

# 胶黏剂 与胶接技术

张彦华 朱丽滨 谭海彦 编著  
顾继友 审

JIAONIANGJI  
YU JIAOJIE JISHU



化学工业出版社

# 胶黏剂

# 与胶接技术

李德军

李德刚

李德刚

李德刚

李德军

李德刚

李德刚

李德刚

李德军

李德刚

李德刚

李德刚

李德军

李德刚

李德刚

李德刚

李德军

李德刚

李德刚

李德刚

李德军

李德刚

李德刚

李德刚

李德军

李德刚

李德刚

李德刚

李德军

李德刚

李德刚

李德刚

李德军

李德刚

李德刚

李德刚

李德军

李德刚

李德刚

李德刚

李德军

李德刚

李德刚

李德刚

李德军

李德刚

李德刚

李德刚

李德军

李德刚

李德刚

李德刚

李德军

李德刚

李德刚

李德刚

李德军

李德刚

李德刚

李德刚

李德军

李德刚

李德刚

李德刚

李德军

李德刚

李德刚

李德刚

# 胶黏剂 与胶接技术

张彦华 朱丽滨 谭海彦 编著  
顾继友 审

JIAONIANGJI  
YU JIAOJIE JISHU



化学工业出版社

· 北京 ·

本书介绍了胶黏剂以及胶接技术，重点介绍醛类树脂胶黏剂（脲醛树脂胶黏剂、三聚氰胺树脂胶黏剂和酚醛树脂胶黏剂）、丙烯酸酯胶黏剂、聚氨酯胶黏剂、环氧树脂胶黏剂、热熔胶黏剂、水基胶黏剂（聚乙烯醇乳液胶黏剂、丙烯酸酯乳液胶黏剂、水性异氰酸酯胶黏剂、蛋白质胶黏剂及淀粉胶黏剂）的原料、合成原理、合成工艺以及应用。胶接技术简要介绍胶接理论的基础知识、胶接破坏以及胶接影响因素。本书是胶黏剂研究、产品设计、配方设计、制造加工、管理、销售人员必读之书，也可作为教材使用。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

胶黏剂与胶接技术/张彦华, 朱丽滨, 谭海彦编著.  
北京: 化学工业出版社, 2018.1.  
ISBN 978-7-122-31071-2

I. ①胶… II. ①张… ②朱… ③谭… III. ①胶黏剂  
②胶接-技术 IV. ①TQ430

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 292237 号

---

责任编辑: 成荣霞  
责任校对: 王素芹

文字编辑: 李 玥  
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 刷: 三河市延风印装有限公司

装 订: 三河市宇新装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张 17½ 字数 331 千字 2018 年 3 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: 88.00 元

版权所有 违者必究

# 前言

FOREWORD

随着我国科技事业的飞速发展，胶黏剂与胶接技术也迅速发展，各种新型胶黏剂不断面世和应用。胶接技术具有工艺简单、胶接强度大、耐腐蚀、耐老化、密封性好等许多优点，正越来越广泛地应用于航空、航天、汽车、电子、机械、纺织、建筑、石油化工等领域。从高科技领域到人们日常生活，从国防工业到民用工业，在国民经济的许多方面，几乎无处不在，发挥着越来越显著、不可替代的作用，创造了十分可观的经济效益。

要获得良好的胶接效果，除了要选择相应的胶黏剂外，结构工艺的拟定以及所采取的工艺措施是十分重要的。根据使用要求及受力情况采用的“复合连接”，在胶接中使用两种以上的胶黏剂等组合，更拓展了胶接在特殊场合、重要方面的应用。近年来国内外胶接技术的发展，主要是从胶黏剂的原材料、品种、质量、性能和胶接工艺、设备等方面进行研究与开发。

本书坚持应用原理与应用技术相结合的原则，综合作者多年从事教学与科研成果推广应用经验，除了全面系统地对胶黏剂与胶接方面理论知识进行重点论述外，又有科研成果及应用实例，是一部实用性很强的专业书籍。本书注重创新性、先进性、实用性，将对广大读者研究及使用胶黏剂起到积极的引导作用。

