



西南交通大学

土木工程学院

2026 年土木科技月系列活动

岩
土
工
程
组
赛
题

2026 年土木科技月竞赛委员会

2026 年 3 月

《地震与车辆荷载耦合作用下山区公路路肩挡土墙设计》

1.工程背景

随着国家“交通强国”与“乡村振兴”战略的纵深推进，四川省持续加密提质盆周山区及高原区域公路网，以破解地形制约，促进区域协调发展。在川西横断山区、川南乌蒙山区等典型地貌单元，新建或改扩建公路多沿河谷布设或穿越山脊，大量采用“半填半挖”路基形式，形成一侧临空、一侧靠山的复杂路基断面。在此类路段，路基填筑体底部的路肩挡土墙不仅是维系道路几何线形的关键结构，更是承受后方山体土压力、保障路基整体稳定的生命线工程。

近年来，全球气候变化与地壳活动进入活跃期，山区极端气象水文事件与地震活动频发。既有山区公路运营中，因长期车辆循环荷载疲劳效应与突发地震动力作用耦合导致的挡土墙病害乃至失稳事故日益凸显（图1）。例如，2022年“泸定地震”诱发S434线多处路肩挡墙发生鼓胀、错台与整体滑移；2024年汛期，G5京昆高速雅安段因重载交通与持续降雨共同作用，导致高填方路段挡墙出现纵向裂缝与倾覆迹象，造成重大安全隐患与交通中断。这些事故深刻揭示，传统静态设计理念下的挡土墙，在交通动载长期累加与地震动力瞬时冲击的耦合作用下，其服役性能面临严峻考验。

挡土墙技术历经从依赖自重的重力式、到发挥材料强度的悬臂式与扶壁式，再到与土体协同工作的加筋土式、锚杆式等演变，其设计理念趋向于轻量化、装配化与生态化。然而，面对山区公路上方山体潜在地质灾害威胁、下方路基承受复杂动态荷载的苛刻服役环境，如何创新设计出具备卓越抗动载性能、良好变形协调能力及高效耗能机制的高性能路肩挡土墙，已成为当前公路工程领域亟待突破的技术瓶颈。

本届岩土组竞赛以“地震与车辆荷载耦合作用下山区公路路肩挡土墙稳定性”为核心命题背景，旨在引导大学生直面这一复杂岩土工程挑战。要求参赛者基于提供的材料，创新设计并制作一款适用于该场景的轻量化、高性能挡土墙结构模型，并系统模拟其在填土自重静载、车辆静载以及地震动力荷载等多级、多类型荷载序列作用下的力学响应与破坏模式。竞赛着重考察学生对土-结构动力相互作用、支挡结构抗震设计理论、循环荷载累积损伤机理等知识的理解与应用能力，并通过模型测试综合评价其结构的承载力、刚度、延性、耗能能力及整体稳定性。

通过本赛题，期望激发学生的工程创新思维，培养其解决复杂实际工程问题的综合素养，为未来交通基础设施的韧性提升储备青年技术力量。



图 1 山区公路路肩挡土墙破坏

2.赛题概述

本赛题拟设计支护结构对路基进行支挡。以赛题专用砂堆填滑体制作滑坡模型（图 2），要求学生根据组委会提供的材料及工具自行设计并制作支护结构，并进行静载（一级、二级加载）及动载加载测试（三级加载），其中，静载采用堆砂和加载板加载，动载以添加加载板结合附着式振动器振动加载，如图 3~图 5 所示。

竞赛得分由模型设计与制作质量、计算书、陈述答辩及现场加载测试 4 部分组成，并根据这 4 部分的得分总和确定各参赛队比赛名次和奖项。根据本次赛题的出题背景与意义，一等奖和二等奖优先考虑三级加载成功的队伍。

