

建筑技术

跨中集中荷载作用的简支梁受拉翼缘受均布侧向约束的整体稳定修正

兰树伟 王俊平

(昆明理工大学建筑工程学院, 昆明 650224)

摘要 运用编制的有限元程序,对跨中集中荷载作用下等截面焊接工字形和轧制H型钢简支梁受拉翼缘,受到连续侧向刚性约束的情况进行模拟计算分析,绘出稳定承载力提高系数 ξ 与扭转参数 K 的拟合公式曲线,进而得出了 ξ - K 曲线拟合公式,以此对该情况下梁的整体稳定系数 φ_b 进行修正。

关键词 H型钢 稳定承载力 扭转参数 K ξ - K 曲线

中国法分类号 TP391.9; **文献标志码** A

1 提出问题

当屋面坡度较小,基本风压较大时,荷载组合后,檩条将在风吸力的作用下产生反向弯曲,这时檩条上翼缘受拉,下翼缘受压,压型钢板的连续侧向约束则作用在檩条的受拉翼缘。对于这种情况则有必要考虑其对檩条整体稳定承载力的贡献。我国新修订颁布的《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》CES102:2002中则考虑了檩条在风吸力的作用下,压型钢板的连续侧向支撑弹簧刚度以及扭转弹簧刚度的有利作用^[1],但以上的规定,是针对冷弯薄壁C型和Z形制定的,而对于焊接和热轧H型钢的情况则没有相应的规定,因此本文就针对H型钢在上述情况下进行研究。

2 模型计算

本文将运用编制的有限元程序对H型钢梁在

受拉翼缘被均匀侧向约束支撑的情况进行计算分析研究。计算截面选用了德国的热轧中翼缘H型钢——IPE100和IPE200,即截面的高度 $h=100\text{ mm}$ 、 $h=200\text{ mm}$,见图1,这两种截面高度经常在檩条的设计中采用。荷载形式选用跨中集中荷载,荷载作用在梁上翼缘。计算模型,见图1。

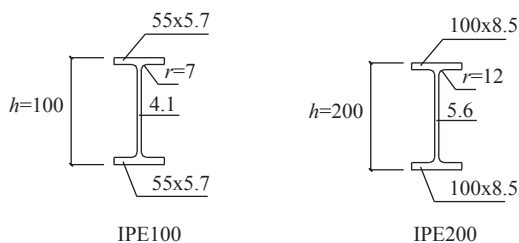


图1 计算截面几何特征(单位 mm)

计算中不断增大侧向约束 k_x 的刚度,计算出对应的临界弯矩 M_{cr} ,并与无约束 $k_x=0$ 的临界弯矩 M_{cr0} 进行比较。为了区别不同截面和长度的情况,引入扭转参数 K ,分别取用不同的值—— $K=0.5$ 、 $K=1$ 、 $K=2$ 、 $K=3$ 、 $K=4$ 。

$$K = \sqrt{\frac{GI_t L^2}{\pi^2 EI_w}} \quad (1)$$

G —剪切模量, E —弹性模量, I_t —扭转惯性

2010年5月24日收到

第一作者简介:兰树伟(1986—),男,昆明理工大学建筑工程学院,结构专业硕士研究生。研究方向:钢结构。E-mail:lanshuwei2000@sina.com。

矩, $I_{\omega\omega}$ —扇性惯性矩。

扭转参数 K 与构件几何特征的相关关系可见表 1。

表 1 扭转参数 K 与构件几何特征的相关关系表

K	IPE100	IPE200	近似值
0.5	$h = L/4.3$	$h = L/5.5$	$h = L/5$
1	$h = L/8.6$	$h = L/11$	$h = L/10$
2	$h = L/17.4$	$h = L/22$	$h = L/20$
3	$h = L/26$	$h = L/33$	$h = L/30$
4	$h = L/35$	$h = L/44$	$h = L/40$

