

塑料添加剂手册

(原著第五版)

[瑞士] 汉斯·茨魏费尔 主编
欧育湘 李建军 等译
李 昕 刘治国 审校

Plastics
Additives
Handbook

5th Edition

HANSER

Chemical Industry Press



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

塑料添加剂手册

(原著第五版)

[瑞士] 汉斯·茨魏费尔 主编

欧育湘 李建军 等译

李 昕 刘治国 审校



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

·北 京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

塑料添加剂手册: 第 5 版/ [瑞士] 茨魏费尔 (Zweifel, H.)
主编; 欧育湘, 李建军等译; 李昕, 刘治国审校. —北京: 化学
工业出版社, 2005. 1

书名原文: Plastics Additives Handbook
ISBN 7-5025-6188-9

I. 塑… II. ①汉…②欧…③李… III. 塑料添加剂-手册
IV. Q1320.4-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 116074 号

Plastics Additives Handbook, fifth Edition/by Hans Zweifel
ISBN 3-446-19579-3

Copyright©2001 by Carl Hanser Verlag. All rights reserved.

Authorized translation from the English language edition published by Carl Hanser Verlag.

本书中文简体字版由 Carl Hanser Verlag 出版公司授权化学工业出版社独家出版发行。
未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2003-3164

塑料添加剂手册

(原著第五版)

[瑞士] 汉斯·茨魏费尔 主编

欧育湘 李建军 等译

李昕 刘治国 审校

责任编辑: 龚浏澄

文字编辑: 徐雪华 王琪

责任校对: 洪雅姝

封面设计: 潘峰

*

化学工业出版社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号; 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

http://www.cip.com.cn

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 49½ 字数 1227 千字

2005 年 3 月第 2 版 2005 年 3 月北京第 4 次印刷

ISBN 7-5025-6188-9/TQ·2090

定 价: 98.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

感谢下述公司对出版本手册的鼓励、支持和帮助

广州金发科技股份有限公司 董事长 袁志敏

广东炜林纳功能材料有限公司 总经理 郑 德

江阴市苏利精细化工有限公司 董事长 缪金凤
(江阴市利港精细化工厂)

江苏常州赫利来塑料有限公司 董事长 屠金法

浙江万盛化工有限公司 董事长 高献国

译者前言

由汉斯·茨魏费尔 (Hans Zweifel) 博士主编的《塑料添加剂手册》第五版, 是一本系统论述塑料添加剂的专著, 各章作者都是国际上知名的业内专家, 故取材可靠、新颖, 内容丰富、实用, 在国际上享有声誉。这次出版的第五版, 在前一版的基础上进行了全面更新和补充, 除上一版的各章增添了大量新的内容外, 又新编撰了除酸剂、防粘剂、滑爽剂、机械回收塑料用添加剂、添加剂的物理特性等章。全手册译文的篇幅由第四版的 648 千字扩充至约 1200 千字。新版的编写体例与第四版大致相同, 各章均包括工艺、作用原理、产品系列、应用 (含配方)、经济情况、技术进展和未来前景等内容。

对于从事塑料及塑料添加剂研发、生产及应用的工程技术人员, 本手册无疑是一本能提供指导和非常实用的工具书。对有关专业的大专院校师生, 本手册也可作为教学参考。

本手册由北京理工大学材料科学与工程学院负责译、审, 其中第 1 章、第 11 章、第 22 章由李锦译, 李昕审; 第 2 章由欧育湘译, 李建军审; 第 3 章由吴玉凯、李昕译, 李昕审; 第 4 章、第 8 章、第 18 章、第 20 章由李昕译, 刘治国审; 第 5 章由钟柳译, 欧育湘审; 第 6 章、第 7 章、第 14 章由王建荣译, 李昕审; 第 9 章、第 10 章、第 12 章、第 13 章、第 16 章由李建军译, 欧育湘审; 第 15 章由丁涛译, 李昕审; 第 17 章、第 19 章由刘治国译, 李昕审; 第 21 章由钟柳译, 刘治国审。全文由欧育湘统稿, 王艳飞整理。

