

# 基于机器视觉的压缩机零部件质量检测系统

张海艳

杭州钱江制冷压缩机集团有限公司，浙江杭州，311100；

**摘要：**随着工业自动化水平的不断提升，传统的人工检测方法已难以满足压缩机零部件质量控制的高效性和准确性需求。机器视觉技术作为一种非接触、高速度、高精度的检测手段，逐渐在压缩机制造领域得到广泛应用。本文围绕压缩机零部件质量检测系统的构建，深入探讨了机器视觉系统的关键技术，包括图像采集与预处理、缺陷检测与识别、系统集成与优化等方面。通过对实际应用案例的分析，验证了该系统在提高检测效率、降低人力成本、提升产品质量方面的显著优势。研究结果表明，基于机器视觉的质量检测系统具有良好的应用前景，为压缩机制造业的智能化升级提供了有力支撑。

**关键词：**机器视觉；压缩机零部件；质量检测；图像处理；智能制造

**DOI：**10.69979/3041-0673.25.10.059

## 1 机器视觉系统的关键技术

### 1.1 图像采集与预处理技术

图像的采集属于机器视觉系统当中的首要步骤，其对后续处理所能够达成的效果有着直接性的影响。在针对压缩机零部件展开质量检测工作之时，得依据被测对象所具有的各项特性来挑选契合的图像采集设备，像是工业相机、镜头以及光源这些。工业相机得具备较高的分辨率、较高的帧率，并且要有不错的抗干扰能力才行，如此才能获取到既清晰又稳定的图像。对于镜头的挑选，要把视场的大小、工作的距离以及畸变控制等诸多因素都考虑进去。而光源的设计方面，则要依照零部件表面的材质以及形状，去选用恰当的照明方式，比如环形光、条形光或者同轴光这类的，目的在于增强缺陷所呈现出来的对比度。图像预处理涵盖了去噪、增强、二值化等一系列的操作，其作用是提升图像的质量，让感兴趣的区域能够凸显出来，同时降低后续处理的复杂程度。常用的预处理方法包含中值滤波、高斯滤波、直方图均衡化等。

### 1.2 缺陷检测与识别算法

缺陷检测与识别实实在在是机器视觉系统当中极为关键的部分，其与检测的准确性以及可靠性有着直接且紧密的关联。在针对压缩机零部件所开展的质量检测工作里面，常常会出现的缺陷涵盖了裂纹、划痕、气孔以及尺寸偏差等多种情况。面对不同种类的缺陷，那必然是要采用与之相对应的检测算法才行。传统意义上的图像处理手段，像是边缘检测、模板匹配以及形态学处理这些，在检测那些规则性比较突出、特征较为明显的缺陷时是能够派上用场的。不过，要是遇到那种复杂

而且多变的缺陷，传统方法在适应性以及鲁棒性方面可就表现出明显的局限了。近些年来，以深度学习作为基础的缺陷检测方法开始慢慢兴起了，通过构建卷积神经网络也就是 CNN 模型，它能够自主地去学习并且提取缺陷的相关特征，进而达成高精度的检测与识别这一目标。就比如说，运用 YOLO、Faster R-CNN 这类目标检测算法，就能够实现对缺陷的定位以及分类操作。

### 1.3 系统集成与优化设计

把机器视觉系统运用到压缩机零部件的质量检测环节，得展开系统层面的集成以及优化设计方面的相关工作。系统集成涵盖了硬件集成与软件集成这两个不同的层面。就硬件集成来讲，要把相机、光源、传感器、执行机构等各类设备进行合理的布局安排，以此来切实保障系统具备应有的稳定性以及可靠性。而软件集成呢，则要着手去开发诸如图像处理、数据分析、结果输出等一系列的功能模块，从而促使系统可以达成自动化运行的状态。在开展系统设计的时候，务必要周全地考量生产线实际所处的状况，像零部件具体的种类、尺寸大小、生产节拍之类的情况，进而制定出与之相适配的检测策略以及流程。除此之外，为了能够让系统的效率得以提升，使其适应性也更强，不妨引入模块化设计这样的理念，把系统划分成多个具备不同功能的模块，如此一来也方便后续的维护以及升级操作。

## 2 压缩机零部件质量检测系统的构建

### 2.1 系统架构与工作流程

机器视觉下的压缩机零部件质量检测系统，是一个综合性的智能检测平台，它把图像采集、信息处理、智能识别以及自动控制等功能都融合在了一起。这个系统

在整体架构设计的时候，充分顾及到了压缩机生产环境的复杂状况，还有零部件种类的繁杂多样情况。它主要是由五个核心部分构成的，也就是图像采集模块、图像处理模块、缺陷识别模块、结果输出模块以及系统控制模块。检测出来的结果会由结果输出模块来做统一的处理，既能通过人机界面展示出来，也能上传到数据库当中，还能和MES系统联动从而实现自动记录的功能，并且还支持和执行系统相互交互，以此来完成剔除不合格品、触发报警之类的操作。系统控制模块在整个检测流程当中，肩负着流程调度、任务分发、状态监测以及参数自适应调节等方面的责任，其目的就是要保证各个模块能够协同一致地开展工作，而且可以持续稳定地运行下去。在实际的生产线运行过程当中，该系统能够以毫秒级的响应速度对零部件展开高频次的检测，这样就形成了一个从获取图像开始，到做出结果决策，再到执行控制操作的全闭环自动检测流程，极大地提高了质量控制方面的实时性以及精准程度。

