

高速公路桥梁加宽改造设计与结构优化研究

王 帅

中南勘察设计院集团有限公司, 湖北 武汉 430074

[摘要]由于早期建设的四车道高速公路已接近饱和状态,在此基础上对现有桥梁进行加宽是提高公路网服务水平的重要途径。总结了高速公路桥梁单侧、双侧以及分离式的三种加宽形式,从加宽方案选择、新旧结构连接方式、横向拼接构造、基础与下部结构加固、桥面系及附属设施等几个方面阐述了加宽设计的技术要点。随后介绍了桥梁结构改进设计的方法,即结构受力特点研究、有限元法的应用、结构尺寸优化、新材料使用及耐久性和抗震性的改善措施等。研究表明,合理选择连接方式以及控制不均匀沉降是加宽的关键,而采用 UHPC 等新材料也对提高结构性能起到良好作用。

[关键词]高速公路;桥梁加宽;新旧结构连接;横向拼接;结构优化

DOI: 10.33142/ect.v4i5.19786

中图分类号: U448.5

文献标识码: A

Research on the Design and Structural Optimization of Widening and Renovation of Highway Bridges

WANG Shuai

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

Abstract: Due to the early construction of four lane highways approaching saturation, widening existing bridges on this basis is an important way to improve the service level of the highway network. This article summarizes three types of widening forms for highway bridges: single-sided, double-sided, and separated. It elaborates on the technical points of widening design from several aspects, including widening scheme selection, new and old structure connection methods, transverse splicing structure, foundation and substructure reinforcement, bridge deck system, and ancillary facilities. Subsequently, the methods for improving the design of bridge structures were introduced, including research on structural stress characteristics, application of finite element method, optimization of structural dimensions, use of new materials, and measures to improve durability and seismic resistance. Research has shown that selecting appropriate connection methods and controlling uneven settlement are key to widening, and the use of new materials such as UHPC also plays a good role in improving structural performance.

Keywords: highway; bridge widening; connection between old and new structures; horizontal splicing; structural optimization

引言

伴随我国高速公路建设由数量型向质量型转变,早年修建的四车道高速公路无法适应日益增长的交通量,而对桥梁进行加宽则是改扩建的一项重要工作内容。桥梁加宽不同于新建桥梁,最大的难点就是新旧结构之间的共同作用问题,在公路改扩建过程中旧桥拓宽会带来新旧桥梁之间衔接以及两者之间位移等问题,所以新旧桥梁拼接方式的选择至关重要。由于新旧桥梁建成年代不同,混凝土徐变收缩、地基沉降等因素都有所区别,这种区别会导致在连接处产生额外应力,如果处置不合理,会造成桥面纵向裂缝甚至危及整座桥梁的安全。在高速公路扩建过程中,常用的桥梁加宽方法为“上连、下不连”横向加宽,但是

由于新旧桥龄不同而造成的影响会使新旧结构之间存在一定的相互影响,在新旧结构内部产生约束力,从而导致加宽后的连续梁端发生较大的水平位移。因此对高速公路桥梁加宽进行设计及优化非常必要。

1 高速公路桥梁加宽改造的主要类型与形式

高速公路桥梁加宽按新旧桥梁空间位置不同可分为单侧加宽、双侧加宽及分离式加宽三类。单侧加宽只在一侧原有桥梁上增加新的结构,适用于桥位两侧空间条件不对称的情况,优点是减少了对原有桥梁的影响,但是新增部分荷载偏心会使原有桥梁受力发生变化。长深高速河惠段改扩建工程中的新丰江大桥以及东江大桥均采用单侧加宽方式进行改造,原计划将原有的双向四车道改为单向

四车道通行,在原有桥梁左右两幅桥面上原先有支撑护栏的翼缘板处有 30~40cm 的距离。双侧加宽是在原有桥梁两侧分别增加一部分结构,从而使新老桥梁成为一个整体的整体式断面,受力均匀、断面规整,是目前高速公路改扩建中最常用的方法。分离式加宽是新建桥梁与原桥梁结构上相互独立,只有桥面相连,适合原桥状况较差或者结构差别较大的情况下使用。而在加宽方式的选择上要结合桥梁的具体情况,如简支梁桥、连续梁桥、刚构桥等不同类型桥梁在加宽过程中所受到的影响以及施工难度都各不相同,需要根据具体情况来确定其加宽方法。

