

文章编号: 1000-5013(2011)01-0077-04

HRB 500 级钢筋高温后的红外热像试验

吴红翠, 王全凤, 徐玉野, 霍喆赞

(华侨大学 土木工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 采用红外热像技术, 给出高温后 HRB 500 级钢筋红外热像平均温升随时间的变化曲线, 建立钢筋红外热像平均温升与钢筋过火温度及强度损失的回归方程. 结果表明, HRB 500 钢筋的屈服强度、抗拉强度随着受火温度的升高而下降, 在 400 ℃ 以下, 其变化不大, 在 800 ℃ 时达到最小值, 但 900 ℃ 时有所回升; 钢筋的热像平均温升随着受火温度的升高而升高, 500 ℃ 以下持续上升, 600 ℃ 时突然下降, 之后又持续上升.

关键词: 钢筋; 高温; 红外热像; 平均温升; 强度

中图分类号: TU 511.3⁺20.2

文献标识码: A

火灾给人类的生命财产和自然资源造成的严重损失仅次于干旱和洪涝, 其发生的频度位居各种灾害之首. 火灾中, 发生次数最多、损失最严重的是建筑火灾^[1]. 建筑火灾引起的结构破坏, 会造成更大因结构功能失效而引发的间接经济损失. 国内外的统计表明, 火灾引起结构失效造成的间接经济损失, 约为火灾直接经济损失的 3 倍^[2]. 从避免因局部火灾破坏而造成结构整体失效, 以及鉴定受火建筑能否继续使用等安全的角度来看, 结构抗火研究和设计是完全必要的. 快速准确地检测和评估建筑物的火灾损伤程度极为重要. 它不仅直接影响修复工程的可靠性与经济性, 而且对减少损伤, 恢复使用具有重要的意义. 本文应用红外热像检测技术, 对遭受不同温度作用后的钢筋试件进行检测分析, 探讨过火后钢筋红外热像的变化规律及其与钢筋实际受灾温度、强度损失的关系.

1 试验方法

1.1 材料与设备

HRB 500 热轧带肋, 月牙肋外形, 直径为 16 mm, 长度为 400 mm, 广州双菱钢铁有限公司.

箱式电阻炉(额定电压为 380 V, 额定功率为 12 kW, 额定温度为 1 000 ℃, 炉膛尺寸为 500 mm×300 mm×200 mm; 温度可自动控制, 且达到指定温度后可自动恒温). 电阻炉温度控制器(额定功率为 15 kW, 频率为 50 Hz, 输入电压为 380 V, 控制温度小于等于 1 200 ℃, 输出电流小于等于 20 A). TH3102MR 型红外热像探测器、TH31-110 型控制器(测温范围为 -50~200 ℃), 日本 NEC 公司. WDW-200 型微机控制电子万能试验机(200 kN, 最大拉伸行程为 600 mm).

1.2 检测方法

试件通过 SXL-1313 型程控箱式电炉加热, 达到预定的温度后恒温 1 h; 打开高温炉将试件取出, 放置在空气中冷却至常温; 然后, 由通过 TH3102MR 型红外热像探测器摄取不同受热温度下试件的红外热像, 并检测试件表面热像平均温升.

采用主动式单面加热法检测, 热源为红外线灯(220 V, 250 W), 由于钢筋的截面积较小, 吸收红外线不强, 经过反复试验, 取红外灯和钢筋试件之间的距离为 50 cm, 照射时间为 5 min. 红外热像探测器置于热源左后方, 避免工作环境温度超过 40 ℃. 检测时, 保持热源、探测器、试块 3 物体中心点在同一水

收稿日期: 2010-05-23

通信作者: 王全凤(1945-), 男, 教授, 主要从事土木结构工程的研究. E-mail: qfwang@hqu.edu.cn.

基金项目: 国家高技术研究发展(863)计划项目(2007AA03Z550); 国家自然科学基金资助项目(50908091); 福建省青年科技人才创新项目(2007F3064)

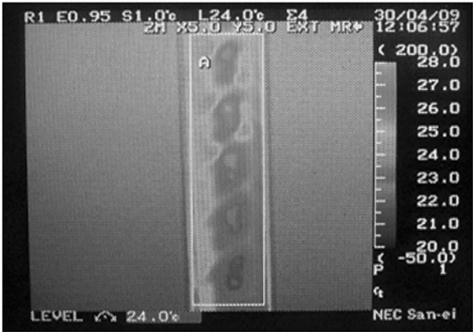
平面上,以保证试块照射面为中心受热. 红外热像为彩色视屏显示,红外热像图谱的数据统计与处理由仪器内置的 CPU 控制进行.

