

# 钢管轻集料混凝土黏结滑移试验研究

吴恒新

(大丰市恒昌交通建设工程有限公司,江苏 大丰 224100)

**摘要:**为探究钢管轻集料混凝土黏结滑移过程和机理,取钢管的长度和外径为变化参数,设计 4 个钢管轻集料混凝土柱。通过推出试验,得到试件位移-荷载曲线和相关特征点参数。从黏结破坏强度、黏结破坏位移和位移-荷载曲线等角度分析了长细比和箍筋系数对钢管轻集料混凝土黏结滑移影响和加载过程中钢管外壁的应力变化情况。试验结果表明:在荷载-位移曲线后滑移阶段,箍筋系数越大的试件,钢管与混凝土之间的摩擦力越大;相同长细比的情况下,箍筋系数大的试件,其黏结破坏强度大,黏结破坏强度对应的位移小;在相同箍筋系数的情况下,长细比大的试件,其相应黏结破坏强度对应的位移大;纵向应力随荷载变化成正比变化;滑移过程中,钢管对混凝土有较大的环向应力。

**关键词:**钢管轻集料混凝土;黏结滑移;长细比;箍筋系数

**中图分类号:**TU528.59

**文献标识码:**A

**文章编号:**1671-5322(2015)04-0066-05

钢管混凝土具有承载能力高、抗震性能好、施工便利、自重轻以及耐火性好等优点,已被广泛应用于工程实践。轻集料混凝土作为一种新型的建筑材料以其轻质、高强、高耐久性等优点,成为近年来国内外混凝土研发的主要方向,用轻集料混凝土代替普通混凝土形成钢管轻集料混凝土,会在钢管普通混凝土的基础上进一步降低结构自重。对现代大型工程而言,钢管轻集料混凝土具有其独特的优势<sup>[1]</sup>。钢管混凝土中,钢管和混凝土的黏结应力,是由钢管和混凝土两种不同材料相互作用的结果,主要由 3 部分构成:水泥胶体与钢管接触面的化学胶结力、钢管表面与混凝土之间的机械咬合力、钢管与混凝土接触面的摩擦阻力<sup>[2-4]</sup>。目前国内外对钢管混凝土黏结滑移的研究取得许多重要成果<sup>[5-8]</sup>。然而这些研究基本集中在普通混凝土,对轻集料混凝土黏结滑移研究文献成果鲜见。开展对轻集料混凝土黏结滑移机理初步探究具有一定的理论和实用意义。

本文通过设计 4 个不同长细比和箍筋系数的钢管轻集料混凝土,同时引用相关文献数据,对其

黏结滑移机理进行初步探究<sup>[9]</sup>。通过推出试验,获得位移-荷载曲线和相应的特征参数,重点探究不同箍筋系数对黏结滑移的摩擦力的影响,不同长细比和箍筋系数对钢管轻集料混凝土黏结破坏强度和相应位移的影响;纵向应力随推出荷载变化成正比变化;滑移过程中,钢管对混凝土有较大的环向应力。

## 1 试验概况

### 1.1 试验材料

试验所用混凝土骨料为 1~3 mm 的陶粒轻骨料,细骨料为天然河砂(中砂),普通硅酸盐水泥,试验设计 CL30 轻骨料混凝土,其配合比详见表 1,所有轻集料混凝土均无外加剂掺入。钢管采用 Q235 直缝焊接钢管,其力学性能见表 2。

表 1 轻骨料混凝土配合比

Table 1 Lightweight aggregate concrete mix ratio

混凝土等级	每 m <sup>3</sup> 混凝土各成分质量/kg			
	水泥	水	陶粒	细骨料
CL30	469	286	665	640

收稿日期:2015-09-20

基金项目:江苏省科技厅产学研联合创新项目(BY2013057-05)

作者简介:吴恒新(1968-),男,江苏大丰人,工程师,主要研究方向为道路桥梁施工、试验检测。

表 2 钢管的力学性能指标

**Table 2 Mechanical properties of steel tube MPa**

钢管型号	屈服强度 $f_y$	极限强度 $f_u$	弹性模量 $E_s$
Q235B	235	393	$2.036 \times 10^5$

1.2 试件设计及制作

设计了 4 个试件,同时引用相关文献数据,考虑了圆钢管的不同长度、外径和壁厚 3 个变化参

数,设置 3 个不同的长细比参数和 3 个紧箍系数参数。各试件的具体参数详见表 3。

制作试件时,在钢管上方自由端预留 50 mm 的钢管不填充混凝土为自由端,另一端核心混凝土面与钢管截面齐平,作为加载端。试件采用混凝土搅拌棒搅拌密实,未处理钢管内壁,采用同条件自然养护方式。

