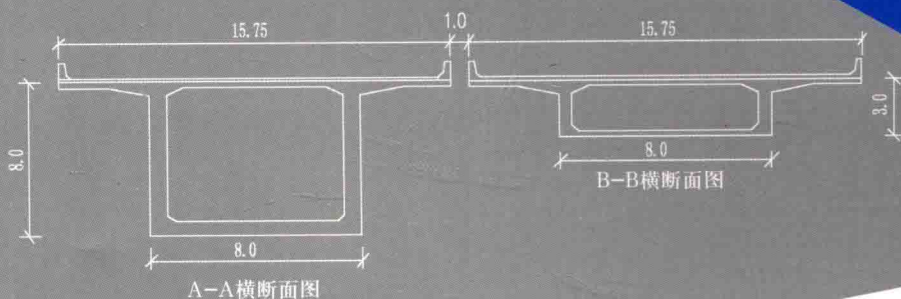


城市桥梁结构加固 技术指南

安关峰 主编



中国建筑工程工业出版社

城市桥梁结构加固 技 术 指 南

安关峰 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

城市桥梁结构加固技术指南/安关峰主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2015. 5
ISBN 978-7-112-18052-3

I. ①城… II. ①安… III. ①城市桥-桥梁结构-加固-指南 IV. ①U448.153-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 082524 号

本书详细介绍了我国城市桥梁的现状与加固需求、城市桥梁常见病害和加固方法及材料、增大截面加固法、粘贴钢板加固法、粘贴纤维带加固法、预应力加固法、桥梁抗震加固、其他加固方法、施工与验收、城市桥梁结构加固设计实务、工程综合加固实例。不仅详细介绍了各种加固计算方法,而且给出了具体的构造以及施工、验收要求;不仅强调城市桥梁构件加固设计,而且更强调城市桥梁结构加固的系统设计;不仅给出计算方法,而且提供桥梁加固的工程实例。

本书适用于城市桥梁检测人员、桥梁养护、管理、建设单位的相关人员以及质量监督人员,也可作为大专院校市政路桥工程专业的教学科研参考书。

责任编辑:田启铭 李玲洁

责任设计:李志立

责任校对:李美娜 赵颖

城市桥梁结构加固技术指南

安关峰 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京画中画印刷有限公司

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 18 字数: 448 千字

2015 年 10 月第一版 2015 年 10 月第一次印刷

定价: 69.00 元

ISBN 978-7-112-18052-3

(27240)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

编 委 会

主 编：安关峰

编 写：杨 斌 单成林 周朝阳 卓卫东 黄龙田

尹浩辉 叶锡钧 陈力波 逯彦秋 李 贵

陈海英 李建明

主编单位：广州市市政集团有限公司

参编单位：华南理工大学

中南大学

福州大学

广州交通投资集团有限公司

广州奔达建工补强专业有限公司

北京市首都公路发展集团有限公司

广州市第一市政工程有限公司

广州市第二市政工程有限公司

广州市第三市政工程有限公司

广州市市政工程机械施工有限公司

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发 2012 年工程建设标准规范制订、修订计划的通知》(建标 [2012] 5 号) 的要求,第 114 号标准《城市桥梁结构加固技术规程》CJJ/T 239 (以下简称《规程》) 由广州市市政集团有限公司会同有关单位共同负责编制。《规程》编委会通过查阅相关资料,总结了我国桥梁结构加固设计与施工经验,研究了国内外相关标准和先进的加固技术,结合城市桥梁特点,编制了适合我国城市桥梁结构加固设计、施工、验收的技术规程,对规范城市桥梁结构加固具有重要意义。

经专家审查委员会审定,《规程》内容充实,结构合理,与现行相关的技术规范和标准协调一致,具有可操作性和实用性,达到了国内领先水平。由于标准编制要求及篇幅所限,《规程》编制过程中许多文献和依据等详细的内容无法列入,为推动对标准的理解与贯彻执行,编委会将有关城市桥梁加固技术进行了详细梳理,编制了《城市桥梁结构加固技术指南》(以下简称《指南》)。《指南》详细介绍了我国城市桥梁的现状与加固需求、城市桥梁常见病害和加固方法及材料、增大截面加固法、粘贴钢板加固法、粘贴纤维带加固法、预应力加固法、桥梁抗震加固、其他加固方法、施工与验收、城市桥梁结构加固设计实务、工程综合加固实例。《指南》不仅详细介绍了各种加固计算方法,而且给出了具体的构造以及施工、验收要求;不仅强调城市桥梁构件加固设计,而且更强调城市桥梁结构加固的系统设计;不仅给出了计算方法,而且提供了桥梁加固的工程实例。《指南》既可作为大专院校师生的参考书,也可供桥梁设计、施工、监理以及运营维护人员借鉴使用。

