

新世纪土木工程系列教材

土木工程结构 试验与检测

刘明 主编

 高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内 容 提 要

本书是“新世纪土木工程系列教材”之一,按照《建筑结构试验》教学大纲的要求编写而成。内容包括:结构试验设计、加载设备与试验装置、量测仪器与数据采集系统、静力试验、动力试验、结构检测、地基及桩基础检测、桥梁结构试验与检测、路基路面现场检测等。本书在阐述传统试验方法的基础上,介绍了国内外最新发展的试验理论及方法,注意理论与实践相结合,在阐明结构试验基本原理的基础上,重点介绍试验方法与技能,内容精炼,重点突出,适应性强。

本书可供高等学校土木工程专业本科生、研究生作为教材使用,也可供从事工程结构的专业技术人员和有关工程技术人员作为参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程结构试验与检测/刘明主编. —北京:高等教育出版社,2008.1

ISBN 978-7-04-022680-5

I. 土… II. 刘… III. 土木工程-建筑结构-结构试验-高等学校-教材 IV. TU317

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第182467号

策划编辑 赵湘慧 责任编辑 葛心 封面设计 王 隼 责任绘图 杜晓丹
版式设计 王艳红 责任校对 朱惠芳 责任印制 宋克学

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 高等教育出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 19
字 数 460 000

版 次 2008年1月第1版
印 次 2008年1月第1次印刷
定 价 25.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 22680-00

目 录

Contents

第1章 绪论

CHAPTER 1 INTRODUCTION

1.1 结构试验与检测分类(CLASSIFICATION OF STRUCTURE TESTING AND INSPECTION)	2
1.2 结构试验技术的新发展(NEW DEVELOPMENT IN TESTING TECHNOLOGY)	7
1.3 课程内容与学习方法(COURSE CONTENT AND LEARNING METHOD)	8
本章小结(SUMMARY)	9
思考题(THINKING QUESTIONS)	9

第2章 结构试验设计

CHAPTER 2 STRUCTURE TEST DESIGN

2.1 研究性试验(TESTING FOR RESEARCH)	11
2.2 检验性试验(TESTING FOR VERIFICATION)	17
本章小结(SUMMARY)	18
思考题(THINKING QUESTIONS)	18

第3章 加载设备与试验装置

CHAPTER 3 LOADING EQUIPMENT AND TEST SETUP

3.1 重物加载(DEAD LOADING)	20
3.2 气压加载(AIR LOADING)	21
3.3 机械机具加载(MECHANICAL LOADING)	22
3.4 液压加载(HYDRAULIC LOADING)	22
3.5 动力加载法(DYNAMIC LOADING)	26
3.6 试验台座与支承装置(TEST SUPPORT AND REACTION SETUP)	30
本章小结(SUMMARY)	37
思考题(THINKING QUESTIONS)	38

第4章 量测仪器与数据采集系统

CHAPTER 4 INSTRUMENTATION AND DATA ACQUISITION SYSTEM

4.1 概述(INTRODUCTION)	41
----------------------------	----

4.2 应变量测 (STRAIN MEASUREMENT)	43
4.3 位移量测 (DISPLACEMENT MEASUREMENT)	48
4.4 力值量测 (FORCE MEASUREMENT)	54
4.5 裂缝观测 (OBSERVATION AND MEASUREMENT OF CRACK)	56
4.6 温度量测 (TEMPERATURE MEASUREMENT)	57
4.7 振动参数的量测 (DYNAMIC PROPERTIES MEASUREMENT)	58
4.8 数据采集系统 (DATA ACQUISITION SYSTEM)	65
本章小结 (SUMMARY)	67
思考题 (THINKING QUESTIONS)	67

第5章 静力试验

CHAPTER 5 STATIC TESTING

5.1 单调静力荷载试验 (MONOTONIC STATIC LOADING TESTING)	69
5.2 拟静力试验 (PSEUDO-STATIC TESTING)	76
5.3 拟动力试验 (PSEUDO-DYNAMIC TESTING)	83
5.4 数据整理方法 (DATA INTERPRETATION METHOD)	87
本章小结 (SUMMARY)	98
思考题 (THINKING QUESTIONS)	98

