

# Simulation Training Module Design of Building Fire Simulation Training Facility

Wanguo He<sup>1</sup>, Hao Xie<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Qiannan State Public Security Fire Brigade, Qiannan Guizhou

<sup>2</sup>School of Civil and Environmental Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing

Email: xh389611202@163.com

Received: Sep. 7<sup>th</sup>, 2016; accepted: Sep. 25<sup>th</sup>, 2016; published: Sep. 30<sup>th</sup>, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

To effectively enhance the ability of fire fighting forces disposal of building fire and improve the effect of building a fire simulation training, this article through the theoretical calculation and field research put forward a set of building a fire simulation training facilities simulation training module design. The scheme can provide a high degree of simulation; the function is all ready for firefighters training environment and improves the training effect.

## Keywords

Fire Fighting, Building Fire, Simulation Training Facility, Function Design

---

# 建筑真火模拟训练设施模拟训练模块设计

何万国<sup>1</sup>, 谢 浩<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>贵州省黔南州公安消防支队, 贵州 黔南州

<sup>2</sup>北京科技大学土木与环境工程学院, 北京

Email: xh389611202@163.com

收稿日期: 2016年9月7日; 录用日期: 2016年9月25日; 发布日期: 2016年9月30日

---

## 摘 要

为有效增强消防部队处置建筑火灾的能力。提高建筑真火模拟训练效果, 本文通过理论计算, 实地调研

提出了一套建筑真火模拟训练设施模拟训练模块设计方案。该方案可以为消防员提供仿真程度高、功能齐全的训练环境, 有效提高训练效果。

## 关键词

消防, 建筑火灾, 模拟训练设施, 功能设计

## 1. 引言

建筑真火模拟训练设施模拟训练模块通过模拟建筑火灾高温、浓烟及常见的突发情况, 为消防员构建一个近似真实的模拟训练环境, 有针对性的开展建筑火灾处置训练。提高消防员适应高温浓烟环境的能力, 提高消防员应对突发状况的能力, 提高消防员搜救被困人员的能力。模拟训练模块包括燃烧模拟系统、烟雾模拟系统和模拟训练道具三个子系统, 通过三个子系统联合作用实现模拟训练功能, 满足消防部队建筑真火模拟训练需要。

## 2. 燃烧模拟系统设计

燃烧模拟系统包括气体燃烧系统、液体燃烧系统和燃烧模型。通过三个子系统相互配合, 从而产生火焰, 放出热量, 营造出高温高热的训练环境, 供消防员进行建筑真火模拟训练。

### 2.1. 气体燃烧系统

气体燃烧系统包括气体燃料系统和气体燃烧器。气体燃料系统为气体燃烧器提供燃料, 气体燃料在气体燃烧器中被点燃, 产生火焰, 放出辐射热。

#### 1) 气体燃料系统

气体燃料系统如图 1 所示, 气体燃料系统包括储气瓶, 气瓶阀, 调压器, 球阀和电磁阀。调压器输入压力为 1.6 MPa, 输出压力是 0.1 MPa, 输出最大流量为 2 m<sup>3</sup>/h。电磁阀最大工作压力 0.1 MPa, 最大使用角度为 60° [1]。

#### 2) 气体燃烧器

通过调查研究发现, 常见的气体燃烧器主要有三类, 即扩散式燃烧器、大气式燃烧器和预混式燃烧器。不同类型的燃烧器燃烧效率不同, 燃烧负荷不同, 燃烧火焰的高度、直径均不同。三种燃烧器的原理及特点见表 1。

由表 1 可知, 扩散式燃烧器自身引射空气能力较弱, 为了增强燃烧效率, 通常与强制鼓风机配合使用, 助燃空气较多, 产生的火焰与实际燃烧情况差别较大。预混式燃烧器燃烧时无火焰不符合实际燃烧情况。经过对比分析, 建议选用大气式燃烧器。其工作原理如图 2 所示, 燃气在一定压力下, 以一定流速从喷嘴喷出, 进入吸气收缩管, 燃气靠本身的能量吸入空气。在收缩管内燃气和空气混合, 从头部喷出, 经高压电火花点燃[1]。

