

方形复合不锈钢管混凝土柱双向压弯力学性能试验

郑莲琼^{1,2}, 王杰¹, 刘大海¹, 郑宇廷¹

(1. 福建理工大学 土木工程学院, 福建 福州 350118;

2. 福州市绿色建筑与建筑工业化行业技术创新中心, 福建 福州 350118)

摘要: 为研究双向压弯荷载作用下方形复合不锈钢管混凝土柱的力学性能, 开展了5个方形不锈钢管混凝土试件的试验研究, 考察的参数为长细比 λ (26和43)、内外钢管尺寸比 D/B (0.42和0.67)和截面类型(复合不锈钢管混凝土截面和方形不锈钢管混凝土截面)。结果表明, 所有试件均在双向压弯荷载作用下发生整体弯曲破坏, 柱高中部位置附近外不锈钢管出现明显的鼓曲, 复合不锈钢管混凝土试件较不锈钢管混凝土试件具有更高的刚度和承载力。长细比和内外钢管尺寸比对方形复合不锈钢管混凝土双向压弯试件的承载力有明显影响, 随着长细比的增大, 试件的承载力下降8.3%~13.6%; 内外管尺寸比为0.42和0.67的复合不锈钢管混凝土试件承载力较不锈钢管混凝土试件分别提高25.5%和17.8%。采用现有规范《钢管混凝土结构技术规程》(DBJ/T 13-51-2020)中的计算方法进行方形复合不锈钢管混凝土柱双向压弯试件的承载力计算具有较好的预测精度, 但计算值略高于试验值。

关键词: 复合不锈钢管混凝土柱; 方形截面; 双向压弯

中图分类号: TU398.9

文献标志码: A

文章编号: 2097-3853(2026)01-0027-08

Experimental study on square composite-sectional concrete-filled stainless steel tubular columns subjected to bi-axial eccentric compression

ZHENG Lianqiong^{1,2}, WANG Jie¹, LIU Dahai¹, ZHENG Yuting¹

(1. School of Civil Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;

2. Fuzhou Technology Innovation Center of Green Construction and Building Industrialization, Fuzhou 350118, China)

Abstract: In order to investigate the mechanical performance of square composite-sectional concrete-filled stainless-steel tubular (CFSST) columns subjected to bi-axial eccentric compression, an experimental study on five square composite stainless steel tubular concrete specimens was carried out. The main parameters were the slenderness ratio λ (26 and 43), the ratio of the inner and outer steel tube diameters D/B (0.42 and 0.67), and the cross-section type (composite stainless steel tube concrete section and square stainless steel tube concrete section). Results show that, the failure mode of all the specimens were overall bending with obvious buckling occurred in the stainless-steel tubes near the mid-height of the columns under bi-axial eccentric compression for the specimens, composite-sectional CFSST columns exhibit higher stiffness and load-carrying capacity than CFSST columns. The slenderness ratio, the ratio of the inner and outer steel tube diameters have significant effects on the load-carrying capacity of square composite-sectional CFSST columns subjected to bi-axial eccentric compression. As the slenderness ratio increases, the load-carrying capacity of the specimens decreases by 8.3% to 13.6%. The bearing capacity of the composite stainless steel tube concrete specimens with the inner and outer tube size ratios of 0.42 and 0.67 was 25.5% and 17.8% higher than that of the stainless steel tube concrete specimens, respectively. The application of current standards for calculating the load carrying capacity of square composite-sectional CFSST columns subjected to bi-axial eccentric compression specimens demonstrates good prediction accuracy, although the calculated values tend to be slightly higher than the experimental results.

Keywords: composite-sectional concrete-filled stainless-steel tubular (CFSST) columns; square section; bi-axial eccentric compression

收稿日期: 2025-01-12

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目(2024J01831)

第一作者简介: 郑莲琼(1982—), 女, 福建福清人, 教授, 博士, 研究方向: 组合结构。

复合钢管混凝土柱的外围方钢管钢材抗压屈服强度高、核心圆钢管约束管内混凝土,是一种适合承受高轴压力的钢-混凝土组合柱^[1],若其外钢管采用不锈钢管,形成复合不锈钢管混凝土构件,则在其优越的力学性能基础上,兼有耐腐蚀性能强、耐火性能好和维护成本低等特点。一些学者对不锈钢管混凝土轴压及双向压弯试件开展研究,随意等^[2]对多室钢管混凝土试件开展了双向压弯试验研究及有限元分析;李永进等^[3]研究了矩形不锈钢管混凝土柱的双向压弯性能,并探讨了现有规范的适用性;李幅昌等^[4]对 6 根高强方钢管混凝土试件进行了双向压弯试验,考察的参数有偏心率、混凝土强度、钢材屈服强度及截面含钢率;钱稼茹等^[5]研究了外方内圆复合钢管混凝土柱的轴压力学性能;郑永乾等^[6]、白杨^[7]对外方内圆不锈钢管混凝土柱开展了滞回性能试验研究。王志滨等^[8-9]对复式薄壁方钢管混凝土构件进行了受压和纯弯力学性能研究。

