

doi: 10.7690/bgzd.2014.08.023

基于远心镜头的高精度视觉测量仪

鞠波

(中国兵器工业第五八研究所智能检测技术部, 四川 绵阳 621000)

摘要: 针对传统测量技术在特别微小、柔软、形状特异等物件测量上的不足, 设计一种基于远心镜头成像及图形分析算法的视觉测量仪。对仪器的工作原理和设计思路进行了研究。介绍了测量仪整体架构、图像采集和显示处理子系统的设计方法, 对远心成像技术的特点、畸变校正方法和亚像素分析等问题进行了阐述, 并通过精度测试进行验证。对比结果证明: 该测量仪操作简便、精度高, 测量精度在 3 μm 之内, 重复测量精度在 1 μm 之内, 圆弧圆直径重复测量精度在 3 μm 之内, 能够适应各种几何尺寸的测量。

关键词: 视觉测量; 远心镜头; 高精度

中图分类号: TP274 **文献标志码:** A

High Precision Vision Measurement Equipment Based on Telecentric Lenses

Ju Bo

(Department of Intelligent Detection Technology, No. 58 Research Institute of China Ordnance Industries, Mianyang 621000, China)

Abstract: Aiming at the shortcomings of traditional measurement technology in especially small, soft, shape specific and so on object measure, design a visual measurement instrument based on telecentric lens and image analysis algorithm. Working principle and design idea of the instrument were studied. Introduces detailed design method of the whole structure of instrument, image acquisition and display processing subsystems, described characteristics of telecentric imaging technology, imaging distortion correction method and sub-pixel analysis problems, and verified by precision test. Comparative results show that: the measuring instrument has the advantages of simple operation, high accuracy, measurement accuracy within 3μm, repeated measuring accuracy within 1μm, the arc diameter accuracy within 3μm, can adapt to various geometric size measurement.

Keywords: vision measure; telecentric lenses; high precision

0 引言

视觉测量是计算机视觉研究的一个分支, 利用光学成像原理获取待测物件的外观图像, 通过计算机图形分析技术对图像进行处理, 计算出空间几何尺寸、位置姿态、三维形状测量等信息。视觉测量技术是一种高效、高精度、非接触尺寸测量的重要手段。光学测量技术在近年得到快速发展, 并广泛应用于各个工业制造领域, 特别是对于精密电子制造、精密机械制造、模具等对产品精度、表面质量要求高的行业。目前制造企业常用的测量仪包括光学投影测量仪、工具显微镜以及光学影像测量仪。针对视觉测量技术中远心成像的特点、畸变校正方法和亚像素分析等问题, 笔者对基于远心镜头的高精度视觉测量仪进行研究。

1 总体设计

测量仪主要由图像采集系统和显示处理系统等组成(如图 1)。

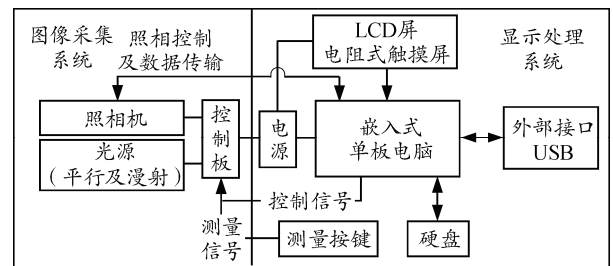


图 1 测量仪整体架构

图像采集系统通过光学系统完成对被测件的低畸变成像, 供显示处理系统进行图像分析, 主要由校准光源、远心镜头、高清晰度照相机等组成。

显示处理系统通过对图像采集系统获取的图像进行分析, 完成被测物体的几何尺寸测量、比较、分析等工作, 完成对各个测量参数的微米级测量, 并将进行结果输出显示。

测量仪主要的性能指标如下:

