

JIANZHU JIEGOU SHIYAN JIANCE JISHU

建筑结构试验检测技术

与鉴定加固修复 实用手册



世图音像电子出版社

建筑结构 试验检测技术与鉴定加固修复 实用手册

手册编委会 编

第
四
册

世图音像电子出版社

**第二十三篇 建筑结构鉴定
与加固技术规程**

第一章 建筑抗震试验方法规程

关于发布行业标准

《建筑抗震试验方法规程》的通知

建标[1996] 614号

各省、自治区、直辖市建委(建设厅)、计划单列市建委:

根据建设部(87)城科字第 276 号文的要求,由中国建筑科学研究院主编的《建筑抗震试验方法规程》业经审查,现批准为行业标准,编号 JGJ101—96,自 1997 年 4 月 1 日起施行。

中华人民共和国建设部

1996 年 12 月 2 日

1 总 则

- 1.0.1 为统一建筑抗震试验方法,确保抗震试验质量,制定本规程。
- 1.0.2 本规程适用于建筑物和构筑物的抗震试验。本规程不适用于有特殊要求的研究性试验。
- 1.0.3 建筑抗震试验所采用的仪器设备,应有出厂合格证,其性能应经专门的检测机构检测认定。
- 1.0.4 对抗震试验用试体进行设计及试验结果评定时,除应符合本规程要求外,尚应符合国家现行有关规范、标准的要求。

2 术语及符号

2.1 术 语

- 2.1.1 试体 test sample
凡作为抗震试验的对象均称试体,是试验构件、结构的原型和模型的总称。
- 2.1.2 原型结构 prototype structure
按施工图设计建成的直接投入使用的结构。
- 2.1.3 足尺模型 prototype model
尺寸、材料、受力特性与原型结构相同的结构模型。
- 2.1.4 弹性模型 elastic model
为研究在荷载作用下结构弹性性能,用匀质弹性材料制成与原型相似的结构模型。
- 2.1.5 弹塑性模型 elastic-plastic model
为研究在荷载作用下结构各阶段工作性能包括直至破坏的全过程反应,用与实际结构相同的材料制成的与原型相似的结构模型。
- 2.1.6 反力装置 reacting equipment
为实现对试体施加荷载的承载反力的装置。
- 2.1.7 荷载控制 loading control
以荷载值的倍数为级差的加载控制。
- 2.1.8 变形控制 deformation control
以变形值的倍数为级差的加载控制。
- 2.1.9 拟静力试验 pseudo-static test
用一定的荷载控制或变形控制对试体进行低周反复加载,使试体从弹性阶段直至破坏的一种试验。
- 2.1.10 拟动力试验 pseudo-dynamic test
试体在静力试验台上实时模拟地震动力反应的试验。

2.1.11 模拟地震振动台试验 pseudo-earthquake shaking table test

通过振动台台面对试体输入地面运动,模拟地震对试体作用全过程的抗震试验。

2.1.12 初速度法 initial velocity method

对试体施加初速度使之振动而测定其动力性能的方法。

2.1.13 初位移法 initial displacement method

对试体施加初位移然后突然释放使之振动而测定其动力性能的方法。

2.2 符 号

2.2.1 拟静力与拟动力试验用符号

K ——单质点试体的初始侧向刚度

K_i ——第 i 次循环割线刚度

X ——实测水平位移

$\pm F_i$ ——第 i 次正、反向峰点荷载值

$\pm X_i$ ——第 i 次正、反向峰点位移值

F_j^i ——位移延性系数为 j 时,第 i 循环峰点荷载值

X_j^i ——位移延性系数为 j 时,第 i 循环峰点位移值

μ ——试体的延性系数

X_u ——试体的极限位移

$F_{j\max}^i$ ——位移延性系数为 j 时,第 i 次加载循环的最大峰点荷载值

$F_{j\max}$ ——位移延性系数为 j 时,第一次加载循环的最大峰点荷载值

X_y ——试体的屈服位移

2.2.2 拟动力试验数值加载值计算符号

$[K]$ ——多质点试体的初始侧向刚度矩阵

M, M_i ——试体质量和第 i 个质点的质量

$[M]$ ——试体质量矩阵

C ——试体阻尼比

$[C]$ ——试体的阻尼矩阵

$\dot{X}, \{X\}$ ——试体的速度和速度向量

$\ddot{X}, \{X\}$ ——试体的加速度和加速度向量

$\ddot{Z}_0, \{\ddot{Z}_0\}$ ——地震地面运动加速度和加速度向量

$P, \{P\}$ ——试体的恢复力和恢复力向量

P_i ——第 i 质点的恢复力

λ_i, λ_j ——第 i 和第 j 振型的阻尼比

ω_i, ω_j ——第 i 和第 j 振型的圆频率

Δt ——积分时间间隔(地震加速度取值时间间隔)

$\bar{m}, \bar{C}, \bar{P}$ ——等效质量,等效阻尼,等效试体恢复力

\bar{X} , \bar{X} , \bar{X} ——等效位移,等效速度和等效加速度

U_i ——第一振型曲线中第 i 个质点位移与最大位移的比值

2.2.3 试体设计使用符号

ρ_{1m} ——模拟人工质量施加于模型上的附加材料的质量密度

ρ_{0m} ——模型材料中的质量密度

ρ_{0p} ——原型结构具有结构效应的材料的质量密度

L_m ——模型结构几何尺寸

L_p ——原型结构几何尺寸

3 试体的设计

3.1 一般规定

3.1.1 采用模型或截取部分结构作试体时,试体应分别满足原型结构的几何、物理、力学、构造和边界的相应条件。

3.1.2 试体的尺寸应根据试验目的要求,和现有设备条件进行设计,并应满足本规程的有关规定。

3.1.3 试体设计时应进行试体的局部处理。试验时不得发生非试验目的的破坏。

3.1.4 当试体为截取的柱或墙时,其上部荷载重量应视为竖向外力。

3.1.5 当试体为构件时,同类构件不得少于 2 个;用于基本性质试验的构件数量,应通过各种因素用正交设计确定。

3.1.6 模型试体材料重力密度不足时可采用均匀附加荷载弥补,此时应按附加荷载在整个试体上的作用位置与分布情况确定。

3.1.7 拟静力和拟动力试验试体与原型结构的相似条件的设计应按本规程附录 A.1 进行。

3.2 拟静力和拟动力试验试体的尺寸要求

3.2.1 砌体结构的墙体试体与原型比例不宜小于原型的 1/4。

3.2.2 混凝土结构墙体试体,高度和宽度尺寸与原型比例,不宜小于原型的 1/6。

3.2.3 框架节点试体,其尺寸与原型比例不宜小于原型的 1/4。

3.2.4 框架试体与原型比例可取原型结构的 1/8。

3.3 模拟地震振动台试验试体的设计要求

3.3.1 结构弹性模型与原型比例不宜小于原型结构的 $\frac{1}{100}$ 。结构弹塑性模型与原型的比例不宜小于原型结构的 $\frac{1}{15}$ 。

3.3.2 试体设计时应满足试体安装、结构反应量测和传感器安装等对试体构造的要求。

3.3.3 对于多层整体结构模型试体,当以荷重块作为人工模拟质量时,可均匀布置在各层楼面和屋面上,荷重块应与模型固牢。

3.3.4 对于单榀框架或单片墙体等平面试体,应计入模拟用集中质量的重心高度对试体在平面外所产生的影响。

3.3.5 结构动力试体应按相似理论进行设计,其试验模型应符合本规程附录 A 的规定。

4 试体的材料与制作要求

4.1 砌体试体的材料与制作

4.1.1 抗震试验所用块材的强度等级应与原型结构相一致。

4.1.2 第一皮砖或砌块与底梁之间、最上层砖或砌块与顶梁之间的水平灰缝砂浆强度等级不应低于 M10,且应高于试体设计砂浆强度等级。

4.1.3 试体应根据模型的缩尺比例,可采用特制的缩尺砖或砌块。

4.1.4 试体材料力学性能试验方法应符合现行国家标准《砌体基本力学性质试验方法》的要求。

4.1.5 试体为配筋砌体时,尚应进行砌体中所配钢筋的基本力学性能试验。

4.1.6 砌体试体的制作、养护应符合国家标准《砌体工程施工及验收规范》的要求。

4.2 混凝土试体的材料与制作

4.2.1 试体采用混凝土时,应进行下列力学性能试验:

4.2.1.1 制作混凝土立方体试件,测定试体混凝土抗压强度。

4.2.1.2 当需要混凝土的应力应变关系时,应制作棱柱体试件进行测定,并绘制混凝土的应力—应变曲线。

4.2.1.3 未取样试体混凝土的材料实际强度,可在全部试验完成后,从试体受力较小部位截取试件进行材料力学性能试验。

4.2.2 混凝土弹塑性模型其力学性能和骨料级配宜采用与原型结构有相似性的混凝土作为试体材料。

4.2.3 混凝土弹塑性模型其试体配筋的材料应符合相似性的要求,可采用细筋。当采用盘圆筋需要调直时应计入力学性能的影响。模拟细纹筋时,光面钢筋宜作表面压痕处理。

4.2.4 试体采用的钢筋,应事先取样,并测定钢筋的弹性模量,绘制钢筋的应力—应变曲线。

4.2.5 试体制作时安装量测仪表的预埋件和预留孔洞位置应正确;在施工中应采取防止预埋的传感元件损坏的措施。

4.2.6 各类混凝土材性试作均应与试体同批同时制作,并应在同样条件下进行养护。

4.2.7 混凝土试体的制作、养护应符合现行国家标准《混凝土工程施工及验收规范》的要求。

5 拟静力试验

5.1 一般要求

5.1.1 本章适用于混凝土结构、钢结构、砌体结构、组合结构的构件及节点抗震基本性能试验。以及结构模型或原型在低周反复荷载作用下的抗震性能试验。

5.2 试验装置及加载设备

5.2.1 试验装置的设计应满足下列要求：

5.2.1.1 试验装置与试验加载设备应满足试体的设计受力条件和支承方式的要求。

5.2.1.2 试验台、反力墙、门架、反力架等，其传力装置应具有刚度、强度和整体稳定性。试验台的重量不应小于结构试体最大重量的 5 倍。试验台应能承受垂直和水平方向的力。试验台在其可能提供反力部位的刚度，应比试体大 10 倍。

5.2.1.3 墙体通过加载器施加竖向荷载时，应在门架与加载器之间设置滚动导轨(图 5.2.1)。其摩擦系数不应大于 0.01。

5.2.1.4 加载器的加载能力和行程应大于试体的最大受力和极限变形。

5.2.2 梁式构件可采用不设滚动导轨的试验装置(图 5.2.2)。

5.2.3 对顶部不容许转动的构件，所采用图 5.2.3 的试验装置，其四连杆结构与 L 型加载杆均应具有足够的刚度。对以弯剪受力为主的构件可采用本规程图 5.2.1 墙片试验装置。

5.2.4 对于梁柱节点的试验，当试体要求测 $P-\Delta$ 效应时应采用图 5.2.4-2 的试验装置，当不要求测 $P-\Delta$ 效应时应采用图 5.2.4-1 试验装置。

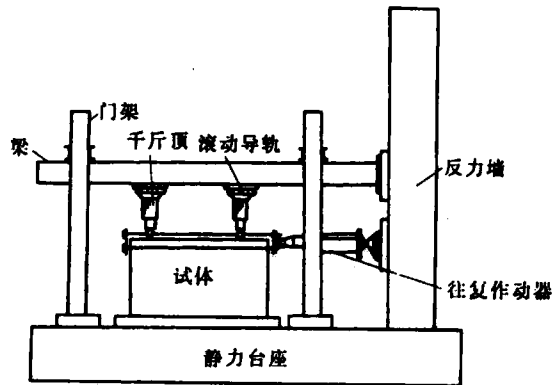


图 5.2.1 墙片试验装置

5.2.5 当进行多点侧向分配梁加载时，分配梁可采用悬吊支撑试验装置(图 5.2.5)。

5.2.6 柔性或易失稳试体的拟静力试验，应采取抗失稳的技术措施。

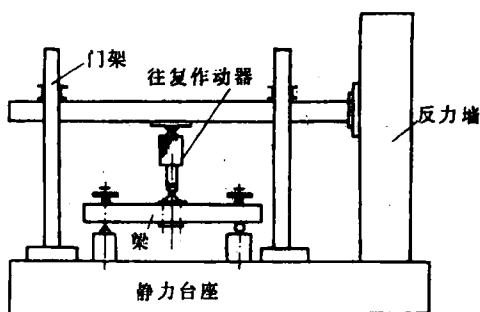


图 5.2.2 梁式构件试验装置

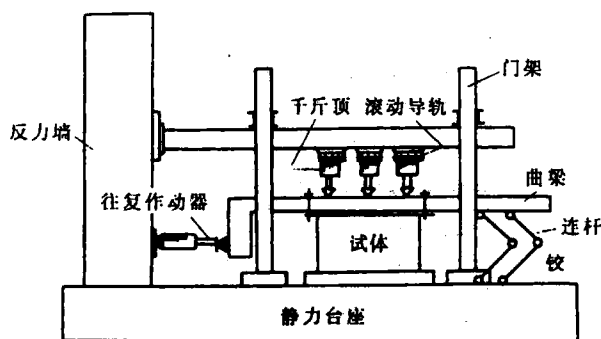


图 5.2.3 顶部无转动的抗剪试验装置

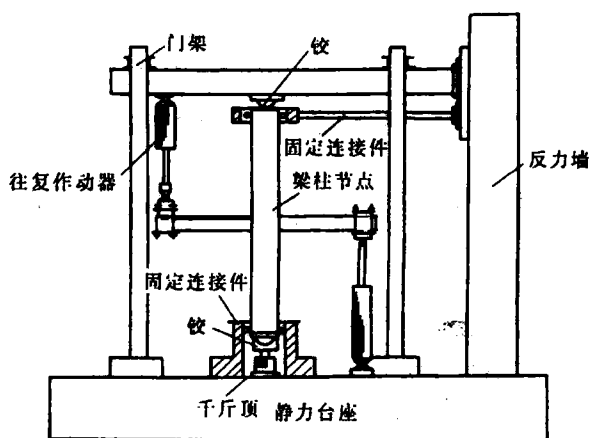


图 5.2.4-1 梁柱节点试验装置

5.3 量测仪表的选择

5.3.1 应根据试验的目的选择测量仪表,仪表量程应满足试体极限破坏的最大量程,分辨率应满足最小荷载作用下的分辨能力。

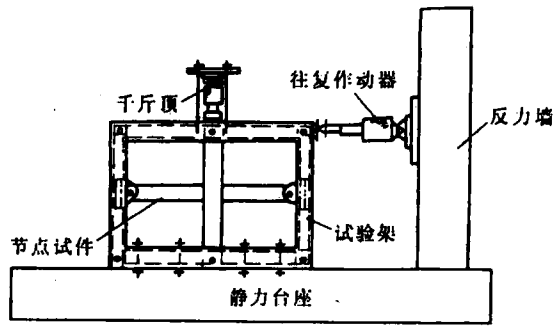
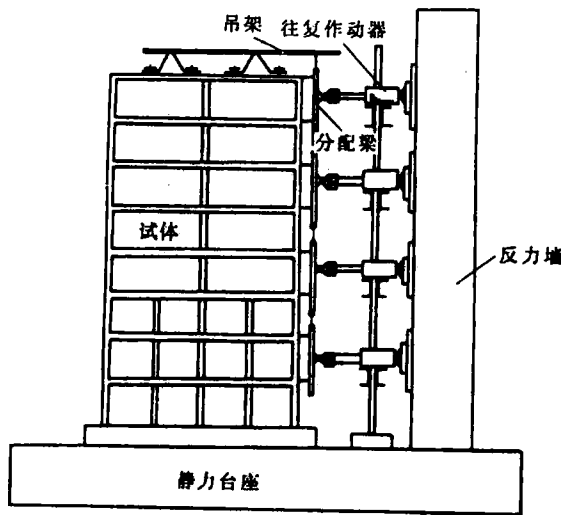
图 5.2.4-2 测 $P-\Delta$ 效应的节点试验装置

图 5.2.5 分配梁悬吊支撑加载试验装置

5.3.2 位移计量的仪表最小分度值不宜大于所测总位移的0.5%。示值允许误差为 $\pm 1.0\% F \cdot S$ 。

注： $F \cdot S$ ——表示满量程。

5.3.3 应变测量仪表的精度、误差和量程应满足下列要求：

5.3.3.1 各种应变式传感器最小分度值不宜大于 10×10^{-6} 。示值允许误差为 $\pm 1.0\% F \cdot S$ ；量程不宜小于最小分度值的 100 倍。

5.3.3.2 静态电阻应变仪(包括具有巡回检测自动化功能的数字式应变仪)的精度不应低于 B 级,最小分度值不宜大于 10×10^{-6} 。

注:电阻应变仪量测精度级别应符合国家行业标准《ZBY 109—82》的规定。

5.3.4 各种记录仪精度不得低于 $0.5\% F \cdot S$ 。

5.4 加载方法

5.4.1 正式试验前,应先进行预加反复荷载试验二次;混凝土结构试体预加载值不宜超

过开裂荷载计算值的 30%；砌体结构试体不宜超过开裂荷载计算值的 20%。

5.4.2 正式试验时的加载方法应根据试体的特点和试验目的确定。宜先施加试体预计开裂荷载的 40%~60%，并重复 2~3 次，再逐步加至 100%。

5.4.3 试验过程中，应保持反复加载的连续性和均匀性，加载或卸载的速度宜一致。

5.4.4 当进行承载能力和破坏特征试验时，应加载至试体极限荷载下降段；对混凝土结构试体下降值应控制到最大荷载的 85%。

5.4.5 试体拟静力试验的加载程序应采用荷载—变形双控制的方法：

5.4.5.1 试体屈服前，应采用荷载控制并分级加载；接近开裂和屈服荷载前宜减小级差进行加载。

5.4.5.2 试体屈服后应采用变形控制。变形值应取屈服时试体的最大位移值，并以该位移值的倍数为级差进行控制加载。

5.4.5.3 施加反复荷载的次数应根据试验目的确定。屈服前每级荷载可反复一次，屈服以后宜反复三次。

5.4.6 平面框架节点的试体的加载，当以梁端塑性铰区或节点核心区为主要试验对象的试体，宜采用梁—柱加载；当以柱端塑性铰区或柱连接处为主要试验对象时，宜采用柱端加载，但应计入 $P-\Delta$ 效应的影响。

5.4.7 对于多层结构试体的水平加载可按倒三角形分布。水平荷载宜通过各层楼板施加。

5.5 试验数据处理

5.5.1 混凝土构件试体的荷载及变形试验资料整理应按下列规定进行：

5.5.1.1 开裂荷载及变形应取试体受拉区出现第一条裂缝时相应的荷载和相应变形。

5.5.1.2 对钢筋屈服的试体，屈服荷载及变形应取受拉区主筋达到屈服应变时相应的荷载和相应变形。

5.5.1.3 试体的承受最大荷载和变形应取试体承受荷载最大时相应的荷载和相应变形。

5.5.1.4 破坏荷载及相应变形应取试体在最大荷载出现之后，随变形增加而荷载下降至最大荷载的 85% 时的相应荷载和相应变形。

5.5.2 混凝土试体的骨架曲线应取荷载变形曲线的各加载级第一循环的峰点所连成的包络线(图 5.5.2)。

5.5.3 试体的刚度可用割线刚度来表示，割线刚度 K_i 应按下式计算：

$$K_i = \frac{|+F_i| + |-F_i|}{|+X_i| + |-X_i|} \quad (5.5.3)$$

式中 F_i ——第 i 次峰点荷载值；

X_i ——第 i 次峰点位移值。

5.5.4 试体的延性系数，应根据极限位移 X_u 和屈服位移 X_y 之比计算：

$$\mu = \frac{X_u}{X_y} \quad (5.5.4)$$

式中 X_u ——试体的极限位移；

X_y ——试体的屈服位移。

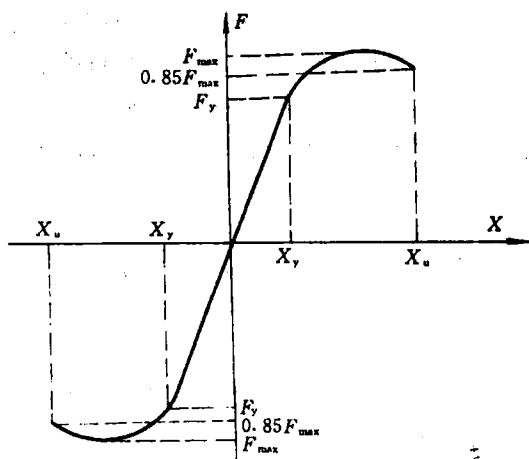


图 5.5.2 试体荷载变形曲线

5.5.5 试体的承载力降低性能,应用同一级加载各次循环所得荷载降低系数 λ_i 进行比较, λ_i 应按下列式计算:

$$\lambda_i = \frac{F_j^i}{F_j^{i-1}} \quad (5.5.5)$$

式中 F_j^i ——位移延性系数为 j 时,第 i 次循环峰点荷载值;

F_j^{i-1} ——位移延性系数为 j 时,第 $i-1$ 次循环峰点荷载值。

5.5.6 试体的能量耗散能力,应以荷载—变形滞回曲线所包围的面积来衡量,能量耗散系数 E 应按下列式计算:

$$E = \frac{S_{(ABC+CDA)}}{S_{(OBE+ODF)}} \quad (5.5.6)$$

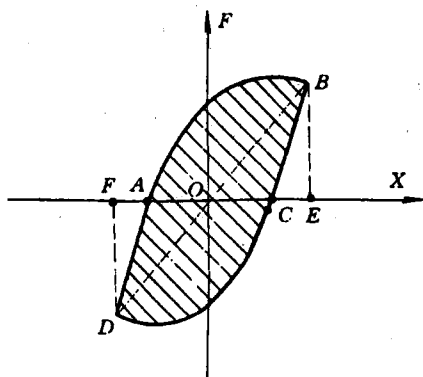


图 5.5.6 荷载—变形滞回曲线

6 拟动力试验

6.1 一般要求

6.1.1 本章适用于混凝土结构、钢结构、砌体结构、组合结构的模型在静力试验台上模拟实施地震动力反应的抗震性能试验。

6.1.2 对刚度较大的多质点模型可采用等效单质点拟动力试验方法。

6.2 试验系统及加载设备

6.2.1 拟动力试验系统应符合下列要求：

6.2.1.1 试验系统应由试体、试验台、反力墙、加载设备、计算机、数据采集仪器仪表组成。

6.2.1.2 加载设备宜采用闭环自动控制的机械或液压伺服系统装置的试验机。

6.2.1.3 与动力反应直接有关的控制参数仪表不宜采用非传感器式的机械直读仪表。

6.2.2 加载设备的性能应满足下列要求：

6.2.2.1 试验系统应能实现力和位移反馈的伺服控制。

6.2.2.2 系统动态响应的幅频特性不应低于 $2(\text{mm} \times \text{Hz})$ 。

6.2.2.3 力值系统允许误差为 $\pm 1.5\%F \cdot S$ ；分辨力应小于或等于 $0.1\%F \cdot S$ 。

6.2.2.4 位移系统允许误差为 $\pm 1\%F \cdot S$ ；分辨力应小于或等于 $0.1\%F \cdot S$ 。

6.2.2.5 加载设备在一段地震加速度时程曲线的试验周期内，其加载设备应稳定可靠、无故障地连续工作。

6.3 数据采集仪器仪表

6.3.1 测量仪表可按本规程第5.3节的规定选择。

6.3.2 试体各测量值，应采用自动化测量仪器进行数据采集记录，采集速度不宜低于每秒钟1个测点。

6.4 控制、数据处理计算机及其接口

6.4.1 拟动力试验采用的计算机(包括软件)应满足实时控制与数据采集、数据处理、图形输出等功能要求。

6.4.2 试体控制参量、结构量测参量应通过标准接口 A/D、D/A 接口，实现控制与数据采集。

6.5 试验装置

6.5.1 试验装置的设计应符合本规程5.2节的规定。

6.5.2 水平加载分配装置宜采用垂直方向滚动弹性支承(图 6.5.2)。

6.5.3 伺服作动器两端应有球铰法兰连接件，分别和反力墙、试体连接(图 6.5.3)。

6.5.4 结构试体垂直恒载加荷，宜采用短行程的伺服作动器并配装能使试体产生剪弯反力的装置。恒载精度应为 $\pm 1.5\%$ ，当装置(见图 6.5.4)采用一般液压加荷设备时，应有

稳压技术措施,稳压允许误差为 $\pm 2.5\%$ 。

6.5.5 框架或杆件结构试体的水平集中荷载应通过拉杆传力装置作用在节点上,其总承载力应大于最大加载力的二倍。

6.5.6 作用在结构模型试体上的水平集中荷载应通过分配梁—拉杆装置均布在楼层板或梁上。拉杆装置总承载力应大于最大加载力的二倍。各拉杆拉力的不均匀差不应大于5%。拉杆若需穿过结构模型试体结构开间或墙板时,其孔洞位置和孔径不宜影响试体受力状态。

6.5.7 分配梁应为简支铰接结构。集中荷载的分配级数不应大于三级。与试体接触的卧式拉杆梁应具有刚度。

6.5.8 柔性或不稳定结构试体的拟动力试验,应符合本规程第5.2.6条的规定。

6.6 试验实施和控制方法

6.6.1 试验前应根据结构的拟建场地类型选择具有代表性的地震加速度时程曲线,并形成计算机的输入数据文件。

6.6.2 拟动力试验宜根据试验试体的不同工作状态的要求,可将地震加速度数据文件中的各加速度值按振动规律扩大或缩小。

6.6.3 试验前宜对模型先进行小变形静力加载试验,并确定试体的初始侧向刚度。

6.6.4 拟动力试验初始计算参数应包括:各质点的质量和高度、初始刚度、自振周期、阻尼比等。

6.6.5 试验的加载控制量应取试体各质点在地震作用下的反应位移。当试体刚度很大时,可采用荷载控制下逼近位移的间接加载控制方法,但最终控制量仍应是试体质点位移量。

6.6.6 量测试体各质点处的变形和结构恢复力,宜采取多次反复采集的算术平均值。

6.6.7 拟动力试验的基本步骤及每步加载值计算应符合本规程附录B的规定。

6.6.8 在拟动力试验中应对仪表布置、支架刚性、荷载最大输出量、限位等,采取消除试验系统误差的措施。

6.7 试验数据处理

6.7.1 对采用不同的地震加速度记录和最大地震加速度进行的每次试验,均应对试验数据进行图形处理,各图形应考虑计入结构模型进入弹塑性阶段后各次试验依次产生的残余变形影响,主要图形数据应包括下列内容:

6.7.1.1 基底总剪力—顶端水平位移曲线图;层间剪力—层间水平位移曲线图;试体各质点的水平位移时程曲线图和恢复力时程曲线图;

6.7.1.2 最大加速度时的水平位移图、恢复力图、剪力图、弯矩图;抗震设计的时程分析曲线与试验时程曲线的对比图。

6.7.2 试体开裂时的基底总剪力、顶端位移和相应的最大地震加速度应按试体第一次出现裂缝(且该裂缝随地震加速度增大而开展)时的相应数值确定,并应记录此时的地震反应时间。

6.7.3 试体屈服、极限、破损状态的基底总剪力、顶端水平位移和最大地震加速度宜按以

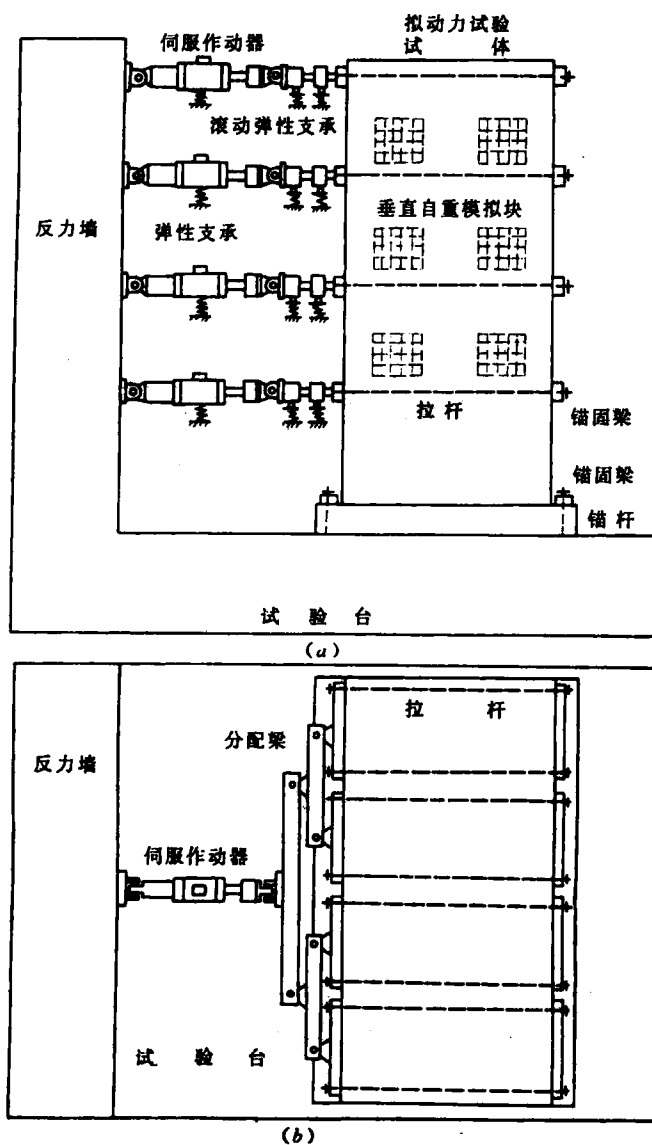


图 6.5.2 模型试体拟动力试验装置

(a)立面图;(b)平面图

下方法确定:

6.7.3.1 应采用同一地震加速度记录按不同最大地震加速度进行的各次试验得到的基底总剪力—顶端水平位移曲线,取各曲线中最大反应循环内并已考虑各次试验依次使结构模型产生的残余变形影响后的各个反应值绘于同一坐标图中,做出基底总剪力—顶端水平位移包络线(图 6.7.3)。

6.7.3.2 取包络线上出现明显拐弯点处(正、负方向上较小一侧)的数值为试体屈服基底总剪力、屈服顶端水平位移和屈服状态地震加速度。