

第九届全国大学生结构设计竞赛赛题

传承-山地桥梁结构设计及手工与 3D 打印装配制作

一、赛题背景

七七事变以后，日军迅速占领了中国北方的京津地区、南方的广东、汉口、上海、南京等华中、华东和华南地区，包括了中国主要的大城市、95%的工业、50%的人口。更为重要的是，中国沿海几乎所有的港口都落入了日本人的手中。武汉会战以后，中日双方进入战争的相持阶段。战争变成了消耗战。对于中国来说，物资供应问题此时显得异常严峻起来。

滇缅公路于 1938 年开始修建，公路与缅甸的中央铁路连接，直接贯通缅甸原首都仰光港。滇缅公路原本是为了抢运中国在国外购买的和国际援助的战略物资而紧急修建的，随着日军进占越南，滇越铁路中断，滇缅公路竣工不久就成为了中国与外部世界联系的唯一地面运输通道。

滇缅公路修建之难，难在公路经过的 80% 的路段是崇山峻岭。由于抗战形势的日益紧迫，滇缅公路的很多路段只好边勘测边施工。有经验的工程技术人员在战前就十分缺乏，抗战开始后，这个问题就更加尖锐了。况且滇缅公路将要从云南边境地区流行“瘴气”的地区经过，更就成了招募工程技术人员的一个大问题。滇缅公路沿线近 30 个县的劳工约 20 万人被征集来到公路上。这些人中，有大部分是老人、妇女和孩子，因青壮年大部分都应征入伍了。这可能是世界上最奇特的一只筑路大军，这里有各种各样的民族，他们穿着用蓝色土布制作的衣服，其中只有很少的男人是壮劳力，其它都是妇女和老头以及很多很多的孩子，孩子们都带着自家的宠物：狗、鸡和长尾巴的小鸚鵡。在傣族地区，那些跟着大人来做工的孩子还带着猴子。1938 年 8 月底，经过 20 万人的艰苦努力，全中国甚至全世界瞩目的滇缅公路终于通车了。9 月 2 日，《云南日报》发表社论，题目是《滇缅公路修完了》。当时，国统区内的几乎所有报纸都报导了这个极其鼓舞人心的消息，它也震惊了全世界。美国驻华大使在途径滇缅公路赴重庆后曾说：此次中国政府能于短期内完成此艰巨工程，此种果敢毅力与精神，实令人钦佩。且修筑滇缅路，物资条件异常缺乏，第一缺机器，第二纯系人力开辟。全靠沿途人民的艰苦耐劳精神，这种精神是全世界任何民族所不及的。



滇缅公路起始位置



著名的滇缅公路 24 弯道



惠通桥



老人、妇女、儿童参与筑路



滇缅公路有的路段至今保持原貌

惠通桥崖壁虎口（鹰嘴）



筑路时基本采用人挑马驮



滇缅公路筑成通车

2015 年是抗日战争胜利 70 周年，70 多年前有一个民族正在经受着前所未有的屈辱和磨难，一个有着 5000 年文明的国度也经历着其凤凰涅槃前的痛苦。曾经在这片土地上生活的 4 亿同胞无论老幼，不分尊卑，无论信仰，皆是守土人。为弘扬当代大学生的爱国主义精神，时刻提醒我们勿忘历史，以史为鉴，特选定对中国在抗日战争期间有着非凡意义的生命线——滇缅公路作为赛题背景。

二、总体模型

总体模型由给定的山体模型、制作的桥梁模型和作为底座连接用的承台板三部分组成。图 1、图 2 为总体模型三维透视图和总体模型布置图（提示：竞赛用山体模型尖锐部分做了钝化处理以避免划伤人员）。

给定的山体模型有虎口、隧洞和棱台山体模型。承台板的标高为±0.00m，虎口山体虎口底面的标高为+0.14m，隧洞山体洞口底面的标高为+0.30m，棱台山体山顶平面的标高为+0.20m。各山体具体尺寸见图 3-9。

桥梁模型由 A、B 两段桥依山而成。A 桥段结构的所有构件及节点均采用给定竹材与 502 胶水手工制作完成。B 桥段结构的杆件采用给定竹材和 502 胶水手工制作，节点及连接部件采用给定的 ABS 塑料打印材料由 3D 打印机打印生成，最终 B 段桥梁结构由杆件与节点及连接部件装配而成，装配中不使用任何胶水。A、B 桥段结构桥面板制作时要求满铺，不允许有空隙。B 桥段在给定位置设有减速带。

连接用承台板主要用来承托给定的山体模型和制作的桥梁模型，模型与承台用自攻螺钉通过连接件连接，承台板采用生态实木板制作。承台板上设有一条具有一定宽度的模拟河流流经 A、B 桥段，为便于通航，河流内不允许设置桥墩。

