

基于霍尔效应的印刷机能耗检测方法研究

黄红星, 王仪明, 武淑琴, 王佳

(北京印刷学院 数字化印刷装备北京市重点实验室, 北京 102600)

摘要: **目的** 采用霍尔元件法搭建印刷机群能耗数字化检测平台。**方法** 通过建立印刷机能耗指标模型框架体系, 形成以总耗电量指标、均值类指标、耗电比例类指标等为主的印刷机耗电评价标准, 完善能耗评价准则。采用灵敏度高、稳定性好的霍尔元件作为能耗检测元件, 并分析霍尔效应、磁平衡式电流和电压霍尔传感器的检测电路。采用伏安法功率测量方式分别检测各负载电路的电流与电压, 通过 A/D 转换模块实现检测数据数字化, 并通过硬件控制核心对采集的数字信号进行运算、输出和显示, 采用 CAN 总线实现硬件控制系统与上位机之间数字信息交互。**结果** 搭建了印刷机群能耗数字化检测系统平台, 实现了外围设备与上位机间的数据交互, 实现了印刷机群以数据为核心, 通过能耗检测、能效分析、能源成本控制以及能源指标优化, 提高了能源利用效率。**结论** 能耗检测的实现既能减少冗余电量损耗, 又有利于监测电路稳定性, 利用霍尔元件法实现印刷机群能耗检测的方法是可行的。

关键词: 能耗模型; 霍尔效应; 检测电路; CAN

中图分类号: TS801.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)09-0205-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.09.031

Energy Consumption Detection Method of Printing Press Based on Hall Effect

HUANG Hong-xing, WANG Yi-ming, WU Shu-qin, WANG Jia

(Beijing Key Laboratory of Digital Printing Equipment, Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing 102600, China)

ABSTRACT: The work aims to form a digital inspection system for the energy consumption of printing presses by the Hall element method. By establishing a framework system for the energy consumption index model of printing presses, a power consumption evaluation standard of printing presses was formed based on the total power consumption index, average value index, and power consumption ratio index, and the energy consumption evaluation criteria were improved. The Hall element with high sensitivity and good stability was used as the energy consumption detection element. The detection circuits of the Hall effect, magnetically balanced current and voltage Hall sensors were analyzed. The current and voltage of each load circuit were measured by voltammetry power measurement method and the detection data were digitized through the A/D conversion module. Then, the collected digital signals were calculated, output, and displayed through the hardware control core. The CAN bus was used to implement digital information exchange between the hardware control system and the upper computer. As a result, a digital energy consumption detection system platform for the printing press group was formed, which realized the data interaction between the peripheral equipment and the upper computer, and made the printing press group take data as the core. Through energy consumption detection, energy efficiency analysis, energy cost control, and energy index optimization, energy efficiency was improved. The realization of energy consumption detection can not only reduce the redundant power consumption, but also is conducive to monitoring

收稿日期: 2019-09-09

作者简介: 黄红星 (1993—), 男, 北京印刷学院硕士生, 主攻印刷设备检测及故障诊断。

通信作者: 王仪明 (1965—), 博士, 北京印刷学院教授, 主要研究方向为印刷机械检测及故障诊断。

the stability of the circuit. It is feasible to use the Hall element method to realize the energy consumption detection of the printing press group.

KEY WORDS: energy consumption model; Hall effect; detection circuit; CAN

印刷行业作为我国主要产业之一,推动了我国文化产业发展的关键一环,自改革开放以来,印刷装备的发展一直是走在前列。根据印刷过程,印刷装备分为印前设备、印刷设备、印后设备,随着人们对印刷品质量要求的不断提高,设备机组不断增加,运行管理成本直线上升。能源消耗在印刷企业占据很大生产成本,因此印刷装备生产过程能耗检测、管理尤为重要。目前电功率测量分为时分隔(TMD)功率测量技术^[1]、数字采样(DSM)电功率测量技术^[2],但这2种方式都存在很多缺点,而霍尔元件法综合了以上2种的优点,从理论上分析更加简单有效。

1 霍尔效应及其应用

霍尔效应是德国物理学家霍尔于1879年发现的一种新的物理效应,并在此后经过不断发展已逐渐得到完善^[3]。如图1载有电流(I_A)的霍尔元件垂直放置于磁场中,运动电荷受洛伦兹力 $f_b=qvB$ 发生偏转产生霍尔电势(U_{ab}),带电粒子在电场中受力 $f_a=qE$,