本书由东北林业大学材料科学与工程学院朱丽滨起草提纲，张彦华编写第1、3~7章，谭海彦编写第2章。全书由我国木材胶黏剂专家顾继友教授负责审阅。编写过程中还得到吕闪闪、马杨豹、王博、韦斌、陈启凤、孙亚东、张雷等的无私帮助，在此谨向他们表示由衷的感谢。

由于编著者水平所限，书中难免存在疏漏之处，敬请读者批评指正。

张彦华

2017年6月于哈尔滨

# 1 胶接基础001

---

1.1 胶接理论.....	001
1.1.1 吸附理论.....	001
1.1.2 扩散理论.....	002
1.1.3 化学键理论.....	002
1.1.4 配位键理论.....	003
1.1.5 机械结合理论.....	004
1.1.6 双电层理论.....	004
1.1.7 其他粘接理论.....	005
1.2 胶接界面化学.....	006
1.3 胶接流变学与胶接破坏.....	006
1.3.1 胶接流变学.....	006
1.3.2 胶接破坏.....	008
1.3.3 影响胶接破坏(胶接强度)的主要因素.....	009
1.4 胶接接头的老化问题与环境实验.....	013
1.4.1 胶接接头的大气老化.....	013
1.4.2 胶接接头的热老化.....	014
1.4.3 木材胶接接头的老化.....	015
1.4.4 人工加速老化试验.....	017
1.5 胶接接头设计.....	018
1.5.1 胶接接头的受力分析.....	019
1.5.2 胶接接头设计.....	021
1.6 胶黏剂的组成与分类.....	022
1.6.1 胶黏剂的组成.....	022
1.6.2 胶黏剂的分类.....	025
参考文献.....	028

# 2 醛类树脂胶黏剂029

---

2.1 脲醛树脂胶黏剂.....	029
2.1.1 合成脲醛树脂的原料.....	030
2.1.2 脲醛树脂合成反应机理研究.....	031

2.1.3	脲醛树脂合成反应的影响因素	037
2.1.4	脲醛树脂的合成工艺	045
2.1.5	脲醛树脂的调制	051
2.1.6	脲醛树脂的改性研究	056
2.2	三聚氰胺树脂胶黏剂	060
2.2.1	合成三聚氰胺树脂的原料	061
2.2.2	三聚氰胺树脂合成原理	062
2.2.3	三聚氰胺树脂合成反应影响因素	065
2.2.4	三聚氰胺树脂的合成工艺	067
2.2.5	三聚氰胺树脂的改性	069
2.2.6	三聚氰胺·尿素共缩合树脂胶黏剂	070
2.3	酚醛树脂胶黏剂	075
2.3.1	合成酚醛树脂的原料	076
2.3.2	酚醛树脂的合成原理	079
2.3.3	酚醛树脂的固化	086
2.3.4	影响酚醛树脂质量的因素	090
2.3.5	酚醛树脂的合成工艺	094
2.3.6	酚醛树脂改性	099
	参考文献	106

### 3 丙烯酸酯胶黏剂

108

3.1	$\alpha$ -氰基丙烯酸酯胶黏剂	108
3.1.1	$\alpha$ -氰基丙烯酸酯胶黏剂的特点及组成	109
3.1.2	$\alpha$ -氰基丙烯酸酯胶黏剂的合成	110
3.1.3	$\alpha$ -氰基丙烯酸酯胶黏剂的改性	116
3.1.4	$\alpha$ -氰基丙烯酸酯胶黏剂的应用	117
3.2	第二代(反应性)丙烯酸酯胶黏剂	118
3.2.1	第二代(反应性)丙烯酸酯胶黏剂的特点	118
3.2.2	第二代(反应性)丙烯酸酯胶黏剂的组成	119
3.2.3	第二代(反应性)丙烯酸酯胶黏剂的固化机理	119
3.2.4	第二代(反应性)丙烯酸酯胶黏剂的改性	121
3.2.5	反应型丙烯酸酯胶黏剂的性能与应用	122
3.3	丙烯酸酯压敏胶黏剂	122
3.3.1	丙烯酸酯压敏胶黏剂的特点	123
3.3.2	丙烯酸酯压敏胶黏剂的组成和分类	125
3.3.3	丙烯酸酯压敏胶黏剂的应用实例	126
3.4	丙烯酸酯厌氧胶	127
3.4.1	丙烯酸酯厌氧胶黏剂的特点	127