## 2.2 关键部件的检测方法

压缩机属于高精度的机械设备范畴，其内部各式各样的零部件对于整体运行时的稳定性状况以及能效水平高低起着决定性的影响作用。所以，针对那些关键的零部件展开全面且系统的质量检测工作，这可是构建具备高可靠性压缩机的一项基本保障举措。在实际的应用场景当中，不同零部件所具有的结构特征以及存在的缺陷类型往往有着显著的差别。必须得依据它们各自的工艺属性特点以及质量方面的要求，去设计出那种具有很强针对性的机器视觉检测方案。就拿缸体来说，缸体作为压缩机当中的核心结构部件，它的内孔尺寸精度情况可是直接关联到气密性以及压缩效率这两方面。而活塞，因为它要进行高速的往复运动，所以对几何对称性以及表面光洁度有着极高的要求。在对活塞进行视觉检测的时候，主要关注的是其外形轮廓、沟槽的完整性以及是否存在微小划痕等方面，比较适宜采用那种基于边缘梯度分析和高精度模板匹配相结合的方式，以此来识别轮廓是否存在偏移、几何是否出现变形以及有没有轻微碰伤等情况。对于连杆部件的检测，会更侧重于对其长度尺寸以及受力区域裂纹的判断。

通常情况下，会结合图像分割以及深度特征提取等手段，去训练专门的模型，从而针对那些易损位置进行高灵敏度的检测，以此确保结构方面的安全。再看阀片，阀片作为功能性部件，它的厚度一致性、平整度以及边缘存在的缺陷等，都会对密封性能产生影响。常常会采用光学干涉或者反射强度成像法来进行三维形貌的评

估，并且辅以形态学图像处理的方式来识别那些微小的瑕疵。通过把不同的检测算法和部件的工艺特性精准地进行适配，机器视觉系统就能够实现对零部件级别的智能检测，能够涵盖尺寸测量、缺陷定位以及分类识别等多个层级，进而在很大程度上提升整机装配的合格率以及可靠性程度。

## 2.3 系统性能评估与优化

要想让基于机器视觉的压缩机零部件质量检测系统在实际工业环境里一直有效地发挥作用，那就得对该系统的运行性能展开周期性的评估以及优化操作，以此来保证它能长时间保持稳定，并且检测精度也不会下降。在进行性能评估这个阶段的时候，主要拿来当作参考的指标有检测精度、响应速度、误检率、漏检率、系统稳定性以及运行效率等这些特别重要的核心参数。检测精度的高低决定着系统能不能精准地识别出目标缺陷，它可是衡量系统价值最为关键的一个因素；检测速度，这和产线节拍的匹配能力是紧密相关的，它是系统能不能顺利地嵌入到现有生产流程当中去的一个很重要的指标；误检率和漏检率体现的是系统对于错误和差异的容忍能力，会直接对企业的质量成本产生影响；而系统稳定性所涉及的是软硬件长时间运行时候的表现情况，它可是工业部署能够顺利进行的一种保障。在完成评估的基础之上，不断地对算法模型进行迭代，同时对硬件参数加以优化，这样就能有效地去解决在检测过程当中所存在的各种各样的问题。除此之外，还能够引入自动标注以及模型自学习这样的机制，让检测模型可以持续不断地进化并且得到优化，使得系统具备长时间的自适应能力以及可扩展性。通过持续不断地对性能进行评估以及从多个维度开展优化工作，检测系统在长时间运行的过程当中会不断地朝着成熟的方向发展，而且还能为压缩机企业打造出一套依靠数据来驱动、能够看得见并且可以控制的质量保障体系。

## 3 实际应用与发展趋势

### 3.1 应用案例分析

在某家压缩机制造企业内部，运用了基于机器视觉的质量检测系统来针对活塞展开自动检测工作。此系统配备了具备高分辨率的工业相机，同时还配置了环形LED照明设备，再与基于深度学习所构建的缺陷识别模型相互结合，最终顺利达成了对活塞表面所存在的划痕、裂纹，以及异物粘附等各类缺陷的自动识别任务。在实际的运行环节当中，该系统所呈现出来的检测精度能够达到98.6%的水平，而且其平均处理时间也被成功控制在0.5秒以内，这样的表现完全契合了高节拍生产线对

