文章编号：1673-5196(2019)03-0139-08

火灾下钢管混凝土叠合柱-RC梁平面框架内力重分布

包延红[1]，徐 蕾[1,2]，孙建刚[1,2]

(1. 兰州理工大学 土木工程学院，甘肃 兰州 730050；2. 大连民族大学 土木工程学院，辽宁 大连 116600)

摘要：火灾下钢管混凝土叠合柱-RC梁平面框架结构会产生膨胀变形.由于框架梁、柱的相互约束作用，框架结构不能自由膨胀变形，结构中发生内力重分布，影响框架结构的耐火性能.建立钢管混凝土叠合柱-RC梁平面框架有限元模型，用现有相关试验数据对有限元模型进行对比验证.利用该有限元模型在荷载和ISO-834标准升温作用下对钢管混凝土叠合柱-RC梁平面框架结构的内力重分布进行分析，并进行柱火灾荷载比和梁火灾荷载比不同作用下框架结构内力重分布的参数分析.研究表明：框架结构特征截面处内力变化剧烈；柱火灾荷载比和梁火灾荷载比对框架结构内力重分布产生显著影响，火灾作用下框架节点处梁端弯矩最大值约为常温值的3.8倍，应加强结构节点设计.

关键词：钢管混凝土叠合柱；框架结构；内力重分布；柱火灾荷载比；梁火灾荷载比

中图分类号：TU31；TU398 **文献标志码**：A

Internal forces redistribution in plane frame with concrete-filled steel tube reinforced composite column and reinforced concrete beam in case of fire

BAO Yan-hong[1], XU Lei[1,2], SUN Jian-gang[1,2]

(1. College of Civil Engineering, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China; 2. School of Civil Engineering, Dalian Nationalities University, Dalian 116600, China)

Abstract: In case of fire, expansion deformation may occur in a framed structure with concrete-filled steel tube reinforced composite column and RC beam, but the framed structure can not implement freely the expanding deformation due to the mutual restriction of the column and reinforced and the redistribution of internal force occurs in the framed structure, affecting the fire resistance performance of the framed structure. A finite element model of plane framed structure with concrete-filled steel tube reinforced composite (CFSTRC) column and RC beam was established and it was validated with relevant test data. The internal force redistribution of the plane frame structure was analyzed under the load and ISO-834 standard temperature rise and the parametric analysis of the internal force redistribution of the frame under different column-to-fire load ratio and the beam-to-fire load ratio was also carried out. The investigation result showed that the internal forces would change greatly at the characteristic section of the framed structure, the column-to-fire load ratio and the beam-to-fire load ratio would have a significant influence on the internal forced redistribution of the framed structure, the maximum bending moment at the joint of the frame would be about 3.8 times of that at normal temperature of beam end in joint in case of fire, so that the design of the joint of the structure should be strengthened.

Key words: CFSTRC column; framed structure; internal force redistribution; column-to-fire load ratio; beam-to-fire load ratio

钢管混凝土叠合柱是由截面中部钢管混凝土和钢管外的钢筋混凝土叠合而成的柱，截面中部的钢管混凝土提高了柱的抗剪承载力，容易实现强剪弱弯.钢管内浇筑高强混凝土，钢管的约束作用使钢管内混凝土的抗压强度大幅度提高，且不会发生脆性

收稿日期：2018-03-23

基金项目：国家自然科学基金(51378094)，辽宁"百千万人才工程"资助项目(辽百千万立项[2015]24号)，青海省青年自然科学基金(2019-ZJ-971Q)

作者简介：包延红(1987-)，男，甘肃永登人，博士生.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

破坏.钢管内外都有混凝土,钢管壁不会发生屈曲.钢管外的混凝土可起到抗火作用.钢管混凝土叠合柱由于具有上述优点已经被广泛的应用于实际工程当中,其中钢管混凝土叠合柱-钢筋混凝土梁框架结构的应用最为普遍.由于钢管混凝土叠合柱-钢筋混凝土梁框架结构应用普遍,因此需要对这种框架结构在火灾作用下的力学性能进行研究.目前,国内外学者对钢管混凝土叠合柱、钢筋混凝土框架结构和组合框架结构进行了试验研究和理论分析.徐蕾等[1-2]对钢管混凝土叠合柱在火灾作用下的截面温度场分布和力学性能进行了试验研究和有限元分析,并对影响钢管混凝土叠合柱截面温度分布和耐火性能的因素进行了参数分析,在此基础上,提出了钢管混凝土叠合柱耐火极限的简化计算公式;侯舒兰等[3]对火灾升温、降温和荷载共同作用下钢管混凝土叠合柱的截面温度分布和力学性能进行了有限元分析,分析表明,钢材和混凝土材料由于高温劣化,外加外荷载的作用,在火灾升降温作用下,钢管混凝土叠合柱发生了内力重分布;冯颖慧等[4]对内配圆钢管的钢骨混凝土柱火灾后剩余承载力进行了试验研究和有限元分析,研究表明,钢管外围混凝土在火灾作用下对核心钢管混凝土起到了保护作用,延缓和降低了核心钢管和混凝土的温度分布;时旭东等[5]对高温下钢筋混凝土框架的受力性能进行了试验研究,结果表明,火灾下钢筋混凝土门式框架塑性铰出现的位置和次序与常温下框架破坏时有很大差别,且在高温下框架结构内力进行了重分布;姚亚雄等[6]对单层双跨钢筋混凝土框架进行了常温和恒高温条件下的力学性能对比试验研究,结果表明,对于超静定结构,膨胀对结构的内力重分布影响较大,加速了结构的破坏程度;陈适才等[7]开发纤维梁单元和分层壳单元模型对考虑楼板的空间混凝土框架结构整体耐火性能进行了数值模拟分析,分析表明,楼板作用对整体框架结构的耐火性能影响较大,实际结构设计时应该考虑楼板的作用;吴波等[8]建立了钢筋混凝土的简化梁模型,对一榀三跨钢筋混凝土框架结构在火灾作用下的内力重分布进行了研究;Han等[9]对圆钢管混凝土柱平面框架结构进行了试验研究和力学性能分析,研究表明,钢管混凝土柱平面框架在火灾下发生梁先破坏和柱先破坏两种破坏模式;周侃等[10]对钢管混凝土柱-钢筋混凝土梁平面框架结构在火灾升降温作用下的力学性能进行了有限元分析,并就柱荷载比、梁荷载比和升温时间比对框架结构的破坏形式和力学性能进行了分析,分析表明钢管混凝土柱-钢筋混凝土梁平面框架结构在火灾升、降温阶段都有可能发生破坏.

