

简易自动翻书机设计

徐晓秋, 王仲文, 王明凯, 段瑞珍, 刘润晨, 徐亚明

(哈尔滨理工大学 荣成学院, 山东 荣成 264300)

摘要: 随着社会的进步以及对残疾人生活的持续关注,设计一款成本低廉、功能稳定的声控简易自动翻书机,对帮助双手残疾或者用手不便的人读书具有重大意义. 本设计主要是利用负压吸附原理,并通过单片机控制电机实现翻书动作. 首先进行书页模型建立及分页设计,然后进行翻书系统的总体设计,包括负压系统、机械传动系统以及电控系统. 经试验及分析,该简易自动翻书机能够实现声控翻书功能,翻页成功率高,且设计可靠性高,总体性能好,价格低廉,为手部残疾者提供便利.

关键词: 自动翻书机; 负压吸附; 声音控制; 单片机

中图分类号: TH702 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2683(2014)05-0083-05

Design of Simple Automatic Book-turning Machine

XU Xiao-qiu, WANG Zhong-wen, WANG Ming-kai, DUAN Rui-zhen, LIU Run-chen, XU Ya-ming

(Rongcheng College, Harbin University of Science and Technology, Rongcheng 264300, China)

Abstract: Along with social progress and increasing emphasis on the life of disabled people, a low-cost stable automatic book-turning machine through voice control is needed, which could help the people with disabled hands or who have troubles with reading independently, and it is of great significance. This design is based on negative pressure adsorption principle, achieving book-turning action through single-chip microcomputer controlling a motor. Firstly, the page model of the book-turning machine system is built, and then the overall design of book-turning system is carried on, including vacuum system, power train system and electrical control system. Finally, experimental verification is carried on for this automatic book-turning machine. Through the test verification and analysis, the simple voice-controlled automatic book-turning machine with high reliability and nice performance can achieve book-turning action stably by voice control, higher success rate and lower cost, facilitating the disabled people who have trouble with reading independently.

Key words: automatic book-turning machine; negative pressure adsorption; voice control; single-chip micro-computer

收稿日期: 2014-04-21

基金项目: 黑龙江省教育厅科学技术研究项目(12521125); 黑龙江省自然科学基金(E201020)。

作者简介: 王仲文(1979—),男,博士,讲师;

王明凯(1994—),男,本科生。

通讯作者: 徐晓秋(1986—),女,硕士,助教, E-mail: hlghxxq@163.com。

0 引言

随着社会的进步和科技的发展,满足残障者的基本生活需求逐渐得到更多的关注.比如阅读书刊,对于双手残疾的人来说,独立阅读是非常困难的.目前,国内外已经有了翻书结构的设计方案,例如日本的BOOK TIME5000型自动翻书机,美国 Michael Donald Banks^[1]的Page turner,燕山大学武岳^[2]等研究的全自动可调式翻页机构及大连交通大学董云美^[3]等研究的脚踏式翻书机构.王侃于2009年进行了自动翻书机的设计^[4].史耀耀^[5-8]等多人发明了自动翻书机构,各有特色.这些设计虽然都能完成基本的翻页动作,但是制造成本较高,且翻页速度及可靠性相对较低.国内学者冶建科、赵群飞,国外学者托马斯 N 泰勒等人研制了一种自动扫描机器人,对自动翻书机设计具有一定的指导意义^[9-11].唐矫燕、赵群飞、杨汝清等也进行了读书机器人机构设计,但相对比较复杂,成本较高^[12].因此设计一款成本适中,性能稳定的翻书系统具有重要意义.本文设计一种简易自动翻书机,能够通过用户的语音命令,实现自动翻页的功能.基于负压吸附原理,利用真空吸盘实现对书页的吸持、脱开及传递等基本动作,其中吸持力由真空系统实现,真空泵作为本系统的真空源,由系统抽取空气从而建立压力差吸附书页并将书页置于翻书棒上,进而实现翻书动作,便于双手残疾者进行书刊阅读.

1 书页模型建立及分页设计

1.1 书页模型的建立

在实际操作中,书页会因重力作用弯曲,且吸盘夹持不同位置时,下落距离区别较大.因此对书页模型以及吸盘位置的合理优化,可以增强动作的连贯性.

