

CCD 甄别成形过程中玻璃包装制品的衰减照明光方法

尹中会^{1,2}, 李春¹

(1. 上海理工大学, 上海 200093; 2. 安徽理工大学, 淮南 232001)

摘要: **目的** 为了满足 CCD 对成形过程中玻璃包装制品的在线边界甄别条件, 进而对其进行在线尺寸测量。 **方法** 采用高温目标辐射光谱功率分布理论和 Matlab 数值积分方法, 研究不同背景照明系数条件下 CCD 对高温玻璃包装制品和其周围背景的辐照响应。 **结果** 导出了背景照明系数与 CCD 图像中高温玻璃包装制品和其周围背景的灰度差之间的函数关系和曲线, 随着照明光衰减系数值的不断减小, 高温玻璃包装制品和其周围背景的灰度差不断增大, 当灰度差为 0 时存在临界值。以阳光照明为例, 导出了其临界衰减系数与高温玻璃温度之间的关系, 高温玻璃温度为 900 K 时的临界值为 1.6351×10^{-8} 。 **结论** 背景照明系数必须小于其临界值, 才能满足其灰度差大于 0 的在线边界甄别条件, 且背景照明系数值越小甄别效果越好, 进而提出采用衰减照明光的方法来实现成形过程中玻璃包装制品的 CCD 甄别。

关键词: 玻璃包装制品; CCD; 甄别; 衰减系数; 灰度差

中图分类号: TB484.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)05-0097-05

Method of Decreasing Background Light Intensity in Discriminating Glass Packaging Product in Forming Process by CCD

YIN Zhong-hui^{1,2}, LI Chun¹

(1. University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2. Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

ABSTRACT: **Objective** To satisfy the discrimination condition of the glass packaging product in forming process by CCD and provide basis for its size measurement. **Methods** The monochrome irradiation response of the CCD to the glass packaging product and its surrounding scenery in different attenuation coefficient of the background light by the high temperature target radiation spectral power distribution theory and the Matlab numerical integration were studied. **Results** The functional relationship and curves between the gray difference between the high temperature glass packaging product and its surrounding scenery in CCD image and the attenuation coefficient of the background light were found. The gray difference increased as the attenuation coefficient decreased continuously and the critical value of the attenuation coefficient existed when the gray difference equaled zero. With the sunlight as an example, the relationship between the critical attenuation coefficient and the glass temperature was obtained and the critical value of the attenuation coefficient was 1.6351×10^{-8} when the glass temperature was 900 K. **Conclusion** The discrimination condition of the gray difference greater than zero could be satisfied only when the attenuation coefficient of the background light was smaller than its critical value and the smaller the attenuation coefficient was, the better the discriminating effectiveness. It was presented that the method of decreasing background light intensity could be used to realize the discrimination of the glass packaging product in forming process by CCD.

KEY WORDS: glass packaging product; CCD; discrimination; attenuation coefficient; gray difference

收稿日期: 2013-10-07

基金项目: 上海市重点学科建设资助项目(J50501)

作者简介: 尹中会(1970—), 女, 安徽六安人, 副教授, 上海理工大学博士研究生, 主要研究方向为动力机械工程。

药品、饮料和食品广泛使用玻璃制品包装^[1-2],玻璃制品的尺寸测量和杂质检测是保证其产品质量和成品率的重要措施。目前在包装领域广泛应用非接触检测方法进行尺寸测量和检测,主要有 CCD 图像处理技术和激光处理技术 2 种方法^[3-4],集中应用于印刷品表面质量检测^[5]、彩色印刷套准误差的自动检测^[6]和玻璃制品中的杂质检测^[7]。对玻璃制品的尺寸检测主要集中在对成形后的玻璃厚度测量上^[8-12],一旦检测发现尺寸超标,只能作为废品处理,无法提前发现并及时处理。由此,对成形过程中的高温玻璃包装制品进行在线结构尺寸检测及控制显得十分必要。CCD 作为一种先进的非接触测量手段,可以对高温物体热态时进行尺寸测量和质量检测^[13],利用 CCD 技术对高温玻璃包装制品进行尺寸测量与控制的前提条件是对其进行甄别。文中提出采用衰减照明光的方法来满足成形过程中高温玻璃的边界甄别条件,为采用 CCD 对成形过程中玻璃包装制品在线尺寸测量提供基础。