在本手册翻译、出版过程中, 得到袁志敏、郑德、缪金凤、屠金发及高献国等人的大力支持和帮助, 深表感谢。

限于译者和审者的水平, 加上时间仓促, 译文中不妥甚至错误之处在所难免, 期望读者斧正。

欧育湘

2004 年 4 月于北京阳春光华家园

序 言

没有添加剂的塑料，是不能实际应用的。为了使热塑性塑料能够加工和改善塑料制品的性能，添加剂是不可或缺的。如果不是在很多应用场所采用塑料，人类今天的生活面貌将大为不同。采用添加剂，人们能拓宽塑料的用途，并将其制成为人喜爱的各种新产品，使人们的日常生活更加绚丽多彩。

《塑料添加剂》第四版发行至今，已历十年有余。在这一时期中，塑料添加剂的需求量一直在增长，这一方面是由于塑料加工工艺的改进，另一方面是由于塑料正用于更多的高新技术领域。面临这些挑战，只有聚合物工业和添加剂工业密切合作，才能开创新的、能满足多方面需要的新局面。

现在出版的《塑料添加剂手册》(第五版)，在前一版的基础上进行了全面修订，增添了大量新的内容，对塑料添加剂工业给予了极为精辟的综述和总括。对于从事开发新的树脂和研究产品新应用的工程技术人员，本手册无疑是新世纪奉献给读者的一本能提供指导和非常实用的参考书。

本人代表汽巴 (Ciba) 公司特种化学品部，感谢 Hans Zweifel 博士精心主编了《塑料添加剂手册》第五版，还感谢所有有关的专家们，是他们在自己领域的突出贡献，才使得本手册成为塑料工业中一本极有价值的工具书——不仅对于今天，而且对于明天！

愿读者从本手册中发现聚合物添加剂的精彩世界，并以愉快的心情阅读此书！

Felix K. Meyer
聚合物添加剂分部主任
Ciba 特种化学品部
巴塞尔，瑞士

第五版前言

现在，塑料制品已成为日常生活用品中一个不可缺少的组成部分。现代包装材料就是一个明显的例子。没有合成塑料的发展和应用，就不可能制造出今天为数如此众多的电器和电子设备零部件，也就不可能拥有通讯技术的现代发展水平。塑料部件在汽车、铁路及航空上的应用，也使运输业取得了重大的进展。还有大量的塑料产品用于建筑行业，例如作为隔热材料、电绝缘材料、门窗、管道等。此外，塑料对卫生和医疗行业也做出了重要的贡献。

热塑性塑料系在熔融态于高温及高剪切下被加工的，且在其最终产品使用期内，塑料应能承受多种苛刻的外界条件（如热、光及高温等），而不会改变其外观，力学性能也不至过早恶化。在某些情况下，塑料制品的使用期长达几十年。不采用适当的添加剂，如热稳定剂、加工助剂、成核剂、抗氧剂、光稳定剂等，塑料就不可能满足上述要求。

添加剂还能赋予塑料一系列其他效能，如色泽、阻燃性、抗静电性、防雾性及其他性能等，这也使添加剂正日益为人重视。还有填料和增强材料的使用，更开阔了塑料新的应用领域。此外，废旧塑料的循环利用，也是一个有重大意义的课题，而这只有在重新加入适当添加剂时才有可能。

使用添加剂的法令和法规也愈来愈重要，对于很多应用领域，例如用于食品包装、医药和玩具的塑料，均应由有关当局注册和批准。

现代的塑料添加剂大多是专门配制的系统，这保证了塑料工业能满足未来发展的需要。

《塑料添加剂手册》前几版的主编及大部分作者均已退休，因此，我们邀请了一些顶级的专家重新撰写了新的章节，以便能从工业观点对塑料添加剂有一个全新的论述。

《塑料添加剂手册》前几版的读者会注意到，在本书第五版中，不再叙述增塑剂和冲击改性剂，这是因为，塑性聚合物（如软质 PVC）或冲击改性聚合物（如抗冲苯乙烯系塑料）是较新的材料，而增塑剂和抗冲改性剂的作用在一般的聚合物文献中已有很好的论述。但一些特殊添加剂对塑性聚合物及冲击改性聚合物的影响，是本手册第五版有关章节的内容。为了避免过多的相互参照，有些内容在某些章节中重复。作者希望，这将有助于提高本手册的实用性。

