

高速公路桥梁

加固成套技术与工程实践

GAOSU GONGLU QIAOLIANG

JIAGU CHENGTAO JISHU YU GONGCHENG SHIJIAN

杨琪 主编



人民交通出版社
China Communications Press

“广东交通科技计划”资助

高速公路桥梁加固成套技术与 工程实践

杨 琪 主 编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书总结了近几年来编者在高速公路桥梁加固方面的研究成果和工程实践经验,是对高速公路桥梁加固成套技术的总结。书中除了对各种高速公路典型桥梁的加固方法进行介绍以外,还以实例的形式,重点突出了前述的加固成套技术的应用。本书主要内容包括:高速公路桥梁常用加固技术、在役桥梁状态识别和监测技术、大跨度 PC 梁桥下挠和开裂加固实例、等截面连续 PC 箱梁桥加固实例、变截面连续 PC 箱梁桥加固实例、严重开裂工字梁桥加固实例、严重开裂空心板梁加固实例、严重开裂 T 梁桥加固实例、斜拉桥换索调索工程实例、梁桥支座更换工程实例及盖梁开裂加固工程实例等。

本书可供公路桥梁养护与加固技术人员使用,也可供相关院校师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

高速公路桥梁加固成套技术与工程实践/杨琪主编.

—北京:人民交通出版社,2010.9

ISBN 978-7-114-08600-7

I. ①高… II. ①杨… III. ①高速公路—公路桥—加固—广东省 IV. ①U448.145.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 182991 号

书 名:高速公路桥梁加固成套技术与工程实践

著 作 者:杨 琪

责任编辑:曲乐 郑蕉林

出版发行:人民交通出版社

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)59757969、59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:787×960 1/16

印 张:20.5

字 数:349 千

版 次:2010 年 10 月第 1 版

印 次:2010 年 10 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-08600-7

印 数:0001~2000 册

定 价:45.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

编写委员会

BIANXIEWEIYUANHUI

主 任：黄建跃

副 主 任：周余明 李希元 李晋峰

委 员：李卫民 王甲辰 林益恭 王萍
辛镜坤 杨 琪

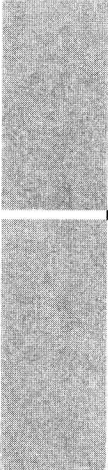
主 编：杨 琪

副 主 编：辛镜坤 李卫民 王甲辰 林益恭

成 员：王 萍 周岳华 马扬前 石雪飞
阮 欣 陈 旭 王茜茜 李晓翔
魏汉锋

审 稿：辛镜坤 杨 琪

统 稿：杨 琪



序

XU

高速公路作为国家的重要基础设施,是发展经济、造福社会、巩固国防的重要支撑力量。我国高速公路建设经历近 20 年迅猛发展,取得了巨大的成就。截至 2009 年底,我国高速公路通车里程已达 6.51 万公里,位居世界第二,已建成 62 万多座公路桥梁,已成为桥梁大国。维护好高速公路路网的安全和畅通,全力保证桥梁正常使用,最大限度地发挥高速公路的骨架作用,是交通部门的重要责任。

一些桥梁或因设计和施工造成先天的“营养不良”,加上这些年超限超载猖獗和交通量的剧增,不少桥梁后天“劳累”过度,不仅受了“外伤”,还受了“内伤”,而且损伤不断积累。桥梁处于“亚健康”或“不健康”状态,有些桥梁已透支“健康”,长时间“带病工作”,结构安全性和耐久性降低,结构安全风险加大,有些桥梁过早进入大修或中修维修加固周期。随着高速公路运营时间和里程的增加,桥梁管养任务越来越繁重,难度也越来越大。如何科学合理地利用有限的资金和技术等资源管养好高速公路旧桥和病桥,已经成为我们面临的亟须解决的难题。

