

# 不同长细比双向偏压钢管混凝土柱力学性能试验研究

朱国旗<sup>1</sup> 李杰<sup>2</sup> 刘志明<sup>3</sup> 康媚<sup>3</sup> 陈俊<sup>2\*</sup>

1. 湖南鸿胜房地产开发有限公司; 2. 湘潭大学土木工程学院; 3. 湖南省宏尚检测技术股份有限公司

**摘要:**为研究内置钢筋笼高强钢管混凝土中长柱偏压力学性能,设计了3个不同长细比的研究试件和1个对比试件。通过双向偏心受压试验,获得了其破坏全过程及荷载-跨中侧向位移曲线,通过相关公式,重点分析了偏压试件的不同力学性能。结果表明:钢筋笼能从峰值荷载、刚度和延性等多个方面提升高强钢管混凝土中长柱的力学性能,而随着长细比的增加,试件的峰值荷载和刚度均不断减小;长细比较小时,试件延性较好,随着长细比增加,延性系数开始减小,但减小到一定程度则基本不再变化。

**关键词:**钢筋笼; 高强钢管; 双向偏心受压; 长细比  
【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.05.029

## 引言

在钢管混凝土柱内配筋则会形成钢管混凝土叠合柱,该种类型结构具有诸多优点<sup>[1, 2]</sup>,但对于方形钢管在中部存在弱约束不足的问题,传统形式的钢筋笼作用有限。陈宗平<sup>[3]</sup>经力学试验提出在相同尺寸相同用钢量条件下,小偏压构件建议采用薄壁方钢管,并分配适量的钢材在螺旋筋上;丁发兴<sup>[4]</sup>在对比了多种内约束后,认为在相同体积配箍率的情况下,内焊对拉钢筋的约束效果好于螺旋箍筋;陈俊<sup>[5]</sup>的研究则表明,将拉筋点焊在钢管内壁与不做焊接处理的试件的各项轴压力学性能并无明显差异。综上,本文设计了一种新型钢筋笼,该种钢筋笼主要以横向配筋为主,省去了焊接工艺。

相关学者对叠合柱的研究<sup>[6, 7]</sup>都大多集中在轴压性能,而实际应用中,如框架结构角柱,常处于偏压受力状态<sup>[8]</sup>,为进一步探究内配钢筋笼钢管混凝土柱的力学性能,本文通过双向偏心受压试验,对该种结构的力学性能进行了较为详尽的分析。

## 一、试验概况

### (一) 试件设计

本文设计了3个内配钢筋笼钢管混凝土中长柱试件和1个不带钢筋笼的对比试件,方钢管采用Q690高强

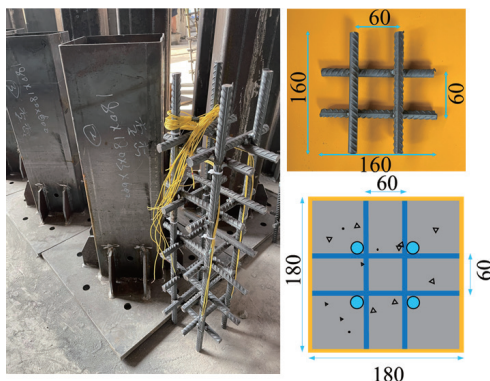


图1 试件构造

钢,截面尺寸为180mm×180mm,壁厚为3mm,钢筋笼由拉筋和固定纵筋组成,所有钢筋均为直径12mm的HRB400钢筋。试件构造如图1,具体参数见表1。

混凝土配比见表2,多个棱柱体试块与试件同条件养护后按照公式  $f_c = 0.4f_{cu}^{7/6}$ <sup>[9]</sup>取值,  $f_{cu}$  平均值为81.9MPa;钢管和钢筋参考《金属材料拉伸试验》<sup>[10]</sup>测得,结果见表3。

表1 试件参数

试件简称	内置构造	试件高度	偏心距离
N-900	N	900	50
A-600	A	600	50
A-900	A	900	50
A-1200	A	1200	50

