

圆锥形中空夹层钢管混凝土压弯扭构件力学性能分析

苏义峰

西安培华学院

DOI: 10.12238/ems.v6i4.7259

[摘要] 通过 ABAQUS 建立了圆中空夹层钢管混凝土压弯扭构件的数值模拟模型, 验证了模型的正确, 应用同样建模方法, 分析了该类构件在压弯扭转荷载作用下的扭矩-转角全过程关系曲线。讨论了空心率、锥度、混凝土强度及内外钢管强度对构件受力性能的影响规律。结果表明: 构件的扭矩-转角全过程曲线可以分为三个阶段; 加载过程中混凝土强度和内钢管强度变化对其极限扭矩的影响较小, 外钢管强度的变化对该类构件的承载能力改变较大。

[关键词] 圆锥形中空夹层钢管混凝土; 扭矩-转角关系; 大空心率; 有限元分析

Mechanical Performance Analysis of Conical Hollow Sandwich Steel Tube Concrete Compression Bending and Torsion Members

Su Yifeng

Xi'an Peihua College

[Abstract] A numerical simulation model of circular hollow sandwich steel-concrete compression bending torsion components was established using ABAQUS, and the correctness of the model was verified. The same modeling method was applied to analyze the torque angle relationship curve of this type of component under compression bending torsion load. The influence of void ratio, taper, concrete strength, and internal and external steel pipe strength on the mechanical performance of components was discussed. The results show that the torque angle curve of the component can be divided into three stages; The changes in concrete strength and inner steel pipe strength during the loading process have a relatively small impact on their ultimate torque, while the changes in outer steel pipe strength have a significant impact on the bearing capacity of such components.

[Key words] Conical hollow sandwich steel tube concrete; Torque angle relationship; Large void fraction; finite element analysis

引言

在工程应用中, 经常采用较大空心率的锥形截面中空夹层钢管混凝土代替等截面中空夹层钢管混凝土, 使结构更加符合受力要求, 并减轻自重; 故而有必要研究此类结构的扭转力学性能^[3], 因此本文对该构件在压弯扭受力下的力学性能进行研究。

1 有限元模型的建立

用有限元 ABAQUS 软件模拟构件在压弯扭工况下的受力全过程。钢材的本构关系采用二次塑性流模型, 应力-应变关系曲线参考韩林海给出的表达式进行, 钢材泊松比取 0.3, 弹性模量取 $2.06 \times 10^5 \text{MPa}$ ^[6]; 混凝土采用 ABAQUS 中的塑性损伤模型, 混凝土和内外钢管以及端板均采用八节点缩减积分格式的三维实体单元 (C3D8R)^[6]。混凝土与内外钢管采用面-面接触; 内外钢管和混凝土与端板之间均采用“Tie”绑定, 以保证加载板与各部件之间没有相对滑移。切向方向采用库仑摩擦模型, 摩擦系数取 0.6。法向方向采用接触刚度较大的接触单元来模拟^[3];

2 模型的验证

用如上的有限元建模方法对已做试验的的压弯扭组合构件进行了验证, 说明建模方法合理。

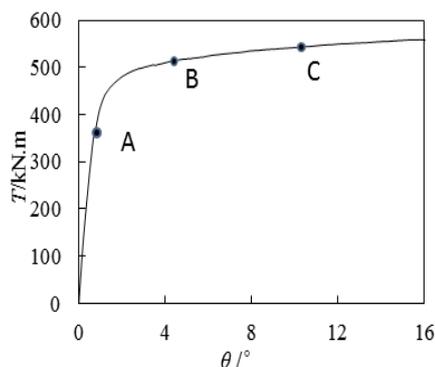


图1 典型压弯扭构件 T- θ 关系曲线
Fig. 31 Typical compression torsion T- θ curves of specimens

3 圆锥形中空夹层钢管混凝土构件受力分析

3.1 工作机理分析

用上述有限元建模方法, 来模拟该类组合构件在压弯扭受力状态下进行分析, 算例尺寸根据《钢管混凝土结构技术规范》(GB50936-2014)中规定的参数范围确定^[3], 典型算例的扭矩-转角关系曲线如图3所示。

