

# 船舶防火材料

周宗仪 倪家俊 崔国安 王永媛 何璞 编

国防工业出版社

## 前 言

撰写一本关于船舶防火材料的专著是本书作者多年来的愿望。

国际上关于船舶消防理论的研究和大量的火灾统计资料均表明，在船舶上用防火材料建立起耐火分隔将可能发生的火灾控制在局部范围内不使蔓延并进而将其扑灭的方法，亦即所谓构造防火的方法，是行之有效的科学方法。

应用于船舶的防火材料，应该适应船舶的特点，满足船舶的要求。这些要求概括起来主要有如下几个方面。首先是性能要求，船用防火材料必须具有良好的耐火、隔热、隔声性能，其中最主要的是耐火性能，但也要兼及其它两项性能。其次是使用要求，用防火材料建立起来的耐火分隔必须具有足够的强度和刚度，同时，防火材料总是以船舶内装材料的形式出现的，所以必须进行表面装饰，具有良好的装饰效果，且这些装饰面材本身应与基材一样，在一旦失火时不致释出大量的烟和有毒气体。第三是经济性要求，新型的船用防火材料比之传统的木作舢装材料来，价格总是要高一些，但应加以控制，以便降低船舶的造价。可以说，近几十年来船用防火材料的发展和更替，正是反映了这些基本要求。

本书试图通过不太大的篇幅，将国内外常用的船用防火材料，包括其组成、分类、性能、试验及用途，船舶耐火分隔，包括常用的结构型式和设计应用，介绍给读者。关于船舶耐火分隔，应把构造防火看作是船舶设计的一个重要组成部分，船舶耐火完整性及船舶综合性能的好坏取决于设计师在方案设计、规范应用、舱室布置时是否重视了船舶防火方面的要求。

我国参加国际海事组织较晚，船舶防火材料的发展被引起重

视也是近几年的事，许多新型材料有待于开发和研制，本书的撰写也顾及了这方面的需要。

由于船舶火灾仍然是船舶海损的主要原因之一，已于一九八四年九月一日生效的《1974年国际海上人命安全公约1981年修正案》较之《1974年国际海上人命安全公约》对船舶的消防措施作出了更严格的要求，并且这种要求有继续上升的趋势。为此，本书除引用了这方面的有关规定外，还就材料的发展动向表达了作者的见解。

需要说明的是，安全公约对船舶消防的基本原则包括防火、探火和灭火三个方面，本书将只从防火方面进行阐述，探火及灭火除在必要处涉及到外，均不作专门介绍。

本书的撰写者及分工：第一章周宗仪，第二章崔国安、王永瓊、周宗仪，第三章倪家俊、周宗仪，第四章周宗仪、何璞，第五章倪家俊，第六章周宗仪、崔国安。

最后，承马家骥、陆赞能、江树德、胡南山同志的指教以及江南船厂、上海船舶研究设计院、沪东船厂、上海海运局许多同志的支持，付梓之际，谨致谢忱。

作者

# 目 录

<b>第一章 船舶火灾概论</b> .....	1
<b>第一节 概 述</b> .....	1
一、燃烧 .....	2
二、燃烧形态 .....	3
三、燃烧条件 .....	5
<b>第二节 材料的燃烧性及其生成物</b> .....	6
一、材料的燃烧性 .....	6
二、材料的燃烧生成物 .....	12
<b>第三节 船舶火灾</b> .....	20
一、船舶火灾的特点 .....	20
二、船舶火灾的统计及分类 .....	22
三、船舶火灾概况 .....	28
四、货船的火災 .....	30
五、油船的火災 .....	32
六、客船的火災 .....	37
七、特种船舶的火災 .....	37
八、近海钻井平台的火災 .....	42
<b>第四节 船舶防火规范</b> .....	44
一、防火规范的演变 .....	44
二、防火基本原则 .....	45
三、一般防火措施 .....	49
四、结构防火规范 .....	50
<b>第二章 船舶防火材料</b> .....	79
<b>第一节 防火材料的基本要求和分类</b> .....	79
一、基本性能 .....	79
二、高温性能 .....	82
三、分类 .....	86