钢管混凝土叠合柱框架结构在火灾作用下的内力重分布研究还少见报道.因此,本次研究基于ABAQUS有限元分析平台,选取合理的热工参数和力学本构模型,建立钢管混凝土叠合柱-钢筋混凝土梁平面框架结构有限元模型,对钢管混凝土叠合柱-钢筋混凝土梁平面框架结构在火灾和荷载共同作用下的内力重分布展开分析.

1 有限元模型

1.1 模型建立

选用有限元分析软件ABAQUS,采用热力耦合顺序模块,选择合理的钢材和混凝土材料热工参数和本构模型,定义网格划分,建立钢管混凝土叠合柱-钢筋混凝土梁平面框架有限元模型.有限元模型包括温度场模型和力学模型.

温度场模型中,钢管、钢管外混凝土、钢管内混凝土、梁中混凝土和垫板均采用三维实体热分析单元,柱中纵筋、箍筋,梁中纵筋、箍筋,板中分布筋均采用DC1D2单元.钢材和混凝土热工参数选取Lie[11]提出的热工模型,柱子四周和楼板下部作用ISO-834[12]火灾升温曲线,框架受火表面热对流系数和热辐射系数分别选为25和0.5[13],框架定义初始温度为20 ℃.钢管外混凝土和钢管、钢管和核心混凝土、钢管外混凝土和柱中纵筋与箍筋、钢筋混凝土梁中混凝土和梁中纵筋与箍筋、板中混凝土和板中分布钢筋以及钢筋混凝土梁与钢管混凝土叠合柱之间均采用Tie接触,即相互接触面之间热量完全传递,忽略热损耗.

力学模型中,钢管外混凝土、钢管、钢管内混凝土、梁中混凝土和垫板采用实体建模,柱中纵筋与箍筋、梁中纵筋与箍筋和楼板中分布钢筋都采用truss单元建模.钢材材料性质选取Lie[11]提出的本构模型,满足Mises屈服准则;钢管外混凝土和钢筋混凝土梁板中的混凝土本构模型选取Lie[11]提出的本构模型.钢管内混凝土选取韩林海[14]提出的本构模型,考虑钢管对核心混凝土的约束作用.钢管外混凝土和钢管、钢管与核心混凝土之间采用面面接触,正面采用硬接触,切向采用库仑模型;柱中钢筋和梁中钢筋与框架结构整体模型采用嵌入接触.参考实际工程中,钢管混凝土叠合柱平面框架结构所受的荷载和相互作用,力学模型中钢筋混凝土梁采用均布荷载作用,钢管混凝土叠合柱顶部施加集中荷载作用.为了简化计算,梁上均布荷载的大小和柱顶集中荷载的大小分布按照梁荷载比和柱荷载比的大小来

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

施加；两个钢管混凝土叠合柱底部采用固结约束，顶部约束平面外的线位移，防止叠合柱框架结构发生平面外失稳破坏.有限元模型如图 1 所示，具体建模方法参考文献[15].

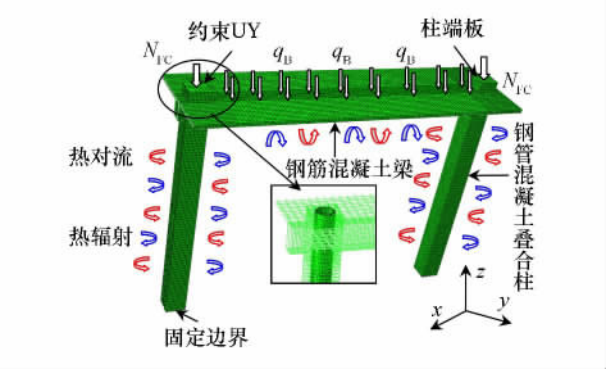


图 1　钢管混凝土叠合柱框架有限元模型

Fig.1　FE model of frame with steel tube concrete composite column

1.2　模型验证

为了验证钢管混凝土叠合柱-钢筋混凝土梁平面框架结构有限元模型的正确性，采用上述建模方法对 Han 等[9]两榀钢管混凝土柱-钢筋混凝土梁平面框架结构 CFRC-2 和 CFRC-3 试验数据进行计算对比，CFRC-2 和 CFRC-3 框架结构具体试验模型参考文献[9].对于框架结构耐火极限的判定方法，采用 ISO-834[11]中构件耐火极限的判定方法，即：1）梁板最大挠度达到 $L^2/(400h)$或变形速率超过 $L^2/(9\ 000h)$，L 为梁板计算跨度，h 为梁截面高度；2）柱轴向压缩量达到 $0.01H$ 或轴向压缩速率超过 $0.003H$，H 为柱受火高度.图 2 为钢管混凝土柱框架不同特征截面处竖向位移计算结果与试验结果的对比.由图 2 可见，框架 CFRC-2 和 CFRC-3 竖向位移计算结果与试验结果相差不大，计算耐火极限接近，证明本次有限元模型正确有效.