研究书页的变形,对书页弹性模量的研究必不可少.但书页的厚度非常小,弹性模量测量难度较大,因此参照测量薄膜弹性模量的方法对书页进行优化^[13].纸的主要构成材料为植物纤维,利用梁弯曲法对弹性模量以及泊松比进行测量之后进行有限元分析,设置位置不同夹持点,可找到一个最优解.但由于实验条件限制,直接对书页边缘下落的最大距离进行测量并推算出合适位置.

具体优化流程参照薄膜变形的理论方法,薄膜

被视为具有弹性的梁,在外力作用下会发生弯曲变形.变形后所形成曲线的横坐标用 x 表示,纵坐标用 ω 表示,曲线的方程可以写成:

$$\omega = f(x) \quad (1)$$

纯弯曲情况下,曲率和弯矩之间存在如下关系:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \quad (2)$$

式中: M 为弯矩; EI 为抗弯刚度; ρ 为曲率半径.实际情况中弯曲是弯矩和剪力的共同作用结果,但书页厚度远远小于书页跨度,剪力产生的变形非常小,将此误差忽略,进一步计算化简得到挠曲线的微分方程:

$$\frac{d^2\omega}{dx^2} = \frac{M}{EI} \quad (3)$$

此公式是非线性的,因其误差很小可以忽略,为了简化计算,采用,不计符号,只计算弯曲变形量的大小,有如下公式:

$$\omega_B = \frac{qL^4}{8EI} \quad (4)$$

式中: ω_B 为最大挠度; L 为长度.根据公式,截面惯性矩、载荷与夹持位置间均存在耦合关系.可以看出,截面惯性矩、夹持距离对书页的下垂距离影响最大,根据式(4)选择合适的吸盘吸取位置对翻页的可靠性,具有很大影响.

1.2 书页的分离

由于吸盘吸页时易一次吸取多页,降低可靠性,因此采取一种行之有效的办法,对书页进行分离^[14-15].对此将打印机、胶印机等常用分纸方式进行分析比较,最终采用利用真空泵出气孔的气流对书页进行分页,能够提高翻页成功率.

2 翻页系统总体设计

本翻页系统采用模块化设计,主要由负压吸附系统、机械传动系统和电控系统组成.负压吸附系统通过控制系统的操控将书页吸附起来,并适时减小吸盘压差将书页置于翻书棒上,通过翻书棒的运动进而实现整个翻书动作.负压系统、机械传动系统等各个构件的动作时序都由以 stc 89c51 单片机为控制核心的控制系统进行操控.

2.1 负压系统设计

2.1.1 负压吸附原理

真空吸盘^[16]利用负压吸附技术来吸附书页,与

其他方式相比,此种取纸的方式效率较高,而且对书页的损耗更小. 负压吸附原理如图1所示. 真空装置启动,将吸盘内空气吸走,形成一个低于大气压力的气压 P_1 ,而吸盘外的大气压力没有变,仍为 P_0 ,吸盘内外形成了压力差,迫使书页吸附在吸盘上. 当真空装置关闭时,由于书页会泄露气体,压力差减小,当压差低于吸取书页的阈值时,书页便会从吸盘上脱落,配合传动系统的设计完成翻页动作. 书页表面质量低,气体就会泄漏^[7],吸盘内的低压不易维持,就难以吸附书页. 为了弥补泄漏,通常使用高性能的真空发生装置,使泄漏的气体在最短的时间内补充上来,并且缩小吸盘的直径或吸盘内的体积来减小泄露的影响.

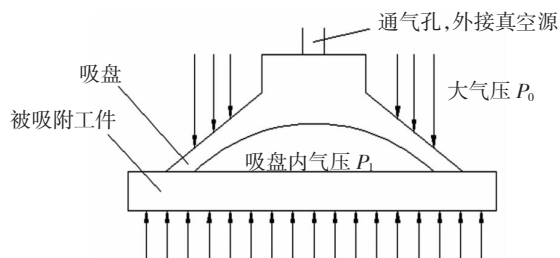


图1 吸盘吸附原理图

2.1.2 负压系统选择

由于重力对吸盘的作用,本翻书系统大部分运动过程近似为吸盘水平安装在竖直方向上的运动. 通过现有吸盘组的直径估算公式^[8]进行估算,进而求出大概的吸盘直径与气压差.

$$D = 1.64 \sqrt{\frac{m \times S}{U \times n}} \quad (5)$$

其中: D 为真空吸盘直径(单位 in, 1 in = 25.4 mm); M 为物料质量(单位 lb, 1 lb = 0.454 kg); S 为安全系数(通常取 $S = 2.0$); U 为真空度(单位: inHg, 1 inHg = 3 386.378 8 Pa); n 为真空吸盘数量.

