

ICS 25.160.40

CCS J 33

T

团体标准

T/CEATEC XXX—2026

链条焊接缺陷机器视觉检测技术规范 (草案)

Technical specification for machine vision detection of chain welding
defects

2026-X-XX 发布

2026-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 一般要求 2

 4.1 检测环境要求 2

 4.2 人员要求 2

 4.3 设备要求 3

 4.4 检测对象要求 3

5 视觉检测要求 3

 5.1 缺陷分类与识别要求 4

 5.2 检测精度要求 5

 5.3 图像质量要求 5

 5.4 质量等级判定阈值 6

6 检测步骤 6

 6.1 检测前准备 6

 6.2 图像采集 7

 6.3 图像处理与缺陷识别 7

 6.4 结果输出与标记 8

 6.5 检测后处理 8

7 检测结果 9

 7.1 结果判定 9

 7.2 结果记录 9

前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件主要起草单位：

本文件主要起草人：

本文件为首次编制。

链条焊接缺陷机器视觉检测技术规范

1 范围

本文件规定了链条焊接缺陷机器视觉检测的一般要求、视觉检测要求、检测步骤、检测结果。

本文件适用于各类工业链条（包括传动链条、输送链条、起重链条等）焊接接头缺陷的机器视觉自动检测。其他类似焊接构件的视觉检测可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 3323.1 焊缝无损检测 射线检测 第1部分：X和伽玛射线的胶片技术
GB/T 3323.2 焊缝无损检测 射线检测 第2部分：使用数字化探测器的X和伽玛射线技术
GB/T 6417.1 金属熔化焊接头缺欠分类及说明
GB/T 11345 焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定
GB/T 13264 不合格品率的计数标准型一次抽样检查程序及表
GB/T 29711 焊缝无损检测 超声检测 焊缝中的显示特征
GB/T 29712 焊缝无损检测 超声检测 验收等级
GB/T 32259 焊缝无损检测 熔焊接头目视检测
GB/T 37910.1 焊缝无损检测 射线检测验收等级 第1部分：钢、镍、钛及其合金
GB/T 37910.2 焊缝无损检测 射线检测验收等级 第2部分：铝及铝合金
GB/T 50621 钢结构焊接规范
JB/T 8820 摩托车传动链条磨损性能试验规范
MT/T 587 液压支架结构件制造技术条件

3 术语和定义

GB/T 32259、GB/T 6417.1 界定及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

链条焊接缺陷 chain welding defect

链条焊接接头部位在焊接过程中形成的不符合规定要求的不连续性，包括气孔、夹渣、未熔合、未焊透、裂纹、咬边、焊瘤、烧穿、飞溅等。

3.2

机器视觉检测 machine vision inspection

利用图像传感器（工业相机）获取被检链条焊接区域图像，通过图像处理算法和人工智能技术对图像进行分析，自动识别和判定焊接缺陷的检测方法。

3.3

缺陷检出率 defect detection rate

机器视觉检测系统正确识别出的缺陷数量与实际存在的缺陷总数之比，以百分比表示。

3.4**误检率 false detection rate**

机器视觉检测系统将正常区域误判为缺陷的数量与总检测数量之比，以百分比表示。

3.5**检测分辨率 inspection resolution**

机器视觉系统能够分辨的最小缺陷特征尺寸，单位为毫米（mm）或微米（ μm ）。

4 一般要求**4.1 检测环境要求****4.1.1 光照条件**

光照条件要求应符合：

- a) 检测区域光照强度应在 500 lux ~ 2000 lux 范围内，光照均匀度不低于 85%；
- b) 应避免环境光干扰，必要时采用遮光罩或暗室环境；
- c) 光源色温应在 5000 K ~ 6500 K 范围内，显色指数 $R_a \geq 80$ 。

4.1.2 温湿度条件

温湿度条件要求应符合：

- a) 环境温度：15 °C ~ 30 °C；
- b) 相对湿度：30% ~ 70% RH；
- c) 温度变化率： ≤ 2 °C/h。

4.1.3 振动与洁净度

振动与洁净度要求应符合：

- a) 检测平台振动加速度： ≤ 0.5 g；
- b) 检测区域洁净度：不低于 GB/T 16292 中 8 级要求；
- c) 应避免粉尘、油污、水汽等对光学系统的污染。

