

第六章 彩色印刷

CHAPTER 6 COLOR PRINTING

印刷工程 顾翀



本章要点

- 彩色印刷中的颜色传递过程
- 彩色印刷品的颜色形成原理
- 计算印刷品颜色的纽介堡方程
- 彩色印刷的加网三要素
- 灰平衡、底色去除、灰成分替代
- 复制色域与动态密度范围

©guchong2012 • Page 2

第六章 彩色印刷

- 第一节 彩色印刷呈色原理
- 第二节 彩色印刷品的色度计算
- 第三节 色彩管理系统

©guchong2012 • Page 3

彩色复制

- 彩色印刷：以颜色理论为依据，利用色彩传递的技术流程，采用工业生产方式，对原稿进行复制的系统工程。
- 从生产的角度看，印刷过程可以分为**印前**、**印刷**和**印后**三大部分。
- 从色彩实现的角度看，可将印刷过程分成颜色的**分解**和**合成**两个阶段。

©guchong2012 • Page 4

彩色复制的基本过程

- 任何彩色复制都是通过控制红绿蓝三原色达到彩色复制的目的
- 因此任何彩色复制过程都可以分为两部分：
 - 颜色的分解：对应颜色信息的输入
 - 颜色的合成：对应颜色刺激的输出
- 只有通过颜色的分解才能将要复制对象的颜色转变为三原色
- 颜色的合成就是用三原色再现复制的颜色

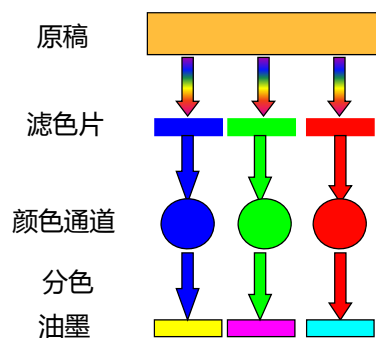
©guchong2012 • Page 5

颜色的分解

- 基本原理：利用红、绿、蓝三种滤色片具有对不同波长光选择性吸收和透过的特性，将来自原稿的色光分解为红、绿、蓝三路色光，得到三原色的比例。
- 将原稿的颜色色光分解为红、绿、蓝三原色的数量，并将三颜色数量信息以油墨墨量的形式记录在各原色印版上的过程。

©guchong2012 • Page 6

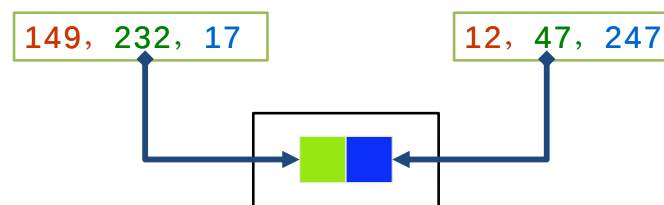
颜色的分解



©guchong2012 • Page 7

RGB模式

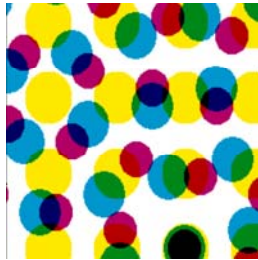
- 三种成分的取值范围是0 ~ 255
- 可以组合1678万 ($256 \times 256 \times 256$) 种颜色
- RGB均为255时为白光，均为0时为黑色



©guchong2012 • Page 8

颜色的合成

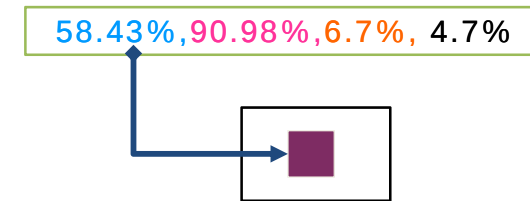
- 将各原色印版上的原色油墨量信息通过印刷的方式，转换为各个原色油墨量，印制在承印物上，从而利用**各原色油墨的不同比例**还原出原稿色彩的过程。



©guchong2012 • Page 9

CMYK模式

- CMYK实质指的是印刷时四色网点大小
- CMYK均为0%时为白色，均为100%时为黑色



©guchong2012 • Page 10

RGB与CMYK颜色的转换

- 一般来说，颜色分解过程（输入）使用RGB颜色
- 印刷复制要使用CMYK颜色油墨
- **RGB颜色不能直接印刷**
- RGB颜色必须转换成CMYK油墨的比例才能印刷
- RGB到CMYK的转换过程称为**分色**

