

考虑徐变影响的双面组合连续箱梁应力分析

李献泼, 段树金

(石家庄铁道大学 土木工程学院 河北 石家庄 050043)

摘要: 研究钢-混凝土双面组合连续箱梁的徐变问题。根据混凝土徐变后的双面组合连续箱梁的截面应力自相平衡, 内力仍为零这一条件, 通过平衡方程得到负弯矩区截面的曲率, 进而得到截面的应力计算公式; 通过算例分析双面组合连续箱梁的应力重分布情况。

关键词: 双面组合连续箱梁; 徐变; 应力; 模型

中图分类号: TU398+.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-0373(2012)04-0027-04

0 引言

钢-混凝土双面组合连续箱梁同时吸收了箱梁结构和双面组合梁结构的优点。该结构形式主要由三部分构成: 混凝土板、钢梁和剪力连接件, 并且主要用于连续梁中^[1]。整个连续梁在受力的过程当中存在正弯矩区和负弯矩区。正弯矩区中, 结构的上部大部分受压, 下部大部分受拉, 考虑到这个特点, 特将截面形式布置成如图1所示。这种截面形式让混凝土充分发挥耐压的特点, 承受弯曲压应力, 增强梁的侧向稳定性, 而让钢梁主要承受弯曲拉应力。在连续梁结构的负弯矩区中, 结构的上部大部分受拉, 而下部大部分受压, 考虑到这个特点, 将截面形式布置成如图2所示。

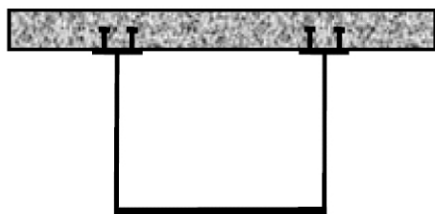


图1 连续箱梁正弯矩区截面形式

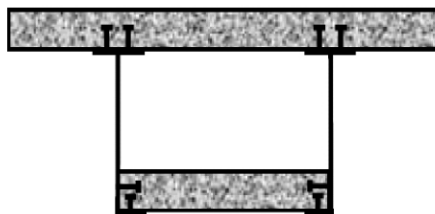


图2 连续箱梁负弯矩区截面形式

根据组合梁由中不同区域的受力特点设置不同的材料, 可最大程度地充分发挥混凝土和钢两种材料各自的优越性能^[2]。这样不仅可以很好的满足结构的功能要求, 而且还有很好的经济效益。但在结构的长期使用过程中, 由于混凝土的徐变将会引起结构的应力重分布, 因此在设计分析时必须考虑混凝土徐变的影响。

1 考虑徐变影响的双面组合连续箱梁应力分析

对于钢-混双面组合连续箱梁, 在支座附近处的负弯矩区, 上面的桥面板和钢梁受拉, 下面的底板受压。以负弯矩区的截面为研究对象, 进行分析时采用如下假定: (1) 在长期荷载下, 混凝土和钢梁都处于弹性工作状态; (2) 混凝土的徐变与初始应变成比例; (3) 不考虑普通钢筋; (4) 不考虑滑移效应; (5) 不考虑混凝土的受拉作用。建立图3所示的简化分析模型。

在长期荷载作用期间, 组合梁截面弯矩保持不变, 因此有

$$\Delta M_c + \Delta M_s = \Delta N d \quad (1)$$

式中, ΔM_c 为由徐变引起混凝土截面的附件弯矩; ΔM_s 为由徐变引起的钢梁截面的附件弯矩; ΔN 为附加

收稿日期: 2012-08-06

作者简介: 李献泼 男 1986 年出生 硕士研究生

轴力; d 为混凝土截面形心到钢梁截面形心之间的距离。

由混凝土徐变效应引起的截面附加曲率 $\Delta\varphi$ 为

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta M_c}{E_c I_c} (1 + \chi\varphi) = \frac{\Delta M_s}{E_s I_s} \quad (2)$$

