

基于测试的凹印机能效分析

金琳, 李艳, 王仪明, 刘宁, 李建国, 朱强, 孙万杰

(北京印刷学院, 北京 102600)

摘要: **目的** 为印刷机械的改进和节能减排提供基础数据。**方法** 使用风量计量法对多家印刷厂不同型号凹印机的能耗相关参数进行测量和计算, 并对测量数据进行差异分析。**结果** 得出了不同加热方式的凹印机在正常印刷时各部分的能耗量, 以及凹印机总的能源利用率。**结论** 提出了一种以单位平方米印品实地印刷消耗的能源量作为评价凹印机能效的指标。通过对部分机型的热量使用效率, 以及部分电机的工作状况及效率进行分析, 找到了凹印机耗能的重点, 以及影响凹印机能源消耗的可能因素, 并对凹印机的节能方法进行了初步探究。

关键词: 凹印机; 能效; 测试

中图分类号: TS835 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2014)19-0119-06

Energy Efficiency Analysis of Gravure Press Based on Energy Consumption Test

JIN Lin, LI Yan, WANG Yi-Ming, LIU Ning, LI Jian-guo, ZHU Qiang, SUN Wang-Jie

(Beijing Institute of Graphic Communication, College of Electromechanical Engineering, Beijing 102600, China)

ABSTRACT: Objective To provide basic data for the improvement and energy conservation of printing machinery.

Methods The relevant parameters of energy consumption of different models of gravure press in several printing companies were measured and analyzed using air flow measurement method, and the data was subjected to variance analysis. **Results** The amount of energy consumption and the total energy efficiency when the gravure press was printing in different heating ways were obtained. **Conclusion** The amount of energy consumed per unit square meter of printed matter was proposed as an evaluation index for gravure press energy efficiency. Through analysis of the heat efficiency of some print machines and the working conditions and efficiency of some motors, the focus of energy consumption in gravure press as well as the possible influencing factors of energy consumption in gravure press were found, and a preliminary exploration was conducted on the energy-saving method of gravure press.

KEY WORDS: gravure press; energy efficiency; test

节能减排是建设资源节约型社会的必然选择。到2020年我国单位国内生产总值CO₂排放量比2005年下降40%~45%^[1]。为应对当前紧迫的能源形势,印刷行业节能减排迫在眉睫。在国家政策方面,2010年10月8日,国家新闻出版总署和环境保护部共同发布关于实施绿色印刷工作的公告,其中,实施绿色印刷

的范围包括印刷设备、原辅材料、生产过程以及出版物、包装装潢等印刷品。凹版印刷机作为印刷设备中耗能最大、耗能种类最多的设备之一,实施节能减排对整个印刷行业实现绿色印刷,达到国家要求的碳排放量具有重要意义^[2-3];在关键技术方面,国内的凹印机最高速度还停留在300~400 m/min,而国外在2005

收稿日期: 2014-01-16

基金项目: 2013首都设计提升计划资助项目(Z131110000213119);北京印刷学院校级重点资助项目(23190112029);外挂上光增值印刷装置设计与开发(Z141104004414070)

作者简介: 金琳(1989—),男,湖北人,北京印刷学院硕士研究生,主攻印刷机械创新设计及能耗。

年以前就生产出印速达 500 m/min 以上的凹印机^[4]。干燥系统是影响印刷速度的主要因素之一,国内的凹印机只有在干燥系统方面有所突破,才有可能将速度提升到一个新的高度;在市场方面,欧洲市场要求的凹印机速度大多在 400 m/min 左右,且不向外排放废气,而国内的凹印机大多达不到这个要求。因此,从国家政策、关键技术及国外市场来看,对凹印机进行节能探索都是非常有意义的。

1 印刷机能源消耗量测量方法简介

以凹版印刷机为研究对象,研究其正常工作下的能源消耗量,不包括承印物、油墨、印版等实物量的消耗。凹版印刷机的耗能种类大体分为电能和热能。

电能可通过三相功率分析仪来测量,测试原理见图 1^[5],首先通过电流钳采集电路中的电流,再通过电压线串接电阻采集电路中的相电压,采集后的电压、电流模拟信号经功率采样模块转变成数字信号,最后进入运算单元进行积分运算,运算结果输入电脑。测量点的位置可选在电气柜的继电器、空气开关或总电缆接线处等位置。凹印机中热能的消耗主要是对印刷品进行干燥带来的消耗,其能源主要来源于干燥系统,见图 2。

