

城市与工业火灾安全科学与工程

*
范维澄 杨立中

(中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室 合肥 230026)

摘要 火灾是危害人类最持久、最剧烈的灾害之一,特别是城市与工业火灾造成的损失更加巨大。文章探讨了城市与工业火灾安全科学与工程的内涵、国内外发展概况以及应重点解决的重大科学技术问题。

关键词 城市,工业,火灾,安全,科学,工程

1 序言

火灾一直困扰着人类的社会经济活动,人类在创造财富的同时,必须不断地与火灾进行搏斗,以保护财产免遭火灾损失。火灾及其相关灾害已经成为危害人类最持久、最剧烈的灾害之一。

城市是人类经济、文化、政治、科技的中心,世界城市面积虽只占人口居住面积的1/10,但却居住着世界总人口的1/3,且集中了世界社会财富的2/3以上。城市及工业火灾具有突发、连锁、复杂多样、处置困难等特点,而城市又具有“人口集中、建筑物集中、生产集中、财富集中”以及政治、文化上的特殊性,因此一旦发生火灾,势必造成巨大的损失(包括政治形象、社会震荡、经济破坏、人员伤亡、财产损失等),有时甚至难以用财产或数字来估量。

据统计,1998年全国共发生火灾142 326起(不含森林、草原、军队火灾),死亡2 389人,伤4 905人,直接财产损失14.4亿元。其中,特大火灾78起,死117人,伤237人,直接财产损失2.9亿元。1999年11月12日,南京火车站候车大厅发生火灾,候车大厅等设施被完全烧毁,1人死亡;1999年11月24日,一艘9 000吨重的客货混装船在烟台海域起火沉船,死亡250余人,是建国以来最大的海难事故;2000年1月,合肥市城隍庙小商品市场发生特大火灾,直接经济损失超过亿元。有预测指出,我国在21世纪初,城市化程度将由现在的20%上升到45%,同时还要完成国家工业化进程。伴随城市化和工业化的高度发展,如不严加防范,重大恶性火灾事故将会频繁发生,直接危害人民生命财产,造成环境污染,引发生态失衡,将严重地影响国家发展和社会稳定。

当前,要减少火灾事故,科技防(减)灾是必由之路。科技防(减)灾最终目标是最大限度减

* 中国科学技术大学副校长
收稿日期:2000年4月6日

少火灾对人类生产、生活及资源环境的危害, 实现火灾防治有效性和整体效益(经济、社会、政治)的科学统一。重点解决火灾关键环节的防治技术, 提出对火灾防治对象(工厂、工程、城区、建筑、矿井、林区等)的风险评估、性能设计和安全管理原则。

2 城市与工业火灾安全科学与工程的内涵

从学科发展的角度来看, 灾害科学侧重于成灾规律的研究, 兼顾灾害防治; 安全工程科学侧重于灾害防治的科学原理和工程技术, 兼顾成灾规律的认识。但火灾安全科学与工程既研究火灾的成灾规律, 又研究火灾防治的关键技术, 其规律具有双重性(确定性和随机性)。火灾安全科学与工程是在自然科学、工程科学及灾害科学的结合点上生长起来的新兴交叉科学领域, 涉及基础研究、应用研究、技术开发和科学管理, 与经济建设、社会发展、国家安全和科技进步密切相关。为此, 就城市与工业火灾安全的技术层面而言, 必须发生以下三个转变:

(1) 由被动式的火灾防治技术向新一代的以“清洁阻燃、智能探测、清洁快速定位”为主要环节的主动式火灾防治技术的转变;

(2) 由传统的“处方式”设计向以火灾危险性评估和火灾动力学为基础的性能设计的转变;

(3) 由火灾防治的传统管理模式向以 3S(地理信息系统 GIS, 全球定位系统 GPS, 遥感系统 RS) 技术和火灾动力学为基础的科学管理和应急预案模式的转变。

火灾安全科学与工程的关键环节主要包括六个方面: 火灾危险性评估, 阻燃, 早期、迅速、准确地探测, 灭火和救援, 火灾安全工程设计, 日常管理与应急预案。支撑这六个方面的科学基础是火灾动力学演化和防治理论。

火灾科学的研究主要分为三个阶段。第一阶段是火灾数据的统计与分析。主要工作是收集火灾数据, 并对其进行简单的统计分析。第二阶段是将火灾的统计和模拟(实验模拟、计算机模拟等)分开, 各自独立进行研究。火灾统计是承认火灾的随机性规律, 火灾模拟是承认火灾的确定性规律。第三阶段是将火灾统计研究和模拟研究有机结合起来, 认为火灾规律是确定性和随机性的综合, 它具有双重性。

