



聚氨基酯胶黏剂

——制备、配方与应用

肖卫东 何培新 胡高平 编



化学工业出版社

聚氨酯胶黏剂

——制备、配方与应用

肖卫东 何培新 胡高平 编



化学工业出版社

·北京·

本书列举和引用了大量生产与科研实例，重点介绍了不同种类的聚氨酯胶黏剂的原料、制备、配方、主要影响因素、性能及作用等，同时，对聚氨酯胶黏剂的粘接工艺、应用技术及分析测试也做了简明叙述。

本书内容信息量大，可操作性强，是一本全面系统介绍聚氨酯胶黏剂的实用参考书，非常适合从事胶黏剂科研生产与应用的技术人员使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

聚氨酯胶黏剂——制备、配方与应用/肖卫东，何培新，胡高平编. —北京：化学工业出版社，2009.9

ISBN 978-7-122-06248-2

I. 聚… II. ①肖…②何…③胡… III. 聚氨酯-胶黏剂
IV. TQ433.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 114840 号

责任编辑：丁尚林
责任校对：战河红

装帧设计：关 飞

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：北京市兴顺印刷厂

850mm×1168mm 1/32 印张 13 $\frac{1}{4}$ 字数 398 千字

2009 年 10 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：39.00 元

版权所有 违者必究

前 言

聚氨酯胶黏剂中含有很强极性和化学活泼性的异氰酸酯基和氨基，与含有活泼氢的材料，如泡沫塑料、木材、皮革、织物、纸张、陶瓷等多孔材料和金属、玻璃、橡胶、塑料等表面光洁的材料都有着优良的化学粘接力，粘接牢固。聚氨酯胶黏剂可加热固化，也可以室温固化，粘接工艺简便，操作性能良好，具有优良的耐疲劳性能。

由于聚氨酯胶黏剂性能优越，在国民经济中得到广泛应用，是八大合成胶黏剂中的重要品种之一。国内外都十分重视其研究、开发和应用。

本书简要阐述了当前聚氨酯胶黏剂的国内外研制状态、前景，重点介绍了不同种类的聚氨酯胶黏剂的原料、制备、配方、主要影响因素、性能及作用等方面的内容，并列举和引用了大量例子，内容信息量大，参考性强。

肖卫东教授毕生从事化学高分子材料，特别是胶黏剂的研究与教学工作，积累了一定的经验。近几年来，先后出版了《胶黏剂生产技巧与疑难分析 300 例》、《粘接实践 200 例》、《密封胶黏剂》、《制鞋与纺织品用胶粘剂》、《电子电器胶黏剂》、《聚合物材料用化学助剂》、《金属用胶黏剂及粘接技术》等图书，也接受了大量全国各地读者朋友的电话、信函或上门咨询。

《胶黏剂生产技巧与疑难分析 300 例》和本书是在我丈夫肖卫东患病期间内写成的。前者于今年三月份出版，本书稿于春节期间完稿，他还没来得及仔细修改与校对就不幸辞世。剩下的校核工作是由我来完成的，也请他的研究生王合情和肖圣洁帮忙阅读修改了。由于这样的原因，书稿中难免存在一些问题与不足之处，敬请广大读者谅解。在此，对关心帮助肖老师完成此项工作的同事、朋友、学生一并表示感谢！

黄启香

2009 年 5 月于湖北大学

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 聚氨酯胶黏剂	1
1.2 聚氨酯胶黏剂的发展史	1
1.3 聚氨酯胶黏剂的分类	2
1.4 国外聚氨酯胶黏剂的发展动态	3
1.5 我国聚氨酯胶黏剂的发展概况	4
1.6 我国聚氨酯胶黏剂存在的问题与展望	6
参考文献	6
第 2 章 聚氨酯胶黏剂的粘接原理	7
2.1 胶黏剂的粘接原理与作用	7
2.1.1 粘接件间的作用力	7
2.1.2 粘接过程的界面化学	7
2.1.3 胶黏剂的固化	9
2.1.4 粘接强度及其影响因素	11
2.1.5 化学结构与粘接强度	12
2.1.6 胶黏剂黏料的物理结构与粘接强度	14
2.2 聚氨酯化学	14
2.2.1 异氰酸酯的化学反应	14
2.2.2 催化剂对异氰酸酯反应活性的影响	17
2.2.3 温度对反应速率的影响	18
2.2.4 溶剂对反应速率的影响	19
2.3 聚氨酯的结构与性能	19
2.3.1 软段对性能的影响	20
2.3.2 硬段对性能的影响	21
2.3.3 分子量、交联度的影响	22
2.3.4 添加剂的影响	22
2.4 聚氨酯胶黏剂对各种材料的粘接	23

