

# 地铁火灾中强制通风烟控系统作用的模拟

蔡波<sup>1</sup>, 李辉亮<sup>2</sup>, 廖光焯<sup>1</sup>

(1. 中国科学技术大学, 合肥 230027; 2. 深圳市公安消防局, 深圳 518031)

**[摘要]** 地铁火灾比地面火灾具有更大的危险性。通过对地铁火灾的模拟可以重现火灾过程, 研究火灾现象, 分析火灾原因。通过 FDS 模拟, 对比大邱市地铁火灾在有强制通风烟控系统条件下, 火灾现场的温度场和烟尘分布, 研究讨论其对控制地铁火灾的重要作用。

**[关键词]** 地铁火灾; FDS 数值模拟; 强制通风烟控系统

**[中图分类号]** U231.5 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2005)08-0080-04

## 1 前言

随着城市化进程的加快, 交通问题日益显著, 地铁是缓解城市交通紧张的有效工具, 在许多国家和城市得到广泛的应用。但在地铁的营建和运营过程中一个不可忽视的问题就是如何防治地铁火灾。地铁火灾由于发生在地下, 相比于地面火灾有其特殊性。地铁客流量大, 人员集中, 同时地铁的出入口少, 一旦发生火灾, 极易造成群死群伤。地铁列车的车座、顶棚及其他装饰材料大多可燃, 有些材料燃烧时还会产生毒性气体, 加上地下供氧不足, 燃烧不完全, 烟雾浓, 发烟量大。大量烟雾只能从一两个洞口向外涌, 且运动方向可能与疏散方向一致, 容易造成人员窒息。大量有毒烟雾和黑暗给疏散和救援工作造成很大困难。因此, 地铁火灾与地面火灾相比有着更大的危险性。

历史上发生多起地铁灾难事故, 如 1986 年的伦敦地铁火灾, 1995 年的东京地铁沙林毒气事故, 1995 年的巴黎地铁爆炸, 2001 年的莫斯科地铁爆炸, 2002 年的米兰地铁纵火案等。最近的一起是 2003 年 2 月 18 日发生在韩国东部城市大邱市的地铁纵火案, 此次火灾造成了 126 人死亡, 146 人受

伤, 318 人失踪的惨痛后果。由此可见, 对地铁灾害的研究是十分重要的, 必须引起人们的重视。

作者基于韩国大邱地铁火灾案例, 模拟火灾场景, 重现火灾过程。采用的模拟软件是美国国家标准技术研究中心 (NIST) 开发的 FDS 软件 (Fire Dynamics Simulator)。模拟的重点是对比在没有强制通风烟控系统和有强制通风烟控系统下地铁火灾发展状况, 通过研究火场特定位置的温度场和烟尘分布, 讨论强制通风烟控系统在地铁火灾控制中的重要作用。

## 2 模型构建

### 2.1 车站几何结构模型构建

选取发生火灾的 Jungang-Ro 车站作为研究对象, 构建的模型长 205 m, 宽 15 m, 高 16.5 m, 如图 1 所示。模型按照实际情况分为地下 3 层, 以楼梯作为通道相连。发生火灾的 1079 号和 1080 号列车在地下第三层。车站站台为侧式站台, 列车由 6 节车厢组成, 总长 108 m, 其中 1 号车厢和 6 号车厢是列车控制室, 2, 3, 4 和 5 号车厢是电力机车。每节车厢都设置了两扇车门, 车门宽 3 m, 高 2 m。

[收稿日期] 2004-07-28; 修回日期 2004-09-01

[基金项目] 国家自然科学基金重点专项基金资助项目 (50323005)

[作者简介] 蔡波 (1979-) 男, 江苏无锡市人, 中国科技大学火灾科学国家重点实验室研究生

### 2.2 站台内强制通风烟控系统

由于烟尘运动方向和逃生方向一致，为了保护逃生路线，分别在站台前端，中部和后端楼梯附近设置通风排烟口。每段两侧各有上下两个风机，风机风量为  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ 。通过这 12 台风机运作完成车站发生火灾时的强制通风排烟。



图 1 大邱地铁车站模型

Fig.1 Model of Daegu subway station

### 2.3 火灾场景构建

1079 号列车 2 号车厢着火，4 min 后 1080 号列车驶入车站。火灾场景设置先设定 1079 号列车在站台停靠，4 min 后在与其平行的位置设置 1080 号列车。火源设定为稳定火源（庚烷火），功率为  $20 \text{ MW}^{[3]}$ 。

