

附件 1:

浙江省第二十三届大学生结构设计竞赛题目 《摩天轮结构与模型制作》

1. 背景

摩天轮是一种大型转轮状的工程结构，转轮边缘悬挂座舱，供乘客搭乘。摩天轮一般作为游乐设施，出现在游乐园和主题公园里；其也常单独存在于其他场合，作为观景台使用。舟山市的“如心”摩天轮用作观景台，是舟山的城市新地标，也是长峙岛如心小镇的文旅新封面，伫立于 90 m 高空，美丽海景、小镇全景和临城新区的风貌尽收眼底。在这里，可以赏日升月落，观霞光漫天，感受云端之上的都市浪漫。

在不均匀负载或风载作用下，摩天轮在转动过程中可能发生轮毂破坏或脱落事故，如 2021 年福州一处摩天轮在安装过程中受风力干扰发生外围轮毂脱落。我国东部沿海城市夏季台风等强对流天气频发，给摩天轮结构的安全和抗风性能带来极大的挑战。本次竞赛以此为背景，要求学生设计、制作一个摩天轮的转轮结构和支撑结构，并测试其在极端风荷载作用时和正常运行（不均匀负载）时的安全可靠性能。



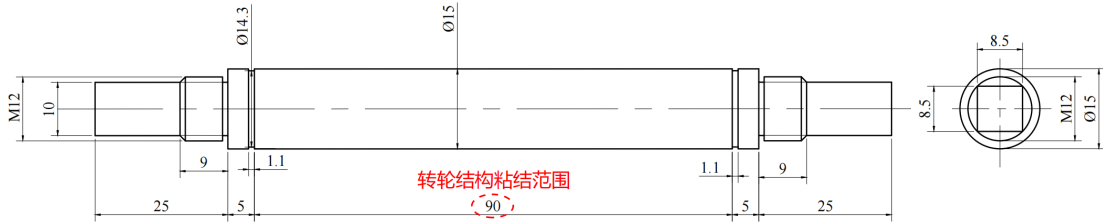
图 1 舟山长峙岛“如心”摩天轮

2. 模型概述

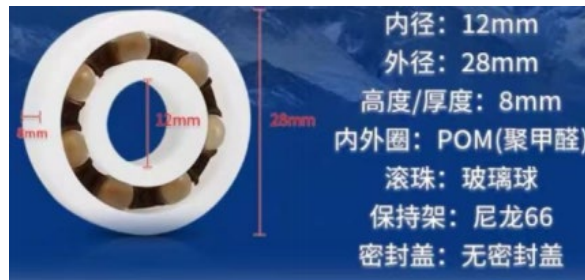
(1) 模型结构

模型为摩天轮，其制作部分由支撑结构和转轮结构两部分组成。支撑结构和转轮结构之间采用装配式连接。装配配件包括双头牙轴和轴

承，如图 2 所示，均为非制作元件，由组委会提供。转轮结构与双头牙轴间、轴承与支撑结构间均允许用胶水粘结。支撑结构和转轮结构的制作形式不限，模型制作并装配完成之后如图 3 所示。