4.2 人员要求**4.2.1 操作人员**

操作人员要求应符合：

- a) 应具备机器视觉检测系统的基本操作能力；
- b) 应经过焊接缺陷识别培训，熟悉常见焊接缺陷类型及特征；
- c) 应持有相应岗位资格证书。

4.2.2 技术人员

技术人员要求应符合：

- a) 应具备图像处理、计算机视觉或相关专业知识；
- b) 应能进行系统参数优化、算法调试和故障排除；
- c) 应熟悉 GB/T 32259、GB/T 6417.1 等焊接检测相关标准。

4.2.3 质量管理人员

质量管理人员要求应符合：

- a) 应熟悉焊接质量标准及验收规范；
- b) 应具备检测报告审核和判定能力。

4.3 设备要求

4.3.1 图像采集设备

图像采集设备要求应符合：

- a) 工业相机分辨率：不低于 200 万像素（ 1920×1080 ）；
- b) 图像传感器：CCD 或 CMOS，靶面尺寸不小于 1/2；
- c) 帧率： ≥ 30 FPS，高速检测场景应 ≥ 60 FPS；
- d) 动态范围： ≥ 60 dB；
- e) 信噪比： ≥ 40 dB。

4.3.2 光学系统

光学系统要求应符合：

- a) 镜头：工业定焦镜头或远心镜头，畸变率 $\leq 1\%$ ；
- b) 光源：LED 环形光源、同轴光源、条形光源或组合光源；
- c) 光源均匀性： $\geq 90\%$ ；
- d) 光源稳定性：波动范围 $\leq \pm 2\%$ 。

4.3.3 运动控制机构

运动控制结构要求应符合：

- a) 链条输送定位精度： ± 0.1 mm；
- b) 重复定位精度： ± 0.05 mm；
- c) 运动速度稳定性： $\leq \pm 1\%$ 。

4.3.4 计算机处理系统

计算机处理系统应符合：

- a) 图像处理速度：单张图像处理时间 ≤ 100 ms；
- b) 存储容量：原始图像保存周期不少于 30 天；
- c) 应具备数据备份和恢复功能。

4.4 检测对象要求

4.4.1 链条状态

链条状态要求应符合：

- a) 待检链条应清洁、干燥，表面无油污、锈蚀、氧化皮等；
- b) 焊缝及周边 10 mm 区域应无飞溅物、焊渣残留；
- c) 链条应处于自然状态，无强制变形或预紧力。

4.4.2 检测时机

检测时机要求应符合：

- a) 焊接完成后应冷却至室温方可进行检测；
- b) 有延迟裂纹倾向的材料，焊接完成 24 小时后进行检测；
- c) 检测应在焊缝清理完毕后进行，不得对部件进行修整、涂漆或其他干扰焊缝检验区域的操作。

5 视觉检测要求

5.1 缺陷分类与识别要求

5.1.1 缺陷分类体系

链条焊接缺陷按 GB/T 6417.1 进行分类编码详见表1：

表 1 缺陷分类及机器视觉检测要求

缺陷类型	GB/T 6417.1 编号	视觉特征描述	检测方式
表面气孔	2014	表面圆形或椭圆形孔洞，边缘光滑	直接检测
咬边	5011~5013	焊缝边缘母材凹陷或沟槽	直接检测
焊瘤	506	焊缝表面多余金属堆积	直接检测
飞溅	602	焊缝周围金属颗粒附着	直接检测
表面裂纹	100~199	表面线性开裂，轮廓分明	直接检测
弧坑	515	焊缝末端凹陷	直接检测
烧穿	517	焊缝根部穿孔，表面可见孔洞	直接检测
表面夹渣	300~304	表面非金属夹杂物，颜色/纹理异常	直接检测
未熔合	401	焊缝表面纹理异常、颜色差异、边界模糊	间接判断
未焊透	402	焊缝根部成形不良、背面透光、高度不足	间接判断
内部气孔	2011~2013, 2015, 2016	表面隆起、颜色异常、局部反光差异	间接判断
内部裂纹	100~199	表面细微线状痕迹、应力变色	间接判断
内部夹渣	301~304	表面不规则凸起、颜色异常	间接判断
焊缝尺寸不足	510	焊缝宽度、厚度、焊脚尺寸低于设计规定值	直接测量
焊缝尺寸过大	511	焊缝余高、焊脚尺寸、焊缝宽度超过允许上限	直接测量
焊缝不直/弯曲	512	焊缝中心线偏离理论位置，呈波浪形或 S 形弯曲	直接测量
错边	507	接头两侧母材未对齐，存在高度差或横向偏移	直接测量
角变形	508	焊接后构件平面偏离原理论平面，产生角度变形	直接测量
下塌/下凹	503	焊缝表面低于母材表面，形成凹陷	直接测量
未焊满	505	焊缝填充金属不足，表面低于理论高度	直接测量
根部收缩	516	焊缝根部区域金属收缩，形成凹陷或沟槽	直接测量
焊脚不对称	518	角焊缝两侧焊脚尺寸不一致	直接测量
搭接/接头不良	519	接头间隙过大、搭接量不足或装配不良	直接测量