2 高速公路桥梁加宽设计关键技术

2.1 加宽方案比选与设计原则

加宽方案选择是根据结构受力情况、耐久性要求、施工难易程度和费用等因素进行比较确定。一般有上部结构连接下部结构连接、上部结构连接下部结构不连接以及上下部结构均不连接等几种方式。从设计角度出发,在满足结构安全的前提下,尽量选用结构受力简单、适应能力较强的结构形式并且充分利用原有桥梁结构的优势,减少不必要的拆除工程量。对于原桥存在的一些问题,在加宽之前应对其进行必要的处理。桥梁加宽之后每片主梁所承担的弯矩在装配式 T 梁桥和空心板梁桥中都比原来的要小,因为梁的刚度越大它所能承受的荷载也就越大,所以加宽以后整个桥梁的承载力会提高。此外,在方案选定上必须考虑到施工期间不能影响交通情况,合理安排施工顺序以及采取临时支撑措施保证加宽过程中结构及行车安全。

2.2 新旧结构连接方式设计

新旧结构连接方式是桥梁加宽工程中最主要的技术难题,也是影响新旧桥梁能否良好协调工作的关键因素,在不同类型的桥梁上部结构中,其连接方式也有所不同:对于钢筋混凝土实心板桥和预应力混凝土空心板桥来说,新旧板梁之间的拼接可采用铰接或者接近铰接的方式;而对预应力混凝土 T 梁或者组合 T 梁板,则新旧 T 梁之间拼接可采用刚性连接;对于连续箱梁桥而言,新旧箱梁之间拼接则可采用铰接连接。刚性连接是在翼缘板内设置钢筋后浇筑混凝土使新旧结构成为一个整体,一般用于新旧

桥台基础沉降量较小且两种结构类型接近的情况下使用。铰接连接用湿接缝结合混凝土实现横向连接,在拼接处附近对主梁受力影响较大^[1]。而结构分离是在新老桥之间设置纵向伸缩缝或者用钢板包边,新老桥各自承担自身荷载,可以防止由于不均匀沉降以及收缩徐变不同造成的附加应力等。不同连接方式比较如表 1 所示。

2.3 横向拼接结构设计要点

横向拼接结构是新旧桥上部结构连接的重要组成部分,在设计中主要考虑如何使荷载能够良好地横向传递以及二者之间能够良好地协调变形。而对于大跨度混凝土连续梁桥,加宽后连续梁梁端有较大横向位移,甚至造成箱梁梁端一侧防震挡块压溃,出现防震挡块开裂、支座损坏等现象,随着桥梁跨度增大该问题愈加严重。为克服上述问题,一种新的波形钢板拼接方式被提出。利用波形钢板拼接可有效防止梁端截面横向偏移变形过大而导致的问题,适用于更大跨径混凝土连续箱梁桥拓宽工程中使用并且施工速度更快。研究表明,用传统的混凝土拼接方式对旧桥内侧翼缘板进行拼接,在最不利荷载的作用下其产生的最大拉应力为 4.557MPa,远远超过 C50 混凝土的抗拉强度,而用波形钢板进行拼接时的最大拉应力仅为 2.510MPa,在允许范围之内,所以波形钢板拼接拓宽结构的总体受力情况要比传统的混凝土拼接结构好得多。

2.4 基础与下部结构加固设计

桥梁加宽后,新旧基础之间必然会产生沉降差值,造成上部结构接头处出现裂缝。基础以及下部结构加固的目的在于防止不均匀沉降,增强下部结构承载力。基础加固的方法主要有扩大基础加固法、增设桩基法和地基注浆加固法等。扩大基础加固法适合于基础承载力不足或者埋置过浅时使用,在扩大基础上面积大小应根据地基承载力进行计算。当墩台承载力不足时,可以采取墩台盖梁挑出悬臂加宽的方法,利用原有桥梁的基础,在原有的墩台上部增加一个盖梁即可,墩台身及基础不需要加固。在基础加固设计方面,宜采取“以上部连接、下部分离为主”的拓宽方式,在可能情况下让新旧基础各自承受荷载从而减少两者之间的影响,另外根据拼接缝施工时间来控制,等新桥基础沉降基本稳定之后再行上部结构连接。