目前,在不锈钢管混凝土柱及复合钢管混凝土柱的轴压及单向压弯力学性能方面的研究已经取得一些成果,对方形复合不锈钢管混凝土柱在双向压弯荷载作用下的研究较为有限。基于此,本文通过开展 5 个方形不锈钢管混凝土柱的双向

压弯试验,探讨长细比、内外管尺寸比及截面形式等参数对其破坏形态、荷载-位移曲线和承载力等力学性能的影响,并对方形复合不锈钢管混凝土柱双向压弯试件的承载力计算方法进行讨论,以为该类复合柱的工程应用提供参考。

1 试验概况

1.1 试件设计和制作

设计并制作了 5 个双向压弯荷载作用下的方形不锈钢管混凝土柱试件,其中包括 4 个复合不锈钢管混凝土试件(SCS 型)和 1 个不锈钢管混凝土试件(SS 型)。试件的截面形式如图 1 所示,其中, B 为试件外部方形不锈钢管的边长, D 为试件内部圆钢管的直径, θ 为试件的偏心角度, e_0 为试件的偏心距。试件的主要参数见表 1,其中, t 为内、外部钢管的厚度,构件绕 x 轴的长细比 λ_x 、构件绕 y 轴的长细比 λ_y 和换算长细比 λ_{xy} 根据《钢管混凝土结构技术规程》(DBJ/T 13-51-2020)^[10]中钢管混凝土柱计算方法确定, $\lambda_x = \lambda_y = 2\sqrt{3}L/B$, $\lambda_{xy} = \sqrt{\lambda_x^2 + \lambda_y^2}$,式中, L 为试件的计算长度。 N_{uc} 为试件承载力试验值,即试件的峰值荷载, N_{uc} 为试件的承载力计算值。

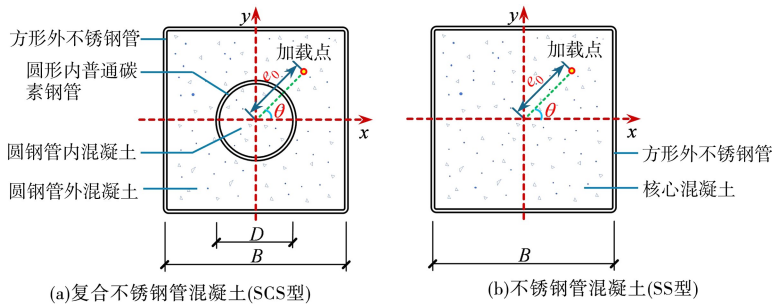


图 1 试件截面形式

Fig.1 Cross-sections of specimens

表 1 试件主要参数

Tab.1 Main parameters of specimens

| 试件编号 | L/mm | $B \times t/\text{mm} \times \text{mm}$ | $D \times t/\text{mm} \times \text{mm}$ | D/B | $\lambda_x(\lambda_y)$ | λ_{xy} | $\theta/(\text{°})$ | e_0/mm | N_{uc}/kN | N_{uc}/kN | N_{uc}/N_{uc} |
|-------------|---------------|---|---|-------|------------------------|----------------|---------------------|-----------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| SCS-0.42-26 | 900 | 120×1.73 | 50×1.73 | 0.42 | 26 | 36.7 | 45 | 30 | 354.4 | 389.8 | 1.099 |
| SCS-0.42-43 | 1 500 | 120×1.73 | 50×1.73 | 0.42 | 43 | 61.2 | 45 | 30 | 306.2 | 321.8 | 1.051 |
| SCS-0.67-26 | 900 | 120×1.73 | 80×1.73 | 0.67 | 26 | 36.7 | 45 | 30 | 377.5 | 420.6 | 1.114 |
| SCS-0.67-43 | 1 500 | 120×1.73 | 80×1.73 | 0.67 | 43 | 61.2 | 45 | 30 | 346.2 | 347.1 | 1.003 |
| SS-0-26 | 900 | 120×1.73 | — | — | 26 | 36.7 | 45 | 30 | 300.8 | 313.2 | 1.041 |

注:试件编号规则为“截面类型-内外管尺寸比-长细比”,如试件编号“SCS-0.42-26”表示截面形式为 SCS 型,内外钢管尺寸比 D/B 为 0.42,长细比 λ 为 26 的方形复合不锈钢管混凝土柱试件。

试件的内部钢管采用圆形截面碳素钢管,外钢管采用方形截面不锈钢管,试件加工时,将内外钢管与底板对心焊接,为防止内部钢管在浇筑过程中发生偏移,先用钢筋固定内外钢管,再从试件顶部浇筑自密实混凝土,浇筑完成后进行为期 14 d 的养护,然后将试件顶部混凝土打磨平整并用高强环氧砂浆抹平,最后焊接试件上部端板。图 2 为混凝土浇筑完成后试件端部截面图。

