**以下内容为光伏电池片运用YOLO-V3技术进行的缺陷检测的背景介绍，相关具体详细内容可能需要麻烦你进行具体深入分析了。**

1. **研究背景及意义**

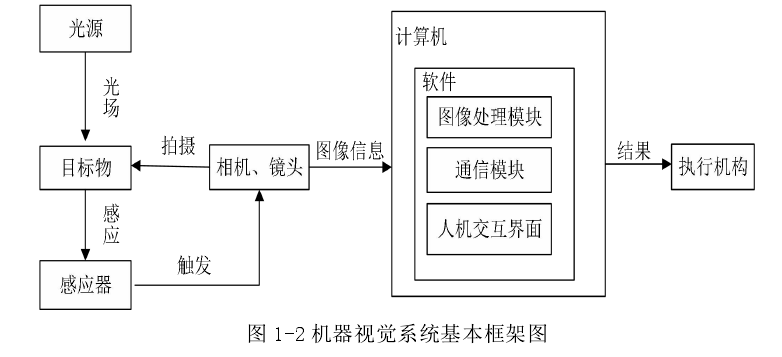
非可再生能源慢慢枯竭、人类社会对能源的需求却逐年剧增，加速了世界强国关于新能源的研究。“电”与人类息息相关，广泛应用于各个领域当中并极大改善了人类的生活。当前最常用的发电方式还是燃烧石油、煤等污染环境的不可再生能源。太阳能因为普遍性、清洁无污染、可再生、并且可以与房屋建筑结合等优点成为了全球最具发展前景的新能源，引发全球各国政府和企业的热情投入，在未来的能源架构中占据着超然的地位。[1]

二十世纪九十年代末，欧美及日本等发达国家在光伏发电的技术、基金扶持、税率等方面给予企业大量的优惠政策支持，掀起了光伏行业发展的热潮。据欧洲某研究中心预测，太阳能光伏发电在本世纪五十年代将满足全球用电需求的四分之一，到二十二世纪将占全球用电需求的六成以上。中国的光伏发电从 1980 年左右开始起步并稳健上升，“六五”和“七五”期间的大量补贴资金，并在许多地方进行号召与示范工程宣传，解决了许多偏远山区用电问题，令本来十分落后的光伏电池产业成为与“中国高铁”同样具有全球竞争力的“国家名片”。[2]据光伏研究中心报道：光伏行业发展至今已经历经了三个时期，每年新增的光伏相关设备装机量及增速都在上升，中国发展在成长期阶段最快，新增装机量增速远超其他各国。

光伏发电技术的载体是晶硅光伏电池片，单晶硅光伏电池片质地脆薄、生产工艺流程复杂繁琐，在制造过程中会存在各种人眼无法观察到的内部缺陷和表面缺陷，这些缺陷会直接或间接的影响到光伏电池片的光电转化效率和使用寿命。目前的主流检测方式主要集中在对印刷工序和成品片进行质量检测，弊端就是出现缺陷问题发现不及时、浪费大量成本。[3]因此，如果能对镀膜工序电池片进行快速检测与剔除，然后根据缺陷情况来定位生产过程中需要改善的问题，将极大提高企业效益与竞争力。

* 1. **电池片缺陷检测国内外研究现状**
     1. **基于机器视觉的电池片缺陷检测方法**

光伏电池片缺陷检测常用的方法有人工物理方法和基于机器视觉的智能化检测方法。人工物理方法主要有利用照明工具[4]、声波频率[5]、激光扫描、噪声差异[6]等，然后再经人工双目检测。这类方法在对缺陷种类的判断和自主性拓展方面具有很大优势，但容易造成视觉疲劳、检测效率低、易损耗电池片、主观检测误差等问题；基于机器视觉的智能化检测方法与前者相比具有明显优势，可以很好的解决这些问题。它用工业相机代替人类的双眼进行判别，可与自动化装置兼容一体化，对电池片缺陷进行实时监测、判断精准，此类方法已成为电池片缺陷检测领域的主要研究方向之一。机器视觉技术集通过工业相机替代眼睛完成检测识别的任务，通常采用专门的图像采集器件，利用光源营造凸显目标物特征的成像环境，由电信号转换为数字图像信号传递给图像处理模块，然后由处理器根据图像中的像素灰度、色彩等信息差异进行图像处理识别缺陷，最后将识别信号传输给执行单元。视觉系统基本框架如图 1-2 所示