- 1) 测量范围: 被测物外形尺寸不大于 100 mm;
- 2) 测量精度: 5 μm;
- 3) 测量功能: 一键完成, 无需人工干预, 自动

收稿日期: 2014-04-01; 修回日期: 2014-06-14

作者简介: 鞠波(1978—), 男, 四川人, 本科, 工程师, 从事自动控制、软件工程研究。

完成被测件的几何尺寸测量。

测量仪外观如图 2 所示。

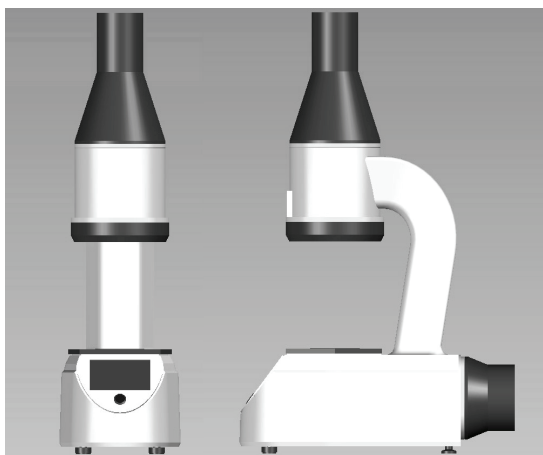


图 2 测量仪外观

测量仪侧剖面如图 3 所示。

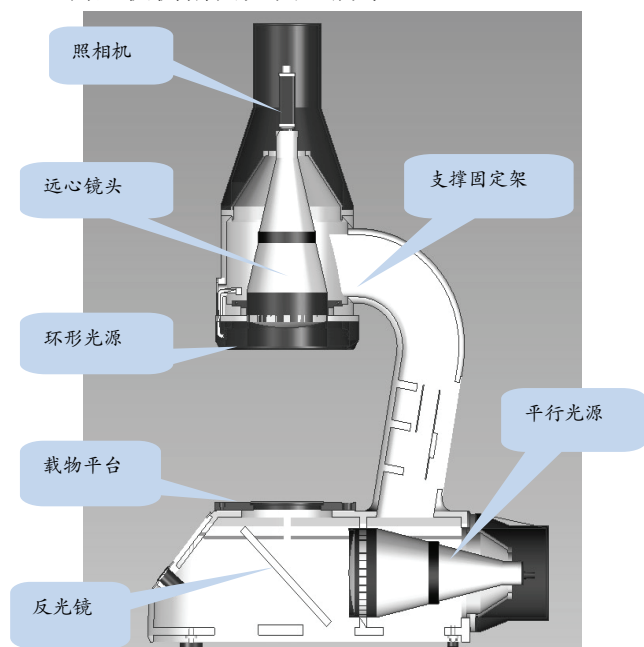


图 3 仪器侧剖面

2 设计实现

2.1 系统工作原理

如图 4 所示，平行光源产生平行的、纯净的照明光，经反光镜折射后，从载物平台下方透过平行玻璃板进行照射；同时镜头与载物台之间安装环形照明光源，对被测物上表面进行照射，这样可在确保被测物被均匀照亮的同时轮廓边缘的清晰度；高清晰度相机透过远心镜头，对被照亮的被测物体进行照相，形成高清晰度图像，并将此图像送至显示处理系统进行图像分析、计算及测量，结果在液晶屏上进行显示。

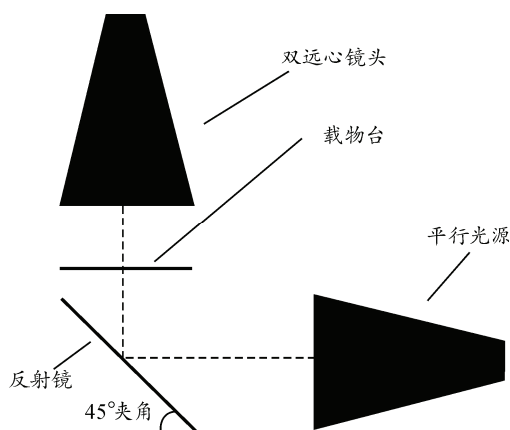


图 4 工作原理及光路

2.2 图像采集系统设计

图像采集系统由一套光学组件组成及相关的机械支撑件组成。

远心镜头选用了意大利 OPTO Engineering 公司生产的 LT1296 远心镜头，该镜头具有较大的工作景深及视野范围，可在较大距离范围内稳定清晰成像，且不会造成成像失真。校准光源选用 OPTO 公司生产的 LT CL 系列校准光源，可产生纯净的单体平行光。机械支撑件通过高精度加工中心、大型平面研磨机进行高精度加工，以减少机械结构对光学组件成像的影响，提高系统整体精度。照相机选用德国 Basler 工业相机 piA2400-17gc，该工业相机具有很高的分辨率及成像能力，每个像素仅 $3.45 \mu\text{m} \times 3.45 \mu\text{m}$ 。

