

硅烷偶联剂

——原理、合成与应用

SiR_3

张先亮 唐红定 廖俊 编著

HSiR_3



SiR_3



化学工业出版社

硅烷偶联剂

——原理、合成与应用



销售分类建议：高分子材料

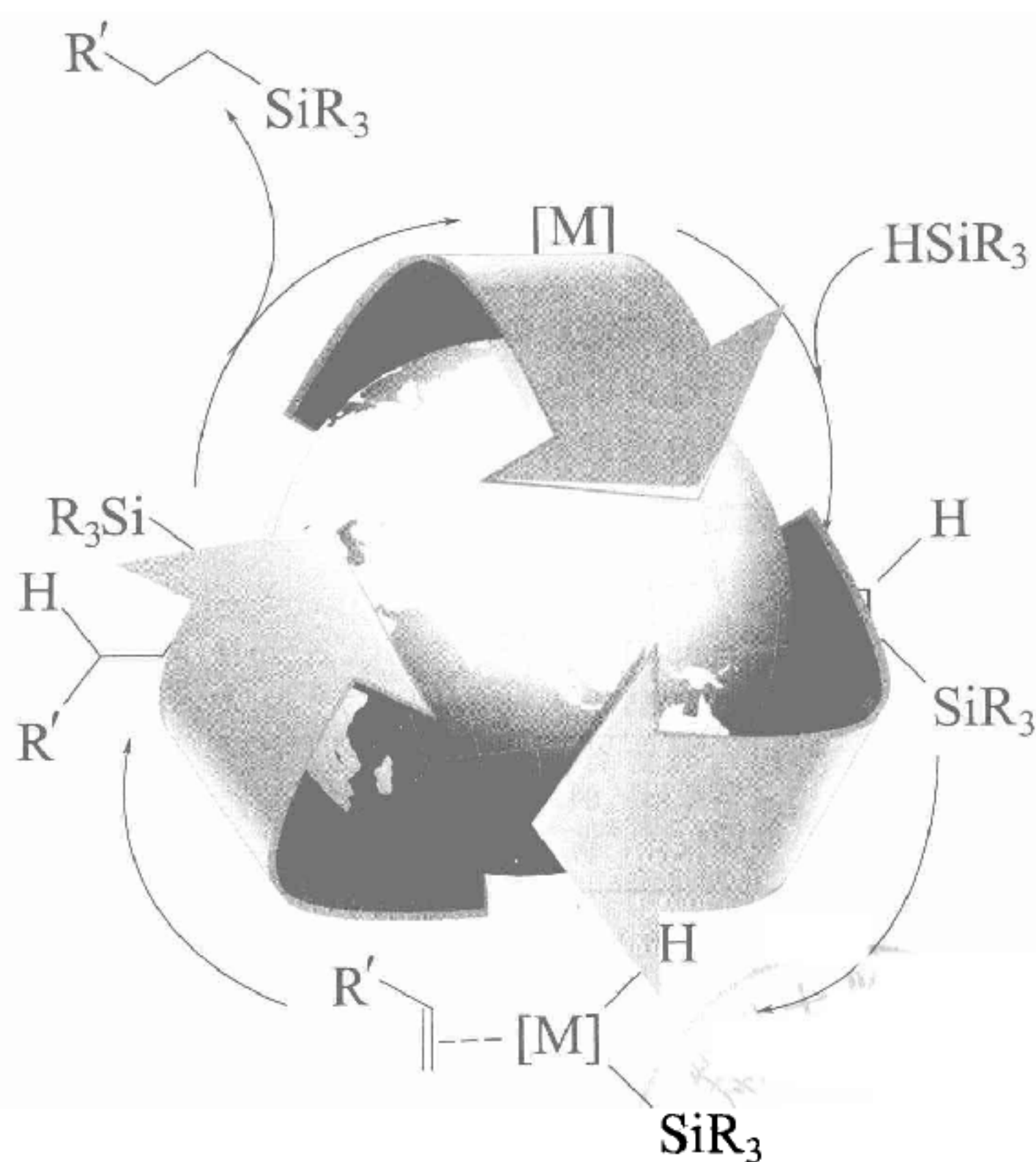


定价：78.00 元

硅烷偶联剂

——原理、合成与应用

张先亮 唐红定 廖俊 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书介绍了硅烷偶联剂的原理、合成与应用的相关知识,具体内容包括:硅烷偶联剂基础知识,合成硅烷偶联剂的基础原料,硅氢化反应,氯代烃基氯硅烷,3-氯丙基烷氧基硅烷,具有硅官能团的氰烃基硅烷化合物,氨(胺)烃基硅烷偶联剂,烯烃基硅烷偶联剂,甲基丙烯酰氧烃基硅烷偶联剂,硅烷偶联剂的其他重要品种,硅烷偶联剂用于有机聚合物复合材料中的原理,硅烷偶联剂在有机聚合物复合材料中的应用,硅烷偶联剂用于聚合物改性和功能材料的制备,硅烷偶联剂用于金属表面处理。

