

低层冷弯型钢房屋墙体立柱承载力试验研究

何保康 刘前进 周天华 陈健 杨家骥 刘宇清 张跃峰
(西安建筑科技大学 西安 710055)(北新房屋有限公司 北京 100096)

摘要 轻钢立柱墙体是低层冷弯型钢建筑一种新型的墙体结构形式,本文对轻钢立柱墙体中主要承力构件 C 型截面立柱试件进行了轴心承载力性能试验研究,墙体立柱试件分不带墙板和带墙板两类,通过对 1:1 模型试件试验结果得出:考虑墙板支承效应可大大提高立柱屈曲承载能力,文章还给出了不带墙板和带墙板立柱轴心受压屈曲承载力的计算建议方法。

关键词 冷弯型钢房屋 轻钢墙体立柱 承载力试验

EXPERIMENT OF LOAD CARRING CAPACITY FOR WALL STUDS IN LOW-RISE COLD-FORMED STEEL HOUSE

He Baokang Liu Qianjin Zhou Tianhua Chen Jian Yang Jiaji Liu Yuqing Zhang Yuefeng
(Xi'an University of Architecture & Technology Xi'an 710055) (BNBM House, Co.Ltd. Beijing 100096)

ABSTRACT The walls with light steel studs is a new wall system in the low-rise cold-formed steel house. The load carrying capacity for wall studs with cold-formed C-section is studied by axial compression tests. The specimens of wall stud are divided as two types which are with and without panels. The test results show that load carrying capacity of studs is increased greatly by considering the effects of panel support. The calculating suggestions for axial compression studs with and without panels are presented in the paper.

KEY WORDS cold-formed steel house light gauge steel wall stud test on load carrying capacity

1. 引言

近几年,在我国各地建造了一批 1~3 层冷弯型钢低层别墅(图 1),从其建筑结构类型来看,此类轻钢别墅不同于传统梁、柱框架结构体系,而是一种新型的墙体承重结构型式。冷弯型钢低层别墅墙体的主要承力构件是间距为 400~600mm 冷弯卷边槽钢立柱,立柱两侧通常采用定向刨花板 OSB 板或木纤维板做外墙板;采用纸面石膏板做内墙板,内、外墙面板采用自攻螺钉与立柱两侧翼缘固定,立柱上下两端插入不带卷边冷弯槽钢轨梁中并通过自攻螺钉连接。房屋顶层屋架、楼层主梁间距与墙体立柱相同且竖向轴线在同一平面内(图 2)。因此,墙体立柱主要承受屋架和楼层主梁传来的轴向压力。本文采用北新房屋有限公司实际工程中墙体构造、尺寸的试件(1:1),对墙体立柱不带墙板和带墙板两种不同情况进行了轴压试验研究。



图 1 轻钢别墅外形照片

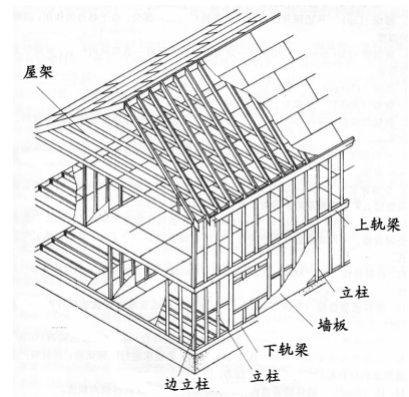


图 2 轻钢别墅骨架图

2. 试件和试验装置

如上所述,试验分不带墙面和带墙面的墙体两类试件,试件各部件完全按北新房屋有限公司实际工程采用的构造和尺寸(见图 3)。墙体试件高 3m,立柱间距 400mm 的冷弯卷边薄壁槽钢 $[89 \times 44.5 \times 12 \times 1.2\text{mm}]$;两侧边立柱采用一对背靠背的冷弯卷边薄壁槽钢 $2[89 \times 44.5 \times 12 \times 1.2\text{mm}]$,通过双排自攻螺钉连接成工字型;