选用远心光学镜头，由于其具有较大的工作景深，可保证一定高度范围内的被测物成像免于调焦，消除透视变形以及由于透视变形产生的被测物遮挡的情况，同时不影响测量精度^[1]。本测量仪所选用的双远心镜头畸变程度只有不到 3%，同时采用图形校正算法，能够将包括梯形畸变，非线性畸变的程度降到 1% 以下，充分保证采集图像的真实性。

图 5、图 6 为普通光学镜头及远心镜头成像的对比，可较清晰的看到远心镜头成像在消除透视变形以及由于透视变形产生的被测物遮挡等的优势。

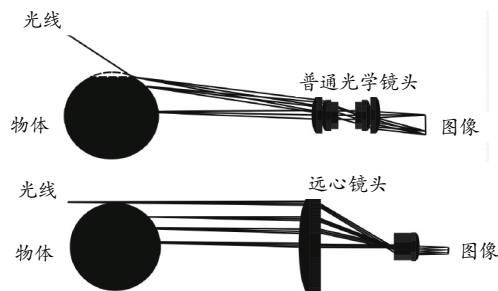


图 5 普通光学镜头和远心镜头对比

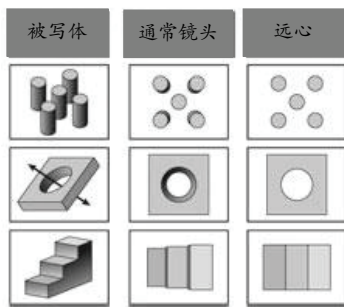


图 6 普通光学镜头和远心镜头成像对比

使用平行光源可避免传统漫射光源发出的漫射光线对待测物轮廓投影的吞噬，充分保证了待测物体轮廓投影的真实性，无需考虑过强的光源亮度对边缘投影的影响。同时在载物台与镜头之间安装环形漫射光源，提供均匀的照度，为采集待测物体上表面图像提供充足的光源。

传统基于面成像器件的检测仪器，其视场范围狭小，不能对被测物整体成像，无法一次完成某些几何参数的测量，需要通过多次局部成像测量的方式予以弥补。使用线扫描成像器件，配合远心光学机构，可对大视场内的所有待测物实现整体成像，从而可实现一次完成测量及批量测量功能。

2.3 显示处理系统设计

显示处理系统对采集到的图像进行分析，得出需要的测量结果。主要包括算法单元(寻找基元模块、辅助图形成像模块、测量模块)及计算机单元(嵌入式计算机、显示屏、控制器件)。

测量前规划测量信息的工作流程及测量时的工作流程分别如图 7、图 8 所示。

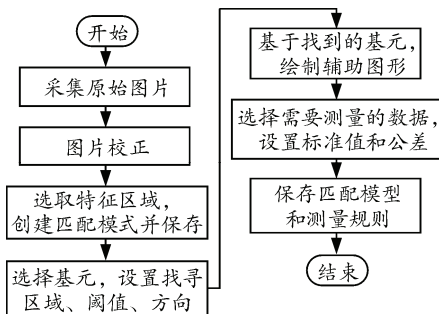


图 7 测量规划流程

利用标定片(具有微米级精度)对检测仪进行标定时，首先采集一张静态图片，通过算法获取每一条棋盘格的纵横直线，计算出图形的畸变类型及畸变程度，然后生成一个数学模型，用以校正之后所有采集到的图像^[2]，如图 9 所示。