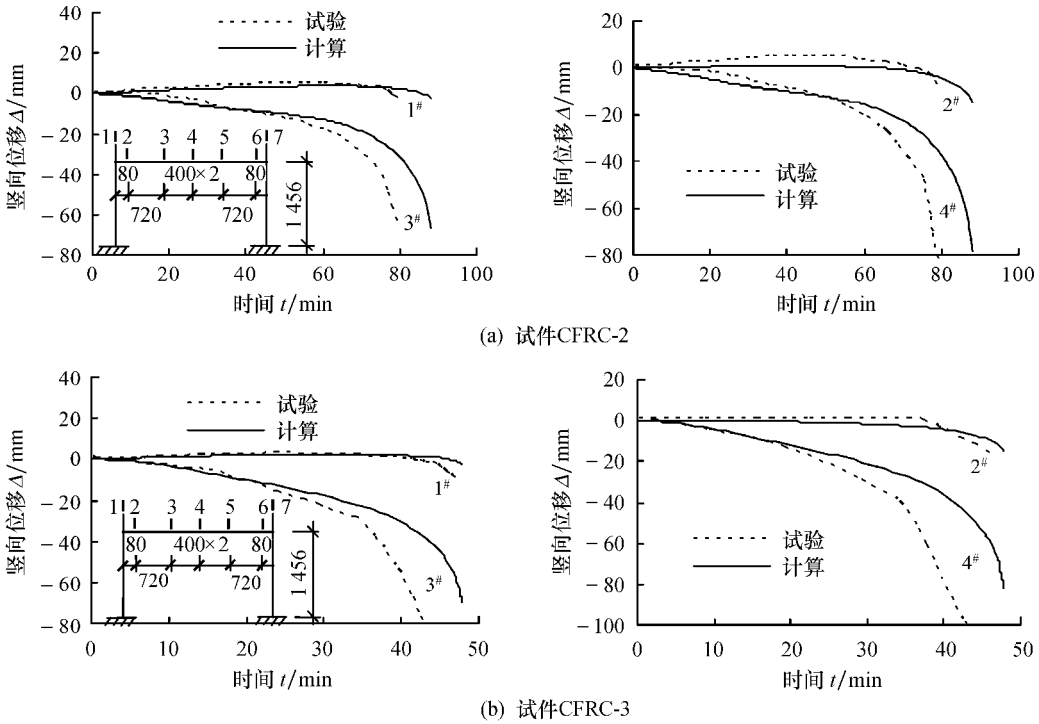


图 2　钢管混凝土柱框架竖向位移-时间计算结果与试验对比

Fig.2　Contrast of calculation result of vertical displacement vs time dependence of frame with CFST column to that of experiment

2　框架内力重分布

2.1　计算模型的确立

参考 CECS 188：2005《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》[16]中叠合柱框架的设计和工程中框架结构的常用尺寸，确定钢管混凝土叠合柱框架结构的平面尺寸为：框架柱高 7 200 mm、框架梁跨度9 000 mm；叠合柱边长 600 mm 的方形柱，柱中圆钢管直径 300 mm，厚度 8 mm，柱中纵向配筋为 12 Φ 25；钢筋混凝土梁采用 T 型梁，考虑实际工程中混凝土楼板的吸热作用，梁宽为 400 mm，梁高为 600 mm，梁中上、下部配筋为 8 Φ 20；楼板厚度为 120 mm，宽度为 3 000 mm；楼板内纵筋为 ϕ8@200 mm，分布筋 ϕ8@200 mm，双层配筋.钢管屈服强度为 345 MPa，柱中纵筋和梁中纵筋采用 HRB335 级钢筋，柱中箍筋和梁中箍筋采用 HPB300 级钢筋，板中纵

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

筋和分布筋采用 HPB300 级钢筋，钢管内核心混凝土抗压强度为 60 MPa，钢管外混凝土抗压强度为 40 MPa，梁、板混凝土抗压强度为 30 MPa，梁柱线刚度比为 0.47，梁柱极限弯矩比为 0.60.以柱火灾荷载比 $n=0.6$ 和梁火灾荷载比 $m=0.6$ 的框架模型为典型算例，参考韩林海[14]钢管混凝土柱火灾荷载比的定义，柱火灾荷载水平定义为火灾下作用在柱上的荷载与常温下柱的极限承载能力比值，梁火灾荷载比定义与柱火灾荷载比类似.