表 3 试件参数汇总表

**Table 3 Summary of test parameters**

试件编号	钢管型号	直径 $D/mm$	厚度 $t/mm$	长度 $L/mm$	长细比 $4L/D$	紧箍系数	备注	试验类型
						$\theta = \frac{A_s f_y}{A_c f_c}$		
CFST-1	∅114×3.0	114	3.0	350	12.28	0.86	本次试验	推出试验
CFST-2	∅114×3.0	114	3.0	490	17.19	0.86		
CFST-3	∅114×3.0	114	3.0	780	27.36	0.86		
CFST-4	∅133×3.0	133	3.0	490	14.74	0.72	引用数据	
CFST-5	∅114×4.0	114	4.0	350	12.28	1.17		
CFST-6	∅114×4.0	114	4.0	490	17.19	1.17		
CFST-7	∅114×4.0	114	4.0	780	27.36	1.17		
CFST-8	∅114×2.5	114	2.5	350	12.28	0.70		

注:CFST5~CFST8 引用原来钢管轻集料混凝土黏结滑移试验数据。

1.3 加载装置与加载制度

利用 500 kN 限值的 MTS 液压伺服机加载,采用位移控制的加载制度,加载速度为每秒钟 0.1 mm/s,当管内混凝土出现较明显的非线性滑移时,开始放慢加载速度。加载段混凝土面下放置略小于钢管内径、厚度为 20 mm 的钢垫板,同时在钢垫板下放置一高度为 50 mm 的圆柱体铁柱。推出时,上方自由端加一铁板使钢管受压,下方加载端混凝土受压,从而将核心混凝土推出钢管,加载装置如图 1 所示。

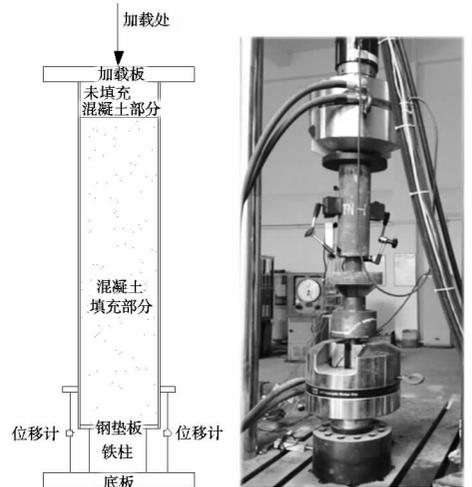


图 1 试验加载装置

Fig. 1 Test loading device

2 试验结果与分析

2.1 荷载—滑移曲线

通过 MTS 液压伺服机采集获取试件的荷载—位移全过程曲线,如图 2 所示。

按上述加载方式,得到如图 2 所示钢管轻集料混凝土黏结滑移位移—荷载曲线,设计 8 个试件均有峰值点,即初始摩擦力均小于化学胶着力和机械咬合力最大值。在后阶段滑移,CFST-1、CFST-3、CFST-4、CFST-5,摩擦力增加,荷载随之增加;CFST-6、CFST-8,摩擦力减小,荷载随之减小;CFST-2、CFST-7,摩擦力不变,荷载不变。

根据由上 8 个试件位移—荷载曲线后滑移阶

段,初步探究,不同紧箍系数,钢管与混凝土之间的摩擦力不同,CFST-1、CFST-2、CFST-3 一组紧箍系数为 0.86 与 CFST-5、CFST-7 一组紧箍系数为 1.17,对比两组紧箍系数的位移—荷载曲线的后滑移阶段荷载最小值,CFST-1、CFST-2、CFST-3 最小值约为黏结破坏荷载的 0.5 倍,

