

圆锥形中空夹层钢管混凝土纯扭构件力学性能分析

苏义峰

西安培华学院 陕西西安 710000

摘要: 为了研究圆锥形中空夹层钢管混凝土在纯扭受力下的力学性能,通过有限元软件 ABAQUS 建立了圆中空夹层钢管混凝土纯扭构件的数值模拟模型,并与已有的试验结果进行对比,验证了模型的正确性。用同样建模方法对圆锥形中空夹层钢管混凝土纯扭构件下进行了数值分析,分析了该类构件在扭转荷载作用下的扭矩-转角全过程关系曲线。讨论了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弹性、弹塑性、塑性强化三个阶段;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抗扭承载力影响较大。

关键词: 圆锥形中空夹层钢管混凝土; 纯扭作用; 工作机理; 扭矩-转角关系; 大空心率; 有限元分析

引言

圆锥形中空夹层钢管混凝土构件是在圆中空夹层钢管混凝土构件的基础上通过增加一个倾斜角而形成的新型构件。在实际工程应用中,比如输电杆在顶部承受水平荷载,荷载向下传递,越靠近底部弯矩就越大,故工程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;故有必要研究此类结构的扭转力学性能^[1],明晰圆锥形中空夹层钢管混凝土构件扭转力学性能是进一步研究其在压弯扭等复杂受力状态下工作机理的基础。因此本文对圆锥形中空夹层钢管混凝土构件在纯扭受力下的力学性能进行研究。

本文利用ABAQUS有限元软件建立了纯扭构件的典型算例。对其荷载-位移关系曲线的全过程进行了研究。研究了纯扭构件的破坏形态,对比分析了三类不同的组合构件。对影响纯扭构件的扭矩-转角关系曲线的主要因素进行了参数分析。

1 有限元模型的建立

采用有限元 ABAQUS 软件模拟圆锥形中空夹层钢管混凝土柱在纯扭工况下的受力全过程。钢材的本构关系采用二次塑流模型,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 $2.06 \times 10^5 \text{ MPa}$;混凝土采用 ABAQUS 中的塑性损伤模型,也采用韩林海给出的混凝土单轴受压的应力-应变关系模型,混凝土的本构关系选用塑性损伤模型,模型中混凝土泊松比取

0.2。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)。混凝土与内外钢管采用面-面接触;法向方向采用接触刚度较大的接触单元来模拟;切向方向采用库仑摩擦模型,摩擦系数取 0.6。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。

边界条件的定义,本文采取下端完全固定,另一端完全自由的边界条件,由于加载板选用的是刚性实体,扭矩的施加是首先在构件外纵轴轴线上选择一点为参考点,采用分布耦合将该参考点与加载板耦合,然后在参考点上施加位移转角,划分网格时将组合构件的各部件设成独立部件单独划分,并采用全局与局部相结合的布种方式。

2 模型的验证

应用上述的有限元建模方法对已有试验的 3 个圆中空夹层钢管混凝土柱的纯扭受力构件进行了扭矩与转角的全过程计算,并与试验结果进行了对比。表 1 所示为试件主要参数(注: D_o 为外钢管的直径; d_i 为内钢管的直径; t_o 、 t_i 为外钢管和内钢管的厚度; H 为构件高度; f_{co} 、 f_{ci} 为外钢管和内钢管的屈服强度; f_{cu} 为混凝土立方体抗压强度),试验结果与有限元模拟结果对比如图 2 所示。从图 2 中可以看出,有限元模拟与试验结果吻合较好,说明建模方法合理,可用于有限元计算。

