

# 建筑结构试验

王 娴 明 编著

清华大学出版社

# 建筑结构试验

王 娴 明 编著

清华大学出版社

## 内 容 简 介

本书是清华大学为建筑结构试验课程新编的教材。内容包括结构试验的一般过程, 试验荷载, 结构试验的量测技术, 试验举例, 模型试验, 统计处理的基本知识, 静力试验的数据处理, 动力试验的数据处理等。

本书可供工科院校土木结构专业和其他有关专业作教材, 也可供从事结构试验的专业人员和有关工程技术人员参考。

## 建 筑 结 构 试 验

王娴明 编著

责任编辑 郭学书

☆

清华大学出版社出版

北京 清华园

清华大学印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

☆

开本: 787×1092 1/16 印张: 11 1/8 字数: 270 千字

1988年7月第1版

1988年7月第1次印刷

印数: 00001—15000

定价: 1.90 元

ISBN 7-302-00210-X/TU·16 (课)

# 目 录

## 第一篇 试验方法

<b>第一章 结构试验及其一般过程</b> .....	1
§ 1-1 概述 .....	1
§ 1-2 建筑结构试验的一般过程 .....	5
<b>第二章 试验荷载</b> .....	12
§ 2-1 试验荷载 .....	12
§ 2-2 重物加载 .....	16
§ 2-3 气压加载 .....	17
§ 2-4 机械机具加载 .....	18
§ 2-5 液压加载 .....	19
§ 2-6 电液伺服加载 .....	20
§ 2-7 电磁加载 .....	22
§ 2-8 其它激振方法 .....	25
§ 2-9 加载辅助设备 .....	26
<b>第三章 结构试验的量测技术</b> .....	28
§ 3-1 概述 .....	28
§ 3-2 量测仪表的基本概念 .....	28
§ 3-3 仪表的率定 .....	30
§ 3-4 应力(应变)量测 .....	31
§ 3-5 位移量测 .....	52
§ 3-6 其它变形的量测 .....	54
§ 3-7 裂缝量测 .....	55
§ 3-8 力的测定 .....	56
§ 3-9 振动参数的量测 .....	58
§ 3-10 数据系统简介 .....	63
§ 3-11 材料强度间接测定方法 .....	64
<b>第四章 结构试验举例</b> .....	66
[例一] 钢筋混凝土连续梁调幅限值的试验研究.....	66
[例二] 钢筋混凝土阶形柱在周期反复荷载下变形性能的试验研究.....	74
[例三] 多层内框架房屋结构地震反应及加固的试验研究.....	81

〔例四〕 框筒结构动力分析方法的模型试验研究	86
〔例五〕 研究结构抗震性能的拟动力试验	91
<b>第五章 模型试验</b>	<b>94</b>
§ 5-1 模型试验的应用范围	96
§ 5-2 模型结构的相似	96
§ 5-3 相似条件的确定——量纲分析	99
§ 5-4 模型分类	102
§ 5-5 模型设计	103
§ 5-6 模型材料	108
§ 5-7 模型试验的精确度及应注意的问题	116
 <b>第二篇 试验数据处理</b> 	
<b>第六章 统计处理基本知识</b>	<b>120</b>
§ 6-1 随机变量和概率分布	120
§ 6-2 分布参数的估计	122
<b>第七章 静力试验的数据处理</b>	<b>127</b>
§ 7-1 间接测定值的推算	127
§ 7-2 试验误差分析	128
§ 7-3 试验结果的表达	137
§ 7-4 回归分析	138
<b>第八章 动力试验的数据处理</b>	<b>145</b>
§ 8-1 简单周期振动试验的数据处理	145
§ 8-2 复杂周期振动试验的数据处理	147
§ 8-3 随机振动试验的数据处理	149
§ 8-4 实验模态分析法简介	159
<b>附表</b>	<b>162</b>
<b>主要参考文献</b>	<b>167</b>

# 第一篇 试验方法

## 第一章 结构试验及其一般过程

### § 1-1 概 述

结构试验是研究和发展结构理论的重要手段。从确定结构材料的力学性能到验证梁、板、柱等单个构件的计算方法及至建立复杂结构体系的计算理论，都离不开试验研究。钢筋混凝土结构和砖石结构的计算理论几乎全部是以试验研究的直接结果作为基础的。近年来，由于计算方法的发展、电子计算机的广泛应用以及过去大量结构试验研究所奠定的基础，为用数学模型方法对结构进行计算分析创造了条件，使试验研究不再是研究和发展结构理论的唯一途径。但由于实际结构的复杂性，试验研究仍是研究结构理论及设计计算方法的主要手段，特别在钢筋混凝土结构塑性阶段性能、徐变性能以及钢结构的疲劳、稳定问题等方面。在结构动力分析方面，近年来迅速发展的实验模态分析方法也占有重要地位。

同时，建筑结构学科发展的要求又反过来推动了结构试验技术的发展和提高。例如随着高层建筑、大跨度桥涵以及反应堆压力容器、海洋平台等各种工程结构物的出现，对结构整体工作，结构动力反应，钢筋混凝土结构非线性性能等问题的研究需要已日益突出，这就使结构试验由过去的单个构件试验向整体结构试验和足尺试验发展。同时各种伪静力试验、拟动力试验、振动台试验等打破了过去静载试验和动载试验的界限，并促使复杂荷载再现，传感器、量测数据的快速采集、自动化记录、试验数据的分析处理方法以及非线性与动载模型的相似设计等方面的试验技术提高了一大步。

