基于 ISO 13660 的数字印刷线条质量分析与评价

金张英，郑 亮，管雯珺
（上海出版印刷高等专科学校，上海 200093）

摘要：根据 ISO 13660 标准建议的测量方法，使用基于扫描仪的数字印刷质量检测系统进行了线条印刷质量评价和分析。采用液体墨粉和固体墨粉的静电照相数字印刷机，分别在 2 种不同类型纸张上输出了数字印刷品作为测试样张。根据检测系统测得的数据，分别从线宽、粗糙度和模糊度等 ISO 13660 定义的线条和字符质量属性，分析和评估了 2 款数字印刷机输出的印刷品的线条质量。测量分析发现，由于 2 款数字印刷机在成像系统、结构设计和墨粉上的差异，使其线条质量上也存在差异。

关键词：数字印刷；线条质量；ISO 13660
中图分类号：TS805.4；TS807　**文献标识码**：A　**文章编号**：1001-3563(2012)15-0097-07

Line Quality Analysis and Evaluation of Digital Printing Based on ISO 13660

JIN Zhang-ying, *ZHENG Liang*, *GUAN Wen-jun*
(Shanghai Publishing and Printing College, Shanghai 200093, China)

Abstract: According to ISO 13660, Line quality was analyzed and evaluated by using a digital printing quality measurement system based on a scanner. The test sheets were printed by two xerographic digital presses, one of which used liquid toner and the other used solid toner, on two types of paper respectively. The line quality of two digital presses was analyzed and evaluated in line width, raggedness, and blurriness, which are line and character attributes defined in ISO 13660. The measurement results showed that the line quality is different due to the difference of imaging system, structure design and toner used in the two digital presses.

Key words: digital printing; line quality; ISO 13660

过去几十年，数字印刷技术飞速发展，对数字印刷质量检测的要求也日益增大。从印刷的工艺上看，传统印刷的开放性，使得其生产工艺能够实现标准化，使用不同印刷设备或耗材输出的印刷品能在最大程度上保持一致。数字印刷恰恰相反，因为工艺上的封闭性，往往只能使用指定的耗材，而且对于印刷参数的设置也只能在厂家设定的范围内进行调整。因此，数字印刷不能直接套用传统印刷的质量标准来评判[1]。随着数字印刷的发展和普及，数字印刷品质量的检测与评价成为业界关注的热点，也是控制数字印刷质量的前提和基础。这就提出了包括如何以统一的标准和指标来实现对不同印刷技术和设备的检测，如何以自动化的设备实现标准以减少人为因素造成的误差，以及如何通过检测结果规范和改进数字印刷质量等等问题。2001 年提出的 ISO/IEC 13660[2] 是迄今为止首个国际性的图像质量客观评价标准，可以实现对不同印刷工艺和设备印刷出来的图文的检测，非常适合应用于自动化印刷质量检测。目前国内外亦有一定数量的学者应用 ISO/IEC 13660 于印刷质量分析：有的提出了线条测量的建议测量规程[3]；有的分析了静电照相单色印刷品的复制质量[4]；有的研究分析了喷墨印刷的质量[5-6]；还有的综合比较了多种传统印刷和数字印刷的复制质量[7]。对于静电照相彩色数字印刷机对线条的表现能力，还没有进行深入讨论和分析。

印刷品中线条和文字作为印刷品中最常用的元素之一，如果有质量问题，会严重影响到印刷品的使用，甚至导致废品。因此线条与文中质量对于反映数

收稿日期：2012-04-24
基金项目：上海市教育委员会科研创新项目(12YZ198)
作者简介：金张英(1981－)，女，上海人，博士，上海出版印刷高等专科学校讲师，主要研究方向为数字印刷与图像处理等。

字印刷机的输出能力具有重要参考意义。由于字符笔画形态的千变万化,因而将以讨论线条为主,但所得结果也可扩展应用到字符笔画边缘质量的测试与评价[3]。文中将利用 ISO/IEC 13660 标准的方法,利用数字图像检测技术,比较 2 款彩色数字印刷机在不同纸张上对线条的表现能力。

