

土木工程软件应用与实践丛书

midas Civil
桥梁荷载试验
实例精析

王伟 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

土木工程软件应用与实践丛书

midas Civil 桥梁荷载试验 实例精析

王伟 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

本书结合最新颁布的《公路桥梁荷载试验规程》(JTG/T J21—01—2015)与《城市桥梁检测与评定技术规范》(CJJ/T 233—2015)编写而成,系统、全面地介绍了桥梁荷载试验理论与有限元模型的建立及应用。本书主要介绍了桥梁荷载试验的基本理论与midas Civil软件在荷载试验中的主要功能。同时,结合工程实例详细讲解如何运用midas Civil编制桥梁荷载试验的方案,每个章节精选两个工程实例,基本涵盖了所有桥型。

本书可供从事桥梁设计、咨询、科研、施工、监理等方面工作的人员,尤其是从事检测工作的人员使用,也可供高等院校相关专业的师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

midas Civil 桥梁荷载试验实例精析 / 王伟编著
— 北京:中国水利水电出版社,2017.4
(土木工程软件应用与实践丛书)
ISBN 978-7-5170-5274-6

I. ①m… II. ①王… III. ①桥梁工程—荷载试验—
应用软件 IV. ①U446.1-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第061148号

书 名	土木工程软件应用与实践丛书 midas Civil 桥梁荷载试验实例精析 midas Civil QIAOLIANG HEZAI SHIYAN SHILI JINGXI
作 者	王伟 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 12印张 285千字
版 次	2017年4月第1版 2017年4月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	39.00元



凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究



本书作者是重庆中设工程设计股份有限公司（中国西部首家综合性工程勘察设计上市公司，以下简称“中设股份”）不可多得创新研发型技术人才，他是中设股份年度明星员工、核心技术团队的八零后典型代表。在中设股份独特的技术研发大平台和浓厚的技术创新氛围支持下，作者怀揣着对工程检测技术创新研究的兴趣与执着，通过各种方式不断提升自身专业水平，积极探索研究工程检测等相关技术，至今已发表了10余篇高水平的专业技术论文，其中部分论文发表于中文核心期刊，大部分论文发表于高校学报等刊物。所以，当他邀请我为他的处女作书籍《midas Civil 桥梁荷载试验实例精析》作序时我欣然接受。

目前，市面上涉及桥梁技术领域的书籍众多，但桥梁检测类书籍还不够丰富，与之相比，本书主要具有以下特点。

(1) 案例丰富翔实。本书虽为理论书籍但是并非概念和术语的堆砌，做到了言必有出、论不缺例。全书精选典型的桥梁结构的荷载试验，涉及各种桥型，并且对行业内技术文献作了深入研究，力求引用得当而不随意凑数，参考文献多达60余篇，研究思路清晰，论述严谨周密。

(2) 表达言简意赅。作者对本书的撰写倾注了满腔热情，斟字酌句，数易其稿，通过大量实例分析，技术概念变得具体直观，内容变得生动活泼，论述变得通俗易懂，行间字里闪烁着作者的严密逻辑与专业智慧。作者试图以实际案例剖析的方式阐述如何建立“桥梁结构荷载试验的有限元模型”，简明之话语亦可入木三分。

(3) 内容独特新颖。作者潜心将桥梁的理论研究与实践相结合，对于桥梁结构的荷载试验悟出了自己独到的见解，在此领域开拓了崭新的研究视野和思维方式，这使得本书更显弥足珍贵。

综上，本书适合桥梁设计人员、桥梁工程检测技术人员等阅读参考，其内容在今后的桥梁检测工作中具有相当重要的意义。余观此书，赞美之辞溢于言表。古语有云：“世之奇伟，瑰怪，非常之观，常在于险远，而人之所罕至焉，故非有志者不能至也。”又有“有志与力，而又不随以怠，至于幽暗昏惑而无物以相之，亦不能至也”。当代技术人躁者多，静者少，作者的敬业精神和对技术的刻苦钻研精神正是人之所罕至的，其持续学习之精神应为年轻一代桥梁检测技术人员学习的榜样。希望作者继续保持宁静、务实、专注的心态，再接再厉，结合工程实际和中设股份相关科研课题写出更加具有技术创新性的书籍和论文。

