

钢筋混凝土框架结构火灾后的地震分析^{*}

黄奕辉

(华侨大学土木工程系, 泉州 362011)

摘要 利用火灾后钢筋混凝土构件的截面弯矩-曲率恢复力骨架曲线特征参数的统计公式, 采用结构工程分析中常见的杆系模型, 对火灾后钢筋混凝土框架结构进行地震分析. 可为灾后结构的整体强度诊断和加固设计奠定基础.

关键词 钢筋混凝土框架结构, 火灾, 抗震性能

分类号 TU 375. 402

建筑物遭受火灾作用后, 由于火灾对建筑物不同部位的损伤程度不同, 其结构性能必然会有不同程度的下降, 特别是在地震区对结构的抗震性能有显著的变化. 目前, 关于火灾后建筑物的受损诊断研究, 主要集中在对梁、柱等单根构件上, 尚无法对结构的整体强度和抗震性能做出分析. 对建筑物的整体安全性而言, 判断火灾后结构的整体强度和抗震能力却更为重要, 它可以为结构加固设计提供依据; 从经济角度来看, 对火灾后的结构是否 ([1]) 必须进行加固, 还是拆除重建更是意义重大. 文献 ([1]) 采用有限元的方法分析火灾加固后的结构承载力, 计算量较大, 用于实用分析时有一定难度. 本文利用文献 ([2]) 所提出的钢筋混凝土框架构件 (梁和柱) 火灾后截面弯矩-曲率恢复力骨架曲线特征参数的统计公式, 对结构的抗震性能进行分析, 并对结构的灾后整体强度做出判断.

1 矩阵位移法方程的建立及求解

文献 ([1]) 分析表明, 火灾对钢筋混凝土构件的抗弯刚度影响较大. 因此在本文分析中, 只考虑结构构件的抗弯刚度低, 不考虑轴向刚度的损失. 在下式中 EI 为杆件的正常状态下的抗弯刚度, 对于受到火灾高温影响冷却后的杆件, 要根据火灾时的温度和杆件的受火情况对 EI 进行修正. 如图1所示的结构杆单元, 其单元平衡方程为

$$K^e U^e = F^e,$$

其中 杆端位移 $U^e = [U_1 \ U_2 \ U_3 \ U_4 \ U_5 \ U_6]^T$, 杆端力 $F^e = [F_1 \ F_2 \ F_3 \ F_4 \ F_5 \ F_6]^T$.

单元刚度矩阵为

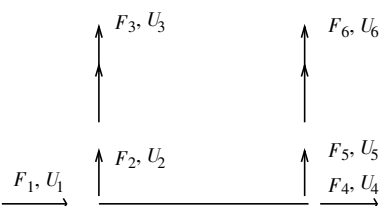


图1 结构杆单元

$$K^e = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix}.$$

坐标系转换、节点荷载的处理、总刚度矩阵的形成等和一般矩阵位移法相同. 建立结构整体平衡方程为

$$KU = F,$$

采用振型分解反应谱法求解地震荷载. 地震影响系数曲线、特征周期等参数均按规范取值.

2 火灾后结构构件的弯曲刚度

确定火灾冷却后的钢筋混凝土构件的截面抗弯刚度, 关键在于如何确定构件在火灾作用时的受火情况(单面受火、双面受火等), 以及表面最高温度和内部特征点的最高温度. 这需要对火灾后的建筑物进行准确的现场检测. 目前, 常见的检测手段有现场熔物调查、钻芯取样和超声波检测等. 文献[2]通过数值计算给出了钢筋混凝土构件弯矩-曲率曲线的抗弯刚度.

梁单元刚度为

$$EI = \alpha(EI)_0 \left[A_1 \left(\frac{T_f}{1\,000} \right)^2 + B_1 \right],$$

$$A_1 = (-0.885\,6\rho + 0.111\,5) \left(\frac{T_c}{100} \right) - 0.455\rho + 0.090\,4,$$

$$B_1 = 0.140\,8\ln\rho + 0.292\,2.$$

柱单元刚度则分别为:

(1) 双面对称受火

$$EI = \alpha(EI)_0 \left[A_2\rho + B_2 - C_2 \frac{T_c}{1\,000} \right],$$

$$A_2 = 0.302\,2 - 0.047\,7 \frac{T_f}{1\,000}, \quad B_2 = 0.172\,7 - 0.065\,3 \frac{T_f}{1\,000},$$

$$C_2 = 0.173\,0 - \left[0.176\,7 + 0.145\,3 \frac{T_f}{1\,000} \right] \rho;$$

(2) 单面压区受火

$$EI = \alpha(EI)_0 \left[A_3 - B_3 - C_2 \frac{T_f}{1\,000} \right],$$

$$C_3 = 0.151\,7 + \left[0.143\,7 + 0.19 \frac{T_f}{1\,000} \right] \rho;$$

(3) 单面拉区受火

$$EI = \alpha_4 (EI)_0 \left[A_4 \rho - (B_4 + C_4) \frac{T_f}{1\,000} \right],$$

$$A_4 = (0.430\,2 - 0.442n_0) \rho + 0.169, \quad B_4 = (0.128\,4n_0 - 0.166) \rho + 0.205\,1,$$

$$C_4 = [(0.501\,7 - 1.407n_0) \rho + 0.202\,5] \frac{T_f}{1\,000}.$$

其中 T_f 为杆件表面最高温度, T_c 为杆件内部特征点的最高温度, EI_0 为杆件未受火时的抗弯刚度, $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ 是和截面尺寸有关的参数, ρ 为杆件截面配筋率, n_0 为柱轴压比。

