



火灾科学与消防工程

第四届消防性能化规范发展研讨会论文集

FIRE SCIENCE AND ENGINEERING

A Treatise on the 4th Conference on the Development of Performance-Based Fire Code

火灾科学与消防工程

——第四届消防性能化规范发展研讨会论文集

FIRE SCIENCE AND ENGINEERING

A Treatise on the 4th Conference on the Development
of Performance-Based Fire Code

香港城市大学建筑系火灾安全与灾害研究组 编
中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室

中国科学技术大学出版社

合肥·2007

图书在版编目 (CIP) 数据

火灾科学与消防工程: 第四届消防性能化规范发展研讨会论文集/香港城市大学建筑系火灾安全与灾害研究组, 中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室编. —合肥: 中国科学技术大学出版社, 2007.10

ISBN 978-7-312-02160-2

I. 火… II. ① 香… ② 中… III. 消防—文集 IV. TU998.1-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 162295 号

中国科学技术大学出版社出版发行
(安徽省合肥市金寨路 96 号, 230026)

合肥现代印务有限公司印刷

全国新华书店经销

开本: 880×1230/16 印张: 40.75 字数: 1530 千

2007 年 10 月第 1 版 2007 年 10 月第 1 次印刷

定价: 198.00 元

组委会、学委会、执委会名单

(一) 大会组织委员会

主 席

孙伦 (中国消防协会会长、研究员)

副主席

范维澄 (中国消防协会副会长、中国工程院院士、清华大学公共安全研究中心主任、中国科技大学火灾科学国家重点实验室主任、教授)

秘书长

尹铁林 (中国消防协会秘书长)

委 员 (按姓氏笔画为序)

卢兆明 (香港城市大学建筑系副主任、副教授)

吴启鸿 (中国消防协会总工程师、高级工程师)

赵子新 (北京消防协会常务副理事长、北京市公安消防总队总队长)

袁宏永 (清华大学公共安全研究中心副主任、教授)

廖光煊 (中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室常务副主任、教授)

(二) 大会学术委员会

主任委员

范维澄

副主任委员

吴启鸿

委 员 (按姓氏笔画为序)

申世飞 (清华大学公共安全研究中心副教授)

孙金华 (中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室副主任、教授)

苏向明（北京消防协会副理事长、高级工程师）

袁国杰（香港城市大学建筑系工程博士课程主任、副教授）

（三）大会执行委员会

主 任

尹铁林（中国消防协会秘书长）

委 员（按姓氏笔画为序）

李 伟（北京消防协会秘书长、高级工程师）

李伟明（香港城市大学建筑系助理教授）

陆守香（中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室教授）

杨力慧（中国消防协会科技服务部主任、高级工程师）

张和平（中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室副主任、教授）

周新民（中国消防协会科技服务部工程师）

翁文国（清华大学公共安全研究中心副教授）

第四届消防性能化规范发展研讨会论文集中所收录的论文，内容均由每篇论文的作者自行负责。如有任何纠纷，请直接与相应论文作者联系，与本次会议的主办单位与编辑单位无关，特此说明。

序

两岸四地第四届消防性能化规范发展研讨会的举办以及论文集的出版是“火灾科学与消防工程”学科发展的一个值得高兴的大事。性能化设计是近年来国际上逐步发展起来的一种新的设计思想和方法。随着我国内地及港、澳地区城市建设的快速发展,各类超高层、超大空间的复杂建筑不断涌现。在许多情况下,现有的条文式的规范已不能满足城市建设发展的现实需要,科学、规范地运用性能化设计方法来解决一些特殊和复杂建筑的消防安全工程设计问题已是势在必行。

定期召开的“消防性能化规范发展研讨会”是推动性能化设计不断发展和完善的一个很好的机制和平台。此次研讨会得到了两岸四地消防界广大专家学者的重视、支持和积极参与。经大会学术委员会专家评审,有 78 篇论文在会上交流,有近 90 篇论文收入了论文集。论文内容涵盖了性能化设计及验证技术、性能化设计验证及实验、性能化设计工程实例探讨、性能化设计效益评估等诸多方面。相信通过此次会议将会进一步推动性能化设计的实际应用和健康发展。

中国消防协会会长



二〇〇七年十月

目 次

序	i
材料燃烧发热、烟、毒性气体之分析研究	1
水灭火主控参数之探讨日.....	11
疏散模型在建筑设计中的应用	20
细水雾与撒水系统在机械空间火灾抑制效能探讨	26
基于性能化的细水雾灭火系统设计方法及工程应用	35
性能化与传统防火设计之比较	41
试论汽车工业建筑应用性能化防火设计理念的可行性	44
漏电火灾报警系统应用探讨	48
高大空间火灾探测系统综合集成实验究	56
大型城市越江隧道疏散设计探讨——以武汉长江隧道为例	64
建筑火灾人员疏散时间的参数敏感性分析	71
利用疏散软件对复杂建筑通道评估的应用实例分析	77
试析国际上通用人员疏散评估软件	82
某大型商场中庭防排烟系统性能化设计	88
智能建筑消防配电线路的设计分析	96
智能型避难标示设备之应用	99
某影剧院的消防安全性能化评估	118
露天体育场馆的消防性能化设计	126
自动灭火天花板在消防节能环保三方面的探讨	132
建立和完善消防规划法律制度提高城乡抗御火灾能力	135
商（市）场火灾轰燃的控制方法探讨	140
性能化防火设计若干问题的讨论	148
以火灾统计调查为基础探讨台湾高科技厂房建筑物火灾风险评估与损失程度的关联性.....	154
数值仿真在混合型湍流流场洁净室火灾之应用与探讨	164
档案库房火警及灭火设备设计及紧急应变之研究	172
台湾公路隧道之消防安全设计及发展趋势	184
浅谈消防安全系统工程的建立与应用	192

