



高校学生宿舍火灾风险的灰关联评估

高进东

中国安全生产科学研究院,北京 100012

摘要 高校学生宿舍由于人员密集、可燃物多且集中、建筑结构复杂、学生防火意识薄弱等原因,具有很大的火灾危险性,一旦失控往往会发生重大火灾事故。为了研究高校学生宿舍的火灾风险,在综合考虑高校学生宿舍火灾特点及原因的基础上,建立了包括建筑物自身情况、火灾负荷、消防设施、灭火能力、安全疏散系统和消防安全管理系统 6 大因素的火灾风险评估指标体系,并利用灰色关联度分析法构建了高校学生宿舍火灾风险的灰色关联评价模型。利用该评价模型对北京某高校男生宿舍楼进行了实例计算,评估得该宿舍楼的火灾风险等级为 2 级,即处于较安全状态。结果表明,在高校学生宿舍火灾风险评估中引入灰色关联分析方法,除可以定量计算并评价得到高校学生宿舍的火灾危险性外,还可以进一步指出相关影响因素中的薄弱环节,从而提出相应的控制和改进措施,对高校学生宿舍的防火设计以及日常安全管理等具有重要的指导意义。

关键词 火灾;风险评估;灰关联

中图分类号 X928.7

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.h2.016

Grey Relational Assessment of Fire Risk in University Student Dormitory

GAO Jindong

China Academy of Safety Science and Technology, Beijing 100012, China

Abstract There is a great fire risk in the university student dormitory because of its intensive resident rate, the large amount of combustible materials, the complex building structures and the weak fire safety awareness of students. Major accidents always happen once it is out of control. In order to investigate the fire risk of the university student dormitory, an assessment index system including the fire-proof capacities of buildings, the fire load, the fire facilities, the fire-fighting capacities, the evacuation system and the safety management is adopted based on the characters and causes of fire in the university student dormitory. A grey relational assessment model for fire of this type is built according to the grey relational theory. In addition, the fire risk of a male student dormitory in one university in Beijing is calculated with this model and the final evaluated results show that it is in level two, which means that the dormitory is in a relatively safe state. It shows that the valuable fire risk assessment results and the relevant weak links can be obtained by this scientific grey relational method. Thus, the corresponding control and improvement measures could be put forward. They are of significance to the design of the fire protection and the daily safety management for the university student dormitory.

Keywords fire; risk assessment; grey relational theory

0 引言

学生宿舍是校园中人员最为密集,安全隐患最大的场所。据有关统计数据,中国高校普遍实行多人集中住宿制^[1],人员密集程度很高,且少数高等学校为解决扩张的问题,兴建高层学生宿舍^[2,3],建筑结构较复杂;人员密集也造成宿舍有限空间内可燃物较多且集中,用电用火情况复杂,违章电器大量使用;不少木结构建筑仍在部分高校中使用,建筑防火设计不完善,耐火性能差,存在先天性火灾隐患^[4];此外,学生的消防意识薄弱,安全知识匮乏,自救能力和逃生技巧不

够,容易因人为过失行为引发火灾造成重大的人员伤亡和财产损失。近年来国内外均发生了多起高校学生宿舍火灾事故,有些甚至是群死群伤的恶性火灾事故。2001年3月,肯尼亚首都一所公立学校的学生宿舍发生特大火灾,58名男童葬身火海,28人被烧成重伤;2003年,俄罗斯人民友谊大学6号学生宿舍发生特大火灾,造成包括9名中国留学生在内的41人死亡,200多人受伤。2005年11月2日,北京市林业大学第6号学生宿舍3楼突然发生爆炸起火,造成两人死亡;2008年11月,上海商学院女生宿舍因违规使用“热得快”引

