

加劲对冷弯薄壁卷边槽钢局部和畸变耦合屈曲作用

黄丽华*, 康磊

(大连理工大学 建设工程学部, 辽宁 大连 116024)

摘要: 为了研究加劲形式和尺寸对冷弯薄壁卷边槽钢局部和畸变耦合屈曲的作用, 采用无劲截面、腹板加劲、翼缘加劲、腹板和翼缘均加劲 4 种截面形式的冷弯薄壁卷边槽钢柱, 开展轴心受压试验研究. 结果表明: 相对于无加劲试件, 加劲后试件的屈曲荷载均有所提升, 其中腹板加劲及腹板和翼缘均加劲后抗局部屈曲效果明显, 压杆的失效形式从局部屈曲向局部和畸变耦合屈曲以及畸变屈曲模式转变. 进一步采用有限元方法分析了加劲尺寸对屈曲性能的影响. 计算结果表明, 腹板加劲深度与翼缘宽度之比约为 0.12, 加劲宽度与腹板高度之比约为 0.2 时, 薄壁卷边槽钢的屈曲承载力提升幅度最大, 且主要发生畸变屈曲.

关键词: 加劲; 冷弯薄壁卷边槽钢; 屈曲承载力; 局部和畸变耦合屈曲; 试验及计算研究

中图分类号: TU312

文献标识码: A

doi:10.7511/dllgxb202105010

0 引言

冷弯薄壁型钢构件是指在常温状态下, 将较薄的钢带通过冷轧或冲压弯折成各种不同截面形式的型钢^[1]. 基于该类构件壁厚较薄的特点, 通过改变截面几何形状可有效提升杆件的屈曲承载力, 这些形式各异、“小加劲”的截面形式已在实际工程中大量应用^[2-3].

随着钢材屈服强度的不断提高, 板件的宽厚比越来越大, 长细比较小的薄壁槽钢承载力受弹塑性局部屈曲、畸变屈曲及局部和畸变耦合屈曲控制. 局部屈曲的半波长度较短, 由于板件之间的相互约束, 各板件发生局部屈曲后, 试件整体的承载力仍有一定的上升空间. 当截面形状发生变化时, 即发生畸变屈曲, 畸变屈曲的半波长度一般是局部屈曲半波长度的几倍到几十倍^[4]. 畸变屈曲概念由 Hancock 首先提出^[5], 通过对槽形截面试件和货架柱进行试验以及数值模拟分析, 得到特定截面试件的畸变屈曲极限荷载^[6]. Chilver 最早通过试验揭示了 U 形和 C 形截面受压试件的畸

变屈曲现象^[7]; Sridharan^[8]通过研究指出冷弯薄壁构件存在一定的畸变后屈曲强度, 其值比局部后屈曲强度要小. Manikandan 等^[9]对腹板加劲冷弯薄壁卷边槽钢柱进行试验, 并提出了拟合效果非常好的有限元模型. 进一步地, Manikandan 等^[10]研究了在两端固接条件下, 受轴向压力作用下不同的腹板中间加劲形式对槽钢柱承载力和失效形式的影响, 同时将数值模拟结果与直接强度法计算结果比较, 发现吻合良好. Deng 等^[11]研究了初始缺陷对腹板加劲卷边槽钢的承载力影响, 提出了一种新的结合有限元和约束有限条法的缺陷模拟方法. Rogers 等^[12]通过试验研究分析, 得出畸变屈曲和局部屈曲存在一定的相关性. 何保康等^[13]通过高强冷弯薄壁槽形截面轴压构件畸变屈曲试验研究发现, 局部屈曲发生在畸变屈曲之前, 这将导致畸变屈曲提前产生, 这种相关作用降低了构件的整体刚度, 从而降低了整体的承载力. Yang 等^[14]通过对高强冷弯薄壁槽钢轴压构件进行试验研究, 也得到了畸变屈曲和局部屈曲二者之间存在相关作用, 且这种相关作用降低了

收稿日期: 2020-12-24; 修回日期: 2021-07-11.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51778113, 51678115).