某艺术中心钢结构的安全性分析	210
半导体厂湿式清洗台火灾数值模拟之研究与探讨	214
台湾地区性能防火法规之展望	221
某楼座式大型会议厅的人员疏散安全研究	232
北京奥林匹克公园地下交通联系通道性能化防火设计研究	238
智能化隔室消防安全设计	249
以 CFD 软件模拟安全梯加压防烟设计	257
建筑物内单一出口空间的疏散分析	266
飞机库消防安全性能化评估	273
对三峡船闸消防安全问题的思考与建议.....	279
公路隧道火灾的数值模拟和探测实验	282
计算机数值模拟在地下建筑火灾中应用的研究现状	288
地铁火灾模型实验相似条件分析	293
性能化方法在地铁火灾防火设计中的应用研究	299
城市轨道交通火灾自动报警系统设计	306
基于性能化分析的大型船舶机舱水基灭火系统有效性评价方法研究	316
应用系统动力学方法分析人员在疏散准备阶段的行为反应	323
消防性能化设计之应用：排烟系统的效率与验收	331
基于火灾风险的大型交通枢纽性能化设计	339
城市小区消防系统集中供水的可行性分析	346
高大空间建筑火灾探测系统综合集成实验研究	353
多功能商场性能化设计初探	358
基于性能化防火设计方法的地铁换乘站排烟分析	365
排烟设备开启方式对某大型商场人员安全疏散影响的研究	370
在大型火电厂扩建中采用性能化防火设计带来的思考	380
雪山隧道水系统灭火设备模拟之研究	384
双层幕墙的消防性能化设计	397
大空间建筑防火设计初探	408
大型钢结构建筑性能化防火设计方法研究基于整体的系统方法	412
人员安全疏散评估中若干随机性问题探讨	418
FDS 建模工具的研究及其在性能化设计中的应用	425
浅析计算机与网络在消防领域的若干应用	432
基于性能化思想的建筑防火设计优化模型的探讨	435
基于 Floyd 算法的火灾救援最佳路线选择	442
烟气控制系统的优化设计研究	446

建筑电气系统漏电火灾的防范措施	451
浅谈防火性能化设计方法在既有建筑火灾隐患整改中的应用	458
视频火灾探测报警系统	461
基于性能化防火设计中建筑物首层开口高度对烟气流动及人员疏散影响的研究.....	467
人员聚集场所内建夹层之火灾危害的性能化防火分析	473
城市越江隧道火灾烟气流动与纵向通风的数值模拟研究	481
某科学中心展厅的消防性能化设计应用分析	487
半导体厂湿式清洗台之细水雾防护效能验证	493
加护病房避难安全策略及紧急应变作为之研究-以某医学中心为例	498
前室火灾时透过楼梯间门窗对楼梯间造成的热辐射研究	509
性能化评估中 CFD 计算的网格尺寸选取原则的探讨	518
考虑人数分布不确定性和视野变化的人员疏散格子气模型研究	525
性能化防火设计理念在重大火灾隐患整改工作中的应用	532
基于大涡模拟的池火数值模拟研究	536
不同排烟模式对深埋地铁火灾烟气扩散的影响	543
地铁火灾虚拟环境下人员对不同颜色疏散标识的决策反应	548
大型多功能公共建筑火灾安全技术应用研究	552
建筑防火性能化设计在大型体育场馆中的应用	558
某大剧院钢结构性能化防火设计	563
铁路站消防性能化设计探讨	569
钢空间框架结构的火灾工程安全性能评估	573
数值模拟于大型室内空间中火烟模式之应用与研究	580
基于事件树分析的火灾场景选择	591
电梯门在不同梯厅区划之燃烧行为探讨	599
基于区域网络平台的隧道火灾烟气建模与仿真	613
公共建筑物减灾验证案	623
建筑火灾烟气中 CO\CO ₂ 浓度分布及其迁移研究	628
浅谈公路隧道的性能化防火设计.....	635

材料燃烧发热、烟、毒性气体之分析研究

蔡匡忠, 刘韦杜, 陈泓翔

台湾高雄第一科技大学环境与安全卫生工程系

摘要

表面试验(Surface test)为台湾目前测试装修材料耐燃性之主要测试法, 而圆锥量热仪(Cone Calorimeter)为目前国际上最被接受之试验法, 二项试验法数据之对比为一重要课题。此两套系统主要之差异在试体尺寸(22×22与10×10cm)与加热环境(0~13.71 kW/m²升温加热、50 kW/m²稳定加热), 之前对比结果显示其相关性不高, 但却未深入探讨。此外现行的法规对于室内装修材料燃烧而生成之有毒气体尚未加以规范, 乃因相关研究认为烟毒与发热具有正相关, 故控制热释放率应已同时控制烟毒生成, 因此在检测方面常常较忽略烟毒危害部分。

