

表面质量检测系统是高效快速生产质量控制的眼睛

surface quality inspection system is the eye of quality control for efficient and rapid production



基于视觉+AI技术的连铸坯表面检测应用与实践

数字化 | 智能化 | 少人化

北京科技大学 | 工程技术研究院
设计研究院有限公司

报告人×检测技术部：吴昆鹏

2021年7月29日



CONTENTS

01

公司及表检产品
简介

02

连铸坯在线表面
检测的意义

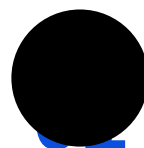
03

连铸坯表面检测
方法研究与应用

04

连铸坯表面检测
系统现场实践

CONTENTS



公司及表检产品
简介

关于公司

北京科技大学设计研究院有限公司（**北科工研**）是依托于北京科技大学建立的国家高新技术企业，公司始终瞄准国家重大战略需求和行业企业可持续发展需要，致力于科研成果技术工程化、产业化推广。公司一直以来践行“**源于企业、先于企业、高于企业、用于企业**”的指导思想，不断和企业精诚合作创造价值。

公司资质

- ✓ 冶金工程专业甲级设计资质
- ✓ 环境工程专业乙级
- ✓ ISO9001质量管理体系
- ✓ 西门子白金系统集成商（白金SI）
- ✓ 西门子全球解决方案合作伙伴（SOP）
- ✓ 国家高新技术企业
- ✓ 信息安全管理体系认证
- ✓ 信息技术服务管理体系认证

典型产品及应用技术

- ✓ 全线自动化控制系统
- ✓ **机器视觉产品及智能检测系统**
- ✓ 无人天车、库管智能系统
- ✓ 全流程质量管控系统
- ✓ 新品种、新材料开发
- ✓ 冷却技术及装备
- ✓ 智慧工厂建设及规划

北科工研表检产品发展历程

从技术研发、积累、到关键核心算法的突破



核心检测技术的研发与突破，检测效果具备与国外同类型产品竞争的能力，获得冶金科技一等奖，为客户带来更多选择性。

实现检测产品落地，业务方向从板材拓展到棒材、型材、有色等。应用客户逐渐增多，超过30多家。

第二阶段：技术积累

2010年-2016年

2.0版本

第三阶段：AI技术实践

2017年-2020年

3.0版本

实现国产热轧板带钢表检0突破，获得冶金科技奖、教育部等多个奖项

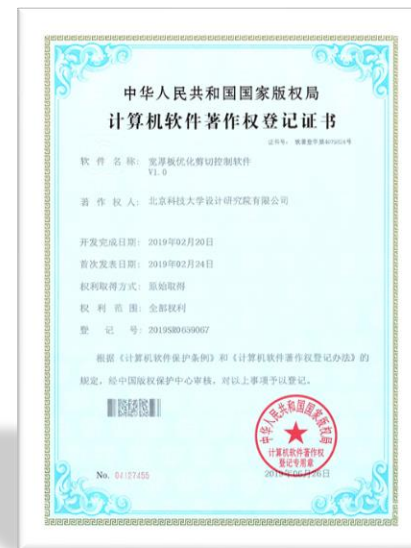
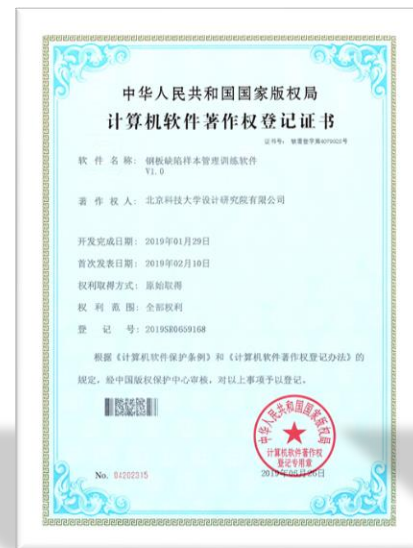
第一阶段：技术探索

1998年-2009年

1.0版本

北科工研表检产品发展历程

部分发明专利及软件著作权



北科工研表检产品发展历程

覆盖连铸坯、热连轧、中厚板、冷轧酸洗、钢管、棒线材产线应用

到目前为止IETSI- 系列表面检测系统在国内外在线应用超过100套



连铸坯



热连轧



中厚板



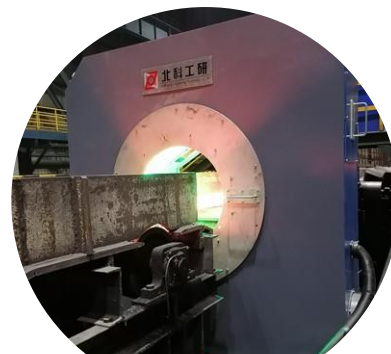
冷轧、酸洗



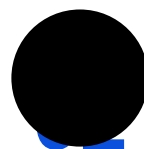
高速棒线材



钢管



大棒、方钢



连铸坯在线表面 检测的意义

连铸坯在线表面质量检测的意义

人工检测和记录方法有着较大的局限性

■传统的铸坯表面检查手段

- ✓ **线上查验：**操作人员在线肉眼观察铸坯表面，查看是否有裂纹等缺陷
- ✓ **线下查验：**铸坯下线后，经过2-3天时间，等待温度降低后再进行单块人工查验

■传统铸坯检查方法的局限性

- ✓ **劳动强度高：**完全依靠人工进行检测，由于高温、粉尘等恶劣环境，检查工作有较高的劳作强度，而且存在一定的安全隐患
- ✓ **实时性差：**响应不及时，无法依赖缺陷产生情况进行工艺控制，无法保证热装热送下的铸坯质量控制
- ✓ **检测效率低：**只能进行人工抽检，做不到所有钢坯检测的全覆盖，检测相对片面，缺少下表面的质量检测
- ✓ **数据利用率低：**人工检测多以文本记录的方式，无法实现记录的数字化，数据利用率极低，不能体现数据价值



连铸坯在线表面质量检测的意义

连铸坯在线表面质量检测的优势

检测结果数字化



铸坯在线表面检测结果高度可视化，在线生产过程中可实现缺陷检测和报警，同时将缺陷检测结果上传MES，检测数据被最大化利用

全方位内外弧检测



在线生产过程中对铸坯上下表面同时进行检测（必要时可对两个侧面进行检测），检测更为全面

温度适应性检测



采用外部光源，自动调整曝光强度，不受钢种、温度变化的影响，热坯、冷坯均可进行检测

全时效监控检测



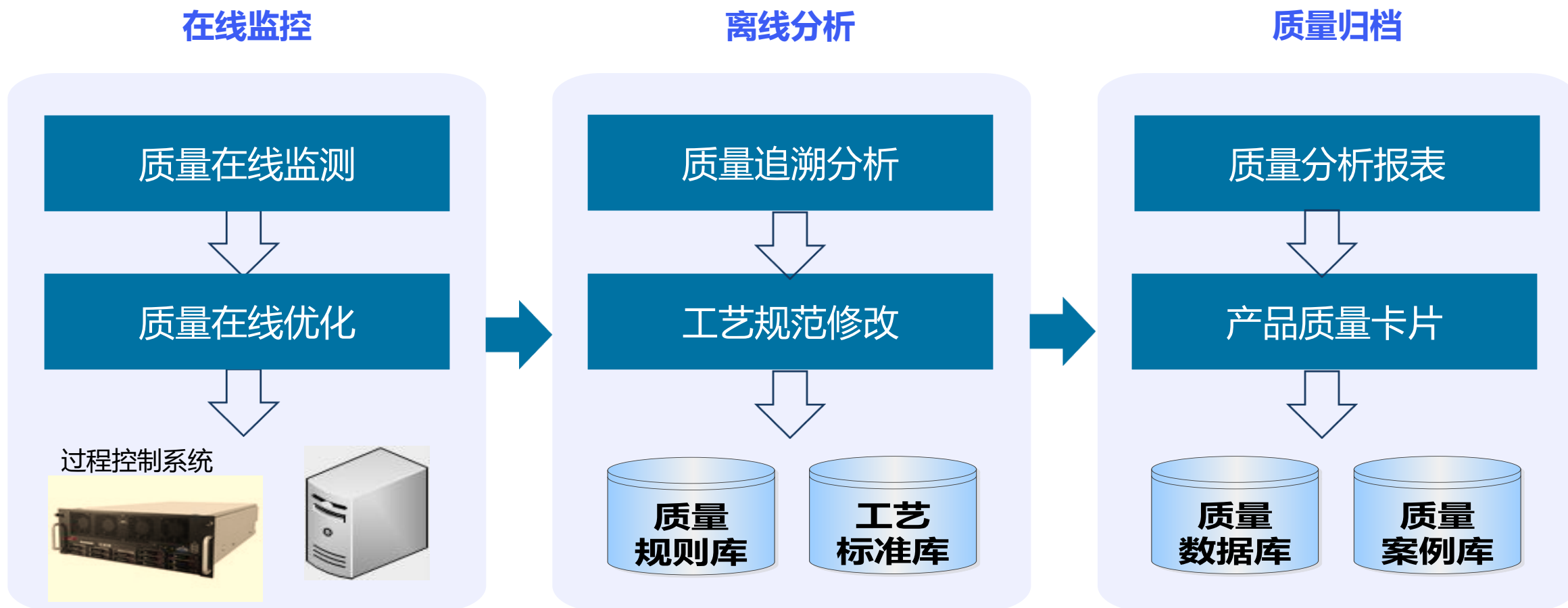
24小时无间断检测，减小人工劳作强度，每块钢坯数据逐一进行记录

- ◆ 通过这种视觉影像技术可视化反馈能力，在线检测设备会成为连铸生成型设备。利用检测系统的在线检测能力和数据反馈，可有效解决质量过程管控
- ◆ 通过在线检测结果数字化实现数据多方位传输和利用，铸坯检测结果数字化成为质量控制和工艺改进的关键环节，并且可为后续的质量等级划分提供数据支持，提高生产效率，同时为后续生产工序质量把控预警