1 玻璃包装制品成形过程中的 CCD 甄别条件

为使 CCD 图像中的高温玻璃包装制品从其周围背景中识别出来,需要高温玻璃包装制品图像与其周围的背景图像存在区别。根据研究可知^[14],将高温玻璃包装制品从其周围背景中甄别出来的条件为高温玻璃包装制品图像的灰度值比其周围所有背景图像的灰度值都大,即:

$$\Delta_i = M_{\text{ccd},\lambda}^{\text{gla}} - M_{\text{ccd}}^{\text{sce},i} > 0 \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (1)$$

式中: Δ_i 为高温玻璃包装制品图像与第 i 个背景图像之间的灰度差, W/m^2 ; $M_{\text{ccd}}^{\text{gla}}$ 为 CCD 对高温玻璃包装制品的辐照响应, W/m^2 ; $M_{\text{ccd}}^{\text{sce},i}$ 为 CCD 对第 i 个背景的辐照响应, W/m^2 。

假设高温玻璃包装制品的周围有 n 个背景物体, CCD 对其中第 i 个背景物的辐照响应 $M_{\text{ccd}}^{\text{sce},i}$ 等于 CCD 对第 i 个背景物自辐射的辐照响应、第 i 个背景物对照明光源反射的辐照响应 $M_{\text{ccd}}^{\text{lig},i}$ 、第 i 个背景物对高温玻璃包装制品反射的辐照响应 $M_{\text{ccd}}^{\text{gla},i}$ 、第 i 个背景物对其他 $n-1$ 个背景物反射的辐照响应之和。由于背景物本身温度较低,因而可以忽略其自辐射及其对其他背景物反射的辐照响应,即 $M_{\text{ccd}}^{\text{sce},i} = M_{\text{ccd}}^{\text{lig},i} + M_{\text{ccd}}^{\text{gla},i}$ 。

为便于分析,背景只取一个,即最亮背景,根据高温玻璃包装制品和其周围背景的辐射特性^[15]和 CCD

的光谱响应特性,则有:

$$\begin{aligned} \Delta &= M_{\text{ccd}}^{\text{gla}} - M_{\text{ccd}}^{\text{sce}} \\ &= \int_0^\infty \Delta_\lambda d\lambda = \int_0^\infty (M_{\text{ccd},\lambda}^{\text{gla}} - M_{\text{ccd},\lambda}^{\text{sce}}) d\lambda \\ &= \int_0^\infty f_{\text{ccd}}(\lambda) \times (E_{\text{ccd},\lambda}^{\text{gla}} - E_{\text{ccd},\lambda}^{\text{sce}}) d\lambda \\ &= \int_0^\infty f_{\text{ccd}}(\lambda) \times d_{\text{ccd}}^{\text{gla}} \times C_1 \lambda^{-5} (e^{\frac{C_2}{\lambda T_{\text{gla}}}} - 1)^{-1} d\lambda - \\ &\quad \int_0^\infty f_{\text{ccd}}(\lambda) \times D_{\text{sce},\text{ccd}}^{\text{lig}} \times C_1 \lambda^{-5} (e^{\frac{C_2}{\lambda T_{\text{lig}}}} - 1)^{-1} d\lambda - \\ &\quad \int_0^\infty f_{\text{ccd}}(\lambda) \times D_{\text{sce},\text{ccd}}^{\text{gla}} \times C_1 \lambda^{-5} (e^{\frac{C_2}{\lambda T_{\text{gla}}}} - 1)^{-1} d\lambda \end{aligned} \quad (2)$$

