

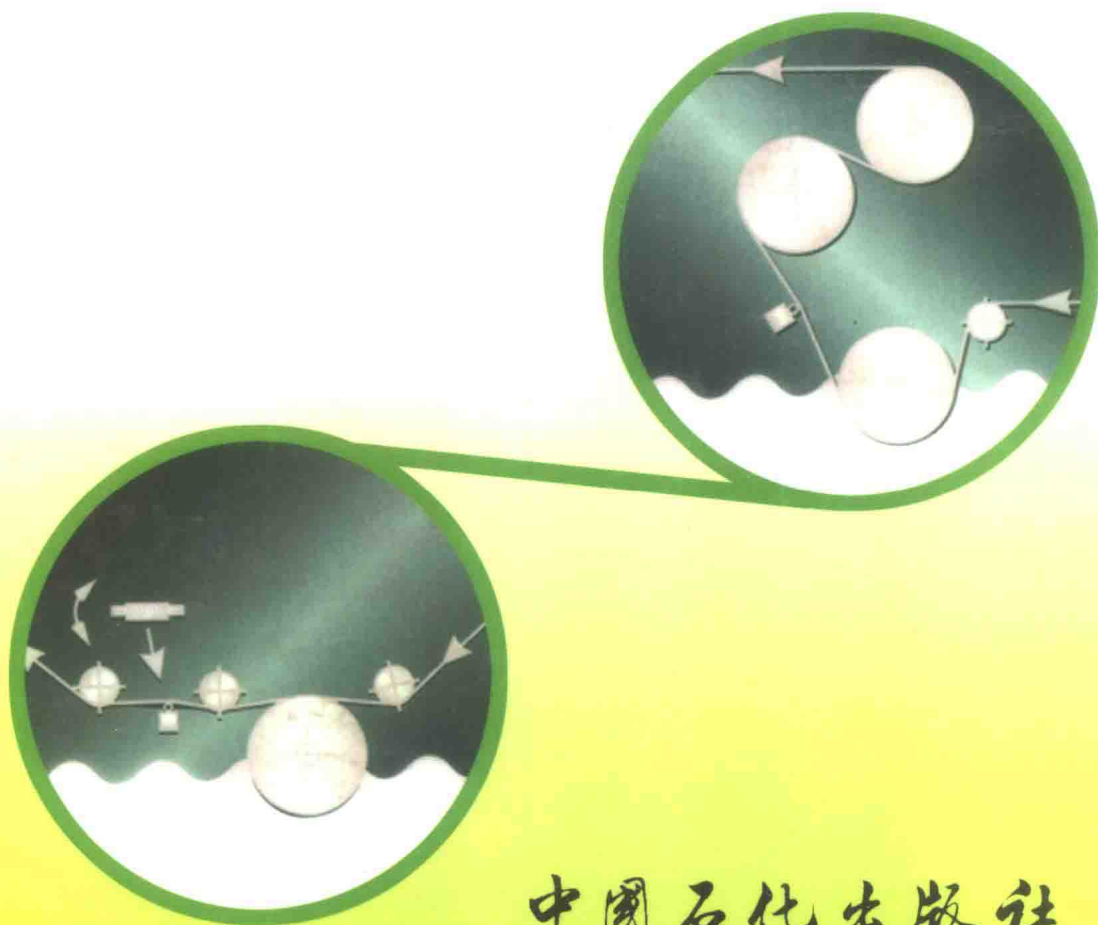
[美] D.Satas Arthur A.Tracton 编

Coatings Technology Handbook
(Second Edition)



涂料涂装 工艺应用手册

赵风清 肖纪君 等译 耿耀宗 刘国杰 审校 (第二版)



中国石化出版社

涂料涂装工艺应用手册

(第二版)

[美]D. Satas Arthur A. Tracton 编

赵风清 肖纪君 等译
耿耀宗 刘国杰 审校

中国石化出版社

著作权合同登记 图字: 01 - 2001 - 3968 号

Coatings Technology Handbook(Second Edition)

edited by D. Satas and Arthur A. Tracton

赵风清 肖纪君 等译

耿耀宗 刘国杰 审校

Copyright ©2001 by Marcel Dekker, Inc., 270 Madison Avenue, New York, New York 10016 All Right Reserved.

