

文章编号:1005-0523(2011)03-0031-04

圆中空夹层钢管混凝土内管径厚比限值探讨

黄 宏

(华东交通大学土木建筑学院,江西 南昌 330013)

摘要:圆中空夹层钢管混凝土是一种新型的组合结构,合理确定其内钢管的径厚比限值对该类构件的设计有着重要指导作用。采用有限元软件ABAQUS建模,对轴心受压下圆中空夹层钢管混凝土构件的内钢管与混凝土的相互作用进行分析,根据分析结果可模拟内管的边界条件,进而研究内管径厚比对构件承载力的影响,研究结果表明内管径厚比越大,就越早出现局部屈曲。对比不同径厚比情况下局部屈曲对内管和外管承载力的影响,结果表明局部屈曲对外管承载力的影响要略大于内管,建议内管径厚比限值可采用外管的径厚比限值。

关键词:中空夹层钢管混凝土;内管;径厚比

中图分类号:TU312

文献标识码:A

中空夹层钢管混凝土是指将两层钢管同心放置,并在夹层之间填充混凝土而形成的构件。其具有承载力高、抗震性能好和抗弯刚度大等优点,适合于用作高架桥桥墩、建筑物中的大直径柱以及其它高耸构筑物。其内、外钢管可采用圆、方、矩形或其他截面形状钢管,本文拟对内外管均为圆形的构件进行研究。自上个世纪90年代以来,美、日、澳大利亚和我国的部分学者先后开展了一些有关其力学性能的研究工作^[1]。作者所在课题组已经对此类构件的轴压、纯弯、压弯、滞回性能进行了系统的理论和试验研究,研究成果已经在国内外期刊发表^[2-7]。该类构件在受力过程中,内钢管对混凝土起支撑作用,如果内钢管径厚比过大,在受力过程中内钢管会提前出现局部屈曲,对混凝土的支撑作用也减弱,导致材料的强度不能充分发挥;由于内钢管靠近截面形心,对于抗弯刚度的贡献较小,如果内钢管径厚比较小,会浪费材料;基于上述因素,合理确定内钢管的径厚比限值对该类构件的设计有着重要指导作用。但目前国内外尚无内管径厚比限值研究的报道。

本文拟采用有限元软件ABAQUS建模,对轴心受压下圆中空夹层钢管混凝土构件的内钢管与混凝土的相互作用进行分析,进而研究内管径厚比对构件承载力的影响,最后提出内管径厚比限值的建议。

1 相互作用力分析

中空夹层钢管混凝土中的内管由于受到了混凝土的约束作用,讨论其径厚比限值之前要先了解其与混凝土之间的相互作用力。

采用ABAQUS有限元软件进行建模,对圆中空夹层钢管混凝土构件在轴压荷载作用下受力全过程进行计算,由于篇幅所限,详细的建模过程见文献[4]或文献[6]。

典型算例的基本计算条件为:构件长度 $L=1\ 200\text{ mm}$,外管直径 $D_o=400\text{ mm}$,厚度 $t_o=9.31\text{ mm}$,径厚比 $D_o/t_o=43$,内管直径 $D_i=191\text{ mm}$,同时为了明确内管径厚比对内管与混凝土之间的相互作用 p_i 的影响,本文选取内管壁厚 $t_i=3.18, 1.9, 1.3\text{ mm}$,由此得内管的径厚比 $D_i/t_i=60, 100, 147$,内外钢管屈服强度 $f_{yo}=f_{yi}=345\text{ MPa}$,混凝土强度 $f_{cu}=60\text{ MPa}$ 。

收稿日期:2011-04-28

基金项目:国家自然科学基金项目(51008122);江西省自然科学基金项目(2009GZC0023)

作者简介:黄宏(1977—),女,副教授,博士,主要从事组合结构研究。

图1为构件跨中截面处相互作用力 p_i 随构件纵向应变的变化曲线。由图可见,在加载初期(应变约0.001 4以内),由于钢管的泊松比($\gamma_c=0.3$)要大于混凝土的泊松比($\gamma_c=0.2$),钢管的横向变形要大于混凝土,因而混凝土对内钢管有微小的压应力。随着纵向应变的增长,混凝土进入弹塑性阶段,混凝土的微裂缝不断发展,其横向变形系数开始超过钢管,内管对混凝土的微小压应力逐渐减弱为0,并出现拉应力,表明此时内管与混凝土有分离的趋势。混凝土达到峰值应力以后,由于混凝土向外的横向变形受到外管较强的约束,横向变形的速度减小,内管在进入弹塑性后的横向变形速度赶上了混凝土,重新对混凝土产生压应力。内管径厚比越大,内管与混凝土之间的相互作用力 p_i 越小。

