西南交通大学第十二届学生课外科技创新实验竞赛暨

**2020年“土木科技月”结构设计竞赛**

**桥梁工程组**

西南交通大学第二十届结构设计竞赛委员会

2020年11月

# 三跨连续体系桥梁结构设计

## 一、选题背景

装配式桥梁因受力状态简单明确、加工制造标准化和工厂化、运输和施工简便高效、维护管养成本低、环境亲和力高等特点，近年来受到了越来多的关注。

由于桥梁设计和建造的升级，以及大众审美水平的提升，桥梁美学的地位也日渐凸显，尤其是城市、景区等重点位置，具备景观功能的桥梁。

据此，本赛题以成都都市圈中某桥梁为背景，需要设计和制作出能同时满足装配化的要求以及桥梁美学的要求桥梁模型。

## 二、竞赛模型

竞赛模型为一座可承载一定荷载的三跨连续体系桥梁结构，可为梁桥、拱桥、斜拉桥或组合体系桥梁，不建议采用悬索桥，且不可制作鱼腹式梁桥，否则取消比赛资格。

模型采用软质PVC塑料板和PVC塑料管制作，包括主跨和两个边跨，可做成等跨或不等跨，且需要在其上涂色。模型加载系统和测量系统由承办方提供。

## 三、模型要求

### 3.1 制作材料

组委会将统一提供PVC塑料板（可借助电吹风热弯后塑形）、PVC塑料管和塑料螺钉螺母三种材料，各参赛队设计、制作模型仅限于使用以上材料，且允许对所给材料进行适当加工、组合。但PVC塑料管的单根长度不能超过20cm，否则取消比赛资格。

涂色材料由主办方提供，包含红、橙、黑、棕、蓝五种颜色。

模型制作过程中不得使用任何形式的粘接剂，如胶水。

### 3.2 模型重量

结构模型的总重量不超过2100克，超过者不能参加比赛。

### 3.3 模型尺寸和制作要求

桥梁的类型不限，但必须保持主梁和桥面为连续的，模型的纵桥向长度要求在区间（1770，1790）mm范围内，横桥向宽度要求在（200，250）mm 范围内，模型具体长度尺寸拟定请参考实验平台示意图。桥面纵坡控制在3.0%以内（否则无法牵引小车，等同于失去比赛资格），并保持桥面连续。不符合要求的模型直接取消比赛资格。

桥梁模型由可以现场分段拼装的主梁和桥墩构成。桥墩净高度（主梁底面到墩底）不超过40cm，每个桥墩至少由两个单独的构件拼装而成，每个构件最大尺寸不大于30cm。主梁分为三跨，可自由分跨，但每跨至少由两个单独的构件拼装而成，每个构件最大尺寸不大于30cm。

模型的所有构件在赛前备好（包括涂装），并在交验模型时先校验各个构件是否满足最大尺寸的要求，然后每个队仅能指派2名选手在现场将构件拼装为一个整体模型，裁判员记录拼装时间并由参赛队员确认。

模型拼装完成后，各个构件需要保持紧密，且在搬运过程中不得散落。对于组装完成在搬运过程中发生散落的模型，主委会只提供一次修理模型的机会。

### 3.4 模型桥面

（1）桥面铺设材料可以为PVC塑料板或PVC塑料管或两者的组合结构，如PVC管可对剖充当桥面板的U肋。

（2）模型需设置相应平整，并具有一定刚度和强度的桥面构造，能够用于移动小车加载。若加载时桥面塌陷导致小车无法行进，或桥面发生破坏，算为加载失败。

（3）模型桥面以上须保证不小于宽200mm×高200mm的桥面通行净空（关于净空的概念详见规范 JTG D60-2004 公路桥涵设计通用规范），以用于移动小车加载。

### 3.5 请参赛者认真解读实验平台附图，仔细考虑支座情况（图1）。

整个结构模型要求为三跨结构，实验平台共设置4个支座，位于一条直线上，两端支座中线水平间距为1770mm。2个中间支座均可为模型桥墩提供竖向约束。模型可以利用边支座提供水平和竖向约束，但不提供转动约束。两端支座高度和间距是固定的，但中间的两个支座可根据需要调整高度及纵向位置。

### 3.6 模型必须按要求的尺寸和位置、在结构模型桥面系平面内、提供悬挂集中荷载的吊点和进行位移测试的测点。

悬挂吊点必须位于各跨跨中、结构模型中轴线上。在提交模型时，吊点和测点需选手以吊环形式提前做好，并按要求固定于桥面下方，各点缠绕圈数不得多于5圈，否则限期整改。吊环采用尼龙线制作（组委会发放，仅限于制作吊环使用），以便于悬挂砝码（注意吊点处的局部加强，否则在加载过程中发生吊点损坏也算作模型加载失败）；每跨须布置两个位移测点，两个测点须关于桥轴线左右对称，且二者距离不小于200mm（图2）。需要注意的是，吊环和桥面距离25cm±3cm，以便挠度测试仪能够测出桥梁挠度数据。

