

第六章 涂料配方设计

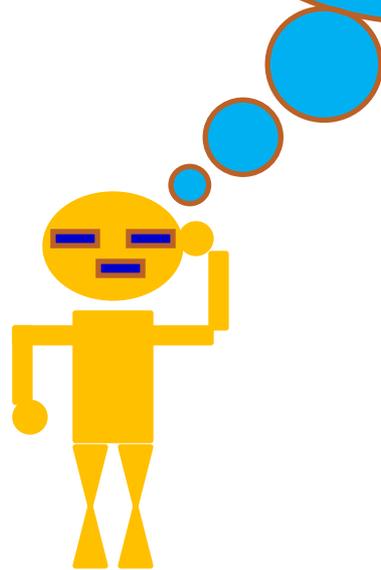
 颜料加入量

 涂料流变学

 配色



怎样进行涂料配方设计？



Coatings Formation

- **Property: → (Sorts)**

- **Binder Sorts**

- ↳ **Solubility (δ) , Volatility → Solvent/Thinner Sorts**

- **Pigment Sorts**

- **Coatings Quality → (Quantity)**

- ↳ **The Primers And The Primer Surfacer → CPVC**

- ↳ **The Pigmented Paints**

- ↳ **Single Color Pigmented Paint → Hiding Power → P/B Ratio**

- ↳ **Multiplex Color Pigmented Paint → Color Power → Pig. Ratio**

- ↳ **Viscosity/ Solids Content → Solvent/Thinner Quantity**

- ↳ **→ Additives Sorts/Quantity**

第一节 颜料加入量

The Pigment Content In A Pigmented Coatings Composites

一、颜基比：

涂料配方中颜填料与固体基料的质量比称之颜基比。

(P/B: pigment-binder ratio)

- ◆ 面漆的P/B约在0.25~0.9：1之间
- ◆ 底漆多数在2.0~4.0：1之间。
- ◆ 建筑乳胶漆：
 - 外用乳胶漆P/B为2.0~4.0：1，
 - 内用乳胶漆在4.0~7.0：1之间。

二、 颜料体积浓度(PVC)和CPVC

Pigment Volume Concentration
Critical Pigment Volume Concentration

PVC: 指涂料固体总体积中, 颜料所占体积份数:

$$PVC = \frac{V_{Pie}}{V_{Pie} + V_B} \times 100\%$$

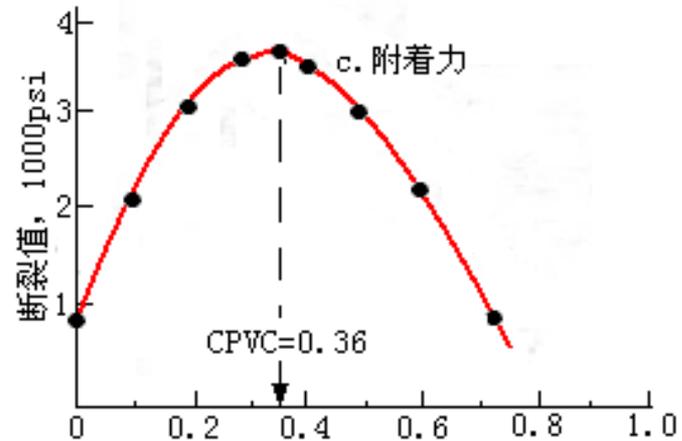
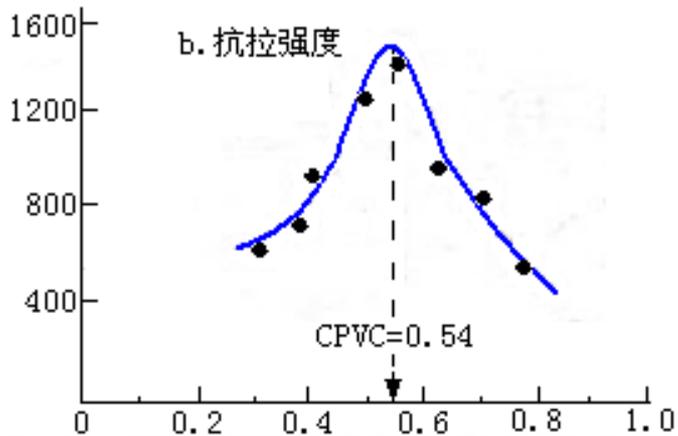
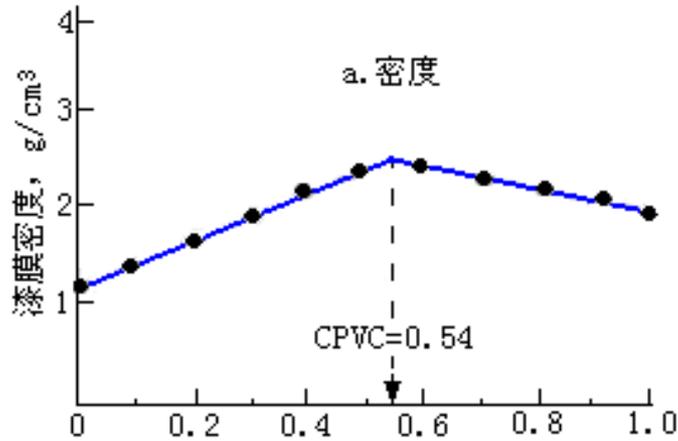
临界颜料体积浓度(CPVC):

颜料粒子间空隙正好被基料充满而颜料粒子仍保持彼此接触状态时的PVC。



涂料达CPVC时涂膜相关性能会突然发生显著变化!

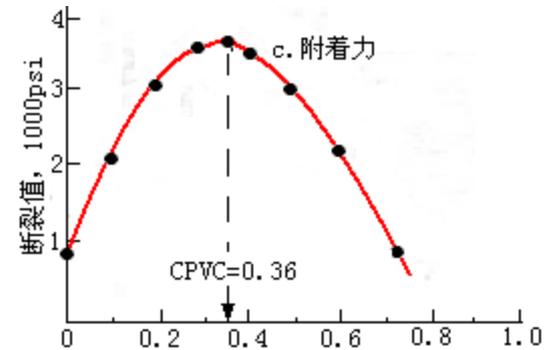
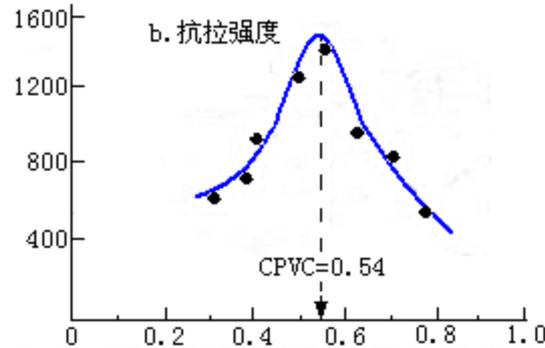
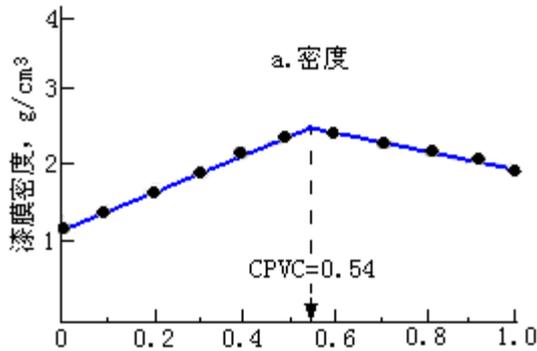
机械性能