本书可供从事硅烷偶联剂研究、生产和拓展应用领域的工程技术人员和管理人员使用,也可供大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

硅烷偶联剂——原理、合成与应用/张先亮,唐红定,
廖俊编著. —北京:化学工业出版社,2011.11
ISBN 978-7-122-12400-5

I. 硅… II. ①张…②唐…③廖… III. 硅烷-偶联剂-
研究 IV. TQ264.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 195600 号

责任编辑:仇志刚
责任校对:吴 静

文字编辑:颜克俭
装帧设计:杨 北

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:北京永鑫印刷有限责任公司
装 订:三河市万龙印装有限公司
710mm×1000mm 1/16 印张 27½ 字数 567 千字 2012 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:78.00 元

版权所有 违者必究

前 言

硅烷偶联剂是有机硅化学中极具特色的一类化合物，它既含有能与有机聚合物反应的碳官能团，又具易水解和缩聚的特点，还能形成与无机物料表面化学键合的硅官能团。因此，有机-无机物质通过它可以分别化学键合偶联于一体。研究和开发者利用这类化合物如此的反应特性，已将它们运用于有机聚合物复合材料制备和应用，开发出多种多样加工性能良好、力学性能优良、在不同环境下使用性能稳定的树脂基复合材料、橡胶制品、涂装、胶黏和密封材料以及用于金属表面硅烷化保护膜层。借助于这类能与有机聚合物反应，又能与有机硅化合物或聚合物化学键合的硅烷偶联剂，还将其运用于有机聚合物或有机聚硅氧烷改性，已创造出品种繁多的改性聚合物，其发展势头方兴未艾。近代一些性能独特的无机/有机杂化材料出现，固载化催化剂和固定化酶以及不受有机溶剂影响具分离功能的材料制备，硅烷偶联剂已成为它们不可缺少的合成原料。硅烷偶联剂这类具碳官能团的有机硅化合物还像有机化合物一样，通过其碳官能团的反应还可衍生出新的有机硅化合物和更多功能产品。随着科技进步，这类化学结构的硅烷偶联剂用途还会不断拓展，其需求也会与日俱增。毫无疑问，随着市场竞争或环境保护要求提高，大家都希望能进一步改进硅烷偶联剂合成方法，提高合成反应原子利用率，减少副产物，以便降低生产成本，争取零排放或无污染排放，使我国硅烷偶联剂生产完全绿色化。这既是社会发展的需要，也是大家想促进有机硅产业进一步发展的必然之路。

基于上述原因，武汉大学有机硅化合物及材料教育部工程研究中心的研究者们，凭借研究开发硅烷偶联剂多年实践经验，以及阅读国内外的文献总结，希望能编写一本有关有机硅偶联剂合成、应用及其原理的书，以进一步提升我国有机硅烷偶联剂生产绿色化水平及其应用技术，促进我们有机硅偶联剂及相关产业进一步发展。该想法得到化学工业出版社的支持和帮助。这本书能在“十二五”开局之年顺利出版，我们感到无限欣慰。

本书共 14 章，涉及硅烷偶联剂合成和应用原理，不同硅烷偶联剂通性、特性和应用以及不同类型硅烷偶联剂具体合成方法描述和讨论。希望能满足研究、生产、拓展应用领域的工程技术人员和管理者不同的需求，共谋硅烷偶联剂的新发展。

本书中硅烷偶联剂基础知识，应用有关原理，合成用基础原料以及主要硅烷偶联剂制备及其方法讨论由张先亮执笔，合成硅烷偶联剂的硅氢化反应和硅烷偶联剂用于聚合物改性和功能材料的制备两章由唐红定编写，硅烷偶联剂在有机聚合物复合材料中应用和硅烷偶联剂用于金属材料表面处理两章由廖俊编写，全书内容安排

