

# 新世纪高层建筑 防火实践研讨会论文集

中国建筑学会建筑防火与区划学术研究委员会  
重庆市消防局



072-53

同济大学出版社

# 新世纪高层建筑 防火实践研讨会论文集

中国建筑学会建筑防火与区划学术研究委员会

重庆市消防局

同济大学出版社

### 图书在版编目(CIP)数据

新世纪高层建筑防火实践研讨会论文集. 2/中国建筑学会建筑防火与区划学术研究委员会, 重庆市消防局编. —上海: 同济大学出版社, 2002. 5  
ISBN 7-5608-2404-8

I. 新… II. ①中… ②重… III. 高层建筑-防火系统-建筑设计-研究-文集 IV. TU972-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 017659 号

### 新世纪高层建筑防火实践研讨会论文集

作 者 中国建筑学会建筑防火与区划学术研究委员会 重庆市消防局  
责任编辑 解明芳 责任校对 郁 峰 装帧设计 陈益平

---

|     |                                          |
|-----|------------------------------------------|
| 出 版 | 同济大学出版社                                  |
| 发 行 | (上海四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622) |
| 经 销 | 全国各地新华书店                                 |
| 印 刷 | 崇明晨光印刷厂印刷                                |
| 开 本 | 787mm×1092mm 1/16                        |
| 印 张 | 12.75                                    |
| 字 数 | 326000                                   |
| 印 数 | 1—1000                                   |
| 定 价 | 22.00 元                                  |
| 版 次 | 2002 年 5 月第 1 版 2002 年 5 月第 1 次印刷        |
| 书 号 | ISBN 7-5608-2404-8/TU·436                |

---

本书若有印装质量问题, 请向本社发行部调换

## 前 言

改革开放带来了我国的繁荣,蓬勃发展的建设事业日新月异地改变着城市的面貌。千姿百态的高层建筑充分体现着现代化的独特风采,但它们也增添了不少的烦恼和忧患,特别是一旦发生火灾将造成极大的危害。近年来,许多恶性建筑火灾导致了大量的人员伤亡,这已引起我国公安部门的极大重视,并采取了许多有力的措施。

由我国的建设实践及其消防现状可知,许多高楼大厦都不同程度地存在着火灾隐患,有的还相当严重。究其原因有以下方面:如设计者的防火素质参差不齐,导致不少建筑的防火设计存在问题;因市场竞争激烈致使质量低劣的消防产品大量使用;甲方私自更改、削减防火设计或施工单位措施不力因而偷工减料;未经消防验收便擅自投入使用;建成的大楼被改变使用功能和任意装修,从而造成许多新的防火问题……凡此种种,都会构成建筑的火灾隐患。

面对以上严峻现实,我国消防、设计等有关部门的人士在一起研讨有关的防火问题。对此,“中国建筑学会建筑防火与区划学术研究委员会”于2001年秋季在重庆召开《新世纪高层建筑防火实践研讨会》,针对各类建筑在建设实践中存在的各种防火问题,共同探讨其合理可行的解决办法。现在,我们将征集到的论文经整理进一步编辑加工后出版了这本论文集。需要提到的是,委员会秘书处的李建华、张庆顺及消防局的王德智、刘梅梅处长,在论文集的整理上付出了很大的劳动,其功劳是必须予以肯定的。

最后,期望我们研讨会的成果能对我国高层建筑实践起到良好的参考、借鉴作用,为我国新世纪的宏伟建设事业作出贡献!