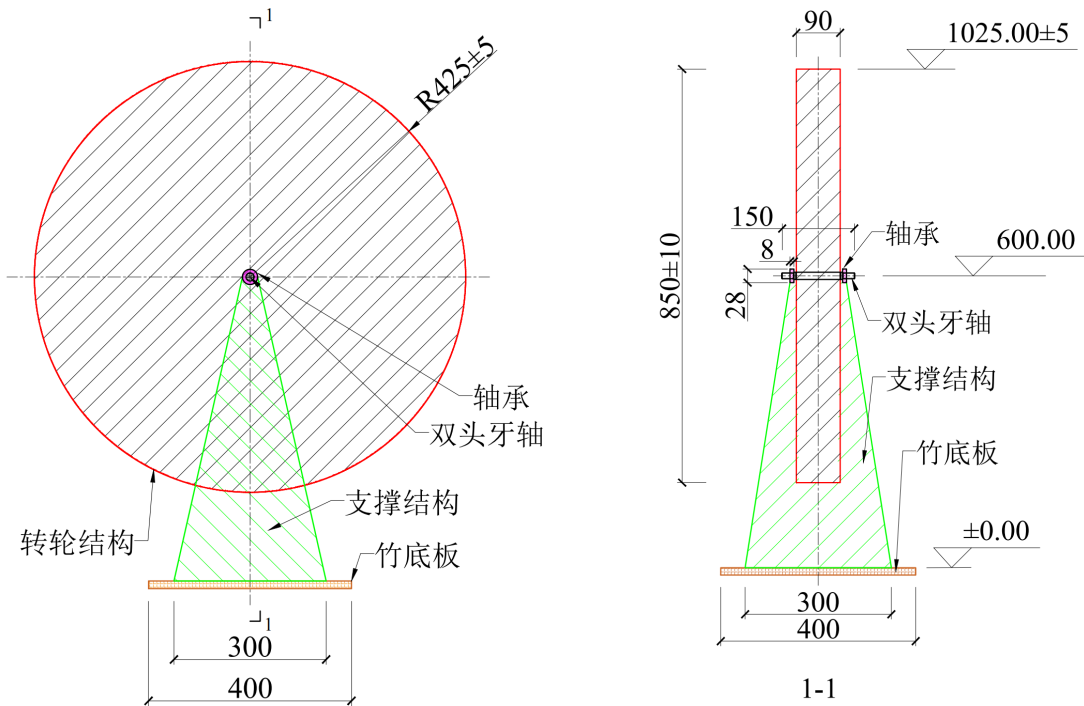
(a) 双头牙轴尺寸示意图



(b) 轴承尺寸示意图

图 2 装配配件 (单位: mm)

(2) 模型和底板尺寸



(a) 主视图

(b) 左视图

图 3 摩天轮模型及尺寸示意图 (单位: mm)

模型总高限定为 1025 ± 5 mm，由支撑结构和转轮结构高度组成，如图3（b）所示。其中转轮结构外缘半径限定为 425 ± 5 mm，宽度限定为90 mm，转轮结构必须粘接在双头牙轴的中间90 mm宽度范围内，如图2（a）所示；支撑结构与转轮结构装配处的中心（即双头牙轴中心）到底板的净距限定为600 mm，如图3（b）所示。模型底板由组委会提供，总体尺寸为： 400 mm \times 400 mm \times 15 mm，支撑结构的铅垂投影面尺寸限制在 300 mm \times 300 mm以内，如图4所示。

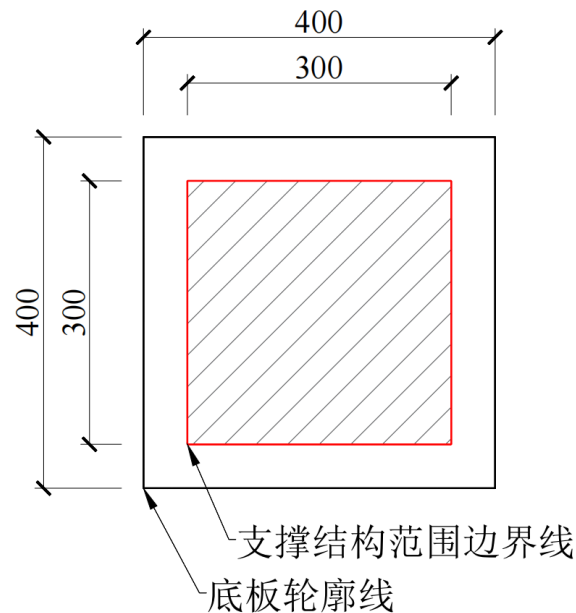


图4 底板尺寸及模型固定范围（单位：mm）

各参赛队不得对双头牙轴、轴承和底板进行任何使其重量改变的操作，如刻痕、挖空、磨皮等，否则视为违规。不符合上述制作及尺寸要求的模型将被取消加载资格。最终解释权归组委会所有。

