



“十二五”国家重点出版规划项目

高性能纤维技术丛书

耐高温耐腐蚀 有机纤维

Polymer Fiber with
High Temperature and Corrosion Resistant

姜振华 张云鹤 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press



“十二五”国家重点出版规划项目

高性能纤维技术丛书

耐高温耐腐蚀有机纤维

姜振华 张云鹤 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书主要阐述了聚醚醚酮纤维、聚苯硫醚纤维、聚四氟乙烯纤维、聚砜酰胺纤维以及聚苯并咪唑纤维的性能特点、制造技术、应用领域以及我国科研人员在上述特种纤维领域取得的最新成果。这几种高性能有机纤维具有高温下尺寸稳定性好、热分解温度高、耐腐蚀、不溶于一般的有机溶剂、阻燃或不燃等特点,在航空航天、武器装备、石油化工、环保等高新技术领域具有广泛的用途。本书基本反映了当代耐高温、耐腐蚀有机聚合物纤维的整体概况、发展现状及趋势。

本书可供从事有机高性能聚合物纤维科研和生产的专业人员参考,也适合于其他不同层面的读者。

图书在版编目(CIP)数据

耐高温耐腐蚀有机纤维 / 姜振华, 张云鹤编著.

—北京: 国防工业出版社, 2017. 5

(高性能纤维技术丛书)

ISBN 978-7-118-11131-6

I. ①耐… II. ①姜… ②张… III. ①耐高温纤维 ②耐腐蚀纤维 IV. ①TQ342

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 081181 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 14 字数 267 千字

2017 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 68.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777

发行传真: (010) 88540755

发行邮购: (010) 88540776

发行业务: (010) 88540717



高性能纤维技术丛书

编审委员会

指导委员会

名誉主任 师昌绪

副主任 杜善义 季国标

委员 孙晋良 郁铭芳 蒋士成

姚 穆 俞建勇

编辑委员会

主任 俞建勇

副主任 徐 坚 岳清瑞 端小平 王玉萍

委员 (按姓氏笔画排序)

马千里 冯志海 李书乡 杨永岗

肖永栋 周 宏(执行委员) 徐樾华

谈昆仑 蒋志君 谢富原 廖寄乔

秘书 黄献聪 李常胜

序

Foreword

从 2000 年起,我开始关注和推动碳纤维国产化研究工作。究其原因是,高性能碳纤维对于国防和经济建设必不可缺,且其基础研究、工程建设、工艺控制 and 质量管理等过程所涉及的科学技术、工程研究与应用开发难度非常大。当时,我国高性能碳纤维久攻不破,令人担忧,碳纤维国产化研究工作迫在眉睫。作为材料工作者,我认为我有责任来抓一下。

国家从 20 世纪 70 年代中期就开始支持碳纤维国产化技术研发,投入了大量的资源,但效果并不明显,以至于科技界对能否实现碳纤维国产化形成了一些悲观情绪。我意识到,要发展好中国的碳纤维技术,必须首先克服这些悲观情绪。于是,我请老三委(原国家科学技术委员会、原国家计划委员会、原国家国防科学技术工业委员会)的同志们共同研讨碳纤维国产化工作的经验教训和发展设想,并以此为基础,请中国科学院化学所徐坚副所长、北京化工大学徐樑华教授和国家新材料产业战略咨询委员会李克建副秘书长等同志,提出了重启碳纤维国产化技术研究的具体设想。2000 年,我向当时的国家领导人建议要加强碳纤维国产化工作,中央前后两任总书记均对此予以高度重视。由此,开启了碳纤维国产化技术研究的一个新阶段。