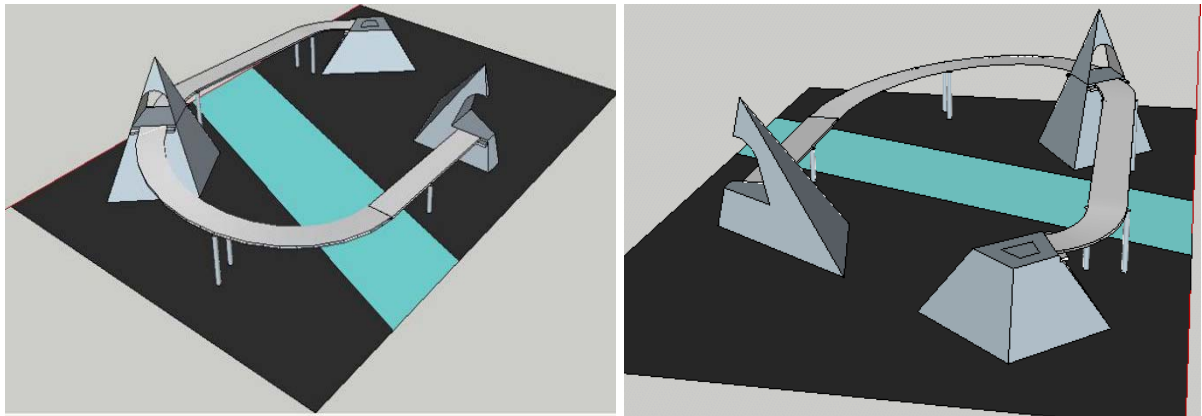


图 1 模型三维示意图

三、山体模型、桥梁模型及承台板连接

山体模型与桥梁模型连接采用搭接方式，即在桥梁与各山体连接处设置搭接平台，搭接平台均设置在各山体小车通过平面下 10mm 处。虎口处与 A 段桥搭接平台，宽 25mm，长 210mm（如图 3-5 所示）；隧洞处与 A 段、B 段桥梁搭接平台，宽 25mm，长 200mm（如图 6-8 所示）；棱台处与 B 段桥梁搭接平台，宽 25mm，长 180mm（如图 9-11 所示）。

山体及各桥段模型通过自攻螺钉（螺钉直径 5mm，钉长 16mm，重量为 1g/颗）与承台

板相连。要求 A、B 桥段桥墩柱脚处设置带孔连接件，用于螺钉与承台板锚固，其中 A 桥段为手工制作连接件，B 桥段为 3D 打印带孔连接件。比赛中，每队将配发 10 颗螺钉，各队可视情况决定使用螺钉数，使用的螺钉重量将计入各队相应模型重量。

