

棉花早期阴燃特性及棉包包装存储方法研究

周小星, 葛乐通, 蒋益兴, 陈建栋, 唐娟

(常州大学, 常州 213016)

摘要: **目的** 基于棉花早期阴燃特性,提出针对性的棉包包装方式及棉包储存方法。**方法** 利用可控加热装置加热棉花,采用CO传感器采集棉花受热所产生的CO气体,并加以分析。在模拟棉垛下,使用CO传感器结合多点测量法,测量CO气体在棉垛内的散逸轨迹。**结果** 棉花在温度为120℃左右时开始产生CO气体并散逸,并得出了棉花在不同温度下产生CO气体的速率。阴燃前期,CO在棉垛内以阴燃点为原点,沿着缝隙缓慢地向四周扩散,且CO气体浓度与缝隙大小呈反比。**结论** 将棉包以单个或数个为单位,用阻燃PE膜包装或适当减小棉垛规模的存储方法可以缩短棉垛早期火灾预警时间。

关键词: 棉包; 阴燃; CO气体; 包装存储

中图分类号: TB485.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)17-0057-04

Characteristics of Cotton Early Smoldering and Packaging Storage Method of Cotton Bale

ZHOU Xiao-xing, GE Le-tong, JIANG Yi-xing, CHEN Jian-dong, TANG Juan

(Changzhou University, Changzhou 213016, China)

ABSTRACT: **Objective** Based on the characteristics of cotton in the early stage of smoldering, pertinent packing way and storage method of cotton bale were put forward. **Methods** Cotton was heated with a controllable heating device, and the CO released during the heating process of cotton was collected and analyzed by a CO sensor. Using a simulated cotton pile, CO sensor and multi-point measurement were employed to measure the dissipation path of CO in cotton pile. **Results** CO was produced at 120℃ and begin to spread at the same time; The rates of CO gas production in the early stage of cotton smoldering at different temperatures were obtained; In the early stage of smoldering, CO was released along the crack with the smoldering point as the origin, and spread slowly to the surrounding; the CO concentration changed inversely with the gap size. **Conclusion** It was put forward that packaging cotton in single or multiple bale(s) with flame-retarded PE or reducing the size of cotton pile could shorten the early-warning time of cotton bale fire.

KEY WORDS: the honeycomb cardboard; impact test; dynamic cushioning coefficient-maximum static stress curve

棉花是关乎国计民生、战略存储的重要物资^[1]。全国仓储棉包因阴燃导致火灾每年都不可避免地发生几次,并且火灾造成的损失是巨大的、不可挽回的^[2]。棉花的存储方式一般是将227 kg的棉花在棉花打包机下压缩成一个尺寸为1.4 m×0.7 m×0.5 m的长方体^[3-4],以棉质麻布包裹,并用钢丝或PET带捆扎^[5-6],然后将数百个压缩棉包堆叠在露天场所以棉垛形式储存。

不恰当的存储方式不利于棉垛火灾的早期预警与救援,由此文中通过研究棉花早期阴燃特征来寻找合适的棉包包装及存储方式。

阴燃是棉花类固体多孔物质的一种碳化现象,特点是没有火焰,但又不是纯粹的无焰燃烧,与有焰燃烧最大的区别是可以热解出可燃性气体^[7]。棉包阴燃的主要产物为可燃性气体CO与烟雾颗粒等。CO气

收稿日期: 2014-04-28

作者简介: 周小星(1989—),男,江苏南通人,常州大学硕士生,主攻机电一体化。

体具有可燃性,也是间接导致棉垛自燃火灾加剧的因素。同时CO气体较烟雾颗粒具有更好的迁移性^[8],因此,CO气体是棉垛火灾早期预警的最佳特征气体。

目前国内外研究主要针对棉花阴燃的燃烧特性,如对棉花阴燃热通量的研究^[9],棉花密度对棉花阴燃着火温度的影响^[10],样本大小对阴燃特性的影响^[11],不同湿度棉花热分解过程的实验分析和动力学计算^[12],棉花的热辐射引燃实验^[13]等。其中虽然也有以CO气体为实验对象,并提出将烟雾传感器和CO传感器相结合的主动吸气式火灾探测方法,但这些往往建立在棉花阴燃的后期,达不到棉垛早期预警的作用。