2.2　框架特征截面处的内力重分布

火灾作用下，钢管混凝土叠合柱框架结构受热发生膨胀变形，因框架结构中构件相互约束，不能自由变形，在框架结构中产生内力重分布.选取框架梁跨中截面、节点区梁端截面、框架柱顶截面和柱底截面进行内力随受火时间变化曲线的分析.弯矩、轴力和剪力的正负规定如下：轴力以使梁受拉为正，受压为负；弯矩以梁下部受拉为正，上部受拉为负；剪力使梁端产生顺时针转动为正，逆时针转动为负；柱中弯矩使柱外侧受拉为正，内侧受拉为负；轴力使柱受压为正，受拉为负；剪力使柱微端产生顺时针的转动为正，逆时针转动为负.

2.2.1　框架梁跨中截面内力变化过程

图 3 给出了框架梁跨中截面内力-受火时间关系曲线.由图可以看出，随着受火时间的增加，框架梁跨中截面处的弯矩先减小，约 16 min 之后开始增大.这是因为受火初期，钢筋混凝土梁三面受火，钢筋混凝土梁的膨胀作用大于劣化作用，在梁截面上形成上低下高的温度场分布，这种温度分布引起梁截面不均匀的膨胀变形.外加柱对钢筋混凝土梁的约束作用，在钢筋混凝土梁截面上形成上小下大的附加压应力，梁截面中性轴下移.这种附加压应力在梁截面上形成上部受拉下部受压的弯矩作用，这种弯矩作用的方向与框架梁跨中截面在外荷载作用下的方向相反，使得框架梁跨中截面弯矩有减小的趋势.约 16 min 之后，随着受火时间的增加，梁吸收的热量增加，温度沿着框架梁截面高度趋于均匀分布，外加框架结构材料高温劣化严重，框架梁有效截面高度减小，中性轴上移；在外荷载和温度作用下，框架梁底部受拉，框架梁跨中截面的弯矩开始增大.由图 3c 可见，在整个火灾作用过程中，框架梁跨中截面剪力约为 3 kN.这是因为框架结构是对称结构，在框架梁跨中截面位置，利用结构的对称型特征，框架梁跨中截面反对称内力为 0.本算例考虑了框架结构重力的作用，框架结构重力均匀分布在结构上的一个体力；框架梁跨中截面剪力值与框架结构自重相比较小，可忽略.

2.2.2　框架梁端截面内力

梁端截面内力随受火时间的变化关系如图 4 所示.由图可见，常温加载完成后，框架梁端负弯矩约 170 kN · m.随着受火时间的增加，框架梁端的弯矩先增大，约 16 min 之后，框架梁端的弯矩开始减小.这是因为升温初期，框架梁端底部温度较高，上部温

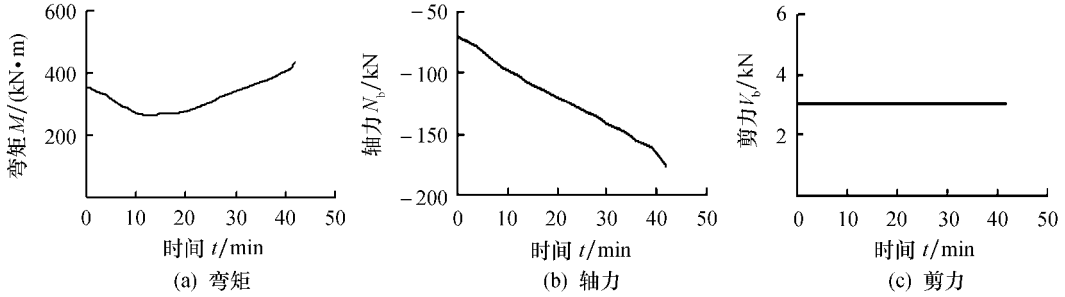


图 3　框架梁跨中截面内力-受火时间关系

Fig.3　Dependence of internal force vs fired time in mid-span section of framed beam

