

国家自然科学基金项目(51178143)资助
国家自然科学基金项目(51408594)资助

火灾下混凝土双向板 非线性分析

王 勇 董毓利 著

HUOZAI XIA HONGNING GU SHUANGXIANG BAN FEIXIANXING

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

国家自然科学基金项目(51178143)资助

国家自然科学基金项目(51408594)资助

火灾下混凝土双向板非线性分析

王 勇 董毓利 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书主要论述了混凝土双向板的火灾试验研究及火灾行为的理论分析方法,反映了近年来国内外在钢筋混凝土板火灾行为研究方面的部分最新进展,其中包括本书作者所取得的研究成果。全书共分 6 章,主要内容为:温度场分析、混凝土双向板数值分析方法、混凝土双向板极限承载力理论分析方法和结构中混凝土连续板火灾试验研究等。

本书可供高等院校有关专业师生以及从事混凝土板抗火工程设计和科研工作的技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

火灾下混凝土双向板非线性分析 / 王勇, 董毓利 著

. — 徐州 : 中国矿业大学出版社, 2015. 12

ISBN 978 - 7 - 5646 - 2952 - 6

I. ①火… II. ①王… ②董… III. ①混凝土板—双向板—防火—研究 IV. ①TU375.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 285600 号

书 名 火灾下混凝土双向板非线性分析
著 者 王 勇 董毓利
责任编辑 章 毅 夏 然
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 9.75 字数 221 千字
版次印次 2015 年 12 月第 1 版 2015 年 12 月第 1 次印刷
定 价 38.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前言

由于钢筋混凝土材料的众多优点,其被广泛应用于各类建筑结构工程中。然而,火灾易造成材料性能恶化,严重时结构出现倒塌,所以近年来结构或构件的防火性能研究受到国内外学者的广泛关注。

最近,为了增强对整体结构中构件火灾行为的理解,笔者所在的课题组开展了钢框架结构中单一区格受火工况的防火试验研究。然而,在实际结构火灾中,楼板和钢梁多同时受火,单一受火的工况并不多见。因此,自制火灾试验炉,开展了钢框架结构中四区格(2×2)和钢梁同时受火的试验研究,其中梁柱节点、钢柱以及炉墙外围边梁均未受火。此外,鉴于火灾试验费用高、周期长,深入开展受火钢筋混凝土板理论分析及数值模拟研究具有重要的现实意义。

本书的成果主要有以下几个方面:

(1) 基于 Borland C++6.0 软件平台,采用面向对象设计方法和非线性温度场有限元理论,开发了考虑水分影响的温度场分析程序,采用若干试验结果验证了程序的有效性。

(2) 基于大挠度板单元、三维退化壳单元以及弹塑性理论,建立了常温和高温下钢筋混凝土板有限元分析方法,编制钢筋混凝土双向简支板非线性分析程序。

对常温下钢筋混凝土双向板数值分析,考察了板底裂缝模式及拉压薄膜力分布图,探讨了钢筋混凝土板的受拉薄膜作用机理;分析轴向约束混凝土试件的应力—温度曲线变化规律,指出了瞬态热应变作用机理及其重要性;基于瞬态热应变单轴模型,提出瞬态模量的概念,建立瞬态热应变双轴计算模型,结合热弹塑性本构理论,对钢筋混凝土双向板的火灾行为进行了数值分析,揭示钢筋混凝土双向板的三阶段变形模式及每一阶段的力学机理;对火灾下钢筋混凝土板变形行为进行参数分析,结果表明自由膨胀应变和材料性能退化是影响钢筋混凝土板火灾行为的主要因素,另外混凝土瞬态热应变、钢筋蠕变及其破坏应变对钢筋混凝土板后期火灾行为有重要影响。

(3) 基于塑性铰线理论,考虑塑性铰线处钢筋合力的竖向分量,结合板的配筋率,提出常温下钢筋混凝土板达到极限状态的应力和变形判断准则,利用改进板块平衡法对钢筋混凝土简支板的极限状态进行对比分析。结果表明,极限承载力计算值与试验结果吻合较好;与试验极限位移相比,极限位移计算值相对保守。此外,通过力学分析,解释了在相同挠度下方板极限承载力小于矩形板的破坏机理。

