

PVC

RUNHUAJI JIQI YINGYONG

—YUANLI YU JISHU

润滑剂及其应用 ——原理与技术

吴茂英 主编



化学工业出版社

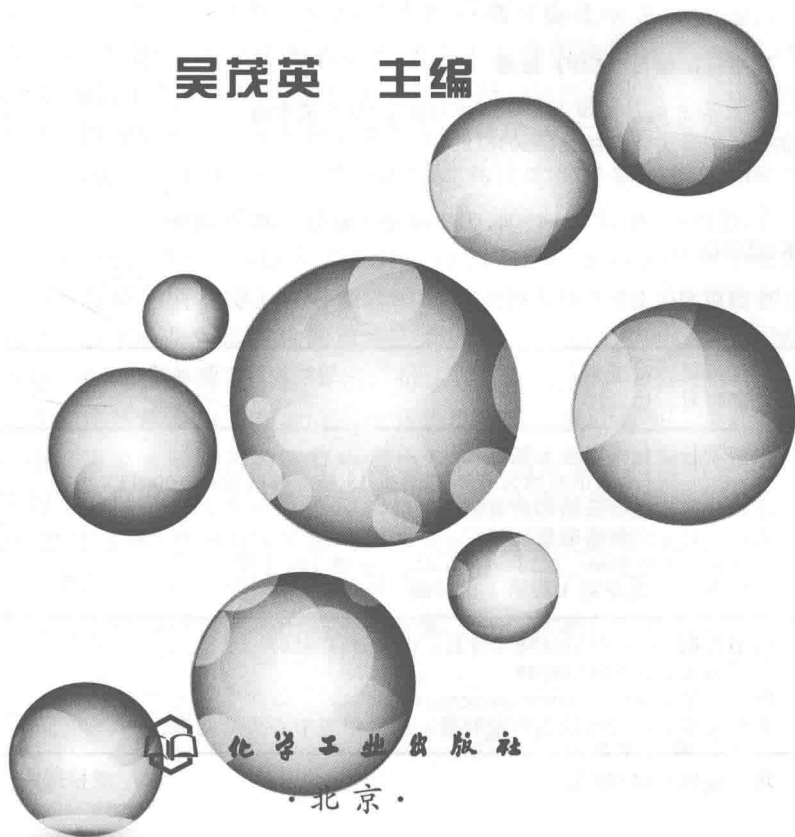
PVC

RUNHUAJI JIQI YINGYONG

—YUANLI YU JISHU

润滑剂及其应用 ——原理与技术

吴茂英 主编



化学工业出版社
·北京·

聚氯乙烯 (PVC) 是产销量仅次于聚乙烯 (PE) 和聚丙烯 (PP) 的第三大宗通用塑料, 而润滑剂是 PVC 加工的必需添加剂, 也是应用技术最为复杂的塑料助剂之一。本书在系统阐述 PVC 润滑剂的应用原理和性能测试评价方法的基础上较全面介绍了重要单组分和复合 PVC 润滑剂品种、特性和应用技术, 与此同时, 还着重讨论了压析现象和配方优化技术。

本书力求理论原理和方法技术并重阐明 PVC 润滑剂及其应用技术, 因此, 不但可以作为 PVC 制品生产企业和润滑剂、热稳定剂生产企业的技术开发及服务人员的工具书, 同时也可作为大专院校相关专业的教学参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

PVC 润滑剂及其应用——原理与技术/吴茂英主编.
北京: 化学工业出版社, 2015.9
ISBN 978-7-122-24821-3

I. ①P… II. ①吴… III. ①塑料-化工设备-润滑剂-研究
IV. ①TQ047.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 179519 号

责任编辑: 赵卫娟
责任校对: 边涛

装帧设计: 孙远博

出版发行: 化学工业出版社
(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷: 北京云浩印刷有限责任公司
装 订: 三河市瞰发装订厂
710mm×1000mm 1/16 印张 9½ 字数 166 千字
2016 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686)
售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

