

钢桁桥维护改造工程难点及对策

钱国辉

(上海市道路运输事业发展中心,上海市 200025)

摘要:我国早期建设了大量的钢桁桥,近年来,根据使用养护情况以及交通发展需求,这些桥梁已经陆续进入大修改造期。通过大修改建,可以在延长桥梁使用寿命的同时优化提高桥梁的使用功能。通过上海苏州河上的浙江路桥的大修,总结了钢桁桥大修改建工程中的一些经验,以及在桥梁大修工程中采用EPC模式进行管理的优势。

关键词:钢桁桥大修;EPC;桥梁改建;工程管理

中图分类号: U445.7+4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)09-0157-05

0 引言

上海市道路运输事业发展中心(原上海市路政局)近年来在上海的城市更新项目中采用EPC(设计、采购、施工总承包)模式陆续组织实施了浙江路桥大修、徐浦大桥大修、杨浦大桥大修、南浦大桥大修、松浦大桥大修等一系列苏州河和黄浦江上的桥梁大修项目。在实施过程中通过实践总结了一系列的桥梁大修方面的技术管理经验,可供类似项目参考。其中浙江路桥大修项目是技术特点比较鲜明的一个案例,本文以浙江路桥大修为例,谈谈钢桁桥大修工程中的一些经验。

1 项目概述

在我国,从20世纪初开始,陆续建设了大量的铆接钢桁桥,建设时间较早的一些桥梁已经属于不可移动文物。经过几十年甚至超过百年的使用,这些桥梁目前都已出现不同程度的病害,对桥梁的运营安全造成影响,而且通过日常养护难以解决这些病害,因此,钢桁桥大修的高峰期已经到来。通过对钢桁桥的大修改造,不仅可以延长桥梁使用寿命,而且可以通过对桥梁的改造优化提高桥梁的使用功能,使这些老桥满足新的使用需求,继续为社会服务。同时,大修改造通过技术创新尽可能的利用了老结构,避免了大拆大建,减少了不必要的浪费,也符合目前绿色施工的理念。因此,对这些钢桁桥的大修改造是很有意义的。

收稿日期:2022-06-03

作者简介:钱国辉(1977—),男,本科,高级工程师,从事道路桥梁建设管理工作。

通过对钢桁桥的大修改造,可以达到以下几个目的:

(1)通过对旧构件、节点的更换和加固等手段,改善和提高桥梁结构受力性能,消除安全隐患的同时,可以提高桥梁的承载能力和延长使用寿命;

(2)老桥交通功能已经不能与目前的交通需求相适应,在大修改造中可以通过对桥梁通行断面的优化改造,提高交通通行能力,优化桥梁使用功能;

(3)早期建设的桥梁,通常通航净空较小,对于不能满足目前航道规划的桥梁,可以在大修改造过程中采取桥梁整体或部分顶升方式改善桥下通航净空,满足通航要求;

(4)随着社会的发展,老桥的抗震功能、环保功能、安全设施、景观功能大多不能满足目前的需求,在大修改建过程中,通过更换支座、增设相关附属设施等手段,可以全面提升桥梁的综合功能。

浙江路桥建成于1908年,迄今已有百余年的历史,属于上海市市级文物。该桥由英国人设计,桥上所用钢构件为英国道门朗(Dorman Long)公司生产制造,如图1所示。



图1 浙江路桥大修前全貌

该桥梁位于上海市区苏州河上,南接黄浦区浙江中路,北连闸北区浙江北路,桥梁结构形式为鱼腹式钢桁架梁,单跨跨越苏州河,跨径59.75m,桥宽

14.352 m。主桁跨中高度 9.092 m,两片平行式主桁中心距 7.32 m,机动车单向一车道通行,两侧非机动车道宽 2.16 m,人行道宽 1.08 m。主梁为钢结构纵桥梁体系,上设混凝土桥面板和沥青铺装。桥梁细节如图 2 所示



图 2 浙江路桥细节现状

作为一座运营时间超过百年的老桥,长期遭受环境侵蚀、荷载作用以及结构自然退化,已经出现了较为严重的病害。再加上目前该桥通行功能的弱化,桥下通航限制等,如果要延长桥梁使用寿命,必须进行大修改造。