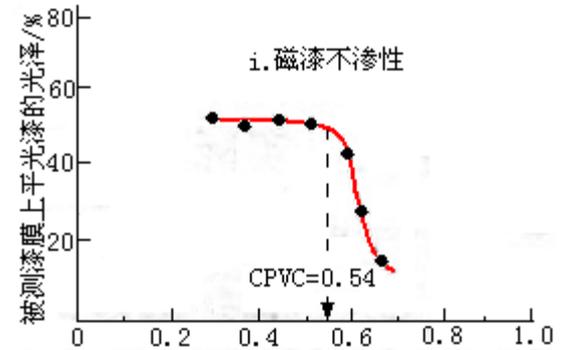
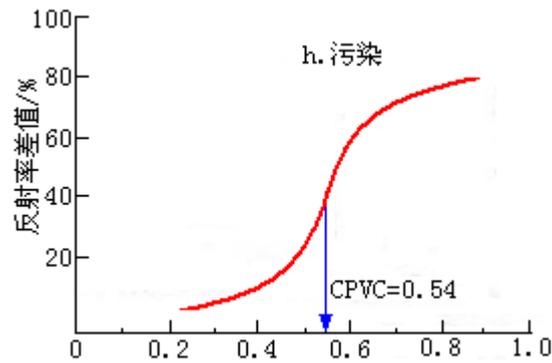
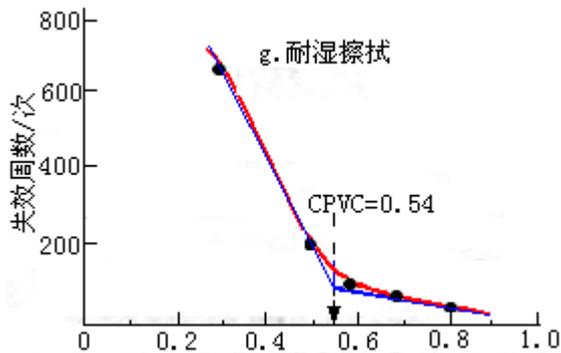
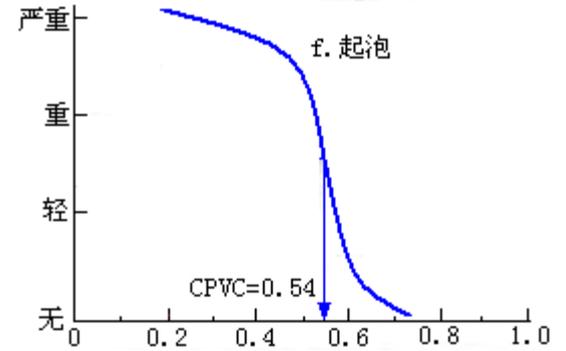
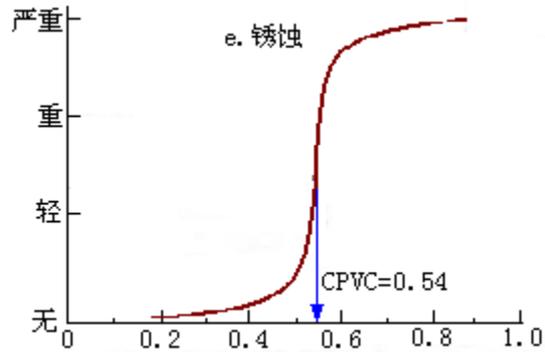
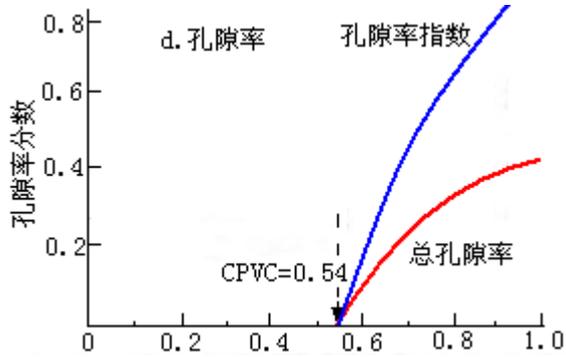
涂料达CPVC时涂膜相关性能会突然发生显著变化!

机械性能



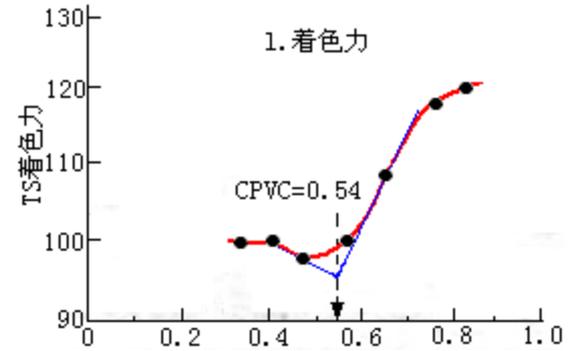
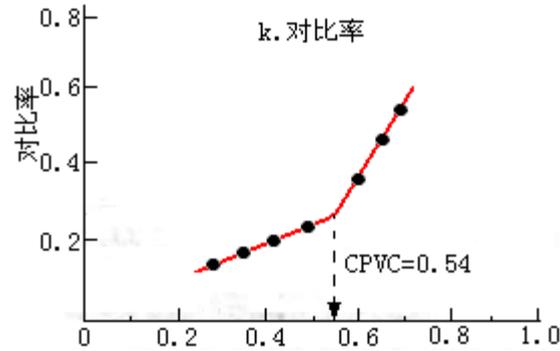
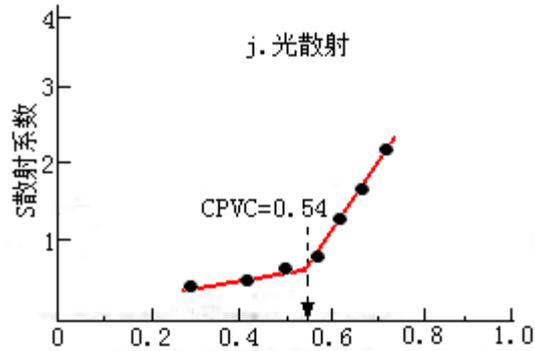


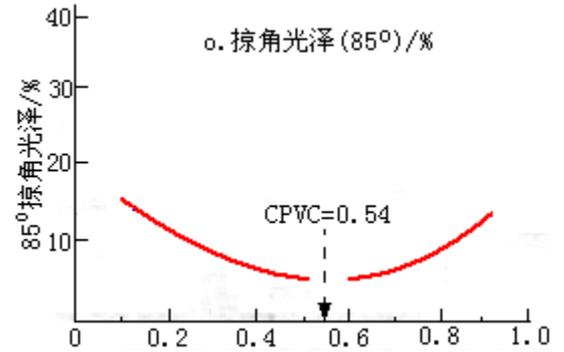
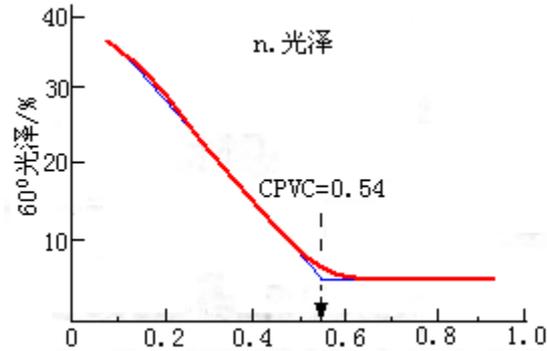
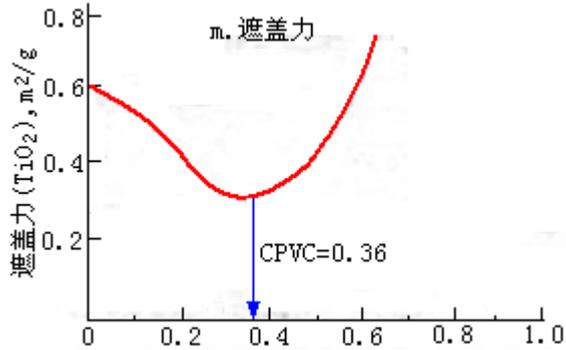
渗透性质





光学性质





三、 颜料加入量

颜料加入量依所需涂料性能来决定，包括：遮盖力、光泽、透水性、防锈性、耐候性、耐磨性及硬度等。

着色颜料的**最低加入量**根据**遮盖力**确定-----一道涂膜正好能遮盖底色即可(浅色漆为二道)；

各色颜料的PVC示例

颜色	醇酸树脂漆	氨基烘漆	
	PVC/%	PVC/%	基料中氨基含量/%
单色漆:			
钛白粉	12.3	14.3	23.2
大红粉	11.2	12.7	21.6
中黄	16.0	19.3	17.6
炭黑	3.3	4.0	20.3
铁红	10.0	10.0	17.7

复色漆:

浅灰	11.1% 钛白+1.2% 炭黑=12.3%
天蓝	11.1% 钛白+1.6% 铁蓝=12.7%
绿	8% 柠檬+1.4% 中黄+2.4% 铁蓝=12.5%

颜料的总需求量（**最大用量**）则由色漆涂膜的光泽决定。

例如不同光泽下的色漆PVC如下：

高光漆	光泽： 100%	PVC： <20%
有光漆	80% ~ 100%	20% ~ 30%
半光漆	30% ~ 70%	33% ~ 52%
蛋壳光漆	10% ~ 20%	52% ~ 60%
无光漆	0% ~ 10%	60% ~ 72%

高光漆，最好选用遮盖力强的着色颜料；

有光漆则采用一般的着色颜料；

半光、无光漆按遮盖力加足着色颜料后，补加体质颜料至相宜的PVC。

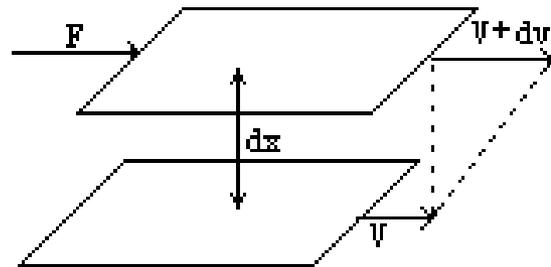
颜料的常规用量

颜 料	PVC/%	颜 料	PVC/%
白色: 钛白 氧化锌 锑白 铅白	15~20 15~20 15~20 15~20	绿色: 氧化铬 铅铬绿 颜料绿B	10~15 10~15 5~10
黄色: 铅铬黄 锌铬黄 氧化铁黄 镉黄 汉沙黄 联苯胺黄	5~10 5~10 10~15 10~15 10~15 5~10	蓝色: 普鲁士蓝 群青 酞菁蓝	5~10 10~15 5~10

