

建立和发展我国的火灾科学

黄东林* 范维澄* 王清安*

摘要 本文介绍近十几年来世界上兴起和发展的火灾科学的特点和重要内容。讨论我国火灾科学的发展现状以及求得防火灭火、控制火灾代价的实效,并提出深入应用基础研究,加强横向联合、培养人才以及促进国际交流合作等建议。

一、火灾科学的特点

火是燃烧过程,当火失去控制造成生命财产损失时,便形成火灾。人类和火灾作斗争有悠久的历史,我国早在南宋时期,已经出现了专门救火的“防隅军”。英、美等国从20世纪开始便相继出现了火灾保险实验室、消防建筑法规、消防汽油泵、化学灭火剂和建筑结构耐火试验。我国从1917年也开始发展消防技术,研制和自制了泡沫灭火器、消防车和消防泵等。

但是,近20年来,国际上出现了和火灾作斗争的革命性变革——兴起和发展了火灾科学,并于1985年成立了国际火灾(安全)科学协会,1985年、1988年还分别在美国和日本召开了第一、二届国际火灾科学学术讨论会。兴起的火灾科学具有四个特点。

1. 过去人们在发展消防技术中,只是根据局部的经验的火灾条件收集数据、研制装备和制订规范,并没有作出在那些具体情况下,火灾发生、发展、灾害和人的行为的预测。因此,在选用规范数据时,避免不了某种程度的盲目性。特别在环境剧变、新技术猛进和经济繁荣的条件下,这种盲目性带来的损害十分明显。比如1987年我国的大兴安岭森林大火和1988年美国的黄石公园大火,人们对当时的气象干旱、大风转变、林火行为均未能作充分预测。仅仅这两次大火,我国森林过火面积达120万公顷,毁林面积达57万公顷,美国过火面积达40万公顷,毁林面积达18万公顷。又如高聚物建筑材料的迅猛发展,使70、80年代各国高层建筑火灾频频发生。再如,由于能源的大量使用,从而多次发生油库、油轮、海洋平台、核电站(甚至军舰、飞机、火箭)的严重火灾。我国火灾损失,从1980年到1987年每年递增24.3%,超过了经济增长速率。因此,为了向火灾作斗争,消防、林业、建筑、矿井、石油化工、劳动保护、交通运输等各个部门,都迫切要求了解火灾发生、发展和防治的机理和规律,希望能作出预测估算,克服盲目性,改进防治对策。这是第一个特点。

2. 火(包括爆炸)是包含流动、传热传质、化学反应及其相互作用的复杂燃烧过程。要了解火灾发生、发展和防治的机理和规律,需要分析传热、热解、着火、蔓延、烟气流动、灭火等许多环节。为了掌握多种情况下的火灾过程,不可能都靠现场观察和做全尺寸模拟试验,需要提出和选择恰当的模型进行试验模拟和计算机模拟,这是一项理论性和实验技术性都很强的应

* 中国科学技术大学

用基础研究工作。为此,美、英、日、苏等国都设立了多层次的火灾研究机构。如美国建立了国家的火灾研究中心和林火科学实验室,进行了大量室内火灾模型和林火行为估算的研究工作。日本50年代对地震火灾开始了全尺寸模拟试验,70年代转为以比较实验和模化结果为主要目的。这说明火灾科学已进展到以现代科学为基础,借助大型计算机和先进实验技术,进行多层次火灾模化(包括实验室模拟研究和计算机模化)的新阶段,这是第二个特点。

3. 火形成灾害及其防治的过程,受到许多因素以及这些因素的相互作用的影响。以第一、二届国际火灾科学学术讨论会为例,内容包括火灾物理(着火、蔓延、模拟试验、计算机模化等)、火灾化学、建筑结构性能、探测、灭火,人火相互作用、火险灾害评估、毒性、工程应用等许多方面。因此,火灾科学是一门涉及面广、综合性强的新型交叉学科。这是第三个特点。

4. 火灾科学和技术应用紧密结合,能减少火灾损失,具有极大的社会效益。比如美国在研究林火行为、发展林火行为预测技术基础上,推行了林火管理的规定天然火烧政策,即在规定的条件下允许林火自行燃烧控制熄灭,降低了森林防火灭火费用,在典型试验火场中灭火费用仅为原来的十分之一。欧洲共同体在火灾科学发展的基础上,提出在本世纪末争取将火灾代价(包括防火灭火费用)的比例降低一半。现在各国共同进行的室内火灾的数学模型、模拟实验和计算机模化工作,已开始进入实用阶段,可以在一定程度上借助计算机算出各种室内火灾条件下的危险程度、人员安全疏散时间,从而为建筑物防火设计提供数据和新的手段。这是第四个特点。

