

2026

iNSNEX

太阳能电池片缺陷检测项目

InsWorks VDE 行业应用解决方案：2026.07

项目说明：

项目背景：

太阳能电池板是光伏系统的核心部件，其品质直接决定了光电转换效率与使用寿命。然而在生产过程中，受限于材料、设备、环境等多种因素，电池片与组件表面可能出现划痕、破损、异物、脏污、崩边、隐裂等多种缺陷。

项目目的：

传统的人工检测存在效率低、准确率不稳定、可追溯性差等问题，已难以满足现代光伏制造对高精度、高效率、高一致性的质量检测要求。

因此，亟须引入先进的缺陷检测技术，构建一套稳定、高效的全自动缺陷检测系统，提升检测准确率与实时性，保障产品质量的稳定性。



光伏-太阳能电池板

检测需求与项目目标:

检测需求:

- 漏检率: $<0.3\%$; 检测速度: $>1\text{pcs/s}$ (片/秒)
- 可检测 3×3 像素的超小断裂缺陷
- 小缺陷检测轮廓误差: $<5\text{ pixel}$

项目目标:

本项目旨在搭建一套光伏太阳能电池版缺陷筛选系统，完成电池板生成过程中各类缺陷的初筛。降低人工检验成本，推进生产智造过程的数字化管理，实现产品信息全生命周期可追溯。

- 检测典型的表面缺陷，如断裂、打结、污渍、划痕、斑点等
- 支持不同规格的电池片，具有一定的通用性
- 实时图像检测记录存档，可回溯可查询
- 缺陷物料可自动排料，便于人工二次复检或返修处理

整体方案：

方案说明：

采用高分辨率成像保留微小缺陷，收集足够多的缺陷样本进行标注训练。在原始大图上按滑窗切分推理，再将各窗口实例分割结果映射回整图并去重融合。模型训练采用人工标注、模型辅助筛查和迭代数据清洗，判定前先验证图像质量与推理完整性。

检测流程：

采集图像 → 收集检测样本 → 标注缺陷 → 训练模型 → 验证验收 →

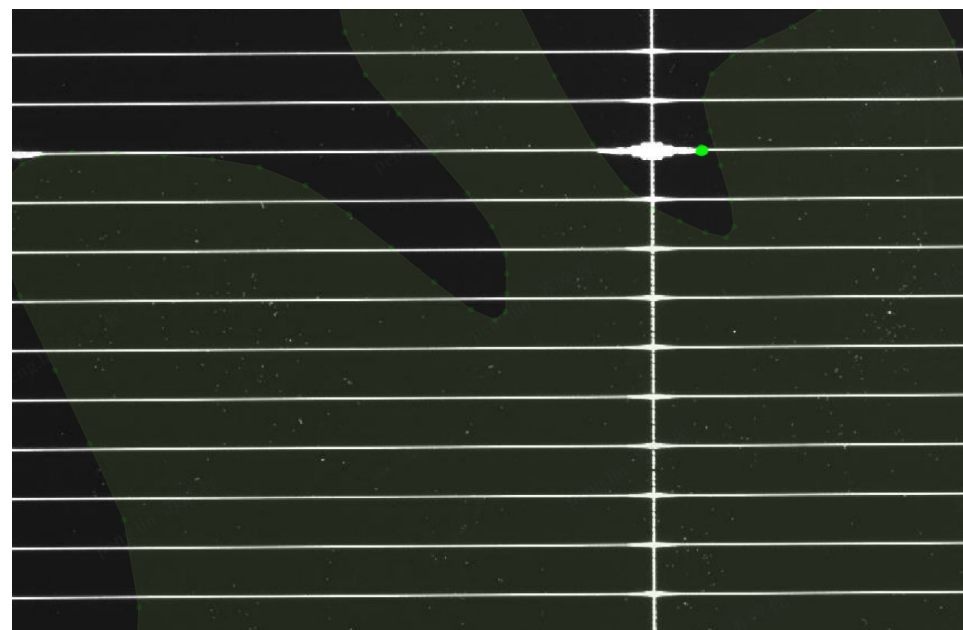
硬件与成像方案：

机构设计

本项目机构设计主要围绕光伏电池片实时缺陷检测应用需求展开，在高速运行的产线环境下，完成对电池表面微小缺陷高精度成像，并进行检测识别。核心技术在于如何保证高精度成像的条件下，达到实时性要求。