## 3 模拟结果及分析

### 3.1 烟尘运动的模拟结果及分析

图 2、图 3 是火灾发生后时间分别为 200 s, 400 s, 550 s 时在强制通风烟控系统关闭和开启 2 种条件下烟尘蔓延情况的模拟。

由图 2，图 3 可以看出，在强制通风烟控系统

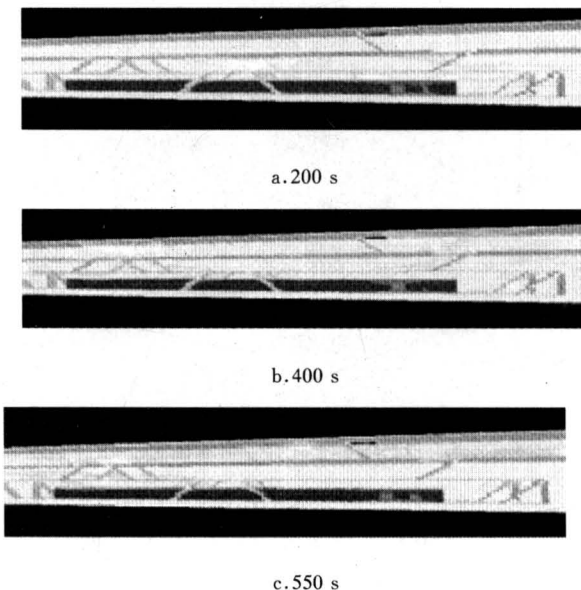


图 2 强制通风烟控系统关闭情况下的烟尘模拟

Fig.2 Smoke simulation without forced ventilated and smoke controlled system

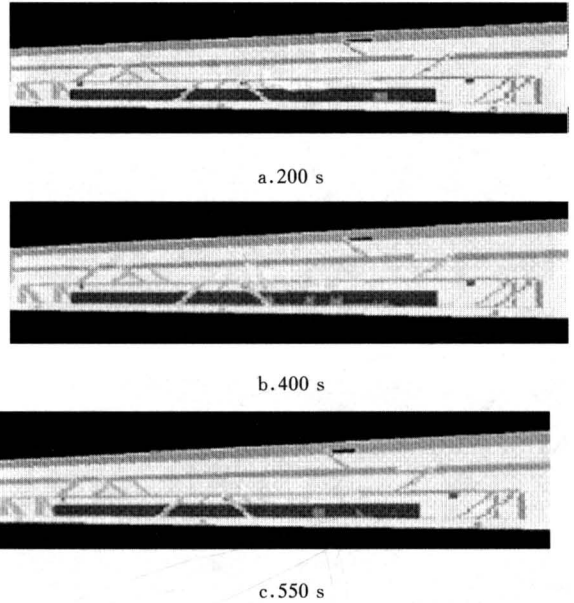


图 3 强制通风烟控系统开启情况下的烟尘模拟

Fig.3 Smoke simulation with forced ventilated and smoke controlled system

关闭情况下，火灾产生的烟尘量大且蔓延迅速。烟尘的蔓延通道与人员的逃生通道一致，沿着楼梯从地下三层蔓延到地下一层，从地面出口溢出。而在强制通风烟控系统开启的情况下，火灾产生的烟尘得到有效的控制。模拟 550 s 后只有少许烟尘蔓延到地下二层，没有蔓延到地下一层，大部分产生的烟尘由烟控系统抽出。

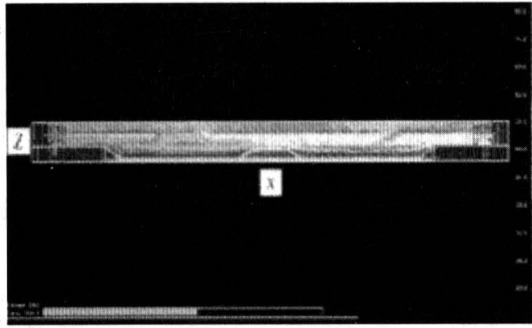
此外根据数值模拟结果，在强制通风烟控系统关闭情况下，550 s 后整个地铁空间消耗氧气 700 kg，生成二氧化碳 149 kg。模拟过程中烟尘量不断增加。而在强制通风烟控系统开启的情况下，整个地铁空间消耗氧气 200 kg，生成二氧化碳 20.4 kg。模拟过程中烟尘量在火灾刚开始时呈增加趋势，250 s 后达到基本稳定值。