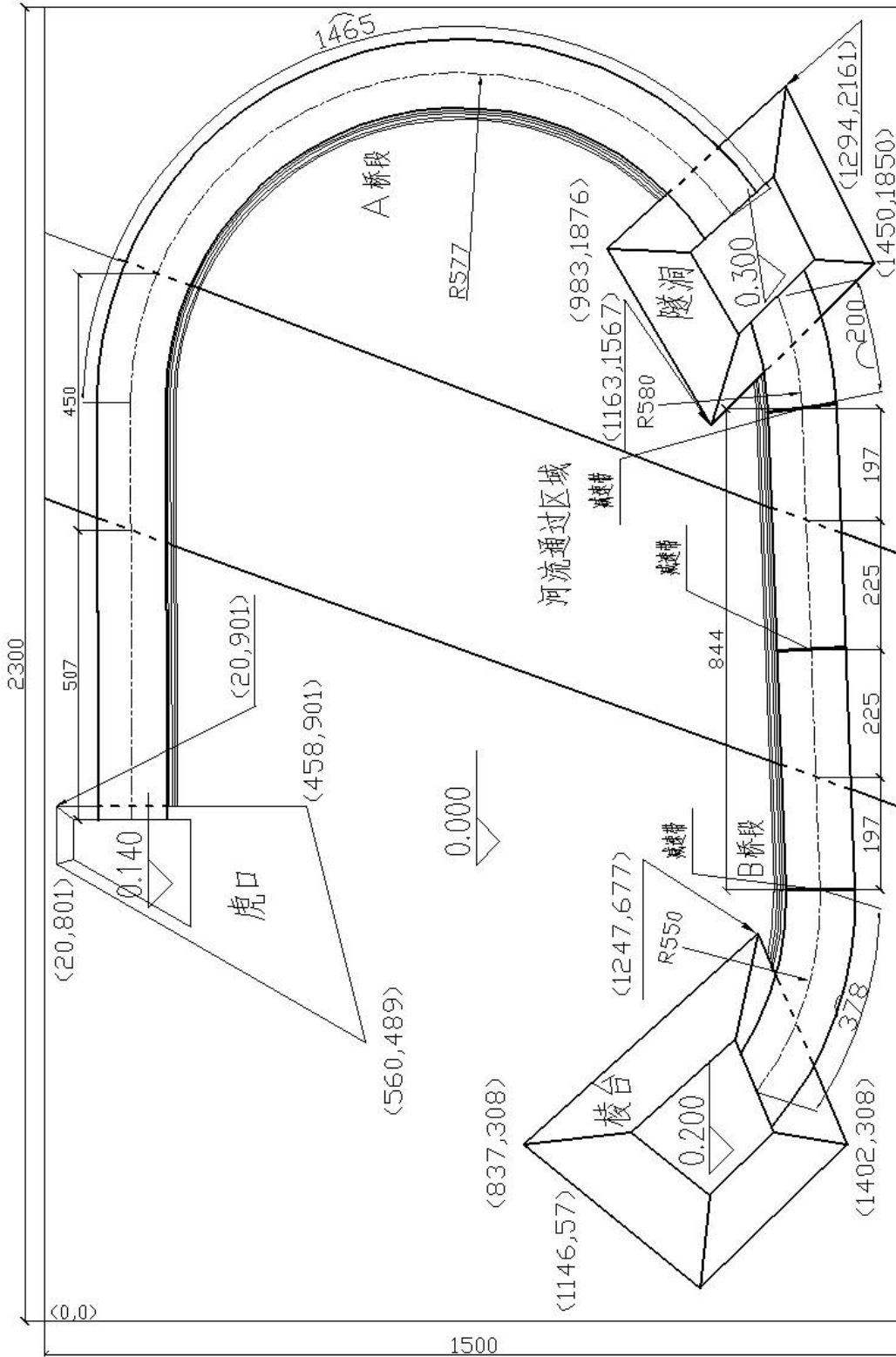


图 2 总模型布置图

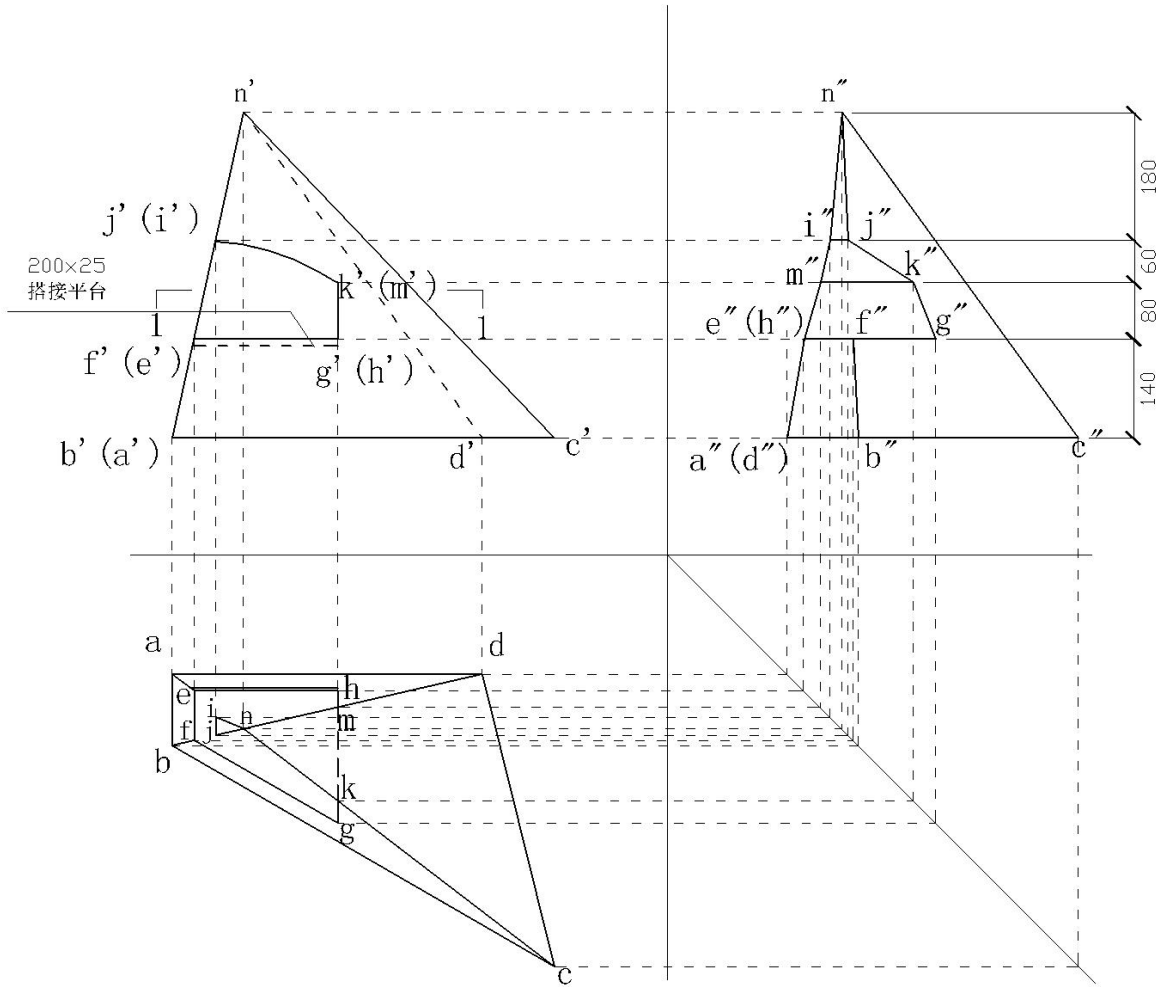


图3 虎口三视图

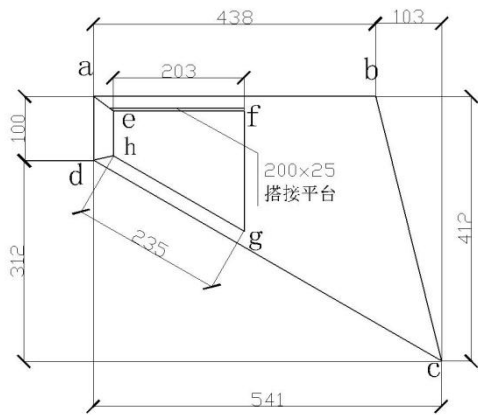


图4 1-1剖面图

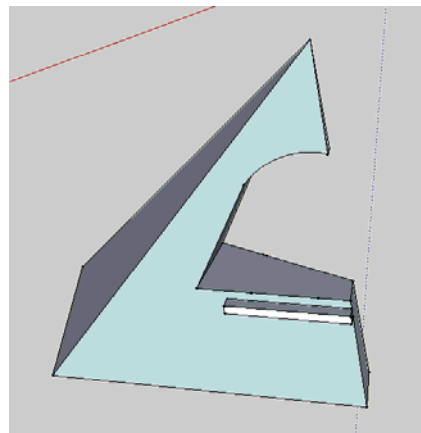


图5 虎口山体三维图

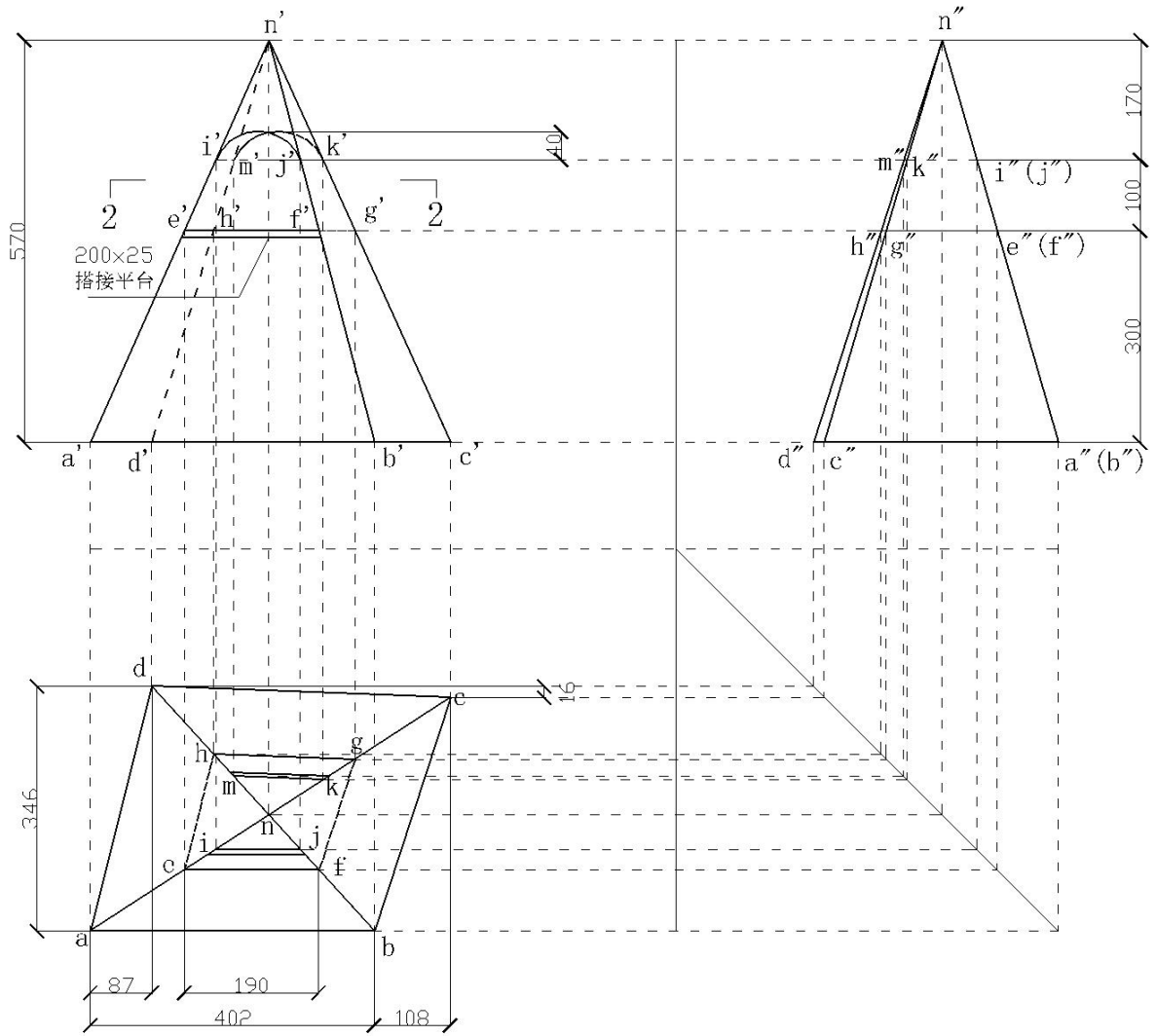


图6 隧洞山体三视图

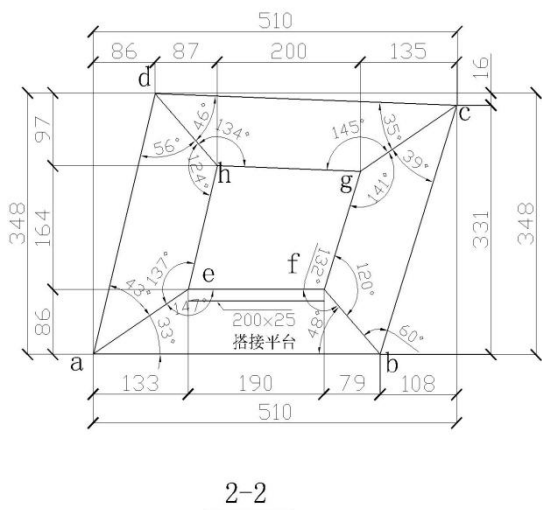


图7 2-2剖面图

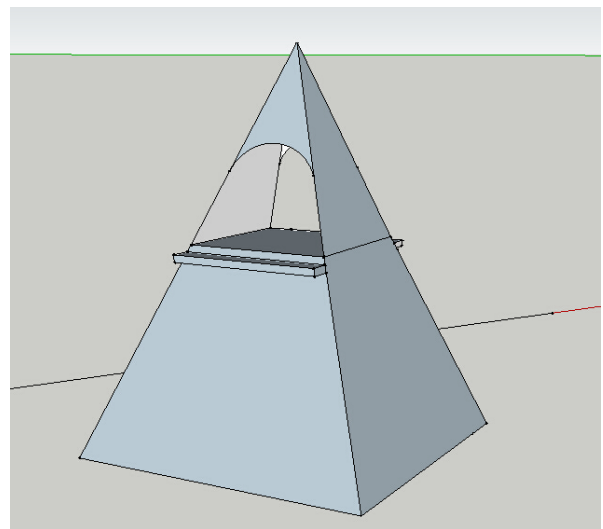


图8 隧洞山体三维示意图

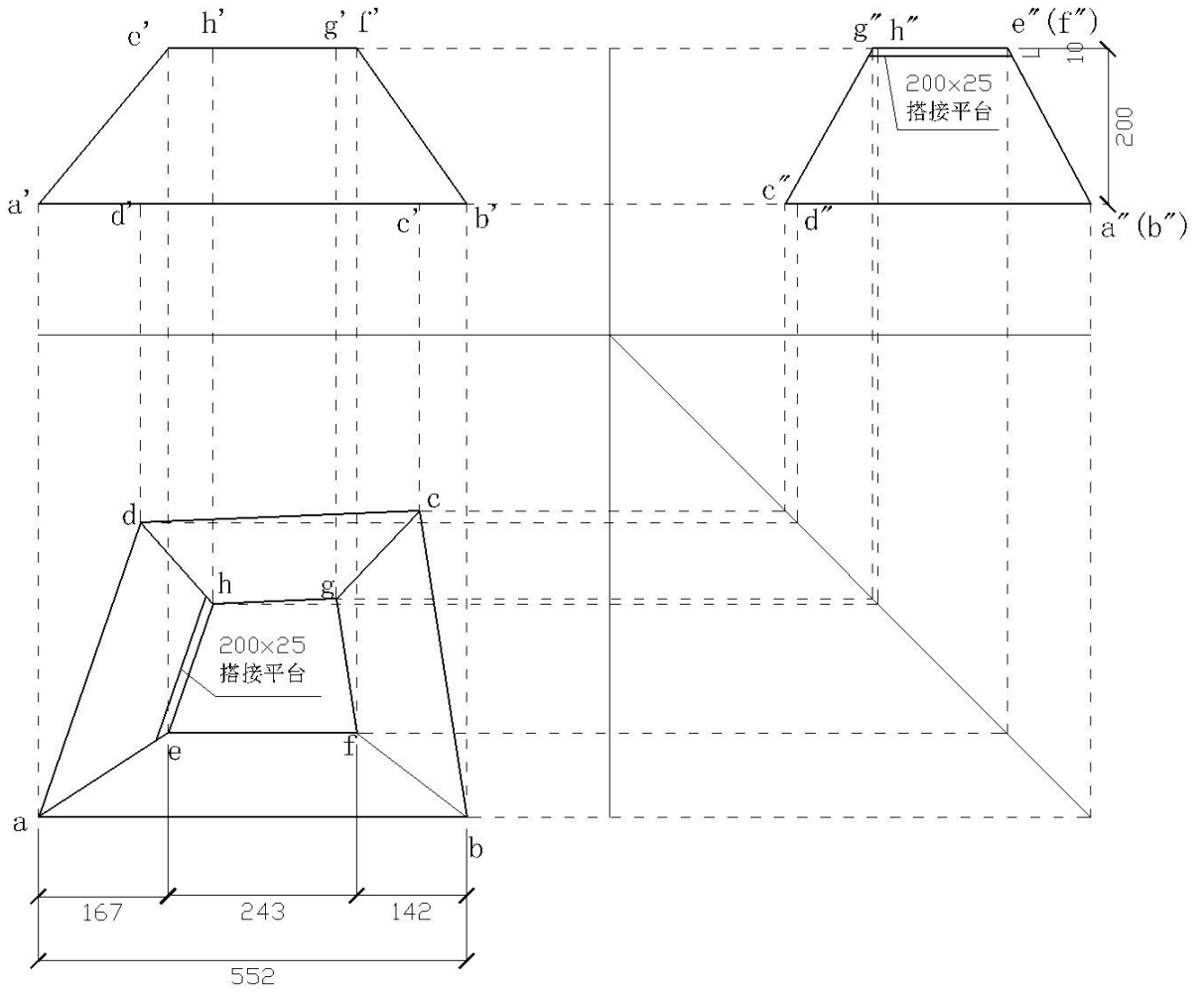


图9 棱台三视图

