

文章编号:1007-6735(2011)04-0326-05

“11.15”火灾的系统与风险分析

王 波¹, 于世坤¹, 李庆来²

(1. 上海理工大学 管理学院, 上海 200093; 2. 上海世博(集团)有限公司, 上海 200040)

摘要: 针对上海 11.15 重特大火灾事故,对事故进行了系统分析,利用故障树对事故原因和风险进行了分解,对火灾的主要原因进行总结归类,对火灾进行了突变分析,探讨了本次火灾事故中凸显的一些特别的经验教训.

关键词: 火灾; 系统分析; 突变
中图分类号: X 913.4; TU 972 **文献标志码:** A

Analysis of system and risk of Shanghai November 15 Fire

WANG Bo¹, YU Shi-kun¹, LI Qing-lai

(1. Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;
2. Shanghai World Expo (Group) Co Ltd, Shanghai 200040, China)

Abstract: November 15 Fire is an extraordinarily serious safety accident. The structure of November 15 Fire was decomposed. By use of fault tree analysis method and catastrophe theory, the causes of fire were classified and summarized. Moreover, major lessons of November 15 Fire were discussed.

Key words: fire; system analysis; catastrophe

近几年来,城市建筑特大火灾事故频繁发生,造成了巨大的人员伤亡和财产损失,截止 2008 年 8 月,上海超过 100 m 的高层建筑有 469 栋,2000—2007 年上海高层建筑火灾发生 1 213 起^[1]. 11 月 15 日,位于静安区胶州路 728 号一栋大楼发生火灾,造成 58 人死亡,71 人受伤,直接经济损失 1.58 亿元的重特大安全事故. 事故看起来是一起孤立的火灾事故,但确是一起典型的突发灾害,通过深入的分析,可以系统洞察事故的原因,总结经验教训,为今后杜绝此类事故的发生提供建议.

1 11.15 火灾事故系统辨识

11.15 火灾事故的发生,涉及到方方面面,从系统安全的角度来考虑,主要涉及到人、机和环境,根据系统分解,11.15 火灾事故与救援涉及到如下几个系统:建筑施工系统、消防灭火系统、社会救援系统和善后处理系统(见图 1). 系统主体涉及到政府机构、工程的招投标方、建筑施工和监理方、施工人员、消防部门、公安部门、医疗救援部门、民政部门及保险机构等.

收稿日期: 2011-06-30
基金项目: 上海市世博科技专项项目(10dz0580500); 上海市重点学科建设资助项目(S30501)
作者简介: 王 波(1960-),男,教授. 研究方向: 系统工程、运营管理. E-mail: toddwang2000@126.com

建筑施工系统涉及的单位:工程的招标单位、设计单位、工程总承包单位、工程的分包单位、工程监理单位及工程施工队伍等. 建筑施工系统原本的任务是完成惠民的节能改造工程,由于系统在招投标、建筑施工及监理等环节出现故障,直接导致建筑火灾事故的发生.

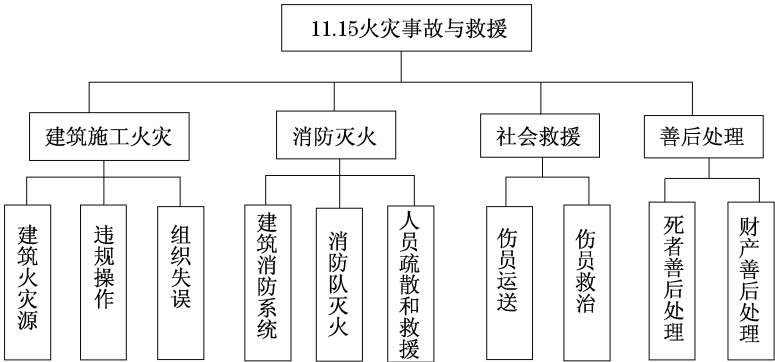


图 1 11.15 火灾事故与救援系统图
Fig.1 System of November 15 Fire accident and rescue

消防灭火系统涉及的部门:市应急联动中心、武警消防部队、公安部门、救援群众及楼内居民. 该系统的任务是扑灭火灾、组织疏散人员、火灾受灾现场人员的救助(包括自救).