由于书页的表面质量较差,而且实际运动过程并非完全竖直方向上的运动,故根据此公式,取较大的安全系数 $S = 5$,留出余量,又因为书页上存在气孔,属于透气性材料,会产生泄漏现象,只能利用实验测定能达到的气压差,作为进一步计算的基础. 因此以真空度为因变量,以吸盘直径和个数为自变量进行计算,根据计算结果,采用 $\Phi 6$ mm 的真空吸盘.

2.1.3 负压系统动态分析

经验式(5)是基于理想情况的计算,因此对吸盘进行动态分析^[3]来求出吸盘所需要提供的最大吸附力,对经验公式的结果进行核算. 吸盘动态分析

图如图2所示.

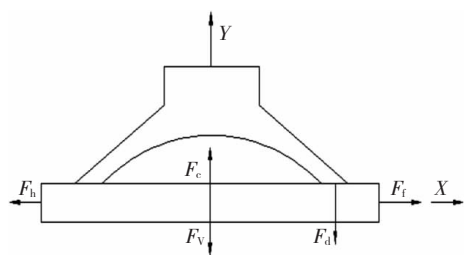


图2 吸盘动态分析受力图

真空吸盘水平安装时,受力平衡: $\sum F_x = 0$; $F_h - F_f = 0$; $\sum F_y = 0$; $F_v + F_d - F_c = 0$; 其中: F_h 为水平负载, F_f 为摩擦力, F_v 为垂直方向负载, F_d 为密封面积受力, F_c 为吸附力. 以 m 为吸附物质量, μ 为摩擦因数, a 为角加速度, r 为旋转半径, g 为重力加速度, t 为时间可以得出: 摩擦力: $F_f = F_d \times \mu$, 角速度: $\omega = at$, 离心力: $F_z = m\omega^2 r$, 切向力: $F_t = mar$, 水平负载: $F_h = F_f = \sqrt{F_z^2 + F_t^2} = mar \sqrt{\omega^2 t^2 + 1}$, 垂直负载: $F_v = mg$

密封面积受力:

$$F_d = F_h / \mu = mar \sqrt{\omega^2 t^2 + 1} / \mu \quad (6)$$

在水平安装的动态负载下,真空吸盘需要的吸附力为:

$$F_{c2} = F_v + F_d = mg + mar \sqrt{\omega^2 t^2 + 1} / \mu \quad (7)$$

基于设计数据,结合 Adams^[8] 仿真中测得的角速度及角加速度对系统进行核算,得出 $F_{c2max} \approx 0.05$ N, $\Phi 6$ mm 的吸盘作用面积为 0.28 cm². 选择真空度达到 7.2 kPa 的微型气泵,由力与压强的关系 $F = PS$ 得吸盘的作用力大于 F_{c2max} ,可以满足要求.

结合经验公式结果、书页特点及实验结果,应当采用适当增大流量,减小吸盘直径的设计,另外考虑到吸附时,吸盘会发生一定角度的偏转,故最终采用 $\Phi 6$ mm 的短波纹管型吸盘搭配流量较大的真空泵设计,经多次测试可以满足设计需求.

2.2 机械传动系统模型建立

由于运动轨迹相对简单,采用电力电子传动方式让吸盘的运动轨迹满足一定的要求,以及满足翻书棒的运动规律^[19-23],机械结构大大简化,减少了整个系统的制造成本. 通过在 AUTOCAD 中对书页以及吸盘运动轨迹(如图3所示)的简单分析,并进一步将吸盘及吸盘连杆在 Adams 环境下建立简易模型进行动力学仿真,找出满足吸盘运动轨迹的设计尺寸. 通过对所需功能及设计约束的分析,求解出其余各构件的适宜尺寸,并在 Solidworks 环境中建立翻书系统模型,如图4所示.