式中, E_c 为混凝土初始弹性模量; E_s 为钢梁的弹性模量; I_c 为混凝土截面的惯性矩; I_s 为钢梁截面的惯性矩; φ 为徐变系数; χ 为龄期调整系数。

组合梁底部混凝土截面下表面附加压应变 $\Delta\varepsilon_c$ 和钢梁上缘附加拉应变 $\Delta\varepsilon_s$ 分别为

$$\Delta\varepsilon_c = \varphi\varepsilon_{c0} + \Delta\varphi \frac{h_{c2}}{2} - \frac{\Delta N}{E_{cl}A_{c2}} \quad (3)$$

$$\Delta\varepsilon_s = \frac{\Delta M_s}{E_s I_s} (h_s - y_s) - \frac{\Delta N}{E_s A_s} \quad (4)$$

$$E_{cl} = E_c / (1 + \chi\varphi) \quad (5)$$

式中, ε_{c0} 为混凝土截面的初始应变; E_{cl} 为混凝土的长期变形模量^[3]; y_s 为钢梁的截面重心到钢梁下缘的距离。

从组合梁截面几何关系得到附加曲率的表达式

$$\Delta\varphi = (\Delta\varepsilon_c + \Delta\varepsilon_s) / (h - h_{c1}) \quad (6)$$

式中, h 为组合箱梁的截面高度。

从式(2)可以得到

$$\Delta M_c = E_c I_{c2} \Delta\varphi / (1 + \chi\varphi) \quad (7)$$

$$\Delta M_s = E_s I_s \Delta\varphi \quad (8)$$

将式(7)、(8)代入式(1)可以得到 ΔN 的表达式

$$\Delta N = E_c I_c \Delta\varphi / (1 + \chi\varphi) d + E_s I_s \Delta\varphi / d \quad (9)$$

将式(3)、(4)、(7)、(8)、(9)代入式(6)整理得

$$\Delta\varphi = d\varphi\varepsilon_{c0} / (d^2 + I_c/A_s n_1 + I_s/A_s + I_c/A_c + I_s n_1/A_c) \quad (10)$$

令 $n_1 = n(1 + \chi\varphi)$ $n = E_s/E_c$, 由文献[4], 且令 $I_{01} = I_s + I_c/n_1$ $A_{01} = A_c A_s / (A_c + n_1 A_s)$ $A_{11} = A_{01} / (I_{01} + A_{01} d^2)$ 则式(10)可以简化为

$$\Delta\varphi = A_{11} d\varphi\varepsilon_{c0} \quad (11)$$

组合箱梁的初始曲率为

$$\varphi_s = M / (EI) \quad (12)$$

式中, EI 为组合箱梁的弹性换算截面刚度。因此组合箱梁的长期曲率为

$$\varphi = \varphi_s + \Delta\varphi = \frac{M}{EI} + A_{11} d\varphi\varepsilon_{c0} \quad (13)$$

混凝土的初始应变为

$$\varepsilon_{c0} = \frac{M}{EI} y_0 \quad (14)$$

式中, y_0 为箱梁顶板混凝土上表面到中和轴的距离, 经推导可得

$$y_0 = \frac{h_c}{2} + \frac{nA_0 d}{A_c} \quad (15)$$

$$A_0 = \frac{nA_s A_{c2}}{nA_s + A_{c2}} \quad (16)$$

所以式(13)可写为

$$\varphi = \frac{M}{EI} + A_{11} d \left[\varphi \frac{M}{EI} \left(\frac{h_c}{2} + \frac{nA_0 d}{A_c} \right) \right] \quad (17)$$

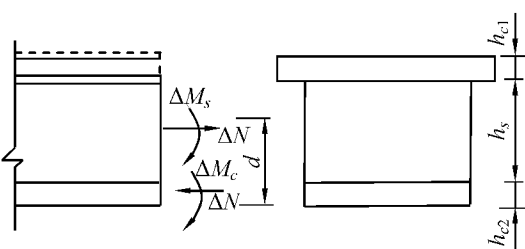


图 3 双面组合箱梁负弯矩区截面分析模型

根据不同的徐变系数的模型,可以选择不同的徐变系数 φ 表达式,代入(17)式,就可以得到组合箱梁在考虑徐变效应的长期曲率。从而得到:

箱梁顶板上表面应力为

$$\sigma_1 = E_c \varphi y_0 = \frac{E_c}{1 + \chi \varphi} \left\{ \frac{M}{EI} + A_{11} d \left[\varphi \frac{M}{EI} \left(\frac{h_c}{2} + \frac{n A_0 d}{A_c} \right) \right] \right\} y_0 \quad (18)$$

钢梁上缘应力

$$\sigma_2 = E_s \varphi (y_0 - h_c) = E_s \left\{ \frac{M}{EI} + A_{11} d \left[\varphi \frac{M}{EI} \left(\frac{h_c}{2} + \frac{n A_0 d}{A_c} \right) \right] \right\} (y_0 - h_c) \quad (19)$$

箱梁底板下表面应力

$$\sigma_3 = E_s \varphi (h - y_0) = E_s \left\{ \frac{M}{EI} + A_{11} d \left[\varphi \frac{M}{EI} \left(\frac{h_c}{2} + \frac{n A_0 d}{A_c} \right) \right] \right\} (h - y_0) \quad (20)$$

2 算例分析

建立三跨双面组合连续箱梁,总长 150 m,跨径布置为(45+60+45) m,箱梁顶板为混凝土,宽 6 000 mm,厚 300 mm;腹板为工字形钢梁,高为 1 750 mm,翼板宽 300 mm,厚度为 25 mm,两腹板形心间距为 3 m;底板在正弯矩区为钢板,厚度为 25 mm,在负弯矩区为混凝土板,板厚为 250 mm;上下混凝土板都是采用的 C50 混凝土材料,主梁是采用的 Q345 的钢材;徐变函数是采用 JTG D62—2004 规范。通过模型仿真计算,得到钢-混双面组合连续箱梁沿梁纵向坐标方向的应力变化。

在荷载的长期作用下,钢-混双面组合梁中的混凝土徐变,会引起截面应力的重分布。从图 4 至图 6 可以看出,由于混凝土的徐变作用,双面组合梁桥面板发生了一定作用的卸载作用,应力减小,而钢梁由于承受了桥面板转移的一部分应力,所以应力增大。桥面板上表面应力压应力减小的最大截面在第二跨的跨中截面,应力从成桥初期的 5.51 MPa 变化为成桥 10 a 后的 4.53 MPa,减小了 17.8%;钢梁上缘压应力变化最大的也发生在第二跨的跨中截面,成桥初期为 54.85 MPa,成桥 10 a 后为

