

桥梁结构现场检测技术

主 编 张印阁 冯玉平 张宏祥



东北林业大学出版社

桥梁结构现场检测技术

主编 张印阁 冯玉平 张宏祥

东北林业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

桥梁结构现场检测技术/张印阁, 冯玉平, 张宏祥主编. —哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2003.3

ISBN 7-81008-583-2

I. 桥... II. ①张... ②冯... ③张... III. 桥梁结构—检测 IV. U443

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 014227 号

责任编辑: 朱成秋

封面设计: 李 萍



NEFUP

桥梁结构现场检测技术

Qiaoliang Jiegou Xianchang Jiance Jishu

主编 张印阁 冯玉平 张宏祥

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路 26 号)

东北林业大学印刷厂印装

开本 787 × 1092 1/16 印张 17 字数 391 千字

2003 年 3 月第 1 版 2004 年 4 月第 3 次印刷

印数 2 101—2 630 册

ISBN 7-81008-583-2

U·18 定价: 26.00 元

前 言

《桥梁结构现场检测技术》一书，自1994年由东北林业大学出版社出版以来，受到了广大读者的欢迎，许多从事桥梁检测及无损检测技术的工程技术人员均以此书作为学习的主要材料，有些大专院校（如哈尔滨工业大学、吉林建筑工程学院、东北林业大学）还以此书为教材，此外，许多从事桥梁设计、施工、监理及科研工作的人员也都参考此书。根据目前桥梁检测与加固技术的需要，故修订再行出版此书实属必要。桥梁结构现场检测技术是对桥梁结构进行现场检测的一种实践方法，是一门实践性很强的专业技术，所涉及内容比较广泛，需要的基础知识和专业技术也较多。通过现场试验，可以正确评定现有桥梁的技术状况、结构性能和工作状态，它不仅能为桥梁的综合评价和确定桥梁的承载能力提供科学依据，而且可为建设中的桥梁提供可靠的观测资料，以保证其工作安全和工程质量，更重要的是为改进桥梁结构及其设计方法积累了经验。

本书详细介绍了公路桥梁静、动载试验中广泛应用的关键技术与理论分析方法，也重点介绍了混凝土结构无损检测技术及检测数据统计与分析。

本书共十六章，参加编写工作的有：张印阁（第一章、第二章、第三章），王桂林（第四章、第五章、第六章、第七章），冯玉平（第八章、第九章、第十章、第十一章、第十二章），张宏祥（第十三章、第十四章、第十五章、第十六章）。全书由张印阁、冯玉平、张宏祥主编。

本书可作为有关大专院校选修课教材，亦可作为桥梁设计、施工、监理和养护管理工程技术人员工作中的参考书。

本书在修订过程中参考了有关规程及有关同志的教材，并得到了很多同志的热情支持，谨表谢意。

由于检测技术的特殊性，本书定有不足之处，欢迎读者多提宝贵意见。

编 者

2003年1月

目 录

第一篇 试验方法

第一章 桥梁结构试验及其一般过程	(1)
第一节 概 述	(1)
第二节 桥梁结构试验的工作内容	(2)
第三节 桥梁结构试验的技术准备工作与试验布置	(4)
第二章 桥梁结构试验的量测技术	(10)
第一节 概 述	(10)
第二节 量测仪表的基本概念	(10)
第三节 仪表的率定	(12)
第四节 应力(应变)量测	(13)
第五节 位移量测	(37)
第六节 其他变形的量测	(39)
第七节 裂缝的量测	(40)
第八节 力的测定	(41)
第九节 振动参数的量测	(41)
第十节 动态测试	(47)
第十一节 动态应变测试干扰和防干扰措施	(51)
第三章 试验项目及观测内容	(55)
第一节 静载试验项目及观测内容	(55)
第二节 动载试验项目及观测部位	(58)
第四章 试验荷载及加载方案	(59)
第一节 静载试验荷载	(59)
第二节 静载试验加载方案	(60)
第三节 动载试验荷载	(61)
第四节 加载试验控制与安全措施	(65)
第五章 试验资料分析与试验结果评价	(68)
第一节 资料分析的一般方法	(68)
第二节 加载试验结构分析与评定	(72)
第六章 桥梁结构试验举例	(75)
第一节 预应力混凝土空心板梁试验	(75)
第二节 钢筋混凝土刚架拱桥试验	(81)