中国建筑学会建筑防火与区划学术研究委员会

重庆市消防局

2001年11月 重庆

# 目 录

|                                       |                      |
|---------------------------------------|----------------------|
| 建筑材料对火反应特性及分级体系的研究 .....              | 李引擎 陈景辉 季广其(1)       |
| 高层建筑安全疏散和安全区 .....                    | 孙东远(16)              |
| 山城高楼防火实践探析 .....                      | 魏宏扬 张庆顺 章建刚 李 敏(21)  |
| 高层综合体外部空间及防火安全 .....                  | 张庆顺 章孝思 马跃峰(27)      |
| 再论超高层建筑中“安全核”的火灾安全性与“安全核”中的火烟控制 ..... | 黄恒栋 王建华(34)          |
| 普陀山普门万佛宝塔及宝陀讲寺工程设计中遇到的问题与防火实践 .....   | 杨金铎(46)              |
| 高层建筑室内及防火设计探析 .....                   | 李建华 章孝思 唐 红(50)      |
| 重庆市建设工程的消防现状及对策 .....                 | 刘梅梅 侯宝钧(56)          |
| 防火卷帘将进入全无机纤维时代 .....                  | 刘学锋 王渭云(60)          |
| 厦门 SM 商业城建筑防火设计 .....                 | 潘金华 洪 森(68)          |
| 中庭式建筑火灾中机械排烟效果的实验研究 .....             | 霍 然 李元洲 万玉田 周允基(73)  |
| 西安某大厦防火性能与安全措施 .....                  | 张树平 蒙慧玲 马 征(79)      |
| 再论防火卷帘 .....                          | 董士聪(83)              |
| 坡地建筑防火设计初探 .....                      | 李本均(88)              |
| 谈建筑设计中的防排烟问题 .....                    | 高广华 郭 新(92)          |
| 浅谈城市化中的市场建筑防火对策 .....                 | 何立瑜(95)              |
| 中兴——沈阳商业大厦扩建工程消防设计若干做法 .....          | 赵成中(100)             |
| 某农贸市场火灾后建筑结构受损诊断与加固技术 .....           | 闵明保 方 平 王 磊(105)     |
| 谈谈综合性集贸市场消防设计中的几个问题 .....             | 侯宝钧 刘梅梅(115)         |
| 论建筑工程消防法律监督制度 .....                   | 刘梅梅(119)             |
| 建筑中疏散楼梯的设计 .....                      | 杨云祥 杨天辉(129)         |
| 城市商业建筑防火疏散设计的研究 .....                 | 闫金花 张树平(133)         |
| 火灾应急照明系统的分析与探讨 .....                  | 马 征 张树平 蒙慧玲(139)     |
| 浅谈性能化防火设计的发展 .....                    | 蒙慧玲 张树平(145)         |
| 浅议目前正压送风系统风量算法的缺陷及解决办法 .....          | 郭盛友(148)             |
| 关于坑、地道式人防工程消防安全问题的探讨 .....            | 李小波(152)             |
| 城市消防规划与高层建筑防火 .....                   | 张 斌(156)             |
| 东都商厦 12·25 特大火灾之反思 .....              | 蒙慧玲(162)             |
| 浅议城市消防规划设计 .....                      | 陈妙芳 孟长再 彭海清 高乃云(164) |
| 大型超市的火灾隐患 .....                       | 郑昌盛(170)             |
| 建筑性能化防火规范设计初探 .....                   | 陈保胜(174)             |
| 烟在火灾中的危害 .....                        | 金 昊(178)             |

|                      |     |          |
|----------------------|-----|----------|
| 城市地下汽车库安全疏散浅析.....   | 雷治国 | 陈保胜(184) |
| 浅谈高层建筑中的安全疏散设计.....  |     | 陈保胜(187) |
| 浅析建筑内部装修材料的防火特性..... | 王敏敏 | 陈保胜(191) |
| 浅谈性能化防火设计的组织和评估..... | 王珏  | 陈保胜(194) |

## 建筑材料对火反应特性及分级体系的研究

李引擎 陈景辉 季广其

(中国建筑科学研究院建筑防火研究所)

材料的燃烧性能是指材料对火反应的能力。燃烧性能等级是指材料具有对火反应能力的大小。燃烧性能分级则是根据材料对火反应能力的特征参数的大小排列而进行的等级划分。材料燃烧性能分级体系是材料燃烧性能分级所依据的特征参数排序的基本原则。因此建筑材料燃烧性能分级体系在一定意义上决定了建筑材料的应用和开发研究的发展方向。

目前,世界各国都有自己的材料燃烧性能分级体系。由于我国对火灾理论研究起步较晚,因此,在建立燃烧性能分级体系时基本参照采用了德国的分级标准。由于各国所采用的分级方法不同,很难形成一个为各国所接受的统一标准,这就导致了各国对材料燃烧性能分级结果的不一致性,甚至是相互矛盾的。在燃烧性能分级体系不同的国家,同样一种材料可能具有不同的燃烧性能等级,甚至在一个国家被判定为燃烧性能等级最好的材料,而在另一个国家则可能被判为最差的材料,且这一现象是经常发生的。不同的分级体系采用的试验方法不同,所获得的材料燃烧性能之间不存在完全对应的关系,只是通过对材料在火灾状态中一个或几个单一特性的评判,片面地来衡量材料的对火反应能力,分级所依据的燃烧特性没有模拟材料在实际火灾中的状态,即没有综合考虑材料在实际火灾中的所有燃烧特征。这在本质上反映出各国现行的各种分级体系存在不完善、不系统或科学性不够等问题。这样的分级结果,必然会产生对同一种材料评价的不一致性。

### 一、国外测试与分级体系现状及发展

材料的防火分级体系是以描述材料对火反应的燃烧特征和试验方法为基础的。材料的燃烧特征包括点火性、热释放、烟及毒性气体的产生等。一些发达国家的材料防火分级体系反映了如下的一些技术特征:

1. 材料受火反应试验是评价材料燃烧性能或阻燃效果的极重要的手段。只有通过适当的测试方法,才能对材料的燃烧性能有所了解,并能合理地、安全可靠地、经济实用地、正确地选用材料。因此测试方法和标准的建立是制定有关防火标准规范性能指数的依据和基础,是重要的防火措施之一。

2. 一切试验方法都是在有限条件下对材料及其制品的相对燃烧性能进行评价的试验。也就是说,采用标准规定的试验方法所得到的燃烧性能试验结果只能用于说明供试材料及其制品在可控的试验条件下对热或火焰的反应特性。这样的试验严格地说并不能用来说明或估价在实际火灾条件下的着火危险性和燃烧程度。因此,人们不断进行探索,寻求比较完善的、能得到数字结果的试验方法,并寻求各种试验适当组合的方法,以便恰当地描述各种

