

不同光源参数对苹果电脑显示性能的影响

陈艳艳, 陈广学, 陈奇峰, 邰晶磊, 陈琳琳

(华南理工大学 制浆造纸工程国家重点实验室, 广州 510640)

摘要: **目的** 为了使苹果电脑显示器能够准确地表达输入颜色信息和显示输出的色彩,研究2种标准光源参数对苹果电脑颜色显示性能的影响。**方法** 首先分别制作采用D50和D65标准光源相应的显示器特性文件,然后用Eyeone Pro测色计和Measuretool软件对比分析采用这2种不同特性文件时,显示器显示色块效果的差别,最后在CHROMiX ColorThink软件中生成2个特性文件对应的色空间及获得相应白点Lab值。**结果** 色块色差平均值为7.09,大部分灰色色块色差小于1,但一些蓝色和品红色块色差很大,范围为6.38~40.63;在相应的色空间,D65光源对应的白点颜色值比D50光源的偏蓝。**结论** 色块颜色显示效果的差异与D50和D65光源特性有密切关系。

关键词: 特性文件;光源参数;颜色显示性能;色空间

中图分类号: TS801.3

文献标识码: A

文章编号: 1001-3563(2014)09-0089-06

Influence of Different Light Source Parameters on Display Performance of Apple Computer

CHEN Yan-yan, CHEN Guang-xue, CHEN Qi-feng, TAI Jing-lei, CHEN Lin-lin

(State Key Laboratory of Pulp and Paper Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

ABSTRACT: **Objective** To enable Apple monitor to accurately display the input color information and predict the output color effects, we explored the influence of two kinds of standard light source parameters on the color display performance of Apple computer. **Methods** Firstly, color profiles of Apple monitor under D50 and D65 light source parameters were made and used. Then Eyeone Pro spectrophotometer and Measuretool software were used to compare and analyze the color display performance of color patches after using the above profiles, and finally CHROMiX ColorThink software was used to generate two color spaces and show Lab values of whitepoints according to the profiles. **Results** Average color difference of color patches was 7.09 with most of the gray patches less than 1, while some blue and magenta patches had much higher difference, ranging from 6.38 to 40.63. From the corresponding color spaces obtained, we concluded that the color of whitepoint under D65 light source parameters was bluer than that under D50 light source parameters. **Conclusion** Monitor display effects of color patches were closely linked with the properties of D50 and D65 light sources.

KEY WORDS: color profile; light source parameters; color display performance; color space

随着印刷行业的快速发展,DTP技术的逐渐成熟以及开放式印前系统的发展,人们对彩色复制效果的

要求越来越高。不同设备的呈色机理、呈色特性不同,其呈色空间也不同^[1-3],要使颜色在不同设备、不

收稿日期: 2014-01-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(60972134)

作者简介: 陈艳艳(1989—),女,广东梅州人,华南理工大学硕士生,主攻色彩再现与图文信息处理。

通讯作者: 陈广学(1963—),男,工学博士,华南理工大学教授、博士生导师,主要研究方向为数字图像信息处理、数字加网与高保真印刷等。

同色空间的转换过程实现颜色传递的一致性,需要进行色彩管理。色彩管理一般包括校准、特性化和转换等 3 个过程^[4-5]。其中,特性化就是为设备建立颜色特性文件,颜色特性文件用来描述指定设备的颜色表现特性,明确定义设备的 RGB 值或 CMYK 值所对应的 CIE XYZ 或 CIE Lab 数值^[5-6]。设备的特性文件记录了设备的颜色特性和介质、观察颜色的条件等信息,是色彩管理的要素之一^[7]。