(1) 弹性阶段(0A段)扭矩与转角关系基本呈线性的增长趋势, 受压区的钢管最大纤维应力达到比例极限的点,

(2) 弹塑性阶段(AB段)压弯扭构件各组成部件之间的相互作用较大。该阶段, 夹层混凝土开始产生了裂缝, 曲线的增长斜率较小。

(3) 塑形强化阶段(BC段)此阶段夹层混凝土对内外钢管有支撑的作用, 对内外钢管的变形有一定的制约作用, 构件扭矩值缓慢增加。此时构件的转角变化较快。

4 双层空钢管对比分析

如图2和图3, 分别给出了圆锥形中空夹层钢管混凝土构件与圆锥形双层空钢管构件与在压弯扭复合荷载共同作用下外层与内层钢管的破坏模态对比。圆锥形双层空钢管构件模

型的内外钢管的相关参数与圆锥形中空夹层钢管混凝土一致。圆锥形双层空钢管构件相较圆锥形中空夹层钢管混凝土构件在压弯扭荷载作用破坏状态下内层钢管与外层钢管均发生了较大的变形。圆锥形双层钢管中的外钢管在扭矩的作用下产生了主拉应力和主压应力, 使得外钢管管壁产生了斜向凸曲变形。圆锥形双层钢管的内钢管并没有表现出明显的屈曲变形, 因为内层钢管承担较小的扭矩。中空夹层钢管混凝土构件没有出现明显的屈曲变化, 是由于夹层混凝土的存在对外钢管的屈曲有一种挤压作用, 抑制了外钢管的屈曲变形, 表现出较好的塑形和稳定性。由于轴向偏心压力荷载的作用, 外层钢管的上部截面向受压一侧倾斜弯曲, 荷载的不断施加, 受压一侧外层钢管出现凹曲, 不同截面位置处变形状态不一致。圆锥形双层钢管的内钢管也出现了较大的扭转位移变形, 相较外钢管发生的变形较小, 因为内层钢管承担较小的扭矩。而圆锥形中空夹层组合构件的外层钢管仅中上部位置处截面出现整体的屈曲扭转变形位移, 这是因为组合构件中夹层混凝土的存在抑制了外钢管的屈曲变形, 从而外层钢管未出现较为明显的鼓曲扭转变形位移^[6]。

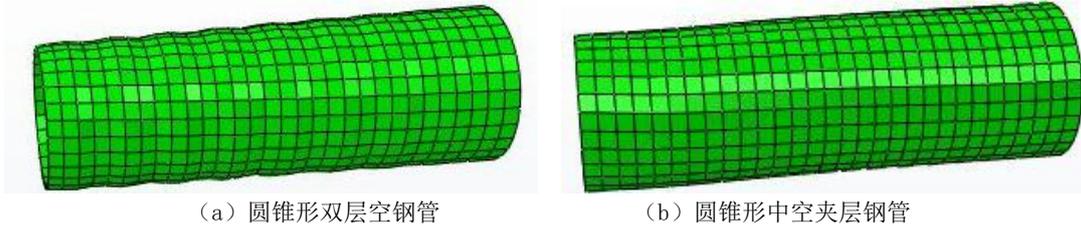


图2 外钢管破坏模态对比

Fig.2 Comparison of failure modes of outer steel pipes

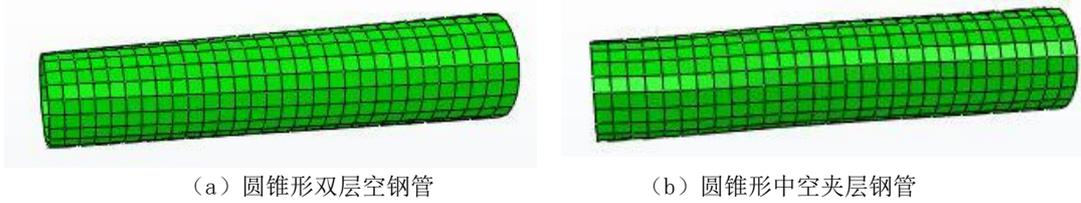


图3 内钢管破坏模态对比

Fig.3 Comparison of failure modes of inner steel pipes

5 受力性能参数分析

5.1 外钢管强度

图4所示为外层钢管屈服强度对构件荷载-位移曲线的影响。在压弯扭荷载作用下, 组合构件外层钢管的强度变化, 对组合构件的弹性阶段没有明显的影响作用。

5.2 内钢管强度

图5内钢管屈服强度对构件扭矩-转角曲线的影响。可以得出, 随内钢管屈服强度增加, 构件的抗弯强度增加, 但增加并不显著。

5.3 混凝土强度

图6混凝土强度对构件扭矩-转角曲线的影响。可知随着混凝土强度的增加构件的抗扭承载力增大, 但增大幅度较小, 构件受扭破坏为受拉区受拉开裂, 所以提高混凝土强度对提高抗扭承载力的贡献较小, 在加载的后期三者不同的扭矩转角曲线均趋于平缓。

