

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2014.03.004

1L 慢烤燃装置温场分布数值模拟与试验研究^{*}

马 宁 苏 杨 秦 能 陈 松 张 亮 陈 基

西安近代化学研究所(陕西西安,710065)

[摘 要] 建立了一种 1L 慢烤燃装置模型,通过数值模拟分析其内部温场分布的影响因素和机理,通过改变模型中隔板尺寸、导流板形状、风扇数量和风扇转速等条件,研究了各种工况下烤燃装置内烧瓶周围温场分布。模拟结果表明,风扇数量与转速、隔板尺寸、导流板形状均会影响烧瓶周围温场分布的位置,但仅有风扇转速会影响温场响应的灵敏度、温场达到稳定所需时间和温场分布均匀性。理想的慢烤燃装置可实现的温场分布性能为:响应时间低于 1 s,达到稳定时间低于 30 s,均匀度在 0.2 ℃ 左右。建立试验装置,在烧瓶外侧布置温度传感器,所得温场分布和温场均匀度与模拟结果一致。

[关键词] 含能材料;慢烤燃;风扇;隔板;温场分布

[分类号] TQ565;TJ450

引言

含能材料在热刺激作用下,具有自加热分解并发生燃烧的危险性,这种含能材料的热分解属于强放热反应。如果热量不能被及时导走,会造成含能材料内部热积累,并导致其温度升高;而温度的升高会进一步加剧其热分解,并积累更多的热量。这种反馈过程最终会导致含能材料的燃烧或者爆炸。

衡量含能材料抵抗热刺激的能力称作热安定性,其对火炸药的制造、储存和使用具有特别重要的实际意义^[1]。常规的热安定性测量方法有差热分析(DTA)法、差示扫描量热法(DSC)、微量热法等,这些方法只能确定药剂是否发生反应,并不能给出反应的剧烈程度,对工程应用中热安全问题的评价略有不足^[2]。烤燃试验是工程热安全性的主要研究方法,许多研究表明,烤燃试验接近药剂的使用条件,能充分观察药剂的分解、燃烧和爆炸现象^[3-4]。

随着现代化战争需求对武器装备性能提出越来越高的要求,不敏感弹药的研究受到世界各国的重视,特别是美国已经将不敏感弹药大量应用于军事装备^[5]。不敏感弹药的发展促进了低易损性含能材料研究的广泛开展,与此同时,相应的含能材料和混合炸药测试评价手段得到了发展。根据刺激源种类的不同,各种评价含能材料、炸药安全性、易损性的方法和标准被不断引入或制定。其中慢速烤燃就是一种衡量炸药在持续升温刺激条件下所表现出来

的反应剧烈程度的试验方法。慢速烤燃在对火炸药危险性分级、工艺过程安全防范指导、不敏感炸药鉴定验收依据等方面具有不可或缺的作用。

根据不同烤燃材料,有多人进行过不同方式的烤燃试验和数值研究^[3,4,6-9]。研究人员对不同种类的炸药、推进剂等含能材料的点火过程进行测量分析,研究了不同升温速率、热通量、含能材料种类等条件对含能材料点火时间、点火位置、点火温度、反应剧烈程度等参量的影响过程。基于此,本文在参考文献[10]的基础上提出一种 1L 烧瓶慢烤燃试验装置。一方面可以通过一定质量含能材料的烤燃试验预测更大质量或体积含能材料在慢烤燃环境中的危险程度;同时可以给出含能材料发生不可控热分解的剧烈程度。

在烤燃过程中,烧瓶周围温场分布均匀性是衡量慢烤燃试验装置的最重要指标;因此,如何通过优化设计实现烧瓶周围温场分布的均匀化至关重要。本文通过数值模拟,计算不同隔板尺寸、导流板形状、风扇数量、风扇转速等多种工况下烧瓶周围的温场分布,为慢烤燃装置的合理设计以及试验过程中传感器的布置、测量误差的分析等奠定基础。根据数值模拟结果建立试验装置,并进行相关试验验证。

