated deflection result of T-beam under center load conditions

单位:mm

工况模式	T梁编号							
	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#
工况1	1.78	5.87	10.04	11.96	11.90	9.23	5.51	1.70
工况4	2.16	5.58	9.25	13.59	13.24	10.03	5.96	1.88
模式1	5.80	7.53	9.14	10.10	10.10	9.14	7.53	5.80
模式2	5.68	7.49	9.20	10.21	10.21	9.20	7.48	5.67
模式3	4.43	6.70	9.93	11.56	11.57	9.93	6.68	4.32
模式4	1.22	2.70	13.42	15.21	15.21	13.43	2.70	1.21
模式5	0.11	0.76	15.30	16.38	16.38	15.30	0.76	0.11
模式6	1.75	5.99	10.99	13.81	13.78	11.01	6.01	1.73

表4 偏载工况时T梁实测挠度和计算挠度结果

Table 4 Measured deflection and calculated deflection result of T-beam under eccentric load conditions

单位:mm

工况模式	T梁编号							
	1#(8#)	2#(7#)	3#(6#)	4#(5#)	5#(4#)	6#(3#)	7#(2#)	8#(1#)
工况2	-0.29	1.01	2.29	4.99	8.20	14.56	12.90	11.50
工况3	0.02	0.71	1.36	5.68	10.40	14.76	13.26	11.81
工况5	0.00	0.81	1.25	5.68	10.75	14.70	13.21	11.73
模式1	-0.33	1.94	4.37	7.01	9.75	12.19	14.22	16.04
模式2	-0.68	1.68	4.20	6.97	9.82	12.37	14.47	16.35
模式3	-0.52	1.41	3.63	6.63	10.42	13.23	14.60	15.80
模式4	0.19	0.45	1.10	4.03	13.16	17.37	14.88	14.01
模式5	-0.02	0.02	0.19	2.73	14.38	19.17	14.94	13.77
模式6	0.32	1.25	2.31	5.96	11.52	14.86	14.62	12.35

注:括号内编号为工况3对应的T梁编号。

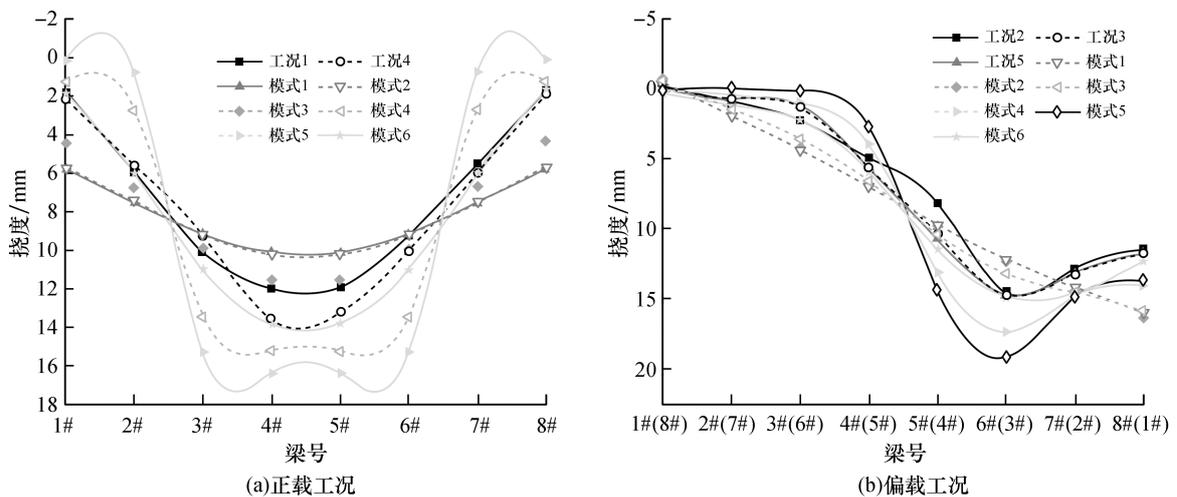


图3 各工况下T梁挠度横向分布对比图

Fig. 3 Comparison of transverse distribution of T-beam deflection under various working conditions

2) 因横隔板仅在下部采用钢板连接,模式3较模式2进一步释放了T梁间横隔板处约束,按铰接模拟。模式3时各梁间挠度均匀性略有降低,偏载时线性程度下降,但整体不明显,表明原有横隔板尺寸偏小,梁间传递剪力的能力有限。