从以上四个特点可以看出,火灾科学有明确的技术发展背景、学科中心内容、交叉综合体系以及社会效益。火灾科学的兴起和发展,是经济和科学技术发展的必然需要和产物。

二、火灾科学的内容

火灾科学的中心内容是在现代科学基础上,借助大型计算机和先进实验技术,进行多层次火灾模化,研究火灾发生、发展和防治的机理和规律。同时研究各部门成灾和防灾中许多因素的影响及其相互作用,这些内容交叉综合,组成火灾科学体系。现扼要介绍火灾科学的十个重要方面和有待研究的问题。

1. 气相运动

由于燃烧基本上是在气相中进行的,气相运动是目前火灾模化的核心内容。它包括着火、蔓延、烟气流动等主要的燃烧、传热、流动过程。目前在火灾模化中采用场模拟或区域模拟的方法:依据流体运动、化学反应、传热过程列出方程;依据可燃物热响应和火灾环境写出相应边界条件;采用可燃物、化学反应、着火温度关系的某种假定;有时还利用火焰区、羽流区或室内热层、冷层等的区域概念;在研究或工程中采用点、线、面的数值计算方法,可近似估算火焰高度、强度以及各区域或场中各点的温度、速度或组分分布。计算机模化需要对气相物质的各种物理参数和热物理性能进行测定,把测定结果输入数据库或为火灾模化提供输入数据。并需进行实验模拟,对计算结果进行实验验证。

计算机模化需要掌握燃烧学和流体力学的基本理论,特别是湍流理论及其计算方法。在分子运动论及进行化学动力学分析的基础理论方面,均有待深入研究。目前,在工程应用中,主要是对室内火灾的研究提出了许多基础研究问题。比如:

在场模化方面:浮力影响的湍流模型,湍流和化学反应的相互作用,辐射换热的描述方法,复杂几何形状的处理以及求解数值方程的数值方法等。

在区域模化方面:热层的形成和发展,通风口的影响,火室和走廊的天棚射流,火灾在多室和走廊中的传播,垂直电梯井的烟气传播和控制。

在实验模拟方面:火焰方位对阴燃或熄火的影响,可燃物特性和环境条件对蔓延的影响。

森林火灾中林中郁闭度对有效风速的影响,对流柱和风的相互作用,风力灭火的条件等都是典型的气相运动问题。

2. 可燃物的热响应

火灾中通过能量反馈使可燃物加热、热解、气化,直到被点燃,这是火焰蔓延的基本过程。火灾模化中需要通过实验或定量计算,得到热解速率和热解产物的基本数据。因此提出如下问题:典型可燃物的着火机理和模型,按无限反应速率还是按有限厚度的化学反应层处理;着火的临界质量流率;焦炭化和焦炭崩裂过程;热解产物可燃性上下限的测试;产生烟尘的观察和分析;热解起中心作用的阴燃问题;阴燃和明火产物的组分测试;轰燃的产生和传播条件;森林可燃物大小对热解过程的影响等。

3. 传热

在火灾中三种传热都是重要的。目前,往往把导热作一维的处理且简单假定和温度成线性关系,而辐射在火灾中往往起关键作用。需待研究的问题如下:传热和温度的非线性关系;通风口附近的传热;可燃物表面上对流和辐射对热解产物扩散的影响;辐射传热的实用计算方法;不同类型火灾的辐射特性;火焰形状因子的计算方法;火焰内部的温度组分分布;亮度和烟度的关系及其测量;热源和响应辐射谱的差别。

4. 灭火

灭火常伴随着穿透、吸热、窒息、化学反应及材料相变的过程。需研究的问题是:水喷淋灭火的水滴穿透和水渍损失、热响应和灭火效率;液体、气体可燃物的水喷淋判据;可燃物表面水滴的蒸发、溅散和吸收;水射流的特殊效应及其使用条件(如对高温油锅爆燃引起的火灾);粉末灭火剂比面积和灭火效果的关系,卤素对产生炭粒的影响。

5. 林火行为估算

“火灾模化”的理论和实验方法可用于研究林火发生和林火行为的估算,但要充分考虑可燃物(包括其含水量)、气象(风及温度湿度的日夜变化)和地形等多种因素的影响。现人们很重视对大火中林火行为的研究,提出模型方法进行预测。其主要问题如:对大火现象(如对流柱、火旋涡等)的观察、试验和分析;提出树冠火等大火的估算模型和方法;飞火的研究和估算方法;大火生长的规律和估算方法;地下火的观察分析和估算方法;风的分布及其与火的相互影响等。

