

GH 现代化学专著系列·典藏版 17

聚酰亚胺

——单体合成、聚合 方法及材料制备

丁孟贤 编著



科学出版社

现代化学专著系列·典藏版 17

聚 酰 亚 胺

——单体合成、聚合方法及材料制备

丁孟贤 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是继《聚酰亚胺——化学、结构与性能的关系及材料》之后,介绍聚酰亚胺相关单体合成、聚合方法和材料制备的着重于方法论的专著,是上一本书的姊妹篇。本书分3编,共13章:第I编为单体合成,包括酞类化合物、胺类化合物、马来酰亚胺类化合物及其他化合物的合成等4章;第II编为聚合方法,包括在过程中形成酰亚胺环的聚合、由带酰亚胺环的单体的聚合、双马来酰亚胺的聚合和大分子反应等4章。第III编为材料制备,包括膜状材料、粒状材料、纤维、泡沫材料及杂化材料等5章。

本书取材自国内外原始文献,凡是本书作者已经实际检验过的过程和方法都尽可能表达在其中。

本书可供从事高分子合成、性能、加工及应用的研究人员和研究生阅读,也是从事与高分子材料相关工作的工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

现代化学专著系列:典藏版/江明,李静海,沈家骢,等编著. —北京:科学出版社,2017.1

ISBN 978-7-03-051504-9

I. ①现… II. ①江… ②李… ③沈… III. ①化学 IV. ①O6

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第013428号

责任编辑:杨震黄海/责任校对:林青梅 邹慧卿

责任印制:张伟/封面设计:铭轩堂

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>

北京教图印刷有限公司印刷

科学出版社编务公司排版制作

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年1月第一版 开本:720×1000 B5

2017年1月第一次印刷 印张:63

印数:1—1800

字数:1460000

定价:7980.00元(全45册)

(如有印装质量问题,我社负责调换)



本书由

长春高琦聚酰亚胺材料有限公司

资助出版

序

本书是《聚酰亚胺——化学、结构与性能的关系及材料》的姊妹篇，着重介绍聚酰亚胺相关单体的合成、聚合方法及材料制备。

本书分3编，共13章：第I编为单体合成，包括酞类化合物、胺类化合物、双马来酰亚胺(BMI)类化合物及其他化合物的合成等4章。第II编为聚合方法，包括在过程中形成酰亚胺环的聚合、由带酰亚胺环的单体的聚合、马来酰亚胺的聚合和大分子反应等4章。第III编为材料制备，包括膜状材料、粒状材料、纤维、泡沫材料及杂化材料等5章。

本书的内容是方法论，取材自国内外原始文献。凡是本书作者已经实际检验过的过程和方法都尽可能表达在其中。但个人的实践经验毕竟有限，所以文献中原来存在的不尽合理之处也不可能完全给以纠正。众所周知，由于聚酰亚胺相关技术的价值较高，而且目前在商业上仍然非常活跃，文献中有关过程的叙述往往语焉不详，因此有些方法，尤其是材料制备，可能因为过于简略而不能简单地重复，但是原则上应该是可行的，这是本人提醒读者所必须注意的。

为了节省篇幅，也考虑到读者应该已经具备必要的专业知识，本书各章节介绍的内容都比较简略，例如略去了合成仪器的介绍，除非必要时给以注明，对于“水”应该理解为“蒸馏水”或“去离子水”，干燥剂也不注明“无水”等等。另外，如当量等行业中经常使用的名词，本书也予保留。

本章所列出的单体都是已见诸文献，被用于聚酰亚胺合成的化合物。酞类化合物以单元酞、二元酞及多元酞排序；胺类化合物也按照此原则排列。在每类化合物中又按照结构分类。考虑到要将所有的化合物都尽量列出，一些已经商品化的化合物只列出其结构和熔点，在合成方法中则特别注意到一些比较重要的化合物和典型的合成方法。对于复杂的化合物除反应式中采用编号外，名称直接采用英文。化合物的中文名称以简明为原则，并不一定采用规定的命名方法。每个化合物如果有通用的缩写代号也择要列出其中一个，以利查阅。个别化合物的合成方法未能查到，只能暂时告缺，待以后有机会补充。

