

火灾后混凝土梁抗剪承载力试验与有限元分析

廖杰洪, 陆洲导, 苏 磊

(同济大学 结构工程与防灾研究所, 上海 200092)

摘要: 对一根常温和七根火灾后混凝土梁进行抗剪试验. 梁三面受火, 采用 ISO834 标准升温曲线升温 2 h, 待冷却后进行试验. 试验主要考虑剪跨比的影响, 同时对截面尺寸、受火位置的影响进行了研究. 结果表明: 火灾(高温)后混凝土梁抗剪承载力降低, 刚度下降, 极限位移增加; 随着剪跨比的增加承载力降低; 高温对混凝土受压区影响明显; 三面受火状况下, 截面高度对高温后混凝土抗剪性能的影响与常温下一致. 建议了抗剪承载力有限元计算方法, 其结果与试验值吻合较好.

关键词: 火灾; 混凝土结构; 抗剪强度; 残余性能

中图分类号: TU375.1

文献标志码: A

Experiment and Finite Element Analysis of Shear Strength of Concrete Beams Subjected to Elevated Temperature

LIAO Jiehong, LU Zhoudao, SU Lei

(Research Institute of Structural Engineering and Disaster Reduction, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: One beam subjected to room temperature and 7 beams subjected to high temperature were tested. Three sides of the beams were subjected to ISO834 standard heating curves for 2 hours, and they were tested after being cooled. The effect of shear span ratio, sectional dimension and position subjected to fire were studied. The results show that after fire, shear bearing capacity of the concrete beams decreases, shearing stiffness of the member degrades, and the ultimate deformation increases. The results also show that the shear bearing capacity decreases as the shear span ratio increases, the high temperature influences more on compression zone, and depth of section of the beam with three sides subjected to fire has the same effect to shear performance as the one to room temperature. A finite element method is proposed to calculate the shear bearing capacity of concrete beams after fire, which has the accepted accuracy.

Key words: fire; concrete structure; shear strength; residual properties

与其他建筑材料相比, 混凝土有较强的防火性能, 火灾后混凝土结构倒塌的事故并不多, 因而主要问题在于如何对火灾后建筑物进行损伤鉴定. 对火灾后混凝土结构损伤鉴定直接关系该建筑物的处理方法, 也决定着加固设计及加固施工方案. 另外, 还存在一些长期处于高温状态下的建筑物, 如火力发电厂、核电厂等, 这些建筑物也需验算其长期工作后残余承载力. 因此, 进行混凝土结构火灾(高温)后性能的研究具有重大意义.

目前已有学者对高温后混凝土梁的斜截面性能进行了研究. 陈鸣等^[1]于 1995 年研究了三面受火简支梁的残余抗剪性能, 并给出了考虑混凝土强度折减的残余强度计算公式. 2008 年肖建庄^[2]进行了高性能混凝土深梁的火灾反应及火后抗剪性能研究. Hsu 等^[3]对火后钢筋混凝土梁的残余力学性能进行了总结, 建议采用截面分区的方式进行各区抗剪承载力计算, 然后相加. Maruta 等^[4]为研究核电厂钢筋混凝土构件的抗剪性能, 对不同温度和不同恒温时间下混凝土梁抗剪性能的退化进行了研究. El-Hawary 等^[5]对经历高温的混凝土梁用水冷却后的抗剪性能进行了研究, 比较了不同恒温时间和不同保护层厚度的影响. Khan 等^[6]进行不同配筋、不同加热周期次数、不同加热最高温度无腹筋梁试件的抗剪试验.

目前对于高温后斜截面的研究相对较少, 本文采用 ISO834 标准升温曲线对七根混凝土梁进行了火灾试验, 并进行火灾后静载试验, 研究其抗剪性能. 探讨了高温后混凝土梁抗剪承载力的非线性有

收稿日期: 2012-05-15

基金项目: 国家自然科学基金(51008235); 科技部国家重点实验室基础研究项目(SLDRCE09-D-02)

第一作者: 廖杰洪(1987—), 男, 博士生, 主要研究方向为工程抗火. E-mail: liaojiehong@yahoo.cn

通讯作者: 陆洲导(1957—), 男, 教授, 博士生导师, 工学博士, 主要研究方向为工程抗火、结构检测与加固. E-mail: luzhoudao@163.com