程序计算结果部分数据见表 2,表中 Q_{cr} 表示考虑约束刚度时的临界集中荷载; Q_{cr0} 表示约束刚度为零时的临界集中荷载; k_x 表示连续均布侧向约束刚度; p_{ey} 表示为绕 y 轴弯曲屈曲的欧拉临界力;为更直接的地看出连续均布侧向约束刚度 k_x 与稳定承载力提高程度之间的相互关系,分别画出了 IPE100 和 IPE200 截面对于不同的 K 值的 $Q_{cr}/Q_{cr0} - k_x L^2/\pi^2 p_{ey}$ 相关关系曲线。见图 2、图 3。

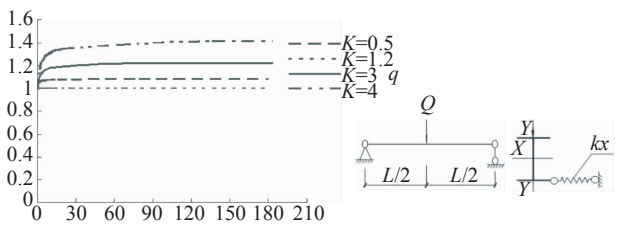


图 2 均布荷载情况 (IPE100)
(纵坐标: Q_{cr}/Q_{cr0} 横坐标: $k_x L^2/\pi^2 p_{ey}$)

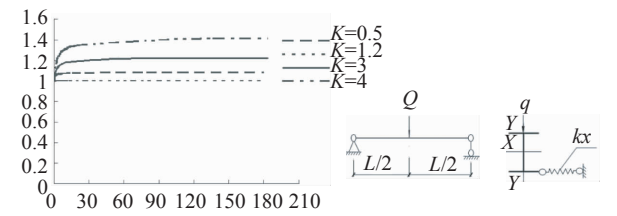
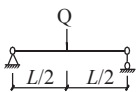


图 3 均布荷载情况 (IPE200)
(纵坐标: Q_{cr}/Q_{cr0} 横坐标: $k_x L^2/\pi^2 p_{ey}$)

表 2 K 值与 $Q_{cr}/Q_{cr0}, k_x L^2/\pi^2 p_{ey}$ 相关关系表^[2]

计算简图	K	IPE100		IPE200	
		$k_x L^2/\pi^2 p_{ey}$	Q_{cr}/Q_{cr0}	$k_x L^2/\pi^2 p_{ey}$	Q_{cr}/Q_{cr0}
	0.5	0	1	0	1
		0.50	1.042	0.43	1.024
		2.37	1.060	1.23	1.042
		3.98	1.065	2.07	1.050
		5.59	1.068	4.17	1.058
		7.20	1.072	8.37	1.063
		9.61	1.073	16.80	1.066
		16.06	1.075	33.65	1.068
		161.23	1.078	50.51	1.068
		∞	1.078	∞	1.068
		0	1	0	1
		0.94	1.073	5.32	1.16
3	1.94	1.11	10.89	1.19	
	4.01	1.14	16.49	1.20	
	8.22	1.17	22.10	1.21	
	12.46	1.18	33.36	1.222	
	20.97	1.19	44.65	1.224	
	42.35	1.21	55.95	1.228	
	171.34	1.22	67.27	1.23	
	∞	1.23	∞	1.25	
	0	1	0	1	
	1.91	1.18	4.15	1.33	
	4.04	1.24	22.59	1.36	
	4	8.45	1.30	34.30	1.38
17.43		1.34	46.07	1.39	
35.61		1.37	69.73	1.40	
90.78		1.40	236.88	1.43	
∞		1.44	∞	1.45	

3 计算结果分析

经过以上的计算分析可以得到:扭转参数 K 及荷载的作用形式对于连续侧向约束对梁整体稳定承载力提高的有效性有着较明显的影响。对于一定的荷载形式,随着扭转参数 K 的增大,当连续侧向约束刚度 K_x 增大时,稳定承载力的提高幅度也不

