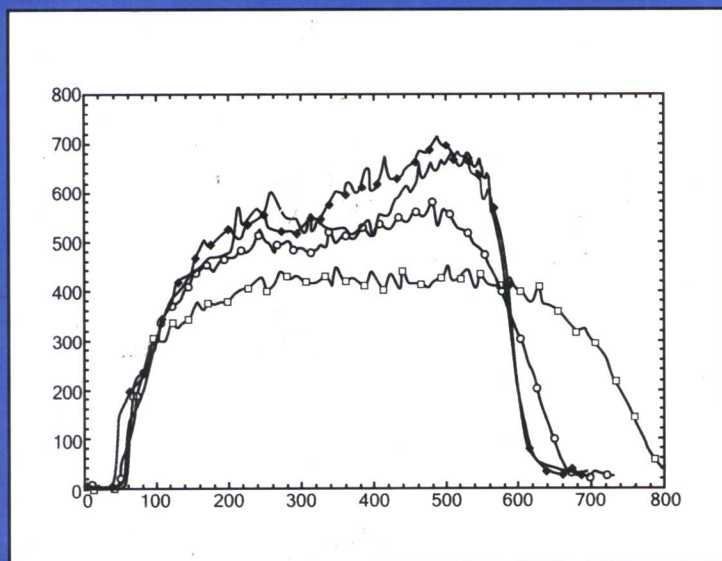


无卤阻燃聚合物 基础与应用

王建祺 等 编著



科学出版社

无卤阻燃聚合物基础与应用

王建祺 等 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

环保意识与现代人的生活息息相关,加强环境生态的保护已成为全人类的共识。为促进无卤阻燃聚合物的研究与开发,本书首先介绍了无机填充型阻燃基础与应用、化学膨胀型阻燃基础与应用、物理膨胀型阻燃剂——可膨胀石墨阻燃聚合物基础及应用,然后对纳米效应与聚合物阻燃、电子束辐照与阻燃进行了阐述,最后还介绍了聚合物阻燃材料的计算机辅助设计和研究及聚合物阻燃机理研究的几个重要分析手段等。为满足读者深入学习与工作的要求,全书提供了迄今为止的有关重要文献和信息。

本书可供聚合物阻燃材料学相关专业的本科生、研究生、教师以及从事研发工作的广大工业界科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

无卤阻燃聚合物基础与应用/王建祺等编著. —北京:科学出版社,2005
ISBN 7-03-015216-6

I. 无… II. 王… III. 高聚物-阻燃剂 IV. TQ314.24

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 044970 号

责任编辑:胡 凯 周巧龙 吴伶伶/责任校对:张 琪

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005 年 6 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2005 年 6 月第一次印刷 印张:24 1/4

印数:1—2 500 字数:461 000

定价:60.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

前 言

过去的 40 多年,合成高分子材料的发展呈现出指数增长态势,在人类历史上也属空前。如今它几乎渗透到国民经济的每个部门和每个人的日常生活中。然而,聚合物材料致命的弱点——易燃性,带给人类的危害也已暴露无遗。进入 21 世纪,环保意识与现代人的生活息息相关,融为一体。十多年来,全球范围特别是欧共体各国率先行动,为此倾入了大量的人力、物力,对环境生态给予了空前的关注。在基础研究、技术投入与商业运作等方面都取得了令人鼓舞的进步,成绩斐然。我国自改革开放以来,特别是加入 WTO 之后,许多方面已经开始出现了可喜的转机。加速我国在无卤、低烟、低毒、低污染、低腐蚀的高效阻燃技术方面的投入已经成为燃眉之急的大事。

身为国家阻燃材料研究实验室的学术带头人,作者自 20 世纪 90 年代初带领研究生们开始从事无卤阻燃领域的研究与开发工作至今。此期间,先后与意大利 Torino 大学、美国 Marquette 大学、William & Mary 学院、香港理工大学以及瑞士 CIBA-GEIGY、德国 BASF、荷兰 DSM 等跨国公司进行了国际合作研究,积极参与国际学术会议和交流讲学。上述活动的积累与延伸为本书的前沿性提供了重要的依据。

