

# 公路旧桥无缝化改造技术

林上顺<sup>1,2</sup>, 林文<sup>1,2</sup>, 欧智菁<sup>1,2</sup>, 陈盛富<sup>1,2</sup>

(1.福建省土木工程新技术与信息化重点实验室, 福建 福州 350118; 2.福建工程学院 土木工程学院, 福建 福州 350118)

**摘要:**公路桥梁的伸缩装置是桥梁结构中最脆弱、最容易损坏、而且修复困难的部件。文章综述了国内外无伸缩缝桥梁的发展历程,以及国内旧桥无缝化的工程案例及相关研究;总结了国内旧桥无缝化改造的常用设计方法,介绍了桥墩、桥台处的无缝化构造处理技术;同时对旧桥无缝化技术的工程意义、应用前景、存在问题进行分析,表明对旧桥进行无缝化改造可提高其承载力、行车舒适性和抗震性能,具有广阔的应用前景和重要的经济价值,也指出今后研究的方向和可能存在的技术难题。

**关键词:**无伸缩缝桥梁;旧桥;病害;无缝化改造;承载力

**中图分类号:** TU318

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1672-4348(2017)03-0205-05

## Jointless reconstruction technology of old highway bridges

Lin Shangshun<sup>1,2</sup>, Lin Wen<sup>1,2</sup>, Qu Zhijing<sup>1,2</sup>, Chen Shengfu<sup>1,2</sup>

(1. Fujian Provincial Key Laboratory of Advanced Technology and Informationization in Civil Engineering, Fuzhou 350118, China;

2. College of Civil Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

**Abstract:** The extension device of a highway bridge is the most vulnerable part of bridge structure, which is difficult to repair. The development process of domestic and foreign jointless bridges as well as the engineering cases of old jointless bridge and other related research were reviewed. Domestic common design methods of the jointless reconstruction of old bridges and the treatment technology of the jointless structure of the bridge pier and abutment were described. The engineering significance, application prospects and problems of the old bridge jointless reconstruction technology were analysed. The results show that the jointless reconstruction of the old bridges can improve the bearing capacity, driving comfortability and seismic performance of the bridges. The direction of future research and the technical problems in the reconstruction were discussed.

**Keywords:** jointless bridge; old bridge; disease; jointless reconstruction; bearing capacity

## 1 概述

我国大量在役桥梁在运营多年后,其主体结构多未见明显退化,但设置在桥台处的伸缩装置却成为修复和更换最为频繁的易损构件。伸缩缝维修时,通行车辆的冲击会影响混凝土的硬化,常导致维修效果不理想,甚至需要频繁修补<sup>[1]</sup>。

近年来,随着交通量的快速增长,公路路面及桥面需要定期养护,其中罩面法是最为常用的养护方案,但对伸缩装置进行罩面施工难度较大,而且施工后容易造成旧桥高程与新路面、桥面高程不一致。采用罩面法对伸缩装置提升改造,不仅施工难度大、成本高,而且工期长。因此,旧桥伸缩装置的处理已成为罩面施工的棘手难题。

收稿日期: 2017-03-25

基金项目: 福州市科技局市校合作项目(2016-G-62)

通讯作者: 林上顺(1972-),男,福建永泰人,高级工程师,博士,研究方向:道路、桥梁。

20 世纪 70 年代, Henry Detrick 提出了“没有伸缩缝就是最好的伸缩缝”的哲理性概念。无缝桥取消了伸缩缝、伸缩装置,消除了伸缩缝带来的跳车问题,提高了结构的整体性和耐久性,其优越的使用性能和零维护的设计目标使其在很多国家得到广泛的应用和推广<sup>[2]</sup>。

近年来,我国已成功对一些旧桥进行无缝化改造并修建了一批无伸缩桥梁。为进一步推动旧桥无缝化改造技术在我国的应用与发展,本文对近年来改造成功的工程案例及相关研究进行综述,并对今后的研究工作进行展望。