社会救援系统主要由各医疗机构组成,任务是完成受伤人员的转运和救助.

善后处理系统包括政府部门、民政部门和保险理赔部门,任务是对死伤人员的处理和赔偿,对家庭财产损失进行评估和赔偿.

11.15 火灾是一件典型的突发应急事件,由于事故重大,死伤人员多,影响面广,11.15 火灾的事故处理对城市各系统都是一次严峻的考验,对11.15 事故的系统反应体现了一个城市的公共管理水平.

2 11.15 火灾事故原因的系统分析

任何事故都是能量逸散失控的结果,当人的活动处于非正常状态时,会发生能量逸散,产生事故,热能逸散的失控导致火灾的发生.

事故的影响因素主要有:人为因素、物质因素、环境因素和管理因素.

危险源是事故发生的物质基础,事故隐患是发生事故的触发因数.海因里希提出的事故因果连锁理论认为,任何伤害事故不是一件孤立的事件,而是一系列互为因果关系的原因在不同时间相继发生的结果,11.15火灾就是一起典型的伤害事故.

2.1 建筑施工系统事故原因分析

从 11.15 火灾建筑施工系统看,这些互为因果关系的事件包括:

a. 不正常的招投标和分包体制. 静安区建交委招投标,工程总包方为上海市静安区建委下的建设总公司,建设总公司分包给自己不具备安全生产条件的全资子公司上海佳艺建筑装饰工程公司,上海佳艺建筑装饰工程公司又将工程拆分,将脚手架搭设作业分包给上海迪姆物业管理有限公司施工,将节能工程、保温工程分包给正捷节能工程有限公司,铝窗作业分包给中航铝门窗有限公司进行施工.层层分包使工程质量和施工安全风险失去控制.根据事后调查,项目被层层分包后,导致一些皮包公司和带病企业披挂上阵,最终酿成重大事故.我国建筑法明确规定:不得将应当由一个承包单位完成的建筑工程肢解成若干部分发包给几个承包单位;禁止承包单位将其承包的全部建筑工程肢解以后以分包的名义分别转包给他人.

b. 违规施工作业. 采用无资质的施工人员,为了抢进度违规采取交叉施工,在有大量易燃物质施工的情况下,同时开展有可能导致火灾的电焊作业.

c. 采用不安全的建筑材料,导致大火迅速蔓延. 火灾中大楼脚手架外面包裹着易燃的尼龙织网;楼房外立面包裹的大量聚氨酯泡沫、聚苯乙烯泡沫保温材料,导致大火迅速蔓延.

d. 施工管理缺位. 面对违规的作业和不符合安全的材料,监理公司没有采取有效的措施进行制止.而施工单位片面追求经济效益,有章不循,施工人员违规作业没有人管.

2.2 消防救援系统原因分析

高层建筑火灾防控是一个国际性的消防难题,高层建筑火灾的危险性主要体现在:

a. 火势蔓延快. 高层建筑的楼梯间、电梯井、风

道、电缆井、排气道等竖向井道易产生烟囱效应,造成烟、火蔓延迅速.

b. 扑救难度大.

c. 疏散困难,极易造成人员伤亡. 高层建筑的层数多,垂直距离长,人员集中、疏散到地面或其它安全场所的时间会很长,发生火灾时火势和烟雾向上蔓延快,增加了疏散的困难.

但 11.15 建筑高度只有 85 m,起火点在 10 楼,如果发现和扑救及时,消防设施到位,应该不会导致损伤如此重大的事故. 从 11.15 火灾消防救援系统看,也有许多值得考量的地方.