第6章 动力试验

CHAPTER 6 DYNAMIC TESTING

6.1 动荷载的特性试验 (DYNAMIC LOAD PROPERTIES TESTING)	101
6.2 结构动力特性试验 (DYNAMIC PROPERTIES TESTING FOR STRUCTURE)	104
6.3 结构动力反应试验 (STRUCTURE DYNAMIC RESPONSE TESTING)	113
6.4 模拟地震振动台试验 (SHAKING TABLE TESTING)	116
6.5 风洞试验 (WIND TUNNEL TESTING)	121
6.6 结构疲劳试验 (STRUCTURAL FATIGUE TESTING)	123
6.7 振动信号处理及分析 (INTERPRETATION AND ANALYSIS OF VIBRATION SIGNAL)	126
本章小结 (SUMMARY)	140
思考题 (THINKING QUESTIONS)	140

第7章 结构检测

CHAPTER 7 STRUCTURAL INSPECTION

7.1 结构检测的方法 (STRUCTURE INSPECTION METHOD)	142
7.2 混凝土结构的检测 (CONCRETE STRUCTURE INSPECTION)	149
7.3 砌体结构的检测 (MASONRY STRUCTURE INSPECTION)	165
7.4 钢结构的检测 (STEEL STRUCTURE INSPECTION)	179
本章小结 (SUMMARY)	182
思考题 (THINKING QUESTIONS)	182

第8章 地基及桩基础检测

CHAPTER 8 INSPECTION OF GROUNDS AND PILE FOUNDATION

8.1 地基承载力的检测(INSPECTION OF GROUND BEARING CAPACITY)	184
8.2 桩基静载试验(PILE FOUNDATION STATIC LOADING TESTING)	189
8.3 桩基动力检测(PILE FOUNDATION DYNAMIC INSPECTION)	196
本章小结(SUMMARY)	202
思考题(THINKING QUESTIONS)	203

第9章 桥梁结构试验与检测

CHAPTER 9 TESTING AND INSPECTION OF BRIDGE STRUCTURE

9.1 桥梁结构静载试验(BRIDGE STRUCTURE STATIC TESTING)	205
9.2 桥梁结构动载试验(BRIDGE STRUCTURE DYNAMIC TESTING)	217
9.3 桥梁检查与评估(BRIDGE INSPECTION AND EVALUATION)	223
本章小结(SUMMARY)	231
思考题(THINKING QUESTIONS)	231

第10章 路基路面现场检测

CHAPTER 10 FIELD TESTING OF SUBGRADE AND PAVEMENT

10.1 路面使用性能检测(PAVEMENT PERFORMANCE INSPECTION)	233
10.2 路基路面质量控制参数现场检测(FIELD INSPECTION OF QUALITY CONTROL PARAMETER OF PAVEMENT AND SUBGRADE)	264
本章小结(SUMMARY)	281
思考题(THINKING QUESTIONS)	281

附录 A 结构模型设计

APPENDIX A STRUCTURE MODEL DESIGN	282
---	-----

附录 B 应变片粘贴技术

APPENDIX B TECHNOLOGY OF BONDING RESISTANCE GAUGE	286
---	-----

参考文献

REFERENCES	288
------------------	-----

结构试验设计是一项细致而又复杂的工作,必须严格认真地对待,任何疏忽都会影响试验结果,甚至导致试验失败或危及人身安全。因此,在结构试验前需对整个试验工作进行设计。下面分别从研究性试验和检验性试验两方面来系统地阐述试验设计程序和具体要求。

2.1 研究性试验(testing for research)

研究性试验主要包括设计、准备、实施和总结4个阶段,这4个阶段的主要内容如图2.1.1所示。

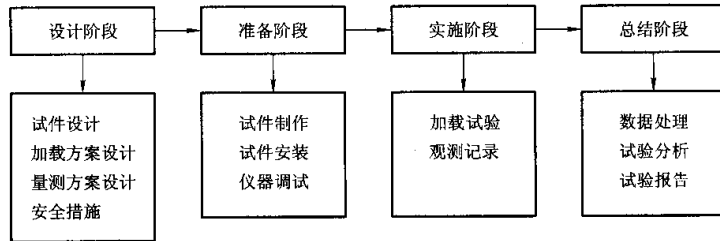


图 2.1.1 研究性试验的一般过程

2.1.1 设计阶段(planning phase)

