

# 2020 年第六届四川省大学生结构设计大赛

## 结构组赛题(征求意见稿 20191207)

### 1 竞赛背景

竞赛赛题：高耸结构(水塔)模型制作与测试

随着现代工业技术的发展,高耸结构应用越来越广泛。如无线电塔、电视塔、输电线路塔、水塔等。水塔(如图 1 所示),在工业与民用建筑中一般用于储水和配水的作用,并且用来保持和调节给水管网中的水量和水压,是一种比较常见而又特殊的高耸结构。自 2008 年 5 月 12 日汶川大地震后的十多年,是四川地震活跃期,若因地震作用而导致高耸水塔破坏,将影响人们的生活和生产活动。水塔作为一种高柔的构筑物,其荷载沿高度分布不均匀,绝大多数荷载集中于水塔顶部,对抗震不利。水塔结构主要由水柜、支撑结构及基础三部分组成,其震害主要发生在支撑上,很少有水柜和基础发生破坏的震害实例。



图 1 水塔

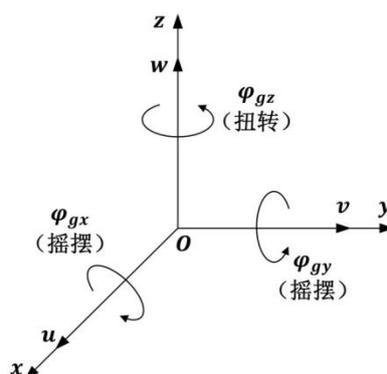


图 2 地震波分量

在传统的抗震设计中,对地震作用的计算只考虑了  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴 3 个方向的平动作用,而实际上地震波还包含了转动分量(如图 2 所示)。大量震害实例表明,结构在地震作用下,除了发生平动破坏外,甚至还会出现扭转破坏。一方面是由于结构本身的质量中心与刚度中心不相重合,另一方面则是因为地震波中存在扭转分量。鉴于此,在进行高耸结构抗震设计时,有必要考虑扭转效应的影响。

### 2 模型要求

竞赛模型为高耸结构水塔模型,采用胶合竹质材料制作,结构形式采用多层框架或格构式模型。模型系统包括抗扭加载架和高耸结构水塔模型两个部分,模型的顶面水箱荷载由铁块加载实现。现场竞赛时,抗扭加载架和铁块由承办方提供,高耸结构水塔模型由参赛选手制作,并用热熔胶和木质底板固定,底板再和钢板固定。

## 2.1 几何尺寸要求

(1) **底板:** 底板为 350mm×350mm×10mm 中密度木板。

(2) **模型大小:**

**模型总高度**为 1200mm，允许误差为-10mm、+100mm。总高度为模型底板顶面至模型顶面上表面的垂直距离，不包括顶面加载铁块的高度。

**模型形状**可为方形、六边形、八边形或圆形等形状。

**模型顶面**为平面，该平面的外接圆直径为 230mm（如图 3 所示），允许误差为±5mm。

**模型底面**为平面，该平面在外接圆直径为 270mm 的范围内（如图 4 所示），允许误差为±5mm。

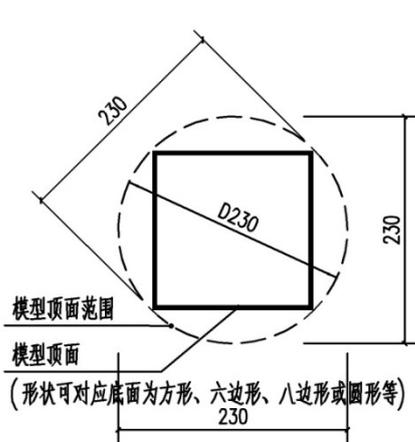


图 3 模型顶面示意图 (单位: mm)

