

研究报告

气流速度对感烟火灾探测器响应灵敏度的影响

谢启源¹, 苏国锋², 袁宏永², 张永明¹

(1. 中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室, 合肥 230027;

2. 清华大学工程物理系公共安全研究中心, 北京 100084)

[摘要] 针对地下车库、空调出风口等存在高速气流的特殊场所, 利用火灾探测综合模拟实验平台, 根据气流是否影响烟颗粒生成过程, 分别设计2种实验方案, 分析比较了光电型与离子型两种感烟火灾探测器在不同气流条件下的响应灵敏度。实验结果表明, 在烟颗粒生成过程不受气流影响的情况下, 两种感烟探测器的响应灵敏度均随气流速度增大而下降。在气流影响烟颗粒生成过程的情况下, 光电感烟探测器的灵敏度依然随着气流速度的增大而迅速下降; 而离子型感烟探测器的灵敏度受气流速度影响较小, 在高速气流条件下依然保持较高的灵敏度。综合分析表明, 离子感烟探测器较适合在高速气流环境中工作。

[关键词] 气流速度; 感烟火灾探测器; 烟颗粒; 粒径分布

[中图分类号] TU998.12 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2005)11-0076-05

1 前言

普通场所发生火灾时, 可燃物周围气流速度一般不大, 所产生的烟颗粒在火羽流浮力驱动下运动^[1], 速度较小, 故要求所装的火灾探测器在低速气流环境下有较好的工作性能。然而在一些特殊场所, 如大型地下停车场出口、空调出风口等, 气流速度往往较大, 故要求火灾探测器能够在大风速下保持较高的响应灵敏度。气流速度对感烟火灾探测器响应灵敏度的影响可分2种情况考虑, 其一是仅仅探测器周围气流速度较大, 即烟颗粒运动速度较大, 则需研究相同特性(粒径分布、颜色及成分等)的烟颗粒以不同速度经过感烟火灾探测器时, 该探测器响应灵敏度的变化; 其二, 若生成烟颗粒的可燃物附近气流速度较大, 则需研究不同大小的气流对可燃物燃烧过程的影响, 即不同气流条件下同一燃烧物所生成烟颗粒的粒径分布等特性发生的变化, 比较不同特性的烟颗粒以不同速度经过各种感烟火灾探测器时的响应灵敏度。

作者针对气流速度对感烟探测器响应灵敏度影

响的2种情况, 利用火灾探测综合模拟实验平台, 分别设计相应的实验方案, 对目前占主导地位的光电型与离子型两种感烟火灾探测器在不同气流速度条件下的响应灵敏度进行比较与分析, 为高速气流环境中火灾报警系统的设计提供实验数据支持。

2 实验装置及实验方案

2.1 实验装置

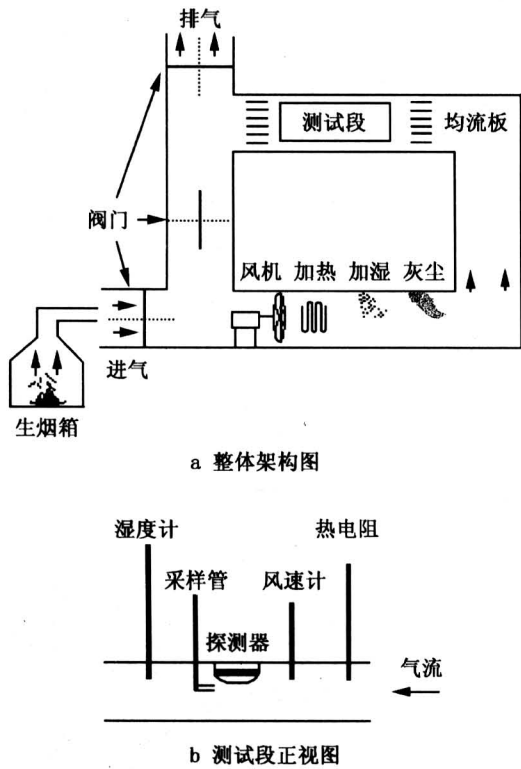
实验在火灾探测综合模拟实验平台上进行。该平台主体为一个环形通风管道, 外加一个操作控制台及数据采集系统, 整体架构如图1a所示。环形通风管道的管壁内外均为不锈钢板, 钢板之间填充硅酸铝针刺毯棉隔热层。根据其不同功能分为2段: 模拟段与测试段。模拟段模拟发生火灾时的各种参量, 依次装有可调速轴流风机、大功率加热模块、加湿模块、灰尘发生注入模块等, 在通风管道进口处, 有一相对密封的生烟箱; 其中轴流风机转速由其前端所接的变频器控制, 风机最大功率为2.2 kW, 可使测试段中气流速度达5.5 m/s以上。如图1b所示, 测试段中除了安装各种火灾探测器外,