限元计算方法,为火灾后混凝土梁的损伤鉴定提供依据。

1 试验概况

1.1 试验设计

通过对一根常温钢筋混凝土有腹筋梁和七根受火后钢筋混凝土有腹筋梁进行恒载升温过程和受火后静载试验,研究混凝土梁受火后抗剪性能。影响混凝土梁抗剪承载力因素众多,本文主要考虑剪跨比,同时考虑不同受火区域及截面尺寸。

构件设计长度为 3 600 mm,截面宽 150 mm,截面高 300 mm 或 400 mm。配筋为:梁底和梁顶采用两根直径分别为 25 mm 和 12 mm 的 HRB335 级钢

筋,箍筋采用直径为 6 mm 的 HPB235 级钢筋,间距 200 mm。试件设计保证试验工况中常温下截面抗弯承载力大于抗剪承载力。梁三面受火,受火范围为跨中 3 m 的梁底面和侧面。支座点选取在受火范围边缘,即梁两端距边缘各 300 mm 处。采用 C30 商品混凝土,保护层厚度 25 mm。经材料性试验,混凝土棱柱体强度为 30.1 MPa,钢筋屈服强度 355 MPa,箍筋屈服强度 245 MPa。试件编号 Y 表示有腹筋梁,G,C 和 D 分别代表高温、常温和倒置,300 和 400 表示截面高度,“-”后面的数字表示剪跨比。“倒置”表示火灾试验中翻过来放置,即梁顶与两侧面受火。加载点选取在距支座点 λh_0 处,其中, λ 为剪跨比, $h_0 = 262.5$ mm 为梁有效高度。构件尺寸和具体配筋设计如图 1 所示。

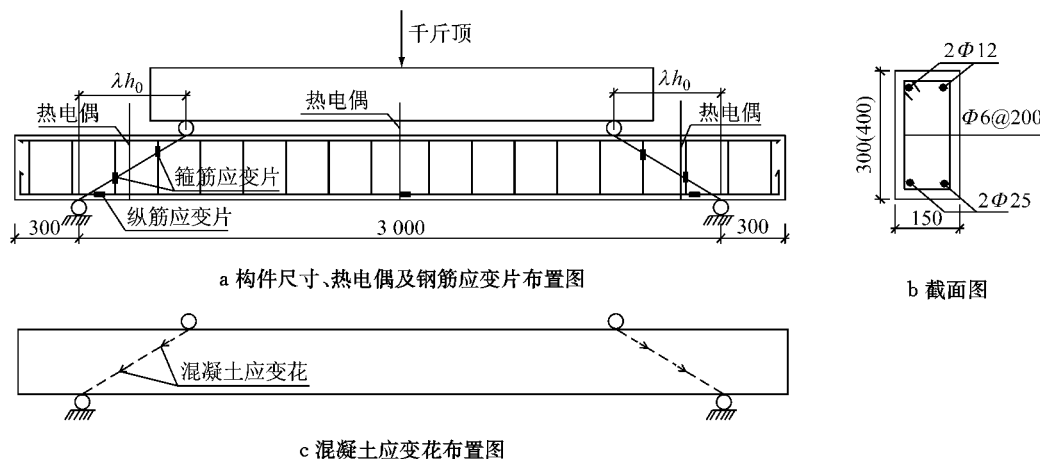


图 1 构件设计及测点布置(单位:mm)

Fig.1 Specimen design and measuring-point arrangement

1.2 加载制度和测量内容

(1)采用 ISO834 标准升温曲线对七根梁进行火灾恒载升温试验。试验过程中进行炉温、梁内温度分布和梁的变形等数据测量与记录。热电偶布置如图 1a 所示。

(2)对一根常温对比梁及高温冷却后的七根受火梁进行加载,观察集中荷载作用下受火后混凝土梁受剪破坏全过程,并记录梁跨中竖向位移、混凝土与钢筋的应变。加载制度为每级 10 kN,加至预估极限荷载适当降低每级荷载增量。试件加载示意图如图 1a 所示。本文应变片为普通应变片,在高温试验后,静载试验前对试件进行局部破损再粘贴应变片,破损部分用细石混凝土修复。考虑破损区域较小,且火灾后该部分混凝土强度较低,对结构整体影响较小。