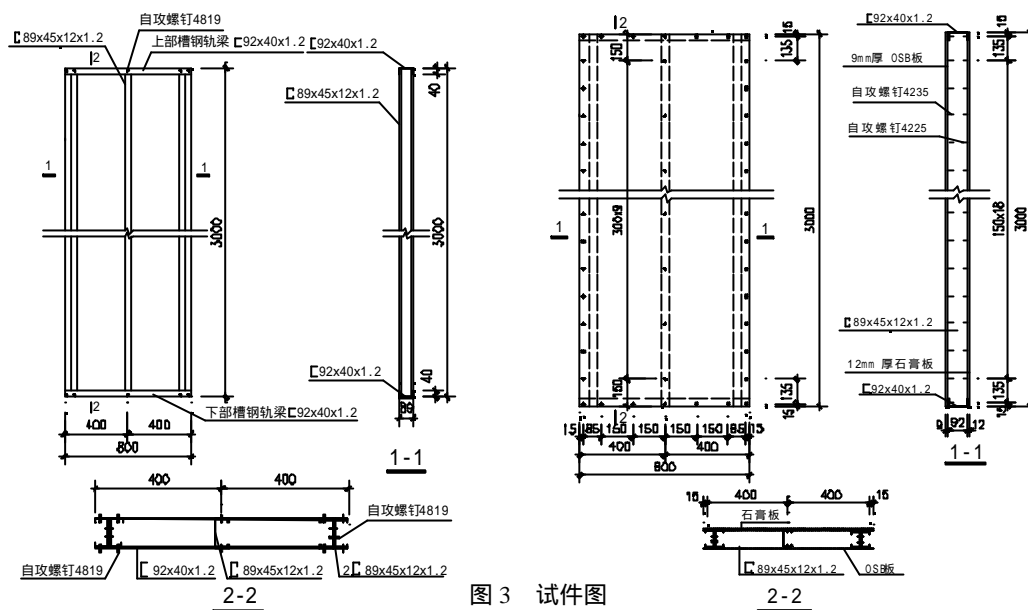


图 3 试件图

钢材的屈服强度为 295N/mm^2 。墙板与四周构件连接的自攻螺钉间距为 150mm ；与墙体中间立柱连接的间距为 300mm ；其中，钢材与钢材的连接使用 4816 型自攻螺钉、OSB 板与钢材的连接使用 4235 型自攻螺钉、纸面石膏板与钢材连接采用 4225 型自攻螺钉。墙体试件上下冷弯槽钢轨梁为 $92 \times 40 \times 1.2\text{mm}$ ，并采用一对 4816 型自攻螺钉与立柱翼缘连接，试件下部轨梁直接置于地面基础梁上。

试验装置主要保证中立柱先于边立柱（双槽钢）发生破坏，所以采用如图 4 所示分配梁加载系统，试验分别采用 100KN （用于不带墙面试件）和 200KN （用于带墙面试件）油压千斤顶以施加垂直荷载，试验数据由 1000 通道 7V08 数据采集仪自动采集。

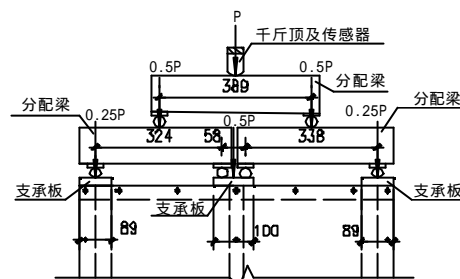


图 4 加载装置图

试件测点主要布置在中立柱上，在中立柱跨中位置布置应变片和位移计，以测定立柱应力分布及立柱平面外位移，在中立柱顶部位置布置竖向位移计，以测定中立柱的竖向变形。试件应变测点布置见图 5。

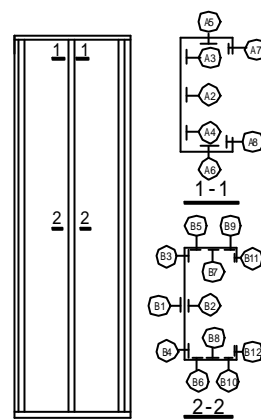


图 5 应变测点布置图

3. 试验过程

3.1 加载制度

试验为竖向单调加载，其加载制度为：开始时荷载级差取估计破坏荷载 20%，当荷载达比例极限后，改荷载级差为 10% 破坏荷载，直至试件破坏。每级荷载间隔 3~5 分钟。