1 数值模型与试验方法

1.1 物理模型

图 1 所示为慢烤燃装置模型示意图,图中长度

^{*} 收稿日期:2013-10-15

基金项目:国防科技工业基础产品创新计划火炸药科研重大专项

作者简介:马宁(1987~),男,硕士,工程师,主要从事火炸药特种工艺设备的研究。E-mail:marknumber1@sina.com

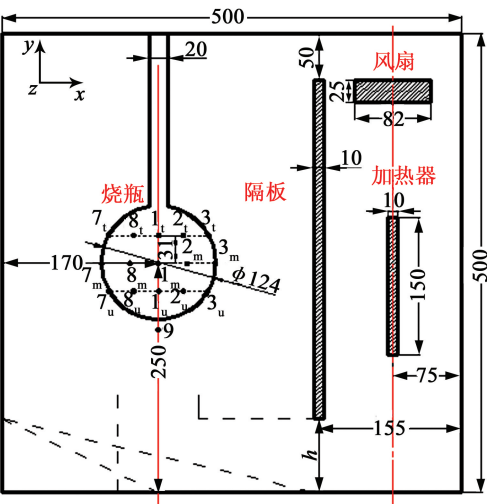


图1 慢烤燃装置模型示意图(单位:mm)

Fig.1 Sketch map of slow cook-off device model (unit: mm)

尺寸单位均为毫米。模型整体为边长 500 mm 的正方体,壁面材料为绝热性较好的木材和玻璃。箱体内部布置有 1L 烧瓶、隔板、风扇、加热器及其它附件,相互位置如图中尺寸所示,其中风扇为 CPU 风扇,参数如表 1 所示^[11]。图 1 中用序号 1~8(其中 4、5、6 在烧瓶背面,在图中未标出)表示 8 个传感器,下标 t、m、u 分别表示上侧、中心和下侧,对应于表 2 中的上侧测点、中心测点和下侧测点。

表 1 风扇参数

Tab.1 Parameters of fan

叶片直径 D/mm	叶间隙 b/mm	叶根高度 h_1/mm	叶顶高度 h_2/mm
78	2	13	18
叶片数量	安装角/ $^\circ$	扭转角/ $^\circ$	叶框高度 h_3/mm
6	52	14	25

此装置模型为计算过程中的基本模型,改变风扇布局、隔板尺寸以及设置导流板时,所用计算模型均以此模型为基础。对于双风扇模型,两风扇中心间的距离为 250 mm,对称分布,扇叶扭转方向相反,尺寸相同。

为了明显地看到加热过程中温场的变化,数值模拟时将加热器功率设定为 $500\text{ W}/\text{m}^2$ 。温场计算的初始温度为 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 。

1.2 数值方法

1.2.1 网格划分与边界条件

由于模型结构复杂,用 Gambit 2.2.3 进行组合网格划分。烧瓶、加热器、风扇附近区域采用四面体为主的混合网格,其它区域进行分割后用结构化六面体网格。整个区域共划分混合网格约 213 万个。

将风扇附近区域划分为动区域,其余区域作为静区域,两区域通过交界面动量交换。将处于动区域的风扇叶片设为动边界,边界类型为壁面边界,除风扇外的其它壁面均定义为静止壁面边界条件。

1.2.2 计算方法

基于有限体积法,应用 Fluent 6.3.26 对流动和传热过程的控制方程进行求解。先选用稳态的隐式压力方法求解箱体内的流场,待流场稳定后,再用非稳态的隐式压力方法求解箱体内部的温场变化过程。其中压力与速度的耦合在计算流场时采用 SIMPLE 算法,在计算温度场时采用 PISO 算法。计算温场分布时,时间步长的初始值为 0.01 s ,时间步长变化模式为经过自定义的自适应变化模式。

1.3 试验方法

试验装置按照图 1 所示尺寸进行搭建, h 为 80 mm,正对烧瓶的观察面采用 5 mm 厚有机玻璃,其它面以及隔板均采用 18 mm 厚的胶合板。烧瓶为 1L 长颈圆底烧瓶,风扇为天极风 CPU 风扇,加热器最大功率 50 W,通过控制电流调节升温速率。由于硬件条件限制,风扇尺寸与模拟所用尺寸接近,但叶片数量和转速不同,所选风扇只要能保证足够大的风量,即可满足需求;由于控制方法和精度的限制,此试验无法验证温度响应灵敏度,仅通过间歇加热测量不同时刻温度分布来验证温场分布。在烧瓶赤道周向以及 60° 纬度周向各等间距黏结 8 个导热胶块,T 型热电偶黏结在胶块表面,另外在箱体内布置第 9 号热电偶作为加热器控制系统的反馈。整个装置用硅橡胶密封。

