

桥梁检测与加固手册

© 张劲泉 王文涛 主编

Qiaoliang

Jiance

yu

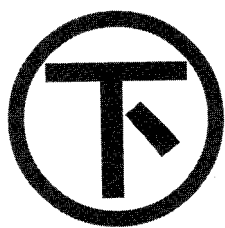
Jiagu

Shouce



人民交通出版社

China Communications Press



桥梁检测与加固手册

◎ 张劲泉 王文涛 主编

人民交通出版社

内 容 提 要

本手册分上、下两册,共有五篇内容。第一篇主要讲述了桥梁检查、检测、试验与评定的原理、方法、标准及常用仪器设备的相关知识;第二篇至第四篇,分析型讲述了桥跨结构的病害及成因分析、加固计算方法、加固措施及其施工技术等,第五篇则重点讲述桥梁下部结构加固的相关内容。

在编写过程中,编者尤其注重理论与实践的结合,在每一篇中均有丰富的典型工程实例可作参考。手册内容全面、实用,既可作为桥梁检测、评定与加固领域的工具参考书,又不失为一本很好的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁检测与加固手册. 下册/张劲泉, 王文涛主编.
北京: 人民交通出版社, 2007.1

ISBN 978 - 7 - 114 - 06333 - 6

I. 桥… II. ①张…②王… III. ①桥 - 检测 - 技术手册②桥 - 加固 - 技术手册 IV. U445.7 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 149667 号

书 名: 桥梁检测与加固手册 (下册)

著 作 者: 张劲泉 王文涛

责任编辑: 张征宇

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) 85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 中青印刷厂

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 60.75

字 数: 1432 千

版 次: 2007 年 2 月第 1 版

印 次: 2007 年 2 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978 - 7 - 114 - 06333 - 6

印 数: 0001 - 3000 册

定 价: 200.00 元 (上、下册)

(如有印刷、装订质量问题, 由本社负责调换)

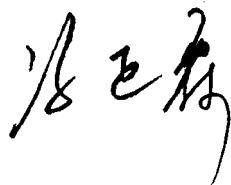
序

我国有着悠久的建桥历史。赵州桥、万安桥、湘子桥等一大批古代名桥，是中国古代科学技术史上的一颗颗璀璨明珠，并且至今熠熠生辉。新中国成立后，我国的公路交通事业走上了更加辉煌的发展历程，一大批领先世界技术之先的特大型桥梁跨海越江，使天堑变通途。到 2005 年底，全国通车运营的公路桥梁总数已达 33.7 万座，计 1475 万延米。

在桥梁建设事业飞速发展的同时，我国公路桥梁的养护管理任务越来越繁重。特别是 20 世纪 80 年代前修建的公路桥梁，受当时经济、技术条件的限制，设计荷载均在汽车—20 级以下。随着设计寿命逐渐临近，重载交通迅猛增加，一些桥梁的使用技术状况迅速下降，已难以满足实际交通需求，急需采取工程措施进行加固或改造。针对这种情况，为了及时消除隐患，保证人民群众生命财产安全，交通部从 2001 年起，在全国范围内组织开展了旧桥改造工程。6 年来，已对 1 万余座桥梁进行了加固或改造，有效提高了公路行车的安全水平。

为更好地指导工程实践，提高旧桥检测、加固和改造工作技术水平，交通部公路科学研究院组织编写了《桥梁检测与加固手册》。手册较为系统地总结了近 20 年来我国公路桥梁检测和加固技术的发展经验和科研成果，介绍了常用的检测技术、评价和加固设计方法，分桥型说明了加固施工关键技术和工艺，并提供了大量的典型工程实例，具有较强的实用性和指导性。

桥梁检测和加固技术对保证桥梁安全运行有着至关重要的作用。希望广大桥梁工程技术人员，在实践中以科学的态度，求实的精神，锐意进取，坚持创新，认真总结工程经验，不断丰富和完善桥梁检测加固技术，为提高我国的桥梁养护管理技术水平，为公路交通更安全、更畅通，做出新的贡献。