本人感谢所有各章的作者及对各章做出贡献的很多其他专家，尽管他们日常工作繁重，但仍于百忙之中为本手册尽职尽责。本人特别感谢 Hanser 出版社的 W. Glenz 博士，他建议 Ciba 公司特种化学品部负责出版此手册第五版；还特别感谢 Ciba 公司特种化学品部添加剂分部的 Felix K. Meyer 博士，他始终支持本人主编此书。正是由于他们的帮助，才使本手册的第五版得以问世。

本人还深切感谢 Isabelle Frei 女士，感谢她为《塑料添加剂手册》第五版所做的卓有成效的工作和不渝的努力。

主编

汉斯·茨魏费尔

内 容 提 要

本书是一本全面而系统地论述塑料添加剂的手册，这次出版的是该书的第五版，它反映了当今塑料添加剂的工艺技术水平，展望了塑料添加剂领域的发展前景。全书共分 22 章，分章论述了抗氧剂、光稳定剂、热稳定剂、润滑剂、阻燃剂、抗静电剂、防雾剂、防粘剂、抗菌剂、荧光增白剂、发泡剂、成核剂、偶联剂、着色剂、除酸剂等，各章均包括作用原理、结构、性能、配方、应用、测试及今后的发展趋势等内容，还附有商品牌号及供应商名录。取材新颖、翔实、可靠、实用，是一本极有价值的工具书。

本书供从事塑料研发、生产和应用的工程技术人员使用，也可作为高等学校高分子材料专业研究生和高年级本科生的教学参考书。

目 录

高聚物的缩写及名称	1
第 1 章 抗氧化剂	5
1.1 概述	5
1.2 经济情况	5
1.3 氧化降解原理	6
1.3.1 导言	6
1.3.2 自氧化	7
1.4 自氧化的抑制	11
1.5 抗氧化剂的基本作用机理	12
1.5.1 氢供体	12
1.5.2 氢过氧化物分解剂	13
1.5.3 烷基自由基去除剂	15
1.5.4 金属钝化剂	17
1.5.5 多功能稳定剂	17
1.5.6 复合稳定剂	18
1.6 抗氧化剂的测试	18
1.6.1 概述	18
1.6.2 聚合物失效机理	18
1.6.3 试样制备	19
1.6.4 测试方法概述	20
1.6.5 熔融加工的稳定性	21
1.6.6 热分析	23
1.6.7 化学发光	25
1.6.8 长期热稳定性的测试	26
1.6.9 使用期的预测	31
1.7 常用聚合物的稳定性	33
1.7.1 聚烯烃	33
1.7.2 弹性体	48
1.7.3 聚苯乙烯、高抗冲聚苯乙烯及其共聚物	53
1.7.4 聚酰胺	58
1.7.5 聚酯	61
1.7.6 聚甲醛	62
1.7.7 聚碳酸酯	63
1.7.8 聚氨酯	64

1.7.9	高性能工程热塑性塑料	65
1.7.10	聚合物共混体与合金	65
1.8	发展趋势	65
1.9	参考文献	66
1.10	附录	71
第2章	光稳定剂	97
2.1	概述	97
2.2	合成聚合物的光降解	98
2.2.1	太阳光的紫外光谱	98
2.2.2	光吸收引起的物理-化学过程	100
2.2.3	光的能量及光的被吸收	102
2.2.4	光氧化	103
2.2.5	聚烯烃的光氧化	105
2.2.6	弹性体的光氧化	111
2.2.7	苯乙烯系聚合物的光氧化	113
2.2.8	聚酰胺的光氧化	115
2.2.9	PVC的光氧化	117
2.2.10	聚碳酸酯的光氧化	120
2.2.11	聚甲醛的光氧化	123
2.2.12	PUR的光氧化	124
2.2.13	线型聚酯的光氧化	126
2.2.14	热塑性聚酯弹性体的光氧化	130
2.2.15	聚丙烯酸酯和聚甲基丙烯酸酯的光氧化	130
2.2.16	聚苯醚的光氧化	133
2.2.17	聚砜的光氧化	136
2.2.18	环氧树脂的光氧化	138
2.2.19	其他聚合物的光氧化	140
2.3	紫外光稳定化机理	140
2.3.1	紫外吸收	140
2.3.2	猝灭	146
2.3.3	氢过氧化物分解	148
2.3.4	自由基捕获	149
2.3.5	受阻胺光稳定剂	150
2.4	光稳定剂的检测	161
2.4.1	人工老化	161
2.4.2	自然老化	163
2.4.3	颜料对光稳定剂检测的影响	163
2.5	光稳定化的一般技术概况	164
2.5.1	光稳定剂的稳定性及挥发性	164
2.5.2	光稳定剂的溶解性、相容性、迁移性及萃取性	165