本书编写分工如下:王建祺(第 1、2、5、8 章);郝建薇(第 3 章);韩志东(第 4 章);黄年华(第 6 章);夏军涛(第 7 章)。为方便读者的阅读以及继续开展工作的需要,本书将尽可能提供截至定稿前的重要参考文献和相关信息,其中也包括了我们的多年来的科研教学积累。冀望能对当前国内相关专著匮乏的现象有所改善。作者愿以此书奉献给读者,与业界同行专家学者们共同努力,为推动我国阻燃事业的繁荣而尽力。

入世后带来的机遇与挑战为我们提供了绝好的演示空间,激动人心的改革浪潮催生了本书的早日问世。本书的撰写过程也是我们继续学习的过程。我愿借此机会向所有参与和支持本书撰写的同志们表示谢意。特别要向我室学术委员会主

任徐僖院士对本书全过程自始至终给予的热情关怀和有力支持表示由衷的感谢。向在繁忙之中夜以继日,孜孜不倦,认真负责为本书做出贡献的同事和博士们表示敬意,没有他们锲而不舍的工作精神和殷切合作,本书能在如此之短的时间里与读者见面是不可能的。

王建祺

2005年3月

于北京理工大学

国家阻燃材料研究实验室

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 有卤无卤的争论	1
1.3 市场的特点与发展概况	2
1.3.1 市场统计数字	2
1.3.2 主要工业部门的概况	5
1.4 本书的主导思想及组织结构	9
参考文献	12
第 2 章 无机填充型阻燃基础与应用	13
2.1 概述	13
2.1.1 无机填充型阻燃填料(ATH、MH)的概况	14
2.1.2 阻燃机理	18
2.1.3 面对的问题与解决途径	19
2.2 阻燃填料的表面改性	20
2.2.1 偶联剂类表面改性	20
2.2.2 脂肪酸类表面改性	23
2.3 功能高分子型相容剂	26
2.3.1 聚合物的马来酸酐功能化	26
2.3.2 聚合物的环氧、丙烯酸功能化	27
2.3.3 聚烯烃结构对马来酸酐(MAH)接枝的影响	28
2.3.4 聚烯烃类型相容剂对 PE/ATH 与 PE/MH 体系的效果	31
2.4 无机氢氧化物的协同阻燃与抑烟	34
2.4.1 不饱和聚酯	34
2.4.2 VA 含量对 EVA 共聚物阻燃的影响	36
2.4.3 硼酸锌(BZn)的协同作用	36
2.4.4 金属氢氧化物的协同剂	41
2.4.5 硅氧烷添加剂的作用	44
参考文献	45
第 3 章 化学膨胀型阻燃基础与应用	48

3.1 概述	48
3.1.1 化学膨胀型阻燃体系的概念及其性	48
3.1.2 化学膨胀型阻燃体系的发展	49
3.1.3 本章内容简介	53
3.2 典型化学膨胀型阻燃体系的基础与应用	54
3.2.1 聚磷酸铵与季戊四醇的匹配	54
3.2.2 模型化合物的热分解行为	56
3.2.3 膨胀炭层的化学与物理特性	59
3.2.4 聚丙烯/聚磷酸铵/季戊四醇膨胀阻燃体系	62
3.2.5 无机金属化合物的作用机理	63
3.2.6 分子筛的作用机理	65
3.2.7 聚酰胺/聚磷酸铵膨胀阻燃体系	66
3.2.8 对苯二甲酸丁二醇酯/聚磷酸铵膨胀阻燃体系	70
3.2.9 不饱和聚酯/聚磷酸铵膨胀阻燃体系	72
3.3 酸源的改进——Ⅱ型聚磷酸铵的制备与改性	74
3.3.1 聚磷酸铵的结构特性	74
3.3.2 Ⅱ型聚磷酸铵的制备	76
3.3.3 微胶囊聚磷酸铵及应用	77
3.3.4 偶联剂表面处理聚磷酸铵	79
3.4 新型炭源的研究进展	81
3.4.1 酚醛树脂成炭剂	81
3.4.2 尼龙6成炭剂	86
3.4.3 尼龙6/黏土纳米复合物	92
3.4.4 热塑性聚氨酯成炭剂	93
3.5 有机硅在膨胀型阻燃体系中的应用	95
3.5.1 硼硅氧烷陶瓷前体协同膨胀阻燃聚丙烯	95
3.5.2 硼硅表面活性剂在膨胀阻燃聚丙烯中的应用	98
3.5.3 有机硼硅陶瓷前体与层状纳米硅酸盐的结合	99
3.6 新概念膨胀阻燃体系的研究与应用	99
3.6.1 Casico TM 化学膨胀型阻燃体系	99
3.6.2 全氟烷基磺酸盐化学膨胀型阻燃聚碳酸酯体系	101
3.7 商用膨胀型阻燃剂	102
3.7.1 商用聚磷酸铵系列阻燃剂及应用	103
3.7.2 商用三聚氰胺磷酸盐系列膨胀型阻燃剂及应用	110
3.8 化学膨胀型阻燃体系的展望	111

