

DOI: 10.11835/j.issn.2096-6717.2021.250



开放科学(资源服务)标识码 OSID:



多工况荷载作用下内嵌H型钢钢管混凝土柱的 受力性能

赵轩¹, 皮正波², 陶修¹, 罗崧滔³, 聂影¹, 陈春君³, 王宇航³

(1. 中冶赛迪工程技术股份有限公司, 重庆 400013; 2. 湖南工程学院 建筑工程学院, 湖南 湘潭 411104; 3. 重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045)

摘要:在简单钢管混凝土组合柱中内嵌H型钢,形成新型组合结构柱,为研究新型组合结构柱的受力性能,对其进行纯弯、压弯、扭弯、压弯扭4个工况的试验研究。为满足试验过程中的加载需要,设计制作了一套适用于多工况模拟的加载装置。在复杂荷载加载中,对于有轴压参与的工况,控制轴压比为0.24;对于有扭弯的工况,控制扭弯比为0.34。通过对4个试件的加载试验,分析其扭矩-扭转角滞回曲线、弯矩-位移滞回曲线、扭矩-扭转角骨架、弯矩-位移骨架、力学特征及刚度退化等指标,对结果及其产生机理进行分析。结果表明,在复杂荷载作用下,该新型组合结构柱受力性能良好。基于试验结果提出在工程实际中使用该新型结构柱的基本建议。

关键词:钢管混凝土;复杂荷载;内嵌H型钢;受力性能

中图分类号: TU398.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-6717(2023)06-0074-09

Mechanical behavior of concrete-filled steel tubular columns embedded with H-shaped steel tubular under multi-load

ZHAO Xuan¹, PI Zhengbo², TAO Xiu¹, LUO Yintao³, NIE Ying¹, CHEN Chunjun³,
WANG Yuhang³

(1. CISDI Engineering Corporation, Chongqing 400013, P. R. China; 2. Department of Building Engineering, Hunan Institute of Engineering, Xiangtan 411104, Hunan, P. R. China; 3. College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: In this paper, H-shaped steel is embedded in simple concrete-filled steel tubular composite columns to form a new type of composite structural columns. In order to study the mechanical behavior of the new composite structure columns, the experimental studies are carried out under four working conditions: pure bending, compression-bending, torsion-bending and compression-bending-torsion. In order to meet the loading needs during the test, a set of loading devices suitable for multi-working condition simulation is designed and made. In the loading of complex load, the axial compression ratio is 0.24 for the condition with axial compression, and the torsion-bending ratio is 0.34 for the condition with torsion. Through the loading tests of four specimens, the indexes such as torque-torsion angle hysteresis curve, moment-displacement hysteresis curve, torque-torsion angle skeleton, moment-displacement skeleton, mechanical characteristics and stiffness

收稿日期: 2021-07-12

基金项目: 重庆市技术创新与应用发展专项(cstc2019jscx-gksbX0013)

作者简介: 赵轩(1979-),男,正高级工程师,主要从事工业建筑结构研究, E-mail: 10161238@qq.com。

Received: 2021-07-12

Foundation items: Technological Innovation and Application Development in Chongqing (No. cstc2019jscx-gksbX0013)

Author brief: ZHAO Xuan (1979-), senior engineer, main research interest: industrial building structure, E-mail: 10161238@qq.com.

degradation are analyzed. The results and mechanism are analyzed in depth, and the results show that the mechanical performance is good under complex loads, and the basic suggestions for using this new structure in engineering practice are put forward.

Keywords: concrete-filled steel tube; complex load; embedded H-shaped steel; mechanical behavior

由于结构所受荷载日渐复杂且结构趋向大型化发展,工程结构中主要受力构件的结构形式也在不断发展,从钢筋混凝土结构、钢结构逐渐发展到钢管混凝土结构等组合结构。由于力学性能优异,钢管混凝土组合柱得到广泛使用,学者们已对钢管混凝土组合柱受力性能进行了较多研究,包括试验研究、数值分析等。王志滨等^[1]提出了带直角六边形钢管混凝土柱的荷载-位移恢复力模型,简化计算结果和试验结果吻合较好。王宇航等^[2]在试验结果的基础上,基于理论计算提出了钢管混凝土柱的抗扭承载力和轴力-抗扭承载力相关关系简化计算公式。Roeder等^[3]通过压弯试验提出了一种新的强度、刚度计算方法。Tao等^[4]对不同材料形式的方钢管混凝土短柱进行了极限承载力试验,并与有限元结果进行了对比。Lai等^[5]提出了一种新的高强矩形钢管混凝土短柱设计方法,以弥补目前相关规范的缺失。Chen等^[6]基于钢管混凝土柱轴压试验数据库建立了轴压强度公式。Ayough等^[7]通过对多种规范的调研,指出材料性能和尺寸对钢管混凝土柱的轴心受力性能影响显著。赵大洲等^[8]通过数值积分方法,模拟计算了钢骨-钢管混凝土压弯组合柱的荷载-变形关系曲线,并分析了影响承载力的主要参数,模拟结果与试验结果吻合良好,由此提出了压弯组合柱承载力的简化计算公式。陈明杰^[9]通过变化偏心率、内部含钢率、外部含钢率、长细比参数,设计了9个内置十字形钢管混凝土柱试件用于试验研究,并通过ABAQUS对试件进行模拟分析,提出了钢骨-钢管混凝土轴压短柱、偏压短柱及轴压中长柱的承载力计算公式。刘晓^[10]制作了18根钢管钢骨高强混凝土构件,对其进行了偏心受压、抗弯、压弯工况下的试验研究,并进行了理论分析,考虑内部钢骨对混凝土的双重紧箍作用和后期的延性改善,修正了核心混凝土的本构关系模型,得到了轴压稳定承载力简化公式,计算值与试验值吻合较好。刘涵等^[11]对圆锥形中空夹层钢管混凝土纯弯构件进行了数值模拟,提出了抗弯承载力计算方法。余洁等^[12]针对不同结构形式的钢管混凝土组合柱开展了研究,通过改变钢管强度、厚度等参数进行试验及数值模拟分析,在钢管混凝土中配置钢筋并设置不同参数,其受弯承载力和受扭承载力之间的相

