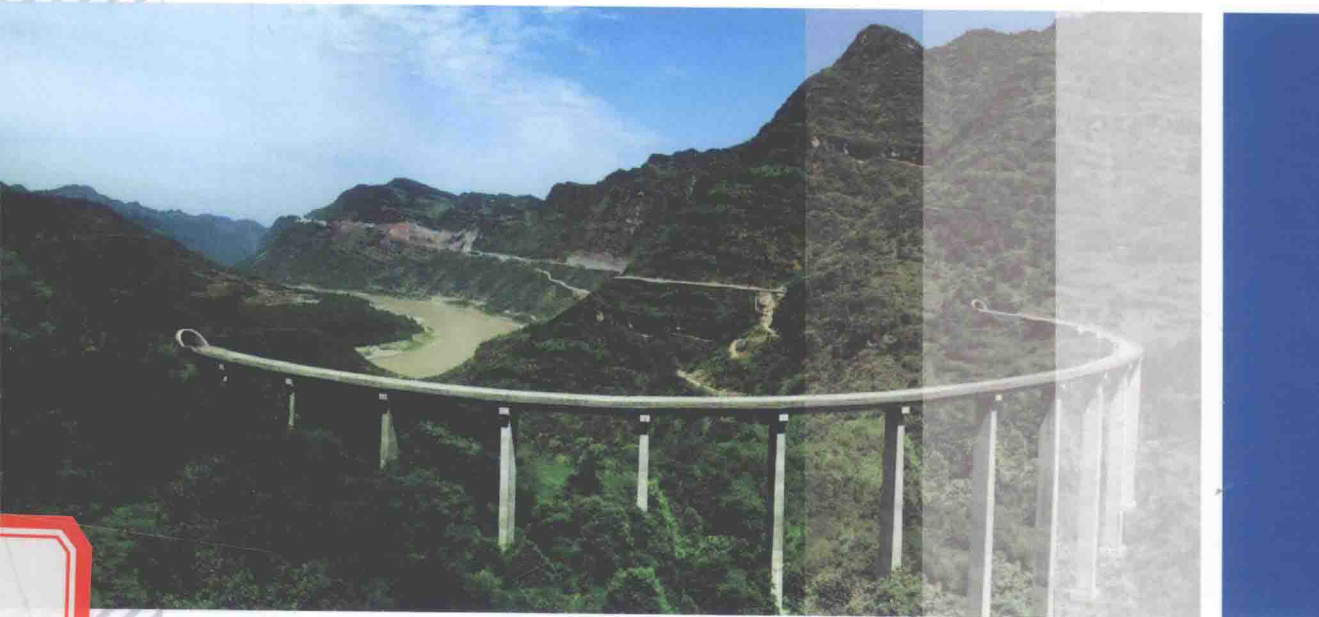


土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列教材

桥梁检测与加固

孙全胜 主 编
郝向炜 王世杰 副主编



 科学出版社

土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列教材

桥梁检测与加固

孙全胜 主 编

郝向炜 王世杰 副主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书内容结合工程实例分为上、下两篇。上篇介绍了桥梁结构检测，内容包括绪论、桥梁结构检测仪器设备、桥梁结构现场检测、桥梁结构评定、工程实例、桥梁施工控制和健康监测。下篇为桥梁结构加固，内容包括绪论、桥梁结构缺陷及其产生原因分析、桥梁结构常见加固维修方法、桥梁结构加固实例。

本书可作为高等院校土木工程专业及相关专业的教材使用，也可供从事相关的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

桥梁检测与加固/孙全胜主编. —北京: 科学出版社, 2016

(土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列教材)

ISBN 978-7-03-049312-5

I. ①桥… II. ①孙… III. ①桥梁结构-检测-高等学校-教材 ②桥梁结构-加固-高等学校-教材 IV. ①U443

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 150650 号

责任编辑: 任加林 / 责任校对: 刘玉靖

责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 6 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016 年 6 月第一次印刷 印张: 23 3/4

字数: 546 000

定价: 49.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈京华虎彩〉)

销售部电话 010-62136230 编辑部电话 010-62135319-2028 (HA18)