3. 加载装置

加载装置由水平等效风载系统和座舱加载系统两部分组成。加载装置均由组委会指定厂家提供，如图5所示。

一级加载系统为水平等效风载加载系统，用于模拟强对流天气下，水平风载对摩天轮结构的影响。该系统由弹簧-砝码系统和3个单钩配重砝码组成。单钩砝码采用2个500 g砝码和1个1 kg砝码，具体参数如表1所示。

模型制作过程中，要求各参赛队伍在转轮结构的最外缘预留 8 个单钩砝码悬挂点，各悬挂点之间的夹角限定为 45° 。悬挂点需限定在距转轮结构外缘 10 mm 范围以内，如图 6 (a) 所示。参赛队伍应标记出转轮结构的 A 面和 B 面，并在转轮结构的外缘预留多个水平等效风载加载点，水平等效风载加载点可与单钩砝码悬挂点位于同一半径位置；该加

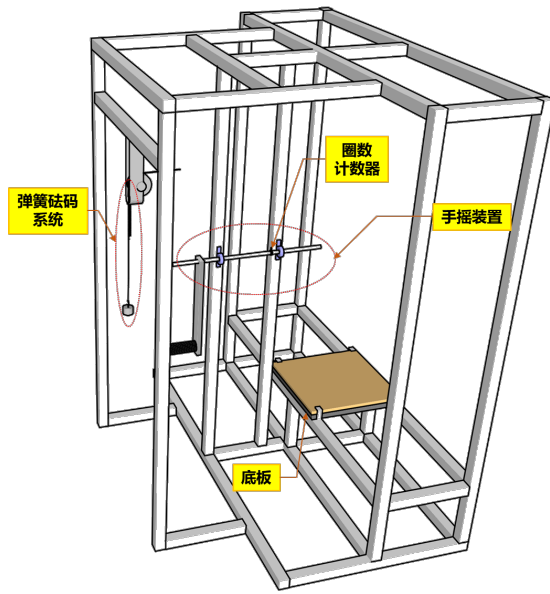


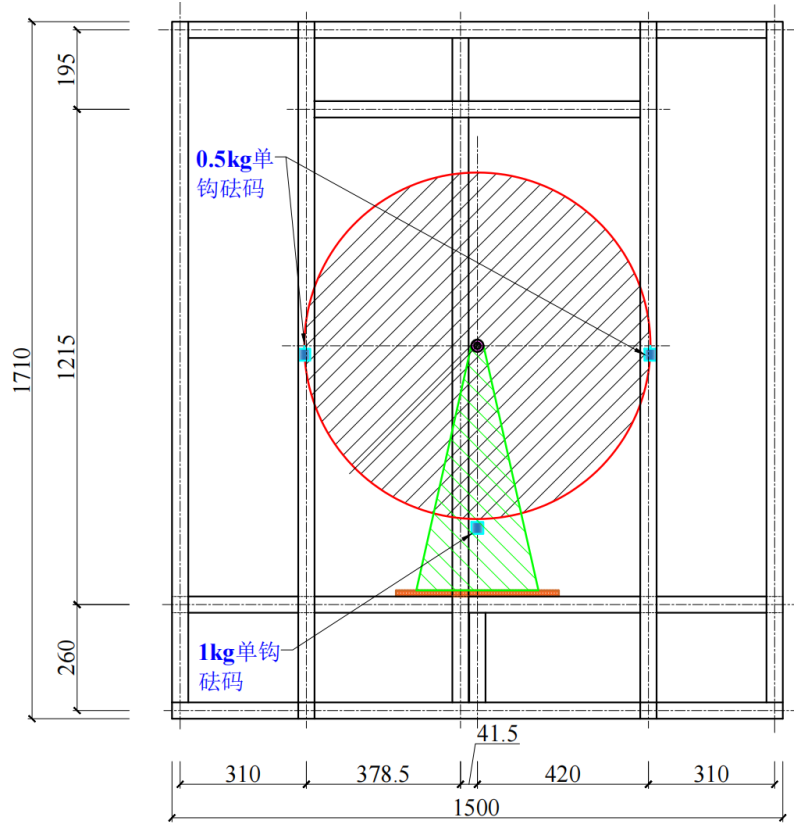
图 5 加载装置三维模型图