1.3 火灾试验

参照《建筑设计防火规范》^[7](GB50016—2006)第 5.1.1 条:民用建筑梁构件耐火等级为一级不燃烧体。受火试验采用同济大学结构抗火实验室的“水平结构构件抗火试验炉”,炉膛尺寸为 4.5 m×3.0 m×1.7 m(长×宽×深),燃料采用液化天然气,自动控制升温。梁沿 3 m 跨度放置,周围用耐火砖围砌,梁上面铺石棉,再用炉盖覆盖。本试验采用 ISO834 标准升温曲线,进行恒载(自重)升温 2 h,冷却方式为炉内自然冷却。炉温及热电偶温度如图 2 所示。本试验未对火灾试验中试件进行加载,通过对比分析文献^[1]数据,不施加外荷载承载力比施加外荷载偏高。

受火后混凝土梁出现竖向通长裂缝,梁底混凝土保护层出现轻微剥落,梁底 5~10 mm 左右厚度的混凝土内颜色变化明显。

2 试验结果与分析

2.1 破坏过程及主要试验结果

(1) 剪切破坏

火灾后混凝土梁的加载过程中, 试件 YG300-1.0, YG300-2.0, YG300-3.0, YG300-3.5, YG400-2.0 试验现象基本类似, 该破坏皆由弯剪区斜裂缝引起, 判断为剪切破坏. 以 YG300-2.0 为例, 加载开始混凝土被压紧, 伴有声响; 40 kN 时, 弯剪区梁侧面

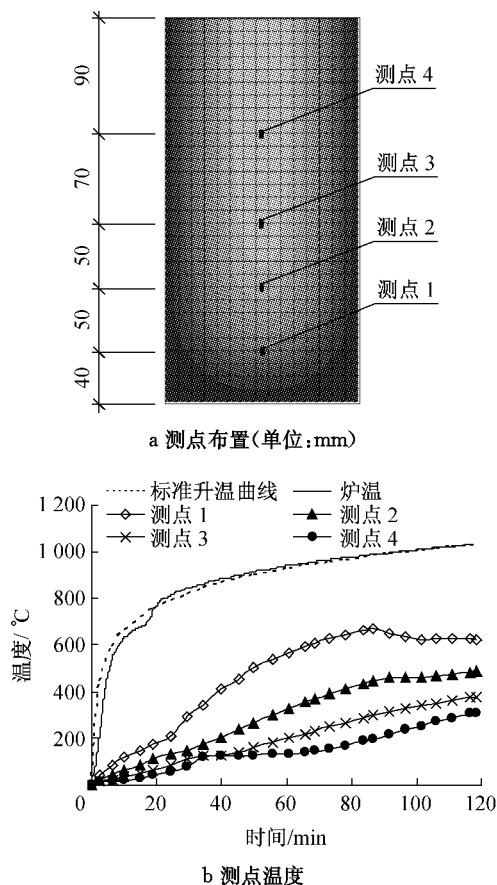


Fig.2 Internal temperatures of specimens

混凝土出现裂缝; 60 kN 时, 支座附近出现斜裂缝, 斜裂缝不断扩展; 100 kN 时, 多条小斜向裂缝连通成一条主斜裂缝; 110 kN 时, 跨中挠度到达 10 mm; 190 kN 时, 斜裂缝延伸至梁顶; 200 kN 时, 多条斜裂缝均变宽; 230 kN 时梁最终破坏, 如图 3a 所示.

(2) 受弯破坏

火灾后受压区受火混凝土梁的加载过程中, 试件 YD300-2.0, YD300-3.0 试验现象基本类似. 以 YD300-2.0 为例, 由于其受火过程中倒置, 在加载前其呈反拱状态. 加载开始混凝土被压紧, 当加载至 60 kN 时, 纯弯区出现细微竖向裂缝, 随着荷载增加, 裂缝数量逐渐增多; 115 kN 时, 梁顶面(即受火面)混凝土压碎, 顶部钢筋屈服并变形, 梁呈受弯破坏, 如图 3b 所示.

