



西南交通大学

土木工程学院

2026 年土木科技月系列活动

铁 道 工 程 组 赛 题

2026 年土木科技月竞赛委员会

2026 年 3 月

1、选题背景

近年来，随着我国旅游业的快速发展，国民旅游人数不断提升、旅游深度不断增大，许多自然风光旅游景区的原生态风景逐渐开发，其中不乏有山地等陡峭地形地貌，而我国的山地情况一般比较复杂且交通极为不便，严重影响了此类景区的开发速度。

齿轨铁路（Rack Railway）是一种新型登山铁路，它是一种轮轨+齿轨的新制式轨道交通，其构造特点在于：齿轨铁路在轨道中间新增了 1 条或多条齿条轨道，齿轨车辆的转向架上配有对应的齿轮与齿条轨道啮合，极大的提高了齿轨铁路系统的牵引力、制动力和爬坡能力，最大坡度可达 480‰，远高于普通铁路的 40‰最大坡度，有效地增强了铁路的地形适应能力。因此，齿轨铁路为山地轨道交通的发展提供了新思路，齿轨铁路示意如图 1 所示。



图 1 齿轨铁路示意图

齿轨铁路在国外兴起并得到发展，迄今已逾 200 年。1812 年英国工程师 John Blenkinsop 首次提出了齿轨铁路的设想，其独特的结构引发了人们的关注；英国的米德尔顿铁路是世界上第一条齿轨铁路，主要用于煤矿运输，并没有实现载客运营；1868 年，世界上第一条载客山地齿轨铁路在美国华盛顿山开通运营；1871 年，欧洲第一条齿轨铁路——瑞士瑞吉山齿轨铁路开通运营，之后的 50 年内，大量的齿轨铁路得以修建。目前世界范围内已修建齿轨铁路线路 180 余条，总里程超过 3000 公里，覆盖近 30 个国家，其中瑞士作为齿轨铁路建设技术最成熟的国家，其齿轨铁路建设数量和总里程占世界一半以上，并通过将齿轨与传统轮轨铁路相结合的方式，实现了齿轨铁路和轮轨铁路的无缝衔

接以及齿轨列车的跨线运行，促进了齿轨铁路的应用向着长途旅游观光方向发展。

齿轨铁路先后出现了 Marsh、Riggenbach、Abt、Strub、Locher、Margon、Lamella 等 7 种不同的系统模式，其中以 Riggenbach、Abt、Strub 三种齿轨系统应用最为广泛，在各种齿轨系统中，仅 Locher 齿轨系统为水平齿，其余均为竖齿，常见的几种齿轨系统结构如图 2 所示。

