

三塔四跨钢-混凝土结合梁悬索桥成桥荷载试验研究

王高科¹, 蔡正东²

(1. 宁波市城建设计研究院有限公司, 浙江 宁波 315012; 2. 中铁大桥科学研究院有限公司, 湖北 武汉 430034)

摘要: 长江上某主梁跨径布置为 $(200+2\times 850+200)$ m 的三塔四跨钢-混组合梁悬索桥, 为评估桥梁结构的承载能力和工作状态, 对该桥进行了静、动荷载试验。静载试验结果表明桥梁结构主要受力构件如主缆、主梁、主塔和斜拉索的刚度和强度满足规范及设计要求, 桥梁结构总体承载能力满足设计荷载要求, 动力荷载试验结果表明桥梁整体工作性能满足设计和运营安全要求。通过荷载试验对该桥的工作技术状况做出了科学客观的评价, 可为今后同类型结构桥梁的试验研究积累经验和数据。

关键词: 钢-混凝土结合梁; 悬索桥; 静载试验; 动载试验

中图分类号: U448.25 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 03—0145—04

1 概述

某三塔四跨钢-混凝土结合梁悬索桥, 主梁采用四跨简支结构体系, 两主缆中跨跨径均为 850m, 矢跨比为 1/9, 主缆边跨跨度均为 225m, 横向 2 根主缆中心间距为 36m, 主梁跨径布置为 $(200+2\times 850+200)$ m, 主梁标准节段长 15m, 横向设两片主梁, 中心距为 31.2m 梁高 3m, 设计荷载为公路-I 级, 车速 60km/h。桥梁立面布置见图 1 所示。

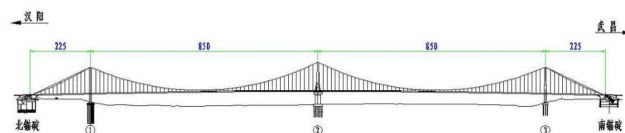


图 1 桥梁立面图 (单位: m)

桥梁承载能力评定一般采用两种方式: 一是通过考虑桥梁劣化状况进行结构检算评定; 二是通过实桥荷载试验进行评定, 对于新建桥梁, 一般采用实桥荷载试验

(3) 护面块体及垫层块石稳定重量和护面层厚度。按现行规范相应波高按进行核算, 当波浪斜向作用时, 护面块体的稳定系数需要进行折减。

(4) 堤前护底块石的稳定重量和厚度。堤前护底块石的稳定重量, 对于建于可冲刷地基的斜坡堤, 堤前防护宽度取值是否合理

(5) 胸墙强度和抗滑、抗倾稳定性; 对于设置胸墙的斜坡式护岸, 需要复核其在波浪作用下的抗滑、抗倾稳定性。

(6) 地基稳定性验算。地基整体稳定性是否满足《水运工程地基设计规范》(JTS 147) 要求。

(7) 对地基沉降和裂缝宽度进行核算。地基沉降应核算持久状况下的最终沉降量, 水位采用设计低水位, 计算采用分层总和法, 预留沉降量可根据地基沉降计算结果、工程经验和实际情况确定, 审查施工图设计预留沉降量是否含堤身沉降量, 以便更好的指导施工。对于

人工块体, 尚需核算裂缝宽度是否满足使用要求。

(8) 斜坡堤软基处理是否合理。针对存在软弱土层的地基, 施工图选取的软基处理方式是否适宜, 软基处理是否能达到加强地基承载力, 消除地基沉降, 满足整体稳定性的效果。同时, 工程造价相对较低。

5 结语

本文分析归纳了斜坡式防波堤施工图审查工作的内容, 针对斜坡式防波堤施工图咨询审查工作的关键技术点进行了总结, 对类似斜坡式防波堤工程的施工图咨询审查和设计具有一定的参考意义和价值。

参考文献:

- [1] 基建函[2008] 号关于印发水运工程设计委托咨询审查工作座谈会会议纪要的通知 [R].
- [2] JTS 154-2018, 防波堤与护岸设计规范 [S].