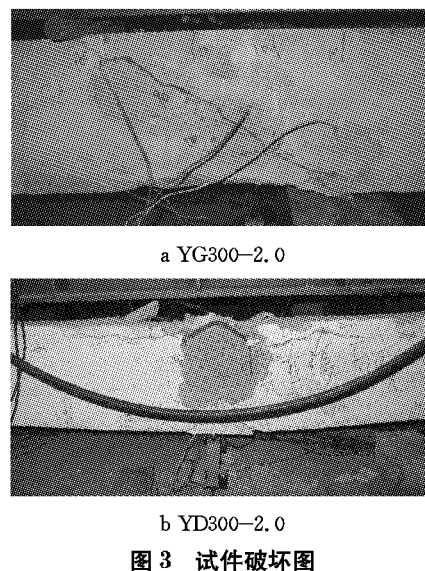


图3 试件破坏图
Fig.3 Failure of specimens

加载过程中各阶段荷载值如表 1 所示. 从表 1 可以看出火灾(高温)后混凝土梁的抗剪承载力明显降低.

表 1 各阶段荷载值

Tab.1 Loads at each stage								kN
试验现象	YG300-2.0	YG400-2.0	YG300-1.0	YG300-2.0	YG300-3.0	YG300-3.5	YD300-2.0	YD300-3.0
出现受弯裂缝	80	30	40	40	30	40	60	55
出现细斜裂缝	130	30	50	40	30	50		
极限荷载	292	298	314	230	180	152	115	100
破坏模式	剪压	剪压	斜压	剪压	斜拉	斜拉	受弯破坏	受弯破坏

从表 1 可以看出梁顶受火形式下截面承载力下降最严重, 其破坏形式为弯曲破坏, 而与其剪跨比相同的梁底受火或常温下的梁发生剪切破坏. 火灾试验后, 梁虽有变形, 但变形不大, 也未发现与其他梁明显不同之处, 倒置方法对梁本身的影响并不大. 本

组试件用以模拟受压区混凝土受火情况, 对梁顶受火梁及连续梁负弯矩区梁底受火情况具有参考作用. 实际工程中由于板的存在, 梁顶受火时类似于单面受火, 本试验承载力偏低, 对于负弯矩区梁底受火情况, 此时该处弯矩和剪力皆为最大, 实际承载力比

本试验要低,需要进行进一步研究.本试验表明受压区受火比受拉区受火构件损伤更严重,受压区受火对构件抗弯承载力极为不利.

各试件破坏模式总结如表1所示.高温后有腹筋梁整体破坏形态与常温相似,高温后混凝土梁剪力传递机制与常温梁相似.但火灾后混凝土梁加载中裂缝相对较多,梁底和梁顶都会出现细微竖向裂缝.

2.2 试验数据分析

2.2.1 荷载—位移

由于 YD300-2.0, YD300-3.0 为受弯破坏,本节主要考虑其他抗剪破坏试件.图4为静载试验荷载—位移关系.

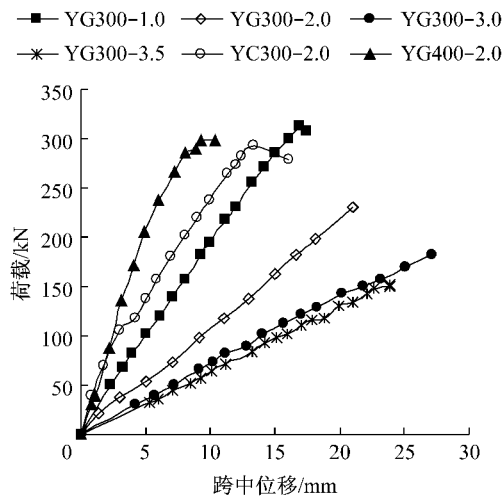


图4 荷载—跨中位移曲线

Fig.4 Load-mid span deformation curves

从图中可以看出:

(1)高温后混凝土梁的抗剪极限承载力明显降低,剪跨比为2.0时高温后其抗剪承载力下降了23%.

(2)高温后混凝土梁的刚度明显降低,剪跨比为2.0时,常温梁(YC300-2.0)整体刚度是高温后梁(YG300-2.0)的2.3倍,同时高温后混凝土梁的最大挠度有所增大.

(3)剪跨比为1.0时其刚度与剪跨比为2.0~3.5时相差较大,这表明其抗剪机制存在较大差别,剪跨比1.0时力从加载点直接指向支点,剪跨比大于等于2.0时其传力方式为拉压杆模型.同时混凝土应变花结果也与该结果一致:剪跨比为1.0时弯剪区混凝土最大主应力小于零,剪跨比不小于2.0时弯剪区最大主应力大于零.