2 结果与讨论

慢烤燃装置内的加热器根据测温传感器的反馈提供一个持续的加热功率。加热器所释放的热量被传递到烧瓶的速度称为装置的响应灵敏度,烧瓶周围温场分布的位置不再随时间变化所需的时间称为温场达到稳定的时间,而温场达到稳定后烧瓶周围最高温和最低温的差值称为温场分布均匀度。本文就是对不同工况下装置温场响应灵敏度、达到平衡所需时间和温场分布均匀度进行分析,并在此基础上指出影响温场分布的机理。

2.1 数值模拟结果

对装置内的温场分布进行数值模拟。装置内的热量传递主要依赖于风扇所驱动的循环空气。而风扇数量、转速、箱体结构等是影响空气循环的主要因素,因此有必要对不同箱体结构和风扇状态下的温场分布进行研究。由于工况条件的复杂性,本文仅就隔板距离箱体底部高度 h 、导流板设置、不同风扇

数量和转速情形下的温场分布进行计算,找出较为合理的箱体结构。

2.1.1 烤燃装置内温场分布特性

图 2 为双风扇、4000 r/min、 $h=80$ mm 条件下烧瓶周围温场分布随加热时间的变化图(加热器从 0 时刻开启)。

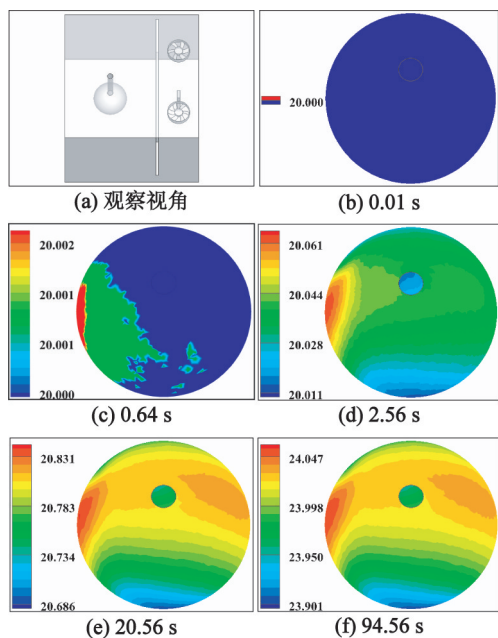


图 2 双风扇、4000 r/min、 $h=80$ mm 条件下烧瓶周围温场随时间变化过程

Fig.2 Temperature field around the flask changing with time under conditions of double fans, 4000 r/min and $h=80$ mm

从图 2(b)可以看出,在加热 0.01 s 时,热量还未被循环气流带到烧瓶周围,烧瓶周围温度均为初始温度 20 °C。当加热器开启 0.64 s 后,在烧瓶的左侧位置,出现了温度最高区域,如图 2(c)中红色部分所示。随着加热器开启时间的增加,烧瓶周围温度不断升高,且温场分布位置不断变化,如图 2(b)~图 2(e)所示。烧瓶周围最高温度由图 2(b)的 20.000 °C 上升到图 2(d)的 20.061 °C,进而上升到图 2(e)的 20.831 °C。从图 2(e)和图 2(f)可以看出,在 20.56 s 时,温场分布达到稳定状态,随着加热时间继续增加到 94.56 s,温场分布不变,且烧瓶周围的温度一直在上升。从图 2(b)~图 2(f)还可以看出,随着时间的变化,烧瓶周围的流体温度不断升高,但整个温场区域的最高温和最低温相差甚小,在 0.2 °C 左右。

本文在温场的瞬态模拟中,模拟到装置使用要求的最高温度,100 °C,高低温相差均在 0.2 °C 左右。由此可以看出,该条件下装置温场响应时间小

于 1 s,温场分布稳定时间小于 30 s,温度均匀度在 0.2 °C 左右。

在以上计算结果的基础上,研究隔板尺寸、导流板设置、不同风扇数量和转速对装置内部温场分布的影响。

2.1.2 隔板对温场分布的影响

图 1 中,烧瓶尺寸和位置固定,隔板在 x,z 方向位置也固定,通过改变 y 方向 h 的大小来调整隔板大小。烧瓶球形部分中心距离箱体底部 250 mm,球形半径 62 mm,因此烧瓶底端距离箱体底部 188 mm。采用双风扇模型,风扇转速为 4000 r/min,设置 h 分别为 80、130、188、250、450 mm(此时无隔板)。计算结果显示,不同尺寸隔板条件下温度响应时间均不超过 1 s,达到稳定工况所需时间均不超过 30 s,且烧瓶周围温差均在 0.2 °C 左右。不同的是,在不同隔板尺寸下,温场分布的位置有所不同,如图 3 所示。这是因为不同尺寸隔板对气流的阻挡效应不同而引起的热量分布差异。与图 3(a)~图 3(d)不同的是图 3(e)所示无挡板情况下,高温区域出现在靠近加热器的一侧,这主要是因为没有隔板的阻隔,靠近加热器一侧受热传递的影响较大,如果考虑热辐射,这种区域差别会更加明显。