连铸坯在线表面质量检测的意义

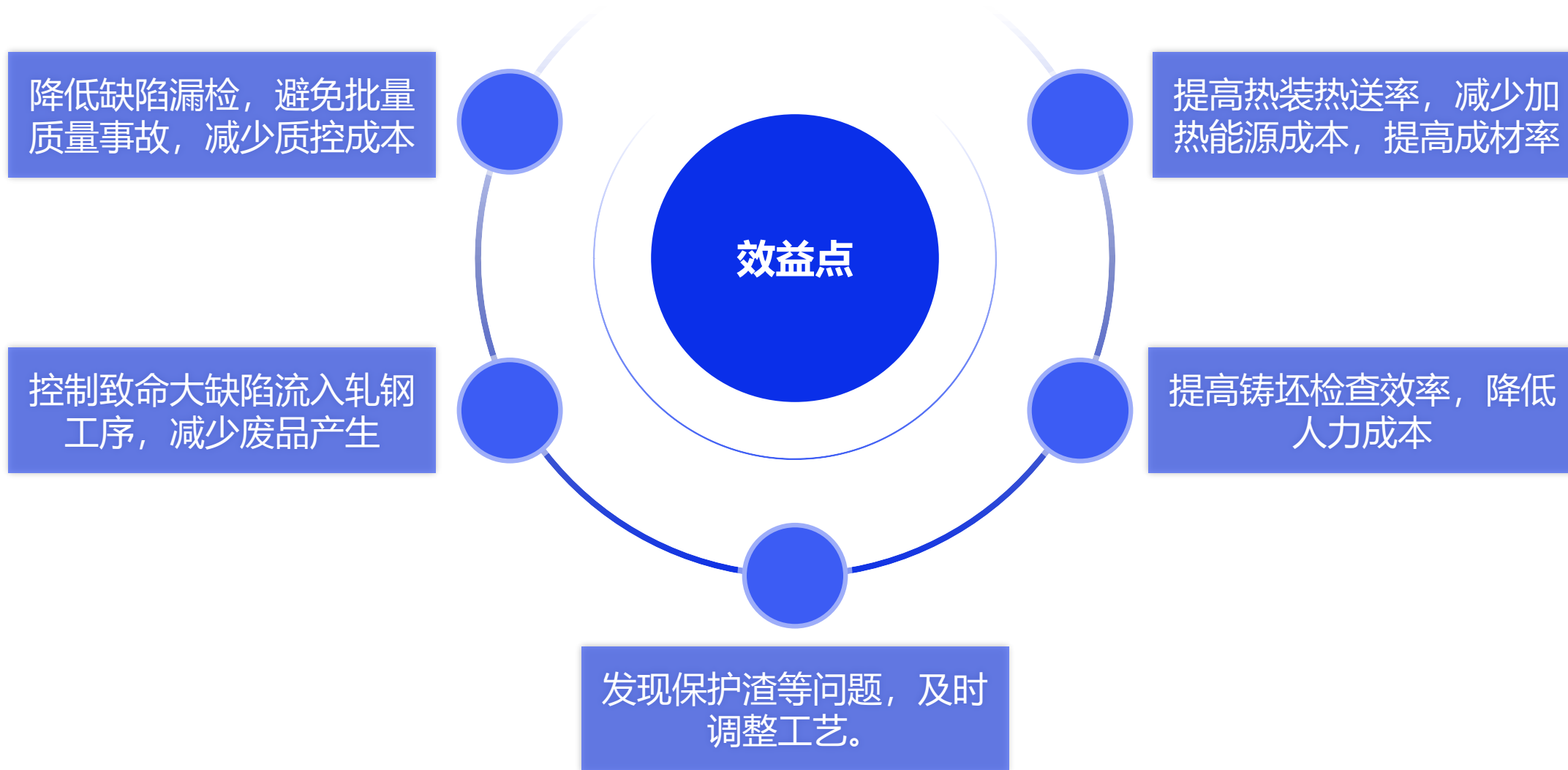
通过在线检测的数据进一步实现生产过程管控

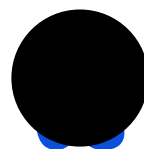
简单来说就是用在线监控、离线分析、质量数字化归档3大过程的控制来追溯原因，并进行局部调整与整体优化



连铸坯在线表面质量检测的意义

连铸坯在线检测的根本目的还是要产生经济效益



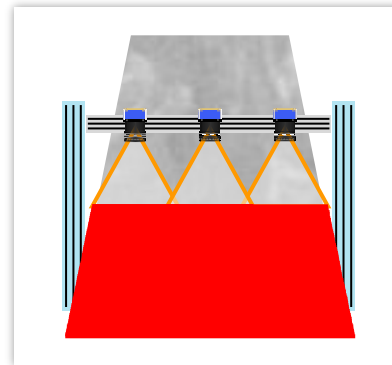
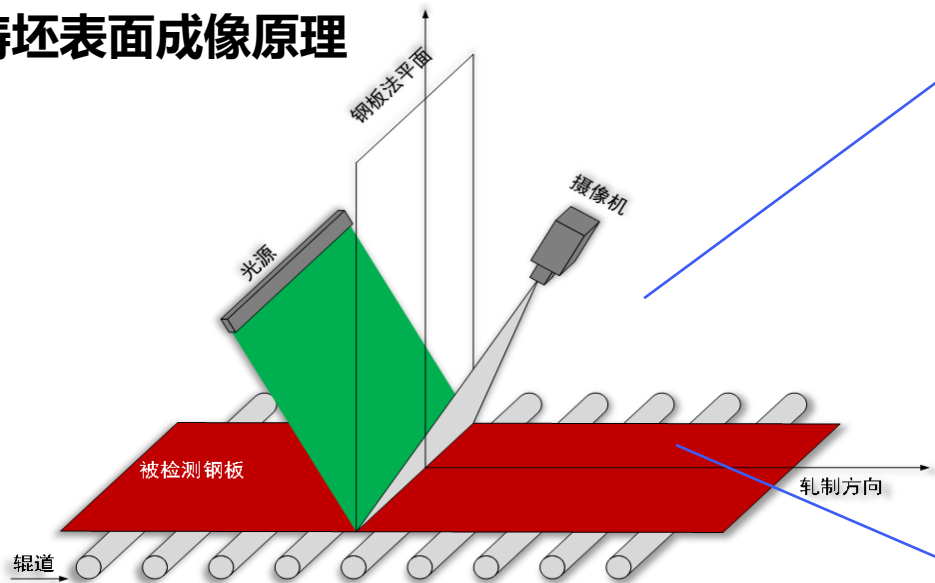


连铸坯表面检测 方法研究与应用

连铸坯表面检测系统设计

系统设计：铸坯对比度成像是基础

铸坯表面成像原理



多相机全幅扫描

- ✓ 采用工业相机全幅扫描铸坯表面，获取表面图像
- ✓ 多个相机图像进行存储、预处理



特殊光源成像

- ✓ 采用高亮、高度光源做成像系统光照，减少杂光
- ✓ 通过滤波截止，屏蔽掉高温铸坯表面红外、紫外光影响

在线检测实现过程

获取获取表面图像

海量图像存储及计算

图像分析和缺陷训练

缺陷识别模型建立

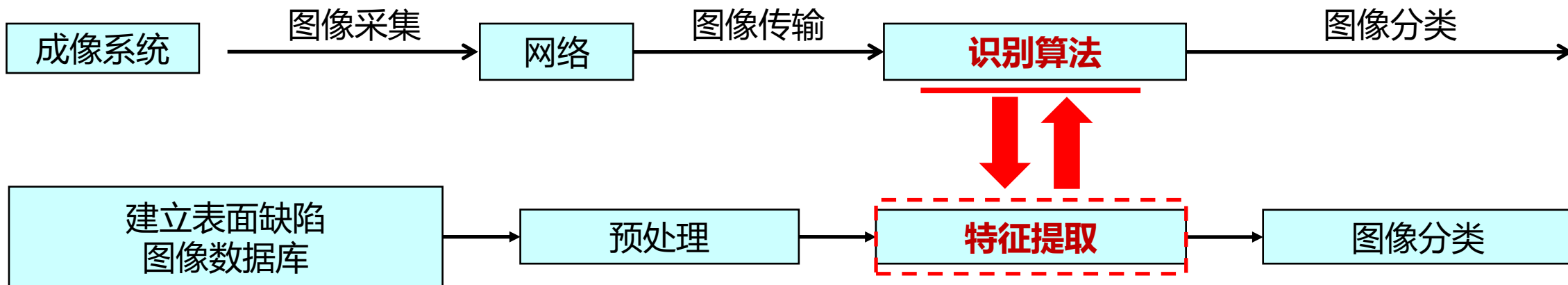
输出检测结果并预警

连铸坯表面检测系统设计

软件设计：缺陷检测准确性、稳定性是核心

传统CV技术存在问题

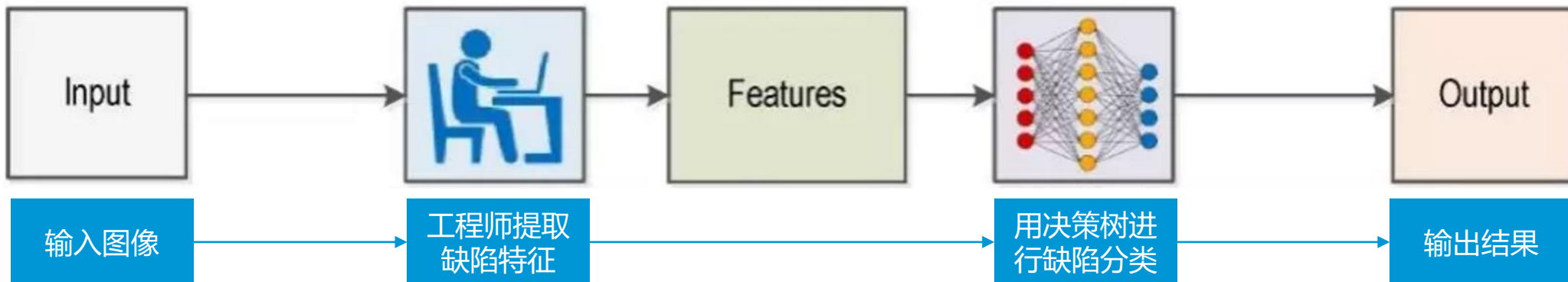
- ❑ **操作度**：人工提取特征，完善的缺陷库需要投入1-2专业人员花很长的时间来实施；一些复杂的特征提取方法，如纹理特征、多尺度几何分析等方法虽然能提高识别准确率，但是计算效率低，使用起来较复杂
- ❑ **准确率**：铸坯具有较复杂的背景，采用人工提取的特征计算机难以区分真伪，缺陷识别时带来大量误报，**识别准确率低**
- ❑ **稳定性**：人工提取的特征仅针对于某些品种或缺陷有效，**算法鲁棒性不足，缺乏通用性**