第二节 不燃材料 .....	87
一、概述 .....	87
二、陶瓷棉及其制品 .....	91
三、岩棉及其制品 .....	97
四、玻璃棉及其制品 .....	103
五、硅酸钙板 .....	110
六、珍珠岩板 .....	123
七、其它材料 .....	125
第三节 甲板基层敷料 .....	128
一、概述 .....	128
二、分类 .....	129
三、混合型甲板基层敷料 .....	132
四、复合型甲板基层敷料 .....	135
五、特殊处所使用的甲板基层敷料 .....	154
第四节 低播焰饰面材料 .....	155
一、概述 .....	155
二、三聚氰胺饰面材料 .....	159
三、DAP 饰面材料 .....	164
四、PVC 薄膜 .....	165
五、聚酯树脂饰面材料 .....	167
六、饰面材料的低播焰性 .....	168
第三章 船舶耐火分隔 .....	170
第一节 概述 .....	170
第二节 A级耐火分隔 .....	171
一、定义及分类 .....	171
二、A级舱壁 .....	172
三、A级甲板 .....	175
四、A级门 .....	178
第三节 B级耐火分隔 .....	182
一、定义及分类 .....	182
二、B级舱壁 .....	184
三、B级连续天花板和衬板 .....	185

四、B级甲板	191
五、B级门	192
第四节 C级分隔	196
一、定义和分类	196
二、组成和应用	196
第五节 耐火分隔上的开口	197
一、概述	197
二、开口的典型构造	198
第六节 耐火分隔设计	212
一、耐火分隔结构型式设计	212
二、船舶耐火分隔设计	219
第四章 试验规则	228
第一节 概述	228
第二节 基本性能试验	229
一、试验原理和方法	229
二、试验项目	250
三、防火材料其他性能的试验	271
第三节 防火性能的法定试验	273
一、概述	273
二、关于耐火等级的试验程序	273
三、关于甲板基层敷料的试验程序	279
四、关于不燃性材料的试验程序	284
五、关于悬挂纺织品和薄膜的试验程序	288
六、关于低播焰材料的试验程序	291
第五章 国外防火材料	294
第一节 概述	294
第二节 常用防火材料	295
一、复合岩棉板	295
二、硅酸钙板	299
三、不易着火型甲板基层敷料和浮动地板	307
第六章 发展动向	312
第一节 概述	312

第二节 发展动向 .....	312
一、适应规范的发展 .....	312
二、不断适应人命安全的需要 .....	313
三、高性能材料的出现 .....	314
四、装饰性的改进 .....	315
五、国内防火材料的现状与研究方向 .....	315
<b>附录</b> .....	319
一、第A.563(14)号决议1985年11月20日通过关于确定垂直支撑 纺织物和薄膜阻燃性能试验方法建议案的修正案 .....	319
二、关于确定垂直支撑纺织物和薄膜阻燃性能试验方法建议案的 修正案 .....	320
三、材料炭化长度或毁损的测量 .....	324
四、清洗和风干程序 .....	325
五、窗帘和帷幔的建议标准 .....	329
<b>参考文献</b> .....	330

# 第一章 船舶火灾概论

## 第一节 概 述

随着国际航运业的不断发展，“1960年国际海上人命安全公约”（以下简称《60年安全公约》）、“1974年国际海上人命安全公约”（以下简称《74年安全公约》）、“1974年国际海上人命安全公约1981年修正案”（以下简称《74年安全公约修正案》）逐步提高了对各类船舶的防火要求，其中最主要的是大量采用各类防火材料组成各级耐火分隔，以大大加强船舶上层建筑的防火能力，从而维护海上人命安全。为了满足现行的《74年安全公约》和已于1984年9月1日生效的《74年安全公约修正案》以及中华人民共和国船舶检验局所颁布的“钢质海船入级与建造规范”（1989年12月1日生效，以下简称《89年海规》）的有关规定，将防火材料作为船舶与近海钻井平台的上层建筑的主要内装材料，这不仅是船舶上层建筑内装材料从可燃到不燃的巨大装变革，更为重要的是将从根本上增强船舶和近海钻井平台的防火能力，有力地维护海上人命安全，为现代海上运输服务。

船舶在营运中发生火灾，由于扑救条件比陆上差，因此可能遭受的损失也较大，如果火灾发生时正遇船舶在大风浪中航行，附近又无别的船舶救助，或虽有邻船但无法靠拢，这就更增加了扑救困难。这就是船舶在海上发生火灾的重要特点。

为了保障船舶的安全营运，维护海上人命安全，必须贯彻“预防为主、防消为辅”的消防方针，平时积极做好防火防爆工作，加强船员消防训练，尤其对负责船员更应如此，使广大船员熟知火灾的成因、发展及扑救方法，这样才能防患于未然。