作者简介: 黄丽华* (1967-), 女, 教授, 硕士生导师, E-mail: lhhang@dlut.edu.cn; 康磊 (1995-), 男, 硕士生, E-mail: 2550926716@qq.com.

整体的畸变屈曲承载力。

进入 21 世纪以来,在薄壁板件上增加“劲肋”提升屈曲承载力的研究越来越受关注. 李元齐等^[15]完成了腹板带有两个 V 形加劲的槽形截面构件轴压和偏压试验研究,同时分析了该类构件设计的可靠度^[16]. 陶忠^[17]研究指出槽钢柱构件腹板中间加劲后必须同时增加卷边的刚度,才能充分发挥构件的承载能力. Yan 等和 Young 等分别对翼缘带复杂加劲^[18]和斜卷边加劲^[19]的高强槽形截面压杆进行了试验研究,发现畸变屈曲不仅具有后屈曲强度,且与局部屈曲和整体屈曲存在相关作用。

我国土木工程中大量使用钢材,中低强度钢材在工程应用中仍为主流. 为揭示加劲的形式、尺寸对冷弯薄壁卷边槽钢承载力和屈曲形式的影响,本文设计 8 组 24 根无加劲、腹板加劲、翼缘加劲、腹板和翼缘均加劲 4 种截面形式的轴心受压试件,通过试验研究加劲对槽钢局部和畸变耦合屈曲的作用效果,并基于试验结果建立合理的有限元分析模型,讨论加劲的深度和宽度对槽钢屈曲性能的影响,研究结果可为合理设计加劲薄壁卷边槽钢提供参考依据。

1 试验研究

1.1 试件设计

本文研究轴心受压冷弯薄壁卷边槽钢发生局部和畸变耦合屈曲时,加劲对屈曲形式及承载力的影响. 试验试件由厚度为 0.8 mm 的钢板冷弯而成,依据 GBTUL2. 06 广义梁软件确定了长 300 mm 的压杆,当腹板高度和翼缘宽度分别为 40 mm 和 30 mm,卷边长度为 6 mm 和 9 mm 时,畸变与局部屈曲弹性临界荷载值相近,试件将发生局部和畸变耦合屈曲。

如图 1 所示,截面加劲形式包括无加劲截面(A 类)、腹板弯折(B 类)、翼缘弯折(C 类)、腹板和翼缘均弯折(D 类)4 种形式. 每类试件包含两种卷边长度,同种试件包含 3 个平行试件,共计 24 根试件. 试件实际尺寸如表 1 所示。

1.2 材料性能试验

依据相关国家标准规定,由相同批次材料切割而成的 3 根“犬骨”状拉伸试件尺寸如图 2 所

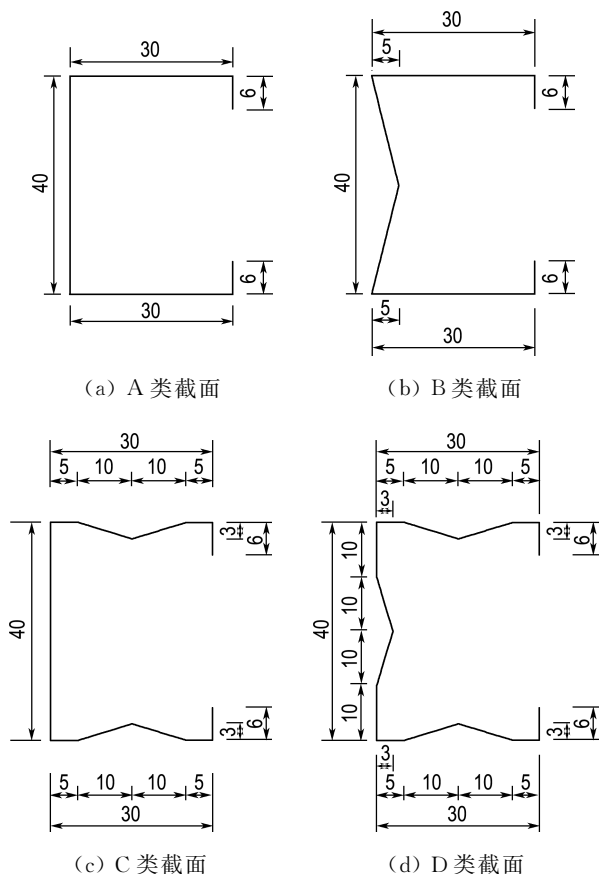


图 1 截面加劲形式(单位:mm)

