

变幅宽移动模架结构的有限元分析与试验研究

吕彭民, 杨龙飞, 王斌华

(长安大学 道路施工技术与装备教育部重点实验室, 陕西 西安 710064)

摘 要: 以 MSS50-38000 型变幅宽式移动模架为研究对象, 利用大型有限元分析软件 ANSYS 对最大浇筑工况下移动模架整体结构强度与刚度进行了校核, 并得出了移动模架结构的应力分布和挠度曲线. 依据有限元计算结果, 对移动模架的 11 处较大应力点进行了浇筑过程的全程监控, 监控结果与理论计算结果一致, 研究成果可为移动模架的设计与安全施工提供参考.

关键词: 移动模架; 滑移支架系统; 变幅宽; 有限元分析

中图分类号: U445.36 文献标志码: A doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2015.02.010

0 引言

移动模架造桥机, 又称滑移支架系统, 是现代桥梁施工技术中的先进设备^[1]. 移动模架造桥机因不需要预制梁场、地基处理、封闭交通, 浇注的桥梁整体刚度好等优点而被广泛应用于公路、铁路和城市高架桥建设. 移动模架造桥机属大型非标设备, 其结构安全性要求很高^[2-4]. 一般架桥机只能进行等幅宽桥梁建设, 在设计有匝道的变幅宽桥梁难以施工. MSS50-38000 型变幅宽移动模架造桥机是为满足变截面施工工况而设计, 桥面施工宽度由 17 m 渐变至 28.5 m, 混凝土浇筑方量可达 1 448 m³, 最大载荷高达 38 000 kN. 设备总长度 62.3 m, 整套设备自重达到 3 400 kN. 该变幅宽式移动模架造桥机主要由箱梁主梁、主梁横梁、平衡梁、鼻梁、牛腿、外模以及内模等部分组成. 目前, 移动模架设计尚未制定国家标准, 为确保造桥机达到施工要求和结构安全可靠, 有必要对其进行理论计算和试验研究, 为此, 笔者利用大型有限元计算分析软件 ANSYS, 在浇筑工况下, 对 MSS50-38000 型变幅宽式移动模架造桥机的结构进行了有限元分析计算, 并根据计算结果, 对其关键应力点进行应力测试, 同时对关键应力点的应力变化情况进行了全程监控, 从而保证了移动模架的施工安全.

1 移动模架有限元模型的建立

MSS50-38000 变幅宽式移动模架造桥机结

构形式如图 1、图 2 所示. 由于主梁通过液压自锁千斤顶向小车、牛腿传递载荷, 故在有限元计算时将整个结构分为上部支架和下部牛腿分别进行计算^[5-6]. 施工过程中混凝土浇筑方向如图 1 所示, 移动模架变幅前支点处是关键承压部位之一, 因此试验中对该处附近布监控点最多.

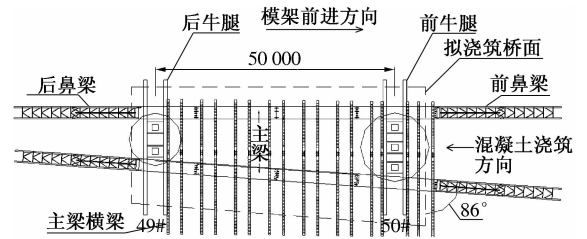


图 1 变幅宽移动模架俯视图
Fig.1 Top schematic view of overhead launching gantry with variable width

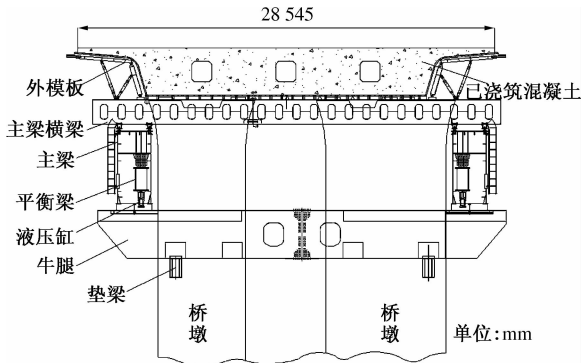


图 2 变幅宽移动模架横断面示意图
Fig.2 Cross section schematic view of overhead launching gantry with variable width

收稿日期:2014-11-21; 修订日期:2015-01-10

作者简介: 吕彭民(1957-)男, 陕西渭南人, 长安大学教授, 博士, 研究方向: 工程机械和大型结构动态仿真、优化设计、强度分析、疲劳寿命预测和车-路耦合动力学, E-mail: lpmin@chd.edu.cn.

