

独塔混合梁斜拉桥成桥状态的影响参数分析

Analysis of Impacting Parameters about Finished Dead State of Hybrid Girder Cable-stayed Bridge with Single Tower

李传习, 朱潇潇, 陈富强

LI Chuan-xi, ZHU Xiao-xiao, CHEN Fu-qiang

(长沙理工大学桥梁与结构工程学院, 湖南长沙 410076)

(School of Bridge & Structure Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha, Hunan, 410076, China)

摘要:以广州东沙大桥独塔边跨带辅助墩的混合梁双索面斜拉桥为例,采用对比分析的方法,定量分析结构自重、临时荷载、结构刚度、混凝土收缩徐变这些因素对混合梁斜拉桥成桥状态的影响。得知主梁结构自重、施工临时荷载、混凝土收缩徐变对桥的索力、主梁挠度、主梁应力影响较大,其中临时荷载的影响尤为明显,而结构刚度的影响较小。在建桥施工过程中应对这些参数进行严格管理和控制,要准确模拟,修正在施工过程中各种影响成桥目标的参数偏差对成桥目标的影响,确保成桥后结构受力和线型满足设计要求。

关键词:斜拉桥 混合梁 成桥状态 结构自重 临时荷载 结构刚度 收缩徐变

中图分类号: U448.27 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2008)03-0288-06

Abstract This paper take Dongsha Bridge of side span with subsidiary piers which is hybrid girder cable stayed bridge with single tower and double cable planes project in Guangzhou as the background. The influences of dead weight of structure, temporary load, structural stiffness, creep and shrinkage in concrete effect on finished dead state of hybrid girder cable-stayed bridge were analysed. We can see that the dead weight of main beam, temporary load, creep and shrinkage in concrete have greater effect in the cable force, main beam deflection, the main beam stress, the impact of temporary load is particularly evident. But the structural rigidity has less effect. Construction of the bridge in the course of these parameters should carry out stringent management and control. In order to meet the design requirements, it is a necessity to simulate and to correct the parameter error in the construction process.

Key words cable-stayed bridge, hybrid girder, finished dead state, dead-weight of structure, temporary load, structural stiffness, creep and shrinkage

斜拉桥施工过程复杂,影响参数多,在设计阶段,这些参数一般按规范建议取值。施工实际参数值与规范建议值(称为理论值)总是存在差异^[1]。如果施工过程中不对理论值进行修正,结构的受力将会偏离理论轨迹,最后达不到理想成桥状态。参数值的合理估计与修正,不仅关系到施工安全,而且将影响到成桥的结构内力状态及成桥线型。为了弄清参数偏差对结构

成桥状态的影响,有必要进行参数的敏感性分析。

在斜拉桥的施工过程中,影响结构受力的参数较多^[2,3],其中影响较大的有:结构自重、施工荷载(包括各施工状态临时荷载的施加、移动或去掉情况)、结构刚度(包括梁、塔、索三大部分以及挂篮结构,涉及到各个单元的EA和EI)、斜拉索张力、混凝土收缩和徐变(计算模式中的基本参数)、温度(各施工状态下结构中温度场的分布情况)、预应力的有效值。本文以广州东沙特大桥为例,对上述部分参数进行敏感性分析。