3 算例

如图2所示某六层商住楼的一楹双跨钢筋混凝土框架。按7度抗震设防, 二类场地土, 柱截面 $400\text{ mm} \times 400\text{ mm}$, 梁截面 $250\text{ mm} \times 550\text{ mm}$ 。底层遭受火灾, 经现场检测, 表面最高温度 $T_f = 600$, 内部特征点的最高温度 $T_c = 200$ 。梁柱配筋率为1%。计算所得结构的自振周期见表1所示, 各层水平位移 Δ_1 (mm) 和层间位移 Δ_2 (mm) 见表2所示, 振型曲线如图3所示。

表1 结构自振周期

项 目	T_1	T_2	T_3
火灾前 T	1.182 0	0.319 9	0.214 0
火灾后 T_f	1.795 1	0.442 1	0.237 0
$\frac{T_f - T}{T} / (\%)$	51.87	38.20	10.75

表2 各层水平位移和层间相对位移

层 序	火灾前				$\frac{\Delta_1 - \Delta_1}{\Delta_1} / (\%)$	$\frac{\Delta_2 - \Delta_2}{\Delta_2} / (\%)$
	Δ_1	Δ_2	Δ_1	Δ_2		
六层	10	1	16	1	60.0	0
五层	9	1	15	1	66.7	0
四层	8	1	14	1	75.0	0
三层	7	2	13	2	85.7	0
二层	5	2	11	4	120.0	100
一层	3	3	7	7	133.3	133

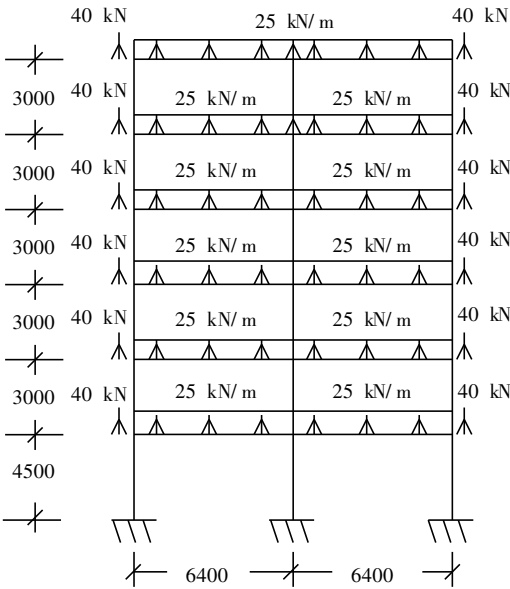


图2 框架立面

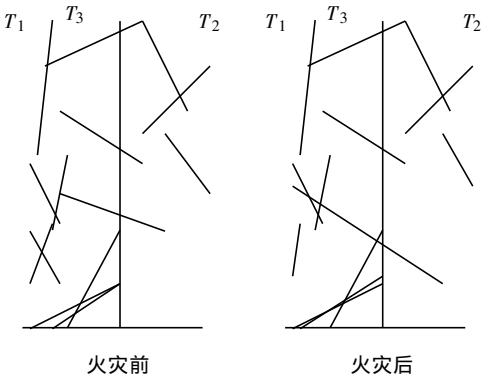


图3 振型图

由计算结果可见,火灾后结构的刚度大幅下降,自振周期相应增加,尤其是对低振型影响较大.在本例中,占结构地震荷载比重最大的第一振型,周期增加了51.87%,结构的各层位移也相应增大.主要原因是在遭受火灾的一层和相临的二层位移增加较大,这点可由各层层间相对位移看出.距离发生火灾的一层较远的三~六层,层间相对位移没有显著变化,而一二层层间相对位移增加了100%和133%.由此可见,在对一层进行灾后加固时,也应对二层结构做适当的处理.

4 结论

本文采用结构工程分析中常见的杆系模型,利用钢筋混凝土构件(梁和柱)火灾后截面弯矩-曲率恢复力骨架曲线特征参数的统计公式,对火灾后钢筋混凝土框架结构进行抗震性能分析.采用本文方法,可对火灾后结构的整体抗震性做出评估,找出结构薄弱层,为结构加固提供依据.本文方法以每根构件作为一个单元,程序计算量较小,实用性强.

本文为校科研基金资助项目.

参 考 文 献

- 1 际洲导,朱伯龙.钢筋混凝土框架火灾作用后的加固修复研究.四川建筑科学研究,1995,(3):7~12
- 2 吴波,马忠诚,欧进萍.火灾后钢筋混凝土结构的抗震性能研究.哈尔滨建筑大学学报,1996,29(1):9~16

Antiseismic Performance Analysis Given to a Reinforced Concrete Frame Construction after Fire

Huang Yihui

(Dept. of Civil Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract An antiseismic performance analysis is given to a reinforced concrete frame construction after fire. In the analysis, the authors adopt a model of bars which is common in the analysis of construction engineering; and use a statistical formula to deal with characteristic parameters in the skeleton curve of sectional bending moment and recovery capability of curvature. The present work affords a basis for the diagnosis of bulk strength of the construction after fire and the design of its bracing.

Keywords reinforced concrete frame construction, fire, antiseismic performance