聚酰亚胺是一个非常庞大的家族，本书共收集了400余个酞类化合物和千余个胺类化合物，所以已经报道的聚酰亚胺结构应该达到数千个，这是其他高分子品种所难以做到的。因此聚酰亚胺也为高分子的结构与性能的关系数据库积累了宝贵的资料，这就是本书决定逐个列出酞类和胺类化合物的原因。

为了明晰起见，本书第I编中的每个化合物都有编号，而且根据不同的种类在编号上都加以不同形式的括号，例如酞类化合物用【】，胺类化合物用〔〕，马来酰亚胺类化合物用<>，其他化合物则用「」。

由于聚酰亚胺相关文献的数量十分巨大，虽然在编写过程中尽量追求完备，但实际上是难以完全做到的，更何况聚酰亚胺的研究，尤其在材料领域仍然十分活跃，所以遗漏也就难

以避免。本书对一些常用的化合物采用了通用的英文字母缩写，在附录中列有缩写对照表。由于本书牵涉面很广，限于本人水平，难免存在错误，这里留下了我的电子邮箱，供读者联系，欢迎提出宝贵意见。

本书的出版得到中国科学院科学出版基金的资助，编著者在此表示最诚挚的感谢。

丁孟贤

中国科学院长春应用化学研究所

mxding@ciac.jl.cn

目 录

序

第 I 编 单 体 合 成

第 1 章 酞类化合物的合成	3
1.1 通论	3
1.1.1 酞类化合物的合成方法	3
1.1.2 带活性基团的苯酞衍生物醚化反应的影响因素	5
1.2 单元酞类化合物	8
1.2.1 苯酞	8
1.2.2 硝基苯酞	9
1.2.3 卤代苯酞	9
1.2.4 羟基苯酞	13
1.2.5 三酸酞及其酰氯	14
1.2.6 芳炔基苯酞	17
1.2.7 芳炔基-1,8-萘二酸酞	20
1.2.8 其他芳香单元酞	21
1.2.9 脂肪单元酞	22
1.3 苯二酞类化合物	29
1.3.1 均苯二酞和连苯二酞	29
1.3.2 单取代的均苯二酞	30
1.3.3 二取代的均苯二酞	33
1.3.4 3,6-二羟基均苯二酞	38
1.3.5 3,6-烷氧基均苯二酞	38
1.3.6 (联)苯氧基取代的均苯二酞	40
1.4 联苯二酞类化合物	42
1.4.1 联苯二酞	42
1.4.2 2,2'-取代联苯二酞	45
1.5 含有多联苯的二酞	51
1.6 二苯甲烷二酞类化合物	57
1.7 两个苯酞由脂肪链隔开的二酞	59
1.8 含炔基的二酞	62
1.9 含酮基的二酞	64

1.10	二苯甲醇四酸二酐及其酯	70
1.11	含苯胺结构的二酐	72
1.11.1	含仲胺基团的二酐	72
1.11.2	三苯胺二酐	73
1.12	偶氮二苯酐	74
1.13	二苯醚二酐	75
1.14	二苯硫醚二酐	77
1.15	二苯砜二酐	79
1.16	二醚二酐	79
1.16.1	中间为聚乙二醇链的二醚二酐	80
1.16.2	由二乙基胺连接的二醚二酐	81
1.16.3	三苯二醚二酐	82
1.16.4	四苯二醚二酐	90
1.16.5	多环二醚二酐	101
1.17	二硫醚二酐	103
1.18	在两个苯酐单元之间含有硅或锆的二酐	105
1.18.1	在两个苯酐单元之间含有硅链的二酐	105
1.18.2	在两个苯酐单元之间含有锆的二酐	110
1.19	含三并环的二酐	110
1.19.1	含三并苯单元的二酐	110
1.19.2	含氧杂蒽单元的二酐	113
1.19.3	其他三并环二酐	118
1.20	由偏苯三酸与二元醇、二元酚或二胺反应得到的含酯或酰胺单元的二酐	122
1.20.1	含酯基的二酐	122
1.20.2	含酰胺链的二酐	130
1.21	含六元或七元萘酐单元的二酐	133
1.22	脂肪二酐	141
1.23	硫代二酐	162
1.24	具有其他结构的二酐	163
1.25	三元酐	168
	参考文献	169
第 2 章 胺类化合物的合成		177
2.1	通论	177
2.1.1	二胺的合成方法	177
2.1.2	由硝基还原为氨基的方法	177
2.2	单元胺	178
2.2.1	含炔基的单元胺	178

