

QIAOLIANG JIEGOU SHIYAN
JIANCE JISHU



桥梁结构试验 检测技术

主编□施尚伟 向中富
主审□梁 波



重庆大学出版社
<http://www.cqup.com.cn>

QIAOLIANG JIE
JL

U443
38



桥梁结构试验 检测技术

- 主编 施尚伟 向中富
□ 主审 梁 波
□ 参编 曹晓川 许 羿 何小兵 李世亚
周 兵 徐 勇 范 亮

重庆大学出版社

内容提要

本书系统介绍了桥梁结构试验检测技术,内容包括量测技术与量测仪表、桥梁结构静力试验、桥梁结构动力试验、结构无损检测技术、桥梁结构检查及技术状况评价、桥梁工程监测等。

本书可供高等院校土木工程专业和其他相关专业作为试验教材使用,也可供从事结构试验、检测以及相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁结构试验检测技术/施尚伟,向中富主编. —
重庆:重庆大学出版社,2012.11

ISBN 978-7-5624-4962-1

I. ①桥… II. ①施…②向… III. ①桥梁结构—试
验—高等学校—教材②桥梁结构—检测—高等学校—教材
IV. ①U443

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 073668 号

桥梁结构试验检测技术

主 编 施尚伟 向中富

主 审 梁 波

策划编辑:刘颖果

责任编辑:刘颖果 陈一柳 版式设计:刘颖果

责任校对:邹 忌 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023) 88617183 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:19 字数:474 千

2012 年 11 月第 1 版 2012 年 11 月第 1 次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-4962-1 定价:34.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

前 言

桥梁作为公路或城市道路的咽喉,直接影响着交通的畅通与安全,因此加强桥梁结构试验检测工作十分重要,同时桥梁工程技术以及试验分析手段和测试技术的发展,对试验检测工作又起到积极的推动作用。基于此,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,编著完成本教材,并力求使其具有较强的针对性和实用性,既能适合本科教学,又适用于工程应用。

本教材分为8章,主要内容包括绪论,量测技术与量测仪器,桥梁结构静力试验,桥梁结构动力试验,结构无损检测技术,桥梁结构检查和技术状态评价,桥梁工程监测以及实验指导书。教材通过试验实例和实验操作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,为日后从事相关工作打下良好基础。

本教材第1章、第2章、第4章由施尚伟编写,第3章由何小兵、李世亚、徐勇、范亮编写,第5章由施尚伟、曹晓川编写,第6章由许羿编写,第7章由向中富编写,第8章由曹晓川、施尚伟、周兵编写。全书由施尚伟、向中富任主编,由施尚伟统稿,梁波主审。

重庆交通大学结构工程实验室同事对本教材提供了宝贵素材,同时,教材中参考了兄弟单位的相关教材和试验成果,在此一并致谢。

限于编者的水平,本教材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
2012年8月

目 录

1 绪论	1
1.1 试验任务及目的	1
1.2 结构试验分类	3
1.3 试验内容与依据	5
2 量测技术与量测仪表	7
2.1 概述	7
2.2 静力试验量测仪器	12
2.3 动力试验量测仪器	38
2.4 混凝土结构无损检测仪器	51
3 桥梁结构静力试验	56
3.1 静力试验目的及分类	56
3.2 成桥静力试验	58
3.3 桥梁结构构件现场试验	79
3.4 模型试验	92
4 桥梁结构动力试验	107
4.1 概述	107
4.2 动力试验分类	108
4.3 成桥动力试验	109
4.4 模型动力试验简介	133
5 结构无损检测技术	142
5.1 无损检测技术概论	142
5.2 混凝土结构强度检测	144
5.3 混凝土结构缺陷检测	151
5.4 混凝土灌注桩完整性检测	156
5.5 混凝土内部钢筋状况无损检测	161
5.6 钢结构无损探伤	163
5.7 无损检测新技术介绍	166





