

公路钢筋混凝土桥梁试验检测技术及应用分析

严佐庆

新疆北新科技创新咨询有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要] 公路钢筋混凝土桥梁是道路交通设施中不可缺少的一部分, 而桥梁结构的安全可靠程度更是直接影响整个交通运输系统是否能正常运转, 试验检测技术就是对桥梁进行质量检查, 查找缺陷隐患, 制定维护措施的一种方法。目前我国公路钢筋混凝土桥梁的试验检测已经形成了以常规检测为主, 结合进行荷载试验、无损检测以及健康监测为一体的检测技术体系, 在建设、使用、修理以及在恶劣环境条件下广泛运用着。但检测技术还是存在着一些缺点, 如仪器不够精确, 评价指标多样化不合理, 自动化程度不高。围绕检测数据准确性以及评价准则等主要难题, 建议健全标准体系、加快设备智能化进程、打造信息化平台等一系列改进措施, 希望对提高公路钢筋混凝土桥梁实验检测技术有所借鉴意义。

[关键词] 公路桥梁; 钢筋混凝土; 试验检测

DOI: 10.33142/aem.v8i4.19620

中图分类号: U446.1

文献标识码: A

Testing and Application Analysis of Highway Reinforced Concrete Bridges

YAN Zuoqing

Xinjiang Beixin Science and Technology Innovation Consulting Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: Highway reinforced concrete bridges are an indispensable part of road transportation facilities, and the safety and reliability of bridge structures directly affect the normal operation of the entire transportation system. Testing and inspection technology is a method of quality inspection of bridges, identifying defects and hidden dangers, and formulating maintenance measures. At present, the testing and inspection of reinforced concrete bridges on highways in China has formed a testing technology system mainly based on conventional testing, combined with load testing, non-destructive testing, and health monitoring. It is widely used in construction, use, repair, and under harsh environmental conditions. However, there are still some shortcomings in the detection technology, such as inaccurate instruments, unreasonable diversification of evaluation indicators, and low degree of automation. Regarding the main challenges of detecting data accuracy and evaluation criteria, it is suggested to improve the standard system, accelerate the process of equipment intelligence, and create an information platform. It is hoped that this can provide reference for improving the experimental detection technology of highway reinforced concrete bridges.

Keywords: highway bridges; reinforced concrete; testing and inspection

引言

伴随着交通运输行业的发展壮大, 公路钢筋混凝土桥梁越来越多, 对于它们长久安全运行的要求也越来越高了, 在使用的过程中需要经受车辆的荷载以及环境的侵蚀等多种因素的作用, 难免会发生一些损坏问题诸如混凝土裂缝、钢筋锈蚀以及结构变形等问题的发生严重削弱了桥梁的承载能力和使用寿命等, 而定期进行试验检测可以有效地把握桥梁的技术状态从而对桥梁的安全运行起到很好的保证效果和延长寿命的效果。目前的公路钢筋混凝土桥梁试验检测已经由传统的手工观察法逐渐转变为多种检测方法共同作用相结合的方式。静载试验及动载试验可以

得到桥梁构件的力学性能指标; 无损检测方法能够对桥梁内部缺陷进行有效识别; 健康监测技术实现了对桥梁结构状况的有效把握。但是检测方法的应用还存在很多问题: 检测结果的真实性; 评估准则的选择; 智能检测手段的应用等需要进一步研究。本文基于公路钢筋混凝土桥梁试验检测的技术体系、工程应用、存在的不足和发展方向等方面进行全面的研究, 以期对桥梁检测工作起到一定的借鉴作用。

1 公路钢筋混凝土桥梁试验检测技术体系

1.1 常规检测技术(外观检查、强度检测、钢筋检测)
常规检测方法是判定桥梁技术状态的基本方式, 在桥

梁检测中也起到关键作用。外观检查就是依靠肉眼或者借助一些简单的检测仪器对桥梁结构构件外表面的状态进行检查并做好记录,包括裂缝、脱落、渗水等地表缺陷,是最常用的检查方法之一。混凝土强度检测主要有回弹法、超声波法以及钻孔取芯法。回弹法简单易行,根据混凝土表面的坚硬程度来推测强度大小,但是容易受到碳化程度、潮湿程度的影响较大。超声波法则运用的是超声脉冲信号经由混凝土传递,从而得知其内部的质量情况可以观察到空隙、夹层等问题。钻芯取样法则可以通过直接取出混凝土芯样来进行抗压试验,得到的结果最可靠,但是会对原有结构造成一定的破坏,适合用于重要的部位复核检查。针对钢筋检测主要是对钢筋位置、保护层厚度以及钢筋锈蚀情况的检测。钢筋的位置以及保护层厚度可以通过使用钢筋探测仪来进行非接触式的测量,以电磁感应的方式找到钢筋的位置。对于钢筋锈蚀程度的检测,常用的是半电池电位法,通过对钢筋外表电位的变化来了解锈蚀活跃部位,从而作为结构耐久性的参考。