N代表无内置钢筋笼,A代表内置钢筋笼,试件高度和偏心距离的单位都为mm。

### (二) 试验装置

试验采用湘潭大学1000t电液伺服压力机进行分级加载,通过调整刀铰和凹槽的相对位置实现荷载偏心,试验装置如图2所示。试件屈服前,采用荷载控制模式,加载速率为50kN/min,试件屈服后改为位移控制模式,加载速率为0.3mm/min,当承载力下降至峰值荷载的80%左右便停止加载。



图2 加载现场

### (三) 测量方案

试验过程中,通过位移计测量了试件的轴向位移和侧向位移,见图2;通过应变片监测了试件跨中特征点的受力状态,见图3。

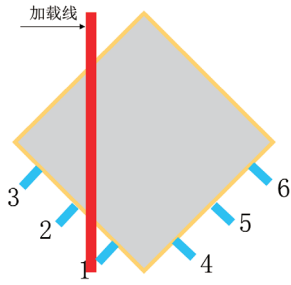


图3 应变布置

表3 钢管与钢筋材性

材料	屈服强度 $f_y$ /MPa	抗拉强度 $f_u$ /MPa	$f_u / f_y$
钢管	703	775	1.10
钢筋	429	593	1.38

表2 混凝土配比

实验室配比/ $m^3$	水灰比	水/ kg	水泥/ kg	硅灰/ kg	粉煤灰/ kg	砂/ kg	石/ kg	减水剂(溶液)
	0.24	152.1	541.7	54.17	54.17	605.7	988.3	6.5 kg



图4 破坏模式

位移曲线,如图5。由图可知,在受力前期,N-900和A-900的曲线差异并不大,这是因为A-900的内部钢筋笼主要以横向钢筋为主,并不属于直接受力钢筋,而在受荷前期,混凝土和钢管都处于线弹性状态,二者的相互作用并未体现;随着荷载的增加,混凝土逐渐出现塑性变形,横向钢筋开始发挥约束作用,不带钢筋笼的N-900在到达极限承载力后,承载力下降较快,而带钢筋笼的A-900在达到N-900的最大承载力后承载力可继续增加,下降段也更加平缓。

对比A-600、A-900和A-1200三个试件的曲线可知,长细比越大,试件的刚度越小,承载力也呈现越小的特征。

为定量评估各试件差异,根据公式(1)和(2)分别计算试件的侧向刚度K和延性系数 $\mu$ 。

$$K = N / \Delta \tag{1}$$

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \tag{2}$$

式中,N为荷载; $\Delta$ 为跨中侧向位移; $\Delta_u$ 为荷载下降至0.85倍峰值荷载时的对应位移; $\Delta_y$ 为屈服位移,按

## 二、试验结果

### (一) 破坏模式

试验中,不同试件破坏模式基本一致,因此以试件A-900为例,介绍破坏全过程。加载初期,试件处于弹性阶段,压力机实时显示的荷载-位移曲线呈线性;当荷载增加到峰值荷载的80%左右时,试件的荷载-位移曲线表现出非线性;达到极限荷载后,仍不存在肉眼可见的鼓曲,侧向变形较小;随着竖向位移继续增加,试件侧向挠度迅速发展,逐渐从中部鼓曲,不断向角部扩展。图4给出了试件N-900和A-900破坏时的照片,切除钢管后,混凝土破坏部位基本与鼓曲位置一致,无钢筋笼的试件N-900受压区只有一个鼓曲点,对应的受拉区裂缝较少,而A-900由多个鼓曲点,对应的受拉区有较为密集的受拉裂缝。