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

桥梁是公路或城市道路的咽喉，直接影响着交通的畅通与安全，因此加强对桥梁结构检测、及时对其进行加固与改造就显得尤为重要。编者根据多年从事教学和工程实践的经验，在吸取先进技术与工程测试成果的基础上，编写完成本书。

本书具有较强的工程针对性和实用性，既能适合本科教学，又适用于工程应用。本书分为上、下两篇，上篇主要内容包括绪论、桥梁结构检测仪器设备、桥梁结构现场检测、桥梁结构评定、工程实例桥梁施工控制和健康监测等内容；下篇主要内容包括绪论、桥梁结构缺陷及其产生原因分析、桥梁结构常见加固维修方法桥梁结构加固实例。

本教材通过试验与加固维修的工程实例将理论与实际相结合，使读者能够学习和掌握桥梁结构试验检测的方法和操作技能，并掌握桥梁结构加固与维修的方法，为日后从事相关工作打下良好基础。

本书由东北林业大学孙全胜主编。本书具体编写分工为：本书第1、8章由东北林业大学孙全胜编写，第2~3章由东北林业大学郝向炜编写，第4章由东北林业大学张盛然编写，第5章由东北林业大学高红帅编写，第6章由交通运输部公路科学研究所张小江编写，第7、9章由黑龙江工程学院王世杰编写，第10章由黑龙江省高速公路管理局白涛编写。

限于编者的水平，本书难免存在遗漏和不当之处，敬请专家同行和读者批评指正。

编 者

2015年11月

目 录

上篇 桥梁结构检测

第 1 章 绪论	1
1.1 桥梁结构检测的意义	1
1.2 桥梁结构检测的目的	2
1.3 桥梁结构检测的内容	2
小结	4
思考题	4
第 2 章 桥梁结构检测仪器设备	5
2.1 概述	5
2.2 无损检测仪器与设备	7
2.3 桥梁静、动载检测仪器与设备	12
2.3.1 应变测试仪器设备	13
2.3.2 变位测试仪器设备	27
2.3.3 裂缝测试仪器设备	31
2.3.4 荷载测试仪器设备	33
2.3.5 动力试验测量仪器	34
小结	42
思考题	43
第 3 章 桥梁结构现场检测	44
3.1 概述	44
3.2 桥梁结构缺损状况检测	45
3.3 桥梁材质状况与状态参数检测	48
3.3.1 混凝土结构强度的检测	49
3.3.2 钢筋锈蚀电位的检测	54
3.3.3 结构混凝土中氯离子含量的检测	56
3.3.4 混凝土中钢筋分布及保护层厚度的检测	60
3.3.5 混凝土碳化深度的检测与评定	62
3.3.6 混凝土电阻率的检测与评定	63
3.3.7 结构混凝土内部缺陷与表层损伤的超声法检测	64
3.4 桥梁结构静载试验	73
3.4.1 试验程序及主要工作内容	74
3.4.2 试验加载方法	77
3.4.3 试验部位及测点布置	80
3.4.4 现场试验实施	82

3.4.5 试验数据整理	85
3.5 桥梁结构动载试验	88
3.5.1 桥梁动力特性参数测定	89
3.5.2 桥梁动载试验	101
小结	105
思考题	105
第4章 桥梁结构评定	106
4.1 概述	106
4.2 桥梁缺损状况评定	106
4.3 桥梁材质状况与状态参数评定	109
4.4 桥梁结构检算评定	112
4.4.1 桥梁结构检算的要点	112
4.4.2 混凝土梁式结构的检算	113
4.4.3 混凝土及圬工拱式结构的检算	115
4.4.4 桥面系结构的检算	119
4.4.5 桥梁墩台与基础的检算	120
4.5 桥梁结构承载能力评定	121
4.5.1 桥梁承载能力评定的方法与内容	121
4.5.2 桥梁承载能力评定的原则	123
小结	130
思考题	130
第5章 工程实例	131
5.1 概述	131
5.2 桥梁外观检测评定	131
5.3 简支梁桥结构检测实例	133
5.4 拱桥结构检测实例	138
5.5 连续梁桥结构检测实例	142
5.6 斜拉桥结构检测实例	151
5.7 悬索桥结构检测实例	172
小结	181
思考题	181
第6章 桥梁施工控制和健康监测	182
6.1 施工控制概述	182
6.2 施工控制系统与方法	183
6.3 施工控制误差分析与状态预测	185
6.4 施工控制应用实例	188
6.5 健康监测的目的及意义	196
6.6 桥梁健康系统设计总则	197
6.7 健康监测应用实例	202