具体挑战包括：

- ①、成像系统要具备足够的分辨率，可分辨断裂微小缺陷；
- ②、机构稳定性设计，避免振动导致小缺陷模糊；
- ③、光源设计需兼顾特征强度与成像均匀性，避免边缘缺陷对比度差问题；
- ④、具备良好的鲁棒性和可维护性，上下料及排料方便合理。



电池片成像示意图

缺陷数据收集：

缺陷样本：

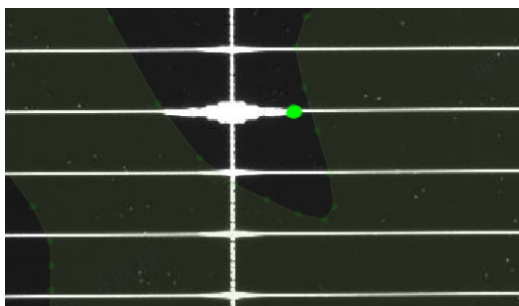
一般AI项目任务分为如下3个阶段：

项目评估阶段，每类缺陷样本约10~50例；

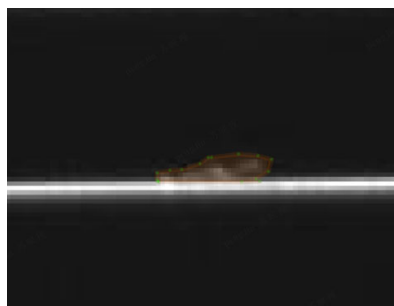
模型上线验证阶段，每类缺陷样本约50~100例；

模型迭代验收阶段，每类缺陷样本通常大于100例。

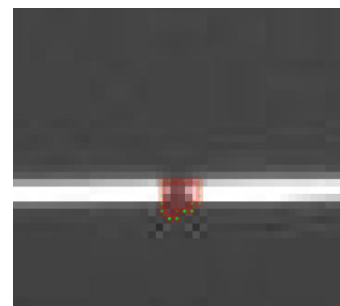
该项目缺陷面积分布较大，较大缺陷如杂点散点，面积可大于80万像素，较小缺陷如断裂仅9个像素，对数据标注和检测算法都带来了不小的挑战，典型缺陷示意图如下：