关关系基本一致。许友武^[13]将外圆管的截面形式设置为椭圆形,并提出了其设计公式。王文达等^[14]对内置不同型钢类型进行了试验研究,主要探究方钢管混凝土构件压弯剪复合受力工作机理。迄今为止,尚未有学者在钢管混凝土组合柱中内嵌H型钢并分析其在复杂荷载下的受力性能。笔者在钢管混凝土柱中加入H型钢,通过试验分析其在纯弯、压弯、扭转及压弯扭4种工况下的受力性能。

1 试验概况

1.1 试件制作

试验设计了4个内嵌H型钢钢管混凝土柱试件,试件总高度均为975 mm。为保证钢管及H型钢与底板和顶板有良好的抗环向剪切性能,在制造过程中采用焊接连接的方式。用气保焊将试件连接至顶板和底板,通过顶板的孔洞将混凝土浇筑至钢管内部,并将其振捣密实。试件截面构造见图1。

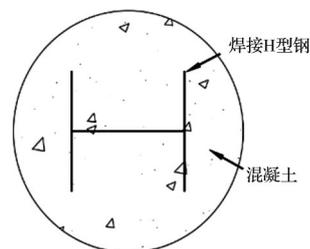


图1 内嵌H型钢钢管混凝土柱截面构造

Fig. 1 Cross-sectional structure of concrete-filled steel tubular columns embedded with H-shaped steel tubular

对4个圆形截面钢管混凝土柱试件施加纯弯、压弯、弯扭和压弯扭荷载,试件参数如表1所示。符合工程需求,根据钢管混凝土结构及相关工程经验,对于有轴向压力的试件,轴压力大小为730 kN,其轴压比 $n(n = N/N_u)$ 控制为0.24;对于有扭矩作用的试件,其扭转比大小控制为0.34。对4个同等参数的试件采用不同的加载方向,定性分析其不同工况下的破坏现象与受力机理。

1.2 材料力学性能

采用C40混凝土,根据混凝土立方体强度测量方法,在浇筑试件的过程中,同时取3组尺寸为150 mm×150 mm×150 mm的混凝土立方体试块,实测其28 d立方体抗压强度为44.4 MPa。钢材强

表 1 内嵌 H 型钢管混凝土柱试件编号及试验参数

Table 1 Numbers and test parameters of concrete-filled steel tubular columns embedded with H-shaped steel tubular

试件	尺寸	高度 L/mm	L/i	轴压力/ kN	轴压比 $n(n=N/N_0)$	加载模式
CH2-B	$\phi 219 \text{ mm} \times 6.0 \text{ mm}$	975	12.6	0	0.00	纯弯
CH2-CB	$\phi 219 \text{ mm} \times 6.0 \text{ mm}$	975	12.6	730	0.24	压弯
CH2-TB1	$\phi 219 \text{ mm} \times 6.0 \text{ mm}$	975	12.6	0	0.00	扭弯(扭弯比 0.34)
CH2-CBT1	$\phi 219 \text{ mm} \times 6.0 \text{ mm}$	975	12.6	730	0.24	压弯扭(扭弯比 0.34)

注: L/i 为长细比,其中 i 为回转半径。

度由标准拉伸试验确定,测量试件从同批钢管中抽取,每组抽取 3 个,测得试件钢管和 H 型钢钢材的屈服强度、抗拉强度及弹性模量,如表 2 所示。

表 2 钢材材料力学性能

Table 2 Mechanical properties of steel materials

钢材类型	屈服强度/	极限强度/	弹性模量/
	MPa	MPa	GPa
6.0 mm 厚钢板	363.8	500.8	200.2
3.7 mm 厚钢板	353.3	430.3	201.7