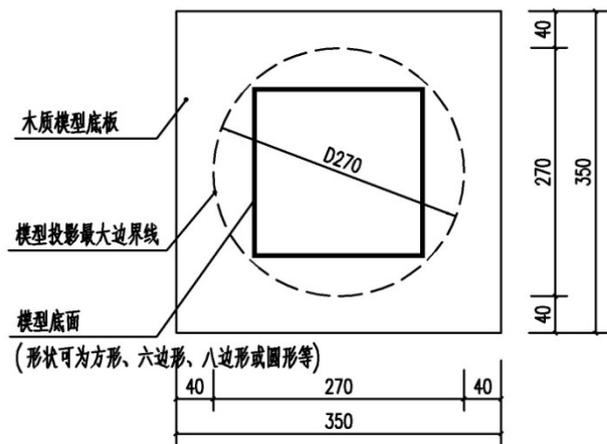


图 4 模型底面示意图(单位: mm)

(3) **杆件层数:** 模型不少于 4 个杆件层，不超过 7 个杆件层(杆件层如图 5 所示)。

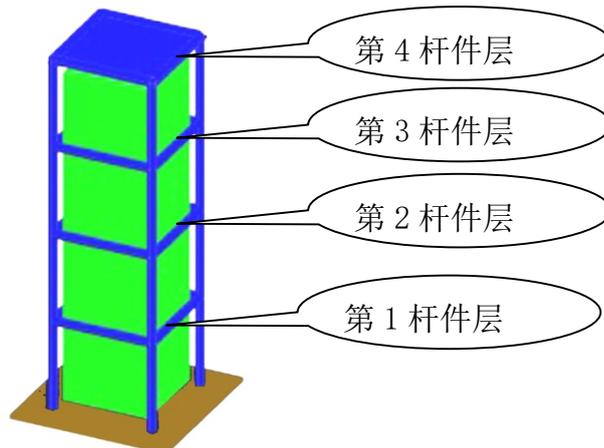


图 5 杆件层示意图

(4) **使用功能要求:** 杆件层各层内部及层间要求通透，内部直径不小于 140mm，高 1150mm 的空间范围内不允许设置任何构件(如图 6 所示)。

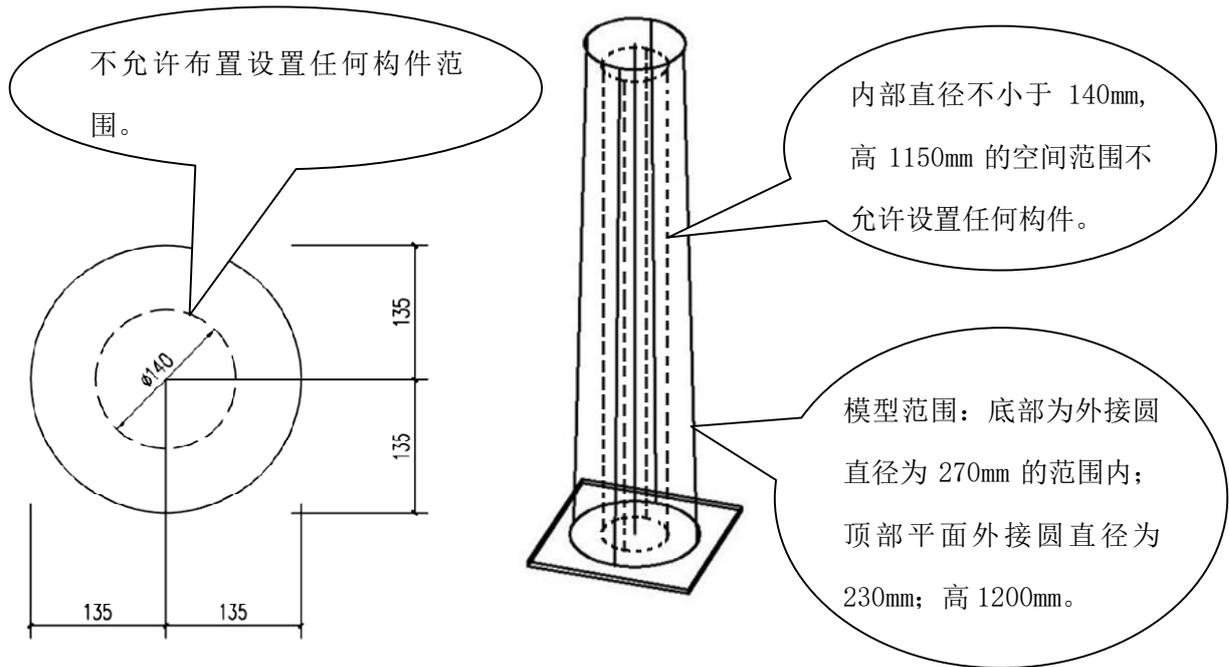


图6 不允许设置构件范围示意

(5) 模型顶面设置两个受扭加载点(如图7所示),加载点距离为230mm, 允许误差为±5mm。该加载点采用高强尼龙绳绑扎并便于加载挂钩连接, 加载点必须与主要结构构件牢固连接。

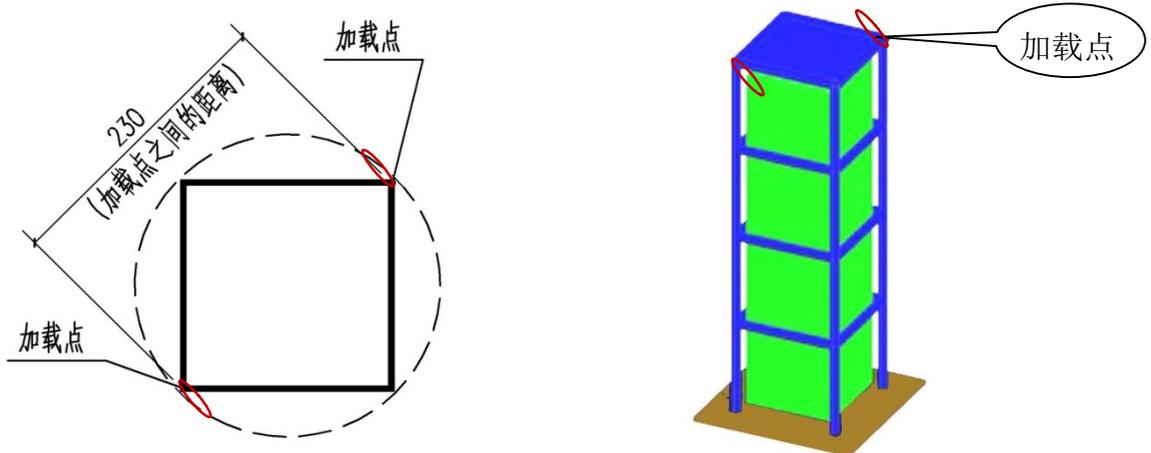


图7 受扭加载点示意图

## 2.2 模型及加载铁块安装要求

- (1) 加载铁块直接加载到模型顶层结构上, 顶层要设置承受铁块荷载的杆件。
- (2) 铁块尺寸为 150mm×150mm×10mm, 每块质量为 1.77kg。竖向加载时, 铁块可以叠放, 加载铁块数不少于 10 块, 且不多于 20 块。
- (3) 模型试验除顶部铁块加载外, 同时施加扭转作用。

## 2.3 模型制作时间要求

模型制作时间不得超过 12 小时。

## 3 材料、工具及设备

### 3.1 材料

竞赛期间，承办方为各队提供如下材料用于模型制作。

(1) 竹皮：用于制作结构构件。其规格，如表 1 所示，竹皮参考力学指标如表 2 所示

表 1 竹皮规格

编号	竹皮规格	款式	备注
1	1250×430×0.50mm	本色侧压复压竹皮	双层
2	1250×430×0.35mm	本色侧压复压竹皮	双层
3	1250×430×0.20mm	本色侧压复压竹皮	单层

