胶黏剂分析与测试技术

张向宇　编著

化学工业出版社
材料科学与工程出版中心
·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

胶黏剂分析与测试技术/张向宇编著. —北京：化学工业出版社，2004.5
ISBN 7-5025-5555-2

Ⅰ. 胶… Ⅱ. 张… Ⅲ. ①胶黏剂-性能分析②胶黏剂-性能试验 Ⅳ. TQ43

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2004）第 044138 号

胶黏剂分析与测试技术
张向宇 编著
责任编辑：丁尚林
文字编辑：赵媛媛
责任校对：洪雅姝
封面设计：潘 峰

化学工业出版社
材料科学与工程出版中心 出版发行
（北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029）
发行电话：（010）64982530
http://www.cip.com.cn

新华书店北京发行所经销
北京永鑫印刷有限责任公司印刷
三河市延风装订厂装订
开本 787mm×1092mm 1/16 印张 35 字数 864 千字
2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5025-5555-2/TQ·1988
定 价：72.00 元

版权所有 违者必究
该书如有缺页、倒页、脱页者，本社发行部负责退换

内 容 提 要

本书从实际应用出发，结合国内外相关标准，首次全面而系统地论述了胶黏剂的化学性能、物理性能、热性能、电性能、工艺性能、力学性能、环境性能、燃烧性能、生物性能的测试原理、试验条件、试验步骤、结果评定与影响因素。扼要介绍了仪器分析与无损检测在胶黏剂性能测试中的应用。同时对胶黏剂的基础知识与试验方法通则进行了综述。最后对测试误差及数据处理进行了讲解与示例。收录了国内外胶黏剂与密封剂的性能测试方法、标准目录。

本书有理论、有分析、有经验、有实例，具有很强的实用性与可读性。

本书可供胶黏剂的研究、开发、生产、检验、经营与销售人员阅读，同时也可作为大专院校高聚物材料与工程、精细化工及相关专业师生的参考用书。

前　言

随着国民经济与科学技术的发展，胶黏剂业已成为高新技术发展中一种不可缺少的新型材料。由于它具有独特的、无可替代的优异性能，因此在国民经济的各个部门及日常生活中的相关领域得到了极其广泛的应用。

在胶黏剂生产与胶接技术的飞速发展中，如何评价其产品质量就显得十分重要。对胶黏剂的性能测试是为了正确评价胶黏剂的各种性能，有效地控制产品质量，进一步研究胶黏剂性能和微观结构的关系，对指导胶黏剂的研制、生产与应用等都有着十分重要的意义。

我国胶黏剂测试技术的应用，始于20世纪中叶，开始大多是直接沿用国外材料与相关标准，20世纪80年代起国内已先后颁布了胶黏剂与密封剂产品的化学、物理、力学、耐环境与电性能等试验方法标准，它的建立对国内胶黏剂的生产与应用起了一定的促进作用。改革开放以来，由于国外先进产品、材料与制造技术的引进，从而加速我国胶黏剂生产发展与应用技术的提高，促使胶黏剂性能试验方法的制订及修订工作进一步加快，相关胶黏剂试验方法的国家标准、行业标准与企业标准进一步完善。此时，无论是在标准数量与质量上都有了大的提高，很多方法都先后参照或等效采用国际标准化组织与发达国家的先进标准。

为了推动我国胶黏剂测试技术的发展，作者结合40多年来的科研与生产实践，国内外交流、考察所获得的信息，承担部级三十几个胶黏剂与密封剂性能试验方法课题的研究以及十几年在国内对航空航天胶黏剂性能检测人员资格培训的教学经验，并依据国内胶黏剂现行的性能试验方法，参照国际标准化组织与发达国家的先进标准及相关资料，精心编拟，归纳与总结，汇集成书。

全书共分14章，第1章概述，简要地介绍了胶黏剂与胶接技术的基本知识；第2章胶黏剂试验方法通则，叙述了取样、试验用材料与表面预处理、试样制备、试验条件与胶黏剂名词及术语；第3章～第9章、第11章和第12章依次对胶黏剂的化学性能、物理性能、热性能、电性能、工艺性能、力学性能、环境性能、燃烧性能、生物性能的测试原理、试验条件、试验步骤、结果评定与影响因素进行了论述；第10章与第13章扼要介绍了仪器分析与无损检测技术在胶黏剂性能测试中的应用；第14章对胶黏剂测试误差及数据处理做了讲解与示例。最后，对国内外部分胶黏剂性能与密封剂试验方法及相关标准目录进行了汇总，以利读者工作时查找方便。

本书有理论、有方法、有数据、有分析、有经验、有实例，首次全面而系统地对胶黏剂的性能测试技术进行了归纳与总结，具有较强的实用性与可读性。可供胶黏剂性能测试人员，研究、生产、测试、营运与应用部门广大工程技术人员使用，以及大专院校相关专业师生参考。

胶黏剂的种类很多，应用范围很广，性能要求不一，因此对其性能测试方法，特别是特种胶黏剂的性能测试方法很多，在这里不可能全部收录。希望本书的出版，对推动我国胶黏剂工业与测试及其应用技术的发展能产生十分有益的影响。

由于胶黏剂性能测试技术涉及的学科门类很广，新材料与新方法又不断涌现，加之作者水平有限，书中的错误与不足之处在所难免，恳请专家、读者批评指正。同时对书中所引用

文献的中、外作者致以衷心的感谢！

在成书过程中，得到中国南方航空动力机械公司林奇辉、赵威力高级工程师的帮助，张隽华、张真等参与资料整理、输入及编排等工作，特别是在我生病期间，得到了夫人王建平女士的精心照顾，使我早日康复，重新执笔，以此深表谢意！