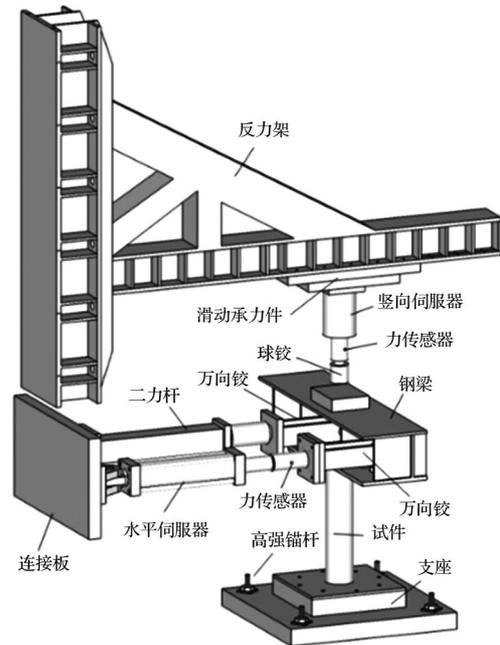
1.3 试验装置及加载制度

试验在重庆大学土木工程学院振动台实验室进行,制作并使用图 2 所示试验加载装置来实现纯扭、压扭、纯弯、压弯、扭弯和压弯扭加载。加载现场如图 3 所示。试件上部设置钢端板,与加载钢梁通过螺栓连接(加载相关设置)。

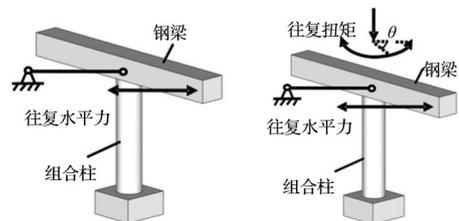
在试验过程中,通过高精度直线位移传感器(LVDT)和数据自动采集系统采集数据。其中 LVDT1 量测水平液压伺服器的水平位移,而 LVDT2 和 LVDT3 布置在钢梁底部,用于量测竖向位移。LVDT4 布置在柱顶钢梁竖向约 1/2 高度处,用于量测柱顶水平方向位移。对于试件 CH2-CB 和 CH2-CBT1,轴压力作用采用预加载方式,首先加载至 200 kN,然后卸载至 0,重复两次后开始加载。对于试件 CH2-TB1 和 CH2-CBT1,由于内嵌 H 型钢管混凝土柱的扭转角和水平位移之间存在线性相关关系,故使用水平方向的位移来控制加载过程,对试件施加循环扭矩。水平位移的加载速度控制为 4 mm/min。对于试件 CH2-CB 和 CH2-CBT1,采用等增量柱顶位移加载。加载时,先施加竖向轴压力,当达到每个循环次数的最大或基本滞回扭转位移时,暂停 1 min 用于拍照和记录数据,当试件破坏或试件承载力小于最大承载力的 85% 时停止加载,整个加载过程使用固定摄影机记录。加载模式如图 4 所示,其中 N_0 为 730 kN。

2 试验现象及破坏形态

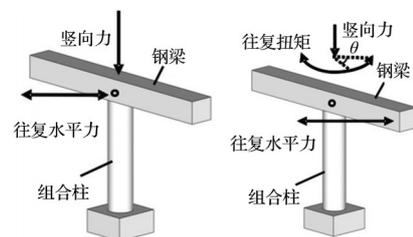
试件 CH2-B 受纯弯作用,其失效模式表现为柱



(a) 总视图



(b) 纯扭和压扭



(c) 纯弯、压弯、扭弯和压弯扭(加载方式)

图 2 试验装置

Fig. 2 Loading device

底钢管发生鼓屈,鼓屈处内部混凝土膨胀,且钢管在柱底受拉区发生开裂破坏,裂缝方向为水平方向,如图 5(a)所示。

试件 CH2-CB 受压弯作用,其失效模式与试件



图 3 加载现场

Fig. 3 Loading site

CH2-B 相似,试件破坏发生在底部,柱底钢管发生鼓屈,鼓屈处内部混凝土膨胀,且受拉区钢管开裂,裂缝方向水平,如图 5(b)所示。

试件 CH2-TB1 受扭转荷载作用,其失效模式表现为柱底钢管发生斜向鼓屈,并在鼓屈处进一步发展裂缝,表现为斜向撕裂,如图 5(c)所示。

试件 CH2-CBT1 受压弯扭荷载作用,其失效模式与试件 CH2-TB1 相似,试件破坏发生在底部,柱底钢管在荷载作用下首先发生斜向鼓屈,随着试验的继续进行,钢管在鼓屈处开展斜向裂缝,如图 5(d)所示。

