

高速公路桥梁改扩建结构耐久性与加固技术研究

王 帅

中南勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430074

[摘要]伴随着我国高速公路交通量不断增加,早期建设高速公路已经不能适应现代社会交通运输发展要求,而对其进行改扩建是目前我国公路建设重要工作内容之一,在此背景下对高速公路桥梁改扩建过程中既有桥梁结构耐久性和加固方法两个主要问题进行探讨十分必要。首先介绍了高速公路桥梁改扩建特点以及原有桥梁服役状态,其次提出一种基于多层次评价指标体系来对改扩建桥梁耐久性进行评价的方法,然后分析造成材料老化、环境腐蚀、疲劳损伤等多种因素相互作用的机制,最后根据这些因素提出了以提高桥梁耐久性为目标来进行改扩建的桥梁加固方案,并给出了从设计、施工、运营维护三个方面全寿命期提高桥梁耐久性的建议。研究表明,根据箍筋计算出的构件耐久寿命小于由主筋计算所得数值,在改扩建过程中,构件剩余耐久年限以箍筋计算值为准。当目标使用年限为100年时,主梁构件可正常使用占比94%,墩柱单元、盖梁单元、桥台单元可正常使用占比分别为67%、11%、44%。该成果可为高速公路桥梁改扩建工程中的结构耐久性评价及加固设计工作起到指导作用。

[关键词]高速公路桥梁;改扩建工程;结构耐久性;加固技术

DOI: 10.33142/ec.v9i6.19842

中图分类号: U448.2

文献标识码: A

Research on Durability and Reinforcement Technology of Highway Bridge Reconstruction and Expansion Structures

WANG Shuai

Central South Survey Design Institute Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430074, China

Abstract: With the continuous increase of traffic volume on highways in China, the early construction of highways can no longer meet the requirements of modern social transportation development. Therefore, the renovation and expansion of highways is one of the important tasks in China's highway construction. In this context, it is necessary to explore the two main issues of durability and reinforcement methods of existing bridge structures in the process of highway bridge renovation and expansion. Firstly, the characteristics of highway bridge renovation and expansion, as well as the service status of existing bridges, were introduced. Secondly, a method based on a multi-level evaluation index system was proposed to evaluate the durability of renovated and expanded bridges. Then, the interaction mechanism of various factors such as material aging, environmental corrosion, and fatigue damage was analyzed. Finally, based on these factors, a reinforcement plan for renovated and expanded bridges was proposed with the goal of improving bridge durability, and suggestions were given to improve bridge durability throughout the entire life cycle from the aspects of design, construction, and operation and maintenance. The research results indicate that the durability life of the component calculated based on the hoop reinforcement is smaller than the value calculated from the main reinforcement. In the process of renovation and expansion, the remaining durability life of the component is based on the calculated value of the hoop reinforcement. When the target service life is 100 years, the proportion of main beam components that can be used normally is 94%, and the proportion of pier column units, cover beam units, and bridge abutment units that can be used normally is 67%, 11%, and 44% respectively. This achievement can provide guidance for the durability evaluation and reinforcement design of structures in highway bridge renovation and expansion projects.

Keywords: highway bridges; renovation and expansion projects; structural durability; reinforcement technology

引言

由于我国高速公路交通量不断增加,早年建设高速公路已不能适应现代社会需要,在今后 30~50 年内,大量高速公路进行改扩建是必然趋势。而既有桥梁是否可以继续利用,应从技术条件、承载能力和剩余使用寿命等方面进行分析。目前大多数学者侧重于从规范角度或者施工方面对相关问题进行研究,例如采用模糊数学方法对桥梁状况、费用、施工难易程度以及剩余使用寿命等进行评价。对于改扩建方案主要有以下三种:全拆重建、最大限度保留原有构件基础上加建、合理评估后区别对待。显然第一种方案会造成极大浪费,第二种方案使得新老构造物使用寿命不同步,而第三种方案能较好发挥原有构造物作用。因此,在既有桥梁改扩建过程中,如何科学地对其剩余耐久年限进行评估,提出合理的可行的可利用性和延长使用寿命的标准,以及采取适当的技术手段使新旧桥梁具有相同的安全性和耐久性是亟待解决的问题。文章以结构耐久性的评价和加固技术为主线,对既有桥梁病害识别与评估、耐久性的影响因素、加固技术及其全寿命期内提升方法等进行了较为系统的探讨和研究,以便更好地服务于既有桥梁在改扩建过程中的妥善处理。

