

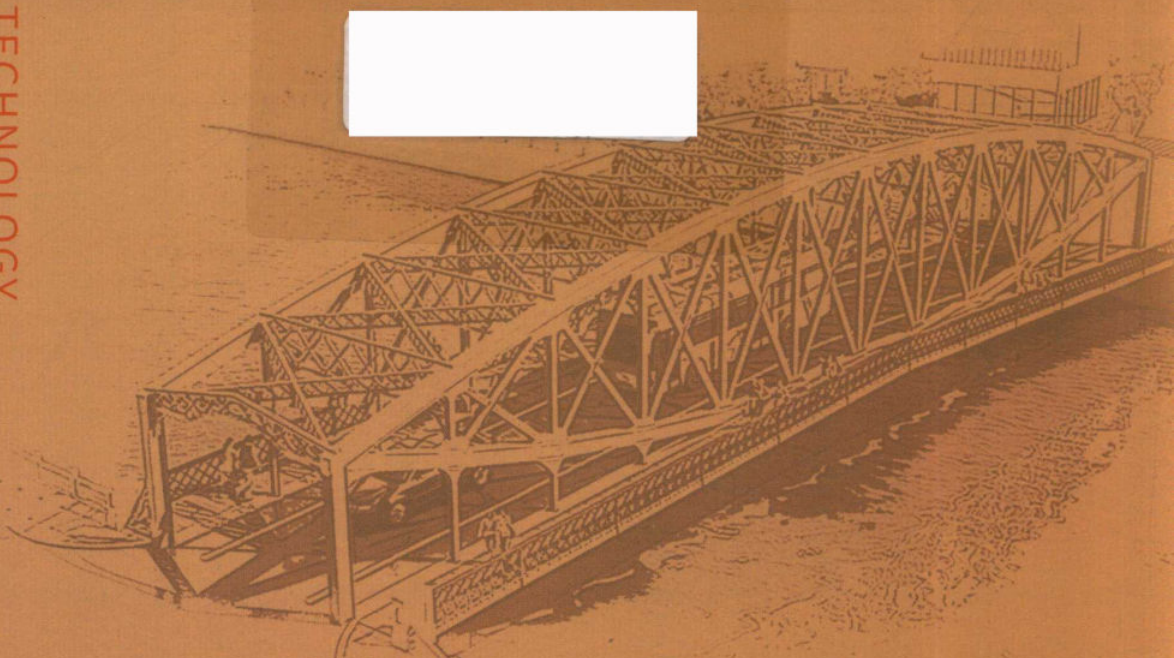
上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司

现代桥梁技术丛书

百年钢桁桥 修复技术

陈亮
邵长宇
编著
主审

REHABILITATION TECHNOLOGY
OF CENTENNIAL STEEL TRUSS BRIDGE



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司

现代桥梁技术丛书

百年钢桁桥 修复技术

陈亮 编著
邵长宇 主审

REHABILITATION TECHNOLOGY
OF CENTENNIAL STEEL TRUSS BRIDGE



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书以上海市浙江路桥大修工程为背景,对百年钢桁桥修复技术进行研究和总结,具有深远的意义。全书共分为6章,包括绪论,钢桁桥检测与评定、整体移运、大修改造,文物桥梁保护,大修工程信息化技术等内容。本书涵盖规划、设计、施工、管理、养护等各方面,内容丰富,图文并茂,有很强的指导性、实用性。

本书可供从事桥梁规范、设计、施工、管理与养护的专业技术人员使用,也可供大专院校相关专业师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

百年钢桁桥修复技术 / 陈亮编著. — 北京 : 人民交通出版社股份有限公司, 2019.6

ISBN 978-7-114-15331-0

I. ①百… II. ①陈… III. ①钢桁架桥—维修 IV. ①U448.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 008671 号

上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司
现代桥梁技术丛书

书 名: 百年钢桁桥修复技术

著 者: 陈 亮

责任编辑: 卢俊丽 卢 珊

责任校对: 刘 芹

责任印制: 张 凯

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 中国电影出版社印刷厂

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 15

字 数: 347 千

版 次: 2019 年 6 月 第 1 版

印 次: 2019 年 6 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-15331-0

定 价: 90.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

序

经过 40 年的大发展,我国的交通环境得到了极大的改善。目前,我国桥梁建设逐步进入维护高峰期。在桥梁维护中如何避免“大拆大建”“推倒重来”的粗放形式,秉持“既有桥梁综合利用”“文物桥梁修旧如旧”“城市桥梁低影响施工”等理念,是值得思考的重大问题。

上海市浙江路桥为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,具有城市道路、历史和景观三位一体的功能和重要地位。针对该桥存在的病害及桥面布置等问题,2015 年以设计施工总承包模式,移桥上岸在厂房内对桥梁进行了全面维护改造,使其在交通功能、文物功能、耐久性各方面均得以提升,取得了良好的经济效益和社会效益。