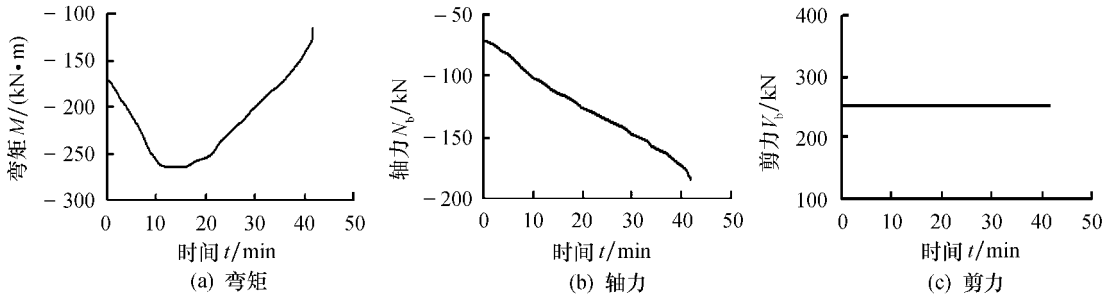


图 4　梁端截面内力-受火时间关系

Fig.4　Dependence of internal force vs fired time in beam end section

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

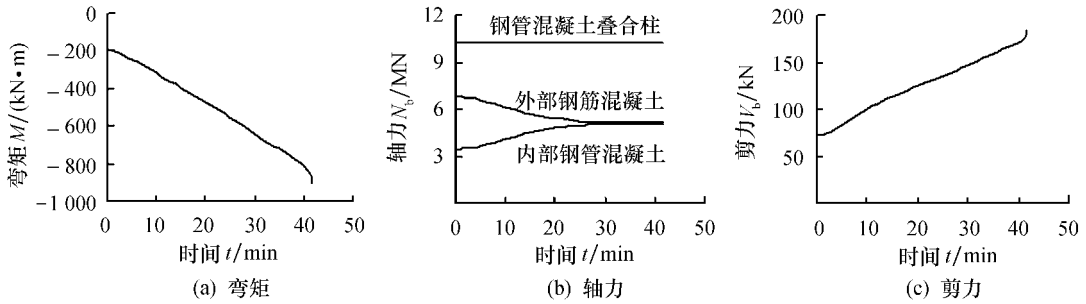
度较低，梁截面上形成上低下高的温度场.这种不均匀温度场在梁截面上形成不均匀的膨胀作用，外加梁端柱的约束作用，在框架梁端截面上形成不均匀的附加轴力，在附加轴力作用下，框架梁端截面上形成上部受拉下部受压的弯矩作用.这种弯矩作用与框架梁端截面的弯矩作用方向一致，引起框架梁端截面的弯矩有增大的趋势.约 16 min 之后，框架结构由于材料高温性能退化，在火灾和荷载作用下，框架梁、柱节点区发生了转动，其转动方向与梁端负弯矩的方向一致，梁端弯矩开始减小.随着受火时间的增加，这种转动变形越大，梁端负弯矩继续减小.由图 4a 和图 3a 可以看出，框架梁跨中弯矩变化规律与框架梁端弯矩变化规律一致.这主要是因为在火灾作用过程中，框架中的荷载大小和方向不变，梁端负弯矩的变化就是框架梁轴力对该截面的二阶弯矩和跨中弯矩变化之和.由图 4c 可见，在火灾作用过程中，框架梁端截面的剪力保持不变.这是因为框架结构在火灾作用过程中，竖向荷载保持不变，利用框架结构的对称性，框架梁端截面的剪力为框架梁上的荷载与框架梁重力之和.由图 4b 和图 3b 可见，框架结构在水平方向没有外力作用，框架梁中的轴力沿着梁轴线方向大小相等，变化趋势一致.

2.2.3　柱底截面内力

框架柱底截面的内力随受火时间的变化关系如图 5 所示.由图 5 可见，随着受火时间的增加，框架柱底的截面弯矩几乎线性增加，达到耐火极限时框架柱底的弯矩急剧增加.这主要是因为框架柱底的截面弯矩由框架柱顶的弯矩和剪力决定，在火灾作用过程中，框架柱顶的弯矩和柱顶剪力随着受火时间的增加而增大，共同引起框架柱底截面的弯矩增加.由于框架结构竖向荷载保持恒定，所以在火灾作用过程中，框架柱中的轴力为一定值，且保持不变，见图 5b.图中同时也给出了钢管混凝土叠合柱截面外部钢筋混凝土和核心钢管混凝土分别承担的轴力.随着受火时间的增加，外部钢筋混凝土材料劣化，钢筋混凝土承担的轴力减小，卸下来的荷载由内部核心钢管混凝土承载；约 25 min 之后，框架柱中的内力分布趋于平衡.由于框架结构在水平方向没有外荷载作用，因此框架柱的剪力和框架梁中的轴力为一对平衡力.在整个火灾作用过程中，大小相等，变化趋势一致.同时也说明，在火灾作用过程中，不论结构的内力如何变化，其框架整体受力仍然是平衡的.

2.2.4　柱顶截面内力

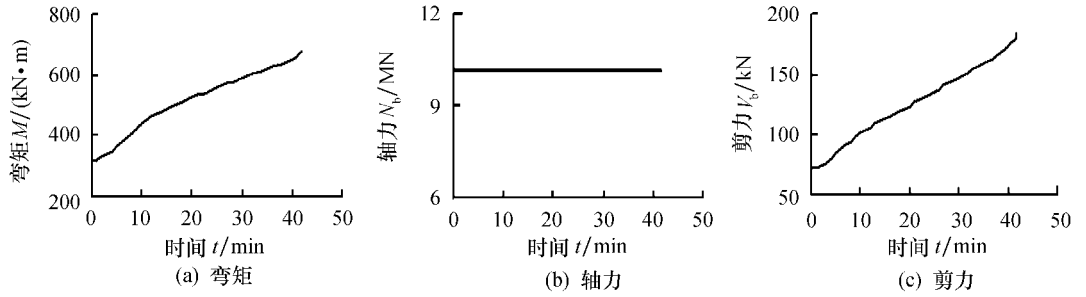
图 6 为柱顶截面内力随受火时间的变化曲线.由图可见，柱顶截面的弯矩随受火时间的增加而增大.这是由于框架柱顶在火灾和外荷载作用下，节点区发生了转动，引起节点区截面弯矩增加.由图 5b 和图 6b 可见，在火灾作用过程中，柱轴力保持不变，柱顶的轴力约为 9 200 kN，柱底的轴力约为9 300 kN，两者之间的差值就是柱的自重.框架结构整体没有水平荷载作用，节点区截面的剪力变化与框架梁中



(a) 弯矩　(b) 轴力　(c) 剪力

图 5　框架柱底截面内力-受火时间关系

Fig.5　Dependence of internal force vs fired time in bottom section of framed column



(a) 弯矩　(b) 轴力　(c) 剪力

图 6　框架柱顶截面内力-受火时间关系

Fig.6　Dependence of internal force vs fired time in top section of framed column

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的轴力变化趋势一致，且大小相等.

