

基于 ANSYS 的方钢管混凝土柱单向荷载下非线性分析

罗穿云¹ 杨华林² 杨晓红² 李伊东³

1 云南能投昭通产业发展有限公司 2 中国矿业大学(北京) 3 浙江省交通规划研究院

DOI:10.32629/btr.v3i8.3301

[摘要] 钢管混凝土结构承载力高、施工周期短、耐火性能好,成本较低,在相同的截面尺寸下,比钢结构大约节省50%的钢材,比混凝土结构减少50%的混凝土用量,承载力高主要体现在相同截面尺寸下,钢管混凝土的承载力远远大于钢结构和混凝土结构,具体的原因本文做了详细的阐述。本文采用ansys对方钢管混凝土短柱单向荷载作用下进行非线性分析,对钢管采用shell181单元,核心混凝土采用solid65单元模拟,得出的结论是模拟的极限承载力介于规范和韩林海推荐的公式计算结果之间,且偏差不大,由计算结果对比看出,蔡绍怀推荐的公式结果偏大,尤其是当构件的截面尺寸较大时,计算的结果会更大,Shell181单元与Solid65单元组合能够很好地模拟钢管混凝土的非线性性能。

[关键词] 装配式建筑; 方钢管混凝土柱; 有限元

中图分类号: TU311 **文献标识码:** A

引言

伴随着经济技术的快速发展,我国的建筑施工领域也取得了巨大的进步,这不仅体现在现有的以及拟建的高层以及超高层建筑数量,也体现在设计理念和施工技术的成熟,其中,装配式建筑(Prefabricated building)的提出就是一大突破,在装配式建筑出现之前,一个建设项目的落地到建成投入使用需要很长的工期,导致建设成本的增加,而且其中的一大部分构件的质量可能也达不到要求,装配式建筑正好同时解决了这些难题,装配式建筑减少了现场的工作量,工厂预制的构件质量得到保证,装配式建筑适应经济发展的需要,所以,世界各国也纷纷展开对装配式建筑的研究与应用,其中,日本应用得较多。我国住建部于2015年正式出台《建筑产业现代化发展纲要》,计划到2025年装配式建筑占新建建筑的比例达50%以上,装配式建筑将会是未来一段时间内比较受欢迎的结构形式。本文的研究对象钢管混凝土就属于装配式建筑范畴。

1 概述

1.1 钢管混凝土结构的定义及特点

钢管混凝土英文简称为STCC,国外也称之为(Concrete Filled Steel tube)

缩写为CFST^[1],是一种组合材料,其主要的组成成分是钢管和混凝土两种,这两种材料组合在一起,能够弥补各自单独做结构主材时的缺陷。建筑用钢材属理想弹性体,其各向同性较好、较符合一般工程力学的基本假定、材料塑性、韧性好,可发生较大变形且在破坏前通常会有明显的征兆,能很好地承受动力荷载,因此,常用于建造高层和超高层建筑,尤其是抗震设防裂度较大地区。

1.2 钢管混凝土的早期应用及研究现状

钢管混凝土结构在工程中的应用最早开始于19世纪80年代,最早应用这种结构的是英国,Hansapinyo等进行了竖向循环荷载作用下钢管混凝土受压斜柱的非线性分析,建立有限元模型和实验设计了15个不同倾斜角、径厚比的钢管混凝土柱,并将实验结果与有限元模拟结果进行对比。Jing Liu等进行了带有切口的六边形钢管混凝土柱在轴向荷载作用下的试验研究,得出的结论是切口会显著降低钢管混凝土柱的极限承载力,且提出了计算带有切口的钢管混凝土受压短柱的极限承载力计算方式。谈忠坤等^[2]采用ABAQUS有限元软件对型钢-方钢管混凝土轴压短柱的荷载-变形曲

线进行了有限元分析,探讨了型钢-方钢管混凝土轴压短柱、等截面普通方钢管混凝土轴压短柱、等截面且等体积含钢率的型钢-圆钢管混凝土轴压短柱的内力变化情况。

2 单向荷载非线性分析

2.1 有限元数值分析

部分学者对钢管的数值模拟中采用solid45实体单元,主要是因为用solid45和solid65单元组合时对于模拟过程中的网格划分较为简洁,但对于钢管的模拟采用solid45没有shell181准确。本文涉及的所有钢管单元均采用shell181单元来模拟,shell181也称为大应变壳体,适合模拟非线性、弯曲及适当厚度的壳体结构,此单元具有4个节点,且单元每个节点有六个自由度(若分析中选用“膜”(Membrane)选项,则其仅具有平移自由度),包括X、Y、Z方向的平动以及绕三个方向的转动自由度。shell181具有塑性、蠕变、应变刚化、大变形和小应变的特性。钢管单元强化准则采用双线性等向强化(BISO),屈服准则采用Von-Mises屈服准则,本构关系采用理想弹塑性模型。

