

基于不同广义位移的薄壁箱梁剪力滞效应分析

段燕娥¹, 陈超¹, 王方旭²

(1. 甘肃建筑职业技术学院测绘地理信息系, 兰州 730050; 2. 兰州交通大学土木工程学院, 兰州 730070)

摘要: 为了分析基于不同广义位移下剪力滞效应的状态, 分别选取翼缘板最大剪切转角差和剪力滞产生的附加挠度作为广义位移, 利用能量变分法推导出基于不同广义位移下的箱梁在跨中集中荷载作用下相应的剪力滞系数和应力。引入 ANSYS 软件建立箱梁有限元模型, 结合典型简支箱梁算例进行分析。研究表明: 基于不同广义位移所求得的简支箱梁各关键点处的应力值和剪力滞系数与 ANSYS 值吻合良好, 并且基于附加挠度所求得的实际应力值与 ANSYS 值更为接近; 在顶板中点处按选取附加挠度计算的剪力滞系数为 0.846, 比按选取最大剪切转角差计算的剪力滞系数 0.610 增大了 38.69%; 在底板中点处按选取附加挠度计算的剪力滞系数为 0.799, 比按选取最大剪切转角差计算的剪力滞系数 0.610 增大了 30.98%。

关键词: 薄壁箱梁; 广义位移; 能量变分法; 剪力滞效应; 有限元

中图分类号: U448.213 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)19-0324-06

目前研究箱梁剪力滞效应的方法和文献已有很多, 其中最重要的方法是能量变分法^[1-4], 利用能量变分法建立的剪力滞控制微分方程, 可直接对简支箱梁等简单结构的剪力滞效应进行分析。

在能量变分法中, 选取合适的剪滞翘曲位移函数是极其重要的环节。Reissner^[5]假设剪滞翘曲位移函数的形式为二次抛物线。张元海和林丽霞^[6]从剪力滞受力特点出发, 推导出了合理翘曲位移函数的具体表达形式。肖军等^[7]通过对剪力滞控制微分方程通解特点的分析, 构造出剪力滞解析方程。近年来, 对剪滞翘曲位移函数的研究文献已有很多, 但尚未得到统一^[8-11]。为使轴向平衡条件得到满足, 倪元增和钱寅泉^[12]提出了对剪滞翘曲位移函数进行修正的方法。蔺鹏臻和周世军^[13]从剪力流的分布规律出发, 在箱梁各板件的翘曲位移函数中引入修正系数, 并考虑了翘曲正应力在箱梁横截面上不合成轴力和弯矩。关于剪力滞翘曲位移函数的修正方式的问题, 学者们的观点也各有差异^[14-16]。少数学者将箱梁的广义位移选取为传统广义位移, 即翼缘板剪切转角最大差^[17-18], 此广义位移精度高。诸多学者则选取新型广义位移, 即剪力滞效应引起的附加挠

度^[19-20], 该广义位移物理意义明确, 便于工程人员应用。

本文给出一简支箱梁算例, 分别选取两种广义位移对该算例进行剪力滞效应分析, 并利用 ANSYS 软件建模分析。分别用 3 种方法计算出箱梁各关键点处的应力值和剪力滞系数, 并绘出对比图来说明两种广义位移的差异。

1 基于传统广义位移的方法

如图 1 所示, 两腹板间距较大的宽箱梁在纯弯曲作用下的竖向位移 w 和纵向位移 $u(x, y)$ 的表达式为

$$w = w(x) \quad (1)$$

$$u(x, y) = h_i [\bar{w}' + (1 - \bar{y}^3) u(x)] \quad (2)$$

式中: $u(x)$ 为最大剪切转角差; h_i 为截面形心到上下板的距离。

$$\bar{y} = \begin{cases} y/b, & 0 \leq y \leq b \\ (b + \zeta - y)/\zeta, & b \leq y \leq b + \zeta \end{cases}$$