收稿日期: 2007-10-23

修回日期: 2008-01-07

作者简介: 李传习(1963-),男,教授,主要从事桥梁结构理论与桥梁工程的新技术和新工艺研究工作。

1 工程概况

广州东沙特大桥是独塔边跨带辅助墩的混合梁空间双索面斜拉桥,主桥为 338m+72m+56m+52m,桥型如图 1 所示(图中还示出主梁施工支架)。

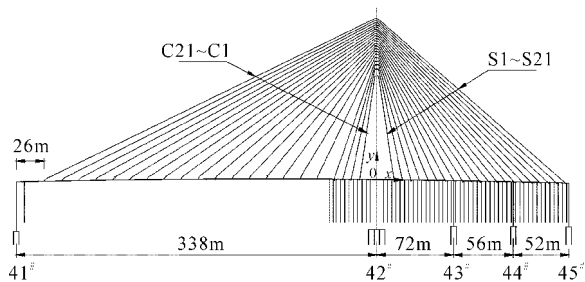


图 1 东沙大桥结构计算简图

Fig. 1 Structural calculating diagram of Dongsha bridge

东沙特大桥的主梁采用钢箱梁与混凝土箱梁的混合梁,设 2 个辅助墩的边跨为混凝土主梁,主跨主梁主要为钢箱梁,部分为混凝土箱梁,混合梁结合段设主跨距主塔中心 41m 处。主塔采用钢筋混凝土花瓶型桥塔,塔全高 182m。斜拉桥在 42 号主塔处塔墩梁固结。主桥为单箱三室结构,箱全宽 38m,顶面宽 36m,梁高 3.3m。斜拉索在预应力混凝土梁上采用锯齿块锚固,索距 8m。在钢箱梁上的索距是 16m,锚固采用锚拉板结构形式。全桥共有斜拉索 84 根。结合段的钢箱梁套在预应力混凝土箱梁之外,并且全断面与之结合使其成为一体。箱梁的上下翼板通过抗剪焊钉与混凝土梁体牢固结合,并利用混凝土箱梁的纵向预应力束加以锚固,形成弯矩的传递。

本桥主塔采用爬模施工,预应力混凝土主梁在膺架上现浇施工,箱体混凝土采用纵向分段一次浇筑。钢箱梁部分为悬臂拼装。主要施工步骤见如下: (1)浇筑 41~45 号墩; (2)爬模逐节浇筑主塔; (3)立模浇筑预应力混凝土箱梁,在支架上拼装结合段钢箱梁; (4)拆除 C1 S1 对应的支架,对称张拉 C1 S1 号索;拆除 C2 S2 对应的支架,对称张拉 C2 S2 号索直至张拉完 C4 S4 号索; (5)主跨边墩附近钢箱梁在支架上拼装; (6)逐节悬拼钢箱梁,对称张拉相应节段斜拉索,并依次拆除对应混凝土梁段支架,直至 C21 S21 号斜拉索对称张拉完; (7)钢箱梁合拢段施工,拆除桥面吊机; (8)依次对 C1, S1, C2, S2, C18, S18, C19, S19, C20, S20 进行二次张拉(调索); (9)上二期恒载。

2 参数偏差分析

建立东沙特大桥的平面杆系计算模型,应用平面

结构分析程序 FBR_CAL_SUO_GB^[4]对成桥状态进行静力分析。全桥有限元模型共划分 517 个节点,499 个单元,主梁离散为 196 个单元。结构离散见图 1。索与梁、塔的连接采用刚臂单元模拟,支座用单向受压单元模拟。

2.1 结构自重偏差分析

结构自重偏差主要来源于混凝土的容重偏差和梁段成型尺寸偏差,这些偏差带有随机性,呈偏态分布,有系统偏差的成分^[2]。对于较高标号的混凝土,由于孔隙少,其容重实测值较大。由于现阶段设计的钢筋混凝土结构的配筋普遍比过去多,也使得容重较桥规值偏大。根据多座桥的经验,梁段自重普遍超过设计值 5% 左右^[2,5]。

东沙特大桥的混凝土基准容重假设为 26.5 kN/m³,假定在此基础上混凝土部分梁重均超重 5%,即主梁混凝土容重增加 5%,施工阶段斜拉索初张力与调索力保持不变,其他参数仍取理论值,计算得到基准状态与超重状态成桥下主梁累计挠度差、主梁控制截面应力差和索力差如图 2~4 所示。

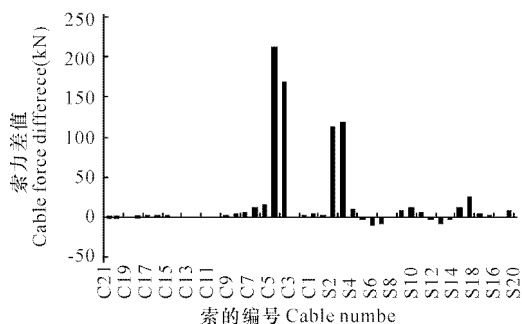


图 2 混凝土梁段超重 5% 与不超重时成桥状态下的索力差

差

Fig. 2 The difference of cable force between over-weighting concrete girder with 5% and not under finished dead state