材料的特性。因此各国的方法都是“一套”方法。

3. 虽然各国的试验方法很多,但以试验对象分类,可以分为材料的燃烧性能试验和制品的燃烧性能试验两大类。前者以测定材料的物理和化学的燃烧特性为主,如分解温度、闪点、自燃点、燃烧热、临界氧指数、燃烧速度、燃烧时间、发烟性及气体毒性等。后者则以使用上的安全性为目标,测定制品在模拟使用条件下的燃烧特性。对于材料分级试验,则大部分是以制品为试验对象,许多标准和法规是根据不同的使用条件和要求去建立制品的燃烧性试验方法。

4. 对建筑材料的燃烧性能分级,反映了各国对于防火安全等级概念的认识,材料的燃烧性能表达了安全的概念,可以以此来测定火灾危险程度。尽管这些认识在某些方面有所不同,但出发点是相同的,纵观各国的试验方法和材料的分级,建筑材料根据其燃烧性能通常分为不燃性材料和可燃性材料。对于不燃性材料各国的测试方法和判定标准都差别不大。差别比较大的是对可燃性材料的等级划分和具体的试验方法。但总的说来,根据燃烧性能将材料划分为低易燃、中度易燃、易燃和极易燃等几个级别,有的国家分得细一些,有的国家分得粗一些。分细的好处是对材料的性能划分比较精确,对于不同建筑类型、场所和建筑的部位选用材料标准比较容易确定。粗分的优点是简单,易控制。总的看各国都有一套系统的分级标准和相应的材料使用规范。

从国际上有关材料对火反应科学的发展趋势和研究成果来看,对材料分级最科学最现代的试验手段,就是以量热学耗氧原理为基础而设计的屋角试验和锥型量热计试验。这种试验方法把以往传统的多种独立的试验方法归于一体,能够同时测定材料的点火性能、热释放率、烟及毒性气体等,整个试验是一个连续过程。这种试验方法已为世界上大多数国家所承认,并已在科技发达国家应用。国际标准化组织也已协调各国制定了相应的试验方法标准 ISO 9705 和 ISO 5660,这是研究材料对火反应科学的主要手段和今后的发展方向。它也应成为我国建立材料燃烧性试验新体系的一个最主要的手段。

屋角试验属于大比例火灾试验。对此欧美各国以及澳大利亚和日本均已进行了大量的试验及研究工作,并由北欧首先提出了以屋角试验结果为依据的材料防火分级方案。这一分级方案正在逐步完善并已在欧洲的一些国家得到应用。屋角试验对确定材料在实际火灾中的防火等级无疑是一种好方法。但由于其试验所需要的费用较高,因而使它的应用普及性受到限制,不可能得到推广应用。

锥型量热计试验是在屋角试验的基础上设计的。其试验结果与屋角试验和实际火灾及相互间的数学模型间有着相同的对应关系。是一种小比例的科学合理的火灾模拟试验。从实用和普及的角度来讲,可作为产品的常规试验方法,易于推广应用。是研究划分材料防火等级的主要方法。为此,欧美一些发达国家进行了大量的试验及研究工作,探讨采用锥型量热计试验建立材料燃烧性能分级体系,并由加拿大首先提出了一个分级方案。近几年,ISO 也协调有能力的成员国的一些实验室进行锥型量热计国际循环试验(Round Robin Test),为采用锥型量热计试验建立材料燃烧性能分级体系的研究工作积累试验数据。

## 二、材料的燃烧热值

所有材料在燃烧过程中都要释放大量的能量,而这种能量的具体量值是通过燃烧热来确定的。燃烧热也称作热值,是指单位质量的材料完全燃烧后所释放出来的总热量,或更严格地说是指在标准条件下可燃材料和氧化剂反应并生成产物的反应热。材料的燃烧热值可以通过试验测得,也可以由理论公式算得。

### (一) 燃烧热值的理论计算

可以用热力学和热化学来分析研究物质燃烧过程中的能量变化,利用能量守恒定律解释由于化学反应而发生的从化学能转向热能形式的能量变化。从而根据化学热力学原理进行化合物燃烧热的计算。

#### 1. 热力学第一定律

热力学第一定律是指一个物系在确定的状态下有一定的能量,物系状态发生变化时,其能量变化完全由始态和终态所确定,与状态的变化具体途径无关。根据热力学第一定律,物质在燃烧过程中的能量变化可采取功  $W$  和热  $Q$  两种形式,即:

$$Q = \Delta u + W = u_2 - u_1 = W \quad (1)$$

式中  $u_2, u_1$  ——终态时和始态时体系具有的内能;

$\Delta u$  ——体系终态和始态间的内能变化。

#### 2. 恒容热、恒压热及焐变

热效应是发生火灾的能量来源。研究化学反应物系进行的各种过程主要可分为恒容过程、恒压过程及绝热过程等。在恒容及恒压过程中,若没有非体积功,则过程热分别称为恒容热和恒压热。