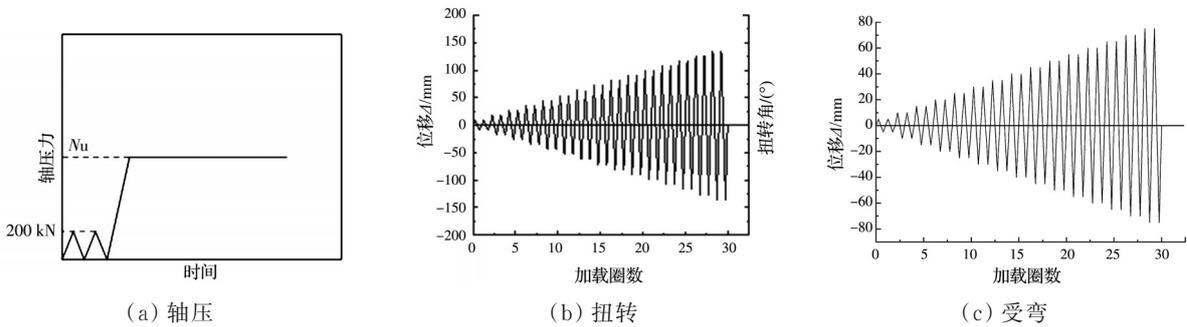
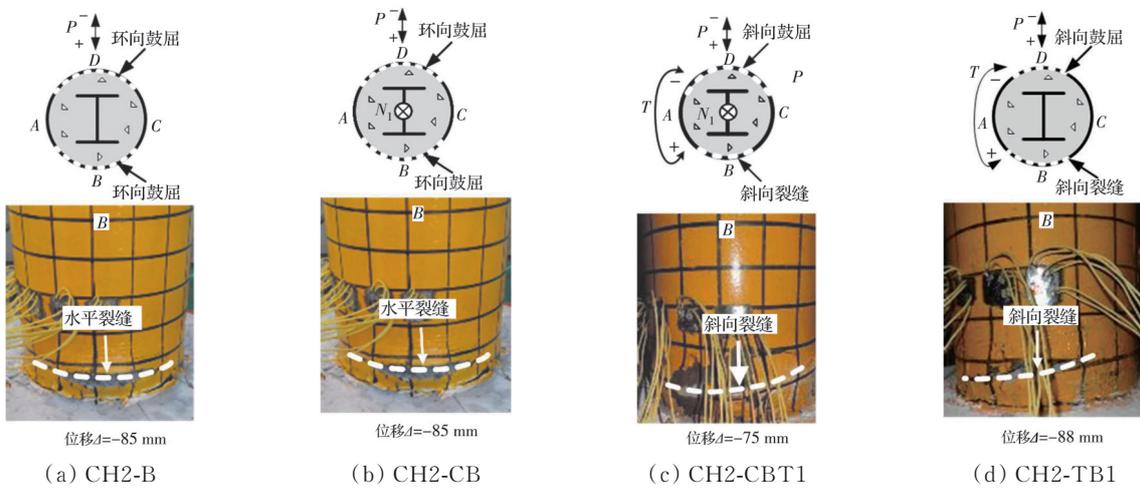


图 4 加载模式

Fig. 4 Loading mode



注:图中 P 为弯矩, T 为扭矩, N 为压力。

图 5 失效模式

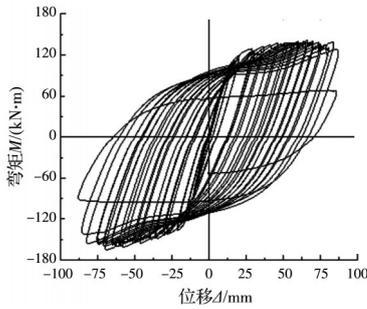
Fig. 5 Failure mode

3 弯矩-位移和扭矩-位移滞回性能

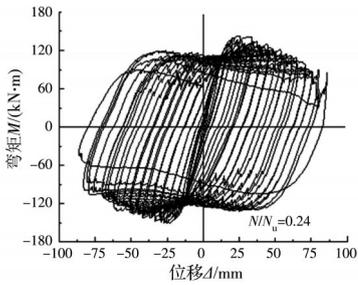
纯弯和压弯作用下内嵌 H 型钢钢管混凝土柱的弯矩-位移滞回曲线如图 6 所示。纯弯和压弯作用下内嵌 H 型钢钢管混凝土柱的卸载刚度与加载刚度均差异较小,其滞回曲线较为饱满,无明显“捏拢”效应,具有良好的耗能能力。

内嵌 H 型钢钢管混凝土柱在弯扭和压弯扭作用下的弯矩-位移滞回性能曲线如图 7 所示。在轴压比为 0.24、扭转比为 0.34 的试验条件下,仅受弯扭作用的试件弯矩-位移滞回曲线更为饱满,表明轴压作用会降低内嵌 H 型钢钢管混凝土柱的受弯承载力和耗能能力。

通过对比试件 CH2-B 和 CH2-TB1 的弯矩-位

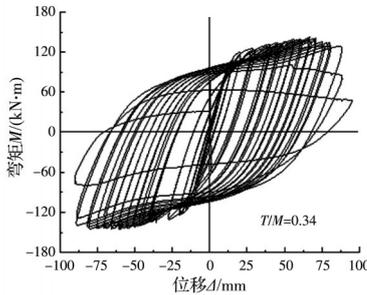


(a) CH2-B 纯弯

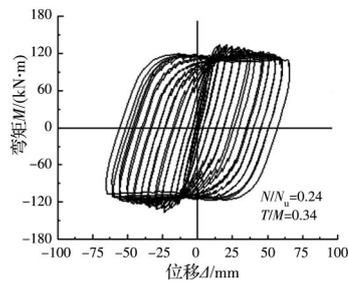


(b) CH2-CB 压弯

图 6 内嵌 H 型钢钢管混凝土柱弯矩-位移滞回曲线
Fig. 6 Bending moment - displacement hysteresis curve of concrete-filled steel tubular columns embedded with H-shaped steel tubular