中文版权(2001)为中国石化出版社所有。版权所有,不得翻印。

图书在版编目(CIP)数据

涂料涂装工艺应用手册(第二版)/[美]萨塔斯(D. Satas),
[美]阿瑟(Arthur A. T.)编;赵风清、肖纪君译.
—北京:中国石化出版社,2002
ISBN 7-80164-286-4

I. 涂… II. ①萨… ②阿… ③赵… ④肖…
III. 涂料-工艺应用手册 IV. TQ63-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 073304 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

北京精美实华图文制作中心排版

三河市三佳印刷装订有限公司印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 16 开本 41.75 印张 1068 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月第 1 次印刷

定价:100.00 元

序 言

涂料的用途非常广泛，很难想象一种物品不存在这样或那样的涂层。涂料可以使物品免于腐蚀和周围空气造成的不良影响。可以通过改变物品的表面性质达到美化的目的，这些性质包括光泽、色泽、平滑性和总体外观。黏合涂层用于层压和制备复合材料，其他涂层用于隔离气体和液体。由于在涂料、油墨和黏合剂的生产中所采用的原料有许多是相似的，因此这些产品的也大同小异。施工技术、涂层类型和目的的多种多样使涂料技术成为一个极为复杂的领域。随着通用技术的发展，开发新型涂料和施工技术是很有必要的。

涂料技术对于不同的应用是相通的，它也从其他技术中汲取营养。本手册对于那些业已从事涂料工作和打算从事与之有关的工作的人士非常有用。一个人对于自己从事的工作比较熟悉而对其他技术则可能比较陌生。对于本手册中涉及到的材料和技术了解有助于解决工作中遇到的问题和提高技术水平。

本手册增加了有关涂料所用到的多种技术、工艺和原料的讨论的章节，这样就使本书更为充实，拓宽了手册的知识覆盖面。

我们非常感谢作者们和 Marcel Dekker 公司的员工，本手册的成功出版与他们的努力是分不开的。

D. Satas

Arthur A. Tracton

译 者 序

涂料作为一种重要的化工产品,在建筑、家具、交通运输、轻工、冶金、农业乃至国防等方面获得了广泛应用,涂料的使用既美化了环境又保护了材料,而且常常赋予被涂物许多特种功能,涂料不仅创造了巨大的社会效益和经济效益,而且是当今社会许多工业部门,特别是一些支柱产业所不可缺少的工程材料。随着材料科学研究的不断深入,特别是新型化工原材料的开发和大量新型涂料助剂的涌现以及涂装技术的进步,新的涂料品种不断增加。

我国的涂料涂装技术近年来取得了长足进步,但是与国际上发达国家相比还有不少差距。随着中国加入 WTO 和对外开放的深入,为装饰性、功能性涂料的大发展提供了历史性的发展机遇。鉴于目前国内全面系统介绍新型涂料涂装技术方面的书籍尚少,我们受中国石化出版社的委托,翻译了 D.Satas 和 Arthur A.Tracton 编著的《涂料涂装工艺应用手册》(第二版)一书。

本书共分四部分,第一部分是原理与测试,第二部分是涂覆和加工技术,第三部分是原材料,最后一部分是表面涂料,由不同作者的 104 个专题组成。该书的主要特色是每个专题既独立成篇,又相互联系,具有一定的系统性。从不同角度、不同侧面系统地介绍了涂料的制备原理、配方设计案例、性能指标、检测方法、施工技术、原材料性能和选择、专用涂料的技术配方和应用等。本书可以作为一本技术性手册,供广大从事涂料涂装的科技工作者和工程技术人员随时查阅,对于洞察和了解当今涂料制造和涂装工艺的发展水平趋势,不失一本佳作。此外,该书对于涂料科研、新产品开发、新工艺设计以及涂料教学也颇具参考价值。

为了保证译文质量,根据中国石化出版社的要求我们组织长期从事涂料涂装教学、科研一线的外语水平较高的大学教师对原文进行翻译,然后由丰富经验的专家、教授进行详细校对,最后请资深专家进行审校、把关。

