

圆锥形中空夹层钢管混凝土压扭构件力学性能分析

苏义峰, 范家浩, 史艳莉(兰州理工大学 土木工程学院, 甘肃 兰州 730050)

[摘要] 为了研究圆锥形中空夹层钢管混凝土在压扭复合受力下的力学性能,通过有限元软件 ABAQUS 建立了圆中空夹层钢管混凝土压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压扭构件进行了数值分析,分析了该类构件在压扭复合作用下的扭矩-转角全过程关系曲线、各部件的承载力分配等,讨论了轴压比、空心率、锥度、混凝土强度及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;加载过程中轴压比、混凝土强度、内钢管强度和空心率的变化对其极限扭矩的影响较小,锥度和外钢管强度的变化对该类构件抗扭承载力影响较大。本文所建议的抗扭承载力计算方法与数值模拟结果吻合良好。

[关键词] 圆锥形中空夹层钢管混凝土;压扭作用;工作机理;扭矩-转角关系;大空心率;有限元分析
[中图分类号] TU398 [文献标识码] A

Analysis of mechanical properties of tapered concrete-filled double skin steel tubular members subjected to compression and torsion

Su Yifeng, Fan Jiahao, Shi Yanli (School of Civil Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: In order to study the mechanical performance of tapered concrete-filled double skin steel tubular (CFDST) members subjected to compressive and torsion load, the numerical models are established using ABAQUS software and compared with the existing test results. The rationality of the model is verified. This method is used to analyze this type of composite members. The whole torsion-rotation relationship, the bearing capacity distribution of the components are investigated, respectively. The axial load ratio, hollow ratio, tapered angle, concrete and steel strength to the influence of force performance of components are analyzed. The results indicate that the torsion-rotation relationship can be divided into three stages: elastic stage, elastic-plastic stage, and plastic strengthening stage. Axial load ratio, concrete strength, strength of inner steel tube and hollow ratio have little effect on its ultimate torsion moment. Tapered angle and strength of outer steel tube have a greater effect on the torsional capacity of such members. The calculation method proposed in this paper is in good agreement with the numerical simulation results.

Keywords: tapered concrete-filled double steel tube (CFDST); compression and torsion; working mechanism; torsion-angle relationship; large hollow ratio; finite element analysis

0 引言

圆中空夹层钢管混凝土具有自重轻、抗弯刚度大、抗震性能好、施工方便等特点,在地铁站台、风力发电机支撑柱等工程中广泛应用,目前我国对中空

夹层钢管混凝土的研究较多,也已有设计规程^[1]。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,比如输电杆塔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,有必要研究此类结构的压扭复合力学性能^[2],明晰圆锥形中空夹层钢管混凝土构件压扭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。

[收稿日期] 2020-03-20

[基金项目] 国家自然科学基金(编号:51768038);甘肃省高等学校协同创新团队项目资助(2018C-08)