1 线条与文字质量属性

由 ISO 13660 质量评价标准定义的线条和字符图像质量属性主要包括线宽、模糊度、粗糙度、字符暗度(对比度)以及密度等。每一种质量属性都经过严格定义。下面具体解释其中一些相关的部分质量属性。

1.1 线宽

线宽定义为线条的平均宽度,将承印材料(白色)和着色剂(黑色或彩色)的反射系数定义为 R_{max} 和 R_{min},线条边缘由反射率为 R_{60} 的点集构成,其中 $R_{60}=R_{max}-0.6(R_{max}-R_{min})$。确定线条边缘后,求得线宽平均值,即得到线宽值。

1.2 粗糙度

粗糙度定义为线条类对象的边缘从其理想位置产生几何畸变后形成了粗糙的外观,则边缘必然呈现高度不平的锯齿形状或波浪形状,从而偏离线条的理想平滑边缘和直线形态。根据线条边缘位置(对应于反射率为 R_{60} 的点集),可通过最小二乘法拟合得到线条边缘直线,该拟合直线到实际边缘的距离称为剩余部分,计算边缘上各点剩余部分的标准离差,即可得到粗糙度。

1.3 模糊度

模糊度定义为被复制对象的轮廓呈现朦胧或模糊的外貌,从背景过渡到线条时存在黑色程度可以察觉的渐变。模糊度具体定义为从反射率 R_{90} 的内边界到反射率 R_{10} 的外边界的平均距离。其中,R_{90} 和 R_{10} 可表述为:

$$R_{90}=R_{max}-0.9(R_{max}-R_{min}),$$

$$R_{10}=R_{max}-0.1(R_{max}-R_{min})。$$

1.4 暗度

暗度被定义为反射率为 R_{75} 对应的边缘以内的平均密度,其中:

$$R_{75}=R_{max}-0.75(R_{max}-R_{min})。$$

2 测试样张

测试图使用 Illustrator 软件绘制,在 Illustrator 环境中设置颜色模式为 CMYK 模式,这与实际生产的情况是相符的。分别用 C100%,M100%,Y100%,K100%绘制阳线线条或阴线背景,其中阳线是指纸白上的色线,而阴线是指色块上的白线。每种颜色的线条长度都是 20 mm(满足 ISO 13660 要求的测量线条的长度不小于 1.27 mm 的测试要求),线宽变化范围都是 0.1～1.6 mm,以 0.15 mm 的级差绘制水平方向阳线和阴线各 11 条;相应地,竖直方向阳线和阴线也各绘制 11 条,见图 1。水平方向是指与 A4 纸张

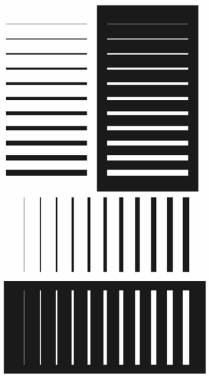

图 1 测试图

Fig. 1 Test chart

短边平行的方向,而竖直方向是与 A4 纸张长边平行的方向。生成 PDF 文档时不置入颜色特性文件。测试图的输出选择了基于固体墨粉和基于液体墨粉的静电照相成像的数字印刷机,在印刷机充分预热的情况下单面印刷到 A3 幅面的 80 g/m^2 双胶纸和 157 g/m^2 铜版纸上,每张纸上印有相同的 2 张测试图,再裁剪成 A4 大小,成为最终的测试样张。

3 测量仪器和软件

目前普遍使用的密度计、分光光度计等都无法测量和评价印刷品上的线条质量[4],而数字照相机和扫描仪可以按很高的采样频率从线条测试图的印刷样张转换到数字图像,然后可以结合图形处理技术进行测量和分析印刷品线条质量,因此,选用基于 CCD 图像捕获技术的数字印刷质量检测系统完成实验[5-8]。根据 ISO 13660 中建议应采用分辨率不低于 600

dpi,像素以 8 位描述的图像捕获设备,采用的印刷质量检测系统使用了基于 CCD 图像捕获技术的 Epson GT-X970 扫描仪。配套的质量分析与评价软件是 ImageQuality,安装在预装 windows 系统的计算机上,经过空间标定和密度标定的扫描仪可通过 ImageQuality 软件中操作扫描来获取检测目标对象并进行各项质量检测和分析。