与新建桥梁不同,大修工程往往不确定因素较多,从而使工程的设计施工技术难度增加,工程质量、安全风险加大。浙江路桥维护改造项目通过科技创新、精心策划,使百年老桥恢复了生机,为提升城市品质做出了积极贡献。浙江路桥维护改造的成功实施,为桥梁维护改造积累了丰富的经验,形成了剩余寿命评估、桥梁整体移运、耐久性能提升、文物桥梁保护、大修工程 BIM(建筑信息模型)应用等综合技术。本书图文并茂,既是对浙江路桥维护者们辛勤劳动成果的记载,又是对浙江路桥大修工程设计、施工、科研等的总结,可为类似桥梁修缮工程提供借鉴。



2018 年 10 月

前 言

上海市浙江路桥建成于1908年,采用非常罕见的鱼腹式钢桁架结构形式,跨越苏州河,属于上海市市级文物。作为一座运营时间超过百年,长期遭受环境侵蚀、荷载作用以及结构自然退化的老桥,浙江路桥于2015年进行了彻底的维护改造。4月18日封闭交通开始施工,5月29日老桥桥身整体移运至岸上的维修厂房内开始大修,10月18日完成钢结构大修并将桥体重新移运至苏州河上就位,12月29日恢复通车。大修工程设计与施工充分结合,在结构耐久性、桥面通行及桥下通航功能得以提升的同时,保持了文物桥梁的“原汁原味”,使百年老桥焕发出新的活力。通过此次彻底大修,已经使用了107年的浙江路桥至少还可以继续使用50年。

本书系统介绍了浙江路桥的维护设计、施工经验及技术成果。第1章概述桥梁维护背景,桥梁维护总体方案;第2章介绍钢桁桥剩余寿命评估方法;第3章介绍钢桁桥“海、陆、空”整体移运方案;第4章介绍铆接钢桁桥大修设计,大修施工流程,铆接、涂装等关键工艺;第5章在讨论文物桥梁修复原则的基础上,介绍桥梁文物修复方案;第6章介绍大修工程中信息化技术的应用。

浙江路桥大修工程由上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司采用EPC总承包模式完成,主要分包单位同济大学、上海市机械施工集团有限公司、中铁宝桥集团有限公司、上海公路桥梁(集团)有限公司等分别参与了桥梁检测评定、整体移运、钢结构维护及BIM技术开发应用等工作。浙江路桥大修项目的成功实施,离不开参建人员的共同努力。本书在编著过程中也得到了工程相关参建单位、个人的支持和帮助,在此表示感谢!

限于作者水平和时间,本书内容如有错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编著者

2018年9月于上海

目 录

1 绪论	1
1.1 我国著名钢桁桥维修	4
1.2 浙江路桥修复概况	10
本章参考文献	21
2 钢桁桥检测与评定	22
2.1 概述	22
2.2 钢桥检测	24
2.3 锈蚀构件承载力预测	30
2.4 锈蚀构件疲劳抗力预测	36
2.5 构件锈蚀程度预测	43
2.6 强度验算与寿命评估	45
2.7 评定结论	64
2.8 小结	65
本章参考文献	66
3 钢桁桥整体移运	68
3.1 概述	68
3.2 技术特点和施工难点	68
3.3 总体施工技术路线	69
3.4 移桥准备	85
3.5 滚装作业施工工艺	93
3.6 支座拆除及安装	97
3.7 多设备协同作业	99
3.8 桥体移运模拟分析及监测	100
3.9 小结	105
本章参考文献	105
4 钢桁桥大修改造	106
4.1 概述	106

4.2	大修设计	107
4.3	大修施工与控制	121
4.4	铆接工艺	136
4.5	涂装工艺	150
4.6	钢桥面铺装	158
4.7	小结	169
	本章参考文献	170
5	文物桥梁保护	171
5.1	概述	171
5.2	文物建筑保护	171
5.3	我国文物桥梁保护案例	174
5.4	苏州河桥梁群保护	177
5.5	浙江路桥文物价值	180
5.6	浙江路桥文物修复	186
5.7	小结	198
	本章参考文献	199
6	大修工程信息化技术	200
6.1	概述	200
6.2	总体方案	200
6.3	BIM 模型建立与应用	203
6.4	重要施工工艺模拟	210
6.5	桥梁模型激光扫描还原	215
6.6	节点板手持扫描仪检测	219
6.7	点云数据比对分析	223
6.8	与互联网技术结合	230
6.9	小结	231
	本章参考文献	231

