

GONGCHENG JIEGOU SHIYAN

赵顺波 靳彩 赵瑜 李风兰 编

# 工程 结构试验



黄河水利出版社



# 工 程 结 构 试 验

赵顺波 靳彩 赵瑜 李风兰 编

黄河水利出版社

## 内 容 提 要

本书为土木工程专业《工程结构试验》课程的试用教材。全书共五章,分别讲述工程结构试验的分类及一般过程,结构静载试验、动载试验、模型试验的方法,已建结构物(混凝土结构、砌体结构、钢结构、地基与基础)的无损检验方法与可靠性鉴定和评定方法等,各章后均附有相应的思考题或试验实习题供教学使用。本书除作为在校生试用教材外,还可作为从事工程结构试验的工程技术人员参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程结构试验/赵顺波,靳彩,赵瑜,李风兰编.  
—郑州:黄河水利出版社,2001.4  
ISBN 7-80621-475-5

I.工… II.①赵… ②靳… ③赵… ④李…  
III.工程结构-试验-高等学校-教材 IV.TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 09553 号

---

责任编辑:武会先 邵志峰  
责任校对:裴 惠

封面设计:谢 萍  
责任印制:常红昕

---

出版发行:黄河水利出版社  
地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮编:450003  
发行部电话:(0371)6302620 传真:(0371)6302219  
E-mail:yrp@public2.zz.ha.cn  
印 刷:黄河水利委员会印刷厂

---

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16  
版 次:2001 年 4 月 第 1 版  
印 次:2001 年 4 月 郑州第 1 次印刷

印 张:13.625  
印 数:1—2 000  
字 数:315 千字

---

定 价:22.00 元

# 前 言

《工程结构试验》是土木工程专业的一门基础课程。通过本课程的学习,要使学生具备能够规划并动手进行一般的结构试验研究或已有工程结构检验的能力,以及根据试验结果作出正确的分析和结论的能力。

全书共五章,讲述了工程结构试验的分类及一般过程,结构静载试验(拟静力和拟动力试验)的加载设备、测试仪器、一般结构的试验方法、研究结构抗震性能的静载试验方法及静力试验数据处理方法,结构动载试验的加载设备、测试仪器、主振源的探测方法、结构动力特性和动力反应的试验方法、结构疲劳试验及动力试验数据处理方法,结构模型试验的相似理论、模型设计的静力相似和动力相似,已建结构物(混凝土结构、砌体结构、钢结构、地基与基础)的无损检验方法与可靠性鉴定与评定方法等,各章附有相应的思考题或试验实习题供教学使用。本书除作为在校生试用教材外,还可作为从事工程结构试验的工程技术人员参考用书。

在本书的编写过程中,注意做到每章内容完整、系统有序和循序渐进,在关键教学环节,安排了适当的试验实习,使课堂学习内容通过动手试验得以加强。本书内容力求遵循现行有关国家和行业规范标准的规定,使学有所用,增强实效。

本书由华北水利水电学院赵顺波(第一章、第四章)、靳彩(第三章,第五章第五至九节)、赵瑜(第二章第一至六节,附录)、李风兰(第二章第七节,第五章第一至四节)编写,全书由赵顺波统稿审定。

本书在编写过程中参考了国内同行的论文资料、著作和教材,也参考了试验设备生产厂家的有关使用说明书,在此谨致谢忱。尽管编者长期从事工程结构试验研究工作,但由于编写时间仓促及水平所限,书中难免存在缺点和错误,恳请读者批评指正,以便再版时加以订正。

编 者

2001年2月

# 目 录

## 前言

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| <b>第一章 绪论</b> .....             | (1)   |
| 第一节 概述.....                     | (1)   |
| 第二节 结构试验的一般过程.....              | (2)   |
| <b>第二章 结构静载试验</b> .....         | (5)   |
| 第一节 概述.....                     | (5)   |
| 第二节 静载试验的荷载系统.....              | (5)   |
| 第三节 静载试验的量测仪器.....              | (15)  |
| 第四节 一般结构的静载试验方法.....            | (43)  |
| 第五节 结构抗震性能的静载试验.....            | (50)  |
| 第六节 静载试验的数据处理.....              | (56)  |
| 第七节 静载试验实习.....                 | (78)  |
| <b>第三章 结构动载试验</b> .....         | (90)  |
| 第一节 概述.....                     | (90)  |
| 第二节 动载试验的量测仪器.....              | (90)  |
| 第三节 动载试验的加载方法与设备.....           | (97)  |
| 第四节 动载特性的试验测定.....              | (102) |
| 第五节 结构动力特性的试验测定.....            | (104) |
| 第六节 结构动力反应的试验测定.....            | (109) |
| 第七节 结构疲劳试验.....                 | (112) |
| 第八节 动力试验的数据处理.....              | (114) |
| 第九节 动力试验实习.....                 | (126) |
| <b>第四章 模型试验</b> .....           | (132) |
| 第一节 概述.....                     | (132) |
| 第二节 模型试验理论基础.....               | (133) |
| 第三节 模型设计.....                   | (138) |
| 第四节 钢筋混凝土渡槽模型试验简介.....          | (141) |
| <b>第五章 已建结构物的检验与可靠性评定</b> ..... | (149) |
| 第一节 概述.....                     | (149) |
| 第二节 已建结构物鉴定方法与检验程序.....         | (150) |
| 第三节 混凝土结构的检测与评定.....            | (157) |
| 第四节 砌体结构的检测与评定.....             | (179) |
| 第五节 钢结构的检测与评定.....              | (188) |