文中通过可控加热装置在密闭空间内加热棉花,棉花采用优质无籽棉花^[14]。利用CO传感器对各温度点棉花产生CO的含量进行测量、记录并作图分析,模拟得出阴燃前期棉包内棉花在热量积聚过程中各温度点产生CO气体速率规律。基于此,使用多个CO传感器以多点测量法分析早期阴燃时CO在模拟棉垛内的散逸情况,并归纳CO浓度与棉垛空间的关系。

1 模拟阴燃前期产生CO速率实验

1.1 实验原理与方法

棉花的阴燃过程按实验现象可以分为脱水变黄、热解碳化、燃烧、熄灭等。文中研究的阴燃前期过程主要集中在棉花脱水变黄、热解碳化等2个阶段。在密闭空间内,通过对加热装置设定不同温度加热棉花,利用CO传感器检测气体,每20 s记录一个数值,同时观察棉花颜色的变化,直到棉花轻微发黄且传感器几乎检测不到CO气体,此时便认为是棉花脱水变黄阶段的开始,记录温度 θ_1 。结合烟雾传感器,直到产生CO气体并伴随微量烟雾,此时便认为是棉花阴燃燃烧的开始,记录此刻温度 θ_2 。将裹有棉花的加热装置置入体积为 V_1 的密闭空间,任选 $\theta_1 \sim \theta_2$ 范围内温度 θ 加热,利用CO传感器采集CO气体数据,记录CO产生的量及时间,并作图分析。棉花加热示意图1。

1.2 设备

实验设备:CO气体检测仪,SGA-606-CO,分辨率为 0.1×10^{-6} ,量程为 $0 \sim 100 \times 10^{-6}$;加热套筒,受热面积

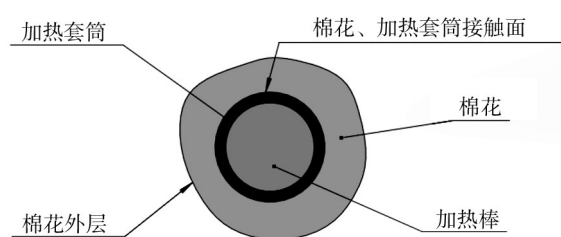


图1 棉花加热示意

Fig.1 Schematic diagram of cotton heating

为 90 cm^2 ;热电偶,WRNT-02,规格为 3000 mm ,分度号为K,测量范围为 $0 \sim 800 \text{ }^{\circ}\text{C}$;智能PID温控仪,XMT614,测量精度为 0.2% ;加热棒, $36\text{V}-85\text{W}$;密闭容器,容量为 1.5 L 。

2 过程及结果分析

经数次实验后测得 θ_1 约为 $120 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 θ_2 约为 $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$,棉花阴燃前期的温度范围约为 $120 \sim 180 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。将棉花均匀缠绕在表面积为 90 cm^2 的加热棒上,设定温控表温度为 $162 \text{ }^{\circ}\text{C}$,在体积为 1.5 L 的密闭容器内,4 h内测得棉花在 $162 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 下产生CO的情况,见图2。棉花温度达到 $162 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 后,便开始热解碳化产生CO,实时记录CO的体积分数呈匀速上升趋势。在实验结束时测得产生CO的体积分数约为 1.6×10^{-6} 。根据气体体积分数与质量浓度的换算公式:

$$C = MP/22.4 \quad (1)$$

$$m = CV \quad (2)$$

$$k^* = m/t \quad (3)$$

$$\text{总结得出: } k^* = MPV/(22.4t) \quad (4)$$

式中: C 为质量浓度, mg/m^3 ; M 为气体相对分子质量; P 为实验结束所测CO体积分数; m 为气体质量, mg ; V 为密闭容器体积, m^3 ; k^* 为不同温度对应的棉花产生CO气体质量的速率, mg/h ; t 为实验时间, h 。已知

