

文章编号:1007-6743(2006)01-0049-04

ANSYS 在建筑结构火灾反应分析中的应用

姚会兰¹, 贾春芬¹, 智会强², 路世昌²

(1. 天津滨海快速交通发展有限公司, 天津 300457; 2. 公安部天津消防研究所, 天津 300381)

摘要:介绍了 ANSYS 软件的基本功能, 结合建筑结构的火灾反应特点和 ANSYS 的自身特点, 分析了将其用于火灾反应分析的基础, 建立了用其进行火灾反应分析的方法; 用 ANSYS 分析了火灾下钢框架整体反应特性, 分析结果表明: 用 ANSYS 进行火灾反应分析是可行的、有效的。

关键词:ANSYS; 有限元法; 建筑结构; 火灾反应; 耦合分析

中图分类号: TU312

文献标识码: A

随着建筑形式的现代化, 建筑结构的防火问题越来越受到人们的重视, 尤其是 911 事件之后, 人们更加认识到建筑结构防火的重要性。目前, 世界各国在建筑结构耐火设计研究领域开展了广阔而深入的研究, 取得了巨大成果, 主要集中在: (1) 结构材料在火灾下的性能研究。如钢材在高温下的屈服强度、抗压强度、弹性模量、应力-应变曲线; 混凝土在高温下的抗压强度、抗拉强度、粘结强度、弹性模量、应力-应变曲线; 钢筋的导热系数、比热、容重、线膨胀率。(2) 建筑构件的标准耐火实验方法及设备。(3) 混凝土构件内温度场研究。(4) 钢构件、钢筋混凝土构件及结构单元的耐火性能研究。(5) 钢构件耐火保护方法及保护材料研究。(6) 失火分区火灾性状研究与预测^[1]。但相对于其它领域来说, 在火灾科学领域, 应用大型软件进行建筑结构的火灾反应分析相对较少, 而现在一些通用软件从功能上来说, 完全具有进行火灾反应分析的能力, 比如 ANSYS。本文结合建筑结构的火灾反应特点和软件 ANSYS 的自身特点, 分析了 ANSYS 用于火灾反应分析的基础, 建立了利用 ANSYS 进行火灾反应分析的方法, 并给出了应用 ANSYS 进行分析的具体实例。

1 ANSYS 及有限元法简介

ANSYS 容结构、传热、流体、电磁、声学 and 爆破

分析与一体, 能够同时模拟结构、热、流体、电磁以及多物理场间的耦合效应, 在航空航天、土木工程、能源动力、石油化工、机械制造、电子、生物医学、水利等领域都有着广泛的应用。

ANSYS 软件主要分为三个模块: 前处理模块、分析计算模块和后处理模块。前处理模块提供了一个强大的实体建模和网格划分工具, 用户可以方便地构造有限元模型; 分析计算模块是用来对已生成的有限元模型进行各种物理分析和有限元求解的, 包括结构分析、流体动力学分析、热分析、电磁场分析等, 可模拟多种物理介质的相互作用, 具有灵敏度分析及优化分析能力; 后处理模块可将计算结果以彩色等值线显示、梯度显示、矢量显示、粒子流迹显示、立体切片显示等, 也可将计算结果以图表、曲线等形式显示或输出。

2 火灾反应分析

2.1 火灾反应特性

建筑结构的火灾反应是从起火时便开始的, 可燃物一旦着火燃烧, 释放出的热量经对流、辐射作用于结构表面, 再经热传导传向结构内部, 从而在结构内部形成一非均匀的温度场, 即引起结构的热反应。升温的结构材料发生一系列物理化学变化导致其力学性能发生改变, 进而材料的结构强度、刚度和变形能力发生变化而引起力学反应,

收稿日期: 2005-09-26

作者简介: 姚会兰(1973-), 女, 江西抚州人, 天津滨海快速交通发展有限公司建筑经济师, 从事建筑防灾、减灾, 工程管理。

超静定结构还产生温度作用下的内力重分布现象。在火灾作用下,建筑结构可能会被迅速破坏,乃至失去支撑能力而坍塌。

2.2 分析方法

对于结构火灾反应分析的第一个步骤,即火灾分析,可以用目前流行的 CFD 软件进行解决,比如用 CFX,其也是 ANSYS 公司旗下的软件。在火灾分析中,通常做一系列简化假设,例如火灾被控制在有限范围内、该空间内温度分布均匀等,然后给出该空间内的温度随时间上升的简化公式。第二步是热分析,正好是 ANSYS 软件的强项,根据火灾环境内的温度分布,对建筑结构进行热分析,求出建筑构件内的温度场。第三步是结构分析。另外,ANSYS 还可以完成多物理场的耦合分析,对于建筑结构火灾反应分析来说,进行热-结构耦合分析是必须的。