收稿日期:2013-06-15;修回日期:2013-08-08

作者简介:高进东,高级工程师,研究方向为安全评价与重大事故预防控制技术,电子信箱:gaojd@chinasafety.ac.cn



发火灾,导致4名女生从6楼跳下当场身亡。因此,对高校学生宿舍进行火灾风险评估,开展性能化防火分析和设计,对于减少火灾发生次数及降低火灾损失都有非常重要的意义。

目前,对于高校学生宿舍火灾风险评估的方法主要有层次分析法、模糊评价法等。贾水库^[5]利用层次分析法对高层学生宿舍火灾的危险性进行了分析,并确定了其平均指标体系中各层次各指标的权重。王翠玲^[6]、贾子若^[7]等建立了高校宿舍火灾风险评价指标体系,并在此基础上进行了模糊综合评价。然而,模糊综合评价法不能解决评价指标间相关造成的评价信息重复问题,且对因素权重的确定带有一定的主观性。此外,毛龙等^[8]也对高校宿舍火灾进行了FDS数值模拟分析,分析了火灾过程中烟气和温度的传播规律。文茂盛^[9]进一步模拟了通风条件对学生宿舍火灾的影响。事实上,高校学生宿舍火灾评价系统是一个多因素、多层次的灰色系统。在这个系统中,建筑结构整体布局、内部消防设施、疏散系统以及相关规章制度等因素已知,而各因素之间的相互影响属灰色信息。采用灰色关联方法对高校学生宿舍火灾风险进行评估,可以定量分析系统整体及各层次风险等级,有效找出导致事故发生的核心因素,进一步提出针对性建议。

1 灰关联理论

灰色关联理论是灰色系统中理论最成熟、应用最广泛、最具活力的部分^[10]。其基本原理是通过对统计序列几何关系的比较辨别系统中多种因素间的关联程度,序列曲线的几何形状越接近,则关联度越大。

(1) 参考序列和比较序列的确定。

参考数列和比较数列是灰色关联分析的基础。设参考数列 $X_0(k)$ (母序列):

$$X_0 = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)\} \quad (1)$$

与参考数据序列 $X_0(k)$ 进行比较的数据系列有 m 个,为比较序列 $X_k(m)$ (子序列):

$$X_k = \{X_1(k), X_2(k), \dots, X_m(k)\} \quad k=1, 2, \dots, n \quad (2)$$

这 m 个数据序列代表 m 种评价指标。确定参考序列时,需根据比较序列的指标类型进行选取。

(2) 原始数据的无量纲化处理。

由于一般情况下各因素组成的量纲不同,无法直接比较,因此需对原始数据进行数据规范化变换和处理,使其消除量纲具备可比性。一般来说,数据处理方法主要包括:初值化变换法、均值化变换法、百分比变换法、倍数变换法、归一化变换法、极差最大化变换和区间值化变换7种方法^[11]。本文采用如下方法对数据进行无量纲化处理:

当评价数值越大,系统越危险时,

$$Y_i(k) = \begin{cases} 1 & X_i(k) < X_1(k) \\ \frac{X_i(k) - X_m(k)}{X_1(k) - X_m(k)} & X_i(k) \in (X_1(k), X_m(k)) \\ 0 & X_i(k) > X_m(k) \end{cases} \quad (3)$$

其中, Y 为对原始数据进行无量纲化处理后得到的数据矩阵,是

计算过程的中间量。

当评价数值越大,系统越安全时,

$$Y_i(k) = \begin{cases} 1 & X_i(k) > X_1(k) \\ \frac{X_i(k) - X_m(k)}{X_1(k) - X_m(k)} & X_i(k) \in (X_m(k), X_1(k)) \\ 0 & X_i(k) < X_m(k) \end{cases} \quad (4)$$

(3) 评价指标间的关联系数计算。

对应于一个参考数据序列,有若干个比较数据序列,则第 i 个比较数据序列与参考数据序列在对应的第 k 个指标的相对差即为关联系数 $\xi_{0,i}(k)$,表示为

$$\xi_{0,i}(k) = \frac{\min_i \min_k |Y_0(k) - Y_i(k)| + \rho \max_i \max_k |Y_0(k) - Y_i(k)|}{|Y_0(k) - Y_i(k)| + \rho \max_i \max_k |Y_0(k) - Y_i(k)|} \quad i=1, 2, \dots, m; k=1, 2, \dots, n \quad (5)$$

其中, ρ 为分辨系数, $\rho \in (0, 1)$ 。由各指标的平等性,取 $\rho=0.5$ 。

(4) 关联度计算。

关联度为关联系数列的加权平均,有

$$r_{\alpha}(k) = \sum_{i=1}^n \omega_i \xi_{0,i}(k) \quad i=1, 2, \dots, m; k=1, 2, \dots, n \quad (6)$$

式中 ω_k 为权重, $\sum_{k=1}^n \omega_k = 1 (0 \leq \omega_k \leq 1)$ 。

根据关联度比较和分析,对高校学生宿舍的火灾风险评价系统进行多级综合评价,比较各等级的关联度。一般来说,系统(因素)处于关联度最大值对应的安全等级中。

2 高校学生宿舍火灾风险评价指标体系的建立

火灾风险评价指标体系是进行火灾风险评估的基础。选择的指标是否全面、客观,指标标准的确定是否准确、实际,都关系到整个评价结果的实用性和正确性。针对高校学生宿舍火灾的特点和发展过程,本文从主动防火措施、被动防火措施、人员疏散、事故救援、安全管理和人的行为^[12]6个部分制定了高校学生宿舍火灾风险评价指标体系以及各因素权重,形成高校学生宿舍火灾风险评价指标体系,如表1所示。

