

辅助墩位置对索辅梁桥结构效应的影响

程宇鹏¹, 王福敏², 尚军年²

(1. 重庆交通大学 土木建筑学院, 重庆 400074 2 招商局重庆交通科研设计院有限责任公司, 重庆 400067)

摘要: 以重庆东水门长江大桥为研究对象, 采用 Midas Civil 大型桥梁分析软件进行建模, 研究辅助墩位置的变化对新型索辅梁桥成桥状态的主塔、牛腿处下弦杆、主梁的影响。计算结果表明, 增加辅助墩后, 索辅梁桥的主塔塔底弯矩、塔顶纵向位移、主梁跨中轴力、跨中挠度都有所减小, 牛腿处下弦杆的弯矩增大。

关键词: 索辅梁桥; 辅助墩; 成桥状态; 结构效应

中图分类号: U448.27

文献标志码: A

文章编号: 1674-0696(2010)04-0497-04

Impact of Auxiliary Pier's Position on Structure of Partially Cable-Supported Girder Bridge

CHENG Yu-peng¹, WANG Fu-min², SHANG Jun-nian²

(1. School of Civil Engineering & Architecture, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

2. China Merchants Chongqing Communications Research & Design Institute Co., Ltd., Chongqing 400067, China)

Abstract A three-dimensional finite element calculation model was established for the main bridge of the Dongshuimen Yangtze River Bridge in Chongqing by using software MIDAS Civil. It was obtained that different positions of the auxiliary pier exerted influence on the main tower, the bottom chord on the bracket, the main girder in the bridge completion state of the new partially cable-supported girder bridge. The calculation results demonstrated that increase of auxiliary piers would lead to bending moment of the lower main tower, vertical displacement of upper tower, smaller axial stress and deflection of the main girder central span and greater bending moment of bottom chord on the bracket.

Key words partially cable-supported girder bridge; auxiliary pier; bridge completion state; structure effect

斜拉桥是将斜拉索两端分别锚固在塔和梁或其他载体上, 形成塔、梁、索共同承载的结构体系。其桥面体系用加劲梁构成, 支承体系由钢索构成。一般而言, 索作为主要受力构件, 梁作为次要受力构件, 荷载是由缆索传递到桥塔上, 再通过桥塔最终传递到基础上^[1-2]。而对于公轨两用桥, 梁本身具有很可观的抗弯、抗扭能力及刚度, 基于此特点提出了一个新的设计理念, 即充分考虑斜拉桥中梁和缆索的主要功能, 以梁为主要承重体, 缆索为辅助承重体, 这就是索辅梁桥或“部分缆索承重桥”(Partially Cable-Supported Girder Bridge)^[3]。

斜拉桥的应用已经有 30 a 左右的历史, 在前人的反复研究、应用后, 它的结构体系已经基本成熟了。对于索辅梁桥这种新的结构体系因更能适应具体环境的要求, 所以在以后的应用会越来越多, 但是这种体系刚开始使用不久, 在国内外的研究尚少, 并且没有足够的经验, 所以使得我们必须去研究各种

参数对其结构效应的影响情况^[4-7]。

重庆两江桥(东水门长江大桥和千厮门嘉陵江大桥)是 2 座公轨两用大桥, 上层为公路交通, 下层为轨道交通, 主梁采用钢桁梁。由于该桥主梁刚度很大, 鉴于实际情况, 合理的利用了其主梁的承载能力, 采用了新型的索辅梁桥这种结构体系。而在这种新的结构体系中, 辅助墩对其结构效应影响的研究还比较少。笔者主要针对不同位置的辅助墩对东水门长江大桥结构效应的影响进行分析。

