

对测定纺织品表面颜色深度的 的几个计算公式的探讨

王 轩 孙

(化学化工系)

一、绪 言

在染料制造和染料应用行业中对于如何准确测定染料在纺织品上的深浅程度是个重要问题。一般说来要测定染料上色情况或求取织物上染着的染料量不算太困难。但想测算染品在人眼中的深浅感觉如何就不很容易。染料生产和应用部门最关心的是他们的染料的“卖钱价值”(money value),也就是说生产的染料是根据人眼真正感到的深浅程度来决定它的卖钱价值。因此国外颜色光学研究人员长期以来不断提出各种测定颜色表面的深度公式,力求其测算结果与人眼实际感觉相吻合。至今这方面的研究工作在发展之中。

从颜色光学角度看,为解决染料生产及印染行业的实际需要,一般认为应侧重在以下三个方面进行科研工作:

1、色差测定

2、同一织物的染料并色因光源不同,呈现颜色差别的问题(metamerism)

3、色深测定

至今这三方面的课题均未取得完满的结论。

在染料质量控制中色深测定方法是很重要的,例如染料的应用性能(上染效果等)、色光评比、强度评比、坚牢度评比、标准深度制定,一直到染料色谱命名等没有一项与色深测定无关。所以说对国外几种主要色深公式进行比较,了解它们是否适用于染料的质量控制上的要求是具有实用意义的。

二、色深公式简介

国外主要的色深公式可概括为以下几种(1):

(1) Godlove公式(2)

$$A = S + 0.025C(\Delta H_{10PB})$$

其中: $S = (16V^2 + C^2)^{\frac{1}{2}}$

$A =$ 色深值, $V = 10 - V$

$V =$ Munsel深线值 (Value)

$C =$ Munsel艳度值 (Chroma)

ΔH_{10PB} 是在Munsel色相值100标度 (Hue Scale) 中, 试样色相值与10PB色相值之间的最小差数。

(2) Rabe-Koch公式(3)(14)

$$\theta = \left[\frac{10 - 1.2D}{9} \right] S + 1.06D$$

其中: $\theta =$ 色深值 $D =$ 相对亮度

$S =$ 饱和度 S, D 值; 均需查图, 见图一、图二。

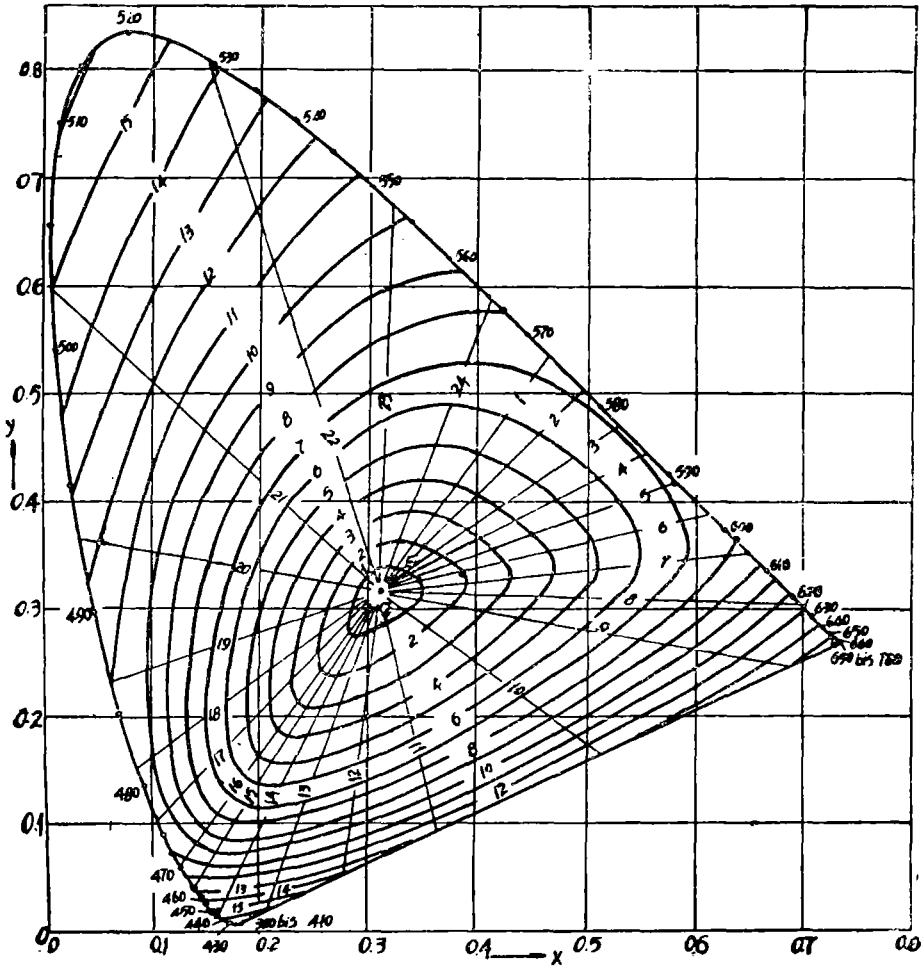
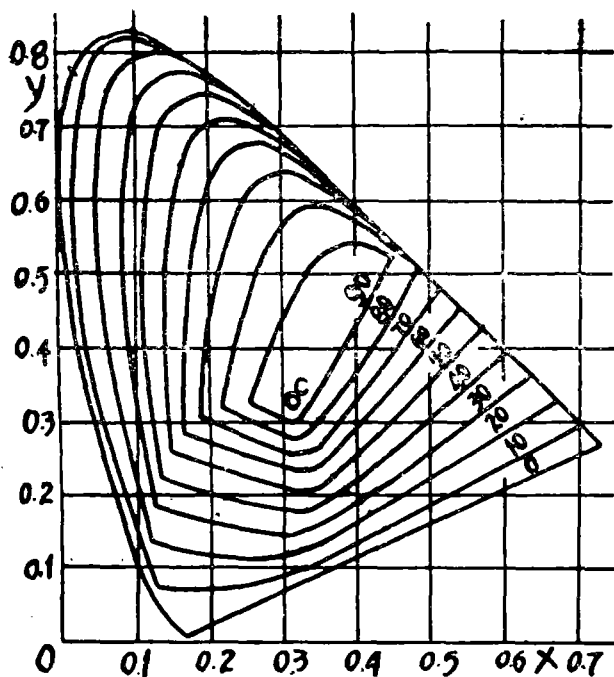


图 一



Y。图

图二

(3) Gall公式④⑨

$$B = K + Sa(\phi) \sqrt{Y} \quad 10 \sqrt{Y}$$

B = 色深值 K = 常数

$$S = 10 [(X - 0.3100)^2 + (Y - 0.3162)^2]^{\frac{1}{2}} = \text{艳度值}$$

Y = 亮度值 (三刺激值之一)

$a(\phi)$ = 与颜色色相有关的经验系数

(4) Kubelka-Munk公式(5)

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - R)^2}{2R}$$

$\frac{K}{S}$ = 色深值 R = 于反射率最低的波长处, 颜色表面的反射率。

(5) Kubelka-Munk公式的几个改进公式(5)

由于 Kubelka-Munk 公式尚不能完全满足色深测定的要求, 因而出现了对此公式的改进公式, 其中有:

① Pineo公式

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - R)^2}{2(1 - r)(R - r)} \quad \text{系数 } r = 0.037$$

②Saunderson公式

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - R^1)^2}{2R}, \quad R = \frac{K_1 + (1 - K_1)(1 - K_2)R'}{(1 - K_2R^1)}$$

系数 $K_1 = 0.037$, $K_2 = 0.555$

③Fink-jensen公式

$$F(R) = \frac{(K_1 - R)^2}{(R - R_0)(1 + K_2R)}$$

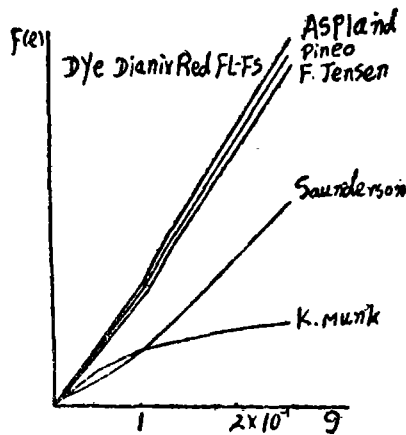
系数: $K_1 = 1$, $K_2 = 0.1$, $R_0 = 0.037$

④Aspland公式

$$(CS)_{\text{corr}} = \frac{[1 - (R - R_c)]^2}{2(R - R_c)}$$

系数 $R_c = 0.037$

以上这些修正式根据文献介绍主要是为了改进 Kubelka Munk 公式中 K/S 值与颜色深度之间(特别是在中色到深色之间的颜色)的线性关系和精确度的问题(见图三)。