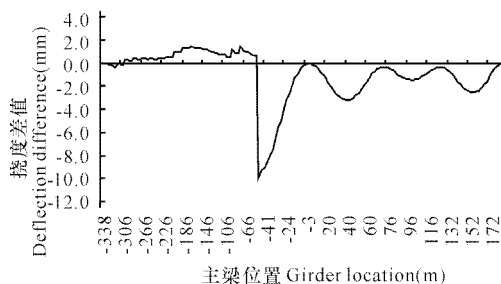


图 3 混凝土梁段超重 5% 与不超重时成桥状态下的主梁累积挠度差

Fig. 3 The difference of main beam cumulative deflection between overweighing concrete girder with 5% and not under finished dead state

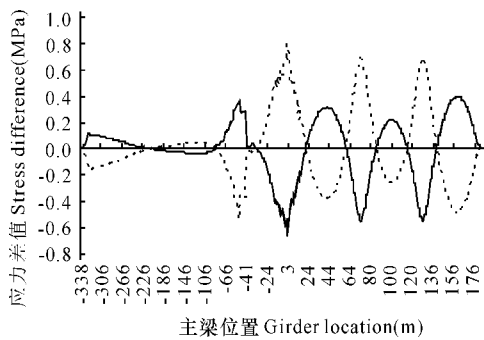


图4 混凝土梁段超重 5% 与不超重时成桥状态下的主梁应力差

Fig. 4 The difference of main beam stress between overweighting concrete girder with 5% and not under finished dead state

— : 上缘应力差; ····· : 下缘应力差

—— : Top flange stress difference, ····· : Seat flange stress difference.

从图 2~ 4 分别可见 (以主塔处为横坐标 0 点), 在斜拉索初张力与调索力保持不变的情况下, 混凝土部分梁段超重会导致成桥状态下主梁混凝土部分标高稍微偏低, 斜拉索 C1, C2, S1, S2 由于二次调索的索力保持不变, 索力偏差几乎为零, C3, C4, S3, S4 住要由于受支架拆卸的影响, 索力偏差较大 (最大偏差为 2.6%), 其余斜拉索的索力也几乎不变。混凝土主梁产生应力 (压应力为正, 拉应力为负) 偏差 (最大偏差为 0.8 MPa), 其影响不可忽视 (由于计算采用的是平面杆系结构, 故未考虑剪力滞效应)

2.2 临时荷载影响分析

假设施工阶段斜拉索初张力与调索力保持不变, 其他参数仍取理论值, 不考虑吊机自重 (临时荷载的一种) 施加和移除影响, 计算所得成桥状态下的结果与考虑吊机重量影响所得结果之差如图 5 所示

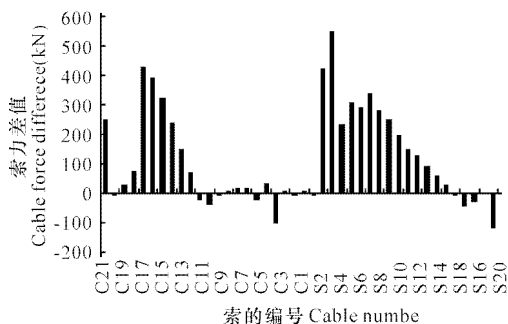


图5 考虑吊机重量与不考虑时成桥状态下的索力差

Fig. 5 The difference of cable force between considering derrick crane's weight and not under finished dead state

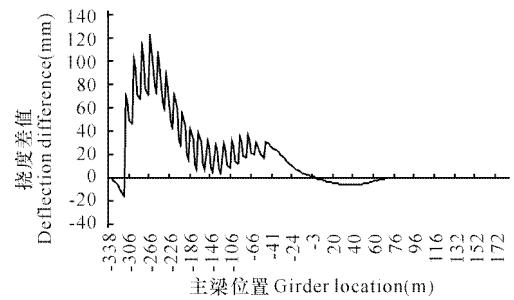


图6 考虑吊机重量与不考虑时成桥状态下的主梁累积挠度差

Fig. 6 The difference of main beam cumulative deflection between considering derrick crane's weight and not under finished dead state

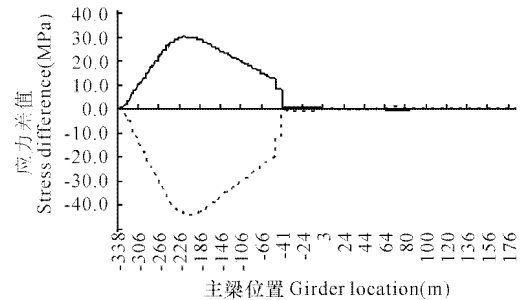


图7 考虑吊机重量与不考虑时成桥状态下的主梁应力差

Fig. 7 The difference of main beam stress between considering derrick crane's weight and not under finished dead state

— : 上缘应力差; ····· : 下缘应力差

—— : Top flange stress difference, ····· : Seat flange stress difference.