结构试验设计阶段的主要任务,就是通过结构试验设计拟定试验方案,并将所有相关文件进行汇总。试验方案是进行整个试验的指导性文件。

试验方案主要内容包括试验目的、试件设计、加载方案、量测方案、安全措施,以及试验进度计划、经费使用计划和附件等。

1. 试件设计(specimen design)

(1) 试件的形状与尺寸

试件设计要注意试件的形状,主要是要满足在试验时形成和实际工作相一致的应力状态。当从整体结构中取出部分构件单独进行试验时,特别是对比较复杂的超静定体系中的构件,必须要注意其边界条件的模拟,使其能如实地反映该部分构件的实际工作状态。

在设计试件尺寸时,一般可分为原型和模型两大类。原型试件可很好的反映实际构造,如能用原型结构进行试验,当然是最为理想的。但由于原型试件都是足尺的,势必导致试验的规模很大,所需加载设备的吨位很高,制作试件的材料费、加工费也随之增加。所以,当进行研究性试验时,一般采用模型试验。进行结构模型试验,除了必须遵循试件设计的原则与要求外,结构模型还应严格按照相似理论进行设计(详见附录 A),然后分析推算出原型结构的相应数据和相关性能。

(2) 试件数量

试件的数量直接关系到能否满足试验目的和试验的工作量问题,同时也受试验研究、经费预算和时间期限的限制。

若所研究的试验参数较多,采用正交设计可以减少试件数量而满足试验目标的要求。正交设计是根据参数构成的因子数(对试验研究内容有影响的因素个数)和水平数(因子可改变的试验档次数)来决定试件数量,主要是使用正交表这一工具来进行整体设计,解决了少量做试验与要求全面掌握内在规律之间的矛盾,把试验结果和试件数量联系在一起分析,合理安排试验。

如所要研究的问题,有4个因素对试验结果有影响,每个因素取3个不同水平进行比较,有 $3^4=81$ 种不同的试验条件,需做81个试件的试验,若利用正交表进行试验设计,可以查到4个因子3个水平的情况 $L_9(3^4)$ 仅需要做9个试件的试验,就可以达到试验的目的。

正交设计表可在有关正交设计书籍上查阅到,在此不再赘述。

2. 加载方案 (loading scheme)

(1) 试验加载图式

试验荷载在试验结构构件上的布置(包括荷载类型和分布情况)称为加载图式。试验结构构件宜采用与其实际工作状态相一致的正位试验。试验时,荷载的加载图式要与结构设计计算的荷载图式相一致,这样结构的工作和实际情况最为接近。例如,在混凝土楼盖中支撑楼板的次梁的试验荷载应该是均匀分布的,支承次梁的主梁应该是承受按次梁间距作用的集中荷载,而工业厂房的屋面大梁则承受间距为屋面板宽度或檩条间距的等距集中荷载。当一种加载图式不能反映试验要求的几种极限状态时,应采用几种不同的加载图式分别在几个试验结构构件上进行试验。

试验结构构件的加载图式应符合计算简图。当试验条件受限制时,可采用控制截面(或部位)上产生与某一相同作用效应的等效荷载进行加载,但应考虑等效荷载对结构构件试验结果的影响。例如,当试验承受均布荷载的梁时,为了试验方便和减少加载用的荷载量,常用几个集中荷载来代替均布荷载。但是,集中荷载的数量和位置使结构所产生的内力值应尽量与均布荷载所产生的内力值相符合。集中荷载可以很方便地用少数液压加载器或杠杆产生,这样不仅简化了试验装置,还可以大大减轻试验加载的劳动量。

采用等效荷载时,必须全面验算由于荷载图式的改变对结构构件造成的各种影响。必要时应对结构构件做局部加强,或对某些参数进行修正。如当构件满足强度等效,而整体变形(如挠度)条件不等效时,则需对所测变形进行修正。取弯矩等效时,尚需验算剪力对构件的影响,同时要把采用等效荷载的试验结果所产生的误差控制在试验允许的范围之内。

(2) 试验装置

为保证试验工作的正常进行,试验装置必须进行专门设计。具体要求如下:

① 试验装置应有足够刚度。在最大试验荷载作用下,应有足够承载力(包括疲劳强度)和稳定性。

② 试验结构构件的跨度、支承方式、支撑等条件和受力状态应符合设计计算简图,且在整个试验过程中保持不变。

③ 试验装置要满足构件的边界条件和受力变形的真实状态,且不应分担试验结构构件承受的试验荷载和不应阻碍结构构件变形的自由发展。

④ 应满足试件就位支承、荷载设备安装、试验荷载传递和试验过程的正常工作要求。

(3) 试验荷载

《建筑结构设计统一标准》(GB 50068—2001)规定,结构的极限状态分为承载力极限状态和正常使用极限状态,结构构件在满足承载力要求的前提下,还应对其进行稳定、变形、抗裂和裂缝宽度的验算。

因此,在进行结构静力试验时,首先要按不同试验要求确定各种工作状态的试验荷载。结构构件达到承载力极限状态时的内力计算值应根据材料的实测强度、构件的实测几何参数按式(2.1.1)进行计算。

$$S_{03}^0 = R(f_c^0, f_s^0, a^0, \dots) \quad (2.1.1)$$

式中 S_{03}^0 ——结构构件达到承载力极限状态时的内力计算值;

$R(\cdot)$ ——按材料的实测强度、构件的实测几何参数确定的构件承载力计算值。

对于混凝土结构,试验荷载值确定时一般应考虑下列情况。

- ① 对结构构件的刚度、裂缝宽度进行试验时,应确定正常使用极限状态的试验荷载值。
- ② 对结构构件的抗裂性进行试验时,应确定开裂试验荷载值。
- ③ 对结构构件进行承载力试验时,应确定极限承载力试验荷载值。
- ④ 按荷载作用时间的不同,正常使用极限状态的试验荷载值可分为短期试验荷载值和长期试验荷载值。由于大部分试验是在短时间内进行,故应按规范要求,考虑长期效应组合影响进行修正。

在进行结构动力试验时,试验荷载值确定还应考虑动力荷载的动力系数。

(4) 加载制度

试验加载制度是指试验进行期间荷载与时间的关系。它包括:加载速度的快慢、加载时间间歇的长短、分级荷载的大小和加卸载循环的次数等。结构构件的承载力和变形性质与其所受荷载作用的时间特征有关。不同性质的试验必须根据试验要求制定不同的加载制度。对静力结构试验,一般采用包括预加载、标准荷载和破坏荷载三个阶段的一次单调静力加载试验;拟静力试验采用控制荷载或变形的低周反复加载试验;而结构拟动力试验则由计算机控制,按结构受地震地面运动加速度作用后的位移反应时程曲线进行加载试验。一般结构动力反应试验是采用正弦激振的加载试验,而模拟地震的振动台试验则采用模拟地震地面加速度的随机激振试验。

3. 量测方案(measurement scheme)

(1) 量测项目

结构在荷载作用下的各种变形可以分成两类:一类是反映结构的整体工作状况(如梁的挠度、转角、支座偏移等)的整体变形;另一类是反映结构的局部工作状况(如应变、裂缝、钢筋滑移等)的局部变形。

在确定试验的量测项目时,试验者应首先考虑整体变形,因为整体变形能够概括出结构的工作全貌,可以基本上反映出结构的工作状况。因此,在所有量测项目中,整体变形的量测往往是最基本的。对于某些构件,局部变形的量测也是很重要的。例如,混凝土结构的裂缝出现,能直接说明其抗裂性能。因此,只要条件许可,根据试验目的,也经常需要测定一些局部变形的量测项目。

(2) 测点的选择与布置

用仪器对结构或构件进行内力、变形等参数的量测时,测点的选择与布置应满足以下原则。

- ① 在满足试验目的的前提下,应使重点观测项目突出,测点宜少不宜多。
- ② 测点的位置必须有代表性,以便能测取最关键的数据。
- ③ 测点的布置应有利于试验时操作和测读。
- ④ 应布置一定数量的校核性测点,以便校核量测数据的准确性。

(3) 仪器选择与测读原则

选择的仪器,必须能满足试验所需的精度与量程要求。但要防止盲目选用高准确度和高灵敏度的精密仪器,因为精密量测仪器的使用要求有比较良好的环境和条件,如果条件不够理想,其后果会造成仪器损伤或观测结果不可靠。仪器的量程应满足最大应变或挠度的需要,试验中若仪器量程不够,中途调整必然会增加量测误差,应尽量避免。