3) 模式4在模式3基础上继续释放横隔板间扭转约束,认为横隔板的钢板连接均不可靠,完全不考虑横隔板对横向联系的贡献。在此模式下,正载时挠度分布曲线走势明显较模式1~3不同,边梁和次边梁挠度减小,剩余4片中梁在试验荷载作用下挠度明显增大且挠度值接近;偏载时,T梁挠度在偏载侧和非偏载侧分别较模式3时增大和减少明显,最大挠度点增幅31%,反弯点出现在桥梁横向中点附近。显然,在完全忽略横隔板作用仅靠T梁间铰缝分配荷载后,造成T梁内力分布严重不均匀,横隔板失效对T梁受力分配影响显著。

4) 模式5是该桥根据外观检查结果推测的横向连接最不利情况,除不计入横隔板作用外,另将铰缝破损严重的3#和5#铰缝处约束全部解除,此时正载和偏载时的挠度横向分布曲线与模式4形状相似,但不均匀性加剧,较模式4的最大挠度点增幅10%。

5) 模式6按铰接模拟T梁间铰缝和横隔板连接,且不考虑3#和5#铰缝处的铰缝及横隔板连接作用,此模式下的挠度计算结果介于模式3与4之间,与模式3较接近。

6) 对比各模式下的计算挠度分布曲线与各工况实测曲线发现,正载时,1#跨实测曲线与模式3曲线较吻合,但实测曲线下凹更明显,说明实际连接较模式3弱;3#跨实测挠度与模式6计算结果很接近,趋势基本一致。偏载时,1#跨和3#跨实测曲线与模式6曲线形状和结果均很接近,尤其是工况3和5与模式6几乎重合。综合对正载和偏载数据的分析,认为当T梁横向联系未发生明显损伤时应采用模式3模拟,该桥横向联系发生损伤后的实际状况与模式6契合程度最好,模式6有效反映了该桥T梁铰缝和横隔板的内力传递能力,体现了横向联系严重损伤后对结构的影响程度。

4 桥梁安全性分析

本文根据文献[8-9]理论采用直接概率分析法计算桥梁的可靠指标,通过与目标可靠指标的比较实现对桥梁安全性的精确评估,并量化分析横向联

系强弱对结构可靠性的影响。可靠度分析时所用的基本随机变量包括抗力 R 、恒载效应 S_G 和汽车荷载效应 S_Q ,相应的概率分布及统计参数按文献[9]确定,具体见表5,其中汽车荷载效应仅考虑密集运行状态。表5中 k_R, k_{S_G}, k_{S_Q} 分别为受弯构件 R, S_G 和 S_Q 的平均值与标准值的比值, $\delta_R, \delta_{S_G}, \delta_{S_Q}$ 分别为受弯构件 R, S_G 和 S_Q 的变异系数。

各随机变量平均值和标准差按标准值与表5参数关系计算,具体如下:

$$\begin{cases} \mu_R = k_R R_k, \sigma_R = \delta_R \mu_R \\ \mu_{S_G} = k_{S_G} S_{Gk}, \sigma_{S_G} = \mu_{S_G} \delta_{S_G} \\ \mu_{S_Q} = k_{S_Q} S_{Qk}, \sigma_{S_Q} = \mu_{S_Q} \delta_{S_Q} \end{cases} \quad (1)$$

式中 R_k, μ_R, σ_R 分别为抗力的标准值、平均值和标准差; $S_{Gk}, \mu_{S_G}, \sigma_{S_G}$ 分别为恒载效应的标准值、平均值和标准差; S_{Qk}, μ_{S_Q} 和 σ_{S_Q} 分别为汽车荷载效应的标准值、平均值和标准差。

表5 随机变量 R, S_G 和 S_Q 概率分布及统计参数

Table 5 Probability distribution and statistical parameters of random variables R, S_G and S_Q

随机变量	概率分布类型	k_R, k_{S_G}, k_{S_Q}	$\delta_R, \delta_{S_G}, \delta_{S_Q}$
R	对数正态	1.226 2	0.141 4
S_G	正态	1.014 8	0.043 1
S_Q	极值 I 型	0.799 5	0.086 2