考虑温度对材料特性的影响,将常温改进模型推广到高温状态,建立改进的受火钢

筋混凝土板极限承载力计算模型,建议变形破坏准则取为 $l/30$,使得计算结果偏于保守。

(4) 参照工业炉设计准则,自制火灾试验炉,对整体结构中楼板和钢梁的火灾行为进行了试验研究。简要介绍了试验炉设计情况、温度及变形测量方案,描述了试验现象、楼板裂缝以及节点、填充墙等破坏特征,主要分析了不同结构单元(楼板、钢梁和钢柱)的温度和变形规律,与相关试验结果进行了对比分析。结果表明,受火板格的开裂模式取决于其自身边界条件,非受火板格开裂模式取决于受火板格的数量和位置;相比单一受火钢梁构件,由于受到周围结构单元的约束作用,结构中钢梁具有较强的抗火承载能力;对比高强度螺栓连接节点,混合连接节点有效防止受火钢梁发生局部屈曲。最后,采用温度场非线性程序对楼板温度场进行了数值分析,计算结果和试验结果吻合较好。

研究表明,本书的数值模型能够较好地模拟钢筋混凝土双向板火灾行为,这为进一步研究整体结构中楼板抗火性能提供了良好的分析平台。

著 者

2015 年 6 月

目 录

1 绪论 1

1.1 引言 1

1.2 火灾及试验技术 2

1.3 材料高温性能 27

1.4 板构件火灾行为 40

1.5 结构中楼板火灾行为 45

1.6 本书内容 47

2 温度场分析 49

2.1 引言 49

2.2 理论模型 49

2.3 温度程序设计 55

2.4 算例分析 56

2.5 本章小结 60

3 钢筋混凝土双向板数值分析 61

3.1 引言 61

3.2 单元模型 62

3.3 本构模型 65

3.4 非线性方程解法 68

3.5 程序设计 70

3.6 常温下数值验证与分析 71

3.7 瞬态热应变模型分析 76

3.8 高温下模型验证与分析 78

3.9 应变参数分析 83

3.10 本章小结 87

4 混凝土双向板火灾行为理论分析 89

4.1 引言 89

4.2	经典理论	90
4.3	修正板块平衡法(常温)	92
4.4	修正板块平衡法(高温)	101
4.5	本章小结	105
5	结构中楼板火灾试验研究	107
5.1	引言	107
5.2	试验楼概况	107
5.3	试验方案	110
5.4	试验结果	118
5.5	温度场分析	136
5.6	本章小结	136
6	结语	139
	参考文献	142

CHAPTER

1

绪 论

1.1 引言

在我国的结构工程中,钢筋混凝土结构占有很大的比例,广泛地应用于各类工业和民用建筑、桥梁、交通水利和地下工程。对于常温下混凝土结构,可参照目前规范进行计算设计;然而,对于高温下混凝土结构设计,一般多采取建筑防火设计措施。在高温下,材料性能的严重恶化和剧烈的内力重分布,使结构开裂,变形增大,承载能力急剧下降,比结构的常温性能大大恶化,甚至出现局部破损或者倒塌,导致巨大的经济损失。随着我国经济水平的提高和城市化进程的加速,火灾发生概率增加,更重要的是火灾造成的损失越来越大^[1]。

在国内,钢筋混凝土结构发生火灾的事例时常发生,例如,1994年11月27日,辽宁阜新艺苑歌舞厅火灾,造成233人死亡;1994年12月8日,新疆克拉玛依友谊馆发生火灾,死亡325人;2000年12月25日,河南洛阳东都商厦发生特大火灾,造成309人死亡;2003年12月22日,衡阳衡州大厦发生坍塌事故;2005年12月15日,吉林辽源市中心医院大楼发生火灾,4小时后圈楼倒塌。在国外,2001年9月11日,美国纽约世界贸易中心双子楼因遭受恐怖袭击发生火灾,顷刻间化为废墟。“9·11”事件造成美国的直接损失为255亿美元,间接损失达2000多亿美元^[2]。然而,确实有建筑结构在火灾中并没有倒塌的情况,如1990年英国伦敦的一栋14层高层建筑,没有采取任何保护措施,在大火中却保持完好;另一栋12层的钢结构,采用防火涂料,大火后也没有产生大的永久变形,后来在不需要进行加固的情况下,使用至今。因此,对建筑结构开展抗火分析,研究结构或构件的火灾行为,成为一个重要的研究课题。

