

文章编号: 1008-1542(2011)02-0183-04

高温下混凝土 T 形柱正截面承载力分析

李其廉¹, 张学辉¹, 郑世夺¹, 张冀男²

(1. 河北科技大学建筑工程学院, 河北石家庄 050018; 2. 华中科技大学建筑与城市规划学院, 湖北武汉 430074)

摘要: 利用有限元软件实现了钢筋混凝土 T 形柱构件正截面承载力-变形全过程模拟, 计算结果与试验数据吻合良好, 在此基础上, 将不同温度下混凝土和钢筋的本构关系代入 T 形柱有限元模型, 重点分析了不同温度下钢筋混凝土 T 形柱构件的正截面承载能力和变形能力, 初步研究了火灾对混凝土 T 形柱构件正截面承载能力的影响, 为异形柱构件耐火性能研究提供了依据。

关键词: 混凝土; T 形柱; 本构关系; 有限元; 高温

中图分类号: TU375.3 文献标志码: A

Study on normal section bearing capacity of concrete T-shaped columns under high temperature

LI Qi-lian¹, ZHANG Xue-hui¹, ZHENG Shi-duo¹, ZHANG Ji-nan²

(1. College of Civil Engineering and Architecture, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang Hebei 050018, China; 2. Architecture and Urban Planning School, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: The normal section bearing capacity-deformation curve of reinforced concrete T-shaped columns was simulated by finite element software, and the result was in good agreement with the test data. On this basis, the constitutive relation of reinforcing bar and concrete at different temperature were introduced into the T-shaped columns model, the normal section bearing capacity and deformation capacity of T-shaped columns at different temperature were analyzed, and the influence of fire on normal section bearing capacity of reinforced concrete T-shaped columns was preliminary studied, which provide foundation for fire resistance of specially shaped columns.

Key words: concrete; T-shaped column; constitutive relation; finite element; high temperature

异形柱是指截面几何形状为 L 形、T 形及十字形等, 且截面各肢的肢高肢厚比不大于 4 的柱, 异形柱结构体系就是采用异形柱的框架结构和框架-剪力墙结构^[1]。异形柱结构具有节约土地资源、减轻建筑自重、增加使用面积、适应功能变化需求等特点, 该结构形式已在全国许多地区得到应用推广, 具有良好的发展前景。国内外对异形柱构件、节点及框架进行了大量试验和理论研究, 取得了丰富的研究成果^[2-6]。由于异形柱构件特殊的截面形式, 高温条件下其受火面积与普通矩形柱相比更大, 因此专家学者对异形柱构件的耐火性能也进行了相关研究^[7-8], 但由于高温下异形柱结构的试验研究较难实现, 因此目前研究仅限于高温下异形柱构件单轴受力方面, 且多以理论或有限元研究为主。笔者利用有限元软件实现了钢筋混凝土 T 形柱构件正截面承载力-变形全过程模拟, 计算结果与试验数据吻合良好, 在此基础上, 将不同温度下钢筋和混凝土

收稿日期: 2010-10-15; 修回日期: 2011-01-04; 责任编辑: 冯 民

基金项目: 河北省教育厅自然科学基金资助项目(Z2010250); 河北省科技厅自然科学基金资助项目(10215677)

作者简介: 李其廉(1965-), 男, 河北邢台人, 高级工程师, 硕士, 主要从事建筑物检测方面的研究。

的本构关系代入 T 形柱有限元模型,重点分析了不同温度下钢筋混凝土 T 形柱构件的正截面承载能力和变形能力,初步研究了火灾对混凝土 T 形柱构件正截面承载能力的影响,为异形柱构件耐火性能研究提供了依据。

1 T 形柱正截面承载力试验

根据实际工程情况,按现行异形柱规程设计制作了 2 个 1/3 缩尺 T 形柱构件,试件截面尺寸见图 1。

T 形柱混凝土设计强度等级为 C25,柱纵筋及箍筋采用 HPB235 级钢筋,纵筋直径 12 mm,箍筋直径 6 mm,构件 T-1 箍筋间距 50 mm,构件 T-2 箍筋间距 60 mm,纵筋保护层厚 10 mm。

对 2 个 T 形柱进行正截面承载力试验,试验结果如图 2 所示,同时笔者将试件的混凝土及钢筋实际量测得到的本构关系曲线代入 Ansys 有限元模型,对 2 个 T 形柱进行了正截面承载力非线性模拟。