第七章 基桩承载力试验	(94)
第一节 基桩的垂直静载试验	(94)
第二节 基桩的水平静载试验	(101)
第三节 基桩高应变动力检测 (凯斯法)	(102)

第二篇 混凝土无损检测技术

第八章 混凝土无损检测内容及分类	(109)
第一节 混凝土无损检测内容	(109)
第二节 无损检测的分类	(110)
第九章 回弹法检测混凝土结构强度	(114)
第一节 回弹法的基本原理	(114)
第二节 回弹仪的构造及标准状态	(116)
第三节 回弹法测强的影响因素	(118)
第四节 回弹法检测技术	(123)
第五节 回弹值计算	(125)
第六节 测强曲线	(126)
第七节 混凝土强度的计算	(128)
第八节 检测报告	(129)
第十章 超声脉冲检测法	(131)
第一节 超声脉冲检测法的基本原理	(131)
第二节 超声脉冲检测装置	(140)
第三节 声速测试技术	(149)
第十一章 超声一回弹综合法检测混凝土强度	(157)
第一节 超声一回弹综合法的基本依据及影响因素	(157)
第二节 超声一回弹综合法的检测技术	(160)
第十二章 超声法检测混凝土缺陷	(167)
第一节 概 述	(167)
第二节 检测技术	(168)
第三节 浅裂缝检测	(169)
第四节 深裂缝检测	(170)
第五节 不密实区和空洞检测	(172)
第六节 混凝土结合面质量检测	(175)
第七节 表面损伤层检测	(176)
第八节 匀质性检测	(177)
第十三章 超声法检测混凝土钻孔灌注桩	(179)
第一节 超声法检测混凝土钻孔桩的基本原理及装置	(179)
第二节 超声法检测混凝土钻孔桩技术	(183)
第三节 灌注桩混凝土缺陷的判断	(186)

第四节	超声法检测灌注桩缺陷实例·····	(195)
第十四章	钻芯法检测混凝土强度·····	(203)
第一节	概 述·····	(203)
第二节	钻芯法使用的主要设备·····	(203)
第三节	芯样的钻取·····	(205)
第四节	芯样的加工及技术要求·····	(206)
第五节	抗压强度试验·····	(208)
第六节	芯样混凝土强度的计算·····	(208)
第七节	试验报告中应记载的内容·····	(209)

第三篇 检测数据的统计与分析

第十五章	检测数据的分析与处理·····	(210)
第一节	误差及其分类·····	(210)
第二节	检测误差对检测结果的影响·····	(212)
第三节	多次检测结果的误差估计·····	(213)
第四节	正态分布、概率及其检验方法·····	(216)
第五节	可疑数据的取舍方法·····	(222)
第六节	测试数字的修约规则·····	(225)
第七节	试验关系式的建立·····	(226)
第十六章	无损检测数据的回归分析·····	(230)
第一节	回弹（超声）法测强一元回归分析·····	(230)
第二节	二元（或多元）回归分析·····	(240)
附表一	回弹法测区混凝土强度换算表·····	(249)
附表二	超声一回弹综合法测强用表·····	(255)
附表三	超声一回弹综合法测强用表·····	(259)
参考文献	·····	(263)

第一篇 试验方法

第一章 桥梁结构试验及其一般过程

第一节 概 述

桥梁结构试验是桥梁建筑方面的一门基础技术科学，是现有桥梁技术鉴定工作中重要的组成部分。它的任务是对桥梁结构进行试验观测，并对测试参数（如位移、应力、振幅、频率等）进行分析，对桥梁结构的工作性能、实际承载能力作出正确的估计与评价。近年来，我国铁路、交通、林业等部门对于运营使用中的现有桥梁的检测、评价和加固技术等进行了广泛的试验研究与工程实践，使现有桥梁的改造技术水平有了较大的提高，并取得了良好的社会效益和经济效益。

桥梁结构试验是通过直接检测方法了解和分析结构在荷载作用下的实际工作状态，判断桥梁结构实际承载能力和使用条件。通过桥梁结构试验，还有助于发现在一般性检查中难以察觉的隐蔽病害，检验桥梁的结构设计和施工质量。

桥梁结构试验技术的发展与各种现代技术的发展密切相关。非电量量测技术及无损检测技术的迅速发展，尤其是电子计算机技术在试验控制、数据采集及数据处理分析等方面的应用，使桥梁结构检测技术有了飞跃的发展。