来评估桥梁结构承载能力。

2 有限元计算分析

采用桥梁结构分析软件 MIDAS/Civil 2021 和局部分析软件 ANSYS18.0 对桥梁结构进行空间静动力有限元分析计算，通过对不同工况下理论计算结果与荷载试验实测结果进行对比分析，判定结构实际承载力和工作性能是否满足设计荷载安全运营要求^[1]。

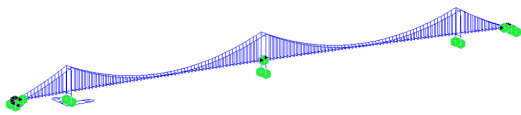


图 2 MIDAS/Civil 2021 结构整体计算模型图

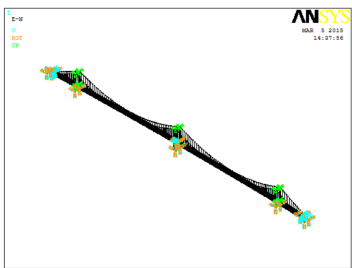


图 3 ANSYS18.0 计算模型图

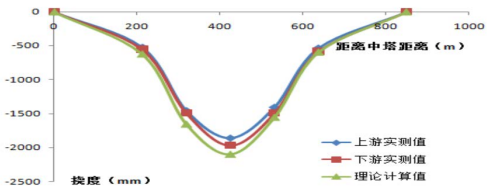
3 静载试验

根据该悬索桥结构成桥状态作为基础模型，通过计算荷载作用下结构的最不利受力状态和最不利受力位置，确定结构试验加载最不利内力控制截面，对各控制截面进行影响线加载^[2-3]。该桥静载试验共分为 11 个工况，详见表 1：

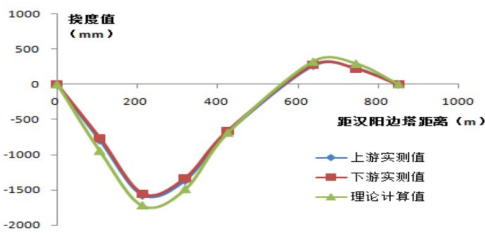
表 1 静载试验主要加载试验工况及加载效率

工况	工况名称	车辆数量	加载效率
1	武昌侧主跨 L/2 断面最大正弯矩对称加载	12	81.50%
2	武昌侧主跨 L/2 断面最大挠度对称加载	54	94.90%
3	武昌侧主跨 L/2 断面最大挠度偏心加载	27	—
4	汉阳侧主跨 L/2 断面最大正弯矩	12	81.50%
5	汉阳侧主跨 L/2 跨断面最大挠度对称加载	54	94.90%
6	汉阳侧主跨 L/2 断面最大挠度偏心加载	27	—
7	汉阳侧主跨 L/4 跨断面最大正弯矩	12	80.00%
8	汉阳侧主跨 L/4 跨断面最大挠度对称加载	48	95.60%
9	汉阳侧主跨 L/4 跨断面最大挠度偏心加载	24	—
10	汉阳侧边跨 L/2 断面最大正弯矩对称加载	12	89.80%
11	中塔附近吊索最大索力增量	12	89.20%

由于篇幅有限，本文仅列出静载试验主要结果，详细测试结果见图 4 和表 2 ~ 表 4 所示。其中塔顶水平偏位以向中跨偏为正，向边跨偏为负。



(a) 工况 2



(b) 工况 8

图 4 组合梁挠度实测值与计算值对比图

表 2 塔顶水平偏位实测值与计算值

工况	位置		塔顶纵向水平偏位 (mm)			校验
			实测值	平均值	计算值	系数
2	中塔塔顶	上游侧	458	463.5	475	0.96
		下游侧	469			0.99
8	中塔塔顶	上游侧	-253	-260	-272	0.93
		下游侧	-267			0.98
	汉阳侧边塔塔顶	上游侧	69	70.5	78	0.88
		下游侧	72			0.92

表 3 工况 3 组合梁边主梁应力测试结果

测点位置及编号		实测应力值 (MPa)	计算应力值 (MPa)	校验系数
汉阳侧主跨 L/2 边箱梁	顶板	-39.69	-62.79	0.63
	腹板	-21.21	-24.61	0.86
	腹板	-2.94	-3.92	0.75
	底板	32.55	37.45	0.87
	顶板	-40.32	-62.79	0.64
	腹板	-19.32	-24.61	0.79
	腹板	-3.36	-3.92	0.86
	底板	31.08	37.45	0.83

静载试验结果表明，钢混组合梁竖向挠度测试结果与计算值吻合较好。实测主梁最大挠度为 -2006mm，计算值为 -2096mm，将该等效荷载实测挠度值换算为设计荷载时的挠度值为 2113mm，换算挠跨比 f/L 为 1/402.2，《公路悬索桥设计规范》(JTG/T D65-05-2015) 规定主梁挠度限值为 1/250，表明该桥主

