

第十六届全国大学生结构设计竞赛分区赛

暨第十五届山东省大学生结构设计竞赛

竞赛题目：拱形农业大棚结构设计

1 命题背景

农业大棚是一种人工建造的用于种植蔬菜、水果、花卉等作物的农业生产设施，通过控制环境温度、湿度、光照和气体浓度等因素，使得作物可以在适宜的环境中生长，提高产量和品质。目前，在中国已经广泛应用于农业生产和科学研究等领域。大棚在使用过程中会受到多种荷载作用，包括自重荷载、风荷载、雪荷载、吊挂荷载等。在我国北方地区，容易发生风灾和雪灾等极端天气，对大棚的承载能力提出较大考验。本次竞赛以拱形农业大棚结构为基本单元，要求参赛者针对竖向集中荷载、分布荷载及水平荷载等多种工况下的大棚结构进行受力分析、模型制作及加载试验。



图 1 拱形农业大棚

2 模型尺寸要求

本次结构设计竞赛模型及加载示意图如图 2 所示，具体尺寸要求说明如下：



图 2 模型及荷载示意图

2.1 模型边界条件

(1)模型立面图如图3所示，模型总跨度为1200mm，模型顶部标高 $\leq 550\text{mm}$ 。模型顶部的立面投影轮廓需为拱形或由分段斜杆构成的近似拱形，顶部高程从最大标高处沿水平方向向两侧连续降低（即模型任一立面顶部沿水平方向不允许设置水平杆件）。内部设置 $1000\text{mm} \times 300\text{mm}$ 的规避区，仅允许在立面外轮廓线和规避区之间设计结构。模型底部边界宽40mm、高10mm的区域可制作底座，用于模型与底板连接。