|      |                     |       |
|------|---------------------|-------|
| 第六节  | 已建结构的其他非破损检测方法..... | (193) |
| 第七节  | 地基基础的检验与评定.....     | (197) |
| 第八节  | 已建结构物的耐久性评定.....    | (200) |
| 第九节  | 已建结构物的综合评定.....     | (204) |
| 附录   | .....               | (208) |
| 参考文献 | .....               | (212) |

# 第一章 绪 论

## 第一节 概 述

理论的预言需要实践的检验来证实。对工程结构而言,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,乃至建立复杂结构体系的计算理论,都离不开试验研究。因此,工程结构试验与检测是研究和发展结构计算理论的重要实践。钢筋混凝土结构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。近年来,由于计算方法的发展、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惟一途径。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性能、徐变性能以及钢结构的疲劳、稳定问题方面。

《工程结构试验》作为土木工程专业的一门基础课程,与材料力学、结构力学、混凝土结构、砌体结构、钢结构等课程直接有关,并涉及物理学、机械与电子测量技术、数理统计分析等内容。因此,学好本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。通过本课程的学习,要使学生达到能够规划并动手进行一般的结构试验研究或已有工程结构检验的能力,以及根据试验结果作出正确的分析和结论的能力等目的。

在实际工作中,根据不同的试验目的,结构试验一般分为科学研究性试验(简称科研性试验)和生产鉴定性试验(简称鉴定性试验)两大类。

### 一、科研性试验

科研性试验以科学研究和创造发明为目的,用以验证各种科学判断、推理、假设和概念的正确性,验证结构计算理论并为设计提供依据。

作为科研性试验对象的试件或试验结构,是专门为研究某种性能而设计制作的,它不一定是具体工程的材料或结构模型,但反映了某类问题的实质。在试验设计时要经过仔细分析,突出研究的主要因素而忽略次要因素。

新型建筑材料的工程应用、新结构的设计、施工工艺的改进往往需要通过多次的科学试验和工程实践才能使理论不断完善,科学试验取得的研究成果也成为这些理论不断完善发展的基础。现代建筑材料、结构形式和施工工艺的创造和工程应用,如轻质、高强、高效能材料的工程应用;高效预应力混凝土结构,薄壳、悬索、网架等大跨度结构,高层和超高层建筑结构的工程实践;用于核电站耐高温、高压的预应力混凝土高压容器及海洋石油开发工作平台等新型特种结构的应用;大板、升板、滑模、大模板、砌块等施工工艺,由于技术的复杂程度不断增大,更与科学试验息息相关。

工程结构材料的应用、结构设计、施工工艺必须按试验方法标准、设计标准、施工验收

标准等进行,才能对工程质量进行有效控制。因此,围绕这些标准的制定,总结工程实践经验,开展长期的、系统的科学试验研究工作,成为科研性试验的一大特点。

## 二、鉴定性试验

鉴定性试验以直接服务于生产为目的,以具体工程材料或真实结构为对象。通过试验研究,作出技术结论。鉴定性试验常用来解决下述几方面的问题:

对一些重要结构或采用新计算理论、新材料或新工艺的结构,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度。

对一些在计算理论上没有太大问题的结构,由于一些特殊原因,如对已建结构扩建加层或使用条件变化增加使用荷载而改变其工作条件,因建造过程中混凝土强度不足、施工质量事故等产生严重缺陷损坏,使用过程中遭受地震、火灾、爆炸等灾害,需要通过试验进行性能鉴定,了解其实际承载能力并提出技术处理意见。

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。

## 第二节 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、试验加载测试以及试验资料整理分析与总结四个阶段。

### 一、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做出规划,编写完整的试验工作大纲,一般包括下列内容。

#### 1. 调查研究及试验总结

要做好调查研究和有关资料的收集工作,充分了解试验的具体任务和目的,以便确定试验的性质和规模,试验的形式、数量和种类,防止盲目追求试验次数多、规模大、观测内容多、仪表数量多和不切实际地提高量测精度等造成的不必要的浪费,正确地进行试验设计。

对于科研性试验,主要是针对试验目的,进行相关文献资料的检索,总结相关的理论分析和试验研究成果、存在问题等。在以上工作的基础上确定试验的规模、试验方法和可行的研究技术路线。

对于鉴定性试验,主要是向有关设计、施工和使用单位或人员调查有关试验项目的设计图纸、计算书和设计依据、施工记录、材料性能试验报告、隐蔽工程验收记录、使用历史(年限、过程、荷载情况等)、事故过程等,并对结构物进行实地考察,增强对所鉴定结构的设计质量和施工质量的宏观认识。在以上工作的基础上,通过初步理论分析,找出研究的主要因素,确定试验方法和可行的鉴定工作技术路线。