前 言

聚氯乙烯 (PVC) 是产销量仅次于聚乙烯 (PE) 和聚丙烯 (PP) 的第三大宗通用塑料。近年来, 我国 PVC 制品产业高速发展, 产品的配方、种类和加工方式日益复杂多样化, 而 PVC 加工用的添加剂也同样日新月异。如何有效、合理使用添加剂不但使 PVC 制品生产企业生产技术人员日感棘手, 也使添加剂生产和销售企业的技术服务人员压力日增。然而, 有关 PVC 添加剂及其应用, 主要只能见于一些有关 PVC 或塑料助剂的教材、手册或专论的章节, 内容或偏简单或偏陈旧, 明显不能适应 PVC 制品及添加剂产业发展的需要。为给热稳定剂生产和销售企业的技术服务人员做好技术服务及为 PVC 制品生产企业生产技术人员用好热稳定剂提供系统实用的指导, 中国塑料加工工业协会 (中塑协) 塑料助剂专委会前热稳定剂分会组织编写出版了《PVC 热稳定剂及其应用技术》一书 (由化学工业出版社于 2010 年出版, 已获 2012 年度中国石油和化学工业优秀出版物图书奖一等奖)。在该书出版后不久, 考虑到在 PVC 加工中润滑剂的应用具有并不亚于热稳定剂的复杂性和重要性, 顾地科技股份有限公司的王文治高工提议进一步组织编写一本阐述 PVC 润滑剂及其应用原理和技术的专论, 得到了中塑协塑料助剂专委会前热稳定剂分会的支持。

本书是已出版的《PVC 热稳定剂及其应用技术》的姐妹篇, 由中塑协塑料助剂专委会施珣若副主任委员负责组织编写, 吴茂英主编, 王文治和施珣若参加编写。全书由吴茂英统稿和审定。在本书的编写过程中, 张光博、李军、夏华亮、林强、黄海新、解洪伟、付志敏、杨飞虎、宋科明、张龙、张红兵、金春花等热情参加了有关的研讨会并提出了宝贵的意见, 在此一并表示衷心感谢。需要表示感谢的还有中塑协塑料助剂专委会刘琴副秘书长, 本书编写计划能得以顺利实施并完成与她认真而有效的协调工作分不开。

本书的编写广泛参考和引用了国内外有关的著作和文献资料, 在此谨向参考书目及文献的所有作者致以深深的谢意。

限于作者的学识和精力, 书中不妥和疏漏之处在所难免, 恳请读者批评指正。

广东工业大学 吴茂英
2015 年 9 月于广州

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 PVC 及其发展前景	1
1.1.1 PVC 及其用途	1
1.1.2 PVC 的历史回顾	2
1.1.3 PVC 的产销状况	3
1.1.4 PVC 的发展前景	4
1.2 PVC 润滑剂及其发展趋势	8
1.2.1 PVC 润滑剂的功用	8
1.2.2 PVC 润滑剂的发展进程	9
1.2.3 PVC 润滑剂的市场需求	9
1.2.4 PVC 润滑剂的发展趋势	10
参考文献	10
第 2 章 PVC 润滑剂应用原理基础	12
2.1 PVC 的结构特征	12
2.1.1 PVC 的分子结构	12
2.1.2 PVC 的立体规整性	13
2.1.3 PVC 的结晶性	14
2.1.4 PVC 树脂颗粒形态	14
2.1.5 PVC 的层级结构	17
2.2 PVC 的加工特性	18
2.2.1 PVC 的基本加工特性	18
2.2.2 PVC 加工性能的影响因素	31
2.3 PVC 润滑剂应用原理基础	47
2.3.1 PVC 润滑剂的润滑作用	47
2.3.2 PVC 润滑剂的作用机理	51
2.3.3 PVC 润滑剂的润滑功能	56
2.3.4 PVC 润滑剂的功能-结构关系	56
2.3.5 PVC 润滑剂的功能转变	59
2.3.6 PVC 润滑剂的性能递变	60