如何在造船中体现预防为主呢？如何使耐火分隔在火灾高温



的持续作用下，能在一定的时间内不破坏、不传播火灾，从而起到延缓或阻止火焰蔓延的作用，并为人员的撤离以及扑灭火灾赢得时间，使火灾造成的损失降至最低限度呢？如何设计、制造与安装耐火分隔才能满足安全公约及海规的规定呢？这是船舶设计、制造和使用部门所面临的共同任务，也是本书作者探索和尝试解决的问题。只要一切与从事造船有关的部门和人员对理解和执行安全公约及海规有一个正确的共同认识，各种防火材料的生产又能跟上需要，那末，在造船中实施各种相应的防火规范和措施，维护海上人命安全和避免国家财产蒙受损失就能得到有效的保证。

为了更好地了解防火材料的作用，需要对火灾的一般现象作一简要阐述。

### 一、燃烧

船舶火灾都是燃烧。

各种可燃物质在一定温度下快速氧化的化学过程称为燃烧，燃烧的必要条件是可燃物质、氧气（或空气）和热源，这三者俗称为燃烧的三要素。也就是说，燃烧存在于可燃物质与氧气化合的氧化反应之中，由于反应热的增加，即热源这一条件，使被氧化物质达到发光的程度，这种现象就是燃烧现象。

当可燃物质与周围相接触的空气达到了该可燃物质的点燃温度时，外层部分就熔解、蒸发或分解，并发生燃烧，在燃烧过程中将逸出热量及放出光。首先燃烧的一层其燃烧中逸出的热量又加热边缘的下一层，使其再达到点燃温度，于是，燃烧过程就得以持续下去。可燃物质的燃烧过程如图 1-1 所示。

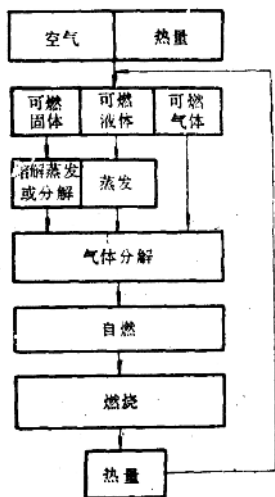


图1-1 可燃物质燃烧过程示意图

若外层部分燃烧逸出的热量传递给下一层可燃物质的部分，不足以使下一层可燃物质达到点燃温度，则燃烧仅限于外层部分，燃烧就不能延续下去。若可燃物质不足或空气缺乏，也会使燃烧中断而自行熄灭。

多数可燃物质在燃烧时具有火焰。火焰是燃烧着的气体或蒸发气体本身。液体可燃物质在受热时能转变为蒸发气体或挥发出可燃气体，因此，各种气体或液体可燃物质均会产生强烈的火焰。凡是带火焰的可燃固体物质在燃烧时，也是由于在加热中部分或全部转变为蒸发气体或可燃气体。通常，可燃物质的挥发性愈大，火焰也愈大。

燃烧的分解产物，当其为二氧化碳、水蒸气、硫化物等时，说明是一种完全燃烧，即燃烧时含氧量充足且温度比较稳定地高于物质的点燃温度。反之，燃烧的分解产物为一氧化碳、烟及焦状物等，说明是一种不完全燃烧，也即燃烧时含氧量不足或温度不稳定，有时甚至低于可燃物质的点燃温度。

船舶火灾通常发生在不敞开的区域，并且由于能采取切断通风等控制火灾的措施，因此，其分解产物通常含有大量的烟及一氧化碳，这对人员造成的危害极大。

在叙述燃烧现象中所提到的点燃温度，是可燃物质的蒸发气体及气体在明火或电火花作用下能闪燃或燃烧的最低温度。可燃物质的点燃温度取决于它的化学成分、物理性能及外界条件。

## 二、燃烧形态

可燃物质的燃烧形态因可燃物质的形态不同而不同，同样，也因氧气供给的方式而不同。

### 1. 蒸发燃烧

液体由于其表面发生的蒸气和空气中的氧气混合并达到燃烧程度而发生的燃烧称蒸发燃烧。

汽油和酒精燃烧时，并不是作为液体的汽油和酒精本身的燃烧，而是液体表面蒸发的可燃气体和空气中的氧气在液面上混合起来，碰到足够的点火能量而发生的燃烧。

因液体本身不在燃烧，所以液体的温度也就上升不快。汽油和酒精这类引火点较低的物质，即使在常温下也要蒸发，因此，只要稍有火种便能引起蒸发燃烧，如石油和汽油用火柴就能够点燃起来。同时，即使是固体，如与石油和汽油所完全不同的石蜡，由于加热会使之溶解成液体，产生表面蒸发，其蒸气也能引燃，这种固体的燃烧也呈现为蒸发燃烧形态。