2.4.1	对各种材料粘接的基本原理	23
2.4.2	基本粘接工艺	24
2.5	聚氨酯胶黏剂的配方设计原则	27
2.5.1	从原料直接配制	28
2.5.2	NCO类及OH类原料预先氨酯化改性	28
2.5.3	单组分聚氨酯胶黏剂	28
2.5.4	其他使用要求的兼顾	29
2.5.5	使用底涂剂	29
第3章	聚氨酯胶黏剂原料	32
3.1	多异氰酸酯	32
3.2	多羟基化合物	37
3.2.1	聚酯多元醇	38
3.2.2	聚醚多元醇	42
3.2.3	环氧树脂	43
3.2.4	蓖麻油	44
3.2.5	丙烯酸酯树脂	44
3.2.6	聚烯二醇	44
3.2.7	多元胺	44
3.3	助剂	45
3.3.1	溶剂	45
3.3.2	催化剂	49
3.3.3	扩链剂与交联剂	52
3.3.4	阻燃剂	54
3.3.5	填料及偶联剂	56
3.3.6	其他助剂	57
第4章	聚氨酯胶黏剂的制备	60
4.1	多异氰酸酯胶黏剂	60
4.1.1	三异氰酸酯	60
4.1.2	四异氰酸酯	61
4.1.3	七异氰酸酯	62

4.1.4	多苯基多亚甲基多异氰酸酯 (PAPI)	63
4.2	聚多异氰酸酯胶黏剂	64
4.2.1	TDI 三聚体	64
4.2.2	HDI 三聚体	64
4.2.3	IPDI 三聚体	65
4.2.4	TDI-HDI 混合三聚体	65
4.3	多异氰酸酯预聚体	65
4.3.1	三羟甲基丙烷-TDI 加成物	65
4.3.2	缩二脲多异氰酸酯	68
4.3.3	多异氰酸酯预聚体	69
4.4	双组分聚氨酯胶黏剂	69
4.4.1	通用双组分聚氨酯胶黏剂	70
4.4.2	双组分聚氨酯鞋用胶黏剂	90
4.4.3	双组分聚氨酯复合薄膜用胶黏剂	96
4.4.4	建筑用双组分聚氨酯胶黏剂	106
4.4.5	电子工业用双组分聚氨酯胶黏剂	116
4.4.6	其他双组分聚氨酯胶黏剂的制造研究	123
4.5	单组分聚氨酯胶黏剂	135
4.5.1	湿固化型聚氨酯胶黏剂	135
4.5.2	热固化型单组分聚氨酯胶黏剂	157
4.5.3	热熔型聚氨酯胶黏剂	163
4.5.4	溶剂型聚氨酯弹性体胶黏剂的制备研究	175
4.5.5	水性聚氨酯胶黏剂	196
第5章	聚氨酯与其他材料的改性	226
5.1	环氧树脂的改性	226
5.2	脲醛树脂的改性	271
第6章	聚氨酯胶黏剂的应用	294
6.1	可用的配方及配制	294
6.2	在制鞋工业中的应用	332
6.3	在建筑工业中的应用	334

