

高载重比的桥梁结构设计

李万¹ 梁峰² 马双宇¹ 李郡霆¹ 汪义坤¹

1. 沈阳航空航天大学航空宇航学院 沈阳 110136;

2. 沈阳航空航天大学工程训练中心 沈阳 110136

[摘要]此方案源自于中国大学生工程训练综合能力竞赛“智能+”赛道智能物流搬运桥梁结构设计赛题。通过分析案例、头脑风暴、自主设计、结构选型、构件设计、理论分析、实验验证,最终采用拱形桥优化模型,以直代曲,实现了利益最大化。

[关键词]桥梁设计; 结构选型; 载重比; 拱形桥

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6261.2021.12.330

0 引言

全国大学生工程训练综合能力竞赛是教育部高等学校发文举办的全国性大学生科技创新实践竞赛活动。赛题要求:以固定尺寸进行桥梁设计,以厚度不大于0.5mm的双层复压竹皮及502胶水进行桥梁制作。比赛要求:桥梁能够承受一定的载荷,跨中挠度小,载重比大。在此条件下进行桥梁设计、结构优化。保证桥梁满足强度,刚度,稳定性满足的条件下,尽可能减重。

1 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,最终考虑拱桥,桁架桥结构。桁架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。拱桥拱形受压时,会把这个力根据各参赛队桥梁的荷重比以及加载时的最大位移计算成绩。传给相邻的部分抵住拱足发散力,受力效果好,可以承受更大的压力。

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四种桥梁进行比对,分析利弊选出最佳模型。(三维模型如图1)

方案1,此方案模仿拱桥设计,结构复杂,通过设计多个斜撑并减小桥体的竹条间的间距来达到稳定的目的,横撑及连接杆均设计为面积较小的三角形截面。优点是构件制造简单,桥梁结构较为稳定,缺点是桥体制作困难,制作时间过长,重量较大。

方案2,此方案将桥零件改为综合性能更好的盒式结构,

减少复杂的连接拼装,使构件利率更高,增加立柱,可以更好地分担竖直方向的载荷,提高其抗压性能。优点是桥体重量较轻,稳定性更强,综合抗压性更好,缺点是受针对性压力时盒式结构易被破坏。

方案3,此方案减少了不必要的构件,达到了结构简化的目的,通过竹条的拉伸作用来分担桥梁承受的压力,构造合理,优点是桥体简洁,制作简单,重量轻,缺点是在小车行驶时会产生过大的形变,桥体不够稳定,无法承受更大的压力。

方案4:此方案以拱桥原理为背景,但考虑到拱形做法较为困难,采用了化曲为直做法,增加多个三角形改变结构加固与稳定,通过竹条达到力的分担作用。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,在保证其稳定的同时,极大的减小了形变。

方案选则:方案一与方案二都较为稳定,但是结构过于繁琐,且不利于制作,如若将其进行结构简化,就会产生结构的不稳定现象,导致其优点不够突出,同时无法解决其存在的根本问题。故不选方案一、方案二。方案三解决了桥体本身过于繁琐的问题,但由于其采用的原理会产生过大的拉伸与形变,本次比赛的规则会对其产生较大的不利影响,故不选择方案三。方案四在简化桥梁的同时,还做到了桥梁的优化,解决了其形变过大和桥梁不稳定的问题,因此选择方案四。

