DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2018.05.022

基于光电控制的六安瓜片烘焙机设计

Development of Lu'an Guapian tea baker based on Photoelectric control

李　兵[1,2]　　孙长应[2,3]　　李为宁[1]　　宋扬扬[1]

LI Bing[1,2]　*SUN Chang-ying*[2,3]　*LI Wei-ning*[1]　*SONG Yang-yang*[1]

(1. 安徽农业大学工学院,安徽 合肥　230036;2. 安徽农业大学茶树生物学与资源利用国家重点实验室,安徽 合肥　230031;3. 安徽农业大学茶与食品科技学院,安徽 合肥　230036)

(1. *School of Engineering, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui* 230036, *China*; 2. *State Key Laboratory of Tea Plant Biology and Utilization, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui* 230031, *China*; 3. *School of Tea and Food Science and Technology, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui* 230036, *China*)

摘要:根据六安瓜片传统烘焙工艺,设计了转盘式六安瓜片烘干机,采用远红外辐射板为电热元件,加热方式为间歇式加热;转盘驱动电机功率 0.5 kW,电热功率 36 kW,加热及停歇时间 3～5 s 可调,设计了间歇式加热控制系统及具有较强抗干扰性能的红外线光控发射及接收电路,红外线发射采用双 555 多谐振荡电路,利用 UPC1373 和音频锁相集成电路 LM567 选频接收,对样机进行了六安瓜片烘焙试验,结果表明:与人工烘焙相比,样机对时间及温度的控制更加精确;当控制叶温在 68 ℃时,本机烘焙茶叶得分接近人工传统烘焙,当控制叶温在 73,82,87 ℃时,本机烘焙茶叶得分均高于人工传统烘焙。

关键词:茶叶烘焙机;六安瓜片茶;远红外辐射加热单元;光电开关

Abstract: The rotary Lu'an Guapian baker was designed, according to the Lu'an Guapian traditional baking process. Far-infrared radiation heating unit was used in the tea baker, and an intermittent heating mode was used at the same time. The rotary table was droved by 0.5 kW AC motor, with the electric heating unit power 36 kW, heating and stopping time form 3 s to 5 s. The intermittent heating control system and the strong anti-jamming infrared light emitting and receiving circuit were designed in the study. Double 555 multivibrator is used as infrared emission circuit, and UPC1373 and audio PLL IC LM567 were used as a frequency selective receiver. The Lu'an Guapian baking experiment was done with the prototype. The results showed that the control of machine baking time and temperature was more precise, compared with artificial baking. This machine scores closed to the traditional manual baking tea when the control temperature was 68 ℃, and the machine baking score was higher than the traditional artificial baking when the control temperature was 73, 82 and 87 ℃ respectively.

Keywords: tea baker; Lu'an Guapian tea; far-infrared radiation heating unit; photoelectric switch

六安瓜片是中国十大历史名茶之一[1],其手工制法分生锅、熟锅,毛火、小火、老火 5 道工序。炒生锅与炒熟锅起到杀青、轻度揉捻及做形的作用;而拉毛火及拉小火是初步烘干;拉大火是形成六安瓜片特有高火香的关键工序,面积约为 8～10 m^2 的房间布置 2～3 个立砖围成的烘炉,直径为 60～100 mm,长度为 300～500 mm 的优质木炭竖放于其中,其炭火温度高达 505～545 ℃,一般需要 4～6 名有经验的青壮年茶工,其中 2 人抬起烘篮,罩在炭火上方 3～5 s 后立即抬起脱离烘炉并翻茶;另 2 人再将烘篮抬上烘炉烘焙 3～5 s,反复多次,直到茶叶烘到足干,劳动强度很大。

