

## 方钢管中空夹层混凝土柱抗压试验分析

王美农,张付彬,周晓慧

(河北工程大学 土木工程学院,河北 邯郸 056038)

**摘要:**通过4根CFDST方钢管中空夹层混凝土柱的轴向承载力试验研究,探讨了CFDST方钢管中空夹层混凝土柱的抗压受力性能以及方钢管中空夹层混凝土柱承载力和抗弯刚度的提高效果,分析了CFDST方钢管中空夹层混凝土柱的破坏特点及其主要的破坏形式。研究表明:在本次试验的参数范围内,CFDST方钢管中空夹层混凝土柱的承载力及抗弯刚度得到了的有效提高;对CFDST方钢管中空夹层混凝土柱的破坏有了初步的了解。确定了CFDST方钢管中空夹层混凝土柱承载力的计算方法,与试验结果吻合良好。

**关键词:**CFDST;轴压柱;中空夹层方钢管混凝土;抗弯刚度;轴压承载力

**中图分类号:** TG333.17

**文献标识码:** A

## Compression test of hollow interlayer concrete column in square steel tubes

WANG Xian-nong, ZHANG Fu-bin, ZHOU Xiao-hui

(College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

**Abstract:** Through axial bearing capacity test of 4 CFDST hollow interlayer concrete columns in square steel tubes, their compressive mechanical properties, load-carrying capacity and flexural stiffness of concrete were studied. The destruction characteristics and the main form of damage of CFDST square hollow interlayer concrete filled steel tube column were analyzed. Research results showed that CFDST hollow interlayer concrete filled square steel tubes column can effectively improve the bearing capacity of axial compression column and column bending stiffness in this paper; Damage to the CFDST square hollow interlayer concrete filled steel tube column was pointed out. The calculation method of bearing capacity of concrete filled steel tubular axial compression column was determined and met with well experimental results.

**Key words:** CFDST; axial compression column; insulating laminated concrete filled steel tube; bending stiffness; axial compression bearing capacity

混凝土柱在工程中应用广泛,但是混凝土柱体积大,抗压承载力低,容易发生脆性破坏;型钢柱抗压能力强,但是其稳定性差,容易发生失稳破坏<sup>[1]</sup>。两种材料各自的缺陷比较明显,但组合起来却可以克服各自的缺陷,混凝土可以提高型钢的稳定性,型钢的约束作用极大地提高了混凝土的抗压承载力<sup>[2]</sup>。

钢管混凝土需要大直径厚壁钢管,试件在到达承载力最大值(临界荷载)之前可以认为是轴心

受压构件,但当荷载接近临界荷载时试件整体失稳导致构件破坏<sup>[3]</sup>。中空夹层圆钢管混凝土结构提高了构件的抗弯刚度,并且自重轻、抗震性能好<sup>[4]</sup>。在此基础上,把圆钢管改成抗弯刚度更好的方钢管,以进一步提高抗压构件的抗弯刚度,使得中空夹层型钢混凝土构件的核心混凝土抗压承载力得到充分的利用。

本文通过对4根CFDST方钢管混凝土柱试验研究,初步探讨了CFDST方钢管混凝土柱的受力

收稿日期:2013-9-9

基金项目:河北省建设基金资助项目(2011-158)。

作者简介:王美农(1965-),女,河北辛集人,教授,从事钢结构教学、科研和设计工作。

性能,试件在实验中体现了良好的抗弯能力,承载力也得到了较大的提升,得到了比较满意的结果,为以后中空夹层方钢管混凝土柱在实际工程中的应用提供了有力的支持。

## 1 试验概况

本次试验共4个试件,试件尺寸为:外钢管外径宽120 mm,厚2.5 mm;内钢管外径宽50 mm,厚1.1 mm;试件长1.2 m。制作试件时,首先按照要求长度加工钢管,对应每个试件加工两块20mm厚的钢盖板,保证钢盖板与空钢管的几何中心对中,先在空钢管一端将盖板焊上,另一端在浇筑混凝土后焊接,保证焊接质量。

内、外方钢管均使用焊缝钢管,钢号Q235。钢管化学成分如表1所示:

表1 钢管化学成分表

Tab. 1 Chemical composition of steel

化学成分	含量/%
C	0.09 ~ 0.15
Si	≤ 0.3
Mn	0.3 ~ 0.55
S	≤ 0.5
P	≤ 0.045

钢材强度由拉伸试验确定:将钢管沿纵向剖开、压平,做成标准试件,按照规范《金属材料室温拉伸方法》(GB/T 228.1-2010)对钢板进行拉伸试验,结果如图1所示。经计算可知:钢材的屈服强度为268 N/mm<sup>2</sup>,钢材的极限抗拉强度393 N/mm<sup>2</sup>。该数值符合规范《碳素结构钢》(GB/T700-2006)中要求。