钢筋混凝土楼板是水平承重构件,是整体结构中重要的组成部分,国内外学者对其力学行为进行了深入的研究。大量常温板试验表明,由于钢筋混凝土板的受拉薄膜效

应,其极限承载力试验值大于塑性铰线理论计算结果以及基于小挠度理论非线性有限元分析结果;此外,不少学者进行了钢筋混凝土楼板的火灾行为试验研究,结果表明在大变形时楼板中部区域产生受拉薄膜效应,使得楼板具有较强的抗火承载能力,而不致过早发生坍塌破坏。因此,深入研究钢筋混凝土楼板变形行为,分析其力学机理,有利于充分了解楼板的承载能力及抗火性能。

自“9·11”事件以来,国内外不少学者对结构和构件的抗火性能进行了广泛的研究,取得了较多的研究成果,制定了相应的设计规范,并被用于指导结构和构件抗火设计。然而,对钢筋混凝土板的抗火性能研究方面,其抗火研究多集中在构件层次,对其在整体结构中的火灾行为研究相对较少。主要原因在于整体钢筋混凝土结构抗火试验周期长、费用较高。不过,一些火灾案例表明,钢筋混凝土楼板受火面积较大,在发生火灾时,其受火较为严重,对整体结构的抗火行为有重要影响。因此,深入研究钢筋混凝土楼板火灾行为及其在整体结构的抗火性能具有重要的现实意义。

研究表明,受火钢筋混凝土楼板或组合楼板在较大变形时,会产生受拉薄膜效应,能够大大提高楼板的抗火性能^[3,4]。因此,通过分析钢筋混凝土板的火灾行为,充分了解受拉薄膜效应,提高其抗火性能,具有重要的理论和实际指导意义:

(1) 足尺结构火灾试验表明,由于未能考虑周围构件的影响,缩小比例的试验以及单一的构件抗火试验不能完全真实反映其在整体结构的火灾行为。因此,考虑到实际受火工况,有必要进行整体结构中钢筋混凝土楼板和钢梁受火工况的试验研究,为理论分析提供宝贵的试验数据。

(2) 火灾试验研究具有费用高、周期长、试验复杂等特点,只能开展少量、相对简单的足尺钢筋混凝土板构件抗火试验研究,且不能全面研究参数变化对其抗火性能的影响,具有一定的局限性。因此,结合相关文献试验结果,本书采用理论分析和有限元方法研究钢筋混凝土板的抗火性能,对其抗火设计具有重要的理论指导意义。在理论分析方面,通常采用板壳力学的基本理论或屈服线理论分析楼板的承载能力及薄膜效应机理,避开了有限元计算的繁琐,便于工程设计;然而,若要对钢筋混凝土板的变形行为进行全过程分析,一般多采用有限元方法进行数值模拟,即通过建立相应的材料本构模型,开发分析程序或软件,使其成为研究结构或构件火灾行为的重要工具和平台。

(3) 通过试验研究和理论分析,提出钢筋混凝土楼板的抗火设计方法或建议,提高结构抗火性能,减轻结构破坏,延长耐火极限,利于人员疏散,减少损失。

1.2 火灾及试验技术

1.2.1 火灾基本知识

火是燃烧反应的一种形式,是可燃物与氧化剂之间发生的一种化学反应,在燃烧过

程中通常会发出大量的热,有时候还会发出一定的光。然而,火灾是在时间和空间上失去控制的燃烧所造成的危害。

1.2.1.1 火灾分类

根据国家标准 GB/T 4968—2008《火灾分类》,火灾分为 A、B、C、D、E 和 F 六类,具体如下:

(1) A 类火灾:固体物质火灾。这种物质通常具有有机物性质,一般在燃烧时能产生灼热的余烬。

(2) B 类火灾:液体或可熔化的固体物质火灾。

(3) C 类火灾:气体火灾。

(4) D 类火灾:金属火灾。

(5) E 类火灾:带电火灾。物体带电燃烧的火灾。

(6) F 类火灾:烹饪器具内的烹饪物(如动植物油脂)火灾。

根据火灾发生场合,火灾主要分为建筑火灾、森林火灾、工矿火灾和交通运输工具火灾等类型。其中,建筑火灾对人类的危害最直接、最严重,这是由于各种类型建筑物是人们生活、生产活动的主要场所。对于建筑火灾,高层建筑火灾较为严重,原因在于楼层多、功能复杂、人员密集、装饰可燃材料多、电气设备与配电线路密集。同时,对于高层建筑,由于风力作用和竖井管道“烟囱效应”,烟气运动速度快,其火势发展极为迅速,人员疏散、营救及灭火难度大,发生火灾时人员伤亡较为惨重。

根据火灾损失严重程度,火灾分为特别重大火灾、重大火灾、较大火灾和一般火灾。具体如下:

(1) 特别重大火灾:造成 30 人以上死亡,或者 100 人以上重伤,或者 1 亿元以上直接财产损失的火灾。

(2) 重大火灾:造成 10 人以上 30 人以下死亡,或者 50 人以上 100 人以下重伤,或者 5 000 万元以上 1 亿元以下直接财产损失的火灾。

(3) 较大火灾:造成 3 人以上 10 人以下死亡,或者 10 人以上 50 人以下重伤,或者 1 000 万元以上 5 000 万元以下直接财产损失的火灾。

(4) 一般火灾:造成 3 人以下死亡,或者 10 人以下重伤,或者 1 000 万元以下直接财产损失的火灾。

1.2.1.2 火灾条件

火灾发生必须具备如下的三个条件:

(1) 可燃物:凡能与空气中的氧或其他氧化剂起剧烈反应的物质,都可称为可燃物。可燃物种类繁多,按其物理状态,分为气体可燃物、液体可燃物和固体可燃物三类。如木材、纸张、汽油、乙炔、金属钠和钾等。

(2) 氧化剂(助氧剂):凡能帮助和支持燃烧的物质,即能与可燃物发生氧化反应的物质称为助燃物。如空气、氧、氯、溴氯酸钾、高锰酸钾和过氧化钠等。

(3) 点火源(着火源):是指供给可燃物与氧或助燃剂发生反应的能量来源。

如上述三个条件同时出现,就可能引发火灾。

1.2.1.3 火灾规律

火灾是一种灾害性现象,其发生和发展具有随机性和确定性的双重特点。随机性是指火灾在何时、何处发生等都是不确定的,要受到多种因素的影响,存在多种发展可能。确定性是指如果在某一特定场合下发生了火灾,火灾会按基本确定的过程发展,燃烧、烟气流动等都遵循确定的流体流动、传热传质和物质守恒规律。

一般而言,室内火灾发展分为三个阶段,即初期增长阶段、充分发展阶段和衰减阶段。在前两个阶段之间,有一个标志着火灾发生质的转变的现象,即轰燃。轰燃是指火在建筑内部突发性引起全面燃烧的现象,即当室内大火燃烧形成的充满室内各个房间的可燃气体和没充分燃烧的气体达到一定浓度时,形成爆燃,导致室内其他房间的没接触大火的可燃物也一起被点燃而燃烧,也就是“轰”的一声,室内所有可燃物都被点燃而开始燃烧。一旦发生轰燃,室内人员逃生和室内大火扑救都比较困难,而且还会造成火灾向邻近房间蔓延。轰燃现象是一般室内火灾过程中一个非常重要的现象。

(1) 初期增长阶段:燃烧面积很小,室内温度不高,烟少且流动相当慢。这一阶段持续时间取决于着火源类型、物质燃烧性能和布置方式,以及室内通风情况等。这一阶段是灭火的最有效时机。如果室内通风条件很差,火灾将因缺氧而自动熄灭。如果室内通风条件较好,随着可燃气体充满整个空间,室内可燃装修、家具或织物等开始燃烧,即产生轰燃现象,火灾随即进入下一个阶段。

(2) 充分发展阶段:这一阶段室内处于全面而猛烈的燃烧状态,室内温度达到最高(达 800 ℃),热辐射和热对流加剧,火焰可能从通风口窜出室外。这一阶段持续时间长短及最高温度主要取决于可燃物质量、门窗洞口大小和部位、室内墙体热工性质等。当室内大多数可燃物烧尽,室内温度下降至最高温度 80% 以下时,火灾即进入衰减阶段。

(3) 衰减阶段:这一阶段室内温度逐渐降低,室内可燃物仅剩暗红色余烬及局部微小火苗,温度在较长时间内保持 200~300 ℃,当燃烧物全部烧光后,火势趋于熄灭。

1.2.1.4 火灾案例

火灾是各种灾害中发生最频繁且极具毁灭性的灾害之一,按各种灾害损失综合估算,火灾造成的直接经济损失约为地层带来损失的 5 倍,仅次于干旱和洪涝所造成的损失,而发生的频率则居各种灾害之首。

根据联合国世界火灾统计中心的统计,火灾造成的损失,美国不到 7 年翻一番,日本平均 16 年翻一番,我国平均 12 年翻一番。国际消防技术委员会对全球火灾的调查统计表明,近几年全球每年发生 600 万~700 万起火灾,有 55 000~75 000 人在火灾中丧命。全球每年在火灾中死亡人数最多的 6 个国家是:印度,年均 2 万人;俄罗斯,年均 1.35 万人;美国,年均 0.5 万人;中国,年均 0.21 万人;日本,年均 0.2 万人;乌克兰,年均 0.17 万人。

