

Fire Risk Analysis of Student Apartment Based on Accident Tree Method

Jiangying Yuan, Youpeng Cheng, Lifen Ye

College of Engineering, Sichuan Normal University, Chengdu Sichuan
Email: 295457972@qq.com

Received: May 11th, 2018; accepted: May 29th, 2018; published: Jun. 5th, 2018

Abstract

In view of the fire characteristic of fast fire spread and difficult evacuation in the student's apartment, once the fire happens, it is prone to cause group death. The cause of the accident is summarized and analyzed by the investigation and analysis of the fire accident in the student's apartment. The probability of the basic events is considered by the accident tree analysis (FTA) method, and qualitative and quantitative analysis was carried out. The minimum path set and the minimum cut set are calculated, and the risk is identified by the analysis of its structural importance, probability importance and critical importance. The ways to control the accident are found, and the prevention measures for such accidents are obtained to eliminate the fire hidden in the student's apartment safety system. It has certain guiding significance for preventing similar fire accidents.

Keywords

Building Fire, FTA, Fire Prevention

基于事故树法的学生公寓火灾风险分析

袁江滢, 程友鹏, 叶丽芬

四川师范大学, 工学院, 四川 成都
Email: 295457972@qq.com

收稿日期: 2018年5月11日; 录用日期: 2018年5月29日; 发布日期: 2018年6月5日

摘要

针对学生公寓具有火灾蔓延快、人员疏散困难等火灾特性, 一旦发生火灾容易造成群死群伤这一问题, 本文通过学生公寓火灾事故的调查分析, 归纳总结事故致因因素, 利用事故树分析法(FTA)考虑各项基本事件的概率, 并进行定性和定量分析。计算出最小径集和最小割集, 结合其结构重要度、概率重要度、

临界重要度的分析, 辨识其危险性, 找出控制事故发生的途径, 得出此类事故的预防措施, 消除学生公寓安全系统中存在火灾的隐患。这对类似火灾事故的预防具有一定指导性意义。

关键词

建筑火灾, 事故树, 火灾预防

Copyright © 2018 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

1. 引言

近年来, 高校火灾事件层出不穷, 火灾常伴随着经济损失、人员伤亡和社会负面影响等一系列严重后果。随着高校扩招工作的开展, 高校学生人数不断增加[1], 学生公寓人员密集, 生活用品种类繁多且可燃、易燃物居多, 火灾危险性大大提高, 给高校火灾消防安全带来了新的考验[2]。

国内外学生公寓火灾事故的报道更是屡见不鲜, 有些甚至是群死群伤的恶性事故[3], 2008年上海商学院女生宿舍因违规使用“热得快”引发火灾, 导致4名女学生从楼上跳下当场身亡[4]; 2017年5月17日凌晨, 清华大学学生宿舍发生起火, 无人伤亡。可见高校学生公寓火灾防范工作迫在眉睫。

目前, 高等学校学生公寓的火灾事故预防与管理大多是定性描述[5], 立足于理论层面。而本文考虑基本事件发生的概率对事故的影响, 利用事故树模型定量计算系统发生火灾的概率, 采取针对性的措施, 从而提高高校总体消防安全能力。

2. 事故树分析法基本理论

事故树分析法是一种图形演绎方法[6], 在一定条件下作层层深入分析事故, 由事故结果到事故原因。它在表达系统各事件内在联系的同时指出单元故障事故之间的逻辑关系, 主要包括最小径集和最小割集的计算, 以及结构重要度、概率重要度、临界重要度的求解及排序。便于找出系统的薄弱环节[7]。事故树方法的优点在于: 因果关系直观、明了, 思路清晰, 逻辑性强, 可定性分析又可定量分析[8], 为评价和改善系统的安全性提供有力依据[9]。

3. 学生公寓火灾事故致因因素的分析

3.1. 起火因素繁杂

学生公寓内人员密集, 电负荷大, 线路交错, 短路、过载等情况时有发生, 稍有不慎就会引发电气火灾。我国经济发展迅速, 土地资源稀缺, 新型学生公寓正往高层建筑发展。据统计, 每栋学生公寓少者居住1000多名学生, 多者4000~5000人[10]。同时学生个人不良行为, 如使用违规电器, 室乱接、乱拉电线, 使用电炉、热得快、电熨斗、电吹风等也影响着火灾发生概率, 除此之外学生宿舍还存在明火源, 如熄灯点蜡烛、夏天点蚊香和抽烟等现象。而寝室内存放着大量的易燃物质, 如书本、木质桌椅、棉被和其他塑料制品。多种火灾隐患同时存在, 若不及时消除, 则后果不堪设想。