载点限定在距转轮结构外缘的 10 mm 范围以内，如图 6 (a) 所示。水平等效风载的加载点和加载面由评审专家现场指定。一级加载开始前，将 3 个单钩配重砝码悬挂于转轮结构外缘的固定悬挂点上，配重砝码与水平等效风载加载点的相对位置如图 6 (a) 所示，要求模型静止后水平等效风载加载点处于摩天轮模型的最顶端。水平等效风载的加载砝码重量为 1 kg，振动前砝码距地面高度 750 mm，砝码自由落体高度为 100 mm，如图 6(b) 所示。弹簧初始长度 200 mm (含挂钩)，弹性系数为 0.11 N/mm。

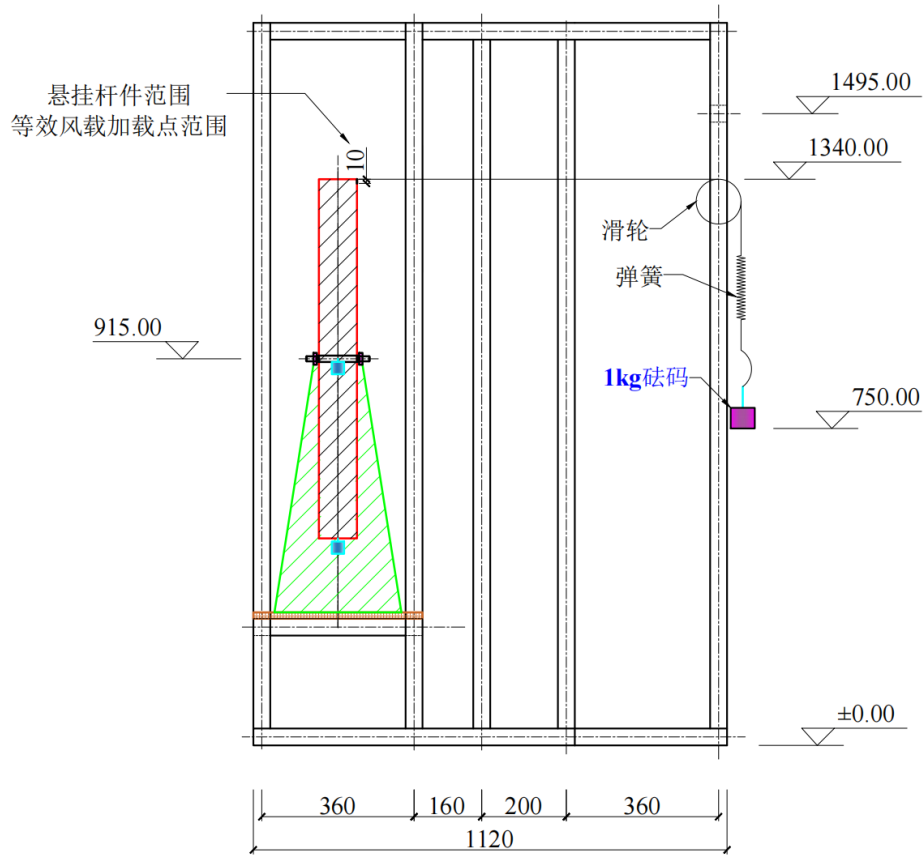
表 1 单钩砝码规格及尺寸 (单位: mm)

砝码规格	直径	总高度	钩子高度	钩子开口	钩子圆弧	数量
500g	38	103.5	48.5	16	R11	2
1kg	57	99	50	15	R11	3
1.5kg	57	124.4	50	15	R11	2
2.0kg	69	118.6	50	15	R11	2