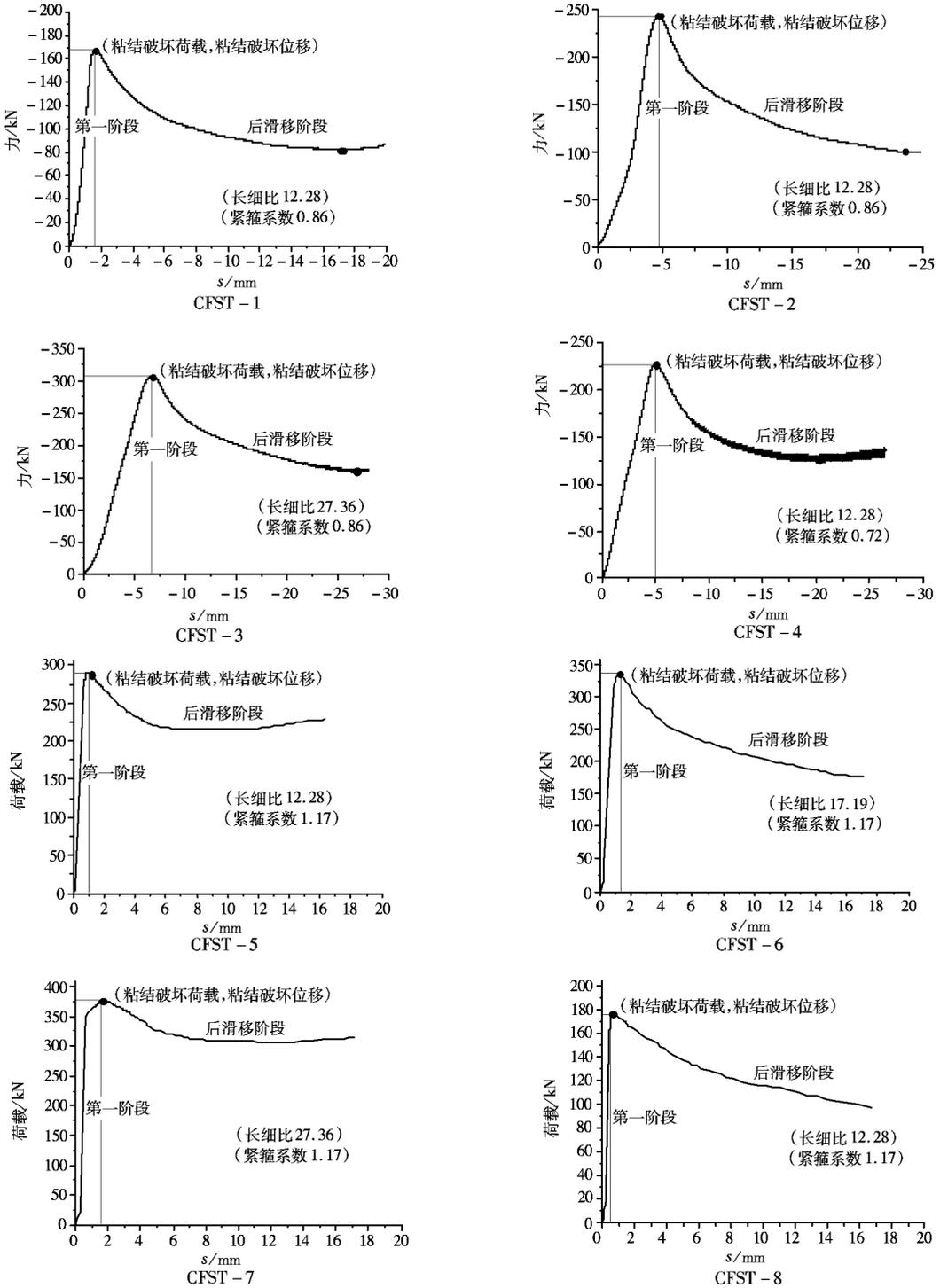


图 2 荷载 - 位移曲线

Fig. 2 Displacement load curve

CFST-5、CFST-7 约为黏结破坏荷载的 0.8 倍，在全界面后滑移阶段，钢管和混凝土之间的摩擦力主要承担，由上可知紧箍系数越大的试件，后滑移阶段钢管与混凝土摩擦力相对越大。

### 2.2 黏结破坏强度

本试验基于位移加载方式，采用“推出试验”研究钢管与混凝土之间的黏结强度，荷载 - 位移曲线的峰值点称为黏结破坏荷载  $P_u$ ，相应剪应力为抗剪黏结强度  $\tau_u$ ，位移称为黏结破坏荷载位移

$S_u$ 。按下公式计算:

$$\tau_u = \frac{P_u}{\pi D_0 L}$$

式中: $\tau_u$  为抗剪黏结强度; $P_u$  为黏结破坏荷载; $D_0$

为钢管内径; $L$  为界面长度。计算各试件的黏结破坏强度详见表4。

表4 试验黏结破坏强度计算值

Table 4 Test bond strength calculation value

试件编号	黏结破坏荷载 $P_u$ /kN	黏结破坏强度 $\tau_u$ /MPa	黏结破坏位移 $s_u$ /mm
CFST-1	167.21	1.56	1.55
CFST-2	243.13	1.57	4.65
CFST-3	306.58	1.21	6.65
CFST-4	227.63	1.31	5.00
CFST-5	289.8	2.45	1.05
CFST-6	336.1	2.09	1.28
CFST-7	380.2	1.46	1.62
CFST-8	174.2	1.48	0.58