通过比较图 3(a)~图 3(e),可看出隔板的设

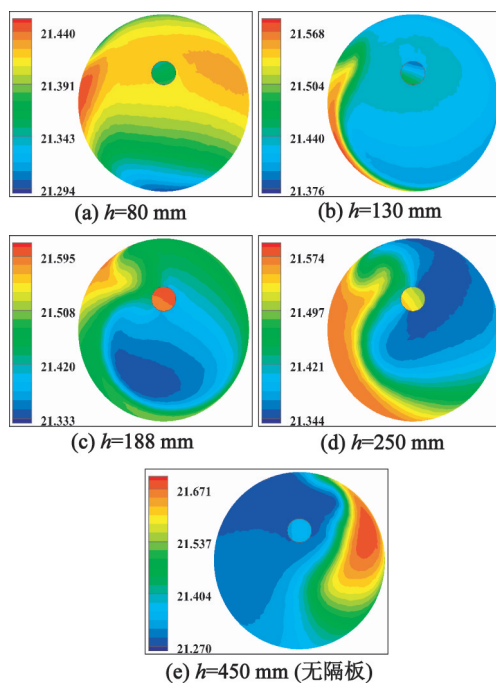
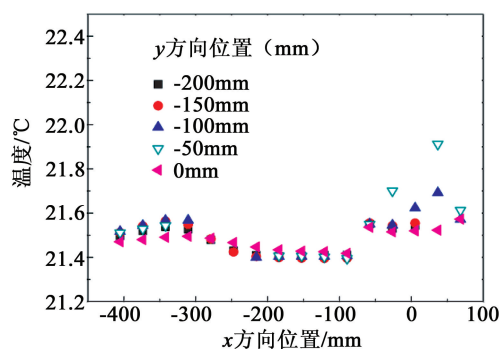


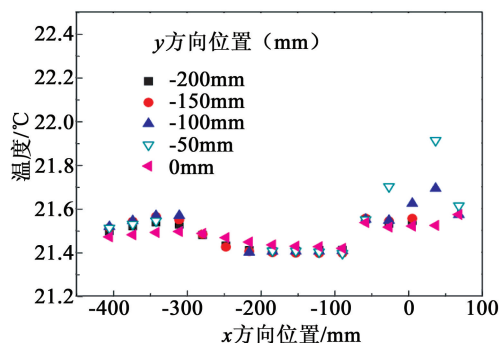
图 3 双风扇、4000 r/min,隔板下端距离箱体底部不同距离时烧瓶周围稳定温场分布图

Fig.3 Temperature field distribution around the flask under conditions of double fans, 4000 r/min, and different distances between the lower end of partition and trunk bottom

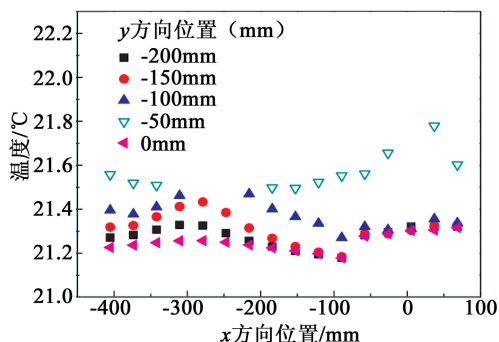
置对于提升烧瓶周围温场分布均匀度有限。图4中



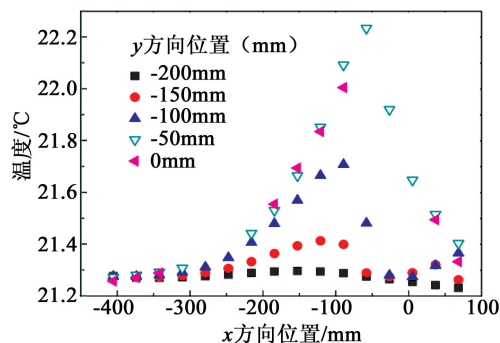
(a) $h = 80 \text{ mm}$



(b) $h = 130 \text{ mm}$



(c) $h = 188 \text{ mm}$



(d) $h = 450 \text{ mm}$ (无隔板)

