

# 第六章 纤维及其织物的阻燃机理和技术

## 6.1 纤维的种类

天然纤维

棉、丝、羊毛

人造纤维

粘胶纤维

合成纤维

尼龙、涤纶、  
腈纶

无机纤维

玻璃纤维、石  
棉

**人造纤维：** 是使用天然纤维制造的化学纤维，是将不能直接纺织的原料经过化学方法制造而成的纤维。简单的讲就是以天然纤维素为原料，经碱化、老化、磺化等工序制成可溶性纤维素磺酸酯，再溶于稀碱液制成粘胶，经湿法纺丝而制成。

**合成纤维：** 属于石油产品，以石油为原料制得。

**无机纤维：** 以矿物质为原料制成的化学纤维。

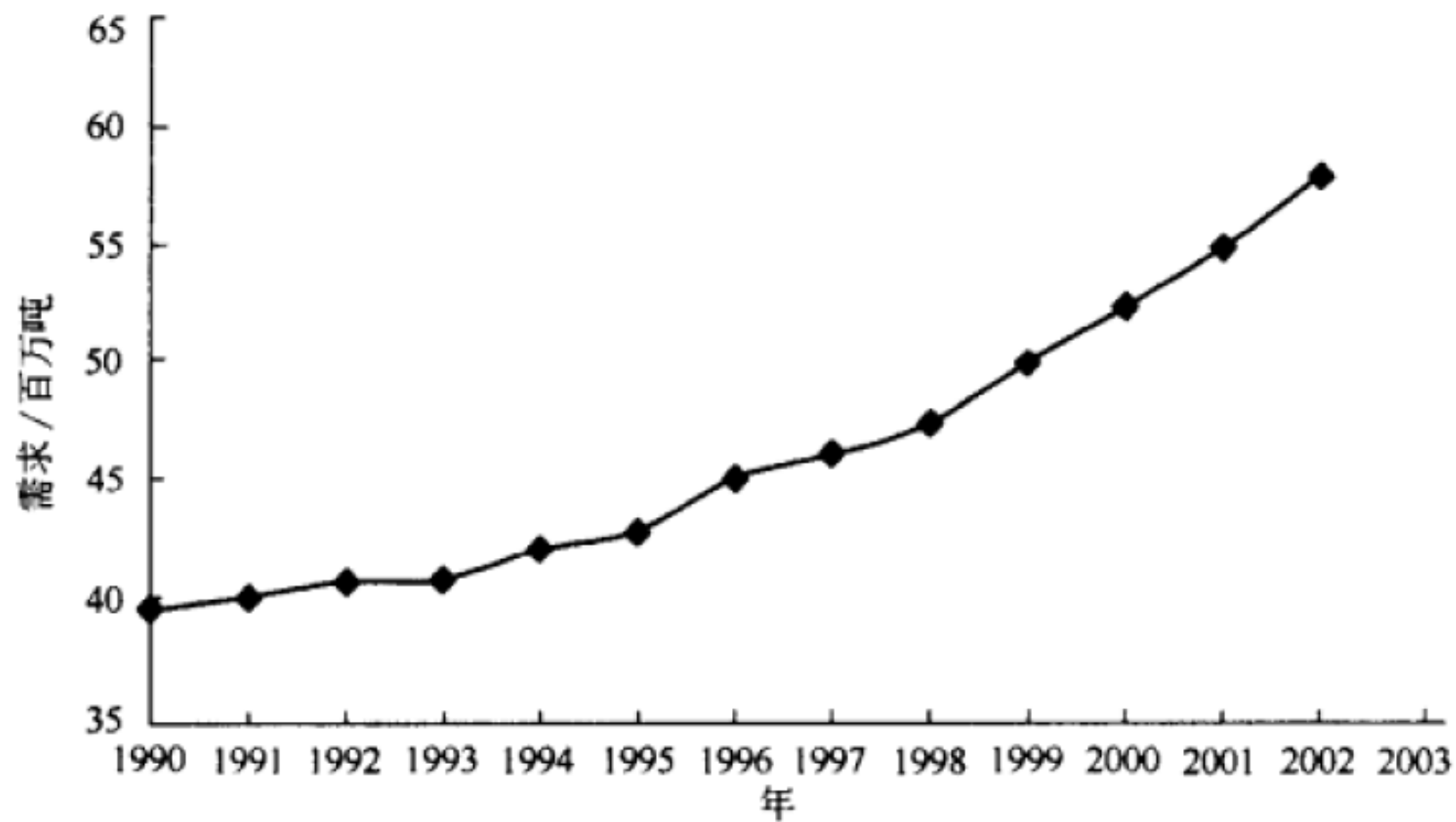


图 5-2 全球纤维需求



据统计，由于纺织品引起的火灾约占火灾总数的40%以上。特别是建筑住宅火灾，纺织品着火蔓延所占的比例更大，在纺织品中以床上用品和室内装饰织物为起火的主要原因。



1700年，发表了一个阻燃纤维素的专利。该专利以含铝矾土（十二水合硫酸铝钾）、硫酸铁及硼砂（十水合硼酸钠）的混合物为纤维素的阻燃剂。

阻燃纤维织物的一个重大进展是采用含卤有机物-金属氧化物双组份阻燃系统，特别是以氯化石蜡和三氧化二锑阻燃纺织品。



## 6.2 纤维的燃烧性能

表 5-3 纤维燃烧性的区分依据

分 类	燃 烧 性	纤 维 名 称
不燃性纤维	不能点燃	玻璃纤维、金属纤维、石棉、碳纤维、硅纤维
难燃纤维	遇火燃烧,但难以点燃,燃烧速度慢	氟纤维、聚氯乙烯、聚偏氯乙烯、改性丙烯腈纤维
可燃纤维	遇到火焰能发烟燃烧,但离开火源就自行熄灭	聚酯、聚酰胺、维纶、醋酸纤维、羊毛、丝
易燃纤维	容易点燃,燃烧速度快	聚丙烯、聚丙烯腈、棉麻、黏胶纤维

表 5-5 纤维的燃烧状况

纤维 试 验		燃 烧 状 况				
		接近火焰时	在火焰中	离开火焰	臭味	灰