2.3.7 PVC 润滑剂的分类	67
2.3.8 选用 PVC 润滑剂的一般原则	71
参考文献	75
第 3 章 PVC 润滑剂的压析现象	80
3.1 PVC 加工中的压析现象	80
3.2 PVC 加工中压析的危害性	80
3.3 PVC 加工中压析物的组成特点	81
3.4 PVC 加工中压析的形成机理	81
3.5 PVC 加工中压析的影响因素	82
3.5.1 配方组分	82
3.5.2 加工条件	85
3.5.3 水分	87
3.5.4 抗压析添加剂	87
参考文献	88
第 4 章 PVC 润滑剂的性能测试评价方法	90
4.1 润滑性能	90
4.1.1 配混料的制备	90
4.1.2 转矩流变仪塑化试验	92
4.1.3 辊筒剥离试验	94
4.1.4 毛细管流变试验	95
4.1.5 实验室挤出机试验	96
4.1.6 生产性试验	97
4.2 对热稳定性的影响	97
4.2.1 转矩流变仪试验	97
4.2.2 双辊机试验	98
4.2.3 实验室挤出机试验	98
4.3 压析性	98
4.4 对制品质量的影响	98
4.4.1 塑化度	98
4.4.2 透明性	102
4.4.3 光泽度	102
4.4.4 喷霜性	103
4.4.5 力学性能	104
4.4.6 电学性质	105

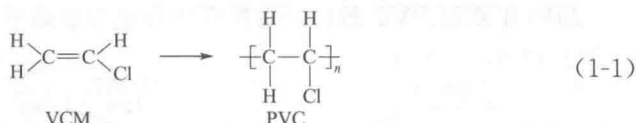
4.4.7 耐候性	106
4.4.8 卫生性	110
参考文献	110
第5章 PVC 润滑剂的品类、特性与用法	112
5.1 单组分润滑剂	112
5.1.1 主要类型与基本特点	112
5.1.2 常用品种的性质和性能	117
5.1.3 在各类制品中的一般用法	123
5.1.4 应用配方示例	127
5.2 复合润滑剂	130
5.2.1 主要类型与基本特点	130
5.2.2 代表性品种的外观和理化性质	131
参考文献	132
第6章 PVC 润滑剂应用配方优化技术	134
6.1 润滑平衡对 PVC 加工的重要性	134
6.2 一些经验案例介绍	137
6.2.1 硬质 PVC 管材润滑剂体系的优化	137
6.2.2 硬质 PVC 型材润滑剂体系的优化	140
参考文献	144

第 1 章 绪论

1.1 PVC 及其发展前景

1.1.1 PVC 及其用途

聚氯乙烯 (PVC) [CAS 号: 900-86-2] 可由氯乙烯单体 (VCM) 通过自由基聚合合成:



商品 PVC 的聚合度 n 为 625~2700 左右, 重均分子量 M_w 为 39000~168000, 特性黏度为 0.51~1.60dL/g, K 值为 49~91。不同分子量的 PVC 具有不同的用途, 低分子量 PVC 用于注射成型薄壁零件, 高分子量 PVC 用作软制品。

基于其独特的结构, PVC 具有强度高、耐腐蚀、耐候、难燃、绝缘性好、透明性高以及与范围广泛的各种添加剂相容性好等独特性质, 通过配合适当的添加剂和使用适当的工艺和设备可生产出各式各样的塑料制品, 包括管材、管件、板材、型材、片材、中空瓶子等硬制品和膜、管、鞋、玩具、电线电缆料、人造革等软制品, 广泛应用于工业、农业、建筑、日用品、包装、电气电力、公用事业等领域。PVC 的主要用途见表 1-1^[1]。

表 1-1 PVC 的主要用途

应用行业	具体用途	
	硬 PVC 制品	软 PVC 制品
建筑	供水管及管件、污水管及管件、排水管、浴室瓷砖、壁板、吊顶、门窗、水槽和下水管、自动喷水灭火系统、电器箱、电气导管、烟雾警报器、仿木修剪草坪边饰、外墙和屋面等	窗户、窗帘、卫生间挡板、地板、地毯背衬和泡沫背衬、马桶座、铁丝栅栏涂层、电线绝缘层、电缆护套、墙面装饰、墙保险杠防护装置、草坪边饰等
包装	瓶子、吸塑包装材料、防静电电子封装材料等	肉包装纸、热塑包装纸等
电器和机器	洗衣机、烘干机、洗碗机、制冰机、恒温器、插座箱、计算机、打印机、卫星电视天线塑料件等	冰箱门封条、电线绝缘皮、电话线、软管等

