

新型建筑材料丛书

建筑 防火材料

王国建 王凤芳 编著



中國石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

新型建筑材料丛书

建筑防火材料

王国建 王凤芳 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书是作者根据长期从事教学和科研的成果及心得体会,并参阅了大量国内外文献资料编写而成。全面介绍了燃烧、阻燃和防火材料的基本知识,详细论述了各类防火涂料、防火阻燃液、防火堵料和防火玻璃的特点、配方设计、制备工艺、施工方法和质量监控,并对上述领域存在的问题和国内外发展动向进行了分析探讨。文字通俗简练,内容详实丰富,科学性和实用性均较强。

本书可供从事防火材料研究、生产和应用的工程技术人员、管理人员和建筑设计人员参考,也可作为高等院校相关专业研究与教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑防火材料/王国建,王凤芳编著.
—北京:中国石化出版社,2006
ISBN 7-80229-021-X

I. 建… II. ①王… ②王… III. 建筑材料:防火材料 IV. TU545

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 032428 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

北京大地印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

850×1168 毫米 32 开本 14 印张 366 千字

2006 年 6 月第 1 版 2006 年 6 月第 1 次印刷

定价:30.00 元

前 言

在人类的发展历史中，火对人类文明的进步发挥了极其重要的作用。但是，火也是一把双刃剑，它不仅可以造福人类，也能给人类带来灾难。火灾给人类造成的危害远远大于其他天灾人祸。因此，与火灾作斗争是人类活动中的一项重要内容。

我国改革开放以来，国民经济建设不断发展，建筑事业突飞猛进。高层、超高层建筑物拔地而起，各种断型建筑材料不断涌现。在这一片莺歌燕舞之中，却埋藏着巨大的火灾隐患。大量应用的化学建材是易燃的，日益增多的钢结构建筑的耐热性很低，普造使用的混凝土材料也是不耐火的。发关键的是，高层、超高层建筑物中人员十分集中，一旦发生火灾，逃生的难发极大。所有这一切，都提示我们应加强对建筑防火材料的研究、开发和应用。江泽民同志曾为消防工作题词：“隐患险于明火，防范胜于救灾，责任重于泰山”，深刻阐述了消防工作的重要性 and 严肃性。

同济大学材料学院高分子材料研究所多年来从事防火材料的研究与开发，有过许多成功和失败，积累了丰富的经验和教训，十分希望贡献出来与大家分享，共同为我国的消防事业的发展 and 繁荣尽一份力量。本书的编写正是出于这样的目的。在本书的撰写过程中，十分惊喜地发现由徐晓楠、周政懋编写的《防火涂料》和由

覃文清、李风编写的《材料表面涂层防火阻燃技术》两本书，为本书的撰写提供了大量的素材。此外，还大量参考了国内外的文献资料，尤其是华南理工大学化工学院陈焕钦教授、杨卓如教授、涂伟萍教授、肖新颜副研究员，北京石油化工学院吕九琢教授等人在国内外学术刊物上发表的大量卓有见解的论文，给了本书的撰写以极大的帮助。在此向以上这些在防火材料研究和开发中作出量大贡献的同行们表示极大的敬意和感谢。

本书共分三篇十四章，第一篇三章介绍了燃烧、阻燃和防火材料的基础知识，由同济大学王国建撰写；第二篇八章着重介绍各类防火涂料的基本概念、生产配方、工艺设备、质量控制和性能检测，由同济大学王国建撰写；第三篇三章则介绍其他一些重要的防火材料，如防火阻燃液、防火堵料和防火玻璃等，由上海应用技术学院王凤芳撰写。全书由王国建审授。

为了叙述的连贯和系统，部分章节的内容可能有所交叉和重复，望读者谅解。本书欲将目前国内外防火材料的最新科技成果介绍给读者，并尽可能理论联系实际。但是由于受作者目光所及和知识水平的局限，表知是否能达到预期的目标。书中许多论点可能仅是经验之谈，一孔之见，甚至可能是谬误之论。望读者不吝指正，万分感谢。