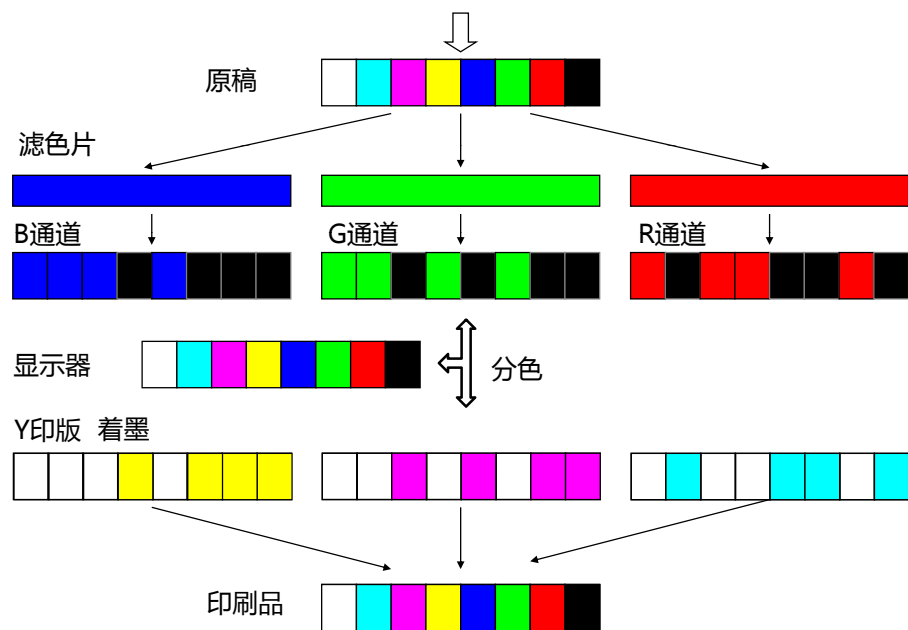
©guchong2012 • Page 11

问题

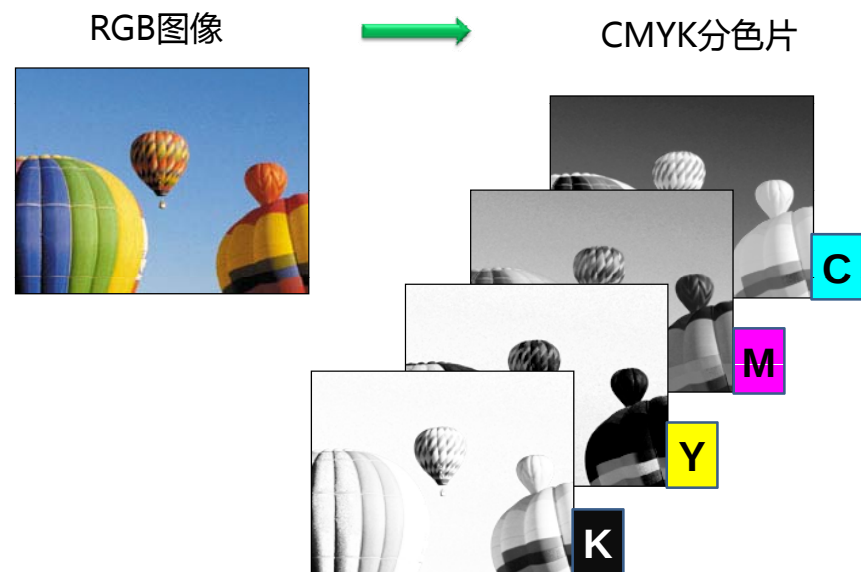
- 分色片是彩色的吗？
- 印版是彩色的吗？
- 印刷品上的颜色是如何得到的？
- 分色片不是彩色
- 印版不是彩色的
- 油墨覆盖在承印物或其他油墨上



©guchong2012 • Page 12



©guchong2012 • Page 13



©guchong2012 • Page 14

印刷品呈色的形式

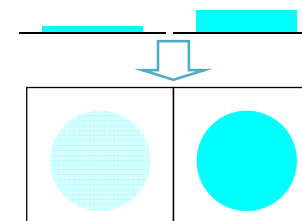
- 多色套印
 - 专色油墨、多色套印
 - 特点：各种颜色的油墨不发生重叠



©guchong2012 • Page 15

印刷品呈色的形式

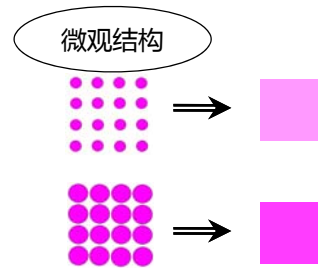
- 改变墨层厚度
 - 墨层厚度连续变化，形成不同的密度
 - 已实现：影写凹版和部分激光雕刻凹版



©guchong2012 • Page 16

印刷品呈色的形式

- 网目调印刷
 - 墨层厚度不变，油墨网点的面积比例变化
 - 优势：可实现颜色和阶调的连续变化



©guchong2012 • Page 17

二值印刷与多值印刷

- 在墨层厚度不变的情况下，油墨在纸张上只能有“有墨”和“无墨”两种状态
- 印刷在承印物上的墨量只能靠网点的变化来调节
- 油墨网点本身没有深浅（阶调）的变化，因此称为二值印刷
- 加网方法有调幅与调频两种
- 墨层厚度改变对应的是多值印刷

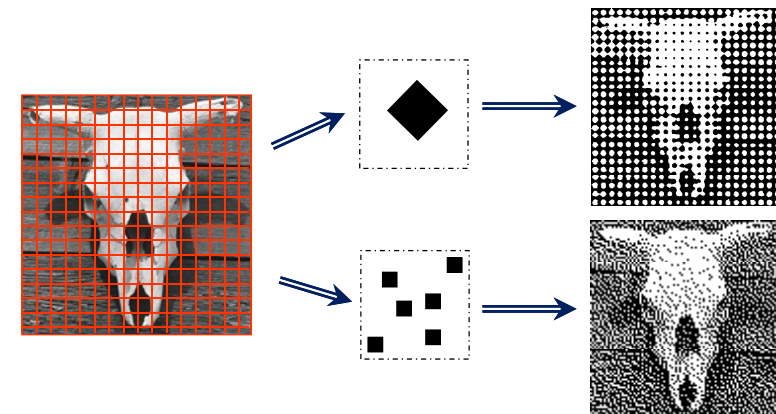
©guchong2012 • Page 18

印刷加网技术

- 对于二值印刷来说，要得到图像的层次变化和颜色变化，必须有二值的“位”来得到阶调变化
- 将图像分割成许多小网格构成网点
- 网点是构成印刷图像的基本元素，通过着墨面积或墨量的变化，整体上再现原稿的浓淡效果
- 加网技术：根据图像的颜色信息，把图像分解为不同面积率网点的方法。

©guchong2012 • Page 19

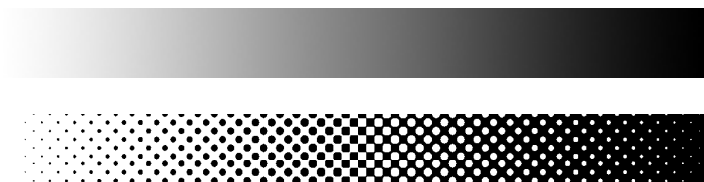
调幅与调频加网



©guchong2012 • Page 20

调幅加网

- 网点按一定的间隔和方向排列
- 用网点的大小变化改变印刷在纸上的墨量，从而控制颜色
- 因此称为调幅加网（AM），又称为传统加网



©guchong2012 • Page 21

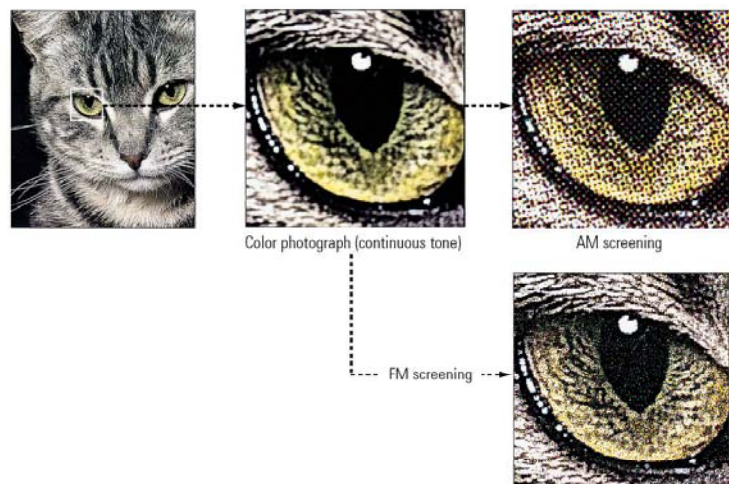
调频加网

- 网点的大小和形状相同，且不变
- 网点没有排列的规则
- 依靠网点个数的多少改变印刷在纸上的墨量，因而控制颜色
- 因此称为调频加网（FM），又称为随机加网



©guchong2012 • Page 22

调幅与调频加网



©guchong2012 • Page 23

印刷品颜色的形成

- 印刷品的颜色是由减色与加色两个混色过程形成的
- 油墨以网点形式印刷在纸上，油墨吸收照明光形成特定的颜色
- 不同比例的油墨网点所反射的光进入眼睛，形成丰富的颜色