表1 高校学生宿舍火灾风险评价指标体系
Table1 Index system of fire risk assessment on university student dormitory

1级指标	ω_1	2级指标	ω_2	单位
建筑物情况	0.299	建筑物规模 C11	0.239	层
		建筑物耐火等级 C12	0.236	
		防火分区 C13	0.1755	m ²
		防火门、防火墙 C14	0.178	
		防烟分区 C15	0.1715	
火灾负荷	0.122	吸烟率 C21	0.268	
		超负荷电器使用率 C22	0.187	
		易燃物可燃物情况 C23	0.320	kg/m ²
		电气线路耐火等级 C24	0.225	



表1 高校学生宿舍火灾风险评价指标体系(续)

Table1 Index system of fire risk assessment on university student dormitory (Continued)

1级指标	ω_1	2级指标	ω_2	单位
消防设施	0.196	消火栓和灭火器 C31	0.183	
		火灾报警系统 C32	0.273	
		自动喷淋灭火系统 C33	0.228	
		排烟设备 C34	0.158	
		消防设施布局 C35	0.158	
灭火能力	0.148	消防专用通道 C41	0.340	
		消防技能水平 C42	0.456	
		消防水源 C43	0.195	min
安全疏散系统	0.164	安全出口数量 C51	0.293	个/层
		安全疏散距离 C52	0.164	m
		安全通道结构宽度 C53	0.14	m
		人群密度 C54	0.241	
		疏散标志应急照明 C55	0.162	min
消防安全管理	0.141	消防管理机构及其水平 C61	0.230	
		规章制度及其执行情况 C62	0.155	
		火灾应急预案 C63	0.145	
		消防演练 C64	0.16	次/年
		人群消防安全意识 C65	0.21	

3 实例分析

以北京某高校男生宿舍楼为例,对其进行火灾风险关联评价。该高校位于北京市繁华地带,拟评价宿舍楼为一幢高层建筑,于2006年建成并投入使用,建筑面积约12000m³,地上共有21层,共有宿舍504间,入住学生约1500人。该楼为近年新建学生宿舍,钢筋混凝土结构,耐火等级为2级,其设计、建造、消防设施等均符合《高层民用建筑设计防火规范》(GB 50045—95)。

根据高校学生宿舍火灾风险评价的实际情况,结合高层建筑火灾的特点,将各评价指标的等级分为5级,即

$$V = \{1 \text{ 级}, 2 \text{ 级}, 3 \text{ 级}, 4 \text{ 级}, 5 \text{ 级}\}$$

$$= \{\text{安全}, \text{较安全}, \text{一般安全}, \text{较危险}, \text{危险}\}$$

在此基础上,根据GB 50016—2012《建筑设计防火规范》、GB 50045—2005《高层民用建筑防火设计规范》等要求,以及本领域相关专家针对高校学生宿舍火灾风险评估提出的部分指标标准^[2]建立了各等级评价因素标准值及该系统的样本值(表2)。

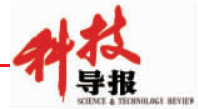
3.1 确定参考序列和比较序列

根据表2确定的风险评价指标,共有27个指标因素,分为6个群,采用2级关联分析。其中,实测参考序列构成的样本矩阵为

表2 高校学生宿舍火灾风险评价指标标准值及样本值

Table 2 Standard values of risk levels and case data of university student dormitory