此后,国家发改委、科技部、国防科工局和解放军总装备部等相关部门相继立项支持国产碳纤维研发。伴随着改革开放后我国经济腾飞带来的科技实力的积累,到“十一五”初期,我国碳纤维技术和产业取得突破性进展。一批有情怀、有闯劲儿的企业家加入到这支队伍中来,他们不断投入巨资开展碳纤维工程技术的产业化研究,成为国产碳纤维产业建设的主力军;来自大专院校、科研院所的众多科研人员,不仅在实验室中专心研究相关基础科学问题,更乐于将所获得的研究成果转化为工程技术应用。正是在国家、企业和科技人员的共同努力下,历经近十五年的奋斗,碳纤维国产化技术研究取得了令人瞩目的成就。其标志:一是我国先进武器用 T300 碳纤维已经实现了国产化;二是我国碳纤维技术研究已向最高端产品技术方向迈进并取得关键性突破;三是国产碳纤维的产业化制备与应用基础已初具规模;四是形成了多个知识基础坚实、视野开阔、分工协作、拼搏进取的“产学研用”一体化科研团队。因此,可以说,我国的碳纤维工程

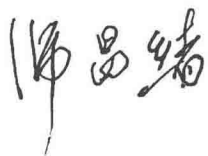
技术和产业化建设已经取得了决定性的突破!

同一时期,由于有着与碳纤维国产化取得突破相同的背景与缘由,芳纶、芳杂环纤维、高强高模聚乙烯纤维、聚酰亚胺纤维和聚对苯撑苯并二噁唑(PBO)纤维等高性能纤维的国产化工程技术研究和产业化建设均取得了突破,不仅满足了国防军工急需,而且在民用市场上开始占有一席之地,令人十分欣慰。

在国产高性能纤维基础科学研究、工程技术开发、产业化建设和推广应用等实践活动取得阶段性成就的时候,学者专家们总结他们所积累的研究成果、著书立说、共享知识、教诲后人,这是对我国高性能纤维国产化工作做出的又一项贡献,对此,我非常支持!

感谢国防工业出版社的领导和本套丛书的编辑,正是他们对国产高性能纤维技术的高度关心和对总结我国该领域发展历程中经验教训的执着热忱,才使得丛书的编著能够得到国内本领域最知名学者专家们的支持,才使得他们能从百忙之中静下心来总结著述,才使得全体参与人员和出版社有信心去争取国家出版基金的资助。

最后,我期望我国高性能纤维领域的全体同志们,能够更加努力地去攻克科学技术、工程建设和实际应用中的一个一个难关,不断地总结经验、汲取教训,不断地取得突破、积累知识,不断地提高性能、扩大应用,使国产高性能纤维达到世界先进水平。我坚信中国的高性能纤维技术一定能在世界强手的行列中占有一席之地。



2014年6月8日于北京

师昌绪先生因病于2014年11月10日逝世。师先生生前对本丛书的立项给予了极大支持,并欣然做此序。时隔三年,丛书的陆续出版也是对先生的最好纪念和感谢。——编者注

前言

Preface

耐高温耐腐蚀有机纤维通常是指在 150℃ 以上可长期使用,且能够耐酸、碱及大多数溶剂的纤维,除具备纤维制品所必需的一般性能,如柔软性、弹性和加工性能,一般具有以下特性:①高温下尺寸稳定性好;②热分解温度高;③在高温下能保持一般特性;④耐酸、碱;⑤不溶于一般的有机溶剂;⑥具有阻燃或不燃性等。

耐高温耐腐蚀有机纤维的热稳定性、耐腐蚀性主要取决于材料自身的微结化学结构和聚集态结构,微观化学结构是指材料的化学组成及共价键的键级和键能等。耐高温耐腐蚀有机纤维的一般结构特点是聚合物分子链主要由含有芳环或芳杂环的链节构成,其结构由于共振而稳定化和电子的离域,使它们的熔融温度、强度和刚度有所提高。聚集态结构是指聚合物分子链在空间的排列和堆积形式,聚合物在固态下的聚集态结构主要有结晶态、非晶态和各种局部有序的取向态。由于晶体熔融过程是吸热的,因此,结晶材料受热分解时,将会吸收热量,使其熔融并进一步分解,可以认为结晶材料较同种组分的非晶材料具有更好的热稳定性。同时,致密的结晶结构会阻碍溶剂分子进入聚合物分子间,从而使得结晶材料具有良好的耐腐蚀性。耐高温耐腐蚀有机纤维相比于无机纤维具有密度更低、强度高、延伸度较大、柔软性好、伸长回弹性较高的特点。