1.1 上部支架有限元模型的建立

MSS50 移动模架造桥机上部支架部分由内外模板、主梁、鼻梁、模板横梁和螺旋顶等组成. 有限元建模时, 由于模板横梁与主梁通过螺旋千斤顶连成一体且通过螺旋顶将内外模板及混凝土荷载传递至该连接体, 因此上部支架有限元计算模型的标准载荷为: 混凝土自重、内外模板自重、螺旋顶自重、人行道及辅助设备的重量. 主梁用板壳单元来模拟, 主梁为简支梁支撑方式, 即主梁后端与右侧后牛腿支撑处约束 UX 、 UY 、 UZ , 左侧后牛腿支撑处约束 UY 、 UZ ; 主梁前端与右侧前牛腿支撑处约束 UX 、 UY , 左侧前牛腿支撑处约束 UY ; 鼻梁、模板横梁以及横梁和主梁之间的垫梁均采用空间梁单元来模拟, 用自由划分网格方法划分实体单元 133 817 个, 板壳单元 99 635 个, 梁单元 12 721 个, 节点 139 950 个, 有限元模型见图 3.

1.2 牛腿梁有限元模型的建立

该变幅宽移动模架中共有牛腿 3 组 6 片 12 榀, 根据实际工况可知, 移动模架在浇筑 49# ~ 50# 桥墩时, 前支点处 (50# 桥墩) 牛腿受力最大, 因此选择此工况为牛腿结构的校核工况. 牛腿通过垫梁和牛腿之间的稳定架固定在桥墩的预留孔里, 为准确模拟牛腿及其垫梁之间的受力情况, 同时准确对结构进行强度校核, 将牛腿及垫梁一同建模. 根据实际工况, 牛腿依靠所承重力荷载压在牛腿垫梁上, 借助桥墩, 约束牛腿移动, 因此在牛腿和垫梁之间用接触单元来模拟牛腿和垫梁之间的传力情况, 垫梁底板与混凝土支撑处为 UX 、 UY 、 UZ 全约束. 其中牛腿和垫梁均采用三维板壳单元进行模拟, 以自由划分网格方法划分单元 74 190 个, 节点 72 352 个. 整个模型共加载 24 160 kN, 其中设备自重 790 kN, 其有限元模型见图 4.

2 移动模架有限元计算结果分析

有限元计算结果显示, 移动模架在浇筑工况下主梁等效应力分布如图 5 所示, 最大主应力 $\sigma_{\max} = 136 \text{ MPa}$, 发生在主梁跨中上翼缘板处, 该应力值小于许用应力 $[\sigma] = 230 \text{ MPa}$, 主梁满足强度要求. 主梁净刚度云图如图 6 所示, 主梁垂向最大净变形为 $\delta = 99.25 \text{ mm}$, 可得主梁挠跨比为

$$\lambda = \frac{\delta}{t} = \frac{99.25}{50 \times 1\,000} = \frac{1}{504} < \frac{1}{500},$$

故主梁满足刚度要求.

根据浇筑工况, 牛腿梁与其垫梁连接处主要为压应力, 图 7 为牛腿梁及垫梁第三主应力分布云图,

第三主应力最大值发生在牛腿与牛腿垫梁接触处, 其值为 114 MPa, 可知牛腿梁满足强度要求.