本研究针对上述二议题进行进一步探讨, 以10×10、14×14、22×22 cm尺寸之试体进行表面试验, 可探讨试体尺寸之效应, 并与圆锥量热仪数据比对可探讨升温方式不同之效应。此外, 比对表面试验所得之总发热量及发烟系数与有害燃气试验之CO浓度与老鼠死亡时间, 可讨论热、烟、毒及老鼠死亡时间之相关性。

研究结果发现, 改变试体尺寸对着火时间、最高热释放率、总热释放之效应虽显著但无一定趋势, 而发热量(tdθ)与发烟系数(C_A)及CO浓度皆为正相关(R²=0.7887、R²=0.6088), 故控制发热量大致应可控制烟毒生成。此外若只以CO浓度结合FED模式以预估毒性对生物之影响是不够的, 应尚有其它因子。本研究之结果可对防火测试中各项标准测试数据分析提供信息。

关键词: 材料燃烧性之热烟毒、加热环境、试体尺寸。

1. 概述

近年来建筑物的重大火灾显示, 火灾起火或扩大延烧速率常与使用易燃性的室内装修材料有关, 所以使用具耐燃性能的装修材料是防火安全中第一道防线, 也是最有效的方法之一。然而耐燃材料不仅要有阻缓火势扩大、延烧, 增长逃生时间的效果外, 还要考虑烟的发生及燃烧气体的成分问题, 故在于耐燃材料的性能检测上分别以着火性、发热性、发烟性和毒性进行评估。

世界各国都有相关的试验法, 其中以小尺寸试验中圆锥量热仪(Cone calorimeter)^[1]为最符合国际化之试验法^[2], 然而台湾在针对装修材料防火性能测试, 目前仍以表面试验^[3]为主要试验标准。为减少贸易障碍, 试验标准之国际调和非常迫切, 因此各标准测试数据之兼容性及对比研究为一重要之课题。此两套系统主要之差异在试体尺寸与加热环境, 之前对比试验研究之结果已显示, 表面试验及圆锥量热仪数据之相关系数并不高^[4], 但未针对试体尺寸、加热方式深入探讨。

此外现行的法规对于室内装修材料燃烧而生成之有毒气体则尚未加以规范; 相关研究中^[5]认为烟毒与发热具有正相关, 故控制热释放率应已同时控制烟毒生成, 因此在检测方面常常较忽略烟毒危害部分, 且火灾中热、烟、毒之危害因子通常有其合并作用, 并且相互影响。因此是否控制热释放率即可管控烟毒的生成量呢? 而单以目前试验法是否可以有效检测材料燃烧毒性对人体之危害影响?

2. 先前研究

2.1 世界主要防火研究国家之试验法

自从采用防火试验来测试材料防火性能以来, 世界各国一向都各自发展或选用一套测试基准, 共同及共通性甚少。但自欧洲数国组成「欧盟」以及的世界贸易组织, 以减少贸易障碍以来, 货物的自由流通为重要的目标, 由于测试标准不一致, 就无法达到「减少贸易障碍」的目标。因此, 发展一套世界各地都通用的防火试验标准十分必要。

目前火灾评估方式分别从着火性、发热性、发烟性及毒性参数去作评估,而世界各国皆有其试验法来测试装修材料,而台湾目前仍依据早期日本 JIS A1321 标准制订而来,包括表面试验(CNS 6532)及基材试验两部分。此试验法适用于检测建筑物室内装潢材料于火灾初期之耐燃性(Incombustibility),测定装修材料表面受到一般火灾状况之加热所表现之着火性、燃烧性及发烟性。而目前圆锥量热仪为国际间最被认同之试验法^[2],而台湾已订定圆锥量热仪之标准试验法(CNS 14705)^[6],但尚未以此试验法来判定装修材料之耐燃级别标准。

在毒性部分以有害燃气试验法(CNS 8738)作为烟毒测试方法,目前国际上亦常用简单数学模式来评估毒性,其中以 FED(Fraction effective dose)模式最被广泛使用。FED^[7](Fraction effective dose 有效剂量百分比值)之计算方程式如下

$$FED = \frac{\bar{C} \times \Delta t}{Ct}$$

Haber's Rule: $Ct = K$

$K = \text{常数}$

$Ct = \text{造成动物50\%死亡或丧失行动力之浓度与时间乘积}$

虽然单一毒性物质之效应已能有效模拟,但是由于火灾中燃烧产物的种类与浓度变化甚多,因此 Levin^[8]提出另一模式来包含火灾中混合之多项毒性气体。

$$(FED)_{\text{total}} = \sum_i \frac{\int C_i dt}{LC_{50}(i)}$$

其中: i 为某种刺激性气体

$LC_{50}(i)$ 为某种气体单独存在时,受测生物暴露 30 分钟并观察期间 14 天,死亡半数的浓度与暴露时间乘积。表 2-2 为常见毒性气体之 LC_{50} 。

