



桥梁上部结构 检测评估与加固技术

杨 昂 主编

武汉出版社

桥梁上部结构 检测评估与加固技术

杨 昂 主编

武汉出版社

(鄂)新登字 08 号

图书在版编目(CIP)数据

桥梁上部结构检测评估与加固技术/杨昂主编.

—武汉:武汉出版社,2008.12

ISBN 978-7-5430-3924-7

I. 桥… II. 杨… III. ①桥—上部结构—检测②桥—上部
结构—技术结构③桥—上部结构—加固 IV. U443.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 101280 号

主 编:杨 昂

责任编辑:李 俊

封面设计:杨 方

出 版:武汉出版社

社 址:武汉市江汉区新华下路 103 号 邮 编:430015

电 话:(027)85606403 85600625

<http://www.whcbs.com> E-mail:wuhanpress@126.com

印 刷:武汉市天辉印刷厂 经 销:新华书店

开 本:787mm×1092mm 1/32

印 张:8.125 字 数:204 千字 插 页:2

版 次:2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月第 1 次印刷

定 价:18.00 元

版权所有·翻印必究

如有质量问题,由承印厂负责调换。

前 言

我国江湖河流纵横交错，是一个多桥的国家。解放后我国兴建了许多中小跨径的桥梁，由于设计、施工、材料及环境影响、使用不当和自然损耗等多方面的原因，大多都难免存有质量缺陷和内外损伤，因此，对这些桥梁结构进行检测评估，确定其使用状态，并通过加固修复延长这些桥梁的使用寿命，可创造很好的经济效益和社会效益，是一项非常有意义的工作。

桥梁上部结构为桥梁的主要承载构件，而桥梁损伤往往主要出现在上部结构上。占相当比例的国内外各种桥梁上部结构均存在不同程度的损伤和缺陷，随着使用年代的增长，出现损伤的可能性还将大大增加。

为了桥梁的安全运营，对现有桥梁进行定期检测评估，做出结构不同层次、可靠的等级评定（结构评估的主要内容有耐久性、可靠性、适修性评估），并采取相应的维修加固措施，减少因桥梁的承载能力不足发生交通事故的损失，具有十分重要的现实意义，并能产生很好的社会效益和经济效益。

目前我国结构检测评估及加固工作处于起步阶段，且资料有限，规范（规程）不尽完善，我国现行工程结构诊断评估标准还不尽完善，不够科学，主要表现在：工程结

构评估标准（规程）与设计标准（规范、规程）不相协调，缺少系统的实验研究和数据分析，工程实践中主要依靠实验和表面现象，缺少深层次的具有实测依据的分析等等。因此对桥梁上部结构的检测评估技术的研究和总结就显得尤为重要。

从世界上经济发达国家的经验来看，桥梁建设大体上都经历了三个阶段：大规模新建阶段；新建与维护改造并举阶段；重点转向旧建筑物的维修改造阶段。随着时间的推移，今后我国桥梁建设的重点将转移到维护和加固方面。因此，开发桥梁维修和加固技术具有巨大的市场潜力。

编 者

2007年12月22日

目 录

前言

第一章 桥梁上部结构检测

1. 桥梁钢筋混凝土检测	1
1.1 检测原因	1
1.2 检测方法	1
1.3 仪器设备	2
2. 桥梁动静载试验检测	3
2.1 静载试验	3
2.2 动载试验	5
3. 桥梁承载力检测	8
3.1 检测目的	8
3.2 检测方法	9
3.3 检测仪器	9
3.4 工程实例	9
4. 大跨度桥梁的变形监测	11
4.1 检测内容	11
4.2 检测方法	11
4.3 检测仪器	12
4.4 工程实例	12
5. 索的检测	16
5.1 检测内容	16
5.2 检测方法	17

