不同连接方式下门式钢框架结构的抗火性分析

付 鹤

(包钢集团设计研究院,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 此研究是基于ANSYS软件APDL语言的梯度加温模式,研究整体仓库的结构受力。文章展示了火灾下不同连接方式的门式钢框架结构的有限元分析结果。梁、柱间的连接可以通过两种方法来分析:刚接和铰接。铰接下结构的整体变形要比刚接大,而刚接结构下危险部位所承受的等效应力要比铰接结构大。

关键词: 门式钢; 结构抗火; 刚接; 铰接

中图分类号: TU391 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2017)02-0074-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.02.023

Analysis of Fire Resistance for Portal Steel Frame Structure in Different Connection Mode

FU He

(*Design & Research Institute of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014010, *Nei Monggol*, *China*)

Abstract: This research is based on the gradient heating mode of ANSYS software APDL language to study the structure stress of the whole warehouse. This paper shows the finite element analysis result of portal steel frame structure with different connections in fire. There are two ways to analysis the connection between beam and column: rigid connection and pin joint. The overall deformation of pin joint is larger than that of rigid connection, while the equivalent stress suffered by the dangerous parts in rigid structure is larger than that of pin structure.

Key words: portal steel; structural fire resistance; rigid connection; pin joint

随着有限元理论的逐渐成熟以及计算机科学技术的飞速发展,有限元方法被大量的运用于结构分析。由于钢结构种类和结构的千差万别,不可能一一进行抗火试验,而借助于计算机进行耐火有限元分析,可以帮助预测火灾作用下结构的变形和破坏形态,并指导抗火设计,保证火灾发生时结构的安全。本论文利用ANSYS软件对某公司门式钢框架结构的仓库进行了有限元分析,在温度梯度载荷的作用下,对不同的钢结构连接方式的模拟分析和比较,得出了一些在结构防火上具有一定参考价值的结论。

1 钢结构抗火有限元分析法理论基础

1.1 有限元理论基础[1]

对于不同物理性质和数学模型的问题,有限元求解法的基本步骤是相同的,有限元求解问题的基本步骤通常为:

(1)结构的离散化结构的离散化,就是将要分析的结构划分为有限个单元体,把相邻的单元体在节点处连接起来组成单元的集合体,以代替原来的结构。

收稿日期:2016-12-15

作者简介:付 鹤(1988-),男,内蒙古包头市人,助理工程师,现从事轧钢机械设计工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(2) 选择位移函数假定位移函数。其矩阵形式是:

$$\{f\} = [N] \cdot \{\delta\}^{\tau} \tag{1}$$

其中:$\{f\}$ 为单元内任一点的位移列向量;$[N]$ 为形函数矩阵,它的元素是位置坐标的函数;$\{\delta\}^{\tau}$ 为单元的节点位移列向量。

(3) 分析单元的力学模型位移函数选定后,利用几何方程、物理方程、虚功原理得出相应关系式。

(4) 计算等效节点力弹性体离散化后,作为实际的连续体,力是从单元的公共边界传递到另一个单元的。因此,作用在单元边界上的表面力以及作用在单元上的体积力、集中力等都需要等效移置到节点上。

(5) 集合所有单元的刚度方程,建立结构的平衡方程整体刚度方程的矩阵形式为:

$$[K]\{\delta\} = \{R\} \tag{2}$$

其中:$[K]$ 为整体刚度矩阵;$\{R\}$ 为列载荷向量;$\{\delta\}$ 为 整个结构的节点位移矩阵。

该方程还应考虑几何边界条件,作适当的修改之后,才能解出所有未知节点的位移。这样,由集合起来的平衡方程(2),解出未知位移。

1.2　钢结构的温升计算

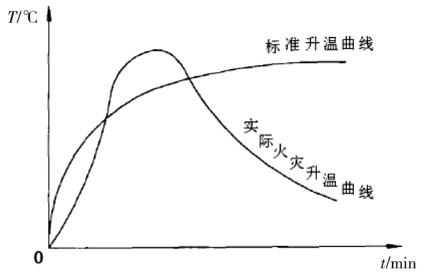


图 1　ISO 标准火与室内火的差别

火灾中空气升温符合 GB 50016—2014,《建筑设计防火规范》中标准升温曲线[2],该曲线没有考虑几何参数和热工参数等因素,与实际火灾有一定的差别(见图 1),但由于其表达式简单,已为大多数国家的研究者采用,即:

$$T_g - T_{g(0)} = 345\lg(8t + 1) \tag{3}$$

其中:T_g 为时间 t 时的室内空气平均温度,℃;$T_{g(0)}$ 为火灾发生前的室内平均空气温度,℃;t 为时间,min。

2　有限元模型的建立

依照施工图纸尺寸建模,柱、主梁和次梁的截面均为“工”型。楼板的厚度为 0.5 m。柱和梁的材料均为 Q235 的钢材,其弹性模量为 2.1 × 1 011 Pa、泊松比为 0.3,且材料的密度为 7 800 kg/m^3。楼板的材料为混凝土,其材料密度 800 kg/m^3、弹性模量为 1.2 × 1 010 Pa、泊松比 0.2。