3.4.2	丙烯酸酯厌氧胶黏剂的组成与分类	128
3.4.3	厌氧胶的制备方法	129
3.4.4	丙烯酸酯厌氧胶的原材料及作用	130
3.4.5	丙烯酸酯厌氧胶的应用	132
	参考文献	133

## 4 聚氨酯胶黏剂

134

4.1	聚氨酯胶黏剂概述	135
4.1.1	聚氨酯胶黏剂的特性	135
4.1.2	聚氨酯胶黏剂的分类	135
4.2	聚氨酯胶黏剂的原料	137
4.2.1	异氰酸酯	137
4.2.2	多羟基化合物	145
4.2.3	扩链剂和交联剂	147
4.2.4	催化剂	147
4.2.5	溶剂	148
4.2.6	其他助剂	148
4.3	聚氨酯固化与胶接机理	149
4.3.1	单组分聚氨酯胶黏剂湿固化	150
4.3.2	双组分聚氨酯胶黏剂的常温固化	151
4.3.3	聚氨酯的高温热固化	151
4.4	影响聚氨酯胶黏剂性能的因素	151
4.4.1	硬段的影响	151
4.4.2	软段的影响	152
4.4.3	分子量及交联度的影响	153
4.4.4	添加剂的影响	153
4.4.5	制备方法的影响	153
	参考文献	154

## 5 环氧树脂胶黏剂

155

5.1	概述	156
5.1.1	基本概念	156
5.1.2	主要品种与分类	157
5.1.3	环氧树脂胶黏剂的特点	159
5.1.4	环氧树脂胶黏剂的用途	159
5.2	双酚 A 型环氧树脂	160
5.2.1	原料	160



5.2.2	双酚 A 环氧树脂合成原理	161
5.3	其他类型环氧树脂	163
5.3.1	缩水甘油酯类环氧树脂	163
5.3.2	缩水甘油胺类环氧树脂	163
5.3.3	脂环族环氧树脂	163
5.3.4	新型环氧树脂	164
5.4	环氧树脂固化	164
5.4.1	环氧树脂固化剂种类	165
5.4.2	多元胺类固化剂固化反应机理	166
5.4.3	酸酐类固化剂固化反应机理	167
5.4.4	选择固化剂的原则	168
5.5	环氧树脂添加剂	169
5.5.1	增塑剂	169
5.5.2	增韧剂	169
5.5.3	稀释剂	170
5.5.4	溶剂	170
5.5.5	偶联剂	171
5.5.6	填充剂	171
5.6	环氧树脂的应用	171
5.6.1	室温固化环氧树脂胶黏剂	171
5.6.2	室温快速固化环氧胶黏剂	172
5.6.3	室温固化耐热环氧胶黏剂	172
5.6.4	环氧树脂结构胶黏剂	173
	参考文献	173

## 6 热熔胶黏剂

175

6.1	概述	175
6.1.1	基本概念	176
6.1.2	热熔胶主要特点	177
6.2	热熔胶的组成及作用	178
6.2.1	聚合物基体	179
6.2.2	增黏剂	183
6.2.3	蜡类	186
6.2.4	抗氧化剂	186
6.2.5	增塑剂	187
6.2.6	填料	187
6.2.7	其他助剂	188
6.3	热熔胶的应用	188

6.3.1	乙烯-乙酸乙烯酯型热熔胶黏剂 (EVA)	188
6.3.2	聚酯型热熔胶黏剂	191
6.3.3	聚酰胺热熔胶黏剂	193
6.3.4	聚氨酯热熔胶黏剂	196
	参考文献	198

