

DOI: 10.16799/j.cnki.esdqyfh.250612

桥梁病害成因分析与加固设计

李鸿斌

(广州市市政工程设计研究总院有限公司, 广东广州 510530)

摘 要: 近年来随着经济的快速发展,交通流量持续增长,一些建设较早的钢筋混凝土桥梁由于使用年限的增加,出现影响结构耐久性乃至安全性的病害,为保证桥梁的设计使用年限,采取有针对性的维修加固措施是必要的。以某收费站桥为工程实例,通过对钢筋混凝土桥病害的调查,分析病害产生的原因并进行加固方案设计,详细分析了钢筋混凝土桥梁的维修加固流程,为类似工程的维修加固设计提供一定的参考。
关键词: 钢筋混凝土桥;病害;维修加固
中图分类号: **文献标志码:** **文章编号:** 1009-7716(2026)02-0225-05

Cause Analysis and Reinforcement Design of Bridge Diseases

LI Hongbin

(Guangzhou Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Guangzhou 510530, China)

Abstract: In recent years, with the rapid development of economic construction and the continuous growth of traffic flow, some early-built reinforced concrete bridges have shown diseases that affect structural durability and even safety as their service life increases. To ensure the design service life of bridges, it is necessary to adopt the targeted maintenance and reinforcement measures. Taking a toll station bridge as an engineering case, through the investigation of the diseases of reinforced concrete bridges, the causes of diseases are analyzed, and the reinforcement schemes are designed. The maintenance and reinforcement processes of reinforcement concrete bridges are analyzed in detail. Some references are provided for the maintenance and reinforcement design of similar projects.
Keywords: reinforced concrete bridge; distress; maintenance and reinforcement

0 引 言

混凝土的病害会影响结构的承载力、使用性能和耐久性。混凝土结构病害的外在表现形式主要为混凝土裂缝。混凝土裂缝分为结构受力裂缝和非结构性裂缝,前者主要由外部荷载引起,后者主要由温度变化、混凝土收缩等引起的内部变形。在遭受混凝土结构病害的桥梁案例中,由非结构性裂缝占主导的案例约占 80%,由结构性裂缝占主导的案例约占 20%,有时两类裂缝会融合在一起^[1]。若不处理,非结构性裂缝会影响混凝土结构的耐久性,而结构性裂缝会影响混凝土结构的安全性。

造成钢筋混凝土桥梁病害的原因多种多样,例如,混凝土自身的材料特性、混凝土结构的设计与施工质量、结构所处的环境、使用条件及防护措施的影响等。

响等。但根本原因还是材料的性能逐渐劣化,最终无法适应桥梁的使用工况。

桥梁维修加固是指分析各种类型的桥梁病害,找出引起病害的原因,提出相应合理的维修加固措施。其设计流程如图 1 所示。

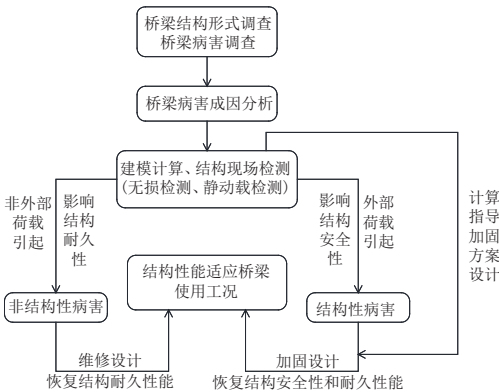


图 1 桥梁维修加固设计流程

本文以某桥梁维修加固为例,介绍其运营现状及结构病害表现,分析其病害产生的原因并提出相应的维修加固方案,以期为类似的桥梁加固项目提供一定的参考。

收稿日期: 2025-06-13
作者简介: 李鸿斌(1993—), 男, 硕士, 工程师, 从事桥梁设计工作。

1 工程概况

某收费站桥,共 25 跨,全长为 397.9 m,主梁为现浇钢筋混凝土肋板梁桥,跨径布置为(12.45 m+5 m×17 m+12.5 m)+(12.5 m+9 m×17 m+12.5 m)+(12.5 m+5 m×17 m+12.45 m)=397.9 m,桥梁典型横断面如图 2 所示。

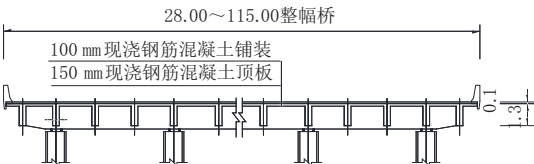


图 2 收费站桥典型横断面(单位:m)