6 桥梁结构检查及技术状况评价	169
6.1 概述	169
6.2 桥梁结构检查	170
6.3 桥梁技术状况评定	175
6.4 桥梁典型病害图	182
7 桥梁工程监测	187
7.1 概述	187
7.2 桥梁施工监测系统建立及监测方法	188
7.3 桥梁状态监测系统	206
8 实验指导书	225
8.1 电阻应变片的粘贴技术及静态应变仪的操作使用	225
8.2 静态量测仪器的应用和性能检验	230
8.3 动测系统的操作与谐振信号的幅值测量	233
8.4 动态信号频谱分析及自振法索力测试	238
8.5 钢结构简支梁、悬臂梁静力加载实验	243
8.6 钢筋混凝土简支梁受弯破坏实验	247
8.7 简支钢桁架模型静力实验	250
8.8 刚接板、铰接板梁桥静力实验	253
8.9 单孔拱桥影响线测定设计性实验	260
8.10 三孔无铰拱桥连拱作用静力实验	264
8.11 可变跨径组合的连续梁桥设计研究性试验	269
8.12 悬臂梁动应变及自振特性测定实验	273
8.13 共振法简支梁自振特性测定实验	276
8.14 原型桥梁动态信号分析与动力性能评价	280
8.15 超声-回弹综合法混凝土强度测定实验	282
8.16 混凝土结构缺陷检测实验	285
8.17 混凝土内部钢筋状况无损检测实验	289
参考文献	294

1 绪 论

随着国民经济的迅速发展,我国公路建设事业也迎来了建设发展高峰。桥梁作为公路或城市道路的纽带与咽喉,直接左右着交通干线的生命,因此,必须确保桥梁的工程质量,使其始终处于良好的工作状态。近年来,交通量增长迅猛,大件运输车 and 超重车日益增多,公路运输对桥梁的通行能力和承载能力的要求也越来越高,而一些旧桥陈旧老化,破损现象日趋严重,难以适应日趋增长的交通量需要。为保证公路畅通,创造一个安全、舒适的行车环境,加强桥梁结构试验检测工作十分必要。

由于受认识能力的限制,我们对诸如结构的材料性能等还缺乏真正透彻的了解。同时由于研究对象的复杂性,就目前来说我们对问题的认识水平还不能建立完善的数学模型;有些问题虽然可以建立精确的数学模型,但实施起来却会碰到诸如过分烦琐、计算机容量不够等问题而往往采用简化的方法,这样就扩大了计算模型与实际结构之间的差异。因此,许多问题还不能仅用分析的方法来解决,试验验证仍然是我们解决问题不可或缺的重要手段。

在桥梁工程的发展中,试验检测技术起到重要的推动作用,大量的试验研究是促进结构设计计算理论、设计方法不断发展的重要因素。在桥梁建设过程中,人们采用材料试验、模型试验、结构试验、施工监控、成桥静动载试验、结构现状检查等技术手段,评价和控制桥梁工程质量以及确保桥梁的营运安全。

本教材主要讨论目前常用的桥梁结构量测仪器仪表、桥梁结构模型试验与构件试验、现场成桥静动力试验、结构无损检测技术、桥梁结构检查和技术状态评价、桥梁工程监测等内容,通过试验实例把理论与实际相结合,使学生系统学习桥梁结构试验检测的方法及其技术应用,为日后从事相关工作打下良好基础。

1.1 试验任务及目的

1.1.1 试验任务

结构试验的任务是:针对实际结构物或模型,在结构受载状态下(各类已知输入荷载),利用量测仪器仪表为工具,以各种试验技术为手段,通过量测结构的响应输出(变形、应变、振

幅、频率等),来评定结构的刚度、强度、抗裂性能、承载力以及营运性能,并用以检验和发展结构的计算理论,为新结构、新材料、新工艺的开发和推广应用提供依据。整个任务流程如图1.1所示。

