

文章编号:1673-2049(2005)03-0036-09

高强冷弯薄壁型钢轴压短柱受力性能试验研究

周天华¹, 何保康², 周绪红¹, 刘永健³, 王彦敏⁴

(1. 长安大学 建筑工程学院, 陕西 西安 710061; 2. 西安建筑科技大学 土木工程学院, 陕西 西安 710055;
3. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 4. 博思格建筑系统, 上海 201613)

摘要:为了验证壁厚小于1 mm的G550级高强钢材对中国《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB 50018-2002)相关设计规定的适应性,进行了30根冷弯薄壁型钢方管截面轴压短柱的试验研究,试件的壁厚均为0.6 mm、宽厚比为20~150。试验结果表明:当宽厚比较小时($b/t \leq 40$),试件的初始缺陷和高强钢材本身特性对构件承载力的影响较大,试件材料的强度得不到充分发挥;当宽厚比较大时($b/t > 40$),高强钢材局部屈曲和有效截面是影响构件承载力的主要因素。通过对试验结果和各国规范计算结果的对比分析,给出了高强冷弯薄壁型钢构件按中国规范GB 50018-2002计算有效宽度的建议。

关键词:高强冷弯薄壁型钢;短柱;试验研究;有效宽度

中图分类号:TU392.5 **文献标志码:**A

Experimental research on bearing capacity of high-strength cold-formed steel stub columns

ZHOU Tian-hua¹, HE Bao-kang², ZHOU Xu-hong¹, LIU Yong-jian³, WANG Yan-min⁴

(1. School of Architectural Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, China;
2. School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;
3. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China;
4. Bluescope Buildings, Shanghai 201613, China)

Abstract: In order to verify the adaptability of Chinese *Technical Code of Cold-formed Thin-wall Steel Structures* GB 50018-2002 for the grade G550 high-strength steel of wall thickness less than 1 mm, the 30 specimens of cold-formed steel stub columns had been tested under axial compression loading. The wall thickness of specimens are all 0.6 mm and the ratios of width to thickness are from 20 to 150. The experimental results show that initial imperfections and material properties are major influence factors for bearing capacity of specimens with low ratios of width to thickness ($b/t \leq 40$), and local buckling and effective section are major influence factors for bearing capacity of specimens with high ratios of width to thickness ($b/t > 40$). Through comparing the test results with the design specifications of Chinese code GB 50018-2002 and other countries', the suggestions of calculating effective width for the grade G550 high-strength steel by Chinese code GB 50018-2002 are presented.

Key words: high-strength cold-formed steel; stub column; experimental research; effective width

0 引言

近年来,随着新型轻钢结构体系应用的迅速发展,壁厚小于 1 mm、屈服强度达 550 MPa 的高强冷弯薄壁型钢构件已在国外实际工程中开始应用^[1]。在中国,上海宝钢集团公司等钢铁公司也开始研究开发 G550 级高强钢材。这种高强度钢材与普通低强钢材 Q235 和 Q345 等相比,其显著特点是:材料强度高、延性差,在屈服后几乎没有应力强化阶段,如图 1 所示。原来按普通钢材确定的有关钢压杆稳定性方面的设计规定、计算方法等是否适用于高强钢材,尚需作进一步试验研究。中国现行标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB 50018-2002)^[2]中的设计规定均建立在 Q235 和 Q345 钢材试验研究结果的基础上,对高强钢材因缺乏试验研究依据而无明确设计规定。为验证高强钢材对 GB 50018-2002 规范相关设计规定的适应性,笔者开展了高强冷弯薄壁型钢构件受力性能的系列试验研究,以期提出适用 G550 级钢材构件的设计、计算建议。对 G550 级高强冷弯薄壁型钢轴压短柱的受力性能进行了专题试验研究,轴压长柱和 C 型截面构件的畸变屈曲性能研究等将另文专题介绍。

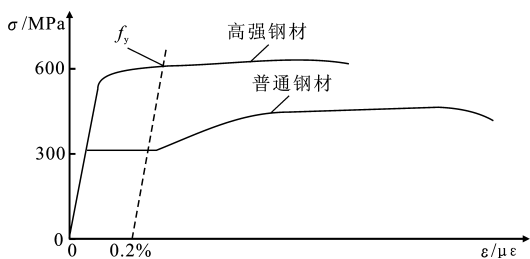


图 1 高强钢材的应力与应变关系

Fig. 1 Relationship of stress and strain of high-strength steel

1 试件

短柱试件设计成如图 2 所示的方管闭口截面形式,方管截面由两个帽形截面 G550 级冷弯薄壁型钢通过夹具组合而成,夹具间距要确保试件均匀受压时两个帽形冷弯型钢能共同工作,其净间距不超过 20 mm,试件端部留出约 2~3 mm 的空隙以防夹具与试验台座接触;因此,试件 A、B 两面的翼缘板为两边简支加劲板件,而两块腹板为中间加劲板件(帽形卷边视为加劲)。试件长度满足 SSRC 短柱试验要求^[3],将试件按翼缘板的宽厚比 b/t 分 10 组,每组 3 个共 30 个试件,试件编号及尺寸见表 1。各试件初始缺陷 δ 为沿试件长度方向分布的 A、B 两

翼缘中线处的不平度,采用钢板靠尺和标准塞尺进行量测,初始缺陷 δ_A 和 δ_B 最大值均未超过 0.35 mm;截面弯角半径, $r=0.6$ mm, $R=1.2$ mm,如图 2(a)所示;截面积按板件展开宽度乘以基材厚度 $t=0.6$ mm 计算(含腹板卷边截面积)。试件材料为澳大利亚生产的镀锌板材,单面镀层厚度约 0.025 mm,基材厚度为 0.6 mm,主要材料性能指标根据文献^[4]试验结果取弹性模量 $E \approx 2.16 \times 10^5$ MPa,屈服强度 $f_y \approx 710$ MPa。