续表

应用行业	具体用途	
	硬 PVC 制品	软 PVC 制品
医疗和安全	配件、过滤器、药水瓶、洗眼装置等	血袋、静脉注射管、氧气面罩和帐篷、护目镜、手套、围裙等
汽车	手套箱、旋钮等	仪表板、涂层织物、把手、电线绝缘皮、地板垫、面板、转向轮、密封条等
农业	灌溉管、排水管、管件、球阀等	薄膜、水带、软管等
其他	桌边、订书机、家具、海堤、标志、灯具等	钓鱼用人造虫子、草坪椅子、房间间隔、公文包、笔记本、鞋底、雨衣、桌布、浴帘、池塘衬垫等

2010 年欧洲 PVC 塑料产量按应用行业和制品类型的分布^[2]见图 1-1。

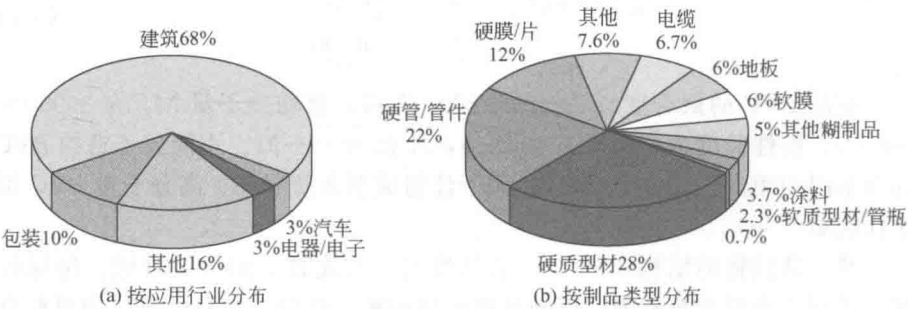


图 1-1 2010 年欧洲 PVC 塑料产量分布

1.1.2 PVC 的历史回顾

PVC 的历史可追溯到近 180 年前的 1835 年；大概 80 年后，人们看到了这种高分子材料的工业价值，再过大概 15 年，即 20 世纪 30 年代初，PVC 实现了商业化。与 PVC 相关的重要历史事件^[3]见表 1-2。

表 1-2 PVC 相关重要历史事件

年份	重要事件
1835 年	Liebig 和 Regnault 发现氯乙烯 (VC)
1878 年	Baumann 观察到 VC 的光诱导聚合作用
1912 年	Zacharias 和 Klatte 通过 HCl 与乙炔的加成反应得到 VC
1913 年	Klatte 用有机过氧化物使 VC 发生了聚合
1926 年	Griesheim-Elektron 公司终止了其有关 PVC 的专利权,这为其他公司的参与开启了方便之门

续表

年份	重要事件
1928 年	Union Carbide 和 DuPont 公司实现了 VC 与醋酸乙烯酯共聚
1930 年	IG-Ludwigshafen 公司实现了 VC 与乙烯醚和丙烯酸酯共聚 实现了 VC 的乳液聚合 发现了可用碱金属盐稳定 PVC Fikentscher 提出可用 K 值表征 PVC
1932 年	IG-Bitterfeld 公司实现 PVC 氯化
1933 年	Semon 发现可用邻苯二甲酸酯和磷酸酯作为 PVC 增塑剂
1934 年	Wacker 实现 VC 的悬浮聚合 Bitterfeld 公司开办了一家 PVC 导向器工厂(600 吨/年) Union Carbide 公司的 Frazier Groff 发现可用碱土金属皂稳定 PVC Carbide & Carbon Chemicals 公司使用铅盐作为 PVC 热稳定剂
1936 年	Union Carbide 公司制造出 PVC Carbide & Carbon Chemicals 公司使用 Goodrich 公司的二烷基锡皂作为 PVC 热稳定剂
1947 年	发现钡、镉、钙和锌皂的协同作用
1962 年	Rhone-Poulenc 公司的 St. Gobain 和 Pechiney 实现了在两级反应器中使 VC 本体聚合 (1975 年,实现了在单级反应器中聚合)

想了解更具体的 PVC 发展史,可参阅文献 [4,5]。

1.1.3 PVC 的产销状况

PVC 的工业化生产始于 20 世纪 20 年代末,产品为 VC 与乙烯醚和丙烯酸酯共聚物。在此之前,由于加工性差又未找到有效的稳定剂,PVC 的发展受阻。在 1930~1936 年间,美国的 Union Carbide 和德国在 Bitterfeld 的 IG Farben 公司实现了年产量为几百吨的均聚 PVC 工业化生产。从此,PVC 开始稳步增长。世界 PVC 产能和消费的增长情况^[3]见表 1-3。