天然纤维	羊毛	收缩	收缩,燃烧	能继续燃烧,但困难,燃前先收缩	烧羽毛的臭味	黑色、脆、容易破坏
	棉麻	和火焰接触即燃烧	燃烧	继续很快燃烧,有残渣	烧纸的臭味	灰色,柔软
人造纤维	黏胶纤维	和火焰接触即燃烧	燃烧	继续极快燃烧,无残渣	烧纸的臭味	几乎无灰
化学纤维	涤纶	接 触 火 焰 前 熔融	熔融,燃烧	容易燃烧	特殊臭味	黑色硬球
	腈纶	接 触 前 熔 融、 着火	熔融,燃烧	闪光,迅速燃烧	略有烧肉臭味	硬、黑、不整齐

表 5-6 几种纤维材料燃烧时烟雾及气体的生成

材 料	最大烟密度 (Maximum Specific Optical Density)	气体的浓度/ $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$		
		CO	HCl	HCN
尼龙织物	16	30	0	0
75%羊毛-25%棉纤维	14	50	0	6
改性丙烯腈织物	39	220	110	30
芳香族聚酰胺织物	32	130	0	3
羊毛地毯	123	190	0	15
改性丙烯腈地毯	410	400	1000	70

表 5-7 几种纺织品燃烧时能见度的降低

样品织物	能见度降低/% (Decrease in visibility)	烟密度 (Optical density)	样品织物	能见度降低/% (Decrease in visibility)	烟密度 (Optical density)
聚丙烯腈	97	1.5	尼 龙	6	0.03
棉织物	4	0.02	涤 纶	28	0.14
阻燃处理的棉织物	98	1.7	65/35 涤棉混纺织物	99	2.00
黏 胶	4	0.02	55/45 涤毛混纺织物	98	1.70
羊 毛	18	0.09	PVC 织物	34	0.18