[收稿日期] 2004-09-27; **修回日期** 2005-01-14

[基金项目] 国家重点基础研究发展规划“九七三”专项资助项目(2001CB409608); 国家自然科学基金资助项目(50476023)

[作者简介] 谢启源(1978-), 男, 福建上杭县人, 中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室博士生

还装有针对各种火灾参量的测试仪器，包括热电阻、风速计、湿度计以及红外气体成分分析仪等，跟踪测量各参数变化。实验时，根据安装的探测器类型及实验目的，选择开启模拟段中一项或几项功能模块，这些模块模拟生成的产物混合后，由管道内的气流输送，经过均流孔板形成较稳定、规则的流动状态后进入测试段，便可进行观察、测量探测器的反应情况。能以开式和闭式两种方式工作并可灵活切换是该模拟实验平台的一大特色，其中闭式循环工作模式具有众多优点；开式方式下烟气既可直接从进气口进入管道内，也可通过生烟箱输入。有关实验平台更全面的介绍参见文献[2~4]。



阀门处于实线位置：闭式工作；处于虚线位置：开式工作
 Valves at the dashed state: open-style work-mode; valves at the real line state: circle-style work-mode

图 1 火灾探测综合模拟实验平台示意图

Fig.1 The schematic of fire emulator/detector evaluator

2.2 实验方案

根据气流是否影响烟颗粒生成过程，分别设计 a, b 两种方案。从 2 方面分析气流速度对 2 种感烟火灾探测器响应灵敏度的影响。

a) 将 60 根阴燃的标准棉绳^[5]置于生烟箱内作为烟源。具体步骤为：将 60 根棉绳点成阴燃后，

置于生烟箱内附着架上，向管道内送烟，约 5 分钟后，将阴燃棉绳取出，即停止送烟。

b) 将 60 根棉绳点成阴燃后，直接置于管道进气口内向管道内送烟，约 5 分钟后，将阴燃棉绳撤开，即停止送烟。

以上实验均选用火灾探测综合模拟实验平台的开式工作方式，每组实验进行前，调节变频器的频率改变风机转速，使测试段中感烟探测器周围风速分别为 0.5 m/s, 1.0 m/s, 1.5 m/s, 2.0 m/s, 2.5 m/s, 3.0 m/s, 3.5 m/s, 4.0 m/s, 4.5 m/s, 5.0 m/s 及 5.5 m/s, 相同条件的实验均重复 2 次，若 2 次的结果差别较大，则进行第 3 次实验。

在 a 方案中，实验管道中气流速度的增加不影响烟颗粒生成过程，进入管道内的烟颗粒生成量及其粒径分布、颜色及成分等特性相对一致。而 b 方案中，由于阴燃棉绳位于管道进气口内，管道内气体流速的增大将导致阴燃棉绳周围气流速度增加，从而影响烟颗粒生成过程。

实验中所使用散射型智能光电感烟火灾探测器与离子感烟探测器输出数值表示烟浓度的相对大小，其最大输出值均为 255。该火灾探测器技术参数按安装说明书中规定设置，光电探测器输出值达 115 或离子探测器为 170 时报警，为三级灵敏度。实验过程中，通过将与火灾探测器配套工作的控制器和微机之间利用 RS232 进行串口通讯，实时显示并存储火灾探测器输出值。

3 实验结果及分析

图 2~图 4 是方案 a，即 60 根阴燃标准棉绳置于生烟箱内生烟，测试段气流速度分别为 1.0 m/s, 2.0 m/s 及 3.0 m/s 时光电型与离子型感烟火灾探测器的输出值曲线。

由图 2~图 4 可知，随着管道内气流速度不断增加，两种感烟探测器响应输出值曲线逐渐趋于平缓，即输出值增量逐渐减小（探测器“输出值增量”指在该实验条件下探测器所达最大输出值与无烟状态下的本底值之间的差。探测器的响应灵敏度是通过其输出值的变化辅以一定的探测算法决定的，因此该增量在一定程度上代表了其响应灵敏度）。方案 a 实验中两种感烟探测器输出值增量与管道测试段气流速度之间的对应关系示于图 5。显然，随着管道内气流速度的增大，两种感烟火灾探测器的输出值增量随之减小。这是因为由生烟箱输