焐是体系所具有的热容量。标准焐变即为产物和反应物之间的焐差:

$$\Delta H = H_{\text{产物}} - H_{\text{反应物}} = \sum_i (N_i H_i)_{\text{产物}} - \sum_j (N_j H_j)_{\text{反应物}} \quad (2)$$

式中,  $H_i$  是反应温度和反应压力下任一生成物或反应物的摩尔焐,  $N_i$  是任一反应物或生成物的摩尔数。

由计算反应焐变得到的燃烧热值是在恒压条件下的燃烧热,称之为定压燃烧热,用  $Q_p$  表示;若反应是在定容条件下进行,在反应期间无气体膨胀现象,此时放出热值称为定容燃烧热  $Q_v$ ,两者之间存有下列关系:

$$Q_v = Q_p + 2.43(n_2 - n_1) \quad (3)$$

式中  $n_1, n_2$  ——反应前后体系中气体的总摩尔数。

#### 3. 反应的化学当量计算

根据化学当量方程式,由反应物到生成物的转化必然伴随着能量的转换,它可以用热化学方程表示反应的热效应。无论化学反应是一步进行或分步进行,它所放出(或吸收)的净热量都是相等的。

根据上述讨论的一些基本热力学原理,可通过计算反应焓变来确定化合物的燃烧热。例如假定所有的碳均燃烧成为  $\text{CO}_2$ ,而所有的氢转化为  $\text{H}_2\text{O}$ 。此外,燃烧产物中不再有氧,因此甲烷和氧的完全燃烧可以写成:



则可算出 1mol 甲烷完全燃烧时的热值为 802.5kJ;或换算成 50MJ/kg。

## (二) 燃烧热值的实验测定

采用热化学反应方程计算燃烧热的方法只适用于单质或纯化合物。而在大量使用的材料中纯物质的应用范围是很小的。尤其在建筑材料中,各种材料的成分是很复杂的,不可能写出明确的化学分子式和化学反应方程式。因而难以用热化学的方法进行燃烧热的计算。因此工业上和实际应用的大多数材料的燃烧热值大都需要通过试验测定。目前最佳的测定方法为氧弹量热计方法。

氧弹量热计方法是一种传统的热分析方法,该方法采用氧弹测定材料的燃烧热,它是在恒容条件下进行的,所以,测得的是恒容燃烧热。

仪器的热容量所采用的计算公式为:

$$K = \frac{QG + \sum q}{\Delta T + \Delta t} \quad (5)$$

式中  $K$ ——仪器的热容量, J/°C;

$Q$ ——试样发热量, J/g;

$G$ ——试样质量, g;

$\Delta T$ ——试验时内筒水温升, °C;

$\Delta t$ ——冷却修正值;

$\sum q$ ——实验时附加热量之和。

从试验结果来看,材料不同,则具有不同的燃烧热值。而对于复合材料来说,由于各种材料的成分、配比不同而使产品的燃烧热值也有一定变化。如硬质 PVC 塑料制品,由于材料来源和所填加的填料、塑化剂、加工助剂等不同,其同类制品的燃烧热值也存在一定的差异。根据我们的试验结果,本专题提出了我国的材料热值数据表以供有关单位和部门及专业采用。

## 三、火灾荷载密度及其确定方法

所谓火灾荷载是指着火空间内所有可燃物燃烧时所产生的总热量值。很显然,一座建筑物其火灾荷载越大,发生火灾的危险性也就越大,需要的防火措施也越严。一般地说,总的火灾荷载并不能定量地阐明其与作用面积之间的关系,为此需要引进火灾荷载密度的概念。火灾荷载密度是指房间中所有可燃材料完全燃烧时所产生的总热量与房间的特征参考面积之比,即火灾荷载密度是单位面积(A)上的可燃材料的总发热量。

火灾荷载可分成三种,即:固定火灾荷载  $Q_1$ ,它是指房间中内装修用的、基本固定不变

位置的可燃材料,如墙纸、吊顶、壁橱、地面等;活动式火灾荷载  $Q_2$ ,它是指为了房间的正常使用而另外布置的,其位置可变性较大的各种可燃物品,如衣物、家具、书籍等;临时性火灾荷载  $Q_3$ ,它主要是由建筑的使用者临时带来并且在此停留时间极短的可燃体构成。

因此火灾荷载可写成:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (6)$$

火灾荷载密度可写成: 
$$q = \frac{Q}{A} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{A} \quad (7)$$

由于  $Q_3$  的不定性,所以在常规计算中可不考虑它的影响,则:

$$q = \frac{Q_1 + Q_2}{A} = q_1 + q_2 \quad (8)$$

### (一) 固定式火灾荷载的确定

固定式火灾荷载  $Q_1$  在建筑使用周期内一般是不大改变的,其中绝大多数物体是在建造时就固定好了的,如门、窗、壁橱、吊顶、地板等。固定式火灾荷载密度用  $q_1$  表示,它可写成:

$$q_1 = \frac{Q_1}{A} = \frac{1}{A} \sum M_i H_i \quad (\text{MJ/m}^2) \quad (9)$$

式中  $M_i$ ——室内某固定可燃材料的质量,kg;