目 录

第一篇 燃烧基础知识

第一章 燃烧的基本原理	(1)
1.1 燃烧现象和燃烧的本质	(1)
1.2 燃烧的条件	(2)
1.3 燃烧的过程	(3)
1.4 自燃和引燃	(4)
1.5 燃烧的自由基连锁反应机理	(5)
1.6 描述燃烧现象和燃烧速度的参数	(6)
1.7 燃烧中的烟雾	(7)
1.7.1 烟雾的产生	(8)
1.7.2 烟雾的毒性和危害	(8)
1.7.3 烟密度及其测试方法	(10)
第二章 典型物质的燃烧	(12)
2.1 木材的燃烧	(12)
2.1.1 木材燃烧的特点	(12)
2.1.2 影响木材燃烧速度的因素	(14)
2.2 高分子材料的燃烧	(14)
2.3 钢结构材料在燃烧时的行为	(19)
2.4 混凝土材料在燃烧时的行为	(21)
2.4.1 燃烧对混凝土抗压强度的影响	(22)
2.4.2 燃烧对混凝土抗拉强度的影响	(22)
2.4.3 燃烧对混凝土弹性模量的影响	(22)
2.4.4 混凝土材料的防火措施	(23)
第三章 阻燃和防火原理	(24)
3.1 物体的阻燃和防火	(24)

3.2 常用的阻燃剂简介	(25)
3.2.1 溴系阻燃剂	(26)
3.2.2 氯系阻燃剂	(26)
3.2.3 磷系阻燃剂	(27)
3.2.4 氮系阻燃剂	(28)
3.2.5 锑系阻燃剂	(28)
3.2.6 铝-镁系阻燃剂	(28)
3.2.7 膨胀型阻燃剂	(29)
3.2.8 其他阻燃剂	(30)

第二篇 防火涂料

第四章 防火涂料概述	(31)
4.1 概述	(31)
4.2 防火涂料的类型	(32)
4.2.1 按所用基料的性质分类	(32)
4.2.2 按所用的分散介质分类	(32)
4.2.3 按涂层的燃烧特性和受热后状态变化分类	(33)
4.2.4 按使用的目标分类	(34)
4.3 防火涂料的基本作用	(35)
4.4 非膨胀型防火涂料的防火机理	(36)
4.4.1 难燃型防火涂料	(36)
4.4.2 隔热型防火涂料	(38)
4.5 膨胀型防火涂料的防火原理	(39)
4.5.1 膨胀型防火助剂的组成	(39)
4.5.2 膨胀炭化层的形成过程及防火原理	(44)
第五章 防火涂料的配方设计与制备	(48)
5.1 防火涂料的组成	(48)
5.1.1 基料	(48)
5.1.2 防火助剂	(65)
5.1.3 颜料与填料	(78)

5.1.4 助剂	(92)
5.1.5 溶剂的选择	(108)
5.2 防火涂料的配方设计与配色	(110)
5.2.1 防火涂料的配方设计基本原则	(110)
5.2.2 防火涂料生产配方和工艺举例	(112)
5.2.3 防火涂料的配色	(114)
第六章 钢结构防火涂料	(121)
6.1 钢结构防火的必要性	(121)
6.2 钢结构的耐火性能	(123)
6.2.1 钢材的比热容和导热系数	(123)
6.2.2 高温下钢材的力学性能	(123)
6.2.3 裸钢及受保护钢构件的耐热性	(125)
6.3 钢结构的防火保护措施	(127)
6.4 钢结构防火涂料及其发展	(129)
6.4.1 钢结构防火涂料	(129)
6.4.2 钢结构防火涂料的发展及现状	(130)
6.4.3 钢结构防火涂料的应用前景及存在的问题	(134)
6.5 钢结构防火涂料的分类	(139)
6.6 隔热型钢结构防火涂料及其特点	(140)
6.6.1 隔热型钢结构防火涂料的基本组成和性能	(140)
6.6.2 室内隔热型钢结构防火涂料	(142)
6.6.3 室外隔热型钢结构防火涂料	(144)
6.6.4 隔热型钢结构防火涂料的施工	(145)
6.6.5 隔热型钢结构防火涂料的制备	(146)
6.7 薄涂型钢结构防火涂料	(151)
6.7.1 薄涂型钢结构防火涂料的基本组成和性能	(151)
6.7.2 薄涂型钢结构防火涂料的施工	(154)
6.7.3 薄涂型钢结构防火涂料的制备	(155)
6.8 超薄型钢结构防火涂料	(159)
6.8.1 超薄膨胀型钢结构防火涂料的基本组成	(160)