(4)常温下抗剪极限承载力与有效高度成正比,刚度与有效高度立方成正比.剪跨比为2.0的

YG400-2.0与YG300-2.0实测极限承载力比为1.30,刚度比为2.64;其有效高度比为1.38,有效高度立方的比为2.63.抗剪承载力之比与有效高度之比相近,刚度之比与有效高度立方之比相近,可见三面受火状况下,截面高度对高温后混凝土抗剪性能的影响与常温下基本一致.

2.2.2 荷载—箍筋应变

对弯剪区内的箍筋应变进行了测量,取典型荷载应变曲线,如图5和6所示.

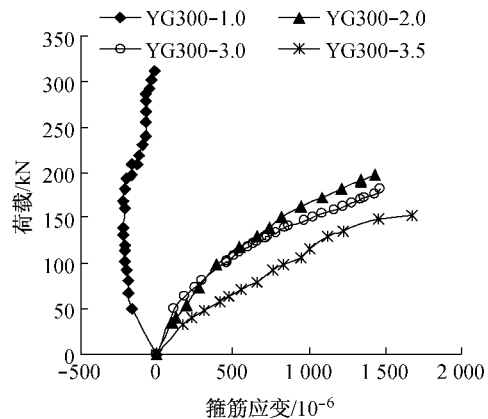


图5 不同剪跨比时荷载—箍筋应变曲线

Fig.5 Load-stirrup strain curves at different shear span ratios

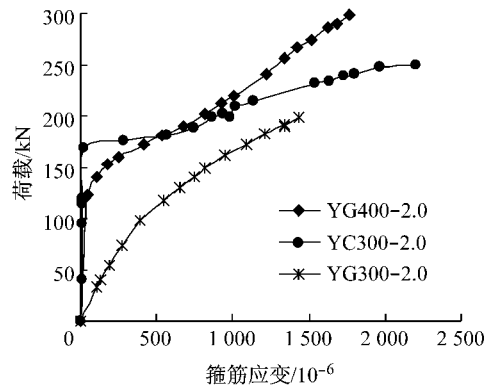


图6 剪跨比为2.0时荷载—箍筋应变曲线

Fig.6 Load-stirrup strain curves of specimens ($\lambda = 2.0$)

随着剪跨比的增加相同荷载下箍筋的应变增加,表明随着剪跨比的增大抗剪机制的拱作用减弱而拉压杆作用增强. $\lambda = 1.0$ 时,箍筋处于受压状态; $\lambda \geq 2.0$ 时箍筋一直处于受拉状态,随着剪跨比的增大相同荷载下箍筋应变增大.

相同剪跨比($\lambda = 2.0$)相同荷载下火灾后箍筋的应变比常温下大,常温下箍筋应变在开裂前较小,而高温后在明显开裂前箍筋应变增长明显,推断其原因为:①火灾后混凝土梁内存在大量细微裂缝;②火灾后混凝土梁刚度降低,变形增大.

3 抗剪承载力的有限元计算方法

混凝土构件受火后温度场的分布复杂,不同温度对应不同的材性,这使得抗剪承载力的精确计算极为复杂.非线性有限元方法是解决该问题的最好方法之一.利用通用非线性有限元软件 ABAQUS,探讨高温后混凝土梁抗剪承载力计算的有限元分析方法.

3.1 温度场模型

3.1.1 热传导方程及边界条件

火场温度已知,构件受火面与火灾热气场之间进行热辐射和热对流传热,其热传导方程可表述为

$$-\beta \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_r = h_c(T_c - T_f) + \sigma \epsilon(T_c^4 - T_f^4) \quad (1)$$

式中: Γ 表示构件边界; h_c 为对流传热系数; T_c 为受火面温度; T_f 为火灾热气场温度; σ 为 Stefan-Boltzmann 常数,其值为 $5.67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$; ϵ 为综合辐射系数; β 为传热系数, $\text{W} \cdot (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$.

3.1.2 热工参数

试验中由于混凝土水分蒸发,密度随温度降低.试验中配合做了各温度下混凝土密度测试,本模型设置以下密度信息:0 °C 时为 $2500 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,100 °C 时为 $2490 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,200 °C 时为 $2360 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,400 °C 及更高温度时为 $2300 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,并考虑该部分水分汽化热对比热容的影响.