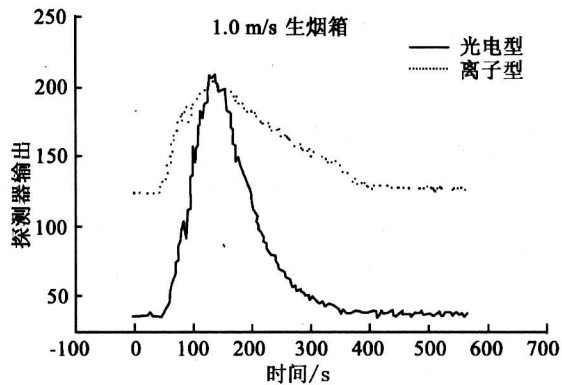


图2 探测器输出值
Fig.2 Outputs of detectors

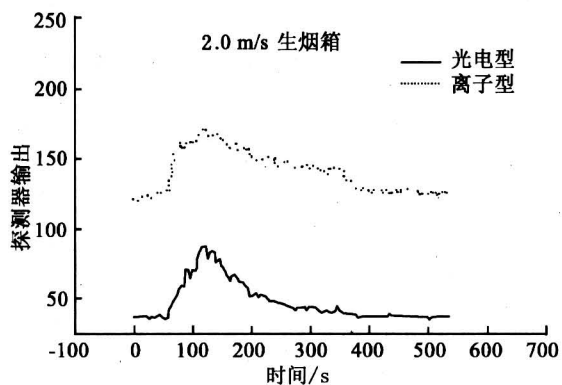


图3 探测器输出值
Fig.3 Outputs of detectors

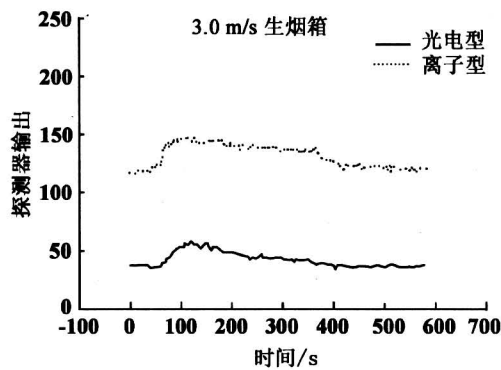


图4 探测器输出值
Fig.4 Outputs of detectors

入实验管道内的烟颗粒量相同，且粒径分布等特性一致，管道内气流速度的增加不断地稀释烟颗粒，使管道内实际的烟颗粒浓度下降，因而两种感烟探测器输出值增量随之减小，亦即响应灵敏度均下降。

图6~图8是在方案b中，即以60根阴燃标准棉绳直接置于管道进气口内作为相同烟源，测试段气流速度分别为1.0 m/s，2.0 m/s及3.0 m/s时光电型与离子型感烟火灾探测器的输出值曲线。