$H_i$ ——某固定可燃材料的燃烧热值,MJ/kg;

$A$ ——房间地面面积, $\text{m}^2$ 。

对各种可燃材料的质量  $M_i$ ,可按下列式计算:

$$M_i = A_i b d \quad (\text{kg})$$

式中  $b$ ——可燃材料的厚度,m;

$d$ ——可燃材料的容重, $\text{kg/m}^3$ ;

$A_i$ ——可燃材料的面积, $\text{m}^2$ 。

### (二) 活动式火灾荷载的确定

确定活动式火灾荷载  $Q_2$  比确定  $Q_1$  要困难得多,这是因为所涉及的物种和外形变化太大。常用的办法有计算法和统计法两种。

运用计算法的前提是首先要对某些家具等物品的整体进行燃烧热量测定,然后再逐一进行计算。

$$q_2 = \frac{Q_2}{A} = \frac{1}{A_i} \sum n_i \quad (10)$$

式中  $n_i$  为某单一家具或物体整体产生的总燃烧热量值(MJ)。

很显然,这种计算是有前提条件的并且是非常耗时的。而事实上人们也无法在最初的

设计阶段就能正确地预测出各个使用空间装饰可燃物的种类和数量。由此,可采用概率统计的方法去处理活动式火灾荷载  $Q_2$ 。在这众多统计分析工作的基础上,人们发现在 80% 以上的情况下,活动式火灾荷载密度  $q_2$  低于  $586\text{MJ}/\text{m}^2$ 。

从我国一般民用住宅的情况看,每平方米面积上的火荷载的质量当量成木材后大约在  $20\sim 25\text{kg}$  之间。即火灾荷载的密度为  $360\sim 450\text{MJ}/\text{m}^2$ 。

## 四、火灾燃烧的毒气效应

所谓火灾燃烧毒性的研究,就是对有机建材在燃烧或热分解情况下产生的烟尘和气体的成分与作用进行定量、定性的了解。研究获得的最佳目标应是:

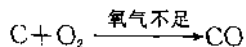
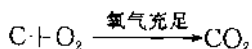
1. 确定有效的测试设备来计算毒性的效价;
2. 提出设计分级,以能合适地应用测试所得结果。

### (一) 燃烧热分解与毒气的生成

材料的燃烧基本上是两个相继的化学反应过程:一是热分解,二是化学降解。用化学反应公式可表示为:



材料在燃烧过程中气体的产生也主要分为两个阶段,当材料被加热到达一定温度后产生热分解这是第一阶段;热分解物中一部分为气体,当热分解物中可燃成分随着温度升高而被引燃时则进入第二阶段,即燃烧阶段,此阶段将有大量气体产生。常用的化工产品中主要成分为: C, H, O, N, Cl, F, S 等,由这些元素组成的材料在燃烧过程中必然会产生  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  等气体,同时还会有热分解的高分子单体物质如乙醛等,伴随着这些气体成分的出现还会产生大量烟尘及水蒸气等。空气中  $\text{O}_2$  气的变化会直接导致  $\text{CO}$  和  $\text{CO}_2$  在燃烧产物中的生成,如下式所示:



因此氧气量直接影响了热分解及燃烧产物成分及含量。

### (二) 毒气对人体的危害作用

毒气效应通常又被叫做吸入效应。这种效应是随产品的性质、人体暴露时间、毒气浓度等变化的。这种效应可以使人受到刺激,嗅觉不舒服,丧失行动能力,模糊视线,损伤肺组织和抑制呼吸而死亡。另外,火灾毒气可以使人的行为发生错乱,如  $\text{CO}$  可使人出现欣快效应,缺氧则使人会做出无理性的行为。

定性地讲,一氧化碳等毒气效应是与空气中氧的缺乏和温度的上升相配合的。在火源房中随着温度的上升,氧气量常低于 12% 这一危险限度。相反在火源间之外的空间内,由于新鲜空气与烟气之间的涡流现象,烟浓度被稀释了,以致对人的伤害较小。但是像一氧化碳、

氯化氰或氰化氢等毒气可以随烟被转移很远并且具有可使人在极短时间内死亡的浓度。

实际火灾中的毒性危害应为综合作用危害,只是各种因素对人体作用强度不同而已。

#### 1. 烟尘的危害

火灾燃烧产生大量的微粒烟尘,人大量吸入这些烟尘后直接引起呼吸道的机械阻塞,并致使肺的有效呼吸面积减少而表现出呼吸困难甚至窒息死亡。

#### 2. 一氧化碳的危害

一氧化碳是火灾中致人于死亡的主要原因,CO 通过肺被血液吸收,由于血红蛋白对 CO 的亲合力大于对 O<sub>2</sub> 的亲合力,从而使血液中 O<sub>2</sub> 含量降低致使供氧不足。

#### 3. 氰氢酸(HCN)的危害

HCN 是一种毒性作用极快的物质,它可使人体缺氧,即人体中的酶的生成受到抑制,正常的细胞代谢受到阻止。当人体血液中每毫升血液含氰化物 1μg 就足以显示出氰化物的巨大毒性,当血液中的氰化物达到 3mg/ml 以上时可致人于死亡。

