

# 城市综合体火灾事件诱发因素研究

## ——基于解释结构模型（ISM）

陈云国

**摘要：**城市综合体的蓬勃建设在满足城市多元化社会功能需求的同时，也对大型火灾事件的防范和应急管理提出了新要求。运用系统工程理论，借助 Matlab 软件，建立城市综合体火灾事件诱发因素的多层递阶解释结构模型，厘清了各诱发因素间的层次关系。研究发现，城市综合体安保人员的防火巡查不到位是火灾发生的根源，日常消防演练不足是导致灾时前期处置不当的主要原因，而交通拥堵与消防部署和应急资源配置失灵是延误最佳救援时间的直接原因。根据模型结果，提出火灾风险管理策略的四个层次，即制定并严格落实消防规划、加强公众自救互救意识、建立应急指挥响应机制、实现智慧消防等方面。

**关键词：**城市综合体；火灾事件；诱发因素；解释结构模型

**中图分类号：**F293

**文献标识码：**B

**文章编号：**1001-9138-（2018）01-0071-79

**收稿日期：**2018-01-03

### 1 引言

城市及其中心城区的土地资源和容量的有限性与人口和产业增长的急剧性催生了集约型城市发展模式，并对城市物理空间规划提出了新要求。城市综合体是一定区域内集商业、办公、酒店、餐饮、文娱、教育和交通等三种及三种以上业态、功能复合、运转高效的建筑群，通常位于城市中心、商务核心区或主干道沿线的城郊结合区域；其开发模式包括CBD中心均衡模式和写字楼、酒店、住宅、商业核心模式等五种，具有空间尺度大、复合功能配置、通道树型交通体系、地标式建筑、高科技设

施集成等典型特征。

建筑群落的立体化发展，为实现城市不同生活单元及其空间功能的有效利用提供了解决之道，成为城市建设的必然趋势。近年来，大型城市综合体建设呈现爆发式增长态势。全国一二线城市争相建设城市综合体，其地标性特征成为多数城市致力于重点打造的名片。其中，多数城市综合体为100米以上的超高层或超限高层建筑，大半数建筑面积超过30万平方米。

然而，尽管城市综合体的出现既能有效缓解城市资源限制问题，又能满足城市的多元化社会功能需求。但是，综合体多地

---

作者简介：陈云国，华中科技大学公共管理学院博士研究生，公安部消防局管理人员。

处城市核心区域,建筑体量庞大、人群集聚,向火灾事件的应急管理提出新要求。一方面,多类型火灾易耦合。如酒店、车库、交通等其中任何一类场所的火灾,在功能空间相互联结的城市综合体内,易出现连锁反应,导致单一火灾类型在同一空间叠加放大而引发重大灾难。另一方面,人员密集疏散难度大。城市综合体内的餐饮、文娱等经营性场所人员聚集,一旦发生火灾,大量人员集中逃生,但安全出入口和疏散通道等设施有限,有毒烟气在走道、房间、楼层、管井、连廊等部位迅速流动,极易导致重大人员伤亡。城市综合体及其周围密集建筑物火灾事故屡有发生,若其中单一建筑或特定空间发生火灾,灾情迅速蔓延至周围建筑群,可能造成的人员伤亡与经济损失惨重。

众多重大乃至特大突发火灾事件的发生引发学术界与实务界的深刻反思,本文将重点放在城市综合体火灾事件的诱发因素上,试图挖掘相关因素,寻找因素间的关联耦合与分级关系,并从根源上寻找火灾事件发生的应对策略。

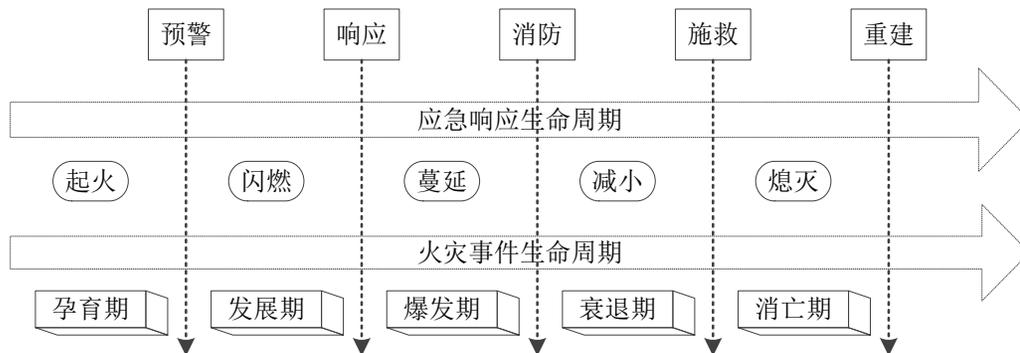
## 2 研究现状

在城市火灾原因研究方面,现有研究可分为宏观与微观两方面。宏观研究方面,研究者将火灾与经济发展和气候变化相关联。在社会经济因素的影响研究中,国外学者认为火灾的发生与社会经济因素负有关(Jennings, 1999; Holborn, 2004),如火灾发生率与收入存在强烈负相关关系(Gunther, 1981),与年龄、民族、住房拥挤、失业率等因素相关及房屋结构、吸烟酗酒、单亲、低教育水平有关(Duncanson,