5.1.2 检测方式

5.1.2.1 直接检测

缺陷在焊缝表面形成可直接观察到的视觉特征，机器视觉系统通过图像采集和算法分析即可识别判定。

5.1.2.2 间接判断

缺陷主要存在于焊缝内部，表面无直接可见特征或特征不明显，机器视觉系统可通过表面间接特征进行辅助判断，但最终判定应结合超声检测(GB/T 11345)、射线检测(GB/T 3323)或渗透/磁粉检测等其他无损检测方法确认。

5.1.2.3 直接测量

缺陷表现为焊缝几何尺寸或形状偏离设计规定，机器视觉系统通过边缘提取、轮廓比对、三维测量等手段直接获取尺寸数据进行判定。

5.2 检测精度要求

5.2.1 空间分辨率

空间分辨率要求应符合：

- a) 最小可检测缺陷尺寸： $\leq 0.05 \text{ mm}$ （表面开口缺陷）；
- b) 位置测量精度： $\pm 0.02 \text{ mm}$ ；
- c) 尺寸测量精度： $\pm 0.05 \text{ mm}$ 。

5.2.2 检测速度

检测速度要求应符合：

- a) 单件检测时间： $\leq 2 \text{ s}$ （含图像采集与处理）；
- b) 生产线节拍匹配：应满足实际生产节拍要求；
- c) 图像采集帧率： $\geq 30 \text{ FPS}$ 。

5.2.3 检测性能指标

检测性能指标见表2：

表2 检测性能指标

指标名称	一级要求	二级要求	三级要求
缺陷检出率	$\geq 98\%$	$\geq 95\%$	$\geq 90\%$
误检率	$\leq 2\%$	$\leq 5\%$	$\leq 10\%$
漏检率	$\leq 2\%$	$\leq 5\%$	$\leq 10\%$
重复检测精度	$\pm 0.01 \text{ mm}$	$\pm 0.02 \text{ mm}$	$\pm 0.05 \text{ mm}$

5.3 图像质量要求

5.3.1 图像清晰度

图像清晰度要求应符合：

- a) 焊缝区域图像对比度： $\geq 80\%$ ；
- b) 图像信噪比(SNR)： $\geq 40 \text{ dB}$ ；
- c) 调制传递函数(MTF)： $\geq 0.5 @ \text{Nyquist 频率}$ 。

5.3.2 图像一致性

图像一致性要求应符合：

- a) 同批次图像亮度一致性： $\leq \pm 5\%$ ；
- b) 色彩一致性(彩色检测时)： $\Delta E \leq 3$ ；
- c) 几何畸变校正后残余畸变： $\leq 0.1\%$ 。

