

热熔压敏胶技术及应用

Hot Melt Pressure Sensitive Adhesive
Technology and Applications

曹通远 编著

非
外
借



化学工业出版社

热熔压敏胶技术及应用

Hot Melt Pressure Sensitive Adhesive
Technology and Applications

曹通远 编著



化学工业出版社

本书对热熔压敏胶的基本背景进行了简要介绍,重点阐述了热熔压敏胶各组分的分子结构、配方中所使用各组分在实际应用时所引起的相互作用以及制造热熔压敏胶的方法;基本物性和压敏胶黏性能的主要测试方法;基础流变测量和胶黏科学的背景知识;流变性质与分子结构、加工性能和压敏胶黏性能的相关性;热熔压敏胶主要应用市场的性能要求和配方思考方向等内容。

本书适合胶黏剂行业的生产、研发、管理及相关领域科研院所的研究人员参考,也可供精细化工、材料等相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

热熔压敏胶技术及应用/曹通远编著. —北京:化学工业出版社, 2017. 12
ISBN 978-7-122-30898-6

I. ①热… II. ①曹… III. ①热熔胶粘剂-压敏胶粘剂 IV. ①TQ430.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 266838 号

责任编辑:张艳 刘军
责任校对:王素芹

装帧设计:王晓宇

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 装:三河市延风印装有限公司
710mm×1000mm 1/16 印张12 1/4 字数181千字 2018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

序一

PREFACE 1

《热熔压敏胶技术及应用》终于要出版了，这是中国热熔胶行业的一件幸事。这本书是中国热熔压敏胶领域经典专著之一。她凝聚了曹通远博士一生的研究成果，也体现了他的情怀。

由于历史的原因，中国的胶黏剂行业与国际水平相比曾经存在较大差距，改革开放后，中国的热熔压敏胶市场几乎全是国外著名跨国公司的产品，中国产品的市场占有率接近于零。但随着改革开放的深入，经过中国胶黏剂行业的企业家、科研人员的共同努力，从无到有，到目前为止，中国企业生产的热熔压敏胶已经占有国内市场的相当份额，而且还有部分产品远销海外。

在这个过程中，曹通远博士对中国热熔压敏胶行业的贡献是有目共睹的。因为他在美国著名的亚利桑那化学公司（现为 Kraton 公司）和国民淀粉化学公司（现为 Henkel 公司）工作了多年，在中国台湾与大陆地区创办了公司，在国际上许多重要的胶黏剂学术会议上做报告，积累了非常丰富的经验，技术处于国际前沿水平。从 2002 年开始，他在中国胶黏剂的学术与行业会议上，做过许多次学术报告，受到大家的热烈欢迎。走访了许多中国热熔胶的生产企业，并在各企业进行了多次技术培训，对中国热熔压敏胶行业起到了启蒙、提升的重要作用。

2010 年，在上海举行的第十三届中国国际胶粘剂及密封剂技术研讨会期间，在上海方田粘合剂技术有限公司的展台上我与曹通远先生进行了第一次交谈，非常幸运，我们一见如故，因为我们有共同的心愿与情怀，希望为中国胶黏剂做点力所能及的事，从此我们成了非常要好的朋友。

从 2011 年 1 月开始，他将写的《热熔压敏胶技术及应用》的手稿陆续发给我，我们将其上传到“林中祥胶粘剂技术信息网”上供同仁免费下载学习与参考。他说，就是因为看中我们网站免费下载，不需要大家花钱，他才愿意无条件放在我们网站上，这充分体现了他非常崇高的胸怀。这些手稿的

内容处于国内热熔压敏胶的较高水平，深得同仁的高度赞扬，对提升中国热熔胶行业的整体水平做了很多贡献，也奠定了曹博士在中国胶黏剂行业中的威望。

曹博士还热心慈善事业，时常与他的朋友一起，到中国贫困地区开展资助贫困孩子上学的慈善活动。我曾经陪同他到南京与受资助的大学生进行座谈，鼓励孩子们好好学习，自信自爱，做个对社会有爱心、有贡献的人。从中我感受到他内心对贫困孩子们的博爱之心！