式中: Δ 为高温玻璃包装制品图像与背景图像之间的灰度差, W/m^2 ; $M_{\text{ccd}}^{\text{sce}}$ 为 CCD 对背景的辐照响应, W/m^2 ; Δ_λ 为高温玻璃包装制品与背景的单色辐照响应差, W/m^3 ; $M_{\text{ccd},\lambda}^{\text{gla}}$ 为 CCD 对高温玻璃包装制品的单色辐照响应, W/m^3 ; $M_{\text{ccd},\lambda}^{\text{sce}}$ 为 CCD 对背景的单色辐照响应, W/m^3 ; $f_{\text{ccd}}(\lambda)$ 为 CCD 的响应特性系数; $E_{\text{ccd}}^{\text{gla}}$ 为高温玻璃包装制品对 CCD 的单色辐照度, W/m^3 ; $E_{\text{ccd},\lambda}^{\text{sce}}$ 为背景对 CCD 的单色辐照度, W/m^3 ; $d_{\text{ccd}}^{\text{gla}}$ 为高温玻璃包装制品辐射到 CCD 的衰减系数; C_1 为 Planck 第一辐射常数; C_2 为 Planck 第二辐射常数; T_{gla} 为高温玻璃包装制品的绝对温度, K; $D_{\text{sce},\text{ccd}}^{\text{lig}}$ 为照明光经背景反射到 CCD 的衰减系数; T_{lig} 为照明光源的绝对温度, K; $D_{\text{sce},\text{ccd}}^{\text{gla}}$ 为高温玻璃包装制品辐射经背景反射到 CCD 的衰减系数。

为获得高温玻璃包装制品和背景之间 CCD 图像灰度差与积分区间 $(0, \lambda)$ 的关系, 对式 (2) 中参数进行必要简化。取 CCD 的响应特性系数 $f_{\text{ccd}}(\lambda)$ 见图 1^[16]。由于高温玻璃距离 CCD 较近, 可忽略其辐射衰减, 可取 $d_{\text{ccd}}^{\text{gla}} = 1$; 取高温玻璃成形过程中的温度为 $600 \sim 800^\circ\text{C}$, 约为 $900 \sim 1100\text{ K}$; 取太阳光为背景照明光源, 其温度为 5762 K , 阳光经过路程衰减、建筑遮挡衰减和背景反射衰减, 已大为减弱, 可取 $D_{\text{sce},\text{ccd}}^{\text{lig}}$ 为 5×10^{-8} , 6×10^{-8} , 7×10^{-8} 等 3 种情况下进行分析。由于高温玻璃辐射经背景反射后的强度与其直接辐射强度相比可忽略, 故取 $D_{\text{sce},\text{ccd}}^{\text{gla}} = 0$ 。将上述相关参数代入式 (2) 可得 CCD 对高温玻璃包装制品和背景的单色辐照响应曲线, 见图 2。

由图 2 可知, CCD 对高温玻璃包装制品、背景的辐照响应谱曲线存在交点 λ_0 。当 $\lambda < \lambda_0$ 时, $M_{\text{ccd},\lambda}^{\text{gla}} < M_{\text{ccd},\lambda}^{\text{sce}}$; 当 $\lambda = \lambda_0$ 时, $M_{\text{ccd},\lambda}^{\text{gla}} = M_{\text{ccd},\lambda}^{\text{sce}}$; 当 $\lambda > \lambda_0$ 时, $M_{\text{ccd},\lambda}^{\text{gla}} >$

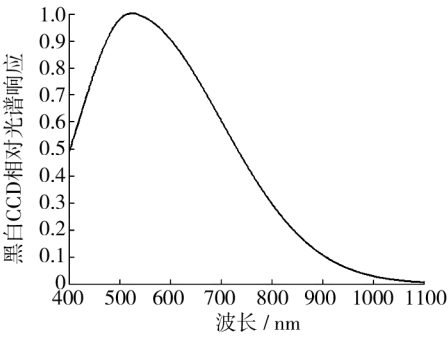


图 1 CCD 的响应特性系数

Fig. 1 The irradiation response characteristic coefficient of the CCD

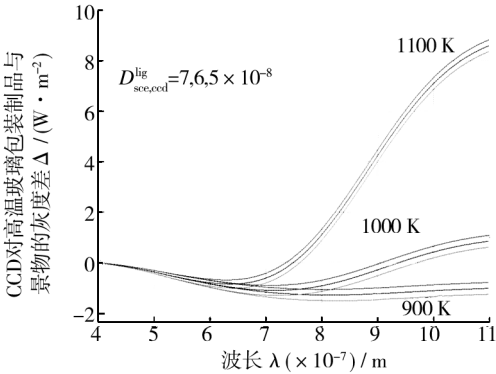


图 4 CCD 对高温玻璃包装制品与背景的灰度差与积分区间(0,λ)的关系曲线

Fig. 4 The relationship between the grey difference of the CCD image and the (0,λ)

