

文章编号: 1000-8241(2015)07-0723-04

油气管道通径检测器三通检测技术

李晓龙 张仕民 赵春华 王焱 廖宁生

中国石油大学(北京)机械与储运工程学院, 北京 102249

摘要: 通径检测器作为管道内检测必不可少的工具,在解决管道安全隐患问题上发挥着不可替代的作用。基于通径检测器的检测原理,对其通过三通管段时检测臂的摆动状态进行分析,得出靠近旁通段检测臂倾角的变化情况,即越靠近旁通段管道中心线,倾角变化越大,极限倾角为 0° ;同时得出检测臂倾角为 0° 的最大扇形区域,总结了不同结构检测器的检测臂处于扇形区域的数量及概率;根据检测臂倾角为 0° 时的数量特征,提出了一种新型的三通识别算法,有效避免了通径检测器误检测现象的发生,提高了检测精度。研究成果对通径检测器技术的研究和发展具有指导意义。(图6,参13)

关键词: 管道; 通径检测器; 三通检测; 倾角状态

中图分类号: TE978

文献标识码: A

doi: 10.6047/j.issn.1000-8241.2015.07.009

Tee detection with caliber detector for oil and gas pipeline

LI Xiaolong, ZHANG Shimin, ZHAO Chunhua, WANG Yan, LIAO Ningsheng

College of Mechanical and Transportation Engineering, China University of Petroleum (Beijing), Beijing, 102249

Abstract: As an essential tool for pipeline inline inspection, the caliber detector plays an irreplaceable role in eliminating the hazards of pipeline. Based on the principle of the caliber detector, the swing of detection arm when the detector passes the tee section is analyzed. The dip-angle changes of the detection arm close to the bypass section are obtained – the closer to the center line of the bypass pipe, the more greatly the dip-angle changes (to the limit of 0°). Moreover, the biggest fan area when the detection arm angle is 0° is obtained. The number and probability that the detection arms of the detectors with different structures stay in the fan area are defined. According to the quantity when the detection arm angle is 0° , a new tee recognition algorithm is put forward, which can effectively avoid false detection and improve the detection precision of the caliber detector. The research results provide significant reference for research and development of caliber detector technology. (6 Figures, 13 References)

Key words: pipeline, caliber detector, tee detection, dip-angle state

目前,国内外研究了阴极保护测量、地面检查、泄漏检测、水压试验、开挖找寻和管道内检测等多种评估检测管道安全状况的方法^[1-2]。其中,管道内检测法因能准确掌握管道内部缺陷信息,从根本上防止管道事故发生,是现有方法中最可靠、最有效的方法之一。通径检测器作为典型的管道内检测器,具有通过性好、检测精度高等优点,在世界范围内得到广泛应用^[3-13]。油气管道内部环境复杂,通径检测器依靠其独特的检测原理可以识别管道内部的各种凹陷及凸起缺陷。同时,管道内部存在三通、弯道等特殊管段,通径检测器经过此类管段时易将三通等特殊管段误识别为大变形等管道缺陷,从而引起不必要的开挖工程,造成人力物

力的浪费。因此,从通径检测器的检测原理出发,研究了其通过三通时检测臂的运动状态,并在此基础上提出了一种新型的三通判断识别算法,实现了三通管道的检测,有效降低了通径检测器的误检率,对通径检测器技术的研究和发展具有一定的指导意义。

1 通径检测器的原理

通径检测器(图1)主要由防撞头、骨架、皮碗、里程轮、数据采集处理单元、检测单元及发射机组成^[8]。

通径检测器的皮碗用于支撑骨架使其保持在管道中间,同时给通径检测器运行提供动力。里程轮用于

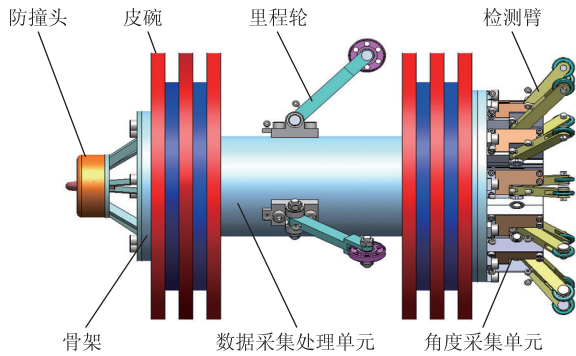


图1 通径检测器结构示意图

里程以及运行速度的记录。发射机不断向管道外部发射电磁信号,确保内检测器遇卡时能通过管内外通讯实现定位。通径检测器的核心部件为检测单元和数据采集处理单元,其中检测单元包括检测臂和角度采集单元。在检测运行过程中,检测臂依次划过管道内表面,根据管道内表面的形貌不同检测臂会发生摆动,检测臂的摆动角度通过角度记录单元进行记录传递给数据采集处理单元,提取管道内部特征。检测单元均匀布置在检测器骨架周围,周向布置的检测单元数量越多,其周向检测精度越高。由检测原理(图2,其中A~D为探针端部所处位置)可知,缺陷的长度值与通径检测器运行速度成正比,缺陷的高度值与检测臂摆动角度成正比,具体表达式为:

$$s = vt \tag{1}$$

$$\Delta h = H(\cos\Delta\alpha + \tan\alpha\sin\Delta\alpha - 1) \tag{2}$$

式中: s 为缺陷沿管道轴线方向的长度值; v 为检测器的运行速度; Δh 为缺陷沿管道径向的高度值; H 为检测臂距管壁的垂直高度; α 为检测臂的初始倾角; $\Delta\alpha$ 为检测臂的角度变化值。

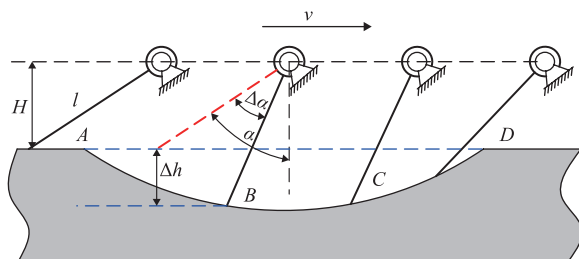


图2 通径检测器检测原理示意图

2 三通检测状态分析

通径检测器在检测运行过程中会遇到不同形态的缺陷特征,包括管道大变形、腐蚀凹坑、焊瘤及焊缝等。如果通径检测器的周向检测精度足够高,则可以实现

管道内部形貌特征的准确还原提取,但通常情况下,周向检测臂的数量有限,即检测精度有限,故管道的大变形段与管道的三通段易产生混淆,导致误检测。为了提高检测的准确性,减少误检测现象的出现,需要对通径检测器经过三通的运行状态进行分析,进而区分其与大变形管段检测特征。

当通径检测器运行至三通段时,靠近三通段一侧的检测臂倾角会发生改变,根据通径检测器结构和周向检测臂数量的不同,发生倾角变化的检测臂数量也不相同(图3)。由三通段的结构可知,越靠近旁通段管道中心位置,检测臂倾角变化越完全,因研究的是对三通的识别和判断,故对检测臂通过旁通段管道中心的瞬时位置进行分析。图3中A-A视图即为检测臂所在截面与旁通段管道中心线重合时的轴向视图,可见部分检测臂在管道截面方向的投影长度变大,且越靠近旁通管道中心线,投影长度变化越大,同理,检测臂倾角变化越大。

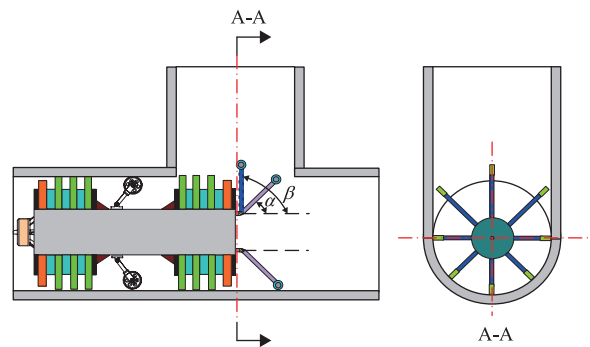
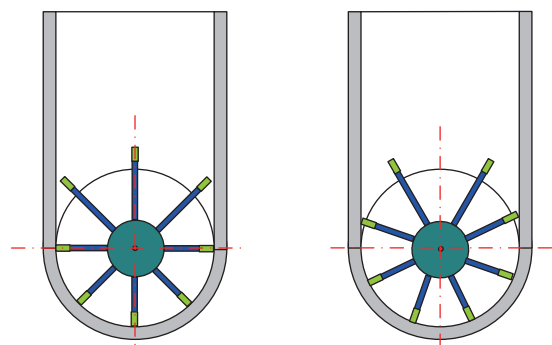


图3 通径检测器三通管段检测示意图

此外,由于通径检测器在检测运行过程中不可避免会发生旋转,因此,当通过旁通段管道中心位置时检测臂的具体分布具有随机性。图4所示两种状态即为通径检测器的两个理想位置状态,其余状态均为分布于这两个理想位置中间的状态。