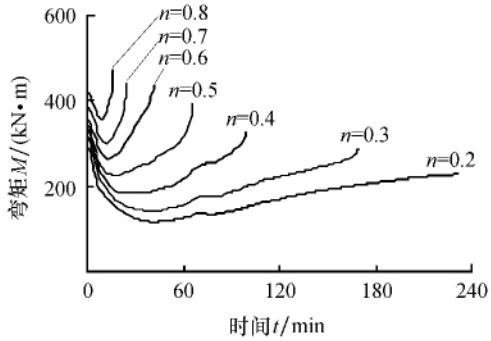
2.3　参数分析

火灾作用下，钢管混凝土叠合柱框架结构中框架梁中轴力和弯矩变化剧烈.考察其他因素对梁中弯矩和轴力随受火时间的变化规律，选取柱火灾荷载比、梁火灾荷载比和梁柱线刚度比 3 个参数对框架梁截面内力的变化进行分析.为了明显观察到火灾下内力变化情况，定义火灾下框架梁截面内力值与常温加载后内力值的比值为内力变化系数 K.

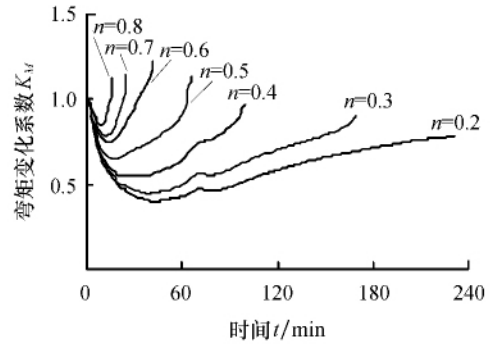
2.3.1　框架梁跨中截面弯矩-受火时间变化曲线

1）柱火灾荷载比

图 7 所示为柱火灾荷载比变化下，框架梁跨中截面弯矩随受火时间的变化曲线.由图可见，常温加载后，框架梁跨中截面的弯矩随柱火灾荷载比的增大而增大，这是由于框架柱火灾荷载比越大，框架柱对框架梁的约束作用越大，框架梁跨中截面的弯矩增大.火灾作用过程中，随柱火灾荷载比的减小，叠合柱框架结构耐火极限增大，框架梁跨中截面的弯矩随受火时间的增加变化速率减小，如图 7b 所示.总体来看，柱火灾荷载比对框架梁跨中截面弯矩影响显著.



(a) 弯矩-受火时间



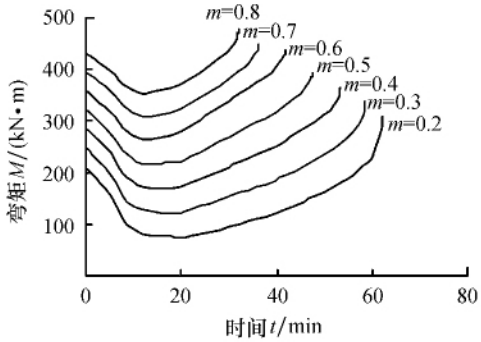
(b) 弯矩变化系数-受火时间

图 7　不同柱火灾荷载比作用下框架梁跨中截面弯矩-受火时间曲线

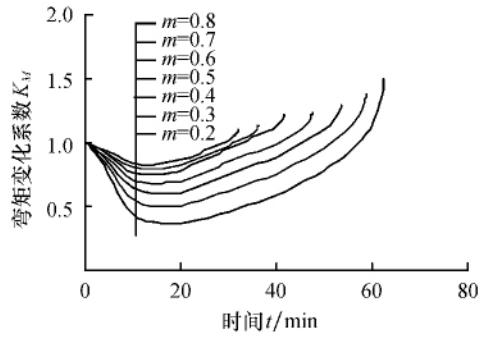
Fig.7　Dependence curves of bending moment vs fired time in mid-span section of beam with different column-to-fire load ratios

2）梁火灾荷载比（m）

图 8 所示为不同梁火灾荷载比作用下，框架梁跨中截面弯矩随受火时间的变化关系.由图可见，常温加载后，随着梁火灾荷载比的增加，框架梁跨中截面的弯矩增大.火灾作用过程中，随着梁火灾荷载比的增大，叠合柱框架结构耐火极限减小，框架梁跨中截面的弯矩随受火时间变化减缓，如图 8b.总的来看，梁火灾荷载比对框架梁跨中截面弯矩影响较大.



(a) 弯矩-受火时间



(b) 弯矩变化系数-受火时间

图 8　不同梁火灾荷载比作用下框架梁跨中截面弯矩-受火时间曲线

Fig.8　Dependence curves of bending moment vs fired time in mid-span section of framed beam with different beam-to-fire load ratios

