

# 热安全工程学的起步与展望

范维澄 姜冯辉 黄东林

(中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室, 合肥 230026)

李淑芬

(国家自然科学基金委材料与工程科学部, 北京 100083)

**[摘要]** 热灾害是指与热过程有关的灾害现象。热安全工程学是研究热灾害形成与发展机理、规律及防治技术的一门新兴应用基础学科,它是热灾害防治有效性、合理性和经济性相统一的科学基础。其内容主要包括热灾害先兆及早期特性、过程数理模型、危害性分析、危险度评估、防治经济性分析和防治高新技术基础等几个层次。热灾害规律的双重性、确定性和随机性,使它在学术思想、学科内涵和研究方法等方面形成了自己所独具的特色。本文在分析热灾害的特点、变化趋势及其国内外研究动态的基础上,简要阐述热安全工程学的研究对象及目的、学术思想、理论体系和研究方法,并进一步提出发展我国热安全工程学的建议。

**[关键词]** 热安全工程学, 热灾害, 应用基础学科

## 1 热安全工程学的背景、意义及其国内外发展动态

热灾害是指与热过程有关的灾害现象,包括火灾、爆炸、有害或可燃物质泄漏以及热污染等,它具有发生频繁、突发性强、过程复杂、损失严重、防治困难等特点。热安全工程学是研究热灾害形成与发展机理、规律及防治技术的一门新兴应用基础学科,它是热灾害防治有效性、合理性和经济性相统一的科学基础。

### 1.1 背景和意义

近年来,在世界范围内,热灾害事故及其所造成的损失呈上升趋势。综合国内外情况,当前热灾害的变化呈现以下四种趋势,即:(1)热灾害的范围逐渐扩大;(2)经济起飞时期热灾害损失增大;(3)热灾害损失逐渐集中于重大和特大热灾害事故;(4)热灾害防治的实际需要快速增长。我国的火灾直接损失一般占国民生产总值的0.03%—0.04%,与美国、日本等发达国家、以及邻近的韩国相比较低。但随着我国国民经济的迅速发展,以下三点值得注意:(1)我国(或地区)热灾害直接损失受特大型灾害影响波动剧烈,反映出我国控制热灾害直接损失的能力比较薄弱;(2)近年来伴随着经济的快速增长,我国热灾害直接损失突发增大;(3)我国在消防队伍和装备、热灾害防治工程等方面都不同程度地存在着投入不足的问题,难以适应经济快速发展的需要。

---

本文于1995年4月21日收到。

热灾害作为一种常见多发灾害，对人民生命财产安全构成巨大威胁。其防治既要求能够有效地控制灾害、减少损失，又要求避免防治费用过于庞大，造成浪费，目标是要实现有效性、合理性和经济性的统一。而这种统一只能建立在对灾害过程科学认识、对防治工程合理设计的基础上。这就是“热安全工程学”产生的背景。热灾害认识的科学化和热灾害防治的工程化是当今热灾害研究和防治中的深刻变革，热安全工程学是在人们开始追求从科学角度认识热灾害的时机和背景下出现的新兴交叉学科，它兼有发展、拓宽学科的学术意义和减少损失、维护社会安定的经济与社会效益。

## 1.2 国内外发展动态

作为消防和劳动保护技术，热安全工程有很悠久的历史。然而，真正热安全工程基础研究的出现和热灾害防治技术的迅速发展却是在最近二三十年内。国际上发达国家在70年代初期，首先在火灾防治方面，出现了火灾研究从单纯着眼扑救到探讨“火灾科学”的转变，先后组建了一批专业研究机构，开展火灾机理研究，若干大学还组建了“火灾防治工程系”或“火灾安全工程系”，培养专门人才。1985年国际上成立了国际火灾科学学会。1986年欧洲共同体召开降低火灾代价的学术会议，提出了要在15年内把火灾代价减少一半的目标。并且，国际上还相继通过了1990年化学制品公约、1993年预防重大工业事故公约等，敦促各国制定和实施相应政策及保障措施，发展基础研究和技术开发。发达国家的统计表明，热安全工程应用基础研究的发展及其应用已在抑制热灾害损失的增长方面发挥着一定的作用。

我国在热灾害防治方面已经逐步建立了有关的消防管理、劳动安全和应用研究体系以及一批科研机构和队伍，还建设了国内唯一以“火灾科学”为主攻方向的中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室。它以建筑、森林和工业火灾为主要背景，在应用基础研究、技术开发、实验室建设、专业人才培养、国际科技交流与合作、以及沟通国内各类火灾防治和劳动安全部门等方面取得一定的成绩。目前正负责承担国家自然科学基金重点项目“火灾过程和防治中的热物理问题研究”，可望在火灾规律的双重性、火灾烟气运动的场区网(FZN)模型、森林大火三维非定常数理模型及计算等方面有所创新和突破，局部达到国际领先水平。但是，在总体上我国目前距国际先进水平尚有相当的差距。