Fig. 1 Forms of section stiffeners (unit: mm)

示,标距为 80 mm. 拉伸试验在 100 kN 的万能试验机上进行,加载速率为 1.0 mm/min,用 DH3816N 数据采集仪记录由引伸计测量的拉伸应变. 试验结果如图 3 所示,材料平均屈服强度为 250.26 MPa,极限抗拉强度为 345.14 MPa,弹性模量为 208.49 GPa,泊松比为 0.3,伸长率为 35.53%。

1.3 轴压试验

冷弯薄壁槽钢轴压试验在 100 kN 的万能试验机上完成,加载速率为 0.2 mm/min,如图 4 所示,施加的荷载由设备顶部的力传感器测量,竖向及横向位移由位移计测试,为测量应变,在试件跨中位置内外两侧均布置若干应变片,如图 5 所示. 当施加的荷载接近屈服荷载时,试件产生明显的塑性变形,继续加载,杆件进入强化阶段,直到达到极限荷载. 此后,荷载-位移曲线出现下降段,并且在荷载即将下降到极限荷载的 60% 左右终止试验. 通过 DH3816N 数据采集仪记录荷载、位移及应变值,为了准确反映试验结果,同组制作 3 个

表 1 试件实际尺寸

Tab. 1 Actual size of specimens

试件 编号	腹板高度/ mm	翼缘宽度/ mm	卷边长度/ mm	板厚/ mm	杆长/ mm
A-6-1	39.90	29.36	5.54	0.82	300.4
A-6-2	39.78	29.49	5.81	0.84	300.6
A-6-3	39.64	29.14	5.78	0.85	300.4
A-9-1	39.93	29.26	8.75	0.82	300.2
A-9-2	40.28	29.65	8.59	0.77	300.3
A-9-3	40.09	29.36	8.76	0.92	300.5
B-6-1	39.96	29.36	6.23	0.80	300.6
B-6-2	40.11	29.37	5.87	0.85	299.5
B-6-3	39.72	29.32	6.22	0.78	300.4
B-9-1	40.61	29.93	8.76	0.83	299.6
B-9-2	40.30	29.22	9.07	0.75	299.8
B-9-3	40.26	29.30	8.93	0.74	300.3
C-6-1	40.03	29.46	6.11	0.79	300.3
C-6-2	40.09	29.51	6.21	0.84	299.8
C-6-3	40.22	29.85	6.37	0.80	300.9
C-9-1	40.06	29.20	9.27	0.75	300.9
C-9-2	40.04	29.28	9.08	0.74	299.6
C-9-3	39.87	29.32	9.08	0.76	301.2
D-6-1	40.72	29.69	6.16	0.83	301.5
D-6-2	40.75	29.65	5.80	0.78	300.6
D-6-3	40.38	29.39	5.97	0.74	300.9
D-9-1	40.30	29.72	9.16	0.80	299.6
D-9-2	39.31	30.57	8.87	0.77	300.4
D-9-3	40.30	29.68	9.06	0.82	300.3

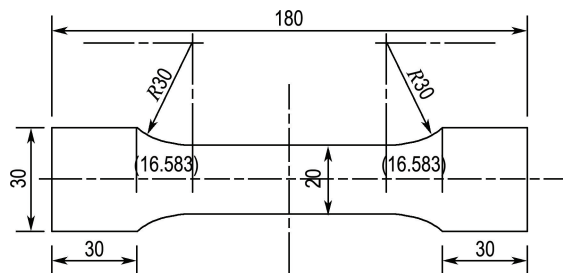


图 2 标准试件(单位:mm)

Fig. 2 Standard specimen (unit: mm)

平行试件,其中至少 2 个平行试件失效形式一致,则取该 2 个平行试件的平均值作为该类试件的极限荷载. 各类试件的极限荷载试验平均值及失效形式如表 2 所示,其中 L 代表局部屈曲,D 代表畸变屈曲.

