

建筑结构检测

张亚非 编著



武汉工业大学出版社

武 汉

建筑结构检测

张亚非 编著

武汉工业大学出版社

武 汉

(鄂)新登字 13 号

内 容 简 介

建筑结构的检验与测试是建筑科学发展的基础。本书以辩证唯物主义思想为指导,对建筑结构检测的基本理论、基本技术及其发展进行了较为全面的阐述。全书共分七章,分别介绍了结构检测的加载方法及设备,静载、动载检测的观测仪器和检测技术,以及常用的非破损检测技术和桩基承载力检测技术。各章后附有习题和答案。

本书是大学建筑结构工程专业结构检验与测试课程教材,并可供土建工程研究、设计及施工人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构检测/张亚非编著.-武汉:
武汉工业大学出版社,1995.7
ISBN 7-5629-0991-1

I. 建… II. 张… III. 建筑结构-检测 IV. TU317

武汉工业大学出版社出版发行

(武汉市武昌珞狮路 14 号 邮编 430070)

中南三〇九印刷厂印刷 新华书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:9 字数:216 千字

1995 年 7 月第 1 版 1995 年 7 月第 1 次印刷

印数:1—5000 册 定价:9.00 元

目 录

绪 论	1
§ 0—1 结构检测发展简史	1
§ 0—2 结构检测的分类	2
§ 0—3 结构检测的学习内容	3
第一章 加载方法及设备	4
§ 1—1 重力加载法及设备	4
§ 1—2 液压加载法及设备	5
§ 1—3 机械力加载法及设备	10
§ 1—4 冲击力加载法及设备	10
§ 1—5 离心力加载法及设备	11
§ 1—6 电磁加载法及设备	12
§ 1—7 分配梁、支座和反力设施	13
习 题	20
第二章 静载检测的观测仪器	22
§ 2—1 机械式观测仪器	22
§ 2—2 光学式观测仪器	27
§ 2—3 非电量电测仪器	28
习 题	39
第三章 静载检测	40
§ 3—1 检测的计划与准备	40
§ 3—2 静载与测试	43
§ 3—3 整理、分析检测资料,评定结构性能	45
习 题	58
第四章 动载检测的观测仪器	60
§ 4—1 拾振传感器	60
§ 4—2 放大器	65
§ 4—3 记录仪器	67
§ 4—4 测振仪器的配套使用	73
§ 4—5 测振仪器的标定	74
习 题	76
第五章 动载检测	77
§ 5—1 检测的计划与准备	77
§ 5—2 动载与测试	78

§ 5—3 量测、分析振波曲线,评定结构性能 90

习 题..... 100

第六章 非破损检测..... 103

§ 6—1 回弹法检测混凝土强度..... 103

§ 6—2 超声—回弹综合法检测混凝土强度..... 107

§ 6—3 结构混凝土缺陷的超声波检测..... 109

§ 6—4 钢结构和钢筋混凝土中钢筋的非破损检测..... 112

习 题..... 114

第七章 桩基承载力检测..... 117

§ 7—1 垂直静载检测..... 117

§ 7—2 动力参数法检测..... 120

§ 7—3 锤击贯入法检测..... 121

§ 7—4 波动方程法检测..... 123

§ 7—5 动力打桩公式法检测..... 125

习 题..... 128

附录 I 应变片粘贴工艺过程..... 129

附录 II 按量得的应力确定内力的公式 130

附录 III 截面抵抗矩塑性系数表 131

附录 IV 常用拾振器的工作性能表 132

附录 V 测区混凝土强度值换算表 133

主要参考文献 137

绪 论

§ 0—1 结构检测发展简史

建筑科学的基础是对建筑结构的检验测试,通过不断的检验测试,人们才能深化和发展结构理论,满足不断增加的建筑工程的需求。

17 世纪初期,随着封建社会的解体,社会生产力得到迅速发展,需要建造一些新的建筑物,过去凭经验的建筑方法已经解决不了新的工程问题。这一时期的意大利科学家伽利略为了解决工程上的力学问题,在 1638 年提出了计算梁的强度所用的公式。他利用了刚体力学的方法,未考虑梁受力后的变形这一重要因素,认为受弯梁的横截面应力分布是均匀受拉。1684 年,法国物理学家马里奥脱和德国数学家莱布尼兹提出受弯梁的横截面应力是按三角形分布的,而不是均匀受拉。

1713 年,法国学者巴朗提出了中和层假设,他认为受弯梁截面上既有拉应力,又有压应力,拉、压应力的分布以中和层为界,中和层是拉、压应力的过渡层。当时,由于缺乏检测验证,巴朗的正确观点未被人们接收。

1767 年,法国科学家容格密里在没有量测仪器的条件下,为了验证巴朗的正确观点,他在一根简支木梁的跨中沿上缘开若干个方向与梁纵轴线垂直的槽,将硬木垫块嵌入槽内,然后对梁进行加载。结果,这根梁的承载能力并不低于未开槽的同材料、同尺寸的整体木梁。证明受弯梁的上缘是受压的,只有上缘受压,才能有这样的结果。容格密里的检测方法既简单又巧妙,它总结了一百多年来先驱者的探索和研究,象十字路口的路标,给人们指出了进一步发展结构计算理论的正确方向。

