

# U型管道根焊背部成型即时检查装置研究及应用

张胜男<sup>1</sup> 赵文斌<sup>2</sup> 宋满堂<sup>2</sup> 樊照秋<sup>1</sup> 常高榕<sup>1</sup>

(1. 兰州石化职业技术大学机械工程学院 甘肃兰州 730060)

(2. 中国石油兰州石化公司 甘肃兰州 730060)

**[摘要]** 管道根焊被广泛应用于石化管道建设中,但由于技术限制,管道根焊背部成型情况难以实时检测,小管道焊接时该问题尤为明显,从而造成焊接一次合格率低下,返修工作量加大、焊接质量过程控制滞后。为解决此问题,本文设计了一种适用于石化行业200mm以下且带180°转弯的小直径U型管道根焊背部成型即时检查装置,可实现管道根焊背部成型的即时检查,且能够准确定位焊接缺陷位置,为现场工人更快地修复焊接缺陷创造了条件。经实际应用表明,该装置能在80-200mm小管径U型管道中可靠工作,具有良好的实用价值和推广意义。

**[关键词]** U型管道;根焊;背部成型;即时检查

## 概述

管道是石油化工产业中不可或缺的一部分,在石油运输管道的制造过程中焊接技术是至关重要的。管道根焊也称打底焊,是指在现场焊接中管口第一道承担连接的焊缝,只有一道,特点是要求单面焊双面成形。管道根焊被广泛应用于石化管道建设中,然而焊接时由于装配误差、坡口加工精度及焊接热变形等因素影响,管道根焊质量常常难以保证。管道焊接缺陷大部分是在根部氩弧焊打底时产生的,如未焊透、根部未熔合、内部咬边、内错边、焊瘤等。而缺陷的发现往往是在整个焊口填充盖面焊接完毕后经过RT(射线)无损检测才能够发现,在根焊打底操作过程中,焊工只能透过坡口间隙观察有限局部的根部背面成型,无法观察根焊背部全部清晰成型情况,以致有缺陷不能及时发现,从而造成焊接一次合格率低下、返修工作量加大、焊接质量过程控制滞后。

经调研发现,目前市场上管道机器人产品主要针对城市下水管道设计,适检管道的直径大多在200mm以上,产品在管道内多为直线方向行走,能检测100mm-200mm管径的设备价格过于昂贵,多在6万人民币以上,实际应用度不高。因此,市场现有管道内窥摄像产品难以满足石化行业200mm以下且带180°转弯的小直径管道的检测需求。

为此,本文提出了一种适用于石化行业200mm以下且带180°转弯的小直径U型管道根焊背部成型即时检查装置。

## 1 整体设计思路

在小直径长管道中,由于管道内信号屏蔽严重,无法采用无线通信方式,故本文采用线缆式内部窥视检查方案。

首先,进行U型管道根焊背部成型即时检查装置整体结构设计。其次,根据检测目标和环境选择合适的高分辨率光学摄像头及高亮度LED灯,以实现弱光条件下对根焊部位的清晰成像和拍照;合理选择材料设计制作可变直径支架组合工装及操作控制系统,确保能将摄像头送入待检80-200mm小直径管道内行走25米左右距离并可进行小半径180°的转弯;设计机器人智能图像采集传输系统;设计在软件上标定管道焊接缺陷的角位置。在此基础上,将光学摄像头、LED灯与组合工装、智能图像采集传输系统进行安装组合,有线连接至管外电子显示设备,完成U型管道根焊

**作者简介:** 张胜男,(1984-),女,吉林洮南人,兰州石化职业技术大学教师,副教授,工学硕士,主要从事新型焊接电源、焊接结构、焊接生产管理及焊接自动化等方面教学及研究工作。甘肃省教育厅:2024年高校教师创新基金项目(2024A-243);2023年甘肃省大学生创新创业训练计划项目(项目编号S202316209004)