耐高温耐腐蚀有机纤维是 20 世纪 60 年代问世的,发展最快的国家是美国,其次是日本,我国在 20 世纪 90 年代开始开展耐高温耐腐蚀有机纤维的研究,发展速度非常快。从世界上来看,由于受价格因素、生产工艺、纤维性能的研究深度和广度等影响,至今投入生产的耐高温、耐腐蚀有机纤维为数不多。目前为业内所熟悉的、得到较为广泛应用的主要包括聚醚醚酮(PEEK)纤维、聚苯硫醚(PPS)纤维、聚四氟乙烯(PTFE)纤维、聚砜酰胺(PSA)纤维以及聚苯并咪唑(PBI)纤维。

本书分五章,分别介绍了聚醚醚酮、聚苯硫醚、聚四氟乙烯、聚苯并咪唑和聚

砒酰胺等有机纤维的制备方法、性能特点及应用领域等。

聚醚醚酮(PEEK)是高性能热塑性树脂中性能十分出色的品种之一,其分子结构重复单元由三个苯基通过两个醚基和一个酮基联结而成,这种结构决定了其具有优异的综合性能,如它具有优异的力学性能,以及耐高温、耐腐蚀、阻燃、耐辐照、电绝缘性好、产品尺寸稳定等优良性能。此外,PEEK 还具有良好的加工性能,可以通过注塑、挤出、模压等方法加工成各种制品,也可以通过熔融纺丝制成 PEEK 纤维。PEEK 分子链具有规整的对称性,因此其纤维具有高度结晶性。由于有醚键和酮键的存在,PEEK 纤维具有优异的物理性能、出色的耐化学性能、优良的热性能。PEEK 纤维在工业、航空航天、医学、环保等方面具有广泛的用途。

聚苯硫醚(又称聚亚苯基硫醚,PPS)的分子结构比较简单,分子主链有苯环和硫原子交替排列,大量的苯环赋予 PPS 以刚性,大量的硫醚提供柔顺性,使其分子结构对称,易于结晶,无极性,电性能好,不吸水。PPS 纤维具有优异的化学稳定性和耐高温的热稳定性以及抗恶劣环境、阻燃、绝缘、防辐射等功能,在高温、化学腐蚀等环境中得到广泛的应用,如火力发电烟道除尘、钢铁工业、水泥工业、化学品过滤等领域。

聚四氟乙烯(PTFE)是一种使用了氟取代聚乙烯中所有氢原子的人工合成高分子材料。这种材料具有抗酸抗碱、抗各种有机溶剂的特点,几乎不溶于所有的溶剂。同时,聚四氟乙烯具有耐高温的特点,它的摩擦系数极低。PTFE 纤维是以聚四氟乙烯为原料,经纺丝或制成薄膜后切割或原纤化而制得的一种合成纤维,耐腐蚀、摩擦系数小、化学稳定性好,具有较好的耐气候性及抗挠曲性,主要用作垃圾焚烧炉和煤锅炉用的排气净化滤材、非金属轴承、减低摩擦用的塑料填料和缝纫丝等,其中,过滤材料是目前 PTFE 最大的应用领域。由 PTFE 纤维制作的高温粉尘滤袋已作为都市垃圾焚烧炉的滤袋而被广泛使用。

