

大跨度连续钢箱梁桥整体受力性能分析

方 飞

昆山市交通科技研究中心有限公司 江苏 苏州 215300

摘要: 随着国内桥梁建设运营规模的不断增长,桥梁结构的全面检查与承载能力评估工作逐渐成为了解桥梁服役性能与结构健康状态的重要手段。本文以位于长江入海口处的某连续钢箱梁桥为研究背景,采用有限元软件进行建模分析,对钢箱梁的整体受力性能进行验算评估。

关键词: 连续梁桥; 钢箱梁; 有限元软件; 整体受力性能; 抗风性能

中图分类号: Uxxx

文献标识码: A

引言: 钢材有很多优点,例如其材质均匀、强度高、可塑性及可焊性好等。由钢材制成的桥梁就具有了强度较高、承载能力大、跨越距离远、运输方便、施工快捷及容易修复等特点,而被广泛应用于现代桥梁的建设和设计中。钢箱梁桥实质上指主梁截面为闭口薄壁结构的钢桥,这种形式的梁既可以作为梁式桥,也可以用作一些大跨度的桥梁的主梁。钢箱梁与其它形式的梁相比,减轻了结构自重,节省了材料,而且抵抗弯矩和扭矩的能力更为突出,因此适合做成连续梁。

随着科学技术的进步,桥梁结构的设计方法和设计理论都有了根本性的变化,然而仍有许多不确定的因素影响桥梁工程的质量,对于已经建成的桥梁,人们也想对其使用性能和效果有更深入的理解和认识。这就需要针对桥梁结构进行全面检查与承载能力评估,通过对已经建成的公路桥梁开展数值分析计算或荷载试验,来验证其当前状态是否满足相关规范标准的要求,为其能否继续安全运营提供依据。

本文以位于长江入海口处的某连续钢箱梁桥为研究背景,采用有限元软件进行建模分析,旨在对钢箱梁的整体受力性能进行验算评估,使得桥梁管理部门能够准确地掌握结构性能,保障运营期内桥梁结构的安全稳定。

1 有限元模型建立及修正

模型就是能够对结构做出承载能力评估和响应分析的一种数值表示,在对大型结构的分析中,通常是按照设计图纸建立有限元模型,在理想化假设的基础上建立起来的有限元模型跟实际的结构总是有不相同的地方,这样建立的有限元模型往往不能反映实际结构的真实状态,需要对建立的有限元模型进行修正^[1]。

本文涉及桥梁主桥采用102+4×185+102m钢连续梁桥,全线按双向六车道高速公路标准建设,其中跨江大桥设计时速100km/h,桥梁宽度33m,设计汽车荷载等级

为公路-I级。钢箱梁最高达9m,腹板在顺桥向不同区段采用4种不同的板厚,在箱梁内侧保持平齐。腹板横肋纵向间距1.4m,加劲肋均采用T形构造;腹板纵肋采用扁钢构造。

有限元分析模型(如图1所示)按照实际尺寸,对桥梁上、下结构采用梁单元建立。在有限元分析模型中共有节点1917个,单元1916个。模型材料参数:钢材弹性模量 $E = 2.06 \times 10^5 \text{MPa}$,容重 $\text{Dens} = 78.5 \text{kN/m}^3$,泊松比为0.31。



图1 有限元分析模型

本文在对钢箱梁进行有限元建模时,未考虑横隔板、加劲肋、桥面铺装和防撞护栏等对桥梁纵向刚度的影响,通过改变模型中材料弹性模量的方式,来分析桥梁刚度变化对结构自振特性的影响。根据钢箱梁刚度和重量灵敏度分析,结合相关荷载试验的测试数据,主要对模型刚度和重量分布进行修正。通过对比分析,修正后的模型动挠度及频率计算结果与实测结果基本吻合^[2]。