6.8.2	超薄膨胀型钢结构防火涂料的性能要求	(166)
6.8.3	超薄膨胀型钢结构防火涂料的施工	(167)
6.8.4	超薄膨胀型钢结构防火涂料的制备	(168)
第七章	饰面型防火涂料	(174)
7.1	饰面型防火涂料的发展历史	(174)
7.2	饰面型防火涂料的类型和防火原理	(175)
7.2.1	饰面型防火涂料的类型	(175)
7.2.2	膨胀饰面型防火涂料的防火原理	(177)
7.3	饰面型防火涂料的技术要求和分级方法	(178)
7.4	饰面型防火涂料的施工	(179)
7.4.1	基材的表面处理	(179)
7.4.2	溶剂型饰面防火涂料的施工	(180)
7.4.3	水性饰面防火涂料的施工	(181)
7.4.4	透明饰面防火涂料的施工	(181)
7.5	饰面型防火涂料的组成	(182)
7.5.1	饰面型防火涂料的基料确定原则	(182)
7.5.2	溶剂型饰面防火涂料的基料	(182)
7.5.3	水乳型饰面防火涂料的基料	(207)
7.5.4	透明防火涂料的基料	(212)
7.5.5	饰面型防火涂料的防火助剂和填料	(214)
7.6	饰面型防火涂料的制备	(214)
7.6.1	氨基树脂饰面型防火涂料的制备	(214)
7.6.2	不饱和聚酯饰面型防火涂料的制备	(219)
7.6.3	醇酸树脂饰面型防火涂料的制备	(221)
7.6.4	环氧树脂饰面型防火涂料的制备	(224)
7.6.5	聚氨酯饰面型防火涂料的制备	(228)
7.6.6	氯化橡胶饰面型防火涂料的制备	(232)
7.6.7	过氯乙烯树脂饰面型防火涂料的制备	(235)
7.6.8	酚醛树脂饰面型防火涂料的制备	(238)
7.6.9	水乳型饰面防火涂料的制备	(239)

7.6.10 透明防火涂料的制备	(244)
第八章 混凝土防火涂料	(247)
8.1 混凝土材料防火的必要性	(247)
8.1.1 绪论	(247)
8.1.2 预应力混凝土楼板的防火	(247)
8.1.3 隧道火灾的防护	(248)
8.2 预应力混凝土楼板防火涂料	(250)
8.2.1 预应力混凝土楼板防火涂料的类型	(250)
8.2.2 预应力混凝土楼板防火涂料的技术要求及 试验方法	(251)
8.2.3 预应力混凝土楼板防火涂料的组成	(252)
8.2.4 预应力混凝土楼板防火涂料的制备	(254)
8.2.5 预应力混凝土楼板防火涂料的施工	(262)
8.3 隧道防火涂料	(263)
8.3.1 隧道防火涂料的类型	(263)
8.3.2 隧道防火涂料的技术要求及试验方法	(264)
8.3.3 隧道防火涂料的组成	(266)
8.3.4 隧道防火涂料的制备	(268)
8.3.5 隧道防火涂料的施工	(276)
第九章 电缆防火涂料	(278)
9.1 概述	(278)
9.1.1 电缆火灾的发生及其危害	(278)
9.1.2 电缆火灾的防范	(280)
9.2 电缆防火涂料的类型及其发展	(281)
9.3 电缆防火涂料的技术要求及试验方法	(282)
9.4 电缆防火涂料的组成	(283)
9.4.1 电缆防火涂料的基料	(283)
9.4.2 电缆防火涂料的防火阻燃体系	(284)
9.4.3 电缆防火涂料的填料和助剂	(284)