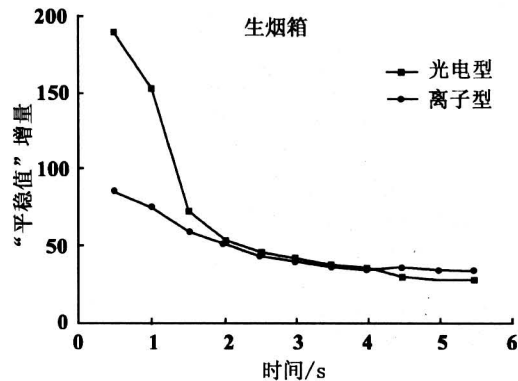


图5 输出值增量趋势
Fig.5 Increments of outputs

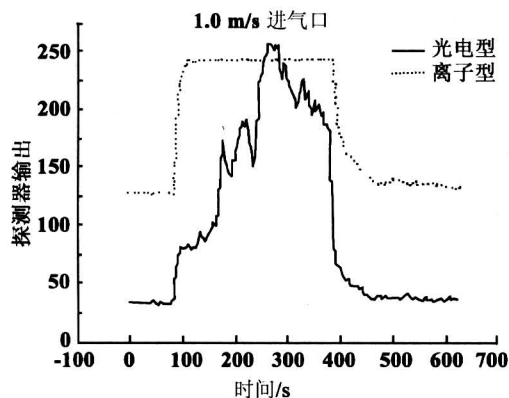


图6 探测器输出值
Fig.6 Outputs of detectors

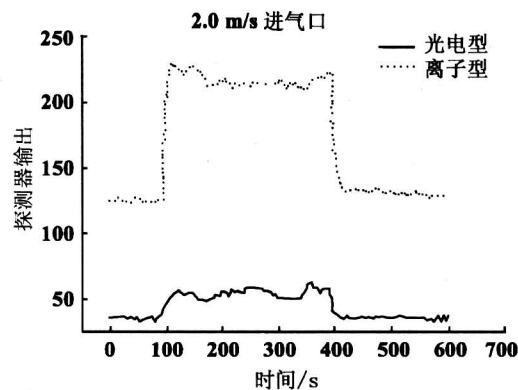


图7 探测器输出值
Fig.7 outputs of detectors

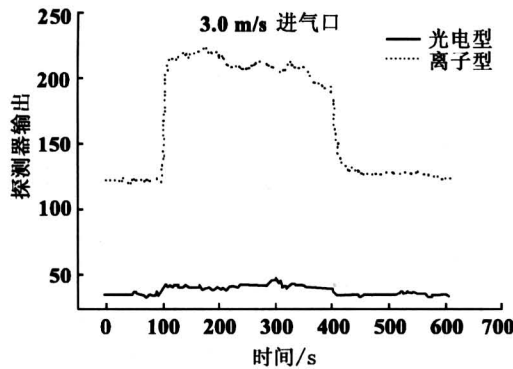


图 8 探测器输出值

Fig.8 outputs of detectors

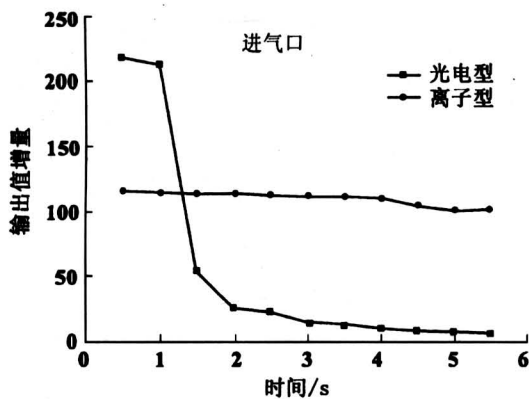


图 9 输出值增量变化趋势

Fig.9 increments of outputs

从图 6~图 8 可见，与方案 a 中，两种感烟火灾探测器输出值曲线比较一致的变化关系不同，此处两种感烟火灾探测器输出值随时间变化的关系差别较大。对于光电感烟探测器，随着气流速度不断增大，其输出值增量迅速下降。如图 6 所示，60 根阴燃棉绳置于进气口，气流速度为 1.0 m/s 时，其输出值急剧增加，并迅速发出报警信号；随着管道内气流速度的增加（图 7 与图 8），探测器输出值变化曲线逐渐趋于平缓，输出值增量逐渐减小。特别在图 8，光电感烟探测器的输出值增量极小，甚至接近于零，已无法有效给出报警信号。这种变化趋势在图 9 中更为明显。而对于离子感烟火灾探测器，其输出值曲线受周围风速大小影响较小，尽管探测器输出值增量随风速的增加也略有下降，但下降量远不如光电型感烟探测器。每组实验条件下，离子探测器输出值均随着阴燃棉绳的置入而急剧增加，并迅速给出报警信号。从图 8 中两条曲线的对比可看出，3.0 m/s 的风速下，光电感烟探测

器几乎完全丧失了对烟颗粒的响应能力，而离子感烟探测器的输出值却依然具有较大的增量，保持其较高的灵敏度。而由图 9 可知，即使在风速高达 5.5 m/s，离子探测器的输出值依然急剧上升至较高值，并迅速发出报警信号。

由于阴燃棉绳处于管道进气口内，管道内气流速度大小直接影响棉绳阴燃过程。首先，影响棉绳阴燃的速度，即管道内气流速度越大，棉绳阴燃越快，烟颗粒的生成量越大；其次，影响阴燃棉绳的燃烧状态，周围气流速度增大使棉绳阴燃最初生成的“初始小粒子”之间的凝聚时间缩短^[6]，因而生成的烟颗粒的粒径分布随管道内气流速度增大而向小粒径方向移动，使烟颗粒的平均粒径下降。当然，气流速度增加对烟颗粒浓度的稀释作用，对探测器的响应产生负影响。探测器最终的响应输出值则取决于正、负两者的综合作用。更重要的是，在其他条件一定时，烟颗粒的平均粒径越小，离子型感烟探测器响应灵敏度越高；光电型感烟探测器响应灵敏度越差^[7]。这就是为什么随气流速度增加光电型探测器响应灵敏度迅速下降，而离子型探测器却能保持较高的响应灵敏度。