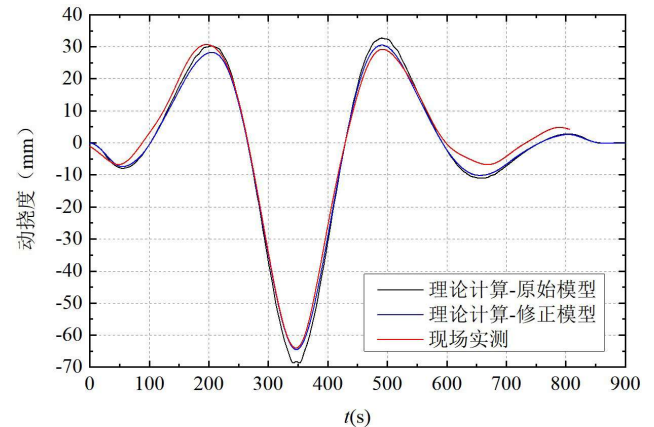


图2 钢箱梁中跨跨中截面动挠度

2 钢箱梁整体结构安全性验算

本文所涉及到的计算荷载主要包括恒荷载、温度荷载、汽车荷载、支座沉降及风荷载，所涉取值均符合《公路桥涵设计通用规范》。考虑承载能力极限组合即基本组合，并按此组合验算结构的承载能力极限状态的强度。

根据《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64-2015)规定，计算竖向挠度时，应采用不计冲击力的汽车车道荷载频域值，频域值系数取1.0。计算结果显示边跨最大及最小静活载位移为76.9mm、-88.9mm，而次边跨及中跨的最大及最小静活载位移为168.7mm、-234.9mm，跨度与挠度的比值分别为1147.4、787.6，挠度验算均满足规范限值为1/500的要求^[3]。

钢桥面板作为桥面系，不仅直接承受车轮荷载作用，而且还作为主梁的一部分参与主梁共同受力，其力学行为十分复杂。为简化计算，通常人为地将正交异性桥面板分为3个基本体系进行独立分析计算。

第一体系——主梁体系：钢箱梁桥面板和纵向加劲肋作为主梁的上翼缘，与主梁同构成主要承重构件。此体系钢箱梁作为整体计算，上翼缘考虑剪力滞效应确定有效分布宽度后，可以按照常规梁的初等梁弯曲理论进行建模分析^[4]。

第二体系——桥面系结构：由纵肋、横肋和桥面板组成桥面系结构，将桥面板看作是纵肋和横肋的共同上翼缘。该体系仅考虑承受桥面车轮荷载，将车轮荷载纵向传递至钢箱梁腹板、横桥向传递至钢箱梁隔板。因此该体系的变形包括沿桥纵向变形和横向变形，变性后是一个曲面。

第三体系——盖板体系：桥面板中支撑在纵肋和横肋上的各向同性连续板，可以看作是支撑在纵肋腹板上的单向板，把荷载传递给纵肋和横肋。第三应力体系通常用于考虑正交异性板的疲劳验算。

在荷载作用下，钢桥面板任何一点的内力可由上述三个基本结构体系的内力适当叠加而近似地求出。

通过整体梁单元模型可计算出钢箱梁截面顶底板的应力包络值，实际上由于剪力滞的存在，钢箱梁顶底板范围内应力是不均匀分布的，为求得应力最大值，依据《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64-2015)需要计算钢箱梁控制截面的有效宽度并折算成放大系数^[5]。

计算有效宽度采用以下公式：

$$\text{跨中断面: } \begin{cases} C_L = b & (\frac{b}{l} \leq 0.05) \\ C_L = \left[1.1 - 2\left(\frac{b}{l}\right) \right] b & (0.05 < \frac{b}{l} < 0.3) \\ C_L = 0.15l & (\frac{b}{l} \geq 0.3) \end{cases} \quad (1-1)$$

$$\text{支点断面: } \begin{cases} C_S = b & (\frac{b}{l} \leq 0.02) \\ C_S = \left[1.06 - 3.2\left(\frac{b}{l}\right) + 4.5\left(\frac{b}{l}\right)^2 \right] b & (0.02 < \frac{b}{l} < 0.3) \\ C_S = 0.15l & (\frac{b}{l} \geq 0.3) \end{cases} \quad (1-2)$$