(a)理想位置1 (b)理想位置2

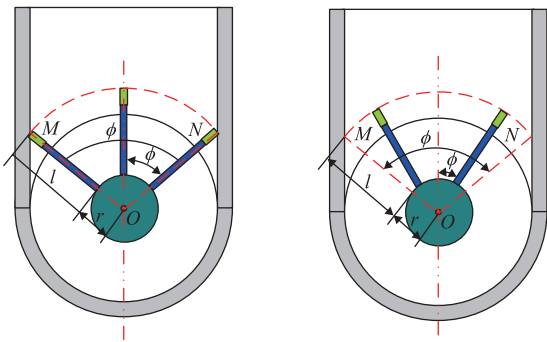
图4 旁通管段检测臂理想位置截面示意图

检测臂发生倾角变化的数量与管道尺寸、检测器骨架结构及尺寸有关,根据通径检测器的检测原理(图2),即与检测臂的安装高度*H*及检测臂初始倾角 α 有关。在*H*和 α 一定的前提下,当检测臂经过旁通段的中心位置时,处于OMN扇形区域(图5)的所有检测臂的倾角将变为 0° 。由图5几何关系可知扇形区域OMN满足:

$$OM=l+r \quad (3)$$

$$\phi=180^\circ-2\arccos\frac{l\cos\alpha+r}{l+r} \quad (4)$$

式中: ϕ 为三通中心位置扇形区域对应的圆心角;*l*为检测臂的长度;*r*为内骨架的半径。



(a)无约束检测臂分布位置1 (b)无约束检测臂分布位置2

图5 旁通管段无约束检测臂分布示意图

假设通径检测器周向均匀布置*n*个检测臂,则相邻两个检测臂之间的夹角 φ 满足式(5):

$$\varphi=\frac{360^\circ}{n} \quad (5)$$

针对图5所示两种状态,分析不同型号通径检测器经过三通段管道时检测臂倾角变化为 0° 的数量*m*。

(1)若 $\phi/\varphi=k$ (*k*为正整数),则说明扇形区域所对应的圆心角是相邻两检测臂之间角度的整数倍。此时,当通径检测器运行满足图4a所示状态时,处于扇形区域的检测臂数量达到最大值,即满足:

$$m=k+1 \quad (6)$$

当通径检测器运行满足图4b所示状态时,处于扇形区域的检测臂数量达到最小值,即满足:

$$m=k \quad (7)$$

分析可知,当且仅当通径检测器处于图4a所示状态时才能满足式(6),其余任何状态均满足式(7)。

(2)若 $\phi/\varphi\neq k$ (*k*为小于 ϕ/φ 的最大正整数),则说明扇形区域所对应的圆心角与相邻两检测臂之间的角度无倍数关系。此时,若通径检测器运行满足图4a的

状态时,处于扇形区域的检测臂数量同样达到最大值,即满足式(6)。当通径检测器运行至图4b的状态时,处于扇形区域的检测臂数量不能确定,既有可能满足式(6),也有可能满足式(7)。

假设 w 为 ϕ/φ 的余数,则满足式(6)的概率*q*为:

$$q=\frac{w}{2\varphi} \quad (8)$$

满足式(7)的概率*q'*为:

$$q'=1-\frac{w}{2\varphi} \quad (9)$$

通过分析上述两种情况可知,无论*k*为正整数还是非正整数,处于扇形区域OMN的检测臂的数量都有两种结果。当*k*为正整数时,检测臂处于扇形区域的数量取得最大值的概率很小,有且仅有一种特殊状态。当*k*为非正整数时,检测臂处于扇形区域数量的概率与 ϕ/φ 的余数*w*相关,余数越大,检测臂处于扇形区域的数量取得最大值的概率越大,反之,检测臂处于扇形区域的数量取得最小值的概率越大。

3 三通识别算法

综上所述可知,通径检测器检测臂截面运行至旁通段管道中心位置时,检测臂倾角变化为 0° 的数量*m*不同。由通径检测器的结构和管道内径可以计算求得*m*值。基于此特性,提出了一种基于通径检测器技术的三通判断识别方法,即通过判断检测臂倾角变化为 0° 的数量来判别是否经过三通段管道。

检测过程中首先赋予周向一圈检测器相同的初始倾角 α ,通过检测单元采集检测臂角度变化值,并将角度变化值传递给数据处理单元进行在线数据处理,判断检测臂倾角变化为 0° 的数量*m*:如果*m*满足系统设定的三通识别值,即可判定为三通管道;如果不满足三通识别值,则判定为管道大变形(图6)。