背部成型即时检查装置的设计制作。

本方案通过精巧的架构设计、苛刻的部件选择来使得整个检测装置非常小巧、灵活，实现了200mm以下小直径U形管道内部缺陷检测及180°转弯；装置可进行图像实时记录及存储，现场即时出具检测结果；对发现的局部根焊缺陷可在软件上标定缺陷的角位置，并及时处理；通过优化选材，大大降低制作成本，产品价格约是市场同类可比产品的八分之一左右。

## 2 工作原理及结构设计

### 2.1 装置工作原理

U型管道根焊背部成型即时检查装置主要用于检测管道根焊背部成型情况，并进行实时拍照及摄像。使用时，将装置摄像头朝前放入管道入口，利用连接于摄像系统外壳的牵引线，控制可变直径支架组合工装带动装置在U形管道内部行走及实现180°转弯。通过远程控制终端可控制装置行走，并可控制装置前端摄像头进行360°旋转，全方位监控管道内根焊背部成型情况。当发现焊接缺陷后，可借助角度传感器获取缺陷角位置信息，从而准确定位缺陷位置。装置采用陀螺仪进行导航定位，定位精度高，控制可靠，可以克服由于轮胎打滑所造成的误差。

### 2.2 装置结构设计

U型管道根焊背部成型即时检查装置整体结构如图1所示，该装置包括摄像系统、摄像系统外壳及固定在摄像系统外壳上的可变直径支架组合工装。

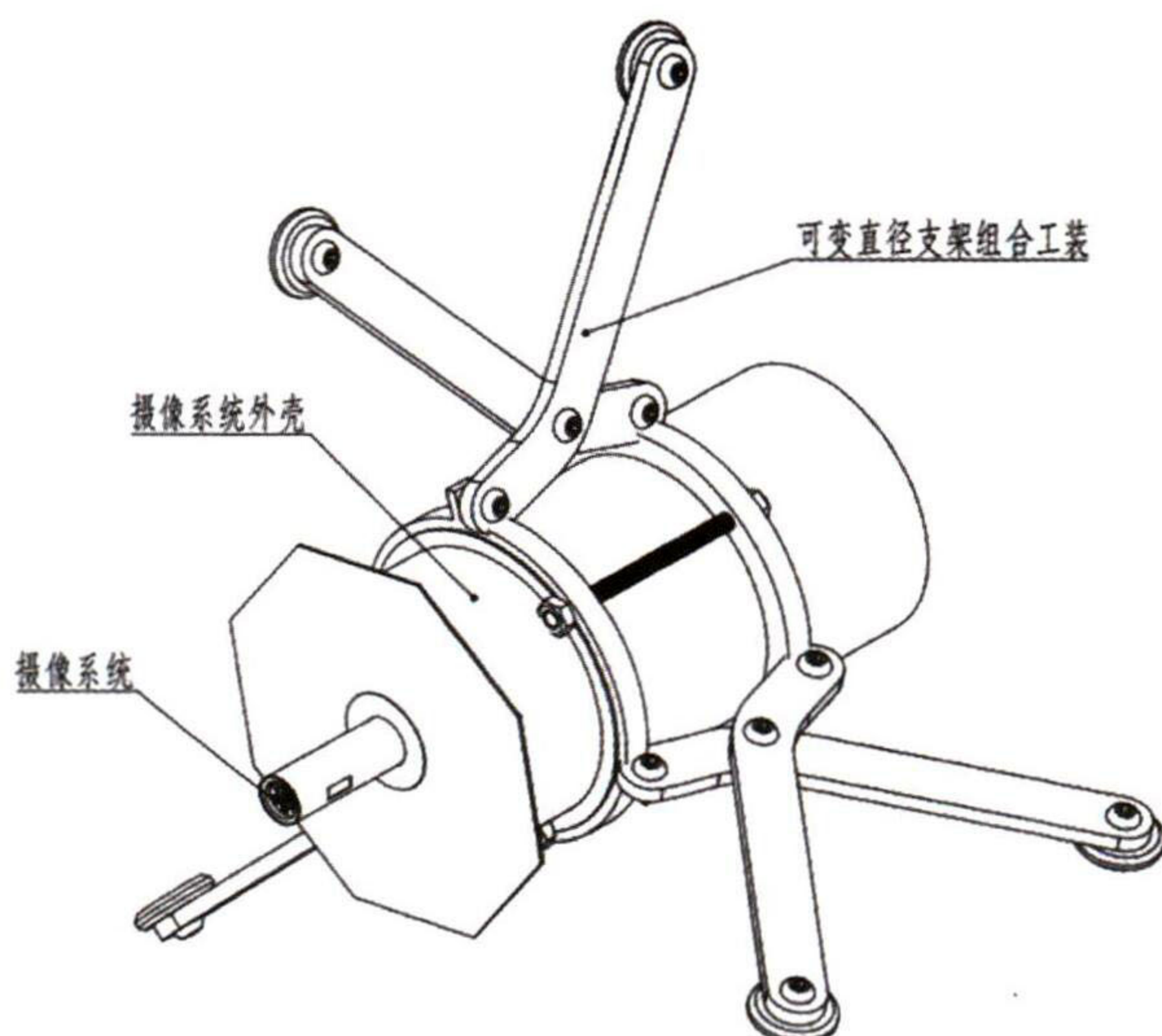
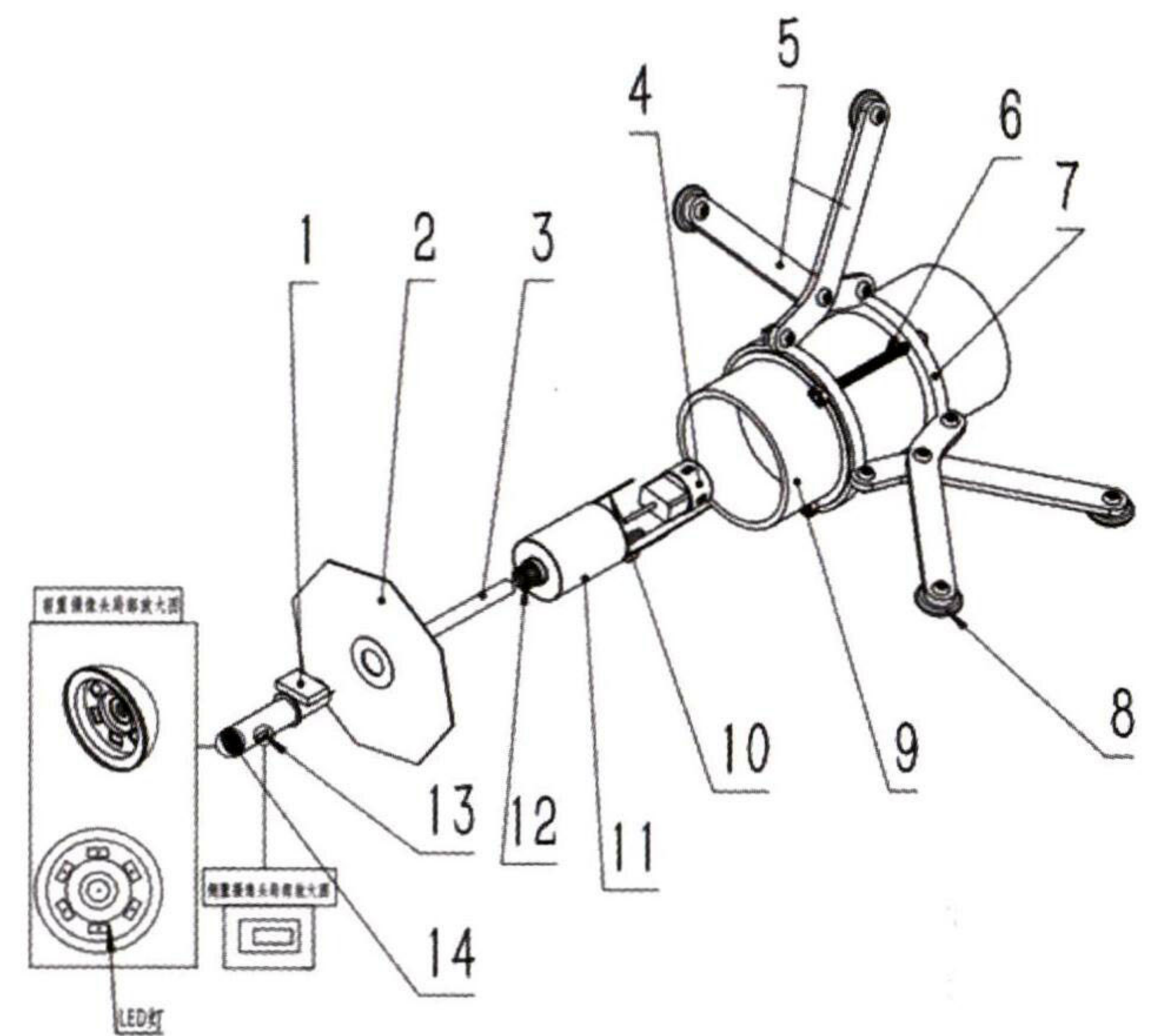