显示器作为连接输入、输出设备的中间环节,是传递颜色信息的重要设备,为了使屏幕软打样实现所见即所得的效果^[8],显示器的校正与特性化至关重要。显示器的校正与特性化借助特性文件制作软件在建立特性文件的过程中完成。显示器特性文件的建立是通过将制作特性文件所使用的电子色标色块的 RGB 值与测量颜色值进行比较来实现的。在建立显示器的特性文件时,建立特性文件的软件会在屏幕上显示一系列已知 RGB 值的色块,然后将这些颜色值与分光光度计的测量值进行比较。苹果电脑使用 Colorsync 色彩管理系统^[9],显示器的校正可以在系统下完成,并且可以在校正之后生成特性文件。

在制作显示器的颜色特性文件过程中,重点是在特定亮度与对比度下,调节显示器的白点(色温)与 GAMMA 值^[10]。在色彩管理时,针对显示器校准选择不同的白点和 GAMMA 值进行色彩管理后其效果有所不同^[11]。对于显示器色彩管理的研究,国内外很多学者做过这方面的研究,但是很多是针对 CRT 显示器方面的研究^[12-16],并且很少对特性文件生成的参数进行讨论,也很少针对苹果电脑显示器。文中以苹果电脑为例来具体探讨 D50 和 D65 光源参数对苹果电脑显示性能的影响,以期进一步深化操作人员对色彩管理流程的认识,对制作特性文件时在光源参数的选择上起到一定的辅助作用。

1 实验

1.1 条件

实验条件:电脑主机和显示器,苹果主机和 LCD Cinema 显示器;颜色测量及对比软件,MeasureTool 软件;颜色测量工具,爱色丽 Eyeone Pro 测色计;生成色空间软件,CHROMiX ColorThink 软件;已知 RGB 值的 LCD Monitor Reference 2.0 色块文本。

1.2 方法

1.2.1 制作 D50 和 D65 光源参数条件下苹果电脑显示器的特性文件

1) 清洁屏幕,预热显示器,使其呈色稳定,关闭周围的强光、显示器的色彩管理功能和屏幕保护程序。

2) 利用“显示器校准程序助理”校准显示器。确定显示器的原生响应曲线(原生灰度系数)(见图 1),选择目标灰度系数为 1.8(见图 2),在不同光源参数条件下苹果电脑显示器的特性文件,将特性文件分别命名为 D50 1.8 GAMMA 和 D65 1.8 GAMMA 并保存。