传统炭火烘焙质量较好,但需要消耗大量优质木炭,成本较高;另外用炭火烘焙时会产生大量烟尘,易造成茶叶二次污染[2],其成茶品质受到茶工的技术水平制约,拉大火的时间及温度控制完全依靠人工经验,操作不当会造成整篮茶叶报废。因此六安瓜片人工拉大火生产效率较低,很难形成规模,同时由于茶工个体差异,无法达到标准化生产,很难保证同批次成茶汤色、滋味、香气或叶形的一致性[3]。近年来高新技术应用于茶叶清洁化连续化生产,提升了茶叶产业的发展[4],但研究主要集中在六安瓜片杀青及做形工序[5],六安瓜片拉大火装备的相关研究未见报道。本试验拟利用光电一体化技术设计六安瓜片的烘焙装备,以实现六安瓜片的清洁化、标准化生产。

基金项目:安徽省教育厅自然重点项目(编号:KJ2017A133);国家重点研发计划(编号:2017YDF0400801)

作者简介:李兵,男,安徽农业大学副教授,博士。

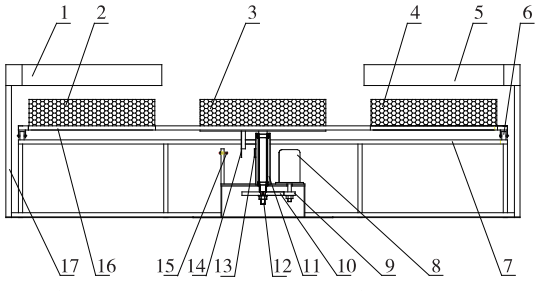
通信作者:孙长应(1965—),男,安徽农业大学讲师,学士。E-mail: 485183406@qq.com

收稿日期:2017-08-09

1　总体结构与工作原理

1.1　总体结构

六安瓜片烘干机采用圆盘式结构，由左、右远红外加热单元、烘篮、圆盘、圆盘滚轮、圆盘轨道、电机、主动齿轮、从动齿轮、主轴、主轴套筒、反光板、遮光板、红外线光电开关等组成(图 1)。加热元件为红外线辐射板，热电偶温度传感器用于控制发热元件的温度，同时设有红外线温度传感器用于监测烘焙过程中的茶叶温度。圆盘由下方的电机经齿轮减速后带动圆盘主轴，4 个竹制的方形烘蓝均匀分布在圆盘上，光电开关设置在减速器箱体上方，4 个遮光板均布于圆盘下方。



1. 左加热单元　2、3、4、18. 烘篮　5. 右加热单元　6. 圆盘滚轮　7. 圆盘轨道　8. 电机　9. 主动齿轮　10. 从动齿轮　11. 主轴套筒　12. 主轴　13. 反光板　14. 遮光板　15. 红外线光电开关　16. 圆盘　17. 支架

图 1　六安瓜片烘干机结构图

Figure 1　Main view of Lu'an Guapian tea dryer

1.2　工作原理

六安瓜片远红外烘焙机的主要设计参数见表 1。为了使机器烘焙的六安瓜片更接近于传统手工烘焙品质，利用光电控制技术模拟传统拉大火工艺，4 个烘篮由人工上茶，接通主电源后，当远红外辐射板达到设定温度后，驱动电机经过齿轮减速带动转盘转动，当 2 个烘蓝分别转到左、右加热单元下方时，遮光板此时位于光电开关与遮光板之间，光电开关动作切断电机电源并自锁使圆盘停转，加热单元对 2 个烘蓝中的茶叶烘焙。控制系统延时 3～5 s 后，转盘电机得电转动 90°，另一遮光板又会到达红外线光电开关与遮光板之间，光电开关再次动作切断电机电源并自锁使圆盘停转，同时控制系统延时 3～5 s，加热单元对另 2 个烘蓝中的茶叶烘焙；同时前一组 2 个烘蓝到达翻茶工位，人工进行翻茶，完成一个工作周期，并如此反复 80 次左右，直至下茶温度时，电机及加热单元断电，停止工作。电机控制器选用三菱 FX1S-20MR/MT 型 PLC 控制器，电机功率 0.5 kW，变频器选用欧姆龙 3G3JZ-A4015 变频器。