## 2. 分解燃烧

固体可燃物质由于热分解所产生的可燃气体与空气中的氧气混合后的燃烧现象称分解燃烧。

热分解是固体有机物由于受加热温度的影响而使其逐步分解生成气体的现象。热分解生成的气体有一氧化碳、氢和甲烷等可燃性气体，也有二氧化碳和水蒸气等不燃性气体。以何种速度、生成何种气体这与物质的种类和加热温度有关，通常固体物质的分解燃烧所要求的温度要较液体物质的蒸发燃烧为高。

由于防火材料以及各级耐火分隔具有良好的隔热效果，因此能在一定时间内阻止温度的传递和火焰的传播，这无论对于控制火灾还是扑灭火灾都有利。

## 3. 表面燃烧

上述两种燃烧现象都是由于蒸发和热分解产生可燃气体而燃烧的状态，在固体燃烧里除分解燃烧外，极难引起热分解的物质的燃烧是物质的自身燃烧。

此时，氧气是以被物质表面所吸附着的氧分子的形态出现，因燃烧只是在物质的表面进行，故称为表面燃烧。

表面燃烧因与可燃气体无关，往往称为无火焰燃烧，如金属物质镁、铝等的燃烧就是表面燃烧。

## 4. 扩散燃烧

可燃气体的燃烧有两种形态。将可燃气体与空气混合后使之燃烧，这种燃烧称为混合燃烧，而依靠可燃气体周围的空气供给氧气、并由空气扩散引起的燃烧称为扩散燃烧。由于扩散燃烧只能从周围的空气中获得氧气，故易受气流的影响，燃烧往往并不

剧烈，气流一定时，燃烧就比较稳定；而混合燃烧则是可燃气体与空气充分混合后发生的燃烧，因此是迅猛的、突发性的。

### 5. 自燃

普通的可燃物质在燃烧时，如果隔绝空气的供给，则因氧气不足而窒息，火便自行熄灭。这意味着虽然具有可燃物质和氧气，但燃烧的三要素缺少一个，燃烧不能持续，火便熄灭了。然而，象火药之类的物质，自身的分子包含着氧气，燃烧时不需要空气中的氧气，靠消耗物质自身的氧气就能引起燃烧，这种燃烧形态称为自燃，因为其氧化反应非常迅速，所以是一种爆发性的燃烧。

以上介绍了燃烧的几种主要现象，研究这些现象便于我们找出相应的对策。

## 三、燃烧条件

为了抑制燃烧的发生，这里需要对燃烧所需的条件——可燃物质、氧气和热源这三个要素进行一下分析。

### 1. 可燃物质

可燃物质按其形态分为固体、液体和气体。固体的，如木柴、炭以及棉麻织品等；液体的，有汽油和酒精等；气体的，有氢气、甲烷和一氧化碳等。这些物质的共同特点是在较低的温度下就能发生分解，释放出大量的热。但是，由于物质的形态不同，发生分解所需的温度也不一样，因此构成的火灾危险也就不同。

造船工业中传统的舢装材料是以木质为基础的，各种贴有饰面材料的多层木夹板、木屑板就是用来作为舱壁板、天花板和家具的主要材料，木质材料在  $170\sim 180^{\circ}\text{C}$  的热作用下，就开始产生分解，如果温度继续升高或引火，燃烧就不可避免地发生了。因此，在船舶的上层建筑，各种木质材料是引起火灾的主要威胁之一。

### 2. 氧气

由于燃烧是可燃物质的氧化现象，因此任何物质的燃烧都离不开氧气。由于氧气供给的方式和速度不同，燃烧的状态也不同，凡是氧气的供给稳定而又迅速时，则燃烧就剧烈；反之，如氧气

的供给不充足或不稳定,燃烧就时高时低,即有时剧烈,有时缓慢。如果燃烧过程中隔离了氧气,则燃烧就不能持续下去并最终熄灭。

### 3. 热源

由于燃烧是一种氧化反应,必须在可燃物质与氧气的化合中施以热量,燃烧才能发生。加给热量的方式有各种各样,即机械的、电的或以其他方式。总之,可燃物质的燃烧热是一个必不可少的条件。