由图 5~ 7 可见, 在斜拉索初张力与调索力保持不变的情况下, 临时荷载的偏差对成桥状态下的索力、主梁挠度以及应力都有大幅度的影响。与考虑吊机重量相比, 不考虑时计算所得的成桥索力明显偏大, 这是由于初张力保持不变, 临时荷载是在每对斜拉索张拉完毕后, 由前一阶段位置处移除, 再施加于现阶段位置, 致使考虑吊机重量时的索力会较不考虑时的小, 钢箱梁部分标高明显偏高。这说明, 确定斜拉索的张拉力必须考虑吊机重量等临时荷载的影响。

2.3 梁塔和索的刚度偏差影响分析

在结构构件长度不变的情况下, 结构刚度主要取决于构件材料的弹性模量 (E)、几何特性面积 (A) 和惯性矩 (I) 以及支承条件的弹性状态, 对于斜拉桥来说, 在支承条件模拟准确的前提下, 结构的刚度主要取决于梁、塔和索各部分的 E 、 A 和 I

2.3.1 主梁刚度偏差影响

主梁的混凝土弹性模量 E 的实际值往往比规范建议值^[6]要高, 这一方面与实际混凝土强度往往偏高

有关,另一方面规范建议值也往往偏低,在许多桥上
都发现这一现象。通常可高达 10% 左右。由于东沙特
大桥为混合梁斜拉桥,钢箱梁部分的制作精度较高,
 A 误差很小, E 也较稳定,故假设所有的混凝土主梁
的弹模 E 均增大 10%。施工阶段斜拉索初张力与调索
力保持不变,其他参数仍取理论值,计算所得成桥状态
的结果与混凝土 E 增大前所得的结果之差如图 8
~ 10 所示。由图 8~ 10 可见,索力偏差最大为 0.2%, 钢
主梁部分产生一定挠度偏差,最大偏差约 7mm,应力
偏差最大为 0.7MPa(结合段附近)。可见,在斜拉索初
张力与调索力保持不变的情况下,主梁刚度偏差的影
响较小。

2.3.2 塔的刚度偏差影响

假设所有主塔弹模量 E 均增大 10%, 施工阶段
斜拉索初张力与调索力保持不变,其他参数仍取理论
值,计算所得成桥状态的结果与主塔 E 增大前所得
的结果之差如图 11~ 13 所示。由图 11~ 13 可见,索力
偏差最大为 0.8%, 钢主梁部分产生一定挠度偏差(最
大偏差仅 3.8mm),主梁产生少许应力偏差(最大偏
差约 0.2MPa)。可见,在斜拉索初张力与调索力保
持不变的情况下,塔的刚度偏差的影响比较小。

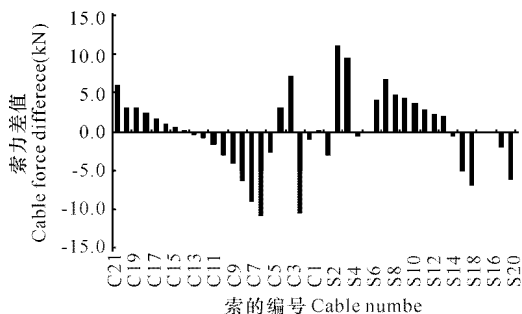


图 8 混凝土主梁 E 增大 10% 与不增大时成桥状态下的
索力差

Fig. 8 The difference of cable force between elastic
modulus in concrete girder increase 10% and not under
finished dead state

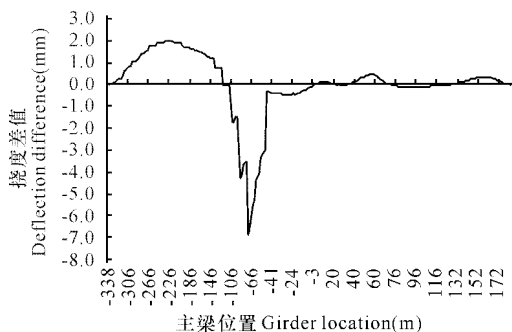


图 9 混凝土主梁 E 增大 10% 与不增大时成桥状态下的
主梁累积挠度差

Fig. 9 The difference of main beam cumulative deflection
between elastic modulus in concrete girder increase 10% and
not under finished dead state

