X 射线数字成像检测系统 V1.0

1.0 基本信息

- 设备制造商：丹东市阳光仪器有限公司
- 设备名称：X 射线数字成像检测系统 V1.0
- 规格型号： YG-DR01
- 图像传输方式：无线传输
- 适用管径：Φ510~Φ1219mm(根据用户需要选配轨道)

YG-PC10

2.0 设备主要部件规格配置

2.1 图像采集装置：

管道外壁爬车(承载图像采集板)

设备品牌：DDYG

型号：YG-PC10

- 北斗导航定位；
- 5G 双频无线通讯系统,控制距离：100 米(空旷地)；
- 行走速度：≥100mm/s；
- 行走方式采用轨道式,保证与焊缝垂直方向定位：±1mm、行走方向定位精度：±1mm；
- 根据用户需求配置后，可满足Φ510~Φ1219mm 管道的中心透照和双壁单影 DR 检测要求；
- 设置快速装夹机构便于安装拆卸；
- 设有光电传感(检测防撞、信号丢失、电机或驱动器损坏)保护系统；
- 采用 36V 一体化低温锂电池供电（适配充电器），更换方便，可在零下 40℃下正常工作；
- 工作时间：8 小时以上；
- 电池电量监测，信号丢失系统自锁；
- 功耗：≤150W；
- 双电机驱动运行平稳。

YG-PC11

2.2 管道外壁爬车(承载 X 射线机)

设备品牌：DDYG

型号： YG-PC11

- 行走速度：≥100mm/s
- 利用辅助电缆与 YG-PC10(管道外壁爬车)连接实现联动；
- 行走方式采用轨道式,保证与焊缝垂直方向定位：±1mm、行走方向定位精度：±1mm；
- 可满足双壁单影检测要求——承载 300kv 高频定向 X 射线探伤机；
- 设置快速装夹机构便于安装拆卸；
- 双电机驱动运行平稳；
- 设有光电传感（检测防撞、信号丢失、电机或驱动器损坏）保护系统；
- 工作时间：大于 8 小时；
- 功耗：≤150W；

*与管壁外爬车(图像采集板)同步，完成双壁单影DR透照检测工作。

2.3 平板探测器

品牌：CareVision
型号：CareVision 750i

- 传感器：非晶硅；
- 闪烁体：CSI（直接生长典化铯）；
- 像素尺寸： 120μm；
- 成像区域：244 mm×307mm；
- 像素矩阵：1280×1024(2×2)；
- A/D转换：16bit；
- 帧频：1.7fps（1×1）；
- 能量范围：40~320kv；
- 辐照耐受：≥1MRad；
- 曝光控制：内触发/外触发；
- 通讯接口：千兆以太网；
- 工作温度范围：0℃~40℃；
- 工作湿度范围(非冷凝)：10%~90%RH；
- 存储温度范围：-20℃~55℃；
- 外形尺寸：344×286×20；
- 重量：8kg；
- 输入电源：100~240v 50/60Hz AC；
- 应用：焊接检测、铸造检测。

CareVision 750C

2.4 中心路由器

型号：华硕XD4

- 无线协议：Wi-Fi 6；
- 主WIFI传输方式：分布式传输；
- 支持：IPv6通讯、Mesh；
- 无线速率：1800M；
- 频段：2.4GHz、5.8GHz双频Wi-Fi；
- LAN输出口：千兆网口；
- WAN接入口：千兆网口；

GPS模组：GPS信号采集——北斗、GPS、格洛纳斯、伽利略；

3.0处理软件

软件品牌：DDYG
软件版本：Ver 20.21.10.16

具有一键检测功能,操作员根据软件内数据库预设的被检管道参数,选择管径、壁厚、焊口编号、搭边、补偿、透照方式、设备行进方向、有效区域、北斗坐标（如东京、北纬）等相关参数可选（选定后将打印在图像上不可更改）,系统根据预设参数,自动计算检测该管整道焊缝的所需采集张数并存储。软件具有人工干预功能,可根据需要调整曝光时间，采集帧数等,根据参数设定可调整采集张数。

- 精确的北斗定位（兼容 GPS、格洛纳斯、伽利略），将坐标参数（东京、北纬）打印

在图像上；

- 根据输入的管径尺寸自动计算采集张数，并留有足够搭边余量，不漏评；
- 采集的图像无线远程传输至现场“工作站”存储；
- 检测前操作员可预置窗宽、窗位,使采集的图像亮度、对比度一致,在采集完成后可直接进行评定；
- 具有正负像翻转、图像翻转及旋转、图像放大、图像差值边缘增强、局部放大/恢复原始图像、文字数字标注、图像标记；
- 具有标尺线段测量；
- 具有缺陷测量(点、线、角度等几何测量)及缺陷标示功能；
- 具有 MFT 双丝像质计(空间分辨率)自动测量与计算功能；
- 具有灰度值实时显示,平均值自动计算与显示功能；
- 具有归一化信噪比(SNR)测量与计算功能；
- 具有焊缝图像拼接功能；
- 图像为 DICONDE 格式,并可转换成 JPG 等其他通用格式,同时支持 JPG、BMP、GIF、PNG 等多种格式图像存储；
- 配有中继路由。

4.0 工作站

4.1 图像采集及分析工作站技术参数：

设备品牌： 惠普

- 正版 WINDOWS10 操作系统
- 屏幕尺寸：15.0 英寸；
- 第十一代智能英特尔酷睿处理器（i7-11800H）8 核 16 线程、2.3GHz 基频；
- 内存(RAM)：16~ 32GB(DDR4 2666MHZ)；
- SATA 硬盘： 1TB（M.2 接口数量 1)；
- 显卡：独显 4G GDDR5 128bit；
- 产品尺寸：长 359mm；宽 236mm；高 23mm
- 重量：2.3kg；
- 端口：音频接口、HDMI 接口、USB3.0 接口；
- 理论续航时间：2-5 小时，具体时间视使用环境而定；
- 电池容量：52.5Wh；
- 电池芯数：3 芯锂离子电池；
- 局域网：10/100/1000Mbps；
- 无线网：支持 Wi-Fi6 无线协议；
- 全密封的机壳设计：防护等级通过 P65 认证,可以防止沙粒、灰尘和液体进入；