2.2.2	含氮端基的高分子	182
2.2.3	其他单元胺	183
2.3	苯二胺	186
2.3.1	二氨基苯	186
2.3.2	单取代的苯二胺	187
2.3.3	3,5-二氨基二苯酮及其衍生物	190
2.3.4	二氨基苯甲酸及其酯	192
2.3.5	二氨基苯甲酰胺	199
2.3.6	二氨基苯胺类化合物	202
2.3.7	羟基及烷氧基取代苯二胺	204
2.3.8	杂环取代的苯二胺	211
2.3.9	带有生色团的苯二胺	215
2.3.10	带有软硬段侧链的苯二胺	221
2.3.11	苯二酰肼	223
2.3.12	二取代苯二胺	224
2.3.13	多取代的苯二胺	227
2.4	萘二胺	229
2.5	联苯胺类	230
2.5.1	联苯胺	230
2.5.2	单取代联苯胺	231
2.5.3	二取代联苯胺	233
2.5.4	多取代联苯胺	255
2.5.5	三联苯二胺类	258
2.5.6	多联苯二胺	265
2.6	二氨基二苯甲烷类	270
2.6.1	二氨基二苯甲烷	270
2.6.2	二取代二氨基二苯甲烷类	272
2.6.3	多取代二氨基二苯甲烷类	273
2.6.4	带硫醚取代基的二苯甲烷二胺	275
2.6.5	次甲基上有一个取代基的二氨基二苯甲烷类	276
2.6.6	次甲基上有二个取代基的二氨基二苯甲烷类	281
2.6.7	多次甲基多苯二胺	287
2.6.8	两个苯胺环之间由其他脂肪基团隔开的二胺	290
2.7	带炔基的二胺	294
2.8	带圈型基团的二胺	301
2.9	带酮基的二胺	306
2.10	以胺为连接基团的二胺	318
2.11	带酯键的二胺	331

2.12	带酰胺键的二胺	338
2.13	带氨基甲酸酯、脲和线型酰亚胺基团的二胺	348
2.14	带二酸盐的二胺	350
2.15	二苯醚二胺类	351
2.15.1	二苯醚二胺	351
2.15.2	单取代二苯醚二胺	352
2.15.3	多取代二苯醚二胺	354
2.16	二醚二胺类	359
2.16.1	带脂肪链的二醚二胺	359
2.16.2	带二酰肼的二醚二胺	369
2.16.3	带圈型结构的二醚二胺	370
2.16.4	芳香二醚二胺	376
2.17	硫醚二胺类	419
2.18	二苯砜二胺类	425
2.19	带磺酸基团的二胺	427
2.20	带磺酰胺基团的二胺	442
2.21	含金属磺酸盐的二胺	443
2.22	含硅和锆的二胺	445
2.22.1	含硅的二胺	445
2.22.2	含锆的二胺	454
2.23	含磷的二胺	454
2.24	含吡啶环的二胺	464
2.24.1	含一个吡啶环的二胺	464
2.24.2	2,6-二苯胺取代吡啶的二胺	469
2.24.3	含二个吡啶环的二胺	474
2.24.4	含吡啶盐的二胺	478
2.24.5	其他含吡啶环的二胺	480
2.25	含咪唑环的二胺	481
2.26	含噁唑环的二胺	488
2.27	含噻唑环的二胺	490
2.28	含嘧啶环的二胺	493
2.29	含吡嗪环的二胺	495
2.30	含三嗪环的二胺	502
2.31	含王冠醚单元的二胺	507
2.32	含其他杂环的二胺	509
2.33	含三稠环的二胺	519
2.33.1	蒽二胺和茈二胺	519
2.33.2	含茈及茈酮的二胺	520