## 6.3 纤维及织物的阻燃改性方法

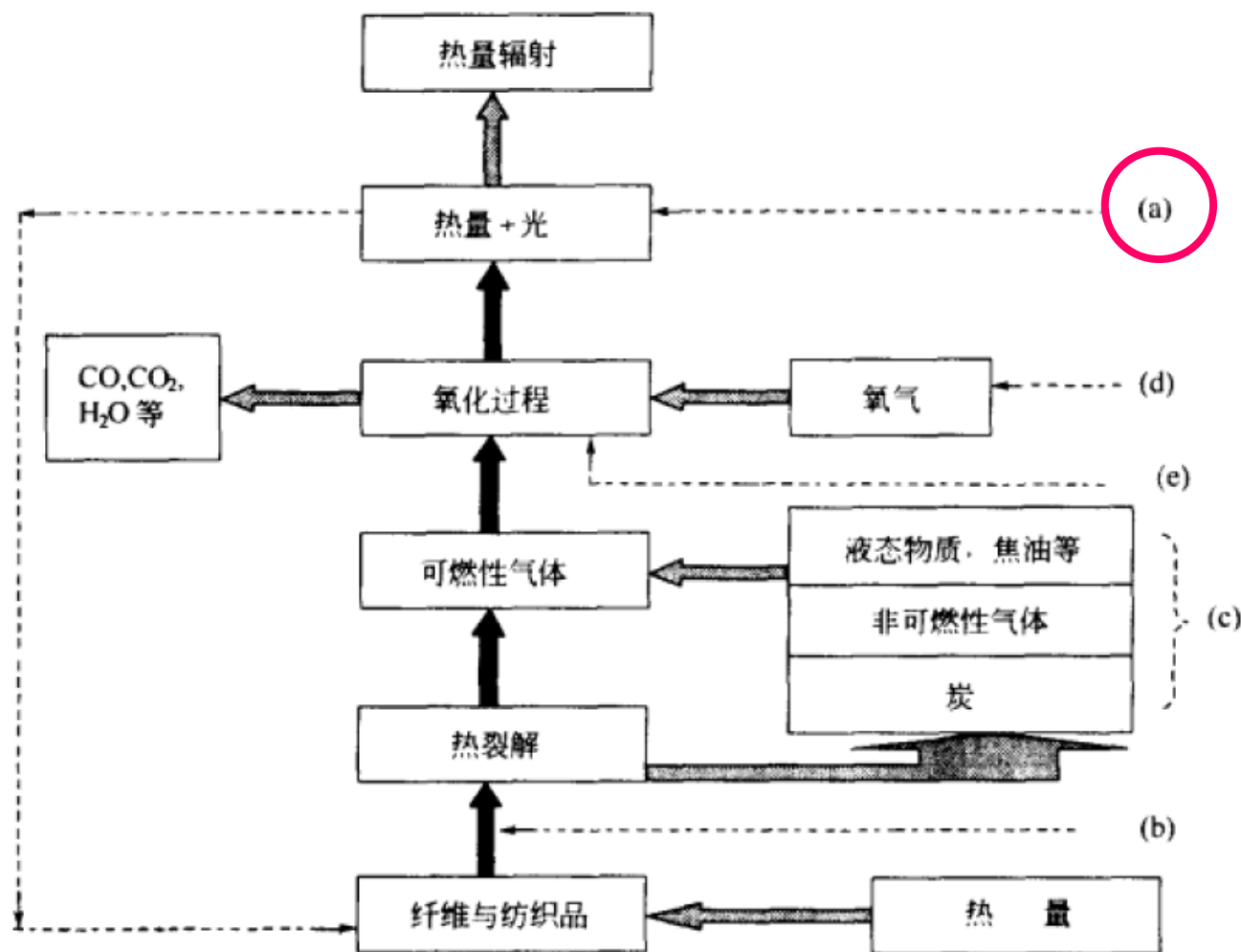


图 5-3 纤维与纺织品燃烧过程

根据纤维与纺织品燃烧的过程，其阻燃方案可以从以下五个方面进行：

(a) **移除热量**：通过阻燃体系的熔融、降解等反应过程移除纤维素燃烧过程中产生的热量，降低纤维的进一步降解，这类阻燃剂主要有无机、有机含磷化合物及氢氧化铝等。