### 2.2. 液体燃烧系统

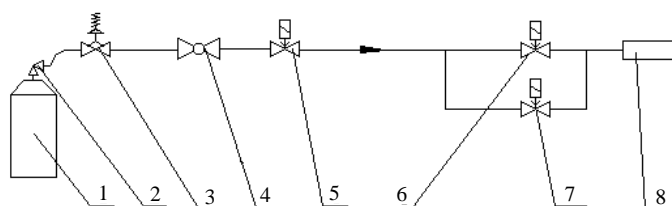
液体燃烧系统由液体燃料系统和液体燃烧器组成。液体燃料通过油泵输送至液体燃烧器中, 经高压电火花点燃, 模拟可燃物燃烧时的状况。

#### 1) 液体燃料系统

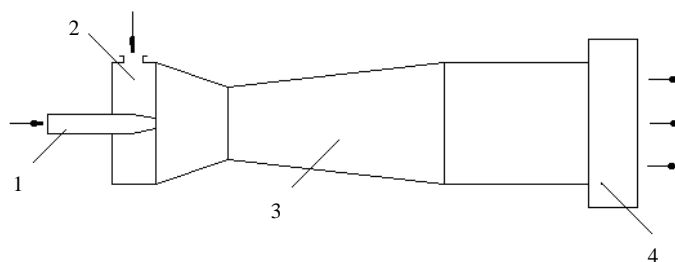
液体燃料系统如图 3 所示, 通过油泵将储油罐内的柴油输送至减压阀, 油泵将柴油流量控制在 9 m<sup>3</sup>/h

**Table 1.** Working principle and characteristics of three kinds of gas burners**表 1.** 三种气体燃烧器工作原理及特点

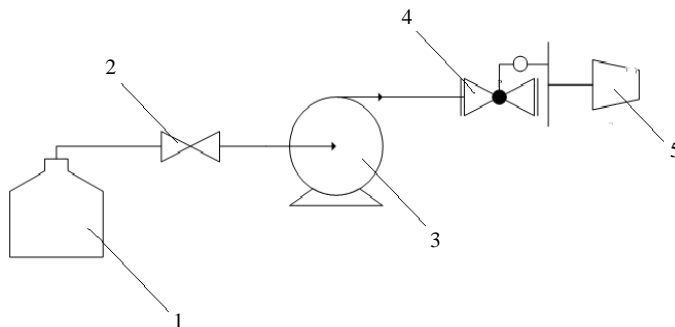
燃烧器类型	工作原理	特点
扩散式燃烧器	燃气不预先与空气混合, 在燃烧时需要空气补给	优点: 火焰平稳, 无回火、无熄火噪音, 不需空气调节 缺点: 不完全燃烧产生黑烟, 燃烧效率低
大气式燃烧器	燃气与空气混合后从喷嘴喷出, 点燃后形成火焰内锥。火焰内锥燃烧产物与剩余燃气混合后, 再与周围空气混合进行燃烧, 形成火焰外锥	优点: 火焰能够遇风飘动, 燃烧效率高 缺点: 易产生回火、脱火等现象
预混式燃烧器	燃气与空气预先混合, 不需要二次空气补给	优点: 燃烧速度快, 几乎看不见火焰, 燃烧效率高, 火焰功率大, 辐射热强 缺点: 燃烧不稳定, 易出现回火、脱火等现象



1: 储气瓶; 2: 气瓶阀; 3: 调压器; 4: 球阀; 5: 总电磁阀; 6: 大火电磁阀;  
7: 小火电磁阀; 8: 气体燃烧器

**Figure 1.** Schematic diagram of gas material system**图 1.** 气体物料系统示意图

1: 燃气进气口; 2: 空气进气口; 3: 收缩管; 4: 燃烧区

**Figure 2.** Working principle of atmospheric burner**图 2.** 大气式燃烧器工作原理

1: 储油罐; 2: 闸阀; 3: 油泵; 4: 减压阀; 5: 液体燃烧器

**Figure 3.** Schematic diagram of liquid fuel system**图 3.** 液体燃料系统示意图

左右，经减压阀将压力降至 10 Mpa 后输送至液体燃烧器，液体燃烧器将燃油雾化后喷出，利用高压点火源点燃。

#### 2) 液体燃烧器

如图 4 所示，柴油在一定压力差作用下切向进入液体燃烧器旋流室，在其中产生高速旋转运动，然后从液体燃烧器的嘴口喷出，从而雾化成许多小油滴。图 5 为液体燃烧器的实物图。