聚苯并咪唑(PBI)纤维是一种具有优良耐热性能的高性能阻燃纤维,在 500℃ 以上热失重小于 5%。在众多的高性能纤维中,PBI 具有较佳的纺丝性能。PBI 纤维还具有优异的阻燃性能,极限氧指数在 41 以上,使其成为耐热耐燃纤维的首选材料,被誉为纤维中的“耐燃之王”。在空气中,即使在 550℃ 的高温下,PBI 纤维既不熔融,也不形成融滴。即使在 800℃ 以上的火焰中燃烧,也不产生任何有毒有害气体,没有任何烟雾产生,一旦火源离开,PBI 纤维瞬间自熄。此外,其织物具有很好的尺寸稳定性,即使长期暴露在 600℃ 以上的高温下,仅收缩 10%,且碳化后,PBI 纤维织物仍能保持完整性和柔软性,且在 400℃ 以下

力学强度几乎保持不变。特别难得的是,PBI 还具有非常优异的耐低温性能,可以在极端低温环境下保持良好的力学性能。因此,PBI 纤维广泛用作耐热防火纺织物、高性能过滤用品等。

聚砒酰胺(又称聚苯砒对苯二甲酰胺,PSA)是一种特种共聚物,由 4,4'-二氨基二苯砒、3,3'-二氨基二苯砒和对苯二甲酰氯等为主要原料聚合而成,由于引入了对苯结构和砒基,在大分子链上存在强吸电子的砒基基团,通过苯环的双键共轭作用,使其分子具有优良的耐热性、热稳定性、高温尺寸稳定性、阻燃性、电绝缘性及抗辐射性,同时聚砒酰胺具有良好的物理力学性能、化学稳定性和染色性。PSA 纤维可以在 250℃ 高温下长期使用,在国防军工和现代工业上有着重要的用途,它的染色性能优良,织物手感柔软,是消防服、特种军服、石油工作服、电焊服等特种防护服装的理想原材料。

本书由姜振华教授和张云鹤博士负责全书统稿,第 1 章由吉林大学王贵宾教授和栾加双博士撰写,第 2 章由四川大学叶光斗教授和刘鹏清博士撰写,第 3 章由浙江理工大学郭玉海教授和张华鹏博士撰写,第 4 章由东华大学徐世爱教授撰写,第 5 章由上海特安纶纤维有限公司汪晓峰高级工程师和吴佳工程师撰写。限于作者的学识水平,尽管做了种种努力,不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

作者
2016 年 11 月

目录

Contents

第 1 章	聚醚醚酮 (PEEK) 纤维	001
1.1	PEEK 树脂及纤维概述	001
1.1.1	PEEK 树脂概述	001
1.1.2	PEEK 纤维概述	007
1.2	PEEK 纤维的种类	009
1.2.1	PEEK 复丝	009
1.2.2	PEEK 单丝	010
1.2.3	中空 PEEK 纤维	010
1.2.4	PEEK 超细纤维	012
1.3	PEEK 纤维的制备	015
1.3.1	PEEK 熔体的流变性能与可纺性	015
1.3.2	PEEK 纤维纺丝设备	021
1.3.3	PEEK 纤维纺丝工艺	027
1.3.4	PEEK 纤维的后处理	033
1.4	PEEK 纤维的性能	045
1.4.1	PEEK 纤维的物理性能	045
1.4.2	PEEK 纤维的化学特性	046
1.4.3	PEEK 纤维热稳定性	047
1.4.4	PEEK 纤维尺寸稳定性	047
1.4.5	耐紫外光老化性能	048
1.5	PEEK 纤维的应用	048
1.5.1	工业领域	048
1.5.2	医学领域	051
1.5.3	复合材料	051
1.5.4	其他领域	055
1.6	PEEK 纤维的最新研究成果与展望	055