基于机器视觉检测技术的框架，当前主要研究的电池片缺陷图像的成像方式有以下三种：可见光成像检测（Automatic Optic Inspection，AOI）、电致发光成像检测[7-8]（ElectroLuminescent，EL）、光致发光成像检测[9~11]（PhotoLuminescence，PL）。

AOI 检测：使用可见光波段的光源对电池片表面进行光学照明，凸显表面特征然后通过高分辨彩色工业相机采集电池片图像，再利用数字化图像处理的手段提取电池片表面缺陷以及电池片的颜色分选。此成像检测技术针对电池片表面外观缺陷和颜色分选比较有效。

EL 检测：利用电压激发电池片发光的一种成像采集方式。通过导电探针夹紧在印刷工序电池片表面电极部位，在通电条件下，电池片会犹如发光二极管一样，发出波长约为 1000~1200nm 的近红外光，电池片发光强度与探针导入的电压和电池片本身材质密度有关，有缺陷的电池片区域发光强度低，相机捕获到的成像会发黑偏暗，因此通过观察发黑偏暗的区域来检测电池片产品的缺陷问题[12]。

PL 检测：采用红外激光致使电池片产生大量荧光的一种成像方式。红外激光照射电池片表面，会给电池片提供含有能量的光子，电池片内部处于基态的电子会通过吸收这些能量光子处于激发态[13]，然后再恢复到基态，同时在这个过程中会发出红外工业相机能响应捕获到的荧光。电池片中的无缺陷区域发出的荧光较强，成像呈现也会更加明亮；电池片中的缺陷区域则发出的荧光较弱，成像相比正常区域会显得发黑昏暗。通过分析 PL 图像亮度强弱即可定位到电池片中缺陷的位置。

国外对机器视觉技术应用在太阳能光伏电池片缺陷检测上的研究已经取得了较多成果。一些学者聚焦于光伏电池片内部和表面成像机理，在主动发光成像环境或被动发光成像环境中获取图像信息，然后对成像后的电池片图像采用诸如聚类算法分析[14,15]、边缘梯度特征[16]、频域分析转换[17]、矩阵分解[18]以及机器学习[19]等方法进行检测判别。基于这些算法推动，美国 Cognex 公司和意大利 Baccini 公司先后研发出应用于丝网印刷工序的太阳能光伏电池片表面印刷质量视觉检测系统。德国 GP-solar 公司基于视觉检测技术推出一款应用于成品电池片的表面缺陷检测和颜色差异分选的电池片 AOI 检测设备，当前已占据了我国国内光伏电池片成品质量检测市场绝大部分份额。澳大利亚 BT Imaging 公司、匈牙利 Semilab 公司推出 PL 成像离线检测系统可检测所有工序，但主要优势还是应用在丝网印刷工序前的前道工序电池片内部与表面缺陷成像，并且成像时间较慢、价格昂贵，通常放置于企业高级实验室供研发使用进行分析工艺问题。国内机器视觉技术用于光伏电池片检测的研究起步相对较迟，但由于国家政策的鼓励、市场的大力推动，产品研发和学术研究发展非常迅速。面对国外先进技术的垄断以及昂贵的设备价格，上海沛德公司推出一款应用与丝网印刷工序的离线 EL 检测设备，并慢慢占据国内市场，但此设备无法实现在线检测分选。在成品片表面缺陷检测与颜色分选方面，国内也有多家公司有相应的设备产品推出。同时在检测算法方面，学者张舞杰等[20]通过外形尺寸拟合进行测量以及模板匹配的方法，实现了光伏电池片印刷工序表面缺陷检测，但过程较为繁琐导致耗时较为严重；周奇[21]通过灰度堆积与灰度差分算法相结合，完成对成品电池片表面缺陷的提取，并且使用凸运算算法判断电池片有无破损，但对于部分破损缺陷的检测有待进一步改进；刘磊等[22]人提出了一种基于支持向量机算法来识别电池片表面常见缺陷，该方法利用灰度重心、灰度积分投影得到太阳能电池片表面缺陷的形态特征参数，并将特征向量送入 SVM 进行训练学习。此类算法分类耗时长，难以满足实际工程应用的检测需求。