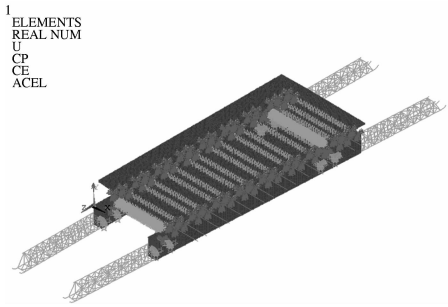


图 3 MSS50 移动模架上部支架有限元模型
Fig. 3 Finite element model for the upper bracket of MSS50 moving support system

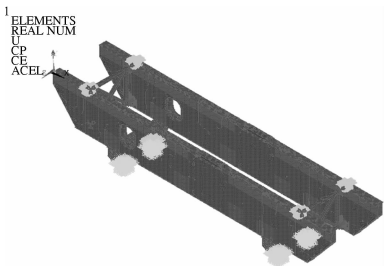


图 4 MSS50 移动模架牛腿梁及垫梁有限元模型
Fig. 4 Finite element model for the corbel and sole timber of MSS50 moving support system

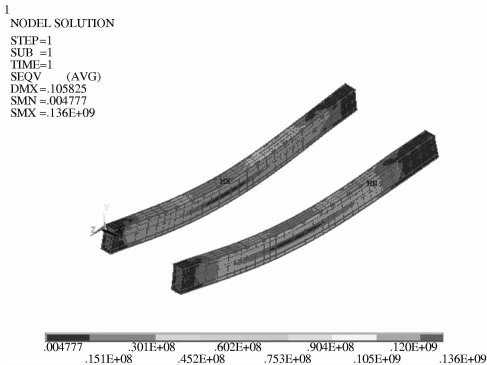


图 5 主梁等效应力分布云图
Fig. 5 Mises stress contours of main girder

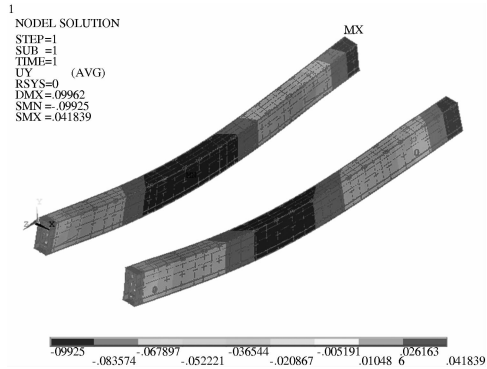


图 6 主梁净刚度云图
Fig. 6 Net deflection curves of main girder

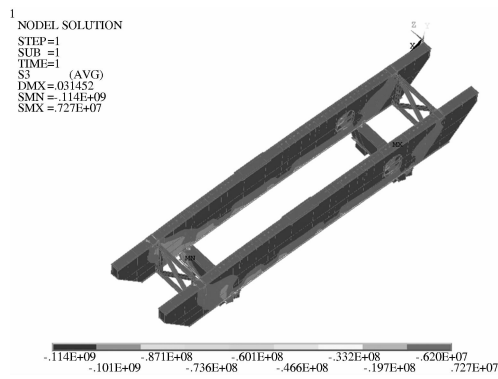


图 7 牛腿梁及垫梁等效应力分布云图

Fig. 7 Mises stress contours of cobels sole timber

根据以上计算结果可知:该变幅宽移动模架在最大受力状态下满足强度和刚度要求。

3 MSS50 – 3800 型变幅宽式移动模架结构强度检测及监控

该移动模架属变幅宽式新型造桥机,为验证有限元计算结果的准确性和确保移动模架施工过程安全可靠,在福州市渔平高速延伸线 T 标段工地现场对该设备进行了测试. 根据移动模架结构有限元计算结果,在主梁、主梁横梁、平衡梁、牛腿、垫梁等部位上共布置了 6 个应变片和 7 个应变花(单向应力状态下贴应变片,复杂应力状态下贴应变花),共计 27 个测试通道,测点位置见图 8. 进行测试时,移动模架已安装完毕,正处在工作位置,设备因自重已产生应变,故所测得应力值不含设备自重产生的应力,仅为混凝土桥面载荷产生的应力. 为能够实时监控各测试点的应力变化情况,防止移动模架危险位置发生突发的应力急剧增大超安全值,本次试验采用 TDS – 530 应变测试系统对浇筑过程实行全程监控,每间隔 1 h 记录测点应变值,以确保突发状况及时发出预警信息,保障设备施工安全和人员安全。