2.33.3 含咪唑单元的二胺	523
2.33.4 其他含三稠环的二胺	528
2.34 带酰亚胺环的二胺	537
2.35 脂肪二胺	551
2.36 其他结构的二胺	559
2.37 多元胺	566
参考文献	579
第3章 马来酰亚胺类化合物	598
3.1 单马来酰亚胺	598
3.2 马来酸酐与胍的反应产物	602
3.3 由二胺与马来酸酐合成双马来酰亚胺(BMI)	602
3.4 有二酐参与反应所得到的 BMI	608
3.4.1 由现成的带酰亚胺单元的二胺与马来酸酐合成	608
3.4.2 由二胺与等摩尔的马来酸酐反应后再与二酐反应	609
3.5 由聚氨基甲酸酯得到的 BMI	610
3.6 由马来酰亚胺基苯甲酸或其衍生物得到的 BMI	610
3.6.1 由马来酰亚胺基苯甲酰氯(MBAC)与二元酐或二元醇得到的 BMI	610
3.6.2 由马来酰亚胺基苯甲酰氯(MBAC)与二元胺得到的 BMI	611
3.6.3 由马来酰亚胺基苯甲酰氯进行富氏反应得到的 BMI	612
3.7 由异氰酸马来酰亚胺基苯酯(MPI)得到的 BMI	613
3.8 由 <i>N</i> -(<i>p</i> -羟基苯基)马来酰亚胺得到的 BMI	614
3.9 由苯基马来酸酐得到的 BMI	616
3.10 氯代双马来酰亚胺	616
3.11 合成双马来酰亚胺的其他方法	617
3.12 双衣(柠)康酰亚胺	618
3.13 多马来酰亚胺	621
参考文献	624
第4章 其他化合物的合成	626
4.1 酞酰亚胺类化合物	626
4.1.1 单酞酰亚胺	626
4.1.2 双酞酰亚胺	629
4.2 偏苯三酸酐和二酐的部分酯化及其酰氯	634
4.3 二元酐	638
4.4 二元硫酐	653
4.5 二元胺和二元酐的硅化	655
4.5.1 脂肪二胺的硅烷化	655
4.5.2 芳香二胺的硅烷化	656

4.5.3 二元酚的硅烷化	657
4.6 二胺的酰化	659
4.7 二酸及其衍生物	660
4.7.1 带酰亚胺结构的二酸	660
4.7.2 其他二酸	664
4.8 带双键的化合物	665
4.8.1 双酚 A 的二烯丙基化合物	665
4.8.2 带烯丙基的酰亚胺化合物	665
4.8.3 带丙烯-2 的酰亚胺化合物	666
4.8.4 其他带双键的化合物	668
4.9 二炔基化合物	669
4.9.1 乙炔基化合物	669
4.9.2 苯炔基化合物	672
4.10 双二烯化合物	674
4.11 双[(三苯基)环戊二烯酮]	679
4.12 二异苯并咪喃	681
4.13 乙内酰脲	682
4.14 <i>N</i> -羟烷基二酞酰亚胺	685
4.15 二碘化合物	688
4.16 二环氧化合物	692
4.17 二氰酸酯	695
4.18 三氮烯	696
4.19 AB 单体	698
4.20 AB ₂ 单体	705
4.21 其他化合物	709
参考文献	716

第 II 编 聚合方法

第 5 章 在过程中形成酰亚胺环的聚合	723
5.1 二酐与二胺的缩聚	723
5.1.1 最早期的报道	723
5.1.2 用均相方法制备聚酰胺酸溶液	724
5.1.3 芳香二酐与脂肪二胺的聚合	725
5.1.4 以二胺与 TMA 在乙酸/乙醇中合成聚酰胺酰亚胺	725
5.1.5 聚酰胺酸的三乙胺盐	725
5.1.6 由二胺的盐酸盐以三乙胺作用后与二酐反应得到聚酰胺酸	726
5.1.7 在其他溶剂中合成聚酰胺酸	726