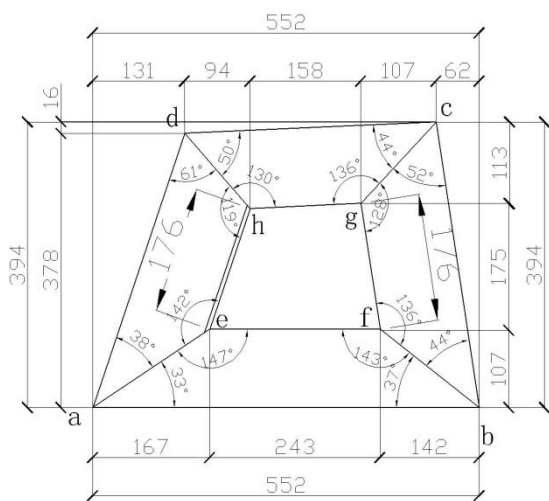


图10 棱台俯视图

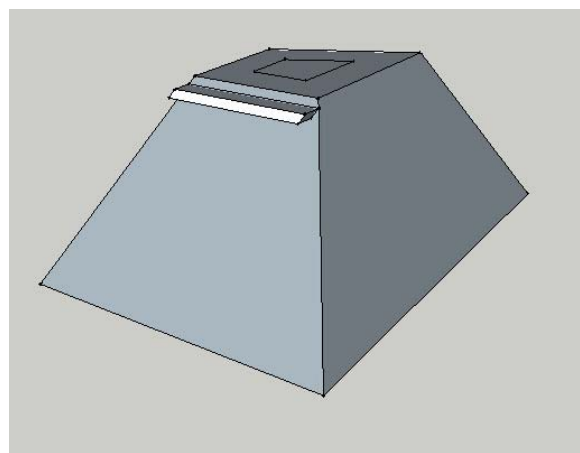


图11 棱台山体三维示意图

四、材料及工具

1、竹材，竹材规格及用量如表 1 所示，竹材参考力学指标如表 2 所示。

表 1 竹材规格及用量

竹材规格	竹材名称	数量 (张)
1250×430×0.5mm	本色侧压双层复压竹皮	4
1250×430×0.35mm	本色侧压双层复压竹皮	4
1250×430×0.20mm	本色侧压单层复压竹皮	4

表 2 竹材参考力学指标

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

2、502 胶水，10 瓶（规格 20 克/瓶），用于规定模型制作；

3、3D 打印机，比赛采用太尔时代 UP-Plus2 打印机。打印材料为 ABS 塑料（型号：B601），3D 打印材料参考力学特性见表 3 所示；

