ICS 25.160.40
CCS J 33

T/CS

团 体 标 准

T/CS 485—2026

基于 3D 点云的焊缝缺陷实时检测指南

Guide for real-time detection of weld defects based on 3D point cloud

2026－09－11 发布 2026－09－11 实施

中国商品学会 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　缩略语 1
5　基本要求 2
6　检测流程与操作方法 4
7　缺陷识别与评定 6
8　性能评价与校验 7
9　安全要求 8
附录 A（资料性）　点云检测报告 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。

本文件由华中科技大学提出。

本文件由中国商品学会归口

本文件起草单位：华中科技大学、上海市机械施工集团有限公司、上海市激光技术研究所有限公司、深圳市麦格米特焊接技术有限公司、山东建筑大学。

本文件主要起草人：康宜华、冯搏、陈彦廷、贾宝荣、马良、王丽、王世伟、霍玉双。

基于 3D 点云的焊缝缺陷实时检测指南

1 范围

本文件规定了基于3D点云的焊缝缺陷实时检测的基本要求、检测流程与操作方法、缺陷识别与评定、性能评价与校验、安全要求。

本文件适用于采用3D点云技术进行焊缝缺陷实时检测的应用场景，包括但不限于航空航天、船舶制造、压力容器、管道焊接及重型机械制造等领域。

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 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件

GB/T 7247.1 激光产品的安全 第1部分：设备分类和要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

3D 点云 3D point cloud

用于表示三维空间中物体或场景的数据结构。由大量三维坐标点（X，Y，Z）组成，点云密度和坐标精度应满足焊缝缺陷识别的最低要求。这些点通常通过激光雷达、深度相机或三维扫描仪等设备采集，部分点云还包含颜色、强度等附加属性。

3.2

焊缝缺陷 weld defect

焊接过程中或焊后在焊缝区域出现的各种不连续性或不规范性，影响焊接结构的完整性和使用性能。

3.3

实时检测 real-time detection

从数据采集到结果显示的时间间隔不大于50 ms，满足工艺控制要求的检测方式。

3.4

点云拼接 point cloud registration

将多个视角获取的点云数据通过坐标变换统一到同一坐标系的过程，包括粗拼接和精拼接两个阶段。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

3D：三维空间（Three-Dimensional）

AI：人工智能（Artificial Intelligence）

GPU：图形处理器（Graphics Processing Unit）

FPS：帧率（Frames Per Second）

PCD：点云数据（Point Cloud Data）

5 基本要求

5.1 硬件组成

5.1.1 三维采集设备

5.1.1.1 三维采集设备负责获取焊缝表面的三维点云数据，可选用以下类型：

a) 线激光扫描系统：
   1) 激光波长符合工业级激光安全要求，激光波长宜根据工件材质反射特性选择，常用波长范围为635 nm～980 nm，对于高反材料（如铝合金、铜合金），建议优先选用808 nm～980 nm波段，以降低镜面反射干扰；
   2) 扫描频率可根据检测场景与设备性能灵活调整，范围在10 FPS～100 FPS，确保点云采集密度能覆盖焊缝缺陷细节、同时匹配实时检测需求；
   3) 分辨率与测量精度适配焊缝缺陷识别要求，避免因精度不足遗漏缺陷；
   4) 支持沿焊缝纵向移动扫描，扫描路径可根据焊缝走向预设或实时调整；对于弧线或不规则焊缝，宜使用六轴机械臂或高自由度运动机构驱动传感器，以确保传感器光平面始终垂直于焊缝切向方向。
b) 面结构光双目系统：
   1) 双目相机分辨率不低于1280×1024像素，投影仪投射450 nm～480 nm波长蓝光光栅；
   2) 包括但不限于旋转台定位精度、机械臂运动自由度、运动轴、手持式系统等适配复杂焊缝检测；
   3) 支持围绕焊缝的多角度点云采集，采集视角间隔可根据焊缝曲率调整，确保无扫描盲区。
c) 结构光投影仪：配合工业相机使用，适合高反射表面的检测。