桥梁结构荷载试验一般应按如下方法进行分类。

一、按桥梁工程检验性质分类

1. 鉴定荷载试验

通过荷载试验鉴定现有桥梁的承载能力和使用功能，确定桥梁的使用条件及应采取的技术措施，可有效地保证现有桥梁的安全使用。鉴定荷载试验常用来解决如下问题：

（1）对于一些采用新计算理论、新材料、新工艺或新结构的新建桥梁，在建成后需要进行结构试验，可验证理论的实践性和可靠性，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，使其更臻完善。

（2）原来按旧标准规定的荷载等级设计建造的桥梁，现在由于交通量的不断增加及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愈来愈高。通过检定，可确定现有桥梁的荷载等级，从而决定是否需要通过加固来提高其荷载等级。

（3）近年来，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, 超重车辆必须过桥的情况时有发生。通过检定, 可确定超重车辆是否可通过, 并为临时加固提供资料。

(4) 对遭受地震、火灾、洪水而损伤的桥梁结构物, 或在建造和使用过程中产生的严重缺陷、损坏 (如施工质量事故、混凝土标号不够等), 往往要通过现场试验才能了解其实际承载能力, 提出技术处理意见。

(5) 对在施工现场成批预制的构件, 在吊装就位前进行抽样试验, 以鉴定产品质量。

(6) 对于缺乏设计与施工技术资料、难以采用计算方法评定其能否承受预定增大荷载的旧桥, 采用鉴定荷载试验, 判断其承载能力。

(7) 对于一些重要的大桥或特大桥梁, 在建成之后进行检定, 通过检定, 可评定其设计与施工质量, 确定工程的可靠程度。

(8) 对于经过维修加固的桥梁, 要进行竣工检定, 通过检定, 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。

鉴定试验都必须在现场进行, 一般不应破坏构件, 而且应为短期荷载试验。

2. 研究性荷载试验

这类试验带有研究性质, 是为验证结构设计理论或为创造一种新型结构而进行的系统试验研究。一般可通过原型或模型试验进行详细观测, 取得可靠数据, 找出规律, 从而为此类试验提供必要的参数。

二、按试验荷载性质分类

1. 静载试验

静载试验是桥梁结构荷载试验经常采用的一种主要试验方法。试验时, 将确定的试验荷载静止地作用于试验桥梁的预定加载位置, 获取位移及应力 (应变) 参数, 分析桥梁在静荷载作用下的工作状态。

2. 动载试验

动载试验是分析桥梁结构在移动的车辆荷载或其他动荷载 (如地震、风荷载等) 作用下桥梁结构的受迫振动特性和自振特性。

三、按试验荷载量分类

桥梁结构荷载试验按其荷载量又可分为基本荷载试验、重荷载试验和轻荷载试验。

(1) 基本荷载试验。最大试验荷载为设计规定的标准荷载。

(2) 重荷载试验。最大试验荷载大于基本荷载。

(3) 轻荷载试验。最大试验荷载小于基本荷载, 要求试验荷载不小于基本荷载的 0.5 倍。

第二节 桥梁结构试验的工作内容

一、桥梁结构试验的工作内容

桥梁的结构试验, 包括桥梁检查和桥梁荷载试验两个方面。

桥梁检查是指对桥梁各部分的技术状态进行详细的调查研究,借以判定桥梁的现状 & 已完成的构筑物或维修加固工程的质量。在个别情况下,检查时还应直接在现场查明 建筑材料的强度等力学性能指标,或取下试件,以便随后在试验室里进行强度试验。如 果被检定桥梁没有任何技术资料,检查时还必须详细记下各部尺寸,以供绘制桥梁结构 图之用。

通常在桥梁检查之后再安排桥梁的荷载试验。根据荷载的种类及性质,荷载试验又 可分为静载试验和动载试验两种。

具体地说,桥梁结构试验的工作内容可分为如下三个方面:

(1) 对桥梁进行检查,评定桥梁设计、施工及维修加固的质量与效果。桥梁的使用 效果与桥梁的设计、施工及维修加固质量密切相关。调查桥梁各部结构的营运情况,分 析出现缺陷的原因,可正确评价桥梁设计与施工的质量。