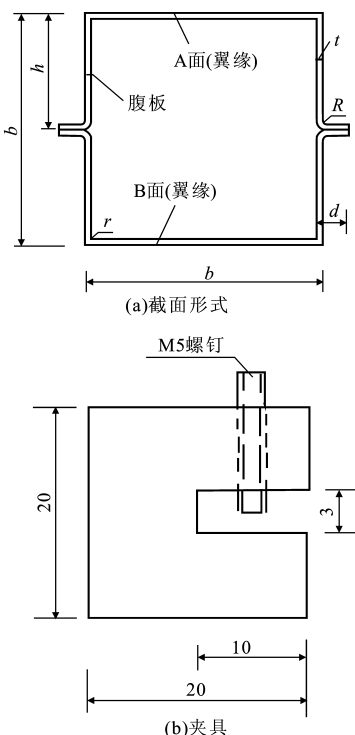


图 2 短柱试件/mm

Fig. 2 Specimens of stub columns

2 试验装置及测点布置

试验采用 WES-500D 型屏幕显示液压万能试验机,如图 3(a)所示,最大加载能力 500 kN,该机自带的球形铰支座具有良好的自动对中功能,如图 3(b)所示;试验时试件直接放置在试验机台座上先进行几何对中,再施加约 1 kN 的预压荷载后利用球形铰支座自动物理对中。

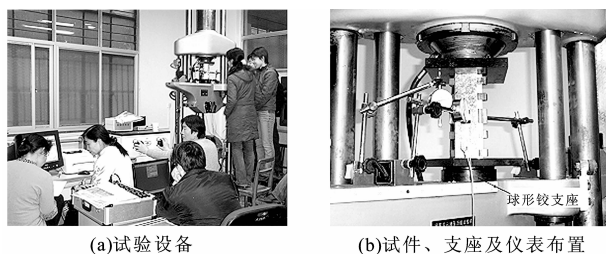


图 3 试验装置

Fig. 3 Test equipment

根据试验目的和试件截面的特征,各短柱试件的测点布置如图 4 所示。在各短柱跨中截面 A、B 两面(翼缘板)上对称布置若干应变片以测试试件的轴力与应变关系,对试件 SSC1~5 由于截面宽度较小(b 为 12~24 mm),故仅在截面中部各布置一片应变片,

对试件 SSC6~10,则 A、B 两面各布置 3 片应变片。测量各级荷载下短柱跨中 A、B 两面中部板的出平面变形,为测量试件的变形,分别布置位移计 D₁、D₂ 以变形,D₃ 测量各级荷载下短柱的轴向压缩变形。

表 1 短柱试件尺寸/mm
Tab. 1 Specimens size of stub columns

编 号	A 面					B 面					长度 <i>l</i>	截面积/ mm ²
	翼缘 <i>b</i>	腹板 <i>h</i>		卷边 <i>d</i>		翼缘 <i>b</i>	腹板 <i>h</i>		卷边 <i>d</i>			
		左	右	左	右		左	右				
SSC1a	11.8	6.2	6.0	7.8	7.5	11.7	6.1	6.1	7.8	7.5	60.2	44.22
SSC1b	11.8	5.9	6.0	7.7	7.6	11.8	6.2	6.3	7.8	7.3	60.5	44.16
SSC1c	11.7	5.9	6.0	7.8	7.6	11.7	6.1	6.1	7.8	7.6	60.4	44.10
SSC2a	14.6	7.2	7.2	8.1	8.2	14.6	7.1	7.3	8.0	8.0	70.2	51.30
SSC2b	14.3	7.9	7.1	8.1	7.9	14.5	7.54	7.5	8.0	8.2	70.2	51.77
SSC2c	14.8	7.4	7.1	7.9	7.9	14.5	6.9	7.2	8.0	7.9	70.2	50.88
SSC3a	18.4	8.4	8.4	8.1	8.3	18.6	9.0	8.3	7.8	8.2	80.7	59.22
SSC3b	18.9	8.5	8.3	8.1	8.1	18.5	8.2	8.2	8.1	8.4	80.5	59.11
SSC3c	18.0	8.7	8.5	8.0	8.2	18.6	8.4	8.3	8.1	8.3	80.5	58.96
SSC4a	21.1	9.8	10.1	8.1	8.2	21.3	9.6	10.4	8.1	8.0	100.3	65.94
SSC4b	20.8	10.1	9.5	8.0	8.1	20.6	9.9	10.5	8.3	8.2	100.2	65.52
SSC4c	21.0	10.3	10.0	8.2	8.2	20.8	10.1	10.5	8.1	8.0	100.2	66.24
SSC5a	23.9	11.7	11.7	8.1	8.1	23.9	11.8	11.6	8.1	8.0	110.2	73.26
SSC5b	23.8	11.7	11.7	8.2	8.1	23.9	11.7	11.8	8.2	8.0	110.3	73.38
SSC5c	23.7	11.6	11.7	8.4	8.2	24.0	11.7	11.6	8.2	8.0	110.3	73.38
SSC6a	35.4	17.6	17.8	8.1	8.2	35.5	17.7	17.7	8.2	8.0	160.9	101.64
SSC6b	35.8	17.9	17.7	8.0	7.4	35.6	17.7	17.8	7.9	8.2	160.3	101.52
SSC6c	35.6	17.8	18.0	8.2	8.0	35.7	17.8	17.9	8.2	7.9	160.2	102.18
SSC7a	48.1	23.7	23.7	8.2	8.0	47.8	23.8	23.8	8.2	8.0	190.7	131.10
SSC7b	47.9	23.7	23.6	8.1	7.9	47.9	23.7	23.7	8.2	8.0	190.8	130.74
SSC7c	48.1	23.8	23.8	8.0	8.1	47.8	23.5	23.7	8.2	8.1	190.8	130.98
SSC8a	60.2	29.3	29.8	8.0	8.0	59.8	29.7	29.7	8.1	8.1	219.7	159.54
SSC8b	59.5	29.5	29.8	8.3	8.1	59.7	29.6	29.8	8.1	8.0	219.6	159.36
SSC8c	59.7	29.8	29.7	8.1	8.0	59.7	29.7	29.6	8.4	8.1	219.4	159.60
SSC9a	72.7	35.6	34.8	8.2	8.3	72.5	35.6	35.4	8.0	8.1	259.8	188.64
SSC9b	72.7	35.9	35.6	8.1	8.1	72.3	35.4	35.5	8.1	8.2	258.8	189.06
SSC9c	72.6	35.7	35.7	8.2	8.2	72.2	35.6	35.3	8.1	8.1	258.5	188.94
SSC10a	89.4	44.7	45.0	8.1	7.9	89.8	44.4	44.7	8.3	7.8	299.5	231.18
SSC10b	90.0	44.7	44.8	8.3	8.0	89.6	44.7	44.9	8.4	8.1	299.6	232.02
SSC10c	89.9	44.7	44.9	8.3	8.0	89.9	44.7	44.7	8.2	7.9	299.6	231.84