1772 年,俄国工程师库利宾为了验证一座跨长 298.76m 的木拱桥的设计可靠性,制作了一座大小为原尺寸 1/10 的模型木拱桥,然后在模型结构上试加荷载,达到并超过预定的临界值后,模型结构没有破坏,由此证明设计正确,可以建造。19 世纪中叶,俄国工程师茹拉夫斯基为了探求斜杆桁架中内力的分布情况,他在桁架的各个拉杆上绷上弦线,试加荷载后,发现越近支座的弦线音调越高,即被张拉得越紧,证明越近支座的拉杆受力越大。此外,还有许多结构检测的实例。

19 世纪中叶以前的结构检测都很粗略,只能解决某些范围的定性问题。结构检测这门独立科学的真正形成约在 19 世纪末。

在 19 世纪末,世界上已经开始使用贝塞麦转炉钢建造高层建筑,在一般建筑物中,已经开始使用钢筋混凝土制作各种构件。随着铁路建设的加强和运输量的扩大,需要建造一些大跨度的桥梁和一些其它型式的大型建筑物。因此这时已不是仅仅简单地要求确定建筑结构在某一已知荷载下是否可靠,而更进一步地要求知道其恰恰破坏时的承载能力,以及在长期使用下充分可靠的安全荷载。此外,还要编制结构设计规范,把某一结构经检测后获得的结

论,推广运用到其它未经检测的类似结构上去。因此,需要使用精密仪器和设备来进行严密的测试,测取各种数据,并且对这些数据进行深入的分析研究,这样就开始了利用结构检测研究建筑结构的时期。

到了 20 世纪初叶,随着新型结构的不断出现,高层及超高层建筑的增多,以及大型工程建设项目的增多,世界上一些国家不断地采用新的检测方法和改进原来的检测技术,深入系统地检测及研究了很多钢结构和钢筋混凝土结构的模型和原型的实际工作状态,为迄今为止的结构设计规范提供了编制资料,为保证按设计质量要求建造建筑工程结构提供了技术依据。

现代的结构检测有以下发展特点:(1)结构检测试验室大型化;(2)检测设备自动化;(3)检测仪器高精度、小型和电气化;(4)数据采集和处理电脑化。

我国在解放前结构检测是一个空白,建筑业处于极端落后的状态。解放后结构检测受到应有的重视,发展很快,但是就目前的水平来看,还必须继续改进检测荷载系统,提高量测精度和测试自动化程度,深入研究、开发结构检测技术和理论,才能满足现代建筑的需要,赶超世界先进水平。

§ 0—2 结构检测的分类

结构检测主要有两种分类法。

其一,按结构承受的荷载类别,将结构检测分为静载检测和动载检测两大类。静载检测的作用在于通过观测各种变形(如挠度、转角、应变、支座位移、局部破坏现象等),判断结构在静荷载作用下的工作状态。动载检测的作用在于探查振动作用力或振源的特性、结构及其部件的动力特性,研究结构在动载作用下的工作性能。

其二,根据不同的检测目的,可将结构检测分为鉴定性检测和研究性检测两大类。鉴定性检测的目的在于解决下述工程问题:

(1)检测材料的力学性能,检测结构的实际工作状况和承载能力,为改建、扩建、超载使用或加固补强提供数据。结构设计是根据规范所载统计结果的同样材料性能进行设计的,而实际情况可能相差很大。在建筑施工时,对于混凝土和木材等的质量控制难免发生偏差,有时偏差较大而与原设计相违,所以要进行材性测定。在缺乏资料的情况下,对旧建筑物进行改建、扩建,由于实际需要超载使用建筑物,由于施工质量事故引起过度的变形或裂缝,或由于腐蚀、火灾、爆炸、地震等造成结构物损伤,需要加固补强等情况,都必须通过结构检测来确定其实有的承载能力,测取一些必要的数据。

(2)检测一些比较重要的结构或批量生产的预制构件的施工质量,评定其质量的可靠程度。对于一些比较重要的结构,建成以后必须通过检测验收,确定实际的空间综合工作状况;对于成批生产的预制构件,必须进行抽样检测,鉴定批量生产构件的质量是否达到有关标准所要求的各项技术指标。

研究性检测的目的在于确定新的结构计算理论,为编制结构设计规范提供理论上的根据。一种新材料出现以后,必须全面了解其性能;施工工艺的改变,对结构性能会产生直接的影响;新结构须要评定其可靠性,验证计算方法的正确性;要确立新的结构计算理论,必须有赖于多方面的参数、图表等。要发展上述“四新”,就要通过研究性检测才能作出结论。

不同类别的检测,各有其特殊性,在整个检测过程中,都应充分考虑到这一点。

§ 0—3 结构检测的学习内容

为了获得解决一般建筑结构设计及施工中所遇到的结构检测问题的基本知识和基本技能,并在科研方面得到初步的训练,必须在掌握结构工程专业理论或其它有关专业技术知识的基础上,学习下列内容:

- (1)结构检测中常用的量测仪器和加载设备的原理、性能和使用技术;
- (2)规划、组织和进行结构检测的一般原则、方法和技术;
- (3)收集、整理、计算和评定检测资料的原理和方法。