模型材料的发放量依据参赛队计算书中材料表中的用料量和考虑耗损量一次性发放，当提供的材料不够时，可申请增加材料用量，但不得超过 100g。

表 2 竹皮参考力学指标

密度	顺纹抗拉强度	抗压强度	弹性模量
0.789g/cm <sup>3</sup>	150MPa	65MPa	10GPa

(2) 502 胶水：用于模型结构构件之间的连接固定。

(3) 热熔胶：用于模型的固定。

(4) 高强尼龙绳：用于加载点与设备连接，承办方提供。

(5) 模型安装底板：350mm×350mm×10mm 中密度木板，承办方提供。

不允许参赛队伍携带其他任何材料

### 3.2 工具

竞赛期间，承办方为各队提供如下工具用于模型制作，包括：美工刀、钢尺、砂纸、锉刀、镊子、改锥、螺丝刀、钢锯条、手套和签字笔。不允许参赛队伍携带其他任何工具。

### 3.3 设备

结构模型采用如图 8 所示设备进行加载，考察模型受压和受扭共同作用的承载力。

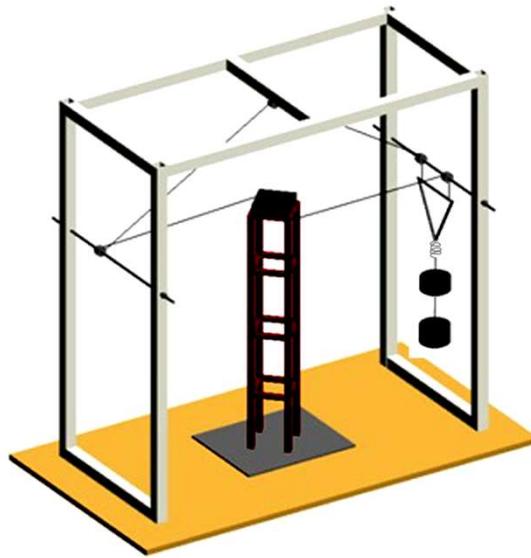


图 8 加载设备示意

## 4 模型测量及展示

### 4.1 模型测量

模型制作完成后，由工作人员对模型进行测量和称重。

(1) 按照本赛题中的模型要求进行模型检测，要求满足几何尺寸要求，若模型不满足要求，扣分如下：

模型总高度 1200mm，误差超过-10mm、+100mm，扣 6 分；

模型顶面平面的外接圆直径 230mm，误差超过±5mm，扣 6 分；

模型底面平面在外接圆直径 270mm 的范围内，误差超过+5mm，扣 6 分；

顶部两个受扭加载点距离为 230mm，误差超过±5mm，扣 6 分；

用直径为 140mm，高 1150mm 的圆柱体放入模型内部，如不能放入或不能完全放入，扣 6 分。

对几何尺寸不合格的模型，除按照本条规定扣分外，提供 1 小时的整改时间，若整改时间超过 1 小时还不合格，则取消加载资格。

(2) 对于合格的模型，称重并记为 $m_i$ ，并发放底板。然后各参赛队将模型用热熔胶固定在底板上，热熔胶高度不得超过 2cm。

### 4.2 陈述和答辩

对于合格的模型，才可以参加陈述和答辩。参赛队向专家及观众对模型的设计理念、方案及方法等进行陈述，并对专家意见进行答辩。陈述时间为 2 分钟，答辩时间为 2 分钟。

## 5 加载

### 5.1 安全保护措施

(1) 参赛队员应有牢固的安全意识，在安装和加载模型时须头戴安全帽，在搬动和放置铁件时须戴劳保手套。在加载过程中，当预感模型即将垮塌时，应迅速避开，避免砸伤。

(2) 在加载的楼地面区域须铺垫缓冲隔离层材料，以免铁件坠落砸坏楼地面层。

### 5.2 加载前安装

参赛选手将模型底板放在底座上，固定模型底板压条（用扳手拧紧螺栓，使模型在扭转加载时，模型底板与底座间不产生水平滑动和转角，否则扭转加载成绩无效），然后调节固定钢板底座方向和位置，将钢丝绳通过挂钩与模型加载点连接，再反复调节固定钢板底座方向和位置，使两钢丝绳平行且钢筋三角架上边水平。模型安装时间不得超过 5 分钟，每超过 1 分钟总分扣 1 分（不足 1 分钟按 1 分钟计），由工作人员查验并计时。