1.4 试验结果分析

1.4.1 失效形式 整体上试件的失效形式与试验设计是一致的,所有试件均发生局部、畸变及二者耦合屈曲. A 类无加劲截面在底部出现局部屈

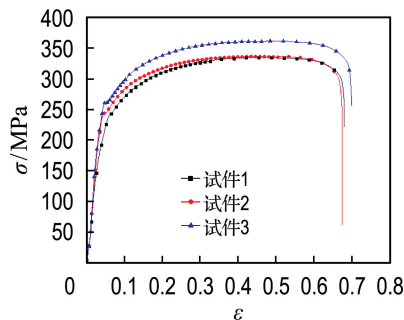


图 3 应力-应变曲线

Fig. 3 Stress-strain curve



图 4 试验装置

Fig. 4 Experimental device

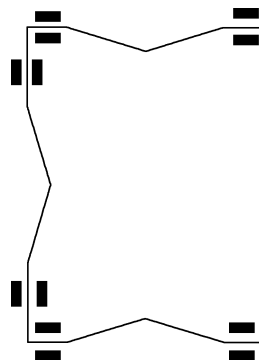


图 5 应变片的布置

Fig. 5 Layout of strain gauges

曲;腹板加劲的 B 类截面由于腹板刚度加强,翼缘首先转动之后发生畸变屈曲,翼缘在达到极限荷载附近时产生局部凹陷,即产生畸变和局部耦合屈曲;C 类截面翼缘加劲后刚度明显增强,腹板发生局部屈曲后翼缘外凸,即杆件发生局部和畸变耦合屈曲;D 类截面腹板和翼缘均加劲后,刚度明显增强,畸变屈曲失效形式更明显. 改变卷边的长度,发生畸变屈曲时翼缘的张开方向不同,但并

表2 试件的极限荷载及失效形式

Tab. 2 The ultimate load and failure mode of specimens

试件类型	极限荷载/kN	失效形式
A-6	16.28	L
A-9	18.37	L
B-6	20.32	L+D
B-9	22.18	L+D
C-6	19.92	L+D
C-9	20.89	L+D
D-6	21.16	D
D-9	23.10	D

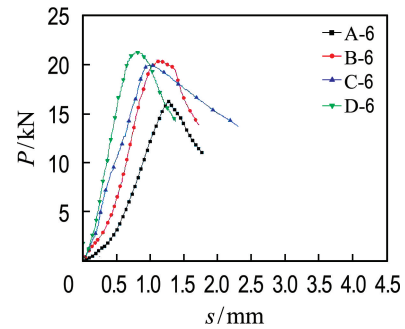
未改变压杆整体的失效形式. 4类截面试件的屈曲形式如图6所示.



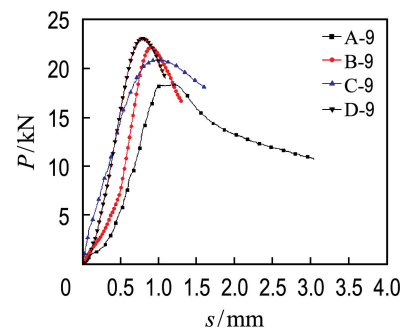
图6 试件失效形式

Fig. 6 Failure modes of specimens

1.4.2 承载力分析 4类截面试件的荷载-竖向位移曲线如图7所示,与无劲的槽钢对比可知:加劲后试件的后屈曲强度明显下降.由试验结果可知:与A类试件相比较,B、C、D类试件均能提高承载力20%~30%;增加卷边的长度,会增加试件的整体刚度,试件的承载力也进一步增加.



(a) 卷边长度 6 mm



(b) 卷边长度 9 mm

图7 试件的荷载-竖向位移曲线

Fig. 7 Load-vertical displacement curve of specimens

2 数值分析

采用有限元分析软件 Abaqus 进行数值分析,采用 S4R 壳单元建模,网格尺寸为 $8\text{ mm} \times 8\text{ mm}$,材料属性取自试验结果,杆一端固定约束,加载端除了轴向自由度之外全部约束,在加载端形心位置施加位移荷载.

