

# 火灾对钢筋力学性能的影响

康瑞

(湖南省公安消防总队,湖南 长沙 410205)

**摘要:**简要阐明了火灾条件下,钢筋的微观结构、屈服强度、弹性模量等主要力学性能指标的变化情况,分析了火灾对建筑中最常见的预应力钢筋力学性能的影响,指出了预应力钢筋和一般钢筋在受火后的力学性能变化差异,分析了不同厚度的混凝土保护层对钢筋力学性能的保护效果.

**关键词:**火灾;钢筋;结构;强度;力学性能

**中图分类号:**TU391 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-9102(2013)03-0072-03

钢筋混凝土建筑是城乡最主要的建筑形式. 建筑物发生火灾后,钢筋混凝土尤其是其中的钢筋的力学性能会产生明显变化,钢结构会出现损伤、变形甚至失去承载支撑能力. 因此,研究火灾对钢筋力学性能的影响,对火灾后建筑进行安全性能评估以及对火灾后建筑进行修复具有十分重要的意义.

## 1 钢筋受火后的微观结构变化

钢筋受火后力学性能将发生变化,其受火场高温的影响程度可以通过下列试验方法获得:1)高温作用后的短期受拉试验;2)短期高温作用试验;3)长期高温作用试验. 通过对钢筋的短期高温作用试验,可以通过分析钢筋内的微观结构变化,从而反映出火灾后建筑构件中钢筋力学性能的变化情况. 国外学者 Abrams 和 Erlin (1967), Day (1961) 和 Holmes (1982) 等对高温作用后碳素钢和低合金钢力学性能的影响做了试验研究,分析了高温对钢筋微观结构的变化影响<sup>[1]</sup>,如表 1 所示.

随着温度的上升,钢筋的微观结构逐渐变成粗颗粒的奥氏体结构,冷却后钢筋的强度也将大幅度降低.

表 1 高温下钢筋微观结构变化

Tab. 1 Changes of steel microstructure under high temperature condition

温度范围	现象
< 600 °C	对残余强度和微观结构影响不大
> 600 °C 且 < 700 °C	产生球化作用,珠光体的碳化铁薄片接合成球状颗粒
> 700 °C 且 < 727 °C	由铁素体-珠光体结构转变为粗颗粒的铁素体-奥氏体结构
> 727 °C	粗颗粒的奥氏体

## 2 钢筋受火后屈服强度和弹性模量变化

屈服强度是金属材料发生屈服现象时的屈服极限,亦即抵抗微量塑性变形的应力. 对于无明显屈服的金属材料,规定以产生 0.2% 残余变形的应力值为其屈服强度. 屈服强度常用作火灾后钢结构材料损伤的关键指标. Tovery (1986) 给出了热轧钢和冷加工钢在火灾后的屈服强度简化曲线<sup>[2]</sup>,如图 1 所示.

曹文銜对经历 600 °C 以下高温的钢材自然冷却后的屈服强度建议按如下公式<sup>[3-4]</sup>计算:

收稿日期:2013-06-13

基金项目:湖南省高等学校科学研究重点项目(10A017)

通信作者:康瑞(1976-),男,湖南娄底人,硕士,工程师,主要从事建筑消防设计审核和消防监督检查工作的研究. E-mail:625862336@qq.com

$$\frac{f_s(t)}{f_s} = \begin{cases} 1 & t \leq 400 \text{ } ^\circ\text{C}; \\ 1 + 2.23 \times 10^{-4}(t - 20) - 5.88 \times 10^{-7}(t - 20)^2 & t > 400 \text{ } ^\circ\text{C}. \end{cases} \quad (1)$$

由上式可知:1)在 400 °C 以内,屈服强度基本不变;2)在 400 °C 到 600 °C 之间,屈服强度略微下降。

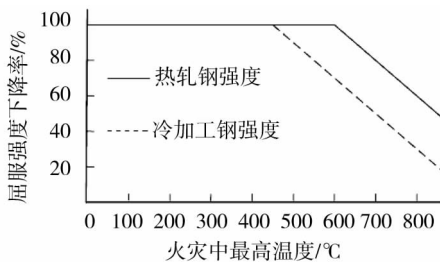
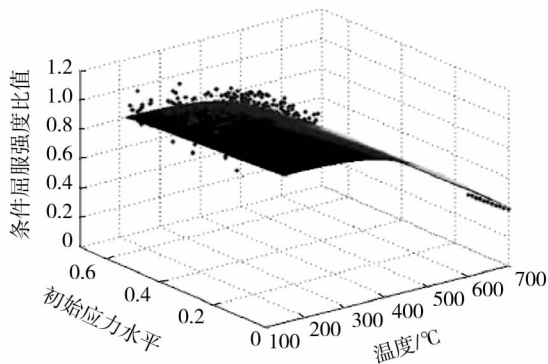