第二节 涂料流变学

一、粘度 viscosity

单位面积上的作用力定义为剪切应力 τ ,



则：
$$\tau = F / A \quad (\text{dyn/cm}^2)$$

对该液体的任何部分来说，速度梯度 dv/dx 是个常数，称之为剪切速度 D ，则：
$$D = dv / dx \quad (\text{s}^{-1})$$

理想液体绝对粘度（粘度 η ）则为剪切应力与剪切速率之比

$$\eta = \tau / D \quad (\text{P, 泊}) \quad (1\text{P} = 0.1\text{Pa S})$$

绝对粘度除以液体密度，则称之为运动粘度：

$$\nu = \eta / \rho \quad (\text{St, 沲})$$

牛顿流动是这样一种理想液体的流动特性，它在任一给定温度下，在很宽的剪切速率范围内，粘度值保持不变。

具有理想液体的涂料品种很少，但接近理想状态的液体，我们也都把它叫做牛顿流体，像水、矿物油、溶剂及某些树脂的稀溶液。

若一种液体的粘度随着剪切速率变化而改变，则称该液体为非牛顿流体，其流动行为称这非牛顿流动。涂料产品基本上都属非牛顿型液体。



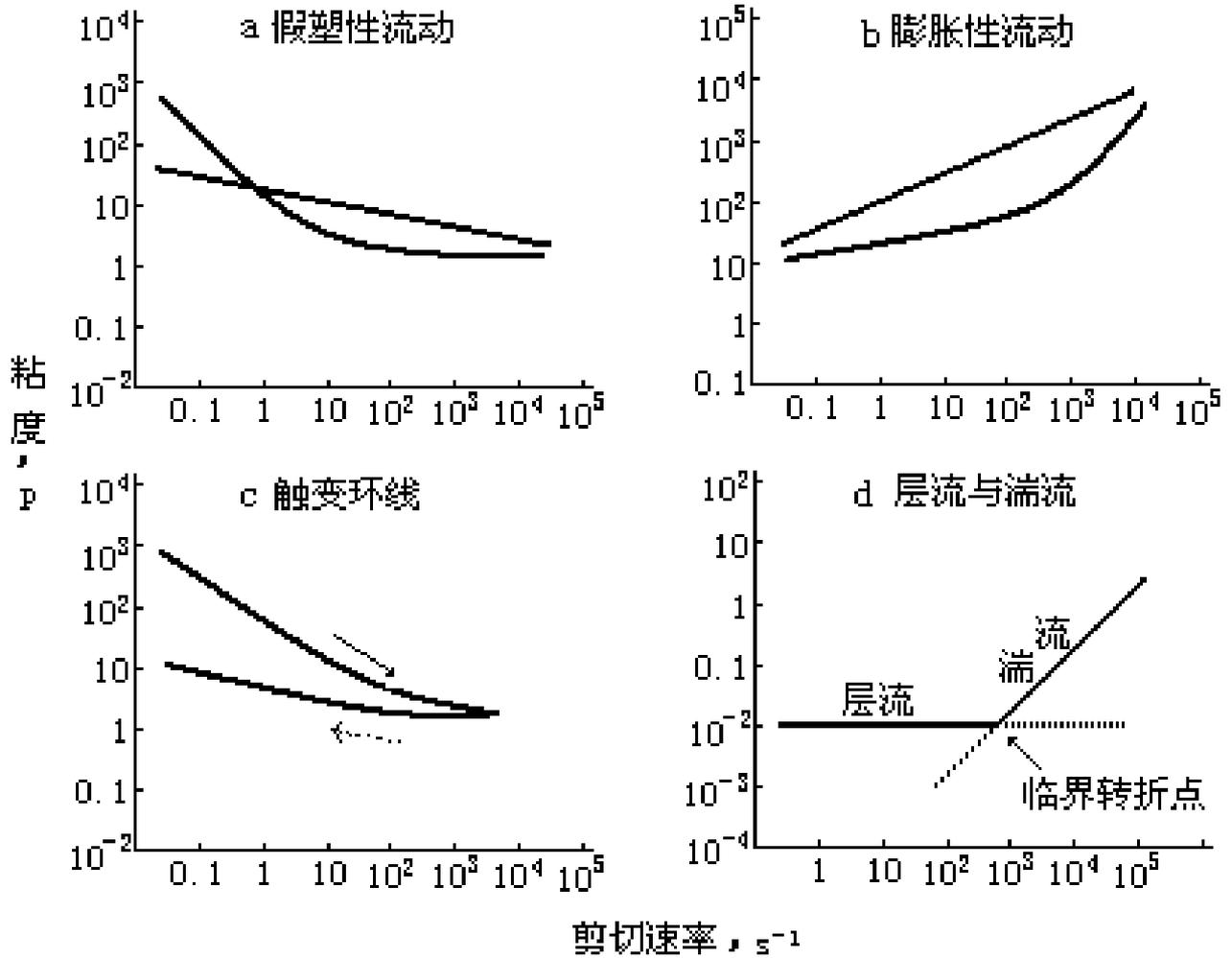
若液体粘度随着剪切速率增加而减少，该液体称之**假塑性流体**，即施以切变力，液体会变稀。反之随剪切速率增加，粘度增大的液体，称之**膨胀性流体**，施加切变力会使液体变稠。这二种液体的流变行为见图，其粘度按曲线或斜线变化。

色浆研磨近似为膨胀性流动，而大多数**涂料成品**却是假塑性液体。

对于多相体系，像色浆、乳液、泡沫等，相间作用力使分散体系存在一种弱的刚性结构，施加的切变力必须达到某个最小值才使体系开始流动。此最小值称之**屈服值**。在屈服值以下，**涂料像弹性固体一样变形但不能流动**。这种流体称之**宾汉流体**。



几种流变行为示意



由于非牛顿流体的粘度随切变应力变化，则定义 τ/D 的比值为表观粘度 η_a :

$$\eta_a = \tau / D$$

此时不同剪切速率下的粘度是多个，所以最好用粘度分布图表示这一特性。

触变性 触变性是涂料经触动而发生粘度下降的行为，更重要地，实际上这是一种与时间相关的流动行为，即在剪切力的持续作用下，粘度会随时间不断降低并趋于最小值的流变性。



在静止状态下，触变体有很好的防颜料沉降作用；
在施工时的切变力作用下，粘度的降低有利于涂膜流平。
由于触变体的这一特殊优点，在涂料中往往添加触变剂来产生触变效应。

触变性的大小可用触变环线面积来表征。触变环面积与切变应力作用时间有关，而且试验后静置很长时间也不能完全回复到原来的缔合结构(或结构粘度)。

在某些膨胀性流体中，则可能会出现与触变性相反的现象，在恒定剪切速率下，粘度增大并趋于最大值，此流变性称之为**震凝现象**。



二、影响粘度的因素

1. 温度对粘度的影响

按分子热运动的孔穴理论，低分子液体的粘温关系可用Andrad方程表示：

$$\eta(T) = A \cdot \exp (E/RT)$$

(E—流动活化能)

对某种液体，在适当的温度变化范围内，E近似为定值

$$\lg \eta(T) = \lg A + B / T$$

对于高分子的浓溶液，上式同样适用。对于分子量不同的同种聚合物溶液，因E极其相近，有相似的粘温关系。

2.基料浓度对溶液粘度的影响

设溶液粘度为 η ，溶剂粘度为 η_0 ，溶质体积分数为 Φ ，并定义 $\eta_r = \eta/\eta_0$ 为溶液的相对粘度(或比粘度)。对于一个刚性球粒的稀溶液，粘度与溶质的关系服从Einstein方程：

$$\eta_r = \eta/\eta_0 = 1 + 2.5\Phi$$

涂料体系往往是被溶剂化或溶胀了的非球形粒子的高浓度溶液，且现代涂料的固体分还在日益增高，经过许多学者对该方程的扩展应用的研究，有一个简便又适用的表达式如下：

$$\lg \eta_r = \frac{\Psi}{k_a - k_b \cdot \Psi}$$

该式子适用于0~100%浓度范围的低分子齐聚物或预聚物溶液。

例 某聚酯的苯乙烯溶液， $W_1=50\%$ 时溶液粘度 $\eta_1=0.531p$ ；
 $W_2=80\%$ 时溶液粘度 $\eta_2=24.7p$ 。求 $W=60\%$ 时的 η ? ($\eta_0=0.0088p$)

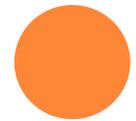
解：由联立方程解得：

$$k_a = \frac{1/\lg \eta_{r1} - 1/\lg \eta_{r2}}{1/w_1 - 1/w_2} = 0.3623, \quad k_b = 0.1629$$

$$\text{则 } \lg \eta_r = \frac{w}{0.3623 - 0.1629w} = \frac{60\%}{0.3623 - 0.1629 \times 60\%} = 2.2678$$

$$\eta_r = 185.2$$

$$\eta = 1.63p。$$



在实际应用中，可设 $k_b=0$ ，此时只需一对实验数据就能预测某质量浓度下的粘度：

$$\lg \eta_r = w / k_a \quad (k_b=0)$$

对于纯聚合物， $w=1, \eta=\eta_p$ ，则 $k_a=1/\lg \eta_r=1/\lg(\eta_p/\eta_0)$

因此
$$\lg \eta_r = w \cdot \lg(\eta_p/\eta_0)$$

虽然该公式只能得到近似结果，但用于估算由两个已知粘度的溶液调配预定粘度溶液的组成极为方便。

例 已知 $w_1=30\%$ 的醇酸树脂汽油溶液的 $\eta_1=0.658p$, $w_2=50\%$ 的溶液 $\eta_2=9.5p$ 。如何用这两种溶液调配 $\eta=2.5p$ 的醇酸树脂溶液?