[作者简介] 苏义峰(1993-),男,硕士生

[通讯作者] 史艳莉(1977-),女,博士,副教授

[联系方式] ceshiy1@163.com

因此,本文对圆锥形中空夹层钢管混凝土构件在压扭复合受力下的力学性能进行研究。

近年来许多研究者对圆中空夹层钢管混凝土以及方中空夹层钢管混凝土在压扭受力状态下的理论和试验进行相关的研究,但对圆锥形中空夹层钢管混凝土构件在压扭复合受力下的研究还未见报道。韩林海和钟善桐^[3]对钢管混凝土压扭构件利用有限元的方法进行了分析,证明了材料本构关系模型的准确性。陈宝春和李晓辉^[4]设计了5个单圆管钢管混凝土构件,进行约束扭转试验。黄宏等^[5]设计制作了8根试件,并对其在压力和扭矩复合受力作用下的力学性能进行了研究。郭立湘等^[6]共进行了8根钢管混凝土试件在压力与扭矩复合作用下的试验研究,分析了构件的破坏机理,得出轴压比的变化对构件抗扭承载力的影响规律。王文达等^[7]利用ABAQUS有限元分析软件对纯扭作用下的圆形、方形及矩形钢管混凝土进行建模分析,用已有的试验结果对模型的正确性进行对比,提出了计算矩形钢管混凝土构件抗扭承载力的计算公式。Beck和Kiyomiya^[8]进行了钢管混凝土扭转构件试验,得出钢管和混凝土相互协调工作,钢管混凝土构件具有较高的承载能力。黄宏等^[9]进行了圆中空夹层钢管混凝土在压力和扭矩复合受力作用下的工作机理分析。Yang等^[10]进行了29根钢管混凝土构件的扭转试验,得出夹层钢管混凝土柱在局部压缩作用下表现出明显的塑性特征。李晓辉等^[11]应用有限元软件对扭转试验的钢管混凝土单圆管试验的试件进行有限元计算分析。张超峰^[12]进行了圆锥形中空夹层钢管混凝土构件偏心受压试验,分析了参数对试件承载力及破坏模态的影响。史艳莉等^[13]通过有限元分析软件对圆锥形中空夹层钢管混凝土压弯构件滞回性能进行数值分析,并进行了参数分析。王文达等^[14]利用ABAQUS有限元分析软件对轴压作用下圆锥形中空夹层钢管混凝土进行建模分析,用已有的试验结果对模型的正确性进行对比和参数分析。宫安^[15]设计制作了圆实心钢管混凝土构件,进行了压扭试验,对试验结果进行了分析,并进行了参数分析。

本文拟通过ABAQUS有限元软件对已有试验的钢管混凝土构件在压力和扭矩的共同作用下进行建模分析,与试验结果进行对比,在试验结果与计算结果吻合良好的情况下,通过模拟圆锥形中空夹层

钢管混凝土柱在压扭工况下的荷载-变形关系曲线对构件的力学性能进行分析;考察锥度、空心率、外钢管强度、混凝土强度、轴压比、内钢管强度对其抗扭承载力的影响。在文献的基础上对圆锥形中空夹层钢管混凝土压扭构件的承载力计算方法进行分析。

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压扭工况下的受力全过程。钢材的本构关系采用二次塑性模型^[2],应力-应变关系曲线参考韩林海^[2]给出的表达式进行,钢材泊松比取0.3,弹性模量取 2.06×10^5 MPa;混凝土采用ABAQUS中的塑性损伤模型,也采用韩林海^[2]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^[2]。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。

图1为网格划分和边界条件示意图。

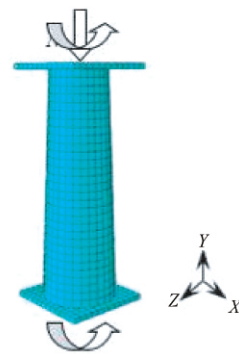


图1 网格划分和边界条件示意图

Fig. 1 Schematic diagram of meshing and boundary conditions

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,所以施加轴力时,直接在加载板中心点处施加轴力,从而保证轴力均匀传递,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 7 个圆中空夹层钢管混凝土柱的压、扭复合受力构件进

行扭矩与转角的全过程计算,并与试验结果进行对比。表 1 所示为试件主要参数(注: D_0 为外钢管的直径; d_i 为内钢管的直径; t_0 、 t_i 为外钢管和内钢管的厚度; H 为构件高度; f_{y0} 、 f_{yi} 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; n 为轴压比) 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

Table 1 Basic parameters of the composite members

试件编号	$D_0 \times t_0 \times H$ /mm × mm × mm	$d_i \times t_i \times H$ /mm × mm × mm	f_{cu} /MPa	f_{y0} /MPa	f_{yi} /MPa	n	数据来源
Scv1-1	165 × 2.9 × 550	60 × 2.7 × 550	60	391	275	0.2	文献[5]
Scv1-2	165 × 2.9 × 550	60 × 2.7 × 550	60	391	275	0.4	
Scv1-3	165 × 2.9 × 550	60 × 2.7 × 550	60	391	275	0.5	
Lev1-1	165 × 2.9 × 1200	60 × 2.7 × 1200	60	391	275	0.2	
Lev1-2	165 × 2.9 × 1200	60 × 2.7 × 1200	60	391	275	0.4	
Lev1-3	165 × 2.9 × 1200	60 × 2.7 × 1200	60	391	275	0.5	
Lev1-4	165 × 2.9 × 1200	60 × 2.7 × 1200	60	391	275	0.6	