《指南》在使用过程中,敬请各单位总结经验,积累资料,发现问题及时将意见和建议反馈至广州市市政集团有限公司。通信地址:广州市环市东路 338 号银政大厦 23 楼,邮编:510060,以便今后修订时参考。

编委会

2015 年 2 月

目 录

第 1 章 我国城市桥梁的现状与加固需求	1
1.1 我国城市桥梁现状	1
1.2 城市桥梁加固的目的与要求	7
1.3 城市桥梁加固的程序与原则	8
第 2 章 城市桥梁常见病害和加固方法及材料	9
2.1 城市桥梁常见病害与缺陷	9
2.2 常用加固方法及技术特点	12
2.3 加固用材料	15
第 3 章 增大截面加固法	20
3.1 技术特点与适用范围	20
3.2 受弯构件加固计算原理及方法	22
3.3 受压构件加固计算原理及方法	38
3.4 增大截面加固法加固计算示例	44
第 4 章 粘贴钢板加固法	62
4.1 技术特点与适用范围	62
4.2 粘贴钢板加固法的设计原理	63
4.3 粘贴钢板加固法加固计算示例	72
第 5 章 粘贴纤维带加固法	82
5.1 技术特点与适用范围	82
5.2 粘贴纤维带加固受弯构件的原理及方法	84
5.3 粘贴纤维带加固受压构件的原理及方法	90
5.4 粘贴纤维带加固受拉构件的原理及方法	92
5.5 粘贴纤维带加固法加固计算示例	93
第 6 章 预应力加固法	99
6.1 技术特点与适用范围	99
6.2 设计及计算原理	100
6.3 预应力加固法加固计算示例	102

第 7 章 桥梁抗震加固	143
7.1 结构系统抗震加固特点及设计原理	143
7.2 结构构件抗震加固原理及方法	147
7.3 桥梁抗震加固计算示例	157
第 8 章 其他加固方法	165
8.1 改变结构体系加固法	165
8.2 增强横向整体性加固法	168
8.3 桥梁下部结构加固	171
第 9 章 施工与验收	189
9.1 增大截面加固法	189
9.2 粘贴钢板加固法	194
9.3 粘贴纤维带加固法	198
9.4 预应力加固法	200
9.5 桥梁抗震加固	202
9.6 改变结构体系加固法	207
9.7 桥梁下部结构加固	209
9.8 支座和伸缩缝装置更换	212
第 10 章 城市桥梁结构加固设计实务	215
10.1 桥梁加固设计的特点	215
10.2 桥梁检测评定	216
10.3 加固设计目标	228
10.4 加固设计方法选择	230
10.5 加固设计各阶段的工作内容和要求	232
10.6 桥梁加固设计中的几个实际应用问题	235
10.7 包络设计法算例	245
第 11 章 工程综合加固实例	259
11.1 实例一	259
11.2 实例二	264
11.3 实例三	268
11.4 实例四	273
参考文献	280

第 1 章 我国城市桥梁的现状与加固需求

1.1 我国城市桥梁现状

1.1.1 发展现状

城市桥梁指的是城市范围内，修建在河道上的桥梁和道路与道路立交、道路跨越铁路的立交桥及人行天桥。包括永久性桥和半永久性桥，不包括临时性桥、铁路桥、涵洞。而我国《城市桥梁设计荷载标准》CJJ 77—1998 将城市桥梁定义为“城市内新建、改建的永久性桥梁和城市高架道路结构以及承受机动车辆荷载的其他结构物”。

近年来，随着城市快速发展，我国城市道路桥梁设施发展较快，截至 2013 年底，全国共有城市道路 33.6 万 km、城市桥梁近 6 万座。下面简要地概述一下我国几个具有代表性城市的桥梁发展状况。

1. 北京的城市桥梁

改革开放以来，北京地区建立起了各类大中型桥梁，特别是一大批立交桥、城市跨线桥梁、轻轨铁路高架桥等。2001 年北京建成全长 65.3km 的四环快速路，其中包括 147 座各类桥梁，总面积达 48.5 万 m^2 ；2003 年建成全长 97km 的五环路高速路，其中包括立交 55 座，其中大型互通式立交 12 座，特大桥 11 座，全线桥梁 259 座，各类桥梁面积达 70 万 m^2 。截至 2010 年底，北京地区已建立 400 多座立交，可称中国之最。近年来北京地区又在城市桥梁新桥型的设计（如北京京承高速路潮白河上的矮塔斜拉桥、地铁 5 号线清河曲线斜张桥和昌平南环自锚式悬索桥）和设计理念的创新等方面迈出了坚实的一步。图 1-1 为北京昌平南环大桥（自锚式悬索桥）。

