**文章编号**:1005-0523(2009)02-0008-05

# 方钢管混凝土双向偏压构件有限元分析

#### 黄 宏,张安哥,赵 兵

(华东交通大学 土木建筑学院,南昌 330013)

摘要:在实际工程中,方钢管混凝土柱有可能成为双向偏压构件。利用有限元软件 ABAQUS建模对方钢管混凝土双向偏压 构件的荷载 变形全过程进行了计算,计算结果与试验结果符合良好。在此基础上,结合钢管和混凝土的应力分布云图对 方钢管混凝土双向偏压构件的荷载 变形全过程进行了分析,这对深入研究该类构件的工作机理有重要意义。最后,分析 了各种参数:混凝土强度、钢材强度和厚度、长细比、偏心角和偏心距对构件荷载变形关系曲线的影响。

关键 词:方钢管混凝土;双向偏压;有限元

**中图分类号**: TU312 文献标识码:A

钢管混凝土由于具有承载力高、抗震性能好、耐火性能好、施工方便等优点,越来越多地被应用在高层 建筑、桥梁等工程中。工程中常见的钢管混凝土截面形式有圆形和方、矩形。与圆钢管混凝土相比,方、矩 形钢管混凝土的抗弯刚度大、节点构造更为简单,因此近年来在高层、超高层建筑中得到了广泛地应用。

在实际工程中,方、矩形钢管混凝土柱有可能成为双向压弯构件。文献 [1~5] 对方、矩形钢管混凝土 双向压弯构件进行了研究:文献 [1] 基于纤维模型提出了一种方钢管混凝土双向压弯的非线性分析方法; 文献 [2] 和文献 [3] 均采用纤维模型法编制程序对方钢管混凝土双向压弯构件的承载力进行了计算,并提 出了承载力的简化计算公式, 文献 [3] 还考虑了残余应力对构件承载力的影响; 文献 [4] 报道了 2根矩形 钢管混凝土双向压弯构件的试验研究,并将试验结果与文献 [3]的理论计算结果进行了对比;文献 [5]报 道了 5根矩形钢管混凝土双向压弯构件的试验研究,采用纤维模型法编制程序对构件的荷载 变形关系曲 线进行了计算,并将理论计算结果与试验结果进行了对比;文献 [6]报道了 4根方钢管混凝土双向偏压长 柱的试验研究。

上述文献主要采用纤维模型法对方、矩形钢管混凝土双向压弯构件的力学性能进行研究,虽然纤维模 型法能有效计算出构件的荷载 变形关系,但不能准确地描述钢管与混凝土的三向应力和相互作用,从而 不能对构件的工作机理进行分析,而采用有限元方法就能较好地解决这个问题。

本文拟采用有限元软件 ABAOUS建模对方钢管混凝土双向压弯构件的荷载 变形全过程进行计算,并 将计算结果与他人文献报道的试验结果进行比较,用以验证该方法的可靠性。在此基础上,进一步对构件 的工作机理进行分析,并分析了各种参数对构件荷载 变形关系曲线的影响。

**收稿日期**: 2008-11-24

基金项目:江西省交通厅科研项目(200715)

**作者简介**:黄 宏 (1977-), 女,博士,副教授,主要从事组合结构研究。 (C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

#### 1 有限元模型

(1) 材料的本构关系模型

钢材的本构关系采用五段式的模型<sup>[7]</sup>,这五个阶段分别为弹性段、弹塑性段、塑性段、强化段和二次 塑流段。混凝土的本构关系采用刘威<sup>[7]</sup>中改进的钢管混凝土中核心混凝土的本构关系模型。

核心混凝土的泊松比  $\mu_{e}$ 取 0.2,弹性模量按  $E_{e}=4$  730  $\int f$ 计算<sup>[7]</sup>,其中 f为混凝土圆柱体强度。

(2) 单元类型的选取与划分

内外钢管均采用四节点完全积分格式的壳单元 (S4),为了满足一定的计算精度,在壳单元厚度方向 采用 9个积分点的 Sinpson积分。核心混凝土采用 8节点减缩积分格式的三维实体单元 (C<sup>3</sup>D<sup>8</sup>R)。采用 结构化网格划分技术,对模型进行单元划分。