9.5 电缆防火涂料的制备	(285)
9.5.1 电缆防火涂料配方设计中的要点	(285)
9.5.2 电缆防火涂料的制备	(287)
9.6 电缆防火涂料的施工	(298)
9.6.1 基材的表面处理	(298)
9.6.2 电缆防火涂料的施工	(299)
9.7 电缆防火涂料存在的问题和发展趋势	(300)
第十章 防火涂料生产设备	(302)
10.1 绪论	(302)
10.2 合成树脂生产的主要设备	(302)
10.2.1 溶解与聚合反应设备	(302)
10.2.2 换热与冷凝设备	(306)
10.3 涂料生产的主要设备	(308)
10.3.1 分散设备	(308)
10.3.2 研磨设备	(313)
第十一章 防火涂料的性能、分级及试验方法	(325)
11.1 防火涂料的性能与分级	(325)
11.1.1 饰面型防火涂料的技术要求和分级方法	(325)
11.1.2 钢结构防火涂料的技术要求	(325)
11.1.3 预应力混凝土楼板防火涂料的技术要求	(329)
11.1.4 隧道防火涂料的技术要求	(329)
11.1.5 电缆防火涂料的技术要求	(329)
11.2 防火涂料的常规性能试验方法	(330)
11.2.1 防火涂料的基本性能试验	(330)
11.2.2 防火涂料的施工性能试验	(334)
11.2.3 防火涂料的涂层性能试验	(337)
11.3 防火涂料产品的试验方法	(344)
11.3.1 饰面型防火涂料的试验方法	(344)
11.3.2 钢结构防火涂料试验方法	(354)

11.3.3 电缆防火涂料试验方法	(360)
11.3.4 预应力混凝土楼板防火涂料试验方法	(364)

第三篇 其他防火材料

第十二章 水性防火阻燃液	(367)
12.1 概述	(367)
12.2 水性防火阻燃液的技术要求与试验方法	(369)
12.2.1 水性防火阻燃液的技术要求	(369)
12.2.2 水性防火阻燃液的试验方法	(371)
12.3 水性防火阻燃液的组成与制备	(376)
12.3.1 水性防火阻燃液的组成	(376)
12.3.2 水性防火阻燃液的制备	(377)
12.4 水性防火阻燃液的使用方法	(385)
12.4.1 对基材的要求	(385)
12.4.2 织物和纸质材料的处理	(385)
12.4.3 木材和木质材料的处理	(386)
第十三章 防火封堵材料	(387)
13.1 概述	(387)
13.2 防火堵料	(388)
13.2.1 防火堵料的类型和特点	(388)
13.2.2 防火堵料的技术要求和试验方法	(390)
13.2.3 有机防火堵料	(398)
13.2.4 无机防火堵料	(401)
13.2.5 膨胀型防火包	(403)
13.3 建筑排水管阻火圈	(407)
13.3.1 建筑排水管阻火圈的发展	(407)
13.3.2 建筑排水管阻火圈的技术要求和试验方法	(408)
13.3.3 建筑排水管阻火圈的结构	(409)
13.3.4 建筑排水管阻火圈的安装	(411)