3 试验过程及破坏特征

试验过程中,加载速率控制在约 20~30 N/s,计算机全过程自动记录各测点的数据。随着轴向荷载逐渐增大,当试件 A、B 两翼缘板出现局部屈曲时,沿长度方向可观察到 3~5 个半波,随荷载的增加波形越来越明显,直到短柱进入弹塑性受力阶段;最后到达极限荷载时,在短柱截面形成局部塑性机构,此时,荷载急剧下降、试件彻底破坏,卸载后局部屈曲波形的弹性部分恢复而消失,仅残留下最终不

可恢复的塑性变形。对截面板件宽厚比较小(b/t 为 20~60)的试件,破坏时的局部塑性机构为板件凸曲变形,最终残留下的塑性变形为板件局部凸曲模式,如图 5 所示;而对截面板件宽厚比较大($b/t\geq 80$)的试件,由于截面板组刚度较小,破坏时的局部塑性机构为板件突然发生不可恢复的局部凹曲模式,如图 6 所示。

4 主要试验结果

各试件按如图 4 所示布置的位移计所测量和记

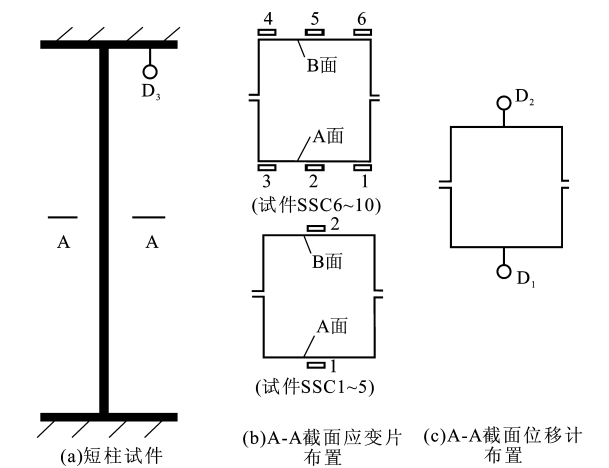


图 4 测点布置

Fig. 4 Arrangement of measuring points

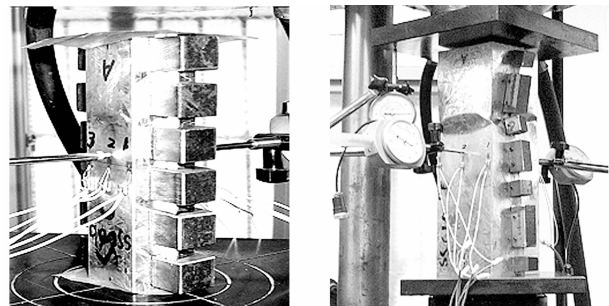


图 5 小宽厚比试件
凸曲模式
Fig. 5 Convex-bend mode
of low ratios of width to
thickness specimens

图 6 大宽厚比试件
凹曲模式
Fig. 6 Concave-bend mode
of high ratios of width to
thickness specimens

录的荷载与位移关系的典型曲线见图 7,其中位移计D₁~D₃的测点分别对应图 7 中 1~3 号曲线;应变片所测量和记录的荷载与应变关系的典型曲线见图 8,其中 1~6 测点分别对应图 8 中 1~6 号曲线。

各试件的试验极限荷载 P_u^t 和屈曲荷载 P_{cr}^t 见表 2。其中,试验极限荷载 P_u^t 为试件的最大试验荷载,试验屈曲荷载 P_{cr}^t 是根据图 7 荷载与位移关系曲线中 1、2 号曲线拐点荷载的平均值,同时参考图 8 荷载与应变关系曲线中翼缘中部测点的应变曲线拐点荷载综合确定的。从表 2 可以看出:宽厚比较小时(b/t 为 20~40), P_u^t 和 P_{cr}^t 较为接近;宽厚比较大时(b/t 为 80~150),二者相差较大;当 $b/t=150$ 时, P_u^t 为 P_{cr}^t 的 5 倍左右。

对截面板件宽厚比较小的试件,试验极限荷载 P_u^t 小于理论极限荷载 $P_y=Af_y$,这说明承载力接近强度极限的小宽厚比试件,其初始缺陷对材料性能影响明显,高强冷弯薄壁受压短柱的材料强度不能