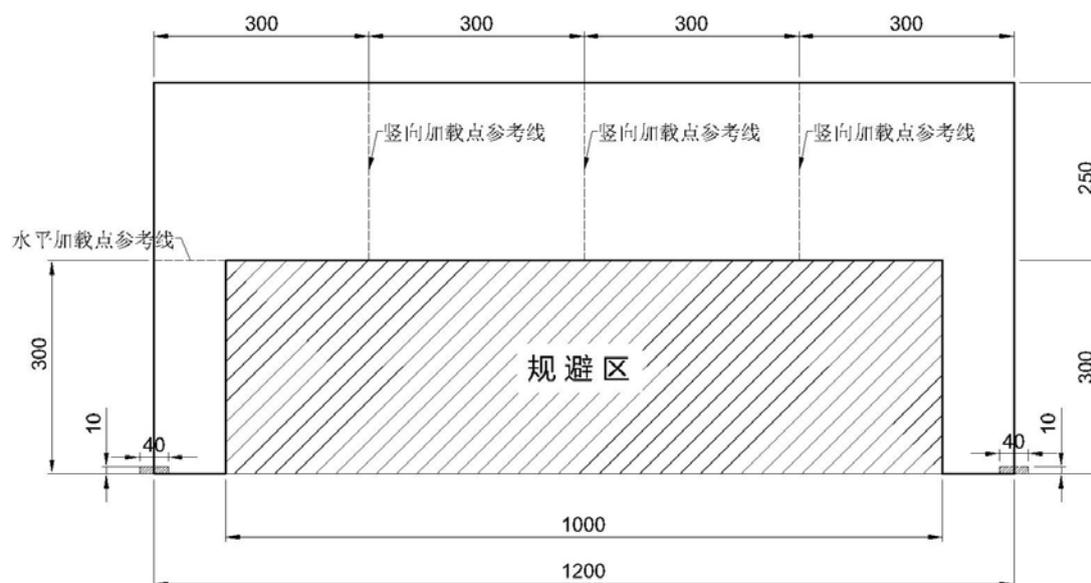


图 3 模型立面尺寸示意图

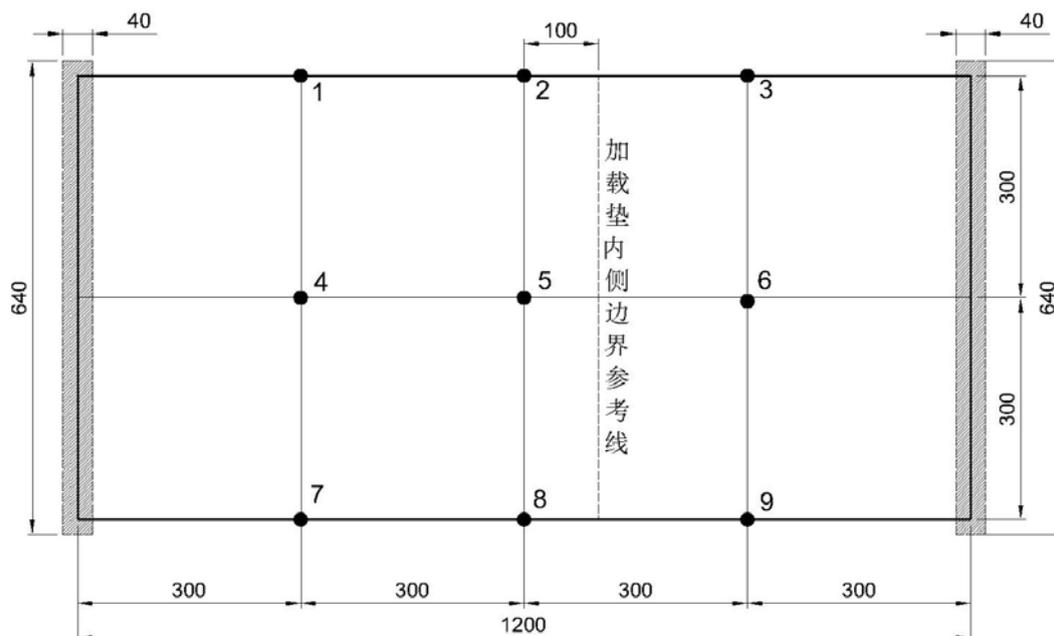


图 4 模型平面尺寸示意图

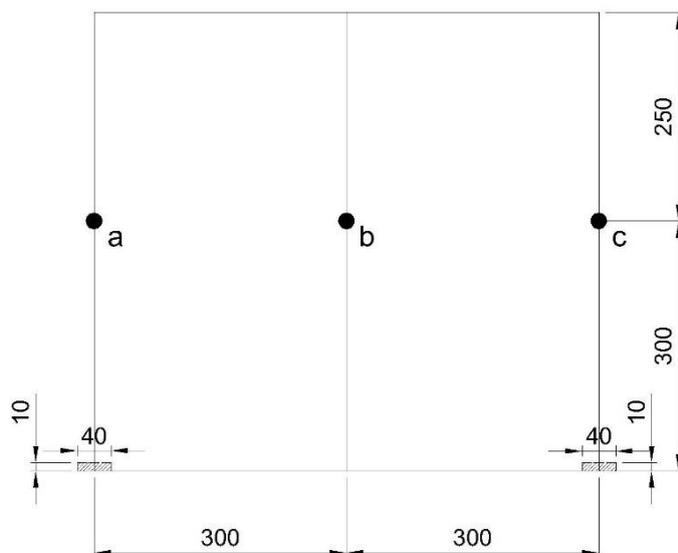


图 5 模型左视尺寸示意图

(2) 模型平面图如图 4 所示，模型平面投影外边界不得超出 $1200\text{mm} \times 600\text{mm}$ 的矩形区域。模型底面左右边界处划定 2 个 $40\text{mm} \times 640\text{mm}$ 的矩形区域作为模型底座和底板连接的限制区，矩形区域形心位于模型平面投影外边界上。

2.2 模型加载位置

(1) 水平加载点位置：模型共设置 3 个水平加载点，水平加载点标高为 300mm ，如图 3 所示，在模型立面左边沿参考线方向与模型相同标高最外侧相交，确定水平方向点位。相邻水平加载点间距为 300mm ，以 a、b、c 命名，标记于图 5 中。

(2) 竖向加载点位置：模型共设置 9 个竖向加载点。竖向加载点在平面图中对称分布，相邻竖向加载点之间横纵向间距均为 300mm ，以数字 1~9 命名，标记于图 4 中。竖向加载点可沿其加载方向参考线上（图 3）任意标高处布置。

(3) 顶部加载垫位置：模型顶部用加载垫施加偏心竖向分布荷载，加载垫平面尺寸为 $700\text{mm} \times 700\text{mm}$ ，加载垫内侧边界与图 4 所示参考线重合，跨过模型中心轴线向另一侧平铺放置。

