

应用双换算法和有限元计算程序 分析连续梁桥的徐变次内力

程翔云

(湖南大学土木工程学院 长沙市 410082)

摘要: 应用换算弹性模量和荷载换算系数,建立了计算连续梁桥徐变次内力的计算模型。本法具有概念明确、易于用有限元法计算程序进行计算、精度较高和对采用各种施工工艺的连续梁桥具有广泛适用性的优点。

关键词: 连续梁桥; 换算弹性模量; 计算模型; 荷载换算系数; 换算结构弯矩; 徐变次内力; 双换算法

1 双换算法原理与计算模型

1.1 原理

计算超静定梁徐变次内力的换算弹性模量法已在许多文献里^[1,2,3]作过介绍。对于图1所示的、存在体系转换的两跨等截面连续梁,当计算它的中支截面在 $t = \infty$ 时的徐变次内力时,可以取图1(5)所示的基本结构,写出它的力法方程如下:

$$\delta_{11}^{\oplus} x_{1t} + \Delta_{1p}^{\oplus} = 0 \quad (1)$$

其中:

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11}^{\oplus} &= \sum \int_{li} \frac{\bar{M}_i^2}{E_{\rho\varphi_i} I} dx, \quad \Delta_{1p}^{\oplus} = \sum \int_{li} \frac{\bar{M}_i M_p}{E_{\rho_i} I} dx \\ E_{\rho\varphi_i} &= \frac{E}{1 + \rho_i(t, \tau) \cdot \varphi_i(t, \tau)}, \quad E_{\varphi_i} = \frac{E}{\varphi_i(t, \tau)} \end{aligned} \right\} (2)$$

式中: E 、 I 分别为弹性模量和截面抗弯惯矩; $\rho_i(t, \tau)$ 为 i 号梁段的徐变老化系数; $\varphi_i(t, \tau)$ 为 i 号梁段的徐变系数; \bar{M}_i 为当赘余力矩 $x_{1t} = 1$ 时的弯矩分布图; M_p 为在切口处由初始弯矩 M_0 及结构自重 q_B 二者产生的弯矩分布图(参见图1)。

从上式可以看出,对于同一号梁段,采用2个不同的换算弹性模量 $E_{\rho\varphi_i}$ 、 E_{φ_i} 分别计算它的常变位 δ_{11}^{\oplus} 和载变位 Δ_{1p}^{\oplus} , 显然是不便于用电算求解的。为此,再引入一个荷载换算系数 η , 它可表为:

$$\eta = E_{\rho\varphi_i} / E_{\varphi_i} \quad (3)$$

代入到式(2)中,则 Δ_{1p}^{\oplus} 便可以写成

$$\Delta_{1p}^{\oplus} = \sum \int_{li} \frac{\bar{M}_i (\eta_i M_p)}{E_{\rho\varphi_i} I} dx \quad (4)$$

于是,两类系数均可用统一的换算弹性模量 $E_{\rho\varphi_i}$ 进

行计算了,但需事先将外荷载及初始弯矩(或内力)乘以相应的荷载换算系数。这种同时将弹性模量及荷载进行换算来求解徐变次内力的方法,本文暂称它为“双换算法”。

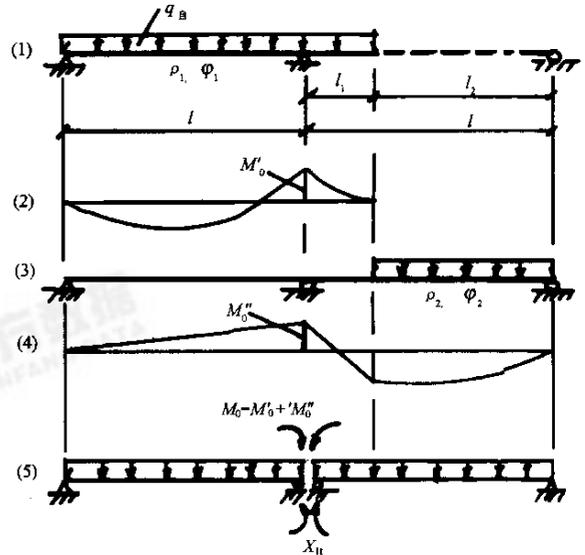


图1 两阶段施工连续梁桥

1.2 计算模型

鉴于目前在工程设计中,一般均采用平面杆系的有限元法程序来分析结构的内力,作为对文献^[1,2]的内容补充,本文专就应用双换算法分析徐变次内力的计算模型进行讨论,供工程设计人员参考。