5.0 射线源

配有高频 X 射线探伤机（或可定制γ射线探伤机）安装接口，可根据需求配置不同的射线源。

设备名称：携带式高频恒压X射线探伤机及控制系统

型号：YG-D300G

- 使用环境温度：-20℃~50℃；
- 使用环境湿度：≤85%；

- 输入电压范围：AC190v~AC265v；
- 输入电压频率范围：50HZ~60HZ；
- 显示：触摸液晶屏中文菜单显示；
- X 射线管：金属陶瓷管；
- X 射线管供电方式：恒电压；
- X 射线管电压调节范围：120~300kV；
- 管电压调节步长：1kv/step；
- X 射线管电流：0.5-3.0mA；
- 管电流调节步长：0.1 mA/step；
- 曝光时间设定最大值：0.1~60min（精确到 0.1min）；
- X 射线管最大功率：900W；
- 工作频率：100kHz；
- 焦点尺寸：3.0mm　EN12543 标准；
- 穿透厚度：70mm(焦距 600mm、曝光时间 20 分钟黑度 2.0D)；
- 辐射角度：40°×40°；
- 附加过滤器：4 mm 铝等价物；
- 管头尺寸：Φ246×734（含端环)；
- 管头重量：22kg；
- 连接电缆：25m；
- 电源电缆：10m；
- 控制器尺寸：Φ264×458（含端环)；
- 控制器重量：9.6kg；
- 阳极冷却方式：强制风冷。

YG-D300G 型高频机

6.0 高频 X 射线管道爬行器

型号：YG-G100A1

主要性能特点

- 高频直流高压供电；
- 环保、节能高效；
- 恒定功率输出；
- 可连续曝光，无需 1:1 休息；
- 成像清晰，灵敏度高；
- 操控制简单，易学易用；
- 可与 DR 联机匹配使用；
- 可单独胶片拍片检查；
- 磁指令控制系统；
- 定位精确；
- 检测管径范围宽泛；
- 保护功能完善；
- 四轮驱动；
- 体积小、重量轻；

型号：YG-G100A1

（产品已更新以实际提供产品为准）

主要技术指标

- 适用管径范围：Φ710~Φ1219（mm）；

- 爬行速度：16-18m/min;
- 爬坡能力：≮40;
- 使用环境温度：-40℃~70℃;
- 使用环境湿度：≮ 90%;
- 保护温度：80℃;
- 工作温度：-25~70℃;
- 电池： DC110v /40Ah（锂电）;
- 电机：550W（连续）;
- 爬行距离：≮8km（往返距离）;
- 驱动方式：默认 2 驱，强制 4 驱;
- X 射线发生器：D×L=Φ264×766（mm）;
- 重量：22kg;
- 最大功率：900w;
- Kv 调整范围：50~300kv±1kv;
- mA 调整范围：0.5~3mA;
- 辐射角：40° ×360° ;
- 焦点：0.8×5.0(mm);
- 最大穿透：45mm（A3）;
- 暂载率：20℃环境温度下为 100%;
- 爬行器车体外形尺寸：1.2m×0.38m×0.19m;
- 重量：100kg（车体 80kg+电池 20kg）;
- 曝光时间:1~300 秒（连续可调），精确到 1 秒;
- 曝光前延时：24 秒;
- 磁定位器外形尺寸：255×113×155（mm);
- 磁定位器最大穿透：＞34mm;
- 磁定位器重：2.8kg;
- 定位误差：优于±5mm。

7.0 导轨：

规格：Φ510~Φ1219mm，标配 1 条，其余如需可另行订制。

轨道（与 AUT 通用）

8.0 设备配置清单：

序号	名称	规格	产地	数量
1	管道外壁爬车(承载图像采集板)	YG-PC10	丹东阳光	1 套
2	管道外壁爬车(承载 X 射线机)	YG-PC11	丹东阳光	1 套
3	平板探测器	CareVision 750C	CareVision	1 套
4	数字图像采集与处理软件	Ver 20.21.10.16	丹东阳光	1 套
5	图像采集工作站	惠普战 99	惠普	1 套
6	高频恒压射线机	YG-D300G	丹东阳光	1 台
7	高频 X 射线管道爬行器	YG-G100A1	丹东阳光	1 台
8	导轨（可选一种规格）	Φ510~Φ1219mm	丹东阳光	1 条

9.0 相关配置使用说明

9.1 双壁透照

XR（搭载高频 X 射线定向机）+DR（搭载平板探测器）+工作站。

轨道、中继路由、XR、DR 工装

工作站

9.2 中心透照

高频 X 射线管道爬行器+DR（搭载平板探测器）+工作站。

DR(搭载平板探测器)