本文采用隐式弧长法开展非线性大变形屈曲分析,初始缺陷取为一阶失稳模态的 $L/1\ 000$. 基于有限元计算分析的数值结果与试验结果见表3,由对比可见,失效形式基本一致,承载力数值结果与试验结果误差均在10%以内.产生误差的主要原因在于:实际构件较薄,对材料的均匀性和几何缺陷比较敏感,与理想计算模型存在差异;试验中的杆端约束与理想约束存在差异,且薄壁构件

表 3 承载力的有限元分析与试验结果对比

Tab. 3 Comparison of finite element analysis and test results of load bearing capacity

试件	试验 P_u/kN	数值 P_u/kN	误差/%
A-6	16.28	17.30	6.27
A-9	18.37	18.95	3.16
B-6	20.32	21.24	4.53
B-9	22.18	20.08	9.47
C-6	19.92	19.42	2.51
C-9	20.89	20.54	1.68
D-6	21.16	20.43	3.45
D-9	23.10	22.82	1.21

易发生局部屈曲,非理想约束造成杆件屈曲部位向支座移动(A-6).失效形式对比如图 8 所示.

荷载-竖向位移曲线计算与试验结果对比见图 9,可知整体数值计算结果能够反映实际压杆的屈曲路径,由于试件较薄,对加载设备精度比较敏感,初始阶段试验曲线不光滑,而数值计算采用了理想的几何和物理模型,计算结果为光滑曲线.

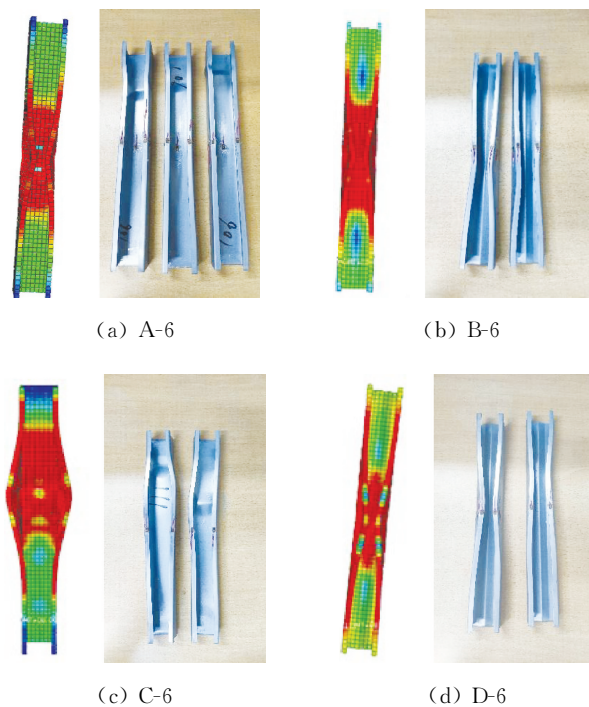
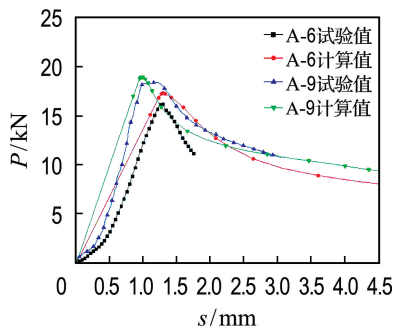
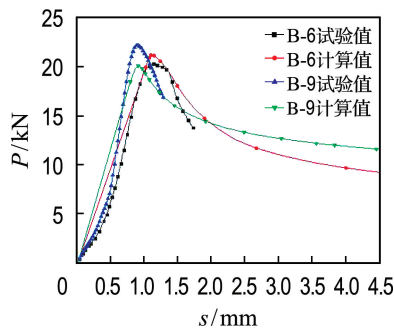