参考文献	112
第4章 物理膨胀型阻燃剂——可膨胀石墨阻燃聚合物基础及应用	116
4.1 概述	116
4.2 可膨胀石墨的制备、结构及性能	118
4.2.1 可膨胀石墨的制备及其结构	118
4.2.2 可膨胀石墨的性能	121
4.3 可膨胀石墨的阻燃机理及其协同阻燃作用	127
4.3.1 可膨胀石墨的阻燃机理	127
4.3.2 可膨胀石墨与其他无卤阻燃剂的协同阻燃作用	131
4.4 可膨胀石墨阻燃聚合物材料的应用	137
4.4.1 可膨胀石墨阻燃聚氨酯泡沫	138
4.4.2 可膨胀石墨阻燃热塑性塑料	144
4.4.3 可膨胀石墨防火涂料	149
4.5 展望	154
参考文献	158
第5章 纳米效应与聚合物阻燃	161
5.1 概述	161
5.2 聚合物层状纳米复合物	163
5.2.1 层状硅酸盐的结构	163
5.2.2 聚合物层状纳米复合物的形貌	165
5.3 黏土的有机化处理与熔态挤出	167
5.3.1 黏土的有机化处理	167
5.3.2 聚合物/层状纳米复合物的生成	169
5.3.3 熔态加工挤出	169
5.4 纳米聚合物的热行为	173
5.4.1 纳米聚合物的热变形温度	173
5.4.2 纳米聚合物的热稳定性	174
5.5 纳米聚合物的阻燃性能	177
5.5.1 尼龙6纳米复合物	178
5.5.2 聚苯乙烯(PS)纳米复合物	181
5.5.3 聚丙烯(PP)纳米复合物	184
5.6 聚合物/黏土纳米复合物阻燃机理的 XPS 研究	188
5.7 聚合物/无机碳化合物纳米结构与阻燃性能	191
5.7.1 聚合物/碳纳米管(CNT)复合物纳米结构与阻燃性能	191
5.7.2 聚合物/层状氧化石墨(GO)复合物纳米结构与阻燃性能	199

5.8 聚合物/POSS 纳米体系的结构与阻燃性能	206
5.8.1 硅基阻燃剂化学结构	206
5.8.2 热降解行为	208
5.8.3 固相燃烧残余物的结构分析	211
5.9 聚合物纳米阻燃体系“多功能组合法”的研究	215
5.9.1 技术概况	216
5.9.2 实验结果	217
5.10 展望	220
参考文献	221
第 6 章 电子束辐照与阻燃	225
6.1 概述	225
6.1.1 辐照接枝的基体聚合物	225
6.1.2 辐照接枝的单体	226
6.1.3 各种接枝方法的比较	226
6.2 电子束辐照接枝的技术基础	228
6.2.1 电子束辐照与聚合物相互作用简述	228
6.2.2 电子加速器简介	230
6.2.3 电子束辐照的接枝方法	232
6.2.4 辐照对聚合物的交联与降解及各种性能的影响	236
6.3 电子束辐照接枝含磷阻燃单体	244
6.3.1 含磷阻燃单体概述	244
6.3.2 含磷单体的接枝及阻燃性能	244
6.4 电子束辐照接枝成炭阻燃技术	254
6.4.1 接枝成炭技术的理论起源及接枝成炭单体的现状	254
6.4.2 接枝反应的分类	255
6.4.3 各种因素对成炭单体接枝率的影响	255
6.4.4 接枝皂化反应	256
6.4.5 表面结构和状态的表征	259
6.4.6 接枝聚合物的阻燃性能	260
6.4.7 接枝聚合物的成炭行为	270
6.5 展望	276
参考文献	277
第 7 章 聚合物阻燃材料的计算机辅助设计和研究	279
7.1 专家系统 FRES 2.0 的结构和功能	279
7.1.1 FRES 2.0 的设计原理	279