是以为序。

国务院政府特殊津贴专家
重庆市工程勘察设计大师



2016年8月



经过改革开放 30 多年的发展，我国桥梁建设取得了举世瞩目的成就。截至 2015 年底，我国公路桥梁总数已有近 78 万座，4592 万延米，桥梁数量与长度均居世界第一。我国已建成的梁桥、拱桥、斜拉桥和悬索桥这四类桥梁的跨径均居世界同类桥梁前列。然而，经过 30 多年的大规模基础设施建设，当前步入维修期的桥梁数量日益增多。据不完全统计，目前仅公路桥梁中危桥数量就多达 7.96 万座，约占公路桥梁总数的 10.5%，直接影响人民的正常安全出行。面向寿命期内桥梁养护的科学决策，需要桥梁技术人员对桥梁结构的技术状况和承载能力进行科学、准确的评定。

荷载试验是评定桥梁结构承载能力直接、有效的鉴定方法，其核心思想是将桥梁结构关键参数的现场加载所获得的实测值与有限元模型计算的理论值进行比较，并对桥梁结构的承载能力进行评定。影响试验与评定结果精度的因素主要有两个：一是测量仪器的精度；二是理论模型的精度。前者可以根据试验对象的实际需要选择合适的仪器来减小误差，而后者不仅需要荷载试验有系统、深刻的认识，而且需要更多的有限元理论知识及正确的应用。所谓“失之毫厘，谬以千里”，有限元模型中关键处细微不恰当的处理可能会对结果造成不可忽略的误差，甚至会对试验对象的受力状况及当前状态造成“误判”，与荷载试验的目的背道而驰。

进入“十三五”时期，国家更加注重桥梁的管理与养护，并且关于公路桥梁荷载试验方面的规范《公路桥梁荷载试验规程》(JTG/T J21—01—2015)已于 2016 年 4 月 1 日正式实施。同时，关于城市桥梁荷载试验方面的规范《城市桥梁检测与评定技术规范》(CJJ/T 233—2015)也于 2016 年 5 月 1 日正式施行。但是，笔者在翻阅大量图书后暂未发现有系统、全面地介绍荷载试验有限元模型的建立及应用方面的书籍，故本书试以商用桥梁专业有限元软件 midas Civil 对桥梁荷载试验进行分析与总结。写作中尽量避免像传统软件应用书籍那样盲目地对应用程序截屏，而采用了大量的文字叙述辅以图片的形式，同时避免了纯有限元理论的介绍，而是将枯燥的理论融入到工程实例建模中。

本书共 8 个章节。第 1 章、第 2 章主要介绍桥梁荷载试验的基本理论与

midas Civil 软件在荷载试验中的主要功能。第 3~7 章主要是结合工程实例详细讲解如何运用 midas Civil 编制桥梁荷载试验的方案, 每章精选两个工程实例, 基本涵盖了所有桥型, 同时介绍了相应桥型的常见典型病害。但又不仅限于此, 具体内容为: 第 3 章主要讲述梁格理论, 首先以斜交预制小箱梁为例, 讨论了预制拼装多片梁桥荷载试验中测点布置方法以及建模注意事项, 然后以单箱多室曲线箱梁桥为例, 运用剪力-柔性梁格理论介绍了梁格体系中纵、横梁与虚拟边构件的计算方法, 并探讨了相应的建模技巧; 第 4 章主要详细讲述运用 midas Civil 软件结合控制截面的影响线, 并综合考虑内力与挠度的加载效应, 编制大跨长联梁桥的荷载试验方案; 第 5 章主要讲述运用 midas Civil 软件编制上承式拱桥与中承式拱桥的荷载试验方案, 并以轻轨两用大跨度系杆拱桥为例, 详细介绍了由梁-杆-壳单元组合的有限元模型以及动力荷载试验中模态振型分析所需的传感器布设与参数识别方法; 第 6 章讲述运用 midas Civil 软件对多跨矮塔 PC 斜拉桥进行荷载试验方案的编制, 并以大跨度钢箱梁斜拉桥为例探讨了钢箱梁的测点布置以及试验方案的编制, 同时为了得到钢箱梁控制截面各测点的理论应力值, 建立了局部精细化有限元模型; 第 7 章主要讲述运用 midas Civil 软件对大跨度独塔空间缆索自锚式混凝土悬索桥与特大跨度钢箱梁加劲梁悬索桥进行荷载试验方案的编制; 第 8 章对荷载试验的若干问题及数据应用与发展方向作了概要探讨, 以期抛砖引玉。

