

基于位移影响线的城市立交桥拓宽改造研究

宋文锋, 唐春龙

(重庆中煤科工工程技术咨询有限公司, 重庆 400042)

摘要: 对简支梁跨中、连续梁中跨跨中位移影响线方程进行推导, 据此计算汽车荷载作用下桥梁结构的位移; 以一城市立交桥拓宽改造工程为例, 根据城市立交桥拓宽的特点, 利用位移影响线精确分析新旧桥梁的变形差, 通过调整新桥结构刚度使新旧桥梁结构位移基本相等, 确保行车舒适, 同时增强结构耐久性。

关键词: 桥梁; 城市立交桥; 拓宽改造; 位移影响线

中图分类号: U448.17

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2022)05-0088-03

随着城市建设的快速发展, 原立交桥难以满足日益增长的交通发展要求。为缓解交通压力, 对原桥结构进行拓宽改造。城市立交桥拓宽改造常采用上下部结构相互不连接、上下部结构相互连接、上部结构连接下部不连接等拓宽方法。第一种拓宽方法中, 上下部结构相互不连接, 新旧桥结构之间设置工作缝, 各自受力明确、互不影响, 施工难度小, 因而在城市立交桥拓宽改造中得到广泛应用。由于原立交桥以简支桥梁结构为主, 为满足桥下净空要求, 新旧桥梁不能采用同跨度布置, 通常采用连续梁桥, 以降低梁高, 同时新旧桥梁上下部结构相互不连接, 故新旧桥梁结构不同, 导致新旧桥刚度不匹配、变形不协调, 在活荷载作用下将产生竖向变形差异。为此, 该文基于位移影响线精确分析新旧桥梁的变形差, 为城市立交桥拓宽改造设计提供依据。

1 位移影响线

桥梁位移影响线是单位移动荷载作用下某截面位移变化曲线, 采用静力法绘制。该文结合桥梁结构形式, 采用挠度公式[见式(1)]进行跨中位移影响线绘制。

$$\Delta_c = \int_0^L \frac{\bar{M} \times M_p}{EI} ds \quad (1)$$

式中: \bar{M} 为跨中截面施加单位荷载时的弯矩; M_p 为移动荷载作用下的弯矩; E 为弹性模量; I 为截面惯性矩; s 为时间。

1.1 简支梁跨中位移影响线

采用图乘法计算, 得到简支梁跨中位移影响线方程[见式(2)], 据此绘制的简支梁跨中位移影响线

见图 1。

$$\begin{cases} \Delta_c = \frac{1}{EI} \left(\frac{3L^2 X - 4X^3}{48} \right), 0 \leq X \leq L/2 \\ \Delta_c = \frac{1}{EI} \left(\frac{4X^3 + 9L^2 X - 12LX^2 - L^3}{48} \right), L/2 \leq X \leq L \end{cases} \quad (2)$$

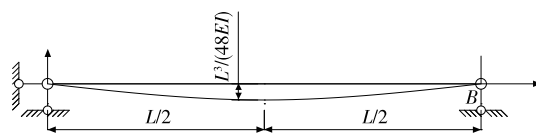


图 1 简支梁跨中位移影响线

1.2 连续梁中跨跨中位移影响线

以图 2(a) 所示三跨等截面连续梁为例计算连续梁中跨跨中位移影响线。桥梁结构通常是位于弹性支座上的连续梁桥, 采用三弯矩方程计算单位荷载作用下中跨跨中弯矩[见图 2(b)]。节点 0(A 点)、节点 3(D 点)为连续梁简支端, 其弯矩 $X_0 = 0$, $X_3 = 0$, 同时取标准惯性矩 $I_0 = I_1 = I_2 = I_3 = 1$ (下标 1、2 分别代表 B、C 点), 计算得 $l'_1 = l'_2 = l'_3 = L$ (l'_1 、 l'_2 、 l'_3 分别为第一、二、三跨的计算跨径)。三弯矩方程如下:

$$\begin{cases} 2(l'_1 + l'_2)X_1 + l'_2 X_2 + 6\left(\frac{I_0}{I_1} B_1^\phi + \frac{I_0}{I_2} A_2^\phi\right) = 0, i=1 \\ l_2 X_1 + 2(l'_2 + l'_3)X_2 + 6\left(\frac{I_0}{I_2} B_2^\phi + \frac{I_0}{I_3} A_3^\phi\right) = 0, i=2 \end{cases} \quad (3)$$