7.1.2 基于 BP 人工神经网络的知识表示、获取和推理	280
7.1.3 均匀实验设计	285
7.1.4 配方多指标优化	286
7.1.5 配方组成与性能关系的研究	289
7.2 面向对象的程序设计	290
7.3 聚合物阻燃材料设计专家系统 FRES 2.0 的使用与检验	292
7.3.1 FRES 2.0 能解决的问题	292
7.3.2 FRES 2.0 的使用方法	292
7.4 FRES 2.0 附件	307
7.4.1 聚合物阻燃数据库	307
7.4.2 阻燃测试数据处理工具	309
7.5 FRES 2.0 在 PA66 阻燃配方设计中的应用(单目标模型)	312
7.5.1 样品制备和测试	312
7.5.2 配方知识获取	313
7.5.3 配方模型应用	316
7.6 FRES 2.0 在无卤阻燃热塑性聚合物配方设计和分析中的应用 (多目标模型)	321
7.6.1 均匀实验方案	322
7.6.2 样品的制备和测试	322
7.6.3 配方知识获取	322
7.6.4 配方模型应用	325
7.7 人工神经网络技术进展和聚合物或阻燃研究相关网络资源	331
7.7.1 人工神经网络技术的进展	331
7.7.2 聚合物或阻燃研究的相关网络资源	332
7.8 小结	334
参考文献	335
第 8 章 聚合物阻燃机理研究的几个重要分析手段	338
8.1 固体核磁(NMR)技术在聚合物阻燃中的研究与应用	338
8.1.1 引言	338
8.1.2 聚合物热降解与成炭的研究	340
8.2 电子能谱(XPS)技术在聚合物阻燃中的研究与应用	350
8.2.1 引言	350
8.2.2 类石墨结构转化温度(LT_{GRL} , 极限类石墨结构转化温度)	351
8.2.3 XPS 的定量分析	352
8.2.4 交联速率(ROC) _{LT} 与成炭速率	356

8.2.5 硅铝酸盐在 APP-PER 体系中的催化作用	358
8.2.6 相对交联度,等离子体基元与温度的关系	360
8.3 催化型膨胀阻燃机理的热-红(TGA-FTIR)联合研究	364
8.3.1 引言	364
8.3.2 TGA 与 LOI 实验	365
8.3.3 PPFBS 的研究	367
8.3.4 PC 热降解的 FTIR 研究	368
8.3.5 PC/PPFBS 体系的 FTIR/XPS 研究	370
8.3.6 PC/PPFBSS 体系的阻燃机理	373
8.4 小结	374
参考文献	374

第 1 章 绪 论

1.1 概 述

近 50 年间,合成高分子材料的产量呈现出空前的指数增长趋势。无处不在的高分子材料几乎渗透到国民经济中的每个部门和每个人的日常生活中。“塑料时代”使人们感受到绚丽多彩的高分子材料带给我们的恩惠。但同时也使人们饱受由它引起的火灾威胁。

以美国的统计数字为例^[1]:每 60s 发生一次建筑物火情、每 82s 产生一次住宅火情、每 85s 出现一次交通火情;户外火情更是频繁,每 34s 发生一次。全国平均起来的火灾频率是每 17s 发生一次。由此可见一斑。愈演愈烈的火灾危害导致 50 年代末美国、日本等国家相继开始了聚合物阻燃材料的研究与开发。