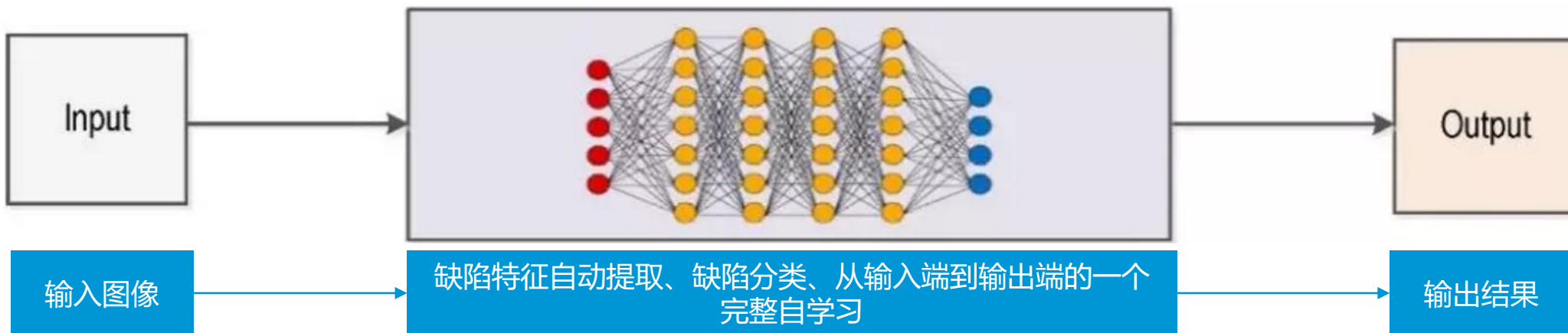
连铸坯表面检测系统设计

采用AI方法代替传统人工特征提取方法

传统CV方法 缺陷检测的 工作流程

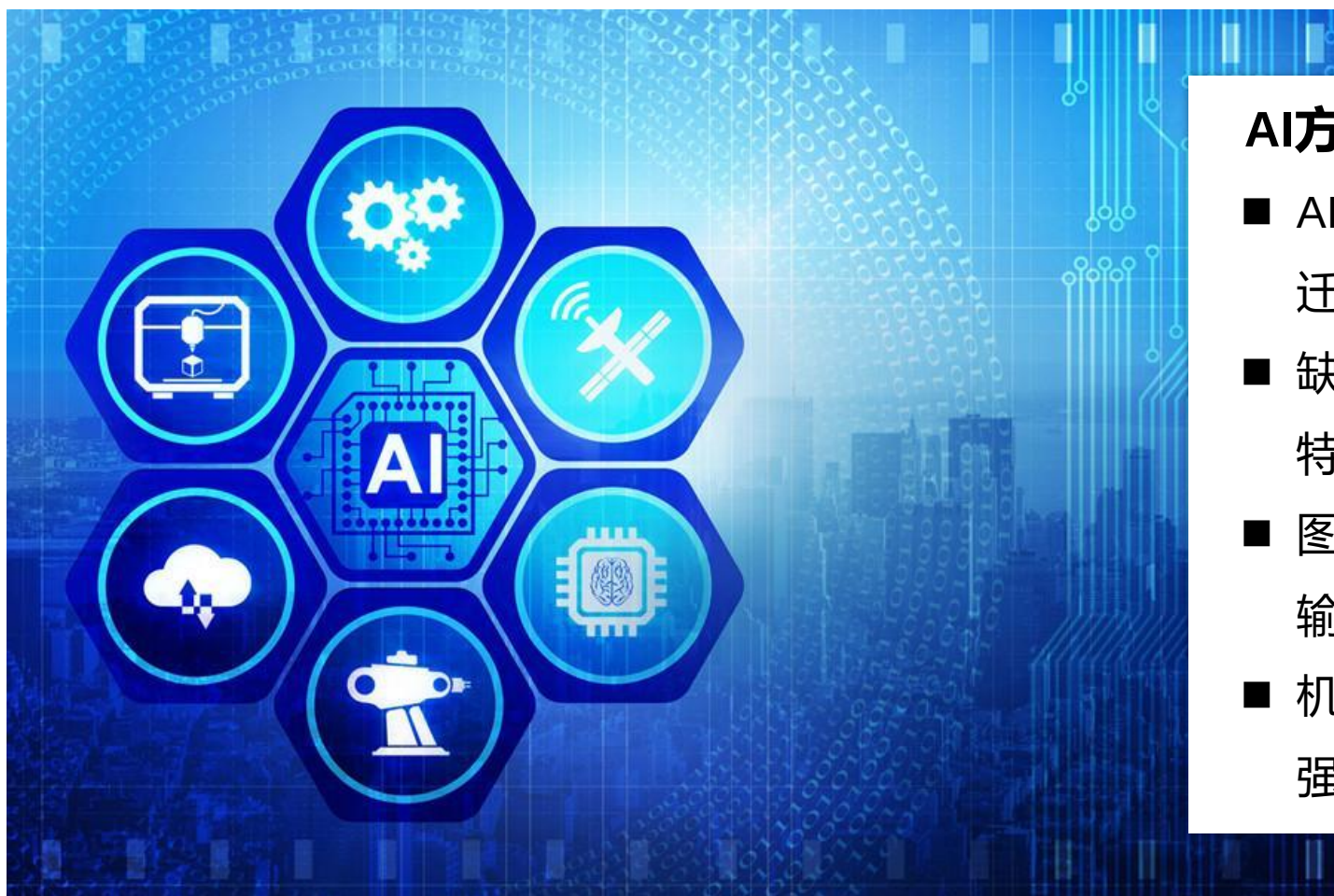


深度学习方 法缺陷检测 的工作流程



连铸坯表面检测系统设计

采用AI方法代替传统人工特征提取方法



AI方法的巨大优势：

- AI技术辅助自动建立样本缺陷库，可采用风格迁移、对抗生成等方式扩增样本集
- 缺陷的特征全部自动提取，而不需要人工提取特征，特征鲁棒能力更强
- 图像不需要较多的预处理操作，只需要简单的输入输出数据即可训练模型
- 机器自动学习，每个缺陷的多增输入，都会增强识别效果，缺陷样本越多，识别精度越高

连铸坯表面检测系统设计

典型的基于AI方法铸坯表面质量检测实现过程

图像 预处理

采集图像为4K图像，分辨率为4096*1024，需要将大图进行子图切分，并进行数据归一化处理

缺陷检出 识别模型

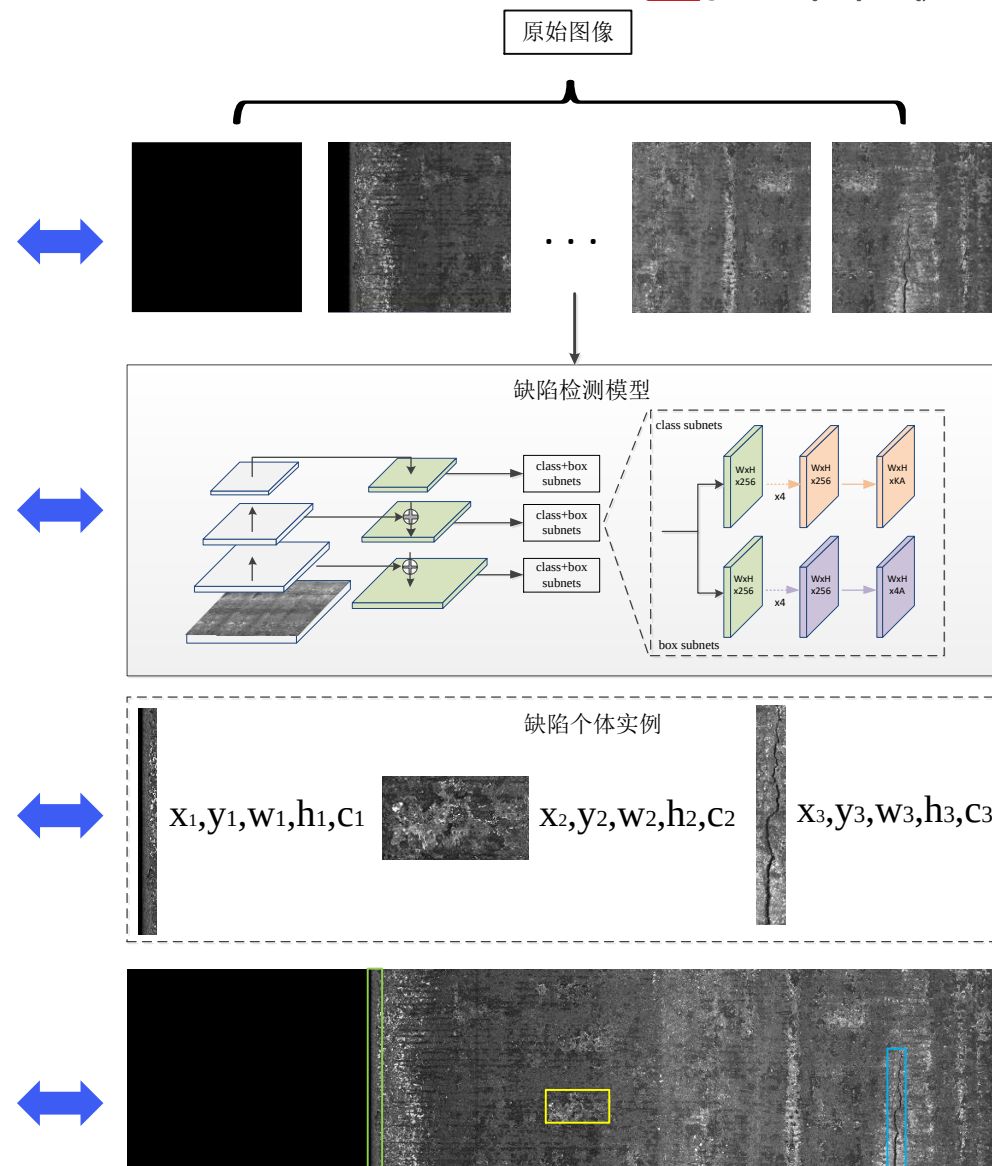
采用深度卷积网络模型，多尺度结构获取图像特征；再添加两个Head，一方面得到缺陷框的位置信息，另一方面得到缺陷对应的类别信息，实现端对端的快速识别。

缺陷实例 组合

检测得到的缺陷实例信息 $[x_i, y_i, w_i, h_i, c_i]$ ，依赖预处理时各子图的位置信息，将各缺陷实例进行位置组合，得到实际缺陷框位置，合并重叠区域