最后,在 WDW-200 万能试验机上进行拉伸试验,测得试件的屈服强度、抗拉强度. 整个拉伸试验参照国家标准 GB/T 228—2002《金属拉伸试验方法》执行.

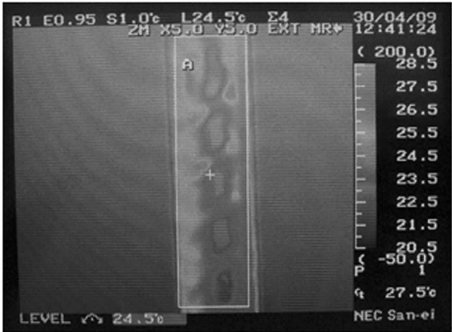
2 试验结果

2.1 钢筋过火后的红外热像特征

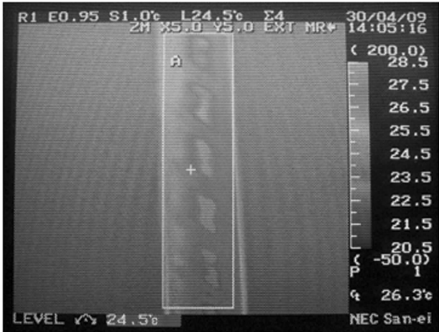
经历不同的高温作用后钢筋的红外热像,如图 1 所示. 从图 1 可看出,受热温度不同,钢筋试件的红外热图像也不相同. 这是因为传导的物理参数不同,从而导致在相同的外部热源下钢筋的红外热像图谱不同. 将遭受较高温度($>600\text{ }^{\circ}\text{C}$)作用后钢筋试件与未过火和遭受较低温度($<500\text{ }^{\circ}\text{C}$)的钢筋试件相比较,相应的热像测量值较高.



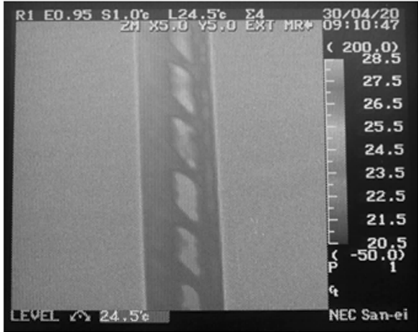
(a) 未过火



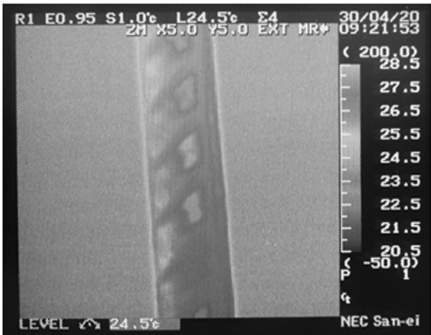
(b) 100 °C



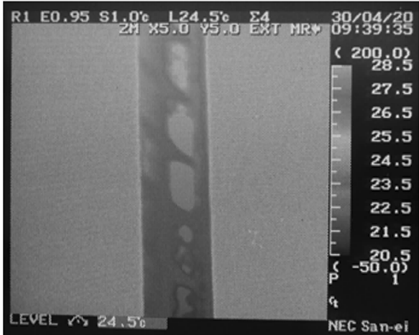
(c) 400 °C



(d) 600 °C



(e) 700 °C



(f) 900 °C

图 1 高温作用后钢筋试件的红外热像图谱

Fig. 1 Infrared images of steel bar after high temperature

2.2 钢筋过火后的红外热像

不同温度作用后,钢筋实际的热像平均温升随时间的变化曲线,如图 2 所示. 图 2 中: t_c , t_d 分别为升温时间和降温时间. 使用热像仪内置的微处理器,计算高温后钢筋试件表面的热像平均温升,结果如

图 3 所示.