T 形肋板梁单梁顶板宽 2.5 m,顶板厚 0.15 m,腹板厚 0.4 m,梁高 1.3 m,截面图如图 3 所示。

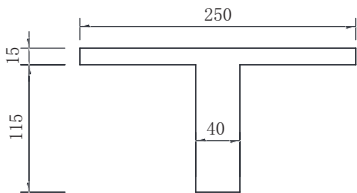


图 3 T 形现浇主梁尺寸(单位:cm)

2 桥梁病害调查

某收费站桥由于线路交通流量大,特别是线路取消收费后,交通流量急剧增加,重载货运车辆占比增大,且由于桥梁建成较早,原设计荷载量难以匹配现状繁重的交通流量,导致该桥出现较多病害。

近年来该收费站桥每年都进行了常规定期检测。2017 年,常规检测将其评定为 C 级,2018 年第一次常规检测将其评定为 D 级,此后 2019—2022 年的常规检测,均将该桥评定为 D 级,最近的一次常规检测是 2023 年,桥梁被评定为 D 级。其主要病害表现为桥梁主梁裂缝。其病害变化情况如表 1 所示。

表 1 历年桥梁裂缝变化表

年份	位置	条数	长度范围/ m	最大裂缝 宽度/mm
2019— 2022	第 1 跨至第 25 跨每 片肋梁腹板两侧存 在多条竖向裂缝	肋梁腹板每 侧裂缝数量 为 10~26 条	0.68~1.1	0.1~0.42
	第 1 跨至第 25 跨每 片肋梁底面存在多 条横向裂缝	15~30 条	0.08~0.12	最大 0.33
2023	第 1 跨至第 25 跨每 片肋梁腹板两侧存 在多条竖向裂缝	肋梁腹板每 侧裂缝数量 为 10~26 条	0.68~1.1	0.1~0.65
	第 1 跨至第 25 跨每 片肋梁底面存在多 条横向裂缝	15~30 条	0.08~0.12	最大 0.33

2018 年至今,因主梁出现表 1 中所示裂缝,桥梁检测结果被评定为 D 级。2019—2022 年,桥梁裂缝相对稳定,2023 年,裂缝宽度出现一些变化。桥梁裂缝主要集中在纵梁上,具体表现为纵梁腹板存在较多均匀分布的竖向裂缝,裂缝中间宽、两头窄,少量腹板区域竖向裂缝宽度普遍偏大、超限,甚至贯通至底板、翼板区域,分布区域不规则;底板存在较多的横向裂缝,裂缝宽度为 0.08~0.12 mm,部分贯通底面。

3 桥梁病害分析

3.1 纵梁腹板侧面竖向裂缝分析

纵梁腹板存在较多均匀分布的竖向裂缝,裂缝中间宽、两头窄,少量腹板区域竖向裂缝宽度偏大、超限,甚至贯通至底板、翼板区域,分布区域不规则。需要判断纵梁腹板侧面竖向裂缝是结构受力裂缝还是非结构性裂缝。在现有的相关文献研究中,腹板竖向裂缝是比较常见的开裂病害,大部分该类裂缝属于结构非受力裂缝。导致腹板竖向裂缝出现的主要因素为温度变化、荷载增加和混凝土的非均匀收缩作用^[2-8]。

由于本桥上此前建有收费站,存在车辆频繁启动与制动的情况;取消收费后,车流量增大,特别是重载交通量增大,桥梁上的车道线经过重新布置,存在横压、斜压等情况;此外,桥梁上的堵车现象比较常见,车辆的启动、制动产生水平作用,也可能导致主梁腹板侧向的竖向开裂。

为确定腹板侧面的竖向裂缝是否由车辆横向制动力引起,采用 MIDAS FEANX 建立 1 跨 14 m 宽的实体模型,混凝土采用 3D 实体单元模拟,普通钢筋采用植入式桁架单元模型(见图 4)。