表 1-3 世界 PVC 产能和消费的增长

年份	产能/(kt/年)	消费/kt
1939 年	—	11
1950 年	—	220
1960 年	2000	1100
1970 年	7000	6600
1980 年	18000	11000
1993 年	24700	19200
1998 年	27700	24000
2000 年	31000	25700

目前，PVC 是仅次于聚乙烯（PE）和聚丙烯（PP）的第三大类塑料。有关的预测都指出，PVC 和其他塑料材料将会呈现继续增长的趋势。1990 年后世界塑料需求^[2]见表 1-4。

表 1-4 世界塑料需求

塑料品种	需求/10 ⁶ t				2009~2015 年 年均增长率/%
	1990 年	2009 年	2010 年	2015 年	
低密度聚乙烯(LDPE)	18.8	39.0	40.3	47.9	3.5
线型低密度聚乙烯(LLDPE)					
高密度聚乙烯(HDPE)	11.9	31.0	32.2	40.4	4.5
聚丙烯(PP)	12.9	46.0	48.1	61.6	5.0
聚氯乙烯(PVC)	17.7	32.5	34.8	43.6	5.0
聚苯乙烯(PS)	7.2	10.0	10.8	12.7	4.0
可发聚苯乙烯(EPS)	1.7	4.8	5.2	6.4	5.0
丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物 (ABS)					
丙烯酸酯-苯乙烯-丙烯腈共聚物 (ASA)	2.8	7.9	8.5	11.2	6.0
苯乙烯-丙烯腈共聚物(SNA)					
聚酰胺(PA)	1.0	2.3	2.6	3.3	6.0
聚碳酸酯(PC)	0.5	3.0	3.5	4.5	7.0
聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)	1.7	14.8	15.5	19.8	5.0
聚氨酯(PUR)	4.6	11.3	11.9	15.1	5.0
其他热塑性塑料	2.8	7.4	8.3	10.5	6.0
合计	83.6	210	约 222	约 277	4.7

2009 年世界 PVC 产能和消费的地区分布^[6]见图 1-2。

由图 1-2 可见，中国已成为世界头号 PVC 产销大国。

1.1.4 PVC 的发展前景

PVC 的发展曾因其可能对环境与健康有严重危害而受到影响。但是，近年来的大量调查研究表明，PVC 对环境和健康的危害，如二噁英、酸雨、重金属及 DOP 环境荷尔蒙危害，并没有像曾经指出的那么严重，而更客观的情况可能是，PVC 实际上比其他替代物对环境与健康更无害。

氯的任何利用，包括 PVC 的生产和应用，都曾受到一些环境组织的攻击。他们试图叫停许多相关行业，其理由是，包括 PVC 在内的含氯化学品是二噁英污染的根源。然而，根据 Summers^[1]的介绍，含氯化合物实际上

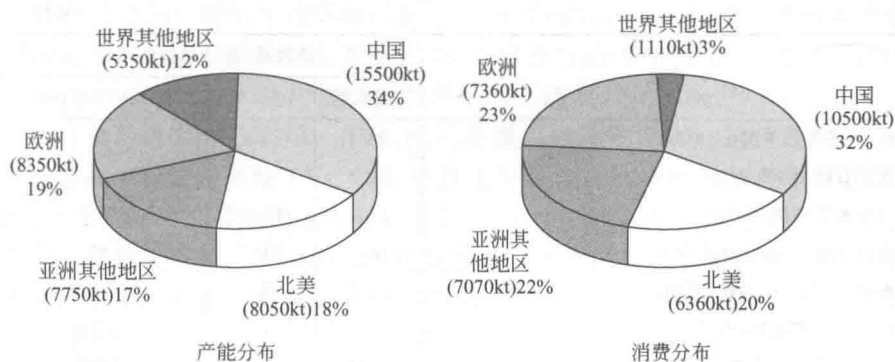


图 1-2 2009 年世界 PVC 产能和消费地区分布

无所不在, 在人类诞生之前就已存在。这是因为, 包括二噁英和呋喃类化合物在内的有机氯化合物, 可由燃烧木材和其他植物产生, 也是森林火灾的自然副产物。已有研究指出, 在湖泊沉积物中发现的二噁英和呋喃类化合物可追溯至 1860 年^[7]; 从格陵兰岛冰核中提取的样品含有可追溯到 1869 年的氯^[8]。注意到自然界广泛存在大量含氯化合物, 就可明白, 试图通过禁产氯产品以消除环境中的含氯化合物不仅是于事无补和代价高昂的, 而且会让世界失去对社会健康和福祉很重要的好几百种产品, 并可能还使环境变得更糟。