二〇〇七年二月一日

编 审 人 员

主 编：张劲泉 王文涛

副 主 编：何玉珊 李万恒 魏洪昌

参加编写人员：（以姓氏笔画为序）

马 晔	王岐峰	王志英	王来永	王国亮
王杰林	王恩东	任红伟	刘本昌	孙同波
张小江	李 武	李 健	李 湛	李宏江
李怀峰	李承昌	邵新鹏	郑晓华	胡吉利
赵怀志	赵尚栋	徐 萍	贾海庆	郭长路
宿 健	曹茂坤	梁奎基	程寿山	廖 军

主 审：李 华 谢经纬 陈国靖

前 言

新中国成立以来，我国的公路桥梁事业得到了长足发展。特别是改革开放以来，更是进入到了一个全新的发展时期，公路桥梁总数由改革开放前的 5.59 万座，跃升到 2005 年的 33.66 万座，计 1474.7 万延米。立交桥、高架桥、跨江河湖海、深沟峡谷的大型、特大型桥梁建设更是日新月异。我国用短短 20 年的时间走过了发达国家 50 年的历程，桥梁建设成就举世瞩目。随着公路桥梁建设事业的迅猛发展，带来的桥梁养护管理任务也愈来愈繁重。特别是 20 世纪 80 年代以前修建的桥梁，由于受当时经济、技术条件的限制，荷载等级均在汽车—20 级以下，随着我国公路交通运输事业的飞速发展，重载交通迅猛增加，对这些桥梁在开展检测评定的基础上进行加固改造，提高它们的适应性已成为公路桥梁养护管理面临的重大现实问题。另外，随着桥梁设计使用寿命的逐渐临近，或桥梁在设计、施工上的某些不足，加上频繁的重载交通，使得一些桥梁的使用技术状况有了不同程度的下降，对这些桥梁急需在检测诊断的基础上采用工程措施进行加固或改造，以使其能够满足实际交通需求。基于此情，我们组织编写了《桥梁检测与加固手册》，以便更好地指导工程实践，满足公路桥梁养护管理工作和培训相关技术人员的需要。

本手册是在借鉴国内外先进经验和科研成果的基础上，总结了我国近 20 年来在桥梁检测、试验、评价与加固改造等方面的技术成果和成熟做法，系统地介绍了公路桥梁的检测技术、试验评价和加固设计方法，分桥型阐述了各种加固施工方法和工艺要求，并列出了相应的典型工程实例，以提高手册的实用性和指导性。手册分上、下两册，共五篇，由张劲泉、王文涛组织编写。上册由一、二两篇组成，第一篇主要介绍了桥梁定期检查与评定、结构混凝土现场检测、桥梁结构试验技术及相应的典型工程技术状况检测和承载能力评定实例；第二篇，侧重于加固方法特点、适用条件、材料要求、力学特点、设计方法、施工要求等方面，介绍了混凝土桥梁的常用加固技术，并提供了相应的典型工程实例。下册由三、四、五三篇组成，第三篇主要介绍了钢桁架桥、斜拉桥、悬索桥的维修加固技术与相应的典型工程实例；第四篇着重介绍了混凝土及圬工拱桥的加固技术与相应的典型工程实例；第五篇系统介绍了桥梁下部结构的加固技术和相应的典型工程实例。全书由李华、谢经伟、陈国靖主审，手册的编写严格执行了我国公路桥梁有关现行技术标准、规范与规程。鉴于工程实例大多在 2004 年新版规范颁布前完成，其中引用的部分参数和控制指标可能与新颁规范不一致，但不影响“手册”所述方法的应用。我们期望通过本手册的出版，能够促进我国公路桥梁检测、评价与加固改造技术的提高，对我国公路桥梁养护管理工作有所裨益。

