

## 电加热新型卷烟烟具温度对象分析

徐宏<sup>1</sup>, 陈焰<sup>1\*</sup>, 汤建国<sup>2\*</sup>, 郑绪东<sup>2</sup>

(1. 昆明理工大学, 云南昆明 650504; 2. 云南中烟工业有限责任公司技术中心, 云南昆明 650202)

**摘要** 电加热新型卷烟有降焦减害作用, 其中加热温控系统为电加热新型卷烟烟具的核心。烟具主要存在起烟速度慢、发烟性能差等缺陷。采用阶跃响应法对烟具温度对象温度阶跃响应信号进行辨识, 得烟具加热温度对象为一阶惯性纯滞后系统, 并对烟具加热温度对象控制算法进行优化改进与仿真。仿真结果表明: 改进的烟具温度对象加热延时时间缩短 38.1%, 温度上升时间缩短 29.8%, 调节时间缩短 24.8%。研究可加快烟具起烟速度, 提高发烟性能, 降低系统的功耗, 延长电池寿命, 为烟具电路改进、开发提供理论指导。

**关键词** 新型卷烟; 电加热; 烟具; 温度对象; 阶跃响应; 惯性; 纯滞后

**中图分类号** TS43 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)08-0215-02

## Analysis on the Temperature Object of Electric-heating Cigarette Heater

XU Hong<sup>1</sup>, CHEN Yan<sup>1\*</sup>, TANG Jian-guo<sup>2\*</sup> et al (1. Kunming University of Science & Technology, Kunming, Yunnan 650504; 2. China Tobacco Yunnan Industrial Co., Ltd., Technology Center, Kunming, Yunnan 650202)

**Abstract** Electric-heating cigarette heater has the function of reducing the tar and other harmful components. The heating temperature control system is the core of electric-heating cigarette heater. It mainly exists slow smoking speed, poor smoking performance and other defects of electric-heating cigarette heater. The step response signal of the heating temperature object was identified by using the step response method. It obtained that the heating temperature object is the first-order inertia pure delay system. And the control algorithm of the heating temperature object was optimized and simulated. The simulation results identified that the delay time of heating of the optimized heating temperature object was reduced by 38.1%, the temperature rise time was reduced by 29.8% and the adjustment time was shortened by 24.8%, which improves the smoke speed and performance; reduces system power consumption and extends battery service life, provides theoretical guidance for the improvement of electric-heating cigarette heater circuit and the development of the electric-heating cigarette heater.

**Key words** Novel cigarette; Electric-heating; Cigarette heater; Temperature object; Step response; Inertia; Pure delay

传统卷烟在高温燃烧裂解时, 会产生对人体有害的成分, 危害人们的健康<sup>[1]</sup>。电加热新型卷烟是加热而非燃烧烟草制品, 减少了对人体的有害成分, 是一种健康的、降焦减害的烟草制品<sup>[2-4]</sup>。电加热新型卷烟烟支烘烤温度是影响卷烟烟化学成分的重要因素<sup>[5-9]</sup>, 加热温控系统为烟具的核心。

目前, 国内电加热新型卷烟制品技术落后于国外<sup>[10-12]</sup>。国内自主研发的烟具存在起烟速率慢、发烟性能差等缺陷, 主要表现为加热延时长、温度上升时间长、调节时间长等。

国内对电加热新型卷烟烟具温度对象研究甚少。笔者采用阶跃响应法, 对电加热新型卷烟烟具温度对象进行开环辨识, 并对模型进行优化和仿真, 以提升烟具的起烟速度, 提高烟具发烟性能, 为烟具电路改进、开发提供理论指导。

## 1 对象结构及特性曲线

**1.1 对象结构分析** 电加热新型卷烟包括: 电加热新型烟具和新型卷烟烟支。电加热新型烟具主要由电源管理单元、微处理器、温控系统及显示单元组成, 如图 1 所示。烟具温控系统核心加热部件为加热棒, 如图 2 所示, 加热棒由内层镍铬发热丝、外层陶瓷棒体等组成, 发热丝内嵌于陶瓷棒体中, 型热电偶传感器内嵌于加热棒内顶端。