(3) 钢管与混凝土界面模型

内外钢管与混凝土的界面模型由法向的接触和切向的粘结滑移组成。选择"硬"接触作为内外钢管 与核心混凝土的法向接触行为。切向力采用库仑摩擦模型,摩擦系数 <sup>μ</sup>取 0.25<sup>[7]</sup>。

(4)边界条件

方钢管混凝土构件的几何模型为三轴对称,荷载边界条件沿 Z轴即长度方向是对称的。为了提高计算效率,双向压弯构件可以取 1/2个模型进行计算,在跨中截面施加对称约束,即约束内、外钢管对混凝土 在 X、Y方向的转角约束和内、外钢管和混凝土在 Z轴方向的位移约束,如图 1所示。约束加载点 X、Y方向的位移,对盖板施加 Z方向的位移荷载。







#### 2 荷载 变形全过程计算

图 2为试验与本文计算曲线的比较。图中, B和 t分别为试件的边长和厚度, L为试件的长度, f<sub>4</sub>和 f, 分别为混凝土标准立方体抗压强度和钢材屈服强度。

(C由图可见》、试验结果与计算结果吻合良好。说明本文的有限元方法能有效地计算方钢管混凝土双向偏net



图 2 轴向荷载 (N) 一跨中挠度 (Un)关系曲线

#### 3 荷载 变形全过程分析

下面通过一算例对方钢管混凝土双向偏压构件的荷载 变形全过程曲线进行分析,该算例的基本参数 是  $B \times t=203.1 \text{ mm} \times 9.88 \text{ mm}$ , L=2 130 mm,  $f_{4}=31.23 \text{ MPa}$ ,  $f_{5}=317 \text{ MPa}$ , 图 3为典型的  $N - u_{m}$  全过 程曲线上,为了便于论述,在全过程曲线上取了三个特征点,分别是: A点为钢管最大纤维压应力达到比 例极限的点; B点为钢管最大纤维压应力达到屈服强度的点; C点为承载力下降到极限承载力约 85% 的 点。图 4和图 5分别为各特征点处核心混凝土和钢管的应力分布云图,下面结合图 4和图 5对荷载 变形 全过程曲线的三个阶段进行描述:



图 3 典型轴向荷载 (N) 一跨中挠度 (un)关系曲线

(1)弹性阶段 (OA):在此阶段,荷载与挠度基本成线性关系,钢管和核心混凝土的纵向应力沿试件长度基本均匀分布 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(2) 弹塑性阶段 (AB): 在此阶段, 由于受拉区核心混凝土的开裂, 核心混凝土受拉区的面积有所扩大, 应力值也显著增加, 受压区最外边缘的应力值大大超出了混凝土的抗压强度, 这是由于钢管对混凝土的约束作用所引起的; B点处钢管最大纤维压应力 (M ises应力)达到屈服, 截面开始有塑性发展区域, M irses应力沿试件长度开始不均匀分布, 在跨中的受拉区的 M ises应力值明显增加, 这是由于构件在跨中的变形明显增加。

(<sup>3</sup>)下降段 (BC): 在此阶段, 在与盖板相接触的截面上, 核心混凝土受压区混凝土的局部也出现了拉应力, 这是由于相应位置处钢管的横向变形增大, 超出了该处混凝土的横向变形。钢管的屈服区域不断扩大, 并向内发展, 截面塑性发展区域进一步扩大。









#### 4 参数分析

图 6为各种参数对方钢管混凝土双向偏压构件荷载 变形关系的影响情况。算例的基本条件为:边长 400 mm. 壁厚 9.31 mm. 钢管屈服强度 345 MPa 混凝土 C<sup>60</sup>, 偏心距 100 mm. 偏心角为 45 °。

(C由图4-6可见、随着混凝土强度、钢材强度和厚度的增加,构件承载力有明显提高;随着长细比增加,构

件承载力逐渐减小,且弹性阶段的刚度也明显减小;偏心角对构件的承载力影响很小;随着偏心距的增加, 构件承载力明显减小,弹性阶段的刚度也明显减小。



图 6 各种参数对荷载 — 变形的影响

#### 6 结论

在本文研究的基础上,可以得出以下结论:

(1)利用有限元软件 ABAQUS建模计算得到的方钢管混凝土双向偏压构件荷载 变形关系曲线与试验结果符合良好。

(2)结合钢管和混凝土的应力分布云图,对方钢管混凝土双向偏压构件的荷载变形关系全过程曲线进行了分析,这对深入研究该类构件的工作机理有重要意义。

(<sup>3</sup>)方钢管混凝土双向偏压构件荷载变形关系曲线的主要影响因素有混凝土强度、钢材强度和厚度、长细比和偏心距。

#### 参考文献:

- [1]陶 忠, 韩林海. 方形截面钢管混凝土双向压弯构件承载力理论分析和简化计算 [J]. 钢结构, 2000, 15(1): 42-46.
- [2]张文福,赵文艳,张素梅,方钢管混凝土双向压弯截面非线性分析算法 [J].黑龙江工程学院学报,2001, 15(2): 13-16
- [3]田 华,张素梅,郭兰慧. 矩形钢管高强混凝土双向压弯构件截面强度 [J]. 哈尔滨工业大学学报,2007,39(10): 1520-1528.
- [4] 田 华,张素梅,郭兰慧. 矩形钢管高强混凝土双向压弯构件力学性能分析 [J]. 哈尔滨工业大学学报,2007,39 (12): 1554-1558.
- [5] 郭兰慧, 张素梅, 刘界鹏, 矩形钢管混凝土双向压弯构件的理论与试验研究 [J]. 建筑结构, 2008, 38(3), 22-28.
- [6] Bridge R Q. Concrete filled steel tubular columns[R]. Australia Sydney: School of Civil Engineering of Sydney University 1976.
- [7] 刘 威·钢管混凝土局部受压时的工作机理研究 [D]·福州:福州大学, 2005.

(C)1994-2024 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[2] 黄其柏,周明刚,王 勇.基于遗传算法的鼓式制动器结构参数优化设计 [J].机械制造,2006,44(11):24-26.

[3] 张义民·汽车零部件可靠性设计 [M]·北京:北京理工大学出版社, 2000.

[4] 刘仁云,张义民,刘巧伶,基于多目标优化策略的结构可靠性稳健设计 [J].应用力学学报,2007,24(1):267-272. [5] 程贤福,基于相容决策支持问题的稳健优化设计方法 [J].中国机械工程,2008,19(1):34-37.

### Robust Optim ization Design of Drum Brake

#### CHENG Xian-fu XIONG Jian LI Jun

(Key Laboratory of Conveyance and Equipment of Education Ministry East China Jiaotong University Nanchang 330013, China)

Abstract: With the inpact of uncertain factors in optimization design of drum brake combining reliability optimization theory analysis of reliable sensitivity and the robust design method the paper establishes mathematic model of robust design for drum brake adopting braking efficiency as objective function. The reliability and sensitivity of braking torque and friction linings stress is added to the reliability optimization design model which is transformed into the multi-objective optimization. Example calculations show that the brake has high efficiency good reliability and low sensitivity with satisfactory results

Keywords robust optimization design; reliability design; drum brake

(责任编辑:王建华)

(上接第 12页)

## F in ite E lem ent Analysis of Concrete-filled SHS Steel Tubular M en bers Subjected to B iaxial Eccentric Compression

#### HUANG Hong, ZHANG An-ge ZHAO Bing

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

Abstract: In practical project concrete-filled square hollow section (SHS) steelmembers are sometimes subjected to biaxial eccentric compression. In this paper load-deformation relationship curves of concrete-filled square hollow section (SHS) steelmembers subjected to biaxial eccentric compression are calculated by finite element software — ABAQUS. The calculating results are in good agreement with test results. On this basis, stress distributions of steel and concrete and load-deformation relationship are analyzed, which is significant for the research of mechanism of the members. Finally, some parameters are analyzed including concrete strength, steel yield strength, thickness of steel tube, slendemess ratio, loading angle and loading distance which will have a great influence on load-deformation relationship curves.

Keywords concrete-filled SHS steelmembers biaxial eccentric compression: finite elementmethod

(责任编辑:王全金)