

A stylized graphic of a bridge with two large arches, rendered in white and yellow against a background of vertical blue and orange stripes.

桥梁检验

徐日昶 王博仪 赵家奎 合编

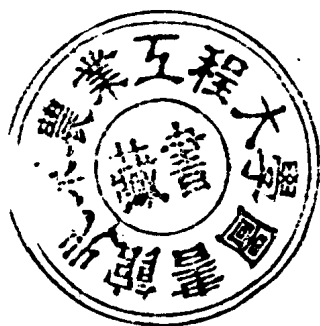
人民交通出版社

664.6
1

桥 梁 检 验

QIAOLIANG JIANYIAN

徐日昶 王博义 赵家奎 合编



人 民 交 通 出 版 社

桥梁检验

徐日昶 王博义 赵家奎 合编

责任编辑: 阎 飞

责任插图: 佘文利

版式设计: 乔文平

责任校对: 高 琳

人民交通出版社出版发行

(北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

人民交通出版社印刷厂印刷

开本: $850 \times 1068 \frac{1}{32}$ 印张: 11.25 字数: 285千

1989年1月 第1版

1989年1月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—3,200册 定价: 6.25元

0001880

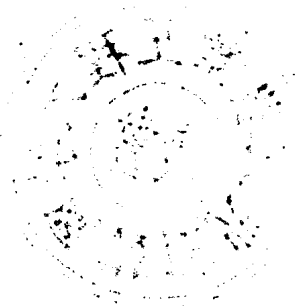
内 容 简 介

本书主要介绍桥梁结构的检验方法及检验仪器。其内容包括桥梁检验中常用仪器的构造原理与使用方法，桥梁结构荷载试验技术与方法，桥梁结构模型试验原理，测定值的误差估计与处理方法等几个部分。

本书可作为公路与城市道路工程专业的教学用书，也可供桥梁工程技术人员参考。

在教学中，可根据教学时数对书中内容作适当增减，结合讲课内容安排相应的实验。

3275/01



前 言

本书是根据交通部教育局1980年拟定的教材出版计划和1981年4月在北京召开的路桥专业教材编委会会议决定而编写的,本书可作为高等院校公路与城市道路工程专业桥梁检验课程的教学参考书,也可供桥梁工程技术人员参考。

通过桥梁检验课程的学习,应能够掌握:桥梁结构检验中常用测试仪器的工程原理和使用方法;桥梁结构的静、动态测试基本技术与方法;试验数据的分析与处理方法等。通过实验环节,使学生在试验研究能力方面得到初步训练。

因此,本书选编的主要内容分为三部分:第一、二、三章分别叙述桥梁检验中常用的仪器构造原理和使用方法;第四、五、六章分别叙述桥梁结构的静、动态测试基本技术和方法以及桥梁结构的模型试验原理,在这一部分内容中,着重于电测技术的基本原理及其实际应用;第七章扼要地叙述测定值的误差估计和处理方法。

桥梁检验是一门实验性很强的课程,实验课在教学过程中占有重要地位,应根据现有的试验设备条件,组织好桥梁检验课的全部教学工作。

本书由东北林业大学土木系王博义(第一、二章),赵家奎(第四章)和徐日昶(绪论、第三、五、六、七章)共同编写。全书由徐日昶主编,原稿由赵广炎审阅。

本书承西安公路学院,同济大学肖振群、范立础主审。

本书在编写过程中,参阅并引用了部分兄弟院校以往的有关教材和试验研究资料,并承同济大学、西安公路学院、南京工学院、湖南大学、北京建筑工程学院、福州大学和交通部公路局、铁道部科学研究院等单位的热情支持和帮助,在此一并表示衷心