结构试验技术的发展还和各种现代技术的发展紧密相关。非电量量测技术的迅速发展，电液伺服加载设备的出现，系统识别技术在振动试验数据处理上的应用，尤其是电子计算机应用在试验控制、数据采集及数据处理分析等方面，都使结构试验技术有了质的飞跃。

根据不同的试验目的，结构试验一般分为研究性试验和鉴定性试验两类：

#### 1. 研究性试验

这类试验带有研究性质，常常是为验证结构计算理论或为创造一种新型结构而进行的系统试验研究。试验时要用专门的量测仪表对试验对象承受荷载后的性能进行详细观测，取得可靠的数据，找出规律，并为设计计算提供必要的参数。

研究性试验的试验对象称为试件或试验结构，是专为试验而设计制作的。它并不一

定就是研究任务中的具体结构模型，在设计试件时要经过细致分析，找出问题的实质，然后再根据抽象出来的本质问题和尽可能简化实验设备的原则来设计试件。试件常常突出研究的主要因素而忽略一些对结构实际工作只有次要影响的因素。试件也常常只是具体结构的某一关键性局部构件。有时从表面看来，试件与具体结构似乎没有共同之处。例如图 1-1a 是为研究多层钢筋混凝土框架的变形能力而设计的 X 形节点试件。钢筋混凝土框架在塑性阶段的变形主要取决于塑性铰的转动能力，节点变形是研究的关键。X 形构件和地面的倾角根据设计条件给出的  $M, N, Q$  的比值而定，按图中所示的加载方向对 X 形试件施加往复垂直荷载后即可得到和多层框架节点处相同的内力状态。由 X 形试件试验得出节点的内力-变形资料后，可用已有程序算出框架的荷载-层间位移滞回曲线和变形。从表面上看，X 形试件和多层框架相差甚远，它却是研究框架问题的核心构件，其试验设备较做整体框架试验简单，因而便于对变动  $M, N, Q$  的比例，变动节点含箍率等因素进行系统的试验研究。

(a) 试件

(b) 节点实际受力情况

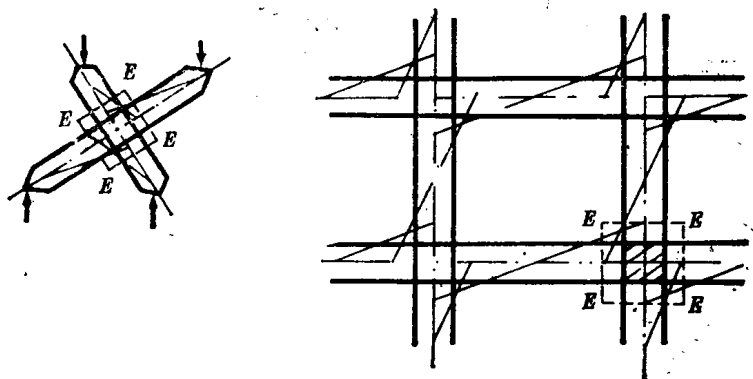


图 1-1 多层框架节点试验

研究性试验的试件尺寸一般根据实验室的加载设备条件和场地大小而定，不一定和实际结构一样大，但为了避免尺寸效应的影响，试件尺寸应尽可能和实际结构接近。如果条件可能，特别是由砖石或混凝土等材料性变异较大的材料制成的结构，同样的试件应重复试验两个以上以免试验结果带有偶然性。

研究性试验一般都在实验室内进行，并且一直进行到试件破坏。试验研究的规模和试验方法根据研究目的和任务的不同，可以有很大的差别。如为配合我国钢筋混凝土结构设计规范 (TJ-10-74) 的修订，对钢筋混凝土偏心受压长柱进行的试验研究，由于钢筋混凝土材料性质的复杂性，要获得钢筋混凝土柱纵向弯曲和稳定性问题的数学解析解十分困难，目前大都采用半理论半经验的方法处理。试验研究的目的是要得出合理的计算偏心距增大系数  $\eta$  的经验公式，因而需对不同细长比、不同偏心距、不同配筋率和混凝土标号的钢筋混凝土柱进行系统的试验研究，试件数量多达 233 个，由 8 个有关高等院校及研究机构统一协调，分别进行。其主要的量测内容为荷载、挠度、钢筋及混凝土的极限应变。和长柱研究任务不同的另一个研究题目是钢筋混凝土海洋平台主体结构的试验研究，由于工艺、环境因素、施工条件等的要求，海洋平台的主体结构是复杂的空

