

季佳  
主编

# 木材胶粘剂 生产技术

化学工业出版社



# 木材胶粘剂生产技术

季 佳 主编

李东光、翟怀凤、李桂芝、吴宪民、吴慧芳 编著

化学工业出版社

·北 京·

(京)新登字 039 号

**图书在版编目 (CIP) 数据**

木材胶粘剂生产技术/季佳主编;李东光等编著.  
北京:化学工业出版社,2000.6  
ISBN 7-5025-2868-7

I.木… II.①季…②李… III.木材-胶粘剂-生产工艺 IV.TQ437

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 24374 号

---

**木材胶粘剂生产技术**

季佳 主编

李东光、翟怀凤、李桂芝、吴宪民、吴慧芳 编著

责任编辑:徐蔓 王秀鸾

责任校对:洪雅姝

封面设计:田彦文

\*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京市昌平振南印刷厂印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 11 字数 303 千字

2000 年 6 月第 1 版 2000 年 6 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000

ISBN 7-5025-2868-7/TQ·1240

定价:26.00 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

# 前 言

胶粘剂俗称“胶”，由于其性能优异、成本低廉且操作简便，并可以弥补加工工艺存在的某些缺陷等，所以，目前已被广泛应用于宇航、轻工、纺织、医疗卫生、机械、冶金、化工和日常生活等各个领域，成为推动现代社会进步必不可少的重要化工材料。

按其应用领域划分，胶粘剂可分为若干种。本书介绍的是木材加工行业中常用的胶粘剂。主要介绍木材加工成人造板（胶合板、纤维板、刨花板、细木工板等）使用的胶粘剂。这些人造板加工厂大都自行生产胶粘剂，以求降低成本。此外，建筑业用木材组合“梁”、“柱”，制作门窗，进行室内装修（如拼花地板、天棚、壁板等），家具业制造各种家具，其他行业将木材和金属、塑料、橡胶、织物、纸张等粘接在一起，等等，都需要使用胶粘剂。不少小型或乡镇生产胶粘剂的企业，在生产过程中常常遇到不少困难。目前，较详尽地介绍木材胶粘剂生产的书不多。为了满足这方面的需求，我们根据多年从事化工工作的实践经验，参考国内外有关文献资料，编写了这本《木材胶粘剂生产技术》，旨在为木材加工和其他行业的同仁提供一点帮助。书中比较详尽地介绍了常用木材胶粘剂的特性与用途、生产方法、配方与使用、影响产品质量的因素、常用原材料、生产设备及胶粘剂产品的分析检验方法。因为这些知识都是制胶车间或专业胶粘剂生产厂的管理人员、技术人员、工人在工作中必须具备的。

本书由季佳同志主编，参加编写的还有李东光、翟怀凤、李桂芝、吴宪民、吴慧芳同志。由于胶粘剂生产涉及的范围广，有些是新产品，采用的是新技术，加之作者水平所限，书中错误和不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编著者

2000.3 于石家庄

## 内 容 提 要

本书主要介绍木材加工中常用的胶粘剂，包括木材加工成人造板（胶合板、纤维板、刨花板、细木工板等）；建筑业中用木材组合“梁”、“柱”制作门窗，进行室内装修（如拼花地板、天棚、壁板等）；家具业制造各种家具；其他行业中将木材与金属、塑料、橡胶、织物、纸张等所用的胶粘剂的常用原材料、特性与用途、生产方法、配制与使用、影响产品质量的因素、生产设备 & 胶粘剂产品的分析检验方法等。