图1 钢材不同温度冷却后屈服强度变化曲线  
Fig. 1 The curves of steel yield strength after temperatures

弹性模量可视为衡量材料产生弹性变形难易程度的指标,其值越大,使材料发生一定弹性变形的应力也越大,即材料刚度越大,亦即在一定应力作用下,发生弹性变形越小.弹性模量也可作为衡量火灾对钢筋力学性能影响的重要指标.国内外试验研究表明,用于钢筋混凝土结构的热轧钢筋和冷加工钢筋的弹性模量随温度的升高而降低.图2表示的是温度对钢筋弹性模量的影响情况.从图中可以看出温度在 200 °C 以下时,结构钢、预应力钢筋、普通钢筋的弹性模量几乎没有变化;温度超过 400 °C 时,3 种钢筋的弹性模量都急剧下降,其中普通钢筋的下降速度最快;温度达到 600 °C 时,普通钢筋弹性模量降至常温时的 0.25 以下,预应力钢筋降至 0.5 以下,结构钢降至 0.75 以下。



高温后预应力钢筋条件屈服强度退化规律

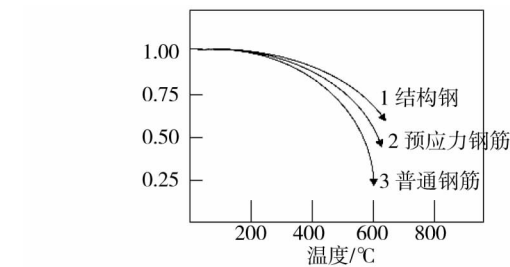
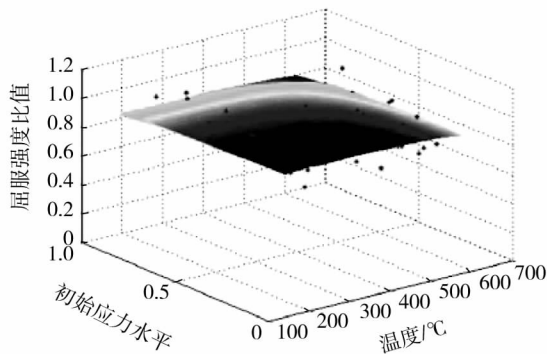


图2 温度对钢筋弹性模量的影响  
Fig. 2 Temperature effect on the reinforced elastic modulus

### 3 预应力钢筋和一般钢筋在受火后的力学性能对比

在普通钢筋混凝土的结构中,由于混凝土极限拉应变低,在使用荷载作用下,构件中钢筋的应变大大超过了混凝土的极限拉应变.钢筋混凝土构件中的钢筋强度得不到充分利用.为了弥补混凝土与钢筋拉应变之间的差距,故把预应力运用到钢筋混凝土结构中去.亦即在外荷载作用到构件上之前,预先用某种方法,在构件上(主要在受拉区)施加压,构成预应力钢筋混凝土结构。

火灾后,预应力钢筋与一般钢筋的力学性能存在较大的差异,而且更为复杂.公安部天津消防研究所经建生等人通过试验研究高温后预应力钢筋及非预应力钢筋的力学性能,得出“在经历相同的温度作用后,经历高温下应力历程的预应力钢筋较未经历高温下应力历程的预应力钢筋的强度略低,而非预应力钢筋的强度受高温下应力历程的影响不大”<sup>[5]</sup>.高温后预应力及非预应力钢筋屈服强度退化规律如图3所示。



高温后非预应力钢筋屈服强度退化规律

图3 高温后预应力及非预应力钢筋屈服强度退化规律

Fig. 3 Yield strength of prestressing steel wire and yield strength of non - prestressed steel bar after elevated temperature

图4为预应力钢筋和非预应力钢筋在火灾后的剩余强度对比.从图中可以看出,火灾对热轧钢筋和冷轧钢筋的损害远小于对预应力钢筋的损害。

### 4 受火后混凝土保护层对钢筋力学性能的影响

火灾试验表明,当室内火场温度达到 900 °C 时,

钢筋混凝土构件只有其外表层的温度急剧上升,而构件内部的温度则相对较低<sup>[6-8]</sup>.图5表示的是在标准温度-时间曲线条件下混凝土板内部的温度分布情况。