为体现既有桥梁抗力的衰减,按文献[10]方法引入抗力综合影响系数 ω 。此时原抗力 R 用修正抗力 R' 代替,概率分布类型未改变,两者统计参数关系如下:

$$\mu_{R'} = \omega \mu_R, \sigma_{R'} = \omega \mu_R \delta_R \quad (2)$$

式中 $\mu_{R'}, \sigma_{R'}$ 分别为修正抗力 R' 的平均值和标准差。

表6列出了不同横向联系模拟模型下各控制梁的计算挠度,由实测挠度除以计算挠度后得到 η ,再根据 η 由JTG/T J21—2011《公路桥梁承载能力检测评定规程》查取 Z_2 作为抗力综合影响系数 ω ;为按式(1)计算抗力 R 、恒载效应 S_G 和汽车荷载效应 S_Q 的统计参数,在表6中还列出各随机变量的标准值。为方便比较,表6中边梁和中梁的实测挠度均取3#跨偏载工况时的实测数据。由表6可知不同模式对恒载效应标准值 S_{Gk} 影响较小,但汽车荷载效应标准 S_{Qk} 波动较大,尤其在模式5时,边梁效应较其他模式平均值约减小75%,中梁约增大30%。

表6 不同横向联系模拟模型下抗力综合影响系数及各随机变量的标准值

Table 6 The comprehensive influence coefficient of resistance and the standard value of each random variable under different transverse connection simulation models

模式序号	梁类别	控制梁号	计算挠度/mm	实测挠度/mm	η	ω	$R_k/(kN \cdot m)$	$S_{G_k}/(kN \cdot m)$	$S_{Q_k}/(kN \cdot m)$
1	边梁	8#	16.04	11.73	0.731	1.085	1 850	914	707
	中梁	7#	14.22	13.21	0.929	0.986	1 846	914	641
2	边梁	8#	16.35	11.73	0.717	1.092	1 850	914	717
	中梁	7#	14.47	13.21	0.913	0.994	1 846	914	647
3	边梁	8#	15.80	11.73	0.742	1.079	1 850	929	689
	中梁	7#	14.60	13.21	0.905	0.998	1 846	914	646
4	边梁	8#	14.01	11.73	0.837	1.032	1 850	981	598
	中梁	6#	17.37	14.07	0.810	1.045	1 846	875	793
5	边梁	8#	13.77	11.73	0.852	1.024	1 850	975	173
	中梁	6#	19.17	14.07	0.734	1.083	1 846	862	850
6	边梁	8#	12.35	11.73	0.950	0.975	1 850	947	627
	中梁	6#	14.86	14.07	0.947	0.977	1 846	890	688

因修正抗力 R' 和汽车荷载效应 S_Q 分别服从对数正态和极值I型分布,采用“JC法”(即改进一次二阶矩法)^[9]在Matlab软件中编制数值计算程序,将非正态变量当量正态化后计算出可靠指标 β 。表7为 β 计算过程的参数及结果。该桥以模式6的计算结果评价结构安全性,此时边梁和中梁可靠指标 β 分别为2.79和2.63,均未达到JTG 2120—2020《公路工程结构可靠性设计统一标准》要求的目标可靠指标4.2,因此不满足承载

力要求。从表7可见不同模式时 β 的计算结果差异显著,模式1~5与模式6的边梁和中梁偏差范围分别为0.34~2.11和2.19~-0.77,其中模式3与模式6最接近,但边梁和中梁 β 仍相差一级和半级^[11]。由于荷载横向分配规律与实际不符,造成 η 、 Z_2 、 ω 、 S_{G_k} 和 S_{Q_k} 取值偏差大,甚至控制梁片错误,可靠指标计算结果失控,不能正确评估结构可靠性,因此对横向联系损伤严重的桥梁应进行有限元模型标定后再进行安全评估。

表7 不同横向联系模拟模型下的统计参数和可靠指标

Table 7 Statistical parameters and reliability indicators under different transverse connection simulation models