## 7 水基胶黏剂

200

7.1	聚乙酸乙烯酯乳液胶黏剂	200
7.1.1	聚乙酸乙烯酯乳液聚合原料	201
7.1.2	聚乙酸乙烯酯乳液的合成原理	205
7.1.3	聚乙酸乙烯酯乳液聚合机理	207
7.1.4	影响聚乙酸乙烯酯乳液质量的因素	209
7.1.5	聚乙酸乙烯酯乳液的改性	212
7.1.6	聚乙酸乙烯酯乳液的应用	216
7.2	丙烯酸酯乳液胶黏剂	219
7.2.1	丙烯酸酯乳液胶黏剂特点	219
7.2.2	乳液型丙烯酸酯胶黏剂的组成	220
7.2.3	丙烯酸酯乳液胶黏剂的聚合机理与聚合过程	223
7.2.4	丙烯酸酯乳液胶黏剂的固化机理	228
7.2.5	丙烯酸酯乳液胶黏剂的制备及影响因素	229
7.2.6	乳液型丙烯酸酯胶黏剂影响因素与应用	230
7.3	水性异氰酸酯胶黏剂	233
7.3.1	水性异氰酸酯组成及特点	233
7.3.2	水性异氰酸酯胶黏剂的固化	234
7.3.3	水性异氰酸酯胶黏剂的制备方法	235
7.3.4	水性异氰酸酯胶黏剂的应用	239
7.4	蛋白质胶黏剂	239
7.4.1	大豆蛋白质结构	240
7.4.2	大豆蛋白质改性制备胶黏剂	241
7.4.3	大豆蛋白胶黏剂的应用	245
7.5	淀粉胶黏剂	246
7.5.1	淀粉胶黏剂概述	246
7.5.2	糊化与膨化淀粉胶黏剂	262
7.5.3	氧化淀粉胶黏剂	264
7.5.4	酯化淀粉胶黏剂	266
7.5.5	接枝淀粉胶黏剂	267
7.5.6	淀粉胶黏剂中助剂的功能与作用	268
	参考文献	269

# 1

## 胶接基础

胶接过程是一个复杂的物理、化学或者两者兼有的过程。它包括胶黏剂的液化、流动、润湿、固化、变形、破坏等诸多过程。胶接力的生成，不仅和胶黏剂与被胶接材料的特性相关，而且还与胶接过程中的胶接工艺、胶接界面密切相关。因此，胶接涉及材料力学、界面科学、流变学、高分子化学、高分子物理及固体表面科学等。总之，要想获得良好的胶接性能，必须探索胶接过程的规律以及与胶接相关的基础理论。

### 1.1 胶接理论

19世纪40年代以来，许多学者对胶接理论进行了长期的多方面的探索和研究，以期得到一种能够解释所有粘接现象的胶接理论，或建立一个完整、全面的胶接理论，但是，迄今为止仍然没有获得成功。也许是因为胶黏剂的门类、品种太多，有无机胶、有机高分子胶，还有各种天然胶等，它们的材料差别太大；也许是因为胶接的对象（即被粘物）太多，有各种金属材料、陶瓷材料、水泥材料、高分子材料以及木材、纸张、织物、石材等，它们的材质千差万别，由此胶接起来产生的粘接力大小各不相同，产生粘接力的来源也不同。学者们根据产生胶接的物理力、化学力、机械力以及静电力的试验与分析提出了各种粘接理论，现简要介绍如下。

#### 1.1.1 吸附理论

一切原子或分子之间都存在着相互作用的力，这种作用力可分为强作用力（即主价力或化学键）和弱作用力（即范德华力或偶极力）。而吸附分为物理吸附和化学吸附。物理吸附是分子间力的吸附，即范德华力作用的结果；化学吸附是发生在化学反应形成的化学键的吸附。

