

# 优化冷弯薄壁型钢拼合截面轴压构件承载力的研究进展

周世忠

内蒙古科技大学 土木工程学院, 内蒙古自治区 包头 014010

**摘要:** 作为冷弯薄壁型钢结构体系的主要承重构件, 拼合截面柱通过将多个单肢构件的拼合效应有效提升了截面抗弯刚度与屈曲稳定性。随着我国冷弯型钢结构建筑向多层的发展, 拼合截面的承载力低难以满足工程需求。基于此, 深入研究其截面优化性能, 已然成为当下该领域亟待解决的关键问题。本文总结了冷弯薄壁型钢拼合截面轴压性能的优化研究进展, 着重介绍了不同优化截面形式、材料性能及组合截面等因素对其性能的影响, 并介绍了其理论计算方法, 最后对拼合截面柱在冷弯薄壁型钢建筑领域的应用的优势和不足之处以及未来前景进行分析和总结。

**关键词:** 冷弯薄壁型钢; 拼合截面; 轴压性能, 优化性能

DOI: 10.63887/jeti.2025.1.3.5

冷弯薄壁型钢结构因其轻质高强、施工便捷和绿色环保等优势, 近年来在低层建筑中广泛应用<sup>[1]</sup>。然而, 随着我国新型城镇化进程加速及“双碳”战略目标的提出, 我国人多地少的国情, 多层冷弯薄壁型钢结构体系更符合中国建筑的需求。作为该类结构的核心承重构件, 拼合截面柱通过多个单肢构件的拼合效应, 显著提升截面抗弯刚度与屈曲稳定性, 但其承载力与工程需求间的矛盾日益凸显, 如何有效提升构件承载力和抑制屈曲失稳, 已成为冷弯薄壁型钢结构领域的研究热点。根据施工条件与荷载需求灵活组合加工, 充分发挥强度优势。

## 一、冷弯薄壁型钢拼合截面

拼合截面通过自攻螺钉、螺栓、焊接等连接件将多个单肢截面纵向组合, 不仅实现了施工效率的提升, 还通过截面惯性矩的几何叠加效应显著增强承载力, 实现  $1+1>2$  的承载效果。

大量学者对拼合截面的截面形式, 长细比, 宽厚比, 螺钉间距等方面进行了研究<sup>[2]</sup>。刘慧颖通过对三种开口截面拼合短柱进行了轴压试验。结果表明, 拼合截面短柱的极限承载力

基本等于单肢 C 型截面短柱的极限承载力之和, 板件宽厚比对短柱屈曲承载力和极限承载力影响较大。杜兆宇等对由 U 形和 C 形截面组成箱形截面试件进行了试验研究和数值模拟, 发现对于长细比较长和板件较厚的冷弯薄壁型钢组合截面轴压构件相关规范计算结果较为保守, 提出了该类型拼合截面构件承载力计算的建议设计方法<sup>[3-4]</sup>。聂少锋等对 CFS 多肢拼合构件进行大量的试验研究与模拟分析, 发现短柱系列试件的破坏模式为局部-畸变屈曲, 中长柱系列试件最终破坏模式为整体弯曲破坏<sup>[5]</sup>。随着试件长细比和腹板高厚比的增加, 其极限承载力与刚度均呈下降趋势, 并基于现有规范提出针对该类构件极限承载力的就计算方法。

## 二、提升截面柱轴压承载力研究

### (一) 截面形式优化

为充分发挥冷弯型钢材料的强度优势并控制成本, 截面优化已成为提升构件抗局部屈曲能力的关键手段。

张志彬、马晓鸣和杨华等人对新型冷弯型

钢异形拼合截面柱进行了系统的试验研究和数值模拟,截面形式如图 1 所示。结果表明,试件极限承载力发生急剧的下降,破坏模式由局部-畸变屈曲转变为整体屈曲。在 AISI S100

和我国《低层冷弯薄壁型钢房屋建筑技术规程》计算方法基础上,考虑拼合截面的拼合效应,提出适用于计算异形拼合截面柱承载力的计算方法。

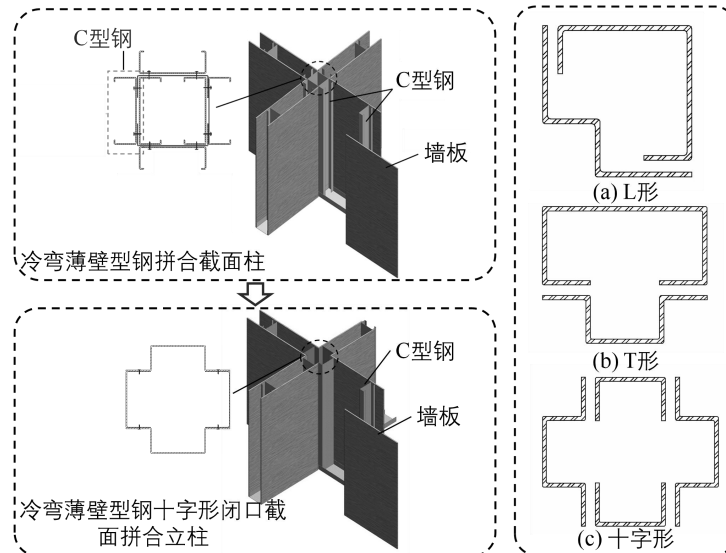


图 1 冷弯薄壁型钢异形截面拼合柱

针对冷弯薄壁型钢构件易屈曲的问题,学者们提出了加劲优化截面方式,主要集中在 V 形、帽形或  $\Sigma$  形加劲的方法上,通过减小板的宽厚比来提高试件的力学性能。Yang 等对带纵向加劲的冷弯型钢箱型截面柱进行试验研究和模拟分析,发现试件主要破坏模式为局部屈曲,当试件长度达到 3000mm 时出现局部-整体屈曲。Chen 等对腹板加劲冷弯薄壁型钢十字形拼合柱受压性能进行试验研究,腹板加劲肋可有效约束试件在轴向压缩的局部屈曲,与未加劲腹板试件相比,加劲试件的承载力提高了 20.20%-38.59%。