### 5.3 竖向加载

(1) 竖向加载为铁块加载，位置为模型顶部(如图 9 所示)，由参赛队员实施。铁块单块尺寸为  $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 10\text{mm}$ ，每块铁块质量为  $1.77\text{kg}$ 。结构竖向加载铁块数不得少于 10 块，且最多不多于 25 块，各参赛队铁块数在计算书中应有注明，并在报到时申报竖向加载的铁块数，竖向加载铁块数在加载时予以公示，加载现场由工作人员查验认可。注意，加载铁块之间及铁块和模型之间不能有任何粘接。

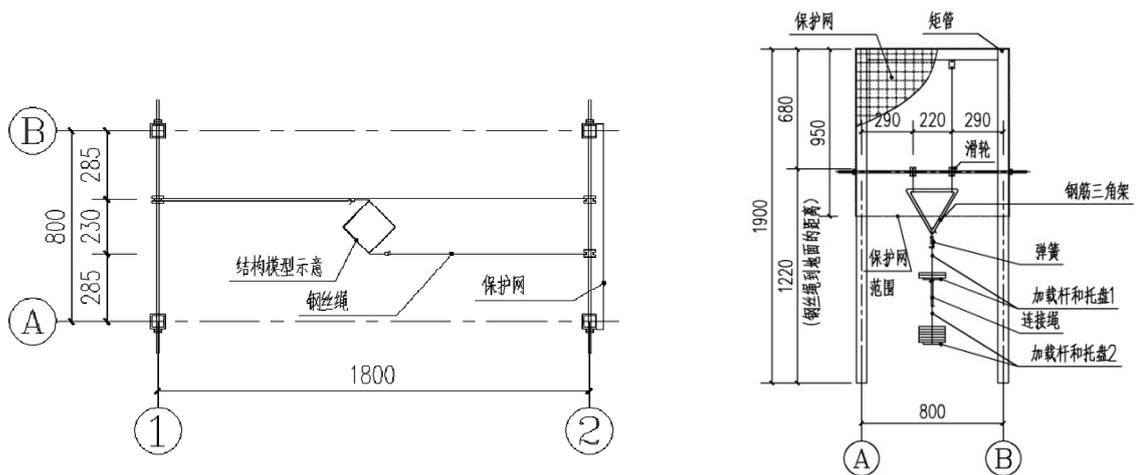


图 9 模型加载示意图

(2) 竖向加载完成后，由参赛队员报告竖向加载完毕，同时工作人员开始计时，持时须达到 10s，若模型加载未失效，则宣布竖向加载成功；否则，判定竖向加载失败。

### 5.4 扭转加载

(1) 扭转加载采用砝码加载，由参赛队员实施。托盘 1 加载砝码数量为两块固定值，每块砝码质量为 5.1kg；托盘 2 加载砝码每块砝码质量为 2.55kg，数量由参赛队选择，不小于 2 块，不大于 8 块。注意，加载砝码之间不能有任何粘接。

各参赛队的砝码数在计算书中应有注明，并在报到时申报托盘 2 的加载砝码数，托盘 2 的加载砝码数在加载时予以公示，加载现场由工作人员查验认可。

(2) 扭转加载时，先加载托盘 1 的两块砝码，然后加载托盘 2 的砝码，全部砝码加载完成后 10s 内结构模型若未失效，则立即剪断托盘 1 与托盘 2 之间的连接绳，产生动力荷载，如剪断连接绳后 20s 内结构未失效，则判定扭转加载成功，否则，判定扭转加载失败。