4、制作工具，美工刀（3 把），1 米钢尺（1 把），三角板（1 套），砂纸（4 张，粗砂、细砂各 2 张），锉刀（3 把）、剪刀（2 把）、手套（3 副）、签字笔（1 支）、铅笔（2 支）、橡皮（1 块）、带量角功能木制圆规（1 个）。

表 3 3D 打印材料力学参考特性

力学指标	数值
拉伸强度	28.0MPa
拉伸模数	1598.0MPa
弯曲强度	39.0MPa
弯曲模数	1865.0 MPa
热变形温度	92°C
断裂伸长	5%

五、模型制作时间

模型制作时间为 16 小时。

六、模型加载及评判

模型加载采用动加载的形式完成，即配重的遥控小车通过制作安装好的桥梁结构。比赛时由参赛队指定一名参赛队员操作配重遥控小车从虎口山体出发，经过 A 段桥梁、隧洞山体、B 段桥梁到达棱台山体完成一次加载。模型须进行两次动加载实验，第一级加载为 2kg 移动荷载（包括小车荷重和配重）、第二级加载为 4kg 移动荷载（包括小车荷重和配重）。每队加载成绩由各级加载成功时，计算所得荷重比分数和动载完成时间分数组成。

加载时，根据以下情况进行评判：

- 1、桥梁安装后，模型出现投影线内偏超过 20mm，不予加载，参赛模型加载项成绩为零；
- 2、加载时，桥梁结构发生整体倾覆、垮塌等，导致小车掉落，此次加载级及以后加载级成绩为零（即第二级加载出现此情况，加载项成绩算第一级加载成功的成绩）；
- 3、每级加载时，当桥梁模型结构完整，但出现以下操作失误时，即认为本级加载失败（若此情况发生在第一级加载，则第一级加载失败，模型进入第二级加载）：
 - 1) 小车在操作障碍处无法前进或在某处停留时间超过 10s 时，参赛队员可对小车进行 1 次手扶调整，若使用此规则调整小车位置的，根据手扶位置，小车将按行驶路线拿回至经过的最近一座山体按规定位置重新出发加载，该加载过程计时不停止。若经 1 次手扶调整小车仍无法通行或在某处停留时间再次超过 10s 时，本级加载失败；
 - 2) 参赛队操作失误，小车从赛道掉落，本级加载失败。