在本书的翻译过程中,我们根据具体情况进行了统一技术处理。比如“Enamel”一词过去常译作“瓷漆”,但随着一些磁性颜料在色漆中的应用,近年来颁布的标准多称“磁漆”,因此我们在翻译时采用后者的说法;再如“paints and coatings”,根据行业习惯统译为“涂料”。在量、单位的翻译过程中,为了避免某些单位制在转换时的数字问题,同时由于本书 2001 年在美国刚刚出版,因而我们对一些单位未作转换。

本书各部分翻译、校对的分工如下:

第1篇~19篇:段玉丰译,耿耀宗校;第20篇~39篇:肖继君译,李彦涛、耿耀宗校;第40篇~60篇:李言涛译,肖继君校;第62篇~81篇:赵风清译,耿耀宗校;第82篇~102篇:唐二军译,赵风清校;第103篇、第104篇:程中浩译,孙玉钊校。此外,王德松教授、郝丽霞工程师也参加了部分翻译、校对和译文整理工作。本书总审校:刘国杰教授、耿耀宗教授。

本书作为一本涂料涂装工艺应用手册,涉及学科非常之多,由于我们专业技术和英语水平所限,加之时间仓促,书中错误在所难免,敬请读者批评指正。

译 者

2002.6

目 录

第一部分 原理与测试

1	流变学与表面化学	(3)
2	涂料流变学	(15)
3	流平	(27)
4	聚合物结构与性能关系	(30)
5	附着力理论	(35)
6	附着试验	(43)
7	涂料配方计算	(55)
8	涂料的红外光谱	(59)
9	涂料热分析表征	(66)
10	涂料工业颜色测试	(70)
11	X 射线荧光用于涂层质量测定	(72)
12	日光、紫外线和加速大气老化	(76)
13	固化监控：微电介质技术	(85)
14	试验板	(89)

第二部分* 涂覆和表面处理技术

15	绕线棒的涂装	(97)
16	低黏度流体的缝口模头挤涂	(104)
17	酸性共聚物和离子交联聚合物的挤涂	(116)
18	多孔辊涂覆机	(122)
19	旋转丝网涂装	(132)
20	丝网印刷	(137)
21	苯胺印刷术	(142)
22	喷墨印刷	(151)
23	聚合物的电沉积	(155)
24	化学镀	(160)
25	电解薄而致密的镀铬工艺	(170)
26	Amoloy 镀铬工艺	(176)
27	溅射薄膜涂装	(180)

28	活性等离子体：沉积与刻蚀	(190)
29	阴极电弧等离子体沉积	(208)
30	工业金刚石和类金刚石薄膜	(214)
31	摩擦协同涂装	(219)
32	化学气相沉积	(230)
33	溶剂气体挥发的控制	(240)
34	塑料的表面处理	(245)
35	火焰表面处理	(251)
36	等离子体表面处理	(257)
37	氟化法进行聚合物材料表面预处理	(263)
38	磁性介质的压延	(269)
39	压花	(272)
40	模塑涂装	(277)
41	HVLP：高容量低压涂装科学	(280)

第三部分 原材料

42	丙烯酸聚合物	(289)
43	乙烯基醚聚合物	(299)
44	聚(苯乙烯—丁二烯)	(302)
45	涂料用液体聚合物	(306)
46	聚酯	(312)
47	醇酸树脂	(324)
48	聚脲的革命：21 世纪的防护涂料	(333)
49	酚醛树脂	(336)
50	煤焦油和沥青涂料	(341)
51	硫化热塑性弹性体	(345)
52	烯烴类热塑性弹性体	(348)
53	乙烯—乙烯醇共聚物(EVOH)树脂	(350)
54	高弹性合金热塑性弹性体	(354)
55	聚氯乙烯及其共聚物塑溶胶涂料	(357)
56	聚乙烯醇缩醛树脂	(362)
57	聚酰亚胺	(374)
58	聚对二甲苯涂层	(376)
59	硝化纤维(素)	(379)
60	大豆蛋白胶、血胶和酪素胶	(385)
61	精制鱼胶(Fish Gelatin)和普通鱼胶(Fish Glue)	(394)