(a) CH2-TB1 弯扭



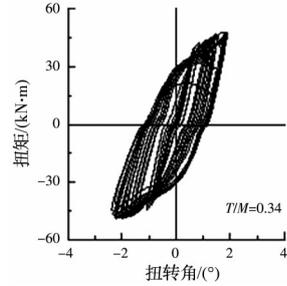
(b) CH2-CBT1 压弯扭

图 7 内嵌 H 型钢钢管混凝土柱弯矩-位移滞回曲线
Fig. 7 Bending moment-displacement hysteresis curve of concrete-filled steel tubular columns embedded with H-shaped steel tubular

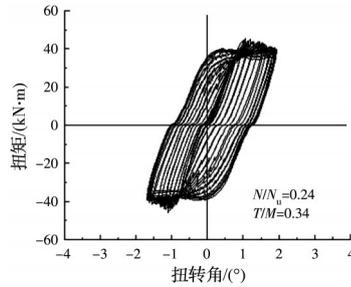
移滞回曲线可以发现, 扭矩作用也会降低内嵌 H 型钢钢管混凝土柱的受弯承载力和耗能能力, 主要原因为, 往复扭矩的剪切作用使得内部混凝土破坏而

减小了其强度。

弯扭和压弯扭作用下内嵌 H 型钢钢管混凝土柱的扭矩-扭转角滞回曲线如图 8 所示。两个试件的区别在于, 试件 CH2-CTB1 承受了轴压比为 0.24 的竖向作用力, 通过滞回曲线的比较可以发现, 轴向作用力使得试件耗能能力减小, 极限荷载作用下最大扭转角变小。



(a) CH2-TB1



(b) CH2-CBT1

图 8 内嵌 H 型钢钢管混凝土柱扭矩-扭转角滞回曲线
Fig. 8 Torque-torsional angle hysteresis curve of concrete-filled steel tubular columns embedded with H-shaped steel tubular

4 弯矩-位移、扭矩-位移骨架和力学特征

试件 CH2-B、CH2-B、CH2-TB1、CH2-CBT1 的荷载工况中均存在弯矩作用, 其弯矩-位移骨架曲线如图 9 所示。弯矩作用下内嵌 H 型钢钢管混凝土柱的力学特征如表 3 所示, 扭矩作用下内嵌 H 型钢钢管混凝土柱的力学特征如表 4 所示。

由图 9 和表 3 可知, 4 个试件屈服弯矩无明显差异, 屈服位移随荷载情况的逐渐复杂而逐渐减小, 峰值弯矩和极限弯矩值也无明显差异。对比试件峰值位移可以发现, 在轴向压力作用下, 试件的峰值位移比无轴力作用下的试件明显降低。轴向力作用使得内嵌 H 型钢钢管混凝土柱的延性系数整体降低, 相对于无轴向力的工况分别下降了 32% 和 28%。

试件 CH2-TB1、CH2-CBT1 的荷载工况中均存在扭矩作用, 其扭矩-扭转角骨架曲线见图 10。

由图 10 和表 4 可知, 试件 CH2-TB1 和 CH2-

表 3 弯矩作用下内嵌H型钢钢管混凝土柱的力学特征

Table 3 Mechanical characteristics of concrete-filled steel tubular columns embedded with H-shaped steel tubular under bending moment

试件名称	屈服弯矩/(kN·m)	屈服位移/mm	峰值弯矩/(kN·m)	峰值位移/mm	极限弯矩/(kN·m)	极限位移/mm	延性系数
CH2-B	129.9	23.2	149.7	65.7	133.1	85.6	3.7
CH2-CB	135.5	19.7	146.6	24.4	123.5	55.4	2.8
CH2-TB1	118.1	19.1	142.2	63.5	128.5	88.0	4.6
CH2-CBT1	126.3	16.1	133.8	19.2	110.1	58.1	3.6

表 4 扭矩作用下内嵌H型钢钢管混凝土柱的力学特征

Table 4 Mechanical characteristics of concrete-filled steel tubular columns embedded with H-shaped steel tubular under torque

试件名称	屈服弯矩/(kN·m)	屈服位移/mm	峰值弯矩/(kN·m)	峰值位移/mm	极限弯矩/(kN·m)	极限位移/mm	延性系数
CH2-TB1	42.9	1.1	48.3	2.0	45.3	2.1	2.2
CH2-CBT1	42.7	1.0	44.8	1.1	39.5	1.8	1.8

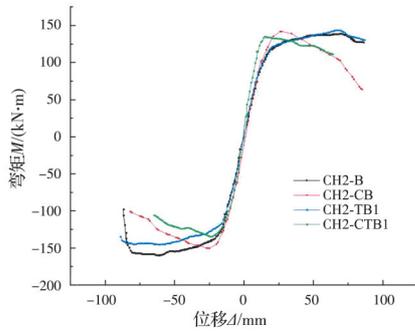


图 9 内嵌H型钢钢管混凝土柱弯矩-位移骨架曲线

Fig. 9 Bending moment-displacement skeleton curve of concrete-filled steel tubular columns embedded with H-shaped steel tubular