高频 X 射线管道爬行器

工作站

9.3 无工装透照

高频 X 射线定向探伤机+平板探测器+工作站。

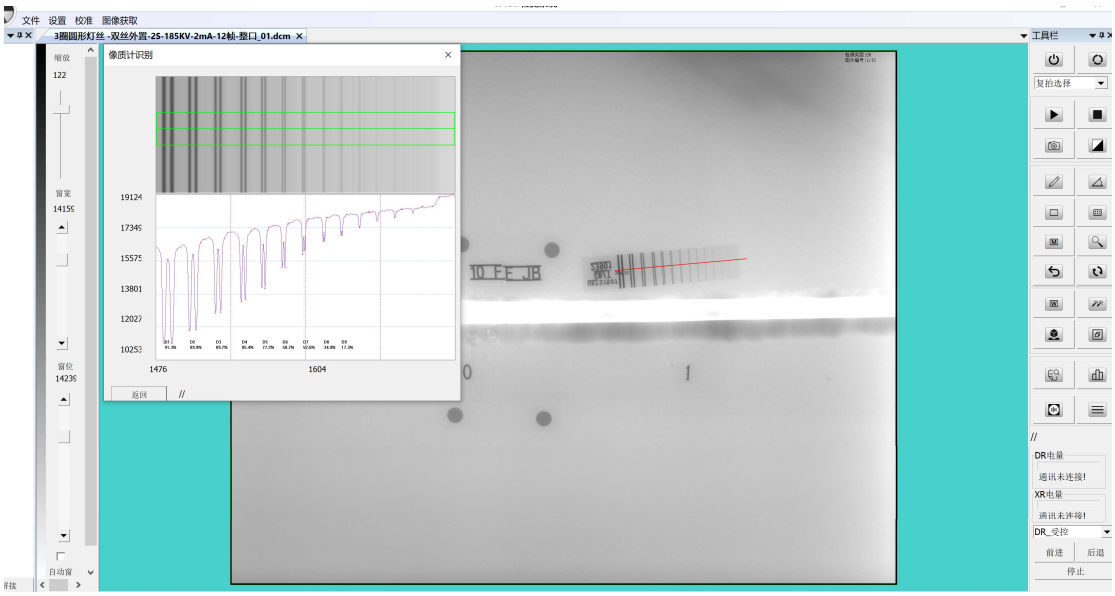
定向高频 X 射线探伤机

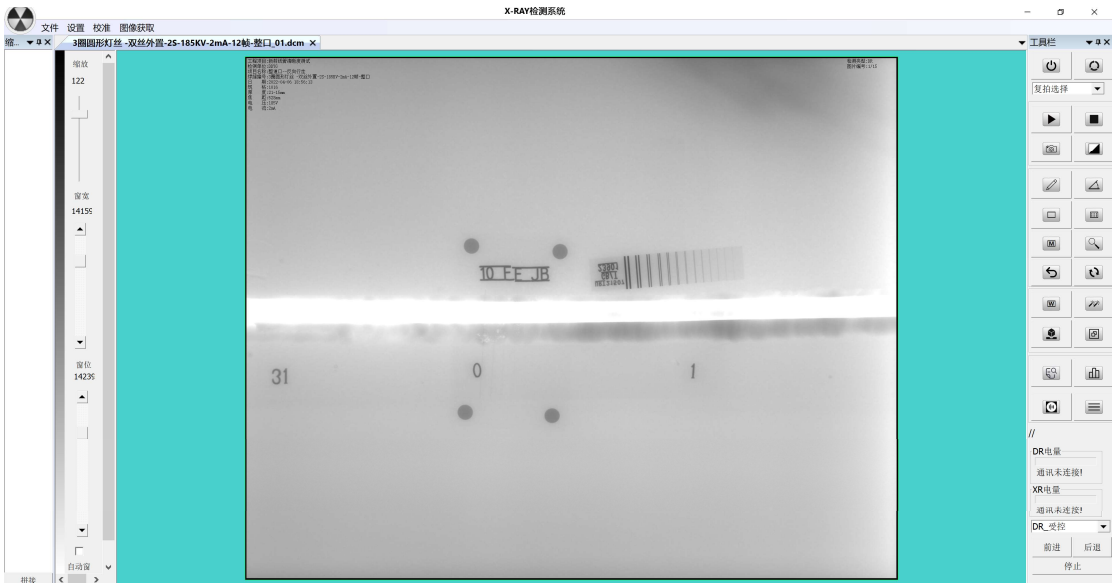
平板探测器

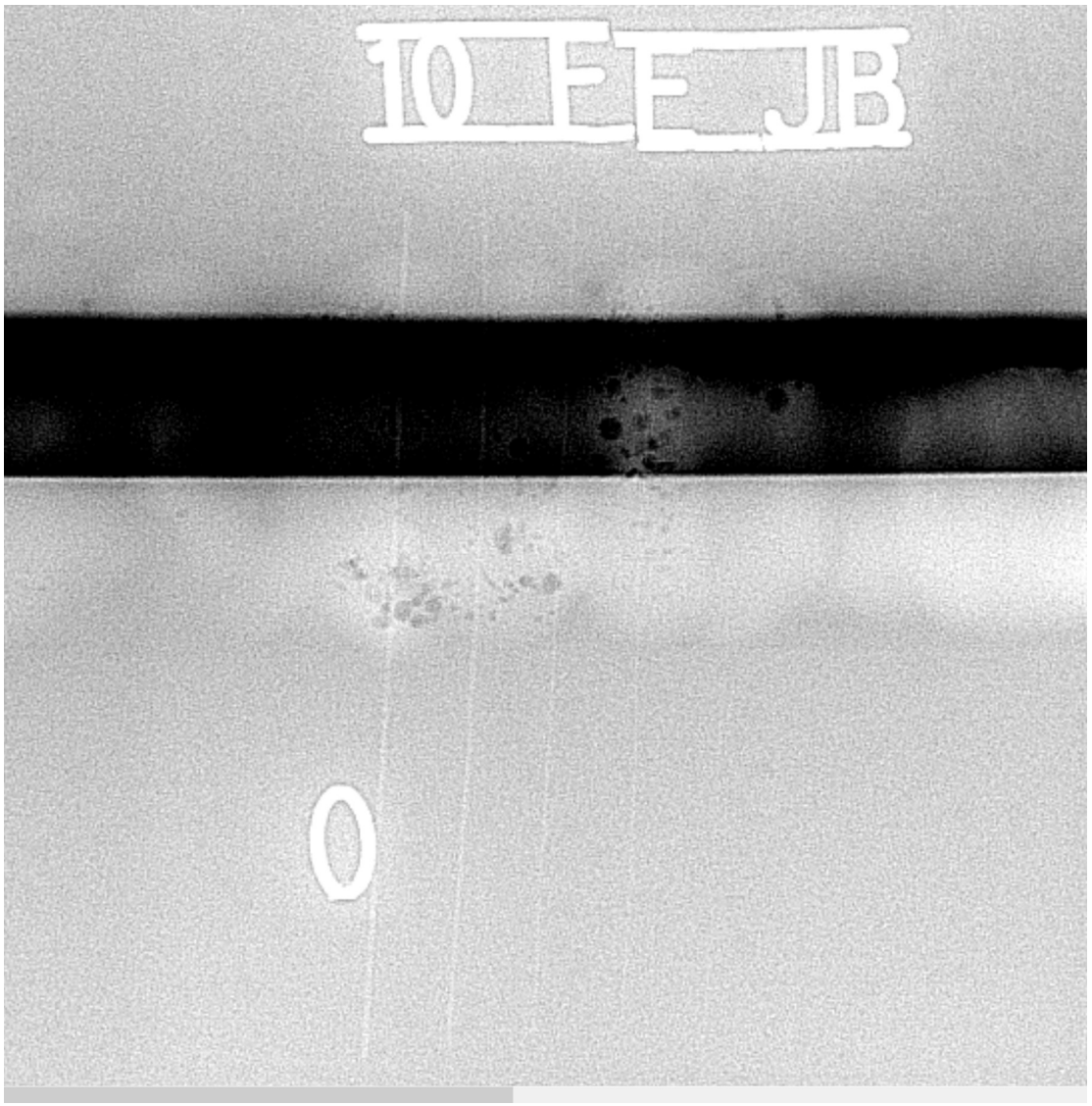
工作站

10.0 软件及采集的图像预览

