

1 引言

大多数涂料都需要良好流动的流平来获得优异的外观，平坦的表面同时提供更高的光泽和感观。控制涂料的表面流动和流平其实就是控制系统的表面张力，当然同时配方中的不相容因素也会影响涂料的流动和流平。

在进一步讨论流平剂和滑爽剂之前，详细讨论和理解表面张力是重要的。表面张力涉及涂料技术的所有步骤，包括分散、流平、附着以及涂料喷涂时的雾化等。

2 表面张力

设计零缺陷的涂料会牵涉到涂料的表面化学。在进入深入的讨论之前，我们首先要明白表面张力的详细概念。表面张力这一词汇将频繁地出现在以后的讨论中。

表面通常是指凝固相（液相或固相）与气相或液相之间的界面，它通常用以描述两个相之间的结合部位。导致界面现象产生的表面分子之间的结合力为表面张力。处于界面的分子与其它部位的分子处于不同的状态，它们通常更倾向于与界面之间的结合。

如图 1 所示，处于液体内部的分子保持一种平衡状态，它受到的所有角度的力量完全相同。液体表面由于缺少 **upper** 相同的分子而处于一种不平衡状态。表面分子的这种不平衡导致表面张力。

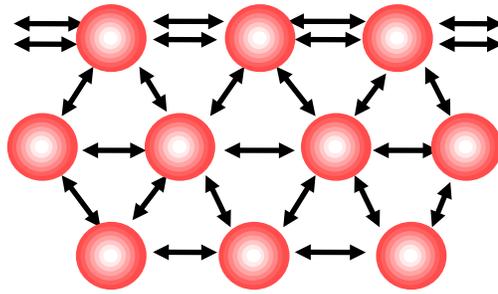


图 1：表面分子与界面的结合力与内部的差异导致表面张力

表面张力， γ ，它通常被理解为，在控制的条件下，将物质表面处以最小面积的一种力量。它总是定向在平行于物体的表面。表面张力是所需的力量来将物体表面积提高到指定的指数。表面张力与温度变化有着直接的关系，温度越高，表面张力越低。

表面张力通常以 dyn/cm 或 Mn/m 或 mJ/m^2 来做测量单位。因此，它也可理解为所需的 dynes 力量来破坏 1cm 长的膜层，相对的，也可理解为表面力量 (ergs)/平方 cm 。

为何一些物质拥有较高的表面张力，而另外一些物质拥有较低的表面张力？这是因为系统中分子之间的相互作用决定了体系最后的表面张力。分子之间的相互作用力越高，体系的表面张力就越高。也就是说，体系中分子之间的相互作用力在物质的表面张力表现中起到了非常重要的作用。分子之间的作用力大致分为两种：

- 1) 散射力 **D** 伦敦 散射力
- 2) 极性力 **P** 偶极力
- 氢键
- 离子键

由于 D 和 P 的不同，导致了 物质的表面张力， γ ，不同：

$$\gamma_{\text{tot}} = \gamma_D + \gamma_P$$

图 2：表面张力跟散射力和极性力之间的关系

2.1 分子间的作用力

2.1.1 伦敦散射力

伦敦 散射力是由非极性分子（如碳氢化合物）中的电荷运动而导致共价电子云变形而引起的。而这种变形决定于周围分子的电荷分布。

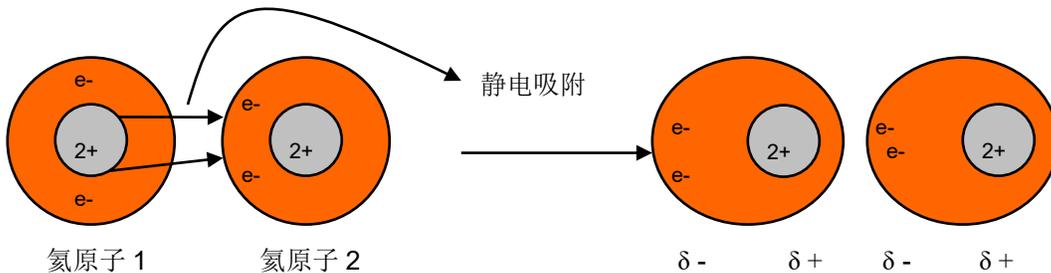


图 3:用氢原子说明伦敦散射力

分子的大小和形状决定了伦敦散射的大小，分子越大，伦敦散射力越大。例如： CH_4 ,甲烷，在室温时是气体，但 $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_4\text{-CH}_3$ ，正己烷在室温时是液体， $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_8\text{-CH}_3$ ，酉烷在室温时是固体。

至于形状，它也会影响伦敦散射力的大小，图 4 进行了详细的说明：

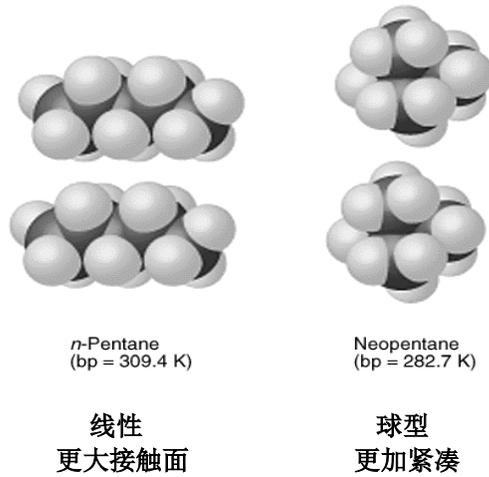


图 4: 分子的形状对散射力的影响

2.1.2 偶极力/偶极矩

极性共价分子有时也称为“偶极”，意即这些分子拥有两个极性端。一端带有正电荷，另一端带有负电荷。偶极力来源于原子对电子的吸附力，它导致共价键电子云而非净电荷的分布的不均匀。如图 5 所示：

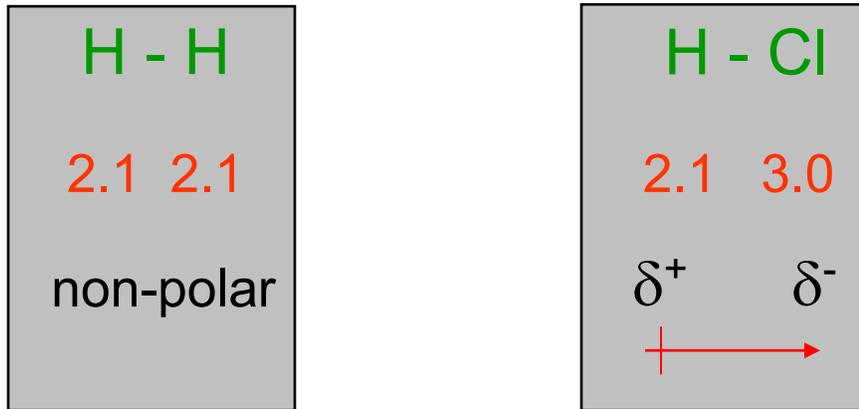


图 5: 偶极力的产生

即使分子的电荷为零，某些分子的化学键中的正负电荷也不是完全重合的。这一类分子被称为极性分子，因为它们始终存在偶极距离。最好的偶极例子是水分子。详见图 6。均匀对称的分子，象氧气、氮气、二氧化碳、四氯化炭等不存在永久的偶极矩。即使没有永久的偶极矩，一旦有外界电场的影响，也有可能产生偶极矩。这种现象称为偶极化，由于它于涂料应用的关系不大，我们不进行详细的讨论

偶极矩，通常用 μ 表示，它是正负电荷的总和与两极中心距离的乘积。

偶极矩也可以用下列公式进行计算，但通常，计算所得值会略小于实测值。

$$\mu = eR$$

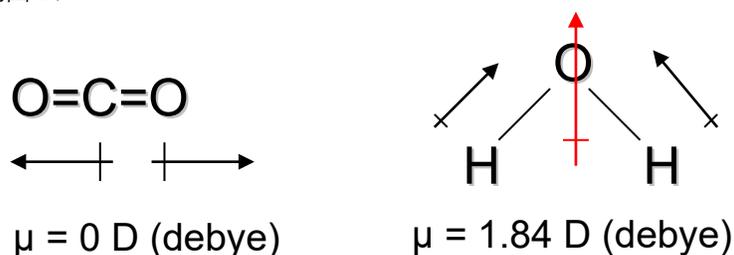
$e =$ 电子的电荷为 4.80×10^{-10}

$R =$ 产生偶极矩的两个原子的直径

图 6 所示，氢气为非极性物质。但是，盐酸，拥有 H—Cl 键，它们拥有不同的电荷吸附性能，Cl 拥有吸附电子的能力，从而产生了偶极矩。H-Cl 键为共价键，但由于电荷吸附力，它自然就产生了部分的极性能。

能够产生偶极力的极性共价键为：O-H, N-H, C-Cl, C-F, C-O, C-N 等。非极性或低极性键没有产生偶极力，如：C-C, H-H, N-N, O-O 等。

偶极力的大小同时也依赖于分子几何学。如前所述，对称的分子没有偶极矩，而不对称分子将产生偶极矩。详见图 7：



Debye:偶极矩的单位: $3.336 \times 10^{-30} \text{ cm}$

图 6: 分子几何形状对偶极矩的影响

<i>molecule</i>	μ	<i>molecule</i>	μ
Alkanes 烷烃	0	NH ₃ 氨	1.47
C ₆ H ₆ 苯环	0	CH ₃ OH 甲醇	1.69
CCl ₄ 四氯化炭	0	CH ₃ COOH 乙酸	1.70
CO ₂ 二氧化碳	0	H ₂ O 水	1.85
CHCl ₃ 三氯甲烷	1.06	C ₂ H ₄ O Ethylene Oxide 乙氧基	1.90
HCl 氯化氢	1.08	CH ₃ COCH ₃ Aceton 丙酮	2.85