例如,检查发现钢筋混凝土梁的下缘出现裂缝,可能与钢筋的排列密度有关;发现 桥面车道板梁与梁之间的接缝处出现纵向裂缝,可能是由于减少或取消 T 形钢筋混凝 土梁的中横梁,或虽有横隔梁,但焊接存在缺陷,而导致桥梁横向刚度明显减弱的缘 故;通过现场强度检验,发现构件各部分强度不均,甚至低于设计强度,可能是施工质 量上存在的问题。

(2) 对桥梁进行静载试验,量测与桥梁结构性能有关的参数。与桥梁结构的工作性 能有关的主要参数有变形、挠度、应变、裂缝等。通过静载试验可测出这些参数,从而 分析得出结构的强度、刚度及抗裂性能,据此判断桥梁的承载能力。

(3) 对于重要线路上的桥梁、结构新颖的桥梁或特大桥梁,可通过动载试验评定其 动力特性,包括梁的挠度、结构在竖直和水平方向的振动,如振幅、频率、振型、阻尼 比等,从而为桥梁振动提供必要的资料,以便避开危及桥梁结构的振动现象。

桥梁结构试验大致可分为试验规划、试验准备、加载试验、试验资料整理分析与总 结四个阶段。各阶段工作内容相互联系、制约并互为保证。

二、桥梁结构试验规划

桥梁结构试验是一项细致、复杂的工作,必须严格认真对待,任何疏忽大意都会影 响试验结果或试验的正常进行,甚至导致试验失败或危及人身安全,因此,在试验前应 对整个试验作出规划,提出试验计划大纲,其主要内容有:

(1) 试验目的。写明试验的具体要求,即通过本项试验预期得到哪些结果,取得哪 些资料,列出相应的量测项目和所依据的规程、标准。

(2) 试验结构技术资料。充分了解试验的具体任务,搜集有关设计、计算与施工的 基本资料,对桥梁结构现状进行检查。

(3) 试验结构加载方案。确定最大荷重、加载设备和加载方式。

(4) 试验结构观测方案。确定观测内容、测点布置、量测方法、量测仪器及要求达 到的测试精度。

(5) 试验程序。确定加载、卸载程序与观测程序、试验终止条件。

(6) 试验筹备工作。确定所需试验材料、仪器设备数量、费用及试验进度表。

(7) 试验人员的组织。确定试验的组织领导机构,明确各部分人员职责,并保持协调一致。

(8) 试验的安全措施。确定试验期间人身、结构物、试验加载设备和仪器设备等的安全措施。

第三节 桥梁结构试验的技术准备工作与试验布置

桥梁结构试验涉及到试验目的、加载方法、测试手段、仪器设备、量测技术、实施步骤等方面,工作比较细致复杂,因此,必须认真作好应有的技术准备和试验部署。

试验前作好充分准备,是确保有秩序地正常工作取得可靠试验成果的关键。在此阶段,试验者应着重做好:①掌握基本资料,明确现实情况;②制定试验方案,作好检定准备;③根据试验方案,作好具体试验部署。

一、技术资料的搜集

为了对桥梁的技术状况进行科学分析,需要搜集和了解下列资料。

(一) 桥梁技术档案

桥梁技术档案包括设计文件、施工记录和试验资料等。

(1) 设计文件。桥梁原设计计算书、设计施工图纸能使我们对该桥的技术状况有一个全面的了解。

(2) 施工记录。施工记录是指隐蔽工程验收资料、施工观测记录、阶段施工质量验收记录、事故记录以及竣工验收资料、施工技术总结等。

(3) 试验资料。试验资料是指原材料性能试验报告以及做过的荷载试验报告。

(4) 桥梁结构养护与维修记录。桥梁结构养护与维修记录是指桥梁整个运营期间养护和维修的资料、运营情况、结构损伤及破损阶段报告。

(二) 现行交通量、车辆重量及其发展趋势

除了收集对桥梁本身有关的资料以外,还要了解和掌握近期通过该桥的车辆流量、类型、载重(特别是最大车辆载重)、今后交通运输发展趋势等,为桥梁承载能力的确定提供切合实际的依据。

(三) 环境因素的影响

在搜集上述资料的基础上,还应考虑气候、水流、侵蚀物质、意外灾害、事故等因素对桥梁的影响。

二、试验结构现状检查

对试验结构应做周密、细致、准确的检查,检查项目包括以下几个方面的内容。

(一) 桥面系的检查

对桥面应检查的内容有:

(1) 桥面纵、横坡;