#### 2. 试件设计及制作要求

科研性试验应包括设计依据、理论分析和计算、试件的规格和数量、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。鉴定性试验数量应按结构或材质的变异性与研究项目间的相关条件,按数理统计规律确定,宜少不宜多。

### 3. 试件的安装与就位

包括试件就位的形式、支承装置、边界条件模拟、安装就位的方法和机具等。

### 4. 加载方法与设备

包括荷载种类和数量、荷载图式、加载设备与装置、加载制度等。

### 5. 量测要求

包括观测项目、测点布置、仪表的选择与标定、仪表布置图(安装位置、仪表名称及编号)及安装方法、量测顺序规定和补偿仪表的设置等。在布置及选用仪表前,应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,作为布置及选用仪表的依据。应根据试验目的和量测项目等制定观测记录表格。

### 6. 辅助试验

结构的试验往往要伴随一些辅助试验,如材料性能和某些探索性小试件或小模型、节点试验等。这些辅助试验是估算试件承载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和方法、试样尺寸与数量及制作要求等。

### 7. 安全措施

包括试验设备仪表的安全及人身的安全。例如,应注意预应力混凝土结构锚、夹具弹出的危险性,高试件的平面外失稳等。对以具体结构为对象的工程现场鉴定性试验,其规模往往较大,安全问题较多,更应加以高度重视。

### 8. 试验进度计划

包括试验中各组成步骤、分项工作的进度安排,是保证试验按预定工期完成的必要措施。

### 9. 试验组织管理

一个试验特别是大型试验,参加人员多,牵涉面广,必须严密组织,加强管理,做到人员分工明确,确保试验资料记录完整准确、试验工作按预定计划进行。

## 二、试验准备阶段

试验准备阶段是将规划阶段确定的试件按要求制作、安装与就位,将加载设备和测试仪表安装就位,并完成辅助试验工作。试件制作完毕后,要进行实际几何尺寸的测量和外观质量检查,达到设计要求的才可进行安装就位。加载设备和测试仪表安装就位前,应完成相应的设备调试与仪表标定工作,性能正常的才可正式安装。成套设备和仪表安装就位后,要进行相应的连线、联机调试工作。

辅助试验完成后,要及时整理试验结果并作为结构试验的原始数据,对试验规划阶段确定的加载制度控制指标进行必要的修正。

填制详细的加载制度表格,准备各种记录表格。

### 三、试验加载测试阶段

按试验规划阶段和试验准备阶段确定的加载制度进行正式加载试验,填写各量测仪表的测试结果。

### 四、试验资料整理分析和总结阶段

按试验的目的和要求,对试验原始资料进行归类整理;结合理论分析模式,对试验数据进行分析处理;编制试验研究报告。

## 第二章 结构静载试验

### 第一节 概 述

结构静载试验是用物理力学方法,测定研究结构在静荷载作用下的反应,分析结构的受力工作状态,评定结构的可靠程度。结构静载试验方法的应用,揭示了许多结构的受力机理,有效地促进了结构理论的发展与新型材料和结构的出现。在科学技术高度发达的今天,尽管各种各样的结构分析方法不断涌现,动载试验也越来越受到重视,但静载试验分析方法在结构的研究中仍起着主导作用,成为基准试验方法。

工程结构要承受其上的各种直接作用与间接作用。其主要功能是承受直接作用。因此,研究结构承受直接作用的特征是结构试验与分析的主要目的。在结构的直接作用中,经常起主导作用的是静荷载,于是,静载试验也就被置于常规试验中。当然,静载试验相对动载试验,技术与设备都比较简单,容易实现,这也是静载试验被经常应用的原因之一。

为了研究结构的抗震性能,有效地进行抗震设防,目前常采用低周反复试验(又称拟静力试验)和计算机—电液伺服试验机联机试验(又称拟动力试验)方法,但就其方法的实质来说,仍为静载试验。利用大型振动台进行结构抗震性能试验,虽然能提供结构比较接近于实际的震害现象与数据,但它存在着许多方面的局限性,如台面承载力小、试验费用高、技术比较复杂等。相对来说,采用拟静力或拟动力试验的方法,方法简单,耗资小,出力又比较大,可以对许多足尺结构或大模型进行静力和抗震性能试验,目前国内外大多数规范的抗震条文都是以这些方法的试验结果为依据的。因此,静载试验方法就不仅能为结构静力分析提供依据,同时也可在某些动力分析提供依据,所以说静载试验方法是结构试验的基本方法。这样,不仅推动了静载试验方法的不断发展与完善,而且试验设备、量测仪表、数据采集与处理技术等方面也有长足进步。

本章主要讨论结构和构件的静载试验原理、内容和方法,包括低周反复荷载作用和拟动力作用的抗震试验等。结构试验和结构检验本质上没有区别,只是试验目的、深入程度上有所差异,两者都是静载试验的重要组成部分。因此,这里的基本原理和方法也适用于已建结构的检测。