图4 双风扇、4000 r/min,不同尺寸隔板情况下
通过烧瓶中心平行箱体底面截面温场分布

Fig.4 Temperature field distribution of the center section
paralleled the trunk bottom under conditions of double fans,
4000 r/min and different partition sizes

x 、 y 方向可参见图 1, y 方向的坐标原点在箱体中心, x 方向为距箱体右侧 100 mm。图 4 为通过烧瓶中心截面的温场分布, 可以看出, 隔板距箱体底部尺寸过大时, y 方向温度均匀度较差, 如图 4(c) 和图 4(d) 所示。可见一定尺寸的隔板能使箱体在整个截面上温场分布更加均匀, 这种作用在单风扇模型时会更加明显; 在考虑辐射换热的实际问题中, 隔板可以减弱甚至消除辐射换热对温场分布均匀度的不利影响。

通过以上分析, 为使温场分布更加均匀, 隔板底端距离箱体底部尺寸应当小于烧瓶底端距离箱体底部尺寸, 即 $h < 188 \text{ mm}$ 。

2.1.3 导流板对温场分布的影响

为了更好地分析箱体结构对烧瓶周围温场分布均匀度的影响, 本文分别模拟斜直导流板、弧形导流板和导流筒等多种结构对温场均匀度的影响, 导流板示意图如图 1 中虚线所示。

结果显示, 导流板仅影响温场分布位置, 对温场分布均匀性影响甚小。这主要是由点热源、强对流和烧瓶的特殊结构共同导致的。由于模拟结果与上文所述其它工况下所示温场类似, 这里不再给出相关图表。

2.1.4 风扇个数对温场分布的影响

通过 2.1.2 节和 2.1.3 节的分析可以看出, 设置合适的隔板有利于温场分布均匀化, 但设置导流板对温场均匀性几乎没有影响。慢烤燃试验装置为污染和破坏频率较高的装置, 因此在满足功能的前提下尽量简化设计。这里采用隔板 $h = 80 \text{ mm}$, 无导流板, 单风扇模型分析风扇数量对温场分布的影响。

与图 2 中双风扇模型相比, 单风扇模型(图 5)在响应灵敏度、达到稳态所需时间和温场分布均匀度方面均无明显差别。不同的是, 双风扇和单风扇模型所对应的温场分布位置有所不同。导致这一差异的原因将在后面的 2.2 节中进行阐述。

2.1.5 风扇转速对温场分布的影响

在 2.1.4 节基础上, 改变风扇的转速, 模拟 500 r/min、2000 r/min 和 4000 r/min 转速条件下烧瓶周围温场分布, 图 6 给出 500 r/min 温场变化过程。

图 6 与图 5 比较可知, 在不同风扇转速下温场分布位置、温度响应灵敏度、达到稳定所需时间和温场分布均匀度均有所不同。与图 5 中 4000 r/min 条件下模拟结果相比, 图 6 中 500 r/min 条件下模拟结果具有以下特点: 灵敏度变差, 如图 5(b) 所示 4000 r/min 温度响应灵敏度为 0.64 s, 而图 6(a) 所示 500 r/min 灵敏度为 2.56 s; 达到稳定所需时间变长, 从

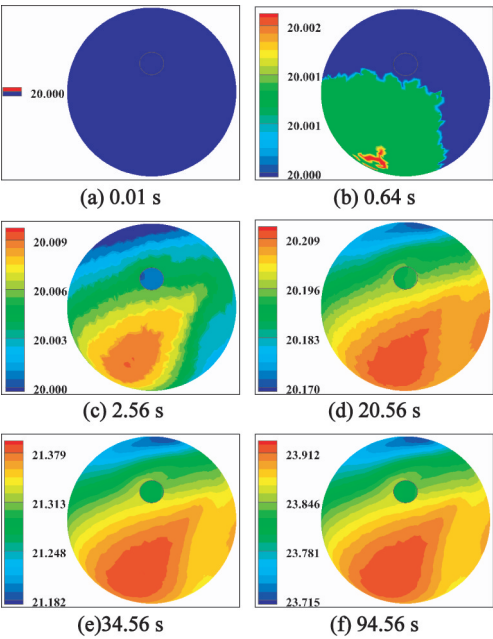


图 5 单风扇、4000 r/min、 $h=80$ mm 条件下烧瓶周围温度场随时间变化过程

Fig. 5 Temperature field around the flask changing with time under conditions of single fan, 4000 r/min and $h=80$ mm