$E_H = \frac{U_{ab}}{d}$ 。当 $f_a=f_b$ 时达到平衡状态:

$$U_{ab}=K_H B I_A \quad (1)$$

式中: K_H 为霍尔灵敏度。

通过式(1)可知电势大小正比于通电电流及垂直磁场大小,因此当已知磁场强度与通电电流时即可推出输出电压大小。

霍尔效应已广泛应用于信号传感器、速度传感器和用电负载检测等。张劲松^[4]利用霍尔元件设计了功率测量传感器,并指出了霍尔元件可能误差及补偿措施;李庆莲等^[5]通过试验和分析,提出了霍尔电压传

感器角差的估算公式,并给出了霍尔电压传感器角差参考值;陈庆^[6]在对霍尔电流传感器和空芯线圈的传感原理研究的基础上,提出了不采用气隙铁心构造的传感器新思路。

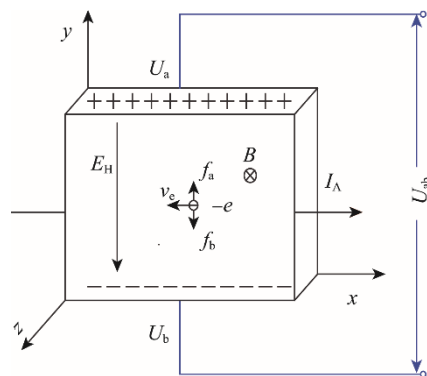


图1 霍尔效应示意

Fig.1 Schematic diagram of Hall effect

2 印刷装备能耗模型

印刷机工作方式复杂,能耗种类包括碳排放、电能、热能、水耗及其他能源损耗等。其中,电能除了供给主轴电机和各色组电机,还需供给控制系统、冷却泵、加热器、风扇等。

随着人们环保意识的提高,绿色印刷成为新的印刷理念,为了能更好地节能减排,印刷机群能耗数据的统一管理变得尤为重要,朱强等^[7]提出了基于ZigBee技术的印刷机能耗专用检测、监控技术开发及应用;孙万杰等^[8]根据不同机构的能耗特性,将其分为“印刷相关”和“印刷无关”等2个部分,并建立

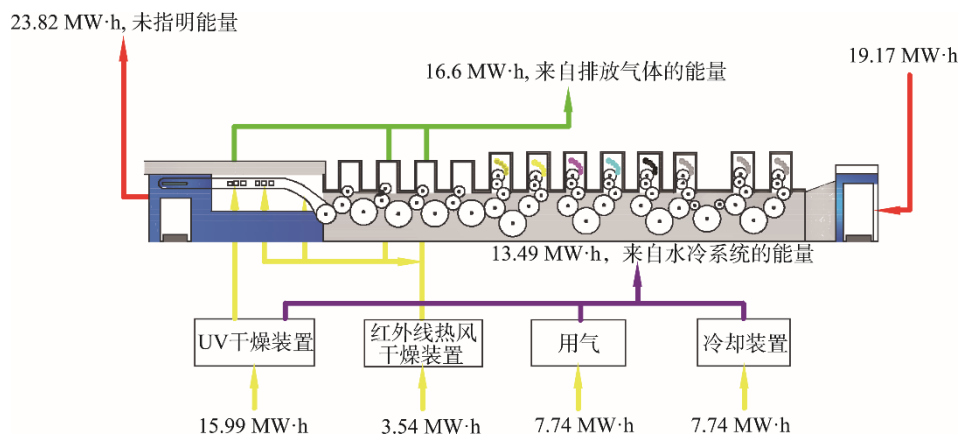


图2 德国单张纸印刷机能耗分布

Fig.2 Energy consumption distribution of single-sheet printing press in Germany

了凹版印刷机集成能耗模型。电能是印刷机耗能主要部分,为了全面分析评价印刷机电耗指标,文中将电能分为主驱动系统供能、辅助电器供能、干燥系统供能等不同类别。

通过建立耗电指标模型,将印刷机群主要耗能整体分为 3 种类别,如下所述。

$A=\{\text{驱动系统}\}; B=\{\text{加热系统}\}; C=\{\text{辅助电器系统}\};$

$A_i(i=1\sim 14)=\{\text{驱动系统下各执行机构}\};$

$A_i \subseteq A, \sum_{i=1}^{14} A_i = A$

映射:

总耗电量指标: $E_{01} = E_{01A} + E_{01B} + E_{01C}$

均值类指标: $E_{01A} = \sum_{i=1}^{14} 0.2A_i$

各系统耗电比例类指标: $[E_{01A01P}; E_{01B01P}; E_{01C01P}] = \frac{[E_{01A}; E_{01B}; E_{01C}]}{E_{01}}$ 。

驱动系统中各执行机构耗电比例类指标:

$[E_{02A102P}; E_{02A202P}; \dots E_{02A1402P}] = \frac{[E_{02A1}; E_{02A2}; \dots E_{02A14}]}{E_{01A}}$ 。

1) 总耗电量指标包括驱动系统耗电量指标、加热系统耗电量和辅助系统耗电量指标等,公式中各代码分别表示为: E 表示印刷机耗电量,下标“01”表示总耗电量;“ A ”,“ B ”,“ C ”用来区分各系统的总耗电量,如 E_{01A} 表示驱动系统总能耗量。

2) 均值类指标指各系统对应执行机构耗电量指标, E 为印刷机耗电量,下标“02”表示耗电量均值,“ A ”为驱动系统,“ B ”为加热系统,“1—12”表示驱动系统各执行机构耗电均值,如 E_{021A14} 表示驱动系统主电机耗电量。

3) 耗电比例类型指标是衡量各子系统耗电量占比大小,可以分析出印刷机耗电结构,公式为各分项系统耗电量与总耗电量比值、各执行机构耗电量比值、对应系统耗电量比值和总耗电量比值。“01P”表示分项系统耗电比例,如 E_{01B01P} 表示加热系统分项耗电占印刷机总耗电的比例,“02P”表示分项执行机构在各系统中耗电比例。

3 印刷机能耗测试基本原理

随着科技的进步,霍尔传感器电功率测量技术得到了广泛发展,技术应用变得也越来越完善。郭明良等^[9]提出一种多用途霍尔三相钳形测量仪表,能广泛用于电力、通信等行业,具有寿命长、体积小、重量轻等优点。李炆烽^[10]等分别介绍了利用霍尔效应测量交流和直流功率的原理和方法。郭世才、戴文进^[11]在分析现有功率测量方法基础上,提出了一种将 $P=UI$ 转换为 B, I 乘积功率测量电路,并使测量准确度

达到 $\pm 0.1\%$ 。

3.1 霍尔元件能耗检测方法

相较于直接转换的功率测量方式,间接性功率测量方法更加稳定安全,检测范围更加广泛,通过霍尔互感传感器分别检测负载电路中电流与电压,然后采用伏安法计算出功率见图 3。由式(2)间接得出功率的瞬时值。

$$P = UI \cos \varphi \quad (2)$$

式中: $\cos \varphi$ 为功率因数。

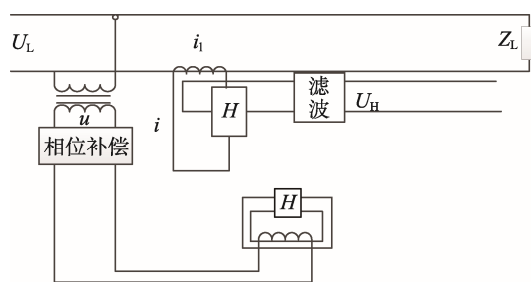


图 3 功率测量电路

Fig.3 Power measurement circuit

图 3 中 Z_L 为负载。

3.2 电流与电压霍尔传感分析

根据不同测量原理,电流传感器分为分流器、互感器等,相较于前两者,霍尔电流传感器^[12—15]适用范围更加广泛、准确度高、动态性能好、过载能力强、测量范围大、相位特性好等优点。霍尔传感器一般分为开环式与闭环式 2 种类型。开环式不与被测电路接触,不影响被测电路,不消耗被测电源的功率,适合于大电流传感;闭环式传感器原边电流产生的磁场由副边电流产生的磁场补偿,使霍尔器件处于零磁通状态。输出电压 U_H 见式(3)。

$$U_H = \frac{K_H}{S} \left(\frac{N_1 I_P - N_2 I_S}{R_m + R_k} \right) \quad (3)$$