图 7: 偶极矩的实例

拥有偶极矩的分子将会自身定向从而产生分子之间的偶极吸附。这种吸附在分子分散剂中起着非常重要的作用。

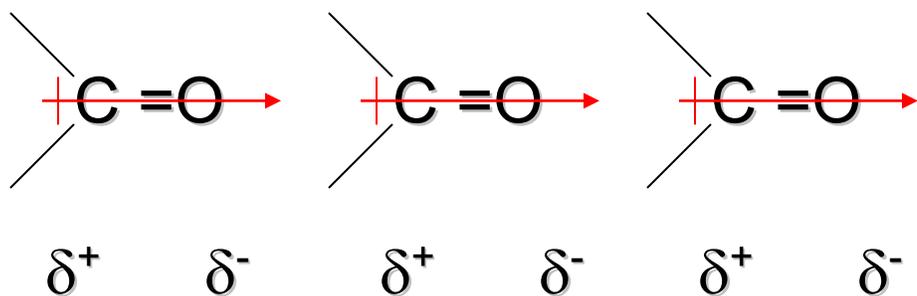


图 8: 拥有偶极矩的分子之间产生偶极吸附

总的来说，偶极矩依赖于分子的极性和分子的几何形状。

备注：

以上散射力和偶极力的解释，看起来似乎类似，但它们之间有着极大的差异，伦敦散射力解释了内部吸附力，而偶极解释分子分子之间的吸附力。

2.1.3 氢键

氢键是非常强的偶极吸附（3-10 kcal/mol),通常产生于 O-H 和 N-H 键。H 原子拥有很强的对 O、N 孤对电子的吸附力，这种现象在 C-H 键中将不会存在。

氢键约占共价键的 5%。然而，当两个分子（或部分相同分子的一部分）之间存在很多氢键时，它们将会变得非常强烈而稳定。

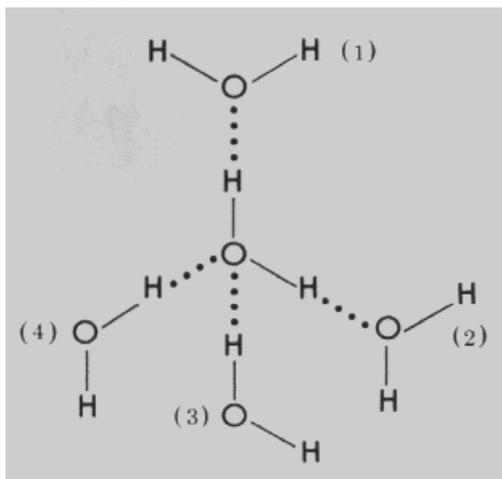


图 9: 水分子中氢键的示例

2.1.4 离子键(非共价键)

我们知道，离子键来源于携带相反电荷的两个离子，阴离子（-）和阳离子（+）。当两个或以上带有电荷的原子接触时，相反电荷相互吸引而相同电荷则相互排斥。

离子键可以用简单的静电模型进行解释。静电模型基于相反电荷互相吸引而相同电荷互相排斥。由阳离子和阴离子组成的离子化合物非常十分常见，如日常生活中的氯化钠。

离子键起源于电子云中相反电荷的吸附力与相同电荷的排斥力的平衡。在晶体化合物中，这种平衡被称为晶格能。晶格能是离子化合物形成的驱动力。

在涂料工业中，无机颜料是一种常见的离子化合物，金属离子带有正电荷，氧离子带有负电荷，它们强烈地相互吸引。有机化合物通常存在共价键，离子键也存在于中和后的有机盐中。离子键是所有极性键中最强的键。

R-NH₃⁺ -OOCR'	有机
Na⁺ -OOCR'	有机和无机的混合
Na⁺ Cl⁻	无机

图 10: 中和后的有机盐的离子键实例

所有键能的比较

上述的所有键能都可以测量或计算，只不过它们有的很强，而有些只是在这些键能中提供部分帮助。图 11 详尽地描述了不同强度的键能在表面张力中的贡献

		Kcal/mol
散射力 D:	伦敦散射力	1
偶极力 P:	偶极吸附力	3
	氢键	10
	离子键	20
共价键		100

图 11:不同键能大小的比较

2.2 涂料工业相关的常见物质的表面张力

通过以上解释，物质的表面张力由伦敦 散射力和极性力组成，如图 2 所示。下面所列为与涂料工业相关的部分常见物质的表面张力：

表 1:与涂料工业相关的部分物质的表面张力

Diluents			
Materials	Surface Tension/mN/m	Materials	Surface Tension/mN/m
Water	72.8	Low Aromatic White Spirit	25.0
Ethylene Glycol	48.4	MIBK	23.6
Butyl Acetate	25.3	MEK	24.6
Ethyl Acetate	24.0	Cylcohexanon	34.0
Methoxy Propyl Acetate	26.4	Iso-Propanol	23.0
Xylene	29.3	n-Butanol	24.6
Toluene	28.5	Acetone	23.5

Resins		Substrate	
Materials	Surface Tension/mN/m	Materials	Surface Tension/mN/m
Melamine Resin (HMMM)	58.0	Glass	70.0
Epoxy	47.0	Steel, Pre-treated	45.0

Polyester	41.0	PVC	39.8
Polyacrylate	35.0	Polyethylene	33.2
Long Oil Alkyd	26.0	Polypropylene	28.0
Short Oil Alkyd	29.0	PTFE	19.0

表 2: γ_D 和 γ_P 值

Phase RT	Material	Chem. formula	γ_D	γ_P	γ
LIQUIDS	Water	H ₂ O	21.70	51.00	72.70
	Ethanol	CH ₃ CH ₂ OH	18.40	4.00	22.40
	Polydimethylsiloxane	Me-(Si(Me) ₂ O) _n Si(Me) ₃	16.90	2.10	19.00
	Hexane	C ₆ H ₁₄	18.40	0.00	18.40
	Glycerol	(HO-CH ₂) ₂ CHOH	37.00	26.40	63.40
	n-octane	C ₈ H ₁₈	21.80	0.00	21.80
	Methyl iodide	CH ₃ I	48.50	2.30	50.80
	Fluorosilicone	-(MeSiORF) _n -	14.50	0.20	14.70
	Ethylene glycol	HO-(CH ₂) ₂ -OH	28.60	29.70	48.30
	Mercury	Hg	200.00	284.00	484.00
SOLIDS	Glass	Si(4+) O(2-) ₂	29.40	43.90	73.30
	Paraffin wax	-(CH ₂ -CH ₂) _n -	25.50	0.00	25.50
	PTFE (Teflon)	-(CF ₂ -CF ₂) _n -	18.60	0.50	19.10
	Polyethylene	-(CH ₂ -CH ₂) _n -	33.20	0.00	33.20
	Polystyrene	-(CH ₂ CHC ₆ H ₅) _n -	41.40	0.60	42.00
	Mica	Mx[AlSi ₃]O ₁₀ (OH) ₂	27.30	39.80	67.10

2.3 界面表面张力

在涂料工业中，我们不得不面对物体的界面。弄清涂料的界面表面张力同样非常重要，因为它可以帮助我们解决与其相关的很多涂膜缺陷。界面表面张力是不易混合的两种物质的接分解面的表面张力。

在涂料工业中，最重要的界面表面张力是下列的界面。聚合物/溶剂系统的界面表面张力通常是 0.0001 - 0.1 mN/m，而聚合物/聚合物之间的界面表面张力通常为 1-20 mN/m。

固-液界面: γ_{SL}
 液-气界面: γ_{LG}
 固-气界面: γ_{SG}

为了便于理解，我们假定气-液界面的界面张力为液体的表面张力，而气-固界面的界面表面张力为固体的表面张力。接下来需要详细讨论的仅仅是固-液之间的界面表面张力。

固液界面表面张力同样可以测量和计算。Fowkes 平衡用以计算固-液之间的界面表面张力。

$$\gamma_{SL} = \gamma_S + \gamma_L - 2 \left(\underbrace{\gamma_S^D \gamma_L^D}_{\text{界面散射力}} + \underbrace{\gamma_S^P \gamma_L^P}_{\text{界面偶极力}} \right)$$

图 12:计算界面表面张力的 FOWKES 平衡

以下计算一些界面表面张力的实例，如水在玻璃表面和水在特氟龙表面的表面张力

表 3:FOWKES 平衡计算水在玻璃和 TEFLON 表面的界面表面张力

Material	Chem Formulation	γ^D	γ^P	γ
Water (L)	H2O	21.7	51.0	72.7
Glass (S)	Si(4+) O(2-)2	29.4	43.9	73.3
PTFE (Teflon)(S)	-(CF2-CF2)n-	18.6	0.5	19.1

$$\gamma_{SL} = \gamma_S + \gamma_L - 2 \left[(\gamma_S^D \gamma_L^D)^{1/2} + (\gamma_S^P \gamma_L^P)^{1/2} \right] \text{ (Fowkes 平衡)}$$

水和玻璃之间的界面张力

$$\gamma_{SL} = 72.7 + 73.3 - 2 \left[(29.4 \times 21.7)^{1/2} + (43.9 \times 51)^{1/2} \right]$$

$$\gamma_{SL} = 72.7 + 73.3 - 2 [25.3 + 47.3]$$

$$\gamma_{SL} = 72.7 + 73.3 - 145.2 = \underline{0.8\text{mN/M}}$$

同样方法，水在特氟龙表面的界面张力计算值为 41.5 m N/m.