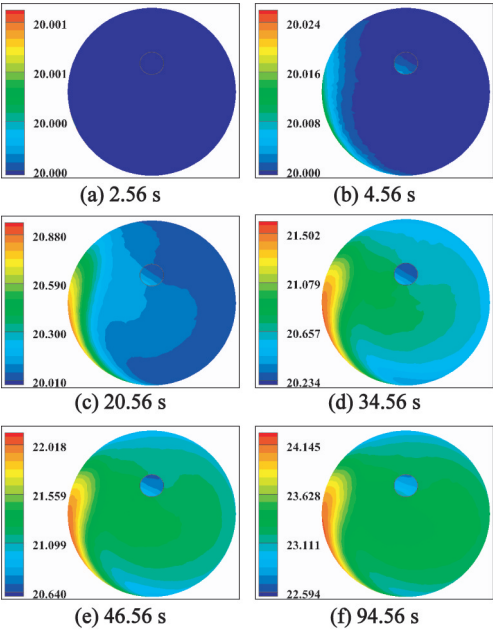


图 6 单风扇、500 r/min、 $h=80$ mm 条件下烧瓶周围温度场变化过程

Fig. 6 Temperature field around the flask changing with time under conditions of single fan, 500 r/min and $h=80$ mm

图 5 所示的不足 30 s 增加到图 6 所示的超过 40 s; 温场分布均匀性变差, 从图 5(f) 所示的 0.2℃ 增大到如图 6(f) 所示的 1.5℃。

2.2 影响温度场分布的机理探究

从以上分析中可以看出, 隔板、导流板、风扇对

烧瓶周围的温场分布有一定的影响, 现以单风扇, $h=80$ mm, 500 r/min, 2000 r/min, 4000 r/min 工况下的速度场分布为例, 探讨影响烧瓶周围温场分布的机理。

图 7 为 500 r/min 和 4000 r/min 条件下箱体流线分布。从图 7 可以看出, 由于隔板的作用, 气流在风扇的驱使下沿隔板下方进入烧瓶区, 以一定的速度向箱体后壁面运动, 在后壁阻滞和风扇吸力的作用下向上运动, 并经隔板上方进入风扇进气口。从图 7(a) 可以看出, 气流的运动并不对称, 而是由左下角进入烧瓶区, 经过上升后由右上角流出该区域。这主要是由风扇的旋转特性决定的, 风扇排气口流出的气流不但具有向下的运动速度, 同时具有相同于风扇转向的旋转速度, 在隔板的阻挡作用下, 形成了图示的流线轨迹。

相比于图 7(a), 图 7(b) 的流线向箱体后壁面运动和流线由左向右的偏转趋势更加明显, 这是由于 4000 r/min 的更高转速使气流的速度和旋度更大而导致的。2000 r/min 所得结果与 4000 r/min 工况下所得结果接近。

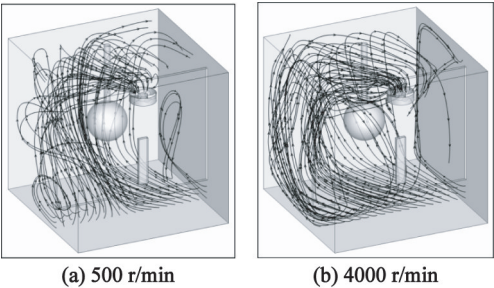


图 7 单风扇、 $h=80$ mm 工况下箱体内部流线分布图
Fig. 7 Streamlines distribution in the trunk under conditions of single fan and $h=80$ mm

流线密度和方向代表速度分布的大小和方向, 图 8 为与图 7 的流线分布图相对应的烧瓶周围速度场分布图。

将图 8(a) 和图 8(b) 速度场分布图分别与图 6 和图 5 温场分布图进行比较, 可以看出, 达到稳定状态下的温场分布和速度场分布位置基本吻合(这里值得注意的是, 图 8 观察视角与图 7 相同, 而与图 2~图 6 不同, 这主要是为了能够清晰地显示 500 r/min 条件下速度分布位置)。这说明在有隔板的情况下, 隔板背后的温场分布主要依赖于载热的循环流体, 流体速度越大, 温度就越高。比较图 2 和图 5 可得, 双风扇温场分布比单风扇模型条件下对称很多, 这主要是因为对称的风扇相互抵消旋度的影响, 使流场分布对称, 进而导致温场分布对称。这也正

