



韩振勇 编著

保护与修复
的创新实践

老城市
桥



上海科学技术出版社

城市老桥保护与 修复的创新实践

韩振勇 编著

上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书以天津的老桥为例,详细介绍了百年钢结构开启桥及 20 世纪 70 年代建成的预应力混凝土桥梁的保护与修复实践。

全书共分 7 章。第 1 章介绍了城市老桥概况以及城市老桥保护的发展方向。第 2 章介绍天津老桥的建设背景。第 3、4 章分别介绍天津海河解放桥加固、修复工程和金汤桥改建工程。解放桥和金汤桥是两座具有重要历史文化价值的百年钢结构开启桥,书中详述了钢结构铆接老桥修复的关键技术以及立转、平转式开启系统的修复技术。第 5、6 章分别介绍了狮子林桥同步顶升工程和北安桥改造工程。狮子林桥和北安桥修建于 20 世纪 70 年代,为简支单悬臂中间带挂孔的预应力混凝土箱梁结构,经过 30 多年的运营,基础沉降严重,通航净空不满足规划要求,桥面净宽亦不满足通行要求,书中详述了这两座桥梁的同步顶升技术和加宽技术。第 7 章介绍了针对其他老桥的保护工作。

本书是作者科研团队多年来研究成果和工程应用的集成,特色是以典型老桥为例介绍桥梁保护与修复工程的关键技术,主要面向从事桥梁设计、施工、管理的工程技术人员,也可以作为高等院校相关专业师生的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

城市老桥保护与修复的创新实践 / 韩振勇编著. —
上海:上海科学技术出版社,2019.10
ISBN 978-7-5478-4491-5

I. ①城… II. ①韩… III. ①古建筑—桥—保护—天津②古建筑—桥—修复—天津 IV. ①TU746

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 121297 号

城市老桥保护与修复的创新实践

韩振勇 编著

上海世纪出版(集团)有限公司 出版、发行
上海科学技术出版社
(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235 www.sstp.cn)

印刷

开本 787×1092 1/16 印张 14.25

字数 220 千字

2019 年 10 月第 1 版 2019 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5478-4491-5/U·91

定价:120.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,请向工厂联系调换

本书编审委员会

主 任

韩振勇

副主任

张振学

参编人员

王秀艳 王振南 杨江国 林 茂 王 英

审定人员

陈惟珍 井润胜 张显杰 汤洪雁 奚 鹰

序

桥梁作为建筑的一种,其跨越能力随着材料的发展、结构认知水平的提升、施工方法和机具的改进等,一直处于快速发展中。相对而言,早期修建的桥梁材料性能较差、荷载标准较低,经过几十年甚至上百年的运营,结构不堪重负,已阻碍了城市交通的发展。天津作为中国近代最早开埠的城市之一,各时期修建的有代表性的桥梁众多,如双叶立转式活动轴开启的解放桥、平转式开启的金汤桥、简支单悬臂中间带挂孔预应力混凝土箱梁结构的狮子林桥等。这些老桥代表了当时的桥梁建造水平,具有重要的文物保护价值,城市建设发展与老桥保护的矛盾日益引起工程界甚至普通市民的关注,如何运用现代技术解决这一矛盾成为桥梁建设者必须解决的难题。

《城市老桥保护与修复的创新实践》作者韩振勇总工程师是我指导的学生,他对国家和故土有着深深的感情,研究生毕业后放弃出国留学的机会,将所学奉献给祖国。出于强烈的职业与历史责任感,韩振勇以其扎实的专业知识、丰富的工程经验以及极大的勇气,为天津老桥的保护而奔走,并承担了天津老桥的保护与修复工作。多年前,我曾应邀担任天津市的顾问,为天津老桥的复原和保护提出过一些建议。

本书介绍的是天津老桥的保护与修复情况,更是对国内老桥保护现状的折射。老桥作为古建筑的一种,是人类文明的瑰宝。在科学技术迅猛发



展的今天,越来越多的新技术丰富了文物保护的形式。本书比较全面地介绍了老桥保护与修复的关键技术。可以预料,本书的出版将引起同行们的兴趣,并可为老桥修复提供参考。希望我的学生们继续努力,促进多学科融合发展,为人类的文物保护事业做出新的更大贡献。