式中: K_H 为霍尔元件灵敏系数; N_1, N_2 为原、副边线圈绕组匝数; I_P, I_S 为原副边线圈电流(A); S 为磁芯横截面积; R_k 为气隙磁阻; R_m 为总磁阻。

经过分析,磁场失衡到再次平衡,所需理论时间不到 $1 \mu s$ 。

霍尔电压传感器见图 5。

原边电压 V_P 通过限流电阻 R_1 产生电流,流过原边线圈产生磁场,聚集在磁环内,通过磁环气隙中霍尔元件输出信号控制补偿电流 I_S 流过副边线圈产生的磁场进行补偿,输出电压简化为:

$$V_P = 2R_1 \frac{I_S N_2}{N_1} \quad (4)$$

式中: N_1, N_2 为原、副边线圈匝数; R_1 为限流电阻; I_S 为副边电流。

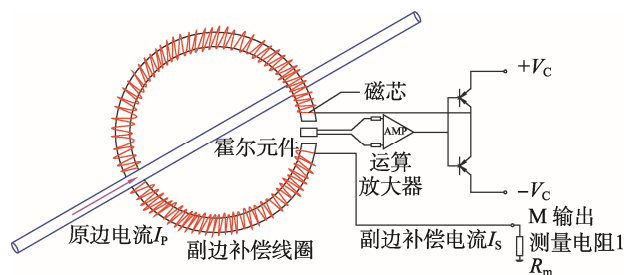


图 4 磁平衡式电流传感器电路

Fig.4 Circuit of magnetic balance current sensor

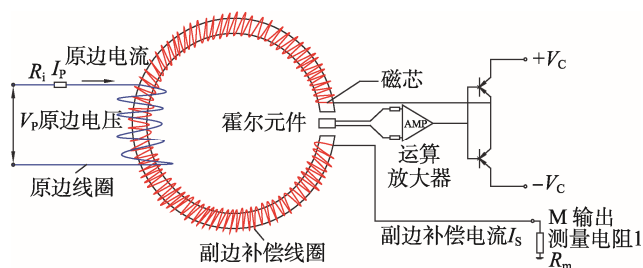


图 5 磁平衡式电压传感器电路

Fig.5 Circuit of magnetic balance voltage sensor

4 检测系统的设计

4.1 能耗检测平台

能耗监测平台包括电流电压的接触式设备、采集数据的功率仪及 PC 机，见图 6。

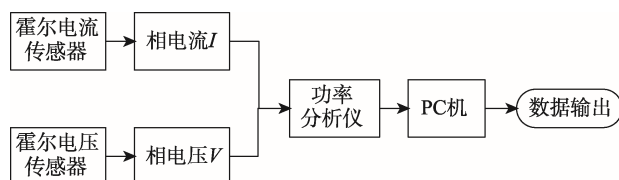


图 6 能耗监测平台

Fig.6 Energy consumption monitoring platform

通过对卷筒料凹版印刷机能耗进行检测，得到分项数据见图 7。

从表 1 凹印机耗电指标分析可知，主要耗电点为电加热，其次为驱动系统能耗，该结论符合印刷机正常工作判断，为印刷机耗能判断提高理论依据。

4.2 检测电路设计

检测电路采用 STM32F103ZET6 开发板，具有高性能、低成本、低功耗的嵌入式开发板，是一款 32 位基于 ARM 微控制器，包含了丰富的系统模块及接口，基于 STM32 单片机控制电路见图 8。