式中， b 为主梁腹板间距的一半或悬臂板宽度； l 为等效跨径。

经计算，第一应力体系的计算结果，即经修正后主梁上、下缘正应力包络值和剪应力包络值为：基本组合下跨中上缘正应力 $\sigma_{\max,上} = -115.7\text{MPa}$ ，跨中下缘 $\sigma_{\max,下} = 179.2\text{MPa}$ ；支点上缘正应力 $\sigma_{\max,上} = 165.9\text{MPa}$ ，支点的下缘正应力 $\sigma_{\max,下} = -134.8\text{MPa}$ 。

钢箱梁第二体系应力计算方法较多，通常分为简化解析法和数值解析法。本节采用数值解析法计算第二体系应力，利用板壳单元建立的局部板壳模型，通过局部加载，可以得到钢箱梁桥第二应力体系的合理计算结果。为获得桥面板最不利应力分布，考虑正U肋、骑U肋和U肋间三种加载方式，最终取最不利计算结果作为钢箱梁第二体系应力。

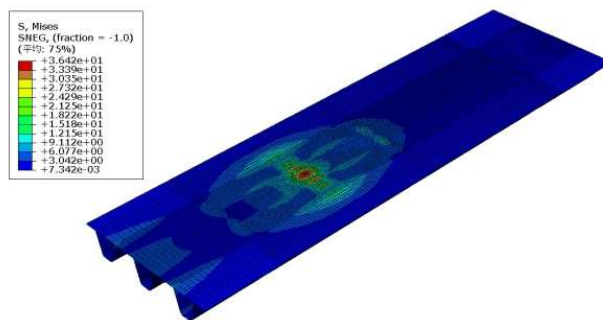


图3 跨中截面桥面板正U肋加载下的桥面板应力云图

经计算，跨中截面桥面板在骑U肋加载工况下达到应力最大值 $\sigma_{\max} = 29.5\text{MPa}$ ；支点截面桥面板在骑U肋加载工况下达到应力最大值 $\sigma_{\max} = 45.7\text{MPa}$ 。

综合上述计算结果，钢箱梁所受应力如下表2所示，钢箱梁整体结构安全性验算均满足规范要求，也为后续桥梁运营期内的监测管理与及时维护提供了数据支撑^[6]。

表1 钢箱梁应力综合表

荷载工况	总应力 (MPa)	结构重要性系数 γ_0	设计应力 (MPa)	是否满足
跨中截面	底板最大拉应力	1.1	270	满足
	顶板最大压应力	1.1	270	满足

续表:

荷载工况	总应力 (MPa)	结构重要性系数 γ_0	设计应力 (MPa)	是否满足	
支点截面	底板最大压应力	-134.8	1.1	270	满足
	顶板最大拉应力	211.6	1.1	270	满足
全截面	最大剪应力	66.33	1.1	155	满足

结束语: 为保证本文所述的钢连续梁桥的安全运营, 利用有限元软件对钢箱梁的整体受力性能及抗风性能进行验算评估, 结果表明边跨、次边跨及中跨挠度验算满足规范限值为1/500的要求。对计算所得的第一应力体系及第二应力体系的结果进行综合评估, 认为钢箱梁整体结构安全性验算均满足规范要求, 这也验证了有限元分析的方法能够为后续桥梁运营期内的监测管理与及时维护提供了数据支撑。

参考文献

[1]王浩,李爱群,赵大亮,等.润扬悬索桥钢箱梁受力分析及实验研究[J].哈尔滨工业大学学报,2006,(07):1062-1064.

[2]李传习,袁鹏,罗超云,等.嘉绍大桥架设钢箱梁局部受力的不利阶段及其效应分析[J].中外公路,2014,34(01):117-120.

[3]董学武,张宇峰,徐宏,等.苏通大桥结构健康监测及安全评价系统简介[J].桥梁建设,2006,(04):71-73,81.

[4]缪长青,韩惠婷,李爱群,等.江阴大桥原结构安全监测系统设计分析[J].公路交通科技,2007,(11):81-86,91.

[5]周岳,朱毅,李高堂,等.桥梁智能化健康监测研究现状分析[J].广州建筑,2019,47(04):3-7.

[6]李微,贤良华.城市立交桥交通组织设计方案分析[J].西部交通科技,2018(1):3.