可燃物质、氧气和热源是燃烧的三要素,它们三者之间的关系可用图1-2表示。

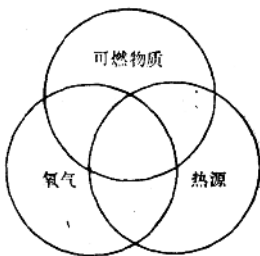


图1-2 燃烧的三要素

可燃物质、氧气和热源三要素,好象三个相互连接的环,只有三要素同时存在并达到一定条件,燃烧才能发生。反之,如果缺少其中任一条件,燃烧就不能发生。现代世界,

一切消防的理论以及一切防火、灭火设施也都是从这一基点出发的,防火和灭火就是使三要素中的某一要素不存在,防火通常是管理好可燃物质和火种,而灭火主要是中断燃烧时所需要的氧气或降温冷却。

造船中,根据安全公约和海规的规定,改革传统的舢装材料,从可燃的木材到不燃的防火材料,这正是造船中做好防火工作,从而维护海上人命安全的根本大计,这也正是各国都化费很大物力、财力加以研究和开发各种新型防火材料并努力推广到船舶上去的重要原因。

## 第二节 材料的燃烧性及其生成物

### 一、材料的燃烧性

船舶所用的内装材料,除一部分是不燃的或难以燃烧之外,其余许多材料都是可以燃烧的,如悬挂的纺织品和薄膜、家具以

及各种饰面材料等。此类可以燃烧的材料大致有三种，即木质材料、塑料及纺织品。由于它们的燃烧所产生的烟和有害气体，会严重危及人命安全。

因此，从理论上探明火灾时室内的可燃材料怎样产生热、烟以及有害气体是十分重要的，特别是掌握由于室内火灾，烟及有害气体等燃烧生成物如何通过开口并以怎样的量和速度逸出，这是采取避难措施时不可缺少的条件。

材料的燃烧性和发烟性试验是在一个类似 A.472(XII届)决议的试验炉上进行的。通过试验可以发现，材料在火灾时产生的烟和气体量很大，如 1 kg 的普通胶合板在 400°C 的高温下的烟浓度可高达约  $1200\sigma \cdot \text{m}^3$  ( $\sigma$  为减光系数)。这仅仅是烟的情况，至于有害气体将更复杂一些。总之，通过一种装置，测定材料的发热性、发烟性是很重要的，这个问题目前尚未完全弄清楚，有待人们进一步去研究它。

### 1. 判定方法

主要从热和烟的发生总量和发生速度这两个方面来判定材料的燃烧特性。发生总量和材料的热重量变化、气体生成速度及烟的性质相关联。

发生总量可按下式表示：

$$[A] = V \frac{C \cdot T}{\Delta G}$$

式中 [A]——发生总量；

V——单位时间的平均流量；

C——单位时间的平均发生强度；

T——发生的时间；

$\Delta G$ ——失重。

根据上述总的原则，用实验和理论计算相结合的方法，可以分别判定材料的发热性、发烟性，无论是实验方法还是理论计算都是比较复杂的。

发生速度可以用下式表示：

$$[B] = \frac{\Delta C}{\Delta T} \approx \frac{C_{\max} - C_0}{T_{\max} - T_0}$$

- 式中  $[B]$ ——发生速度；  
 $C_{\max}$ ——发生单位量的最大值；  
 $C_0$ ——发生开始时的单位；  
 $T_{\max}$ ——达到最大值的时间；  
 $T_0$ ——发生开始时的时间。

用标准杉木板作为确定级别的基准，不同加热温度 $(\theta)$ 对应不同发生总量 $[A]^\theta$ 和发生速度 $[B]^\theta$ ，见表 1-1。

表 1-1 杉木评定基准

级别	发生总量	发生速度
A 级	$\leq \frac{1}{100}[A]^\theta$	$\leq \frac{1}{100}[B]^\theta$
B 级	$\frac{1}{100}[A]^\theta < \leq \frac{1}{10}[A]^\theta$	$\frac{1}{100}[B]^\theta < \leq \frac{1}{10}[B]^\theta$
C 级	$\frac{1}{10}[A]^\theta < \ll [A]^\theta$	$\frac{1}{10}[B]^\theta < \ll [B]^\theta$
D 级	$[A]^\theta <$	$[B]^\theta <$