6.4	在防水堵漏中的应用	337
6.5	在汽车工业中的应用	351
6.6	在机械维修中的应用	358
6.7	在木材工业中的应用	362
6.8	在电子工业中的应用	364
6.9	对输送带的粘接	365
6.10	在包装工业中的应用	368
6.11	在服装工业中的应用	370
第7章	分析和测试	373
7.1	与聚氨酯直接相关的测定	373
7.1.1	碱液的配制及标定	373
7.1.2	酸溶液的配制和标定	374
7.1.3	几种常用指示剂的配制	374
7.1.4	酸值和碱值	375
7.1.5	羟值	375
7.1.6	异氰酸酯原料的分析	378
7.2	胶黏剂的一般性能测定	382
7.2.1	外观	382
7.2.2	相对密度	382
7.2.3	黏度	383
7.2.4	不挥发物含量	383
7.2.5	酸值	384
7.2.6	适用期	384
7.2.7	固化速度	385
7.2.8	流动性	385
7.2.9	耐介质性	386
7.2.10	胶黏剂的使用寿命	387
7.3	胶黏剂的热力学性能测定	388
7.3.1	耐热性	388
7.3.2	剪切强度	390
7.3.3	拉伸强度	391

7.3.4	剥离强度	392
7.3.5	冲击强度	393
7.3.6	持久强度	394
7.3.7	疲劳强度	395
7.3.8	抗张强度	396
7.3.9	撕裂强度	397
7.4	特征元素检定	398
7.4.1	碳的检定	398
7.4.2	氢的检定	398
7.4.3	氧的检定	398
7.4.4	磷的检定	398
7.4.5	硅的检定	399
7.4.6	卤素的鉴别	399
7.4.7	氮的鉴别	399
7.4.8	硫的鉴别	399
7.4.9	氮、硫同时鉴别	400
附录		401
附录 1	近来聚氨酯胶黏剂的题录	401
附录 2	现在生产与使用的聚氨酯类胶黏剂	418
附录 3	甲苯二异氰酸酯的产品规格	428
附录 4	甲苯二异氰酸酯的毒性	429

第 1 章

绪 论

1.1 聚氨酯胶黏剂

聚氨酯 (PU) 胶黏剂是基料分子中含有氨基基 (NHCOO) 和/或异氰酸酯基 (NCO) 类的胶黏剂。由于性能优越, 在国民经济中得到广泛应用。

聚氨酯胶黏剂中含有很强极性和化学活泼性的异氰酸酯基和氨基基, 与含有活泼氢的材料、泡沫塑料、木材、皮革、织物、纸张、陶瓷等多孔材料和金属、玻璃、橡胶、塑料等表面光洁的材料都有着优良的化学粘接力, 粘接牢固。调节聚氨酯树脂的配方可调节粘接层的刚柔性, 满足不同材料的粘接。聚氨酯胶黏剂可加热固化, 也可以室温固化, 粘接工艺简便, 操作性能良好。聚氨酯胶黏剂固化时没有副反应, 不易使粘接层产生缺陷。

多异氰酸酯胶黏剂能溶于几乎所有的有机原料中, 而且异氰酸酯的分子体积小、易扩散, 因此多异氰酸酯胶黏剂能渗入被粘材料中, 从而提高粘接力。多异氰酸酯胶黏剂粘接橡胶和金属时粘接牢固, 具有优良的耐疲劳性能。

聚氨酯胶黏剂的低温和超低温性能超过所有其他类型的胶黏剂, 其粘接层可在 -136°C (液氮温度) 甚至在 -253°C (液氢温度) 下使用。具有良好的耐磨、耐水、耐油、耐溶剂、耐化学药品、耐臭氧以及耐细菌等性能。缺点是在高温、高湿下易水解而降低粘接强度。

1.2 聚氨酯胶黏剂的发展史

1940 年德国的研究人员发现三苯基甲烷-4, 4', 4'-三异氰酸酯可粘接金属与丁钠橡胶, 在第二次世界大战中使用到坦克履带上。

20 世纪 50 年代以后，Bayer 公司开发了 Desmorhurs 系列（二异氰酸酯和多异氰酸酯）和 Desmophens 系列（低分子量端羟基聚酯多元醇）。按一定量的 Desmodur 和 Desmophen 可配制成 Polystal 系列商品（双组分溶剂型聚氨酯胶黏剂）。