手册编写过程中得到了交通部领导、公路司、科教司、交通部西部交通建设科技项目管理中心、交通部公路科学研究院的关怀与指导，广东、山东、四川、江西、浙江、江苏、河

北、安徽、河南、广西、青海、新疆、内蒙古和天津等省（市、自治区）的交通厅、公路管理部门、科研院所以及长安大学、东南大学、长沙理工大学和重庆交通学院等院校给予了积极帮助和大力支持，不少专家和学者提供了非常有用的技术资料，人民交通出版社的领导和编辑们为本书的出版付出了辛勤的劳动，在此一并表示衷心感谢！

由于时间仓促，加之学识水平和能力有限，本书疏漏、谬误之处在所难免。特别是随着桥梁检测、评价与加固改造技术的不断进步，新材料、新方法等的不断出现，手册的内容需要在今后不断进行补充完善和修订。为此，恳请同行及广大读者批评指正，多提出宝贵意见，添砖加瓦，使手册日臻完善。意见请邮寄到：北京市海淀区西土城路8号，交通部公路科学研究院（邮编：100088）。

编者

2006年12月于北京

目 录

(上册)

第一篇 桥梁检测与试验

第一章 概论	3
§ 1.1 我国公路桥梁的现状与加固技术改造需求	3
§ 1.2 桥梁加固技术改造的目的要求	5
一、确保桥梁安全、完整、适用与耐久	5
二、掌握桥梁结构状况,完善基础资料,为维修加固提供必要条件	7
三、提高原有桥梁的通过能力与承载力	7
§ 1.3 桥梁加固改造的一般概念	7
一、桥梁的维修整治	8
二、桥梁的技术改造	8
三、桥梁加固技术改造的分类	8
四、桥梁维修加固的工作内容	9
五、桥梁维修加固的工作步骤	10
§ 1.4 桥梁加固改造的特点	11
一、加固改造的一般特点	11
二、加固改造的技术要求	11
三、加固改造工程必须满足的基本条件	11
四、加固改造工程的设计原则	12
第二章 桥梁定期检查与评定	14
§ 2.1 概述	14
一、巡视检查	14
二、日常检查	14
三、定期检查	16
四、特殊检查	16
§ 2.2 桥梁的定期检查	18
一、定期检查的频率	19



二、定期检查工作流程	19
三、检查计划与准备	19
四、检查顺序与缺损位置描述规则	23
五、桥梁常见缺损名称及性状	24
六、桥梁缺损原因分析	26
七、定期检查要点	27
§ 2.3 桥梁定期检查结果的评定	29
一、桥梁部（构）件缺损状况的评定	30
二、桥梁技术状况的评定	38
§ 2.4 桥梁定期检查记录与提交文件	40
一、桥梁定期检查记录	40
二、桥梁定期检查应提交的文件	40
三、桥梁基本数据表登记说明	41
四、桥梁定期检查数据表登记说明	45
§ 2.5 桥梁的综合评定	46
一、评价的基本要求	46
二、综合评定的内容	47
第三章 结构混凝土现场检测技术	49
§ 3.1 概述	49
一、混凝土测试技术体系的形成和发展	49
二、结构混凝土强度现场检测的基本依据	51
三、现场检测方法的分类	56
四、结构混凝土强度的基本定义	56
§ 3.2 结构混凝土强度现场检测技术	57
一、结构混凝土强度的回弹法检测	57
二、结构混凝土强度的超声脉冲法检测	70
三、结构混凝土强度的综合检测	114
四、结构混凝土强度的半破损检测	134
§ 3.3 结构混凝土缺陷及损伤的检测	148
一、概况	148
二、混凝土内部缺陷超声检测的估算与判别	151
三、混凝土表面损伤层的检测	164
四、结构混凝土浅裂缝的检测	167
五、结构混凝土深裂缝的检测	174
六、混凝土匀质性检验	177
七、钻孔灌注桩内部缺陷的超声检测	180
八、钻孔灌注桩桩内混凝土强度的检测	191