小结	210
思考题	210
下篇 桥梁结构加固	
第7章 绪论	211
7.1 桥梁结构加固的意义	211
7.1.1 桥梁维修加固的基本概念	211
7.1.2 桥梁维修加固的意义	211
7.2 桥梁结构加固的特点	212
7.3 桥梁结构加固的基本内容	214
7.3.1 桥梁维修养护中常见的问题	214
7.3.2 桥梁维修加固的工作内容	216
7.3.3 桥梁维修加固的工作步骤	217
小结	217
思考题	217
第8章 桥梁结构缺陷及其产生原因分析	218
8.1 概述	218
8.1.1 混凝土桥梁结构的缺陷	218
8.1.2 混凝土桥梁结构缺陷的产生原因	218
8.1.3 混凝土桥梁结构产生缺陷的危害	219
8.1.4 表面缺陷的检查分析	219
8.2 桥梁上部结构缺陷及其原因	219
8.2.1 混凝土桥梁结构的裂缝分类	220
8.2.2 主梁混凝土开裂	221
8.2.3 钢筋锈蚀	224
8.2.4 混凝土结构的坏化	225
8.2.5 无黏结预应力混凝土的若干问题	226
8.2.6 跨中挠度及裂缝超过容许限值	227
8.2.7 钢筋混凝土梁端损坏	227
8.2.8 双曲拱桥缺陷	228
8.2.9 桁架拱桥缺陷	229
8.2.10 桥头跳车	229
8.2.11 桥梁承载力不足	230
8.2.12 上部结构过窄	231
8.2.13 桥梁缺陷的产生原因与种类	231
8.3 桥梁下部结构缺陷及其原因	232
8.3.1 桥梁基础的沉陷	233
8.3.2 墩(台)身的缺陷	235
8.3.3 墩、台及基础承载力不足	236

8.4 桥面及附属设施缺陷及其原因	236
8.4.1 桥面铺装的常见缺陷	236
8.4.2 桥面防水层的常见缺陷	238
8.4.3 桥面排水设施的常见缺陷	239
8.4.4 桥面伸缩装置的常见缺陷	240
8.4.5 栏杆的常见缺陷	241
8.4.6 桥头引道的常见缺陷	242
8.4.7 桥梁支座缺陷	242
小结	243
思考题	244
第 9 章 桥梁结构常见加固维修方法	245
9.1 桥梁上部结构常见维修加固方法	245
9.1.1 增大截面	245
9.1.2 粘贴加固	248
9.1.3 外包钢加固	251
9.1.4 体外预应力加固	253
9.1.5 增设构件加固	256
9.1.6 改变结构体系加固	258
9.1.7 钢丝绳网片+聚合物砂浆外加固	260
9.1.8 聚合物砂浆+预应力钢丝绳加固	264
9.2 桥梁下部结构常见维修加固方法	269
9.2.1 扩大基础加固	269
9.2.2 增补桩基加固	270
9.2.3 人工地基改良加固	273
9.3 桥梁桥面系及其他结构常见维修加固方法	276
9.3.1 更换支座	276
9.3.2 桥面铺装的维修	279
9.3.3 表层缺陷的修补	280
9.3.4 结构裂缝的修补	282
小结	286
思考题	286
第 10 章 桥梁结构加固实例	287
10.1 概述	287
10.2 简支梁桥结构加固实例	287
10.2.1 实例 1 7×20m 简支 T 梁桥加固维修工程（主梁粘贴钢板+全桥更换支座）	287
10.2.2 实例 2 8×16.80m 简支 T 梁桥加固维修工程（主梁体外预应力+全桥更换支座）	293
10.3 连续梁桥结构加固实例	303
10.3.1 实例 1 刚构-连续组合梁桥加固维修工程（体外束加固主梁+腹板粘贴钢板）	303
10.4 拱桥结构加固实例	310