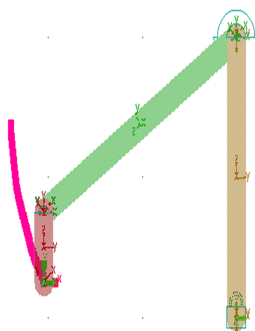


图3 吸盘运动轨迹

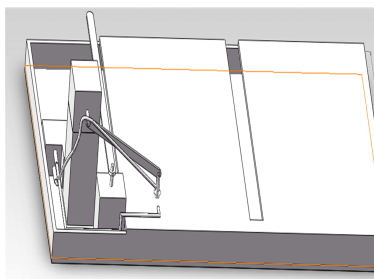


图4 翻书系统装配简图

模型导入 Adams 中并加入约束与驱动,进行仿真验证构想.并在虚拟环境中进一步发现设计漏洞并完善设计.把书页设置为近似的材料并离散化,在吸盘与书页之间建立一个柔性连接,通过适时的激活,来模拟气泵的工作状态,进而模拟出整个系统的动作.

2.3 控制系统设计

2.3.1 电气控制部分设计

控制系统采用以 C 语言编程的 C51 系列单片机(简称 MCU: Micro Control Unit)作为控制核心.

2.3.2 硬件设计

翻书系统通过语音信息采集命令,利用语音模块进行分析,将采集到的信息通过无线模块传递到单片机.语音识别模块是以 LD3320 语音识别芯片为核心的,是基于非特定人的语音识别,不需要事先进行训练,每条识别语句最多支持 10 个汉字或 79 个字节的拼音串.另外该芯片支持 MP3 语音播放功能,可满足播放语音提示的需求.

语音识别程序中的语音命令分为两类:一类是触发命令,例如“启动”,另一类是控制命令,例如“翻页”.当执行触发命令时,模块识别后单片机便进入等待控制状态,当执行控制命令时,模块识别后单片机就开始控制电机实现翻书的功能.需要注意的是,当模块识别了一次控制命令后便会返回初始状态,需要重新激活触发命令后,才能做下一次控制

命令的识别.另外,程序中加入了垃圾关键词系统,如果识别结果是垃圾关键词,则说明是其他的声音造成的错误识别,程序就会重新开始一次识别过程,大大降低错误识别率.

2.3.3 翻书动作原理

翻书系统通过语音信息采集命令,利用语音模块进行分析,将采集到的信息通过无线模块传递到单片机.在整个翻书机系统中使用了两个等功率的电机分别控制翻书棒和吸盘杆的不同运动.控制关系如图 5 所示,电机 1 控制吸盘杆,电机 2 控制翻书棒,真空泵作为吸盘真空源.

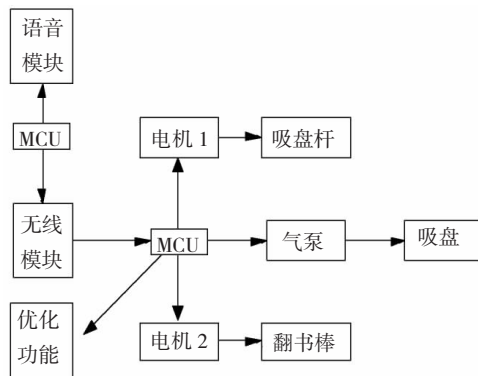


图5 控制系统原理框图

翻书命令触发后,气泵开启同时连接吸盘杆的电机 1 开始运转,吸盘金具与吸盘杆铰接构成二杆机构,在吸盘杆运动过程中金具在重力作用下,保持竖直状态,吸盘下降,并形成一个小曲率半径的类似弧的运动轨迹,吸盘成功吸附到书页时,由于气泵的负载增加,通过气泵的电流量增大,利用电流传感器采集电流信息,确定成功吸附书页后,连接吸盘杆的电机 1 反转,吸盘上升,到达预定距离后气泵停止工作,并且运行电机 2,带动翻书棒运动,将书页翻过去,成功将书页翻转后,电机 2 反转,回到动作前位置,至此一个翻书动作结束.

2.3.4 软件设计

控制部分的硬件设计需要搭配对应的控制程序设计,程序主要包括初始化部分,以及一个不断接受和执行控制命令的循环体,程序工作流程如图 6 所示.