§ 3.4 结构混凝土中钢筋状态的检测	193
一、钢筋混凝土的抗腐蚀	193
二、钢筋锈蚀影响因素的分析	208
三、结构混凝土中钢筋状态的检测	220
第四章 桥梁结构试验技术	235
§ 4.1 概述	235
一、桥梁结构试验分类	235
二、桥梁结构试验的一般过程	237
三、材性测定	238
四、模型试验	238
§ 4.2 荷载试验的量测技术	238
一、量测仪表	239
二、仪表的率定	241
三、应力(应变)量测	241
四、位移量测	248
五、裂缝量测	249
六、力的测定	250
七、参数的量测	250
§ 4.3 试验荷载与加载系统	256
一、试验荷载	256
二、重力加载系统	258
三、液压加载系统	259
四、机械加载系统	260
五、电磁加载	261
§ 4.4 桥梁结构静载试验	261
一、概况	261
二、试验方案设计	262
三、加载方案设计	266
四、观测方案设计	269
五、试验数据的整理与分析	273
六、桥梁静载试验报告的编制	283
§ 4.5 桥梁结构的动载试验	284
一、概况	284
二、试验数据的分析和评定	285
三、随机振动数据分析方法及应用	286
§ 4.6 桩基荷载试验	293
一、试验目的及试验内容	293



二、试验方案设计	294
三、试验结果的整理与分析	296
第五章 桥梁技术状况检测评定工程实例	299
§ 5.1 钢筋混凝土连续梁板桥	299
一、桥梁概况及检测的目的	299
二、检测项目与方法	299
三、检测结果与评定	301
四、桥梁结构耐久性综合评定	307
§ 5.2 某钢筋混凝土箱形拱桥	310
一、桥梁概况及检测的目的	310
二、检测结果与评定	310
三、结构耐久性综合评定	313
§ 5.3 钢筋混凝土三肋上承式组合体系两铰拱桥	317
一、桥梁概况	317
二、检测结果与评定	317
三、主拱圈耐久性综合评定	320
§ 5.4 钢筋混凝土 T 形梁桥	323
一、桥梁概况	323
二、结构材质状况检测	323
三、结构耐久性综合评定	325
§ 5.5 钢筋混凝土双悬臂梁桥	328
一、桥梁概况	328
二、检测结果与评定	329
三、结构耐久性综合评定	334
§ 5.6 双曲拱桥	336
一、桥梁概况及检测目的	336
二、检测项目	337
三、检测结果与评定	337
四、结构耐久性综合评定	343
§ 5.7 钢筋混凝土板拱桥	347
一、桥梁概况与检测目的	347
二、检测结果与评定	347
三、结构耐久性综合评定	351
§ 5.8 装配式钢筋混凝土连续板梁桥	352
一、桥梁概况及检测目的	352
二、检测项目	353
三、检测结果与评定	353



四、结构耐久性综合评定·····	355
§ 5.9 连续刚构桥·····	356
一、桥梁概况·····	356
二、检测结果与评定·····	357
三、结构耐久性综合评定·····	365
第六章 桥梁承载能力检测评定工程实例·····	367
§ 6.1 钢筋混凝土简支梁(板)桥·····	367
一、13m 简支梁(板)桥·····	367
二、三跨简支 T 梁桥·····	373
三、20m 简支 T 梁桥(一)·····	380
四、9×20m 简支 T 梁桥·····	385
五、公铁立交桥(20m 钢筋混凝土 T 梁、35m 预应力混凝土 T 梁)·····	391
六、20m 简支 T 梁桥(二)·····	401
七、30m 预应力混凝土 T 梁桥·····	406
八、某地区八座梁桥(六座工字梁、一座宽腹 T 梁、一座槽形梁)·····	409
§ 6.2 钢筋混凝土 T 形刚构桥·····	432
一、桥梁概况·····	432
二、桥梁典型病害·····	433
三、主要检测结果·····	434
四、原结构检算·····	435
五、结构承载能力评定·····	436
§ 6.3 拱桥·····	437
一、钢筋混凝土箱形拱桥·····	437
二、20m 圆弧拱双曲拱桥·····	443
三、21m 钢筋混凝土双曲拱桥·····	447
四、35m 双曲拱桥·····	453
§ 6.4 预应力混凝土桥·····	459
一、三跨连续刚构桥·····	459
二、刚构—连续组合结构桥·····	468
三、三等跨连续刚构·····	475

