

基于结构设计竞赛在建筑结构上选型分析

李晨晓¹ 汪志超² 赵宏宇¹ 向博¹ 韩天圣³

1 沈阳航空航天大学航空宇航学院

2 沈阳航空航天大学工程训练中心

3 沈阳航空航天大学应用技术学院

DOI:10.12238/pe.v2i6.10429

[摘要] 中国大学生结构设计竞赛是列入《教育部评审评估和竞赛清单》的重要赛事,是全国大学生综合能力竞赛的升级和完善。此方案源自于撞击载荷下变参数两跨四车道桥梁结构设计与制作赛题。要求桥梁能够承受桥面移动荷载和桥墩撞击荷载,同时桥面挠度不超过15mm。保证桥梁满足强度、刚度、稳定性的条件下,进行减重。通过分析案例、自主设计、理论计算、实验验证、方案比对,最终采用斜拉桥优化模型,在降低制作成本的同时获得较高的载重比。

[关键词] 桥梁设计; 撞击荷载; 斜拉桥

中图分类号: TU997 **文献标识码:** A

Analysis of Bridge Structure Selection Based on Structural Design Competition

Chenxiao Li¹ Zhichao Wang² Hongyu Zhao¹ Bo Xiang¹ Tiansheng Han³

1 School of Aeronautics and Astronautics, Shenyang University of Aeronautics and Astronautics

2 Engineering Training Center, Shenyang University of Aeronautics and Astronautics

3 College of Applied Technology, Shenyang University of Aeronautics and Astronautics

[Abstract] The Chinese College Student Structural Design Competition is an important competition included in the Ministry of Education's evaluation and competition list, and is an upgrade and improvement of the National College Student Comprehensive Ability Competition. This plan is derived from the design and production competition of a two span four lane bridge structure with variable parameters under impact loads. The bridge is required to be able to withstand the moving load of the bridge deck and the impact load of the bridge piers, while the deflection of the bridge deck does not exceed 15mm. Reduce weight while ensuring that the bridge meets the requirements of strength, stiffness, and stability. Through case analysis, independent design, theoretical calculation, experimental verification, and scheme comparison, a cable-stayed bridge optimization model was ultimately adopted to achieve a higher load-bearing ratio while reducing production costs.

[Key words] bridge design; Impact load; cable stayed bridge

全国大学生结构设计竞赛由教育部、财政部首次联合批准发文的全国性9大学科竞赛资助项目之一,目的是为构建高校工程教育实践平台,进一步培养大学生创新意识、团队协同和工程实践能力,切实提高创新人才培养质量。大学生结构设计竞赛对培养大学生的创新意识、团队合作精神,提高大学生的创新设计能力、动手实践能力和综合素质作用显著,已成为大学生素质教育和课外科技活动的一项重要内容。

1 赛题简述

要求在比赛现场设计制作一座两跨四车道桥梁(桥型不限),承受桥面移动荷载和桥墩撞击荷载。在确保结构安全的前提下,还需要

对桥梁的变形进行定量控制。(加载装置模型示意图,如图1所示)。

移动荷载为使小车经过桥面,分为三级加载。每级小车加载重量 Z 为待定参数,第一级小车加载重量 Z_1 从20N、30N、40N、50N中抽签确定,第二级 Z_2 和第三级 Z_3 相同,从30N、40N、50N、60N中抽签确定,且同级加载时每辆小车载重相同, Z_2 和 Z_3 大于 Z_1 ,抽签时假定抽取的 Z_1 为40N, Z_2 和 Z_3 则从50N、60N中抽签确定,以此类推。撞击荷载为直径138mm、重量为560g小球从一定高度落下,以特定角度撞击桥墩,高度和角度值随机。

小车移动过程中,桥梁应具备足够的刚度,挠度限值 $[w]$ 为 $\pm 15\text{mm}$ 。

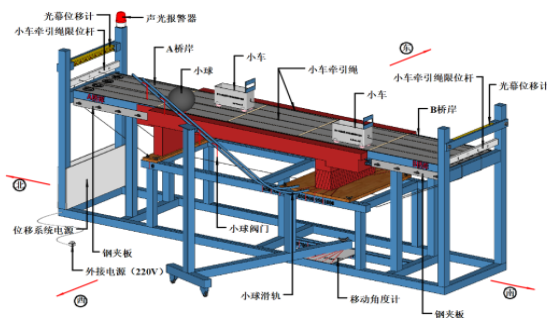


图1 加载装置模型轴测示意图

2 结构选型

参考国内外典型桥梁建筑,梳理出拱桥、斜拉桥、悬索桥、桁架桥等。需满足赛题要求,最终考虑单侧斜拉桥结构。单侧斜拉桥各杆件受力均以单向拉、压为主,水平方向的拉、压内力实现了自身平衡,整体稳定性好,受力变形小。斜拉桥近拉索侧受压时,会把这个力传给相临的拉索,受力效果好。远侧受压时能将压力传递给近侧桥墩,整体抗压能力强。初设计了十余种桥梁模型。后使用Midas Civil软件辅助设计并进行力学分析,以及制作实物动载检测。采取了其中富有代表性的表现优异三种桥梁进行比对,分析利弊选出最佳桥型。