由于二节点梁单元 Beam188 是基于包含了剪切变形影 响的 Timoshenko 梁理论,非常适合分析细长梁结构,在此采用这种单元来模拟结构的主梁、次梁和立柱。

对于楼板,在火灾下会发生较大的变形,所以采用 Shell63 来模拟楼板。Shell63 兼具有弯曲能力和膜力,它可以承受平面内部载荷和法向载荷,这一点刚好和实际楼板的受力情况吻合。因为结构的对称性,10 跨门式钢结构的仓库模型可简化成 2 跨模型进行应力和应变的分析。根据图纸创建两跨的门式钢框架结构的几何模型,见图 2。

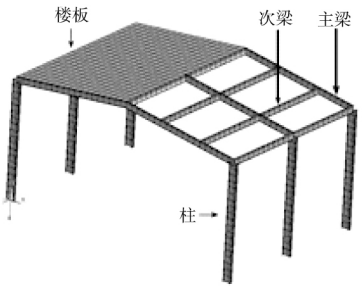


图 2　几何模型

按照路径对梁、柱和楼板划分网格,其 中柱、主梁、次梁全部采用等分单元。共有 1 308 个单元,1 830 个节点。在对楼板划分网格时,应保证其单元节 点与主梁以及次梁的单元节点重合,以方便梁和楼板的耦合。

3　柱、主梁、次梁以及楼板之间的联接

考虑到实际的钢框架结构在柱与主梁的连接位置或是采用焊接,或是用高强度螺栓进行连接。本文为了更加准确地模拟这两种不同的连接方式,对模型实施了耦合。

一个物体在空间任意运动时,可分解为质心 O 的平动和绕通过质心轴的转动,在此以 U_x、U_y、U_z 表示在 x、y、z 方向的移动,用 Rotx、Roty、Rotz 表示绕 x、y、z 轴的转动。

3.1　刚性连接模型

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

刚性连接(Beam Connection)模型,所谓刚接是梁柱之间焊接后的钢结构模型,各焊点处既不能平动又不能转动,即自由度为0。

3.2 铰链连接模型

铰链连接(Pin Connection)模型,模拟的是主梁与柱以高强度螺栓连接起来的模型,主梁与柱不能相对移动,但保留了3个回转自由度。

4 加载过程

为比较两种连接方式在热载荷作用下的力学性能,针对两模型施加相同的载荷:

由于仓库的六个支柱的底部是深埋在地下的,故在柱的底端施加了全约束;考虑到梁、柱及楼板本身的重力,在模型整体结构的 y 方向上施加重力加速度 $g=9.8\ m/s^2$;有关不同区域加载对门式钢框架抗火性能的影响在另篇文章中有研究,此处仅以一根主梁(见图3(a)方框区域)为对象加以说明,采用ANSYS的APDL语言[2]按照公式(3)的ISO标准升温曲线在该梁上施加具有温度梯度的热载荷,参见图3(b)。

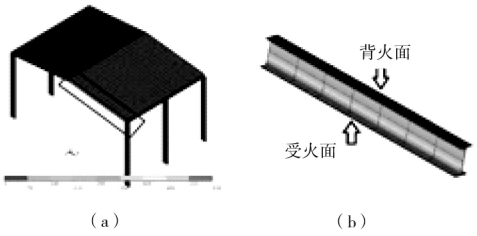


图3 温度梯度载荷

5 计算结果分析

5.1 比较刚接、铰接下整体变形的大小

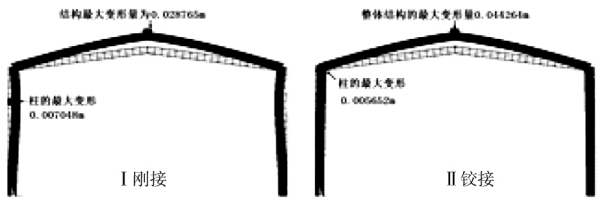


图4 刚接和铰接方式下加载后变形差异

加载完成后,求解计算得到的变形结果。可知结构为刚接时,在温度载荷的作用下最大变形约为2.88 cm,最大变形处为楼板顶尖部位,柱的最大变形为0.7 cm,柱的最大变形处为中部偏上;结构为铰接时,在温度载荷的作用下结构的最大变形约为4.4 cm,最大变形处也为楼板顶尖部位,而柱的最大变形为0.5 cm,柱的最大变形处就是和梁的连接部位。

由于结构的拱膜效应[3]、地面对柱的约束以及主梁的热伸长,使刚接框架的架顶向上撑起,加大了整体的挠度,在加以完全相同的温度载荷的情况下,铰接的形式使结构有 y 方向的更大变形。