特别感谢重庆中设工程设计股份有限公司黄华华董事长拨冗作序。本书写作过程中得到了西南交通大学赵雷教授、长沙理工大学张玉平副教授、河南理工大学王兴国教授、长安大学武芳文副教授等专家的大力帮助, 在此特表谢意! 本书还参阅了大量书籍资料, 部分已引用书中, 在此对其作者深表感谢。最后, 本书顺利出版还要感谢中国水利水电出版社土木建筑出版分社李亮社长的支持与周媛副社长的辛苦付出。

深知写作是个严谨的事, 尽管不断推敲、反复修改、三易其稿, 但限于笔者当前的认知水平及理论知识有限, 书中难免有疏漏, 甚至谬误之处, 恳请专家、同仁及读者批评指正。

作者

2016年8月

目录



序

前言

第1章 荷载试验基本理论	1
1.1 引言	1
1.2 荷载试验的目的与依据	3
1.2.1 试验目的与意义	3
1.2.2 试验依据与规范	3
1.3 荷载试验的流程及注意事项	4
1.3.1 荷载试验流程	4
1.3.2 注意事项	5
1.4 荷载试验的设备选取	6
1.4.1 设备选取原则	6
1.4.2 静载试验的设备选取	7
1.4.3 动载试验的设备选取	12
1.5 荷载试验的截面选取与测点布置	16
1.5.1 截面选取	16
1.5.2 测点布置	21
1.6 荷载试验的数据后处理及评价	22
1.6.1 数据后处理	22
1.6.2 荷载试验评价	25
第2章 midas Civil 简介	33
2.1 引言	33
2.2 荷载试验常用功能	33
2.2.1 荷载添加	33
2.2.2 移动荷载分析	35
2.2.3 动力特性分析	37
2.2.4 后处理	39
2.3 建模要点与技巧	40
2.3.1 常用单元	40
2.3.2 截面输入	41
2.3.3 边界条件	43

2.3.4 建模与显示技巧	45
第3章 简支(连续)梁桥	47
3.1 引言	47
3.1.1 概述	47
3.1.2 常见病害	47
3.2 梁格基本理论	48
3.2.1 梁格网格划分	49
3.2.2 剪力-柔性梁格理论	50
3.3 斜交预制拼装小箱梁	55
3.3.1 工程概况与模型建立	55
3.3.2 内力计算与截面选取	57
3.3.3 测点与载位布置	57
3.4 单箱多室曲线箱梁桥	58
3.4.1 工程概况与模型建立	58
3.4.2 内力计算与截面选取	60
3.4.3 测点与载位布置	60
第4章 大跨长联梁桥	62
4.1 引言	62
4.1.1 概述	62
4.1.2 常见病害	63
4.2 大跨长联连续刚构桥	63
4.2.1 工程概况	63
4.2.2 模型建立	64
4.2.3 内力计算	64
4.2.4 截面选取与测点布置	65
4.2.5 影响线加载与载位布置	66
4.2.6 动力特性	70
4.3 大跨长联刚构-连续组合梁桥	71
4.3.1 工程概况	71
4.3.2 模型建立	72
4.3.3 内力计算	72
4.3.4 截面选取与测点布置	73
4.3.5 影响线加载与载位布置	73
4.3.6 动力特性	78
第5章 拱桥	79
5.1 引言	79
5.1.1 概述	79

5.1.2	常见病害	80
5.2	上承式钢箱桁架拱桥	80
5.2.1	工程概况	80
5.2.2	模型建立	80
5.2.3	内力计算	81
5.2.4	截面选取与测点布置	82
5.2.5	影响线加载与载位布置	83
5.2.6	动力特性	85
5.3	公轨两用系杆拱桥	87
5.3.1	工程概况	87
5.3.2	模型建立	89
5.3.3	内力计算	92
5.3.4	截面选取与测点布置	93
5.3.5	影响线加载与载位布置	95
5.3.6	动力特性	98
5.3.7	传感器优化	102
5.3.8	参数识别	104
第6章	斜拉桥	110
6.1	引言	110
6.1.1	概述	110
6.1.2	常见病害	112
6.2	PC矮塔斜拉桥	112
6.2.1	工程概况	112
6.2.2	模型建立与内力计算	113
6.2.3	截面选取与测点布置	114
6.2.4	影响线加载与载位布置	116
6.2.5	动力特性	118
6.3	钢箱梁斜拉桥	120
6.3.1	工程概况	120
6.3.2	模型建立	121
6.3.3	内力计算	127
6.3.4	截面选取与测点布置	128
6.3.5	影响线加载与载位布置	130
6.3.6	动力特性	136
6.3.7	动力响应	138
第7章	悬索桥	142
7.1	引言	142

