

张玉龙 夏裕彬 主编

阻燃高分子材料

配方设计与加工

ZURAN GAOFENZI CAILIAO
PEIFANG SHEJI YU JIAGONG

中国石化出版社

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

TQ314.2
2014

阻燃高分子材料 配方设计与加工

张玉龙 夏裕彬 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书重点介绍了阻燃塑料、阻燃涂料、阻燃胶黏剂、阻燃纤维和阻燃橡胶的配方设计与制备工艺,并按照原材料与配方、制备方法、性能、效果评价的编写格式,较详细地介绍了每一材料和制品,且对阻燃剂作了较详细论述。本书是高分子材料行业业内人士,特别是材料研究、产品设计、制造加工、管理、销售、教学人员的必读之书,也是阻燃高分子材料与制品广大用户重要的参考用书,也可作为初学者的自学教材。

图书在版编目(CIP)数据

阻燃高分子材料配方设计与加工/张玉龙,夏裕彬
主编. —北京:中国石化出版社,2010.3
ISBN 978-7-5114-0296-7

I. ①阻… II. ①张… ②夏… III. ①高分子材料-阻燃剂-配方-设计 ②高分子材料-阻燃剂-加工 IV. ①TQ314.24

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第023577号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、
抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所
有,侵权必究。

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

河北天普润印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

850×1168毫米32开本15.5印张406千字

2010年4月第1版 2010年4月第1次印刷

定价:36.00元

《阻燃高分子材料配方设计与加工》

编写委员会

主 编：张玉龙 夏裕彬

副主编：李 萍 吴建全 莫亚元
 杜仕国 张 瑟

编 委：（按姓氏笔画排序）

孔祥海	刘 华	刘宝玉	刘志成
刘莲英	闫 军	朱柏林	陈 国
李旭东	李 忠	李桂变	李 萍
李惠元	杜仕国	杨 耘	杨振强
张玉龙	张拓新	张 瑟	吴建全
邵颖惠	庞丽萍	金川川	赵宏文
赵媛媛	侯京陵	夏裕彬	莫亚元
康 敏	曹根顺	路香兰	解植文
蔡志勇			

前 言

随着高分子材料科学技术的高速发展及其成型加工技术的进步，高分子材料产品质量和档次逐步提高，被广泛地应用于建筑、包装、电子电气、矿山、军工等和日常生活各个领域。然而，高分子材料绝大部分是易燃材料，尤其是建筑用高分子材料，基本属易燃材料之列，一旦发生火灾就会造成极其惨重的损失。特别是高层建筑，为了减轻自重，大量采用高分子材料制品，发生火灾时，其火势迅猛，速度之快，难以让人防范。火灾除造成惊人的经济损失外，人员伤亡更是触目惊心。对高分子材料进行阻燃化研究，开发难燃性产品，是当前头等大事，人命关天，刻不容缓。

为了普及高分子材料阻燃的基础知识，宣传推广高分子材料阻燃研究与应用成果，我们在收集国内外大量资料的基础上，结合我们的研究工作实践与体会，组织编写了《阻燃高分子材料配方与加工》一书。全书收录配方 400 多个，重点介绍了阻燃塑料、阻燃涂料、阻燃胶黏剂、阻燃纤维和阻燃橡胶的配方设计与制备工艺，并按照原材料与配方、制备方法、性能和效果评价的编写格式，对每一材料与制品进行了较为详细介绍，且对阻燃剂作了较详细论述。

本书突出实用性、先进性和可操作性，理论介绍从简，侧重于用实例和实用数据说明问题，层次结构清晰，语言简练，数据可靠，且图表文并茂。相信本书出版发行将有助于我国的高分子材料阻燃研究、产品开发的进步与发展，倘若能促进高分子材料阻燃产品水平的提高并能进一步拓宽应用领域，作者将感到十分欣慰。