10.4.1	实例 1 6×30m 双曲拱桥加固维修工程 (拱肋增大截面+全桥拱波修复)	310
10.4.2	实例 2 1×50m 刚架拱桥加固维修工程 (拱片外包 U 型钢板+全桥拱波修复)	317
10.5	斜拉桥加固维修实例 (更换斜拉索+重铺桥面铺装)	329
10.5.1	工程概况	329
10.5.2	主要病害现状	330
10.5.3	病害成因分析	331
10.5.4	加固维修措施	333
10.5.5	加固后结构复算	334
10.5.6	施工要点	336
10.5.7	典型施工图设计图纸	338
10.6	桥梁基础加固实例	338
10.6.1	实例 1 钢筋混凝土简支梁桥基础加固维修工程 (基础外包混凝土加固+河道整治)	338
10.6.2	实例 2 连续钢箱梁基础加固维修工程 (基础补桩加固)	339
10.6.3	实例 3 拱桥扩大基础加固维修工程 (基础注浆加固+石笼防护基础)	341
	小结	342
	思考题	343
附录 1	10.2.1 节实例图纸	344
附录 2	10.2.2 节实例图纸	347
附录 3	10.3.1 节实例图纸	349
附录 4	10.4.1 节实例图纸	352
附录 5	10.4.2 节实例图纸	355
附录 6	10.5 节实例图纸	359
附录 7	10.6.1 节实例图纸	362
附录 8	10.6.2 节实例图纸	365
附录 9	10.6.3 节实例图纸	367
	主要参考文献	369

上篇 桥梁结构检测

第1章 绪 论

1.1 桥梁结构检测的意义

在科学技术的发展过程中，科学试验起着非常重要的作用。对于土木工程专业中的设计计算理论体系的建立和发展，一般都需要进行大量的科学试验并且和生产实践密切联系。在桥梁工程的发展中，桥梁试验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重要因素之一。桥梁试验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，包括试验准备、理论计算、现场试验、施工控制与健康检测、分析整理等内容的一系列工作。桥梁结构原型试验也称之为桥梁结构检测。

我国公路交通事业伴随着国家经济建设，得到了迅猛的发展，先后在国内的大江、大河及海上建成了一批大跨径、深水基础的桥梁，使我国在大跨径悬索桥、斜拉桥、拱桥和连续刚构桥梁建设方面跨入了世界先进行列，成为桥梁大国。特别是近年来，随着苏通长江公路大桥、润扬长江公路大桥、杭州湾跨海大桥、西堠门大桥、青岛海湾大桥等一批具有国际先进水平的特大桥梁的建成，新桥型、新材料和新工艺在桥梁施工中得到了广泛应用。同时，根据国家经济建设的需要，较早修建的大量级别较低的公路需要被改建、扩建，对其中在役桥梁能否继续使用已成为目前公路建设决策部门的一件亟须解决的大事。

通过对桥梁结构检测的质量检测、结构检算与结构荷载检测试验，确定桥梁结构工作状态，评定其承载能力及其使用条件。通过对新建或在役桥梁结构实际承载能力的检测评定，为其使用的安全可靠性及维修加固提供必要的科学依据和积累相关的专业技术资料，建立相关桥梁结构数据库，确定工程的可靠度。

桥梁结构检测的意义主要包括以下几个方面：

1) 确定新建桥梁结构的承载能力和使用条件。对于重要的桥梁结构在建成竣工后，通过桥梁结构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，通过系统的桥梁检测试验，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科学的资料。

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，因受水灾、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严重超过设计荷载等级，通常通过桥梁结构检测试验来评估既有桥梁的使用性能与承载能力，为既有桥梁养护、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既有桥梁更为必要。

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,指导设计与施工工作,就需要进行大量的研究性试验。

1.2 桥梁结构检测的目的

在实际工作中,桥梁结构检测的种类很多,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。科学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,或验证某一结构理论体系中的科学假设判断的可靠性;生产鉴定性试验具有直接服务于生产实践的意义,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、加固、改建、限载对策,有效地保证桥梁结构的安全使用。

桥梁结构检测的主要目的包括:

1) 桥梁由于使用多年,主要部位出现缺陷,如裂缝、错位、沉降等,通过检查确定桥梁各部位损坏的程度及实际承载能力;原来按旧标准规定的荷载等级设计的桥梁,现在由于交通量的不断增加,车辆载重量的不断加大,对桥梁通过能力和承载能力的要求也越来越高,通过检查评价,确定原有桥梁的荷载等级,从而决定是否需要通过加固来提高其荷载等级;对在役桥梁资料不全,通过桥梁结构检测,重新建立和积累技术资料,为加强科学管理和提高桥梁技术水平提供必要条件;系统地收集桥梁技术数据,建立相对应的桥梁数据库,应用计算机管理系统更好地维护、管理桥梁,指导桥梁养护、加固与维修工作。

2) 对于一些重要的大桥或特大桥梁,在建成之后,通过检测评定设计与施工质量,确定工程的可靠度;对采用新型结构的桥梁,通过检测评价可以验证理论的实践性和可靠性,并能进一步发现问题,总结经验,以便对结构设计理论及结构形式加以改进,使其更加完善。

3) 对经过维修加固的桥梁进行竣工检查,通过检查可检验维修加固的质量,并验证加固方法的合理性与可靠性;当桥梁遭受特大灾害时,如发生泥石流、地震、洪水等受到严重损坏,或在建造、使用过程中发生严重缺陷(如质量事故、过度的变形和严重裂缝以及意外的撞击受损断裂等),也需要通过结构检测进行安全评定。

4) 随着我国现代化工业建设的发展,特大型工业设备、集装箱运输逐渐频繁,超重车辆过桥的情况时有发生,通过检查评价可确定超重车辆是否能安全通过,并为临时加固提供技术资料。

1.3 桥梁结构检测的内容

桥梁荷载检测涵盖的内容较为丰富,核心内容是:通过测试在荷载直接作用下的桥梁各结构部位以及整体的响应参数,反映和揭示桥梁的实际承载能力和使用状况。与桥梁结构的理论计算和分析体系一样,桥梁荷载试验都属于对桥梁结构进行微观分析与评价的内容,但又自成体系。桥梁荷载试验与分析评定是对于桥梁结构理论计算与分析的延伸、完善与补充。

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,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状况。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、动力冲击系数等参量的试验项目,从而判断桥梁结构的整体刚度、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。

根据试验对结构产生的后果,桥梁试验可分为破坏性试验和非破坏性试验。一般情况下,鉴定性试验多为非破坏性试验。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。实际上,原型结构的破坏试验,无论是在费用方面还是在方法方面都存在一些具体的问题,特别是在结构进入破坏阶段后试验是比较困难的。因此,破坏试验一般均以模型结构为对象,在实验室内进行,以便能够较为方便地进行加载、控制、量测、分析,从而总结出具有普遍意义的规律。

根据试验持续时间的长短,桥梁试验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,如混凝土结构的收缩和徐变性能、桥梁基础的沉降等,才采用长期试验方法。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组织定期的检测,以积累这些结构长期使用性能的资料。

总之,可以结合具体的试验目的及要求,选用一种或几种试验方法。在选择时应注意经济成本,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,就不做破坏性试验。

桥梁结构检测的内容主要包括以下几个方面:

1) 确定新建桥梁结构的承载能力和使用条件。对于重要的桥梁结构在建成竣工后,通过桥梁试验考察该桥的施工质量与结构性能,判定桥梁结构实际承载能力,为竣工验收、投入运营提供科学依据。

2) 评估既有桥梁的使用性能与承载能力。对于既有桥梁,在运营期间,因受自然灾害而损伤,或因设计施工不当而产生缺陷,或因荷载大幅度增长而严重超过设计荷载的。通过荷载试验,评估既有桥梁的承载能力和使用性能,为既有桥梁养护、加固、改建或限载提供科学依据。

3) 桥梁施工控制保证桥梁施工质量。桥梁施工控制的主要任务就是要确保在施工过程中桥梁结构的内力和变形始终处于容许的安全范围内,确保成桥状态(包括桥梁线形和成桥结构内力)符合设计要求。其主要工作内容包括几何(变形)控制、应力控制、稳定控制和安全控制。

4) 桥梁结构长期监测与健康诊断。该项技术的应用将起到确保桥梁运营安全、延长桥梁使用寿命的作用,同时能够较早期地发现桥梁病害以利于及时维修、养护,降低桥梁的维修费用,并避免桥梁大修时关闭交通所引起的重大损失。