2002; Smith等, 2008)。国内一些学者认为火灾与区域环境及当地经济发展密切相关,一些研究认为经济越发达的区域,火灾发生率越高(杨立中, 2003; 吴松荣, 2006),另一些学者则认为经济发展对火灾态势有改善(徐波和王振波, 2011),同时,教育水平和火灾率也存在正相关关系(彭青松, 2006)。在气候变化因素的影响中,国内外研究相似,认为火灾发生次数与风速、气温正相关,随着气温的上升,城市火灾呈上升趋势,而湿度、降水量等因素与火灾强度负相关(Jonathan等, 2011; 崔锸, 1995)。微观研究方面,多数研究者认为火灾发生与电器设备使用密不可分,且电气火灾多发生在经济发达、用电量大的地区,尤其是在天气炎热或寒冷时用电量激增时期,这也印证了宏观研究中的部分致因。此外,还有一些学者在研究火灾事件应急管理与消防员心理过程中,涉及火灾诱因分析,认为城市的区域布局、消防力量及人员素质制约我国火灾风险的发生(伍爱友等, 2009)。

在城市综合体火灾原因相关研究方面,很少有学术论文专门予以讨论,鉴于城市综合体的构成多元,本文选取直接相关文献进行回顾,包括研究城市高层建筑、城市住宅、城市管线、城市轨道交通等方面发生火灾的成因及预防:高层建筑火灾危险性主要表现在人员疏散困难、建设施工历史欠账问题较严重(张玉腾和戴武娟, 2014);住宅发生火灾通常与人的不安全行为或物的不安全因素所致,如电器使用导致短路、电气设备老化或烟头等可燃物起火等(李庆功等, 2009);城市管线的火灾(贺雷等, 2015);对于城市轨道交通火灾的研究认为

图 1：火灾事件生命周期过程



要重点关注乘客乱扔烟头和电线短路问题（王艳辉等，2013）。在研究方法使用上，通常采取事件树法、事故树法、模糊综合评价法、灰色关联分析、层次分析法等评估火灾风险或进行火灾发生预测（景国勋和张悦，2009；楚志勇，2011；卢亿，2011）。

总体而言，国内外对城市综合体火灾事件诱发因素的相关研究很少。本文将专门针对这一主题，从多维度解构火灾事件，挖掘事件发生的根本性因素，帮助政策制定者防患于未然。

### 3 建立城市综合体火灾灾害诱发因素的解释结构模型

解释结构模型（ISM, Interpretative Structural Modeling）方法是系统工程学中广泛应用的一种分析方法，由Warfield教授于1973年为分析复杂社会系统问题而开发的。在使用时的具体步骤包括，首先借助经验与前人研究成果寻找子系统要素并建立要素间的相互关系，然后使用矩阵变换求解要素间的邻接矩阵和可达矩阵，借助计算机求解要素间的层次关系，识别具有表层、中层、深层影响的关键作用点（程

智慧，2015）。

#### 3.1 火灾事件诱因系统分析

根据突发事件生命周期理论，如图1所示，火灾事件的孕育-爆发-衰退-结束是从起火、闪燃到火势扩大、黑烟喷出，继而燃烧扩散到整幢甚至相邻建筑物，引发次生灾害最后到可燃物质燃烧殆尽、火势衰退直至完全熄灭的全过程。本文将火灾事件的诱发因素集作为系统S，将火灾事件发生定义为系统的问题目标，那么，在事件发生的不同生命周期阶段可能存在不同诱因。下将结合系统分析方法，通过对相关文献全面回顾，具体阐述火灾事件的诱因。

##### 3.1.1 孕育期

火灾灾害的发生是多种因素耦合的结果，在孕育期，火灾的诱因主要是指城市综合体本身存在的火灾危险源、消防安全设施不足与安全管理水平不足以及其他不稳定因素，具体而言：

一是城市综合体火灾危险源，可分为建筑物火灾风险源和建筑施工火灾风险源。由于城市综合体平均建设周期约3年至8年或更长时间，建筑物施工过程中发生火灾的几率增加。在原因分析中，前者包括：①

