

# 异步电动机在不同运行条件下的热行为

FANTIDIS G. Jacob, KARAKOULIDIS Konstantinos  
国际希腊大学 65404 希腊

**摘要:** 如今, 电机出现在许多工业过程和作业中, 涵盖各种机械设备并在关键工业应用中发挥着重要作用。红外热成像是一种非侵入性、非破坏性的检查方法, 已广泛应用于电气安装的各个领域。在这项研究中, 利用红外热成像以使用Jenoptik VarioCAM 7800红外摄像机测量1.1KW三相鼠笼式异步电动机在不同运行条件下的发热行为。在所有情况下, 检查电机的三个感兴趣的区域, 滚珠轴承、框架和绕组。实验表明, 绕组中的红外图像对异步电动机热行为的预测精度最高。

**关键词:** 红外热成像; 异步电动机; 绕组; 热行为; 相位故障

## Thermal Behavior of Asynchron Motor under Different Operation Conditions

FANTIDIS G. Jacob, KARAKOULIDIS Konstantinos  
International Hellenic University, Greece

**Abstract:** Electrical motors today are present in many industrial processes, cover a wide range of mechanical equipment and play a major role in critical industrial applications. Infrared thermography is a non-invasive, non-destructive inspection method which has been extensively applied in diverse fields of electric installation. In this work, infrared thermography is used as tool in order to measure the heating behavior of a 1.1 KW three-phase squirrel cage asynchron motor under different operation conditions using the Jenoptik VarioCAM® 7800 infrared camera. In all cases, three regions of interest of the motor, the ball bearing, the frame and the windings, were inspected. The experiments show that the infrared images in the windings show the highest precision in predicting the thermal behavior of the asynchron motor.

**Keywords:** Infrared thermography; asynchron motor; windings; thermal behavior; phase failure

### 1. 引言

为了减少时间和生产成本, 电机在大量工业过程和应用中起着至关重要的作用。由于这些原因, 它们在工业环境中的价值是毋庸置疑的, 并且证明了状态监测的重要性, 尤其是对大型电机而言。在许多工业应用中, 如果不注意这些电机, 往往会面临意想不到的故障, 进而可能会导致重大或非常严重的问题[1-7]。基于对电流、振动、通量、感应电压、测量温度等的分析, 已经提出并测试了许多方法来监测它们的状态。经验表明, 温度升高通常是许多电气设备故障的可靠指标, 而工业过程中另一个有用的经验法则则是, 工作温度每升高10℃, 绝缘寿命就会缩短一半。因此, 热监控对于延长电机寿命至关重要, 对于防止意外电机故障也至关重要, 意外

电机故障会造成数百万的损失[1, 2, 8]。

目前, 红外热像技术作为健康监测的无损检测方法已被广泛接受。红外线捕捉光谱在700纳米到1毫米之间的电磁辐射, 人眼无法看到。根据该理论, 温度高于绝对零度(0开尔文)的任何物体都在红外区辐射能量, 这取决于物体的温度和它们的表面性质。红外摄像机形式的热红外检测系统检测这种能量, 并实时产生这些辐射的图像。IR已经成为监控电气设备(如电缆、开关设备、继电器、绝缘体、配电盘、电容器、变压器、电机等)的有用工具, 因为当设备内部温度超过其典型工作极限时, 设备内部就会发生故障[9-15]。

在电动机领域, 红外线的应用相当有限。IR可用于DC电机, 以检查换向器、电刷系统和磁场绕组中的故障

[16]。在发电机、同步电机和感应电机中，IR对于有缺陷的接触和滑环电刷系统的状况非常有用[17]。最后但并非最不重要的一点是，红外已被用于识别轴错位问题[18]或运动链上的故障[19]。在这种情况下，IR已经广泛用于测量三相感应电动机、单相感应电动机、三相电力变压器等的热分布。在不同的操作条件下[20–23]。

本研究的目的是利用红外摄像机研究三相鼠笼式异步电动机在不同运行条件下的热行为。目的是在电机内部接近在框架中形成的光学窗口。本文的其余部分组织如下：第二部分介绍了本工程中使用的设备。实验结果和讨论在第三部分给出，第四部分阐述结论。

## 2. 实验设备

所有的实验都在东马其顿的电机实验室进行希腊卡拉瓦雷斯理工学院。数字图1显示了实验测试床，包括红外摄像机Jenoptik VarioCAM 7800、1.1 KW De Lorenzo 三相鼠笼式异步电动机。作为负载，我们使用一个伺服电机通过一个柔性联轴器连接到机器上。为了测量电机的负载，连接了一个扭矩计。