©guchong2012 • Page 24

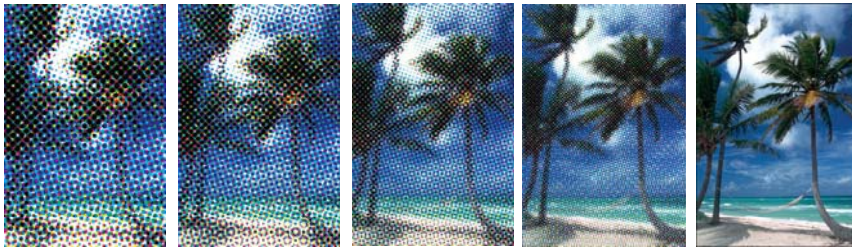
印刷加网的三要素

- **加网线数**：决定印刷图像的精细程度，加网线数越高，图像越精细，但对印刷的要求越高。与印刷条件和材料有关
- **网点形状**：影响印刷图像的细微层次，网点扩大的规律不同
- **加网角度**：影响印刷图像的网点花纹，避免产生龟纹

要素1：加网线数

- **单位长度内网点排列的个数**
- 单位：lpi表示每英寸加网的线数
- 单位：lpc表示每厘米加网的线数
- 换算关系：
 - $1\text{lpi} = 2.54 \times \text{lpc}$
 - 或者 $1\text{lpc} = \text{lpi} \div 2.54$

不同加网线数的效果



加网线数越高，网点越小，印品越清晰细腻

问题

- 是不是加网线数越高越好？由什么因素决定加网线数？
- 加网线数过高，网点太小，对印刷条件要求苛刻，普遍不超过200lpi
- 纸张质量、印刷方法、观看距离



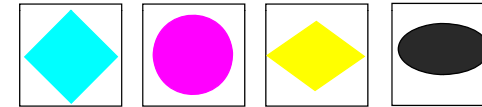
不同印刷品的加网线数

Lpi	应用
60~85	特大尺寸印刷品
85~100	报纸、全张幅面印刷品
100~133	对开、胶版纸印刷品
150~175	明信片、画报、期刊封面
175~200	精美画册、杂志
>200	铜版纸印刷的特高质量印刷品