1 桥梁总体布置

重庆东水门长江大桥位于渝中半岛的东水门处, 用来贯通连接弹子石片区和解放碑 CBD, 其东起于南岸区涂山路, 自东向西跨越长江, 西止于渝中区陕西路打铜街路口处, 全长约 1.78 km。根据航道要求和河床断面布置, 综合技术标准、桥头接线、建筑景观、经济合理等各种因素, 主桥设计采用了双塔单索面索辅梁桥, 跨径布置为 222.5 m + 445

$m(\text{主跨}) + 190.5m = 858m$ 。大桥采用公轨合建的双层桥梁形式,上层为 4 车道公路交通,下层为双向轨道交通,主梁采用钢桁梁,桥型布置见图 1。钢桁梁为连续体系,标准桁高 11.7435m,采用桁架和上下层正交异性桥面板组合体系。下层桥面系全桥均为 15m(桁梁下弦中心距离);上层桥面标准总宽为 24m,至渝中区全宽渐变加宽到 39m。钢桁梁分为

54 个节段单元,标准节段长为 16m,两片主桁间距 15m。钢桁梁在每座桥塔以 9 对斜拉索作弹性支承,斜拉索采用扇形布置,拉索在主梁上间距为 16m,在主塔上的间距为 3.8m。塔与梁的交接处在 P1、P2 桥塔上设置牛腿并在其上设置滑动及固定支座支撑桁梁,牛腿支撑处同时设置横向限位结构。

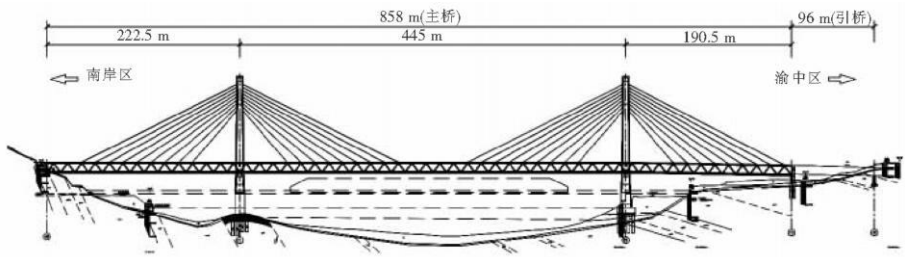


图 1 东水门长江大桥桥型总体布置
Fig 1 General layout of the Dongshuimen Yangtze River Bridge

2 桥梁有限元建模

为了研究辅助墩对索辅梁桥结构效应的影响,采用有限元程序 Midas Civil 对东水门长江大桥进行建模。在有限元建模中,东水门长江大桥对于主梁、主塔等采用三维梁单元模拟,正交异性桥面板采用板单元模拟,主梁为钢桁梁,采用等截面梁单元进行模拟,主塔采用变截面梁单元进行模拟,斜拉索采用只承受拉力的桁架单元进行模拟,为了比较准确反映桥塔的受力情况,各个构件截面特性按照结构实际尺寸进行取值。共计 2 671 个节点,6 038 个单

元,有限元计算模型如图 2 静力荷载包括自重、二期恒载和斜拉索的初始张拉力,未施加移动荷载。

桥梁计算采用的材料参数均根据公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范^[8],主梁弹性模量为 $2.06 \times 10^5 \text{ MPa}$ 泊松比 0.3,线膨胀系数 1.2×10^{-5} 容重 76.98 kN/m^3 ;主塔弹性模量为 $3.45 \times 10^4 \text{ MPa}$ 泊松比 0.2 线膨胀系数 1.0×10^{-5} 容重 25 kN/m^3 ;斜拉索采用 $\Phi_s 15.2$ 钢绞线,钢丝强度 $f_{pu} = 1860 \text{ MPa}$ 弹性模量为 $1.95 \times 10^5 \text{ MPa}$ 泊松比 0.3 线膨胀系数 1.2×10^{-5} 容重 78.5 kN/m^3 。