1 绪 论

至今,钢桥已经历了 200 多年的发展历史。钢桥最早的表现形式为铁桥,产生于 18 世纪中后期。通常认为,第一座铁桥为建造于 1779 年英国布鲁克代尔的 Severn 桥(图 1.1),该桥也被称为古代桥梁的终结和近代第一桥。第一座全钢桥为 1875 年建成的美国密西西比州伊兹桥(Eads Bridge,图 1.2),该桥为主跨 158.6m 的三跨无铰桁架拱桥,开启了桥梁工程领域的钢桥时代。1890 年,英国建成了跨度达 521.2m 的英格兰福斯桥(图 1.3),为双线铁路静定铆接悬臂桁架梁桥,成为近代钢桥的代表作之一。早期钢桥多采用铆接形式,直到 1994 年江西九江长江大桥(图 1.4)建成,标志着我国已彻底完成了铆接钢桥向栓焊钢桥的过渡^[1]。从 1875 年到 1994 年世界上建成了许多铆接钢桁桥。由桥梁发展史可见,铆接钢桁架桥梁曾为普遍采用的桥型,在桥梁建设发展的一百多年中具有很重要的地位。不少铆接钢桁桥已经成为时代的象征,作为经典一直留存。据统计,7 批 81 座全国重点文物保护单位(桥梁)中,铆接钢桁桥共有 7 座,其余则大多为古代石拱桥。

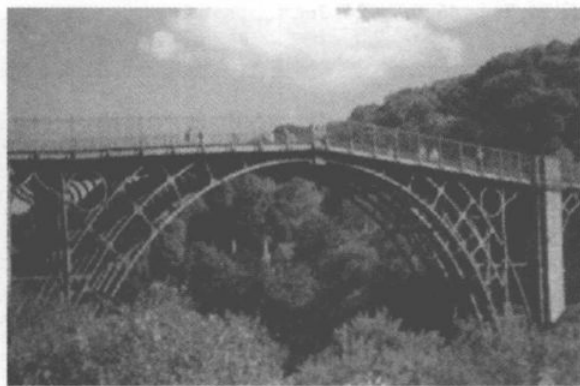


图 1.1 英国 Severn 桥



图 1.2 美国伊兹桥



图 1.3 英格兰福斯桥

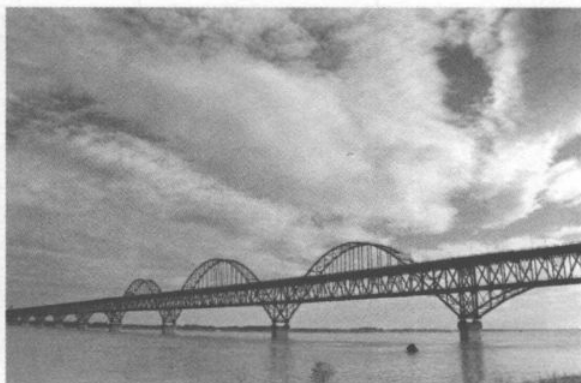


图 1.4 江西九江长江大桥

钢桁架桥因结构刚度大、自重轻、材料强度高,广泛应用于铁路桥梁中;城市内河宽度通常较窄,钢桁架桥造型优美多变,在城市桥梁应用中也备受青睐。我国存有不少铆接钢桁架桥,随着时间的推移,这些钢桥已经或即将步入“百岁老桥”的行列中。许多老桥承载了城市的沧桑变迁,不仅是城市地标,更是城市的文化遗产。表 1.1、图 1.5 ~ 图 1.16 给出了我国几座典型的具有重要历史文物价值的铆接钢桁架桥。

国内部分具有文物价值的铆接钢桁桥

表 1.1

桥名	桥型	建成年份	桥跨布置及桥宽	文物保护
上海外白渡桥	变高下承式简支铆接钢桁架桥	1907	桥长 $2 \times 52.178\text{m}$, 桥宽 18.592m	上海市优秀历史保护建筑
云南五家寨铁路桥	肋式三铰拱钢梁桥	1908	桥长 $21.9\text{m} + 2 \times 14.75\text{m} + 15.75\text{m}$, 桥宽 4.2m	全国第六批重点文物保护单位、云南省文物保护单位
兰州中山桥	变高五跨简支铆接钢桁拱桥	1909	桥长 $5 \times 46.7\text{m} = 233.5\text{m}$, 桥宽 9.55m	全国第六批重点文物保护单位、国家档案遗产名录
京沪铁路淮河大铁桥	固定型桁梁桥	1911	全长 570m	蚌埠市级重点文物保护单位
涿口黄河铁路桥	支点变高下承铆接铁路桥	1912	12 孔全长 1255.2m , 桥宽 9.4m	全国第七批重点文物保护单位
天津解放桥	变高开启式全铆接城市桥	1927	桥长 $24.2\text{m} + 46.9\text{m} + 24.2\text{m}$, 桥宽 19.5m	
广州海珠桥	变高下承式简支铆接钢桁架桥	1933	桥长 $67.1\text{m} + 48.8\text{m} + 67.1\text{m}$, 桥宽 33m	
三棵树松花江桥	平弦钢桁梁	1933	15 孔平弦钢桁梁, 其中 12 孔为 64m 简支钢桁梁, 第 3 ~ 5 孔为悬臂梁	
宁波灵桥	中承式三铰拱结构钢桥	1936	桥长 97.536m	浙江省文物保护建筑
钱塘江大桥	等高公铁两用铆接钢桁架桥	1937	桥长 $16 \times 65.84\text{m}$, 桥宽 9.1m	全国重点文物保护单位、首批中国 20 世纪建筑遗产
武汉长江大桥	等高公铁两用铆接钢桁梁桥	1957	8 墩 9 跨共长 1152m , 桥宽 22.5m	全国第七批重点文物保护单位、首批中国 20 世纪建筑遗产
南京长江大桥	等高铆接钢桁架桥	1968	9 墩 10 跨共长 1576m , 桥宽 19m	不可移动文物、首批中国 20 世纪建筑遗产名录