现场试验时,仪器所处条件和环境较复杂,影响因素较多,电测仪器的适应性就不如机械式仪表。而测点较多时,机械式仪表却不如电测仪器灵活、方便。因此,选用时应作具体分析和技术比较。另外,选择仪器时必须考虑测读方便、省时,必要时采用自动记录装置。

为了简化工作,避免差错,量测仪器的型号规格应尽可能一致,种类越少越好。有时为了控制观测结果的准确性,常在控制测点或校核性测点上同时使用两种类型的仪器,以便比较。

在进行测读时,原则上是全部仪器的读数必须同时进行。由于结构的变形与时间有关,所以同时测得的数据才能说明结构在某一承载状态下的实际情况。测读时应注意以下几个问题。

- ① 观测时间一般选在试验过程中加载间歇的时间内,荷载要适当分级,对于一些变化较小或一些次要测点,可以每两级测读1次。
- ② 当荷载持续时间较长时(如在标准荷载下恒载12h),应测取恒载下变形随时间的变化。同样,空载时也应测取变形随时间的恢复情况。
- ③ 每次记录仪器的读数时,应同时记下周围的温度和湿度。
- ④ 重要的数据应边作记录,边作初步整理,同时算出每级荷载的读数差,与预计的理论值进行比较,及时判断量测数据的正确性,并确定下一级荷载的加载情况。

4. 安全措施(safety measures)

在制定试验方案时,对试验的准备阶段、试验实施阶段和试验后拆除构件阶段应有安全与防护的技术措施,主要的措施有以下几种。

- ① 试验前应对工作人员进行安全交底。试验时,应设安全员负责检查安全工作,安全员应由熟悉试验工作的人员担任。
- ② 在试验准备工作中,试验结构构件、加载设备、荷载架等的吊装,电气设备、电气线路等的安装,试验后拆除构件及试验设备仪器的操作均应符合有关的安全技术规程的规定。
- ③ 试验使用的设备应有操作规程,并应严格遵守。试验用的加载设备、荷载架、支座、支墩等应有足够的安全储备,现场试验的地基应有足够的承载力和刚度。
- ④ 在试验中,试验地区宜设置明显标志。工作人员测读仪表、观察裂缝和进行加载等操作均应有安全可靠的工作台或脚手架。工作台和脚手架不应妨碍试验结构构件的正常工作。
- ⑤ 试验时应防止试验结构构件和设备的倒塌,并应设置安全托架或支墩。安全托架或支墩和试验结构构件宜保持尽可能小的距离,但不应妨碍试验结构构件的变形。试验用的千斤顶、分配梁和仪表等应吊在支架上。在对屋架、桁架等大型结构构件进行试验时,必须根据安全要求设置侧向安全架,侧向安全架不应妨碍试验结构构件的正常工作。

④ 当荷载达到承载力试验荷载计算值的 85% 时,宜拆除可能损坏的仪表。对于需要保留下来量测结构破坏阶段的结构反应的仪表,应采取有效的保护措施。

2.1.2 准备阶段 (preparation phase)

结构试验准备阶段是将设计阶段确定的试件按要求制作、安装就位,将加载设备和测试仪器率定、安装就位,准备设计记录表格,算出各加载阶段试验结构各特征部位的内力及变形值。结构试验准备工作十分繁琐,不仅涉及面很广,而且工作量很大,据估计准备工作约占全部试验工作量的 1/2~1/3 以上。试验准备阶段的工作质量直接影响试验结果的准确程度,有些准备阶段工作还直接与数据整理和资料分析有关,有时还关系到试验能否顺利进行到底。因此,切勿低估准备工作阶段的复杂性和重要性,具体要求如下。

1. 试件制作 (specimens fabrication techniques)

在制作试件过程中,应作施工日志,注明制作试件日期、原材料情况,这些原始资料都是分析试验结果时不可缺少的参考资料。试件尺寸要保证有足够的精度,材性试件必须按试验方案上设计的试件编号进行编号,以免不同组别的试件混淆,另外还应注意试样的留取。试样必须能真正代表试验结构的材性。以混凝土结构试验为例,在制作试验结构构件时应采用同批拌和物制作混凝土立方体试件,并与试验结构构件同条件养护。

