**附件1：2024年湖南科技大学第十二届大学生结构设计竞赛暨第十二届湖南省大学生结构设计竞赛选拔赛赛题**

**《考虑水平振动的塔式结构设计与模型制作》**

# 1.结构要求

**1.1结构概述**

本竞赛需设计并制作一个塔式结构模型，结构形式不限。如图1.1-1所示，加载前需要将指定质量的砝码固定在塔顶，结构底部固定在振动台上。通过放置指定质量的砝码和施加指定的激励振动来实现结构受力。

|  |
| --- |
|  |

图1.1-1 模型及加载装置示意图

**1.2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1.2-1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*，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，以确保位移计能够可靠读数。模型制作时间内，参赛队员应将顶部砝码盘固定位置外边界及朝向等用红色中性笔标志在模型顶部平面，顶部砝码盘中心点的平面投影须与模型底板中心点重合。

（2）塔身规避区要求：塔身外规避界限为底面直径300mm、高*H*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1.2-1 模型制作空间（灰色部分，单位：mm）

**1.3模型底板**

模型底板用于连接模型和振动台，如图1.3-1，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振动台上。



图1.3-1 模型底板图（单位：mm）

# 2.加载装置

**2.1加载装置组成**

加载装置如图1.1-1所示。组成加载装置的主要部分为水平振动激励装置（振动台）、水平荷载加载系统、顶部质量系统位移与加速度量测系统、加载辅助框架等。各组成部分应满足赛题各项标准要求，参赛队员也应考虑加载设备、各系统配合及测量等误差对竞赛结果的影响。

**2.2水平振动激励装置（振动台）**

水平振动激励装置（振动台），如图 1.1-1 所示，该装置提供赛题所需单向水平激励振动。振动台置于地面要有足够的稳定性，台面实测振动加速度精度和多次误差应不大于10%。

**2.3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1.1-1。加载时通过钢丝绳一端水平与模型顶部的顶部砝码盘连接，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200克，其上置砝码通过重力作用施加水平荷载。

**2.4顶部质量系统**

顶部质量系统由顶部砝码、顶部砝码盘及附属配件组成。如图2.4-1所示，顶部砝码盘及附属配件总重1kg，顶部砝码盘底部可通过热熔胶与模型顶部固定。顶部砝码为专用砝码，每块质量为1kg，具体尺寸如图2.4-2。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| 图2.4-1 顶部砝码盘及附属配件（单位：mm） | 图2.4-2 顶部砝码（单位：mm） |

螺杆与顶部砝码盘、蝶形螺母、垫片、反光（磁吸）板等配合，用于固定顶部砝码，提供磁吸加速度传感器，连接水平加载钢丝绳，并可反射位移计发出的光以测定位移，如图2.4-3。



图2.4-3 顶部质量系统组合图

**2.5位移与加速度量测系统**

本次竞赛采用加速度传感器测定第一级加载模型顶部加速度，可采用激光位移传感器（位移计）测定第二级加载模型顶部的位移，通过数据采集系统采集数据，传感器固定位置见图1.1-1 、图2.4-3。当采用激光位移传感器测定位移时，激光发射点建议高度为*H*+30mm，距离振动台中心点水平距离小于400mm，位移计支架应在测量过程中保持稳定，以保证反光板在加载过程中使位移计可靠示数。

**2.6加载辅助框架**

加载辅助框架为保护绳、位移计、水平加载系统等提供连接、固定功能，如图1.1-1 所示。

# 3.参数的确定

表3-1中的参数为各模型高度的统一参数；表3-2中的参数在加载现场抽签或自由申报确定，这里（1）参数在加载现场抽签确定，（2）由参赛队伍在竞赛第一个模型加载开始前确定并上报，加载时不可更改。

表3-1 模型制作参数

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 参数名称 | 取值范围 | | | | 取值要求 |
| 800mm | 900mm | 1000mm | 1100mm |
| 模型顶部质量系统总质量*m*1 | 5.0kg | 4.5kg | 4.0kg | 3.5kg | 各指导老师带队模型高度确定要求：  （1）指导1支队伍时，模型高度四选一；  （2）指导2支队伍时，模型高度可选800高与1000高组合或900高与1100高组合，不能随意四选二；  （3）指导 3-4支队伍按四选三（或四选四）确定参赛，确保同一指导老师各队伍设计参数不同；  （4）指导超过4支队伍时，超过的队伍重复以上方法确定模型高度。 |
| 第二级加载砝码质量（不含砝码盘）*m*2 | 5.0kg | 4.5kg | 4.0kg | 3.5kg |
| 第二级加载位移限值*u*0 | 25mm | | | |
| 第三级加载振动频率*f*3 | 4Hz | | | |