## 2 无伸缩缝桥梁的应用与发展

整体式桥台无缝桥已有 80 年的历史。据统计,美国已有的整体式桥台桥梁约 9 000 座,其中位于田纳西州 50 号公路上的整体式桥台混凝土桥长达 358.2 m。2005 年,加拿大安大略省在建桥梁中,近 60% 采用整体式桥台桥梁。这种桥型也已经在英国、澳大利亚、日本、伊拉克、新西兰、法国、瑞士、意大利、瑞典等国家得到广泛应用,涉及钢桥、混凝土桥梁、组合桥梁等,并已成功应用于直桥、斜弯桥的建设<sup>[3]</sup>。

我国在无缝桥的应用与研究方面起步较晚。20 世纪 90 年代末,湖南大学邵旭东、福州大学彭大文开始研究无伸缩缝桥梁<sup>[3-4]</sup>。此后,金晓勤、邵旭东等<sup>[5]</sup>继续开展了全无缝桥梁的研究,将无缝桥梁与无缝接线路面相结合,取消了桥梁桥面与接线路面间的伸缩缝,在半整体式全无缝桥的主梁与下部结构之间设置支座;王明昞、马永春、邵旭东等对半整体式全无缝桥梁接线路面拉伸力学特性和台后主动土压力计算方法等问题进行研究<sup>[6-8]</sup>。近期,福州大学在浙江、河北、福建等地开展多座无缝桥的设计及旧桥的无缝化改造工作。Bruno Briseghella<sup>[9]</sup>对整体式桥台桥梁的极限长度进行研究,结果表明:考虑桥墩的转动能力和桥台的承载能力时,极限长度可达 540 m;考虑温度位移产生的疲劳影响时,极限长度可达 450 m。云南省交通规划勘测设计院、江苏省交通科研院、湖南大学、浙江公路水运工程咨询公司等单位也陆续开始了半整体桥无缝桥和其他类型无缝桥的研究与应用,并已建成多座无缝桥梁。

## 3 旧桥无缝化技术

### 3.1 旧桥无缝化工程案例及相关研究

近 10 年,我国已建造的公路桥梁、市政桥梁,其中有近半数旧桥出现伸缩缝和伸缩装置的病害,亟需进行改造、修复。一些旧桥的无缝化改造已经开展,并进行了相关研究,以下简要进行综述。

邵旭东对广东清远市龙塘桥进行无缝化改造。该桥为 10 跨不等跨的简支梁桥,全长 109.2 m,上部结构为钢筋混凝土 I 梁+微弯板结构,下部结构为重力式墩台、扩大基础。该桥的改造采用半整体式全无缝桥梁的方案,取消了梁端与桥台之间的伸缩缝,凿低了旧桥桥台背墙高度,加设 5.5 m 长搭板,使得搭板跨过背墙与主梁紧密联系。同时,更换了桥梁支座,但梁体与桥台之间仍采用铰接。经过近两年的运营后,对该桥技术状况进行全面观测,未发现任何桥梁部件开裂、接线路面损坏等情况,也无桥头跳车现象<sup>[10]</sup>。

Dualuse 桥是新加坡建于 1968~1970 年间的一座跨越潮汐河流的预应力混凝土梁桥,全长 18.16 m。该桥上部结构为预制先张预应力倒 T 梁,下部结构为钢筋混凝土悬臂墙板式桥台、钢筋混凝土方桩基础。进行旧桥改造时,将原有的简支梁桥改造为主梁与桥台刚接的整体式桥台桥梁,取消了伸缩装置,提高了该桥的承载力和行车舒适性。

刘凯舟<sup>[11]</sup>以一座跨径 13m 的简支梁桥无缝化改造工程为研究背景,分析在不同性质的桩周土作用下结构体系的受力规律,总结了整体式桥梁在结构受力方面的优势与局限性。

陈华辉<sup>[12]</sup>详细介绍了石嘴山至银川高速公路的二号排洪沟中桥的设计方案和施工工艺。桥梁全长 86m,上部结构采用 4 孔跨径为 20 m 的预应力混凝土连续箱梁,下部结构采用柱墩、肋式台,钻孔桩基础。该桥的改造采用新型半整体式全无缝桥梁体系,取消了主梁与桥台之间的伸缩缝,将主梁、搭板、接线路面进行无缝连接。

Briseghella 等<sup>[13]</sup>对国内外既有桥梁的伸缩缝和支座病害情况进行调查,并对推进我国既有桥梁的无缝化改造的意义、优势进行分析,同时对世界各国所采用的无缝化技术和桥梁改造实例进行介绍。

