

Gonglu Qiaoliang Hezai Shiyan

# 公路桥梁 荷载试验

谌润水 胡钊芳 编著  
邓经国 主审



人民交通出版社

China Communications Press



Gonglu Qiaoliang Hezai Shiyan

# 公路桥梁荷载试验

谌润水 胡钊芳 编著  
邓经国 主审

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书简要地阐述了各类公路桥梁结构特性和受力特点;详细论述了梁式桥、拱桥、刚架桥、斜拉桥、悬索桥、弯坡斜桥的动、静载试验技术和要求,以及依据试验结果评定桥梁结构实际状况和判定承载能力的方法,并列举了各类实桥荷载试验实例和评定结果。本书内容丰富,涵盖面广,具有较强的针对性和实用性,值得桥梁技术人员和相关专业在校师生参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

公路桥梁荷载试验/湛润水, 胡钊芳编著. —北京:  
人民交通出版社, 2003.12  
ISBN 7-114-04805-X

I.公... II.①湛...②胡... III.公路桥—载荷试验 IV.U448.146

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 078463 号

### 公路桥梁荷载试验

湛润水 胡钊芳 编著

邓经国 主审

正文设计:姚亚妮 责任校对:张莹 责任印制:张恺

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京鑫正大印刷有限公司印刷

开本:787×980 1/16 印张:31.75 字数:518 千

2003 年 11 月 第 1 版

2003 年 11 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001—4000 册 定价:58.00 元

ISBN 7-114-04805-X

## 序

时代在前进,技术在发展,伴随着我国的综合国力不断提高和民族的复兴,公路桥梁建设日新月异。近十几年来,一座座大跨径斜拉桥、悬索桥、连续刚架桥、系杆拱桥、梁拱组合桥,跨大江越大河,飞过深山峡谷;主跨 1385m 的江阴悬索大桥,1999 年越过长江天险,在世界悬索桥中位于第 4 位;主跨 550m 上海卢浦钢拱桥,2003 年腾空而起,在世界拱桥中,荣获拱桥最大跨径桂冠;长达 30 多公里的杭州湾大桥,现已正式破土动工,在当今世界在建的超长大桥序列中,名列前茅。这一切都标志着我国的桥梁建设技术,已跻身于世界先进行列。

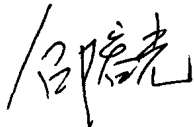
20 世纪 40 年代,计算机问世,随之其快速发展和广泛应用,桥梁结构分析计算技术,始发生革命性变化,繁杂的桥梁结构计算,变得轻而易举。然而,要检测已建成的桥梁结构性能,评价桥梁实际状况,判定桥梁的实际承载能力,进一步探讨其内在规律,深化发展桥梁设计理论,对桥梁进行荷载试验,仍是必要的方法和手段。

现代桥梁发展的历史表明,桥梁荷载试验与其设计分析理论的发展,是相辅相成的。一方面,桥梁分析理论需要荷载试验来验证;另一方面,荷载试验所揭示的现象与数据,往往又会发现新的内在规律。为了发展桥梁结构分析与设计理论,完善与提高桥梁施工工艺水平,积累有关桥梁技术数据和宝贵资料,桥梁荷载试验无疑地发挥着重要的、不可替代的作用。

本书作者,多年来一直从事桥梁荷载试验工作,积累了丰富的经验和资料。他们为了进一步探索桥梁内在规律,在以往荷载试验资料的基础上,吸取国外荷载试验的研究成果,按照不同类型的桥梁结构,对荷载试验资料进行了分析和研究,撰写成《公路桥梁荷载试验》著作,正式出版,以期在同行人之间,相互交流,共同探讨在桥梁建设中遇到的新问题。对于本书作者们立足本职、研精覃思的敬业精神,我表示十分钦佩,特对该书正式出版表示诚挚的祝贺。