©guchong2012 • Page 29

要素2：网点形状

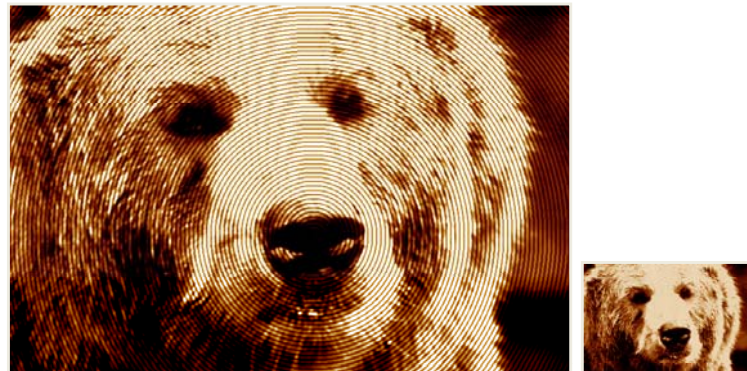
- 单个网点的几何形状
- 最常用的网点形状有：方形、圆形、菱形、椭圆形等



©guchong2012 • Page 30

特殊网点形状

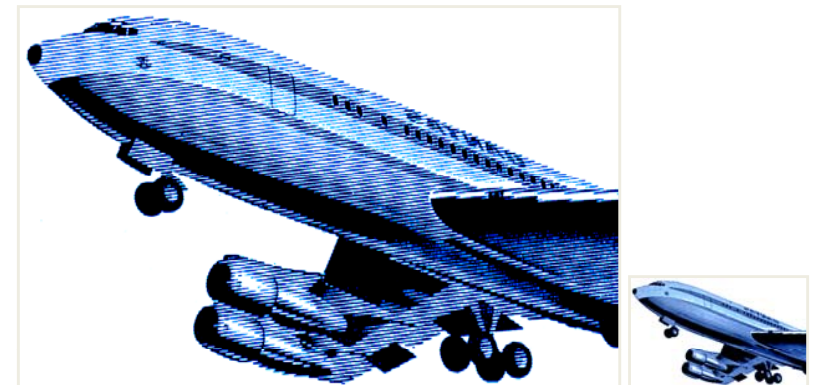
- **圆网**：由一组等间隔的同心圆构成



©guchong2012 • Page 31

特殊网点形状

- **线网**：由直线、曲线或波浪线构成，有等间隔和不等间隔之分，常用于强调透视感和方向感



©guchong2012 • Page 32

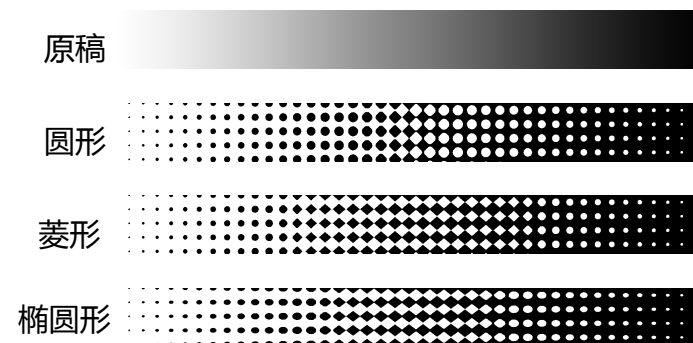
特殊网点形状

- **沙网**：由不规则的沙点构成，沙网分粗、中、细三种，适合于表现灰度渐变、富于层次的版面效果



©guchong2012 • Page 33

要素2：网点形状



- 不同形状的网点，对印刷品最终的视觉效果有一定的影响

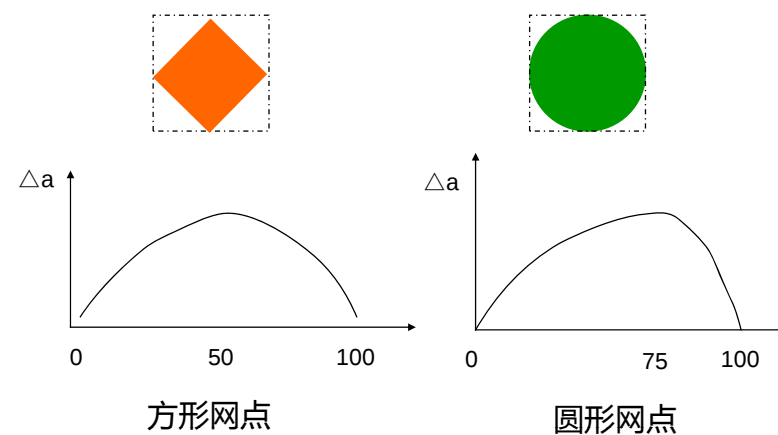
©guchong2012 • Page 34

网点扩大的规律

- **网点扩大现象**：印刷过程中由于**印刷压力**、**油墨在纸张中的扩散**等因素使**印刷网点面积比印版网点面积增大**的现象。
- 不同形状的网点，网点扩大的规律不同
- 无论网点的面积多大，边缘扩大的宽度一样
- **网点扩大量与网点的周长成正比**

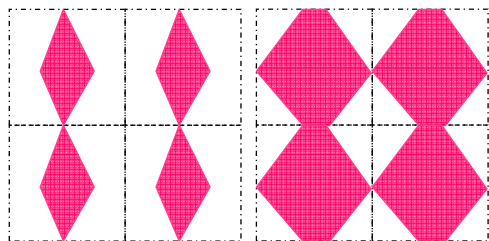
©guchong2012 • Page 35

不同形状网点的网点扩大



©guchong2012 • Page 36

不同形状网点的网点扩大

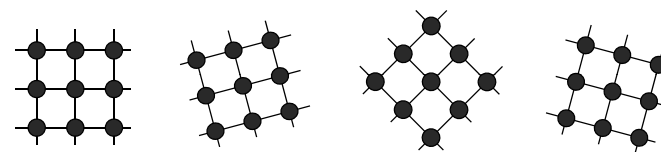


- 菱形网点在约35%第一次搭角，在约65%第二次搭角。
- 搭接的阶调跳跃较前两种网点缓和的多
- 也称作链形网点

©guchong2012 • Page 37

要素3：加网角度

- 网点排列的方向称为加网角度



0° (90°) 15° (105°) 45° (135°) 75° (165°)

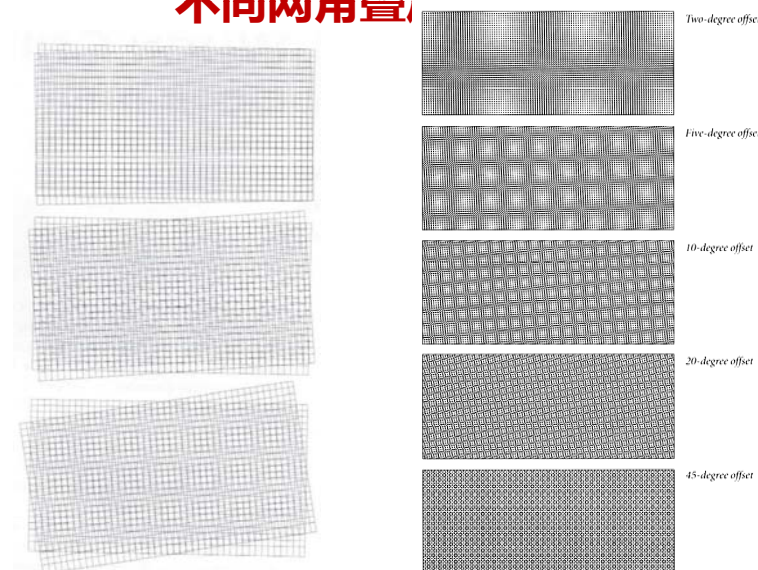
©guchong2012 • Page 38

要素3：加网角度

- 单色印刷时，一般采用45°加网
- 如果是多色印刷，两种或两种以上不同角度的网点套印在一起就会产生干涉现象，形成有规律的干涉图纹，俗称**龟纹**。
- 从理论上说，多色印刷时无论采用何种网角都会产生龟纹。但如果网角选择得合适，各色版网点叠印出来的花纹比较美观，就认为没有产生龟纹。

©guchong2012 • Page 39

不同网角叠加的花纹



40

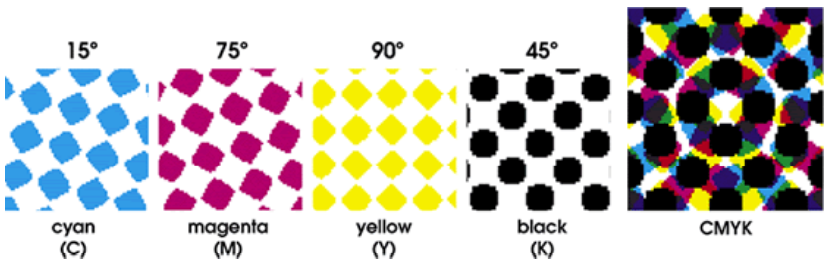
要素3：加网角度

四色加网角度: 0° 15° 45° 75°
 黄 青 黑 品红 [标准]
 黄 青 品红 黑 [暖色]
 黄 品红 青 黑 [冷色]

三色网线角度: 15° 45° (主色) 75°
双色网线角度: 0° 45° (主色)
单色网线角度: 45°

要素3：加网角度

- 四色角度效果图



调频加网

- 特点：网点大小是固定不变的，网点的排列是不规则的，各网点间的距离和位置是根据图像颜色和阶调变化随机分布的；也称为随机加网
- 没有调幅加网的三要素
- 复制效果完全取决于图像的分辨率和网点大小

调频加网的优势

- 不使用周期性网点结构，不会产生龟纹和玫瑰斑
- 不受网角限制，支持多色印刷，再现色域更广



四色印刷



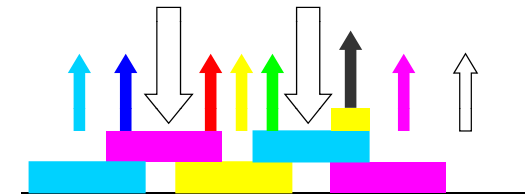
六色印刷

网点呈色的过程

一、网点叠合（重叠）

- 暗调区域常发生不同原色的网点重叠在一起
- 两种原色重叠可形成红、绿、蓝色，称为二次色
- 三种原色重叠原理上讲形成黑色，称为三次色
- 加上青、品红、黄三个原色（一次色）和纸白共可形成8个基本色。