作者

于株洲市南华柏木园

2004 年 4 月 1 日

目　　录

第 1 章　概论 …… 1

1.1　**胶黏剂特点、组成与分类** …… 2
1.1.1　**胶接连接的特点** …… 2
1.1.2　**胶黏剂的组成** …… 4
1.1.3　**胶黏剂的分类** …… 9
1.2　**胶接机理** …… 11
1.2.1　**胶接力** …… 11
1.2.2　**表面张力** …… 14
1.3　**各种胶黏剂的特性与用途** …… 15
1.3.1　**合成橡胶胶黏剂** …… 15
1.3.2　**热塑性胶黏剂** …… 16
1.3.3　**热固性胶黏剂** …… 17
1.3.4　**特种胶黏剂** …… 27
1.4　**胶接技术** …… 28
1.4.1　**接头设计** …… 28
1.4.2　**胶黏剂的选择** …… 28
1.5　**胶接工艺** …… 33
1.5.1　**试件表面处理** …… 33
1.5.2　**胶黏剂的配制** …… 43
1.5.3　**涂胶** …… 43
1.5.4　**晾置与叠合** …… 44
1.5.5　**固化** …… 45
1.5.6　**检验** …… 48
1.6　**密封剂** …… 48
1.6.1　**密封剂的分类** …… 48
1.6.2　**密封剂的组成与特性** …… 51
1.6.3　**液态密封垫特性与密封机理** …… 53
参考文献 …… 57

第 2 章　胶黏剂试验方法通则 …… 59

2.1　**取样** …… 59
2.1.1　**概述** …… 59
2.1.2　**预检** …… 59
2.1.3　**取样** …… 59
2.2　**试验材料与表面预处理** …… 61
2.2.1　**试验材料** …… 62
2.2.2　**试片（棒）加工** …… 63
2.2.3　**胶接表面预处理** …… 65
2.3　**试样制备** …… 68
2.3.1　**胶接试样制备** …… 68
2.3.2　**密封剂的试样制备** …… 73
2.4　**试验条件** …… 73
2.4.1　**胶黏剂试样试验条件** …… 73
2.4.2　**密封剂试样试验条件** …… 75
2.4.3　**试验结果与数据处理** …… 76
2.4.4　**试验记录与试验报告** …… 77
2.5　**胶黏剂术语** …… 78
2.5.1　**一般术语** …… 78
2.5.2　**成分** …… 79
2.5.3　**分类名词** …… 80
2.5.4　**胶接工艺** …… 83
2.5.5　**加工机械及涂布设备** …… 84
2.5.6　**胶接制品及其缺陷** …… 85
2.5.7　**性能及测试** …… 86
参考文献 …… 88

第 3 章　化学性能试验 …… 89

3.1　**环氧当量与环氧值测定** …… 89
3.1.1　**概述** …… 89
3.1.2　**盐酸丙酮法** …… 90
3.1.3　**溴化季铵盐直接滴定法** …… 91
3.1.4　**盐酸吡啶法** …… 92
3.2　**氯含量** …… 92
3.2.1　**概述** …… 92
3.2.2　**无机氯直接电位滴定法** …… 93
3.2.3　**易皂化氯含量测试** …… 94
3.2.4　**总氯含量测试** …… 95
3.3　**游离酚** …… 96
3.3.1　**概述** …… 96

3.3.2 游离酚测试 …… 97
3.4 游离甲醛 …… 98
3.4.1 概述 …… 98
3.4.2 游离甲醛试验 …… 99
3.5 羟值 …… 99
3.5.1 概述 …… 99
3.5.2 环氧树脂羟值测试 …… 100
3.5.3 聚酯与聚醚羟值测试 …… 101
3.6 酸值 …… 102
3.6.1 概述 …… 102
3.6.2 酸值测试 …… 103
3.7 结合丙烯酸含量 …… 104
3.7.1 概述 …… 104
3.7.2 结合丙烯酸含量测试 …… 104
3.8 异氰酸酯基 …… 105
3.8.1 概述 …… 105
3.8.2 异氰酸酯含量测试 …… 105
3.8.3 预聚体中 NCO 基含量测试 …… 106
3.9 pH 值 …… 107
3.9.1 概述 …… 107
3.9.2 广泛试纸法 …… 107
3.9.3 酸度计法 …… 108
3.10 含水量 …… 109
3.10.1 概述 …… 109
3.10.2 聚醚多元醇水分含量测试 …… 110
3.10.3 溶剂抽提法水分含量试验 …… 113
3.11 腐蚀性 …… 113
3.11.1 概述 …… 113
3.11.2 厌氧胶腐蚀试验 …… 116
3.11.3 密封剂腐蚀试验 …… 117
3.11.4 液态密封垫腐蚀性试验 …… 119
3.11.5 密封腻子腐蚀试验 …… 120
3.11.6 胶黏剂应力腐蚀试验 …… 121
3.11.7 液态密封垫钛合金应力腐蚀试验 …… 121
3.11.8 胶黏带电腐蚀试验 …… 123
3.11.9 其他胶黏剂的腐蚀试验 …… 123
3.11.10 对铜的电腐蚀试验 …… 124
3.11.11 水溶性物质试验 …… 124
参考文献 …… 125

第 4 章 物理性能试验 …… 127
4.1 黏度试验 …… 127
4.1.1 概述 …… 127
4.1.2 旋转黏度计法 …… 128
4.1.3 品氏黏度计法 …… 130
4.1.4 乌氏黏度计法 …… 134
4.1.5 涂-4 杯黏度计法 …… 137
4.1.6 黏度杯法 …… 138
4.1.7 落球式黏度计法 …… 140
4.2 密度与比重试验 …… 140
4.2.1 比重瓶法 …… 141
4.2.2 比重杯法 …… 142
4.2.3 比重计法 …… 144
4.2.4 金属环法（建筑密封胶的金属环法） …… 144
4.2.5 重量杯法 …… 145
4.3 挥发分和固体含量试验 …… 145
4.3.1 概述 …… 145
4.3.2 胶黏剂不挥发物含量试验 …… 146
4.3.3 密封剂不挥发分含量试验 …… 148
4.3.4 密封膏挥发残分试验 …… 148
4.3.5 液态密封垫挥发分试验 …… 149
4.3.6 不饱和聚酯固体含量试验 …… 150
4.3.7 环氧树脂的挥发分试验 …… 150
4.3.8 室温硫化硅橡胶挥发分试验 …… 151
4.4 光学性能试验 …… 152
4.4.1 概述 …… 152
4.4.2 透光率试验 …… 152
4.4.3 折射率试验 …… 153
4.4.4 色泽试验 …… 155
4.5 灰分试验 …… 158
4.5.1 概述 …… 158
4.5.2 胶黏剂灰分试验 …… 159
4.5.3 液态密封垫灰分试验 …… 160
4.5.4 密封膏灰分（白炭黑）试验 …… 160
4.6 细度 …… 161
4.6.1 概述 …… 161
4.6.2 千分尺法 …… 162
4.6.3 刮板细度计法 …… 162
4.7 外观 …… 163
参考文献 …… 163