吸附理论认为，胶接产生的黏附力主要来源于胶与被粘物之间界面上两种分子之间相互作用的结果，所有的液体-固体分子之间都存在这种作用力，这些作用力包括化学键力、范德华力和氢键力。胶黏剂分子与被胶接材料表面分子的相互作用过程有两个阶段，首先是液体胶黏剂分子由布朗运动向被胶接材料表面移动，使二者所有的极性基团或链节相互靠近，在此过程中可采用升温、施加压力、降低胶黏剂液体黏度等措施，都有助于布朗运动的加强。其次是吸附力的产生，当胶黏剂的表面分子与被胶接材料的表面分子间距离小于 0.5nm 时，分子间便产生吸附作用，就产生了范德华力或氢键力的结合，并使分子间距进一步缩短达到能处于最大稳定状态的距离，完成胶接作用。根据吸附理论，如果胶分子中极性基团的极性越大，数量越多，则对极性被粘物的胶接强度就越高，但胶黏剂的极性过高，有时会严重妨碍润湿过程的进行；极性胶黏剂与非极性被粘物或非极性胶与极性被粘物粘接，由于分子间排斥，不利于分子的接近，不能产生足够的分子间力，所以粘接力很差；而非极性胶与非极性被粘物结合，由色散力产生的粘接强度较小。

吸附理论把胶接主要归结于胶黏剂与被粘物分子间力的作用，但它不能充分解释胶与被粘物之间的粘接力有时大于胶黏剂本身这一事实；也不能很好解释有的胶极性大，而粘接力差，有的胶极性小，却粘接力大的现象等，这不仅说明这一理论的局限性，而且它所能解释的现象中，也有例外的情况。

### 1.1.2 扩散理论

扩散理论认为，高分子材料之间的粘接是由于胶黏剂与被粘物表面分子或链段彼此之间处于不停的热运动引起的相互扩散作用，使胶黏剂与被粘物之间的界面逐步消失，变成一个过渡区，最后在过渡区形成相互穿透的交织的牢固结合，胶接接头的强度随时间的延长而增至最大胶接强度。如果胶黏剂是以溶剂的形式涂覆到被粘物表面，而被粘物表面又能在此溶剂中溶胀或溶解，则彼此间的扩散作用更为显著，其胶接强度就越高。因为胶黏剂和被粘物间的相互扩散是产生胶接力的主要因素，胶接强度与它们的相容性有关。

因此扩散理论强调两点：一是胶黏剂的大分子与被胶接材料的表面要相容，即溶度参数相近；二是强调扩散。这样才能形成良好的过渡区的网络结构，获得更好的胶接强度。

但是，扩散理论对不同聚合物材料之间的粘接作用还不能作完满的解释，对聚合物材料与金属、陶瓷、玻璃等材料之间的粘接几乎无法解释。

### 1.1.3 化学键理论

化学键理论认为胶接作用主要是化学键力作用的结果，这是一种由化学反应

产生化学键观点来解释粘接现象的理论。该理论认为，胶接作用是由于胶黏剂与被粘物之间的化学结合力而产生的，有些胶黏剂能与被粘物表面的某些分子或基团形成化学键。化学键包括离子键、共价键和金属键，而化学键是分子中相邻两原子之间的强烈吸引力，一般化学键要比分子间的范德华力大一两个数量级，这种化学键的结合十分牢固。由于化学键对胶接强度有相当大的影响，所以早就被人们所重视。化学键理论被许多事实所证实，在相应的领域中是成功的。尤其重要的是，界面有了化学键的形成，对胶接接头的抗水和介质腐蚀的能力有显著提高，这是不可忽视的。当然，界面化学键的形成对抗应力破坏、防止裂缝扩展的能力也有积极作用。

但这仅限于某些特定的反应性的胶黏剂品种中。如果在粘接中或多或少是由化学键产生的粘接力，那么粘接强度就要高得多。遗憾的是，在现有的粘接中，由化学键力产生的粘接力很少，这也许就是到目前为止粘接强度还不是很高的原因之一。

#### 1.1.4 配位键理论

配位键理论认为，强的黏附作用来源于胶黏剂分子与被粘物在界面上生成的配位键（氢键就是一种特殊的配位键）粘接时，胶涂覆在被粘物表面后，受被粘物表面的吸引，胶黏剂开始润湿被粘物材料表面，同时胶分子向被粘物材料移动。在移动过程中，胶分子中带电荷部分（通常是带未共享电子或  $x$  电子的基团）逐渐向被粘物材料带相反电荷部分靠近，当这两部分距离小于  $0.35\text{nm}$  时，就结合形成配价键。配价键的形式依据胶与被粘物材料的不同而不同，常见的有含有未共享电子对的胶与金属形成的配价键和胶与被粘物材料之间含有未共享电子对，或给电子部分与缺电子部分或氢离子形成电荷转移配价键。