模式序号	梁类别	修正抗力/(kN·m)		恒载效应/(kN·m)		汽车荷载效应/(kN·m)		β
		$\mu_{R'}$	$\sigma_{R'}$	μ_{S_G}	σ_{S_G}	μ_{S_Q}	σ_{S_Q}	
1	边梁	246.1	348.0	928	40.0	565	48.7	3.37
	中梁	210.7	298.0	928	40.0	512	44.2	2.57
2	边梁	247.7	350.3	928	40.0	573	49.4	3.38
	中梁	207.1	292.9	928	40.0	517	44.6	2.43
3	边梁	244.8	346.1	943	40.6	551	47.5	3.33
	中梁	205.3	290.3	928	40.0	516	44.5	2.37
4	边梁	234.1	331.0	996	42.9	478	41.2	3.13
	中梁	183.7	259.8	888	38.3	634	54.7	1.26
5	边梁	232.3	328.5	989	42.6	138	11.9	4.90
	中梁	166.5	235.4	875	37.7	680	58.6	0.44
6	边梁	221.2	312.7	961	41.4	501	43.2	2.79
	中梁	214.8	303.8	903	38.9	550	47.4	2.63

5 结 论

本文对一座既有钢筋混凝土装配式T梁桥进行病害成因分析,由横向联系的损伤情况拟定针对性的荷载试验工况,通过结构在试验时的响应,标定有限元模型中的横向联系模拟方式,并采用可靠度理论分析不同模式对承载能力评估的影响,得出以下结论:

1) 装配式梁桥横向联系的损伤使各主梁内力发生改变,以荷载试验实测结果标定有限元模型可保证模型与实际结构受力的一致性;采用直接概率分析法可直接计算出可靠指标,通过与目标可靠指标比较评判结构安全性。因此,综合荷载试验和可靠度理论的桥梁安全评估方法可有效减少对结构承载能力的错判或误判,保障桥梁正常管养和运营。

2) 传统的横向分布系数法需要通过修正方式考虑损伤对荷载横向分配的影响,而“梁格法”模型中已建立横向连接构件单元,传力方式模拟直接、明确,可作为横向联系损伤的装配式梁桥建模方法。

3) 挠度横向分布图表明,采用钢板式接头的T梁横隔板装配式梁桥横隔板传递剪力能力较弱,在有限元模型中应按铰接模拟,当钢板脱焊后不再考虑连接作用。

4) 鉴于横向联系的强弱对旧式装配钢筋混凝土T梁桥主梁内力影响明显,在对该类桥进行加固时除需考虑提高主梁承载能力外,应重点加强横向联系,提高主梁协同工作能力。加固措施包括将横隔板干接改为湿接、增加铰缝连接钢筋、增

设桥面铺装钢筋网等。

参考文献:

- [1] 杨修志,刘伟. 装配式钢筋混凝土简支T型梁桥常见病害与加固技术[J]. 中国公路, 2019, 26(3): 106-107.
- [2] 黄芳勤,汪罗英. 钢筋混凝土T梁桥病害处理措施与加固设计[J]. 城市道桥与防洪, 2012(5): 117-118.
- [3] 郭宁,冯艳,张令心,等. 钢筋混凝土简支梁桥典型病害分析[J]. 世界地震工程, 2011, 27(2): 170-178.
- [4] 蔡卡宏,孙卓,王仕实. 钢筋混凝土简支T梁桥病害分析及处治方法研究[J]. 广东建材, 2013, 29(8): 59-61.
- [5] 李院军,邬晓光,黄成,等. 考虑主梁损伤的装配式梁桥荷载横向分布系数计算[J]. 铁道科学与工程学报, 2019, 16(6): 1459-1465.
- [6] 邬晓光,钱若霖,苏佩. 考虑湿接缝刚度损伤的桥梁荷载横向分布计算方法[J]. 铁道建筑, 2018, 58(1): 93-95.
- [7] 中华人民共和国交通运输部. 公路桥梁承载能力检测评定规程: JTG/T J21—2011[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011: 37.
- [8] 鲁乃唯,刘扬. 桥梁可靠度分析方法与应用[M]. 南京: 东南大学出版社, 2017: 11-52.
- [9] 李扬海,鲍卫刚,郭修武,等. 公路桥梁结构可靠度与概率极限状态设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 1997: 173-223; 232.
- [10] 梁茜雪. 在役公路桥梁安全评定可靠度研究[J]. 贵州大学学报(自然科学版), 2021, 38(5): 81-87.
- [11] 中华人民共和国交通运输部. 公路工程结构可靠性设计统一标准: JTG 2120—2020[S]. 北京: 人民交通出版社, 2020: 11.