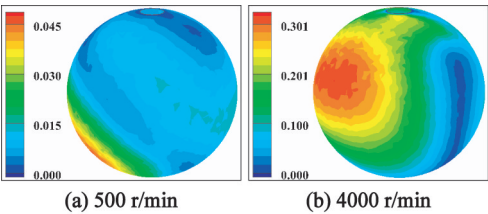


图 8 单风扇、 $h = 80\text{ mm}$ 工况下烧瓶周围速度场分布

Fig. 8 Velocity field distribution around the flask under conditions of single fan and $h = 80\text{ mm}$

是导致 2.1.3 节中不同风扇数量下温场分布差异的原因所在。

2.3 试验验证

在开启加热器和风扇后,记录10 min、20 min和30 min时刻所对应的温度数值,如表2 ~ 表4所示。从表2 ~ 表4可以看出,在温场稳定状态下,高温区域主要出现在1、2、8号热电偶位置,低温区域主要出现在4、5、6号热电偶位置,这与图5所示模拟结

果基本吻合;最大温差不超过 0.27 ℃,这也与模拟所得 0.2 ℃ 接近。

3 结 论

通过对多种工况条件下的 1 L 慢烤燃装置内温场分布进行数值计算和试验验证,可以得到以下的结论:

- 1) 除风扇转速对温场响应灵敏度及达到稳定所需时间有影响外,其它隔板、导流板、风扇个数因素均仅对慢烤燃烧瓶周围温场分布位置有影响。在可实现范围内,尽量采用较高转速的风扇。
- 2) 合适尺寸的隔板可以使慢烤燃装置内温场分布均匀性得到改善,并且隔板能够减弱甚至消除热辐射对温度均匀性的不利影响。
- 3) 导流板仅对温场分布位置有所影响,对于温场分布均匀性的提升能力有限。
- 4) 兼顾功能和装置的简化性,慢烤燃装置采用单风扇、转速高于 2000 r/min、隔板尺寸大于烧瓶尺

表 2 加热开始 10 min 温度测量值

Tab. 2 Temperature measured after heating 10 min

测点	不同测点所测温度值								最大温差/℃
上侧测点	1	2	3	4	5	6	7	8	0.26
温度/℃	37.88	37.84	37.83	37.75	37.62	37.69	37.80	37.85	
中心测点	1	2	3	4	5	6	7	8	0.25
温度/℃	37.88	37.85	37.81	37.70	37.63	37.68	37.82	37.86	
下侧测点	1	2	3	4	5	6	7	8	0.21
温度/℃	37.87	37.85	37.82	37.71	37.66	37.74	37.82	37.87	

表 3 加热开始 20 min 温度测量值

Tab. 3 Temperature measured after heating 20 min

测点	不同测点所测温度值								最大温差/℃
上侧测点	1	2	3	4	5	6	7	8	0.27
温度/℃	52.16	52.14	52.10	52.01	51.89	51.95	52.06	52.12	
中心测点	1	2	3	4	5	6	7	8	0.27
温度/℃	52.17	52.14	52.09	51.96	51.90	51.94	52.07	52.14	
下侧测点	1	2	3	4	5	6	7	8	0.23
温度/℃	52.17	52.13	52.07	52.01	51.94	51.99	52.07	52.16	

表 4 加热开始 30 min 温度测量值

Tab. 4 Temperature measured after heating 30 min

测点	不同测点所测温度值								最大温差/℃
上侧测点	1	2	3	4	5	6	7	8	0.27
温度/℃	68.34	68.30	68.23	68.18	68.07	68.12	68.22	68.31	
中心测点	1	2	3	4	5	6	7	8	0.27
温度/℃	68.35	68.31	68.24	68.16	68.08	68.14	68.27	68.35	
下侧测点	1	2	3	4	5	6	7	8	0.26
温度/℃	68.34	68.30	68.24	68.20	68.08	68.21	68.30	68.34	