2　主要工作部件设计

2.1　远红外辐射板电功率的确定

从传热方式区分，茶叶烘焙方式主要有传导、对流与辐射 3 种，由于远红外辐射不需要介质，具有较高的热效率[6]，茶叶物料分子的振动波长与远红外光谱的波长相匹配，目前应用较多的是远红外陶瓷辐射板，也有运用远红外进行茶叶杀青工序，以获得更好的杀青品质[7]，红外辐射穿透能力较弱[8]，且加热效率随物料含水率的降低而下降[9－10]，本机的设计生产率为 50 kg/h，烘干过程水分由 20%下降到 5.5%，则此部分水分的汽化热 $Q_{汽}$ 为 18.67 MJ，六安瓜片烘干过程中含水率为 20%的在制品温升所吸收的热量 $Q_{叶}$ 为 5.4 MJ，远红外辐射板热效率为 0.19，可得电热总功率为 36 kW，发热元件尺寸为 150 mm×150 mm，功率为 0.5 kW，红外陶瓷发热板为了达到三相交流电的负荷平衡，左、右加热单元各由 36 块(18 kW)发热板拼装而成。

表 1　六安瓜片烘干机主要设计技术参数

Table 1　Main design parameters of Lu'an Guapian tea dryer

结构形式	圆盘转速/($r \cdot min^{-1}$)	电动机功率/kW	电机调速方式	电加热功率/kW	外形尺寸/mm	结构质量/kg	电加热元件	加热方式	生产率/($kg \cdot h^{-1}$)
圆盘式	3～9	0.5	变频调速	36	3 680×3 680×1 180	168	红外线辐射板	间歇式	50

2.2　间歇运动控制系统设计

从传热方式看，六安瓜片人工拉老火的传统工艺是用蔑制的烘笼罩在燃烧的炭火上烘焙，其传热方式以辐射为主，而本机的加热单元是以红外线辐射板为热源，加热方式与传统工艺一致，容易产生与人工炭火烘焙接近的香气；从烘焙工艺看，六安瓜片拉大火工艺属于间歇循环式远红外辐射加热，本机采用自行设计的自动控制系统完成这一传统工艺(图 2)，采用转盘式结构，每隔 90°分别设置有烘焙工位与翻茶工位，转盘由电动机驱动，其准确定位依靠镜面反射式红外线传感器来实现。

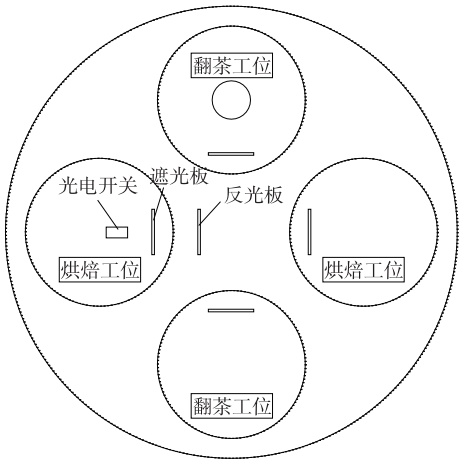


图 2　自动定位控制系统示意图

Figure 2　Schematic diagram of automatic positioning control system

2.2.1　红外线光控发射电路设计　光电开关属于一种位置检测装置，它是利用被检测物对光束的遮挡或反射，造成接收器入射光的强度化，以引起输出电流变化，经信号处理改变输出开关状态以检测被测物体[11－12]。可用于被测物体寻

迹或跟踪[13-15],机械系统旋转部件转速测量[16-17]等。本机利用光电开关控制装有 4 个烘篮的转盘电机运行并实现准确定位。镜面反射式光电开关由发射器和接收器构成,从发射器发出的光束在对面的反射镜被反射,即返回接收器,以判断此时有无物体通过,有效作用距离为 0.1～18.0 m,可以用于粉尘环境中。考虑到本机处于高温环境,需要红外线光电开关具有较高的灵敏度,由于茶厂干扰较大,前期试验表明,普通的红外线光电开关抗干扰性能较差,可以重新设计专用的光电开关电路。