通过两者的比较，可以看出，强制通风烟控系统的开启，可以有效地流通空气，补充氧气，带出二氧化碳、一氧化碳等有害气体，防止产生窒息现象，并且能够控制烟尘量，提高火灾现场的能见度，有利于人员的逃生。

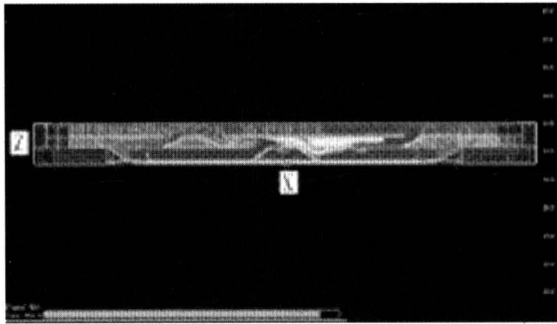
### 3.2 温度场模拟结果及分析

大邱地铁车站起始环境温度为  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 。图 4 为火灾发生后 550 s 时，起火的 1079 号列车停靠一侧站台 y 方向某断面的模拟温度场分布。

由图可见在风机关闭情况下，断面的温度高于风机开启情况。由于地铁空间的温度升高主要是高

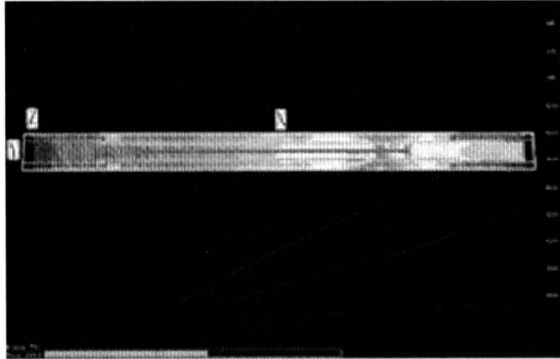


a. 风机关闭

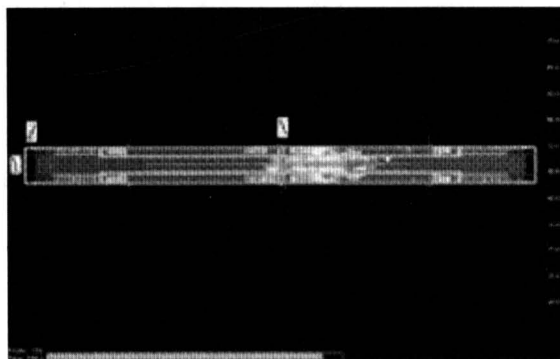


b. 风机开启

**图 4 550 s 时站台沿 y 方向某断面温度场**  
 Fig.4 Vector slice snapshots of temperature distribution in y direction at 550 s after ignition



a. 风机关闭



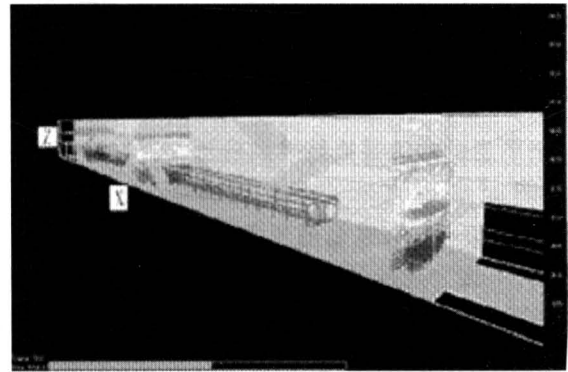
b. 风机开启

**图 5 550 s 时地下第三层顶部水平面温度场**  
 Fig.5 Vector slice snapshots of temperature distribution at the ceiling of the underground 3rd floor at 550 s after ignition