第 5 章　热性能试验 …… 164
5.1　**热稳定性试验** …… 164
5.1.1　**负荷热变形温度试验** …… 164
5.1.2　**维卡软化点试验** …… 166
5.1.3　**线膨胀系数试验** …… 168
5.1.4　**浇注料收缩率试验** …… 170
5.2　**流动性试验** …… 172
5.2.1　DSC **法熔点试验** …… 173
5.2.2　**环球法软化点试验** …… 174
5.2.3　**液态密封垫的软化点试验** …… 177
5.3　**热导率试验** …… 177
5.3.1　**概述** …… 177
5.3.2　**热导率试验** …… 177
5.4　**玻璃化温度试验** …… 180
5.4.1　**概述** …… 180
5.4.2　DSC **法玻璃化温度试验** …… 182
5.4.3　**热机械法玻璃化温度试验** …… 183
5.5　**脆性温度试验** …… 185
5.5.1　**概述** …… 185
5.5.2　**脆性温度试验（单试样法）** …… 185
参考文献 …… 188

第 6 章　电性能试验 …… 190
6.1　**概述与试样制备** …… 190
6.1.1　**介电性能** …… 191
6.1.2　**电绝缘性** …… 192
6.1.3　**介电强度** …… 193
6.2　**试样制备、调节与环境** …… 193
6.2.1　**试样制备** …… 193
6.2.2　**标准环境条件与状态调节** …… 194
6.3　**绝缘电阻率的测定** …… 194
6.3.1　**高阻计法** …… 195
6.3.2　**检流计法** …… 198
6.4　**介电性能的测定** …… 200
6.4.1　**概述** …… 200
6.4.2　**工频介电性能测定法** …… 201
6.4.3　**高频介电性能的测定——谐振升高法** …… 202
6.5　**电气强度的测定** …… 205
6.5.1　**概述** …… 205
6.5.2　**击穿电压与耐电压的测定** …… 207
6.5.3　**绝缘胶黏带工频介电强度的测定** …… 210
参考文献 …… 212

第 7 章　工艺性能试验 …… 213
7.1　**概述** …… 213
7.2　**适用期** …… 214
7.2.1　**概述** …… 214
7.2.2　**胶黏剂适用期试验** …… 215
7.2.3　**密封剂活性期试验（稠度法）** …… 216
7.2.4　**活性期试验典型示例** …… 218
7.3　**贮存期** …… 219
7.3.1　**概述** …… 219
7.3.2　**胶黏剂贮存期试验** …… 220
7.3.3　**厌氧胶贮存稳定性试验** …… 221
7.3.4　α-**氰基丙烯酸酯胶贮存稳定性试验** …… 222
7.3.5　**密封剂的贮存稳定性试验** …… 222
7.3.6　**乙酸乙烯乳胶贮存稳定性试验** …… 223
7.4　**流淌性试验** …… 224
7.4.1　**概述** …… 224
7.4.2　**密封剂流淌性试验** …… 224
7.4.3　**液态密封垫流淌性试验** …… 226
7.4.4　**建筑密封胶下垂度试验** …… 227
7.5　**施工期试验** …… 228
7.5.1　**概述** …… 228
7.5.2　**密封剂施工期试验** …… 228
7.6　**不黏期试验** …… 230
7.6.1　**概述** …… 230
7.6.2　**密封剂不黏期试验** …… 230
7.7　**硫化期试验** …… 231
7.7.1　**概述** …… 231
7.7.2　**密封剂硫化期试验** …… 231
7.8　**威廉可塑性试验** …… 232
7.8.1　**概述** …… 232
7.8.2　**液态密封垫威廉可塑性试验** …… 233
7.8.3　**密封腻子可塑性试验** …… 234
7.8.4　**液态密封垫锥入度试验** …… 234
7.8.5　**液态密封垫锥形软化点试验** …… 235

7.9 涂布量试验 …… 235
7.9.1 概述 …… 235
7.9.2 干燥固体法涂胶量试验 …… 236
7.9.3 液态胶法涂布量试验 …… 237
7.10 渗透性与润湿性试验 …… 237
7.10.1 厌氧胶渗透性试验 …… 237
7.10.2 厌氧胶润湿性试验 …… 239
7.10.3 建筑密封胶渗出性试验 …… 239
7.11 拆卸强度试验 …… 240
7.11.1 液态密封垫拆卸拉伸强度试验 …… 240
7.11.2 液态密封垫拆卸扭矩试验 …… 240
7.12 固化速度试验 …… 242
7.12.1 概述 …… 242
7.12.2 厌氧胶固化速度试验 …… 242
7.12.3 胶接接头强度形成试验 …… 243
7.12.4 502 胶固化速度试验 …… 244
7.13 润滑性试验 …… 245
7.13.1 概述 …… 245
7.13.2 厌氧胶润滑性试验 …… 246
7.14 其他性能试验 …… 247
7.14.1 厌氧胶紫外荧光性试验 …… 247
7.14.2 厌氧胶溶解性试验 …… 247
7.14.3 液态密封垫凝结试验 …… 247
7.14.4 液态密封垫析出试验 …… 247
7.14.5 溶剂挥发速度试验 …… 247
7.14.6 建筑密封膏低温流平性试验 …… 248
参考文献 …… 249