火灾消防救援系统中建筑消防系统包括自动灭火装置、消防供水和其它灭火装置.

消防队员灭火系统包括消防队员、灭火设施、消防车道和区域、消防供水系统^[2].

11.15 火灾消防救援方面需要总结的原因有:

a. 火灾发生后的反应时间值得认真分析. 灾害发生后,救援反映时间是衡量一个国家和城市救援水平的重要因数,15 min 反应时间是基本要求,消防队员接警到开展救火的基本时间为 8.5 min,如果 11.15 火灾消防队员接警后的到达时间超过这个时间,反应时间是不及时的,不知此次火灾消防接警后的到达时间是多少?

b. 消防给水能力不足. 根据电视和新民周刊报道,赶赴现场的消防车水压无法满足救火要求,水枪根本无法到达大楼的高处,只能打到 5、6 层高,喷射出的水柱最多只能到达大楼 10 层左右,等到能打到 32,50,90 m 的各种类型的大小曲臂高喷车到达时,大火已经将整个大楼全部包围,成立体燃烧,根本无法控制;其次,附近的消防给水只能提供少数消防车消防给水,无法为大量消防车提供消防灭火给水. 今后城市建设中应该提供更高要求的消防给水能力.

c. 消防车道和区域是城市高层建筑消防的弱项,必须引起高度重视. 根据现场考察,11.15 火灾现场的消防车道和区域最多能容纳 4、5 辆消防车,到达现场的消防车毫无用武之地,根本无法投入救火. 目前中心城区建筑的容积率普遍较高,11.15 起火公寓的容积率高达 6.77,远远超过规定的 4 的标准,造成消防车根本无法展开实施灭火,这是城市建设必须认真反思的问题.

d. 市民缺乏逃生和自救的能力是导致大量死亡的一个重要原因.

面对火灾,市民逃生和自救的知识普遍缺乏,没

有经过实战性的模拟逃生和自救演练是当下消防安全的重大缺陷,我们缺少像美国生命安全 101 保障规范,当火灾发生时,市民缺少对火灾形势的判断和对逃生路线的正确选择. 由于 11.15 火灾火势蔓延快,火灾从外到内呈立体燃烧,楼内居民很难做出正确的判断和选择逃生. 根据事后统计,选择主动从房间通过楼道和消防通道逃生的人员大多数通过自救和消防队员救援而获救,但这和通常建筑内部发生火灾,楼道被充满烟雾而采取封门隔离烟雾的救援方式完全相反,因此,当遇到像 11.15 类似火灾时,如果消防人员能通过广播通知楼内人员正确逃生,是减少人员伤亡的一个有效途径.

2.3 11.15 火灾故障树分析

故障树分析(fault tree analysis, FTA)将事故与事故原因用一种称为故障树的树形图表示,通过对故障树的定性与定量分析,找出事故发生的主要原因^[2]. 图 2 为 11.15 火灾重特大伤亡事故的故障树示意图. 图 3 为及时灭火失败的故障树子图.