2.5.3	光稳定剂的处理和安全性	166
2.5.4	光稳定剂的其他实际问题	166
2.5.5	光稳定剂的结构	166
2.6	塑料的光稳定化	166
2.6.1	聚烯烃的光稳定化	166
2.6.2	弹性体的光稳定化	216
2.6.3	苯乙烯系聚合物的光稳定化	224
2.6.4	聚酰胺的光稳定化	227
2.6.5	PVC的光稳定化	234
2.6.6	聚碳酸酯的光稳定化	237
2.6.7	聚甲醛的光稳定化	239
2.6.8	聚氨酯的光稳定化	244
2.6.9	线型聚酯的光稳定化	248
2.6.10	不饱和聚酯的光稳定化	252
2.6.11	热塑性聚酯弹性体的光稳定化	252
2.6.12	聚丙烯酸酯的光稳定化	252
2.6.13	聚苯醚的光稳定化	254
2.6.14	聚砜的光稳定化	255
2.6.15	环氧树脂的光稳定化	256
2.6.16	其他聚合物的光稳定化	257
2.7	光稳定剂的商品牌号及供应商	257
2.8	参考文献	257
2.9	附录	276
第3章	PVC稳定剂	280
3.1	PVC稳定剂在经济和技术上的重要性	280
3.2	PVC的热降解和稳定化	281
3.2.1	PVC的降解机理	281
3.2.2	PVC的热稳定化	287
3.3	产品的种类及其化学特性和应用范围	291
3.3.1	锡稳定剂	291
3.3.2	复合金属稳定剂	295
3.3.3	铅稳定剂	299
3.3.4	不含金属的稳定剂	301
3.3.5	共稳定剂	302
3.4	法定要求	307
3.5	测试方法	308
3.5.1	热稳定性的测试	308
3.5.2	热稳定剂对加工性能的影响测试	309
3.5.3	电性能测试	310
3.5.4	雾化度测试	310

3.5.5	耐候性和光稳定性测试	310
3.6	技术发展趋势和展望	311
3.7	PVC 稳定剂商品名和供应商索引	311
3.8	参考文献	318
第4章	除酸剂	322
4.1	概述	322
4.2	作用基本原理	322
4.3	除酸剂的物理和化学性质	323
4.3.1	金属硬脂酸盐	323
4.3.2	水滑石	325
4.3.3	水铝钙石	326
4.3.4	氧化锌	327
4.4	除酸剂和聚合物的复配	328
4.5	聚合物中除酸剂的测试	328
4.5.1	耐腐蚀性测试	328
4.5.2	多次挤出	329
4.5.3	黄度指数 (ASTM D 1925; DIN ISO 6167)	329
4.5.4	熔流指数 (ASTM D 1238—95; DIN ISO 1133—1991)	329
4.5.5	过滤指数	329
4.6	除酸剂在各种聚合物中的配方示例及其性能	330
4.7	其他添加剂的干扰作用	337
4.8	发展趋势	337
4.9	结论	337
4.10	产品供应商一览表	338
4.11	参考文献	339
第5章	润滑剂	341
5.1	概述	341
5.1.1	塑料加工用润滑剂	341
5.1.2	定义和特性	341
5.1.3	润滑剂的工业重要性	342
5.2	润滑剂的作用	342
5.2.1	润滑剂作用原理	342
5.2.2	内润滑作用	344
5.2.3	外润滑作用	347
5.2.4	对成品表面的影响	349
5.2.5	分散作用	350
5.3	润滑剂测试	352
5.3.1	产品的特性	352
5.3.2	塑性熔体测试	352
5.3.3	成品测试	357