第 8 章 力学性能试验 …… 250
8.1 概述 …… 250
8.2 剪切强度试验 …… 251
8.2.1 拉伸剪切强度试验（金属-金属） …… 251
8.2.2 厌氧胶静剪切强度试验 …… 259
8.2.3 压缩剪切强度试验 …… 261
8.2.4 套接扭转剪切强度试验 …… 262
8.2.5 对接扭转剪切强度试验 …… 263
8.2.6 管剪强度试验 …… 264
8.2.7 喷涂用剪切强度试验 …… 265
8.2.8 无机胶套接扭转剪切强度试验 …… 266
8.2.9 密封腻子胶接剪切强度试验 …… 267
8.3 拉伸强度试验 …… 269
8.3.1 拉伸强度试验（条型和棒状） …… 269
8.3.2 不均匀拉伸试验 …… 273
8.3.3 不对称拉伸试验（劈裂试验） … 275
8.3.4 交叉搭接拉伸强度试验 …… 276
8.3.5 拉伸强度试验（菌状试样） …… 277
8.3.6 喷涂用拉伸强度试验 …… 279
8.4 剥离强度试验 …… 281
8.4.1 概述 …… 281
8.4.2 T 剥离强度试验（金属-金属） …… 282
8.4.3 180°剥离强度试验（金属-金属） …… 286
8.4.4 浮滚剥离强度试验 …… 287
8.4.5 爬鼓剥离强度试验 …… 288
8.4.6 90°剥离强度试验（金属-金属） …… 290
8.4.7 密封剂 T 剥离强度试验 …… 292
8.4.8 密封剂 180°剥离强度试验 …… 294
8.5 冲击强度试验 …… 297
8.5.1 剪切冲击强度试验 …… 297
8.5.2 弯曲冲击强度试验 …… 299
8.5.3 T 剥离冲击试验 …… 300
8.6 扭矩强度试验 …… 300
8.6.1 概述 …… 300
8.6.2 厌氧胶扭矩强度试验 …… 301
8.7 密封性试验 …… 303
8.7.1 厌氧胶密封性试验 …… 303
8.7.2 液态密封垫耐压性试验 …… 304
8.8 橡胶胶黏剂力学性能试验 …… 307
8.8.1 概述 …… 307
8.8.2 橡胶与金属胶接扯离强度试验 …… 309
8.8.3 橡胶与金属胶接拉伸剪切强度试验 …… 311
8.8.4 橡胶与金属胶接 180°剥离强度试验 …… 312
8.9 密封剂本体强度试验 …… 314
8.9.1 邵氏 A 型硬度试验 …… 314
8.9.2 邵氏 D 型硬度试验 …… 318
8.9.3 密封剂本体拉伸强度试验 …… 318
8.10 封装胶本体强度试验 …… 323
8.10.1 封装胶本体拉伸强度试验 …… 323

8.10.2 封装胶本体压缩强度试验 …… 325
8.10.3 封装胶本体弯曲强度试验 …… 326
8.10.4 封装胶本体冲击强度试验 …… 327
参考文献 …… 328

第 9 章 耐久性试验 …… 329
9.1 概述 …… 329
9.2 耐介质试验 …… 331
9.2.1 胶黏剂耐介质试验 …… 331
9.2.2 密封剂耐介质试验 …… 336
9.2.3 液态密封垫耐介质试验 …… 339
9.3 耐水性试验 …… 341
9.3.1 概述 …… 341
9.3.2 胶黏剂的湿热试验 …… 343
9.3.3 胶黏剂恒温蒸气浴法 …… 345
9.3.4 胶黏剂恒温水浸试验 …… 345
9.3.5 胶黏剂干湿周期循环试验 …… 346
9.4 海水浸泡与盐雾试验 …… 346
9.4.1 胶黏剂海水浸泡试验 …… 346
9.4.2 胶黏剂盐雾试验 …… 347
9.5 热性能试验 …… 348
9.5.1 概述 …… 348
9.5.2 胶黏剂不同温度下热强度试验 …… 348
9.5.3 胶黏剂高低温交变试验 …… 350
9.5.4 胶黏剂热老化试验 …… 350
9.5.5 密封剂热老化试验 …… 351
9.5.6 密封剂低温柔软性试验 …… 352
9.5.7 密封腻子耐热性试验 …… 354
9.5.8 密封腻子耐低温试验 …… 355
9.5.9 液态密封垫低温柔韧性试验 …… 356
9.5.10 液态密封垫耐冷热交变性试验 …… 356
9.5.11 光学胶黏剂高低温交变试验 …… 357
9.6 耐应力试验 …… 357
9.6.1 概述 …… 357
9.6.2 胶黏剂持久强度试验 …… 359
9.6.3 胶黏剂蠕变试验 …… 359
9.6.4 疲劳强度试验 …… 363
9.7 耐霉菌与昆虫试验 …… 365
9.7.1 胶黏剂耐霉菌试验 …… 365
9.7.2 胶黏剂耐昆虫试验 …… 366
9.8 耐候性试验 …… 366
参考文献 …… 371

第 10 章 仪器分析 …… 372
10.1 概述 …… 372
10.2 红外光谱法 …… 373
10.2.1 基本原理 …… 373
10.2.2 红外光谱仪及操作技术 …… 376
10.2.3 标准图谱 …… 378
10.2.4 红外光谱法在胶黏剂中的应用 …… 379
10.3 热分析 …… 383
10.3.1 概述 …… 383
10.3.2 热分析仪组成 …… 384
10.3.3 热重法 …… 385
10.3.4 差示扫描量热分析 …… 388
10.4 电子显微镜分析 …… 393
10.4.1 概述 …… 393
10.4.2 透射电子显微镜 …… 394
10.4.3 扫描电子显微镜技术 …… 396
10.5 紫外分光光度法 …… 401
10.5.1 概述 …… 401
10.5.2 紫外分光光度法 …… 402
10.6 气相色谱法与裂解色谱法 …… 404
10.6.1 气相色谱法（GC） …… 404
10.6.2 裂解色谱法 …… 407
10.6.3 在高聚物中应用 …… 407
10.7 质谱 …… 409
10.7.1 概述 …… 409
10.7.2 基本原理 …… 409
10.7.3 应用 …… 411
参考文献 …… 413