7.1.1	概述	142
7.1.2	常见病害	144
7.2	自锚式混凝土悬索桥	144
7.2.1	工程概况	144
7.2.2	模型建立与内力计算	146
7.2.3	截面选取与测点布置	147
7.2.4	影响线加载与载位布置	148
7.2.5	动力特性	152
7.3	钢箱梁悬索桥	155
7.3.1	工程概况	155
7.3.2	模型建立与内力计算	155
7.3.3	截面选取与测点布置	162
7.3.4	影响线加载与载位布置	163
7.3.5	动力特性	166
第8章	讨论与展望	169
8.1	讨论	169
8.1.1	理论分析	169
8.1.2	数据处理与分析	170
8.2	展望	172
8.2.1	理论分析与数据采集	172
8.2.2	数据运用	175
	参考文献	178

第 1 章 荷载试验基本理论

1.1 引 言

经过改革开放 30 多年的发展,我国桥梁建设取得了举世瞩目的成就。截至 2015 年底,我国公路桥梁总数已有近 78 万座,4592 万延米,桥梁数量与长度均居世界第一。我国已建成的梁桥、拱桥、斜拉桥和悬索桥这四类桥型的主跨径均居世界同类桥梁前列^[1]。其中,梁桥有世界第一跨径的重庆长江大桥复线桥(图 1.1-1),拱桥有世界第一跨径的朝天门长江大桥(图 1.1-2),我国还建成了世界上首座超千米级的斜拉桥,即目前世界上已建造斜拉桥中主跨径位居第二、同类型桥梁(钢箱梁斜拉桥)中主跨径位居第一的江苏苏通长江大桥(图 1.1-3),西堠门大桥为世界第二大主跨径、世界第一主跨径钢箱梁悬索桥,矮寨大桥(图 1.1-4)是目前世界上跨峡谷跨径最大的钢桁梁悬索桥,采用世界首创的“轨索移梁”施工工艺。在多塔缆索承重体系桥梁中,我国的嘉绍大桥(图 1.1-5)为目前世界上最长最宽的多塔斜拉桥,武汉二七长江大桥是目前世界上最大跨度的三塔斜拉桥和最大跨度的结合梁斜拉桥,泰州长江公路大桥(图 1.1-6)为世界上首座超千米级的多塔悬索桥。