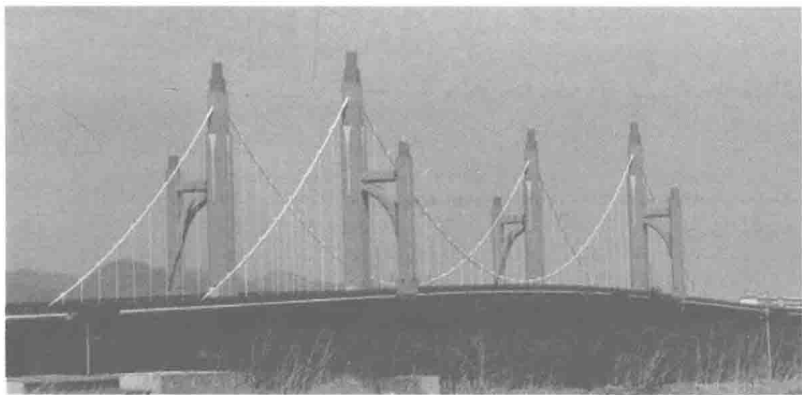


图 1-1 北京昌平南环大桥（自锚式悬索桥）

2. 上海的城市桥梁

20 世纪末，上海地区建成了 5 万多座桥梁，其中就有 6 座跨越黄浦江的大桥。上海

桥梁以数量众多、密度较高、桥型丰富、外形美观等特点著称。桥梁已经成为推动上海快速发展的重要交通设施。

上海的桥梁建设从 20 世纪 90 年代开始了向世界先进水平攀登。其中杨浦大桥是主跨 602m 的结合梁斜拉桥，杨浦大桥总长 7553m，主桥长 1172m，采用一跨过江的双塔双索面钢—混凝土结合梁结构。2003 年建成的全长 3.9km 的卢浦大桥是上海黄浦江上第 1 座全钢结构的拱桥，也是目前黄浦江上海市区内，继杨浦、南浦、徐浦大桥之后的第 4 座越江大桥。2005 年建成的全长 32.5km 的东海大桥起始于上海浦东新区（原南汇区）芦潮港，北与沪芦高速公路相连，南跨杭州湾北部海域，直达浙江嵊泗县小洋山岛，是上海国际航运中心深水港工程的一个组成部分，被上海市政府列为“一号工程”（见图 1-2）；2008 年建成的全长 35.57km 的杭州湾跨海大桥（见图 1-3），将宁波至上海间的陆路距离大大缩短为 120km，形成以上海为中心的江浙沪两小时交通圈。



图 1-2 东海大桥



图 1-3 杭州湾大桥

3. 天津的城市桥梁

天津市在我国城市桥梁建设中占有重要的地位。天津市自1987年建成260m的永和斜拉桥以来至今已修建9座斜拉桥：包括主钢筋混凝土混合型独塔斜拉桥——塘沽海河大桥（主跨为310m），斜独塔斜拉桥——海河保定桥（主桥跨径为51m+120m），以及拱形斜独塔斜拉桥——河北路立交子牙河桥（主跨为145m）等；还建造了两座新颖的钢管拱桥，其中海河大沽桥为不对称拱桥（24m+106m+24m），系由美籍华人邓文中院士构思设计的不对称拱肋钢管拱桥。海河奉化大桥系三跨中承式钢拱桥（56m+138m+56m），其箱型钢拱肋为三维曲线造型，箱顶板呈弧形，箱型钢拱肋之间由几个形状各异的金属叶片状隔板相连接，桥型新颖别致。同时，天津市又修建了自锚式悬索桥——子牙合咸阳路桥（主跨为115m），以及集交通、观光、游览为一体的巨型摩天轮桥梁——慈海桥，上层供车辆行驶，下层供行人通行，并设有餐厅、娱乐等设施，该桥采用日本川口卫设计事务所的设计方案（见图1-4）。



图1-4 天津慈海桥

4. 广州的城市桥梁

截至2012年底，广州共拥有桥梁1080座，总长度超过150km。广东的桥在全国有着重要的地位，公路交通还有“山东的路，广东的桥”的说法。而广东的桥又集中在珠江三角洲，广州就占了很大一部分。

广州城市桥梁不仅数量大，而且结构样式多。在跨越珠江的十几座大跨径桥梁中，就有斜拉桥（海印大桥、鹤洞大桥）、钢筋混凝土拱桥（解放大桥）、刚构桥（广州大桥）、连续梁桥（江湾大桥）、钢桁架桥（海珠桥）、自锚式悬索桥（猎德大桥），见图1-5、钢拱桥（新光大桥，见图1-6）等各种桥型；纵横林立市区的高架桥中，也有预应力简支梁桥、结合梁桥、连续梁桥、曲线梁桥等不同的结构体系；各种互通或半互通式立交桥，其平面线形更是各异，形成形式复杂的异形桥梁。