由式(3)得 $X_1 = X_2 = -3L/40$ 。分别计算单

位移动荷载 $p=1$ 作用下左边跨、中跨和右边跨弯矩。1) 当 $p=1$ 作用于左边跨时,根据图 2(b)和图 2(c),采用图乘法计算中跨跨中位移影响线,结果见式(4)。2) 当 $p=1$ 作用于中跨左侧时,根据图 2(b)和图 2(d),采用图乘法计算中跨跨中位移影响线,结果见式(5)。3) 当 $p=1$ 作用于中跨右侧时,根据图 2(b)和图 2(e),采用图乘法计算中跨跨中位移影响线,结果见式(6)。4) 当 $p=1$ 作用于右边跨时,根据图 2(b)和图 2(f),采用图乘法计算中跨跨中位移影响线,结果见式(7)。

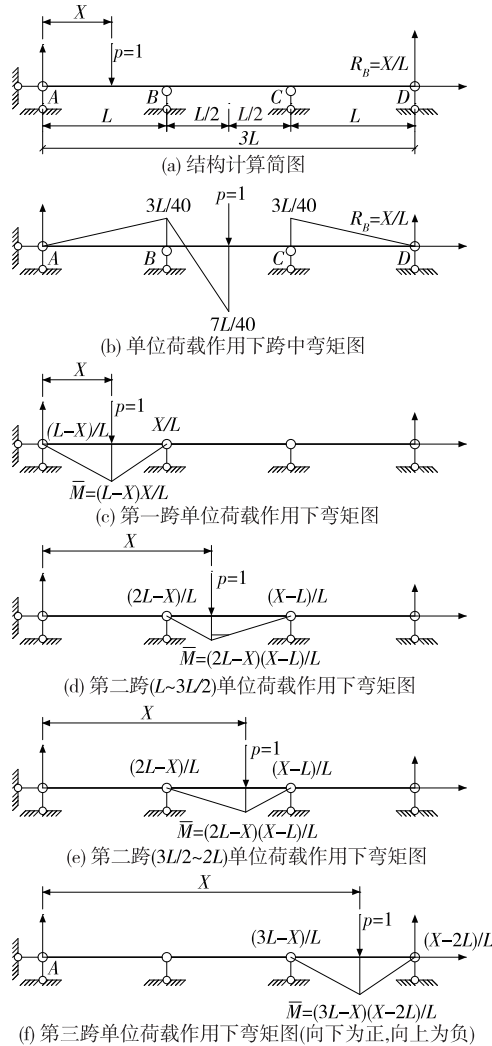


图 2 连续梁结构受力示意图

$$\Delta_c = \frac{-1}{EI} \left\{ \frac{(L-X)X}{L} \times \frac{X}{2} \times \frac{2}{3} \times \frac{3X}{40} + \frac{(L-X)X}{L} \times \frac{L-X}{2} \left[\frac{3X}{40} + \frac{1}{3} \left(\frac{3L}{40} - \frac{3X}{40} \right) \right] \right\} = \frac{1}{80EI} (X^3 - L^2 X), 0 \leq X \leq L$$