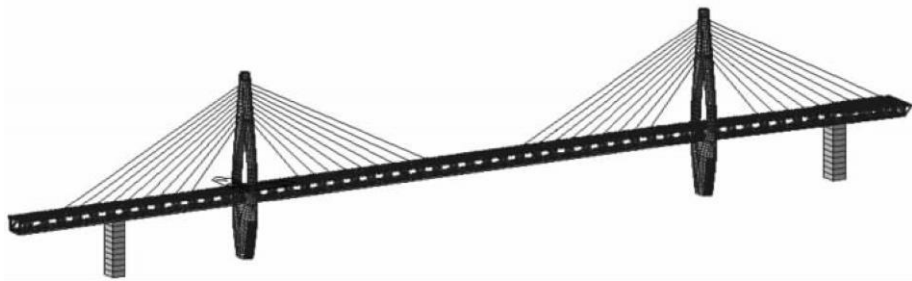


图 2 东水门长江大桥有限元计算模型
Fig 2 Finite element model of the Dongshuimen Yangtze River Bridge

3 辅助墩对索辅梁桥结构效应影响分析

通过研究在其它结构参数不变的情况下,不同位置的辅助墩对索辅梁桥的结构内力和变形的影响,确定出辅助墩对索辅梁桥结构影响的敏感性,以及随着辅助墩位置的变化,其结构内力的变化规律。由于主梁上位于主塔牛腿处下弦杆的负弯矩最大,而且随着辅助墩位置的变化,其结果变化较大,所以将主塔牛腿处下弦杆弯矩作为一个控制目标。同时,将主塔塔底弯矩、塔顶纵桥向位移、主梁跨中上弦杆和下弦杆的轴力以及主梁跨中挠度也选定为控

制目标。
通常情况下,有无辅助墩或者辅助墩的位置的改变,都会对斜拉桥结构内力产生很大影响。对已建好的东水门长江大桥的模型分别在边跨中距主塔 28%, 35%, 43%, 50%, 57%, 64%, 71%, 78% (每次位置变化控制在 7% 左右,图 3~ 图 8 中 100% 表示没有辅助墩)的位置处增加辅助墩,计算出控制目标随着辅助墩位置变化的取值,从而得出一系列的控制点,为了便于分析和比较,特将所得到的控制点用图形表示,并且对这些图行进行分析和比较,最后得出随着辅助墩位置的变化,索辅梁桥结构效应的

变化规律。

3 1 主塔塔底弯矩的变化规律

主塔塔底弯矩的变化规律如图 3

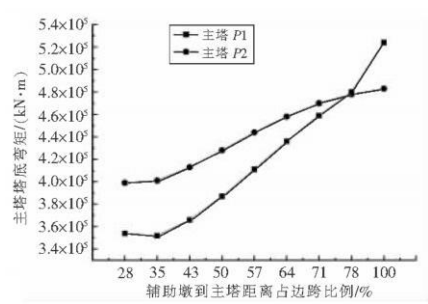


图 3 主塔塔底弯矩变化

Fig 3 Change of the main tower bottom bending moment

从图 3 可以看出, 在没有辅助墩的情况下, 主塔塔底弯矩相对比较大, 增加辅助墩之后, 主塔塔底弯矩明显降低, 但是随着辅助墩到主塔距离的增大, 主塔塔底弯矩呈非线性增长。由于该桥不是完全对称, 所以计算结果中主塔 P1 和主塔 P2 的塔底弯矩有一定的差别。在辅助墩离主塔距离占边跨 28% ~ 43% 区间, 塔底的弯矩变化不是很明显, 其数值不超过 1%, 在辅助墩离主塔距离占边跨 43% ~ 78% 区间, 随着辅助墩到主塔距离每增加 7%, P1 塔底弯矩增加 5% 左右, P2 塔底弯矩增加 3% 左右。总体来说, 主塔 P1、P2 均是在辅助墩到主塔距离为 43% ~ 71% 区间内变化比较均匀, 而且变化最为明显。