当需要测定混凝土的应力、弹性模量或轴心抗压强度时,应制作棱柱体试件,并绘制混凝土的应力-应变曲线;当进行抗裂性试验研究时,应同时制作用来测定抗拉强度的混凝土立方体试件。立方体试件和棱柱体试件的制作、养护和试验应符合现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法》(GB/T 50081—2002)的要求。试验结构构件的钢筋应取试件做屈服强度、抗拉强度、伸长率和冷弯等力学性能试验。钢筋试件的拉力试验应符合现行国家标准《金属材料室温拉伸试验方法》(GB/T 228—2002)的要求。当需要确定构件的钢筋应力时,应测定钢筋的弹性模量,并绘制其应力-应变曲线。

2. 试件质量检查 (specimens quality inspection)

对试件尺寸和缺陷等应作详细检查记录,并纳入原始资料。试验结构构件的材料、截面几何尺寸和施工质量应符合《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204—2002)等现行国家标准的有关要求。

3. 试件及加载设备安装 (specimens and loading setup assembling)

在试件安装前,应先在试件上画出支座反力的作用线位置和外荷载作用点位置,需要对中的试件还要画出中心线位置。荷载作用部位要附设定位零件,以使荷载有明确的着力点。

4. 仪器的率定 (calibration of instrument)

所使用的量测仪器应按规定进行率定。率定记录应纳入原始试验记录中,误差超过规定标准的仪器不得使用。

5. 仪表的安装 (instrument assembling)

仪表的安装位置、测点号等都应严格按照试验方案中的仪器布置图实施。如有变动,应立即做好记录。

6. 记录表格(record sheet)

根据试验要求设计记录表格,其内容应包括试件和试验条件的详细情况及量测的项目。

2.1.3 实施阶段(loading test phase)

按试验设计和试验准备阶段确定的加载制度对试件进行加载,加载和观测记录的全过程称为试验实施阶段。

1. 加载(loading)

加载是整个试验过程的中心环节,应按规定的加载顺序和量测顺序进行。重要的量测数据应在试验过程中随时整理分析与事先估算的数值比较,发现有异常情况时应查明原因或故障,把问题弄清楚后才能继续加载。

2. 观测与记录(observation and record)

在试验过程中,结构所反映的外观变化是分析结构性能的极为宝贵的资料,对节点的松动与异常变形,混凝土结构裂缝的出现和发展,特别是结构的破坏过程都应作详尽的记录及描述。这些容易被初做试验者忽略,而把主要注意力集中在仪器读数或记录曲线上,因此应分配专人负责记录结构的外观变化。

试件破坏后要拍照和测绘破坏部位及裂缝简图,必要时,可从试验后的试件上切取部分材料测定力学性能,破坏试件在试验结果分析整理完成之前不要过早毁弃,以备进一步核查。

将所有的原始数据整理完善,其中特别要注意的是试验量测数据记录和记录曲线,经记录人员签名后都作为原始数据存档,不得随便涂改(如记录数据有误,可使用杠改)。

2.1.4 总结阶段(summing-up phase)

1. 数据处理(data processing)

通过试验准备和试验实施阶段,获得了大量数据和有关资料(如量测数据、试验曲线、变形观测记录、破坏特征描述等),一般不能直接回答试验研究所提出的各类问题,它们只是试验的原始数据,需对原始数据进行科学的运算处理才能得出试验结果。

2. 试验分析(test result analysis)

试验分析是对试验得出的规律和现象作出解释,分析它们的影响因素,根据试验数据和资料编写试验报告。

3. 试验报告(test report)

试验报告是全部试验工作的集中反映,它概括了试验的全部内容。所以,在编写试验报告时,应力求简明扼要。试验报告内容一般包括:试验目的、试验依据、试件设计、试验方法、试验过程、试验结果处理与分析、技术结论、附录等。

以上各阶段的工作性质虽有差别,但它们都是互相联系又互相制约的,各阶段的工作没有明显的界限,计划时不能只孤立地考虑某一阶段的工作,必须兼顾各个阶段工作的特点和要求,作出综合性的决策。

2.2 检验性试验 (testing for verification)

检验性试验可在实验室进行,也可在现场进行。主要包括设计、准备、实施和总结4个阶段,各阶段的内容可参照研究性试验进行,下面仅对试验对象、试验荷载的取值及检验报告的具体要求给予阐述。