第 11 章 燃烧性能试验 …… 414
11.1 燃烧基本知识 …… 414
11.1.1 燃烧 …… 414
11.1.2 高聚物的分解与燃烧 …… 415
11.1.3 防火 …… 419
11.2 试样与状态调节 …… 420
11.2.1 试样 …… 420

11.2.2 状态调节 …… 421
11.2.3 标准环境条件 …… 421
11.3 可燃性试验 …… 421
11.3.1 概述 …… 421
11.3.2 水平燃烧法 …… 422
11.3.3 垂直燃烧法 …… 427
11.4 生烟量试验 …… 431
11.4.1 概述 …… 431
11.4.2 烟密度试验 …… 433
11.5 氧指数试验 …… 435
11.5.1 概述 …… 435
11.5.2 氧指数试验 …… 435
11.6 其他试验 …… 439
11.6.1 炽热棒法试验 …… 439
11.6.2 点着温度试验 …… 440
参考文献 …… 442

第 12 章 生物性能试验 …… 443
12.1 概述 …… 443
12.1.1 食品安全性 …… 443
12.1.2 医疗用品安全性 …… 445
12.1.3 医用安全性 …… 445
12.2 食品包装胶黏剂生物性能试验 …… 449
12.2.1 概述 …… 449
12.2.2 取样与预处理 …… 450
12.2.3 移栖量试验 …… 451
12.3 医疗用胶黏剂生物性能试验 …… 457
12.3.1 概述 …… 457
12.3.2 热原试验 …… 459
12.3.3 急性全身毒性试验 …… 460
12.3.4 溶血试验 …… 461
12.3.5 细胞毒性试验 …… 461
12.3.6 皮内刺激试验 …… 463
12.3.7 皮肤致敏试验 …… 463
12.3.8 短期肌肉植入试验 …… 465
12.4 医用胶黏剂生物性能试验 …… 466
12.4.1 概述 …… 466
12.4.2 急性毒性试验 …… 469
12.4.3 长期毒性试验（亚急性毒性试验） …… 471
12.4.4 致突变试验 …… 473
12.4.5 致癌试验 …… 476
12.4.6 生殖毒性试验 …… 478
参考文献 …… 480

第 13 章 非破坏性试验方法 …… 481
13.1 概述 …… 481
13.2 声振检测法 …… 482
13.2.1 敲击法 …… 482
13.2.2 声撞击法 …… 483
13.2.3 声阻抗法 …… 483
13.2.4 声谐振法 …… 484
13.3 超声检测法 …… 485
13.3.1 概述 …… 485
13.3.2 超声脉冲反射法 …… 486
13.3.3 超声穿透法 …… 487
13.3.4 超声测速法 …… 488
13.3.5 声发射检测法 …… 488
13.3.6 兰姆波检测法 …… 488
13.4 X 射线检测法 …… 489
13.4.1 X 射线检测法 …… 489
13.4.2 CT 层析照相法 …… 490
13.5 热学检验法 …… 491
13.5.1 红外线扫描检测法 …… 491
13.5.2 液晶检测法 …… 491
13.5.3 热图像法 …… 492
13.6 全息照相检测法 …… 493
参考文献 …… 494

第 14 章 测试误差与数据处理 …… 495
14.1 误差的分类和性质 …… 495
14.1.1 系统误差 …… 495
14.1.2 随机误差 …… 496
14.1.3 过失误差 …… 496
14.2 数据处理中的基本概念 …… 497
14.2.1 真值、测试值、平均值与中位数 …… 497
14.2.2 误差与偏差的表示方法 …… 498
14.2.3 准确度与精密度 …… 499
14.2.4 标准偏差与离散系数 …… 501
14.3 有效数字及其运算规则 …… 502
14.3.1 近似数 …… 502

14.3.2 有效数字 …… 503
14.3.3 运算规则 …… 505
14.4 异常值检验 …… 506
14.4.1 格拉布斯法 …… 507
14.4.2 Q 检验法 …… 508
14.4.3 狄克逊检验法 …… 509
14.5 测试数据的统计处理 …… 510
14.5.1 总体、个体与样本 …… 510
14.5.2 试验结果的统计表示方法 …… 512
14.6 显著性检验 …… 513
14.6.1 t 检验法 …… 513
14.6.2 F 检验法 …… 517
14.7 单因素线性回归分析 …… 518
14.7.1 回归分析对象与用途 …… 518
14.7.2 回归直线的求法 …… 519
14.7.3 相关系数 …… 520
14.7.4 回归线的精度 …… 522
14.7.5 一元线性回归的计算 …… 522
参考文献 …… 523

附录 国内外部分胶黏剂与密封剂试验方法及相关标准目录 …… 524

第 1 章

概　　论

随着粘接密封材料生产与应用技术研究的迅速发展，由于它具有其他材料所不能替代的独特性能，因此在国民经济各个领域的应用不断扩大，从而对这一材料的性能测试要求也十分迫切。它涉及到对材料的化学、物理、力学、热学、电学、燃烧、工艺、耐环境、无损检测与食品及医用安全等性能的测试。经过性能测试，这对于生产厂控制产品质量、优化材料配方、改进生产工艺、降低生产成本、提高市场上竞争能力很有帮助。同时，也为用户了解胶接与密封材料特性，合理选材、正确施工及对材料做出正确评价提供了科学依据。随着科学技术的进步与全球化、工业化、城市化进程的加快，人们对人类的生存环境越来越关注。对胶黏剂与密封剂的要求，不仅局限于过去的力学等基本性能要求，而且还必须满足 4E 要求，即要求按 Energy（能源）、Environment（环境）、Economic（经济）和 Excellent（优越）规范，开发出节能、无公害、经济、性能优越与使用简便新的胶黏剂与密封剂。因此，可以说胶黏剂测试技术的发展为我国胶接密封材料的生产、科研与应用技术的发展提供了重要的检测手段。