项海帆

前言

本书作为城市老桥保护与修复相关书籍,旨在为广大桥梁建设技术人员提供一本可指导老桥修复设计、施工的技术性工具书。

作为桥梁建设传承与发展的重要环节,老桥的保护与修复工作具有特殊意义。以天津海河上的开启桥为例,建于 20 世纪初的解放桥、金汤桥均为钢结构开启桥,百年运营期间,经历战争、洪水、强震,桥梁结构承载能力部分耗散,开启功能丧失。而以解放桥、金汤桥为代表的老桥记录了当时的桥梁建造水平,经历了重大历史事件,具有重要的文物保护价值,对其进行复原并保护是桥梁建设者的责任,更是为后人留文物。文中详细阐述了解放桥、金汤桥的结构分析及优化、除锈技术、加固技术、开启系统修复技术等内容。20 世纪 70 年代,预应力技术方兴未艾,海河上又迎来一次桥梁建设高峰,以狮子林桥、北安桥为代表的三跨简支单悬臂中间带挂孔的预应力混凝土箱梁桥记录了这一时期的桥梁建造水平。至 21 世纪初,该类桥梁结构完整、功能完好,但经过 30 多年运营,累积的基础沉降使得桥梁通航净空不再满足规划要求,桥面狭窄,不再适合现代交通要求,如何解决结构功能完好与通行能力不足、桥下净空不足的矛盾是建设者们面临的主要问题。本书详细阐述了狮子林桥、北安桥改造过程中采用的同步顶升技术以及加宽技术。

作者多年来一直致力于城市老桥保护与修复工程的设计与施工工作,



以本书所述天津海河解放桥、金汤桥、狮子林桥、北安桥等城市老桥的修复改造工程为依托,主持了多项国家级、省部级科技攻关项目。本书是作者所带领的研究团队多年来理论成果和工程应用的总结,主要面向具有一定工程经验的技术人员,注重创新与实践,力求图文并茂,以实际工程案例的形式方便读者理解和掌握。

本书部分成果来自作者所主持的科研项目,工程设计案例均来自天津城建设计院有限公司主持设计的桥梁,工程施工案例来自天津城建集团及所属公司主持施工的桥梁。天津城建集团及所属公司、天津城建设计院有限公司、同济大学等单位为本书的相关研究提供了大力支持,于邦彦总工程师等桥梁专家、学者为城市老桥的修复与保护工作提出了很多有益的建议。在此对上述单位和专家学者以及参与本书内容研究的合作者表示衷心的感谢!

老桥保护与修复工作作为一项特殊的公益事业,需要社会各界的关心与支持。由于时间仓促和认识上的局限性,本书疏漏和不当之处在所难免,恳请广大读者不吝赐教,以便再版时修正。

作 者

目 录

第 1 章	绪论	1
1.1	城市老桥概况	3
1.2	城市老桥保护的发展方向	5
第 2 章	天津老桥的建设背景	7
2.1	近代百年钢结构开启桥	9
2.1.1	开启桥特点及分类	9
2.1.2	开启桥修建背景	11
2.2	20 世纪 70 年代修建的混凝土桥	12
2.3	老桥与现代城市建设的矛盾	14
第 3 章	解放桥加固与修复工程	17
3.1	解放桥历史背景	19
3.2	解放桥结构型式	21
3.3	解放桥修复前的技术状态评定	23
3.3.1	维修加固历史	23
3.3.2	修复前桥梁病害检测	25
3.3.3	实桥荷载试验	31
3.4	解放桥加固修复原则及对策	32
3.4.1	加固修复原则	32
3.4.2	加固修复对策	33