混凝土构件类似于三维结构实体,具有开裂(三个正交方向)、压碎、塑性变形和徐变的能力,solid65单元是比

solid45高阶的三维实体单元,其考虑了混凝土的特性,单元最重要的方面就是处理非线性材料的特性。本文所涉及的混凝土均采用选用solid65单元模拟,此单元具有8个节点,每个节点具有三个自由度,即X、Y、Z三个方向的线位移,能够很形象地模拟混凝土带裂缝工作状态,并能够在三个方向上拉裂和压碎,与实际情况较为接近。混凝土单元的强化准则选用多线性等向强化模型(MISO),破坏准则采用William-Warnke五参数破坏准则。本构关系采用韩林海建议的约束混凝土应力应变关系。

模型的边界条件为柱底端约束全部位移,柱顶端耦合所有节点Z向的自由度,荷载以主节点Z向的位移方式施加,同时约束住柱顶端X向与Y向自由度,采用力收敛准则,打开大变形选项,同时关闭混凝土的压碎。本文试件尺寸采用(900mm×900mm×10mm)。

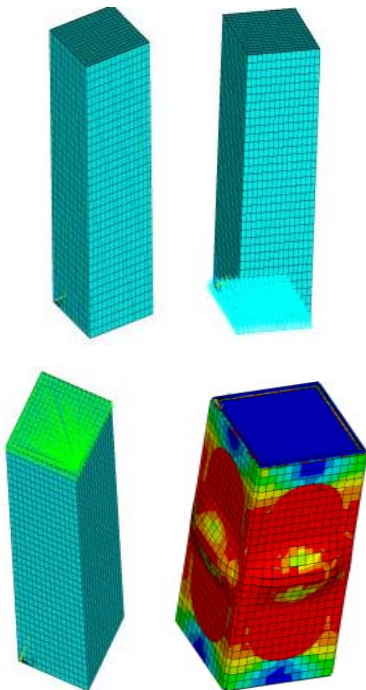


图2.1 有限元模型

2.2现有计算理论

(1) 钢管混凝土规范建议使用钢管混凝土构件的承载力应按下列公式验算:

无地震作用组合时

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \tag{2.1}$$

有地震作用组合时

$$S_d \leq R_d / \gamma_{RE} \tag{2.2}$$

式中: γ_0 ——结构重要性系数,对安全等级为一级的结构构件,不应小于1.1;对安全等级为二级的结构构件,不应小于1.0。

$$N_u = \phi_e \phi_l N_0 \tag{2.3}$$

当 $\theta \leq 1/(\alpha-1)^2$ 时

$$N_0 = 0.9 A_c f_c (1 + \alpha \theta) \tag{2.4}$$

当 $\theta > 1/(\alpha-1)^2$ 时

表 2.1 混凝土材料一览表

强度等级	C30	C40	C50	C60	C70	C80	C90
f_{ck} /MPa	20	26.8	33.5	41	48	56	64
f_c /MPa	24	33	41	51	60	70	80
E_c /MPa	30000	32500	34500	36500	38500	40000	41500

表 2.2 不同理论下钢管混凝土柱轴压承载力计算

计算理论	计算公式	极限承载力 (N_u) (KN)		
		C30	C40	C50
1. 统一理论	$N_s = A_s f_y + A_c f_{ck}$	2.68E4	3.13E4	3.65E4
2. 韩林海	$N = A_{sc} \cdot f_{sc}$ $f_{sc} = (1.212 + B\zeta + C\zeta^2)$	2.42E4	3.37E4	4.17E4
3. 蔡绍怀	$N = f_c \cdot A_c (1 + \theta + \sqrt{\theta})$ $\theta = \frac{f_s \cdot A_s}{f_c \cdot A_c}$	3.88E4	5.26E4	6.06E4
4. 规范	$N_0 = 0.9 A_c f_c (1 + \alpha \theta)$ $f_c \leq C50, \alpha = 1$ $C55 \leq f_c \leq C80, \alpha = 1.6$	2.61E4	3.25E4	3.81E4
5. 数值计算结果		3.417E4	3.851E4	4.566E4