在实地调研过程中发现，当供给压力不足时，液体燃烧器雾化效果较差，无法获得理想的火焰形状。通过对液体燃烧器进行改进，设计出带回油功能的液体燃烧器，从而保证了雾化效果，如图 6 所示。其主要零件是分油片、旋流片和雾化片。柴油从输油管道进入液体燃烧器后首先经过分油片的几个小孔汇合到一个环形槽中，然后经过旋流片的切向槽，切向流入旋流片中心的旋流室。柴油在旋流室中高速旋转，最后从雾化片中心喷嘴喷出[2]。当柴油达到一定的油压时，离开燃烧器即雾化为细小的油滴。在压力不足时，部分柴油回流至柴油系统中，而不立刻从喷嘴喷出，使得液体燃烧器内始终保持较高的喷油压差和燃油流速，从而保证雾化质量。

### 2.3. 燃烧模型

#### 1) 双人床燃烧模型

具备床火燃烧的特征数据库，真实模拟床火的阴燃、蔓延以及可燃液体在床上的燃烧。自动控制火焰启闭，自动调节火焰功率，具备动态反馈技术可以自动复燃。图 7 是双人床燃烧的模型实景图，技术指标见表 2。

#### 2) 厨房灶台燃烧模型

具备灶台火特征数据库，可真实模拟灶台台面火灾和油脂溅溢火灾，自动控制火焰启闭，自动调节火焰功率，具备动态反馈技术可以自动复燃及产生爆燃效果。图 8 是厨房灶台燃烧模型实景图，厨房灶台燃烧模型技术指标见表 3。

#### 3) 超市货架燃烧模型

具备超市货架火燃烧的特征数据库，可真实模拟超市货架火灾以及火势向顶棚蔓延形成倒卷。自动控制火焰启闭，自动调节火焰功率，具备动态反馈技术可以自动复燃及产生爆燃效果。图 9 是超市货架燃烧模型实景图，超市货架燃烧模型技术指标见表 4。

#### 4) 轰燃火

轰燃火是一种效果火，与训练场景内其他燃烧模型配合使用，再现火势向顶棚卷跌，大量的辐射热由顶棚反射到室内可燃物的现象。使消防员真实体现火场的高温火焰状态。图 10 是轰燃火的实景图，表 5 是轰燃火技术指标。

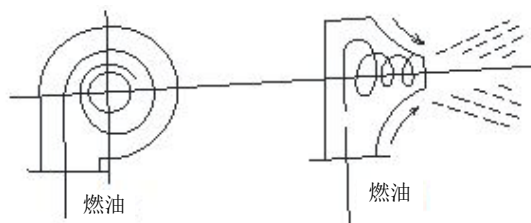
## 3. 烟雾模拟系统设计

### 3.1. 发烟机基本原理

发烟机采用钢制底盘，智能化控制，通过事先编入的程序控制烟气生成量。图 11 是发烟机基本结构图，发烟液储存在发烟液罐内，通过工作泵抽取进入加热器中，加热器将发烟液加热，发烟液汽化后生成烟雾从喷嘴喷出。发烟机实物图见图 12，基本参数见表 6。

### 3.2. 烟雾质量

衡量烟雾质量的主要标准是烟雾颗粒大小。颗粒的大小越均匀，烟雾在消散前的持续时间越长。均匀加热可确保发烟液蒸发成纯净的烟雾，温度过高会导致颗粒碳化，如图 13(c)所示，而温度过低则会产