的感谢。

限于编者的水平和经验，书中定会存在许多问题，为了不断提高教材质量，期望读者提出批评指正。

编 者

1984年7月

目 录

绪论	1
第一章 机械式测试仪器	9
§1-1 概述	9
一、测试仪器的分类	9
二、仪器性能的基本技术指标	10
三、机测仪器的工作原理及特点	10
四、桥梁结构试验对仪器的要求	11
§1-2 常用机测仪器的构造原理及使用方法	11
一、位移计	12
二、应变计	20
三、倾角仪	28
四、测力计	30
五、测振仪	32
第二章 电测仪器	45
§2-1 电测法的特点及其在结构试验中的重要性	45
§2-2 电测法的基本原理	46
§2-3 电阻应变片	47
一、电阻应变片的构造和工作原理	47
二、应变片的主要规格和特性	52
三、常用应变片的类型	57
四、电阻应变片的粘贴工艺	61
五、应变片灵敏系数的测定	65
§2-4 电阻应变仪基本原理	69
一、电桥直接测量原理	70
二、双桥串联平衡测量原理	72

三、静态电阻应变仪使用性能的检查.....	75
四、电阻应变测量的温度补偿.....	77
五、常用国产电阻应变仪简介.....	78
六、静态多点自动测量装置.....	82
七、电阻应变仪使用中的一些问题.....	83
八、应变仪扩充应用简介.....	86
§2-5 记录仪器.....	90
一、光线示波器.....	91
二、笔录仪.....	98
三、磁带记录仪.....	100
§2-6 测试振动的电测装置.....	101
一、簧片位移计.....	102
二、测振仪.....	102
第三章 检验结构质量的仪器和方法.....	106
§3-1 检验结构质量的简单仪器与方法.....	107
一、混凝土裂缝的测定.....	107
二、混凝土强度的测定.....	107
三、木材质量的测定.....	110
四、钢材质量的测定.....	111
§3-2 声波探测仪器与方法.....	112
一、声波探测仪器.....	112
二、电-声换能器.....	114
三、声波探测方法与探测条件.....	115
§3-3 混凝土质量的超声波探测.....	117
一、混凝土强度的测定.....	117
二、混凝土内部缺陷的测定.....	124
§3-4 “回弹-超声”综合法.....	129
一、概述.....	129
二、影响因素和影响系数.....	130
三、混凝土强度的确定.....	132

§3-5 辐射法探测	133
一、概述	133
二、辐射源与接收器	135
三、辐射法的应用	135
第四章 桥梁结构的静载试验	138
§4-1 概述	138
一、静载试验的重要性	139
二、静载试验的一般程序	140
§4-2 试验方案设计	141
一、试验的目的	141
二、试验结构的考察	143
三、试验结构或构件的制作	145
四、初步的荷载及观测设计	148
五、试验的程序	149
六、安全措施及试验组织	152
七、工作进度及预计的结果	153
§4-3 荷载设计	154
一、试验荷载及加载方法	154
二、加载程序的确定	159
三、加载系统的选择	163
四、试验结构的支座	166
§4-4 观测设计	168
一、试验项目及测点布置	168
二、测试仪器仪表的选择	171
三、测试方法	172
§4-5 基桩的荷载试验	177
一、基桩试验的目的	177
二、荷载试验的内容	177
三、试验设计	178
§4-6 试验数据的整理与分析	184

一、试验后的资料整理和成果分析·····	185
二、试验曲线的整理·····	202
三、试验结构的性能分析·····	215
§4-7 桥梁静载试验报告的编制·····	219
第五章 桥梁结构的动载试验 ·····	221
§5-1 概述·····	221
一、动载试验的基本任务·····	221
二、振动信号的分类·····	223
三、有关试验的准备·····	225
§5-2 桥梁动荷载的特性·····	227
§5-3 桥梁振动的激振方法·····	231
一、自振法·····	231
二、共振法·····	234
三、脉动法·····	236
§5-4 桥梁结构的动力特性与响应·····	236
一、结构固有频率的测定·····	237
二、结构阻尼特性的测定·····	238
三、振型的测定·····	242
四、结构动力响应的测定·····	242
§5-5 振动数据的分析和处理·····	248
一、简单波形的近似处理·····	249
二、振动波形的频谱分析·····	252
三、随机数据的基本特征·····	259
第六章 桥梁结构的模型试验原理 ·····	275
§6-1 概述·····	275
§6-2 量纲分析·····	276
一、量纲的概念·····	276
二、量纲的关系·····	278
§6-3 相似原理·····	280
一、相似的概念·····	280