实际上,在计算火灾损失时,除了火灾直接损失之外,还应考虑火灾间接经济损失及社会影响等。根据有关方面的研究,如果火灾直接经济损失占国民经济总产值的 0.15% ,那么整个火灾损失将占国民经济总产值的 0.75% 左右。为进一步了解火灾的危害性,重点介绍一些火灾案例。

(1) 克拉玛依友谊馆特大火灾(图 1-1)

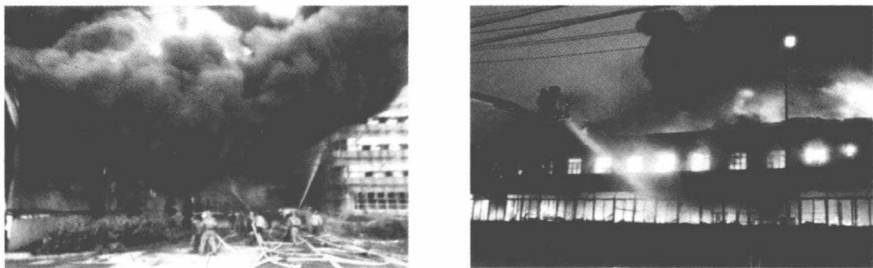


图 1-1 克拉玛依友谊馆火灾场景

1994 年 12 月 8 日下午 6 时 10 分,新疆维吾尔自治区教委在克拉玛依市友谊馆进行文艺汇报演出时,因舞台上方的照明灯烤燃幕布引发大火,烧死 325 人,烧伤 130 人,其中重伤 68 人。死难者中有 8 至 14 岁的中小學生 287 人,老师 18 人,干部等 20 人。

(2) 洛阳东都商厦特大火灾(图 1-2)

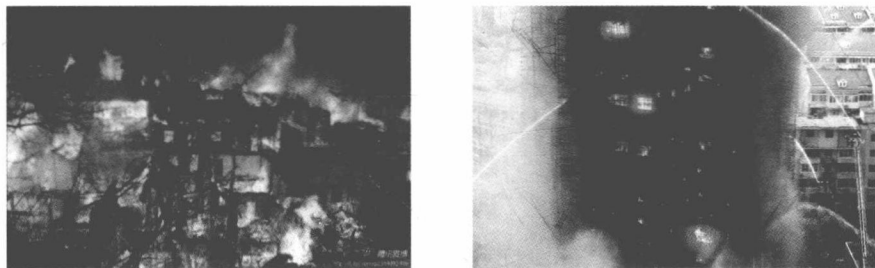


图 1-2 洛阳东都商厦火灾场景

2000 年 12 月 25 日 21 时 35 分,河南省洛阳市老城区东都商厦发生特大火灾事故,26 日零时 45 分大火最终被扑灭。火灾造成 309 人死亡,7 人受伤,直接经济损失 275 万元。火灾是因该商厦地下一层东都分店非法施工、施焊人员违章作业,电焊火花溅落到地下二层家具商场的可燃物上造成的。

(3) 中央电视台特大火灾

2009 年 2 月 9 日晚,在建的中央电视台电视文化中心(又称央视新址北配楼)发生特大火灾(图 1-3)。火灾是由于违规燃放烟花引起的。

2009 年 2 月 9 日晚 8 时许,中央电视台新址附近烟花表演结束后,北配楼外部装饰板着火,火势由外到内烧到大楼中部时开始发生爆炸,并伴随局部坍塌,火光呈黄色、青

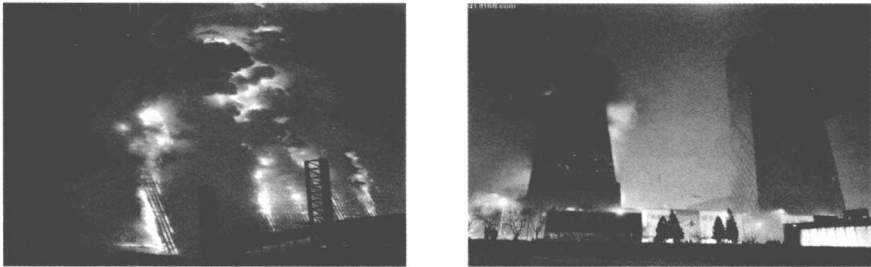


图 1-3 央视北配楼火灾场景

黑等化学物品燃烧状况,火焰高达 6~9 m,大火燃烧近 6 个小时后才于翌日凌晨 2 时救熄,大楼外墙受损严重,但火灾未造成主体结构损坏。央视大火案造成 1 名消防队员牺牲、6 名消防员和 2 名施工人员受伤。救灾过程耗费大量人力物力,造成直接经济损失 1.64 亿元。