以高聚物为基体的胶黏剂与密封剂属于材料学科中的精细化工产品，它是由高分子化学及物理学、材料力学、涂料化学、界面化学等多学科相互渗透与综合而发展起来的一门新兴学科。其性能测试方法也是从涂料、塑料、橡胶、金属等相关方法衍生而来，既有它的相关性与继承性，又有它的特殊性，业已成为一专门的测试技术。如目前对胶黏剂基体高聚物分子量、分子量的分布、分子的微观结构、增强机理等分析测试数据以及相关的经验与成果的研究，已有可能按使用要求，从微观上来对胶黏剂基体高聚物的分子进行设计，合成我们所需要的基体高聚物与增强助剂等。可以说对胶黏剂的性能测试是为了正确地掌握其性质，控制产品质量，了解材料质量及表面处理工艺、固化工艺、环境条件等因素的影响，评价胶接接头的可靠性与耐久性，研究胶黏剂性能与高聚物结构的关系等都有十分重要的意义。借助于对胶黏剂的性能测试与研究，不仅能确定其材料质量的好坏，而且还可能找出使其性能变坏的原因或得到改善性能的最佳配方与胶接工艺。因此，胶黏剂测试技术是胶黏剂生产与科研工作中的一个重要组成部分，它的完善与发展可为加速我国胶黏剂工业及其应用技术赶上和超过世界先进水平做出其应有的贡献。

然而，将胶黏剂应用到承力结构件的连接上，其接头的实际承载能力不仅与胶黏剂高聚物基体的结构与性质有关，而且还与胶黏剂配方、被粘制件的材质、表面处理工艺、涂胶、组合与固化规范等因素有关，同时还与胶接接头设计形式、几何尺寸、加工质量，接头受力的加载方向、加载方式和速度以及环境条件等因素有关，所以不能直接以试验室的标准试件的胶接强度来推测实际胶接结构件的接头强度。因此对于航空、航天及其他系统的主承力和

次承力金属胶接结构件使用的胶黏剂，除了应严格按相应的金属胶接结构胶黏剂的质量控制规范，进行相关性能测试之外，还必须制定相应的产品胶接工艺规范，对胶接全过程进行质量监控。在产品胶接过程中，同时胶接标准试件或模拟试件并对其进行力学性能测试（这包括接头设计模拟与测试条件模拟），必要时还必须按一定比例抽取产品的胶接结构件直接进行破坏性的力学性能测试。

本书将对胶黏剂与密封剂相关的国内外性能测试方法的原理、试验步骤与影响因素方面进行简要介绍，仅供大家参考。为此特别提示，在实际生产中对胶黏剂性能进行测试时，应严格按其最新有效版本的相关胶黏剂标准中所规定的性能测试方法执行。

1.1 胶黏剂特点、组成与分类

胶黏剂又称为黏合剂、黏结剂，简称为胶，它是指能把两种相同或不同材质的零件或部件通过黏附作用，使之连接在一起的一种物质。

早在 4000 多年之前，我们的祖先就掌握了用天然漆树上提取的生漆来胶接日用器皿；在 3000 多年前的周朝，人们用动物身上提取的骨胶或皮胶作为木船上缝隙的嵌缝密封；在秦朝，秦陵二号铜车马就采用了无机胶来胶接银制件；自秦朝之后用糯米与石灰制成的灰浆用于城墙的基石胶接已十分普遍。但是人类采用合成胶黏剂还是从 20 世纪初开始的。在 1905 年左右，由于 Baokeland 的研究，他利用第一个人工合成树脂——酚醛树脂加工成胶黏剂来胶接木材，至今已有近百年历史。国外胶黏剂的实际发展还是从 20 世纪 50 年代以后，在 20 世纪 60 年代获得了较快发展，80～90 年代胶黏剂的研制与生产的发展十分迅速，并逐步向功能化、高性能、专用等方面发展，出现了结构胶、密封胶、通用胶、高温胶、低温胶、建筑胶、食品包装胶、医用胶、导电胶、厌氧胶、导热胶、压敏胶、光敏胶等。据报道美国 1990 年各类胶黏剂的总消费量为 446 万吨，仅密封胶与腻子的销售额就达 10.3 亿美元，日本 1990 年胶黏剂产量为 110 万吨，在我国合成胶黏剂工业起步较晚，始于 20 世纪 50 年代末，进入 90 年代后，随着国民经济的发展与科学技术的不断进步，以高聚物为基体的人工合成材料的不断出现，至 2000 年国内的胶黏剂产量已达 200 多万吨，品种达上千种，产值达 100 多亿元。但大多数是一般质量的建筑装饰胶与溶剂型鞋用胶等，一些高附加值的胶黏剂与密封剂都依赖进口。目前胶黏剂行业已成为我国国民经济领域的一个新兴行业，是精细化工领域的一个重要的组成部分，也是高新技术新材料的一个新的增长点。

1.1.1 胶接连接的特点

胶黏剂与密封剂是国民经济中一种重要且不可缺少的材料。如运载火箭液氢和液氧箱蜂窝夹层的胶接与绝热环的制造，采用超低温聚氨酯胶黏剂与环氧-尼龙胶黏剂胶接；在宇宙飞船与航天飞机上的耐烧蚀材料与隔热层，采用耐瞬时高温的环氧酚醛胶黏剂将它与飞船或飞机壳体胶接；大型喷气式客机上的铝合金蜂窝结构和复合材料构件，则采用环氧-丁腈与酚醛-丁腈胶黏剂来进行连接与组装；太阳能电池采用酚醛-丁腈胶黏剂来进行连接与组装；改性环氧胶黏剂用于电子器件的传感器胶接；环氧潜伏性固化剂胶用于微电子元件与芯片组装；厌氧胶用于汽车发动机和轮毂螺栓的锁固/密封；环氧胶黏剂粘贴高强度碳纤维布加固与修补钢筋混凝土梁；有机硅胶接剂密封/胶接剂用于玻璃幕墙；α-氰基丙烯酸酯胶用于管状组织止血，封闭与伤口缝合。总之在国民经济及日常生活中应用胶黏剂的实例不胜枚举。