图三 Kubelka-Munk公式及其修正公式的 K/S 值与织物上染料浓度的关系

(6) Integ 法求取色深值

$$\lambda = 700$$

$$Integ = \sum_{\lambda=400} I \lambda F \lambda (\bar{X} \lambda + \bar{Y} \lambda + \bar{Z} \lambda)$$

$$\lambda = 400$$

其中: $Integ$ = 色深值

I_λ = 于 λ 波长下 C 光源的光谱能量值 $\bar{X} \lambda$, $\bar{Y} \lambda$, $\bar{Z} \lambda$ = C 光源三刺激值 (2° 观察角)

$$F_\lambda = \frac{[1 - (R_\lambda - R_0)]^2}{2(R_\lambda - R_0)} \cdot \frac{[1 - (R_s - R_0)]^2}{2(R_s - R_0)}$$

其中: R_λ = 染品于波长 λ 时的反射率。

R_s = 未染色前织物于波长 λ 时的反射率。

R_0 = 小数值常数 (见下表)

染 品 系 统	R _o 值
活性染料, 还原染料染棉	0.010
分散染料染涤纶	0.005
酸性染料染尼龙	0.005
阳离子染料染晴纶	0.005

此公式系把 *Kubelka-Munk* 公式和 *Garland* 公式⑧二者的优点结合起来的最新提出的色深公式, 看来颇有实用价值。

三、各个色深公式的发展, 国外文献中对它们的评价

颜色表面的色深一般有几层含义:

1、在色度学中颜料深度指它与白色对比的绝对深浅数值。一般在 *Munsell* 系统中用 *L* 值表示, 也可用三刺激值中的 *Y* 值表示。

2、在染、颜料制造应用部门多从染、颜料本身的着色能力来估计其绝对强度, 例如, 为了达到规定深度的颜色, 需用多少克分子浓度的染、颜料。这是工业部门对染、颜料色深的概念。

3、颜色的相对深度是指用一标准颜色深度为基础来区别颜色与基准颜色之间的深浅差别。从而比较出染、颜料的相对着色强度。在染料行业中普遍使用的打样评分的办法就是如此。即以标准染料按 100 分计算, 如另一等重的试样染料染色后色深比标准品高一倍, 则试样染料的相对强度为 200 分, 也就是说, 试样染料的“卖钱价值”为标准染料的一倍。

从光学角度看, 颜色表面的深浅主要是看它在规定的照明条件下对射入光线的反射能力。可以用分光光度计在可见范围内测出其反射率值。所以这种颜色深度概念比较明确。但是一旦用人眼看颜色表面, 其深度的感觉就要复杂得多了。它除了涉及观察颜色的客观环境外还与入眼感受颜色的神经结构、人的当时心理状态等等有关。也就是说, 人眼对色深感觉既取决于颜色对照明光线的反射能力的特征、而且还受与人眼有关的各种客观因素的影响。例如在人眼看来是深度相等的一块黄色和一块兰色表面, 但用分光光度计测算时, 其色度学的表达深度的结果却是黄色 $Y = 54$, 兰色 $Y = 6$ 。可见人眼感觉颜色深度时是受到该颜色的色相及艳度的明显影响, 是光学、生理学和心理学综合效果。这是在颜色光学中的一个值得探讨的课题。

在染、颜料行业中如何准确测定颜色表面的深度是很重要的。深度测定的用途有三方面:

1、为了评定各种颜色的染、颜料的各项坚牢度, 要求受测的不同颜色表面深度相等, 牢度结果才有可比性。因此需要一套通用的人眼看来是等深的“标准深度”色样做为参照依据。

2、为了评比染、颜料的应用性能(如上色效果提升率等), 需要有个能表达人眼感觉的深度值。

3、估计染、颜料的经济价值，除要求它应有优良色泽和良好应用性能外，同时也要求它能对人眼产生深色效果。

人眼评比颜色表面的深度，特别是在不同色相颜色之间进行对比是比较困难和费时间的。对比时往往容易因受到主观因素影响。而且其结果有时因人而异。所以很需要采用科学的色深测算方法客观地表达人眼感觉的深度。从50年代开始就有色深经验公式出现。这些公式企图采用仪器测算出人眼对色深感觉的数值。对染、颜料行业来说，这种色深公式应具有以下的条件才能普遍使用：

- 1、公式力求简单易算，测算快速。
- 2、公式测算结果与现行“标准深度”色样的深度基本一致。
- 3、公式测算结果要准确，以消除人眼的主观因素所造成的误差。

5、公式测算结果与人眼目测结果一致。尽管色深公式不相同，它们之间都是采用40年来纺织行业惯用的18个染料染成ISO标准深度色样^{[12][13]}做计算基础的。纺织行业用标准深度与各主要色深公式的平均色深值的关系示于下表：

色 深 公 式 名 称			色深单位	标 准 深 度								
				2/1	1/1	1/2	1/3	1/6	1/9	1/12	1/25	1/200
Rabe-Koch			$\theta =$	—	7.50	—	6.00	5.03	—	4.10	3.30	—
Gall			B = K = (常数)	—	0 19	—	0 29	—	0 41	—	0 56	0 73
Kubelka-Munk			K/S	28.42	15.68	—	5.70	2.91	—	1.486	1.286	—
Tayler 规则[1]			R* _m (%)	1.7	3.0	—	7.5	13.0	—	21.0	28.0	—
Integ 系 统	染	活性染料还原染料染棉	Integ值	56	28	14	—	—	—	—	—	—
	品	分散染料染涤纶		48	24	12	—	—	—	—	—	—
	系	酸性染料染尼龙		48	24	12	—	—	—	—	—	—
	统	阳离子染料染晴纶		48	24	12	—	—	—	—	—	—

* R_M为在最低反射率波长下的反射率数值

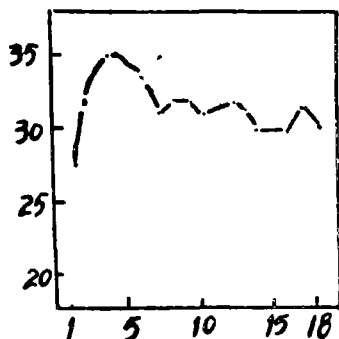
在染、颜料行业中对供测试坚牢度用的“标准深度”色样的深度测算只要求有粗略一致的结果就可以满足要求，所以一般色深公式均能使用。但是不同色相的染、颜料的色深度直接涉及到它们的“卖钱价值”。要求色深准确度很高。到目前为止，现有的色深公式均未能彻底解决这个问题。此外现有的色深公式均不能用于极深色（R值低于5%）及带萤光色样的色深测算。

色深公式的发展过程：

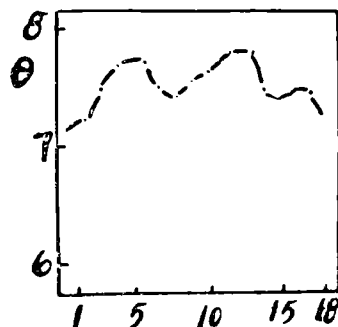
从20年代开始染料行业需要一套鉴定染料各项坚牢度用的“标准深度”色样。当时在德国和瑞士的染料厂选出18个不同颜色的毛用染料，用人眼评比的办法制成了一套对人眼是等

深的“标准深度”色样。多年来一直被染料行业广泛使用。这就是ECE(欧洲年度委员会)颁发的“标准深度”色样。此色样在近年又先后被ISC(国际标准化组织)和AATCC(美国纺织化学,染色者协会)二个重要组织承认。现在已经发展成一套比较完整的色样,它共有六个系列。每系列各有12-18个不同颜色的色样。深浅水平包括有五挡。(2/1, 1/1, 1/1, 1/3, 1/12, 1/25),1968年Gall氏用他的色深公式为依据制订出一套颜料行业用的“标准深度”已被西德标准DIN53235采用。它的色样包括1/1, 1/3, 1/9, 1/25, 1/200五挡深度,其中1/1, 1/3二挡深度与ISO染料用“标准深度”的1/1, 1/3二挡深度接近。

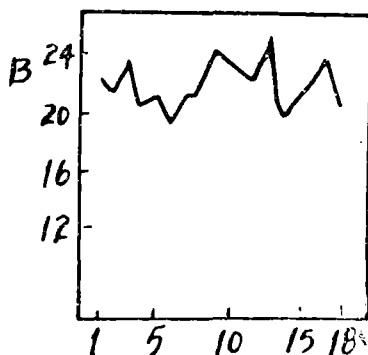
50年代初期随着分光光度计及电子计算机的发展,陆续在上述18个染料的“标准深度”色样基础上发展了一些色深公式,并企图利用仪器测算色深值以补充人眼评比的不足,对公式计算的结果要求能尽量与人眼感觉一致。1950年Godlove提出一个以Munsel体系为基础的色深公式〔2〕,1957年Rabe和Kock氏提出了 θ 公式〔3〕,〔14〕。这些公式均未被广泛采用,1968年Gall氏提出了B公式〔4〕〔9〕,此公式被应用于颜料行业,制订出第一套油漆用“标准深度”色样。最近于1980年英国I.C.I公司的Derbyshire等人又发展了Integ色深公式得到颇好的效果〔7〕。著名的Kubelka-Munk公式是最早的色深公式〔5〕。为了提高此公式对色深的灵敏度还出现了一些改进的公式〔6〕。由于这些公式单纯以最低反射率为测算基础,忽略了颜色的色相,艳度对人眼的色深感觉,所以这些公式应用范围比较窄,不适用于不同色相颜色之间的深度测定。