黏附性来源于界面上的配位键，生成配位键既需要提供未共享电子对的一方，又需要接受电子对的一方。就是说比较理想的粘接应当是，当被粘物材料是电子供给体则应采用电子接受体材料的胶黏剂进行粘接；当被粘物材料是电子接受体，则应采用电子供给体的胶黏剂进行粘接。如果在粘接中，胶黏剂与被粘物均能提供电子对或均为接受电子对的一方，则粘接就很难成功。聚四氟乙烯材料之所以难以粘接就是典型的例子，因为聚四氟乙烯可以提供电子对，而一般的胶黏剂大多可提供电子对，这样两者都能提供电子对，胶接时不能产生黏附的配位键，这就是聚四氟乙烯难粘的原因之一。

另外，金属之所以容易粘接是因为其中的金属原子都有空的价轨道，能够接受某些未共享电子对或  $\pi$  键，生成配位键，胶黏剂分子能有效地提供未共享电子对或  $\pi$  键，跨过界面生成配位键。再例如，环氧树脂之所以具有很好的粘接性，从最简单的分子结构看，它有 4 个氧原子 2 个苯环，从配位键机理分析，它应对

金属有很好的黏附性，因为 4 个氧原子有 8 个配位能力很强的未共享电子对，还有 2 个具有共轭  $\pi$  键体系的苯环。另外分子中没有大的烷基链构成位阻，这就使它成为粘接金属材料的佼佼者。

配价键理论似乎比其他胶接理论能够更好地、更本质地解释各种粘接现象，在道理上说得通，实践中能得到验证，但绝不能否定其他理论，而是现有理论的深入探讨和补充。

### 1.1.5 机械结合理论

机械结合理论是最早提出的理论。理论认为，胶接只是一个机械结合过程，是胶黏剂对两个被粘物的粘接面机械附着作用的结果。它是以前所有固体表面均为粗糙、多孔为基础，当胶黏剂流动、扩散、渗入、填满凹凸不平、细小孔隙的被粘物表面后，一旦胶凝固或固化，胶与被粘物表面便通过互相的咬合而连接起来，形成了无数微小胶黏剂的“钉键”“钩键”“根键”“榫键”，把两个被粘物牢牢地结合在一起。因此，机械结合理论认为：胶钉越多，胶黏剂渗透得越深，孔隙填充越满，胶接强度越高。

很明显，机械结合力对胶接强度的贡献与被粘物材料的表面状态有关。对金属特别是玻璃等表面缺陷比较小的材料的粘接，机械结合力对粘接强度贡献甚小；而对海绵、泡沫塑料、织物、纸张等多孔性材料的粘接，机械结合力则占主导地位；对非极性的多孔材料的粘接，机械结合力则起着决定性作用。因此，机械结合理论不能解释非多孔性，如表面光滑的玻璃等物体的胶接现象，不能解释许多胶接现象，具有一定的局限性。

### 1.1.6 双电层理论

双电层理论是将胶黏剂与被粘物视作一个电容器。电容器的两块夹板就是双电层。即当两种不同的材料接触时，胶分子中官能团的电子通过分界线或一相极性基向另一相表面定向吸附，形成了双电层。由于双电层的存在，欲分离双电层的两个极板，就必须克服静电力。当被粘物与胶黏剂剥离时，可以视为两块极板的分离，此时两极之间便产生了电位差，并随着极板间的距离增大而增大（即随着剥离力的增大两者之间的距离增大），到一定极限值时，便产生了放电现象，在黑暗时会有发光的放电现象和听到轻微的爆声。此时，由于双电层的形成，胶黏剂与被粘物之间就有静电力产生，从而产生了粘接力。

双电层理论只存在于能形成双电层的粘接体系，不具有普遍性，并且双电层所产生的静电力即使存在于某些粘接体系中，但是，它在这个粘接中绝不是起主导作用的，它只占整个胶接力的一部分。