混凝土传热系数的研究较多,其结论各异,本文经试算采用^[8]

$$\beta_c = 1.16 \times (1.4 - 1.5 \times 10^{-3} T + 6 \times 10^{-7} T^2) \quad (2)$$

本模型比热容采用^[9]

$$C_c(T) = 840 + 420(T/850) \quad (3)$$

对流传热系数^[10-11]对受火面采用 $25 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$,未受火面采用 $6.5 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$,综合辐射系数按 EN1991-1-2^[12]取 0.8.

3.2 力学模型

3.2.1 材料本构关系

混凝土材性定义采用 ABAQUS 中的塑性损伤模型.对于高温后混凝土抗压强度及本构关系在基于材性试验的基础上参考文献^[13]建议公式.本文采用单轴混凝土抗压和抗拉本构关系,如图 7 和 8 所示.

经常温和火后材性试验,钢筋强度相差不大,模

拟中采用相同材性,以及两折线模型,纵筋屈服强度为 355 MPa,弹性模量为 $2.06 \times 10^5 \text{ MPa}$,极限强度为 400 MPa,箍筋屈服强度为 240 MPa,极限强度为 300 MPa,对应塑性应变皆为 0.2.

3.2.2 钢筋与混凝土黏结—滑移关系

普通情况下钢筋与混凝土之间关系可以采用 embed 单元,采用该单元时忽略钢筋与混凝土之间的黏结、滑移,两者共同工作.但是试验和分析表明高温后梁底混凝土损伤较大,剪力传递主要是梁作用,梁作用中纵筋受力变化主要依靠钢筋与混凝土之间的黏结力.此时纵筋与混凝土之间的黏结力对抗剪承载力具有决定作用,高温后梁底两者的黏结力损失严重需要重点考虑.经试算,采用 embed 单元导致结果偏大.

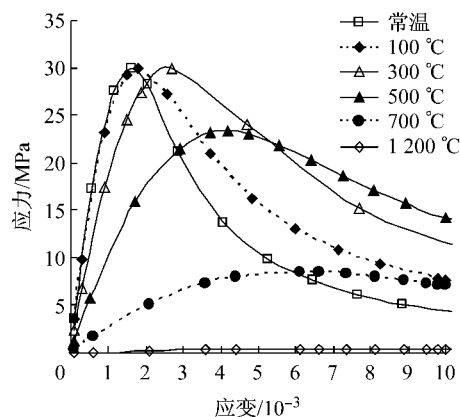


图7 高温后混凝土单轴受压本构关系

Fig.7 Concrete uniaxial compression constitutive relationship curves

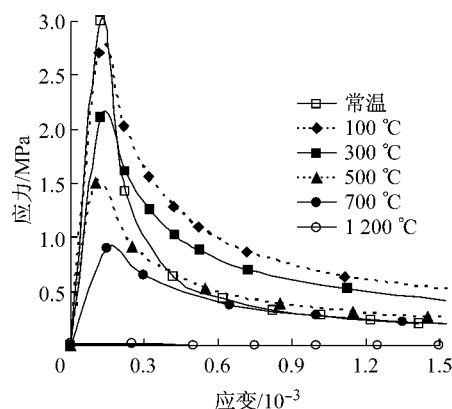


图8 高温后混凝土单轴受拉本构关系

Fig.8 Concrete uniaxial tension constitutive relationship curves

基于以上原因,除梁底纵筋外其他部分钢筋与混凝土采用 embed 单元,梁底纵筋与混凝土之间采用 connector 单元.目前没有高温后可靠的黏结—滑移本构关系,本文借助 Alsawat 等^[14]建议的常温下

本构关系来设置高温后钢筋与混凝土黏结—滑移本构关系,如图9所示。

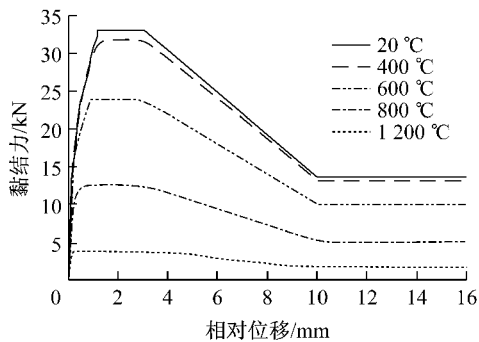


图9 不同温度下梁底纵筋与混凝土黏结—滑移关系

Fig.9 Bonding-slip relationship between concrete and rebar

3.3 有限元分析流程

分析中需要先对模型的温度场进行分析,然后将温度场导入力学模型.有限元模型建立流程如图10所示.温度场模型中忽略钢筋对温度场的影响.力学模型中除梁底纵筋采用 beam 单元外,其他钢筋采用 truss 单元;除梁底纵筋与混凝土接触采用 connector 单元,其他钢筋混凝土接触采用 embed 单元.该方式在不明显降低精度情况下,可获得较好的计算速度和收敛性.