(4) 吉林市商业大厦火灾(图 1-4)



图 1-4 吉林市商业大厦火灾场景

吉林市商业大厦始建于 1987 年,该建筑占地面积 1.34 万 m²,总建筑面积 4.2 万 m²,共分 5 层,每层分 3 个经营区,主要经营家电、服装、鞋帽、家具等。火灾前,大厦内共有经营业户 64 户,管理人员 49 人,经营人员 325 人。2010 年 11 月 5 日,吉林市商业大厦发生火灾,火灾由电气线路短路所致。火灾共造成 19 人死亡、24 人受伤,过火面积约 1.58 万 m²。

(5) 香格里拉火灾(图 1-5)

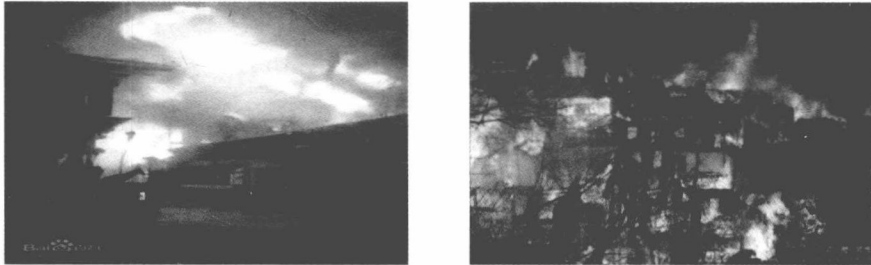


图 1-5 香格里拉火灾场景

2014年1月11日1时10分,云南省迪庆藏族自治州香格里拉县独克宗古城仓房社区一旅店发生火灾,原因是取暖器使用不当。火灾造成烧损、拆除房屋面积59 980.66 m²,烧损(含拆除)房屋直接损失8 983.93万元(不含室内物品和装饰费用),无人员伤亡。

(6) 温岭鞋厂火灾(图 1-6)

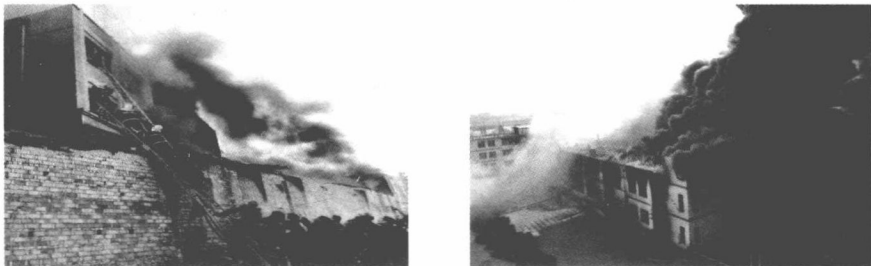


图 1-6 温岭鞋厂火灾场景

2014年1月14日下午14时52分,浙江省温岭市一鞋厂发生火灾,原因是位于鞋厂东侧钢棚北半间的电气线路故障,引燃周围鞋盒等可燃物。火灾共造成16人死亡,另有17人被送往医院,其中5人受伤。

(7) 山东寿光食品厂火灾(图 1-7)



图 1-7 山东寿光食品厂火灾场景

2014年11月16日19时,山东寿光一食品公司发生火灾,原因是该食品厂保鲜恒温库内沿墙敷设的制冷风机供电线路接头过热短路,引燃墙面聚氨酯泡沫保温材料,引发火灾。事故造成18人死亡、13人受伤。

(8) 哈尔滨陶瓷市场火灾(图 1-8)

2015年1月2日13时14分,黑龙江省哈尔滨市道外区太古头道街一陶瓷大市场的三层仓库起火,发生火灾的仓库位于一栋11层的居民楼,其中1~3层为仓库,4~11层为居民楼。起火原因是电暖气超负荷。火灾扑救过程中,起火建筑多次坍塌,坍塌面积3 000 m²,造成5名消防员遇难和14人受伤。