**1.2 对象特性曲线** 该试验选取菲莫 IQOS 烟具与自主研发的电加热新型卷烟烟具进行对比分析。选取 IQOS 烟支,

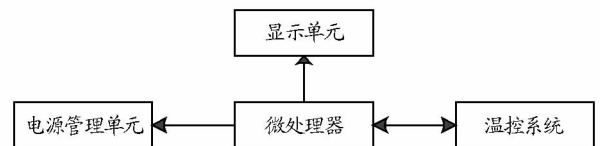


图 1 电加热新型卷烟烟具系统组成

Fig. 1 System components of electric-heating cigarette heater

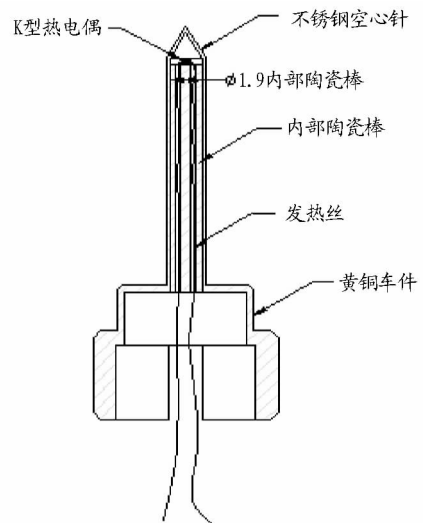


图 2 加热棒结构示意图

Fig. 2 Heating rod structure

采用阶跃响应法, 在室温(28℃)条件下, 阶跃信号设定为 260℃, 采用针型铠装式热电偶采集到两者加热空载温度对象变化曲线。对试验数据处理后, 得如图 3 所示的 IQOS 烟具温度对象及自主研发烟具温度对象空载加热温度曲线。

**基金项目** 云南省应用基础研究项目(KKSA201331004); 科技协作项目(KKK0201403122)。

**作者简介** 徐宏(1991—), 男, 湖北咸宁人, 硕士研究生, 研究方向: 控制与检测。\*通讯作者: 陈焰, 高级工程师, 教授, 硕士生导师, 从事检测与控制研究; 汤建国, 博士, 从事烟草化学、减害降焦及新型烟草制品研发等工作。

**收稿日期** 2017-01-19

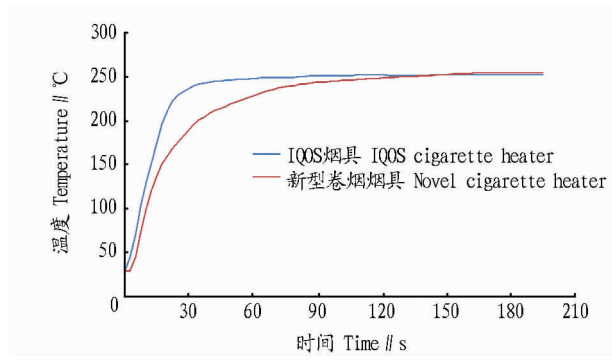


图3 烟具温度对象加热温度曲线

Fig.3 Heating temperature curve of electric-heating cigarette heater

2 对象辨识

2.1 对象阶次辨识 对图3中电加热新型卷烟烟具温度对象温度曲线数据进行无量纲化处理<sup>[13]</sup>,得如图4所示温度曲线数据。

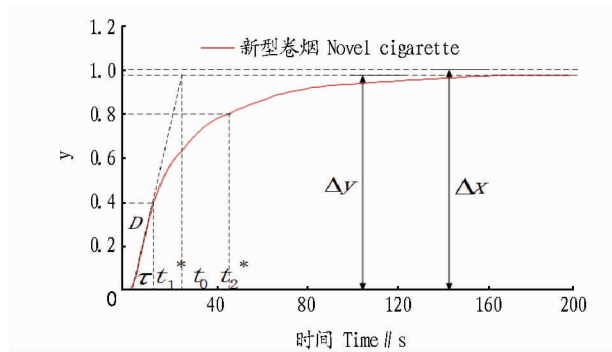


图4 烟具温度对象无量纲化曲线

Fig.4 Dimensionless heating temperature curve of electric-heating cigarette heater