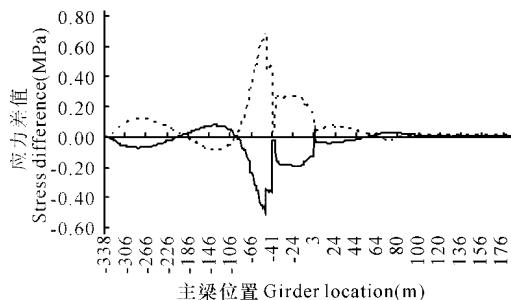


图 10 混凝土主梁 E 增大 10% 与不增大时成桥状态下的
主梁应力差

Fig. 10 The difference of main beam stress between
elastic modulus in concrete girder increase 10% and not under
finished dead state

— : 上缘应力差, ····· : 下缘应力差
—— : Top flange stress difference, ····· : Seat flange stress
difference.

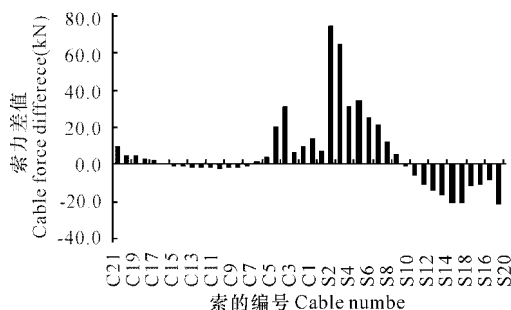


图 11 主塔 E 增大 10% 与不增大时成桥状态下的索力差

Fig. 11 The difference of cable force between elastic
modulus in tower increase 10% and not under finished dead
state

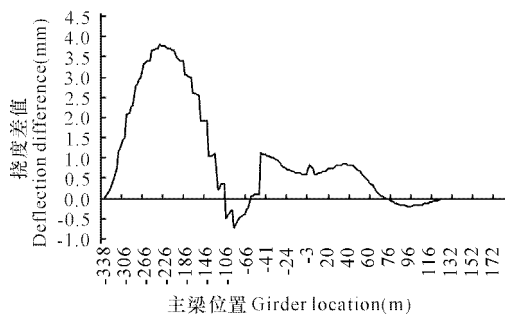


图 12 主塔 E 增大 10% 与不增大时成桥状态下的主梁累
积挠度差

Fig. 12 The difference of main beam cumulative
deflection between elastic modulus in tower increase 10% and
not under finished dead state

2.3.3 斜拉索的刚度偏差影响

斜拉索的刚度偏差主要来源于钢丝的弹模量 E
和面积 A 。由于钢丝的制作精度较高, A 误差很小, 高
强钢丝的弹性模量 E 也较稳定, 因此, 这项偏差通常
都不大。只是斜拉索的垂度会引起索的轴向刚度下
降, 一般的计算均通过换算弹性模量予以修正^[4]。在

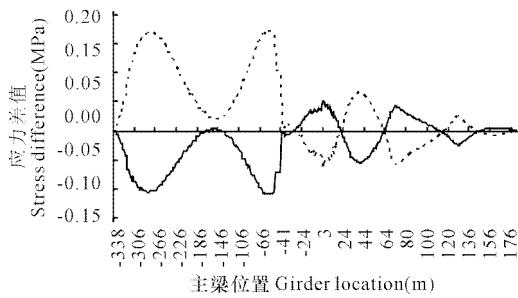


图 13 主塔 E 增大 10% 与不增大时成桥状态下的主梁应力差

Fig. 13 The difference of main beam stress between elastic modulus in tower increase 10% and not under finished dead state

— : 上缘应力差; ····· : 下缘应力差
 — : Top flange stress difference, ····· : Seat flange stress difference.