解: 设调配成 $\eta=2.5p$ 溶液, 需 w_1 溶液 x 份, 则 w_2 溶液为 $(1-x)$ 份, 数学推导得:

$$x = \frac{W_2 - W}{W_2 - W_1} = \frac{k \lg \eta_{r2} - k \lg \eta_r}{k \lg \eta_{r2} - k \lg \eta_{r1}} = \frac{\lg \eta_2 / \eta}{\lg \eta_2 / \eta_1}$$

$$(1 - x) = \frac{\lg \eta / \eta_1}{\lg \eta_2 / \eta_1}$$

则
$$\frac{x}{(1 - x)} = \frac{\lg \eta_2 / \eta}{\lg \eta / \eta_1} = \frac{\lg 9.5 / 2.5}{\lg 2.5 / 0.658} = 1.0$$

即30%和50%的溶液按1 : 1配合可得2.5p粘度的溶液。

以上粘度与浓度的关系式仅适用于有机溶液的溶液体系。

对现代涂料，如水性漆，树脂利用少量的离子化基团并辅以助溶剂的溶胀作用，使之以胶束分散体形式分散于水相中，属非牛顿流体。

在稀释过程中的粘度变化极为复杂，存在一稀释峰。

至少，降低基料分子量、增加离子基团数量和助溶剂用量，都会减少胶束形成，增加水溶性（水溶液）。

特别是采用两种不同挥发性的助溶剂，对改善涂膜外观很有益处。挥发快的助溶剂可减少流挂；挥发慢的助溶剂使之流平。但助溶剂的挥发性不能比水慢，否则湿膜产生“延迟流挂”现象。

三、涂料流变学

1. 涂料流动方程

在涂料生产、施工和干燥成膜过程中，涂料必须经受极端变化的剪切速率的作用。

例如，在高速分散时，叶片附近的剪切速率(D)高达 $10^3 \sim 10^4 \text{s}^{-1}$ ，而在器壁或液面处，近乎静止($D=1 \sim 10 \text{s}^{-1}$)；

放入贮罐后，D又立即下降到 $10^{-3} \sim 0.5 \text{s}^{-1}$ ，颜料易沉降；

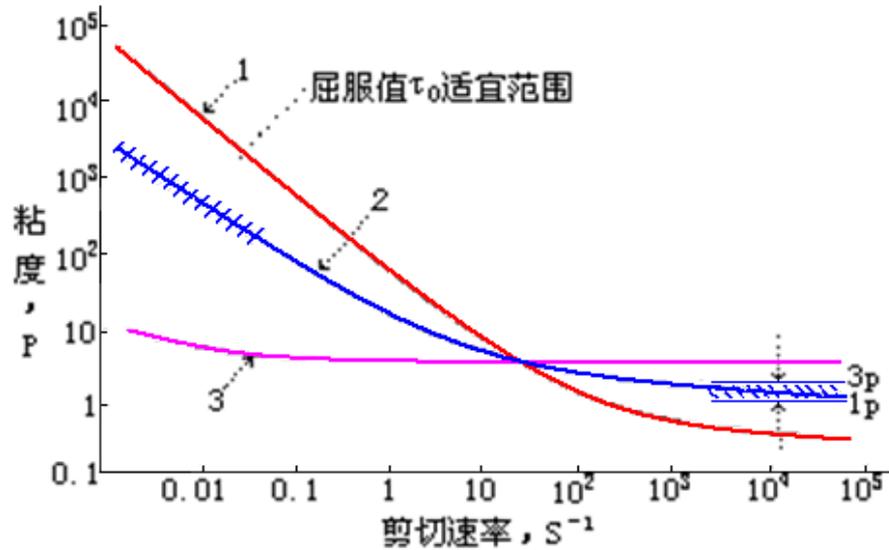
施工时，刷涂、喷涂或滚涂的D又上升到 10^3s^{-1} 以上，某些滚涂施工甚至高达 10^5s^{-1} ；

施工以后，湿膜的D又下降到 1s^{-1} 以下，对涂料的流平、流挂、渗透产生影响。

在D大幅度变化时，粘度也从1.0至 10^6P 发生极端改变。



配方各异的涂料的
流变曲线



- ①配方不正确，施工时粘度太低，施工后粘度过高造成流平性差。
- ②涂料配方正确，低剪节速率有涂料屈服值 $\tau_0=4\sim 10 \text{ dyn}\cdot\text{cm}^{-2}$ ，贮存时抗沉降、施工后抗流挂、流平性良好；高剪切速率下，粘度在1~3P之间，有良好施工性能。
- ③施工时粘度太高，涂刷造成拖带；施工后粘度太低，造成流挂。



由于D或η在极端范围内变化，用一个方程能表述全部范围内的粘度分布，唯一有效的是Casson方程：

$$\eta_D^n = \eta_\infty^n + (\tau_0 / D)^n$$

n——指数(一般为0.5)

涂料在D > 10⁴S⁻¹时，颜料的絮凝、胶团聚集或任何其它因素引起的结构粘度都被破坏消失，此η可近似作为η_∞(亦可用外推法获得)。

τ₀值很难测定，一般以极低剪切速率下的粘度近似计算。

$$\eta_D^n = \eta_\infty^n + (\tau / D)^n \underset{(D \rightarrow 0)}{\approx} (\tau / D)^n_{(D \rightarrow 0)}$$

即：

则

$$\tau_0 \approx \eta_D \cdot D_{D \text{极小}} = \tau_{(D \text{极小})}$$



也可以利用高、中、低剪切速率下的三组粘度数据来确定 n 、 η_{∞} 和 τ_0 三个常数。

此时以极高 D 下的 η_h 作为 η_{∞} ，而 D_m 对应 η_m ， D_l 对应 η_l ，则：

$$(\eta_m D_m / D_l)^n + \eta_{\infty}^n - (\eta_{\infty} \cdot D_m / D_l)^n - D_l^n = 0$$

利用一系列在 0.5 附近的数值作为 n 值代入方程，使方程等于零的 n 就是所求的解。

再求得 τ_0 ：

$$\eta_l^n = \eta_{\infty}^n + (\tau_0 / D_l)^n$$

涂料在高剪切速率下的粘度 η_{∞} 和涂料屈服值 τ_0 ，是涂料流变性的二个重要性质。

1)涂料在高剪切速率范围内流动特性，由涂料基本组成所决定；

2)而涂料在低剪切速率范围内的流动特性，可添加少量的流变助剂来调整。

另外，颜料的絮凝或基料的胶体性质也影响低剪切范围内涂料流动性质。

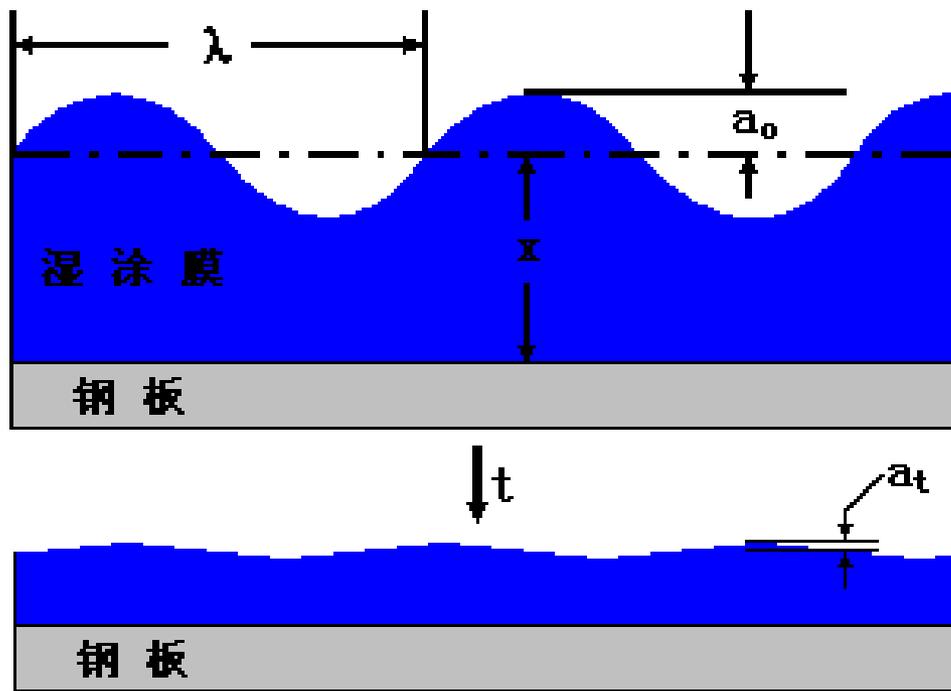
溶剂性涂料， $D=10^4s^{-1}$ 时的适宜刷涂粘度为 $1.0\sim 3.0P$ ；

乳胶漆刷涂，在 $D=1400s^{-1}$ 时，施工粘度宜在 $2.5\sim 5P$ ；

喷涂施工时 $D=2500s^{-1}$ 施工粘度宜在 $0.25\sim 2.5P$ 。流平性好的涂料，也用较高的施工粘度来获得厚涂膜；反之造成施工困难。

2. 涂料流平方程

涂料流平方程以按正弦波剖面理论推导的公式能较精确地反映实验结果。即：



$$\ln \frac{a_0}{a_t} = \frac{16 \pi^4}{3} \cdot \frac{\sigma \cdot x^3}{\lambda^4} \int \frac{dt}{\eta}$$