镜面反射式红外线光电开关的发射电路是基于双 555 多谐振荡器[18],主要由 2 个 555 时基电路产生 1.5 kHz 的调制方波脉冲信号与 36 kHz 的载频方波脉冲信号及红外线驱动电路组成(图 3)。VD1 调整调制方波脉冲信号的占空比为 1∶3,VD2 调整载频方波脉冲信号的占空比为 1∶15。

调制方波脉冲信号参数及元件选择可以取 R_1 为 2.4 K、R_2 为 7.2 K、电容 C_1 为 0.1 μF 时,C_1 充电时 VD_1 正向偏置,电流方向为:电源→R_1→VD_1→C_1;C_2 放电时 VD_1 反向偏置,电流方向为:C_2→R_2→IC_1 第 7 脚→地,当 IC_1 的输出端(第 3 脚)为高电平时 IC_2 起振,第 3 脚输出 35 kHz 的载频方波脉冲信号,当此方波信号分别为正、负脉冲时,三极管 VT_1 处于导通或截止,以驱动红外发光管发出经调制的红外脉冲信号;当 IC_1 的输出端(第 3 脚)为低电平时,IC_2 停振无信号输出。

2.2.2　红外线光控接收电路设计　接收电路包含红外前置放大电路、分频电路、调制解调电路及放大电路(见图 4)。相关电路均采用专用集成电路,可以减少电路的分立元件数量,以提高电路的稳定性与可靠性。接收电路的信号前置放大电路采用红外接收专用集成电路 UPC1373、分频电路采用双 D 触发器 CD4013 二分频电路,调制解调电路采用锁相环路解码器 LM567[19]。