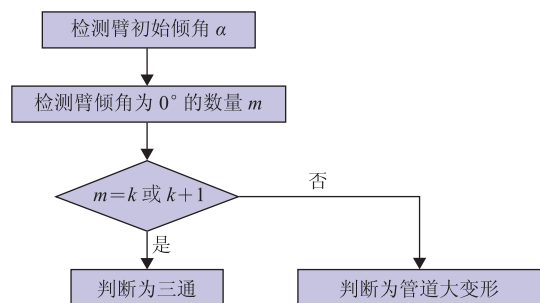


图6 三通识别算法流程图

4 结论

以通径检测器的检测原理为基础,分析了检测器通过三通段管道时检测臂的运行状态。当通径检测器运行至三通段管道时,靠近旁通段附近的检测臂会发生倾角的变化,根据距离旁通段管道中心线远近不同,其检测臂倾角变化的角度各不相同。同时,由三通段的结构可知,检测臂所在截面越靠近旁通段管道中心截面位置,检测臂发生倾角变化越完全,因本研究是针对三通的识别和判断,故对检测臂通过旁通段管道中心的瞬时位置进行了分析。结果表明:通径检测器通过三通段时,靠近三通段附近存在一个扇形区域,当检测臂处于扇形区域内时,其检测臂的角度变化值最大,倾角变化为 0° 。

综合考虑通径检测器在运行过程中的旋转现象,对不同运行状态下处于扇形区域的检测臂数量进行了相应的概率分析。结果表明:无论扇形区域中心角与相邻两检测臂夹角之间是否呈倍数关系,处于扇形区域内的检测臂数量均存在两种可能,且两种情况检测臂数量差值为1。当扇形区域中心角与相邻检测臂夹角呈倍数关系时,当且仅当检测臂与旁通段管道中心线重合时,处于扇形区域内的检测臂数量才会达到最大值,其余情况检测臂数量均为最小值。当扇形区域中心角与相邻检测臂夹角不呈倍数关系时,处于扇形区域内的检测臂数量达到最大值的概率与扇形中心角和检测臂夹角商值的余数相关,余数越大,检测臂处于扇形区域的数量取得最大值的概率越大,反之,检测臂处于扇形区域数量取得最小值的概率越大。

通过对检测臂经过三通段运行状态进行分析,结合通径检测器的检测原理,提出了一种新的三通管段识别算法,有利于准确实现三通管段的识别,有效降低了误检率,避免了不必要的管道开挖造成的经济、人力损失,对通径检测器技术研究具有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] 代莉莎,张仕民,朱霄霄,等. 油气管道通径检测器技术研究进展[J]. 油气储运, 2012, 31(11): 808-813.
- [2] 郭晓丽. 油气管道通径仪研究[D]. 天津: 天津大学, 2007.

- [3] 白港生. 新型管道测径清管器[J]. 化工设备与管道, 2008, 45(5): 58-59.
- [4] ALBERT B Cox. Caliper: US, 395947[P]. 1929-9-28.
- [5] YASUSHI Yonemura, KIICHI Suyama, RYUJI Sakasai. Method and instrument for measuring inside diameter of conduit: US, 6895681 B2[P]. 2005-5-24.
- [6] JEFFREY S, KEVIN W. Pipeline caliper PIG: US, 5088336[P]. 1991-9-4.
- [7] JEFFREY S, KEVIN W. Pipeline caliper PIG: US, 4953412[P]. 1992-2-18.
- [8] DENNIS R Smith. Bend detector PIG: US, 4930223[P]. 1990-6-5.
- [9] DWANE O Laymon, JAMES M Berry. Bend detector for a pipeline PIG: US, 4628613[P]. 1986-12-16.
- [10] DENNIS R Smith. Bend detector PIG: US, 4780962[P]. 1988-11-1.
- [11] DONG Kyu Kim, SUNG Ho Cho, SEOUNG Soo Park. Development of the caliper system for a geometry PIG based on magnetic field analysis[J]. KSME International Journal, 2003, 17(12): 1835-1843.
- [12] CAMERINI Claudio, FREITAS Miguel. Feeler pig - A new tool for multi-size pipeline inspection[C]. Houston: ECNDT, 2006.
- [13] CAMERINI Claudio, VON DER WEID Jean Pierre, FREITAS Miguel, et al. Feeler pig: A simple way to detect and size internal corrosion[C]. 7th International Pipeline Conference, Calgary, Alberta, Canada, September 29-October 1, 2008.
- (收稿日期:2014-07-27; 修回日期:2015-04-23; 编辑:关中原)



作者简介: 李晓龙,在读博士生,1988年生,2011年毕业于青岛理工大学机械设计制造及其自动化专业,现主要从事管道清管、内检测装备研究。

LI Xiaolong, Ph.D candidate, born in 1988, graduated from Qingdao Technological University, machine design manufacture and automation, in 2011, engaged in the research of the pipeline pigging and inline inspection equipment.

Tel: 18810415282, Email: xiaolonglee@163.com