本书可供从事胶粘剂开发，生产以及上述各行业生产企业管理人员、技术人员、工人参考使用。

# 目 录

第一章 木材胶粘剂概述 .....	1
第一节 木材胶粘剂的性能与应用 .....	1
一、概述 .....	1
二、木材胶粘剂的性能 .....	3
三、木材胶粘剂的应用 .....	9
第二节 木材胶粘剂的分类与选用 .....	9
一、木材胶粘剂的组成 .....	9
二、木材胶粘剂的分类 .....	12
三、木材胶粘剂选用原则 .....	15
第三节 木材粘接特点与粘接机理 .....	18
一、木材粘接的特点 .....	18
二、粘接的物理化学过程 .....	19
三、木材粘接机理 .....	20
四、胶粘剂对木材粘接质量的影响 .....	21
第二章 常用木材胶粘剂生产工艺 .....	24
第一节 脲醛树脂胶粘剂 .....	24
一、脲醛树脂胶粘剂的特性与用途 .....	25
二、生产脲醛树脂的主要原料 .....	25
三、脲醛树脂形成机理 .....	31
四、脲醛树脂生产工艺 .....	32
五、影响脲醛树脂质量的因素 .....	46
六、脲醛树脂胶粘剂质量标准 .....	59
七、脲醛树脂胶粘剂使用方法 .....	60
第二节 三聚氰胺甲醛树脂胶粘剂 .....	69
一、三聚氰胺甲醛树脂胶粘剂的性能与用途 .....	69
二、生产三聚氰胺甲醛树脂的主要原料 .....	69
三、三聚氰胺甲醛树脂形成机理 .....	71

四、三聚氰胺甲醛树脂生产工艺 .....	72
五、影响三聚氰胺甲醛树脂质量的因素 .....	78
六、三聚氰胺甲醛树脂质量标准 .....	80
七、三聚氰胺甲醛树脂的使用与改性 .....	81
第三节 酚醛树脂胶粘剂 .....	83
一、酚醛树脂胶粘剂的特性与用途 .....	83
二、生产酚醛树脂的主要原料 .....	84
三、酚醛树脂形成机理 .....	85
四、酚醛树脂生产工艺 .....	88
五、影响酚醛树脂质量的因素 .....	103
六、酚醛树脂胶粘剂质量标准 .....	108
七、酚醛树脂胶粘剂使用方法 .....	108
第四节 聚醋酸乙烯酯胶粘剂 .....	110
一、聚醋酸乙烯酯胶粘剂特性与用途 .....	110
二、生产聚醋酸乙烯酯的主要原料 .....	111
三、聚醋酸乙烯酯形成机理 .....	115
四、聚醋酸乙烯酯生产工艺 .....	116
五、影响聚醋酸乙烯酯质量的因素 .....	118
六、聚醋酸乙烯酯胶粘剂质量标准 (GB 11178—89) .....	123
七、聚醋酸乙烯酯乳液的使用与改性 .....	123
第五节 聚乙烯醇缩甲醛胶粘剂 .....	127
一、聚乙烯醇缩甲醛胶粘剂的特性与用途 .....	127
二、生产聚乙烯醇缩甲醛的主要原料 .....	128
三、聚乙烯醇缩甲醛形成机理 .....	129
四、聚乙烯醇缩甲醛生产工艺 .....	129
五、影响聚乙烯醇缩甲醛质量的因素 .....	130
六、聚乙烯醇缩甲醛胶粘剂质量标准 .....	131
七、聚乙烯醇缩甲醛胶粘剂的使用 .....	131
第六节 环氧树脂胶粘剂 .....	132
一、环氧树脂胶粘剂特性与用途 .....	132
二、生产环氧树脂的主要原料 .....	133
三、环氧树脂形成机理 .....	138
四、环氧树脂生产工艺 .....	138

五、影响环氧树脂质量的因素	143
六、环氧树脂质量标准	146
七、环氧树脂胶粘剂的配制与使用	146
第七节 不饱和聚酯树脂胶粘剂	154
一、不饱和聚酯胶粘剂的特点与用途	154
二、生产不饱和聚酯树脂的主要原料	154
三、不饱和聚酯树脂形成机理	157
四、不饱和聚酯树脂生产工艺	159
五、不饱和聚酯树脂胶粘剂的组成与固化	161
六、不饱和聚酯树脂胶粘剂的使用	165
第八节 氯丁橡胶胶粘剂	167
一、氯丁橡胶胶粘剂特性与用途	167
二、氯丁橡胶胶粘剂的组成	168
三、氯丁橡胶胶粘剂的制备与应用	174
第九节 热熔树脂胶粘剂	178
一、热熔树脂胶粘剂特性与用途	178
二、热熔树脂胶粘剂的组成	179
三、热熔树脂胶粘剂的制备与应用	181
第十节 蛋白质胶粘剂	186
一、调制蛋白质胶粘剂用化学药品和作用	186
二、动物胶	187
三、酪素胶	192
四、血胶	196
五、植物蛋白胶	200
第三章 胶粘剂生产设备及分析检验仪器	203
第一节 生产设备	203
一、对设备的要求	203
二、设备的型式与选定	204
第二节 分析检验仪器	213
一、主要检验设备及仪器	213
二、常用玻璃仪器	235
第四章 主要原料及胶粘剂产品的分析检验方法	238
第一节 常用化学药品及溶液的配制	238