5. 重庆的城市桥梁

改革开放以来，重庆修筑了大量的桥梁，采用了大量新技术、新材料、新工艺和先进设备，在桥梁技术上有了较大的发展，许多桥梁都达到了国内领先水平，奠定了“中国桥都”的地位。

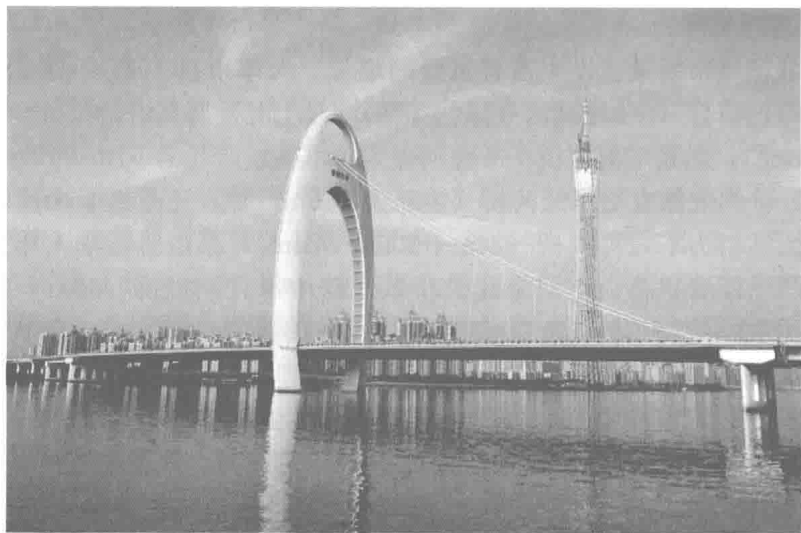


图 1-5 猎德大桥

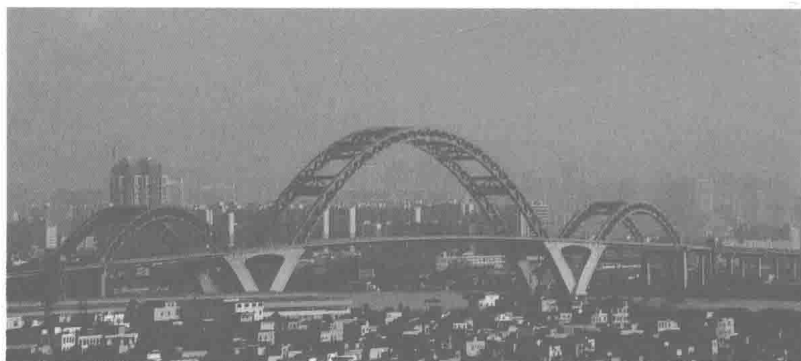


图 1-6 新光大桥

20 世纪 80 年代重庆市修建了重庆长江大桥（1980 年 7 月通车）和石门大桥（1988 年建成）；随着直辖市的建立，重庆市城市桥梁建设蓬勃发展。重庆市确定 1996~2020 年计划修建 16 座大型跨江桥梁。最近十多年来相继修建了朝天门长江大桥（主桥为 190m+552m+190m 的中承式钢桁连续系杆拱桥）、菜园坝长江大桥（主跨 420m 的目前国内最大的公共交通和城市轻轨两用大跨径拱桥，为集刚构、钢桁梁和系杆拱于一体的组合结构体系，见图 1-7），它的建成通车将主城区的江北、渝中和南岸三区紧密连接起来，形成重庆市的又一条南北大通道；石板坡长江复线大桥于 2006 年 8 月竣工通车，形成石板坡姊妹桥，它将 330m 梁桥的中部改用 103m 的钢梁，形成钢混结构，成为钢桁结构桥的世界第一跨。这些桥梁的建设都已经表明重庆市的桥梁已经达到了世界先进水平。

6. 其他城市的城市桥梁

其他城市的桥梁在近二三十年来都有了较大的发展。如近年武汉修建的天兴洲长江大桥、军山长江大桥，南京的长江二桥、三桥等。这些桥梁的建设都表明了我国正处于桥梁建设的新时期。



图 1-7 重庆菜园坝长江大桥

1.1.2 功能现状

从一些发达国家的经验教训看来，在经济建设快速发展时期建造的桥梁的性能往往衰退得最快。因为在经济建设快速发展时期，各国都不乏存在赶抢工期换取发展速度的问题，这无疑将会给桥梁的安全性能留下许多不能忽略的隐患。美国曾经在 1981 年统计共有 1/5 的桥功能老化，其他国家亦面临着同样的问题。桥梁的陈旧、老化、强度降低这已经成为一个全球性的问题，引起了世界各国的极大关注。