曹通远博士的这本专著从技术层面我就不多评说了，这本专著的出版，相信会对中国热熔压敏胶行业的发展起到更为积极的推动作用。

中国能够成为世界胶黏剂强国，是我们一致的心愿，相信这一天不会很远！

南京林业大学教授 林中祥

2017年10月

序二

PREFACE 2

曹通远先生是我的良师益友，也是中国热熔胶研究者的良师益友，无数的热熔胶研究人员受到他的热熔压敏胶理论的指导与启发。从 2002 年上海第五届中国胶粘技术研讨会上结识曹先生至今已经 15 年了，他在中国胶粘剂与胶粘带工业协会的论坛上演讲，在亚洲胶黏剂会议上做报告，在世界胶黏剂大会上做报告，他开办了两家热熔胶企业，发明了几台热熔胶检测设备，他写作并发表了压敏热熔胶技术的系列文章，他为热熔胶行业作着贡献。他曾为我公司做过系统性的热熔压敏胶理论知识培训，成铭人敬重他的专业和博学，当他研究的小型实验室涂布机和全角度冷热板剥离力试验机刚刚面市时，我公司率先购买使用，也确实提升了我公司的检测研发能力。

曹通远先生除了对中国热熔胶行业的贡献外，还热衷于帮扶中国贫困大学生的慈善事业，赞助了多名贫困大学生。他很愿意与贫困大学生当面交流，愿意花大量的时间给贫困大学生写邮件，以解答他们的困惑。曹通远先生在子女教育方面特别成功，他的大儿子是美国一名优秀的民航飞行员，小儿子正在攻读中医博士，希望能发扬中国传统文化，救助更多的人。他在 2012 年检查出得了脑瘤，后经历几次大型脑部手术，最终顽强战胜了病魔，取得了人生的巨大成功。2015 年，他再次回到中国胶黏剂行业，走访中国热熔胶相关企业，为热熔胶技术人员做“流变学基础知识”、“物质为什么会黏？”的课程培训。

思想是永恒的，传承是智慧的，站在巨人的肩膀上创新是聪明的。曹通远先生的《热熔压敏胶技术及应用》为热熔压敏胶研发者提供了系统理论，记录了现在热熔胶行业对热熔压敏胶的最高理论认识，必然长久指导着热熔胶研发人员的工作，具有重大的现实意义和历史意义。正如曹通远先生在前言中所讲，这本手册可以使热熔胶研究者不需要再浪费很长的时间去进行不科学的“试误”工作，也因此能够轻松地自行开发出许多特定用途且能满足

市场需要的配方。这本书就是热熔胶研究者的 GPS 定位，可以精准设计出各种配方。

2015 年，在建设中国首家热熔胶博物馆——成铭热熔胶博物馆的过程中，我们花费了大量的时间与精力来收集热熔胶相关的书籍、杂志、文章、照片等文献资料，发现关于热熔胶的专著书籍非常稀少，且质量高的少之又少，还没有一本能指导热熔压敏胶研究者的书籍，在“林中祥胶粘剂信息网”上曹通远先生有关热熔压敏胶系列文章反而是行业最为权威的文献。鉴于曹通远先生还在治病恢复期间，出于对科技工作者、胶黏理论研究者的尊敬，我把他的系列文章编辑装订成册放在博物馆专门的展柜中展出，向所有参观热熔胶博物馆的人讲述曹通远先生的人生故事，引起了很大的反响。