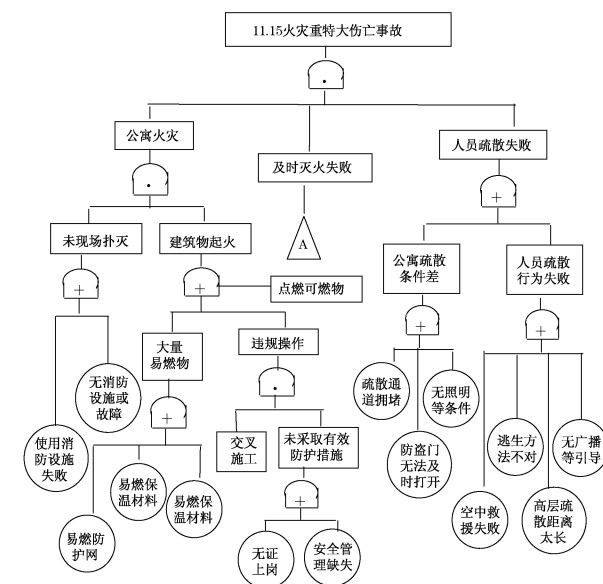


图 2 11.15 火灾故障树示意图

Fig.2 Fault tree of November 15 Fire accident

公共安全事件有个著名的海恩法则——每一起严重事故的背后,必然有 29 次轻微事故和 300 起未遂先兆以及 1 000 起事故隐患. 其实生命安全事件何尝不是如此. 11.15 重大火灾事故最重大的因数体现在: **a. 高层建筑裸露大量易燃建筑材料.** 这是极端的危险源,易燃建筑材料导致高层建筑火灾不在少数. 11.15 火灾、央视大楼火灾和 3.2 新疆乌鲁木齐国贸大厦火灾都是如此^[3],必须引起高度的重视; **b. 违规电焊等作业**是引起火灾重要原因,

11.15火灾、2007年上海环球金融中心火灾和2009年中国科技馆(新馆)在建工地火灾都是电焊作业引起,央视大楼火灾也是违规燃放礼花焰火所致.根据对建筑施工火灾统计,基本上都是施工人员违章作业、施工单位安全管理不到位、监理人员缺位、建设单位及项目管理公司统一协调管理不够而造成. c. 消防灭火设施不能满足城市高层建筑火灾额要求. 由于点燃外墙面裸露的大量易燃物导致高层建筑火势迅速蔓延,成三维立体燃烧,而消防设备无法控制火灾的蔓延、及时扑灭大火,从而很难组织成功的救援.

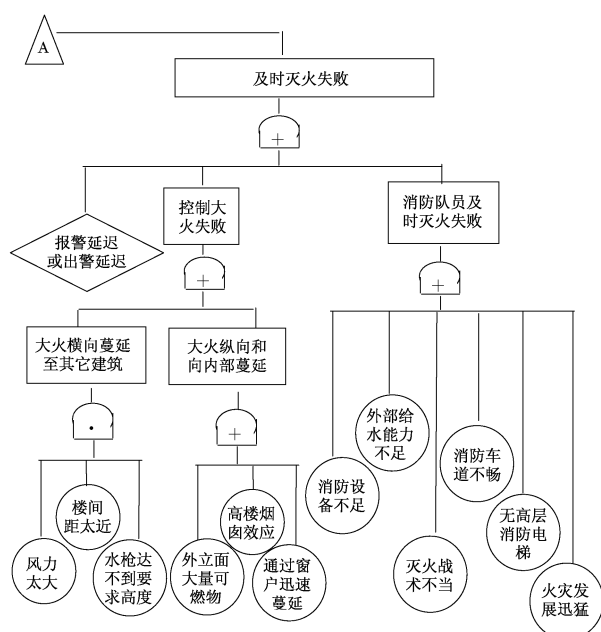


图3 及时灭火失败故障树子图

Fig.3 Subgraph of fault tree of extinguishing failure

3 11.15 火灾事故突变分析

客观世界存在许多不连续的飞跃现象,突变理论可用来描述和分析这种变化特征,突变根据系统的势函数对临界点进行分类,从而研究临界点不连续状态的特征及其可能的变化规律^[4-5],11.15火灾具有典型突变的特征.

为了直观描述火灾的突变情形,采用两个控制参数尖点突变模型分析.根据前面的分析,火灾主要归结为两方面的因素:建筑物环境(11.15火灾为建筑外裸露的易燃建筑材料)和人为因素(本例中违规操作行为和消防灭火与救援行为).