目前，国内外热安全工程应用基础研究的发展趋势是：重视热灾害机理和规律的研究；重视热灾害过程的模拟研究；在热灾害防治中注重引入现代高新技术；在热安全工程设计、评估和管理中注重引入应用基础研究成果；机理、技术、工程设计和等方面的研究相互沟通和促进。一言以蔽之，即：学科化和集成化。

## 2 热安全工程学的学科内涵

热安全工程学是以工程热物理为基础生长起来的新兴交叉学科，具有综合性和系统性。它在学术思想上主要有以下两个方面的创新，即：(1) 改变把热灾害作为单纯的偶发灾害进行研究的传统，认为热灾害的机理和规律具有普遍性，并且在人类社会发展的现阶段可以被逐步认识。现在着手建立和发展热安全工程学的条件和时机均已成熟；(2) 强调以对热灾害机理和规律的科学认识为基础，谋求其防治有效性、合理性和经济性的统一。不仅重视以热安全工程学研究来指导工程设计和热灾害防治高新技术开发，而且着重以热安全工程学为基础的热安全评估与管理。

热灾害的规律兼有确定性和随机性。在热安全工程学的理论体系中,不仅包含体现热灾害过程及其危害的确定性规律的数理模型,而且包含描述热灾害及其危险的随机性规律的概率统计模型,同时还包含热灾害双重性规律综合以及有关热安全工程设计和评估的理论。这是热安全工程学区别于通常工程科学的主要特征。同样,热安全工程学的研究方法也突出体现了热灾害规律双重性的特点。运用自然界的普遍规律(如质量、动量守恒和能量平衡等)对热灾害研究的指导作用,以针对其随机性的统计分析和针对其确定性的模拟研究、以及二者的综合,即统计模型、数据库、专家系统、不同尺度的模拟实验、不同层次的计算机模拟和实体实验等为手段,揭示热灾害现象的机理和规律。热安全工程学不仅需要热力学、流体力学、传热学、燃烧学以及热物性等诸学科的部分内容作为基础,而且还要对环境科学、材料科学、建筑科学、生命科学、管理科学以及光电技术等学科的部分内容进行研究,体现了学科的综合性与交叉性。

热安全工程学与火灾科学在研究目的、学术思想和研究方法等方面有一定的联系和共性,但在研究对象、学科背景和理论体系等方面又有所不同。例如作为热安全工程学的研究对象,热灾害不仅包括火灾、而且包括爆炸(如锅炉爆炸)、有害或可燃物质泄漏以及热污染等。热安全工程学学科内涵主要包括以下几个方面:

(1) 热灾害发生的先兆及早期特性。这是发展成灾前的探测报警技术的依据。重点研究成灾始发阶段光、声、热、烟(颗粒和成分)和形状等特性和征兆及其变化。

(2) 热灾害过程的数理模型。对热灾害过程的科学认识主要是通过建立描述热灾害总过程及各分过程的数理模型来体现的。针对热灾害的形成和发展过程,通过模拟手段部分或完整地合理再现和深化热灾害现象及过程,研究其机理和规律,进而构造不同层次的数理模型,为热灾害防治提供依据。目前,国际上已有一批可用于描述部分热灾害过程的计算机模型。

(3) 热灾害危害性分析。热灾害的危害方式多种多样,主要包括对人、物以及生态和环境的危害,例如热量与有毒有害成分的损害作用和毒害机理、人体的耐受极限、火灾中建筑构件的损毁、火场设备的腐蚀、以及森林大火、热污染、可燃和有毒物质泄漏等对生态和环境的危害方式、程度和范围等。在这些研究的基础上,结合热灾害过程模型,可进行热灾害危害性分析,即回答危害类型、危害机理和危害程度。

(4) 热灾害危险度分析,热安全工程设计、评估和管理以及防治经济性分析。在热灾害过程及其危害的确定性研究的基础上,收集热灾害统计数据,应用概率分析和随机过程的理论,进行热灾害随机性的研究,构造完整的热灾害理论,并进一步发展成为热安全工程设计、评估、管理理论和热灾害防治经济性分析理论。目前在国际上,研究的重点是统计分析方法、应用模型和专家系统。在我国,以火灾为例的热灾害危险度评估和防治经济性分析方面的研究也已起步,并作为“火灾过程和防治中的热物理问题研究”的主要研究内容之一,正在逐步深入。

(5) 热灾害防治重大高新技术基础。在热灾害过程研究的基础上,结合光、电、声、热、以及卫星和航天等领域内的高新技术,进行热灾害防治技术的研究,是热灾害有效防治的必经之路。同时,热安全工程学研究本身也要结合数值模拟方法、计算机技术、实验模拟与测量技术的发展才能逐步走向深入。