### 3.7 进入决赛的参赛作品，必须提供详细的设计说明书。

### 3.8 模型设计亦可选取不等跨、不对称的造型和结构方案。

为确保公平，比赛时所有模型的加载都需按最不利的情况进行，即小车并行加载时需要停留在刚度最小位置（由评审老师选定）。

## 四、加载方式及过程

### 4.1预载

预载前首先须校验各参赛作品制作（包括材料、结构尺寸、净空尺寸等）是否满足竞赛规定的限制要求。

预载前须测定参赛作品总重量G（单位：g），并校验G数值是否满足竞赛规定的限制要求（不超过2100g）。对于满足重量要求和制作要求的结构，方可进行荷载加载试验及位移测试。

移动荷载加载前，须在每跨集中加载点各悬挂4kg的砝码作为基准荷载，并以此作为位移测试的变形基准点。

若在挂砝码的过程中，发生绳子断裂破坏，或者构件局部断裂破坏，导致砝码跌落，主委会仅允许一次现场修理机会。

预载时的移动小车荷载加载方式为：两辆自重各为4kg的移动小车，分别从模型两端牵引相向而行，匀速通过整个模型。

移动小车通过整个模型的时间约为30秒，由工作人员牵引。

小车移动过程中由工作人员操作仪器自动采集模型4个位移测点的位移值（在基准荷载下的位移为0位移、测量因移动荷载而引起的位移增量）。

计算各模型的预载荷重比P/G，其中P取为2100g。

对加载成功的作品按预载荷重比大小进行初步排名。

### 4.2二次加载

二次加载方案分为两个步骤进行。第一步为位移测试荷载工况，第二步为承载能力荷载工况。参赛作品须按表1、表2所示的加载顺序进行试验，每通过一个工况的测定和校验后方可进行下一工况的加载试验。

各加载步骤和荷载工况的内容及成绩评定方法详见表1和表2。

位移测定在第一步的荷载工况下进行，按表1说明进行测定。所测位移数值为：在预载变形的基准上，由移动小车加载所引起的结构竖向挠曲。位移校验时其最大绝对值大于10mm者在分数计算时为负分，若超过20mm，即视为加载失败。变形过大，导致加载小车无法正常牵引过桥，也视为加载失败。

## 五、加载方法与失效评判

预载后，若结构发生较大变形，跨中或两端的静变形量超过2cm，算作结构失效。但此静变形仅作为失效与否判据，不参与评分。若结构在超过此静变形后未破坏，可继续参赛，但不计算成绩和名次。

预载过程中，发生以下情形之一者，即视为加载失败：

（1）模型主要构件出现明显失稳或连接破坏

（2）模型局部构造发生破坏且影响加载过程顺利进行（桥面破坏，或因塌陷导致小车无法以轮子滚动的方式正常通行，而是以底部贴着桥面滑行）

（3）模型结构发生破坏而不能继续承担荷载

（4）位移测点在进行位移测定的工况下的最大竖向位移超过规定限值（20mm）

（5）若在小车加载过程中，发生绳子断裂破坏，或者构件局部断裂破坏，导致砝码跌落，则认定为加载失败。

二次加载试验失败的判定：

在整个加载过程中，发生以下情形之一者，将视为加载失败，退出加载试验：

（1）模型主要构件出现明显失稳或连接破坏

（2）模型局部构造发生破坏且影响加载过程顺利进行（桥面破坏，或因塌陷导致小车无法以轮子滚动的方式正常通行，而是以底部贴着桥面滑行）

（3）模型结构发生破坏而不能继续承担荷载

（4）位移测点在进行位移测定的工况下的最大竖向位移超过规定限值（20mm）

（5）若在小车加载过程中，发生绳子断裂破坏，或者构件局部断裂破坏，导致砝码跌落，则认定为加载失败。

## 六、模型材料及制作工具

软质PVC塑料板：厚度2mm，用于制作结构构件。

力学性能参考值：弹性模量1.5-15MPa，抗拉强度30MPa。

塑料螺钉螺母：用于模型结构构件之间的连接，直径4mm，长度12mm。

PVC塑料管：外直径8mm，壁厚1mm。

制作工具：美工刀、钢尺、砂纸、锉刀、改锥、小型锯子、与4mm螺母螺杆配套的螺丝刀和扳手。

以上所有材料可以进行二次加工。

**注意：本次比赛不可使用任何类型的粘胶作为构件之间的连接。**

组装后的结构构件最大尺寸不超过30cm。

## 七、模型现场安装、加载及测试步骤

### 7.1赛前准备:

检查模型是否满足赛题要求；是否满足安装要求。

安装要求：交模型时，首先校验单个构件尺寸是否大于30cm，然后每队指派2名对于，将各个构件现场拼装成一个整体，裁判记录拼装时间并由队员确认，方才可提交模型，且模型可搬运不散架（现场拼装散架的模型仅提供一次修理机会）。