一、一般常用药品	238
二、化学试剂标准溶液配制与标定	239
三、常用一般溶液的配制	250
四、常用指示剂的配制	253
五、常用洗涤液的配制	253
六、配制溶液注意事项	254
第二节 主要原辅材料的分析检验方法	256
一、甲醛 (按 GB 9009—88)	256
二、尿素 (按 GB 2441—81)	259
三、三聚氰胺	264
四、苯酚 (GB 339—89)	267
五、邻苯二甲酸酐 (GB/T 15336—94)	269
六、脲醛预缩液	273
七、氢氧化钠 (按 GB 209—93)	276
八、六亚甲基四胺 (按 GB 9015—88)	278
九、氨水 (按 HG 1—88—81)	279
十、甲酸 (按 GB 2093—93)	280
十一、酒精 (按 GB 6280—92)	281
十二、氢氧化钡 (按 GB 2566—94)	281
十三、油酸	282
十四、石灰	283
第三节 胶粘剂产品的分析检验方法	284
一、外观的测定	284
二、密度的测定	285
三、粘度的测定	285
四、pH 值的测定	287
五、固体含量的测定	289
六、适用期的测定	290
七、固化时间的测定	292
八、水混合性的测定	293
九、贮存稳定性的测定	294
十、游离醛含量的测定	295
十一、游离酚含量的测定	298

十二、可被溴化物含量的测定	301
十三、聚合时间的测定	302
十四、羟甲基含量的测定	303
十五、树脂沉析温度的测定	304
十六、碱度的测定	305
十七、含水率的测定	306
<b>第五章 安全生产与毒性防护</b>	<b>308</b>
<b>第一节 安全生产</b>	<b>308</b>
一、对生产车间的要求	308
二、防止燃烧与爆炸	310
<b>第二节 毒性防护</b>	<b>311</b>
一、主要原料及胶粘剂产品的毒性	311
二、中毒途径及防护	312
<b>附录</b>	<b>316</b>
附表 1  甲醛溶液密度 ( $\rho_{20}$ ) - 甲醛含量 ( $F$ ) - 甲醇含量 ( $M$ ) 关系表	316
附表 2  根据甲醛水密度和折射率查甲醛和甲醇含量表	318
附表 3  酚醛树脂折射率与固体含量对照表	324
附表 4  脲醛树脂折射率与固体含量对照表	324
附表 5  三聚氰胺-甲醛浸渍树脂折射率与固体含量对照表	325
附表 6  脲醛树脂气泡粘度计秒数与改良奥式粘度计 (20℃) 厘泊 数对照表 (25℃)	325
附表 7  酚醛树脂气泡粘度计秒数与改良奥式粘度计 (20℃) 厘泊 数对照表 (25℃)	326
附表 8  酚醛树脂与脲醛树脂涂-4 杯秒数与改良奥式粘度计 (20℃) 厘 泊数对照表 (25℃)	326
附表 9  硫酸溶液的浓度和密度	327
附表 10  盐酸溶液的浓度和密度及恒沸点浓度	329
附表 11  氢氧化钠溶液的浓度和密度	330
附表 12  氨水的浓度和密度	331
附表 13  合成乙醇在 20℃ 下密度和含量换算表	332
附表 14  甲酸的密度与含量的关系	333
附表 15  胶粘不同材料时所适用的胶粘剂	334

附表 16 各种类型木材胶粘剂按照使用条件估计的使用期限 .....	334
附表 17 波美度数与相对密度的关系 .....	334
附表 18 粘度的换算表 .....	335
主要参考文献 .....	336