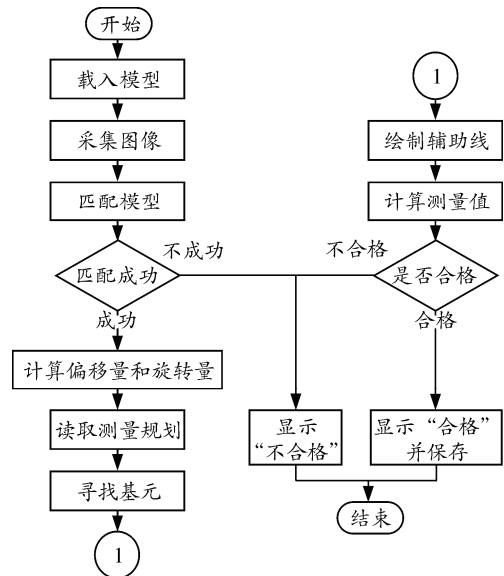


图 8 测量流程

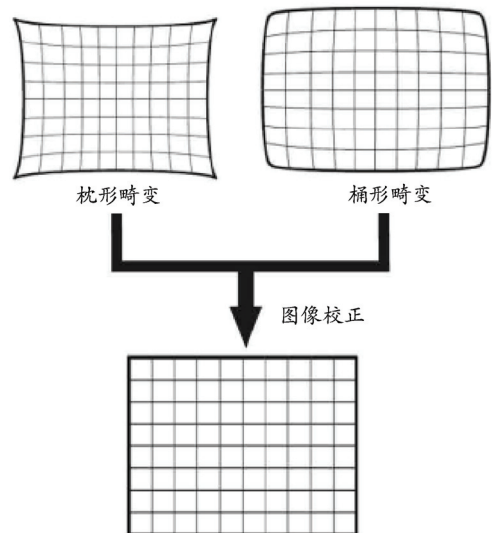


图 9 畸变校正

通过计算拍摄到的格子个数，可以求得每个像素代表的实际尺寸大小，精度可达到微米级——软件算法采用了亚像素技术，能够将一个像素分为 100 份，突破了硬件设施和光学系统所带来的精度限制，大大提高了测量的精度。标定可避开光学系统的畸变干扰，最后所得到的结果比标定片的精度更高^[3]。

由傅里叶光学可知，图像测量系统的数学模型是一个对被测物体亮度分布的几次卷积的过程。由于卷积对函数具有平滑的作用，因此即使物体的亮度分布为较理想的阶跃分布，系统的最终输出也是一个由高到低或由低到高的渐变过程。另一方面，

CCD 感光元不但接收照射到自身感光面的光，还感受照射到相邻感光面的光，这同样造成 CCD 器件对阶跃边缘的响应信号存在由明到暗或由暗到明的一个渐变过程。边缘的亚像素位置恰好存在于这一过渡过程中的斜率最大的位置，因此可以采用插值或曲线逼近的方法获得边缘点的亚像素位置。插值法计算时间较短，抗噪能力和定位精度都较高，能够有效提取亚像素边缘，实现精确测量^[4]。

本检测仪首先利用经典的 sobel 算子边缘检测得出图像的像素级边缘，然后继续对灰度边缘图进行内插处理，经插值算法处理后灰度边缘图已达到了亚像素级别。进一步使用最大类间方差方法对灰度边缘图进行阈值分割，可得到最后的二值边缘图，进而可以得到图像的亚像素边缘。如图 10 所示，无亚像素处理时，仅能得到被测物体的粗糙边缘，而使用亚像素处理后，可得到较为精确的被测物边缘信息。

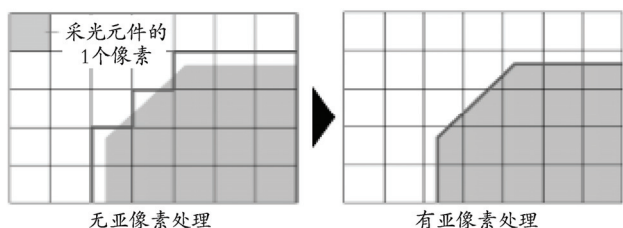


图 10 亚像素处理效果

进行匹配模型设定时首先需要采集一张静态图片，对图片进行畸变矫正后，由操作人员框选出图形中的特征区域，软件算法提取特征区域的图形轮廓，并创建数据模型对轮廓进行保存，测量时即可利用此数学模型，采用图形匹配算法从测量物件实际成像中提取相关数据，进而进行分析测量。

模块匹配算法使用前述特征区域的像素集合作为模板。首先对图像进行边缘检测，这里使用 sobel 算子获得原图像的边缘图 $E(i, j)$ ，然后以图像中每个像素点的邻域边缘量 (NEA) 来定义此位置的边缘信息大小：

$$NEA(i, j) = \sum_{m=-A}^A \sum_{n=-A}^A E(i+m, j+n)$$

其中： $E(i, j)$ 为原图像所对应的二值边缘图； A 为在点 (i, j) 处所取邻域的 1/2 边长。以 $NEA(i, j)$ 值为依据，找出最大值所对应的点 (i, j) 作为基准点，然后以此点为中心点选择大小适中的块就可以找到基准特征块^[5]。