成铭热熔胶博物馆为中国热熔胶行业的发展而建立，为热熔胶行业相关者提供了一个全面、立体、形象地了解中国热熔胶行业的平台，收集热熔胶文献，发扬科学精神，促进行业进步。出版《热熔压敏胶技术及应用》对于中国热熔胶行业，乃至世界热熔胶行业，都是一件非常有意义的事情，因此我们愿意出资促成本书的出版，为了热熔胶博物馆，也为了热熔胶行业。写作专著书籍，对于大病初愈的曹通远先生是很有挑战性的，也是困难的，但他做到了，为他高兴，为热熔胶行业高兴，为此，我要特别感谢曹通远先生的付出！

最后，我要发出倡议，倡议所有热熔胶行业同仁，在企业经营过程中，除了重视生产、销售、研发外，更要重视热熔胶的理念性研究，特别是热熔胶的基础性理论研究，整理成可以传播分享的文章或者书籍，分享给相关后来者，共同创建热熔胶理论体系，为行业发展作贡献。

东莞市成铭胶粘剂有限公司

东莞市成铭热熔胶博物馆

王贤胜

2017 年 10 月

前言

FOREWORD

在全世界的每一个角落，热熔压敏胶（HMPSA）的应用已经逐渐地深入我们的日常生活当中。由于严苛的全球性环境保护要求，胶黏剂的研发人员一直致力于开发新的、无污染的热熔压敏胶品种来取代传统的溶剂型或水性压敏胶。尽管热熔压敏胶已经在胶黏剂领域中有了几十年的发展历史，然而，大部分配方发展人员仍然停留在采用“试误法”来发现热熔压敏胶的最佳组成。这种方法并不科学，没有科学基础支撑，所以无法再现。每当原料取得来源有变化，或是同一原料来源无法提供稳定的产品，往往旧的热熔压敏胶配方需要调整时，一切配方又得靠“试误法”重新来过。从 20 世纪 70 年代以来，在许多压敏胶的基础研究中都提出了流变学（或黏弹性）的研究方法。试图从流变学来了解胶黏性。遗憾的是，至今还没有任何研究学者或是配方技术人员能系统性地以流变学为基础，专门整理以流变学为基础编写一本工具书或技术图书来指导热熔压敏胶的配方发展人员，让他们能够通过科学的方法，在最短的时间内来了解并驾驭每一个热熔压敏胶组成成分的特性和各热熔胶配方的应用要求。编写本书的目的是想以深入浅出的方式，通过流变学和胶黏科学的基础观念，结合许多和生活相关的例子，让热熔压敏胶的配方发展或相关人员能够很容易地了解每一个配方组分的分子结构与热熔压敏胶各种性能的相关性。

全书共分为 5 章，主要内容如下。

1. 热熔压敏胶的基本背景简介；
2. 热熔压敏胶各组分的分子结构、配方中所使用各组分在实际应用时所引起的相互作用以及制造热熔压敏胶的方法；
3. 基本物性和压敏胶黏性能的主要测试方法；
4. 基础流变测量和胶黏科学的背景知识，流变性质与分子结构、加工性能和压敏胶黏性能的相关性；

5. 热熔压敏胶主要应用市场的性能要求和配方思考方向。

尽管本书已经涵盖了大部分与热熔压敏胶相关的主题，仍有许多基础研究等待着未来的压敏胶黏科学研究者持续去完成。如果所有的配方发展人员都能善用基础流变学和胶黏科学背景，就不再需要浪费很长的时间去进行不科学的“试误”工作，也因此能够轻松地自行开发出许多针对特定用途且能满足市场需要的配方。由于许多热熔压敏的组成及测试结果都可以用流变学的知识来说明，希望将来有机会再版时，能让读者先有流变学的基础认识，再从流变学的系数来说明热熔压敏胶的组成、制造及测试结果的流变性。热熔压敏胶的应用领域仍有很大的发展空间，笔者会不断加入新的研究内容及成果，让后学者能够依照流变学很快做出适当热熔压敏胶组成的选择及配方。