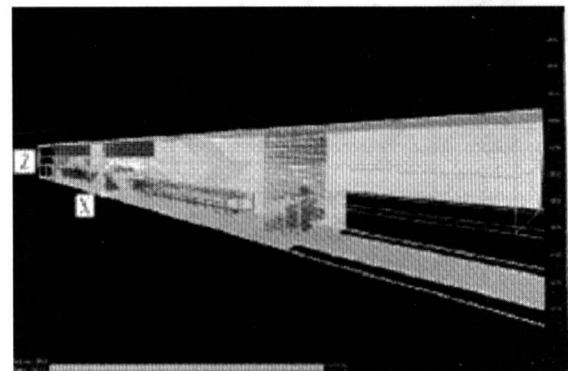
温烟尘的作用，所以，空间的温度场与烟尘分布情况相类似。很明显，a 图烟尘已经蔓延到地下一层，而 b 图风机开启时则只蔓延到地下二层。

图 5 表示地铁车站地下第三层顶部水平面温度场分布。风机关闭时，由于热烟尘作用，此断面部分区域温度高达 120℃，火源附近右半段站台大部分区域温度都在 80℃左右，楼梯通道处的温度也达到了 60℃至 70℃，给人员的逃生带来极大困难。而风机开启时，只有少部分区域的温度在 50~70℃，大部分区域的温度在 25℃至 35℃之间，此温度不会给人员带来伤害。b 图中由于隧道送风，热烟尘向左移动，故高温热烟尘大部分沿地铁中间段楼梯蔓延。

图 6 表示模拟 550 s 时地铁前段，中间段和后段 x 方向 3 个断面的温度场分布。从图中可以看出，靠近火源的地铁中段，后段 x 方向断面温度较高，前半段温度较低。随着热烟尘的运动，地下



a. 风机关闭



b. 风机开启

**图 6 550 s 时地铁前中后段沿 x 方向 3 个断面温度场**

Fig.6 Vector slice snapshots of temperature distribution of three vertical planes in x direction at 550s after ignition

二层和一层的温度也在升高，特别是楼梯和每层顶部空间烟尘蔓延路径上的温度上升较快。比较风机开启和关闭两种情况，由图可以很清楚的看出，风机的开启有效的抑制了火灾现场温度的升高，延长了人员逃生时间。

#### 4 结论

地铁火灾相比于地面火灾有着更大的危险性。地铁站安装合适的强制通风烟控系统能在火灾中发挥有效的作用。强制通风烟控系统的开启，能够有效的实现火灾现场的空气流通，补充氧气，带出二氧化碳，一氧化碳等有害气体，减少空间中的烟尘量，提高空间能见度，降低区域温度，延长人员逃生时间，并给消防队员的扑救工作带来便利。

#### 参考文献

- [ 1 ] McGrattan K B. Fire Dynamics Simulator (Version 3)-User's Guide [M]. USA: NIST, 2002
- [ 2 ] Park Hyung-ju. An investigation into mysterious questions arising from the Daegu underground railway arson case through fire simulations & small-scale fire tests[A]. 6th Asia-Oceania symposium on Fire Science and Technology [C]. Deagu Korea, 2004. 16~27
- [ 3 ] Kim Jong-Hoon, Roh Sam-Kew, Hur Jun-Ho , et al. Performance-based fire safety design for smoke management system in the subway platform [A]. 6th Asia-Oceania symposium on Fire Science and Technology [C]. Deagu, 2004. 791~796
- [ 4 ] Park W C. Simulation of smoke control in a subway station fire[A]. 6th Asia-Oceania symposium on Fire Science and Technology [C]. Deagu, 2004. 681~685
- [ 5 ] Hong W H. The progress and controlling situation of Daegu subway fire disaster [A]. 6th Asia-Oceania symposium on Fire Science and Technology [C]. Deagu, 2004. 28~46
- [ 6 ] 冯 炼,刘应清.地铁火灾烟气控制的数值模拟[J]. 地下空间, 2002, 22(1): 61~64

## Simulation of Effect of Forced Ventilated and Smoke Controlled System in Subway Fire Disaster

Cai Bo<sup>1</sup>, Li Huiliang<sup>2</sup>, Liao Guangxuan<sup>1</sup>

(1. *University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China;*

2. *Shenzhen Fire Department, Shenzhen, Guangdong 518031, China*)

[Abstract] Subway fire disaster is more hazardous than overground fire. Daegu underground railway fire disaster in Korea leads to a disastrous result. By means of fire simulation, recurrence of fire process, fire phenomenon and its reason could be studied. Based on FDS, the distribution of temperature and smoke with or without forced ventilated and smoke controlled system in Daegu subway fire are compared, and the effect on subway fire disaster control is also discussed in this paper.

[Key words] subway fire disaster, FDS simulation, forced ventilated smoke controlled system