3 测量精度情况

3.1 测量精度

图 11 为定制标准件的测量效果，该标准件部分尺寸如图 12 所示。

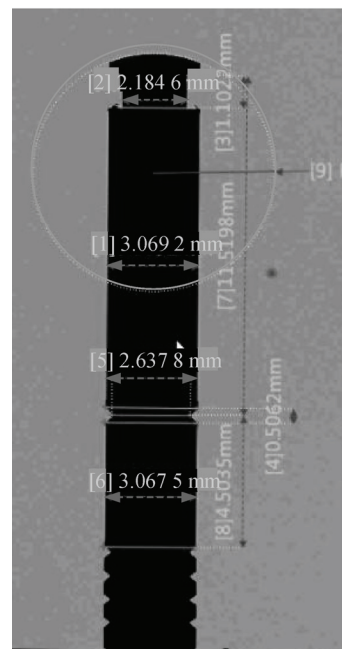


图 11 标准件测量结果

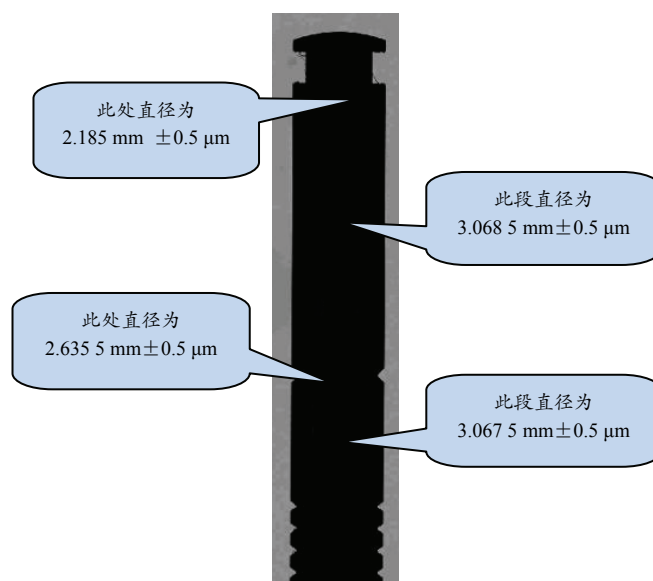


图 12 标准件尺寸说明

比对测量结果可知，视觉测量仪测量精度误差范围在 $3 \mu\text{m}$ 之内，满足 $5 \mu\text{m}$ 的设计指标要求。

3.2 重复测量精度

图 13、图 14 为重复测量精度测试效果，通过对比可以看到，长度、距离重复测量精度在 $1 \mu\text{m}$ 之内，圆弧圆直径重复测量精度在 $3 \mu\text{m}$ 之内，角度重复测量精度在 0.3° 之内。