每个参赛队由 3 名全日制在校本专科学生组成，不符合该规定者将直接取消比赛资格。

批注 [A1]: 加载板请给出除重量以外的长宽高等基本尺寸

批注 [A2]: 建议给出滑坡模拟加载板的详细尺寸和布置具体位置的尺寸

批注 [A3]: 振动器请给出仪器型号、品牌、功率等参数

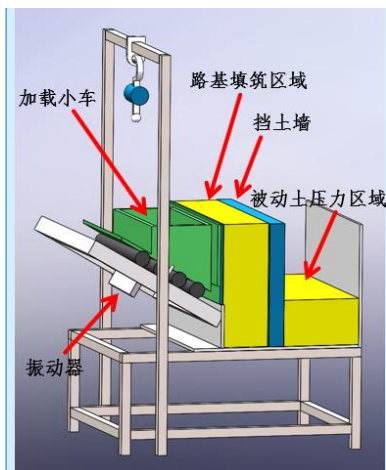


图 2 制作路基模型

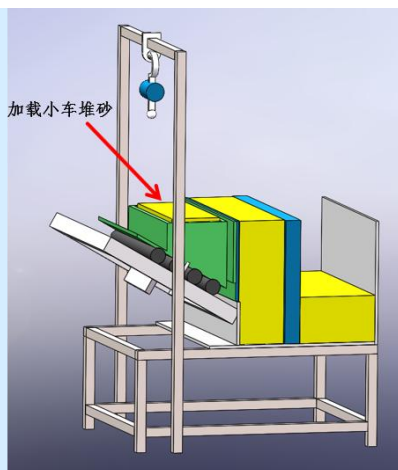


图 3 一级加载

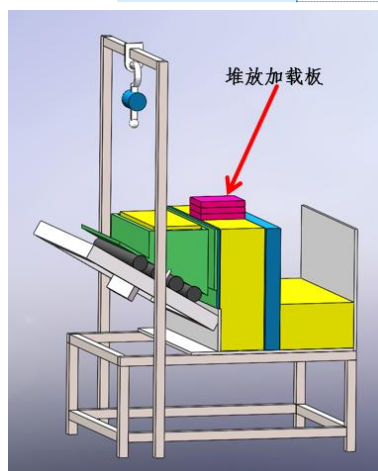


图 4 二级加载

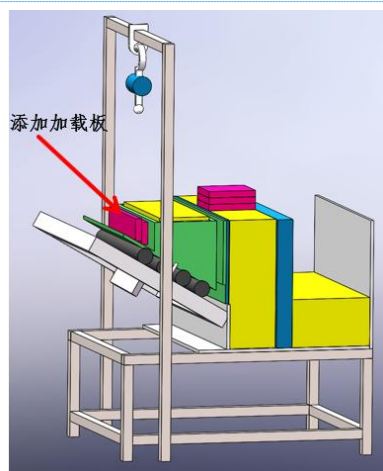


图 5 动载加载

批注 [A4]: 建议给出实验模型中加载小车和滚子的详细尺寸
还有加载小车和路基填筑区域的接触面材料请给出, 这部分材料是可以变形传递荷载的, 需要给出具体材料特征参数

3.模型及加载要求

3.1 模型尺寸要求

(1) 模型箱: 模型箱纵剖面如图 6 所示。由加载部分、路基填筑区域和被动土压力区域组成。加载部分包括填砂盒子、加载板及振动器, 路基回填区域尺寸为 $60\text{cm} \times 15\text{cm} \times 40\text{cm}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高), 被动土压力区域最大尺寸为 $63\text{cm} \times 25\text{cm} \times 15\text{cm}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高), 挡土墙结构最大尺寸为 $63\text{cm} \times 5\text{cm} \times 40\text{cm}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高)。