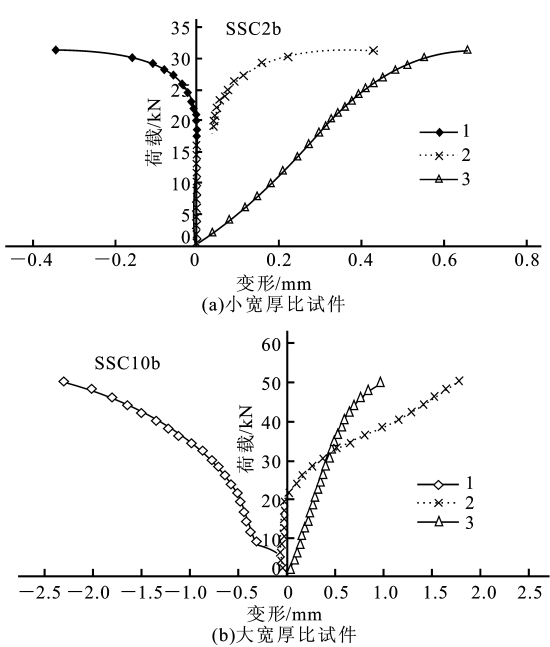


图 7 短柱试件的典型荷载与位移关系
Fig. 7 Typical relationship of load and displacement
of stub column specimens

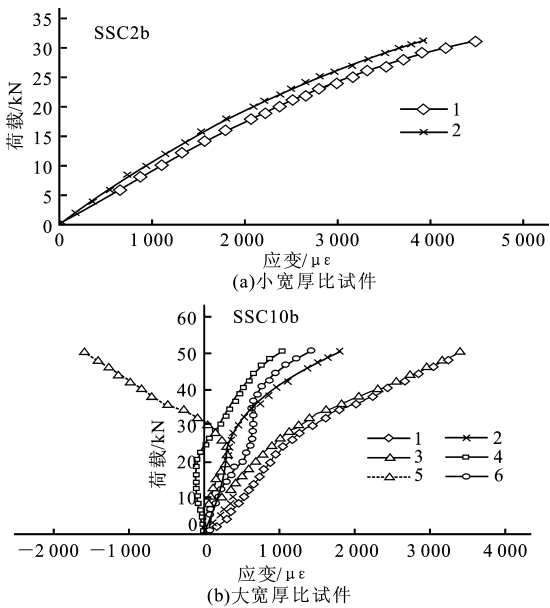


图 8 短柱试件的典型荷载与应变关系
Fig. 8 Typical relationship of load and strain of stub
column specimens

充分发挥。

5 主要试验结果分析

5.1 试验和理论屈曲荷载的比较

理论(计算)屈曲荷载 $P_{cr}=A\sigma_{cr}$, A 为各试件截面积, σ_{cr} 为试件翼缘板[图 2(a)]的弹性屈曲应力,按均匀受压板件的弹性屈曲临界应力公式计算

$$\sigma_{cr}=\frac{k\pi^2E}{12(1-\nu^2)(b/t)^2}\tag{1}$$

按式(1)计算时,泊松比取 $\nu=0.3$;弹性模量取 $E=2.16\times10^5$ MPa;翼缘板的弹性稳定系数取 $k=4.0$;计算出的理论弹性屈曲荷载 P_{cr} 与试验结果的比较如图 9 所示。

表 2 主要试验结果

Tab. 2 Main test results

编 号	b/t	截面积 A/mm^2	P_y/kN	P_u/kN	P_{cr}/kN	破坏模式
SSC1a	20	44.22	31.39	26.7	23.0	凸曲
SSC1b		44.16	31.35	27.9	24.5	
SSC1c		44.10	31.31	28.6	25.5	
SSC2a	25	51.30	36.42	32.0	30.0	
SSC2b		51.77	36.76	31.0	28.5	
SSC2c		50.88	36.13	31.85	29.5	
SSC3a	30	59.22	42.05	29.91	25.0	
SSC3b		59.11	41.97	35.5	34.0	
SSC3c		58.96	41.86	34.8	30.0	
SSC4a	35	65.94	46.82	37.0	35.0	
SSC4b		65.52	46.52	35.0	34.5	
SSC4c		66.24	47.03	37.7	37.0	
SSC5a	40	73.26	52.02	38.0	36.0	凹曲
SSC5b		73.38	52.10	40.0	36.0	
SSC5c		73.38	52.10	39.0	36.0	
SSC6a	60	101.64	72.16	39.0	34.0	
SSC6b		101.52	72.08	47.0	29.0	
SSC6c		102.18	72.55	39.35	28.0	
SSC7a	80	131.10	93.08	45.7	22.0	
SSC7b		130.74	92.83	43.0	22.0	
SSC7c		130.98	92.99	45.0	21.0	
SSC8a	100	159.54	113.27	42.0	10.5	
SSC8b		159.36	113.15	47.0	15.5	
SSC8c		159.60	113.32	47.7	14.5	
SSC9a	120	188.64	133.93	46.0	13.5	
SSC9b		189.06	134.23	46.0	13.5	
SSC9c		188.94	134.15	48.0	12.0	
SSC10a	150	231.18	164.14	44.0	12.5	
SSC10b		232.02	164.73	50.0	13.0	
SSC10c		231.84	164.61	51.0	11.0	

当板件宽厚比 b/t 小于 40 时,试验屈曲荷载 P_{cr}^t 均小于理论屈曲荷载 P_{cr} ,这里需要说明的是:从理论上讲,试验屈曲荷载 P_{cr}^t 本应该与试验极限荷载 P_u 相等,且试件的破坏应为强度破坏,最终破坏时不应发生局部屈曲,但由于试件在初始缺陷(板件出平面的初始凹凸)和试验设备等因素的影响下,短柱试件截面的板件在试验中实际上并非理想的轴心受