目标电机和红外摄像机之间的距离为1.0米。Jenoptik VarioCAM 7800由640x480像素焦平面阵列、非制冷微测辐射热计探测器（带标准30毫米镜头）、IFOV 0.8毫拉德和FOV（30×23）组成，工作在7.5–14微米的红外光谱带这款红外摄像机的热灵敏度为1.5K，温度范围为0到100℃，并通过FireWire（IEEE 1394）与PC通信。此外，使用合适的分析软件IRBIS 3 professional分析红外图像，该软件允许精确测量三相鼠笼式异步电动机的任何外表面点的温度分布。表1列出了Jenoptik VarioCAM 7800热感摄像机的技术规格[21]表2给出了电机规格。为了将实验过程中环境条件的影响降至最低，环境温度几乎稳定在2℃以内，而湿度约为50–60%。同时，为了实现精确测量，Jenoptik VarioCAM 7800热像仪的方向直接面向目标异步电机。

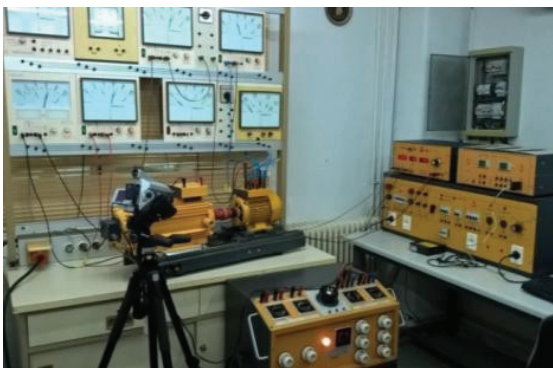


图1 实验装置

表1 热像仪的规格

参数	价值
光谱范围	7.5至14微米
解决	640 × 480像素
储存温度范围	-40摄氏度至1200摄氏度
30℃时的温度分辨率	优于0.08 K
测量精度	1.5k (0℃至100℃), 2% (<0摄氏度且>100摄氏度)
空间分辨率/IFOV	0.8兆拉德
视野/FOV	30高 × 23高

表2 三相鼠笼式异步电动机规格  
(Delorenzo DL 1021型)

重要	价值
额定功率	1.1千瓦
额定转速	2820转/分
额定电压	380 (Y) / 220 (δ) 伏
额定电流	2.6安 / 4.5安
额定功率因数	0.8
频率	50赫兹
隔离	E类

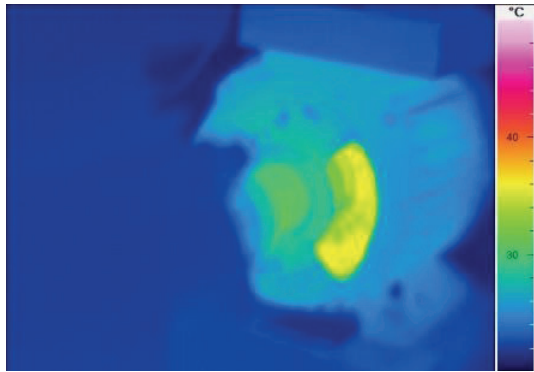
## 3. 结果和讨论

实时热图像是在红外摄像机的帮助下捕捉的，在3个感兴趣的区域使用遮罩，即电机的框架、绕组和滚珠轴承。第一系列实验包括异步电动机在空载、70%负载和最大（100%）负载下的运行，额定电压等于380伏。图2示出了连续运行30分钟后，前述3种情况下的电机的热图像。红外检测显示，空载运行30分钟后，机架中的最高温度低于30℃，连续运行15分钟后几乎没有变化。滚珠轴承的温度也会出现同样的情况。在绕组中观察到最高温度，但在每种情况下都保持较低的温度（36℃）。

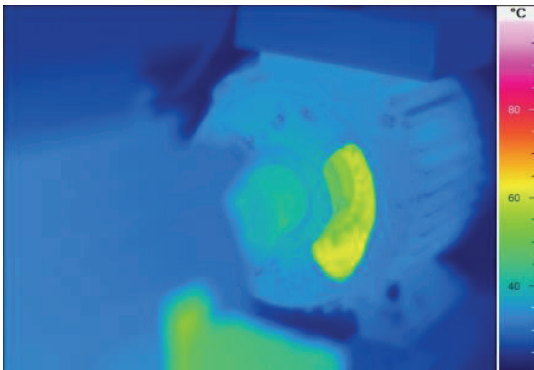
在70%最大负载的第二种情况下，机架和滚珠轴承中的较高温度约为37℃和40℃。绕组的表面温度高于60℃。正如预期的那样，较高的负载运行条件会在每个相关区域产生较高的温度（机架和滚珠轴承中的温度约为50℃，绕组中的温度高于107℃）。