4　测量方法

权衡扫描、分析时间和测量精度,以 600 dpi 的采样频率对测试样张进行扫描获取待测图像。得到的数字图像使用 ImageQuality 软件选取兴趣区域进行测量。为了避免线条粗糙度测量数据特有的位置敏感性造成的测量不稳定性,每条线条的测量兴趣区域分为包含两侧线端、只包含一侧线端、不包含线端等 3 种情况,并将 3 种兴趣区域的测量值求平均值作为线条的测量数据[3]。

5　测量结果与分析

5.1　线宽

根据测得的不同方向和不同颜色的阴、阳线条的线宽数据求得每条线与理论线宽的线宽误差,见图 2,纵坐标是实际线宽与理论线宽的误差,横坐标是理论线宽。以字母 GT 和 YT 分别代表采用固体墨粉和液体墨粉的数字印刷机,字母后的 80 g/m² 代表采用的纸张是 80 g/m² 双胶纸。观察图 2a 可以看到印刷机 YT 在表现横线时大部分阳线的线宽都比理论线宽大,而大部分阴线的线宽都比理论线宽小。由此可见在表现横线时印刷机 YT 的印刷范围总是偏多,这主要与光源曝光成像的准确性有关。从图 2b 可以看到印刷机 YT 在表现竖线时的情况刚好与横线相反,大部分阳线线宽比理论线宽小,而大部分阴线线宽比理论线宽大。由此可见在表现横线时印刷机 YT 的印刷范围总是偏少,这主要与成像鼓转动、转印部

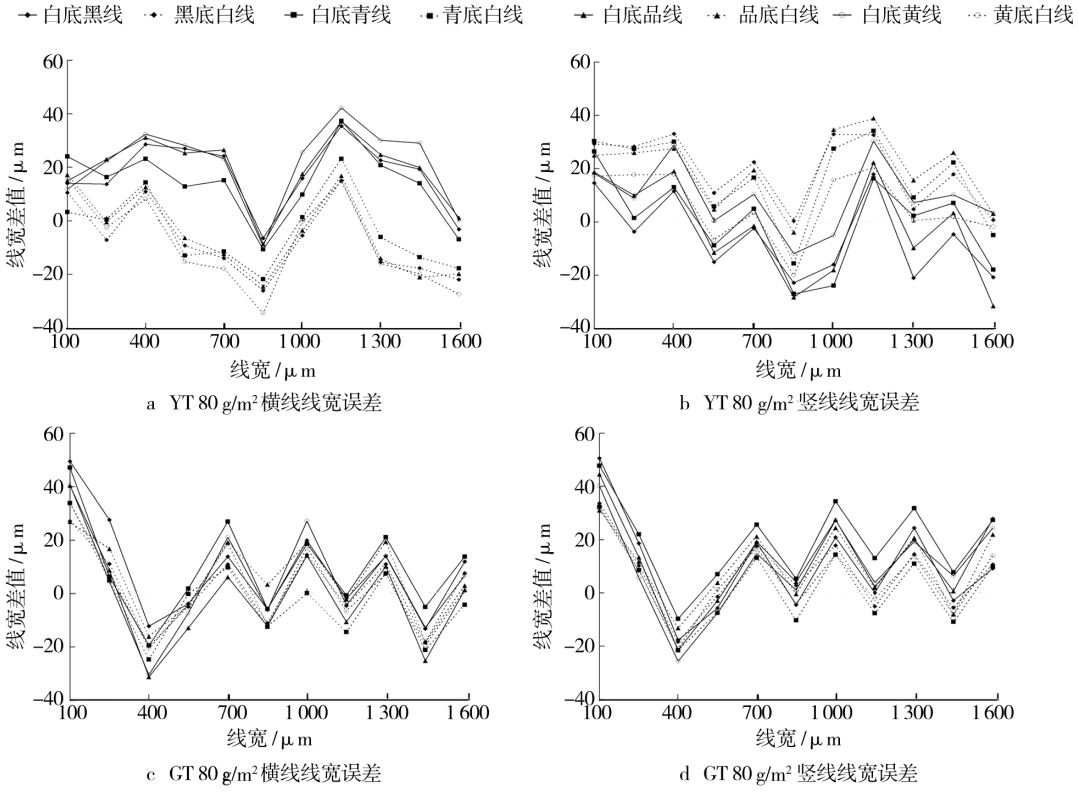

图 2　2 种数字印刷机输出到 80 g/m² 双胶纸的不同颜色线条的线宽误差

Fig. 2 Line width errors of different colors line on 80 g/m² uncoated papers produced by different digital presses