* + 1. **深度学习在电池片缺陷检测的应用**

深度学习目前已经慢慢应用到各种领域。在深度学习未兴起之前，ILSVRC 比赛中SIFT 等传统算法最出色的成绩也未超过 75%的准确率，并且多年不曾有较大突破。但是随着深度学习各种卷积神经网络模型的出现有了巨大提升。在 2012~2015 年 ILSVRC竞赛中，榜首队伍使用的模型为：AlexNet 模型、ZFNet 模型、Google Inception Net 模型以及微软的 ResNet 模型。这些皆是基于卷积神经网络的模型，最终效果可将图像识别错误率降低5%以下，可知卷积神经网络在目标识别分类上相对传统算法具有巨大的优势和潜力。我国深度学习模型在工业电池片缺陷识别方面也有应用，学者王宪保等[23]首先采用 BP 算法微调以缺陷样本特征构建的深度置信网络参数，然后取得训练过的缺陷片与正常片两者的映射关系，最后利用NG图像与重构的OK图像之间的差异实现电池片表面的缺陷检测。王宇[24]通过对卷积神经网络 VGGNet 的改进来实现对多晶硅光伏电池片表面缺陷的检测与分类；田晓杰[25]基于改进后的 YOLO-v3 算法来实现 EL 成像电池片内部微隐裂缺陷检测，该方法主要在 YOLO-v3 的基础上去掉原网络中的残差模块，选择更有密集连接功能的 DenseNet 神经网络，以此实现更好的缺陷检测效果；金根炎[26]通过使用深度神经网络完成对成品光伏电池片的颜色分选，该方法应用 BP 算法解决颜色欧式距离相似度算法所存在的精度问题，从而更好的提升电池片颜色分选的精度。深度学习神经网络在提取物体特征、表述特征能力上有着优异表现。传统算法检测电池片的部分缺陷，存在提取不精准或耗时太长等问题，可以应用深度学习神经网络进行解决。

1. **检测系统设计**

电池片缺陷视觉检测系统是根据采集的电池片图像进行缺陷特征识别的智能检测系统，采集的缺陷图像成像质量将直接影响到后期图像算法提取的难易程度与精度。为实现高质量地获取到电池片各类缺陷图像，根据实际需求分析，研究对比电池片图像采集的不同成像方案，选型并实现电池片内部及表面缺陷的智能检测系统的硬软件环境。

**参考文献**

[1] 钱晓亮, 张鹤庆, 陈永信,等. 基于机器视觉的太阳能电池片表面缺陷检测研究现状及展望[J]. 北京工业大学学报, 2017, 43(001):76-85.

[2] 江华.国内外光伏产业发展现状与趋势[J].太阳能,2016(12):15-17

[3] DUENAS S, PEREZ E, CASTAN H, et al. The role of defects in solar cells: control and detection defects in solar cells [C]//The Spanish 2013 Conference on Electron Devices (CDE). New York: IEEE, 2013: 301-304.

[4] ESQUIVEL O. Contrast imaging method for inspecting specular surface devices:

US6433867B1 [ P]. 2002-08-13.

[5] TSUZUKI K M, TSUTOMU Y, TAKEHIO T, et al. Inspection method and production method of solar cell module: US6271462B1[P]. 2001-08-07.

[6] CHEN X Y, PEDERSEN A, HELLESO G, et al. Electrical noise of laser diodes measured over a wide range of bias currents [J]. Microelectronics Reliability, 2000,

40(11): 1925-1928.