本书内容系统、丰富,涵盖面广,具有较强的工程针对性、使用性和参考价值,值得从事公路桥梁建设的技术人员和在校师生一读。

东南大学桥梁工程教授



2003 年 7 月

# 前 言

随着我国国民经济持续快速的发展,我国交通运输事业也迎来一个辉煌灿烂的时代。自 1988 年我国大陆第一条高速公路建成通车,截至 2002 年底,全国高速公路通车总里程已达 2.52 万公里;公路桥梁总数达 29.9 万座,计 1161.2 万延米。全国每年都有一大批结构新颖、雄伟壮观、形式多样的桥梁建成,无论在桥梁单跨跨度、结构复杂程度和施工技术难度方面,我国桥梁建设技术水平已进入世界先进之列。

相对于其他基础设施,公路桥梁造价高、投资大,社会效益和影响巨大。如何保证新建桥梁工程的勘察设计与施工质量,在强化施工、管理、质量监督等相关程序的前提下,对那些影响较大、结构新颖、隐蔽工程较多的桥梁进行全桥实桥荷载试验,是竣工验收时对桥梁工程内在质量进行评定时最直接和有效的方法和手段。同时亦为设计理论、施工技术总结积累经验,为桥梁建设的整体水平提高创造条件,为今后桥梁的养护管理提供科学依据。因此说,桥梁荷载试验是一件十分重要、严肃和有益的工作。

另外,由于历史和资金的原因,我国也还有相当数量 20 世纪 60~70 年代甚至更早时期修建的桥梁,仍然在担负着繁重的交通运输任务。截止至 2002 年,全国公路危桥数量为 3402 座,计 14.5575 万延米。任何一座桥梁从“新”至“旧”、从状况良好到出现病害都是一个动态变化的过程。在加速全国高速公路网建设的同时,对数量更为巨大的较低等级公路进行改造任务也相当繁重。如何对这些公路上既有桥梁的承载能力作出正确判断,进而决定是否利用或加固也就显得非常重要。对既有桥梁,在按有关规程充分收集桥梁技术资料、全面检测和理论分析计算的基础上,可对其承载能力作出评定。但不容置疑,对桥梁结构承载能力最有效、最直接和最有说服力的评价还是桥梁荷载试验,其作用与效果亦是其他方法和手段无法替代的。

在国民经济快速发展的过程中,各行各业也常有一些关系到国计民生的关键设备,需要通过各级公路运输,而这些设备的重量又往往是超限的,有时超重的幅度还非常大。在此情况下,对沿途所经桥梁进行加固提载也

是常用的方法。如何验证这些桥梁的加固提载效果,确保重要设备的运输安全,必须对加固提载后的桥梁进行等效荷载试验,以确认沿途所经过的桥梁是安全的。

综上所述,在桥梁发展历程中,并取得了今天的巨大成就,其中荷载试验和相关试验对其发展起着至关重要的作用。基于上述认识,自1988年以来,笔者先后主持或参与了百余座公路桥梁的荷载试验工作,在实践中积累了不少经验和体会。现将一些代表性的典型公路桥梁现场荷载试验的技术资料,按照不同桥型系统归纳成册,抛砖引玉,与同仁们共同交流,同时也借鉴了国内外已有试验研究成果和资料,共同进一步促进我国桥梁建设的发展。

需要强调的是:尽管桥梁荷载试验的方法在桥梁状态和承载能力等评定工作中起着重要的作用,但其并不能替代常规的桥梁评估方法,而只能视为获取桥梁信息的重要手段和分析方法的补充。因为进行一座桥梁的荷载试验,开支的费用大,时间长,有时甚至还可能引起结构严重损伤,并影响正常交通,这些因素在决定是否对某座公路桥梁进行荷载试验时应予以充分考虑。

桥梁状况和承载能力的评定及其规范化,是桥梁工程发展的一个较新领域。开展这一领域的研究工作,对提高我国桥梁评估水平、减少桥梁的加固重建费用、满足日益增长的交通运输要求,具有积极的意义。