和审定由张先亮完成。胡海兰、王凤艳两位工程技术人员为本书检索文献、全书文字和图表电子版制作，以及文字和文献核对等做了大量工作。章基凯总工程师对出版本书提出了宝贵意见，给予我们热情支持。美国 Gelest 公司潘幼林先生为第 12 章提供了资料，甄广全、陈永言、张治民、吴先国、何运凡、高胜波、彭俊军等专家对有关论述提出过修改意见，化学工业出版社领导和编辑也为本书编写内容提出过宝贵意见，特此表示衷心感谢。

鉴于本书内容涉及知识面较广，编著者知识水平和认识理解的局限性，读者发现有不妥之处，敬请雅正。

张先亮

2011 年 7 月 武昌珞珈山

目 录

| | |
|------------------------------------|----|
| 第 1 章 硅烷偶联剂基础知识 | 1 |
| 1.1 硅烷偶联剂发展简述 | 1 |
| 1.1.1 硅烷偶联剂产生及其发展 | 1 |
| 1.1.2 硅烷偶联剂应用领域拓展 | 3 |
| 1.2 硅烷偶联剂含义、命名和分类 | 5 |
| 1.2.1 硅烷偶联剂含义和通式 | 5 |
| 1.2.2 硅烷偶联剂命名与分类 | 6 |
| 1.3 硅烷偶联剂合成路线概述 | 9 |
| 1.3.1 含氢氯硅烷为原料的合成路线 | 9 |
| 1.3.2 三烷氧基硅烷为原料的合成路线 | 9 |
| 1.3.3 卤代烷基烷氧基硅烷为原料的合成路线 | 10 |
| 1.3.4 硅烷偶联剂为中间体的合成路线 | 10 |
| 1.4 硅烷偶联剂的化学通性 | 10 |
| 1.4.1 硅官能团的化学反应 | 10 |
| 1.4.2 碳官能团的化学共性 | 14 |
| 1.4.3 碳官能团与硅的连接基团 ($-R'$) 对性能的影响 | 15 |
| 1.5 硅烷偶联剂溶液 | 16 |
| 1.5.1 中性硅烷偶联剂水溶液 | 17 |
| 1.5.2 氨(胺)烷基硅烷偶联剂水溶液 | 19 |
| 1.5.3 硅烷偶联剂的非水溶液 | 20 |
| 1.6 硅烷偶联剂生产绿色化 | 21 |
| 1.6.1 化学品生产绿色化含义 | 21 |
| 1.6.2 绿色化学、化工的基本概念 | 22 |
| 1.6.3 硅烷偶联剂合成反应绿色化举例 | 24 |
| 1.6.4 催化剂选择性的提高是硅烷偶联剂生产绿色化的关键 | 25 |
| 1.6.5 硅烷偶联剂生产过程连续化是降低 E -因子的有效办法 | 25 |
| 1.6.6 副产物综合利用是间接提高合成反应原子利用率的有效途径 | 26 |
| 1.7 促进硅烷偶联剂持续发展的相关工作 | 27 |
| 1.7.1 应用技术研究可促进潜在应用领域的拓展 | 27 |
| 1.7.2 硅/醇直接反应合成烷氧基硅烷产业链的延伸 | 29 |
| 参考文献 | 29 |

| | |
|-----------------------------------|----|
| 第 2 章 合成硅烷偶联剂的基础原料 | 31 |
| 2.1 硅及其工业生产简述 | 31 |
| 2.1.1 硅的性质 | 31 |
| 2.1.2 硅的炼制化学及其生产 | 32 |
| 2.1.3 工业硅国家标准 | 35 |
| 2.2 含氢氯硅烷 | 37 |
| 2.2.1 含氢氯硅烷物理化学性质 | 37 |
| 2.2.2 三氯硅烷的合成及影响因素 | 39 |
| 2.2.3 含氢甲基氯硅烷的制备 | 42 |
| 2.3 含氢烷氧基硅烷 | 49 |
| 2.3.1 含氢烷氧基硅烷的物理化学性质 | 50 |
| 2.3.2 醇解反应合成含氢烷氧基硅烷 | 52 |
| 2.3.3 直接法合成三烷氧基硅烷的国内外概况 | 54 |
| 2.4 硅/醇直接反应合成三烷氧基硅烷的产业化开发 | 57 |
| 2.4.1 硅/醇直接反应合成三烷氧基硅烷过程中的一些反应及其影响 | 57 |
| 2.4.2 硅/醇直接反应合成三烷氧基硅烷的工艺过程及反应装置 | 59 |
| 2.4.3 硅/醇直接反应合成三烷氧基硅烷的催化剂 | 62 |
| 2.4.4 硅/醇直接反应合成三烷氧基硅烷的原料 | 66 |
| 2.4.5 硅/醇直接反应合成三烷氧基硅烷的助剂 | 68 |
| 2.4.6 硅/醇直接反应合成三烷氧基硅烷的分离和纯化 | 69 |
| 2.4.7 硅/醇直接反应合成的三烷氧基硅烷的稳定性 | 69 |
| 参考文献 | 70 |
| 第 3 章 运用于硅烷偶联剂合成的硅氢化反应 | 73 |
| 3.1 硅氢化反应概述 | 73 |
| 3.1.1 自由基引发硅氢化反应 | 73 |
| 3.1.2 亲核-亲电催化硅氢加成反应 | 74 |
| 3.1.3 过渡金属及其配合物催化硅氢化反应 | 77 |
| 3.2 过渡金属或它的配合物催化硅氢化反应及其机理 | 79 |
| 3.2.1 过渡金属及其配合物催化反应过程基础知识简述 | 79 |
| 3.2.2 过渡金属及其配合物催化硅氢反应及其机理 | 83 |
| 3.3 过渡金属对催化硅氢化反应的影响 | 85 |
| 3.3.1 铂催化剂 | 85 |
| 3.3.2 铑催化剂 | 88 |
| 3.3.3 钌催化剂 | 89 |
| 3.3.4 铱催化剂 | 90 |
| 3.3.5 其他过渡金属催化剂 | 91 |
| 3.3.6 过渡金属催化剂反应活性比较 | 93 |