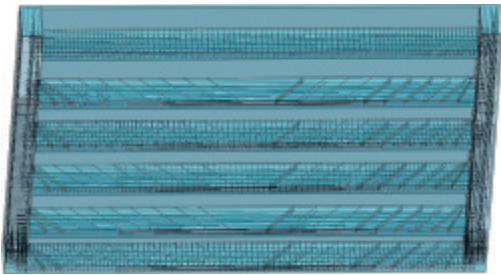


图 4 计算模型

出于偏保守、简化计算的考量,施加的车辆竖向压应力 ρ 按式(1)计算。

$$\rho = \frac{P}{2ab} \tag{1}$$

式中: ρ 为车轮竖向压应力,MPa; P 为公路Ⅰ级标准车辆后轮轴载,N; a 为车轮考虑应力扩散后的加载长度,mm; b 为车轮考虑应力扩散后的加载宽度,mm。

公路Ⅰ级标准车辆后轮轴载 $P=140\text{ kN}$,标准单轮着地尺寸为 $a_0=600\text{ mm}$, $b_0=200\text{ mm}$ ^[9],考虑到50 mm铺装45°角扩散,车轮着地尺寸 $a=a_0+2\times 50=700\text{ mm}$, $b=b_0+2\times 50=300\text{ mm}$ 。因此,单轮施加的车轮竖向压应力为0.333 MPa。

横向车辆制动力按车轮竖向压力乘以混凝土与轮胎的静摩擦系数0.6^[10-11],即横向制动压应力为0.200 MPa。计算模型如图5所示,计算结果如图6和图7所示。

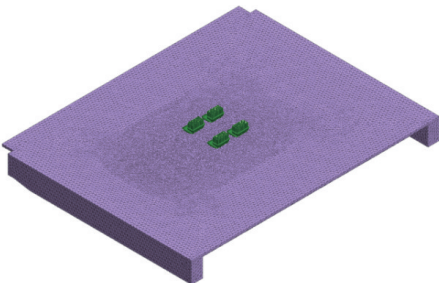


图5 车轮压力与制动力加载图示

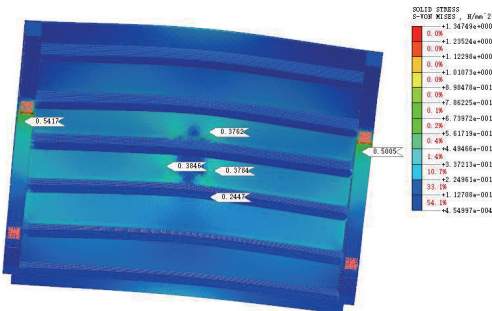


图6 横向水平制动力作用下mises应力(单位:MPa)

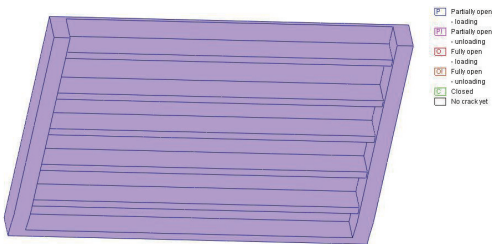


图7 横向水平制动力作用下开裂位置分布情况(未开裂)

计算结果表明,在横向制动力作用下,主梁腹板侧面并不会开裂,即主梁腹板侧向的竖向开裂并非由车辆的制动力导致。

排除本桥腹板的竖向裂缝由受力导致,且观察裂缝形态,呈现中间宽、两头窄的特征,为典型的收缩裂缝。经分析,竖向裂缝产生的主要原因可能有以下4种。原因一:可能是温度变化、混凝土收缩产生的裂缝,而混凝土在浇筑时未及时进行洒水养护

等措施。原因二:可能是纵梁竖向非结构细小裂缝过多,但未及时处理,长期积累后会出现一个个应力释放面,具体表现在部分裂缝长度和宽度的扩展。原因三:腹板箍筋间距为20~15 cm,腹板纵筋直径为12 mm,间距为18 cm,配筋率偏小,配筋略疏,可能导致钢筋对混凝土的纵向约束能力不足,因此出现腹板竖向开裂。原因四:相较于正常钢筋混凝土结构,本桥纵梁竖向裂缝偏多,施工质量原因或施工赶工期拆模过早,也可能是导致该病害产生的主要原因之一。

3.2 纵梁腹板底面横向裂缝分析

底板存在较多的横向裂缝,裂缝宽度为0.08~0.33 mm,部分贯通底面。纵梁在弯矩作用下,其开裂形式即为底面横向开裂,与现状裂缝情况一致。但与此同时,结构在温度变化、混凝土收缩变形等因素的作用下会产生自应力,从而引起混凝土开裂。此种裂缝为非结构性裂缝,裂缝一旦出现,变形立即得到释放,自应力也就随之消失^[12]。