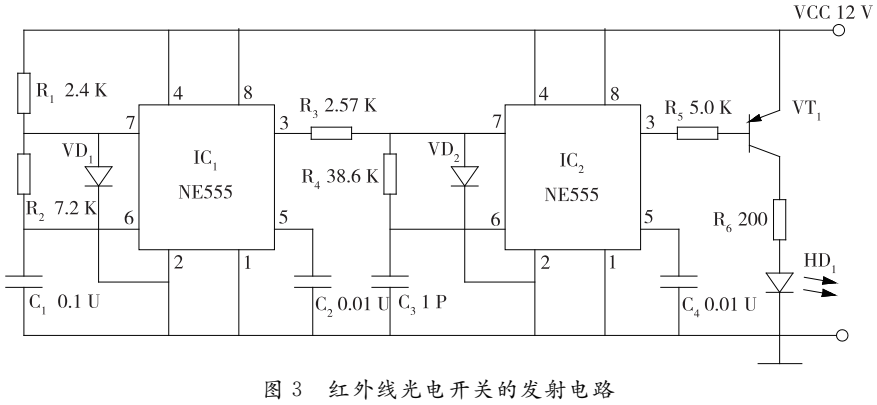


图 3　红外线光电开关的发射电路

Figure 3　Transmitting circuit of infrared photoelectric switch

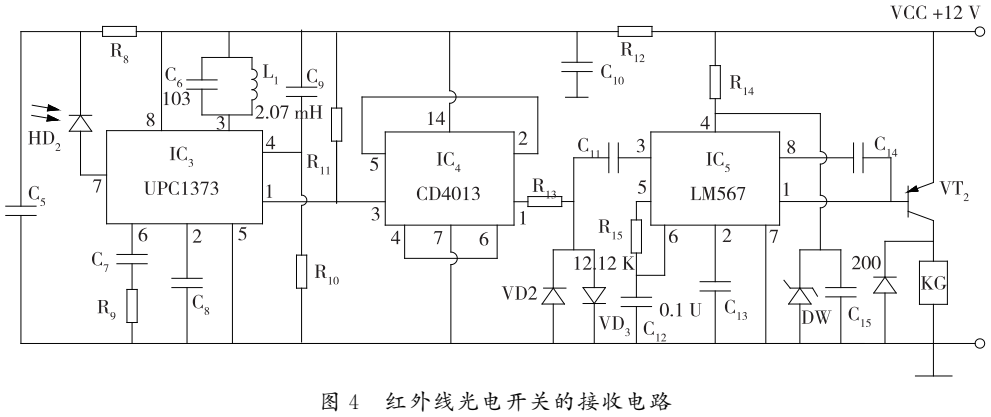


图 4　红外线光电开关的接收电路

Figure 4　Receiving circuit of infrared photoelectric switch

与 UPC1373 第 3 脚相连的 C_6 与 L_1 数值大小决定其机振荡频率,当此频率与红外发射信号频率一致,可以达到良好的选频效果,提高电路抗干扰性能。当 C_6 取 10 nF,L_1 取 2.07 mH 时,UPC1373 的本振频率为 35 kHz,为克服外界光线干扰,可以选用集成锁相芯片 LM567 用于光电检测电路[20]。

电路调试时将接收电路的 L_1 调整到 35 kHz 的谐振点,使 IC_3 输出最大;在 LM567 第 3 脚输入 750 Hz 时,调整 R_{15} 使 IC_5 第 8 脚输出变为低电平,即在电机主控电路中,当遮光板没有遮住红外光线时,接收电路可以接收到调制的红外脉冲信号时,IC_5 第 8 脚应为低电平,通过主控制电路使电机保持运转;当电机运转到遮光板遮住红外光线时,红外信号被遮断,IC_5 第 3 脚无 750 Hz 信号,第 8 脚变为高电平,继电器 KG 动作,电机停止并定位。

3　烘焙试验

样机制成后,在安徽省六安瓜片茶业股份有限公司进行了相关试验。并对不同烘焙温度的茶样进行了人工审评,按照 SB/T 10157—93《茶叶感观评审方法》及 NY/T 781—2004《六安瓜片茶》等相关标准进行,品质评审因子权数分配见表 2。

表 2 绿茶品质评审因子权数分配表

Table 2 Green tea quality evaluation factor weights allocation table

外观	权数	内质	权数
外形	1.5	香气	1.5
碎度	1.0	滋味	2.0
净度	1.0	汤色	1.0
色泽	0.5	叶底	1.5

人工评审综合得分按式(1)计算：

$$grade = \sum_{i=1}^{8} A_i a_i \ , \tag{1}$$

式中：

$grade$——综合得分；

A_i——审评因子的得分；

a_i——审评因子权数。

碎茶率的测定：按照 GB/T 8311—2013 进行测量，称取茶叶试样 100 g，倒入筛孔直径 1.25 mm 的碎茶筛进行筛分，测量筛下碎茶质量，并按式(2)进行计算。

$$\delta = \frac{m_1}{m} \times 100\% \ , \tag{2}$$

式中：

δ——碎茶率，%；

m_1——筛下碎茶质量，g；

m——茶叶试样质量，g。

茶叶审评结果见表 3，人工炭火烘焙六安瓜片温度控制适当时，易产生优质的高火香，但受人为影响因素较多，同时也会产生烘焙不足或过度烘焙等缺陷；本机对烘焙温度及时间能进行准确设置，控制精度高于人工。

表 3 人工审评结果

Table 3 Manual review result

项目	叶温/℃	综合得分	碎茶率/%
本机烘焙	68	880	5.3
	73	908	5.5
	82	951	5.8
	87	911	6.0
人工炭火烘焙	—	885	16.0