5.1.1.2 数据传输接口：支持USB 3.2或以太网等高速数据传输接口，传输延迟应与实时检测总延迟要求相匹配。

5.1.2 计算单元

计算单元应满足以下要求：

a) 算力要求：具备支持实时点云处理的算力，可搭载GPU加速模块，满足点云预处理、特征计算及缺陷识别的实时性需求；
b) 响应速度：单帧点云数据处理时间应不高于30 ms，以兼顾普通工业GPU的算力水平，但整体系统从采集到显示的端到端延迟应不大于50 ms；
c) 存储容量：本地缓存与历史数据存储能力适配检测任务需求，可保留足量正常焊缝轮廓模板数据。

5.1.3 机械结构

机械结构应满足以下要求：

a) 定位精度：工件固定平台重复定位精度±0.01 mm，扫描机构运动精度±0.005 mm；
b) 适配范围：支持常见规格工件与焊缝尺寸，可通过参数调整适配不同类型焊缝检测；
c) 防护等级：运动部件防护等级不小于IP54，适应车间粉尘、油污环境。

5.1.4 辅助设备

辅助设备应满足以下要求：

a) 包含已知缺陷的标准焊缝试块、用于面结构光拼接的位置标定点；
b) 配备适配激光设备的防护器具、急停装置及安全隔离设施，保障操作安全。

5.2 软件功能

5.2.1 数据采集模块

5.2.1.1 应支持线激光扫描与面结构光采集两种模式，可根据焊缝类型设置频率、功率、旋转角度等扫描参数。

5.2.1.2 面结构光模式下，应支持多视角点云自动配准与拼接，拼接精度满足缺陷检测要求。
5.2.1.3 应能输出 PLY、PCD 或者其他通用点云数据格式，包含坐标、反射强度和其他必要附加信息，便于后续处理与存储。

5.2.2 点云处理模块

5.2.2.1 应集成离群点移除、异常值替换、统计滤波等功能，可根据点云数据质量调整处理参数。其中：

a) 离群点指点云数据中与周边点空间关联性弱、局部密度显著低于整体的孤立点，如环境杂点、设备抖动产生的离散点；
b) 异常值指点云数据中数值超出焊缝合理形态范围的点，如线激光 Z 轴高度突变点、面结构光坐标超范围点等。

5.2.2.2 应支持多种焊缝拐点检测方法，可根据焊缝类型、点云特征及检测精度要求灵活选择，各类方法的关键参数可根据焊缝轮廓特征调整，确保拐点检测的准确性与鲁棒性。检测方法包括但不限于：

a) 基于密度聚类；
b) 基于几何特征；
c) 基于边缘检测；
d) 基于模型匹配；
e) 深度学习驱动等。

5.2.2.3 应支持点云降采样、法向量与曲率计算、缺陷特征指数计算等，参数可根据检测需求优化。

5.2.3 缺陷识别模块

5.2.3.1 实时模式应支持基于轮廓相似度的缺陷判定算法，离线模式支持基于特征指数的分类算法，算法参数可根据焊缝类型与缺陷类型调整。
5.2.3.2 应能自动输出缺陷类型、位置及尺寸信息，可预设判定规则。
5.2.3.3 应支持用户根据实际检测场景自定义算法关键阈值，保障不同工况下的检测准确性。

5.2.4 数据管理模块

5.2.4.1 应能自动存储原始点云、处理结果及检测报告，存储周期满足行业追溯需求。
5.2.4.2 应支持正常焊缝轮廓模板的导入、更新与管理，可根据焊缝规格建立模板库。
5.2.4.3 应能自动生成检测报告，支持 PDF/Excel 等多种格式导出，包含完整检测信息与判定结果。