#### 4. 刺激性气体的危害

火灾中产生的刺激性气体和蒸汽可对人的眼及呼吸道产生危害作用。典型的刺激气体为氯化氢、二氧化硫、丙烯醛和氨气。这些气体通过化学作用刺激呼吸系统和肺,使呼吸速度明显加快并严重地损坏肺的正常功能。

#### 5. 二氧化碳的危害

二氧化碳是火灾空间最普遍存在的气体,尤其在通风良好的场合。它可以刺激人的呼吸,如 3% 的浓度就会迫使肺部加倍地换气。

### (三) 燃烧毒气的测试方法

对毒性气体常用的试验研究方法有:

#### 1. 分析化学法

即用分析化学的方法去确定燃烧成分和数量以及它们和温度的变化关系。

#### 2. 生理研究法

通过实际火灾死亡者的尸解分析,去确定血液中各种毒性气体的成分和含量。

#### 3. 生物试验法

通过动物试验并观察它们的各种形态以推断人类在火灾中的相应行为。这是目前最有可能实现并经常被采用的方法。它主要测定在固定的时间内,一组暴露在浓烟中的动物出现一半死亡时的燃烧成分的剂量值,称为 LC<sub>50</sub>。

#### 4. N-Gas 计算模型

为了降低研究费用,在一定量的动物死亡试验的基础上,美国 NIST 建立了 N-Gas 计算模型,该模型对于线性相加的情况,假定死亡指数为

$$FED = \sum_i \frac{\int_0^t C_i dt}{LC_{50(i)}} \quad (11)$$

式中,  $C_i$  是  $i$  种气体的浓度,  $LC_{50(i)}$  是  $i$  种气体的残废浓度和时间的乘积。

当考虑到主要几种毒性气体的相互作用时,可用下式表示:

$$FED = \frac{m[CO]}{[CO_2] - b} + \frac{[HCN]}{LC_{50}(HCN)} + \frac{21 - [O_2]}{21 - LC_{50}(O_2)} + \frac{[HCL]}{LC_{50}(HCL)} + \frac{[HBr]}{LC_{50}(HBr)} \quad (12)$$

(四) 锥型量热计的试验结果

通过锥形量热计对一些典型的有机建材进行实际试验,以找出这些材料在燃烧过程中一氧化碳(CO)和二氧化碳(CO<sub>2</sub>)出现的条件和变化规律。

此次实验共选取了 22 种内装修用材料,它们大致归为:木材、布、纸质壁纸、塑料壁纸、地毯、PVC 地板革六大类。

通过对这 22 种材料产生的数十万个数据的分析、整理,将其统计归纳成表 1。表 1 给出了六大类材料在燃烧过程中,一氧化碳和二氧化碳生成的数值变化规律。

表 1 CO 和 CO<sub>2</sub> 生成情况(平均值) kg/kg

| 项 目 \ 时间<br>(min)          |       | 1       | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 最大<br>释放值 |
|----------------------------|-------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| CO<br>(kg/kg)              | 木材    | 0.003   | 0.002  | 0.0011 | 0.0035 | 0.0065 | 0.0102 | 0.0324    |
|                            | 布     | 0.0012  | 0.0149 | 0.015  | 0.015  | 0.023  | 0.027  | 0.058     |
|                            | 纸质壁纸  | 0.085   | 0.0446 | 0.063  | 0.07   | 0.068  | —      | 0.072     |
|                            | 塑料壁纸  | 0.0391  | 0.101  | 0.111  | 0.112  | 0.116  | —      | 0.112     |
|                            | 地毯类   | 0.00138 | 0.0274 | 0.0614 | 0.0775 | 0.0838 | 0.0866 | 0.089     |
|                            | 塑料地板革 | 0.0224  | 0.0774 | 0.10   | 0.107  | 0.11   | 0.112  | 0.116     |
| CO <sub>2</sub><br>(kg/kg) | 木材    | 0.005   | 0.047  | 0.26   | 0.54   | 0.75   | 0.86   | 1.29      |
|                            | 布     | 0.015   | 0.185  | 0.76   | 1.17   | 1.36   | 1.48   | 1.73      |
|                            | 纸质壁纸  | 0.033   | 1.27   | 1.84   | 1.96   | —      | —      | 1.97      |
|                            | 塑料壁纸  | 0.077   | 1.14   | 1.64   | 1.78   | —      | —      | 1.83      |
|                            | 地毯类   | 0.008   | 0.063  | 0.9    | 1.99   | 2.43   | 2.57   | 2.67      |
|                            | 塑料地板革 | 0.003   | 0.268  | 0.73   | 0.94   | 1      | 1.03   | 1.07      |

试验呈现了如下特征:

1. 一般薄型材料均在 6s 内被点燃,而木材和地毯这两种稍厚一些的材料,在 20s 之后才出现燃烧。

2. 所有的材料在燃烧过程中均出现了 CO 和 CO<sub>2</sub> 气体。

3. 一般 CO<sub>2</sub> 出现的时间较 CO 为早,且绝对值要大得多。从总的规律看,软质薄型材料其 CO 比 CO<sub>2</sub> 晚出现的时间间隔并不大;而厚的刚性材料(如木材),CO 比