### 第二节 静载试验的荷载系统

静载试验的荷载系统是指荷载及其加载设备组成的系统。试验的目的不同,加载方法也就不同,对荷载系统的要求也不一样,但无论采用何种荷载系统模拟荷载作用,都必须满足以下基本要求:

- (1)试验荷载的作用,应使被试验结构、构件的工作条件与实际一致,保证截面或部位

产生的内力与设计计算等效。

(2)产生的荷载值应当明确,满足试验的准确度,荷载值应能保持相对稳定,不会随时间、环境条件的改变和结构的变形而变化,荷载量的相对误差保证不超过 $\pm 5\%$ 。

(3)加载装置应有足够的强度、刚度和稳定性,并有足够的储备,保证使用安全可靠。

(4)荷载分级值应能满足精度要求。应能方便调节和分级加(卸)载,控制加(卸)载速率。

(5)尽量采用先进技术,提高试验效率和精度。

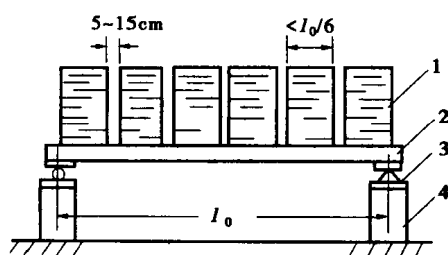


图 2-1 重物对板加均布荷载

1—重物;2—试验板;3—支座;4—支墩

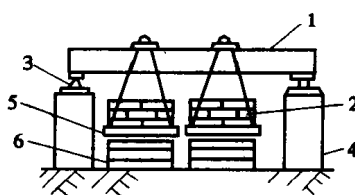


图 2-2 重物加集中荷载

1—试件;2—重物;3—支座;  
4—支墩;5—荷载盘;6—垫块

## 一、重力荷载系统

重力荷载系统是由重物和加载设备组成的系统。

重物常用的有铁块、混凝土块、砖、水、沙石,甚至废构件等。重物可以有规则地放置于结构上,作为均布荷载(图 2-1),也可以通过荷载盘、箱子、纤维袋等加集中荷载(图 2-2)。

利用杠杆加载比单纯重物加载省工省时,但杠杆应有足够刚度,杠杆比一般不宜大于 5。三个支点应在同一直线上,避免杠杆放大比例失真,保证荷载稳定、准确。现场试验,杠杆反力支点可用重物、桩基础、墙洞或反弯梁等支承,如图 2-3 所示。

为了方便加载和分级,并尽可能减小加载时的冲击力,重物的块(件)重一般不宜大于 25kg,并不超过加载面积上荷载标准值的 1/10,保证分级精度及均匀分布。随机抽取 20 块检查,若每块误差不超过平均重的 $\pm 5\%$ 时,荷载值可按平均重计算。吸水性大的重物必须干燥,保持恒重,使用中应有防雨措施。重物排列于结构上作为均布荷载时,应分垛堆放,垛

间保持 5~15cm 的间隙(图 2-1),垛宽应小于计算跨度的 1/6;散粒状重物应装成袋或装入放在试件上面不带底的箱子中,箱子沿试件跨度方向不得少于两个,箱子间距不小于 25cm,避免荷载起拱而影响结构工作。

水直接用做均布荷载时,水中不能有杂物,可用水柱高度计算、控制荷载值,如图 2-4 所示。当结构变形大时,应注意水荷载的不均匀性所产生的影响。

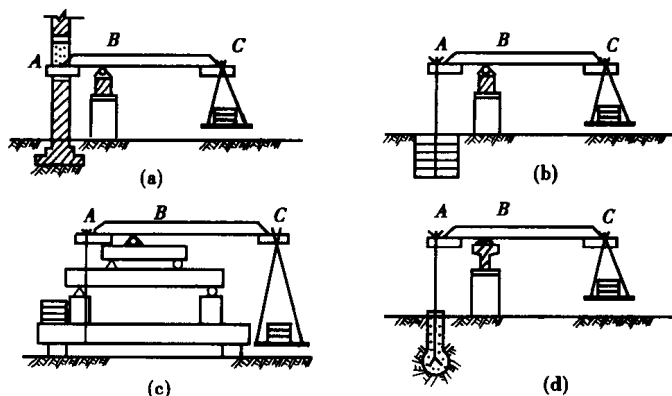


图 2-3 现场试验杠杆加载的支承方法

(a)墙洞支承;(b)重物支承;(c)反弯梁支承;(d)桩支承

对于桥梁结构静载试验,常以载重汽车装载混凝土块或砂石料组成重力荷载系统。

用重物加载的优点是设备简单,取材方便,荷载恒定。缺点是荷载量不能很大,操作笨重。当进行破坏试验时,因不能自动卸载,应特别注意安全,一般在试件底部或荷载盘底下,加可调节的托架或垫块,并随时与试件或盘底保持 5cm 左右间隙(图 2-2),以备破坏时托住,防止倒塌造成事故。