2.3.2　框架梁端截面弯矩-受火时间变化曲线

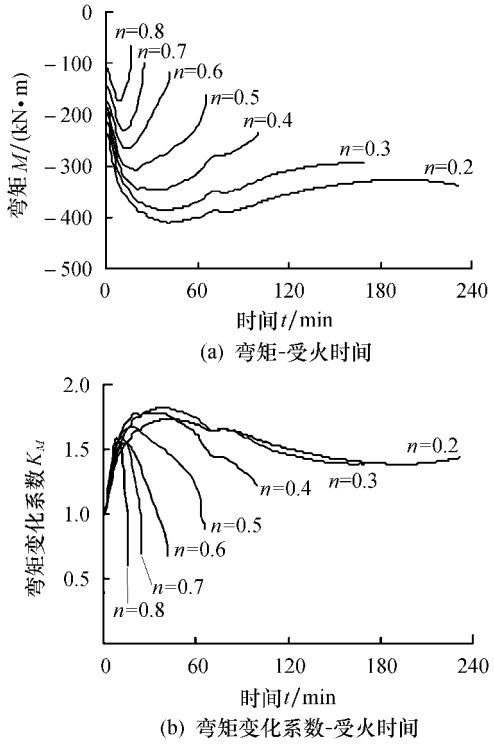
1）柱火灾荷载比

图 9 所示为柱火灾荷载比变化下，框架梁端截面弯矩随受火时间的变化曲线.由图可见，常温加载后，框架梁端弯矩随柱火灾荷载比的增大而减小.火灾作用过程中，框架梁左端弯矩值先增大后减小，随柱火灾荷载比的减小，框架梁左端弯矩最大值约为常温下弯矩的 1.8 倍，如图 9b 所示.总的来看，柱火灾荷载比对框架梁端截面弯矩随受火时间的关系曲线影响明显.

2）梁火灾荷载比（m）

图 10 为不同梁火灾荷载比对框架梁左端截面弯矩-受火时间的变化关系曲线影响规律.由图可见，框架梁端初始弯矩值随梁火灾荷载比的增大而增

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

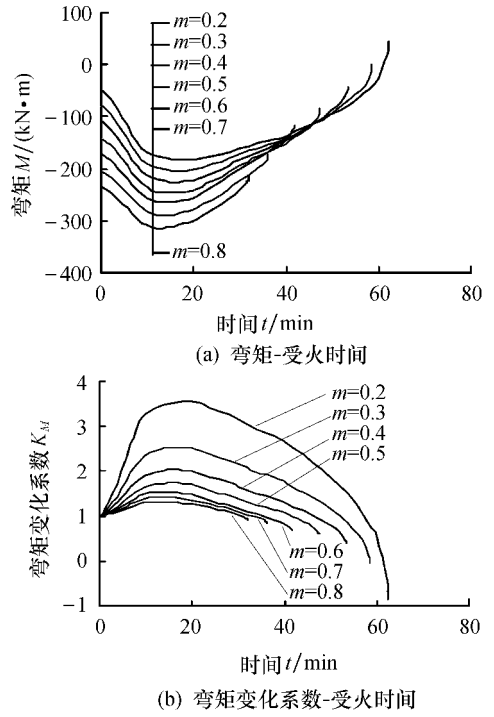


(a) 弯矩-受火时间

(b) 弯矩变化系数-受火时间

图 9　不同柱火灾荷载比影响下框架梁端弯矩-受火时间曲线

Fig.9　Dependence curves of bending moment vs fired time in end section of framed beam with different column-to-fire load ratios



(a) 弯矩-受火时间

(b) 弯矩变化系数-受火时间

图 10　不同梁火灾荷载比下框架梁端弯矩-受火时间曲线

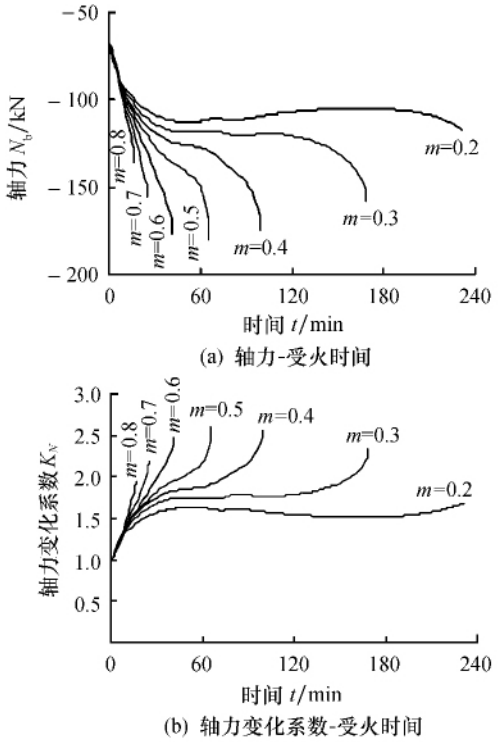
Fig.10　Dependence curves of bending moment vs fired time in end section of framed beam with different beam-to-fire load ratios

大.火灾作用过程中，框架梁端弯矩先增大后减小；随梁火灾荷载比的减小，框架梁端截面弯矩最大值约为常温弯矩的 3.8 倍，框架梁端弯矩变化较大，如图 10b 所示.结构设计中应加强节点设计，这是因为随梁火灾荷载比的减小，框架结构耐火极限增大，框架受火时间越长，框架梁端弯矩随受火时间的增加增大幅度较大.总的来看，梁火灾荷载比对框架梁端弯矩因受火时间影响显著.

2.3.3　框架梁跨中截面轴力-受火时间变化曲线

1）柱火灾荷载比

图 11 所示为柱火灾荷载比变化下，框架梁跨中截面轴力随受火时间的变化曲线.由图可见，常温下加载后，柱火灾荷载比对框架梁板轴力影响不大.火灾作用过程中，随受火时间的增加，框架梁板截面轴力值增大；随着柱火灾荷载比的增大，框架结构耐火极限减小，框架梁板截面轴力急剧增大.这是因为随着柱火灾荷载比的增大，火灾作用下，框架柱对框架梁的约束力越大，框架梁板截面轴力越大.总的来看，柱火灾荷载比对框架梁板截面轴力影响较大.