(a) 主视图

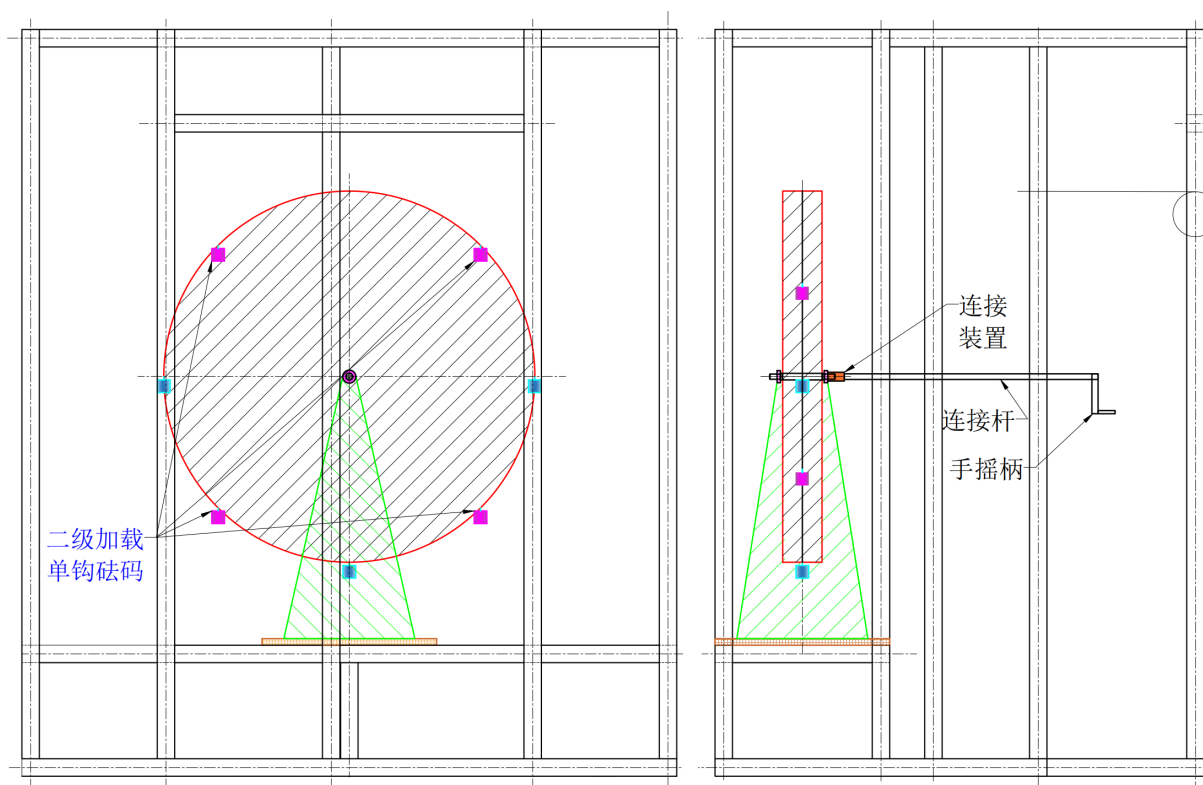


(b) 左视图

图6 一级加载系统示意图

二级加载系统为座舱加载系统，用于模拟摩天轮正常运行（不均匀负载）时的受力状态。该系统由4个单钩砝码（质量 $1 \times 2 + 质量 2 \times 2$ ）和手摇装置组成。其中手摇装置由连接装置、连接杆和手摇柄构成，如图7所示。二级加载中单钩砝码的质量组合分为两种： $m_{2.1} = 1 \text{ kg} \times 2 + 1.5 \text{ kg} \times 2$ 和 $m_{2.2} = 1.5 \text{ kg} \times 2 + 2 \text{ kg} \times 2$ 。参赛队伍模型提交后，立即选定其中一种作为二级加载等级并登记，选定后不得更改。1 kg、1.5 kg 和 2 kg 单钩砝码的具体参数见表1。