5.2.5 接口兼容性

软件系统应与外部接口兼容，具体要求如下：

a) 数据采集模块：支持与外部三维采集设备的协议对接，兼容主流工业接口协议，包括但不限于 USB3.0/3.2、以太网、Camera Link，确保设备间数据传输稳定同时支持通过 Modbus TCP 协议对接外部运动控制模块，实现采集动作与运动控制的协同联动；
b) 点云处理模块：支持与第三方点云处理软件的接口对接，可导入外部预处理算法模型或导出中间处理结果，数据交互格式遵循工业通用要求；同时支持通过 OPC UA 协议将处理后的点云特征数据实时推送至外部数据分析平台，满足多系统协同处理需求；
c) 缺陷识别模块：支持与外部缺陷数据库的对接，可实现缺陷数据的自动写入与查询，便于缺陷数据统计分析；
d) 数据管理模块：支持与企业内部系统的接口对接，可将检测报告、焊缝质量等级等数据上传至上层管理系统实现检测数据与生产数据的集成追溯。

5.3 人员要求

现场操作人员应通过专业培训合格并取得对应资质证书，具体要求如下：

a) 应掌握设备扫描启动、参数设置等基本操作，了解焊接基础知识与激光安全防护要求；
b) 应熟悉点云处理算法基本原理，具备至少一种主流点云处理库（如 PCL、Open3D）的使用经验，并具备系统校准与故障排查能力；

c） 应掌握焊缝缺陷评定标准，具备缺陷等级判定与异常结果复检能力，可根据检测报告给出合规性结论。

6 检测流程与操作方法

6.1 检测前准备

6.1.1 系统校准

6.1.1.1 设备精度校准：将标准焊缝试块固定于平台，线激光模式下校准 X 轴原点；面结构光模式下，通过位置标定点校准双目相机内参及外参，确保测量精度±0.01 mm。

6.1.1.2 参数验证：通过标准试块验证缺陷检测准确率，对不满足要求的参数进行优化调整，使校准试块的缺陷检测准确率不小于 98%，准确率验证应使用不少于 30 个独立测试样本（含各类典型缺陷），且同一样本重复测试 10 次的结果一致性应不小于 95%。

6.1.1.3 校准周期：按本文件 8.2 的规定进行。

6.1.2 工件准备

工件准备步骤如下：

a） 去除焊缝表面油污、氧化皮、焊渣等杂质，确保表面粗糙度 Ra 不大于 12.5 μm；
b） 将工件固定于检测平台，确保焊缝位置与扫描路径适配，定位偏差不大于 0.02 mm；
c） 焊缝全长无夹具、支撑等遮挡物，局部遮挡需拆遮挡或调整检测角度；
d） 明确标注焊缝编号、类型、焊接工艺参数；
e） 高反射材质应喷薄层哑光涂层，低反射材质应调激光/结构光强度；磁性材质应消磁，远离电磁干扰源 1 m；
f） 面结构光模式下，在工件非焊缝区域粘贴位置标定点，标定点布置密度与位置满足拼接需求。

6.1.3 参数设置

6.1.3.1 应根据焊缝类型与检测需求设置扫描频率、扫描范围、拍摄角度等采集参数。

6.1.3.2 应根据点云数据质量设置预处理参数，根据缺陷类型设置识别参数。

6.2 点云数据采集

6.2.1 点云数据采集分为适用于长直焊缝的线激光采集和适用于复杂焊缝的面结构光采集。应按照以下步骤进行：

a） 将三维采集设备移动到检测工位，确保焊缝位于视野中心；
b） 调整采集参数，获得高质量点云数据；
c） 触发设备采集焊缝点云数据；
d） 检查点云完整性，确保无缺失、畸变等问题；
e） 将原始点云数据保存至指定位置。

6.2.2 对于大尺寸焊缝，应采用多视角采集方式，通过点云拼接技术获取完整焊缝三维形貌。

6.3 点云数据处理

6.3.1 预处理

6.3.1.1 异常值处理：根据点云数据分布特征去除异常点与稀疏点，替换无效数据，保障点云数据有效性。线激光模式下，替换数据中大于 th1 的点，面结构光模式下，可通过 k 邻域离群点移除、统计滤波、半径滤波和直通滤波等方法剔除稀疏点和异常点。