本书共分六篇二十八章,各篇章既独立成篇,又相互关联,形成一个整体。全书由谌润水、胡钊芳主编并负责统稿,邓经国主审,江祥林负责文字、图表编排,吴雪敏负责全书的文字录入。各章的编写人分别是:第一篇:谌润水、胡钊芳;第二篇第一、二章:徐东福,第三、四章:吴利平,第五章:谌洁君;第三篇第一~三章:胡钊芳、谌润水,第四、五章:刘红艳,第六、七章:任东红;第四篇第一、二章:袁海利,第三、四章:栾建平;第五篇第一、二章:邓经国、陈媛媛,第三、四章:冯义卿、陈媛媛;第六篇第一、二章:周院芳,第三、四章:江祥林。

本书编写中,江西省交通厅对此十分重视,并给予大力支持,被列入2002年度江西省交通重点科研计划。交通部公路科学研究所、江西省公路管理局、交通科学技术研究所和公路开发总公司等单位的领导、专家和技术人员给予积极帮助与支持。人民交通出版社为编写本书提出了具体指导性意见。在此,谨向所有关心、支持本书编写和出版的有关领导、专家学者表示衷心感谢。限于作者水平,书中疏漏及错误在所难免,恳请读者和同行批评指正。联系电话:0791-6243551、6243872、6243502,邮编:330038。

作者

2003年6月南昌

# 目 录

## 第一篇 绪 论

<b>第一章 公路桥梁荷载试验的作用与分类</b> .....	(1)
第一节 桥梁荷载试验作用.....	(1)
第二节 桥梁荷载试验分类.....	(2)
<b>第二章 公路桥梁荷载试验一般程序和方法</b> .....	(7)
第一节 荷载试验准备阶段.....	(8)
第二节 荷载试验现场实施阶段 .....	(14)
第三节 试验结果分析和评定阶段 .....	(15)
第四节 桥梁荷载试验基本原则 .....	(25)
第五节 桥梁承载能力和实际状况定量检测方法 .....	(28)
第六节 桥梁动载试验非线性问题 .....	(29)
<b>第三章 桥梁荷载试验与评定的理论分析和检算一般要求</b> .....	(30)
第一节 桥梁荷载试验的必要性 .....	(30)
第二节 桥梁结构计算理论对桥梁实际状况的影响 .....	(31)
第三节 桥梁荷载试验理论检算要点 .....	(33)
第四节 桥梁荷载试验理论分析与实测验证 .....	(34)
<b>第四章 桥梁状态评定的一般要求与原则</b> .....	(37)
第一节 桥梁状态评定的一般概念 .....	(37)
第二节 影响桥梁实际承载力和状况的因素 .....	(40)
第三节 桥梁状态与承载能力评定的一般原则 .....	(40)
第四节 桥梁承载能力评定方法 .....	(45)
第五节 正常使用极限状态有关限值的讨论 .....	(54)
第六节 关于桥梁竖向刚度的分析与评定 .....	(55)
第七节 关于荷载试验鉴定桥梁承载能力的有关改进建议 .....	(57)