1级指标	2级指标	安全	较安全	一般安全	较危险	危险	样本值
建筑物自身状况	建筑物规模 C11	2	5	8	10	20	21
	建筑物耐火等级 C12	1	2	3	4	5	2
	防火分区 C13	1000	1500	2000	3000	4000	1800
	防火门、防火墙 C14	500	600	700	1000	1500	700
	防烟分区 C15	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0.7
火灾负荷	吸烟率 C21	0.02	0.05	0.1	0.3	0.5	0.3
	超负荷电器使用率 C22	0.01	0.05	0.1	0.2	0.3	0.1
	易燃物可燃物情况 C23	10	20	30	40	50	40
	电气线路耐火能力 C24	1	2	3	4	5	2
消防设施	消火栓和灭火器 C31	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0.6
	火灾报警系统 C32	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0.9
	自动喷淋系统 C33	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0.9
	排烟设备 C34	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0.7
	消防设施布局 C35	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0.6
灭火能力	消防专用通道 C41	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0.7
	消防技能水平 C42	2	5	7	10	20	5
	消防水源 C43	60	30	20	10	5	30
安全疏散系统	安全出口数量 C51	5	4	3	2	1	2
	安全疏散距离 C52	24	26	29	35	40	60
	安全通道结构宽度 C53	2	1.7	1.5	1.3	1.2	1.5
	人群密度 C54	0.1	0.5	1.0	1.5	2	0.13
	疏散标志应急照明 C55	35	30	24	10	5	30
消防安全管理	消防管理机构及其水平 C61	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0.8
	规章制度及其执行情况 C62	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0.5
	火灾应急预案 C63	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0.6
	消防演练 C64	5	4	3	2	1	0
	人群消防安全意识 C65	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0.4



$X_0=[21 \ 2 \ 1800 \ 700 \ 0.7 \ 0.3 \ 0.1 \ 40 \ 2 \ 0.6 \ 0.9 \ 0.9 \ 0.7 \ 0.6 \ 0.7 \ 5 \ 30 \ 2 \ 60 \ 1.5 \ 0.13 \ 30 \ 0.8 \ 0.5 \ 0.6 \ 0 \ 0.4]$

各级评价因素构成的数据序列及对应参考序列构成的评价矩阵如下:

建筑物自身情况:

$$X_1 = \begin{bmatrix} 21 & 2 & 1800 & 700 & 0.7 \\ 2 & 1 & 1000 & 500 & 1 \\ 5 & 2 & 1500 & 600 & 0.8 \\ 8 & 3 & 2000 & 700 & 0.6 \\ 10 & 4 & 3000 & 1000 & 0.4 \\ 20 & 5 & 4000 & 1500 & 0.2 \end{bmatrix}$$

火灾负荷:

$$X_2 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.1 & 40 & 2 \\ 0.02 & 0.01 & 10 & 1 \\ 0.05 & 0.05 & 20 & 2 \\ 0.1 & 0.1 & 30 & 3 \\ 0.3 & 0.2 & 40 & 4 \\ 0.5 & 0.3 & 50 & 5 \end{bmatrix}$$

消防设施:

$$X_3 = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.9 & 0.9 & 0.7 & 0.6 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0.8 & 0.8 & 0.8 & 0.8 & 0.8 \\ 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 \\ 0.4 & 0.4 & 0.4 & 0.4 & 0.4 \\ 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0.2 \end{bmatrix}$$

灭火能力:

$$X_4 = \begin{bmatrix} 0.7 & 5 & 30 \\ 1 & 2 & 60 \\ 0.8 & 5 & 30 \\ 0.6 & 7 & 20 \\ 0.4 & 10 & 10 \\ 0.2 & 20 & 5 \end{bmatrix}$$

安全疏散系统:

$$X_5 = \begin{bmatrix} 2 & 60 & 1.5 & 0.13 & 30 \\ 5 & 24 & 2 & 0.1 & 35 \\ 4 & 26 & 1.7 & 0.5 & 30 \\ 3 & 29 & 1.5 & 1.0 & 24 \\ 2 & 35 & 1.3 & 1.5 & 10 \\ 1 & 40 & 1.2 & 2 & 5 \end{bmatrix}$$

消防安全管理:

$$X_6 = \begin{bmatrix} 0.8 & 0.5 & 0.6 & 0 & 0.4 \\ 1 & 1 & 1 & 5 & 1 \\ 0.8 & 0.8 & 0.8 & 4 & 0.8 \\ 0.6 & 0.6 & 0.6 & 3 & 0.6 \\ 0.4 & 0.4 & 0.4 & 2 & 0.4 \\ 0.2 & 0.2 & 0.2 & 1 & 0.2 \end{bmatrix}$$