董桔灿等<sup>[14]</sup>对某多跨空心板桥进行了无缝化改造。该桥上部结构为跨径 16 m 的三跨简支空心板,下部结构为双柱式桥墩、桩柱式埋置式、钻孔灌注桩基础。进行无缝化改造时,将预制的简支空心板改为先简支后连续结构,取消桥墩处伸缩缝和全桥的支座,将上、下部结构通过钢棒连接,实现全桥整体化改造;凿低桥台背墙高度,台后设置搭板并与主梁、整体式桥台通过主筋相连接。

丘能<sup>[15]</sup>以福州某桥为原型,进行外包半整体式桥台桥梁的试设计,并建立全桥三维有限元模型进行关键部位的受力性能分析,为中小型桥梁的无缝化改造提供新的思路。

庄一舟<sup>[16]</sup>对福建漳州十里桥(空心板简支梁桥)进行无缝化改造。该桥上部结构为 6 孔跨径 16 m 的简支空心板,下部结构采用重力式桥墩、扩大基础,桥长 111.85 m。通过在墩顶设置端横梁,将简支结构转换为连续结构,并对单、双支座模式的选取进行分析。

## 3.2 旧桥无缝化设计

### 3.2.1 旧桥资料的收集

与新建桥梁不同的是,开展旧桥无缝化设计时,首先要对旧桥的现状进行调查与评价,根据旧桥的技术状况确定拆除旧桥或对旧桥进行改造设计方案。因此,旧桥的改造与加固密不可分。

从设计角度而言,旧桥改造不仅要收集桥址附近的地质、水文、通航、地物(含道路、建筑物)等资料,还要对旧桥的位置、高程等进行详细的测量,才能开展具体的改造工作。

### 3.2.2 旧桥关键构件的承载能力评估

旧桥的连续化改造与先简支后连续的新建桥梁有相似之处,但旧桥已运营多年,其桩基等基础变形已经基本完成,多跨超静定结构的基础沉降引起的次内力问题已经基本消失。但旧桥改造将使旧桥上下部结构的受力状态发生变化,需要进行详细的计算分析,才能制定合理的旧桥改造方案,使改造后的桥梁受力性能符合现行的规范要求。然而,由于一些旧桥原始资料的缺失,以及旧桥混凝土表面碳化、钢筋出现锈蚀引起的材料力学性能的退化、超载车辆引起的旧桥结构损伤等不确定性等因素,使旧桥无缝化改造的设计计算将面临更多复杂的技术难题。

### 3.2.3 桥台处无缝化

我国既有桥梁的桥台多采用刚性扩大基础或刚度较大的钢筋混凝土桩基础。若采用整体式桥台改造,将旧桥的上部结构与下部结构连为一体,上下部结构受力状态发生很大改变,其基础很难适应上部结构伸缩变形,一般不宜采用。

若采用半整体式桥台改造,需要凿除旧桥伸缩缝位置台后搭板、背墙顶面、主梁端部桥面或端横梁的部分混凝土并保留钢筋,并在端横梁与桥台之间设置铰,仍保留原有的支座,对旧桥的结构受力影响不大,在施工工艺上较之改造成整体桥要简单些。因此,半整体式桥台无缝桥是旧桥无缝化改造的主要桥型。

采用半整体式桥台进行旧桥改造或采用延伸桥面板桥台进行旧桥改造,下部结构仍然保留原来的桥台和支座,施工简便、成本低廉,且可通过调整背墙的高度,使台后搭板与原桥面板顺接,实现桥台无缝化。为了使桥面系统在温度作用下能自由变形,可在背墙顶设置滑动层。

### 3.2.4 桥墩处无缝化

多跨简支梁桥各跨之间的无缝化,可通过桥面板和结构的连续来实现。若采用桥面连续方案,需凿除旧桥桥面铺装的部分混凝土,并在桥面连续范围内增设抗拉钢筋,以承受车辆荷载等引起的负弯矩,避免横向裂缝的出现。采用结构连续方案进行旧桥改造时,旧桥主梁的结构形式从简支梁转换为连续梁,控制设计截面的内力分布将发生明显变化。目前国内已有一些实桥采用结构连续的方法进行无缝化改造,如文献[16]中福建漳州十里桥的加固改造工程,文献[17]中一座 7 m×20 m 的钢筋混凝土简支 T 梁桥的加固改造工程。

