

# Review of Research on Concrete-filled Steel Tubular Composite Columns

Kang Jia

North China University of Science and Technology, Tangshan, Hebei, 063000, China

## Abstract

Concrete-filled steel tube composite column (referred to as composite column) combines the advantages of high compressive strength of concrete and high strength, toughness and plasticity of steel, and is widely used in the load-bearing structure of high-rise buildings. The research on mechanical properties of composite columns has always been the focus of the research on composite columns. Restricted by the actual conditions of experimental research, the finite element analysis model of composite columns was established by using finite element analysis software ABAQUS on the basis of reasonable material constitutive relationship. Through the literature research in China and other countries, the failure simulation tests of different sizes of composite columns, especially large size composite columns, under the condition of compression, and the influence of axial compression ratio, composite ratio, strength of core concrete and peripheral concrete on the compressive properties of composite columns are comprehensively described.

## Keywords

concrete filled steel tube composite column; mechanical properties; finite element analysis; ABAQUS

## 钢管混凝土叠合柱研究综述

贾康

华北理工大学, 中国 · 河北 唐山 063000

## 摘要

钢管混凝土叠合柱(简称叠合柱)结合了混凝土的高抗压强度和钢材的高强韧性和塑性的优点,被广泛应用于高层建筑的承重结构。叠合柱的力学性能的研究一直是叠合柱研究的重点,受限于试验研究的现实条件约束,因此在合理的材料本构关系的基础上,采用有限元分析软件ABAQUS等建立了叠合柱的有限元分析模型。通过对中国及其他国家文献研究,对叠合柱在受压状态下不同尺寸尤其是大尺寸叠合柱破坏模拟试验,并且对轴压比、叠合比、核心混凝土和外围混凝土强度等因素对叠合柱受压性能的影响进行比较全面的阐述。

## 关键词

钢管混凝土叠合柱; 力学性能; 有限元分析; ABAQUS

## 1 引言

叠合柱是由在混凝土柱中心位置放置钢管,管内浇筑混凝土,之后在管外浇筑钢筋混凝土而成。混凝土具有承载力高,抗压能力强的特点,将混凝土填充进钢管,钢管约束形成套箍效应,增强管内混凝土的承载力。钢材具有强度高,塑性、韧性好的优点,但是耐腐蚀性和耐火性差,管外浇筑的钢筋混凝土可以对钢管起到保护隔绝作用,延长钢管的使用寿命。两者的结合可以减小柱的截面尺寸,增大室内使用空间,加快施工进度。叠合柱的应用与革新离不开对叠合柱的力学性能的探讨,这有着重要意义。虽然针对叠合柱的力学性能研究已开展了大量的工作,但仍存在众多问题需要进一步的分析与讨论。

【作者简介】贾康(1996-),男,中国河北邯郸人,硕士,从事结构工程研究。

## 2 钢管混凝土叠合柱力学性能试验概述

钢管和混凝土的相互结合使得两者优势互补具有良好的复合作用,叠合柱在世界各地的各种结构中得到了越来越广泛的应用。主要从 20 世纪 60 年代开始,已经进行了大量的试验和分析研究来了解叠合柱的力学性能。根据这些研究,各国制定了不同的设计规范,以反映各自国家的设计理念和实践,如澳大利亚、中国<sup>[1]</sup>、日本、美国和欧洲国家。

近十几年来,许多商业软件的存在如 ABAQUS 和 ANSYS,使得有限元技术在叠合柱建模中变得越来越流行。钢和混凝土构件之间的复合作用可以简便和直观通过有限元软件模拟出来,可以更精确地考虑不同的因素对结构力学性能的影响,如局部和整体缺陷,残余应力和边界条件。然而,有限元模型的预测精度受输入参数的影响很大,越精准的参数越需要大量的试验提供数据。为了达到这个目的,需要收集足够的试验数据来用于验证模拟的准确性。

从上世纪 60 年代开始,国外就对叠合柱开展研究,Tao 等<sup>[1]</sup>对偏压长柱试验进行研究,分析得出试件在接近极限荷载时会在受压区出现较大破坏,钢材达到屈服,但混凝土并没有屈服且抗压强度只有 30%。所以长细比较小的柱能具有更出色的抗压能力,而且对于压弯构件来说影响因素最大的是偏心率和承载力。Zhang<sup>[6]</sup>等制作 10 根高长细比叠合柱,并对试件展开抗震性能检测。分析得出,影响试件抗震性能的主要因素为长细比和施加的荷载大小,长细比对于试件抗震性能的影响是最显著的。

