

自锚式吊拉协作体系桥结构参数敏感性分析

叶毅, 陈鹏飞, 郭琦

(西安建筑科技大学 土木工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 为研究自锚式吊拉协作体系桥静力特性受结构参数的影响程度, 根据线性二阶加载法, 对不同结构参数改变引起其静力性能的变化进行分析。结果表明: 吊跨比、主缆弹性模量及主梁抗弯刚度对主缆拉力、主梁和桥塔内力、结构位移等力学响应关键指标的影响较大, 主缆矢跨比和主梁拱度对结构受力性能影响较小。

关键词: 结构参数; 自锚式吊拉协作体系桥; 静力性能; 敏感性分析

自锚式吊拉协作体系桥将斜拉桥和自锚式悬索桥有机结合, 去掉硕大锚碇的同时解决了桥塔过高的问题, 更兼具了施工阶段抗风性能好等优点, 是大跨径桥梁中极具竞争力的一种桥型。对该桥型进行研究, 在中国发展众多跨海工程的现状下具有重要意义。

由于自锚式吊拉协作体系中包含自锚式悬索和斜拉两种体系, 这种桥型的静力性能受两种体系布置及相关参数的影响显著。此外, 无论是自锚式悬索体系还是斜拉体系都属于自锚体系, 其主缆和拉索锚固在加劲梁上, 对加劲梁施加了巨大的轴向压力, 所以加劲梁的材料选择亦会对结构的静力性能产生较大影响。为明晰该桥型受特定结构参数的影响程度, 该文就各参数改变导致结构的力学行为变化进行研究。以某已建成自锚式吊拉协作体系桥为背景, 探讨吊跨比、主缆矢跨比、主缆弹性模量、加劲梁抗弯刚度及拱度等参数对主缆拉力、主梁和桥塔内力、结构位移等结构力学性能关键指标的影响, 从而对结构静力特性做出正确的评估。

1 工程概况

某自锚式吊拉协作体系桥建设方案的主跨跨径为400 m, 全长664 m, 采用了修正的狄辛格体系。主梁采用扁平流线形箱梁, 梁高2.80 m, 梁宽26 m。主跨悬吊部分132 m, 由平行钢丝索股组成。主塔由双柱和系梁组成, 为门式框架, 桥面以上的高度为69.22 m, 扇形索面, 设有0#索, 全桥采用漂浮体系, 桥梁立

面示意图如图1所示。

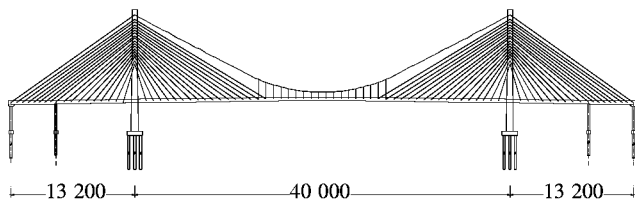


图1 桥梁立面示意图(单位:cm)

2 计算模型

大桥模型采用鱼刺梁模式建模, 模型中主梁、主塔、桥墩及横系梁等采用空间梁单元模拟, 主缆、吊杆和斜拉索则采用空间索单元模拟。根据分段悬链线理论并考虑缆索的自重得到主缆的空缆线形, 纵向主刺的截面特性按主梁的实际截面特性取值。主塔与主梁的边界条件为纵向不约束, 竖向和横向自由度耦合。对于桩基周围土层的影响, 则通过土弹簧进行模拟。

3 结构静力性能参数敏感性分析

作为缆索体系桥梁, 协作体系桥存在着明显的几何非线性, 在活载作用下叠加原理将不再适用, 即不能用影响线加载法准确地计算结构的内力及位移包络图。若想准确计算活载作用下体系的力学响应, 就必须采用非线性的分析方法, 但就结构参数变化分析而言, 非线性的分析方法计算量过大, 为此引入线性二阶加载方法作简化计算。

收稿日期: 2018-09-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(编号: 51508453)

作者简介: 叶毅, 男, 博士, 讲师. E-mail: cpyaz@163.com

设计自锚式吊拉协作体系桥时,需要考虑的因素众多,有约束形式、吊跨比、主缆矢跨比等。限于篇幅,权衡结构参数对桥梁设计的重要性,该文仅取吊跨比、主缆矢跨比、主缆弹性模量、主梁抗弯刚度和主梁拱度5个参数进行分析。依据几何控制法原理,以某已建成自锚式吊拉协作体系桥建设方案为基准模型,分别建立吊跨比、主缆矢跨比、主缆弹性模量、加劲梁抗弯刚度及拱度各不相同的分析模型。通过线性二阶加载法,对活载作用下各分析模型的力学响应情况进行分析和比对,得到各参数对结构静力特性的影响,并对影响成因进行分析。