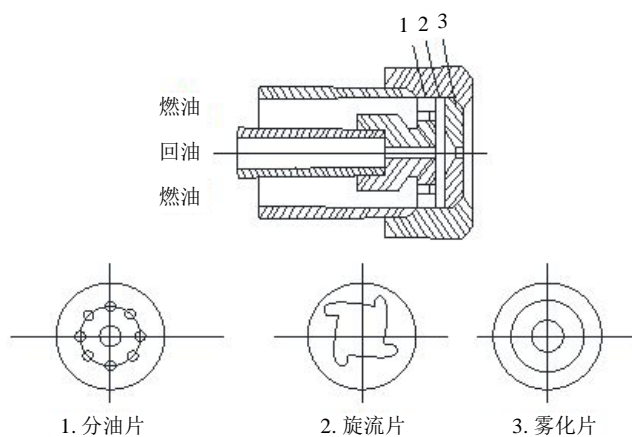


**Figure 4.** The basic principle of liquid burner  
**图 4.** 液体燃烧器的基本原理



1: 燃烧器; 2: 输油管道; 3: 点火器

**Figure 5.** Physical diagram of liquid burner  
**图 5.** 液体燃烧器实物图



**Figure 6.** The basic structure of the liquid burner with the function of return oil

**图 6.** 带回油功能的液体燃烧器基本结构



**Figure 7.** Real map of bed combustion model  
**图 7.** 双人床燃烧模型实景图



Figure 8. Real map of the kitchen stove burning model  
图 8. 厨房灶台燃烧模型实景图



Figure 9. Real map of the supermarket shelves burning model  
图 9. 超市货架燃烧模型实景图

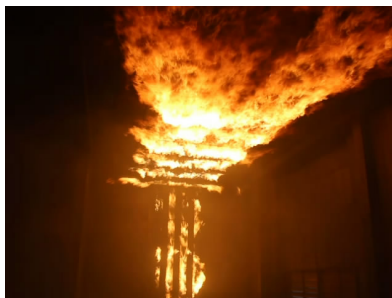
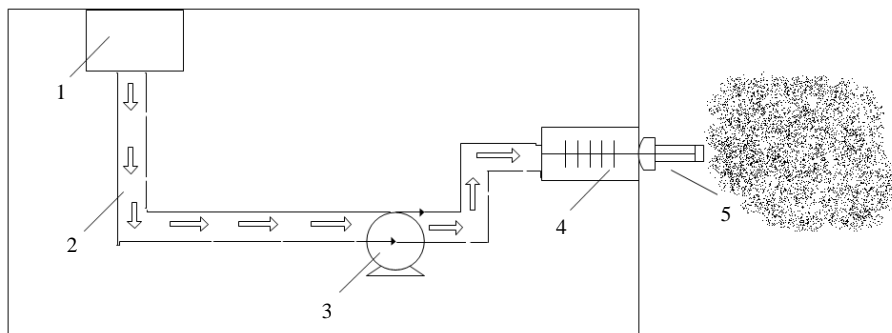


Figure 10. Fire flashover real map  
图 10. 轰燃火实景图



1: 发烟液罐; 2: 管路; 3: 工作泵; 4: 加热器; 5: 喷头

Figure 11. The basic structure of smoke generator  
图 11. 发烟机基本结构图



Figure 12. Smoke generator physical map

图 12. 发烟机实物图

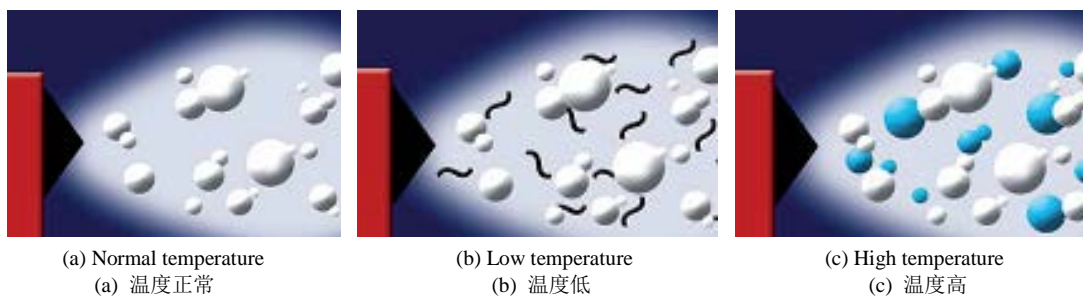
(a) Normal temperature  
(a) 温度正常(b) Low temperature  
(b) 温度低(c) High temperature  
(c) 温度高

Figure 13. Smoke quality

图 13. 烟雾质量

Table 2. Double bed combustion technology index model [2]

表 2. 双人床燃烧模型技术指标[2]

技术指标	要求
材质	全钢结构
尺寸	2150 × 1550 × 960 mm
最低防火隔热内衬	40 m <sup>2</sup>
火焰高度	可设定及自动调节, 最高 2.4 m
火焰范围	可设定及自动调节, 最大覆盖模型全部区域
增长速度	可设定及自动调节
燃料供应	雾化柴油

Table 3. The technical indicators of kitchen stove combustion model [2]