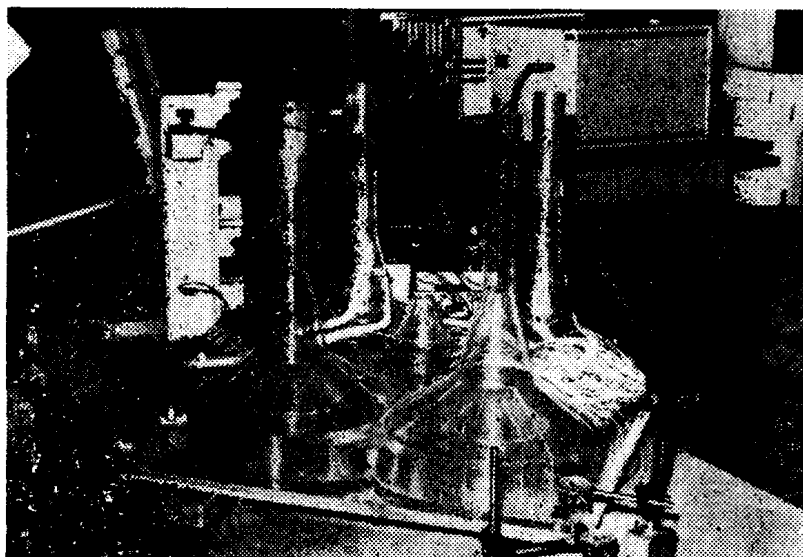


图 1-2 某海洋平台主体结构的 1:100 有机玻璃模型试验

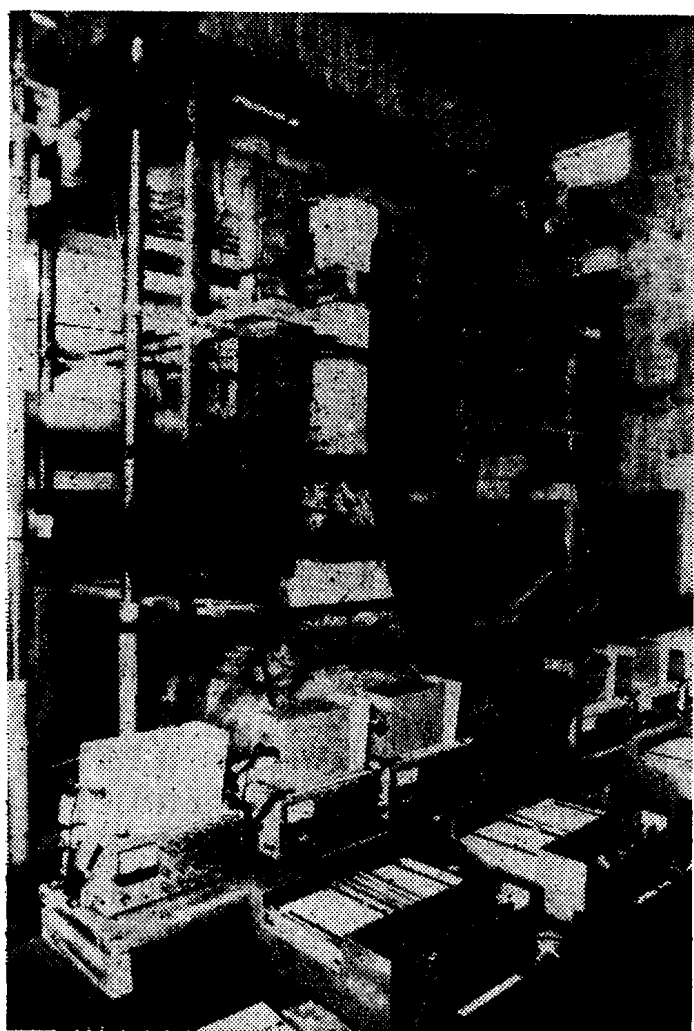


图 1-3 某海洋平台主体结构的 1:16 钢筋混凝土模型试验

间结构，过去一直采用钢结构，1974 年挪威才在北海建成第一座钢筋混凝土海洋平台。和钢海洋平台相比，钢筋混凝土海洋平台有许多优越性，但由于结构形状复杂，承受的荷载类型众多，钢筋混凝土海洋平台还缺乏正确的结构分析和合理的结构计算方法，特别当受到海浪、大风或地震等动载时的动力性能更缺乏资料。对这类试验研究，一般先通过小比例尺的弹性模型试验验证弹性工作时的内力及计算方法是否可靠，结构内部的应力及总变形是否异常并取得自振频率等动力特性的资料，为实际结构的设计提供依据，然后经过必要的修改，再做小尺寸的钢筋混凝土结构试验，进一步研究结构的弹塑性工作，动力特性和具体构造等方面的问题。这类试验研究的试件数量不多，一般只做一个，但试验规模较大，为了取得结构的应力分布，变形等资料，量测内容很



多,图 1-2 及图 1-3 为在清华大学土木工程系所作的海洋平台主体结构 1:100 的有机玻璃模型试验和 1:16 的钢筋混凝土模型试验,测点数多达 112 个。

从上面两个例子可看出不同的研究任务在试验规模和试验方法上的差别。

## 2. 鉴定性试验

对一些在计算理论上没有太大问题的建筑结构,由于一些特殊原因,需要通过试验鉴定这些结构或构件是否符合规范或设计要求,作出技术结论。鉴定性试验常用来解决下述几方面的问题:

(1) 对一些重要建筑物或采用新计算理论,新材料或新工艺的建筑物,在建成后需要进行试验,综合鉴定结构的设计和施工质量的可靠程度。如 1957 年建成的武汉长江大桥,在计算方法上没有什么问题,也没有采用什么新计算理论或新材料、新工艺,但由于它是我国第一座跨越长江天险的大桥,又是连接南北的交通要道,所以在建成后进行了一系列实际荷载的试验。又如首都体育馆采用了悬索结构这一新的结构形式,因是公共建筑,在建成后亦进行了加载试验。其它如原子能反应堆的钢筋混凝土压力容器,采用了新的预应力张拉工艺及锚具,压力容器的安全又至关重要,一般在建成后都要进行加压试验。

(2) 对于一些旧建筑物需要改变其工作条件(如增加建筑物的使用荷载)或一些建筑物在建造或使用过程中产生严重缺陷损坏(如施工质量事故,混凝土标号不够等)或建筑物遭受地震、火灾、爆炸等灾害之后,往往需要通过对这些建筑物的现场试验,了解其实际承载能力并提出技术处理意见。如某大学教工宿舍,建成后尚未投入使用,大部分门过梁上已有不同程度的裂缝,对于能否正常使用提出怀疑,为此亦进行了鉴定试验。