- (2) 桥面铺装的类型与尺寸；
- (3) 桥面平整度，桥面磨损及损坏情况；
- (4) 桥面排水管道槽有无堵塞、漏水或破损现象；
- (5) 伸缩缝的构造及破损情况；
- (6) 人行道、缘石、栏杆有无破损。

(二) 钢筋混凝土与预应力混凝土梁的检查

对钢筋混凝土与预应力混凝土梁应检查的内容有：

- (1) 主梁、横梁的构造及实际尺寸；
- (2) 主梁、横梁在平、纵面的位置，主梁的上拱度有无变化；
- (3) 主梁混凝土的实际强度；
- (4) 主梁、横梁混凝土表面有无蜂窝、麻面、剥落、空洞、露筋等情况；
- (5) 主梁混凝土的开裂及钢筋的锈蚀情况。

(三) 圬工及钢筋混凝土拱桥的主拱圈及拱上建筑的检查

对圬工及钢筋混凝土拱桥及拱上建筑应检查的内容有：

- (1) 主拱圈的构造及实际尺寸，包括跨径、矢高、拱轴线和断面尺寸等；
- (2) 主拱圈的圬工材料的实际强度；
- (3) 主拱圈有无开裂、侵蚀、剥离现象，砌缝填料有无脱落现象；
- (4) 双曲拱的拱肋与拱波接合处是否脱裂，拱波有否开裂现象；
- (5) 侧墙与主拱圈有无脱缝，侧墙外表有无开裂或凸起现象；
- (6) 腹拱（梁）有无开裂或破损，立墙或立柱的上、下端有无脱缝；
- (7) 横系梁或横隔板与拱肋的连接，有无开裂或破损现象；
- (8) 桁架拱、刚架拱的节点附近及实腹段跨中断面有无开裂情况。

(四) 桥梁支座的检查

对桥梁支座应检查的内容有：

- (1) 简易支座的油毡是否老化破裂；
- (2) 钢板支座是否干涩、锈蚀；
- (3) 摆柱支座各部件的相对位置是否正确，受力是否均匀；
- (4) 橡胶支座有无老化开裂、变形或脱空现象；
- (5) 活动支座的伸缩及转动是否灵活；
- (6) 支撑垫石有无损伤及破碎现象。

(五) 桥梁下部结构的检查

对桥梁下部结构应检查的内容有：

- (1) 墩台的构造及实际尺寸；
- (2) 墩台帽、墩台身材料的实际强度；
- (3) 墩台有无风化、侵蚀、开裂、破损与剥落等现象；
- (4) 墩台内部有无开裂与空洞；
- (5) 墩台有无沉降、倾斜或滑移等现象；

(6) 基础的结构类型、尺寸、埋深和防护措施是否正确,基础有无冻害、过度冲刷现象。

(六) 桥梁水文及调治结构的检查

对桥梁水文及调治结构应检查的内容有:

(1) 现有桥梁所在河段的流量、流速、流向、水面纵坡、水位、通航及漂浮物等情况;

(2) 河道的冲刷及变迁情况;

(3) 调治结构设置是否合理、坚固,其工作情况是否正常;

(4) 锥、溜、护坡有无开裂、隆起、塌陷、坡脚损坏等现象;

(5) 桥头引道线型及路肩、边坡、排水沟等状况。

(七) 试验结构裂缝的检查

对试验结构裂缝应检查的内容有:

(1) 裂缝分布情况;

(2) 裂缝位置、长度、宽度、深度;

(3) 绘制裂缝展开图。

桥梁结构在恒载作用下裂缝宽度应不大于表 1-1 中的允许值。

表 1-1 裂 缝 限 值

结构类别	裂 缝 部 位			允许最大缝宽/mm	其他要求
钢筋混凝土梁	主筋附近竖向裂缝			0.25	
	腹板斜向裂缝			0.30	
	组合梁结合面			0.50	不允许贯通结合面
	横隔板与梁体端部			0.30	
	支座垫石			0.50	
预应力混凝土梁	梁位竖向裂缝			不允许	
	梁体纵向裂缝			0.20	
砖、石、混凝土拱	拱圈横向			0.30	裂缝高小于截面高的 1/2
	拱圈纵向			0.50	裂缝长小于跨径的 1/8
	拱波与拱肋结合处			0.20	
墩 台	墩台帽			0.30	
	墩台身	经常受侵蚀性	有筋	0.20	不允许贯通墩台身截面的 1/2
		环境水影响	无筋	0.30	
		常年有水,但	有筋	0.25	
		无侵蚀性影响	无筋	0.35	
		干沟或季节性有水河流		0.40	
		有冻结作用部分		0.20	