设 x 表示火灾状态变量,对于动力系统

$$\dot{x} = f(x) = -x^4 - ux^2 - vx \quad (1)$$

其相应的势函数为

$$V(x) = -f(x) = x^4 + ux^2 + vx \quad (2)$$

突变流形 M 为曲面

$$4x^3 + 2ux + v = 0$$

分叉集满足条件

$$D = 8u^3 + 27v^2 \quad (3)$$

式中, u, v 为控制参数; u 为 j 建筑外裸露的易燃建筑材料量; v 为人为因素,是违规作业和消防救援变量的函数.

图4为火灾事故尖点突变流形和分叉集图.

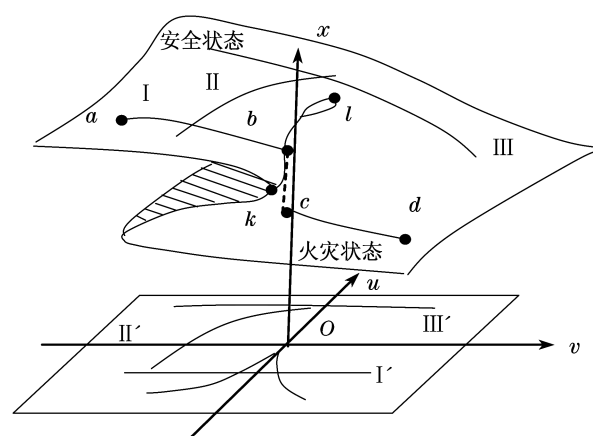


图4 火灾尖点突变图

Fig.4 Cusp catastrophe of fire

当建筑环境状态处在不安全状态时,这时 u 的值小于分叉集中尖点 O 对应的 u 值,现象表现为公寓裸露着易燃建筑材料,而人为因素 v 沿曲线 I 由 a 点向 b 点变化,即人为不安全的行为不断增强,当达到一定程度时,在本例中为违规电焊引燃建筑材料,但并未能采取有效措施扑灭火情,这时达到 b 点,出现突变,系统从上叶(安全状态)突跳到下叶,引发火灾,随之火势不断增大.

对于路径 II ,不经过突变流形中 kl 部分,由于人为因素处在安全可控状态,即使有一些易燃建筑材料,也由于安全措施到位而不会导致系统由安全状态突跳到火灾状态.

同样,对于路径 III ,由于不存在裸露在外的易燃建筑材料,因此,人的因素不管如何变化也不会发生突跳、引发火灾.

从图4可以看到,当环境处在安全状态时,即不存在易燃的建筑材料时,是不会发生突变导致火灾现象,这是防止建筑火灾的根本.当存在易燃建筑材料时,如果安全管理到位,同样,可以避免火灾事故的发生.然而,11.15火灾事故正是在这两方面的管理缺失,导致事故的突变,引发重大火灾事故.

4 11.15 火灾事故的经验教训

11.15 火灾、央视大楼火灾等高层建筑火灾呈现一个共同的特征,火灾自上而下、自外而内逆向迅速蔓延,在极短时间内形成猛烈的立体燃烧,由于消防装备无法到达燃烧部位,使得直接外攻灭火、强攻近战、上下夹击及防控堵截等技术战术无法奏效^[5],由于 11.15 火灾公寓内居住着大量居民,导致重大的人员伤亡,这些火灾事故通过血的代价值得我们深刻反思,除了一些大家都看到的需要整顿和规范的建筑市场,加强施工中的安全管理,加强对建筑物的消防安全检查等常规因数外,还有一些特别值得注意的经验教训,在此进行分析和总结。