输电配电线路故障或老化；②电气设备故障；③违章使用超限大功率电器设备；④地下管线老化；⑤可燃装饰材料过多等方面。后者包括：①可燃物堆积；②施工人员不安全施工作业，如不按规范操作设备，动火作业或明火使用不慎；③疲劳施工等方面。

二是城市综合体消防安全设施不足。根据国家2015年5月1日实施《建筑设计防火规范》(GB50016-2014)的有关规定，民用建筑的层数和面积需达到相对应的耐火等级要求，相邻建筑物有防火间距，建筑物内部构造，如管道井、楼梯间、消防栓、给水管道等均须达到规定的设计标准。但在实际中，很多建筑物建设并未达到相应的要求，存在消防栓灭火系统布局不力、自动喷水灭火系统老化或维护不力、通风排烟管道堵塞、建筑阻燃材料使用不当等问题隐患。

三是城市综合体安全管理水平不足。建筑物内物业或安保人员的安全管理素质，如员工防火巡查不到位甚至擅离职守、消防演练不足，对火灾隐患触发具有直接影响。

四是其他不稳定因素。①天然气管道漏气在外因作用下引发爆炸；②人为纵火；③雷击、地震、台风等自然灾害引发；④燥热气候导致可燃物自燃等。

### 3.1.2 发展期

发展期是火灾发生的初期阶段，通常燃烧开始的5-20分钟内，火势易被控制。但是，火灾未被及时察觉或即使察觉却未被扑灭，就会导致火灾在初期扑救不力而逐步扩散蔓延。该阶段火灾事件诱因主要与室内消防栓或者排烟系统失效有关，或

因监控报警设备失灵而无法及时通知可能受灾人群，以及民众自救互救意识淡薄、灾时群聚恐慌，均可能导致起火面积扩大至整个防火分区。

### 3.1.3 爆发期

爆发期是火灾事件超过正常阈值并对周围环境造成巨大灾害的过程。在火势迅速扩大过程中，大量热烟气流流动，引燃周围可燃物品，继而导致装潢建筑材料燃烧掉落，建筑物内人员被浓烟火焰包裹。建筑物栋与栋间朝下风方向蔓延，层与层间朝管道楼梯向上蔓延。此时，火灾主要需要依靠消防队扑灭。该阶段火灾事件风险诱因可能与消防有关：①建筑物内工作人员惊慌失措或采取不当措施而延误救火时机；②城市中心区交通拥堵阻碍消防队抵达现场；③消防部署少或站点位置偏远而责任面积大；④消防资源配置不足或滞后；⑤建筑物内受灾民众混乱逃窜而发生踩踏事件；⑥建筑物倒塌引发次生灾害。

### 3.1.4 衰退期

衰退期火势下降，是受灾人员疏散与救援的主要阶段，城市综合体因人流量大且人员高度密集、可燃物多而为救援造成极大困难。该阶段火灾事件风险诱因包括：①应急预案实施不力；②现场指挥效率低下；③建筑物内疏散系统故障，如疏散通道、避难平台、照明系统等出现故障；④消防、医疗、交通等多部门协同不力等。

### 3.1.5 消亡期

消亡期是火灾事件结束，恢复性社会生产活动全面展开的阶段。此过程中存在的风险诱因主要体现在建筑物重建过程中可能出现二次突发事件，受灾人群心理疏



图 3: 邻接矩阵

1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34			
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
9	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0		
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0		
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0		
13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
14	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0		
16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	
30	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
33	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

A就是表达系统间相互关系最简捷的形式。

用公式可表示为  $A=[a_{ij}]$

式中:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{因素i到因素j有连线} \\ 0, & \text{因素i到因素j无连线} \end{cases} (i, j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

根据上文分析,得到邻接矩阵A如图3所示。

进一步通过 Matlab 软件计算得到可达矩阵R,用以描述因素i是否可以达到因素j。因此,对  $n \times n$  的矩阵A,加一单位矩阵I,计算其n次幂,得到可达矩阵,如图4所示,本文  $n=34$ 。

### 3.4 级间分解

级划分的目的是将系统各要素分为不同的级。对于每个要素  $P_i$ , 将其可达要素组成的集合定义为可达集  $R(P_i)$ , 即可达矩阵中对应于  $P_i$  的行中所有元素为1的列所对应的要素组成。将到达  $P_i$  的要素组成