5.1.8	一步法合成聚酰亚胺	729
5.1.9	由二酐与二酰肼得到聚酰亚胺	729
5.1.10	由含有六元环酐单元的萘二酐与二胺反应得到聚酰亚胺	729
5.2	二酐与二胺衍生物的缩聚	731
5.2.1	二酐与硅烷化二胺的缩聚	731
5.2.2	二酐与酰化二胺缩聚	733
5.2.3	由二酐与二脲缩聚	734
5.3	四酸或偏苯三酸与二胺的缩聚	735
5.3.1	Yamazaki-Higashi 磷化法缩聚	736
5.3.2	由脂肪二胺与四酸得到盐, 再热酰亚胺化得到聚酰亚胺	737
5.3.3	高压缩聚	738
5.4	二酸二酯与二胺的缩聚	739
5.4.1	由二酸二酯与二胺直接混合得到高固含量的溶液	739
5.4.2	熔融缩聚	741
5.4.3	由二酸二酯与二胺直接加热合成聚酰亚胺	741
5.5	聚酰胺酯	742
5.5.1	由二酯二酰氯与二胺反应	742
5.5.2	二酸二酯在活化剂存在下与二胺聚合	744
5.6	以二酸或 TMA 的酰氯与二胺反应得到聚酰胺酰亚胺	745
5.7	二酐与二异氰酸酯的聚合	746
5.7.1	由被保护的二异氰酸酯与 TMA 反应得到聚酰胺酰亚胺	746
5.7.2	由二酐(或加部分二酸二酯)与二异氰酸酯的聚合	746
5.7.3	由二酐和四酸与二异氰酸酯聚合	747
5.7.4	有带异氰酸酯端基的聚合物参加的聚合	747
5.7.5	由二异氰酸酯与异氰酸酯反应得到聚 DCC, 然后与 TMA 反应再转化为聚酰胺酰亚胺	748
5.8	邻位二碘代芳香化合物和一氧化碳在钨催化下与二胺反应转化为聚酰亚胺	749
5.9	由酯基或酰胺基的邻位碘代芳香化合物在钨催化下与一氧化碳反应得到聚酰亚胺	749
5.9.1	由二酯的邻碘代物在钨催化下与一氧化碳反应	749
5.9.2	由二酰胺的邻碘代物在钨催化下与一氧化碳反应	750
5.10	由二酐的二氰基甲叉衍生物与二胺在低温下反应生成聚酰亚胺	750
5.11	由聚氰基酰胺合成聚亚胺酰亚胺	751
5.12	由二硫酐与二胺合成聚酰亚胺	751
5.13	聚异酰亚胺的合成及转化为聚酰亚胺	751
5.13.1	由聚酰胺酸与三氟乙酐及三乙胺作用得到	751
5.13.2	由聚酰胺酸与 DCC 作用得到	752
5.14	交替共聚	752

5.14.1	统计交替聚合	753
5.14.2	严格交替聚合	755
5.15	AB型单体的聚合	757
5.15.1	由带氨基和二酸的AB单体聚合	757
5.15.2	由带氨基和二酸单酯的AB单体聚合	758
5.15.3	由带氨基甲酸酯和酞基的AB单体聚合	759
5.15.4	由氨基和二酸的聚合, 聚酞酰亚胺(PPI)	760
5.15.5	由带磺酰氯和酞基的AB单体聚合	761
5.15.6	天门冬氨酸(ASP)的酸催化聚合	761
5.15.7	以松香为原料合成的聚合物	762
5.16	超枝化聚酰亚胺的合成	763
5.16.1	由二氨基邻位二酸单酯型AB ₂ 单体合成的超枝化芳香聚酰亚胺	763
5.16.2	由三元酞或其三酯与二胺合成超枝化聚酰亚胺	764
5.16.3	由三元胺与二酞合成超枝化聚酰亚胺	766
	参考文献	768
第6章	由带酰亚胺环的单体的聚合	771
6.1	以双(卤代酞酰亚胺)或双(硝基酞酰亚胺)与二元(硫)酞二钠盐合成聚酰亚胺	771
6.1.1	由双(卤代酞酰亚胺)与二元酞盐的缩聚	771
6.1.2	由双(硝基酞酰亚胺)与二元酞盐的缩聚	773
6.1.3	环状齐聚物的制备	777
6.1.4	以还原偶联反应合成聚酰亚胺	779
6.1.5	以硫醚连接的聚合	782
6.2	由酰亚胺交换反应获得聚酰亚胺	784
6.2.1	由酞酰亚胺与胺的交换反应	784
6.2.2	由N-苯基酞酰亚胺与各种胺的交换反应	785
6.2.3	以2-氨基吡啶作为交换剂	786
6.2.4	以2-氨基嘧啶为交换剂	787
6.2.5	以咪唑为交换剂	788
6.2.6	在熔融状态下的酰亚胺交换反应	789
6.2.7	由氨基酸作为交换剂	790
6.2.8	由苯磺酰亚胺作为交换剂	790
6.3	由醚的交换反应得到聚酰亚胺	791
6.4	由带酰亚胺环的二卤化物与二硼酸化合物在钨催化剂作用下缩聚得到聚酰亚胺	792
6.5	由带酰亚胺环的二卤化物与二胺在钨催化剂作用下与CO反应得到聚酰胺酰亚胺	793
6.6	由四酞二亚胺的碱金属化合物与二卤代物反应获得聚酰亚胺	794