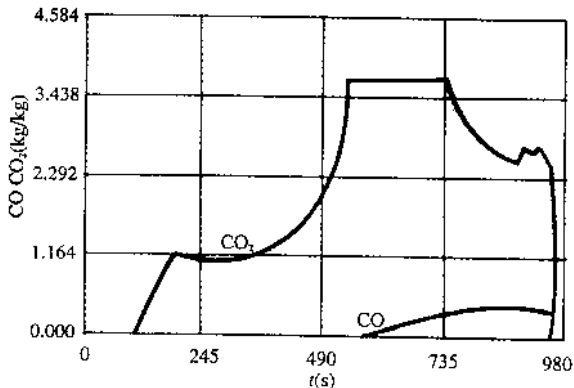


图 1 木材燃烧过程的 CO 和 CO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub> 出现的时间晚较多。图 1 给出了木材燃烧过程中 CO 和 CO<sub>2</sub> 的变化过程。

4. 一般地说,容易被点燃且薄的材料,其 CO 最大值出现的时间大多在 2min 之内。而不易被点燃且刚性化的材料,其 CO 最大值出现的时间则相对晚得多。如木材的 CO 最大值是在 15min 时出现的。

5. 就整个燃烧过程看,CO 总是在明火充分燃烧时达到最大值,尔后便下降;但当阴燃出现之后,其值有一个反复升高的过程。

6. 就 CO 值而言,纯天然木材的 CO 值最低,布次之,而塑料类的 CO 值则最高。图 2 给出了六类材料的 CO 值变化曲线。

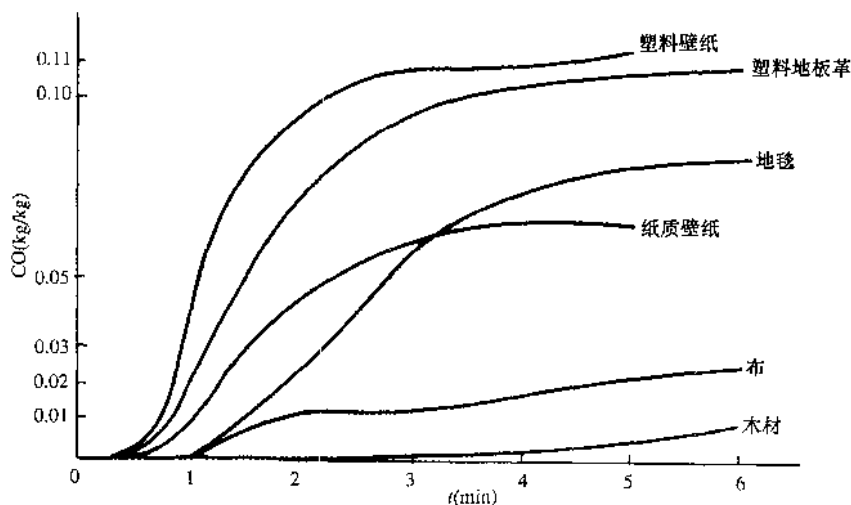


图 2 CO 变化曲线

## 五、建筑装饰材料的防火分级与评估原理

### (一) 耗氧原理

耗氧原理即材料燃烧时消耗氧的质量与所放出热量之间的比例关系。通常材料的净燃烧热与燃烧所需要的氧是成比例的,这种关系可表示为每消耗 1kg 的氧大约释放  $13.1 \times 10^3 \text{ kJ}$  的热量。对大多数可燃物来说,这个数量的变化大约在  $\pm 5\%$  的范围内。根据这个原理,试验时,试样处于空气环境中燃烧,并处于事先设定的外部辐射条件之下,测量燃烧产物中的氧浓度和排气流量,以此为依据确定材料燃烧过程的放热量或放热速度。

目前,国际上普遍认同的试验方法为小比例锥型量热计试验及大比例屋角试验。其试验计算过程如下:

#### 1. 耗氧分析的标定常数

$$C = \frac{10.0}{(12.54 \times 10^3) \times 1.10} \sqrt{\frac{T_d}{\Delta P}} \cdot \frac{1.105 - 1.5X_{O_2}}{X_{O_2}^0 - X_{O_2}} \quad (13)$$

式中  $C$ ——耗氧分析的标定常数,  $\sqrt{\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{K}}$ ;

$T_d$ ——孔板流量计处气体的绝对温度, K;

$\Delta P$ ——孔板流量计的压差, Pa;

$X_{O_2}$ ——氧浓度;

$X_{O_2}^0$ ——初始氧浓度。

式中, 10.0 对应于所提供的相当于 10kW 的甲烷,  $12.54 \times 10^3$  为甲烷的  $\Delta h_c/r_o$  值 ( $\Delta h_c$  为甲烷的净燃烧热 kJ/kg;  $r_o$  为氧的质量与燃料质量的化学当量比), 1.10 是氧的分子量与空气的分子量之比。