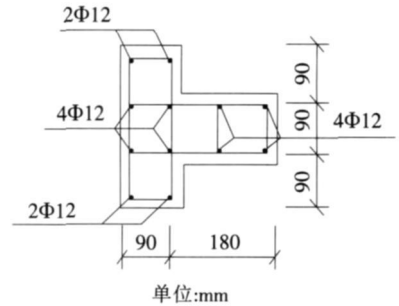


图 1 T 形柱截面尺寸

Fig. 1 Section size of T-shaped columns

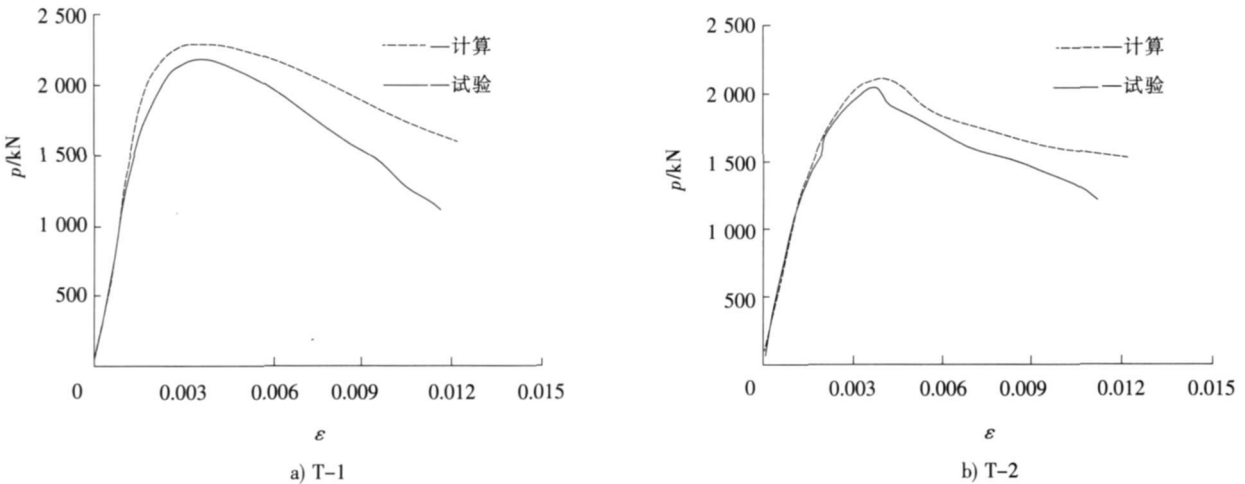


图 2 T 形柱正截面荷载-变形曲线

Fig. 2 Normal section load-deformation curves of T-shaped columns

由图 2 可知,利用 Ansys 软件可以较好地模拟常温下 T 形柱正截面受力过程。因此可以认为,假定将高温状态下混凝土及钢筋的本构关系代入 T 形柱有限元模型,在无需试验的情况下便可较好地模拟高温下 T 形柱的正截面受力过程,初步研究了高温下 T 形柱正截面的受力特性。

2 高温下混凝土及钢筋的本构模型

2.1 混凝土

混凝土和钢筋 2 种材料在高温下的本构关系是分析钢筋混凝土结构在火灾中反应的基础,因此研究混凝土和钢筋在高温下的本构关系是十分必要的。国内外研究者作了大量的试验研究,但由于混凝土本身组成成分的复杂性,所以试验数据差距较大,必须在已有的试验数据基础上作一些假设。由于混凝土本身有很多特殊的本构现象,不同的学者根据材料的性质、受力的条件和大小、试验方法、不同的理论模型等因素综合考虑,建立了不同的混凝土本构模型。

混凝土单轴应力-应变关系的主要参数有初始弹性模量、极限应力、峰值应力对应的应变、初始泊松比等,而这些参数都是温度的函数,这方面的试验数据较少。笔者选用的混凝土抗压强度与温度简化模型^[8]如下所示:

$$f_{cu} = \frac{f_{cu}}{1 + 2.4(t - 20)^6 \times 10^{-17}} \quad (1)$$

初始弹性模量与温度的关系表达式:

$$E_{0t} = (0.83 - 0.0011t)E_0 \tag{2}$$

峰值割线模量与温度的关系表达式:

$$E_{pt} = (0.83 - 0.0011t)E_p \tag{3}$$

认为高温下混凝土其余荷载点的割线模量随温度近似线性变化。笔者采用文献[9]建议的模型,适用范围 $60\text{ }^\circ\text{C} < t \leq 700\text{ }^\circ\text{C}$, $700\text{ }^\circ\text{C}$ 后混凝土的割线模量很小,因此认为温度超过 $700\text{ }^\circ\text{C}$ 后混凝土弹性模量为 0,同时认为常温($20\text{ }^\circ\text{C}$)和 $60\text{ }^\circ\text{C}$ 之间混凝土弹性模量成直线变化。则有:

$$\begin{aligned} E' &= (1.118 - 0.0095t)E, & 20\text{ }^\circ\text{C} < t \leq 60\text{ }^\circ\text{C}, \\ E' &= (0.83 - 0.0011t)E, & 60\text{ }^\circ\text{C} < t \leq 700\text{ }^\circ\text{C}, \\ E' &= 0, & t > 700\text{ }^\circ\text{C}. \end{aligned} \tag{4}$$