结构检测的原始资料须要经过周详的理论分析,才能对所检测结构的工作状况作出结论,才能为理论计算提供宝贵的资料和依据。因此,不应该把结构检测看成是单纯经验性的操作,相反的,它是一种根据丰富的原始测试资料对结构的工作情况进行更深入的理论分析和研究,自始至终贯穿着从实践到理论、从理论再回到实践的辩证过程。

第一章 加载方法及设备

结构检测中选用的加载方法及设备对于测试进行的速度和质量有很大的影响,如果选用的不恰当,就会阻碍测试工作的顺利进行,或者导致不正确的结果,甚至发生事故。

选择加载方法及设备,主要是根据测试的内容和现场的具体条件,一般应满足下述基本要求:

- (1)加载值稳定,不受时间、环境或结构变形的影响,相对误差不超过±5%,以保证测试的准确度;
- (2)加载能力有一定的储备,以保证设备本身的安全可靠,避免发生意外事故;
- (3)能分级加载和卸载,以便控制加载速度和卸载速度;
- (4)加载设备不应应对结构有额外的约束,以保证测试能反映结构加载图式产生的结构内力的真实状况。

§ 1—1 重力加载法及设备

重力加载法是利用物体的重量作为静荷载加于结构上的加载方法,主要设备有荷重、荷重盘、杠杆等。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,在结构达到极限承载力时,不能随结构变形而自动卸载。

一、荷重选用要求

试验室内常用具有标准重量的铸铁块作荷重,在工地现场可以就地取材,用砖、袋装砂石等作为荷重。选作荷重的物体,要求重度大,形状规整,以便堆放加载和累计加载量。为了减少加载时的冲击力,荷重物的块(件)重不宜大于 25kg,并不超过加载面积上荷载标准值的 1/10。随机抽取 20 块(件)检查,每块(件)不超过平均重量的±5%时,以平均重量计算加载量。

二、荷重盘制作要求

荷重盘是盛荷重的吊盘,用于施加集中荷载,如图 1-1 所示。荷重盘一般用钢筋和角钢焊接而成,其平面尺寸根据测试的需要决定,其强度必须足够保证安全。

三、杠杆制作及应用技术

利用杠杆的放大作用,可以减少荷重块的用量。杠杆通常用型钢制成,也可用板钢焊接而成,在加载量不太大的情况下,可以使用木制杠杆。

如图 1-2 所示,杠杆加载的放大率 $v = \frac{L_1 + L_2}{L_2}$,常用放大率为 3—5 倍,过大的放大率会

使杠杆在测试后期倾斜较大,对结构产生较大的水平推力。

杠杆除须满足强度、稳定要求外,还必须具有足够的刚度,否则加载后期变形过大,也会对结构产生较大的水平推力,引起不良后果。

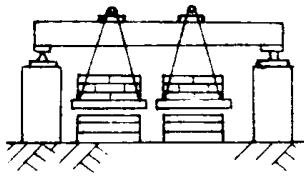


图 1-1 荷重盘加载

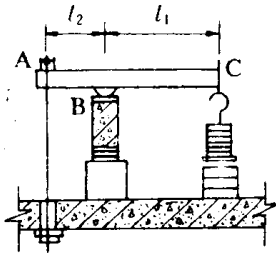


图 1-2 杠杆加载

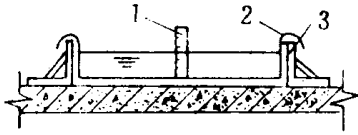


图 1-3 水荷载加载

A—支点;B—加载点;C—施力点 1—标尺;2—防水胶布;3—侧向挡板

四、重力加载法技术

在板、壳等结构表面直接堆放荷重物加均布荷载前,应在试件顶面画格,每个区格的面积不宜大于 1m^2 ;堆放荷重物时,应分堆堆放整齐,堆成的垛之间保持 $5\text{--}15\text{cm}$ 的空隙,且每垛的边长 $\leq L/6$ (L 为试件跨度),对于跨度不大于 4m 的构件,每堆长度不应大于构件跨度的 $1/4$ 。上述要求的目的在于避免荷重物在结构变形时,因彼此挤碰产生内拱,而引起局部卸荷。用杠杆加载之初,应使杠杆施力点比支点稍高,以使满载时杠杆的斜度接近于水平,减小因杠杆倾斜而产生的水平推力。荷重盘的下面、杠杆法码盘的下面和堆放荷重物加载的试件的下面,都应放置垫物,与垫物之间的间隙在整个测试过程中保持 5cm 左右,以免结构达到极限承载能力后被突然压塌或引起杠杆倾覆,造成观测仪器损坏和人员伤亡的事故。用水作为荷重时,如图 1-3 所示,每施加 980N/m^2 的均布荷载需 10cm 高度的水,但这种加载方法不适用于给变形较大的试件加载。采用装有散粒材料的无底箱子加载时,沿构件跨度方向放置的箱子数不应少于两个。