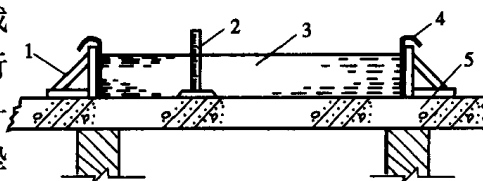


图 2-4 水作为均布荷载

1-侧向支承;2-标尺;3-水;  
4-防水胶布或塑料布;5-试件

## 二、液压荷载系统

液压荷载系统是结构试验中最常用的加载系统,它由油泵、液压加载器、控制台和加载架等组成。

### (一) 液压加载器加载系统

#### 1. 加载系统的组成

液压加载器加载系统主要由液压加载器(千斤顶)、油泵、阀门等用油管连接起来,配以测力计和支承机构组成。图 2-5 所示即为一个常用加垂直荷载的装置形式。

在油泵出口接上分油器,可组成一个油源供多个加载器同步工作系统,适应多点同步加载要求。分油器出口再接上减压阀,则可组成同步异荷加载系统,满足多点同步异荷加载需要。图 2-6 为组成原理图之一。

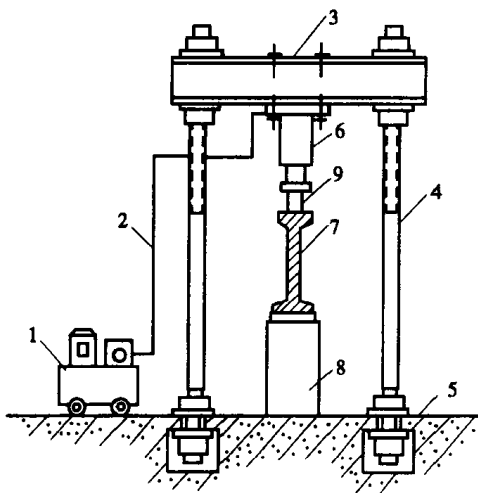


图 2-5 单点液压系统加载装置

1-油泵;2-油管;3-横梁;4-立柱;  
5-台座;6-加载器;7-试件;8-支墩;  
9-测力计

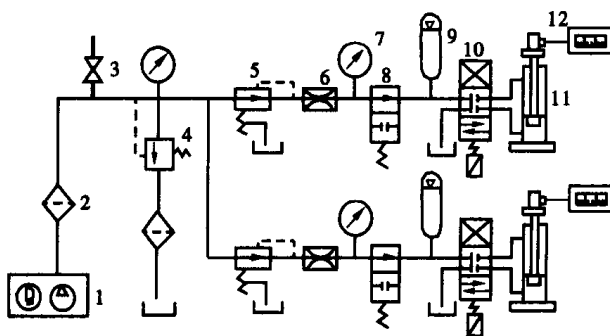


图 2-6 同步液压加载系统图

1-高压油泵;2-滤油器;3-截止阀;4-溢流阀;  
5-减压阀;6-节流阀;7-压力表;8-电磁阀;  
9-蓄能器;10-电磁阀;11-加载器;12-测力器

#### 2. 加载器

常用的加载器有三种:双油路加载器、间隙密封加载器和双作用加载器,如图 2-7 所示。

(1)双油路加载器。又称同步液压千斤顶,其中,上油路用来回缩活塞,下油路用来加荷。这种千斤顶自重轻,加卸载方便,稳定性好,但活塞与油缸的摩阻力较大。

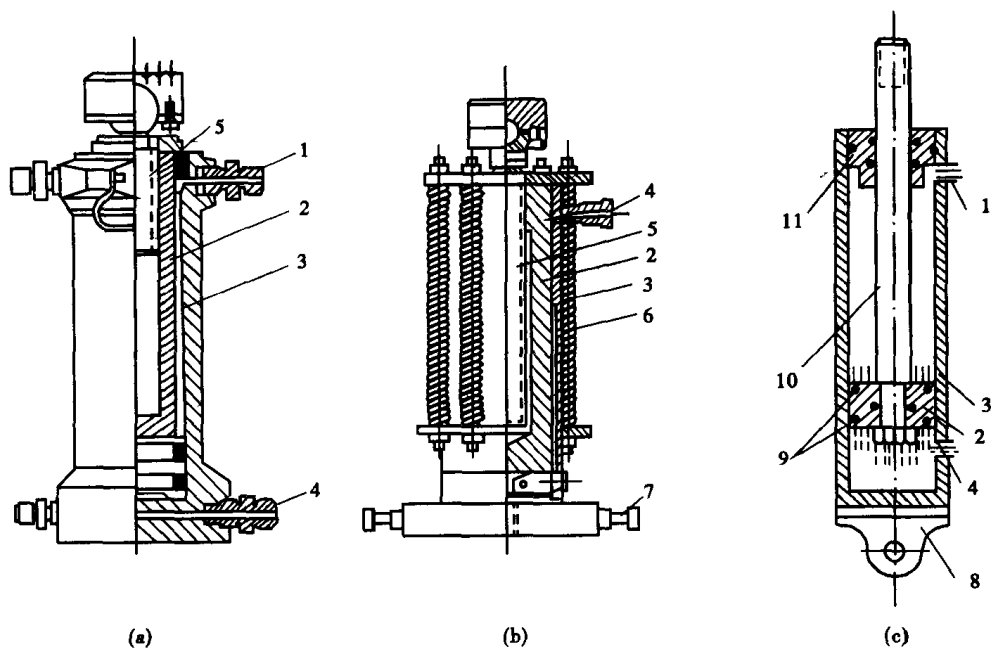


图 2-7 液压加载器

(a)双油路加载器;(b)间隙密封加载器;(c)双作用加载器

1-回油管接头;2-活塞;3-油缸;4-进油管接头;5-丝杆;6-拉簧;