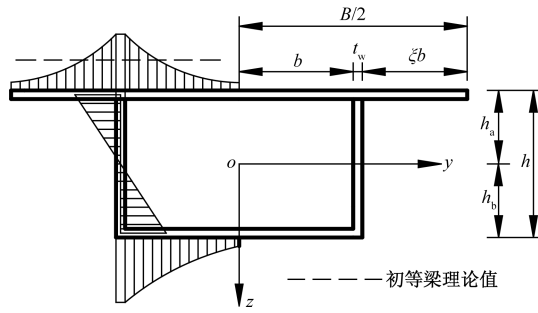
式中: b 为 1/2 腹板净间距或悬臂板宽二者较大者。

梁受到弯曲时的总势能 π 为

$$\pi = \int M w'' dx + \frac{1}{2} \int E I_w w'' dx + \frac{1}{2} I_s \int \left(E (w''^2 + \frac{3}{2} w'' u' + \frac{9}{14} u'^2 + \frac{9 G u^2}{5 b^2}) \right) dx \quad (3)$$

收稿日期: 2024-04-26

作者简介: 段燕娥(1996—), 女, 甘肃民乐人, 硕士, 助教, 研究方向为桥梁理论、桥梁设计; 陈超(1992—), 男, 黑龙江方正人, 硕士, 助教, 研究方向为桥梁理论、桥梁设计; 王方旭(1992—), 男, 甘肃天水人, 博士研究生, 工程师, 研究方向为桥梁工程理论。



b 为 1/2 腹板净间距; ζb 为悬臂板宽; t_w 为腹板厚度;
 h 为箱梁高度; B 为箱梁宽度; h_a 为截面形心到顶板
 的距离; h_b 为截面形心到底板的距离

图 1 箱形梁截面尺寸及应力分布情况

式中: M 为弯矩; G 为剪切模量; E 为弹性模量; I_s 为上、下翼缘板对中性轴的惯性矩之和, $I_s = 2t_0bh_0^2 + 2\zeta b t_0 h_0^2 + 2t_w b h_u^2$, t_0 为上翼缘板厚, t_w 为下翼缘板厚, h_0 为顶板中心到中性轴的距离, h_u 为底板中心到中性轴的距离; $I = I_s + I_w$, 为总惯性矩。

令 $\delta\pi = 0$, 可得

$$u'' - k^2 u = \frac{7nQ(x)}{6EI} \quad (4)$$

$$w^{(4)} - k^2 w'' = \frac{kM(x)}{EI} - \frac{nM''}{EI} \quad (5)$$

式中: n, k 为 Reissner 参数, $n = \frac{1}{1 - \frac{7}{8} \frac{I_s}{I}}$, $k = \frac{1}{b} \sqrt{\frac{14Gn}{5E}}$; EI 为抗弯刚度。

如图 2 所示, 简支箱梁跨内任意位置作用集中荷载, 则梁受到的弯矩和剪力为

$$\begin{cases} M_1(x) = \xi Px \\ Q_1(x) = \xi P \end{cases}, 0 \leq x \leq a \quad (6)$$

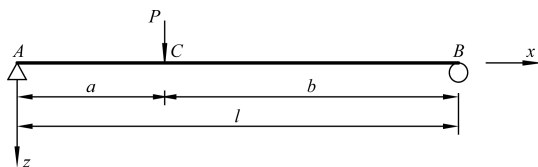
$$\begin{cases} M_2(x) = (a - \eta x)P \\ Q_2(x) = -\eta P \end{cases}, a < x \leq l \quad (7)$$

式中: $\xi = \frac{b}{l}$; $\eta = \frac{a}{l}$; M_1, Q_1 为第 1 段的弯矩和剪力; M_2, Q_2 为第 2 段的弯矩和剪力。

由式(4)可知:

当 $0 \leq x \leq a$ 时

$$u'' - k^2 u_1 = \frac{7n\xi P}{6EI} \quad (8)$$



P 为集中荷载; l 为箱梁长度

图 2 简支梁受集中力

$$u_1 = \frac{7nP}{6EI} \left(C_1 \operatorname{sh} kx + C_2 \operatorname{ch} kx - \frac{\xi}{k^2} \right) \quad (9)$$

当 $a < x \leq l$ 时

$$u''_2 - k^2 u_2 = -\frac{7n\eta P}{6EI} \quad (10)$$

$$u_2 = \frac{7nP}{6EI} \left(C_3 \operatorname{sh} kx + C_4 \operatorname{ch} kx + \frac{\eta}{k^2} \right) \quad (11)$$

式中: C_1, C_2, C_3, C_4 为系数。

边界条件为

$$u'_1|_{x=0} = 0, u'_2|_{x=l} = 0 \quad (12)$$

由在 $x=a$ 点处的变分连续条件可知:

$$u_1 = u_2 \quad (13)$$

$$\left(u'_1 - \frac{7nM_1}{6EI} \right) \Big|_a = \left(u'_2 - \frac{7nM_2}{6EI} \right) \Big|_a \quad (14)$$