缺陷 最终检出

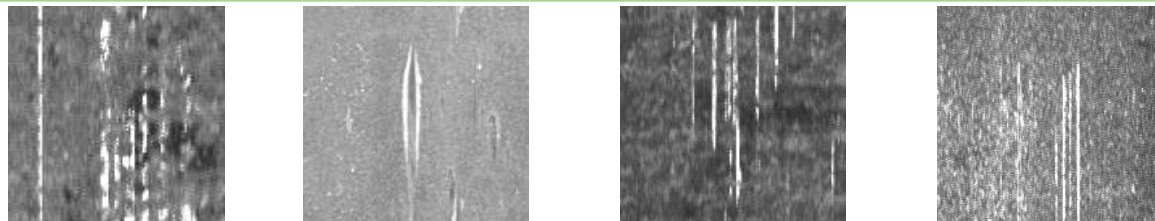
将各缺陷信息在原图位置进行呈现，得到用户关注的实际表面缺陷。



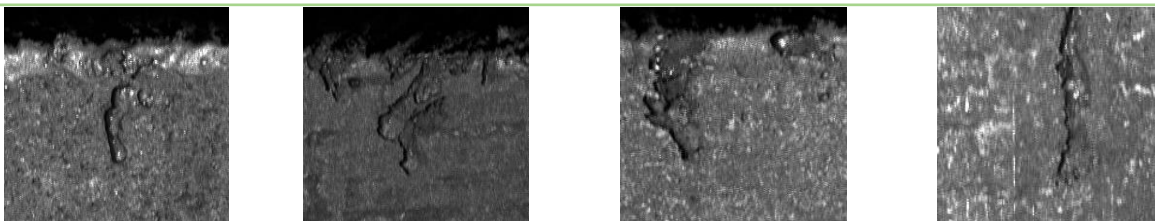
连铸坯表面检测系统设计

基于AI方法铸坯表面检测实现过程

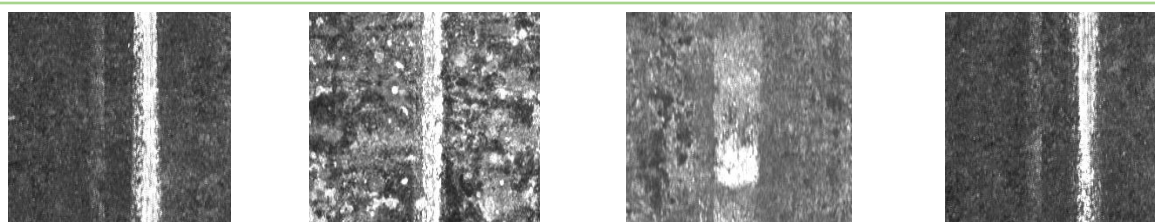
擦划伤



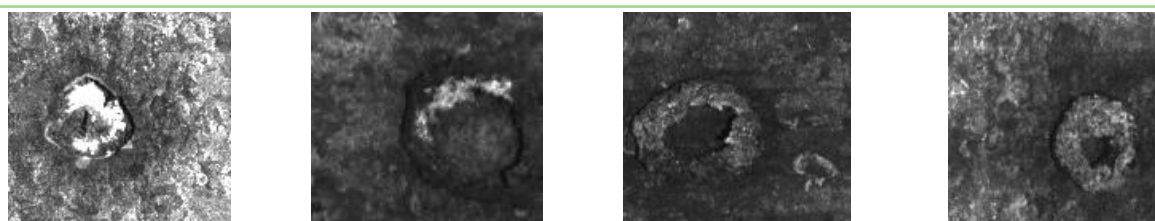
端面毛刺



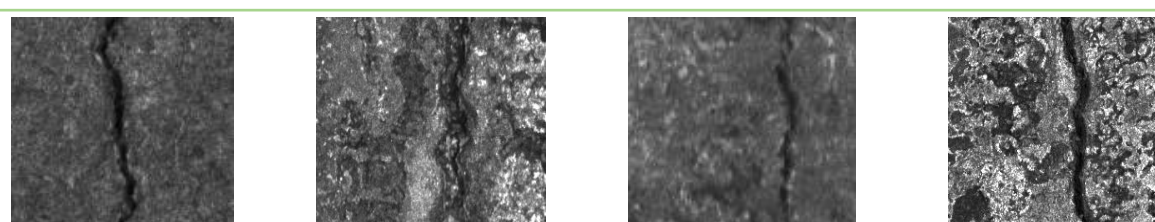
挫伤



水渣印



纵向裂纹

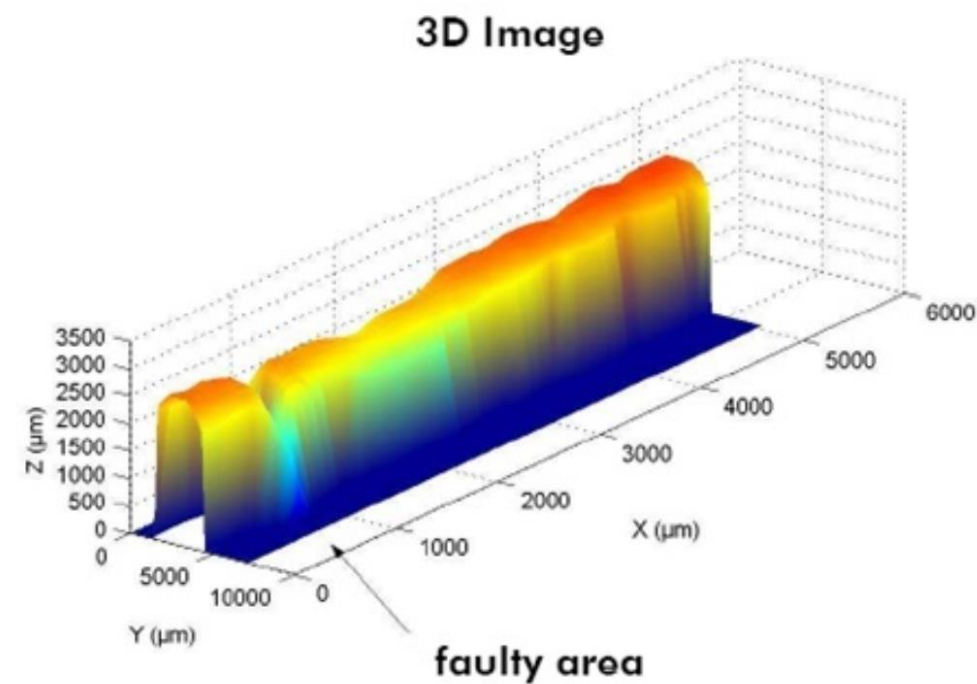
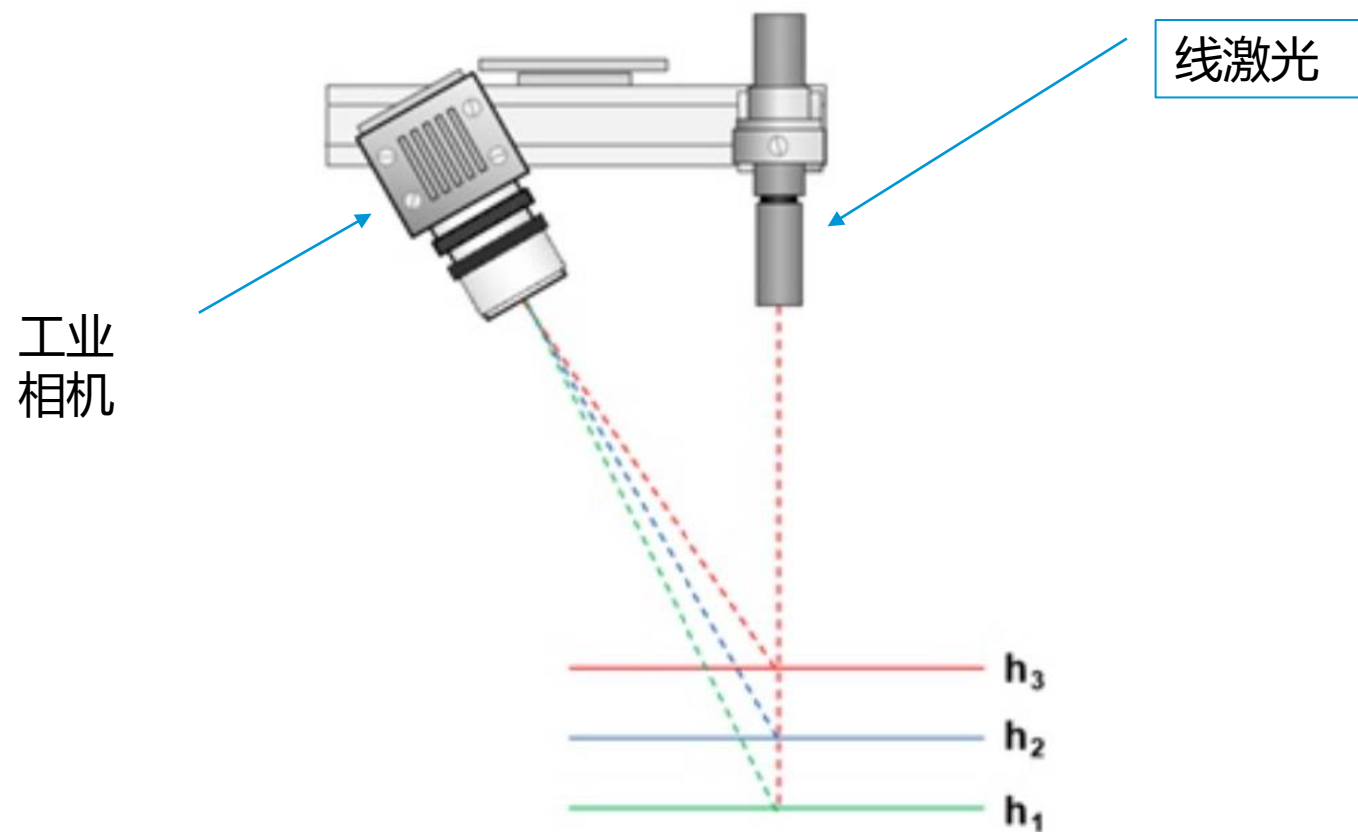


- 通过人工数据标准作为老师，训练计算机，教会计计算机去根据标准的缺陷类型去识别缺陷。目前具备完整的样本库，包含上万张缺陷图片。
- 通过采用我们针对性设计的深度学习缺陷检测算法，对于常见的缺陷检出率可以做到 $> 98\%$ ，常见缺陷识别率 $> 85\%$ 。对于样本数量足够多的缺陷可以识别率达到 $> 90\%$ 。

如何进一步提升铸坯表面缺陷的识别准确率，降低误报率，达到智能报警水平？

连铸坯表面检测系统设计

基于2D+3D信息融合的检测方案

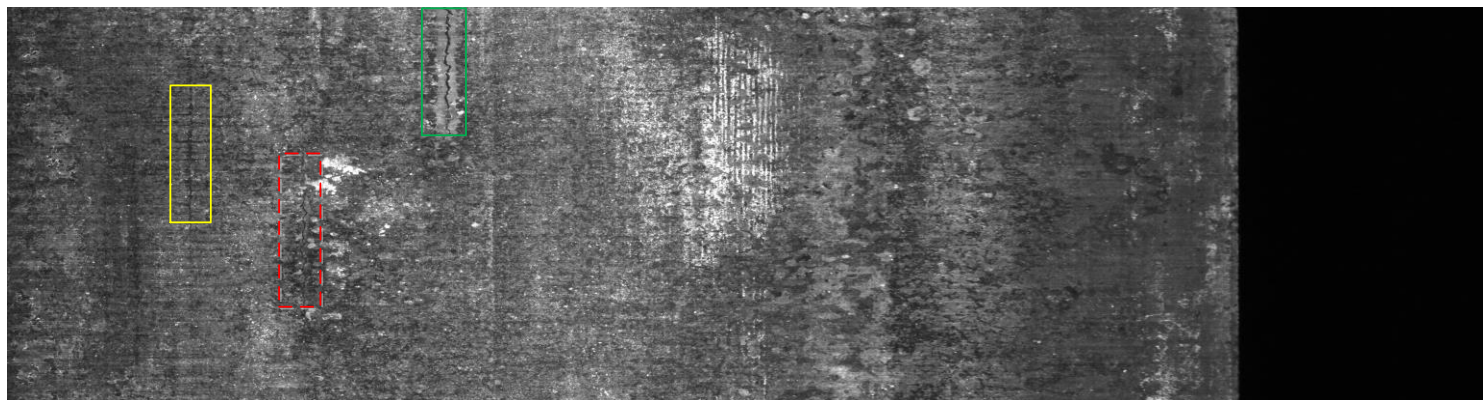


连铸坯表面检测系统设计

基于2D+3D信息融合的检测方案

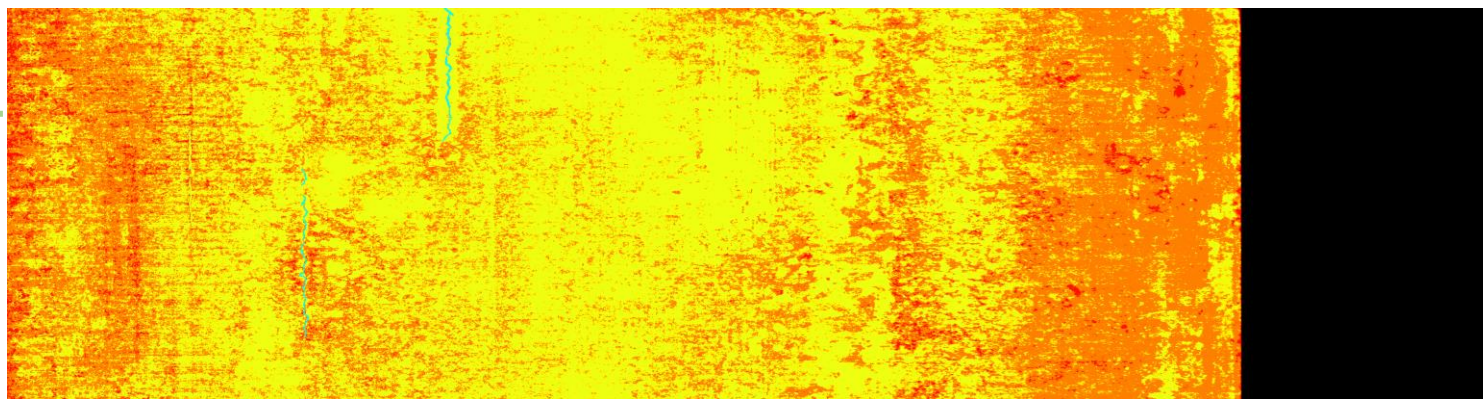
二维
图像

灰度图像中受铸坯表面氧化铁皮影响，部分轻微裂纹不能够被很好的检测，同时复杂背景容易产生误报



三维
图像

由于使用了3维深度信息，一些不具备深度信息的氧化铁皮缺陷被过滤掉，具备深度信息的裂纹缺陷会被凸显出来，仅需要简单的分割即可检测



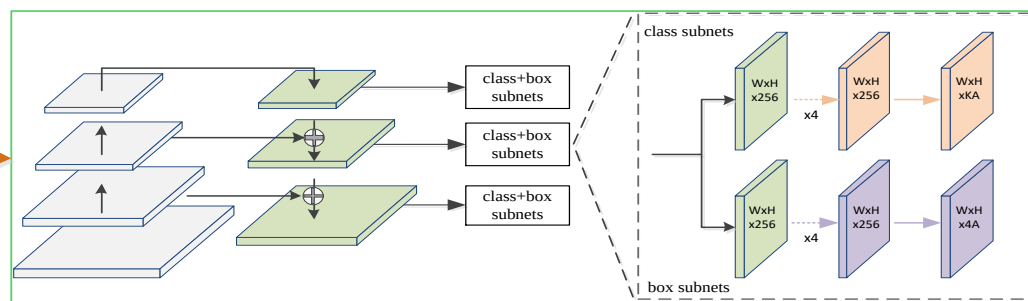
连铸坯表面检测系统设计

基于2D+3D信息融合的检测方案

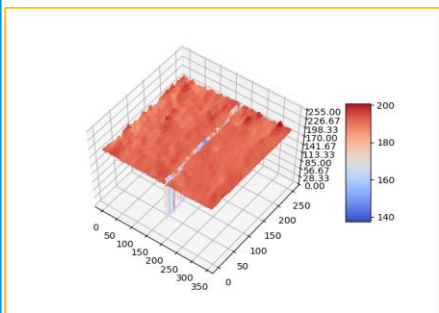
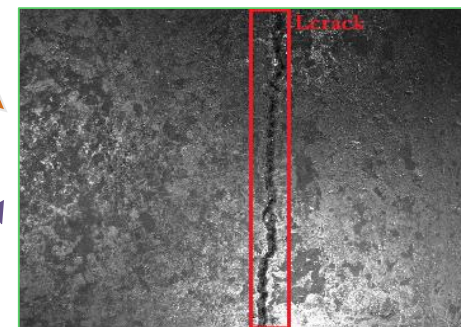
AI+3D深度信息融合检测方案