进入 21 世纪后,发达国家大兴土木的时期已告结束,桥梁学者与工程师的主要工作已由桥梁建造转变为养护维修,相关研究主要集中在既有桥梁的使用安全性分析和旧桥的维修、加固与改造,来确保老桥安全、可靠地使用。改革开放以来,我国的桥梁建设者将主要精力投入到了新建桥梁工程中,直到近年来桥梁养护维修才逐步受到重视,但相关维护技术、经验、理念

与发达国家仍存在较大差距。从 20 世纪初至新中国成立初期,我国修建了一定数量的桥梁,其中运营超过 50 年的铆接钢桥就有 1 万多孔。铆接钢桥常见的病害为锈蚀、疲劳和开裂等,结构、工艺、材质等存在先天的缺陷使其荷载等级偏低。另外,桥面布置无法满足新时代交通需求、抗震能力不足、桥下净空不足及作为历史文物保护的特殊要求等,也是在役铆接钢桥亟待解决的重要问题。以上事实充分说明,中国桥梁工程界也面临着发达国家同样的挑战,如何安全、经济、合理地使用老桥,迫切需要加以研究和解决。可见,老钢桥维护技术的推广应用具有重要的实际意义,并将带来显著的经济效益。



图 1.5 上海外白渡桥



图 1.6 云南五家寨铁路桥



图 1.7 兰州中山桥



图 1.8 京沪铁路淮河大铁桥



图 1.9 涿口黄河铁路桥

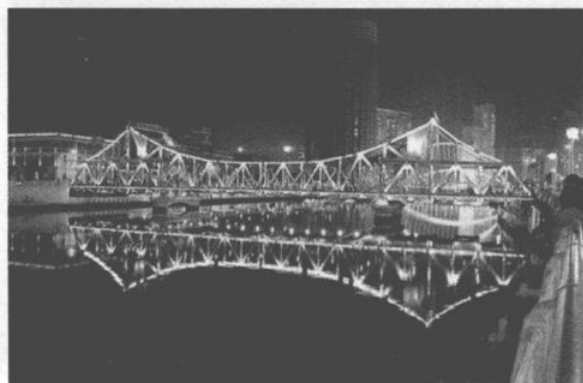


图 1.10 天津解放桥



图 1.11 广州海珠桥



图 1.12 三棵树松花江桥

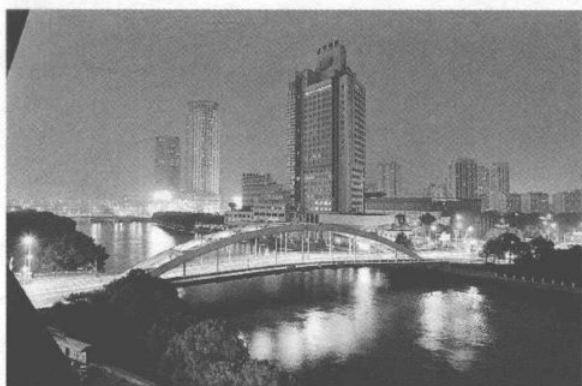


图 1.13 宁波灵桥



图 1.14 钱塘江大桥

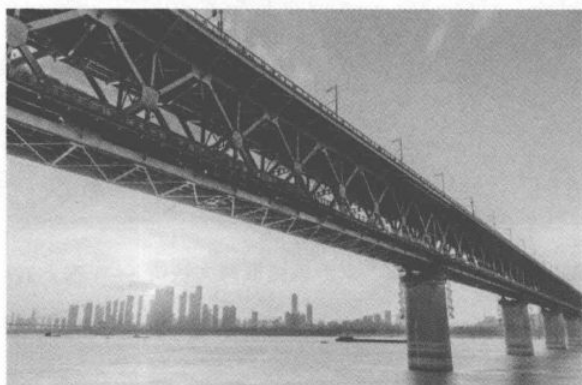


图 1.15 武汉长江大桥



图 1.16 南京长江大桥

1.1 我国著名钢桁桥维修

近十年来,我国对几座典型钢桁梁桥进行了较为彻底的大修改造。根据桥梁自身结构状况、大修后功能定位及相关条件的不同,维修方案也不尽相同,下面就几座桥梁的大修方案进行简要介绍。