由以上边界条件从而求得 4 个系数 C_1, C_2, C_3 和 C_4 , 最终可以得到:

$$u_1 = \frac{7nP}{6EI k^2} \left[\frac{\operatorname{sh} k(l-a)}{\operatorname{sh} kl} \operatorname{ch} kx - \xi \right] \quad (15)$$

$$u_2 = \frac{7nP}{6EI k^2} [\operatorname{sh} ka \operatorname{sh} kx - \operatorname{sh} ka \operatorname{ch} kl \operatorname{ch} kx + \eta] \quad (16)$$

当跨中作用集中荷载时, $\xi = \eta = \frac{1}{2}$, 则梁的弯

曲正应力为

$$\sigma_x = \pm \frac{h_i}{I} \left[M(x) - \frac{7nP}{12k} \left(1 - \bar{y}^3 - \frac{3I_s}{4I} \right) \frac{\operatorname{sh} kx}{\operatorname{ch} \frac{kl}{2}} \right] \quad (17)$$

由此可知, 跨中截面的剪力滞系数 λ 为

$$\lambda = 1 - \frac{7n}{3kl} \left(1 - \bar{y}^3 - \frac{3I_s}{4I} \right) \operatorname{th} \frac{kl}{2} \quad (18)$$

附加挠曲 M_f 为

$$M_f = \frac{7I_s n P}{16Ik} \frac{\operatorname{sh} kx}{\operatorname{ch} \frac{kl}{2}} \quad (19)$$

最终可得挠曲方程为

$$w = \frac{P}{EI} \left[\frac{l^3}{48} + \frac{7nI_s}{16Ik^2} \left(\frac{l}{2} - \frac{1}{k} \operatorname{th} \frac{kl}{2} \right) \right] \quad (20)$$

2 基于新型广义位移的方法

图 3 为竖向分布荷载 $p(z)$ 作用下的受力简图。横截面上任一位置的纵向翘曲位移 $u_w(x, y, z)$ 为

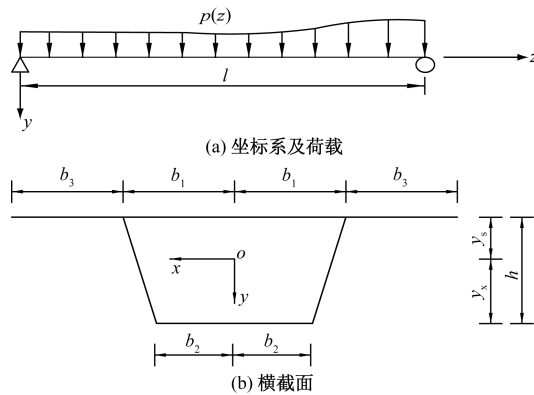
$$u_w(x, y, z) = -w(x, y) f'(z) \quad (21)$$

式中: $f(z)$ 为附加挠度; $-f'(z)$ 为附加挠曲转角; $w(x, y)$ 为广义翘曲位移函数, 即

$$w(x, y) = y - \eta w_\xi(x, y) \quad (22)$$

式中: η 为修正系数; $w_\xi(x, y)$ 为翘曲位移函数。

本文选取如下形式的翘曲位移函数:



b_1 为 1/2 顶板宽度; b_2 为 1/2 底板宽度;
 b_3 为悬臂板宽度; h 为箱梁高度; y_s 为截面
 形心到顶板的距离; y_x 为截面形心到底板的距离

图3 箱梁截面简图

$$w_{\xi} = \begin{cases} -y_s \left[1 - \left(\frac{x}{b_1} \right)^2 \right] + d & \text{(顶板)} \\ -y_s \left[1 - \frac{(b_1 + b_2 - x)^2}{b_3^2} \right] \left(\frac{b_3}{b_1} \right)^2 + d & \text{(悬臂板)} \\ y_x \left[1 - \left(\frac{x}{b_2} \right)^2 \right] \left(\frac{b_2}{b_1} \right)^2 \left(\frac{y_x}{y_s} \right) + d & \text{(底板)} \\ d & \text{(腹板)} \end{cases} \quad (23)$$

式中: d 是为了使箱梁横截面上的正应力满足轴向平衡条件。

$$d = \frac{2y_s}{3A} \left[A_t + A_c \left(\frac{b_3}{b_1} \right)^2 - A_b \left(\frac{b_2}{b_1} \right)^2 \left(\frac{y_x}{y_s} \right)^2 \right] \quad (24)$$