# 第一章 木材胶粘剂概述

## 第一节 木材胶粘剂的性能与应用

### 一、概述

我国劳动人民早在四五千年之前就已开始用“胶”粘合各种材料，是世界上应用粘接技术最早的国家之一。那时，人们使用的是粘土、淀粉、骨胶等物作胶粘剂，用于建筑、工具和工艺品的制造，至今很多文物还保存良好。而淀粉、骨胶等天然胶粘剂也一直沿用到今，直到20世纪30年代，随着合成高分子材料的发展，才出现了合成胶粘剂，它比天然胶粘剂具有更多的品种、更强的粘接性和更好的耐久性。如今合成胶粘剂已占整个胶粘剂总量的80%以上。无论在工业上还是在日常生活中胶粘剂的用途都十分普遍，粘接的木制品在我们周围更是到处可见。

木质材料粘接结构具有多种优良性能：粘接强度高，合理粘接的接头，其粘接强度大多都接近木质本身的强度；具有一定的耐水性，可以在极其潮湿或受水浸的条件下工作；耐候性和耐久性较好，可以在曝露于室外的条件下长期工作；能够粘接多种材料，可以将木材与金属等多种材料粘接在一起，扩大了木材粘接的应用范围。

我国是少林的國家，木材供需間存在着較大的矛盾，解決這一矛盾的重要途徑，必須大力發展以人造板為中心的木材綜合利用。50年代初，膠合板產量很低，而且用豆膠、干酪素膠等蛋白質類的膠粘劑。這些膠粘劑的粘合力度不高，耐水和耐熱等方面的性能也較差，阻礙了人造板工業的發展，所以發展木材綜合利用，必須從研製膠粘劑著手。1955~1957年，研製脲醛樹脂和酚醛樹脂膠成功，相繼在木材工業中大量應用。用脲醛樹脂膠生產 $1\text{m}^3$ 刨花板，可以代替 $3.1\text{m}^3$ 原木製成的板材；用酚醛樹脂膠生產 $1\text{t}$ 纖維板，可以代替 $5.6\text{m}^3$ 原

木制成的板材。由此可见，胶粘剂对提高木材利用率和促进木材综合利用的发展，有着极其重要的意义。

随着石油化学工业的发展，许多新型胶粘剂大量涌现，老品种的不断改性，从而使人造板工业和家具工业得到迅速发展。就人造板生产而言，由仅能生产胶合板发展到生产纤维板、刨花板、细木工板、各种装饰贴画板等多种木材胶合制品。这些产品的性能，都远远地超过木材。例如，把浸渍过酚醛树脂胶的单板，经干燥后，在高温、高压条件下，制成的木材层积塑料，改变了木材的物理化学性质，使之具有质地坚硬、耐热、防腐、耐燃等极为优异的特性。用脲醛树脂胶生产的胶合板、刨花板及细木工板等人造板，也具有幅度大、表面平整光滑、不易翘曲变形、胶合强度高及耐水性好等特性，也是木材所不及的。特别是1974年以后，又涌现出许多新型胶粘剂，如乙烯-醋酸乙烯热熔性树脂胶、邻苯二甲酸二丙烯酯树脂胶等，使在人造板表面进行装饰再加工（即人造板二次加工）的产品，更加丰富多彩，木材使用价值显著提高，为人造板工业和家具工业的发展开辟了广阔的前途。因此，合成树脂胶粘剂，基本取代了豆胶、血胶等蛋白类胶粘剂。尤其是脲醛树脂胶，不但性能优良，而且造就人造板生产的机械化和自动化，成本低廉，使用方便，原材料来源丰富。所以产量迅速增加，成为我国人造板生产的主要胶粘剂。迄今为止，据不完全统计，用于木材加工生产的胶粘剂，约占全国胶粘剂总产量的60%左右。

合成树脂胶粘剂是最有发展前途的一种胶粘剂，今后全部代替蛋白质类胶粘剂是必然趋势。

随着人造板工业和家具工业发展的需要，对胶粘剂不断提出更高的技术要求，相比之下，目前合成树脂胶粘剂，还存在许多不足，主要是：大多数胶粘剂是溶剂型和乳液型的，在完成胶合作用时，要一定的干燥时间，而且运输保存不方便，有的有中毒和发生火灾的危险，还有的是两液型的（使用时加入固化剂）的，使用不方便；胶粘剂的胶合条件变动范围较小，限制了胶粘剂的应用范围；甲醛系的胶粘剂，还存在甲醛的污染和损害人体健康的严重缺点。