3.2. 火势蔓延较快

由于学生公寓内部空间复杂, 且层层相同, 有的缺乏防火分隔, 且建筑内楼梯井、通风管道井、电

缆井等竖向管井多,一旦失火烟囱效应明显[11],顷刻间形成多层立体火灾的概率极大,形成猛烈的燃烧,速度极快且火焰温度高。当室内温度达到 400~600 摄氏度,即会发生轰然,并很快形成大面积猛烈燃烧[8]。若探测报警器和自动灭火系统缺失或失灵,无法在第一时间灭火,则会导致火势迅速蔓延;基本的灭火设备如灭火器和消火栓等,因为检查不到位而失效,更是火情蔓延的重要因素;学生对消防知识知之甚少,消防素质过低,对火情判断有误,在可以直接灭掉的火灾初期不采取相应措施,从而加重火情。

4. 学生公寓火灾事故树分析

4.1. 学生公寓火灾伤亡事故树构建

笔者通过对三所高校共 18d 栋高校学生公寓进行实地调研,对存在的火源隐患、可燃物种类及数量、建筑防火设计以及人员消防素质进行调查,分析归纳得出 36 个不同的基本事件,构建事故树如图 1 所示,各符号对应的基本事件在表 1 中列出。

根据参考文献[9][10][11],以及通过 1616 起学生公寓火灾事故原因统计分析,求出各基本事件发生频率,为保守和安全起见,乘以 1.5 的安全系数,最终得出概率值如表 2 所示。

4.2. 最小割集和最小径集的计算

事故树布尔代数表达式如下:

$$\begin{aligned} T &= M_1 \cdot M_2 = (M_3 \cdot M_4)(M_{10} + M_{11}) \\ &= (X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} \\ &\quad + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} + X_{19}) \cdot (X_{20} + X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25}) \\ &\quad \cdot (X_{26} + X_{27} + X_{28} + X_{29} + X_{30} + X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} + X_{36}) \end{aligned} \quad (1)$$

根据布尔代数,可以求出该事故树的最小割集有 1254 个,每个最小割集表示一种顶上事件发生的可能,可见导致学生公寓火灾伤亡的因素有很多。

顶上事件不发生只需要最小径集包含的基本事件不发生即可。根据布尔代数得出该事故树的最小径集有 3 个,分别为:

$$\{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{18}, X_{19}\}, \{X_{20}, X_{21}, X_{22}, X_{23}, X_{24}, X_{25}\}, \{X_{26}, X_{27}, X_{28}, X_{29}, X_{30}, X_{31}, X_{32}, X_{33}, X_{34}, X_{35}, X_{36}\}。$$

顶上事件不发生只需要最小径集包含的基本事件不发生即可。选择消除基本事件最少的最小径集是阻止顶上事件发生的最省事、最经济的途径。

4.3. 结构重要度分析

结构重要度分析是从事故树的结构上分析每个基本事件对顶上事件的影响程度,不考虑基本事件发生概率,是一种定性分析。结构重要度越大,对顶上事件发生“学生公寓火灾事故”的影响越大。

计算得出结构重要度的排序为:

$$\begin{aligned} I(X_{25}) = I(X_{24}) = I(X_{23}) = I(X_{22}) = I(X_{21}) = I(X_{20}) > I(X_{36}) = I(X_{35}) = I(X_{34}) = I(X_{33}) = I(X_{32}) = I(X_{31}) \\ = I(X_{30}) = I(X_{29}) = I(X_{28}) = I(X_{27}) = I(X_{26}) > I(X_{19}) = I(X_{18}) = I(X_{17}) = I(X_{16}) = I(X_{15}) = I(X_{14}) = I(X_{13}) = \\ I(X_{12}) = I(X_{10}) = I(X_9) = I(X_8) = I(X_7) = I(X_6) = I(X_5) = I(X_4) = I(X_3) = I(X_2) = I(X_1)。 \end{aligned}$$