参考文献	056
第2章 聚苯硫醚(PPS)纤维	060
2.1 PPS树脂及纤维概述	060
2.1.1 PPS树脂概述	060
2.1.2 PPS纤维概述	069
2.2 PPS切片的质量指标、可纺性及干燥	073
2.2.1 PPS树脂的质量指标	073
2.2.2 PPS切片的可纺性	074
2.2.3 PPS切片的干燥	076
2.3 PPS纤维的制备	077
2.3.1 PPS纤维的纺丝	077
2.3.2 PPS纺丝细流的拉伸及冷却	080
2.3.3 PPS纤维的上油、集束及落桶或卷绕	081
2.3.4 PPS纤维的后处理	081
2.4 PPS纤维的结构及性能	084
2.4.1 PPS纤维结构	084
2.4.2 PPS纤维性能	087
2.5 PPS纤维的改性	090
2.5.1 提高抗老化性	090
2.5.2 提高耐热性	091
2.5.3 提高耐磨性	092
2.5.4 力学性能改善	092
2.5.5 可纺性改善	093
2.5.6 纤维的表面处理改性	094
2.5.7 纤维成本控制	094
2.5.8 其他改性	095
2.6 PPS纤维的应用	095
2.7 展望	097
参考文献	098
第3章 聚四氟乙烯(PTFE)纤维	100
3.1 PTFE树脂及纤维概述	100
3.1.1 PTFE树脂概述	100
3.1.2 PTFE纤维概述	106

3.2	PTFE 纤维的膜裂法纺丝	108
3.2.1	膜裂法纺丝加工技术概述	108
3.2.2	膜裂法纺丝加工技术原理	108
3.2.3	膜裂法纺丝加工工艺	109
3.3	PTFE 纤维的乳液纺丝	127
3.3.1	乳液纺丝加工技术概述	127
3.3.2	乳液纺丝加工技术原理	128
3.3.3	乳液纺丝加工工艺	130
3.4	PTFE 纤维的糊料挤出纺丝	134
3.4.1	糊料挤出纺丝加工技术概述	134
3.4.2	糊料挤出纺丝加工技术原理及加工工艺	135
3.5	PTFE 纤维的性质及应用领域	138
3.5.1	PTFE 纤维的性质	138
3.5.2	PTFE 纤维的应用领域	140
3.6	PTFE 纤维的制备和加工技术展望	143
3.6.1	三种加工技术的对比	143
3.6.2	国内外发展趋势	144
	参考文献	148

第4章 聚苯并咪唑(PBI)纤维 152

4.1	PBI 树脂及纤维概述	152
4.1.1	PBI 树脂概述	152
4.1.2	PBI 纤维概述	163
4.2	PBI 纤维的制备	165
4.2.1	纺丝液的制备	166
4.2.2	干法纺丝	167
4.2.3	纤维的水洗和干燥	167
4.2.4	拉伸	167
4.2.5	酸处理	168
4.2.6	染色	168
4.3	PBI 纤维的性能	169
4.3.1	PBI 结构与性能之间的关系	169
4.3.2	PBI 纤维的性能	170
4.4	PBI 纤维的改性研究	173

4.5	PBI 纤维的应用	175
4.5.1	耐热防火纺织物	175
4.5.2	高性能过滤用品	176
4.5.3	其他应用	176
4.6	展望	176
	参考文献	177
第5章	聚砜酰胺 (PSA) 纤维	184
5.1	PSA 树脂及纤维概述	184
5.1.1	PSA 树脂概述	184
5.1.2	PSA 纤维概述	184
5.2	PSA 纤维的制备	185
5.2.1	PSA 纤维的纺丝工艺	185
5.2.2	PSA 纤维的流变性能与可纺性	186
5.2.3	PSA 纤维的超分子结构延纺程	187
5.3	PSA 纤维的性能	189
5.3.1	PSA 纤维的物理性能	189
5.3.2	PSA 纤维的化学特性	190
5.3.3	PSA 纤维的其他性能	191
5.4	PSA 纤维的改性	191
5.4.1	PSA 的化学结构	191
5.4.2	PSA 的溶液特性	193
5.4.3	PSA 纤维的纺丝工艺	196
5.4.4	PSA 纤维的形态和结构	197
5.5	PSA 纤维的应用	199
5.5.1	防护制品	199
5.5.2	耐高温过滤材料	201
5.5.3	电绝缘材料	202
5.5.4	蜂窝结构材料	202
5.5.5	摩擦密封材料	203
5.5.6	复合材料	203
5.5.7	其他工业织物	203
5.6	PSA 纤维的发展与展望	203
	参考文献	204