方案1, 该结构模型采用了悬链线桁架结构, 承重主要依靠主副筒支梁以及侧边桁架梁, 利用材料抗轴向压力强度大的特点, 加强了桥的纵向承重能力。两侧桥墩以及桥中间部位采用加固系梁、桥墩。桥梁呈整体受力, 桥更加稳定。此桥仅需三支主梁, 此种结构可以使桥整体重量更轻, 增加承重比, 充分利用每一个杆件的承重特点。

方案2,该结构模型主要由桥墩、上弦杆、下弦杆、斜支撑杆件以及若干腹杆和横向联系杆组成。腹中为竖直杆和斜杆配合的桁架结构,连续的结构保证了上弦杆在承受载荷时受力均匀,发生形变的可能极小。两端有斜杆支撑足以保持桥梁整体强度,特别之处是此模型的腹杆、斜支撑杆均为三角杆,既减轻了整体重量,又提高了整体强度。

方案3, 此方案与方案二类似, 但是水平方向的三角桁架变为叉字桁架, 增加多个三角形改变结构进行加固, 远离桥墩的一侧增加了斜拉结构, 通过拉条达到力的分担作用, 桥梁更稳定。同时根据各部分受力情况不同减少了不必要的构件及相关构件的大小与粗细, 达到了桥体承重与减重的双向最大化, 既保证其载重比足够, 又极大地减小了形变。(如图2所示)。

方案选择：以上三个方案均可保证桥梁承受一定的静载和动载。方案1桥体重量较轻,制作简单,整体简洁美观。但桥体缺少横向桁架结构,单侧抗压能力弱,受压力时容易局部受损导致桥体破坏。方案2桥体稳定性较好,受力形变很小,但远离桥墩的桥岸处承力结构少,在大荷载情况下容易产生较大形变。方案3充分利用了材料抗拉性能好的优点,桥体载重较高,形变小,重量较轻,缺点并不显著。综合以上分析,最终选择的结构是方案3。

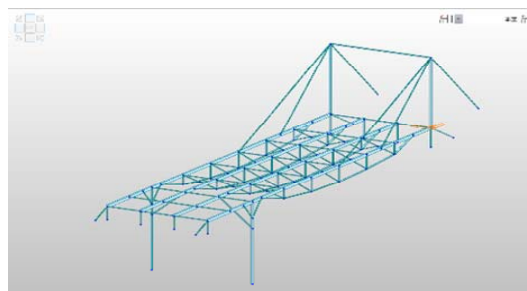


图2 方案3模型和实物图

3 构件设计与制造

3.1 构件设计

截面设计: 截面考虑了T形、L形、工字形、实心、三角形、圆形、矩形(箱型)截面(如图3所示)。

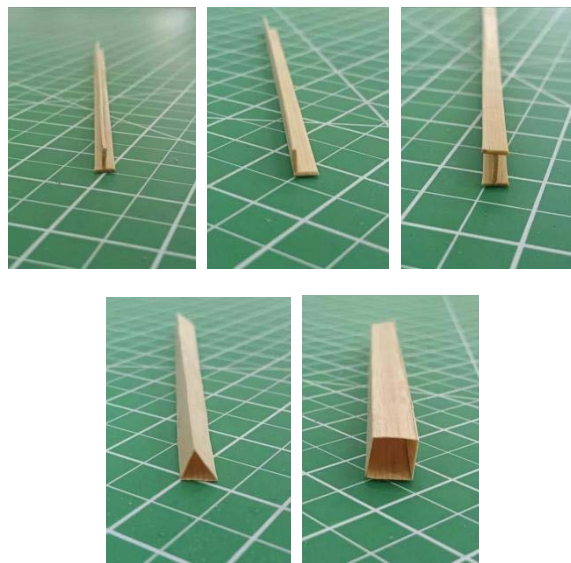


图3 各种类型截面

制作同等长度相同重量构件进行测试。实心截面柔度过大仅可在受拉时使用；L形、T形具有良好的单向抗弯性，但在稍加扭矩或侧方受弯下极易失稳；圆形截面拥有良好的抗扭性能和较良好的抗压性能，但材料受损时抗弯性能急速下降；三角形截面具有较良好的抗压性能和较良好的抗弯性能，但受扭时易损；工字形截面具有T形和L形截面的所有优势同时短板不太明显；矩形截面受力较为均匀，稳定性较强，具有较强的综合性能。