3 表面张力对涂料的影响

详细讨论完表面张力后，接下来讨论表面张力对涂料的影响。此处，我们重点讨论表面张力对涂料弊病的影响。几乎所用的的涂料表面缺陷都与表面张力有关，通过调整表面张力或表面张力梯度，可以解决涂料的表面缺陷。为了修正表面张力或表面张力梯度，通常添加少量的表面活性剂，表面活性剂主要基于该性的聚甲基硅氧烷与该性或未该性的丙烯酸聚合物。这些表面活性剂将降低体系的表面张力，其降低幅度的大小很大程度上依赖于表面活性剂的原始表面张力以及此表面活性剂在表面的自身定向。

以下的表面缺陷均可以通过调整体系的表面张力或变表面张力梯度加以矫正：

- 1) 流平&橘皮、垂直和水平面流平
- 2) 缩孔或鱼眼
- 3) 底材润湿
- 4) 胀边/缩边
- 5) 影印和鬼影
- 6) Bernard 窝
- 7) 气流敏感
- 8) 过涂

3.1 流平&橘皮

我们知道，除开表面张力以外，流平和橘皮还受其它因素的影响，如涂料的粘度、施工方法以及水平或垂直位置。涂料工程师非常容易调整这些因素，我们不会花过多的时间去讨论。此处，我们重点关注表面张力，或者更精确的表述：表面张力梯度。

通常情况下，如果存在流平问题，在其它条件固定或不能改变的前提下，更低的系统的表面张力能够改善流平表现。然而，并非所有的实际情况均是如此而达到我们所期望的结构。

流平同样也对时间有很强的依赖性。同样的涂料在涂装于不同膜厚时需要不同的时间来流平而达到所期望的最终平坦表面。因此，涂料配方中的溶剂显得非常重要，它们提供充裕的时间使规定膜厚的涂层完成流平。以下是描述涂层厚度与时间关系的平衡：

$$t = G \frac{\eta}{\gamma d^3}$$

流动平衡（牛顿液体）	
t	流动时间
G	常数
η	液体的粘度
γ	液体的表面张力
d	涂膜的厚度

图 13:表面张力、涂膜厚度及粘度与流平时间的关系

以上公式显示，流动时间直接决定于粘度、表面张力及涂膜厚度。

3.1.1 表面张力对流平的影响

与高表面张力的体系相比较，较低表面张力体系将自身促使表面积最大化，从而处于一种低能状态。这种规律在很多物理现象中可以得到体现。

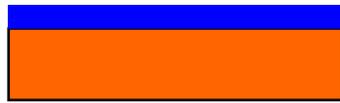
我们看看图 23,高表面张力物质将尽量保持球形状态，而低表面张力物质将尽量维持处于平坦状态。已知，平坦的状态的表面积大于球形状态的表面积。参考一个水银的表现，其表面张力为 465 dynes/cm，在玻璃板上，它呈现球形状态。再来看看一滴二甲苯的情况，其表面张力为 29.3 dynes/cm，在玻璃板上将呈现为平坦状态。

另一个实例是，我们知道低表面张力的液体在喷涂时的雾化状态更好。更好的雾化意味着喷涂的液滴拥有更小的直径。很明显，越小液滴的表面积将大于较大液滴的表面积。

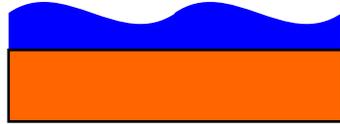
因此，为了获得良好的流平，并非把表面张力降到最低便可完成。如果液体的表面张力与底材的表面张力相比太低，涂膜的表面将出现波纹状，因为如前所述，波纹状的表面将会使低表面张力的液体呈现更高的表面积。具体解释参见图 14。

这种现象在卷材涂料和罐听涂料中非常易见。如图 13 所示，当表面张力降低，而且膜厚较薄的情况下，流平的机会将加大，且漆膜厚度的影响将出现三次方。在卷材涂料和罐听涂料中，允许漆膜流动的时间非常短，涂膜的厚度是固定的，漆液的粘度也几乎是固定的，唯一可以调整的因素只有表面张力。太高的表面张力将影响附着力及其它一些缺陷，如缩孔、鬼影等，由于此类涂料的施工方式的影响，还有可能出现滚痕等。如果涂料的表面张力太低，将缺乏流平滚痕的驱动力而且有可能会出现的涂膜表面。

因此，为了获得良好流平的表面且同时没有表面缺陷，需要一种表面张力的平衡。在氟炭该性的丙烯酸类流平剂能够满足此类要求，因为它拥有较低的表面张力来改善涂膜缺陷同时有不会因为太低的表面张力而造成流平不良。



拥有低表面积平坦表面



拥有较高表面积的波纹表面

图 14:平坦和波纹表面

在通常的涂料工业的实际中，我们注意到降低涂料的表面张力对流平却是有较好的帮助，这似乎与以上解释向矛盾。

再回到图 13,如先前所述，涂膜厚度因素因为存在三次方的影响而非常重要。在普通的涂料中，涂膜的厚度较卷材和罐听涂料要厚，允许涂料流平的时间也就同样较长。对卷材涂料来说，只有几秒钟的流平时间，而对其它涂料来说，依照不同的施工方法，其流动时间可能会是 5-15 分钟。这样，允许表面张力可以有更大的可调空间。表面张力因素在主要由时间来控制流平的系统中显得不再是如此重要了。

降低涂料的表面张力将使液体拥有更好的局部流动性以及底材润湿力。最好的解释如二甲苯和水银在玻璃表面的表现，二甲苯将呈平坦装而水银将呈球状。在这种情况下，正如我们解释的一样，时间将不会对其存在于玻璃表面的形状有任何影响。不管时间有多长，其状态将是一致的。

降低涂料的表面张力将降低处于表面的分子之间的局部的分子之间的吸引力，从而促使更好的流动。所以，在普通的涂料体系中，当涂膜越厚，允许其流动的时间越长，降低局部的分子间的吸引力将是获得良好流动和流平外观的唯一因素。这就是为什么降低表面张力将会使普通涂料获得良好的流平。我们将解释降低表面张力来改善流平的基本原则，但更重要的是表面张力梯度，具体解释如 3.1.2。I

综上所述，从微观上分析，流平是一个复杂的主题。要获得零缺陷且良好流平的涂膜表面决定于各种因素的平衡，如表面张力、施工方式、粘度等等。

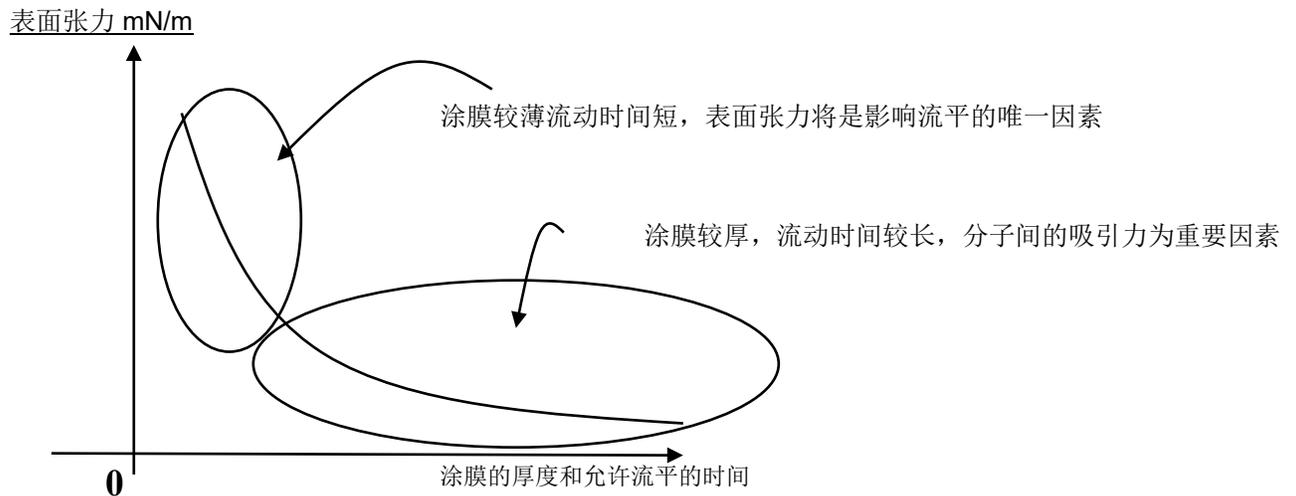


图 15:涂料的表面张力、膜厚及流动时间于良好流动的关系

3.1.2 表面张力梯度与流平的关系

如上所述，低表面张力将会促使流平。然而，某些情况下，事实并非如此。两种具有相同表面张力的表面活性剂在流平性能上具有不同的表现。这是因为真正影响流平的因素是表面张力梯度。

在未干燥的涂膜表面，微观上讲，表面上的每一点的表面张力并不相同。某一点与邻近点之间的表面张力的差异称为表面张力梯度。低表面张力的系统较难出现大的表面张力梯度，因为低表面张力系统拥有有限的空间让表面张力能有很大的差异。相反的，高的低表面张力系统有较宽阔的空间让表面张力能有很大的差异。

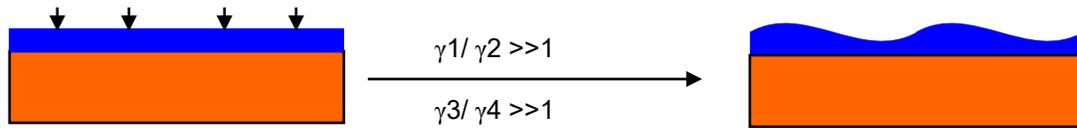


图 16:表面张力梯度对流平的影响

添加到系统中的表面活性剂在表面将会有不同的定向，它决定于表面活性剂的分子结构、与系统的相容性、极性、位阻状况以及浓度等。如上所述，这种定向将直接影响表面张力梯度。

如果 γ_1 和 γ_3 是高表面张力部位，而 γ_2 和 γ_4 是低表面张力部位，如果这种差异为表面张力梯度，涂膜的最终流平也将是橘皮。如果存在表面张力差异，这将是一种能量状态，低表面张力部位的液体将向高表面张力部位流动，这可以说明上图中何以产生橘皮。

3.2 缩孔和鱼眼

缩孔和鱼眼通常由与体系不相容的低表面张力物质污染而引起。低表面张力的污染物来源于配方中的一些成分，如消泡剂，也可能来源于涂料生产、稀释或施工过程中。当然也可能来源于底材的污染。

低表面张力物质不能被系统润湿从而产生缩孔或鱼眼。有关润湿的理论将在底材润湿部分进行进一步的讨论。

通常，缩孔是一些出现在表面的一些小坑，它们通常不会暴露底材。而鱼眼通常是一些暴露底材的一些小坑。缩孔通常由内部添加物引起而鱼眼通常由底材污染物、严重的体系内部不相容物或很低的表面张力污染物引起。