62	蜡	(398)
63	羧甲基纤维素	(403)
64	羟乙基纤维素	(407)
65	抗静电和导电添加剂	(412)
66	硅烷附着力促进剂	(415)
67	铬络合物	(418)
68	作为聚合物内脱模剂的非金属脂肪(族)化合物	(422)
69	有机过氧化物	(428)
70	表面活性剂在水性涂料中应用	(434)
71	表面活性剂、分散剂和消泡剂在涂料、油墨和黏合剂工业中应用	(438)
72	颜料分散	(448)
73	无机彩色颜料	(465)
74	有机颜料	(475)
75	氨基树脂	(494)

第四部分 表面涂料

76	苯胺印刷油墨	(503)
77	多彩花纹饰面涂料	(506)
78	绘画保护用清漆	(508)
79	热固性粉末涂料	(511)
80	医用可剥性涂料	(523)
81	导电涂料	(525)
82	有机硅防粘涂料	(534)
83	有机硅硬性涂料	(543)
84	压敏胶技术及产品	(546)
85	自密封黏合剂	(552)
86	溶胶-凝胶涂料	(557)
87	辐射固化涂料	(560)
88	无纺布黏合剂	(568)
89	阻燃涂料	(572)
90	皮革涂料	(576)
91	金属涂料	(582)
92	腐蚀和防腐涂料	(588)
93	船舶涂料行业	(596)
94	装饰性表面保护产品	(598)
95	防护衣涂布纤维	(605)

96	用于服装涂覆的纤维：舒适性问题	(609)
97	建筑纤维	(612)
98	胶带	(615)
99	经皮(transdermal)药物传递体系	(618)
100	光导纤维涂料	(623)
101	户外木器漆	(627)
102	药片涂层	(638)
103	涂层用纺织品	(641)
104	用作涂层及层压底布的无纺布	(653)

第一部分

原理与测试

1 流变学与表面化学

K. B. Gilleo

Sheldahl, Inc., Northfield, Minnesota

1 引言

流变学和表面化学是两门关于液体流动和液体-固体相互作用的基本科学,为了认识理解涂覆、印刷过程及其有关材料,必须了解这两门科学的一些基本知识。通常,根据这两门科学进行定性处理,就能够认识和解决涂料和油墨应用中出现的问题。

广义地讲,流变学是研究材料在外力作用下的物理行为。可分为四类:弹性、塑性、刚性和黏性。我们所关心的是液体和糊料的行为。流变学涉及到液体在施加或除去机械力时形状的变化。黏性是涂料和油墨很关键的流变学性质。油墨的黏度就是油墨流动的阻力,即剪切应力与剪切速率之比。

在涂覆和印刷过程中,不同种类和大小的机械力在起作用。对于非牛顿流体,剪切力大小直接影响黏度。混合或涂覆时,大多数涂料不同程度地出现剪切变稀现象,尤其稠的油墨更倾向于剪切变稀。当剪切速率增加时,黏度降低;在某些情况下,黏度降低非常显著。

这似乎很简单,但有两个问题必须注意。一个称为屈服点,它是流体流动所需的剪切速率。例如,番茄酱通常必须受一点外力才能够流动,然后就流动自如。一旦超越屈服点,材料的类固体性质消失,松散类网状结构受到破坏。油墨也表现出屈服点的性质,但程度较轻。屈服点是油墨的重要性质之一。

这里还将讨论屈服值,这是液体重要的属性,但却常被忽视。我们需要将流变学作为一个动态变量进行研究并考察其在涂覆过程的变化。有关的交互作用使黏度在涂覆过程中发生变化,而流变性能又对涂覆过程产生影响。在我们将进行的涂覆工艺讨论中,这些交互作用是关键概念。

第二个问题是对时间的依赖性。即使在恒定的剪切速率下,一些油墨的黏度也随时间而发生变化,这意味着黏度与所受机械力的大小和作用时间长短有关。当剪切力消失,油墨又回复到初始黏度。回复速率是油墨另一个重要的性质,其数值可以从数秒至数小时。

