

文章编号 1000-5013(2002) 04-0346-04

高温窑炉温度场的自动检测

方 千 山

(华侨大学信息科学与工程学院, 泉州 362011)

摘要 针对高温窑炉难于定性检测炉膛内物料的煅烧温度, 提出利用 MATLAB 中的图像处理工具箱, 对彩色 CCD 摄像机所拍摄的水泥窑炉内彩色图像进行处理. 采用温度区域的划分和三色波长光谱测量法, 将温度分成几个温度区域, 从而实现高温窑炉温度的计算机检测, 为水泥窑炉温度的自动化控制奠定理论基础.

关键词 温度自动检测, 高温窑炉, 图像处理

中图分类号 TP 274⁺.5 TQ 174.6⁺58 TP 317.4

文献标识码 A

高温窑炉的温度测量是一个极其重要的研究课题, 它对于研究和控制产品质量的稳定性、经济性都有着重要的意义. 窑炉内膛温度测量是一个比较复杂的理化过程, 通常检测高温窑炉内燃烧温度的方法除了传统的人工看火之外, 工业彩色摄像机 CCD 和工业电视机监视高温窑炉温度的技术得以普及和推广应用. 但是, 通过工业电视机仍然只能由人工来判断窑内温度, 缺乏科学性, 不利于窑炉温度自动化控制的发展. 近年来, 为了准确掌握窑炉内的温度状况, 国内外不少学者利用计算机图像处理技术、光学层析技术等手段, 判断高温窑炉的燃烧状况和温度取得了一定的进展^[1~7]. 本文尝试应用 MATLAB 中的图像处理工具箱(Image Toolbox), 对彩色 CCD 摄像机所拍摄的窑炉内的彩色图像进行处理分析. 采用温度区域的划分和三色波长光谱测量法, 将温度分成几个温度区域. 从而, 实现高温窑炉温度的计算机检测, 并取得了良好的效果.

1 检测原理

彩色 CCD 摄像机的窑炉内部的彩色视频图像, 可通过视频卡输入到计算机. 通过多媒体技术, 可以获得各像点的 R (红), G (绿), B (蓝) 三基色值. 根据彩色 CCD 摄像机的原理^[8], 任意一个像素的 R, G, B 值是该像素显示的窑内小区域的光谱辐亮度 $L(\lambda, T)$ 的函数. 即

$$R = \int_{550}^{700} L(\lambda, T) \frac{r(\lambda)}{1.0} d\lambda, \quad (1)$$

$$G = \int_{500}^{600} L(\lambda, T) \frac{g(\lambda)}{4.5907} d\lambda \quad (2)$$

$$B = \int_{400}^{500} L(\lambda, T) \frac{\overline{b(\lambda)}}{10.0601} d\lambda \tag{3}$$

其中 A 表示该区域成像到摄像机光靶的过程中光学系统的几何度因素(与 λ, T 无关, 与该区域及其像素点的位置有关). $\overline{r(\lambda)}, \overline{g(\lambda)}, \overline{b(\lambda)}$ 是彩色 CCD 摄像机的分色光谱响应系数. 根据光谱理论可得

$$R = \int_{550}^{700} C\epsilon(\lambda, T) C_1 \lambda^{-5} \exp(-C_2/\lambda T) A \overline{r(\lambda)} d\lambda \tag{4}$$

在可见光的波长范围内, 光谱发射率 $\epsilon(\lambda, T)$ 随波长变化不大, 可以认为只是 T 的函数并表示为 $\epsilon(T)$. 另外, 考虑到 C 和 A 也与 λ 有关, 可得

$$R = C_{c_1} \epsilon(T) A \int_{550}^{700} \lambda^{-5} \exp(-C_2/\lambda T) \overline{r(\lambda)} d\lambda. \tag{5}$$

同理可得

$$B = \frac{1}{10.0601} C_{c_1} \epsilon(T) A \int_{400}^{500} \lambda^{-5} \exp(-C_2/\lambda T) \overline{b(\lambda)} d\lambda. \tag{6}$$

对一个像素, A 和 $\epsilon(T)$ 是一定的. 将式(5), (6)相除, 就可以消除 A 和 $\epsilon(T)$. 即

$$Q = \frac{R}{B} = 10.0601 \frac{\int_{550}^{700} \lambda^{-5} \exp(-C_2/\lambda T) \overline{r(\lambda)} d\lambda}{\int_{400}^{500} \lambda^{-5} \exp(-C_2/\lambda T) \overline{b(\lambda)} d\lambda}, \tag{7}$$

其中 Q 代表 R 和 B 的比值.