综合考虑,根据具体应用选择截面,在大多数结构上采用工

字形截面,少数受力较大的部位采用矩形截面,受拉的结构上采用实心结构。

内部结构设计:矩形构件空心结构弯曲强度不足我们需要设计内部结构,设计了三角、盒式结构。制作同等长度相同边长的矩形截面进行测试。三角结构和盒式结构因不同方向结构不同,具有良好的单向抗弯能力,且稳定性足够,其中三角结构受力不够均匀易发生局部破坏,盒式结构综合性能较强。综合考虑,少数受移动荷载的结构采用盒式填充来增强抗弯能力。

3. 2 构件制造

3. 2. 1 矩形构件制造

①用铅笔绘制外皮轮廓。每个外皮轮廓均由四等分的长方形组成。②通过剪刀或壁纸刀沿轮廓线裁断。③由于竹皮质地粗糙,将裁剪完的竹条用砂纸打磨,便于502胶的粘合。④轻轻划过外皮四个面之间的棱线,沿划过的痕迹轻轻折起外皮,但不要完全裁断,以保留强度,防止杆件受力时外皮之间崩开。⑤准备与竹皮宽度尺寸一致的内支撑条,将其分为等宽的小正方形,并用壁纸刀轻轻划过,将其折叠备用。⑥用胶水将内支撑条在竹皮的对应边分别进行黏合。⑦完成上述步骤后用胶水将竹皮进行最终包合(如图4所示)。



图4 杆件包合

4 迈达斯civil建模及仿真分析

使用CAD三维绘图模式进行绘图,将绘制完毕的图形以.dxf格式导入迈达斯civil进行建模。

仿真方法:通过模拟比赛场景,逐级增加桥梁所受荷载,一级荷载为50N,二级荷载为60N+60N,三级荷载为60N+60N+横向撞击荷载。通过分析桥体形变大小,检验桥型和结构是否合理。

5 应变分析

进行一级加载仿真,桥面主要变形区为距离桥墩400mm左右的桥面中心位置,桥面受50N集中静力作用时纵向最大应变为0.66mm。

进行二级加载仿真,整体变形程度有所增加,最大变形区位置不变,桥面受120N集中静力作用时纵向最大应变为2.93mm。

进行三级加载仿真,桥墩下段开始出现轻微变形,最大变形区形变明显增大,桥面受60N+60N分布静力作用时纵向最大应变

为1.36mm。(如图5所示)

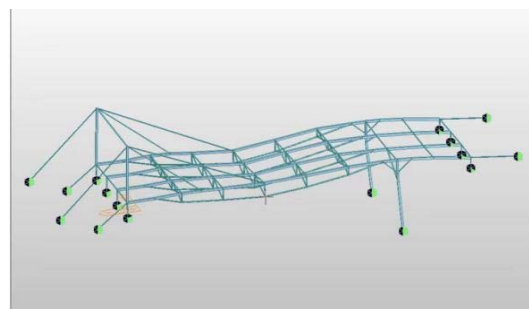


图5 三级荷载作用下桥梁应变图

承载总结:桥梁承受120N载荷时,所受最大压应力为10.0Mpa,小于许用压应力30Mpa,最大拉应力为10.0Mpa,小于许用拉应力60Mpa,最大竖直形变为2.93mm,也完全在许可范围之内,所以此桥梁至少可以承受12Kg的重量。

6 结语

以结构设计大赛提供的问题为背景,通过迈达斯软件进行目标桥型的建模及仿真,在理论程度上确定了斜拉结构的合理性。首先对桥梁形状进行设计,通过分析材料力学性能,制造出不同尺寸的构件。通过竞赛官方仪器进行尺寸、重量测量,悬臂平衡测试,砝码加载,小球撞击等一系列操作,尽可能还原桥梁的真实受载过程。通过实体模型测试的结果反映该类型桥梁的承载能力及抗变形性能较强,以此模型为设计基础的实体桥梁可以承受正常大小荷载。

辽宁省大学生创新创业训练计划支持项目(X202410143069)资助。

[参考文献]

- [1]付果,吴仕荣,王磊,等.大学生结构设计竞赛中的结构创新设计与优化[J].高等建筑教育,2017,26(06):105-110.
- [2]宋征.以大学生结构设计大赛为导向的工科力学课程教学的思考[J].力学与实践,2021,43(01):144-149.
- [3]陈英龙.大跨径钢构桥梁施工技术及质量控制要点探析[J].(建养·机械),2011(9):154-157.
- [4]肖汝诚,陈红,魏乐永.桥梁结构体系的研究、优化与创新[J].土木工程学报,2008(06):69-74.
- [5]舒小娟,黄柱,周旭光.纸拱桥结构模型优化建模分析——大学生结构设计竞赛谈[J].力学与实践,2012,34(04):89-92.

作者简介:

李晨晓(2002--),男,河南安阳人,本科在读,研究方向:飞行器制造工程。