

高温时高强混凝土轴心受压柱力学性能研究

黄丽艳, 徐彬

(昆明理工大学 建筑工程学院, 云南 昆明 650224)

摘要: 应用大型有限元分析软件 ANSYS 对高温作用下的高强混凝土轴心受压柱 (C60) 进行了仿真模拟, 研究了轴压柱在不均匀温度场下的温度分布, 并采用先升温后加载的顺序单向耦合法, 对轴压柱的高温力学性能进行了理论分析, 给出了柱荷载-挠度全过程曲线, 通过与试验结果的对比表明, 采用本文方法进行高强混凝土柱抗火性能的分析是可行的。

关键词: 混凝土柱; 轴心受压柱; 荷载-挠度曲线; 耐火性能

中图分类号: TU 528. 31 文献标识码: A 文章编号: 1007- 855X(2006) 01- 0074- 03

Study on Mechanical Property of High-Strength Concrete Axial Compression Column at High Temperature

HUANG Li-yan, XU Bin

(Faculty of Civil and Architecture Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650224, China)

Abstract The simulated experiment is done with high-strength concrete (HSC) axial compression column at high temperature. Using FEA program ANSYS, the temperature distribution of the section at non-uniform temperature field is analyzed. At the same time, through the way to elevate the temperature first and load at last, a theoretical study is made on the mechanical properties at high temperature and the load-deformation curve of HSC axial compression column is compiled. The calculation and the test results show that the proposed method is proven workable to the analysis on fire-resistance behavior of HSC construction.

Key words reinforced concrete columns; axial compression column; load-deformation curve; fire-resistant property

0 引言

柱子是建筑结构中非常重要的构件, 一旦在火灾中产生破坏, 其后果是非常严重的, 从现有资料来看, 目前大多数研究局限于普通强度混凝土 (C20~ C40), 对高强混凝土轴心受压柱的研究还不多。鉴于在火灾下, 大量柱子可能处于三面受火状态 (如房间的边柱), 本文将采用有限元分析软件对三面高温作用下的高强混凝土柱进行热传导问题的求解以及承载力和变形的分析, 并与试验结果对比, 为高强混凝土柱抗火设计及理论分析提供参考。

1 试验概况^[1]

设计试件为两端铰支高强混凝土轴心受压柱。设计混凝土强度为 C60, 纵筋和箍筋均采用 I 级钢。试件尺寸如图 1 所示, 为了避免柱端发生局压破坏, 柱两端设小牛腿。试件经

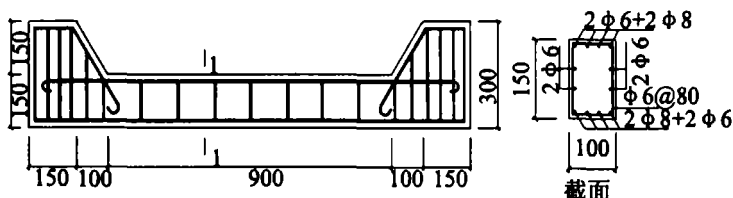


图1 试件尺寸及配筋图

Fig.1 Specimen size and distribution of steel bars

收稿日期: 2005- 05- 08

第一作者简介: 黄丽艳 (1979~), 女, 硕士研究生. 主要研究方向: 高层建筑. E-mail: hly_816@126.com

振动捣实、养护 3d 后拆模, 并在自然环境气干 40d 后实验. 因试验炉竖立放置试验难度较大, 且炉内电阻丝下垂引起炉腔温度分布不均匀, 因此将试验炉平放.

2 温度场的计算

高强混凝土的材料性能与力学性能与普通混凝土均有较大差异, 其高温力学性能也必然有所不同. 进行钢筋混凝土柱抗火性能的理论分析, 了解高温下钢筋混凝土柱的强度和变形规律, 首先必须分析钢筋混凝土柱的温度场. 在火灾中, 钢筋混凝土构件截面的温度分布随着时间发生变化, 可见钢筋混凝土柱的温度场分析是一个非线性瞬态热传导问题, 基本微分方程是一个非线性抛物线型偏微分方程^[2].