1.1.1 上海外白渡桥

上海外白渡桥建于1907年,位于上海市区苏州河汇入黄浦江附近,是承载旧上海风貌的城市性地标。外白渡桥是沪上钢桥的“鼻祖”,也是我国最早的、仅存的不等高钢桁架桥梁。外白渡桥上部结构为两跨52.178m的下承式简支铆接钢桁架,总体布置如图1.17所示。每跨11个节间,每节长4.744m,桁高变化,中间高9.144m,主桁中心距为12.192m。原设计荷载为英制H-15级(相当于我国汽-11.3级)。

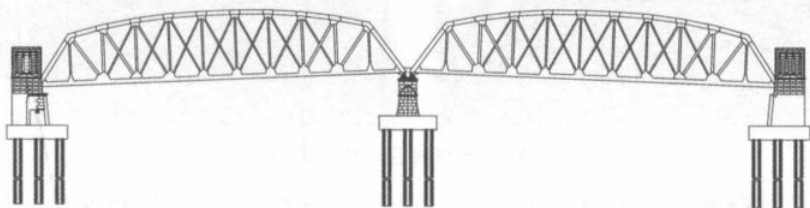


图 1.17 外白渡桥总体布置

2008年外白渡桥进行最新一次主体和附属结构大修。维护前外白渡桥主要病害包括普遍存在铆钉锈蚀、缺陷、变形、铆钉孔缺陷以及焊缝开裂等;下弦附近铆钉存在烂头,主桁构件连接处铆钉存在浮高、飞边等病害;端横梁、主桁下弦节点板相邻构件、主桁腹杆角钢与缀条连接等部位构件存在锈蚀穿孔等病害;托架、下弦杆以及腹杆等位置构件存在变形等病害;桥梁原材料不适于焊接施工,历年来的加固焊缝对结构进一步造成损伤。

由于外白渡桥地理位置特殊,桥梁维护综合考虑了包括地面交通组织、管线搬迁、苏州河河面通航、防汛、文物保护、对俄罗斯领事馆的影响等多方面的问题。为满足保持外白渡桥原有建筑风格、发挥其历史文化和人文景观功能、继续成为上海的标志性建筑等要求,而结构性能又能得到较大的改善,最终确定采用以“修旧如旧”为基本原则的上部钢桁架船移大修、下部墩台原位拆建的“移桥法”保护方案。钢桁梁船移、上岸过程分别如图1.18、图1.19所示。



图 1.18 驳船浮力顶升法移桥

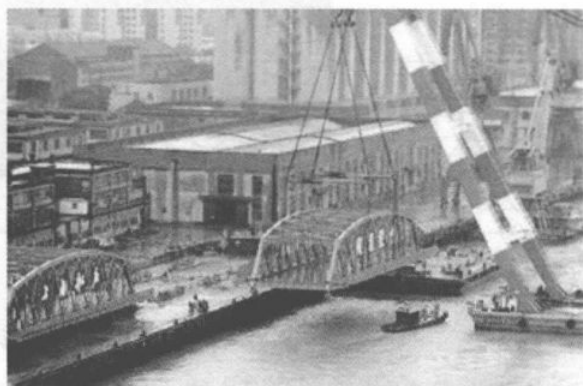


图 1.19 浮吊法移桥上岸

大修中将原混凝土桥面板更换为正交异性钢桥面板,置换了所有下弦节点及部分锈蚀铆钉,并进行了局部杆件加固和变形杆件热矫正。为恢复原有风貌,将1997年更换成直线型的上平联三角托架重新恢复为最初设计的圆弧形(图1.20),并结合维修工序对结构进行防腐涂

