

第2版

交通版

高等学校土木工程专业规划教材

JIAOTONGBAN GAODENG XUEXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI



# 桥梁检测 与维修加固

张俊平 主编



人民交通出版社

China Communications Press

第  
2  
版



交通版

高等学校土木工程专业规划教材

JIAOTONGBAN GAODENG XUEXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI

# 桥梁检测 与维修加固

Qiaoliang Jiance Yu Weixiu Jiagu

张俊平 主 编



人民交通出版社

China Communications Press

## 内 容 提 要

本书主要介绍桥梁检测评估的内容、方法、实施要点以及相关的测试技术的应用,简要介绍了无损测试技术、桥梁施工监控、桥梁健康监测、桥梁维修加固等相关内容。为便于读者掌握,书中精选大量典型工程实例,以既利于本科教学、又适用于工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

桥梁检测与维修加固/张俊平主编.—2版.—北京:人民交通出版社,2011.8

ISBN 978-7-114-09291-6

I. ①桥… II. ①张… III. ①桥梁结构—检测②桥—维修③桥—加固 IV. ①U446②U445.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第144512号

交通版高等学校土木工程专业规划教材

书 名:桥梁检测与维修加固(第2版)

著 者:张俊平

责任编辑:张征宇 赵瑞琴

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.ccpres.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:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:19.75

字 数:484千

版 次:2006年4月 第1版 2011年8月 第2版

印 次:2011年8月 第1次印刷 累计第4次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-09291-6

印 数:8001—11000册

定 价:36.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)



交通版

高等学校土木工程专业规划教材

编委会

(第二版)

主任委员: 戎 贤

副主任委员: 张向东 李帼昌 张新天 黄 新  
宗 兰 马芹永 党星海 段敬民  
黄炳生

委 员: 彭大文 张俊平 刘春原 张世海  
郭仁东 王 京 符 怡

秘 书 长: 张征宇

(第一版)

主任委员: 阎兴华

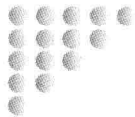
副主任委员: 张向东 李帼昌 魏连雨 赵 尘  
宗 兰 马芹永 段敬民 黄炳生

委 员: 彭大文 林继德 张俊平 刘春原  
党星海 刘正保 刘华新 丁海平

秘 书 长: 张征宇

# 序

XU



随着科学技术的迅猛发展、全球经济一体化趋势的进一步加强以及国力竞争的日趋激烈,作为实施“科教兴国”战略重要战线的高等学校,面临着新的机遇与挑战。高等教育战线按照“巩固、深化、提高、发展”的方针,着力提高高等教育的水平和质量,取得了举世瞩目的成就,实现了改革和发展的历史性跨越。

在这个前所未有的发展时期,高等学校的土木类教材建设也取得了很大成绩,出版了许多优秀教材,但在满足不同层次的院校和不同层次的学生需求方面,还存在较大的差距,部分教材尚未能反映最新颁布的规范内容。为了配合高等学校的教学改革和教材建设,体现高等学校在教材建设上的特色和优势,满足高校及社会对土木类专业教材的多层次要求,适应我国国民经济建设的最新形势,人民交通出版社组织了全国二十余所高等学校编写“交通版高等学校土木工程专业规划教材”,并于2004年9月在重庆召开了第一次编写工作会议,确定了教材编写的总体思路。于2004年11月在北京召开了第二次编写工作会议,全面审定了各门教材的编写大纲。在编者和出版社的共同努力下,这套规划教材已陆续出版。

在教材的使用过程中,我们也发现有些教材存在诸如知识体系不够完善,适用性、准确性存在问题,相关教材在内容衔接上不够合理以及随着规范的修订及本学科领域技术的发展而出现的教材内容陈旧、亟待修订的问题。为此,新改组的编委会决定于2010年底启动了该套教材的修订工作。

这套教材包括“土木工程概论”、“建筑工程施工”等31门课程,涵盖了土木工程专业的基础课和专业课的主要系列课程。这套教材的编写原则是“厚基础、重能力、求创新,以培养应用型人才为主”,强调结合新规范、增大例题、图解等内容的比例并适当反映本学科领域的新发展,力求通俗易懂、图文并茂;其中对专业基础课要求理论体系完整、严密、适度,兼顾各专业方向,应达到教育部和专业教学指导委员会的规定要求;对专业课要体现出“重应用”及“加强创新能力和工程素质培养”的特色,保证知识体系的完整性、准确性、