图1 装置整体结构示意图

装置结构组成如图2所示。置于外壳内的摄像系统组成包括连接于轴前端的前置高分辨率摄像头、侧置摄像头和角度传感器，中间套有导电滑环，轴的末端与驱动电机连接。前置高分辨率摄像头的前端沿周向均布有数个LED灯，摄像系统外壳的前端套接有固定套，前置高分辨率摄像头、侧置摄像头、角度传感器及电机分别经导线与远程终端相连。



1角度传感器2固定套3轴4电机5伸缩支撑架6限位螺栓7伸缩支架限位环8管内行走轮9摄像系统外壳10导线二11导电滑环12导线一13侧置摄像头14前置高分辨率摄像头

图2 装置结构组成示意图

摄像系统外壳用来保护各机构在管道运行中不受环境影响，并起到固定作用。驱动电机用来带动前置高分辨率摄像头和侧置摄像头旋转。导电滑环可防止设备在旋转过程中内部线缆打结，避免360度旋转后传输线缆损伤。角度传感器用于测量摄像头的旋转角度，以便检测焊缝缺陷位置。摄像系统外壳的前端套接固定套用于固定前置高分辨率摄像头，保证摄像头处于装置最中心位置。前置高分辨率摄像头用来探测管道内部焊缝位置，侧置摄像头辅助前置高分辨率摄像头，在前置高分辨率摄像头确定焊缝位置后，拍摄记录管道根焊成型情况，从而实现360度无死角拍摄。轴用于支撑前置高分辨率摄像头、侧置摄像头和角度传感器旋转，传递转矩和运动。

固定在摄像系统外壳上的可变直径支架组合工装如图3所示。它包括固定在摄像系统外壳上

且通过限位螺栓连接在一起的两个伸缩支架限位环，每个伸缩支架限位环上均布有3个伸缩支撑架，且两个伸缩支架限位环上的伸缩支撑架对称设置；对称设置的两个伸缩支撑架活动连接在一起；每个伸缩支撑架的末端设有管内行走轮。

### 3 装置使用方法

装置实物如图4所示。装置使用时，根据待检管径大小，通过可变直径支架组合工装上的限位螺栓调节两个伸缩支架限位环的间距，进而调整伸缩支撑架的张角，并使管内行走轮固定在管壁上。