寸、无需导流板。可实现的温场分布性能为:灵敏度低于 1 s,达到稳定时间低于 30 s,均匀度在 0.2 °C 左右。

参 考 文 献

- [1] 任务正,王泽山. 火炸药理论与实践[M]. 北京:中国北方化学工业总公司出版社,2001:101.
- [2] 王红星,王晓峰,罗一鸣,等. DNAN 炸药的烤燃实验[J]. 含能材料,2009,17(2):183-186.
Wang Hongxing, Wang Xiaofeng, Luo Yiming, et al. Cook-off test of DNAN explosive[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2009,17(2):183-186.
- [3] 唐桂芳,王晓峰,李巍. 浇注 PBX 的低易损性能研究[J]. 含能材料,2003,11(3):163-165.
Tang Guifang, Wang Xiaofeng, Li Wei. Study on low vulnerability of cast PBX[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2003,11(3):163-165.
- [4] 王晓峰,戴蓉兰,涂健. 传爆药的烤燃试验[J]. 火工品,2001(2):5-7.
Wang Xiaofeng, Dai Ronglan, Tu Jian. Cookoff tests of booster explosives[J]. Initiators & Pyrotechnics, 2001(2):5-7.
- [5] 王昕. 美国不敏感炸药的发展现状[J]. 火炸药学报,2007,30(2):78-80.
Wang Xin. Current situation of study on insensitive composite explosives in USA [J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2007,30(2):78-80.
- [6] 张晓立,洪滔,王金相,等. 不同热通量下炸药烤燃的数值模拟[J]. 含能材料,2011,19(4):436-441.
Zhang Xiaoli, Hong Tao, Wang Jinxiang, et al. Numerical simulation of cook-off for explosive at different heat fluxes[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2011,

19(4):436-441.

- [7] 王沛,陈朗,冯长根. 不同升温速率下炸药烤燃模拟计算分析[J]. 含能材料,2009,17(1):46-49.
Wang Pei, Chen Lang, Feng Changgen. Numerical simulation of Cook-off for explosive at different heating rates [J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2009,17(1):46-49.
- [8] 陈朗,马欣,黄毅民,等. 炸药多点测温烤燃实验和数值模拟[J]. 兵工学报,2011,32(10):1230-1236.
Chen Lang, Ma Xin, Huang Yimin, et al. Multi-point temperature measuring cook-off test and numerical simulation of explosive [J]. ACTA Armamentarii, 2011,32(10):1230-1236.
- [9] 陈中蛾,唐承志,赵孝彬. 固体推进剂的慢速烤燃行为与热分解特性的关系研究[J]. 含能材料,2005,13(6):393-396.
Chen Zhong'e, Tang Chengzhi, Zhao Xiaobin. Relationship between slow cook-off behavior and thermal decomposition characteristics of solid propellant [J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2005,13(6):393-396.
- [10] Roos B D, Samuels P, Lee K, et al. Experimental deviations from conventional critical temperature models for non-ideal explosive formulations [C]//IMEMTS. Tucson, 2009.
- [11] 周建辉,杨春信. CPU 轴流风扇参数化设计模拟及其应用[J]. 电子学报,2008,36(8):1527-1530.
Zhou Jianhui, Yang Chunxin. Parametric design and numerical simulation of cup axial-flow fan with application [J]. ACTA Electronica Sinica, 2008,36(8):1526-1531.

Numerical Simulation and Experimental Study of Temperature Field Distribution in 1L Slow Cook-off Device

MA Ning, SU Yang, QIN Neng, CHEN Song, ZHANG Liang, CHEN Ji
Xi'an Modern Chemistry Research Institute (Shaanxi Xi'an, 710065)

[ABSTRACT] A 1L slow cook-off device model was established. The influence factors and mechanisms of temperature field distribution in the slow cook-off device were simulated. Temperature field distribution around the flask was studied under diverse operating conditions by changing partition size, guide plate shape, number of fans and rotation speed of fans used in the model. The simulation results show that the number and rotation speed of the fans, partition size and guide plate shape will affect the position of temperature field distribution around the flask, but only the fan rotation speed affects the sensitivity of temperature field response, the time required to reach a steady temperature field and temperature uniformity. An ideal slow cook-off device can realize some performances as follows: response time is less than 1 s, the time to reach stable temperature is no more than 30 s and temperature field uniformity is about 0.2 °C. When the testing device is established and temperature sensors are equipped outside the flask, temperature field distribution and temperature uniformity tested are consistent with the simulation results.

[KEY WORDS] energetic materials; slow cook-off; fan; partition; temperature field distribution