我国近几年的桥梁垮塌事故从非常态偶发变为常态性频发（见图 1-8），暴露出了我

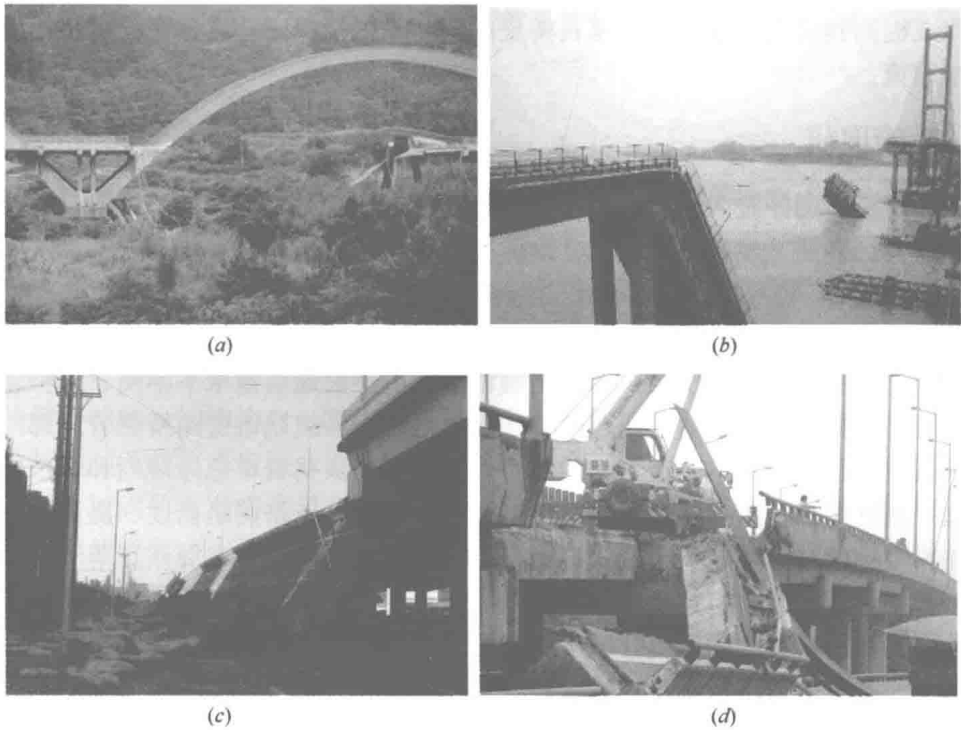


图 1-8 近年来发生的一些桥梁坍塌事故

(a) 2011 年：江苏盐城滨海榆河大桥；(b) 2007 年：广东九江大桥；(c) 2012 年：哈尔滨大桥；
(d) 2011 年：杭州钱塘江大桥

国现役的部分城市桥梁结构存在不同程度的缺陷,有相当一部分正处于一种“带病”工作甚至是存在严重安全问题的状态。城市桥梁工程作为关系国计民生的基础工程或标志性工程,其投资规模和社会影响巨大,如果出现坍塌或破坏,将会引起一连串灾难性后果,导致整个城市应急及管理系统的瘫痪,对公众的生命财产安全将构成极大的威胁。城市桥梁的安全问题已成为政府职能部门和社会关注的焦点。

另一方面,随着交通运输事业的快速发展,交通运输量大幅度增长,行车的密度及车辆的载重越来越大。尤其是推行拖挂运输和集装箱运输后,重型车辆日益增多。这无疑大大加重了城市桥梁承载的压力。许多新中国成立前遗留下来的老桥以及 20 世纪五六十年代按照旧标准修建的桥梁,由于设计标准低,不少桥梁承载力不足、宽度不够。现有的公路桥梁中,特别是修建年代已久的桥梁已经不满足使用上的要求。

对于以上两种情况的城市桥梁,如果全部拆除重建,不仅资金耗费巨大,而且在时间上也不允许。据四川省交通科研所统计,仅四川的桥梁就价值 20.24 亿元,不要说全部重修,就是重修一半也是无法办到的。即使是经济最发达的美国,若将 40% 的桥梁推倒重建,大约需要 3000 亿~5000 亿美元,也是不现实的。而据资料介绍,旧桥的加固改造费用仅为新建桥梁的 10%~20% 左右,国内已有桥梁加固经验表明,一般情况下拱式桥梁的加固费用约为重建新桥的 20%~30%,梁桥的加固费用高于拱桥,通常为 30%~40%。因此,加固旧桥危桥,恢复和提高它们的承载能力,使其尽可能地继续为现代交通运输服务,能为国家带来巨大的社会效益和经济效益。我国把既有桥梁视为国家的宝贵财富,竞相投入大量的人力、物力,不断加强现有桥梁的维修、养护、加固与改造,使其恢复设计承载能力或提高其荷载标准,并把延长桥梁的使用年限及保障公路建设的可持续发展作为一项基本国策。