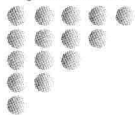
正确性和适应性,专业课教材原则上按课群组划分不同专业方向分别考虑,不在一本教材中体现多专业内容。

反映土木工程领域的最新技术发展、符合我国国情、与现有教材相比具有明显特色是这套教材所力求达到的,在各相关院校及所有编审人员的共同努力下,交通版高等学校土木工程专业规划教材必将对我国高等学校土木工程专业建设起到重要的促进作用。

交通版高等学校土木工程专业规划教材编审委员会  
人民交通出版社  
2011年5月

# 前言

QIANYAN



据统计,至2010年底,我国既有公路桥梁63万多座,每年新竣工的公路桥梁数量也以近2万座的数量在快速增加,与此同时,随着桥梁服役年限的不断增长,使用荷载的日益增大,大批既有桥梁结构也进入了老化期。为了确保桥梁结构的安全运营与交通顺畅,交通运输业对桥梁检查、检测、养护、维修、加固、改造工作提出了更高、更迫切、更全面的要求。另一方面,随着自动化技术的发展,测试手段的进步以及新材料、新工艺的推广,测试技术、分析手段、维修加固技术和工艺也取得了长足的进步,为桥梁检测与维修加固提供了强有力的技术支持。基于此,编者根据多年教学体会和工程实践经验,在本书2006版的基础上,汲取较为先进成熟的技术成果,精选对应的桥梁检测、加固实例(书中实例均选自广州广大工程检测咨询有限公司的相关项目),精简、压缩相关内容篇幅,力求既能较好地满足本科教学的要求,又能充分地适应生产实践的需要。

本书共10章,由张俊平主编,具体分工如下:第一、四、五、七章,张俊平;第二章,梅力彪;第三、六、八章,李永河;第九、十章、附录,杨勇、张俊平,全书由张俊平统稿。书中打\*者,在教学时可根据学时数及教学对象的需要选讲。

限于编者水平和时间,谨请读者批评指正,以使本书在教学实践与生产实践中日臻完善。

编者

2011年5月

# 目录 MULU



<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 桥梁检测与维修加固的意义.....	1
第二节 桥梁检测的工作内容.....	3
第三节 桥梁养护维修加固.....	4
<b>第二章 桥梁检测的量测技术</b> .....	6
第一节 概述.....	6
第二节 应变测试仪器与技术.....	8
第三节 变形测试仪器与技术.....	23
第四节 振动测试仪器与技术.....	32
第五节 其他物理参数测试仪器与技术.....	40
<b>第三章 桥梁检查</b> .....	45
第一节 桥梁检查的分类.....	45
第二节 桥梁检查内容与方法.....	48
第三节 桥梁检查的评价方法.....	54
* 第四节 桥梁管理系统简介.....	64
* 第五节 桥梁检查实例.....	66
<b>第四章 桥梁静载试验</b> .....	71
第一节 静载试验的方法与程序.....	71
第二节 桥梁结构静载试验的方案设计.....	73
第三节 试验现场组织实施.....	79
第四节 静载试验数据整理分析.....	81
* 第五节 静载试验实例.....	90
<b>第五章 桥梁动载试验</b> .....	105
第一节 动载试验的方法与程序.....	105
第二节 桥梁结构动力响应的测试.....	107
第三节 动测数据分析与评价.....	115
<b>第六章 无损检测技术</b> .....	122
第一节 概述.....	122
第二节 回弹法检测混凝土强度.....	125