(3) 产品质量检验。对在预制构件厂或工地现场成批制造的预制构件,在出厂前或吊装就位前需进行抽样试验以鉴定产品质量。在《建筑安装工程质量检验评定标准 TJ-321-76》中规定抽样率为 1/1000,但生产期限不超过 3 个月。若连续 10 批合格,则抽样率改为 1/2000。对鉴定项目及方法《标准》中亦有详细规定。

鉴定性试验往往是针对某一具体建筑物的问题而不是寻求普遍规律,试验主要在建筑物现场(真型试验)或在 1:1 的试件(足尺试验)上进行。一般不能作到试件破坏而且多为短期加载试验。

“建筑结构试验”作为一门课程,不仅因为它是研究和发展结构理论、鉴定重要新结构的主要手段,为了能深刻掌握现有建筑结构的计算理论,必定联系到这些理论的试验基础,这也要求对结构试验技术有所了解。由于不掌握结构试验技术而使试验得出错误结论的危害性也不能不引起重视。例如图 1-4a 所示的简支梁试验,若采用图 1-4b 中的支座装置作为滚动支座,就将得出过高的破坏荷载值,因为这种支座装置的滑动摩擦系数可高达 30%,它使截面弯矩减小并使简支梁承受轴力(图 1-4c)。正确的滚动支座装置应如图 1-4d, 1-4e 所示。又如因选用加载千斤顶及油泵时未考虑对供油量的要求,常因千斤顶供油不足使试验的荷载-变形记录曲线在试件有较大变形时过早地呈现

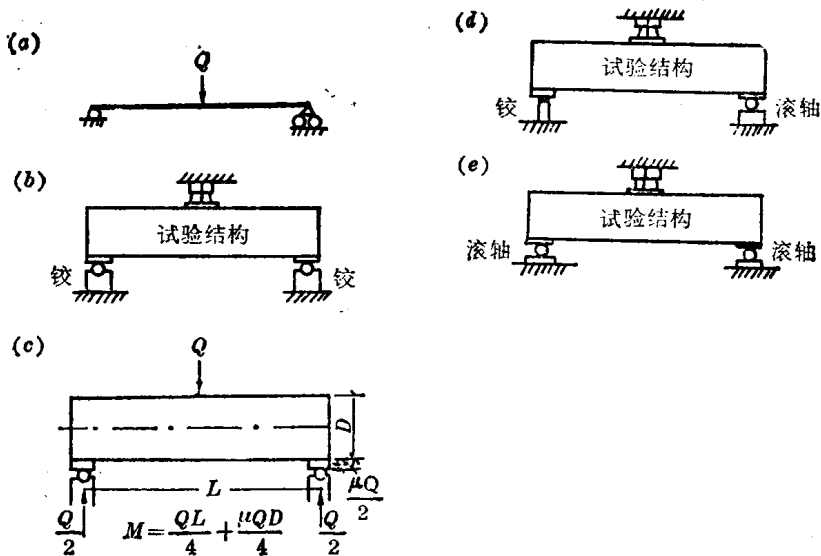


图 1-4 支座装置摩擦力的影响

荷载下降趋势等等。因此，学习建筑结构试验，掌握试验技术有很现实的意义。同时，也要看到建筑结构试验技术还有许多问题需待研究解决，如试件尺寸大小对试验结果的影响；短、长期荷载作用对试验结果的影响；非弹性阶段试验模型的相似方法；应力的直接测定方法；非破损检验方法等等。

结构试验和材料、力学、结构等门课程直接有关，并涉及机械、电子量测技术、数理统计分析等内容。因此，学好本门课程除要求具备本专业的知识外，还应具有较广泛的技术知识。学习本课程的目的是使读者能够具备规划并动手进行一般的结构试验研究或建筑结构检验的能力以及根据试验结果作出正确的分析和结论的能力。

## § 1-2 建筑结构试验的一般过程

结构试验大致可分为试验规划、试验准备、加载试验以及试验资料整理分析与总结四个阶段。各阶段的简繁程度视试验规模大小的不同而异。

### 1. 试验规划阶段

结构试验是一项细致复杂的工作。必须严格认真地对待，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，因此在试验前需对整个试验工作作出规划。

规划阶段的第一步是反复研究试验目的，充分了解本项试验的具体任务，搜集有关资料，包括在这方面已有哪些理论假设，做过哪些试验，其试验方法及试验结果，存在问题等等。在以上工作的基础上确定试验的性质与规模。若为研究性试验，应提出本试验拟研究的主要参量以及这些参量在数值上的变动范围；试件组数；并根据实验室的设

备能力确定试件的大致尺寸和量测项目及量测要求；最后，提出试验大纲。试验大纲是指导整个试验的技术文件，它应包括下列内容：

(1) 试验目的。应写明试验的具体要求即通过本项试验预期得到哪些结果及规律以及为达到这些目的应进行哪几项试验、取得哪些资料（如荷载-挠度图、弯矩-曲率图、钢筋混凝土构件的开裂荷载、破坏荷载、构件的极限变形、设计荷载下的挠度曲线及最大应变等），列出与此相应的量测项目（见第四章结构试验举例）。

(2) 试件设计及制作要求。应有设计的依据，初步计算分析；最大承载力（根据实际的材料性能计算得出）；试件施工详图及试件编号。施工详图中应考虑支座及加载、量测等要求在试件内设置的预埋件。此外，还应提出对试件原材料、制作工艺、制作精度、养护条件等方面的要求。

(3) 试件的支承要求及加载方法。需附有较大比例的试件安装就位图，其中包括支座、加载装置和加载点的构造详图（见第四章结构试验举例）。仅当对这些作了详细的设计安排，试件的安装就位才得以顺利进行。此外，还需根据试验要求定出如图 1-5 所示的加载顺序图。