1.1.3 政策现状

为贯彻落实《国务院关于加强城市基础设施建设的意见》(国发[2013] 36 号),住房和城乡建设部日前下发《住房城乡建设部关于加快城市道路桥梁建设改造的通知》(建城[2014] 90 号),要求各地加快城市道路桥梁建设改造,保障城市道路桥梁运行安全。

近年来,随着城市快速发展,我国城市道路桥梁设施发展较快,部分城市发生桥梁倒塌、路面塌陷、窨井伤人等事故,暴露出城市道路桥梁设施质量水平不高、养护管理不到位、安全隐患处置不及时等诸多问题。通知要求:(1)各级城市道路桥梁管理部门要充分认识加快城市道路桥梁建设改造工作的重要性,要严格依据城市总体规划和城市道路交通专项规划,制订城市道路年度建设计划。近期,要以提升道路网络密度、提高城市道路网络连通性和可达性为重点,安排城市道路建设改造项目。(2)各地要认真落实城市道路桥梁的养护管理责任,新(扩、改)建及改造城市道路桥梁的建设单位应及时向管养单位移交设施及相关档案材料,确保所有城市道路桥梁都纳入养护监督体系内。管养单位要严格按照国家及地方城市道路桥梁养护技术规范要求,定期对城市道路桥梁进行养护、维修,及时排除城市道路桥梁安全隐患。各城市应尽快完成城市桥梁的安全检测,形成分析评估报告,及时上报当地人民政府。对判定为危桥的,要制订加固改造计划和方案,立即采取积极有效措施消除安全隐患,2015 年年底前,完成对危桥的加固改造,保证所有桥梁在安全受控下运行。

1.2 城市桥梁加固的目的与要求

1.2.1 桥梁加固的目的

桥梁需要加固的主要原因是因为桥梁存在缺陷病害或者承载力不足而使得桥梁不能正常工作。而桥梁加固的目的则是使被加固桥梁能继续服役。所以,桥梁加固的目的主要可以归结为以下两点:

(1) 确保在役桥梁的安全、完整、适用与耐久。

在服役过程中的桥梁不可避免地会经常受到风、雨等外界环境的影响,还承担着过行车辆荷载的冲击,这将使得桥梁不断累积损伤并形成病害。此时最有效的措施是及早地发现桥梁的损伤并处理,防止损伤病害的扩大,确保桥梁结构的安全性和耐久性。相反,如果没有及时对带病桥梁进行加固,随着病害的扩大,很有可能会使桥梁过早结束其使用寿命,严重时甚至会发生不可挽回的安全事故。因此确保桥梁的安全和耐久性是桥梁加固的一个重要目的。

(2) 提高原有桥梁的承载能力。

随着经济的发展,交通运输事业也快速发展,交通运输量大幅度增长,行车的密度及车辆的载重越来越大。尤其是推行拖挂运输和集装箱运输后,重型车辆日益增多。这使得原有桥梁的设计荷载已经不能满足日常的使用需求。而加固改造承载力不足的桥梁可以提高旧桥的承载力,适应交通运输事业的发展,使得旧桥继续服役,为经济发展做贡献。

1.2.2 桥梁加固的要求

桥梁需要加固的原因有很多,或是因为存在影响桥梁工程的缺陷或损失,或是桥梁承载力已经不能满足交通的需求。通常需要加固的桥梁都处于交通要道,加固期间难免会影响交通运输。而且从某种意义上讲,旧桥的加固改造难度甚至会超过新建桥梁。这些都是桥梁加固会遇到的难题。如何处理这些问题,需要对桥梁改造提出以下的基本要求:

(1) 在确定加固方案以前必须对加固构件进行详细的检查和可靠性评价,全面了解已有结构的材料性能、结构构造、结构体系,并掌握结构的缺陷和损伤等方面的信息,对结构的受力状态和承载能力进行分析。

(2) 桥梁加固的方案应该符合技术可行、经济合理、施工方便、效果可靠的原则。在选择加固方案的时候应该结合加固桥梁的实际状况和加固后的受力特点,对结构整体进行分析,确保所选方案的加固效果符合桥梁的使用要求。在符合使用要求的基础上,应综合经济指标,选取最优的加固方案。

(3) 尽可能利用原结构的承载能力,减少对原结构造成损伤。在选择加固方案时,应该尽可能保留原结构。结合原结构的实际状况和加固后的受力特点,对结构整体进行分析,在保证加固后结构符合要求的基础上减少对原结构造成的改造损伤。

1.3 城市桥梁加固的程序与原则

1.3.1 桥梁加固程序

桥梁加固的主要内容有现场调查与资料收集、桥梁结构检查、加固前承载能力评定、加固增强设计、加固施工及控制养护和管理竣工验收。对于某些工程还包括加固后荷载试验等加固效果评价。