## 第二篇 梁式桥荷载试验

<b>第一章 梁式桥梁结构受力特点与试验要点</b> .....	(59)
----------------------------------	------

第一节	梁式桥结构体系与分类 .....	(59)
第二节	梁式桥结构受力特点 .....	(61)
第三节	梁式桥梁荷载试验与状态评定要点 .....	(64)
<b>第二章</b>	<b>简支板桥荷载试验 .....</b>	<b>(68)</b>
第一节	简支板桥结构特点与常用截面形式 .....	(68)
第二节	简支板桥荷载试验目的与理论分析方法 .....	(69)
第三节	荷载试验方案与桥梁状态评定 .....	(75)
第四节	简支板桥梁静动载试验实例 .....	(78)
<b>第三章</b>	<b>简支梁桥荷载试验 .....</b>	<b>(92)</b>
第一节	简支梁桥结构特点与常用截面形式 .....	(92)
第二节	简支梁桥荷载试验目的与理论分析方法 .....	(93)
第三节	荷载试验方案与桥梁状态评定 .....	(103)
第四节	简支梁桥静载试验实例 .....	(130)
<b>第四章</b>	<b>连续梁桥荷载试验 .....</b>	<b>(142)</b>
第一节	连续梁桥结构特点与常用截面形式 .....	(142)
第二节	连续梁桥荷载试验目的与理论分析方法 .....	(146)
第三节	连续梁桥荷载试验要点与状态评定 .....	(150)
第四节	连续箱梁鉴定性静载试验实例 .....	(151)
<b>第五章</b>	<b>悬臂梁桥荷载试验 .....</b>	<b>(158)</b>
第一节	悬臂梁桥结构特点与常用截面形式 .....	(158)
第二节	悬臂梁桥荷载试验目的与理论分析方法 .....	(162)
第三节	双悬臂梁桥静动载试验实例 .....	(170)

### 第三篇 拱桥荷载试验

<b>第一章</b>	<b>拱桥结构受力特点与试验要点 .....</b>	<b>(188)</b>
第一节	拱桥结构体系与分类 .....	(188)
第二节	拱桥一般受力特点 .....	(191)
第三节	拱式桥梁荷载试验要点 .....	(195)
<b>第二章</b>	<b>普通型上承式拱桥荷载试验 .....</b>	<b>(196)</b>
第一节	普通型上承式拱桥结构特点 .....	(196)
第二节	普通型上承式拱桥荷载试验目的与理论分析方法 .....	(199)
第三节	上承式双曲拱桥静载试验实例 .....	(206)
<b>第三章</b>	<b>普通桁架拱桥荷载试验 .....</b>	<b>(212)</b>
第一节	普通桁架拱桥结构特点与构造 .....	(212)



第二节	普通桁架拱桥试验目的与理论分析方法	(216)
第三节	桁架拱桥荷载试验实例	(221)
<b>第四章</b>	<b>桁式组合拱桥荷载试验</b>	(228)
第一节	桁式组合拱桥结构特点与构造	(228)
第二节	桁式组合拱桥荷载试验目的与理论分析方法	(231)
第三节	桁式组合拱桥荷载试验实例	(236)
<b>第五章</b>	<b>刚架拱桥荷载试验</b>	(255)
第一节	刚架拱桥结构特点与构造	(255)
第二节	刚架拱桥结构荷载试验目的与理论分析方法	(260)
第三节	刚架拱桥静载试验实例	(264)
<b>第六章</b>	<b>中、下承式拱桥荷载试验</b>	(273)
第一节	中、下承式钢筋混凝土拱桥构造特点	(273)
第二节	中、下承式拱桥结构荷载试验目的与理论分析方法	(275)
第三节	中承式钢筋混凝土拱桥静载试验实例	(278)
<b>第七章</b>	<b>钢管混凝土拱桥和劲性骨架混凝土拱桥荷载试验</b>	(282)
第一节	钢管混凝土拱桥构造特点	(282)
第二节	劲性骨架混凝土拱桥构造特点	(285)
第三节	钢管混凝土拱桥和劲性骨架混凝土拱桥荷载试验的目的与理论分析方法	(286)
第四节	中承式钢管混凝土系杆拱桥荷载试验实例	(291)

#### 第四篇 刚架桥荷载试验

<b>第一章</b>	<b>刚架桥结构受力特点</b>	(304)
第一节	刚架桥概念	(304)
第二节	刚架桥结构受力特点	(305)
<b>第二章</b>	<b>刚架桥荷载试验检算与理论分析方法</b>	(307)
第一节	刚架桥检算方法	(308)
第二节	刚架桥检算理论	(311)
第三节	刚架桥结构检算	(315)
第四节	刚架桥附加内力检算	(316)
<b>第三章</b>	<b>刚架桥荷载试验目的与桥梁状态评定</b>	(326)
第一节	刚架桥荷载试验目的	(326)
第二节	刚架桥梁状态评定	(330)
<b>第四章</b>	<b>刚构桥荷载试验实例</b>	(333)