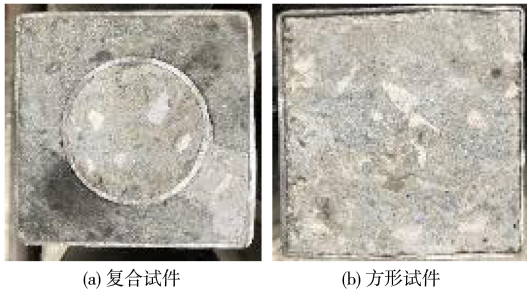


图 2 试件浇筑完成后的端部截面

Fig.2 Cross-sections of specimens after casting

1.2 材料性能

试件的外部方形钢管为奥氏体 304 不锈钢,内部圆钢管为普通碳素钢。依据《金属材料拉伸试验 第 1 部分:室温试验方法》(GB/T 228.1-2021)^[11]制作材性试件并测得钢材的力学性能,如表 2 所示,其中,不锈钢管名义屈服强度($\sigma_{0.2}$)和名义屈服应变($\varepsilon_{0.2}$)取残余应变为 0.2%时的应力和应变。按照《混凝土物理力学性能试验方法标准》(GB/T 50081-2019)^[12]测得浇筑试件采用的商品混凝土试验时立方体抗压强度 f_{cu} 为 37.2 MPa,试验时混凝土弹性模量 E_c 为 27 863 MPa。

1.3 试验装置及量测方案

试验在 500 t 电液伺服长柱压力机上进行。加载及量测装置如图 3 所示。压力机通过双向铰支座装置将荷载作用于试件上。双向铰支座装置通过螺栓与试件端部加载板和压力机上下承压板连接。在试验过程中需确保压力机的正中心即为加载点,并通过调整加载板与刀铰连接的位置来满足双向压弯偏心距及偏心角度的要求。

表 2 钢材的力学性能指标

Tab.2 Mechanical property index of steel

| 钢材区域 | 钢材类型 | 屈服强度 $f_y(\sigma_{0.2})/$ MPa | 极限强度 $f_u/$ MPa | 弹性模量 $E_s/$ MPa | 屈服应变 ε_y | 泊松比 μ_s |
|----------------------|------|----------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|----------------|
| 外部方不锈钢管($B=120$ mm) | 不锈钢 | 241.0 | 565.3 | 200 144 | 3.553×10^{-6} | 0.282 |
| 内部圆钢管($D=50$ mm) | 普通钢 | 393.3 | 506.9 | 202 691 | 3.550×10^{-6} | 0.286 |
| 内部圆钢管($D=80$ mm) | 普通钢 | 345.0 | 475.3 | 190 516 | 3.454×10^{-6} | 0.284 |

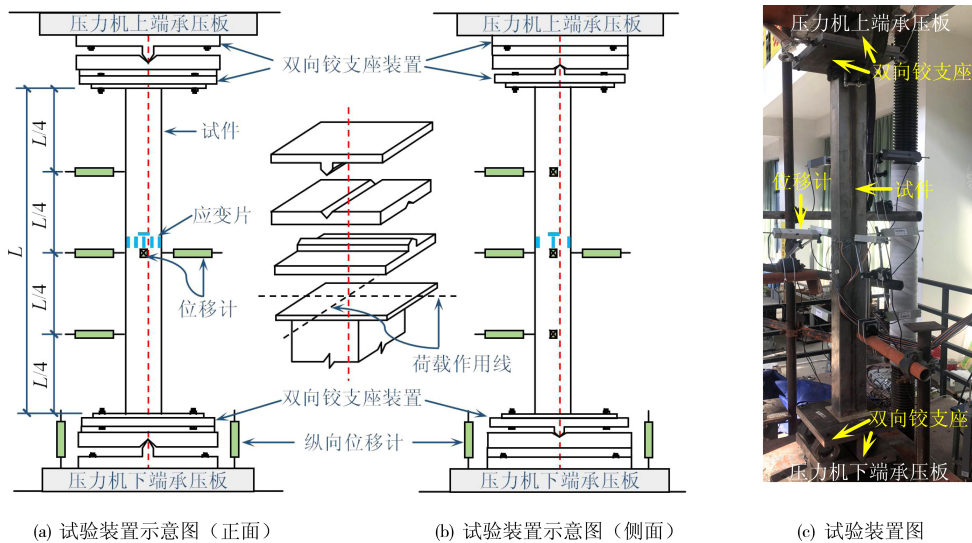


图 3 试验加载装置及量测方案

Fig.3 Test setup and measurement scheme

位移计及应变片布置如图 3 所示。在试件 $L/2$ 截面位置处, 4 个侧面的中点分别布置 1 个环向应变片, 两个相对侧面间隔 30 mm 均匀布置 5 个纵向应变片, 另外两个相对侧面间隔 60 mm 均匀布置 3 个纵向应变片。在试件沿高度方向的两个受拉面四等分点处分别布置 3 个位移计, 两个受压面的柱中 $L/2$ 高度位置处分别布置一个位移计, 同时在下部承压板对角位置分别布置一个位移计, 以复核试件的轴压位移变化情况。