综上,结构重要度分为三个等级,等级 1 为 $X_{20}, X_{21}, X_{22}, X_{23}, X_{24}, X_{25}$,即书本,木质衣柜、桌椅棉被、衣物,窗帘、床帘,塑料桶、盆,行李箱等可燃物,等级 2 为导致火灾蔓延的因素,等级 3 为火源。

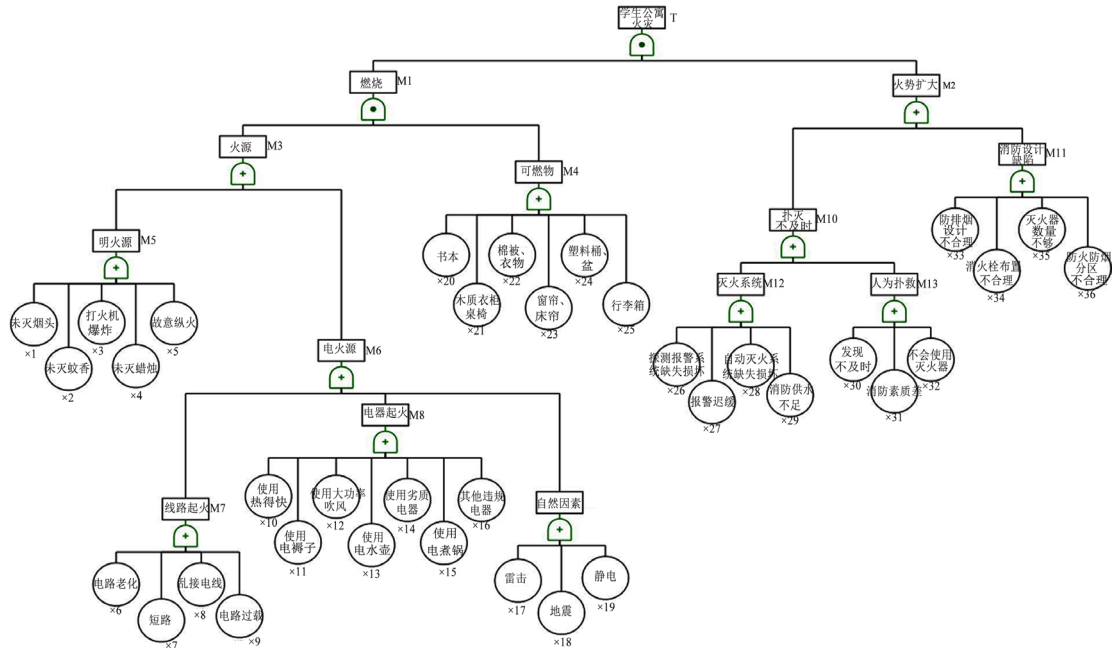


Figure 1. Student apartment fire accident tree
图 1. 学生公寓火灾事故树

Table 1. Student apartment fire accident tree basic events
表 1. 学生公寓火灾事故树的基本事件

代码	基本事件	代码	基本事件
T	学生公寓火灾	X12	使用大功率电吹风
M1	燃烧	X13	使用烧水壶
M2	火势扩大	X14	使用劣质电器
M3	火源	X15	使用电煮锅
M4	可燃物	X16	其他违规电器
M5	明火源	X17	雷击
M6	电火源	X18	地震
M7	线路起火	X19	静电
M8	电器起火	X20	书本
M9	自然因素	X21	木质衣柜、桌椅
M10	扑救不及时	X22	棉被、衣物
M11	消防设计缺陷	X23	窗帘、床帘
M12	灭火系统	X24	塑料桶、盆
M13	人为扑救	X25	行李箱
X1	未灭烟头	X26	探测报警器缺失、损坏
X2	未灭蚊香	X27	报警迟缓
X3	打火机爆炸	X28	自动灭火器缺失、损坏
X4	未灭蜡烛	X29	消防供水不足
X5	故意纵火	X30	发现不及时
X6	电路老化	X31	消防素质差
X7	短路	X32	不会使用灭火器
X8	乱接电线	X33	防排烟设计不合理
X9	电路过载	X34	消防栓布置不合理
X10	使用热得快	X35	灭火器数量不够
X11	使用电褥子	X36	防火、防烟分区不合理