流变学研究远不仅仅是单一剪切速率下对黏度进行快照式观察,虽然那样的情形为我们所熟悉,并且油墨供应商也通常以这种形式提供产品报告。流变学研究涉及黏度在不同外力下、不同温度下、以及溶剂和添加剂影响下发生的变化。尽管材料的布洛克菲尔德黏度计读数很重要,却不能反映非牛顿液体流动的全面情况。

表面化学描述由油墨分子间引力和油墨与底材间分子间力引起的润湿或不润湿现象。这些分子间作用的相对强度决定了许多油墨性能参数。只有具备适宜的表面化学性质,才能达

到优异的印刷清晰度、粘接性及其光滑的油墨表面。气泡和成膜缺陷也有其表面化学性质方面的原因。

就我们的研究领域而言，表面化学中处理的是液体分子间和它们与底材间的吸引力问题。我们将主要讨论润湿现象，并将它与涂覆工艺及其过程中出现的问题相联系。可以看到，对润湿和不润湿现象的了解有助于解释涂覆与印刷过程中出现的许多异常现象。

涂覆工艺日渐复杂，流变学和表面张力两门科学提供了解决有关问题的方法。将流变学和表面化学结合起来，可以更好地了解油墨和网印过程。我们在对其进行直观和半定量地讨论中包括了这种结合，发现由流变学引起的印刷和涂覆问题可以从表面化学上找到依据。我们进一步的发现表明流变学和表面化学因素都影响涂层流平性。

2 流变学

流变学是关于材料流动和形变的科学，对于了解涂料施工性能和质量控制非常重要。黏度是流动的阻力，是液体最重要的流变参数，当然也是涂料和油墨最重要的参数。涂覆和印刷过程中黏度的变化方式有着更重要的意义。牛顿型流体，如溶剂，存在一个不随所承受剪切速率变化的绝对黏度。但是实际上，剪切力不同时，所有涂料的黏度都会发生显著变化。我们将考察涂料和油墨的表观黏度，探索为何在涂料和油墨应用中，必然经历力诱导变化过程。

黏度，即流动阻力，是描述在力作用下液体行为的关键性质，如物料混合就存在黏度的作用。另外，重力、表面张力、与材料涂覆方式有关的剪切力的作用也很重要。黏度是剪应力与剪切速率之比(式3)。高黏度液体需要很大的力(功)才能产生形变。例如，与低黏度涂料相比，高黏度涂料泵送时遇到的困难大一些；涂覆时，高黏度涂料也需要更长的时间才开始流动。

$$\text{剪切速率} \quad D = \frac{\text{速率}}{\text{厚度}} (\text{s}^{-1}) \quad (1)$$

$$\text{剪切应力} \quad \tau = \frac{\text{力}}{\text{面积}} (10^{-5} \text{N/cm}^2) \quad (2)$$

$$\text{黏度} \quad \eta = \frac{\text{剪切应力}}{\text{剪切速率}} = \frac{\tau}{D} (10^{-5} \text{N} \cdot \text{s/cm}^2) \quad (3)$$

上面的式子指出，剪切应力是液体单位面积所受的力，常用的单位是牛顿每平方米，即单位面积的力。剪切速度的单位是秒的倒数(s^{-1})，是施加于液体的机械能。代入式3，黏度的单位即为达因·秒每平方米或泊。对于低黏度流体，如水($\approx 0.01\text{P}$)，用泊这样的单位表示时，数值太小，常用厘泊(0.01P)表示。因为 $100 \text{厘泊} = 1 \text{泊}$ ，所以水的黏度大约是 $1 \text{厘泊}(\text{cP})$ 。网印油墨的黏度要高得多，绘画用油墨的范围在 $1 \sim 10 \text{Pa} \cdot \text{s}$ ，而一些高填充聚合物厚膜(PTF)油墨和黏合剂的黏度高达 $50 \text{Pa} \cdot \text{s}$ 。黏度的国际标准单位是帕斯卡·秒($\text{Pa} \cdot \text{s}$) (SI: $1 \text{Pa} \cdot \text{s} = 1000 \text{cP}$)。表1.1列出常用工业液体的黏度值。