5.3 检测仪器设备	17
5.4 实验研究	17
6. 桥梁结构混凝土裂缝的检测	19
6.1 检测内容	19
6.2 检测技术	19
6.3 检测原理	19
6.4 仪器设备及主要参数	21
7. 探地雷达在桥梁检测中的应用	21
7.1 检测内容	21
7.2 检测原理	21
7.3 检测仪器	22
8. 电测法	23
8.1 检测内容	23
8.2 检测方法	23
8.3 检测仪器设备	23
8.4 工程实例	23
9. 光纤传感技术	27
9.1 检测内容	27
9.2 检测方法 & 原理	27
9.3 检测仪器设备	28
9.4 工程实例	28
9.5 光纤传感技术应用前景	34
10. 声波透射法	34
10.1 检测目的	34
10.2 检测原理	34
10.3 检测方法	35
10.4 检测仪器	35
11. 附录	35

12. 参考文献	55
----------------	----

第二章 桥梁上部结构评估与寿命预测

1. 桥梁上部结构评估	57
1.1 概述	57
1.2 桥梁缺损状况评价	58
1.3 桥梁承载能力评价	69
1.4 桥梁技术综合评价	76
2. 桥梁剩余寿命预测方法	77
2.1 概述	77
2.2 基于混凝土碳化理论的混凝土桥梁剩余寿命 预测	77
2.3 基于疲劳理论的钢桥剩余寿命预测	88
3. 参考文献	105

第三章 桥梁上部结构加固技术

1. 前言	107
2. 碳纤维技术在桥梁加固中的应用	107
2.1 概述	107
2.2 碳纤维材料在桥梁结构加固中的应用及设计计算	108
2.3 碳纤维布加固桥梁施工工艺	120
2.4 碳纤维加固技术质量控制	122
3. 体外预应力技术在既有桥梁加固中的应用	123
3.1 概述	123
3.2 体外预应力混凝土结构的基本组成	123
3.3 体外预应力加固方法	130

4. 粘钢法在桥梁加固中的应用	137
4.1 概述	137
4.2 粘贴钢板法加固设计计算理论	137
4.3 粘贴钢板法施工工艺	140
5. 桥梁上部结构其他加固技术	142
5.1 锚喷混凝土加固法	142
5.2 加大截面加固既有桥梁	143
5.3 改变结构受力体系加固法	144
5.4 增设纵梁法 (拓宽改建)	146
5.5 拱圈增设套拱加固法	147
5.6 减振加固法	148
6. 参考文献	148

第四章 桥梁结构抗震减振技术

1. 桥梁减振装置及其应用	149
1.1 概述	149
1.2 桥梁的振动和减振	149
2. 桥梁抗震技术及应用	165
2.1 概述	165
2.2 桥梁的隔震、减震方法	166
3. 参考文献	186

第五章 斜拉桥拉索与悬索桥索的更换与维护

1. 斜拉桥拉索的更换与维护	188
1.1 概述	188
1.2 换索和调索问题的提出及其原则	189
1.3 拉索的检测及评估	191

1.4 换索、调索的控制原则	194
1.5 新索的设计	195
1.6 换索准备工作	203
1.7 换索工艺	204
1.8 换索过程中的标高与索力监测	208
1.9 拉索上下锚头的防护及安装减振器	210
1.10 换索优化设计	216
2. 悬索桥主缆维护	228
2.1 概述	228
2.2 主缆缠丝涂装方案及实施工艺	229
2.3 施工工艺及技术要点	233
2.4 新技术及新工艺	236
3. 悬索桥吊索更换工艺	242
3.1 概述	242
3.2 主吊索检查中发现的典型问题	242
3.3 吊索的断丝检验	243
3.4 吊索拉力的测定	243
3.5 索夹在主缆上滑移及检查方法	244
3.6 对吊索系统的养护维修工作主要内容	245
3.7 吊索更换	246
4. 参考文献	247

后记

第一章 桥梁上部结构检测

我国幅员广阔，江河海湾众多，是一个多桥的国家。解放后兴建的许多中小跨径的桥梁，由于设计、施工、材料及环境影响、使用不当和自然损耗等多方面的原因，大多存有质量缺陷和内外损伤。因此，对这些桥梁结构进行检测评估，确定其使用状态，并通过加固修复，延长这些桥梁的使用寿命，能创造很好的经济效益和社会效益，是一项非常有意义的工作。