浙江路桥鱼腹式钢桁架结构形式,充分体现了 19 世纪工业革命时期的艺术性和科学性,极具时代特点。桥梁在苏州河上已矗立了一个多世纪,见证了近代上海的发展变迁也承载着上海人民的深厚感情,具有城市道路、历史和景观三位一体的功能和重要地位。

针对存在的病害及桥面布置等问题,于 2015 年以设计施工工程总承包(EPC)模式,根据桥梁自身情况及周边条件,采用了将浙江路桥整体移运上岸的总体方案,在临时厂房内对桥梁进行了全面大修改造,随后再进行复位。使其在交通功能、景观功能、文物功能、安全耐久性等各方面均得以提升,取得了良好的经济效益和社会效益。

如图 3 所示,大修工程更换了横联及桥面板,调整了主桁间距,使目前的通行断面更加合理,目前根据总体交通状况机动车仍为单向一车道,但是通过主桁间距调整预留了远期调整为机动车双向 2 车道的可能性。

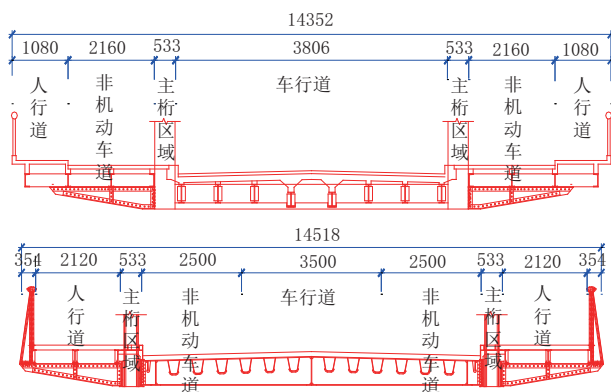


图 3 浙江路桥大修断面调整

该次大修提高了桥梁净空、增设了自动水位测量显示设备、增加了景观照明及小品,桥梁的通航能力、景观功能及自身的安全性得到了综合提升,如图 4 所示。



图 4 浙江路桥大修后夜景

类似浙江路桥这种已经运营几十年甚至上百年的钢桁桥大修改造,由于工程对象、施工内容、周边环境等的特殊性,对设计施工的技术水平以及管理水平都具有很高的要求。

2 钢桁桥维修改造技术难点及对策

2.1 桥梁维护总体方案确定困难

钢桁桥的维修改造受桥梁形式及规模、航道通航能力、周边场地情况、桥上及周边管线情况等多方面因素的共同影响,需要综合考虑比选,确定最优的总体维修方案。

国内的钢桁桥维修根据各自特点也都采用了不同的方案。兰州中山桥采用了原位维修加固方案;广州海珠桥采用了中跨浮运更换,边跨移位至引桥上搭建的厂房内维修的方案;上海外白渡桥采用了驳船浮托移运至船厂露天维修的方案;上海松浦大桥采用非机动车不断交条件下,上下层分阶段原位维修加固的方案。

考虑浙江路桥的具体情况,首先,该桥为单跨 60 m 的桥梁,规模较小;其次桥梁所在的苏州河为七级航道,通航净空不能满足桥梁移运条件;桥梁北岸目前动拆迁后有满足桥梁维修的场地条件。结合以上几个主要条件,综合考虑周边交通、管线等相关情况,最终确定了浮箱、履带吊、模块车协同配合,将浙江路桥整体移运至岸上的临时厂房,全封闭进行维修的总体方案,如图 5 所示。

2.2 前期老桥检测难以反映全部桥梁状况

钢桁桥的大修改造的设计施工方案需要以桥梁的检测报告为依据,但是由于钢桁架的空间结构较为复杂,在桥梁使用状态下很难对其进行全面的检测,尤其是桁架节点部位,内部的连接状况以及钢构