行业中最常见的电气问题之一是电压不平衡，因此电机在70%负载下测试了三种不同的电压，即320V、350V和380V。图3显示了电机在3种不同电压下运行30分钟后的热图像。显示了三种电压下机架和滚珠轴承中的温度，绕组中的相应值，3种情况下的框架温度几乎相同，只有很小的变化（小于1℃）。同时，滚珠轴承中的温度显示350伏和380伏的相似值，320伏略有变化（温度高约2.5℃）。绕组中的实际温度高于滚珠轴承和框架中的温度。较低的电压需要更多的电流来满足负载需求，

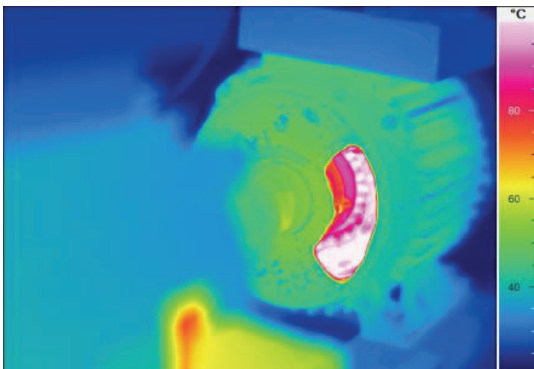
这就是所测温度差异较小的原因。



(a)



(b)



(c)

图2 a) 0%负载、b) 70%负载和  
c) 100%负载下电机的温度记录图像

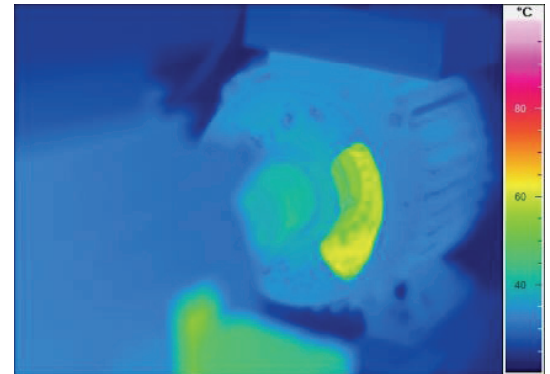
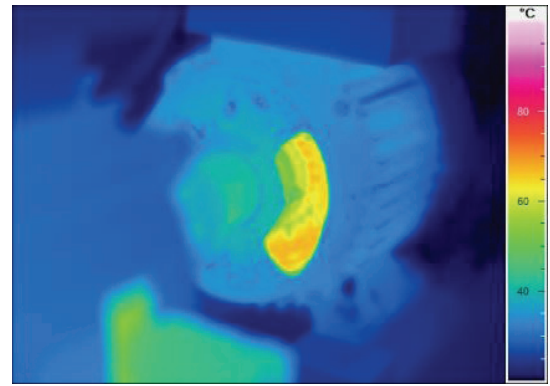
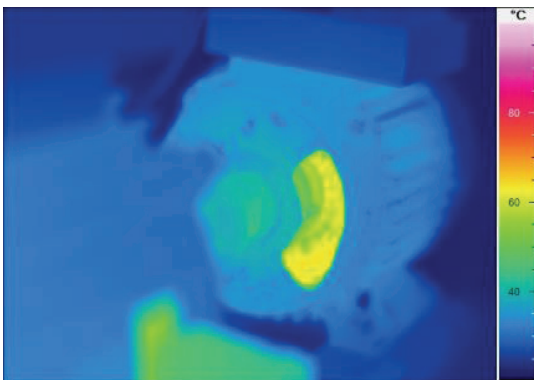
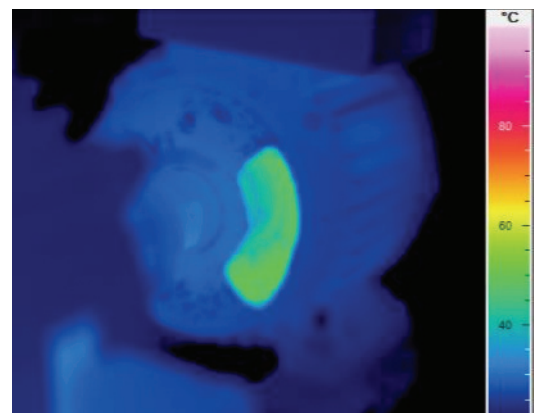
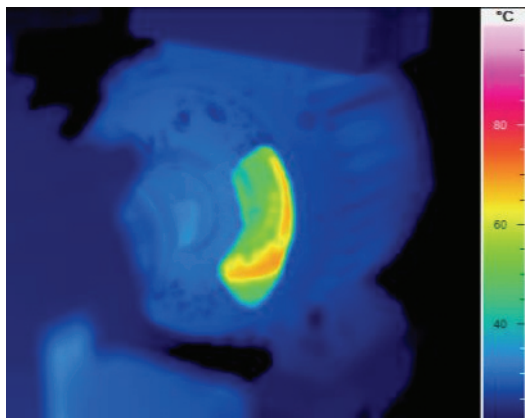