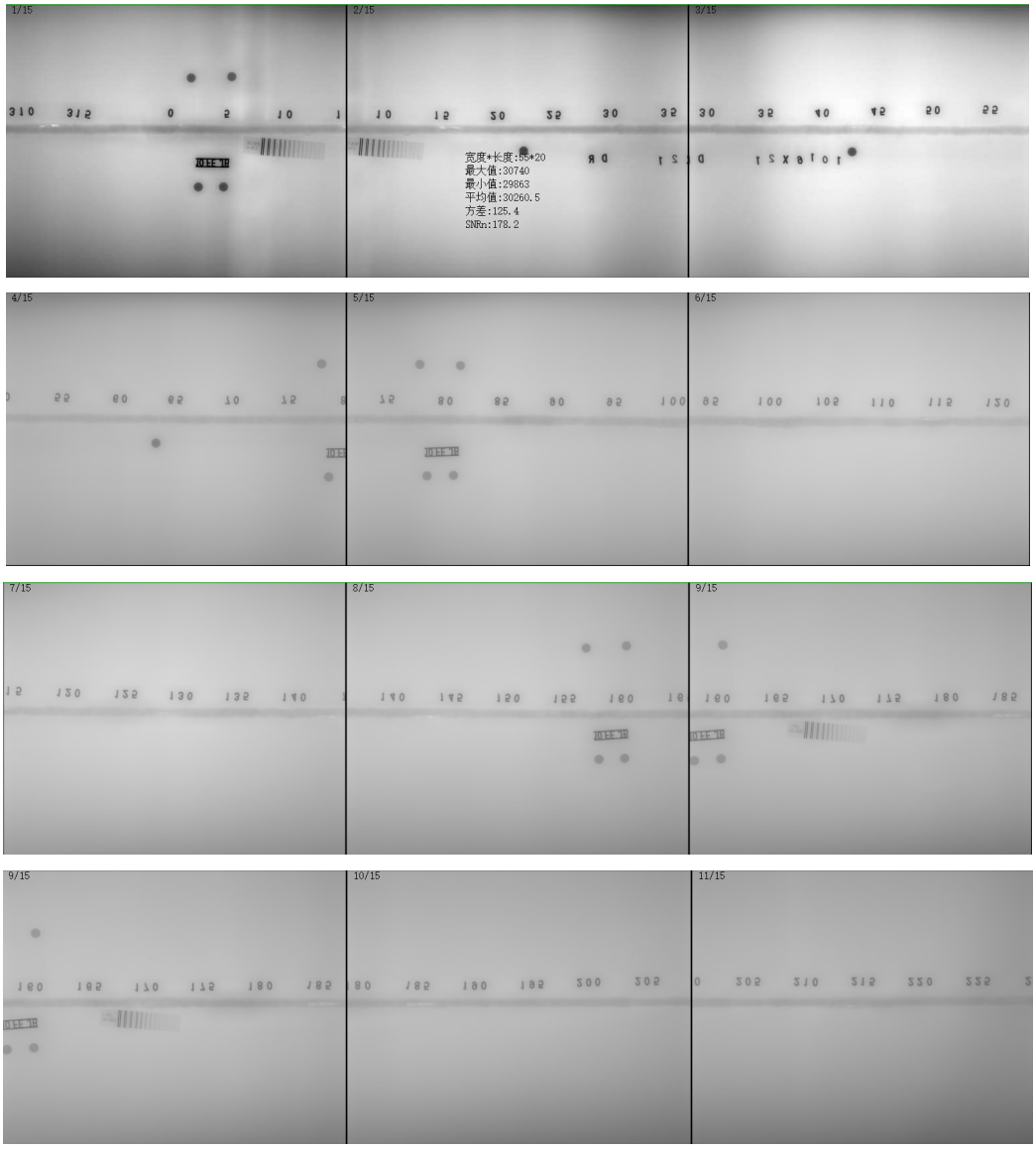
*高频 X 射线管道爬行器中心透照采集图



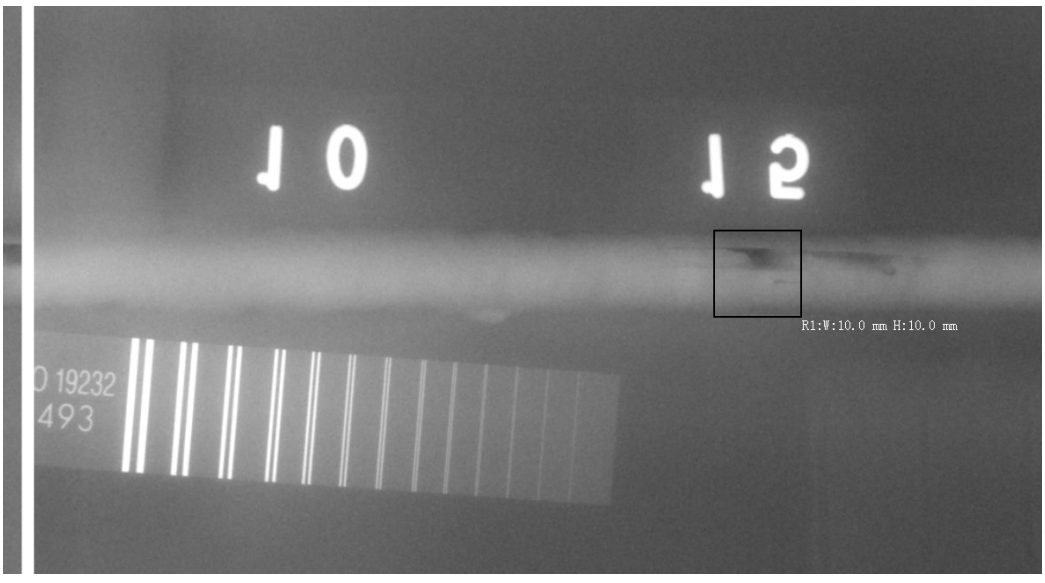

X-RAY检测系统
文件 设置 校准 图像获取
3圈圆形灯丝 -双丝外置-25-185KV-2mA-12帧-整口_01.dcm
工具栏
缩放
122
窗宽
窗位
自动窗
复拍选择
DR电量
通讯未连接!
XR电量
通讯未连接!
DR_受控
前进
后退
停止
10 FE JB
31
0
1