| | |
|--------------------------------------|-----|
| 3.4 配体或助剂对过渡金属及其配合物催化硅氢化反应的影响 | 94 |
| 3.4.1 配体及其影响 | 94 |
| 3.4.2 硅氢加成反应促进剂 | 96 |
| 3.4.3 硅氢加成抑制剂 | 99 |
| 3.5 反应底物对硅氢化反应的影响 | 102 |
| 3.5.1 不饱和化合物结构对硅氢化反应的影响 | 102 |
| 3.5.2 含氢硅烷结构对硅氢化反应的影响 | 106 |
| 3.6 硅氢化反应在硅烷偶联剂合成中的应用简述 | 109 |
| 参考文献 | 110 |
| 第4章 氯代烷基氯硅烷 | 115 |
| 4.1 3-氯丙基氯硅烷概述 | 115 |
| 4.1.1 3-氯丙基氯硅烷性质和应用 | 115 |
| 4.1.2 3-氯丙基氯硅烷的合成方法 | 117 |
| 4.2 Speier 催化剂催化硅氢化反应合成 3-氯丙基氯硅烷的研究 | 120 |
| 4.2.1 Speier 催化剂催化合成 3-氯丙基氯硅烷的反应条件优化 | 120 |
| 4.2.2 Speier 催化剂及其用于 3-氯丙基氯硅烷合成的活化 | 121 |
| 4.2.3 胺对 Speier 催化剂催化 3-氯丙基氯硅烷合成的影响 | 123 |
| 4.2.4 膦对 Speier 催化剂催化 3-氯丙基氯硅烷合成的影响 | 125 |
| 4.3 3-氯丙基氯硅烷产业化开发 | 127 |
| 4.3.1 国内用活化的 Speier 催化剂生产 3-氯丙基氯硅烷 | 127 |
| 4.3.2 国外用活化的 Speier 催化剂制备 3-氯丙基氯硅烷 | 128 |
| 4.3.3 Pt/C 催化硅氢化反应连续合成 3-氯丙基氯硅烷 | 129 |
| 4.3.4 采用催化硅氢加成反应蒸馏过程连续制备 3-氯丙基氯硅烷 | 131 |
| 4.3.5 离子液体催化相用于连续合成 3-氯丙基氯硅烷的装置及工艺过程 | 131 |
| 4.4 3-氯丙基氯硅烷有关合成的其他研究 | 133 |
| 4.4.1 膦配位铂络合物催化 3-氯丙基氯硅烷的合成 | 133 |
| 4.4.2 高分子负载过渡金属配位络合物催化合成 3-氯丙基氯硅烷 | 134 |
| 4.4.3 硅氢化反应合成 3-氯丙基氯硅烷的副反应讨论 | 135 |
| 4.5 氯代甲基氯硅烷 | 139 |
| 4.5.1 氯代甲基氯硅烷性质和应用 | 139 |
| 4.5.2 氯代甲基氯硅烷的合成 | 140 |
| 参考文献 | 142 |
| 第5章 3-氯丙基烷氧基硅烷 | 144 |
| 5.1 3-氯丙基烷氧基硅烷概述 | 144 |
| 5.1.1 3-氯丙基烷氧基硅烷及其特性和利用 | 144 |
| 5.1.2 3-氯丙基烷氧基硅烷合成路线述评 | 146 |