3.2 试验现象

不带墙面的 LZ-1, LZ-2 试件在开始加载至 5KN 时，立柱出现绕弱轴弯曲变形并随荷载增大弯曲变形也随之变大，这主要由于立柱两端受力是通

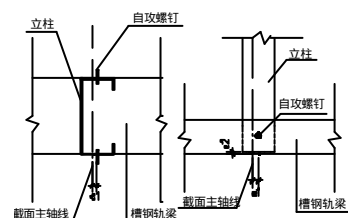


图 6 荷载偏心示意图

过轨梁与立柱连接的自攻螺钉传至立柱的，而螺钉位置与立柱轴心存在微小偏心所致（图 6），随着压力增加至 16KN，立柱端部自攻螺钉发生倾斜变形（图 7.C），此时，立柱在轴力作用下，立柱端部基本与两端槽钢轨梁直接承压，此时截面应变明显均匀。当荷载达到临界值 18KN 左右时，中立柱突然发生弯扭屈曲（图 7.a,b）破坏。试件荷载、转角曲线见图 8。

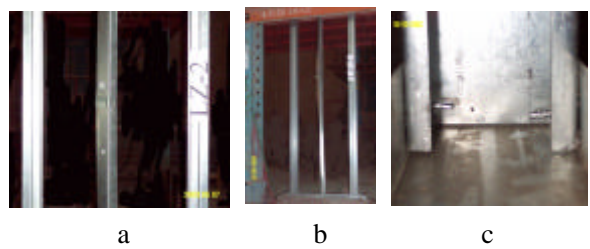


图 7 不带墙面试件破坏现象

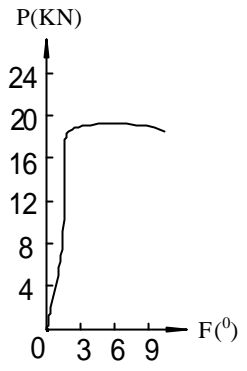


图 8 试件 LZ-2 荷载转角曲线

对于带墙面的试件 LZ-3（图 9.a），由于墙面材料支撑效应，立柱扭转受到墙面约束，荷载逐级增加，但试件一直很稳定，平面外的位移很小，OSB 板和石膏板完整无损，截面上应变明显比无墙板 LZ-1，LZ-2 试件均匀得多（图 10），当荷载达到临界值 40KN 时，截面上最大应变点接近屈服，当荷载加至 45KN 时，试件平面外位移约 3~4mm，荷载加至 45.7KN 时，墙体平面外位移突然增加，整个试件发生破坏。带墙板立柱比无墙板立柱试验破坏荷载高约 2.5 倍。试件在破坏时，中立柱在轴向出现一定轴向压缩变形，柱顶轨梁在中柱位置也跟随发生一定的向下弯曲变形，在墙面上、下部石膏板与自攻螺钉连接处发生微量的滑移，但两侧墙面材料基本完整无破裂及松架现象。由于立柱带墙板，无法观察到立柱本身弯曲变形情况，但从试件整体变形趋势和破坏现象看出，由于中立柱受墙面材料约束，立柱整体发生弯扭屈曲可能性不大，立柱应是弯曲屈曲或强度达到极

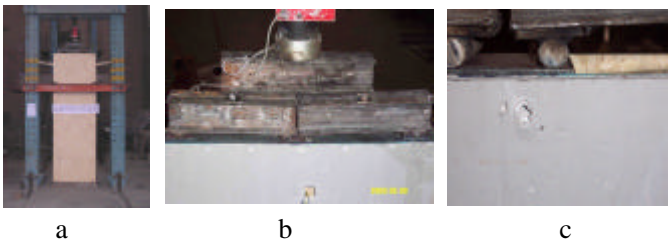


图 9 带墙面试件破坏现象

限值破坏，试验破坏现象见图 9.b,c。由于立柱带墙板，无法观察到立柱本身弯曲变形情况，但从试件整体变形趋势和破坏现象看出，由于中立柱受墙面材料约束，立柱整体发生弯扭屈曲可能性不大，立柱应是弯曲屈曲或强度达到极