从图中可以看出,离板受火面距离大温度越低,离板受火面距离大于 85 mm 时温度低于 300 °C,混凝土保护层能够在火灾时对钢筋起到较好的保护作用。

上述试验表明,为确保发生火灾时钢筋力学性能不迅速受到破坏性影响,在浇筑建筑混凝土构件时,确保钢筋有适当的混凝土保护层厚度是十分必要的。

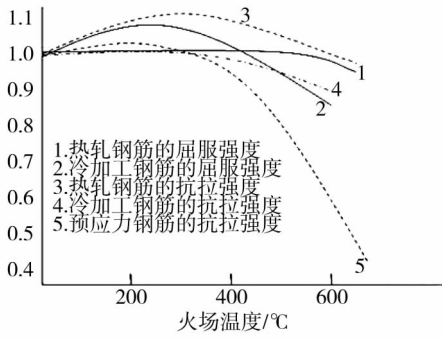


图4 预应力钢筋和非预应力钢筋在火灾后的的剩余强度

Fig. 4 Residual strength of prestressed and prestressed reinforcement after fire

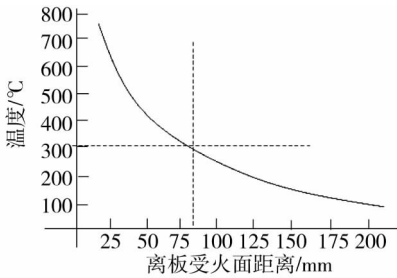


图5 标准火灾时混凝土板内的温度分布

Fig. 5 The temperature distribution of slab under standard fire

## 5 结论

通过分析钢筋在火灾后的微观结构变化、屈服强度以及弹性模量的变化,可得出当温度超过600 °C时对钢筋的力学性能产生显著影响. 本文对比了预应力钢筋和一般钢筋在受火后的力学性能,分析了受火后混凝土保护层对钢筋力学性能的影响。

## 参考文献:

[1] 任红梅. 高性能混凝土剪力墙火灾反应理论分析与抗火设计 [D]. 上海: 同济大学, 2006.  
Ren H M. The fire response theory analysis and design of fire resistance of high performance concrete shear wall [D]. Shanghai: Tongji University, 2006.

[2] 董毓利. 混凝土结构的火安全设计 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.  
Dong Y L. Fire safety design of concrete structure [M]. Beijing: Science Press, 2001.

[3] 曹文衍. 损伤积累条件下钢框架结构火灾反应的分析研究 [D]. 上海: 同济大学, 1998.  
Cao W X. Research on fire response analysis of steel frame structures on condition of damage accumulation [D]. Shanghai: Tongji University, 1998.

[4] 徐彦, 赵金城. Q235 钢在不同应力 - 温度路径下材料性能的试验研究和本构关系 [J]. 上海交通大学学报, 2004, 38 (6): 967 - 971.  
Xu Y, Zhao J C. Constitutive relationship and experimental research on the material properties of Q235 steel under different stress - temperature paths [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2004, 38 (6): 967 - 971.

[5] 经建生, 侯晓萌, 郑文忠. 高温后预应力钢筋和非预应力钢筋的力学性能 [J]. 吉林大学学报 (工学版), 2010 (2): 441 - 446.  
Jing J S, Hou X M, Zhen W Z. Mechanical properties of prestressing steel wire and non - prestressed steel bar after elevated temperature experience [J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2010 (2): 441 - 446.

[6] 田明革. 火灾后钢筋混凝土结构破损评估研究与应用 [D]. 长沙: 湖南大学, 2002.  
Tian M G. The research and application of damage assessment of reinforced concrete structure after fire [D]. Changsha: Hunan University, 2002.

[7] 朱蕴东. 建筑物火灾后结构检测鉴定与加固研究 [D]. 郑州: 郑州大学, 2005.  
Zhu Y D. The research of testing and strengthening of the building structure after fire [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2005.

[8] 杨晓光. 火灾后钢筋混凝土结构的受损鉴定与修复加固 [D]. 天津: 天津大学, 2006.  
Yang X G. The damage identification and reinforcement of reinforced concrete structure after fire [D]. Tianjin: Tianjin University, 2006.

[9] 欧阳洋, 贺冉, 陈伯望. 考虑封闭效应的钢管混凝土的轴压承载力研究 [J]. 湖南科技大学学报 (自然科学版), 2012, 27 (3): 48 - 51.  
Ou Y Y, He R, Chen B W. Axial compression bearing capacity researches for considering closed concrete filled steel tube [J]. Journal of Hunan University of Science & Technology (Natural Science Edition), 2012, 27 (3): 48 - 51.

[10] 戴益民, 闫旭光, 王相军, 等. 钢 - 混凝土预制板组合梁的组合性能 [J]. 湖南科技大学学报 (自然科学版), 2012, 27 (4): 39 - 43.  
Dai Y M, Yan X G, Wang X J, et al. Experiment of the steel - depth precast concrete panel beams [J]. Journal of Hunan University of Science & Technology (Natural Science Edition), 2012, 27 (4): 39 - 43.

# Influence on the mechanical behavior of reinforcing steel bar by fire

Kang Rui

(Fire Corps of Hunan Province, Changsha 410205, China)

**Abstract:** The microstructure, yield strength, elastic modulus and other major indicators of changes, were illustrated, in the mechanical properties of steel under fire condition, and focusing on the influence on mechanical properties of prestressing steel that was most common in building.

**Key words:** fire; steel; structure; strength; mechanical properties