

一种 360°全景管道内窥镜的设计与应用

李 进, 陈 桂, 汪 峰

(扬州诚德钢管有限公司, 江苏 扬州 225215)

摘 要: 介绍了一种应用于大直径钢管或压力管道内表面检测用的内窥镜装置及设计方案, 分析了该装置的结构、原理和技术特点。分析认为: 该装置通过网络通信实现动作控制及图像数据传输, 通过组合多个摄像头实现内壁 360°全覆盖检测, 能够直观发现钢管及压力管道内壁存在的各种表面缺陷, 并可快速地对缺陷进行定位、定量分析。

关键词: 钢管; 工业内窥镜; 全景摄像头

DOI:10.19938/j.steelpipe.1001-2311.2021.6.80.83

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Design and Application of a 360° Panoramic Endoscope for Pipe and Pipeline

LI Jin, CHEN Gui, WANG Feng

(Yangzhou Chengde Steel Pipe Co., Ltd., Yangzhou 225215, China)

Abstract: Described here in the paper are an endoscope device used for detecting the inner surface of the large-sized steel pipe and the design scheme thereof. Also analyzed are the structure, principle and technical characteristics of the said device. The facts as follows are revealed via the analysis. The device is capable of movement control and image and data transmission with network communication, and 360° full coverage detection of the inner surface via integrated multiple cameras so as to directly identify various surface defects on the inner surface of the steel pipe or the pressure pipeline, and moreover get the defect rapidly located and quantitatively analyzed.

Key words: steel pipe; industrial endoscope; panoramic camera

无缝钢管及压力管道受材料特性和使用环境影响, 其内壁极易产生应力腐蚀裂纹、腐蚀坑等缺陷^[1-4], 内窥镜^[5-10]作为一种间接目视检测^[11]手段, 能够直观地发现此类缺陷。管道实际生产和运行检修过程中由于品种、规格繁多, 检测环境相对复杂, 需要不同型号的内窥镜设备进行检测。通常对于内孔较小的管道利用一个前视摄像头就能有效观察到内壁 360°的区域, 但对于内孔较大的管道, 目前的解决方法大多是用侧视摄像头旋转的方式来解决, 可旋转侧视摄像头受内窥镜检测速度和被检产品内径尺寸的限制, 检测大直径管道时, 为保证扫查覆盖率, 爬行车行走速度会大大降低, 否则会

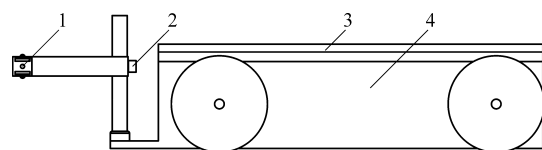
造成摄像头扫查不完整导致漏检, 同时摄像头持续的旋转会造成炫目, 长时间观察容易形成视觉疲劳影响检测结果。这里提出了一种全新的技术理念, 采用多个摄像头进行无缝拼接, 从而实现 100%全覆盖的内壁 360°全景^[12-13]扫查, 大大提升了实际检测工况的可靠性和检测效率。

1 装置介绍

360°全景管道内窥镜装置由爬行器和终端计算机构成, 两者通过网络传输数据, 爬行器结构如图 1 所示, 爬行器为驱动装置, 主要承载摄像头组合对钢管或管道实施扫查, 其组成包括 4 个等阵列布置的摄像头组合、摄像头高度调节机构、驱动轮、前端电脑板及补光灯等。

终端计算机主要负责接收和存储前端摄像头采

李 进(1981-), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事大直径无缝钢管的研究工作。



1 — 摄像头组 2 — 摄像头高度调节电机
3 — 驱动轮 4 — 前端电脑板

图1 爬行者结构示意图

集的图像数据, 并进行图像的剪切与拼接处理, 最终输出处理完成的图像供观察与分析。

2 技术要点

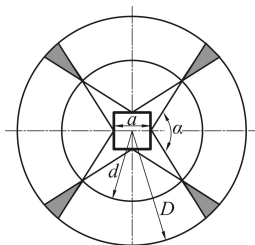
2.1 摄像头研究现状与选用

摄像头按光电传感器的类别可以分为 CCD (电荷耦合元件) 和 CMOS (互补金属氧化物半导体) 两种^[14], 而这两种摄像头均各有利弊。传统意义上讲, CCD 摄像头的图像成像效果要优于 COMS, 但随着生产工艺水平的改进, 当下 COMS 与 CCD 摄像头的成像效果差距已经越来越小, 且相比 CCD 镜头, COMS 功耗、电路抗干扰能力、高集成度均有着明显的优势, 这有利于提高内窥镜的续航能力和空间利用, 因此可优先选择分辨率 1 920×1 080 以上的 COMS 摄像头。