10 FE JB
0

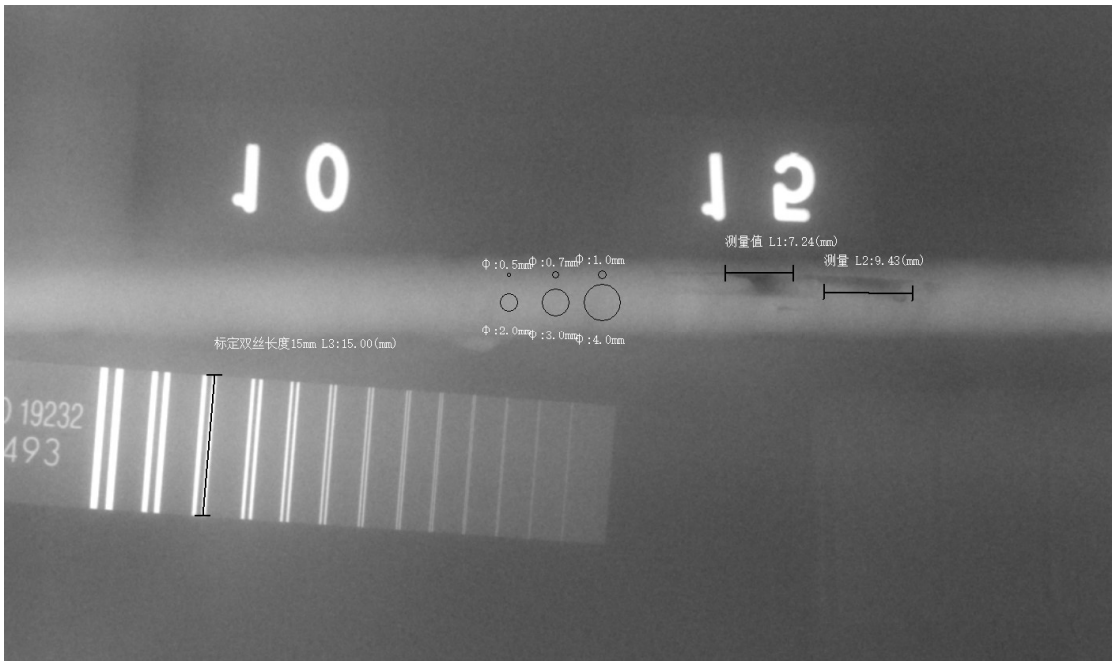
拼图截图


1/15
2/15
宽度*长度:85*20
最大值:30740
最小值:29863
平均值:30260.5
方差:125.4
SNRn:178.2
3/15
4/15
5/15
6/15
7/15
8/15
9/15
9/15
10/15
11/15