通过 I/O 接口实现 CPU 与外围检测设备联系在一起，经过低通滤波后的采集信号通过 ADC 模块将模拟信号转化为数字信号，见图 9。经过 ADC 模块

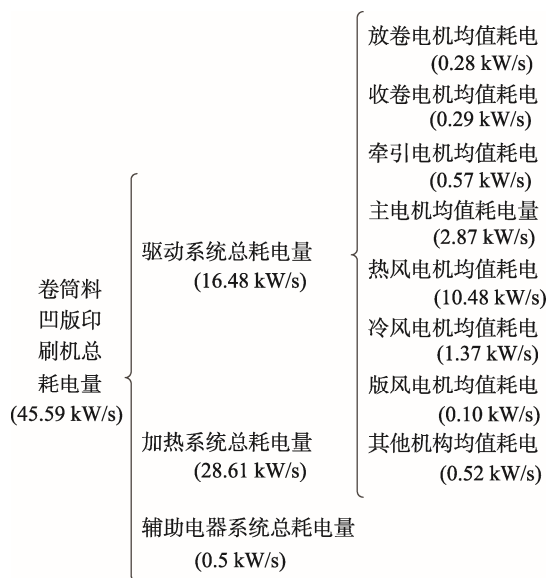


图 7 电加热卷筒料凹版印刷机能耗分项数据

Fig.7 Energy consumption breakdown data of electric heating roll gravure printing machine

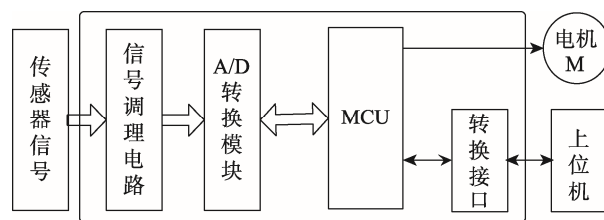


图 8 控制电路

Fig.8 Control circuit

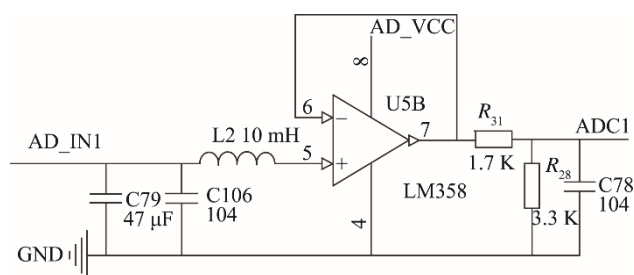


图 9 ADC 转换电路

Fig.9 ADC conversion circuit

处理转化为数字信号再经过芯片处理后通过总线接口实现上位机与现场处理器之间的数据通信，通过总线电路实现上位机的数据分析与传下位机控制电路实时通信。常用的现场总线很多包括 RS232/RS485，USB，Ethernet 以及 CAN 等方式，其中 CAN 总线可点对点，一对多等方式传输和接收数据，具有优先权和仲裁功能。多个控制模块通过 CAN 控制器挂到 CAN-Bus 上，形成多主机局部网络，另外 CAN 总线模块具有较强的抗电磁干扰，可在高噪声干扰环境中工作，满足了印刷机在各种复杂环境下检测的需求，CAN 总线模块电路见图 10。

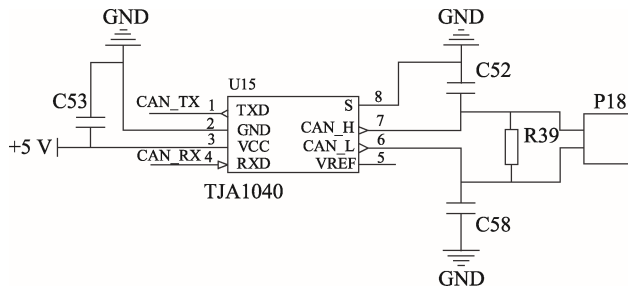


图 10 CAN 模块电路

Fig.10 Circuit of CAN module

5 结语

随着印刷业节能工作的不断发展,印刷机能耗检测技术逐渐作为主要研究对象。智能化印刷机群能耗检测技术不断发展,霍尔传感器具有体积小、重量轻、寿命长、灵敏度高可靠性强等特点,已得到了越来越多的发展,并已经应用到各个行业。印刷机作为一种耗能形式多样化的设备,增加了印刷机能耗检测的难度,因此霍尔传感器在能耗检测上的优势,解决了长期以来印刷机群耗能难以监测造成电能耗损的问题。

参考文献:

- [1] 王学伟,白杨,张礼勇.时分割电功率测量技术发展概况[J].哈尔滨理工大学学报,2002(2):64—68.
WANG Xue-wei, BAI Yang, ZHANG Li-yong. General Situation of Time Division Cutting Power Measurement Technology[J]. Journal of Harbin University of Technology, 2002(2): 64—68.
- [2] 王学伟,周海波,张礼勇.电功率采样测量技术及其发展概况[J].电测与仪表,2002(1):5—9.
WANG Xue-wei, ZHOU Hai-bo, ZHANG Li-yong. Electric Power Sampling and Measurement Technology and Its Development[J]. Electric Measurement and Instrumentation, 2002(1): 5—9.
- [3] 王蒙.霍尔电流传感器技术综述[J].山东工业技术,2016(15):135.
WANG Meng. Overview of Hall Current Sensor Technology[J]. Shandong Industrial Technology, 2016(15): 135.
- [4] 张劲松.测功率霍尔传感器设计分析[J].现代商贸工业,2009,21(16):271—272.
ZHANG Jin-song. Design and Analysis of Hall Sensor for Power Measurement[J]. Modern Trade Industry, 2009, 21(16): 272.
- [5] 李庆莲,雷民,徐伟专.霍尔传感器的角差对功率测量的影响[J].电测与仪表,2014,51(20):95—98.
LI Qing-lian, LEI Min, XU Wei-zhuan. The Influence of the Angle Difference of Hall Sensor on Power Measurement[J]. Electrical Measurement and Instrument, 2014, 51(20): 95—98.
- [6] 陈庆.基于霍尔效应和空芯线圈的电流检测新技术[D].武汉:华中科技大学,2008:7—54.
CHEN Qing. New Current Detection Technology Based on Hall Effect and Hollow Coil[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2008: 7—54.
- [7] 朱强.基于 ZigBee 的印刷机群能耗检测技术研究[D].北京:北京印刷学院,2015:6—20.
ZHU Qiang. Energy Consumption Detection Technology of Printing Machine Group based on ZigBee[D]. Beijing: Beijing Institute of Printing, 2015: 6—20.
- [8] 孙万杰,王仪明,李艳,等.凹版印刷机能耗特性分析[J].北京印刷学院学报,2014,22(2):43—46.
SUN Wan-jie, WANG Yi-ming, LI Yan, et al. Analysis of Energy Consumption Characteristics of Gravure Printing Press[J]. Journal of Beijing Institute of Printing, 2014, 22(2): 43—46.
- [9] 郭明良,孙晓东,赵晓妍,等.基于霍尔乘法原理的钳形功率测量仪表[J].煤炭技术,2015,34(12):205—207.
GUO Ming-liang, SUN Xiao-dong, ZHAO Xiao-yan, et al. Clamp Power Measuring Instrument Based on Hall Multiplication Principle[J]. Coal Technology, 2015, 34(12): 205—207.
- [10] 李柱峰,徐秀平.基于霍尔效应测量功率的方法[J].物理实验,2000(8):40—41.
LI Zhu-feng, XU Xiu-ping. A Method of Measuring Power Based on Hall Effect[J]. Physical Experiment, 2000(8): 40—41.
- [11] 郭世才,戴文进.用霍尔元件实现功率测量的新方法研究[J].传感器技术,2005(9):30—31.
GUO Shi-cai, DAI Wen-jin. New Method for Realizing Power Measurement with Hall Element[J]. Sensor Technology, 2005(9): 30—31.
- [12] 卢敏,郑建生,张提升,等.一种霍尔电流传感器的电路设计[J].电子设计工程,2010,18(11):41—44.
LU Min, ZHENG Jian-sheng, ZHANG Ti-sheng, et al. A Hall Current Sensor Circuit Design[J]. Electronic Design Engineering November, 2010, 18(11): 41—44.
- [13] 谢完成,戴瑜兴.一种新的基于霍尔传感器的电流测量方法[J].电子测量与仪器学报,2012,26(8):705—710.
XIE Wan-cheng, DAI Yu-xing. A New Current Measurement Method Based on Hall Sensor[D]. Journal of Electronic Measurement and Instruments, 2012, 26(8): 705—710.
- [14] 王香婷,苏晓龙.基于霍尔传感器的电流检测系统[J].工矿自动化,2008(2):74—76.
WANG Xiang-ting, SU Xiao-long. Current Detection System Based on Hall Sensor[J]. Industrial and Mining Automation, 2008(2): 74—76.
- [15] 齐冬梅.霍尔电流传感器及其自动调测系统的设计[D].上海:上海交通大学,2009:5—60.
QI Dong-mei. Design of Hall Current Sensor and Its Automatic Measurement System[D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2009: 5—60.