表 1 圆中空夹层钢管混凝土构件试验参数
Tab.1 Basic parameters of the composite members

试件编号	$D_o \times D_i \times t_o \times H/\text{mm} \times \text{mm} \times \text{mm} \times \text{mm}$	$d_i \times d_i \times t_i \times H/\text{mm} \times \text{mm} \times \text{mm} \times \text{mm}$	f_{co}/MPa	f_{ci}/MPa	f_{cu}/MPa
CPU-1	$165 \times 165 \times 2.9 \times 550$	$60 \times 60 \times 2.7 \times 550$	60	391	275
CPU-2	$165 \times 165 \times 2.9 \times 550$	$60 \times 60 \times 2.7 \times 550$	60	391	275
CPU-3	$165 \times 165 \times 2.9 \times 550$	$60 \times 60 \times 2.7 \times 550$	60	391	275

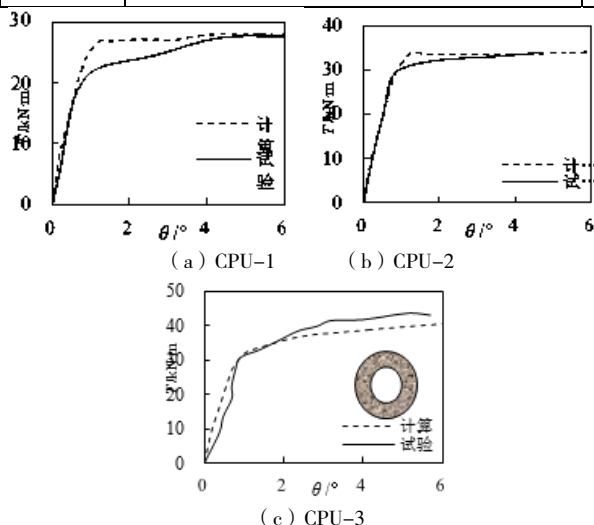


图 2 扭矩-转角试验结果与计算结果的比较

Fig.2 Comparison of torsion versus angle curves from FEA and tested result

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

应用上述有限元建模方法,通过典型算例来模拟圆锥形中空夹层钢管混凝土构件在纯扭受力状态下进行工作机理分析,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,基本参数为:构件高度 $H=1200\text{mm}$,锥度 $\theta=0.57^\circ$,空心率 $\chi=0.70$,外钢管底面直径 $D_b=400\text{mm}$,外钢管顶面直径 $D_t=376\text{mm}$,外钢管厚度 $t_o=9\text{mm}$,内钢管底面直径 $d_b=267\text{mm}$,内钢管顶面直径 $d_t=243\text{mm}$,内钢管厚度 $t_i=3\text{mm}$,混凝土立方体抗压强度 $f_{cu}=50\text{MPa}$,内、外钢管屈服强度 $f_{ci}=f_{co}=345\text{MPa}$ 。典型算例的扭矩-转角关系曲线如图 3 所示。由图可以看出,扭矩-转角关系曲线没有明显下降段,呈现出了较好的承载能力,由于核心混凝土与外钢管之间的相互作用,在扭矩作用下,延缓了混凝土裂缝的开展。典型圆锥形中空夹层钢管混凝土构件在扭矩的作用下的扭矩-转角关系曲线分为三个阶段。

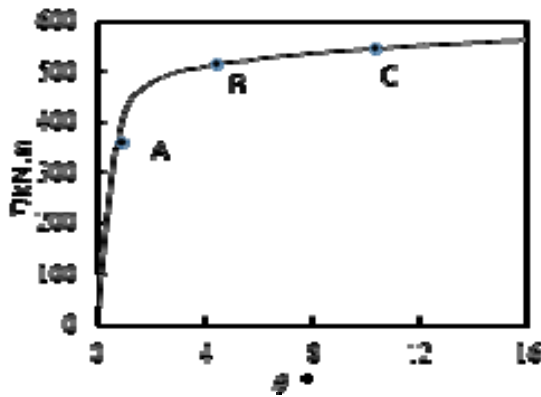


图3 典型纯扭构件 T-θ 关系曲线

Fig.3 Typical compression torsion T-θ curves of specimens

(1)弹性阶段(OA段)T-θ关系曲线大致呈现直线变化形式,夹层混凝土与内层钢管和外钢管之间无相互作用。

(2)弹塑性阶段(AB段)构件受到了较大的扭矩作用后,外层钢管进入屈服,随着荷载的不断加大,裂缝不断延伸,夹层混凝土与内外钢管之间的相互作用力也迅速增长。

(3)塑形强化阶段(BC段)混凝土横向变形较大,但其变形受到了内,外钢管的约束,此时,外钢管、夹层混凝土、内钢管三者协同一起工作,相互协调,外钢管已经完全屈服,圆锥形中空夹层钢管混凝土表现出了较为良好的塑性变形能力,