聚合物材料,特别是人工合成聚合物的大量问世大大加剧了燃烧酿成的“火灾危险”(fire risk)和“火灾危害”(fire hazard)。这里的“危险”预示火灾产生的“概率”,“危害”说明火灾造成的“后果”。如果说早期的阻燃研究关心的焦点只是前者,那么随着时间的推移和经验教训的累积,人们越来越意识到火灾二次污染铸成后果的严重性。现代阻燃科学与技术的终极目标应该是两者(“概率”与“后果”)的完美结合。

20 世纪 90 年代末,席卷全球的“无卤阻燃化”的浪潮再次提示了环保与人类和谐发展的重要性。无卤聚合物阻燃材料正是这一需求的必然产物。本书旨在阻燃,重在无卤。以聚合物无卤阻燃技术途径为专题的探讨是本书的首次尝试。为满足广大读者的厚望,本书将突出当今市场对聚合物无卤阻燃的需求和导向,着力介绍、分析、探讨无卤阻燃途径与技术的最新变迁及其在研究与应用中的动向,以期促进国人在该领域方面的研究与开发。

1.2 有卤无卤的争论

周期表第Ⅶ族卤系元素(特别是溴、氯),例如,含卤聚合物(如聚氯乙烯)以及含有卤素阻燃剂的聚合物阻燃材料等,长期以来以其阻燃效率高、用量少、价格低而闻名于世。但随着社会的进步和环境保护意识的增强,含卤材料的弊端——二次污染(燃烧时烟雾、毒气的散发以及由此引起的严重腐蚀问题)——与社会的需求背道而驰。1986 年,欧洲首先发现含溴体系燃烧产生的产物中含有的多溴二苯

醚、四溴双苯并二噁烷及四溴双苯并呋喃等属于致癌物质。随即发生旷日持久的争论此起彼伏,引起了全球范围的广泛关注。进入 21 世纪,随着绿色环境保护压力的空前高涨,上述争论更趋于白热化,西欧各国尤为突出。2001 年,英国又接连发现五溴二苯醚、十溴二苯醚在野生猎鹰蛋内的生物积累高出家养猎鹰蛋 400 倍。于是又一次掀起了拒绝生产与使用含溴阻燃剂的行动。

历史上对火灾安全的两种相互对立的概念由来已久。以美国为代表的传统概念认为:火灾危害的根源在于产生的一氧化碳气,而后者在轰燃过程(flashover)中转化为 CO_2 时释放出大量的热量^[2]。因此认为,如果能通过一些措施控制过程的热释放,即可减少火灾的危害。欧洲的传统概念则坚持:火灾的严重性取决于人们脱离火情现场的成功率^[3]。因此认为,烟气的刺激性和毒性是制约脱离火情现场的主要因素。应该对于燃烧中产生的烟、毒和腐蚀给予优先的关注,因此主张彻底摒弃卤素物质的生产和使用。

各执一词、立论有据的两种不同的火灾安全概念,说到底,在很大程度上反映出各自生产集团的经济利益。美国素以含溴化合物生产大国著称全球。限制或局部取消传统含卤产品的生产与使用势必造成不可接受的经济损失。原本处于比较后进状态的欧共体各国在 20 世纪 80 年代初兴起的重振计划,大力倡导无卤阻燃技术的研究与开发,其原因自然不同于美国。因此,欧共体各国积极成为绿色环保的倡导者,严格规定并要求国民经济中特别是重要部门(如核电、地铁、汽车、飞机、航天以及高层建筑等)优先寻求含卤阻燃体系的取代物。

客观上,采用无卤阻燃材料与产品已是大势所趋的不争事实。20 世纪 80 年代以前,含卤阻燃体系一统天下的局面已经受到了严峻的挑战。当前含卤阻燃剂的废弃运动正在全球,特别是欧洲紧锣密鼓地推行。欧盟两项指令“废弃电子电器设备指令”(Waste Electrical and Electronic Equipment Directive, WEEE)(2003 年 3 月生效)^[4]及“电子电器设备中禁用有害物质指令”(Restriction of Hazardous Substances Directive, RoHS)^[5]的颁布进一步加速了这一进程。2003 年 9 月 16 日,我国商务部中国机电产品进出口商会举办了“欧盟电器两指令”研讨会,明确了我国的对应方针与措施,大力开展无卤阻燃技术的研究与相应产品的开发力度,一改依赖进口的状态。当然,有一点是清楚的,对于那些非重要的、不与人 and 贵重资产直接接触的场所(如架空线缆等),价廉物美的含卤阻燃体系仍然应该有其用武之地。