根据试验结果,分析长细比对试件黏结破坏强度和黏结破坏位移的影响,由实测数据得到相应的变化关系曲线,如图3~4所示。

荷载逐渐变大。但图3表明,相应黏结破坏强度有逐渐降低的趋势。相应对比试件,在长细比一定的情况下,紧箍系数的增大,钢管轻集料混凝土黏结破坏强度增大,这是由于紧箍系数的增大可以增加钢管的刚度,使得钢管表面与混凝土之间的机械咬合力更显著,提高钢管混凝土的黏结破坏强度。

随着长细比的增大,由图5可知,黏结破坏位移有逐渐增大的趋势,相同紧箍系数如上分组,相应对比试件,在长细比一定的情况下,紧箍系数的增大,钢管轻集料混凝土黏结破坏位移增大。

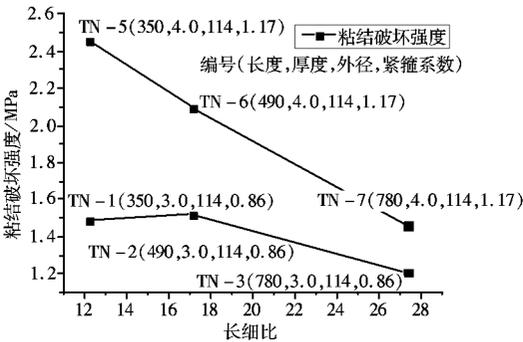


图3 长细比与黏结破坏强度关系

Fig. 3 The relationship between the length and the ratio of the bond and the bond strength

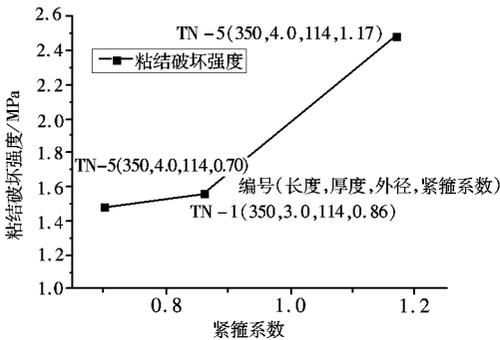


图4 紧箍系数与黏结破坏强度关系

Fig. 4 The relationship between the coefficient of the tight hoop and the bond strength