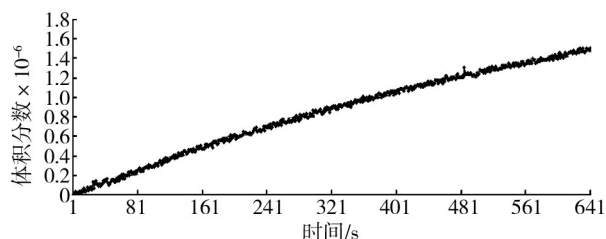


图2 棉花在 $162 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 下产生CO量

Fig.2 Amount of CO produced from cotton at $162 \text{ }^{\circ}\text{C}$

容器体积为 1.5 L、CO 气体相对分子质量为 28,时间为 4 h,计算得到每小时 CO 气体质量增加量为 0.75×10^{-3} mg。

棉花在温度为 140,150,155,160 ℃ 下实验的数据见图 3。可以看到棉花在不同温度下产生 CO 气体的速率不一样,随着温度的增加 CO 产生速率变大。

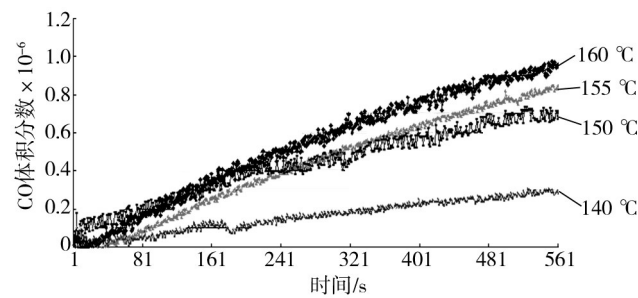


图3 棉花在各温度下产生CO趋势

Fig.3 Trend of CO production from cotton at various temperatures

另外,在温度为 110,120,140,150,160,170 ℃ 等条件下进行实验。经分析大量实验数据,并结合公式(1)–(3)得出不同温度下产生 CO 的速率(见表 1)。棉花在温度为 120 ~ 140 ℃ 时,产生 CO 的速率较低;温度为 140 ~ 160 ℃ 时,产生 CO 的速率比较平缓;温度为 170 ~ 180 ℃ 时,产生 CO 的速率明显增大。棉花随着加热温度的上升,产生 CO 的速率变大。由此可见,在棉包存储过程中,随着产生热量的逐渐积聚,CO 产生的速率不断加快,若不能及时发现并采取相关措施,则可以产生相当数量的 CO 气体,直接导致火灾程度的加深。

由公式(3)得:

$$m=k \cdot t$$

式中: m 为气体质量,mg; t 为时间,h。

表1 棉花所受温度对应产生CO速率

Tab.1 The production rates of CO corresponding to temperatures of cotton

棉花所受热温度 $\theta/^\circ\text{C}$	CO 产生的速率 $I/(\text{mg}\cdot\text{h}^{-1})$
120~140	$0.12\sim0.17 \times 10^{-3}$
140~160	$0.17\sim0.57 \times 10^{-3}$
160~170	$0.57\sim1.2 \times 10^{-3}$
170~180	$1.2\sim2.2 \times 10^{-3}$

结合表 1,在已知棉花阴燃温度的情况下,可计算出时间 t 内产生 CO 气体的质量。

3 棉包阴燃前期 CO 气体在棉垛内散逸情况

目前主流的棉包存储方式有 2 种,一种是将数百个尺寸为 1.4 m × 0.7 m × 0.5 m 的棉包,按次序上下层交叉压缝堆叠成约 20 m × 5 m × 8 m 的长方体放置在露天场所,不加任何防雨措施。这种存储方式不利于 CO 气体的收集,同时还可能因为受到雨水侵蚀,导致棉花霉变,增加棉包发生阴燃的概率。另一种是以添加防雨罩的形式存储(见图 4),其特点为垛内存在大量互通的缝隙,整体构成了一个相对密闭的蜂窝状空间,较利于 CO 气体的传播与收集。