2.3 尺寸误差要求

按照上述规定制作的模型尺寸误差需满足在 $\pm 5\text{mm}$ 的范围内，加载点位置根据 4.2 小节的检测装置加以限制。

3 模型加载要求

本模型共分加载测试和卸载测试两个阶段，具体要求如下：

3.1 加载测试

(1) 第一级加载：在 3 个水平加载点上各施加 4kg 指向模型外侧的水平荷载，共计 12kg。加载完成后举手示意，计时 10 秒钟，记录 b 点沿加载方向的水平位移，位移限值为 $[w]=5.0\text{mm}$ ，结构未出现 5.2 小节中认定的失效情况，则认为该级加载成功，进入下一级加载环节。若结构失效，加载终止，本级加载不得分。

(2) 第二级加载：保持上一级水平荷载作用，在 9 个竖向加载点上每个点均施加 4kg 竖向集中荷载，共计 36kg。加载完成后均需举手示意，计时 10 秒钟，结构未出现 5.2 小节中认定的失效情况，则认为加载成功，可进行后续加载。若结构失效，加载终止，本级加载得分为 0。

(3) 第三级加载：保持前两级荷载作用，在模型上方平铺 16kg 加载垫，加载垫一侧边界沿模型顶部标记出的参考位置放置，另一侧向水平加载点方向平铺。加载完成后举手示意，计时 10 秒钟，结构未出现 5.2 小节中认定的失效情况，则认为该级加载成功。若结构失效，加载终止，本级加载得分为 0。

(4) 第四级加载：保持前三级荷载作用，在 3 个水平加载点继续施加水平荷载，每个加载点可选择 3kg、4kg、5kg、6kg 砝码（由参赛队在赛前自行选择，详见 5.1 小节）。加载完成后举手示意，计时 10 秒钟，结构未出现 5.2 小节中认定的失效情况，则认为该级加载成功。若结构失效，加载终止，不再进行卸载测试，本级加载得分为 0。

3.2 卸载测试

(1) 第一级卸载：保持加载测试的全部荷载作用，移除模型顶部加载垫，卸载完成后举手示意，计时 10 秒钟，结构未出现 5.2 小节中认定的失效情况，则认为该级卸载成功。记录第 10 秒时水平加载点 b 点的水平位移，用于核算卸载分数。若结构失效，终止卸载测试，本级卸载得分为 0。

(2) 第二级卸载：保持上一级卸载完成后状态，移除 9 个竖向加载点的全部砝码，卸载完成后举手示意，计时 10 秒钟，结构未出现 5.2 小节中认定的失效情况，则认为该级卸载成功。记录第 10 秒时水平加载点 b 点的水平位移，用于核算卸载分数。若结构失效，本级卸载得分为 0。

4 模型制作及检测要求

4.1 模型制作要求

模型制作材料为竹材，模型所有连接部位可使用 502 进行粘接。模型使用统一配发的自攻螺钉固定到底板标记的 40mm×640mm 连接限制区内，底板为 200mm×700mm 的木板。各参赛队要求在 16 小时内完成模型主体的制作，此后除加载点的绑扎及使用螺钉与底板连接之外，不允许对模型进行任何操作。模型制作过程中，严禁将半成品部件置于地面，若因此导致模型损坏，责任自负，并不因此延长制作时间。