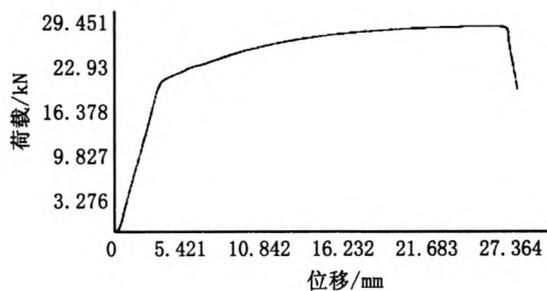


图1 钢材荷载-变形曲线

Fig. 1 Load-deformation curve of steel

混凝土为现场搅拌,配合比(kg/m<sup>3</sup>)为水:水泥:沙子:石子=195:398:564:1198,混凝土密度 $\rho=2355$  kg/m<sup>3</sup>。混凝土抗压强度由试块抗压试验得出,混凝土立方体的抗压强度为 $f_{c,cu} = F/A$ ,混凝土的轴心抗压强度为 $f_c = 0.8f_{c,cu}$ ,实验结果如表2所示:

表2 混凝土抗压实验数据

Tab. 2 Compressive experimental data of concrete

混凝土抗压试验	破坏荷载 / kN	抗压强度 / (N · mm <sup>-2</sup> )
试块1	836.5	37.2
试块2	956.8	42.5
试块3	876.3	38.9

试件混凝土浇灌时,将试件焊有盖板的一端置于底部竖立放置,从上端开口处灌入混凝土。浇筑采用分层灌入法,用振捣棒伸入钢管内部振捣。浇筑时每次灌入1/4~1/3混凝土并将振捣棒深入钢管底部,然后慢慢上提,振捣同时灌入混凝土,振捣4~5 min。同时在试件的外部用振捣棒进行侧振,以保证混凝土的密实度。浇筑完成后自然养护28 d,焊上另一端盖板。

试验采用静力加载方法对构件轴心抗压性能进行测定,为了准确的量测试件的应变,在钢管上均匀布置了纵向应变片,由动态数字应变仪连续记录,以获取对应于荷载的应变。在弯曲平面内沿试件高度用等间距布置的电子百分表2个,量测柱子的侧向挠度。在柱端中和轴位置设置两个位移计量测试件的纵向变形。

## 2 试验现象与结果分析

### 2.1 试验现象

试验按每级50 kN加载给出了四个试验构件加载工程中的应力应变曲线。加载过程中1号试件加载至500 kN时,可以听到柱内混凝土压裂破碎声,在距下端板40 mm处第一次开始出现沿环向的外凸褶皱,并且发展较快。在加载至550 kN时,形成了半圈左右的褶皱,柱内混凝土破碎声不断。继续加载至600 kN时,开始出现第二道沿环向的向外凸的褶皱,且沿环向发展较快,同时可以观察到试件明显的弯曲形态。

2号试件加载到400 kN时,在距下端板30 mm处开始出现第一道环外凸的褶皱,并且变化较快。在加载至500 kN时,屈曲变形基本完成,形成半圈左右的褶皱,此时承载力开始急剧下降。3号试件与2号试件试验的现象类似。4号试件在加载至550 kN过程中,外钢管表面出现局部屈曲现象,柱内部有混凝土破裂压碎声,继续加载至650 kN时,方钢管柱角发生撕裂破坏,可以看见压碎破坏的混凝土。在加载工程中各试件上布置的测点得到的位移和应变读数基本呈线性增长态势。

图2为数字应变仪采集到的荷载-应变图:

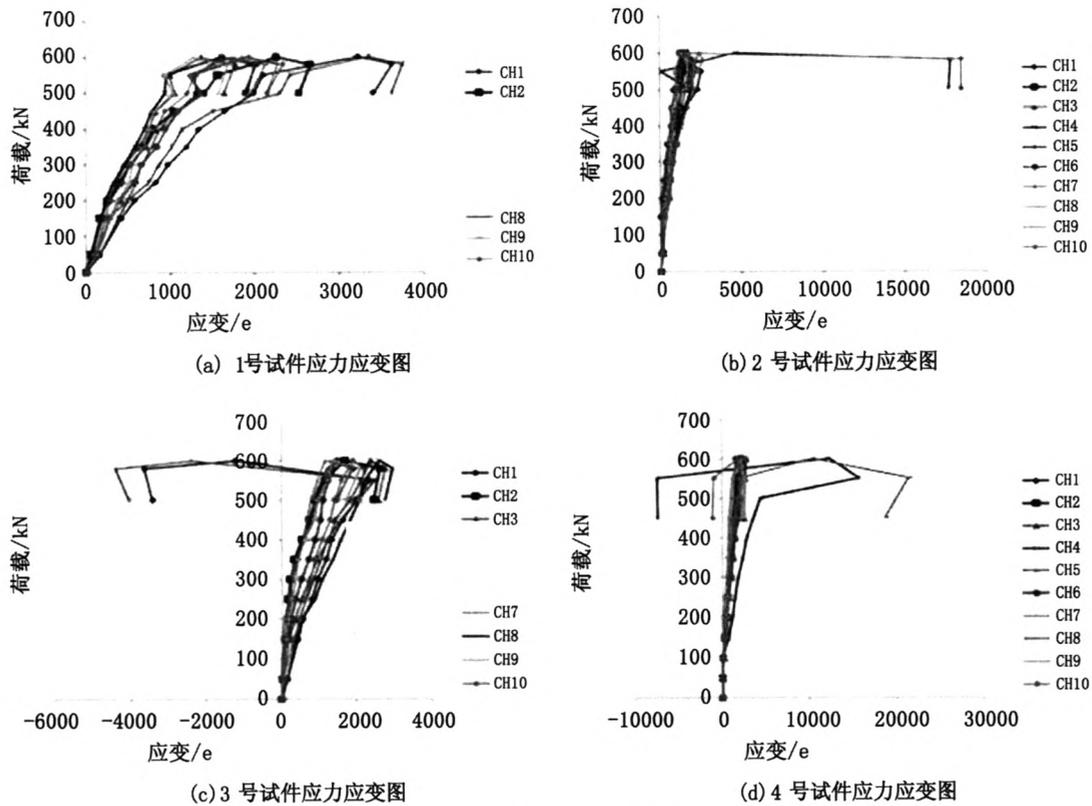


图2 试件加载应力应变图

Fig.2 Loading stress strain diagram of specimen

试验中试件出现局部屈曲的起始荷载约为 500 kN。试件在加载至 500 kN 时,外钢管表面出现局部屈曲现象。各测点得到的位移和应变读数基本呈线性增长态势,各应变测点测试结果表明试件具有较强的抗压能力。由图 2(d)中 CH10 可见,当荷载较小时,试件轴向变形较小,当荷载达到极限荷载的 80% 时,试件开始出现明显的柱内混凝土压缩破坏,外钢管开始产生微弱的局部屈曲,并且试件柱中部同时产生轻微的弯曲,如图 3 所示。继续加载直至极限,核心混凝土被压碎破坏,迫使内外钢管承受荷载并最终产生局部屈曲导致整个构件的破坏,试验加载过程中试件均未发生弯曲破坏。本次试验所有试件破坏时试件中部都有挠曲,所有试件都是表现为外钢管发生局部屈曲导致破坏。

## 2.2 试验结果分析

在轴向荷载不断增加的过程中,如图 3 柱中点侧向挠度与荷载的关系曲线所示,柱的侧向挠度得到了有效地控制,没有在承压过程中发生突然的弯曲失稳破坏,说明方钢管柱子的截面惯性矩的增加,使得试件的抗弯刚度得到有效的增大,

挠度明显减小。

柱子产生的挠度始终在安全的范围内,直到柱内混凝土达到了承载力极限,出现了混凝土受压破坏,由于混凝土的存在有利于延缓内管的屈曲,内管与混凝土的作用力对轴向承载力的影响可以忽略,在外管屈服以前,忽略外管与混凝土的相互作用,在外管屈服后,构件达到峰值荷载之前,外管处于二向应力状态,混凝土受到外管的约束作用<sup>[5]</sup>。迫使钢管承载轴向压力时稳定性良好,当荷载达到峰值时,混凝土破坏由钢管承担荷载,外钢管很快向外鼓包产生局部屈曲。

中空夹层钢管混凝土在轴向荷载作用下混凝土由于内外钢管的套箍作用达到了抗压极限,同时钢管在混凝土的作用下保持了良好的稳定性,由于方钢管惯性矩比较大,使得柱子整体抗弯刚度得到很好的提高。

## 3 轴压承载力理论计算

由于构件没有发生弯曲破坏,荷载由核心混凝土和钢管共同承担,核心混凝土受到钢管的约束作用,抗压强度得到提高。当核心混凝土被压坏时钢管很快发生局部屈曲破坏,所以可以忽略