和走纸精确度等有关,而印刷机 GT 与印刷机 YT 的表现有明显差异。观察图 2c 和 d 可以看到印刷机 GT 在表现横线和竖线时并没有明显差异,一致性较好。这是因为 2 款数字印刷机采用的成像系统和结

构设计不同。印刷机 YT 采用的成像系统是旋转棱镜激光扫描成像系统，通过多边形棱镜改变激光束的方向来进行扫描曝光。相比印刷机 GT 采用的 LED 阵列成像系统，印刷机 YT 成像的定位精确性和稳定性控制更困难。在结构设计上，虽然 2 款印刷机都是间接转移的设计，但印刷机 YT 采用的是多次通过系统，转印借助橡皮布滚筒实现间接转移，而印刷机 GT 采用的是顺序排列一次通过系统，借助转印皮带实现转移。纸张在印刷机 YT 中的走纸路径更复杂，因而墨粉在纸张上的定位也相对地更困难。

研究发现，印刷机 GT 的线宽误差曲线的波动情况与图形加网时对笔画的微小调节密切相关。表 1 列出当印刷机以 600 dpi 的记录分辨率进行印刷时，表现不同线宽所需的理论上设备像素数，笔划调整后的实际设备像素数，以及两者造成的线宽误差。除了最细的线条(理论线宽 0.1 mm)外，表 1 中的误差数值与图 2c 和 d 中图像的波动状态基本吻合，这说明印刷机 GT 的线宽误差主要来自于线条加网时的微小调整。抛开加网造成的误差，其他因素造成线宽误差对于绝大多数线条来说的都不超过 10 μm。由此可见，如果输出设备的记录分辨率提高，有利于减小线宽误差。由于理论线宽 0.1 mm 的线条太细了，在印刷中任一环节的误差对他产生的影响都要比其他较粗线条明显，因此与线宽误差往往会较大。与此对应的是，尽管图 2a 和 b 中印刷机 YT 输出的横线和竖线的表现很不一致，且曲线走势与表 1 并不吻合，但是印刷机 YT 对最细线条的线宽误差控制却明显优于印刷机 GT。这一差异的主要原因一方面是由于印刷机 YT 在以 600 dpi 印刷可以选择线条平滑功能，即以更高精度来表现线条，因此特别有利于表现细线条；另一方面也和 2 款数字印刷机采用的油墨不同有关，印刷机 GT 采用墨粉直径约 5μm 的固体油墨，而印刷机 YT 采用墨粉直径约 1～2 μm 的液体油墨，更细小的墨粉在表现极细线条(比如我们测试图中的 0.1 mm 理论线宽的线条)和图像细节时更有优势，而大颗粒墨粉如果显影和转移控制稍有误差，其对线宽的影响将明显大于细小墨粉。从这里的分析也可以看到，印刷机分辨率越高，越有利于精细地表现线条，尤其是极细线条的情况。

表 2 比较了 2 款数字印刷机的线宽控制能力。

表 1 表现不同线宽的线条所需的理论和实际设备像素数以及两者造成的线宽误差

Tab. 1 Theoretical and actually numbers of equipment pixel, and the line width errors caused by them

线宽/μm	100	250	400	550	700	850	1 000	1 150	1 300	1 450	1 600
理论设备像素数	2.36	5.9	9.45	12.99	16.53	20.08	23.62	27.17	30.70	34.25	37.8
实际设备像素数	2	6	9	13	17	20	24	27	31	34	38
误差/μm	−15.24	4.23	−19.05	0.33	19.89	−3.39	16.09	−7.2	12.7	−10.58	8.47

注：当印刷机采用 600 dpi 输出时，设备像素的尺寸约 42.33 μm

表 2 不同数字印刷机的线宽控制能力比较

Tab. 2 Comparison of line width control ability of different digital presses

线宽误差绝对值	YT 80 g/m²		GT 80 g/m²		YT 157 g/m²		GT 157 g/m²	
不同的线条数	横线	竖线	横线	竖线	横线	竖线	横线	竖线
小于 15.41 μm	42	40	55	51	51	41	51	50
大于 21.17 μm	29	27	15	24	18	35	16	21