另外，双电层理论不能解释许多聚合物在粘接剥离时并没有放电现象发生，

也不能解释当两个聚合物性质越相近，粘接力越大，但两个同性聚合物接触时，电位差却小的现象等。因此双电层理论也有一定的局限性。

### 1.1.7 其他粘接理论

除了以上介绍的几种胶接理论外，还有学者提出一些其他胶接理论，诸如极性理论、弱界面层理论等，极性理论认为，胶接与胶黏剂和被粘物材料的极性有关，极性材料应用极性胶黏剂粘接，非极性材料应用非极性胶黏剂粘接；弱界面层理论并不是真正解释粘接原理的理论，它认为被粘物表面的弱界面层对粘接影响很大，强调被粘物表面弱界面层的处理，利于浸润的问题。

可以看出，以上每种理论都不能够解释所有的粘接现象，有的只能解释一种或几种胶接现象，而仅仅反映了粘接现象本质的一个侧面。有学者认为，粘接的吸附理论和扩散理论是胶接的形成过程，而双电层理论则是粘接形成后的一种结果，都不是产生粘接力的实质，胶接的实质应当是胶黏剂与被粘物材料之间形成配价键力结合、范德华力结合、机械结合、共价键及离子键结合等。在这些结合中，配价键力结合和范德华力结合是普遍存在的。而机械结合、共价键及离子键结合则是出现在个别的粘接情况中。

也有学者认为，胶黏剂与被粘物之间的粘接，是由于机械联结、分子之间相互扩散、物理吸附以及形成化学键、配价键、双电层等因素的综合结果。也就是说，胶黏剂与被粘物粘接所产生的粘接力是上述各种粘接理论的叠加产物。胶黏剂的不同，被粘物的不同，粘接接头形式不同，胶接工艺不同，这些因素对于胶接力贡献的大小就会不同。

在胶接技术中，高的黏附强度是由界面上的化学键和配位键提供的。但由化学反应生成的化学键，要求较高的条件，在界面发生化学反应的情况很少，而在界面上生成配位键却是普遍的，界面上的配位键能提供较高的、较稳定的黏附强度。

各种胶接理论都能解释一些胶接现象，但都有一定的局限性。具体运用时，要对具体情况作具体分析，并将各种理论相互补充。但是，粘接界面上两种分子之间的作用力是基本的，这已被许多胶接现象所证实。扩散现象发生在粘接过程中，特别是对于聚合物之间的粘接更适合，当粘接界面形成后，其胶接接头强度仍然是分子间力（吸附理论）的作用结果。同样，双电层产生的静电效应，主要是在胶层被剥离时的瞬间，静电作用才明显。因此，它不是形成粘接力的主要因素，在剥离前和剥离过程中，始终有分子间力的作用存在。

随着国内外学者对胶接理论的深入研究，学术观点的相互渗透，在某些方面的研究已得到共识，如同种橡胶聚合物的自粘可以用扩散理论解释；在胶黏剂与被粘物之间的粘接反应确实至少有化学键生成；还有，在某些吸附和静电作用的

粘接中，机械结合能增强这些作用，从而提高了粘接强度；在织物、皮革、纸张等材料的粘接中，机械结合产生的粘接力起着主导作用等。相信不久的将来，胶接理论会有新的发展，并日臻成熟、完善。

## 1.2 胶接界面化学

所谓胶接，简单地说是使胶黏剂相和被胶接体形成必要的具有稳定的机械强度的体系。单纯地考虑其胶接过程的话，包括胶黏剂的液化、流动、润湿、扩散、胶接、固化、变形、破坏等多种过程，每个过程都对胶接强度有一定的影响，仅就每一个过程来理解胶接是不可能的。