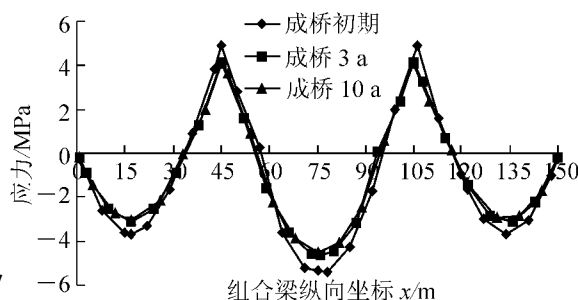


图4 箱梁顶板上表面徐变应力

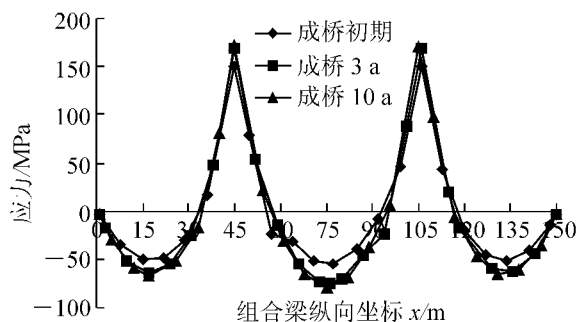


图5 徐变引起钢梁上缘应力变化

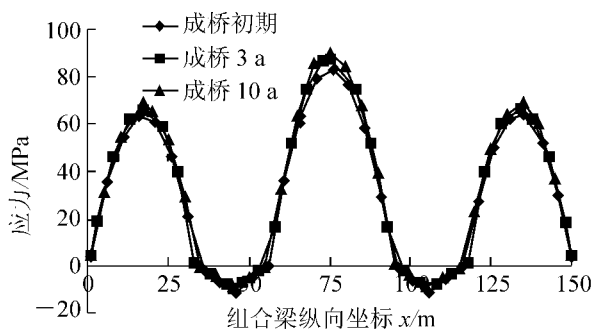


图6 箱梁底板下表面徐变应力分布

75.1 MPa,增大了 36.9%。从图 6 中看到,箱梁底板下表面在负弯矩区由于混凝土在徐变的作用下也有一定的卸载,压应力从成桥初期时的 11.9 MPa 到成桥 10 a 后的 9.34 MPa,减小为 21.5%,在正弯矩区应力有所增加。

(下转第 71 页)

[14] 陈果, 翟婉明. 铁路轨道不平顺随机过程的数值模拟[J]. 西南交通大学学报, 1999, 34(2): 138-141.

Stability Analysis of Sky-hook Damping Suspension System With Time Delay for High-speed Railway Vehicle

Liao Yingying¹, Liu Yongqiang², Yang Shaopu², Wei Hongmei³

(1. School of Civil Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China;

2. School of Mechanical Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China;

3. School of Mechanical Engineering, Shandong Huayu Vocational College, Dezhou 253034, China)

Abstract: A 1/4 car model of railway vehicle with primary suspension is built. The influence of time delay on system dynamic performances is analyzed. According to the theory of critical instability, the value of the critical time delay for high-speed EMU at 300 km/h is computed and the stability in different time delay area is researched. According to the transfer properties of systems, the effects of time delay on frequency response are analyzed. Simulation and analysis of car body under deterministic excitation and track irregularity random excitation is conducted. The results of frequency response analysis show that the calculating method of the critical time delay of system instability based on time delay theory is valid.

Key words: time delay; stability; Sky-hook damping; EMUS

(责任编辑 刘宪福)

(上接第29页)

3 结语

根据本文所建的综合箱梁应力公式, 可以计算不同徐变系数的截面应力。对算例的计算结果进行分析, 双面组合箱梁的各个部分的应力随着时间的变化都有不同程度的变化, 徐变作用使桥面板得到一定程度的卸载, 将一部分的应力转移到钢梁, 使混凝土桥面板的压应力减小, 钢梁的应力增大, 因此在结构的设计过程中要准确的考虑混凝土的徐变作用。论文中的模型建立没有考虑到收缩、温度、滑移等因素的影响, 因此还需进一步的研究。

参 考 文 献

[1] 郑浩, 段树金. 钢-混凝土组合箱梁力学分析[J]. 石家庄铁道学院学报: 自然科学版, 2009, 22(2): 11-14.

[2] 王连广. 钢与混凝土组合结构理论与计算[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 1-9.

[3] 聂建国. 钢-混凝土组合梁强度、变形和裂缝的研究[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 1994(2): 8-12.

[4] 聂建国, 沈聚敏. 钢筋混凝土梁在长期荷载作用下的变形[J]. 建筑结构学报, 1996, 13(3): 3-9.

Stress Analysis of Double Steel-concrete Composite Continuous Box Girder Considering Creep Effect

Li Xianpo, Duan Shujin

(School of Civil Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: This paper studies the creep problem of the double steel-concrete composite continuous box girder. According to the balance of section stress and zero internal force, the stress distribution along the cross section at the positive and negative bending regions are derived under the long-term load. Analysis is made of the stress redistribution through an example of double steel-concrete composite continuous box beam.

Key words: double steel-concrete composite continuous box girder; creep; stress; model

(责任编辑 刘宪福)