图 5 整体移运至临时厂房内进行大修

件的锈蚀程度目前的检测手段难以全面真实的反应,如图 6 所示,这就给钢桁桥的设计施工带来了很大的难度。需要在桥梁大修过程中随着桥梁的拆除、节点的打开,分别根据不同的病害情况确定大修方案,因此会导致工程量的增加和工期延长。



图 6 节点锈蚀程度超预期

另一方面,由于钢结构病害情况不能完全掌握,如果需要在大规模改造过程中需要对钢结构进行整体移运或者在受力状态下进行会增加钢桁架移运和大修过程中的安全风险。

在浙江路桥大修工程中,移桥工程充分考虑了钢结构文物桥梁病害程度的不确定性,针对城市内河钢桁架桥的整体搬迁,首次研究形成“海、陆、空”多设备协同整体移运的施工技术。核心设备包括水中的浮箱,陆上的履带吊和模块运输车。该技术充分发挥各设备的自身优势,具有工期短,成本低以及环境影响小等优点。移运过程中虽然经过多次受力转换,但总体原则是桥梁受力尽量接近在桥位时的原状,桥梁受力点位置尽量布置在能够明确判断完好的钢构件上,如图 7 所示。桥梁移运过程中,采取“刚柔并济”的措施对桁架结构进行加固保护。

2.3 桁架结构受力复杂,在大修过程中加固、移动难度大

桁架桥本身受力比较复杂,且老桥在多年的使用过程中杆件存在锈蚀、变形等不确定因素,给大修过程中桁架分解、杆件节点加固连接、桁架整体平移都带来很大的难度。



图 7 移桥加固措施

浙江路桥进入厂内大修,采用七支点支承状态,如图 8 所示。此时测得结构荷载为 375.5 t。采用 Midas 模型计算得各支点反力,各支承千斤顶应依据此力值进行调节设置。此时上下弦杆应力为 1.1~6.1 MPa,可以认为结构处于近似无应力状态下。

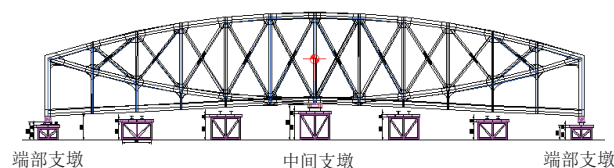


图 8 厂内大修支撑情况

本次厂内大修在近似无应力状态下对节点板及下弦杆进行更换,采用逐面交替拆除安装的方式,保证杆端处的有效约束,并严格控制更换后节点处位移及变形,如图 9 所示。

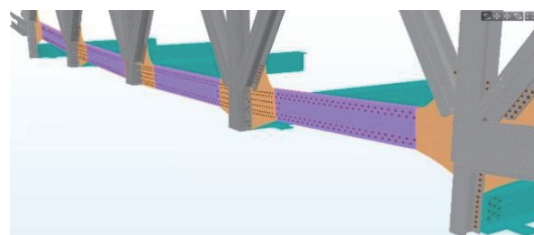


图 9 杆件更换示意

为优化桥梁的通行断面,该次大修需要调整两片主桁架的间距。该次采用 5 个液压千斤顶同步顶推的方法将西侧主桁向外平移 1.72 m,如图 10 所示。

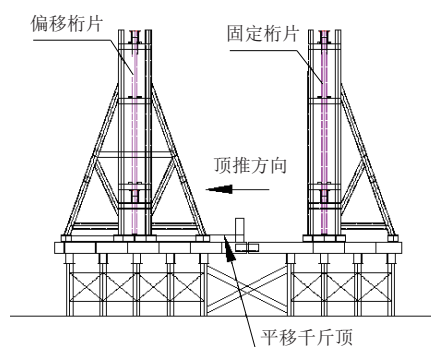


图 10 桁架间距调整示意

2.4 加固工序复杂,且有铆接等旧工艺,质量控制难度大

钢桁桥老桥的钢构件多采用铆接工艺连接,而且建造较早的钢桁桥使用的钢材成分与现在不同,不一定适用焊接工艺,如图 11 和图 12 所示。因此钢桁桥大修改造中根据不同情况经常会使用铆接、栓接、焊接等多种连接工艺。由于钢桁桥的空间结构复杂,结构加固难度很高,尤其是在受力情况下对于节点部位的加固,由于节点不能完全打开,一个节点加固经常需要经历:部分铆钉拆除-摩擦面处理-钢板定位-打孔固定-铆(栓)接-涂装这一系列工序的反复操作才能完成。为保证施工质量,对施工精度的控制、对每道工序的验收检查都至关重要。