由图 4 可以看出,高温玻璃包装制品与背景之间的灰度差 Δ 随积分区间(0,λ)中,λ 的增加先是不不断减小,当 $\lambda = \lambda_0$ 时,Δ 达到极小值,当 $\lambda > \lambda_0$ 时,Δ 随波长 λ 的增加不断增大;Δ 随高温玻璃包装制品温度的增加不断增大;Δ 随照明光经背景反射到 CCD 的衰减系数 $D_{sce,ccd}^{lig}$ 值的减小而不断增大。由此,可以利用衰减照明光的方法(即减小 $D_{sce,ccd}^{lig}$ 值的方法)使高温玻璃包装制品与背景图像的灰度差达到一定值,从而将高温玻璃包装制品及其边界甄别出来。

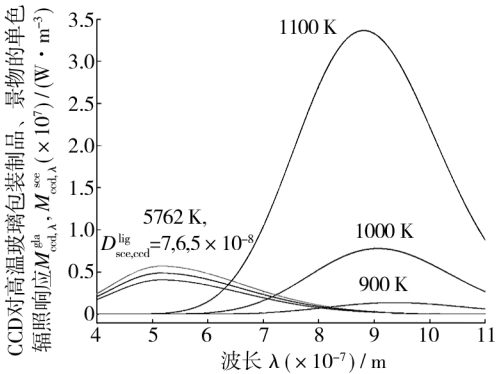


图 2 CCD 对高温玻璃包装制品、背景的辐照响应谱曲线

Fig. 2 The monochrome irradiation response of the high temperature glass and its surrounding scenery to CCD

$M_{sce,ccd,\lambda}^{sce}$ 。当高温玻璃包装制品温度为 900,1000,1100 K 时,CCD 对高温玻璃包装制品与背景的单色辐照响应差曲线见图 3。

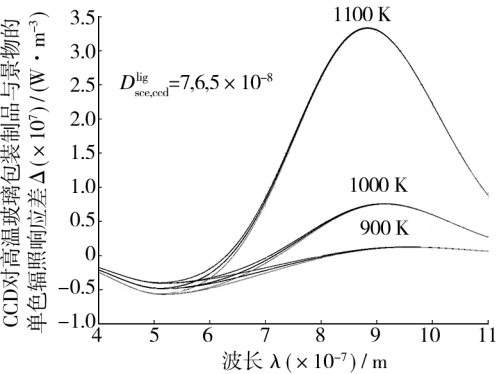


图 3 CCD 对高温玻璃包装制品与背景的单色辐照响应差曲线

Fig. 3 The monochrome irradiation response difference between the high temperature glass and its surrounding scenery to CCD

高温玻璃包装制品、背景的形象为 CCD 对所有波长辐照响应,即为其灰度,二者之间的灰度差与积分区间(0,λ)的关系曲线见图 4。

2 背景照明系数临界值的确定

为确定背景照明系数 $D_{sce,ccd}^{lig}$ 与高温玻璃包装制品和背景间的灰度差 Δ 之间的关系,由式(2)可得:

$$D_{sce,ccd}^{lig} = \frac{(d_{ccd}^{gla} - D_{sce,ccd}^{gla}) \int_0^\infty f_{ccd}(\lambda) \times C_1 \lambda^{-5} (e^{\frac{C_2}{\lambda T_{gla}}} - 1)^{-1} d\lambda - \Delta}{\int_0^\infty f_{ccd}(\lambda) \times C_1 \lambda^{-5} (e^{\frac{C_2}{\lambda T_{lig}}} - 1)^{-1} d\lambda}$$