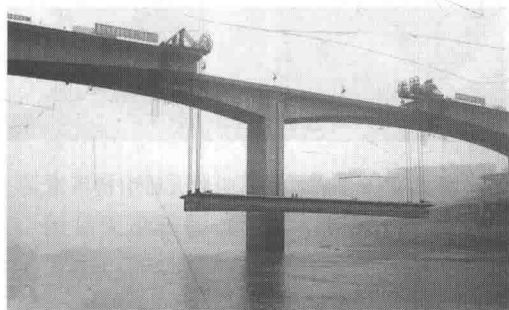


图 1.1-1 重庆长江大桥复线桥

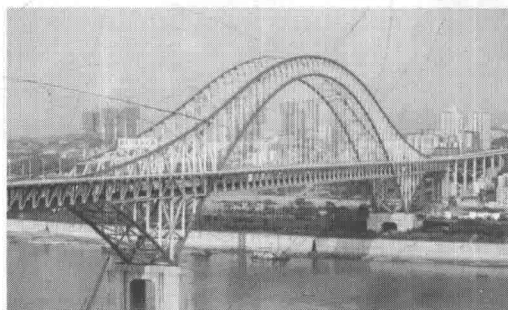


图 1.1-2 朝天门长江大桥



图 1.1-3 苏通长江大桥



图 1.1-4 矮寨大桥

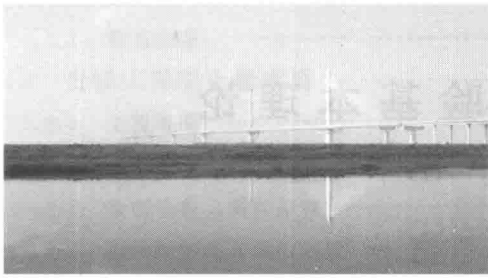


图 1.1-5 嘉绍大桥



图 1.1-6 泰州长江公路大桥

然而，经过 30 多年的大规模基础设施建设，当前步入维修期的桥梁数量日益增多。据不完全统计，目前仅公路桥梁中危桥数量已高达 7.96 万座，约占公路桥梁总数的 10.5%，直接影响人民的正常安全出行^[1]。近年来，由于前期建设“重设计轻养护”，后期管养理念落后、技术储备不足，以及运营过程中过桥车辆与日俱增、远超设计负荷、重车严重超载等因素，桥梁垮塌事件时有发生，给人民生命财产安全造成巨大损失，给社会带来严重恶劣影响。典型桥梁垮塌事故情况见图 1.1-7~图 1.1-10。



图 1.1-7 湘西凤凰沱江大桥



图 1.1-8 哈尔滨阳明滩大桥引桥匝道

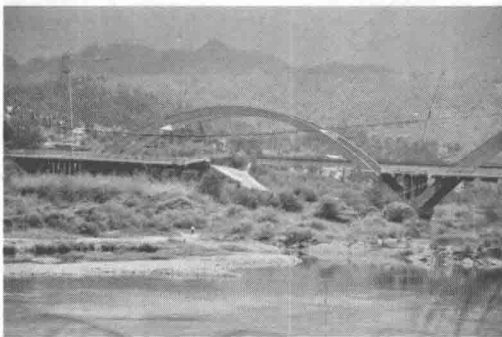


图 1.1-9 福建武夷山公馆大桥



图 1.1-10 北京怀柔宝山寺白河桥

因此，就需要对桥梁结构的承载能力作出科学合理的评定，荷载试验无疑是最基础、直接、有效的方法。



1.2 荷载试验的目的与依据

1.2.1 试验目的与意义

荷载试验最基本的目的是了解桥梁结构的实际工作状态,检验桥梁结构整体的施工质量与受力性能,对桥梁结构的正常使用性能、强度、刚度、裂缝等各项指标作出全面的评价,并对桥梁结构的实际承载能力作出科学的评估,为桥梁交(竣)工验收提供重要的科学依据以及为桥梁的管养维护提供合理的建议^[2,3]。

对于新建桥梁,通过荷载试验检验桥跨结构的设计与施工质量,确定工程的可靠性,为桥梁顺利地投入运营提供可靠依据,同时为桥梁的长期监测提供完整的初始指纹数据,也为同类型桥梁设计与施工积累实测试验资料。

对于采用新结构、新材料、新技术、新工艺等修建的桥梁,尚有许多需要检验与校正的项目(如结构的材料性能、力学响应等)以及尚未明朗或模糊的地方(如计算模型与实际结构之间的差距等),通过桥梁荷载试验可以直接测得理论分析与计算所需的相关参数,建立准确的力学模式,掌握桥梁结构在荷载作用下的实际受力和工作状态,探索桥梁结构的受力特点,为充实、完善和发展桥梁设计计算理论和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、复杂结构的桥梁交(竣)工验收和质量评定的重要手段。通过荷载试验可以检验桥梁的施工质量与结构受力性能,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,通过荷载试验可以评估桥梁实际的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、改建或限载提供科学的依据。

虽然目前根据荷载试验的特点与目的衍生出一些评定桥梁承载能力的新方法,但是实践起来却不太理想。尽管荷载试验具有耗时费力、花费巨大的人力物力以及中断交通等缺点,但是无论新桥(尤其是新结构、大跨径桥梁)的交(竣)工验收还是既有桥梁的承载能力评定,荷载试验都起着重要的、不可替代的作用。

1.2.2 试验依据与规范

桥梁荷载试验中常用的依据与规范主要如下:

《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023—85)*

《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021—89)*

《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)*

《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)[△]

《大跨径混凝土桥梁的试验方法》(YC4—4/1978)