式中: A 为总截面积; A_t 、 A_c 、 A_b 分别为顶、底、悬臂板截面积。

横截面上任一位置的广义力矩 M_w 定义为

$$M_w = \int_A \sigma_w \omega dA = - \int_A E \omega^2 f'' dA = -EI_w f'' \quad (25)$$

式中: $I_w = \int_A \omega^2 dA$, I_w 为广义翘曲惯性矩。

则剪力滞翘曲应力 σ_w 的表达式为

$$\sigma_w = \frac{M_w}{I_w} \omega \quad (26)$$

箱梁截面任一点处的剪力滞系数 λ 可表达为

$$\lambda = \frac{\bar{\sigma}}{\sigma_0} = \frac{\sigma_0 + \sigma_w}{\sigma_0} = 1 + \frac{\omega M_w I_x}{y M_x I_w} \quad (27)$$

式中: $I_x = \int_A y^2 dA$; σ_0 为初等梁应力; $\bar{\sigma}$ 为总应力。

箱梁总势能的一阶变分为

$$\delta \pi = \int_0^l (EI_x w''' - p) \delta w dz + EI_x w'' \delta w' \Big|_0^l +$$

$$\int_0^l (EI_w f''' - \eta^2 GA_{\xi} f'' - p) \delta f dz - EI_x w''' \delta w \Big|_0^l + EI_w f'' \delta f' \Big|_0^l + (\eta^2 GA_{\xi} f' - EI_w f''') \delta f \Big|_0^l \quad (28)$$

式中: A_{ξ} 为剪力滞翘曲面积。

令 $\delta \pi = 0$, 则剪力滞的控制微分方程可以改写为

$$f''' - k^2 f'' = \frac{p}{EI_w} \quad (29)$$

式中: k 可称为 Reissner 参数, 即

$$k = \eta \sqrt{\frac{GA_{\xi}}{EI_w}} \quad (30)$$

式(29)的通解为

$$f = C_1 + C_2 z + C_3 \operatorname{sh} k z + C_4 \operatorname{ch} k z \quad (31)$$

将各积分常数用 4 个初参数 f_0 、 f'_0 、 M_{w0} 、 Q_{w0} 表示后得到:

$$f = f_0 + f'_0 \frac{\operatorname{sh} k z}{k} + \frac{M_{w0}}{k^2 EI_w} (1 - \operatorname{ch} k z) + \frac{Q_{w0}}{k^3 EI_w} (k z - \operatorname{sh} k z) \quad (32)$$

$$f' = f'_0 \operatorname{ch} k z - \frac{M_{w0}}{EI_w k} \operatorname{sh} k z + \frac{Q_{w0}}{EI_w k^2} (1 - \operatorname{ch} k z) \quad (33)$$

$$M_w = -f'_0 k EI \operatorname{sh} k z + M_{w0} \operatorname{ch} k z + Q_{w0} \frac{\operatorname{sh} k z}{k} \quad (34)$$

$$Q_w = Q_{w0} \quad (35)$$

如图 4 所示, 当箱梁跨中作用集中荷载时, 式(32)~式(35)需要增加额外的荷载项, 则

$$f = f_0 + f'_0 \frac{\operatorname{sh} k z}{k} + \frac{M_{w0}}{EI_w k^2} (1 - \operatorname{ch} k z) + \frac{Q_{w0}}{EI_w k^3} (k z - \operatorname{sh} k z) - \left\| \frac{P}{k^3 EI_w} [k(z-r) - \operatorname{sh} k(z-r)] \right\| \quad (36)$$

式中: $r = l/2$; $\left\| \frac{l}{2} \right\|$ 表示当 $z > l/2$ 时此项才可计入。

对于简支梁, 已知初参数 $f_0 = 0$, $M_{w0} = 0$, 则式(36)变为

$$f = f'_0 \frac{\operatorname{sh} k z}{k} + \frac{Q_{w0}}{k^3 EI_w} (k z - \operatorname{sh} k z) - \left\| \frac{P}{k^3 EI_w} [k(z-r) - \operatorname{sh} k(z-r)] \right\| \quad (37)$$