其后 NIST 利用此原理,以火灾中影响死亡与丧失行动能力之主要毒性气体,提出 N-Gas 模式^[7]:

$$FED = \frac{m[CO]}{[CO_2] - b} + \frac{[HCN]}{LC_{50}HCN} + \frac{21 - [O_2]}{21 - LC_{50}O_2} + \frac{[HCl]}{LC_{50}HCl} + \frac{[HBr]}{LC_{50}HBr}$$

$$= \frac{m[CO]}{[CO_2] - b} + \frac{[HCN]}{150\text{ppm}} + \frac{21 - [O_2]}{(21 - 5.4)\%} + \frac{[HCl]}{3700\text{ppm}} + \frac{[HBr]}{3000\text{ppm}}$$

(信赖区间 95%, 误差 ± 0.2)

CO_2 本身毒性极低,但对于 CO 气体的毒性有相当加成作用,故当 CO_2 的浓度大于 5% 时, CO 毒性便急剧地上升,上式 m 与 b 分别为经验公式常数如下:

$$[CO_2] < 5\% \text{ 时, } m = -18 \quad b = 122000$$

$$[CO_2] > 5\% \text{ 时, } m = 23 \quad b = -38600$$

然而并非 CO_2 愈多代表环境之毒性较高,是由于 CO_2 增加,使得小白鼠呼吸频率及深度增加^[9],造成吸入毒性物质的量增加,进而加速死亡时间,其 FED 值^[10]如下:

$$FED = \left\{ \frac{[CO]}{LC_{50}CO} + \frac{[HCN]}{LC_{50}HCN} + \frac{[HCl]}{LC_{50}HCl} + \frac{[HBr]}{LC_{50}HBr} + \dots \right\}$$

$$\times V_{CO_2} + A + \frac{21 - [O_2]}{21 - 5.4}$$

$$V_{CO_2} = 1 + \frac{\exp(0.14[CO_2]) - 1}{2}; \quad A \text{ 为酸中毒函数} = [CO_2] \times 0.05$$

然而毒性物质之合成效应并非全为加成效果,Hartzell^[11]进行 CO 与 HCl 对丧失活动能力时间与死亡的

暴露剂量之影响, 结果发现探讨死亡时, CO 与 HCl 两者有加成效果。其原因在于 HCl 的刺激, 会破坏呼吸系统而减低呼吸量, 使得由吸入 CO 而产生 COHb 的比率降低, 因而延长活动停止时间, 但缩短致死时间。

Hartzell^[12]认为 FED 模拟对于单一毒性物质的老鼠暴露测试中, 是非常精准的, 已不需要再以动物来做测试, 然而针对火灾中多种燃烧产物至今虽已衍生出多项方程式, 皆未能非常精准的模拟出毒性效果。

2.2 表面试验与圆锥量热仪试验结果之比较

表面试验与圆锥量热仪试验两试验法的差异, 包括试体尺寸、加热环境、加热时间、量测项目, 先前学者^[4]对两试验法数据已进行过比较探讨, 着火性部分发现表面试验中的 t_c 与圆锥量热仪的引燃时间 (t_{ig}) 有相当大的差异; 在发热性中表面试验的发热量 ($td0$) 与圆锥量热仪的总热释放率 (THR) 有较佳相关性 ($R^2=0.7528$)。然而两试验法最主要差异在于加热环境 ($0\sim13.71\text{ kW/m}^2$ 升温加热、 50 kW/m^2 稳定加热) 与试体尺寸大小 (22×22 、 $10\times10\text{ cm}$), 如图 1, 但之前学者并没有针对此两项做更深入的探讨。

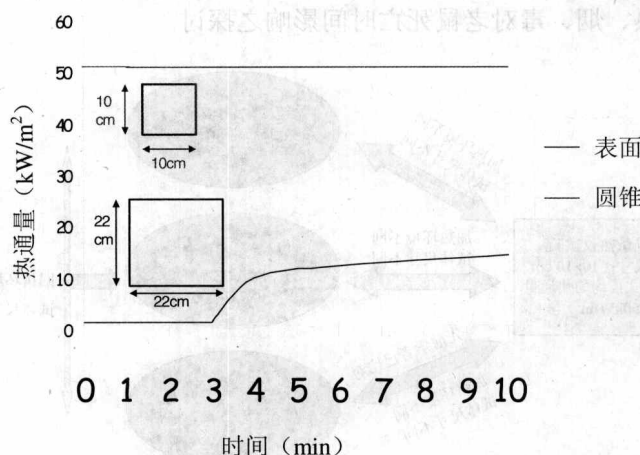


图 1 表面试验与圆锥量热仪热通量与尺寸大小比较

而 Nussbaum and Östman^[13]在圆锥量热仪实验中, 针对试体尺寸 $10\times10\text{ cm}$ 和 $20\times20\text{ cm}$ 进行不同尺寸之研究, 分析后发现试体尺寸大的热释放率 (HRRPUA) 较高; 引燃时间 (t_{ig}) 也较快。

2.3 热烟毒之试验结果相关性

日本在烟毒性的判别上提出 CO 生成量与热释放率成正相关, 故建议之基准未提出毒性危害部分, 假设若控制热释放率已同时控制 CO 生成量^[2]; 且一般建筑材料发烟与发热具有正向关系, 亦即限制其发热即可控制其发烟, 因此也不再单独进行发烟影响能见度之试验^[5]。