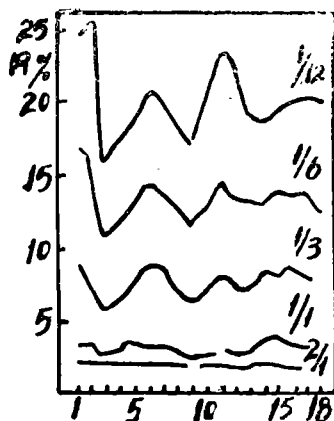
18个ISO1/1标准深度色样的
Godlove公式色深A值关系图。



18个ISO1/1标准深度色样的
Rabe-Koch公式色深值



18个ISO1/1标准深度色样的Gall
公式色深B值关系图



Taylor规则: 18个ISO标准深度色样在
不同深度挡时的最低反射率R值。

Brokes氏(18)和Kuehni氏(1)对上还各个色深公式(Integ公式除外)的优缺点做了较全面的评论。综述如下:

用人眼看来是等深的“标准深度”色样核验这些色深公式。其效果可参看以上四张图。

以上四图表明Godlove公式、Rabe-Koch公式、Gall公式和简单的Taylor规则测算结果均与ISO标准深度不太一致。其中Godlove公式的结果特别差。曾在四年期间结合牢度鉴定用人眼对大量色样进行色深评比,并同时以各色深公式测算其相应的深度值。从比较所得结果看来,具有实用价值的是 θ 公式和B公式。这二个公式测算结果与目测结果在大多数场合下是基本相符合的。但也有不一致之处,例如,在整个色谱范围内看,同一颜色的深度 θ 公式算出的结果比B公式的要浅一些。二个公式算得的结果均与人眼感觉有误差。青年人眼睛的深浅度感觉比 θ 公式结果要浅一些,而老年人眼睛的深浅度感觉则介于 θ 公式和B公式算出深度之间。

总之,由于文献发表的可用以与人眼感觉相对比的各色深公式的可靠数据不足,而且各公式各有优缺点,所以很难确定那个色深公式较好。Brokes氏认为 θ 公式略为好一些。但此公式计算太费时间不宜于日常测算,是其弱点。

、各个色深公式的优缺点比较:

(1) K/S公式(Kubelka-munk公式)

优点:

- 1、计算简便
- 2、对同一颜色或色泽相差微小的颜色深度测定较为合宜。

缺点:

- 1、在深色范围(染色强度深于2%时)不能用。
- 2、二个颜色表面色泽有明显差别时不能用。色泽差别越大,算出结果越不可靠。更不能用于不同颜色之间的深度对比。

(2) Taylor规则:

优点:

- 1、不需计算。
- 2、特别适用于条件较差的试验室,可快速求出颜色的各挡标准深度。

缺点:

- 1、与其他色深公式比较,此规则对特艳色的色深值往往偏低。
- 2、不能对不同艳度的色样和条件等色(Metameric Pairs)色样做出深度对比。

(3) Godlove公式:

此公式由于与ISO等深“标准深度”色样核验结果出入较大,在不同色区测算结果不稳定等缺点,现在此公式很少被采用。

(4) θ 公式(Rabe-Koch公式)

优点:

- 1、系用DEK(德国牢度委员会)1/1标准深度色样为基础发展而成的经验色深公式。已被采用多年。西德标准DIN6164采用此公式订成一套标准深度色卡。
- 2、根据目测比较, θ 公式结果优于Godlove公式。

缺点:

- 1、 θ 公式中计算其中的 S 值、 D 值均要一一查图查表,很费时间。不便于大量日常测算。
- 2、 θ 公式对色相较艳的颜色较适用,但对艳度差的颜色测算结果不够理想。
- 3、在黄色、橙色的浅色范围($1/3$, $1/6$, $1/12$, $1/25$)由于公式中色相因素偏高,致使测算深值结果偏低与目测结果出入较大。

(5) B -公式($Gall$ 公式)

优点:

1、此公式是以大量染色专家目测比色的结果为依据发展而成的经验色深公式。用此公式测算色深值基本与人眼感觉接近。现已被西德标准 $DIN 53235$ 采用建立成一套染料行业用“标准深度”色卡。

2、此公式可用一般电子计算机编制程序,迅速算出可靠色深结果。在染、颜料行业已有广泛使用的实效。

3、 B 值上下为2—3范围内,如深度值相差为 $B=1$ 时就相当于人眼感觉10%的强度差别。这对评比染料或颜料强度比较方便。

缺点:

1、 B 公式中在各挡标准深度上的 $a(\phi)$ 函数,特别在 $1/1$ 标准深度处,不够系统化。所以此公式 $a(\phi)$ 函数是否完全适用于各个色谱区,值得进一步探讨。

2、 B 公式在 $1/3$ 挡时对艳色比较可靠,而在其他色谱中准确程度略为差一些。

3、以 ECE “标准深度”色样验此公式,结果不尽相符,比如, B 公式在标准深度处 B 值应等于0,但 ECE 的“标准深度”色样法测出的 B 值有加入测算出的 B 值波动范围在+4到-3之间。

(6) $Integ$ 公式

此公式是80年提出。故目前其优缺点尚无定论。据 ICI 公司介绍有以下优点:

1、此公式对色泽差别较大的颜色之间的色深测算比目测准确。此公式采用仪器定反射率。结合 K/S 公式的原理进行从400-700 mu 之间强度积分计算其深度,所以结果均能与目测评分结果相符。

2、此公式可用电算机编程序迅速算出结果,故此公式具有实际使用价值。

3、此公式适用于日常测算不同颜色的标准深度数值。

4、对此公式的适用的深度范围比其他色深公式要宽得多。在消色系统中,此公式可测准到深达 $2/1$ 的深度,最浅的低限也可在艳黄色区测准到 $1/1$ 中色。在其他各区可测准范围则在 $2/1$ 到 $1/1$ 之间。

四、试验方法及计算

从1978年开始沈阳化工研究院测色研究小组开展了对色深测试工作。在 B 公式、 θ 公式和 K/S 公式应用于染料性能、强度及标准深度等方面取得了一些初步效果。〔9〕〔10〕

本报告对几种主要的色深公式进行了对比。了解用这些公式作为染料质量控制的手段的效果并进行了初步评价。目的是想通过试验比较寻求一、二个比较适用的色深公式为染料科研发展服务。

我们采用了黑、红兰等五个匀染性较好的分散染料在纯涤纶织物上染色，所用染料有：
分散黄RGFL（部标）

分散红 3 B（Bayer, Resolin Red FS）

分散兰 2 BLN（部标）

染色条件：在130℃染60分钟后还原清洗，将浮色除去以得匀染的染品。每个染料从浅到深染出一套不同色深的染品作为测算样品。

对每套染品用丙酮法测定染上织物的染料含量，求得纯染料在聚酯中的浓度。再把这五套不同深浅的染品用人眼评定其深浅差别。做法是用牢度褪色灰色评级卡将各块相邻染品用眼睛评级。根据下表（11）将人眼感到的深度差累加折算成以CIELAB色差单位为基础的深度值

牢度褪色灰色评级卡的 CIELAB 色差值（11）

评 级 级 别	CIELAB色差值
5	0.0±0.2
4—5	0.8±0.2
4	1.7±0.3
3—4	2.5±0.35
3	3.4±0.4
2—3	4.8±0.5
2	6.8±0.6
1—2	9.6±0.7
1	13.6±1.0

我们在上述五套黄、红、兰染品上以测得的各染品上染的纯染料含量及能代表人眼感觉的灰卡折算的CIELAB色差数值作为参比基础来了解比较各色深公式的优缺点。

我们采用岛津分光光度计RC330对各个染品均分别测出其相应R值、X、Y、Z值。计算时我们采用FORTRAN IV语言编制成功一套程序，用Interdata 3/16型电子计算机计算出各个染品的各种公式的色深值。

已编制成功的计算程序为：

B值程序

Integ值程序

K/S值程序

Pineo公式程序

Saunderson公式程序

Fink-Jensen公式程序

Aspland公式程序

通过分光光度计测定和电子计算机计算，我们求得了黄、红、兰五套不同深浅的染品相
应的B 值、Q 值， $\frac{K}{S}$ 值（包括Pineo, Saunderson, Fink-Jensen, Aspland等人的 $\frac{K}{S}$

修正公式计算的色深值), 及 $Integ$ 值, 然后将不同色深公式算得色深值绘成与染品上染料含量及与人眼实际感觉有关的灰卡折得 $CIELAB$ 色差值的关系曲线。从曲线位置、形状判断各色深公式的适用效果。适用性好的色深公式其色深值与染品中染料含量关系曲线应有以下特点:

1. 曲线趋向接近眼感觉(我们粗略采用“灰卡法”的数值表示人眼感觉)。
2. 曲线应具有良好线性关系
3. 曲线应具有理想的斜度、即色深值对实际微小色深化应具有足够的灵敏度。

色深值计算

现用以下几个算例说明:

(1) θ 值算例:

公式:

$$\theta = \frac{10 - 1.2D}{9} \cdot S + 1.06D \dots\dots ①$$

$$D = 10 - 6.1723 \log \left(40.7 \frac{Y}{Y_0} + 1 \right) \dots\dots ②$$

Fast Light Yellow 3G 染品

$X = 58.0$ $Y = 63.6$ $Z = 9.5$ $x = 0.443$

$y = 0.485$

S 值求取:

从 $DIN6164$ 图1中, $x = 0.443$ $y = 0.485$ 查得

$S = 6.3$

Y_0 值求取:

从图2(15)(16) $x = 0.443$ $y = 0.485$ 查得

$Y_0 = 33$

$$\text{代入式② } D = 10 - 6.1723 \log \left(40.7 \cdot \frac{63.6}{88} + 1 \right) = 0.34$$

$$\text{代入式① } \theta = \frac{10 - 1.2 \times 0.84}{9} \times 6.3 + 1.06 \times 0.34 = 7.2$$

(2) B 值算例⑨

Alizarine Cyanine Green G_{WA} 染品

$Y = 6.71$, $x = 0.2122$, $y = 0.3017$

$$tg\phi = \frac{y - y_0}{x - x_0} = \frac{0.3017 - 0.3162}{0.2122 - 0.3100} = 0.148$$

$$\because x - x_0 < 0$$

$$\text{应有 } \phi = 180^\circ + \text{arc } tg \frac{y - y_0}{x - x_0} = 180 + \text{arc } tg 0.148$$

$$= 188.43^\circ$$

从表中[9]查得 $\phi^\circ = 88^\circ$

因而

$$a(\phi^{\circ}) = 3.885 \quad K_1 = -1.40472 \quad K_2 = 0.860046$$

$$K_3 = -0.547974$$

$$W = \frac{\phi - \phi^{\circ}}{100} = \frac{188.43 - 88}{100} = 1.0043$$

代入多项式

$$\begin{aligned} a(\phi) 1/1 &= a(\phi^{\circ}) + K_1 W + K_2 W^2 + K_3 W^3 \\ &= 3.885 - 1.40472 \times 1.0043 + 0.860046 \times \\ &\quad 1.0043^2 - 0.547974 \times 1.0043^3 \\ &= 2.787 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= 10 \left[(x - x^{\circ})^2 + (y - y^{\circ})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= \sqrt{(0.2122 - 0.3100)^2 + (0.3017 - 0.3162)^2} \\ &= 0.9887 \end{aligned}$$

$$B1/1 = K1/1 + S \cdot a(\phi) 1/1 \sqrt{Y} - 10 \sqrt{Y}$$

$$B1/1 = 19 + 0.9887 \times 2.787 \times \sqrt{6.71} - 10 \sqrt{6.71} = 0.234$$

(3) Integ值算例:

$$Integ = \sum_{400}^{700} F(\lambda) \cdot S(\lambda) (\bar{X}\lambda + \bar{Y}\lambda + \bar{Z}\lambda)$$

$$\text{其中: 函数 } F(\lambda) = \frac{(1 - (R - R_0))^2}{2(R - R_0)} - \frac{(1 - (R_s - R_0))^2}{2(R_s - R_0)}$$

R —— 样品反射值

R_s —— 白织物反射值

R_0 —— 常数, 分散染料染涤棉, 此例取

$$R_0 = 0.005$$

$S(\lambda) \bar{X}\lambda, S(\lambda) \bar{Y}\lambda, S(\lambda) \bar{Z}\lambda$ —— 常数, 查表可得
光源三刺激加权值。

算例: 2%分散兰R (Palanil Blue R) 染纯涤织物

波 长 (nm)	$S(\lambda) (\bar{X}\lambda + \bar{Y}\lambda + \bar{Z}\lambda)$	R_s	R	$F(\lambda)$	$F(\lambda) S(\lambda) (\bar{X}\lambda + \bar{Y}\lambda + \bar{Z}\lambda)$
700	0.0021	0.904	0.4241	0.400	0.001
690	0.0023	0.902	0.3014	0.781	0.002
680	0.0050	0.901	0.1945	1.724	0.009
670	0.0097	0.901	0.1081	3.892	0.038
660	0.0187	0.901	0.0640	7.495	0.140
650	0.0324	0.900	0.0477	10.722	0.347
640	0.0514	0.900	0.0434	12.031	0.618

续 表

波 长 (m/ μ)	$S_{(\lambda)} (\bar{X}_{\lambda} + \bar{Y}_{\lambda} + \bar{Z}_{\lambda})$	R	R	$F_{(\lambda)}$	$F_{(\lambda)} S_{(\lambda)} (\bar{X}_{\lambda} + \bar{Y}_{\lambda} + \bar{Z}_{\lambda})$
630	0.075	0.900	0.0427	12.237	0.920
620	0.0132	0.899	0.0439	11.864	1.214
610	0.1250	0.897	0.0452	11.449	1.431
600	0.1127	0.896	0.0446	11.636	1.616
590	0.1562	0.895	0.0440	11.831	1.848
580	0.1643	0.892	0.0459	11.237	1.846
570	0.1649	0.892	0.0509	9.907	1.634
560	0.1576	0.892	0.0577	8.505	1.340
550	0.142	0.892	0.0643	7.452	1.058
540	0.1213	0.890	0.0732	6.357	0.771
530	0.09845	0.890	0.0876	5.086	0.501
520	0.0775	0.889	0.1078	3.906	0.303
510	0.06442	0.890	0.1284	3.105	0.200
500	0.06317	0.890	0.1523	2.459	0.155
490	0.07995	0.890	0.1796	1.942	0.155
480	0.12191	0.891	0.2024	1.623	0.198
470	0.18302	0.891	0.2182	1.443	0.264
460	0.23355	0.890	0.2356	1.275	0.298
450	0.24996	0.888	0.2549	1.117	0.279
440	0.24175	0.885	0.2685	1.020	0.247
430	0.17747	0.880	0.2834	0.926	0.164
420	0.07224	0.870	0.2956	0.857	0.0619
410	0.01908	0.850	0.3022	0.822	0.016
400	0.00623	0.825	0.3033	0.816	0.005

此项求和为：17.724

(亦可用FORTRAN语言编成程序用计算机计算)

得：Integ值 = 17.724

说明：

我们已将上述公式 (除 θ 公式外) 全部编成FORTRAN语言程序，利用电子计算机进行计算，只要输入测得的样品反射值数据，便立刻打印出需要各项结果。

例如:

NUMB=14

0.03250. 03300. 03330. 03350. 03410. 03500. 03650. 03860. 04130. 04540.

05170. 06160. 07680. 10000. 13430. 1822

0. 24500. 32150. 40660. 49040. 50680. 61170. 64640. 67180. 69210. 69720.

70010. 70090. 69950. 69680. 7180

RMIN, 0. 0325 OVERS=, 14. 401 PINEO= -108. 003 SDS= -48. 329

FJ= -207. 339 CS= -112. 113

AINTEG=14. 15

X=37. 528 Y=27. 971 Z=4. 478

B=1. 311 K=1

NUMB: 样品编号; 0. 03250等数字为输入反射值数据; RMIN: 最低反射值;

OVERS: Kubelka-Munk公式计算结果; PINEO: PINEO公式计算结果;

SDS: Sanderson公式计算结果; FJ: Fink-Jensen公式计算结果; CS: Aspland

公式计算结果; AINTEG: Integ公式计算结果; X、Y、Z: 三刺激值; B: B公式计算结果(K为B值深度分挡指示)。

五、试验数据图表

分散黄 RGFL

| | 织物上纯染料浓度(%) | 目 测 * | B | K/S | θ | Integ |
|----|-------------|-------|--------------------|-------|----------|-------|
| 1 | 0.025 | | $B_{1/25} = 3.32$ | 1.62 | 3°97 | 0.91 |
| 2 | 0.0325 | 3.4 | $B_{1/25} = 8.04$ | 2.13 | 4.29 | 1.21 |
| 3 | 0.040 | 5.1 | $B_{1/9} = -2.96$ | 2.55 | 4.71 | 1.48 |
| 4 | 0.075 | 11.9 | $B_{1/9} = 0.36$ | 4.39 | 5.25 | 2.70 |
| 5 | 0.180 | 18.7 | $B_{1/3} = -2.12$ | 8.20 | 6.10 | 5.78 |
| 6 | 0.275 | 23.2 | $B_{1/1} = -5.67$ | 10.57 | 6.52 | 8.61 |
| 7 | 0.365 | 25.5 | $B_{1/1} = -4.03$ | 11.65 | 6.59 | 10.39 |
| 8 | 0.455 | 27.7 | $B_{1/1} = -2.94$ | 12.39 | 6.75 | 12.01 |
| 9 | 0.570 | 30.2 | $B_{1/1} = -1.98$ | 12.95 | 6.91 | 13.72 |
| 10 | 0.690 | 33.6 | $B_{1/1} = -1.12$ | 13.59 | 6.97 | 15.61 |
| 11 | 0.810 | 37.0 | $B_{1/1} = -0.38$ | 13.99 | 7.00 | 17.66 |
| 12 | 0.955 | 39.5 | $B_{1/1} = -0.002$ | 13.99 | 7.11 | 18.89 |
| 13 | 1.220 | 42.0 | $B_{1/1} = -0.46$ | 13.81 | 7.04 | 20.63 |
| 14 | 1.515 | 46.8 | $B_{1/1} = 1.31$ | 14.40 | 7.16 | 23.96 |