图3 70%负载下电机的温度记录图像

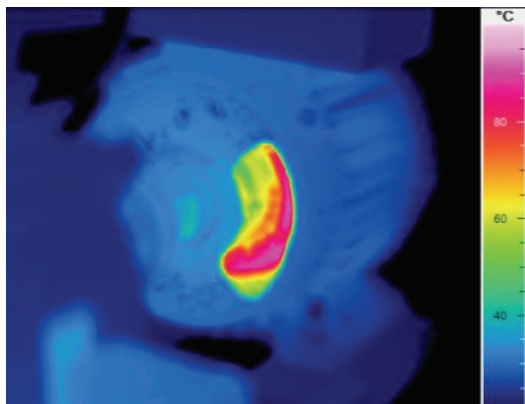
行业中另一个常见的电气故障是相位故障，然后电机继续使用剩余的2个相位运行。在这种情况下，剩余相中的电流显著增加（约为正常满载电流的150%），导致电机部件内部发热，尤其是绕组。结果，增加的电流产生的额外热量导致绕组绝缘击穿和失效。在这种情况下，运行15分钟后，电机的一相断开，只有两个两相运行5分钟的真实温度记录，3个目标区域的温度。在电机机架中，最高温度有一个小的增量（大约8.7°C），而在滚珠轴承中，温度增加了12.7°C。但是，在绕组中，红外检测显示温度急剧上升了51°C。从图中可以明显看出，绕组中的温度测量值更准确地描述了被检测电机在正常和故障条件下的热行为。



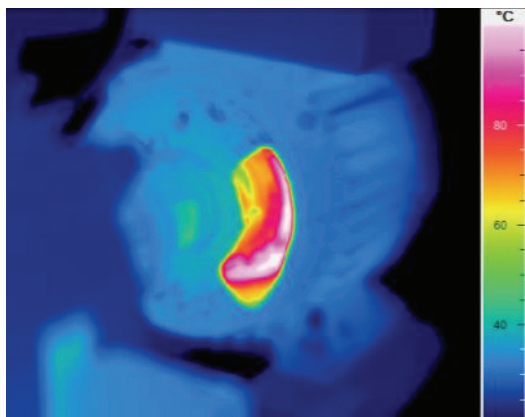
(a)



(b)



(c)



(d)

图4 电机 (a) 在70%负载和380伏电压下运行15分钟后, (b) 运行1分钟后的温度记录图像。

(c) 3分钟。(d) 持续5分钟

#### 4. 小结

红外热成像是一种强大的非破坏性方法, 已被接受为许多电气工程应用检查的有用技术。然而, 使用热图像来研究旋转电机的发热行为是相当罕见的。这项工作表明如何使用红外热成像技术可以提供有用的信息在这一领域。本文对一台1.1 KW三相鼠笼式异步电动机进行

了不同运行条件下的试验, 试验证明红外摄像机是研究异步电动机发热过程的良好工具。电机在额定电压(380伏)下运行, 负载为0%、70%和100%, 70%的负载低于320伏和350伏, 在最后一种情况下, 机器在相位故障条件下进行检查。根据结果, 电机机架和滚珠轴承的测量温度波动较小, 但绕组的加热模式差异明显较大。

#### 参考文献:

[1] Picazo-Ródenas, M. J., et al. "A new methodology for complementary diagnosis of induction motors based on infrared thermography", *International Journal on Energy Conversion (IRECON) 3.2* (2015): pp. 44–52.

[2] López-Pérez, David, and Jose Antonino-Daviu, "Application of infrared thermography to failure detection in industrial induction motors: case stories", *IEEE Transactions on Industry Applications 53.3* (2017): pp. 1901–1908.

[3] Jadin, Mohd Shawal, Soib Taib, and Kamarul Hawari Ghazali. "Feature extraction and classification for detecting the thermal faults in electrical installations", *Measurement 57* (2014): pp. 15–24.

