

太阳能组件自动焊接中视觉检测技术的研究

马玉英¹ 肖君彦² 陈建国^{3,4} 任现坤³

1. 山东工程职业技术大学 山东 济南 250200

2. 山东省产品质量检验研究院 山东 济南 250102

3. 山东力诺光伏高科技有限公司 山东 济南 250103

4. 山东力诺阳光电力科技有限公司 山东 济南 250103

摘要: 太阳能组件自动焊接中的视觉检测技术,旨在提高焊接质量和效率。研究通过设计视觉检测系统,运用高精度工业相机、先进图像处理算法,实现对太阳能电池片焊接前的精准检测。该技术涵盖图像预处理、特征提取及缺陷识别等关键环节,能有效检测裂纹、断栅等焊接缺陷。实验验证表明,该技术显著提高了检测精度和效率,为太阳能组件的自动化生产提供了有力技术支撑。

关键词: 太阳能组件; 自动焊接; 视觉检测技术

引言: 随着太阳能产业的快速发展,太阳能组件的生产效率和质量控制变得尤为重要。自动焊接作为太阳能组件制造中的关键环节,其质量直接影响组件的发电效率和使用寿命。然而,传统的人工检测方式存在检测效率低、准确性差等问题。因此,研究太阳能组件自动焊接中的视觉检测技术,实现焊接质量的在线监测与自动控制,对于提高生产效率、保障产品质量具有重要意义。

1 太阳能组件自动焊接工艺概述

1.1 太阳能组件结构及制造工艺

太阳能组件是太阳能发电系统中的重要部件,其结构复杂而精细。从原材料到最终产品,组件的制造过程历经多个环节。(1) 硅片、电池片、组件组装流程:首先,硅片作为组件的基础材料,经过精密的切割和加工,制成太阳能电池片。这些电池片具有将光能转化为电能的能力。随后,将多个电池片通过导线连接,形成电池串。在电池串的基础上,通过层压等工艺,将电池片、玻璃、背板、EVA胶膜等材料组合在一起,形成最终的太阳能组件。(2) 焊接在组件制造中的关键作用:焊接是连接电池片的关键步骤,直接影响组件的电流传输效率和机械强度。良好的焊接可以保证电流在电池片之间顺畅流动,从而提高整个组件的发电效率。同时,焊接的质量也决定了组件的耐久性和使用寿命。

基金项目: 山东省高等学校智慧城市“时空物联云应用”新技术研发中心、2023年度济南市市校融合战略发展工程项目(项目编号:JNSX2023108);

2021年度山东工程职业技术大学校内科研基金立项项目“晶体硅太阳能电池视觉检测系统开发”(项目编号SDGCZ2101)。

1.2 自动焊接工艺分析

(1) 传统焊接工艺与自动焊接技术的对比:传统焊接工艺主要依赖人工操作,存在焊接效率低、质量不稳定等问题。而自动焊接技术通过计算机控制,实现了焊接过程的精确控制和智能化管理。相比传统工艺,自动焊接具有焊接速度快、精度高、质量稳定等优点,大大提高了组件的生产效率和产品质量。(2) 自动焊接设备的结构与工作原理:自动焊接设备通常由焊接机器人、控制系统、传感器等组成。焊接机器人负责执行焊接操作,具有高精度和灵活性。控制系统通过预设的程序,对焊接过程进行精确控制。传感器则实时监测焊接过程中的各种参数,如温度、压力等,以确保焊接质量的稳定性^[1]。

1.3 焊接质量问题及检测需求

(1) 常见焊接缺陷类型:在太阳能组件的焊接过程中,常见的缺陷类型包括裂纹、断裂、虚焊等。这些缺陷会严重影响组件的电流传输效率和机械强度,甚至导致组件失效。(2) 检测需求及标准:为确保焊接质量,需要对焊接接头进行严格的检测。检测标准应参照行业相关规范进行,如通过X射线检测、超声波检测等无损检测方法,对焊接接头的内部结构和质量进行准确评估。同时,还需对焊接接头的外观质量进行检查,确保无裂纹、断裂等明显缺陷。