有关的研究已指出, PVC 工业并不是二噁英的主要来源, 而且由 PVC 工业释放的二噁英还在不断降低^[9]。Kulkarni 等^[10]已对二噁英类化合物来源进行了综述。美国二噁英类化合物的来源见表 1-5。

表 1-5 美国二噁英类化合物的来源

来源	排放量/毒性单位 (TEQ)		
	1987 年	1995 年	1987~1995 年减排/%
城市固体垃圾焚化(大气)	8877	1250	86
庭院废桶燃烧(大气)	604	628	-4
医疗废弃物焚化(大气)	2590	488	81
二次铜精炼厂(大气)	983	271	72
水泥窑(有害废弃物燃烧)(大气)	117.8	156.1	-33
污水污泥(土地再利用)(土地)	76.6	76.6	0
住宅木材燃烧(大气)	89.6	62.8	30
燃煤炉(大气)	50.8	60.1	-18
柴油卡车(大气)	27.8	35.5	-28
二次铝精炼厂(大气)	16.3	29.1	-79

续表

来源	排放量/毒性单位(TEQ)		
	1987 年	1995 年	1987~1995 年减排/%
2, 4D 系列除草剂(土地)	33.4	28.9	13
铁矿石燃烧炉(大气)	32.7	28	14
工业木柴燃烧(大气)	26.4	27.6	-5
漂白纸浆和造纸厂(水中)	356	19.5	95
水泥窑(无害废弃物燃烧)	13.7	17.8	-30
污水污泥焚化炉(大气)	6.1	14.8	-143
二氯乙烯或氯乙烯(大气)	未知	11.2	不可知
燃油工厂(大气)	17.8	10.7	40
火葬场(大气)	5.5	9.1	-65
无铅汽油车(大气)	3.6	5.6	56
有害废弃物焚化炉(大气)	5	5.8	-16
少量农业窑(有害废弃物)(大气)	2.4	3.3	-38
商业污水污泥(土地)	2.6	2.6	0
造纸黑液锅炉(大气)	2	2.3	-15
汽油精炼再生催化剂(大气)	2.24	2.21	1
含铅汽油车(大气)	37.5	2	95
二次铅精炼厂(大气)	1.29	1.72	-33
造纸污泥(土地)	14.1	1.4	90
香烟烟雾(大气)	1	0.8	20
二氯乙烯或氯乙烯(土地)	未知	0.73	不可知
原铜(大气)	0.5	0.5	0
二氯乙烯或氯乙烯(水中)	未知	0.43	不可知
锅炉或工业用电炉(大气)	0.78	0.39	50
废轮胎燃烧(大气)	0.11	0.11	0
鼓的回收(大气)	0.1	0.1	0
活性炭再生炉(大气)	0.08	0.06	25
合计	13998	3255	77

氯乙烯 (VC) 单体的生产过程会产生一种称为“重副产品”的高分子量副产物，其中含二噁英类化合物，但含量一般在 10^{-9} 级，而且可以消除且不会向环境排放。与 PVC 有关的二噁英排放如果存在的话，主要来源于焚烧或废水。但是，由美国机械工程师协会资助的一项研究分析了遍及全世界的 115 套大规模商业焚烧装置的超过 1700 个测试结果，发现燃烧排放的二噁英与废料的氯含量不存在相关性。相反，该研究指出，燃烧器的操作

条件是二噁英形成的关键影响因素^[11]。这项研究证实了其他一些相关研究,包括美国纽约政府能源和发展局在 1987 年进行的研究的结果。这些研究均显示,PVC 的存在与否对焚烧过程产生的二噁英量无影响^[12]。