图4 棉包储存场

Fig.4 Cotton packaging and storage field

3.1 阴燃前期 CO 气体横向传播情况

3.1.1 原理与方法

为了模拟棉垛内的实际情况,使用棉包按 1:50 比例堆起一个小型棉垛(见图 5),并盖上透明 PE 塑料膜模拟防雨罩,将裹有棉花的加热装置置入棉垛底部的一个角落,将 3 个 CO 传感器在同一水平面内按垂直距离远近分别放入棉垛顶部的 3 个位置,并标记为 A,B,C。对棉花加热,加热温度为 180 ℃,同时记录 A,B,C 传感器检测到 CO 的时间。

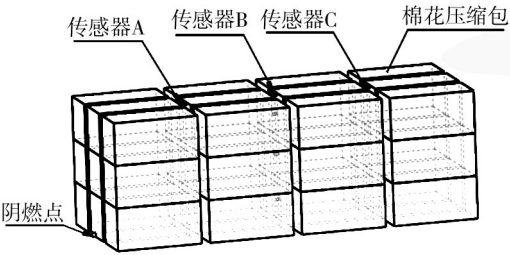


图5 传感器横向位置示意

Fig.5 The schematic diagram of sensors' lateral position

3.1.2 结果与分析

结果显示,A 处传感器首先检测到 CO,其次分别是 B,C 处,且读数大小依次降低。由此可知,阴燃前期阴燃点产生的 CO 气体由浓度高处向浓度低处传

播,在横向面表现为由近向远传播。其特点是距离阴燃点越近CO浓度越高,由此在考虑仓库棉包堆放时应尽量避免拉长棉垛的长度,棉垛越长,单位时间产生的CO在空间内浓度越低,不利于检测。

3.2 阴燃前期CO气体纵向传播情况

3.2.1 原理与方法

在3.1节实验基础上,在棉垛中部的同一垂直面上按顶部、中部、底部分别放置传感器(见图6),并标记为D,E,F进行实验,记录D,E,F传感器检测到CO的时间。

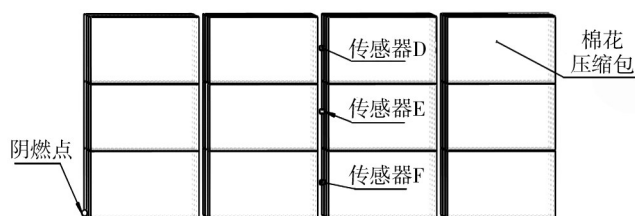


图6 传感器纵向位置示意

Fig.6 The schematic diagram of sensors' longitudinal position

3.2.2 结果与分析

结果显示,E处传感器首先检测到CO,其次分别是F,D处。根据实验结果,阴燃前期产生的CO气体先后到达E,F,D处的传感器。平时常见仓库等火灾烟雾的情况为烟雾由火源处垂直向上升起,到达房屋顶部后再由上而下覆盖整个房屋。而此处情况不同,其原因在于阴燃早期,棉包内阴燃温度较低且过程缓慢,产生的CO气体垂直向上扩散的趋势不明显,在未达到棉垛顶部之前,就在棉垛缝隙处分支了。结合第3.1.1节实验结果,棉包阴燃前期产生CO气体的散逸情况是CO以阴燃点为原点,沿着棉垛缝隙缓慢地向周围传播,故此过程可以认为是CO气体在逐渐填满缝隙的过程,且CO浓度与缝隙体积有关。因此在棉包实际堆放过程中,尽量避免将棉包间缝隙拉大,应适当减少棉垛内缝隙大小,从而可以提高单位空间内CO气体的浓度。