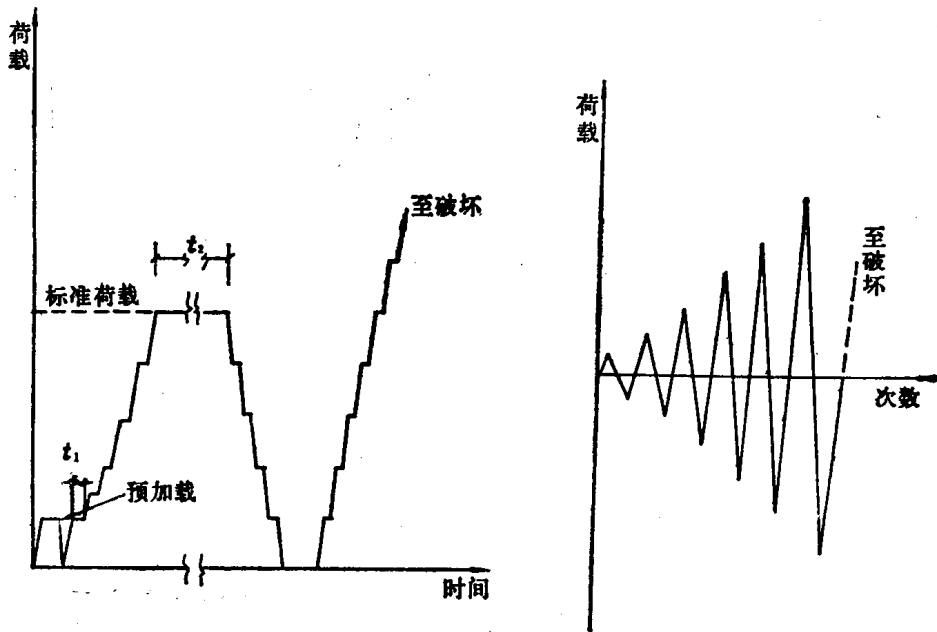


图 1-5 加载顺序图

(4) 量测要求。按比例绘出仪表布置图。其上应详细注明仪表的安装位置、仪表名称及编号，包括温度补偿仪表的布置（见第四章结构试验举例）。同时，需附有仪表布置及选用的理论分析依据。即使对有待验证计算方法的新结构，在布置及选用仪表前，也必须根据已有的力学知识对其内力分布情况及最大变形值作出估算，作为布置和选用仪表时的依据。不经计算盲目进行试验非但会使试验一无所获，还会导致设备仪表的严重毁坏。

还应列出试验前仪表的率定\*要求和试验时仪表的测读顺序。

(5) 安全措施。包括试验设备仪表及人身安全两部分。例如应注意预应力钢筋混凝土结构在临近破坏时锚、夹具弹出的危险性；对高的试件需要注意平面外失稳等问题。

(6) 试验人员的组织分工，试验进度计划。

(7) 经费预算及消耗性材料用量，试验设备仪表清单。

(8) 辅助试验内容。辅助试验主要是指测定试验结构的材料力学性能的试验。试件材料的实际强度及  $\sigma-\epsilon$  特性是选用加载设备和仪表时用以估算试件的承载能力和变形以及处理分析试验结果时必需的原始资料。应列出辅助试验的项目、方法，试样尺寸、数量及制作要求。

对以具体结构为对象的工程现场鉴定性试验，在试验规划阶段应收集和研究有关的技术文件，如设计原始资料、设计计算书、施工文件等，并对结构物进行实地考察以检查结构物的设计质量和施工质量。（必要时需作一定的辅助试验以确定结构材料的质量现状。）了解建筑物的使用情况包括受灾情况作为拟订试验方案、制订试验大纲的依据。工程现场鉴定性试验的规模往往较大，安全问题较多，组织工作复杂，因此更应重视试验的规划工作。

最后必须再一次强调，在制订试验大纲时，一定要对试验目的进行充分的研究，对试验对象作出初步的理论计算分析。未经计算分析，心中无底地提出设备、仪表的要求和进行试验的情况应该绝对避免。

## 2. 试验准备阶段

试验准备工作要占全部试验工作的大部分时间，工作量最重。试验准备工作的好坏直接影响到试验能否顺利进行和能获得试验结果的多少。有时由于准备工作上的疏忽大意会使试验只取得很少的结果，因此切勿低估准备工作阶段的复杂性和重要性。试验准备阶段的主要工作有：

(1) 试件的制作。试验研究者应亲自参加试件制作以便掌握有关试件质量的第一手资料。试件的尺寸要求比一般的构件严格，制作尺寸偏差应控制在 5% 以内。对于钢筋混凝土构件应特别注意钢箍的尺寸，它直接影响到截面计算高度  $h_0$  值。

在制作试件时还应注意材性试样的留取，试样必须真正代表试验结构的材性。不论是钢材还是混凝土，用作测定基本材性的试样必须严格地和试验结构取自同一批材料。钢材应和主筋取自同一盘或同一根材料；混凝土试样的混凝土应是和试验结构同一次搅拌的，如试验结构较大需几次配料搅拌，则每次配料搅拌都应留一组材性试样，并注明该混凝土所浇筑的结构部位。基本材性的测定对分析试验结果十分重要，在留取试样时必须严格细心。钢筋混凝土结构中钢筋的材性试样常常直接取一定长度的钢筋，不必加工成标准试样；混凝土试样一般用立方体和高宽比为 3 的棱柱体，其截面尺寸应和试验结构的截面尺寸相近。由于钢筋在结构中主要是抗拉，混凝土在结构中主要的作用是抗