6.3.1.2 点云精简：可采用自适应精简算法降低点云数量，在保留焊缝轮廓特征的前提下提升处理效率。

6.3.1.3 噪声滤波：通过滤波算法减少点云噪声干扰，保障后续特征计算与区域提取的准确性。

6.3.1.4 坐标统一：将多视角点云转换到同一坐标系。

6.3.2 焊缝区域提取

6.3.2.1　拐点检测：通过密度聚类算法识别焊缝轮廓拐点，确定焊缝区域边界，截取有效焊缝点云数据。
6.3.2.2　区域分割：基于点云几何特征进行区域生长分割，分离焊缝区域与母材区域，提取有效检测区域。

6.3.3　特征计算

6.3.3.1　线激光模式下，应对焊缝区域点云进行降维与归一化处理，提取焊缝轮廓特征序列，用于相似度比对。
6.3.3.2　面结构光模式下，应计算焊缝区域点云的法向量、曲率及特征指数，构建缺陷识别特征集，用于缺陷分类。

6.3.4　点云拼接

6.3.4.1　粗拼接

6.3.4.1.1　标志点匹配法：提取各视角标定点，匹配同一标定点建立坐标对应关系，用最小二乘法计算变换矩阵，将非参考视角对齐至参考坐标系。
6.3.4.1.2　特征匹配法：提取点云全局、局部特征，通过相似度匹配相邻视角特征点，RANSAC 剔除错配后计算刚性变换矩阵。

6.3.4.2　精拼接

6.3.4.2.1　常规焊缝用标准 ICP，曲率大焊缝用 GICP，大数据量点云用降采样 ICP。
6.3.4.2.2　最大迭代次数应不小于 50 次，收敛阈值应小于 0.001 mm，参与计算的点云范围应限于焊缝及其周边 5 mm 区域。

6.3.4.3　拼接后处理

拼接后处理包括以下内容：
a)　冗余点去除：删除重叠区域距离＜0.02 mm 的重复点；
b)　边界平滑：拼接边界用高斯滤波处理，避免台阶偏差；
c)　全局检查：验证焊缝中心线连续性，偏差超 0.03 mm 则重新精拼接。

6.3.4.4　精度验证

拼接后点云RMS≤0.02 mm，焊缝特征点坐标偏差≤0.05 mm，不满足精度要求时，排查标定点、特征点错配问题，重新拼接。

6.4　缺陷识别与分析

6.4.1　缺陷检测

6.4.1.1　缺陷检测方法包括但不限于：
a)　几何分析法：基于尺寸、形状偏差检测缺陷；
b)　对比分析法：与标准焊缝模型对比检测异常；
c)　AI 识别法：利用深度学习模型自动识别缺陷。
6.4.1.2　在线实时检测可通过轮廓相似度算法计算当前焊缝与正常模板的差异，根据预设阈值判定是否存在缺陷。
6.4.1.3　离线检测是基于点云几何特征与特征指数，通过分类算法识别缺陷类型，根据特征匹配结果判定缺陷属性。

6.4.2　缺陷分类

6.4.2.1　根据缺陷几何特征，自动标注缺陷类型，如气孔、裂纹、咬边等。
6.4.2.2　基于点云坐标数据计算缺陷关键尺寸，如气孔直径、咬边深度、裂纹长度等，测量方法应适配不同类型缺陷的形态特征。
6.4.2.3　根据缺陷尺寸和位置评估其严重程度，评估出焊缝等级。