图 8 失效形式对比

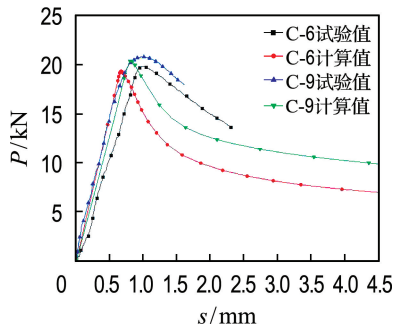
Fig. 8 Comparison of failure modes



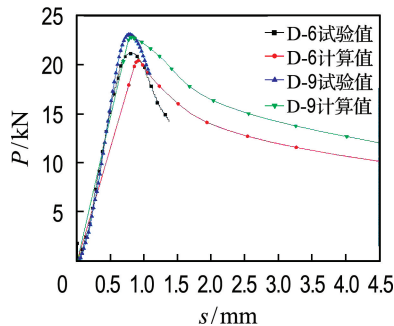
(a) A 类截面



(b) B 类截面



(c) C 类截面



(d) D 类截面

图 9 荷载-竖向位移曲线的对比

Fig. 9 Comparison of load-vertical displacement curves

3 加劲尺寸影响

由于腹板弯折方式较为便捷,且腹板加劲承载力提升幅度明显(B类和D类截面),故以B类截面加劲的深度 y 和宽度 x 为变量,研究加劲尺寸对槽钢屈曲承载力和失效形式的影响.如图10所示,分别选取槽钢腹板高度 $H=100\text{ mm}$,翼缘宽度 $B=70\text{ mm}$,卷边长度 $D=10\text{ mm}$,厚度 $t=1\text{ mm}$,试件长度 $L=700\text{ mm}$,根据CUFSM软件计算,可知在此尺寸下,试件的局部屈曲弹性临界应力和畸变屈曲弹性临界应力接近,故容易发生局部和畸变耦合屈曲.材料弹性模量 $E=203\text{ GPa}$,屈服强度 $f_y=235\text{ MPa}$.

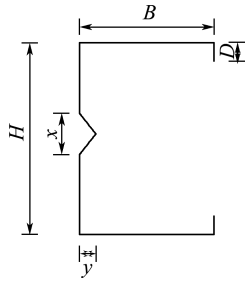


图 10 试件截面形式

Fig. 10 Section form of specimens

3.1 加劲深度的影响

为了探究加劲深度对薄壁槽钢屈曲荷载的影响,取加劲宽度 $x=100\text{ mm}$,加劲深度 y 在 $0\sim 40\text{ mm}$,有限元数值计算得到的屈曲承载力和失效形式见表4.由计算结果可知,无加劲时薄壁槽钢的屈曲承载力为 33.09 kN ,当 y/B 在 $0.14\sim 0.17$ 时,承载力为 $41.51\sim 41.91\text{ kN}$,相比无加劲试件承载力提高了 $25.45\%\sim 26.65\%$.总体而言,在加劲较浅情况下($y/B<0.05$),屈曲荷载与无劲卷边槽钢承载力基本相同,且主要发生局部屈曲.随着加劲深度的增加($0.05\leq y/B<0.20$),承载力明显提升.当 $y/B>0.20$ 时,承载力出现下降,此时的屈曲形式由局部和畸变耦合屈曲转变为畸变屈曲.

3.2 加劲宽度的影响

取加劲深度 $y=10\text{ mm}$,加劲宽度 x 在 $0\sim 90\text{ mm}$,通过有限元数值计算得到不同加劲宽度压杆的屈曲承载力和失效形式见表5.由计算结果可知,不同加劲宽度压杆的承载力均大于无加

表 4 不同加劲深度试件的屈曲荷载

Tab. 4 Buckling load of specimens with different stiffener depths

y/mm	y/B	P_{cr}/kN	失效形式
0	0	33.09	L
3	0.04	32.35	L
5	0.07	40.50	L
8	0.11	40.80	L+D
10	0.14	41.51	L+D
12	0.17	41.91	L+D
15	0.21	38.04	L+D
20	0.29	37.40	L+D
25	0.36	37.67	D
30	0.43	38.65	D
35	0.50	38.78	D
40	0.57	37.37	D

劲卷边槽钢的承载力,当加劲宽度 $x=20\text{ mm}$ 时,最大承载力达到 42.91 kN ,相比于无加劲卷边槽钢的承载力提高了 29.68% .由此可知,加劲宽度较小情况下($x/H<0.2$),屈曲荷载随着加劲宽度的增大而显著增加,且主要发生局部屈曲;当加劲宽度为 $0.2\leq x/H<0.9$ 时,屈曲荷载呈现波动的特征,但是变化幅度不大,失效形式也从局部和畸变耦合屈曲转向畸变屈曲.