有关的研究业已表明,PVC 也不是酸雨的主要来源。这是因为焚烧炉洗涤系统可以清除焚烧 PVC 塑料和其他含氯化合物或材料所产生氯化氢的约 99%^[13]。市政焚烧炉通常被认为是酸雨的主要原因。但实际上,由火力发电厂燃烧化石燃料产生的二氧化硫和氮氧化物以及汽车尾气才是酸雨的真正原因^[14,15]。有研究显示,在欧洲和日本的酸雨中,只有 0.02%可归因于 PVC 焚烧^[16]。

另外,欧洲聚氯乙烯制品委员会的实验研究证明,废弃 PVC 制品不容易分解,即便有一定数量的增塑剂和稳定剂能释放到土壤中,但其释放量极有限,对环境不会造成危害。

还有一点也值得注意,因为氯原子作为标识使其可以由机器从其他类型塑料中自动分离,PVC 较易回收利用。

因此,一些环境学家正在以新的眼光看待 PVC,因为生产和加工 PVC 的能耗比其替代物要低 40%左右,有利于降低“温室效应”。英国学者约翰·爱克尔顿就说:“由于有利于节约能源,PVC 有可能作为环境友好材料在 21 世纪再度兴起”^[17]。

近年,对 PVC 从防止气候变暖、资源有效利用等视角进行了重新评价,结果表明 PVC 材料的科学、合理利用,是符合低碳经济原则的,也是对循环型社会建设有贡献而需发展的品种之一。首先,与 PE、PP、PS 等塑料相比,PVC 焚烧 CO₂ 排放少,见表 1-6 (CO₂ 发生量是完成燃烧时经碳换算的发生量)。

表 1-6 常用塑料的 CO₂ 排放比较

塑料	CO ₂ 发生量/kg · kg ⁻¹	比率(以 PVC 为 1)
PVC	0.38	1
PE	0.85	2.24
PP	0.85	2.24
PS	0.93	2.45

其次,与 PE、PS、PET 相比,PVC 制造时,能源消耗也少,见表 1-7。

同样重要的是,PVC 分子中氯含量高达 57%,这意味着,与 100%以石油为原料的其他通用树脂相比,发展 PVC 给石油等化石燃料资源造成的负荷要减少一半以上。

表 1-7 常用塑料生产能源消耗

材料	制造能耗/ $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	比率(以 PVC 为 1)
PVC	55	1
PE-LD	74	1.35
PE-LLD	92	1.67
PE-ULD	79	1.43
PS-HI	94	1.71
PET	113	2.05

综上所述，并考虑到其广泛而重要的用途，可以预期，如果能够有效解决热稳定剂及其他添加剂的环保化问题，PVC 还将具有广阔的发展前景。

1.2 PVC 润滑剂及其发展趋势

1.2.1 PVC 润滑剂的功用

PVC 虽然性质独特因而其塑料制品应用广泛，但 PVC 却是一种很难加工的高分子材料。这是因为 PVC 不但对热不稳定，在通常的热塑加工温度下即降解，而且由于极性较强，其各层级结构单元（包括各层级粒子和分子）以及它们与加工设备金属表面间均具有较强的相互作用和摩擦力，因此还存在熔体黏度高、物料剪切摩擦生热大、熔体对加工设备金属表面黏附严重等加工性问题。熔体黏度高导致 PVC 加工要在较高温度下才能进行，但是 PVC 无法承受这样的高温；物料摩擦生热大会导致物料降解；熔体对金属表面黏附严重也会导致物料局部滞留降解并造成制品难于脱模。

因此，要对 PVC 进行热塑加工，除必须使用“热稳定剂”外，还必须使用“润滑剂”。PVC 润滑剂的基本作用就在于降低 PVC 各层级结构单元（包括各层级粒子和分子）以及它们与加工设备金属表面间的相互作用和摩擦力，从而实现降低熔体黏度、减少物料剪切摩擦生热、减轻熔体对加工设备金属表面黏附等基本润滑效果。

基于以上基本润滑效果，在 PVC 加工中合理使用润滑剂还可收到以下延伸功效：抑制物料降解、调节树脂塑化和熔体流动行为、消除熔体破裂、

使熔体或制件易于脱模、减轻设备磨损、提高加工生产速率、降低加工动力消耗、优化制品力学性质、改进制品表面质量、提高制品表面爽滑性、赋予制品防雾和抗静电性等（详见第 2 章）。