4 结论

模拟六安瓜片传统拉大火工艺，运用光电自动控制技术，设计了一种六安瓜片烘焙机，整机采用转盘式结构，以远红外辐射板电加热器为热源，可以达到与人工烘焙相近的高火香。以 555 时基电路、UPC1373 和 LM567 等专用集成电路设计的光电控制电路具有良好的抗干扰性能，可以实现机械系统的精确定位。人工审评结果表明：当控制叶温在 68 ℃ 时，本机烘焙茶叶得分接近人工传统烘焙。当控制叶温在 73，82，87 ℃时，本机烘焙茶叶得分均高于人工传统烘焙。本机的设计可以为茶叶烘焙机的相关设计提供理论参考，在茶叶烘焙过程中叶温的精确控制上还有待进一步提高。

参考文献

[1] 阮鸣，陈全战，周红霞. 六安瓜片香气成分的 GC-MS 分析[J]. 食品科学，2015，36(8)：120-124.

[2] 唐小林. 茶叶清洁化生产的问题与对策[J]. 中国茶叶加工，2011(4)：18-20.

[3] 王世斌. 南京市茶叶加工清洁化研究[J]. 金陵科技学院学报，2006，22(1)：101-103.

[4] 唐小林. 我国茶叶加工技术装备现状分析与对策研究[J]. 中国农机化，2010(2)：20-22.

[5] 陈习村. 六安瓜片加工工艺研究[D]. 合肥：安徽农业大学，2011：9-12.

[6] 吴全金，孙威江，吴占富. 远红外加热技术在茶叶加工及制品中的研究进展[J]. 农机化研究，2014(4)：220-224.

[7] 朱德文，岳鹏翔，袁弟顺，等. 微波远红外耦合杀青工艺对绿茶品质的影响[J]. 农业工程学报，2011，27(3)：345-350.

[8] MIHOUBI D，TIMOUMI S，ZAGOUBA F. Modeling of convective drying of carrot slices with IR heat source[J]. Chemical Engineering and Processing，2009(8)：808-815.

[9] THANIT S，SAKAMON D，POOMJAI S A，et a1. Mathematical modeling of combined far-infrared and vacuum drying banana slice[J]. Journal of Food Engineering，2009，92(1)：100-106.

[10] NIMMOL C，DEVAHASTIN S，SWASDISEVI T，et a1. Drying of banana slices using combined low-pressure superheated steam and far-infrared radiation[J]. Journal of Food Engineering，2007，81(3)：624-633.

[11] 戈民，吉炜寰，项仕标，等. 基于激光与远程控制技术的信息型光电开关综述[J]. 郑州轻工业学院学报，2007，22(2)：109-112.

[12] BACHIM B L，OGUNSOLA O O，GAYLORD T K. Optical-fiber-to-waveguide coupling using carbon-dioxide-laser-induced long-period fiber gratings[J]. Optics Letter，2005，30(16)：2 080-2 082.

[13] 王林军，门静，张东，等. 太阳自动跟踪系统中光电传感器的设计[J]. 农业工程学报，2015，31(14)：179-185.

[14] PARRETTA A，SARNO A，VICARI L. Effects of solar irradiation conditions on the outdoor performance of photovoltaic modules[J]. Optics Communication，2005，153(1)：153-163.

[15] 宁慧英. 基于光电传感器的智能小车自动寻迹控制系统[J]. 仪表技术与传感器，2012(1)：108-110.

[16] 余以道，文泽军，罗善明，等. 高速光电反射式转矩转速传感器及其试验研究[J]. 仪器仪表学报，2009，30(3)：611-614.

[17] 钱建强，薛敏. 红外光电转速测量仪[J]. 工业计量，2003(6)：33-35.

[18] 邹华东，谢忠发，陈小林. 基于 555 多谐振荡电路的自动电阻测量仪[J]. 长春大学学报，2013，23(6)：669-672.

[19] 杨黎，余胜. 红外避障系统的设计[J]. 湖南人文科技学院学报，2013(4)：102-106.

[20] 陈涛. 调制式光电液位智能检测的研究[J]. 煤炭技术，2010，29(11)：35-36.