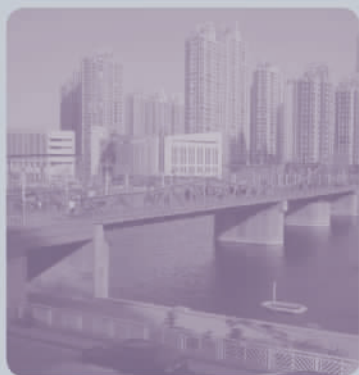
3.5	解放桥铆接工艺	33
3.5.1	铆接基本原理	33
3.5.2	铆接试验	35
3.5.3	铆接施工要点	39
3.5.4	铆接质量检验	41
3.5.5	铆接施工	42
3.6	板件脱漆除锈工艺	46
3.6.1	锈蚀原因分析	46
3.6.2	脱漆除锈实验方法	46
3.6.3	基材处理检验标准	51
3.7	涂装工艺实验	52
3.7.1	涂装工艺	52
3.7.2	油漆附着力测试	53
3.7.3	涂装验收方法	55
3.8	开启跨桥面铺装	55
3.8.1	铺装方案分析	56
3.8.2	压花钢板铺装方案	56
3.9	关键部件复原及优化	58
3.9.1	开启跨桥面系优化	59
3.9.2	齿座梁及弧形梁制造	59
3.9.3	平衡重制造	60
3.10	开启跨预拼预压及称重	62
3.10.1	预拼方案	62
3.10.2	预压方案	62
3.10.3	开启模拟方案	63
3.10.4	称重技术工艺原理	64
3.10.5	称重设备安装及称重	67
3.11	开启系统修复	69
3.11.1	开启系统修复原则	70
3.11.2	上桥传动机构	71
3.11.3	下桥传动机构	72

3.11.4	开启系统电气传动与控制方案	73
3.11.5	开启功能调试	74
3.12	结构修复受力分析	76
3.12.1	正常开启仿真分析	77
3.12.2	开启过程突发极限状态分析	81
3.12.3	风荷载作用下开启极限状态分析	82
3.13	修复后结构状态	84
第 4 章	金汤桥改建工程	87
4.1	金汤桥历史背景	89
4.1.1	金汤桥修建背景	89
4.1.2	金汤桥维修加固历史	90
4.2	金汤桥改建工程方案	91
4.2.1	金汤桥改建的必要性	91
4.2.2	原结构体系及开启系统	92
4.2.3	桥梁现状调查与结构病害	99
4.2.4	桥梁结构测量	104
4.2.5	桥梁结构详图恢复	106
4.2.6	改建原则及改建方案	108
4.3	铆接构件静力与疲劳试验	115
4.3.1	试验目的及内容	115
4.3.2	试验方案	115
4.3.3	静载试验	117
4.3.4	疲劳试验	119
4.4	金汤桥改建工程设计	121
4.4.1	设计规范及技术标准	121
4.4.2	主要设计参数	121
4.4.3	总体设计	122
4.4.4	钢桁梁设计	122
4.4.5	下部结构设计	126
4.4.6	开启系统设计	134