因此，为了解决这些问题，需要添加更低表面张力的物质来降低系统的表面张力，使其表面张力低于污染物的表面张力。这样，缩孔和鱼眼将会得到解决，因为污染物能够被系统润湿。

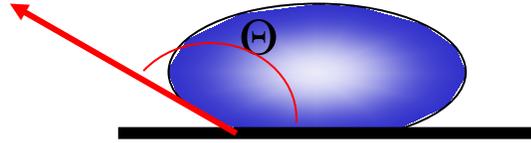
3.3 底材润湿

涂料的底材润湿能力绝对地依赖于涂料与底材的表面张力差。通常，涂料的表面张力需要低于底材的表面张力，从而使其拥有良好的润湿能力，同时使涂料拥有对底材的附着力。

润湿性能决定于液体在固体表面的接触角，它可以通过杨氏平衡来计算。

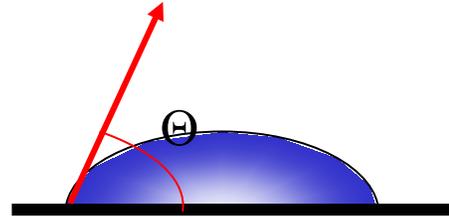
$$90^\circ < \Theta < 180^\circ$$

不润湿



$$0^\circ < \Theta < 90^\circ$$

部分润湿



$$\Theta = 0^\circ$$

铺展



杨氏平衡

$$\gamma_S = \gamma_{SL} + \gamma_L \cos \Theta$$

$$\Theta = 0^\circ \quad \cos \Theta = 1$$

$$\gamma_S = \gamma_{SL} + \gamma_L$$

为了达到展布 $\gamma_S > \gamma_{SL} + \gamma_L$

$$(\gamma_S - \gamma_L) - \gamma_{SL} > 0 = S$$

S = 展布系数

展布系数S为正 = 优异的展布

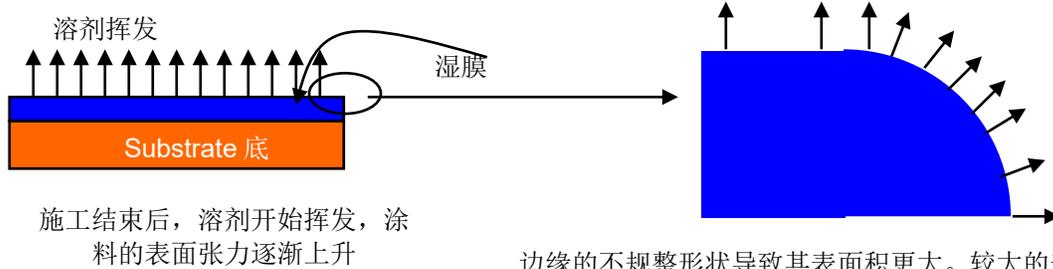
图 17:基于杨氏平衡的润湿机理

铺展是在涂料工业中所期望达到而实现润湿的最佳状态。如上所描述的展布系数，固体即底材的表面张力 γ_S ，必须高于液体即涂料的表面张力 γ_L 。

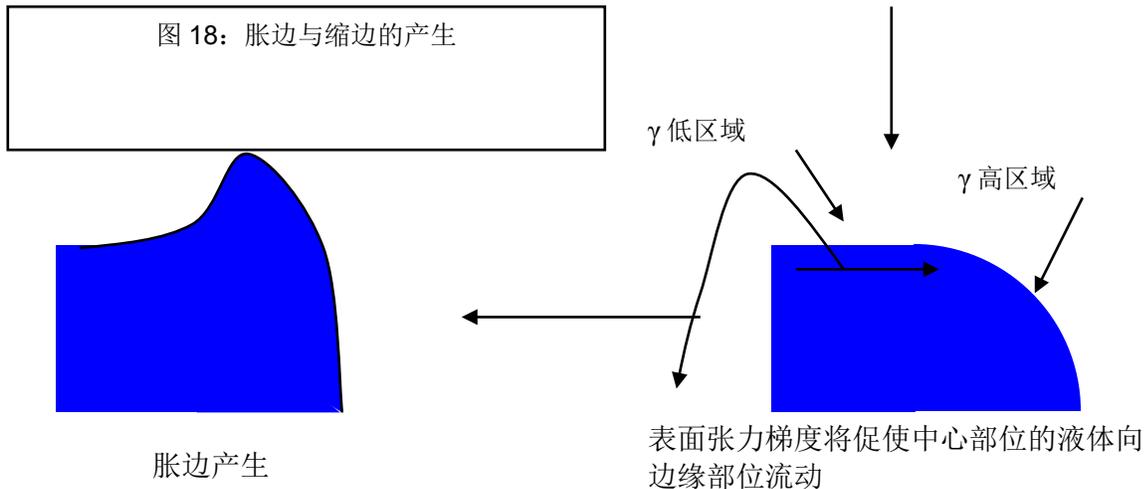
添加低表面张力的表面活性剂将降低体系的表面张力且进一步提高其对底材的润湿性能。大多数情况下，拥有足够低表面张力的非有机硅类表面活性剂更有助于改善对底材的润湿，因为这一类表面活性剂通常为高分子物质，它们通常作用于底材与液体的界面，而不像硅类表面活性剂总是迁移到气体与液体的界面。

3.4 缩边/胀边

缩边和胀边是一种常见的涂膜缺陷。较厚的涂层出现于被涂物的边缘部位，这种缺陷称为胀边。



边缘的不规整形状导致其表面积更大。较大的表面积导致溶剂挥发更快，也使表面张力上升更多。这样促使边缘的表面张力比中心部位的表面张力高，从而产生表面张力梯度



上图说明了胀边是如何产生的。对高溶剂或低粘度体系，边缘部位溶剂的挥发而导致的这种现象十分常见。对于无溶剂体系，这种缺陷并不是十分常见。但有时在无溶剂体系中，这种现象也会发生，它通常是系统的高交联活性引起的，因为边缘部位的较高表面积正好提高了涂料的交联率，从而导致边缘部位的表面张力，最后导致相同现象的发生。

大多数情况下，添加低表面张力的表面活性剂都可以解决此类问题。在所有的表面活性剂中，氟碳该性的聚丙烯酸最适合解决上述问题。

3.5 影印和鬼影

影印和鬼影是指涂膜干燥完成之后，涂膜表面呈现底材的轮廓。这种现象通常出现在没有涂装底漆或中涂层而直接涂装面漆的涂膜中。这种现象与表面张力关系不大，但越低表面张力的涂料更容易出现这类涂膜缺陷。

鬼影通常也出现在涂膜厚度不足进行修补的某些区域。这种情形通常发生在刷涂或滚涂的时候。大多数情况是由于涂料粘度太大而引起的触变而导致，通常可以通过添加较低表面张力的表面活性剂来改善这类缺陷。相关的理论解释同以上讨论过的底材润湿和流平有关。

第三种鬼影现象是指底材污染轮廓，如底材上留下的手指印、油污、擦痕等等。这些污染轮廓将在涂料干燥以后出现。有时，一些化合物如增塑剂、有机硅类流平剂等产生迁移，这种迁移也会给干膜留下痕迹。以上所有的问题均可以通过添加低表面张力的表面活性剂来加以解决。氟炭该性的丙烯酸适合于对不会迁移的污染，而硅类的表面活性剂更加适合于用来解决会迁移的污染。

3.6 贝纳德涡

贝纳德涡是涂膜颜色分离的一种缺陷，它主要是涂料在干燥过程中由于溶剂的挥发和交联而产生的表面张力差异而引起的。

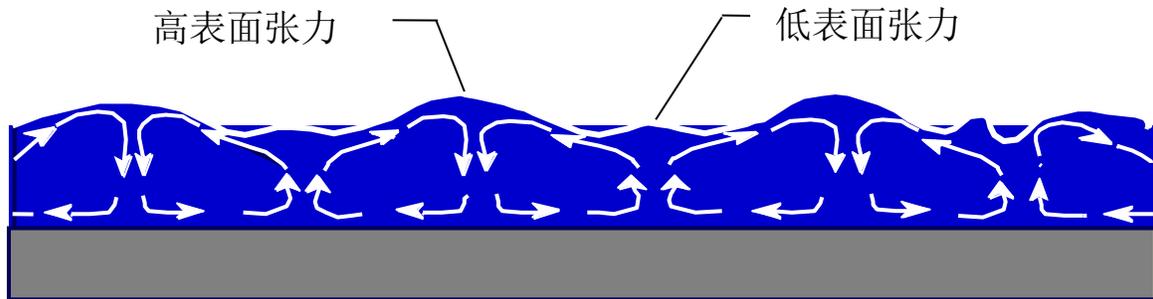


图 19:表面张力差异和旋流导致涂膜表面的颜色分离

在高极性/高表面张力系统和/或高溶剂挥发率系统，贝纳德涡时常产生。系统本身拥有较高的表面张力差异，而当溶剂从系统中挥发时，上图所示的回流便产生。颜料和树脂也会由于表面张力差异而回流，这样，由于颜料、填料的粒径大小、比重不同，颜料和/填料的混合物便分开。

贝纳德涡是一种比较容易解决的缺陷。非常少量的高相容硅类表面活性剂就可以有效地解决上述问题。

图 25 所示为涂膜上的真实的贝纳德涡图，当涂膜水平放置并干燥时，贝纳德涡呈现出紧密相连的六边形，每一个六边形呈现的回流状况如上述所解释的一样。

当涂膜垂直放置并干燥时，如下图所示的丝纹状况便产生。



图 20:
涂膜上的贝纳德涡和丝纹
效果

水平面：贝纳德涡

垂直面：丝纹

3.7 气流敏感

这一类缺陷通常出现在一个较大且温暖的底材上而进行强制干燥的涂装时。由于空气流动而产生的溶剂不规整挥发，导致表面张力升高，从而使某些部位润湿受到影响。出现这类问题的涂料通常会产生漆膜收缩，因为低表面张力部位的涂料会向高表面张力部位流动。