或：

$$\lg \frac{a_0}{a_t} = \frac{226 \sigma \cdot x^3}{\lambda^4} \int \frac{dt}{\eta}$$

涂料表面张力是涂膜流平的驱动力，一般在25~55dyn·cm⁻¹。因范围窄，可取35dyn·cm⁻¹这一中间值。由于表面张力基本上可看作定值，这样膜厚(x)和条痕波长(λ)成为流平时间的极大影响因素。在其它条件相同时，如果x增加一倍，流平时间缩短到1/8；λ增加一倍，流平时间为原来的16倍。

例 一典型的流平状况如下：a₀=0.0080cm，a_t=0.000050cm(流平终点)，x=0.010cm，λ=0.10cm(10条痕/cm)，σ=35 dyn·cm⁻¹，若粘度恒定为10、100和1000P时，流平时间多长？

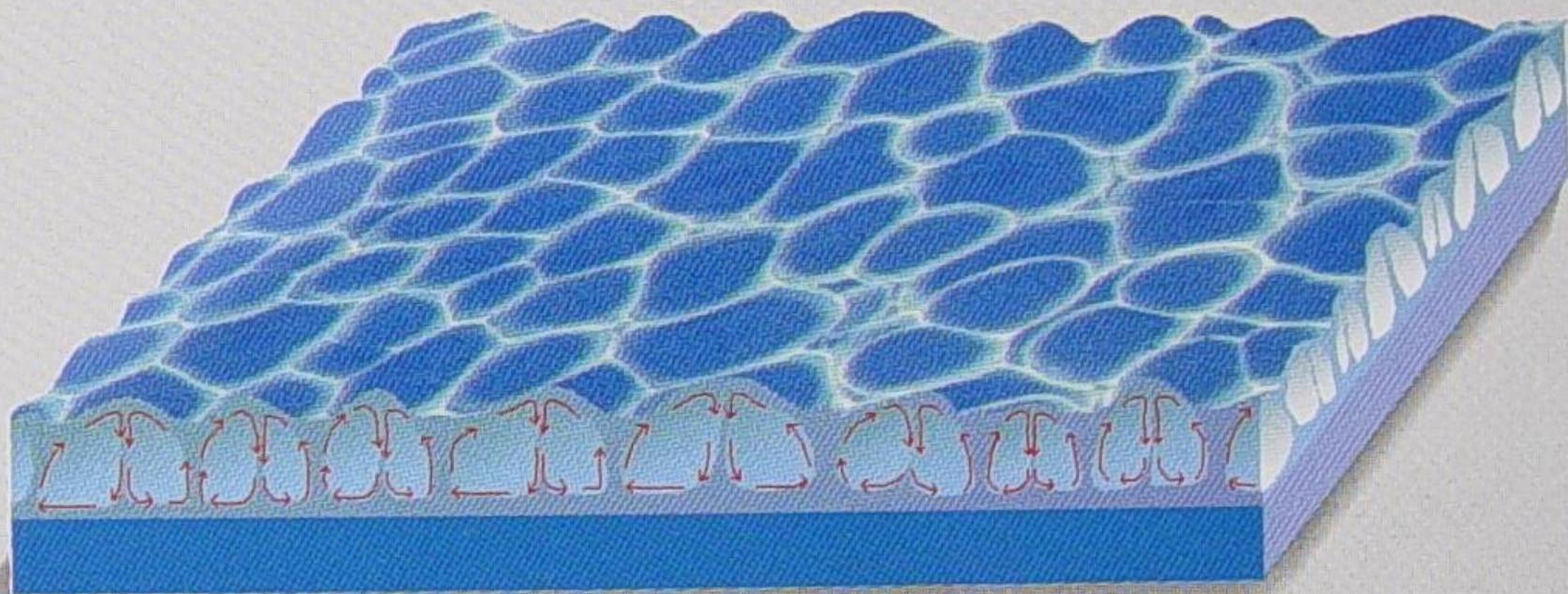
解：按流平方 $t = \frac{\lambda^4 \eta}{226 \sigma \cdot x^3} \lg \frac{a_0}{a_t} = 0.28 \text{秒} (10p)$

100p为2.8秒， 1000p为28秒

【 3p为？ 秒】



▶ 涂料流动模型



实际上流平过程中粘度是不断变大的，它由任一瞬间的剪切应力(或D)所决定。结合Casson方程，可得到任一瞬间由 σ 所施加的最大剪切应力为：

$$\tau = \frac{248 \sigma x a}{\lambda^3} \cdot f\left(\frac{x}{\lambda}\right)$$

由于流平过程中， σ 、 x 、 λ 都基本保持不变，则 τ 正比于 a 变化。流平终点时， $a=5 \times 10^{-5} \text{cm}$ ，由图6-8查得 $f(x/\lambda)$ 值，然后求 τ 值。

若涂料 $\tau_0 \geq \tau$ ，则无法流平。将 τ_0 代入上式，可求得涂料流平过程能达到的最小振幅 a_{\min} ：

$$a_{\min} = \frac{\tau_0 \lambda^3}{248 \sigma x f(x/\lambda)}$$

上述流平方程不适合于触变体。因触变体在剪切后的 η 恢复受到时间的制约。

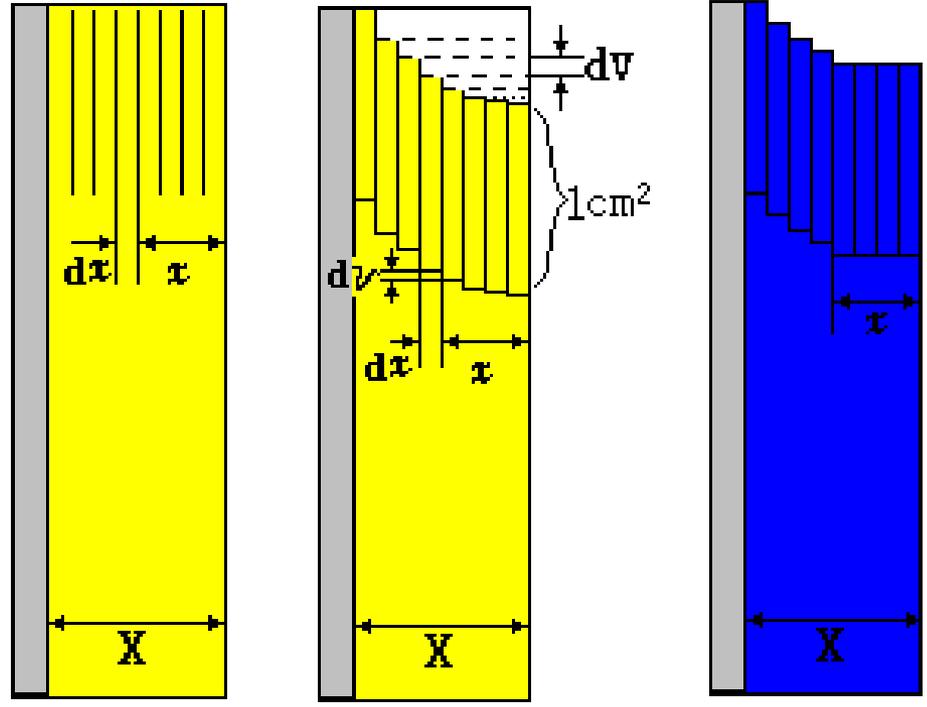
另外，流平过程中，溶剂挥发也造成粘度的持续上升。

在多孔性表面涂漆，溶剂通过毛细管作用吸收于孔隙中，会导致流平的突然终止。

对乳胶漆，在水份初期挥发阶段，乳胶粒子在刚接触时，转变成半刚性状态，有碍涂膜流平。

涂膜流平测定可在由低到高的膜厚方向上，用单位长度齿数不同但齿宽和齿间距相等的梳子划痕，依沟痕确定流平时间。

3. 涂料流挂方程



a. 涂布初时 b. 流挂 c. 滑挂

- a. 涂料初始以均匀厚度施工于垂直底材上的几何形状示意图
- b. 此涂层流挂之后的几何形状、及任选一水平面的体积增量示意图
- c. 当涂料屈服值很高时出现滑挂的几何形态示意图

湿涂膜受重力驱动造成的流痕叫作流挂。涂膜中距离表面 x 位置单位面积薄层引起流挂的拉力(即剪切应力 τ_x):

$$\tau_x = \rho x g$$

横穿这一薄层的剪切速率为 $-dv/dx$ (负号表示流挂速率 v 与 x 的变化方向相反), 有流挂条件:

$$\eta = \frac{\tau}{D} = -\frac{\rho x g}{dv/dx}$$

变换方程得:

$$dv = -\frac{\rho g}{\eta} \cdot x dx$$

由于 $x = X$ 时, $v = 0$ 。积分得

$$v = -\frac{\rho g}{2\eta} (X^2 - x^2)$$

则表层($x = 0$)的流挂速率:

$$v_0 = -\frac{\rho g X^2}{2\eta}$$



上述均为理想状态下的流挂速率。此理想状态指牛顿流动、无溶剂挥发和温度变化。

在底材界面上的薄层有最大剪切应力： $\tau_x(\max) = \rho \cdot g$
按流挂体积模型图：

$$\frac{dV_s}{dt} = -\frac{\rho g}{\eta} \int_{x_1=0}^{x_2=X} x d\omega = -\frac{\rho g}{\eta} \int_{x_1=0}^{x_2=X} x^2 dx$$