目前，采用胶黏剂进行胶接的连接方法业已成为各部门产品设计指定的连接方法之一，与焊接、机械连接（铆接与螺栓连接）方法相比，它具有如下特点。

（1）减轻结构质量　采用胶接比铆接、螺栓连接与焊接，可减轻质量25%～30%。这对改善飞机与导弹的空气动力学性能，增加飞行速度，提高航程与有效载重，降低成本都十分有利。据报道当飞机的机体结构质量减轻15%，那么在同等燃料消耗的条件下，可使飞行距离与上升速度增加10%，或缩短起飞前滑行距离的15%。

（2）提高强度　由于胶黏剂与被粘材料之间是借助于黏附作用形成了“面连接”，胶接结构受力时应力分布在整个胶接面上，它不仅具有减震、防腐及阻止裂纹扩展等作用，而且还能避免因铆钉、点焊、螺栓“点连接”造成的应力集中，同时也不像铆接、焊接、螺栓连接，要在被粘材料上钻孔和焊接，造成热影响区，因而可提高制件的结构强度与整体刚度，改善了结构的疲劳性能与破损安全性。在飞机铝蒙皮-长桁胶接壁板的压缩强度比同类铆接壁板高10%～20%。飞机某构件由铆接改为胶接，其疲劳寿命提高了3～10倍。直升机旋翼生产用胶接代替铆接，使劳动力节省了40%～50%，生产成本降低一半。

（3）能连接不同质材料　能胶接异形、复杂、脆性与微小零件及大面积薄形材料，如导弹钣金结构及蜂窝胶接、发动机制动蹄块与刹车材料胶接、计算机芯片与集成电路的密封胶接、人体骨骼胶接、皮革鞋面与聚氨酯鞋底的胶接等，用它连接不同质的金属材料制件，不存在电化学腐蚀隐患。

除了以上几点之外，胶接面还可达到完全密封，而且表面平整、光滑，有良好的空气动力学性能；另外，它还可以根据不同的使用要求，将赋予它的结合面具有导电、导热、导磁、绝缘与防电化学腐蚀等功能。

除了以上优点之外，采用胶接连接，还具有设备简单、操作方便、生产周期短与效率高等特点。

事物总是一分为二。与其他连接方式相比，胶接本身还存在它固有的缺点。

（1）胶接强度分散性大　制件的胶接质量受胶黏剂本身性能、表面处理、涂胶工艺、固化规范、环境条件（温度、湿度等）等诸多因素影响，致使其强度分散性大，一般在20%左右，而点焊约为15%，铆接只有8%左右。

（2）非破坏性检查方法尚不完善　胶接构件最终的非破坏性检查方法是从金属材料制件的非破坏性检查方法衍生而来，如超声穿透法、超声共振法、X射线法、热学检验法、液晶显色法与全息照相法等。由于胶接构件是由不同材质连接起来的，每种方法都有一定的使用范围，多数还停留在定位或半定量阶段等。总之至今仍没有一个十分满意的无损检测方法，因而限制了它的应用范围。

（3）在产品胶接时，对胶接件的表面处理及其胶接应严格按胶接工艺规范全过程进行监控。有些胶接件还要求在真空压力罐中与专用工装夹具中成型。

（4）对胶接接头的力学性能与耐环境性能的研究并不像金属材料研究那么完善与成熟，从而限制了胶黏剂的应用。

（5）使用温度低　胶黏剂的基体材料多为有机高聚物。一般长期使用温度不超过150℃，少数的可在200℃以上长期工作，但高温条件使用的区间仍然有限。由于胶接件胶接接头的强度随着温度的升高迅速下降，阻碍了它的应用。

加之，胶接件的致命缺点是不均匀扯离强度与剥离强度低，因此它很容易在结合处边缘首先发生破坏，从而导致胶接接头全部破坏。与金属相比，由于它大多为有机高聚物，在

光、热、温度、氧、臭氧、水、盐雾、霉菌、辐射与应力等环境的综合因素作用下，会加快高聚物老化而损坏胶接构件……。基于上述原因，从而大大限制了胶接连接的应用范围。

1.1.2 胶黏剂的组成

胶黏剂通常都是由多种组分所组成。除了起基本黏附作用的有机或无机高聚物之外，为了满足它的物理性能、化学性能、力学性能、耐环境性能、工艺性能与使用性能要求，通常还要加入其他助剂。如为了提高胶黏剂的韧性而加入热塑性树脂、弹性体或增塑剂；为了使基体树脂形成网型与体型结构，增加胶层的内聚强度而加入固化剂或硫化剂；为了加快固化速度、降低固化温度而加入固化促进剂或催化剂；为了赋予胶黏剂一特殊性能，或降低成本而加入填料；为了改善胶黏剂的流淌性而加入触变剂；为了提高胶黏剂的胶接强度、耐水性、耐热性与耐候性而加入偶联剂；为了降低胶黏剂的黏度，增加浸润性，延长胶黏剂的可适用期，易于涂布等而加入溶剂和稀释剂；为了延长胶接制件的使用寿命，提高胶黏剂的耐环境性能，如耐热、光、氧与臭氧、水、辐射、霉菌等而加入防老剂等。

1.1.2.1 基体

基体又叫黏料或基料，基体是决定胶黏剂性能的基本而必要的成分，对胶接性能优劣起主导作用，要求它必须具有良好的黏附性与润湿性等。为提高它的黏附性和耐环境性能，基体也可以由两种或两种以上的高聚物组成，配以助剂制成合金化高聚物胶黏剂。常用的有天然高聚物、合成橡胶、合成树脂及其改性物。另外，还有无机高聚物如硅酸盐、磷酸盐、硫酸盐与硼酸盐等类化合物。