表3-2 现场抽签的统一参数

|  |  |
| --- | --- |
| 参数名称 | 取值范围 |
| （1）第二级加载方向，现场抽签 | X轴正、负 |
| （2）第三级加载前模型调整方法，现场自由申报 | 1）可改变顶部砝码质量增减：  800mm高：0、±1kg、±2kg；  900mm高：0、±1kg、±2kg、±2.5kg；  1000mm高：0、±1kg、±2kg、±2.5kg、±3.0kg；  1100mm高：0、±1kg、±2kg、±2.5kg、±3.0kg、±3.5kg；  2）可改变结构 |

# 4.理论方案

理论方案内容需包括平时训练过程总结、设计计算两部分。平时训练过程总结主要从理论、试验和计算等方面说明参赛队是如何为比赛进行准备的；设计计算部分需包括主要计算参数、计算结果，以及第三级加载的应对策略分析；计算结果需从强度、刚度、稳定和振动响应等方面进行评价。

# 5.模型制作要求

（1）模型制作材料由组委会统一提供，各参赛队使用的材料仅限于组委会提供的材料，不允许将竹材中的无纺布剥离下来做捆扎单独使用。

（2）模型采用竹材制作，竹材参考力学指标见表5-1，竹材规格及用量上限如表5-2所示。

（3）为每队提供502胶水（30g 装）5瓶，用于结构构件之间的连接；

（4）每队在模型加载前分发1块模型底板，参赛队员确认固定模型需要的自攻螺钉数量*n*（每个自攻螺钉算1克）。

表5-1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5-2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 |

# 6.模型称重

工作人员对模型称重，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=*α*h*M*Ai+*n*，*α*h为高度换算系数，800mm高、900mm高、1000mm高、1100mm高分别取1.00、0.89、0.80、0.73。

# 7.模型尺寸检查

参赛队员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，由工作人员指导，参赛队员操作对模型进行尺寸检查。

# 8.模型加载过程

**8.1加载准备**

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）将顶部砝码盘固定在结构顶部区域预先标志的红线内。注意位移反光板需要与模型底板*X*向垂直，朝向水平加载方向。此环节限时5分钟。

参赛队员手持模型入场，将模型底板通过专用扭力扳手对固定螺栓施加扭矩5Nm（满足加载时可靠固定）固定在振动台上；激光位移计应对准反光板中心区域，并显示读数；将螺杆拧进顶部砝码盘，在砝码盘上按赛题要求添加质量为*m*1−1的顶部砝码后，拧紧蝶形螺母，使顶部砝码和顶部砝码盘固定。每块顶部砝码侧面带有刻度线，参赛队员在固定顶部砝码时须使顶部砝码的侧面刻度线对齐且对准顶部砝码盘范围刻度线；将加速度传感器固定（磁吸）于顶部砝码盘另一侧反光板；保护绳穿过螺杆上端圆孔后与加载辅助框架连接，保护绳在加载过程中应为松弛状态；保证顶部砝码盘位置满足1.2（1）要求；以上顺序可根据需要调整。此环节限时5分钟。

**8.2加载步骤**

（1）第一级加载

第一级加载为水平激励振动。振动台以给定振动波形（见图8.2-1，参数见附件2）单向振动。稳定后，由工作人员对顶部砝码的状态进行复核，要求顶部砝码相对转动不超刻度线，振动前后顶点位移*u*1≤2mm，则该级加载成功。记录模型顶点加速度绝对值最大值，记为*a*（单位：m/s2），进行下一级加载。