2.3 应用方法

进行建筑结构的火灾反应分析,主要是对建筑结构进行热-结构耦合分析,根据 ANSYS 和建筑结构火灾反应分析的特点,可以采用以下两种方法:

1) 间接法:首先进行热分析,计算出结构的温度场;再进行结构分析,将热分析得到的温度场作为体载荷施加在结构中,结合结构分析的其它荷载得到结构对火灾的反应。

间接法可以应用热分析和结构分析的所有功能。

2) 直接法:直接应用具有温度自由度和结构自由度的耦合单元,最后可同时得到热分析和结构分析的结果。

3 分析实例

— 3 层 3 跨连续钢框架,层高 3m,柱间距 5.5m,所有柱角固定,右侧设侧向支撑,柱顶受集中荷载,外侧柱的荷载值为 75.5kN,内侧柱的荷载为 151kN,所有横梁受均布荷载 25.4kN/m,梁和柱均为标准工字型界面。假定火灾发生在左端一防火间。具体模型见图 1。

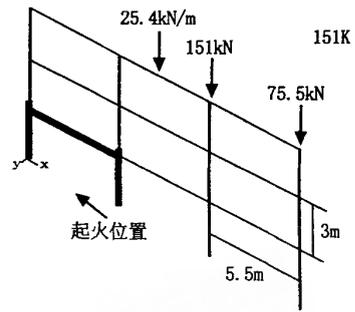


图1 钢框架模型

3.1 火灾分析

有关室内火灾的发展过程,现在已有许多比较成熟的模型,如:经验模型、区域模型、场模型、网络模型等。比较常用的火灾模拟软件有 CFAST、FDS、JASMIN、FLUENT、PHONICS、CFX、STAR-CD 等。其中 CFAST 为区域模型,其余均为场模型。我们可以选择以上任何软件进行火灾分析,当然,也可采用其它方法进行火灾分析。在此,我们直接应用最常见的标准火模型进行分析,该模型定义室内温度上升和时间的关系为:

$$T = T_0 + 3451g(8t + 1) \quad (1)$$

其中: T - 温度($^{\circ}\text{C}$) t - 时间(min) T_0 - 环境温度($^{\circ}\text{C}$)在本例中,取环境温度为 20°C 。

3.2 前处理

由于防火间具有防止火灾蔓延和隔绝热量传递的作用,因此,仅防火间内部的结构构件会有明显的升温过程。为了能准确的模拟防火间的梁和柱的非均匀温度分布和捕捉局部屈曲等现象,防火间的梁和柱采用壳单元,其余部分采用梁单元,在两者的结合处采用约束方程以保证变形协调。整体模型见图 1。

3.3 热分析

ANSYS 根据能量守恒原理进行热分析,共提供了五种热荷载,分别为温度、热流率、对流、热流密度和生热率。本例为瞬态热分析,ANSYS 利用公式(2)进行求解。

$$[C]\{T^{\circ}\} + [K]\{T\} = \{Q\} \quad (2)$$

式中 $[K]$ —传导矩阵,包含导热系数、对流换热系

数及辐射率和形状系数; $[C]$ —比热容矩阵;
 $\{T\}$ —节点温度向量; $\{T'\}$ —温度对时间的导数;
 $\{Q\}$ —节点热流率向量, 包含热生成。

在本例中, 存在三种传热方式导热、对流和辐射。经过计算, 得到了着火房间内钢框架的温度分布。图 2 为横梁左端某处的温度变化曲线。可以看出, 钢框架的温度上升很快, 横梁的温度比较高, 180s 时, 钢框架的最高温度达到了 243℃。

3.4 结构分析

在结构分析方面, ANSYS 可以进行结构静力分析、结构动力分析、结构屈曲分析和结构非线性分析。在本例中, 需要将上一步得到的温度场作为荷载施加到结构上, 然后结合其它的荷载进行应力分析, 最后得到结构的整体火灾反应。

图 3 和图 4 分别为着火房间横梁左端某处的应力和位移变化曲线。可以看到, 在火灾的作用下, 钢框架发生了变形, 整体向左边发生倾斜, 在起火间, 钢框架变形最大。