由图4可知,  $y^*(t_1^*) = 0.4$ , 得出  $t_1^* = 12.4$ ;  $y^*(t_2^*) = 0.8$ , 得出  $t_2^* = 47.3$ 。由此可得:  $\frac{t_1^*}{t_2^*} = 0.262 < 0.32$ 。

由上述可知,系统阶次  $n = 1$ ,即电加热新型卷烟烟具温度对象为一阶系统。对象特性数学模型用增益  $K$ 、滞后时间  $\tau$ 、时间常数  $T$  3个参数来描述,具体如式(1)。

$$G(s) = \frac{Ke^{-\tau s}}{Ts + 1} \quad (1)$$

2.2 对象参数辨识 采用“切线法”,在图4曲线变化速率最快处做切线<sup>[13]</sup>,得出  $t_0 = 24.3, \tau = 2.1$ ;由上述可得:  $T = t_0 - \tau = 22.2$ 。

参数  $K$  可由式(2)求得。

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta x} = 0.974 \quad (2)$$

3 对象优化与仿真

3.1 对象特性曲线对比 在图5中IQOS和新型卷烟烟具温度对象曲线中斜率最大处做切线,切线与横坐标轴的交点的横坐标值为加热延时时间  $\tau$ ;在曲线中斜率为零点处对应横坐标值为调节时间  $t_s$ ;在曲线中有:  $y(t_1) = 0.1, y(t_2) = 0.9$ ;由此得式(3)。

$$t_r = t_2 - t_1 \quad (3)$$

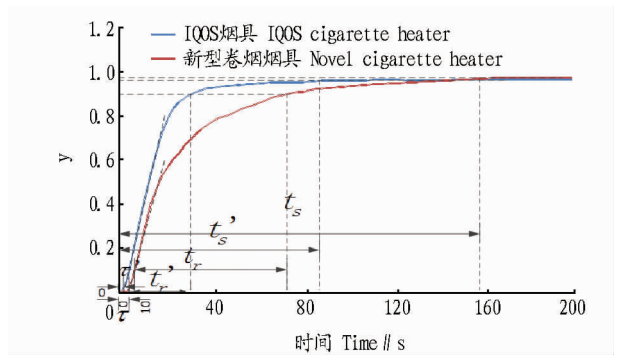


图5 IQOS与新型卷烟烟具温度对象曲线

Fig.5 Heating temperature curve of IQOS and electric-heating cigarette heater

对比两者加热延时时间  $\tau$ 、上升时间  $t_r$ 、调节时间  $t_s$ ,如表1所示。

表1 自主研发新型卷烟烟具与IQOS烟具温度对象曲线数据对比  
Table 1 Heating temperature curve date comparison of electric-heating cigarette heater and IQOS

烟具名称 Cigarette heater	延时时间 $\tau$ Delay time	上升时间 $t_r$ Rise time	调节时间 $t_s$ Regulating time
自主研发烟具 Independent research cigarette heater	2.1	67.5	155.8
IQOS 烟具 IQOS cigarette heater	0.8	24.8	85.2

电加热新型卷烟烟具与IQOS烟具温度对象相比:加热延时长1.3 s,升温时间长42.7 s,调节时间长70.6 s。由于烟具温度对象的加热延时时间、温度上升时间及调节时间直接影响烟具起烟速度与发烟性能,因此,需对烟具加热温度对象控制算法进行优化改进。

3.2 对象参数优化 一阶惯性纯滞后系统可通过缩小控制参数  $T, \tau$  值,增大参数  $K$  值来优化控制参数,使得系统加热延时时间  $\tau$ 、上升时间  $t_r$  及调节时间  $t_s$  缩短。