一级加载成功后，将摩天轮模型与弹簧-砝码系统断开，一级加载中的3个配重砝码的位置保持不变。二级加载开始前，将4个二级加载单钩砝码悬挂在转轮结构外缘的剩余悬挂点上，4个单钩砝码的相对位置不做限制，由参赛队伍自行决定，图7（a）所示相对位置仅为示意图。



(a) 主视图

(b) 左视图

图7 二级加载系统示意图

4. 模型制作时间以及材料和工具

模型制作时间为9小时。模型结构的所有构件、连接部件均采用给定材料手工制作完成。模型制作材料由竞赛组委会统一提供（可自带小

型电子秤一台，现场不提供电源)。

统一提供的模型制作材料如下：

(1) 竹底板1块，参赛队伍不得对底板进行任何使其重量改变的操作，否则按违规处理。

(2) 定制双头牙轴1根，轴承2个，具体尺寸如图2所示。参赛队伍在制作过程应保证配件的正常使用功能，如有损坏，现场不再提供备用配件；参赛队伍不得对双头牙轴和轴承进行任何使其重量改变的操作，否则按违规处理。

(3) 集成竹材若干，用于制作结构模型。规格、数量和力学指标见表2和表3。竹片中的无纺布不得抽取单独使用，否则按违规处理。

(4) 502 胶水（30g 装）3 瓶，用于模型制作期间结构构件之间的连接、结构和装配配件之间的连接以及模型和底板的连接。

表 2 竹杆材规格及用量

	竹材规格	竹材名称	用量
竹杆件	930mm×6mm×1.0mm	集成竹材	35 根
	930mm×2mm×2.0mm	集成竹材	35 根
	930mm×3mm×3.0mm	集成竹材	35 根
竹片	1250mm×430mm×0.2mm	本色侧压单层复压竹皮	1 张

表 3 竹材参考力学指标

密度	顺纹抗拉强度	抗压强度	弹性模量
0.8g/cm ³	60MPa	30MPa	6GPa

模型制作工具由组委会统一提供，禁止外带其他制作工具，制作工具仅用于辅助模型制作，禁止作为模型制作的材料使用，否则按违规处理，最终解释权归组委会所有。

组委会统一提供的制作工具如下：

(1) 尺子、简单刀具、砂纸、剪刀、手套、橡皮、笔、护目镜。

(2) 白色卡纸两张。

(3) 比赛场地备有若干水平尺，供参赛选手检测模型使用，水平

尺每队只能使用两次，每次不超过 5 分钟。

具体的工具类型见工具列表。

随身物品在入口处寄存。模型制作和加载期间，不允许携带除图纸外的任何模型制作物品入场。参赛队可自带设计详图图纸一张（图纸大小不得超过普通 A2 图纸规格），图纸仅用于模型制作参考，禁止用于模型构件制作。

5. 模型核验

核验模型若出现以下情况之一者，判定该模型为不合格，不予加载，参赛模型加载项成绩为 0 分：

① 模型整体尺寸不符合要求，超出误差限值，包括结构总高度、转轮结构直径、支撑结构高度以及悬挂杆件和等效风载加载点的位置；

② 模型制作并装配完成后，整体结构位置超出限定区域，如图3所示。

6. 第二级加载重量申报与模型称重

模型核验结束后，参赛选手立即申报第二级加载重量。

模型称重：模型制作前分别对双头牙轴、轴承和底板进行称重；模型制作并装配完成后对模型整体结构进行称重；模型整体结构的重量减去双头牙轴、轴承和底板的重量，即为模型的重量。

7. 加载测试

（1）加载前模型安装

首先，请参赛选手将专家选定的加载面安装于靠近弹簧-砝码系统一侧。然后，将 3 个配重单钩砝码（2 个 0.5 kg 和 1 个 1 kg）悬挂于转轮结构外缘的固定悬挂点上，要求模型静止时专家选定的水平等效风载加载点处于摩天轮模型顶部；同时，打开电磁铁电源，用电磁铁将 1 kg 的砝码固定在指定位置。最后，在摩天轮顶端安装组委会提供的套绳（总长度为 16 cm），如图 8 所示，并通过套绳连接弹簧-砝码系统和摩天轮顶端。完成后，参赛队员及时退出安全线外。安装时间控制在 1 分钟之