胶黏剂的液化：因为胶黏剂要浸润到固体间的孔隙中，故它必须是可自由改变形状的液体。因此，可用单体或预聚物、溶液或乳液、熔融聚合物。

胶黏剂流动：这是胶黏剂渗透到固体间并嵌入空隙中的过程。在此关系到胶黏剂黏性等流变学的性质。

胶黏剂润湿：为了使胶黏剂能够浸润固体空隙，并润湿固体表面，胶黏剂对固体的接触角必须要在  $90^\circ$  以下。

扩散、粘接、吸附：这个过程是与润湿平行发生的，它按照在多成分系高分子中，链段是通过界面自由能变成最小来吸附和取向的规则形成胶接层结构的。

胶黏剂固化：由于聚合、溶剂的挥发、冷却等作用，胶黏剂固化后形成所需强度的过程。

粘接体系的变形和破坏：这是在实际使用直至破坏的过程。

## 1.3 胶接流变学与胶接破坏

根据胶接的机械结合理论，在胶接木材这类多孔类材料时，胶黏剂以何种程度渗透到其内腔，又以何种方式形成有效的胶钉后才能最大限度地作用胶接强度成为研究重点。胶黏剂如何渗透到木材中的内腔是和胶黏剂的流动特性、木材的表面状态、木材和胶黏剂的浸润等相关。

### 1.3.1 胶接流变学

有关胶接的试验方法有许多种类，这些方法都与材料的变形和破坏有关，因此在通过试验结果所观察到的有关胶接的各种现象中，不考虑流变学问题难以理解的现象有很多。胶接的流变学主要与胶黏剂的黏弹性、流变学有较大关联，充分掌握胶黏剂的黏弹性，以便准确把握胶接体系的力学性能与结构特性及其应用问题。



### 1.3.1.1 胶黏剂的黏弹性

胶黏剂是聚合物材料，不仅限于力学方面的弹性，还包含黏性问题，即作为黏弹体而表现其特性。

理想弹性体（如钢制弹簧）在外力作用下平衡形变是瞬时达到的，与时间无关；理想黏性体（如水等低分子液体）在外力作用下，形变是随时间线性发展的；聚合物的形变性质与时间有关，其关系介于理想弹性体和理想黏性体之间。聚合物材料常被称为黏弹性材料。黏弹性是聚合物材料的另一重要特性。

聚合物的黏弹行为表现在蠕变、应力松弛和动态力学性质三个方面。唯象学的研究系从力学模型开始，首先假定聚合物各向同性，并且由均一的结构单元组成（如分子量是单分散的）。然后分别用理想弹簧和理想黏壶为代表研究固体的弹性和黏性。胶黏剂（聚合物）的黏弹性问题，是更准确地把握和解释胶黏剂和胶接接头的力学性能的关键问题。

### 1.3.1.2 胶接流变学

与胶接相关的性能多数情况是先使胶黏剂和被胶接材料接触后，再以一定的方式（标准等）使其破坏来进行评价的。无论是接触过程，还是破坏过程都伴有流变学特征。胶接体系的破坏形态是多样性的。如内聚破坏和（或）界面破坏，而且非常复杂。为了严密地解析其破坏形态，必须正确地把握各种材料的内应力及应变的分布和破坏条件。

胶接流变学主要从剪切胶接试验、拉伸胶接试验、剥离试验、冲击强度试验、持久强度试验、疲劳强度试验进行论证。

(1) 剪切胶接试验 剪切胶接试验是对胶接面平行地施加外力。

(2) 拉伸胶接试验 拉伸胶接试验是在与胶接面垂直的方向施加外力。

(3) 剥离试验 剥离试验是使被胶接材料的一方大幅度弯曲，并对其施加外力。

(4) 冲击强度试验 冲击强度是指胶接试样受到冲击破坏时，胶黏剂可能吸收的能量，或者是胶黏剂可吸收的能量，或者是胶黏剂抵抗冲击能而消耗的功。冲击强度以单位胶接面积上的功表示，单位  $\text{N} \cdot \text{m}/\text{m}^2$ 。

(5) 持久强度试验 胶接接头在恒温下和规定的时间内，每单位面积所承受的最大负荷称为持久强度。胶接接头在小于静态破坏力的作用下，胶黏剂层在长时间应力作用下，内部会发生塑性流动，胶接接头失去稳定性，胶接强度不断下降，到一定时间后接头便发生破坏。

(6) 疲劳强度试验 接头的疲劳强度是指在给定条件下，对胶接接头重复施加一定载荷至规定的次数而不引起破坏的最大应力。胶接接头在实际应用中不仅承受静态载荷，而且也承受动态载荷。一般情况下，在比静态载荷小得多的动态