对自主研发电加热新型卷烟烟具温度对象模型传递函数  $G(s)$  前串联一个传递函数  $G'(s)$ ,如图6所示,得式(4),使得优化后烟具温度对象模型的控制参数  $T, \tau$  值缩小,  $K$  值增大,烟具温度对象加热延时时间、温度上升时间及调节时间缩短,从而可使烟具起烟速度加快、发烟性能更高。

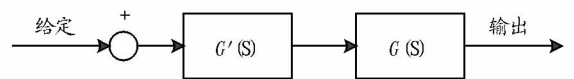


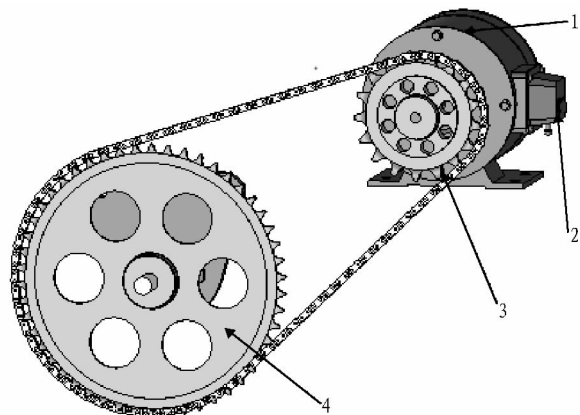
图6 烟具温度对象控制模型优化改进框图

Fig.6 Control model optimization of electric-heating cigarette heater

$$G^*(s) = G(s)G'(s) \quad (4)$$

若改变控制模型算法将对象参数  $T = 18.5, \tau = 1.3, K = 0.98$ ,得到优化烟具温度对象参数模型式(5)。

$$G^*(s) = \frac{0.98e^{-1.3s}}{18.5s + 1} \quad (5)$$



注:1. 步进电机;2. 转角-施肥量控制器;3. 电机链轮;4. 挡板转动链轮

Note:1. Stepper motor;2. Angle fertilizer controller;3. Motor sprocket;4. Baffle sprocket

图3 转角控制装置

Fig.3 Angle control device

(上接第 216 页)

按图 7 所示开环仿真<sup>[14]</sup>,得图 8 所示曲线。

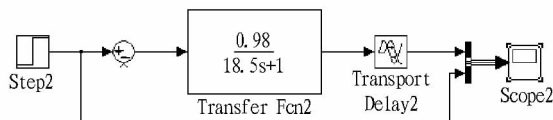


图7 仿真原理

Fig.7 Simulation principle

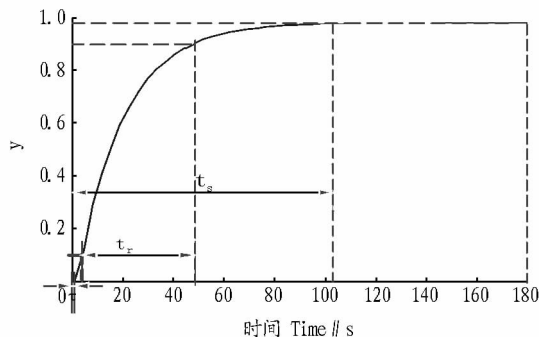


图8 烟具温度对象优化改进后仿真曲线

Fig.8 Simulation temperature curve after optimization of electric-heating cigarette heater

对象的加热延时时间  $\tau = 1.3$  s, 缩短 38.1%; 温度上升时间  $t_r = 47.4$  s, 缩短 29.8%; 调节时间  $t_s = 117.1$  s, 缩短 24.8%。

通过改变控制模型算法,可改变烟具温度对象  $G(s)$  模型参数,使烟具温度对象加热延时时间、温度上升时间及调节时间缩短,可加快烟具起烟速度,提高发烟性能,降低系统的功耗,延长电池寿命,为烟具电路改进、开发提供理论指导。

#### 4 结论

采用阶跃响应法,对电加热新型卷烟烟具温度对象进行

低,便于推广应用。但该研究设计的有机肥施耕一体机是针对我国平原地区大块耕田的专用设备,通用性不太高,为了适应不同地区、不同地形施肥耕田的需求,仍有待进一步的改善。