图 1 原生响应曲线的确定

Fig. 1 Determination of native response curve

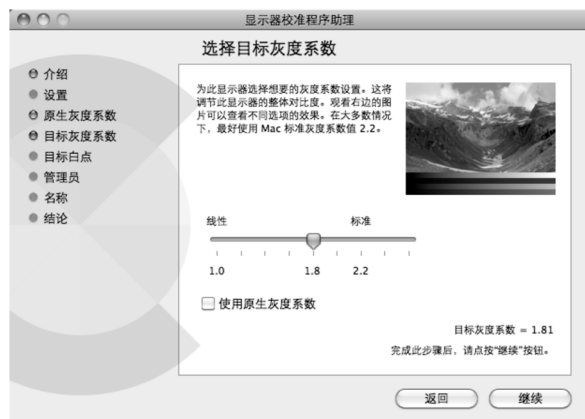


图 2 目标灰度系数的选择

Fig. 2 Selection of target gray coefficient

1.2.2 检测特性文件对颜色显示的影响

1) 在系统偏好设置/显示器/颜色下调用特性文件 D50 1.8 GAMMA.icc。

2) 在 MeasureTool 软件中,用 Configuring 工具设

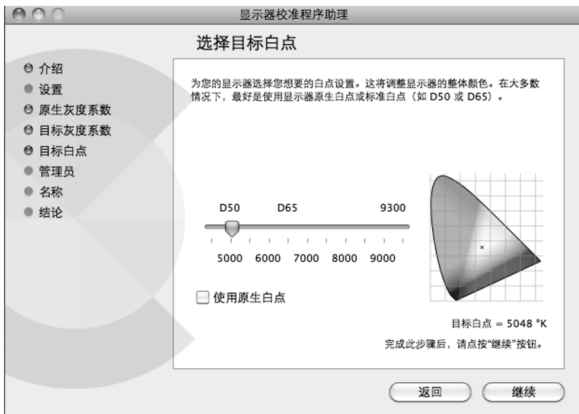


图 3 目标白点的选择
Fig.3 Selection of target white point

置颜色测量工具为 Eye-One Pro,测量介质类型为 E-mission,见图 4。



图 4 工具设置面板
Fig.4 Instrument configuration panel

3) 在 Test Chart Measurement 面板选择测量图表为“LCD Monitor Reference 2.0.txt”,见图 5。

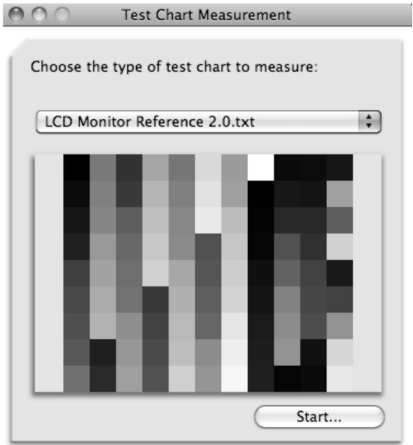


图 5 图表测量面板
Fig.5 Test chart measurement panel

4) 在测量界面中用 Eyeone 开始测量屏幕上显示

的色块,见图 6。测量前先将 Eyeone 置于白板上校准。测量完成后,LCD 显示器测试表的 99 个色块显示在屏幕上,见图 7。将显示色块的数据以“D50 1.8.txt”为名保存。



图 6 测量界面
Fig.6 Measurement interface

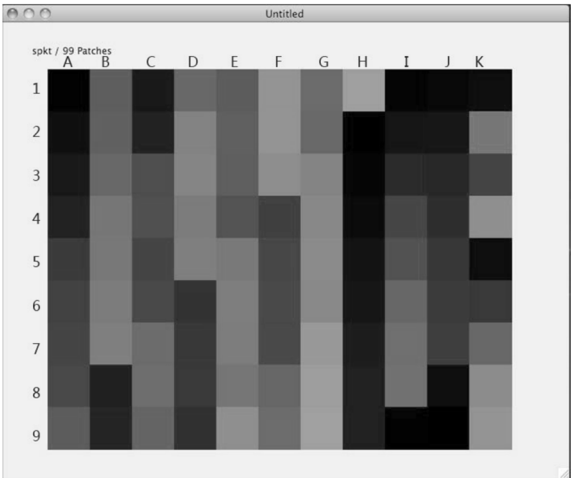


图 7 色块显示效果
Fig.7 Display performance of color patches

5) 在系统偏好设置/显示器/颜色下调用特性文件 D65 1.8 GAMMA.icc。重复第 1—3 步,并将显示色块的数据以“D65 1.8.txt”为名保存。

6) 使用 Comparing(比较)工具比较上述 2 组数据的色差,在 Reference 和 Sample 中分别选择“D50 1.8.txt”和“D65 1.8.txt”文件,见图 8。

7) 将生成的报表命名为“Compare D65 1.8 & D50 1.8.txt”并进行保存。

8) 在 CHROMiX ColorThink 软件中比较苹果电脑显示器在 GAMMA 值为 1.8,色温分别为 D50 和 D65 的条件下的色空间,以及显示器的白点颜色值。