1 高速公路桥梁改扩建工程特征与既有桥梁现状

高速公路桥梁改扩建不同于新建的特点是“新旧结合”。改扩建中,原有桥梁已使用一段时间,部分出现不同程度老化现象,而新增部分按现行设计规范要求进行施工,二者之间在材料、刚度以及沉降等方面均有一定差别,造成新旧结构之间的相互作用显著。从改扩建形式上讲,主要有双侧加宽、单侧加宽及分离式新建三种方式。双侧加宽对称性良好,受力均匀,但是对现有交通影响大;单侧加宽适合地形限制情况,但是需要考虑偏心荷载的影响;分离式新建各自独立,新旧结构互不影响,但是占用土地面积较大。不同的改扩建方式对既有桥梁处理方式也不同:技术状况较好的桥梁可以保留并对原有结构进行加强等措施提高其使用年限,而技术状况较差的桥梁只能拆除后重新修建。既有桥梁的技术状况是决定是否对其进行改扩建的重要依据,在高速公路改扩建过程中对于是否保留原有的桥梁应从三个方面进行分析:总体技术状况、承载力状况以及剩余使用寿命等情况。技术状况为 3、4 级或者 5 级的桥梁不宜在改扩建工程中继续使用;技术状况为 1 或 2 级的桥梁必须对其进行承载力检测,若其承载力不能满足要求还需对比加固成本和拆除成本之后才能决定是否继续使用。改扩建期间,交通导行问题成为影响工程建设的主要问题。如何在不断交或半不断交的情况下进行桥

梁检查、加固以及拼宽施工,对施工技术提出较高要求;另外,改扩建后桥梁所受车辆荷载等级升高,由于拼宽导致桥梁结构形式变化带来环境作用效应的变化也需要计入耐久性评价之中。

2 既有桥梁结构耐久性评估与剩余寿命预测

2.1 材料与环境的耐久性退化机理

混凝土桥梁的耐久性退化是一个复杂的过程,在通常的大气环境中,桥梁结构主要是由于混凝土碳化导致钢筋锈蚀而开裂。混凝土碳化是空气中 CO_2 与水泥水化产物 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 反应生成 CaCO_3 而导致混凝土孔隙液体 pH 下降,在碳化的前锋达到钢筋表面后,钢筋表面的钝化膜被破坏,在有氧及水的情况下发生电化学腐蚀。碳化至钢筋表面剩余寿命可以用碳化预测方法计算得出,碳化率由实际测量碳化结果决定。氯盐侵蚀也是在靠近海边或者使用除冰盐的地方的一个非常重要的原因。氯离子进入到混凝土中,即使混凝土没有碳化,也可以使钢筋表面钝化膜遭到破坏从而产生点蚀。氯离子导致钢筋锈蚀呈区域性较强、发展迅速特点,危害更大。从混凝土碳化到钢筋表面再到构件表面发生锈蚀裂缝所需时间,由达到保护层锈胀裂缝所对应临界钢筋锈蚀程度以及锈蚀速度决定。临界钢筋锈蚀程度与保护层厚度、钢筋直径、混凝土抗压强度等有关。环境因素对耐久性退化起重要作用。温度改变会使混凝土收缩徐变以及各种物质间化学反应速率发生变化;湿度大小会影响碳化及离子迁移所处条件;而反复冻融会使得混凝土内部产生细微裂缝扩大。在杭州湾区域中,结合大量实测数据可以研究出海洋环境下材料退化及冲刷过程。多因素耦合作用下,耐久性退化一般加快,在评价过程中是需要注意的问题。

2.2 剩余使用寿命量化预测模型

剩余使用寿命预测是耐久性评估的主要内容,同时又是改扩建的重要参考。评定单元剩余寿命年限的数值用区间的格式表示,而用区间的最小值代表寿命年限计算结果。如果一个评定单元中包含三个或更多个构件,则该评定单元剩余寿命年限区间的上下限使用均值、标准差结合有 90%可靠度的系数来确定。碳化情况下剩余使用寿命计算方法是:混凝土碳化到钢筋表面的时间减去构件已经使用的年限。混凝土碳化到钢筋表面的时间由劣化模型得出并用现场实测混凝土碳化情况进行调整后得到。碳化系数基于碳化程度检测结果得出。锈胀开裂准则下剩余耐久年限计算需要考虑从碳化到钢筋表面到锈蚀开裂整个过程,在锈胀开裂之前钢筋锈蚀速率决定了这一段时间长短。临界钢筋锈蚀深度与保护层厚度、钢筋直径、混凝土抗压强度