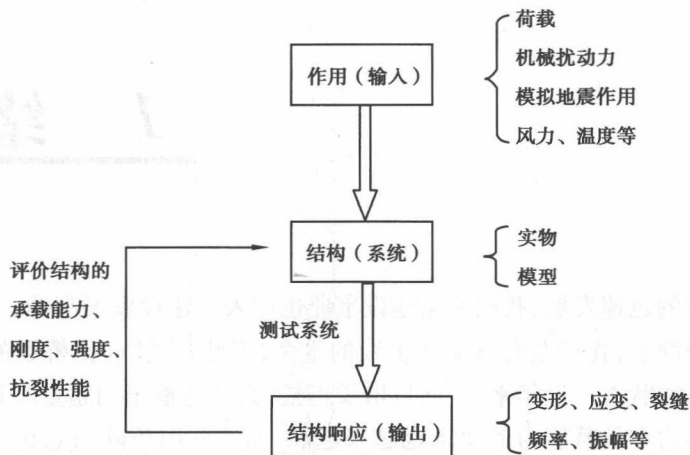


图 1.1 结构试验任务流程

1.1.2 试验目的

根据试验目的的不同,结构试验分为科学研究性试验和生产鉴定性试验。

1) 科学研究性试验

科学研究性试验的对象一般是室内模型结构,此类试验利用专门的加载设备和数据测试系统,对受载模型的力学性能指标做连续量测和全面分析研究,从而找出其变化规律,为验证设计计算理论和计算方法提供依据。这类试验的研究目的通常包括以下几个方面:

①验证结构分析理论和计算方法。在结构设计中,为便于计算和推广应用,对结构构件的计算图式和本构关系作出某些简化的假设,这些简化假设的正确性及适用性需要通过试验研究加以验证。

②为制定新规范提供依据。我国现行的各种设计规范除了总结已有的大量科学试验成果和经验外,还从结构模型试验和实体试验中提取了基本资料或经验公式。事实上现行规范采用的混凝土和砌体结构的计算理论,几乎全部是以试验研究的直接结果为基础的,这也进一步体现了结构试验学科在发展设计理论和改进设计方法上的作用。

③为发展和推广新结构、新材料与新工艺提供实践经验。随着基本建设的快速发展,新结构、新材料与新工艺不断涌现,而当一种新的结构形式或新的建筑工艺刚被提出来时,往往缺少设计和施工方面的经验,为了积累这方面的实际经验,常常借助于试验手段。

2) 生产鉴定性试验

生产鉴定性试验一般是以实际结构物和构件为对象,依据国家相关检测和设计规范,通过对结构直接加载后进行有关测试、记录与分析工作,考察结构在正常使用状态下的力学行

为, 判定结构的承载能力和使用条件, 积累技术资料, 为结构的营运安全和科学管理提供依据, 同时验证和发展结构分析与设计理论。

根据试验对象的不同, 生产鉴定性试验的目的包括以下几个方面:

①确定新建桥梁的承载能力和使用条件。对于重要桥梁, 除在设计、施工阶段进行必要的试验研究外, 通常在桥梁竣工后, 通过荷载试验考察结构的施工质量和性能, 判定结构的实际承载力和工作状态, 为竣工验收、后期营运和养护管理提供科学依据。

②研究桥梁结构的力学行为, 总结结构受力行为的一般规律。对于新型桥梁及运用新材料、新工艺、新技术建成的桥梁, 通过荷载试验, 考察结构在荷载作用下的实际工作状态, 验证桥梁设计理论和假定, 探索具有普遍意义的规律, 为发展设计计算理论、完善现有规范积累科学资料。

③旧桥的承载力和使用性能评定。旧桥在营运期间, 因受自然灾害、超载等因素的影响导致结构受损, 或因设计施工不当而产生了严重缺陷, 需要通过试验评定其技术状态, 以确定结构的实际承载能力和使用限制条件。对需进行改造或加固的旧桥, 通过结构试验可以为桥梁改造提供决策依据。

④预制构件质量鉴定。预制构件厂或大型工程现场成批制作的预制构件, 在出厂和使用之前均应按国家的相关标准进行抽样检验, 以保证其产品质量水平。对存在施工缺陷的预制构件, 通过探伤、荷载试验等技术手段查明缺陷对结构受力性能的影响, 以确定后期处置措施。

1.2 结构试验分类

除了按上述试验目的分为科学研究性试验和生产鉴定性试验外, 还经常以试验对象、荷载性质、试验场合、试验时间长短等进行分类。

1.2.1 原型试验和模型试验

根据试验的对象不同, 结构试验可以分为原型试验和模型试验。

1) 原型试验

原型试验的对象为实际的结构或构件, 大多属于生产鉴定性试验, 如预制构件鉴定试验和成桥荷载试验。原型试验能真实反映结构的受力特性, 试验结论可靠、周期短, 但费用较高、测试精度易受环境因素影响。桥梁成桥或构件荷载试验一般都是非破坏性试验, 主要考察结构在正常使用极限状态下的受力性能。