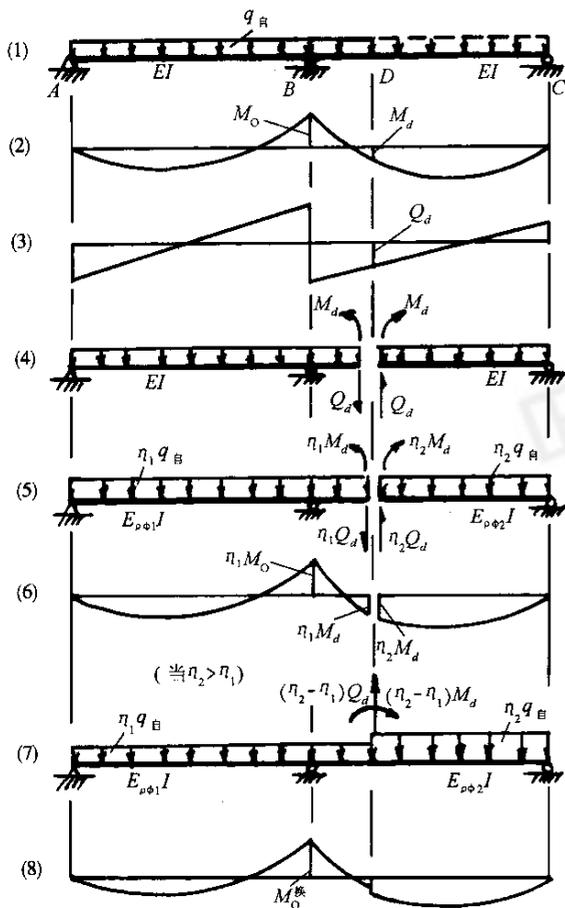
仍以图1中的结构为例,设 M_d 、 Q_d 分别为2个

施工梁段的结合面在成桥时的初弯矩和初剪力,如图 1 所示。现在为了分析徐变次内力,除了将 2 个梁段的弹性模量 E 分别用 $E_{\rho\varphi 1}$ 和 $E_{\rho\varphi 2}$ 换算外,还应将初始内力及外荷载 $q_{\text{自}}$ 分别乘以换算系数 η_1 和 η_2 ,如图 2((5)、(6))所示。由于结构加载龄期的差异,将随着时间 t 的变化,在结合面上将产生内力差。当 $\eta_2 > \eta_1$ 时,则在结合面处出现集中弯矩差 $(\eta_2 - \eta_1)M_d$ 和集中剪力差 $(\eta_2 - \eta_1)Q_d$,2 个梁段上的恒载集度分别为 $\eta_1 q_{\text{自}}$ 和 $\eta_2 q_{\text{自}}$,如图 2(7)所示,这便是本文需要找到的计算模型。应用电算程序十分方便,并可迅速地得到中支点截面的换算结构弯矩 $M_0^{\text{换}}$ (图 2(8))。于是,中点截面的徐变次弯矩 M_{0t} 可表为:

$$M_{0t} = M_0^{\text{换}} - \eta_1 M_0 \quad (5)$$

它表示中支点截面的弯矩由初始的 $\eta_1 M_0$ (图 2(6))值逐渐变化到 $M_0^{\text{换}}$ (图 2(8))值的增量。由此不难求算全梁各个截面的徐变次弯矩。中支点截面的最终总弯矩应为:

$$M_0^{\text{总}} = M_0 + M_{0t} \quad (6)$$



万方数据

图 2 两跨连续梁桥徐变次内力计算模型

以上便是应用双换算法计算超静定结构徐变次内力的基本原理。

2 实例验证

为了检验本文计算模型的精度和省略一些中间计算过程,作者特选用文献[2]中的图 4-3-54 所示三跨连续梁作为例子,其跨径布置、施工方法、徐变系数及老化系数均按原著不变,读者可取该著与本文进行对照。现将本文分析过程简述如下。

2.1 已知条件

该桥为在支架上分 3 次现浇的三跨连续梁,各梁段依次浇注一周后落架,前后梁段落架时间相隔为 2 周,计算跨径及恒载集度 $q_{\text{自}}$ 示于图 3(1)。

