

# “东南大学第十六届结构创新竞赛暨第六届南京高校邀请赛”

## 加载组竞赛题目及细则

### 一、基本竞赛规则

本次加载组竞赛所施加荷载为利用大型振动台模拟的实际水平地震作用。

参加加载组竞赛的每一个队伍需要设计并制作一个房屋模型，用以承受附加铁块载重，并抵抗振动台所产生的人工地震作用。在正式加载时，参赛模型将被分批置放于振动台上，并施加若干级不同大小的地震作用。地震作用将先由小地震开始，逐级加大，最大的地震加速度将到达 1500gal (1500cm/s<sup>2</sup>)。地震加载如右图所示。

所有参赛队伍的模型自身质量( $M_M$ )、承载铁块的加重量( $W_e$ )，与测试后之模型能承受的最大地震力大小( $I$ ) (详见模型破坏准则)，都将被记录下来，用以计算每个参与队伍模型的效率比(efficiency ratio，具体计算方法见赛题第四、五部分)。



图 1 加载示意图

依据模型的结构造型与体系、模型制作工艺和加载效率比结果三个方面进行综合评分(具体评分细则见赛题第七部分)，依据综合评分排序决出加载组竞赛获奖队伍。

### 二、模型材料

(1) 木材：用于制作结构构件。尺寸：长度 1000mm，截面有 50mm×1mm、50mm×2mm、2mm×2mm、6mm×6mm；性能参考值：顺纹弹性模量  $1.0 \times 10^4$ MPa，顺纹抗拉强度 30MPa。

(2) 502 胶水：用于构件之间的连接、模型与底板的连接。

(3) 热熔胶：用于铁块的固定。

(4) 模型固定底板：厚度约 6mm 的木板，长与宽分别为 29cm 与 29cm。底板上除组委会预设的孔洞外，严禁参赛队伍另行钻孔。

### 三、模型要求

#### 3.1 几何尺寸要求

(1) 基本结构。模型必须至少包括一个房屋的基本骨架，可采用**框架结构体系或外框架-内核心筒结构体系**。参赛队伍可以但不强制要求制作建筑美观之包覆或装饰，但必须采用竞赛规定的材料，并应符合以下的相关要求，亦不得阻碍裁判检查模型。

(2) 模型大小：**模型总高度不得超过 80cm**。总高度为底板顶面至模型顶面的垂直距离。**模型底面尺寸不得超过 22cm×22cm 的正方形平面**，即**整个模型（包含所有柱脚细部构造）需放置于该 22cm×22cm 正方形平面范围内**，模型底面外轮廓与底板边缘应有足够的距离

以保证底板能顺利安装于振动台上。

(3) 楼面数：模型必须至少具有 4 个楼面。底板视为模型第一楼层的楼面。底板以上的各楼面范围须通过设置于边缘的梁予以明确定义。模型顶部平面亦被视为一个楼面。

(4) 楼层面积：楼层面积是指楼面各承重分区最外围的梁构件所包络的平面面积。模型总楼层面积必须在  $750\text{cm}^2$  至  $1800\text{cm}^2$  的范围之内(不含底板所在的楼面面积)。每个楼层面积不得小于  $100\text{cm}^2$ 。

(5) 楼层净高：模型底部的楼层净高应不小于  $18\text{cm}$ ，上部的楼层净高应不小于  $16\text{cm}$ 。楼层净高是指对于相邻的两个楼面，下部楼面主要横向构件顶部与上部楼面主要横向构件底部之间的最小距离。对于底部楼层，若底板上设置有地梁，则楼层净高需自地梁顶部开始测算；若无地梁，则从底板顶面开始测算。柱脚加劲肋、隅撑及其他外立面构件不影响计算楼层净高。

(6) 使用功能要求：楼层应具有足够的承载刚度，各层空间应满足一定的使用功能要求。在模型内部，相邻的上、下两个楼面之间不能设置任何横向及空间斜向构件。图 2(a)~(c)给出几组示例，便于选手对本条规则的理解。另外，模型底层所有方向的外立面底部正中必须保留能够设置一个  $12\text{cm}\times 12\text{cm}$ (高 $\times$ 宽)的门洞的空间。

(7) 内部核心筒要求(本条仅对采用外框架-内核心筒结构体系的模型适用)：内部核心筒的具体组建形式不限，但应同时满足下列要求：①沿高度方向须贯穿整个模型；②沿高度方向各处的包络平面面积均相等；③其水平投影面积应至少能包含一个  $5\text{cm}\times 5\text{cm}$  的区域；④在复核本节第(4)条的模型楼层面积要求时，核心筒在各层的包络平面面积不计入该层的楼层面积；⑤不允许在核心筒内放置铁块。