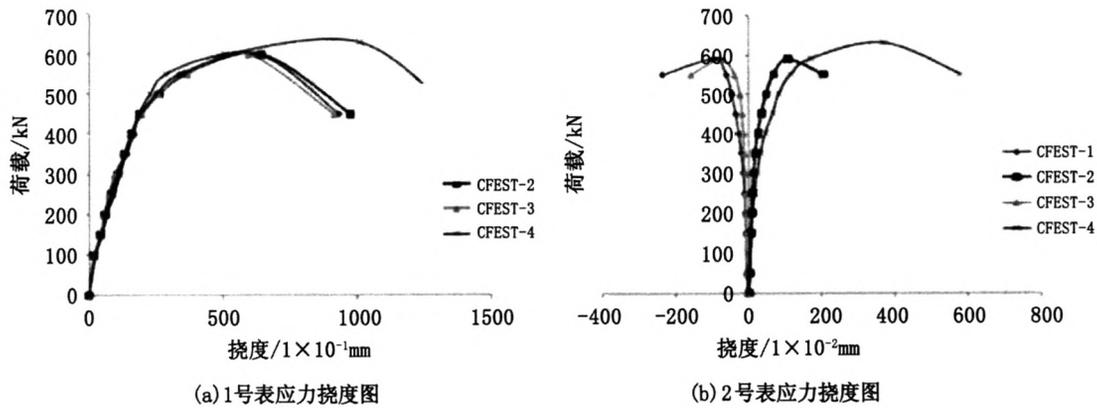


图3 柱中部横向荷载与挠度曲线

Fig. 3 Load and horizontal displacement curve

钢管的单独承压。钢管对混凝土的套箍作用可以根据系数计算。

$$N_u = N_{u1} + N_{u2} \quad (1)$$

式中  $N_u$  - 组合柱轴压极限承载力;  $N_{u1}$  - 核心混凝土柱极限承载力;  $N_{u2}$  - 内外钢管协同承载力。

由于核心混凝土受到内外钢管的套箍作用,得到核心混凝土柱极限承载力公式:

$$N_{u1} = f_c \cdot A_c (1 + \&) \quad (2)$$

$$\& = A_p \cdot f_p / f_c \cdot A_c \quad (3)$$

式中  $f_c$  - 混凝土的抗压强度;  $A_c$  - 核心混凝土的截面面积;  $\&$  - 内外钢管的套箍系数<sup>[6]</sup>;  $A_p$  - 内外钢管的截面面积;  $f_p$  - 钢管抗拉、抗压强度设计值。

由于钢管与混凝土协同工作,在混凝土破坏前钢管承载力与混凝土承载力相同,得出钢管的抗压承载力为:

$$N_{u2} = A_p \cdot f_c \cdot (1 + \&) \quad (4)$$

整理公式得:

$$N_u = f_c \cdot (A_c + A_p) \cdot (1 + \&) \quad (5)$$

经理论计算极限承压值  $N_u = 541.7 \text{ kN}$ , 理论计算与试验结果吻合比较良好。

#### 4 结论

1) CFDST 结构可以有效的提高钢管混凝土的承载力。内外钢管和混凝土三者的相互作用有利于延缓构件的局部屈曲,即使内外钢管发生了局部屈曲,局部屈曲的发展也会受到混凝土的限制,

荷载-应变曲线的下降段开始于混凝土被压坏,混凝土在三向受压状态下抗压承载力得到提高。

2) CFDST 结构的抗弯刚度得到了很大的提高。CFDST 构件没有发生压弯破坏,主要的破坏形式为核心混凝土达到承载极限破坏后,导致钢管局部鼓包破坏,并且达到承载力极限时试件弯曲挠度比较小。

#### 参考文献:

- [1] 刘桂玲, 张作鹏. 混凝土抗压强度超声波法无损检测的试验研究[J]. 四川理工学院学报: 自然科学版, 2011, 24(3): 279-283.
- [2] 赵滇生, 帅耀锋. 薄壁型钢管混凝土组合柱受力性能分析[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2010.
- [3] 何锦云, 毛明明. C30 再生粗骨料混凝土和易性和抗压强度研究[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2011, 28(4): 13-16.
- [4] 陈华艳, 毕贤顺. 钢纤维混凝土超声-回弹测强曲线的建立[J]. 黑龙江科技学院学报, 2013, 23(1): 67-70.
- [5] 孙炳楠, 曾祺. 中空夹层钢管混凝土的轴心受压研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2009.
- [6] 安新正, 易成, 姜新佩, 等. 基础混凝土构件腐蚀损伤研究[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2011, 28(4): 8-12.

(责任编辑 马立)