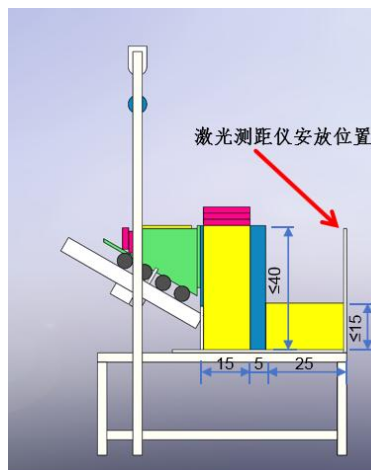


图 6 模型箱结构纵剖面图（单位：cm）

（2）填砂：为粒径 0.5mm~1mm 的中砂，参考内摩擦角为 38° ，内粘聚力为 0kPa。路基填筑区域和被动土压力区域的厚度具体要求如图 6 所示。

（3）支护结构：①仅能在滑坡前缘指定位置，即图 6 和图 7 中的蓝色区域范围内设置支护结构；②支护结构形式不限，高度不超过 40cm，并且埋深不超过 15cm，否则视为不合格模型；③路基填筑区域不得设置任何抗滑桩、筋带之类的支挡结构，否则视为不合格；④填砂完成后，支护结构发生变形或位移，不得人工扶正纠偏，否则视为不合格模型。⑤激光传感器发射光源口中心到被动填筑区底面约 331mm，支护结构高度不能有效接收到激光点，视为不合格模型。

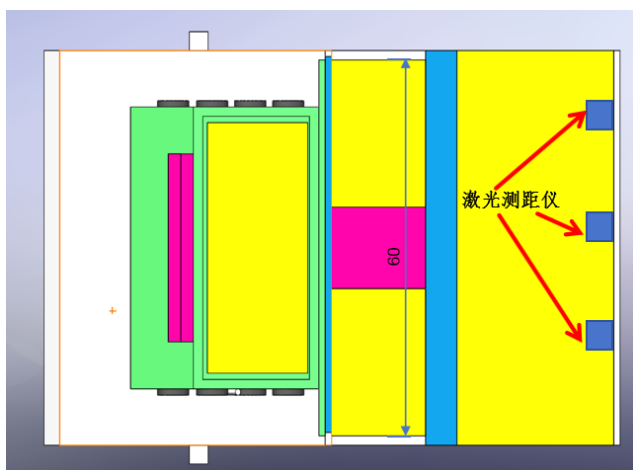


图 7 支护结构设置范围（蓝色区域）

- (4) 结构与模型箱侧壁、底部不能有任何粘结。
- (5) 不能给砂加水，填砂过程允许压密，只允许使用赛会提供的工具等。

加载过程中不允许对砂压密。

3.2 材料与工具

用于模型制作的材料与工具由竞赛组委会统一提供，参赛队如使用非组委会提供的材料与工具，一经查实，立即取消参赛资格。

- (1) 竹皮：比赛提供的竹材规格及数量见表 1。

表 1 竹材规格及数量

竹材名称	竹材规格	数量	备注
本色侧压复压竹皮	1250×430×0.50mm	2	竹材力学性能参考值：弹性模量 1.0×10 ⁴ MPa，抗拉强度 60MPa。
本色侧压复压竹皮	1250×430×0.35mm	2	
本色侧压复压竹皮	1250×430×0.20mm	2	

- (2) 502 胶水：3 瓶，1 瓶 30ml。组委会提供的模型制作工具如下：美工刀 2 把，1 米钢尺 1 把，0.5 米钢尺 1 把，三角板 2 块，细砂纸 1 张、粗砂纸 1 张，锉刀 1 把，剪刀 2 把，镊子 2 把，记号笔 1 个，铅笔 2 支，橡皮 1 块，橡皮锤 1 把。

- (3) 激光测距仪共 3 个，用于测量加载时支护结构顶面的水平位移量，基准(中心)距离 200mm，测量范围 120~280mm，满量程 160mm，重复精度 200μm。

3.3 模型加载

一级加载：滑面角度调整为 20°±0.05°固定，固定堆砂盒子位置。在路基填筑区域填砂，填砂后的形态尺寸大小满足图 6 中标注数据，将堆砂盒子用砂填满，维持 1 分钟，量测支护结构变形，3 个激光测距仪测得最大水平位移不大于 5mm，通过后进入二级加载。

二级加载：在一级加载的基础上，在路基填筑区域上方堆加载板（每块板重 2kg）。堆放的钢板数自行确定，至少为 5 块，最多 10 块（参赛队伍应在模型制作前申报二级加载数量）。堆放完成后，维持 1 分钟，观察支护结构变形，累积最大水平位移不大于 10mm，通过后进入三级加载。