二、相似第一定理	282
三、相似第二定理	284
四、相似第三定理	285
§6-4 相似准则的确定	286
一、方程分析法	286
二、量纲分析法	288
§6-5 模型设计	293
一、静力相似	293
二、动力相似	302
三、关于模型材料和试验中的问题	308
第七章 误差分析与数据处理	311
§7-1 测定值的误差	311
一、误差的产生与种类	311
二、测定值的精确度与准确度	312
§7-2 测定结果的误差估计	315
一、多次测量结果的误差估计	315
二、多次量测误差的分布	317
三、可疑数据的弃取	320
四、间接测量时的误差估计	322
五、单次量测的误差估计	325
§7-3 试验曲线与经验公式	327
一、试验数据函数关系的表示方法	328
二、试验曲线与经验公式	329
三、确定经验公式中常数的方法	333
四、各种方法的比较	338
五、相关分析的应用	341
参考书目	345

绪 论

在科学技术的发展过程中,科学试验起着非常重要的作用。从结构计算理论的演变历史来看,凡是一种结构理论体系的建立和发展,一般都和大量的科学试验相联系。结构的试验研究对于推动和发展结构计算理论、解决生产实际中出现的具有一般规律性的疑难问题起到了重要的作用。

最初,人们对结构物的简单设计,可能是凭借直接的经验或设想。由于不断地进行实践和试验研究,不断加深和检验已有的认识,从而逐步地掌握了比较符合实际的结构计算理论。

在桥梁工程技术的发展中,桥梁检验技术也起到了同样重要的作用,许多日常试验研究工作,成为促进桥梁结构计算理论与设计方法不断发展的重要因素之一。随着桥梁工程技术的不断发展,桥梁检验技术日益受到人们的重视并不断地得到发展和提高。

桥梁检验是对桥梁结构物进行包括桥梁检查和必要的理论验算以及结构试验等内容的一系列工作,并据此对桥梁结构物进行综合分析,作出符合实际的技术结论。

桥梁结构试验是对桥梁结构物进行直接测试的一项科学试验工作,其目的是通过荷载试验,了解桥梁在试验荷载作用下的实际工作状态,判断桥梁结构的安全承载能力和使用条件。对于一些在理论上难以计算的部位,通过结构试验可达到直接了解其受力状态的目的。通过结构试验还常常有助于发现在一般性检查中难以发现的隐蔽病害,通过结构试验还可检验结构的设计与施工质量。

掌握桥梁结构试验技术,不仅要具有桥梁工程的专业知识;还要具备有关电子学、仪器和仪表以及结构试验的组织和计划等

专门的知识。桥梁检验课是公路工程专业的一门重要课程。

桥梁结构试验的主要任务是：

1. 确定桥梁的承载能力及其运用条件。

对于重要的桥梁结构，除在设计阶段进行必要的试验项目外，通常在桥梁建成竣工后，通过荷载试验鉴定结构的质量与可靠程度，判断桥梁的实际承载能力。对于需要改建或扩建的桥梁，通过试验可提供一定的技术依据。这对于缺乏技术资料的旧有桥梁更为必要。

对于新型或复杂的桥梁结构，通过系统的结构试验，可以了解和掌握结构在荷载作用下的实际受力状态，并探索具有普遍意义的规律，为充实和发展桥梁结构的计算理论积累科学资料。

2. 分析桥梁病害的产生原因，掌握其变化规律。

对于因受水害、冰冻、地震等原因而损伤的桥梁结构，或在桥梁建造和使用期间发现有严重缺陷时，例如过大的变形或裂缝等，通常通过结构试验进行综合分析研究，提出合理的整治意见和养护措施。

3. 对新型桥梁或改建桥梁进行竣工鉴定，检验设计的预期效果。

一般情况下，桥梁结构试验分为三个阶段，即计划与准备阶段，加载与观测阶段和分析总结阶段。

计划与准备阶段的工作是顺利地进行结构试验的必要条件。桥梁结构试验同桥梁结构的设计、施工和理论研究的关系十分密切，现代桥梁工程技术对于结构试验技术、试验组织与计划工作提出了更高的要求。因此，这一阶段的工作是大量而细致的，实践证明，试验工作的成败在很大程度上取决于试验前的准备工作。