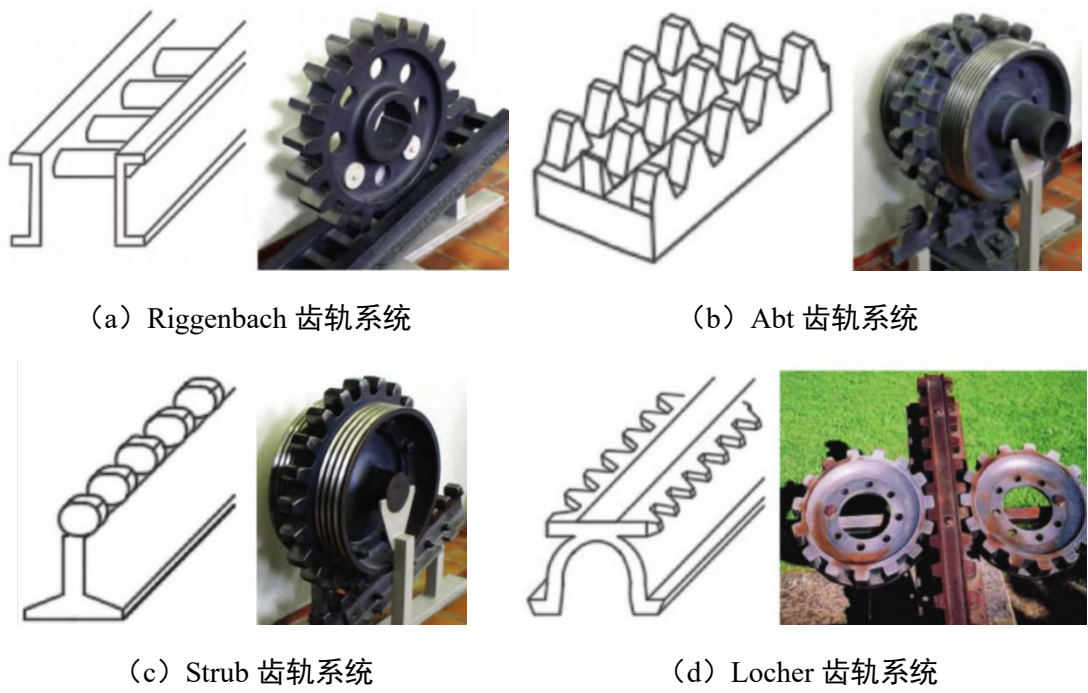


图 2 常见齿轨系统结构示意图

国外齿轨铁路技术起步较早，且有着大量的实际工程经验，近年来，我国结合实际地形地貌环境，也开展了相关的齿轨铁路项目。2022 年 11 月 24 日，由中国中车制造的我国首列齿轨列车（电客车）——“雪山旅列”在资阳齿轨列车试验线成功下线，这是国内首创、拥有完全自主知识产权的新制式车辆，填补了我国在齿轨列车领域的空白，为齿轨列车成功研制奠定了坚实基础，也为打造国内首个山地齿轨车辆研制基地创造了条件。“雪山旅列”将用于国内首条齿轨铁路——都江堰至四姑娘山山地轨道交通线路，预计于 2026 年实现全线通车，“都四”线全长 122.692km，列车创新性地采用了“轮轨+齿轨”双制式的牵引模式，其中轮轨段长约 111.292km，齿轨段长约 11.400km，在轮轨段最高运行速度可达 120km/h，在齿轨段最高运行速度可达 40km/h，完全满足“都四”线路

最高 120‰的坡道运行条件。此外，我国张家界、神农架等多个景区也开展了齿轨铁路建设的前期工作。



图 3 我国首列齿轨列车（电客车）——“雪山旅列”

运用于齿轨铁路的齿轨列车需要具有较强的爬坡能力，齿轨列车与普通的城轨或城际列车最大的区别在于齿轨转向架，而齿轨转向架的核心在于齿轨驱动系统，齿轨驱动系统的性能好坏和可靠性高低是齿轨列车研发成败的核心要素。

基于产、学、研一体化的理念，为突出我校轨道交通特色，引导学生思考轨道交通新形势，激发在重大交通基础设施方面的创新思维，特在本次铁道工程组中设立齿轨铁路结构设计制作赛题，重点考核“在恒定牵引动力作用下齿轨铁路的载重爬坡能力”。

2、竞赛模型

本次制作模型为齿轮+齿轨铁路模型，采用 PVC 塑料板、白卡纸、工字型截面铜条及白乳胶/AB 胶四种材料制作轨道结构，采用 3D 打印技术制作齿轮及齿条结构，并将齿条与轨道结构牢固连接为齿轨铁路模型，要求模型比例合理。

齿轨铁路模型结构形式除限定为竖齿外无其他形式要求，选手均可根据计算结果自由选定齿轨铁路模型系统结构及其啮合方式。

齿轨铁路模型应具有一定的强度和刚度，能够平稳承受机车模型荷载；齿轮内、外径应满足机车模型安装几何尺寸要求，保证与机车模型轮对同时接触轨道，且机车模型各方位均无翘起。模型加载系统和测量系统由组委会提供。

3、模型要求

3.1、模型形式要求

（1）齿轮模型要求

齿轮模型内、外径以满足机车模型安装尺寸为准，齿轮制作采用 3D 打印技术，3D 打印材料推荐采用 ABS（Acrylonitrile Butadiene Styrene），或以组委会联系到的合作机构所推荐的材料为准。要求齿轮模型无明显毛边、孔洞、裂纹等问题。齿轮模型形式不限，但以满足与齿条良好啮合为准。