• 见“试验方法及计算”一节中的说明。

| Resolin Red FB | | | | | | |
|------------------|-------------|-------|--------------------|-------|----------|-------|
| 项
目
编
号 | 织物上纯染料浓度(%) | 目 测 * | B | K/S | θ | Integ |
| 1 | 0.02 | | $B_{1/25} = -8.60$ | 0.40 | 2.39 | 0.55 |
| 2 | 0.025 | 4.8 | $B_{1/25} = -3.47$ | 0.57 | 2.88 | 0.77 |
| 3 | 0.025 | 8.2 | $B_{1/25} = -0.55$ | 0.70 | 3.30 | 0.94 |
| 4 | 0.055 | 14.0 | $B_{1/9} = -8.53$ | 1.16 | 3.99 | 1.54 |
| 5 | 0.125 | 20.8 | $B_{1/9} = 2.91$ | 2.44 | 4.97 | 3.45 |
| 6 | 0.205 | 25.6 | $B_{1/9} = 7.64$ | 3.31 | 5.50 | 4.87 |
| 7 | 0.25 | 28.1 | $B_{1/3} = -4.80$ | 3.89 | 5.84 | 5.86 |
| 8 | 0.32 | 30.6 | $B_{1/3} = -2.52$ | 4.57 | 6.15 | 7.08 |
| 9 | 0.425 | 33.1 | $B_{1/3} = -0.76$ | 5.15 | 6.34 | 8.22 |
| 10 | 0.50 | 35.6 | $B_{1/3} = 1.14$ | 5.88 | 6.54 | 9.74 |
| 11 | 0.525 | 37.7 | $B_{1/3} = 2.68$ | 6.64 | 6.75 | 11.34 |
| 12 | 0.64 | 40.2 | $B_{1/3} = 4.48$ | 7.46 | 6.96 | 13.44 |
| 13 | 0.77 | 43.6 | $B_{1/1} = -4.75$ | 8.53 | 7.14 | 16.26 |
| 14 | 1.19 | 46.1 | $B_{1/1} = -2.30$ | 10.23 | 7.42 | 20.97 |

| 分散兰 2BLN | | | | | | |
|------------------|-------------|-------|--------------------|-------|----------|-------|
| 项
目
编
号 | 织物上纯染料浓度(%) | 目 测 * | B | K/S | θ | Integ |
| 1 | 0.025 | | $B_{1/25} = -2.83$ | 0.64 | 2.97 | 0.89 |
| 2 | 0.030 | 6.8 | $B_{1/25} = 2.37$ | 1.09 | 3.48 | 1.23 |
| 3 | 0.040 | 9.3 | $B_{1/25} = -4.66$ | 1.09 | 4.24 | 1.47 |
| 4 | 0.070 | 16.1 | $B_{1/9} = -1.64$ | 2.03 | 4.49 | 2.76 |
| 5 | 0.155 | 25.7 | $B_{1/3} = -3.06$ | 4.45 | 5.63 | 6.11 |
| 6 | 0.245 | 30.5 | $B_{1/3} = 1.42$ | 6.43 | 6.23 | 9.23 |
| 7 | 0.300 | 33.9 | $B_{1/1} = -5.14$ | 7.72 | 6.52 | 11.41 |
| 8 | 0.395 | 37.3 | $B_{1/1} = -3.11$ | 9.15 | 6.70 | 14.19 |
| 9 | 0.495 | 39.8 | $B_{1/1} = -1.61$ | 10.28 | 6.86 | 16.76 |
| 10 | 0.620 | 42.3 | $B_{1/1} = -0.41$ | 11.55 | 6.94 | 19.53 |
| 11 | 0.740 | 44.8 | $B_{1/1} = 0.87$ | 13.02 | 7.05 | 23.05 |
| 12 | 0.860 | 48.2 | $B_{1/1} = 1.28$ | 13.72 | 7.11 | 24.46 |
| 13 | 1.100 | 51.6 | $B_{1/1} = 2.18$ | 14.59 | 7.26 | 27.71 |
| 14 | 1.360 | 55.0 | $B_{1/1} = 3.10$ | 15.79 | 7.31 | 32.06 |

Dispersol Scarlet B

| 项 目
编 号 | 织物上纯染料浓度(%) | 目 测 | B | K/S | θ | Integ |
|------------|-------------|------|--------------------|-------|----------|-------|
| 1 | 0.025 | | $B_{1/25} = -0.59$ | 0.79 | 3.46 | 1.39 |
| 2 | 0.035 | 4.8 | $B_{1/25} = 3.46$ | 1.15 | 3.52 | 1.80 |
| 3 | 0.05 | 7.3 | $B_{1/9} = -8.22$ | 1.39 | 3.74 | 2.17 |
| 4 | 0.085 | 14.1 | $B_{1/9} = 0.866$ | 2.48 | 4.53 | 3.92 |
| 5 | 0.21 | 20.9 | $B_{1/3} = -2.86$ | 5.12 | 4.88 | 8.27 |
| 6 | 0.32 | 25.7 | $B_{1/3} = 1.71$ | 7.43 | 6.33 | 12.22 |
| 7 | 0.395 | 28.2 | $B_{1/1} = -4.23$ | 8.75 | 6.65 | 15.16 |
| 8 | 0.6 | 31.6 | $B_{1/1} = -1.50$ | 10.95 | 7.06 | 19.63 |
| 9 | 0.79 | 34.1 | $B_{1/1} = 0.57$ | 12.91 | 7.31 | 24.69 |
| 10 | 0.94 | 35.8 | $B_{1/1} = 1.72$ | 14.12 | 7.44 | 28.53 |
| 11 | 1.14 | 37.5 | $B_{1/1} = 1.77$ | 14.94 | 7.56 | 29.99 |
| 12 | 1.51 | 39.2 | $B_{1/1} = 3.51$ | 15.68 | 7.75 | 35.27 |
| 13 | 1.84 | 47.1 | $B_{1/1} = 3.91$ | 15.63 | 7.89 | 37.16 |
| 14 | 2.56 | 45.1 | $B_{1/1} = 4.69$ | 16.50 | 8.05 | 42.06 |

FORON Brill Violet ZRFL

| 项 目
编 号 | 织物上纯染料浓度(%) | 目 测 | B | K/S | θ | Integ |
|------------|-------------|------|---------------------|-------|----------|-------|
| 1 | 0.03 | | $B_{1/25} = -4.006$ | 0.52 | 2.65 | 0.76 |
| 2 | 0.065 | 3.4 | $B_{1/25} = 2.100$ | 0.76 | 3.37 | 1.13 |
| 3 | 0.095 | 4.2 | $B_{1/25} = 0.015$ | 0.71 | 3.51 | 1.00 |
| 4 | 0.13 | 11.0 | $B_{1/9} = -5.62$ | 1.38 | 4.06 | 2.12 |
| 5 | 0.41 | 20.6 | $B_{1/9} = 6.83$ | 3.27 | 5.35 | 5.21 |
| 6 | 0.555 | 24.0 | $B_{1/9} = -4.33$ | 4.37 | 5.81 | 7.07 |
| 7 | 0.72 | 26.5 | $B_{1/1} = -4.42$ | 5.11 | 6.00 | 8.37 |
| 8 | 1.175 | 31.3 | $B_{1/1} = 0.29$ | 7.88 | 6.73 | 13.58 |
| 9 | 1.57 | 33.8 | $B_{1/1} = 1.89$ | 9.29 | 6.92 | 16.44 |
| 10 | 2.03 | 36.3 | $B_{1/1} = 3.47$ | 10.95 | 7.20 | 20.62 |
| 11 | 2.42 | 38.0 | $B_{1/1} = 4.14$ | 11.84 | 7.21 | 22.86 |
| 12 | 2.95 | 40.5 | $B_{1/1} = 4.93$ | 12.95 | 7.35 | 26.68 |
| 13 | 4.06 | 43.0 | $B_{1/1} = 5.43$ | 13.99 | 7.44 | 30.83 |
| 14 | 5.24 | 45.5 | $B_{1/1} = 5.86$ | 14.59 | 7.49 | 34.83 |