积分得：
$$V_s = -\frac{\rho g}{3\eta} \cdot X^3 \cdot t$$

例 某磁漆的施工粘度为30秒(1P)，假设施工后粘度没有回升能力，垂直面湿膜厚度分别为50 μm 和100 μm 时，求10min时磁漆表面的流挂距离($\rho=1.1\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)。

解：一般涂料的闪干时间最长为10min，若忽略溶剂挥发：

$$h = \alpha_0 \cdot t = \rho \cdot g \cdot X^2 \cdot t / 2\eta$$

$$X=50\mu\text{m} \text{ 时, } h=8.1\text{cm}; V=0.027\text{cm}^3$$

$$X=100\mu\text{m} \text{ 时, } h=32.4\text{cm}; V=0.216\text{cm}^3$$

显然，牛顿型涂料的抗流挂性很差，并随着膜厚增加，流挂越趋严重。

涂料实际都是假塑性的，且在闪干过程中溶剂挥发使温度降低和浓度增加，导致粘度上升；同时也使涂膜减薄。所有这些因素都使流挂得到抑制。

粘度作为流挂阻力，总是配方设计应考虑的主要因素。通常是添加少量流变助剂于牛顿型涂料中，使低剪切速率下的粘度达到几百~几千泊或赋予涂料一抗流挂的屈服值。

由于粘度对流平和流挂的影响作用是相反的，改变粘度只能使流平和流挂性调至适宜程度。流平与流挂这一对矛盾的彻底解决，只有利用触变性赋予体系一适当的屈服值，才能获得极佳的流平性和抗流挂性。

有较大屈服值的涂料，有时观察到坍塌现象(图 d)。坍塌层厚度 x 按 $\tau = \rho g x = \tau_0$ 求得。即： $x = \tau_0 / \rho g$
若 τ_0 足够大，则 $x \geq X$ ，对 X 厚的涂膜，流挂被阻止。



高固体分涂料，因固体分高达70%w以上，喷涂过程溶剂挥发少(~5%w)。普通溶剂性涂料，施工固体分约30%w，喷涂过程溶剂挥发损失高达50%w左右。显然，高固体分涂料不存在溶剂挥发产生的粘度上升和涂膜减薄诸抗流挂因素，流挂控制成为高固体分涂料配方的关键。最好的办法是赋予一抗流挂屈服值。



第三节 涂料配方试验方法

examination of a coatings composites



第四节 配色

一、颜色基本概念

1.光与色的关系

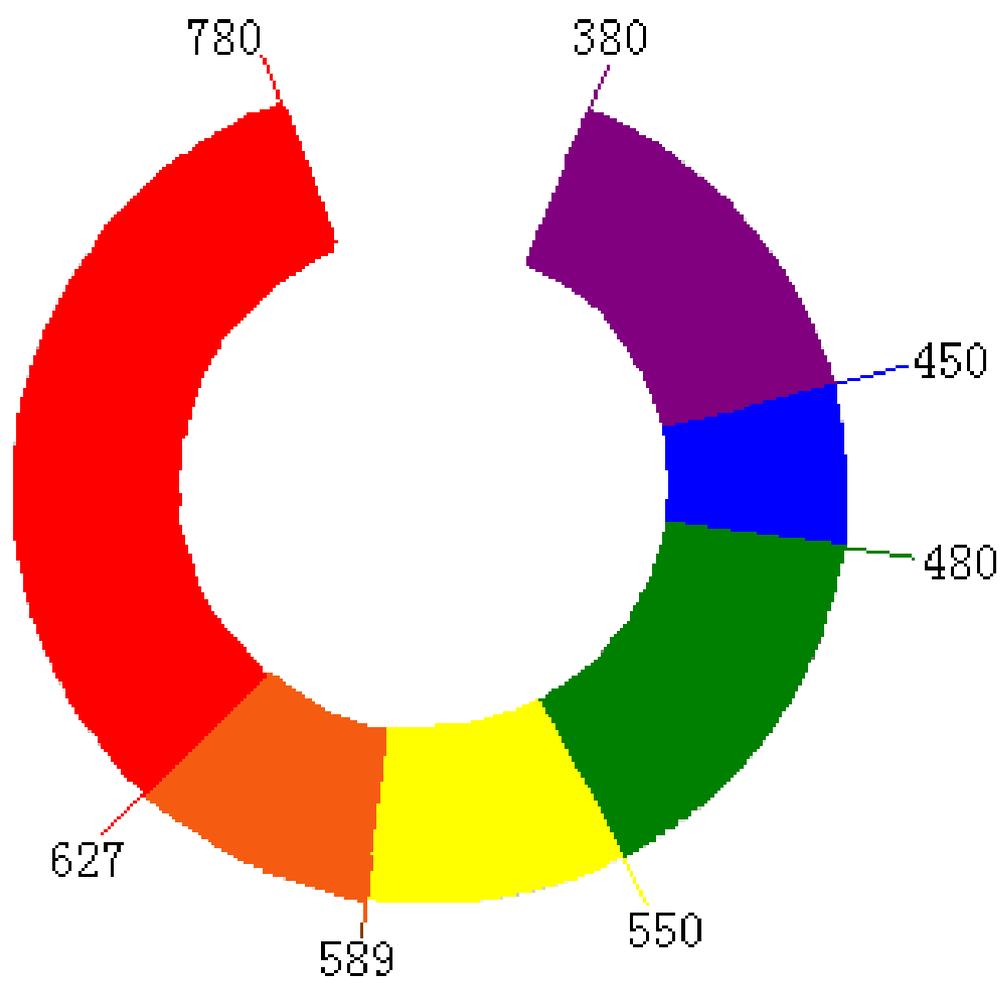
颜色是人眼视神经受到光线刺激引起兴奋，传至大脑中枢神经进行信息处理后产生的视觉感。

因此，有光才有色，无光便无色。

由于 $E = hc/\lambda$ (h、c为常数)

光子能量与波长成反比。不同波长的光能量不同，使人眼视觉感出现差别。

用棱镜分离可见光，可得彩虹样色带，各色带波长范围如下：



- 红色 780~627nm
- 橙色 627~589nm
- 黄色 589~550nm
- 绿色 550~480nm
- 蓝色 480~450nm
- 紫色 450~380nm



不同波长的光线射入眼睛后，接受到的信息发生变化，观察到不同光的相加混合色。

若用颜色环中二个相对颜色的互补光等量混合，变成白色；用一对非互补的光混合，变成其它混合色；

若用多种色光混合，则趋向于白色。若有三种色光以不同比例混合，能产生颜色环中的所有颜色的混合色，则该三种颜色称之三原色。

三原色中任意二种颜色的混合色必是另一色的补色。最好的三原色光是红、绿、蓝三色，由它们产生的白光，跟连续光谱产生的白光视觉效果一样。虽然视觉感都是白色，但由于三原色混合成的白光不是连续光谱，此类现象称之同色异谱现象。