注：15.41 μm 是对所有线宽误差绝对值取平均求得的平均值；21.17 μm 对应于半个设备像素的尺寸

比较表 2 中的数据，可以看到在采用双胶纸输出的情况下，相比印刷机 YT，印刷机 GT 不论是印刷横线还是竖线都有更多的线宽误差被控制在线宽误差平均值以下，同时线宽误差超过半个设备像素尺寸的线条更少。在采用铜版纸输出的情况下，也依然是印刷机 GT 的线宽控制较好。对于印刷机 GT 来说，承印介质对线宽的影响并不明显，但对于印刷机 YT，可以看到输出到铜版纸上时横线的线宽控制有明显的改善，但竖线的线宽控制反而不佳。这并不能说明印刷机 YT 在铜版纸上的线宽表现不如双胶纸，更可能是印刷机 YT 本身对线宽的控制波动较大。通过表 2 比较线条方向的影响，总体上横线的线宽控制更好。

如果不考虑极细线条的情况(如理论线宽 0.1 mm)，从总体上来说印刷机 GT 对线宽的表现更准确，但是在极细线条情况下是印刷机 YT 表现的更好。2 款数字印刷机在线宽的表现上有各自的优势。

5.2 粗糙度

根据 ISO 13660 定义的粗糙度，利用 ImageQuality 测得的数据绘制成图 3，纵坐标是粗糙度，横坐标

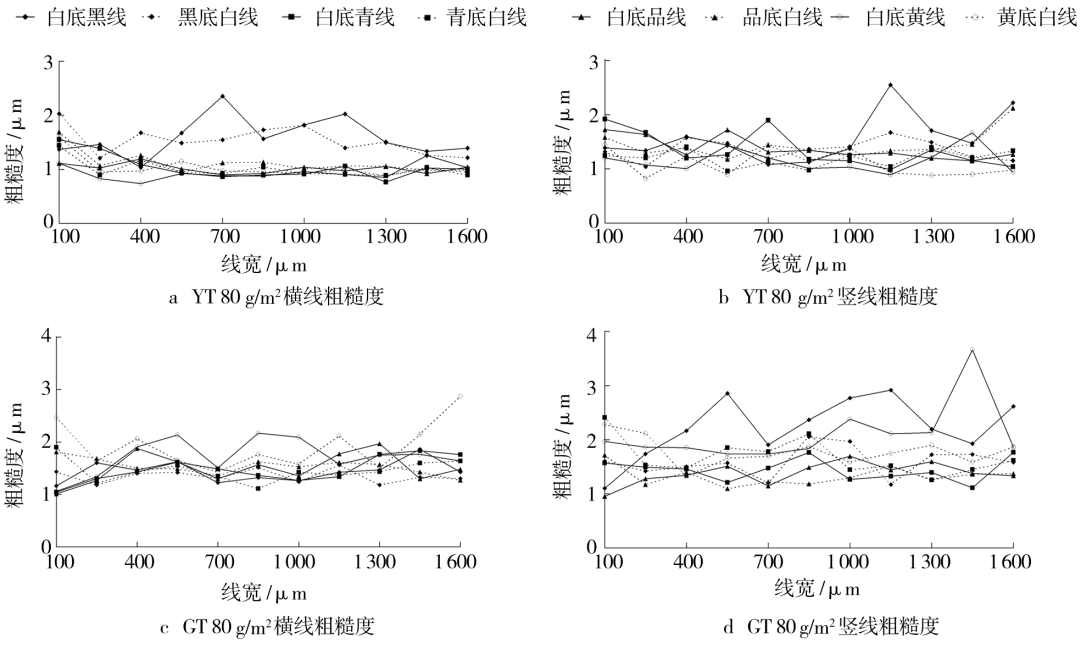

图 3　不同数字印刷机输出到 80 g/m² 双胶纸上的不同颜色线条的粗糙度

Fig. 3 Raggedness of different color line on 80 g/m² uncoated papers produced by different digital presses