2 结构建模及主要参数

软件: MIDAS civil

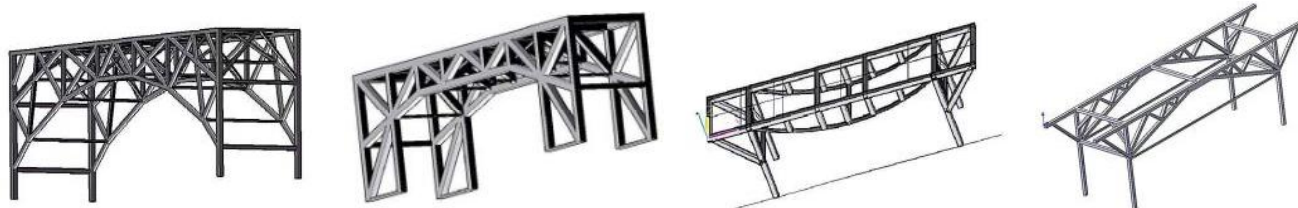


图1 方案1 方案2 方案3 方案4

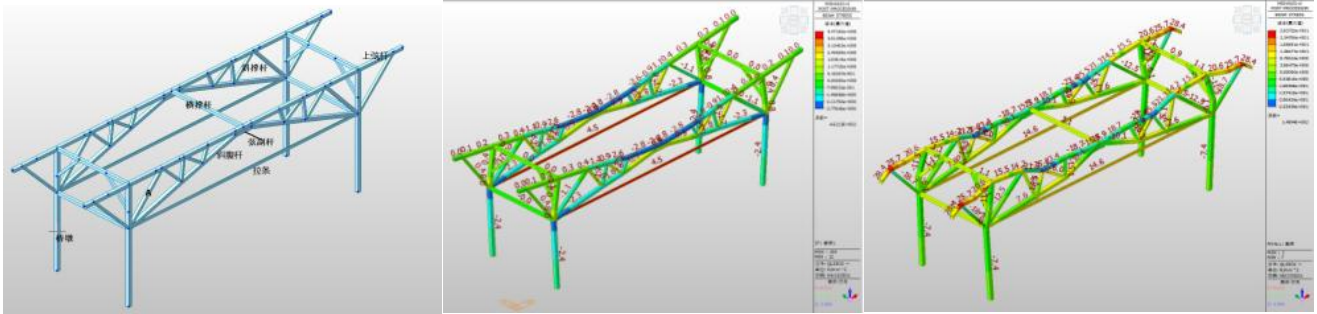


图2 桥体结构模型 图3 5kg 静力荷载应力 图4 20kg 运动载荷应力

方法：通过软件模拟比赛过程，逐级增加桥体所承受的荷载，一级荷载为50N，二级荷载为100N，三级荷载为200N，四级荷载为300N，五级荷载为400N。通过分析桥体变形图例，根据赛题位移要求，分析出三级荷载为理想荷载组合。

2.1 结构模型

单元选择：上弦杆、弦副杆、斜撑杆、斜腹杆、桥墩、横撑杆、拉条

共包含70个节点，103个单元（如图2）。

2.2 竹皮的材料特性

弹性模量10000N/mm²、泊松比0.31、容重0.007396N/mm³、抗压强度30Mpa、抗拉强度60Mpa。

3 受力分析

使用MIDAS civil进行桥梁受力分析。

3.1 静力荷载分析

桥梁承受5kg的集中静力荷载时，所受最大拉应力为4.47Mpa，最大压应力为2.78Mpa（如图3所示）。不同静力荷载所受应力（如表1所示）。

表1 不同静力荷载所受应力

承受荷载/kg	5	10	20	30	40
最大拉应力/Mpa	4.47	8.94	17.89	26.83	35.76
最大压应力/Mpa	2.78	5.55	11.11	16.66	22.21

承受40kg荷载时，桥梁所受最大压应力为22.21Mpa，最大拉应力为35.76Mpa，均未超过竹皮强度极限，但考虑到桥梁的不平整，小车对桥梁有冲击作用，以及其它因素，我们保守采用20kg荷载进行进一步分析。20kg静力荷载最大形变x方向0.083mm、y方向0.0003mm、z方向0.346。承受20kg静力荷载时竖直方向最大形变为0.346mm，在许可范围之内。基本内力（如表2所示）。

3.2 运动载荷分析

桥梁承受20kg运动载荷，所受最大拉应力为28.37Mpa，所受最大压应力为25.54Mpa（如图4所示）。运动载荷变形（如表3所示）。

表3 20kg运动载荷形变

方向	x	y	z
最大正形变/mm	0.153	0.074	0.122
最大负形变/mm	0.146	0.070	0.364

从上述应力分析的变形图例中我们可以看出，桥梁承受20kg载荷时，所受最大压应力为28.37Mpa，小于许用压应力30Mpa，最大拉应力为28.37Mpa，小于许用拉应力60Mpa，最大竖直形变为0.364mm，也完全在许可范围之内，所以此桥梁至少可以承受20kg的重量。

4 结语

模型采用SOLID WORKS进行建模设计，采用专业桥梁分析软件MIDAS civil进行仿真计算，最大程度接近实际。本作品最终自重107g，载重比可超过200，最大挠度6mm，在省赛中获得一等奖。

参考文献

[1] 付果, 吴仕荣, 王磊, 廖海燕. 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大学课程教学的思考[J]. 力学与实践, 2021, 43(01): 144-149.

[3] 舒绍云, 施尚伟, 王海城, 朱世峰. 桥梁结构性能综合评价方法研究[J]. 建筑结构, 2010, 40(S1): 97-99.

[4] 罗国权. 桥梁超载通行能力评定[J]. 建筑结构, 2007, 37(S1): 555-557.

[5] 张炎圣, 陆新征. 大学生结构设计大赛中的计算机仿真分析[J]. 力学与实践, 2009, 31(04): 110-112+102.

表2 20kg 静力荷载内力

内力种类	轴力/N	y剪力/N	z剪力/N	扭矩/N*mm	y弯矩/N*mm	z弯矩/N*mm
最大正向	104.2	0.076	2.22	1.334	214.3	4.28
最大负向	107.9	0.076	2.22	1.334	214.3	4.28