的集合定义为  $P_i$  的前因集  $A(P_i)$ 。如果用  $L_0, L_1, L_2, \dots, L_i$  表示从上到下的各级,那么  $P_i$  的前因集  $A(P_i)$  包括  $P_i$  本身、可到达的下级要素及与它同级的强链接要素。顺次找出最高级及次高级等单元要素,直至  $S-L_0-L_1-L_2-\dots-L_{j-1}=\emptyset$  时停止运算。此时,级间分解的结果记为  $S=\{L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_6, L_7\}$ , 各级因素如表2所示。

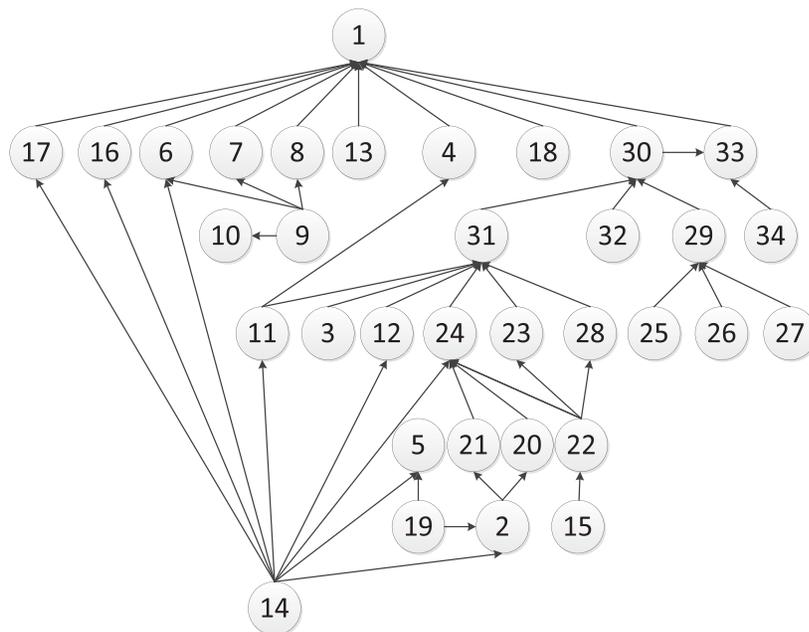
表 2: 级间分解结果

级数	级内因素
$L_1$	1
$L_2$	4,6,7,8,13,16,17,18,30,33
$L_3$	9,10,29,31,32
$L_4$	3,11,12,23,24,25,26,27,28
$L_5$	5,20,21,22
$L_6$	2,15,19
$L_7$	14

图 4: 可达矩阵

1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34		
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	
30	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
33	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

图 5: 解释结构模型



3.5 结构矩阵和结构模型

使用级间分解的结果，画出因素之间的关系，得到城市综合体火灾事件诱发因素的解释结构模型如图5所示。

4 城市综合体火灾灾害诱发因素结构模型的解释

图5建立了具有七层的递阶结构模型，是火灾事件的诱发因素集合结构。根据ISM

理论,结合人-机-环境的系统可靠性理论,图中的连接线揭示出这些诱因之间的层次关系。

第一层是研究目标,第二层是影响火灾事件发生的最直接因素,如违章使用电气设备、明火使用不慎、人为纵火等均是火灾发生的人为导火索,直接促成了火灾事件产生。同时,处于施工状态的综合体内可燃物堆积或建筑阻燃材料使用不当,那么在其周围出现火花时便可能直接引起燃烧直至不可控制。如果搜救过程中现场指挥效率低下,次生灾害发生,那么突发火灾事件便可能演化为重大火灾事故。

第三层与第五层为间接的具体化因素。其中,第三层因素大多数是灾后应急管理过程中出现的风险原因,应急管理处置不当会直接影响火势蔓延。例如某市的一次火灾事件,火灾发生后由于施工企业为施工方便擅自放空消防水箱储存用水,致使消防设施未能发挥作用,火势迅速扩大。第四层因素多与受灾民众和施救阻力有关。一方面,火灾发生后,现场民众灾时恐慌、员工惊慌失措等心理障碍因素导致民众混乱逃窜,不利于应急救援行动展开。另一方面,城市综合体因其体量大、人流量大等特点,导致火灾态势通常较为严重,对消防资源的供给要求更高,再加上综合体地处城市拥挤区,交通不便易阻碍消防车、贻误最佳施救时间。第五层因素相对于前两层因素而言更为根本,火灾发生后,如果监控报警设备失灵、排烟系统失灵,再加上民众自救互救意识较弱,火灾态势就可能迅速蔓延。