压板件,在试验加载的后期,荷载接近试件的极限荷载时,试件截面的翼缘板件发生了较为明显的出平面变形,即局部屈曲,致使材料的强度得不到充分发挥。

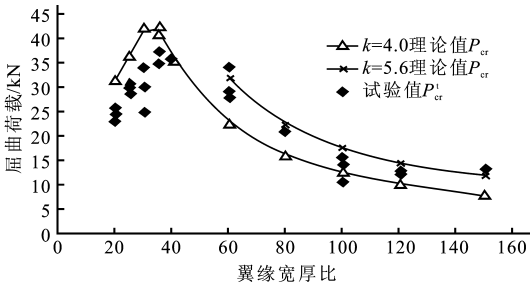


图 9 试验和理论屈曲荷载的比较

Fig. 9 Comparison of buckling loads with test and theory

当板件宽厚比 b/t 大于 40 时,试验屈曲荷载 P_{cr}^t 除 SSC8a 试件外均大于计算屈曲荷载 P_{cr} ,其原因是:对于宽厚比较大的试件,试件翼缘板件受腹板的约束介于四边简支和两对边固支之间。文献[1]的试验研究认为:由于试件腹板中间受两条卷边的加劲影响,翼缘板的弹性稳定系数 k 由四边简支时的 4.0 提高到大约 5.6;图 9 中也给出了按弹性稳定系数 $k\approx5.6$ 计算的板件临界荷载,计算理论值与试验值比较接近。故试验屈曲荷载 P_{cr}^t 大于按四边简支板($k=4.0$)计算的理论屈曲荷载 P_{cr} ,这主要是板组相关约束影响所致,此时,试件的初始缺陷影响虽依然存在,但其影响不如翼缘板宽厚比较小的试件那样明显,这也说明宽厚比较大的高强钢材试件,局部屈曲是影响构件承载力的主要因素。

5.2 试验和理论极限荷载的比较(不考虑板组相关性影响)

为了考察中国规范^[2]GB 50018-2002 的现行有效宽度计算式(3)对 G550 级高强冷弯薄壁型钢构件的适应性,并比较中国规范和美国、澳大利亚两国规范^[5~7]的差异,第 5.2 节将利用各国规范公式即式(2)、(3),计算各短柱试件的有效截面 A_e 及相应的计算极限荷载 $P_s=A_e f_y$,计算时通过调整材料强度,即将式(2)中计算应力 f 和式(3)中的 σ_1 分别取 $f_y, 0.9f_y, 0.85f_y, 0.8f_y, 0.75f_y$ 得到相应计算极限荷载 P_s ,并由计算极限荷载 P_s 与试验极限荷载 P_u 进行比较,以确定合理的强度取值。因美国、澳大利亚两国规范在计算构件截面板件的有效宽度时不考虑板组的相关性影响,为了增加可比性,第 5.2 节按中国规范计算 A_e 时,也不考虑板组的相关性影响。美国、澳大利亚两国规范有效截面及构件极限荷载 P_u 按式(2)计算

$$\left. \begin{aligned} b_e &= b & \lambda &\leq 0.673 \\ b_e &= \rho b & \lambda &> 0.673 \\ \rho &= (1 - 0.22/\lambda) / \lambda \\ \lambda &= \sqrt{\frac{f}{\sigma_{cr}}} = \frac{1.052(b/t)}{\sqrt{k}} \sqrt{\frac{f}{E}} \\ A_e &= A - [2(b - b_e) + 4(h - h_e)]t \\ P_s^1 &= A_e f \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

中国规范 GB 50018-2002 有效截面及构件极限荷载 P_s^2 按式(3)计算

$$\left. \begin{aligned} b_e &= b & b/t &\leq 18\alpha\rho \\ b_e &= (\sqrt{\frac{21.8\alpha\rho}{b/t}} - 0.1)b & 18\alpha\rho < b/t < 38\alpha\rho \\ b_e &= \frac{25\alpha\rho b}{b/t} & b/t &\geq 38\alpha\rho \\ \rho &= \sqrt{\frac{235k_1 k}{\sigma_1}} & k_1 &= 1.0 \\ A_e &= A - [2(b - b_e) + 4(h - h_e)]t \\ P_s^2 &= A_e \sigma_1 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

按各国规范式(2)、(3)计算时,翼缘板的弹性稳定系数 $k=4.0$,试件截面的有效面积分布按如图 10 所示取用,翼缘板按加劲板件计算,腹板按两块加劲板件计算。按式(2)、(3)计算出材料强度分别取 f_y 、 $0.9f_y$ 、 $0.85f_y$ 、 $0.8f_y$ 、 $0.75f_y$ 时各试件计算极限荷载 P_s ,见表 3, P_s 与试验极限荷载 P_u^1 的比较如图 11 所示。通过比较可知:当不考虑板组相关性影响时,与试验值 P_u^1 相比,以材料强度 f_y 计算的规范理论极限荷载 P_s 为上限,以材料强度 $0.75f_y$ 计算的规范极限荷载 $P_{0.75}$ 为下限;相对而言,按中国规范 GB 50018-2002 计算的 $0.8f_y$ 时的极限荷载 $P_{0.8}$ 与试验结果总体吻合最好,且偏安全。此外,还可看出:按中国现行规范 GB 50018-2002 计算时,若采用美国规范 AISI 和澳大利亚规范 AS/NZS 4600 的推荐值,对 G550 级高强冷弯薄壁型钢取 $0.75f_y$ 时偏于保守,而按文献[1]推荐取 $0.9f_y$ 计算时又偏于不安全。鉴于此,结合中国具体国情,建议按中国现行规范 GB 50018-2002 计算 G550 级高强冷弯薄壁型钢受压构件有效宽度计算时,取材料强度 $0.8f_y$ 较为合适,且偏于安全。