在检测棉包阴燃的过程中,传感器安置的最佳位置为棉垛内棉包间的缝隙。由公式(4)推导出:

$$k^*t = MPV/22.4 \quad (6)$$

式中: k^* 为不同温度对应的棉花产生CO气体质量的速率,mg/h; t 为阴燃时间,h; V 为棉垛内缝隙体积, m^3 。

一个尺寸为20 m×5 m×8 m的棉垛,其缝隙所占体积约为0.1%,面积为90 cm²的棉花在温度为180 ℃情况下历时45 h后,可以在棉垛空隙处检测到CO的体积分数为10⁻⁷。依据式(6)可知,待检测CO浓度与棉垛缝隙体积呈反比,若棉垛的尺寸为10 m×5 m×8 m,则缝隙体积相应的缩小到了0.5V,在同样检测到CO的体积分数为10⁻⁷的情况下,理论上只需要22.5 h。这不仅提前了棉垛火灾预警的测量时间,还可减少搜索救援的面积。此外,阻燃PE膜^[15]相对于一般的棉质包装材料具有较好的阻燃性、密封性等重要特性,同时这类塑料型材料具有较小的气体吸附性,极大程度地降低了气体在扩散传播过程中的损耗。因此,若使用阻燃PE膜将棉包以单个或数个为单位进行包裹并配备检测装置,一旦发生阴燃,则可在较小的空间内及时检测到CO气体,大大缩短棉垛火灾预警时间。

4 结语

进行了棉花阴燃前期产生CO速率及CO气体在模拟棉垛内散逸情况实验,结论如下所述。

1) 棉花在温度为120 ℃左右时开始产生CO并散逸。得到了棉包在阴燃前期,各温度下产生的CO速率曲线,且速率随着加热温度的上升而增大。

2) 棉包阴燃前期,CO垂直向上扩散的趋势不明显。CO以阴燃点为原点,沿着棉垛缝隙缓慢地向周围传播。

3) 在棉包实际堆放过程中,应统一覆盖防雨布,适当减少棉垛内缝隙大小,避免拉大棉包间距。检测棉包早期阴燃时,可将传感器置于棉垛缝隙处。

4) 适当缩小棉垛尺寸,使用阻燃性较好的PE膜将棉包以单个或数个为单位进行包裹,并配备检测装置,可大大缩减火灾预警时间。

参考文献:

- [1] Import and Export for Cotton Textile Shrinking[J]. China Textile, 2011(9):12.
- [2] 陈琨,舒慧慧. 浅谈棉花运输装卸储存中的火灾危险性及防火对策[J]. 安全管理与技术, 2007, 29(3):115—116.

CHEN Kun, SHU Hui-hui. Fire Hazard and Fire Protection

(下转第85页)