3 2 主塔塔顶纵向位移的变化规律

主塔塔顶纵向位移的变化规律如图 4

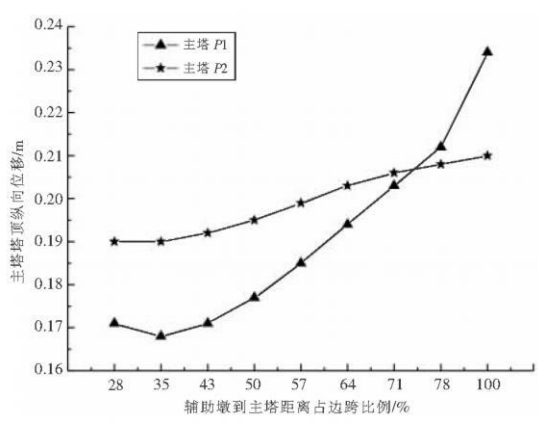


图 4 塔顶纵向位移变化

Fig 4 Change of the overhead longitudinal displacement

从图 4 可以看出, 增加辅助墩以后, 主塔 P1、P2 塔顶的纵向位移也有明显减小, 随着辅助墩到主塔距离的增大, 主塔塔顶纵向位移呈非线性增长, 在 43% ~ 78% 这个区间内变化比较明显, 随着辅助墩到主塔距离每增大 7%, 主塔 P1 塔顶位移减小 4% 左右, 主塔 P2 塔顶位移减小 2% 左右。由于塔底弯

矩主要是由主塔所受到的水平分力而造成, 其值等于水平分力与其力臂的乘积。在其它条件不变的情况下, 当水平分力减小, 主塔塔顶位移则固然减小, 此时塔底的弯矩也随之减小, 塔底弯矩与塔顶位移的变化幅度基本相同。

3 3 牛腿处下弦杆弯矩的变化规律

牛腿处下弦杆弯矩的变化规律如图 5

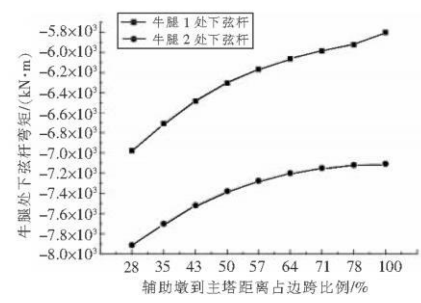


图 5 牛腿处下弦杆弯矩变化

Fig 5 Change of the bottom chord bending moment on the bracket

由图 5 可知, 增加辅助墩以后, 牛腿处下弦杆的负弯矩有所增大。随着辅助墩到主塔的距离的增大, 牛腿处下弦杆弯矩增大的趋势逐渐减小, 说明辅助墩离主塔越近, 其位置的变化对于减小牛腿处下弦杆弯矩的效果越好。辅助墩到主塔距离超过边跨的 60% 以后, 牛腿处下弦杆弯矩的变化很小。