第 1 章

聚醚醚酮(PEEK)纤维

1.1 PEEK 树脂及纤维概述

1.1.1 PEEK 树脂概述

聚醚醚酮(Polyether Ether Ketone, PEEK)是聚芳醚酮类聚合物中性能最为优异的一个品种,是继氟塑料之后的又一性能出色的热塑性树脂。它具有优异的力学性能,以及耐高温、耐腐蚀、阻燃、耐辐照、电绝缘性高、产品尺寸稳定等优良性能^[1-3]。在航天、航空、核能、信息、通信、电子电器、石油化工、机械制造、汽车等领域的高技术中得到了成功的应用^[2,4,5]。

1.1.1.1 PEEK 的合成

聚芳醚酮自 20 世纪诞生以来,其品种不断增加。首次合成出聚醚醚酮(PEKK)是在 1962 年,由美国杜邦(Dupont)公司科研人员 Bonner 利用亲电路线(图 1-1)合成。



图 1-1 聚醚醚酮 Bonner 合成方法

而 PEEK 的首次合成是在 1972 年,由英国 ICI 公司科研人员 Rose 采取亲核取代路线(图 1-2)合成制备出高分子量的 PEEK。自 20 世纪 80 年代以来,PEEK 得到蓬勃发展。其中以 ICI 公司的 Victrex®(威格斯)为代表的 PEEK 树脂快速商品化。德国巴斯夫(BASF)、美国杜邦公司等也相继研发出具有自主知识产权的类似产品^[2,6]。

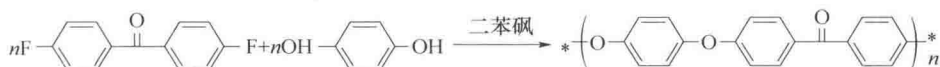


图 1-2 高分子量 PEEK 的合成方法



自此,聚芳醚酮的开发步入一个新阶段(表 1-1)。国内对聚芳醚酮的研究也在这个时期相继展开。吉林大学依靠自主研发,先后开发出了聚醚醚酮(PEEK)、聚醚酮(PEK)、聚醚醚酮酮(PEKK)、联苯聚醚醚酮(PEDEK)等一系列耐高温特种工程塑料品种,目前已申请相关国家发明专利 170 多项,获得国家发明专利 140 多项。所研究开发的高性能聚合物性能优异,达到国外同类产品性能指标,在“八五”、“九五”和“十五”期间实现了批量化生产和产业化,满足了国内军工和民用市场的需求。近年来,除聚芳醚酮类树脂的合成工作之外,吉林大学还对 PEEK 基复合材料、PEEK 薄膜、PEEK 纤维等进行了大量研究工作。国内其他科研机构,如长春应用化学研究所、江西师范大学、大连理工大学等也对一些聚芳醚酮的品种展开了相关研究工作,取得了一定的成果。

表 1-1 典型聚芳醚酮介绍

产品		$T_g/^{\circ}\text{C}$	$T_m/^{\circ}\text{C}$	公司
PEEK		143	334	ICI(Victrex)
PEK		158	373	ICI(Victrex)
PEKK		170	388	Dupot(Aretone)
PEKEKK		166	384	BASF(Ultra PEK)
PEEKK		162	367	Hoechst(Hostatec)