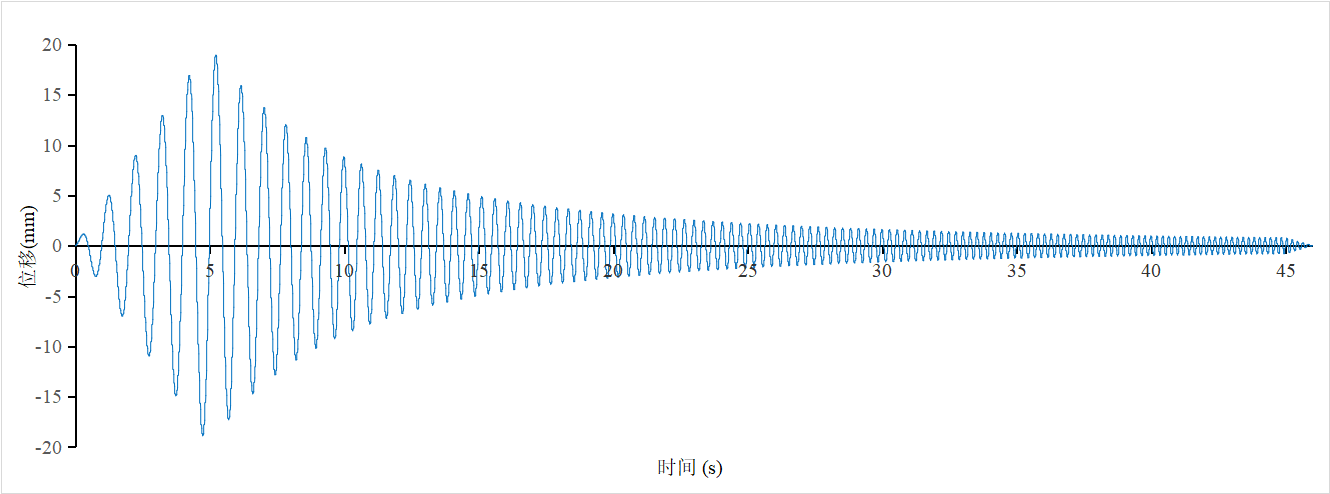


图8.2-1 第一级加载振动台位移时程曲线

（2）第二级加载

第二级加载为水平静载。参赛队员将第二级加载所用的钢丝绳放置于滑轮导轨上，一端连接侧向力砝码盘，另一端连接顶部砝码盘。在侧向力砝码盘上放置质量*m*2砝码模拟水平荷载，持时10s以上，以第一级加载结束位置为起点，计算顶点位移*u*2，要求满足*u*2≤*u*0，则该级加载成功，撤掉水平荷载，进行下一级加载。

（3）第三级加载

第三级加载开始前，参赛队员按预定计划增减顶部砝码质量，也可改变模型结构，期间只允许参赛队员用手或者使用统一的水口钳触碰模型。

第三级加载为水平激励振动。振动台以频率为*f*3的正弦波单向振动，振幅10mm，振动持时20s。稳定后，由工作人员对顶部砝码的状态进行复核，要求顶部砝码相对转动不超刻度线，则该级加载成功。

从第一级加载至第三级加载完成，且全部参赛队员携带模型离开加载区域的总时间限制为10分钟。

# 9.计分与评判标准

**9.1模型违规评判标准**

加载过程中，若出现以下情况之一，判定违规，取消比赛资格：

1. 不满足表5-1关于模型材料使用的相关要求；
2. 模型不符合1.2尺寸要求；
3. 不满足8.1中关于热熔胶使用的要求。

**9.****2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. 加载中非设备原因导致位移计不能有效读数，包括顶部砝码盘底部高度与结构顶面要求高度*H*相差较大；
    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. 加载过程中，顶部砝码盘掉落；
    4. 参赛队员在除第三级加载前模型调整以外时间触碰模型；
    5. 专家组认定不能继续加载的其它情况。

**9.3加速度采样方法**

为避免结构振动过程中产生的高频加速度分量对结果干扰，本次竞赛将实测加速度经20Hz低通滤波处理后输出，采样频率为1000Hz，具体操作方法见设备使用说明。

**9.4评分细则**

* + 1. 加载表现分（*D*i）：满分100分

1. 第一级加载总分50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*队的模型质量，各队加速度为*a*i（单位：m/s2）。

第一级加载得分根据加速度大小分区得分：

*D*1i= 1

本级加载得分为*D*1i。

1. 第二级加载总分20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，*D*2i=20*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*队模型的得分系数：*k*3i=其中，*M*0i为该级加载成功时第*i*队模型总质量，该队第三级加载时模型顶部质量系统总质量。*k*3i最高的参赛队记为*k*3,max。

本级加载得分，*D*3i=30。

1. 第*i*队的加载表现得分*D*i根据上述各项之和得出，即：

*D*i=*D*1i+*D*2i+*D*3i

* + 1. 罚分标准（*F*i）

出现以下情况，进行罚分，所罚分数累计计算，总罚分记为*F*i（总罚分最多罚到加载表现得 0 分为止，加载表现不产生负分）。

1）加载准备时间超过第8.1条所述限制，每超过1分钟，罚1分，不足1分钟按照1分钟计算，超时罚分达到10分，取消加载资格。

2）加载测试时间超过第8.2条所要求10分钟限制，加载停止，已完成级别的测试成绩有效。10分钟直至全部参赛队员携带模型离开加载区域，每超过1分钟，罚2分，不足1分钟按照1分钟计算。

**9.5总分计算式**

第*i*队总分计算为： *S*i=*D*i−*F*i

# 10.模型合格性评审与雷同性评审

**10.1合格性评审**

合格性评审由竞赛评委组负责，竞赛志愿者具体协助执行。主要是检查学生是否携带违禁物品、工具或材料到制作场地，模型设计是否符合赛题背景，结构体系、尺寸、加载区域划线、热熔胶操作等是否符合赛题要求。评定为不合格的模型不给予加载机会或取消加载成绩。

**10.2雷同性评审**

为激发参赛学生的创新能力，体现竞赛公平与公正性，在加载后对同一指导老师指导的参赛作品进行雷同性评定。同一指导老师指导队伍模型高度不符合表3-1中的参数设置要求，均评为雷同模型，均罚3分后只取各高度的最好成绩进行排名。

其它

关于本赛题如有疑问，可询问科协赛事负责人：

黄志（老师）：18573107066。

其它未尽事宜，由竞赛组委会研究决定。