## 2. 热释放速度

对氧浓度进行的时间滞后修正:

$$X_{O_2}(t) = X'_{O_2}(t + t_d) \quad (14)$$

式中  $X_{O_2}(t)$ ——延迟时间的氧浓度, mol/m<sup>3</sup>;

$X'_{O_2}$ ——延迟时间修正后的氧浓度, mol/m<sup>3</sup>;

$t$ ——时间, s;

$t_d$ ——氧分析仪的延迟时间, s。

热释放速度为  $q(t)$ , 由下式计算

$$q(t) = \left( \frac{\Delta h_c}{r_o} \right) \times 1.10 \times C \sqrt{\frac{\Delta P}{T_d}} \frac{X_{O_2}^0 - X_{O_2}}{1.105 - 1.5 X_{O_2}} \quad (15)$$

式中  $q(t)$ ——热释放速度, kW;

$\Delta h_c$ ——材料的净燃烧热, kJ/kg;

$r_o$ ——氧的质量与材料质量的化学当量比。

式中,  $\Delta h_c/r_o$  值, 对于一般样品可按  $13.10 \times 10^3$  来取, 如知道该种材料的  $\Delta h_c$  值, 则按确切值计算。

单位面积的热释放速度可由下式计算:

$$q'(t) = \frac{q(t)}{A_s} \quad (16)$$

式中  $q'(t)$ ——单位面积的热释放速度, kW/m<sup>2</sup>;

$A_s$ ——试样暴露表面面积, m<sup>2</sup>。

## 3. 平均有效燃烧热

$$\Delta h_{c, \text{eff}} = \frac{\sum q(t) \Delta t}{m_i - m_f} \quad (17)$$

式中  $\Delta h_{c, \text{eff}}$ ——平均有效燃烧热, kJ/kg;

$m_i$ ——样品的初始质量, kg;

$m_f$ ——样品的剩余质量, kg。

## (二) 锥型量热计试验

屋角试验对确定材料在实际火灾中的防火等级无疑是一种好方法。但由于其试验所需要的费用较高,因而使它的应用普及性受到限制。这种方法只能作为某一类材料的验证试验,而不可能对每一种材料的每一批产品都进行屋角试验,因为这是一种大比例的实际火灾试验。

锥型量热计试验是在屋角试验的基础上设计的。其基本原理也是采用耗氧量热计的原理,但却是一种小比例的科学合理的火灾模拟试验,从实用和普及的角度来讲,可作为产品的常规试验方法。锥型量热计试验的模型见图3。对于材料而言,锥型量热计试验测定的是点火时间、热释放、烟及毒性气体的产生。锥型量热计提供的能源来自锥型炉的辐射。作为一个参照点,黑色的不燃性材料在  $750^{\circ}\text{C}$  时所受到的辐射能量为  $62\text{kW}/\text{m}^2$ ,而实际火灾中材料所受到的热辐射一般为  $20\sim 150\text{kW}/\text{m}^2$ 。锥型量热计所提供的辐射能量为 25, 50,  $75\text{kW}/\text{m}^2$ 。这与材料在实际火灾中的情况基本一致。

从理论上讲,通过锥型量热计试验来达到对材料的燃烧性能进行防火分级是可行的。这要通过两个阶段进行,第一阶段是由锥型量热计试验结果预测屋角试验结果;第二阶段是建立直接由锥型量热计试验结果对材料进行燃烧性能的防火分级。

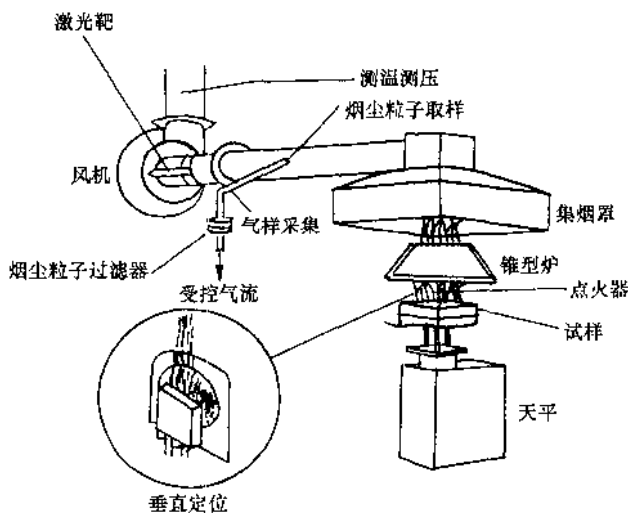


图3 锥型量热计原理模型示意图

## (三) 试验结果和分级建议

### 1. 新分级体系的基本参数

通常材料的净燃烧热与燃烧所需要的氧是成比例的,这种关系可表示为每消耗  $1\text{kg}$  的氧大约释放  $13.1\times 10^3\text{kJ}$  的热量。对大多数可燃物来说,这个数量的变化大约在  $\pm 5\%$  的范围。根据这个原理,试验时试样处于空气环境中燃烧,并处于事先设定的外部辐射条件之下,测量燃烧产物中的氧浓度和排气流量,以此为依据确定材料燃烧过程的放热量或放热速度。