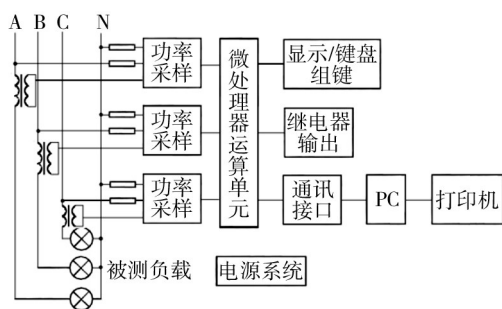


图1 电能测试原理

Fig.1 Theory of power test

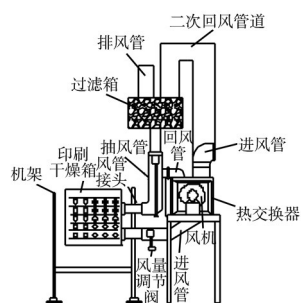


图2 凹印机烘干装置

Fig.2 Drying device of gravure printing machine

凹印机烘干装置的工作原理:传热介质(油、水蒸汽、电阻丝、天然气等)通过热交换器给进风管进来的冷空气加热,形成热风,热风在风机的作用下流经印刷品表面,加快印刷品表面油墨溶剂的挥发,使油墨凝固在纸张或者薄膜表面,干燥后的热风小部分回到热交换器中循环使用,剩余部分通过抽风管排到外界。在工厂实际印刷过程中,为了减少印品上的残留溶剂量,绝大多数凹印机不使用二次回风管,干燥完的废气不经二次回风,直接经抽风管排出。

凹印机干燥系统的能量转移有2种方式:一是热交换器中的空气分子被电加热或蒸气加热后,加快运动,其中部分与油墨中溶剂分子碰撞后,发生能量转移,促使溶剂分子运动加快,逃离墨层,即开始挥发;二是干燥箱中的热空气发出的红外线,既有波动性,又有粒子性,当红外线照射在油墨上,光子携带着能量撞击分子,将能量传给分子转化成热能,导致温度升高,溶剂离开油墨进入气相^[6-7]。

基于凹印机的工作原理和能量转移原理,测量凹印机干燥系统消耗热能的方法可分为直接测量和间接测量。直接测量是通过测量输入管道液体或气体的温度^[8-10]和流量,并计算出干燥系统消耗的热量;间接测量是通过测量干燥系统进风口的风量及温度等相关参数,求出干燥系统消耗的热量。这里使用间接测量的方法,即风量计量法,通过测量传热介质传递给烘干箱中空气消耗的量,即可得出凹印机消耗的热量。热风从热交换器到印刷干燥箱之间损耗的热量忽略不计,干燥过程中热风通过对流传热方式向室内传输的热量,可通过测量凹印机周边的温度变化算出其近视值,并计入凹印机向工厂内部的排热量。风量计量法的步骤如下所述。

- 1) 测量进风口和排风口内部的截面尺寸。
- 2) 测量进入干燥箱内空气的流量和温度,以及干燥箱中空气被加热后的温度。
- 3) 测量排风口废气的流速和温度。
- 4) 计算并求出凹版印刷机单位时间内消耗的热量值,以及单位平米印刷品实地印刷消耗的能源量。热量计算公式为^[11-12]:

$$E_p = c_p \frac{P_0 \varphi_0 \Delta_t M}{RT_0} (T_1 - T_0) \quad (1)$$

式中: E_p 为干燥部分消耗的热量; T_0 为干燥箱进风口的风温; T_1 为干燥箱中空气被加热后的温度; P_0 为外

界空气的压强; φ_0 为空气的流量; R 为摩尔气体常数; M 为摩尔质量; Δt 为测量时间; c_p 为空气温度为 $\frac{T_1 - T_0}{2}$ 时的比热容。

因印刷过程中油墨厚度不均匀,研究较复杂,故假设单次印刷所产生的油墨厚度相等。 1 m^2 印刷品单次实地印刷消耗的能源量 E_d 为:

$$E_d = \frac{E_z}{VB\Delta t\theta} \tag{2}$$

式中: V 为凹印机的印刷速度; B 为印刷原料的幅宽; E_z 为凹印机总的能源消耗量; θ 为图文百分比,即完成印刷品所需的所有印版中,其各块印版图文部分面积占印版与承印物接触区域面积的百分比之和。图文百分比可以通过2种方式测量,一是在制版前通过制版软件得出;二是印版滚筒每转完1圈后,截取对应大小的承印物,并在上面画出坐标格,算出图文部分占印版与承印物接触区域面积的百分比。