第一节	T形刚构桥试验目的	(333)
第二节	T形刚构桥静载试验	(335)
第三节	T形刚构桥动载荷载试验	(342)
第四节	T形刚构桥动静载试验结论和桥梁状况评定	(346)

## 第五篇 悬索桥与斜拉桥荷载试验

<b>第一章</b>	<b>悬索桥构造与受力特点</b>	(348)
第一节	悬索桥构造特点	(348)
第二节	悬索桥受力特性	(351)
第三节	悬索桥结构计算理论与荷载试验检算要点	(353)
<b>第二章</b>	<b>悬索桥荷载试验</b>	(357)
第一节	荷载试验目的及分类	(357)
第二节	悬索桥静载试验要点	(358)
第三节	悬索桥动载试验要点	(360)
第四节	悬索桥梁状况评定	(363)
第五节	悬索桥荷载试验实例	(365)
<b>第三章</b>	<b>斜拉桥结构类型与受力特性</b>	(390)
第一节	斜拉桥特点与发展趋势	(390)
第二节	斜拉桥构造类型及力学特性	(392)
第三节	斜拉桥结构分析与理论检算要点	(395)
<b>第四章</b>	<b>斜拉桥荷载试验</b>	(399)
第一节	斜拉桥荷载试验目的及检测项目	(399)
第二节	斜拉桥静载试验	(403)
第三节	斜拉桥动载试验	(408)
第四节	斜拉桥结构状态评定	(410)
第五节	斜拉桥荷载试验实例	(413)

## 第六篇 斜、弯桥梁荷载试验要点

<b>第一章</b>	<b>斜、弯桥梁发展与分类</b>	(436)
第一节	斜、弯桥梁发展与现状	(436)
第二节	斜、弯桥梁分类	(438)
<b>第二章</b>	<b>斜、弯桥梁受力特点与理论计算要点</b>	(444)
第一节	平面弯桥设计特点	(444)

第二节	平面弯桥受力特点与计算要点 .....	(451)
第三节	斜桥受力特征及构造特点 .....	(454)
第四节	斜、弯桥计算理论和计算方法 .....	(462)
第五节	斜、弯连续梁桥 .....	(465)
<b>第三章</b>	<b>斜、弯桥梁荷载试验要点 .....</b>	<b>(471)</b>
第一节	斜、弯桥梁荷载试验理论检算要点 .....	(471)
第二节	斜、弯桥梁荷载试验要点 .....	(472)
<b>第四章</b>	<b>斜、弯桥梁静载试验实例 .....</b>	<b>(472)</b>
第一节	试验桥概况 .....	(472)
第二节	试验目的、任务及试验类型 .....	(473)
第三节	试验项目及其采用的仪器设备 .....	(474)
第四节	现场荷载试验前准备工作 .....	(475)
第五节	现场荷载试验 .....	(477)
第六节	试验数据整理 .....	(479)
第七节	静载试验结果及桥梁状况评定 .....	(486)
<b>主要参考文献</b>	.....	<b>(488)</b>

# 第一篇 绪 论

## 第一章 公路桥梁荷载试验的作用与分类

### 第一节 桥梁荷载试验作用

桥梁是公路的纽带与咽喉,直接左右着公路的生命。因此,必须确保其工程质量,始终使其处于良好的工作状态。一般来说,桥梁是一项大型工程,决定其质量的因素是多方面,例如:设计分析理论、施工技术、建筑材料,以及地质、水文等自然条件。为此,在桥梁建设过程中,人们采取相应和依靠材料试验(包括试块试验)、模型试验、结构试验、施工监控、成桥后的动、静载试验等手段,了解和控制工程质量。在这些工程质量控制手段中,其中荷载试验和相关试验技术起着至关重要作用。