整体检测过程分为两个分支，在上面分支采用目标检测深度学习模型得到存在色差的缺陷类别及位置；在下面分支中依赖深度传感器得到的深度信息，利用三维深度与标定平面的相对位置，得到具备深度的缺陷区域，将两者数据进行平移匹配得到最终识别缺陷。

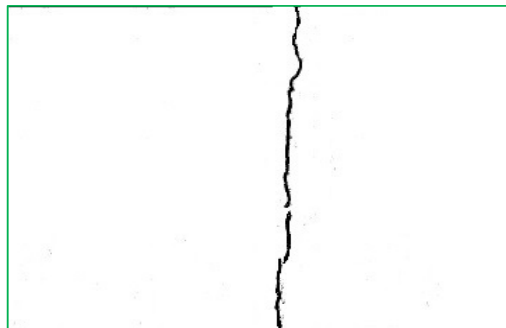
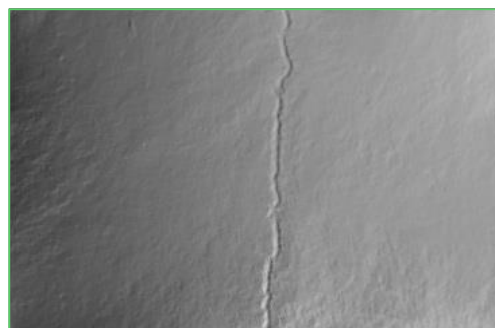
二维图像



检测效果图



三维深度



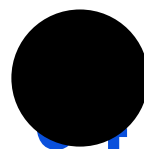
连铸坯表面检测系统设计

基于2D+3D信息融合的检测方案



通过现场实际应用和数据验证来看，在复杂背景下，基于AI+3D信息融合的方法对铸坯典型缺陷识别准确率达95%，达到了智能化报警水平。

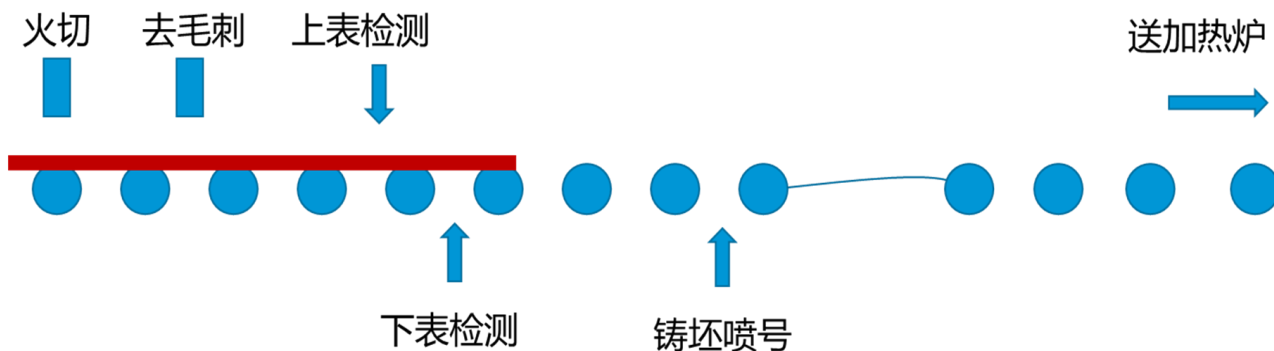
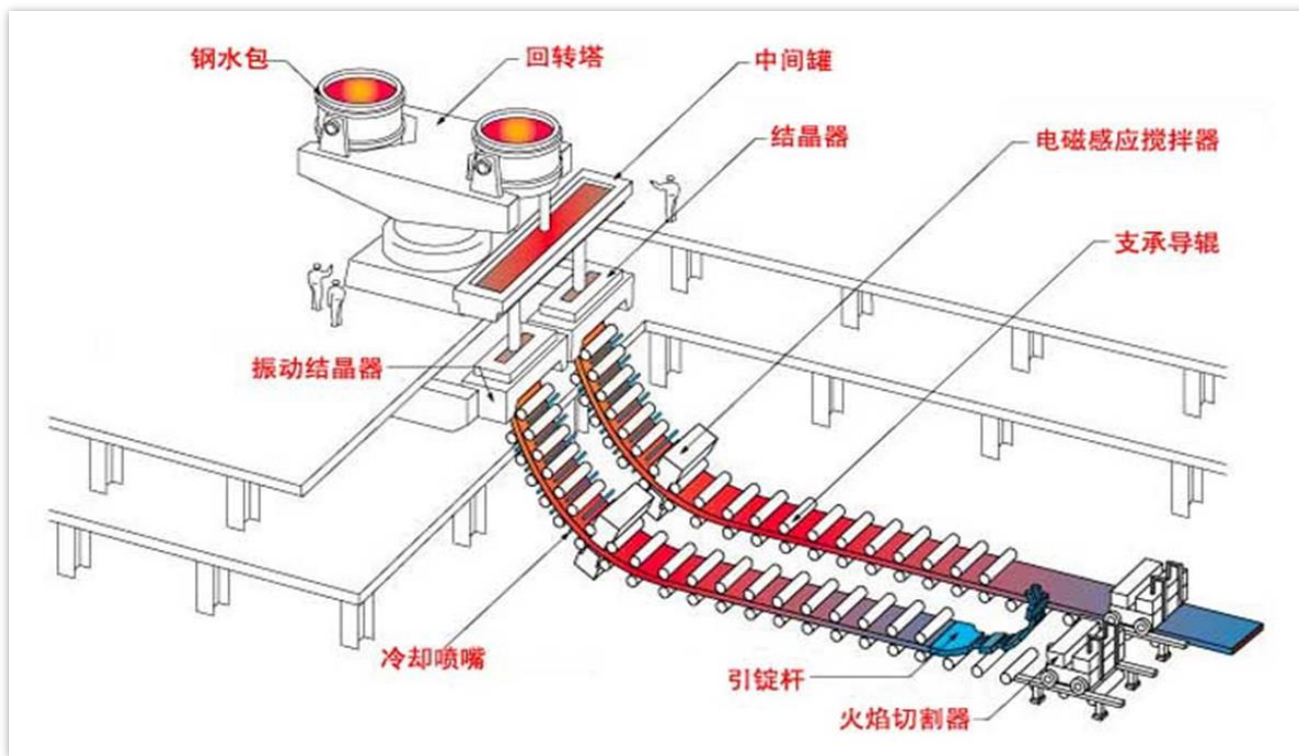
分类器	传统CV检测方案		基于AI检测方案	AI检测+3D深度信息融合检测方案
样本集数量	10-50张/类	> 50张/类	500-800张/类	500-800张/类
特征提取方式	手动提取	手动提取	自动提取	自动提取
网络层数	无	3-7层	100层以上	100层以上
训练复杂度	简单	简单	复杂	一般
缺陷检出率	> 90%	> 90%	> 98%	> 99%
识别准确度	> 70%	> 75%	> 88%	> 95%



连铸坯表面检测 系统现场实践

连铸坯表面检测系统现场实践

安装位置选择



连铸坯生产现场

安装位置:

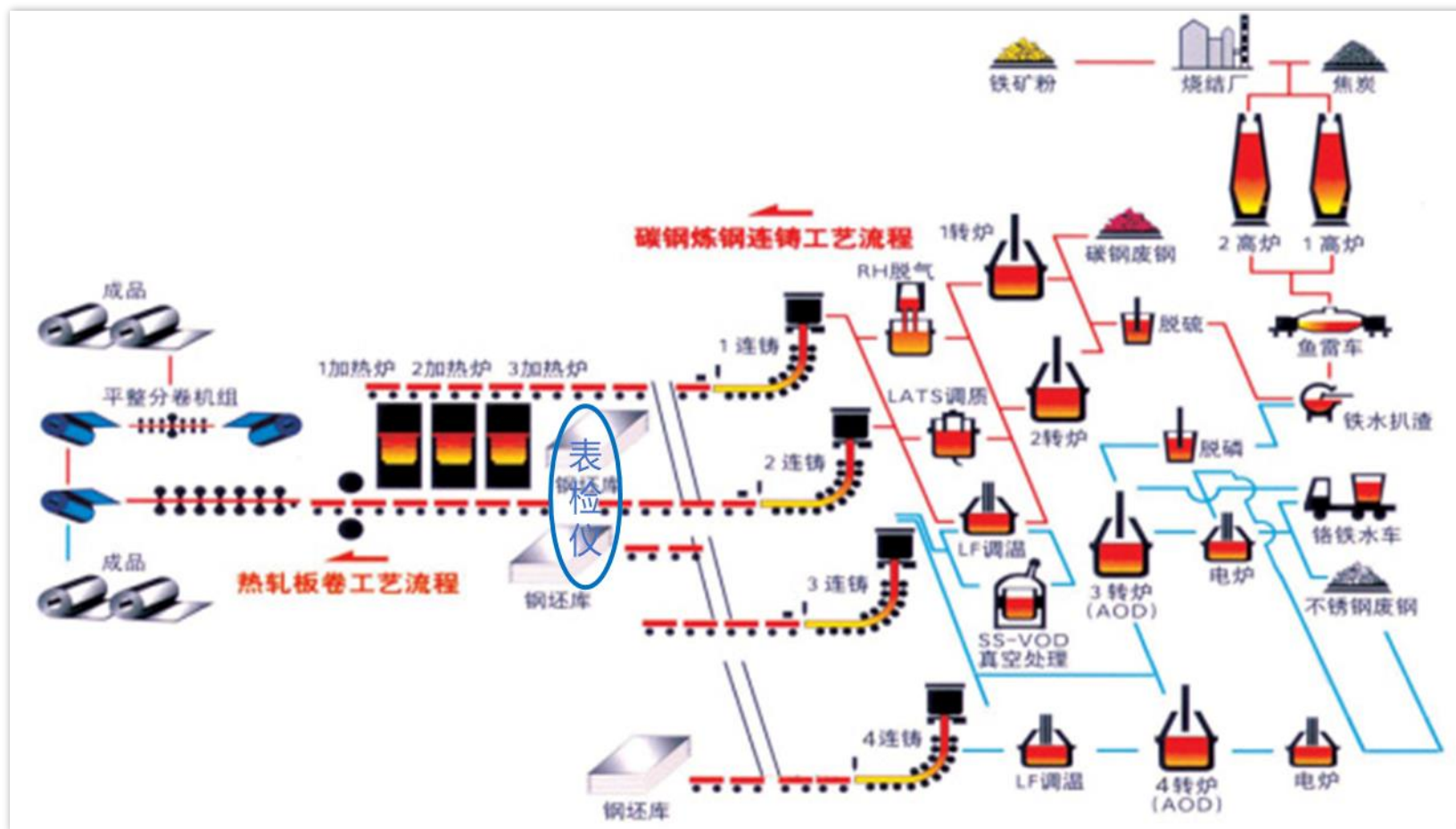
安装在火焰切割和去毛刺机后、喷号机前面合适的位置

作用:

- ✓ 此位置可实时检测铸坯表面缺陷，如裂纹、切割渣、划伤、凹坑等，且对每一块钢坯都可形成保存记录
- ✓ 此位置速度适宜，且很少会长期停止不动的情况，保证了高温下设备的稳定性