这种缺陷同样可以通过添加低表面张力的表面活性剂来加以解决。

3.8 过涂

一些被涂物有时不是仅仅只有一个颜色，通常在第一种颜色还没有完全干燥以前要进行第二种颜色的涂装。在进行第二种颜色的涂装时，可能会向已经涂装的部分飞溅。如果飞溅的漆液不能被第一层涂膜润湿或覆盖，过涂问题便产生。典型的问题如工业包装桶的涂装

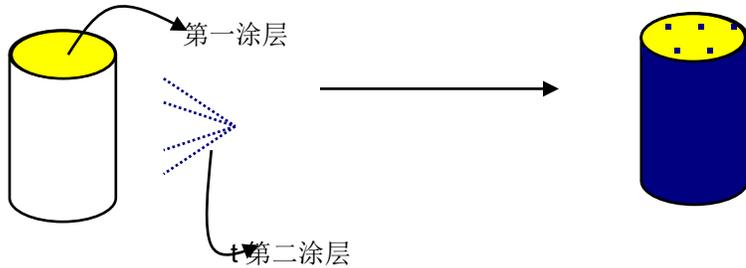


图 21 过涂问题

为了解决过涂问题，在第一道涂层中添加低表面张力的表面活性剂从而使其表面张力低于第二道涂层的表面张力，这样，第一涂层将润湿过涂的第二涂层，从而解决此问题。

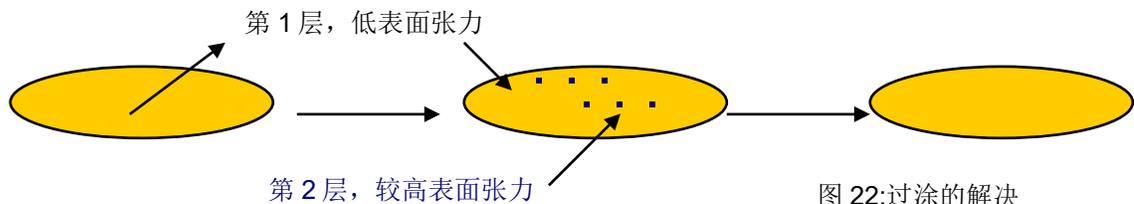


图 22:过涂的解决

4 涂料工业中低表面张力的表面活性剂聚合物——清爽和流平剂

大多数时候，只要提到涂料工业中的清爽和流平剂，首先想到的总是聚甲基硅氧烷（也称聚硅氧烷）。这里，我们也讨论基于通过特殊改性或未改性的丙烯酸聚合物的非有机硅类流平剂。

在涂料工业中，聚硅氧烷被成千上万的涂料工程师用以解决日常工作中的表面问题（如第三章所述）。但是，不幸的是这一类聚硅氧烷也带来诸如层间附着、影印等负面问题。这就是为何一些涂料工程师害怕使用含硅类物质来解决日常工作中的问题。尽管聚丙烯酸类的物质被广泛使用来替代聚有机硅类产品，但其消除表面缺陷的能力始终无法与聚有机硅相比，但它们也不会带来聚有机硅的负面影响。为了使聚丙烯酸物质拥有与有机硅物质相近的性能，AFCONA 公司用其它低表面张力基团如氟炭来改性聚丙烯酸类物质。

4.1 聚有机硅氧烷

早在 1872 年，合成的聚有机硅氧烷已经面世，直到二十世纪三十年代才得以实际运用。而不同结构、不同物理和化学性能的聚甲基硅直到五十年后才被化学师和工程师惊觉其性能是在他们日常所见过的化学品所没有的。

由于硅原子的特殊的排列方式导致单个的硅原子不象其它普通的有机物（氟炭除外）而能够在低能量状态下自身排列，因而与其它大多数有机物相比，它们拥有非常低的表面张力。

这种特殊聚合物拥有低表面张力的简要解释如下：

- a) 与 C-C 键相比，Si-O 键和 Si-C 键更长，因而能减少甲基和硅的空间位阻效应。
- b) 由于 Si-O 键表现为半离子性能，它导致 Si-O-Si 链在氧原子处出现 120 - 145° 的弯曲，从而进一步减少甲基和硅的空间位阻效应。



图 23:聚甲基硅氧烷的结构

4.1.1 聚硅氧烷的分类

4.1.1.1 纯的聚甲基硅氧烷

聚甲基硅氧烷的结构如下所示，这种未经过改性的物质表现出有机硅的最原始性能，如搞滑度、消泡、结构稳定以及流平等。其重复单元的长度,n,将界定其最终性能。

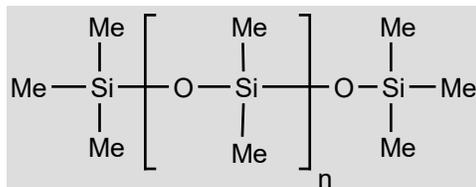


图 24:未经过改性的聚甲基硅氧烷的分子结构

由于未经过改性，这一类物质与大部分用于涂料的树脂的相容性较差。它能够提供非常优异的滑爽性能，然而对重涂的涂层来说，好像已经产生了污染而导致缩孔的产生。

以下是未经过改性的聚甲基硅氧烷的通常性能

性能	指数
滑爽	8 - 10
流平	6 - 8
消泡	6 - 9
稳泡	1 - 3
抗缩孔	1 - 3
污染	8 - 10

Scale of 1-10

1=worst 最差

10=excellent 优异

而今，由于其污染较强，这一类的有机硅已经很少运用于涂料工业。

4.1.1.2 支链/梳状改性聚有机硅氧烷

梳状结构的有机硅是目前最常见的改性有机硅。根据不同性能的要求，在有机硅的侧面可以进行各种不同的改性。通常，在涂料工业中用作流平增滑剂，聚醚是最为常见的改性方式。为了降低聚合物的极性，烷基也可以用作改性基团。为了提高其降低表面张力的能力，氟碳基团也可以用作改性基团来提高抗缩孔以及底材润湿的能力。下图是梳状聚有机硅氧烷的常见结构：

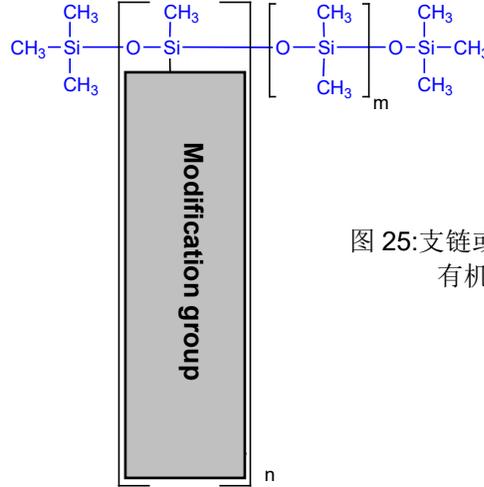


图 25:支链或梳状结构的聚有机硅氧烷

AFCONA 公司生产聚醚改性、氟碳改性以及烷基改性的有机硅。下图是几种梳状结构的聚有机硅氧烷的化学结构：

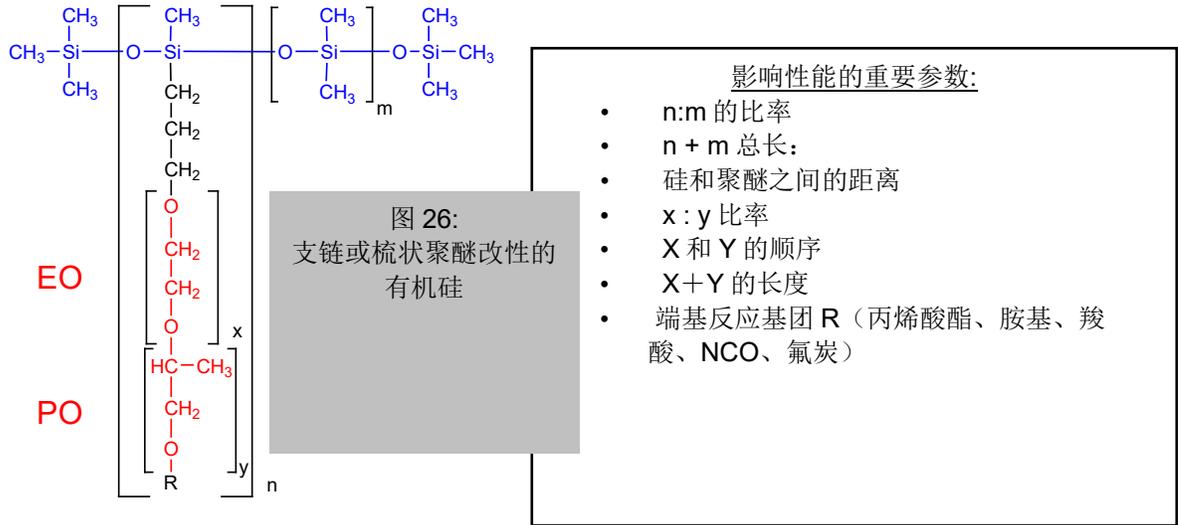


图 26: 支链或梳状聚醚改性的有机硅

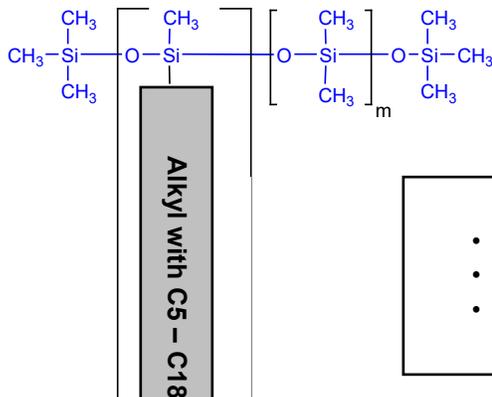


图 27: 烷基改性的支链和梳状结构

- 影响性能的重要参数:
- n : m 比率
 - n + m 总长
 - 烷基的长度

由于存在很多种改性的方式，下面列出了与改性方式及每一链断比率的相关性能

表 4:有机硅性能的相关参数:

性能	通常表现				
	<u>X + Y = Longer</u>	<u>X > Y</u>	<u>Y > X</u>	<u>m > n</u>	<u>FC Modification</u>
清爽	4 - 6	6 - 8	6 - 9	7 - 10	5 - 8
消泡	1 - 3	1 - 2	2 - 3	6 - 8	1 - 3
稳泡	6 - 9	6 - 8	5 - 7	2 - 5	6 - 8
流平	6 - 7	7 - 9	7 - 9	6 - 8	7 - 10
污染	1	1 - 3	1 - 3	5 - 7	2 - 5
防缩孔	5 - 8	6 - 8	6 - 8	3 - 5	7 - 10
水溶性	6 - 9	8 - 10	3 - 5	2 - 5	6 - 8
底材润湿	5 - 7	5 - 7	5 - 7	3 - 5	7 - 9

Scale of 1-10 1=Worst 10 = excellent

表 5:有机硅性能的相关参数:

性能	通常表现		
	<u>烷基改性</u>	<u>更长烷基</u>	<u>更短烷基</u>
清爽	4 - 7	2 - 4	6 - 9
消泡 (在低极性体系)	2 - 10	2 - 5	7 - 10
消泡 (在高极性体系)	2 - 10	7 - 10	2 - 5
流平	6 - 9	7 - 9	7 - 9
污染	1	1	1
防缩孔	4 - 6	6 - 8	6 - 8
水溶性	1	1	1
底材润湿	6 - 8	6 - 8	6 - 8

Scale of 1-10 1=Worst 10 = excellent

4.1.1.3 端基改性聚有机硅氧烷

端基改性的目的是为了最大可能地保留聚合物中的甲基从而获得更好的清爽性能。甲基决定了清爽性能。

下图为端基改性聚硅氧烷的结构

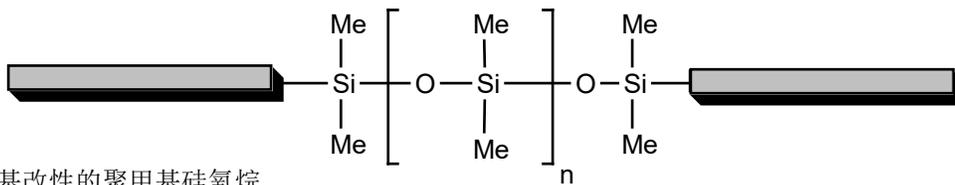


图 28:端基改性的聚甲基硅氧烷

大多数情况下，端基改性基团为聚醚。聚有机硅氧烷的性能很大程度上取决于改性基团。如下图所示，改性聚醚以及 X 与 Y 的比率象梳状结构一样影响其性能。在这种情况下，绝大多数的甲基得以保留，因此，与梳状结构相比能够提供更好的滑爽性能。

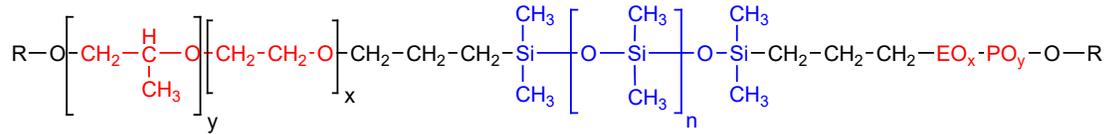


图 29:端基改性的聚有机硅氧烷

4.1.2 有机硅的滑爽表现

涂料工业中所使用的树脂在交联和干燥后都不能提供滑爽的表面。为了提高滑爽性能从而改善抗划伤性，大多数涂料工程师都会在配方中加入一些添加剂。滑爽剂通常为聚有机硅和蜡。此处我们主要讨论聚有机硅。

除非加入的滑爽助剂拥有反应基团而与树脂系统发生反应，否则它们只能短暂地发挥作用。这些滑爽剂容易被类似于清洁剂物质清除。聚有机硅是一种容易迁移到表面的表面活性剂，而很容易被接触到，这就是为什么聚有机硅的滑爽表现会随着时间而减弱。

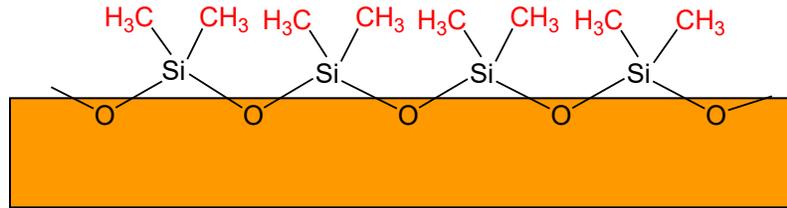


图30:聚甲基硅氧烷在涂膜表面的定向

图 35 描述了涂膜表面的有机硅如何自身定向。甲基决定了有机硅的滑爽性能，假定的理论模式是甲基暴露于空气中而形成单层膜，从而提供滑爽性能。因此，聚有机硅的滑爽性能不仅决定于聚合物甲基的数量，而且还决定于聚合物在表面允许甲基自身定向而暴露于空气中的能力。

4.1.2.1 滑爽的类型

滑爽表现可以分为两类：干滑和油滑。干滑提供柔软的手感，而且能够降低在涂膜上留下指纹的趋势。这一特性在木器涂料、家电涂料以及塑料涂料中非常重要。使用这样的涂料拥有均匀的触感，没有人会喜欢容易留下指印的涂层，因为那样的涂层看起来很脏。

油滑通常是在滑爽剂低添加量的情况下提供较好的滑度，但触摸后比较容易留下手印。油滑的优点在于提高干膜的丰满度，使干膜保持润湿感。这一性能在汽车涂料中非常有用，因为它会是汽车的外表看起来更加漂亮。

在涂料工业中，常常通过手触来判断涂膜的滑爽性。也可以通过测试涂膜表面的摩擦系数来判断其滑爽性能。下图是测试涂膜摩擦系数的一种简单办法。

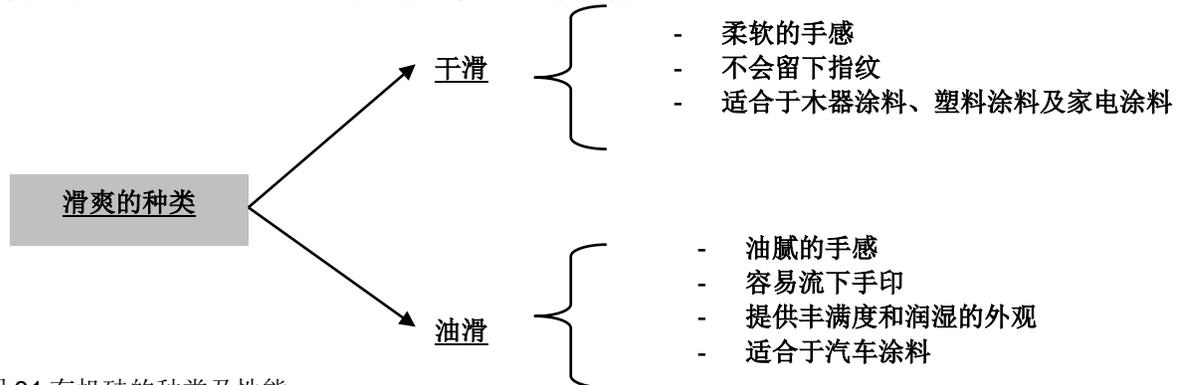


图 31 有机硅的种类及性能

4.1.2.2 测定滑爽性的方法

除开手触判断外，也可以通过涂膜表面的摩擦系数来测试涂膜的滑爽性

a) 下滑角测量法

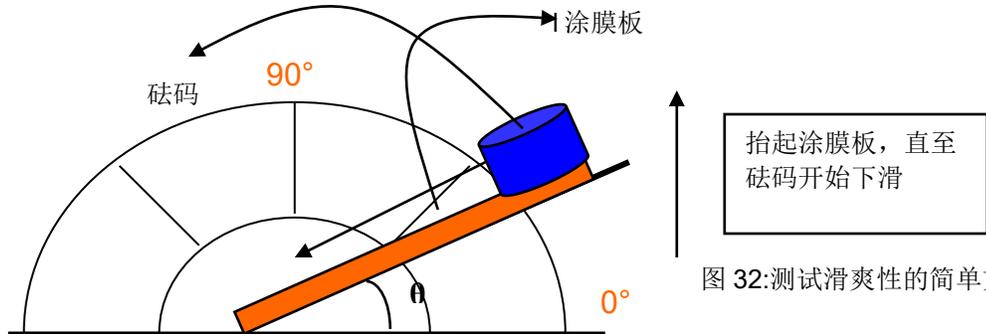


图 32:测试滑爽性的简单方法

上述方法非常简单易得。将待测滑爽性能的涂膜板水平放置于桌面，在涂膜上放置确定重量的砝码。用手抬起涂膜板，当砝码开始下滑时，立即停止抬举，如上图所示，肉眼测试涂膜板与水平面的角度。

所测角度， θ ，直接反应出涂膜的滑爽水平，角度越小，滑爽性越强。

上述人工方法有时可能存在一些偏差。推荐每一次测试以前用适当的溶剂清洗砝码（决定于有机硅的溶解性）。这是因为有机硅会迁移，通常在经过测试后，涂膜上的有机硅可能会迁移到砝码上，从而影响测试结果。

b) 仪器测试法

市面上有很多仪器可以用来测试摩擦系数。其基本原理是用尖锐的触点划过涂膜表面，用适当的力量启动拉此触点直至其达到此力量达到不变的指数。这个力量的大小将被记录下来，并换算成摩擦系数，摩擦系数越小，滑爽性越高。