a. 无论在任何时候,都必须把人的安全放在第一位。

重大的人员伤亡事故往往是许多偶然因素共同作用下的结果,由于发生的概率小,往往被大家所忽视。由违规行为导致的建筑火灾时有发生,由于很少导致重大的人员伤亡,虽然每次都总结整改,可是收效甚微。在现有的建筑施工环境下,要完全杜绝不安全的行为隐患是很难的,但各级部门必须特别注意,当施工的建筑物内有大量的人员居住时,尤其是居民楼的改扩建工程,任何的火灾事故都可能导致重大的人员伤亡,各级部门必须采取严格的安全管理措施,杜绝一切违规行为的发生。首先尽量减少易燃材料的使用,其次不能因为抢进度而采取交叉作业,在存在大量易燃材料裸露的情况下开展电焊的可能引发火灾的作业,一旦发现有违规行为,必须严肃处理,给予重罚,加大违规的成本。只有这样才能真正杜绝安全事故的发生,保障人民的生命安全。我们今天仍然看到有许多居民楼、商场、办公楼在楼内拥有大量人员的情况下同时进行建筑施工,真不知这些施工项目是否真正采取了严格的安全管理措施。

b. 必须加强高层建筑的安全风险管理。

目前国内城市高层建筑越建越多,越建越高,每一座超高层建筑内相当于一个小城市。高层建筑由于存在功能复杂、安全事故隐患多、人员疏散困难、火灾等事故发展极快且凶猛、救援设施不够完善等原因,任何的安全事故都可能产生大量的人员伤亡和巨大的经济损失。目前国内很少开展超高层建筑的风险管理工作,缺少统一的风险管理机制、规范和措施,应急预案或没有或成为一纸空文,普通高层居民楼也没有统一的安全管理组织,一旦发生事故,处于无组织的

管理状态,人人都只能依靠自己的经验和知识应对,缺乏科学的组织和管理。因此,必须开展高层建筑风险管理的研究工作,各级管理部门应立项支持超高层建筑风险管理的课题研究工作,分析超高层建筑的安全隐患,建立像美国生命安全 101 保障相类似的规范,开展仿真性的高层建筑突发事件的人员疏散和逃生演练,使得人人掌握正确的安全疏散和逃生方式,一旦发生事故时,能及时采取有组织的管理工作,有效防止人员的伤亡和财产的损失。

c. 加强高层建筑消防安全的建设。

建筑消防功能不全、设施完好率低、建筑消防设施未与建筑工程配套建设和使用这些硬件中的问题已被人们广泛认可,这些都是导致高层建筑消防安全的重要因素,但有些管理措施的缺失,往往不被人们所认识。当高层建筑发生像 11.15 火灾时,人员选择正确的逃生方式是减少伤亡的关键因素。通常情况下,面对迅速燃烧的立体式火灾,高层建筑内人员很难正确判断火势蔓延的燃烧的情况,很难做出正确的逃生选择。到底应该选择封闭等待救援?还是从硝烟弥漫的楼道逃生?不同的火情应采取不同的方式。如果专业的消防救援人员能够使用广播、扩音器等工具引导楼内居民进行正确的逃生,必将减少人员的伤亡。

目前高层建筑逃生系统不完善,缺少统一有效的逃生指示标识和设施,而消防部门在救援过程中往往依赖于自身的系统,很少与高层建筑本身的逃生系统有机结合。建筑设计人员应与消防部门人员通力合作,共同完成高层建筑的防火和救援设施的设计和使用,达到最大限度扑灭火灾和救助人员的目的。

其次,加强城市高层建筑灭火能力的建设,完善高层建筑自身的消防设施,使得采用内攻消防人员能迅速到达高层展开救援,同时应投入更多的资金补充消防部队的控制和扑灭高层建筑火灾的设备,例如,高层消防云梯车,增加高层建筑内、外消防给水能力,像 11.15 这种火势凶猛的火灾,楼内的消防给水完全无法利用,楼外的消防供水能力就显得非常重要。各城市应加强城市消防给水管网的建设,满足扑灭高层建筑火情需要的压力和流量。

d. 加强应对城市灾害的系统建设。

11.15 火灾导致大量人员和财产损失,如何开展伤员的救治?如何对死者进行善后处理?如何对损失的财产进行赔偿?一方面面临法律上的缺失,同时操作上也缺少规范。各地方政府需要加强这方

(下转第 371 页)