5.3 试验和理论极限荷载的比较(考虑板组相关性影响)

按中国规范 GB 50018-2002 第 5.6.1 条计算构件截面板件有效宽度时,推荐采用考虑板组相关性影响;为了考察考虑板组相关性影响后 GB 50018-2002 有效宽度计算式(3)对 G550 级高强钢材的适应性,第 5.3 节将用式(3)按图 10 试件截面,考虑翼

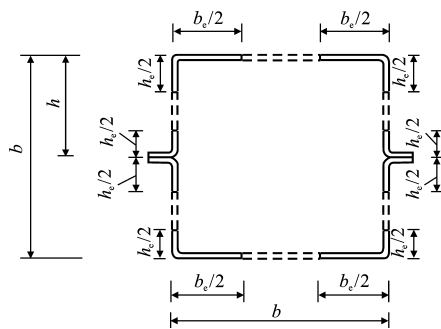


图 10 截面板件有效宽度分布

Fig. 10 Distribution of effective section plate width

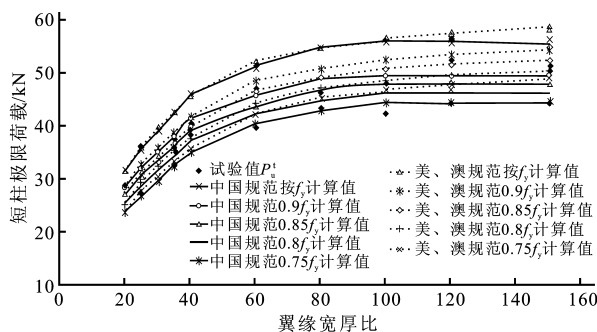


图 11 试验极限荷载和规范计算极限荷载的比较
(不考虑板组相关性影响)

Fig. 11 Comparison of test ultimate loads with standard calculation loads (without considering influence of plate-group interaction)

缘板和腹板的板组相关性影响,采用与第 5.2 节同样的方法,通过调整材料强度计算各短柱试件的有效截面 A_e 及相应的计算极限荷载 P_s ,并与试验极限荷载 P_u^1 进行比较。

按式(3)计算板件宽厚比时,计算系数 $\rho = \sqrt{235k_1 k / \sigma_1}$ 中的板组约束系数 k_1 按式(4)计算

$$\left. \begin{aligned} k_1 &= 1/\xi & \xi &\leq 1.1 \\ k_1 &= 0.11 + \frac{0.93}{(\xi - 0.05)^2} & \xi &> 1.1 \\ \xi &= \frac{c}{b} \sqrt{\frac{k}{k_c}} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式中: b 为计算板件宽度; c 为与计算板件相邻接的板件宽度; k 、 k_c 分别为计算板件和邻接板件的弹性稳定系数,笔者均按加劲板考虑取 4.0。

对翼缘板

$$\xi = \frac{b/2}{b} \sqrt{\frac{4}{4}} = \frac{1}{2} < 1.1$$

对腹板

$$\xi = \frac{b}{b/2} \sqrt{\frac{4}{4}} = 2 > 1.1$$

表 3 不考虑板组相关影响时试验和规范理论计算极限荷载

Tab. 3 Ultimate loads of test and theory without considering influence of plate-group interaction

编 号	b/t	P_u^t/kN	美、澳规范/kN					中国规范/kN				
			P_s^1	$P_{0.9}^1$	$P_{0.85}^1$	$P_{0.8}^1$	$P_{0.75}^1$	P_s^2	$P_{0.9}^2$	$P_{0.85}^2$	$P_{0.8}^2$	$P_{0.75}^2$
SSC1a	20	26.7	31.39	28.26	26.69	25.12	23.55	31.39	28.26	26.69	25.12	23.55
SSC1b		27.9										
SSC1c		28.6										
SSC2a	25	32.0	35.85	32.58	30.93	29.14	27.32	35.37	31.75	30.13	28.31	26.89
SSC2b		31.0										
SSC2c		31.85										
SSC3a	30	29.91	39.16	35.67	33.91	32.13	30.34	38.98	34.88	33.12	31.18	29.54
SSC3b		35.5										
SSC3c		34.8										
SSC4a	35	37.0	42.14	38.40	36.52	34.61	32.70	42.22	37.79	35.88	33.78	32.02
SSC4b		35.0										
SSC4c		37.7										
SSC5a	40	38.0	45.50	41.46	39.43	37.38	35.31	45.80	41.08	38.99	36.62	34.79
SSC5b		40.0										
SSC5c		39.0										
SSC6a	60	39.0	52.0	48.24	46.30	43.97	42.30	51.32	45.63	43.41	41.10	40.03
SSC6b		47.0										
SSC6c		39.35										
SSC7a	80	45.7	54.76	50.58	48.92	46.94	45.02	54.56	48.68	46.62	43.64	42.63
SSC7b		43.0										
SSC7c		45.0										
SSC8a	100	42.0	55.84	52.17	50.32	48.36	46.23	55.65	49.32	47.65	44.37	44.22
SSC8b		47.0										
SSC8c		47.7										
SSC9a	120	46.0	56.99	53.25	51.32	49.37	47.35	55.61	49.32	47.65	44.37	44.18
SSC9b		46.0										
SSC9c		48.0										
SSC10a	150	44.0	58.16	53.97	52.06	50.12	48.49	55.93	49.32	47.65	44.37	43.83
SSC10b		50.0										
SSC10c		51.0										