## (二) 高性能材料

不锈钢结构构件具有美观,耐腐蚀,耐久性好、维护费用低等优点,在建筑结构中具有广泛的应用前景。为了最大限度降低材料成本和提供高的比强度,不锈钢的结构通常采用冷弯薄壁构件的形式。

Li 等对五种高强奥氏体和双相型不锈钢箱型截面柱进行试验研究和理论分析,结果表

明,所有试件仅因局部屈曲而失效,并且未发现任何试件的自攻铆钉松动或失效,北美规范中螺钉间距可以满足很好的拼合作用。高强奥氏体不锈钢在性能方面优于双相型钢,其性能提升幅度约为 20.8%-0.6%。

不锈钢凭借其独特的材料特性,正逐步从传统装饰领域向建筑结构主体延伸,其优异的耐腐蚀性和耐久性,可显著降低建筑全生命周期维护成本。

## (三) 组合截面

Rahnavard 等对由 C、U 和  $\Sigma$  形状组成的 CFS 拼合截面进行试验研究和数值模拟分析,结果表明,冷弯型钢在复合构件中的贡献高于空腔柱,填充混凝土有效缓解了局部屈曲现象,EN 1994 对于预测填充混凝土的复合柱强度不适用。

冷弯薄壁型钢拼合截面柱被混凝土填充后屈曲行为得到改善,在受压情况下,混凝土的填充对冷弯型钢拼合柱产生侧向的支撑作用,限制钢柱壁向内的变形趋势,使得钢柱不

易发生局部屈曲。同时，外部拼合试件又为混凝土提供了一个可靠的约束边界，共同提升了结构的整体稳定性。

### 三、承载力设计方法

#### （一）冷弯型钢拼合截面

国内外学者通过对比拼合截面的试验数据、模拟结果与冷弯薄壁型钢规范公式的计算值，研究人员采用多种方法对拼合截面承载力进行修正，如修正计算长度系数，引入组合截面拼合系数和单肢承载力叠加法。

#### （二）冷弯薄壁不锈钢拼合截面

现有关于不锈钢规范直接强度是半理论半经验的，并且是根据试验和数值数据进行校准的，试验数据的横截面轮廓类型有限，包括 C 形截面、U 形截面、和拼合工字形截面。不锈钢的显著非线性与各向异性特性未被充分表征。且对于不同截面，理论计算公式并不适用。

#### （三）组合截面

关于混凝土填充冷弯型钢拼合截面柱的轴压计算方法的研究有限，现有研究多基于钢管混凝土规范进行计算，但计算结果与试验值存在显著偏差。由于通过螺钉连接的混凝土和

冷弯型钢构件所起到的约束作用有限，使得各国规范在此类构件上的理论计算值出现了较大差异。

### 四、结论与展望

本文介绍了国内外冷弯薄壁型钢拼合截面轴压构件力学性能优化的研究进展，对轴压构件承载力的关键因素进行了整理和分析，并对现有理论设计方法进行系统归纳，结论如下：

拼合截面构件不仅显著提升了轴压承载力，还改变了单肢构件的破坏模式。拼合构件的截面形式、长细比及宽厚比是决定其轴压承载力的重要因素。

冷弯型钢拼合截面柱的性能提升集中在材料与构造，重点解决局部屈曲与承载力不足的核心问题。采用截面优化、材料性能强化和组合结构等方法有效提升冷弯型钢拼合截面柱的性能，为建筑结构的安全与稳定提供有力保障。

研究学者对不同冷弯型钢拼合截面的计算方法进行修正，理论研究与工程实践的脱节严重制约其工业化应用，亟需通过标准化拼合截面体系重构设计-制造-施工全链条技术范式。

### 参考文献

- [1]Jiang L Q, Ye J H. Quantifying the effects of various uncertainties on seismic risk assessment of CFS structures [J]. Bulletin of Earthquake Engineering, 2020, 18(1): 241-272.
- [2]刘慧颖. 开口拼合冷弯薄壁型钢短柱试验与理论研究[D]. 西安: 长安大学, 2010.
- [3]GB50018-2002, 中华人民共和国标准《冷弯薄壁型钢结构技术规范》[S]. 中国计划出版社, 2002.
- [4]杜兆宇, 赵一婕, 张其林. 冷弯薄壁四肢组合柱轴压承载力研究[J]. 建筑结构学报, 2014, 35 (12): 114-120.
- [5]聂少锋, 霍洋洋, 周天华, 等. 冷弯薄壁型钢四肢拼合箱形柱偏压受力轴压性能试验研究与数值分析[J]. 土木工程学报, 2016, 49 (10): 1-10.