下面对截面温度场的计算结果和实测结果进行对比, 验证用有限元软件进行理论分析的可行性. 试件的截面尺寸为 100 mm × 150 mm, 长度为 1 400 mm, 因试件长度远大于试件的截面尺寸, 且试验炉体中间段的温度分布均匀, 因此可简化为截面的二维温度场问题. 边界条件为底面和两侧面高温加热, 介质温度可由炉腔升温曲线获得, 顶面为非加热面, 其介质为常温取为 20℃^[3]. 受热面的升温曲线荷载步及测点布置分别如图 2 和图 3 所示.

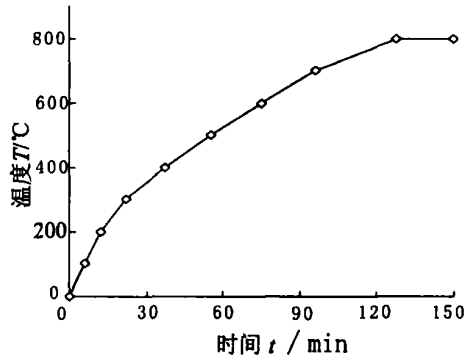


图2 试验炉实测升温曲线荷载步
Fig.2 Load steps of practically elevated temperature of oven

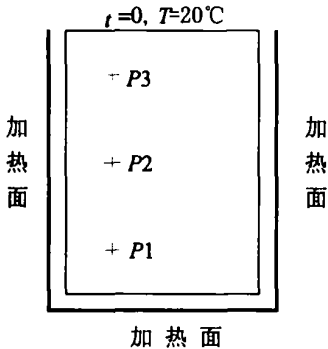


图3 截面测点布置图

Fig.3 Distribution of calculated points in section

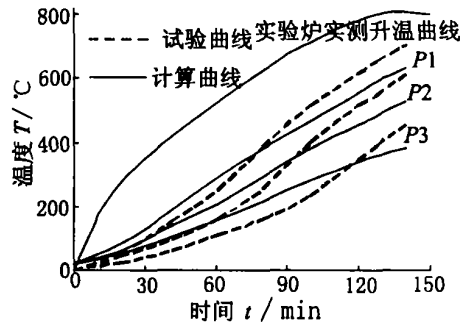


图4 截面测点的温度与时间变化关系

Fig.4 Variation of the temperature of calculated points with time change

图 4 为三面受热高强混凝土柱截面上不同位置点温度随时间变化曲线的实测值与计算值对比, 由图可知, 计算结果与实测结果吻合较好, 误差不大. 加热初期各测点温度的计算值均稍大于实测值, 到了后期实测曲线温度的增长均超过了计算曲线, 但两者之间的差值并不大, 表明有限元软件对钢筋混凝土柱的温度场分析计算是足够可靠的. 图 5 为温度稳定后构件截面的温度带. 由图可知, 截面最高温度为 742℃, 出现在侧面与底面的交界处, 虽然经历了 140 min 的加热作用, 直接受热底面的温度与炉腔内温度高达 800℃ 的空气仍有一定的差值, 表明在表面交界处温度有一突变; 最低温度为 222℃, 出现在顶面的中部, 与实际受热情况非常吻合, 截面温度梯度分布不均匀, 内核区温度梯度小, 靠近表面的区域梯度较大.

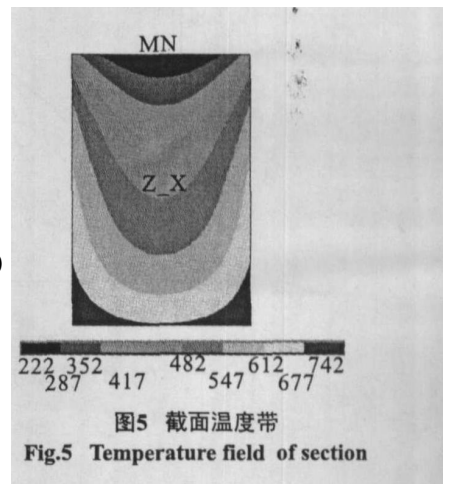


图5 截面温度带
Fig.5 Temperature field of section

3 承载力及变形分析

有限元分析的算例为两种温度工况下 (HT6 HT8) 的轴心受压柱 (即对构件以 $5 \sim 10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ 的升温速度升温至预定温度 $600 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $800 \text{ }^\circ\text{C}$ 并稳定 10 min 后, 以 0.2 kN/s 的加载速度对构件施加轴向力直到试件破坏)。