我国的某些专业研究机构 and 高等院校已开展了一些热灾害防治技术方面的研究。中国科

学技术大学火灾科学国家重点实验室最近在油品扬沸火灾早期预测、微重环境中火灾过程与防治对策以及图像识别火灾监测报警装置等的研究方面取得了一定的进展<sup>[1-3]</sup>。

### 3 发展我国热安全工程学研究建议

国内外经验表明:在经济建设高速发展的时期内,热灾害损失必然呈上升趋势。目前我国正处于经济腾飞阶段,尤其应该注重热灾害研究和防治。根据我国热灾害及其研究的特点和发展趋势,就发展我国热安全工程学提出如下建议:

(1) 加强政府部门、生产企业和科研机构之间的密切联系,动员和吸收各类有关行业部门和规划部门,拟定多行业、多部门联合的,与工程技术和安全管理紧密联系的、多层次的热安全工程科研计划,并与地区发展规划密切结合。

(2) 长期、稳定和广泛的国际科技交流与合作有助于新思想、新方法、新技术和资金的引入以及研究起点和速度的提高,同时也有助于我国这方面的研究和开发与国际上保持同步发展。

(3) 将高新技术引入热安全工程的研究领域和应用领域是热灾害防治所面临的关键问题之一。根据我国目前实际,急待以高新技术增强研究手段,同时研究和开发应用于不同领域的热安全防治高新技术。

(4) 面上项目与重点项目、重大项目并举。既重视学科局部的创新,又重视学科整体的发展,同时兼顾国民经济发展的迫切需要。

(5) 在项目研究的同时,注重科研力量的积累、研究成果的转化和专业人才的培养等。

(6) 注重发挥国家重点实验室和工程中心的骨干作用;注重应用基础研究在热安全工程科研网络中的结合点作用。

展望我国热安全工程学的未来发展,其近、中、远期目标预计为:近期初步建立我国热安全工程学的学科内涵,提供指导热灾害防治工程实践的设计理论和方法;中期实现热安全工程设计评估、热灾害防治高新技术及其工程实现手段的重大突破,在一定程度上能够控制热灾害及其损失;远期建立完整的热安全工程学学科体系,总体上达到国际先进水平,以对热灾害的科学认识为基础,实现热灾害防治有效性、合理性和经济性的统一。为了实现上述目标,需要以下政策和措施方面的保证:(1) 将安全摆在与能源和环境同等重要的地位,增加投入。针对热灾害防治中的关键科学问题和关键技术基础,及时部署重大项目,以期在学科上,系统地提出和发展我国的“热安全工程学”;在实际应用上,为热灾害防治的工程设计和重大高新技术的发展和突破提供系统的科学依据。(2) 明确提出“热安全工程学”作为工程热物理学中的一个独立的分支学科,以利于其迅速发展。尽快开始讨论和制订我国的热安全工程应用基础研究规划,并及时组织实施。(3) 制订相应的全民教育、专业人员培训、人才培养以及投资、保险、规范、应用与开发等方面的配套政策与措施。

热安全工程学的发展将使人类能够在科学的基础上逐步认识、并最终控制热灾害。

### 参 考 文 献

- [1] Fan W C, Hua J S, Liao G X. Experimental Study on the Premonitory Phenomena of Boilover in Liquid Pool Fires Supported on Water. Journal of Loss Prevention in Process Industries, 1995, 11.

- [2] 姜羲, 范维澄. 微重力条件下气固两相界面耦合燃烧的数值计算. 中国科学技术大学学报, 1994, 24(4): 449—455.
- [3] 袁宏永, 朱霁平, 王清安等. 大空间室内火灾早期自动探测与定位研究, 自然灾害学报, 1995, 4(2): 104—109.

## THE RISE AND PROSPECT OF THERMAL SAFETY ENGINEERING

Fan Weicheng Jiang Fenghui Huang Donglin

(State Key Lab. of Fire Science, USTC, Hefei 230026)

Li Shufen

(Department of Materials and Engineering Sciences, NSFC, Beijing 100083)

**Abstract** Thermal disaster is a kind of hazards related to thermal processes. As the scientific basis to unify the effectiveness, reasonableness and economy of protection of life and property from the disaster, thermal safety engineering is a developing applied fundamental subject which studies the mechanism and rules of occurrence, spread, prevention and protection of the disasters, including early signals and properties, theoretical model of processes, hazard analysis, risk assessment, economical evaluation and basis of advanced technology. It has some features of its own in ideology, connotation and methodology due to deterministic and probabilistic nature of rules of the disaster. In this paper, the characteristics and trend of the disaster and the development of its research in the world are analysed and reviewed, the object and goal of the study, academic ideology, theoretical system and research methodology of the thermal safety engineering are summarized, and some suggestions to develop this new subject in our country are proposed.

**Key words** thermal safety engineering, thermal disaster, applied fundamental subject