第三节	超声-回弹综合法检测混凝土强度 .....	132
第四节	钢筋混凝土结构缺陷检测 .....	138
* 第五节	混凝土钻孔灌注桩完整性检测 .....	148
* 第六节	钢结构焊缝探伤 .....	158
* 第七节	局部破损检测方法简介 .....	161
* 第八节	无损检测实例 .....	165
* 第七章	桥梁施工控制与长期监测 .....	172
第一节	桥梁施工控制的基本概念 .....	172
第二节	桥梁施工控制的工作内容 .....	174
第三节	桥梁施工控制的理论与方法简介 .....	177
第四节	桥梁结构长期监测与健康诊断技术简介 .....	188
* 第八章	误差分析与数据处理 .....	193
第一节	测定值的误差 .....	193
第二节	测定结果的误差估计 .....	195
第三节	试验曲线与经验公式 .....	201
第四节	回归分析方法 .....	203
第九章	桥梁日常养护维修 .....	207
第一节	桥梁常见病害及其成因 .....	207
第二节	桥梁日常养护维修的内容与方法 .....	224
第三节	桥梁预防性养护 .....	236
第十章	桥梁加固改造 .....	239
第一节	桥梁加固改造的程序与原则 .....	239
第二节	上部结构常用加固方法 .....	241
第三节	墩台基础常用加固方法 .....	257
* 附录 1	桥梁检测加固综合实例 .....	262
* 附录 2	桥梁检查相关表格 .....	284
* 附录 3	回弹法测区混凝土强度换算表 .....	287
* 附录 4	超声-回弹综合法测区混凝土强度换算表 .....	294
参考文献	.....	302



## 第一节 桥梁检测与维修加固的意义

在科学技术发展过程中,科学试验起着非常重要的作用。对土木工程而言,建筑材料、结构体系、设计理论、施工方法是其发展进步的四个主要支柱,从土木工程设计理论的演变历史来看,每一种理论体系的建立和发展,一般都建立在大量的科学试验、生产实践基础上。试验研究对于推动和发展结构设计计算理论、解决生产实践中出现的疑难问题等方面往往起到了重要的、不可替代的作用。

在桥梁工程的发展中,桥梁试验检测也起到了同样重要的作用。大量的试验研究成为促进桥梁结构设计计算理论、设计方法不断发展的推动力之一。桥梁试验检测是对桥梁原型结构或桥梁模型结构直接进行的科学试验工作。一般说来,研究性试验多利用模型结构进行,以更全面准确地反映各种因素的影响,也便于加载测试工作的开展,目的是研究结构的受力行为,探索结构的内在规律,为设计施工服务;而针对桥梁原型结构开展的试验多属于检验性、验证性试验,其目的是通过试验,掌握桥梁结构在试验荷载作用下的实际工作状态,判定桥梁结构的承载能力和使用性能,检验设计与施工质量,桥梁原型试验也称之为桥梁检测。不论是模型试验还是原型试验,大体都包括试验准备、理论计算、加载测试、分析整理等一系列工作内容。

随着交通事业的蓬勃发展,新结构、新材料、新工艺的不断涌现,既有桥梁服役年限的增长与病害的发展,桥梁检测试验技术日益受到人们的重视,并不断得到发展和提高。桥梁试验的任务主要包括以下几个方面。

(1) 确定新建桥梁的承载能力和使用性能。对于重要的桥梁结构,在建成竣工后,通过桥梁检测考察该桥的施工质量与结构性能,判定桥梁结构的实际承载能力,为竣工验收、投入运营提供科学的依据。对于新型或复杂的桥梁结构,通过系统的桥梁静动载试验可以掌握结构在荷载作用下的实际受力状态,探索结构受力行为的一般规律,为充实和发展桥梁结构的设计计算理论积累资料。

(2) 评估既有桥梁的使用性能与承载能力。对于既有桥梁结构在运营期间,因受水害、地震等自然灾害而损伤,或因设计施工不当而产生严重缺陷,或因使用荷载大幅度增长而超过设

计荷载等级,或在加固改造完成之后、重新开通之前,通常通过桥梁检测来评估既有桥梁的使用性能与承载能力,为既有桥梁的养护、管理、加固、改建或限载对策提供科学的依据。这对于缺乏完整技术资料的旧桥更为必要。

(3)研究结构(构件)的受力行为,总结结构受力行为的一般规律。随着桥梁工程的不断发展,新结构、新材料、新工艺的推广应用,原有的规范、规程往往不能适应工程实践的要求。为了修改、完善既有的规范、规程,更好地指导设计与施工工作,就需要进行大量的研究性试验与长期监测。