网点呈色的过程



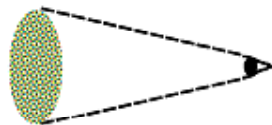
含有网点叠合的8个基本色示意图

- 该8个颜色均是由于入射白光中的一部分（及全部或没有）被色墨吸收，即白光中减去一部分后，剩余的反射光形成的，因此，这一颜色形成过程称为减色过程。

网点呈色的过程

二、网点并列

- 由于印刷网点很小且距离很近，在正常视距下网点对眼睛所成的视角均非常小，眼睛所能感觉的是一个小区内众多网点反射色光混合效应。
- 众多网点反射色光相当于在眼睛中进行了混合，符合加色混合的规律，因此，这一过程称为加色过程。



网点呈色

- 印刷品的最终颜色是由减色与加色两个过程形成的，为混合过程。
- 油墨以网点的形式印刷在纸上，油墨吸收某些照明光形成特定颜色的过程为减色过程；
- 一定区域内不同比例的各色油墨网点所反射的光线进入眼睛混合，形成特定颜色的过程为加色过程。

第七章 彩色印刷

— 第一节 彩色印刷呈色原理

— 第二节 彩色印刷品的色度计算

— 第三节 色彩管理系统

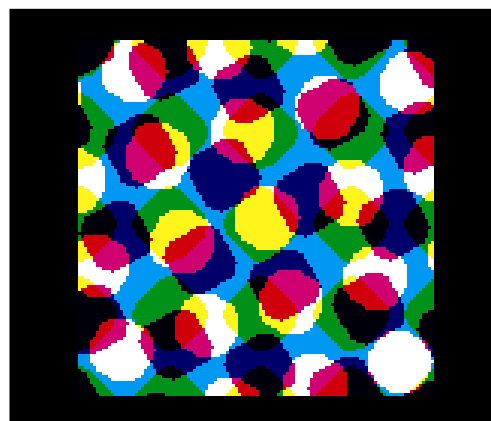
©guchong2012 • Page 49

Neugebauer 方程

- 对于调幅和调频网点， n 种颜色的二值印刷在承印物上可以形成 2^n 种颜色
- 三种颜色在纸上叠印形成8种颜色
- 这8种颜色称为纽介堡基色 (Neugebauer Primaries)

©guchong2012 • Page 50

Neugebauer 方程



C|W

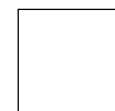
C|W
M|B

C|W
M|B
Y|R
K|G

©guchong2012 • Page 51

Neugebauer 方程

- c 、 m 、 y 分别为对应颜色的网点面积率



纸张
面积为1



$$\begin{cases} f_C = c \\ f_W = 1 - c \end{cases}$$



$$\begin{cases} f_M = m(1 - c) \\ f_B = mc \\ f_C = c(1 - m) \\ f_W = (1 - m)(1 - c) \end{cases}$$

©guchong2012 • Page 52

Neugebauer 方程



$$\begin{cases} f_M = m(1-c)(1-y) \\ f_{YM} = ym(1-c) \\ f_{CM} = cm(1-y) \\ f_{CY} = cy(1-m) \\ f_Y = y(1-m)(1-c) \\ f_C = c(1-m)(1-y) \\ f_W = (1-c)(1-m)(1-y) \\ f_{CMY} = cmy \end{cases}$$

Neugebauer 方程

$$\begin{cases} X = \sum_{i=1}^{2^n} f_i \cdot X_i \\ Y = \sum_{i=1}^{2^n} f_i \cdot Y_i \\ Z = \sum_{i=1}^{2^n} f_i \cdot Z_i \end{cases}$$

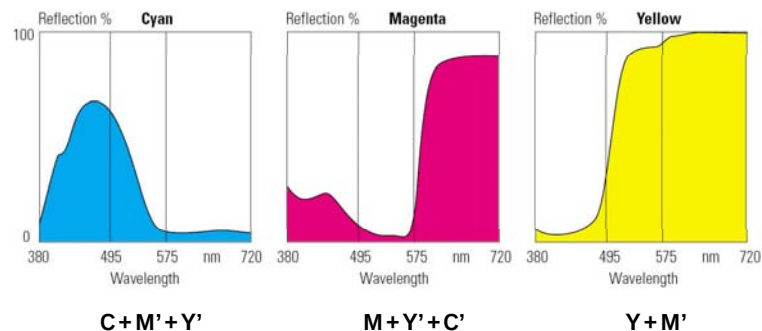
- 其中n为印刷的色版数， X_i 、 Y_i 、 Z_i 为纽介堡基色，XYZ为印刷品颜色
- f_i 是网点面积cmyk的函数
- 注意：表达式共有 2^n 项

i	颜色	f_i
1	白 (W)	$(1-c)(1-y)(1-m)(1-k)$
2	黄 (Y)	$(1-c)(1-m) y(1-k)$
3	品 (M)	$(1-c)(1-y) m(1-k)$
4	青 (C)	$(1-y)(1-m) c(1-k)$
5	红 (R, ym)	$(1-c) ym(1-k)$
6	绿 (G, yc)	$(1-m) cy(1-k)$
7	蓝 (B, mc)	$(1-y) cm(1-k)$
8	C+M+Y	$cmy(1-k)$
9	黑墨 (K)	$(1-c)(1-y)(1-m)k$
10	Y+K	$(1-c)(1-m) yk$
11	M+K	$(1-c)(1-y) mk$
12	C+K	$(1-y)(1-m) ck$
13	Y+M+K	$(1-c) ymk$
14	C+M+K	$(1-y)cmk$
15	C+Y+K	$(1-m)cyk$
16	C+M+Y+K	$cmyk$

三色与四色印刷

- 实际油墨不是理想油墨，等量三原色不能形成真正的黑
- 实际油墨叠印的黑色偏红，密度不够高
- 增加黑色油墨可以弥补油墨的缺陷，增加图像密度范围
- 因此实际印刷采用CMYK四色

