

研究报告

火灾中燃料失重速率与烟气向远距离处迁移关系的实验研究

冯文兴, 杨立中, 方廷勇, 黄 锐, 范维澄

(中国科学技术大学 火灾科学国家重点实验室, 合肥 230026)

[摘要] 通过不同燃料在模拟房间—走廊结构实验装置中的燃烧实验, 较系统地揭示了不同材料燃烧时失重速率变化与远距离处烟气迁移速度和 CO 浓度的关系。实验得到了不同燃料燃烧时的失重速率曲线。研究发现, 多数燃料的烟气传播速度与失重速率呈线性变化的关系, 油料和布料的烟气传播速度对质量失重速率的变化非常敏感; 某些燃料燃烧产生有毒成分的峰值迁移到远距离处需要较长的时间。

[关键词] 火灾; 失重速率; 远距离处; 迁移速度; 烟气毒性

[中图分类号] TU998.12 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2005)1-0081-05

1 引言

火灾危害主要是热、烟气和缺氧3种因素的作用^[1~3]。对于多数火灾而言, 相对于热和其他产物造成的伤害, 烟气所造成的伤害比例最大。统计结果表明, 火灾中80%以上的死亡者是由于烟气的影 响, 其中大部分是吸入了烟尘及有毒气体昏迷后而致死的^[1~2]。美国有关统计表明, 大约有2/3的烟气中毒遇害者是在离起火点很远处死亡的^[3]。

近年来, 各国火灾研究机构对火灾烟气危害性的研究越来越重视, 设立各种项目进行较大规模的研究^[4~5]。实验研究是探索烟气危害规律的主要途径之一, 在很多烟气危害性研究实验中, 生物实验一直是研究的重要内容^[5], 其他的研究主要集中于聚合物的热解和燃烧, 调查其中的特殊成分或有害气体的释放过程^[6~10]。美国的NIST提出并研究了建筑火灾烟气动力传输至远距离这一问题^[3]。

远距离处是一个相对的概念, 主要是指不受火源直接影响的区域。不同的材料燃烧如何影响烟气在远距离处的危害? 这个问题对烟气的危害性评价

很有实用价值。作者重点讨论不同燃料所产生的烟气向远距离处迁移过程中燃料失重速率、烟气传播速度和燃烧产物CO浓度间的相互关系。

2 实验介绍

实验在如图1所示的模拟普通建筑物中房间—走廊结构的实验台上进行, 尺寸约为中国普通建筑的1/4。其中, 走廊箱尺寸为0.4 m(宽)×0.8 m(高)×3.2 m(长), 气体采样点设在沿着走廊箱方向的2.77 m, 距离顶部100 mm处; 速度探头设在沿着走廊箱方向的3.09 m, 距离顶部100 mm处。燃烧箱体尺寸为0.6 m(长)×0.6 m(宽)×1.2 m(高), 由火源房间和附属箱体构成, 前者尺寸为0.6 m(长)×0.6 m(宽)×0.8 m(高), 后者尺寸为0.6 m(长)×0.6 m(宽)×0.4 m(高), 两者之间有一个通风口, 面积为545 mm×435 mm。燃料盘面积为100 mm×100 mm, 放在火源房间中心, 距离底面125 mm的位置。火源房间到走廊箱体有一个烟气出口, 其高度为400 mm, 宽度为183 mm。走廊箱体尾部出口面积为200 mm×600 mm。

[收稿日期] 2004-01-05; **修回日期** 2004-01-05

[基金项目] 国家自然科学基金重点资助项目(50323005); 国家重点基础研究专项经费资助项目(2001CB409603)

[作者简介] 冯文兴(1979-), 男, 天津市人, 中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室博士研究生

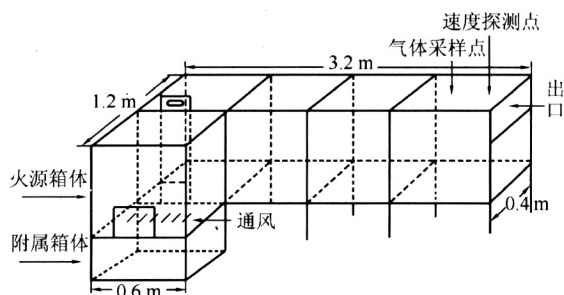


图1 实验装置示意图

Fig.1 Experimental device

实验主要测量仪器有: SL-8000 电子天平、M9000 燃烧分析仪和 SAT8083 速度仪。电子天平放在附属箱体里,记录燃烧过程中燃料质量的变化情况;燃烧分析仪能实时测量 O_2 , CO , SO_2 , CO_2 等在烟气中的质量分数;速度仪用来测量探测点烟气运动速度。