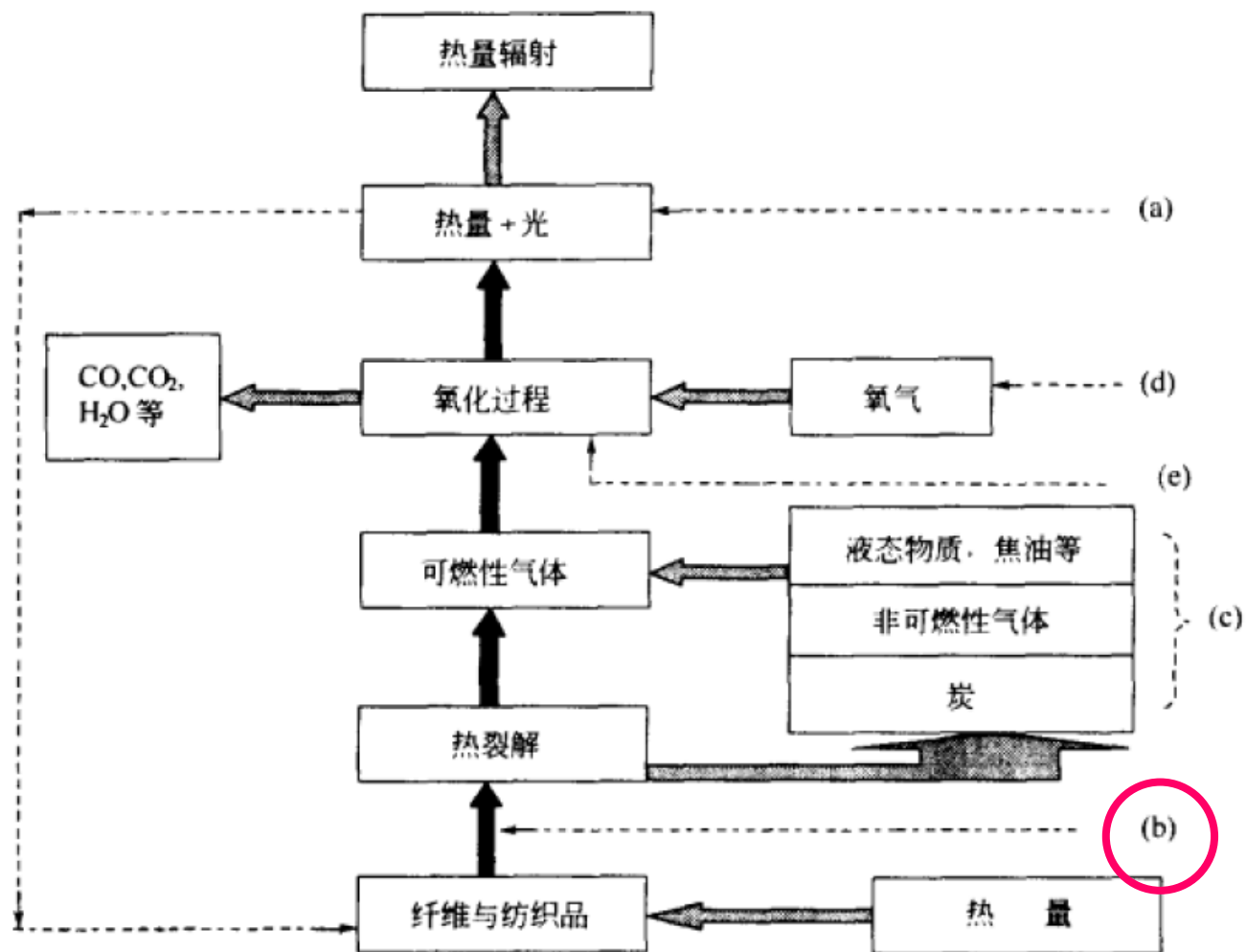


图 5-3 纤维与纺织品燃烧过程

根据纤维与纺织品燃烧的过程，其阻燃方案可以从以下五个方面进行：

(a) 移除热量：通过阻燃体系的熔融、降解等反应过程移除纤维素燃烧过程中产生的热量，降低纤维的进一步降解，这类阻燃剂主要有无机、有机含磷化合物及氢氧化铝等。

(b) **提高热分解温度**：提高热分解温度可以降低相同情况下纤维素分解的可能性，从而减少了燃烧的发生，这类阻燃剂主要为一些耐热的芳香族反应型阻燃剂。

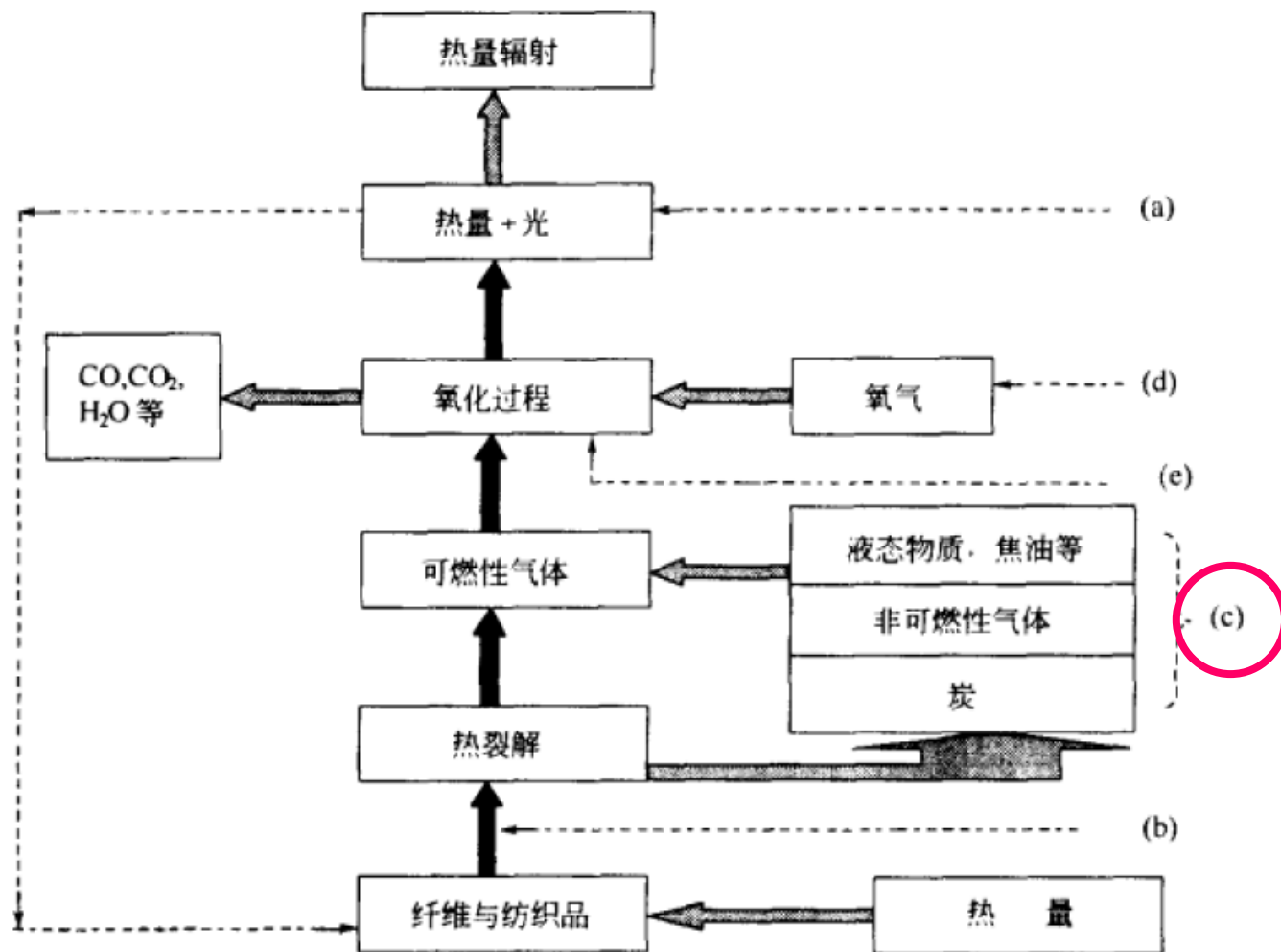


图 5-3 纤维与纺织品燃烧过程

根据纤维与纺织品燃烧的过程，其阻燃方案可以从以下五个方面进行：

(a) 移除热量：通过阻燃体系的熔融、降解等反应过程移除纤维素燃烧过程中产生的热量，降低纤维的进一步降解，这类阻燃剂主要有无机、有机含磷化合物及氢氧化铝等。

(b) 提高热分解温度：提高热分解温度可以降低相同情况下纤维素分解的可能性，从而减少了燃烧的发生，这类阻燃剂主要为一些耐热的芳香族反应型阻燃剂。

(c) **降低可燃性挥发物的生成，提高炭的生成量**：大多数磷、氮阻燃剂。

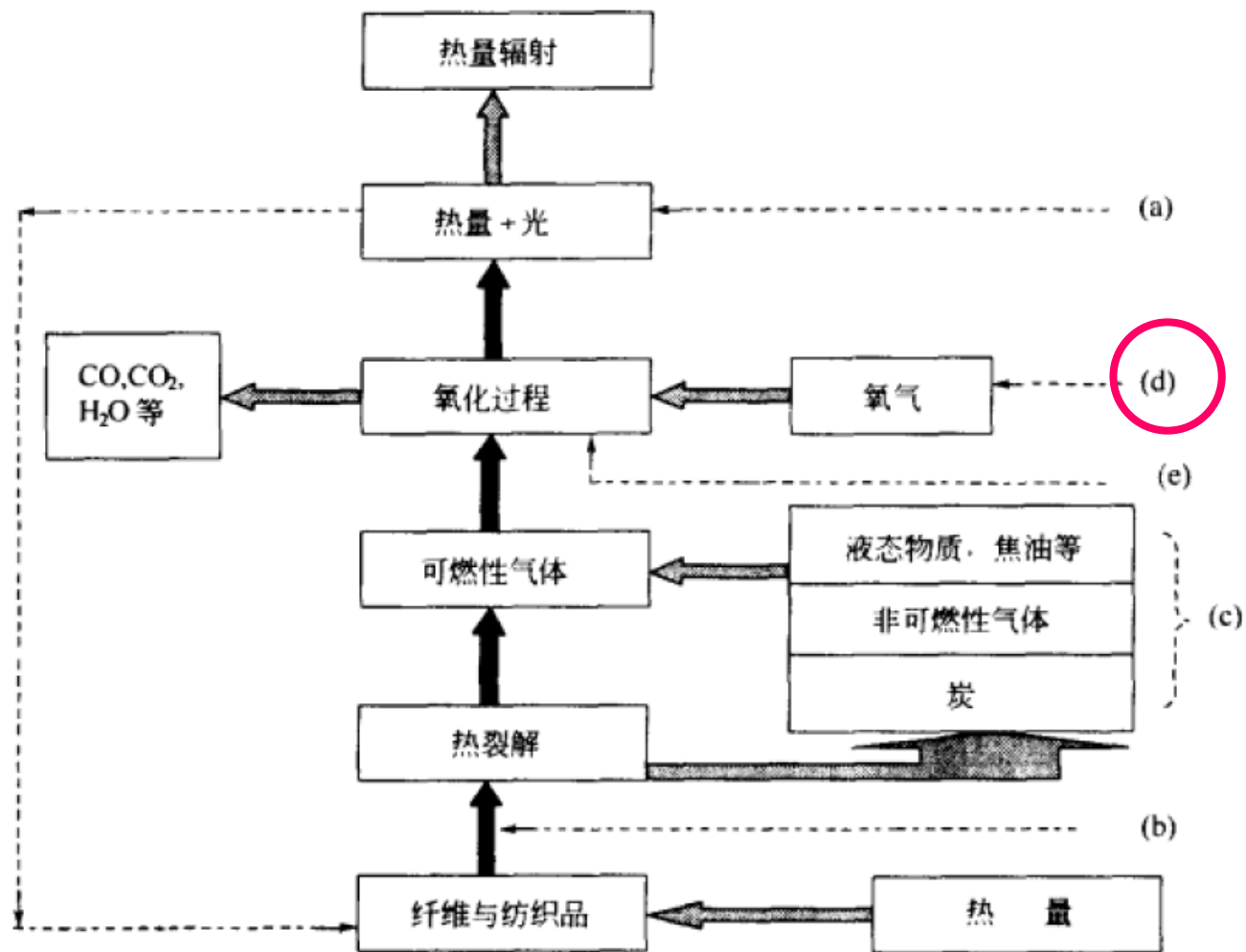


图 5-3 纤维与纺织品燃烧过程

根据纤维与纺织品燃烧的过程，其阻燃方案可以从以下五个方面进行：