2) 模型试验

模型试验采用与实际结构相似且通常为缩小比尺的构件为研究对象。模型结构必须具备实际工程结构的全部或部分重要特征, 并和原型结构满足一定的相似条件, 试验数据可以根据相似关系直接换算为原型结构的数据。这类试验在模拟地震振动台试验、风洞试验及破坏试验中较为常见。

1.2.2 静力试验和动力试验

根据试验荷载性质的不同,结构试验可以分为静力试验和动力试验。

1) 静力试验

静力试验是通过对原型或模型结构施加静荷载获得结构变位、应变以及裂缝等响应数据,考察结构强度、刚度、抗裂性、稳定性等力学指标,从而达到评定结构承载力和使用性能的目的。

2) 动力试验

结构承受静力荷载的同时,还要承受动力荷载,如汽车冲击和刹车、风、地震等荷载作用。随着桥梁结构趋向轻型、大跨度,动荷载产生的冲击和振动导致桥梁结构失效或严重影响行车舒适性的情况时有发生。模型结构动力试验利用专门设计的加载设备,通过模拟结构所承受的实际动荷载历经或振动形态,达到研究和评价结构动力性能的目的,如模拟地震振动台试验、风洞试验、疲劳试验等。成桥动力试验主要进行结构自振特性和行车动力响应试验分析。

1.2.3 室内试验和现场试验

根据试验场合的不同,结构试验可以分为室内试验和现场试验。

1) 室内试验

室内试验可以提供良好的工作环境并且可以应用精密的量测仪器,甚至可以人为地创造一个适宜的工作环境,减少或消除各种不利因素对试验的影响,且便于实施连续量测。模拟地震振动台试验、风洞试验、疲劳试验都属室内试验。

2) 现场试验

现场试验是指在生产和施工现场进行的试验。由于试验对象是实际结构物,可以获得结构近乎完全实际工作状态下的数据资料。但与室内试验相比,量测结果容易受到温度、电磁干扰等的影响,试验精度相对较低。

1.2.4 短期荷载试验和长期荷载试验

根据荷载作用时间的长短,结构试验可以分为短期荷载试验和长期荷载试验。

1) 短期荷载试验

由于受试验条件、试验费用以及基于解决问题的步骤的限制,一般情况下,结构试验都是采用短期荷载试验。如静力试验是按照加载程序,荷载从零开始分级施加到结构破坏或到某特定阶段后持荷一定时间即进行卸载。

2) 长期荷载试验

对于研究结构在长期荷载作用下的性能,如预应力结构中预应力筋的松弛、混凝土结构的收缩徐变、混凝土受弯构件的裂缝开展等,就必须进行静力荷载作用下的长期观测。长期荷载试验可以持续几个月甚至数年,大多属于科研性质的试验。

1.3 试验内容与依据

桥梁结构试验涵盖的内容较为丰富,本节主要介绍成桥荷载试验的相关内容和依据。

1.3.1 试验内容

桥梁荷载试验的核心内容是:通过测试在荷载直接作用下的结构各部位以及整体的响应参数,如挠度、应变、裂缝宽度、加速度、冲击系数等,从而反映和揭示结构的实际承载能力和使用状况。与结构理论分析体系一样,成桥荷载试验属于对结构进行微观分析与评价的内容,但又自成体系,是对理论分析的有机延伸和补充。

桥梁结构体系不同,试验项目和内容也有所不同,试验者应根据设计要求,在分析结构受力特点的基础上进行合理的方案设计。主要试验内容包括:

1) 静力试验

- ①控制部位的应变(应力);
- ②控制截面的应力分布;
- ③控制截面的最大变位;
- ④结构的纵、横向变形分布规律;
- ⑤支点沉降和支点转角;
- ⑥混凝土结构的抗裂性能,包括最大裂缝宽度、裂缝扩张、裂缝形态及分布;
- ⑦桥梁外观缺陷及病害检查;
- ⑧主体结构和桥面线形;
- ⑨斜拉索、吊杆的恒载索力及活载索力;
- ⑩材料特性、结构截面尺寸等参数;
- ⑪其他必要的测试项目。

2) 动力试验

- ①结构自振特性,包括自振频率、阻尼特性、振型;
- ②结构行车动力响应,包括动挠度、动应变、振动加速度;
- ③冲击系数、应变增大系数等反映结构冲击效应的指标;
- ④结构冲击效应与车速的相关性。