三级加载：在二级加载基础上，在小车后方添加加载板（至少 3 个加载板，每块板重 2kg，最大数量不限，参赛队伍应在模型制作前申报三级加载数量），

通过装砂小车增大滑坡推力。添加完成后，开通附着振动器，振动 30s，观察支护结构变形，累积最大水平位移不大于 20mm。

4.模型制作安装、加载方法与失效评判

4.1 模型制作（10 小时）

（1）模型制作材料和工具事先统一摆放在各参赛组的模型制作台上，正式比赛前，每个参赛队选派一名队员到比赛现场检查各自的材料和工具是否齐全或损伤。如有问题，应立即向在场的工作人员申请补充或更换，确认无误后签字。正式比赛过程中，不得更换或增加模型制作材料；模型制作工具若在制作过程中损坏可以更换。

（2）模型制作时间为 10 小时。

（3）竹皮在厚度方向不得进行拆分。

（4）支护结构模型制作完成即可向现场工作人员申报模型，工作人员在参赛小组见证下检查模型是否满足要求，检查方法如下：支护结构模型净空尺寸检查：将模型放入内围尺寸为 63.2cm×5.2cm×40.2cm 的校核箱内部，将模型提起，二者能彼此分离，为合格模型。如模型放不进去或者不能彼此分离，为不合格模型。对不合格模型，总分扣 10 分，同时给予 1 小时整改，如不能整改合格，视为模型不符合赛题要求，不予进行加载测试。如果符合要求，则对模型进行称重，并经参赛队员确认后在模型重量统计表上签字。称重完成后，参赛小组队员将模型摆放在规定位置，供评委对模型的设计与制作质量进行评分。

（5）模型申报并完成模型几何尺寸检查和称重后，参赛小组离场，不得再次修改模型。

4.2 模型安装（15 分钟）

（1）每个参赛队的模型安装时间应不大于 15 分钟，超时将作扣分处理，每超时一分钟扣 1 分（如：超时 3 分 01 秒，按超时 4 分钟计算，以此类推），但总超时量不得大于 10 分钟，否则视为模型失效。在模型安装之前先由参赛选手将滑面调整为 20°，并固定，经工作人员检查合格后方可进行下一步。调整完成后，参赛选手举手示意开始安装，评委开始计时。

（2）将支护结构模型安放在指定位置，将堆砂盒固定在指定位置，在支护结构前后两侧填砂。被动土压力区填砂厚度不得超过 15cm；路基填筑区域填砂

批注 [A5]: 模型安装时间有些短，建议为 20-25 分钟

形成 60cm×15cm×20cm 回填区域，并将砂土表面整平，滑体后部以堆砂盒前侧挡板为界。路基填筑区域填砂高度不得超过支护结构顶面。整平完成举手示意停止计时。

（3）模型安装过程中若出现漏砂不止现象，将视为模型失效，不予进行加载测试。

（4）填砂过程可用竞赛组委会统一提供的工具刮平。填砂完成后滑体厚度最小值不能小于 15cm，被动土压力填砂区域最大厚度不能大于 15cm，经工作人员确认后可进行下一步操作。

（5）模型安装前后支护结构位移不超过蓝色区域±5mm，否则视为模型失效。

4.3 加载方法（25 分钟）

加载测试前，各参赛队应申报自己的二、三级加载量，加载重必须与计算书一致。

4.3.1 第一级加载（4 分钟）

（1）整个过程由参赛选手自己操作，参赛选手举手示意开始计时。将堆砂盒子用竞赛用砂填满，堆载总时间不超过 3 分钟。填砂总时间超时将进行扣分处理，超时计算方法同 4.2 安装要求第（1）条。

（2）填砂过程中，若支护结构垮塌或变形超过限值则视为模型失效。填砂完毕后，参赛选手举手示意停止计时。维持 1 分钟，由工作人员检查是否出现漏砂不止现象。

4.3.2 第二级加载（3 分钟）

一级加载成功的队伍可进行第二级加载，加载量只能申报 1 次，每块加载板质量 2kg，堆载总时间不超过 2 分钟。超时将进行扣分处理，超时计算方法同 4.2 第（1）条。整个加载过程由参赛选手自己进行，加载步骤为：