笔者常想，人类知道胶黏的真正原理后，若能够借用计算机的现代化科技来做出想要的热熔压敏胶配方该有多方便。热熔压敏胶配方就像时下流行的GPS (global positioning system, 全球定位系统)，如果能预先准确地定出应用市场的目标物性，而且明确地知道每一原材料的位置，应该可以很容易找到对应的原材料及适当的热熔压敏胶配方。当然，前提是供应原材料的厂商必须提供用户稳定的产品，而用户需要先建立原材料的数据库。但愿有朝一日胶黏剂从业者能够协力达成此目标。

有些朋友问了一个相当简单的问题：“为什么胶黏剂会黏？”这是个简单却不易回答的问题。我从事热熔压敏胶研究多年，经常面对许多没学过高分子科学、胶黏科学和流变学的从业人员问相同的问题。当然我可以从发问人的背景来回答此问题。然而，经过多年的思考，我想以下面方式先简短地回答，详细地解说还需看本书进一步的说明。

“胶黏剂会黏，首先，在应用时一定要与被接触的表面有最大的接触表面积；其次，与被接触的表面要有适当的阴阳极（极性）差异。”

曹通远

2017年10月

目录

CONTENTS

第 1 章 热熔压敏胶简介	001
1.1 压敏胶黏性的理论回顾	001
1.1.1 压敏胶黏性简介	001
1.1.2 压敏胶黏性研究历史概略回顾	002
1.1.3 作者研究理论成果总结: 1986 年至今	005
1.2 热熔胶和热熔压敏胶的定义与应用市场	006
1.3 传统热熔胶和热熔压敏胶的优缺点	008
第 2 章 热熔压敏胶的组成和生产	011
2.1 热熔压敏胶的组成	011
2.1.1 苯乙烯嵌段共聚物	011
2.1.2 增黏剂	014
2.1.3 增塑剂	017
2.1.4 抗氧化剂	018
2.1.5 热熔压敏胶配方	018
2.2 热熔压敏胶的生产工艺	021
2.2.1 立式混合机	021
2.2.2 卧式混合机	023
2.2.3 螺杆挤出机	024
2.3 热熔压敏胶的质量控制	025
2.4 热熔压敏胶的抗老化性能	028
2.5 热熔压敏胶的包装	031
2.6 热熔压敏胶的应用设备	033

第3章 热熔压敏胶的检测方法	037
3.1 热熔压敏胶实验室需要的检测设备	038
3.1.1 基本物理性能——稠度与软化点测试设备	038
3.1.2 试样准备设备	039
3.1.3 胶黏性能检测设备	041
3.1.4 黏弹性检测设备	045
3.1.5 实验室制样设备	045
3.2 热熔压敏胶的颜色和透明性	047
3.3 热熔压敏胶黏度和黏弹性	048
3.4 热熔压敏胶的软化点	051
3.5 压敏胶的初黏性	053
3.5.1 环形初黏力	054
3.5.2 探针初黏力	055
3.5.3 滚球初黏力	055
3.5.4 90°快黏力	059
3.5.5 指触初黏性	060
3.6 热熔压敏胶在剥离时的破坏模式	061
3.7 压敏胶的剪切胶黏性能	064
3.8 热熔压敏胶高温剪切胶黏性能和剪切胶黏失效温度	067
 第4章 胶黏科学和流变学的基础知识	070
4.1 与热熔压敏胶相关的基础流变学术语	071
4.2 压敏胶黏机理	076
4.2.1 物理吸附	076
4.2.2 化学反应	078
4.2.3 相互渗透	078
4.2.4 静电引力	079
4.2.5 机械着锚（黏弹性）	079
4.3 压敏胶为什么会黏	081
4.4 通用型压敏胶的流变性能准则	083