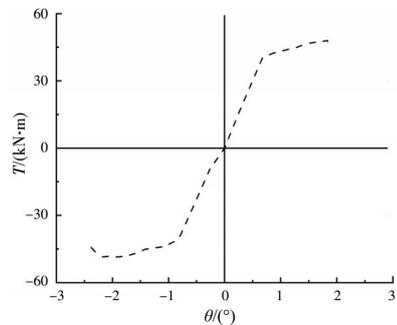
CBT1在屈服扭矩、屈服扭转角、峰值扭矩和极限扭转角上无明显差异。但试件CH2-CBT1峰值扭转角为1.1°,与无轴力作用的CH2-TB1对比可知,轴向压力会使试件扭转性能下降,极限扭转角也有降低,试件延性变差。

5 刚度退化

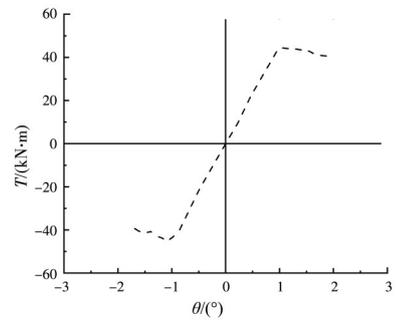
Wang等^[15]对钢管混凝土柱进行了复杂工况下的加载试验,提出了扭转退化刚度的计算公式。内嵌H型钢钢管混凝土柱的扭转退化刚度 K_{θ} 定义为最大扭矩 T_i 与扭转角 θ_i 之间的相关关系,见式(1)。

$$K_{\theta} = \frac{|+T_i| + |-T_i|}{|+\theta_i| + |-\theta_i|} \quad (1)$$

内嵌H型钢钢管混凝土柱扭转退化刚度 K_{θ} 如图11所示。分析图11中受扭刚度退化曲线可知,在弯扭和压弯扭作用下,扭转角与屈服扭转角之比($\theta/\theta_y, \theta_y$ 为纯扭作用下内嵌H型钢钢管混凝土柱的屈服扭转角)随 $k_{\theta}/k_{\theta e}$ ($k_{\theta e}$ 取纯扭下屈服扭转刚度)的



(a) CH2-TB1



(b) CH2-CBT1

图 10 内嵌H型钢钢管混凝土柱扭矩-位移骨架曲线

Fig. 10 Torque-displacement skeleton curve of concrete-filled steel tubular columns embedded with H-shaped steel tubular

降低而降低。

纯弯和压弯作用下内嵌H型钢钢管混凝土柱的受弯刚度退化如图12所示。由图12可知,当受弯位移与屈服受弯位移之比($\Delta/\Delta_y, \Delta_y$ 为纯弯下内嵌H型钢钢管混凝土柱的屈服位移)小于1.5时,压弯作用下试件的受弯刚度与初始受弯刚度比($K_{\Delta}/K_{\Delta e}, K_{\Delta e}$ 为纯弯下内嵌H型钢钢管混凝土柱的屈服位移)大于纯弯作用下的刚度比,而压弯作用下试

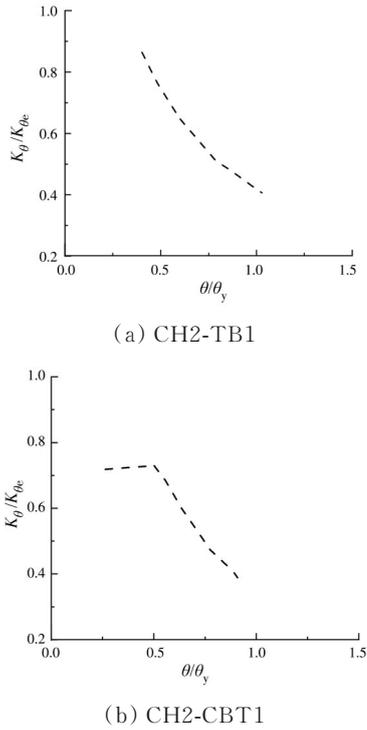


图 11 内嵌 H 型钢钢管混凝土柱受扭刚度退化
 Fig. 11 The torsional stiffness degradation curve of concrete-filled steel tubular columns embedded with H-shaped steel tubular

件的受弯刚度衰减较纯弯下柱更快,说明轴压力可增大柱的早期受弯刚度,但也加大了内嵌 H 型钢钢管混凝土柱的受弯刚度衰减。

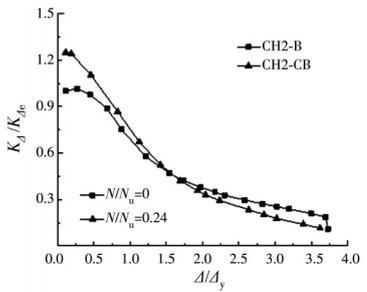


图 12 内嵌 H 型钢钢管混凝土柱受弯刚度退化
 Fig. 12 Degradation of bending stiffness curve of concrete-filled steel tubular columns embedded with H-shaped steel tubular

扭转作用和压弯扭作用下内嵌 H 型钢钢管混凝土柱的受弯刚度退化如图 13 所示。扭转作用下,受弯刚度与初始受弯刚度比($K_{\Delta} / K_{\Delta e}$, $K_{\Delta e}$ 为纯弯下试件的屈服位移)随位移与屈服位移的增大而降低,当 Δ / Δ_y 达到 1.3 时,刚度比降低减缓。