由图 3 可知,钢筋试件的热像平均温升随着受火温度的不同而变化. 当受火温度小于等于 500 ℃ 时,钢筋试件的热像平均温升随着受火温度的升高而增大,最大增幅为 20.62%;当受火的最高温度为 600 ℃ 时,钢筋试件的热像平均温升突然下降,相对常温时的热像平均温升降低了 5.45%;当受火的最高温度大于等于 600 ℃ 时,钢筋试件的热像平均温升随着受火温度的升高而增大,相对与常温时热像平均温升有所提高. 在钢筋的受火温度未知的情况下,通过检测得出钢筋试件的平均温升,在判断钢筋的受火温度时,还要根据钢筋过火冷却后表面的颜色变化来确定.

由图 3 还可知,钢筋的屈服强度和抗拉强度基本上随着受火温度的升高而降低,其变化趋势相同. 当受火温度在 600 ℃ 以前,随着温度的升高,屈服强度和抗拉强度缓慢下降;当受火温度为 800 ℃ 时,屈服强度和抗拉强度突然降到最小值,之后又开始上升.

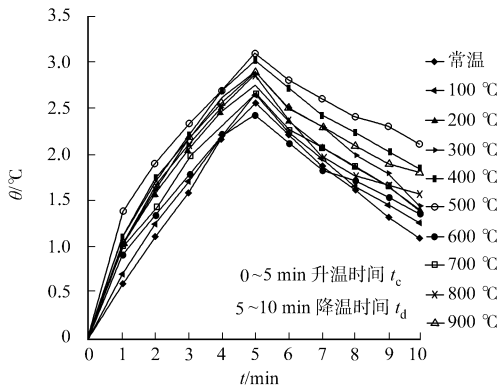


图 2 钢筋热像平均温升随时间的变化曲线
Fig. 2 Curves of steel bar average temperature rise of infrared image versus time

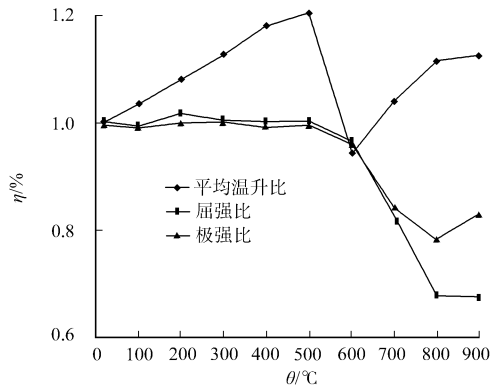


图 3 钢筋热像平均温升随着温度变化的曲线
Fig. 3 Curves of steel bar average temperature rise of infrared image versus temperature

3 模型建立

3.1 红外热像平均温升模型建立

由检测结果和上述分析,可知 500,600 ℃ 是平均温升的两个转折点. 根据数学原理,红外热像平均温升与钢筋的受火温度的线性关系可用三折线表示.

(1) 当 $0\text{ }^{\circ}\text{C} \leq t \leq 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,其关系表达式为

$$\Delta t_i / \Delta t = 4.000 \times 10^{-4} t + 0.990\ 1, \quad R^2 = 0.944\ 3;$$

(2) 当 $500\text{ }^{\circ}\text{C} \leq t \leq 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,其关系表达式为

$$\Delta t_i / \Delta t = -2.261 \times 10^{-3} t + 2.495\ 1, \quad R^2 = 1.000\ 0;$$

(3) 当 $600\text{ }^{\circ}\text{C} \leq t \leq 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,其关系表达式为

$$\Delta t_i / \Delta t = -2.000 \times 10^{-6} t^2 + 0.003\ 7t - 0.536\ 0, \quad R^2 = 0.944\ 0.$$

上式中: t 为钢筋试件的受火温度; Δt_i 为钢筋试件 t 温度时的红外热像平均温升; Δt 为钢筋试件常温下的红外热像平均温升; R 为线性相关系数.

3.2 钢筋的强度与平均温升的关系^[8]

由图 3 可知,500,600,800 ℃ 为强度与平均温升的力学模型的转折点.