从式(7)可知, 右边除了 T 以外都是已知量, 因此可以采用数值积分的方法计算出不同的 T 值对应的 Q 值. 同理, 也可以用 R, G, B 中任意其它两种颜色的组合, 实现温度的检测.

2 系统的构成

由红外成像原理以及红外测温原理可知, 不同温度在图像上表现为不同亮度(R, G, B), 而这些亮度正是燃烧时物体温度的辐射. 通过量化成灰度后, 可将温度图像转化成一个温度场的分布图像. 用光学高温计对各灰度等级进行相应的温度标定, 建立起灰度-温度($Q-T$)的对应表. 那么经过灰度标定, 彩集的温度图像中各点的温度就有了量化的对应关系. 这样计算所得的温度值就是物料燃烧时的物理温度, 从而实现温度的检测. 系统硬件是由一台装有视频卡的工业控制计算机与工业彩色摄像机 CCD 构成, 内置 MATLAB FOR IMAGE TOOLBOX 分析软件. 图 1 为该系统的软件流程图.

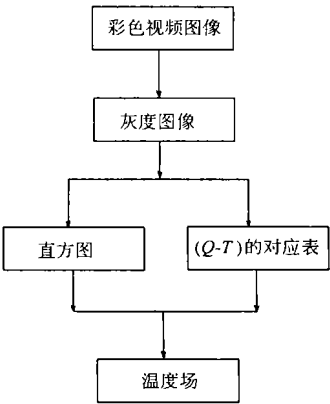


图 1 系统的软件流程图

3 实验

用该系统在福建某水泥厂的水泥旋窑($SP \approx 3.2 \text{ m} \times 60 \text{ m}$) 进行实验, 将 CCD 摄像机拍摄的水泥炉窑内部的彩色视频图像进行处理和分析. 其中一组资料中, 图 2 是从炉窑中直接拍摄到的彩色视频图像; 图 3 是温度场的三级轮廓线即温度区域; 图 4 是对它进行图像处理

的直方图,体现了像素值在颜色板上的分布情况和它的灰度值;图 5 是由图像中随意采集其相应的 R, G, B 三色强度拟和曲线.