现行跨度规模的斜拉桥中已有足够精度。假设斜拉索的 E 增大 3%, 施工阶段斜拉索初张力与调索力保持不变, 其他参数仍取理论值, 计算所得成桥状态的结果与斜拉索 E 增大前所得的结果之差如图 14~ 16 所示。从图 14~ 16 可见, 在斜拉索初张力与调索力保持不变的情况下, 斜拉索的刚度偏差对斜拉索的索力有较大影响, 最大偏差为 2.3%, 对主跨钢箱梁部分的挠度和内力影响十分明显 (最大偏差 80mm 和约 4.7 MPa), 对带辅助墩的混凝土部分几乎没有影响。

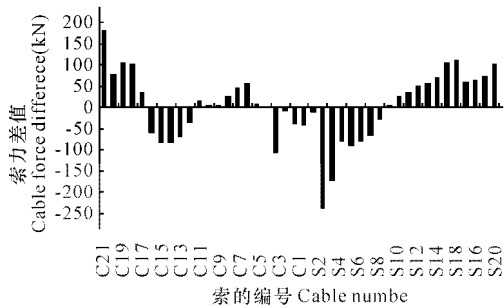


图 14 斜拉索 E 增大 3% 与不增大时成桥状态下的索力差

Fig. 14 The difference of cable force between elastic modulus in cable increase 3% and not under finished dead state

2.4 混凝土收缩徐变的影响分析

混凝土的收缩徐变特性受很多因素影响^[7], 离散性较大, 实际情况很难模拟准确, 通常按现行桥梁规范要求来计算, 其大小与截面形状和环境条件有关^[5]。假施工阶段斜拉索初张力与调索力保持不变, 其他参数仍取理论值, 计算所得考虑收缩徐变与不考虑收缩徐变时成桥状态的结果之差如图 17~ 19 所示。由图 17~ 19 可见, 在斜拉索初张力与调索力保持不变的情况下, 不考虑混凝土收缩徐变使混凝土主梁部分的索力明显增大, 主梁产生些许应力偏差, 靠

近主塔处较明显 (最大偏差约 1.5 MPa), 对主梁钢箱梁部分的标高影响也较大 (最大偏差约 30mm), 不容忽视。

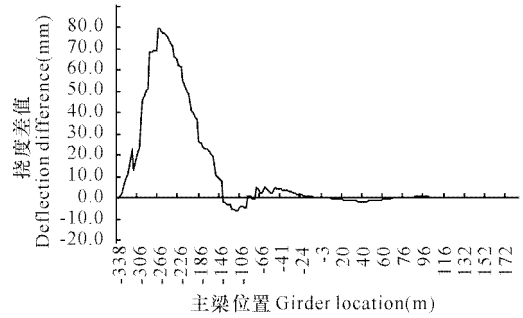


图 15 斜拉索 E 增大 3% 与不增大时成桥状态下的主梁累积挠度差

Fig. 15 The difference of main beam cumulative deflection between elastic modulus in tower increase 3% and not under finished dead state

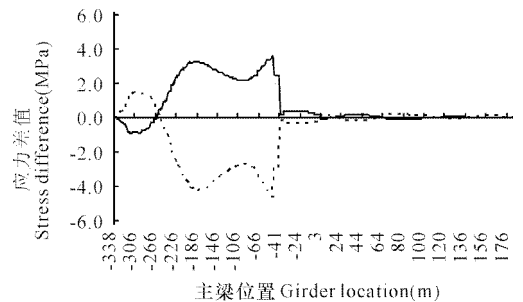


图 16 斜拉索 E 增大 3% 与不增大时成桥状态下的主梁应力差

Fig. 16 The difference of main beam stress between considering elastic modulus in tower increase 3% and not under finished dead state

— : 上缘应力差; ····· : 下缘应力差
 — : Top flange stress difference, ····· : Seat flange stress difference.

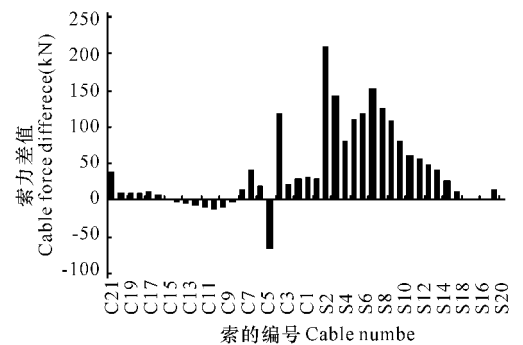


图 17 考虑混凝土收缩徐变与不考虑时成桥状态下的索力差

Fig. 17 The difference of cable force between considering creep and shrinkage in concrete and not under finished dead state