6.7 聚酯酰亚胺和聚酰胺酰亚胺	794
6.7.1 由带羧端基的含酰亚胺单元的单体与二元醇的缩聚	795
6.7.2 由带羧端基的含酰亚胺单元的单体与双酚的二乙酸酯的缩聚	796
6.7.3 由带胺端基的齐聚物与二酸的缩聚	797
6.7.4 由带羧端基的酰亚胺化合物与二胺的聚合	798
6.7.5 羟基苯酞衍生物的缩聚	798
6.7.6 由 <i>N</i> -(4-乙酰氧基苯基)酞酰亚胺-4-甲酸缩聚	799
6.8 由氢离子转移反应得到聚酰亚胺	800
6.8.1 由均苯四酰亚胺与二乙烯基砜的聚合	800
6.8.2 由二(<i>N</i> -乙烯基)均苯四酰亚胺与吡嗪的聚合	800
6.8.3 氢硅烷反应	801
6.9 由 <i>N,N'</i> -二氨基双酰亚胺参与的聚合	802
6.9.1 由 <i>N,N'</i> -二氨基萘四酰亚胺与二酐得到聚酰亚胺	802
6.9.2 聚硫醚萘酰亚胺	802
6.9.3 由 3,3'-联(<i>N</i> -氨基酞酰亚胺)合成聚酰亚胺	803
6.10 其他聚合方法	803
6.10.1 由带双环氧基团的酰亚胺与二酸的聚合	803
6.10.2 由带二炔基的酰亚胺单体氧化偶合	805
6.10.3 含酰亚胺结构的硅氧烷的成环及开环聚合	806
6.10.4 带三氟乙烯醚酰亚胺化合物的聚合	807
6.10.5 由 Diels-Alder 反应得到的聚酰亚胺	808
6.10.6 聚酰亚胺与尼龙 6 的共聚合	811
6.10.7 由四脒合成含酞脒的聚酰亚胺	813
6.10.8 聚酰亚胺磷酸酯	813
6.10.9 双酰亚胺与环氧的聚合	814
6.10.10 由带羟端基的聚硅氧烷和带氯硅烷端基的聚酰亚胺得到的嵌段热塑弹性体	814
6.10.11 由 <i>N,N'</i> -二羟端基的酰亚胺与二脒、二胺或二仲胺的聚合	815
6.10.12 <i>N,N'</i> -羟烷基四酞二亚胺与碳酸酯的交换聚合	816
6.10.13 由二酐与二氯代物及氰酸钠反应得到聚酰亚胺	816
6.11 树枝状聚醚酰亚胺	817
6.11.1 由氨基二酐与硝基酞酰亚胺出发	817
6.11.2 从 <i>N</i> -[3,5-双(4-羟基苯甲酰基)苯]-4-氟代酞酰亚胺出发	819
6.11.3 由 4,4'-二羟基-4''-氨基三苯甲烷与氯代苯酞出发	819
6.11.4 由氨基二酐与偏苯三酸酐出发	820
6.11.5 由 <i>N</i> -3,5-二特丁基二甲基硅氧基苯基-4-氟代酞酰亚胺出发	820
6.11.6 由带有树枝状结构的侧基的单体聚合得到	820
6.11.7 由硅化的 <i>N</i> -(4-羧基苯基)-4,5-二(4-乙酰氧基硫基)酞酰亚胺聚合得到	821