4.5	流变性质和 SBC 分子结构的关系	088
4.6	SBC 和增黏剂的兼容性	092
4.7	矿物油在 SBC 中的功能	094
4.8	热熔压敏胶剥离力的温度效应	099
4.8.1	玻璃态区	101
4.8.2	玻璃化转变区	101
4.8.3	橡胶平台区	102
4.8.4	热流动区	104
4.9	热熔压敏胶剥离力的速度效应	106
4.10	热熔压敏胶的厚度效应	109
4.11	压敏胶带和标签的角度效应	111
4.12	剥离测试前滞留时间对压敏胶剥离性能的影响	113
4.13	面材对热熔压敏胶的影响	116
4.14	热熔压敏胶的室温和低温性能	120
4.15	热熔压敏胶的耐低温和耐高温性能	123
4.16	热熔压敏胶的耐高温性能探讨	124
4.17	热熔压敏胶的室温及高温剪切性能探讨	127
4.18	影响热熔压敏胶性能测试结果的其他因素	130
4.19	热熔压敏胶的工作温度范围	133

第 5 章 热熔压敏胶的应用市场 135

5.1	什么是质量好的热熔压敏胶	135
5.2	标签用热熔压敏胶应具备的特性	137
5.2.1	涂布作业性	138
5.2.2	热安定性	138
5.2.3	基本胶黏物性	139
5.2.4	储存性	139
5.2.5	特殊胶黏物性	140
5.2.6	后段加工性	141
5.3	黏扣带用热熔压敏胶	143

5.3.1	黏扣帶用热熔压敏胶的上胶方式	143
5.3.2	黏扣帶背胶加工常见之困扰	145
5.3.3	背胶黏扣帶之胶黏断裂模式	146
5.3.4	黏扣帶用热熔压敏胶应具备的特性	150
5.4	医用胶带用热熔压敏胶	153
5.4.1	医疗胶带用热熔压敏胶的上胶方式	153
5.4.2	医疗胶带用热熔压敏胶应具备的特性	154
5.5	软质 PVC 材料与热熔压敏胶	156
5.6	PVC 塑料地砖用热熔压敏胶	157
5.7	封口胶带用热熔压敏胶	167
5.8	APET 包装盒用的热熔压敏胶	169
5.9	汽车车门板防水 PP 膜/发泡板用可发泡热熔压敏胶	171
5.10	可移除 (短效) 热熔压敏胶	173
5.11	运动鞋行业中的热熔胶	175
5.11.1	鞋用热熔胶之上胶设备与涂布方式	176
5.11.2	鞋用热熔胶的物性要求	179
5.12	防滑热熔复合材料	180

参考文献	182
------------	-----

第1章

热熔压敏胶简介

热熔胶与热熔压敏胶会黏的理论甚多。本文简单回顾几个重要理论，最终从物质的黏弹性（流变学）切入来介绍压敏性。

热熔胶与热熔压敏胶的定义有很多种。本书中从热熔胶热塑性的本质出发，以在整个热熔胶生产和施胶的过程中都没有化学反应发生作为热熔胶的定义。因此，如果基于某种需要而在高分子链上引入官能团，在后端加工时刻意让化学反应发生，不应称之为热熔胶。凡是在室温仍存在黏性或永久开放的热熔胶，称之为热熔压敏胶。各种热熔胶都有可能成为热熔压敏胶。但其中以 SBC（苯乙烯嵌段共聚物）为基础的热熔压敏胶最容易制备。由于没有挥发性有机物质，具有快速固化等优良特性，热熔胶和热熔压敏胶都有很多应用市场。凡是可以通过某种耐溶剂性或是耐热性市场测试的热熔胶和热熔压敏胶都值得胶黏剂配方者去开发。如果耐溶剂性或是耐热性是一般热熔胶和热熔压敏胶本质上无法克服的障碍或限制，就不需要浪费时间在无法达成的目标上。