连铸坯表面检测系统现场实践

安装位置选择

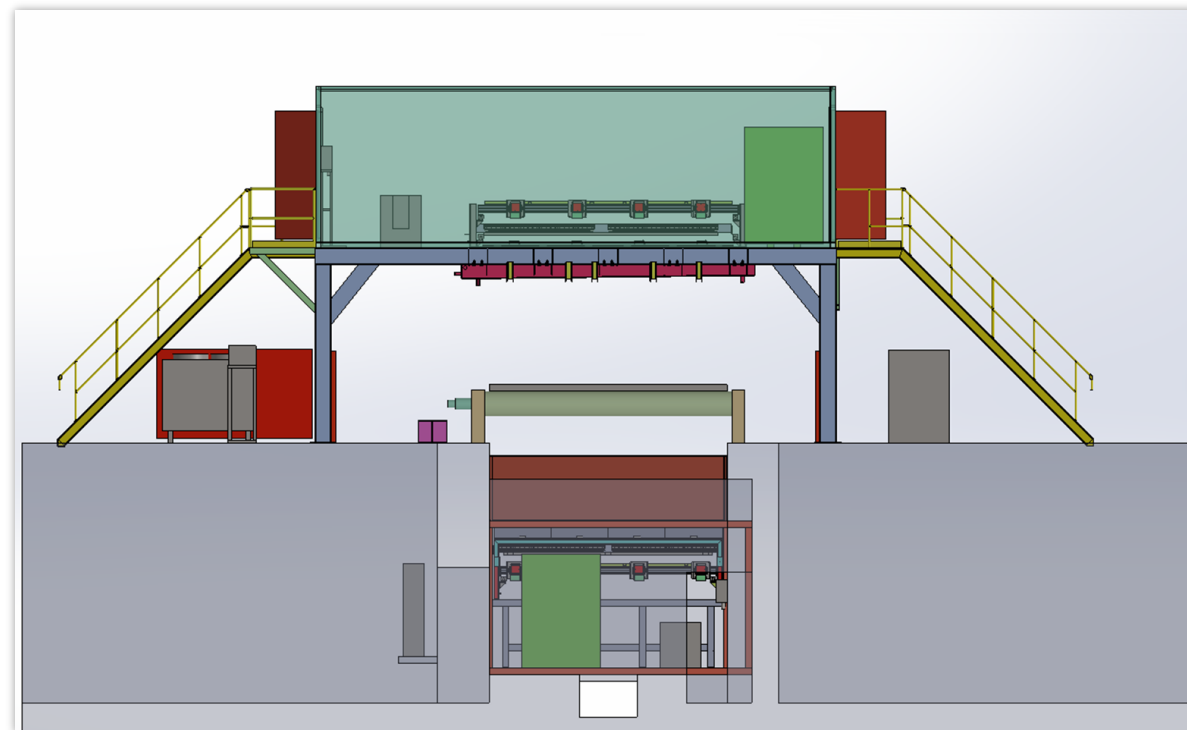
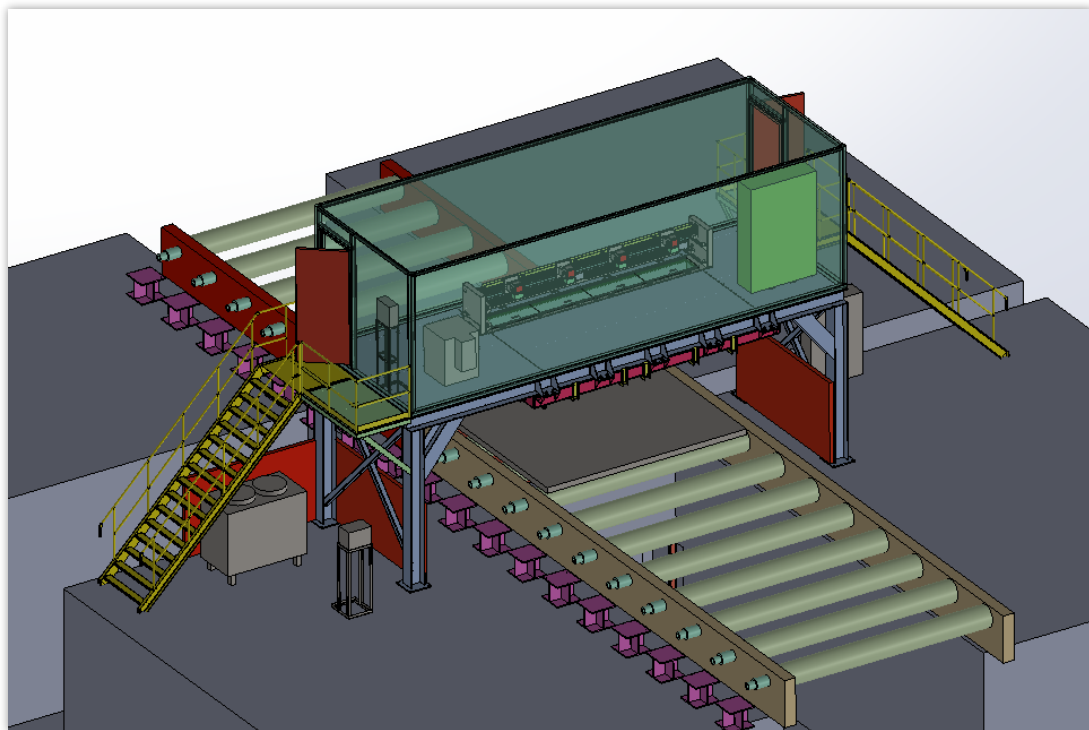


加热炉炉前辊道

- ✓ 实现进炉前铸坯质量的二次检查，确保不会对轧制产生极大的影响的质量异常钢坯进炉
- ✓ 炉前位置安装表检设备，可进行冷、热坯的检测

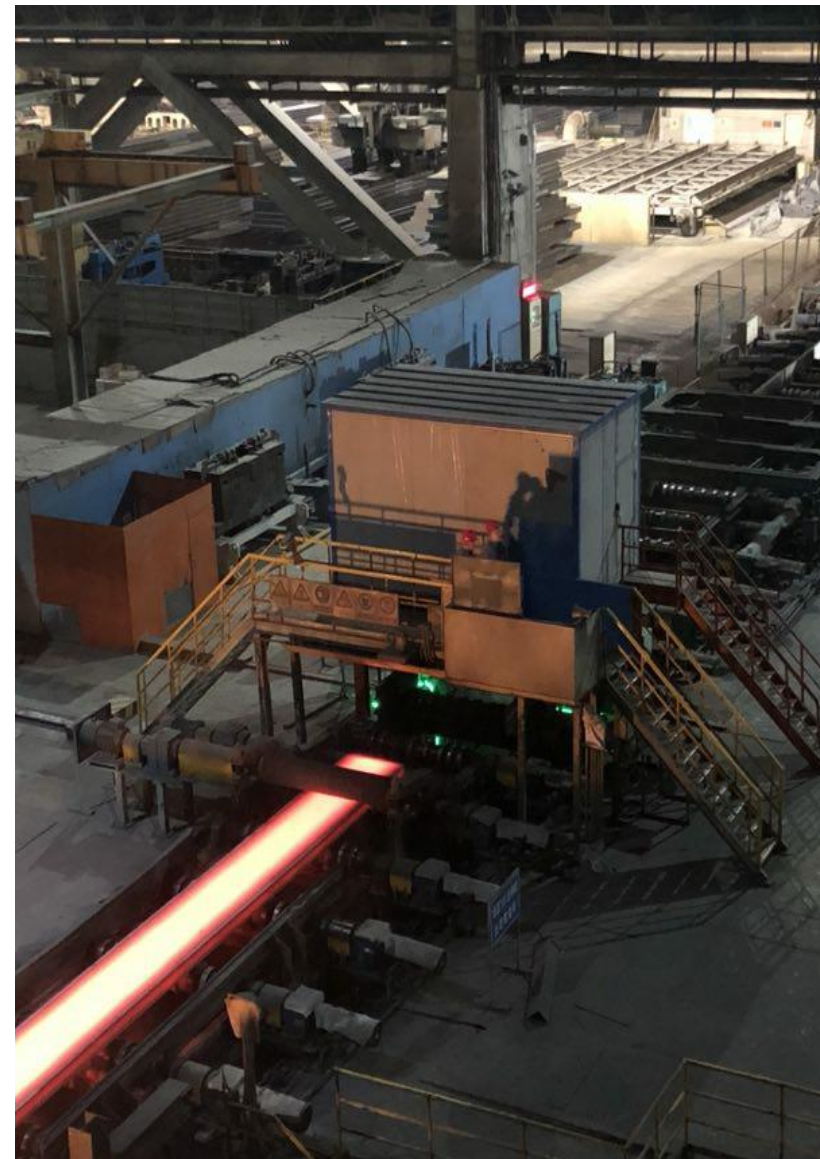
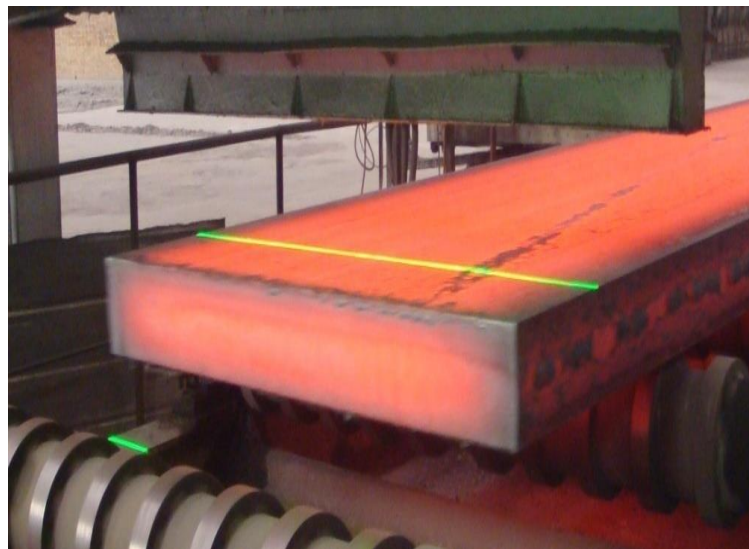
连铸坯表面检测系统设计