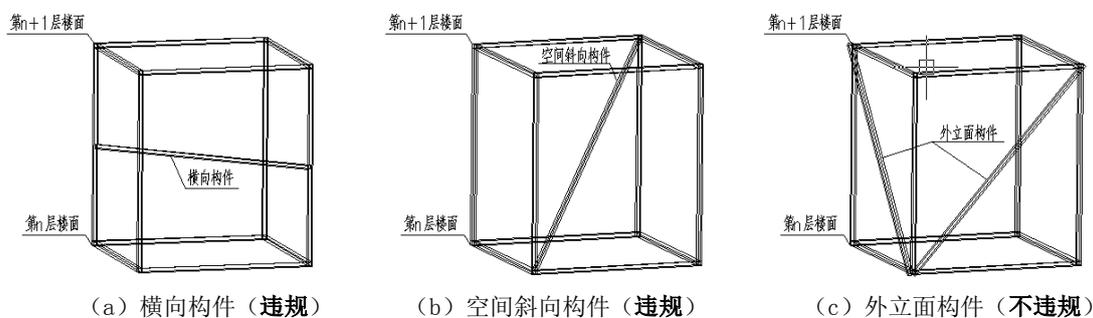


图 2 构件布置示例

### 3.2 附加铁块安装要求

(1) 利用热熔胶将附加铁块固定在模型除底板以外的各层楼面结构上(若采用外框架-内核心筒结构体系，则不允许在核心筒内部放置铁块)，可设置固定铁块的辅助装置，但辅助装置和铁块不能超出楼面范围且不能直接跟柱、核心筒接触。

(2) 组委会提供的铁块为统一规格，长、宽、高分别为  $6.0\text{cm}$ 、 $4.5\text{cm}$  与  $3.2\text{cm}$ ，质量统一按  $675\text{g}$  计算(由于加工精度，实际尺寸存在  $1\text{mm}$  以内误差，实际质量存在  $5\text{g}$  以内误差)。除了底板之外，模型的每个楼面至少需放置两块铁块。模型总铁块数至少 12 块，至多 40 块。各队在正式提交模型时，同时需要提交明确的铁块布置方案。

## 四、模型加载

本次竞赛采用振动台**单方向**模拟地震作用加载。模型的抗侧体系应在方案说明书中阐述清楚。加载时模型的放置方向根据所发放的底板标识(A 或 B)通过抽签挑边确定。

#### 4.1 输入地震波

振动台输入地震波采用 El Centro\_NS 波，该地震波是 1940 年 5 月 18 日美国 Imperial Valley 地震 (7.1 级) 时在 El Centro 台站记录的 N-S 向加速度时程数据，其原始记录全部波形长 54 秒，各数据点的时间间隔为 0.02s，加速度峰值大小为 341.7gal。图 3 所示为该地震波的波形图。

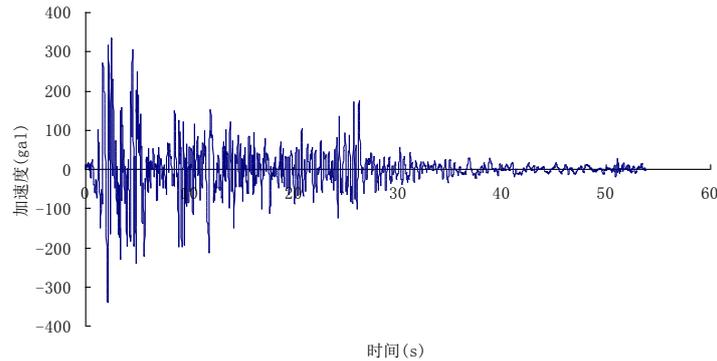


图 3 El Centro\_NS 地震波波形(原始记录)

#### 4.2 荷载施加方式

竞赛加载将分八次进行，逐级加大振动强度。通过比例调整的方法将原始记录数据的加速度峰值分别调整为 200gal、400gal、600gal、800gal、1000gal、1200gal、1400gal、1500gal，分别作为各次加载的输入振动。**另外，对于不同级别的加载，分别采用不同的相对于原始记录的时间相似比**（即对地震波各数据点的时间间隔进行一定的压缩），以全面检验模型在不同强度和频谱成分地震波作用下的承载能力。各级加载的时间相似比和实际总加载时间如表 1 所示，各级地震波的具体加速度数据详见附件。

表 1 各级加载的时间相似比和实际总加载时间

加载等级	数据点 时间间隔	时间相似比 (相对于原始记录)	实际加载总时间
200gal、400gal、600gal	0.016s	0.8: 1	43 秒
800gal、1000gal、1200gal	0.012s	0.6: 1	32 秒
1400gal、1500gal	0.01s	0.5: 1	27 秒

#### 4.3 模型失效评判准则

在进行加载时，出现下列**任一情形**则判定为模型失效，不能继续加载。同时，将上一个加载级别视为该模型实际所能通过的最高加载级别，并作为模型效率比计算的依据（参见第五部分说明）。