| | | |
|--------------|--|------------|
| 5.2 | 醇解法制备 3-氯丙基烷氧基硅烷 | 148 |
| 5.2.1 | 3-氯丙基氯硅烷醇解的实验室工作 | 148 |
| 5.2.2 | 3-氯丙基氯硅烷醇解工艺过程开发 | 149 |
| 5.3 | 硅氢化反应一步合成 3-氯丙基三烷氧基硅烷 | 152 |
| 5.3.1 | 硅氢化反应一步合成 3-氯丙基三烷氧基硅烷的催化剂 | 153 |
| 5.3.2 | 硅氢化反应合成 3-氯丙基三烷氧基硅烷的副反应及其产物 | 156 |
| 5.3.3 | 催化硅氢化反应合成 3-氯丙基三烷氧基硅烷的反应条件优化 | 158 |
| 5.3.4 | 硅氢化反应合成 3-氯丙基三烷氧基硅烷生产工艺过程简述 | 161 |
| | 参考文献 | 162 |
| 第 6 章 | 具硅官能团的氰烃基硅烷化合物 | 163 |
| 6.1 | 具硅官能团的氰烃基硅烷化合物概述 | 163 |
| 6.1.1 | 具硅官能团的氰烃基硅烷化合物 | 163 |
| 6.1.2 | 氰基对有机硅腈化合物稳定性的影响 | 164 |
| 6.1.3 | 具硅官能团的氰烃基硅烷合成方法述评 | 165 |
| 6.1.4 | 常用有机硅腈化合物物理常数 | 167 |
| 6.2 | 具硅官能团的 β -氰乙基硅烷化合物合成 | 168 |
| 6.2.1 | 硅氢加成反应合成 β -氰乙基氯硅烷的初期研究 | 168 |
| 6.2.2 | 三元催化体系催化硅氢化反应合成 β -氰乙基氯硅烷 | 170 |
| 6.2.3 | 二元催化体系催化硅氢化反应合成 β -氰乙基氯硅烷 | 173 |
| 6.2.4 | β -氰乙基烷氧基硅烷的合成 | 175 |
| 6.3 | 具硅官能团的氰烃基硅烷化合物反应性和物性的利用 | 176 |
| 6.3.1 | 利用具硅官能团的氰烃基硅烷制备硅烷偶联剂 | 176 |
| 6.3.2 | 具硅官能团的氰烃基硅烷水解-缩聚合成具羧酸侧基的聚硅 氧烷 | 176 |
| 6.3.3 | 利用硅腈化合物中氰基加成反应合成含氮碳官能团的有机 硅化合物 | 177 |
| 6.3.4 | 具硅官能团的 β -氰乙基硅烷用于制备有机硅材料及其特性 | 177 |
| | 参考文献 | 179 |
| 第 7 章 | 氨(胺)烃基硅烷偶联剂 | 181 |
| 7.1 | 氨(胺)烃基硅烷偶联剂概述 | 181 |
| 7.1.1 | 氨(胺)烃基硅烷偶联剂主要类型、通式及命名 | 181 |
| 7.1.2 | 氨(胺)烃基硅烷偶联剂的物理化学特性 | 181 |
| 7.1.3 | 氨(胺)烃基硅烷偶联剂的化学反应性及其利用 | 183 |
| 7.1.4 | 氨(胺)烃基硅烷偶联剂的合成方法述评 | 184 |
| 7.2 | 氨(胺)解合成法制备氨(胺)烃基硅烷偶联剂 | 185 |
| 7.2.1 | 卤代烃基硅烷的氨(胺)解 | 185 |
| 7.2.2 | 氨解反应合成 3-氨丙基硅烷偶联剂的研究及产业化开发 | 187 |