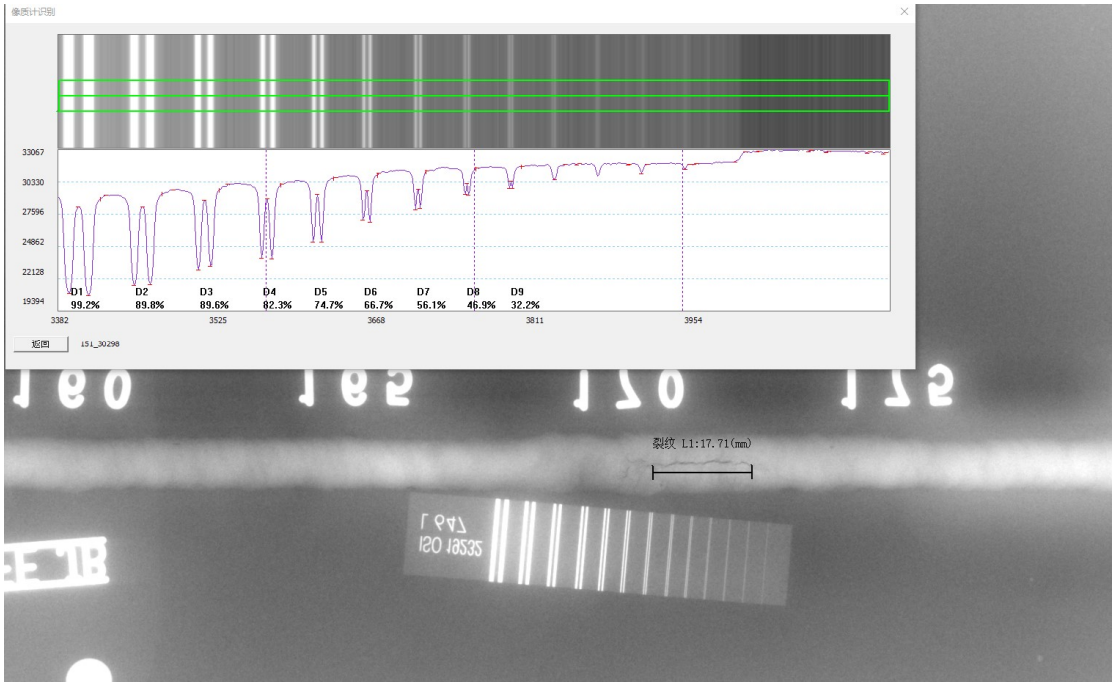
图片缺陷

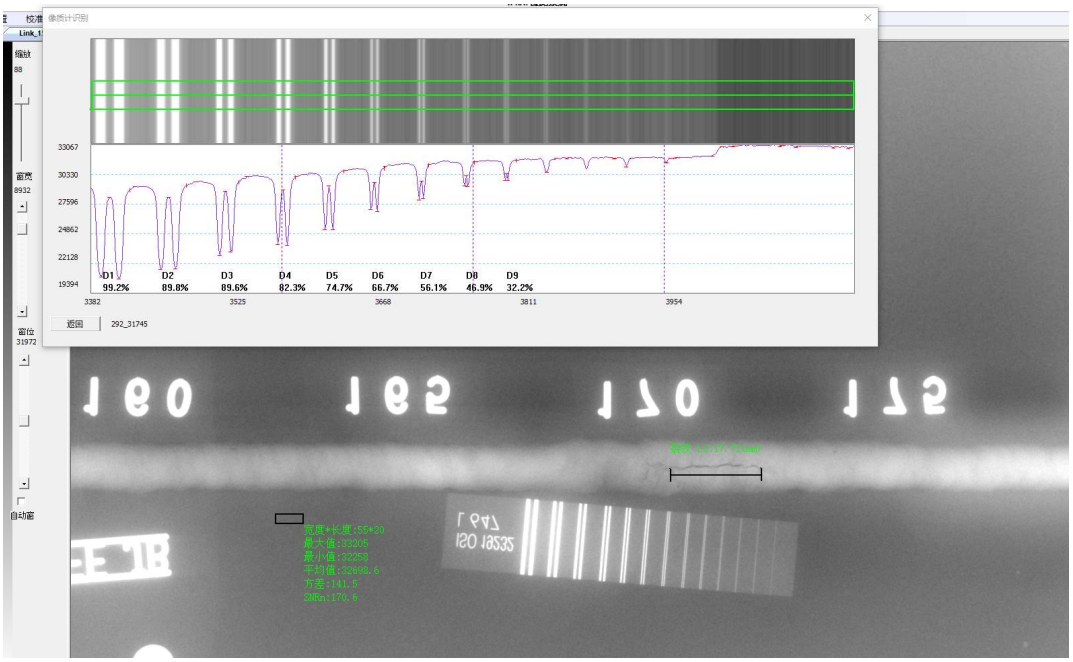

R1:W:10.0 mm H:10.0 mm

参数评定



双丝评定及缺陷




33067
30330
27596
24862
22128
19394
D1 99.2%
D2 89.8%
D3 89.6%
D4 82.3%
D5 74.7%
D6 66.7%
D7 56.1%
D8 46.9%
D9 32.2%
3382
3525
3668
3811
3954
返回
292_31745

11.0 校准报告

DR 设备校准报告

送 检 单 位：[redacted]

证 书 编 号：YJY-017

设 备 编 号：YG-DR01-1046

校 准 单 位：中国石油天然气管道科学研究院有限公司
无损检测技术中心

校 准 日 期：2022 年 1 月 6 日

设备型号

	编制人	审核人	审批人
姓名	[redacted]		
日期	2022年1月6日	2022年1月6日	2022年1月6日

布满足 DR 设备校准的要求。测试焊缝为 DN1016×21mm 环焊缝，测试焊缝上设计加工了 23 个人工缺陷，人工缺陷的分布如图 1 所示。

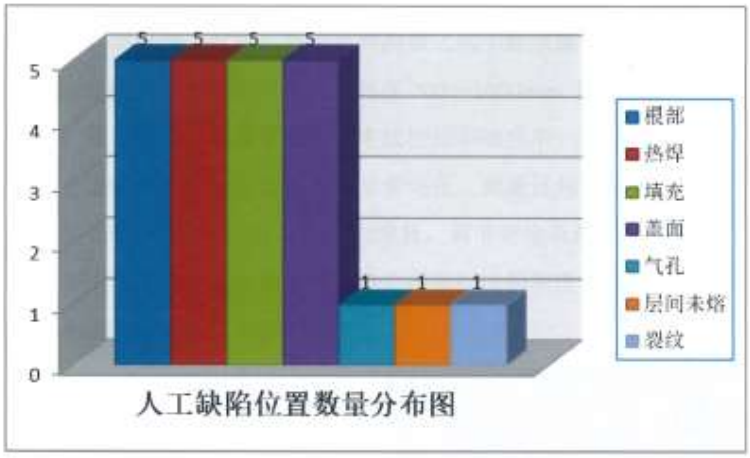


图 1 人工缺陷位置数量分布图

六、测试项目

1、坏像素

表 4 坏像素测量表

序号	测量内容	要求	实测	是否满足标准
1	集群坏像素	不得存在集群坏像素	不存在	满足
2	最多成行（成列）坏像素个数	不得超过 3 个	≤3	满足
3	坏像素距离探测器中心位置（距离像素个数）	不得位于距离中心位置 200 像素以内	不存在	满足
4	坏像素之和	不得超过探测器总像素的 1%	≤1%	满足
结论	**合格**			

测试结论：

经测试该面阵列探测器中不存在集群核像素；面阵列探测器的成行（成列）坏像素不超过 3 个，且不位于距离中心位置 200 像素以内；所有坏像素之和小于探测器总像素的 1%。满足标 GB/T 35394 《无损检测 X 射线数字成像检测 系统特性》的要求。

GV_{mean} ——特定区域图像灰度平均值；

GV_{max} ——探测器可输出的最大灰度值。

3) 以曝光量 E 为横坐标，信号幅值 D 为纵坐标，利用曲线拟合法对测量数据进行平滑处理，制作 D-E 曲线如图 3 所示。

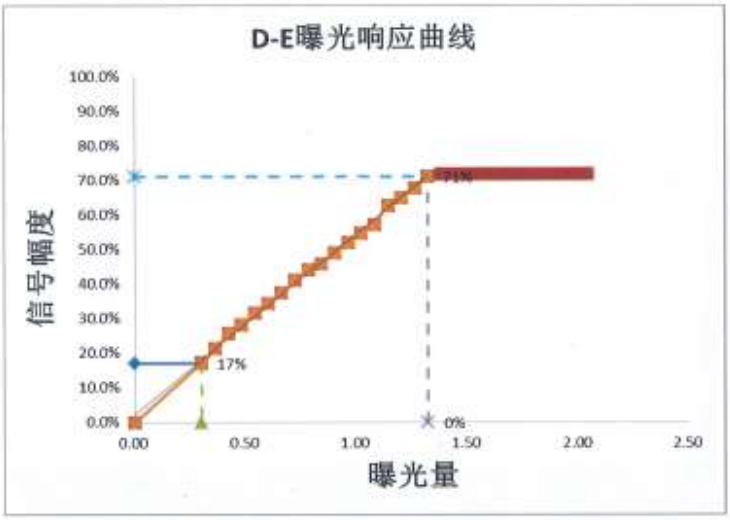


图 3 D-E 曝光响应曲线图

测试结论：

通过 ISee! Professional 软件测量并计算，该 DR 检测系统的线性范围为

17%～71%，按照标准 SY/T 4109《石油天然气钢质管道无损检测》要求，检测作业时，图像有效评定区域内的灰度值应控制在整个灰度范围的 20%～71%之间。