$$N_0 = 0.9 A_c f_c (1 + \sqrt{\theta} + \theta)$$

$$\theta = \frac{A_s f_y}{A_c f_c} \tag{2.5}$$

且任何情况下均应满足:

$$\phi_e \phi_l \leq \phi_0 \tag{2.6}$$

(2)以日本、美国为首的土木界人士认为钢管与混凝土之间没有相互作用,钢管与混凝土共同分担荷载,构建的承载力仅为两种材料无效应的简单组合,也被称为统一理论,即:

$$N_s = A_s f_y + A_c f_{ck} \tag{2.7}$$

在这一运算方式中, f_y 是钢管屈

服程度, f_{ck} 是混凝土的实际抗压强度标准值。

(3) 以前苏联为首的部分土木界人士认为钢管对核心混凝土有侧压效应, 但效应不大, 并忽略混凝土对钢管的作用:

$$N_u = A_s f_y + (0.7R + 180) A_c \quad (2.8)$$

式中, f_y 表示钢管的屈服强度; R 表示混凝土的实际抗压强度。

(4) 钟善桐、韩林海提出的:

$$N = A_{sc} \cdot f_{sc} \quad (2.9)$$

$$f_{sc} = (1.212 + B\zeta + C\zeta^2) f_c$$

蔡邵怀^[3]提出的:

$$N = f_c \cdot A_c (1 + \theta + \sqrt{\theta}) \quad (2.10)$$

$$\theta = \frac{f_s \cdot A_s}{f_c \cdot A_c}$$

式中, f_{sc} 表示钢管混凝土轴心受压组合强度设计值, ζ 为套箍系数; $A_{sc} = A_s + A_c$ 为钢管混凝土横截面面积。

对于圆钢管混凝土:

$$B = 0.175 f_y / 235 + 0.9740, C = -0.1038 f_{ck} / 20 + 0.309 \quad (2.11)$$

对于方钢管混凝土:

$$B = 0.138 f_y / 235 + 0.7646, C = -0.072 f_{ck} / 20 + 0.216 \quad (2.12)$$

式中 f_{ck} 表示混凝土抗压强度标准值, θ 为钢管混凝土轴压套箍指数。

本文所有的试件尺寸的长细比均较小, 忽略失稳破坏可能。

从上图可以看出数值计算结果与上述计算理论的承载力差值分别为: C30: -21%、-29%、14%及-24%; C40: -19%、-13%、37%及-16%; C50: -20%、-9%、33%、-17%。可以看出除了蔡绍怀提出的计算理论结果均较数值计算结果大以外, 其余的计算理论均较小。其中韩林海提出的计算理论计算结果与数值计算结果最接近。从构件的荷载位移曲线上也可以看出随着混凝土强度的增大, 曲线表现得越“陡”, 这是因为混凝土强度越高, 试件的整体刚度越大。

3 结论

将有限元分析结果与理论计算结果对比发现模拟的极限承载力介于规范和韩林海推荐的公式计算结果之间, 且偏差不大, 由计算结果对比看出, 蔡绍怀推荐的公式结果偏大, 尤其是当构件的截面尺寸较大时, 计算的结果会更大。Shell1181单元与Solid65单元组合能够很好地模拟钢管混凝土的非线性性能。

[参考文献]

[1] 杨光, 邓书辉, 刘文洋, 等. 设置横隔板方钢管混凝土柱轴压性能有限元非线性分析[J]. 低温建筑技术, 2018, 40(04): 37-40.

[2] 谈忠坤, 李刚, 汪幼林, 等. 型钢-方钢管混凝土轴压短柱非线性分析[J]. 建筑结构, 2016, 46(04): 62-67.

[3] 陈建城, 潘艳, 李娜. 钢管混凝土承载力计算理论分析, 建材与装饰, 2018, (16), 80-81.

作者简介:

罗穿云(1992--), 男, 汉族, 云南省曲靖市人, 硕士研究生, 云南能投昭通产业发展有限公司, 研究方向: 组合结构, 从事工作: 项目管理。