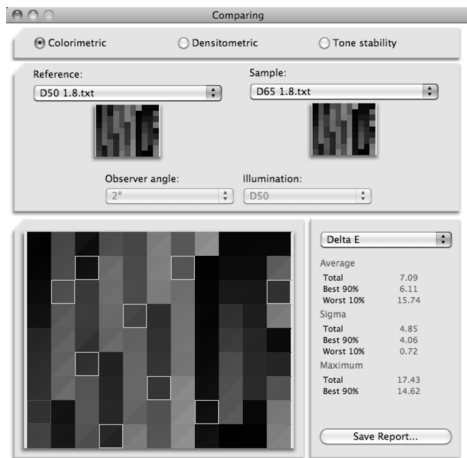


图 8 Comparing 面板
Fig. 8 Comparing panel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
115											
116		Sorted by dE:									
117	I1	0.42	-0.31	-0.22	0.18	1.13	-1.33	0.17	1.43	-1.51	0.38
118	I9	0.46	0.08	-0.35	0.29	0.46	0.41	-0.46	0.38	0.86	-0.44
119	A1	0.54	0.11	-0.16	0.5	0.82	-0.57	-0.57	0.71	-0.2	-0.94
120	I2	0.67	0.2	0.25	0.59	3.06	-6.21	3.76	2.87	-5.58	4.11
121	H2	0.8	-0.13	-0.24	0.75	0.73	-0.33	-1.5	0.86	0.43	-1.73
122	K1	0.81	-0.64	-0.4	0.3	1.43	-1.33	1.24	2.07	-1.83	1.25
123	J1	0.94	-0.12	0.57	0.73	1.33	3.86	1.23	1.45	3.46	0.39
124	F4	1.03	-0.25	0.78	0.61	27	48.42	43.6	27.25	48.24	42.62
125	I4	1.05	-0.74	0.67	0.33	24.47	-37.64	33.55	25.21	-36.92	33.34
126	J6	1.05	0.56	-0.64	0.62	24.31	44.82	37.25	23.76	44.91	38.14
127	J5	1.15	1.08	-0.33	0.19	21.92	42.5	34.31	20.84	42.63	34.67
128	K5	1.17	0.41	-0.15	1.08	2.36	-0.9	-0.23	1.95	-0.19	-1.06
129	I3	1.24	0.04	-1.21	0.25	8.9	-18.32	11.86	8.86	-19.2	12.74
130	J8	1.26	0.29	-0.86	0.87	1.95	-1.79	-1.01	1.66	-1.88	-2.24
131	A5	1.27	-1.05	0.42	0.58	17.8	-31.91	25.29	18.85	-31.22	25.48
132	F8	1.28	-0.32	-0.45	1.15	33.04	31.18	48.77	33.36	30.44	49.76
133	J2	1.28	0.58	1.14	0.06	3.23	11.79	3.68	2.65	10.68	3.4
134	I5	1.59	-1.32	-0.79	0.4	29.92	-43	39.69	31.24	-43.31	40.51
135	J9	1.86	-0.03	-1.76	0.61	0.65	1.66	-1.78	0.68	2.22	-3.56
136	J7	1.91	0.54	-1.4	1.18	25.92	46.53	40.02	25.38	46.81	41.83
137	D6	2.39	0.97	1.96	0.95	18.01	38.22	29.66	17.04	37.23	27.72
138	G3	2.63	-1.01	-0.83	2.29	43.42	5.24	57.24	44.44	3.02	58.23
139	A9	2.71	-1.41	-2.27	0.45	34.71	-46.55	43.76	36.12	-47.88	45.64
140	J4	2.87	0.89	2.7	0.38	15.14	34.88	23.81	14.25	32.85	21.98
141	I3	2.97	1.46	2.07	1.54	11.58	29.58	17.36	10.11	28.53	15
142	E1	2.97	-0.01	0.99	2.8	26.84	14.31	38.87	26.85	11.34	38.81
143	B1	3	-1.54	1.26	2.24	35	-42.33	22.8	36.54	-42.23	20.23