4 受力性能参数分析

4.1 外钢管强度

图4所示为外钢管屈服强度对构件荷载-位移曲线的影响。可以看出在初期三种不同的纯扭构件的扭矩-转角曲线是重合在一起的,这说明组合构件外层钢管的强度的改变,对圆锥形中空夹层钢管混凝土组合构件的弹性阶段没有明显的影响作用。

4.2 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,圆锥形中空夹层钢管混凝土构件的抗弯强度增加,但增加并不显著。

4.3 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圆锥形中空夹层钢管混凝土构件的抗扭承载力增大,但增大幅度较小,因为混凝土的抗拉性能较差,提高混凝土强度并不能明显提高混凝土的抗拉强度,而圆锥形中空夹层钢管混凝土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圆锥形中空夹层钢管混凝土构件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。

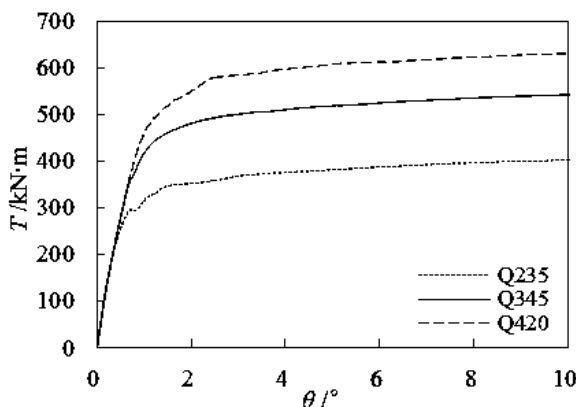


图4 外钢管强度对扭矩曲线的影响

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

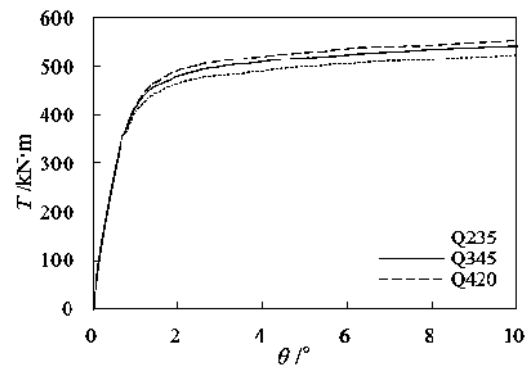


图5 内钢管强度对扭矩曲线的影响

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

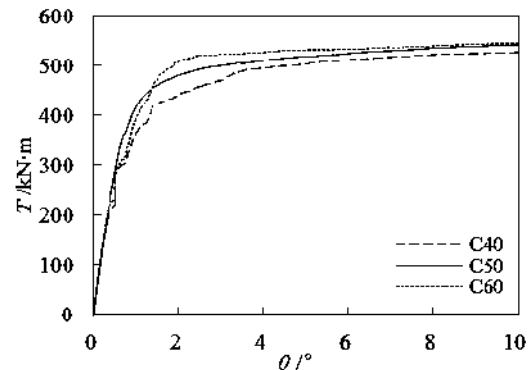


图6 混凝土强度对扭矩曲线的影响

Fig.6 The influence of concrete strength on torque curve

5 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圆锥形中空夹层钢管混凝土构件在纯扭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)圆锥形中空夹层钢管混凝土构件在压、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)圆锥形中空夹层钢管混凝土组成部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,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。

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]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.
 - [4]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.
 - [5]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.
 - [6]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.
- 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。