### (二) 荷载-跨中侧向位移曲线

通过试验所测数据绘制了4个试件的荷载-跨中侧向

照Park法<sup>[11]</sup>取值,系数取0.6。

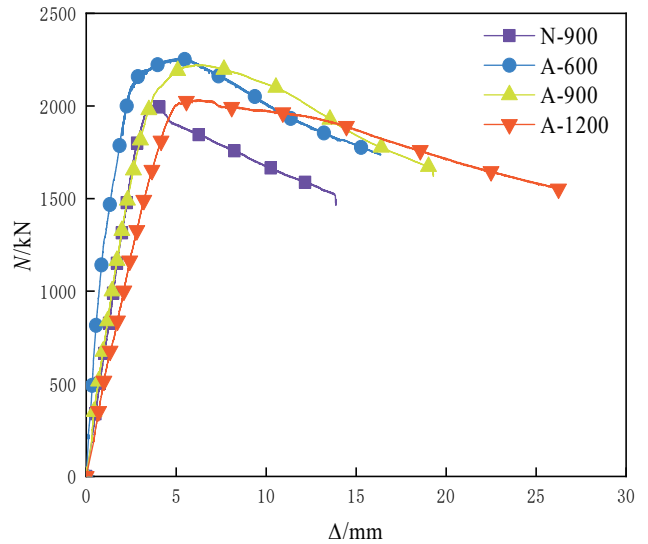


图5 荷载-跨中侧向位移曲线

由表4可知,对比试件N-900和A-900,加入钢筋笼后,试件的峰值荷载增加了11%,刚度增加了12%,延性增加了37%,显然,钢筋笼能从各个方面提升构件力学性能,值得注意的是,此处的刚度增加主要是因为固定纵筋的作用。对比A-600、A-900和A-1200可知,随长细比增加,试件的峰值荷载和刚度均不断减小,其中荷载的减小基本为线性规律,而刚度的减小规律是先大后小;A-600的延性系数最大,表明长细比较小时,试件延性更好,随着长细比增加,延性系数开始减小,但减小到一定程度则不再变化,因此,试件A-900和A-1200延性基本相同。

表4 力学性能

试件	$\lambda$	$N_p$	$N_p/\lambda$	$K$	$\mu$
N-900	17.3	2008	116	668	3.1
A-600	11.55	2253	195	1489	6.2
A-900	17.3	2222	128	748	4.25
A-1200	23.1	2033	88	521	4.56

(三) 荷载-应变曲线

由图6可知，偏心受压试件存在一个中性轴，约在应变片4和5之间。在加载前期，受压区应变片一直受压，应变片越靠近受压区角点，应变片曲线刚度越小，随着荷载的增加，构件屈服后，中性轴开始移动，导致原本为压应力的部位可能转化为拉应力，如应变片5。

对比图6的(a)、(c)可知，有内内置钢筋笼，对于荷载-应变曲线的刚度影响不大，这表明在加载前期，横向钢筋并未参与构件受力；随着试件发生塑性变形，有钢筋笼的试件A-900在受压区应变存在明显的一个屈服平台，且越靠近受压区角点的应变片，屈服平台越长，这表明对于双向偏压构件而言，受压区角点有较大竖向应力，而内置钢筋笼能改善构件延性。对于无钢筋笼的试件N-900而言，试件受压区应变片并不存在类似的屈服平台，材料性能并未得到充分发挥。

对比图6的(b)、(c)、(d)可知，随着长细比的增加，截面上的应变发展规律基本相似，最大的区别在于：长细比越大，达到峰值荷载后的最大压应变越大。这是因为随着长细比增大，二阶效应逐渐显现，受压区应变因此承受更大的轴力。

值得一提的是，试件A-600发生了柱头压屈，曲线刚度不正常，但整体依然符合以上规律。

三、结论

1) 试验中，不同试件破坏模式基本一致，在达到峰值荷载前都不会出现局部鼓曲，而在达到峰值荷载后，随着竖向位移增加，试件侧向挠度迅速发展，开始从中部鼓曲，不断向角部扩展，无钢筋笼试件会因为去除钢管导致抗剪能力较弱。

2) 加入钢筋笼后，试件的峰值荷载、刚度、延性性能均得到提升，表明钢筋笼能从各个方面提升构件力学性能。

3) 带钢筋笼的试件，随长细比增加，试件的峰值荷载和刚度均不断减小；长细比较小时，试件延性较好，随着长细比增加，延性系数开始减小，但减小到一

定程度则不再变化。

参考文献

[1] 刘晓蕊. 配筋方钢管混凝土柱纵筋配筋率的试验和数值模拟研究[D]. 新疆大学 硕士, 2020.