- (1) 模型整体或其中任何一个楼层发生坍塌的现象；
- (2) 任意一块铁块移出其原来所在楼面；
- (3) 超过半数的柱脚脱离底板原来位置；

(4) 现场裁判组所一致认定为属结构破坏的其它行为。

## 五、模型效率比的计算规则

本次比赛各组模型在加载环节的表现将根据其效率比  $E_i$  的计算结果进行评分。效率比  $E_i$  的计算如式(1)所示:

$$E_i = \frac{I \times W_e}{100M_M} \quad (1)$$

其中各项指标的意义与计算如下:

$W_e$  为该模型每层承受的铁块总质量( $W_i$ , 以 kg 计量)在考虑其高度的加权系数后累加计算得到的**等效负载质量**, 如式(2)所示:

$$W_e = \sum W_i h_i / 20 \quad (2)$$

式(2)中  $h_i$  为每一层所放置铁块的最底面至模型底板的垂直高度, 以 cm 计量;

$M_M$  为该模型结构本身的质量(不含底板), 以 g 计量。

$I$  为该模型所能通过的最高地震加载级别的峰值加速度, 以 gal 计量。

### 计算范例:

在此以一个例子来说明。若某参赛模型本身质量(不含底板)的质量  $M_M$  为 300g, 该模型只设置了 4 个楼面(包含底板平面), 在第 2、3、4 层楼面分别放置了 5、10、15 块铁块, 且每层铁块的最底面至模型底板的垂直高度分别为 25cm、50cm、75cm。模型通过了 600gal 级别的地震加载, 但在紧接下来 800gal 级别的加载中由于有铁块飞出模型而被判失效, 则该模型参与计算的  $I$  为 600gal, 其加载环节的效率比  $E_i$  为:

$$E_i = \frac{I \times W_e}{100M_M} = \frac{600 \times [0.675 \times (5 \times 25 + 10 \times 50 + 15 \times 75) / 20]}{100 \times 300} = 1.181$$

## 六、模型现场安装、加载注意事项

所有参赛模型将分批安装在振动台上进行加载, 每批若干个。在进行每批模型的地震加载之前, 组委会将会安排时间让该批参赛队伍将自己的模型固定于振动台上以及安装铁块于模型上:

(1) 组委会将给每队提供 12 枚螺钉, 供队员将模型底板固定于振动台上。底板与振动台必须连接可靠, 保证在加载时底板与振动台能够同步振动。

(2) 组委会将提供热熔胶, 供队员将铁块安装于模型上。

(3) 每个参赛队伍自行选出两名队员, 负责模型的安装工作。为保证全部比赛的有序进行, 底板固定与铁块安装的额定时间共 25 分钟。若在规定时间内无法完成模型安装, 则取下已安装铁块, 判定成绩无效, 由工作人员记录在案。

(4) 模型具体安装位置和底板放置方向通过抽签确定。

(5) 在模型安装时, 各队队员须注意人身安全, **且须避免碰撞到其他队伍的模型。**

(6) 若模型在安装过程中出现损坏，则丧失加载资格，由工作人员记录在案。

(7) 铁块安装必须与事先所提交的布置方案一致。模型安装完毕后，由工作人员进行复核。

(8) 严格禁止在安装时对模型进行任何形式的结构补强！违反此条规则的队伍直接取消模型加载资格！

(9) 参赛队伍如果在事先通知的加载时间未到场，则取消加载资格。

## 七、评分细则

每个参赛模型的最终总得分由以下三项组成：

### A. 结构选型（满分 10 分）

按模型结构的构思、造型和结构体系的合理性、实用性和创新性评分。

**注：若有采用隔震、减震、悬挂等较新颖的结构体系方案的，经裁判组合议，该模型此项得分的满分限值可以增至 20 分。**

### B. 模型制作工艺（满分 10 分）

按模型结构美观性、构件与节点制作精细性等评分。

### C. 加载表现评分（满分 80 分）

设  $E_{\max}$  为所有模型中的最高效率比，各模型根据其效率比结果  $E_i$  (参见第五部分说明)获得的加载表现分  $K$  的计算公式如式(3)：

$$K = \frac{E_i}{E_{\max}} \times 80 \quad (3)$$

以上 A-C 各项得分相加，分数最高者优胜。

**说明：**

(1) 以上 A 和 B 项由裁判组在加载前评毕。

(2) 各队提交模型后，工作人员将根据赛题第三部分的要求对模型逐项进行尺寸检查。如有某项尺寸误差超过 5%，则取消模型加载资格；如尺寸误差在 5% 以内，则由裁判组根据具体情况扣分处理。

(3) 对于材料使用方面作弊的模型，直接取消其参赛资格并在竞赛网站进行通报批评。

## 八、奖项设置

设一等奖 3%、二等奖 6%、三等奖 9%，优秀奖 12%。