3、基本空间分辨率

1) 测定方法

a) 采用双线型像质计对系统分辨率进行测定。

b) 将双线型像质计紧贴在探测器输入屏表面中心区域，与探测器的行或列成 2° ～5° 角放置。

c) 射线机焦点至探测器接收面的距离不应小于 1000mm±50mm，并应保证垂直透照。

d) 由于测试管件为 DN1016×21mm，根据 SY/T 4109《石油天然气钢质管道无损检测》标准规定，透照厚度大于 20mm，采用 2mmCu 滤波，管电压为 220kV。

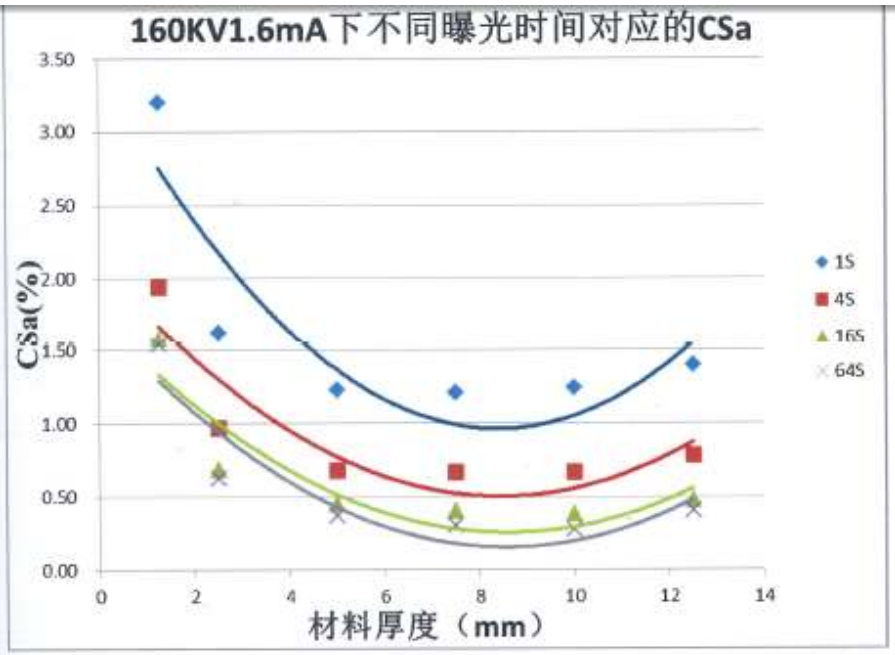


图 9 对比度灵敏度曲线图

测试结论：

通过 ISee!Professional 软件测量并计算，在管电压 160KV，管电流 1.6mA，帧周期 1s 条件下，针对钢质阶梯试块，当曝光时间为 1 秒时，最小的对比度灵敏度 CS.为 0.96%；曝光时间为 4 秒时，最小的对比度灵敏度 CS.为 0.5%；曝光时间为 16 秒时，最小的对比度灵敏度 CS.为 0.25%；曝光时间为 64 秒时，最小的对比度灵敏度 CS.为 0.15%。满足标准 SY/T 4109《石油天然气钢质管道无损检测》中对于钢质阶梯试块不同厚度的对比度灵敏度要求。

6、厚度宽容度

1） 将阶梯试块放置在具有最佳几何放大倍数的位置。

2） 使用 160kV 管电压和 0.5mm 厚度铜滤板，调节管电流（mA），使得试件最薄厚度部位的信号幅值最大但不饱和。

3） 调节曝光时间分别为 1、4、16、64 秒，使用积分或帧平均的方法降低图像噪声。

七、校准结论

1、 坏像素

该 DR 检测系统在坏像素方面满足 GB/T 35394《无损检测 X 射线数字成像检测 系统特性》关于坏像素的要求；

2、 线性范围

该 DR 检测系统的线性范围为 **17%～71%**，按照标准 SY/T 4109《石油天然气钢质管道无损检测》要求，检测作业时，图像有效评定区域内的灰度值应控制在整个灰度范围的 **20%～71%**之间；

3、 基本空间分辨率

该 DR 检测系统的基本空间分辨率经测试为 **124 μm**，满足标准 SY/T 4109《石油天然气钢质管道无损检测》中系统分辨率指标宜大于或等于 2.5Lp/mm 的要求；

4、 最小许可灰度幅值

该 DR 检测系统在针对钢质阶梯试块的测试中，归一化信噪比方面能够满足标准 SY/T 4109《石油天然气钢质管道无损检测》中关于最小归一化信噪比的要

求；

5、 对比度灵敏度

该 DR 检测系统在针对钢质阶梯试块的测试中，对比度灵敏度方面能够满足标准 SY/T 4109《石油天然气钢质管道无损检测》中对于钢质阶梯试块不同厚度的对比度灵敏度要求；

6、 厚度宽容度

该 DR 检测系统在针对钢质阶梯试块的测试中，厚度宽容度方面能够满足标准 SY/T 4109《石油天然气钢质管道无损检测》中对于探测器针对钢质阶梯试块厚度宽容度的要求；