是理论线宽。观察图 3,比较 2 款印刷机的表现,印刷机 GT 不论横线还是竖线的粗糙度都比印刷机 YT 略高,而且随着线宽的变化粗糙度的波动也较大。造成这一情况的主要原因是两者所用的油墨差异,颗粒大的墨粉构成的线条边缘往往没有小颗粒墨粉构成的精细,这一点也可以在图 4 中直观地看到。理论线宽都是 0.7 mm 的 2 条线条的放大图见图 4,分别由印刷机 YT(上)和印刷机 GT(下)输出到 80 g/m² 双胶纸。

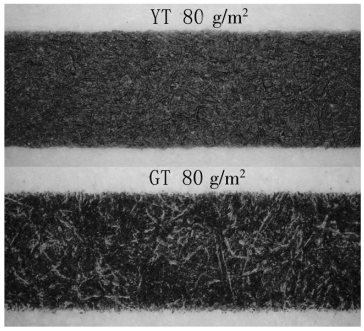

图 4　放大的线条

Fig. 4 Line magnified

2 款印刷机在不同纸张上输出线条的边缘粗糙度情况见表 3。比较表格中的数据,更清晰地发现不论是采用双胶纸还是铜版纸输出,印刷机 YT 对线条边缘粗糙度的控制都要优于印刷机 GT。同时,可以看到承印介质对于线条边缘粗糙度也有较大影响,在采用铜版纸的时,2 款印刷机输出的线条的粗糙度平均值都比采用双胶纸时小。线条方向的影响也体现表 3 中,总体上横线的粗糙度都小于竖线,这主要是由于横竖线条方向与墨粉熔化定影时受到的推压作用方向不同而造成的差异。

表 3　不同数字印刷机的线条边缘粗糙度

Tab. 3 Line raggedness of different digital presses

	YT 80 g/m²		GT 80 g/m²		YT 157 g/m²		GT 157 g/m²	
	横线	竖线	横线	竖线	横线	竖线	横线	竖线
粗糙度/μm	1.16	1.3	1.55	1.69	0.99	1.04	1.34	1.58

注:表中的数值是平均值

5.3　模糊度

利用测得的模糊度数据(线条两侧模糊度数据的平均),绘制了图 5。比较图 5a 和 b,印刷机 YT 输出的各色横线的模糊度一致性较好,而竖线则一致性较差。相比之下,印刷机 GT 的横线和竖线在模糊度一致性上的表现区别不大;且阳线的模糊度普遍较同色阴线的模糊度大,黑线的模糊度普遍较其他颜色大。由此可见,在模糊度的表现上,印刷机 GT 对横线和竖线的表现区别不大。

无论是哪款印刷机或哪种承印介质,可以在图 5

中看到他们都有一个共同点——对于从细到粗的线条，模糊度都有一个快速上升然后达到平缓区域的过程。这说明对于很细的线条，模糊度的大小与线宽大小紧密相关，而大于一定线宽后(如理论线宽大于0.55 mm后)，则模糊度的数值就相对稳定了。这一现象主要与模糊度的定义和线条密度有关的，假设细线条时(如理论线宽小于0.55 mm时)，线条越细密度越小(这一假设是符合实际的，参见表4)且线条两侧密度分布的上升沿都是陡峭的(这一假设是合理的，从图4中可以看到线条边缘都是锐利的)，根据模糊度