断增大。对于 IPE100 型截面,当 $K=3, k_x=\infty$ 时,在跨中集中荷载作用时,提高幅度为 23%;当 $K=4, k_x=\infty$ 时,在跨中集中荷载时提高幅度为 44%,见表 2。针对以上的理论分析的结果,本文认为扭转参数 K 将是控制受拉翼缘约束有效性的一个较为主要的因素,因此本文分别对热轧 H 型钢 IPE100 及 IPE200 两种截面,变化扭转参数 K 的值,计算了在跨中集中荷载(上翼缘)稳定承载力的提高程度。计算结果见表 3,表中舍去了 $K=0.5$ 情况。

表 3 荷载作用形式 $K \cdot M_{cr}/M_{cr0}$ 关系表(表中符号说明: $M_{cr}=\frac{1}{4}Q_{cr}L^2, M_{cr0}=\frac{1}{4}Q_{cr0}L^2$)^[3]

荷载作用形式	IPE100		IPE200	
	M_{cr}/M_{cr0}	K	M_{cr}/M_{cr0}	K
跨中集中荷载 (上翼缘)	1.0	1.01	1.0	1.008
	1.5	1.01	1.5	1.01
	2.0	1.06	2.0	1.07
	2.5	1.14	2.5	1.15
	3.0	1.23	3.0	1.25
	3.5	1.33	3.5	1.35
	4.0	1.44	4.0	1.45

绘制扭转参数 K 与稳定承载力提高系数 $\xi = M_{cr}/M_{cr0}$ 的关系曲线,并进行回归分析得出其规律,见图 4。

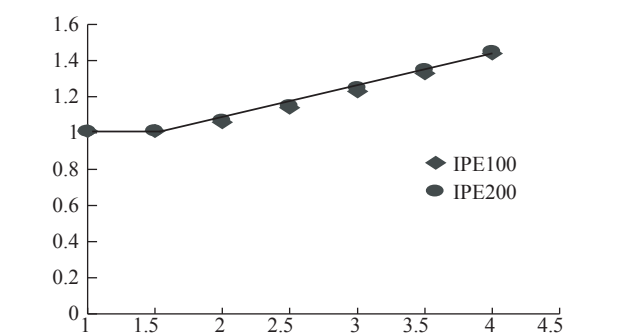


图 4 ξ - K 关系图(纵坐标: ξ 横坐标: K)

经过以上的回归分析可以看到对于截面 IPE100 及 IPE200,稳定承载力提高系数 ξ 与扭转参数 K 基本满足一个线性的关系,因而本文建议采用以下函数形式:

$$\xi=1, K<1.5 \tag{4}$$

$$\xi=0.19K+0.73, 1.5 \leq K \leq 4 \tag{5}$$

为了验证以上公式的适用性,本文利用式(4),式(5)对热轧中翼缘 H 型钢 IPE300、IPE500 进行计算,与有限元程序的计算结果进行比较,将具体计算结果绘制 ξ - K 成图,如图 4、图 5 所示。