(a) 轴力-受火时间

(b) 轴力变化系数-受火时间

图 11　不同柱火灾荷载比作用下框架梁板跨中截面轴力-受火时间曲线

Fig.11　Dependence curves of axial force vs fired time in mid-span section of framed beam plate with different column-to-fire load ratios

2）梁火灾荷载比（m）

图 12 为不同梁火灾荷载比作用下，框架梁跨中截面轴力随受火时间的变化关系曲线.由图可见，框

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

架梁板截面初始轴力值随梁火灾荷载比的增大而增大;火灾作用过程中,随受火时间的增加,框架梁板截面轴力增大;随着梁火灾荷载比的减小,框架结构耐火极限增大,框架梁板截面轴力变化系数逐渐增大.总的来看,框架梁火灾荷载比对框架梁截面轴力影响显著.

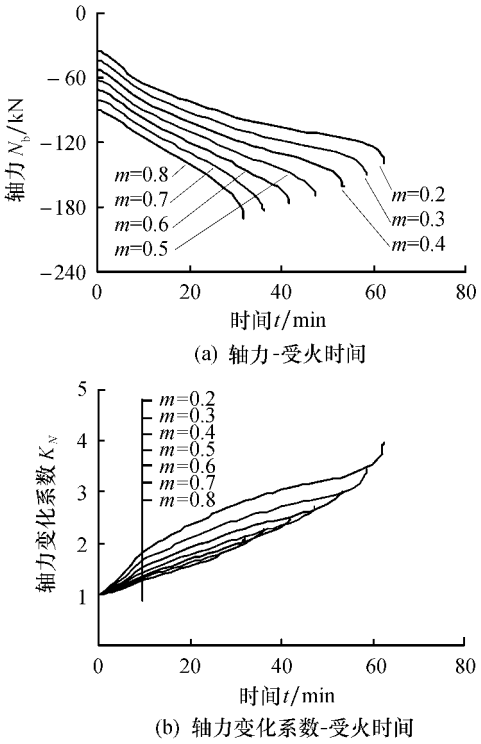


图 12 不同梁火灾荷载比变化下框架梁板跨中截面轴力-受火时间曲线

Fig.12 Dependence curves of axial force vs fired time in mid-span section of beam with different beam-to-fire load ratios

3 结论

1) 框架结构有限元计算结果与试验结果吻合良好,有限元模型可以较好地计算框架结构耐火极限.

2) 火灾作用下,框架结构内力重分布变化剧烈,其中框架梁截面轴力的变化是引起框架梁截面弯矩改变的因素之一.

3) 柱火灾荷载比和梁火灾荷载比对框架梁截面内力影响较大;火灾作用下框架梁端截面弯矩最大值约为常温值的 3.8 倍,框架结构设计时应加强框架结构节点设计.

参考文献:

[1] XU L, LIU Y B. Concrete filled steel tube reinforced concrete (CFSTRC) columns subjected to ISO-834 standard fire: Experiment [J]. Advances in Structural Engineering, 2013, 16(7): 1263-1282.

[2] 徐 蕾,刘玉彬.钢管混凝土叠合柱耐火性能研究 [J].建筑结构学报,2014,35(6):33-41.

[3] 侯舒兰,韩林海,宋天诣.钢管混凝土叠合柱耐火性能分析 [J].工程力学,2014,31(增刊):109-114.

[4] 冯颖慧,沈 陶,楼文娟,等.内配圆钢管的钢骨混凝土柱火灾后剩余承载力研究 [J].工业建筑,2008,38(3):16-19.

[5] 时旭东,过镇海.高温下钢筋混凝土框架的受力性能试验研究 [J].土木工程学报,2000,33(1):36-45.

[6] 姚亚雄,朱伯龙.钢筋混凝土框架结构抗火试验研究 [J].同济大学学报,1996,24(6):619-624.

[7] 陈适才,任爱珠,陆新征.火灾下空间混凝土框架结构的反应分析与模拟 [J].自然灾害学报,2007,16(6):88-92.

[8] 吴 波,何喜洋.高温下钢筋混凝土框架的内力重分布研究 [J].土木工程学报,2006,39(9):54-61.

[9] HAN Linhai, WANG Weihua, YU Hongxia. Experimental behaviour of reinforced concrete (RC) beam to concrete-filled steel tubular (CFST) column frames subjected to ISO-834 standard fire [J]. Engineering Structures, 2010, 32(10): 3130-3144.

[10] 周 侃,韩林海,宋天诣.钢管混凝土柱-RC 梁平面框架耐火性能分析 [J].工程力学,2014,31(增刊 1):41-45.

[11] LIE T T. Fire resistance of circular steel columns filled with bar-reinforced concrete [J]. Journal of Structural Engineering, 1994, 120(5): 1489-1509.

[12] International Organization for Standardization. Fire-resistance tests elements of building construction: part 1, general requirements ISO-834 [S]. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 1999.

[13] 韩林海,宋天诣.钢-混凝土组合结构抗火设计原理 [M].北京:科学出版社,2012:356-370.

[14] 韩林海.钢管混凝土结构:理论与实践 [M].2 版.北京:科学出版社,2007:542-547.

[15] 包延红,孙建刚,王文达,等.钢管混凝土叠合柱-钢筋混凝土梁平面框架耐火性能有限元分析 [J].建筑结构学报,2015,36(增刊 1):47-53.

[16] 中国工程建设标准化协会.钢管混凝土叠合柱结构技术规程:CECS 188:2005 [S].北京:中国计划出版社,2005.

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net