第十四章 建筑用防火玻璃	(412)
14.1 概述	(412)
14.2 防火玻璃的类型和特点	(413)
14.2.1 非隔热型防火玻璃	(413)
14.2.2 隔热型防火玻璃	(415)
14.3 防火玻璃的技术要求及试验方法	(415)
14.3.1 防火玻璃的分类和技术要求	(415)
14.3.2 防火玻璃的试验方法	(420)
14.4 复合型防火玻璃防火层的类型和特点	(422)
14.4.1 复合型防火玻璃防火层的基本要求和 防火原理	(422)
14.4.2 无机防火层的组成与特点	(423)
14.4.3 有机防火层的组成与特点	(425)
14.5 复合型防火玻璃的制备	(427)
14.5.1 多层粘合法制备复合型防火玻璃	(427)
14.5.2 灌浆法制备复合型防火玻璃	(429)

第一篇 燃烧基础知识

第一章 燃烧的基本原理

1.1 燃烧现象和燃烧的本质

燃烧是自然界十分普遍的一种化学现象，是指可燃物与氧化剂作用发生的放热反应。燃烧过程通常伴有火焰、发光和(或)发烟等现象。

燃烧区域的温度很高，使得其中某些燃烧产物和中间物质分子内的电子发生能级跃迁，从而发出各种波长的光。发光的气相燃烧区就是通常所说的火焰，它是燃烧过程中最明显的标志。不同波长的光的颜色是不同的，因此不同温度的火焰的颜色也是不同的。当燃烧不完全时，部分含碳物质中的碳原子没有完全形成 CO_2 ，而形成炭黑或烟灰等微小颗粒，这样就形成了烟。含卤素物质燃烧过程中释放出的卤化氢气体也表现为不同颜色的烟。

从本质上讲，燃烧是一种氧化还原反应，因此燃烧过程同样服从化学动力学、化学热力学的基本定律以及其他自然的基本定律(质量守恒、能量守恒等)。但其放热、发光、生烟和伴有火焰等基本特征表明它不同于一般的氧化还原反应。现代燃烧理论认为，燃烧反应并不是简单的氧化还原反应，而是通过自由基和原子等中间产物在瞬间进行的循环连锁反应，或称链

式反应。自由基的连锁反应是燃烧反应的本质，而光和热则是燃烧过程中表现出的物理现象。

由于燃烧反应速度极快，因高温反应产生的气体和周围气体产生共同膨胀作用，可使反应能量直接转变为机械功，在压力释放的同时产生强光、高热和声响，形成所谓的爆炸。爆炸是燃烧的一种常见表现形式，本质上与燃烧并无区别。

1.2 燃烧的条件

燃烧现象在自然界十分普遍，但其发生必须具备一定的条件。

由于燃烧是一种特殊的氧化还原反应，因此必须有氧化剂和还原剂参与，此外还要有引起燃烧的热源。

(1) 还原剂

凡是能与空气中的氧或其他氧化剂起燃烧反应的物质均为还原剂，习惯称为可燃物。常见的可燃物如氢气、乙炔、酒精、汽油、木材、动物毛发、纸张、塑料、橡胶、合成纤维、硫、磷、钾、钠等。

(2) 氧化剂

凡是与可燃物结合能导致和支持燃烧的物质均为氧化剂，习称助燃物或助燃剂。常见的助燃剂如空气(氧气)、氯气、氯酸钾、高锰酸钾、过氧化钠等。空气是最常见的助燃物，一般情况下，可燃物的燃烧都是在空气中进行的。

(3) 火源

凡是能引起物质燃烧的能量来源均称为火源。常见的火源如明火、高温、摩擦与冲击、自然发热、化学反应热、电火花、光热射线等。

以上所述的可燃物、助燃物和火源通常被称为燃烧三要素。这三个要素必须同时存在并且互相接触，燃烧才可能进行。但是，即使如此，燃烧也不一定发生。要使燃烧发生还必须满足其他一些条件，如可燃物和助燃物有一定的数量和浓度，火源