在实际工作中,桥梁试验的种类很多,按照试验的目的与要求分类,可分为科学研究性试验和生产鉴定性试验。研究性试验的目的是为了建立或验证结构设计计算理论和经验公式。研究性试验一般把对结构或构件的主要影响因素作为试验参数,试验结构的设计与数量均应按照具体研究目的的需要确定。根据实际情况,研究性试验一般多采用模型结构,在专门的试验室内进行,利用特定的加载装置,以消除或减少外界因素的干扰影响,同时突出所要研究的主要因素。通过模型试验系统的加载测试,对测试资料数据加以分析论证,从而揭示出具有普遍意义的规律。生产鉴定性试验也称之为桥梁检测,具有直接服务于生产实践的意义,一般以原型结构作为试验对象,在现场进行试验,根据一定的规范、标准的要求,按照有关设计文件,通过试验来确定结构的实际承载能力、使用性能和使用条件,检验设计、施工质量,提出桥梁养护维修、加固、改建、限载对策,有效地保证桥梁结构的安全使用。桥梁检测主要包括静载试验、动载试验、无损检测与长期监控测试四个方面。在桥梁试验中,原型试验存在费用高、期限长、影响交通、测试环境多变等不利的因素,如对一些大型桥梁进行多因素的研究性试验,有时是难以实现的。因此,结合原型桥梁进行模型试验往往成为科技工作者的一种有效手段,可以更为方便全面地研究主要影响因素之间的关系,探索结构行为的普遍规律,推动新结构、新材料、新工艺的发展与应用。

根据试验荷载作用的性质,桥梁试验可分为静荷载试验和动荷载试验。桥梁静载试验是将静止的荷载作用在桥梁上的指定位置而测试结构的静力位移、静力应变、裂缝等参量的试验项目,从而推断桥梁结构在荷载作用下的工作性能及使用能力。动载试验是利用某种激振方法激起桥梁结构的振动,测定桥梁结构的固有频率、阻尼比、振型、动力冲击系数、行车响应等参数的试验项目,从而判断桥梁结构的整体刚度与行车性能。静载试验与动载试验虽然在试验目的、测试内容等方面不同,是两种性质的试验,但对于全面分析掌握桥梁结构的工作性能是同等重要的。

就试验对结构产生的后果来说,桥梁试验可分为破坏性试验和非破坏性试验。一般情况下,原型结构的破坏试验,不论在费用上还是在加载测试方法上都存在一些具体的问题,特别是在结构进入破坏阶段后是比较难以操作的,因此,鉴定性试验多为非破坏性试验。但在某些情况下,为了达到预定的试验目的,往往需要进行破坏性试验,以掌握试验结构由弹性阶段进入塑性阶段甚至破坏阶段时的结构行为、破坏形态等试验资料,此时多以模型结构为对象,在实验室内进行,以便能够较为方便可行地进行加载、控制、量测、分析,从而总结出具有普遍意义的规律,推广应用于原型结构。

按试验持续时间的长短,可分为长期试验和短期试验。鉴定性试验与一般性的研究试验多采用短期试验方法,只有那些必须进行长期观测的现象才采用长期试验方法,如混凝土结构的收缩和徐变性能、桥梁基础的沉降及其影响规律、温度效应分布规律等。此外,对于大型桥梁结构或新型桥梁结构常常采用长期观测或健康状况监测手段,以积累这些结构长期使用性

能的资料。

为了较为客观简便地评价桥梁技术状况,常常采用桥梁检查手段。桥梁检查是进行桥梁评定、维修和改造的前期工作。桥梁检查工作的内容包括桥梁技术资料调查和桥梁现场的外观检查,其目的在于掌握既有桥梁的基本状况、查明缺陷或潜在损伤的性质、部位、严重程度及其发展变化态势,以便进行分类管理,建立、健全桥梁技术档案,采取针对性养护维修对策,对有缺陷和损伤的桥梁采取进一步的检测或监测手段。

总之,结合具体的试验目的及试验周期,可选用一种或几种试验方法来检验桥梁结构的性能。在选择时应讲求经济成本,一般能用模型代替的,就不搞大规模的原型试验,通过非破坏性试验可以达到试验目的的,就不做破坏性试验。