表 5 不同加劲宽度试件的屈曲荷载

Tab. 5 Buckling load of specimens with different stiffener widths

x/mm	x/H	P_{cr}/kN	失效形式
0	0	33.09	L
10	0.1	39.87	L
20	0.2	42.91	L
30	0.3	41.19	L+D
40	0.4	41.92	L+D
50	0.5	42.28	L+D
60	0.6	42.55	L+D
70	0.7	41.04	D
80	0.8	41.65	D
90	0.9	42.15	D

4 结 论

(1)与无加劲的冷弯薄壁卷边槽钢相比较,腹板加劲、翼缘加劲、腹板和翼缘均加劲3种构件的

承载力均有提高,其中腹板和翼缘均加劲的 D 类试件承载力提高最明显,加劲增强了试件抵抗局部屈曲的能力,失效形式也从局部屈曲与局部和畸变耦合屈曲变为畸变屈曲。

(2)采用壳单元并取一阶模态的 $L/1\ 000$ 作为初始缺陷,开展薄壁构件的非线性弹塑性屈曲数值分析,能够得到与试验结果基本一致的结论。

(3)腹板加劲形式简单且屈曲承载力提高明显。加劲的弯折深度建议选择翼缘宽度的 12%左右,加劲宽度建议选择腹板高度的 20%左右,冷弯薄壁卷边槽钢的屈曲承载力可以提高约 30%,同时保证了比较好的延性。

参考文献:

- [1] YU Weiwen. **Cold-Formed Steel Design** [M]. 3rd ed. Hoboken: Wiley-Interscience Publication, 2000.
- [2] SCHAFER B W. Cold-formed steel behavior and design: analytical and numerical modeling of elements and members with longitudinal stiffeners [D]. New York: Cornell University, 1998.
- [3] DAVIES J M. Recent research advances in cold-formed steel structures [J]. **Journal of Constructional Steel Research**, 2000, **55** (1/2/3): 267-288.
- [4] 姚永红. 腹板 V 形加劲冷弯薄壁卷边槽钢轴压柱稳定性能研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012.
YAO Yonghong. Study on stability behavior of cold-formed thin-walled steel lipped channel columns with V-shaped stiffened web under axial loads [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2012. (in Chinese)
- [5] HANCOCK G J. Distortional buckling of steel storage rack columns [J]. **Journal of Structural Engineering**, 1985, **111**(12): 2770-2783.
- [6] LAU S C W, HANCOCK G J. Inelastic buckling of channel columns in the distortional mode [J]. **Thin-Walled Structures**, 1990, **10**(1): 59-84.
- [7] CHILVER A H. The behavior of thin-walled structural members in compression [J]. **Engineering**, 1951, **172**(4466): 281-282.
- [8] SRIDHARAN S. A semi-analytical method for the post-local-torsional buckling analysis of prismatic plate structures [J]. **International Journal for Numerical Methods in Engineering**, 1982, **18**(11): 1685-1697.
- [9] MANIKANDAN P, BALAJI S, SUKUMAR S, *et al.* Experimental and numerical analysis of web stiffened cold-formed steel channel column with various types of edge stiffener [J]. **International Journal of Advanced Structural Engineering**, 2017, **9**(2): 129-138.
- [10] MANIKANDAN P, SUKUMAR S, KANNAN K. Distortional buckling behaviour of intermediate cold-formed steel lipped channel section with various web stiffeners under compression [J]. **International Journal of Advanced Structural Engineering**, 2018, **10**(3): 189-198.
- [11] DENG Lu, LI Jiaoli, YANG Yuanliang, *et al.* Imperfection sensitivity analysis and DSM design of web-stiffened lipped channel columns experiencing local-distortional interaction [J]. **Thin-Walled Structures**, 2020, **152**: 106699.
- [12] ROGERS C A, SCHUSTER R M. Flange/web distortional buckling of cold-formed steel sections in bending [J]. **Thin-Walled Structures**, 1997, **27**(1): 13-29.
- [13] 何保康, 蒋路, 姚行友, 等. 高强冷弯薄壁型钢卷边槽形截面轴压柱畸变屈曲试验研究 [J]. 建筑结构学报, 2006, **27**(3): 10-17.
HE Baokang, JIANG Lu, YAO Xingyou, *et al.* Experimental study on distortional buckling of high strength cold-formed steel lipped channel columns under axial compression [J]. **Journal of Building Structures**, 2006, **27**(3): 10-17. (in Chinese)
- [14] YANG Demao, HANCOCK G J. Compression tests of high strength steel channel columns with interaction between local and distortional buckling [J]. **Journal of Structural Engineering**, 2004, **130**(12): 1954-1963.
- [15] 李元齐, 沈祖炎, 王磊, 等. 高强冷弯薄壁型钢卷边槽形截面构件设计可靠度分析 [J]. 建筑结构学报, 2010, **31**(11): 36-44.
LI Yuanqi, SHEN Zuyan, WANG Lei, *et al.* Design reliability analysis of high-strength cold-formed thin-walled steel members with lipped channel sections [J]. **Journal of Building Structures**, 2010, **31**(11): 36-44. (in Chinese)