1.2 荷载试验检测技术(静载试验、动载试验)

荷载试验是以对桥梁施加一定荷载后观测结构反应参数来进行评价桥梁承载能力的一种常用手段。桥梁检测测试技术分为动态和静态两大类,前者是用仿照桥梁实际运行状态的方法进行测试;后者则是通过给桥梁施加一定的负荷、测量变形等手段获得桥梁结构的一些静力性质的一些参数,而静载试验就是荷载试验的主要部分。进行试验时,在桥梁预定的地方放置一些大型卡车或者拖车载重或者使用专门用于加载的工具给桥梁加载直到达到设计荷载等级为止,并同时监测出控制断面上的挠度和应变以及裂缝宽度等变化情况。然后根据测量结果同设计理论计算相比较,求出校准系数,再考虑其残余变形率是否合理,从而得出该桥的弹性工作情况。静力试验基本的要求为:桥在加载后应有良好的弹性工作状况,结构的弹性变形、残余变形以及总变形要达到规定的指标。对于动载试验主要是测定桥梁的动态特征及其受迫振动响应的情况。自振特性的测量可以通过跳车或释放等方式进行激振,在拾振器处记录桥梁的随机振动信息,再作频谱处理得到自振频率、阻尼比以及振型等模态信息;受迫振动可通过不同的车辆在不同的速度等级下驶过桥梁来获取其动力系数与车速之间的关系,进而判定汽车行驶时的冲击程度。结构的最低阶自振频率需大于有关规范的规定,从而能够防止共振现象的发生。

1.3 无损检测与健康监测技术

无损检测技术可以在不对结构造成损害的情况下得

出有关结构内部的信息,它是当前桥梁检测的一项重要方法。超声波探伤法可以用于判断混凝土中是否存在缺陷以及判断裂缝的大小,射线检测法适合应用于金属结构的焊接质量检查,红外线热像仪能够发现桥面铺装层下是否存在空洞及漏水问题。无损检测常常需要结合应用几种不同的方式来获得准确的数据并需要有一定经验的技术工人来进行检查,而桥梁健康监测系统的出现使桥梁检测由以往的定期检测转变为现在的实时监测。近三十年来,桥梁健康监测技术由理论研究到工程应用,我国在大跨度桥梁监测方面取得了很大进展,不但对桥梁结构的状态进行了实时监测,还积累了大量工程资料。基于模态的监测系统的设想就是,结构的损坏过程伴随着结构刚度的变化,而造成模态参数的量变;模态参数,特征频率以及特征模式都可以进行测量及描述,进而得到关于桥梁的状态、承载力、剩余寿命等诸多方面的详细信息。光纤传感器、MEMS 加速度计等各种新型传感器已经应用到健康监测系统中来。多点式激光测振仪采用的是激光多普勒振动测量技术,可以无接触式测量物体振动,其测量精度等同于接触式的传感器并且不会对其所测得的结果产生影响。

2 公路钢筋混凝土桥梁试验检测技术的工程应用

2.1 施工阶段的检测应用

施工期间检测贯穿桥梁整个建造过程,在很大程度上是为了保证施工质量,检验设计指标以及防止桥梁结构失稳。在桩基础施工时要检测成孔质量,桩体完整性和单桩承载能力,通常用的方法有低应变反射波法、声波透射法、静载试验等。对于上部结构施工则要检测混凝土强度、钢筋位置偏差及预应力筋张拉控制应力值。而对一些采用悬臂浇筑或者拼装方式建造的大跨径桥梁必须进行施工过程中的监测,需要实时测量线性控制点的高度、重要断面应力状况和索力变化情况。