破损



崩边



脏污

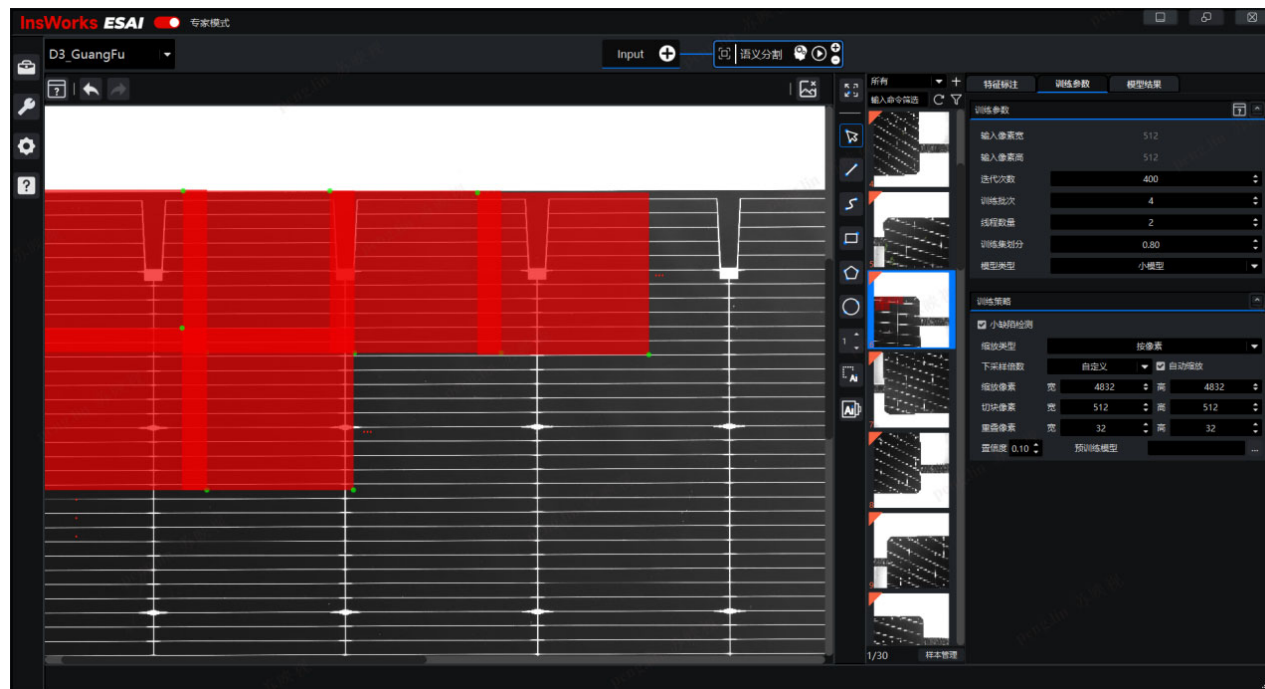


隐裂

项目核心算法：

小缺陷检测算法：

此项目需同时检测大面积缺陷和微小缺陷，输入图像分辨率为5120*5120，又存在3*3像素的微小缺陷，直接缩放原图训练会导致微小缺陷特征消失。InsWorks ESAI集成了小缺陷检测算法，根据模型检测能力，标记的宽高分布，缺陷面积分布、各类别数据量等信息，自动计算小缺陷检测参数。通过滑窗解决超大图像的小缺陷检测问题，滑窗示意图如下：