跟真实建筑结构对比,该小尺寸实验在 2.77 m 处的气体采样点和在 3.09 m 处的速度探测点大约相当于实际火灾中离起火房间 3~4 个房间的位置,作者据此来研究相对远距离处烟气变化的特征。根据材料的状态和特性,实验选择了 2 类在火灾研究中较具代表性的材料:一类是固体燃料,包括纸张、木条和布料;另一类是液体材料,包括煤油、汽油和柴油。实验时,选择 50 g 和 75 g 2 个质量档进行分析。

3 实验结果与讨论

3.1 燃料质量消耗速率

燃烧中,质量消耗速率是衡量产生热量和烟气的重要参数,特别是直接影响有毒成分的释放过程,因此它常用于评估燃烧状况和烟气危害性^[1,2,5]。图 2 和图 3 分别给出了 50 g 和 75 g 燃料燃烧时的质量消耗速率曲线。

由图 2 可见,各种材料燃烧的质量消耗速率在趋势上非常的相似。50 g 时,布料和油类的质量消耗速率都在实验后一段时间内达到比较稳定的值(曲线近似为直线),木条和纸张则有比较明显的波动。布料是沿着一端向另一端缓慢燃烧的,其发展的速度基本相同,这就使得质量消耗速率比较稳定。油料的质量消耗速率除了受自身燃烧特性的影响外,还受到燃烧面积的影响,而当燃烧盘的面积一定时,其质量随时间呈线性递减。纸张和木条的

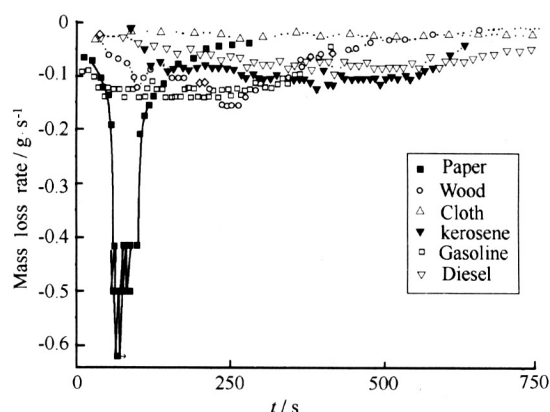


图2 燃料燃烧时的质量消耗速率曲线 (50 g)

Fig.2 Mass loss rate cures with time of the fuels (50 g)

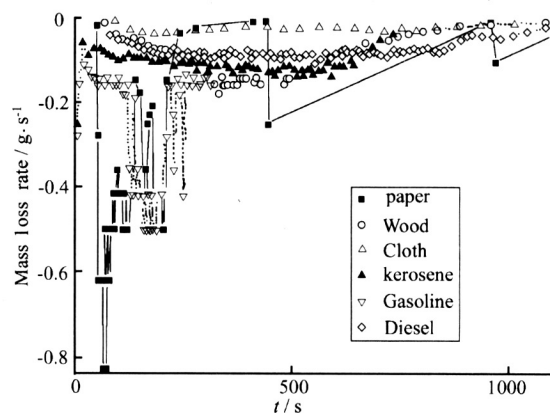


图3 燃料燃烧时的质量消耗速率曲线 (75 g)

Fig.3 Mass loss rate cures with time of the fuels (75 g)

质量消耗速率曲线有波谷,在数学上暗示其质量损失是按指数递减,这与理论分析一致^[11,12]。从图 3 中发现,75 g 时,汽油的质量消耗速率曲线出现了一个大的波谷,说明发生了类似扬沸的燃烧^[13,14]。这表明一旦油料质量增加,其燃烧会有突变性的加剧,火灾的危险性也大大增加。

表 1 给出了不同燃料燃烧质量消耗速率的最小值与主要值(即实验中长时间处于的质量消耗速率值的范围)。

50 g 时,纸张质量消耗速率的主要值在实验前期是其他材料的 4~6 倍;75 g 时,各种燃料的质量消耗速率的最小值都有不同程度的减少,幅度最大的是纸张和汽油;纸张和汽油的质量消耗速率的主要值有大幅度的增加,而布料的基本不变。