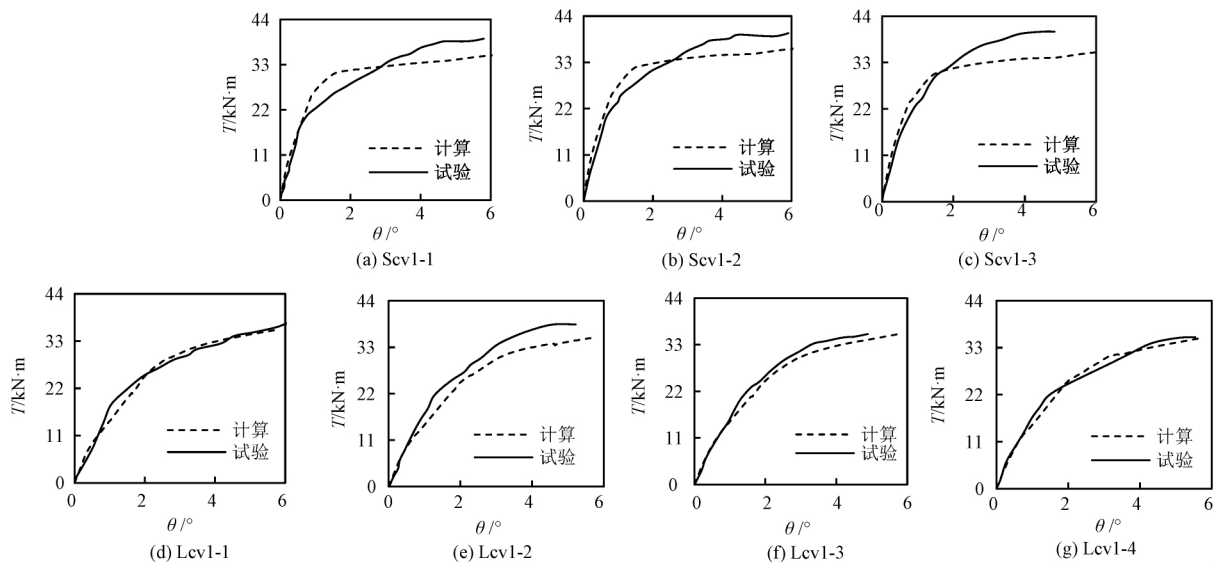


图 2 扭矩-转角试验结果与计算结果的比较

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压扭复合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》(GB 50936—2014)^[16]中规定的参数范围确定,基本参数为: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 $t_0 = 9\text{mm}$,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 $t_i = 3\text{mm}$,构件高度 $H = 1200\text{mm}$,锥度 $\theta = 0.57^\circ$,空心率 $\chi = 0.70$,轴压比 $n = 0.4$,混凝土立方体抗压强度 $f_{cu} = 50\text{MPa}$,内、外

钢管屈服强度 $f_{yi} = f_{y0} = 345 \text{ MPa}$ 。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,在扭矩和轴心压力共同作用下,延缓了混凝土裂缝的开展。典型圆锥型中空夹层钢管混凝土构件在轴心压力和扭矩的共同作用下的扭矩-转角关系曲线分为三个阶段。由于目前对圆锥形中空夹层的钢管混凝土受扭研究较少,故借鉴文献[2]对钢管混凝土极限扭矩的定义,以试件边缘剪应变达到 $10000 \mu\epsilon$ 对应的扭矩为极限扭矩^[2]。

1) 弹性阶段(OA段) A点为外钢管最大拉应力达到比例极限前的点,此阶段,由于轴向荷载的作用,混凝土的横向变形超过了钢管的横向变形,外钢管与混凝土的相互作用增长较快,内钢管与混凝土之间也存在着微小的作用力,扭矩-转角关系曲线基本呈直线关系。

2) 弹塑性阶段(AB段) 外钢管在B点处达到屈服,构件进入了弹塑性阶段,在压力和扭矩的共同作用下,夹层混凝土产生了裂缝,且裂缝不断扩展,该阶段混凝土截面剪应力是先迅速增长,后缓慢增长,混凝土与内外钢管的相互作用力也迅速增长。