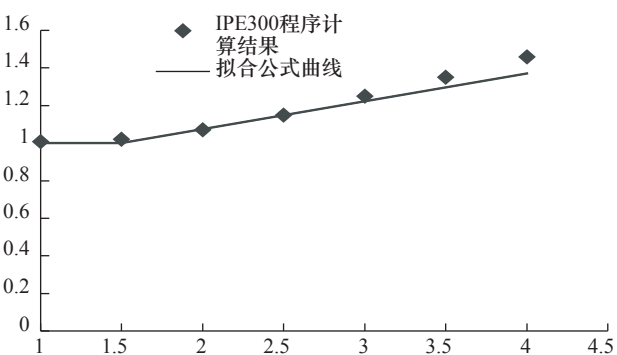


图 5 IPE300 ξ - K 曲线比较图

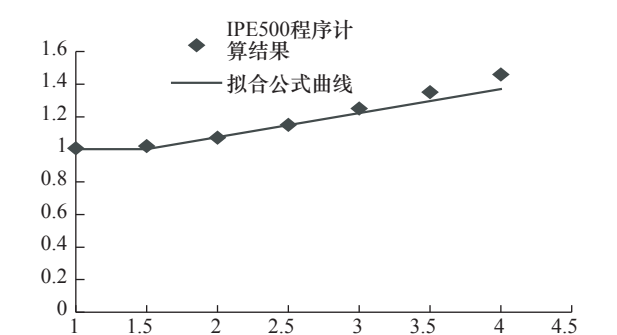


图 6 IPE500 ξ - K 曲线比较图

通过以上 IPE300、IPE500 两种截面的有限元程序分析与拟合公式的计算比较,可以看出,当扭转参数 $K=1 \sim 3$ 时,拟合公式结果与程序计算结果基本吻合;当扭转参数 $K=3 \sim 4$ 时,拟合公式计算结果略高于程序计算结果,因此本文建议的关于稳定承载力提高系数 ξ - K 的拟合公式[式(3),式(4)]是偏安全的,满足实际工程运用需要。使用 ξ - K 的拟合公式[式(3),式(4)]可以计算热轧 H 型钢梁当受拉翼缘的侧向位移被完全约束时,在跨中集中荷载作用下,稳定承载力的提高程度。

本文建议用稳定承载力提高系数 ξ 对梁的整体

稳定系数 φ_b 进行修正。 ξ 具体取值见公式(3)、式(4)。现行钢结构设计规范(GB 50017—2003)中计算轧制 H 型钢简支梁受拉翼缘无约束的整体稳定系数公式^[4]。

$$\varphi_b = \frac{M_{cr}}{W_x f_y} = \beta_b \frac{4320}{\lambda_y^2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\lambda_y t_1}{4.4h} \right)^2} + \eta_b \right] \frac{235}{f_y}。$$

当等截面焊接工字形和轧制 H 型钢简支梁受拉翼缘受到连续侧向刚性约束时,本文建议稳定系数修正为:

$$\varphi_{bz} = \frac{M'_{cr}}{W_x f_y} = \frac{\xi M_{cr}}{W_x f_y} = \xi \beta_b \frac{4320}{\lambda_y^2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\lambda_y t_1}{4.4h} \right)^2} + \eta_b \right] \frac{235}{f_y} \tag{5}$$

因此梁的稳定验算为:

$$\frac{M}{\varphi_{bz} W} \leq f \tag{6}$$

因此通过运用式(5)中的梁弹性整体稳定系数 φ_{bz} ,并运用式(6)将可以计算 H 型钢作为受弯构件,受拉翼缘被连续刚性侧向支撑约束时,在跨中集中荷载作用下其整体稳定承载力的大小。

参 考 文 献

1 中国工程建设标准化协会. 门式刚架轻型房屋钢结构技术规程. 北京:中国计划出版社,2002;33—35
2 张洪信,赵清海,张朝晖,等. ANSYS11.0 结构分析工程应用实例解析. 北京:机械工业出版社,2008;23—43
3 罗固源,孙 俊,张长领. 结构力学. 重庆:重庆大学出版社,2001; 151—160
4 中华人民共和国建设部. 钢结构设计规范 GB 50017—2003 附录 B. 1—1. 北京:中国计划出版社,2003;122—124

Amend of the Overall Stability of H Section Steel Beams on Crose-loads under Contionuous Lateral Tensile Flange Rigid Constraints

LAN Shu-wei, WANG Jun-ping

(College of Architectural Engineering, kunming polytechniel Vniversily, 690224, P. R. Chins)

[Abstract] Under contionuous lateral tensile flange rigid constraints simulation, the welders shaped and rolled H section steel beams on corss-loads are calculated and analysed in the finite element program to arrive at the ξ -K curve fitting formula. According to the formula , the overall stability factor φ_b under the simulation be can a-mend.

[Key words] H section steel the overall stability capacity the reverse parameters K the ξ -K curve