施工过程中,浇筑方向在图 2 中已标示,从移动模架前端到后端浇筑. 与后端牛腿相比,前端牛腿正处移动模架变幅处,跨度大,承受混凝土的载重更大,产生的应变也更大. 部分监测结果见图 9,从图中应力值变化曲线可知,由于浇筑不是整体均匀浇筑,各测点处应力随时间波动,但基本呈逐渐增大趋势,说明应力变化值与浇筑混凝土的增量基本一致,应变片工作状态良好。

应变花最大、最小主应力按下式进行计算^[7]

$$\sigma_{\max/\min} = \frac{E}{2} \left\{ \frac{\varepsilon_{0^\circ} + \varepsilon_{90^\circ}}{1 - \mu} \pm \frac{1}{1 + \mu} \right\}$$

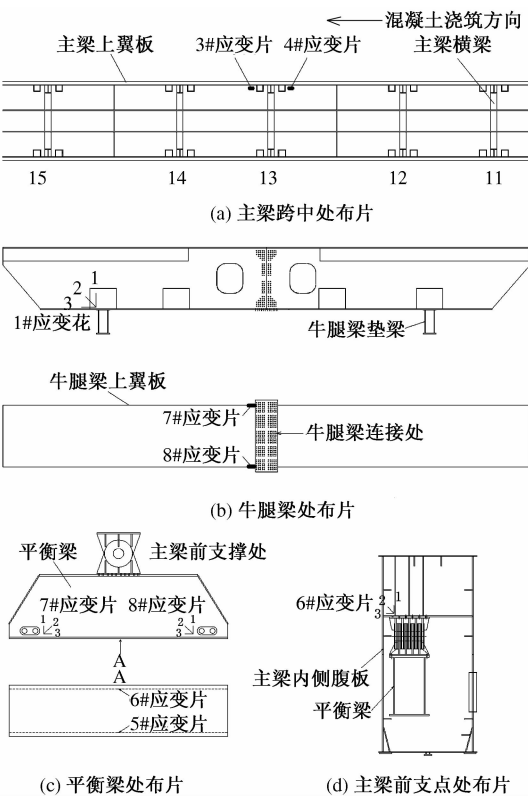


图 8 测试方案图

Fig. 8 Schematic of testing program

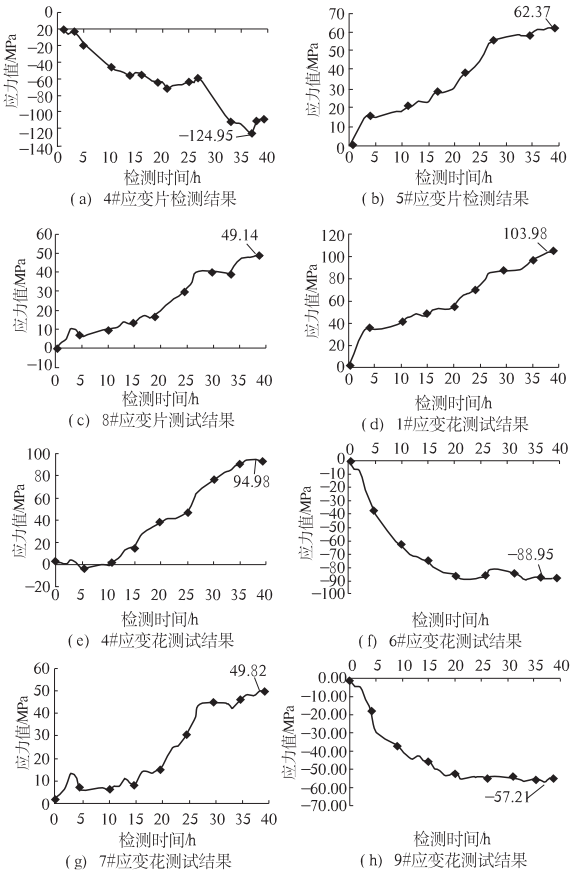


图 9 检测结果图

Fig. 9 Testing results

$$\sqrt{(\varepsilon_{0^\circ} - \varepsilon_{90^\circ})^2 + [2\varepsilon_{45^\circ} - (\varepsilon_{0^\circ} + \varepsilon_{90^\circ})]^2}$$