7-吊杆;8-固定环;9-密封圈;10-活塞杆;11-端盖

(2)间隙密封加载器。它是靠弹簧进行活塞复位的千斤顶,与油缸的摩阻力比双油路千斤顶要小,使用稳定,但加工精度要求高。

(3)双作用加载器。又称双作用千斤顶,由进出油口使活塞杆伸出或压缩,在一个方向上对结构施加拉力或压力。

试验中,同一系统的加载器要规格一致,活塞与缸体摩阻力相同,放置高差不超过5m,才能保证荷载同步。加载器最大加载能力和行程宜分别大于试验荷载和加载点可能产生的位移量。

荷载值可用测力计、荷载传感器或压力表测定。用压力表时,应整个系统率定后使用,避免油路摩阻力的影响。

### 3. 支承机构

支承机构常由台座或反力墙和加载架等组成,要求有足够大的强度及刚度。

加载架常用丝杠或型钢制成,固定于试验台座,其形式和构造取决于被试验结构及加载方式。图 2-5 给出了垂直荷载施加装置图,其中,横梁可沿立柱上下调节。水平荷载可用钢三角架锚固在试验台座上支承,如图 2-8。当用一个加载器施加两点或两点以上荷载时,常通过分配梁实现,如图 2-9。分配梁应为单跨简支形式,刚度足够大,重量尽量小,配置不宜超过两层,以免使用中失稳或引进误差。

(1)试验台座支承机构。试验台座为 1m 以上至几米厚的劲性钢筋混凝土结构,台面形式现有槽道式、地锚式、孔洞式和以上某几种相组合的形式。槽道式(图 2-5),对加载架的固定调节较为方便,但应注意加载架在试验中可能松动滑移;地锚式虽无滑移可能,

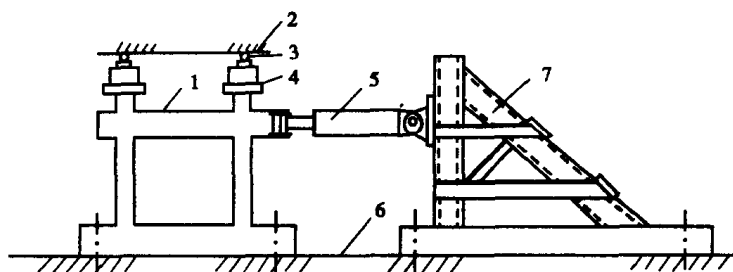


图 2-8 三角形反力架支承装置

1—试件；2—承力架横梁；3—滚轴；4—千斤顶；5—推拉加载器；6—试验台座；7—三角形反力架

动、静试验均可使用,但加载点调节灵活性较差,常需另加横梁调整;孔洞式使用类似地锚式,但台面下有地下室,通常可放置动力源系统,使台面有较好的工作面。

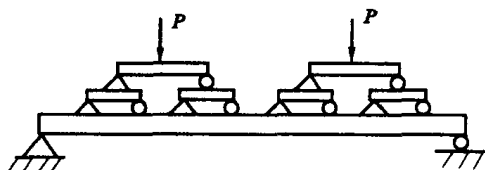


图 2-9 分配梁加载

(2)反力墙支承机构。施加水平力或低周反复荷载(用双作用千斤顶进行)时,常用与台座连成 L 形刚度很大的反力墙支承机构,如图 2-10 所示。墙上留有許多安装加载器的孔洞,加载器直接固定在反力墙上对试验结构施加水平反复荷载。若施加两个方向的水平力,可布置双向反力墙进行,再配以加载架可进行三向受力试验。

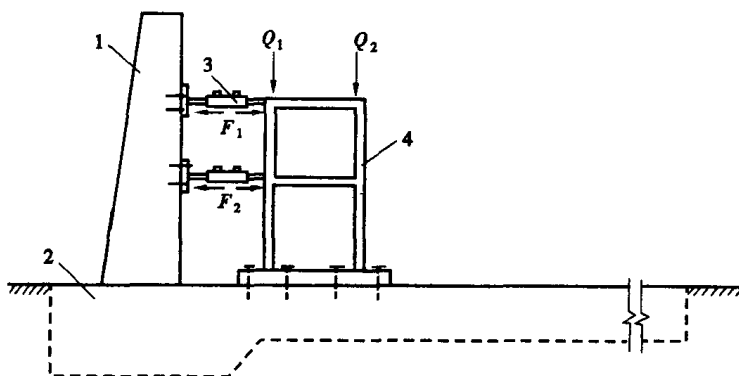


图 2-10 双向反复加载试验装置

1—反力墙；2—试验台座；3—推拉加载器；4—试件

(3)无专用台座支承机构。无专用台座时,也可采用重物平衡支承、反弯梁支承或构件成对自平衡卧位试验等方式,如图 2-11 所示。一次性试验,锚固物体的重力不应小于试验最大拔力的 1.5 倍。卧位试验,应注意结构自重方向改变所带来的影响及摩阻力对试件变形的约束作用。摩阻力常垫以滚轴或滚动平车来克服。