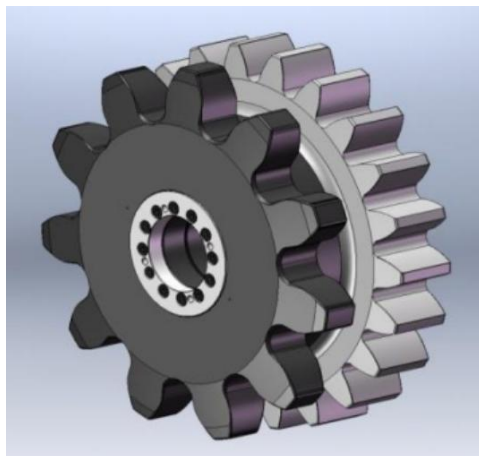


图 4 齿轮模型示意图

（2）齿轨铁路模型要求

齿轨铁路模型总长度为 1200mm，误差不超过 2mm。齿轨铁路模型为直线型，要求齿轨纵轴线位于两钢轨同一水平面横向正中间位置，误差不超过 2mm。两钢轨纵轴线横向间距为 150mm，误差以满足机车模型安装要求为准。要求齿轨铁路模型比例合理，齿条、钢轨合理密切地固定在轨枕上，无缝隙、隆起、扭曲等问题。

齿轨铁路模型与加载平台之间通过螺栓固定，可通过悬挂（将轨枕边缘搭接在螺栓上）或打孔（在轨枕上对应位置开孔并用螺栓固定）的方式连接，具体连接形式及固定用螺栓孔数量由选手自行决定。加载平台上设有四排螺栓孔，内侧两排螺栓孔中心横向间距为 90mm，外侧两排螺栓孔中心横向间距为 180mm，纵向相邻两排螺栓孔中心纵向间距为 60mm，螺栓孔直径为 5mm。齿轨铁路模型相关尺寸要求及固定方式如图 5 所示（注意：为方便起见，图中同时给出了“悬挂连接”和“打孔连接”两种固定方式的示意，实际螺栓孔纵向间距仍以前文所给数据为准）。

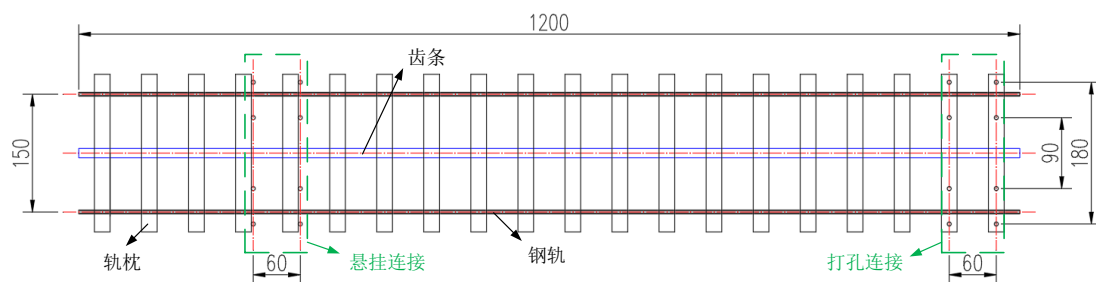


图 5 齿轨铁路模型尺寸要求及连接示意图（单位 mm）

为方便理解，图 6 给出了悬挂连接的示意图。

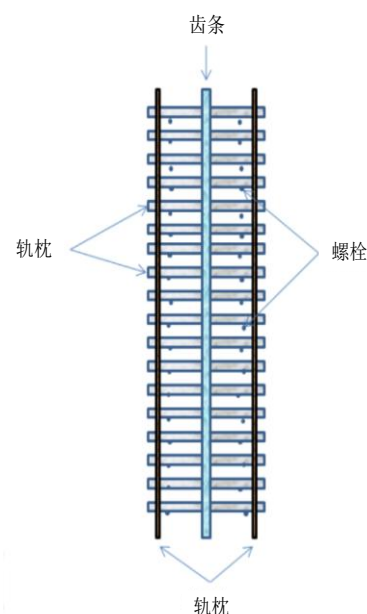


图 6 悬挂连接示意图

3.2、模型制作要求

组委会将统一提供 PVC 塑料板、白卡纸、工字型截面铜条及白乳胶/AB 胶四种材料，并给出建议 3D 打印合作机构，各参赛队设计及模型制作仅限于使用以上材料，且允许对所提供材料进行适当加工、组合，具体加工、制作工具请选手自备。

4、加载设备介绍

（1）加载平台

加载平台上设有 20×4 共 80 个螺栓孔，螺栓孔直径为 5mm，螺栓孔间距布置如前文所述。加载平台坡度可通过高度调节支架进行调整，加载平台示意图如图 7 所示。