根据上述的缺点和不足，今后的木材胶粘剂的发展趋势，是朝着

粉状、膜状、热熔微薄膜等固体型胶粘剂，一液型胶粘剂（使用时不加固化剂），无溶剂型和无甲醛类的胶粘剂方向发展。

## 二、木材胶粘剂的性能

胶粘剂的性能，包括工艺性、稳定性、耐久性、耐温性、耐候性、污染性、加工性、柔韧性、经济性等，性能是由结构决定的，而应用取决于性能，所以有必要了解和掌握各种胶粘剂的性能。

### 1. 工艺性

胶粘剂的工艺性指的是有关粘接操作方面的性能，如胶粘剂调制、涂胶、晾置、固化条件等，是有关粘接操作难易的总的评价。各种胶粘剂的工艺性能见表 1-1。

### 2. 粘接强度

粘接强度是粘接的主要性能指标。各种胶粘剂对各种材料的相对粘接强度见表 1-2。

### 3. 稳定性

粘接试件在指定介质中于一定温度下浸渍一段时间后，其强度变化情况称“稳定性”。稳定性可用实测强度表示或用强度保持率表示。粘接层在各种介质环境中的稳定性见表 1-3 及表 1-2。

### 4. 耐久性（耐老化性）

粘接层随着使用时间的增长，其性能会逐渐老化，直至失去粘接强度，这种性能称为“耐久性”。各种胶粘剂的粘接层的耐久性见表 1-1、表 1-3 所示。

### 5. 耐温性

耐温性是指胶粘剂在规定温度范围内的性能变化情况，包括耐热性、耐寒性及耐高、低温交变性能。各种胶粘剂的耐热性见表 1-2 和表 1-3。

### 6. 耐候性

暴露于室外的粘接件，能够耐受气候如雨露、阳光、风雪及水湿等的性能，称为“耐候性”。耐候性也是粘接件在自然条件长期作用的情况下，粘接层耐受性能老化和表面品质老化的性能。脲醛和酚醛等 4 种胶粘剂的粘接件，在室外暴露时间与粘接强度的关系，及其粘

表 1-1 常用木材粘合剂的工艺性

粘合剂		聚醋酸 乙烯乳液	脲醛类	三聚氰胺 甲醛类	酚醛类	间苯二酚 甲醛类	合成橡 胶类	环氧类	皮、骨胶	酪素胶
性能	外观	乳白色液体								
	溶剂	水	水	水	褐色液体 水或醇	褐色液体 水或醇	琥珀色液体 苯、酮	琥珀色液体 有机溶剂	琥珀色固体 水	淡黄色粉末 水
	树脂含量(商 品)/%	40~50	45~70	50~60	40~60	50~60	20~30	100	100	100
	树脂含量(使 用)/%	40~50	45~70	50~60	40~60	50~60	20~30	100	33~40	30~40
	配制	原液或稀释	原液 100 固化剂 10	原液 100 固化剂 5~10	原液 100 固化剂 10	原液加 固化剂	苯、酮溶液	原液 100 固化剂 8	1.5~3 倍水 60℃溶解	2 倍水加 碱溶解
	涂胶量 g/cm <sup>2</sup>	120~200	120~200	120~150	100~150	100~150	150~250	150~200	150~250	150~200
	晾置/min	0~15	0~20	0~20	0~10	0~30	2~10 指触干燥	0~15	0~1	0~40
	陈放/min	0~20	0~40	0~30	0~20	0~60		0~20	0~1	0~120
	压紧力/MPa	0.2~0.5	0.5~1.5	0.5~1.5	0.5~1.5	0.5~1.5	接触压	接触压	0.2~0.5	0.5~1.5
	压紧时间/h	0.5~2	4~12	6~12	6~12	4~12	瞬间	6~12	0.5~2	6~12
	活性期/h	不限	1~2	2~4	2~4	2~4	不限	2~4	不限	3~6
	使用难易	易	易	易	稍难	易	易	稍难	稍难	易
	污染性	无	无	无	大	大	中	无	中	大
	耐水性	可	良	优	优	优	良	优	劣	可
	耐热性/℃	70~80	100	100~120	100~120	100~120	60~70	90~100	70~80	80~90
	应用范围	室内	室内	室内外	室内外	室内外	室内外	室内外	室内	室内
	价格比(使用 时)	1	0.7	>1.5	1.3	6	3.5	12	0.9	1.1