3) 塑性强化阶段(BC段) C点为典型构件产生较大转角时所对应的某点,此阶段夹层混凝土对内外钢管有支撑的作用,有效抑制了内外钢管局部屈曲,这样圆锥形中空夹层钢管混凝土构件在压扭复合受力下的扭矩仍缓慢增加,具有较好的塑性变形能力。

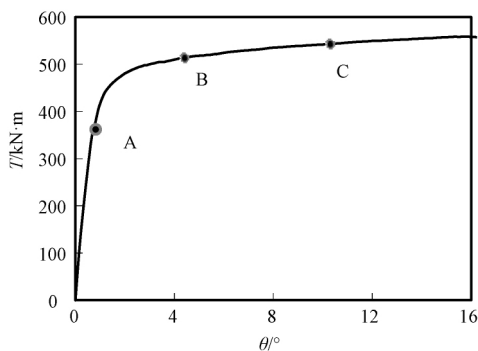


图3 典型压扭构件 $T-\theta$ 关系曲线

Fig.3 Typical compression torsion $T-\theta$ curves of specimens

3.2 各组成部件承载力分配

图4为典型构件各组成部分的扭矩-转角分配曲线。从图中可以看出当扭矩较小时各组成部分均

在弹性阶段刚度基本保持不变,随着扭矩的增加外钢管首先达到屈服,外钢管屈服后承载力仍有增加。圆锥形中空夹层钢管混凝土压扭组合构件抗扭承载力,各组成部件中外层钢管承担了75%,混凝土承担了14%,内层钢管承担了11%。

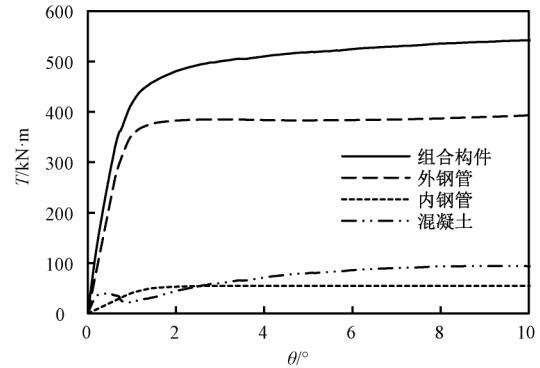


图4 承载力分配曲线

Fig.4 The bearing capacity distribution curve

4 双层空钢管对比分析

图5和图6分别给出了圆锥形双层空钢管构件与圆锥形中空夹层钢管混凝土构件在压扭共同作用下外层钢管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。圆锥形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,表现出较好的塑性和稳定性。圆锥形中空夹层钢管混凝土构件的内钢管也没有出现明显的屈曲变形,由于内钢管承担整个组合构件的扭矩较少,主要作用是对夹层混凝土的变形约束。

5 受力性能参数分析

5.1 空心率

对于中空夹层钢管混凝土构件,在模型的建立过程中,保持外钢管的直径不变,通过改变内钢管的

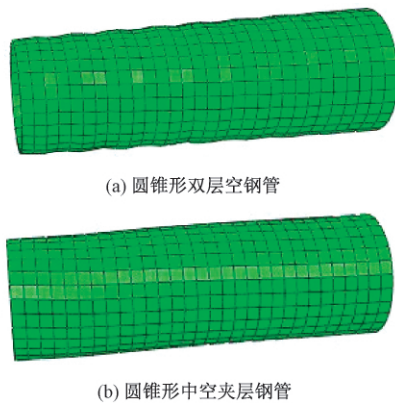


图 5 外钢管破坏模式对比

Fig. 5 Comparison of failure modes of outer steel pipes

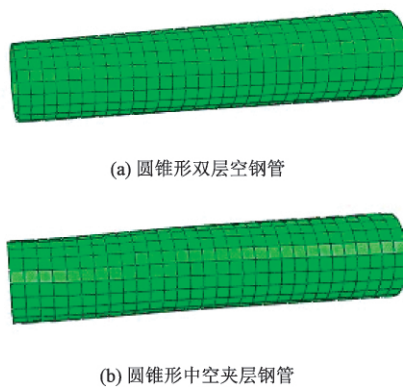


图 6 内钢管破坏模式对比

Fig. 6 Comparison of failure modes of inner steel pipes

直径确定不同的空心率, 本文研究较大空心率构件, 所以选取的参数为 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、扭复合荷载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, 因此在工程应用中应考虑性价比选用最佳空心率。