3 4 跨中上弦杆和下弦杆轴力的变化规律

通过对计算结果整理, 得出跨中上弦杆和下弦杆轴力的变化规律如图 6 图 7

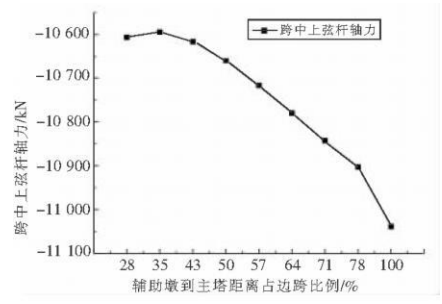


图 6 跨中上弦杆轴力变化

Fig 6 Change of chord axial stress on the central span

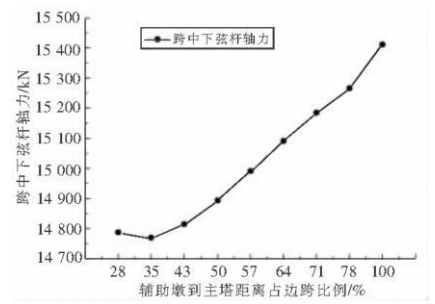


图 7 跨中下弦杆轴力变化

Fig 7 Change of chord axial stress on the central span bottom

图 6 图 7 表明, 增加辅助墩以后, 跨中上弦杆和下弦杆的轴力整体呈下降趋势, 而且随着辅助墩

的位置离主塔越近,其轴力越小,在辅助墩位置变化相差 7% 的范围内,轴力变化不超过 1%。所以,随着辅助墩位置每变化 7%,对主梁的轴力影响较小,但是总体而言,增加辅助墩后,会使主梁跨中轴力减小。

3 5 主梁跨中挠度的变化规律

主梁跨中挠度的变化规律如图 8

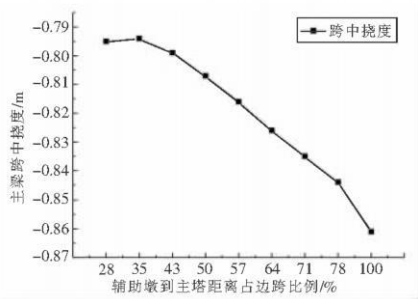


图 8 主梁跨中挠度变化

Fig 8 Change of the main girder central span deflection

从图 8 可以发现,在增加辅助墩以后,主梁跨中挠度较无辅助墩的时候有所减小,随着辅助墩到主塔距离的增大,主梁挠度逐渐增大,但是在辅助墩到主塔距离占边跨 43% ~ 78% 范围内,主梁挠度的增长基本呈线性。辅助墩到主塔的距离每增大 7%,跨中挠度增加 1 cm 左右,即增加 1% 左右。辅助墩到主塔距离占边跨 28% ~ 43% 的位置对跨中挠度影响较小。

4 结 论

结合重庆东水门长江大桥,通过对其进行建模、分析,比较辅助墩位置的不同,对索辅梁桥结构效应的影响。经过计算得出结论如下:

1)增加辅助墩后,索辅梁桥的主塔塔底弯矩和

纵桥向位移明显减小。但随着辅助墩位置到主塔距离的增大,主塔塔底弯矩与塔顶纵向位移呈非线性增大。

2)增加辅助墩后,主塔牛腿处下弦杆的弯矩增大。随着辅助墩到主塔距离的增大,牛腿处下弦杆弯矩增大的趋势逐渐减小。

3)增加辅助墩后,主梁跨中轴力减小。随着辅助墩到主塔距离的增大,主梁跨中轴力逐渐增大。

4)增加辅助墩后,跨中挠度减小。从辅助墩到主塔距离占边跨 43% 逐渐增大,主梁跨中挠度基本呈线性增加。

5)辅助墩位置的变化对成桥状态跨中索力的影响较小,每次辅助墩到主塔的距离增加 7%,跨中索力变化都在 3‰ 左右,在此计算结果不一列出。

参考文献:

[1] 林元培. 斜拉桥 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
[2] 顾安邦. 桥梁工程: 下册 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
[3] Tang Manchung Rethinking bridge design a new configuration [J]. Civil Engineering Magazine 2007, 77(7): 38-45.
[4] 王新忠. 独塔单索面斜拉桥动力特性分析 [J]. 重庆交通大学学报, 2007, 26(3): 10-12.
[5] 何新平. 矮塔斜拉桥的设计 [J]. 公路交通科技, 2004, 4(4): 66-68, 72.
[6] 严国敏. 再论部分斜拉桥, 兼论多塔斜拉桥 [C] / 中国土木工程学会. 第十三届全国桥梁学术会议论文集. 上海: 同济大学出版社, 1998: 178-182.
[7] 王伯惠. 斜拉桥结构发展和中国经验 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
[8] JTG D 62—2004 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.