桥梁加固是一项严密的系统工程，一般应遵循以下的工作程序：

结构可靠性鉴定→加固方案确定→加固设计→施工组织设计→施工→验收。

结构可靠性鉴定主要是了解桥梁结构的缺陷和损伤的信息，为加固方案的确定奠定基础。加固方案是对桥梁进行全面分析后制定的加固改造的“处方”。加固设计是现行规范和有关标准对加固方案的深化过程。加固施工是对被加固结构按照加固设计进行加固施工的过程。为了保证加固的质量和安全性，对大型结构加固，施工前应编制施工组织设计。

1.3.2 桥梁加固原则

我国目前的加固规范颁布的时间较短，加固行业发展还未完全成熟，仍然存在不少混乱。不少加固行业存在随意选择加固材料，单凭经验和感觉进行加固设计的问题。他们对于如何能获得良好的加固效果和如何选择加固方案也没有一套固定的准则。许多加固设计者设计时常粗略计算，没有考虑不同施工阶段的验算要求，有些甚至不作计算。对于加固方案除了加固效果外，还应进行经济分析。桥梁加固的目的就是创造良好的社会效益和经济效益，可惜对经济效益进行全面分析的设计少之又少。因此，为了获得良好的加固效果和经济效益，桥梁加固行业需要严格遵守如下原则：

(1) 方案制定的总体效应原则

应该对结构的材料性能、构造、体系以及缺陷和损伤等信息有全面的了解，分析结构的受力现状，为加固方案奠定基础。还要考虑加固前后的受力状况，避免在加固过程中留下隐患造成安全事故。

(2) 荷载取值和承载力验算的基本原则

加固设计必须进行荷载取值和承载力验算。加固承受的荷载应该到现场进行调查取值。按照规定进行承载力验算时应该考虑结构加固时的实际受力程度，加固部分的受力滞后特点和加固部分与原结构协同工作的程度等。

(3) 材料的选用原则

选用的材料种类和性能应尽量与原结构一致，保持结构良好的结合效果。

(4) 结构方案应技术可靠、方便施工的原则

综合需要加固桥梁的整体情况和特点，采取合适的可靠技术。在加固方法的设计和施工组织上采取有效措施，尽可能减少对使用环境和相邻建筑结构的影响。

(5) 经济合理，减少对原有结构损伤原则

在兼顾经济性的前提下，尽量不更改原结构形式，避免对原结构造成损伤。

第2章 城市桥梁常见病害和加固方法及材料

2.1 城市桥梁常见病害与缺陷

2.1.1 混凝土裂缝

裂缝是城市桥梁中最普遍、最常见的病害,几乎没有不产生裂缝的桥梁。裂缝主要发生的位置在梁的跨中、支座两侧、梁侧以及梁底,不同的位置其发生的原因也不同,跨中及支座处的裂缝主要是结构裂缝,而其余位置处的裂缝主要是非结构裂缝。裂缝对钢筋混凝土桥梁不仅在其服役期间形成安全隐患,而且将长期对桥梁造成不良影响。一些较为严重的裂纹如贯穿缝、网裂对桥梁的安全运行造成严重危害;另外,裂缝往往是引起桥梁其他病害的重要因素,如钢筋腐蚀、冻融破坏等,这些病害和裂缝形成恶性循环,对桥梁的耐久性造成严重危害。

混凝土产生裂缝的机理是混凝土中拉应力大于其抗拉强度或拉应变大于其极限拉应变。而城市桥梁中裂缝的产生主要归结为以下几个原因:

(1) 荷载裂缝

在工程实践中,由荷载引起的裂缝占总混凝土桥梁裂缝的20%左右。荷载裂缝是混凝土桥梁在静、动荷载及次应力作用下产生的裂缝,主要分直接应力裂缝和次应力裂缝。直接应力裂缝是指混凝土桥梁由外荷载引起的直接应力产生的裂缝;次应力裂缝是指混凝土桥梁由外荷载引起的次生应力产生的裂缝。

(2) 温度变化引起裂缝

在外界温度发生变化时,桥梁产生裂缝的一个原因是混凝土内部与外部温度变化不一致导致变形不一致而产生裂缝。另一个原因是若混凝土在变形的时候受到约束,则在结构内部就会产生温度应力,当应力大于混凝土抗拉强度时便会产生裂缝。

(3) 收缩引起的裂缝

混凝土常因收缩引起裂缝。其中混凝土的塑性收缩和缩水收缩是引起混凝土体积变形的主要原因,另外还有自身收缩和碳化收缩。

(4) 地基基础变形引起的裂缝

由于基础竖向不均匀沉降或水平方向位移,使结构中产生附加应力,超出混凝土结构的抗拉能力,导致结构开裂。基础不均匀沉降的主要原因有:地质勘察精度不够、试验资料不准、地基地质差异太大、结构基础类型差别大、地基冻胀等。其中没有充分掌握地质情况就设计、施工是造成地基不均匀沉降的主要原因。