3. 实验与讨论

3.1 实验规划

本研究以不同试验法探讨装修材料着火性、发热性、发烟性及毒性之相关性。赖宜麟^[4]提出表面试验与圆锥量热仪试验在着火性部分发现有相当大的差异; 在发热性中有较佳相关性, 但却未深入针对加热环境及试体尺寸进行探讨, 故本实验深入研究表面试验与圆锥量热仪在不同加热环境及不同试体尺寸下的相互关系。此外, 并使用有害燃气检验法, 来评估火灾烟毒之危害, 以验证是否如先前研究^[2]认为烟毒与发热具有正相关, 控制热释放率即同时控制烟毒生成? 如此将可使未来试验法在判别级别时, 提供重要的信息。

3.2 实验设备

本实验设备主要为表面试验 (CNS 6532)、圆锥量热仪 (Cone calorimeter) 及有害燃气试验 (CNS 8738)、CO/CO₂/O₂ 气体分析仪、数据记录器、热电偶 (Thermocouple) 及 VOC_s、醛酮类等相关实验分析设备。

3.3 实验设计

实验设计如图 2, 以表面试验 (图中绿色部分)、圆锥量热仪试验 (图中蓝色部分) 和有害燃气试验法 (图中黄色部分) 探讨装修材料之着火性、发热性、发烟性及毒性之相关性。实验第一部份探讨表面试验与圆锥量热仪试验之尺寸试体与加热环境研究, 分别以 22×22 cm、14×14 cm、10×10 cm 之不同尺寸进行表面试验, 并与试体尺寸 10×10 cm 之圆锥量热仪试验做比对, 以热释放趋势、总发热量、着火时间之火害参数数据, 探讨加热环境与试体尺寸之相互关系; 第二部份实验以试体尺寸 22×22 cm 之表面试验所得之发烟系数 (C_A) 及总发热量 ($td\theta$) 与有害燃气试验所得之老鼠活动停止时间 (min)、死亡时间 (min) 与 CO 浓度 (ppm), 进行热、烟、毒对老鼠死亡时间影响之探讨。

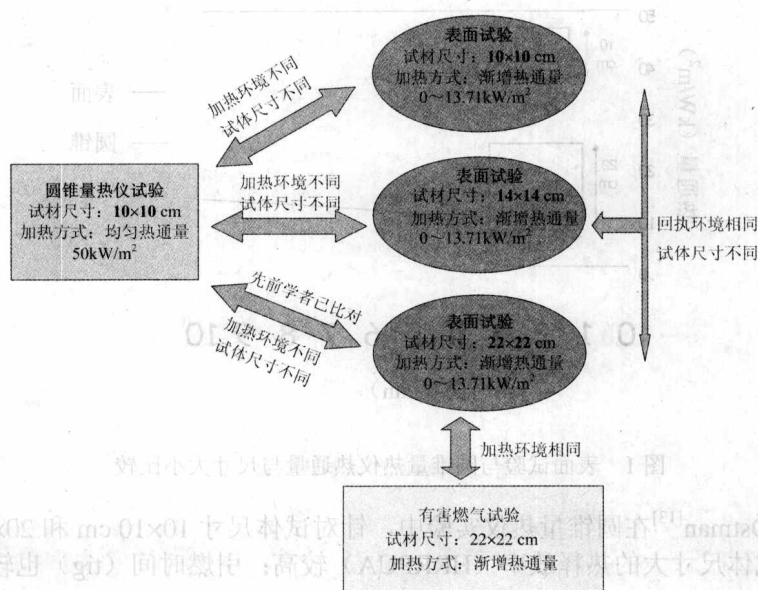


图 2 实验设计示意图

3.4 实验结果分析及讨论

针对试验法实验结果进行分析, 首先分析表面试验与圆锥量热仪试验之着火性与发热性, 再进一步探讨加热环境与试体尺寸之相关性; 而后再与有害燃气试验作比较, 探讨热、烟、毒与老鼠伤亡之相互关系。

3.4.1 表面试验与圆锥量热仪试验之探讨

(1) 着火性之探讨

图 3 为在相同加热环境下表面试验试体尺寸 22×22cm 与尺寸 10×10cm 之着火时间, 发现 12 种试材中不同尺寸之着火时间虽有些微差异但相当接近, 并无如 Nussbaum and Östman^[13]在圆锥量热仪实验中 (20×20、10×10 cm) 发现试体尺寸大引燃时间较快之结果, 由此可见表面试验之着火时间并不随试材尺寸改变。其原因有可能为本实验中表面试验为垂直配置, 而 Nussbaum and Östman 在圆锥量热仪实验中为水平配置, 而水平、垂直不同热流场所形成之空气进入与气流柱方向的差异所造成, 水平配置之空气进入与气流柱方向垂直, 空气之进入使可燃蒸汽往试体中央部位累积, 即点火源位置, 当可燃蒸汽累积至可燃下限, 而产生着火, 此时较大之尺寸试体其累积的可燃蒸汽将较多, 因此达着火时间也较快; 反之垂直配置可燃蒸气不易累积。

图 4 为尺寸 22×22 cm、14×14 cm、10×10 cm 试体在表面试验中之着火时间 (t_c) 与 10×10 cm 试体在圆锥量热仪试验之引燃时间 (t_{ig}) 的综合比较图, 图中发现三种趋势线都相当的接近, 相关系数 (R^2) 均