由于编者水平有限，文中不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 高分子材料的燃烧特性	(1)
1.1.1 高分子材料阻燃化的必要性与迫切性	(1)
1.1.2 高分子材料的燃烧反应本质与过程	(2)
1.1.3 高分子材料与其他可燃物燃烧 的不同特点	(2)
1.1.4 高分子材料的燃烧性与结构	(3)
1.1.5 高分子材料的烟雾、毒性与结构	(4)
1.2 高分子材料阻燃特性	(7)
1.2.1 高分子材料的阻燃特性	(7)
1.2.2 提高阻燃性的方法途径	(8)
1.2.3 阻燃剂及其阻燃作用	(9)
1.3 阻燃高分子材料的配方设计	(11)
1.3.1 简介	(11)
1.3.2 配方设计的基本原则	(11)
1.3.3 配方设计的基本内容	(12)
1.3.4 配方设计方法	(13)
1.4 阻燃高分子材料的燃烧试验方法	(19)
1.4.1 氧指数试验	(19)
1.4.2 燃烧试验	(20)
1.5 待研究开发的阻燃高分子材料与新型阻燃剂	(22)
1.5.1 无卤 V-0 级 PBT	(22)
1.5.2 低烟苯乙烯系材料	(22)
1.5.3 耐候性阻燃涂料	(23)
1.5.4 实用的阻燃棉-聚酯混纺织物	(23)

1.5.5	持久性阻燃棉织物	(24)
1.5.6	持久性阻燃木材	(25)
1.5.7	硫衍生物阻燃剂	(25)
第2章	阻燃剂	(27)
2.1	简介	(27)
2.1.1	基本概念与范畴	(27)
2.1.2	分类	(27)
2.1.3	阻燃机理	(28)
2.2	有机阻燃剂	(29)
2.2.1	含氯化合物	(29)
2.2.2	溴系阻燃剂	(32)
2.2.3	磷系阻燃剂	(38)
2.3	无机阻燃剂	(48)
2.3.1	简介	(48)
2.3.2	氧化锑	(49)
2.3.3	水合氧化铝	(55)
2.3.4	氢氧化镁	(60)
2.3.5	硼酸盐	(64)
2.3.6	无机磷化物	(65)
2.3.7	钼化物	(66)
2.3.8	其他无机阻燃剂	(67)
2.4	阻燃剂的应用技术	(67)
2.4.1	交联、接枝技术	(67)
2.4.2	微胶囊化技术	(68)
2.4.3	纳米技术和纳米材料	(68)
2.4.4	复配阻燃体系	(68)
2.5	阻燃剂研究及应用发展特点与趋势	(69)
第3章	阻燃塑料	(71)
3.1	简介	(71)
3.1.1	塑料的燃烧特点	(71)

3.1.2	阻燃作用机理	(72)
3.1.3	塑料阻燃配方设计	(73)
3.2	阻燃通用塑料	(75)
3.2.1	阻燃聚烯烃	(75)
3.2.2	阻燃聚氯乙烯	(135)
3.2.3	阻燃聚苯乙烯	(178)
3.2.4	阻燃 ABS	(186)
3.2.5	阻燃聚甲基丙烯酸甲酯	(225)
3.3	工程塑料	(228)
3.3.1	阻燃尼龙	(228)
3.3.2	阻燃聚碳酸酯	(241)
3.3.3	阻燃聚甲醛	(249)
3.3.4	阻燃聚苯醚	(253)
3.3.5	防火阻燃氟塑料	(257)
3.3.6	玻璃纤维增强阻燃聚苯硫醚	(257)
3.4	热固性阻燃塑料	(258)
3.4.1	阻燃酚醛	(258)
3.4.2	阻燃环氧塑料	(263)
3.4.3	阻燃聚氨酯	(265)
第4章	阻燃涂料	(283)
4.1	阻燃涂料及其配方设计	(283)
4.1.1	简介	(283)
4.1.2	防火涂料的组成	(284)
4.1.3	配方设计与制备	(290)
4.2	阻燃丙烯酸涂料	(293)
4.2.1	丙烯酸乳液膨胀型防火涂料	(293)
4.2.2	膨胀型丙烯酸防火涂料	(294)
4.2.3	水乳型丙烯酸阻燃涂料	(295)
4.2.4	膨胀型丙烯酸阻燃涂料	(296)
4.2.5	膨胀型丙烯酸水性阻燃涂料	(297)