1.3 市场的特点与发展概况

1.3.1 市场统计数字

20 世纪末,无卤阻燃塑料产品在国际市场上的大量出现标志着社会的迫切需求和呼唤已经发展到了一个崭新的时期。聚合物材料的种类和数量正在快速增长

(表1-1及表1-2,引自美国塑料咨询会2002年终统计表,APC Year-End Statistics for 2002)。表1-3给出部分无卤阻燃高分子材料的实例。

表1-1 2002年美国塑料生产与销售+应用份额统计表(以干燥质量计,单位:Mlb¹⁾)

树 脂		生 产			总销售与应用		
		2002 年	2001 年	02/01 变化率/%	2002 年	2001 年	02/01 变化率/%
热固树脂	环氧 ²⁾	655	601	9.0	620	597	3.9
	脲与蜜胺 ³⁾	3 219	3 040	5.9	3 197	3 021	5.8
	酚醛 ³⁾	4 438	4 362	1.78	4 076	3 894	4.7
	总量	8 312	8 003	3.9	7 893	7 512	5.1
热塑树脂	低密聚乙烯 ^{2) 3)}	8 040	7 697	4.5	8 086	7 642	5.8
	线性低密聚乙烯 ^{2) 3)}	11 329	10 272	10.3	11 429	10 747	6.3
	高密聚乙烯 ²⁾	15 969	15 284	4.5	16 190	15 195	6.5
	聚丙烯 ^{2) 3)}	16 956	15 934	6.4	17 084	16 135	5.9
	ABS ^{2) 4)}	1 315	1 217	8.1	1 455	1 317	10.5
	SAN ^{2) 4)}	130	127	2.4	112	127	-11.8
	其他苯乙烯类 ^{2) 3)}	1 602	1 517	5.6	1 624	1 583	2.6
	聚苯乙烯 ^{2) 3)}	6 669	6 114	9.1	6 768	6 223	8.8
	尼龙 ^{2) 4)}	1 274	1 139	11.9	1 284	1 159	10.8
	聚氯乙烯 ⁴⁾	15 297	14 257	7.3	15 250	14 626	4.3
	热塑聚酯 ^{2) 4)}	7 247	6 898	5.1	7 480	6 972	7.3
	总量	85 828	80 456	6.7	86 762	81 726	6.2
通用塑料总量		94 140	88 459	6.4	94 655	89 238	6.1
工程塑料等	工程塑料 ^{3) 5)}	2 734	2 542	7.6	3 042	2 639	15.3
	其他 ⁶⁾	10 612	10 108	5.0	10 565	10 081	4.8
	总量	13 346	12 650	5.5	13 607	12 720	7.0
总 计		107 486	101 109	6.3	108 262	101 958	6.2

1) Mlb: 1×10^6 lb(百万磅)。1lb = 0.453 6kg。

2) 销售+应用份额包含进口。

3) 包括加拿大生产与销售额。

4) 包括加拿大与墨西哥生产与销售额。

5) 包括乙缩醛、粒状氟聚合物、聚酰-聚亚酰胺、聚碳酸酯、热塑聚酯、聚酰亚胺、改性-PPO、PPS、PEI 及液晶聚合物。

6) 包括聚氨酯(TDI、MDI 及聚醇)、不饱和热固性聚酯等。

表 1-2 1998~2002 年间一些热塑性树脂的主要市场变化 (以干燥质量计, 单位: Mlb)