材料强度分别取 f_y 、 $0.9f_y$ 、 $0.85f_y$ 、 $0.8f_y$ 、 $0.75f_y$ 时,按式(4)计算出各试件截面板组约束系数 k_1 及计算系数 ρ ,并按式(3)分别计算出各试件的计算极限荷载 $P_{1.0} \sim P_{0.75}$,如表 4 所示,与试验极限荷载 P_u^t 的比较如图 12 所示。通过比较可知:当考虑板组相关性影响时,以材料强度 $0.85f_y$ 按中国 GB 50018-2002 规范计算的极限荷载 $P_{0.85}$ 与试验极限荷载 P_u^t 总体相对吻合较好,除个别试件外计算值均小于试验值;计算极限荷载 $P_{0.8}$ 、 $P_{0.75}$ 与试验值相比偏于保守,而 $P_{1.0}$ 、 $P_{0.9}$ 与试验值相比在 b/t 小于 40 时又偏于不安全。因此建议,当考虑板组相关性影响时,按 GB 50018-2002 规范计算 G550 高强冷弯薄壁型钢受压构件截面板件有效宽度和极限承载

力,当取 $0.85f_y$ 时,计算值与试验值比较吻合,且偏于安全。

此外,为了比较是否考虑翼缘和腹板的板组相关性影响,按中国规范 GB 50018-2002 计算结果的差异如图 13 所示,图 13 同时给出了表 3、4 中,当材料强度分别为 f_y 、 $0.9f_y$ 、 $0.85f_y$ 、 $0.8f_y$ 时二者计算结果的比较。通过比较可知:当板件宽厚比较小 ($b/t < 40$) 时,是否考虑板组相关性影响,按中国 GB 50018-2002 规范计算的短柱试件的极限荷载相差不大;而当板件宽厚比较大 ($b/t > 40$) 时,不考虑板组相关性影响的计算极限荷载 P 比考虑板组相关性的极限荷载 P' 大的较多;当 b/t 大于 $38\alpha\rho$ 时, $P \approx (1.12 \sim 1.20)P'$ 。

表 4 考虑板组相关影响时试验和规范理论计算极限荷载

Tab. 4 Ultimate loads of test and theory considering influence of plate-group interaction

编 号	b/t	P_u^t / kN	$P_{1.0}$ / kN	$P_{0.9}$ / kN	$P_{0.85}$ / kN	$P_{0.8}$ / kN	$P_{0.75}$ / kN
SSC1a	20	26.7	31.39	28.26	26.68	25.12	23.55
SSC1b		27.9					
SSC1c		28.6					
SSC2a	25	32.0	35.68	32.76	30.96	29.14	27.32
SSC2b		31.0					
SSC2c		31.85					
SSC3a	30	29.91	39.30	36.10	34.48	32.10	31.06
SSC3b		35.5					
SSC3c		34.8					
SSC4a	35	37.0	40.88	37.58	35.91	34.22	32.49
SSC4b		35.0					
SSC4c		37.7					
SSC5a	40	38.0	42.75	39.33	37.58	35.82	34.02
SSC5b		40.0					
SSC5c		39.0					
SSC6a	60	39.0	46.83	43.87	42.35	40.80	38.94
SSC6b		47.0					
SSC6c		39.35					
SSC7a	80	45.7	46.83	43.87	42.35	40.80	38.94
SSC7b		43.0					
SSC7c		45.0					
SSC8a	100	42.0	46.83	43.87	42.35	40.80	38.94
SSC8b		47.0					
SSC8c		47.7					
SSC9a	120	46.0	46.83	43.87	42.35	40.80	38.94
SSC9b		46.0					
SSC9c		48.0					
SSC10a	150	44.0	46.83	43.87	42.35	40.80	38.94
SSC10b		50.0					
SSC10c		51.0					

6 结 语

通过对 30 根 G550 级高强钢材制作的冷弯薄壁型钢方管短柱的轴心受压试验研究,得到初步结论:

(1)试件的试验极限承载力除个别试件外均小于按中国规范 GB 50018-2002 有效截面计算的理论值,由试验现象和数据分析可知:试验值偏小的原因是,当试件截面板件宽厚比较小时($b/t \leq 40$),试件的初始缺陷和高强材料本身特性对构件承载力的影响较大,试件材料的强度得不到充分发挥;当试件截面板件宽厚比较大时($b/t > 40$),高强钢材局部屈曲和有效截面是影响构件承载力的主要因素。

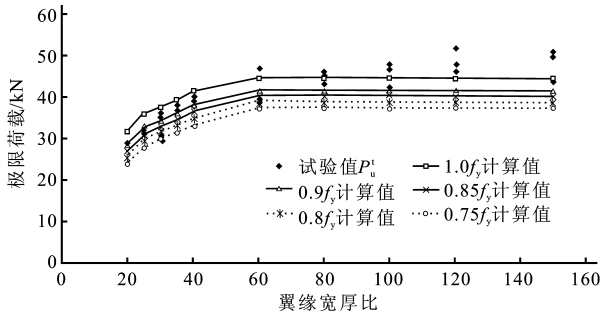


图 12 试验极限荷载和 GB 50018-2002 规范计算极限荷载的比较 (考虑板组相关性影响)

Fig. 12 Comparison of test ultimate loads with standard calculation loads by GB 50018-2002 (considering plate-group interaction)

