

基于 ANSYS 有限元方法的悬索桥静力学特性研究

孙 军 奚新凯 胡 静

江苏河海建设有限公司, 江苏 镇江 212000

[摘要]悬索桥受力性能好、跨越能力大、轻型美观、抗震性能好在现代桥梁工程实践中开始广泛应用。文中以悬索桥的设计基本理论为基础,以一建成的悬索桥为例,讨论了一定参数条件下混凝土悬索桥的受力和变形情况。然后基于 ANSYS 有限元分析软件建立了混凝土悬索桥的分析模型,对其施加不同的静荷载,观察其在不同荷载条件下的变形图,应力图和剪力图。并对悬索桥在自重作用下的前五阶模态进行了分析,全面评价了悬索桥的受力及变形情况,这对悬索桥的设计及施工具有重要的借鉴意义。

[关键词]悬索桥; ANSYS 有限元; 静力特性; 模态分析

Study on the Static and Mechanical Characteristics of Suspension Bridge Based on ANSYS Finite Element Method

SUN Jun, XI Xinkai, HU Jing

Jiangsu Hehai Construction Co., Ltd., Zhenjiang, Jiangsu, 212000, China

Abstract: The suspension bridge has been widely used in modern bridge engineering practice, such as good mechanical performance, large span capacity, light and beautiful, and good seismic performance. Based on the basic theory of suspension bridge design and taking a completed suspension bridge as an example, the stress and deformation of concrete suspension bridge under certain parameters are discussed. Then, based on ANSYS finite element analysis software, the analysis model of concrete suspension bridge is established, and different static loads are applied to it. The deformation diagram, stress diagram and shear diagram of concrete suspension bridge under different load conditions are observed. The first five modes of suspension bridge under the action of self weight are analyzed, and the stress and deformation of suspension bridge are comprehensively evaluated, which is of great reference for the design and construction of suspension bridge.

Keywords: suspension bridge; ANSYS finite element; static characteristics; modal analysis

引言

在世界范围内,悬索桥具有很长的应用历史,国内外学者对悬索桥的研究由最初的静力特性研究到动力特性研究,从实践经验到理论基础的研究,从线性研究到非线性研究,无不说明对悬索桥的研究越来越深入,越来越精确。从最初的仅用弹性理论进行研究到后来随着计算机技术的发展,开始运用有限元软件进行建模,模拟悬索桥在不同荷载状况下的应力应变状态。研究的越精细,得到的结果也就越接近实际情况。本文应用 ANSYS 有限元分析软件,建立了悬索桥的模型,对其在不同参数条件下的应力应变状态进行了分析研究,得到了一些具有实践意义的结论。

1 有限元的引入

有限元方法主要起源于上世纪 50 年代航空航天领域飞机结构的矩阵分析,它属于结构力学中位移法的一种分析方法。该方法认为:结构体可以看成是由许许多多的小单元体相互连接而拼装起来的集合体,每一个小单元的力学特性装配在一起就构成了整个结构体系的力学特性。

文中基于 ANSYS 有限元模型对混凝土悬索桥在静力作用下进行了有限元分析,考虑到悬索桥结构的复杂性以及不同构件之间连接的特点,为了保证分析的准确性,对建立的悬索桥模型进行了如下假设:

- (1) 悬索桥各部分构件均为弹性构件,不考虑各构件在荷载作用下的塑性变形。
- (2) 桥塔在整个高度内是变截面柱体。
- (3) 所有加劲桁架都具有一个截面属性,它们的材料属性相同
- (4) 不计主缆和吊索上的附属设备,均视为单一截面的钢缆。
- (5) 悬索桥的桥面板视为板桥单元,在全场范围内,厚度是均匀的。

2 模型建立

实体模型的建立与 CAD 软件相似, 利用点、线、面积、体积组合之后, 由边界来决定网格。确定了每边单元数目和单元尺寸后, ANSYS 的内建程序即能自动产生网格, 即自动产生节点及单元, 并同时完成有限元模型。自动网格建立法, 对于复杂的系统有更好的效果, 尤其对三维空间结构体系的分析最为有用。所建的模型尺寸和材料参数均参照实际设计值, 建立的有限元分析模型见图 1-图 3。