(3)

取 $d_{ccd}^{gla} = 1, D_{sce,ccd}^{lig} = 0$, 则有:

$$D_{sce,ccd}^{lig} = \frac{\int_0^\infty f_{ccd}(\lambda) \times C_1 \lambda^{-5} (e^{\frac{C_2}{\lambda T_{gla}}} - 1)^{-1} d\lambda - \Delta}{\int_0^\infty f_{ccd}(\lambda) \times C_1 \lambda^{-5} (e^{\frac{C_2}{\lambda T_{lig}}} - 1)^{-1} d\lambda}$$

(4)

为将高温玻璃包装制品从背景识别出来,须满足 $\Delta > 0$ 。将 $\Delta > 0$ 代入式(4)可得背景照明系数 $D_{sce,ccd}^{lig}$ 应满足的条件为:

$$D_{sce,ccd}^{lig} < \frac{\int_0^\infty f_{ccd}(\lambda) \times C_1 \lambda^{-5} (e^{\frac{C_2}{\lambda T_{gla}}} - 1)^{-1} d\lambda}{\int_0^\infty f_{ccd}(\lambda) \times C_1 \lambda^{-5} (e^{\frac{C_2}{\lambda T_{lig}}} - 1)^{-1} d\lambda} \quad (5)$$

将相关参数代入式(4)可得背景照明系数 $D_{sce,ccd}^{lig}$ 与高温玻璃包装制品和背景间的灰度差 Δ 之间的关系曲线见图 5。

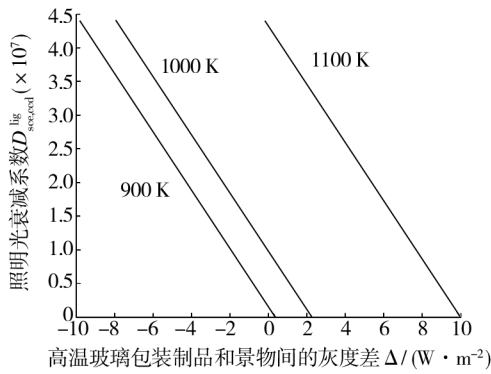


图 5 背景照明系数与高温玻璃包装制品和背景间的灰度差之间的关系曲线

Fig. 5 The relationship between the attenuation coefficient of background light and the grey difference of the CCD image

由图 5 可知,背景照明系数 $D_{sce,ccd}^{lig}$ 随高温玻璃包装制品和背景间的灰度差 Δ 的增加而不断减小;随高温玻璃包装制品温度的下降而不断减小。当 $\Delta = 0$ 时,可得背景照明系数的临界值 $D_{sce,ccd,0}^{lig}$ 为:

$$D_{sce,ccd,0}^{lig} = \frac{\int_0^\infty f_{ccd}(\lambda) \times C_1 \lambda^{-5} (e^{\frac{C_2}{\lambda T_{gla}}} - 1)^{-1} d\lambda}{\int_0^\infty f_{ccd}(\lambda) \times C_1 \lambda^{-5} (e^{\frac{C_2}{\lambda T_{lig}}} - 1)^{-1} d\lambda} \quad (6)$$

将 T_{gla} 为 900~1100 K 代入式(6),可得 $D_{sce,ccd,0}^{lig}$ - T_{gla} 关系曲线见图 6。由图 6 可知,背景照明系数的临

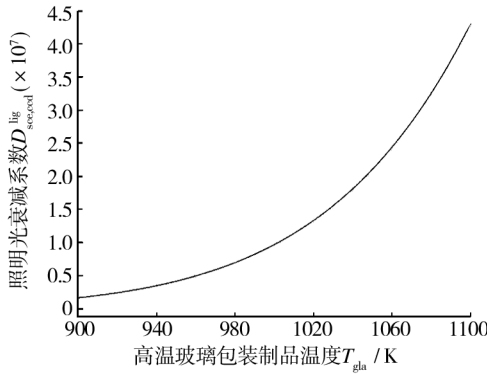


图 6 照明光临界衰减系数与高温玻璃包装制品温度的关系曲线

Fig. 6 The relationship between the critical attenuation coefficient of background light and the temperature of the glass