§ 1—2 液压加载法及设备

液压加载法是利用油泵将液体压力升高,并将此压力施加于检测结构的加载方法。此种加载方法目前应用最广泛。

常用于静载检测的液压设备有手动液压千斤顶、油泵液压千斤顶和电动油泵、材料及构件试验机等。

常用于动载检测的液压设备有构件疲劳试验机、液压振动台等。

能用于静、动检测的液压设备有电液伺服程控结构试验系统。

一、静载检测液压设备

1. 手动液压千斤顶

手动液压千斤顶主要由油泵和加荷油缸两部分组成。在工作原理图 1-4 中,当手柄向上

提时,贮油箱中的油被抽到油泵油缸中;当手柄向下压时,油泵油缸中的油被压入加载油缸中去,从而使工作活塞上升。如果活塞顶在结构上,其运动受到阻碍,加载油缸内的压力就会升高,结构就会承受荷载作用。卸载时,打开阀门,使油从加载油缸流回贮油箱即可。手动液压千斤顶的活塞行程可达 30cm,工作压力可达几千千牛;缺点是每台千斤顶必须有专人操作,不能实行多点同步加载,不能倒挂安置。

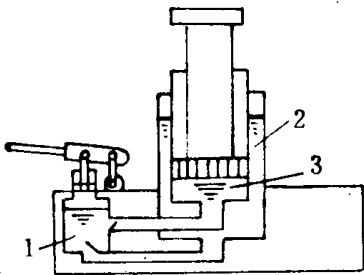
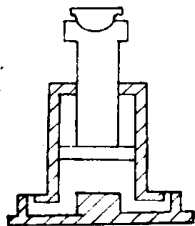
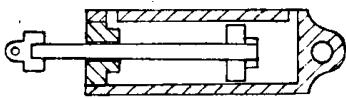


图 1-4 手动液压千斤顶工作原理
1—油泵油缸;2—贮油箱;3—加载油缸

2. 油泵液压千斤顶和电动油泵
油泵液压千斤顶就是一个加载油缸,如图 1-5 所示,由电动油泵提供油压。由此种千斤顶可组成多点同步加载系统,为保证荷载同步,放置高差一般不超过 5m 为宜。若购置的油泵无减压阀部分,而须要进行多点同步异荷加载时,可以选择不同活塞面积的千斤顶进行组合;在难以满足上述条件时,可以用相同活塞面积的千斤顶与重力荷载联合使用。油泵液压千斤顶的加载力大,压力均匀,可以远距离操纵和控制。



(a)



(b)

图 1-5 油泵液压千斤顶构造示意
(a)单向作用千斤顶;
(b)双向作用千斤顶

3. 材料、构件试验机
材料、构件试验机有长、短柱压力试验机和材料万能试验机等。这些设备均由测力操纵油泵、加载油缸和反力约束装置等组成。外观上分为两大部分:一部分是操纵台;另一部分是加载架,是一套完整的液压加载系统,如图 1-6 所示。短柱压力试验机能对小试件进行受压受弯测试。长柱压力试验机能对较大试件进行受压、受弯测试,最大加载量可达到几万千牛。材料万能试验机的加载油缸装置在加载架的上部,而不是装在下部,其净高调节横梁装置在中部,是一个可由加载油缸或升降电机控制的活动部分,可进行受拉、受弯、受压、受剪等多种材性测试。

二、动载检测液压设备

1. 构件疲劳试验机

构件疲劳试验机的工作原理见图 1-7。脉动器 3 的柱塞 2 在曲柄机构 1 的作用下往复运动,给脉冲千斤顶 5 输送脉动压力,使脉冲千斤顶对构件激振交变荷载,荷载的振幅由柱塞 2 的行程大小确定,柱塞 2 的行程大小由脉动器与曲柄连杆 AB 的接触点的位置确定,高压油泵 4 给脉冲千斤顶提供定值压力。构件疲劳试验机可输出正弦波荷载的压力,疲劳次数由计数器自动记数,到预定次数或试件破坏时自动停机。