[2] Yang Y, Wang Y, Fu F. Effect of reinforcement stiffeners on square concrete-filled steel tubular columns subjected to axial compressive load[J]. Thin-Walled Structures, 2014, 82: 132-144.

[3] 陈宗平, 黄乐彰, 谭秋虹 广, 等. 方钢管螺旋筋混凝土柱偏压性能试验及参数分析[J]. 工程力学, 2021, 38 (01): 205-219

[4] Ding F-X, Lu D-R, Bai Y, 等. Comparative study of square stirrup-confined concrete-filled steel tubular stub columns under axial loading[J]. Thin-Walled Structures, 2016, 98: 443-453.

[5] 陈俊, 倪家贵, 刘哲, 等. 拉筋约束薄壁方钢管混凝土短柱轴压性能[J]. 吉林大学学报(工学版): 1-8

[6] 刘朝, 赵均海, 王娟, 等. 配筋圆钢管混凝土短柱轴压承载力分析[J]. 建筑科学与工程学报, 2011, 28 (04): 92-96

[7] 陈宗平, 经承贵, 徐金俊, 等. 方钢管螺旋筋复合约束混凝土柱轴压机理及承载力计算[J]. 土木工程学报, 2017, 50 (05): 47-56

[8] 李杰. 内置钢筋笼高强钢管高强混凝土柱双向偏压力学性能研究[D]. 湘潭大学 硕士, 2022

[9] 丁发兴. 圆钢管混凝土结构受力性能与设计方法研究[D]. 中南大学 博士, 2006.

[10] GB/T 228.1-2010, 金属材料拉伸试验-第 I 部分: 室温试验方法[S], 北京: 中国标准出版社, 2010.

[11] R P. Evaluation of ductility of structures and structural assemblages from laboratory testing[J]: 1989, 22 (3): 155-166.

基金项目: 湖南省教育厅科学研究项目重点项目(21A0073); 湖南省自然科学基金项目(2020JJ4579)

作者简介: 朱国旗(1972-), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向: 建筑工程。

通讯作者: 陈俊(1973-), 男, 博士, 教授, 从事新型结构构件及体系研发研究。

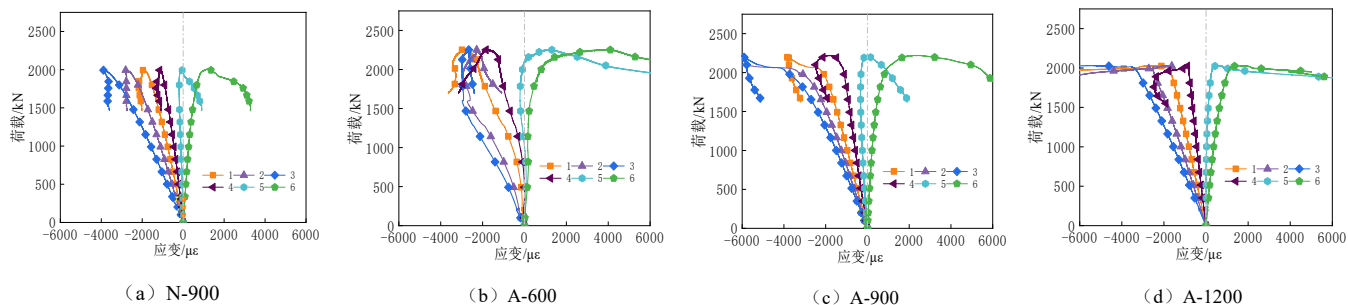


图6 荷载-跨中侧向位移曲线