- Profile of Noncircular Gear Teeth[C]// Lecture Notes in Electrical Engineering, 2014:23—33.
- [12] SUN Liang, ZHU Yu, WU Chuan-yu, et al. Numerical Calculation Algorithm for Spherical Tooth Profile of Noncircular Bevel Gear[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(8): 27—35.
- [13] LI Jian-gang, WU Xu-tang, MAO Shi-min. Numerical Computing Method of Noncircular Gear Tooth Profiles Generated by Shaper Cutters[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2007, 33(11/12): 1098—1105.
- [14] 田晓鸿. 基于 ADAMS 的推烟机构推手中曲柄滑块机构的动态研究[J]. 包装工程, 2014, 35(5): 46—49.
- TIAN Xiao-hong. Dynamics Study on the Slider-crank Mechanism in Smoke Pusher Hand Based on ADAMS[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(5): 46—49.
- [15] 惠焯, 李翔. 基于 SolidWorks 的槽轮机构的建模及应力分析[J]. 包装工程, 2009, 30(7): 45—46.
- HUI Ye, LI Xiang. Modeling and Stress Analysis of Geneva Wheel Mechanism Based on SolidWorks[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(7): 46—45.
-
- (上接第 60 页)
- Countermeasure[J]. Storage Transportation & Preservation of Commodities, 2007, 29(3): 115—116.
- [3] 徐水波, 熊宗伟, 韩刚. 不同存储条件下棉包分层回潮率变化规律研究[J]. 中国纤检, 2010(9): 30—33.
- XU Shui-bo, XIONG Zong-wei, HAN Gang. Regain Moisture Rate of Layered Cotton Bale under Different Storage Conditions[J]. China Fiber Inspection, 2010(9): 30—33.
- [4] 尹青云, 王洪章, 王瑞霞, 等. 《棉花包装》国家标准执行情况调查[J]. 中国棉花加工, 2009(6): 25—26.
- YIN Qing-yun, WANG Hong-zhang, WANG Rui-xia, et al. The Implementation of National Standards of Cotton Packing[J]. China Cotton Processing, 2009(6): 25—26.
- [5] 张田红. B 级棉花打包钢丝标准探讨[J]. 金属制品, 2009, 35(4): 63—68.
- ZHANG Tian-hong. Discussion on Standard of B Level Steel Wire for Cotton Packaging[J]. Metal Products, 2009, 35(4): 63—68.
- [6] 葛乐通. “以 PET 代钢”是棉花捆扎打包的必然趋势[J]. 包装工程, 2007, 28(7): 208—209.
- GE Le-tong. Discussion on the Trend of "Substituting PET for Steel" in Cotton Bale Packaging[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(7): 208—209.
- [7] 王平, 徐晓楠, 郑兰芳. 潜在的火灾危险[J]. 东方消防, 2009(9): 58—62.
- WANG Ping, XU Xiao-nan, ZHENG Lan-fang. The Potential Threat of Fire[J]. Orient Fire Protection, 2009(9): 58—62.
- [8] 王进军, 曾怡, 袁伟, 等. 棉垛早期阴燃火灾特性及棉花仓库主动吸气式复合探测研究[J]. 安全与环境学报, 2012, 12(2): 205—208.
- WANG Jin-jun, ZENG Yi, YUAN Wei, et al. Early Smoldering Characteristics of Cotton Block and Correlative Compound Aspirating Smoke Detection[J]. Journal of Safety and Environment, 2012, 12(2): 205—208.
- [9] HAGEN B C, FRETTE V, GISLEK, et al. Effects of Heat Flux Scenarios on Smoldering in Cotton[J]. Fire Safety Journal, 2013(61): 144—159.
- [10] HAGEN B C, FRETTE V, GISLEK, et al. Onset of Smoldering in Cotton: Effects of Density[J]. Fire Safety Journal, 2011, 46(3): 73—80.
- [11] LU Chang, MENG Die, PAN Rong-kun, et al. The Effect of Sample Size on Smoldering and the Transition to Flaming Combustion[J]. Measuring Technology and Mechatronics Automation, 2011(3): 793—797.
- [12] 包任烈, 张永丰, 顾海昕, 等. 棉花自燃风险性的热分析研究[J]. 消防科学与技术, 2012, 31(1): 100—103.
- BAO Ren-lie, ZHANG Yong-feng, GU Hai-xin, et al. The Research of Cotton's Self Ignition Risk by Thermal Analysis[J]. Fire Science and Technology, 2012, 31(1): 100—103.
- [13] 夏恩亮, 刘申友, 程旭东, 等. 棉花阴燃和明火燃烧特性的对比研究[J]. 火灾科学, 2013, 22(2): 70—76.
- XIA En-liang, LIU Shen-you, CHENG Xu-dong, et al. A Comparative Study on the Characteristic of Cotton Smoldering and Flaming Combustion[J]. Fire Safety Science, 2013, 22(2): 70—76.
- [14] ZHAO Xue-juan, XIAO Hua-hua, WANG Qing-song. Study on Spontaneous Combustion Risk of Cotton Using a Micro-calorimeter Technique[J]. Industrial Crops and Products, 2013(50): 383—390.
- [15] 曾维理, 朱建新. 阻燃 PE 的研究现状[J]. 化工新型材料, 2001, 29(4): 17—19.
- ZENG Wei-li, ZHU Jian-xin. Research Progress of Flame Retardant PE[J]. New Chemical Materials, 2001, 29(4): 17—19.