最后两层为根本性因素。城市综合体

内工作人员的防火巡查不到位是造成火灾发生的最根本原因。作为建筑物的安保方,如果能将火灾隐患得以排查解除,那么后续就不易发生火灾事件。次一层中的气候变化亦是造成火灾的重要原因,一方面燥热气候引发可燃物自燃的概率很大,另一方面输电配电线路、地下管线等在正常使用的老化之外,受气候变化因素,尤其是雨雪冰冻天气的影响很大。如果气候变化导致输电配电线路老化而未被发现,就会共同促成火灾发生。加之日常消防演练不足,在面对火灾突发事件时应急处置不当导致重大人员伤亡。

## 5 结论和建议

本文采取解释结构模型对城市综合体火灾事件的诱发因素进行分析,厘清了因素间的逻辑关系,有利于政府和决策者有针对性的采取相应措施,杜绝或减少此类事件发生。根据文中的七层递阶模型,最底层的工作人员防火巡查不到位与此底层的消防演练不足、气候变化及输电配电线路故障是造成火灾事件的根本诱因,对该层采取应对策略是“治本”;第二层是火灾事件的触发点,第三层到第五层是具体性因素,严防这些行为能够帮助“治标”。具体措施可从以下四方面展开:

第一,制定并严格落实消防规划。城市综合体在建设施工上,应严格按照国家规定使用防火材料,设立消防通道、应急避难层等专用防火空间,并邀请专业人士分别制定符合地上和地下人群的疏散与避险策略。对于历史较长的建筑,一定要排查火灾隐患,加固防火装置、配备消防设施,并

同步加固水电网等城市生命线公共基础设施。激励综合体内安全管理人员严格执行日常防火监督,全力杜绝火灾隐患。

第二,加强公众自救互救意识。一是针对综合体内工作人员,定期举行消防演习,培训使用消防设备。二是加强市民消防培训,可以在社区和城市综合体周围设置火灾自救宣传栏,并以有奖答题小活动形式吸引公众提高防火意识;可以通过短信或微信推送消防常识。

第三,建立应急指挥响应机制。一是编制火灾多发区域应急预案。应专门针对火灾灾害事故多发的区域编制应急预案,由多部门联合发文,考虑可能发生的火灾情况。二是建立多部门间协同作战机制。消防指挥中心在接警后应与其他公共部门快速取得联系,尤其是交通、医疗、供水供电相关部门,确保被处置综合体周围区域交通顺畅,确保人员尽快就医。三是优化设置消防站点数量与位置,可结合实际情况,在城市综合体内建社微型消防站,配备消防设备与物资,并建立与附近消防部门联防协作关系。一旦发生火灾,微型消防站可抓住最佳救援时机应急响应。

第四,利用大数据信息管理技术实现智慧消防。应建立城市综合体等消防安全重点单位在危险点和消防设备配置等方面的综合数据库,利用大数据、云计算等新一代信息技术,对火灾事件提前感知、分析、研判,实现“智能”消防管理。突发火灾事件时,应急决策者应结合自身管理经验与计算机辅助数据,迅速规划消防车救援、车流疏通、人流疏散等应急响应具体办法,确保在最佳时点内实施火灾救援。

#### 参考文献:

- 1.Jennings,C.R.(1999).Socioeconomic characteristics and their relationship to fire incidence : a review of the literature.Fire Technology.01
- 2.Holborn,P.G.,Nolan,P.F.,& Golt,J.(2004).An analysis of fire sizes,fire growth rates and times between events using data from fire investigations. Fire Safety Journal.06
- 3.张玉腾 戴素娟.国内高层建筑物火灾起因及防火措施分析.安徽建筑.2014.04
- 4.李庆功 伍东 谢飞等.居民住宅火灾危险及安全防火措施探析.消防科学与技术.2009.06
- 5.贺雷 葛秀坤 郝永梅等.模糊综合评价在城市埋地燃气管道火灾风险评价中的应用.广东化工.2015.22
- 6.王艳辉 晋君 李曼.基于三角模糊因果图的城市轨道交通火灾事故分析.中国安全科学学报.2013.11
- 7.景国勋 张悦.火灾事故致因的多因素灰色关联分析.中国安全科学学报.2009.03
- 8.楚志勇.基于回归分析方法的火灾预测——以天津市为例.安全与环境工程.2011.03
- 9.卢亿.地铁火灾的事故树分析.城市轨道交通研究.2011.02
- 10.程聪慧.基于ISM的应急指挥信息沟通多层递阶影响因素研究.情报科学.2015.12
- 11.杨立中 江大白.中国火灾与社会经济因素的关系.中国工程科学.2003.02
- 12.吴松荣.1997-2004年中国区域经济与火灾态势的关系分析.火灾科学.2006.04
- 13.徐波 王振波.时空因素对中国城市火灾态势变化的影响.地理研究.2012.06