（注：若是由于小车故障导致无法通行的，不算本级加载失败。）

七、评分标准

1、评分按总分 100 计算，其中包括：

- 1) 计算书以及设计说明，10 分；
- 2) 结构选型以及制作质量，10 分；
- 3) 现场陈述，5 分；
- 4) A 段桥面板构件，桥面板（无加劲等构造）与桥面加劲梁系采用 3D 打印连接的，3 分；
- 5) 模型精度，2 分；
- 6) 荷重比，60 分；

7) 动载完成时间, 10 分。

2、评分细则

1) 计算书以及设计说明 (共 10 分)

- a. 计算内容的完整性以及合理性, 6 分
- b. 图文表达的清晰性和规范性, 4 分

2) 结构选型以及制作质量 (共 10 分)

- a. 结构合理性以及创新性, 3 分
- b. 模型制作质量及美观性, 4 分
- c. 3D 打印节点设计的合理性以及美观性, 3 分

3) 现场陈述 (共 5 分)

- a. 赛前陈述, 3 分
- b. 回答专家评委提问, 2 分

4) A 段桥面板构件, 桥面板 (无加劲等构造) 与桥面加劲梁系采用 3D 打印连接的。(共 3 分)

A 段桥面板构件, 桥面板 (无加劲等构造) 与桥面加劲梁系使用胶水的, 此项得分为零。

5) 模型精度 (2 分)

模型精度指模型在加载台安装后模型投影与规定的桥面模型投影向内的误差量, 误差量超过 5mm, 此项得分为零。

6) 荷重比 (共 60 分)

模型加载成功时, 模型荷重比 S 计算公式为: $S = \frac{M_{\text{荷重}}}{M_{\text{模型}}}$

其中, $M_{\text{荷重}}$ 为加载级荷重 (以成功加载最大荷重计算); 当计算 A 段手工桥梁时, $M_{\text{模型}}$ 为手工段模型重量+手工段所用螺钉重量; 当计算 B 段 3D 打印装配桥梁段时, $M_{\text{模型}}$ 为 3D 段模型重量+3D 段所用螺钉重量。

a. 手工段第 i 组荷重比得分为 $F_{i\text{手工}} = 40 \times \frac{S_{i\text{手工}}}{S_{\text{max手工}}}$

b. 3D 段第 i 组荷重比得分为 $F_{i3D} = 20 \times \frac{S_{i3D}}{S_{\text{max3D}}}$

其中, $S_{i\text{手工}}$ 、 S_{i3D} 分别为第 i 组成功完成手工段及 3D 段模型加载时的荷重比;

$S_{\text{max手工}}$ 、 S_{max3D} 为所有组别中成功完成手工段及 3D 段模型加载的最大荷重比。

7) 动载完成时间分数 (共 10 分)

动载完成时间分数计算如下：

- a. 第一级加载完成，用时最短者得4分，第*i*队得分 $F_i = 4 \times \frac{t_{1\min}}{t_{1i}}$ ，其中 t_{1i} 为第*i*队第1级加载成功记录时间， $t_{1\min}$ 为所有第1级加载成功模型中小车用时最短的时间；
- b. 第二级加载完成，用时最短者得6分，第*i*队得分 $F_i = 6 \times \frac{t_{2\min}}{t_{2i}}$ ，其中 t_{2i} 为第*i*队第2级加载成功记录时间， $t_{2\min}$ 为所有第2级加载成功模型中小车用时最短的时间。