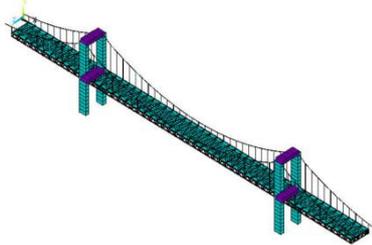


图 1 建立的有限元模型

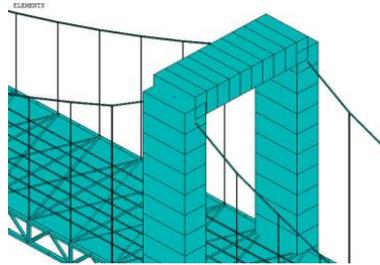


图 2 塔柱与主缆连接图

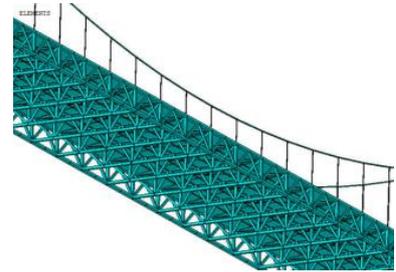


图 3 跨中结构模型

为了使模型更加符合实际情况, 分别在桥墩位置和桥的两端施加约束, 其中一个桥墩处施加 x, y, z 三个方向约束, 其余施加 x, y 两个方向约束。见图 4 和图 5。

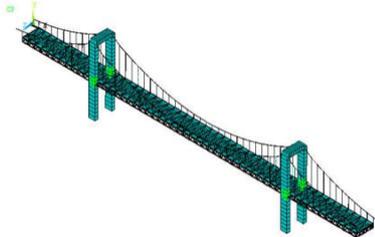


图 4 设置桥塔与桥面为铰接

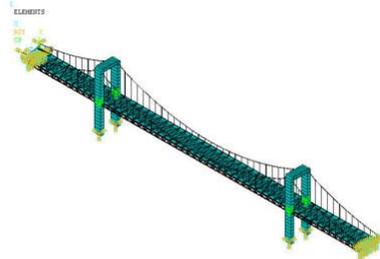


图 5 悬索桥约束情况

4 模态分析

结构模态是振动系统特性的一种表征。输出模态参数主要包括固有频率、振型。求得结构的振型和频率便可利用反应谱和振型叠加法确定结构的地震反应, 从而为防止灾害等方面提供参考。

本文利用 ANSYS 软件得出了悬索桥的五阶振动模态, 结构的振动可以表达为各阶振型的线性叠加, 其中低阶振型比高阶振型对结构的振动影响大, 故进行结构的振动特性分析时通常取前几阶即可, 本文取前五阶。ANSYS 提供了多种模态提取方法, 在本次研究中将采用 Block Lanczos(分块兰索斯)法, 模态分析计算出前五阶频率。

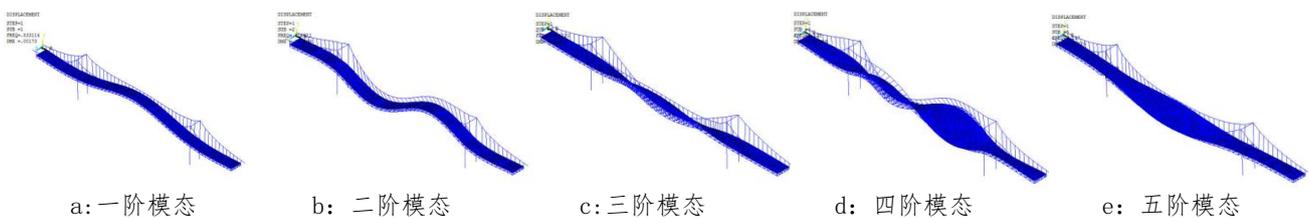


图 6 前五阶模态分析

从图 6 可知前五阶的频率分别是 0.533HZ, 0.715HZ, 0.931HZ, 1.125HZ, 1.157HZ。结果在规定范围之内, 为避免出现共振提供数据参考, 求得结构的振型和频率后便可利用反应谱和振型叠加法确定结构的地震反应。同时, 模态分析的结果也为进行其他动态系统的分析(例如, 谐响应分析、瞬态动力学分析、频谱分析等)提供一个关键的模态参数。

5 静力分析

模型建立后, 在一些特殊位置施加静载荷, 观察变形, 内力。主要是危险截面的应力, 为施工提供合理化建议。首先在桥中间施加集中力, 然后在两端施加相同载荷的集中力, 最后在上述三个位置一起施加集中力, 每种加载方式载荷大小变化一次, 生成变形图, 应力图, 剪力图并分析。