(4)

$$\Delta_c = \frac{1}{EI} \left\{ \frac{(2L-X)(X-L)^2}{2L} \times \left(\frac{2}{3} \times \frac{20X-23L}{40} - \frac{1}{3} \times \frac{3L}{40} \right) + \frac{L-X}{L} \times \frac{L}{2} \times \frac{L}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{14L-3L}{120} + \frac{X-L}{L} \times \frac{L}{2} \times \frac{3L-2X}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{20X-23L+7L}{40} + \left[\frac{2L-X}{L} \frac{(L-X)}{L} - \frac{(X-L)L}{2L} \right] \times \frac{3L-2X}{2} \times \frac{1}{2} \left[\frac{20X-23L}{40} + \frac{1}{3} \left(\frac{7L}{40} - \frac{20X-23L}{40} \right) \right] \right\} = \frac{-1}{240EI} (20X^3 - 69LX^2 + 72L^2 X - 23L^3), L \leq X \leq 3L/2$$

(5)

$$\Delta_c = \frac{1}{EI} \left\{ \frac{(2L-X)L^2}{8L} \times \left(\frac{2}{3} \times \frac{7L}{40} - \frac{1}{3} \times \frac{3L}{40} \right) + \frac{(X-L)(2L-X)^2}{2L} \times \left(\frac{2}{3} \times \frac{37L-20X}{40} - \frac{3L}{120} \right) + \frac{2L-X}{L} \times \frac{L}{2} \times \frac{2X-3L}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{37L-20X+7L}{40} + \frac{1}{2} \left[\frac{(X-L)(2L-X)}{L} - \frac{(2L-X)L}{2L} \right] \times \frac{2X-3L}{2} \times \left[\frac{37L-20X}{40} + \frac{1}{3} \times \left(\frac{7L}{40} - \frac{37L-20X}{40} \right) \right] \right\} = \frac{1}{240EI} (20X^3 - 111LX^2 + 198L^2 X - 112L^3), 3L/2 \leq X \leq 2L$$

(6)

$$\Delta_c = \frac{-1}{EI} \left\{ \frac{(3L-X)(X-2L)^2}{2L} \times \left[\frac{9L-3X}{40} + \left(\frac{L}{40} - \frac{3L-X}{40} \right) \right] + \frac{(3L-X)^2}{L} \times (X-2L) \times \frac{1}{2} \times \frac{2}{3} \times \frac{9L-3X}{40} \right\} = \frac{-1}{80EI} (X^3 - 9LX^2 + 26L^2 X - 24L^3), 2L \leq X \leq 3L$$

(7)

根据位移影响线方程(3)~(7)绘制的连续梁跨中位移影响线见图 3。

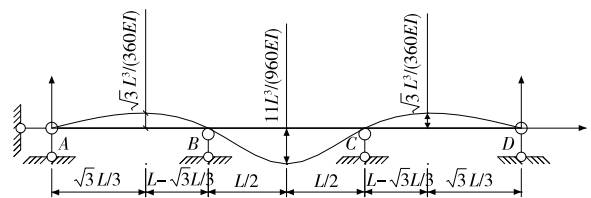


图 3 连续梁中跨跨中位移影响线

2 汽车荷载产生的位移

2.1 汽车荷载

汽车荷载分为城—A级、城—B级两个等级。城—A级车道荷载的均布荷载标准值 q_k 为 10.5 kN/m;集中荷载标准值 P_k 如下:桥梁计算跨径 $L \leq 5$ m 时 $P_k = 270$ kN, $L \geq 50$ m 时 $P_k = 360$ kN, L 为 5~50 m 时 $P_k = 2(L+130)$ kN。城—B级荷载按城—A级荷载的 75% 选取。

2.2 位移计算

根据车道荷载及位移影响线方程(2)、(4)~(7)计算车道荷载、自重作用下桥梁结构的位移。对于简支梁,车道荷载、自重作用下桥梁结构位移为:

$$\delta_{q_{\max}} = \frac{2q_k}{EI} \times \int_0^{L/2} \left(\frac{3L^2 X - 4X^3}{48} \right) dx + P_k \times \frac{L^3}{48EI} = \frac{L^3}{192EI} (4P_k + q_k L) \quad (8)$$