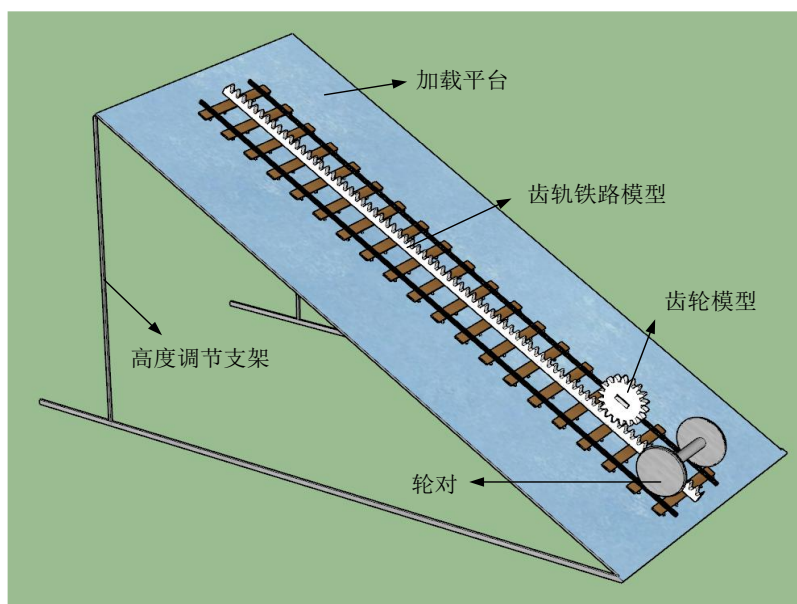


图 7 加载平台示意图

(2) 机车模型

加载用机车模型几何尺寸如图 8 所示,机车模型轮对轴心横向间距为 150mm,轮对直径 50mm, 齿轮传动轴轴心距地面的垂直距离为 50mm, 传动轴与齿轮连接端为矩形截面阻块, 尺寸为 30mm×10mm×10mm, 齿轮模型安装示意图 (图中仅为示意, 齿轮安装孔仍为矩形截面) 如图 9 所示, 要求齿轮模型需预留能够与阻块尺寸配合的安装孔。

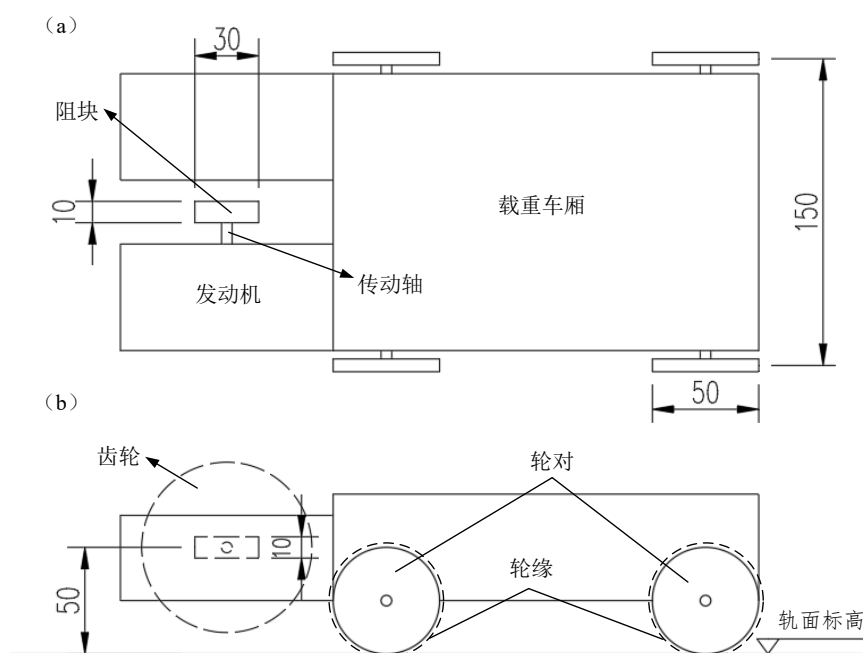


图 8 机车模型几何尺寸示意图: (a) 俯视图、(b) 侧视图 (单位 mm)