5.2 轴压比

如图 8 所示, 确定轴压比分别为 0、0.2、0.4、0.6、0.8 情况下圆锥形中空夹层混凝土构件典型算例的扭矩-转角关系曲线。随着轴压比的增加, 扭矩-转角关系曲线无下降段, 构件的承载力无明显变化, 轴压比对初始刚度影响较小, 在加载的后期不同的扭矩转角曲线均趋于平缓。这表明圆锥形中空夹层钢管混凝土构件具有较好的延性和后期承载力。

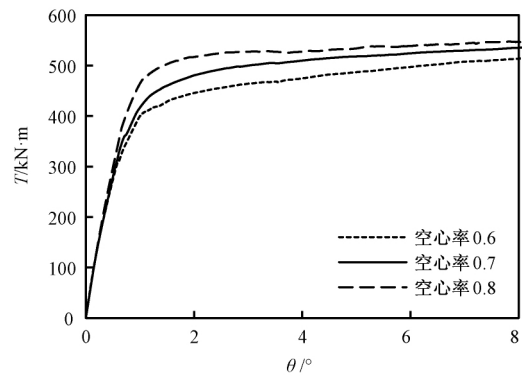


图 7 空心率对扭矩曲线的影响

Fig. 7 The influence of hollow ratio on torque curve

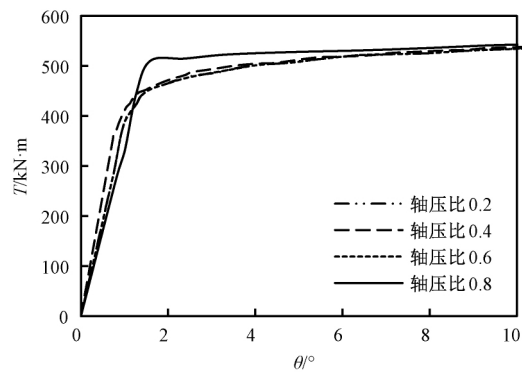


图 8 轴压比对扭矩曲线的影响

Fig. 8 The influence of axial pressure ratio on torque curve

5.3 锥度

图 9 为圆锥形中空夹层构件下部内、外钢管尺寸相同, 变化上部内、外钢管尺寸, 从而构成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, 锥度为零时即圆中空夹层钢管混凝土构件, 圆锥形中空夹层钢管混凝土构件当锥度从 0.57 变化为 1.14 时, 圆锥形中空夹层钢管混凝土构件的承载力降低了大约 38.6%。锥度变化对圆锥形中空夹层钢管混凝土构件抗扭承载力的影响较为显著。

5.4 外钢管强度

图 10 所示为外钢管屈服强度对构件扭矩-转角曲线的影响。可以看出在受荷初期三种不同的压扭组合构件的扭矩-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。不同组合构件, 在加载的后期三者的抗扭承载力不同, 外钢管承担了大部分的扭矩, 充分发