| | | |
|--------------|---|------------|
| 7.2.3 | 常用的胺烷基硅烷偶联剂合成及其产业化开发 | 189 |
| 7.3 | 催化氢化有机硅腈制备氨烷基硅烷偶联剂 | 192 |
| 7.3.1 | 腈的还原反应 | 192 |
| 7.3.2 | 催化氢化有机硅腈制备氨烷基硅烷偶联剂 | 193 |
| 7.3.3 | 氰烷基硅烷加氢催化剂及其反应操作与安全 | 194 |
| 7.4 | 烯丙胺硅氢化反应制备 3-氨丙基烷氧基硅烷 | 196 |
| 7.4.1 | 硅氢化反应一步合成 3-氨丙基烷氧基硅烷及其问题 | 196 |
| 7.4.2 | 均相络合催化烯丙胺硅氢化反应研究 | 198 |
| 7.4.3 | 多相催化烯丙胺硅氢化反应研究 | 201 |
| 7.5 | 氨(胺)烷基烷氧基硅烷为合成中间体衍生的硅烷偶联剂 | 202 |
| 7.5.1 | 异氰酸烷基烷氧基硅烷偶联剂合成及应用 | 203 |
| 7.5.2 | 脲(硫脲)烷基烷氧基硅烷偶联剂合成及其应用 | 204 |
| 7.5.3 | 具叠氮基的硅烷偶联剂合成及其性质 ^[66~70] | 205 |
| 7.5.4 | 氨烷基硅烷为原料制备特色的硅烷偶联剂或助剂 | 208 |
| | 参考文献 | 209 |
| 第 8 章 | 烯烷基硅烷偶联剂 | 212 |
| 8.1 | 烯烷基硅烷偶联剂概述 | 212 |
| 8.1.1 | 烯烷基硅烷偶联剂化学结构、通式与性能 | 212 |
| 8.1.2 | 常用烯烷基硅烷偶联剂物理常数 | 212 |
| 8.1.3 | 烯烷基硅烷偶联剂化学反应性及其应用 | 213 |
| 8.1.4 | 烯烷基硅烷偶联剂合成方法述评 | 215 |
| 8.2 | 热缩合法合成乙烯基氯硅烷的研究与产业化 | 219 |
| 8.2.1 | 研发历史与进展 | 219 |
| 8.2.2 | 热缩法合成乙烯基氯硅烷的影响因素 | 219 |
| 8.2.3 | 热缩合法生产乙烯基氯硅烷工艺过程开发 | 221 |
| 8.3 | 催化硅氢化反应合成乙烯基硅烷偶联剂研究及其工艺过程开发 | 223 |
| 8.3.1 | 多相催化硅氢化反应合成乙烯基氯硅烷 | 223 |
| 8.3.2 | 均相络合催化硅氢化反应合成乙烯基氯硅烷 | 225 |
| 8.3.3 | 均相络合催化硅氢化反应合成乙烯基烷氧基硅烷 | 227 |
| 8.3.4 | 聚合物负载金属络合物催化硅氢化反应合成乙烯基硅烷偶联剂 | 232 |
| 8.3.5 | 固载液相催化体系催化气相硅氢化反应合成乙烯基烷氧基 硅烷偶联剂 | 235 |
| | 参考文献 | 235 |
| 第 9 章 | 甲基丙烯酰氧烷基硅烷偶联剂 | 237 |
| 9.1 | (甲基)丙烯酰氧烷基硅烷偶联剂概述 | 237 |
| 9.1.1 | 化学结构、反应性及其利用 | 237 |
| 9.1.2 | 合成方法述评 | 239 |