3.1 吊跨比的影响

吊跨比指的是吊索布置长度与主跨跨径的比值,是自锚式吊拉协作体系桥的一个重要参数。在主跨跨径一定的情况下,吊索布置的长短将直接影响主缆的线形,进而影响该桥的力学特性。因此,分析吊跨比对结构静力性能的影响尤为重要。通过建立吊跨比为0.2、0.3、0.4、0.5、0.6的分析模型,对跨中挠度、跨中弯矩、最大轴力、主塔塔根最大弯矩及主缆最大拉力进行讨论。计算结果见图2。

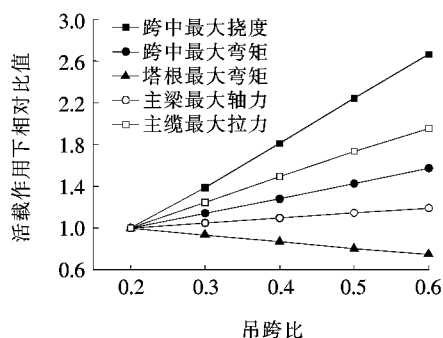


图2 吊跨比影响

从图2可以看出:①随着吊跨比的增加,跨中挠度和跨中弯矩均明显增大,最大值分别超过了2.6和1.4,说明结构的柔度随着吊跨比的增加而增大;②作为自锚式悬索部分的重要受力构件,主缆的拉力亦随吊跨比的增加而增长明显;③主梁最大轴力受吊跨比增加的影响并不显著。可见,吊跨比的改变仅导致活载在两种体系中的分配比例产生变化而对总量没有影响;④主塔塔根的最大弯矩随吊跨比的增加而减小,且变化趋势大致呈线性递减,说明随着吊跨比的增加斜拉部分比例逐渐减少。

3.2 主缆矢跨比的影响

矢跨比是指主缆在主跨内的矢度与主跨跨径的比值,是影响悬索桥全桥刚度和各部构件结构受力的极

为重要的技术参数。如前所述,自锚式吊拉协作体系桥包括斜拉和自锚式悬索两部分,其主塔高度由斜拉部分确定,因此对矢跨比的影响分析仅就跨中有吊索段部分进行考虑。为此,以某自锚式吊拉协作体系桥建设方案为例,在活载作用下,取矢跨比为1/8、1/9、1/10、1/11、1/12,对跨中挠度、跨中弯矩、最大轴力、主塔塔根最大弯矩及主缆最大拉力进行讨论。计算结果见图3。

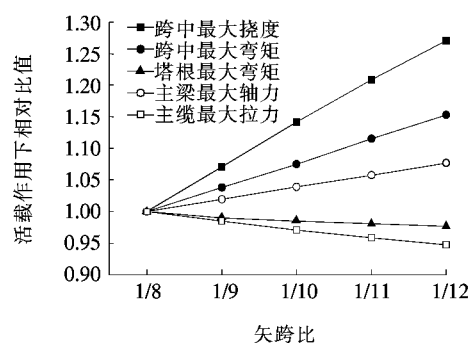


图3 矢跨比影响

从图3可以看出:①随着矢跨比的增加,跨中挠度和跨中弯矩均减小,最大减小幅度分别接近25%和13%,说明结构的柔度随着矢跨比的增加而减小;②主梁轴力随着矢跨比的增加而减小,但变化并不显著,说明矢跨比的改变亦会导致活载在两种体系中的分配比例产生变化但对总量没有影响;③主缆拉力和桥塔塔根弯矩随着矢跨比的增加而线性减少,上述结论进一步得到验证。

3.3 主缆弹性模量的影响

主缆由若干根钢丝绳组成,每根钢丝绳的无应力长度和紧缆后的松紧程度造成的制造误差不可避免,这导致主缆实际弹性模量和设计值存在误差。主缆作为缆索承重体系桥梁重要的受力构件,其弹性模量的变化直接影响主缆在有应力状态下的弹性伸长,所以对主缆弹性模量的考虑极其重要。考虑活载作用,建立弹性模量为原来的1.1、1.2、1.3、1.4倍的分析模型,并通过与原结构计算结果对比,得到主缆弹性模量对结构受力的影响(图4)。