2.2 运营阶段的检测应用

养护运行期检测是桥梁养护管理工作最重要的基础内容之一。定期检查按要求周期对桥梁的技术状况进行一次全面检查评估并评定出桥梁等级(1~5类),作为养护决策参考。而针对突发事件造成的桥梁受到地震、洪水、火灾等情况影响后所进行的非常规检查以及定期检查中有个别主要组成部件发生较严重的损坏情形的,都必须使用荷载试验、无损检测等专业技术手段来进行详细的评估。桥梁检测工作仅仅看总分还不够,还要重视超限警告信息,如突发荷载、恶劣天气、潜藏隐患以及部分损害等等,这些都很容易因评分因素的考虑不足,在总分还没显著下降之前就出现预警信号对于结构的安全至关重要

要。超限发生时,不论评分高低,都应触发管理与应急措施。

2.3 养护维修与加固中的检测应用

检查结果直接用于指导桥梁维护保养以及加固的选择。对被评为三类及以下的桥梁要针对不同的缺陷类型及其损坏程度采取相应的维修措施,在裂缝修复之前先检测裂缝深度、宽度及发展趋势再决定是否灌浆或者表面封闭。碳纤维加固完之后再再用锤击法或者红外测温仪观察其粘结情况防止出现空洞使得荷载不能够有效传递下去。粘贴钢板加固时也要对钢板与混凝土之间的抗剪粘接力进行检测保证配合使用的效果。在加固施工过程中前后都要做一次承重能力测试来证明加固的效果如何。加固后的桥梁承载力增长量大小可通过加固前后所做的承重能力测试的结果来进行定量分析。对于体外预应力加固体系要对索力以及锚固端变化情况进行检测,评估预应力损失大小以对其进行张拉控制应力的调控,在更换支座时对梁体顶升高度和邻近墩台下沉量的变化值进行监测,保持结构内力重新分布的安全状况。检测技术的应用实现了养护资源配置合理化、养护决策由凭经验转向数据分析的过程。

3 当前试验检测技术存在的主要问题

3.1 检测设备与技术水平的局限性

桥梁作为大型基础设施,长期高强度运行容易产生复杂的病害,老化严重,传统的检测手段准确性不高、速度慢,适用性差。回弹法检测混凝土强度受混凝土碳化深度的影响较大,在老桥中误差较大。超声波检测对于浅表处缺陷及细小裂缝有局限性,不能量化描述缺陷情况。使用了激光雷达扫描、无人机航测等新方法,但是其仪器价格昂贵,数据分析耗时较长导致推广难度大。

3.2 检测数据准确性与评定标准的不足

近几年来,桥梁健康监控系统已经在长大桥梁及中小跨径桥梁群中普及开来,各种健康度指标、状态指数五花八门,在现有的实践当中,定期检测评级和监测评级基本上就是两套体系了,前者依照标准,对各构件病害逐条扣除分数,结论具有一定的可信度,但是耗时较长;后者靠传感器,可以做到即时监控结构响应,但是由于其评分方式往往脱离了规范的要求,不能用于直接做出养护决策。

不同评定标准对于同一个结构的技术状况的判定可能会有所不同,评级结果之间一致性较差,不便于比较;又由于建模准确性很难准确的体现桥梁处于复杂工况下的真实情况,监测设备的耐候能力较低,容易造成失真等问题。

3.3 智能化与数字化检测推广障碍

人工智能以及数字孪生等智能科学技术的应用范围已经非常广泛,但是推广应用仍然存在很多挑战。AI 技术应用于监测预警方面可以依靠大数据、机器学习对异常信号进行快速反应、状态评价,通过深度学习能够集成大量的数据从而做出更准确判断,但是其算法模型的迁移性能及稳定性有待提高。各种检测仪器设备之间通信协议各异导致难以集成多种信息源来建立综合的道路结构体数字模型。传统的公路构筑物的技术状况评价存在着三大难题,一是评价的结果容易被个人主观意志左右,二是采集的数据种类繁多相互之间兼容程度低不利于进一步深入挖掘分析三是出具报告的速度慢不能及时发现高危部件从而影响到维护时间及经费安排。