6.5 结果输出与报告

检测报告见附录A，检测结果输出应包括以下内容：

a) 缺陷列表：包含缺陷类型、位置、尺寸等信息，异常情况触发报警提示；
b) 质量评定：根据验收标准给出合格/不合格判定，再由专业人员进行最终评定；
c) 检测报告：检测完成后生成检测报告，包含工件信息、检测参数、缺陷明细及判定结果；
d) 数据存档：保存点云数据、处理参数和检测结果，并与原始点云数据关联存储，建立可追溯的数据档案，便于后续查询与审核。

7 缺陷识别与评定

7.1 常见缺陷类型及特征

常见缺陷类型及特征见表1。

表 1 常见缺陷类型及特征

缺陷类型	点云特征	识别方法	测量参数
气孔	发散状点云簇，S_λ=0.3～0.5，簇内点数量50～200，直径0.1 mm～2 mm	点云曲率分析，局部深度突变检测	孔径、孔深、分布密度
咬边	焊缝边缘（X轴两侧）凹陷，Z轴坐标低于正常模板10%～30%，DTW距离d=4～6	边缘点云法向量分析，截面轮廓分析	咬边长度、深度、连续性
未焊透	焊缝中心区域（X轴中部）Z轴高度低于正常模板50%以上，面状指数P_λ＜0.1	焊缝根部点云分析，穿透深度测量	未焊透长度、面积
未熔合	母材与焊缝过渡区点云不连续，存在空洞，法向量夹角突变＞15°	界面点云分析，层间融合状况评估	未熔合长度、位置
焊瘤	焊缝表面凸起，Z轴坐标高于正常模板20%～50%	局部高度异常检测，曲率分析	焊瘤高度、直径、位置
裂纹	线性点云簇，L_λ=0.1～0.3，长度＞2 mm，宽度＜0.5 mm，走向与焊缝平行/垂直	点云强度分析，线性特征提取	裂纹长度、走向、开口宽度
夹渣	团块状/块状不规则点云簇，表面局部隆起，边界粗糙、形态不规则，面状指数Pλ=0.3～0.5，发散状指数Sλ=0.2～0.4，簇内点数量50～300，长度1 mm～5 mm，宽度0.5 mm～2 mm	点云聚类与团块状簇提取，局部曲率突变检测，形状规则性分析，结合特征指数（Pλ、Sλ）的分类器识别	夹渣长度、宽度、单个面积、分布密度（每100 mm焊缝内数量）、相邻夹渣间距
焊接变形	整体焊缝轮廓与模板偏差＞10%，DTW距离d＞8	与CAD模型对比，点云差分分析	变形量、变形区域
注：表中Sλ、Pλ、DTW距离等参数的具体计算方法和推荐阈值，宜结合具体设备的标定结果进行微调，本表值仅供参考			

7.2 缺陷评定规则

7.2.1 尺寸评定

7.2.1.1 各类缺陷的尺寸限值应符合对应焊缝检测等级的要求，部分缺陷尺寸评定规则如下：

a) 气孔：单个气孔直径不大于 0.5 mm 且每 100 mm 焊缝内数量小于 3 个，判定为合格；
b) 咬边：深度≤0.5 mm、长度≤10 mm，判定为合格；
c) 裂纹：任何长度裂纹均判定为不合格；
d) 未焊透/未熔合：任何深度均判定为不合格；
e) 焊瘤：高度≤2 mm、宽度不大于焊缝宽度 1.2 倍，判定为合格；
f) 夹渣：焊缝单个夹渣长度应不大于 2 mm、宽度不大于 0.8 mm，每 100 mm 焊缝内数量不多于 2 个；不允许出现连续夹渣。

7.2.1.2 不同材质限值差异如下：

a) 碳素钢/低合金钢：按上述 7.2.1.1 规则执行；
b) 不锈钢/耐热钢：气孔直径不大于 0.3 mm，咬边深度不大于 0.3 mm，夹渣长度不大于 1.5 mm；

c） 特殊合金：钛合金不允许气孔/夹渣，镍基合金气孔直径不大于 0.2 mm；
d） 薄壁焊缝：按壁厚比例，咬边深度不大于壁厚的 10%，气孔直径不大于壁厚的 15%。
注：多缺陷共存按“最严原则”评定，材质未明确时，默认按碳素钢规则评定，需在报告注明。