图 11 铆钉检查



图 12 铆钉设备及工艺试验

对于铆接这种目前已经接近淘汰的施工工艺,本次大修把老工艺与现代设备相结合,采用全固态感应加热炉等设备,通过工艺试验确定加热温度、施铆温度等技术参数,并通过实验确定不同板厚条件下所需要的铆杆长度,作为施工依据。

3 桥梁大修工程管理难点及对策

桥梁大修工程不同于新建工程,工程的施工内容有很大的不确定性,具有设计与检测结合紧密、边设计边施工的特点。需要随着大修的进程,根据新发现的问题制定有针对性的设计施工方案,从而给建设单位的投资、质量、安全、工期等方面的控制带来

很大的难度。对于浙江路桥这座百年老桥的大修工作,以上的几个问题显得尤为突出。

EPC(设计、采购、施工总承包)模式恰恰可以有效解决以上问题。这一模式有利于发挥总承包方的主观能动性、技术经济实力和经营管理经验,使得设计、采购、施工各环节紧密结合,充分体现市场经济和社会环境的进步。总承包单位的设计施工部门紧密结合,随时发现问题,随时制定解决方案,最大化缩短工期,同时不断优化设计施工方案,可以有效控制总体成本。

建设单位可采用总价包干合同控制工程总投资,同时通过合同约定,保证总工期以及工程质量和安全,同时也节约了大量的管理成本。因此,浙江路桥大修工程以及类似的桥梁大修工程选择采用 EPC 总承包模式显然具有明显的优势。

以下分别从几个方面,结合浙江路桥大修工程的实际情况,说明本工程采用总承包模式收到的效果。

3.1 工期控制方面

由于施工前检测条件不具备,很多桥梁构件的锈蚀、变形等情况不明,这就意味着大修工作内容及工程量有很大的不确定因素。

在主桁下弦节点拆开以后,检测结果显示,靠近跨中部分的几个节点锈蚀情况远远超出预期,节点内的竖杆需要局部更换,下弦杆需要更换的数量也增加了 2 个节间。新增的更换内容意味着需要重新制定相应的设计方案,再根据设计方案备料、下料加工新构件、到现场进行拆换。如果处理不当,每个环节都可能出现问題,造成总工期的拖延。

在巨大的工期压力下,总承包方立即组织设计部门和施工部门相关人员沟通协调,制定优化设计方案及大修工序、增加施工人员设备投入,日夜兼程进行施工。虽然桥梁主桁实际更换的杆件数量比预期增加了近一倍,项目最终仍然按照要求顺利的实现了年底前通车的目标,把总工期从投标的 400 d 缩短到八个半月。

3.2 质量控制方面

铆接工艺是早期钢结构桥梁上使用比较广泛的一种连接工艺,目前已经逐步淘汰。本次浙江路桥的大修本着“修旧如旧”的原则,仍然沿用了铆接工艺。

总承包单位为了保证这一接近淘汰的工艺在本次大修中的施工质量,通过多方寻找,选择了具有类似铆接施工经验的施工队伍;采购了电磁加热炉、气

动铆接设备等目前较为先进的设备;通过工艺试验确定铆钉加热温度、墩打压力等相关施工参数;通过参考外白渡桥大修经验、早期钢结构桥梁施工规范、召开专家评审会等形式确定铆钉质量检验的参数、频率等质量控制标准。

通过不懈的努力和对质量控制一丝不苟的精神,把铆接这一陈旧工艺的施工标准化、规范化,有效的控制了本次大修工程的质量。

3.3 费用控制方面

由于EPC合同采用总价包干的合同形式,在约定的范围内和条件下,合同总价不因工作量的增加进行调整。因此,在本工程中,虽然杆件更换的数量和难度都比投标时有所增加,根据合同约定,总承包单位需要自行承担相应成本,不产生额外的工程变更费用。