### 3.2.5 施工交通组织

与新桥的施工不同,旧桥的无缝化改造常在通车的状态下进行,桥梁结构仍需承担较大的交通负荷,而且施工时还可能遇到操作空间受限等具体问题。因此,制定合理的施工方案,确保改造期间施工的安全与快捷,以及车辆的顺利通行,也是旧桥无缝化改造的技术难点之一。

## 4 展望

### 4.1 旧桥无缝化的工程意义

国外很早就开始对既有多跨桥梁进行简支梁

桥到连续梁桥的改造和转换。20 世纪 60 年代,美国威斯康星州和马萨诸塞州开始进行桥梁的无缝化改造。2004 年美国 30 个交通部门中有 11 个对一些多跨简支梁桥进行了连续化的改造。

旧桥的无缝化不仅解决了伸缩缝带来的病害与维修更换问题,还可改善行车的平顺性,减少车辆的冲击和延长桥梁使用寿命。同时也可提高桥梁结构承受灾害事件的能力,例如地震发生时,可避免落梁情况的发生。1971 年美国旧金山地震中的桥梁损坏情况调查结果表明,无伸缩缝桥梁具有良好的抗震性能。日本的试验研究也表明,当整体式桥台快速震动时,被动土压力可吸收大量的能量。

对于有缝的弯斜桥而言,其主梁受到弯扭耦合作用,易在伸缩缝处出现主梁偏位、支座脱空等病害。取消旧桥的伸缩缝和伸缩装置,并将搭板、主梁、桥台连为一体,搭板能对主梁压重并进行约束,可避免传统弯斜桥常见的病害,提高桥梁的行车舒适性、安全性,降低维护成本。

公路运营多年后,路面难免出现一些病害,需要定期修补。在进行路面修复的过程中,将改变旧路的高程,然而伸缩装置的标高很难改变,这就造成路面、桥面的罩面施工在伸缩装置处难以处理,给路面的定期养护带来很大的困难,因此有必要对旧桥进行无缝化改造。

20 世纪 50~90 年代,我国修建了大量的装配式简支梁桥。随着运营年限的增加及交通的发展,大量此类桥梁面临承载能力下降,难以适应频繁的车载甚至超载车辆的运行,亟需进行升级改造。国内已有一些旧桥的无缝化改造采用了简支改连续的方案,现场试验和理论分析表明改造后的桥梁承载力显著提高,行车舒适性也大大增加。实践证明,旧桥的连续化改造是提高旧桥承载能力和安全性能的一种切实有效的措施。

## 4.2 研究展望

旧桥运营多年后,主梁的混凝土收缩徐变已基本完成,基础沉降以及构件之间的非弹性变形也基本完成,其纵桥向变形比新建桥梁小很多,因此适合于进行无缝化改造。然而,旧桥的改造与新桥的建设不同,存在诸多具体困难。

一些旧桥的设计资料、竣工资料不完整,甚至没有设计资料和地质资料,桥梁结构的跨径、详细尺寸等还需要进一步进行测量,结构的配筋情况、

台后填料的物理力学性能、基础的埋置深度以及所处的土层情况等往往不明确,进一步加大了旧桥无缝化设计的难度。因此,今后需要加强旧桥承载能力评估等相关问题的研究。

当温度发生变化时,有缝桥的主梁等上部结构所发生的纵桥向伸缩变形,将通过伸缩装置进行消化吸收,其桥台后的土体不易出现被动土压力,土压力的计算以主动土压力为主,其计算方法与挡土墙的结构设计计算类似。因此,我国现行规范给出了有缝桥台后土压力的计算方法,不考虑台后被动土压力的计算。对旧桥进行无缝化改造后,上部结构由于温度作用所产生的伸缩变形对桥梁上下部结构受力均产生较大的影响,桥台将受到被动土压力作用。因此,需要进一步对旧桥的温度变化模式、温度作用下变形吸纳机理、台-土相互作用机理、以及结构的传力机制、承载力计算方法等问题进一步开展研究。