（1）天然高聚物　有淀粉、蛋白质、动物的骨与血、天然橡胶、天然树脂（大漆、松香、虫胶、达玛树脂与琥珀）。由于它们性能差，其应用范围越来越小。

（2）合成橡胶　合成橡胶有氯丁橡胶、丁腈橡胶、聚硫橡胶、聚异丁烯橡胶、聚氨酯橡胶、丁基橡胶与有机硅橡胶等。其中氯丁橡胶与丁腈橡胶含有极性基团，同时具有较好的柔顺性与黏附性，故常与热固性的纯酚醛树脂混合，加入适当的组分可制成非结构胶黏剂。丁腈-40 的橡胶改性环氧树脂可制成有较高剪切强度和剥离强度、良好的断裂韧性和疲劳性能，耐油、耐湿热老化的结构胶黏剂。聚硫橡胶有好的黏附性、小的透气性与好的耐油性，用它可以制成航空专用密封胶。有机硅橡胶有好的耐温性、耐老化、耐水性及优异的电性能，故它广泛用于电子仪器设备、电子元件以及建筑上作绝缘、防潮、防震、胶接与密封。

（3）合成树脂　它分热固性树脂与热塑性树脂两大类。大多数结构胶黏剂都是由热固性树脂组成的基体，它们都含有极性基团，故有好的黏附性，它在被胶接制件表面固化后所形成的胶层有好的强度与刚性，较高的弹性模数，好的耐候性与耐介质性能。在这类树脂的主链上若引入苯环、脂肪环与杂环，它的耐热性可大大提高。常用的热固性树脂有环氧树脂、酚醛树脂、三聚氰胺甲醛树脂、聚氨酯、热固性聚酯、有机硅树脂与聚酰亚胺树脂。

（4）热塑性树脂　它刚性小、柔软、弹性模数小，如果单独使用时会发生蠕变，通常它被用作非结构胶黏剂的基体。常用的树脂有聚乙烯醇缩醛（缩甲醛、缩甲乙醛与缩丁醛）、丙烯酸酯、醋酸乙烯酯、聚氯乙烯、聚苯硫醚、乙烯及其共聚物、醋酸乙烯与氯乙烯共聚物与聚酰胺等。对热塑性树脂不是任何聚合度的高聚物都可以获得好的胶接性能。如聚合度小、熔点低、黏度小、黏附性好，但内聚强度小，故胶接强度低。聚合度大，在有机溶剂中难溶，熔点、黏度都高，虽说它有较大的内聚强度，但黏附性差，强度也低。要获得好的胶接性能其聚合度应控制在下列范围，见表 1-1。

表 1-1　热塑性高聚物有最好胶接性能的聚合度范围

高聚物名称	聚 合 度	高聚物名称	聚 合 度
聚醋酸乙烯	60～200	聚丙烯酸乙酯	80～150
醋酸乙烯与氯乙烯共聚物	100～150	聚酰胺	50～100

（5）热塑性弹性体　它是一种新的胶黏剂基体，又称热塑性橡胶，它不需加硫化剂，注射或模压加工成的制品就具有橡胶弹性体一样的高弹性，如将它拉伸为原长度的 2 倍以上，当外力去除后，即可立即恢复到原有长度。它常用作制备非结构胶黏剂。如 SBS 弹性体（苯乙烯-丁二烯-苯乙烯弹性体）等。

1.1.2.2　固化剂或硫化剂

固化剂或硫化剂是热固性胶黏剂或橡胶胶黏剂的主要组分和必要组分。它直接或者通过催化剂或促进剂的作用与胶黏剂中的基体高聚物进行交联反应，进入到胶黏剂的结构中去，使树脂或橡胶从线型高聚物变成部分交联（橡胶）或高度交联（热固性树脂）的网型或体型高聚物。这一组分对热固性树脂而言则称固化剂；对橡胶而言则称硫化剂。由于固化反应或硫化反应的结果，赋予胶黏剂有好的胶接强度、刚性、韧性、热稳定性、耐介质性与耐候性。

它的选用应根据所用基体高聚物的性质、所要求胶层的性能以及可实施的工艺条件来选取。如环氧树脂的固化剂多种多样，有低温固化、室温固化、中温固化与高温固化的；有液体的与固体的；有耐水与耐沸水的；有韧性好与刚性好的；有快速固化与潜伏性固化的；有胺类、酸酐类、高聚物类与咪唑等不同种类，可配制成各种不同性能的胶黏剂。因此必须按产品性能设计要求与有关条件来选取。

1.1.2.3　填料

在胶黏剂与密封剂的配方中，适当地添加填料不仅可以降低胶黏剂的成本，更重要的是可以改善胶黏剂的强度、耐环境性能及其施工工艺等有关性能。如增加胶黏剂的稠度，控制它的流动性，减少胶黏剂在固化时的收缩率，减少由于胶黏剂与被粘制件的线膨胀系数之间的差别，以及由上述收缩在胶层中所产生的内应力，以致引起胶层裂纹甚至胶接接头完全破坏。另外，它的加入还可以阻止胶层中裂纹的发展，从而可提高胶接强度，尤其是在高温下的胶接强度。不同填料的加入还可以赋予胶黏剂的特殊性能。如加入还原银粉可以增加胶黏剂的导电性；加入羰基铁粉可以增加胶黏剂的导磁性；加入铜粉、铝粉可以增加导热性；加入铬酸盐可以防止不同种类金属制件的胶接面间产生电化学腐蚀。

胶黏剂中的填料大多为 150～325 目的粉状填料，使用前按规定过筛。对吸湿性填料，在配胶前应事先烘干除去水分。不同填料的烘干温度各不相同，通常在 110～140℃之间。下面以 100 质量份环氧树脂为例，叙述加入填料的粒度、用量与作用。

铝粉　200～325 目，用量为 20～60 质量份，提高抗冲击性、耐热性、导电性与导热性，降低线膨胀系数与收缩率。为提高导电性与导热性其用量可达 150～300 质量份。

石英粉　200～300 目，130℃×4h，用量 20～60 质量份，提高抗冲击性、抗压性、硬度与电绝缘性。

氧化铝粉　200～300 目，130℃×4h，用量 30～100 质量份，提高抗压、硬度与胶接力。

滑石粉　＞120 目，120℃×(4～6)h，用量 30～60 质量份，降低成本，提高展延性，