4. 试验结果及分析对比

4.1 不带墙面试件立柱

对于不带墙面的试件 LZ-1，LZ-2，试验极限荷载分别为 18.4KN，19.3KN，平均极限承载力 $P_U = 18.9KN$ ，其破坏模式为整体弯扭屈曲破坏，试件破坏时最大轴向变形达 4.8mm，根据对

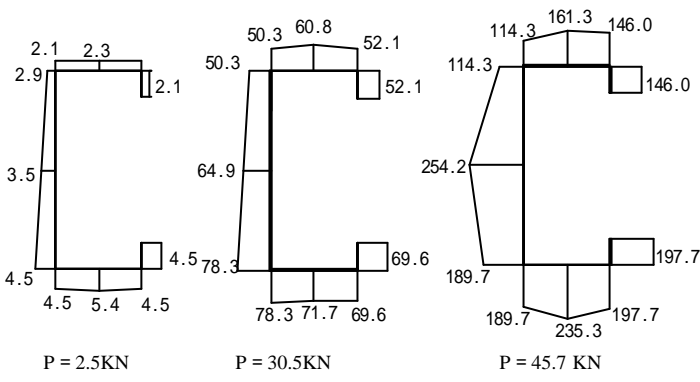


图 10 LZ-3 试件跨中截面应力分布

应变片的分析，可知试件在发生整体屈曲破坏前，中立柱腹板没出现局部屈曲，立柱全截面有效。

对不带墙板试件立柱可按我国现行设计标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018-2002 计算。立柱为单轴对称轴压构件， $A = 242.4mm^2$ ， $I_x = 325022mm^4$ ， $I_y = 72329mm^4$ ，弯扭屈曲应按折算长

细比 I_w 式 (1) 计算^[1], 立柱绕截面主轴计算长度 $l_{ox} = l_{oy} = l$, 槽形截面立柱翼缘中央扇性坐标为零^[2], 而试件端部连接螺钉正处零扇性坐标上, 因此, 端部翘曲应视为不受到约束, 即公式 1 中约束系数按规范规定应取 $a = b = 1.0$, 立柱弯扭屈曲的折算长细比 I_w 按下式计算:

$$I_w = I_x \sqrt{\frac{s^2 + i_0^2}{2s^2} + \sqrt{\left(\frac{s^2 + i_0^2}{2s^2}\right)^2 - \frac{i_0^2 - ae_0^2}{s^2}}} \quad (1)$$

根据式 (1) 计算 $I_w = 206.2$, 而弯曲屈曲 $I_x = \frac{l_{ox}}{i_x} = 81.9$, $I_y = \frac{l_{oy}}{i_y} = 173.7$, $I_w > I_x$ 和 I_y , 即立

柱应是弯扭屈曲失稳, 这与试验出现的破坏的模式是一致的。因此, 取 $I_{\max} = 206.2$, 查规范得 $j = 0.170$, 柱弯扭屈曲承载力 $P_U = j A_e f_y$, 取全截面有效, 得 $P_U = 12.2\text{KN}$ 。不带墙面试件中立柱承载力试验值为 $P_U = 20.7\text{KN}$, 此值比按理论计算值要高 35% 左右, 其原因主要有: 理论计算时取立柱边界条件为两端理想铰接, 但本试验试件立柱两端翼缘通过自攻螺钉与槽形导轨相连接, 槽形轨梁对于立柱的翘曲和弯曲均有一定的约束作用, 即实际立柱并非理想铰接, 有一定的嵌固影响; 此外, 试件材料屈服强度 $f_y = 295\text{MPa}$ 取自卷板母材强度, 冷弯成卷边槽钢后, 由于冷弯效应 f_y 有一定提高, 因此出现试验承载力高于理论承载力。设计中对不带墙面立柱, 可按文献 [1] 取两端铰接柱计算是偏安全的。

4.2 带墙面试件立柱

对于带墙面的试件 LZ-3, 试验极限承载力 $P_U = 45.7\text{KN}$, 其立柱由于受墙板约束, 破坏模式为整体弯曲屈曲破坏, 达到极限荷载之前, 石膏板和 OSB 板基本未发生明显破坏, 从轴向受力角度来看, 在这种体系中使用的石膏板和 OSB 板对立柱有较好的支承效应。设计立柱承载能力应考虑墙板的支承效应。