2 径厚比的影响

上述建模方法可以对内管与混凝土的相互作用进行研究,但是由于无法正确模拟内管的局部屈曲,也就无法考察径厚比对内管承载力的影响。下面将采用一种近似的方法对内管的受力过程进行模拟,以期模拟出与实际接近的破坏模态,进而对径厚比的影响进行分析。

由内管与混凝土的相互作用力分析可知,内管受到了混凝土的约束作用,其向外的屈曲受到了限制,为了模拟内管的力和位移边界条件,将内管放入刚性较大的筒体当中,内管与筒体之间的接触条件为无摩擦的硬接触,如图2所示。先对内管施加一定环向压应力,压应力大小由内管与混凝土的相互作用力分析得到(因为环向压应力对内管的向内屈曲是不利的边界条件,压应力大小取 p_i - ε 关系曲线中最大值),再对内管施加轴向的位移荷载。

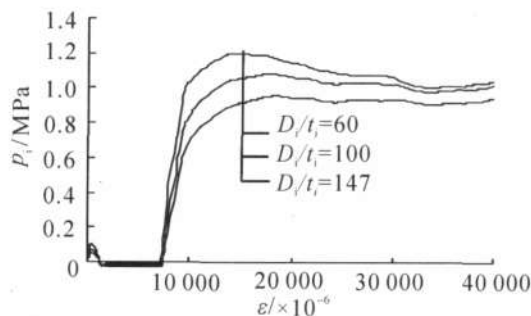


图1 相互作用力 p_i 随构件纵向应变 ε 的变化
Fig.1 Changes of the interaction p_i with longitudinal strain ε curves

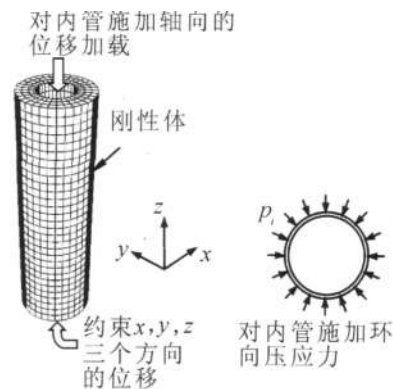


图2 内管受力及边界条件
Fig.2 Forces and boundary conditions of the inner steel

在对内管的破坏形态分析时,需要合理地考虑初始缺陷影响。内管向外的屈曲受到混凝土的限制,参考实心钢管混凝土中钢管向外的屈曲位移函数^[8],本文假设内管向内的屈曲位移函数为

$$w = \omega_0 \sin^2 \frac{m\pi z}{L} \quad (1)$$

式中: ω_0 为最大缺陷位移,其取值参照《钢结构工程施工质量验收规范(GB 50205-2001)》对钢管外形尺寸允许偏差的规定取 $D/500$ (D 为钢管直径); z 为构件长度方向的坐标; L 为构件长度; m 为半波数,这里取1。下面采用上述有限元模型对不同径厚比的内管的破坏形态和受力过程进行分析。

图3为不同径厚比的内管首次出现局部屈曲时的应变值比较。由图可知,内管径厚比越大,越早出现局部屈曲。图4是纵向平均应变为0.05时不同径厚比的内管的破坏形态。由图可见,所有内管都出现了不同程度的向内的屈曲,这种破坏模态与实验^[6]的情况

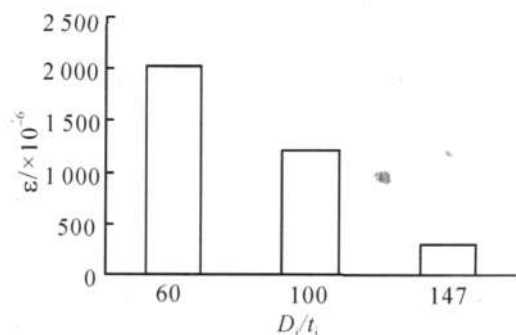


图3 内管首次出现局部屈曲时的应变值比较
Fig.3 Comparison of strain value of inner tube in the first local buckling