设备安装及结构设计



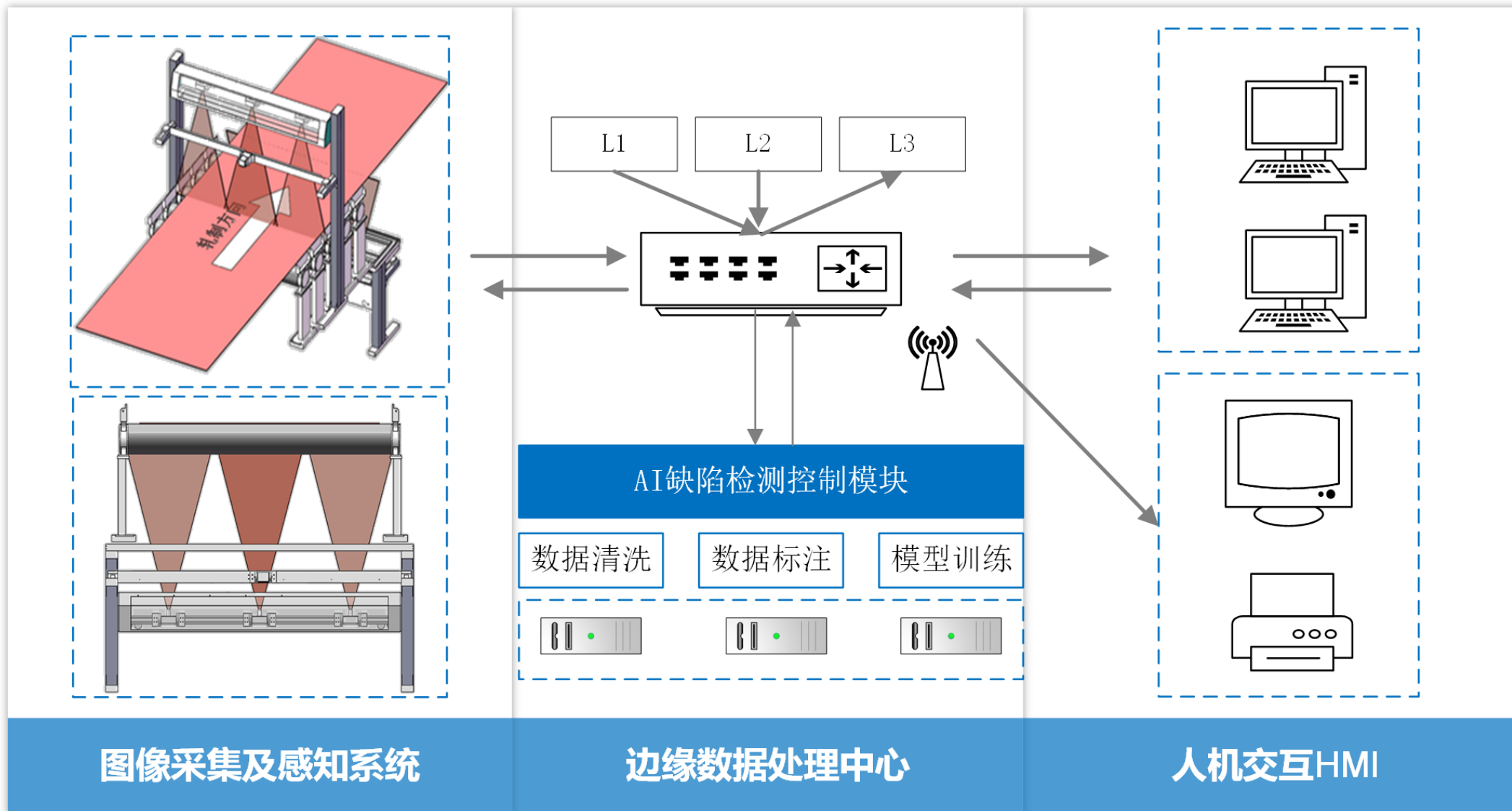
连铸坯表面检测系统现场实践

现场设备安装及设计



连铸坯表面检测系统现场实践

系统整体运行结构



高质量、长时间的可追溯数据是品控和面对质量异议的有效手段和依据



数据追溯

图像、缺陷记录的意义



> 360天

整板面的图像保存记录数



> 24个月

缺陷图像



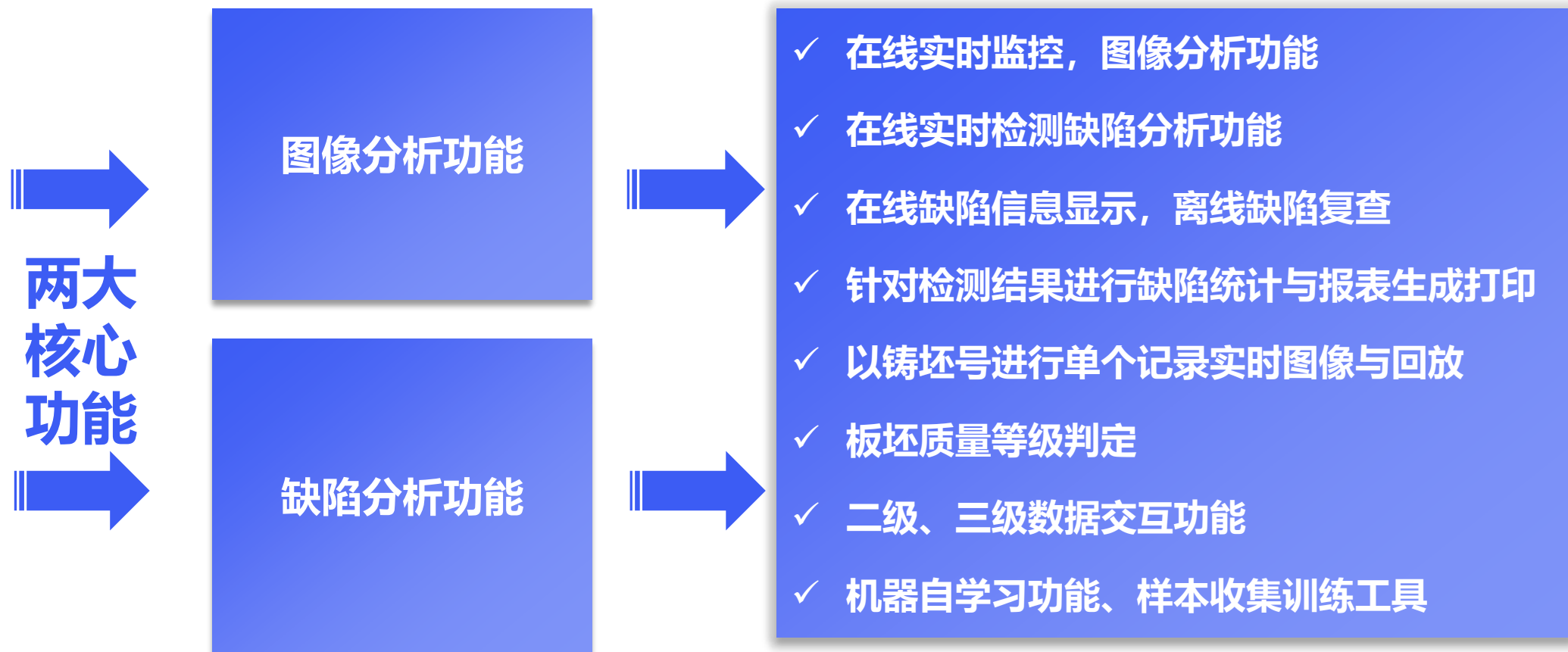
> 18万块

铸坯图像存储数量

按每天生产铸坯量为500块计算，总存储量可达到180000块铸坯的图像数据记录

连铸坯表面检测系统现场实践

系统具有图像分析和缺陷分析量大核心功能，可有效监控质量问题



连铸坯表面检测系统现场实践

HMI终端画面



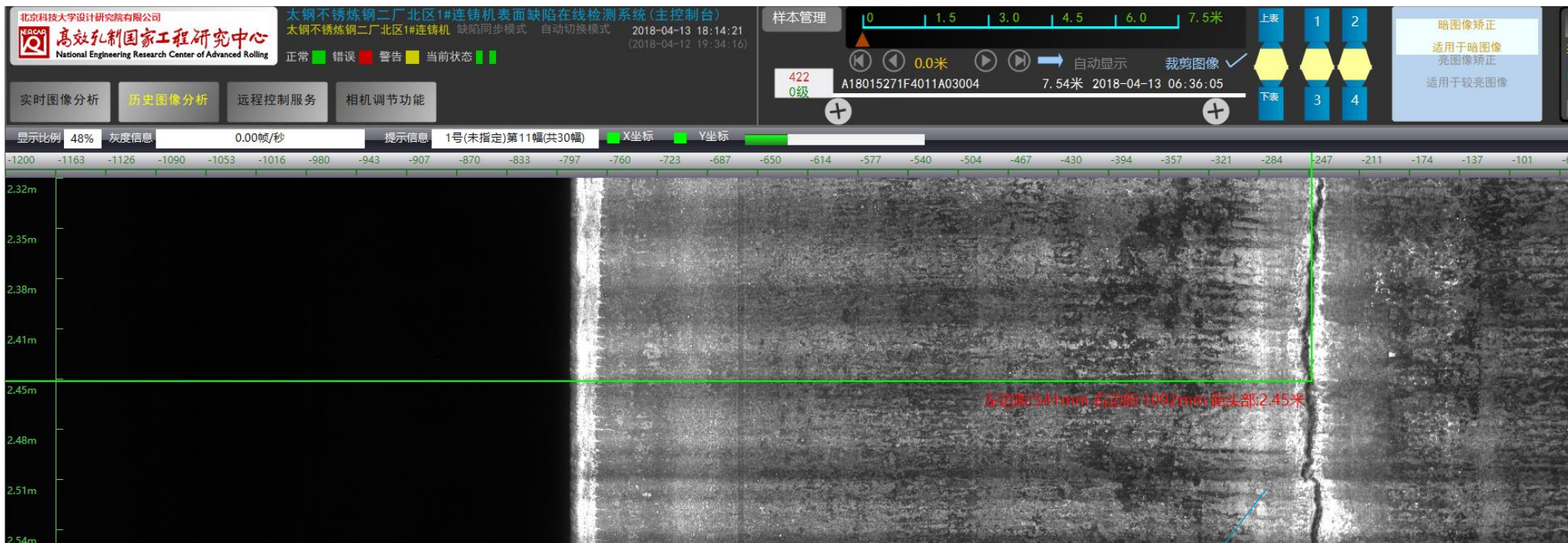
图像分析模块：由1台主机+双显示器组成的画面，可显示铸坯完整拼接图像



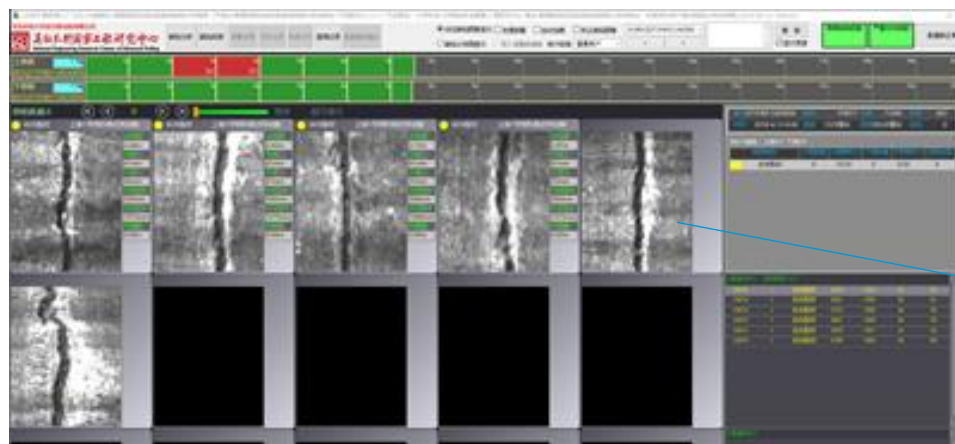
缺陷分析模块：由1台主机+单显示器组成的画面，采用带钢横向运动画面设计

连铸坯表面检测系统现场实践

缺陷分析自动报警系统为在线质检提供了有效的手段



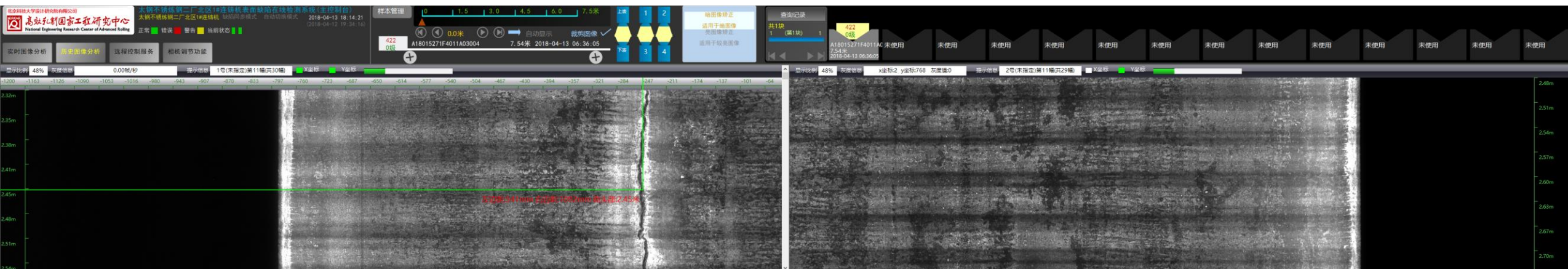