(5) 钢筋腐蚀引起的裂缝

由于混凝土质量较差或保护层厚度不足,混凝土保护层受二氧化碳侵蚀碳化至钢筋表面,使钢筋周围混凝土碱度降低,或由于氯化物介入,钢筋周围氯离子含量较高,均可引

起钢筋表面氧化膜破坏，钢筋中铁离子与侵入到混凝土中的氧气和水分发生锈蚀反应，其锈蚀物氢氧化铁体积比原来增长约 2~4 倍，从而对周围混凝土产生膨胀应力，导致保护层混凝土开裂、剥离，沿钢筋纵向产生裂缝，并有锈迹渗到混凝土表面。由于锈蚀，使得钢筋有效断面面积减小，钢筋与混凝土握裹力削弱，结构承载力下降，并将诱发其他形式的裂缝，加剧钢筋锈蚀，导致结构破坏。

(6) 冻胀引起的裂缝

当气温低于 0℃ 时，吸水饱和的混凝土出现冰冻，游离的水转变成冰，体积膨胀 9%，因而混凝土产生膨胀应力；同时混凝土凝胶孔中的过冷水在微观结构中迁移和重分布引起渗透压，使混凝土中膨胀力加大，混凝土强度降低，并导致裂缝出现。

2.1.2 混凝土碳化及钢筋锈蚀

混凝土碳化是混凝土所受到的一种化学腐蚀。二氧化碳渗透到混凝土内，与混凝土自身的碱性物质发生化学反应生成碳酸盐和水，使得混凝土碱度降低。混凝土碳化和氯离子入侵又使得钢筋锈蚀。这是混凝土桥梁中比较常见和严重的一种病害。

随着混凝土碳化和钢筋锈蚀（见图 2-1 和图 2-2），结构的承载力下降，桥梁就会处于一种不安全的状态，当达到一定程度就会造成桥梁倒塌，发生安全事故。

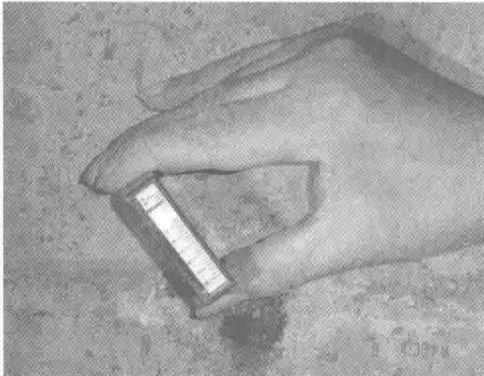


图 2-1 测试混凝土碳化深度

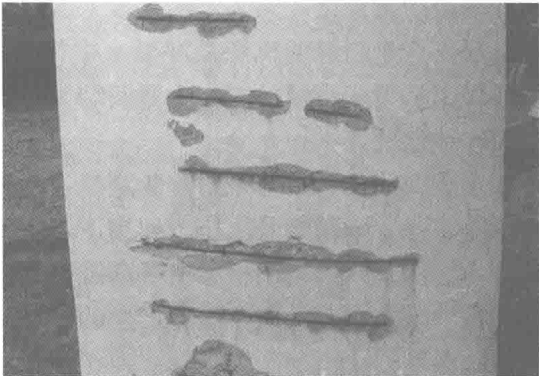


图 2-2 墩柱钢筋被腐蚀

2.1.3 剥蚀

剥蚀是从混凝土的外观破坏形态着眼，对混凝土桥梁结构表面混凝土发生蜂窝、麻面、露石、酥松起皮和剥落等病害的统称。如图 2-3 和图 2-4 所示。

根据不同的机理，剥蚀可分为冻融剥蚀、冲磨和空蚀、水质侵蚀、风化剥蚀等。

冻融剥蚀：是指在水饱和或潮湿状态下，由于温度正负变化，结构物的已硬化混凝土空隙水结冻膨胀，融解松弛，产生疲劳应力，造成混凝土由表及里逐渐剥蚀的破坏现象。冻融剥蚀破坏会使钢筋混凝土桥梁的墩台、梁板、桩等钢筋混凝土结构的有效截面积减小，并诱发钢筋锈蚀，加速老化过程，导致结构物的承载能力和稳定性下降。

冲磨和空蚀：空蚀破坏一般表现为在流过的墩台上表面局部位置出现空蚀剥蚀坑，但其他部位完好，蚀坑深度有时达几厘米；冲磨剥蚀一般面积较大，并具有一定的连续性。冲磨和空蚀破坏发展到一定程度可能诱发大面积的水力冲刷破坏。