1.1 压敏胶黏性的理论回顾

1.1.1 压敏胶黏性简介

压敏胶黏剂（简称压敏胶，PSA）的性能主要取决于胶黏剂的压

敏初黏性 (tack)、耐剥离性 (peel) 和剪切性 (shear)。许多的其他性质, 例如黏度 (viscosity)、耐溶剂性和耐低/高温性, 取决于胶黏剂的应用领域, 在某些应用中也是重要的。人类为压敏胶黏剂开发制定了各种标准测试方法, 以便能在各种不同的工作条件下, 模拟压敏胶黏剂的各种分离力和断裂特性。一般来说, 压敏胶初黏性是 PSA 中最重要的参数, 因为只有当胶黏剂与被粘物之间具有可测量的粘接力时, 才能确定压敏胶黏剂对被粘物的剥离力和剪切力。

压敏胶黏剂具有能使胶黏剂通过轻微压力和短暂接触时间即与另一种材料的表面形成结合的特性。压敏胶黏性 (pressure sensitive adhesion) 的 ASTM 定义^[1]要求建立的粘接力是可测量的强度。自从第一批隐形胶带 (scotch tape) 被推广以来, 胶黏剂研究人员和配方设计师就已经花了大量精力来研究压敏胶黏剂的粘接机理^[2~22]。很多研究者先后提出了形态学 (morphology)、黏弹性 (viscoelasticity) 或动态学 (dynamic mechanical properties) 特性的相关理论来阐述粘接力。这其中主要包括了下述一些最重要的理论。

1.1.2 压敏胶黏性研究历史概略回顾

(1) 两相体系形态学 (1957—1970 年) Wetzal 是研究压敏粘接机理的著名研究人员^[2~4]。他利用电子显微镜技术为天然橡胶 (NR)、合成橡胶 (SBR) 和松香酯的混合物提出了一个著名的两相体系。他表示, 在低质量比 (松香酯质量分数小于 40%) 的混合物中, 树脂会完全溶解到橡胶里, 因此, 混合物的压敏胶黏性会比纯橡胶 (NR) 略高。混合物在这些质量比下是均匀的。当混合 40% 以上的树脂时, 粘接力会迅速升高。这是因为橡胶已经被加入的树脂溶解, 并且形成由树脂和低分子量橡胶组成的分散的第二相。由于分散相赋予比连续相低得多的黏度, 因此允许混合后的胶黏剂很快速地润湿被粘物, 并在被粘物表面形成不规则或比较粗糙的形貌。换句话说, 它有效地增加了接触或粘接面积。第二阶段, 树脂继续增加, 直到最大量的低分子

量橡胶已经溶解到分散的树脂相中为止。这是最大的黏着点或质量比发生的范围。当树脂浓度或质量比再进一步增大时,分散的树脂继续增长并导致相转化。在这个阶段,树脂反而会变成了连续相;混合物本质上是玻璃状的且不能润湿被粘物表面。因此,无法观察到相应胶黏性参数,如初黏性、剥离力及持黏力。

许多胶黏剂研究人员,如 Hock 和 Abbott,通过使用复制电子显微照片^[5,6]来支持 Wetzel 的两相理论。后来,DeWalt 提出了一种溶解度概念来支持 Wezel 发现的结果^[7]。他认为,黏性取决于橡胶和树脂的溶解度相似性。换句话说,DeWalt 认为兼容的橡胶和树脂才可以产生较大的黏性。