(1) 当 $0 \leq t \leq 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,钢筋的屈服强度和极限强度与平均温升的关系表达式分别为

$$f_y' = 4\ 672.2(\Delta t_i)^4 - 52\ 996(\Delta t_i)^3 + 22\ 501(\Delta t_i)^2 - 423\ 824\Delta t_i + 299\ 347, \quad R^2 = 0.570\ 2,$$

$$f_{\text{lim}} = 6\ 539.2\Delta t_i^4 - 74\ 276\Delta t_i^3 + 315\ 891\Delta t_i^2 - 596\ 177\Delta t_i + 421\ 919, \quad R^2 = 0.705\ 4;$$

(2) 当 $500\text{ }^{\circ}\text{C} \leq t \leq 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,钢筋的屈服强度和极限强度与平均温升的关系表达式分别为

$$f_y' = 22.388\Delta t_i + 458.6, \quad R^2 = 1.000\ 0,$$

$$f_{\text{lim}} = 32.836\Delta t_i + 540.21, \quad R^2 = 1.000\ 0;$$

(3) 当 $600\text{ }^{\circ}\text{C} \leq t \leq 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 钢筋的屈服强度和极限强度与平均温升的关系表达式分别为

$$\begin{aligned} f_y' &= -346.7\Delta t_t + 1\,357.7, & R^2 &= 0.996\,8, \\ f_{\text{lim}} &= -267.86\Delta t_t + 1\,266.6, & R^2 &= 0.981\,2; \end{aligned}$$

(4) 当 $800\text{ }^{\circ}\text{C} \leq t \leq 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 钢筋的屈服强度和极限强度与平均温升的关系表达式分别为

$$\begin{aligned} f_y' &= -66.667\Delta t_t + 551.33, & R^2 &= 1.000\,0, \\ f_{\text{lim}} &= 1\,000\Delta t_t - 2\,367, & R^2 &= 1.000\,0. \end{aligned}$$

式中: t 为钢筋试件的受火温度; f_y', f_{lim} 分别为钢筋经历温度 t 作用后的屈服强度和极限强度; Δt_t 为钢筋试件 t 温度时的红外热像平均温升; Δt 为钢筋试件常温下的红外热像平均温升; R 为线性相关系数.

4 结 束 语

根据红外检测原理, 采用红外热像技术对高温后 HRB500 级钢筋进行研究. 所提出的热像平均温升变化曲线及热像平均温升与钢筋受火温度的回归方程, 可用于评估钢筋的过火温度及损伤程度. 试验结果表明, 红外热像检测技术及其检测模型可用于检测火灾后钢筋的过火温度和强度的损失.

参 考 文 献:

[1] 吴波. 火灾后钢筋混凝土结构的力学性能[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
[2] 李国强, 吴波, 韩林海. 结构抗火研究进展与趋势[J]. 建筑钢结构进展, 2006, 8(1): 1-13.
[3] 陈波若. 红外系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 1988.
[4] 翁中杰, 程惠尔, 戴华淦. 传热学[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1987.
[5] BAR-COHEN Y. Emergine NDT technologies and challenges at the beginning of the third millennium (1)[J]. Material Evaluation, 2000, (1): 17-30.
[6] 杜红秀, 张雄, 韩继红. 混凝土构筑物的火灾危害与损伤检测评估[J]. 建筑材料学报, 1998, 1(2): 175-181.
[7] 全国钢标准化技术委员会. GB 228-2002 金属拉伸试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.
[8] 吴红翠, 王全凤, 徐玉野, 等. HRB 500 级高强钢筋高温后的力学性能试验[J]. 华侨大学学报: 自然科学版, 2009, 30(4): 432-435.

Experimental Research on Infrared Thermal Image of
HRB 500 after High Temperatures

WU Hong-cui, WANG Quan-feng,
XU Yu-ye, HUO Zhe-yun

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: Using infrared thermal image technique, the curves of average temperature rising of infrared thermal images of steel bars (HRB 500) versus time after fire are obtained. The regressive equations of the average temperature rising of infrared temperature and strength degradation of steel bars (HRB 500) are established. The results show that the strength decreases with increasing temperature, the strength changes little when temperature is less than $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, the strength decreases to minimum when temperature is $800\text{ }^{\circ}\text{C}$; but when temperature reaches $900\text{ }^{\circ}\text{C}$, the strength rebounds a little. The average temperature rising of infrared temperature increases when the temperature of fire increases, but the average temperature rising drops at $600\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Keywords: steel bars; high temperature; infrared thermal image; average temperature rise; strength

(责任编辑: 黄晓楠 英文审校: 方德平)