黏度的概念相当简单。稀的或低黏度的液体容易流动，而高黏度液体的流动阻力很大。理想流体或牛顿流体的黏度在任何剪切区域都是恒定的。真正的牛顿流体很少，通常，液体受到剪切力作用或对其做功时，黏度降低，这样的现象称为剪切变稀。因此，测试黏度时，准确详细说明黏度的测试条件很有必要。除了考虑剪切应力的影响，还必须考虑时间的影响，因为力的作用时间长短对液体也会发生影响。超过一定时间后，剪切变稀液体的黏度倾

表 1.1 通用工业液体的黏度值^①

液 体	黏度/mPa·s	液 体	黏度/mPa·s
丙酮	0.32	杂芬油	12.0
氯仿	0.58	硫磺酸	25.4
甲苯	0.59	亚麻仁油	33.1
水, 标准 2(20℃)	1.0	橄榄油	84.0
环己烷	1.0	蓖麻油	986.4
酒精	1.2	甘油	1490.0
松节油	1.5	威尼斯松节油	130, 000.0
水银, 金属	1.6		

① 约 20℃ 下的值。

来源: Handbook of Chemistry and Physics, 64th Ed., 1984, CRC Press, Boca Raton, FL.

向于回复到初始值。因此, 准确的黏度报告必须定量标明剪切作用时间和静置时间。

显而易见, 我们要处理的是黏度曲线, 而不是某一固定的点。尤其对于塑料装饰材料, 对黏度曲线进行处理显得更为重要。对一种材料而言, 在涂覆过程受到多种不同的剪切力的作用。将经历多种不同的剪切应力。例如, 某一涂料可能在混合过程受到较低的剪切应力作用, 黏度为 10~20mPa·s; 接着通过喷枪线泵送, 黏度为 1mPa·s; 然后在巨大的压力下通过一无气枪口喷出, 黏度超过 10³mPa·s; 最后, 在适度的重力(较小)和表面张力作用下, 在底材上流动。因此, 材料很可能在不同阶段具有不同黏度。事实上, 在涂覆过程中, 好产品的黏度应该是变化的。

2.1 黏性行为类型

2.1.1 塑性

从流变学角度来看, 塑性流体的行为更象塑性固体, 只有受到的力超过屈服点对应的力时, 这一情况才发生变化。例如凝胶、溶胶、番茄酱等就是特例。一旦达到屈服点, 当剪切速率再增加时, 液体行为开始接近牛顿体。图 1.1 给出了相应的剪切应力 - 剪切速率曲线和屈服点。尽管尚不能确定番茄酱的塑性行为是否具有实际意义, 但对于油墨和涂料确实具有一定意义。实际上, 屈服现象非常具有实践价值, 不流挂性涂料就是利用屈服现象的极好例子。涂刷力消失后, 涂料很快具备了黏性, 直至停止流动, 由于重力低于屈服点, 所以阻止了出现流挂现象。

印刷过程出现的渗色现象, 即流到印刷边界以外的趋势, 也是由屈服现象控制的。虽然具有高屈服点的油墨不会出现渗色现象, 但流动性很差; 低屈服点的油墨流动性很好, 但渗色问题可能很严重。只有屈服点适当, 才能既具有所要求的流动性和流平性又不发生渗色。树脂黏结剂和填料都影响屈服点。静止时, 聚合物链无规取向的, 流动的阻力很大; 剪切力使聚合物链沿流动方向伸展, 因此减少了流动阻力。固体填料可形成松散的分子吸引结构, 但这种结构在剪切作用下迅速解体。

2.1.2 假塑性

像塑性材料一样, 当受到外力时, 假塑性液体的黏度降低, 但是不出现屈服点。被施加的能量越多, 液体变稀越显著。当剪切速率减小时, 黏度的增加与力的消失同步, 没有滞后现象, 如图 1.1 所示, 剪切应力 - 剪切速率曲线在两个方向是相同的。图 1.2 给出了假塑性流体与牛顿流体、膨胀性流体的黏度 - 剪切速率曲线。

许多涂料表现出假塑性，但其假塑性具有时间依赖性，在外力除去后，黏度增加明显滞后，这种存在滞后环的假塑性称为触变性。假塑性是涂料和油墨很有用的性质，但实际上触变性更有意义。