有关。通过对京沪高速改扩建研究发现,根据箍筋计算出来的结构耐久年限小于以主筋为基础计算出的结果,在此情况下,建议采用箍筋进行评估所得到的结果作为结构剩余耐久年限。当目标使用寿命为 100 年时,主梁可以安全使用的比例为 94%,而墩柱单元、盖梁单元以及桥台单元能够正常使用的比例分别为 67%、11%和 44%。这表明在改扩建工程中应注意箍筋耐久性问题,由于其保护层较薄,容易受到碳化以及氯离子侵蚀作用。

3 基于耐久性的改扩建桥梁加固技术体系

3.1 加固设计原则与技术路线

改扩建桥梁加固设计应遵循安全适用、经济合理、耐久可靠、施工简便原则。不同于一般桥梁加固,改扩建桥梁加固还要满足新旧结构共同作用、施工期间交通组织以及与新建部分寿命协调等问题。在改扩建过程中,选用适当延寿手段使原有桥梁能够与新增桥梁具有相同的使用功能和耐久性是保证改扩建工程正常使用的重要因素。加固方案的选择应以原有桥梁可利用程度为依据,在此基础上可以得出不同延寿措施下延寿年限、延寿成本以及可用寿命系数,从而提出从 A 级至 E 级共五个延寿方案。对可用性较好的桥梁进行预防性加固就可达到延长使用寿命的目的;而有明显病害的桥梁则需要专门的加固方案;对可用性差的桥梁则应拆除后重建。

3.2 关键加固方法及其耐久性表现

灌浆法施工技术由于其独特的工作原理以及施工方便快捷的特点,广泛应用于桥梁加固领域。用一定的比例混合灌浆料填充到桥梁结构内部或者缝口处,可以提高桥梁整体刚度,增加桥梁使用寿命及抗腐蚀性能。针对较缝造成的单板受力情况,环氧树脂灌浆料注浆养护方法可以在不停止交通的情况下进行加固作业。全桥同步顶升更换支座的方法是利用全自动同步液压千斤顶将整座桥抬高,在迅速准确地更换新支座并回落以后完成支座零破损更换以及紧密贴合定位。这种方法能够做到不停止交通施工,很好地解决了支座损坏、脱空或者错位的问题,极大地增

强了桥梁的安全性和耐久性。高韧性抗冲击减振降噪伸缩装置采用 S 型曲线面板以及全钢制作,抗冲击提高约 50%,噪音降低 10dB 以上,寿命达到 20 年以上。

3.3 新型智能加固技术发展趋势

新型加固技术的发展趋势是高效、智能、环保。超高性能混凝土(UHPC)由于其高强度、韧性好以及良好的耐久性,在桥梁加固中的应用具有广阔的前景。低交通影响下 UHPC 抗干扰的设计及控制方法、低损耗、高效率的 UHPC-混凝土粘结技术可以达到提高结构性能的同时又不会对交通造成大的影响。智能加固技术是将传感器与加固构件结合在一起,以实现加固效果的监控和调节。在桥梁的重要位置布置精密传感器,建立监控系统,收集结构响应的信息,通过云技术和大数据分析的方法来研究这些信息,从而达到早期发现桥梁缺陷并准确定位的目的。这种以“主动式”加固思想,使加固结构不仅是一个被动受力构件,而且是一个有感知能力智能化系统。旧危桥快速修复及性能改善主要围绕“体系协同转换→性能高效提升→结构快速拆建”三个核心问题进行研究,取得了一系列重要研究成果,包括一系列相关技术和设备以及成套技术规范等,在国内外 300 余座旧危桥中均得到了很好应用。