对于不同加热方式,不同印刷条件下的凹印机,当 E_d 值越小时,印刷相同面积的印品消耗的能源量越少,即节能越好。

2 测试结果及能效分析

2.1 电机能耗测试结果及能效分析

先后对6种不同型号的国产凹印机进行能耗测试,型号分别为B,C,D,E,F,G。其中,F型号凹印机各部分功能齐全,对分析凹印机电机功率具有典型意义,其各主要部分在正常印刷条件下单个电机消耗的功率见表1,该凹印机加热方式为电阻丝加热。由表1可知,正常印刷时加热电阻丝及版面吹风机功率因素分别为0.99和0.77,都在非常合理的范围内;而主电机的功率因素为0.149,牵引辊电机的功率因素为0.05,远低于通常电机的功率因素。过低的用电效率将加

大外部电网的负担,减低外部电网的效率。在这里,主电机的无功功率几乎大于其他各项之和,选用变频器控制或者无轴传动技术,将会降低电机消耗的功率以及提高用电效率^[13]。

F型号凹印机在正常印刷时各部分所消耗的能量比例见图3。鉴于冷却液和压缩空气等在印刷企业是集中供应,对这部分能耗没有进行统计。由图3可见,电阻丝加热耗能占93.05%,热风机耗能占3.93%,其他部分耗能所占比例为3.02%。其他部分包括主电机、放卷电机、牵引辊电机、冷风机、版面吹风机、收卷电机、收卷减速机、刮墨电机等拖动以及照明的耗能,其他部分中冷风机总有功功率较大,其次是主电机有功功率。由此可见,凹印机消耗的能源中烘干部分消耗最多,其次是热风机。如果对烘干部分进行节能研究,那么凹印机的能耗将会有明显改善^[14]。

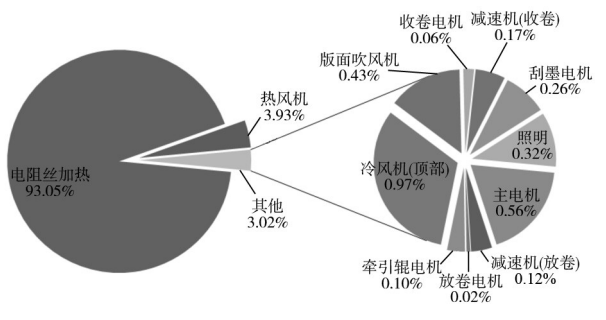


图3 凹印机各部分所消耗的能量
Fig.3 Energy consumption proportion of various parts in the gravure press

2.2 凹印机烘干系统热能测试结果及分析

凹印机烘干系统各种不同加热方式在不同条件下消耗的能源总值见表2。由表2可知,D型机和E型机加热方式相同,幅宽接近,温度不同,印刷速度相差较大;E型机消耗的能源是D型机的2倍多,可见速度和烘箱温度对印刷机能源消耗量的影响较大,特别是对热能的影响;B型机单个色组所消耗的总能源值为

表1 凹印机各主要部分能耗
Tab.1 Energy consumption of the main units in the gravure printing machine

功率	主电机	牵引辊电机	冷风机(顶部)	版面吹风机	减速机(收卷)	加热电阻丝	热风机	总照明
平均有功功率/W	1694	158	367	165	528	3730	1423	966
平均无功功率/W	11 238	3041	506	137	753	31	2092	2227
功率因数	0.15	0.05	0.59	0.77	0.57	0.99	0.56	0.4
额定功率/W	18500	2200	550	180	750	4000	3000	

表2 不同加热方式凹印机消耗的能源总值

Tab.2 Total energy consumption of gravure printing machine with different heating modes

机型	加热方式	使用色组数/个	印刷速度/($\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$)	印刷卷料幅宽/mm	烘干箱平均温度/ $^{\circ}\text{C}$	总平均耗电/($\text{kgce}\cdot\text{h}^{-1}$)	总平均耗热/($\text{kgce}\cdot\text{h}^{-1}$)	总能耗/($\text{kgce}\cdot\text{h}^{-1}$)	单色组平均能耗/($\text{kgce}\cdot\text{h}^{-1}$)
B	电阻丝	5	120	680	70	20.669	0	20.669	4.134
C	热油	1	98	930	35.3	1.62	0.938	2.558	2.558
D	蒸汽	10	140	780	65	2.405	13.108	15.513	1.551
E	蒸汽	10	188	945	55或65	5.262	27.879	33.141	3.314