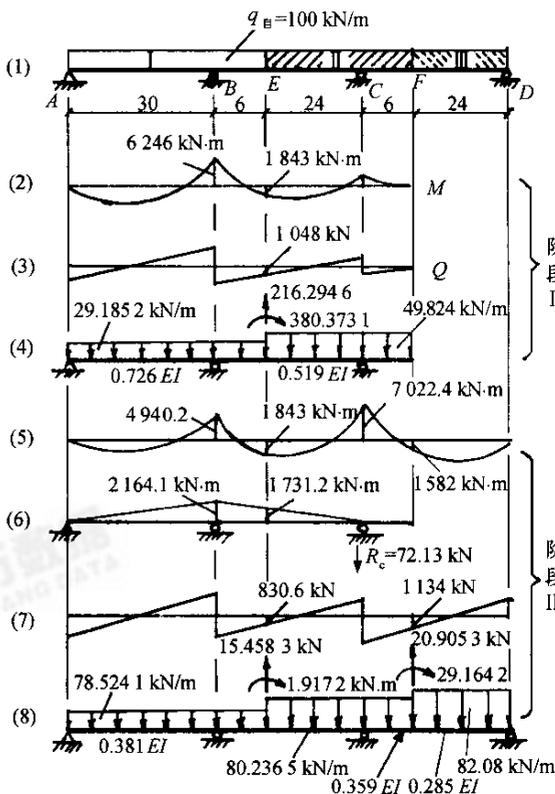


图 3 分三阶段施工连续梁桥的徐变次内力计算模型

2.2 计算步骤

(1)合理划分全桥的梁单元。

本例为等截面连续梁,故单元划分不必太细。为了建模的需要,将全梁共划分为 5 个单元和 6 个结点(即各个支点和两梁段结合面的结点,它们为 A、B、E、C、F 和 D)。

(2)分阶段计算各截面的累计内力。

为了便于计算, 暂设 $l=10\text{ m}$, $q_{\text{自}}=1\text{ kN/m}$, 计算步骤同上, 合拢前的内力分布图示于图 4(2), 从中可以看出, 结合面上无初弯矩和初剪力, 故在图 4(3) 的计算模型中, 只需将结构刚度和均布恒载进行换算, 而不存在有类似于图 3 中的换算集中弯矩和垂直力。计算时将全梁共划分 4 个单元和 A、B、E、C 和 D 共 5 个结点。在 B 和 C 两个支点截面的换算结构弯矩分别为:

$$M_{0B}^{\text{换}} = -22.35\text{ kN}\cdot\text{m}, M_{0C}^{\text{换}} = -20.66\text{ kN}\cdot\text{m}$$

然后代入式(5)中, 便得到它们的徐变终极次弯矩为:

$$M_{Bt} = -22.35 - 0.625 \cdot (-50) = 8.90\text{ kN}\cdot\text{m}$$

(8.96)

$$M_{Ct} = -20.66 - 0.870 \cdot (-50) = 22.84\text{ k}\cdot\text{m}$$

(22.81)

上式尾部括号内的数值是文献[1, 2]中的计算值, 说明二者吻合较好。

3.2 特例 2

图 4(4)所示是一座三跨变高度连续梁, 其跨径布置, 施工方法以及徐变特性等均与特例 1 完全相同, 唯一差别是截面呈变化形式。对于这种结构, 其计算步骤仍然与上述的相同, 但要注意以下几点。

(1) 单元总数要适当增多, 每个单元内取平均截面尺寸, 因此, 它们的抗弯惯矩 I_i 也是变化的。

(2) 合拢前的支点弯矩 M_0 应按变高度梁计算。

(3) 换算结构上的恒载集度 $\eta q_{\text{自}}$ 可以改写成如下的形式:

$$\eta q_{\text{自}}(i) = \eta \gamma A_i \tag{7}$$

式中: γ 为材料容重; A_i 为各个单元的平均截面尺寸, 这在用电算程序计算时并无困难。当结合面上存在有初弯矩和初剪力时, 仍然可按前述方法进行换算, 即用 $\Delta\gamma$ 乘相应的内力值。图 4(5)是该结构的计算模型。

4 结语

通过算例分析后表明, 本文应用双换算法建立的徐变次内力计算模型, 具有概念明确、计算简便、精度较高、适用面广和便于应用平面杆系有限元法计算程序来完成分析的特点, 因此, 对工程设计人员具有实用价值。

参考文献:

[1] 周履, 陈永春. 收缩、徐变[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1994.
 [2] 刘效尧, 赵立成. 公路桥涵设计手册—梁桥(下)[M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
 [3] 范立础. 桥梁工程(上)[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.

Creep Secondary Internal Force for Continuous Beam Bridges Analyzed by Method of Two Conversion Coefficients and Finit Element Computer Program

Cheng Xiang-yun

(Hunan University, Civil Engineering Institute, Changsha 410082, China)

Abstract: Applying the conversion elastic modulus and conversion coefficient of load, the computer model for calculation of creep secondary internal force for continuous beam bridges is established. This method has advantages of clearing concept, easy calculation by finit element computer program, higher precision and wide applicability for continuous beam bridges with different construction technique.

Key words: continuous beam bridge; conversion elastic modulus; computer model; conversion coefficient of load; moment of conversion structural; creep secondary internal force; method of two conversion coefficients