7.2.2 位置评定

关键区域不允许存在任何缺陷，非关键区域允许存在单个合格尺寸的气孔/咬边。

7.2.3 综合评定

7.2.3.1 区域划分

7.2.3.1.1 关键区域指焊缝承受主要载荷、影响结构安全性或密封性的核心部位，包括但不限于：
a） 承受交变载荷的对接焊缝截面中心 1/3 区域；
b） 压力容器、管道的环向焊缝与纵向焊缝交叉区；
c） 结构件受力接头的焊缝熔合线两侧 2 mm 范围；
d） 密封面、法兰连接等涉及防泄漏功能的焊缝区域。
7.2.3.1.2 非关键区域：指受力较小或仅起连接、辅助作用的区域，如非承载件的角焊缝、支架连接焊缝、远离应力集中区的平直段焊缝等。

7.2.3.2 等级划分规则

应根据缺陷类型、尺寸、位置及数量，划分焊缝质量等级，等级划分规则如下：
a） Ⅰ级焊缝：关键区域与非关键区域无任何缺陷；
b） Ⅱ级焊缝：关键区域无任何缺陷，非关键区域允许存在不大于 2 个合格尺寸的气孔/咬边；
c） Ⅲ级焊缝：关键区域无超过合格尺寸 1/2 的缺陷，非关键区域允许存在不大于 3 个合格尺寸的气孔/咬边；
d） Ⅳ级焊缝：关键区域存在任何缺陷，非关键区域存在裂纹、未焊透、未熔合或超出合格尺寸的缺陷，判定为不合格。

7.3 结果输出要求

7.3.1 报告内容应包含工件编号、焊缝类型、检测时间、设备型号、缺陷明细、评定等级及检测人员签字。
7.3.2 报告与原始点云数据至少保留 3 年。
7.3.3 对判定为Ⅳ级的焊缝，应更换检测设备复检，确认缺陷真实性。

8 性能评价与校验

8.1 性能指标

基于3D点云的焊缝缺陷实时检测系统应定期进行性能评价，主要指标包括：
a） 检测精度：
1） 尺寸测量精度：缺陷长度、宽度、深度测量误差不大于±0.1 mm；
2） 缺陷识别准确率：连续检测不少于 200 条涵盖Ⅰ-Ⅳ级的标准焊缝样本时，Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级焊缝判定准确率不小于 98%，Ⅳ级焊缝识别准确率 100%；
3） 定位精度：缺陷位置（X，Y，Z）误差不大于±0.05 mm。
b） 检测速度：
1） 实时检测：长度 1 m 以内单条焊缝检测时间不大于 10 s，单帧数据处理时间不大于 20 ms；
2） 离线检测：复杂焊缝检测时间不大于 30 s。
c） 连续检测 100 条焊缝时，可靠性：
1） 误检率：正常焊缝误判为缺陷的概率≤1%；
2） 漏检率：不合格焊缝漏判为合格的概率≤0.5%；
3） 连续工作稳定性：设备无故障，精度衰减≤5%。

8.2 校验

8.2.1 校验周期

8.2.1.1 常规校验：每日检测前 1 次，校验时间不少于 15 min，用标准试块验证精度。
8.2.1.2 全面校验：每月 1 次，校验时间不少于 2 h，对硬件设备和软件系统全面校准。
8.2.1.3 年度校验：每年 1 次，由第三方机构进行计量认证。

8.2.2 校验方法

检测系统校验应按照以下方法进行：

a) 精度校验：使用标准缺陷试块进行检测，比对测量结果与试块真实值，验证尺寸测量精度与缺陷识别准确率；
b) 速度校验：通过批量标准工件检测，统计单工件平均检测时长，验证检测速度是否满足要求；
c) 可靠性校验：采用包含不同质量等级焊缝的样本集进行检测，统计误检率、漏检率及连续工作稳定性，评估设备整体可靠性；
d) 调整优化：对校验不合格项，分析原因并采取针对性措施，直至满足性能指标要求。