图 10 色块色差
Fig. 10 Color difference of color patches

2 结果与分析

2.1 结果

由 1.2.1 节得到特性文件 D50 1.8GAMMA.icc 和 D65 1.8GAMMA.icc。第 1.2.2 节第 7 步所保存的报表 compare D65 1.8 & D50 1.8 .text, 见图 9—10。图 9 中数据为苹果电脑显示器运用 D50 1.8GAMMA.icc 和 D65 1.8GAMMA.icc 这 2 个不同特性文件之后,驱动显示 LCD Monitor Reference 2.0 文本中的色块在苹果电脑显示器上显示颜色的 Lab 值的差别。其中 L_1, a_1, b_1 为特性文件 D50 1.8GAMMA.icc 使用后显示色彩的结果, L_2, a_2, b_2 为特性文件 D65 1.8 GAMMA.icc 使用后显示色彩的结果。图 10 中第 1 列为色块标号,第 2 列为 2 种条件下色块的色差,色差由小到大排列。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Average delta:	7.09									
2	Standard deviation (dE):	4.85									
3											
4	LGOROWLENGTH 09										
5	BEGIN_DATA_FORMAT										
6	Sample_IC_deltaE	deltaL	deltaC	deltaH	L1	a1	b1	L2	a2	b2	
7	END_DATA_FORMAT										
8	BEGIN_DATA										
9	A1	0.54	0.11	-0.16	0.5	0.82	-0.57	-0.57	0.71	-0.2	-0.94
10	A2	5.78	-0.26	-5.74	0.67	1.61	10.16	-28.34	1.87	12.77	-33.49
11	A3	11.81	-1.69	-11.42	2.49	3.92	33.33	-53.3	5.61	41.66	-61.5
12	A4	12.56	-4.18	-11.84	0.46	7.11	50.07	-71.12	11.29	56.49	-81.09
13	A5	1.27	-1.05	0.42	0.58	17.8	-31.91	25.29	18.85	-31.22	25.48
14	A6	4.37	-1.07	1.65	3.91	18.46	-22.57	-1.32	19.52	-20.37	-4.95
15	A7	10.93	-1.59	-7.8	7.5	19.33	-6.82	-27.28	20.92	-0.31	-35.92
16	A8	17.43	-1.65	-16.06	6.58	21.29	9.62	-47.4	22.94	20.15	-61.19
17	A9	2.71	-1.41	-2.27	0.45	34.71	-46.55	43.76	36.12	-47.88	45.64
18	B1	3	-1.54	1.26	2.24	35	-42.33	22.8	36.54	-42.23	20.23
19	B2	8.77	-1.69	1.8	8.41	35.43	-33.47	-1.86	37.12	-30.17	-9.8
20	B3	15.26	-1.9	-7.31	13.26	36.26	-21.88	-22.87	38.16	-14.57	-36.13
21	B4	6.35	-3.77	-5.08	0.47	47.95	-58.97	56.38	51.72	-62.3	60.25
22	B5	4.86	-3.77	-2.93	0.93	48.15	-56.27	40.24	51.92	-59.19	41.17
23	B6	5.76	-3.85	0.21	4.28	48.51	-49.84	17.63	52.36	-50.9	13.47
24	B7	10.48	-4.13	0.42	9.63	48.97	-41.47	-3	53.11	-39.25	-12.37
25	B8	3.12	1.12	2.56	1.4	7.46	24.54	11.34	6.35	22.74	9.05
26	B9	6.36	0.19	-3.3	5.43	8.38	30.21	-16.48	8.19	30.02	-22.83
27	C1	13.17	0.32	-12.7	3.45	10.82	38.37	-41.26	10.51	44.14	-53.09
28	C2	15.63	-1.82	-15.24	2.95	12.83	49.69	-61.36	14.65	56.74	-75.19
29	C3	3.45	-0.19	-1.56	3.07	21.2	-8.78	30.32	21.4	-12.2	30.8

图 9 显示色块颜色对比数据
Fig. 9 Comparison data of color display patches

由 1.2.2 节中第 8 步获得 D50 和 D65 条件下的色空间立体图,见图 11。网格部分为 D50 条件下的色空间,实体部分为 D65 条件下的色空间。还可以得到显示器在光源参数 D50 和 D65 下的白点颜色值,在 D50 光源条件下,显示器白点颜色值 $L=100, a=0, b=-1$;D65 光源条件下,显示器白点颜色值 $L=100, a=-2, b=-9$ 。