表 3. 厨房灶台燃烧模型技术指标[2]

技术指标	要求
材质	全钢结构
尺寸	1650 × 610 × 820
最低防火隔热内衬	40 m <sup>2</sup>
火焰高度	可设定及自动调节, 最高 2.4 m, 爆燃时可达 3 m
火焰范围	可设定及自动调节, 最大覆盖模型全部区域
增长速度	可设定及自动调节
燃料供应	雾化柴油

**Table 4.** Technology index of supermarket shelf combustion model**表 4.** 超市货架燃烧模型技术指标

技术指标	要求
材质	全钢结构
尺寸	1650 × 610 × 820
最低防火隔热内衬	40 m <sup>2</sup>
火焰高度	可设定及自动调节, 最高 2.4 m
火焰范围	可设定及自动调节, 最大覆盖模型全部区域
增长速度	可设定及自动调节
燃料供应	雾化柴油

**Table 5.** Fire technology index [2]**表 5.** 轰燃火技术指标[2]

技术指标	要求
材质	全钢燃烧盘
最低防火隔热内衬	40 m <sup>2</sup>
过火面积	9 m <sup>2</sup>
燃料供应	液化石油气
控制方式	教练员手动控制

**Table 6.** Basic parameters of smoke generator [3]**表 6.** 发烟机基本参数[3]

项目	参数
电压	230 V, 50 Hz~60 Hz
功率	最大 2000 w
尺寸	525 × 330 × 260 mm
重量	18.4 kg (空)
发烟液携带量	5 L
发烟液最大使用量	64 ml/min
启动时间	5.5 min
使用温度范围	-10℃~30℃
烟气生成量	630 m <sup>3</sup> /min~430 m <sup>3</sup> /min

生湿物及残渣, 如图 13(b)所示。通过控制输送到加热器的发烟液量来精确平衡热交换, 从而确保加热器恒温状态, 使发烟机持续产生高质量的烟雾, 如图 13(a)所示。

### 3.3. 烟雾质量

发烟液汽化成烟雾过程中吸热, 使得加热器温度降低, 当加热器温度降低至一定值, 发烟机停止产烟。有时为增加持续产烟时间, 大范围的提高加热器温度, 使得烟雾颗粒因温度过高而被碳化, 导致烟雾质量下降。为增加持续产烟时间, 通过调节泵的功率, 提高发烟液流量, 平衡加热器温度。既保证了烟雾质量也提高了持续产烟时间。

根据质量守恒定律, 发烟液流入加热器的质量与生成烟雾的质量相等, 所以烟雾生成速率等于发烟



液流量。这里引入托马斯经验公式求烟雾生成速率[4]。

$$M = 0.096P_f \rho_0 Y^{3/2} (gT_0/T_f)^{1/2} \quad (3.1)$$

式中,  $M$  ——烟气生成速率, kg/s;

$P_f$  ——火区的周长, m;

$\rho_0$  ——环境温度下空气的密度, kg/m<sup>3</sup>;

$Y$  ——烟气层下表面到地面的距离, m;

$T_0$  ——环境温度, K;

$T_f$  ——火羽流内的气体温度, K。

若将  $\rho_0 = 1.22 \text{ kg/m}^3$ ,  $T_0 = 290 \text{ K}$ ,  $T_f = 1100 \text{ K}$  带入 4.1 可得

$$M = 0.188P_f Y^{3/2} \quad (3.2)$$

根据训练场景实际情况, 将火区周长和烟气层下表面到地面的距离代入式 3.2, 可以求得烟气生成速率  $M$ , 即为发烟液流量。通过调节泵的功率, 控制发烟液流量, 平衡加热器温度, 增加持续产烟时间。

## 4. 模拟训练道具设计

模拟训练道具是开展建筑真火模拟训练的辅助道具, 用于模拟建筑火灾中的突发危险情况和被困人员, 从而丰富建筑真火模拟训练科目, 提高训练效果。

### 4.1. 陷阱模拟装置

陷阱装置由地板、弹簧、弹簧套筒、固体套筒、支撑杆、电磁铁、感应器构成, 如图 14 所示, 支撑杆和弹簧顶部相连, 焊接在地板上。装置处于关闭状态时, 电磁铁将支撑杆和弹簧封堵在固定套筒内。启动装置, 电磁铁向中心移动, 地板失去支撑, 处于活动状态。当消防员踩在地板上时, 弹簧被压缩地板下陷, 下陷距离达到 100 mm 时, 触碰到感应装置, 信号传输至控制系统并发出警报, 判定消防员没有采取“前虚后实, 缓慢探步”的行进方式。训练结束后, 关闭装置, 电磁铁向两侧移动, 支撑杆被封堵于固定套筒内用于支撑地板, 地板恢复正常状态。