四色印刷

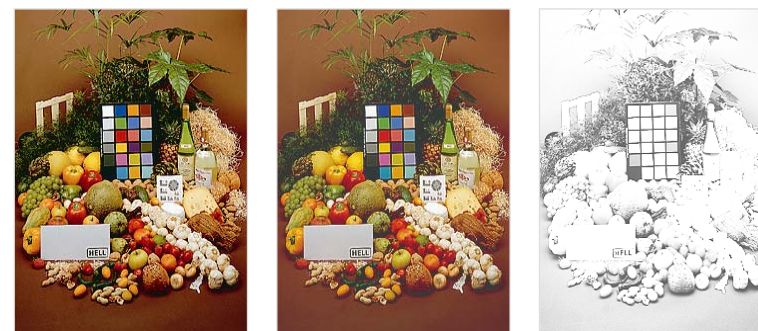


等量的黄品青油墨相加：

$$(C + M' + Y') + (M + Y' + C') + (Y + M') =$$

$$(C + M + Y) + (M' + Y' + Y' + C' + M') = \text{灰} + \text{红 (或棕)}$$

四色印刷



CMYK

CMY

Bk

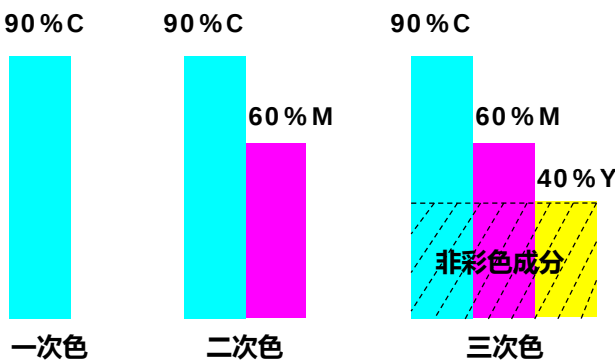
黑版的作用

- 增加图像的复制密度范围
- 在图像中起到骨架的作用，起到控制明度的作用
- 减少彩色油墨的用量，降低叠印率
- 有利于提高印刷速度
- 容易实现灰平衡
- 减少套印不准确的影响
- 增加黑版的方法：底色去除与灰成分替代

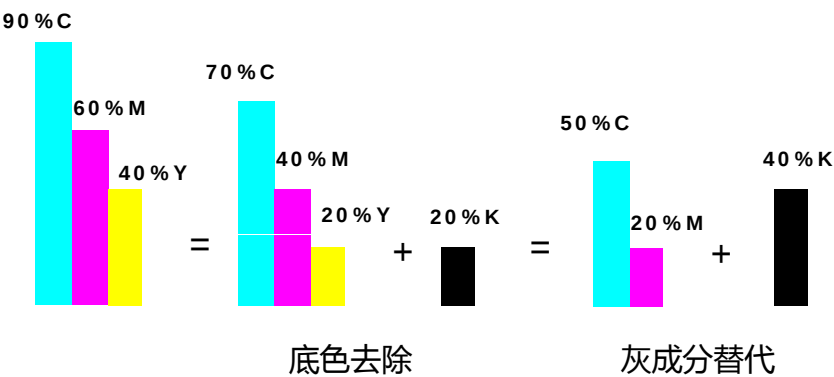
底色去除与灰成分替代

- **底色去除**：用单色黑油墨在图像暗调部分代替彩色油墨印刷的灰色，对应着短调的黑版
- **灰成分替代**：用单色黑油墨部分代替彩色油墨印刷的灰色，对应着长调的黑版。如果全部代替彩色油墨印刷的灰色，则称为非彩色结构

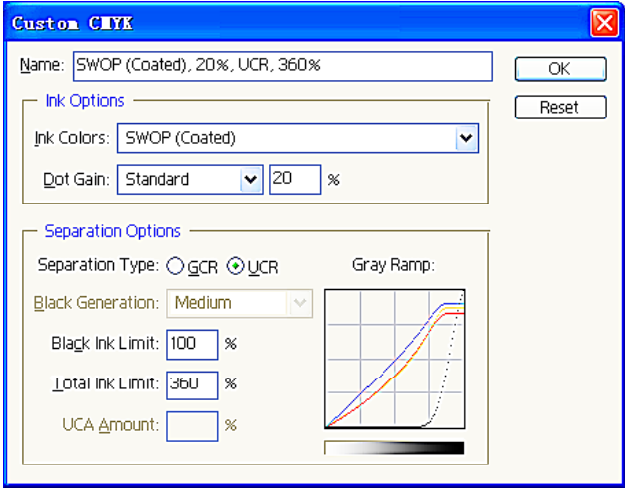
彩色与非彩色成分



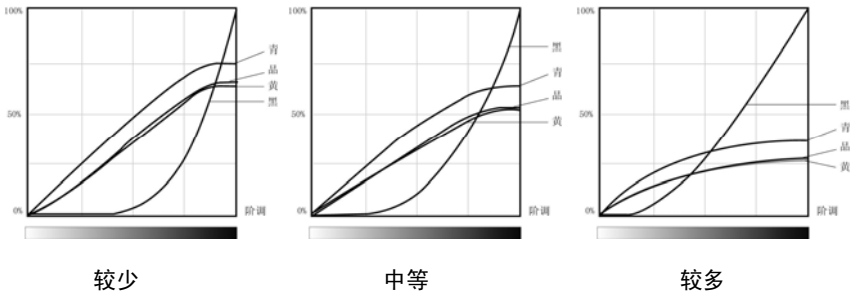
彩色与非彩色成分



底色去除

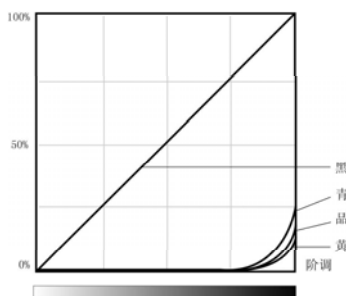


灰成分替代



灰成分替代

- 当选择了灰成分替代的最大量时，即黑色油墨完全替代了彩色油墨叠印而成的灰色，这种印刷工艺称为“**非彩色结构**” (Achromatic Color Construction,简称ACC)”，也有人将它形象地称为“二色加黑”工艺。



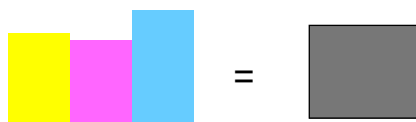
灰平衡

- 理想三原色条件下，等量的三原色可以产生灰色
- 不理想的三原色不能使用等比例的三原色数值
- 使用适当比例的三原色，从高光到暗调复制出不同深浅的灰色，就是达到了灰平衡，所使用的数据为灰平衡数据。灰平衡是彩色印刷的基础。

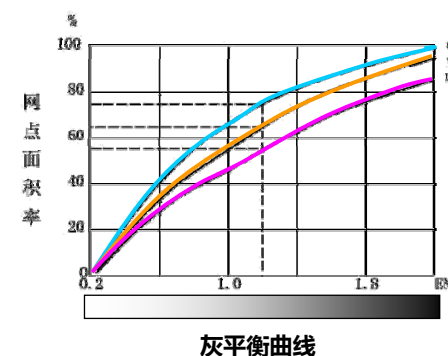
©guchong2012 • Page 66

灰平衡

- 理论上，相同的网点配比的黄、品红和青可达到灰平衡。实际上黄、品红和青三色要达到灰平衡所需的网点比例不同，一般的规律是青的网点面积要大于黄和品红的网点面积，黄和品红的网点面积相差较小。