注：B桥段为3D打印装配式桥段，若发现参赛队在3D打印节点与拼接杆件间使用胶水的，取消该队比赛成绩。

附件1：加载遥控小车说明

主要结构图：

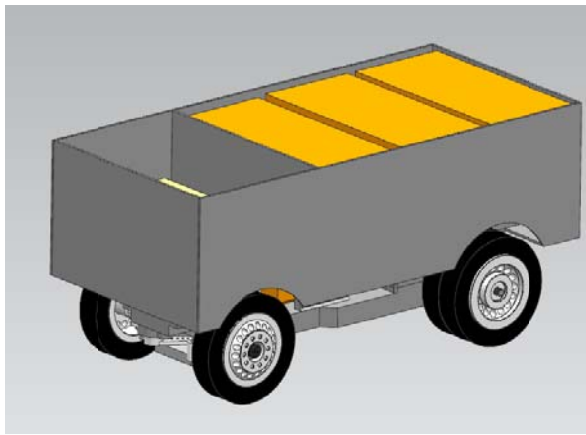


图1 小车外观图

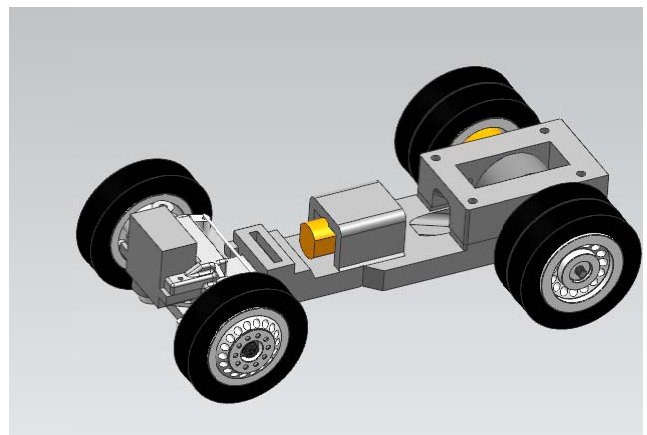


图2 小车结构图

外形尺寸：177mm*90mm*93mm

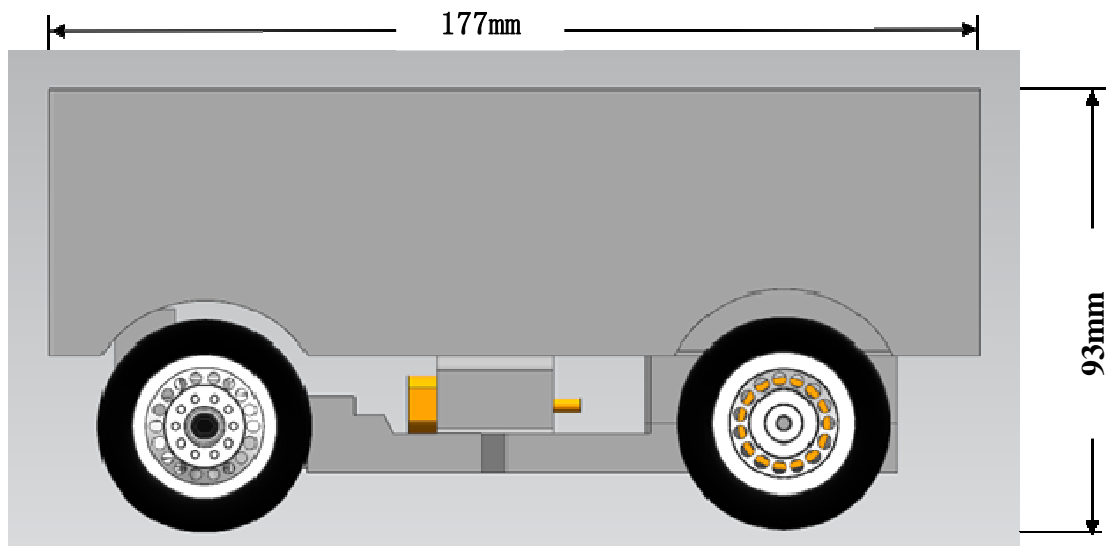


图3 小车外形尺寸图

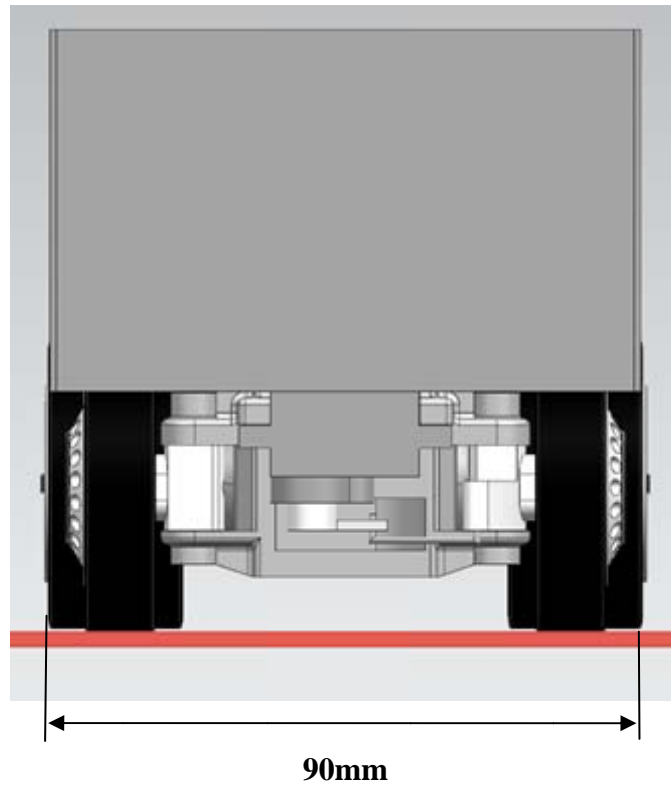


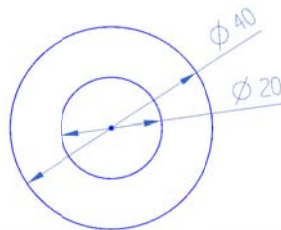
图4 小车轮距图

轴距:117mm

轮距:前 68mm/后 70mm

速度: 6-8m/min

转弯半径: 20mm*40mm (转弯时内外侧留下痕迹的直径)



车架结构: 主副组合结构

驱动方式: 后轮驱动, 并带有差速器

爬坡度: 7%以下

离地间隙: 12.4mm

自重: 900-1000g

核载: 5kg

控制器: 自动跳频数字系统