Resolin Red FB

| 公式名
编号 | KubelkaMunk | Pineo | Saunderson | FinkJensen | Aspland |
|-----------|-------------|--------|------------|------------|---------|
| 1 | 0.402 | 0.458 | 0.136 | 0.846 | 0.499 |
| 2 | 0.574 | 0.664 | 0.209 | 1.235 | 0.716 |
| 3 | 0.701 | 0.821 | 0.266 | 1.532 | 0.880 |
| 4 | 1.159 | 1.418 | 0.497 | 2.665 | 1.502 |
| 5 | 2.435 | 3.365 | 1.308 | 6.386 | 3.528 |
| 6 | 3.311 | 5.061 | 2.021 | 9.548 | 5.244 |
| 7 | 3.892 | 6.297 | 2.580 | 12.004 | 6.575 |
| 8 | 4.570 | 8.028 | 3.341 | 15.323 | 8.373 |
| 9 | 5.146 | 9.747 | 4.099 | 18.620 | 10.158 |
| 10 | 5.877 | 12.357 | 5.253 | 23.626 | 12.868 |
| 11 | 6.643 | 15.792 | 6.775 | 30.217 | 16.436 |
| 12 | 7.461 | 20.604 | 8.910 | 39.448 | 21.433 |
| 13 | 8.532 | 29.873 | 13.029 | 57.235 | 31.059 |
| 14 | 10.253 | 62.359 | 27.477 | 119.571 | 64.793 |

分散黄棕 RGFL

| 公式名
编号 | KubelkaMunk | Pineo | Saunderson | FinkJensen | Aspland |
|-----------|-------------|----------|------------|------------|----------|
| 1 | 1.623 | 2.072 | 0.763 | 3.914 | 2.184 |
| 2 | 2.127 | 2.851 | 1.089 | 5.403 | 2.994 |
| 3 | 2.547 | 3.560 | 1.391 | 6.759 | 37.31 |
| 4 | 4.394 | 7.551 | 3.131 | 14.409 | 7.878 |
| 5 | 8.202 | 26.523 | 11.540 | 50.807 | 27.580 |
| 6 | 10.569 | 75.432 | 33.293 | 144.655 | 78.368 |
| 7 | 11.646 | 184.194 | 81.684 | 353.358 | 191.309 |
| 8 | 12.388 | 1202.743 | 534.899 | 2307.853 | 1248.992 |
| 9 | 12.946 | — | — | — | — |
| 10 | 13.594 | — | — | — | — |
| 11 | 13.987 | — | — | — | — |
| 12 | 13.987 | — | — | — | — |
| 13 | 13.810 | — | — | — | — |
| 14 | 14.401 | — | — | — | — |