Moon 等<sup>[7]</sup>结合管内混凝土的约束效用推导出新的钢管混凝土轴压极限承载力的计算方法。结果表明, $\alpha$ 随着 D/t 的增大而减小并且 D/t 对  $\alpha$  的影响要比  $f_c/f_y$  显著得多,分析得出新公式可以的计算结果和试验的实测值有很不错的吻合度,可以用来计算钢管混凝土的轴压极限承载力。

### 3 钢管混凝土叠合柱有限元分析

近十几年来,许多商业软件的存在如 ABAQUS 和 ANSYS,使得有限元技术在叠合柱建模中变得越来越流行。钢和混凝土构件之间的复合作用可以简便和直观通过有限元软件模拟出来,可以更精确地考虑不同的因素对结构力学性能的影响,如局部和整体缺陷,残余应力和边界条件。然而,有限元模型的预测精度受输入参数的影响很大,越精准的参数越需要大量的试验提供数据。为了达到这个目的,需要收集足够的试验数据来用于验证模拟的准确性。

尧国皇等<sup>[2]</sup>,以康洪震等<sup>[4]</sup>试验数据做参考,经由选用合理的材料本构关系模型,分别采用纤维模型法和有限元数值分析方法研究叠合柱轴压性能。经过有限元软件计算分析,模拟分析结果和实际进行的试验结果符合。

钢材和砼之间的有限元模拟经常选择面和面接触,可以限定由钢管的内表面和核心混凝土的外表面组成的接触面对。可以为界面指定法线方向上为“硬接触”,这允许界面在拉伸时分离,而在压缩时不穿透。但是短柱有不一样的设置,这是因为短柱中钢材和砼之间的滑移十分微小可以忽略。因此,柱的性能对钢和混凝土之间摩擦系数的选择影响十分微小。在目前的有限元模型中,砼和钢的泊松比分别取为 0.2 和 0.3,这些数值经常在有限元数值模拟当中引用。

有很好的研究可以得到验证,初始局部缺陷和钢管初应力对钢管的性材性有十分显著的作用。然而,对于叠合柱,局部缺陷和初应力的影响会通过混凝土填充达到最小化,在当前的数值分析模拟中容易被忽略。蔡景明等<sup>[3]</sup>对 4 根钢

筋增强叠合柱和 7 个组合柱进行抗震性能检测,研究多种因素对结构抗震性能的影响效果。结果表明,钢管强度的提高可以组合柱提高抗震性能,提高轴压比和钢管内混凝土的强度只对构件刚加载时刚度和峰值荷载有优化,对于构件屈服后的延性的影响较弱。

### 4 结语

①加载条件、长细比、含钢率和偏心率对于钢管混凝土叠合柱的承载力有明显影响,初应力、含钢率、钢材和混凝土强度,对叠合柱的强度有适度的影响。

②建立了钢管混凝土叠合柱的应力—应变关系,并考虑了钢管上初应力的影响。一般来说,在模拟值和实验值之间,应力—应变关系和极限强度得到了合理的一致。

③应该注意的是,约束混凝土总是很难精确建模。ABAQUS 和大多数其他软件在反映这一点上有局限性,需要进一步研究来测量钢管内混凝土在加载过程中的侧向膨胀。因此,可以提出一个模型来描述钢管混凝土叠合柱中核心混凝土的轴向应变—侧向应变关系。然后可以为 ABAQUS 开发用户定义的材料子程序,以定义更合理的应变函数。这样,钢管与混凝土之间的围压可以由两个构件之间的相互作用来确定,应变规律不会与截面的几何参数直接相关。

### 参考文献

- [1] 中国工程建设标准化协会.GB 50936—2014 钢管混凝土结构技术规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2014.
- [2] 廖飞宇,尧国皇,李永进.钢管混凝土叠合柱-钢梁节点的有限元分析[J].工业建筑,2016,46(9):152-157+102.
- [3] 蔡景明,潘金龙,苏浩.钢筋增强ECC-钢管混凝土组合柱抗震性能试验及其数值模拟[J].建筑结构学报,2020,41(7):55-62.
- [4] 康洪震,钱稼茹.钢管高强混凝土组合柱轴心受压承载力试验与分析[J].建筑结构学报,2010,31(S1):360-364.
- [5] Tao Z, Han L H, Wang Z B. Experimental behavior of stiffened concrete-filled thin-walled hollow steel structural (HSS) stub columns[J]. Journal of Constructional Steel Research,2005,62(7):962-983.
- [6] Zhang G W, Xiao Y, Kunnath S. Low-cycle fatigue damage of circular concrete-filled tube columns[J]. ACI Structural Journal,2009,106(2):151-159.
- [7] Moon J, Kim J J, Lee T H, et al. Prediction of axial load capacity of stub circular concrete-filled steel tube using fuzzy logic[J]. Journal of Constructional Steel Research,2014(101):184-191.