注：脲醛类、聚醋酸乙烯乳液有季节分别；皮、骨胶加热至 60~70℃使用；脲醛类、三聚氰胺甲醛、间苯二酚甲醛能增量。

表 1-2 各种粘合剂的性能

序号	粘合剂名称	形态	固化条件			粘接强度		耐温性		稳定性		
			加热	加压	时间	抗剪	抗拉	高温	低温	水	酸	碱
1	聚酯酸乙烯类	溶、乳	√×	√	√	+	-	-	-	±	±	+
2	醋酸乙烯氯乙稀共聚物	溶、乳	√×	√	√	+	-	-	+	+	+	+
3	聚氯乙稀	溶、乳	√×	√	√		±	±	+	+	+	+
4	聚乙烯醇	溶、乳	×	√	√	+	±	±	-	-	-	+
5	聚乙烯醇缩醛	溶、乳	√×	√	√	+	-	±	+	±	±	+
6	聚丙烯酸酯类	溶、乳、单	√×	√×	√	+	-	±	+	±	±	±
7	聚酰胺	溶、膜	√	√	×	+	±	-	-	-	+	+
8	聚苯乙烯	溶	×	√	√	+	-	-	+	+	+	±
9	硝酸纤维素	溶	×	√	√	+	-	-	+	+	-	+
10	醋酸纤维素	溶	×	√	√	+	-	±	±	±	-	+
11	丁苯橡胶(SBR)	溶、乳	√×	√	×	+	-	±	±	±	+	±
12	氯丁橡胶	溶、乳	√×	√	×	+	±	±	±	+	+	+
13	氯化橡胶	溶、乳	√×	√	×	+	±	-	±	±	+	+
14	异丁橡胶	溶、乳	√×	√	×	+	-	-	±	+	+	-
15	丁腈橡胶	溶、乳	√×	√	×	+	-	±	±	±	-	+



续表

序号	粘合剂名称	形态	固化条件			粘接强度		耐温性		稳定性			
			加热	加压	时间	抗剪	抗拉	高温	低温	水	酸	碱	油
16	硅橡胶	膏	√×	√×	√	±	-	+	+	+	±	±	±
17	酚醛	溶、膜	√×	√	√	+	-	+	+	+	+	+	+
18	脲醛	溶、膜	√×	√	√	+	-	±	±	±	+	+	+
19	三聚氰胺甲醛	溶、膜	√×	√	√	+	-	+	+	+	+	+	+
20	间苯二酚甲醛	溶	√×	√	√	+	-	+	+	+	+	+	+
21	不饱和聚酯	溶、单	√×	√×	√	+	-	±-	±	±	±	±	+
22	聚氨酯	粘	√×	√×	√	+	±-	±-	+	+	±	+	+
23	环氧树脂	粘、固	√×	√×	√	+	-	±	-	±	+	+	±
24	酚醛-乙烯类	溶、膜	√	√	√	+	-	±	-	+	±-	+	+
25	酚醛-氧丁橡胶	溶、膜	√	√	√	+	-	±	+	+	±	+	+
26	酚醛-丁腈橡胶	溶、膜	√	√	√	+	±	±	±	+	+	+	+
27	酚醛-聚酰胺	溶、膜	√	√	√	+	+	±-	+	±	+	+	+
28	酚醛-环氧	粘	√×	√×	√	+	±	+	+	+	+	+	±
29	环氧-聚酯	粘	√×	√×	√	+	-	±	±	+	+	+	+
30	环氧-聚酰胺	粘	√×	√	√	+	+	±	±	+	±	±	+
31	环氧-聚硫橡胶	粘	√×	√×	√	+	+	±	±	+	±	±	+
32	无机粘合剂	粉、液	√	√	√	±	-	+	+	+	+	+	+

注：1. 溶：溶液；膜：薄膜；乳：乳液；单：单体；膏：膏状；液：液体；粘：粘稠液体；粉：粉末状；固：固体。

2. √：需要；×：不需要。

3. + + +：优；+：良；±：中；-：可；--：劣。

4. 同时具有上述两种符号时，表示两种性能兼而有之。