带墙面立柱考虑墙面支撑效应影响, 我国现行设计规范^[1]尚无具体精确计算方法, 文献 [3] 对此问题作了有限元理论分析研究, 该方法假定墙面通过连接件对墙体起弹性支承(图 11), 弹性支承刚度与墙面材料, 连接件布置等因素有关, 其刚度应由试验确定, 根据该文分析, 带墙面立柱承载力是不带墙面立柱的 2.8 倍左右。根据文献[5]介绍, 带墙面立柱屈曲承载力可不计

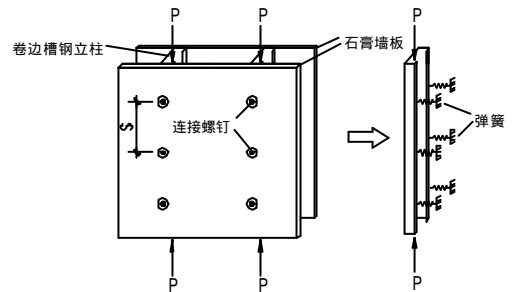


图 11 考虑墙面支撑的立柱计算物理模型

弯扭屈曲, 并考虑立柱墙面材料约束影响, 立柱绕弱轴弯曲计算长度近似按 $l_{oy} \approx 0.65L$ 计算, 根据这些

条件, 按规范 GB 50018 规定计算得出带墙板试件立柱 $I_{\max} = I_y = 125.0$, $j = 0.423$, 则 LZ-3 试件立柱承

载能力约为 $p_u = 28.9\text{KN}$ 。与带墙面试件 LZ-3 中立柱试验承载力 $P_U = 45.7\text{KN}$ 相比，试验值高于理论值约 37%，试验值高于理论值原因是本次试验两边柱采用双槽钢组成的，因此其对测试中立柱增大了支承效应，此外，计算中取卷板母材的屈服强度值，没有考虑试件冷弯效应的强度提高。所以计算所取屈服强度有些偏低，同时也说明按文献 [5] 提供的理论计算是近似、偏保守。

5. 结语

根据对轻钢墙体的承载力试验及分析可得出以下结论：

1. 考虑墙面对立柱的支撑作用后，立柱的承载力有较大的提高，根据本文试验结果带墙面试件立柱承载力为不带墙面试件立柱承载力的 3 倍左右，在设计中考虑墙面对立柱的支承效应是可靠而经济的。若设计立柱不考虑墙面的支撑效应，则立柱承载力有较大的强度储备，是偏安全的。
2. 墙体在施工阶段基本为无墙体支撑的立柱墙体，此时，墙体立柱可按现行国标《冷弯薄壁型钢结构技术规范》GB 50018 规定计算是可靠、偏安全的，在计算其承载能力时应考虑单轴对称冷弯卷边槽钢截面立柱弯扭失稳，在计算立柱弯扭失稳换算长细比 I_w 时，截面两端翘曲宜按不受到约束条件计算。
3. 墙体立柱带墙面板后，墙面板对立柱影响很大，在计算带墙体立柱承载能力时，应考虑墙体支承效应影响，目前现行规范 GB 50018 对墙面支撑效应无计算方法，根据本文试验及分析，建议墙面支撑效应立柱可不计弯扭屈曲，按绕截面弱轴弯曲屈曲计算其承载能力，长度 l_{oy} 可偏安全地取 0.65 计算。

由于本文是国内首先对此类轻钢立柱墙体试验，且试验试件数量不够，所以对墙体立柱设计建议仅供参考。

参考文献

- [1]. 《冷弯薄壁型钢结构技术规范》，GB50018-2002. 北京：中国计划出版社. 2002.
- [2]. 陈绍蕃 《钢结构设计原理》 科学出版社 2001
- [3]. 钟亚军《冷弯型钢底层住宅房屋体系墙体立柱的性能研究》硕士论文 西安建筑科技大学 [M] 2003
- [4]. 陈骥 《钢结构稳定理论与设计》 科学出版社 2003
- [5]. Structural Performance Requirements for Domestic Steel Framing , AISI 1991