现有林火行为估算方法可计算在环境条件影响下的林火蔓延速度、火焰高度及火场面积扩展以至转变为大火的条件。据此,可在防火中指导规定火烧,在扑火中可辅助作出调遣、筑阻隔系统、以火攻火等决策。针对我国实际情况,我们认为应加强以下几方面的研究工作:建立我国适用的可燃物模型;测定可燃物含水量与可燃性的关系,建立我国研究林火的实验设备和测试方法,提出适合我国应用的软件或系统。

6. 建筑结构性能

在建筑物的火灾中,火灾模化需作结构和建筑物承载能力的分析,计算其安全性。比如:

按特定火灾温度曲线计算构件在火灾中的承载能力;按照概率方法,求火灾中木结构的安全因子;按计入的可燃物燃烧条件、通风和结构热性能等自然火灾条件,来估算火灾中的结构;计入火灾发生概率、扑救概率和构件重要性来计算结构安全系数;水灾中玻璃门框破裂问题;残火与火灾发生和蔓延的关系。

7. 化学和毒性测量

在建筑物火灾中,烟气引起的窒息是人员伤亡的主要原因。烟气中可能含有 CO, HCl 和 HCH 等多种有毒物质。特别是阴燃,因聚氯乙烯或聚氨酯热解而产生有毒物质。有的泡沫灭火剂遇火也会产生毒气。因此火灾模化中需研究的化学和毒性问题很多,如:各种材料在各种受热情况下有毒气体的测试,建立有毒气运动的数学模型,火焰中 CO 的燃烧和吸收,壁面和凝结烟气中 HCl 的被吸收,HCN 在炭粒中的凝聚、沉降和衰减,阻燃剂的毒性测试,无毒阻燃剂的研制,生物和人的抗毒性耐力等。

8. 模拟试验

火灾过程的实验研究是火灾模化中的重要环节,可使实际火场关键过程合理再现和深化,是研究火灾机理和规律的主要手段,也是检验和发展计算机模化的基础,并提供可燃物和材料各种有关性能的基本数据(数据库)。

为了发展火灾模化,国外建立了可模拟多种火灾条件下材料可燃性及毒性的测试设备,高强度辐射引燃试验设备,能模拟轰燃、阴燃等现象单个机理研究的试验台。然而实验室研究毕竟不同于实际火灾。为了能正确地把实验室研究结果用于对实际火灾的分析,需要研究二者的关系,建立模拟研究的准则。

9. 工程应用

火灾过程的计算机模化,包括对基本方程、理论模型、数据方法和计算程序(软件)等各方面的研究和工程应用。例如:自动喷淋系统及供水系统的扑救灭火分析;Halen 和 CO₂ 系统的扑救灭火分析;建筑物结构的火灾阻抗系统设计分析;逃生时间和最佳疏散通路设计分析;火焰烟气毒气运动蔓延分析;矿井网络通风系统分析;火险概率的火灾蔓延网络分析;林火行为估算及辅助决策系统;建筑物火灾安全工程代价评估;建筑物火险评估专家系统;工厂和大型工程火灾安全防护系统评估等。

10. 统计、保险及人火关系

火灾受多种因素也包括受经济关系和人的影响。概率统计经验数据能为火灾模化提供多种重要信息。由于国情不同,许多基础问题要作研究。比如:概率网络和概率方法的应用;现有建筑和工厂的火险系统的评估方法;严重自然灾害(如地震)中火险系统的评估方法;国民经济中火灾代价的统计分析,疏散流动规律和预防火灾教育;火灾现场扑救指挥的科学决策,防火宣传教育及火灾科技人员培训的效果分析。

三、我国发展现状和建议

我国火灾科学已正在兴起和发展,主要表现在三个方面:

1. 我国在火灾科研方面建国以来建立了一些科研机构,比如公安部、林业部、建设部、煤炭部以及劳动保护等部门都建立了一些专门的或部分从事火灾防治应用技术研究的研究所。

这些机构都进行了许多卓有成效的工作,推动了我国防火灭火技术的进步,为控制火灾损失作出了重要贡献。气象部门、中国科学院、电子工业部、航空工业部也从气象、遥感、探测、灭火各方面给予了新技术支持,有些大学也进行了防火灭火的研究。

2. 我国火灾科学正进入计算机模化和实验模拟阶段。我国已经能够在现代科学基础上,把计算机模化、实验室研究和现场观察相结合;已能掌握火灾模化的理论基础和计算技术;可系统阐述湍流模型、燃烧模型、火焰辐射模型等的基本概念、研究思路、理论体系和数值方法,也实际计算了一些火灾模拟问题。近年来,还参加了一些国际学术讨论会和开始了国际合作交流。