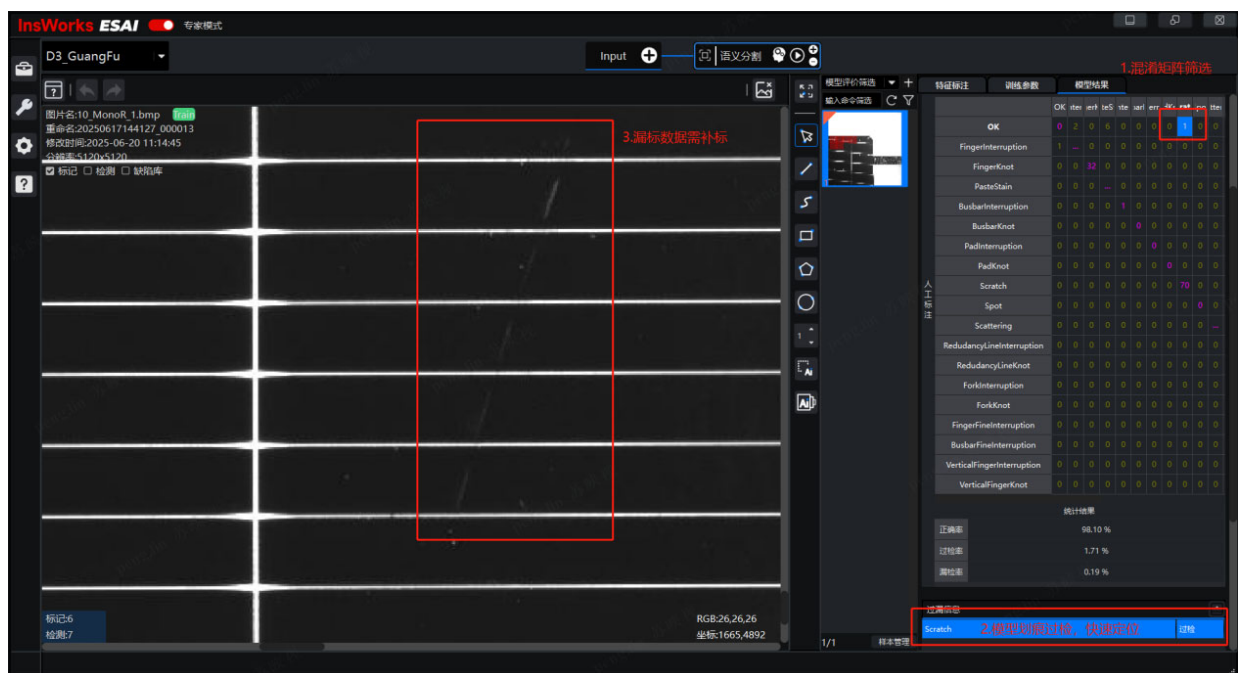


滑窗小缺陷检测示意图

项目核心算法：

过漏杀快速定位：

高质量标注，各种形态的缺陷数据集是训练得到较好深度学习模型的基础。但超大图像超小缺陷标注，难免会有疏忽和遗漏，导致缺陷漏标问题。本项目采用“人工标注+模型辅助筛查+迭代式数据清洗”的策略逐步提升数据的完整性和准确性。其中InsWorksESAI中的混淆矩阵筛选和过漏信息快速定位功能，极大缩短了问题数据定位的时间，提高了数据清洗的效率，对应模块在软件中位置及其筛选出的漏标数据如下图所示：



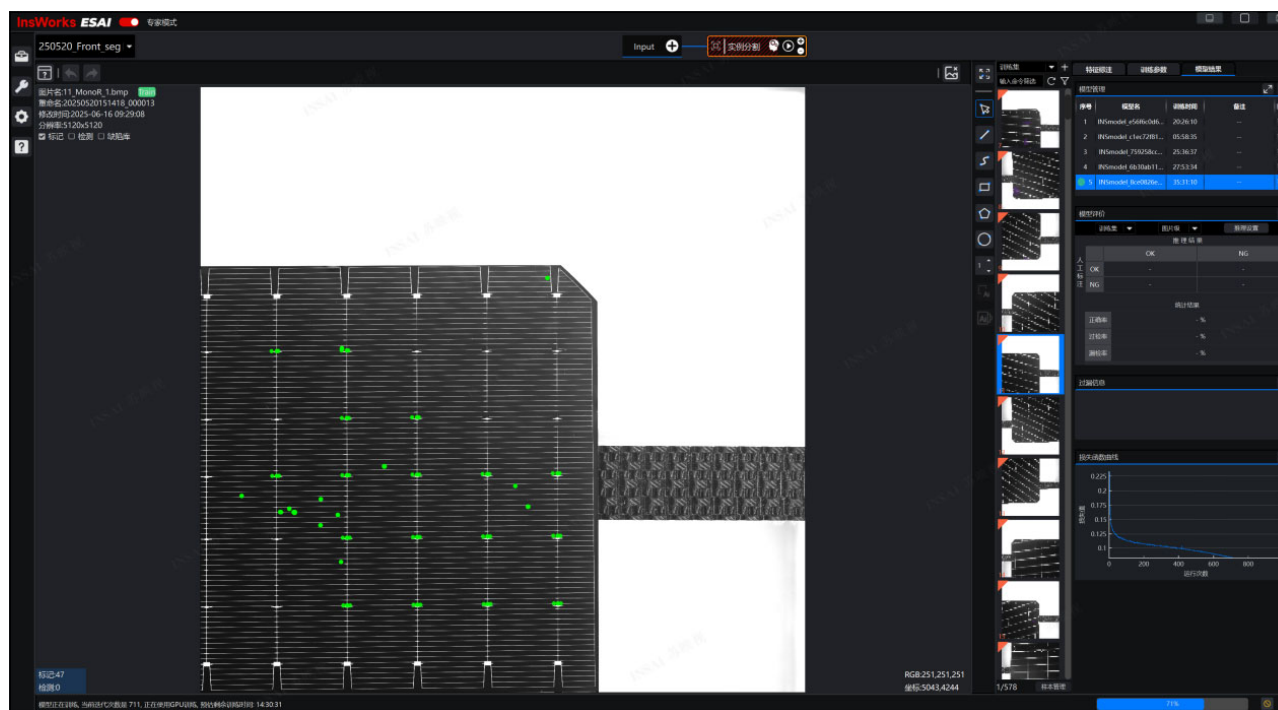
过漏杀快速定位示意图

项目核心算法：

数据清洗与模型迭代：

通过对比语义分割模型和实例分割模型，综合考虑过漏杀指标和推理速度，本项目选择了速度和精度均能达到项目需求的实例分割小模型。经过5轮数据清洗迭代后，模型正确率为98.10%，过检率为1.71%，漏检率为0.19%，可达到上线部署要求。