2. 液压振动台

液压振动台能输出模拟的地震波,是工程结构模型抗震检测的加载设备。

液压振动台由电液伺服系统装置进行自动控制,按加载方式可分为单向振动台、双向振

9508-1E

由

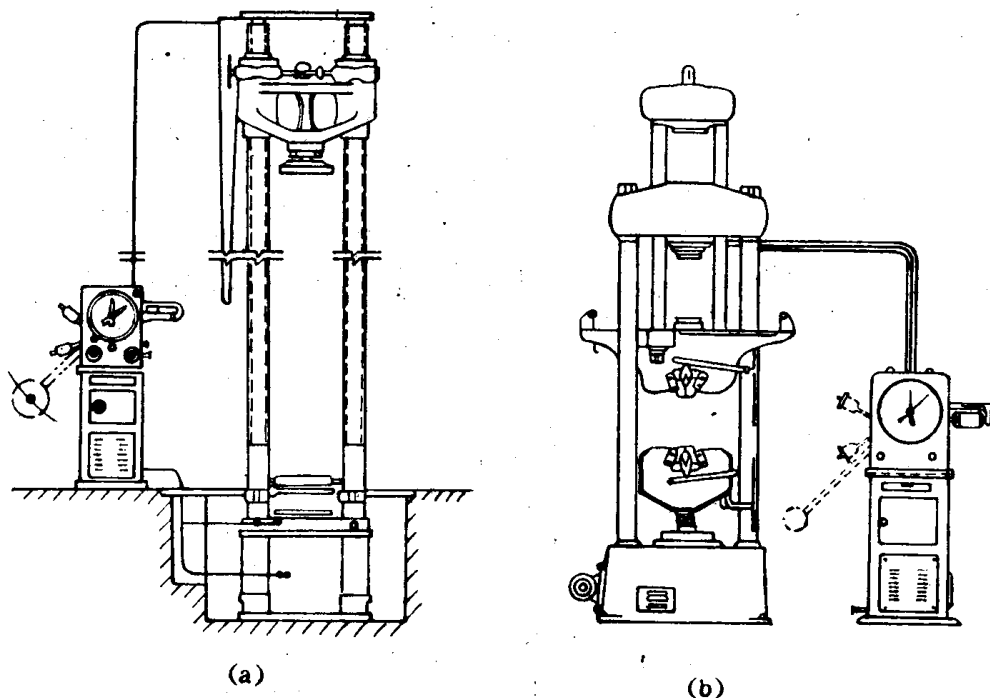


图 1-6 材料构件试验机
(a)长柱试验机;(b)万能材料试验机

动台和三向振动台三类。单向振动台的支承采用平面滑动轴承方式;双向振动台的支承采用密封液浮等方式;三向振动台的支承直接由垂直作动器支承,如图 1-8 所示。

目前,国际上振动台的最大尺寸达 $15\text{m} \times 15\text{m}$,最大载重达 500t ,最大激振力达 1000kN ,最大位移达 152mm 。

三、电液伺服程控结构试验系统

电液伺服程控结构试验系统是由电液加载和计算机构成的联机系统设备,它是由指令→比较→执行→反馈诸环节构成的控制闭环,其自控系统工作原理如图 1-9 所示。

在图 1-9 中,其控制过程是把一个工作指令,即一个电信号加给比较器,通过比较器后进行伺服放大,输出电流信号推动伺服阀工作,从而使液压执行机构的作动器(双向作用千斤顶)的活塞杆动作,作用在试件上,连在作动器上的荷载传感器或连在试件上的位移传感器都有信号输出,经放大器放大后,由反馈选择器选择其中一种,通过比较器与原指令输入信号进行比较,若有差值信号,则进行伺服放大,使执行机构作动器继续工作,直到差值信号为零时,伺服放大的输出信号也为零,从而使伺服阀停止工作,即位移或荷载达到了所要给定之值,实现了位移或荷载控制的目的。