第二篇 混凝土梁桥的加固

第一章 钢筋混凝土及预应力混凝土梁桥的加固技术·····	489
§ 1.1 常用的混凝土梁(板)桥类型·····	489
一、板桥·····	489



二、肋梁桥	489
§ 1.2 混凝土梁板的常见病害	496
一、病害成因分析	496
二、混凝土梁板的裂缝	497
§ 1.3 混凝土梁(板)桥的常用加固技术	503
一、加固的一般原则与方法	503
二、增大构件截面加固技术	504
三、改变结构体系加固技术	506
四、增设主梁加固技术	508
五、增强桥梁整体性的加固技术	508
六、灌浆法修补裂缝技术	509
七、加固方案的选择	510
§ 1.4 体外预应力加固技术	510
一、特点及适用范围	510
二、体外预应力筋的构造	511
三、体外预应力筋的极限应力	515
四、体外预应力加固体系的正截面强度	519
五、体外预应力加固体系的斜截面强度	520
六、体外预应力筋的估算	522
七、张拉控制应力和预应力损失计算	524
八、体外预应力加固体系正常使用阶段计算	528
九、体外预应力加固施工技术	531
十、体外预应力加固设计计算示例	536
§ 1.5 粘贴钢板加固技术	558
一、特点及适用范围	558
二、粘贴加固梁破坏特征与受力分析	559
三、粘贴钢板加固计算	560
四、粘贴钢板加固施工	562
§ 1.6 粘贴碳纤维片材加固法	564
一、特点及适用条件	564
二、材料要求	565
三、力学特点	565
四、设计计算	565
五、粘贴碳纤维的施工	575
§ 1.7 桥面补强层加固技术	579
一、特点及适用条件	579
二、材料要求	579
三、力学特性	580

四、设计计算	581
五、桥面补强层施工	582
§ 1.8 改变结构体系加固技术	584
一、概况	584
二、简支梁改连续梁法	585
三、多跨简支梁改造为桥面连续简支梁法	587
四、加辅助墩法	588
五、八字支撑架法	591
六、梁拱组合体系法	593
七、斜拉—梁组合体系法	595
八、改桥为涵洞	597
第二章 混凝土梁桥加固工程实例	598
§ 2.1 钢筋混凝土连续箱梁严重开裂的加固	
——采用锚喷混凝土增大截面加固法	598
一、桥梁概况	598
二、原结构复算	598
三、箱梁裂缝成因分析	602
四、加固设计	602
五、锚喷混凝土施工工艺要点	608
六、锚喷混凝土加固效果	608
§ 2.2 预应力混凝土连续箱梁严重开裂的加固	
——采用加劲钢架、粘贴钢板及碳纤维加固法	609
一、桥梁概况	609
二、原结构复算	610
三、箱梁裂缝成因分析	613
四、桥梁现状评定	620
五、加固设计	621
六、加固施工工艺要点	626
§ 2.3 刚构—连续组合体系梁桥箱梁开裂及下挠的加固	
——采用新增横隔板、加厚腹板及体外预应力加固法	630
一、桥梁概况	630
二、原结构复算	631
三、基于检测结果的桥梁现状评价	633
四、加固设计	635
五、加固施工工艺要点	640
六、加固效果	641