美国于 1953 年引进了聚氨酯胶黏剂技术，同时开发以蓖麻油和聚醚多元醇为原料的聚氨酯胶黏剂、聚酯型热塑性聚氨酯胶黏剂。1968 年开发了无溶剂型聚氨酯结构胶黏剂，成功地应用于汽车玻璃纤维增强塑料（FRP）部件的粘接。1978 年又开发了单组分湿固化型聚氨酯胶黏剂，并开始在汽车工业与建筑部门应用。1984 年美国市场上又出现了反应型热熔聚氨酯胶黏剂，解决了聚氨酯胶黏剂使用时的公害问题。

日本于 1954 年引进德国和美国技术，1960 年生产聚氨酯材料，1966 年开始生产聚氨酯胶黏剂，开发成功乙烯类聚氨酯水性胶黏剂，并于 1981 年投入工业化生产。目前日本聚氨酯胶黏剂的研究与生产十分活跃，并与美国、西欧一起成为聚氨酯生产、出口大国。

我国于 1956 年研制并生产三苯基甲烷三异氰酸酯（列克纳胶），很快又生产了甲苯二异氰酸酯（TDI）、双组分溶剂型聚氨酯胶黏剂，1966 年后由上海新光化工厂将铁锚-101 聚氨酯胶黏剂投入生产，至今仍为我国聚氨酯胶黏剂中产量最大的品种。20 世纪 80 年代以来陆续从国外引进许多先进的生产线和产品，其中需要大量进口的聚氨酯胶黏剂与其配套，因此，促进了国内研究单位加速聚氨酯胶黏剂的开发，特别是在 1986 年以后，我国聚氨酯工业进入迅速发展时期。1994 年国家正式批准成立“中国聚氨酯工业协会”，下设“聚氨酯胶黏剂委员会”，该委员会业已成为全国聚氨酯胶黏剂技术与信息交流的中心。

1.3 聚氨酯胶黏剂的分类

聚氨酯胶黏剂的类型、品种较多，分类方法也多，通常是按照反应组成与用途、特性进行分类。

(1) 按反应组成分类 按反应组成可分为多异氰酸酯胶黏剂、

含异氰酸酯基的聚氨酯胶黏剂、含羟基聚氨酯胶黏剂和聚氨酯树脂胶黏剂。

(2) 按用途与特性分类 按用途与特性分类可分为通用型胶黏剂、食品包装用胶黏剂、鞋用胶黏剂、纸塑复合用胶黏剂、建筑用胶黏剂、结构用胶黏剂、超低温用胶黏剂、发泡型胶黏剂、厌氧型胶黏剂、导电性胶黏剂、热熔型胶黏剂、压敏型胶黏剂、封闭型胶黏剂、水性胶黏剂以及密封胶黏剂等。

1.4 国外聚氨酯胶黏剂的发展动态

聚氨酯胶黏剂在国外已广泛用于纺织、土木建筑、交通运输、电子元件、制鞋、包装等工业，因此世界发达国家都很重视聚氨酯胶黏剂工业的技术开发。

(1) 快速发展结构胶与密封胶 汽车工业大量采用塑料零部件，特别是高强度的 FRP（玻璃纤维增强塑料）和 SMC（板材模塑复合材料）需用聚氨酯结构胶与密封胶进行粘接装配，主要用于汽车挡风玻璃和后窗玻璃的密封、SMC 车板和框架的粘接等。

聚氨酯密封胶对各种建筑材料都具有良好的粘接性，可应用于建筑领域中各部门，并且比有机硅与聚硫密封胶便宜。因此，聚氨酯密封胶的需求超过有机硅与聚硫密封胶而占主导地位。

(2) 开发无公害胶黏剂 聚氨酯胶黏剂在工业上的大量使用也带来了公害问题，水性聚氨酯胶黏剂、无溶剂聚氨酯胶黏剂以及热熔聚氨酯胶黏剂可代替有毒的溶剂型聚氨酯胶黏剂，也可选用低毒溶剂、提高固含量以及密闭通风操作及溶剂回收以降低有机挥发物的逸出量。