式中： ε_{0° 、 ε_{90° 、 ε_{45° 分别为应变花在水平、垂直和 45° 方向的应变值； E 和 μ 分别为材料的弹性模量和泊松比。

主梁最大应力点的测试结果与相应的计算结果见表 1，主梁垂向净变形测试结果见表 2。

表 1 移动模架浇筑工况关键点应力值
Tab.1 Keypoints stress of moving support system under the pouring condition

检测项 /MPa	有限元计 算值/MPa	试验检测 值/MPa	检测位置
4#应变片	-127.98	-124.95	主梁跨中上翼板
5#应变片	65.12	62.37	平衡梁跨中下翼板
8#应变片	51.20	49.14	牛腿跨中上翼板
1#应变花	105.23	103.98	牛腿支点腹板处 前墩顶纵桥向侧
4#应变花	96.34	94.98	主梁横梁内侧支 点腹板处
6#应变花	-89.92	-88.95	主梁前支点
7#应变花	51.87	49.82	平衡梁支点腹板处
9#应变花	-60.89	-57.21	垫梁支点腹板处

注：表中有限元计算值和试验测试值均不包括由设备自重所引起的应力。

表 2 主梁垂向净变形测试结果
Tab.2 Testing results of the net vertical deformation of main girder

测点位置	计算结果 /mm	试验测试 结果/mm
第 8 根主梁横梁 对应的主梁位置	99.25	95.67

测试结果与计算结果基本吻合，说明计算结

果是可靠的；该移动模架最危险工况可满足强度和刚度要求。

4 结论

通过有限元计算分析和现场检测，该变幅宽移动模架结构满足强度和刚度要求。有限元模型计算结果与现场测试数据基本吻合，证明了用笔者所述方法建立的有限元计算模型来模拟变幅宽移动模架的工作状态是可行的。浇筑过程中对移动模架危险部位的应力状态进行全程监控是保证设备施工安全及人员安全的有效措施。

参考文献：

[1] ZHANG Yao - hui,ZHAO Cun-bao. International conference of chinese transportation professionals: ICCTP 2010[C]//Construction Methods About Replacing the Railway Bridges' Old Simple Beams Rapidly. Beijing: 2010;3141 - 3146.

[2] 《中国公路学报》编辑部. 中国桥梁工程学术研究综述[J]. 中国公路学报,2014,27(5):1 - 96.

[3] KASSABIAN P,MCCALL M,DUSENBERRY D,et al. Structures Congress 2011[C]// Collapse of the I - 280 Maumee River Bridge Launching Gantry in Toledo Ohio. Las Vegas,2011;1570 - 1582.

[4] 孙安亮. 淮河特大桥移动模架造桥关键技术研究[D]. 济南: 山东大学土建与水利学院,2012.

[5] 吕彭民,王斌华,刘兴车. 大型造桥机工作状态数值模拟与试验[J]. 长安大学学报: 自然科学版,2008,28(2):104 - 107.

[6] 吕彭民. 大型复杂结构抗疲劳设计[M]. 西安: 科学技术出版社,1999.

Finite Element Analysis and Experimental Study on Structure of Overhead Launching Gantry with Variable Width

LV Peng-min, YANG Long-fei, WANG Bin-hua

(Key Laboratory for Highway Construction Technology and Equipment of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: The MSS50-38000 overhead launching gantry is taken as research object. The body's strength and stiffness under the maximum amount of pouring condition are analyzed with the software ANSYS, the stress distribution and deflection curves of the overhead launching gantry are obtained. Based on the finite element calculations, the 11 high stress points of structure were monitored throughout the pouring process, and the testing results are consistent with the theoretical calculations. The results of this paper will provide some references for the design and safe construction of the overhead launching gantry.

Key words: overhead launching gantry; moving support system; variable width; finite element analysis