装,整体风格与原桥保持一致^[2]。大修后要求其在超龄服役百年后继续安全使用 50 年。

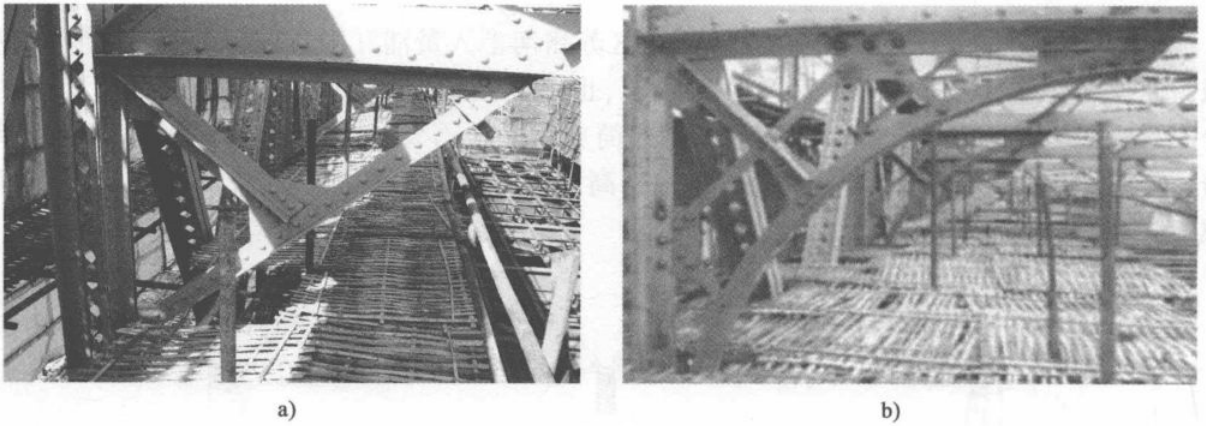


图 1.20 大修前后三角托架对比

外白渡桥上部钢桁梁船移至船厂检修后,同步对原墩台进行全面保护性测绘。在取得完整资料后进行拆除,并在原位重建,最低水位线以上的墩台外形保持原有建筑风格^[3]。

1.1.2 兰州中山桥

兰州中山桥始建于清光绪三十三年(1907 年),1909 年 8 月建成,由德商承包,委托美国桥梁公司设计。最初命名“兰州黄河铁桥”,1928 年,为纪念孙中山先生,更名为“中山桥”。位于兰州市城关区滨河路中段白塔山下,被称为“天下黄河第一桥”,是全国重点文物保护单位。其主体为五跨简支钢桁拱桥,全长 $5 \times 46.7\text{m} = 233.5\text{m}$,桥宽 9.55m,为双车道公路桥。原结构为平行弦杆桁架体系,钢桁架高 5.7m,基础采用开口式木沉箱,中间灌注混凝土,嵌在基岩上。

1954 年,在改造加固过程中,在原平行弦杆桁架体系上端增设了拱式桁架,杆件截面形式基本与原桥相同。即将原来钢桁架的上弦杆,由水平直线形改变为折线形,不是拱桥形似拱桥,提高了下承式钢桁架结构的刚度。改造后兰州中山桥总体布置如图 1.21 所示,改造前后实景对比如图 1.22 所示。

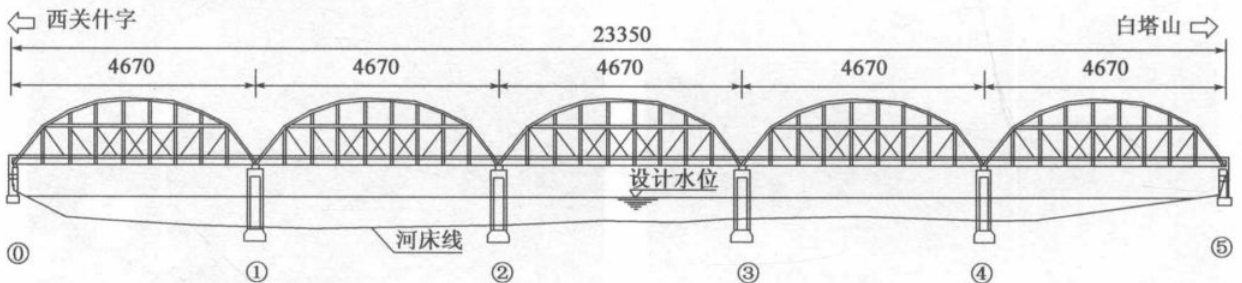


图 1.21 中山桥总体布置(尺寸单位:cm)

中山桥最近的一次大规模维修加固于 2010 年 11 月 15 日开工,2011 年 6 月 1 日竣工,维修后可继续使用 50 年。随着社会经济的高速发展,一些在役桥梁因桥下净空不足而不能满足使用的要求,有必要进行提升改造。中山桥为满足通航净空的需要,将五跨桁架整体水平抬高 1.2m,上部结构整体提升是本次设计、施工的重点。为确保中山桥的万无一失,桥梁提升采用液压同步提升系统,5 跨整体同步提升,采用 200t 连续提升油缸,全桥设置 1 个控制柜、6 个泵