[7] XU P, ZHOU W J, FEI M R. Detection methods for micro-cracked defects of

photovoltaic modules based on machine vision [C] //The 2014 IEEE 3rd International

Conference on Cloud Computing and Intelligence Systems (CCIS). New York: IEEE,

2014: 609-613.

[8] CHATURVEDI P, HOEX B, WALSH T M. Broken metal fingers in silicon wafer

solar cells and PV modules[ J]. Solar Energy Materials & Solar Cells, 2013, 108 ( 1 ):

78-81.

[9] SUN Q, MELNIKOV A. MANDELIS A. Camera-based high frequency heterodyne lock-in carrierographic(frequency-domain photoluminescence) imaging of crystalline silicon wafers[ J]. Physica Status Solidi( a), 2016, 213(2): 405-411.

[10] OLSEN E, FL A S. Spectral and spatially resolved imaging of photoluminescence in multicrystalline silicon wafers[J]. Applied Physics Letters, 2011, 99(1): 011903-011903-3.

[11] DEMANT M R S, KRISCH J, SCHOENFELDER S, et al. Detection and analysis ofmicro-cracks in multi- crystalline silicon wafers during solar cell production[C] //The 2011 37th IEEE Conference on Photovoltaic Specialists Conference (PVSC) . New York: IEEE, 2011: 001641-001646.

[12] 张鹤庆. 基于视觉显著性的太阳能电池片表面缺陷检测方法研究[D].郑州轻工业学院,2018.

[13] 严金梅, 李吉, 王惠,等. 不同扩散工艺对发黑硅片的影响[J]. 太阳能, 2016,

No.262(02):26-28.

[14] TSAI D M, LI G N, LI W C, et al. Defect detection in multi-crystal solar cells using clustering with uniformity measures[J].Advanced Engineering Informatics, 2015, 29(3): 419-430.

[15] XU P, ZHOU W J, FEI M R. Detection methods for Micro-cracked defects of

photovoltaic modules based on machine vision[C]//The 2014 IEEE 3rd International

Conference on Cloud Computing and Intelligence Systems (CCIS). New York: IEEE,

2014: 609-613.

[16] FU Z, ZHAO Y, LIU Y, et al. Solar cell crack inspection by image processing [C]

//The 2004 International Conference on Business of Electronic Product Reliability

and Liability. New York: IEEE, 2004: 77- 80.

[17] TSAI D M. Micro-crack inspection in heterogeneously textured solar wafers using anisotropic diffusion [ J ]. Image and Vision Computing, 2010, 28(3) : 491 -501.

[18] LU C J, TSAI D M. Automatic defect inspection for LCDs using singular value

decomposition[J].International Journal of Advanced Manufacturing Technology,

2005, 25 (1): 53-61.

[19] DEMANT M, WELSCHEHOLD T, OSWALD M, et al. Microcracks in silicon

wafers I: inline detection and implications of crack morphology on wafer strength

[ J]. IEEE Journal of Photovoltaics, 2016, 6(1): 1-10.

[20] 张舞杰,李迪.硅太阳能电池视觉检测方法研究[J].计算机应用,2010,30(1):249-252.

[21] 基于 HALCON 的太阳能电池片缺陷检测系统设计[D].镇江:江苏大学,2017.

[22] 刘磊,王冲.基于机器视觉的太阳能电池片缺陷检测技术的研究[J].电子测量与仪器学报,2018(10):47-52.

[23] 王宪保,李洁,姚明海,何文秀,钱沄涛.基于深度学习的太阳能电池片表面缺陷检测方法[J].模式识别与人工智能,2014,27(06):517-523.

[24] 王宇. 基于机器视觉的太阳能电池片缺陷检测系统研究[D].江苏大学,2019.

[25] 田晓杰. 基于优化 YOLOv3 神经网络的硅片隐裂检测算法研究[D].中北大

学,2019.

[26] 金根炎. 基于机器视觉的光伏太阳能晶硅电池片缺陷检测及颜色分选系统研究[D]. 华南理工大学.