通常，只要两种异谱色的颜色视觉感受相同，我们就认为这两种颜色已经匹配，匹配所用的三原色数量，称之三刺激值。

2. 物体颜色的呈现

当可见光照射到物质表面的时候，它会吸收一部分色光，反射、折射或透射其它波段的光，这样物质就呈现出未被吸收波长区域光的颜色。

由于各类物质对不同波长光的吸收能力、反射能力、折射能力都是不同的，所以各种物体都有其特定的色彩。

不透明物体吸收和反射的色光是互补的；透明物体吸收、反射与透射三部分色光互补；珠光颜料由于折射多种色光产生干涉色，具有丰富的色彩效果。

微细的颜料颗粒由于散射（折射）和透射作用小，所以它的颜色主要是由反射决定的。反射分镜面反射和漫反射，镜面反射决定物体外表光泽，漫反射决定物体的外表色彩。

当两种颜色的颜料混合时，光谱中有两种色光波段被吸收，只呈现剩余波段光颜色。

因此，颜料配色是相减混合。

当两种互补色混合，光谱全被吸收，呈黑色；

若多种色颜料混合，使绝大部分光谱成分被吸收，颜色趋暗、甚至变成黑色。

用非互补色颜料混合，呈现该两色的中间色。因此，用三原色颜料也可配出各种色调。

颜色配色的三原色是红、黄、蓝。绿色颜料吸收的色光是红色和紫色，因此绿色没有互补的单色光。

3.颜色的特性与表示

颜色有三个显著的视觉特性，即色相、明度和纯度，又称颜色三属性。

色相：亦即色调。它取决于物体表面对各种波长色光的反射比例，跟光源的光谱组成也有关系，是色彩视觉属性。

明度：即色光的明暗程度。它取决于物体对光的反射能力，是光强度的视觉属性。

反射率达80%~90%时，对人眼刺激强烈，已感觉是白色；

反射率低至4%时，吸光性很强，则感觉已是黑色。

色光中，红色、黄色光反射较强，对人眼刺激大，显得较明亮。光源亮度增加，也能使色光的明度增加。

纯度：又称饱和度。它表示彩色的纯正程度。

色彩中，单色光是最饱和的色；

而白色、黑色、灰色是饱和度最低的无彩色，又称中性色。

纯色掺入中性色，饱和度下降，甚至会被掩盖而只能感受到中性色。

纯度取决于物体表面对光反射的选择性程度。若物体反射光波段很窄，则反射选择性高，色的饱和度也高。

根据颜色的三属性，可用Munsell颜色立体模型来表示各种颜色。

明度，分为10级(白为10、灰为5、黑色0)；

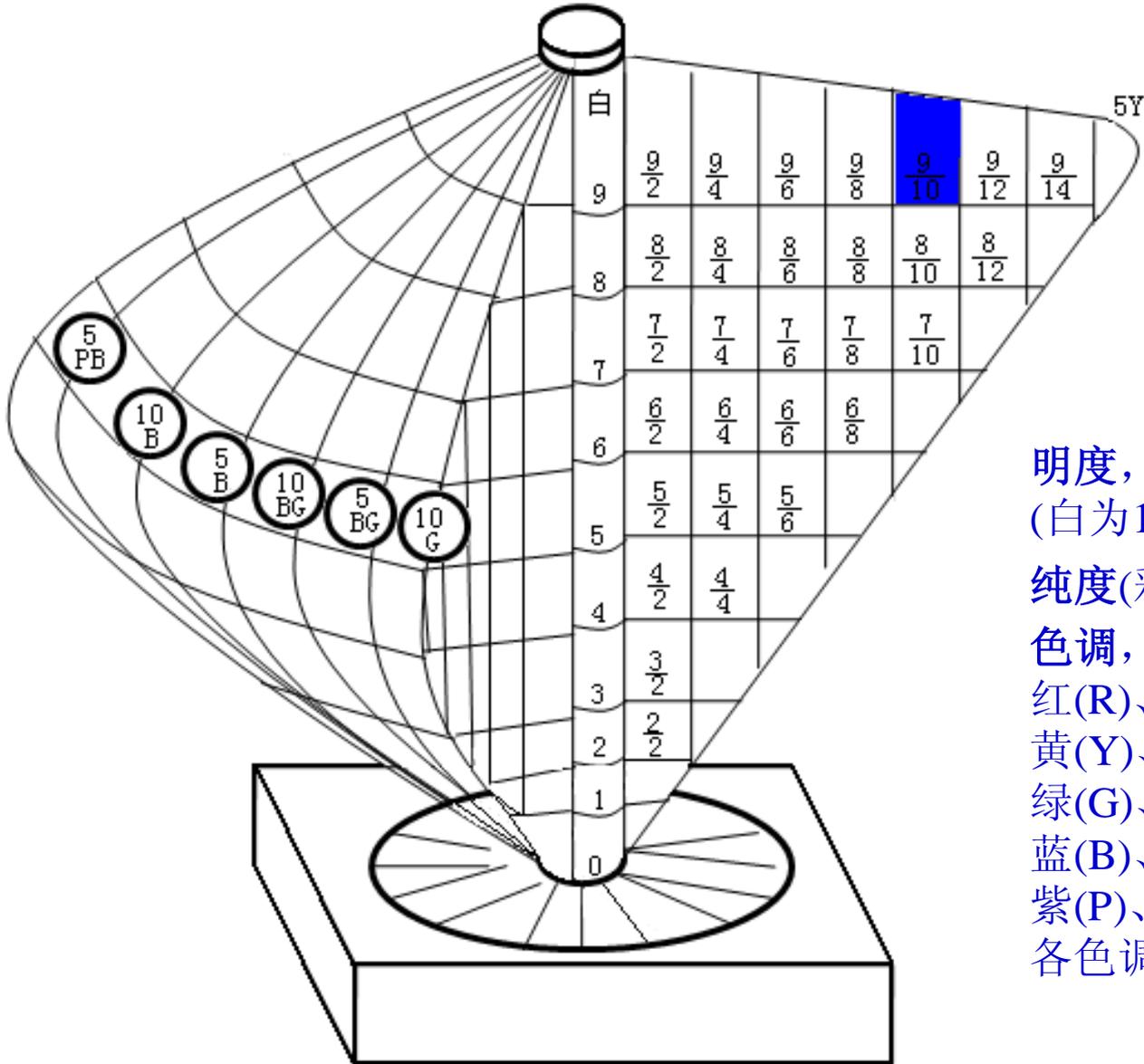
以灰点作为中点，设一水平圆，以半径方向表示纯度(亦称彩度)，数值为0~20；

水平圆的不同位相，代表色调，共分10个色调：红(R)、黄红(YR)、黄(Y)、绿黄(GY)、绿(G)、蓝绿(BG)、蓝(B)、紫蓝(PB)、紫(P)、红紫(RP)；各色调间又分成10等份，圆周上共有100个刻度。

颜色按“色调·明度/彩度”来表示。

例如，5Y9/10表示该颜色的色调为5Y、明度为9、彩度为10，是一种纯度较高且明亮的黄色，此表示方法称为Munsell颜色系统。

Munsell color sphere 立体模型示意图



颜色按
“色调·明度/彩度”
来表示
例如，5Y9/10

明度，分10级
(白为10、灰为5、黑色0)

纯度(彩度)，0~20

色调，分10个色调：

红(R)、黄红(YR)

黄(Y)、绿黄(GY)

绿(G)、蓝绿(BG)

蓝(B)、紫蓝(PB)

紫(P)、红紫(RP)

各色调间分10等份



按照颜色的光谱特征，也可以用CIE标准色度学系统进行精确表述。

该方法是将三原色光投射于白板上，不断增减，使之与标准光源照射下的相邻色板颜色完全匹配，用匹配时三原色的量(即三刺激值)表示该色板的颜色。

由于三原色光波长、光源、白板及人眼视觉能力都影响匹配的观察结果，故规定色光为：

红700.0nm、绿546.1nm、蓝435.8nm；
标准光源分A、B、C三种

其中A光源为色温2856K的充气白炽钨丝灯；白体和标准观察者都有相应规定。

匹配所需三原色的数量以X、Y、Z(三刺激值)表示:

$$X = \int_{\lambda} S(\lambda) R(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = \int_{\lambda} S(\lambda) R(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \int_{\lambda} S(\lambda) R(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

式中 $S(\lambda)$ ——光源的相对光谱功率分布

$R(\lambda)$ ——色板的光谱反射率

$\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ ——分别是红、绿、蓝三原色的颜色匹配函数
(亦称光谱三刺激值)

\int_{λ} ——表示在整个可见光波长范围内积分

在色度学中, 往往用色度坐标x、y、z(即相对比例)来表示:

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}, \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

4. 颜色的测量 color measurement

(1) 目测法

在标准光源下，将被测颜色与Munsell标准图谱进行比较，按Munsell颜色系统表示其色相、明度和纯度。

这是一种简单常用的近似方法。由于观察者生理状态的差别，每个人的比较结果是不一样的。用肉眼辨别纯度比较困难，在不同的光源下，得到的色相和明度也是不一致的。

(2) 仪器测量

用分光光度测色仪(分光光度计)进行测量。仪器分单色器和光度计两部分。单色器用以产生单色光，光度计测量该单色光在标准样(如标准白板)和待测样表面反射能力的差别，即反射率 $R(\lambda)$ ，计算机将内部贮存的标准光源的 $S(\lambda)\bar{x}(\lambda)$ 、 $S(\lambda)\bar{y}(\lambda)$ 及 $S(\lambda)\bar{z}(\lambda)$ 值，与显示的 $R(\lambda)$ 相乘并在可见光波长区域内进行积分，便得被测样的三刺激值或色度坐标。

另外可用光电色度计和色差计进行测量。

这是类使用比较方便的客观色度计，其探测器的灵敏度都经滤色器校正到与CIE标准观察者的三个颜色匹配函数相一致，故仪器可将获得的反射讯号直接转换成三刺激值或色度坐标。