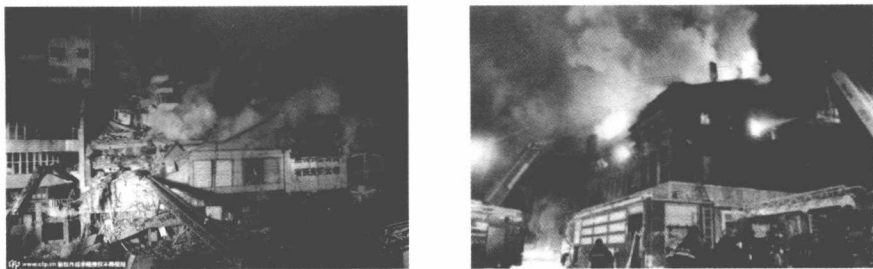


图 1-8 哈尔滨陶瓷市场火灾场景

1.2.2 火灾试验技术

建筑构件火灾试验的目的是确定构件抵抗火灾的能力,即构件耐火性能。火灾试验技术主要涉及试验装置、试验条件要求、试验仪器设备、试验程序以及试验构件的破坏准则等^[5]。

1.2.2.1 试验装置

火灾试验装置主要包括试验炉、燃烧系统、加载装置、试件以及测量仪器(如热电偶、炉压探头和变形测量仪等)。

(1) 试验炉

试验炉可采用液体或气体燃料,且应满足以下条件:水平或垂直分隔构件能够使其一面受火;柱子的所有轴向侧面都能够受火;对不对称墙体能使不同面分别受火;梁能够根据要求三面或四面受火。

炉内衬材料采用耐高温的隔热材料,密度应小于 1 000 kg/m³。炉内衬材料的最小厚度应为 50 mm。

(2) 燃烧系统

燃烧系统是试验装置的重要组成部分。构件火灾试验时,所耗热量是由燃烧系统燃料提供的,其直接影响到炉内升温曲线和炉内温度均匀性。

① 燃料

燃烧炉内要模拟火灾的燃烧状况,既要明火燃烧,又要按标准升温曲线升温,对燃料要求比较严格。根据燃料状态,分为气体和液体两类。

气体燃料主要是天然气、煤气等,其便于控制和调节,易于同空气混合,燃烧充分,烟尘少,对大气污染小,是火灾试验理想燃料。在条件允许时,优先选用这类燃料。采用气体燃料时,安全措施要求较高。

液体燃料通常是轻柴油,燃烧充分时,烟尘较少,否则烟尘较大,对大气造成污染。同时,冬天温度较低时,燃油易在油管中凝固,有碍于试验进行。采用柴油作为燃料时,相对较为安全。

② 喷嘴

喷嘴是把燃料喷入炉内燃烧的关键组件,燃料和压力空气在此充分混合,以雾状喷入炉内燃烧。为了满足炉内升温迅速、温度均匀、便于调节的要求,喷嘴应小而多,且喷口要相互错开。根据燃料情况,喷嘴分为燃油和燃气喷嘴。

③ 炉温

控制炉温是试验中的一个重要环节,炉温控制方法主要是通过增减燃烧喷嘴的数量,调节喷嘴的油压及风压,调整烟道闸板的位置。

(3) 加载装置

加载装置应能够模拟均布加载、集中加载、轴心加载或偏心加载,根据试件结构的相应要求确定加载方式。在加载期间,加载装置应能够维持试件加载量的恒定(偏差在规定值的 $\pm 5\%$ 以内),并且不改变加载的分布。在耐火试验期间,加载装置应能够跟踪试件的最大变形量和变形速率。

加载装置不应严重影响热量在试件内的传播,不应阻碍热电偶隔热垫的使用并且不应影响表面温度或变形的测量。加载装置与试件表面接触点的面积总和不应该超过水平试件表面积的 10% 。

如果加热结束后仍需要保持加载时,应提前做好准备工作。

(4) 试件

试件主要包括非承重墙或隔板、承重墙、柱、横梁或楼板等。

(5) 仪器

① 热电偶

a. 炉内热电偶

炉内热电偶采用符合 GB/T 16839.1—1997 规定的丝径为 $0.75\sim 2.30\text{ mm}$ 的镍铬—镍硅(K型)热电偶,外罩耐热不锈钢套管或耐热瓷套管,中间填装耐火材料,其热端伸出套管的长度不少于 25 mm ,如图 1-9 所示。炉内温度的测量准确度为 $\pm 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