为确定裂缝是否为结构受力裂缝,采用MIDAS Civil建立单梁计算模型(见图8),采用横向分布系数进行加载计算。通过对收费站桥的无损检测发现,混凝土强度推定值小于设计值,裂缝较多,钢筋存在锈蚀。因此,进行受力验算时,对混凝土的强度、钢筋面积进行折减。桥梁在设计时采用的是C40混凝土,计算时按C35混凝土折减,对钢筋面积进行折减,按原设计面积的0.85倍取值。



图8 1联5跨单梁计算模型

考虑到材料的损伤折减,按原设计荷载量加载,原设计规范(1985版《公路桥梁规范》)验算(见表2计算模型二),桥梁跨中抗弯承载力不满足要求,跨中裂缝宽度为0.24 mm,大于裂缝宽度的限值(0.20 mm),裂缝宽度不满足要求。因此,底板横向裂缝是由结构抗力不足导致的受力裂缝。

表2 计算模型

规范	计算模型	模型说明
	模型一	不考虑材料损伤
1985版 《公路桥梁规范》	模型二	考虑材料损伤;考虑材料损伤,考虑5 cm整体化层参与受力;考虑材料损伤,考虑加固措施,考虑5 cm整体化层参与受力
2018版 《公路桥梁规范》	模型三	考虑材料损伤;考虑材料损伤,考虑5 cm整体化层参与受力;考虑材料损伤,考虑加固措施,考虑5 cm整体化层参与受力

为复核计算的准确性,确定桥梁是否因承载力不足而出现裂缝,本研究对桥梁进行静载试验。结果表明,桥梁跨中抗弯承载力不满足要求,监测裂缝为受力裂缝,且裂缝宽度超限。

4 桥梁加固

由上述分析可知,主梁裂缝既有结构受力裂缝,也有结构非受力裂缝。非受力裂缝可进行裂缝封闭处理,受力裂缝则需要进行结构加固设计^[13]。

4.1 加固方案设计

纵梁腹板侧面存在较多均匀分布的竖向裂缝,裂缝中间宽、两头窄,少量腹板区域竖向裂缝宽度偏大、超限,甚至贯通至底板、翼板区域,分布区域不规则。经过前述分析,腹板侧面竖向裂缝非结构受力裂缝,可能是温度变化、混凝土收缩变形或施工质量

引起的,该类裂缝对结构受力的影响较小。为保证结构的耐久性,本研究对裂缝进行裂缝封闭处理,同时,腹板侧面黏贴钢板,提高结构的整体性与耐久性。

纵梁底板存在较多的横向裂缝,经过前述计算分析及结构静载试验,可知底板裂缝为受力裂缝。虽然裂缝宽度较小、扩展较为缓慢,但贯穿裂缝会导致截面削弱,并使得钢筋外漏产生锈蚀,长此以往会显著降低结构的承载力。针对此类病害,须在封闭裂缝后加贴钢板等措施,以加固底板。

4.2 加固计算分析

为全面分析桥梁结构加固前、后的结构效应与结构抗力,综合考虑设计规范、材料损伤、结构整体化层参与受力等情况,本研究将加固计算分成如下多种计算模式,计算结果如表3所示。

表 3 计算结果

规范	计算模型	模型说明	承载能力									正常使用		
			结构效应			结构抗力			抗力/效应			裂缝宽度/mm		
			弯矩/(kN·m)		剪力/kN	弯矩/(kN·m)		剪力/kN	弯矩/(kN·m)		剪力/kN	裂缝宽度/mm		限值/mm
			跨中	支点	支点	跨中	支点	支点	跨中	支点	支点	跨中	支点	
1985 版《公路桥梁规范》	模型一	不考虑材料损伤	1 852	2 118	844	1 981	3 116	1 136	1.07	1.47	1.35	0.196	0.123	0.2
		考虑材料损伤	1 852	2 118	844	1 684	2 648	1 004	0.91	1.25	1.19	0.242	0.154	0.2
	模型二	考虑材料损伤及 5 cm 整体化层受力	1 852	2 118	844	1 758	2 762	1 030	0.95	1.30	1.22	0.235	0.150	0.2
		考虑材料损伤,考虑加固措施,考虑 5 cm 整体化层受力	1 852	2 118	844	3 076	2 762	1 263	1.66	1.30	1.50	0.111	0.150	0.2
2018 版《公路桥梁规范》		考虑材料损伤	2 793	2 760	1 078	1 772	2 726	1 124	0.63	0.99	1.04	0.233	0.198	0.2
	模型三	考虑材料损伤及 5 cm 整体化层受力	2 793	2 760	1 078	1 848	2 843	1 156	0.66	1.03	1.07	0.224	0.190	0.2
	模型四	考虑材料损伤,考虑加固措施,考虑 5 cm 整体化层受力	2 793	2 760	1 078	3 541	2 843	1 491	1.27	1.03	1.38	0.116	0.190	0.2