4.2.6	膨胀型丙烯酸阻燃涂料	(299)
4.2.7	水性丙烯酸低播焰船用阻燃涂料	(300)
4.2.8	新型钢结构丙烯酸纳米改性防火 阻燃涂料	(302)
4.2.9	超薄型钢结构丙烯酸防火涂料	(302)
4.2.10	超薄型钢结构防火涂料	(303)
4.2.11	超薄膨胀型钢结构防火阻燃涂料	(304)
4.2.12	超薄型钢结构防火涂料	(306)
4.2.13	有机硅改性丙烯酸防火阻燃涂料	(308)
4.3	阻燃聚氨酯涂料	(309)
4.3.1	聚氨酯防火涂料系列	(309)
4.3.2	高效膨胀型聚氨酯防火涂料	(311)
4.3.3	彩色阻燃聚氨酯防火涂料	(311)
4.3.4	无溶剂阻燃型彩色聚氨酯防火涂料	(313)
4.3.5	水性聚氨酯阻燃涂料	(315)
4.3.6	环氧丙烯酸改性聚氨酯阻燃绝缘涂料	(316)
4.3.7	纳米 SiO ₂ 改性聚氨酯防火涂料	(317)
4.3.8	新型聚氨酯阻燃抑烟涂料	(318)
4.4	阻燃有机硅涂料	(319)
4.4.1	低烟阻燃有机硅涂料	(319)
4.4.2	钢材构件用有机硅阻燃涂料	(320)
4.4.3	核能燃料工业专用耐高温、耐辐射 防火涂料	(320)
4.4.4	电动大巴电池箱内壁用高绝缘防火涂料	(321)
4.5	阻燃聚酯涂料	(321)
4.5.1	膨胀型不饱和聚酯防火涂料	(321)
4.5.2	阻燃型聚酯防火涂料	(322)
4.5.3	膨胀型不饱和聚酯防火涂料	(324)
4.5.4	聚酯防火涂料体系	(325)
4.5.5	钢结构用环氧/聚酯防火粉末涂料	(325)

4.6	氨基阻燃涂料	(327)
4.6.1	膨胀型脲醛树脂阻燃涂料	(327)
4.6.2	改性氨基水性透明防火涂料	(329)
4.6.3	水性三聚氰胺脲醛防火涂料	(330)
4.6.4	脲醛改性硝基阻燃涂料	(331)
4.6.5	超薄型钢结构氨基树脂/丙烯酸防火 阻燃涂料	(333)
4.7	氯乙烯类阻燃涂料与氯醚防火涂料	(334)
4.7.1	高氯化聚乙烯防火涂料	(334)
4.7.2	改性高氯化聚乙烯防火涂料	(335)
4.7.3	新型高氯化聚乙烯防火涂料	(336)
4.7.4	高氯化聚乙烯钢结构防火涂料	(338)
4.7.5	饰面型接枝 SBS - HCPE 钢结构防火涂料 ...	(339)
4.7.6	高氯乙烯防火涂料	(341)
4.7.7	膨胀型改性高氯化乙烯(MMCPE) 防火涂料	(342)
4.7.8	室外膨胀超薄型氯醚树脂钢结构 防火涂料	(343)
4.7.9	导电防腐耐热阻燃多功能涂料	(344)
4.8	其他阻燃涂料	(346)
4.8.1	聚乙酸乙烯膨胀型防火涂料	(346)
4.8.2	废旧聚苯乙烯泡沫防火涂料	(348)
4.8.3	无机水性防火涂料	(350)
4.8.4	改性水玻璃防火涂料	(352)
第5章	阻燃胶黏剂	(354)
5.1	简介	(354)
5.1.1	主要需求与应用领域	(354)
5.1.2	胶黏剂阻燃化的实施方法	(355)
5.1.3	阻燃胶黏剂的发展方向	(357)
5.2	阻燃环氧胶黏剂	(358)

5.2.1	阻燃环氧胶黏剂	(358)
5.2.2	低温固化阻燃环氧胶黏剂	(359)
5.2.3	阻燃低温低毒环氧胶黏剂	(360)
5.2.4	聚氨酯改性环氧阻燃结构胶黏剂	(361)
5.2.5	阻燃环氧玻璃钢管用阻燃胶黏剂	(362)
5.2.6	阻燃环氧胶黏剂系列配方	(363)
5.3	阻燃酚醛胶黏剂	(366)
5.3.1	阻燃酚醛胶黏剂	(366)
5.3.2	反应型阻燃聚氨酯酚醛胶黏剂	(366)
5.3.3	蜂窝芯定型用水性阻燃酚醛胶黏剂	(368)
5.3.4	刨花板用阻燃酚醛胶黏剂	(369)
5.4	阻燃聚氨酯胶黏剂	(370)
5.4.1	阻燃性蓖麻油聚氨酯胶黏剂	(370)
5.4.2	聚醚聚氨酯低烟阻燃胶黏剂	(370)
5.4.3	新型聚氨酯阻燃密封胶黏剂	(371)
5.5	阻燃脲醛胶黏剂	(372)
5.5.1	阻燃脲醛胶黏剂	(372)
5.5.2	蜂窝夹层板粘接用改性阻燃脲醛胶黏剂	(374)
5.5.3	难燃性饰面中密度纤维板用胶	(375)
5.5.4	胶合板阻燃处理用胶	(376)
5.6	丙烯酸阻燃胶黏剂	(377)
5.6.1	环保型丙烯酸酯防火胶黏剂	(377)
5.6.2	印刷电路板用无卤阻燃丙烯酸酯胶黏剂	(378)
5.6.3	阻燃聚丙烯酸酯胶黏剂	(380)
5.7	其他阻燃胶黏剂	(380)
5.7.1	阻燃聚乙烯醇胶黏剂	(380)
5.7.2	乙烯-乙酸乙烯酯(EVA)阻燃喷胶	(382)
5.7.3	阻燃SBS胶黏剂	(383)
5.7.4	接枝氯丁胶防火板专用胶黏剂	(384)
5.7.5	低毒阻燃氯丁胶黏剂	(384)