在桥梁服役使用过程中,由于自然界各种因素的侵蚀、荷载的反复作用特别是超载车辆的作用,桥梁结构就会产生各种损伤或局部破坏。随着桥梁服役时间的增长,损伤程度也会越来越严重,病害会不断发展,为保障桥梁的安全运营,延长其使用寿命,就要在检测评估的基础上,对于那些承载能力不足、使用性能较差或耐久性能不满足要求的结构或构件,进行有针对性的维修加固,桥梁维修加固可分为一般性维修和结构性加固。一般性维修如桥面铺装层的维修、油漆涂装更新、裂缝封闭与灌浆处理、支座更换等是桥梁养护的日常内容,按维修规模又可分为小修、中修、大修,其主要目的是保证桥梁结构的使用性能或耐久性能不受大的影响。结构性加固如地基基础承载力提高、上部结构承载能力加固等,以弥补桥梁结构先天缺陷、恢复受损桥梁结构的承载能力或满足新的使用条件下的功能要求。桥梁加固涉及的内容十分广泛,包含了桥梁实际状况的检测鉴定、加固设计计算、加固方案工艺比较选择以及投资效益的优化等方面。可以说,桥梁检测与桥梁维修加固的关系密不可分,是一个问题的两个方面。

## 第二节 桥梁检测的工作内容

桥梁检测的工作内容比较多,涉及很多方面。从方法上来讲,分为静载试验、动载试验和无损检测;从时间上来看,分为短期试验和长期试验;从进行时期来看,分为成桥试验和施工阶段监测控制。一般情况下,桥梁检测可分为三个阶段,即准备规划阶段、加载与观测阶段、分析总结阶段。

准备规划阶段是桥梁检测顺利进行的必要条件。该阶段工作包括桥梁设计文件、施工记录、监理记录、既有试验资料、桥梁养护与维修记录等桥梁技术资料的收集;包括桥梁现状如桥面系、承重结构构件、支座、墩台基础等部位的外观检查;包括设计内力计算、加载方案制订、量测方案制订、仪器仪表选用等方面;也包括搭设工作脚手架、设置测量仪表支架、测点放样及表面处理、测试元件布置、测量仪器仪表安装调试等现场准备工作。可以说,检测工作的顺利与否很大程度上取决于检测前的准备工作。

加载与观测阶段是整个检测工作的中心环节。这一阶段的工作是在各项准备工作就绪的基础上,按照预定的试验方案与试验程序,利用适宜的加载设备进行加载,运用各种测试仪器,观测试验结构受力后的各项性能指标,如挠度、应变、裂缝宽度、加速度等,并采用人工记录或仪器自动记录手段记录各种观测数据和资料。有时,为了使某一加载、观测方案更为完善,可先进行试探性试验,以便更完满地达到原定的试验目的。需要强调的是,对于静载试验,应根据当前所测得的各种技术数据与理论计算结果进行现场分析比较,以判断受力后结构行为是否正常,是否可以进行下一级加载,以确保试验结构、仪器设备及试验人员的安全,这对于存在

病害的既有桥梁结构进行试验时尤为重要。

分析总结阶段是对原始测试资料进行综合分析的过程。原始测试资料包括大量的观测数据、文字记载和图片等材料,受各种因素的影响,一般显得缺乏条理性与规律性,未必能深刻揭示试验结构的受力行为规律。因此,应对它们进行科学的分析处理,去伪存真、去粗存精、由表及里,综合分析比较,从中提取有价值的资料。对于一些数据或信号,有时还需按照数理统计的方法进行分析,或依靠专门的分析仪器和分析软件进行分析处理,或按照有关规程的方法进行分析或判断。这一阶段的工作,直接反映整个检测工作的质量。测试数据经分析处理后,按照相关规范、规程以及检测的目的要求,对检测对象做出科学的判断与评价。全部检测工作体现在最后提交的试验研究报告中。

混凝土无损检测技术是桥梁检测技术中一项重要的内容。它是在不破坏混凝土内部结构和使用性能的情况下,利用声、光、热、电、磁和射线等方法,测定有关混凝土性能的物理量,推定混凝土的强度、缺陷等的测试技术。混凝土无损检测技术与破坏试验方法相比,具有不破坏结构的构件、不影响其使用性能、可以探测结构内部的缺陷、可以连续测试和重复测试等特点。应用混凝土无损检测技术,可以检测混凝土的强度、弹性模量、裂缝的深度和宽度,可以检查钢筋的直径、位置和保护层厚度,并可以探知混凝土的碳化程度、钢筋的锈蚀程度和混凝土构件的尺寸等参数。混凝土无损检测技术对于进行施工质量检查与管理,进行既有结构的养护维修管理,评定既有混凝土结构的强度、耐久性能及损伤程度是非常重要的。