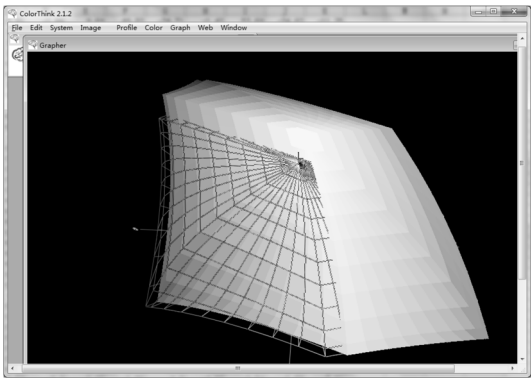


图 11 色空间比较
Fig. 11 Comparison of color spaces

2.2 分析

苹果电脑显示器应用 D50 1.8 GAMMA.icc 和 D65 1.8 GAMMA.icc 后,各自显示相同色块的结果不同,见图 9。2 种情况下显示色块相互之间的色差平均值为 7.09。

由图 11 可以看出,苹果电脑显示器在 GAMMA 值为 1.8,光源参数分别为 D50 和 D65 所对应的色空间不同。总体上看,2 个空间重叠部分较多,在 D65 条件下的色空间较大,但两者的色空间并不完全相互

包含。在饱和度较高的品红区域经红色区域过渡到黄色区域的部分,D50 条件下的色空间较大;由饱和度和较高的黄色区域经绿色、青色、蓝色区域过渡到品红区域的部分,D65 条件下的色空间较大。此外,D65 条件下的白点比 D50 条件下的白点偏蓝。由于黑体发出辐射光的光色随色温变化,色温高,蓝光成分多,色温低,红光成分多^[17],所以 D50 光源偏红黄,D65 光源偏蓝。上述结果与光源 D50 和 D65 的光色特性相一致。

结合图 9—11 可知,LCD Monitor Reference 2.0 文本中的色块,若色块颜色位于色域相互重叠部分,色差较小;位于色域不相重叠部分的颜色,色块色差较大。由图 11 可知,中性色多位于两色域重叠的部分,接近中性黑色的色块 I1,I9,A1,I2,H2,K1,J1,色差较小,具体颜色值和色差见表 1。从图 11 可以发现,色差较大的颜色大部分集中在蓝色区域和饱和度较高的品红色块,这些色块大部分位于色域不重叠的区域。蓝色色块 B3,C2,C6,D9,E4,H8 和品红色块 G2,K3 的具体颜色值和色差见表 2。

表 1 中性灰色块 Lab 值和色差值对比
Tab.1 Comparison of Lab and ΔE values
for gray patches

编号	颜色值						
	ΔE	L ₁	a ₁	b ₁	L ₂	a ₂	b ₂
I1	0.42	1.13	-1.33	0.17	1.43	-1.51	0.38
I9	0.46	0.46	0.41	-0.46	0.38	0.86	-0.44
A1	0.54	0.82	-0.57	-0.57	0.71	-0.2	-0.94
I2	0.67	3.06	-6.21	3.76	2.87	-5.68	4.11
H2	0.8	0.73	-0.33	-1.5	0.86	0.43	-1.73
K1	0.81	1.43	-1.33	1.24	2.07	-1.83	1.25
J1	0.94	1.33	3.86	1.23	1.45	3.46	0.39

表 2 蓝色和品红色块 Lab 值和色差值对比
Tab.2 Comparison of Lab and ΔE values for
blue and magenta patches

编号	颜色值						
	ΔE	L ₁	a ₁	b ₁	L ₂	a ₂	b ₂
B3	36.26	-21.88	-22.87	38.16	-14.57	-36.13	15.26
C2	12.83	49.69	-61.36	14.65	56.74	75.19	15.63
C6	23.81	17.98	-43.11	25.26	25.3	-57.41	16.13
D9	21.45	52.4	-46.75	22.16	58.15	-62.32	16.61
E4	28.86	30.44	-34.52	29.87	34.92	-49.47	15.65
E8	40.63	0.97	-15.54	42.02	3.71	-29.55	14.34
G2	34.69	41.99	-24.63	35.84	45.85	-39.26	15.18
H8	6.38	44.12	-64.91	8.76	54.27	-76.25	15.4
K3	26.24	53.97	-30.93	26.55	58.45	-45.84	15.57