5.4	润滑剂类别和它们的性质	357
5.4.1	构/效关系	357
5.4.2	重要的润滑剂	357
5.5	润滑剂的实际应用	362
5.5.1	PVC用润滑剂	362
5.5.2	苯乙烯系聚合物用润滑剂	364
5.5.3	聚烯烃用润滑剂	364
5.5.4	工程热塑性塑料用润滑剂	365
5.6	科技趋势和前景	366
5.7	商品名和供应商名录	366
5.8	参考文献	368
第6章	聚合物加工助剂	371
6.1	概述	371
6.2	加工助剂的作用机理	371
6.2.1	熔体破裂	371
6.2.2	涂覆机理	372
6.3	加工助剂技术及历史回顾	373
6.3.1	早期技术	373
6.3.2	含氟高聚物基添加剂	373
6.3.3	硅树脂基添加剂	374
6.4	加工助剂的复配	375
6.5	加工助剂的应用	375
6.5.1	熔体破裂的消除	375
6.5.2	模具物料沉积的减少	376
6.5.3	生产能力的提高	377
6.5.4	凝胶的减少	378
6.5.5	塑料的回收	378
6.6	不同加工工艺的效果和优势	379
6.6.1	吹膜和铸膜	379
6.6.2	管材的挤出	380
6.6.3	纤维和窄带的挤出	380
6.6.4	吹塑成型	380
6.6.5	注塑成型	380
6.7	加工助剂在其他高聚物中的应用	381
6.7.1	热塑性橡胶	381
6.7.2	尼龙	381
6.7.3	聚酯	381
6.8	加工助剂的评价	381
6.8.1	毛细管流变仪	381
6.8.2	应用测试	383

6.9	分析技术	384
6.9.1	燃烧分析	384
6.9.2	X射线荧光光谱	385
6.9.3	红外光谱	386
6.9.4	核磁共振光谱	386
6.9.5	光学显微镜	387
6.10	添加剂的相互作用	388
6.10.1	正面相互作用	388
6.10.2	负面相互作用	389
6.11	法律法规情况	391
6.12	加工助剂的商品名、类别和制造商一览表	391
6.13	参考文献	391
第7章	防粘剂	394
7.1	概述	394
7.2	作用机理	394
7.3	防粘剂的物理和化学性质	395
7.3.1	合成硅胶	395
7.3.2	天然二氧化硅	395
7.3.3	滑石	396
7.3.4	沸石	396
7.3.5	石灰石	397
7.3.6	有机防粘剂	397
7.4	防粘剂的应用	397
7.4.1	PE	397
7.4.2	PP膜	398
7.4.3	聚酯膜	399
7.4.4	软PVC膜	400
7.4.5	其他膜	400
7.5	测试方法	400
7.6	添加方法	401
7.6.1	母粒	402
7.6.2	直接加入	402
7.6.3	聚酯膜	402
7.7	防粘剂的毒性	402
7.7.1	二氧化硅	402
7.7.2	滑石	403
7.7.3	沸石	403
7.7.4	石灰石	403
7.8	发展趋势	403
7.9	常用防粘剂的制造商及商品名称一览表	403