5.7.6	阻燃型聚酰亚胺覆铜板用阻燃胶黏剂	(386)
第6章	阻燃纤维	(389)
6.1	简介	(389)
6.1.1	纤维燃烧性的分类	(389)
6.1.2	阻燃机理	(390)
6.1.3	阻燃元素及阻燃剂	(390)
6.1.4	阻燃方法	(391)
6.1.5	阻燃剂的种类	(391)
6.1.6	阻燃整理的方法	(392)
6.1.7	合成纤维阻燃技术的新进展	(392)
6.2	阻燃涤纶	(394)
6.2.1	涤65/棉35卡其织物的阻燃处理	(394)
6.2.2	用十溴二苯乙烷阻燃剂处理涤纶织物	(395)
6.2.3	六溴环十二烷阻燃剂处理涤纶纤维	(396)
6.2.4	高温高压法制备阻燃涤纶纤维	(396)
6.2.5	热熔法整理阻燃涤纶纤维	(397)
6.2.6	阻燃涤纶纤维的制备	(398)
6.2.7	阻燃涤纶纤维	(400)
6.3	阻燃丙纶纤维	(401)
6.3.1	阻燃聚丙烯纤维(丙纶)用母料	(401)
6.3.2	丙纶阻燃母料	(402)
6.3.3	可工业化生产的丙纶阻燃母料	(403)
6.3.4	用FR-8 [#] 丙纶阻燃母料处理的丙纶纤维	(404)
6.3.5	阻燃聚丙烯纤维	(405)
6.3.6	阻燃聚丙烯纤维的纺丝	(406)
6.3.7	阻燃聚丙烯长丝	(408)
6.3.8	阻燃可染丙纶长丝	(410)
6.3.9	阻燃丙纶BCF	(412)
6.3.10	丙纶共混阻燃纤维	(413)
6.3.11	抗静电阻燃丙纶纤维	(415)

6.4 阻燃尼龙纤维	(416)
6.4.1 耐久性阻燃尼龙6 织物	(416)
6.4.2 阻燃尼龙6 织物	(417)
6.4.3 聚酰胺织物的阻燃改性	(418)
6.4.4 阻燃棉/锦混纺织物	(419)
6.5 阻燃聚酯纤维	(420)
6.5.1 阻燃高收缩聚酯纤维	(420)
6.5.2 反应型阻燃聚酯纤维	(421)
6.5.3 磷系阻燃聚酯纤维	(423)
6.5.4 阻燃聚酯及其短纤维	(424)
6.5.5 阻燃抗紫外线聚酯纤维	(425)
6.5.6 含磷共聚酯阻燃纤维	(427)
6.5.7 溴系阻燃聚酯纤维	(427)
6.5.8 回收聚酯有色阻燃短纤维	(429)
第7章 阻燃橡胶	(430)
7.1 简介	(430)
7.1.1 橡胶的燃烧过程和机理	(430)
7.1.2 阻燃橡胶的配方设计	(432)
7.2 阻燃天然橡胶	(435)
7.2.1 阻燃天然橡胶/丁苯橡胶	(435)
7.2.2 无卤阻燃天然橡胶	(436)
7.2.3 天然橡胶/丁苯橡胶/顺丁橡胶难燃胶管	(437)
7.2.4 煤矿用风筒涂覆布阻燃体系	(438)
7.3 阻燃乙丙橡胶	(439)
7.3.1 少烟三元乙丙橡胶	(439)
7.3.2 无卤阻燃三元乙丙橡胶	(440)
7.3.3 阻燃三元乙丙橡胶	(441)
7.3.4 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 阻燃改性乙丙橡胶	(442)
7.3.5 联二脲阻燃改性三元乙丙橡胶	(443)
7.3.6 十溴二苯醚/赤磷阻燃改性 EPDM/PP	(443)