根据表3可得出如下结论。

(1)通过模型一可知,在原设计荷载量的作用下,按原设计规范核算,收费站桥的承载能力和裂缝宽度均满足规范要求。

(2)通过模型二,结合现场结构损伤情况,考虑到材料损伤折减,按原设计规范核算,收费站桥的跨中抗弯承载力不满足要求,跨中裂缝宽度不满足要求。在此基础上,考虑5 cm 整体化层参与受力,收费站桥的跨中抗弯承载力、跨中裂缝宽度仍不满足要求。在此基础上,考虑在梁肋底板黏贴钢板、更换整体化层的加固措施,并考虑5 cm 整体化层参与受力,收费站桥的承载力能力和裂缝宽度均满足要求。

(3)通过模型三可知,在原设计荷载量的作用下,考虑到钢筋损伤折减,按现行设计规范核算,收费站桥的跨中和支点截面抗弯承载力不满足要求,跨中裂缝宽度不满足要求。在此基础上,考虑5 cm 整体化层参与受力,收费站桥的跨中抗弯承载力仍不满足要求,跨中裂缝宽度不满足要求。在此基础上,考虑在梁肋底板黏贴钢板、更换整体化层的加固措施,并考虑5 cm 整体化层参与受力,按现行设计规范核算,收费站桥的承载力和裂缝宽度均满足要求。

5 结 语

钢筋混凝土桥梁是目前桥梁工程领域应用较为

广泛的一种结构类型。然而,随着桥梁服役时间的增长,加之近年来随着经济高速发展带来的交通流量激增和重型车辆占比上升等因素,这类桥梁开始出现多种结构缺陷。如果未能及时采取修复和加固措施,这些病害将会不断恶化,最终可能危及桥梁的正常使用,乃至威胁整体结构的安全。

本文通过对某收费站桥进行病害调查,分析其病害产生的原因,并对其进行加固设计。经计算分析,加固后的结构各项使用性能均满足规范的要求,为类似桥梁的病害分析与加固处理提供一定的参考。

参考文献:

[1] 张树仁,王宗林.桥梁病害诊断与改造加固设计[M].北京:人民交通出版社,2006.
[2] 罗浩,王锬,晏亮,等.公路桥梁常见病害及成因分析[J].中国水运,2021(13):148-150.
[3] 符德省.预应力混凝土连续T形梁腹板竖向裂缝的特征及成因分

析[J].公路交通科技(应用技术版),2016,12(3):239-242.
[4] 谢峻,潘宝林,周毅妹.截面收缩徐变非一致性分布与T梁桥腹板竖向开裂的时变相关性[J].公路交通科技,2017,34(11):79-83;109.
[5] 杨敏,宋泽冈,李均进.先简支后连续预应力混凝土T梁裂缝成因分析及预防措施[J].公路交通科技(应用技术版),2016,12(4):179-181.
[6] 王龙.先简支后结构连续T梁桥腹板竖向裂缝成因精细化分析[D].西安:长安大学,2018.
[7] 闫杰森,吴荣国.预应力混凝土箱梁桥开裂影响因素分析[J].黑龙江交通科技,2025,48(5):78-81;86.
[8] 许鹏,杨涛,袁理中,等.预应力混凝土T梁腹板竖向开裂原因分析与处治[J].交通科技与管理,2024,5(14):89-91.
[9] JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].
[10] 卢伟,董均贵.基于灰色系统理论的沥青路面摩擦系数研究[J].西部交通科技,2025(2):5-8.
[11] 王祯国,郝艳军,杨洋,等.道路/轮胎静态接触力学数值仿真与特征分析[J].公路,2025,70(2):73-80.
[12] 陈红梅.钢筋混凝土桥梁病害分析及其维修加固[D].大连:大连理工大学,2011.
[13] 廖军.桥梁维修加固施工要点及处治方案研究[J].交通科技与管理,2025,6(12):105-107.

《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

官方网址:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:roadbridgeflood@163.com