正式加载前先进行预加载, 加载数值控制在预估极限承载力的 10%。正式加载采用力和位移混合控制的方法, 试件在弹性阶段内采用力控制加载, 每级荷载分别按预估极限承载力的 10% 递增, 荷载的施加速度为 1 kN/s, 观察荷载测量读数, 当达到设置的荷载时持荷 20 s。荷载值稳定后记录读数。继续施加荷载, 试件到达弹塑性阶段后切换为位移控制加载, 位移加载速率为 0.5 mm/min。直至荷载下降至峰值荷载的 75% 或出现严重破坏时停止试验。

2 试验现象和破坏形态

图 4 为所有试件的破坏形态, 总体上, 所有试件均发生了绕两个主轴的明显侧向弯曲, 在 $L/4$ 至 $L/2$ 区间靠近加载点的两个受压侧的外不锈钢管出现明显的局部鼓曲。在弹性阶段, 试件挠度发展较缓, 整体变形小; 随着不锈钢管屈服, 试件进入弹塑性阶段后整体侧向弯曲发展增快; 接近峰值荷载时, 柱中截面附近外不锈钢管开始出现局部轻微屈曲; 当试件进入破坏段, 承载力持续降低, 接近破坏时, 局部鼓曲快速发展, 试件最终因整体变形而失稳。

由图 4 可见, 与不锈钢管混凝土试件 SS-0-26 对比, 复合不锈钢管混凝土试件 SCS-0.42-26, SCS-0.67-26 由于内部钢管对混凝土的约束作用, 截面刚度较大, 试件在二阶弯矩作用下产生的整体弯曲变形较未设置内钢管的方形截面试件 SS-0-26 小, 并且局部鼓曲变形没有试件 SS-0-26 明显, 内置钢管很好地改善了方形不锈钢管混凝土试件的破坏形态和整体力学性能。对比试件 SCS-0.42-26 和 SCS-0.67-26 发现, 随着内外管尺寸比 D/B 的增加, 虽然试件的鼓曲由 2 个增加到 4 个, 但最大的鼓曲程度有所缓解。长细比对试件破坏形态的影响较为复杂, 随着长细比的增

大, $D/B=0.42$ 的试件整体变形和鼓曲更为对称, 而 $D/B=0.67$ 的试件却出现了端部较大的鼓曲, 主要是因为长细比越大, 试件的端部剪力增大, 而不锈钢的非线性突出且壁厚较小, 因此承载力较大的试件容易发生局部的屈曲。



图 4 所有试件的破坏形态

Fig.4 Failure modes of specimens

图 5 为典型试件核心混凝土的破坏形态, 从图 5(a) 可看出, 在外不锈钢管局部鼓曲位置内侧的混凝土存在被贯通的破坏, 该区域的混凝土基本被压碎; 图 5(b) 为受拉区混凝土的破坏模式, 受拉区混凝土出现较多横向裂缝; 从图 5(c) 和图 5(d) 可看出, 内钢管由于受夹层混凝土和核心混凝土的约束, 未见鼓曲, 核心混凝土也未见明显破坏。

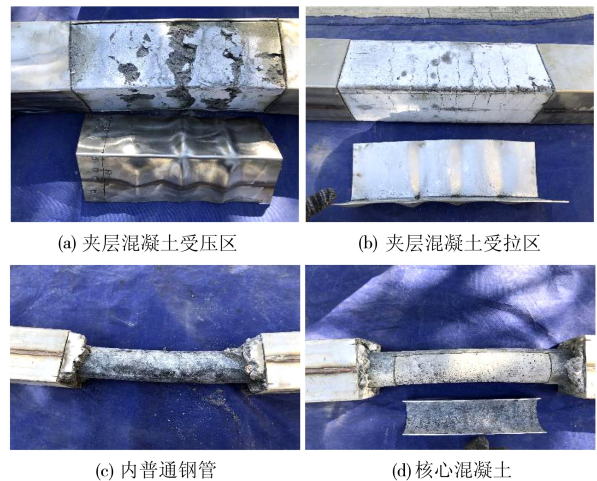


图 5 典型试件混凝土破坏形态

Fig.5 Failure modes of concrete for typical specimens

3 试验结果及其分析

3.1 侧向挠度沿构件长度分布情况

图 6 为典型方形不锈钢管混凝土试件 $1/4L$ 、 $1/2L$ 以及 $3/4L$ 位置在不同荷载作用阶段的侧向挠度分布情况。曲线分别对应 n 为 0.2、0.4、0.6、0.8、0.9、1 荷载 7 个阶段, n 为 N_{je}/N_{ue} 的比值, 其中, N_{je} 为试验各阶段荷载值, N_{ue} 为峰值荷载, 正值为上升段, 虚线表示对应的标准正弦半波曲线。下部横坐标 u_x 为 x 轴实测侧向位移, 上部横坐标 u_y 为 y 轴实测侧向位移, 纵坐标轴 H 为试件的高度。