7.3.7	十溴二苯醚/ Sb_2O_3 阻燃改性 EPDM/PP	(444)
7.3.8	户外用阻燃 EPDM	(445)
7.3.9	POE/EPDM 阻燃橡胶	(446)
7.4	阻燃丁腈橡胶	(446)
7.4.1	$\text{Al}(\text{OH})_3$ 阻燃改性丁腈橡胶	(446)
7.4.2	联二脲阻燃改性丁腈橡胶	(447)
7.4.3	联二脲/聚磷酸铵阻燃改性丁腈橡胶	(448)
7.4.4	矿用阻燃丁腈电缆料	(448)
7.4.5	氯化丁腈橡胶与乙烯-乙酸乙烯橡胶 (EVM)低烟雾、无腐蚀阻燃电缆护套	(449)
7.4.6	阻燃抗静电 NBR/PVC	(451)
7.5	阻燃氯丁橡胶	(452)
7.5.1	阻燃耐油型氯丁橡胶电缆护套	(452)
7.5.2	CR/CPE 阻燃电缆	(453)
7.5.3	矿用阻燃布风水管	(455)
7.5.4	高阻燃氯丁橡胶密封条	(456)
7.5.5	未处理聚酯布粘合用阻燃 CR 胶料	(456)
7.5.6	煤矿用钢丝绳芯输送带粘合用阻燃 CR/BR 胶料	(457)
7.6	其他阻燃橡胶	(458)
7.6.1	阻燃氯化聚乙烯	(458)
7.6.2	阻燃氯磺化聚乙烯	(459)
7.6.3	阻燃氯化丁基橡胶	(460)
7.6.4	阻燃聚丙烯酸酯橡胶	(461)
7.6.5	$\text{Mg}(\text{OH})_2$ 改性乙烯-丙烯酸橡胶无卤 低烟阻燃电缆料	(463)
参考文献		(465)

第 1 章 概 述

1.1 高分子材料的燃烧特性

1.1.1 高分子材料阻燃化的必要性与迫切性

火之应用具有划时代的意义，是人类文明的一大飞跃，它赐福于人类。但火有时也会给人类带来巨大的灾难，一旦失去控制就会酿成火灾。

随着社会的不断进步，人们生活水平的不断提高，各种高分子材料作为新型建筑材料在建筑上广泛应用。一旦发生火灾就会造成十分惨重的损失。尤其是高层建筑，为了减轻自重，大量采用了高分子材料制品，一旦发生火灾就会产生诸如氯化氢、氰化氢、氟化氢、苯乙烯等有毒气体，且高分子材料燃烧时产生的热量大、温度高、燃烧速度快、容易造成不完全燃烧而产生大量黑烟，这些都给消防、逃难、救生等工作带来困难。仅我国每年平均要发生火灾达 2 万次左右，直接经济损失每年至少 2 亿元以上，而人员的伤亡比财产损失更为严峻。例如：2000 年 3 月，河南焦作市一酒吧失火，死亡人数达 73 人之多，其中大多是因为高分子装饰材料燃烧引起大量烟雾窒息而死亡。由于许多新型建筑材料一旦发生火灾，蔓延迅速，火势迅猛，火灾时，烟气水平方向流动速度为 $0.3 \sim 0.8\text{m/s}$ ，垂直方向为 $2 \sim 4\text{m/s}$ ，一般情况下，对一座长 100m 的建筑物，不到 5min 时间即可通达整个建筑，垂直方向不到 1min 就可蔓延几十层大楼。大量烟气使人窒息死亡的罪魁祸首是高分子材料。

因此，对建筑高分子材料如何提高它的阻燃性，应用具有自熄性、阻燃性的材料，并在外面复合阻燃或耐燃的无机材料，在

在其中添加阻燃剂使之成为难燃、不燃的材料以及在易遇火的部位不用或少用有机材料，都是避免发生火灾的重要措施。

1.1.2 高分子材料的燃烧反应本质与过程

大部分普通高分子材料是易燃的，其原因是由于在分子材料的聚合物结构中，含有碳、氢、氧等元素，且它们相互联结是以共价键相连的。这些共价键的能量都不高，一旦外界供给足够的能量，就会分解、燃烧。