2 太阳能组件自动焊接中视觉检测技术的应用

2.1 视觉检测硬件系统设计

(1) 工业相机、镜头及光源选择。在视觉检测硬件系统设计中,工业相机、镜头及光源的选择至关重要。工业相机作为图像采集的核心部件,应具备高分辨率、

高帧率、低噪声等特点。在太阳能组件自动焊接过程中,由于焊接区域可能产生强烈的反光和高温,因此选择具有高动态范围、抗高温特性的工业相机尤为重要。镜头方面,应根据焊接区域的大小、形状及深度,选择合适的焦距、视场角和光圈,以确保图像采集的清晰度和完整性。光源的选择则需考虑焊接区域的光照条件、反射特性及温度等因素,采用合适的光源类型(如LED、卤素灯等)和布局方式,以提高图像对比度,减少阴影和反光对检测结果的影响。(2)图像采集与处理系统的架构。图像采集与处理系统是视觉检测技术的核心组成部分。它负责将工业相机采集到的图像数据进行预处理、特征提取、缺陷检测等任务。在系统架构上,可采用模块化设计,将图像采集、预处理、特征提取、缺陷检测等功能模块分离,以便于系统的扩展与维护^[2]。同时,为了提高处理速度和准确性,可采用高性能的处理器和专用的图像处理算法库,如OpenCV、Halcon等。此外,系统还应具备强大的数据管理和网络通信能力,以便于对检测结果进行存储、分析和远程监控。

2.2 图像处理算法研究

(1)图像预处理技术。图像预处理是视觉检测中的关键步骤,它通过对采集到的图像进行去噪、增强、分割等处理,提高图像质量和后续处理的准确性。在太阳能组件自动焊接过程中,由于焊接区域可能受到环境噪声、反光等因素的影响,因此需要进行有效的去噪处理。增强技术则用于提高图像的对比度和清晰度,使焊接区域的特征更加明显。分割技术则根据焊接区域的形状、颜色等特征,将其从背景中分离出来,为后续的特征提取和缺陷检测提供基础。(2)特征提取与识别算法。特征提取与识别是视觉检测中的核心任务之一。它通过对预处理后的图像进行分析,提取出与焊接质量相关的特征信息,如边缘、形状、纹理等,并基于这些特征进行识别与分类。在太阳能组件自动焊接过程中,常用的特征提取方法包括边缘检测(如Canny算子、Sobel算子等)、形状匹配(如模板匹配、轮廓提取等)等。识别算法则根据提取的特征信息,对焊接区域进行准确的分类和识别,如区分焊接接头、裂纹、气泡等缺陷类型。(3)基于机器学习的缺陷分类与检测方法。随着人工智能技术的发展,基于机器学习的缺陷分类与检测方法在视觉检测中得到了广泛应用。它通过训练大量的图像数据,学习焊接缺陷的特征和分布规律,从而实现对接质量的自动检测和分类。在太阳能组件自动焊接过程中,可采用支持向量机、神经网络、深度学习等算法,对焊接区域的图像进行特征提取和分类,以实现

裂纹、断裂、虚焊等缺陷的精确检测^[3]。

2.3 实时检测与反馈机制

(1)在线标定与高精度定位技术。在线标定与高精度定位技术是实现精确焊接控制的关键。在焊接过程中,焊接接头的位置、姿态及尺寸可能发生变化,因此,实时更新图像坐标与实际空间坐标的对应关系显得尤为重要。在线标定技术正是为此而生,它确保了视觉检测系统的准确性。同时,高精度定位技术利用先进的图像处理算法与机器视觉技术,对焊接区域进行精确的定位与跟踪。为了实现这一目标,可以运用基于特征点的匹配算法,如SURF、SIFT等,这些算法能够准确捕捉焊接接头的特征,从而实现精确定位。此外,结合模板匹配或形状匹配技术,可以进一步提升定位的准确性。更值得一提的是,基于视觉伺服的方法能够通过实时调整焊接枪的位置和姿态,确保焊接接头被精确跟踪与控制,从而实现高精度的焊接。(2)缺陷实时检测与报警系统。缺陷实时检测与报警系统是另一项重要应用。该系统能够实时监测焊接质量,一旦发现缺陷,立即进行报警与反馈,为操作人员提供及时处理的机会。它通常基于图像处理算法与机器学习技术,对焊接区域的图像进行特征提取与分类,从而实现对焊接缺陷的自动识别与检测。在设定报警机制时,需要根据焊接过程中的实际情况与需求,设定合适的报警阈值与报警方式,如声光报警、短信报警、邮件报警等。此外,该系统还具备缺陷位置标注、缺陷类型识别及缺陷大小测量等功能,为操作人员快速定位并处理缺陷提供了便利^[4]。同时,通过对历史数据的统计分析,可以发现焊接过程中的潜在问题与规律,为优化焊接工艺、提高焊接质量提供有力的数据支持。

3 太阳能组件自动焊接中视觉检测技术的挑战与对策

3.1 技术挑战

3.1.1 光照与阴影的影响

光照条件是影响视觉检测系统性能的关键因素之一。在太阳能组件的自动焊接过程中,焊接区域的光照条件可能因多种因素而发生变化,如环境光照的波动、焊接过程中产生的高温反光、以及工件表面不同的反射特性等。光照不足或光照不均匀可能导致图像信息丢失,进而影响后续的图像处理和缺陷检测。此外,阴影的存在也会掩盖焊接区域的细节信息,使缺陷检测变得更加困难。因此,如何有效应对光照和阴影的影响,是视觉检测技术的一大挑战。