3.1 宏观现象

试件在加载以前, 由于不均匀温度场的作用, 使得构件沿轴向变形不一致, 高温面膨胀要大于低温面, 产生初始挠度 (设为负值) 且凸向高温面 (见图 5(a)), 当施加荷载时, 由于高温作用使混凝土受热面材料性能发生改变, 弹性模量变小, 因而高温面压应变大于低温面, 即截面由荷载产生的应变梯度与自由升温时不均匀膨胀产生的应变梯度方向相反, 促使试件的挠度向初始挠度的反方向发展, 挠度凹向高温面 (见图 5(b))。有挠度必然产生附加弯矩, 因此构件一开始就处于压弯状态, 构件破坏最终是由轴力和弯矩共同作用下产生, 挠度越大, 附加弯矩越大, 构件极限承载力越低。

3.2 承载力及变形分析

表 1 为温度稳定后柱中点挠度的计算值和试验值的对比, 从表 1 可见, 计算值和试验值相差不大, 说明以有限元分析软件计算的柱内部温度分布和变形是可靠的, 这为后续的加载计算提供可能。

应用有限元软件 ANSYS 进行高强混凝土柱有限元分析时, 混凝土和钢筋采用分离式模型, 且采用先升温后加载的单向顺序耦合, 计算了经高温作用的轴心受压柱力学性能, 并给出了柱中点的荷载-挠度全过程曲线 (见图 6), 其中实线为计算曲线, 虚线为实测曲线。由于计算时采用的混凝土本构关系为弹性-硬化塑性-断裂模型, 混凝土应力达到破坏强度时即发生破坏, 故构件荷载-挠度曲线只能得到上升段, 无下降段。由图观察可知, 计算曲线与实测曲线的变化规律基本相同, 且随着温度的升高 (即达到 $800 \text{ }^\circ\text{C}$ 时), 其计算值偏于保守, 这是由于计算中没有考虑裂缝等因素对承载力的影响。

表 1 温度稳定后柱中点挠度的计算值和试验值的对比

Tab 1 Comparison of column-center deformation between calculation and experiment after stable temperature

试件编号	HT6	HT8
计算值/mm	-3.69	-6.43
试验值/mm	-3.4	-6.6

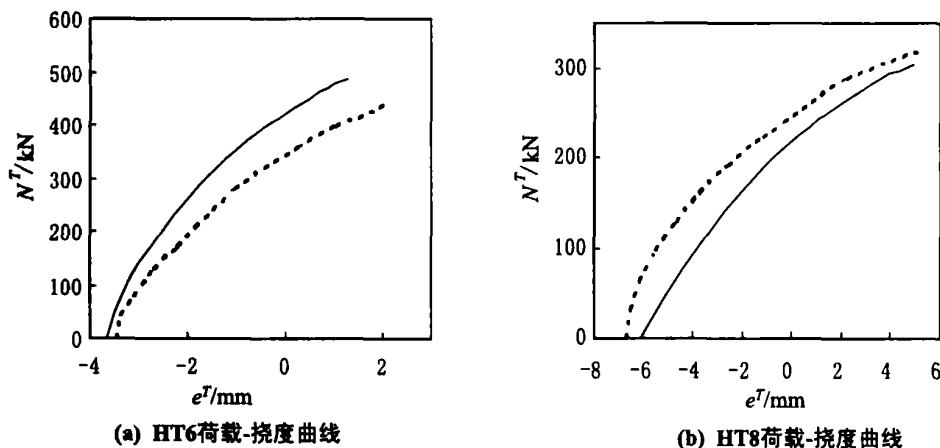


图 6 HT6 和 HT8 荷载-挠度曲线
Fig.6 Load-deformation curve of HT6 and HT8

(下转第 88 页)

含量较低的优势;巨龙竹硫酸盐法蒸煮成浆容易,具有撕裂强度远高于针叶木硫酸盐浆的特性.其远较其它竹种高得多的单产量与良好的制浆造纸性能使其具备了在德宏州可作为制浆造纸竹浆林基地建设的主要竹种之一.