（1）在一级加载的基础上，在路基填筑区域顶部堆放加载板（至少堆放 5 块），加载板数量确认无误后，开始计时。堆放环节，若支护结构垮塌则视为模型失效，停止加载。堆放完毕后，参赛选手举手示意停止计时。维持 1 分钟后，由工作人员检查是否出现漏砂不止现象。

（2）在加载过程中，出现漏砂不止现象、加载板倒塌、支护结构垮塌均视为模型失效。

批注 [A6]: 时间过短，建议为 5-10 分钟

批注 [A7]: 加载时间短，建议为 5-10 分钟

4.3.3 动载加载 (11 分钟)

批注 [A8]: 建议为 15 分钟

二级加载成功的队伍可进行三级加载,加载板数量只能申报 1 次,添加加载板时间不超过 5 分钟,超时将进行扣分处理,超时计算方法同 4.2 安装要求第(1)条。整个加载过程由参赛选手自己进行,加载步骤为:

(1) 在二级加载基础上,加载板数量确认无误后,开始计时,在堆砂小车后方添加加载板(至少添加 3 块)。添加环节,若支护结构垮塌则视为模型失效,停止加载。添加完毕后,参赛选手举手示意停止计时。同时打开振动器,振动 30s,停止计时,由工作人员检查是否出现漏砂不止现象。

(2) 在加载过程中,出现漏砂不止现象、位移超限、加载板倒塌、支护结构垮塌均视为模型失效。

4.3.4 清砂 (7 分钟)

加载结束后,每组队员须将加载板、小车、支护结构模型全部取出,并将模型箱内和坡面上的砂全部铲出到指定盒子,地面砂清理干净。

4.4 模型失效评判标准

- (1) 在 10 小时内未完成支护结构模型制作;
- (2) 制作模型所用的竹皮在厚度方向进行了拆分;
- (3) 不合格模型 1 小时整改时间内没整改合格;
- (4) 模型安装时间超过 15 分钟还未安装完成;
- (5) 模型安装或加载测试过程中出现漏砂不止现象(漏砂时间超过 30 秒);
- (6) 模型加载过程中,堆砂盒子内砂溢入路基填筑区域、加载板倒塌或支护结构垮塌;
- (7) 其他违反竞赛规则的情况,可由评委组集体商议认定。

批注 [A9]: 建议时间为 20-25 分钟

5 评分标准

竞赛得分由模型设计与制作质量(10 分)、计算书(10 分)、陈述与答辩(5 分)及加载测试 F_i (75 分) 4 部分组成,竞赛满分 100 分。前 3 项得分均由评委打分,去掉 1 个最高分和 1 个最低分后,取平均值作为该项最终得分;第 4 项得分 F_i 根据各队模型重量、堆载荷载、动荷载设置重量等情况按公式(1)计算得到。每级加载得分以通过该级的模型最小质量为基准进行计算。

$$F_i = \frac{25M_{1min}G_{1i}}{M_iG_{1max}} + \frac{20M_{2min}G_{2i}}{M_iG_{2max}} + \frac{30M_{dmin}G_{di}}{M_iG_{dmax}} - A_i - B_i - C_i \quad (1)$$

F_i —第 i 队得分；

M_i —第 i 队模型质量 (g)；

M_{1min} —一级加载成功的全队中最轻模型质量 (g)；

M_{2min} —二级加载成功的全队中最轻模型质量 (g)；

M_{dmin} —动载加载成功的全队中最轻模型质量 (g)；

G_{1i} —第 i 队成功加载的一级荷载值 (kg)；

G_{2i} —第 i 队成功加载的二级荷载值 (kg)；

G_{di} —第 i 队成功加载的动载荷载值 (kg)；

G_{1max} —全参赛队中成功加载的一级荷载最大值 (kg)；

G_{2max} —全参赛队中成功加载的二级荷载最大值 (kg)；

G_{dmax} —全参赛队中成功加载的动载荷载最大值 (kg)；

A_i —第 i 队模型安装超时扣分；

B_i —第 i 队模型堆载超时扣分；

C_i —第 i 队模型不合格扣分 10 分。