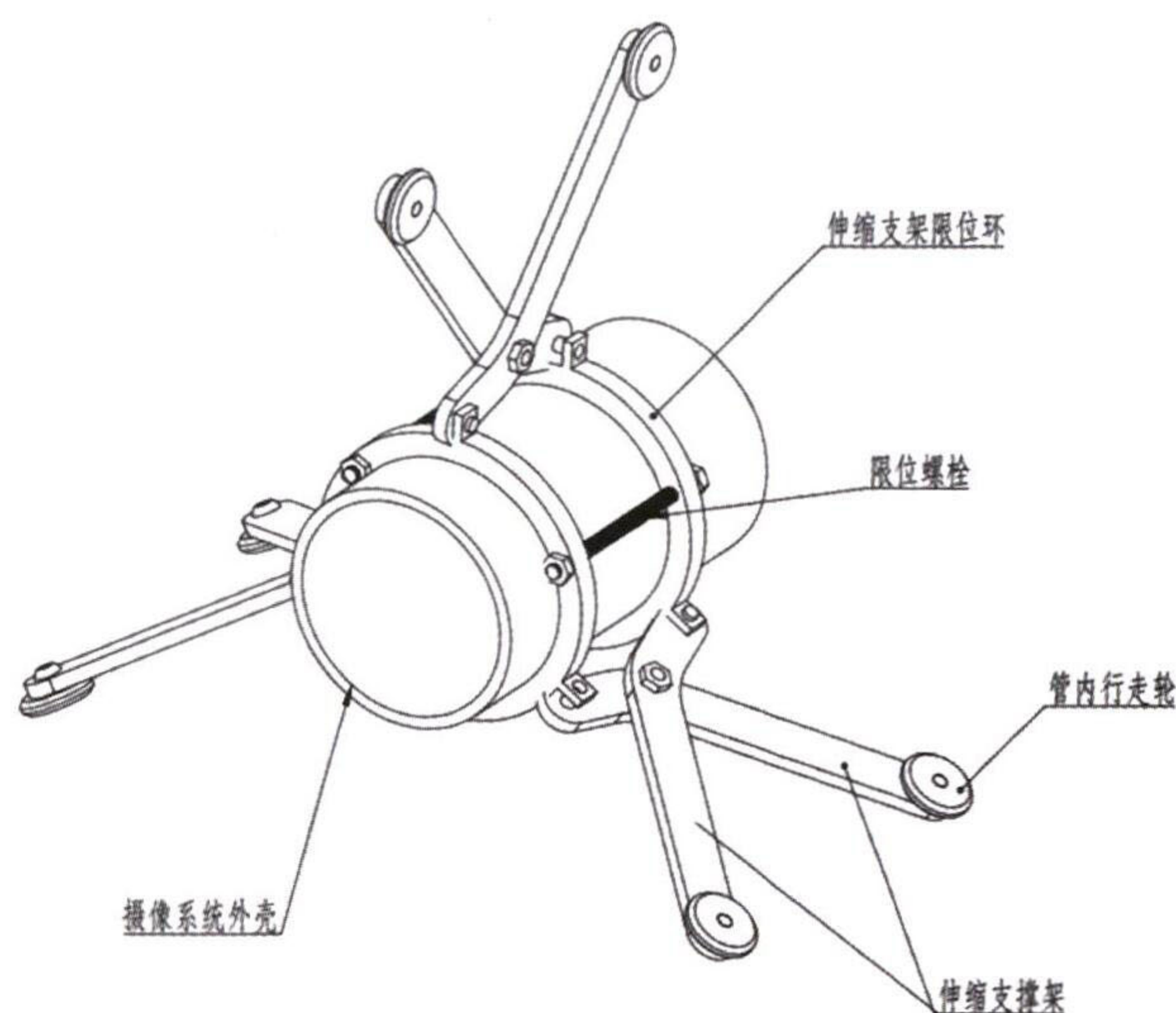


图3 可变直径支架组合工装结构示意图

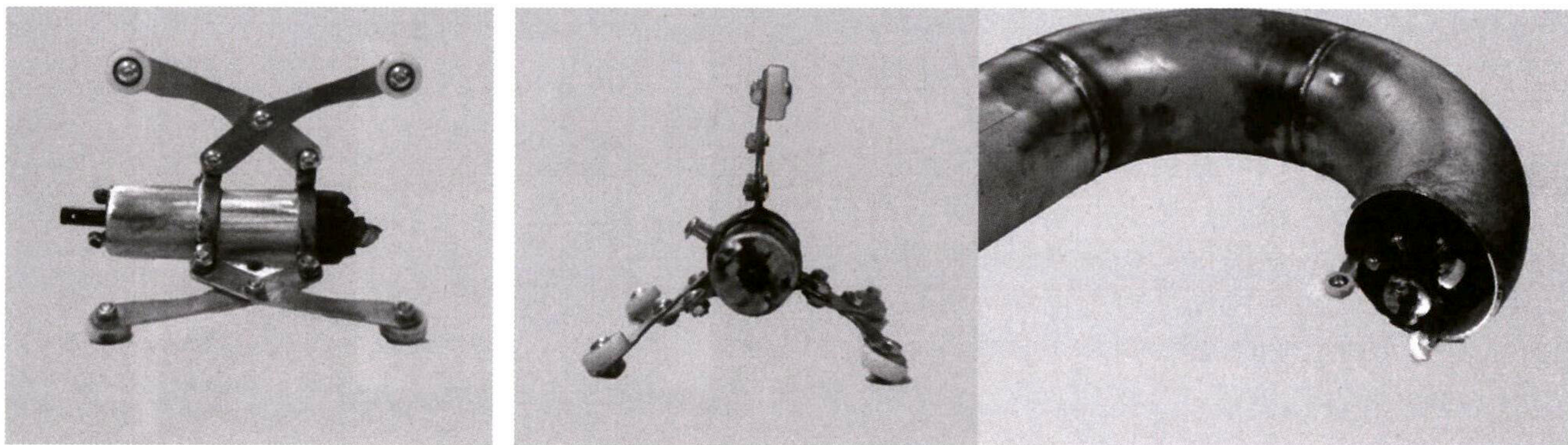


图4 装置实物图

利用连接于摄像系统外壳的牵引线，短距离通过后推，长距离通过“前拉配合后推”方式控制可变直径支架组合工装带动装置在U形管道内部可靠行走及实现180°转弯。

当前置高分辨率摄像头探测到管道内部焊缝位置时，通过远程终端控制可变直径支架组合工装停止行走，显示器切换至侧置摄像头界面，通过远程终端控制驱动电机带动轴旋转，进而带动与之相连接的侧置摄像头和角度传感器进行360°旋转，拍摄管道根焊背部成型情况，如拍摄到焊缝缺陷，摄像头及角度传感器停止旋转，详细拍摄记录缺陷情况，通过角度传感器显示数字获取焊缝缺陷角位置信息，进而准确定位焊缝缺陷位置。

与市场同类产品相比，装置操作简单，使用方便，不会造成管道内部损伤、污染或破坏，可

在200mm直径以下U形管道内部可靠行走并实现180°转弯。检测结果即时、客观、准确。装置除了可用于检查管道内壁焊缝质量缺陷外，还可用于检查石油化工领域压力管道内壁的应力裂纹和腐蚀及管道内表面的状态监测。

### 4 装置实际应用

采用本文所设计的U型管道根焊背部成型即时检查装置对某石化公司安装公司汽油加氢装置换热器管束管板端部突发泄漏进行现场检测，发现泄漏点在二层管排底部，确定位置后对后续管束封堵起到了重要作用，及时修复了换热器管束，使设备顺利开工，有效解决了企业小管径管道内部焊缝质量检查的难题。图5为装置拍摄管道根焊内部成型情况及角度传感器显示缺陷角位置信息情况。