\* 见第三章 § 3-3

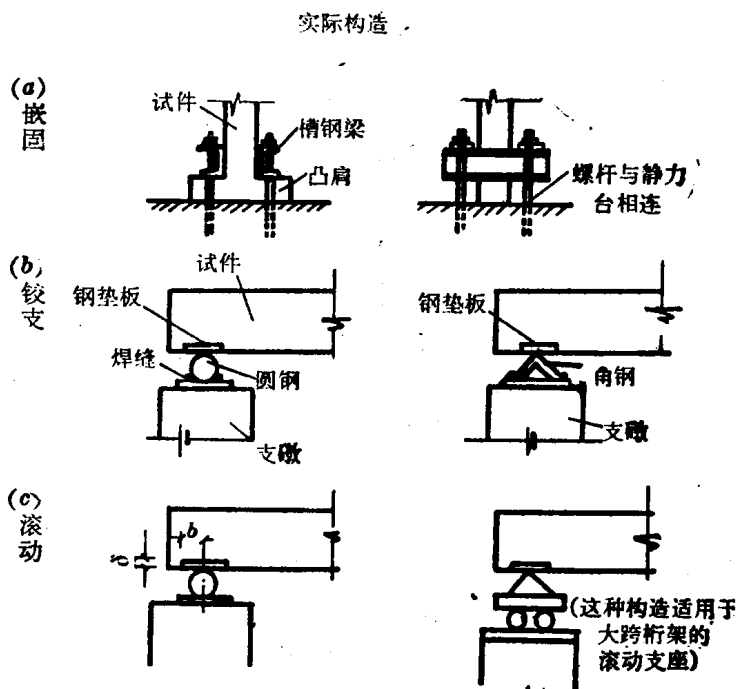
压，所以一般只测定钢筋的抗拉性能和混凝土的抗压性能，有特殊要求时才测定其抗拉的  $\sigma$ - $\epsilon$  特性。

当试件浇筑完毕或混凝土初凝后，应立即按试验大纲上规划的试件编号在试件上加 以标明，以免不同组别的试件互相混淆。

在制作试件过程中应作施工记录日志，注明试件浇筑日期、原材料情况，配比、振捣、养护情况、钢箍实际尺寸、保护层厚度、埋设件位置记录等。诸凡构件制作过程中的一切变动，均应详细如实记录。这些原始资料都是最后分析试验结果的主要参考资料。

(2) 试件尺寸及质量检查。包括试件尺寸和缺陷的检查，应作详细记录，纳入原始资料。

(3) 试件安装就位。试件的支承条件应力求与计算简图一致。图 1-6 为满足滚动、铰支和固端这三种支承条件的支座装置。一切支承零件均应进行强度验算并使其安全储备大于试验结构可能有的最大安全储备。用于铰支及滚动支座的滚轴可按下式进行强度验算：



$$\sigma = 0.42 \sqrt{\frac{PE}{rl}}$$

式中  $P$ ——支座反力； $r$ ——滚轴半径； $l$ ——滚轴长度； $E$ ——滚轴材料的弹性模量。

用于钢筋混凝土构件的支座垫板厚度  $\delta$  可按下式验算：

$$\delta = \sqrt{\frac{2Rb^2}{R_g}}$$

式中  $R$ ——试件的混凝土立方强度； $b$ ——滚轴中心线至垫板边缘的距离； $R_g$ ——垫板

材料的计算强度 (图 1-6c)。

对于支墩和地基也应作验算。如为土基应夯实, 最好能经过预压以减少试验过程中的沉降变形, 否则会严重影响挠度量测数据的精确度。

试件、支座装置、支墩和地面之间应紧密接触, 在试验过程中不允许松动, 一般以坐浆密缝处理 (图 1-7)。

安装线型构件时需保证构件只承受受力平面内的荷载, 对支座的平直度应严格要求。例如当需使构件在  $XZ$  平面内承受荷载时 (图 1-8), 应特别注意两端支座装置在  $y$  方向的平行度, 试件安装过程中需随时用吊锤检查试件的  $Z$  轴, 常常需用砂浆垫层来找准。最好的办法是支座构造除了在受力平面内满足计算图形所要求的铰支或滚动支座外, 在垂直于受力平面方向允许有一些调节的可能性如图 1-9 所示。

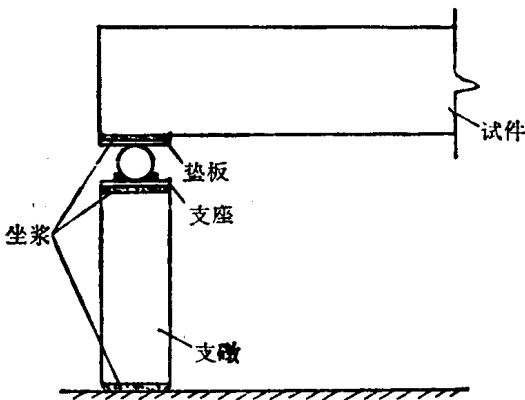


图 1-7 支座坐浆密缝

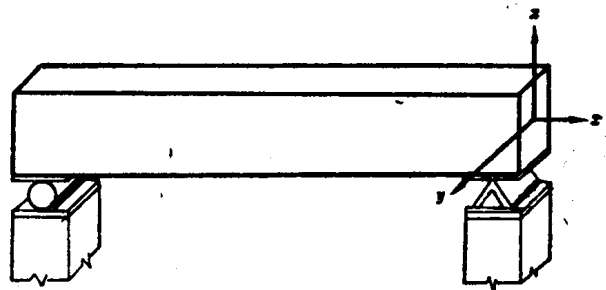


图 1-8 线型试件安装要求

超静定结构的支座标高应特别精确, 否则将引起内力重分布。

对于板、壳类结构, 在垂直荷载作用下, 支承点在水平面内应允许两个方向的变形, 图 1-10 为常用的四点支承和四边简支的支座构造。可移动铰应设计成滚珠或双层滚轴。