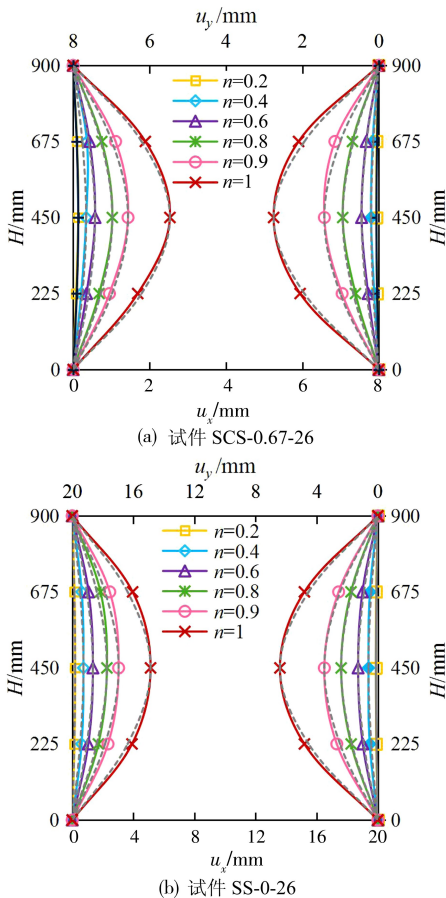


图 6 典型试件实测挠度分布曲线

Fig.6 Deflection distribution curve of typical specimens

从图 6 可以看出, 试件侧向挠度基本沿柱中对称分布, 且与正弦半波曲线吻合较好, 由于各试件加载角度均为 45° , 两个主轴的挠度全过程发展均相近。

图 7 为峰值荷载时各试件的挠度发展情况,

由于二阶效应的影响, 试件达到峰值荷载时的侧向挠度随着试件长细比的增大而增大; 相同长细比下, 内外钢管尺寸比大的试件峰值荷载大于内外钢管尺寸比小的试件, 这是由于两个试件刚度相近, 而峰值时内外管尺寸比大的试件荷载大, 因此挠度发展较大。方形不锈钢管混凝土试件由于刚度较小且没有内部钢管的约束, 其挠度发展较复合钢管混凝土试件要大。

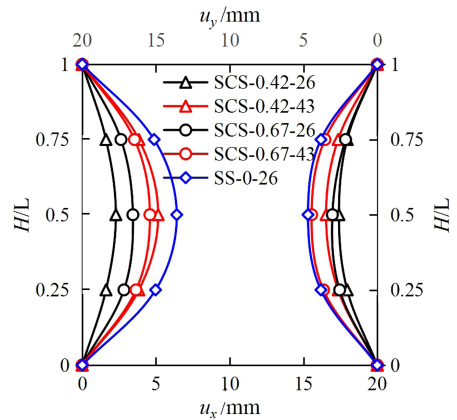


图 7 各试件峰值荷载对应的挠度发展

Fig.7 Deflection development corresponding to peak load of each specimen

3.2 荷载-跨中挠度 ($N-u_m$) 曲线

图 8(a) 为所有试件的荷载 N 与跨中挠度 u_m 关系曲线, 其中, 下横坐标 u_{mx} 为 x 轴方向的跨中挠度, 上横坐标 u_{my} 为 y 轴方向的跨中挠度。

由图 8(a) 可见, 各试件 $N-u_m$ 曲线发展趋势相近: 加载初期, 试件处于弹性阶段, $N-u_m$ 曲线呈线性关系; 试件进入弹塑性阶段后, 外不锈钢管开始屈服, 刚度降低, 试件的承载力增大速度减慢直至达到极限承载力; 随后, 曲线进入下降段, $N-u_m$ 曲线下降趋势平缓, 表现出良好的延性。对比可以发现, 复合不锈钢管混凝土试件较不锈钢管混凝土试件具有更大的刚度和承载力, 下降段后期也相对更为平缓。

对比图 8(b) 中不同长细比的试件可以看出, 长细比由 26 增加到 43, 内外钢管尺寸比 D/B 为 0.42 的复合试件承载力下降 13.6%, 内外钢管尺寸比 D/B 为 0.67 的复合试件承载力下降 8.3%。这是因为长细比越大, 试件跨中挠度发展越快, 二阶效应越显著, 试件刚度下降明显, 峰值荷载随着