火灾科学是在灾害学与技术科学的交叉点上生长起来的一门新兴的交叉学科, 它所涉及的学科相当广泛。就基础学科而言, 包括数理(微分方程、数值方法、概率与统计、非线性、流体力学、固体力学、爆炸力学)、化学(化学动力学、热化学)、生命科学(火灾对生物体的损伤)等; 对于工程学科, 包括安全工程、工程热物理、材料科学(热对材料性能的影响、阻燃剂/材料的设计、合成与评价)、信息科学(计算机视觉、模式识别、人工智能、可视化)、环境科学(火灾对环境的影响、HALON 替代物的选择)等。

火灾安全科学与工程(Fire Safety Science and Engineering)有着丰富的科学技术内涵, 大体可归纳为如下几个方面:

(1) 根据可燃物类型(物理化学性质)、数量与分布以及环境条件, 运用归纳、演绎或二者结合的方法进行危险源的辨识与评价;

(2) 火灾孕育、发生和蔓延的机理与规律, 即火灾动力学演化理论;

(3) 火灾防治的关键环节和技术, 包括阻燃、火灾监测、灭火和救援;

(4) 火灾安全性能设计、科学管理、智能预警及应急预案,运用 3S 技术、网络宽带多媒体信息技术,实现量化、动态、形象(可视化、虚拟现实)、智能化的监控、预警和调度指挥;

(5) 建立必要的数据库。

3 国内外发展概况

火灾安全科学与工程的研究一直受到世界各国的高度重视。无论是基地建设,还是基础研究与技术开发,发达国家都投入了大量的经费进行支持。如日本,近年来由于经济的不景气,在大幅度削减科研经费的情况下,仍然加大了火灾安全科学与工程研究的投入,总经费达到了创记录的 100 亿日元;美国标准技术研究所(NIST)建筑和火灾研究实验室是建筑火灾研究方面的国家实验室,每年的财政预算为 2 400 万美元;英国、新西兰、瑞典、加拿大、澳大利亚、德国等也分别在 20 世纪 90 年代更加强了国家级的研究,如在火灾监测、信息分析、危险源的辨识原理和方法、危险评价技术、灾害的预防与控制、性能设计、虚拟现实技术在火灾科学领域的应用、新型灭火剂的研制等方面投入了大量的资金和人力,取得了一批重大的成果。

与国外发达国家相比,我国对火灾安全科学与工程的研究开展较晚,目前尚处于起步阶段。直到 20 世纪 80 年代初期,我国才开始学习和引进国外系统安全工程及安全管理方法。在“八五”、“九五”科技攻关计划支持下,我国开展了对火灾等灾害事故机理的研究,建立了火灾等灾害事故过程的理论模型和实验方法,同时对高层建筑、地下建筑和大空间建筑火灾开展了大量的应用基础研究,并取得了一批重要的成果。这些基础研究为我国技术法规的制定和实施,提供了科学依据和技术手段。但总体而言,与先进国家相比,还存在较大的差距。

目前国际上火灾安全科学与工程的研究热点除了继续重视火灾基础研究工作(如火灾演化动力学等)外,还有利用先进的科学技术手段(如多媒体技术的应用、虚拟现实技术的应用,网络技术的应用等)拓宽火灾安全工程的研究领域。

4 应重点研究解决的重大科学技术问题

根据火灾安全科学的内涵,我们认为,我国的火灾安全工程的研究重点应放在如下两方面:一是基础研究的重大科学问题,二是需要解决的技术层面上的问题。

4.1 重大基础研究问题

火灾作为一种典型灾害,一方面具有社会属性,即它可由人类活动所引起,另一方面又具有复杂的自然属性。因此,要实现灾害防治经济性和有效性的统一,就必须对包括自然属性和社会属性的火灾的诸方面问题进行研究。火灾安全工程涉及基础研究、技术、管理决策和工程设计,其重大基础研究问题如下:

(1) 火灾动力学演化理论(包括火灾灾害形成理论和火灾灾害发展理论)。主要包括:可燃物动力学系统成灾的突变过程,关键科学问题是多参数同时变化条件下高维相空间动力学系统的分岔和突变理论;④大规模森林火灾的预测,关键科学问题是控制大规模森林火灾的自

组织临界行为理论; ④凝固相火蔓延和烟气运动的动力学演化, 关键科学问题是场、区、网复合模拟计算理论以及化学反应动力学、相变与气相传热传质相互耦合的理论模型; 特殊火行为的非线性动力学, 关键科学问题是建立能够体现火灾复杂性的非线性理论模型和能反映其非线性特征的数值方法。

(2) 火灾风险评估理论。主要包括: 基于统计理论的火灾风险评估方法的建立; ④基于随机过程理论的火灾风险评估方法的建立; ④基于模糊数学理论的火灾风险评估方法的建立。这一部分内容所要解决的关键科学问题是建立小样本事件统计理论以及结合确定性分析和统计分析的风险评估理论。