综上所述，在高速气流环境下，离子型感烟火灾探测器比光电型响应更灵敏。但由于离子探测器存在放射污染源的缺陷，随着光电技术的迅速发展，迟早将被光电型感烟探测器取代。为此，必须通过光电探测腔室与迷宫结构的改进，以及烟颗粒与光散射现象的深入研究，进一步提升光电探测器在各种环境下的响应灵敏度等性能。

4 结论

1) 在气流不影响烟颗粒生成，即实验 a 的条件下，进入实验管道的是粒径分布等特性相同且等量的烟颗粒。随着管道内气流速度的增加，由于气流的稀释作用使烟颗粒浓度下降，因而两种感烟探测器的输出值增量随之下降，亦即响应灵敏度降低。

2) 若气流速度影响烟颗粒的生成过程（实验 b），管道内气流速度的增大使生成的烟颗粒量增加，平均粒径减小。由于离子型感烟探测器比光电型对小粒径烟颗粒具有较高响应灵敏度，且气流速度增大其灵敏度下降甚少，无论在 0.5 m/s 的低流速，还是在 5.5 m/s 的高流速下，均能保持较高的灵敏度。而光电感烟火灾探测器的响应灵敏度随气

流速度的增大而迅速下降, 气流速度较大时, 易形成漏报。

3) 实验结果表明, 离子感烟火灾探测器在高气流速度条件下, 其响应灵敏度优于光电感烟探测器。而火灾自动报警系统设计规范^[8]第7节关于火灾探测器的选择中规定: 气流速度大于 5.0 m/s 时, 不宜选择离子感烟探测器。与该实验结果不一致, 值得引起注意。

参考文献

- [1] 霍然, 胡源, 李元洲. 建筑火灾安全工程导论 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1999. 32
- [2] 袁宏永, 谢启源, 苏国锋, 等. 一种火灾探测综合模拟检测装置 [P]. 中国专利: ZL 02219803. 2, 2003-01-01
- [3] 谢启源, 詹福如, 苏国锋, 等. 火灾探测综合模拟实验平台 [J]. 火灾科学, 2002, 11 (2): 98~102
- [4] Xie Qiyuan, Yuan Hongyong, Guo Huiliang. Experimental analysis on false alarms of fire detectors by cooking fumes [J]. Journal of Fire Sciences, 2004, 22 (4): 325~338
- [5] GB4715-93. 点型感烟火灾探测器技术要求及试验方法 [S]
- [6] Lee T G K, Mulholland G. Physical properties of smoke pertinent to smoke detector technology [R]. Washington D C: National Bureau of Standards, 1977. NBSIR 77-1312
- [7] Qualey J R, Desmarais III L, Pratt J. Response-time comparison of ionization and photoelectric/heat detectors [A]. International conference on automatic fire detection "AUBE '01" 12th proceedings [C]. Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 2001. 283~299
- [8] GB50116-98. 火灾自动报警系统设计规范 [S]

The Influence of Flow Velocity on Response Sensitivity of Smoke Detectors

Xie Qiyuan¹, Su Guofeng², Yuan Hongyong², Zhang Yongming¹

(1. State Key Laboratory of Fire Science, USTC, Hefei, 230027, China;

2. China Center for Public Safety Research, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

[Abstract] The objective of the work was to evaluate the performance of photoelectric and ionic smoke detectors at different flow velocities through the Fire Emulator/Detector Evaluator (FE/DE). That was accomplished through a series of experiments at different flow velocity, with the same smoldering cottons put directly at the entrance of the FE/DE and in box, respectively. The experiment results indicate that the sensitivity of the two kinds of smoke detectors decreases sharply while the flow velocity around them increases, with the smoldering cottons in the box. However, for the smoldering cottons at the entrance of FE/DE, the sensitivity of the ionic smoke detector does not fall down as sharply as the photoelectric detector. In this case, ionic detectors show better sensitivity than the photoelectric ones. Accordingly, the ionization smoke detector is more suitable for those locations with high flow velocity.

[Key words] flow velocity; smoke detectors; smoke particle; size distribution of particles