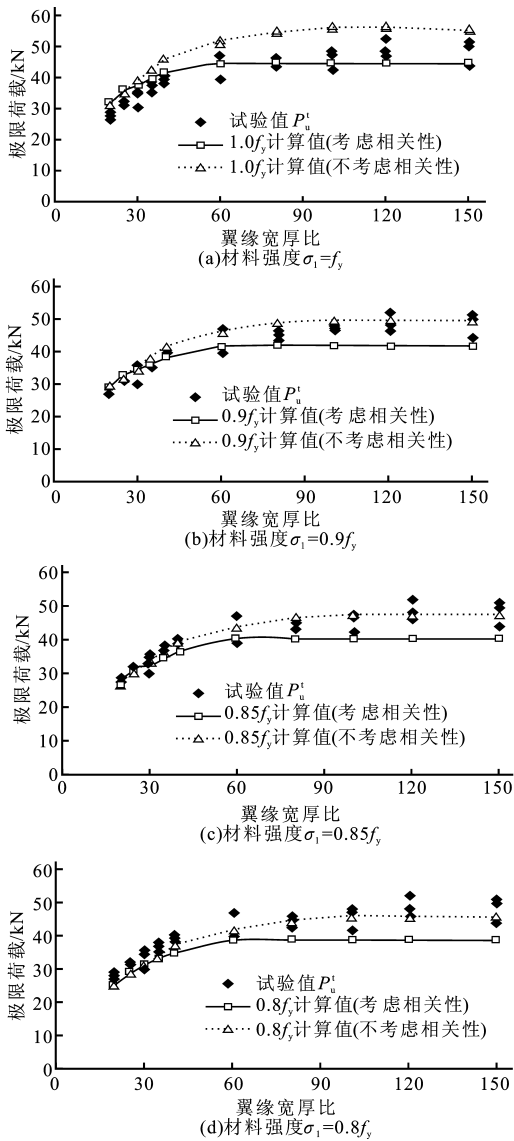


图 13 试验极限荷载与规范 GB 50018-2002 计算极限荷载的比较

Fig. 13 Comparison of test ultimate loads with standard calculation loads by GB 50018-2002

(2)若直接以屈服强度 f_y ,按中国《冷弯薄壁型钢结构技术规范》(GB 50018-2002)和美国、澳大利亚两国规范计算短柱试件的有效截面和极限承载力时,计算值偏于不安全。因此,对中国规范 GB 50018-2002 主要依据 Q235 和 Q345 等低强度钢材的有效截面计算规定必须进行修正,以适用于 G550 级高强冷弯薄壁型钢构件的设计计算。

(3)由于 G550 级高强钢材延性差,基本无应变硬化阶段,限制了板件屈曲后强度的充分发挥,因此在计算有效截面和构件极限承载力时,应将现行规范规定公式中钢材的屈服强度 f_y 适当降低。通过对比分析建议:当不考虑板组相关性影响时,将钢材屈服强度 f_y 乘以系数 0.8 进行修正,即取 $0.8f_y$ 代入中国规范 GB 50018-2002 相应的有效宽度和构件极限承载力公式;当考虑板组相关性影响时,将钢材屈服强度 f_y 乘以系数 0.85 进行修正,即取 $0.85f_y$ 代入 GB 50018-2002 规范计算相应的有效宽度和构件极限承载力公式;计算结果与试验结果总体吻合较好,且偏于安全。

参考文献:

- [1] YANG De-mao, HANCOCK G J. Compression tests of cold-reduced high strength steel sections; I-stub columns[J]. Journal of Structural Engineering, 2004, 130 (11): 1 772—1 781.
- [2] GB 50018-2002, 冷弯薄壁型钢结构技术规范[S].
- [3] GALAMBAS T V, JOHN W, SONS. Structural Stability Research Council, Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures[M]. New York: John Wiley and Sons, 1976.
- [4] 周天华, 周绪红, 何保康, 等. G550 级高强薄板钢材的材性试验研究[J]. 建筑科学与工程学报, 2005, 22(2): 58—61.
- [5] AISI/COS/NASPEC, North American Specification for the Design of Cold-formed Steel Structural Members [S].
- [6] American Iron and Steel Institute. Specification for the Design of Cold-formed Steel Structural Members[M]. Washington D C: AISI, 1996.
- [7] AS/NZS 4600, Cold-formed Steel Structures[S].

《建筑科学与工程学报》2006 年征订通知

《建筑科学与工程学报》是由国家新闻出版总署和国家科技部批准,国家教育部主管,长安大学主办的学术性期刊。《建筑科学与工程学报》秉承科学精神,以促进学术交流,推动科技进步,提高工程建设水平为宗旨,全面反映建筑科学与工程领域最新研究成果,传播建筑设计的新理念,报道建筑科学与工程领域新理论、新技术、新材料、新工艺,介绍大型重点工程的设计与施工技术;主要刊载建筑学、结构工程、防灾减灾、地下建筑与基础工程、建筑环境与设备工程等专业及相关领域的论文,包括科研、设计、施工方面的研究成果与工程实践总结,同时也刊登建筑材料、桥隧工程、市政工程、力学等专业中与上述学科交叉的论文,并就一些热点和难点问题,开设“专家论坛”和“院士讲座”。

《建筑科学与工程学报》的主要读者对象为:建筑科学与工程领域的科研人员、工程技术人员、大专院校师生及管理决策人员。

《建筑科学与工程学报》为季刊,大 16 开本,96 页。欢迎国内外读者订阅! 订阅时可直接汇款至《建筑科学与工程学报》编辑部,每期定价 10.00 元(含邮寄费),全年共 40.00 元。

开户行:中行西安翠华路支行

账 号:0104134-34148598091001

账 户:长安大学杂志社

电 话:(029)82337253

地 址:西安市长安中路 161 号长安大学小寨校区《建筑科学与工程学报》编辑部

邮 编:710061

E-mail:jzxb@chd.edu.cn; jzgc@chd.edu.cn