《城市桥梁设计准则》(CJJ 11—93)*

《城市桥梁设计荷载标准》(CJJ 77—98)*

《公路工程技术标准》(JTG B01—2003)*



- 《公路工程交（竣）工验收办法》（交通部 2004 年 3 号令）
《公路斜拉桥设计细则》（JTG D65—01—2007）[△]
《城市桥梁工程施工与质量验收规范》（CJJ 2—2008）
《公路工程竣（交）工验收办法实施细则》（交公路发〔2010〕65 号）
《公路桥梁承载能力检测评定规程》（JTG/T J21—2011）
《城市桥梁设计规范》（CJJ 11—2011）
《公路工程技术标准》（JTG B01—2014）
《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60—2015）
《公路钢结构桥梁设计规范》（JTG D64—2015）
《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》（JTG/T D64—01—2015）
《公路悬索桥设计规范》（JTG/T D65—05—2015）
《公路钢管混凝土拱桥设计规范》（JTG/T D65—06—2015）
《公路桥梁荷载试验规程》（JTG/T J21—01—2015）
《城市桥梁检测与评定技术规范》（CJJ/T 233—2015）
《公路工程质量检验评定标准》（JTG F80/1—2016）

注：标注“△”者为正在修编的规范，标注“※”者为现行已废止的规范，但是荷载试验尚需根据试验桥梁的设计与建造年代及试验目的酌情参考。

以上列出的仅为最重要的基本规范，不同桥型与要求还需参考相应规范与地方标准。

1.3 荷载试验的流程及注意事项

1.3.1 荷载试验流程

本书所提及的荷载试验主要是指现场荷载试验，即是以桥梁交（竣）工验收或生产鉴定为目的。桥梁现场荷载试验是一项复杂、系统的工程，有效组织与合理安排是保证试验顺利进行的关键。试验组织者不仅应熟悉荷载试验流程，同时还应具备相关专业知识和组织协调能力，对试验的各个环节精心安排，认真做好各项应对工作，确保试验顺利实施并达到预期目的。

荷载试验一般可分为试验准备、现场实施和试验结果分析 3 个阶段。

试验准备阶段：主要有资料收集（设计与竣工资料、养护与维修记录等）、现场踏勘与外观检查（选取受力性能具有代表性的、易进行试验的桥跨结构及选择合适的量测仪器等）、试验方案制订与优化（选用加载车辆或加载重物、拟定加载位置等）等内容。

现场实施阶段：主要包括现场准备（测点与载位布置、仪器设备安装与调试等）、预加载试验（整个试验观测系统工作状况的检验与调试等）、正式试验（数据采集、判别与存盘、分级加载、实时监测等）等工作。

试验结果分析阶段：主要是根据实际加载载重与载位进行理论重计算分析、数据处理与分析、荷载试验报告编制等。



1.3.2 注意事项

桥梁荷载试验的对象是桥梁这种大型土木工程结构，其造价高昂、社会影响大，试验方案与实施过程必须遵循科学、严谨、安全的原则，对试验方案应反复推敲，对试验过程应做到实时监测、及时反馈、发现问题及时处理以及必要时终止加载。在国内曾发生过荷载试验过程中桥梁突然垮塌的事故，如北京顺义某人行悬索桥，如图 1.3-1 和图 1.3-2 所示。

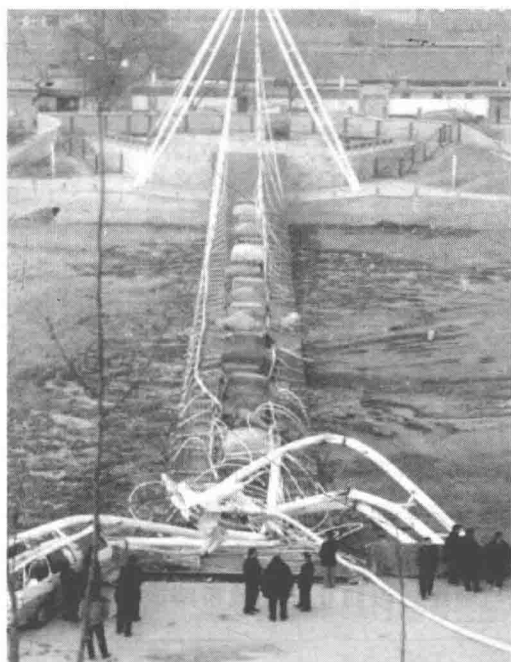


图 1.3-1 桥梁连带加载车坠入河中



图 1.3-2 试验桥梁垮塌

因此，试验前应做好所有参加人员的组织与协调工作，根据试验规模及工作需要，合理组织安排人员，做到分工明确、沟通快捷。为保障桥梁结构的安全，在试验过程中应严格执行分级加载，按照既定的加载测读原则与相应终止条件进行加载。