## 2. 判定结果

某一发生总量，将对应一定热量、一定烟和一定有害气体，同样，对应某一发生速度也有其相应的热量、烟和有害气体。

发烟性用每 kg 燃料产生多少 J 的热量表示，其单位为 J/kg。使材料发热的加热温度通常采用 350°C、500°C 和 750°C 三种。

发烟性用光密度表示。

根据实验结果和综合分析整理，常见材料的发热性、发烟性和产生的一氧化碳见表 1-2。

表1-2 常见材料性能比较表

材料名称	判定级别			材料名称	判定级别		
	热	烟	生成的一氧化碳		热	烟	生成的一氧化碳
硬质聚氯乙烯板	B	D	D	聚氯乙烯泡沫	A	D	C
三聚氰胺浸渍板	C	C		难燃胶合板	C	C	D
硬质聚氨酯泡沫	C	D	C	防火胶合板	C	C	
PVC钢板	A	C		杉木板	C	C	C
PVC钢板	B	B		普通胶合板	C	C	C
PVC钢板	C	D		硬质纤维板	C	D	D
三聚氰胺钢板	B	C		木纤维水泥板	C	A	C
三聚氰胺钢板	A	C		木片水泥板	B	A	
三聚氰胺装饰板	C	C		石膏板	A	B	C
化纤织物A	C	D		特殊石棉板	B	A	B
化纤织物B	C	D		特殊石棉板	B	A	
氯纶	C	D		特殊石棉板	B	A	
氯纶	C	D		玻璃纤维板	B	A	B
氯纶	D	D		玻璃纤维板	B	A	

### 3. 几种材料的性能曲线

#### (1) 塑料、有机纤维和木质有机纤维

几种常见材料的发烟性、发热性曲线分别见图 1-3、图 1-4 和图 1-5。这些材料系指塑料(图 1-3)、有机纤维材料(图 1-4)和木质有机材料(图 1-5)。从图中可见, 350°C 时发烟速度缓慢, 750°C 时发烟量就急剧上升。

(2) 木质纤维水泥板、木片水泥板、石膏板、特殊石棉板等均属木质系无机材料。

这类材料产生发热性、发烟性的原因是由于它们是由无机质



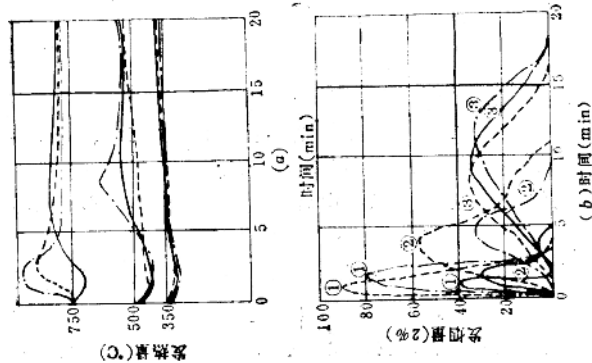


图1-3 地板的发烟性和发热性

—乙缩树脂石棉系地板；-·-·-·沥青系地板，---纯  
乙缩地板。①750°C；②500°C；③350°C。

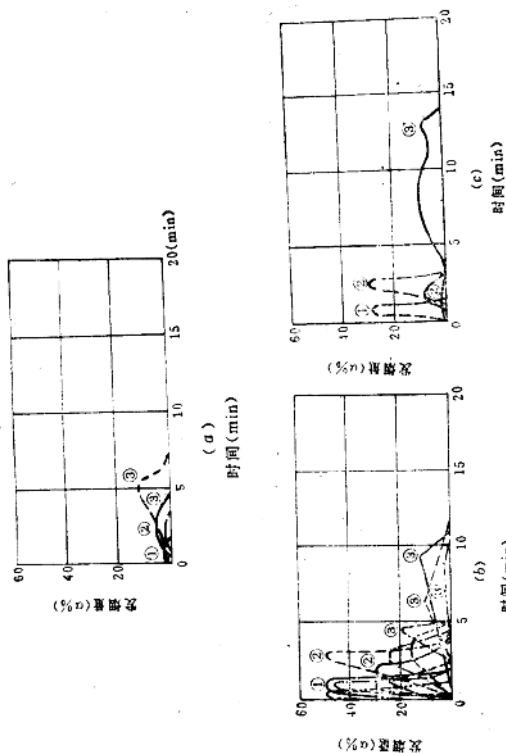


图1-4 纤维的发烟性(4g)

—木纤维；—聚氯乙稀系；-·-·-·二氯乙稀系；—聚丙烯；---人造短纤维；  
——聚氯乙稀系；-·-·-·聚氯乙稀系；---聚脂。①750°C；②500°C；③350°C。