(a) 移除热量：通过阻燃体系的熔融、降解等反应过程移除纤维素燃烧过程中产生的热量，降低纤维的进一步降解，这类阻燃剂主要有无机、有机含磷化合物及氢氧化铝等。

(b) 提高热分解温度：提高热分解温度可以降低相同情况下纤维素分解的可能性，从而减少了燃烧的发生，这类阻燃剂主要为一些耐热的芳香族反应型阻燃剂。

(c) 降低可燃性挥发物的生成，提高炭的生成量：大多数磷、氮阻燃剂。

(d) **降低燃烧区与氧气的接触**：卤素阻燃体系等主要利用此方法进行阻燃。

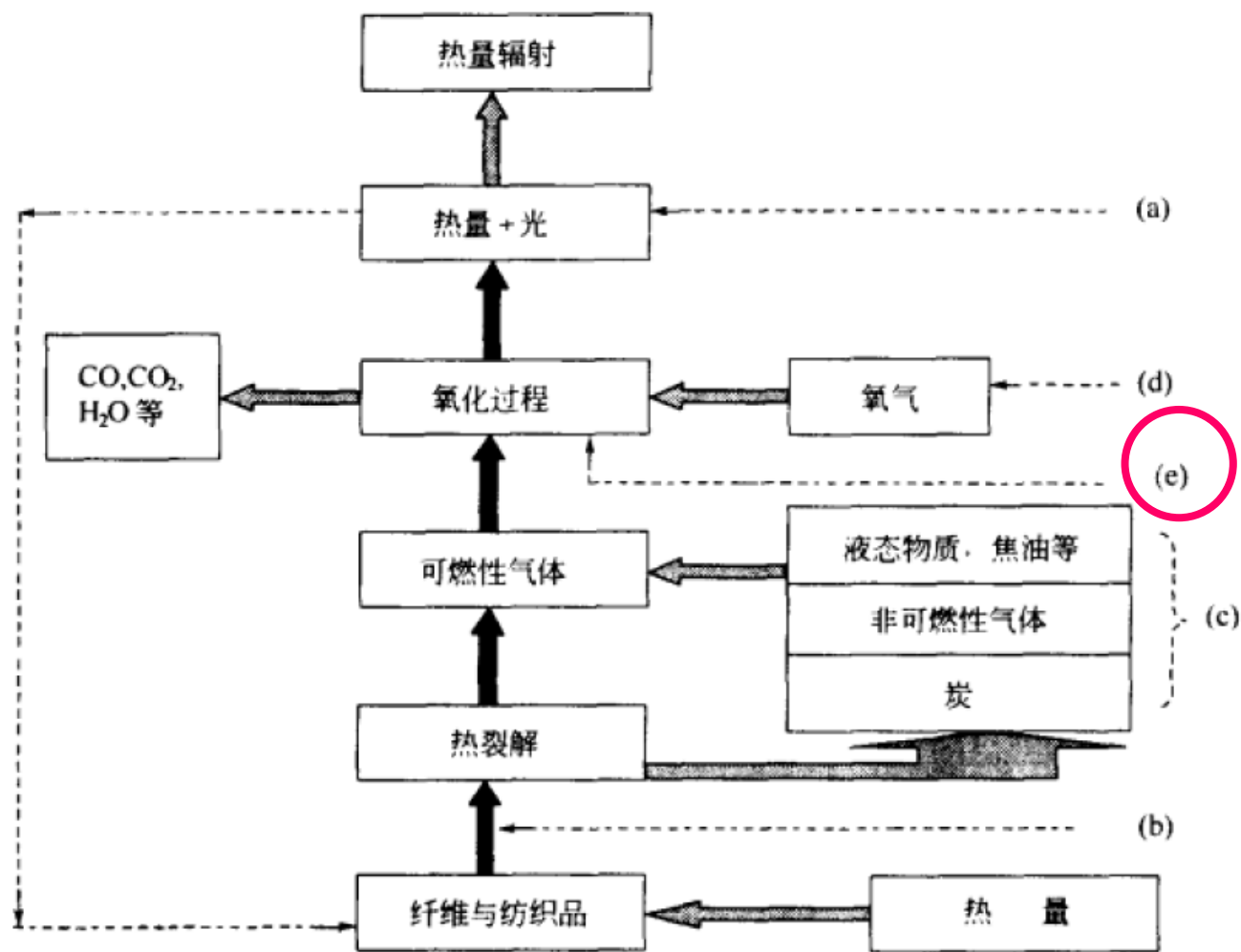


图 5-3 纤维与纺织品燃烧过程



根据纤维与纺织品燃烧的过程，其阻燃方案可以从以下五个方面进行：

(a) 移除热量：通过阻燃体系的熔融、降解等反应过程移除纤维素燃烧过程中产生的热量，降低纤维的进一步降解，这类阻燃剂主要有无机、有机含磷化合物及氢氧化铝等。

(b) 提高热分解温度：提高热分解温度可以降低相同情况下纤维素分解的可能性，从而减少了燃烧的发生，这类阻燃剂主要为一些耐热的芳香族反应型阻燃剂。

(c) 降低可燃性挥发物的生成，提高炭的生成量：大多数磷、氮阻燃剂。

(d) 降低燃烧区与氧气的接触：卤素阻燃体系等主要利用此方法进行阻燃。

(e) **改变燃烧氧化机理，提高点燃温度**：如卤素与锑类化合物协同阻燃体系。

## 6.3 纤维及织物的阻燃机理

### (1) 覆盖层机理

指某些阻燃剂在高温下能与纤维表面形成玻璃状或稳定泡沫覆盖层，一方面可以阻止氧气的供应，另一方面阻止可燃性气体的逸出，从而达到阻燃的目的。