4.2 模型检测要求

模型检测装置示意图如图 6。

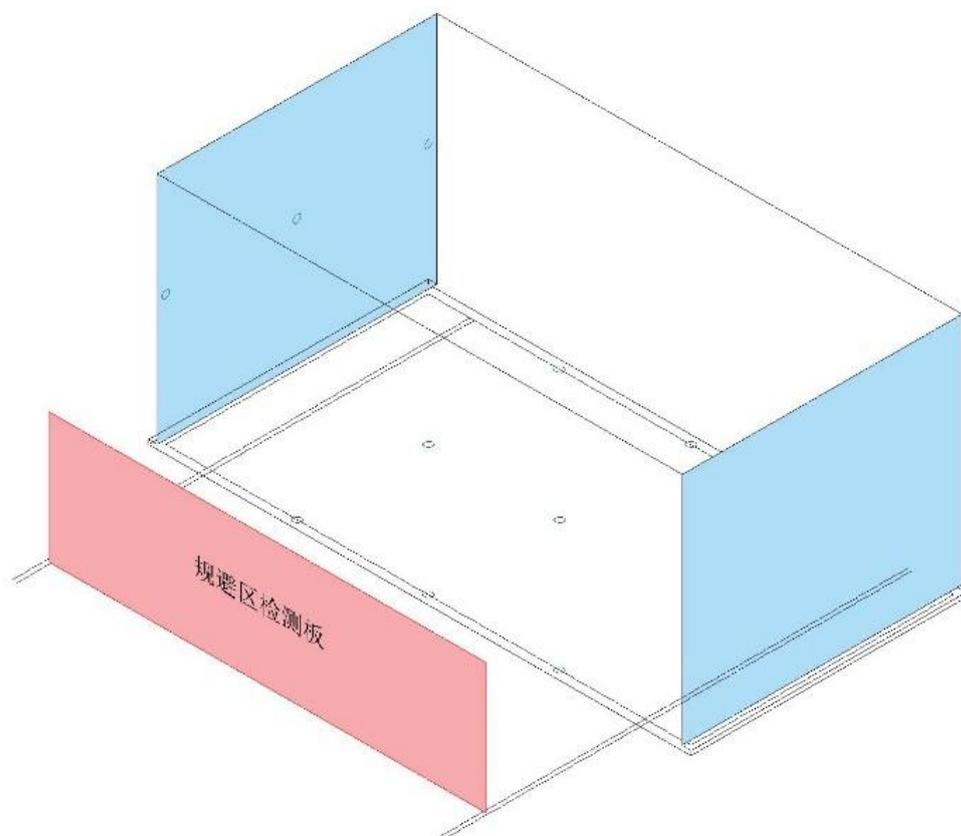


图 6 模型检测装置

(1) 外轮廓及规避区检测

模型制作完成后，统一放置到检测装置上，外轮廓及规避区尺寸要求通过检测板完成，模型各部件不允许触碰检测板。检查模型顶部沿跨度方向是否存在水平连接构件。检查模型与底板连接是否在划定的限制区内。

检测板操作在工作人员监督下，由参赛队员自行完成，过程中如造成模型损坏，责任自负。未通过此项检测判定为模型失效，不予加载。

(2) 加载位置检测

参赛队员将模型放置在检测装置上，在水平和竖向加载点绑扎的尼龙绳上连接加载牵引绳，牵引绳穿过检测板上直径为 20mm 的圆孔，牵引绳另一端连接空载砝码挂盘（水平牵引绳通过定滑轮转向）。牵引绳静止后不与圆孔接触，视为检测合格。若牵引绳与圆孔边缘接触，可在±5mm 范围内微调尼龙绳绑扎位置，调整后不与圆孔边缘接触，也可视为检测合格。若无法在误差范围内调整通过加载点位置检测，工作人员记录检测不通过的加载点数量，依据 7.2 小节中的罚分规则扣减相应分数。

参赛队员在模型顶部沿跨度方向的中心点向远离水平加载点方向，参考图 4 量取 100mm 的水平距离，垂直投影到模型上，用红笔在顶部对应位置标记出加载垫内侧边界参考点（至少标记 2 个），由工作人员核验位置，若不合格，需重新标记。

5 比赛步骤及失效评判

5.1 比赛步骤

- (1) 参赛队员制作模型，计时 16 小时；
- (2) 模型称重和底板安装，记录使用螺钉数量，上报第四级加载重量；
- (3) 参赛队员领取尼龙绳，对加载点进行标记和尼龙绳绑扎；
- (4) 模型尺寸和加载点位置检测；

(5) 模型加载和卸载：一名参赛队员通过 PPT 进行现场陈述，剩余两名队员进行加载准备，放置模型，连接加载牵引线，放置砝码挂盘，现场陈述和加载准备计时不超过 3 分钟。加载准备完成后，举手示意开始模型加卸载测试。模型加卸载总计时不超过 6 分钟。全部加卸载测试完成后将加载工具归位放置。

5.2 失效评判规则

加载过程中，若出现以下情况之一，终止加载，本级加载及后续级别加载成绩为零：

- (1) 模型发生整体倾覆、垮塌；
- (2) 加载砝码落地；
- (3) 加载垫未按规定区域放置；
- (4) 加载垫整体或局部滑落触碰结构内部构件或加载牵引线；
- (5) 第一级加载位移超出限值 $[w]=5\text{mm}$ ；
- (6) 评委认定不能继续加载的其他情况。

6 模型材料及工具

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及工具。

(1) 模型制作材料、自攻螺钉、尼龙绳等由组委会统一提供，现场制作，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，竹材规格及用量上限如表 1 所示，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上负责，原则上不予更换。

表 1 竹材规格及用量

竹材规格		每队发放量
竹皮	1250mm×430mm×0.20 (+0.05) mm	2 张
	1250mm×430mm×0.35 (+0.05) mm	2 张
	1250mm×430mm×0.50 (+0.05) mm	2 张
竹杆	930mm×6mm×1.0 (+0.5) mm	20 根
	930mm×2mm×2.0 (+0.5) mm	20 根
	930mm×3mm×3.0 (+0.5) mm	20 根