1.3.2 试验依据

针对桥梁结构试验和承载力评定,我国正在逐步完善相关规范。目前的试验依据主要采用《大跨径混凝土桥梁的试验方法》(建议标准,1978)、《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/T J21—2011)。试验时除要参照相关试验方法外,还要根据试验桥梁的特点,以国家和行业的相关技术标准、设计规范、验收规范为依据,对结构力学性能和承载力进行综合评价。下面分类介绍桥梁结构试验的主要标准。



1) 公路桥梁试验相关标准

- ①《大跨径混凝土桥梁的试验方法》(YC 4—4/1978, 1982 年版), 交通部建议标准;
- ②《公路桥梁承载能力检测评定规程》(JTG/T J21—2011);
- ③《公路工程技术标准》(JTG B01—2003);
- ④《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004);
- ⑤《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004);
- ⑥《公路圬工桥涵设计规范》(JTG D61—2005);
- ⑦《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》(JTJ 025—86);
- ⑧《公路斜拉桥设计细则》(JTG/T D65-01—2007);
- ⑨《公路悬索桥设计规范》(报批稿);
- ⑩《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63—2007);
- ⑪《公路桥涵养护规范》(JTG H11—2004);
- ⑫《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG H21—2011);
- ⑬《公路工程质量检验评定标准》(JTG F80/1—2004);
- ⑭《公路工程竣(交)工验收办法》(交通部令 2004 年第 3 号);
- ⑮《公路工程基桩动测技术规程》(JTG/T F81-01—2004)。

2) 城市桥梁试验相关标准

- ①《城市桥梁设计准则》(CJJ 11—93);
- ②《城市桥梁养护技术规范》(CJJ 99—2003);
- ③《城市人行天桥与人行地道技术规范》(CJJ 69—95);
- ④《市政桥梁工程质量检验评定标准》(CJJ 2—90)。

3) 其他相关标准

- ①《混凝土结构试验方法标准》(GB 50152—92);
- ②《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T 23—2011);
- ③《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》(CECS02:2005);
- ④《工程测量规范》(GB 50026—2007);
- ⑤《钢管混凝土结构设计与施工规程》(JCJ-01—89);
- ⑥《钢管混凝土结构设计与施工规程》(CECS 28:90);
- ⑦《厂矿道路设计规范》(GBJ 22—87)。

上述介绍的都是相关行业的现行标准,对于已经废止的旧标准这里没有一一罗列。由于不同时期修建的桥梁,其设计、验算的荷载标准是不同的,对于按照旧规范修建的桥梁,在结构试验时我们仍应以设计文件确定的有关规定、标准作为依据。对于某些新结构或采用新材料、新工艺建成的桥梁,无相关条款规定时,可以借鉴国外或国内其他行业的相关规范、规程的规定。

科研试验除了执行相关规范标准以外,还应根据委托的具体要求或需要解决的实际问题开展工作。

2 量测技术与量测仪表

2.1 概 述

对受载结构的力学性能参数进行观测和记录是桥梁结构试验检测的重要内容。量测设备按工作原理可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,桥梁检测的设备性能也在不断改善。目前,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设备还有它应有的地位,有时甚至是不可缺少的;另外,光学测量仪器在变形测试中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,但不同的设备,其测试精度及适用性也有差异。正确地选配和使用设备,提高测试数据的可靠性是试验工作者共同面临的问题。试验技术人员除对被测参数的性质和要求有深刻理解外,还必须对有关量测仪器的原理、功能和使用要求有所了解,这样才能正确选择仪表并掌握使用技术,以取得良好的使用效果。

桥梁静、动载试验检测中,量测参数主要包括以下几类:

- ①作用力的大小:包括试验荷载、构件内力、支点反力和吊杆轴力等;
- ②结构控制截面的应力、应变;
- ③结构变位:包括挠度、水平位移、相对滑移、转角等;
- ④裂缝:包括裂缝的发现、分布、宽度、长度、深度等;
- ⑤桥跨结构的自振特性参数:包括自振频率、阻尼比、振型等;
- ⑥控制部位的行车动力响应:包括振动加速度、动挠度、动位移、冲击系数等;
- ⑦材料的强度;
- ⑧结构几何尺寸和线形;
- ⑨其他必要的参数。