由图2可知,长细比分别为12.28、17.19和27.36的3组试件,随着长细比的增大,黏结破坏

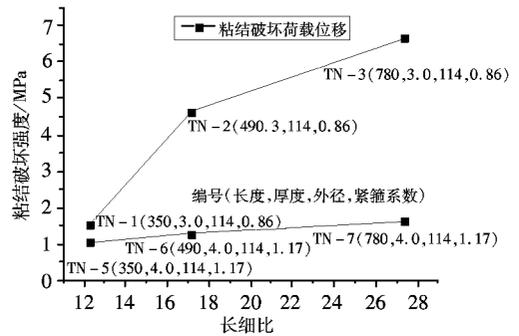


图5 长细比与黏结破坏位移关系

Fig. 5 Relation between the length of the thin and the bond failure

### 2.3 钢管应力随截面位置和滑移位移变化规律

黏结应力与钢管应力的微分成正比的关系,从而可知钢管壁上纵向黏结应力的大小及分布规律。

图6为各钢管轻集料混凝土试件钢管不同位置处的环向应力随着滑移位移而变化的关系曲线。环向应力的两端点由于边界效应误差较大,

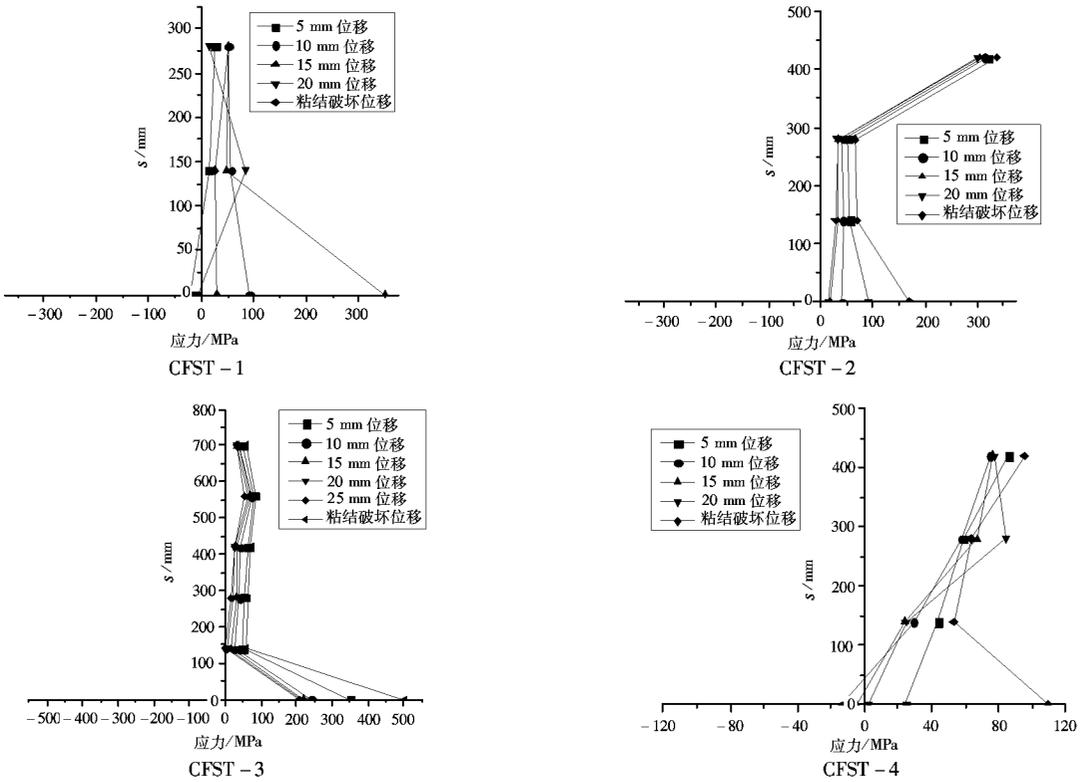


图 6 钢管不同位置环向应力 - 滑移位移关系曲线

Fig. 6 The relationship curve of the circumferential stress and slip displacement of the steel tube

中间点的试验结果则较能反应实际情况。

### 3 结论

(1) 初步探究钢管轻集料混凝土 8 个试件, 荷载 - 位移曲线在后滑移阶段, 紧箍系数越大, 钢管与混凝土之间的摩擦力越大。

(2) 钢管轻集料混凝土, 在相同长细比的情况下, 紧箍系数大的试件, 其黏结破坏强度大, 黏

结破坏强度对应的位移小。在相同紧箍系数的情况下, 长细比大的试件, 其相应黏结破坏强度对应的位移大。

(3) 在滑移过程中, 纵向应力随荷载变化正比变化, 荷载钢管对混凝土有较大的环向约束作用, 达到黏结破坏荷载之后, 环向应力约是相应纵向位置应力的 20% ~ 30% 之间, 与普通钢管混凝土试验结果一致。

### 参考文献:

[1] 吉伯海, 傅中秋, 瞿涛, 等. 钢管轻集料混凝土抗剪承载力试验研究[J]. 土木工程学报, 2011, 12: 25 - 33.

[2] 康希良. 钢管混凝土组合力学性能及黏结滑移性能研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2008.

[3] 康希良, 赵鸿铁, 薛建阳, 等. 钢管混凝土黏结滑移问题综述分析[J]. 西安建筑科技大学学报: 自然科学版, 2006, 03: 321 - 326.

[4] K. S. Viridi, P. J. Dowling. Bond Strengthening Concrete Filled Steel Tubes[J]. IABSE Proceedings, 1980; 125 - 139.

[5] 刘永健, 刘君平, 郭永平, 等. 钢管混凝土界面黏结滑移性能[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2007, 2: 53 - 57.

[6] Shakir K H. Pushout strength of concrete - filled steel hollow sections[J]. The Structural Engineer, 1993, 71(13): 230 - 233.

[7] 李新. 圆钢管混凝土黏结滑移性能的试验研究及有限元分析[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2008.

[8] Eiichi Inai, Akiyoshi Mukai, Makoto Kai. Behavior of Concrete - Filled Steel Tube Beam Columns[J]. Journal of Structural Engineering, 2004, 130(2): 189 - 202.

[9] 傅中秋, 吉伯海, 陈晶晶, 等. 钢管轻集料混凝土组合界面黏结滑移性能[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2009, 3: 317 - 322.