主要市场	1998 年	1999 年	2000 年	2001 年	2002 年	1998~2002 年
交通运输	3 588	3 632	3 872	3 595	3 753	1.1%
包装	19 396	21 210	21 289	22 574	23 606	5.0%
建筑	12 077	13 793	13 520	13 231	13 839	3.5%
电器/电子	2 816	3 036	2 924	2 352	2 433	-3.6%
家具/装备	3 293	2 885	2 993	2 879	3 076	-1.7%
消费品	11 031	11 645	11 505	11 219	11 861	1.8%
工业机械	710	802	783	647	663	-1.7%
粘接/涂料	1 758	1 753	1 715	1 675	1 664	-1.4%
其他	9 211	10 189	9 456	10 134	11 600	5.9%
出口	8 114	8 178	9 583	9 084	9 820	4.9%
总量	71 994	77 123	77 640	77 390	82 324	3.4%

1) 选用热塑性塑料包括: 低密聚乙烯、线性低密聚乙烯、高密聚乙烯、聚丙烯、尼龙、聚氯乙烯、工程树脂、聚苯乙烯、ABS、SAN、其他苯乙烯基聚合物、苯乙烯、丁二烯乳液。

2) 主要应用领域的定义示例:

- 交通运输 汽车配件包括轿车、卡车、公交车等的车身; 发动机、电点火系统部件; 特用拖车、集装箱。飞机部件、船只、铁路设备; 火箭、宇航机舱; 海陆空军用舱体; 娱乐设施等。
- 包装 饮料瓶、罐、食物容器、气溶胶部件、包装物涂料、软包装袋、薄膜、棉纱电线卷轴、绕线筒、橡皮膏、带材、编制绳等。
- 建筑业 管材、排水装置、灌溉系统、农膜、铁路旁轨附件、地板、屋顶、隔断、门、窗、浴室、天窗、扶手等。

表 1-3 无卤阻燃高分子材料应用简介

材料	应用	无卤阻燃剂的种类	无卤阻燃产品代用品举例
环氧树脂	印刷线路板, 电子器件 微胶囊、商业薄板制品	反应型氮与磷组分 聚磷酸铵与氢氧化铝	聚硫化亚苯撑
酚醛树脂	印刷线路板、商业薄板制品	氮与磷化合物, 氢氧化铝	
不饱和树脂	印刷线路板、运输工具塑料部件	聚磷酸铵与氢氧化铝	
ABS	电子产品的机壳	尚无代用品	PC/ABS 或 PPE/PS 有机磷 化物的共混物
HIPS	电子产品的机壳与布线部件	有机磷化物	氢氧化镁阻燃聚乙烯
PBT/PET	开关、插座、电机部件	尚无代用品 代用品尚处于试验阶段	有些应用: 尼龙、聚酮、陶瓷或自熄塑料
聚酰胺	电器与电子部件	氢氧化镁 红磷 三聚氰胺氰脲酸酯 三聚氰胺聚磷酸酯	

续表

材料	应用	无卤阻燃剂的种类	无卤阻燃产品代用品举例
聚碳酸酯	电器与电子部件	有机磷化物	
聚丙烯	屋顶薄材	聚磷酸铵	
聚苯乙烯泡沫	建筑绝缘材料	尚无代用品	在丹麦尚无阻燃要求
硬质聚氨酯泡沫	冷藏库热绝缘	聚磷酸铵与红磷	有些应用:矿物毛等代用
软质聚氨酯泡沫	家具、交通工具	聚磷酸铵 三聚氰胺 反应型多元醇	
棉纺织品	家具、交通工具	聚磷酸铵 磷酸二铵	
合成纺织品	家具、交通工具 劳保服装	反应型含磷组分	