为达到周向 360°全覆盖, 所选摄像头的视场角应保证图像无畸变的情况尽量大, 使用的摄像头数量应能保证检测内孔直径范围完全覆盖。镜头尺寸越小视场角越大, 视场角越大畸变越严重, 而视场角越小其单个摄像头的覆盖范围也随之变小。试验测试发现, 采用 4 个视场角为 90°~110°的摄像头进行组合较为合适。

2.2 摄像头布置

为实现 4 个摄像头图像处理的一致性, 可将 4 个摄像头以方形阵列布置, 视场覆盖如图 2 所示。



D — 钢管内径 d — 完全覆盖的最小内孔直径
 a — 摄像头方形阵列边长 α — 摄像头视场角

图2 视场覆盖示意

组合摄像头能够完全覆盖的最小内孔直径 d 取决于摄像头方形阵列的边长 a (以相对布置的镜头焦点距离计) 和所选摄像头视场角 α , 即:

$$d = a \times \sin(180^\circ - \alpha/2) \cdot \csc(\alpha/2 - 45^\circ) \quad (1)$$

2.3 图像处理

2.3.1 数据转换

因高清 CMOS 摄像头直接采集的图像格式为 MJPG (一种视频编码格式), 采集一张分辨率为 1 920×1 080 的图片的数据大小约为 6.75 MB, 为保证图像的流畅性, 其摄像头帧率需达到 30 fps, 即每秒钟采集 30 张图片, 该内窥镜采用了 4 个摄像头, 其每秒需要传输数据 $6.75 \times 4 \times 30 = 810$ MB; 由此可见, 若采用原始数据格式进行传输数据的传输量非常大, 不利于检测的实施。因此, 需在前端爬行者中设置电脑板, 将采集的原始 MJPG 格式图像数据按 H.265 视频编码标准进行 20~30 倍的压缩, 并传输到终端计算机。

2.3.2 图像拼接

因多个摄像头采集的图像存在重叠区, 为确保相邻摄像头采集到的同一缺陷不被重复显示, 需让同一时间点上的 4 张图片实现无缝衔接, 如图 2 所示, 相邻两个摄像头的重叠区 (阴影部分) 可由计算机在拼接图像前进行剪切处理, 剪切掉其中一个摄像头的重叠部分, 剪切部分的弧长度取决于摄像头方形阵列的边长 a 、视场角 α 及钢管内径 D , 重叠区弧长 δ 按照公式 (2) 计算:

$$\delta = \pi(D-d)(\alpha/2 - 45^\circ)/180^\circ \quad (2)$$

2.3.3 图像显示

将拼接完成的图片按时间先后顺序进行播放即可形成流畅的检测视频, 检测视频显示界面如图 3 所示, X 轴方向表示周向 360°, Y 轴方向表示爬行者行走距离, 通过坐标可以很方便地对管道缺陷进行定位。



图3 检测视频显示界面

2.4 缺陷的定位与测量

实现缺陷轴向方向上的定位需依靠爬行器步进电机的编码功能,由编码器可得出行走的距离,即镜头中心距起始点的距离。当发现有缺陷存在,移动爬行器位置将缺陷置于图像Y轴中心线处(图3黑线处),此时编码器的显示值即为缺陷距轴向位置,但需要注意编码器显示值的修正,摄像头到爬行器尾部之间的距离应为编码器初始值。

缺陷的周向定位可根据每个摄像头排布时的视场角区间分配,在拼接图像周向方向建立角度标尺,等分 360° ,缺陷所对应的角度位置即为缺陷的周向位置。

可利用图像虚拟标尺测量缺陷尺寸。终端计算机拼接完成的图像成矩形,其图像分辨率为固定值,图像在X轴和Y轴方向上的像素所对应实际检测管道轴向最大视场宽度和内孔周长成比例关系,即显示图像中缺陷所占用的像素值与实际长度的比例是固定的,缺陷像素值乘以相应方向的比例参数即为缺陷的实际长度。