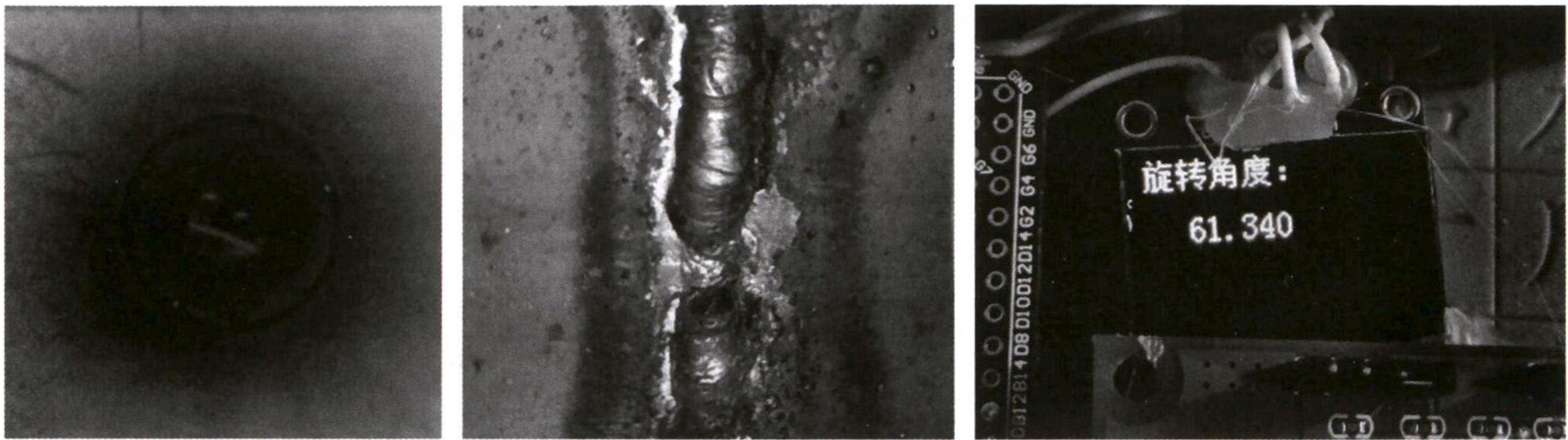


图5 装置拍摄管道根焊内部成型情况及角度传感器显示缺陷角位置信息

经实际应用表明:

(1) 本文所设计的U型管道根焊背部成型即时检查装置利用可变直径支架组合工装搭载前置高分辨率摄像头、侧置摄像头、LED灯、导电滑环、电机等,通过在管道内行走,360°全方位拍照、摄像进行图像实时记录及存储,不会造成管道内部损伤、污染或破坏,从而可实现非破坏式检测目的。

(2) 本文所设计的U型管道根焊背部成型即时检查装置设有前置高分辨率摄像头和侧置摄像头,能突破人眼观察的死角,准确清晰获取管道内部的焊缝成型效果信息,避免了直接拍片造成的成本损失,使得检测结果更客观、更准确。

(3) 本文所设计的U型管道根焊背部成型即时检查装置设有角度传感器,可在管道检测时获取角位置信息,从而准确定位缺陷位置,为现场工人更快地修复缺陷创造了条件。

(4) 本文所设计的U型管道根焊背部成型即时检查装置结构简单、成本低,可适用于石化行业80-200mm小管径U型管道根焊背部成型的即时检查。

(5) 采用本文所设计的U型管道根焊背部成型即时检查装置可提高焊接一次合格率,有效降低管道返修工作量,极大程度优化管道生产成本,提高企业资源利用率。

## 5 存在的问题和不足

(1) 装置自动化程度尚低

装置的控制部分需要人工配合,尚无法做到

根据视频捕捉到焊缝信息自动控制前进或停止及切换摄像头。由于管道内信号屏蔽,只能通过线缆传输信息,一次检测长度也受到限制。

(2) 装置行走速度受限

为了装置在管道内平稳行走且获得稳定的视频图像信息,装置行走速度不宜太快,现场管道检测的行走速度一般控制在 $15\text{ m/min}$ - $20\text{ m/min}$ ,如遇管道内部分堵塞或不平整,装置不能连续通过,需疏通清理后再次检测,从而降低检测工作效率。

(3) 尚不能实现变直径管道的连续检测

目前,装置的可变直径支架组合工装是通过手动调节工装上的限位螺栓,进而调整伸缩支撑架的张角,使管内行走轮固定在管壁上行走,无法实现自动可变直径,因此尚不能实现变直径管道的连续检测,需后续进一步改进完善。

## 6 结论

针对石化行业小管径管道应用不断增多,管道根焊背部成型情况难以实时检测的现状,本文设计了一种适用于200mm以下且带180°转弯的小直径U型管道根焊背部成型即时检查装置,解决了管道根焊背部成型即时检查的难题,且能够准确定位焊接缺陷位置,为现场工人更快地修复缺陷创造了条件。经实际应用表明,该装置能在80-200mm小管径U型管道中可靠工作,具有良好的实用价值和推广意义。

收稿日期: 2024-03-27 修回日期: 2024-06-25