模型拼装处可以使用卯榫连接，或塑料螺钉螺母连接，禁止使用胶水。

### 7.2加载及测试步骤：

详见表1和表2

## 八、评分标准：

### 8.1总分构成

评分按结构总分100分+拼装总分20分计算，结构总分其中包括：

(1) 说明书和现场表现20% （共20分）

(2) 结构制作精美度25% （共25分）

 (3) 加载表现评分55% （共55分）

拼装总分20分，按照以下公式计算：

拼装成绩P=20\*tmin/t，其中t为单个模型的拼装时间，tmin为最小拼装时间，单位秒，精确到小数点后2位。

注：（1）初赛时仅考虑结构分的第三项得分和拼装得分，只进行一次加载，通过者按照荷重比排名；（2）决赛时需要考虑全部四项得分，且需要进行二次加载。

### 8.2评分细则

A. 说明书及设计图（共10分，**初赛时不计入此项。**）

(1) 计算内容的完整性 (共5分)

包含模型的力学计算过程，清晰详细为满分，不详为2分，没有为零分。

(2) 图文表达的清晰性、规范性 (共5分)

包含模型设计、制作和测试三方面内容，每一项各为3分，都有为满分，

说明书可能包含的内容如：结构选型思路、结构建模及主要计算参数、受荷分析、节点构造、模型加工图，模型测试照片和结果。

B. 结构选型与制作质量 （共35分）

(1) 结构的美观性 (共15分)

结构涂装是否美观，色彩搭配是否协调。

(2) 模型制作的精致性 (共15分)

制作粗糙，得5分；制作一般，得10分；制作精美，得15分。

制作粗糙者，如直接把PVC材料切割成粗糙的板或条，简单拼装后的作品。制作精美者，如桁架梁的精美雕刻，或桁架杆件单独制作，有节点板等细节构造的作品。

C. 加载表现评分

（1）加载试验成绩总分55分， 其中位移成绩15分、静载成绩30分、动载成绩10分。

（2）位移成绩总分15分，其计算方法如下：

位移成绩=K1×15 （公式1）

其中，位移成绩系数K1按下式计算(δ为实际测试最大位移)

K1=(10-δ)/10 （公式2）

（3）静载成绩总分为30分，其计算方法如下：

静载成绩＝K2×30 （公式3）

其中，静载系数K2按下式计算

  （公式4）

上式中，βi表示第i个模型的静载“荷重比”，即静载集中力加载值与模型重量之比；βmax为所有进入决赛的作品中的最大静载荷重比。

（4）动载成绩总分为10分，其计算方法如下：

动载成绩=K3×10 （公式5）

其中，动载成绩系数K3取值为：通过动载加载工况者K3=1，否则K3=0。

（5）加载试验成绩即为位移成绩、静载成绩、动载成绩之和：

 加载试验成绩K=K1×15+K2×30+K3×10 （公式6）

（6）总成绩T=加载试验成绩K+拼装成绩P

结构评分分项中第A-B项内容均在加载前评毕，第C项内容在决赛加载试验现场评定。模型尺寸及材料使用不符合设计制作要求者，不得进入加载试验阶段。

在参赛过程中有其他违规现象者将直接淘汰，不进入比赛评分阶段。以上A-C各项得分相加为结构总得分。

## 九、参赛选手所需提交的资料：

提供模型即可，但进入决赛的参赛选手还需要向组委会提交设计说明书和答辩 PPT（设计说明书格式为 word 2007及以上版本，需要电子文档一份和一式十份的纸质文档，PPT 为 2007 版及以上版本的 PowerPoint演示文稿），说明书需在封面处注明参赛队伍名称，参赛队员姓名与学号,文件夹以 BXX组命名。文件夹内附上述文件。

## 十、附则：

10.1具体竞赛日程详见土木工程学院网站发布的通告。

10.2本竞赛规则中若出现叙述不一致之处，请咨询竞赛组委会。

10.3本竞赛细则最终解释权归竞赛组委会。

西南交通大学第二十届结构设计竞赛委员会

2020年10月