表 1 新旧桥梁连接方式对比

连接方式	适用桥型	连接刚度	受力特点	主要优缺点
刚性连接	预应力混凝土 T 梁、组合 T 梁	大	整体性强,荷载横向分布均匀	整体性好,但对不均匀沉降敏感
铰接连接	空心板桥、连续箱梁桥	中	应力分布均匀,整体应力水平低	能传递剪力,附加应力问题突出
结构分离	结构差异大的桥梁	小	新旧结构独立受力	互不干扰,但桥面易开裂打滑

2.5 桥面系及附属结构设计优化

桥面系以及附属构造物设计优化对提高加宽后桥梁行驶平顺性和平整度有重大意义。桥面铺装层要能够满足新老桥之间位移要求,在铺筑时使用质量较高铺装材料以减少裂缝产生数量。伸缩缝设置要符合新老桥之间纵向位移情况,对于位移较大桥面处伸缩缝可采用梳齿板或者模数型伸缩装置^[2]。护栏在加宽过程中也要进行全部更换,在旧桥左右两侧之间有空隙情况下可以将这两部分各自独立桥梁通过横向连接变成一个整体。传统的桥梁改建工程中,在旧桥左右幅之间有 30~40cm 宽翼缘板缝隙处,一般是保留或者更换护栏,但是用“刚性缝合”的方法可以将这两座独立的桥体连接在一起成为一个整体。在施工之前用水射流的方法把翼缘板上的混凝土凿除一部分,插入加密钢筋让两座桥初步连接,然后使用抗压强度达到 130MPa 以上的超高性能混凝土浇筑,这个强度是普通混凝土的 4~5 倍。

3 桥梁结构优化设计方法

3.1 结构受力特性分析

加宽桥梁受力性能相比于原有桥梁发生了很大改变,主要是由于荷载横向分布发生变化及新旧桥之间相互影响所导致。加宽桥梁整体刚度增加,荷载横向分布更加均匀。新桥混凝土收缩徐变引起较大附加应力,对桥梁安全不利,但随着时间推移这种附加应力会逐渐减小。新旧桥之间由于材料收缩徐变差异以及新旧基础沉降差异造成的效应是造成拼宽混凝土桥梁长期受力状态的主要原因。因此,在设计中应适当延长新梁存放时间,从而降低由于收缩徐变不同所带来的影响,在施工过程中可适当延长存放时间和推迟施工时间来降低收缩徐变以及基础沉降不同给桥梁带来的不利影响。

3.2 有限元分析在优化设计中的应用

有限元分析是桥梁加宽优化设计的重要手段,可以计算出新旧结构所承受荷载以及二者之间的相互作用关系。利用有限元数值模拟的方法,在混凝土简支 T 梁桥拓宽之后建立新的桥梁数值模型,可以研究不同的横向连接方式对于桥梁的影响;使用实体有限元软件 MidasFEA 建立拓宽前后的箱梁有限元模型,可以考察由于新老桥收缩徐变不同、新桥工后沉降不同以及车辆活载等因素造成的新老箱梁受到的不同影响。利用有限元软件 ANSYS 及 Midas Civil 对新建桥梁进行荷载试验分析,得到各主梁横向分布系数,在装配式 T 梁桥以及空心板梁桥中均低于原有旧桥,通过对有限元进行计算可优化横向拼接尺寸等,

以便于方案比较。

3.3 结构参数优化方法

结构参数优化是在保证结构安全及使用功能基础上,尽量减少所用材料以及成本。需要优化参数包括新旧梁截面尺寸、连接处配筋率、拼接缝宽度以及施工顺序等。通过对新型拼接结构构造参数进行研究分析其对拓宽结构影响,可得出一种较为合理的波形钢板拼接结构参数配置方式。优化设计要以“强连接,弱约束”为设计理念,在满足荷载可靠传递情况下尽量降低约束应力给结构带来不利作用^[3]。而在参数优化中还要考虑到新旧结构因材料收缩徐变、温差变化和地基差异沉降等因素而产生的不同位移,要求最适参数。