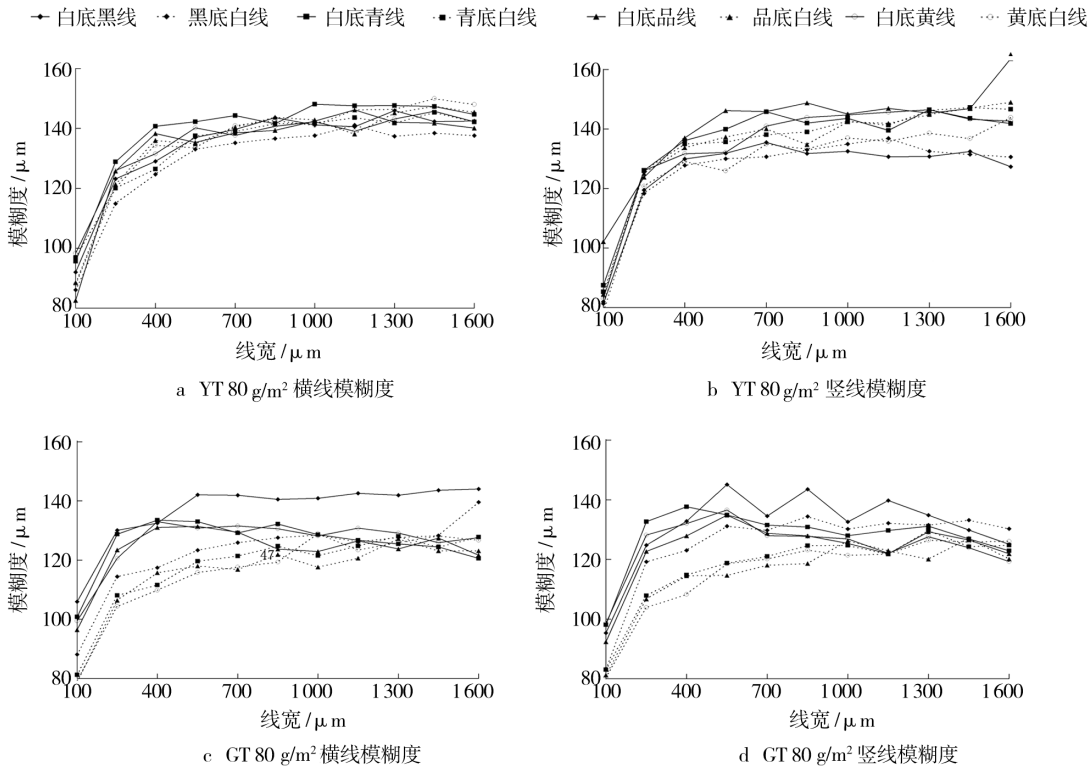

图5 不同数字印刷机输出到80 g/m² 双胶纸上的不同颜色线条的模糊度

Fig. 5 Blurriness of different color line on 80 g/m² uncoated papers produced by different digital presses

表4 不同数字印刷机的黑线暗度与线宽的关系

Tab. 4 Relationship between black line darkness and line width of different digital presses

线宽/μm		100	250	400	550	700	850	1 000	1 150	1 300	1 450	1 600
暗度	印刷机 YT	0.42	1.18	1.35	1.41	1.45	1.45	1.49	1.51	1.54	1.54	1.55
	印刷机 GT	0.82	1.27	1.38	1.46	1.5	1.5	1.53	1.53	1.51	1.51	1.54

定义可知 R_{90} 到 R_{10} 的平均距离也必然是越小。

表5给出了2款印刷机在不同纸张上输出线条的边缘模糊度情况。字母后的80 g/m² 和157 g/m² 代表采用的纸张是80 g/m² 双胶纸和157 g/m² 铜版纸。比较2款印刷机的表现，印刷机GT对线条边缘模糊度控制较好一些，但是其差异也只有10 μm左右，对于人眼来说，是难以分辨两者的差异的。无论对哪一款印刷机，承印介质对模糊度的影响都较明显，在采用铜版纸的时，粗糙度平均值都比采用双胶纸时小。此外，线条方向的影响并不明显，横线、竖线的模糊度差异都只有几微米。

表5 不同数字印刷机的线条边缘模糊度

Tab. 5 Line blurriness of different digital presses

	YT 80 g/m²		GT 80 g/m²		YT 157 g/m²		GT 157 g/m²	
	横线	竖线	横线	竖线	横线	竖线	横线	竖线
粗糙度/μm	1.16	1.3	1.55	1.69	0.99	1.04	1.34	1.58

6 结论

1) 关于线宽的控制，在不考虑极细线条情况(如

理论线宽 0.1 mm)下,总体上来说印刷机 GT 对线宽的表现更准确,但是在极细线条情况下反而印刷机 YT 表现的更好。2 款数字印刷机在线宽的表现上有各自的优势,印刷机 GT 的优势主要体现在线条表现的一致性和稳定性上,而印刷机 YT 的优势体现在能更精细的表现线条,因而在极细线条的表现上具有明显优势。此外,线条方向的不同也会影响线宽,总体上来说都是横线的线宽控制较好。