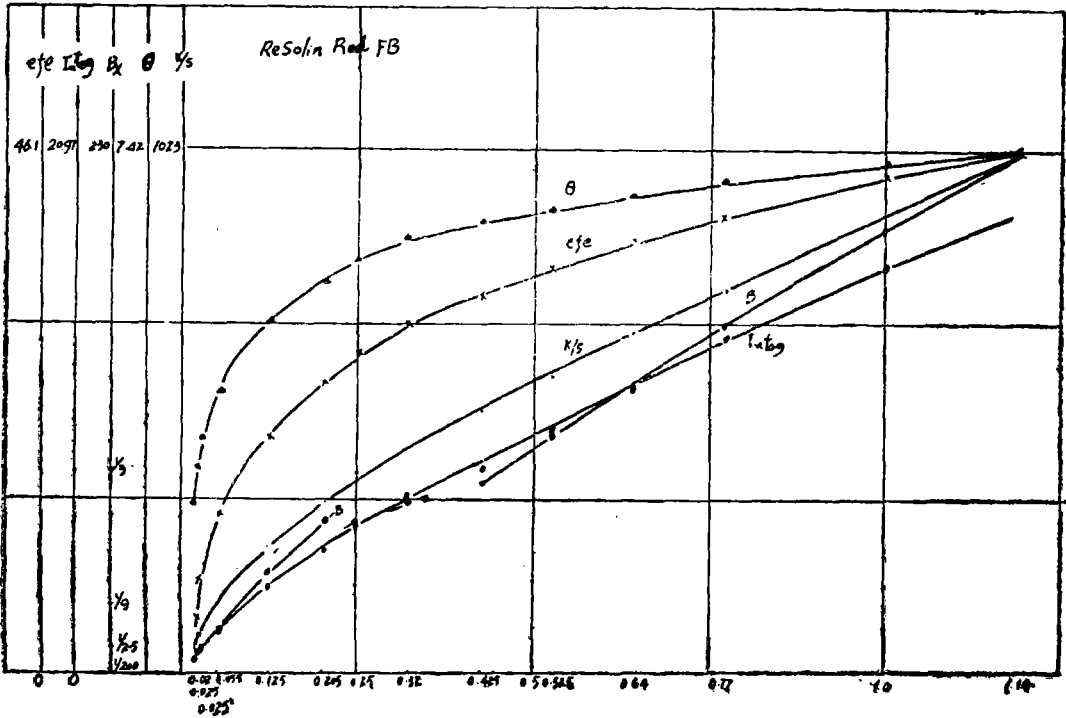


图 五

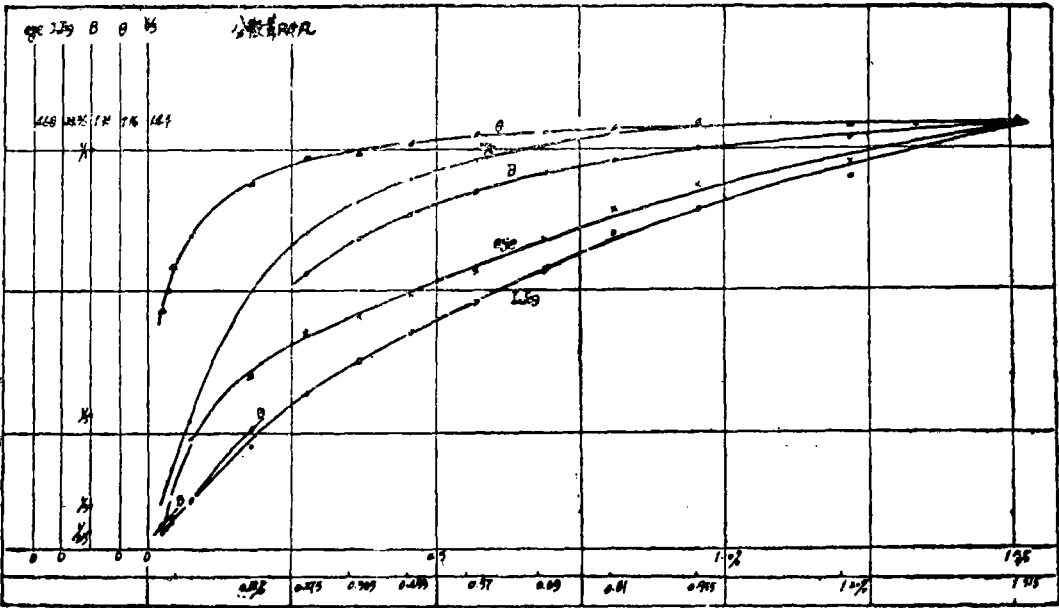


图 六

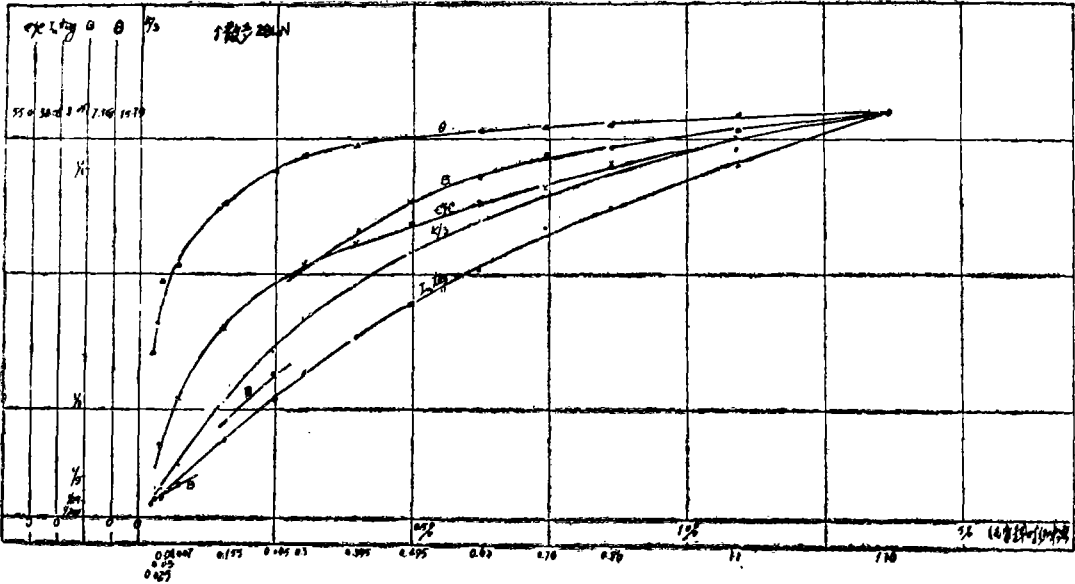


图 七

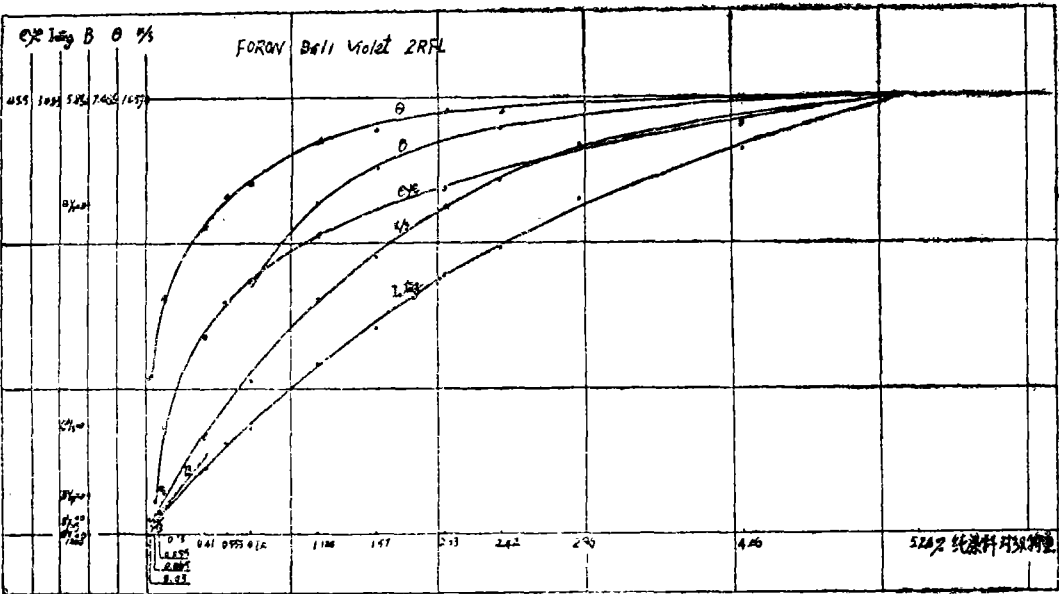


图 八

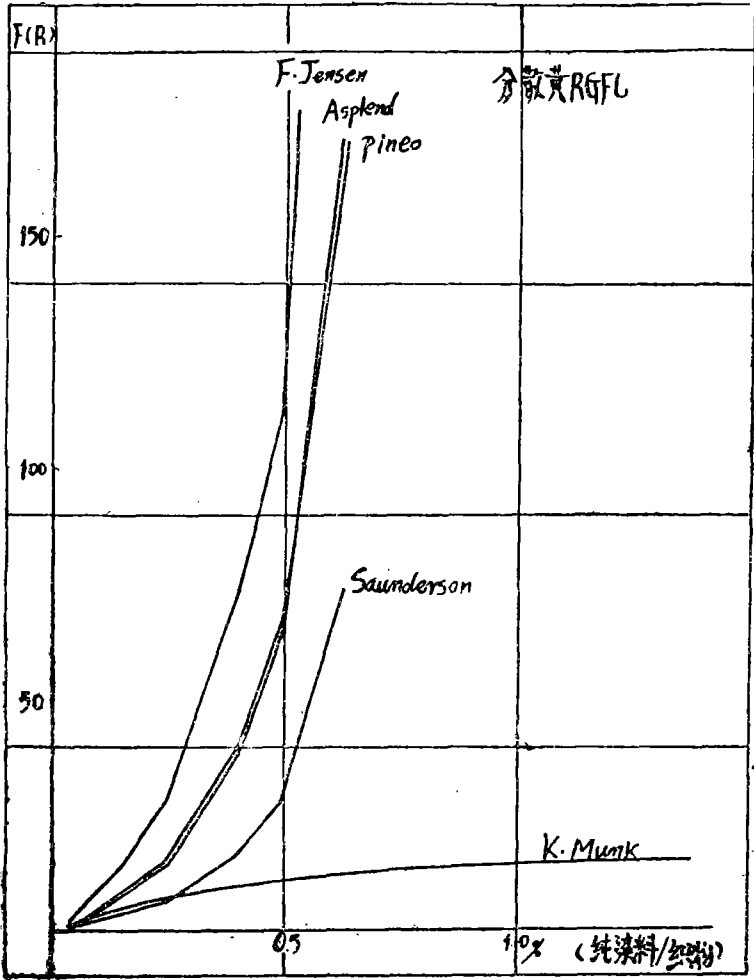


图 九

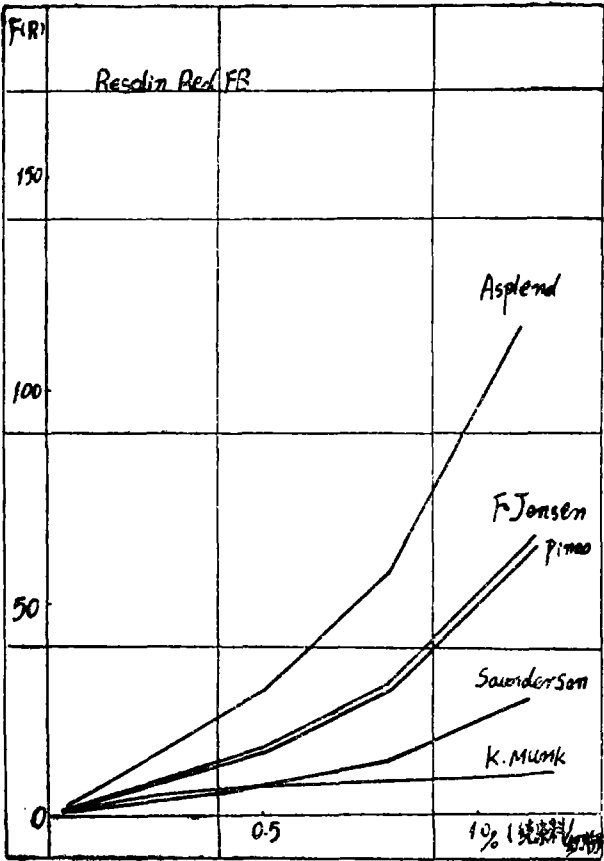


图 十

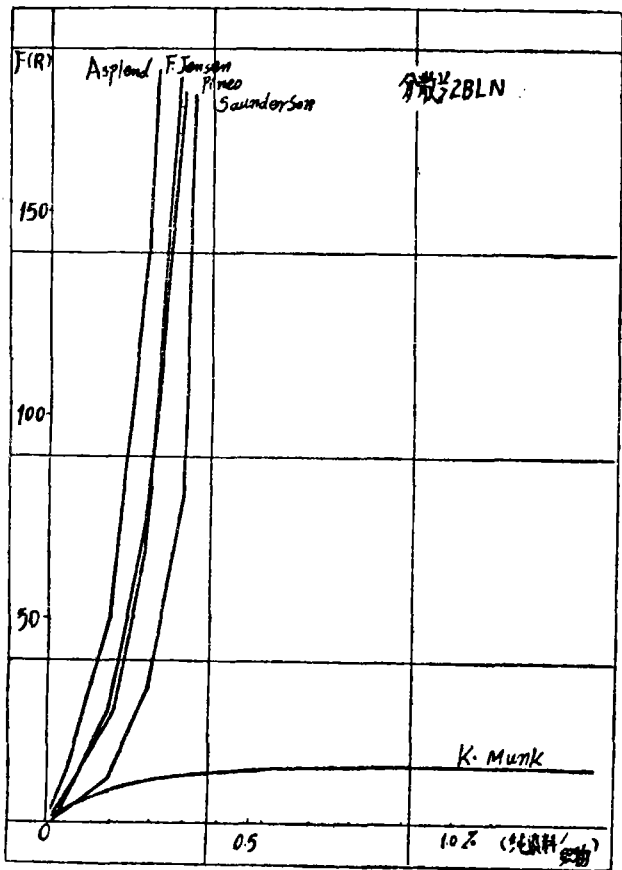


图 十一

试验数据处理采用一元线性回归的方法（17）。由于各公式的单位不一致，为便于计算将其坐标进行了变换，然后统一分段处理，分别得出各公式及目测在浅深两部分的回归方程 $y = a + bx$ 。在进行各公式评价时，主要参考斜率 b （即曲线的变化率）。

为验证回归方程有无意义，又做了相关系数 r 的计算，通过与相关系数检验表给出的起码值比较：

| $n-2$ | 5 % | 1 % |
|-------|-------|-------|
| 2 | 0.95 | 0.99 |
| 3 | 0.878 | 0.959 |
| 7 | 0.666 | 0.798 |

我们认为配出的回归线是有意义的。同时也进行了剩余标准离差 S 的计算，一并列入下列各表：

分 散 兰 2BLN

| 项 目 | (n=5) 浅 (1-5点) | | | | (n=9) 深 (6-14点) | | | |
|-----------|----------------|------|------|------|-----------------|------|------|-------|
| | a | b | r | s | a | b | r | s |
| eye (n=4) | 10 | 2.00 | 0.98 | 5.05 | 76.73 | 0.29 | 0.98 | 4.56 |
| B | - | - | - | - | 69.84 | 0.35 | 0.85 | 16.79 |
| K/S | 0.44 | 1.35 | 1.00 | 1.34 | 54.94 | 0.39 | 0.96 | 8.99 |
| θ | 62.35 | 1.80 | 0.93 | 8.96 | 129.28 | 0.09 | 0.92 | 3.08 |
| Integ | -0.23 | 0.93 | 1.00 | 0.35 | 28.68 | 0.47 | 0.99 | 6.24 |