注:表中所列除特指外,适用于一般条件。对于潮湿和空气中含有较多腐蚀性气体等条件下的缝宽限制应要求严格一些。

根据对桥梁现状的检查结果,对现有桥梁技术状况进行评定和分类,分类指标与使用条件见表1-2。

表1-2 现有桥梁技术状况分类指标与使用条件

项 目	类 别			
	一 类	二 类	三 类	四 类
桥面系	1. 桥面平整完好 2. 人行道完整清洁 3. 伸缩缝完好正常	1. 桥面基本平整完好,局部开裂 2. 人行道欠清洁,个别杆件脱落 3. 伸缩缝基本完好	1. 桥面严重开裂,部分损坏 2. 人行道多处损坏 3. 伸缩缝损伤较严重	1. 桥面严重破坏,支离破碎 2. 人行道及栏杆严重倾斜、残缺,危及人身安全 3. 伸缩缝严重损坏,失去作用
上部结构	1. 上部结构完好,无渗水,无污染 2. 裂缝宽度在容许范围内	1. 上部结构基本完好,仅表面有部分缺陷 2. 裂缝宽度在容许范围内	1. 混凝土梁、拱有剥落、露筋 2. 石拱圈有局部变形 3. 裂缝宽度超过最大限值	1. 混凝土梁、拱有永久性严重变形,有纵向裂缝,钢筋严重锈蚀,裂缝超过0.4mm 2. 石拱裂缝超过2mm或发生开合现象
支 座	1. 支座各部分清洁完好 2. 活动支座伸缩、转动正常	1. 支座尘埃堆积,略有锈蚀、老化 2. 支座滑动面干涩	1. 钢支座螺栓松动 2. 橡胶支座老化变形	1. 钢支座锚栓折断,上、下板开裂 2. 橡胶支座老化开裂 3. 混凝土支座开裂、压碎 4. 活动支座坏死
下部结构	1. 墩台各部分完好 2. 浅基已作防护处理,效果良好	1. 墩台基本完好,仅表面有局部缺陷 2. 浅基未作防护处理,但冲刷在容许范围内	1. 墩台或基础出现较大缺陷 2. 桥基出现局部冲刷,有危及基础的可能	1. 墩台不稳定,有滑动、下沉、倾斜、冻害现象,圯工严重松动,裂缝有开合现象,变形大于计算值 2. 桥基冲刷大于计算值并被严重冲空
使用条件	正常使用	继续使用	限制使用,如限载、限速等	限制使用或停止使用
技术措施	正常维修养护	加强维修养护,或小修排除缺陷	可通过荷载试验确定大、中修补强加固技术方案	需通过荷载试验确定加固或改建技术方案

现有桥梁技术状况经过检查、评定、分类后，应填写桥梁技术状况检查记录表。

三、材料强度与地基强度检验

(1) 对桥梁结构的主要受力部位需进行材料强度检验，如对主梁、主拱圈、主桁、墩台身与墩台帽或盖梁、基础等部位。

(2) 结构钢材的强度，一般以设计图或有关施工资料的数据作为判断依据。当无资料时，可根据建桥年代、材料来源或材料的外貌等资料分析判定。确有必要时，应在结构的次要部位截取钢材试样进行材料强度试验。

(3) 结构的混凝土强度宜采用非破损检验法进行测定。确有必要时，应在结构的次要部位钻取芯样进行材料强度试验。

(4) 当墩台出现异常变化、需对地基的承载强度进行分析时，可参照原设计的工程地质资料或施工原始记录分析确定。当确有必要时，可采用挖探、钻探或物探等方法确定地基的承载强度。

四、荷载试验准备工作

1. 试验孔的选择

对于结构形式与跨度相同的多孔桥跨结构，可选择具有代表性的孔进行加载试验；对于结构形式与跨度均不相同的多孔桥，则应按不同结构形式和不同跨度分别选择。选择时应考虑以下条件：

- (1) 试验孔（或墩）计算受力状态最不利；
- (2) 试验孔（或墩）破损或缺陷严重；
- (3) 试验孔（或墩）便于搭设脚手架、设置测点及加载。

2. 搭设工作脚手架和量测仪表支架

工作脚手架与量测仪表支架均为临时性结构，应因地制宜、就地取材，方便观测量测仪表，确保人身及仪器设备的安全。桥下水深流急或桥下净空较大不便搭设固定脚手架时，可采用轻便活动吊架。吊架使用前应进行试载，以确保安全。