则式(37)中的初参数 f'_0 和 Q_{w0} 可由右端边界条

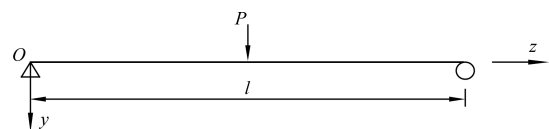


图4 两端简支箱梁示意图

件确定(即 $z=l$ 时, $f=f''=0$),最后可得简支梁左半跨的附加挠度、广义力矩及剪力滞系数的表达式如下:

$$f = \frac{P}{k^3 EI_w} \left[\frac{-shkr}{shkl} shkz - \frac{kr}{kl} kz + kr + shk(z-r) \right] \quad (38)$$

式中: $z \leq l/2$ 。

$$M_w = -\frac{P}{k} \left[\frac{-shkr}{shkl} shkz + shk(z-r) \right] \quad (39)$$

$$\lambda = 1 + \frac{2\omega I_x}{y I_w P z} \left\{ -\frac{P}{k} \left[\frac{-shkr}{shkl} shkz + shk(z-r) \right] \right\} \quad (40)$$

$$\sigma = \frac{M}{I_x} y + \frac{M_w}{I_w} \omega \quad (41)$$

式中: σ 为箱梁截面任一点处的应力。

3 算例分析

如图 5 所示,选取计算跨度为 40 m 的箱梁,采用 C40 混凝土,跨中作用一集中荷载 $P=500$ kN。

首先利用 ANSYS 软件建模,模型共划分 32 153 个节点、32 000 个单元。为了减小应力集中影响,故将荷载施加在两腹板节点处,分析得到相应点的总应力以及剪力滞系数。

利用基于传统广义位移的方法和基于新型广义位移的方法分别计算出各关键点处的总应力,将 3 种方法求得的总应力做对比进行分析,结果见表 1。各个关键点的编号如图 5 所示。

表 1 为传统分析方法、新型分析方法以及

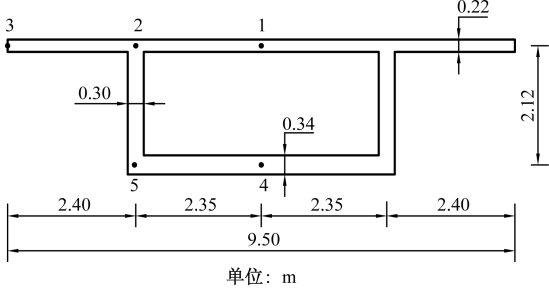


图 5 箱梁模型

表 1 简支箱梁算例的应力比较

关键点	应力/kPa		
	传统方法值	新型方法值	ANSYS 值
1	-637.82	-974.79	-873.41
2	-1 516.51	-1 171.36	-1 013.84
3	-636.10	-966.32	-862.20
4	778.21	1 150.87	1 130.00
5	1 850.33	1 443.56	1 399.30

ANSYS 在各个关键点处的应力比较。由表 1 可以看出,传统分析方法以及新型分析方法解出的各个关键点处的总应力值与 ANSYS 值吻合良好,并且新型分析方法求得的实际应力值与 ANSYS 值更为接近,分析规律基本上一致,从而说明了本文两种分析方法的正确性。

表 2 示出了传统分析方法、新型分析方法以及 ANSYS 软件在各个关键点处剪力滞系数的对比,由表 2 可以看出,两种分析方法的剪力滞系数值与 ANSYS 值分别吻合良好,并且分析规律基本一致,从而说明了本文方法的正确性。

图 6(a)显示了箱梁的剪力滞系数在上翼板处分别按传统分析方法和按新型分析方法计算值的对比,可以看出,按传统分析方法和按新型分析方法计算的剪力滞系数沿横向分布的曲线都呈先上升后下降趋势。图 6(a)的零点位置在顶板中点,在顶板中点处按新型分析方法计算的剪力滞系数为 0.846,比按传统分析方法计算的剪力滞系数 0.610 增大了 38.69%。在顶板与腹板的交点处按新型分析方法计算的剪力滞系数为 1.137,比按传统分析方法计算的剪力滞系数 1.450 减小了 27.53%。在悬臂板端处按新型分析方法计算的剪力滞系数为 0.833,比按传统分析方法计算的剪力滞系数 0.608 增大了 37.01%。