分 散 黄 RGFL

| 项 目 | (n=5) 浅 (1-5点) | | | | (n=9) 深 (6-14) | | | |
|-----------|----------------|------|------|------|----------------|------|------|-------|
| | a | b | r | s | a | b | r | s |
| eye (n=4) | 5.36 | 1.58 | 0.96 | 7.49 | 62.50 | 0.31 | 0.99 | 0.65 |
| B | - | - | - | - | 97.10 | 0.20 | 0.92 | 7.25 |
| K/S | 8.78 | 2.17 | 1.00 | 3.13 | 114.94 | 0.14 | 0.85 | 7.60 |
| θ | 83.57 | 1.30 | 0.95 | 6.50 | 136.72 | 0.05 | 0.88 | 2.38 |
| Integ | 1.53 | 0.96 | 1.00 | 0.71 | 52.49 | 0.32 | 0.95 | 10.82 |

Resolin Red FB

| 项 目 | (n=5) 浅 (1-5点) | | | | (n=9) 深 (6-14点) | | | |
|-----------|----------------|------|------|------|-----------------|------|------|------|
| | a | b | r | s | a | b | r | s |
| eye (n=4) | 12.27 | 2.31 | 0.96 | 8.16 | 77.30 | 0.33 | 0.98 | 4.39 |
| B | - | - | - | - | 12.98 | 0.56 | 0.99 | 4.15 |
| K/S | 1.87 | 1.36 | 1.00 | 1.13 | 33.34 | 0.48 | 1.00 | 3.13 |
| θ | 49.31 | 2.16 | 0.94 | 8.13 | 110.8 | 0.18 | 0.97 | 3.69 |
| Integ | 0.86 | 0.95 | 1.00 | 0.07 | 12.70 | 0.55 | 1.00 | 3.76 |

Dispersol Scarlet B

| 项 目 | (n = 5) 浅 (1 - 5 点) | | | | (n = 9) 深 (6 - 14 点) | | | |
|---------------|-------------------------|------|------|------|--------------------------|------|------|-------|
| | a | b | r | s | a | b | r | s |
| eye (n = 4) | 11.7 | 2.89 | 0.95 | 8.94 | 87.35 | 0.27 | 0.96 | 6.39 |
| B (n = 6) | | | | | 97.85 | 0.24 | 0.88 | 9.97 |
| K / S | 2.89 | 2.09 | 1.0 | 1.33 | 79.32 | 0.35 | 0.86 | 16.12 |
| θ | 63.46 | 1.43 | 0.91 | 5.80 | 122.17 | 0.13 | 0.90 | 4.88 |
| Inteog | 1.73 | 1.33 | 0.99 | 0.67 | 44.2 | 0.47 | 0.95 | 11.72 |

Foron Brill Violet 2 RFL

| 项 目 | (n = 5) 浅 (1 - 5 点) | | | | (n = 9) 深 (6 - 14 点) | | | |
|---------------|-------------------------|------|------|------|--------------------------|------|-------|-------|
| | a | b | r | s | a | b | r | s |
| eye (n = 4) | 4.82 | 3.16 | 0.95 | 9.68 | 83.44 | 0.29 | 0.95 | 8.14 |
| B (n = 6) | | | | | 100.67 | 0.23 | 0.825 | 13.19 |
| K / S | 2.59 | 1.51 | 0.99 | 1.76 | 53.6 | 0.44 | 0.92 | 16.15 |
| θ | 57.46 | 2.52 | 0.96 | 6.67 | 123.26 | 0.13 | 0.83 | 7.31 |
| Integ | 1.23 | 1.04 | 0.99 | 1.05 | 27.06 | 0.52 | 0.97 | 9.85 |

六、讨 论

过去由于染料或颜料牢度测试的需要，发展了标准深度，并在此基础上发展了一系列的色深公式。就近年来国外文献对各个色深公式的评价看，侧重于不同色相的颜色表面深度之间的对比，这种比较是很重要的，因为往往某一染料或颜料的“卖钱值”取决于其发色能力即达到一定深度所需的着色剂量。但是我们为了满足对单品种染料或颜色本身的性能测试和质量鉴定的需要，侧重于各个色深公式应用于单品种的效果，在这样的基础上我们进行了上述试验。

综合以上各染料的色深曲线和线性回归的数据结果，我们对各色深公式有如下初步看法：

眼睛对色深的变化敏感程度在浅色与中深色时是不同的，浅色时要比深色时敏感得多，大部分公式计算结果亦如此。因此，应把浅色和中深色分开考察比较。

从色深曲线的浅色部分及其回归线斜率来看，浅色时 θ 公式所得结果与目测最接近，即在浅色情况下对色深变化非常敏感。但当深度接近1/1标准深度时， θ 公式开始对色深的增加用敏感，其曲线在高段趋于水平，中深色部分的回归曲线的斜率极小。因此，在这种情况下，使用 θ 公式对色深的变化没有足够的分辨能力。另一方面，该公式在计算过程中需两次

查图求取数据 (Y° , S) 非常麻烦, 而使用电算机计算则需要容量较大的算机才行。

由于B公式的体系是深度分档计算, 我们发现各深度档之间的连续性欠佳, 所以不应使用不同深度档的B值对比两颜色的相对色深, 这个可以从B值曲线的不连续性看出。尽管如此, 在每档各自的范围内, B值对实际色深的变化有良好的反应, 例如在 $B1/1 = -5$ 到 $+2$ 的深度范围内; 有良好的线性关系而且其回归方程有足够的斜率。若不和浅色部分连用 (例如作染料和提升力曲线等等), 可以得到令人满意的结果。

积分值公式 (Integ) 计算时比较麻烦, 但若借助电算机, 则不算是什么缺点。该公式在浅色时对色深变化的反应不如目测和其他色深公式来得敏感, 但它在深色都比目测和其他公式敏感得多, 这可以从曲线和数据看出来, 它在浅色部分的回归线斜率最小, 而在深色部分的回归线斜率最大。若综合浅色、中深色一起考察, 则可看出Integ色深值随着染料在织物中的含量稳步增长, 而且线性关系也较好。这一公式的特点是在中深色情况下应用可得较精确结果。即使在浅色时, 该公式对微小色深的变化的反应亦已足够精确。

Kubelka-Munk公式发表最久, 多年来一直被广泛地使用, 通常用于求取着色剂强度和电子配色, 亦应用于标准深度的确定 (Taylor规则)。该公式计算简单, 从试验所得色深曲线考察, 结果与目测比较接近, 在中深色部分对色深的变化也有较好的分辨能力。但根据过去的经验, 在色光有变化时, 应用此公式显然不适应。

至于Kubelka-Munk公式的一系列修正公式 (Pineo, Suunderson, Fink-Jenser, Aapland公式), 这些公式求得的 K/S 一般随着织物的着色深度的变化增长极快, 过于敏感, 因此和眼睛的感觉是不相符合的, 但若若要检验织物中染料量的增加, 使用这类公式有一定的好处。这些公式都有一个共同的问题, 即当染料最大吸收波长处的反射值低于常数0.037时, 各修正公式均无法得出数值。因此, 这些修正公式只适用于中浅色的某些特定场合。

七、结 语

所有上述各种色深公式均各有特点, 但也没有一个是完全令人满意, 适用于所有应用场合。总的来说, θ 公式在中深色时对颜色深度的变化大不敏感, B公式在各档颜色深度之间缺乏连续性; Kubolka-Munk公式在色光略有变化的情况下便会引起较大误差; Kubelka-Munk公式的修正公式一般场合下不适用; Integ公式对色深的变化有稳定的反应, 这一公式应进一步加以探讨验证, 考察其各个方面的适用程度。

参 考 文 献

- (1) Textile Chemist and Colorist 1978 (Vol. №4 P22/75)
- (2) A. D. R. Vol. 43, 1954 P635
- (3) A. D. R., Vol. 46, 1954, P504
- (4) Die Farbe Vol. 14, 1965, P342
- (5) Bayer, Farben Revue, Special Edition №3/1 P. 22
- (6) 日华化学工业株式会社, 技术资料 76007 P4 “测色的均染剂评价”
- (7) JSDC 1980 (Vol. 96) №4. P. 166
- (8) Textile Chemist and Colorist 5 (1973) P227

-
- (9) 染料工业 1978年5期26页 王軒孙 金远同 黄唯煒 “B公式一色深值求取方法”
 - (10) 印染 1980年第二期30页 王軒孙 “颜色测量技术在染料强度评分的应用”
 - (11) Textile Chemist and Colorist 1980 (Vol. 12) №2 P41/33
 - (12) Melliand Textileberichte 1954 P. 281
 - (13) Farb und Lack 71 (1965) P894
 - (14) DIN 6164
 - (15) L. Gall, The Colour Science of Pigments P39
 - (16) Gunter, Wysiecki and W. S. Stiles “Colour Science, Concepts and Methods, Quatitative Data and Formulas” P339
 - (17) 《常用数理统计方法》中国科学院数学研究所统计组编P82
 - (18) Textil Veredlung 1975 №. 2 P47