加载与观测阶段是整个试验工作的中心环节。这一阶段的工作是在充分准备的基础上，按照预定的试验计划进行各项具体的试验内容，运用各种配备得当的测试仪器和设备，观测结构受载后的工作状态，并记录观测数据和资料。有时，为了更完善的实

现某一加载、观测方案，可先进行试探性的试验，以便更完满地达到原定的试验目的。

分析与总结阶段是对原始资料进行集中与综合的过程，这些原始资料包括大量的观测数据、文字记载和照片等材料，这些材料由于受外界各种因素的影响，一般显得缺乏条理和规律性。因此，应对它们进行科学的分析处理，去伪存真、去粗取精，从中提取尽可能多的有用资料。对于一些数据或信号，有时还需要按数理统计的方法进行分析，或依靠专门的分析仪器和电子计算机进行分析处理。这一阶段的工作，直接反映整个试验工作的质量。对已取得的大量数据资料经分析与处理后，按试验的目的与要求，对试验结构作出科学的判断与评价。全部的试验工作体现在最后提出的试验研究报告中。

在实际工作中，桥梁试验的种类较多，按着试验目的及要求分类，有科学研究性的结构试验和生产鉴定性的结构试验。

研究性试验的直接目的是为建立或检验结构设计理论和经验公式，或者验证某一结构理论体系中的科学判断及假说的可靠性。研究性结构试验常按事先周密考虑的计划进行，一般把对结构或物件有主要影响的因素作为试验参数，试验结构的设计和数量均应按照具体研究目的的需要而定。根据具体情况，试验可在实际的原型结构上进行；也可在模拟的模型结构上进行。后者常在专门的试验室内进行，这样就可消除或减少一些不利因素的影响，同时，也有可能突出所要研究的主要因素，减小某些次要因素对结构的作用。通过系统的试验，对数据等资料加以分析论证，从而揭示出具有普遍意义的规律。

鉴定性的结构试验具有直接的生产目的，一般以实际结构作为试验对象，通过结构试验来检验结构的实际承载能力和结构物质量。通过对测试结果的综合分析，掌握桥梁的技术状态，确定桥梁的使用条件，提出桥梁的养护措施，有效地保证桥梁结构物的安全使用。

为了加强和提高桥梁的技术管理工作，进行鉴定性结构试验

时，应根据一定的标准或规范，这样才有可能对各种类型的桥梁结构物进行分析和比较。

生产鉴定性试验所提供的大量数据资料，也是发展与充实结构设计理论的一条主要途径，当然，试验需要在一定的设计理论的指导下进行。因此，鉴定性试验具有重要的理论意义与科学价值。

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。静载试验与动载试验在试验目的和测试内容等方面虽然很不相同，但对于承受以车辆荷载为主的桥梁结构来说，这两种性质的荷载试验，对于全面分析和了解桥梁结构的工作状态是同样重要的。静载试验可布置较多的测点，便于较全面地分析结构的受力状态，而动载试验则是研究桥梁结构在车辆荷载或其它动力荷载作用下的振动特性所必须的。

目前，在桥梁结构设计实践中，对车辆荷载所产生的动力影响是在静力计算的基础上引入活载的冲击系数来考虑的。以跨长或加载长度作为参数的冲击系数，没有包括动力荷载作用性质的多样性，因此，不仅要进行静载试验，而且也有必要进行动载试验，以便为制定更完善的公路桥梁活载动力计算公式提供依据。

在结构试验中，使设计方案中拟定的应力状态在试验结构中能如实地得以再现是很有必要的。所以，为验证结构设计而提出的结构试验，一般希望在原型结构上进行。但原型结构试验存在费用大、期限长、测试条件不利等因素的影响，尤其对于受力复杂的大型结构或物件的工作性能的试验，有时是难以实现的。因此，可结合实际条件进行结构模型试验，对于了解象桥梁结构的空问计算问题和桥梁各杆件之间的联合作用及其相互影响的结构作用等问题，模型试验比桥梁原结构试验显得更方便与更具代表性。因而，模型试验的方法日益广泛地应用于各种工程结构中，并成为科技工作者进行结构应力分析的一种有效手段。