5.4 空心率

对于中空夹层钢管混凝土构件, 选取参数为0.6、0.7、

0.8这3种不同的空心率, 以研究空心率对构件在压弯扭复合荷载作用下的力学性能的影响。图7所示为空心率对扭矩-转角曲线的影响。可以看出, 空心率的改变对组合构件的抗扭承载力影响较小。

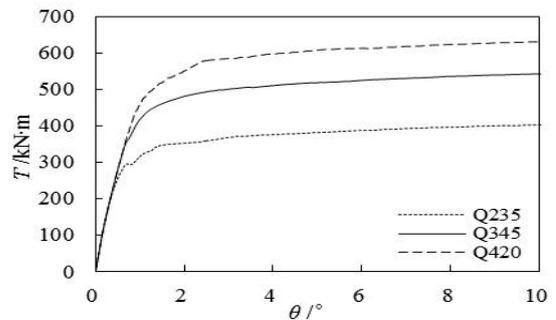


图4 外钢管强度对扭矩曲线的影响

Fig.4 The influence of strength of external steel tube on torque curve

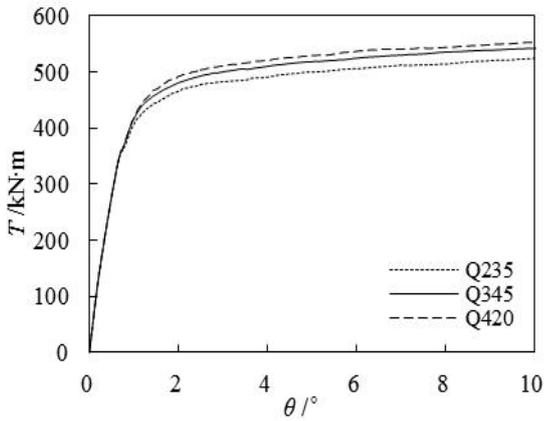


图5 内钢管强度对扭矩曲线的影响

Fig.5 The influence of internal steel tube strength on torque curve

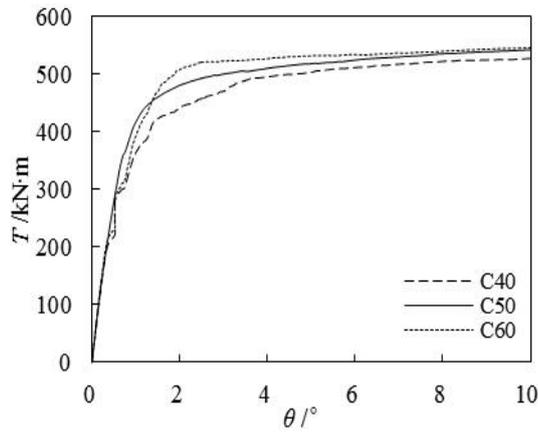


图6 混凝土强度对扭矩曲线的影响

Fig.6 The influence of concrete strength on torque curve

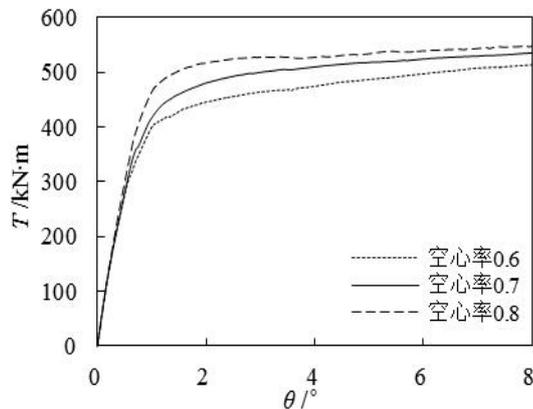


图7 空心率对扭矩曲线的影响

Fig.7 The influence of hollow ratio on torque curve
5.5 锥度

图8为不同锥度对构件抗扭承载力的影响,从图中可以看出随着锥度增大抗扭承载力降低,圆锥形中空夹层钢管混凝土构件当锥度从1.14变化为0.57时,构件的承载力提高了。锥度变化对构件抗扭承载力的影响较为明显。