### 5.5 加载总时间

竖向和扭转加载总时间不超过 5 分钟，每超过 1 分钟总分扣 1 分(不足 1 分钟按 1 分钟计)，由工作人员查验并计时。

### 5.6 模型加载失效评判标准

加载过程中，若出现以下情况之一，则终止加载，模型加载失效，竖向加载或扭转加载成绩为零：

- (1) 竖向加载或扭转加载过程中，结构模型发生整体倾覆、垮塌；
- (2) 竖向加载或扭转加载过程中，砝码掉落(不包括剪断连接线后托盘 2 上的砝码)，或者铁块掉落，或者构件掉落；
- (3) 竖向加载或扭转加载过程中，剪断连接线前托盘 2 与地面接触；
- (4) 扭转加载过程中模型与挂钩之间连接点脱离；
- (5) 专家组认定不能继续加载的其他情况。

## 6 评分标准

### 6.1 总分构成

结构评分按总分 100 分计算，其中包括：

- (1) 计算书及设计说明 $\leq 10$  分
- (2) 现场制作的模型 $\leq 10$  分
- (3) 现场陈述与答辩 $\leq 5$  分
- (4) 加载表现 $\leq 75$  分

### 6.2 评分细则

- (1) 计算书及设计说明

①计算内容的完整性、准确性：满分 6 分

②图文表达的清晰性、规范性：满分 4 分

计算书及设计说明得分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。除封面外，计算书其余页面均不得出现任何有关参赛学校和个人的信息，否则该项为零分。

### (2) 现场制作的模型

①结构合理性与创新性：满分 5 分

②模型制作质量与美观性：满分 5 分

现场制作的模型得分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。

### (3) 现场陈述与答辩

①现场陈述：满分 2 分

②现场答辩：满分 3 分

现场陈述与答辩得分由专家组根据队员现场综合表现（内容表述、逻辑思维、创新点和回答等）进行评分。参赛队员陈述时间控制在 2 分钟以内，专家提问及参赛队员回答，时间控制在 2 分钟以内。

### (4) 加载表现

#### 1) 竖向加载

竖向加载成功后，计算第*i*队模型的竖向加载单位质量承载力：

$$k_{1i} = \frac{N_i}{m_i}$$

式中 $N_i$ ——为第*i*队的竖向加载时的铁块重量(N)；

$m_i$ ——为第*i*队的模型质量(g)。

竖向单位质量承载力最大的参赛队得 35 分，竖向加载单位质量承载力记为 $k_{1max}$ ，其他参赛队得分为：

$$F_{1i} = 35 \times \frac{k_{1i}}{k_{1max}}$$

#### 2) 扭转加载

扭转加载成功后，计算第*i*队模型的扭转加载单位质量承载力：

$$k_{2i} = \frac{G_i}{m_i}$$

式中 $G_i$ ——为第 $i$ 队的扭转加载的托盘 1 和托盘 2 的砝码总重量(N)；

$m_i$ ——为第 $i$ 队的模型质量(g)。

扭转单位质量承载力最大的参赛队得 40 分，扭转加载单位质量承载力记为 $k_{2max}$ ，其他参赛队得分为：

$$F_{2i} = 40 \times \frac{k_{2i}}{k_{2max}}$$

3) 加载表现总分

第 $i$ 队的加载表现总分为： $F = F_{1i} + F_{2i}$

## 7 其它事项

(1) 参赛队员在模型制作、安装、加载模型时，应时刻注意自身安全及他人安全，包括制作工具的使用、手套及安全帽的佩戴。禁止穿拖鞋、高跟鞋、赤脚和易滑、带钉的鞋和赤膊操作。

(2) 比赛现场提供加载设备厂家联系信息：

厂 家：杭州邦博（BAMBOO）科技有限公司

联 系 人：王经理

联系电话：13082806354

(3) 比赛现场提供加载设备厂家(不包括加载铁块和砝码)联系信息：

厂 家：都江堰市城华建材

联 系 人：张杰

联系电话：18628956516

(4) 本赛题具体细则的最终解释权归四川农业大学土木工程学院所有。