燃烧的本质是物质强烈的氧化反应，它必须具备可燃物，氧和温度三个基本条件。

高分子材料的燃烧是个复杂的物理化学过程。整个燃烧过程可分为加热、分解、燃烧和蔓延等几个阶段。在氧气存在条件下，当高分子材料过热时，表面首先熔化并发生热分解，放出可燃性气体。该气体与氧发生强烈反应，产生活性非常大的自由基 $\text{HO}\cdot$ 和 $\text{H}\cdot$ 。这些自由基能立即与其他分子反应生成新的自由基。如此连锁反应就是燃烧。燃烧所放出的热量使正在分解的高分子材料进一步分解，产生更多的可燃性气体，在有充足的空气供给下，使燃烧继续维持并传播，火势在很短的时间内就会蔓延成大火。

1.1.3 高分子材料与其他可燃物燃烧的不同特点

了解和掌握塑料的燃烧过程及其具有燃烧特性，就可以防患于未然，更好地去改变它们的燃烧特性，使易燃的材料变成难燃，使难燃的材料变成不燃，从而把火灾的发生率降低到最小的限度。

高分子材料的燃烧和其他可燃物(天然有机物和木材等)有许多不同之处，归纳起来有如下几点：

(1) 高分子材料燃烧时一般都是放热反应，故发热量都较高，其燃烧热(即 1g 材料充分燃烧时所发出的热量)绝大部分都比木材和煤高，如木材的燃烧热为 14.64kJ/g，煤为 23.01kJ/g，而 PVC 为 18.05 ~ 28.03kJ/g，PE 要达到 45.88 ~ 46.61kJ/g。

(2) 发烟量大。高分子材料在燃烧时要释放出大量烟尘和有害气体，即所谓的发烟性和释气性。在燃烧时不但产生大量的

热，而且还需要更多的氧。例如：PVC 塑料在燃烧时所需要的理论空气量(标准状态下)为 $4.3\text{m}^3/\text{kg}$ ，PE 为 $11.4\text{m}^3/\text{kg}$ ，而在实际燃烧时，则需要理论量的 2.5 ~ 2.8 倍，因此，在局限的空间燃烧时，由于供氧不足而呈不完全燃烧状态，并释放大量的烟尘和有害气体。

(3) 有的高分子材料在燃烧时要放出刺激性、腐蚀性和毒性的气体，其燃烧过程的分解、燃烧、释气过程是高分子材料的解聚和分解的过程，由于不同的高分子材料的组成各不相同，所以燃烧时解聚和分解所产生的有害气体也不同，数量也不同。根据建筑工程和日常生活中主要使用的材料，其热分解的主要产物有氯化氢、CO、CO₂、NO₂、NH₃、SO₂、苯、醛、甲酸等。

(4) 燃烧速度不同。如聚四氟乙烯是不燃的；聚氯乙烯(PVC)、聚碳酸酯(PC)、氯化聚乙烯(CPE)等是自熄型的；PE 的燃烧速度达 $7.6 \sim 30.5\text{mm}/\text{min}$ ；而 PS 达到 $12.7 \sim 63.5\text{mm}/\text{min}$ (水平表面燃烧速度)。

(5) 在燃烧时会产生变形、软化、熔融、滴落等现象，这对燃烧状态有很大影响，常使火灾蔓延扩大，对灭火造成困难。

1.1.4 高分子材料的燃烧性与结构

现在评估高分子材料的燃烧性一般采用氧指数法(ASTM D2863)。试样在氧氮混合气流中，维持平衡燃烧所需的最低氧气浓度(体积分数)，被称为氧指数(OI)或限氧指数(LOI)。部分橡胶和塑料的氧指数分别列入表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 表明，橡胶的燃烧性与其分子结构有着密切的关系。烃类橡胶的氧指数最低(一般 $\text{OI} \leq 21\%$)。属易燃类橡胶。主链含碳元素以外元素的橡胶(如硅橡胶等)，其氧指数比烃类橡胶稍高(一般 $\text{OI} \leq 24\%$)，属可燃类橡胶。含卤素的橡胶(特别是氟橡胶)，其氧指数较高(一般 $\text{OI} > 27\%$)，属难燃类橡胶。总之，除 CR、CSP 和氟橡胶之外，大多数橡胶的氧指数均小于 25%，具有可燃或易燃性。