5.2 比较刚接、铰接下各部位的等效应力

为更加准确的分析各构件的受力,本文把主梁、次梁、柱和楼板的等效应力等高线图逐一列出,见图5,左侧为刚接方式下的等效应力云图,方框处为最大应力部位,右侧为铰接方式下的等效应力云图,三角形处为最大应力部位。各构件所受的极限等效应力以及应力集中部位的详细数据见表1。

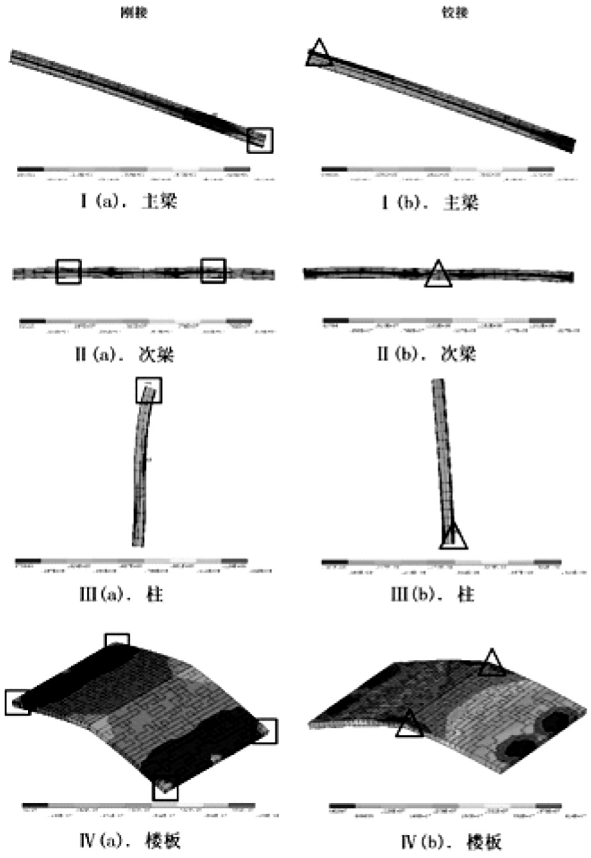


图5 刚接、铰接两种方式下各种构件等效应力云图

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　刚接、铰接下各构件所受等效应力的数据比较

位置	所受应力	刚接	铰接
主梁	最大等效应力/Pa	7.03×10^{7}	5.80×10^{7}
	最小等效应力/Pa	2.89×10^{5}	6.45×10^{5}
	最大应力部位	与立柱连接处	与另一侧主梁连接处
次梁	最大等效应力/Pa	8.56×10^{6}	2.27×10^{7}
	最小等效应力/Pa	8.21×10^{4}	6.28×10^{4}
	最大应力部位	距端部 1/4 梁长处	与中间柱连接处
立柱	最大等效应力/Pa	1.42×10^{8}	4.14×10^{7}
	最小等效应力/Pa	9.7×10^{5}	1.61×10^{7}
	最大应力部位	与主梁连接处	与地面连接处
楼板	最大等效应力/Pa	1.09×10^{7}	4.14×10^{6}
	最小等效应力/Pa	9.53×10^{4}	4.62×10^{5}
	最大应力部位	与柱连接处	外侧两主梁连接处

由表 1 可知: 火灾下,刚接方式下结构所受最大内应力(1.42×10^{8} Pa) 比铰接方式下结构所受最大内应力(5.80×10^{7} Pa) 要大,最小内应力(8.21×10^{4} Pa) 也比铰接(6.28×10^{4} Pa) 大; 同时,还可以得出: 在刚接情况下,最大应力处于柱上,靠近梁与柱的连接部位,是火灾的最不利部位,最易遭到损坏; 而在铰接情况下,最大应力处在楼顶尖部(5.80×10^{7} Pa) ,是火灾作用下最危险部位,应增大此处的强度,加固焊点,在被地面完全约束的柱的末端应力也较大(4.14×10^{7} Pa) ,在实际工程中要适当增大工字钢截面尺寸以保证柱根部的强度。

6　结论

(1) 火灾下,当门式钢框架结构用局部铰接方式代替刚接方式后,能明显降低结构的内应力,有利于保证钢结构的强度和稳定性;

(2) 在高温下钢梁会丧失其强度,而在整体结构中沿楼板厚度方向的热梯度起到了一定作用,因热梯度使楼板产生了拱膜效应,加以物体在受热后膨胀这一基本性质,导致主梁及楼板向上挠曲,而铰接方式使得这一现象加剧;

(3) 火灾下,门式钢框架结构的连接方式为刚接时 ,因弯曲变形比铰接小,可通过模拟计算,在变形量符合标准的构件(或部位) 上减少防火保护涂料的用量。

参　考　文　献

[1] 李国强,蒋首超,林桂祥. 钢结构耐火计算与设计 [M] . 北京: 中国建筑工业出版社,1996.

[2] GB 50016—2014,建筑设计防火规范 [S] .

[3] 王学谦. 建筑防火 [M] . 北京: 中国建筑工业出版社,2000.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net