对于大跨度桥梁,由于施工周期长,外界因素变化较大,为了确保施工能够较准确地实现设计意图,避免一些随机因素,如温度、湿度、材料参数、施工误差对桥梁施工过程和成桥状态造成过大的影响,就需要在施工过程中对每一施工阶段(节段)桥梁的线形、应力、内力等参数进行实时监测,逐段与设计目标值进行比较,并预测下一施工阶段这些参量的变化态势,以便修正设计计算参数,必要时采取调整控制措施,以确保各施工阶段结构安全性、以预定的精度逼近设计目标值,从而达到较为理想的成桥状态,这就是施工控制。施工控制对于大跨度桥梁的建造具有非常重要的意义。

对于混凝土桥梁的一些时效因素,如收缩、徐变、基础沉降、温度变化,往往使桥梁结构产生附加内力,可能造成桥面线型不平顺、结构局部或整体受损,严重时甚至会危及桥梁结构的安全运营。为了能够及时准确地掌握时效因素对结构的影响程度,了解这些时效因素对结构影响的变化趋势,就需要在一个相对较长的时期内定期测量桥梁结构的线形、应变、内力、裂缝等参数,并对这些参数进行综合分析,以判断桥梁结构的实际状态,这类测试称之为长期监控测试。除此之外,对于一些重要桥梁或新型桥梁结构也常常采用定期检测或健康监测的方法来积累这些结构长期使用性能的资料,以使设计及规范趋于合理与完善。

综上所述,桥梁检测是一门直接服务于工程实践的技术学科,涉及桥梁的设计计算理论、试验测试技术、仪器仪表性能、数理统计分析、现场试验组织等方面,具有较强的综合性、应用性和复杂性。

### 第三节 桥梁养护维修加固

随着交通运输事业的发展,交通量与使用荷载不断增大,加上外界环境的侵蚀影响,桥梁在运营过程中会出现各种各样的病害。桥梁病害大体上可分为影响承载能力的病害,如结构性开裂、基础变位或不均匀沉降;影响使用性能的病害,如桥面线形不顺畅、振动过大等;影响

耐久性能病害,如混凝土腐蚀、碳化等,这些病害的发生发展直接影响结构的使用性能和耐久性能,严重时直接危及桥梁运营安全。

为了满足桥梁的正常运营要求,尽量保持和延长桥梁的使用寿命,对桥梁结构进行经常性的养护维修是非常必要的。桥梁的维修养护,一般原则是贯彻“预防为主,防治结合”的方针,主要是对日常检修和对危害桥梁正常运营的部分进行修缮工作,如对桥面铺装层、伸缩缝、防排水设施、桥梁主体结构的各种缺陷进行养护维修,以免病害发展危及桥梁安全。在桥梁使用过程中,了解桥梁的病害特征,加强日常养护,通过养护维修消除病害,恢复原设计功能,使桥梁经常处于完好的技术状态,达到安全、耐久、适用的目的,是保证和延长桥梁使用寿命的一项不容忽视的工作,也是管理养护部门的主要职责。

当桥梁结构无法满足承载能力、通行能力的要求时,需要对桥梁进行加固或技术改造。就桥梁技术改造而言,它包括了提升或恢复承载力要求的结构补强,增强通行能力要求的桥面加宽,满足使用要求的桥梁部件修缮等。桥梁加固涉及的内容十分广泛,是一项细致而又极具灵活性的工作,需要考虑的因素和涉及的问题很多,包含了桥梁实际状况的检测鉴定、加固设计计算、加固方案、施工工艺的比较选择与投资效益的优化等方面。在加固改造方案拟定时,无论是加固改造方案比较,还是加固方案的具体实施,都要做到尽可能不损害原结构,使加固补强的部分与原结构形成整体、共同工作,因此其方案拟订与实施的难度往往比新建桥梁大,必须慎重处理。在对各种可能的技术改造方案的技术经济效果进行分析比较后,从中选择合理的加固改造方案,选择可靠简便的施工技术工艺。