二、配色 color-matching

配色是涂料生产过程中重要的一道工序。一般先制成颜色相近的色漆，再细致、逐步地将适宜的调色浆混入到色漆中，使之达到规定颜色。

对涂料使用者来说，是用三原色漆调配成样板规定的颜色。

配色有人工配色和计算机配色两种。

人工配色则是一项精细的工作，调色的难易程度跟调色者的经验积累有极大的关系。

例如调色者的辩色能力及对成色规律的掌握，决定了他是否能胜任该项工作。因此，无论是颜色的辨别和对比。还是颜色的混合操作，都必须按一定规则来进行。

配色的操作过程如下：

①确定标准光源、色卡或标准样板。

在标准光源下进行辩色，确定样板的色相、明度和纯度，然后确定它的主色是什么，根据成色规律确定需要哪些调色料。

另外，标准样板的面积应大些，这样比色时，色相、明度和纯度都较有层次，比色就较为准确；

②准备调色料(如果用色漆，则各色都应是同类漆基)和调色工具，并对色料颜色也进行对比；

③先配小样，确定所需颜色的主次顺序和配比；

④配色时应遵循“先主后次、由浅入深”这一要点来进行。即先配主色(或底色)，然后依次加入其它色调至基本色相；再按“由浅入深”分别调整色相、明度和纯度。

例如：浅湖绿色

浅湖绿色由浅黄、铁蓝、钛白和软黑组成

则先后加钛白、浅黄及少量铁蓝调出色相，

再分别细致地加入铁蓝和软黑，调整色相、明度与纯度。一

旦色相基本调出以后，明度与纯度的调整就比较容易了。

颜料在色漆中所需重量份根据其遮盖力确定。

一般以深色漆一道，浅色漆二道，漆膜厚度 $25\mu\text{m}$ 能遮盖底色为准。

遮盖力小或比重大的颜料要多加。
普通色漆中几种常用颜料用量大致如下：

$\text{TiO}_2 > 18\%$ ， 炭黑 $3\% \sim 4\%$ ， 铁蓝 $9\% \sim 11\%$

酞菁蓝 $4.5\% \sim 9\%$ ， 中铬黄 $> 23\%$ ， 浅铬黄 $> 27\%$

柠檬黄 $> 28\%$ ， 汉沙黄 $> 13\%$ ， 铁红 $> 18\%$

甲苯胺红 $11\% \sim 13\%$ ，铝粉 16% 。

颜色	TiO ₂	铁蓝	中铬黄	炭黑	浅铬黄	铁红	甲苯胺红
珍珠白	98.10		1.90	/	/	/	/
奶油白	93.77		5.88	/	/	0.35	/
米黄	80.03	/	18.58	/	/	1.39	/
浅黄色	/	/	/	/	100	/	/
黄色	/	/	100	/	/	/	/
橙色	/	/	77.12	/	/	/	22.88
红色	/	/	/	/	/	/	100
铁红	/	/	/	/	/	100	/
黄棕	/	/	45.16	1.51	/	53.33	/
棕色	/	11.34	9.76	1.48	/	88.76	/
中绿色	/	15.90	4.94	/	83.72	/	/
绿色	/	30.10	10.57	/	73.53	/	/
深绿色	/	7.41	16.24	/	53.66	/	/
军绿	/		62.56	/	/	30.03	/

颜色	TiO ₂	铁蓝	中铬黄	炭黑	浅铬黄	铁红
湖绿	74.94	1.82	/	/	23.24	/
豆青	69.53	3.32	/	/	27.15	/
果绿	80.20	0.57	/	/	18.45	0.78
浅绿	/	6.91	5.73	/	87.36	/
豆灰	76.81	2.05	19.69	1.45	/	/
湖蓝	87.75	2.50	2.26	/	7.49	/
海蓝	60.00	27.94	12.06	/	/	/
中蓝	71.75	28.25	/	/	/	/
银灰	95.37	0.75	2.75	1.13	/	/
浅灰	96.89	0.52	/	2.59	/	/
蓝灰	91.54	3.81	/	4.65	/	/
深灰	88.03	0.97	/	11.00	/	/

计算机配色只适合本色漆，对于金属闪光漆和珠光漆等光效应颜色，主要还是靠人工调配 (Visual color-matching)。其中金属闪光漆非常耀眼，添加超细二氧化钛会变得柔和、色彩层次更加丰富。
(flop闪烁/随角异色)

汽车用金属漆和珠光漆等各光效应色的颜料配比举例如下：

metallic finishes // Pearlized finishes

(1) 银灰色1:

铝粉 (Silberline SS-3333AR)	94.63
炭黑	0.55
金红石钛白粉 (R960)	4.17
酞菁蓝B	0.55
喹吖啶酮红	0.10



(27) 深艳红色:

珠光粉 (Iriodin/afflair 9504红WR, 10~40μm)	65.00
珠光粉 (Iriodin/afflair 9505红紫WR II, 10~40μm)	5.00
喹吡啶酮红	10.00
花紫红	15.00
炭黑	5.00

(28) 亮红色:

珠光粉 (Iriodin/afflair 9504红WR, 10~40μm)	65.00
透明氧化铁	15.00
喹吡啶酮紫	15.00
花紫红	5.00
炭黑	5.00

(5) 蓝色和紫色

本色：铁蓝+酞菁蓝；

 吡啶二噁嗪紫+（酞菁蓝+阴丹士林蓝）或阴丹士林蓝；

金属色：铝粉+酞菁蓝+阴丹士林蓝；

 铝粉+喹吡啶酮红+酞菁蓝。

(6) 棕色

本色：铁蓝+钼铬红；

金属色：铝粉+有机棕+透明氧化铁红；

 铝粉+花橙+透明氧化铁红；

 铝粉+花橙+酞菁绿。

(7) 绿色

本色：酞菁绿+铬黄；

金属色：铝粉+黄烷士酮+酞菁绿+透明氧化铁红或铁黄；

 铝粉+镍（或铜）络偶氮黄+酞菁绿+透明氧化铁红

以下颜料组合会对光泽产生对消现象：

偶氮橙/喹吡啶酮洋红/灯黑=74.74/25.23/0.03红色、

钛白粉/葱素嘧啶黄/铁黄/咪唑橙=58.15/24.04/17.42/0.39黄色、

偶氮橙/钛酸铬/葱素嘧啶黄=35.18/48.98/15.84橙色、

喹吡啶酮红/茛橙/茛洋红/透明氧化铁红/铝粉
=35.52/22.09/9.30/24.97/8.12闪光红、

铝粉/酞菁蓝/炭黑=98.5/1.3/0.2银色。



以下颜料组合会在潮湿试验时产生对消现象：

铁黄与黄烷士酮、异吡啶酮或葱素嘧啶的黄色；

黄烷士酮、葱素嘧啶黄和/或异吡啶酮的黄色；

铁红与喹吡啶酮红（或紫）的深红和洋红色；

葱素嘧啶黄与透明氧化铁黄的浅至中灰闪光黄。



以下颜料组合会在耐候性试验时产生对消现象：

透明氧化铁/酞菁绿的金色和深绿色闪光色（古铜色）；

茛洋红与喹吡啶酮红的闪光红（褪色和古铜色）；

镍或铜络偶氮与酞菁绿的浅至中闪光绿（褪色）；

黄烷士酮与葱素嘧啶黄和/或异吲哚啉酮的黄色（粉化）。





以下颜料组合会造成起始光泽低并产生耐候性问题：

铝粉与有机颜料（酞菁、黄烷士酮、葱素嘧啶）的银色和极淡的金属色涂料会发浑；

喹吡啶酮（黄至紫色相）与黄烷士酮和单偶氮橙的红色；

茈橙和茈洋红与喹吡啶酮（黄至紫色相）

茈橙和茈洋红和透明氧化铁红的闪光深红、闪光黄褐色及闪光棕色。



基本概念、定义和重要英文词汇

颜料加入量

Pigment-binder Ratio

Pigment Volume Concentration

Critical Pigment Volume Concentration

涂料流变学

牛顿流动、假塑性流体、触变性、流平、流挂

配色

Color-matching

颜色三属性

Mass Color Paints 本色漆

Metallic Finishes

Pearlized Finishes



第七章 涂料生产工艺

-  涂料生产工艺
-  色浆配比
-  高浓颜料分散体
-  涂料生产质量控制



- 1) 何为颜基比?试述面漆和底漆的适宜颜基比是多少?
- 2) 试解释PVC、CPVC和UPVC。
- 3) CPVC可用哪种最简便方法求得?在CPVC前后,各涂膜性能如何变化?
- 4) 试述不同光泽涂膜适宜的PVC。
- 5) Pig/B、PVC和 $\lambda = \text{PVC}/\text{CPVC}$ 三个中,哪个能更准确地反映出涂膜的优劣?
- 6) 何为涂料流变性?何为牛顿流动?何为假塑性流体?
- 7) 何为触变性?
- 8) 阐述影响粘度的因素。
- 9) 已知40% 100#乙基纤维素的80%甲苯和20%乙醇的混合溶剂溶液粘度为1.0P, 300#乙基纤维素的同样溶液粘度为3.0P。问这两种溶液怎样混合可调成2.5P粘度的溶液?

- 10) 已知40%长油度醇酸异链烷烃溶液，比粘度 $\eta/\eta_0=220$ 。若溶剂粘度降低0.5cP，溶液粘度降低多少？
- 11) 配方合理的涂料，在低剪切速率(D)下和高D下的 η (或屈服值 τ_0)各应为多少适宜？
- 12) 试计算 $\tau_0=2.5$ 、10和20dyn/cm²时的 a_{\min} 。 $f(x/\lambda)=0.66$ ，判断能否流平？
- 13) 在高10cm的垂直样板上，涂布100 μm 清漆($\rho=0.9, \eta=1.5\text{P}$)。计算10min后，在2.0cm和底边处的膜厚。
- 14) 已知丙烯酸树脂的二丙酮醇($\eta_0=3.1 \times 10^{-2}\text{P}$)溶液，W为20%和60%的 η 分别是0.132P和21.5P。求 $\omega=40\%$ 的 η 。
- 15) 系统的涂料配方试验有哪几种方法？
- 16) 颜色有哪三种属性？颜色怎样表示？
- 17) 何为同色异谱现象？何为三刺激值？
- 18) 人工配色应如何操作？
- 19)*试述计算机测色配色原理。