3. 试验孔结构细部检查

试验孔结构细部的检查应结合桥梁现状检查进行。

4. 测点放样及表面处理

按比例绘出测点布置图，对试验结构进行现场测点放样和编号。测点放样后，对各测点应按测试需要进行除尘、除锈、磨平、清洗、涂底层、粘贴量测支架等表面处理工作。

5. 测试仪器、仪表的选择与率定

根据试验项目与观测内容，对试验结构内力分布情况及最大变形值作出估算，作为选用和布置仪表的依据。各类仪器、仪表在使用前应按国家计量法的有关规定进行率定。

6. 加载设备与加载装置的准备

按试验计划所确定的试验荷载与加载方式绘出加载布置图、加载顺序图。认真准备

加载设备及加载重物，确保加载设备与装置安全可靠。加载前，应按加载布置图在桥面上放样画线，标出加载位置。

7. 仪表安装、调试

仪表安装位置、测点号应严格按照试验大纲中的仪表布置图实施，如有变动，应做记录，以免时间长久后回忆不清而将测点互相混淆。对各测点逐一进行调试。

8. 记录表格的设计准备

在试验前应根据试验要求设计记录表格，其内容及规格应详细地反映试验对象、试验条件、量测内容及其他需要记录的事项。试验表格的设计反映试验组织者的技术水平。不允许在现场临时用白纸记录。记录不全面会给数据分析带来很大困难，甚至会使整个试验无效。

9. 测试值的估算

试验前，应计算出各加载阶段结构各特征部位的内力及变形值，以备在试验时进行判断和控制。

10. 试验人员组织分工

桥梁结构荷载试验工作是一项技术复杂而细致的科学试验，要求做到统一指挥、严格分工、密切配合。

11. 其他准备工作

包括供电照明、通讯联络和加载试验安全防护设施等的准备。

第二章 桥梁结构试验的量测技术

第一节 概 述

桥梁结构试验的目的不仅是要得到有关结构性能的综合指标,更主要的是要取得确定结构性能的定量数据。只有掌握了准确、可靠的数据,才能对结构性能作出定性的判断。

取得准确、可靠的数据依赖于量测。量测是人们对客观事物取得数量概念的认识过程,是判断事物质量指标的重要手段。可以说,科学技术的发展是与量测技术的不断完善紧密相关的。量测技术的状态反映了一个国家经济发展和科学技术的水平,它已发展成为专门学科,对各个领域的科学研究都有着重要的作用,当然对桥梁结构学科领域亦不例外。

量测技术一般包括量测方法、量测工具(仪表)和量测误差分析三部分。各个不同专业领域都有自己的量测内容和与之相应的量测方法及量测工具。对于桥梁结构的试验研究,主要的量测内容为外部条件(主要是外荷载及支座反力等)、结构变形(位移、应变、曲率等)、内力(应力)、裂缝以及自振频率、振型、阻尼等一系列动力特性。其量测仪器从最简单的逐个读数、手工记录数据的仪表到应用电子计算机快速、连续、自动采集数据并进行数据处理的复杂系统,种类繁多,原理不一。由于科学技术的不断发展,各学科互相渗透,新的量测仪器、设备层出不穷,所涉及的知识面也越来越广。从事结构试验的人员,除应对被测参数的性质和要求有新理解外,还必须对各种量测仪表的原理、功能和技术指标有所了解,根据有关的产品目录正确地选择和使用量测仪表设备。

第二节 量测仪表的基本概念

一、量测仪表的基本组成

不论是一个价格便宜的简单量具还是一套高度自动化的快速量测系统,尽管在外形、内部结构、量测原理及量测精度等方面有很大的差别,但作为量测设备,都必须具备三个基本组成部分:感受部分、放大部分和显示记录部分。其中,感受部分直接与被测对象联系,感受被测参数的变化并将此变化传给放大部分。放大部分将感受部分传来的被测量通过各种方式(如机械式的齿轮、杠杆,电子放大线路或光学放大等)进行放大。显示记录部分将放大部分传来的量测结果通过指针或电子数码管、屏幕等进行显示,或通过各种记录设备将试验数据或曲线记录下来。