对于四边支承结构, 还应注意由于能在两个方向自由移动连续支座在构造上还有困难, 常以多点支承代替四边连续支承。这对于板壳结构的边缘应力有一定影响。为此, 要求两个相邻支承间距  $a$  不大于板壳结构的边缘高度 (一般为厚度的 3~5 倍); 此外还需注意四边支承板在加均布荷载时, 四角有翘起。如不采取措施, 将对应力分布等试验结果有影响。

板壳结构为超静定结构, 内力分布与支承位置和不均匀沉降有关, 特别对四边支承的情况, 应使各支承点有可调节高度的装置或将球座下的支承钢板饱满填砂浆, 趁砂浆未干前将板壳就位, 利用试件自重压实找平。但为使构件保持确切的高度, 应事先固定三个球座的高低位置。

根据试验条件及需要, 不一定都做正位 (结构的实际工作位置状态) 试验。对大型

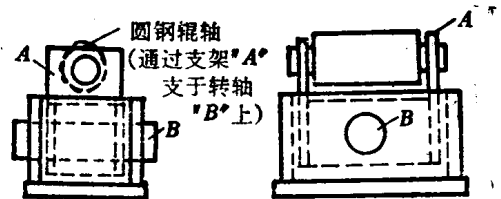
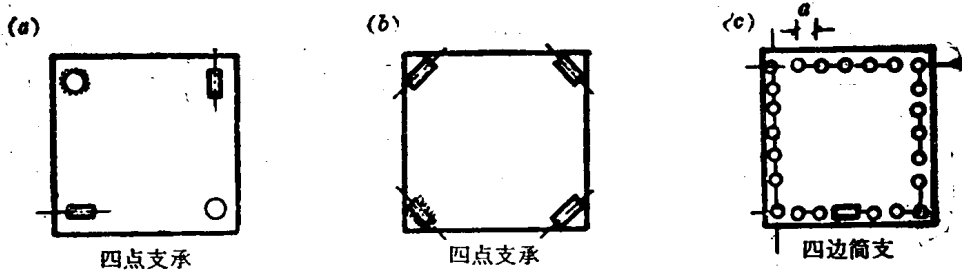


图 1-9 双向滚轴支承



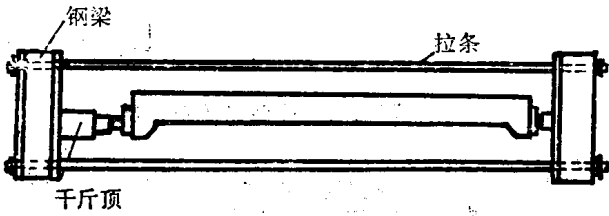
符号

- 不可移动圆球
- 可滚动球
- ▨ 不可移动滚轴
- 可滚圆轴

图 1-10 板壳试验的支座布置

结构，尤其是较高的柱、梁常常做卧位试验（图 1-11），卧位试验对于试件的吊装就位、加载、量测仪表的安装、试验现象的观察都比正位试验方便。对于钢筋混凝土梁、板，为便于观察裂缝，也常常采用反位试验（图 1-12）。卧位试验和反位试验时，都需注意自重引起的内力、变形和结构实际工作位置时的不同。

(a) 长柱的卧位试验



(b) 电杆的卧位试验

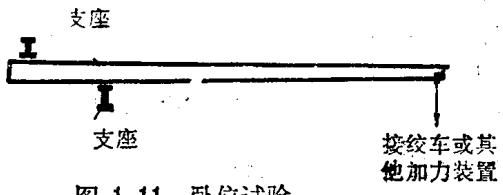


图 1-11 卧位试验

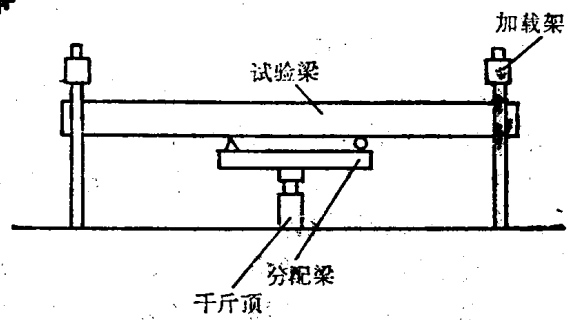


图 1-12 反位试验

(4) 安装加载设备。

(5) 设备仪表的率定。对测力计及一切量测仪表均应按技术规定进行率定。各仪表的率定记录应纳入试验原始记录中。误差超过规定标准的仪表不得使用。

(6) 作辅助试验。辅助试验多半在加载试验阶段之前进行，以取得试件材料的实际强度数据，便于对加载设备和仪表量程等作进一步的验算。但对一些试验周期较长的大型结构试验或试件组别很多的系统试验，为使材性试件和试验结构的龄期尽可能一致，辅助试验也常常和正式试验同时穿插进行。

(7) 仪表安装、连线、试调。仪表的安装位置、测点号,在应变仪或记录仪上的通道号等等都应严格按照试验大纲中的仪表布置图实施,如有变动,应立即作记录以免时间长久后回忆不清将测点互相混淆。这会使结果分析十分困难,甚至最后只好放弃这些混淆的测点数据,造成不可挽回的损失。