相同。随着径厚比的增大,内管向内的屈曲的程度和范围也相应的增大。这说明径厚比对内管的破坏形态影响较大,径厚比越大,内管向内的屈曲破坏越严重。

图5为不同径厚比内管的平均应力(σ)和纵向应变(ε)关系曲线。由图可见,在弹性阶段径厚比对曲线无影响,径厚比越大,内管的屈服应力越小。这是由于径厚比越大,局部屈曲出现越早的缘故。

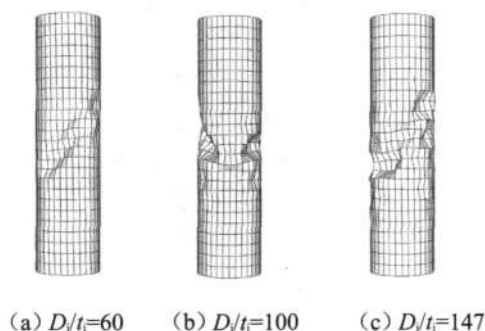


图4 不同径厚比内管的破坏

Fig.4 Failure modes of inner tube with different diameter to thickness ratio

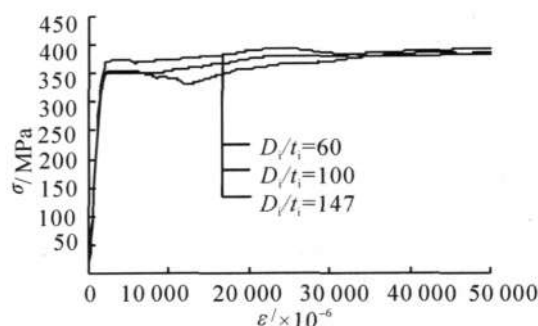


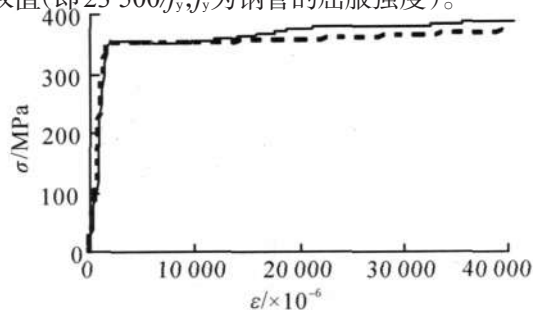
图5 内管的 σ - ε 关系曲线

Fig.5 σ - ε relation curves of inner steel tubes

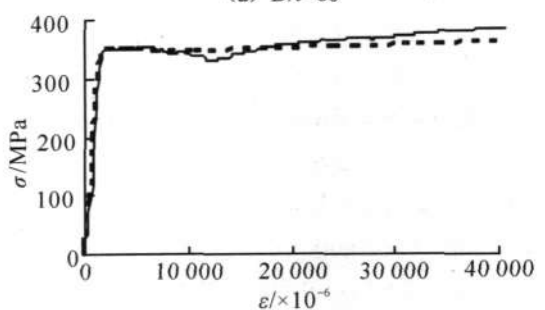
3 内管径厚比限值的探讨

目前对于实心钢管混凝土中外管的径厚比限值已经有相应的规范规定。下面将通过对比内管和外管的径厚比对承载力的影响,来探讨内管的径厚比限值。当圆钢管作为钢管混凝土的外管时,其所受到的约束条件与内管相反,即向内的屈曲受到限制,且内侧管壁受到混凝土的压应力作用。参照内管的有限元模型来建立近似的外管受力模型,在圆钢管内创建刚性较大的圆柱体,以此模拟外管的向内屈曲受到限制,对外管的管壁内侧施加均匀分布的压应力,压应力的数值参考了外钢管与混凝土的相互作用力^[6]。