2.2 钢 筋

国内外关于高温下钢材的屈服强度计算方法很多,结合国内已有的研究成果,高温下钢筋屈服强度的简化计算式可取为

$$\begin{aligned} f_{yt} &= f_y, & t \leq 400\text{ }^\circ\text{C}, \\ f_{yt} &= [1 + 2.33 \times 10^{-4}(t - 20) - \\ & 5.88 \times 10^{-7}(t - 20)^2]f_y, & 400\text{ }^\circ\text{C} < t \leq 1200\text{ }^\circ\text{C}, \\ f_{yt} &= 0, & t > 1200\text{ }^\circ\text{C}. \end{aligned} \tag{5}$$

假定恒高温状态下钢筋弹性模量等于常温下弹性模量。

3 高温下 T 形柱正截面承载力分析

3.1 有限元模型

设计建立 T 形柱有限元模型如图 3 所示, T 形柱柱肢高为 600 mm, 肢厚为 200 mm, 混凝土设计强度等级为 C30; 柱纵筋采用 HRB400 级钢筋, 直径为 22 mm; 箍筋采用 HPB235 级钢筋, 直径为 8 mm, 间距为 150 mm。异形柱模型采用分离式建模, 混凝土单元采用 Solid65 单元, 钢筋采用 Link8 单元, 均匀分布于实体中, 认为钢筋与混凝土单元之间黏结良好, 不考虑二者之间滑移的影响。

常温下 C30 混凝土本构关系模型由《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002) 附录 C 中提出的混凝土单轴本构关系模型^[10-11] 计算得到, 并根据文中式(1)–式(4) 计算得到温度分别为 200, 400 和 600 $^\circ\text{C}$ 时 C30 混凝土本构关系曲线, 见图 4。

由于本文假定的高温下钢筋本构关系较为简单, 故不再列出高温下的钢筋本构关系。将不同温度下混凝土和钢筋本构模型代入上述 T 形柱有限元

模型, 即可分析不同温度下 T 形柱正截面承载力特性。

3.2 计算结果

计算得到不同温度下 T 形柱正截面极限承载力-位移如表 1 所示。

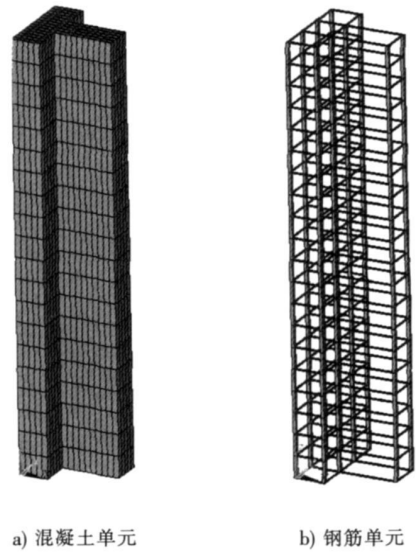


图 3 T 形柱有限元模型

Fig. 3 Finite element model of T-shaped columns

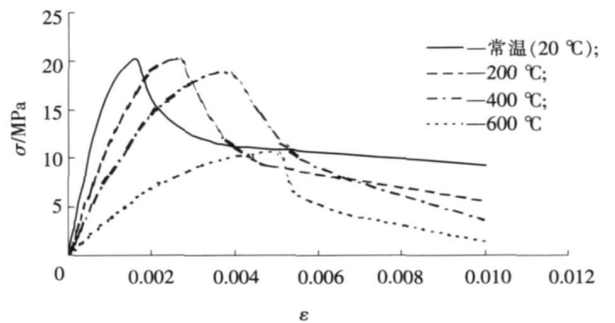


图 4 不同温度下 C30 混凝土单轴本构关系曲线
Fig. 4 Uniaxial constitutive curve of C30 concrete under different temperatures