参考文献	821
第 7 章 双马来酰亚胺(BMI)的聚合	824
7.1 BMI 的聚合	824
7.1.1 热聚合	824
7.1.2 在引发剂参加下聚合	826
7.2 BMI 与二胺的聚合	826
7.2.1 在 NMP 中有乙酸参与下聚合	826
7.2.2 在间甲酚中有乙酸参与下聚合	827
7.2.3 由多元胺与 BMI 的聚合	827
7.2.4 含聚苯硫醚的 BMI 与带胺端基聚苯硫醚的反应	828
7.3 BMI 与二元醇或二元酚的聚合	828
7.3.1 BMI 与二元醇或二元酚的聚合	828
7.3.2 BMI 与二胺在环氧树脂中聚合	829
7.3.3 双(二氯代马来酰亚胺)与双酚的取代反应	829
7.4 BMI 与烯丙基化合物的聚合	830
7.4.1 BMI 与烯丙基化的酚醛树脂的反应	830
7.4.2 由 BMI 与二烯丙基化合物的反应	832
7.4.3 二烯丙基苯胺与 BMI 的聚合	832
7.4.4 二烯丙基醚与 BMI 的共聚	833
7.4.5 烯丙胺与 BMI 的加成	833
7.5 BMI 与氰酸酯的共聚	834
7.5.1 BMI 与氰酸酯的共聚	834
7.5.2 双酚 A 的二氰酸酯与低熔点的三种 BMI 混合物的共聚	834
7.5.3 BMI 与氰酸酯及烯丙基双酚的聚合	835
7.5.4 BMI 与氰酸酯及环氧树脂的共聚	835
7.6 BMI 与不饱和聚酯的共聚	835
7.6.1 BMI 与不饱和聚酯的共聚	835
7.6.2 BMI 与不饱和聚酯及苯乙烯共聚	835
7.7 BMI 与聚氨酯及环氧的共聚	836
7.7.1 BMI 与聚氨酯-环氧树脂的反应	836
7.7.2 聚氨酯, 环氧及 BMI 共聚	836
7.8 通过 Diels-Alder 反应得到聚酰亚胺	836
7.8.1 BMI 与双呋喃化合物的反应	836
7.8.2 由双(二烯)与 BMI 反应	840
7.8.3 由苯并环丁烯与马来酰亚胺的共聚	842
7.8.4 由环戊二烯酮与 BMI 的聚合	843
7.8.5 由双(四甲基环戊二烯)与 BMI 的聚合	843

7.8.6	蒽端基的聚酯与 BMI 的反应	844
7.8.7	由 2-吡喃酮化合物与 BMI 的共聚	844
7.8.8	由二酰基苯与 BMI 的反应	846
7.9	由 BMI 得到聚硫醚酰亚胺	846
7.9.1	由 BMI 与硫化氢反应	846
7.9.2	由 BMI 与二硫醇反应	847
7.9.3	由 BMI 与二硫酚反应	847
7.9.4	聚酰亚胺硫醚	848
7.9.5	聚二硫苯四酰二亚胺	848
7.10	双马来异酰亚胺的聚合	849
7.10.1	溶液聚合	849
7.10.2	熔融聚合	850
7.10.3	由双异马来酰亚胺与二胺反应得到 PMA, 再与 BMI 反应	851
7.11	BMI 在活性溶剂中的聚合	852
7.11.1	BMI 与苯乙烯的悬浮聚合	852
7.11.2	MDA-BMI/MDA 齐聚物在 <i>N,N</i> -二甲基丙烯酰胺中的聚合	852
7.11.3	MDA-BMI/DMMDA 齐聚物在 <i>N</i> -乙基吡咯烷酮中的聚合	853
7.12	光固化	853
7.12.1	BMI 与苯的光加成反应	853
7.12.2	BMI 的光环化聚合	854
7.13	超枝化聚马来酰亚胺	855
7.13.1	<i>N</i> -丙基马来酰亚胺与 <i>N</i> -烯丙基马来酰亚胺的反应	855
7.13.2	由 <i>N</i> -二羧基苯基马来酰亚胺与二胺反应	856
7.14	BMI 其他相关的聚合	856
7.14.1	由 4-羧基-2-哌啶酮的聚合	856
7.14.2	由四溴甲基化合物与 BMI 的反应	857
7.14.3	悉尼酮(sydnone)与 BMI 的反应	858
7.14.4	由双偶氮甲碱与 BMI 共聚	859
	参考文献	859
第 8 章	大分子反应	862
8.1	聚酰胺酸的酯化	862
8.2	聚酰亚胺的氯甲基化	863
8.2.1	用多聚甲醛/氯化磷/氯化锌体系进行氯甲基化	863
8.2.2	用氯甲基甲醚在四氯化锡存在下氯甲基化	863
8.3	聚酰亚胺的磺化	864
8.3.1	聚酰胺酸用硫酸磺化	864
8.3.2	聚酰亚胺用氯磺酸磺化	865