1.1.1.2 PEEK 的性质

PEEK 是一种半结晶性热塑性耐高温树脂,通常制品的结晶度为 20% ~ 30%,玻璃化转变温度(T_g)为 143℃,熔融温度(T_m)为 343℃,其主要性能如下:

1. 优良的耐热性能

PEEK 的熔点为 343℃,可在 260℃长期使用,其负载热变形温度高达 316℃(30% GF 或 CF 增强牌号)。PEEK 的耐热老化性能也很出色,测试 250℃热老化后的弯曲强度保留率可以超过 5000h,而 PPS 不足 3000h,PA66 以及 PBT 更是低于 500h^[7-10]。

2. 优良的力学性能

PEEK 具有高强度和模量,抗冲击和韧性好,是韧性和刚性兼备的材料。

尤其是它对交变应力的耐蠕变、耐疲劳性能在热塑性树脂中最为优异^[7] (表 1-2)。

表 1-2 几种特种塑料的物理性能比较

塑料	PEEK	PTFE	PPO	PI
拉伸强度/MPa	97	20	66	120
拉伸模量/GPa	2.8	0.4	2.7	—
弯曲强度/MPa	142	13	110	176
弯曲模量/GPa	3.7	—	2.0	3.3
压缩强度/MPa	130	12	100	167
冲击强度(缺口简支梁)/(kJ/m ²)	4.44	0.16	0.09	0.10
线膨胀系数(10~180℃)/(10 ⁻⁵ /℃)	4.8	11	5.6	6.3
热变形温度(1.82MPa)/℃	152	55	190	—

3. 出色的耐磨性能

PEEK 具有优良的耐摩擦性与自润滑性,在较高温度下(250℃)保持低摩擦系数和磨损率^[2]。PEEK 纯树脂与 H10 Wheel 材质对磨的磨耗量为 2.7×10^{-4} g, 与 S17 Wheel 材质对磨的磨耗量为 9.7×10^{-4} g^[8]。

4. 良好的尺寸稳定性

PEEK 树脂的刚性较大,线膨胀系数小,尺寸稳定性优良。

5. 优良的阻燃性能

PEEK 具有自熄性。其阻燃性达到 UL94 V-0 级,极限氧指数(LOI)为 35, 燃烧时发烟量很小,完全燃烧时只产生 CO₂ 和 H₂O。

6. 优异的耐溶剂性能

PEEK 是非常稳定的聚合物,具有优异的耐化学药品性,除了浓硫酸外,几乎不溶于其他任何酸碱或有机溶剂,它的耐腐蚀性与镍钢相近^[2,7]。PEEK 几乎不受水和高压水蒸气的化学影响,23℃ 下饱和吸水率只有 0.5%,可在高温高压的热水或蒸汽中连续使用而保持优异特性。

7. 出众的绝缘性能

PEEK 具有优良的电绝缘性能,可在高温下保持稳定。介电常数 3.2~3.3, 在 1kHz 条件下介电损耗 0.0016,击穿电压 17kV/mm,耐弧性 175V,可以作为 C 级绝缘材料^[2,11,12]。

8. 极佳的耐辐照性

PEEK 具有很强的耐 γ 射线辐照的能力,耐辐照剂量高。由 PEEK 制成的高性能电线,在 1100Mrad 的辐照剂量下仍能保持很高的绝缘能力,其耐辐照能力超过通用耐辐照材料聚苯乙烯。

1.1.1.3 PEEK 的制品及其应用

PEEK 应用产品的种类丰富,主要有复合材料,注塑成型品,板材、棒材、管

材等挤出成型品,涂层、薄膜以及 PEEK 纤维^[1]。近年来随着 PEEK 研发与市场化推进,其产品在航空航天、汽车行业、工业、医疗等领域都有广泛的应用。

1. 复合材料

PEEK 复合材料是其应用最为广泛的产品之一。PEEK 复合材料以其易加工,成型后不需保养,耐冲击、抗蠕变、耐疲劳、耐热、耐湿热性以及易修补性好而备受关注。复合材料制品最为广泛地应用于航空航天、汽车行业、工业、医疗等领域^[13,14]。