## (二)试验机加载系统

试验机加载系统是把承力架、机座和加载器等组成工作单元,其余部分组成操纵单元,两部分用油管连接起来而形成的(图 2-12)。其优点是使用方便,试验精度高。

结构静载试验常用的液压试验机,如万能材料试验机、压力试验机、刚性压力试验机、三轴应力试验机等,可做尺寸较小的构件试验。用于尺寸较大结构构件试验的则有长柱

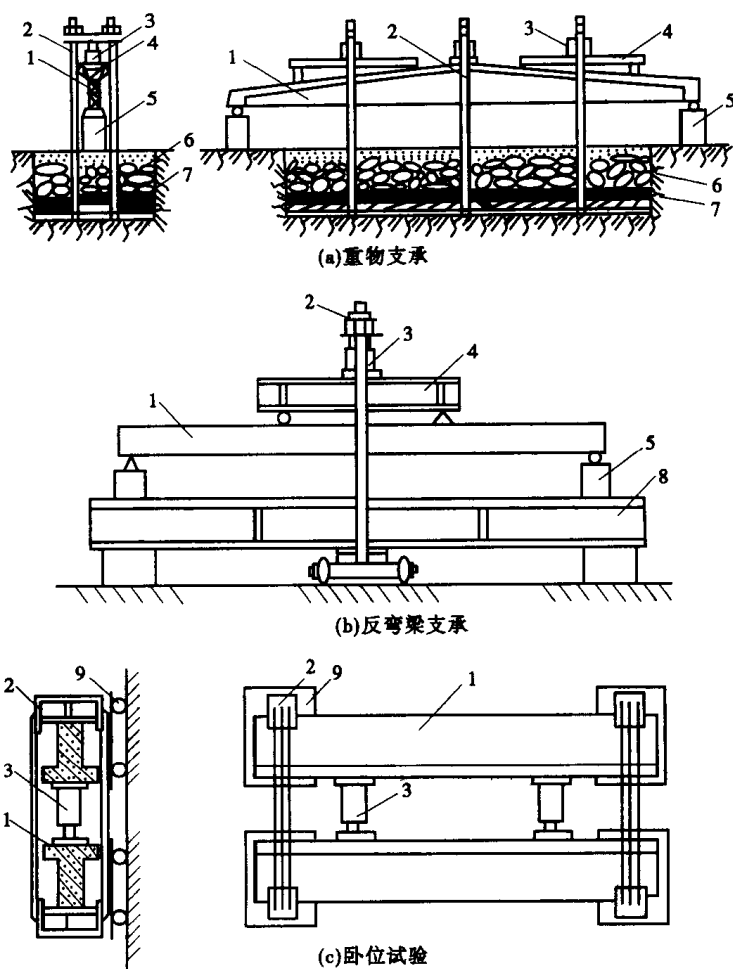


图 2-11 非台座支承方式

1-试件;2-承力架;3-加载器;4-分配梁;5-支墩;6-平衡重物;7-支承底板;8-反弯梁;9-滚动机构

试验机和卧式万能试验机。前者净空有 5m、10m,最大加载能力有 5 000kN、10 000kN 等,能进行长柱试验,也可做抗弯试验;后者可做构件、绳索、链条等的拉、压、弯的卧式试验和极低频往复加载。

### (三)特殊加载系统

对于某些构件或结构试验,还常用一些专门的支承机构,如对隧道模型、箱形结构或桁架节点的试验采用加载框等,见图 2-13。

对于受均布或非均布连续荷载作用的结构,如板或渡槽等,试验加载方法比较复杂。加载器一般不直接对结构加载,而通过钢制平板结构再加水袋对结构施加均布荷载。要特别注意,平板结构刚度要大,能承受试验荷载所要求的均布水压力,水袋要能承受试验的最大压力而不开裂漏水。图 2-14 为渡槽底板水压加载示意图。