6 破坏机理

压弯扭作用可看作轴压、纯弯和纯扭 3 种作用

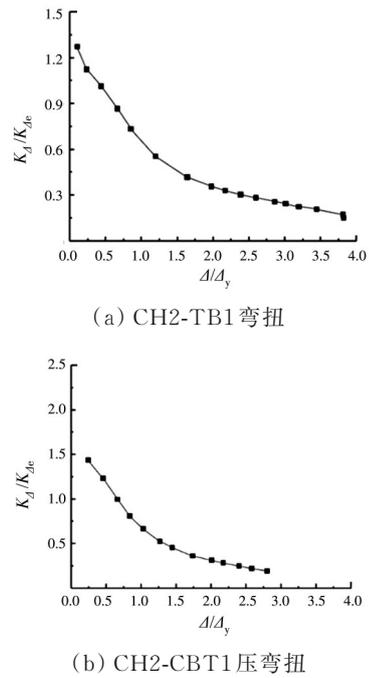


图 13 内嵌 H 型钢钢管混凝土柱受弯刚度退化
 Fig. 13 Degradation of bending stiffness curve of concrete-filled steel tubular columns embedded with H-shaped steel tubular

的叠加,当轴压为零时,为弯扭作用。轴压作用下内嵌 H 型钢钢管混凝土柱截面受到均匀压应力作用,组合柱内混凝土因钢管的约束作用而处于三向受压状态($\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$),钢管因竖向轴压力和混凝土的环向膨胀而处于双向压-拉应力状态,H 型钢因轴压而处于压应力状态。纯弯作用下组合柱截面沿中性轴两边分别为受压区和受拉区,受压区和受拉区中钢管、混凝土和 H 型钢都分别受到非均匀压应力和拉应力,受压区钢管处于压(纵向)-拉(环向)应力状态,混凝土处于三向受压状态,H 型钢处于单向受压应力状态,而受拉区钢管处于双拉应力状态,混凝土处于环向受压而纵向受拉的应力状态,H 型钢处于单向受拉应力状态。纯扭作用下 H-CFST 柱截面钢管、H 型钢和混凝土处于纯剪应力状态,混凝土的剪应力最外侧最大而中心位置最小。

轴压力、弯矩和扭矩作用下 H-CFST 柱截面沿中性轴分别为压剪区和拉剪区。压剪区钢管环向受到拉剪应力而纵向受到压剪应力的双向应力,混凝土的环向和纵向都受到压剪应力的双向应力,H 型钢受到单向压剪应力。拉剪区钢管的环向和纵向都受到拉剪应力的双向应力,混凝土环向受到压剪应力而纵向受到拉剪应力的双向应力,H 型钢受到单向拉剪应力。轴压力、弯矩和扭矩作用下,H-CFST 柱破坏时,钢管表面鼓屈兼有三者单独

作用时的破坏形状特点,轴压作用时外钢管的鼓屈方向为环向水平,纯弯作用时外钢管的鼓屈方向为环向水平(鼓屈位置位于受压区最外侧),纯扭作用时柱的鼓屈方向为斜向并与水平成 45° 夹角,弯扭同时作用时,组合柱的鼓屈方向为斜向并与水平成 $0\sim 45^\circ$ 夹角,压弯扭作用时,因轴压的引入,H-CFST柱的鼓屈方向斜向鼓屈与水平方向的夹角会进一步减小。轴压力沿组合柱截面产生压效应,扭矩沿H-CFST柱截面产生剪切效应,而弯矩沿H-CFST柱截面受拉区和受压区分别产生拉压效应,H-CFST柱正是在压效应、剪切效应和拉压效应共同作用下破坏,压弯扭作用下H-CFST柱的破坏叠合了压、弯、扭下H-CFST柱破坏形态的特点,如图14所示。

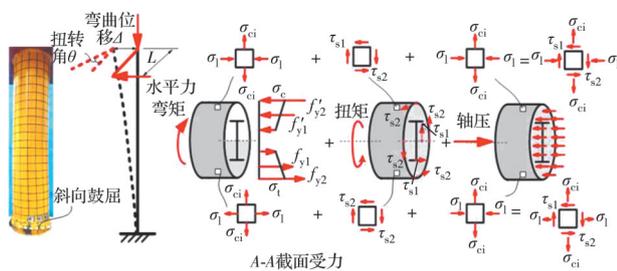


图14 破坏机理

Fig. 14 The failure mechanism

7 结论

在纯弯、压弯、扭弯及压弯扭荷载作用下,对4个内嵌H型钢钢管混凝土柱进行拟静力加载试验,对试验结果进行定性分析,并对实际工程使用提出建议,得到以下主要结论:

1)设计制作了4个试件以进行多工况试验,控制试件的轴压比为0.24,扭弯比为0.34,对比分析不同荷载作用下试件的破坏形态和受力性能。但由于试件数量有限,在实际工程中轴压比和扭弯比有一定的变化范围,笔者将其控制为一定值。

2)分析试件在多工况下的滞回曲线发现,轴力与扭矩会使试件的抗弯承载力降低,试件耗能能力变差。由于扭转和弯矩作用,分析试件骨架曲线时将其分为两类:扭转-位移角骨架曲线与弯矩-位移骨架曲线,并分析其力学特征。