- [16] 李元齐, 王树坤, 沈祖炎, 等. 高强冷弯薄壁型钢卷边槽形截面轴压构件试验研究及承载力分析 [J]. 建筑结构学报, 2010, **31**(11): 17-25.
LI Yuanqi, WANG Shukun, SHEN Zuyan, *et al.* Experimental study and load-carrying capacity analysis of high-strength cold-formed thin-walled steel lipped channel columns under axial compression [J]. *Journal of Building Structures*, 2010, **31**(11): 17-25. (in Chinese)
- [17] 陶 忠. 腹板中间 V 型加劲卷边槽钢柱单波型和多波型相关屈曲性能分析和试验研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2000.
TAO Zhong. Theory and tests of single-wave and multiple-wave interactive buckling in thin-walled lipped-channel beam-columns with web's intermediate V-stiffeners [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2000. (in Chinese)
- [18] YAN Jintang, YOUNG B. Column tests of cold-formed steel channels with complex stiffeners [J]. *Journal of Structural Engineering*, 2002, **128**(6): 737-745.
- [19] YOUNG B, HANCOCK G J. Compression tests of channels with inclined simple edge stiffeners [J]. *Journal of Structural Engineering*, 2003, **129**(10): 1403-1411.

Effect of stiffener on local and distortional coupled buckling of cold-formed thin-walled lipped steel with channel section

HUANG Lihua*, KANG Lei

(Faculty of Infrastructure Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: In order to study the effect of stiffener type and dimension on local and distortional coupled buckling of cold-formed thin-walled lipped steel with channel section, an axial compression test is carried out on four types of cold-formed thin-walled lipped channel steel column including unstiffened, web stiffened, flange stiffened, web and flange stiffened simultaneously. The results show that the buckling loads of the specimens with stiffener are increased compared with those without stiffener, among them the anti-local buckling effect of web stiffened and web and flange stiffened is obvious. The failure modes transform from local buckling, local and distortional coupled buckling to distortional buckling. The influence of stiffener dimension on buckling performance is further analyzed by using finite element method. From the calculation results, it can be drawn that when the ratio of the depth of the web stiffener to the width of the flange is about 0.12, and the ratio of the width of the stiffener to the width of the web is about 0.2, the buckling bearing capacity of the thin-walled lipped channel steel increases the most, and distortional buckling mainly occurs.

Key words: stiffener; cold-formed thin-walled lipped steel with channel section; buckling bearing capacity; local and distortional coupled buckling; experimental and numerical studies