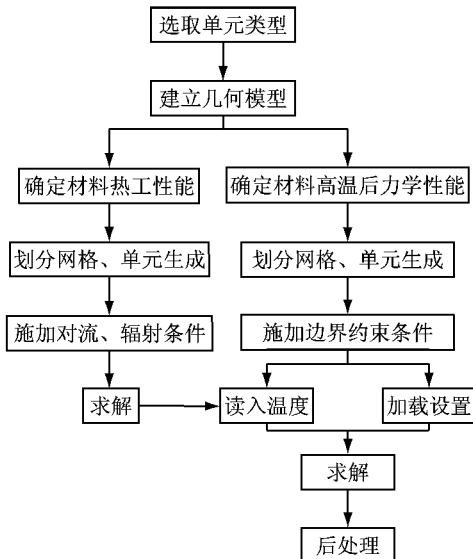


图10 有限元模型建立流程图

Fig.10 Flow chart for FEM building

3.4 模型验证

利用以上试验数据对有限元模型进行验证.温度场计算结果如图2a所示,其中测点1和2温度随时间的关系如图11所示,从图11可以看出模拟与试验结果接近,温度场计算模型可靠。

YG300-2.0 和 YG300-3.0 模拟荷载位移曲线如图12所示,刚度模拟结果比试验值偏大,可能是模拟中未能反映高温后混凝土中存在大量裂缝,加载中存在裂缝闭合导致的刚度下降.承载力计算结果如表2所示,从表2可以看出利用本文方法能较好地计算高温后混凝土梁的抗剪承载力。

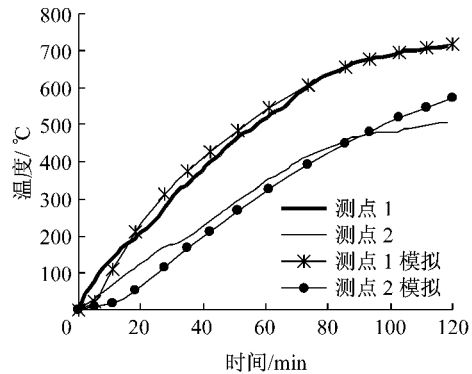


图11 模拟温度与实测温度对比

Fig.11 Comparison of temperature between FEM calculation and test

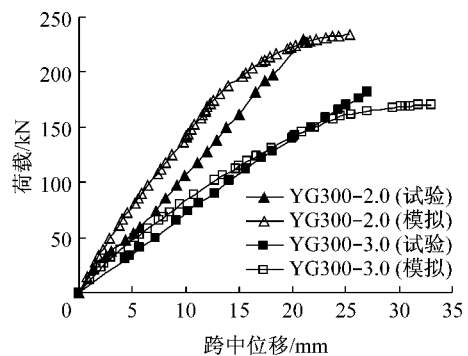


图12 模拟与实测荷载—跨中位移曲线对比

Fig.12 Comparison of simulation and the test load-deformation curves

表2 承载力计算值与试验值对比

Tab.2 Comparison of the calculated results with the test results

构件	试验值 P_1 /kN	模拟值 P_2 /kN	$\frac{P_2-P_1}{P_1}/\%$
YC300-2.0	292	287	-1.70
YG300-1.0	314	342	8.90
YG300-2.0	230	234	1.70
YG300-3.0	180	172	-4.40
YG300-3.5	152	148	-2.60
YG400-2.0	298	265	-11.10
YD300-2.0	115	134	16.50
YD300-3.0	100	102	2.00