2.2.1 试验对象 (specimen)

检验性试验的试验对象往往是某一具体结构或实际的结构构件,一般不存在试件设计和制作问题,但需要收集和研究该试件设计的原始资料、设计计算书和施工文件等,并应对构件进行实地考察,检查结构的设计和施工质量状况,最后根据试验目的制订试验计划。检验性试验的试件可根据委托方要求、设计文件的要求或相关的规范规定确定。

2.2.2 试验荷载 (testing load)

① 结构构件使用状态短期试验荷载值应根据结构构件控制截面上的荷载短期效应组合的设计值 S_s 和试验加载图式经换算确定。荷载短期效应组合的设计值 S_s 应按《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)计算确定,或由设计文件提供。

② 试验结构构件的承载力试验荷载计算值应根据构件达到承载力极限状态时的内力计算值和试验加载图式经换算确定。

结构构件达到承载力极限状态时的内力计算值应按下列方法计算。

a. 当按设计规范规定进行检验时,应按式(2.2.1)计算:

$$S_{ul}^0 = \gamma_0 [\gamma_0] S \quad (2.2.1)$$

式中 S_{ul}^0 ——当按设计规范规定进行检验时,结构构件达到承载力极限状态时的内力计算值,也可称为承载力检验值(包括自重产生的内力);

γ_0 ——结构构件的重要性系数;

$[\gamma_0]$ ——结构构件承载力检验系数允许值,见表2.2.1;

S ——荷载效应组合的设计值。

表 2.2.1 构件的承载力检验系数允许值

受力情况	达到承载力极限状态的检验标志		$[\gamma_0]$
轴心受拉、偏心受拉、 受弯、大偏心受压	受拉主筋处的最大裂缝宽度达到 1.5 mm,或挠度达到跨度的 1/50	热轧钢筋	1.20
		钢丝、钢绞线、热处理钢筋	1.35
	受压区混凝土破坏	热轧钢筋	1.30
		钢丝、钢绞线、热处理钢筋	1.45
	受拉主筋拉断		1.50
受弯构件的受剪	腹部斜裂缝达到 1.5 mm,或斜裂缝末端受压混凝土剪压破坏		1.40
	沿斜截面混凝土斜压破坏,受拉主筋在端部滑脱或其他锚固破坏		1.55
轴心受压、小偏心受压	混凝土受压破坏		1.50

注:热轧钢筋系指 HPB235 级、HRB335 级、HRB400 级和 RRB400 级钢筋。

b. 当设计要求按实配钢筋的构件承载力进行检验时应按式(2.2.2)计算:

$$S_{u2}^0 = \gamma_0 \eta [\gamma_d] S \quad (2.2.2)$$

$$\eta = \frac{R(f_c, f_s, A_s^0, \dots)}{\gamma_0 S} \quad (2.2.3)$$

式中 S_{u2}^0 ——当设计要求按实配钢筋的构件承载力进行检验时,结构构件达到承载力极限状态时的内力计算值,也可称为承载力检验值(包括自重产生的内力);

$R(\cdot)$ ——按实配钢筋面积 A_s^0 确定的构件承载力计算值;

η ——构件承载力检验的修正系数。

2.2.3 检验报告 (inspection report)

检验报告内容一般包括:委托单位名称、工程概况(包括工程名称、结构类型、规模、施工单位、设计单位、施工日期及现状等)、试验目的、检测项目、试验方法及依据的标准、试验过程、试验结果处理与分析、技术结论和附录。



本章小结 (summary)

本章从研究性试验和检验性试验两方面系统地介绍了土木工程结构试验设计程序和具体要求。学习本章后,学生重点掌握结构试件的形状、尺寸与数量的基本要求;了解结构模型设计的基本概念和方法,并能进行结构模型的设计;重点掌握结构试验荷载的加载图示和试验荷载的取值;能够正确地确定量测项目,合理地选择量测仪器;并能提出试验的安全措施。



思考题 (thinking questions)

1. 研究性试验的过程一般分为哪几个阶段?如何确定试件的形状和数量?
2. 如何确定研究性试验的试验荷载?加载装置的设计应符合哪些要求?
3. 检验性试验的试验荷载如何确定?