从目前高速公路桥梁管养技术的发展看,经过十几年的摸索,国内从无到有,已经在材料无损检测和加固施工技术方面积累了一定的经验,为桥梁加固技术的系统集成创新打下了基础。同时,得益于新桥建设中先进施工设备、复杂分析技术的快速发展,在桥梁结构性能分析方面也取得了长足进步。基于这些积累,复杂的在役结构状态识别和性能评估成为可能,同时也使得综合状态评估、加固设计和施工、加固过程监测和加固效果验证的在役桥梁加固成套技术成为目前桥梁加固技术发展和科技创新的主要方向。

本书是编委会的作者们近几年来在高速公路桥梁加固方面的研究成果和工程实践经验的总结。特别是大跨径 PC 梁桥长期过量下挠和开裂控制技术的研究,取得了丰硕的成果。全书通过工程实例,对高速公路常见的各种类型桥梁常见病害、运营状态评估、加固设计、加固施工方法、质量控制要求、加固效果验证进行了全面的介绍;同时介绍了一些通过研究提出的在役桥梁状态识别和监测方法。全书内容翔实、全面,注重了对研究过程中形成的新技术、新方法、新工艺的介绍;注重对病害原因分析、结构状态识别、加固方案优化、加固效果验证等关键技术细节的介绍,从而基本建立了高速公路桥梁加固成套技术体系,解决了部分关键难题,为类似工程提供了重要的借鉴。

可以预见,在未来几年,我国高速公路桥梁维护和加

固任务将持续增长,更加繁重。希望政府、高速公路运营业主,以及整个桥梁工程业界都能重视桥梁加固成套技术的开发和创新,共同努力,以科技进步为推动力,全面快速地提升我国高速公路桥梁的管养水平。



广东省交通集团有限公司总经理

2010 年 8 月

前言

QIANYAN

高速公路桥梁在整个高速公路路网中发挥着不可替代的作用;高速公路桥梁的管养和维护更是对保证高速公路运营安全和通畅有着重要意义。近几年来,在役桥梁事故在全世界范围的频繁发生,更是为高速公路运营管养部门敲响警钟。

高速公路桥梁加固有以下几个特点:加固综合成本高,综合加固工程多;运营安全保障要求高,对加固技术的可靠性要求高;同时,我国近几年设计规范体系变化,也使得对于在役桥梁状态评估和设计的要求更高。因此,高速公路桥梁的管养加固是一项高度集成的技术和复杂的系统工程。我国桥梁加固技术发展过程的研究表明:桥梁加固技术经历了以材料无损检测和加固施工技术为重点的技术积累阶段,正在向以状态评估和加固成套技术为特征的技术提升阶段快速发展。

本书维修加固工程实例依托国家高速公路网 G15 广东境内的某高速公路。该高速公路全长 80km,双向四车道,设计时速 120km/h,设计荷载为汽车—超 20、挂车—120。1996 年 12 月建成通车,投入营运时间近 14 年。共有桥涵 462 座,桥梁总长占路线总长的 1/4,其中特大桥 12.8km/10

座(单跨跨径大于 100m 的有 4 座),大桥 13 座,中小桥 118 座,通道涵洞 321 座。管养特点有:桥梁数量多、特大桥多、结构类型多、连续箱梁多、部分预应力梁多、16m 普通 T 梁多;浆砌片石桥台结构多。路龄长,因设计、施工带来的“先天不足”,加之后天“长期劳累”,病害数量多,养护维修加固任务繁重,养护技术含量高。桥梁加固面临“保质量、保安全、保畅通、保收费”的压力较大。

本书总结了近几年来作者在高速公路桥梁加固方面的研究成果和工程实践经验,也是高速公路桥梁加固成套的技术总结。书中除对各种高速公路典型桥梁的加固方法进行介绍以外,还以实例的形式,重点突出了前述加固成套技术的应用。

桥梁维护和加固技术将是未来几年桥梁工程学科中科技创新的重要领域。本书编者将结合高速公路管养任务,继续致力于桥梁管养科技创新,与业内同仁共同致力于我国桥梁管养技术水平的提升。

本书编写过程中得到了广东省交通集团有限公司、广东省高速公路有限公司等单位领导的大力支持和关心,同时也得到了参与工程实例桥梁维修加固的设计单位广东省公路勘察规划设计院有限公司、湖南省交通规划勘察设计院、中交第一公路勘察设计研究院;施工单位广东省长大公路工程有限公司、广东冠粤路桥有限公司、广东省航盛建设集团有限公司;检测监控咨询单位广东华路交通科

技有限公司、中国铁道科学研究院铁道建筑研究所、同济大学、西南交通大学、湖南大学、华南理工大学等单位同行的大力帮助,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免有不当之处,谨请读者批评指正!