陷阱模拟装置宜设置在干燥、无水的环境中, 以利于该装置的正常使用, 一般布置于训练场景进出口处。

### 4.2. 屋顶坠落物模拟装置

屋顶坠落物装置由两部分组成, 一部分是屋顶坠落物, 外观近似于屋顶装饰物, 安装于顶棚; 另一部分内置于消防员呼救器中。两部分靠 RFID 电子射频技术联通。屋顶坠落物如图 15 所示, 由电容式感应器、电磁铁、弹簧、弹簧套筒、多块条形栅格式物体、卡口构成。未启动装置时, 弹簧处于压缩状态, 多块条形栅格式物体被卡口托住, 收紧于装置内。启动装置, 当水枪射流喷射至屋顶坠落物时, 电容式感应器接收到信号, 电磁铁带磁性, 弹簧将卡口顶开, 多块条形栅格式物体下落, 距地面 1.9 m, 如图 16 所示。呼救器不发出警报; 若不用水枪射流冲击, 多块条形栅格式物体不弹出, 呼救器在距离屋顶坠落物 6 m 范围内将会发出警报。

公众娱乐场所顶棚装有大量灯具, 在高温作用下会发生脱落砸伤消防员, 所以屋顶坠落物模拟装置宜安装在公共娱乐场所训练场景内, 模拟屋顶坠落物。

### 4.3. 轰然模拟装置

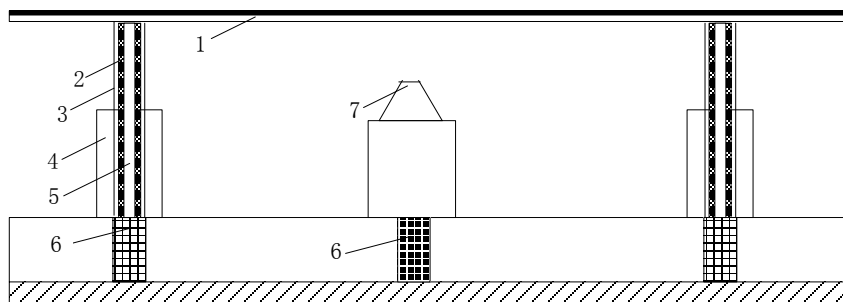
轰然模拟装置是由特制的门, 加热组件, 发烟机和轰然火组成。门的一面为钢制, 另一面为铝制,

在门上安装发热组件, 发热组件可以对门和门把手加热, 发烟机设置在门后, 启动时向门框释放烟雾, 也可将烟雾吸回, 模拟轰燃前征兆, 反应室内火情动态。由控制系统控制轰燃火燃烧道具, 模拟室内轰燃效果[5]。消防员训练过程中根据发烫的门及门框中泄漏出的烟雾状况, 判断是否开门, 并采取相应的处置措施。此道具逼真度高并具有极大的冲击力, 必须由教练员亲自指导训练。图 17 是轰燃模拟装置实物图。

由于宾馆和公共娱乐场所装修较为豪华, 装修过程中使用了大量易燃可燃材料, 发生火灾后燃烧猛烈, 发生轰燃的可能性较大, 所以轰燃模拟装置一般安装在宾馆训练场景和公共娱乐场所训练场景。