随着科学技术的进步,桥梁结构的设计方法和设计理论都有了根本性的变化,然而影响桥梁工程质量的许多不确定因素仍然存在,对于建成后的桥梁工程质量,人们更希望了解和掌握其使用性能和效果。此时,人们通过对公路桥梁实施静、动荷载试验,来检验设计和施工质量是否满足设计和标准规范要求,评定桥梁运营荷载等级和实际使用状况等。美国一位专家曾说过:“无论多么高新的结构分析技术都不能取代用于评估公路大桥性能的现场测试。当建筑物承受工作荷载时,记录下应变测试结果,根据测试结果工程师就能更好地了解桥梁的真实结构响应。”

桥梁荷载试验的作用和目的,就是通过对桥梁结构物直接加载后进行有关测试、记录与分析工作,包括试验准备、理论计算、现场试验、对试验结果分析整理等一系列内容,以达到了解桥梁结构在试验荷载作用下的实际工作状态,进而评定桥梁结构施工质量和使用状况,为竣工验收和深入探索提供科学依据。

对于采用新结构、新材料、新技术、新工艺等修建的桥梁,尚有许多诸如结构的材料性能、动力反应、不能建立与研究问题相对应的完善的数学模型,或计算模型与实际结构之间的差距等问题,通过桥梁荷载试验,可以直

接测得理论分析与计算的相关参数,掌握桥梁结构在荷载作用下的实际受力和工作状况,探索桥梁结构受力行为的一般规律,检验是否符合国家标准和设计要求,为充实和发展桥梁设计计算理论为施工工艺积累科学的实践资料。

桥梁荷载试验还是对新建桥梁,特别是大跨度、复杂结构的桥梁竣工验收和质量评定的重要手段。通过荷载试验,可以测试桥梁的施工质量和结构受力性能,判定桥梁结构的实际承载能力,确定桥梁的实际运营状况和使用条件,为竣工验收、投入运营使用提供科学的依据。

对于既有桥梁,特别是修建时间较长、已无法查找到原设计、施工和竣工资料的桥梁,通过桥梁荷载试验,可以评估其使用性能和承载能力,为既有桥梁的继续安全使用、养护、加固、改建或限载提供可靠的技术资料。

桥梁荷载试验涵盖的内容较为丰富,其核心内容是: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,从而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有机延伸和完善与补充。

桥梁荷载试验是一门直接服务于工程实践的技术学科,涉及到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。同时,桥梁荷载试验对于推动桥梁建设事业的发展,为确保桥梁安全运营、进行科学养护又发挥着重要的作用。

## 第二节 桥梁荷载试验分类

在实际工作中,桥梁荷载试验在桥梁的科研、设计及施工、验收等各方面都起着重要的作用。按照荷载试验的侧重点、目的与要求不同,桥梁荷载试验分为以下几种:

- 科学研究性试验和生产鉴定性试验;
- 静荷载试验和动荷载试验;
- 原型试验和模型试验;
- 破坏性试验和非破坏性试验;
- 长期试验和短期试验。

下面分别简要论述如下:

## 一、科学研究性试验与生产鉴定性试验

### 1. 科学研究性试验

科学研究性试验是一种探索性试验,主要解决科研和生产中有探索性、开创性的问题。其试验特点:针对性很强,对试件设计、选择测量仪器、确定测试方法,都有特殊要求。

科学性研究试验,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信程度。一般多采用模型结构,当然有必要时,也可选用实际结构。在进行这种试验时,一般把影响结构的主要因素作为试验参数,按照试验目的进行结构设计和选定试验数量,并在专门的试验室进行,利用特定的加载装置,以消除或减少外界因素的干扰影响,以突出所要研究的主要因素。通过系统的模型试验,对测试资料数据加以分析,从而揭示出具有普遍意义的规律。

科学研究性试验一般要达到下列目的之一:

#### (1) 验证新的结构分析理论、设计计算方法

在进行桥梁结构分析时,对复杂的结构问题进行模拟时,常需要进行必要的简化和假设,然后建立计算模型。为了验证这些简化和假设是否合理,需要配合理论分析进行一系列的模型试验。

#### (2) 为发展新的结构形式、新的施工工艺开创道路、积累经验

当一种新的结构形式或新的施工工艺刚提出来时,往往缺少设计和施工方面的经验。为了探索相关内在规律和积累这方面的实际经验,常配合做一些科学研究性试验。

#### (3) 为制定和修改设计规范提供依据

随着设计理论研究的提升和设计方法与技术的改变(例如,从容许应力法设计到按极限状态法设计,从确定性设计到概率设计等),设计规范也应作相应的修改,新规范的依据常常来自相应的试验。

### 2. 生产鉴定性试验

生产鉴定性试验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。

生产鉴定性试验也称之为桥梁检测,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、测试环境多变等不利的影响因素,如对一些大型桥梁进行多因素的研究性研究,单靠原型试验有时是难以实现和达到目的。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。

生产性试验主要有以下几种情况:

#### (1)对新建桥梁进行鉴定

为了对新建桥梁的质量进行鉴定,通过一定的试验手段,对桥梁的主要质量指标(例如混凝土质量、钢材的焊接质量、检验荷载作用下桥梁的最大挠度或挠曲线、控制截面上的应力等)进行测试,根据测得的这些基本数据,对新建桥梁的质量进行评定。这种试验可以用来检验设计理论以及施工质量,为即将投入使用的桥梁的运行、养护提供依据。

#### (2)对既有桥梁进行鉴定

既有桥梁在运行过程中,因受到地震、台风、雨雪、冰冻等自然因素的影响以及冲击荷载等人为因素的作用和随着时间的推移,桥梁结构都会受到不同程度地损害。为了了解桥梁的实际损害程度以便决定采取何种养护或维修措施,就有必要对这些受损桥梁进行鉴定测试。对于一些重要桥梁,如南京长江大桥,为了确保其运行安全,除了日常的养护、检查外,每隔十年还要进行一次大规模的测试鉴定工作。

另外,随着交通运输事业的发展,许多公路都要提高运输等级,线路上的桥梁也要进行改建或重建。为了采取切合实际的旧桥改造方案以便获得最佳的经济和社会效益,常常有必要对既有桥梁的实际承载能力和耐久性等进行检测与评定,从而决定采用何种措施来满足线路对桥梁的诸如承载能力、桥宽、纵坡等各项指标的要求。

## 二、静荷载试验和动荷载试验

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。

### 1. 静荷载试验

所谓桥梁静载试验,是将静止的荷载作用在桥梁上的指定位置,然后对桥梁结构的静力位移、静力应变、裂缝等参量进行测试,从而对桥梁结构在荷载作用下的工作性能及使用能力作出评价。

静载试验是桥梁结构试验中最大量、最常见的基本试验。因为桥梁结构工作时所受的荷载主要是静力荷载,其自重当然属于静力荷载,就是荷载位置随时间而变的移动车辆荷载,在设计计算时一般也是作为静载来考虑的。这样做的原因,一方面是:因为区分静力问题与动力问题的主要标志,并不是与结构受力状态有关的各物理量是否随时间变化,而是由结构的运动加速度引起的惯性力是否已经大到不可忽略的程度,通常由移动车辆荷载引起的结构反应的动态增量部分只占全部反应的极小部分;另一方面,将移动车辆荷载作为动力问题来考虑,分析起来过于复杂,因此,常用将静力荷载乘以冲击系数的办法来近似考虑移动车辆荷载的动力影响。

桥梁结构静载试验,一般可以通过重力或其他类型的加载设备来实现,并能满足试验要求。静载试验的加载过程,是从零开始逐步递增,一直到预定的荷载为止。静载试验是了解结构特性的重要手段,不仅用它来直接解决结构的静力问题,就是在进行结构动力试验时,一般也要先进行静载试验,以测定结构有关的特性参数。