2) 总体上来说,印刷机 YT 对线条边缘粗糙度的控制都要优于印刷机 GT。2 款印刷机采用铜版纸的时线条的粗糙度较小,且不论采用哪种承印介质,都是横线的粗糙度较小。这主要是由于横竖线条方向与墨粉熔化定影时受到的推压作用方向不同而造成的。

3) 在线条边缘模糊度的控制上,印刷机 GT 的表现较好一些,但是其差异也只有 10 μm 左右,人眼难以分辨两者的差异。此外,采用铜版纸时线条的模糊度都较小。

4) 2 款数字印刷机在表现极细线条(如理论线宽 0.1 mm)时都有一定的困难,但印刷机 YT 对极细线条的表现要优于印刷机 GT;而对于理论线宽大于 0.55 mm 以上的线条,都能正常表现。若印刷机的设备分辨率能进一步提高,将有利于表现极细线条。

5) 2 款印刷机在线条质量上的差异主要是由于他们采用的成像系统、结构设计和墨粉差异等造成的。

参考文献:

[1] 姚海根. 数字印刷工艺的封闭性(下) [J]. 印刷杂志, 2008(6):50－52.
YAO Hai-gen. Closed Nature of Digital Printing Process [J]. Printing Field, 2008(6):50－52.

[2] ISO 13660, Information Technology-Office Equipment-Measurement of Image Quality Attributes for Hardcopy output-Binary Monochrome Text and Graphic Images [S].

[3] 姚海根. 线条边缘质量建议测量规程[J]. 中国印刷与包装研究, 2011, 3(5):28－33.
YAO Hai-gen. Proposed Test Regulation to Edge Quality of Lines [J]. China Printing and Packaging Study, 2011, 3(5):28－33.

[4] 郑亮, 金张英. 基于 CCD 的静电照相成像数字印刷品质量分析[J]. 包装工程, 2011, 32(7):112－116.
ZHENG Liang, JIN Zhang-ying. Quality Analysis of Xerographic Printing Based on CCD[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(7):112－116.

[5] 孔玲君, 刘真, 姜中敏. 基于 CCD 的数字印刷质量检测与分析技术[J]. 包装工程, 2010, 31(2):92－95.
KONG Ling-jun, LIU Zhen, JIANG Zhong-min. CCD based Digital Print Quality Measurement and Analysis Techniques[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(2):92－95.

[6] BRIGGS J C, A H KLEIN, Ming-kai TSE. Applications of ISO-13660, A New International Standard for Objective Print Quality Evaluation[J]. Japan Hardcopy'99, Imaging Society of Japan, 1999(7):1－5.

[7] Anupam DHOPADE. Image Quality Assessment According to ISO 13660 AND 19751[J]. IPA Digital Print Forum, 2008:43－50.

[8] 陈亚军, 张二虎. 基于图像处理的印刷缺陷在线检测系统研究[J]. 包装工程, 2005, 26(6):64－65.
CHEN Ya-jun, ZHANG Er-hu. Research On-line Defect Detection System for Printed-matter Based on Image Processing[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(6):64－65.

(上接第 79 页)

[8] 姚军财, 申静, 王剑华. 阴极射线管显示器亮度范围内对人眼视觉特性的实验研究[J]. 物理学报, 2008, 57(7):4034－4041.
YAO Jun-cai, SHEN Jing, WANG Jian-hua. Experimental Research of Human Vision Characteristic in the Range of Luminance of Cathode Ray Tube Display[J]. Acta Physica Sinica, 2008, 57(7):4034－4041.

[9] 姚军财, 龚箭. CRT 显示器颜色特性化模型与实验研究[J]. 包装工程, 2010, 31(21):99－102.
YAO Jun-cai, GONG Jian. CRT Display Color Characterization Model and Experiment Research[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(21):99－102.

[10] 申静. 用阴极射线管显示器测量人眼视觉特性[J]. 电视技术, 2011, 35(23):135－139.
SHEN Jing. Measurements of Contrast Sensitivity Characteristics in Human Vision System Based on Cathode Ray Tube Display[J]. Video Engineering, 2011, 35(23):135－139.