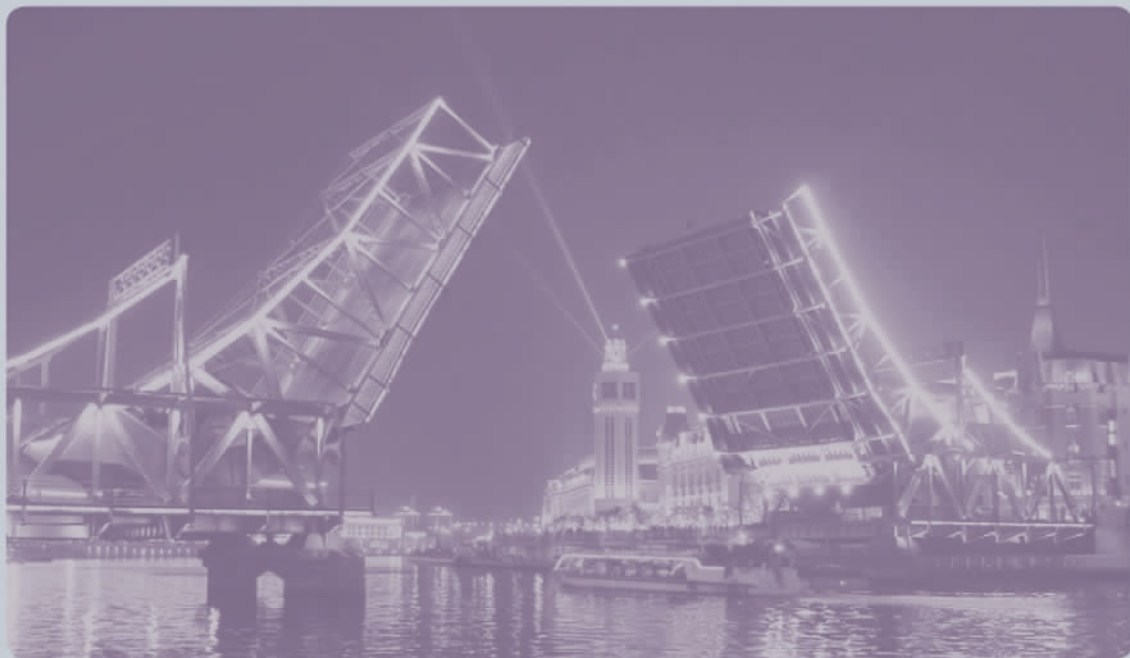


4.5	上部结构计算分析	140
4.5.1	主桁结构静力分析	140
4.5.2	主桁结构稳定分析	143
4.6	金汤桥重建施工	144
4.6.1	老桥拆除	144
4.6.2	新桥施工	145
4.6.3	现场预压实验	147
4.6.4	试开启	150
4.7	改建后的金汤桥	151
第5章	狮子林桥同步顶升工程	153
5.1	狮子林桥历史背景	155
5.1.1	狮子林桥结构型式	156
5.1.2	狮子林桥顶升的必要性	158
5.2	PLC控制液压同步顶升技术原理	159
5.2.1	技术指标及原理	160
5.2.2	桥梁同步顶升技术的控制原理	162
5.3	顶升设计的前期准备	162
5.3.1	桥梁状态检测及荷载试验	163
5.3.2	初步受力分析	163
5.4	顶升设计要点	164
5.4.1	顶升顺序设计	164
5.4.2	控制区域划分	166
5.4.3	液压缸布置	166
5.4.4	支承垫石及支座	170
5.4.5	限位措施	172
5.5	同步监测及应急措施	176
5.5.1	同步监测	176
5.5.2	应急措施	177
5.6	顶升施工方案设计	178
5.6.1	施工准备	178

5.6.2	顶升施工流程	181
5.6.3	顶升前结构称重	183
5.6.4	试顶升	184
5.6.5	正式顶升	184
第 6 章	北安桥改造工程	187
6.1	北安桥历史背景及改造内容	189
6.1.1	历史背景	189
6.1.2	改造内容	191
6.2	桥梁病害检测及维修方案	192
6.2.1	桥梁病害	192
6.2.2	维修方案	193
6.3	北安桥顶升工程	193
6.3.1	初步受力分析	193
6.3.2	支撑及千斤顶布置	194
6.3.3	钢管混凝土支座垫石	196
6.3.4	纵横向限位措施	198
6.3.5	顶升施工要点	199
6.3.6	总体施工流程	201
6.4	北安桥加宽工程	202
6.4.1	加宽桥方案比选	202
6.4.2	加宽桥设计	203
6.4.3	加宽桥施工	204
6.5	北安桥景观提升工程	205
6.5.1	设计思路	205
6.5.2	装饰结构设计	206
第 7 章	其他老桥的保护工作	207
7.1	大红桥	209
7.2	金华桥	210
7.3	金钢桥	211
	参考文献	214



第 1 章
绪 论



城市桥梁,顾名思义指城市范围内修建在河道上的桥梁、跨线桥、立交桥及人行天桥等。随着桥梁使用时间的延长以及城市建设的发展,该类桥梁往往存在承载能力、通行能力、桥下净空不足及景观效果不佳等问题。而这些老桥尤其是百年老桥往往承载着历史,记录了当时的桥梁技术水平,经历过重大的历史事件,具有重要的文物保护价值。因此,决策者往往面临城市建设发展与老桥保护的矛盾。

本章介绍了城市老桥概况以及城市老桥保护的发展方向。

1.1 城市老桥概况

河流是文明的发源地,有了水,人类才能生存,所以城市最初都是沿河慢慢形成。与上海的黄浦江、苏州河一样,海河是天津的母亲河,见证了天津的发源、生息与荣辱。海河是中国五大水系之一,地处华北平原九河下梢,横穿天津市区。自天津北运河、子牙河交汇处至塘沽入海口的河段称为“海河”,全长 72 km,最窄处 100 m,最宽处近 395 m,平均宽度 235 m,水深 6~7 m。天津位于海河流域下游,河湖水系丰富,有“九河下梢”“河海要冲”之称。也正是因为地理位置的原因,天津成了清朝皇帝出巡所用船只的集合地。天津简称“津”,意为天子渡过的地方,别名“津沽”“津门”等,曾是首都北京的门户。