参考文献:

- [1] 西南林学院,云南省科学技术委员会,云南省林业厅,等.云南竹类资源及其开发利用[M].昆明:云南科技出版社,1995. 5~12, 58~60, 110~114
- [2] 辉朝茂,郝吉明,杨宇明,等.关于中国竹浆产业和纸浆竹林基地建设的探讨[J].中国造纸学报,2003,18(1):152~155
- [3] 辉朝茂,杨宇明,杜凡,等.云南竹林基地建设应重视竹种选择和发展区划问题[J].云南林业,2004,25(2):24~25
- [4] 谭宏超,武国华.巨龙竹的栽培及效益分析[J].云南林业,2003,24(3):19
- [5] 杜凡,赵晓惠,杨宇明,等.巨龙竹的变异类型及其引种区划的研究[J].竹子研究汇刊,2001,20(1):19~26
- [6] 普晓兰.巨龙竹生物学特性的研究[J].南京林业大学学报(自然科学版),2004,28(2):93~93
- [7] 普晓兰,杜凡.巨龙竹竹材结构及其变异的解剖学研究[J].西南林学院学报,2003,23(1):1~5
- [8] 杨本鹏,张树珍,辉朝茂,等.巨龙竹的组织培养和快速繁殖植物[J].生理学通讯,2004,40(3):346~346
- [9] 中国轻工业标准汇编.造纸卷(上、下册)[M].北京:中国轻工出版社,1999
- [10] 石淑兰,何福望.制浆造纸分析与检测[M].北京:中国轻工出版社,2003. 1~48, 91~116, 159~163
- [11] 制浆造纸手册编写组.制浆造纸手册(第一分册:纤维原料和化工原料)[M].北京:轻工出版社,1988. 143, 147~150, 173~175
- [12] 制浆造纸手册编写组.制浆造纸手册(第三分册:碱法制浆)[M].北京:轻工出版社,1988. 242~268
- [13] 杨淑蕙.植物纤维化学·第三版[M].北京:中国轻工出版社,2001. 18~19, 47
- [14] 胡惠仁,石淑兰,魏德津.四种竹材硫酸盐法制浆的比较[J].天津造纸,1999,(4):2~8
- [15] 朱先军,伍红,詹怀宇,等.粤东四种竹子硫酸盐法制浆的研究[J].造纸科学与技术,2004,23(2):10~11
- [16] 造纸工业碱回收编写组.造纸工业碱回收[M].北京:轻工出版社,1979. 59, 204

(上接第 76 页)

表 2 为构件破坏时,柱的极限承载力 N_u^T 、柱中点最大挠度 e_u^T 等的计算值和试验值的对比.试件 HT6 的极限承载力及由外加荷载所引起的附加弯矩的计算值偏大于实测值,而柱中点最大挠度偏小;试件 HT8 的极限承载力和附加弯矩的计算值小于实测值,而附加弯矩的计算结果偏大于实测结果.

表 2 柱极限承载力及挠度的计算值和试验值的对比

Tab 2 Comparison of ultimate load and center deflection between calculation and experiment

试件 编号	恒温值 /°C	极限承载力 N_u^T /kN		柱中点最大挠度 e_u^T /mm		附加弯矩 N_u^T /kN·m ⁻¹	
		计算值	实测值	计算值	实测值	计算值	实测值
HT6	600	484	425	1.25	2.2	0.935	0.605
HT8	800	305	318	4.93	5.4	1.717	1.50

4 结 语

在加热初期,柱内测点温度的计算值稍大于实测值,随着温度的升高,实测温度的增长较快,超过了计算曲线,但两者相差不大,其荷载-挠度变化规律与实测曲线基本相同,当恒温值较高时,承载力的计算值偏小,但误差不大.通过试验值和计算值的对比分析表明:以有限元分析软件计算的混凝土柱内部的温度分布和变形作为后续加载计算的初始条件是可行的,在分析柱的高温力学性能时采用先升温后加载荷载步法所得到的结果是可参考的.

参考文献:

- [1] 胡海涛.三面高温时混凝土轴心受压柱强度和变形试验研究[J].建筑结构,2004,34(1):48~50
- [2] 孙劲峰.多种温度工况下钢筋混凝土基本构件性能的比较研究:[硕士学位论文][D].北京:清华大学,2001
- [3] 胡海涛.高温时高强混凝土压弯构件的试验研究及理论分析:[博士学位论文][D].西安:西安建筑科技大学,2002