4.4. 概率重要度分析

概率重要度分析是在结构重要度基础上加入基本事件发生概率后给顶上事件发生概率的影响[12], 是一种定量分析。

根据公式(2)

$$I_q = \frac{\partial Q}{\partial q_i} \quad (2)$$

求得概率重要度为:

$I_q(X_{31}) = 0.0899$, $I_q(X_{32}) = I_q(X_{27}) = 0.0889$, $I_q(X_{36}) = I_q(X_{33}) = I_q(X_{30}) = 0.0881$, $I_q(X_{34}) = I_q(X_{35}) = I_q(X_{26}) = I_q(X_{28}) = I_q(X_{29}) = 0.0872$, $I_q(X_{20}) = I_q(X_{23}) = 0.0855$, $I_q(X_{21}) = 0.0846$, $I_q(X_{22}) = I_q(X_{24}) = 0.0837$, $I_q(X_{25}) = 0.0829$, $I_q(X_{15}) = 0.194$, $I_q(X_{12}) = 0.192$, $I_q(X_5) = I_q(X_8) = I_q(X_9) = I_q(X_{13}) = I_q(X_{14}) = I_q(X_{16}) = 0.0190$, $I_q(X_{17}) = I_q(X_{19}) = 0.0188$, $I_q(X_3) = I_q(X_6) = I_q(X_{10}) = I_q(X_{11}) = I_q(X_{18}) = 0.0186$, $I_q(X_1) = I_q(X_2) = I_q(X_4) = I_q(X_7) = 0.0184$ 。

显然, X_{31} , X_{32} , X_{27} , X_{36} , X_{33} , X_{30} 是影响顶上事件发生的重要因子, 即: 消防素质差, 不会使用灭火器, 报警迟缓, 防烟防火分区不合理, 防排烟设计不合理, 发现不及时。

4.5. 临界重要度分析

临界重要度则综合定性和定量分析两种方式, 从敏感度和概率双重角度衡量各基本事件在事故树中的重要度。

根据公式(3)

$$I_c = \frac{\partial Q / \partial q_i}{Q / q_i} \quad (3)$$

该事故树的临界重要度的结果为:

$I_c(X_{20}) = I_c(X_{23}) = 0.2091$, $I_c(X_{31}) = 0.1759$, $I_c(X_{21}) = 0.1655$, $I_c(X_{32}) = I_c(X_{27}) = 0.1306$, $I_c(X_{22}) = I_c(X_{24}) = 0.1286$, $I_c(X_{33}) = I_c(X_{36}) = I_c(X_{30}) = 0.0862$, $I_c(X_{25}) = 0.0810$, $I_c(X_{15}) = 0.0665$, $I_c(X_{12}) = 0.0564$, $I_c(X_5) = I_c(X_8) = I_c(X_9) = I_c(X_{13}) = I_c(X_{14}) = I_c(X_{16}) = 0.0465$, $I_c(X_{34}) = I_c(X_{35}) = I_c(X_{28}) = I_c(X_{29}) = I_c(X_{26}) = 0.0426$, $I_c(X_{17}) = I_c(X_{19}) = 0.0368$, $I_c(X_3) = I_c(X_6) = I_c(X_{10}) = I_c(X_{11}) = I_c(X_{18}) = 0.0273$, $I_c(X_1) = I_c(X_2) = I_c(X_4) = I_c(X_7) = 0.0180$ 。

可知, X_{20} , X_{23} , X_{31} , X_{21} , X_{32} , X_{27} 对顶上事件的发生有着至关重要的影响, 即: 书本, 窗帘、床帘, 消防素质差, 木质衣柜、桌椅, 不会使用灭火器, 报警迟缓。

综上, 将事故树分析中结构重要度、概率重要度、临界重要度各项指标排序中前 6 个基本事件归纳于表 3。

5. 结论

本文运用事故树对高校学生公寓火灾在进行定性分析的同时加入基本事件的概率值, 使问题量化, 从而找出学生公寓火灾事故发生的具体的原因, 结果更加精确有力, 为此类火灾事故的预防措施提供明确的切入点。

1) 根据最小径集和结构重要度可知, 降低学生公寓火灾事故发生的概率, 应从消除火源、减少可燃物、控制火灾的蔓延三个方面入手。如减少可燃物可将木质的桌椅、衣柜用其他的材料代替, 或在其表面涂上阻燃剂。

Table 2. Student apartment fire accident tree basic event probability value
表 2. 学生公寓火灾事故树基本事件概率值