5) 研究结构(构件)的受力行为,总结结构受力行为的一般规律。对新结构、新材料、新工艺的桥梁进行研究性试验,为设计、施工及规范修改起指导作用。

小 结

随着桥梁工程的飞速发展，新结构、新材料、新工艺的不断涌现，桥梁荷载的不断增大，以及大批既有桥梁结构进入老化期，桥梁结构检测工作就越显重要。本章重点介绍了桥梁结构检测的意义、目的和内容。

思 考 题

1. 简述桥梁结构检测的含义与包含的工作内容。
2. 在工程实践中，桥梁结构检测的目的有哪些？
3. 简述桥梁结构检测的发展趋势。

第2章 桥梁结构检测仪器设备

2.1 概 述

桥梁结构试验检测的重要内容主要是对受到荷载结构的力学性能参数进行观测和记录。主要测量仪器设备按工作原理分为非电量电测仪器、机械式仪器和光学测量仪器等。随着科学技术和计算机技术的发展,桥梁结构检测设备的性能也在不断改善。现阶段,非电量电测技术和多功能自动化采集仪得到了广泛应用,使得测试精度和试验效率不断提高;同时,部分沿用至今的机械式检测设备还在使用,有时甚至是不可缺少的;此外,光学测量仪器在变形测试中也在发挥着不可替代的作用。

仪器设备是试验工作的重要技术手段,选用不同的仪器设备,其测试精度及适用性也有差异。正确地选配和使用仪器设备,提高测试数据的可靠性,是试验检测技术人员的重要任务。技术人员需要对被测参数的性质和要求有深刻理解,同时还要对有关测量仪器的原理、功能和使用要求有所了解,这样才能正确选择仪表,以取得良好的使用效果。

桥梁结构检测中的主要测量参数如下:

- 1) 检测结构控制断面处的作用力大小,包括了试验荷载、构件内力、支点反力和吊杆轴力等。
- 2) 检测结构控制断面的应力、应变。
- 3) 结构变位,包括了挠度、水平位移、相对滑移、转角等。
- 4) 桥跨结构的动力特性参数,包括了自振频率、阻尼比、振型等;行车动力响应特性,包括振动加速度、动挠度、动位移、冲击系数等。
- 5) 检测结构的几何尺寸和线形、材料的强度、结构的刚度(裂缝,包括裂缝的发现、分布、宽度、长度、深度等),及其他必要的结构参数。

1. 仪器设备的分类

依据这些分析与计算的测量参数,用于桥梁结构检测的仪器按其用途大致分为以下几类。

(1) 应变测试设备

此类设备可分为:①电阻应变计配套静、动态应变仪;②工具式应变计配套静、动态应变仪;③振弦式应变计配套频率读数仪;④采用高灵敏位移计,通过测区段变形换算平均应变。

(2) 变位测试设备

变位测试设备是根据桥梁结构变位(包括挠度、水平位移、转角、支点变形等)所需要的测试设备,主要包括:①应变式位移传感器配套静、动态应变仪;②机械式位移测量仪器,根据量程不同分为千分表、百分表和张丝式挠度计;③光学测量仪器,包括精密光学水准仪、电子水准仪、全站仪等;④连通管。

(3) 振动测量设备

振动测量设备主要是针对桥梁结构动态检测中使用的仪器设备,振动测量设备包括了磁电式速度计、压电式加速度计、ICP型加速度计、应变式加速度计、伺服式加速度计等传感器以及配套的放大器。

(4) 其他设备

其他设备主要包括了裂缝测量设备(如卷尺钢尺、裂缝宽度测试仪、裂缝深度测定仪等)、荷载测量设备(主要包括应变式测力传感器、振弦式测力计、压力环等)。

上述桥梁试验使用仪器设备的主要性能指标包括:量程、分辨率、灵敏度、精度、稳定性、幅频范围及相频特性等,具体的性能指标,将在后续的仪器设备的使用中作详细的阐述。

2. 仪器设备的选用原则

对于桥梁结构检测,量测仪器的选择应多因素综合考虑,以满足试验目的为前提,根据仪器技术性能和试验条件的技术要求,选择合理的量测仪器。此外,在选用量测仪器时,还应注意以下问题:

1) 满足量测所需的量程及精度要求。在选用仪器前,应先对被测值进行估算,一般应使最大被测值在仪器的 $2/3$ 量程范围附近,以防仪器超量程。在量程满足要求的前提下,应尽量选用分辨率高的仪器设备。

2) 桥梁结构模型试验中,对于安装在结构上的仪表或传感器,要求自重轻、体积小,不影响结构的正常工作,同时也要考虑仪表安装的方便性、可靠性与牢固性。特别要注意夹具的设计是否合理,不正确的安装将会给测量结果带来误差,不能够精确的传递或反应结构的实际响应数据。

3) 同一试验中选用的仪器种类应尽可能少,便于设备调配与量测实施以及精度控制,减少数据处理工作量和避免差错。选用仪表时应考虑试验的环境条件,尽可能避免因环境的变化而带来的试验测量误差,特别对由温度变化而产生的试验误差,在试验时应给予重视。如采用机械式仪表、振弦式应变计,通常可以得到比常规电阻应变片更稳定的实测数据。

4) 对于动态试验的量测仪表,除线性范围、灵敏度、幅频特性以及相频特性都应满足试验要求以外,还需充分考虑桥梁结构超低频振动以及振动量值较小等的特点,选用灵敏度高、低频特性好的测振仪器。一般而言,常用测振设备的上限频率比较容易满足,而下限频率能否适应特定桥梁的振动测试要求是需要重点考虑的问题。对于小跨径桥梁,下限频率达到 1Hz 左右即可,而对于大跨径桥梁,则下限频率要求延伸至 $0.20\sim 0.50\text{Hz}$,甚至更低。

3. 仪器设备的标定

为了确定仪表的精确度或换算系数,需要将仪表示值与标准量进行比较,使检测仪器的量值溯源到国家基准,以保证检测数据的真实可靠,这一工作称之为仪表的标定或检定,标定后的仪表按国家规定的精确度要求分成若干等级。仪表标定是一项十分重要的工作,所有新投入使用、超过检定周期或维修后重新投入使用的检测仪器均应进行标定。标定可分为系统标定或单件标定。对具有相关检定标准的设备(称强制性检定设备),标定工作由法定授权的计量单位负责进行,检定周期一般为1年。

(1) 系统标定

系统标定又称为综合标定,即直接用计量基准、计量标准来检定计量器具的计量特性。可分为用标准量具检定计量器具、用计量基准或标准仪器检定计量仪器、用标准物质检定计量仪器等方法。这种方法的优点是:简便、可靠,并能求得修正值。如被检仪器需要确定修正值,则应增加检定次数,以降低随机误差。采用系统标定方法的缺点是:当受检计量器具不合格时,难以确定是由计量器具的哪个部分或哪几个部分引起的。

(2) 单件标定

单件标定又称为部件检定或分项检定,即对影响被检仪器准确度的各项因素所产生的误差进行分别检定,然后通过计算求出总误差以确定计量仪器是否合格。这种方法适用于以下几种情况:

- 1) 当没有高一级的计量标准来检定的计量仪器。
- 2) 只用系统标定法不能完全满足要求的计量仪器。
- 3) 对于误差因素较简单的计量仪器,用单件检定法较经济时。
- 4) 对某些系统标定法不合格的计量仪器,用单件检定法来确定哪些部件超差。

单件标定法可以弥补系统标定的不足,但是标定、计算繁琐且耗时长。

(3) 用户标定

对目前尚无检定标准的设备,可采用用户自校的方法进行标定。用于标定的参考标准必须送法定计量单位检定合格后才能使用。

2.2 无损检测仪器与设备

近年来,无损检测技术的发展比较快,该方法是指在不影响结构受力性能,不损伤结构或其他使用功能的前提下,直接在结构上通过测定某些物理量,推定混凝土的强度、缺陷、连续性、耐久性等技术指标。因此,该类设备依据逐步形成的《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T 23—2011)、《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》(CECS02:2005)、《超声法检测混凝土缺陷技术规程》(CECS21:2000)等技术规程进行相关的结构无损检测,能够解决工程实际问题,产生较好的社会效益。本节介绍几种目前已较为普及的桥梁无损检测仪器设备,主要有:回弹仪(用于测定混凝土强度)、超声波检测仪(用于测定混凝土强度、缺陷和裂缝)、数显裂缝测宽仪(用于测定裂缝宽度)、钢筋位置测定仪(用于测定钢筋混凝土构件内钢筋位置和保护层厚度)和钢筋锈蚀仪(用于测定混凝土内钢筋锈蚀)等,还有一些无损检测方法(如混凝土碳化、氯离子含量和电阻率等测定)。

