

三重檐攒尖顶仿古楼阁模型制作与测试

1、选题背景

中国木结构古建筑在世界建筑之林中独树一帜、风格鲜明，具有极高的历史、文化及艺术价值。其中楼阁式古建筑以其优美的造型和精巧的设计闻名于世，已成为中国古建筑的典型象征。

据历代营造史料记载，楼与阁原有明显区别，但后来因其均为复层建筑，故通称楼阁，其中比较著名的有武汉黄鹤楼、岳阳岳阳楼、南昌滕王阁、烟台蓬莱阁以及西安钟楼等。我国古代楼阁构架形式多样，屋盖造型丰富。在广泛调研及征求意见的基础上，本次竞赛的模型形式确定为三重檐攒尖顶仿古楼阁。该类古建的一个现存实例为明代所建的西安钟楼，如图 1 所示。基于当前全球已进入巨震期这一工程背景，本次竞赛引入模拟地震作用作为模型的测试条件，这对于众多现存同类古建的抗震修缮与补强具有现实的科学价值和工程意义。



图 1 西安·钟楼

2、竞赛模型

竞赛模型采用竹质材料制作，包括一、二、三层构架及一、二层屋檐，其构造示例如图 2 (a) 所示。模型柱脚用热熔胶固定于底板之上，底板用螺栓固定于振动台上。模型制作材料、小振动台系统和模型配重由承办方提供，底板用螺栓固定于振动台上,其加载安装形式见图 2 (b)。

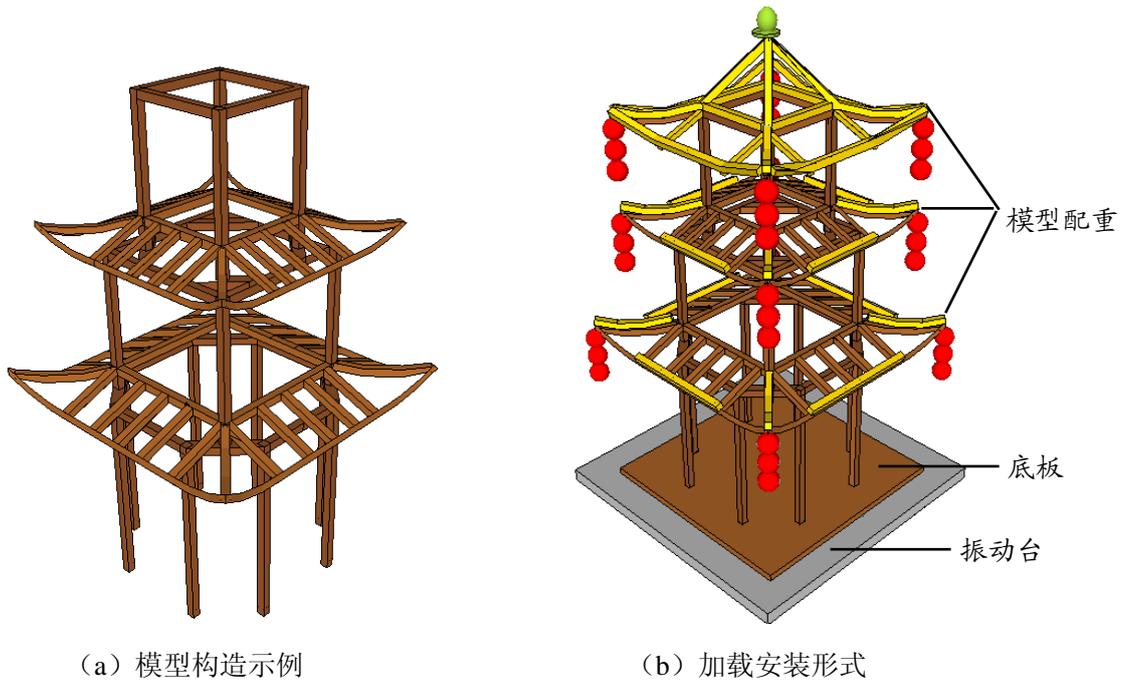


图 2 竞赛模型及其加载安装

3、模型要求

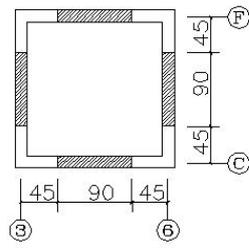
3.1 模型构造

3.1.1 总体规定

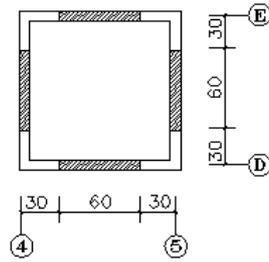
- (1) 赛题中所涉及各种尺寸，如无特殊说明，允许误差均为 $\pm 3\text{mm}$ 。
- (2) 一至三层楼面标高（由底板上表面量至各楼层梁的上表面最高处）分别为 0.24m、0.42m、0.60m。
- (3) 沿结构的外轮廓不能设置任何蒙皮。

3.1.2 竖向构件布置要求:

- (1) 结构竖向构件必须是铅直柱，不允许使用斜向支撑与拉条。



2-2



3-3

图 4 门窗洞口示意图
(图中阴影部分为门窗洞口)

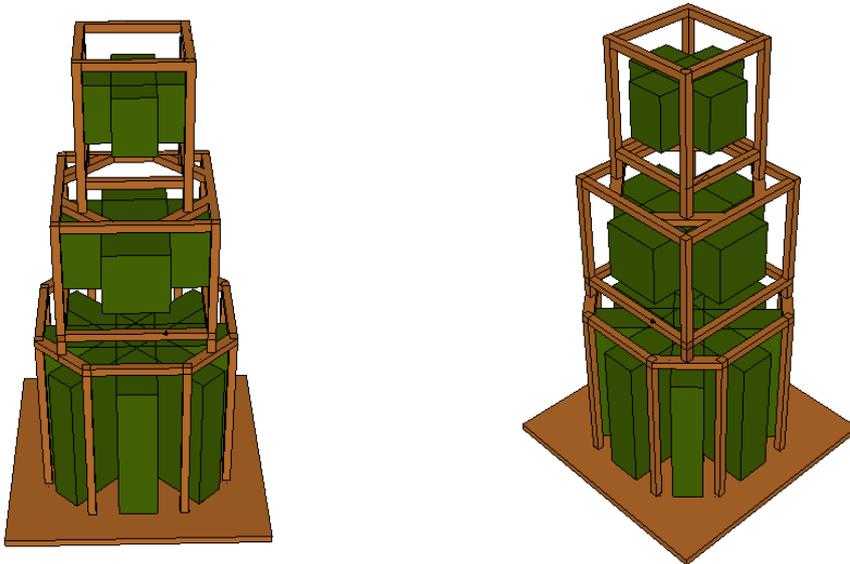


图 5 模型内部净空要求
(图中阴影部分不得设置构件)

3.1.3 水平构件布置要求

(1) 第三层柱顶沿外轮廓线应有横梁连接，且应符合本赛题 3.2 部分对屋盖配重安装的要求。

(2) 屋檐布置要求

①一、二层屋檐分别如图 6 所示；

②屋檐屋脊曲线段详图如图 7 所示；

一、二层屋檐屋脊曲线段的上边缘均为半径 135mm，弧长 160mm 的圆弧。一、二层屋檐屋脊曲线段分别安装在二、三层转角柱处。一层屋檐屋脊曲线段上边缘起点和终点的标高均为 270mm。二层屋檐屋脊曲线段上边缘起点和终点的标高均为 450mm。

③屋檐的立面标高如图 8 所示。

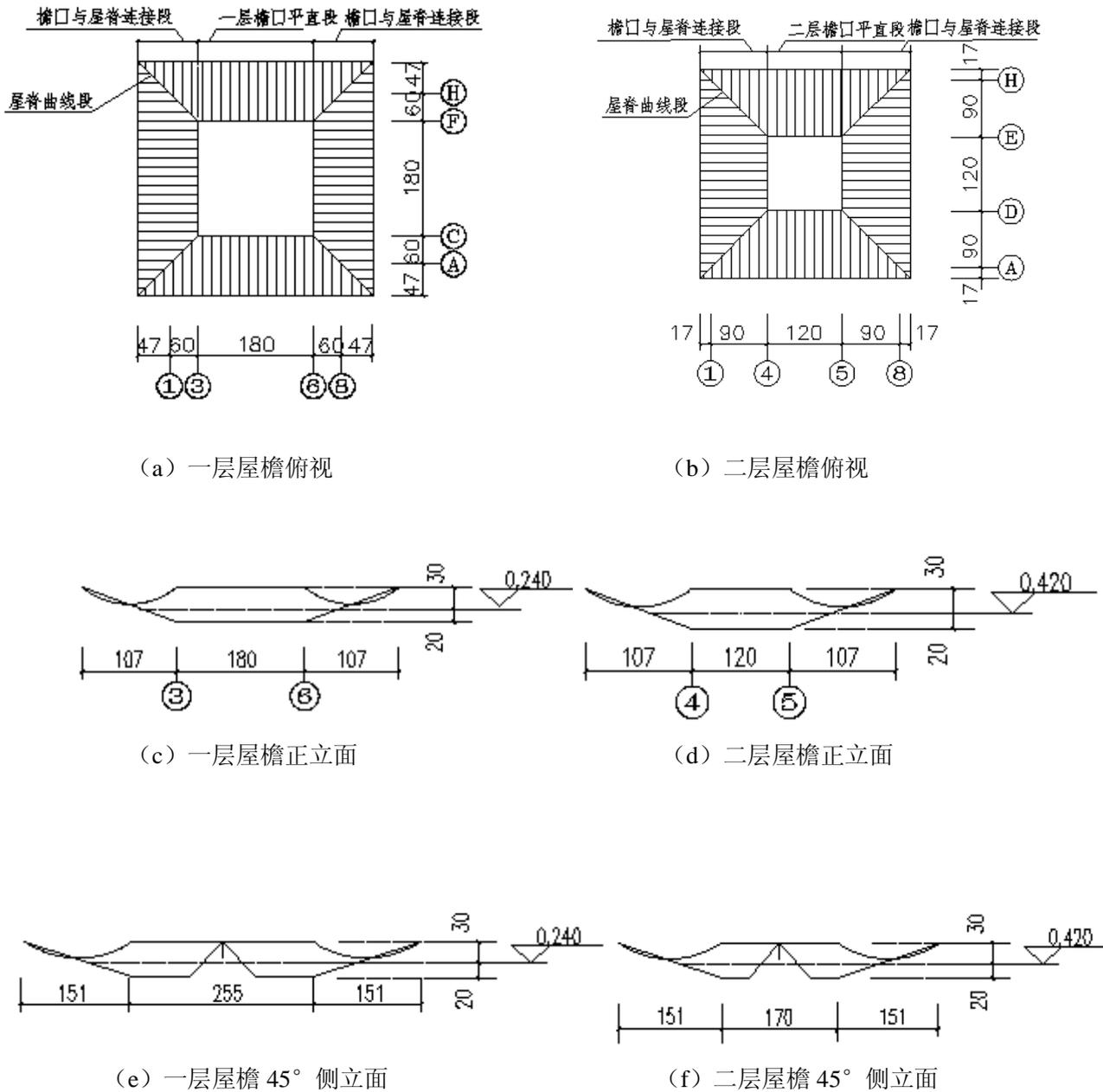


图 6 模型屋檐

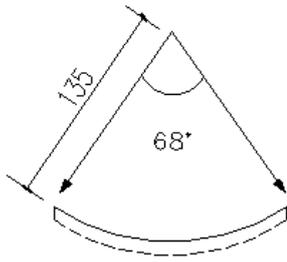


图7 屋檐屋脊曲线段详图

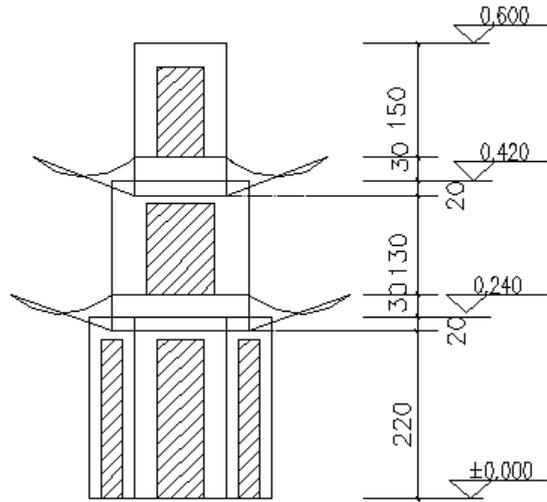


图8 屋檐立面标高

3.2 配重及安装要求

模型所加配重为铜条与铜球，铜条截面宽*高的尺寸均为 13mm*10mm，并以宽度为 13mm 的面与结构相粘结；铜球直径为 25mm。第一、二层屋檐配重质量分别为 2.4kg 和 1.8kg，第三层屋盖配重总质量为 4.0kg。

3.2.1 配重尺寸

(1) 一、二层屋檐

一、二层屋檐质量块包括屋檐屋脊曲线段和屋檐檐口直线段两部分。安装在屋檐屋脊曲线段上的配重为下边缘半径 135mm，弧长 180mm 的铜条，下边缘外挑端部在铅直方向固结三个串联在一起的铜球，安装在一、二层屋檐檐口直线段的配重铜条分别长 180mm 和 120mm。

(2) 屋盖

屋盖配重由屋顶和屋檐两部分组成，屋盖配重如图 9 所示。

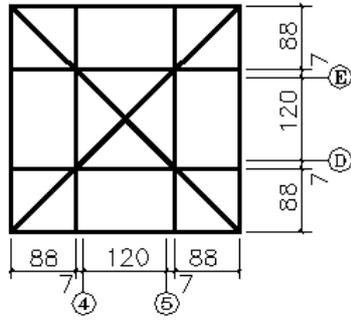
(a) 屋顶为高 90mm，底面边长 120mm*120mm 的正四棱锥。

(b) 屋檐屋脊曲线段为下边缘半径 135mm，弧长 130mm 的铜条，屋檐檐口直线段为 134mm 的铜条。

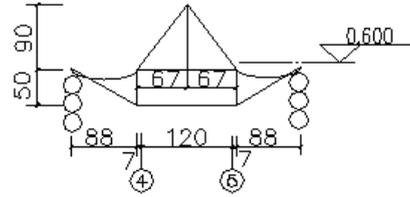
3.2.2 安装要求

一、二层屋檐和屋盖的安装位置如图 10 所示。配重及模型用热熔胶连接，要求相应部位尺寸应贴合，最大脱空间隙不得超过 3mm。

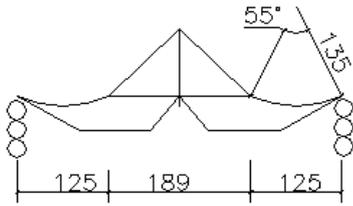
攒尖顶屋盖设有与第三层顶部连系横梁相粘结的铜条支座（如图 11 所示），用以将攒尖顶屋盖固定于第三层的柱顶横梁之上。



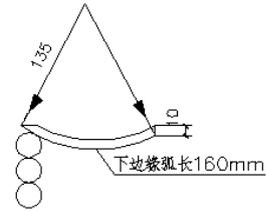
(a) 屋盖平面



(b) 屋盖立面

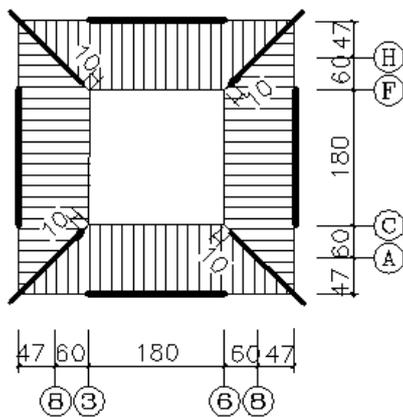


(c) 屋盖 45° 侧立面

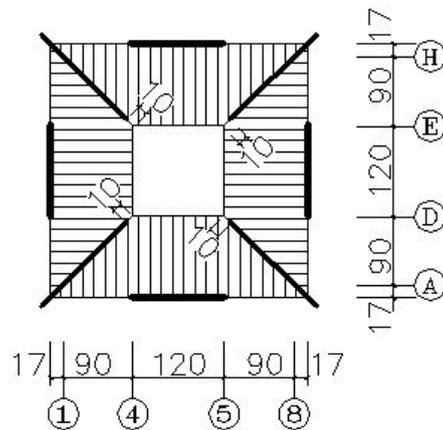


(d) 屋盖屋脊曲线段详图

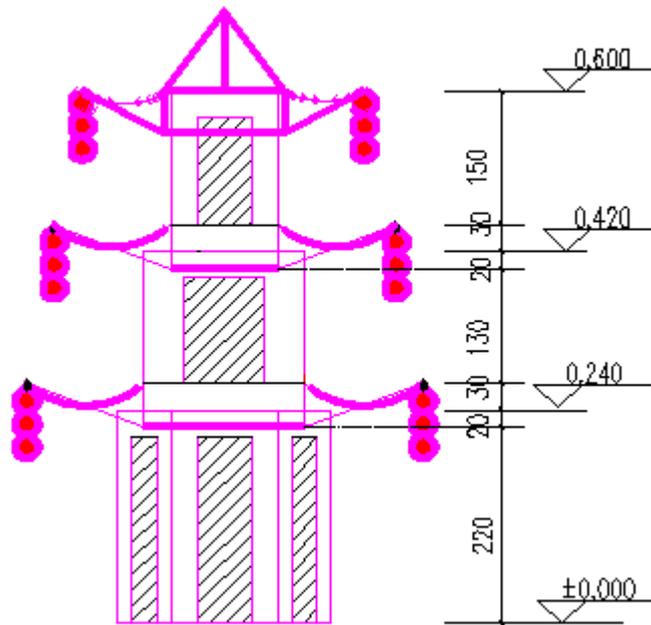
图 9 屋盖配重图



(a) 一层屋檐配重平面位置



(b) 二层屋檐配重平面位置



(c) 配重安装的立面位置

图 10 配重安装图

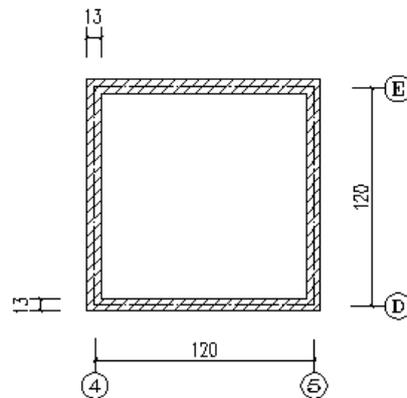


图 11 攒尖顶屋盖安装支平面图

4、加载设备介绍

结构模型采用**第二代改进型** WS-Z30 小型精密振动台系统进行模拟水平地震作用的加载，考察模型承载力。振动台系统的主要组成部分及相关参数信息如下：

水平振动台：型号 WS-Z30-50（如图 12）

指标：水平台尺寸：506 × 380 × 22mm，荷载：30kg，重量：11.5kg，材料：铝合金 LY12。

功能：承载实验模型。

激振器：型号：JZ-50（如图 13）

指标：工作频率：0.5~3000Hz，最大位移： $\pm 8\text{mm}$ ，激振力：500N，重量：28kg

功能：使水平台振动。

功率放大器：型号：GF-500W

指标：失真度： $<1\%$ ，噪声： $<10\text{mV}$ ，输出阻抗： 0.5Ω ，工作频率：DC~10000Hz，

输出电流：25A，输出电压：25V，功率：500VA，供电电压：220VAC，尺寸：44x48x18cm，

重量：18g

功能：为激振器提供输出功率。

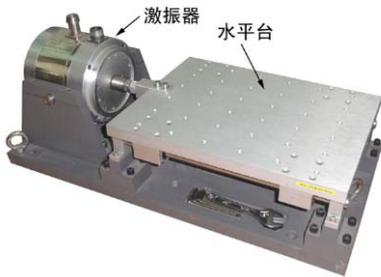


图 12 水平振动台和激振器



图 13 功率放大器

5、加载方法与失效评判

5.1 输入地震波

加载所用的波形文件，由组委会后续以附件形式补充提供。

5.2 模型失效评判准则

模型在进行加载时，出现下列任一情形则判定为模型失效，不能继续加载。同时将上一次加载级别视为该模型实际所通过的最高加载级别，并作为模型效率比计算的依据（参见本赛题第 8 部分：评分标准）。

(1) 模型中的任一构件出现断裂或节点脱开。

(2) 配重脱落（包括配重条一端沿长度 1/3 部分脱离其支撑构件而另一端悬挂于结构上情况）。

(3) 第三级加载完毕：较加配重前，第一层屋檐的屋脊曲线段末端和檐口直线段中点沿铅直方向下挠度超过 10mm。第一层屋檐变形测量点的具体位置如图 14 所示

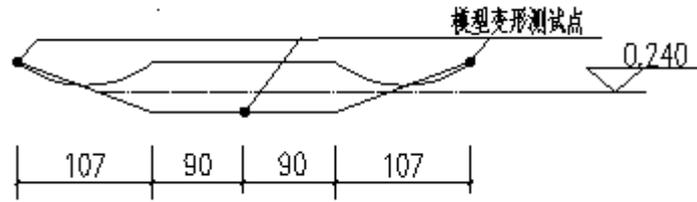


图 14 第一层屋檐变形测量点位置图

6、模型材料

竞赛期间，承办方为各队提供如下材料及工具用于模型制作，**不得擅自使用其它材料。**

(1) 竹材：用于制作结构构件。竹材规格及数量见表 1。

表 1 竹材规格及数量

竹材规格	竹材名称	数量
1250*430*0.50mm	本色侧压双层复压竹皮	2 张
1250*430*0.35mm	本色侧压双层复压竹皮	2 张
1250*430*0.20mm	本色侧压单层复压竹皮	2 张

注：竹材力学性能参考值：弹性模量 $1.0 \times 10^4 \text{MPa}$ ，抗拉强度 60MPa。

(2) 502 胶水，8 瓶（规格 25 克），用于模型结构构件之间的连接。

(3) 热熔胶：用于配重与模型的固定及模型与底板的连接。

(4) 模型安装底板：底板材料为竹制，厚度 20mm，长、宽分别为 400mm 和 400mm。底板上除预设孔洞外不得另行钻孔。底板孔洞标注图参见图 3 (a)。

(5) 制作工具：美工刀（3 把），1 米钢尺（1 把），三角板（2 块），圆规（1 把），砂纸（10 张），锉刀（1 把）、剪刀（1 把）、手套（3 付）、签字笔（1 支）、铅笔（1 支）、橡皮（1 块）。

另外，公用砂轮机由承办方提供。

7、模型现场安装、加载及测试步骤

7.1 赛前准备

- (1) 对底板及配重进行称重，得到质量 M_1 (单位: 克);
- (2) 核查模型尺寸是否满足制作要求;
- (3) 提交模型前，用热熔胶将模型与底板粘结牢固;
- (4) 加载测试前，用热熔胶将配重与模型粘结牢固，时间不超过 10 分钟，该步骤按抽签比赛顺序提前 2 队开始;
- (5) 称量包含配重与底板的模型质量 M_2 (单位: 克);
- (6) 以上过程由各队自行完成，赛会人员负责监督、标定测量仪器和记录。如在此过程中出现模型损坏，则视为丧失比赛资格。

7.2 加载及测试步骤

- (1) 得到入场指令后，迅速将模型及底板运进场内，安装在振动台上，紧固螺栓，准备进行加载。赛场内安装时间不得超过 3 分钟。
- (2) 参赛队代表进行 2 分钟陈述，之后评委提问，参赛队员回答问题。
- (3) 依次进行三级加载，每次加载完成后依据 5.2 的失效评判准则评价模型是否失效。

八、评分标准

8.1 总分构成

结构评分按总分 100 分计算，其中包括:

- | | |
|-------------------|----------|
| (1) 计算书及设计图 10% | (共 10 分) |
| (2) 结构选型与制作质量 10% | (共 10 分) |
| (3) 现场表现 5% | (共 5 分) |
| (4) 加载表现评分 75% | (共 75 分) |

8.2 评分细则

A. 计算书及设计图

(1) 计算内容的完整性 (共 6 分)

(2) 图文表达的清晰性、规范性 (共 4 分)

注：计算书要求包含：结构选型、结构建模及主要计算参数、受荷分析、节点构造、模型加工图（含材料表）。

B. 结构选型与制作质量

(1) 结构合理性与创新性 (共 6 分)

(2) 模型制作美观性 (共 4 分)

C. 现场表现

(1) 现场陈述 (共 3 分)

(2) 现场答辩 (共 2 分)

D. 加载表现评分

第 i 参赛组模型在加载环节的表现将根据其效率参数 E_i 的计算结果进行评分。效率比 E_i 的计算如式 (1) 所示：

$$E_i = \frac{100\alpha}{M_2 - M_1} \quad (1)$$

设 E_{\max} 为所有参赛模型中的最高效率参数，第 i 参赛组模型加载表现分 K_i 的计算公式如式 (2)：

$$K_i = \frac{E_i}{E_{\max}} \times 75 \quad (2)$$

α 为抗震调整系数：通过第一级加载取 0.5，通过第二级加载取 0.75，通过第三级加载取 1.0。第一级加载失效者， α 为 0。

以上 A~D 各项得分相加，分数最高者优胜。

长安大学建筑工程学院

2014 全国大学生结构设计竞赛组委会

2014/6/11