表 1 不同燃料燃烧质量消耗速率的最小值和主要值 (单位: g/s)

Table 1 Minimums and main magnitudes of mass loss rate from various fuels

	纸张	木条	布条	煤油	汽油	柴油
最小值	-0.625	-0.156	-0.035	-0.125	-0.139	-0.096
50 g	-0.412~	-0.102~	-0.021	-0.078~	-0.123~	-0.047~
	-0.625	-0.156		-0.125	-0.139	-0.093
最小值	-0.833	-0.179	-0.038	-0.139	-0.500	-0.102
75 g	-0.416~	-0.078~	-0.020	-0.089~	-0.357~	-0.066~
	-0.833	-0.179		-0.138	-0.500	-0.096

3.2 烟气传播速度与燃料质量消耗速率的关系

火灾中烟气传播速度是关系到有毒成分向远距离处迁移的重要参数^[1,2]。图 4 和图 5 分别给出了 50 g 和 75 g 材料燃烧时, 在远距离处速度测量点的烟气传播速度与燃料质量消耗速率的关系。

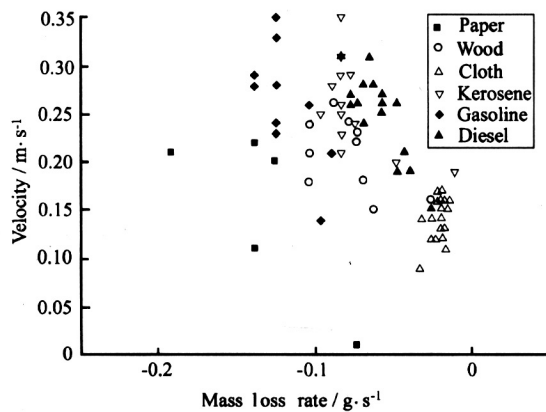


图 4 烟气迁移速度与燃料质量消耗速率的关系 (50 g)

Fig.4 Relationship of smoke transportation velocity and mass loss rate (50 g)

从图 4 发现, 所有燃料都有着简单的趋势, 即当质量消耗速率绝对值增加时, 烟气传播速度也增加。对于纸、木条和油类来说, 烟气传播速度与燃料质量消耗速率呈现出线性变化的关系, 而布料的则不明显。

从图 5 可见, 燃料为 75 g 时, 纸张、木条的烟气传播速度与质量消耗速率仍是线性的关系, 只是纸张的变化非常缓慢。而油类和布料烟气的传播速度对质量消耗速率的影响反应非常敏感, 质量消耗速率小幅的变化就引起烟气传播速度大幅度的变动。一般情况, 质量消耗速率越小, 烟气的传播速度越快。而这里所发现的烟气传播速度对质量消耗

速率反映非常敏感, 说明燃料的质量消耗速率是影响烟气传播的关键因素。实验表明, 质量的增加 (从 50 g 到 75 g) 使这种敏感性增强, 这意味着真实火灾中, 燃料质量的差异所引起烟气传播速度的差别会非常巨大。

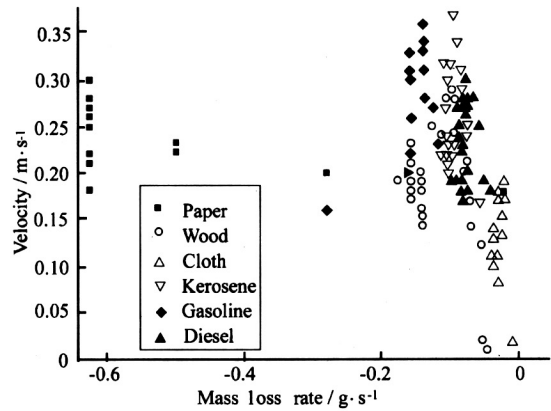


图 5 烟气迁移速度与燃料质量消耗速率的关系 (75 g)

Fig.5 Relationship of smoke transportation velocity and mass loss rate (75 g)

3.3 烟气组分的毒性

烟气危害性研究的一个基本工作是评价火灾中产生的有毒成分。CO 被认为是火灾烟气中最主要的有毒成分, 在相关的研究中, 通常选择 CO 作为研究对象^[1~12]。作者在以前的研究中发现^[12,15,16], 不同情况下, 烟气各组分的变化趋势基本是一致的, 说明烟气在扩散单元内组分比例基本保持不变, 所以本文将 CO 作为代表的研究对象。