编 者
2010 年夏

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 高速公路桥梁加固技术发展概述	1
1.2 高速公路桥梁加固特点	2
1.3 高速公路桥梁加固实施基本过程	4
第 2 章 高速公路桥梁常用加固技术	6
2.1 表面缺陷和裂缝修补	6
2.2 增大截面加固方法.....	12
2.3 粘贴钢板加固方法.....	14
2.4 粘贴碳纤维复合材料加固方法.....	18
2.5 体外预应力加固方法.....	22
2.6 改变结构体系加固方法.....	27
2.7 桥面系补强和减载方法.....	32
第 3 章 在役桥梁状态识别和监测技术	38
3.1 基于应力释放的应力状态识别方法.....	38
3.2 基于位移测试的在役桥梁刚度识别方法.....	41
3.3 在役桥梁运营车辆活载识别方法.....	46
3.4 体外预应力加固过程监测.....	54
3.5 运营桥梁健康监测系统.....	70
3.6 基于动静载试验的桥梁实际承载能力识别技术.....	78
3.7 PC 桥梁裂缝损伤识别技术	88
第 4 章 大跨度 PC 梁桥过量下挠和开裂加固实例	94
4.1 概述.....	94
4.2 实桥概况.....	96
4.3 运营状态识别.....	99

4.4	长期挠度成因分析	103
4.5	基于应力释放法的应力状态测试	111
4.6	实桥刚度识别及其影响分析	112
4.7	基于 WIM 数据的桥梁安全性能概率评估	117
4.8	加固对策和方案设计	121
4.9	加固设计和施工特点	128
4.10	加固施工质量控制要点	129
4.11	加固效果评价	131
4.12	小结	134
第 5 章	严重开裂等截面连续 PC 箱梁桥加固实例	136
5.1	工程概况	136
5.2	桥梁主要病害	137
5.3	加固前的实桥承载能力评定	138
5.4	加固前的原结构验算	145
5.5	考虑结构损伤的验算	150
5.6	病害成因分析	152
5.7	加固设计	153
5.8	加固施工	159
5.9	质量控制要点	161
5.10	交通组织	161
5.11	加固效果评价	161
5.12	小结	164
第 6 章	变截面连续 PC 箱梁桥开裂加固实例	166
6.1	工程概况	166
6.2	病害类型及成因分析	169
6.3	加固设计	171
6.4	加固施工	174
6.5	质量控制要点	176

6.6	加固效果评估	177
6.7	小结	178
第7章	严重开裂连续工字梁桥加固实例	180
7.1	工程概况	180
7.2	梁端开裂工字梁桥加固	182
7.3	连续工字梁跨中开裂加固	191
第8章	开裂空心板梁加固实例	205
8.1	工程概况	205
8.2	主要病害及特征	206
8.3	加固前结构计算和病害成因分析	209
8.4	加固方案设计	215
8.5	加固施工流程和工艺要点	217
8.6	加固效果评价	219
8.7	结论与建议	219
第9章	开裂T梁桥加固实例	220
9.1	工程概况	220
9.2	主要病害及特征	221
9.3	加固前的结构计算及病害成因	224
9.4	加固方案设计	228
9.5	加固效果	231
9.6	加固工艺及技术质量要求	232
9.7	结论与建议	232
第10章	斜拉桥换索调索工程实例	233
10.1	工程概况	233
10.2	主要病害特征及成因	235
10.3	换索和调索方案设计	237
10.4	换索和调索施工	246
10.5	换索过程监测	254