电液伺服阀是闭环控制的核心元件,其结构原理如图 1-10 所示。当闭环中放大的差值

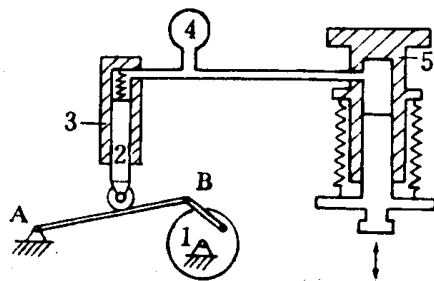


图 1-7 构件疲劳试验机工作原理

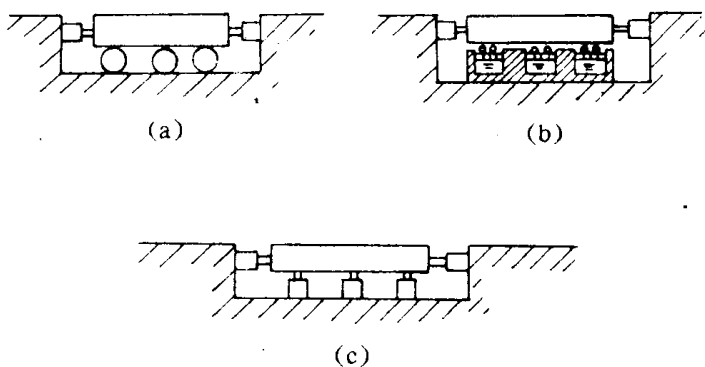


图 1-8 液压振动台支承示意

(a)单向振动台支承;(b)双向振动台支承;(c)三向振动台支承

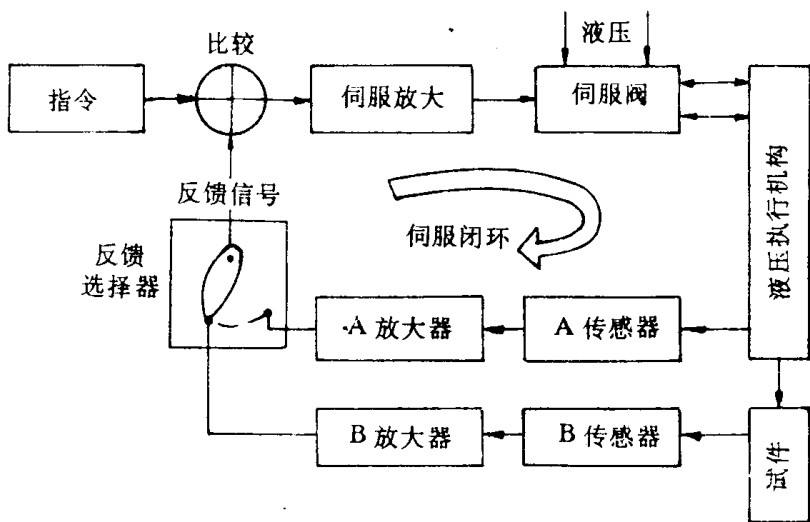


图 1-9 电液伺服程控结构试验系统自控系统工作原理

电信号进入伺服阀线圈后,由于极化磁通与控制磁通的相互作用,在衔铁上形成一个力矩,此力矩使衔铁对弹簧管产生一个偏转,从而引起挡板在喷嘴之间移动,于是喷嘴与挡板间的可变节流孔一个面积增大,而另一个则减小,这样就使两个喷腔产生压力差使滑阀移动,滑阀一直移动到反馈杆的弹性力矩与控制电流产生的力矩相平衡为止。滑阀的位置和输入伺服阀线圈的电流成正比,也就是与进入伺服阀的差值电信号成正比。又因阀的压降是恒值,所以阀的流量就正比于输入控制电流。

伺服阀与作动器的油缸联接,所以能将微

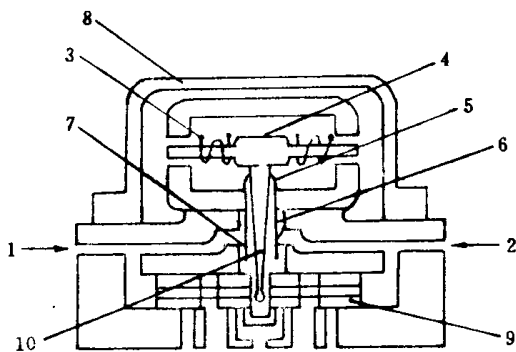


图 1-10 伺服阀结构原理

1、2—高压油;3—线圈;4—衔铁;5—弹簧管;
6—挡板;7—喷嘴;8—磁钢;9—滑阀;10—反馈杆

弱的电信号成比例地转换成液压输出,推动负载(试件)实现所需要的工作状态。

电液伺服程控结构试验系统由液压源、电液伺服控制、数据采集和电子计算机、承力试验台四个部分组成,如图 1-11 所示。由于这种系统可以自动化地进行工作,所以能排除人的因素造成的许多缺点,以高精度、好的稳定性达到既定目的;能以很高的频率响应,适应目的量与工况的快速特性;能以工况随机量进行控制与反馈,这样就能模拟再现各种实际工作情况,对结构或构件进行静载、动载、随机疲劳荷载、伪静力或拟动力检测;能以很高的增益进行工作,亦即用微小的信号实现控制高能量的执行机构。