图6为同一钢管分别作为内管和外管时,在轴向荷载作用下纵向应力 σ 和纵向应变 ε 的关系曲线比较。图中比较了三种径厚比的钢管,由图可见,用作内管的承载力整体上比用作外管的承载力高;当径厚比 $D/t=147$ 时,由于内管局部屈曲的发展,其 σ - ε 关系曲线出现了小幅度的短暂下降,随后又继续平稳的上升,说明在径厚比 D/t 较大的情况下,内管具有较高的后屈曲强度。由此,可以推测圆钢管用作内管和用作外管时,局部屈曲对其承载力的影响接近,因此圆钢管作为内管时,其径厚比限值可以采用外管的径厚比限值,即钢管的径厚比不得大于空钢管径厚比限值的1.5倍^[9],其中空钢管径厚比限值可参考文献^[10]取值(即 $23\,500/f_y$, f_y 为钢管的屈服强度)。



(b) $D/t=100$



(c) $D/t=147$

图6 钢管纵向应力-应变关系曲线(实线为钢管作为内管,虚线为钢管作为外管)

Fig.6 Longitudinal stress-strain curve of the steel pipe (The solid line denotes the curve of inner steel tube, and the dotted line denotes the curve of outer steel tube)

4 结语

通过本文的分析可得如下结论:

- 1) 内管径厚比越大,内管与混凝土之间的相互作用力越小。
- 2) 内管径厚比越大,越早出现局部屈曲,内管向内的屈曲破坏越严重。
- 3) 内管的径厚比限值可采用1.5倍的空钢管径厚比限值。

参考文献:

- [1] 韩林海. 钢管混凝土结构-理论与实践[M]. 2版. 北京:科学出版社,2007.
- [2] HAN LINHAI, HUANG HONG, TAO ZHONG, ZHAO XIAO LING. Concrete-filled double skin steel tubular (CFDST) beam-columns subjected to cyclic bending [J]. Engineering Structures, 2006, 28(12): 1698-1714.
- [3] 黄宏, 韩林海, 陶忠. 圆中空夹层钢管混凝土纯弯力学性能研究[J]. 工业建筑, 2006, 36(11): 15-18.
- [4] 黄宏, 韩林海, 陶忠. 圆中空夹层钢管混凝土轴压工作机理研究[J]. 工业建筑, 2006, 36(11): 11-14.
- [5] HAN LINHAI, HUANG HONG, ZHAO XIAOLING. Analytical behaviour of concrete-filled double skin steel tubular (CFDST) beam-columns under cyclic loading [J]. Thin-Walled Structures. 2009, 47(6): 668-680.
- [6] HUANG HONG, HAN LINHAI, TAO ZHONG, ZHAO XIAO LING. Analytical behaviour of concrete-filled double skin steel tubular (CFDST) stub columns [J]. Journal of Constructional Steel Research, 2010, 66(4): 542-555.
- [7] 黄宏, 黄斌洁. 圆中空夹层钢管混凝土纯扭构件工作机理研究[J]. 华东交通大学学报, 2010, 27(6): 1-6.
- [8] BRADFORD M A, LOH H Y, UY B. Slenderness limits for filled circular steel tubes [J]. Journal of Constructional Steel Research, 2002, 58(2): 243-252.
- [9] Architectural Institute of Japan (AIJ-1997). Recommendations for Design and Construction of Concrete Filled Steel Tubular Structures [S].
- [10] GB 50017-2003. 中华人民共和国国家标准-钢结构设计规范[S].

Limitation of Diameter to Thickness Ratio of Concrete-filled Double-skin Steel Tubular Column (CHS inner and CHS outer)

Huang Hong

(School of Civil Engineering and Architecture, East of China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Concrete filled double-skin steel tubular (CFDST) column is a new type of composite structure. It will be helpful to design this type of structure if the limitation of diameter to thickness ratio is reasonable. The interaction between the inner steel tube and concrete of CFDST column subjected to axial compression is analyzed by ABAQUS software. On this basis, boundary conditions can be simulated, and the interaction of capacity with different diameter to thickness ratio is researched. The results indicate that the larger diameter to thickness ratio is, the earlier local buckling appears. Influences of local buckling on bearing capacity of internal pipe and outer pipe are compared. The results show that influences of local buckling on bearing capacity of outer pipe are larger than that of internal pipe. It is suggested that the limitation of diameter to thickness ratio of internal pipe can adopt that of outer pipe.

Key words: concrete filled double-skin steel tubular (CFDST); inner steel tube; diameter to thickness ratio