正是因为有了海河,才有了天津近代的发展。海河功能的变迁,记载着天津的经济结构和城市建设的历史。明永乐年间(1404—1406年)京杭大运河疏浚整修,江南运粮船经海河上游到达大都(北京)。1409年试航海运后,运粮大船从渤海口进入海河,在三岔河口换平底船转运北京,在河岸形成了大量人流聚集,促成了天津设卫筑城,至今已有 600 多年历史。

乾隆年间,天津已成为华北地区水陆交通的枢纽,鱼盐产销的基地,中国北方重要的运输集散地及经济重镇。19世纪中期,随着铁路的发展,天津拥有交通便利、原料充沛及腹地辽阔的优势,促成了工业的快速发展。

1860年第二次鸦片战争之后,西方强国先后在海河岸边划定了 15 km² 的九国租界区,迫使天津的封建自然经济结构解体,形成了近代工业,发展了商业金融,兴建了市政设施,在海河沿岸兴建了大量的工厂、码头、仓库和商业。



作为水运交通的发达地区,天津市内海河的船运量较大。随着陆运交通的不断发展,承载着船运任务的水系逐渐成为制约城市整体交通的天然阻隔。在这种情况下,修建满足陆路交通的跨河桥梁便不可避免。由于天津的发源和发展是临河而居,许多城市建筑和道路分布在水系两岸,市内的海河附近更是这种现象突出的集中区域,该区域道路和建筑的高程高出海河常年水位的高度甚小,这就产生了两种选择:

(1) 修建固定不能开启的桥梁,为满足水运交通的船行净高,则需要将桥梁抬高,这就使得桥头的引路延伸相当的距离来拉坡,不仅造成沿河两侧道路在靠近桥梁处同时起坡以便顺接,而且桥头引路的延伸妨碍了沿河两侧的既有建筑。

(2) 修建开启桥梁,可以充分兼顾沿河两侧道路和既有建筑确定桥梁的修建高度。天津水运条件的便利,加上港口的发展,使天津的商业在 19 世纪时有了快速的发展。各国的商旅在天津云集,天津的租界在沿河形成了不同的势力范围。各租界设立国为自己的交通便利,同时也为展示其独特的设计,在其租界区域均修建了开启桥,开启桥便这样在天津产生和逐步发展,而海河成为多座不同形式开启桥的展示场所。

据统计,20 世纪初期,在海河及海河支流曾经修建的开启桥包括:单跨立转式的大红桥(西河新桥),定轴双跨立转式的金钟桥、金华桥和金钢桥,平转式的金汤桥,活动轴双跨立转式的解放桥等。至 21 世纪初,运营将近百年的钢结构开启桥饱经沧桑,结构退化严重,但作为国内开启桥的代表,这些老桥记录了当时的技术水平,具有功能价值、文物价值、科研价值及景观价值。因此,对其进行修复保护,并尽量保持原貌具有重大的意义。

随着天津城市的发展,越来越多商业及住宅临河而建。而预应力技术的进步大大推动了桥梁结构在体系方面的发展。20 世纪 70 年代前后,在海河较宽的地方修建了狮子林桥、北安桥、光华桥、赤峰桥、广场桥、大光明桥等 6 座桥梁。这一时期建设的桥梁,主要是以钢筋混凝土材料为主,上部结构为预应力混凝土简支单悬臂箱型梁,中孔带挂孔,下部为钢筋混凝土灌注桩,代表了当时最先进的建桥技术。至 21 世纪初期,运营 30 余年的混凝土桥梁整体结构基本完整,但基础沉降严重,桥下净空不再满足通航要求,在新一轮城市建设中这一矛盾愈加突出,亟待解决。

与天津面临的问题类似,上海浙江路桥(建于 1906 年)及外白渡桥(建于