*1~7色为55℃,8~10色为65℃。

4.134 $\text{kgce}\cdot\text{h}^{-1}$ (千克标准煤每小时),为3种加热方式中单位耗能最大的加热方式,而蒸汽和热油加热方式消耗的单位能耗差别不如电阻丝加热方式明显,可见,电阻丝加热为3种加热方式中最不节能的加热方式。

2.3 凹版印刷机总能效分析

因测试条件限制,未对印版滚筒上的图文面积及油墨厚度进行测量,只对印版图文面积百分比进行初步估计。同时,由于印刷品油墨厚度不规则,故假设单次印刷图文部分的油墨厚度相等。测量的凹印机属于同一地区不同厂家,工厂室内温湿度相差不大,假设各个厂家温湿度相等,根据表2中的数据可得不同加热方式凹印机的总能效,见表3。

由表3可知,C型凹印机加热方式为热油,1 m^2 印品单次实地印刷平均消耗的能源量为0.568 g标准煤,但测量时其印刷过程中只使用1个色组,其他色组均未使用,这会使印刷品在输送过程中得到干燥,因而印刷色组设定温度很低,其测量的能耗数据没有参考价值。其他机型均正常印刷,数据有参考价值。B型凹印机加热方式为电阻丝,1 m^2 印品单次实地印刷平均消耗的能源量为2.513 g标准煤,D,E,F型凹印机加热方式均为蒸汽,1 m^2 印品单次实地印刷平均消耗的能源量分别为为0.987,0.972,0.924 g标准煤。可见,电阻丝加热方式凹印机耗能最多,是蒸汽加热方式耗能的2倍多,验证了表2中得出的电阻丝加热为3种加热方式中最不节能的加热方式的结论。D,E,G等3种

表3 不同加热方式凹印机总能效

Tab.3 Total energy efficiency of gravure press with different heating modes

机型	加热方式	印刷幅宽/mm	总图文百分比/%	印刷速度/($\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$)	总能耗/($\text{kgce}\cdot\text{h}^{-1}$)	单次实地印刷平均能耗/($\text{gce}\cdot\text{m}^{-2}$)
B	电阻丝	680	165	120	20.669	2.513
C	热油	930	85	95	2.558	0.568
D	蒸汽	780	240	140	15.513	0.987
E	蒸汽	945	320	188	33.143	0.972
G	蒸汽	785	380	110	18.197	0.924

加热方式相同的凹印机,1 m^2 印品单次实地印刷平均消耗能源量相差不大,验证了以1 m^2 印品单次实地印刷消耗的能源量,作为评价印刷机能效的指标具有一定的可靠性。1 m^2 印品单次实地印刷平均消耗能源量最少的为G,其次为E,最多的为D。即节能效果最好的是G,其次是E和D,最差的是B。

2.4 凹版印刷机能源利用率

在测试D型凹印机时,工厂的室温为26.3℃,机器周边平均温度为29.7℃,进风口平均风温为

25.4℃,排风口平均风温为40℃。通过测量进风口及出风口的风量并进行热能计算,得到D型凹印机干燥部分能源实际利用值和向外界排放的能源值,见表4和图4。由图4可知,凹印机正常印刷过程中实际利用的仅占总消耗能源的22%,78%左右的能源被以热量的形式排放到外界,其中有75%的热量是由于干燥部分的废气带走的,3%的热量是由机器的运转和工厂内部管道向外传热带走的。由此可见,凹印机最具节能潜力的部分是干燥部分废气带走的热量。这里所测量的凹印机没有采用二次回风装置,为此,提出一种节

表4 D型凹印机能源利用率
Tab.4 Energy efficiency of D-type gravure printing machine

加热方式	使用色组数/个	印刷速度/($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$)	烘干箱平均风温/ $^{\circ}\text{C}$	实际利用量/($\text{kgce} \cdot \text{h}^{-1}$)	向工厂内部排放量/($\text{kgce} \cdot \text{h}^{-1}$)	向工厂外部排放量/($\text{kgce} \cdot \text{h}^{-1}$)
蒸汽	10	140	65	3.367	0.498	11.648