对于采用柔性桩基的旧桥进行无缝化改造后,主梁与桥台、桥台与桩基联为一体,提高了桥台的抗倾覆和抗滑移的能力,但桥台在台后土压力作用下由有缝桥时的竖向悬臂结构变成为有水平支承的竖向悬臂结构,桥台和桩都会受到较大的土压力。我国现行规范中桥梁桩基的计算主要是基于线弹性、小变形的设计理念,与无缝桥桥台桩基的非线性、大变形受力特征存在较大差异,相关研究也较为滞后,因此急需开展基于大位移的无缝桥桩基的设计计算方法研究。

## 5 结束语

旧桥的伸缩装置不仅容易损坏,而且难以修复,已经成为公路养护部门最为棘手的难题之一。本文通过综述国内外无缝桥梁的发展与应用,收集国内旧桥无缝化改造技术的相关资料,对旧桥无缝化的工程意义、发展前景、存在的困难进行分析,指出旧桥的无缝化可提高其承载力、行车舒适性和抗震性能,具有广阔的应用前景和重要的经济价值,同时也存在较多不容忽视的技术难题。

目前我国在役桥梁原始资料的收集和定期检查结果的汇总等方面工作尚有不足,而且既有桥梁无缝化改造的研究与应用方面也处于起步阶段,今后还需进一步完善资料收集工作,继续开展相关技术研究,并加强工程应用,推动旧桥无缝化改造技术在我国的应用与发展。

## 参考文献:

- [1] 岳建洪,彭春晖,许智.基于养护需求的中小桥梁无缝化改造实践研究[C]//中国公路学会养护与管理分会第六届学术年会论文集:上卷.成都:西南交通大学出版社,2016:279-283.
- [2] 李进洲,余志武,宋力,等.长益高速公路桥梁病害调查及加固措施[J].世界桥梁,2010(4):75-78.
- [3] 彭大文,林志平,洪锦祥.无伸缩缝桥梁的研究与实践[J].公路,2006(8):53-61.
- [4] 林志平.整体式桥台曲线箱梁受力性能与设计理论研究[D].福州:福州大学,2010.
- [5] 洪锦祥.整体式桥台桥梁的简化计算模型与受力性能研究[D].福州:福州大学,2006.
- [6] 金晓勤.新型全无缝桥梁体系设计与试验研究[D].长沙:湖南大学,2007.
- [7] 王明晨,袁明,颜东煌.全无缝桥梁整体式桥台台后主动土压力计算方法研究[J].中外公路,2010,30(2):140-143.
- [8] 马永春,邵旭东,梁才.全无缝桥梁接线路面拉伸力学特性理论和实验研究[J].地震工程与工程振动,2012,32(4):131-138.
- [9] Bruno B,薛俊青,兰成,等.整体式桥台桥梁极限长度[J].建筑科学与工程学报,2014,31(1):104-109.
- [10] 金晓勤.新型全无缝桥梁体系设计与试验研究[D].长沙:湖南大学,2007.
- [11] 刘凯舟.现有简支梁桥整体无缝化改造研究[D].南京:东南大学,2008.
- [12] 陈华辉,周超民,陈志新.桥梁无缝化技术在西部地区的应用研究[J].北方交通,2013(1):57-61.
- [13] Bruno B,薛俊青,陈宝春,等.既有桥梁的桥台处无缝化改造[C]//第21届全国桥梁学术会议论文集:上册.北京:人民交通出版社,2014:74-80.
- [14] 董桔灿,陈宝春,Bruno B,等.多跨空心板简支梁桥整体化改造设计[J].建筑科学与工程学报,2015,32(5):73-80.
- [15] 丘能,庄一舟,赖焕林.外包式半整体式桥台桥梁无缝化试设计研究[J].公路,2015(7):78-82.
- [16] 庄一舟,徐亮,黄福云,等.空心板简支梁桥无缝连续化改造支座选择优化分析[J].福州大学学报(自然科学版),2016,44(4):487-496.
- [17] 刘涛.简支转连续梁法在钢筋混凝土简支T型梁桥加固中的应用[J].山西交通科技,2012(2):68-69,83.

(责任编辑:陈雯)