图 6 和图 7 分别给出了 50 g 和 75 g 材料燃烧时气体采样点烟气中 CO 体积分数与燃料质量消耗速率的关系。由于该参数的变化比较复杂, 这里只选择体积分数达到峰值以前的数据进行分析。

从图 6、图 7 中可以看到, 油类燃料特别是柴油和汽油, 随着质量消耗速率绝对值的增加, CO 体积分数增加; 而固体燃料特别是纸张和木条, 呈现出相反的现象, 他们的 CO 体积分数显著增加直至到达峰值都是在质量消耗速率绝对值变小的时候。这就说明, 油类产生的高浓度有毒成分能够很快迁移到远距离处, 而固体燃烧时有毒成分的迁移则慢一些, 需要一个比较长的时间。这是因为油类点燃之后火焰发展得快, 热驱动力在开始的时候就很大; 而固体材料在火灾初期发展比较缓慢, 烟气

需要在火源处积聚之后才传播到远处。

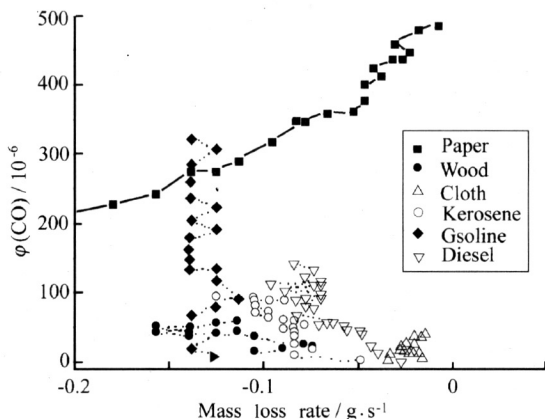


图6 烟气中CO体积分数与燃料质量消耗速率的关系 (50 g)

Fig.6 Relationship of CO concentration and mass loss rate, 50g

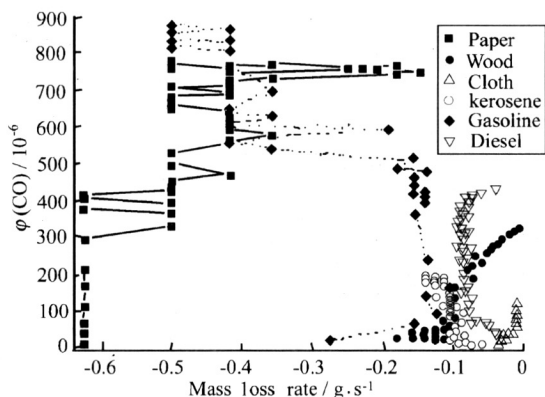


图7 烟气中CO体积分数与燃料质量消耗速率的关系 (75 g)

Fig.7 Relationship of CO concentration and mass loss rate, 75g

该结果暗示了一个非常重要的问题,即对于某些材料,当火源房间里燃烧非常剧烈时(表现为燃料质量消耗速率绝对值大,热释放速率高),远距离处烟气有毒成分的危险不一定很大;而当火源房间的燃烧变得比较弱甚至明火熄灭的时候,就烟气有毒成分而言,离火源远处则刚刚开始或者正处于最危险的时候。这与实际火灾中大量的人员伤亡位于远离火源处的现象是一致的,这就需要进一步对远距离处烟气对人员危害性进行研究,特别是考虑此时人员正从火源位置疏散到远距离处的情况。

4 结束语

进行了不同材料在模拟房间一走廊结构的实验台上的燃烧实验,揭示了不同材料燃烧时质量消耗速率变化及其与远距离处烟气传播速度和CO体积分数的关系,主要的结论如下:

1) 实验中油料和布料的质量消耗速率基本恒定,而纸张和75 g汽油的呈现一个波谷。如纸张和木条的质量消耗速率曲线有波谷,则其质量是按指数递减的。

2) 多数燃料的烟气传播速度与燃料质量消耗速率呈线性变化的关系,油料和布料的烟气传播速度对质量消耗速率的变化非常敏感。

3) 油类特别是柴油和汽油燃烧时,烟气中CO体积分数随着燃料质量消耗速率绝对值的增加而增加;而固体燃料特别是纸张和木条,有毒成分迁移到远距离处需要较长的时间。

参考文献

- [1] 范维澄,王清安,姜冯辉,等. 火灾学简明教程[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,1995
- [2] 黄锐,杨立中,方伟峰,等. 火灾烟气危害性研究及其进展[J]. 中国工程科学,2002,4(7):80~85
- [3] Vandsburger U, Roby R J. Dynamics, transport and chemical kinetics of compartment fire exhaust gases [R]. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 1996
- [4] Tsuchiya Y. New Japanese standard test for combustion gas toxicity, Journal of Combustion Toxicology[J], 1977,(4):5~7
- [5] Kaplan H L, Grand A F, Hartaell G E. Combustion Toxicology Principles and Test Methods [M]. Technomic Publishing Co Inc,1983
- [6] Robinson R S, Dressler D P, Dugger D L, et al. Smoke toxicity of fire-retardant television cabinets[J]. Journal of Combustion Toxicology,1977,(4):435
- [7] Pauluhn J, Kimmerle G, Martins T, et al. Toxicity of the combustion gases from plastics: relevance and limitations of results obtained in animal experiments [J]. Journal of Fire Sciences, 1994,12(4):371~380
- [8] Morikawa T. Evolution of toxic gases from burning polymeric materials in a small-scale box model[J], Fire and Materials, 1988, 12(1): 43~49
- [9] Yeh J T, Hsieh S H, Cheng Y C, et al. Combustion and smoke emission properties of poly(ethylene

- terephthalate) filled with phosphorous and metallic oxides[J], *Polymer Degradation and Stability*, 1998, 61(5): 399~407
- [10] Saito F. Evaluation of the toxicity of combustion products [J], *Journal of Combustion Toxicology*, 1977, 4(1):32
- [11] 黄锐. 房间—走廊结构烟气运动及其危害研究[D]. 合肥:中国科学技术大学,2003.
- [12] 杨立中,方廷勇,冯文兴,等. 远离火源位置点烟气浓度变化规律的实验研究[A]. 2003 学术会议论文[C],上海:中国工程热物理学会,2003
- [13] 廖光焯,姚斌,范维澄,等. 油罐扬沸火灾预测方法的研究及安全预警系统的建立[J]. *中国安全科学学报*,1997,7(增):8~12
- [14] 刘团结,廖光焯,范维澄. 扬沸过程火焰辐射的估算[J]. *火灾科学*,1994,3(1):27~32
- [15] Fang Tingyong, Yang Lizhong, Huang Rui, et al. The relationship between smoke concentration some distance down the hallway and the opening of the room of fire origin[J]. *Journal of Fire Science*, 2003, 21(4):305~318
- [16] 黄锐,杨立中,冯文兴,等. 小尺寸实验烟气浓度分布的影响因素[J]. *中国工程科学*,2003,5(8):54~58

Experimental Study on Relationship Between Mass Loss Rate and Smoke Transportation to the Distant Location in Fires

Feng Wenxing, Yang Lizhong, Fang Tingyong, Huang Rui, Fan Weicheng

(*State Key Laboratory of Fire Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China*)

[**Abstract**] The various materials as fuel are burnt in an experimental device of Room-Corridor structure, the mass loss rate of which, and the relationship of the mass loss rate with the smoke transportation velocity and CO concentration at a distant location are studied in detail in this paper. It describes the characteristics of mass loss rate of various materials and indicates that the smoke transportation velocity is a linear function of mass loss rate, and is sensitive to the variation of the mass loss rate. It takes a relatively long time for the peak of the toxic species concentration to transport to the distant location.

[**Key words**] fire; mass loss rate; distant location; transportation velocity; smoke toxicity

(cont. from p. 8)

Cutting Down Oil Consumption and Reducing Emission for the Healthy Development of China's Auto Industry

Cao Xianghong

(*SINOPEC, Beijing 100029, China*)

[**Abstract**] Based on the analysis of the imbalance between supply and demand in China's crude oil resource and the global oil supply-demand situation, the paper point out the way for the healthy development of China's auto industry: formulating and implementing as soon as possible the policy on fuel consumption tax; and developing automobiles with low oil consumption, low pollution and low cylinder capacity; attaching importance to the development of diesel automobiles; formulating and implementing strict economic standard for automobile fuel oil and strict standard for exhaust emission, and raising the technical level of design and manufacturing of automobiles; speeding up the elimination of out-dated vehicles.

[**Key words**] auto industry; oil consumption; emission