7.10	参考文献	404
第8章	滑爽剂	405
8.1	概述	405
8.2	滑爽剂作用的基本原理	405
8.3	滑爽剂的概述	405
8.4	滑爽剂的结构	407
8.5	滑爽剂与聚合物的复配	407
8.6	滑爽剂性能的测试	407
8.7	各种聚合物中滑爽剂的配方/性能示例	408
8.8	发展趋势	409
8.9	商品名和供应商一览表	409
8.10	参考文献	409
第9章	防雾剂	410
9.1	概述	410
9.1.1	食品包装塑料膜	410
9.1.2	农膜	410
9.2	防雾剂作用的基本原理	412
9.3	防雾剂简述	413
9.3.1	防雾剂的类型	413
9.3.2	工业防雾剂	414
9.4	防雾剂的结构	414
9.5	防雾剂加入塑料中的方法	415
9.6	防雾性测试方法	415
9.6.1	评估试验程序	415
9.6.2	食品袋用塑料膜防雾性测试	415
9.6.3	农膜的防雾性测试	416
9.7	塑料防雾剂配方及性能	417
9.7.1	食品包装塑料膜	417
9.7.2	农膜	418
9.8	发展趋势	418
9.9	防雾剂的商品牌号及供应商	419
9.10	参考文献	419
第10章	抗静电剂	421
10.1	概述	421
10.2	抗静电剂作用的基本原理	421
10.2.1	外抗静电剂	422
10.2.2	内抗静电剂	422
10.2.3	导电填料	423
10.3	抗静电剂一般描述	423
10.3.1	非离子型抗静电剂	423

10.3.2	阴离子型抗静电剂	426
10.3.3	阳离子型抗静电剂	426
10.3.4	两性型抗静电剂	426
10.4	抗静电剂的结构	426
10.5	抗静电剂加入聚合物中的方法	427
10.6	抗静电剂性能测试	428
10.6.1	定性测试	428
10.6.2	定量测试	428
10.6.3	半衰期与材料表面电阻率的关系	428
10.7	抗静电剂在不同塑料中的应用配方和性能	428
10.7.1	聚烯烃	428
10.7.2	苯乙烯系塑料	429
10.7.3	PVC	429
10.7.4	工程塑料	431
10.8	发展趋势	431
10.9	抗静电剂的商品牌号及供货商	431
10.10	参考文献	432
第 11 章	抗菌剂	433
11.1	概述	433
11.2	抗菌剂的使用与要求	435
11.2.1	生物稳定剂(防腐剂)	435
11.2.2	抗菌剂活性成分	435
11.2.3	抗菌剂的要求	435
11.2.4	用作生物稳定剂的抗菌剂	436
11.2.5	作为活性成分的抗菌剂	438
11.3	作用方式	440
11.4	测试方法	440
11.4.1	琼脂板测试法	440
11.4.2	测试样品的直接污染	442
11.4.3	通用的测试	443
11.4.4	其他有用的测试方法	444
11.5	抗菌剂的相关法规	446
11.5.1	美国	446
11.5.2	欧洲	447
11.6	发展趋势	447
11.7	产品、牌号、供应商一览表	447
11.8	参考文献	452
第 12 章	阻燃剂	454
12.1	概述	454
12.2	阻燃机理	454

12.3	有机阻燃剂的结构、物理性能及典型用途	456
12.4	典型阻燃剂配方	459
12.5	阻燃性能测定	461
12.6	技术发展趋势	463
12.7	阻燃剂的商品名、制造厂及供应商	465
12.8	参考文献	467
第13章	化学发泡剂	469
13.1	概述	469
13.2	发泡剂的基本作用原理	469
13.2.1	一般要求和选用原则	469
13.2.2	主要性能	470
13.3	产品分类及作用机理	470
13.3.1	偶氮化合物	471
13.3.2	胍衍生物	474
13.3.3	氨基脲	475
13.3.4	四唑	476
13.3.5	亚硝基化合物	476
13.3.6	碳酸盐	477
13.4	发泡剂制剂	478
13.5	化学发泡剂的检测	478
13.6	化学发泡剂与聚合物的混合	479
13.6.1	工业用发泡剂的形式	479
13.6.2	应用	479
13.6.3	聚合物	480
13.6.4	经济概况	480
13.7	加工和应用	480
13.8	技术发展趋势及前景	482
13.9	化学发泡剂的商品名称和生产厂家	482
13.10	参考文献	483
第14章	聚烯烃的交联和可控降解	485
14.1	概述	485
14.2	聚烯烃交联和降解控制的原理	486
14.2.1	聚烯烃中大自由基的产生和湮灭	486
14.2.2	辐射交联	490
14.2.3	过氧化物交联	491
14.2.4	硅烷交联	492
14.3	用于交联、断链和接枝反应的有机过氧化物	495
14.3.1	结构和一般性能	495
14.3.2	过氧化物的分解	498
14.3.3	贮存和安全要求	502