就试验对结构产生的后果来说，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。

但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，以便了解在逐渐增加的荷载作用下，试验结构由弹性阶段到塑性阶段甚至是破坏阶段时的比较可靠的试验资料。

实际上，原型结构的破坏试验，不论在费用还是在方法上都存在着一些具体的问题，特别是实现结构在趋于破坏状态时的试验是比较困难的。因此，一般很少进行这种性质的试验。尽管由破坏试验得到的资料具有重大的实际意义，可是桥梁结构破坏试验的实例仍然很少。然而，某些科学研究性试验，仍要根据试验目的的需要一直进行到破坏为止。

按结构试验持续的时间，可分为长期观测和短期观测试验。鉴定性试验与一般性的研究试验多采用短期观测的方法，只有那些必须进行长期观察的现象才采用长期观测的方法，例如混凝土结构的徐变性能等。另外，对于特殊的大型结构或新型结构常常采用长期观测或组织定期的检验。

总之，结合不同的试验目的和要求，可选用一种或几种试验方法。在选择方法上应讲求经济效益，一般能用模型来替代的；就不搞大规模的原型试验，能用非破坏性试验的；就不作破坏性试验。

建国以后，我国的交通事业得到了突飞猛进的发展，桥梁建设也取得了惊人的成就，桥梁结构的检验工作也在几乎是空白的基础上得到了长足的进展。

在国民经济恢复时期和发展国民经济的第一个五年计划时期，在修复和改建大量桥梁的过程中，工程技术人员克服了种种困难，通过对旧有桥梁结构的检验，提供了必要的技术依据，对一些承载能力较低的桥梁进行了技术改造。这除了达到直接为生产服务的目的外，还培养了一批桥梁结构检验的技术人材。

1955年在公路工程中推广预应力混凝土后，使混凝土结构的应用范围日益广泛，从而节省了大量的钢材，加快了工程的建设速度。这些成就的取得都是和大量的结构试验研究工作密不可分的。

1957年10月，著名的武汉长江大桥全部建成后，经受了极为严格的科学检验。

1968年世界闻名的南京长江大桥建成后也经受了大规模的全面检验。

这两座大桥的结构试验，检阅了我国桥梁检验技术队伍，也集中反映了我国桥梁检验技术水平。

1964年我国创建了双曲拱桥，这种桥型很快就得到了在全国范围内的推广与应用，在此期间，各有关部门和单位对双曲拱桥进行了大量的试验研究工作，其中既有研究性的也有鉴定性的，对于双曲拱桥的推广与应用，并改进和充实其设计施工方法等都起到了很大的促进作用。

近年来，先后涌现出来的各种类型的桥梁，例如大跨度预应力混凝土悬臂梁桥、连续梁桥，箱形拱桥，桁架拱桥，斜拉桥等，都是在结构试验研究工作的基础上，才使设计方法和施工技术日益得到完善的。

我国仪器制造工业，应用近代物理学和电子技术的成就，为实验科学提供了一系列通用的或专用的新型精密仪器，为实验科学的不断发展提供了可靠的物质基础。

近年来，世界各国在进行大量的结构试验研究的同时，都十分重视。改进试验方法和试验技术。一些技术先进的国家先后建立了现代化的结构试验室，配备了规模大、功能全、技术先进的试验设备，应用近代电测、光测、自动化和计算机等新技术，实现了量测系统和数据处理自动化，形成了一套比较完善的试验方法，为解决各种复杂的结构问题提供了可能性。

为了消除现场试验各种不利因素的影响，适应整体结构的试验研究，应修建大型结构试验室，并做到使整个试验室常年保持恒温、恒湿的条件。

试验时的加载方法，一是利用大型结构试验机，另一种是采用试验台座和液压加载系统进行试验。电液伺服的自动加载系统主要用于动力试验中。