4 结论

(1)火灾(高温)后混凝土梁抗剪承载力明显下

降,高温对受压区的影响比受拉区大,受压区受火时常温下发生剪切破坏的构件高温后转为受弯破坏。

(2)火灾(高温)后混凝土梁的整体剪切刚度下降,极限位移增加。

(3)随着剪跨比的增加,抗剪承载力降低,其破坏形态与常温相似,但裂缝相对较多。

(4)三面受火状况下,截面高度对高温后混凝土抗剪性能的影响与常温下基本一致。

(5)常温下混凝土梁在明显开裂前箍筋应变变化不大,高温后混凝土梁箍筋应变在明显开裂前应变相对较大。

(6)由于高温后混凝土梁抗剪承载力计算复杂,本文建议了非线性有限元计算方法,其结果与试验值吻合较好。

参考文献:

- [1] 陈鸣,金贤玉,胡文清. 钢筋混凝土梁火烧后残余抗剪强度的研究[J]. 浙江大学学报:自然科学版,1995,29(1):98.
CHEN Ming, JIN Xiangyu, HU Wenqing. Residual shear strength of reinforced concrete beams after firing [J]. Journal of Zhejiang University: Natural Science, 1995, 29(1): 98.
- [2] 肖建庄. 高性能混凝土深梁火灾反应及火后抗剪性能[J]. 结构工程师, 2008, 24(5): 112.
XIAO Jianzhuang. HPC deep beams: their fire response and shear resistance after fire [J]. Structural Engineers, 2008, 24(5): 112.
- [3] Hsu J H, Lin C S. Effect of fire on the residual mechanical properties and structural performance of reinforced concrete beams [J]. Journal of Fire Protection Engineering, 2008, 18(4): 245.
- [4] Maruta M, Yamazaki M, Miyashita T. A study on shear behavior of reinforced concrete beams subjected to long-term heating [J]. Nuclear Engineering and Design, 1995, 156(1/2): 29.
- [5] El-Hawary M M, Ragab A M, El-Azim A A, et al. Effect of fire on shear behaviour of RC beams [J]. Computers & Structures, 1997, 65(2): 281.
- [6] Khan M S, Prasad J, Abbasa H. Shear strength of RC beams subjected to cyclic thermal loading [J]. Construction and Building Materials, 2010, 24(10): 1869.
- [7] 中华人民共和国公安部. GB50016—2006 建筑设计防火规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2006.
Ministry of Public Security of the People's Republic of China. GB50016—2006 Code of design on building fire protection and prevention [S]. Beijing: China Planning Press, 2006.
- [8] 日本建筑省编. 建筑物综合防火设计[M]. 孙金香, 高伟, 译. 天津: 天津科技翻译出版公司, 1994: 780.
Japan Construction Ministry. Building fire safety design [M]. Translated by SUN Jinxiang, GAO Wei. Tianjin: Tianjin Science and Technology Translation and Publishing Corporation, 1994: 780.
- [9] 陆洲导. 钢筋混凝土梁对火灾反应研究[D]. 上海: 同济大学, 1989.
LU Zhoudao. Fire response analysis of reinforced concrete beams [D]. Shanghai: Tongji University, 1989.
- [10] 刘文燕, 黄鼎业, 华毅杰. 混凝土表面对流换热系数测试方法探讨[J]. 四川建筑科学研究, 2004, 30(4): 87.
LIU Wenyang, HUANG Dingye, HUA Yijie. Probe into test method of heat convection coefficient of concrete [J]. Sichuan Building Science, 2004, 30(4): 87.
- [11] 张建荣, 刘照球. 混凝土对流换热系数的风洞实验研究[J]. 土木工程学报, 2006, 39(9): 39.
ZHANG Jianrong, LIU Zhaoqiu. A study on the convective heat transfer coefficient of concrete in wind tunnel experiment [J]. China Civil Engineering Journal, 2006, 39(9): 39.
- [12] European Committee for Standardization. EN 1991-1-2 Euro code 1: actions on structures, part 1-2: general actions—actions on structures exposed to fire [S]. Brussels: CEN, 2002.
- [13] 过镇海, 时旭东. 钢筋混凝土的高温性能及其计算[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003: 15-25.
GUO Zhenhai, SHI Xudong. Behavior of reinforced concrete at elevated temperature and its calculation [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003: 15-25.
- [14] Alsawat J M, Saatciclu M. Reinforcement anchorage slip under monotonic loading [J]. Journal of Structural Engineering New York, 1992, 118(9): 2421.