1. 回弹仪

回弹仪是根据仪器在一定的冲击力作用下可测得回弹值,这个值与材料表面硬度存在着一定的相关关系,据此原理制作的一种用于混凝土强度测量的机械式非破损检测仪器。

(1) 回弹仪测定混凝土强度的工作原理

利用具有一定势能的弹击锤,通过弹击杆弹击在混凝土表面上,弹击锤反弹高度(回弹值)与混凝土表面硬度和强度存在相关性,利用这种相关性(测强曲线)就可以推定混

凝土强度。

相关关系可表示为

$$R = N \cdot A^B \quad (2.1)$$

式中： R ——被测混凝土强度；

N ——平均回弹值，选定一种回弹仪；

A 、 B ——已知常数。

(2) 回弹仪的类型及构造

回弹仪按冲击力的大小可分为轻型、中型和重型三种，轻型一般用来测砖石和砂浆混凝土强度，中型和重型用于测混凝土强度，也是应用最为普遍的一种型号（图 2.1 为普通中型回弹仪）。现在新型的回弹仪，已采用数显装置，仪器回弹后，直接显示、打印出混凝土强度，使用十分方便，价格比较昂贵，如图 2.2 所示。



图 2.1 HT225 中型回弹仪

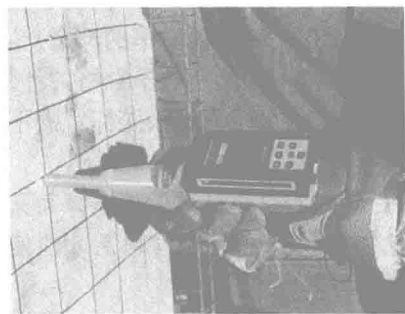


图 2.2 数显式回弹仪

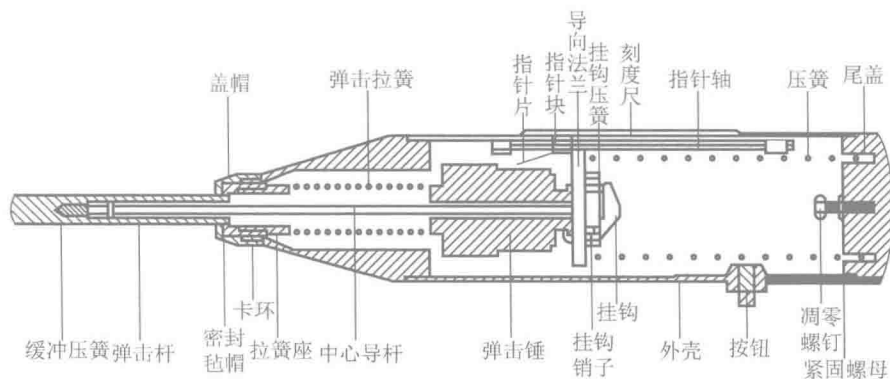


图 2.3 普通回弹仪构造

图 2.3 为普通回弹仪的构造图，仪器工作时，随着对回弹仪施压弹击杆徐徐向机壳内推进，弹击拉簧被拉伸，使连接弹击拉簧的弹击锤获得恒定的冲击能量，当仪器水平状态工作时，其冲击能量可由式(2.1)计算，其能量大小为 2.207J，单击拉簧工作时拉伸长度 0.075m。当挂钩与调零螺钉互相挤压时，使弹击锤脱钩，于是弹击锤的冲击面与弹击杆的后端平面相碰撞，此时弹击锤释放出来的能量借助弹击杆传递给混凝土构件，混凝土弹性反应的能量又通过弹击杆传递给弹击锤，弹击锤获得回弹的能量向后弹回，计算弹击锤回弹的距离 x 和弹击锤脱钩前距弹击杆后端平面的距离 L 之比，即得回弹值 R ，它由仪器外壳上的刻度