注：竹材规格括号内数字仅为材料厚度误差限，通常为正公差；

表 2 竹材参考力学指标

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

(3) 模型制作提供 502 胶水 (30g 装) 6 瓶，用于结构构件之间的连接。

(4) 模型安装前，提供长度为 200 mm 高强尼龙绳 (1mm 粗) 12 段，用于绑扎加载点，便于与砝码挂钩连接，捆绑方式自定。不允许将尼龙绳粘在结构上，不可在绳结处滴胶。加载点位置用红笔标识出，作为加载点中心，中心两侧各 5mm、共 10mm 的区域用黑笔标出。绑扎于模型上的高强尼龙绳只能设置在此区域中。

(5) 模型制作期间，统一提供美工刀、剪刀、水口钳、锉刀 (平头锉刀、整形锉)、磨砂纸、尺子 (钢尺、丁字尺、三角板)、镊子、滴管、打孔器、刨子、钢锯条等常规制作工具，各参赛队可自带设计详图图纸 1 张 (不得超过 80g、

A1 图纸规格)、竞赛手册、直流电小型电子秤、游标卡尺、小型直流手电钻及钻

头，现场不提供交流电源。其他模型制作工具或物品不得私自携带入场。

(6) 模型制作现场提供加载装置、700mm×700mm 空载加载垫和尺寸检测工具，仅用于比照模型尺寸，各参赛队不得长时间占用加载装置进行模型拼装。为保证各公平使用，每队每次使用时间控制在 3 分钟以内。

(7) 模型装配完成后，对模型（不含高强尼龙绳）进行称重，并附加模型与底板之间连接用自攻螺钉质量（按 1.0g/颗计算），得到模型总质量。

7 评分标准

7.1 总分构成

结构评分按总分 100 分计算，其中包括：

- (1) 理论方案分值：5 分
- (2) 模型结构与制作质量分值：10 分
- (3) 现场陈述与答辩分值：5 分
- (4) 加载表现分值：60 分
- (5) 卸载表现分值：20 分
- (6) 违规罚分

7.2 评分细则

- (1) 理论方案分 (A_i): 满分 5 分

第 i 队的理论方案得分 A_i 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，否则为零分。

- (2) 现场制作的模型分 (B_i): 满分 10 分

第 i 队现场制作的模型得分 B_i 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。

- (3) 现场陈述与答辩分 (C_i): 满分 5 分

第 i 队的现场陈述与答辩得分 C_i 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 1 分钟以内，然后回答专家的提问。

- (4) 加载表现分 (D_i): 满分 60 分

- a) 第一级加载分 (D_{1i}) 满分 15 分

第一级加载第 i 队的砝码质量为 G_{1i} ，模型质量为 M_i ，则第 i 队模型的单位

质量承载系数 $k_{1i}=G_{1i}/M_i$ ，该级各队系数最大值记为 $k_{1\max}$ 。加载判定系数 r_{1i} 取值为 1(该级加载成功)或 0(该级加载失败)。该级得分为：

$$D_{1i} = 15r_{1i} \cdot \frac{k_{1i}}{k_{1\max}}$$

b) 第二级加载分 (D_{2i}) 满分 15 分

第二级加载第 i 队的砝码质量为 G_{2i} ，模型质量为 M_i ，则第 i 队模型的单位质量承载系数 $k_{2i}=G_{2i}/M_i$ ，该级各队系数最大值记为 $k_{2\max}$ 。加载判定系数 r_{2i} 取值为 1(该级加载成功)或 0(该级加载失败)。该级得分为：

$$D_{2i} = 15r_{2i} \cdot \frac{k_{2i}}{k_{2\max}}$$

c) 第三级加载分 (D_{3i}) 满分 10 分

第三级加载第 i 队的砝码质量为 G_{3i} ，模型质量为 M_i ，则第 i 队模型的单位质量承载系数 $k_{3i}=G_{3i}/M_i$ ，该级各队系数最大值记为 $k_{3\max}$ 。加载判定系数 r_{3i} 取值为 1(该级加载成功)或 0(该级加载失败)。该级得分为：