1 桥梁钢筋混凝土检测

1.1 检测原因

钢筋锈蚀首先会导致钢筋有效截面积的减小，降低承载能力；其次，钢筋锈蚀发展到一定程度，锈皮体积膨胀，混凝土出现沿钢筋方向的纵向裂缝。出现纵向裂缝后，钢筋即与外界接触而使锈蚀迅速发展，致使混凝土保护层脱落。

1.2 检测方法

(1) 钢筋腐蚀检测

电池电位法检测，钢筋锈蚀测定仪检测，钢筋腐蚀分析仪检测。

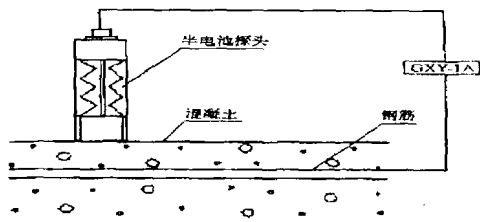


图 1-1 电池电位法检测钢筋锈蚀

(2) 混凝土检测

回弹仪法，超声波法检测。

①回弹仪法：

是根据在仪器的一定冲击力的作用下，测得的回弹值与材料硬度存在一定的相关关系，而得到混凝土强度值。

②超声波法检测：

由一个声波换能器发射，一个声波换能器接收穿过混凝土的声波，检测时换能器分别在两个管子中同步移动，沿不同深度远点测出横截面上超声波穿过时的各项参数，并按超声测缺原理分析每个断面上的混凝土质量。

1.3 仪器设备

常用的监测仪器有：

HT225 混凝土回弹仪，W-D-1000 数字回弹仪，W-D-500 数字回弹仪，W-D-350 手动报告回弹仪，W-D-250 手动回弹仪。RS-UT01C 声波检测仪，TS-25 型非金属超声波探检测仪，TICO 超声波测量仪（带有非易失内存及 RS232 接口，

声时测量范围: 0.1 ~ 6553.5 μ s), METER MARKII 混凝土超声波测量仪, CANIN 钢筋锈蚀测定仪 (EP-10120) 等仪器。

2 桥梁动静载试验检测

2.1 静载试验

静载试验法由试验测得的挠度和应变,辅以检测人员的现场目测,来综合评判桥梁的现时状况。

2.1.1 检测步骤

(1)试验准备工作

- ①试验跨(孔)的选择;
- ②脚手架和测试支架的选取;
- ③静载试验加载位置的确定;
- ④试验工作人员安排;
- ⑤车辆称重。

(2)加载方案与程序

- ①确定荷载试验工况;
- ②试验荷载的确定。

(3)测点布置

(4)试验结果分析

2.1.2 仪器设备

(1) 挠度测量仪器

激光挠度仪 (EP-10090), 百分表、垂吊百分表、精密

水准仪或 BJQN-4 型光电桥梁挠度检测仪。

(2) 应变测量仪器

电阻应变片、振弦式应变计、千分表应变计等 (更多详细仪器见附录 1、附录 2)。

2.1.3 工程实例

石长线常德沅水公路大桥位于湖南省常德市东郊,横跨沅水,与石长铁路线并列而行,南临长常高速公路的终点德山镇,北接常德市火车站,207 国道由该桥通过,桥梁全长 3.12km,按平原微丘区高等级公路标准修建,其主桥为 7 跨连续梁,引桥采用桥面连续简支梁,跨径不一,共计 144 孔,其具体布置见图 1—2。

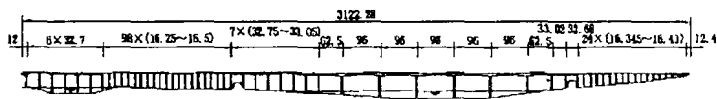


图 1—2 具体布置

对其进行静载试验,结果如下表 1—1:

表 1—1 修正前后计算与试验值的比较

测试数据	边板最大挠度/cm	边板最大应变/ $\mu\epsilon$
修正前	5.596	203.2
修正后	4.639	168.5
试验值	3.627	163.0

根据荷载试验的结果,各试验跨桥梁在试验荷载作用下

有一定的整体工作性能，承载能力能达到设计要求。通过对几种应变方法测量的结果比较发现，采用振弦式应变计与千分表应变计测得的数据较小，且其随荷载的变化规律不明显，而用电阻应变片测得的结果数值较大，与计算值更为接近，且规律性较好，因此进行荷载试验时使用电阻应变片虽较繁琐，但不失为一种较准确的测量手段。