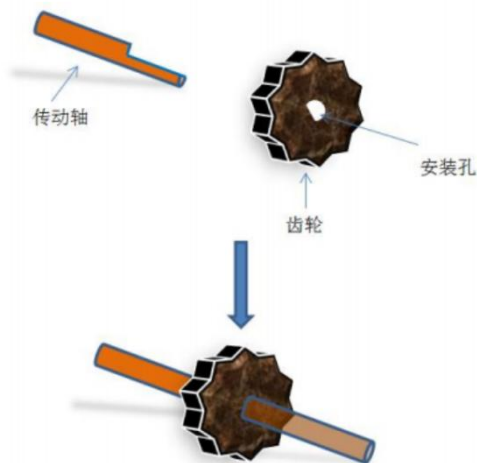


图 9 齿轮模型安装示意图

加载用机车模型的具体尺寸、重量及发动机功率等以组委会实际设计制作结果为准。

5、加载方法与失效评判

(1) 加载前由组委会工作人员校验各组选手的参赛作品是否满足要求，校验内容主要有作品材料、结构尺寸等，加载前（提交模型时）测定各组参赛作品的总重量（包括齿轮及齿轨铁路模型），对于满足制作要求的模型，可进行加载测试；

(2) 空载平坡走行检验：由选手将安装好齿轮的加载用机车模型（无载重）放置于齿轨铁路模型的尾部，启动机车模型动力系统，使机车模型匀速运行到终点线；

(3) 计算坡度走行检验：由选手将加载平台调整至设计说明书中计算得到的计算坡度（选手根据自己小组模型的结构及特性计算得到的机车模型空载稳定运行所能达到的最大允许坡度），经工作人员检验满足要求后，由选手将安装好齿轮的加载用机车模型（无载重）放置于齿轨铁路模型的尾部，启动机车模型动力系统，使机车模型匀速运行到终点线；

(4) 爬坡能力检验：选手可向工作人员提出 3 次改变载重和坡度的要求（可增大、可减小），然后由选手将加载平台调整至要求坡度，并将要求载重的砝码放置于机车模型的车厢中，经工作人员检验满足要求后，由选手将安装好齿轮的加载用机车模型放置于齿轨铁路模型的尾部，启动机车模型动力系统，使机车模

型匀速运行到终点线。

(5) 有以下情况之一即判定为加载失效：

- ①机车模型脱轨；
- ②模型主要构件出现明显失稳或连接破坏；
- ③模型局部构造发生破坏且影响加载过程顺利进行；
- ④模型发生结构性破坏而不能继续承担荷载；
- ⑤专家组认定不能继续加载的其他情况。

若比赛过程中出现争议情况，以专家组现场评判为准。

6、模型材料及制作工具

(1) PVC 塑料板：厚度 2mm，用于制作轨枕结构，力学性能参考值为弹性模量 1.5~15MPa，抗拉强度 30MPa，具体参数以最终发放品类为准；

(2) 白卡纸：可用于制作轨枕结构；

(3) 工字型截面铜条：用于制作钢轨结构；

(4) 3D 打印：用于制作齿轮与齿轨；

(5) 白乳胶/AB 胶：用于模型结构及构件之间的连接；

(6) 制作工具：美工刀、钢尺、砂纸、锉刀、改锥、小型锯子等，由选手自行准备。

以上所有材料均可进行二次加工。

7、模型现场安装、加载及测试步骤

7.1、赛前准备

(1) 校验模型尺寸及结构是否符合组委会规定的制作要求；

(2) 竞赛模型由参赛队员在赛事组发放材料的限定范围内制作，制作完成后带入现场加载；

(3) 准备并提交设计说明书和答辩 PPT。

7.2、加载、测试步骤及理论答辩

(1) 提交模型时，对模型进行称重，得到模型总重量，精度 0.1g；

(2) 模型经过校验后，由选手自行将齿轮模型安装在机车模型的对应位置，并将齿轨铁路模型固定在加载平台上，总共安装用时控制在 5 分钟内，每超过 1 分钟扣 1 分，采用进一法计时扣分；

(3) 齿轮模型安装完成后，选手向工作人员示意，由选手将机车模型放置于齿轨铁路模型上，机车模型尾部与齿轨铁路模型尾部对齐，在距齿轨铁路模型顶部 5cm 处划定红线作为终点线；

(4) 空载平坡走行检验：各模型均安置完成后，开始空载平坡走行检验，机车模型头部到达终点线即视为成功，空载平坡走行检验成功后方可进行后续加载检验，否则直接终止加载环节，并记录最终爬坡能力成绩；

(5) 计算坡度走行检验：由选手将加载平台调整至计算坡度（选手根据自己小组模型的结构及特性计算得到的机车模型空载稳定运行所能达到的最大允许坡度），经工作人员检验满足要求后，由选手将机车模型放置于齿轨铁路模型上，选手确认后，开始计算坡度走行检验，具体步骤与空载平坡走行检验相同；