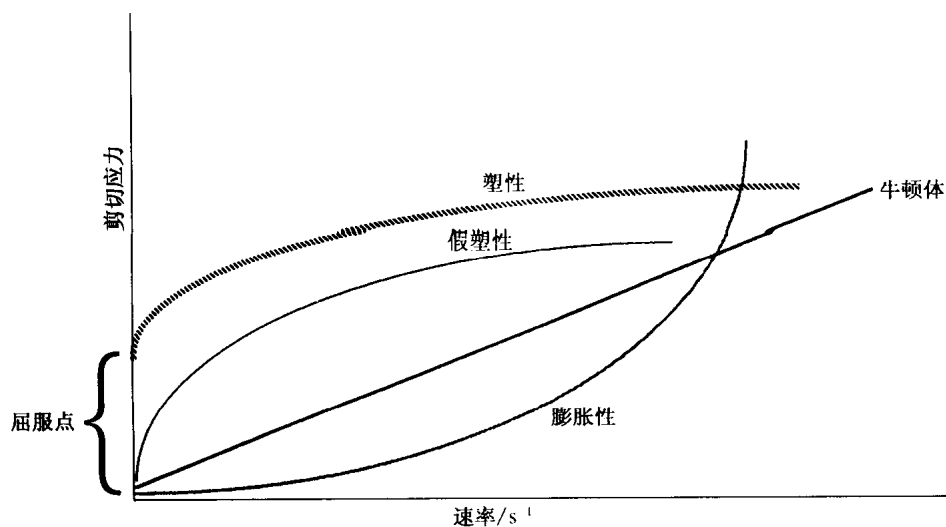


图 1.1 剪切应力 - 剪切速率曲线

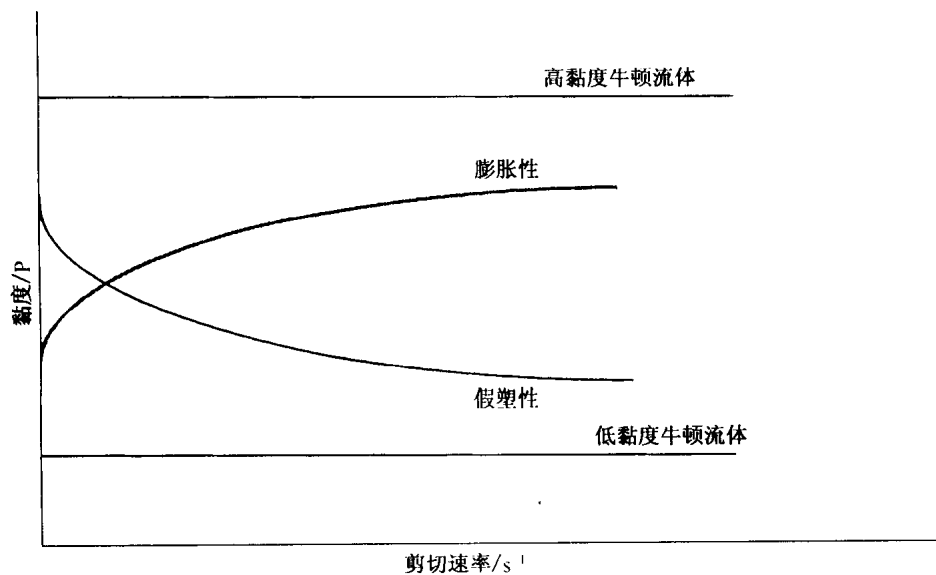


图 1.2 黏度 - 剪切速率曲线

(1) 触变性 触变性是假塑性的特殊情况。材料经历了剪切变稀过程以后，如果减小剪切力，黏度增加的速度慢下来，结果形成滞后环。触变性非常普遍也非常有用。正因为具有触变性，建筑装饰涂料才具有不流挂性能。开始，涂料具有适度的黏性，所以能够附着于刷子上；涂覆时，在刷子的剪切力作用下，涂料黏度迅速减小，所以涂覆容易，平滑；当剪切力终止，涂料又回复到高黏度，阻止了流挂和淌流。