10.6	调索过程监测·····	265
10.7	斜拉桥结构实际状态评估·····	279
第 11 章	梁桥支座更换工程实例 ·····	281
11.1	多点同步顶升支座更换·····	281
11.2	特大跨度桥梁支座更换实例·····	288
第 12 章	盖梁开裂加固工程实例 ·····	299
12.1	被动加固方法加固盖梁·····	299
12.2	主动加固方法加固盖梁·····	306
参考文献	·····	310

第 1 章 绪 论

1.1 高速公路桥梁加固技术发展概述

高速公路作为国家的重要基础设施,是发展经济、造福社会、巩固国防的重要支撑力量。我国高速公路建设经历近 20 年迅猛发展,取得了巨大的成就。截至 2009 年底,高速公路通车里程已达 6.51 万 km,位居世界第二,已建成 62 万多座公路桥梁,我国已成为桥梁大国。维护好高速公路路网的安全和畅通,全力保证桥梁正常使用,最大限度地发挥高速公路的骨架作用,是交通部门的重要责任。

一些桥梁或因设计和施工造成先天的“营养不良”,加上这些年超限超载猖獗和交通量的剧增,不少桥梁后天“劳累”过度,不仅受了“外伤”,还受了“内伤”,而且损伤不断积累。桥梁处于“亚健康”或“不健康”状态,有些桥梁已透支“健康”,长时间“带病工作”,结构安全性和耐久性降低,结构安全风险加大,有些桥梁过早进入大修或中修维修加固周期。如何科学合理地利用有限的资金和技术等资源管养好高速公路旧桥和病桥,已经成为我们面临的亟须解决的难题。

随着我国高速公路运营里程和时间的逐渐增加,桥梁运营管理和养护的任务越来越繁重。对在役高速公路桥梁进行科学的养护和维修,以及适时地评估和加固,已经成为桥梁科技创新的重要领域。在巨大的应用需求推动下,桥梁管养科技也迅速地经历了以材料无损检测、加固施工技术以及状态评估和加固成套技术等几个发展阶段。

我国高速公路桥梁以混凝土桥梁为主,材料无损检测技术,尤其是混凝土无损检测技术,作为桥梁运营状态评估的基础首先得到发展。20 世纪 90 年代末,在我国早期高速公路运营 5 年以后,各类桥梁病害逐步出现,各类无损检测设备从国外得到引进,混凝土碳化深度测试、混凝土强度检测、钢筋位置探测、钢筋锈蚀检测、混凝土内部裂缝位置及宽度检测等无损检测项目得到大量的应用。基于无损检测的桥梁状态评估也成为运营桥梁状态评定的主流技术。高科技的检

测设备和手段是这个阶段发展的重点。对于运营桥梁病害的处治技术以简单的修补等为主。

随着桥梁运营时间的增长,各类严重的病害逐渐出现,采用诸如截面增大、增加体外预应力、粘贴钢板,甚至体系转换等方法加固的工程日益增多,各类桥梁加固技术,尤其是施工技术日益成为桥梁管养技术发展的重点。桥梁加固施工虽然在国外已经有很多实践,但国外,尤其是欧美国家的加固经验多是针对钢结构桥梁,与我国混凝土桥梁为主的现状不符;同时,国外机械化施工条件下积累的施工经验,在我国当时的技术条件下,完全套用也有困难。因此,探索和发展适合国情的加固施工技术,成为这个阶段的发展重点。在众多工程实例的支持下,加固施工的经验迅速积累,施工水平快速提升;同时加固设计的水平和经验也同步迅速发展。2008年颁布的《公路桥梁加固设计规范》(JTG/T J22—2008)和《公路桥梁加固施工技术规范》(JTG/T J23—2008)是对我国多年来桥梁加固技术的系统总结,也标志着我国桥梁加固设计和施工进入了新的发展阶段。