图 2 视频图像

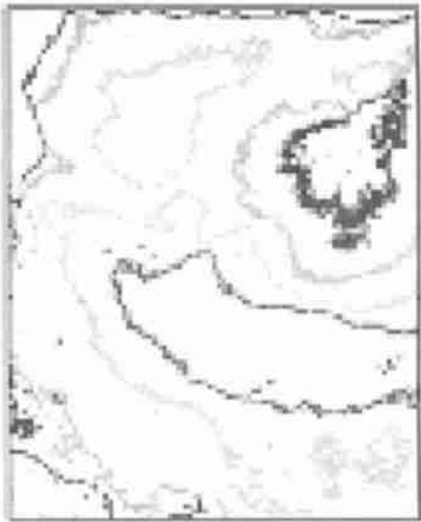


图 3 温度场

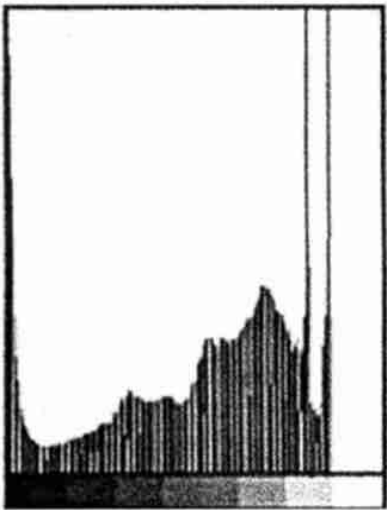


图 4 直方图

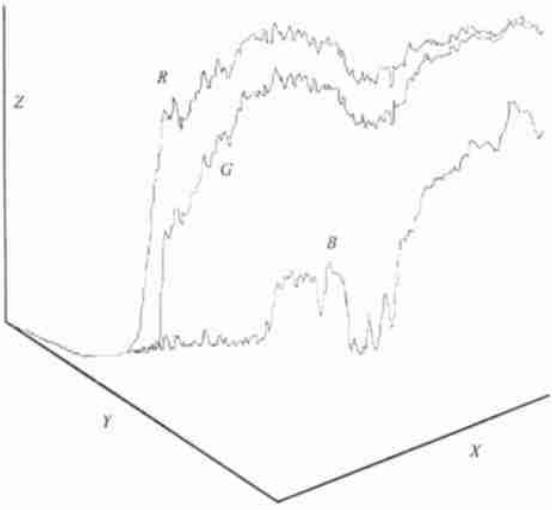


图 5 R, G, B 三色拟和曲线

从图 3 中可以看出,它反映出炉窑内部温度场的梯度变化情况以及不同的温度区域.据此,可以知道炉窑内物料的燃烧温度情况.进而,我们可以调整加煤的具体位置,实现窑炉温度的适时调节和控制.

4 结束语

本文利用 MATLAB 中的图像处理工具箱,对彩色 CCD 摄像机所拍摄的高温炉图像进行处理.将温度场分成几个温度的区域轮廓图,从而方便地掌握了窑炉内各区域的燃烧情况.它

完全可将人工看火或电视看火提高为计算机看火,且可为进一步提高窑炉温度的自动控制奠定了科学的理论基础。但因条件所限,诸如灰度-温度的工程标定尚未进一步完善,还有许多理论上和实际应用中的问题尚待进一步研究。希望热衷于水泥生产过程自动化的工作技术人员和企业与我们合作,在此基础上,使其进一步完善和提高,以便早日实现高温窑炉温度的计算机检测系统的工作应用。

参 考 文 献

- 1 Collins S. Advanced flame monitors take on combustion control[J]. Power, 1993, 10: 75 ~ 78
- 2 Miles J I, Hameaker R G. Analysis of thermal radiation in coal-fired furnaces[J]. Proceedings of SPIE, 1997, 3 056: 20 ~ 32
- 3 周怀春. 基于图像处理的炉膛燃烧三维温度分布检测原理及分析[J]. 中国电机工程学报, 1997, 17(1): 1 ~ 4
- 4 王 飞. 根据火焰图像测量煤粉炉截面温度场的研究[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(7): 40 ~ 43
- 5 梁 丰, 袁南儿. 多媒体高温炉窑温度分析系统[J]. 仪器仪表学报, 1998, 19(3): 1 ~ 11
- 6 余岳峰, 赵铁成, 徐伟勇. 煤粉燃烧火焰的三色法温度测量[J]. 上海交通大学学报, 2000, 134(9): 1 257 ~ 1 260
- 7 李 聪, 张瑞芳, 隋子阳. 基于图像序列的水泥旋窑内的温度预报模型[J]. 山东建材学院学报, 1999, 9(3): 870 ~ 876
- 8 张兆扬. 工业电视[M]. 北京: 科学出版社, 1983. 236 ~ 361

Automatic Detection of Temperature Field in a High-Temperature Furnace

Fang Qianshan

(College of Info. Sci. & Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract In view of the difficulty of qualitatively detecting calcining heat of matter in the firepot of a high-temperature furnace, the color image in cement furnace taking by colour CCD camera is processed by applying image processing tool box in MATLAB; and the temperature is divided into several temperature sectors by adopting division of temperaturar sector and the method of tricolour wavelength spectral measurement. Computerized detection of temperature in high-temperature cement furnace is thus realized, and a theoretical basis is laid upon for the automatic control of temperature in cement furnace.

Keywords automatic detection of temperature, high-temperature furnace, image processing