

基于炉膛火焰图像处理的工业锅炉炉膛 平均辐射能的计算机算法*

A Computer Arithmetic Based on the Flame Image Processing of Industrial Boiler to Determine the Average Radiant Energy in Furnace

杨浩兴

Yang Haoxing

(广西电子研究所 南宁市江南路 29号 530031)

(Guangxi Institute of Electron, 29 Jiangnanlu, Nanning, Guangxi, 530031)

摘要 初步建立一种基于工业锅炉燃烧火焰图像处理工业锅炉炉膛平均辐射能的计算机判定算法,从理论和实现等方面讨论上述算法的可实现性和可操作性。

关键词 工业锅炉 平均辐射能 火焰图像 炉膛 计算机 算法

中图法分类号 TG 155.12; TP 301.6

Abstract A computer arithmetic based on the flame image processing of industrial boiler was established to determine the average radiant energy in furnace. The practicability and operability of this arithmetic were discussed in theory and actualization.

Key words industrial boiler, average radiant energy, flame image, furnace, computer, arithmetic

在工业锅炉的燃烧控制领域,调节参数的较大滞后一直是阻碍工业锅炉由安全性控制向经济性控制发展的关键所在。计算机图像处理技术在工业锅炉的监控和检测领域得到了广泛的应用,为炉膛燃烧过程的经济性运行控制的研究开辟了一条新的思路。

由于从锅炉炉膛所得到的燃烧图像实质上是炉内三维辐射能分布通过光学成像方式在各类图像传感器(如: CCD靶面)上的某种积累方式的反映^[1]。所以,采用图像处理技术对火焰图像进行分析,可以测定直接反映锅炉燃烧工况好坏的炉内辐射能的大小。新型的奔腾处理器大大提高了计算机的数据传送和处理速度,又使得在线测定炉内辐射能成为可能。

本文正是试图根据计算机炉膛火焰图像处理的结果来建立炉内辐射能的计算机判定算法。

1 参数选择

在建立炉内平均辐射能(简称炉内辐射能)与图

像所接收的辐射量(简称图像辐射量)之间的逻辑关系之前,由于图像辐射量不能够直接测定,所以我们有必要选择一个能够代表图像辐射量的直接参数。

众所周知,图像是由亮度、饱和度和色调三个分量组合而成的。其中,图像所接收的大部分参量都集中在亮度分量上,小部分由色调反映^[2]。由于色调分量反映的图像辐射量所占份额远小于亮度分量,忽略不计。这样能够直接反映图像辐射量大小的参数就是图像之间的亮度差异即灰度水平。

2 定性分析

由斯坦福-波尔兹曼定律可知,黑体单位时间内的总辐射能 E 与其绝对温度 T 的 4 次方成正比,即:

$$E = eT^4, \quad (1)$$

其中, e 是斯坦福常数, $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$;

由韦恩位移定律可知,绝对温度 T 与黑体辐射中能量最集中的波长 λ_m 成反比,即:

$$\lambda_m = b/T, \quad (2)$$

将(2)式代入(1)式可得(3)式如下:

1998-01-16收稿,1998-07-13修回

* 广西青年科学基金资助项目。

$$E = \epsilon(b \lambda_m)^4, \quad (3)$$

对于 (3) 式可以在文字上这样表述:

在物体的辐射光谱中都有一个辐射能量最集中的波长 λ_m 随着物体向外辐射能量 E 的增加, 该波长向短波方向移动

根据光谱研究的成果可知, 不同波长的可见光具有不同的亮度和色调整, 波长越长其亮度就越低, 亦即波长与亮度成反比, 换言之就是物体向外辐射能 E 与物体的灰度水平成递增关系

同理, 炉膛内燃烧物体 (燃煤、燃油等) 向外辐射能 (即炉内辐射能) 与物体的灰度水平 (即图像辐射量) 成正比。

综上所述, 炉内辐射能与图像辐射量成正比。

3 算法推导

我们首先定义一个理想模型如图 1 所示, 被炉膛火焰电视装置摄像镜头摄入的是燃烧对象的燃烧火焰图像, 其边界为炉膛壁面, 镜头 O 有 K 立体视角, 它将 O - $ABCD$ 立体范围内的炉内辐射在 CCD 靶面上成像, 成像分辨率为 $N \times N$ 。