| | | |
|---------------|-------------------------------------|------------|
| 9.2 | 催化硅氢化反应制备甲基丙烯酰氧丙基硅烷偶联剂 | 241 |
| 9.2.1 | 硅氢化反应合成甲基丙烯酰氧丙基硅烷偶联剂的原料 | 241 |
| 9.2.2 | 催化硅氢化反应合成甲基丙烯酰氧丙基硅烷化合物的副反应 | 243 |
| 9.2.3 | 催化硅氢化反应制备甲基丙烯酰氧丙基烷氧基硅烷 | 244 |
| 9.2.4 | 催化硅氢化反应制备甲基丙烯酰氧丙基氯硅烷及其醇解 | 248 |
| 9.2.5 | 制备甲基丙烯酰氧烷基硅烷偶联剂的阻聚及其机理 | 250 |
| 9.3 | 相转移催化反应及其用于甲基丙烯酰氧烷基硅烷偶联剂的合成 | 254 |
| 9.3.1 | 相转移催化反应及其催化剂概述 | 254 |
| 9.3.2 | 相转移催化合成甲基丙烯酰氧烷基硅烷偶联剂 | 257 |
| | 参考文献 | 261 |
| 第 10 章 | 硅烷偶联剂的其他重要品种 | 263 |
| 10.1 | 环氧烷基硅烷偶联剂 | 263 |
| 10.1.1 | 环氧烷基硅烷偶联剂概述 | 263 |
| 10.1.2 | 环氧烷基硅烷偶联剂反应性及其应用 | 265 |
| 10.1.3 | 均相络合催化硅氢化反应合成环氧烷基硅烷偶联剂 | 267 |
| 10.1.4 | 多相催化硅氢化反应制备环氧烷基硅烷偶联剂 | 274 |
| 10.1.5 | 高分子负载配位络合物催化硅氢化反应合成环氧烷基硅烷偶联剂 | 274 |
| 10.2 | 巯烷基硅烷偶联剂 | 275 |
| 10.2.1 | 巯烷基硅烷偶联剂概述 | 275 |
| 10.2.2 | 硫脲为原料合成巯烷基硅烷偶联剂 | 277 |
| 10.2.3 | 氢硫化钠用于制备巯烷基硅烷偶联剂 | 279 |
| 10.2.4 | 制备巯烷基硅烷偶联剂的其他方法 | 283 |
| 10.3 | 多巯烷基硅烷偶联剂 | 284 |
| 10.3.1 | 多巯烷基硅烷偶联剂概述 | 284 |
| 10.3.2 | 多巯烷基硅烷偶联剂合成方法述评 | 285 |
| 10.3.3 | 无水溶剂中多硫化物的亲核取代法制备多巯烷基硅烷偶联剂 | 286 |
| 10.3.4 | 相转移催化合成法制备多巯烷基硅烷偶联剂 | 289 |
| 10.3.5 | 新型的多巯烷基硅烷偶联剂 | 291 |
| 10.4 | 含季铵烷基硅烷偶联剂 | 292 |
| 10.4.1 | 含季铵烷基硅烷偶联剂化学结构及其特性和应用 | 292 |
| 10.4.2 | 具季铵基团的硅烷偶联剂合成 | 294 |
| | 参考文献 | 294 |
| 第 11 章 | 硅烷偶联剂运用于有机聚合物基复合材料中的原理 | 298 |
| 11.1 | 有机聚合物基复合材料及其界面 | 298 |
| 11.1.1 | 有机聚合物基复合材料 | 298 |

| | | |
|---------------|-----------------------------|------------|
| 11.1.2 | 有机聚合物基复合材料界面及有关性质 | 299 |
| 11.2 | 硅烷偶联剂用于有机聚合物复合材料的理论基础 | 301 |
| 11.2.1 | 化学键合理论 | 301 |
| 11.2.2 | 物理吸附理论 | 302 |
| 11.2.3 | 界面形成可变形层或约束层 | 303 |
| 11.3 | 有机聚合物基复合材料中的无机物料及其表面性质 | 304 |
| 11.3.1 | 有机聚合物基复合材料中无机物料的表面性质 | 304 |
| 11.3.2 | 硅烷偶联剂适于表面改性的无机物料及品种 | 308 |
| 11.3.3 | 具硅官能团的有机硅化合物在无机物料表面化学键合与成膜 | 313 |
| 11.4 | 硅烷偶联剂在有机聚合物基复合材料界面层的作用 | 317 |
| 11.4.1 | 硅烷偶联剂改善有机聚合物在无机物料表面的润湿性 | 318 |
| 11.4.2 | 硅烷偶联剂在有机/无机复合材料界面中化学键合 | 321 |
| 11.4.3 | 硅烷偶联剂在有机聚合物基复合材料中形成互穿网络界面层 | 322 |
| 11.4.4 | 硅烷偶联剂在有机聚合物基复合材料界面的其他作用 | 324 |
| | 参考文献 | 324 |
| 第 12 章 | 硅烷偶联剂在有机聚合物复合材料中的应用 | 326 |
| 12.1 | 硅烷偶联剂的选择及其使用方法 | 326 |
| 12.1.1 | 适用于有机聚合物复合材料中的硅烷偶联剂 | 326 |
| 12.1.2 | 硅烷偶联剂在有机聚合物复合材料中的使用方法 | 327 |
| 12.2 | 硅烷偶联剂用于无机物料表面改性 | 331 |
| 12.2.1 | 概述 | 331 |
| 12.2.2 | 硅烷偶联剂在无机物料表面改性中的应用 | 332 |
| 12.3 | 硅烷偶联剂用于热固性树脂基复合材料 | 336 |
| 12.3.1 | 概述 | 336 |
| 12.3.2 | 硅烷偶联剂在热固性树脂基复合材料中的应用 | 337 |
| 12.4 | 硅烷偶联剂用于热塑性树脂基复合材料 | 341 |
| 12.4.1 | 概述 | 341 |
| 12.4.2 | 硅烷偶联剂在热塑性树脂基复合材料中的应用 | 342 |
| 12.5 | 硅烷偶联剂在橡胶中的应用 | 345 |
| 12.5.1 | 概述 | 345 |
| 12.5.2 | 硅烷偶联剂在橡胶中的应用 | 347 |
| 12.6 | 硅烷偶联剂在涂料、胶黏剂和密封胶中的应用 | 352 |
| 12.6.1 | 硅烷偶联剂在涂料中的应用 | 352 |
| 12.6.2 | 硅烷偶联剂在胶黏剂中的应用 | 355 |
| 12.6.3 | 硅烷偶联剂在密封胶中的应用 | 360 |
| | 参考文献 | 365 |
| 第 13 章 | 硅烷偶联剂用于聚合物改性和功能材料的制备 | 368 |