界值 $D_{sce,ccd,0}^{lig}$ 随高温玻璃温度的增高而不断增大。将不同玻璃温度代入式(6)中可得相应背景照明系数临界值见表 1。

表 1 不同玻璃温度下背景照明系数临界值

Tab. 1 The critical attenuation coefficient of background light at different temperature glass

玻璃温度/K	背景照明系数临界值
900	1.6351×10^{-8}
950	4.1450×10^{-8}
1000	9.6788×10^{-8}
1050	2.1052×10^{-7}
1100	4.3041×10^{-7}

由图 5 可知,当 $D_{sce,ccd}^{lig} < D_{sce,ccd,0}^{lig}$ 时,可满足 $\Delta > 0$ 要求,实现高温玻璃包装制品边界的甄别。

为了有效甄别出 CCD 图像中的高温玻璃包装制品,由图 4—5 可知,要求背景照明系数 $D_{sce,ccd}^{lig}$ 必须小于其临界值 $D_{sce,ccd,0}^{lig}$,且 $D_{sce,ccd}^{lig}$ 值越小,对应的灰度 Δ 差越大,甄别效果越好,这为采用衰减照明光实现成形过程中玻璃包装制品的 CCD 甄别提供了理论指导。

3 结语

1) 采用衰减照明光的方法可以有效提高 CCD 图像中的高温玻璃包装制品与其周围背景图像的灰度差,实现成形过程中玻璃包装制品的 CCD 甄别。

2) 若要有效地甄别出 CCD 图像中的高温玻璃包装制品,背景照明系数 $D_{sce,ccd}^{lig}$ 必须小于其临界值 $D_{sce,ccd,0}^{lig}$,且 $D_{sce,ccd}^{lig}$ 值越小,对应的灰度差 Δ 越大,甄别效果越好。

3) 背景照明系数的临界值 $D_{sce,ccd,0}^{lig}$ 随高温玻璃温度的降低而不断减小。高温玻璃包装制品的温度在成形过程中不断降低,为保证其整个成形过程中的有效甄别,应取成形过程中高温玻璃包装制品的温度下限及其相应的背景照明系数的临界值。

参考文献:

[1] 王华荣. 玻璃瓶缺陷检测技术综述[J]. 福建电脑, 2012 (8): 39—41.
WANG Hua-rong. Review of the Defects Detection Technique of Glassware[J]. Fujian Computer, 2012(8): 39—41.
[2] WEN Zhang-bin, GE Jia, XIA Li-jia, et al. Fast Online Detection of Body Defect of Glass Containers[C]//Proceedings of SPIE—The International Society for Optical Engineer-