内。

(2) 加载环节

① 参赛队员先介绍作品构思，时间控制在 1 分钟内，然后回答专家提问。

② 第一级加载

加载时，由参赛队员同时按下砝码释放电源和计时开关，开始模拟振动并要求维持 15 s，如加载成功，则第一阶段的竖向配重荷载 $m_v=2\text{ kg}$ ，水平等效风载 $m_h=1\text{ kg}$ ，进入第二级加载环节；如模型失效则退出加载环节，一级加载记为 0 分。



图 8 套绳

③ 第二级加载

加载前，将摩天轮模型与弹簧-砝码系统断开，一级加载中的 3 个配重砝码的位置保持不变。然后，由一个参赛队员固定手摇柄，另一个参赛队员将提前选定的 4 个二级加载单钩砝码悬挂在剩余悬挂点上，4 个单钩砝码的相对位置不做限制，由参赛队伍自行决定。最后，将手摇装置与摩天轮模型连接，如图 7 (b) 所示，并做好手摇装置的限位，调整好圈数计数器的位置。完成后，参赛队员及时退出安全线外。

加载时，每组指定一名参赛队员操纵手摇柄，使摩天轮模型结构转动，转动的同时计时器和圈数计数器同步启动，要求在 20 s 内转动 6 圈。若加载失败，则二级加载成绩为 0 分。

从第一级加载开始，整个加载过程时间控制在 4 分钟内。每超时 1 分钟总分扣 1 分，不到 1 分钟按 1 分钟计。

8. 加载失败判别

如果出现以下情况，则判定结构失效，终止加载，且本阶段加载成绩为 0 分：

- ① 未能在规定时间内转动规定的圈数；

- ② 加载过程中，单钩砝码掉落或其底端碰触底板；
- ③ 模型结构变形或垮塌以致不能继续进行加载；
- ④ 竞赛评委认定模型加载失效的其他情况。

9. 评分规则

根据理论方案、结构设计与制作、陈述与答辩、模型加载试验等4个方面进行评分，总分为100分。凡不符合竞赛要求或参赛过程中有违规行为的将不再进行加载试验。

(1) 理论方案（5分）

理论方案根据结构设计与理论分析的完整性、合理性、创新性评分。

(2) 结构设计与制作（10分）

- ① 结构合理性和结构及造型创新性（5分）
- ② 模型制作质量与美观性（5分）

(3) 陈述与答辩（5分）

- ① 由参赛队员简要介绍作品构思，时间控制在1分钟内。
- ② 现场回答专家的提问。

(4) 模型加载试验（80分）

- ① 各参赛队模型在第一级加载阶段的承载能力 m_1 ，按式（1）计算：

$$m_1 = \frac{m_v + m_h}{M} \quad (1)$$

式中： m_v —本队模型一级加载的竖向配重， $m_v=2$ kg； m_h —本队模型的等效风荷载， $m_h=1$ kg； M —本队模型的自重，单位：kg。

- ② 第二加载阶段的承载能力记为 m_2 ，按式（2）计算：

$$m_2 = \frac{m_{2,i}}{M} \quad (2)$$

式中： $m_{2,i}$ （ $i=1, 2$ ）为本队模型二级加载成功的砝码总质量，根据参赛队伍提前申报的 $m_{2,1}=5$ kg或 $m_{2,2}=7$ kg。

- ③ 模型加载得分 C ，按式（3）计算：

$$C = \frac{m_1}{m_{1,\max}} \times 30 + \frac{m_2}{m_{2,\max}} \times 50 \quad (3)$$

式中： $m_{1,\max}$ —第一级加载时，所有参赛队模型加载成功的最大值； $m_{2,\max}$ —第二级加载时，所有参赛队模型加载成功的最大值。