图 6(b)显示了箱梁的剪力滞系数在底板处分别按传统分析方法和按新型分析方法计算值的对比,可以看出,按传统分析方法和按新型分析方法计算的剪力滞系数沿横向分布的曲线均呈缓慢上升趋势。图 6(b)的零点位置在底板中点,在底板中点处按新型分析方法计算的剪力滞系数为 0.799,比按传统分析方法计算的剪力滞系数 0.610 增大了 30.98%。在底板与腹板交点处按新型分析方法计算的剪力滞系数为 1.154,比按传统分析方法计算的剪力滞系数 1.450 减小了 25.65%。

表 2 两种分析方法剪力滞系数对比

横向位置	关键点	传统分析方法	新型分析方法	ANSYS 解
上翼板	1	0.610	0.846	0.644
	2	1.450	1.137	1.615
	3	0.608	0.833	0.728
底板	4	0.610	0.799	0.784
	5	1.450	1.154	1.096

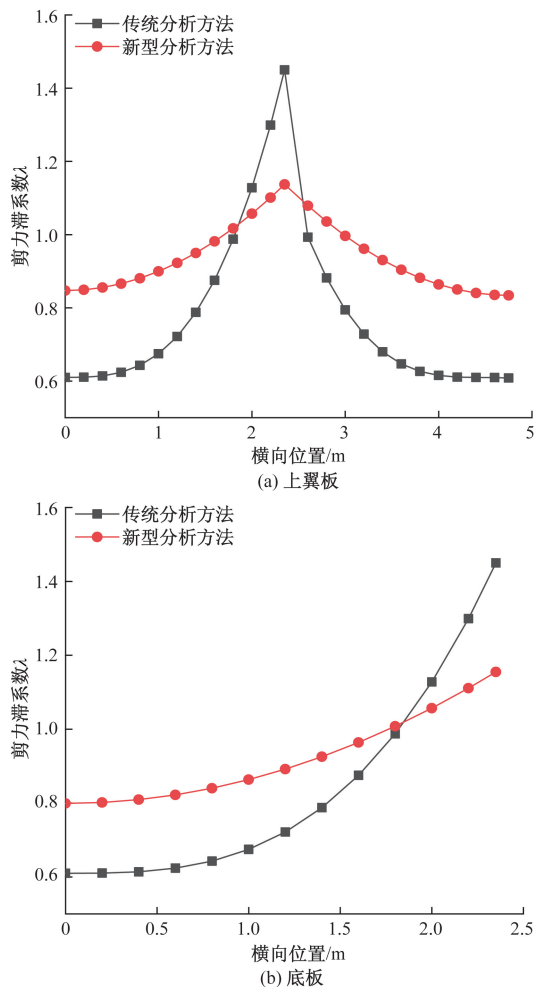


图6 两种分析方法所求剪力滞系数的对比

4 结论

(1) 基于两种不同的广义位移,即翼缘板最大剪切转角差和附加挠度,运用能量变分法分别建立剪力滞效应分析理论,推导出箱梁基于不同广义位移下的剪力滞系数和应力,由算例分析可得到,两种分析方法解出的各个关键点处的总应力值与ANSYS值吻合良好,从而说明了本文方法的正确性,并且新型分析方法求得的实际应力值与ANSYS值更为接近,分析规律基本上一致,从而说明了本文两种分析方法的正确性。

(2) 在上翼板处,两种分析方法计算的剪力滞系数沿横向分布的曲线都呈先上升后下降趋势。在顶板中点处按新型分析方法计算的剪力滞系数为0.846,比按传统分析方法计算的剪力滞系数0.610增大了38.69%。