9 安全要求

9.1 操作安全

检测系统操作过程中应遵循以下安全要求：

a) 系统供电应符合 GB/T 5226.1 的要求，具备漏电保护、过载保护等功能，供电线路需穿管防护，避免碾压破损；
b) 移动部件应设置防护装置，防止人员夹伤；
c) 激光扫描设备应符合 GB/T 7247.1 的 1 类激光安全要求，操作人员需佩戴适配激光波长的防护器具，禁止直视激光束，设置激光安全警示区域；
d) 激光动作区域应用红色警示胶带或防护栏隔离，隔离范围超出扫描边界 0.5 m 以上，区域内宜张贴“激光工作中 禁止入内”标识；
e) 激光设备需配备联锁装置，防护门开启或人员进入扫描区域时，激光立即停止发射；非工作状态时激光镜头需加装防尘保护盖，防止镜头划伤或污染；
f) 面结构光投影仪应符合蓝光安全防护要求：投射区域避免直射人员眼睛，投影仪外壳设防护标识，非检测状态时关闭投射光源；
g) 机械臂/旋转台工作时，设置安全光栅，禁止人员进入工作区域；
h) 系统配备急停按钮，紧急情况下可立即停止所有动作。

9.2 环境安全

检测系统工作环境应满足以下要求：

a) 温度范围：0 ℃～65 ℃；
b) 湿度范围：30%～80%相对湿度，无冷凝；
c) 振动条件：频率 10 Hz～60 Hz，振幅不超过 0.15 mm；
d) 光照条件：避免强光直射，必要时增加遮光装置；
e) 无强电磁干扰，避免粉尘，必要时安装除尘设备。

9.3 数据安全

数据管理应满足以下安全要求：

a) 数据加密：原始点云数据与检测报告加密存储，防止篡改；
b) 权限管理：设置操作权限，操作人员仅可启动检测，技术人员可调整参数，管理员仅具备数据封存归档权限，任何原始点云、正式检测报告的删除操作应履行内部审批手续；操作日志永久不可删除。
c) 备份要求：系统具备自动备份的能力。

附 录 A
（资料性）
点云检测报告

点云检测报告见表A.1。

表 A.1 点云检测报告

<table>
<tr><td colspan="6">报告编号：
检测单位：
报告出具日期：</td></tr>
<tr><td colspan="6">检测需求：☐焊后质量评定 ☐过程实时监控 ☐返修后复检</td></tr>
<tr><td>被检物概况</td><td colspan="5">名称：_____
用途：_____
焊缝汇总：共_____条焊缝，
涉及类型：☐对接焊_____条 ☐角焊_____条 ☐其他_____条</td></tr>
<tr><td>检测设备与方法</td><td colspan="5">设备：_____（型号） 检测模式：☐线激光实时扫描 ☐面结构光多视角采集
核心方法：_____</td></tr>
<tr><td colspan="6">检测结果汇总</td></tr>
<tr><td>焊缝编号</td><td>材质</td><td>检测区域</td><td>缺陷统计</td><td>质量等级</td><td>评定依据</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6">关键缺陷明细</td></tr>
<tr><td>缺陷ID</td><td>所属焊缝</td><td>类型</td><td>位置</td><td>尺寸</td><td>影响分析</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6">结论与建议</td></tr>
<tr><td colspan="6">1、检测结论：本次共检测_____条焊缝，其中Ⅰ级_____条、Ⅱ级_____条、Ⅲ级_____条、Ⅳ级_____条；Ⅳ级焊缝（编号：_____）存在超差缺陷，需按建议处理后复检，其余焊缝质量符合要求。
2、建议：</td></tr>
</table>