2.2 动载试验

动载试验是根据桥梁结构承受车辆、人群、风力等动力荷载作用下产生振动，通过分析结构的动力响应来评定承载能力。

2.2.1 检测的内容

(1) 固有频率；(2) 阻尼；(3) 振型；(4) 冲击系数。

2.2.2 激振方法

(1) 自振法；(2) 共振法；(3) 脉动法。

2.2.3 测试仪器

测试传感器，信号放大器，光线示波器，磁带记录仪和数字信号处理机，INV306 型结构动态性能测试数据采集与处理计算机系统。(701 型测振仪，CZ-S 型拾振仪器)，振动监测仪 (EP-10100) 等。(详见附录)

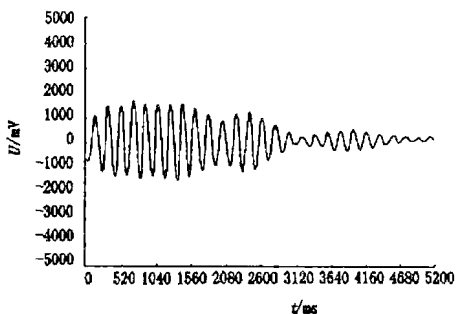
2.2.4 工程实例

1999 年 5 月对辽河大桥 (20m 钢筋混凝土 T 型简支梁

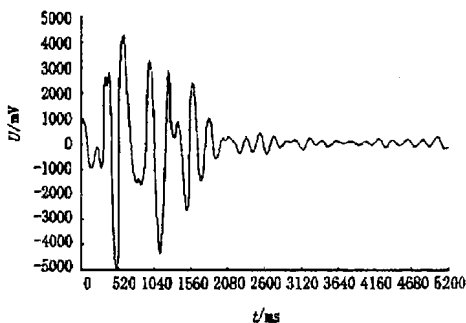
桥)进行了动载试验,试验仪器采用 INV306 型结构动态性能测试数据采集与处理计算机系统,采取桥面空车 (13t) 匀速跑车 (速度分别为 10km/h, 20km/h, 40km/h, 60km/h) 和跳车 (速度 10km/h) 两种方式对桥跨结构进行激振。

(1) 主要测试结果

跨中振动衰减时程曲线见图 1—3。

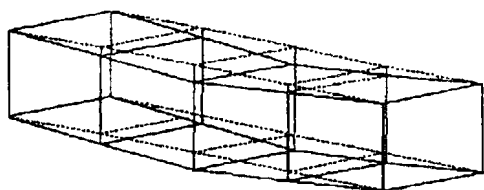


(a) 速度为 10km/h 跑车

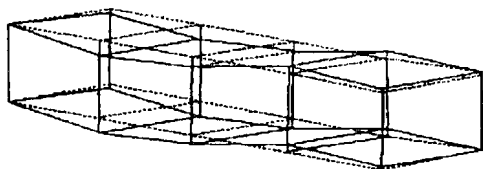


(b) 速度 10km/h 时跳车

图 1—3 桥梁跨中振动衰减时程曲线



(a) 第一振型



(b) 第二振型

图 1—4 桥跨结构振型曲线图 (20km/h 均匀跑车)

①动力学参数

第一振型：频率 $f_1=5.264$ Hz，阻尼比 $d_1=0.01655$ ，阻尼系数 $\delta=0.08711s^{-1}$ ；

第二振型：频率 $f_2=18.919$ Hz，阻尼比 $d_2=0.00361$ ，阻尼系数 $\delta=0.06826s^{-1}$ ；

②冲击系数 (K)

匀速跑车：10 km/h 时， $K=1.233$ ；20 km/h 时， $K=1.111$ ；40 km/h 时， $K=1.452$ ；60 km/h 时， $K=1.484$ ；跳车时， $K=1.182$ 。

③跨中最大振幅

各级车速时，跨中最大振幅在 0.15mm ~ 0.30mm。

(2) 测试结果分析

目前国内对公路桥梁自振频率尚无规范做出明确规定，