[4] Khamisan, Norliana, et al. "Histogram-based of Healthy and Unhealthy Bearing Monitoring in Induction Motor by Using Thermal Camera", *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering (JTEC) 10.1–9* (2018): pp. 31–35.

[5] Kompella, KC Deekshit, Mannam Venu Gopala Rao, and Rayapudi Srinivasa Rao. "Bearing fault detection in a 3 phase induction motor using stator current frequency spectral subtraction with various wavelet decomposition techniques", *Ain Shams Engineering Journal* (2017).

[6] Karvelis, Petros, et al. "An automated thermographic image segmentation method for induction motor fault diagnosis", *Industrial Electronics Society, IECON 2014–40th Annual Conference of the IEEE. IEEE, 2014. pp. 3396–3402.*

[7] Gonzalez-Cordoba, J. L., et al. "Methodology for overheating identification on induction motors under voltage unbalance conditions in industrial processes", (2016). *Journal of Scientific & Industrial Research. 75*, (2016), pp. 100–107.

[8] Y. Laib Dit Leksir, M. Mansour, A. Moussaoui, "Localization of thermal anomalies in electrical equipment using Infrared Thermography and support

vectormachine” , *Infrared Physics & Technology* 89 (2018): pp.120–128.

[9] Jadin, Mohd Shawal, Soib Taib, and Kamarul HawariGhazali. “Feature extraction and classification fordetecting the thermal faults in electrical installations” ,*Measurement* 57 (2014): 15–24.

[10] Fantidis J. G., “Thermography in a DistributionOperator, Common Real Problems” , *Archives of Current*

[11] Research International 14 (4) (2018): pp. 1–7.S. Taib. “Application of infrared thermography forpredictive/preventive maintenance of thermal defect inelectrical equipment” , *Applied Thermal Engineering* 61.2(2013a): 220 - 227.

[12] Huda, A. S. N., and S. Taib. “Suitable features selectionfor monitoring thermal condition of electrical equipmentusing infrared thermography” , *Infrared Physics &Technology* 61 (2013b): 184 - 191.

[13] Karakoulidis, K., J. G. Fantidis, and V. Kontakos. “TheTemperature Measurement in a Three-Phase PowerTransformer under Different Conditions” , *Journal ofEngineering Science & Technology Review* 8.5 (2015).

[14] Zou Hui, Fuzhen Huang. “A novel intelligent faultdiagnosis method for electrical equipment using infraredthermography” , *Infrared Physics & Technology* 2015; 73:pp. 29–35.

[15] J. G. Fantidis, K. Karakoulidis and D. V. Bandekas, “Thermography in a Distribution Operator, Challenges ina Live Network: Case Study Central Greece

RegionalDepartment of HEDNO” , *Journal of Electrical andElectronics Engineering* 11 (2018), pp. 11–16.

[16] M. Manana, A. Arroyo, A. Ortiz, C.J. Renedo, S. Perez,F. Delgado, “Field winding fault diagnosis in DC motorsduring manufacturing using thermal monitoring” , *AppliedThermal Engineering*, vol. 31, no.5, (2011) pp. 978–983.

[17] P. Gill, “Electrical Power Equipment Maintenance andTesting” , Second Edition, CRC Press, Taylor & FrancisGroup, U.S., 2009.

[18] A.R. Mohanty, S. Fatima, “Shaft misalignment detectionby thermal imaging of support bearings” , *IFAC PapersOnLine*, vol. 48, no. 21 2015, pp. 554–559.

[19] Armando Guadalupe Garcia-Ramirez, Luis AlbertoMoralesHernandez, Roque Alfredo Osornio-Rios, JuanPrimo Benitez-Rangel, Arturo Garcia-Perez, Rene de JesusRomero-Troncoso, “Fault detection in induction motorsand the impact on the kinematic chain throughthermographic analysis” , *Electric Power SystemsResearch*, Vol. 114, Sep. 2014, pp. 1–9.

[20] Fantidis J. G., Karakoulidis K., Lazidis G., Potolias C.,Bandekas D. V., “The study of the thermal profile of athree-phase motor under different conditions” , *ARPNJournal of Engineering and Applied Sciences*, 8 (11):(2013) pp. 892 - 899.

[21] Fantidis J. G., D. V. Bandekas, K. Karakoulidis, G.Lazidis, C. Potolias. “The temperature measurement of thewindings in a three-phase electrical motor under differentconditions”, *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation* 3.2 (2015): pp. 39–44.