梁结构体系抗弯刚度满足设计及规范要求, 试验过程中主缆线形变化合理, 实测主缆最大挠度为 1999mm^[1]。

实测塔顶纵向偏位与理论计算值吻合较好, 桥塔处于弹性工作状态, 结构刚度满足设计要求。梁端纵向位移最大值为 47mm, 小于计算值 63mm, 卸载后残余变形很小, 表明梁端伸缩正常。

实测组合梁边主梁应力与计算值吻合较好, 组合梁强度满足设计要求, 结构处于弹性工作状态。

4 动载试验

动载试验采用结构有限元软件 MIDAS/Civil 2021 进行结构动态特性分析计算, 以此获取结构的振型和固有频率等信息, 主要有限元计算振型图见图 5 所示。

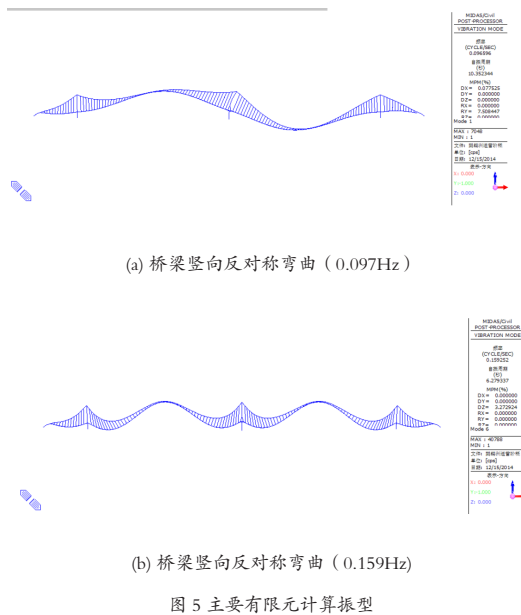


图 5 主要有限元计算振型

动载试验时, 通过在主缆布置竖、横向共计 14 个测点, 主梁布置竖、横向共计 25 个测点来测试桥梁结构的振型和自振频率。动应变测点布置在主跨 L/2 边箱主梁的顶底板处, 动挠度测点布置在主跨 L/2 处。

该三塔四跨组合梁悬索桥前 10 阶频率测试结果如表 6 所示。

测试结果表明, 实测该桥一阶竖向对称弯曲振动频率为 0.103Hz, 理论计算值为 0.097Hz, 实测值大于理论计算值, 表明实桥的竖向动力刚度满足要求; 实测该桥一阶对称扭转振动频率的实测值为 0.215 Hz, 理论计算值为 0.205 Hz, 实测值大于理论计算值, 实测一阶扭转频率比为 2.09。

表 4 前 10 阶自振频率测试结果

序号	计算值(Hz)	实测值(Hz)	振型
1	0.097	0.103	一阶竖向反对称弯曲
2	0.128	0.135	二阶竖向反对称弯曲
3	0.159	0.165	三阶竖向对称弯曲
4	0.181	0.188	三阶竖向反对称弯曲
5	0.200	0.208	一阶非对称扭转弯曲
6	0.205	0.215	二阶对称扭转弯曲
7	0.208	0.228	三阶非对称扭转弯曲
8	0.214	0.248	五阶竖向反对称弯曲
9	0.238	0.268	四阶竖向对称弯曲
10	0.261	0.310	四阶非对称扭转弯曲

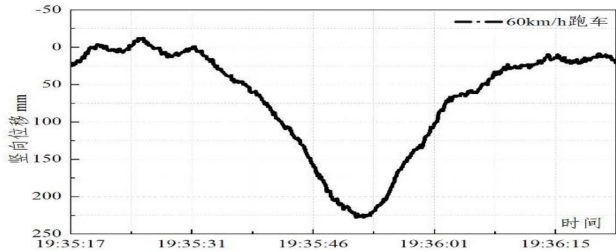


图 6 跑车试验时动挠度测点时程曲线

跑车工况作用下, 典型动应力和动挠度测点时程曲线见图 6 所示, 实测结果表明, 在试验荷载作用下, 动应力和动挠度实测冲击系数最大均为 0.04, 小于规范限值 0.05, 满足规范要求。

5 结语

(1) 三塔四跨组合梁结构在试验荷载作用下处于弹性工作状态, 主缆、组合梁和主塔的工作性能良好, 受力状况合理, 符合设计要求。该桥满足公路 - I 级的运营荷载要求。

(2) 动力荷载试验结果表明该结构的动力特性和动力响应均满足设计和规范要求。

(3) 该桥主梁采用钢 - 混凝土组合梁, 四跨主梁均采用简支体系, 结构受力明确、合理, 有利于充分利用不同材料的力学特点, 可为类似桥梁作参考。

参考文献:

- [1] 秦金环, 钟继卫, 孙连峰. 武汉阳逻长江公路大桥荷载试验研究 [J]. 世界桥梁, 2008 (增刊 1): 76-79.
- [2] 柳静. 超宽混凝土斜拉桥静动载试验研究 [J]. 交通科技, 2017 (6): 35-38.
- [3] 张兴, 杜斌, 向天宇. 大跨公轨两用悬索桥动力特性的参数敏感性分析 [J]. 铁道标准设计, 2018, 62 (6): 77-

基于交通运输业的股票因果网络分析

杜紫嫣, 杨会杰

(上海理工大学 管理学院, 上海 200093)

摘要: 基于交通运输业股票的日收盘价, 根据股票之间的因果依赖关系建立有向因果网络, 分析网络的拓扑特性并根据 PageRank 算法识别重要股票。结果表明: 重要股票为深高速、宜昌交运、白云机场、锦江投资、五洲交通、盐田港、上海机场、连云港、大连港和皖通高速。这些股票在传播网络风险中占据重要地位, 有效地控制这些股价的波动有利于调控股票市场。

关键词: 交通运输业; 因果网络; 重要股票; PageRank 算法

中图分类号: [U-9] **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 04—0148—04

股票市场的波动形成了高度复杂性的系统, 1999 年 Mantegna^[1] 将复杂网络理论与股票市场结合, 构建股票相关网络。此后, 大量学者对股票网络进行深入研究^[2-5], 研究股票市场的关系网络也逐渐成为热点问题。皮尔森相关系数法被广泛用于建立股票网络, 这些网络能有效识别股票之间线性相关性^[1-3]。然而, 大部分股票之间的相关关系是非线性、非对称的^[6]。因此, 因果检验基于股票之间的因果依赖关系, 提供了建立有向复杂网络的合理模型^[7,8]。李延双等^[5] 基于沪深 300 指数成分股研究网络的结构; 韩冬梅等^[9] 通过国际证券市场指数进行复杂网络建模并发现三大社区; Wang 等^[10] 根据能源股票建立复杂网络模型, 研究能源股票的时变特征并识别重要股票。而基于交通运输业的股票进行复杂网络建模的文章较少。因此, 本文聚焦于中国股票市场中交通运输业的股票建立复杂网络因果模型。

股票的波动并不是独立的。一只股票价格的波动会导致另一只股票的价格产生波动, 从而发生联动效应, 这些联动效应会导致整个股票市场发生更大波动^[10]。当

市场上的股票价格均发生巨大的波动时, 会形成市场危机, 甚至造成严重的股灾。重要股票具有更大的市场联动性, 它既能传递更大的系统性风险, 也能更佳地调控市场波动^[5]。因此, 研究重要股票对稳定股票市场有重要意义。研究重要股票常用网络中心性指标, 如集聚系数中心性^[11]、接近度中心性^[10]、介数中心性^[12]等。然而, 基于网络中心性指标识别重要股票是片面的。Wang 等^[10] 通过研究财务指标与网络拓扑指标的皮尔森相关关系, 证实了 PageRank 算法是识别重要股票最合适的方法, 并利用此方法识别了重要股票和重要行业。王皓晴等^[6] 用 PageRank 算法识别雾霾网络中的重要城市, 对雾霾治理提供了理论指导。综上所述, 本文建立因果网络并运用 PageRank 算法识别交通运输业重要股票, 为系统性风险提供理论指导。

1 模型建立与拓扑指标

1.1 因果网络模型建立

本文研究中国沪深股市中交通运输行业股票, 其中

82.

[4] 李鸥, 彭旭民. 鄂东长江公路大桥活载非线性效应与试验分析[J]. 桥梁建设, 2011(5): 31-35.

[5] 张欣禹. 桥梁挠度测试仪检测结果分析[J]. 世界桥梁, 2012, 40(3): 42-45.

[6] 曾德礼. 大跨度桥梁承载能力鉴定研究[J]. 桥梁建设, 2018, 48(5): 43-47.

[7] 刘永健, 杨健, 梁鹏, 颜东煌, 许红胜. 无背索斜塔斜拉桥荷载试验[J]. 长安大学学报, 2009(05).

[8] 长安大学, 等. 公路桥梁荷载试验规程: TG/TJ21-01-2015[J]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2016.

[9] 中国建筑科学研究院, 等. 城市桥梁检测与评定技术规范: CTT/T233-2015[J]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.