#### 参考文献

- [1] 耿晨光. 有机农业生产中有机肥的合理施用[J]. 内蒙古农业科技, 2008(4): 93-95.
- [2] 刘梅, 王咏红, 高琪, 等. 农户有机肥施用量及其影响因素分析[J]. 统计与决策, 2009(12): 61-63.
- [3] 李晓华. 梯田玉米有机肥最佳施用量的研究[J]. 生态农业研究, 2000, 8(3): 44-46.
- [4] 濮良贵, 纪名刚. 机械设计[M]. 8版. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [5] 赵俊天, 王顺增, 王振兴. 远距离输送链传动载荷分析及其磨损伸长研究[J]. 机械传动, 2014, 38(2): 25-29.
- [6] 程建民. 一种新型的链轮传动机构设计与研究[J]. 机械与电子, 2011(10): 78-80.
- [7] 王君玲, 杨玉芬, 程玉来. 链轮齿数对链传动动载荷的影响[J]. 沈阳工业大学学报, 2004, 26(1): 17-18, 22.
- [8] 赵道军. 长运距、大倾角、高强度带式输送机研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2007: 19-20.

系统参数辨识, 得其一阶惯性纯滞后系统。通过对烟具温度对象控制算法优化改进, 使得烟具温度对象加热延时时间缩短 38.1%、温度上升时间缩短 29.8%、调节时间缩短 24.8%, 从而可加快烟具起烟速度, 提高发烟性能, 降低系统的功耗, 延长电池寿命, 为烟具电路改进、开发提供理论指导。

#### 参考文献

- [1] 吴潇, 王毅, 马永凯, 等. 卷烟焦油危害研究进展[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(5): 3084-3085.
- [2] 艾思. 非传统烟草制品初探[J]. 烟草科技, 2013(3): 59-62.
- [3] 程晓兵, 李保江, 韩彦东. 世界新型烟草制品发展状况[J]. 烟草科技, 2014(3): 38-43.
- [4] 沈轶. 新一代烟草替代产品的研发和趋势[J]. 烟草科技, 2012(3): 38-40.
- [5] 董宁宁. 不同温度条件下卷烟的热裂解 GC/MS 研究[J]. 质谱学报, 2003, 24(1): 283-286.
- [6] 周顺, 王孝峰, 郭东峰, 等. 低温加热状态下烤烟气溶胶释放量及其影响因素[J]. 烟草科技, 2015, 48(5): 34-40.
- [7] VÁRHEGYI G, CZÉGÉNYI Z, JAKAB E, et al. Tobacco pyrolysis. Kinetic evaluation of thermogravimetric-mass spectrometric experiments[J]. Journal of analytical and applied pyrolysis, 2009, 86(2): 310-322.
- [8] SENNECA O, CIARAVOLO S, NUNZIATA A. Composition of the gaseous products of pyrolysis of tobacco under inert and oxidative conditions [J]. Journal of analytical and applied pyrolysis, 2007, 79(1/2): 234-243.
- [9] 谢国勇, 李斌, 银董红, 等. 卷烟燃吸温度分布与主流烟气中 7 种有害成分释放量的关系[J]. 烟草科技, 2013(11): 67-72.
- [10] 刘亚丽, 洪群业, 郑路, 等. 无烟气烟草制品技术发展现状及趋势研究[J]. 中国烟草学报, 2015, 21(3): 134-139.
- [11] 张兴伟, 邢丽敏, 齐义良, 等. 新型烟草制品未来发展探讨[J]. 中国烟草科学, 2015, 36(4): 110-116.
- [12] 刘亚丽, 郑路, 洪群业, 等. 加热型无烟气烟草制品专利技术统计分析[J]. 烟草科技, 2013(7): 16-20.
- [13] 刘金琨, 沈晓蓉, 赵龙, 等. 系统辨识理论与 MATLAB 仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012: 80-81.
- [14] 高道祥, 薛定宇. 基于 MATLAB/Simulink 机器人鲁棒自适应控制系统仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(7): 2022-2025.