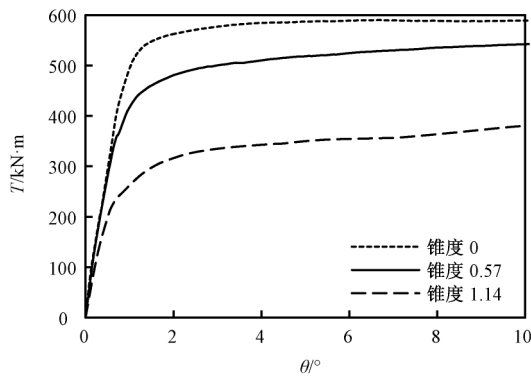


图 9 锥度对扭矩曲线的影响

Fig. 9 The influence of taper on torque curve

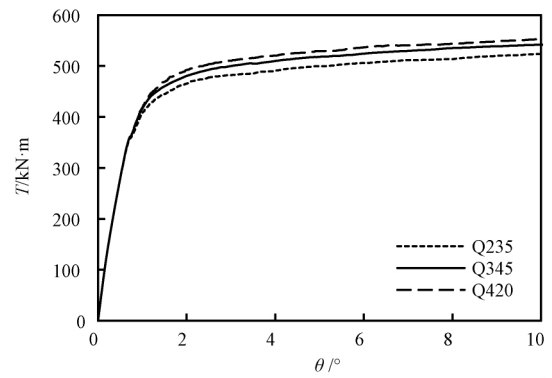


图 11 内钢管强度对扭矩曲线的影响

Fig. 11 The influence of internal steel tube strength on torque curve

挥了钢管的变形性能,外钢管钢材屈服强度对构件抗扭承载力的影响较显著,且钢材强度越高抗扭承载力越高。

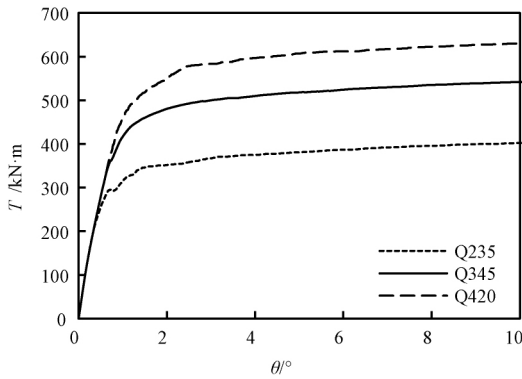


图 10 外钢管强度对扭矩曲线的影响

Fig. 10 The influence of strength of external steel tube on torque curve

5.5 内钢管强度

图 11 为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。这是由于内层钢管在压扭作用下承担的扭矩相对较少,在加载后期主要起约束夹层混凝土横向变形的作用,不同钢材屈服强度的内钢管组合构件,在加载的后期三者不同的扭矩转角曲线均趋于平缓。

5.6 混凝土强度

图 12 为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。

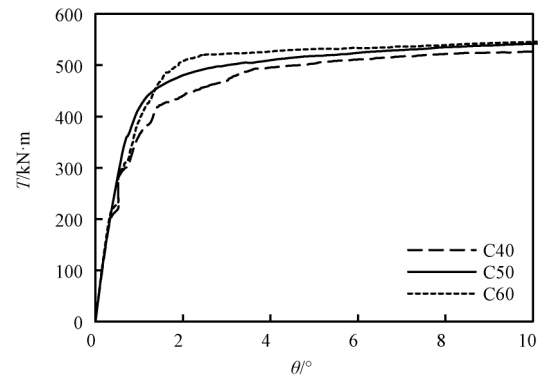


图 12 混凝土强度对扭矩曲线的影响

Fig. 12 The influence of concrete strength on torque curve

6 承载力计算方法讨论

《中空夹层钢管混凝土结构技术规程》^[1]中给出了圆中空夹层钢管混凝土压扭构件抗扭承载力的计算公式,具体表达式如下:

$$\left(\frac{N}{\varphi N_u}\right)^{2.4} + \left(\frac{T}{T_u}\right)^2 = 1 \quad (1)$$

式中: T 为圆形中空夹层钢管混凝土构件抗扭承载力设计值; T_u 为圆形中空夹层钢管混凝土构件抗扭极限承载力; N 为圆形中空夹层钢管混凝土构件抗压承载力设计值; N_u 为圆形中空夹层钢管混凝土构件抗压极限承载力。 φ 为圆形中空夹层钢管混凝土

构件稳定系数。

上述 N_u 和 T_u 的计算公式如下:

$$T_u = \gamma_t W_{set} \tau_{scy} + W_{si} \tau_{yi} \quad (2)$$

$$N_u = N_{osc \mu} + N_{i \mu} \quad (3)$$

$$N_{osc \mu} = f_{osc} A_{sco} \quad (4)$$

$$N_{i \mu} = f_i A_{si} \quad (5)$$

式中: W_{set} 为圆形中空夹层钢管混凝土外钢管和混凝土的截面抗扭模量; W_{si} 为圆形中空夹层钢管混凝土内钢管的截面抗扭模量; γ_t 为圆形中空夹层钢管混凝土抗扭强度承载力计算系数; 其中 A_c 为横截面混凝土面积; A_{so} 为横截面外钢管面积; A_{si} 为圆形中空夹层钢管混凝土内钢管横截面面积; f_{scy} 为圆形中空夹层钢管混凝土轴心受压时的强度指标; τ_{scy} 为圆形中空夹层外钢管和混凝土抗扭强度指标; τ_{yi} 为内钢管抗扭强度指标; f_{y0} 为外钢管钢材屈服强度; f_{yi} 为内钢管钢材屈服强度; f_{ck} 为混凝土轴心抗压强度标准值。

上述各参数的计算公式如下:

$$W_{set} = \frac{\pi(D_0^4 - D_i^4)}{16D_0} \quad (6)$$

$$W_{si} = \frac{\pi[D_i^4 - (D_i - 2t_i)^4]}{16D_i} \quad (7)$$

$$\tau_{scy} = (0.422 + 0.313\alpha^{2.33}) \xi^{0.314} f_{scy} \quad (8)$$

$$\tau_{yi} = f_i / \sqrt{3} \quad (9)$$

$$f_{scy} = C_1 \alpha^2 f_{y0} + C_2 (1.14 + 1.02\xi) f_{ck} \quad (10)$$

式中: C_1 、 C_2 为计算系数, $C_1 = \alpha / (1 + \alpha)$, $C_2 = 1 + \alpha_n / (1 + \alpha)$; α 和 α_n 分别为含钢率和名义含钢率; 约束效应系数为 $\xi = \alpha_n f_{y0} / f_{ck}$ 。

应用如上相关方程计算圆锥形中空夹层钢管混凝土压扭构件的承载力, 同时上述《中空夹层钢管混凝土结构技术规程》中建议圆锥形中空夹层钢管混凝土构件抗扭承载力计算截面为构件的最小截面, 对于本文中取圆锥形中空夹层钢管混凝土压扭构件最小截面为计算截面, 典型试件的计算结果与模拟结果的对比如表 2 所示。

通过对比数值模拟结果和理论计算结果, 计算结果与有限元模拟结果比值的平均值 0.983, 均方差为 0.014。总体而言, 计算结果与模拟结果吻合较好。因此圆锥形中空夹层钢管混凝土压扭构件的抗扭承载力可按构件最小截面计算。此外对比理论计算结果与数值模拟计算结果, 理论计算的结果相

表 2 模拟值与计算值比较

Table 2 Comparisons Between Tested Results and Calculated Results

编号	空心率	锥度	轴压比	T_{ui} /kN·m	T_{uc} /kN·m	T_{uc} / T_{ui}
1	0.7	0.57	0.4	547	544	0.994
2	0.7	1.14	0.4	401	394	0.983
3	0.7	0	0.4	588	564	0.959
4	0.8	0.57	0.4	550	533	0.969
5	0.6	0.57	0.4	516	502	0.973
6	0.7	0.57	0.2	509	513	1.007
7	0.7	0.57	0.6	521	516	0.991
8	0.7	0.57	0.8	552	546	0.989

注: T_{uc} 为计算值, T_{ui} 为有限元模拟值。

对偏小, 因此应用本文所述有限元模型可以进行圆锥形中空夹层钢管混凝土压扭构件承载力的相关研究是合理的。

7 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地模拟圆锥形中空夹层钢管混凝土构件在压扭复合受力下的受力全过程, 得出较为准确的扭矩-转角关系曲线和破坏模态等, 说明此类建模方法可用于该类构件在压扭作用下的机理分析。

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, 此类构件具有良好的塑性和延性。内层钢管的钢材强度、混凝土的强度、轴压比、空心率对提高构件的抗扭承载力影响较小。锥度对圆锥形中空夹层钢管混凝土压扭构件承载力影响较为显著, 锥度越大其承载力越低, 外层钢管强度的增大可显著提高构件的抗扭承载力。

4) 根据《中空夹层钢管混凝土结构技术规程》中建议圆锥形中空夹层钢管混凝土抗扭承载力计算截面取最小截面, 本文取构件最小截面为计算截面, 结果表明模拟值和计算值吻合良好。