长细比的增大而减小。

对比图 8(b) 中不同内外管尺寸比的试件可以看出,当长细比均为 26 时, $D/B=0.42$ 和 $D/B=0.67$ 的复合不锈钢管混凝土试件承载力较不锈钢管混凝土试件 ($D/B=0$) 分别提高了 17.8% 和 25.5%, 内部钢管的加入能够提高方形不锈钢管混凝土试件的整体力学性能。这是由于内钢管为圆形截面, 其对核心混凝土的约束优于方形截面, 从而提高了核心混凝土承担的荷载; 同时, 内钢管

分担部分轴向压力并提高截面抗弯刚度、限制夹层混凝土开裂、延缓外钢管屈曲, 内外钢管协同形成复合约束区, 从而提高构件双向偏压承载力。由于试验构件中 50 mm 的内钢管屈服强度为 393.3 MPa, 而 80 mm 的内钢管屈服强度为 345 MPa, 如果 80 mm 的内钢管屈服强度与前者相同, 则试件整体的承载力将进一步提高。同样的, 长细比为 43 的两个复合不锈钢管混凝土试件, 其承载力也随着内外钢管尺寸比的增大而增大。

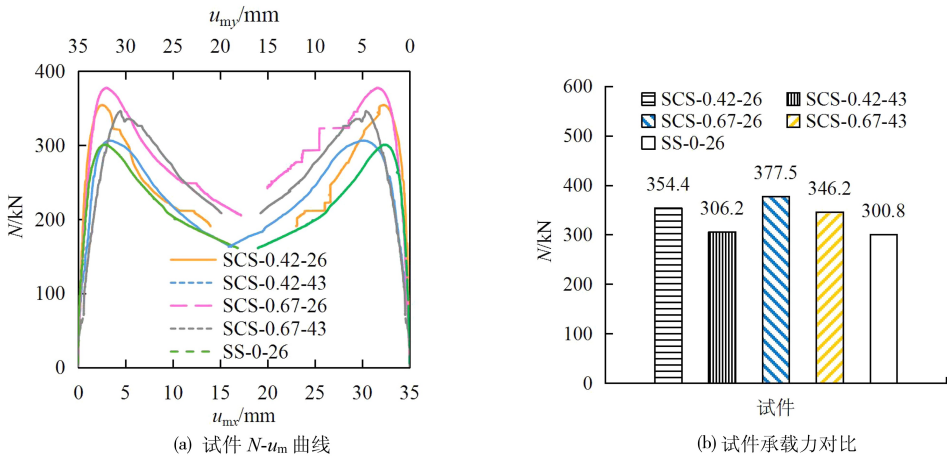


图 8 试件 $N-u_m$ 曲线及承载力对比

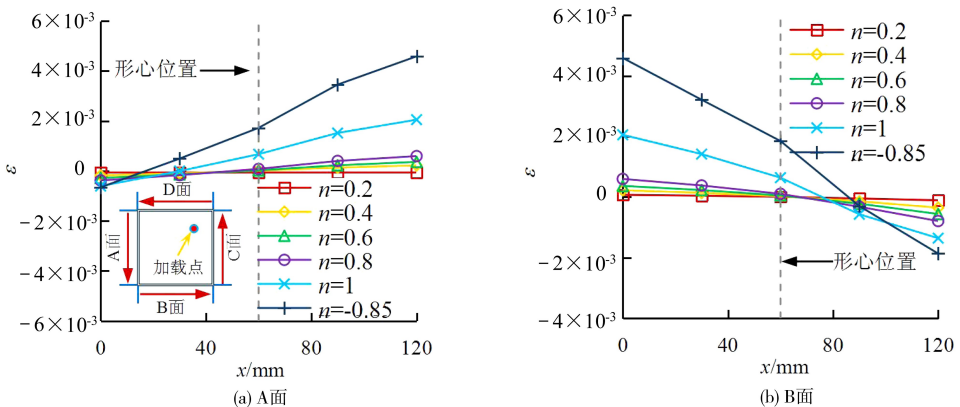
Fig.8 Measured $N-u_m$ curves and comparison of bearing capacity for specimens

3.3 纵向应变沿截面分布情况

图 9 为典型试件 SCS-0.42-26 各侧面在各级荷载作用下, 柱中截面各个位置的纵向应变的发展曲线, 其中, 负数为试件 $N-u_m$ 曲线的下降段。

在加载初期阶段 n 为 0.2~0.6 时, 方形复合不锈钢管混凝土试件跨中截面各个位置的纵向应变均呈线性发展, 符合平截面假定。在试验过程

中, 加载点所处的位置恒为受压侧; 远离加载点的位置在试验初期受压, 在试验过程中, 随着荷载的增大逐渐转化为受拉。大部分试件在达到峰值荷载前, 均符合平截面假定, 说明试件在达到峰值荷载之前, 柱中不锈钢管基本未发生破坏, 不锈钢管和混凝土组合材料性能得到充分发挥。方形复合不锈钢管混凝土试件在双向压弯荷载作用下, 总体表现出良好的力学性能。