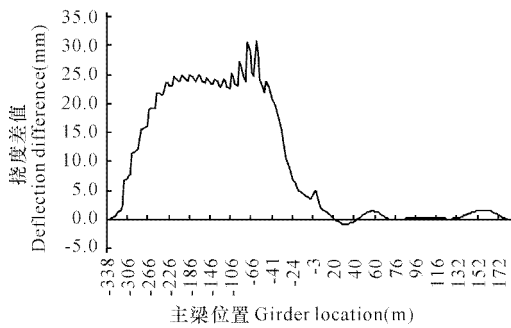


图 18 考虑混凝土收缩徐变与不考虑时成桥状态下的主梁累积挠度差

Fig. 18 The difference of main beam cumulative deflection between considering creep and shrinkage in concrete and not under finished dead state

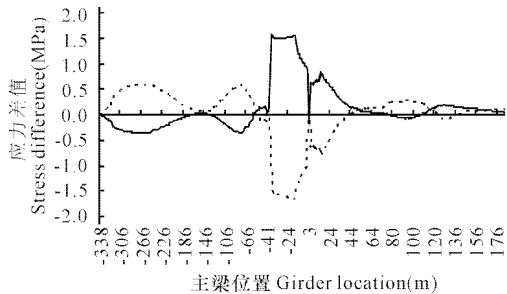


图 19 考虑混凝土收缩徐变与不考虑时成桥状态下的主梁应力差

Fig. 19 The difference of main beam stress between considering creep and shrinkage in concrete and not under finished dead state

— : 上缘应力差;·····: 下缘应力差

— — : Top flange stress difference,·····: Seat flange stress difference.

3 结论

通过对广州东沙特大桥的参数偏差进行敏感性

分析,得知主梁自重、施工临时荷载、混凝土收缩徐变等参数对索力、主梁挠度、主梁应力影响较大,其中临时荷载的影响尤为明显,而结构刚度偏差影响较小。这些规律在一般的斜拉桥中均存在^[2,5]。对于独塔边跨带辅助墩的混合梁斜拉桥来说,斜拉索的刚度偏差对钢主梁的挠度及内力影响十分明显。在施工过程中应对这些参数进行严格管理和控制,要准确模拟,修正在施工过程中各种影响成桥目标的参数偏差对成桥目标的影响,确保成桥后结构受力和线型满足设计要求。

参考文献:

- [1] 刘士林,梁智涛,侯金龙,等.斜拉桥[M].北京:人民交通出版社,2002.
- [2] 颜东煌.斜拉桥合理设计状态确定与施工控制[D].长沙:湖南大学博士学位论文,2001.
- [3] 许俊,郑信光,陈云峰.影响 P. C.斜拉桥施工控制目标的因素[J].长沙:结构工程师,2000(1): 9-12.
- [5] 何颖文.长沙洪山大桥施工控制与参数分析[D].长沙理工大学硕士学位论文,2005.
- [6] 中华人民共和国交通部.公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范(JTG D62-2004)[S].北京:人民交通出版社,2004.
- [4] 李传习,夏桂云.大跨度桥梁结构计算理论[M].北京:人民交通出版社,2002.
- [7] 项海帆.高等桥梁结构理论[M].北京:人民交通出版社,2001.

(责任编辑:邓大玉)

披露指纹化学组成的技术

科学家应用一种叫做解吸附电喷电离(或称 DESI)的技术,将一种溶剂喷到指纹的表面然后对从指纹上散落的小滴液体进行分析,探测留下指纹者指尖上的痕量化合物,以细微程度很高的方式显示组成该指纹的化合物,向人们提供指纹的一种具有比其他技术的分辨率都要高的“化学肖像”。该图像还可以应用标准化的指纹图像软件来尝试辨识有关的人。在法医学前沿,这项技术可以采收到小量的如可卡因或大麻的四氢大麻酚等毒品以及来自爆炸物的化合物。生物医学研究人员还可能发现,这种技术可用于识别指尖分泌物中的代谢物或其他化合物,这些化合物的存在可能显示身体内发生的其他过程。这种方法可以直接用于指纹,而且就在指纹发现的现场。人们无需将指纹取下并送往某实验室进行分析。这种方法还可帮助辨别相互重叠的指纹。

(据科学时报)