#### 4.4. 救援对象

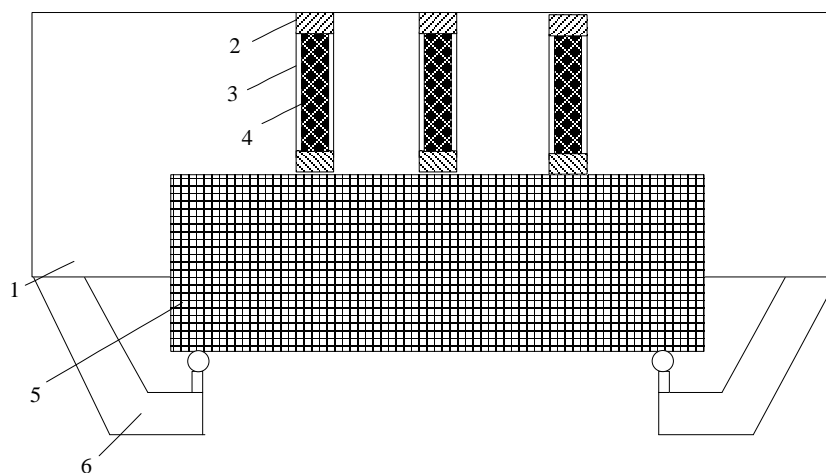
救援对象主要用于训练消防官兵在浓烟情况下搜救被困人员, 以及对被困人员的救护和运送。救援对象按照身高和体重不同可以分为三类, 即儿童重 10 kg、身高 0.9 m, 女士重 50 kg、身高 1.6 m, 男士重 80 kg、身高 1.8 m。救援对象外层采用防火帆布处理, 防止训练过程中被烧坏, 内部设置骨架和填充物, 可以有多种姿势, 例如站立、平卧、俯卧、坐立等姿态。救援对象内部设置播放机具有自动呼救功能, 能在火场中发出微弱的求救声, 呼救功能可以远程调控。救援对象内部设有录音机和针孔摄像机可以实时记录现场人员对话及救助程序, 具有回放查验功能。图 18 是救援对象的实物图。



1: 地板; 2: 弹簧; 3: 弹簧套筒; 4: 固体套筒; 5: 支撑杆; 6: 电磁铁; 7: 感应器

Figure 14. Electron trap

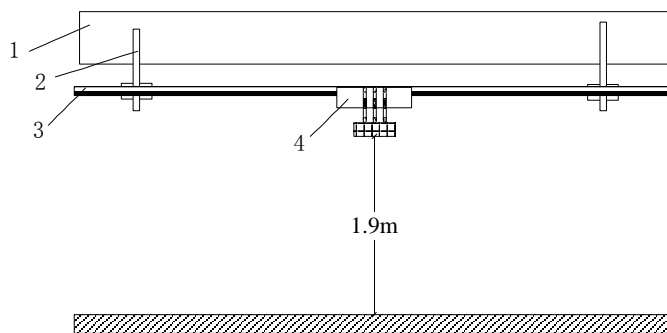
图 14. 电子陷阱



1: 电容式感应器; 2: 电磁铁; 3: 弹簧; 4: 弹簧套筒; 5: 多块条形栅格式物体; 6: 卡口

Figure 15. Structure diagram of multiple bar grid object

图 15. 多块条形栅格式物体结构图



1: 顶棚; 2: 支架; 3: 吊板; 3: 屋顶坠落物装置

**Figure 16.** Installation drawing of roof falling device  
**图 16.** 屋顶坠落物装置安装图



1: 加热器; 2: 特制门; 3: 发烟机

**Figure 17.** Practicality picture of crashing simulation device  
**图 17.** 轰然模拟装置实物图



**Figure 18.** Rescue object  
**图 18.** 救援对象

## 5. 结论

本文主要首先提出了建筑真火模拟训练设施模拟训练模块的构成，主要包括模拟燃烧系统设计、烟雾模拟系统设计和模拟训练道具设计。提出了一套具有燃烧模拟功能、烟雾模拟功能并配有多种训练道具，安全、可靠、合理的功能设计方案，提高建筑真火模拟训练设施的仿真性、实用性和安全性，为消防员提供仿真程度高、功能齐全的训练环境。

### 参考文献 (References)

- [1] 公安部上海消防研究所.消防灭火训练用燃烧装置的研究[R]. 公安部上海消防研究所项目研究报告, 2011.
- [2] 李立新. 引进型 300M 机组锅炉点火技术探讨[J]. 福建电力与电工, 1997(6): 030.
- [3] Lloyd, K. (2010) Live-Fire Training Structure. *Fire Rescue Magazine*, 7 January 2010.
- [4] Hankin, N. (2009) Smoke Generator. *Fire Rescue Magazine*, 10 June 2009.
- [5] 公安部政治部. 消防燃烧学[M]. 北京: 中国人民公安大学出版社, 2006.

#### 期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [met@hanspub.org](mailto:met@hanspub.org)