近20年来,随着交通运输业的飞速发展,桥梁使用荷载的不断增大,以及大批既有桥梁结构进入老化期,桥梁的检测与维修加固工作就显得越来越重要,也对桥梁检测与维修加固技术提出了更高、更全面的要求,而自动化技术的发展及计算机的普及应用,使得桥梁电算、测试技术、分析手段等方面取得了长足的进步,也为桥梁检测工作提供了更好的技术支持。另一方面,随着桥梁服役期的增长,使用荷载的增大,病桥危桥的数量越来越多,在生产实践需要的推动下,新材料、新工艺的不断涌现,桥梁结构的维修加固改造技术得以迅速发展。完全可以相信,桥梁检测与维修加固技术的进步,必将进一步地推动桥梁建设与交通运输事业的持续健康发展,并在确保桥梁安全运营、延长桥梁使用寿命方面起到更加重要的作用。

## 第二章 桥梁检测的量测技术

DIERZHANG



### 第一节 概 述

量测技术、仪器设备、测试元件是桥梁检测的重要技术保障,量测技术的科学性、准确性直接关系到桥梁检测能否达到预期的目的。在桥梁静载、动载试验检测中,量测的内容一般包括以下几个方面:

- (1) 作用力的大小,包括试验荷载的大小、一些构件的内力、支座反力的大小。
- (2) 结构截面上各种应力的分布状态及其大小。
- (3) 结构的各种静态变形,包括水平位移、竖向挠度、相对滑移、转角等。
- (4) 结构局部的损坏现象,如裂缝的分布、宽度、深度等。
- (5) 在动荷载作用下,要测定结构的动应力,或测定结构的自振特性、动挠度、加速度、衰减特性等。

为了测定上述的各项数据,在进行桥梁检测时需要使用相应的检测仪器,并要掌握量测仪器的基本性能和测量方法。

#### 一、检测仪器的分类

测试仪器的分类方法很多,较为常用的分类方法有以下几种:

- (1) 按仪器的工作原理分为机械式测试仪器、电测仪器、光学仪器、声学仪器、复合式仪器、伺服式仪器等。
- (2) 按仪器的用途分为测力计、应变计、位移计、倾角仪、测振仪等。
- (3) 按结果的显示与记录方式分为直读式、自动记录式、模拟式、数字式。
- (4) 按照仪器与结构的相对关系分为附着式、接触式、手持式、遥测式等。

#### 二、仪器的性能指标

仪器的性能指标一般包括以下几个方面:

- (1) 量程(测量范围):仪器的最大测量范围叫做量程。如百分表的量程一般有 50mm 和 100mm,千分表的量程有 3mm 和 5mm。

(2) 最小分度值(最小刻度):仪器指示装置的每一最小刻度所代表的数值叫做最小刻度。百分表的最小刻度为0.01mm,千分表的最小刻度为0.001mm。

(3) 灵敏度:被测结构的单位变化所引起仪器指示装置的变化数值叫做灵敏度。灵敏度与最小刻度互为倒数。

(4) 准确度(精度):仪器指示的数值与被测对象的真实值相符合的程度叫做准确度。

(5) 误差:仪器指示的数值与真实值之差叫做仪器的误差。

### 三、桥梁检测对仪器的要求

桥梁检测对仪器的要求包括以下几个方面:

(1) 仪器的量程、准确度、灵敏度要根据检测的要求合理选用,对于野外检测仪器还要求其工作性能稳定、抗干扰能力强。

(2) 仪器结构简单,使用方便,安装快捷,无论是外包装还是仪器本身结构,都应具有良好的防护装置,便于运输安装,不易损坏。

(3) 仪器轻巧,自重轻、体积小,便于野外桥梁检测时携带。

(4) 仪器适应性强,具有多种用途。如应变仪,既可单点测量,也可多点测量,既可测应变又可测位移。

(5) 使用安全,包括仪器本身的安全,不易损坏,不会对操作人员产生人身安全危害。

量测仪器的某些性能之间经常是互相矛盾的,如精度高的仪器,其量程较小;灵敏度高的,其适应性较差。因此在选用仪器时,应避繁就简,根据试验的要求来选用合适的仪器,灵活运用。目前应用于结构试验中的仪器,以电测类仪器较多,机械式仪器仪表已不能满足多点量测和数据自动采集的要求,从发展的角度看,数字化和集成化量测仪器的应用日益广泛,将给量测和数据处理带来更大的方便。