对控制器完成初始化之后,语音模块将语音信息通过无线模块发送给控制节点,控制节点开启气泵,启动电机 1,吸盘下降,当成功吸附到书页时,气泵的工作电流会发生变化,通过对电流的变化信息分析,识别吸附状态,之后反转电机 1,吸盘上升,当上升预定距离后,电机 2 开始运动,带动翻书棒运

动,与此同时气泵停止工作,当翻书棒成功将书页翻转后,电机2反转,翻书棒回到预定位置,动作全部完成后,等待接收第二次命令。

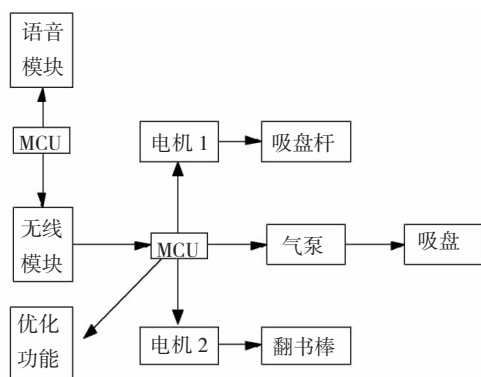


图6 程序工作流程图

3 试验验证

对基于负压吸附翻书系统的主要因素进行分析后,为验证设计构想,以及验证基于负压吸附技术的翻书系统相比于其他翻书系统是否具有更高的稳定性以及性价比,测试是否行之有效,搭建简单模型,如图7所示,简易自动翻书机能够实现吸附书页如图8所示。

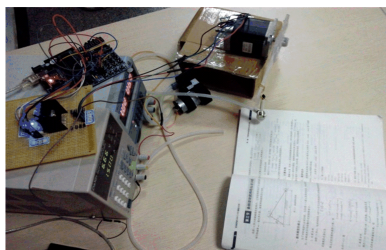


图7 翻书试验简易模型



图8 吸盘吸附书页试验

基于研究结果,测量竖直及水平方向的下落距离,数据基本满足所预想的规律,夹持位置和书页边缘的距离与书页的变形量呈正相关,边缘距离夹持点在30 mm以下时,变形极其微量,故此取上边缘

处50 mm,两侧20 mm处为吸盘的夹持点,取吸盘上升距离为50 mm,余量3 mm,以包容误差,减少装配要求,即壳体向上53 mm为吸盘上升基准,经试验验证完全满足要求。

通过大量的试验发现,翻页成功率大于百分之九十七,同其他的翻书系统相比而言,基于负压吸附技术的翻书系统,成本更低,可靠性更高,总体性能更好。设计行之有效,广泛存在于各种翻书系统中一次会取纸多页的问题也有了较好的解决方案。

4 结 语

本文利用负压吸附原理,建立了书页模型,经过反复的计算与试验找到了较为妥善的解决方案,然后设计了负压系统、传动系统以及电控系统并经由各系统间的协调配合与优化在后期试验中有效地实现了自动翻页的功能,验证了设计预想,其中许多例如语音控制翻书等人性化功能为目前市面上诸多翻书机所没有,可以在很大程度上的方便残疾人使用。

该设计可靠性高,价格低廉,并且可以推广到其他需要自动翻页的设备上,具有广阔的市场前景与应用前景。

参 考 文 献:

- [1] Michael Donald Banks, Page turner, 美国, US7750226 B2 [P]. 2010.
- [2] 宜亚丽, 武岳, 赵三猛, 等. 全自动可调式翻页机构设计 [J]. 机械研究与应用, 2011(6): 80-81.
- [3] 董美云, 李培行. 脚踏式翻书机构的设计及运动仿真 [J]. 大连交通大学学报, 2010(2): 24-27.
- [4] 王侃. 自动翻书机的设计 [J]. 机械设计, 2009(25): 317-319.
- [5] 史耀耀, 李婕, 赵涛, 张军峰. 自动翻书机: 中华人民共和国, CN103507475A [P]. 2014-1-15.
- [6] 张庆, 占善毅, 刘雪洪. 自动翻书机, 中华人民共和国, CN2913017Y [P]. 2007-6-20.
- [7] 刘兵. 一种自动翻书机: 中华人民共和国, CN102233761A [P]. 2011-11-9.
- [8] 薛松, 蔡俊, 高雪官. 自动翻书机: 中华人民共和国, CN102673219A [P]. 2012-9-19.
- [9] 冶建科, 赵群飞, 周毅. 一种自动扫描机器人的研制, 2-29 [J]. 机器人技术与应用, 2009(1): 27-29.
- [10] 赵群飞, 朱云峰, 陶峰. 自动翻页扫描仪: 中华人民共和国, CN1719863A [P]. 2006-1-11.
- [11] 托马斯 N 泰勒, 洛特菲贝亥海. 用来帮助观看文件页面的自动翻页装置: 中华人民共和国, CN1695368A [P]. 2005-11-9.