1.2.2 PVC 润滑剂的发展进程

PVC 润滑剂的发展进程与热稳定剂类似，经历了三个基本的历史阶段：初期发明阶段、优化阶段和成熟阶段^[18]。

初级的发明阶段发生在 20 世纪 20 年代中期到 20 世纪 50 年代初期。在这一阶段，人们通过大量反复试验，对无数物质作为 PVC 润滑剂的可能性进行了测试评价，结果在 20 世纪 50 年代初期确认了有三类化合物对 PVC 具有有效的润滑作用，它们分别是：脂肪酸及其衍生物、烃蜡类化合物和金属皂。

优化阶段从 20 世纪 50 年代初期到 20 世纪 70 年代。在此阶段，PVC 工业进入了产品急剧发展和快速增长的时期，从而推动了 PVC 润滑剂的发展，促进了润滑剂产品的优化。研发重点从发现新品种转移到优化现有产品的应用，即通过配方和用量优化设计以实现润滑剂的高性价比应用，并满足大量用户各不相同的特殊要求和偏好。这是一个快速增长的竞争时期，促成了润滑剂产品性价比的不断提高。

20 世纪 70 年代中期以后，随着 PVC 润滑剂进入成熟阶段，研发的焦点又转移了。这一发展是由声势日趋高涨的绿色运动 and 行业对更廉价、性能更好、使用更安全和便利的化学添加剂的持续需求所推进的。这一阶段的标志性成果是出现了经优化设计的热稳定剂——润滑剂“一包化”产品。

1.2.3 PVC 润滑剂的市场需求

据统计，2003 年全球的 PVC 消费量约为 28000kt，润滑剂的消耗量约为 300kt，即润滑剂的平均用量约为 1.07%。全球 PVC 润滑剂市场需求及其变化趋势的系统统计数据未见报道。但是，由于总体上 PVC 配方中润滑剂的平均用量变化不大，全球 PVC 润滑剂市场需求及其变化趋势的大致情况应根据 PVC 的市场需求及其变化趋势估算，见表 1-8。

表 1-8 全球 PVC 润滑剂市场需求及其变化趋势估算

年份	PVC 消费/kt	估算润滑剂消费/kt
1939 年	11	0.1
1950 年	220	2.4

续表

年份	PVC 消费/kt	估算润滑剂消费/kt
1960 年	1100	11.8
1970 年	6600	70.6
1980 年	11000	117.7
1993 年	19200	205.4
1998 年	24000	256.8
2000 年	25700	275.0
2003 年	28000	—300.0
2009 年	32500	347.8
2015 年	43600	466.5

1.2.4 PVC 润滑剂的发展趋势

如前所述，PVC 有可能作为环境友好材料在 21 世纪再度兴起。显然，作为 PVC 加工必需添加剂的润滑剂也将有同样的发展前景。但是，根据欧盟已取得的最新研究结果^[18]，必须落实以下 5 项可持续性措施，PVC 产业才能可持续发展。

- (1) 长期保持碳平衡。
- (2) 长期运行 PVC 废弃物管理的受控回路系统。
- (3) 长期保证全生命周期持久性有机物排放不会导致自然界浓度系统性升高。
- (4) 使用全面符合可持续发展要求的添加剂。
- (5) 提高整个行业的可持续发展意识，并使所有相关方都参与目标的实现。

这就意味着，在现有的热稳定剂体系（铅基、镉基、有机锡基、铋基、锌基和有机基热稳定剂）中，只有锌基和有机基热稳定剂基本符合可持续发展条件并可能进一步发展成为完全可持续发展体系^[19,20]。

显然，PVC 润滑剂必须适应 PVC 可持续发展的需要。因此，可以预测，PVC 润滑剂将呈现以下主要发展趋势。

- (1) 不符合可持续发展要求的润滑剂将退出市场。
- (2) 锌基和有机基热稳定剂的配套润滑剂将加速发展。
- (3) 新型高性价比润滑剂及其生产技术的研发将引起关注。

参 考 文 献

[1] Summers J W. A review of vinyl technology. J Vinyl Addit technol, 1997, 3 (2): 130-139.