1) 汽车领域

PEEK 以其高强度、抗蠕变、耐热、耐磨、耐疲劳等优异性能在汽车等行走机械领域得到广泛应用^[4]。以塑代钢用以制作汽车的多种零部件,如发动机内罩、压缩机的阀片、轴承、垫片、密封件、离合器齿轮、过滤油网等,在汽车的传动、刹车和空调系统中多个部位(图 1-3)成功应用^[7]。

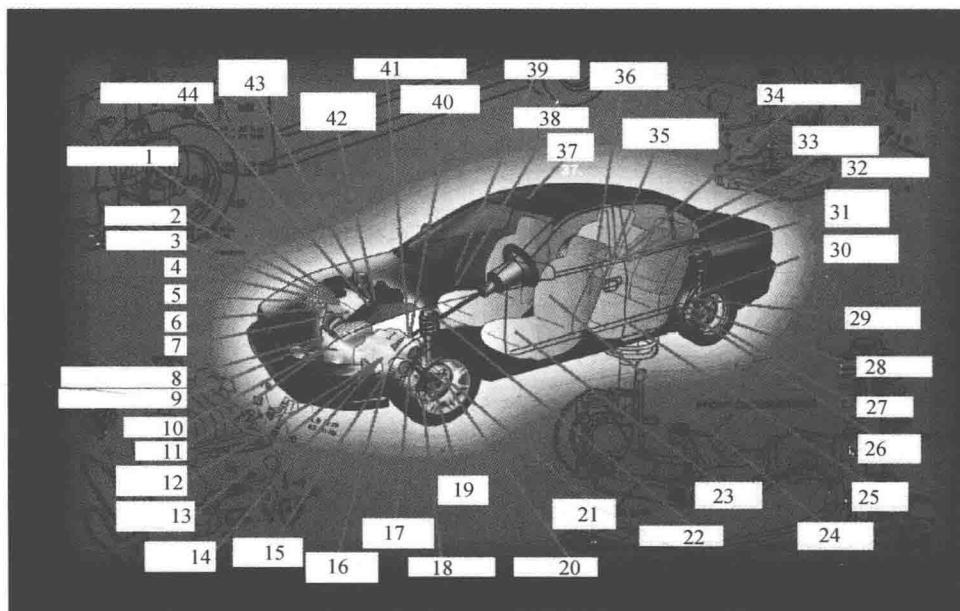


图 1-3 PEEK 可用于制造汽车零部件^[15]

- 1—正时皮带器;2—油泵转子;3—油泵齿轮;4—油泵轴;5—分配齿轮;6—水泵叶轮;
- 7—发动机密封;8—涡轮增压叶轮;9—涡轮增压连接;10—O₂ 传感器;11—O₂ 传感线;
- 12—传动垫磨片;13—传动止推垫圈;14—传动轴衬;15—传动阀;16—传动过滤部;
- 17—传动密封;18—球连接衬层;19—滚针轴承;20—U—连接轴承;21—前轮连接杆连接衬层;
- 22—ABS 刹车密封;23—电源密封组件;24—电源气窗联动开关;25—燃料管线连接;
- 26—刹车磨损传感器;27—轮胎双头螺栓;28—轴承罩;29—车轮传感器;30—闸缸组件;
- 31—减振器组件;32—燃油泵齿轮;33—燃油泵电机组件;34—燃油泵轴衬;35—电气车窗电机推力插头;
- 36—电机止推垫圈;37—天窗齿轮;38—HVAC 传动装置;39—绝缘带;40—电力转向装置;
- 41—转向轴绝缘体;42—保护编结管套;43—EGR 温度传感器;44—节气门套管。