3.2 原始数据的无量纲化处理

利用式(3)对 $X_1 \sim X_6$ 进行无量纲化处理:

$$Y_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0.7500 & 0.7333 & 0.8000 & 0.6250 \\ 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 \\ 0.8333 & 0.7500 & 0.8333 & 0.9000 & 0.7500 \\ 0.6667 & 0.5000 & 0.6667 & 0.8000 & 0.5000 \\ 0.5556 & 0.2500 & 0.3333 & 0.5000 & 0.2500 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$Y_2 = \begin{bmatrix} 0.4167 & 0.6897 & 0.2500 & 0.7500 \\ 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 \\ 0.9375 & 0.8621 & 0.7500 & 0.7500 \\ 0.8333 & 0.6897 & 0.5000 & 0.5000 \\ 0.4167 & 0.3448 & 0.2500 & 0.2500 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$Y_3 = \begin{bmatrix} 0.5000 & 0.8750 & 0.8750 & 0.6250 & 0.5000 \\ 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 \\ 0.7500 & 0.7500 & 0.7500 & 0.7500 & 0.7500 \\ 0.5000 & 0.5000 & 0.5000 & 0.5000 & 0.5000 \\ 0.2500 & 0.2500 & 0.2500 & 0.2500 & 0.2500 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$Y_4 = \begin{bmatrix} 0.6250 & 0.8333 & 0.4545 \\ 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 \\ 0.7500 & 0.8333 & 0.4545 \\ 0.5000 & 0.7222 & 0.2727 \\ 0.2500 & 0.5556 & 0.0909 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$Y_5 = \begin{bmatrix} 0.2500 & 0 & 0.3750 & 0.9842 & 0.8333 \\ 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 \\ 0.7500 & 0.8750 & 0.6250 & 0.7895 & 0.8333 \\ 0.5000 & 0.6875 & 0.3750 & 0.5263 & 0.6333 \\ 0.2500 & 0.3125 & 0.1250 & 0.2632 & 0.1667 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$Y_6 = \begin{bmatrix} 0.7500 & 0.3750 & 0.5000 & 0 & 0.2500 \\ 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 & 1.0000 \\ 0.7500 & 0.7500 & 0.7500 & 0.7500 & 0.7500 \\ 0.5000 & 0.5000 & 0.5000 & 0.5000 & 0.5000 \\ 0.2500 & 0.2500 & 0.2500 & 0.2500 & 0.2500 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

3.3 初级安全评价

取分辨率 $\rho=0.5$, 根据式(5)建立各评价子集关联系数矩阵, 进一步结合 2 级指标权重根据式(6), 得到各因素的 2 级关联度和评价等级如下。

建筑物自身状况: $R_1=[0.5766 \ 0.7574 \ 0.7298 \ 0.5380 \ 0.5492]$, 处于关联度最大值对应的等级, 二级即较安全状态。

火灾负荷: $R_2=[0.4489 \ 0.6024 \ 0.6409 \ 0.7818 \ 0.4598]$, 处于较危险状态。

消防设施 : $R_3=[0.6339 \ 0.7296 \ 0.7337 \ 0.5084 \ 0.3912]$, 处于一般安全状态。

灭火能力 : $R_4=[0.5891 \ 0.9125 \ 0.7573 \ 0.5567 \ 0.3813]$, 处于较安全状态。

安全疏散系统 : $R_5=[0.5892 \ 0.6349 \ 0.6459 \ 0.6554 \ 0.5813]$, 处于较危险状态。

消防安全管理 : $R_6=[0.4321 \ 0.5842 \ 0.6423 \ 0.6523 \ 0.5531]$, 处于较危险状态。

3.4 综合评价

将各评价子集的关联度向量组合为关联矩阵:

$$R^* = \begin{bmatrix} 0.5766 & 0.7574 & 0.7298 & 0.5380 & 0.5492 \\ 0.4489 & 0.6024 & 0.6409 & 0.7818 & 0.4598 \\ 0.6339 & 0.7296 & 0.7337 & 0.5084 & 0.3912 \\ 0.5891 & 0.9125 & 0.7573 & 0.5567 & 0.3813 \\ 0.5892 & 0.6349 & 0.6459 & 0.6554 & 0.5813 \\ 0.4321 & 0.5842 & 0.6423 & 0.6523 & 0.5531 \end{bmatrix}$$

根据式(6), 得出评价对象的火灾风险关联度向量为

$$R=[0.5961 \ 0.7645 \ 0.7488 \ 0.6377 \ 0.5267]$$

由关联度大小可知, 该宿舍楼的火灾风险等级为 2 级, 即评价结果较安全。同时 2 级关联度分析表明, 该宿舍楼在火灾负荷、安全疏散系统、消防安全管理 3 个方面较为薄弱, 与该宿舍楼人口集中、可燃易燃物集中、高层建筑安全疏散隐患多、且缺乏消防演练等相对应。

4 结论

通过分析高校学生宿舍火灾的特点和原因, 建立了高校火灾风险评价指标体系, 在此基础上根据灰关联理论建立了灰关联评价模型, 并进行了实例应用。主要得到以下结论:

(1) 灰关联评价方法简单易行, 可对高校学生宿舍火灾风险进行定量评估, 评估结果准确可靠。

(2) 灰关联评价方法除了可评估高校学生宿舍整体的火灾风险之外, 还可定量找到薄弱环节, 从而提出针对性控制和改进措施。如实例 2 级灰色关联度分析结果表明, 该宿舍楼在火灾负荷、安全疏散系统、消防安全管理 3 个方面较为薄弱, 该结果与男生宿舍楼易燃可燃物较多且集中、高层建筑安全疏散隐患较多、该校应急预案不完善缺乏消防演练等事实相对应。该校需要加强学生宿舍的消防管理, 切实落实防火责任制度; 加大消防安全教育, 提高学生的安全意识和自防自救能力; 进一步完善火灾应急预案, 开展火灾应急演练, 及时发现管理漏洞并改进。

(3) 本研究只建立了高校学生宿舍火灾安全的 2 级灰关联评价模型, 对 3 级、4 级等评估模型可依次建立。此外, 多级灰关联评价模型具有普适性, 可应用于许多领域。

参考文献 (References)

[1] 曲捷, 于深源. 社会化管理下的高校学生公寓消防安全问题浅析[J]. 中国安全生产科学技术, 2012, 8(11): 211-215.
Qu Jie, Yu Shenyuan. Journal of Safety Science and Technology, 2012, 8(11): 211-215.

[2] 张村峰, 卞奇侃, 蒋军成. 基于"事故树-层次分析法"的高校学生宿舍火灾风险分析[J]. 中国安全生产科学技术, 2011, 7(10): 100-105.
Zhang Cunfeng, Bian Qikan, Jiang Juncheng. Journal of Safety Science and Technology, 2011, 7(10): 100-105.

[3] 罗志勇. 高等院校学生公寓火灾隐患及其预防对策[J]. 湘潭师范学院学报: 自然科学版, 2009, 31(1): 130-131.
Luo Zhiyong. Journal of Xiangtan Normal University: Natural Science Edition, 2009, 31(1): 130-131.

[4] 钟诗颖. 高校学生宿舍火灾风险评价及控制研究 [D]. 湘潭: 湖南科技大学, 2012.
Zhong Shiyong. Study on fire risk assessment and control for college dormitory [D]. Xiangtan: Hunan University of Science and Technology, 2012.

[5] 贾水库, 田斌. 层次分析法在高层学生公寓火灾危险性评价中的应用 [J]. 中国安全科学学报, 2009, 19(5): 114-118.
Jia Shuiku, Tian Bin. China Safety Science Journal, 2009, 19 (5): 114-118.

[6] 王翠玲. 高校宿舍火灾风险的模糊综合评估与软件设计 [D]. 北京: 北京建筑工程学院, 2009.
Wang Cuiling. Fuzzy comprehensive assessment and software design of university dormitory fire risk [D]. Beijing: Beijing University of Civil Engineering and Architecture, 2009.

[7] 贾子若. 高等学校学生宿舍火灾风险综合评价研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2009.
Jia Ziruo. Research on fire risk evaluation for university dormitories [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2009.

[8] 毛龙, 乐增, 金润国. 高校宿舍火灾数值模拟与分析[J]. 河南理工大学学报: 自然科学版, 2009, 28(4): 418-423.
Mao Long, Le Zeng, Jin Runguo. Journal of Henan Polytechnic University: Natural Science Edition, 2009, 28(4): 418-423.

[9] 文茂盛. 通风对学生宿舍火灾影响数值分析 [J]. 科技创新导报, 2012(22): 219-221.
Wen Maosheng. Science and Technology Innovation Herald, 2012(22): 219-221.

[10] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.
Deng Julong. Grey theory basis [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2002.

[11] 张叶, 何嘉鹏. 高层建筑火灾安全疏散二级灰关联评估[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(1): 24-31.
Zhang Ye, He Jiapeng. Journal of Natural Disasters, 2009, 18 (1): 24-31.

[12] 徐晓萌, 王玉华, 王盟盟, 等. 灰色系统理论在高校学生公寓火灾风险评价中的应用[J]. 中国安全生产科学技术, 2012, 8(9): 138-144.
Xu Xiaomeng, Wang Yuhua, Wang Mengmeng, et al. Journal of Safety Science and Technology, 2012, 8(9): 138-144.

(责任编辑 朱宇)