轴向、周向以及斜向缺陷的比例参数 m , n , p 可按公式(3)~(5)计算得出:

$$m=A/W \quad (3)$$

$$n=B/L \quad (4)$$

$$p=\sqrt{m^2+n^2} \quad (5)$$

式中 L , W —— 图像X,Y轴方向像素;

A —— 摄像头轴向最大视场宽度,mm;

B —— 钢管的内孔周长,mm。

实际检测中发现缺陷后,可利用软件测量功能调用虚拟标尺标定缺陷,计算机通过自动计算实时显示标定缺陷的实际长度。

2.5 摄像头视场角的校准

为得到较精确的组合图像,需对摄像头的标称视场角度和焦点位置进行校准^[15]。可将摄像头垂直对准带刻度的直尺,通过改变摄像头与标尺之间的距离来测量摄像头的视场角。因摄像头在X,Y两个坐标方向视场角不一致,测量X轴方向的视场角时标尺应水平放置,测量Y轴方向的视场角时标尺应竖直放置。

摄像头视场角度校准如图4所示,标尺置于位置1时读出图像可见的标尺范围值 T_1 ,标尺置于位置2时读出图像可见的标尺范围值 T_2 ,测量出位置1与位置2之间的直线距离 ΔL ,视场角可按公式(6)计算得出:

$$\alpha=2\arctan\frac{T_2-T_1}{2\Delta L} \quad (6)$$

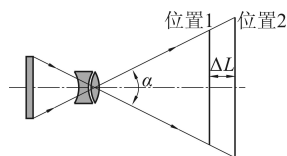


图4 摄像头视场角度校准示意

根据测得的视场角和图像可见的标尺范围值 T 可推算出焦点与标尺之间的距离,即 $T/2\tan\alpha$ 。

3 精度测试

采用图5所示的18%中性灰度卡分别贴于内径300,400,500mm钢管内壁,用内窥镜扫查直至发现宽度0.8mm,长度44mm的“+”“×”字形图形。



图5 18%中性灰度卡

利用虚拟标尺分别测量灰度卡中水平线、竖直线、 45° 斜线、 135° 斜线的长度,测试结果见表1。

钢管 内径	表1 灰度卡测试数据				mm
	水平线	竖直线	45° 斜线	135° 斜线	最大误差
300	43.6	43.2	43.4	43.4	0.8
400	44.7	43.1	43.3	43.4	0.9
500	43.6	44.6	44.8	44.6	0.8

从测试结果可见,360°全景内窥镜方案可有效地组合4个摄像头,根据给定的摄像头参数及检测的内孔直径可实现多图像自动剪切和拼接,从而进行单窗口大范围的观察;同时可以对发现的缺陷进行实时定位与任何方向的测量,测量误差可控制在1mm范围,这对实际检测结果起到了重要的指导意义。

4 结 语

提出了一种采用组合摄像头技术来实现对钢管及压力管道内壁实施检测的360°全景内窥镜方案,阐述了摄像头的选用与布置的方法,着重说明了实现图像传输、图像拼接以及缺陷测量技术的要点。

360°全景内窥镜的设计方案可弥补传统管道内

窥镜的不足,通过计算机的实时图像处理将多个摄像头图像拼接成一个 360°全景图像,极大程度降低肉眼观察的视觉疲劳,大大提升实际工作中的检测精度和效率。较高的清晰度和缺陷定位、测量精度,能够直观发现钢管及压力管道内壁存在的各种表面缺陷,并可快速地对缺陷进行定位、定量分析。