站、12 台油缸,通过数字反馈和计算机程序控制提升的速度及同步性^[4]。对桥墩进行外包混凝土加固,其他结构原样修复,体现“修旧如旧”的效果。

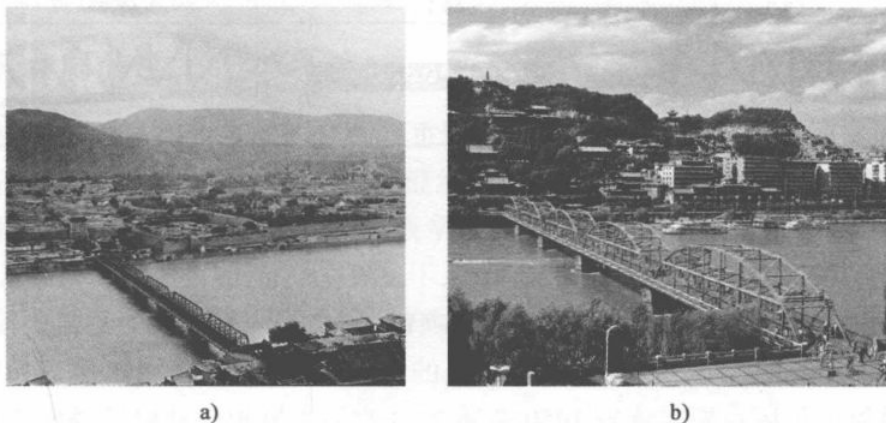


图 1.22 1954 年加固改造前后对比

2013 年 3 月 30 日,为了保障行人、游客通行的安全,保护国家重点文物,当地政府及时、适宜地将这一公路桥改为步行桥(图 1.23)。兰州黄河铁桥,是在黄河流经 9 个省区的过程中,当时唯一穿越省会城市的桥梁,两岸高山坚挺,桥下河水奔流,空中缆车滑行,水中小船游弋,富有立体的、灵动的美感。因铁桥位于城市中心,长度适当,设施齐全,满足了旅游、文化、生活的需求。



图 1.23 中山桥实景

1.1.3 广州海珠桥

海珠桥位于广州市中心,横跨珠江,始建于 1929 年,1933 年通车,是广州市区第一座跨江大桥。该桥建成后经历两毁三建,属于文物桥梁。最初建成时,海珠桥为开合式三孔下承式简支钢桁架桥;1950 年重建,从英国购进下承式 PT 军用钢桁架改作为中跨,此后不具备开合功能;1999 年,采用自锚式吊杆体系方案对该桥中跨进行加固,加固改建后,为 67.7m + 49.1m + 67.7m 三跨连续索桁混合结构(图 1.24)。该桥中跨为钢桁梁结构,两侧边跨为对称钢桁拱结构,均采用铆接工艺。桥墩为变截面圆柱墩,采用沉箱基础。海珠桥运营时间已超过 80 年,桥

梁的钢结构已普遍锈蚀,且有加速发展的趋势,疲劳累计损伤很高,各功能构件的腐蚀或损伤明显。经检测,评定该桥的技术状况等级为IV类危桥,需对其进行大修或改造。

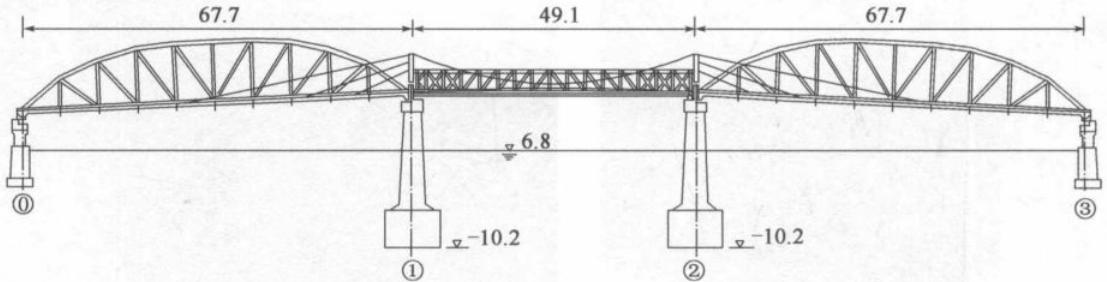


图 1.24 海珠桥总体布置(尺寸单位:m)

2012 年海珠桥正式封闭,进行为期 18 个月的大修。根据文物桥梁“修旧如旧”的维修加固原则,海珠桥维修加固目标是恢复 1950 年重建时的基本风貌。针对该桥病害情况,结合海珠桥桥下净空小、通航要求高的特点及环保、文明施工的要求,采用“变水上施工为岸上施工、变户外施工为工厂施工”的维修加固思路^[5],其维修加固方案如下:

(1) 利用提升吊架将中跨钢桁梁全部拆除,将新制作的中跨钢桁梁浮运到桥下,利用提升吊架将中跨钢桁梁安装到位(图 1.25)。

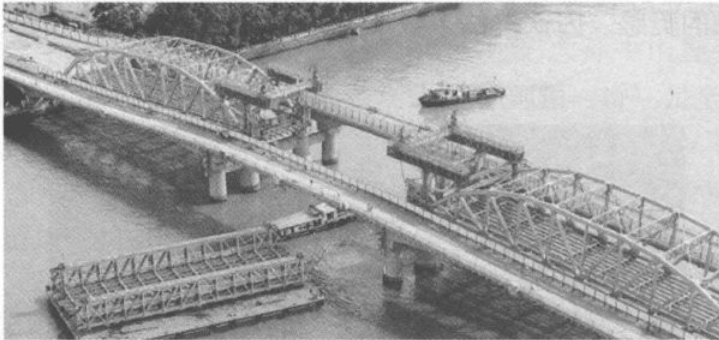


图 1.25 中跨钢桁梁拆除、浮运施工

(2) 将两边跨钢桁梁整体拖拉至两岸引桥桥面的活动厂房内进行维修加固(图 1.26)。



图 1.26 边跨钢桁梁在两岸引桥桥面活动厂房大修

(3) 中墩基础采用外包混凝土方式加固。采用分体式双壁钢围堰作为挡水结构,在桥墩周围形成无水环境,进行基础的加固施工。

(4) 桥面及附属设施全部更换,以恢复原样为主,实现“景观协调”。

1.1.4 天津解放桥

天津解放桥最初建于1902年,于1923年重建,1927年10月建成,由美国芝加哥市施尔泽尔(Scherzer Rolling)桥梁公司设计,法国营造商组成的联合公司承包建造,建桥钢材为英国生产。原名“新万国桥”,即国际桥之意。抗日战争胜利后,当时的国民政府以蒋介石的名字命名此桥,将“新万国桥”改为“中正桥”。1949年,天津解放后此桥正式更名为“解放桥”,并沿用至今。天津解放桥已成为天津人民心目中的城市象征。解放桥的鸟瞰实景如图1.27所示。



图 1.27 天津解放桥

解放桥跨越海河,为一座双叶立转式开启桥(图1.28),风格别致独特,为国内同类开启桥中仅存的一座。桥梁分为三跨,全长96.254m。中跨49.939m,为活动开启跨,边跨各24.232m,为固定跨。桥面宽12.20m,主桁左右各有2.75m的人行道。桥梁上部结构采用钢桁架形式,主桁中距14.48m。



图 1.28 开启中的解放桥

由于在长期使用中遭受环境侵蚀,解放桥产生了诸多病害,主要为钢结构锈蚀、主桁结构变形、开启功能丧失等。为打造独特的城市文化景观带,保存与继续使用优秀的老龄桥梁,满

足观光游艇和城市车辆通行需求,需要针对既有桥梁结构现状,进行系统的修复与加固,以恢复开启功能,使其重新焕发生命力。

解放桥维护改造于2005年开始,2006年底恢复通车。桥梁维护本着“修旧如旧”的原则进行,保留原有建筑风貌,尽可能利用现有的构件。另外,综合考虑解放桥的日车流量、航道规划通行的船只规格以及两岸道路接坡的限制,确定实施“小船自由通行,大船开启通行”的开启运营策略,即恢复解放桥开启功能,并且中跨采用优化的钢桥面系,以适当提高通行净空,同时减轻对车行交通的中断。修复总体方案如下^[6]:

(1) 拆除桥面板和平衡重,将中跨结构整体拆除并搬运至工厂内进行维修及除锈,更换或加强部分锈损构件。

(2) 工厂制造齿座梁、弧形梁和部分判废齿条等开启关键构件以及钢桥面系。

(3) 边跨整体顶升与除锈涂装。

(4) 现场拼装与安装开启跨结构,并实施预拼、预压与称重试验。

(5) 重新进行平衡设计与施工。

(6) 完成桥面铺装后修改平衡重配置布置,安装开启机械与电气设备,进行开启调试。

解放桥是立转开启桥的经典活化石,是经典的城市景观建筑。解放桥开启功能的修复,更好地满足了现行城市交通的需求,又延续了开启桥的历史。修复后解放桥日景如图 1.29 所示。

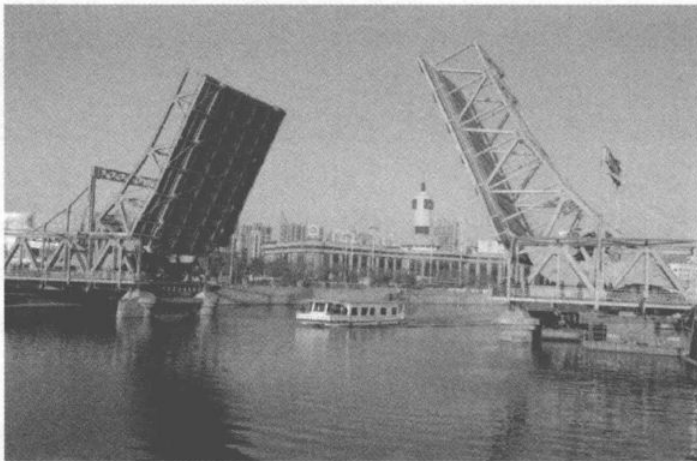


图 1.29 修复后解放桥日景

1.2 浙江路桥修复概况

1.2.1 桥梁基本情况

上海市浙江路桥建成于1908年,迄今已有百余年的历史,属于上海市市级不可移动文物(编号:310108945180000037),老桥实景如图 1.30 所示。该桥由英国人设计,所用钢构件为英国道门朗(Dorman Long)公司生产制造。