(3) 在底板处,两种分析方法计算的剪力滞系数沿横向分布的曲线均呈缓慢上升趋势。在底板中点处按新型分析方法计算的剪力滞系数为

0.799,比按传统分析方法计算的剪力滞系数0.610增大了30.98%。

参考文献

- [1] 赵庆友,张元海,邵江艳.翼板变厚度箱形梁的剪力滞效应分析[J].应用数学和力学,2019,40(6):609-619.
- [2] 周月娥,刘泰玉,严鹏.剪力滞效应下箱型梁的可靠度分析[J].科学技术与工程,2022,22(16):6613-6618.
- [3] 舒小娟,钟新谷,沈明燕,等.统筹考虑全截面剪切变形能的单剪滞位移参数的薄壁箱梁剪力滞计算方法[J].土木工程学报,2016,49(6):32-37.
- [4] 姜瑞娟,肖玉凤,吴启明,等.基于能量变分法的波形钢板组合箱梁剪力滞效应研究[J].建筑结构学报,2019,40(S1):271-277.
- [5] REISSNER E. Analysis of shear lag in box beams by the principle of the minimum potential energy[J]. Quarterly of Applied Mathematics, 1946, 4(3): 268-278.
- [6] 张元海,林丽霞.薄壁箱梁剪力滞效应分析的初参数法[J].工程力学,2013,30(8):205-211.
- [7] 肖军,李小珍,刘德军,等.一种剪滞翘曲位移函数的解析构造法[J].哈尔滨工业大学学报,2017,49(3):162-167.
- [8] 周茂定,李丽园,张元海.薄壁箱梁的剪力滞翘曲位移函数研究[J].中国公路学报,2015,28(6):67-73.
- [9] 张玉平,胡火全,李传习,等.薄壁箱梁剪力滞翘曲位移函数的改进与对比分析[J].应用力学学报,2016,33(6):1099-1105,1126.
- [10] 张元海,马云亮,刘泽翔.偏载作用下薄壁箱梁空间整体效应的综合分析[J].土木工程学报,2024,57(4):48-58.
- [11] 张玉元,张元海,张慧.基于剪力滞附加挠度的箱梁弯曲自振特性分析[J/OL].西南交通大学学报,1-8[2024-03-18].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1277.U.20230301.1813.004.html>.
- [12] 倪元增,钱寅泉.弹性薄壁梁桥分析[M].北京:人民交通出版社,2000.
- [13] 蔺鹏臻,周世军.基于剪切变形规律的箱梁剪力滞效应研究[J].铁道学报,2011,33(4):100-104.
- [14] 李夏元,万水,陈建兵,等.基于修正翘曲位移函数的薄壁箱梁剪力滞效应分析[J].东南大学学报(自然科学版),2018,48(5):851-856.
- [15] 薛飞,张智凯,黄梁,等.铁路连续槽形梁桥剪力滞效应分析[J].科学技术与工程,2023,23(36):15649-15655.
- [16] 冀伟,石旭辉,罗子钧,等.基于比拟杆法的变截面连续箱梁剪力滞效应分析[J/OL].计算力学学报,1-7[2024-03-18].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1373.O3.20231208.1049.022.html>.
- [17] 张玉元,张慧,李巍,等.基于选取不同剪力滞广义位移的薄壁箱梁剪力滞效应研究[J].铁道科学与工程学报,2016,13(6):1083-1090.

- [18] ZHANG H, ZHANG Y Y, ZHANG Y H, et al. Analysis on shear deformation and shear lag effect on twin-cell box girder[J]. Applied Mathematics and Mechanics, 2016, 37(8): 791-803.
- [19] 张玉元, 张元海, 张慧. 梁端约束条件对箱形梁剪力滞效应的影响[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2018, 48(4): 671-677.
- [20] 张学西, 郭发蔚, 张玉元, 等. 以附加挠度为广义位移的双室箱梁剪力滞效应研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2018, 15(3): 693-699.

Analysis of Shear Lag Effect in Thin-walled Box Beams Based on Different Generalized Displacements

DUAN Yan'e¹, CHEN Chao¹, WANG Fangxu²

(1. Department of Surveying, Mapping and Geographic Information, Gansu Vocational College of Architecture, Lanzhou 730050, China;
2. School of Civil Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to analyze the state of shear lag effect under different generalized displacements, the maximum shear angle difference of the flange plate and the additional deflection generated by shear lag were selected as the generalized displacements. The energy variational method was used to derive the corresponding shear lag coefficients and stresses of the box beam under concentrated load at the mid span based on different generalized displacements. ANSYS software was introduced to establish the finite element model of the box beam. The analysis of typical simply supported box girder examples shows that the stress values and shear lag coefficients at key points of the simply supported box girder obtained based on different generalized displacements are in good agreement with ANSYS values, and the actual stress values obtained based on additional deflections are closer to ANSYS values. The shear lag coefficient calculated by selecting additional deflection at the midpoint of the top plate is 0.846, which is 38.69% higher than the shear lag coefficient calculated by selecting the maximum shear angle difference of 0.610. The shear lag coefficient calculated by selecting additional deflection at the midpoint of the bottom plate is 0.799, which is 30.98% higher than the shear lag coefficient calculated by selecting the maximum shear angle difference of 0.610.

Keywords: thin-walled box girder; generalized displacement; energy variational method; shear lag effect; finite element analysis