5 参考文献

- [1] 赵培得,杨永峰,邵涛. 热轧无缝钢管质量缺陷与检测方法探讨[J]. 商品与质量, 2019(31): 145.
- [2] 包海越. 无缝钢管常见缺陷产生原因分析及对在线无损检测的影响[J]. 科学与财富, 2019(18): 272.
- [3] 包福全,邵立强. 热轧无缝钢管质量缺陷与检测方法探讨[J]. 中国金属通报, 2018(6): 252, 254.
- [4] 王婀娜,尹人洁,陈谨,等. 34CrMo4 气瓶用无缝钢管内表面缺陷分析及预防措施[J]. 四川化工, 2014, 17(4): 43-46.
- [5] 国家质量监督检验检疫总局,国家标准化管理委员会. 无损检测仪器 工业电子内窥镜检测仪: GB/T 33886—2017[S]. 2017.
- [6] 周杨飞,叶伟文,王恋,等. 呼吸气瓶内部可视化自动检测装置研究与开发[J]. 石油和化工设备, 2021, 24(1): 70-72, 75.
- [7] 严正国,胡朋,汤英,等. 油管内窥镜检测方法研究[J]. 云南化工, 2020, 47(7): 174-176.
- [8] 韩方东,宗凯,王健,等. 内窥镜检查在电站锅炉内部检验中的应用[J]. 中国特种设备安全, 2020, 36(3): 44-48, 52.
- [9] 高骏,刘宏亮,刘海峰,等. 工业电子内窥镜在电气设备内部检查中的应用[J]. 无损检测, 2010, 32(1): 62-64.
- [10] 窦丽娟,党辉,徐呈,等. 内窥镜在小径薄壁管材内表面检验中的应用[J]. 科技视界, 2018(30): 42, 55.
- [11] 王跃辉. 目视检测[M]. 北京: 机械工业出版社, 2016.
- [12] 孟竹,朴燕,毛雅棋. 环状全景图展开技术的研究[J]. 长春理工大学学报(自然科学版), 2021, 44(2): 86-92.
- [13] 刘如飞,柴永宁,朱健,等. 全景深度图像精度分析及优化方法研究[J]. 测绘科学, 2021, 46(1): 170-176.
- [14] 石东新,傅新宇,张远. CMOS 与 CCD 性能及高清应用比较[J]. 通信技术, 2010, 43(12): 174-176, 179.
- [15] 戴志军,劳嫦娟,夏能海,等. 工业视频内窥镜校准方法的探讨[J]. 计测技术, 2015, 35(S): 10-12.

(收稿日期: 2021-07-08; 修定日期: 2021-11-04)

●专利信息

一种可旋转的钢管焊接设备

公开了一种可旋转的钢管焊接设备,设备底板的上表面对称固定设置有两个支撑板,两个支撑板之间设置有丝杆,丝杆的两端杆壁分别通过第一轴承与对应的支撑板的侧壁转动连接,丝杆的两端杆壁对称螺纹连接有第一滑块,两个第一滑块的上表面分别固定设有安装板,两个安装板的内部分别开设有第一通孔,两个第一通孔的内壁分别通过第二轴承转动连接有第一套管。该可旋转的钢管焊接设备,能够实现两个夹持机构的移动,便于在对两个钢管卡接之后对连接处的位置进行微调,同时对两个电焊枪的枪头的位置进行调整,便于对不同粗细的钢管进行焊接。(专利申请号: CN202010952463.3 公开号: CN112139748A 申请日: 2020.09.11 公开日: 2020.12.29 申请人: 繁昌县琪鑫铸造有限公司)

一种可生产空调储液器用钢管的自动弯管装置

公开了一种可生产空调储液器用钢管的自动弯管装置,包括支撑台、电动机、主动轮、电动推杆、U型框、从动轮、通槽、微型电动杆、移动杆、连接杆、磁块、矩形槽、磁条、方形槽、轴承、弧形压块、螺栓、螺母、转动轴以及弹簧。该实用新型电动推杆工作带动U型框移动,使得从动轮与钢管环形侧面贴合,微型电动杆工作带动移动杆向下移动,移动杆移动带动连接杆移动,连接杆移动带动铁块移动,与磁条吸附贴合,进而固定微型电动杆的位置,螺栓沿着螺母移动,螺栓移动带动弧形压块移动,弧形压块移动与轴承环形侧面贴合,进而将轴承固定夹持在两个弧形卡块之间,弧形压块移动对弹簧进行拉伸,使得弹簧产生弹力,弹簧的弹力便于弧形压块的复位移动。(专利申请号: CN201922380079.6 公开号: CN212238724U 申请日: 2019.12.26 公开日: 2020.12.29 申请人: 无锡市斯蒂欧管业有限公司)

(王元荪)