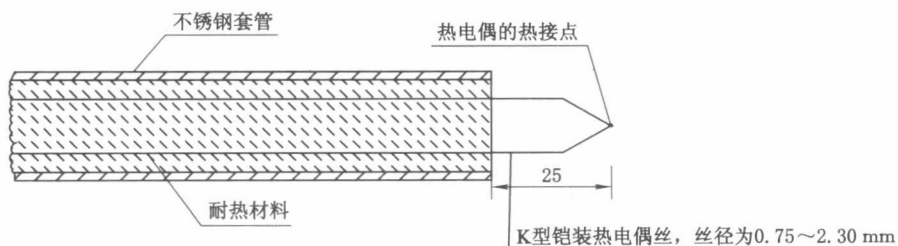


图 1-9 K 型热电偶

试验开始时,热电偶热端与试件受火面的距离应为 $100\pm 10\text{ mm}$;试验过程中,上述距离应控制在 $50\sim 150\text{ mm}$ 之内。热电偶应保持良好的工作状态,累计使用 20 h 后,应对热电偶进行校验检定。

b. 背火面热电偶

试件背火面温度应使用圆铜片式热电偶进行测量,如图 1-10 所示。为了得到良好的热接触,直径为 0.5 mm 的热电偶丝应低温焊接或熔焊在厚 0.2 mm、直径为 12 mm 的圆形铜片上。热电偶可采用镍铬—镍硅(K 型)热电偶。每个热电偶应覆盖长、宽均为 30 mm,厚度为 2.0 ± 0.5 mm 的石棉衬垫或类似材料。隔热垫密度应为 900 ± 100 kg/m³,导热系数应为 0.117~0.143 W/(m·K)。

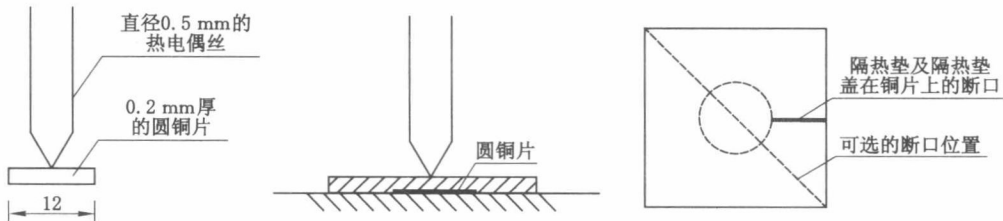


图 1-10 背火面热电偶和隔热垫

石棉衬垫应与试件表面连接,可用耐热胶粘贴在试件表面上,但试件表面和圆铜片之间或圆铜片与隔热垫之间不应有任何残留胶浆。背火面测量精度要求为 ± 4 °C。

c. 移动热电偶

试验过程中当怀疑背火面某位置温度较高时,可使用一支或多支设计如图 1-11 所示的移动热电偶,或是使用其他温度测量仪(红外辐射测温仪)来测量该位置温度。移动热电偶测量端采用直径为 1.0 mm 的热电偶丝低温焊接或熔焊到直径为 12 mm、厚度为 0.5 mm 的圆铜片上。热电偶可采用镍铬—镍硅(K 型)热电偶,移动热电偶的组件应提供手柄,以便在试件的背火面上能够任意移动。

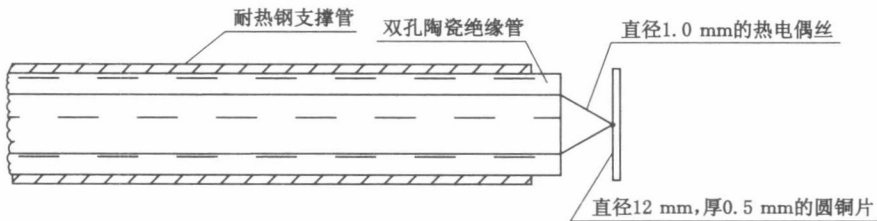


图 1-11 移动热电偶

d. 内部热电偶

当需要测量试件内部温度时,应使用符合温度范围的、符合试件材料类型特点的热电偶测量;应把热电偶安装在试件内部选定的部位,但不能影响试件的性能。热电偶热端应保证有 50 mm 以上的一段处于等温区内。测量精度要求为 ± 10 °C。

e. 环境温度热电偶

在试验前和试验期间,实验室内试件附近应配一支 3 mm 不锈钢铠装热电偶或铂电阻显示环境温度。热电偶可采用镍铬—镍硅(K 型)热电偶。热电偶或铂电阻的热端应