颁布的规范对桥梁加固的常规方法和技术进行了系统的总结,但是在实际应用中运营桥梁由于初始状态和运营条件的不同,病害发展的特征仍有显著的个性,对在役桥梁进行全面的状态评估,并科学合理地确定加固方案仍是需要不断探索的课题。因此,运用先进的运营荷载和结构性能测试技术,进行系统的结构状态评估,并由此确定和实施高难度、综合性的结构加固方案,正在成为当前阶段桥梁加固技术发展的重点;与之配合,对加固过程进行监测,对加固效果进行验证的技术也同步发展起来。综合状态评估、加固设计和施工、加固过程监测和验证的在役桥梁加固成套技术,正在成为目前桥梁加固技术发展和科技创新的主要方向。

1.2 高速公路桥梁加固特点

随着高速公路网络日益完善,高速公路网络对国民经济发展的重要性日益凸显,保证高速公路正常运营不仅是一个技术问题,在某种程度上也成为社会问题;因此,高速公路的安全运营保证也正在得到空前的重视;高速公路桥梁在整个高速公路网络中发挥着关键作用,有时甚至是不可替代的作用,其相关加固技术也因此具有显著特点。

1) 加固综合成本高,综合加固工程多

目前,国内高速公路基本为收费公路,桥梁检测、加固等工程往往可能影响高速公路正常运营,造成高速公路运营收入损失的同时,还可能对沿线城市的正

常交通产生影响。因此,高速公路加固工程实施的综合成本很高,高速公路运营单位对于加固工程也往往采取了非常谨慎的态度,尤其是对于可能中断交通的加固工程。

也正是基于对运营保证的考虑,高速公路业主在决定进行重大加固工程时,除了对加固时间要求很高以外,往往会倾向于综合加固工程;要求一次性实施多种加固项目,减少未来加固工程实施的次数。从设计单位的角度看,这样的要求一方面提高了加固设计的难度,另一方面也要求设计单位要对结构当前状态以及未来的发展变化趋势有更加准确的把握。而从施工单位的角度看,需要施工单位能够掌握和实施多种加固技术,这也是对综合施工能力更高的要求。

高速公路业主对运营保证的重视,也为运营监测技术的发展提供了背景。为了减少加固工程实施对运营的影响,业主往往同意投入经费,对桥梁的运营荷载、结构运营的状态等进行观测和研究,以形成对结构状态更加准确的判断,从而形成更加准确和有效的加固方案。

2) 运营安全保证要求高,对加固技术的可靠性要求高

高速公路除了重视对正常运营状态的保持外,对运营安全保证的要求也格外高。高速公路桥梁往往具有幅面较宽,结构体系复杂的特点;我国运营较早的高速公路目前交通量大多处于饱和状态;重载交通也较常见,很多高速公路桥梁长期处于超负荷运营状态;在考虑到结构自然退化和施工质量等方面的影响,高速公路运营安全保证的任务非常繁重。

在这样的条件下实施加固工程,业主对加固工程的质量、加固技术的可靠性等要求都非常高;往往不能满足于加固设计或施工满足规范要求的水平;希望通过各种检测、监测、试验等更加直接的手段对加固技术和效果进行验证。

这样的要求,也推动了桥梁加固技术从单一的设计和施工,向设计、施工、检测、监测、试验、评估等成套技术的迅速发展,也使得桥梁加固领域的技术创新异常活跃。高效、可靠、先进正成为桥梁加固领域技术发展的基本方向。

3) 规范体系变化,对状态评估和设计的要求高

2004年,我国颁布了新的桥梁设计规范;与原有的1985版、1989版设计规范在荷载取值、设计计算和验算要求等方面有显著区别。而目前高速公路中运营的桥梁,或者说目前实施加固工程的桥梁多为依据原有规范设计。按照原有规范设计的桥梁,在结构损伤出现诸如开裂、锈蚀等病害后,按新规范体系进行验算往往不能满足要求;如简单地按新规范要求加固设计,由于结构实际运营状态未知,可能引起压应力超标等影响安全的问题。