2.1.1 量测仪器的基本组成

桥梁结构检测中应用的众多检测仪器,无论是一个简单的量测设备还是一套复杂的自动

化量测系统,尽管它们在外形、内部结构、量测原理及量测精度等方面有很大差异,但都可以将其划分为三个功能部分:感知部分、放大调理部分和采集分析部分。比如试验中最常用的非电量电测仪器,其设备组成如图 2.1 所示。

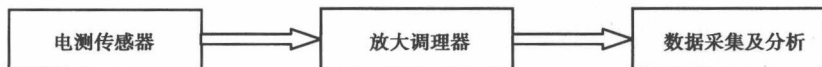


图 2.1 电测仪器组成框图

其中电测传感器是设备的感知部分,它利用电子、电磁学等原理,将输入信号(非电量)转换为便于放大、处理的电信号(如 u 、 I 、 R 、 L 、 C 、 Φ 、 Q)。放大调理部分的主要作用是对传感器输出的微小电信号进行放大和其他必要的处理(如阻抗变化、微积分运算、滤波等),以便后续仪器采集和记录。数据采集分析部分则负责完成数据采集存储以及各种分析功能。

2.1.2 量测仪器的分类

用于桥梁结构试验检测的仪器种类繁多,根据其用途可以分为以下几类:

(1) 应变测试设备

这是最常用的试验检测设备,此类设备又可分为以下几种:

- 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,通过测定区段变形换算平均应变。

(2) 变位测试设备

桥梁结构变位包括挠度、水平位移、转角、支点变形等,其中挠度指标反映结构刚度,是一个重要的整体指标。结构变位测试设备种类很多,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) 裂缝测量设备

裂缝测量设备包括卷尺钢尺、裂缝宽度测试仪、裂缝深度测定仪等。

(4) 荷载测量设备

荷载测量设备包括应变式测力传感器、振弦式测力计、压力环等。

(5) 振动测量设备

振动测量设备包括磁电式速度计、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。

2.1.3 仪器的主要性能指标

①量程:仪器能测量的最大输入量与最小输入量之间的范围。

②分辨率:仪器指示装置的最小刻度(或最小显示值)所代表的被测量的数值,即量测装

置可分辨出的最小单位,也称最小刻度值。对于同一类仪器,受设备分度数量的限制,量程越大,则分辨率越低。如千分表量程为 $0 \sim 1 \text{ mm}$,共1000个分度,分辨率为 0.001 mm ,而百分表量程为 $0 \sim 10 \text{ mm}$,也是1000个分度,分辨率为 0.01 mm 。

③灵敏度: $S = \text{输出}/\text{输入}$,与分辨率互为倒数,是指被测量的单位变化所引起的仪器示值的变化。如某应变式位移传感器,结构产生 1 mm 的输入位移时,其配套应变仪产生 $100 \mu\varepsilon (1 \times 10^{-6})$ 输出,则其灵敏度为 $100 \mu\varepsilon/\text{mm}$,分辨率为 0.01 mm 。

④误差:由于仪器、试验条件、环境等因素限制,测量不可能无限精确,物理量的测量值与客观存在的真实值之间总会存在差异,这种测量值与真实值之间的差异称为误差,一般用相对误差表示: $\Delta = \left| \frac{\text{测量值} - \text{真值}}{\text{真值}} \right| \times 100\%$ 。

⑤精度:为量程范围内最大误差与满量程的比值。例如一台精度为 0.2 级的仪表,意思是它的测定值的误差不超过最大量程的 $\pm 0.2\%$ 。精度与分辨率不是一个概念,相互之间没有关系。

⑥稳定性:仪器稳定性是指仪器长时间工作或受环境条件的影响下,其示值的稳定程度。仪器的温度漂移和零点漂移均会影响示值的稳定性。在桥梁结构现场试验中,由于现场环境条件无法控制以及加载时间较长等因素的影响,应变等量值往往会出现数据随时间(温度)漂移的现象。尽量选用稳定性好、抗干扰能力强的仪器是桥梁结构检测中设备选用的基本原则。

⑦线性范围:在仪表输入量和输出量保持线性关系时,输入量所允许的变化范围。在动态量测中,对仪表的线性度有严格要求,否则将会产生较大的量测误差。

⑧信噪比(S/N):仪器测得的数据中有效信号(Signal)与同时测得的噪声(Noise)的比值,称为信噪比。对于电测设备,理论上只要提高放大器的放大倍数,灵敏度就可以达到无限高,而实际上在放大有效信号的同时,噪声也同样被放大。因此,量测设备的噪声越小,信噪比越高,设备的分辨率和精度也越高。