## 2. 动荷载试验

桥梁动载试验是利用某种激振方法激起桥梁结构的振动,然后测定其固有频率、阻尼比、振型、动力冲击系数、行车响应等参量,从而判断桥梁结构的整体刚度、行车性能。

桥梁结构的动载试验,目前主要包括两方面的内容:

一是测量移动车辆荷载作用下桥梁指定断面上的动应变或指定点的动挠度;

二是测量桥梁结构的自振特性和动力响应。

移动车辆荷载作用下的动应变或动挠度测定,一般用于实桥试验,试验时将单辆或多辆载重车辆按不同的车速通过桥梁,有时为了模拟路面的不良情况,还在桥面上设置人工障碍(比如有一定宽度和高度的木板),使行驶车辆产生跳动,以形成对桥梁的冲击作用,此时测出指定断面上的动应变或动挠度,将动态情况下的峰值与相应的静态数值相比,可以求出车辆振动引起的动态增量。用测试的方法确定桥梁的动态增量,是研究车辆对桥梁动力作用的一种手段,由试验求得的数据可以作为确定桥梁冲击系数的依据。

桥梁自振特性的测量对象,可以是实际桥梁,也可以是桥梁模型。测量模型的自振特性时,一般要对模型进行专门的激励(输入),然后测量模型的响应(输出),在已知激励和响应(或只有响应)的情况下可以求出模型(系统)的自振特性。测量实桥的自振特性时,也可以同模型试验一样,对实桥



进行激振,测得输入和结构的响应后可以求出自振特性。有时,也可以不用对实际结构进行专门的激振,而是利用自然因素(如风、水流、地脉动等)作为实际桥梁的振源(只要能满足一定的条件),测出实际桥梁在这些自然因素作用下的响应,求出实际桥梁的自振特性。

正确确定桥梁结构的自振特性是进行桥梁动力响应的基础。结构自振特性中除阻尼比外,频率与振型可以用计算的力法求得,但计算时所采用的计算图式与实际结构往往有区别,所以用试验的方法确定桥梁结构的自振特性就很有必要。

在诸如地震荷载和风荷载作用下,测量桥梁结构的动力响应的目的是:研究桥梁结构抗震和抗风性能,确保桥梁结构抵抗突发性自然灾害的能力。这类动力响应的测试分析一般都通过模拟震动台试验和风洞试验进行。在有条件的地方,也可以在实桥上进行实时测试。

### 三、原型试验和模型试验

#### 1. 原型试验

原型试验的对象是实际结构或构件。桥梁结构原型试验的对象一般都是实际桥梁,所以原型试验也称实桥试验。

原型试验一般直接为生产服务,但也有以结合科研为试验目的。例如近年来交通运输系统对诸多既有桥梁的质量鉴定试验、新建桥梁的鉴定试验以及一些大型、新型桥梁结构的施工控制测试等基本都属生产性试验,而对有的大跨度斜拉桥进行施工全过程动力特性测试,则基本上是以科研为目的,是为斜拉桥的抗震、抗风研究积累实测资料。

原型试验是以实际结构为测试对象,试验结果真实地反映了实际结构的工作状态。对于评价实际结构的质量、检验设计理论都比较直接可靠,特别是质量鉴定性试验,只能在实际结构上进行。当然,原型试验存在所需费用大、周期长、现场测试条件差等问题。

#### 2. 模型试验

当进行桥梁结构的原型试验由于投资大、周期长、测量精度受环境影响,在物质上或技术上存在某些困难时,往往采用模型试验的办法,来解决设计分析中的疑难问题。特别是科学研究性试验,则更需要借助模型进行试验。模型是仿照真实结构,按照一定比例关系复制成的真实结构的试验代表物,它具有实际结构的全部或部分特征,但模型的尺寸比原型小得多。

根据不同的试验目的,可以将模型分成两类:一类是以解决生产实践中