超过 0.7。

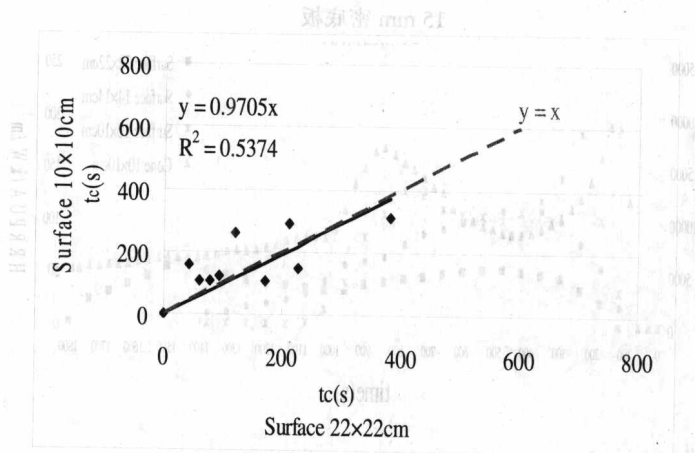


图 3 试体尺寸 22×22cm 与尺寸 10×10cm 之表面试验着火时间比较

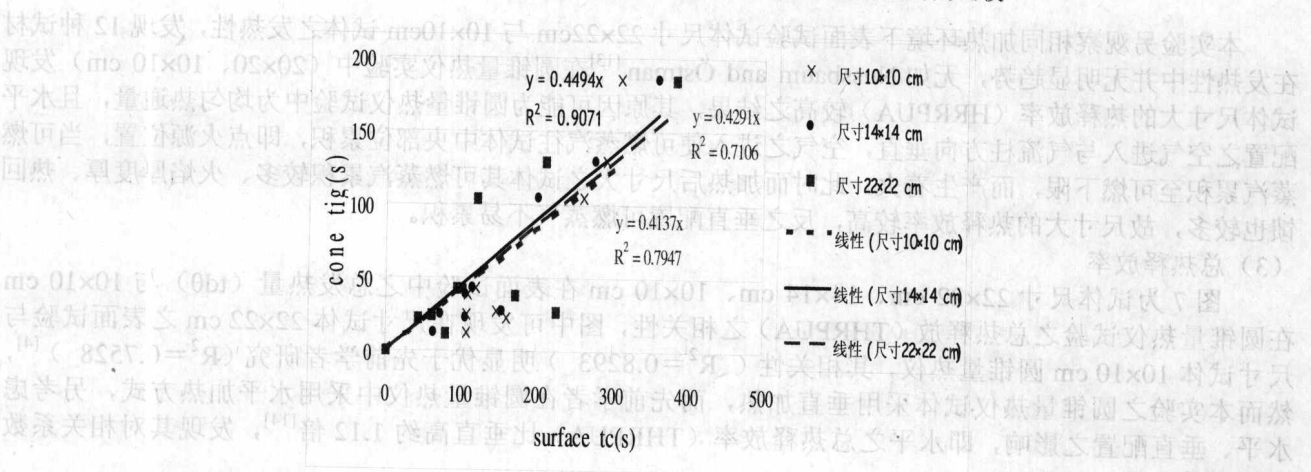


图 4 着火时间之综合比较图

(2) 热释放率

实验中分别以试体尺寸 22×22 cm、14×14 cm、10×10 cm 表面试验与试体尺寸 10×10 cm 圆锥量热仪试验之 $d\theta$ (表面试验)、HRRPUA (圆锥量热仪试验) 与对时间之趋势图比较, 研究中发现, 在 12 种试材中, 除石膏板、氧化镁板与纤维水泥板因为为不燃材质外, 其它材料于不同尺寸或不同加热方式之测试下热释放趋势与达热释放峰值时间无一致趋势, 以图 5~图 6 呈现。