§ 2.4 预应力混凝土 T 构箱梁悬臂端部下挠、偏扭、顶板开裂的加固	
——采用体外预应力、桥面补强、顶升挂梁加固法	641
一、桥梁概况	641
二、病害分析	643
三、加固设计	644
四、施工工序	644
五、加固施工工艺要点	646
六、加固效果	647
§ 2.5 预应力混凝土简支箱梁开裂、下挠加固	
——采用改变结构体系加固法	647
一、桥梁概况	647
二、原结构检算	648
三、基于检测结果的桥梁现状评定	651
四、加固设计	651
五、加固施工要点	656
§ 2.6 预应力混凝土简支 T 梁下挠、破损开裂的加固	
——采用增设辅助墩加固法	657
一、桥梁概况	657
二、原结构验算	657
三、基于检测结果的桥梁现状评定	660
四、加固设计与施工要点	661
§ 2.7 钢筋混凝土简支 T 梁开裂破损、下挠的加固	
——采用增设大边梁加固法	661
一、桥梁概况	661
二、原结构验算	662
三、加固设计	666
四、加固结构验算	667
五、施工工艺要点	672
六、加固效果	672
§ 2.8 钢筋混凝土双悬臂梁桥主梁及牛腿开裂、下挠的加固	
——采用桥面补强、粘合剂加固法	673
一、桥梁概况	673
二、加固前静载试验和强度验算	673
三、加固设计要点	675
四、加固施工工艺要点	676
五、加固效果	678
§ 2.9 预应力混凝土 T 构开裂、挂孔下沉、牛腿破损的加固	
——采用体外预应力、更换支座加固法	678

一、桥梁概况·····	678
二、承载能力验算与评定·····	679
三、桥梁使用功能评定·····	683
四、加固的可行性评价·····	683
五、加固技术经济评价·····	684
六、加固设计要点·····	685
七、施工要点·····	687
§ 2.10 钢筋混凝土 T 构及挂梁开裂、下挠,牛腿破损的加固 ——采用增大截面试筋、粘贴碳纤维布加固法·····	691
一、桥梁概况·····	691
二、结构检算结果的评定·····	691
三、结构检测结果的评定·····	692
四、加固设计要点·····	694
五、施工要点·····	697
§ 2.11 装配式钢筋混凝土 T 梁梁端破损开裂的加固 ——采用斜撑式体外预应力加固法·····	701
一、桥梁概况·····	701
二、承载能力试验结果的评定·····	701
三、加固设计与施工要点·····	703
四、加固效果·····	705
§ 2.12 装配式 T 梁严重开裂的加固 ——采用改变结构体系加固法·····	706
一、桥梁概况·····	706
二、检测和试验结果的评定·····	707
三、加固设计要点·····	709
四、加固效果评定·····	709

(下册)

第三篇 钢桥及索结构桥梁的加固

第一章 概论·····	721
§ 1.1 我国公路钢桥使用现状与评价 ·····	721
一、我国公路钢桥发展概况·····	721
二、我国公路钢桥现状·····	726
三、公路钢桥营运期的评估·····	729



四、钢桥评估对策研究的内容	738
§ 1.2 钢桥的主要类型	739
一、钢桥的主要结构形式及其材料	739
二、钢板梁桥与钢箱梁桥	751
三、钢桁梁桥	761
四、组合梁桥	770
五、装配式公路钢桥	773
§ 1.3 钢结构的检验与维修加固	803
一、钢结构的特点	803
二、钢结构的防锈蚀与涂装	804
三、钢结构的检验与维护	823
四、钢结构的加固	840
附录 1 钢材和连接的强度设计值	841
附录 2 梁的整体稳定系数	843
附录 3 钢梁段拼装允许偏差	846
附录 4 钢梁防腐有关技术资料	849
附录 5 钢梁常用钢材的有关技术资料	858
第二章 钢桁梁桥的维修加固	868
§ 2.1 钢桁梁桥的病害	868
一、病害的产生	868
二、病害的分布	868
§ 2.2 钢桁梁桥病害的检测评定	869
一、预估评价	869
二、各种缺陷类别的评定和维修加固的要点	869
三、设计规范变化对旧桥的影响	871
§ 2.3 钢桁梁桥的维修加固方法	872
一、维修加固方法的分类	872
二、钢桁梁桥维修加固要点	872
§ 2.4 钢桁梁桥提高荷载等级的加固计算实例	875
一、桥梁概况	875
二、验算基本资料	875
三、验算依据与验算方法	877
四、主桁承载能力验算分析	877
五、纵横梁承载能力验算分析	889
六、桥面板承载能力验算分析	892
七、验算结论与评价	897