| | | |
|-------------|-------------------------|------------|
| 13.1 | 硅烷偶联剂用于有机高分子化合物改性 | 368 |
| 13.1.1 | 硅烷偶联剂用于制备端硅烷基聚氨酯 | 368 |
| 13.1.2 | 硅烷偶联剂用于制备端硅烷基聚醚 | 372 |
| 13.1.3 | 硅烷偶联剂用于聚烯烃交联改性 | 375 |
| 13.1.4 | 硅烷偶联剂用于丙烯酸树脂改性 | 380 |
| 13.1.5 | 硅烷偶联剂用于合成有机硅改性环氧聚合物 | 381 |
| 13.2 | 硅烷偶联剂用于有机硅高分子合成 | 382 |
| 13.2.1 | 硅烷偶联剂用于合成氨烷基改性硅油 | 382 |
| 13.2.2 | 硅烷偶联剂用于合成环氧烷基改性硅油 | 383 |
| 13.2.3 | 硅烷偶联剂用于合成(甲基)丙烯酸酯烷基改性硅油 | 384 |
| 13.2.4 | 硅烷偶联剂用于合成氯烷基改性硅油 | 384 |
| 13.3 | 硅烷偶联剂用于合成大分子单体 | 385 |
| 13.3.1 | 大分子单体概述 | 385 |
| 13.3.2 | 硅烷偶联剂用在大分子单体合成中的应用 | 385 |
| 13.4 | 硅烷偶联剂用于含功能基的笼型倍半硅氧烷的制备 | 386 |
| 13.4.1 | 笼型倍半硅氧烷概述 | 387 |
| 13.4.2 | 硅烷偶联剂在笼型倍半硅氧烷制备中的应用 | 388 |
| 13.5 | 硅烷偶联剂用于功能材料制备 | 391 |
| 13.5.1 | 硅烷偶联剂用于酶的固定化 | 391 |
| 13.5.2 | 硅烷偶联剂用于过渡金属催化剂的固载化 | 393 |
| 13.5.3 | 硅烷偶联剂用于光电功能材料的合成 | 393 |
| 13.5.4 | 硅烷偶联剂用于分离材料的制备 | 398 |
| | 参考文献 | 401 |
| 第14章 | 硅烷偶联剂用于金属表面处理 | 405 |
| 14.1 | 金属表面处理概述 | 405 |
| 14.1.1 | 硅烷偶联剂用于金属表面处理的作用机理 | 406 |
| 14.1.2 | 用于金属表面处理的硅烷偶联剂品种 | 407 |
| 14.1.3 | 硅烷化技术相对于磷化技术的优势 | 407 |
| 14.2 | 硅烷化处理工艺 | 409 |
| 14.2.1 | 硅烷化技术工艺流程 | 409 |
| 14.2.2 | 硅烷化技术工艺中的影响因素 | 409 |
| 14.3 | 各类金属的有机硅烷表面处理实例 | 410 |
| 14.3.1 | 铝合金表面硅烷化处理 | 410 |
| 14.3.2 | 钢铁表面硅烷化防腐涂层 | 411 |
| 14.3.3 | 镀锌钢板表面硅烷化处理 | 413 |
| 14.4 | 有机硅烷涂层的结构和性能表征 | 413 |
| 14.4.1 | 结构和性能表征的主要方法 | 414 |

- 14.4.2 结构和性能表征实例..... 416
- 14.5 有机硅烷化处理金属表面技术的具体应用..... 418
 - 14.5.1 汽车行业中的应用..... 419
 - 14.5.2 家电行业中的应用..... 421
 - 14.5.3 航空、航天行业中的应用..... 423
 - 14.5.4 金属文物保护中的应用..... 424
- 参考文献..... 426