硼砂-硼酸是一种含有结晶水的低熔点化合物，在接近火焰时会很快熔融而覆盖在纤维表面，这种覆盖层对热很稳定，它隔断了保持继续燃烧所需的氧气供应，从而使燃烧难以进行，属于这一类的阻燃剂有硼酸盐和某些磷化合物。

## (2) 生成不燃性气体机理

阻燃剂受热分解出不燃性气体，将纺织品分解出来的可燃性气体浓度冲淡到能产生火焰浓度以下。

例如：卤素阻燃剂、铵盐、碳酸盐等受热分解会产生 $\text{NH}_3$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{HCl}$ 、 $\text{HBr}$ 等不燃性气体，他们冲淡了纺织品受热分解所产生的可燃性气体，使火焰中心处于氧气供应不足，并由于气体的生成和热对流，带走了一部分热量，起到阻燃作用。

### (3) 吸热机理

织物受热，阻燃剂和纤维在同样温度下分解，阻燃剂分解需要的能量，将带走织物上的热量，得到阻燃效果。

### (4) 催化脱水机理

阻燃剂在高温下，生成具有脱水能力的羧酸。酸酐等，与纤维及纺织品基体反应，促进脱水炭化，减少可燃性气体的生成。

### (5) 自由基控制机理

有机物在燃烧过程中产生的自由基能使燃烧加剧，若用含卤素的有机物对织物进行阻燃处理，含卤化合物在高温下裂解成卤素自由基，它与氢自由基结合就终止了连锁反应，减缓燃烧速度。

## 6.4 纺织品的阻燃处理

阻燃织物的阻燃性与纤维的化学性质、织物的密度和结构、所用阻燃剂的效率及环境等很多因素有关。