综上所述,EPC模式适用于具有相当技术复杂性的桥梁大修类工程。该模式有利于集中资源、优化招投标阶段时间、缩短工程实施阶段工期,使项目早日投入使用。有利于节约管理成本,提高工作效率。同时又可以有效的控制投资以及质量、安全、工期等各方面的风险。

4 总 结

(1)钢桁桥大修改造,由于项目的特殊性,经常需要检测、施工、设计同步进行,且工程量以及施工工期都具有不确定性,因此,这类项目的招投标宜采用设计施工总承包(EPC)模式,交给具有类似施工经验的设计施工单位进行实施,可以有效降低项目风险,提高工程效率。

(2)对于桥梁规模较小,且有条件移位至专用场地进行大修改造的钢桁桥,宜采用整体移运的方式

进行维修。移位后,可以采用多点支撑的方式,使钢桁架在近似“无应力”状态下进行杆件更换和加固,更有利于新老构件的共同受力,可以多点同时作业,也更能保证维修过程中桥梁的结构安全。

(3)要特别注重工程开工前的工程总体策划工作。技术策划中应该优先考虑施工前期尽早对拆除附属物后的桥梁进行全面的检查,发现前期桥梁检测难以检测部位的病害情况,复核老桥实际结构与设计图纸是否一致。发现问题及时反馈给设计部门,并共同确定合理的维修方案。

(4)细节决定成败,钢桁桥的维修加固是一项犹如刺绣的细活,每一道工序都需要严格控制。杆件、节点板上的铆钉、螺栓每一个孔位都要精确对位;每一颗铆钉都要检查,保证不能松动;每一道涂装都要做好基面处理,保证施工温湿度条件;每一处节点部位都要做好防水、排水措施;只有具备这样一丝不苟的工匠精神,才能做出质量优秀的钢桁桥大修改造工程。大修后浙江路桥如图13所示。

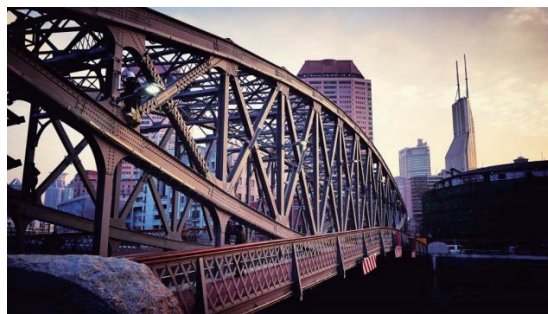


图13 大修后的浙江路桥

参考文献:

- [1] 张春雷. 浙江路桥鱼腹式铆接钢桁梁大修设计[J]. 城市道桥与防洪, 2017(1):86-89.
- [2] 陈晨. 为老旧桥梁动“手术”——上海系列老桥改造实录[J]. 桥梁, 2019(5):26-29.
- [2] 龙照华. 双曲拱桥的病害原因分析及加固技术研究[D]. 杭州:浙江大学, 2015.
- [3] 郭金弟. 既有双曲拱桥的病害分析及加固改造设计研究[D]. 广州:华南理工大学, 2013.
- [4] GB 50982—2014, 建筑与桥梁结构监测技术规范[S].
- [5] JT/T 1037—2016, 公路桥梁结构安全监测系统技术规范[S].
- [6] 杨志峰, 曾国良, 江祥林. 基于挠度指标的中小跨径桥梁健康监测系统设计[J]. 中外公路, 2018, 38(6):172-176.
- [7] 孙利民, 尚志强, 夏烨. 大数据背景下的桥梁结构健康监测研究现状与展望[J]. 中国公路学报, 2019, 32(11):1-20.
- [8] 石德菊. 桥梁群运营期结构状态监测系统研究[D]. 重庆:重庆交通大学, 2015.

参考文献:

- [1] 陶祥林, 雷震. 中小桥梁健康监测研究现状与发展对策[J]. 交通运输研究, 2010(20):138-140.