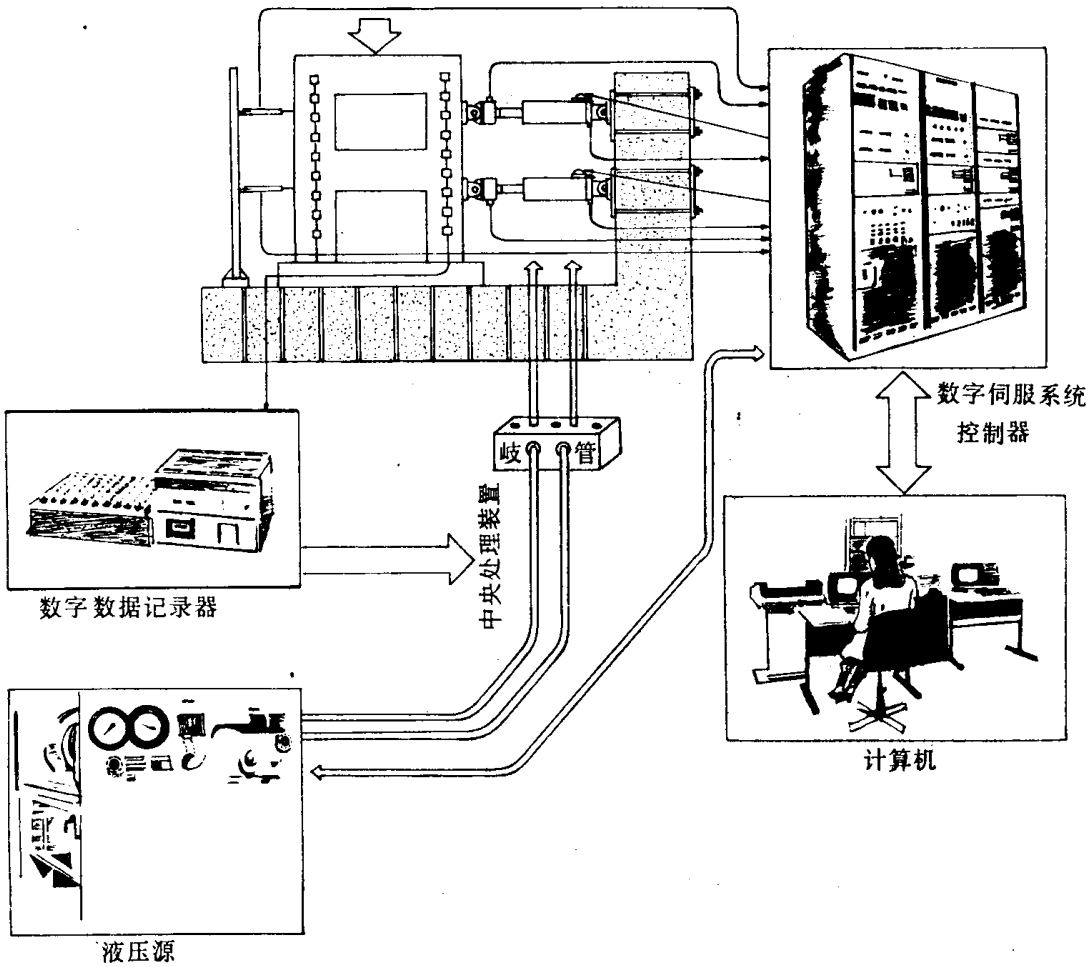


图 1-11 电液伺服程控结构试验系统

使用此系统时,应注意以下几点:

(1) 由于系统是在闭环状态下工作,反馈信号与指令信号相反。因此,一旦由于某种原因使闭环中的哪个环节断开,系统即在开环下工作,特别是电路断开,如因传感器的电缆破断而失去反馈量,使系统误差信号总是等于指令信号时,执行机构就会一直工作而稳定不下来,这是很危险的。

(2) 由于反馈信号与指令信号方向相反,才能有比较后的误差信号,反复比较的结果,误差信号为零,才能稳定在某一状态,是一种负反馈。只要有误差信号,作动器就要工作,如果由于某种原因,比如反馈信号线接反,则成为正反馈,比较后的误差信号是一个不为零的数

值,驱动作动器,直到尽头为止,这是不正常的,很容易造成危险,要及时找出毛病予以纠正。

(3)反馈量的选择是唯一的,即只能选择几种反馈量中的一种。因此,须要根据不同的试验对象将反馈选择器的开关调至位移反馈或荷载反馈。

对于钢筋混凝土构件,如框架剪力墙等,测试时,在其开裂荷载以前可用荷载控制状态,开裂后宜改用位移控制状态,因开裂后试件会出现荷载下降的现象,若仍用荷载控制,有可能出现作动器暴走的现象,因此时的荷载反馈量不够,从而使试件彻底垮掉,甚至出现人身伤亡事故。

对于钢结构试件,一般在屈服荷载以前用荷载控制,之后则用位移控制,而在任何情况下用位移控制都是安全可靠的。

对于安全系数较大的加载测试,采用荷载控制则很理想,控制精度高,荷载值很稳定。

总之,对具体情况要灵活掌握运用好两种控制状态。

§ 1—3 机械力加载法及设备

机械力加载是利用各种机械对结构产生作用力的加载方法,常用设备有绞车、卷扬机、弹簧和螺旋千斤顶等。

使用绞车、卷扬机对结构施加拉力时,用串联在索中的测力计测定拉力的大小。当测力计的量程小于最大加载值时,可以采用图 1-12 所示的布置方式,图中的滑轮组起放大作用。由于滑轮摩擦阻力减小了绞车的有效作用,实际作用在结构上的拉力

$$P = \psi n k p \quad (1-1)$$

式中 ψ ——滑轮摩擦系数(对普通涂有良好润滑剂的滑轮取 0.96—0.98);

n ——滑轮组的滑轮数;

k ——滑轮组的机械效率;

p ——拉力计示值。

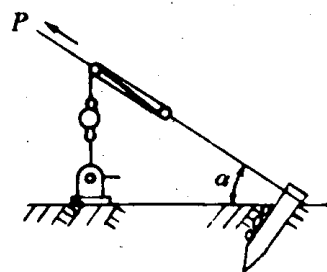


图 1-12 测力计的量程小于最大加载时的布置

绞车、卷扬机等设备主要用于对远距离结构或高耸结构施加拉力,如对杆、塔等施加水平集中荷载。

弹簧加载可用于长期荷载测试,使用前必须定出弹簧的变形值与压力的关系。螺旋千斤顶由蜗轮蜗杆组成,由压力测力计测定力的大小。这两种设备主要用于小型构件的受压、受弯等测试。

机械力加载的设备简单,加、卸载比较方便,但产生的荷载值受结构变形影响,不易保持稳定,需要及时加以调节。

§ 1—4 冲击力加载法及设备

冲击力加载是利用运动物体产生的冲击力使被试结构获得动荷载的加载方法。

一、突然加载法

为了产生垂直方向的冲击荷载,可以利用起重设备将重物提升到一定的高度,然后通过脱钩装置或割断绳索,使重物自由跌落在结构上,引起被试结构振动,如图 1-13 所示。

垂直方向的冲击力大小要根据结构物的强度计算确定,一般落重高度小于 2.5m,重量不大于检测跨内结构自重的 0.1%。落重的跳动会影响结构的自振阻尼振动,为避免落重跳动及结构局部撞坏,应在落点处铺一层厚 10—20cm 的砂垫层。

突然加载可以用较小的荷载产生较大的振幅,但跌落的重物大多附在结构上一起振动,对结构有一定的影响,落重的撞击容易造成结构局部损坏。突然加载常用于刚度较大的构件的动载测试。