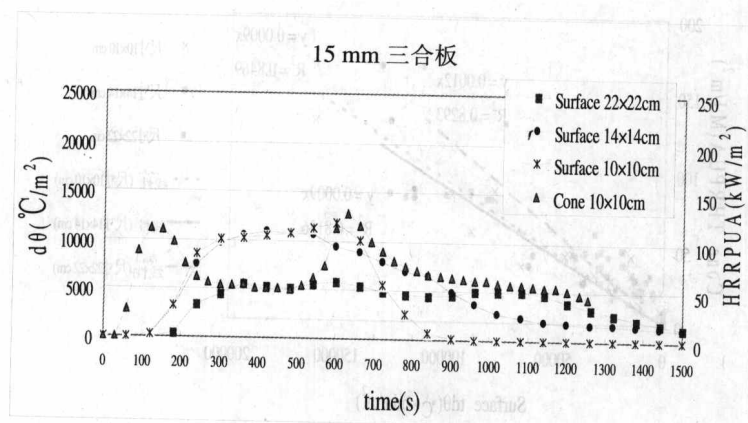


图 5 15mm 三合板发热量图

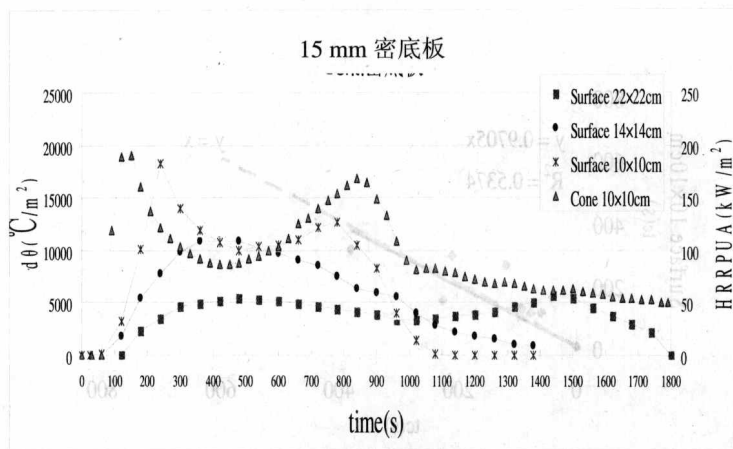


图6 15mm 密底板发热量图

本实验另观察相同加热环境下表面试验试体尺寸 22×22cm 与 10×10cm 试体之发热性,发现 12 种试材在发热性中并无明显趋势,无如 Nussbaum and Östman^[13]在圆锥量热仪实验中(20×20、10×10 cm)发现试体尺寸大的热释放率(HRRPUA)较高之结果,其原因可能为圆锥量热仪试验中为均匀热通量,且水平配置之空气进入与气流柱方向垂直,空气之进入使可燃蒸汽往试体中央部位累积,即点火源位置,当可燃蒸汽累积至可燃下限,而产生着火,此时而加热后尺寸大之试体其可燃蒸汽累积较多、火焰厚度厚、热回馈也较多,故尺寸大的热释放率较高,反之垂直配置可燃蒸汽不易累积。

(3) 总热释放率

图 7 为试体尺寸 22×22 cm、14×14 cm、10×10 cm 在表面试验中之总发热量(tdθ)与 10×10 cm 在圆锥量热仪试验之总热释放(THRPUA)之相关性,图中可发现在尺寸试体 22×22 cm 之表面试验与尺寸试体 10×10 cm 圆锥量热仪,其相关性($R^2=0.8293$)明显优于先前学者研究($R^2=0.7528$)^[4],然而本实验之圆锥量热仪试体采用垂直加热,而先前学者在圆锥量热仪中采用水平加热方式,另考虑水平、垂直配置之影响,即水平之总热释放率(THRPUA)比垂直高约 1.12 倍^[14],发现其对相关系数并无影响。

在尺寸效应方面可发现当尺寸试体 14×14 cm 与 10×10 cm 时其表面试验与圆锥量热仪试验之数据关系相当接近,然而与尺寸 22×22 cm 有明显不同,尺寸 22×22 cm 之总热释放是 14×14 cm 及 10×10 cm 之 1.33 倍。有此可推测改变表面试验尺寸从 22×22 cm 至 14×14 cm 时有较大变化,再缩小为 10×10 cm 将无明显变化,其原因可能为表面试验中试体燃烧时火焰成紊流(Turbulent flow)与层流(Laminar flow)状态,且中间有一段过渡区(Transition),此时 22×22 cm 尺寸试体落于紊流区;14×14 cm 与 10×10 cm 尺寸试体落于层流区。

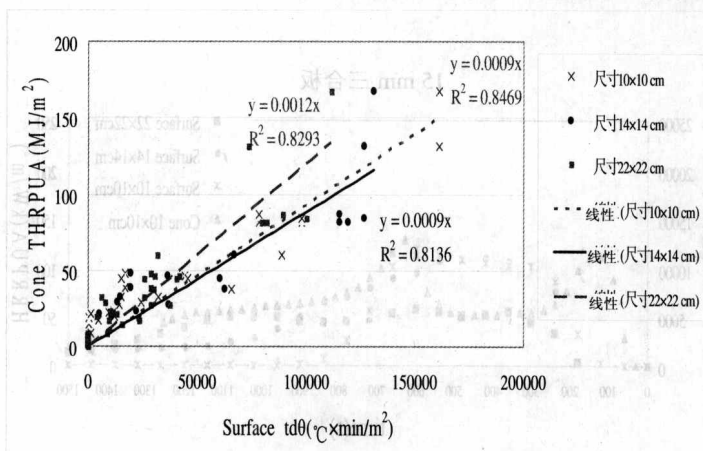


图7 总发热量综合比较图

3.4.2 有害燃气试验之烟毒性探讨

本节探讨老鼠死亡时间 (min) 与 CO 浓度 (ppm)、发烟系数 (C_A) 及总热释放率 ($td\theta$) 之相关性。本仪器试材加热燃烧时间为 6 分钟, 试材燃烧后产物通入老鼠暴露箱内, 侦测 CO 浓度及温度。图 8 显示老鼠暴露箱内之 CO 浓度, 皆从 4 分钟后才开始累积增加, 由此可推断燃烧炉产生燃烧产物通入搅拌箱至老鼠暴露箱时间约为 4 分钟左右, 且 10 分钟左右大部分试材 CO 浓度成定值, 因系燃烧完全停止之故 (有害燃气试验加热 6 分钟); 但亦有数种试材 (SMA、SMB 涂料板、红柳桉及三合板) 之 CO 浓度于 10 分钟后仍然持续增加, 这些试材停止加热后应仍有余火或闷烧情形发生。此外观察老鼠暴露箱内的温度如图 9, 其温度皆低于 40°C , 因此老鼠并未暴露于热的效应中, 且 6 分钟后温度开始逐渐下降, 也与燃烧炉加热 6 分钟吻合。