于实时性所提出的相关要求。自从该系统正式上线之后，一方面是极大程度地降低了人工检测所需要承担的强度，并且还使得误检率得以明显降低；另一方面则是有效提升了数据的可追溯性，同时也让管理效率获得了提高。在此之后，这家企业又进一步将该系统进行拓展应用，使其能够应用到缸体以及阀片的外观质量检测方面，进而实现了针对多个零部件、多个工位的检测系统之间的联动操作，从而大幅度地提升了在整机装配之前的质量控制水准。该案例充分证实了机器视觉技术在压缩机制造现场所具备的可行性以及高度的适应性，也为其他的中大型制造企业树立起了可资借鉴的范例。

### 3.2 系统部署中的挑战与应对

虽说机器视觉系统于压缩机零部件质量检测方面彰显出不错的成效，然而在该系统实际展开部署的进程当中，依旧遭遇着为数不少的挑战。首当其冲的便是光照环境繁杂这一难题，压缩机的零件大多属于金属质地，其表面反光的情况颇为严重，这极易致使图像出现过曝的状况，或者造成纹理丢失的现象。针对这一情况，可以采用偏振光照明以及暗场成像之类的方式来加以抑制。其次，零部件的品类繁多，并且尺寸方面的差异也很大，这对检测系统的通用性发起了挑战。相应的解决办法包含配置多工位检测模块，或者采用可变焦镜头以及自适应图像采集策略。再者，部分诸如细微裂纹或者内腔杂质之类的缺陷，通过传统的视觉手段是比较难以捕捉到的，此时可以结合X射线、红外等非可见光检测模块来构建多模态检测平台。除此之外，系统调试周期漫长、模型训练样本不够充足等情况同样属于限制因素，需要凭借积累缺陷样本库以及引入迁移学习方法来逐步实现优化。通过系统且全面地应对部署方面的诸多难题，能够有效地推动机器视觉系统从“实验室级”朝着“工业实用级”逐步演进。

### 3.3 未来发展趋势展望

面向未来的日子里，机器视觉在压缩机零部件质量检测这块领域的应用，会朝着更为智能、更加精准以及更具泛化特性的方向不断发展。在起初阶段，从算法这个层面来看，会持续朝着深度学习以及小样本学习相互融合的方向去演进，凭借着为数不多的样本，达成对复杂缺陷展开高效学习与识别的目标，进而促使系统快速部署的能力得以提升。接下来，在硬件相关方面，随着高分辨率相机、具备智能特性的边缘计算设备以及高速通信技术的逐步发展，检测系统将会拥有更强的实时性以及分布式处理的能力，从而能够适应数量更多的复杂

工况以及高速产线场景。再者，系统平台会变得更加开放，同时也更具模块化特点，能够给予MES、ERP系统对接方面的支持，以此来实现制造过程里全流程的质量闭环管理。

另外，多模态融合会成为一种发展趋向，把X光、红外、三维成像等诸多技术结合起来，进而实现针对那些不可见的、处于深层次的缺陷展开智能识别的目的。到最后，借助人工智能以及工业互联网的力量，机器视觉质量检测系统将会逐步发展成为一个集感知、认知以及决策功能于一身的工业智能视觉平台，有力地推动压缩机制造企业朝着高度智能化以及数字化转型的方向大步迈进。

### 4 结语

机器视觉作为智能制造的重要技术支撑，正日益成为压缩机零部件质量检测领域的关键技术路径。本文围绕压缩机制造过程中的质量控制需求，系统分析了机器视觉系统的核心技术、系统构建与应用挑战，并结合实际案例探讨了其在工业场景中的应用效果与优化路径。研究表明，基于机器视觉的检测系统不仅显著提升了检测效率与准确性，还为质量管理的数据化、智能化提供了坚实基础。尽管在实际部署过程中仍面临光照干扰、零件复杂性、系统稳定性等挑战，但随着图像处理算法的演进、硬件设备的升级及人工智能技术的融合，机器视觉将在更广泛的压缩机及其相关制造领域实现深度落地。未来，应进一步加强跨学科技术融合、构建标准化视觉检测平台，并推动行业样本数据库建设与共享机制，为我国制造业高质量发展注入持续动能。

### 参考文献

- [1] 张云. 基于机器视觉的零件图像采集及识别的研究 [J]. 电子工程, 2006, 32(10): 29.
- [2] 宋甜, 李颖, 王静. 改进 YOLOv5s 的车载红外图像目标检测 [J]. 现代计算机, 2022, 28(2). DOI: 10.3969/j.issn.1007-1423.2022.02.003.
- [3] 刘瑞媛, 茅健, 陆文超. 汽车精密零件外观缺陷视觉检测方法研究 [J]. 计算机与数字工程, 2021, (2). DOI: 10.3969/j.issn.1672-9722.2021.02.029.
- [4] 周艳聪, 张波, 王岩, 等. 智能制造系统研究及趋势分析 [J]. 科学技术创新, 2020, (20).
- [5] 孙郑芬, 吴韶波. 机器视觉技术在工业智能化生产中的应用 [J]. 物联网技术, 2020, (8). DOI: 10.16667/j.issn.2095-1302.2020.08.030.