能的改进方案见图5,在风箱排风口安装过滤装置,将过滤后的空气循环使用,可以有效地降低凹印机的能耗^[15]。因受过滤材料的影响,对改进后整个系统的能耗情况还有待进一步研究。

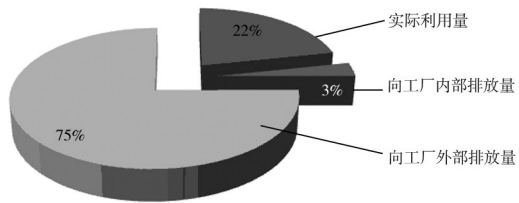


图4 D型凹印机能源使用效率
Fig.4 Energy efficiency of D-type gravure printing machine

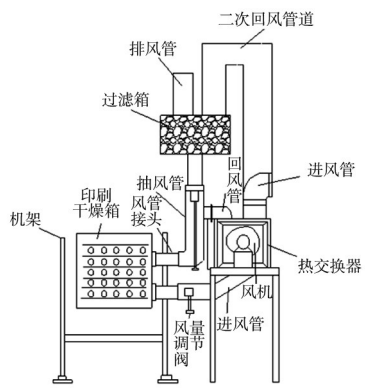


图5 二次回风装置示意
Fig.5 Schematic diagram of the secondary air return device

3 结语

通过对6台凹版印刷机正常印刷时能耗的测量,得出了不同种类凹印机正常印刷状态下各部分的耗能情况和各部分能耗占总能耗的比例,以及比较耗能的加热方式为电阻丝加热的结论。并以 1 m^2 印品单次实地印刷平均消耗能源量为评价指标,得出了B,D,E,G等4种凹印机的能效值,其中节能效果最好的凹印机为G。以蒸汽加热方式为例,得出了凹印机向外界的排放量以及利用率。通过对测量数据的分析,找到了凹印机节能的重点,为凹印机节能的改进提供

了参考,也为进一步深入研究凹印机的节能分析和设计提供了基础数据。

参考文献:

[1] 杨宏伟. 能源与环境概论[M]. 北京:中国市场出版社,2012.
YANG Hong-wei. Energy and Environmental Studies[M]. Beijing: China Market Press, 2012.

[2] 许文才. 我国凹版印刷业的现状及发展趋势[J]. 印刷技术, 2005(4):69—71.
XU Wen-cai. Status and Development Trend of China Gravure Industry[J]. Printing Technology, 2005(4):69—71.

[3] 左光申. 国产凹版印刷设备的现状及发展趋势[J]. 今日印刷, 2005(4):15—17.
ZUO Guang-sheng. Status and Development Trend of Domestic Gravure Printing Equipment[J]. Print Today, 2005(4):15—17.

[4] 左光申. 国产软包装凹印机与国外先进水平的差距分析[J]. 中国包装工业, 2001(3):6—9.
ZUO Guang-sheng. Gap Analysis Between Domestic Flexible Packaging Gravure with Foreign Advanced Level[M]. China Packaging Industry, 2001(3):6—9.

[5] 张海燕. 凹版印刷机干燥系统的研究[J]. 轻工机械, 2009(4):31—35.
ZHANG Hai-yan. Study on Drying System of Gravure Press[J]. China Light Industry Press, 2009(4):31—35.

[6] 傅红武. 轮转凹印机热风干燥系统的结构优化[J]. 印刷技术, 2010(10):52—55.
FU Hong-wu. The Structural Optimization of Rotogravure for Hot Air Drying System[J]. Printing Technology, 2010(10):52—55.

[7] 贾春江. 水性油墨热风干燥机理及数学模型研究[J]. 中国印刷与包装研究, 2010, 11(3):47—56.
JIA Chun-jiang. Research on the Mathematical Model and Air-Drying Mechanism of Water-Based Ink[J]. China Printing and Packaging Study, 2010, 11(3):47—56.