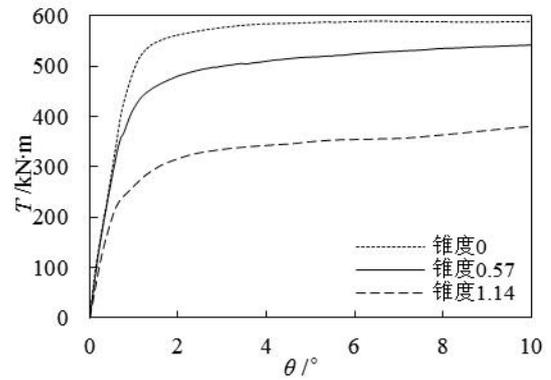


图9 锥度对扭矩曲线的影响

Fig.9 The influence of taper on torque curve

5.5.1 压弯扭构件扭矩-转角承载力曲线分析

图10为三类压弯扭组合构件的扭矩-转角关系曲线。在荷载施加的初始弹性阶段,三类不同的组合压弯扭构件的扭矩-转角曲线基本保持一致,几乎呈线性增长,进入弹塑性阶段后,三者不同的组合压弯扭构件的扭矩-转角关系曲线出现了差别。

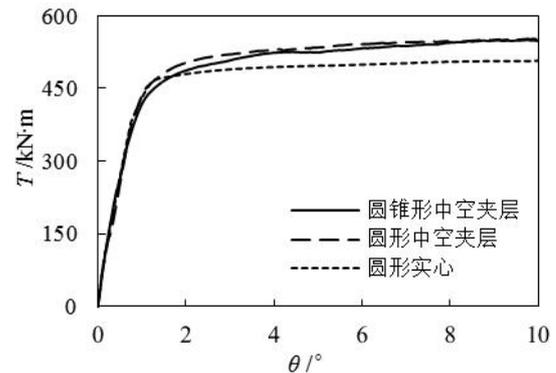
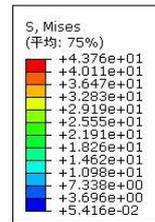


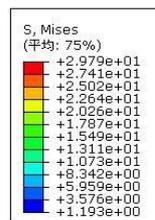
图10 压弯扭构件扭矩-转角关系曲线对比

5.5.2 压弯扭构件破坏形态对比分析

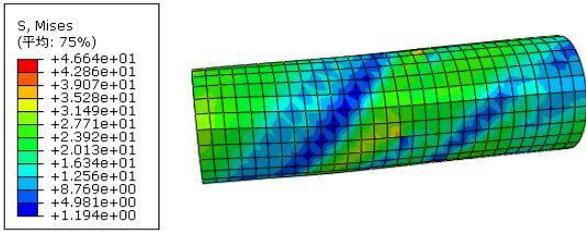
图11可以看出三类不同组合构件,均表现为扭转的破坏形态,在压弯扭荷载作用下,圆中空夹层组合构件的夹层混凝土较压扭作用破坏下,仍是构件中部附近变形较大。



(a) 圆中空夹层组合构件



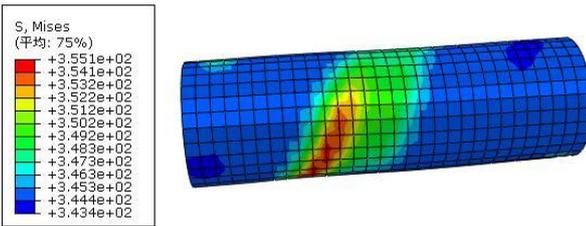
(b) 圆形实心组合构件



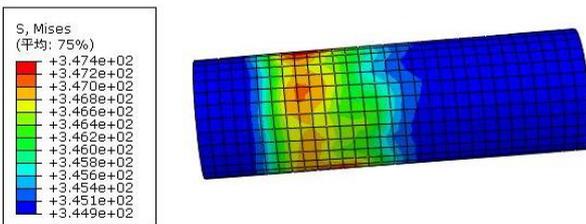
(c) 圆锥形中空夹层组合构件

图 10 不同类型压弯扭构件混凝土破坏形态 (单位: MPa)