### 四、仪器的计量标定

为了保证检测数据的准确性,在检测过程中使用的仪器设备事先必须进行计量标定。标定是统一量值、确保计量器具准确的重要措施;也是实行国家监督的一种手段。通过计量标定,对仪器的性能进行评定,确定其是否合格,从而保证检测仪表的量值在规定的误差范围内与国家计量基准的量值保持一致,达到统一量值的目的。仪器的标定可以分为强制标定和非强制标定两类。强制标定的仪器仪表实行定点、定期标定,非强制标定的仪器仪表可由使用单位依法自行标定。计量标定具有以下特点:

(1) 标定的目的是确保量值的准确可信,主要是评定量测仪器的计量性能,确定仪器的误差大小、准确程度、使用寿命、安全性能,确定仪器是否合格,是否可以继续正常使用,是否达到国家计量标准。

(2) 标定具有法制性,标定证书在社会上具有法律效力,标定的本身是国家对量测的一种监督,标定结果具有法律效力。

在桥梁检测中,以下常用仪器仪表应定期进行标定:

机械仪器的标定,如百分表、千分表、测力计、回弹仪等。

电子仪器的标定,如超声波仪、应变仪、应变计、振弦数据采集仪、荷载传感器等。

光学仪器的标定,如精密水准仪、激光测距仪、激光挠度仪、读数显微镜等。



## 第二节 应变测试仪器与技术

结构在外力的作用下,内部会产生应力,而直接测定应力比较困难,目前还没有直接的测试方法,一般的方法是测定应变。目前应用最广泛的应变测试技术是电阻应变测试技术和振弦式应变测试技术,近年来光纤光栅应变测试技术也逐渐得以推广应用。

### 一、电阻应变测试技术

电阻应变测试技术是凭借安装在试件上的电阻应变片将力学量(如应变、位移等)转换成电阻变化,并用专门的仪器使其转换为电压、电流或功率输出,从而获得应变读数的测试技术,通常简称为电测技术或电测法。其转换过程如图 2-1 所示。

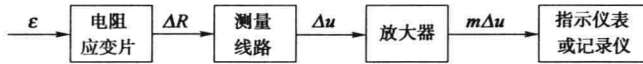


图 2-1 用电阻应变片测量应变的过程

与其他测试方法比较,电阻应变测试技术具有以下优点。

(1)灵敏度高,测量结果比较可靠。目前常用的应变仪和应变片可测得  $1 \times 10^{-6}$  应变,有的甚至可精确到  $0.5 \times 10^{-6}$  应变。

(2)实施简便,测量速度快。易于实现全自动化数据采集、多点同步测量、远距离测量和遥控测试,操作方便,测试方法易于掌握。

(3)应变片标距小、粘贴方便。测试时可不改变结构的原有应力状态,可以测量其他仪表(如机械式应变计)无法安装的部位处的应变或结构某个局部的应力,制成大标距时也可以测量混凝土结构的应变。

(4)适用范围广。可在高温( $100 \sim 800^{\circ}\text{C}$ )、低温( $-100 \sim -70^{\circ}\text{C}$ )、高压、高速、旋转和具有核辐射干扰等特殊条件下成功量测,可用于模型实验,也能直接用于运行中的机械和实体结构各部位的静、动态和瞬态应变量测,可测频带宽。

(5)使用广泛。根据应变原理可以制成不同形式的传感器,用于各种物理、力学参数的量测,易于实现整个测试系统的自动化和电气化。

电阻应变测试技术虽然有很多优点,但也存在不足之处,如贴片工作量大,使用的导线多,抗干扰性能稍差,易受温度和电磁场等的影响,电阻应变片不能重复使用等。

#### (一)电阻应变片

##### 1. 电阻应变片的工作原理

电阻应变片简称应变片或应变计,是电阻应变测试中将应变转换为电阻变化的传感元件,它的工作原理是基于金属丝的电阻随其机械变形而变化的一种物理特性。如图 2-2 所示。取长度为  $L$ ,直径为  $D$ ,截面积为  $A$ ,电阻率为  $\rho$  的金属丝,则其电阻  $R$  为:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2-1)$$

当金属丝受拉而伸长  $\Delta L$ ,则电阻的变化率为:

$$\frac{dR}{R} = \frac{d\rho}{\rho} + \frac{dL}{L} - \frac{dA}{A} \quad (2-2)$$