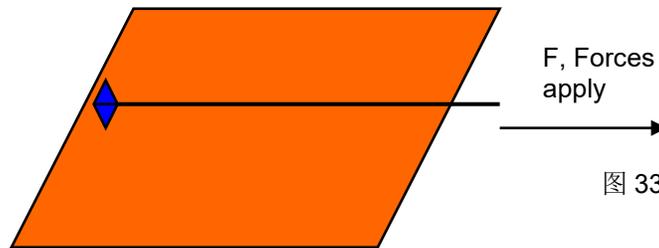


图 33:摩擦系数的测试方法

4.1.3 使用有机硅的困惑

如果正确地使用有机硅，它可以解决涂料工业中很多涂膜表面的缺陷。然而，如果不正确使用有机硅或添加量太大，虽然解决了当前的问题，但是它有可能导致另外问题的产生，通常情况下是重涂问题或者由此带来的污染而使下一涂层产生缩孔。很多涂料配方设计者因为重涂或缩孔问题而害怕使用有机硅。当然，如果正确使用有机硅，比如将其与非有机硅类流平剂配合使用，通常只需很少的添加量便可解决大多数涂料的表面缺陷问题。

4.2.3.1 层间附着力问题

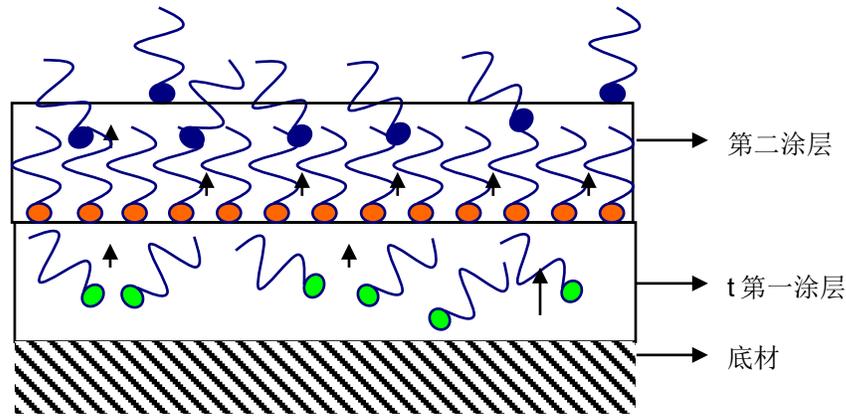
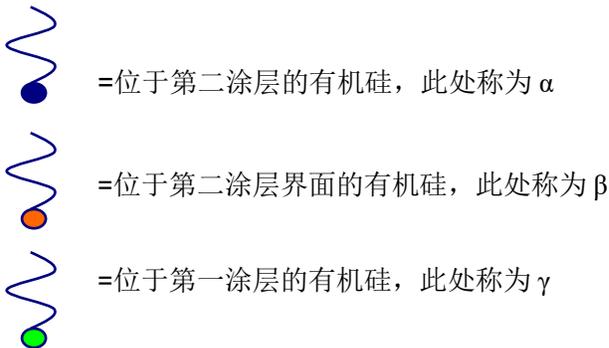


图 34:第二涂层后有机硅的定向

聚有机硅是一种高表面活性的表面活性剂。通常在第一道涂层上涂装第二道涂层时，非反应型的有机硅总是迁移到第二道涂层的表面。上图所示为有机硅从第一涂层迁移到第二涂层的过程。有关层间附着力的解释如下：



如果界面上没有 β 有机硅，将不会有层间附着力的问题发生。一旦涂装完第二道涂层， β 有机硅将迁移到第二道涂层，而且在时间足够的情况下， γ 将开始向界面迁移，它们最后将迁移到第二涂层。如果干燥时间足够，所有的有机硅将迁移到第二道涂层从而不会影响层间附着力。然而，如果 β 和 γ 的数量太多且在涂料粘度上升导致它们无法迁移以前完全迁移，层间附着力的问题便可能产生。一般来说，过高添加量的聚有机硅均会导致层间附着力问题，但是，如果添加量较小，例如 $<0.1\%$ 固体对总配方，通常不会出现层间附着力的问题。但是，大多数情况下，过少的添加量通常无法满足第一道涂层的性能要求。

4.2.3.2 污染

大多数的有机硅由于经过改性而拥有良好的相容性，且分子量较高，所以不会造成对涂料的污染。所谓的污染是指对面涂或其它涂层造成缩孔等问题。正如前面所描述的一样，缩孔是由与体系不相容的低表面张力的表面活性剂引起的，因此，如果有污染能力的有机硅如果拥有与系统非常好的相容性，它们也不会导致缩孔问题的产生。

典型的污染是非改性的有机硅。它经常发生在需要强制干燥的如 $60^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C}$ ，或 $100^{\circ}\text{C} - 230^{\circ}\text{C}$ 的生产线上。在此温度范围内，未改性的有机硅将慢慢地挥发到烘烤炉中，而且随着浓度的升高，它们将滴落到涂膜上。如果这一类有机硅在此时于涂料系统不相容，缩孔问题便产生。

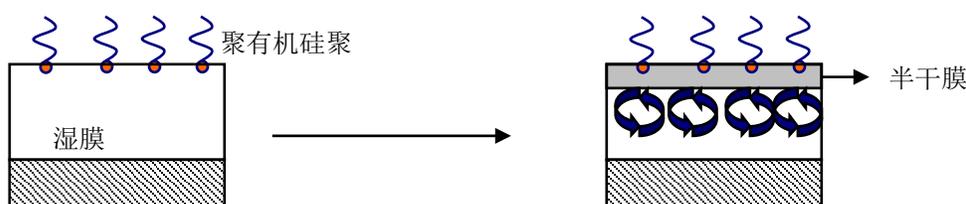
4.2.3.3 聚氨酯涂料的暗泡

当干膜厚度大于 $30\mu\text{m}$ 时，聚氨酯涂料的暗泡是一种常见的现象。涂膜越厚，对暗泡的敏感性越高。很多配方设计者认为这是一种气泡问题，但事实上，它并非气泡，而是由于不同的交联密度导致不同的折光指数，从而出现肉眼可以观察的泡状物，观察暗泡的最佳角度为 45° 。当然，也有可能存在真正的气泡，这些气泡通常是施工时残留的机械泡，或者是系统中残留的较高含量的水分等物质引起的。

已知暗泡通常由有机硅导致。以下是一些系统对暗泡敏感的条件

- 1) 涂膜太厚， $> 30\mu\text{m}$ 的干膜厚度
- 2) 树脂的高 OH 值
- 3) 低分子量树脂
- 4) 加入了低表面张力的聚有机硅

下图说明暗泡是如何产生的：



聚氨酯涂料有残留溶剂在系统中的趋势。当表面处于半干状态时，其干燥的部位将不可能再运动。溶剂仍然处于挥发状态从而产生如上图所示的环流。随着 有机硅向表面的迁移，涂膜上层的局部的表面张力将明显低于其它部位的表面张力，从而产生局部 表面张力梯度而使环流加剧，这也导致局部的交联密度差异。当涂膜完全交联以后，肉眼可以观察到的暗泡即形成。

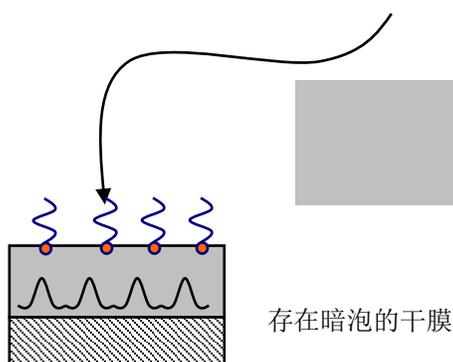


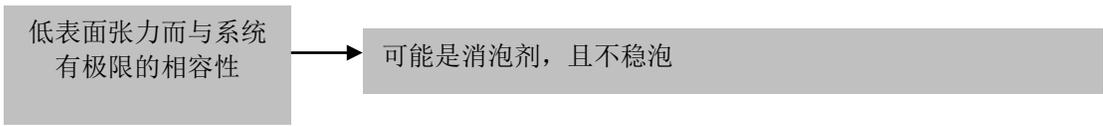
图 35:暗泡的形成

4.2.3.4 稳泡效果

气泡问题已经在消泡剂部分进行了详细的讨论。气泡稳定的原理以及消泡过程也已经作过详尽说明。通常：

低表面张力且与系统
拥有良好的相容性

气泡稳定剂
.表面张力越低，稳泡效果越强
越好的相容性，越高的稳泡性，但对稳泡的贡献并不强烈



因此，有机硅的稳泡性能对涂料体系来说是一个重要而敏感的因素：

- a) 高施工粘度体系，如环氧地坪涂料
- b) 低雾化循环施工涂料，如淋涂和无气喷涂
- c) 多孔表面，如木器涂料
- d) 高速和高机械剪切体系

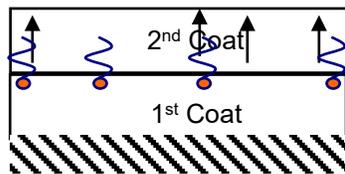
在上述体系中，正确选择一个有机硅流平增滑剂是非常重要的。假象你选择了一个稳泡的聚有机硅助剂，那么，在上述体系中，选择一个合适的消泡剂将是不可避免的。一种物质拥有消泡性能，而另外一种物质拥有稳泡性能，在同一个系统中，这两种物质之间的冲突将不会停止，系统将处于一种矛盾状态。如果消泡剂占有优势，流平性能将受到影响；如果流平剂占优势，气泡将成为我们必须面对的问题。这样，不得不将更多的流平剂或消泡剂加入到系统中来避免问题的产生。

在上述的系统中，通常推荐烷基改性的聚有机硅类流平增滑剂或其它拥有消泡性能的有机硅类流平剂。使用这一类的有机硅，它自身拥有流平、增滑、降低表面张力、合理的抗缩孔能力和消泡能力，稳泡问题将不复存在，同时只需要较少的消泡剂便可以解决气泡问题，系统的消泡和流平性能将达到良好的平衡状态。为了进一步提高系统的流平、消泡以及抗缩孔能力，有机硅与非有机硅类的流平剂的配合使用是必要的。有关详情将在非有机硅类流平剂章节中讨论。