⑨幅频特性:指仪器在不同输入信号频率下灵敏度的变化特性。在设备使用中,应将使用频率限制在幅频特性曲线的平坦部分(图2.2),以免引起过大的量测误差。幅频特性曲线的平坦段称为仪器可用频率范围。

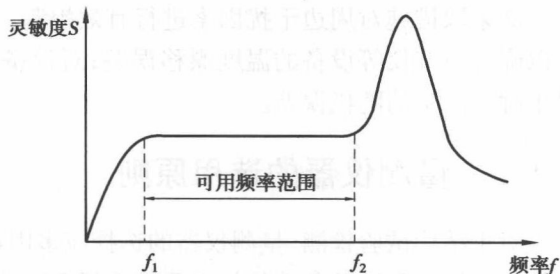


图2.2 幅频特性曲线

⑩相频特性:振动参量经传感器转换或经放大、记录后在时间上产生的延迟叫相移(输出信号与输入信号的相位滞后)。

相移随输入信号频率而变化的特性称为相频特性。对于包含多个频率成分的复合振动,相移的存在将引起输出信号的相位失真。

2.1.4 保证量测结果可靠性的措施

1) 设备具有与试验要求相适应的软、硬件性能

要保证测试结果的精度,首先要研究测试对象的性质,采用量程、精度、分辨率均能满足

要求的设备,同时要求设备具有完成数据处理分析的相应软件功能。

2) 正确使用和操作

无论多么先进的测试仪器,总具有局限性,某些仪器只有在特定条件下才能保证有较好的使用效果。因此如何选择适宜的测试仪器(测试方法)并进行正确地操作,对保证量测结果的可靠性具有重要意义。

(1) 采用适宜的测试方法

对于某个特定的参量我们可能有多种测试方法(测试仪器)可供选择,不同的环境条件和试验要求对测试方法的选择也不同。如混凝土结构收缩徐变试验中的应变量测,如采用电阻应变片和应变仪进行测量,由于试验时间跨度长,受季节、日周温度变化的影响,其测试可靠性可能无法得到保证,而此时采用千分表等简单量具反而可能会取得更好的效果。

(2) 使设备处于正常的工作状态

为保证测试结果的可靠性,必须使仪器处于正常的工作状态。我们可以通过定期检定、标定、比对试验,进行经常性维护和运行检查,采取减震、温控、稳压、接地等技术手段,使仪器处于良好的工作状态。

(3) 正确的操作

桥梁结构试验中使用的测试仪器从原来的机械式、指针式、人工记录分析逐步发展到当今的以计算机为平台,集多功能、自动化、智能化为一体的现代化测试分析设备,同时也对检测人员提出了更高要求。对仪器的操作应用,具体到传感器安装、设备调试、测试分析参数的设置等内容。仪器设备的使用不当,将会导致难以估量的误差,例如应变电测中,如应变片灵敏系数设置错误,将会产生很大的系统误差。

3) 适宜的工作环境

①设备本身具有较高的抗干扰能力,环境适应性强。

②采取措施对周边干扰因素进行有效控制。如选择夜间温度较为稳定的时段进行试验,可以降低应变仪等设备的温度漂移误差;对设备进行电气屏蔽措施,可以降低设备因周围电磁干扰所产生的随机误差。

2.1.5 量测仪器的选用原则

对于结构试验检测,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。在选用量测仪表时,应注意以下问题:

①满足量测所需的量程及精度要求。在选用仪表前,应先对被测值进行估算,一般应使最大被测值在仪表的 $2/3$ 量程范围附近,以防仪表超量程。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与可靠性、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尽可能少,便于设备调配和量测实施以及精度控制,减少数据处理工作量和避免差错。

④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。

⑤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,还须充分考虑桥梁结构超低频振动以及振动量值较小等特点,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 1 Hz 左右即可,而对于大跨径桥梁,则下限频率要求延伸至 0.20 ~ 0.50 Hz,甚至更低。

2.1.6 仪器的计量标定

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一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、计算烦琐且耗时长。

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。