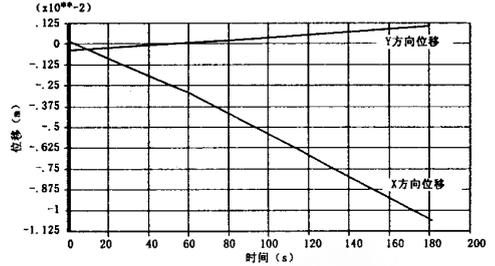


图4 着火房间横梁左端某处的位移曲线

4 结束语

本文在分析火灾环境下建筑结构的反应特性以及 ANSYS 软件的基础上, 建立了用 ANSYS 进行建筑结构火灾反应分析的方法, 通过用 ANSYS 对火灾下钢框架整体反应特性的分析, 可以看到, ANSYS 所具备的热分析、结构分析和耦合场分析的功能, 使其可以出色的完成火灾环境下建筑结构的反应特性的分析。

参考文献:

- [1] 阎慧群, 王清远, 闫宁. 高温下及高温后钢筋混凝土结构性能评述[J]. 重庆建筑大学学报, 2003, 25(3): 110 - 119.
- [2] 东方人华. ANSYS7.0 入门与提高[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [3] BURGESS I W, HUANG Z, PLANK R J. 火灾下钢结构和组合结构的非线性模拟[J]. 建筑钢结构进展, 2004 (3): 68 - 72.
- [4] 范维澄, 孙金华, 陆守香. 火灾风险评估方法学[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [5] 博嘉科技. 有限元分析软件—ANSYS 融会与贯通[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002.

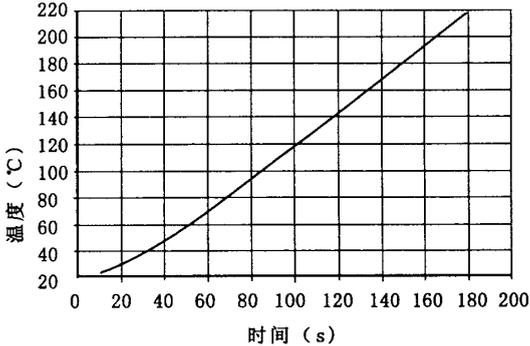


图2 着火房间横梁左端某处的温度曲线

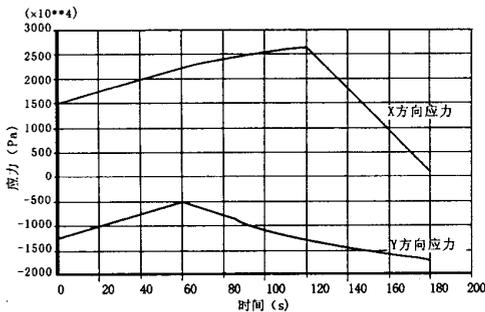


图3 着火房间横梁左端某处的应力曲线

Application of ANSYS to fire-response analysis of building structures

YAO Hui-lan¹, JIA Chun-fen¹, ZHI Hui-qiang², LU Shi-chang²

(1. Tianjin Binhai Mass Transit Co. Ltd., Tianjin 300457, China; 2. Tianjin Fire Research Institute of Ministry of Public Security, Tianjin 300381, China)

Abstract: The basic function of ANSYS was introduced. Based on the characteristic of fire-response analysis and ANSYS, the foundation of applying ANSYS to fire-response analysis was presented. The method of applying ANSYS to fire-response analysis was proposed. Fire-response analysis of Steel Frame Structures was carried out by using ANSYS. The result indicates that fire-response analysis is practicable with high precision.

Key words: ANSYS; finite element method; building structures; fire-response; coupled analysis

(责任编辑 刘存英)

(上接第 48 页)

Numerical analysis of the impacts of cushions for composite foundations

HAO Qiang^{1,2}, WANG Hui-ping^{1,3}

(1. School of Architecture Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. Tianjin Municipal Design & Research Institute, Tianjin 300050, China; 3. School of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Tianjin 300130, China)

Abstract: Based on an actual engineering example and ANSYS numerical analysis, this article studies the characteristics of the rigid composite foundations when the cushions selected. The evidence of the optimal design for the rigid composite foundations is proposed.

Key words: the rigid composite foundations; cushions; pile - soil stress ratio; settlement.

(责任编辑 刘存英)