(2) 黏弹性 (1966—1990 年) 尽管 Wetzel 的两相理论得到了前述研究人员的支持,但也有许多科学家后来认为两相理论对许多粘接行为的解释并不能令人满意。Fukuzawa 和他的同事发现,根据电子显微镜和扭转计时装置 (torsional pendulum apparatus, TPA)^[8],天然橡胶和聚萘烯树脂的共混物是完全可混合的或是单相体系。Kamagata 和同事发现当树脂浓度超过 40% (质量分数) 时,天然橡胶/松香季戊四醇酯共混物的机械损失 (mechanical loss) 是两峰的特征^[9]。Sherriff 认为,两相理论似乎解释了树脂浓度变化所造成的黏性变化,但是考虑到速率效应时两相理论却会失效。也就是说,当胶黏剂通过不同的速率分离时,两相理论却不能解释黏性的变化^[10]。Sherriff 及其同事还指出,用各种树脂 [如松香酯,聚 α -萘烯树脂和聚合二环戊二烯 (DCPD)] 增黏的天然橡胶可以形成单相或两相体系。因此,这些研究人员认为初黏性的测量取决于胶黏剂的黏弹性和玻璃化转变温度 (T_g) 之间的平衡。只要增黏剂和橡胶并非完全不兼容,黏性的产生就不只是取决于增黏剂和橡胶的兼容性高低。

(3) 动态机械性能 (dynamic mechanical properties) 以下部分回顾了主要的动态力学性能和胶黏理论的研究。

① 1966—1969 年。Dahlquist 是引进黏弹性用来了解压敏黏性的先驱之一。他指出,通过改变应力速度 (stress rate),压敏黏性曲线中的

最大值可以依不同的树脂浓度而转移^[11]。因此,他提出了一种两步法的粘接机制来描述压敏黏性,即粘接性能是贴合(bonding)和分离(de-bonding)两种过程所造成的。为了赋予相当程度的黏性,胶黏剂应具有所需的一秒钟蠕变性(one second compliance), $J(1\text{sec}) > 10\text{cm}^2/\text{dyn}$ 。

② 1973—1980年。Sherriff扩展了Dahlquist的理论,并表明最佳黏性取决于胶黏剂^[10,12]的流变性质,如储能模量 G' ,黏度和玻璃化转变温度 T_g (DSC)。加入增黏树脂会降低模量和黏度。这种模量和黏度的降低将使胶黏剂相对于纯橡胶有更好的润湿性能。因此,胶黏剂比单独橡胶的黏性值更高。当树脂浓度或质量比接近并超过40%时,该效果变得很明显。当树脂浓度或质量比例升高到一定的高水平时,胶黏剂 T_g 将高于室温。在这种组合物中,胶黏剂是玻璃状的,并且黏性值迅速下降到零。这与室温通用型压敏胶被用于低温环境的情况相同。后来,Aubrey和Sherriff也提出了橡胶-树脂混合物的黏弹性和剥离粘接性的相关性^[13]。

③ 1977—1982年。Kraus及其同事也研究了苯乙烯-异戊二烯-苯乙烯(SIS)基压敏胶黏剂的动态力学性能^[14~17]。与Sherriff的研究结果相似,Kraus等发现,添加中间段(异戊二烯相)兼容性好的增黏剂将提高橡胶状中间段的 T_g ,并降低橡胶平台的模量(G_n^0)。

④ 1984—1985年。Class和Chu研究了个别树脂的结构、浓度和分子量之间的关系及其对橡胶-树脂组合物^[18~21]的黏弹性的影响。他们试图建立黏弹性和压敏性能的相关性。关于最佳的黏性性能,他们认为当胶黏剂在室温下贴合,此时,胶黏剂的室温 G' 在频率较低下可能也会较低,然而,在较高频率下,如 G' 数值较高时,就会出现较好的黏性。此外,它们还定量表征了许多商业胶带和标签所使用的胶黏剂的黏弹性,然后提出了这些胶黏剂的动态性能范围。因此,良好的压敏胶带胶黏剂需要室温下的 G' 为 $5 \times 10^5 \sim 2 \times 10^6 \text{ dyn/cm}^2$, T_g 约为 $-15 \sim +10^\circ\text{C}$,而标签胶黏剂需要较低的室温 G' 为 $2 \times 10^5 \sim 8 \times 10^5 \text{ dyn/cm}^2$ 。对于低温(冷冻与冷藏),室温永久和可移动(removable)等应用,玻璃化转变温