[8] 张辉. 圆管内壁温度的推算方法[J]. 中国电机工程学报, 1994(4):8—13.
ZHANG Hui. A Method for Estimation of the Inner Surface

- Temperature of Cylinders from the Outer Surface Temperature History[J]. Proceedings of the CSEE, 1994(4):8—11.
- [9] 张成义. 红外测温法确定圆柱内壁温度的误差分析和优化研究[J]. 激光与红外, 2007(7):656—658.
- ZHANG Cheng-yi. Quantitative Diagnosis and Optimization to Estimation Errors of Internal Temperature of a Hot Wire Embedded at the Center of a Cylinder Based on Infrared Temperature-Measuring[J]. Journal of Laser and Infrared, 2007(7):656—658.
- [10] 张有为. 采用共轭梯度法的管内壁温度导热反问题求解[J]. 工程热物理学报, 2009(7):1188—1190.
- ZHANG You-wei. Inverse Heat Conduction Problem of Deducing Inner Wall Temperature by Using Conjugate Gradient Method[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2009(7):1188—1190.
- [11] 张学学. 热工基础[M]. 北京:高等教育出版社, 2006.
- ZHANG Xue-xue. Thermal Engineering Fundamentals[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [12] 杨世铭. 传热学[M]. 北京:高等教育出版社, 2006.
- YANG Shi-ming. Heat Transfer Theory[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [13] 李沪萍. 热工设备节能技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2010.
- LI Hu-ping. Energy-saving Technologies of Thermal Equipment[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010.
- [14] SATORU I, KATS E, TSUNEHIK I. Development of High Thermal Efficiency Impinging Jet Nozzle for Hot Air Drying of Gravure Printing[J]. Journal of Chemical Engineering of Japan, 1998, 6(21):569—575.
- [15] 黄清明, 陈芳园, 许鹏, 等. 凹版印刷机干燥系统机型结构工艺参数节能减排设计[J]. 机械工程师, 2010(3):38—42.
- HUANG Qing-ming, CHEN Fang-yuan, XU Peng, et al. The Energy-saving & Emission Reduction Design of Mechanical Structure Parameters to Intaglio Press Drying System[J]. Mechanical Engineer, 2010(3):38—42.

(上接第97页)

- Visual System Modeling for Bio-inspired Low Level Image Processing[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2010, 114(7):758—773.
- [3] CINTRA R J, BAYER F M. A DCT Approximation for Image Compression[J]. Signal Processing Letters, 2011, 18(10):579—582.
- [4] 申静. 基于人眼对比度敏感视觉特性的彩色图像水印技术研究[J]. 包装工程, 2014, 35(3):78—83.
- SHEN Jing. Color Image Watermark Technology Based on Contrast Sensitivity of Human Vision System[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(3):78—83.
- [5] MITTAL A, MURALIDHAR G S, GHOSH J, et al. Blind Image Quality Assessment without Human Training Using Latent Quality Factors[J]. Signal Processing Letters, IEEE, 2012, 19(2):75—78.
- [6] ZHANG X. Lossy Compression and Iterative Reconstruction for Encrypted Image[J]. Information Forensics and Security, 2011, 6(1):53—58.
- [7] GRAHAM D J, REDIES C. Statistical Regularities in Art: Relations with Visual Coding and Perception[J]. Vision Research, 2010, 50(16):1503—1509.
- [8] BENOIT A, CAPLIER A, DURETTE B, et al. Using Human Visual System Modeling for Bio-inspired Low Level Image Processing[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2010, 114(7):758—773.
- [9] MULLEN K T. The Contrast Sensitivity of Human Color Vision to Red-green and Blue-yellow Chromatic Gratings[J]. The Journal of Physiology, 1985, 359:381—400.
- [10] YAO Jun-cai. Measurements of Human Vision Contrast Sensitivity to Opposite Colors Using a Cathode Ray Tube Display[J]. Chinese Science Bulletin, 2011, 56(23):2425—2432.
- [11] AKG L C B, RUBIN D L, NAPEL S, et al. Content-based Image Retrieval in Radiology: Current Status and Future Directions[J]. Journal of Digital Imaging, 2011, 24(2):208—222.
- [12] LAI C C. An Improved SVD-based Watermarking Scheme Using Human Visual Characteristics[J]. Optics Communications, 2011, 284(4):938—944.
- [13] BREMOND R, TAREL J P, DUMONT E, et al. Vision Models for Image Quality Assessment: One is Not Enough[J]. Journal of Electronic Imaging, 2010, 19(4):43—57.
- [14] 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.
- [15] JAFARI R, ZIOU D, RASHIDI M M. Increasing Image Compression Rate Using Steganography[J]. Expert Systems with Applications, 2013, 40(17):6918—6927.