(下转第93页)

- [6] 陈宇,张立新,陈德运,等. 一种具有迭代约束的最小二乘 ECT 图像重建算法 [J]. 计算机应用研究,2010,27(4):1588-1594.
- [7] 张珍. 电容层析成像感兴趣区域图像重建算法研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学,2013:7-17.
- [8] 李伟. 电容层析成像反问题求解与图像融合方法研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学,2014:6-16.
- [9] 陈德运,高明,宋蕾,等. 一种新型的三维 ECT 传感器及三维图像重建算法 [J]. 仪器仪表学报,2014,35(5):961-968.
- [10] POHL C, GRENDEREN J L. Multi-sensor Image Fusion in Remote Sensing: Concepts, Methods and Applications [J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(5):823-854.
- [11] 卞智玲. 一种改进的基于小波变换的图像融合方法 [J]. 江西科技学院学报,2013,8(4):50-53.
- [12] 徐萌萌. 基于小波变换的图像融合算法研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学,2014:8-45.
- [13] 涂娟. 小波变换在图像融合中应用探讨 [J]. 科技广场,2014,1:53-56.
- [14] 于坤林,谢志宇,原振文. 改进的小波图像融合算法及应用研究 [J]. 计算机与数字工程,2014,42(4):592-595.
- [15] GERONIMO J S, HARDIN D P, MASSOPUST P R. Fractal Functions and Wavelet Expansions Based on Several Scaling Functions [J]. Journal of Approx Theory, 1994, 78:373-401.
- [16] 孙娇娇,徐礼鹏,邵雪松,等. 基于多小波变换的遥感图像模糊融合算法研究 [J]. 地矿测绘,2011,27(3):1-4.
- [17] 沈荣. 基于多小波域变换和分形维数的图像融合算法 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版,2014,39(5):88-94.
- [18] 马红军. 基于多小波变换的区域方差图像融合方法 [J]. 光电技术,2012,32(2):99-104.
- [19] 周立俭,崔学梅,李俊伟. 一种改进的多小波遥感图像融合. 计算机仿真,2011,28(12):249-252.
- [20] 高超. 图像融合评价方法的研究 [J]. 电子测试,2011,7:30-32.

(编辑: 关毅)

(上接第87页)

- [2] 唐矫燕,赵群飞,杨汝清,等. 读书机器人机构设计 [J]. 上海交通大学学报,2005(39):2025-2028.
- [3] 范增良. 刚性真空吸盘拾取性能的研究 [D]. 江南大学,2012.
- [4] 袁晴波. 自动翻书机的吸纸装置: 中华人民共和国, CN103029480A [J]. 2013-4-10.
- [5] 任慧,蔡吉飞. 单张纸胶印机给纸机分离头运动分析与设计 [J]. 中国印刷与包装研究,2009(12):34-39.
- [6] Sommer-automatic 公司. 真空吸盘系统的完整模块 [J]. 现代制造,2009(4):46-47.
- [7] 赵艳妮. 多唇边式真空吸盘的设计研究 [D]. 昆明理工大学,2009.
- [8] 陈峰华,Adams2012 虚拟样机技术从入门到精通 [M]. 北京: 清华大学出版社,2013.
- [9] 邱阿瑞. 现代电力传动与控制 [M]. 北京: 电子工业出版社,2004.
- [10] 郭天祥. 新概念51单片机C语言教程——入门、提高、开发、拓展 [M]. 北京: 电子工业出版社,2009.

(编辑: 王萍)