- ing,2011.
- [3] KAZUKI A, SHIGEKI Y, MASAOKI M, et al. Basic Investigation of Noncontact Transportation System for Large TFT-LCD Glass Sheet Used in CCD Inspection Section[J]. Precision Engineering, 2011, 35(1): 58—64.
- [4] 钟飞, 吴雪茹. 基于结构光和机器视觉的尺寸测量及其误差分析[J]. 包装工程, 2011, 32(9): 66—69.
- ZHONG Fei, WU Xue—ru. Size Measurement and Error Analysis of Machine Vision Based on Structured Light[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(9): 66—69.
- [5] 孔玲君, 刘真, 姜中敏. 基于 CCD 的数字印刷质量检测与分析技术[J]. 包装工程, 2010, 31(3): 92—95.
- KONG Ling—jun, LIU Zhen, JIANG Zhong—min. CCD—based Digital Print Quality Measurement and Analysis Techniques[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(3): 92—95.
- [6] 许旭萍, 于跃飞, 双文杰. 彩色印刷套准误差的自动检测研究[J]. 包装工程, 2013, 34(9): 107—110.
- XU Xu—ping, YU Yue—fei, SHUANG Wen—jie. Research of Automatic Registration Error Detection in Color Printing[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(9): 107—110.
- [7] 高翔, 谷吉海. 基于 Canny 算法的啤酒空瓶杂质检测方法[J]. 包装工程, 2009, 30(3): 63—65.
- GAO Xiang, GU Ji—hai. Detection Method of Empty Beer Bottle Impurity Based on Canny Arithmetic[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(3): 63—65.
- [8] 杜晓强, 王伟, 王召巴. 玻璃厚度在线检测系统的研究[J]. 红外, 2008, 29(12): 36—39.
- DU Xiao—qiang, WANG Wei, WANG Zhao—ba. Research on On—line Glass Thickness Detection System[J]. Infrared, 2008, 29(12): 36—39.
- [9] MICHELT B, SCHULZE J. 玻璃容器厚度非接触检测[J]. 玻璃与搪瓷, 2010, 38(2): 38—40.
- MICHELT B, SCHULZE J. The non—contact Measurement of the Thickness of the Glass Container[J]. Glass & Enamel, 2010, 38(2): 38—40.
- [10] 丛赫曦, 王书涛, 李园园, 等. 基于光反射的高温玻璃包装制品厚度在线检测技术[J]. 红外与激光工程, 2011, 40(7): 1356—1359.
- CONG He—xi, WANG Shu—tao, LI Yuan—yuan, et al. Online Thickness Measurement Technology for High Temperature Glass Based on Light Reflection[J]. Infrared and Laser Engineering, 2011, 40(7): 1356—1359.
- [11] WANG Wei, WANG Zhao—ba. A Technical Research of Glass Thickness Detection Based on CCD Displacement Sensor[J]. Applied Mechanics and Materials, 2012, 229/231: 1280—1283.
- [12] CONG He—xi, WANG Shu—tao, LI Yuan—yuan, et al. Online Thickness Measurement Technology for High Temperature Glass Based on Light Reflection[J]. Infrared and Laser Engineering, 2011, 40(7): 1356—1359.
- [13] JIN Nong, ZHOU Shi—yu, CHANG Tzyy—shuh, et al. Identification of Influential Functional Process Variables for Surface Quality Control in Hot Rolling Processes[C]//IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2008.
- [14] 尹中会, 李春. 玻璃包装制品成形过程中的 CCD 甄别原理及条件[J]. 包装工程, 2013, 34(19): 114—117.
- YIN Zhong—hui, LI Chun. The Principle and Conditions of Discriminating Glass Packaging Product in Forming Process by CCD[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(19): 114—117.
- [15] 葛绍岩. 热辐射性质及其测量[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- GE Shao—yan. Thermal Radiation Properties and Its Measurement[M]. Beijing: Science Press, 1989.
- [16] 张萌, 林家明, 杨隆荣, 等. 超高感度 CCD 摄像传感器的特性分析[J]. 光学技术, 2001, 27(2): 106—108.
- ZHANG Meng, LIN Jia—ming, YANG Long—rong, et al. Characteristics Analysis for EXview HAD CCD Sensor[J]. Optical Technique, 2001, 27(2): 106—108.

(上接第 82 页)

- ZHANG Ai—ping. The Design of Curve Fitting Instrument Based on LabVIEW[J]. Journal of North China Institute of Astronautic Engineering, 2004(3): 5—6.
- [13] 欧阳明松, 徐连民. 基于 MATLAB 的试验数据拟合[J]. 南昌工程学院学报, 2010(4): 24—28.
- OUYANG Ming—song, XU Lian—min. Fitting Method of Test Data Based on MATLAB[J]. Journal of Nanchang Institute of Technology, 2010(4): 24—28.
- [14] 江禹. MATLAB 在曲线拟合中的应用[J]. 科技创新与应用, 2012(18): 8.
- JIANG Yu. Application of MATLAB Curve Fitting[J]. Technology Innovation and Application, 2012(18): 8.
- [15] 路冰琳, 孙诚, 韩雪山. 运用数学拟合方法绘制动态冲击缓冲曲线的研究[J]. 包装工程, 2010, 31(15): 4—6.
- LU Bing—lin, SUN Cheng, HAN Xue—shan. Study on Drawing Dynamic Shock Cushioning Curve Based on Mathematic Fitting Method[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(15): 4—6.