由图4可知:①随着主缆弹性模量的增加,主梁跨中最大挠度减小明显,弹性模量扩大0.4倍,主梁跨中挠度仅剩原来的32%,说明主缆对结构刚度的贡献度很大;②跨中弯矩减小约20%,主缆最大拉力则有所增加。值得一提的是,主缆弹性模量增大对主梁轴力和塔根弯矩影响甚微,这与主梁拉力增大导致斜拉索索力减小有关。

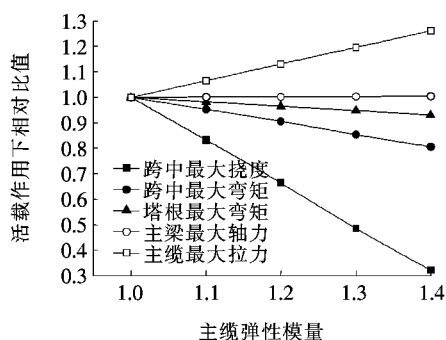


图 4 主缆弹性模量影响

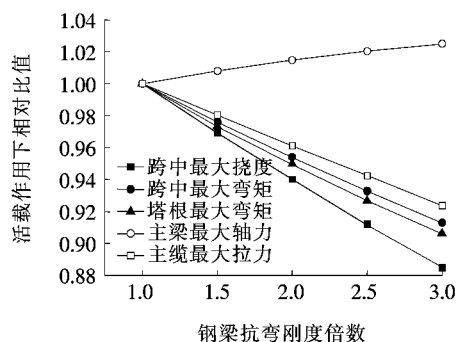


图 6 混凝土梁抗弯刚度影响

3.4 主梁抗弯刚度的影响

自锚式吊拉协作体系桥一个重要的特点就是斜拉部分可采用混凝土梁,而自锚式悬索部分则采用钢梁。两部分主梁选用材料不同,且混凝土龄期、收缩徐变等会对材料性能造成影响,因此需对主梁抗弯刚度改变对结构内力分布产生的影响进行分析。分别考虑钢梁与混凝土梁抗弯刚度的变化对结构受力性能的影响,结果如图 5、6 所示。

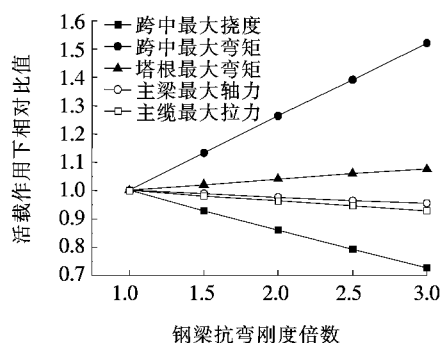


图 5 钢梁抗弯刚度影响

由图 5、6 可知:① 无论悬索部分的钢梁还是斜拉部分的混凝土梁,它们的抗弯刚度增加,均会导致结构整体刚度的大幅增加;② 由跨中最大弯矩—抗弯刚度和塔根最大弯矩—抗弯刚度两条曲线可知,钢梁与混凝土梁抗弯刚度改变导致主梁内力的变化呈相反的规律,说明了两体系在协作体系中具有独立性。

3.5 主梁拱度的影响

主缆和斜拉索直接锚固在加劲梁上,对其施加了巨大的轴向压力,使得跨中拱度易引起加劲梁的附加弯矩。该影响在恒载作用下可通过吊索张拉来消除,因此,该论文仅考虑活载作用下拱度对结构静力性能的影响,结果见表 1。

由表 1 可知:① 在活载作用下,设置 2.90 m 拱度,其主梁跨中挠度、跨中弯矩和轴力均有小幅减少,说明对加劲梁设置一定拱度有助于提高结构的总体刚度,但提升效果不明显;② 相较于无拱度桥梁,设置了 2.90 m 拱度的结构在活载作用下桥塔塔根弯矩和主缆拉力增加幅度很小,说明拱度对其影响甚微。

表 1 荷载作用下主梁拱度影响

项目	主梁跨中 挠度/mm	主梁跨中最大弯矩/ ($\times 10^3$ kN·m)	塔根最大弯矩/ ($\times 10^3$ kN·m)	主梁最大轴力/ ($\times 10^3$ kN)	主缆最大拉力/ ($\times 10^3$ kN)
无拱度	495	58.68	94.01	17.68	6.12
2.90 m 拱度	482	57.88	97.10	17.32	6.13
相对差值/%	-2.63	-2.37	3.29	-2.08	0.21

4 结论

以某已建成自锚式吊拉协作体系桥为例,采用 Ansys 有限元软件,通过改变结构参数,对该桥型的结构参数敏感性进行分析,得到以下结论:

(1) 吊跨比决定了自锚式悬索体系在协作体系中

所占比例的大小,吊跨比的增加将使结构整体柔度增大,使得该协作体系的刚度及受力特点更接近于自锚式悬索桥。

(2) 相比自锚式悬索桥,矢跨比对结构受力性能的影响虽然有所减小,但其对成桥主梁挠度、内力的影响依旧显著,因此自锚式吊拉协作体系桥应采用相对较大的矢跨比。同时主缆弹性模量变化对主梁挠度的

大跨悬索桥吊索更换技术及受力状态模拟分析

余章龙¹, 张大长¹, 张宇峰², 孙震²

(1.南京工业大学 土木工程学院, 江苏 南京 211816; 2.江苏省交通科学研究院)

摘要:为研究桥梁吊索更换技术,以某大跨悬索桥病害较严重的吊索为背景工程,首先选取桥梁下游19#吊索为研究对象,比选不同的吊索更换方法,选取临时吊索法作为桥梁吊索更换方法;然后基于临时吊索法,采用有限元软件模拟分析吊索更换过程,对比分析了3种不同的吊索更换方案,探讨了各方案的结构受力状态。研究结果表明:基于该悬索桥吊索与耳板的连接为销接式,采用临时吊索法更换吊索;随着临时吊索数量的增加,临时吊索索力逐渐减小,各更换方案之间临时吊索索力降幅也在逐渐减小;五点更换方案临时吊索索力为200 t,更适合该桥吊索更换;桥梁吊索更换过程中,换索侧相邻吊索受吊索更换影响较大,非换索侧受吊索更换影响较小,可以忽略不计;该文提出的多点张拉临时吊索的更换方案,可以有效减小临时索力,避免索夹下滑。

关键词:大跨悬索桥;吊索更换技术;受力状态;临时吊索法

1 引言

近年来,随着中国交通事业的迅猛发展,修建了许多大跨度、特大跨度桥梁跨越峡谷、海峡、陆岛和大江大河。悬索桥是跨越能力最大的桥型之一,吊索作为悬索桥的主要传力结构,在不同环境中对于损伤最为敏感,易造成钢丝的腐蚀;车辆荷载、风荷载、雨振风振

等动力作用导致索体钢丝承受循环荷载作用而产生疲劳破坏。多座缆索系统桥梁因为各种原因而不得不提前换索,既影响了桥梁的使用又造成了巨大的经济损失。因此,吊索的寿命远小于桥梁结构的寿命。

2006年赵洋基于临时吊索法对某系杆拱桥吊索进行了更换,并提出不等步长张拉临时吊索的更换方案;2014年黄泽联基于临时兜吊法,采用有限元模拟分析吊索更换过程,得到系杆标高以及吊索索力的变

影响显著,说明主缆对结构刚度的贡献度很大。

(3)加劲梁抗弯刚度的增加能显著提升自锚式吊拉协作体系桥梁的总体刚度,这与地锚式吊拉协作体系桥存在明显差异,在设计中需要加大梁高以提高加劲梁的抗弯刚度。此外,钢梁与混凝土梁抗弯刚度影响不一致,说明自锚式悬索和斜拉两种体系在协作体系中既共同受力又具有独立性,荷载分配遵循刚度分配原则。

(4)对加劲梁设置一定拱度有助于提高结构的总体刚度,但提升效果有限。

参考文献:

[1] 许福友,张哲,黄才良,等.斜拉-悬吊协作体系桥工程应

用及特点分析[J].中外公路,2009(1).

[2] 周琳琳.自锚式悬索-斜拉组合体系桥合理成桥状态及参数分析[D].长安大学硕士学位论文,2015.

[3] 程伟,石坚,朱凌志.自锚式与地锚式悬索桥结构设计参数对比研究[J].上海公路,2010(3).

[4] 王甜.斜拉-悬吊协作体系桥梁设计关键问题研究[D].湖南大学硕士学位论文,2015.

[5] 周云岗,肖汝诚.多塔斜拉-悬吊协作桥活载效应近似计算方法[J].同济大学学报:自然科学版,2013(11).

[6] 王会利,秦泗凤,张哲,等.自锚式斜拉-悬索协作体系桥非线性分析[J].大连理工大学学报,2010(6).

[7] 包龙生,曹鑫,于玲,等.结构参数对钢-混组合桥塔自锚式悬索桥静力性能的影响研究[J].铁道标准设计,2014(5).

收稿日期:2018-06-27

基金项目:江苏交通控股有限公司项目(编号:GCKY2016-02)

作者简介:余章龙,男,硕士.E-mail:18761600330@163.com