(3) 火灾防治原理。主要包括: 火灾防治高新技术原理, 关键科学问题是清洁阻燃抑烟化机理、智能火灾探测和防治原理以及清洁高效灭火原理; ④多变量离散事件动态系统的优化控制理论, 关键科学问题是确定性火灾动力学演化与离散事件动力学系统理论相结合的火灾扑救与调度指挥过程的建模与决策理论。

4.2 技术层面问题

针对火灾安全科学与工程的六个关键环节, 我们认为, 就技术层面而言, 应该着重研究如下几个问题。

(1) 建立在量化和动态基础上的风险评估。

由于火灾事故过程的复杂性和事件的偶发性, 加上现有信息资料和理论知识的不完备性, 不能期望风险评估体系建立在对火灾自身机制确定性规律完全认识的基础上。因此, 传统的基于统计学的风险评估方法应向综合火灾确定性动力学演化理论和不确定性规律的新兴风险评估方法转变。未来的风险评估研究将主要集中在数据信息的收集、整理及分析和动态系统模型的建立以及用户界面友好的软件系统的编制等方面。

(2) 清洁阻燃、智能探测和清洁快速高效定位灭火的新一代灾害防治技术。

本部分涉及阻燃技术, 火灾监控、预警和探测技术, 灭火与救援三个方面。

阻燃技术。开发清洁、高效阻燃剂及阻燃材料是阻燃技术研究的重要课题。清洁高效阻燃主要体现在: 降低阻燃材料的可燃性、提高其耐火性, 在阻燃材料的生产、使用过程中无毒, 不产生大量烟气, 性能稳定、耐用。其技术发展以无卤为主, 如无卤清洁复合阻燃剂和聚合物/层状无机物纳米复合材料的研制等。

④火灾监控、预警和探测技术。发展趋势主要是多信号/多判据探测和探测算法(神经网络、模糊逻辑)的建立、火灾监控与楼宇安全及管理系统的集成、气体探测技术的研究、无线探测与预警技术、图象模式识别型感火(或烟或过热)技术以及探测技术中的计算机模拟等。

④灭火与救援。现代社会的发展与科学技术的进步, 对抑制火灾的方法提出了更高的要求。基于此, 未来的重点将放在新型灭火剂的研制(如哈龙替代物的选择)、人在灾害环境中的心理和行为特征以及诱导疏散的声光技术的研究上。

(3) 以火灾危险性评估和火灾动力学演化理论为基础的性能设计。

性能设计在我国的发展将是必然的, 但目前由于许多基础研究问题没能得到解决, 使它的发展存在着较大的障碍。因此, 为解决这一问题, 未来的研究重点应放在“风险”和“安全性能”的量化; 常用材料与建筑结构在常规及火灾环境中的安全性能数据库的建立; 经济性分析方法

的研究;火灾孕育、发生和发展过程的理论模型及计算机模拟仿真技术的研究上。

(4) 以 3S 和火灾动力学理论为基础的火灾安全科学管理和应急预案的建立。

火灾安全管理系统主要包括危险性分析、应急预案、维护、动态管理、培训等方面。同时需要研究离散事件动态系统的优化控制理论和风险决策方法,并对科技投入的效益作出评价。具体而言,主要是运用 GIS、管理科学、人工智能、软件工程等领域的先进成果,建立火灾安全工程地理信息超媒体数据库(包含图形库、图像库、声音库、文本库、模型库、数据库),在 GIS 平台上实现火灾虚拟现实,研究 GIS、GPS 和 RS 相结合的城市消防和救援指挥调度技术,运用 GIS 的空间分析功能和路网分析功能优化消防力量配置等等。

通过以上重大科学技术问题研究的深入,我们将初步建立体现火灾过程双重性规律(确定性和随机性)的多维、多相、非定常和非线性理论,发展以动态精细测量、自动数据采集、图形图象化显示和计算机控制为特征的现代火灾模拟实验方法,基本完成火灾防治关键技术原理的研究,为相关高新技术的发展提供科学基础,使我国 21 世纪的城市及工业火灾安全科学与工程上一个新的台阶。

参考文献

- 1 公安部消防局编. 中国火灾统计年鉴, 北京: 中国人民公安大学出版社, 1999.
- 2 J. G. Quintiere. Progress in Fire sciences. The Third Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology, 1998.
- 3 G. C. Ramsay. Fire Safety Engineering: Role in Performance-Based Codes. The Third Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology, 1998.
- 4 吴宗之. 中国安全科学技术发展回顾与展望. 中国安全科学学报, 2000, 10(2): 1—5.