4 公路桥梁试验检测技术的优化与发展策略

4.1 完善检测标准与评定体系

建立统一的检测评级标准是最基本地保证检测质量的前提。要尽快完善现有评级标准,明确各类桥梁以及不同类别病害的扣分标准细则,尽量排除人为因素的影响。研究定期检测评级和监测评级过渡方式,使得权重评分不再是一串枯燥无味的数据,而是在努力靠近现有的规范评级,使得监测评级的健康状态可以有标尺进行对照。借鉴国外先进标准体系,并根据中国公路桥梁的实际使用情况加以改进,编制更加切合实际情况的技术状况评定规范。

4.2 推进检测装备智能化与集成化

随着智能化技术的发展,桥梁健康诊断将会向着数据整合、多方式监测以及自动判断的方向更进一步。声、光、电等多种方式监测同时开展使用可以大大增加精确度、稳定性。要大力发展无人机巡检系统,便于对高空地方或是危险地带进行快速查看;应用激光雷达、三维扫描仪等技

表 1 检测数据评定标准对比

标准名称	适用范围	评定方法	等级划分	主要不足
《公路桥梁技术状况评定标准》 (JTG/TH21)	公路桥梁	分层综合评定法	1~5 类	主观权重影响大,构件扣分标准有待细化
AASHTO LRFD (美国)	公路桥梁	状况指数法	0~9 分	未完全适应钢筋混凝土桥梁特点
EN 1992-2 (欧洲)	混凝土结构	性能等级法	1~4 级	检测参数不统一,适用性需验证

术建立桥梁结构的精确定位模型；开发一体化检测装置，集多种传感器于一体，实现一次测量获得全部信息。采用 AI 大数据算法可以基于标准对评价条款、评分细则以及权重系数进行结构化处理生成动态规则库，通过对机器学习算法使机器可以准确判断出构造物裂缝、坑槽等类型的病害类型、等级及其具体的位置并自动对应规范条文。

4.3 构建数字化检测与数据管理平台

数字化是提高检测效率及管理水平的有效途径。要建立统一的桥梁检测大数据管理系统，标准化数据采集方式以及传输标准，实现在一个系统内部完成对检测数据的归档存储以及使用。自主决策系统采用基于 AI 算法和专家经验相结合的方法来实现针对设备故障进行自动识别以及维修计划自动提出等功能，从而促使运维管理模式由被动式处理转变为预防性维护。数字孪生可以创建一个虚拟桥梁模型，仿真模拟桥梁结构的变化过程，并结合现场实际检测信息来进行健康状况判断以及生命周期估算等工作。重视对检测数据的长久保存并深入分析应用，建设桥梁病害大数据库，为后续的养护工作提供依据。

4.4 加强专业人才培养与行业管理

检测技术的发展离不开高素质的人才队伍。要加强检测技术人员的技术培训，健全从业资格认证体系，使检测技术人员掌握足够的有关理论基础及实际的操作能力。高校及科研院所应当加强对桥梁检测类课程的学习研究，培养复合型检测技术人员。完善检测机构管理体系建设，建

立检测单位的诚信等级考评体系，整顿检测市场秩序，保证检测工作独立、公正地开展。

5 结语

道路钢筋混凝土桥梁试验检测技术是保证桥梁结构安全可靠、做好维护工作的重要基础，在长期的发展过程中，已经形成了以常规检查为主，加载试验为主体，非破损检测及监测发展的技术框架。现阶段检测技术存在的问题主要有检测设备准确度偏低、评价指标不尽一致、自动化普及困难等现象，必须加强标准化建设力度、加快仪器设备自动化步伐、加快信息化建设进程以及重视人才队伍建设等措施进行系统的建设工作。未来，伴随着人工智能、数字孪生、多感知传感器等技术的相互结合应用，桥梁检测将会向着数据综合分析处理、多种感知信息联合采集分析判断的方向深入发展，给道路交通设施的安全运行提供更加有力的技术支持。

[参考文献]

- [1] 贾慧敏, 赵伟. 高速公路桥梁试验检测技术研究与应用综述[J]. 全面腐蚀控制, 2024, 38(06): 51-53.
- [2] 郑超杰. 公路钢筋混凝土桥梁试验检测技术及应用分析[J]. 运输经理世界, 2023(34): 79-81.
- [3] 王瑞吉, 唐倩. 新型试验检测技术在道路桥梁检测中的应用[J]. 实验室检测, 2025, 3(15): 142-144.

作者简介：严佐庆（1986—），毕业于西北农业科技大学土木工程专业，中级工程师，现就职于新疆北新科技创新咨询有限公司。