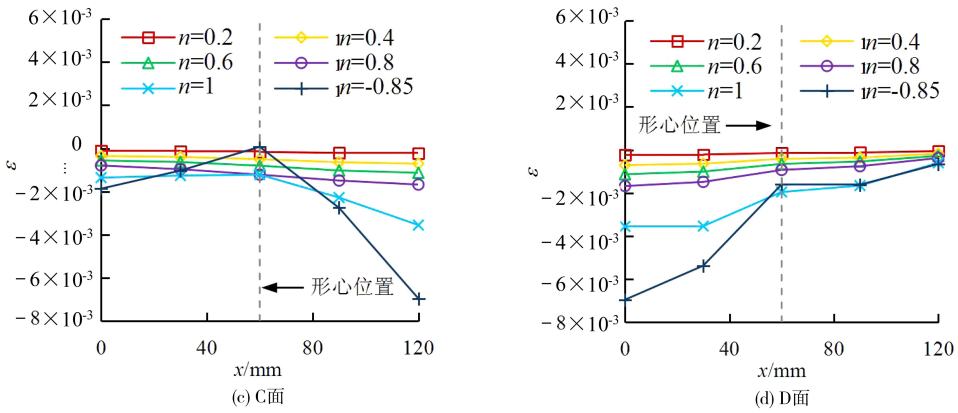


图 9 典型试件 SCS-0.42-26 各侧面应变分布

Fig.9 Strain distribution on each side of typical specimen SCS-0.42-26

4 承载力计算讨论

目前对复合不锈钢管混凝土柱双向压弯荷载作用下承载力计算方法的研究还很少,本文采用

已有的研究成果^[8-9]结合钢管混凝土相关规范^[10]中的计算方法对试验结果进行计算。双向压弯试件的计算方法参考《钢管混凝土结构技术规程》(DBJ/T 13-51-2020)^[10]中的计算公式:

$$\begin{cases} \left[\frac{N}{\varphi_{xy} \cdot N_u} + \left(\frac{a}{d}\right) \cdot \beta_m \cdot \left[\left(\frac{M_x}{M_{ux}}\right)^{1.8} + \left(\frac{M_y}{M_{uy}}\right)^{1.8} \right]^{\frac{1}{1.8}} \right] \leq 1 & (N/N_u \geq 2\varphi_{xy}^3 \cdot \eta_0) \\ -b \cdot \left(\frac{N}{N_u}\right)^2 - c \cdot \left(\frac{N}{N_u}\right) + \left(\frac{\beta_m}{d}\right) \cdot \left[\left(\frac{M_x}{M_{ux}}\right)^{1.8} + \left(\frac{M_y}{M_{uy}}\right)^{1.8} \right]^{\frac{1}{1.8}} \leq 1 & (N/N_u < 2\varphi_{xy}^3 \cdot \eta_0) \end{cases} \quad (1)$$

式中, N 为轴向力设计值; a 、 b 、 c 、 d 、 η_0 为计算参数,按文献^[10]中稳定承载力计算式取值; φ_{xy} 为换算长细比 λ_{xy} 对应的轴心受压稳定系数; β_m 为等效弯矩系数; M_x 、 M_y 分别为绕强轴和弱轴的最大弯矩设计值; N_u 为复合不锈钢钢管混凝土柱轴压强度承载力,可按 $N_u = f'_{co} A_{co} + f'_{yo} A_{so} + f'_{ci} A_{ci} + A_{si} f_{yi}$ ^[8]计算,其中, f'_{co} 和 f'_{ci} 分别为外部混凝土和核心混凝土的圆柱体轴心抗压强度标准值, f_{yo} 和 f_{yi} 分别为外不锈钢管和内钢管的屈服强度, A_{co} 、 A_{so} 、 A_{ci} 、 A_{si} 分别为外部混凝土、外不锈钢管、核心混凝土、内钢管的截面面积; M_{ux} 和 M_{uy} 分别为复合不锈钢管混凝土柱绕强轴和弱轴的极限抗弯承载力,可按 $M_{ux} = \gamma_{mo} W_{sem,x} f_{scy} + W_r f_{yo} + \gamma_{mi} W_{sem,ix} f_{scy,i}$ 、 $M_{uy} = \gamma_{mo} W_{sem,y} f_{scy} + W_r f_{yo} + \gamma_{mi} W_{sem,iy} f_{scy,i}$ ^[9]计算,其中, γ_{mo} 为受弯承载力计算系数, γ_{mi} 为圆钢管混凝土弯矩系数, $W_{sem,x}$ 、 $W_{sem,y}$ 分别为外不锈钢管和混凝土绕强轴和弱轴的组合截面抗弯模量, W_r 为加劲肋的抗弯模量, $W_{sem,ix}$ 、 $W_{sem,iy}$ 分别为内圆钢管混凝土的绕强轴和弱轴组合截面抗弯模量, f_{scy} 为方钢管混凝土强度指标, f_{yo} 为外不锈钢管屈服