工况一: 中间加载 200KN

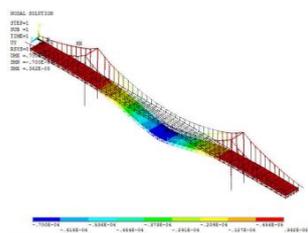


图7 Z方向位移云图

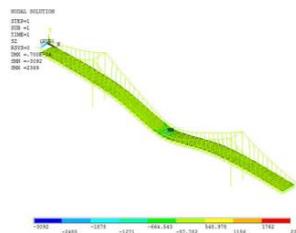


图8 Z方向应力云图

工况二：两端各加载 200KN。

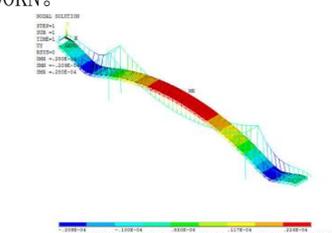


图9 Z方向位移云图

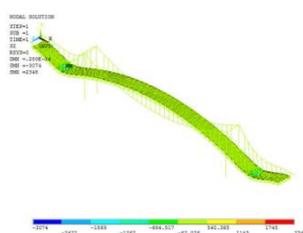


图10 Z方向应力云图

工况三：混合加载，在桥中间施加集中力大小为 200kN，同时在两端各施加集中力大小为 200 kN。

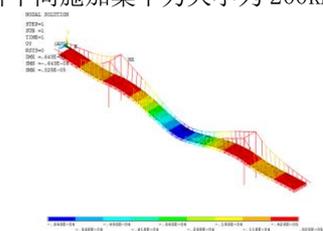


图11 Z方向位移云图

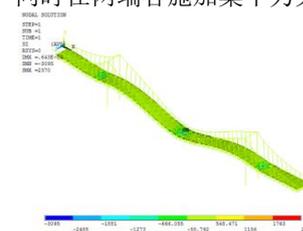


图12 Z方向应力云图

6 结果分析

(1) Z方向变形云图

通过图 7, 图 9, 图 11, 悬索桥有限元模型变形云图比较可以看出, 三次加载后最大变形分别为 $0.700 \times 10^{-4} \text{m}$, $0.280 \times 10^{-4} \text{m}$, $0.634 \times 10^{-4} \text{m}$ 。第一次加载后, 最大变形出现在跨中。这是由于本模型是混凝土桥, 自重占了载荷的很大部分, 不加外载时, 在自重作用下也是在跨中出现了最大变形。第二次加载施加的集中力分为两段施加, 最大变形出现在在两段位置, 产生的影响也较大。第三次加载是混合加载, 最大位移出现在跨中位置。整个梁桥变形是连续的, 每段变形都是相互影响的。

(2) Z方向正应力图

通过图 8, 图 10, 图 12, 悬索桥有限元模型应力图比较可以看出, 三个应力图中显示最大拉应力分别为 2369Pa, 2348 Pa 和 2370 Pa。第一次加载时最大拉应力出现在跨中位置, 产生这个结果的原因同变形特点原因类似, 都是自重起主要作用。第二次在两端加载时, 最大拉应力出现在施加荷载的位置; 第三次加载后最大拉应力出现在跨中位置。

[参考文献]

- [1] 雷俊卿. 悬索桥设计[M]. 北京: 北京人民交通出版社, 2012.
- [2] 徐君兰. 悬索桥[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [3] 尼尔斯 J, 吉姆辛. 缆索承重桥梁[M]. 北京: 人民交通出版社, 1992.
- [4] 郝文化, 叶裕明. ANSYS 土木工程应用实例[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1992.
- [5] 吴恒立. 悬索与悬索桥及薄壁杆件理论[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1987.
- [6] 钱冬生, 陈仁福. 大跨悬索桥的设计与施工[M]. 成都: 西南交大出版社, 2009.
- [7] 刘健新, 胡兆同. 大跨度悬索桥[M]. 北京: 人民交通出版社, 2016.
- [8] 邢静忠. ANSYS 应用实力与分析[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [9] 陈仁福. 大跨悬索桥理论[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2014.

作者简介: 孙军 (1976-) 男, 江苏省镇江市人, 汉族, 学历本科, 水利工程。