表1 不同温度下T形柱正截面极限承载力-位移

Tab. 1 Ultimate load-displacement of T-shaped columns at different temperatures

试件	TG-20	TG-200	TG-400	TG-600
极限荷载/kN	7 021.6	6 818.4	6 296.9	4 064.1
轴向位移/mm	6.156	8.356	12.356	16.356

由表1可知,随温度的不断增大,T形柱正截面极限承载力不断减小,轴向变形能力不断增大,特别是当温度达到400℃以后,T形柱正截面极限承载力下降更为显著,当温度达到600℃时,正截面极限承载力仅为常温下(20℃)的58%,极限荷载对应的轴向变形为常温时的2.66倍。不同温度下T形柱正截面荷载-变形曲线如图5所示。

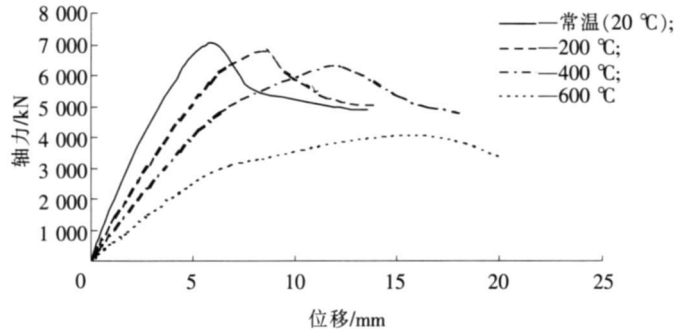


图5 不同温度下T形柱正截面荷载-变形曲线

Fig. 5 Load-deformation curves of T-shaped column under different temperatures

4 结论

1) 利用有限元软件实现了混凝土T形柱构件正截面承载力-变形全过程模拟,计算结果与试验数据吻合良好,表明Ansys有限元软件可以较好地模拟T形柱正截面受力过程。

2) 将不同温度下混凝土和钢筋的本构关系代入T形柱有限元模型,分析了不同温度下T形柱正截面承载能力和变形能力,初步研究了火灾对混凝土T形柱构件正截面承载能力的影响,为异形柱构件耐火性能研究提供了依据。

3) 笔者仅考虑了温度达到恒定时T形柱的正截面受力过程,而未考虑升温过程中异形柱截面内温度场分布及变化情况,由于异形柱特殊的截面形式,火灾时其截面内部温度场分布及变化情况对异形柱承载力有不可忽视的影响,今后应对这方面的工作进行深入研究。

参考文献:

- [1] JGJ 149—2006, 混凝土异形柱结构技术规程[S].
- [2] YAU C Y, CHAN S L, SO A K W. Biaxial bending design of arbitrarily shaped reinforced concrete column[J]. ACI Structural Journal, 1993, 90(3): 269-278.
- [3] 李杰, 吴建营, 周德源, 等. L形和Z形宽肢异形柱低周反复荷载试验研究[J]. 建筑结构学报(Journal of Building Structures), 2002, 23(1): 9-15.
- [4] 黄珏, 肖建庄, 葛亚杰, 等. 异形柱框架节点受力性能研究进展与评述[J]. 结构工程师(Structural Engineers), 2002(1): 52-57.
- [5] 王铁成, 张学辉, 康谷贻. 两种混凝土异形柱框架抗震性能试验对比[J]. 天津大学学报(Journal of Tianjin University), 2007, 40(7): 791-798.
- [6] 张学辉, 李其廉. 高轴力下钢筋混凝土异形柱节点受力性能研究[J]. 河北科技大学学报(Journal of Hebei University of Science and Technology), 2010, 31(5): 472-478.
- [7] 吴波, 徐玉野. 高温下钢筋混凝土异形柱的试验研究[J]. 建筑结构学报(Journal of Building Structures), 2007, 28(5): 24-31.
- [8] 吴波, 徐玉野. 高温下钢筋混凝土异形柱的数值分析方法[J]. 工程力学(Engineering Mechanics), 2008, 25(6): 94-106.
- [9] 蒋首超, 李国强. 局部火灾下钢框架温度内力的实用计算方法[J]. 工业建筑(Industrial Construction), 2000, 30(9): 58-63.
- [10] GB 50010—2002, 混凝土结构设计规范[S].
- [11] 朱伯龙, 陆洲导, 胡克旭. 高温(火灾)下混凝土与钢筋的本构关系[J]. 四川建筑科学研究(Building Science Research of Sichuan), 1990(1): 37-43.
- [12] 陈曦, 陈春雷. 简述钢管混凝土的几种改进形式[J]. 河北工业科技(Hebei Journal of Industrial Science and Technology), 2009, 26(2): 112-117.