强度, $f_{scy,i}$ 为内圆钢管混凝土强度指标。采用公式(1)计算得到的 N 的最大值即为不锈钢管混凝土柱双向压弯承载力,计算结果 N_{uc} 列于表1。图10为试验结果 N_{ue} 与计算结果 N_{uc} 的对比。

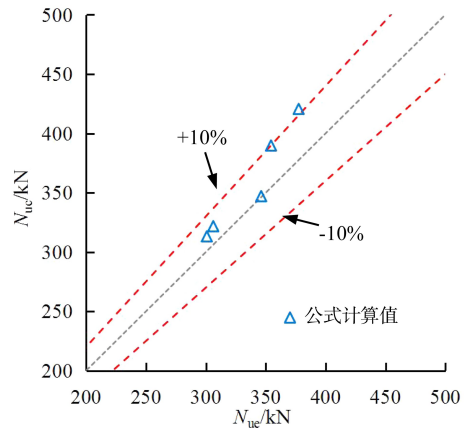


图 10 试验结果 N_{ue} 与公式计算结果 N_{uc} 对比

Fig.10 Comparison of test results N_{ue} and formula calculation result N_{uc}

由表 1 和图 10 可知, N_{uc}/N_{ue} 的平均值为

1.062,均方差为0.045,说明公式(1)具有较好的预测精度,但计算值略高于试验值。这可能是因为试件外不锈钢管宽厚比(B/t)较大易发生局部屈曲,而 N_u 计算公式中内外管间的混凝土强度采用圆柱体抗压强度可能略高于其实际承载能力;另外,文献[9]中的抗弯承载力计算公式适用于外钢管为普通碳素钢的复合钢管混凝土构件,对于复合不锈钢管混凝土构件,系数 γ_{mo} 和 γ_{mi} 等需通过参数分析等方法进一步明确。

5 结论

1)5个方形不锈钢管混凝土柱双向压弯试验结果表明,所有试件均出现较为明显的弯曲变形,靠近试件 $L/2$ 处受压侧的外不锈钢管出现鼓曲,

试件表现出延性破坏特征。

2)方形复合不锈钢管混凝土双向压弯试件的承载力随着内外管尺寸比的增大而增大,随着长细比的增大而减小,方形复合不锈钢管混凝土试件相较方形不锈钢管混凝土试件的初始刚度更大,承载力更高,承载力最大提高25.5%。

3)方形复合不锈钢管混凝土双向压弯试件侧向挠度曲线基本沿跨中对称分布,沿试件长度的分布情况与正弦半波曲线吻合较好。

4)柱中截面应变在加载初期呈线性变化,符合平截面假定。采用现有规范《钢管混凝土结构技术规程》(DBJ/13-51-2020)^[10]中的公式对复合不锈钢管混凝土柱双向压弯承载力进行计算,计算值略高于试验值。

参考文献:

- [1] 方小丹,林斯嘉. 复式钢管高强混凝土柱轴压试验研究[J]. 建筑结构学报,2014,35(4):236-245.
- [2] 随意,屠永清,张晋峰. 多室式T形钢管混凝土柱在双向偏压下的力学性能研究[J]. 钢结构,2017,32(9):41-46.
- [3] 李永进,廖飞宇,黄海清. 矩形不锈钢管混凝土柱双向偏压力学性能试验研究[J]. 建筑钢结构进展,2018,20(2):60-66.
- [4] 李幅昌,曹文正,杨志坚,等. 高强方钢管高强混凝土双向偏压短柱受力性能[J]. 工业建筑,2020,50(10):152-159,193.
- [5] 钱稼茹,张扬,纪晓东,等. 复合钢管高强混凝土短柱轴心受压性能试验与分析[J]. 建筑结构学报,2011,32(12):162-169.
- [6] 郑永乾,赖鹏松,何春霞. 方形复合不锈钢管混凝土柱滞回性能研究[J]. 土木工程学报,2019,52(12):36-45,56.
- [7] 白杨. 外方内圆复合不锈钢管混凝土柱滞回性能试验研究[D]. 泉州:华侨大学,2017.
- [8] 王志滨,高扬虹,池思源,等. 复式薄壁方钢管混凝土长柱轴压稳定性能研究[J]. 建筑结构学报,2017,38(12):41-48.
- [9] 王志滨,张万安,池思源,等. 复式薄壁方钢管混凝土构件受弯性能研究[J]. 建筑结构学报,2017,38(7):78-84.
- [10] 福建省住房和城乡建设厅. 钢管混凝土结构技术规程:DBJ/T 13-51-2020[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2020.
- [11] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会. 金属材料 拉伸试验 第1部分:室温试验方法:GB/T 228.1—2021[S]. 北京:中国标准出版社,2021.
- [12] 中华人民共和国住房和城乡建设部,国家市场监督管理总局. 混凝土物理力学性能试验方法标准:GB/T 50081—2019[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2019.

(责任编辑:马晓磊)