网印用油墨也得益于触变性。网印油墨的黏度较大，当通过细孔网时，油墨受到高剪切力作用，黏度突然降低。此刻的低黏度使印刷油墨点融合为结实的、连续的膜；在油墨可能“渗色”到预定边界之前，黏度回复到高黏度区域。

触变性材料具有独特的滞后环。剪切力可使黏度降低到一定值，此时，再增加力黏度不会再发生变化。当输入液体的能量减小时，黏度再次又开始增加，但增加速率低于原来降低的速率。我们没有必要了解黏性环的形状，只需认识到在装饰油墨、色漆和涂料中普遍存在这样的响应。

装饰颜料的展色剂、消光剂及其他固体填料通常引起或加强触变行为。材料填充量越大，如油墨，一般触变性越明显。触变剂具有小平板结构，加入到液体中能够调节触变性。小板之间形成松散的、相互连接的网，导致黏性增加。剪切作用破坏了撕裂了的网络结构，结果黏度降低。

混合和其他高剪切作用能使黏度迅速降低。但是，即使在恒定剪切应力作用下，触变性油墨也会持续剪切变稀。可以通过 Brookfield 黏度仪观察到这样的现象：当回转杆恒速下转动时，黏度测量值持续降低；当油墨静止后，黏度又回复到最初的值。这样的过程可能缓慢进行，也可能迅速完成。结果剪切应力 - 剪切应变曲线形状各异，但都出现滞后环。实际上，可利用滞后曲线检测触变性(见图 1.3)。黏度变化速率是油墨的重要性质，我们将在后面讨论网印油墨时进一步讨论。触变性对于油墨的性能非常重要，正因为油墨具有的黏度变化的性质，网印才得以实现。

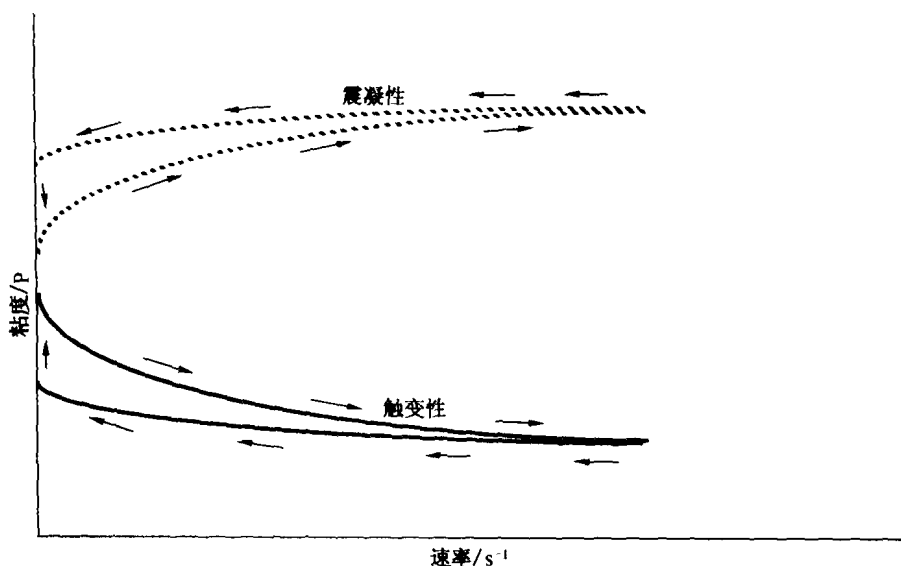


图 1.3 剪切应力 - 剪切速率曲线：滞后环

(2) 膨胀性 剪切作用下，黏度增加的液体称为胀流体。具有这样性质的液体很少。不能将膨胀性与一般的黏性增加相混淆，后者出现在油墨或涂料失去溶剂的过程中。例如，用辊涂机涂覆可挥发溶剂性涂料时，涂料黏度在涂覆过程中增加。旋转的辊子起到了溶剂挥发器的作用，结果涂料中固体含量增加，进而使黏度增加。而真正的膨胀性与溶剂挥发无关。

(3) 震凝性 这个词听起来不象是描述材料性能，倒象是在谈一种病症。震凝性与触变