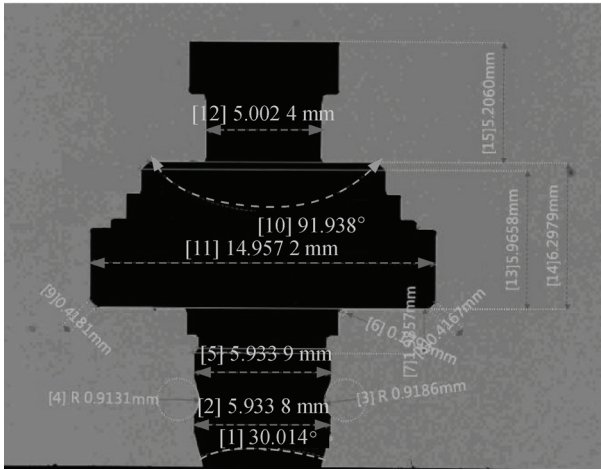


图 13 第 1 次测量

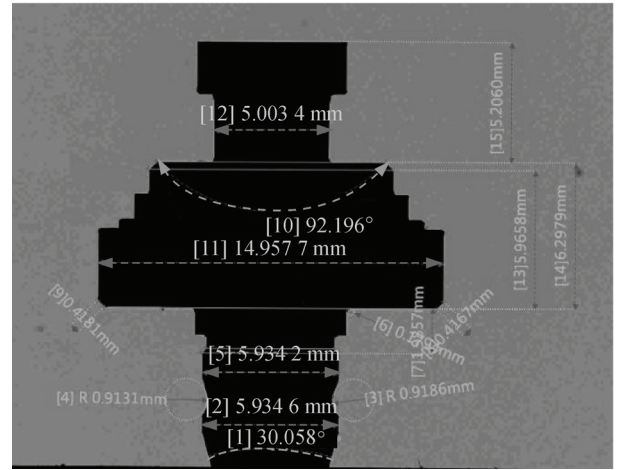


图 14 第 2 次测量

4 结束语

测试结果证明：该基于远心镜头成像及图形分析算法的视觉测量仪操作简便、精度高，能够适应各种几何尺寸的测量(如角度、弧度、面积等)，对一些特殊的产品(如产品柔软、有收缩性、形状特异、特别微小等)也可快速得出测量结果。

参考文献：

[1] 张广军. 视觉测量[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 64-69.

(上接第 74 页)

5 结束语

风洞动导数俯仰振动试验对试验装置的刚性、结构强度及运动动态性能要求极高。通过 CAE 优化设计、选用高刚性部件并施加预紧力，同时在选择驱动电机时做惯量匹配校核可满足上述要求。在大型风洞内，因存在大功率吸气风机，试验装置还应考虑控制系统的电磁屏蔽及机构安全问题。

参考文献：

[1] 杨恩霞, 孔凡凯, 刁彦飞. 大攻角动导数支撑系统的设

计与研究[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2002, 23(5): 71-73.

(上接第 81 页)

该产品产销万余台，功率回路可靠工作，未见损坏情况。

4 结论

该方法已经在实际产品中得到验证和应用，取得良好的效果，具有计算简单、实用性强的特点，可以指导交流伺服系统功率回路设计。

参考文献：

[1] 寇宝泉, 程树康. 交流伺服电机及其控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008: 3.

[2] 马小亮. 高性能变频调速及其典型控制系统[M]. 北京:

[2] 贾洪涛, 朱元昌. 摄像及图像畸变纠正技术[J]. 电子测量与仪器学报, 2005(3): 46-49.

[3] 王训四. 视觉测量系统中的标定技术及其应用研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2004: 64-65.

[4] 王耀南, 李树涛, 毛建旭. 计算机图像处理与识别技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2011: 142-145.

[5] Milan Sonka, Vaclav Hlavac, Roger Boyle. 图像处理、分析与机器视觉艾海舟[M]. 3 版. 苏延超, 等, 译. 北京: 清华大学出版社, 2011: 232-238.

[2] 梁频, 聂博文, 魏泳涛, 等. 基于 Galil 运动控制器的风洞动态试验装置控制系统[J]. 兵工自动化, 2013, 32(1): 38-41.

[3] 肖剑, 马自勤. 机床伺服电机的选型方法分析[J]. 机械研究与应用, 2011(4): 48-52.

[4] 邓力凡. 数控机床伺服系统的几个关键技术问题[J]. 制造业信息化, 2010(9): 98-101.

[5] 王昕, 何沛霖. 大型汽轮发电机转子线圈槽衬加工机床[J]. 兵工自动化, 2013, 32(4): 40-41.

[1] 王昕, 何沛霖. 大型汽轮发电机转子线圈槽衬加工机床[J]. 兵工自动化, 2013, 32(4): 40-41.

机械工业出版社, 2010: 213.

[3] 阮毅, 陈伯时. 电力拖动自动控制系统: 运动控制系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009: 97-99.

[4] 陈坚. 电力电子学: 电力电子变换和控制技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 140-143.

[5] 张兴, 张崇巍. PWM 整流器及其控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012: 16-20.

[6] 李勇, 陈志锦, 郭丽. 交流伺服系统电磁兼容设计[J]. 四川兵工学报, 2012, 33(6): 98-99.

[7] 李发海, 王岩. 电机与拖动基础[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 103.

[8] 唐任远. 现代永磁电机理论与设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997: 144-146.