4.1.4 聚有机硅氧烷的附加性能

4.1.4.1 使用聚有机硅氧烷提高附着力

我们讨论了使用有机硅会对附着力的影响，事实上，恰当地使用有机硅可以提高涂层之间的附着力。如何实现这一目的？通常是在第一道涂层时使用少量的有机硅。以下解释了如何使用有机硅来提高层间附着力。



基于有机硅的自身特征，一旦第二层涂膜涂装后，有机硅将迅速迁移到第二道涂层。它们将在第一道涂层上的在第二道涂层中形成一个低表面张力的膜，这一低表面张力膜将提供更好的第二道涂层对第一道涂层的润湿能力，自然也就改善了第二道涂层对第一道涂层的附着力。

这也是为什么需要较低的添加量且允许所有的有机硅必须迁移到第二道涂层。通常，添加小于对总配方量的 0.05% 固体的有机硅便能安全地实现此目的。

图 36: 低添加量的有机硅对附着力的改善

4.2 非有机硅类流平剂——改性丙烯酸

聚有机硅氧烷被广泛地应用来解决涂料工业中的许多问题。然而，如以上叙述的一样，如果其添加量过高，它也可能导致一些问题的产生。所以，使用这一类的添加剂需要丰富的知识和经验且必须经过详尽的试验来获得适合于体系的最佳的使用方案。

由于其在层间附着力、污染、稳泡以及啉泡等方面的敏感性，有机硅类的流平剂限制了涂料配方设计者在使用时必须尽量少地使用此类产品从而防止上述问题的产生。大多数情况下，使用如此低的添加量通常无法满足达到我们所期望的效果。这就使得涂料配方设计者不得不去寻找一种低敏感性的有机硅，或者配合使用一些象蜡一类的其它添加剂以及非有机硅类添加剂等。此处，我们只重点讨论基于非有机硅类的丙烯酸类流平剂。

尽管很多的涂料配方设计者认为基于丙烯酸的流平剂并不象有机硅一样普遍采用，但丙烯酸类的流平剂同样也在涂料工业中被广泛使用。如果聚有机硅类流平剂没有我们不期望的负作用，也就不会有对丙烯酸类流平剂的需求。事实并非如此。在配方中配合使用非有机硅类的流平剂，除开滑爽性能以外，将会在改善流平、降低表面张力、防止缩孔等性能方面得以提高。

因此，基于丙烯酸类的流平剂对于涂料工业来讲同样十分重要，通常推荐与有机硅类的流平剂配合使用，从而在稳定性、经济性以及优异表面性能方面得到体现。

4.2.1 丙烯酸类流平剂的种类

4.2.1.1 通过烷基、聚酯、聚醚改性的聚丙烯酸

合成的丙烯酸聚合物为自由基聚合物。大多数丙烯酸聚合物是通过游离自由基聚合而成，通常用过氧化物或偶氮类化合物作为引发剂。有很多的丙烯酸类和乙烯基类单体可以用以合成丙烯酸树脂。

下面为一个典型的丙烯酸高分子反应，此处的 R2 可以被取代而获得所期望的不同的改性基团。这里可以依照不同用途而采取不同改性方法。

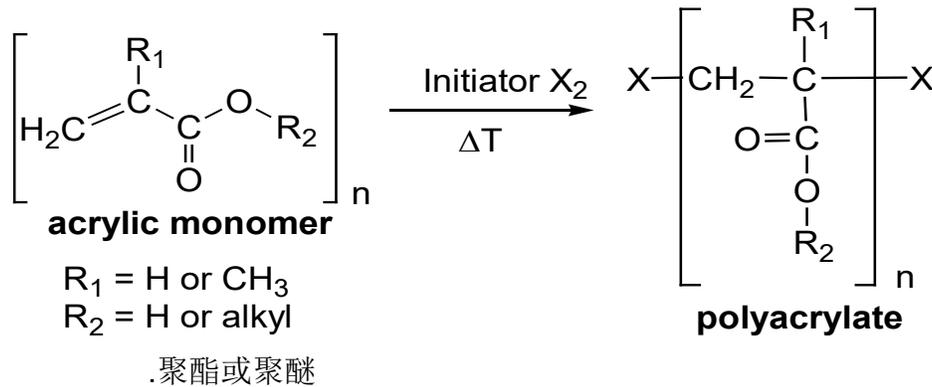


图 37: 丙烯酸的高分子聚合

聚丙烯酸在流动性能方面表象特别优秀。很多时候，许多人将流动和流平混为一谈，其实，这两种行为的结果一样，但从微观上考察其过程，二者之间还是存在一定的差异。

聚有机硅流平剂在流平过程中完成降低表面张力的任务。然而，如前所述，降低表面张力并不是获得平整涂膜的保证，表面张力梯度才是决定因素。聚丙烯酸是一种流动控制剂，它象下述的情况一样，在流动过程中主要充当调节局部表面张力同一性的角色。通过调整局部的表面张力同一性来缩小表面张力梯度从而实现涂膜表面的真正流平。

聚有机硅氧烷是一种具有高表面活性的聚合物，可以理解成它拥有非常低的表面张力同时会尽可能地产生自身定向，通常在液/气的界面活跃。而聚丙烯酸酯没有太低的表面张力，通常在涂层内部定向、活跃而很少出现在液/固界面。兼顾涂层表面和内部的运动，良好的流动和流平将得以实现。

下表为聚有机硅和聚丙烯酸的比较表，请注意是这两种物质的比较。

表 6:聚有机硅和聚丙烯酸的比较

性能	聚有机硅	聚丙烯酸
清爽	非常高	无
流平	优异	好
流动	好	优异
降低表面张力	优异	适中
抗缩孔	优异	较差
防鱼眼	好	一般
底材润湿	好	一般
防贝纳德涡	优异	无
层间附着力	是	否
污染	是	否
聚氨酯的暗泡	是	否
稳泡	高可能性	否

4.2.1.2 氟炭改性的丙烯酸

纯的丙烯酸流平剂依然无法跟聚有机硅类的流平剂在某些性能上相比较，尤其是在降低表面张力方面。由于受到有机硅添加量的限制，即使将其于与纯丙烯酸类的流平剂拼用，有时也不能解决如缩孔、底材润湿等与降低表面张力有关的涂膜表面问题，因此，不同种类的聚丙烯酸便应运而生。

氟炭化合物是一种拥有低表面张力特性的物质，其表面张力甚至比有机硅还低。然而，纯的氟炭化合物也会带来许多我们不愿见到的缺陷，详细见下表：

表 7:氟炭与聚丙烯酸的性能比较

性能	氟炭	聚丙烯酸
降低表面张力	优异	中等
抗缩孔	优异	差
底材润湿	优异	一般
防止贝纳德涡	优异	不能
影响层间附着力的可能性	是	否
稳泡性	高	否

上表明确显示，氟炭化合物的优点便是丙烯酸的缺点，而丙烯酸的缺点正好是氟炭的优点。如果将两种物质聚合在一起，其各自的优势便可以体现出来。类似于下图的许多丙烯酸和氟炭单体 (C₄ – C₁₂)可以用来合成氟炭改性的丙烯酸。事实证明，这一类的聚合物在降低表面张力方面可以和聚有机硅相媲美，在防止缩孔和底材润湿性能方面更加优异。

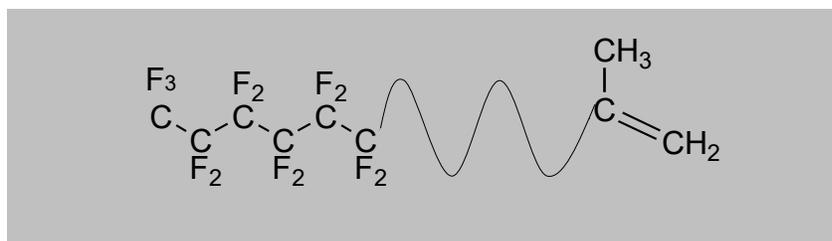


图 38:氟炭、丙烯酸单体

表 8:氟炭改性的丙烯酸与聚有机硅的性能比较

性能	聚有机硅	氟炭改性丙烯酸
滑爽	非常高	无
流平	优异	好
流动	好	优异
降低表面张力	优异	优异
防缩孔	优异	好
防鱼眼	好	优异
底材润湿	好	优异
防贝纳德涡	优异	好
影响层间附着力的可能性	是	否
污染	是	否
聚氨酯中的暗泡	是	否
稳泡性	高	否

上表列出了氟炭改性丙烯酸的性能。非常明显，其降低表面张力的能力得到大幅度提高，如果将其与聚有机硅类流平剂配合使用，对于解决上表中的问题非常有效。然而，它不能改善滑爽性能，所以如果有此性能的要求，通常配合一些蜡类或高滑爽性的有机硅是必要的。

4.3 聚有机硅和聚丙烯酸的性能特点比较

表 9:聚有机硅、聚丙烯酸和氟炭改性的丙烯酸的性能比较

性能	聚有机硅	聚丙烯酸	氟炭该性丙烯酸
清爽	非常高	无	无
流平	优异	好	好
流动	好	优异	优异
降低表面张力	优异	中等	优异
防缩孔	优异	差	好
防鱼眼	好	一般	优异
底材润湿	好	一般	优异
防贝纳德涡	优异	无	好
影响层间附着力的可能性	是	否	否
污染	是	否	否
聚氨酯中的暗泡	是	否	否
稳泡	高	否	否

表 10:聚有机硅、聚丙烯酸和氟炭该性丙烯酸的活性比较

活性	聚有机硅	聚丙烯酸	氟炭改性丙烯酸
在表面的活性	非常高	无	一般
在底材的活性	好，需要高添加量	差	优异
在液体内部的活性	是，决定于其浓度	优异	好

图 39:氟炭改性的聚丙烯酸酯类流平剂降低表面张力的能力决定于氟炭含量的多少。上图中，氟炭含量小于 2%.