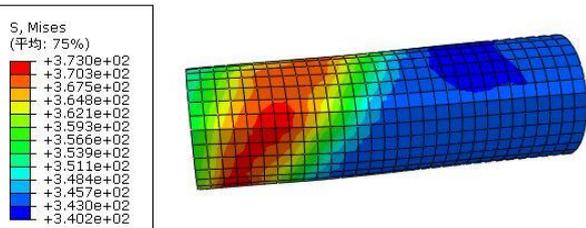
图 11 分别为三类压弯扭构件外层钢管的破坏形态对比图。三类组合构件在压弯扭复合荷载作用下, 由于偏心压力的施加圆形中空夹层钢管混凝土构件的外层钢管, 受拉一侧的构件中部偏上区域应力分布较大, 其最大应力点分布在构件中上部截面位置处。圆形实心组合构件的外层钢管的应力分布较大区域和屈服区域处于构件的中部偏上截面处, 最大应力点也是分布在中部偏上截面位置处。对于圆锥形中空夹层钢管混凝土压弯扭构件, 由于构件上部截面较小, 下部截面较大, 所以其外层钢管的应力分布较大区域为构件的上部截面位置, 相较压扭构件外层钢管达到屈服的区域向下移动^[6]。



(a) 圆中空夹层组合构件



(b) 圆实心组合构件



(c) 圆锥形中空夹层组合构件

图 11 不同类型压弯扭构件外层钢管破坏形态 (单位: MPa)

6 结论

通过以上的研究分析可以得出如下结论:

(1)应用本文所用的有限元方法可以较好模拟该类构件在压弯扭复合受力下的受力全过程, 可以得出较为准确的扭

矩-转角关系曲线, 说明此类建模方法可用于该类构件在扭转作用下的机理分析。

(2)在压弯扭复合受力下的典型扭矩-转角全过程关系曲线可以分为三个阶段: 弹性阶段, 弹塑性阶段和塑性强化阶段, 圆锥形中空夹层钢管混凝土构件具有较好的后期承载能力。

(3)组成该类构件的外钢管承担了大部分承载力, 夹层混凝土的作用使外钢管承载力有所强化, 空心率、内层钢管的钢材强度、混凝土的强度对提高构件的抗扭承载力影响较小。外层钢管强度的增大可显著提高构件的抗扭承载力。锥度对构件承载力影响较为显著, 外层钢管强度的增大可提高构件的抗扭承载力。

【参考文献】

[1]中国土木工程学会标准, 中空夹层钢管混凝土结构技术规程 (报批稿) [S]

[2]韩林海. 钢管混凝土结构-理论与实践 (第三版) [M]. 北京: 科学出版社, 2016.

[3]苏义峰, 范家浩, 史艳莉. 圆锥形中空夹层钢管混凝土压扭构件力学性能分析 [J]. 建筑科学, 2021, 37 (01): 42-49.

[4]黄宏, 范志杰, 陈梦成. 圆中空夹层钢管混凝土压扭构件工作机理研究 [J]. 广西大学学报自然科学版, 2013, 38 (1): 42-47.

[5]Yang Y F, Han L H, Sun B H. Experimental behaviour of partially loaded concrete filled double-skin steel tube (CFDST) sections [J]. Journal of Constructional Steel Research, 2012, 71: 63-73.

[6]苏义峰. 圆锥形中空夹层钢管混凝土扭转构件力学性能研究 [D]. 兰州理工大学, 2020.

[7]李晓辉, 韦建刚, 陈宝春. 钢管混凝土构件受扭有限元非线性分析方法 [J]. 福州大学学报, 2010, 38(3): 412-417.

[8]史艳莉, 张超峰, 鲜威, 等. 圆锥形中空夹层钢管混凝土偏压构件力学性能研究 [J]. 建筑结构学报, 已录用.

[9]韩林海, 钟善桐. 钢管混凝土纯扭转问题研究 [J]. 工业建筑, 1995, 25 (1): 7-13.

[10]黄宏, 郭晓宇, 陈梦成. 圆中空夹层钢管混凝土压扭构件试验研究 [J]. 实验力学, 2015, 30 (1): 101-110.

[11]王文达, 陈宇超, 张鹏鹏. 矩形钢管混凝土构件扭转性能及设计方法研究 [J]. 公路交通科技, 2010, 27 (10): 83-88.

[12]李晓辉, 韦建刚, 陈宝春. 钢管混凝土构件受扭有限元非线性分析方法 [J]. 福州大学学报, 2010, 38 (3): 412-417.

[13]宫安. 钢管混凝土短柱在压扭复合受力下的研究 [D]. 北京: 北京建筑工程学院, 1989.

作者简介: 苏义峰 (1993-), 男, 硕士生, 西安培华学院助教, 主要从事钢与混凝土组合结构。