参考文献

[1] T/CCES 7—2020, 中空夹层钢管混凝土结构技术规程[S]

- T/CCES 7—2020, Technical specification for concrete-filled double skin steel tubular structure[S] (in Chinese)
- [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
Han Linhai. Concrete filled steel tubular structure-theory and practice (3rd ed) [M]. Beijing: Science Press, 2016 (in Chinese)
- [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
Han Linhai, Zhong Shantong. The studies of pure torsion problem for concrete filled steel tube [J]. Industrial Construction, 1995, 25(1): 7-13 (in Chinese)
- [4] 陈宝春, 李晓辉. 钢管混凝土(单圆管)约束扭转试验研究[J]. 福州大学学报, 2008, 36(5): 735-739
Chen Baochun, Li Xiaohui. Experimental study on restricted torsion for concrete filled steel tube (single circular) [J]. Journal of Fuzhou University, 2008, 36(5): 735-739 (in Chinese)
- [5] 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
Huang Hong, Guo Xiaoyu, Chen Mengcheng. Experimental study of concrete-filled double skin steel tube members subjected to compression and torsion [J]. Journal of Experimental Mechanics, 2015, 30(1): 101-110 (in Chinese)
- [6] 郭立湘, 李婷, 杨建, 等. 方中空夹层钢管混凝土压扭构件的试验及有限元计算研究[J]. 工业建筑, 2015, 45(7): 148-152
Guo Lixiang, Li Ting, Yang Jian, et al. Experiment and finite-element calculation study on concrete-filled double skin steel tubular members under compression and torsion [J]. Industrial Construction, 2015, 45(7): 148-152 (in Chinese)
- [7] 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
Wang Wenda, Chen Yuchao, Zhang Pengpeng. Research on torsion behavior and design approach of rectangular concrete filled steel tubular members [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2010, 27(10): 83-88 (in Chinese)
- [8] Beck J, Kiyomiya O. Fundamental pure torsional properties of concrete filled circular steel tubes[J]. Proceedings of the Japan Society of Civil Engineers, 2003, 739(60): 285-296
- [9] 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
Huang Hong, Fan Zhijie, Chen Mengcheng. Mechanism of concrete-filled double-skin steel tubular column subjected to compression torsion [J]. Journal of Guangxi University (Natural Science Edition), 2013, 38(1): 42-47 (in Chinese)
- [10] 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
- [11] 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
Li Xiaohui, Wei Jiangan, Chen Baochun. Nonlinear finite element methods on torsional mechanism for concrete filled steel tube [J]. Journal of Fuzhou University, 2010, 38(3): 412-417 (in Chinese)
- [12] 张超峰. 圆锥形中空夹层钢管混凝土压弯构件静力性能研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2019
Zhang Chaofeng. Research of static performance of tapered concrete-filled double skin steel tubular beam-columns [D]. Lanzhou: Master thesis of Lanzhou University of Technology, 2019 (in Chinese)
- [13] 史艳莉, 张宸, 王景玄, 等. 圆锥形中空夹层钢管混凝土压弯构件抗震性能[J]. 建筑科学与工程学报, 2019, 36(5): 80-88
Shi Yanli, Zhang Chen, Wang Jingxuan, et al. Seismic behavior of tapered concrete-filled double skin steel tube compression-bending members [J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2019, 36(5): 80-88 (in Chinese)
- [14] 王文达, 张超峰, 王景玄, 等. 圆锥形中空夹层钢管混凝土轴压短柱受力机理分析[J]. 建筑科学与工程学报, 2019, 36(3): 37-45
Wang Wenda, Zhang Chaofeng, Wang Jingxuan, et al. Analysis on mechanical behavior of tapered concrete-filled double steel tubular short columns under axial compression [J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2019, 36(3): 37-45 (in Chinese)
- [15] 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
Gong An. Study on short concrete filled steel tube column under combined compressive and torsional stress [D]. Beijing: Beijing Institute of Architecture and Engineering, 1989 (in Chinese)
- [16] GB 50936—2014, 钢管混凝土结构技术规范[S]
GB 50936—2014, Technical code for concrete filled steel tubular structure[S] (in Chinese)