图像分析画面



缺陷检测分析画面

连铸坯表面检测系统现场实践

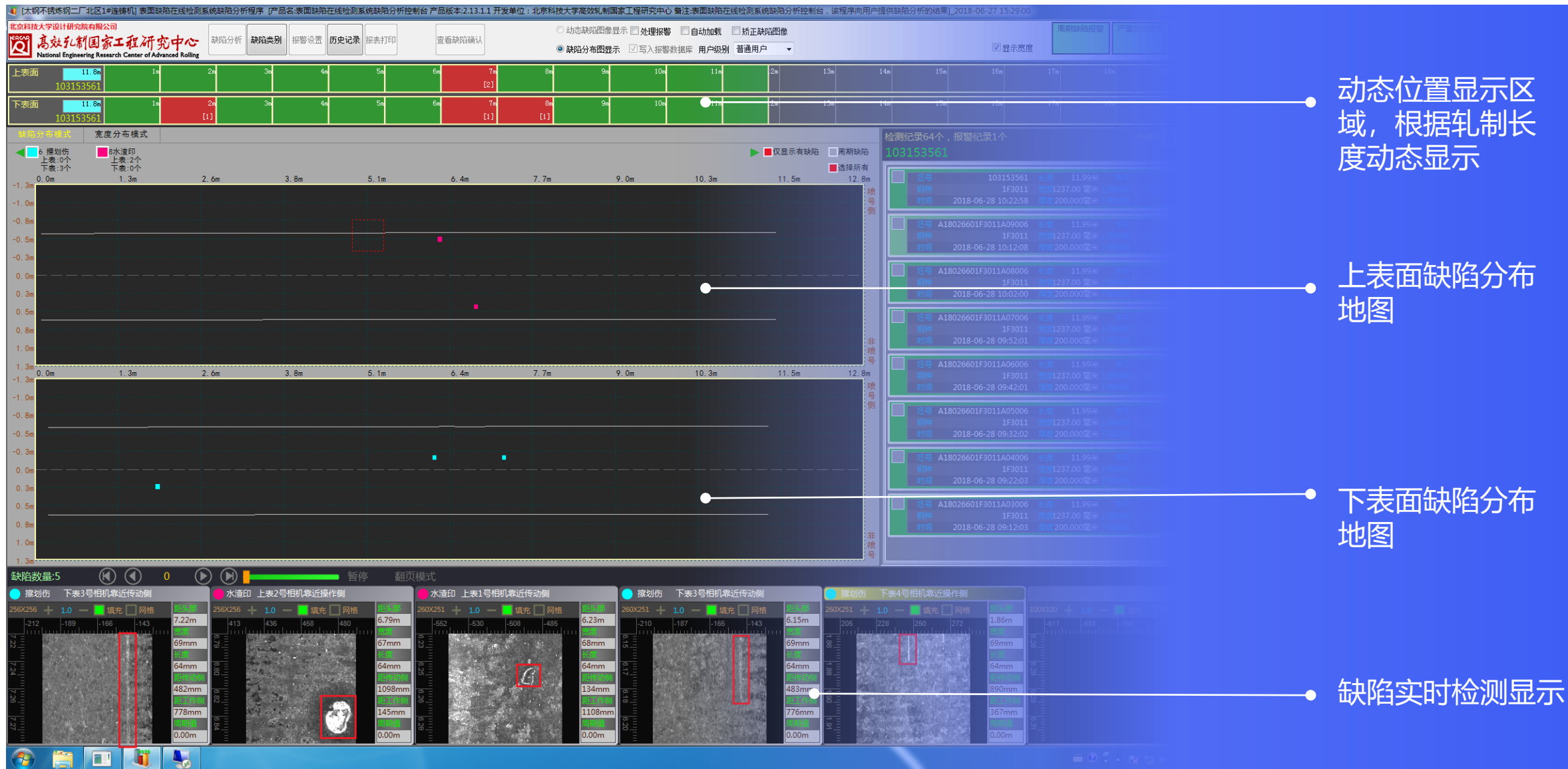
缺陷分析自动报警系统为在线质检提供了有效的手段



图像分析HMI实时显示: 在钢坯经过表面检测设备时，HMI终端画面上会实时动态的显示钢坯表面情况，此画面可直观的看出钢坯表面是否存在缺陷，画面由实时图像显示、历史图像查询、相机曝光调节、图像校正模型等部分组成。

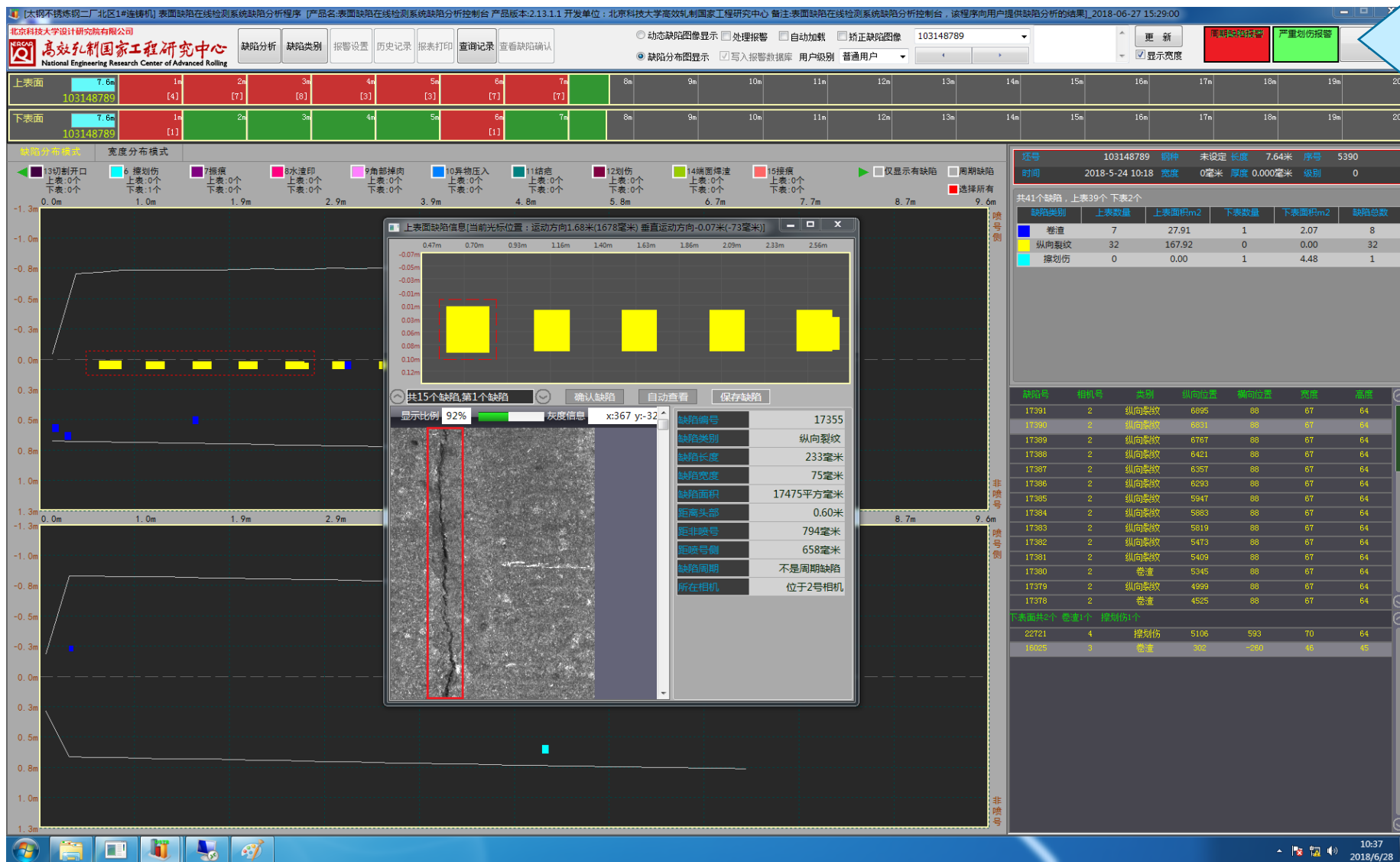
连铸坯表面检测系统现场实践

缺陷分析自动报警系统为在线质检提供了有效的手段



连铸坯表面检测系统现场实践

缺陷分析自动报警系统为在线质检提供了有效的手段

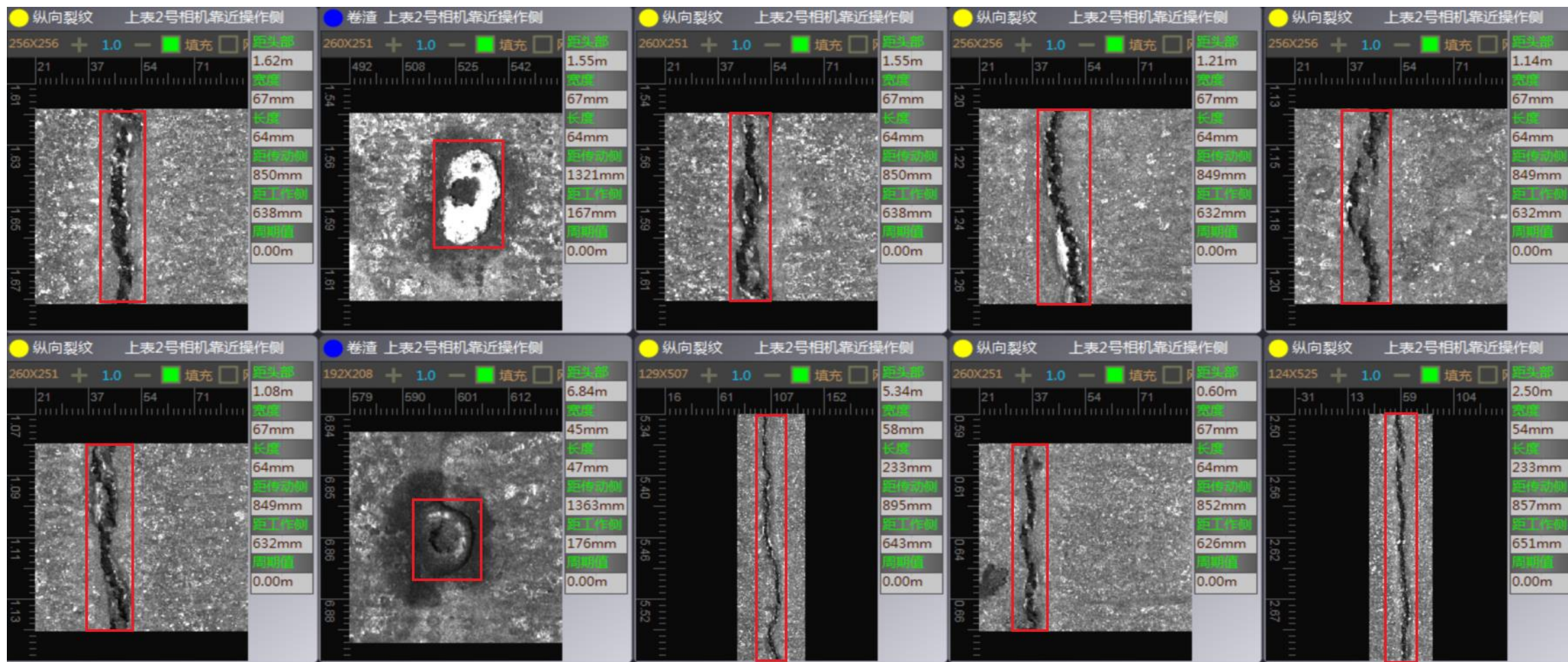


重点缺陷报警

- 终端界面报警按钮红色状态提示
- 语音报警提醒, 缺陷信息播报
- 生产现场声光报警, 等待确认

连铸坯表面检测系统现场实践

缺陷分析自动报警系统为在线质检提供了有效的手段





北科工研

Institute of Engineering Technology, USTB

联系我们
CONTACT US

检测技术团队：邓能辉

电话

18601031173

邮箱

dengnenghui2006@dingtalk.com

地址

北京科技大学昌平创新园区