(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,其内容及规格应周到详细地反映试件和试验条件的详细情况及需要记录和量测的内容。记录表格的设计反映试验组织者的技术水平,切勿养成试验前无准备地在现场临时用白纸记录的习惯。记录不周到可能给以后的数据分析带来很大的困难甚至使整个试验无效。为了明确责任,记录表格上应有试验人员的签名并附有试验日期、时间、地点和气候条件。

(9) 算出各加载阶段试验结构各特征部位的内力及变形值以备在试验时进行判断及控制。

### 3. 加载试验阶段

加载试验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作比较,发现有反常情况时应查明原因或故障,待问题弄清楚后才能继续加载。

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宝贵资料,对节点的松动与异常变形,钢筋混凝土结构裂缝的出现和发展,特别是结构的破坏情况都应作详尽的记录及描述。这些往往易被初作试验者忽略而在试验时将全部注意力集中到仪表读数及记录曲线上,因此应分配专人负责观察结构的外观变化。

试件破坏后要拍照和测绘破坏部位及裂缝,必要时,从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实时查用。

在准备工作阶段和试验阶段应每天记工作日志。

### 4. 试验资料整理分析和总结阶段

试验资料的整理分析包括两部分工作。第一部分是将所有的原始资料整理完善,其中特别要注意的是试验量测数据记录及记录曲线作为原始数据经负责记录人员签名后,不得随便涂改,以后经过处理后得到的数据不能和原始数据列在同一表格内。一个严格的科学实验,应有一份详尽的原始数据记录,连同试验过程中的观察记录,试验大纲及试验过程中各阶段的工作日志,作为原始资料,在有关的试验室内存档。第二部分是进行数据处理。因为从各个仪表获得的量测数据和记录曲线一般不能直接解答试验任务所提出的问题,它们只是试验的原始数据,必需对这些原始数据进行种种运算处理,才能得出试验结果。

最后,应对试验得出的规律和一些重要现象作出解释,将试验结果和理论值进行比较,分析产生差异的原因并作出结论,写出试验总结报告。总结报告中应提出试验中发现的新问题及进一步的研究计划。



## 第二章 试验荷载

### § 2-1 试验荷载

结构物上承受的各种外荷载大致可归纳为静荷载和动荷载两类。此外，温度和地基不均匀沉降也是引起结构内力的外界因素。根据不同的试验目的，进行结构试验时，应在试验对象上再现要求的荷载。也可以说，试验加载方式直接关系到试验目的和试验性质。

对于结构的强度，刚度，稳定等问题的研究试验及鉴定性试验，常常只加静荷载，而且是短期作用的静荷载。在试验前，除需确定荷载类型（水平、垂直；集中、均布；……）、加载位置、破坏荷载值以及是否加至破坏荷载等问题外，还需确定加载顺序，常以加载顺序图表示(图 1-5)。静力试验的加载顺序一般分为三个阶段：预加载阶段，标准荷载阶段和破坏荷载阶段。预加载的目的是检验各试验装置及量测仪表的工作是否正常，同时还可使一些试验结构的节点等部位接触密实进入工作状态。结构承受标准荷载是结构的工作状态，为弥补在试验中以短期荷载代替实际长期荷载之不足，要求试验结构在标准荷载下停留较长的时间以使结构的变形得到充分发展。各类试验结构在标准荷载下要求停留的时间  $t_2$  为：

钢结构	≤ 30 分钟
钢筋混凝土结构	≤ 12 小时
预应力混凝土结构	
在开裂荷载下	≤ 12 小时
木结构	≤ 24 小时
砖石及混凝土结构	
	≤ 72 小时

考虑到观察、测读仪表和分析数据的需要，常采用分级加载的方法对结构施加荷载，每级荷载值约为 (10~20)% 的标准荷载。

对于钢筋混凝土结构，预加载的数值一般为 1~2 级荷载值，以不超过结构的开裂荷载

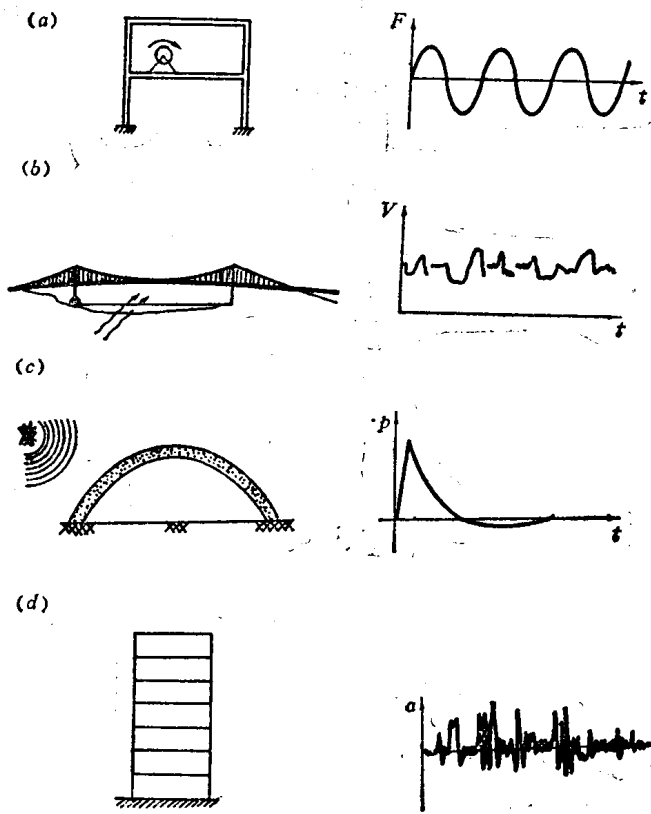


图 2-1 作用在结构物上的几种动荷载