对于连续梁,车道荷载、自重作用下桥梁结构位移为:

$$\delta_{q_{\max}} = \frac{-2q_k}{240EI} \times \left(\int_L^{3L/2} (20X^3 - 69LX^2 + 72L^2 X - 23L^3) dx + P_k \times \frac{11L^3}{960EI} \right) = \frac{L^3}{1920EI} (13q_k L + 22P_k) \quad (9)$$

3 工程实例

3.1 工程概况

某立交现状为六路立体交叉的单喇叭形式,为缓解立交区域交通压力,对该立交进行改造,采用主

线桥梁两侧拓宽改造的方式。主线桥跨布置为 $(2 \times 30) \text{ m} + 39.5 \text{ m}$ (上跨桥) + $(6 \times 30) \text{ m}$ 预应力混凝土简支梁,桥梁全长 288 m, 30 m T 梁高 2.0 m, 39.5 m T 梁高 2.5 m, 均采用预制吊装,桥面宽 31 m。受下穿道路的影响,拓宽桥梁桥跨布置为 $[45 \text{ m} + 45 \text{ m}$ (上跨桥) + 45 m] 连续钢箱梁桥 + $(5 \times 30) \text{ m}$ 预应力混凝土连续梁桥,梁高 2.1 m, 桥面宽 10.5 m (见图 4)。

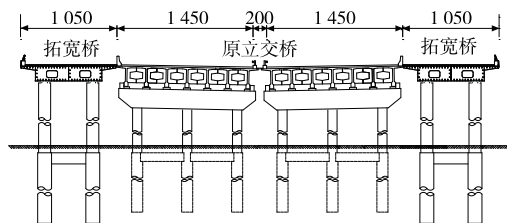


图4 拓宽桥梁断面示意图(单位:cm)

3.2 新旧桥梁变形计算分析

旧桥计算跨径为 38.5 m,新桥边跨计算跨径为 44.5 m、中跨计算跨径为 45.0 m。由于旧桥的材料及刚度已定,通过调整新桥的材料特性及刚度使新旧桥梁在汽车荷载作用下产生的位移基本相等,位移计算见表 1。

根据表 1,在新桥结构材料特性及梁高一定的情况下,可通过调整新桥结构刚度使新旧桥梁结构的位移基本相等,从而确保行车舒适,减少后期维护维修工程量,同时提高设计效率。

4 结语

基于城市立交桥拓宽改造的特点,利用图乘法推导桥梁结构位移影响线,并计算汽车荷载作用下

表1 新旧桥梁位移计算

桥梁	弹性模量 E/MPa	梁高/m	抗弯刚度 I/m^4	计算跨度 L/m	汽车荷载产生的位移/mm	新旧桥梁位移差/mm
旧桥	34 500	2.5	5.011	38.5	12.1	0.3
新桥	210 000	2.1	0.408	45.0	11.8	

最大位移。以某城市立交桥拓宽改造工程为依托,在旧桥位移、新桥材料特性及梁高为定值的情况下,通过调整新桥结构刚度使新旧桥梁结构位移基本相等,确保行车舒适,减少后期维护维修工程量,增强桥梁结构的耐久性,同时提高设计效率。

参考文献:

- [1] 龙驭球,包世华.结构力学[M].北京:高等教育出版社,2004.

- [2] 王竹,赵作刚.结构位移影响线[J].青岛建筑工程学院学报,2003,24(3):86—89.
 [3] 上海市市政工程设计研究总院.城市桥梁设计规范:CJJ 11—2011[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.
 [4] 闫岑,金利至.峨边段互通立交改扩建方案探讨[J].公路与汽运,2021(5):125—127+132.
 [5] 姜霖.大连市东北路立交桥拓宽改造研究与分析[D].大连:大连理工大学,2006.

收稿日期:2022-01-02