我们已经知道图像的大部分能量集中在亮度分量上, 在彩色 CCD 摄像机前安装滤色片或直接使用黑白摄像机, 将图像转换成为与灰度水平线性相关的二值图像后, 炉内辐射能与灰度水平成正比关系^[3], 这样我们可以用下式表述炉内辐射能与图像辐射量之间的关系:

$$E = K' e, \quad (4)$$

其中, e 是火焰图像灰度水平; K' 是比例系数; 现在我们的问题就是如何推导 K' 。

下面我们就实验室方法给出 K' 的推导过程:

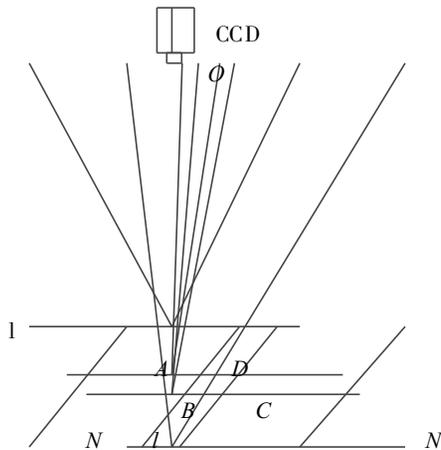


图 1 镜间成像示意图
Fig. 1 The picture of camera

3.1 推导方法

不失一般性地选择若干组不同工况下的火焰燃烧图像, 通过实验室方法求解各幅图像在相应工况下的炉内辐射能 E , 以及各幅图像的灰度水平 e , 经过整订后拟合反推出 K' 随工况变化的曲线。

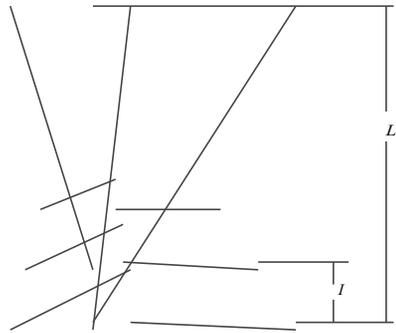


图 2 狭长棱锥和微小棱台
Fig. 2 The insuar pyramid prism

3.2 炉内辐射能 E 的实验室推导

由于 CCD 靶面的面积不超过 1 cm^2 , 相对于整个炉膛空间可近似为一点, 这样就可以将 K 立体角的空间等分为 $N \times N$ 个狭长的棱锥空间, CCD 所提取的图像中各点的灰度水平就是各个狭长棱锥空间内具有辐射能力的燃煤和燃烧所产生的气体悬浮物的辐射能在该狭长棱锥空间立体角 K/N^2 方向上的部分经过沿途衰减后传递到 CCD 靶面的总和所决定

如图 2 所示, 对于某个狭长棱锥, 其高度为 L 将该棱锥进一步划分为若干高度为 1 的等高棱台单元, 一个棱锥就由 $L/1$ 个棱台单元组成, 对于其中某个棱台单元 i , 它距镜头 O 的距离为 $l \times i$, 其断面面积近似为:

$$A_i = (K/N^2) \times (l \times i)^2, \quad (5)$$

那么, 其近似体积为:

$$V_i = A_i \times 1, \quad (6)$$

故当微小棱台具有温度 T_i 时所发出的辐射能为:

$$E_i = 4 \times f \times \tau \times K \times V_i \times E(\lambda, T_i), \quad (7)$$

其中, f , τ , K 是角系数、穿透率和介质衰减系数;

$E(\lambda, T_i)$ 是韦恩灰体单色辐射能;

那么, 棱锥 j 发出的总辐射能为:

$$E_j = \sum_{i=1}^{L/1} E_i. \quad (8)$$

这样炉内辐射能为:

$$E = \int_{j=1}^N \int_{i=1}^{L/1} E_{i,j}, \quad (9)$$

$$K' = \left(\int_{j=1}^N \int_{i=1}^{L/1} E_{i,j} \right) / e. \quad (10)$$

在此, 我们必须强调 K' 是一条相对于不同工况

的曲线 而不是某单一数值。这主要是因为在实际应用过程中 燃烧介质的辐射率随工况变化造成的。

3.3 实现方案

硬件构成

整个系统由一台内置图像采集卡的微型计算机与专用 CCD 摄像机连结而成。同时,在计算机内又放置有 A/D 采集卡。用于按像素存储图像。具体构成见图 3

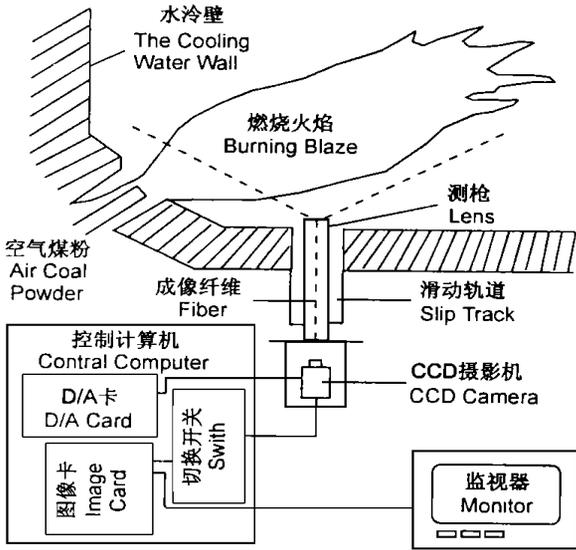


图 3 基于彩色 CCD 的计算机图像处理系统

Fig. 3 The computer image manage system based on CCD color camera

由于燃烧的炉膛是一个特定的高温环境 所以用来进行源图像摄取的 CCD 摄像机必须是耐高温的专用摄像机,有风冷、油冷或水冷等保护措施。目前,国内已经生产出了自己的耐高温专用摄像机。如:原电子十四所研制的 SX 型高温内窥式摄像系统^[4];安徽大学电子技术研究所研制的 MB 型锅炉火焰电视系统^[5]等。

软件流程见图 4

4 结论

综上所述,我们通过对炉内辐射能和图像辐射量之间的定性分析,得出二者成递增关系的结论,并通过实验室方法确定了工业上的计算机算法,最后给出了实现算法的硬件构成和软件流程。从理论上讲,上

述算法是可实现的。

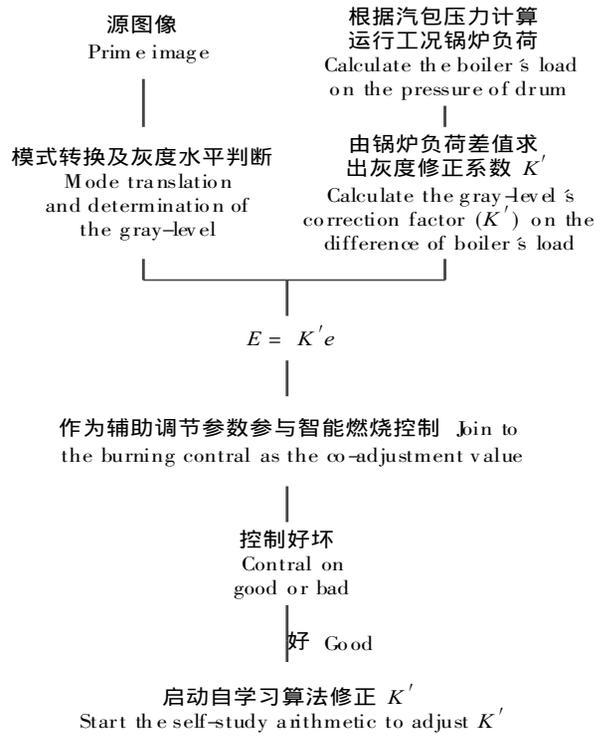


图 4 软件流程图

Fig. 4 The flow sheet of software

但是,由于我们的推导建立在理想的实验室模型的基础上,并没有考虑现场的飞灰对辐射穿透率的影响以及 CCD 摄像机在使用过程中的自动增益对采集图像的影响。所以,在实际应用过程中还需要针对现场状况进行必要的修正。

参考文献

- 1 孙江. 根据煤粉火焰图像判断燃烧状况的计算机判断算法. 热力发电, 1997.
- 2 崔屹编著. 数字图像处理技术与运用. 北京: 电子工业出版社, 1997.
- 3 吴乐南. 多媒体及其相关技术的原理与应用. 南京: 东南大学出版社, 1996.
- 4 胡长明, 罗超人. SX 型内窥式火焰自动监视系统摄像装置热设计综述. 热能动力工程, 1995.
- 5 聂长发. MB 型电厂锅炉火焰电视监控系统及其应用. 工业炉, 1997.

(责任编辑: 邓大玉 黎贞崇)