试验荷载宜按照控制截面最大内力或位移分成 4~5 级施加，若受条件所限时至少应分成 3 级施加，当试验加载车辆较多时应增加分级次数。分级加卸载不仅是为了保障安全，而且可以比较全面地掌握试验桥梁结构实测力学响应（应变、挠度）与所加荷载之间的关系。

分级加载测读应遵循以下原则：

(1) 分级加载只有在前一级荷载阶段内结构变位相对稳定后，才能进入下一级荷载加载。同一级荷载内，结构最大变位测点在最后的 5min 内的变位增量小于前一个 5min 变位增量的 15%，或小于量测仪器的最小分辨率，即可认为结构变位达到相对稳定。每级荷载间隔时间，对于既有桥梁，分级加载的稳定时间不应少于 5min，对尚未投入运营的新桥，首个工况的分级加载的稳定时间不宜少于 15min，同时为了避免环境因素的影响，



每一加卸载周期所花费的时间不宜超过 20min, 各试验工况间间隔时间宜为 20min。

(2) 各级荷载施加完成后, 裂纹、位移、应变观测点对典型部位在线实时监控, 待所有数据稳定后, 完成数据的采集与储存工作。

(3) 每一级荷载施加后应观察结构的反应(应变、挠度、裂纹), 确定下一级荷载的施加方式(是否施加及施加位置)。

一般情况下, 桥梁荷载试验加载终止条件如下:

(1) 控制测点应力值已达到或超过用弹性理论按规范安全条件反算的控制应力值时。

(2) 控制测点变位(或挠度)超过规范允许值时。

(3) 由于加载使结构裂缝长度、宽度急剧增加, 新裂缝大量出现, 宽度超出允许值的裂缝大量增多, 对结构使用寿命造成较大影响时。

(4) 发生其他破坏, 如预应力筋崩断、混凝土压碎、桥墩偏位、支座损坏、变形过大并超过规范允许值等影响桥梁承载能力或正常使用时。

(5) 桥体发出异常响声或其他异常情况时。

(6) 斜拉索或吊索(杆)索力增量实测值超过计算时。

为了确保安全, 在试验过程中应对结构试验响应最大部位进行实时监测, 同时应对主梁、支座、墩等部件的工作状况、裂缝扩展情况进行监测。

此外, 对于新建桥梁来说, 需要通过预加载来消除非试验荷载引起的结构变形, 而且对于尚未进行桥面铺装层施工的新建桥梁, 进行荷载试验时还需要考虑桥面铺装这部分的受力影响。对于既有桥梁而言, 在进行荷载试验前必须进行详尽的外观检查以及试验过程中严格的分级加载, 以防止给结构形成新的损伤与安全隐患, 造成意外发生。对于钢筋混凝土结构, 还必须凿出钢筋用以测试试验荷载作用下钢筋的受力性能。当桥梁跨度较大、所需车辆较多时, 应合理安排加载车摆放位置与顺序, 以防止非加载桥跨或桥梁相近结构因加载车集中放置造成结构损伤与安全隐患。

就桥梁现场试验环境而言, 荷载试验应在桥梁处于完全封闭的交通状态下实施, 不仅是为了保障安全, 而且对运用环境激励(地脉动)技术测试桥梁的动力特性尤为重要。对于缆索承重体系桥梁及高墩连续刚构桥, 不宜在风级较高的情况下进行。为减少温度变化对试验造成的影响, 荷载试验宜选择在 22:00—6:00 时间段进行, 为避免试验桥梁周围环境给仪器设备带来影响, 造成数据失真, 应避免在有冲击、振动、强磁场等严重干扰测试效果的时段进行, 同时应尽量避免高温、强光、强风、大浪、雨雪等恶劣环境条件。

1.4 荷载试验的设备选取

1.4.1 设备选取原则

对于桥梁荷载试验, 量测仪器的选择应将多重因素综合考虑, 以满足试验目的为前提, 根据仪器的技术性能和试验条件的技术要求选择合理的量测仪器。在选用仪器设备时, 宜注意以下几点^[4]: