**第十八届华南理工大学结构设计竞赛**

**《受模拟地震荷载的高耸塔式结构模型设计与制作》**

1. **命题背景**

高耸塔式结构是建筑结构的重要类型，在电视塔、发电塔、观光塔中应用广泛。对于这类结构，设计时考虑如风荷载、地震荷载等横向作用是很重要的。广州塔在面对2018年台风“山竹”时，依然能安全矗立；而2021年发生的深圳赛格大厦振动，更是引起了人们对结构风振控制的重视。本次赛题以高耸塔式结构为基本单元，通过竖向静荷载模拟建筑结构自重，横向静荷载与强制位移静荷载来模拟地震荷载，以考察结构的承载能力与柔度。

1. **结构要求**
2. **结构概述**

本竞赛要求参赛队伍设计并制作一个塔式模型结构，模型应满足模型尺寸要求与加载要求。如图1所示，模型加载前需将砝码盘通过热熔胶固定在塔顶，并确保加载点能够加载。通过不同的砝码与位移模拟结构在地震荷载作用下产生的最不利工况下模型的受力状况。

由于一些加载装置尚未到位，图1&图2仅为加载装置示意图，图中信息如与后续题目内容有冲突以后续为准。后续补充信息将在QQ群中发布。



图1 &图2 模型加载装置

1. **模型尺寸要求**

塔身内部给出圆柱体内规避区，外部给出圆柱外规避界限，如图3所示。具体要求如下：

（1）塔顶要求：塔顶需为水平面，平面标高为H=1000mm，可以通过热熔胶可靠粘贴顶部砝码盘并放置顶部砝码，安装后的顶部砝码盘底面标高须与结构顶面要求高度H一致，以确保水平位移荷载能够准确施加。模型制作时，参赛队员应确保塔顶平面水平。

（2）塔身规避区要求：塔身外规避界限为底面直径300mm、高H=1000mm的圆柱，规定模型的外边界不得超出此界限；塔身内规避区为底面直径100mm，高 H-200mm（即800mm）的圆柱体，规定不得在此规避区内放置任何杆件；模型整体在灰色阴影之内。

上述相关尺寸的误差均需满足在±5mm范围内。



图3 模型制作空间（灰色部分，单位：mm）

1. **加载点说明**

本次竞赛共三级加载，其中一级与三级加载均通过塔顶加载盘加载。但二级加载将通过捆在选手自行选定的加载点上的尼龙绳进行加载，加载点需满足***加载方式介绍--第二级加载***中的要求。

1. **模型底板**

模型底板用于连接模型和振动台，如图4，板厚15mm。模型通过自攻螺钉固定于模型底板上，底板通过专用螺丝固定在加载台上。



图4 模型底板图（单位：mm）

1. **模型柱脚要求**

本次竞赛将会提供M4自攻钉用于模型与底板之间的连接，模型只能通过自攻钉与底板连接。参赛队伍需要自行制作合适的柱脚以便于连接。

1. **模型顶层楼板要求**

选手需要确保模型顶面（H=1000mm处）能与顶部砝码盘有适当的接触面积，以便加载前使用热熔胶粘结模型与顶部砝码盘。

1. **加载装置**
2. **水平荷载加载系统**

水平荷载加载系统由钢丝绳、装在加载辅助框架上的滑轮、侧向力砝码和侧向力砝码盘组成，如图1&图2。加载时通过钢丝绳一端水平与加载点上的尼龙绳（二级加载）和模型顶部的顶部砝码盘（三级加载）连接，对于二级荷载，钢丝绳绕过滑轮组后另一端竖向与侧向力砝码盘连接，侧向力砝码盘重约520克，其上置砝码通过重力作用施加水平荷载；对于三级荷载，如图5所示，加载后由右边卡扣的卡住钢丝绳，从而限制位移量，加载时通过选手人为拉动钢丝绳施加位移荷载。

****

图5 水平位移加载装置（位移加载后）

1. **顶部砝码盘**

顶部砝码盘如图6所示，为一个直径10.5cm的金属圆。加载时分别通过盘面堆载和金属杆进行竖向和横向的加载。砝码盘重约460g。



图6 顶部砝码盘

1. **底板固定装置**

底板固定装置如图7所示，该装置将用于底板与加载装置的固定连接。选手通过旋转装置上部把手调整固定程度。



图7 底板固定装置

1. **模型制作要求**
2. 模型制作材料须在组委会处购买，包括竹皮和竹条、502胶、砂纸等，参赛队使用的材料仅限于组委会提供或指定的材料；
3. 模型采用竹材制作，竹材规格及发放量如表1所示（可按各队需要增加购买量），竹材参考力学指标见表2。组委会对现场发放的竹材材料仅从规格和数量上负责；

表1竹材规格及用量上限

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 竹材规格（单位：mm） | 竹材名称 | 用量 |
| 竹皮 | 1250×430×0.20 (+0.05) | 集成竹片（单层） | 1 张 |
| 1250×430×0.35 (+0.05) | 集成竹片（双层） | 1 张 |
| 1250×430×0.50 (+0.05) | 集成竹片（双层） | 1 张 |
| 竹杆 | 930×6×1.0 (+0.5) | 集成竹材 | 20 根 |
| 930×2×2.0 (+0.5) | 集成竹材 | 20 根 |
| 930×3×3.0 (+0.5) | 集成竹材 | 20 根 |

注：竹材规格括号内数字仅为材料厚度误差限，竹皮不能撕开使用里面的无纺布。

表2竹材参考力学性能指标

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 密度 | 顺纹抗拉强度 | 抗压强度 | 弹性模量 |
| 0.8 g/cm3 | 60 MPa | 30 MPa | 6 GPa |

1. **模型称重与尺寸检查**
2. **模型称重**

参赛选手在比赛日签到结束进入会场后需先进行模型的称重，得到模型质量*M*Ai（精确到 0.1克）。将安装模型使用的自攻螺钉总数量折算成模型质量*n*，单位：克），模型总质量=*M*Ai+*n。*

1. **模型尺寸检查**

参赛队员在完成模型称重后，由工作人员指导，参赛队员操作对模型进行尺寸检查。随后在指定区域用自攻螺钉将模型固定于模型底板上，提交模型。

1. **加载方式介绍**
2. **加载准备**

比赛日比赛正式开始前会要求各组将模型钉在底板上，并放在指定区域等待加载。各组需在加载前在指定区域使用热熔胶（仅可用于填充模型与顶部砝码盘之间的缝隙，不可用于加固模型其他的节点与结构）将顶部砝码盘固定在结构顶部区域，并确保砝码盘与塔顶面形心重合。需要提醒的是，由于砝码盘需要重复利用，加载结束后各组还需要将砝码盘从模型上取下，所以请不要过量使用热熔胶以增加取下模型时的工作量。在加载前还需将第三级加载时需要先用的挂钩提前挂在顶部砝码盘上，随后进行第一级加载。

1. **加载步骤**
2. 第一级加载：

一级加载为竖向力荷载。在塔顶（高度1000mm）加装10kg的砝码（不含砝码盘质量），选手将最后一块砝码加装后需举手向工作人员示意，工作人员看到示意后倒计时10秒，十秒后未发生***模型破坏标准***中所列出的失效情况，则认为该级加载成功。否则，认为加载失败，该级加载成绩取零，并不能进行后续加载。

1. 第二级加载：

二级加载为横向力荷载。在第一级荷载的基础上，在高度h=450mm的加载点处施加6kg（不含砝码盘质量）的横向荷载，选手将最后一块砝码加装后需举手向工作人员示意，工作人员看到示意后倒计时10秒，十秒后未发生***模型破坏标准***中所列出的失效情况，则认为该级加载成功。否则，认为加载失败，该级加载成绩取零，并不能进行后续加载。

加载点需满足：

1. 加载点与该高度下规避区形心所连成的直线需与拉力方向一致，即加载点必须在模型规避区的直径所在直线上且不在规避区内；
2. 其高度需为h=450mm；
3. 加载点的位置由用于固定尼龙绳位置的限位结构定义，若参赛队伍没有制作限位结构则由选手与现场工作人员共同选择一个加载点，并按照***扣分标准--模型违规评判标准***进行扣分。
4. 第三级加载：

三级荷载为水平位移荷载。在第二级荷载的基础上，通过塔顶加载盘的钩子拉动模型使其位移到反方向的离模型初始位置50mm处，参赛队伍需安排一位队员对模型施加位移荷载，选手需拉动绳子直至被卡住，此时完成位移荷载的加载，选手需举手向工作人员示意，工作人员看到示意后倒计时10秒，十秒后未发生***模型破坏标准***中所列出的失效情况，则认为该级加载成功。否则，认为加载失败，该级加载成绩取零。

如图8所示，若在二级荷载作用下模型顶部向右移动x毫米，则三级荷载需向模型顶部施加x+5毫米的反向位移。

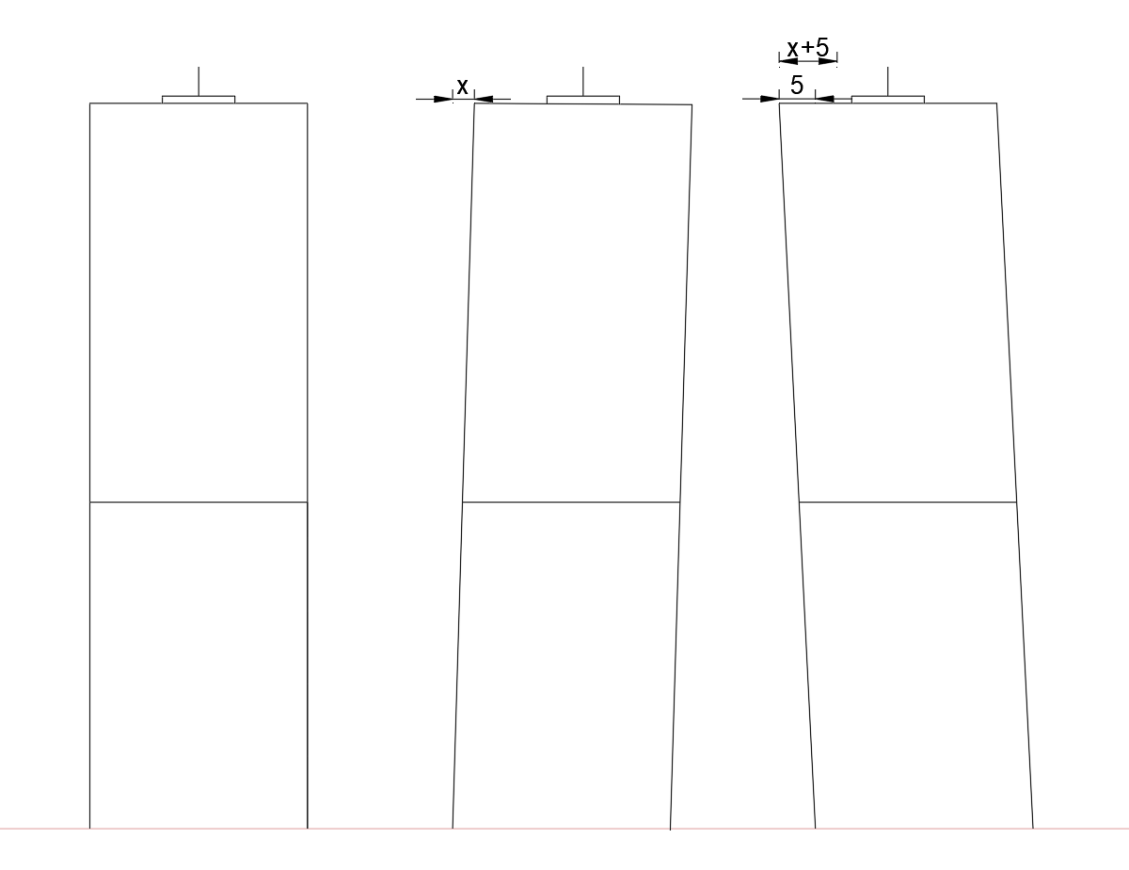


图8 三级加载示意图

1. **误差说明**

在加载过程中模型变形将导致各级荷载的作用方向会发生微小偏移，但这种偏移引起的模型内力分布变化十分有限，故本次竞赛要求模型能承受荷载作用方向的偏移所带来的应力。

1. **模型设计与理论方案**
2. **模型结构计算与设计**

参赛队伍进行模型设计时应使用建模软件（如CAD）和仿真分析软件（如Midas）进行辅助设计。

1. **理论方案**

理论方案内容需包括赛题分析、方案比选、计算参数、内力分析、强度分析以及变形分析等方面。理论方案中必须体现出参赛队伍的设计思路与软件分析结果，分析结果需从强度、刚度和稳定等方面进行评价。

理论方案须在4月12号晚12点前发送至邮箱。

1. **标准**
2. **模型违规评判标准**
3. 模型尺寸超出误差允许范围，每多5mm扣一分，累计扣除10分不予加载。
4. 在第三级加载中，若出现截面存在任一方向上小于0.6mm的柔性拉带构件损坏但模型整体未发生倾覆垮塌、保护绳拉直及模型触碰加载框等情况时，允许继续加载，但每出现一个拉条构件损坏扣5分，累计扣除20分判断结构失效，终止加载，本级加载成绩为0分。
5. 未明确定义加载点并设置限位，扣五分。

由上述各扣分项得到总扣分项*Fi*。

1. **加载失效评判标准**

加载过程中，若出现以下情况之一，则模型结构失效，终止加载，本级加载成绩为0分：

1. 安装后的顶部砝码盘底部高度与结构顶面要求高度H或二级加载加载点与二级加载要求高度h相差较大（大于30mm）；
2. 加载过程中，模型超过各级加载要求的限定指标，包括模型整体倾覆垮塌、保护绳拉直及模型触碰加载框；
3. 参赛队员在除第三级加载前模型调整以外时间触碰模型；
4. 专家组认定不能继续加载的其它情况。
5. **总分构成**
6. 理论方案分值：15分
7. 现场制作的模型分值：5分
8. 加载表现分值：80分
9. **评分细则**
10. 理论方案分（Ai）：满分15分

第i队的理论方案得分Ai由专家组根据设计说明书、方案图和计算书内容的科学性、完整性、准确性和图文表达的清晰性与规范性等进行评分。理论方案不得出现任何有关参赛学校和个人的信息。

1. 现场制作的模型分（Bi）：满分5分

第i队现场制作的模型得分Bi由专家组根据模型结构的合理性、创新性、制作质量、美观性和实用性等进行评分。其中，模型结构与制作质量各占5分。

1. 加载表现分（Ci）：满分80分
2. 第一级加载总分25分。

第一级荷载加载成功，计算第i队模型的单位质量承载力：*k*1i=*M*1,min/*M*0i。其中，*M*1,min为通过该级加载的最小模型质量，*M*0i为该级加载成功时第i队模型质量。本级加载得分，*C*1i=25*k*1i。

1. 第二级加载总分25分。

第二级荷载加载成功，计算第*i*队模型的单位质量承载力：*k*2i=*M*2,min/*M*0i。其中，*M*2,min为通过该级加载的最小模型质量，*M*0i为该级加载成功时第*i*队模型质量。本级加载得分，*C*2i=25*k*2i。

1. 第三级加载总分30分。

第三级荷载加载成功，计算第*i*队模型的单位质量承载力：*k*3i=*M*3,min/*M*0i。其中，*M*3,min为通过该级加载的最小模型质量，*M*0i为该级加载成功时第*i*队模型质量。本级加载得分，*C*3i=30*k*3i。

第*i*队的加载表现得分*C*i根据上述各项之和得出，即：

*C*i=*C*1i+*C*2i+*C*3i

1. **总分计算式**

第*i*队总分计算为： *Si* = *Ai* + *Bi* +*Ci* −*Fi*

**2024华南理工大学结构协会**