纺织品的密度与结构影响它的燃烧速度及引燃性，密度低的织物比密度高的燃烧速度大得多，因而阻燃前者所需的阻燃剂量要大。

纺织品的阻燃处理主要采用喷涂、涂刷和浸渍的方法

## 一、纺织品的耐久性阻燃处理

**Erifon工艺：**将含锑和钛的无机阻燃剂氢氧化锑和氯化钛在pH值为4的酸性溶液中浸扎于纺织品上，再令纺织品通过硫酸钠溶液，最后将纺织品冲洗和干燥，阻燃处理即告完成。

**Titanox工艺：**所用阻燃剂是醋酸氯化钛和氢氧化锑。

## 二、纺织品的非耐久性阻燃处理

对织物进行非耐久性阻燃处理，采用水溶性阻燃剂是最容易实现的。

只需以阻燃剂水溶液对织物浸扎后干燥即可。

调节阻燃剂溶液的浓度和织物对整理液的吸着情况，即可控制织物所含的阻燃剂量。

表 13-4 用于纺织品非耐久性阻燃处理的配方

编号	硼砂 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	硼酸 $\text{H}_3\text{BO}_3$	磷酸氢二铵 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	十二水合磷酸钠 $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	其他
1	70	30			
2	47	20	33		
3		50		50	
4		50	50		
5	50	35		15	
6			25		75 <sup>①</sup>
7	15	47			38 <sup>②</sup>