3)内嵌H型钢钢管混凝土柱用于实际工程中的造价成本低于纯钢结构,且力学性能也有提升。实际使用内嵌H型钢钢管混凝土柱时,在设计阶段应合理考虑轴压比与扭弯比,使结构整体性能更优。

参考文献

- [1] 王志滨,吴扬杭,王巧艺,等.带直角六边形钢管混凝土柱的滞回性能研究[J].建筑钢结构进展,2021,23(9):19-24.
WANG Z B, WU Y H, WANG Q Y, et al. The hysteretic behavior of concrete-filled hexagonal steel tubular columns with right angle [J]. Progress in Steel Building Structures, 2021, 23(9): 19-24. (in Chinese)
- [2] 王宇航,聂建国,樊健生.圆钢管混凝土柱的受扭性能研究[J].工程力学,2014,31(3):222-227.
WANG Y H, NIE J G, FAN J S. Study on the torsion behavior of concrete filled steel tube column with circular section [J]. Engineering Mechanics, 2014, 31(3): 222-227. (in Chinese)
- [3] ROEDER C W, LEHMAN D E, BISHOP E. Strength and stiffness of circular concrete-filled tubes [J]. Journal of Structural Engineering, 2010, 136(12): 1545-1553.
- [4] TAO Z, UY B, LIAO F Y, et al. Nonlinear analysis of concrete-filled square stainless steel stub columns under axial compression [J]. Journal of Constructional Steel Research, 2011, 67(11): 1719-1732.
- [5] LAI Z C, VARMA A H. High-strength rectangular CFT members: Database, modeling, and design of short columns [J]. Journal of Structural Engineering, 2018, 144(5): 04018036.
- [6] CHEN B C, LAI Z C, YAN Q L, et al. Experimental behavior and design of CFT-RC short columns subjected to concentric axial loading [J]. Journal of Structural Engineering, 2017, 143(11): 04017148.
- [7] AYOUGH P, SULONG N H R, IBRAHIM Z. Analysis and review of concrete-filled double skin steel tubes under compression [J]. Thin-Walled Structures, 2020, 148: 106495.
- [8] 赵大洲,王清湘,关萍.钢管-钢管高强混凝土压弯组合柱承载力的研究[J].工业建筑,2005,35(9):84-85,93.
ZHAO D Z, WANG Q X, GUAN P. Research on load-bearing capacity of steel tubular columns filled with steel-reinforced high-strength concrete subjected to compression and bending [J]. Industrial Construction, 2005, 35(9): 84-85, 93. (in Chinese)
- [9] 陈明杰.钢管-钢管高强混凝土柱力学性能研究[D].广州:华南理工大学,2014.
CHEN M J. Study on the mechanical properties of CFST column with the built-in cross I shape column [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2014. (in Chinese)
- [10] 刘晓.钢管-钢管高强混凝土组合构件力学性能研究[D].沈阳:东北大学,2009.
LIU X. Mechanical behaviors study of steel tube filled with steel-reinforced high-strength concrete [D].

- Shenyang: Northeastern University, 2009. (in Chinese)
- [11] 刘涵, 史艳莉, 范家浩, 等. 圆锥形中空夹层钢管混凝土纯弯构件受力性能研究[J]. 建筑钢结构进展, 2021, 23(5): 9-17.
- LIU H, SHI Y L, FAN J H, et al. Research on the mechanical properties of tapered concrete-filled double skin steel tubular members subjected to pure bending load [J]. Progress in Steel Building Structures, 2021, 23(5): 9-17. (in Chinese)
- [12] 余洁, 王宇航, 王维, 等. 压弯扭复合荷载作用下钢管约束钢筋混凝土柱的承载力及弯扭相关关系研究[J]. 建筑结构学报, 2020, 41(5): 96-107.
- YU J, WANG Y H, WANG W, et al. Ultimate capacity and bending-torsion correlation of steel tube confined RC columns under combined compression-bending-torsion load [J]. Journal of Building Structures, 2020, 41(5): 96-107. (in Chinese)
- [13] 许友武. 椭圆钢管混凝土抗震性能及复材-钢管混凝土短柱设计方法[D]. 杭州: 浙江大学, 2020.
- XU Y W. Seismic behavior of elliptical concrete filled steel tube and design method of elliptical FRP confined concrete filled steel tubular stub columns [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2020. (in Chinese)
- [14] 王文达, 纪孙航, 史艳莉, 等. 内配型钢方钢管混凝土构件压弯剪性能研究[J]. 土木工程学报, 2021, 54(1): 76-87.
- WANG W D, JI S H, SHI Y L, et al. Mechanical behavior of square steel-reinforced concrete-filled steel tubular (SRCFST) members under compression-bending-shear loads [J]. China Civil Engineering Journal, 2021, 54(1): 76-87. (in Chinese)
- [15] WANG Y H, WANG W, CHEN J. Seismic behavior of steel tube confined RC columns under compression-bending-torsion combined load [J]. Journal of Constructional Steel Research, 2018, 143: 83-96.

(编辑 胡英奎)