(3) 快速固化聚氨酯胶黏剂 为适应自动化装配线，开发了快速固化反应型聚氨酯胶、辐射或紫外线固化胶以及反应型热熔胶等。

(4) 开发新型施胶设备 聚氨酯胶黏剂在推广使用时，为了适应用户粘接施工的要求，研制开发了一系列相关设备如黏稠物料的计量、混合、输送和施胶设备等。

今后聚氨酯胶黏剂的开拓和扩展应用除关注胶黏剂的分子结构

外，还应致力于施胶工艺和工具方面的开发。

1.5 我国聚氨酯胶黏剂的发展概况

目前我国聚氨酯胶黏剂产业已形成独立的门类，应用领域涉及各行各业，生产企业也从 1966 年的一家发展到如今的 400 多家。近年来增长速度均在 10% 以上，我国大陆 2004 年胶黏剂总销量约为 3790kt，其中反应型聚氨酯胶黏剂（包括密封胶）约 205kt，比上年增加 13.9%。预计未来五年将以 12% 的速度增加，到 2010 年反应型聚氨酯胶黏剂的销售量将达 405kt。

(1) 通用型聚氨酯胶黏剂 通用型 PU 胶的代表性产品是 PU101 胶，端羟基 PU 树脂溶于有机溶剂作为主成分（固含量 30% 或 50%），以三羟甲基丙烷（有的用丙三醇）与 TDI 加成物的乙酸乙酯溶液为固化剂（固含量 60% 或 75%），固化剂的比例由多至少混合，可将金属、塑料、织物等不同材料很好地粘接起来，特别是电绝缘材料中涤纶薄膜与多孔性材料的复合、包装装饰材料复合等。目前全国约有 20~30 家生产单位，总产量约为 16~18kt。

(2) 鞋用聚氨酯胶黏剂 我国 PU 鞋胶生产厂已有 100~200 家，PU 鞋用胶生产量约有 130~150kt。除国内使用外，还有出口。溶剂型聚氨酯鞋用胶工艺简单、投资小、产品性能较稳定的特点仍被一些鞋厂特别是小型鞋胶厂所采用。当前正大力开发高性能“溶聚胶”和 TPU 树脂，反应型 PU 热熔胶和水性 PU 胶等。

(3) 复合膜用聚氨酯胶黏剂 复合软包装企业迅猛增加，与之配套的双组分溶剂型 PU 复合膜胶的生产厂已近 300 家，设备生产能力 10 多万吨，产量约 40kt。

综上所述，在 PU 复合膜胶中，受设备、技术、工艺的限制，无溶剂复合膜胶近年内尚难得到快速发展，水性 PU 复合膜胶环保、安全又可沿用溶剂型胶的复合膜设备生产线，展现了较大的发展潜力。溶剂型 PU 胶黏剂应向高固含量、低黏度、低溶剂残留、无毒的方向发展，目前仍将是主导产品。另要开发以 UV 等辐射固化的丙烯酸酯改性的 PU 复合膜胶，高性能的特种复合膜胶特别

是耐高温蒸煮的脂肪族 PU 复合膜胶等。

(4) 水性聚氨酯胶黏剂 (PUD 胶) 目前已有二三十家水性 PU 胶生产单位, 目前国内企业生产的水性 PU 胶除用于真空吸塑、PVC 贴膜、汽车内饰、IC 卡、玻纤集束、涂料印花、喷塑打印等外, 也有用于一般塑/塑、铝/塑复合、水性油墨等的产品。

为提高性能, 采用外加或内置交联剂, 通过接枝、共混、共聚或互穿网络等手段, 用丙烯酸酯、环氧树脂、有机硅以及纳米材料等改性, 使其构成二元或多元杂化体系, 性能互补。