3.1.2 图像采集与处理中的噪声问题

图像采集是视觉检测技术的第一步,而噪声则是影

响图像质量的重要因素。噪声可能来源于传感器本身的固有噪声、传输过程中的电子噪声、以及环境噪声等。这些噪声会降低图像的清晰度和信噪比,对后续的图像处理算法,如特征提取、图像分割和缺陷检测等,造成干扰。因此,如何有效去除或抑制图像中的噪声,提高图像质量,是视觉检测技术需要解决的另一个重要问题。

3.1.3 实时性与准确性的平衡

在太阳能组件的自动焊接过程中,视觉检测系统需要在保证准确性的同时,实现实时的监测与反馈。然而,在实际应用中,实时性与准确性之间往往存在矛盾。提高处理速度可能会牺牲部分准确性,而追求高精度则可能导致处理时间延长。如何在两者之间找到最佳平衡点,实现高效、准确的检测,是视觉检测技术面临的另一大挑战。

3.2 应对策略

3.2.1 光照条件优化与图像处理算法改进

针对光照与阴影的影响,可以采取以下策略进行应对。(1)优化光照条件:通过调整光源的位置、角度和强度,以及使用遮光罩、扩散板等辅助设备,可以优化焊接区域的光照条件,减少阴影和反光的影响。此外,还可以利用多光源技术,如环形光源、条形光源等,实现更加均匀、稳定的光照效果。(2)改进图像处理算法:在图像处理过程中,可以引入自适应直方图均衡化、阴影去除算法、对比度增强等算法,以改善图像质量。同时,通过融合不同光照条件下的图像信息,如利用多曝光融合技术,可以进一步提高图像的清晰度和细节信息。

3.2.2 引入先进的硬件与软件技术

针对图像采集与处理中的噪声问题,可以采取以下措施。(1)高性能传感器与图像采集设备:选择具有高灵敏度、低噪声、高分辨率的传感器和图像采集设备,可以有效降低噪声的产生。此外,利用先进的图像处理芯片和算法加速技术,如GPU加速、FPGA处理等,可以进一步提高图像处理的速度和准确性。(2)先进的滤波与去噪算法:在图像处理过程中,可以引入先进的滤波算法,如非局部均值滤波、小波去噪等,以有效去除图像中的噪声。同时,利用机器学习技术,如深度学习网络,可以训练出具有更强去噪能力的模型,进一步提高

图像质量。

3.2.3 加强人工智能技术的应用

(1)深度学习模型:利用深度学习技术,如卷积神经网络(CNN),可以实现对焊接区域图像的高效、准确识别。通过训练大量的焊接图像数据,深度学习模型可以自动学习到焊接区域的复杂特征,实现对缺陷的准确检测。此外,利用迁移学习和少样本学习技术,可以在有限的标注数据下,提高模型的泛化能力和适应性。

(2)实时优化与反馈系统:结合强化学习等技术,可以构建一个实时优化与反馈系统。该系统能够根据当前的焊接状态和图像质量,动态调整图像处理算法和检测模型的参数,以实现实时性与准确性的最佳平衡。同时,通过收集和分析焊接过程中的实时数据,可以不断优化模型,提高检测的准确性和效率。(3)智能预警与决策系统:利用人工智能技术,还可以构建一个智能预警与决策系统。该系统能够实时监测焊接过程,一旦发现潜在缺陷或异常情况,立即发出预警信号,并自动调整焊接参数或停止焊接过程,以防止缺陷的产生。此外,还可以利用大数据分析技术,对焊接过程中的数据进行深入挖掘和分析,为生产决策提供有力支持。

结束语

随着对太阳能组件自动焊接中视觉检测技术研究的深入,我们不仅实现了焊接质量的在线监测,也显著提升了生产效率和产品合格率。本研究通过优化图像处理算法和引入先进的视觉检测技术,有效解决了传统检测手段中的不足。展望未来,我们将持续优化系统性能,探索更多创新应用,为推动太阳能产业的高质量发展贡献力量,助力清洁能源的广泛应用与可持续发展。

参考文献

- [1]徐伟.电气自动化在太阳能光伏发电中的应用[J].电子元件与信息技术,2019,(09):96-97.
- [2]赵清琳,王湘文.太阳能光伏发电中电气自动化的应用[J].工业,2020,(10):102-103.
- [3]刘艳玲.太阳能光伏电池制造领域机械自动化技术研究[J].工业A,2019,(02):25-26.
- [4]魏超,唐梓彭等.光伏组件背板性能检测技术及应用分析[J].发电与空调,2021,(05):47-48.