(6) 爬坡能力检验：由选手向工作人员提出改变载重和坡度的要求（可增大、可减小），由选手装载砝码后进行二次加载，具体步骤与空载平坡走行检验相同，选手最多可向工作人员申请三次改变载重和坡度的要求，若多次爬坡能力检验均成功，则以最高计算成绩作为最终成绩，若全部加载失败，则无此部分成绩；

(7) 各阶段加载完成后，由选手自行拆除模型并清理比赛场地后，进行下一组模型加载检验；

(8) 理论答辩，PPT 展示、方案介绍，时间 5 分钟。

8、评分标准

8.1、总分构成

结构评分按总分 100 分计算，其中包括：

- (1) 设计说明书及方案图分值：15 分
- (2) 模型结构选型、制作质量及重量分值：20 分
- (3) 现场陈述与答辩分值：5 分
- (4) 加载表现分值：60 分

8.2、评分细则

- (1) 设计说明书及方案图分 (A_i)：满分 15 分

第 i 队的理论方案得分 A_i 由专家组根据设计说明书和方案图的科学性、完整性、准确性和图文表达的清晰性、规范性等进行评分。

(2) 模型结构选型、制作质量及重量分 (B_i) : 满分 20 分

①第 i 队制作的模型得分 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、实用性以及模型重量等进行评分, 其中, 模型结构的合理性、创新性、制作质量、美观性和实用性各占 3 分;

②模型重量按各队伍排名给分, 总分 5 分, 以所有组选手制作的模型重量按照由小到大等比例划分为 4 个等级, 模型重量最轻的前 25% 的队伍得 5 分, 位于 25~50% 的队伍得 4 分, 位于 50~75% 的队伍得 3 分, 位于 75~100% 的队伍得 2 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 2 分钟以内, 专家提问及参赛队员回答时间控制在 3 分钟以内。

(4) 加载表现分 (D_i) : 满分 60 分

第 i 队的加载表现得分 D_i 由专家组根据队伍模型加载过程中的综合表现进行评分, 包括空载平坡成绩、计算坡度成绩和爬坡能力成绩, 该部分成绩计算方法如下:

加载表现分=空载平坡成绩+计算坡度成绩+爬坡能力成绩

①空载平坡成绩: 满分 10 分

机车模型放置完成后, 车轮与钢轨直接接触占 2 分, 齿轮与齿轨成功啮合占 3 分, 机车模型走行过程中各车轮不脱轨占 5 分;

②计算坡度成绩: 满分 15 分

1) 按计算坡度爬坡过程中, 钢轨、轨枕等不发生扭曲变形占 7 分, 该部分由评委主观打分;

2) 机车模型成功运行到终点线占 8 分, 若机车模型未成功达到终点线, 则无该部分得分, 但仍可进行爬坡能力测试。

③爬坡能力成绩: 满分 35 分

第 i 队的爬坡能力成绩按下式进行计算:

$$k_i = \frac{\theta_i}{\theta_{\max}} \times 20 + \frac{m_i}{m_{\max}} \times 15$$

式中： k_i ——第 i 队的爬坡能力成绩；
 θ_i ——第 i 队的最终爬坡坡度；
 $\theta_{\max}$ ——所有队伍中的最大爬坡坡度；
 m_i ——第 i 队的最终加载重量；
 $m_{\max}$ ——所有队伍中的最大加载重量。

以上 A-D 各项得分相加，分数最高者优胜。

8.3、奖项设置

特等奖	1 项
一等奖	获奖面 5%
二等奖	获奖面 10%
三等奖	获奖面 20%
最佳创新奖	1 项
最佳造型奖	1 项

9、参赛选手所需提交的资料

参赛选手需要在提交模型时向组委会提交设计说明书、方案图以及答辩 PPT（设计说明书格式为 2007 版本 word 文档一份和一式十份的纸质版本，PPT 为 2007 版 PowerPoint 演示文稿），设计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“西南交通大学-铁道工程组-AXX 小组”命名（例：“西南交通大学-铁道工程组-A01 小组”），并内附上述文件。

10、附则

- （1）本竞赛规则中若出现叙述不一致之处，请咨询竞赛组委会。
- （2）本竞赛细则最终解释权归竞赛组委会。
- （3）竞赛报名截止后，参赛选手和命题组负责人统一建 QQ/微信群，对竞赛细则和相关事宜进行统一答疑。