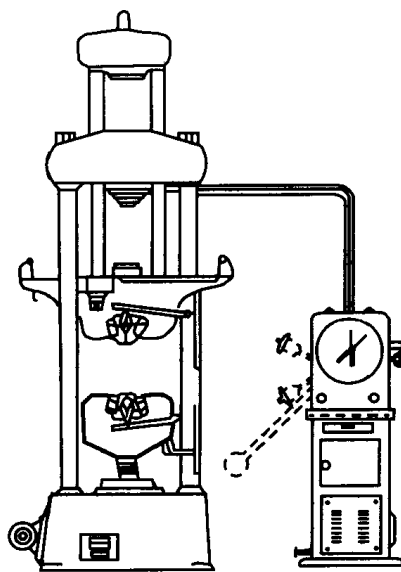


图 2-12 万能材料试验机



对于渡槽侧墙水压的三角形荷载,一般采用分层施加均布荷载来实现三角形荷载的作用效果,但要注意分层加载应采用同步异荷加载器。

水袋加压方法在试验过程中,随着试验荷载的增加,要逐步通过水泵对水袋加压,使其与试验荷载值相对应。为了确保水袋与结构之间真正实现均布力,可在水袋与结构之间垫 10~20mm 的细砂。

### 三、电液伺服加载系统

电液伺服加载系统是液压加载试验技术发展的一个新领域。系统主要由液压源、控制系统和执行系统三大部分组

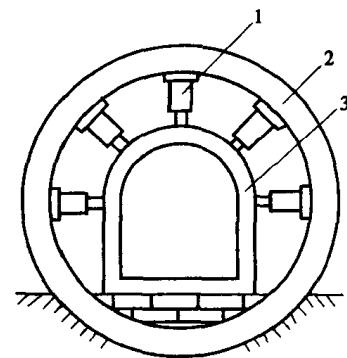


图 2-13 加载框支承  
1-加载器;2-加载框;3-试件

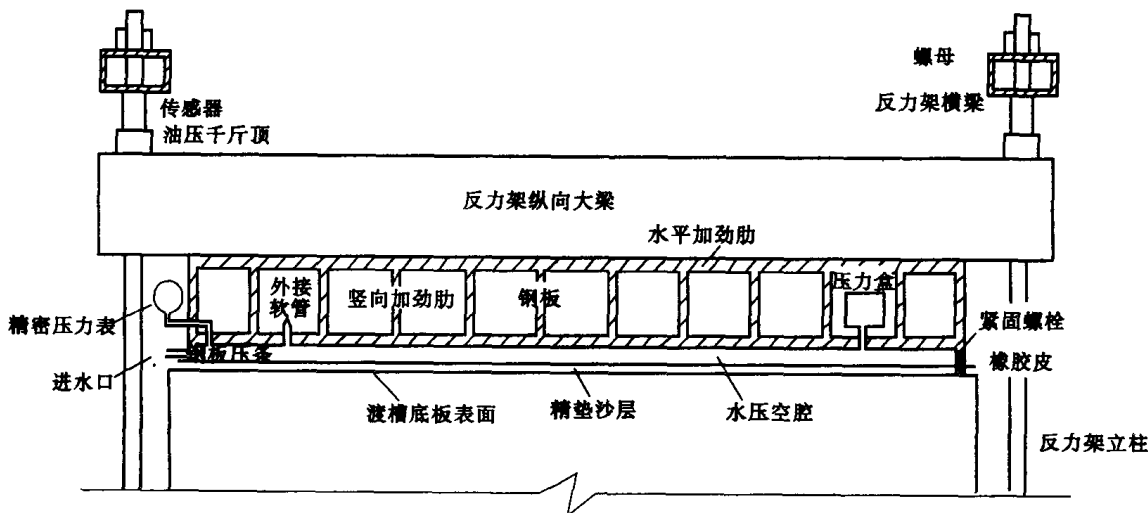


图 2-14 渡槽底板水压加载示意图

成。图 2-15 为其主要组成及控制原理框图。

#### (一) 液压源

液压源是加载过程中的动力源,由油泵输出高压油,通过伺服阀控制,进出加载器的两个油腔产生推拉荷载。为保证油压的稳定性,系统中一般带有蓄能器。

#### (二) 控制系统

电液伺服程控系统是由电液伺服阀和计算机联机组成。电液伺服阀是电液伺服系统的核心部件,其构造原理如图 2-16。当电信号输入伺服线圈时,衔铁偏转,带动一挡板偏移,使两边喷嘴油的流

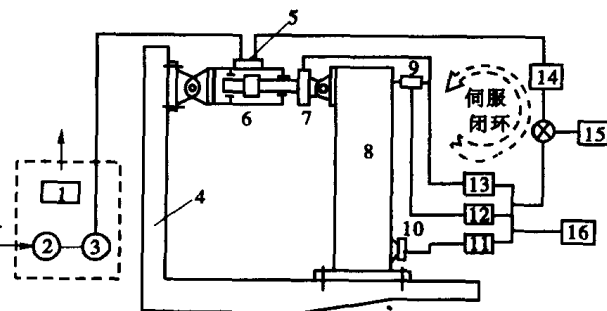


图 2-15 电液伺服加载系统及其闭环控制原理框图

- 1-冷却器;2-马达;3-油泵;4-支承机构;  
5-伺服阀;6-加载器;7-荷载传感器;8-试件;  
9-位移传感器;10-应变传感器;11-应变调节器;  
12-位移调节器;13-荷载调节器;14-伺服控制器;  
15-指令发生器;16-记录显示器