7、 系统成像均匀度

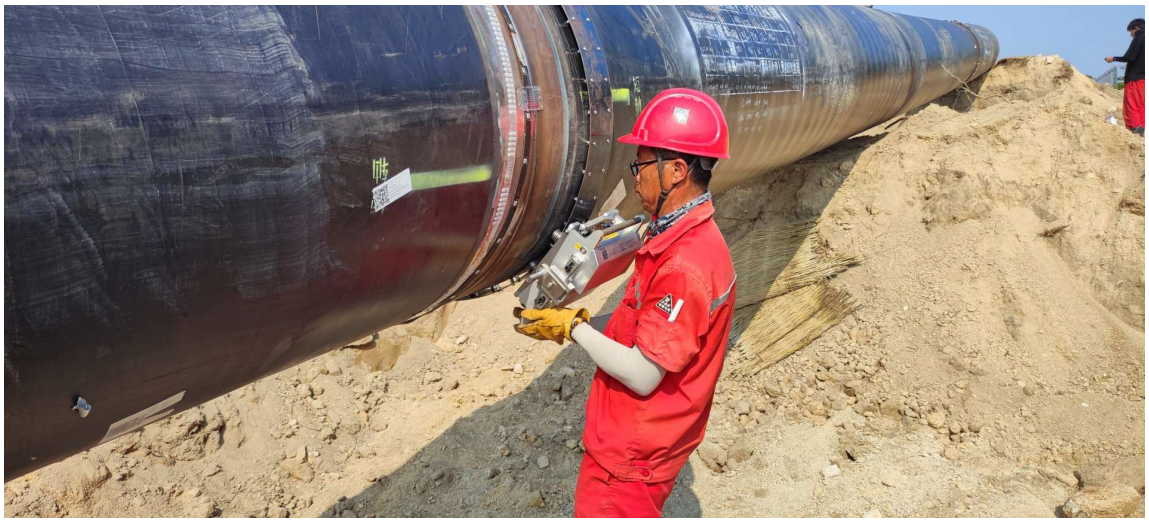
采用 ISee!Professional 软件对 D1016 管道环焊缝上 19 个位置模体 1 的检测图像进行测量，各个位置轴向和周向的图像分辨率最低为 **D8**，最高为 **D10**；各个位置轴向和周向的对比度灵敏度最低为 **W13**，最高为 **W13**；各个位置直径 0.5mm 和 1mm 的金属小球均可见。满足标准 SY/T 4109《石油天然气钢质管道无损检测》的要求。

12.0 现场作业照片

12.1 中心透照

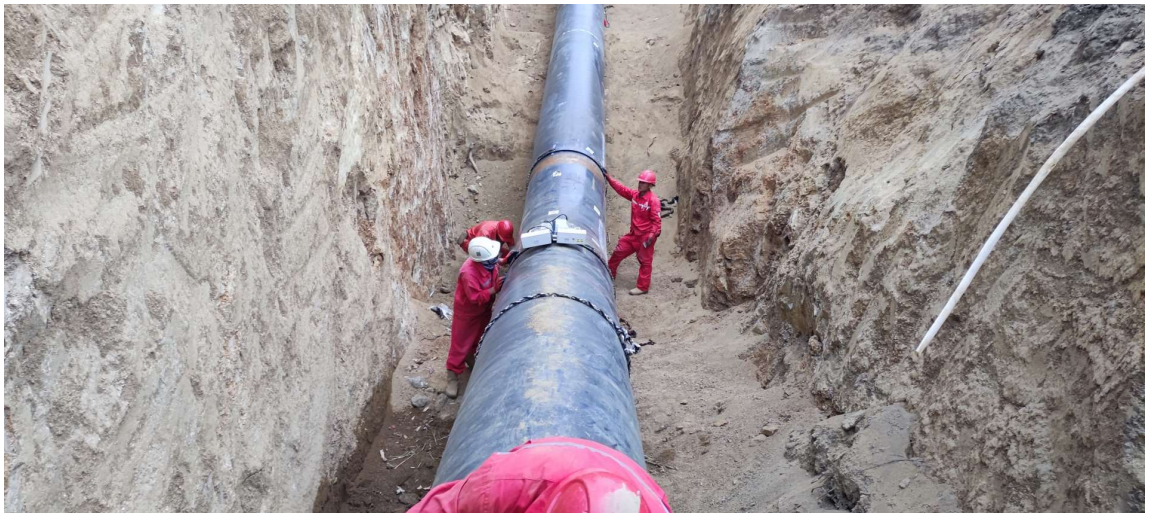
12.1.1 作业中

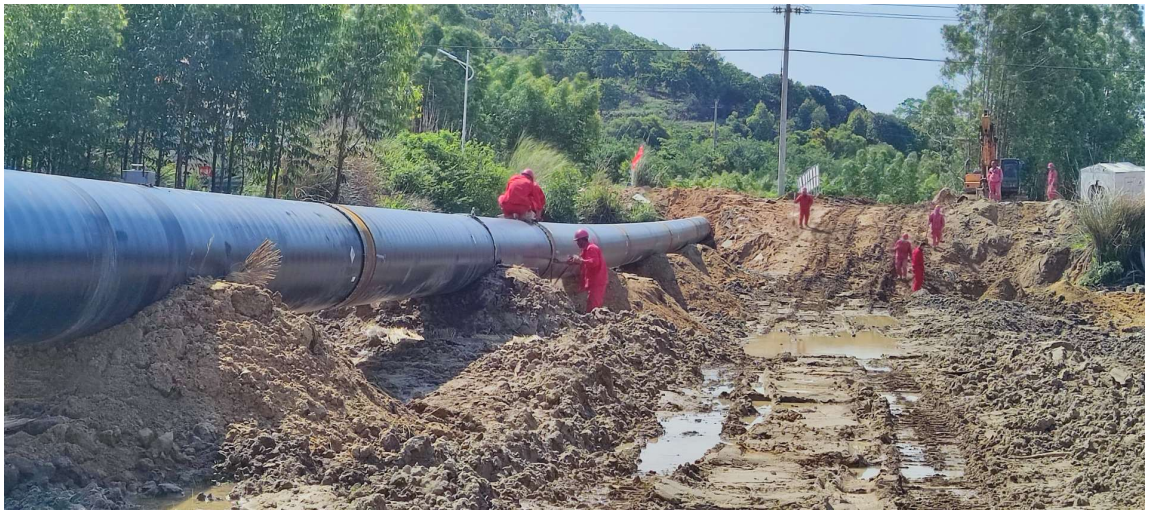
12.1.2 拆装



12.1.3 粘贴标记

12.1.4 沟下作业





12.5 双臂透照