3 结语

在不同特性文件作用下,苹果电脑显示器显示的颜色具有不同的颜色空间,位于 2 种颜色空间重叠部分的颜色,其显示效果差异较小,而对于 2 种颜色空间中非重叠部分的颜色,其显示效果差异较大。

在 D50 光源参数设置下,对于同一显示色块,其颜色比在 D65 光源参数设置下的偏红黄,D65 光源下显示色块颜色要偏白,偏蓝。由此可见,颜色显示结果差异与 D50 和 D65 光源颜色特性密切相关。

该实验结论在对显示器进行色彩管理,制作特性文件时光源参数的选择中有一定的指导作用。同时,虽然市面上不同品牌的显示器各式各样,但其色彩管理基本原理都是类似的,所以该实验结论适用于其他品牌电脑显示器,如易安,Pad 等。值得一提的是,不同品牌显示器在特定参数设置下,其对应的色空间可能会有所不同。

参考文献:

[1] 薛延学,张二虎,吴学毅. 包装数码印刷的色彩管理[J]. 包装工程,2003,24(5):47—48.
XUE Yan-xue,ZHANG Er-hu,WU Xue-yi. Color Management of Digital Printing[J]. Packaging Engineering,2003,24(5):47—48.

[2] JANG In-su,KYUNG Wang-jun,HA Yeong-ho,et al. User-configured Monitor-to-printer Color Reproduction[J]. Journal of Imaging Science and Technology,2011,55(2):20506-1—20506-10.

[3] GOSS B. Color Management[J]. Printwear,2006,19(10):84—88.

[4] 付文亭,陈新,陈海生. 实施印刷生产标准化的技术实践[J]. 包装学报,2012,4(3):60—63.
FU Wen-ting,CHEN Xin,CHEN Hai-sheng. Implementation of Standardization of Print Product Process[J]. Packaging Journal,2012,4(3):60—63.

[5] 刘武辉. 印刷色彩管理[M]. 北京:化学工业出版社,2011.
LIU Wu-hui. Printing Color Management[M]. Beijing: Chemical Industry Press,2011.

[6] XU Yan-fang,LI Yi-nan,LIU Hao-xue,et al. Exact Characterization of Monitor Color Showing[J]. Procedia Environmental Science,2011,10(Part A):505—510.