$$D_{3i} = 10r_{3i} \cdot \frac{k_{3i}}{k_{3\max}}$$

d) 第四级加载分 (D_{4i}) 满分 20 分

第四级加载第 i 队的砝码质量为 G_{4i} ，模型质量为 M_i ，则第 i 队模型的单位质量承载系数 $k_{4i}=G_{4i}/M_i$ ，该级各队系数最大值记为 $k_{4\max}$ 。加载判定系数 r_{4i} 取值为 1(该级加载成功)或 0(该级加载失败)。该级得分为：

$$D_{4i} = 20r_{4i} \cdot \frac{k_{4i}}{k_{4\max}}$$

第 i 队加载总分为： $D_i = D_{1i} + D_{2i} + D_{3i} + D_{4i}$

(5) 卸载表现分 (E_i): 满分 20 分

a) 第一级卸载分 (E_{1i}) 满分 10 分

第一级卸载第 i 队的侧向位移为 w_{1i} ，水平荷载总质量为 H_i ，则第 i 队的单位荷载位移系数 $u_{1i}=w_{1i}/H_i$ ，该级各队系数最小值记为 $u_{1\min}$ 。卸载判定系数 t_{1i} 取值为 1(该级卸载成功)或 0(该级卸载失败)。该级得分为：

$$E_{1i} = 10t_{1i} \cdot \frac{u_{1\min}}{u_{1i}}$$

b) 第二级卸载分 (E_{2i}) 满分 10 分

第二级卸载第 i 队的侧向位移为 w_{2i} , 水平荷载总质量为 H_i , 则第 i 队的单位荷载位移系数 $u_{2i}=w_{2i}/H_i$, 该级各队系数最小值记为 $u_{2\min}$ 。卸载判定系数 t_{2i} 取值为 1(该级卸载成功)或 0(该级卸载失败)。该级得分为:

$$E_{2i} = 10t_{2i} \cdot \frac{u_{2\min}}{u_{2i}}$$

第 i 队卸载总分为: $E_i = E_{1i} + E_{2i}$

(6) 违规罚分 (F_i)

a) 模型安装及加载过程超时的, 每超 1 分钟 (不足 1 分钟按 1 分钟计), 扣 2 分;

b) 加载点检测未通过的, 每个加载点扣 5 分;

c) 加卸载测试完成后未按规定位置放置加载工具的, 扣 5 分。

第 i 个参赛队的总分为: $A_i + B_i + C_i + D_i + E_i - F_i$

8 补充说明

(1) 本次竞赛备赛阶段不提供统一的加载装置、砝码和模型底板, 各参赛队可自行准备;

(2) 模型制作材料使用国赛供应商 (杭州邦博科技有限公司) 提供的竹材, 联系电话 13082806354 (王军龙);

(3) 第三级加载使用的加载垫由 8 个 2kg 沙袋组成, 沙袋尺寸、分布及放置方法如图 7, 图 7 模型并非本赛题尺寸, 仅供参考。沙袋购买链接: <https://detail.tmall.com/item.htm?abucket=13&id=35051227864&ns=1> ;

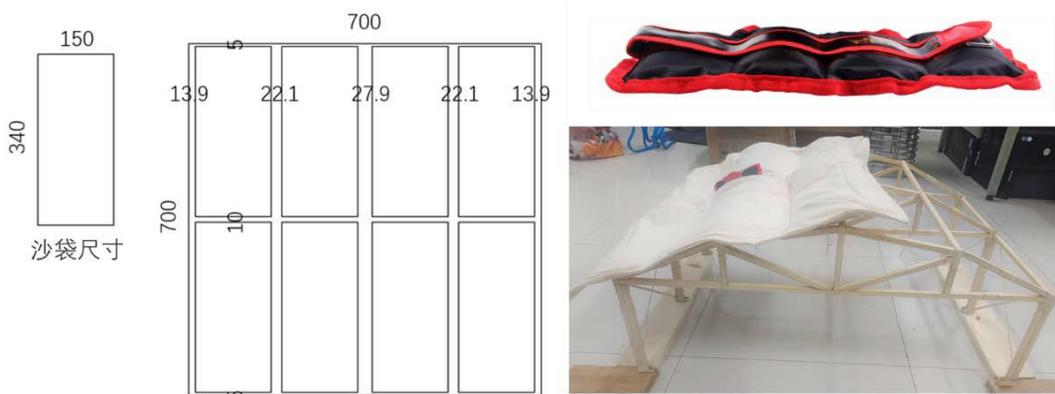


图 7 加载垫示意图

(4) 赛题内容如有微调，以及竞赛现场制作工具详细清单，将随后续补充通知发布。