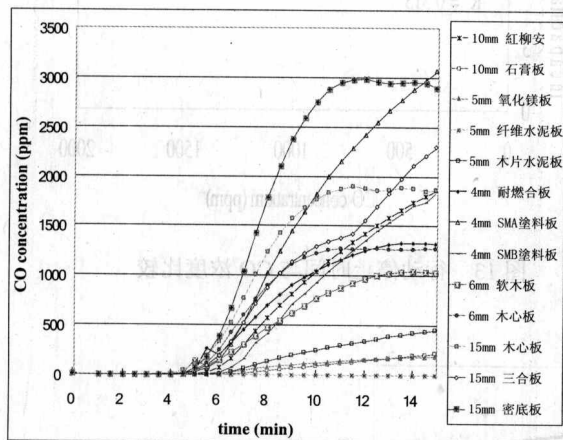


图 8 13 种材料 CO 浓度与时间之变化图

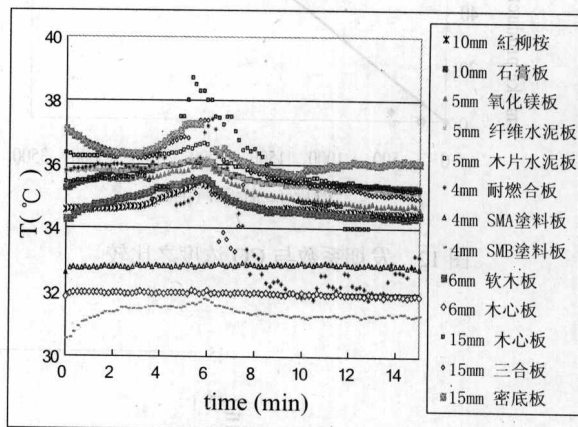


图 9 13 种材料于老鼠暴露箱内温度与时间之变化图

由图 10、11 可以发现发热量 ($td\theta$) 与发烟系数 (C_A) 及 CO 浓度皆有正相关 ($R^2=0.7887$ 、 $R^2=0.6088$), 故如先前研究^[2]烟毒与发热具有正相关, 控制发热量即可控制烟毒生成, 但因相关系数 (R^2) 仅 $0.6\sim 0.8$, 此趋势无法通用于所有材料, 但一般而言应可符合, 且是否推论适用在其它仪器就不得而知。另由图 12 可看出发烟系数 (C_A) 与 CO 浓度有很好的正相关 ($R^2=0.7739$), 由此可见当烟量愈多时 CO 也相对增加, 其原因在于试体燃烧不完全就会产生大量的浓烟与毒性物质之故。

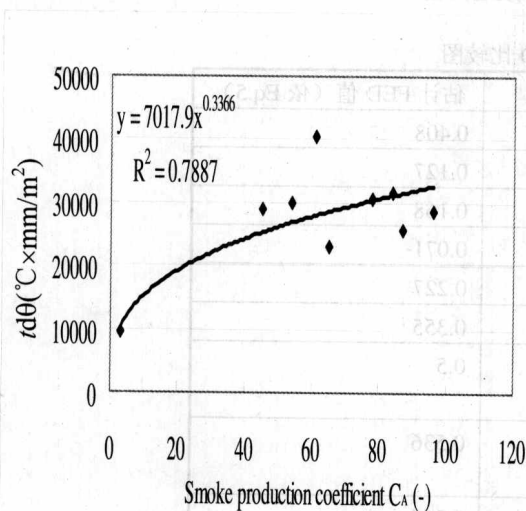


图 10 总热释放与发烟系数之比较

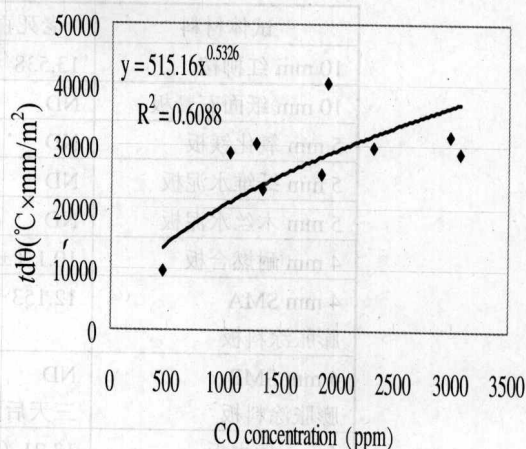


图 11 总热释放与 CO 浓度之比较

图 13、14 为老鼠活动停止、死亡之时间 (min) 与 CO 浓度之关系, 可发现其相关性并不高 ($R^2=0.313$ 、 $R^2=0.0722$), 且将老鼠死亡时之 $\text{CO}/\text{CO}_2/\text{O}_2$ 、 VOC_s 、醛酮类之浓度数据套入前章节之 FED 的计算公式, 如