5.3.3 图像标注

图像标注要求应符合：

- a) 应包含检测时间、链条编号、焊缝位置编号等元数据；
b) 缺陷标注框应精确包围缺陷区域，标注精度： $\text{IoU} \geq 0.85$ 。

5.4 质量等级判定阈值

质量等级判定阈值见表3：

表3 质量等级判定阈值

缺陷类型	GB/T 6417.1 编号	一级	二级	三级
表面气孔	2014	不允许	直径 $\leq 0.5 \text{ mm}$ ，每 100 mm ≤ 1 个	直径 $\leq 1.0 \text{ mm}$ ，每 100 mm ≤ 2 个
咬边	5011~5013	不允许	深度 $\leq 0.5 \text{ mm}$ ，连 续长度 $\leq 100 \text{ mm}$	深度 $\leq 1.0 \text{ mm}$ ，长 度不限但不得连续
焊瘤	506	不允许	轻微焊瘤，高度 $\leq$ 1.0 mm	焊瘤高度 $\leq 2.0 \text{ mm}$
飞溅	602	不允许	少量飞溅，易清除	飞溅存在但不影响装 配
表面裂纹	100~199	不允许	不允许	不允许
弧坑	515	不允许	深度 $\leq 0.5 \text{ mm}$	深度 $\leq 1.0 \text{ mm}$
烧穿	517	不允许	不允许	不允许
表面夹渣	300~304	不允许	长度 $\leq 2.0 \text{ mm}$ ，深 度 $\leq 0.5 \text{ mm}$	长度 $\leq 3.0 \text{ mm}$ ，深 度 $\leq 1.0 \text{ mm}$
未熔合	401	不允许	不允许	不允许
未焊透	402	不允许	不允许	不允许
内部气孔	2011~2013, 2015, 2016	不允许	按 GB/T 11345 或 GB/T 3323 评定	按 GB/T 11345 或 GB/T 3323 评定
内部裂纹	100~199	不允许	不允许	不允许
内部夹渣	301~304	不允许	按 GB/T 11345 或 GB/T 3323 评定	按 GB/T 11345 或 GB/T 3323 评定
焊缝尺寸不足	510	不允许	$\leq 5\%$ 设计值	$\leq 10\%$ 设计值
焊缝尺寸过大	511	余高 $\leq 2 \text{ mm}$	余高 $\leq 3 \text{ mm}$	余高 $\leq 4 \text{ mm}$
焊缝不直/弯曲	512	直线度 ≤ 0.5 mm/100mm	直线度 ≤ 1.0 mm/100mm	直线度 ≤ 1.5 mm/100mm
错边	507	$\leq 0.5 \text{ mm}$	$\leq 1.0 \text{ mm}$	$\leq 1.5 \text{ mm}$
角变形	508	$\leq 1^\circ$	$\leq 2^\circ$	$\leq 3^\circ$
下塌/下凹	503	不允许	深度 $\leq 0.5 \text{ mm}$	深度 $\leq 1.0 \text{ mm}$
未焊满	505	不允许	深度 $\leq 0.5 \text{ mm}$	深度 $\leq 1.0 \text{ mm}$
根部收缩	516	不允许	深度 $\leq 0.5 \text{ mm}$	深度 $\leq 1.0 \text{ mm}$
焊脚不对称	518	差值 $\leq 1.0 \text{ mm}$	差值 $\leq 2.0 \text{ mm}$	差值 $\leq 3.0 \text{ mm}$
搭接/接头不良	519	不允许	间隙 $\leq 1.0 \text{ mm}$	间隙 $\leq 2.0 \text{ mm}$

6 检测步骤

6.1 检测前准备

6.1.1 系统校准

系统校准要求应符合：

- a) 使用标准棋盘格或圆点标定板进行相机内参标定，标定误差 ≤ 0.1 像素；
- b) 调整光源角度、强度和均匀性，确保焊缝区域无阴影、无反光；
- c) 使用标准量块或标尺进行像素—物理尺寸转换标定，精度 $\leq \pm 0.01$ mm。

6.1.2 样本准备

样本准备要求应符合：

- a) 准备标准合格样本 5~10 件，用于系统基准设定；
- b) 准备各类典型缺陷样本各 3~5 件，用于算法验证；
- c) 样本应覆盖实际生产中可能出现的各种工况。

6.1.3 参数设置

参数设置要求应符合：

- a) 根据链条规格、焊缝类型、检测精度要求设置检测参数；
- b) 设定缺陷判定阈值，阈值应通过统计过程控制（SPC）方法确定；
- c) 建立检测模板和基准图像库。

6.2 图像采集

6.2.1 采集方式

采集方式要求应符合：

- a) 链条停止状态下，固定相机采集图像；
- b) 链条运动状态下，采用线阵相机或高速面阵相机连续采集；
- c) 采集方式选择应根据检测精度和生产节拍要求确定。

6.2.2 采集位置

采集位置要求应符合：

- a) 应覆盖焊缝全长，包括焊缝起点、中点、终点及热影响区；
- b) 关键焊缝应进行多角度采集；
- c) 每条焊缝采集图像数量： ≥ 3 张（不同角度或位置）。