灰平衡曲线



- 图中水平坐标为某原色油墨与其它两种原色油墨以适当比例印刷出中性灰色时的灰密度值，称为该原色油墨的**等效中灰密度**(Equivalent Neutral Density, 简称END)。

©guchong2012 • Page 68

灰平衡参考数据

网点面积率/%											
Cyan	3	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Magenta	2	6	13	23	32	41	52	62	73	83	93
Yellow	2	7	14	24	33	42	53	64	75	85	95

第七章 彩色印刷



- 第一节 彩色印刷呈色原理
- 第二节 彩色印刷品的色度计算
- 第三节 色彩管理系统

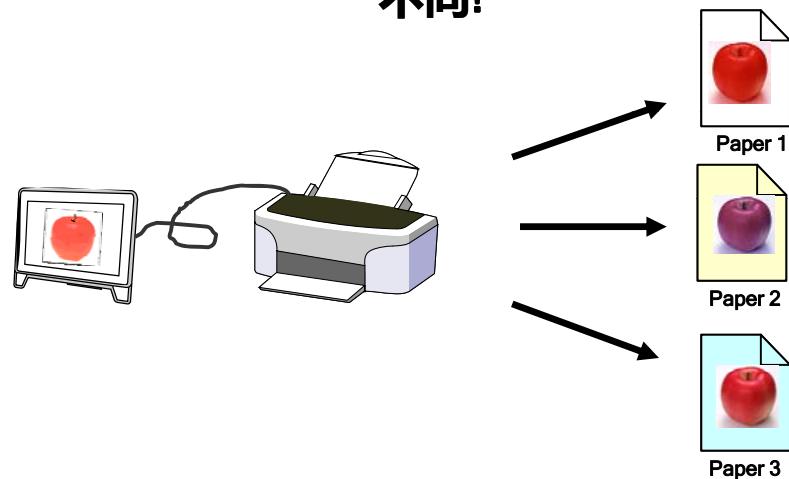
色彩管理

- 目的：是为了使不同设备上产生的色彩相互匹配，使色彩在第个生产环节上都保持一致。
- 如果没有色彩管理，那么从扫描、打样、印刷等各工序之间需要多次测试和错误修正。

不同设备采用不同的呈色模式

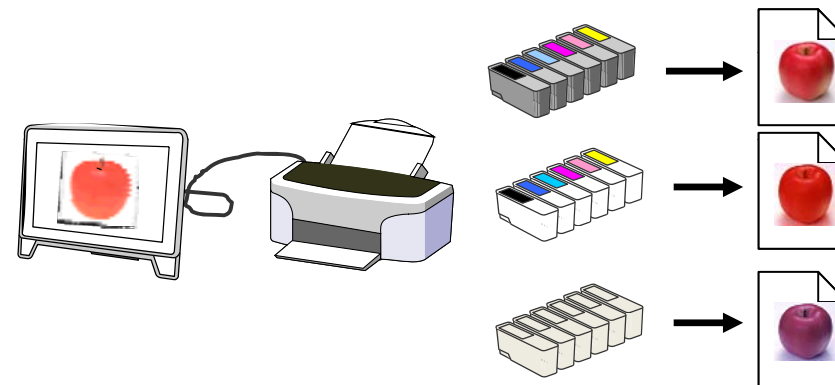


同一个苹果，在不同的承印介质上效果不同!



©guchong2012 • Page 73

即使使用相同的介质，由于使用不同的墨组，输出的效果也不相同!



©guchong2012 • Page 74

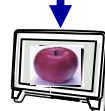
不同呈色模式间的颜色传递

- 相同的值产生不同的颜色.

R:255, G:0, B:0



R:255, G:0, B:0



- 相同的颜色需要不同的值.

R:255, G:0, B:0



R:200, G:10, B:10



R:255, G:0, B:0



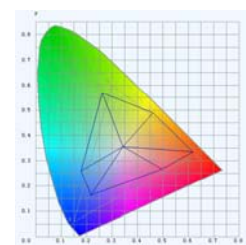
R:230, G:20, B:20



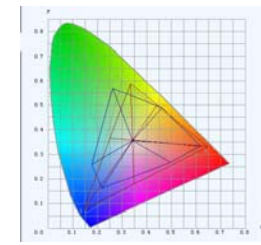
©guchong2012 • Page 75

设备色域

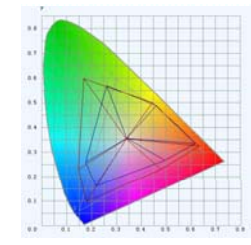
- 设备色域：每台彩色设备都能再现一定的色彩范围，即所谓的色域。这个色域由该设备的特征——它所使用的油墨；它捕获图像所用的技术类型等来决定。



印刷色域



印刷色域与RGB显示色域

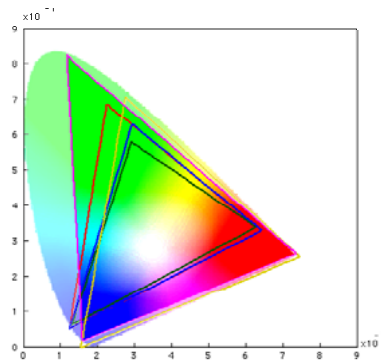


印刷色域与喷墨打印色域

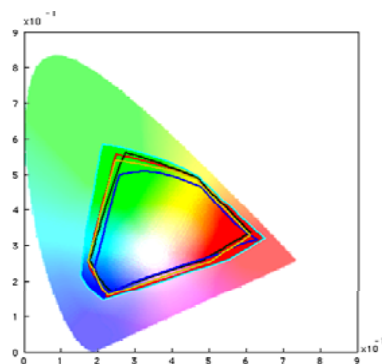
©guchong2012 • Page 76

设备色域

RGB设备



CMYK设备



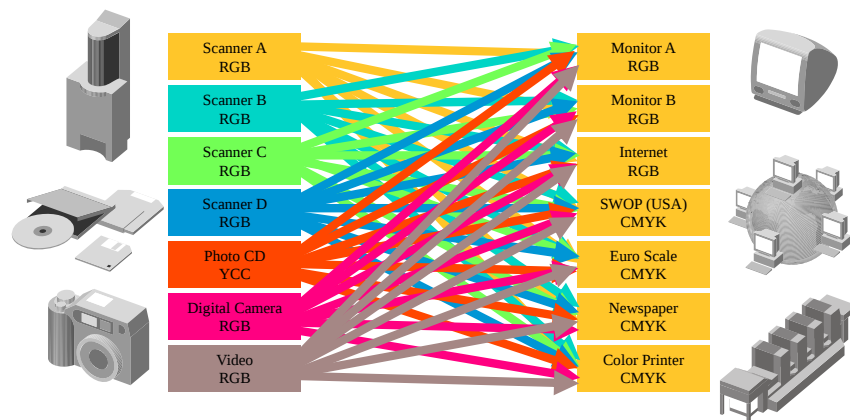
©guchong2012 • Page 77

RGB与CMYK颜色空间的映射

- RGB颜色必须转换为CMYK颜色才能印刷
- RGB颜色转换成CMYK颜色后颜色会发生变化
- 要设法控制转换时颜色的变化，使颜色在各种设备上保持一致（色彩管理）