(5) 单组分聚氨酯液体胶黏剂 单组分 PU 液体胶有反应型和非反应型两类, 非反应型胶是热塑性的, 一般是由 TPU 溶解配制的溶剂胶, 涂布成膜后加热压合可获得良好的粘接效果, 被用于 PVC 复合、纺织品、纸品涂层和要求不高的场合的粘接。反应型单组分 PU 液体胶主要有湿固化型、潜固化型、封闭型以及丙烯酸酯改性的 PU 用紫外光、电子束辐射固化等类型。

(6) 无溶剂聚氨酯结构胶 PU 结构胶韧性好、剥离强度高。综合性能优良, 能承受较大负荷, 已代替螺栓连接、铆接、焊接等结构件连接。近年来在我国也已取得了一定的进展, 这类胶往往以异氰酸酯预聚体与多元醇或多元胺类等组成双组分, 常用环氧树脂、丙烯酸酯等改性。

(7) 聚氨酯热熔胶 PU 热熔胶比聚酯型、EVA 型热熔胶具有更好的粘接强度和弹性, 比聚酰胺类热熔胶具有更低的熔点和硬度, 是一种性能较优良的热熔胶。

(8) 聚氨酯密封胶 聚氨酯密封胶被广泛应用于建筑、车船、土木工程、电子电器等的密封粘接, 主要有单组分湿固化 PU 密封胶和双组分 PU 密封胶。

2005 年我国双组分 PU 密封胶消费总量约 40kt, 生产单位约有一百多家, 目前开发高性能环保型双组分 PU 密封胶已成为发展的重点。

硅烷改性聚醚密封胶 (MS) 是以端硅烷聚醚为基料的弹性密封剂, 实际上, 这是国际上新发展的另一类性能优异的弹性密封剂。其黏度较低, 具有优良的耐候和耐久性, 并具有高伸长率和适当的拉伸强度, 良好的耐热耐寒性, 且成本较低, 产品主要用于汽

车、建筑、船舶、集装箱等。

1.6 我国聚氨酯胶黏剂存在的问题与展望

我国与世界先进水平相比，仍有不小的差距。主要是中、低档的产品较多、溶剂型的比例过大，一些较缺乏的胶种尚未形成规模；溶剂含量高，固化剂异氰酸酯预聚合物中游离单体如 TDI 含量超标；总体的产业规模较小，较分散，生产设备、工艺、控制手段相对落后，检测仪器、包装、施胶机具也较滞后；特种原料、助剂，如特种聚酯多元醇、脂肪族异氰酸酯、特种催化剂、脱水剂、增黏剂、封闭剂、硅烷等改性剂等原料仍较缺乏，有的价格昂贵。

为此，需加快技术进步，调整产品结构，新产品应向无溶剂、少溶剂、水基性热熔型、UV 固化型、反应性热熔型等方向发展，向室温固化或低温固化的方向发展，向资源可再生利用的方向发展。

到 2015 年我国将成为全球最大的聚氨酯市场。目前 Bayer、BASF、亨斯迈、Noveon（诺誉）、旭化成、三井化学等已在上海等地投资兴建了大型的聚氨酯原料及相关产品生产基地，市场竞争更趋激烈。

“十一五”期间我国 PU 胶黏剂发展总趋势是开发无溶剂、水基和热熔型高性能品种，重点开发鞋用和复合膜用水性 PU 胶黏剂，特别是耐高温蒸煮的复合膜胶，建立连续本体法粘接性 TPU 的生产线，加强以单组分湿固化密封胶为重点的 PU 密封胶及相关设备、器具的开发；开发“绿色”溶剂型、非黄变型、高耐热型、高性能的 PU 胶；开发反应型 PU 热熔胶、高性能 PU 结构胶及低成本的水性高分子多异氰酸酯胶。

参 考 文 献

- [1] 李绍雄，刘益军. 聚氨酯胶黏剂. 北京：化学工业出版社，1998. 8.
- [2] 陆冬贞. 我国聚氨酯胶黏剂发展概况与展望. 聚氨酯，2007，5：68.
- [3] 程晶波. 聚氨酯胶黏剂研究的进展. 精细化工原料及中间体，2003，6：16.
- [4] 乔吉超. 聚氨酯胶黏剂的研究进展. 热固性树脂，2006，5：44.
- [5] 叶青莹. 我国聚氨酯胶黏剂发展简述. 聚氨酯，2007：64.