6.2.3 采集质量控制

采集质量控制要求应符合：

- a) 实时监测图像质量，自动剔除模糊、过曝、欠曝等不合格图像；
- b) 图像采集失败时应自动报警并记录；
- c) 采集图像应实时保存，保存格式：BMP、PNG 或 TIFF（无损压缩）。

6.3 图像处理与缺陷识别

6.3.1 预处理

图像预处理要求应符合：

- a) 采用高斯滤波、中值滤波或双边滤波，去除随机噪声；
- b) 采用直方图均衡化、对比度增强或 Retinex 算法，增强缺陷特征；
- c) 消除镜头畸变和透视畸变。

6.3.2 缺陷检测算法

缺陷检测算法要求应符合：

- a) 边缘检测、形态学处理、模板匹配、阈值分割；

- b) 基于卷积神经网络（CNN）、YOLO、Faster R-CNN、U-Net 等目标检测和语义分割算法；
- c) 算法选择应根据缺陷类型、检测精度和实时性要求综合确定。

6.3.3 缺陷分类与测量

缺陷分类与测量要求应符合：

- a) 缺陷类型自动分类：气孔、裂纹、咬边、焊瘤、夹渣、飞溅等；
- b) 缺陷尺寸自动测量：长度、宽度、面积、深度等；
- c) 缺陷位置自动定位：相对于焊缝中心线或起点的坐标位置。

6.3.4 判定规则

判定规则要求应符合：

- a) 根据 5.4 质量等级要求，自动判定焊缝质量等级；
- b) 对临界值缺陷应进行人工复核确认；
- c) 多重缺陷并存时，按最严格等级判定。

6.4 结果输出与标记

6.4.1 实时显示

实时显示要求应符合：

- a) 检测图像实时显示，缺陷区域自动框选并标注；
- b) 缺陷信息实时显示：类型、尺寸、位置、等级；
- c) 检测结果实时统计：合格数、不合格数、各类缺陷数量。

6.4.2 物理标记

物理标记要求应符合：

- a) 对不合格品进行自动喷码、贴标或激光打标标记；
- b) 标记内容应包含：不合格标识、缺陷类型代码、检测时间；
- c) 标记位置应不影响链条使用性能。

6.4.3 分拣控制

分拣控制要求应符合：

- a) 与生产线 PLC 联动，实现不合格品自动分拣；
- b) 分拣动作响应时间： $\leq 100\text{ ms}$ ；
- c) 分拣准确率： $\geq 99.9\%$ 。

6.5 检测后处理

6.5.1 数据保存

数据保存要求应符合：

- a) 原始图像、处理图像、检测结果数据保存周期： ≥ 1 年；
- b) 数据存储格式应符合企业信息化管理要求；
- c) 重要数据应进行异地备份。

6.5.2 系统维护

系统维护要求应符合：

- a) 定期清洁光学镜头和光源；
- b) 定期检查相机标定状态，发现漂移及时重新标定；
- c) 定期备份检测模型和参数。

7 检测结果

7.1 结果判定

7.1.1 合格判定

合格判定要求应符合：

- a) 所有检测项目均符合相应质量等级要求；
- b) 无超过允许限值的缺陷存在；
- c) 系统判定置信度： $\geq 95\%$ 。

7.1.2 不合格判定

以下任一项不合格，直接判定为不合格，不参与等级评定：

- a) 存在超过允许限值的缺陷；
- b) 系统判定置信度： $\geq 90\%$ 且人工复核确认；
- c) 不合格品应隔离标识，按不合格品处理程序执行。

7.1.3 复检判定

复检判定要求应符合：

- a) 系统判定置信度 $80\% \sim 90\%$ 时，应进行人工复检；
- b) 图像质量不佳导致无法判定时，应重新采集图像检测；
- c) 复检结果以人工判定为准，并记录复检原因。

7.2 结果记录

7.2.1 检测数据记录

检测数据记录应包含以下内容：

- a) 链条编号、规格型号、批次号；
- b) 焊缝编号、位置、类型；
- c) 检测时间、检测人员、设备编号；
- d) 缺陷类型、数量、尺寸、位置、图像截图；
- e) 质量等级判定结果。

7.2.2 统计汇总

统计汇总应包含以下内容：

- a) 批次合格率、各类缺陷发生率；
 - b) 缺陷趋势分析图表；
 - c) 设备运行状态记录（故障、维护、校准）。
-