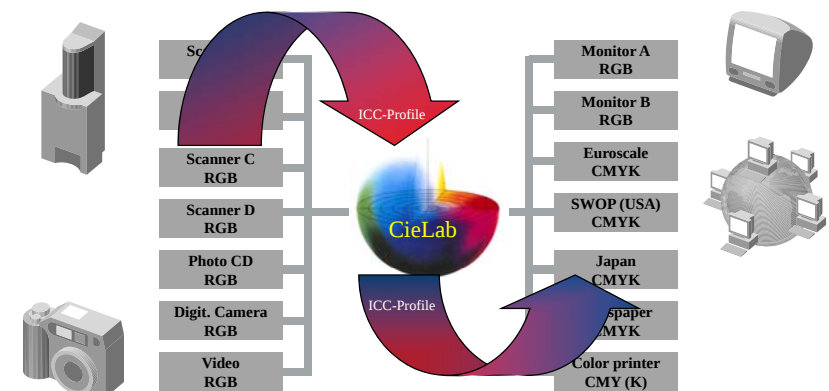
©guchong2012 • Page 78

传统色彩管理技术



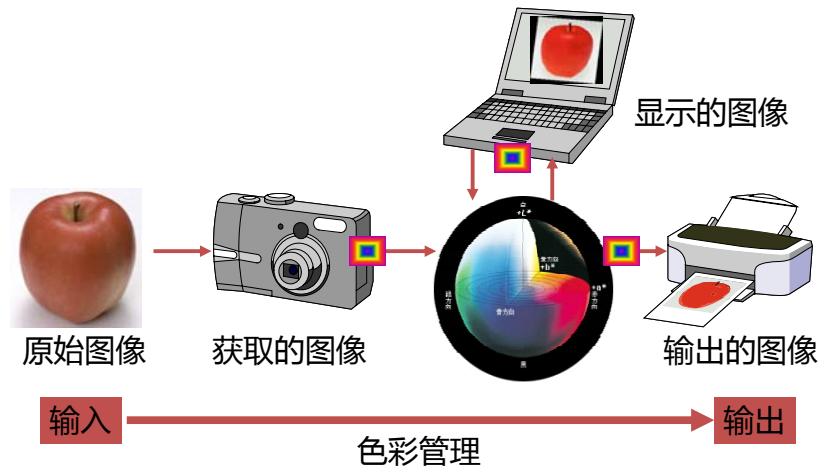
©guchong2012 • Page 79

现代色彩管理技术



©guchong2012 • Page 80

现代色彩管理技术



©guchong2012 • Page 81

色彩管理技术

- 通过建立一套在设备间进行色彩通信的客观规则，从而解决保证在整个印刷系统中的色彩传递的一致性。
- 为了保证色彩效果的一致，色彩管理系统以即定的标准为依据，精确检测、定义从输入到输出影响色彩变化各环节因素的色彩特性描述文件，称为色彩特征文件，取得相关呈现的色彩特征的数据，通过独立于作业系统之外的标准色彩空间CIE L*a*b*，进行分析运算，产生准确地色彩输出信息，即不同的输出设备产生的色彩混合比值将完全不同，从而整体解决各环节因素所造成的一系列偏色问题。

©guchong2012 • Page 82

色彩管理的基本原理

- 因此，色彩管理系统实际上做的工作是：
 - 为所有设备生成的颜色用CIE颜色系统定义，定义为颜色感觉
 - 以CIE颜色系统定义的颜色值送给各种设备，并转换为相应的设备值，用不同的设备值呈现相同的颜色感觉

©guchong2012 • Page 83

ICC国际组织

- International Color Consortium
- 国际色彩联盟
- 成立于1993年
- 建立一个跨平台的色彩管理系统
- 主要任务是制定ICC规范



©guchong2012 • Page 84

色彩管理系统的3C

- 设备校正——设备校正也称为设备最佳化，即使工作设备处于正常与最佳的工作状态的手段与方法。
- 设备特征化——色彩管理系统工作的核心之一为建立设备特征文件。设备特征文件为色彩管理系统提供将某一设备的色彩数据转换到设备无关的色彩模式中所要的必要信息。
- 色彩转换——用于解释设备特征文件，并依据特征文件所描述的设备色彩特征进行不同设备的彩色数据转换。

©guchong2012 • Page 85

色彩管理的三要素

- 彩色设备的颜色特征化（建立颜色模型）
- 参考颜色空间PCS（Profile Connect Space）
- 色域映射（设备颜色空间与参考颜色空间的颜色转换）

©guchong2012 • Page 86

彩色设备的颜色特征化

- 建立彩色设备颜色与参考空间的关系，即Profile文件
- 以色度的方法描述彩色设备的颜色空间
- 彩色设备的颜色特征化是应用色彩管理的关键

©guchong2012 • Page 87

参考颜色空间PCS

- 独立于任何彩色设备，或者说与设备无关的颜色空间
- 用于描述各种彩色设备和介质颜色的统一标准
- 通常采用CIEXYZ或CIELAB颜色空间

©guchong2012 • Page 88

色域映射

- 用于在各种彩色设备颜色空间与PCS之间进行颜色转换
- 一般是由系统或应用软件中得内置功能模块CMM完成
- 色域映射方式是关系到颜色转换准确的关键，关系到Profile的建立

4种颜色再现方式

- 感性的 (perceptual)
- 相对色度的 (relative colorimetric)
- 绝对色度的 (absolute colorimetric)
- 饱和度的 (saturation)

实际生产中实施色彩管理的关键

- 实际应用的关键是建立Profile文件
- 建立Profile文件的目的是颜色计算
- 颜色计算准确性的基础是颜色的测量数据的准确
- 保证颜色数据准确与否的关键是稳定的生产工艺
- 在实际生产中色彩管理是通过仪器和专用软件完成的