第 2 章

聚氨酯胶黏剂的粘接原理

2.1 胶黏剂的粘接原理与作用

2.1.1 粘接件间的作用力

粘接件间的作用力主要有化学键力、分子间力、界面静电引力和机械作用力。化学键力又称主价键力，存在于原子（或离子）之间，有离子键、共价键及金属键三种不同形式。胶黏剂与被粘物之间，如能引入化学键连接，其粘接强度将有显著提高，例如聚氨酯胶黏剂粘橡胶、纤维等物质可能发生化学反应而增大粘接强度。

分子间力又称次价键力，有取向力、诱导力、色散力（以上诸力合称范德华力）和氢键力几种形式。低分子物质的色散力较弱，高分子物质的色散力相当可观。非极性高分子物质中，色散力占全部分子作用力的 80%~100%。氢键力有饱和性和方向性，比主价键力小得多，但大于范德华力。

当金属与非金属材料（例如高分子胶黏剂）密切接触时，金属容易失去电子，非金属容易得到电子，故电子可从金属移向非金属，使界面两侧产生接触电势，并形成双电层而产生静电引力。

胶黏剂充满被粘物表面的缝隙或凹凸之处，固化后在界面区产生了啮合力。机械连接力的本质是摩擦力，在粘接多孔材料、织物及纸等时是很重要的。

2.1.2 粘接过程的界面化学

要想形成完美的密封或粘接，液体胶黏剂与固体被粘件之间必须形成完好的浸润，而这种浸润情况与胶黏剂的组成与性能、被粘件的结构与性质，胶黏剂与被粘件间的相互作用密切相关，也就是

说二者之间的界面张力的影响是极为重要的。

液体的表面张力是作用于液体表面单位长度上使表面收缩的力，表面张力为液面的分子受液体内部分子吸引的结果，其大小与液体的性质（分子间力）、纯度、温度等有关，其作用的结果是液体总是倾向于尽可能缩小表面积（或者说体积），这就是空气中的小液滴是球状的原因。

固体具有一定形状，其表面不能收缩，因此，它没有表面张力而只有表面自由能 γ_s 。在讨论时有时称 γ_s 为固体的表面张力。液体与固体表面接触时，处于界面区的两种分子在朝向各相内部方向受到同种分子的吸引作用。

表面张力小的物质能很好地浸润表面张力大的物质，反之则不行，例如水的表面张力比油大得多，所以油能很好地铺在水（或冰）上，而水却不能很好地铺在油（或石蜡）上。金属、无机盐等的表面张力都很大，很容易被胶黏剂浸润，塑料的表面张力一般与胶黏剂相近，浸润程度差。在对表面张力很小的物件进行粘接时，在胶液中适当加入一些表面活性剂也是有益的。

还可用 δ 值（溶度参数）代替 γ_s 。分子间的作用力能使分子聚集在一起，这种作用能称为内聚能。单位体积的内聚能称为内聚能密度（CED），定义内聚能密度的平方根为溶解度参数 δ ，为了使用方便，本书中溶解度参数仍以 $(\text{cal/ml})^{1/2}$ 为单位（ $1\text{cal} = 4.1840\text{J}$ ）。

$$\sqrt{\text{CED}} = V = \sqrt{\frac{\Delta H_v - RT}{V}}$$

式中 ΔH_v 为 25°C 时每摩尔溶剂的蒸发潜热， cal ， $\Delta H_v = -2950 + 23.7T_b + 0.20T_b^2$ ； T_b 是溶剂的沸点， K ； T 为绝对温度， K ； R 为气体常数； V 为溶剂在温度 T 时的摩尔体积， ml ， $V = M/d$ （ M 为分子量， d 为在 T 时的密度）。

组成与结构不同的溶剂溶解度参数也不同，非极性或弱极性溶剂的溶解度参数小，极性或强极性溶剂的溶解度参数大，值相近的物质相互混合容易、浸润良好，故粘接良好。