本项目在数据清洗阶段，模型迭代了5次，其中一次训练时软件截图如下图所示：



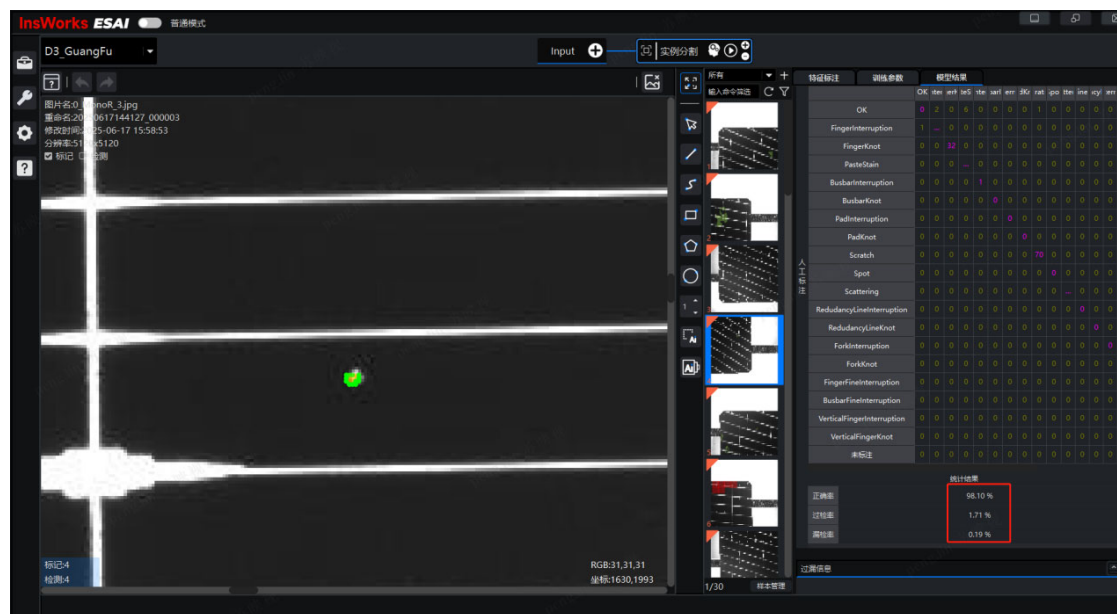
数据清洗+模型迭代示意图

项目总结:

当模型过检率、漏检率等核心指标达到产线设定阈值后，即可进入上线验证阶段。

本项目主要技术难点在于数据标注与清洗复杂度高，缺陷尺度跨度大，得益于 InsWorks ESAI 软件中的小缺陷检测算法与问题样本快速筛查功能，项目团队高效完成了数据清洗和模型迭代落地。最终模型在实际产线数据上的表现满足了客户要求。

- 本项目成功构建了光伏电池片的缺陷检测系统，实现了多类型缺陷的高精度、实时化检测
- 通过InsWorks ESAI小缺陷检测算法，有效解决了超大图像中检测微小缺陷的难题
- 引入“人工标注 + 模型筛查 + 迭代清洗”的数据处理策略，大幅提升了训练数据质量，确保模型性能的稳步提升
- 借助 InsWorks ESAI 软件中混淆矩阵分析、样本快速定位等工具，显著提升了数据清洗效率，缩短了项目开发周期
- 项目模型已在产线完成上线部署，运行稳定，满足客户对缺陷检测准确性与效率的双重要求，为企业智能制造转型提供了有力支撑



最终结果及小缺陷检测效果示意图