要有一定的温度和足够的热量等。

由此可见，要使燃烧不能进行，只要将燃烧三要素中的其中任何一个因素隔绝开来即可。例如最常见的用水扑灭火焰，就是一方面隔绝燃烧物与空气中的氧的接触，另一方面降低火场的温度，从而破坏了燃烧进行的条件。用难燃或不燃的涂料将可燃物表面封闭起来，避免基材与空气的接触，也可使可燃表面变成难燃或不燃的表面。

1.3 燃烧的过程

宏观上看，气体、液体和固体物质均可发生燃烧，如氢气、酒精和木材的燃烧就是这三类物质燃烧的典型。而从微观上看，绝大多数可燃物质的燃烧并不是物质本身在燃烧，而是物质受热分解出的气体或液体的蒸气在气相中的燃烧。

由于可燃物质的聚集状态不同，其受热后所发生的燃烧过程也不同。气体最容易燃烧，其燃烧所需的热量只用于自身的氧化分解，并使其达到燃点而燃烧。液体燃烧时，火源提供的热量首先使其蒸发成蒸气，然后蒸气被氧化、分解，在气相中发生燃烧。面体燃烧的情况较为复杂。对硫、磷、萘、石蜡等物质，它们首先受火源热量的作用而熔化或升华，并蒸发成蒸气，然后蒸气被氧化而发生燃烧，其中一般没有分解过程；如果是复杂的化合物，如聚合物、木材、煤等在受热时则首先发生分解，析出气态或液态产物，然后气态产物发生氧化后着火燃烧，或者液态产物蒸发成蒸气，然后再发生氧化后着火燃烧。

燃烧一旦发生后，一般需经历以下过程：

(1) 初起阶段

可燃物在热的作用下蒸发析出气体、冒烟和阴燃，而后在起火部位及周围可燃物着火燃烧，火灾发展速度较慢。此时的火势一般不稳定，发展速度因火源、可燃物质的数量和性质、通风条件等因素的影响而差别很大。

(2) 发展阶段

在这一阶段，宏观表现为火苗窜起，火势迅速扩大，火焰包围整个可燃物体，燃烧面积达到最大限度。特点为燃烧速度快，燃烧温度高，放出强大的辐射热，气体对流加剧，风势进一步促进火势的发展。

(3) 熄灭阶段

随着燃烧的进行，可燃物质逐步减少，燃烧速度逐步减缓，火场温度逐渐降低，火势逐渐衰弱，最终熄灭。

1.4 自燃和引燃

根据燃烧引起的形式不同可分为自燃和引燃两种。

可燃物质由于自身的氧化反应而放出热量，使自身体系温度升高至燃点而形成的燃烧称为自燃。

实际上，可燃物在进行氧化反应放出热量而升温的同时，体系也会通过媒介向外散热，使体系温度下降。因此可燃物最终是否燃烧，取决于反应放热与体系散热两方面竞争的结果。如果反应放热占优势，体系中的热量就会大量积聚，导致温度升高，氧化反应加速，发生自燃；相反，如果散热占优势，体系温度下降，燃烧则不会发生。

在现实生活中，自燃的现象不常发生。通常的燃烧是通过强制点燃可燃物质引起的。这种由于外界热源使物体的温度超过燃点而使燃烧发生的过程称为引燃。火灾的发生大多也是由引燃引起的。

引燃时，其着火的物理本质同自燃并无区别，但其发生的过程却存在一定的差异。在发生自燃时，整个物体的受热是匀速的，并逐渐达到自燃点。由此，在整个可燃物中，燃烧过程能等概率地发生。而在引燃时，可燃物的整体是相对的冷介质，能迅速被加热到着火温度的仅仅是其一小部分。其次，物体自燃时，燃烧反应自加速过程发展得相当缓慢，即延迟期很长；而在引燃时，着火过程进行得相当快，因为受外界热源加热的