1.3.2 主要工业部门的概况

1.3.2.1 “环保-绿色”(ECO-GREEN)理念

时至21世纪,“环保-绿色”(ECO-GREEN)理念和内涵的覆盖也在不断深化(图1-1),已经成为主宰全球科学技术发展的行动准则和制定国策的依据。

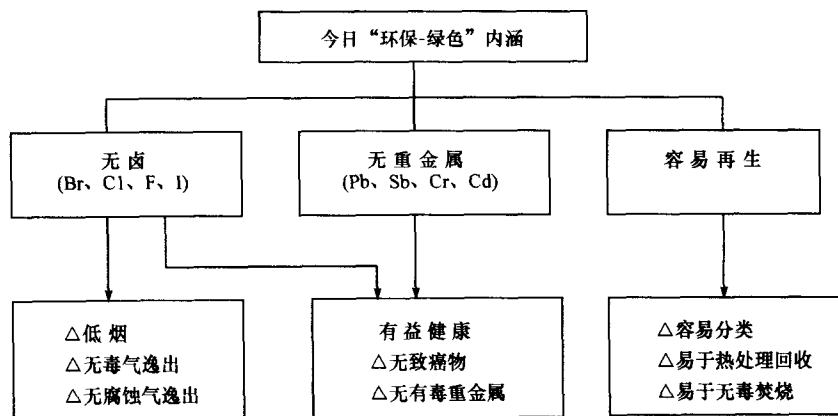


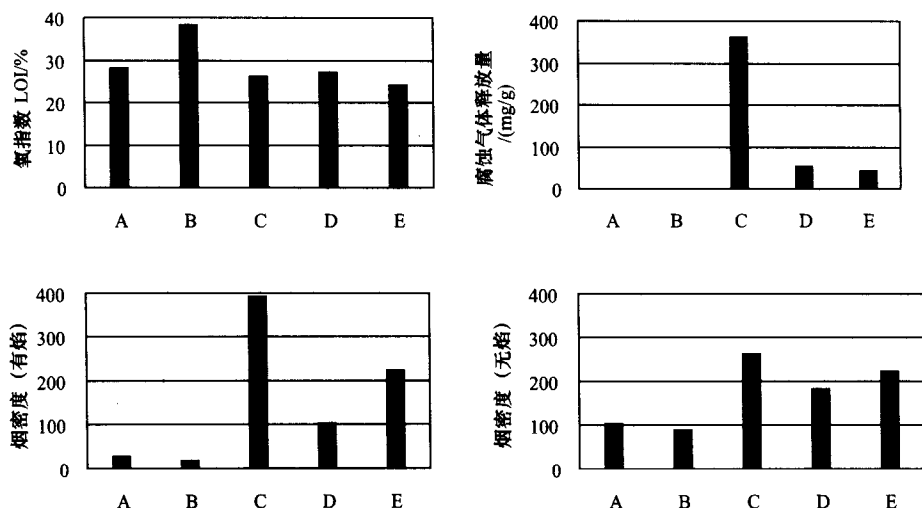
图1-1 “环保-绿色”内涵示意图

1.3.2.2 主要工业部门

(1) 线缆工业

电线电缆行业对阻燃方面的需求特别突出。当前已有为数众多的电线电缆料的供应商,如 DuPont、Union Carbide、Alpha Gary、BASF、Bayer、Borealis、Exxon 和 Shell Chemicals 等。市场上出现了多种用途(建筑、通信、交通、铁路等)的无卤阻燃电线电缆产品。

英国自从伦敦皇家地铁站惨痛火灾事故发生以后,相关部门已经明令公共场所必须使用符合技术指标的 LSZH (low smoke zero halogen) 电缆料。近代计算机网络的出现带动了计算机局域网(local area network, LAN) 的快速发展,进而导致对数据传输电缆的渴求。图 1-2 是五种无卤、有卤阻燃线缆材料的比较。从燃烧参数(氧指数、腐蚀气体释放量以及有焰、无焰烟密度)不难看出“环保-绿色”的无卤阻燃产品的优越性能^[6]。



A. 无卤阻燃乙丙橡胶; B. 无卤阻燃聚乙烯; C. 聚氯乙烯; D. 低烟聚氯乙烯; E. 有卤阻燃聚乙烯

图 1-2 五种阻燃电缆燃烧参数比较^[3]

在重要场合下 LSZH 将成为线缆料的首选。核工业是最早推广使用无卤产品的领域之一。欧洲粒子物理研究所(European Laboratory for Particle Physics, ELPP) 制定的线缆标准明文规定进入该领域的前提条件必须是无卤、无硫、低烟、低毒、低腐蚀^[7]。由于数据电缆的电性能远优于电话电缆,下一步的发展,LAN 电缆必将进入建筑物内部的电话系统,需求量很大。据估计,每台计算机平均需要