### 三、纺织品的半耐久性阻燃处理

半耐久性阻燃织物可耐洗1~15次。对用于家具、窗帘的纺织品，半耐久性阻燃处理是适宜的。

在纺织品上沉淀无机氧化物，如  $\text{WO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{SnO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$  共沉淀，可提高阻燃纺织品的耐洗性能，还可提高其抗阴燃性。

大多数能赋予棉纤维半耐久阻燃性的阻燃剂是含磷和氮的化合物。

## 6.5 纤维及纺织品用阻燃剂

### 一、阻燃棉纤维及其织物

阻燃棉织品一般采用后处理阻燃方法，这种方法能赋予棉织品一定程度的耐久阻燃性。

如果采用的阻燃剂为易溶于水的盐类（磷酸铵、溴化物、硼砂-硼酸混合物等），则其阻燃性是不耐久的。

如果采用的阻燃剂是反应型的（烷基磷酰胺衍生物、四羟甲基磷盐缩合物、树脂粘结的锑-溴阻燃系统等），则其棉织物可获得耐久阻燃性。

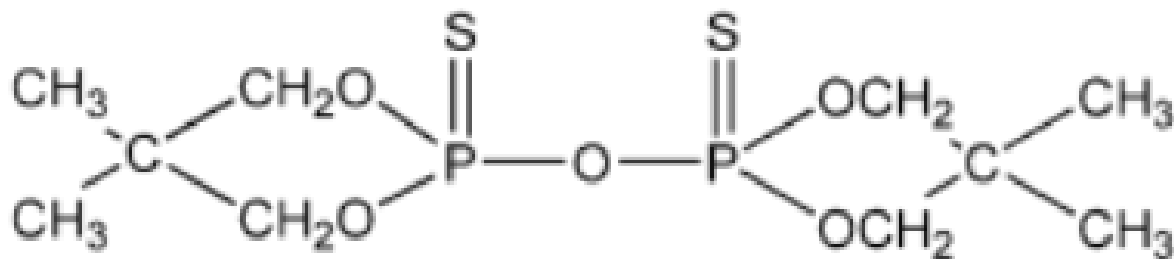
表 13-1 用于处理棉纤维及其织物的阻燃剂

阻燃剂名称	阻燃剂结构式或配方	阻 燃 性
聚磷酸铵 (APP)	$(\text{NH}_4\text{PO}_3)_n$	不耐久或半耐久 (与 APP 的聚合度 $n$ 有关)
磷酸氢二铵	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	不耐久
羟甲基化磷酰胺	$(\text{CH}_3\text{O})_2\text{PCH}_2\text{CH}_2\text{CONHCH}_2\text{OH}$ (Pyrovatex CP, TFR1 或 Affiamit)	耐水洗 50 次以上
四羟甲基磷盐缩合物	$\text{P}(\text{CH}_2\text{OH})_4\text{Cl}$ (THPC)-脲-氮缩合物 (Proban)	半耐久
氯化石蜡	$\text{C}_n\text{H}_{(2n-m+2)}\text{Cl}_m$	半耐久
卤-锑系统 (含脂肪族或芳香族溴)	DBDPO (HBCD) + $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ( $\text{Sb}_2\text{O}_5$ ) + 丙烯酸树脂 (Myflam, Flacavon)	半耐久或耐久

## 二、阻燃粘胶纤维及其织物

阻燃粘胶纤维时，通常是在纤维制造过程中将阻燃剂加入纺丝料中，这可赋予纤维较持久的阻燃性，且可消除纺织品阻燃后处理可能引起的环境污染。

目前仍在且广泛使用于粘胶纤维的阻燃剂是环状二硫代焦磷酸酯，最早由瑞士Sandoz公司合成，商品名为Sandoflame5060（现为Clariant公司产品Exolit5060）。

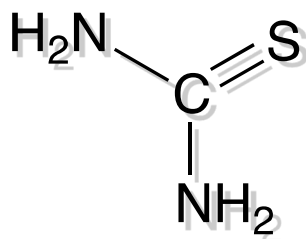


环状二硫代焦磷酸酯

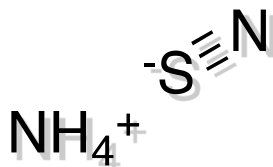
### 三、阻燃合成纤维及其织物

合成纤维的阻燃处理可采用原丝改性或织物后处理两种方法。

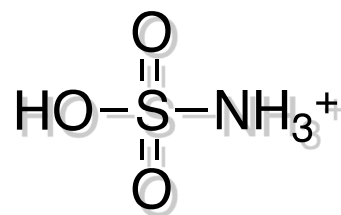
锦纶：硫脲、硫氰酸铵、氨基磺酸酯（盐）、聚硼酸酯、卤化锡、含锆络合物。



硫脲



硫氰酸铵



氨基磺酸盐

腈纶：丙烯腈与偏二氯乙烯共聚物、丙烯腈与氯乙烯乳液共聚物。

聚丙烯酸酯纤维：交联结构的丙烯酸与丙烯酰胺共聚物。