二、突然卸载法

对结构施加静荷载,使其产生一定的位移,通过脱钩装置、割断绳索或拉断金属棒等方式,突然卸去静荷载,利用结构的弹性恢复力使其产生自振阻尼振动,如图 1-14 所示。

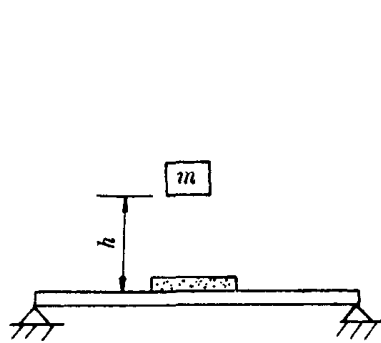


图 1-13 突然加载示意

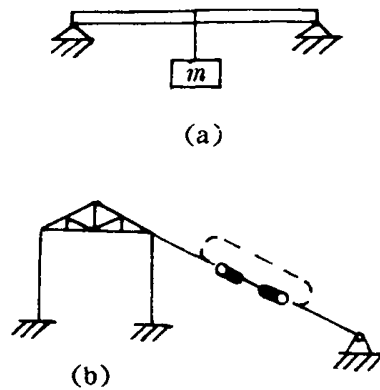


图 1-14 突然卸载示意

突然卸载根据测试所需最大振幅计算确定,不适用于刚度较大的结构,因为此时需要的静荷载量太大,常用于刚度较小的结构或柔性高耸结构(如烟囱、桅塔等)的动载测试。

§ 1—5 离心力加载法及设备

离心力加载是利用两个旋转质量的离心力合力对结构施加简谐振动荷载的加载方法。常用设备有离心式起振机。

离心力加载的工作原理如图 1-15 所示,偏心质量随旋转轮转动时,产生的离心力为

$$P = m\omega^2 r \tag{1-2}$$

式中 m ——偏心块质量;
 ω ——偏心块旋转角速度;
 r ——偏心块的偏心距。

垂直分力 $P_V = P \sin \alpha$, 水平分力 $P_H = P \cos \alpha$ 。

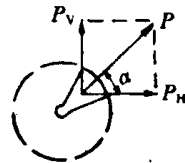


图 1-15 偏心质量起振原理

用一对相对旋转且具有同样偏心质量的旋转轮,可以使结构仅仅受垂直的或水平的简谐振动荷载,消去相应的水平分力或垂直分力。

当两个旋转轮的偏心质量对称放置时,则水平分力互相抵消,剩下垂直方向的合成离心力的大小为

$$P_v = 2m\omega^2 r \sin\omega t \tag{1-3}$$

一对偏心质量旋转轮在一周内垂直方向的合成离心力数值变化图形,如图 1-16 所示。

当两个旋转轮的偏心质量相对放置时,则垂直分力互相抵消,剩下水平方向的合成离心力的大小为

$$P_H = 2m\omega^2 r \cos\omega t \tag{1-4}$$

一对偏心质量旋转轮在一周内水平方向的合成离心力数值变化图形,如图 1-17 所示。

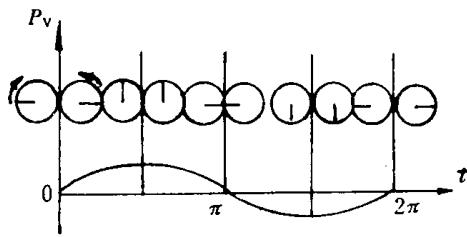


图 1-16 一周内垂直方向合成离心力数值变化图形

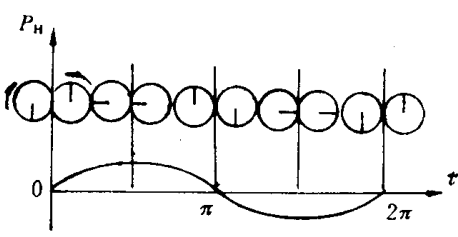


图 1-17 一周内水平方向合成离心力数值变化图形

离心式起振机就是由一对偏心质量旋转轮组成的,改变偏心质量 m ,或者改变旋转轮的转速 ω ,都可以调节简谐振动荷载的大小或振幅的大小;改变转速 ω ,还可以调节振动的频率。由于起振机构造的原因,偏心距 r 一般不能改变。

将离心式起振机固定在结构物上,可以直接激起结构物振动。固定于活动台面,则可以组成机械式振动台。这种设备的激振力较大,但在低频时只能产生很小的激振力。

§ 1—6 电磁加载法及设备

电磁加载是利用电磁力推动试件作强迫振动的加载方法。常用设备有电磁式激振器和电磁式振动台。

电磁式激振器由磁场部分(包括励磁线圈、铁芯等)、动圈、弹簧和顶杆等部件组成,构造原理见图 1-18 所示。

在图中,当励磁线圈中通入直流电时,铁芯形成一个强磁场,同时在动圈中通入交流电 $i = I_0 \sin\omega t$ (I_0 为交变电流幅值, ω 为电流频率, t 为通电时间),由于电磁效应,产生交变电磁力 F 为

$$F = 0.102 B L I_m \times 10^{-4} \sin\omega t \quad (\text{N}) \tag{1-5}$$

式中 B ——磁感应强度(G)^①;
 L ——动圈绕线的有效长度(m);

^① 1T=10⁴G。