3. 我国的防火灭火技术及火灾科学的发展已开始受到一定的重视。国家计委、林业部和黑龙江省联合制订了我国森林防火灭火技术发展的五年计划,并且组织了大兴安岭森林大火的考察,在防火灭火技术开发中进行林火行为的研究。国家自然科学基金委委托进行了“火灾应用基础研究的现状与发展”的调研,推动了火灾研究各部门间的横向联合。中国科学院在重点学科发展项目中准备建立“火灾科学研究实验室”,并且得到了国家计委批准,正在筹组之中,为在我国发展火灾科学创造了更好的条件。

但是,和技术先进国家以及我国的经济发展要求相比,我国的防火灭火技术基础还比较薄弱。我国的火灾防治按类型分部门管理,而各部门的火灾研究一般着重在防火灭火的技术应用,难以深入研究火灾发生、发展和防治的机理和规律的共性问题。我国火灾科学的实验模拟技术刚开始起步,培养高质量火灾科学人才的专门机构尚在建立中。为积极推进我国火灾科学的发展,提出如下建议:

1. 充分重视保障火灾安全,制订和完善保障火灾安全的法律程序和有关法规。应当依靠科学技术,求得防火灭火、控制火灾代价的实效。

2. 促进应用基础研究、应用技术研究和技术开发的紧密结合,尤以加深应用基础研究是建立火灾科学的关键。

3. 通过多种途径促进各火灾防治研究部门的联合。加强协作,充分利用现有实验设备、计算基地和人力,减少重复浪费,增加研究的深度和效益。建立火灾科学的学术交流组织和出版物,促进交流,提高水平;重视培养高质量的火灾科学人才,强化火灾防治科技人员的培训。

4. 加强国际学术交流与科技合作;加速我国火灾科学的发展。

DEVELOPMENT OF FIRE SCIENCE IN CHINA

Huang Donglin Fan Weicheng Wang Qing'an

(University of Science and Technology of China)

Abstract

Fire Science is a new cross-discipline, which studies the fundamentals of unwanted fires, the mechanism and rules of ignition, fire and smoke spread, and fire suppression. Researches on Fire

Science will lead to new idea, theory, methods and even engineering tools for fire protection, which will eventually result in control and reduction of fire losses.

The characteristics, present status and main research aspects of Fire Science are briefly introduced in the article. Finally, suggestions are made of developments of Fire Science in China.

· 文告 ·

国家自然科学基金委员会

关于对外合作研究项目的暂行规定

基金项目的合作研究是我委对外交流与合作的重点。其原则应是在平等互利、有取有予、共同研究、取长补短、共同提高的基础上进行。为做好此项工作,特制定本暂行规定。

第一条,批准为对外合作研究的项目是:

- (1) 对基金项目的推进有重要意义的项目;
- (2) 有利于开阔思路、加快研究速度、节约研究经费、提高水平、培养人才的基金项目;
- (3) 有利于利用对方研究条件,完成已批准的基金项目,或已取得阶段成果,有待于借助国外条件进一步深化和推进的基金项目;
- (4) 非对外保密的项目。

第二条,合作研究双方应签订合作研究协议书,协议书应包括:研究的课题和所要达到的研究目的;双方的项目主持人和参加者;研究的计划和时间;研究的方式;研究的发明所有权、专利所有权、标本和样品的处理以及成果共享条件;研究经费等问题。合作研究期限一般不超过三年。双方人员在对方国家工作期间的生活费用原则上由接待国支付。

第三条,申请者应是正在从事基金项目研究的科研人员。应填报《国家自然科学基金委员会国际合作研究项目申请审批书》,连同合作研究协议书等附件送交有关科学部。

第四条,合作研究的立项要从严掌握,由基金项目申请人提出,科学部审核,国际合作局复核,委领导批准,必要时报请有关部门批准。

第五条,经批准生效的国际合作项目,各科学部应从经费上优先资助。

第六条,与我委有双边协议的国际合作研究项目,经批准后,其经费由国际合作局列支。

第七条,国际合作研究项目获得批准后,为简化手续,以后每年只须报送《国家自然科学基金委员会资助国际合作研究基金项目分年度申请审批书》。

第八条,加强对已批准执行的合作研究项目的管理。对成效显著的可视其需要继续予以支持;对执行较差的应视情况减少或停止资助。

第九条,合作研究项目由国际合作局会同各科学部共同负责管理。

一九八七年三月九日制订

一九八九年十一月二十一日修订