基本事件代码	概率 q_i	基本事件代码	概率 q_i
X ₁	0.02	X ₁₉	0.04
X ₂	0.02	X ₂₀	0.05
X ₃	0.03	X ₂₁	0.04
X ₄	0.02	X ₂₂	0.03
X ₅	0.05	X ₂₃	0.05
X ₆	0.03	X ₂₄	0.03
X ₇	0.02	X ₂₅	0.02
X ₈	0.05	X ₂₆	0.01
X ₉	0.05	X ₂₇	0.03
X ₁₀	0.03	X ₂₈	0.01
X ₁₁	0.03	X ₂₉	0.03
X ₁₂	0.06	X ₃₀	0.02
X ₁₃	0.05	X ₃₁	0.04
X ₁₄	0.05	X ₃₂	0.03
X ₁₅	0.07	X ₃₃	0.02
X ₁₆	0.05	X ₃₄	0.01
X ₁₇	0.04	X ₃₅	0.01
X ₁₈	0.03	X ₃₆	0.02

注: $q_i = 0.6$ 时表示事件特别容易发生; $q_i = 0.05$ 时表示事件非常容易发生; $q_i = 0.03$ 时表示事件容易发生; $q_i = 0.02$ 时表示事件可发生; $q_i = 0.01$ 时表示事件不能发生[5]。

Table 3. Summarization of results
表 3. 结果归纳

指标	基本事件
结构重要度	X ₂₀ , X ₂₁ , X ₂₂ , X ₂₃ , X ₂₄ , X ₂₅
概率重要度	X ₃₁ , X ₃₂ , X ₂₇ , X ₃₆ , X ₃₃ , X ₃₀
临界重要度	X ₂₀ , X ₂₃ , X ₃₁ , X ₂₁ , X ₃₂ , X ₂₇

2) 概率重要度结果显示: 建筑物的消防设计不合理、消防系统发生故障是导致学生公寓火灾事故的重要原因。因此在学生公寓建设初期应重视其消防设计, 在建筑物投入使用期间定期对消防设施进行检修, 可有效降低火灾发生的概率。

3) 根据临界重要度结果可知: 学生在火灾事故中起着至关重要的作用。因此, 学校应通过加强消防教育、定期安排消防演练等手段提高学生消防素质, 使人人都掌握相应的灭火技能, 学会使用灭火设备。

基金项目

四川省教育厅重点项目: “高速列车火灾动力学特性研究”, 编号: 16ZA0055。

参考文献

- [1] 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]. 中国安全学报, 2009, 19(5): 114-118.
- [2] 赵江平, 等. 高层学生公寓防火体系的构建[J]. 中国安全生产科学技术, 2012, 8(1): 97-102.
- [3] 郑乐. 高层建筑火灾风险分析及对策研究[J]. 中国安全科学学报, 2009, 19(10): 72-76.
- [4] 张光剑, 戴晓江, 李伟. 大型宾馆火灾事故树分析[J]. 安全工程与环境, 2007, 14(4): 83-85.
- [5] 张村峰, 等. 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, 10(7):

100-105.

- [6] 高云, 张浩. 高层建筑火灾致因因素分析与消防安全对策[J]. 中国安全科学学报, 2009, 19(6): 149-153.
- [7] 刘辉, 等. 基于事故树法的高校学生宿舍火灾分析[J]. 吉林化工学院学报, 2014, 31(5): 76-79.
- [8] 王泰升, 等. 用事故树分析(FTA)预防事故、分析事故[J]. 河北化工, 1989(3): 56-59.
- [9] 尤立明, 等. 事故树分析在高校实验室消防安全管理中的应用[J]. 试验科学与技术, 2008, 25(6): 168-170.
- [10] 王振, 刘茂. 应用区间层次分析法(IAHP)研究高层建筑火灾安全因素[J]. 安全与环境学报, 2006, 6(1): 12-15.
- [11] 肖旻, 史毅, 等. 高校学生宿舍火灾荷载调查研究[J]. 北京建筑工程学院学报, 2009, 25(3): 27-31.
- [12] 霍然, 胡源, 李元洲. 建筑火灾安全工程导论[M]. 合肥: 科技大学出版社, 2009.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2330-4677, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

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

期刊邮箱: jsst@hanspub.org