[7] 刘浩学,朱明铮,黄敏,等. 从特性文件分析 ICC 色域映

- 射机制[J]. 中国印刷与包装研究, 2010, 2(1): 14—19.
- LIU Hao-xue, ZHU Ming-zheng, HUANG Min, et al. Inspecting ICC Output Device's Profiles and Analyzing the Color Gamut Mapping Mechanism[J]. China Printing and Packaging Study, 2010, 2(1): 14—19.
- [8] LIU Xin, WAN Xiao-xia. Display Color Management and Soft Proofing[C]//Proceedings International Conference on Computer Science and Software Engineering, 2008: 290—293.
- [9] 韦斯博格. Mac OS X 色彩管理标准教材[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- WEISBERG J. Color Management in Mac OS X[M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2005.
- [10] 雷沪. 显示器色彩管理的研究与实践[J]. 包装工程, 2009, 30(7): 59—61.
- LEI Hu. Research and Practice of Color Management of Monitor[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(7): 59—61.
- [11] 谢芬艳. 基于不同 White Point 和 GAMMA 值的 LCD 显示器色彩管理研究[J]. 广东印刷, 2012(2): 14—16.
- XIE Fen-yan. Research on LCD Display Color Management Based on Different White Point and GAMMA Values[J]. Guangdong Printing, 2012(2): 14—16.
- [12] 刘霖, 黄岩. 显示器色彩管理前后的效果比较[J]. 数码印刷, 2008(10): 46—48.
- LIU Lin, HUANG Yan. The Result on the Color Management of CRT Monitor[J]. Digital Printing, 2008(10): 46—48.
- [13] 刘霖, 赵秀萍. CRT 显示器色彩管理效果分析[J]. 包装工程, 2008, 29(8): 61—63.
- LIU Lin, ZHAO Xiu-ping. Analysis of CRT Monitor Color Management Effect[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(8): 61—63.
- [14] 郭凌华. 色彩管理之 CRT 显色特征的探讨[J]. 包装工程, 2006, 27(3): 70—71.
- GUO Ling-hua. Displaying Color of CRT in Color Management System and Study of Correcting Gray Balance[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(3): 70—71.
- [15] 姚军财. 阴极射线管显示器颜色精确控制方法研究[J]. 包装工程, 2012, 33(15): 75—79.
- YAO Jun-cai. Study of Color Precision Control Method for Cathode Ray Tube Display[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(15): 75—79.
- [16] KATOH N, DEGUCHI T, BERNS R S. An Accurate Characterization of CRT Monitor (I) Verifications of Past Studies and Clarifications of Gamma[J]. Optical Review, 2001, 8(5): 305—314.
- [17] 刘武辉, 胡更生, 王琪. 印刷色彩学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- LIU Wu-hui, HU Geng-sheng, WANG Qi. Printing Color Science[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008.

(上接第 75 页)

- XUAN Zhao-long, YI Jian-zheng, DUAN Zhi-qiang. Research on Loading Decision-making System Based on the Security of Ammunition[J]. Journal of Ordnance Engineering College, 2006, 18(3): 34—36.
- [10] 周彬, 安振涛, 甄建伟, 等. 跌落条件下箱装弹药安全性的数值评估[J]. 装备环境工程, 2009, 6(5): 50—53.
- ZHOU Bin, AN Zhen-tao, ZHEN Jian-wei, et al. Numerical Evaluation of Packaged Ammunition Security under Condition of Dropping[J]. Equipment Environmental Engineering, 2009, 6(5): 50—53.
- [11] 杨会军, 田润良, 赵世宜, 等. 汽车装运弹药的振动特性与安全可靠研究[J]. 装备环境工程, 2009, 6(6): 24—27.
- YANG Hui-jun, TIAN Run-liang, ZHAO Shi-yi, et al. Study on Vibration Features, Safety and Reliability of Auto Loaded and Transported Ammunition[J]. Equipment Environmental Engineering, 2009, 6(6): 24—27.
- [12] 李金明, 安振涛, 丁玉奎. 弹药运输环境振动特性研究[J]. 包装工程, 2005, 26(3): 105—107.
- LI Jin-ming, AN Zhen-tao, DING Yu-kui. The Study of Vibration Characteristic in Ammunition Transportation Environment[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(3): 105—107.
- [13] 姚国年, 张卫东, 赵辉. 弹药公路运输随机振动特性研究[J]. 测控技术, 2004, 23(7): 67—69.
- YAO Guo-nian, ZHANG Wei-dong, ZHAO Hui. Random Vibration Characteristic Analysis of the Ammunition During Road Transportation[J]. Measurement & Control Technology, 2004, 23(7): 67—69.
- [14] 李圣怡, 刘宗林, 吴学忠. 微加速度计研究的进展[J]. 国防科技大学学报, 2004, 26(6): 34—37.
- LI Sheng-yi, LIU Zong-lin, WU Xue-zhong. Developments of Microaccelerometer Research[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2004, 26(6): 34—37.
- [15] 牛正一. 单片集成三轴微加速度计关键技术研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2010.
- NIU Zheng-yi. Study on Key Technologies of Monolithic Integrated Triaxial Micro-accelerometer[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2010.