4 全寿命周期结构耐久性提升措施

4.1 设计阶段耐久性源头优化

设计期是整个寿命周期内耐久性管理工作基础,在改扩建过程中,新旧结构使用寿命应协调一致,不能出现因为使用寿命不匹配而导致频繁维修的问题,在此基础上可以提出既有桥隧延长使用寿命的标准及措施^[1]。在设计期要确定改扩建后桥梁目标使用寿命以及在此基础上提出延长使用寿命要求。耐久性设计包含三方面内容,即材料、构造、保护,其中材料方面宜选用高性能混凝土、环氧涂层钢筋等;构造方面应提高保护层厚度、加强防水排水;保护方面应按环境类别采取相应的涂装保护或者阴极保护等措施。

表 1 关键加固方法及其耐久性表现对比

加固方法	耐久性提升效果	适用部位	施工交通影响	全寿命成本	主要耐久性局限
粘贴钢板法	中等	主梁底面、腹板	较小	中等	胶黏剂老化、界面脱粘
CFRP 加固法	较高	任意部位	小	高	紫外线防护、树脂老化
体外预应力法	高	大跨度梁体	中等	中等	锚具腐蚀、转向块耐久性
增大截面法	高	墩柱、主梁	较大	低	新旧混凝土界面、收缩差
灌浆法	中等	裂缝、空腔	小	低	灌浆材料收缩、界面粘结
全桥同步顶升支座更换	高	支座系统	不中断交通	中等	顶升系统同步性

4.2 施工阶段新旧结构连接耐久性控制

新旧结构连接部位是改扩建桥梁最易出现问题的地方,也是对耐久性要求最高的地方^[2]。施工过程中需要注意的是:旧结构连接面清理彻底,不能有浮浆、油污、松散层;植筋或者锚栓位置准确,不能出现偏差以及注浆不饱满现象;混凝土浇筑质量要好,不能出现蜂窝、麻面、裂纹等问题;养护条件要满足,以保证新老混凝土之间紧密结合。铰缝注胶加固可以在不停止车辆通行情况下进行铰缝修补工作,环氧树脂灌浆料渗透性强并且粘接力强。超早强型水泥基灌浆料在施工现场可以快速配制,流动性佳并且能够自行填充空隙,可以做到半幅施工不下封闭道路的情况,保证交通正常运行。这些新型材料的应用,为施工阶段耐久性控制提供了技术支撑。

4.3 运营维护阶段智能化养护管理

运营维护阶段的智能化养护是全寿命周期管理最后一环。桥梁健康监测系统实现了由传统的“定期检查、凭经验判断”的被动方式转变为“实时监测、数据分析指导下的及时维修”。系统利用传感器收集桥梁受力及结构响应信息,定量分析桥梁健康状况,使每一点微小的变化都无所遁形^[3]。通过对大量数据的研究可发现环境影响下材料老化以及冲刷变化趋势,开发必要的检测手段,制定预防性养护措施,把研究成果写入到养护手册中。无人机智能巡检系统结合了人工智能大模型深度学习能力可以识别出桥梁照片上存在的问题。养护方法由“定期更换”变

为“按需更换”。通过对索力以及振动等进行长期跟踪观测并结合内部锈蚀、断丝检查来判断构件真实情况,从而达到从“定期更换”到“按需更换”,这将大大增加桥梁寿命并且节约整个寿命周期内养护费用。

5 结语

高速公路桥梁改扩建工程包含新建和利用的关系、安全和经济的关系、近期需要和远期发展的关系。而本文主要从结构耐久性和加固技术两方面进行论述,总结分析了改扩建的特点、现有桥梁评价的方法、耐久性的影响因素、加固的技术以及全寿命提高的方法。研究认为合理的可用性和剩余使用寿命计算方法是进行改扩建的前提条件,以耐久性为基础的加固技术体系可以保证新旧结构有相同的寿命,全寿命的思想要渗透到设计、施工、维护等各个阶段。随着智能检测监控技术的发展以及新型材料的应用,未来高速公路桥梁改扩建工程会更加安全、可靠和环保。

[参考文献]

- [1]任捷.公路桥梁加固中的灌浆法施工技术[J].中国科技信息,2024(8):77-79.
- [2]赵尚传,左新黛,王少鹏.改扩建高速公路桥梁可用性评判与延寿准则[J].公路交通科技,2024,41(9):132-140.
- [3]陈可.铰缝注胶加固技术在单板受力桥梁养护中的应用[J].交通世界,2023(35):119-121.

作者简介:王帅(1992—),男,汉族,黑龙江宁安人,工程师,毕业于吉林省建筑大学,本科,现主要从事桥梁设计。