3.4 新型材料在加宽改造中的应用

新型材料的应用为桥梁加宽提供了新思路。超高性能混凝土是一种新型水泥基复合材料,它具有很高的力学性能以及良好的耐久性,与传统的混凝土桥梁相比较而言,超高性能混凝土桥梁强度大,不易开裂,降低了桥梁自身的质量,有利于装配式施工,而且具有很好的耐久性;另外,将超高性能混凝土用于已有的桥梁进行加固或者拓宽中,施工简单方便,也能够大大延长已有桥梁的使用寿命。南中大桥加宽是世界上第一座中央索面的大跨度混凝土斜拉桥加宽工程,无经验可供参考,研究人员经过成千上万次实验研究攻克了新旧结构共同工作以及钢斜撑连接等问题。建设者要解决两个难题:一个是实现钢结构毫米级精准定位及焊接,保证新老桥严丝合缝;另一个是进行大范围、高质量现浇新型轻质超高性能混凝土施工。此外,沪武高速美玉公路支线高架桥是第一次在国内桥梁上大量使用 C180 超高性能混凝土,也打破了以往 UHPC 用于桥梁工程的最大强度纪录。

3.5 结构耐久性与抗震性能优化

加宽后的桥梁耐久性和抗震能力直接影响整个桥的安全使用年限,在耐久性上,新老结构交接处是薄弱环节,新老桥梁因为混凝土龄期不同造成的收缩徐变差异,在拼接处会产生较大附加内力,需要采取适当构造处理方法和施工措施来防止其不利影响。新旧桥梁材料收缩徐变差异以及新旧桥梁基础沉降差异对拼宽混凝土桥梁长期受力影响最大,可以适当增加新梁存放时间、合理确定拼接时间或者使用高质量拼接材料以降低长期不利影响。对于抗震性能,在加宽以后桥梁的质量分布及刚度分布发生改变,因此需要对其进行重新评价。而采用传统的连接方式进行多跨连续混凝土箱梁桥加宽施工时,由于梁端会有很大侧

向位移, 所以会导致抗震挡块受到梁腹板压力而产生裂缝^[4]。针对此问题可以研究新型连接方式提高桥梁抗震性。滑动式横向接缝可以在新旧桥箱梁两片相邻桥面板之间实现纵向相对移动, 从而减小梁端侧向位移, 大大改善加宽过程中梁体之间适应性, 使整个结构更具有良好的力学特性和安全性。

4 结语

高速公路桥梁加宽是路网扩建的一个重要方面, 在加宽过程中涉及加宽方案比较、新老结构衔接、横向拼装构造、基础处理以及桥面系改善等一系列的技术问题。而新老结构如何连接以及防止不均匀沉降成为加宽的关键所在, 刚性连接、铰接连接以及结构分离这几种方式各有利弊, 应结合实际情况进行选择。波形钢板拼装、UHPC 的应用等新技术对于解决大跨度桥梁加宽问题起到积极的作用。有限元软件是进行结构设计的一种强有力的手段, 通过对参数调整可以更好地提高加宽桥梁的整体质量。伴

随着新型材料不断出现以及数值分析方法不断完善进步, 高速公路桥梁加宽改造设计也将越来越精细、智能化, 在现有交通运输设施改善中起到良好作用。

[参考文献]

- [1]孙鹏.高速公路加宽工程新旧桥梁拼接设计的施工技术[J].城市建设理论研究(电子版),2025(28):147-149.
- [2]蒋彦鹏.公路桥梁加宽与拼接技术研究[J].山西建筑,2023,49(5):138-141.
- [3]沈理斌,高小妮,郝朝伟.高速公路改扩建桥梁加宽技术适用性研究[J].北方交通,2025(2):18-20.
- [4]吴燕莉.高速公路改扩建工程桥梁加宽方案设计与比选[J].交通世界,2021(35):115-116.

作者简介:王帅(1992—)男,汉族,黑龙江省宁安市,工程师,2015年6月毕业于吉林省建筑大学,本科,现主要从事桥梁设计。