

漏磁内检测器磁路系统通过性能提升

雷海

(中海石油(中国)有限公司天津分公司 天津 300450)

摘要: 为进一步提升海底管道漏磁内检测器通过性能,使内检测器在直管段及最小弯头处能通过更大的缩径,对内检测器在管道中运行时的整体受力情况进行了分析,并对漏磁节焊接强度及螺丝所提供的拉力进行了进一步计算。在通过 ANSYS 进行整体有限元强度分析后,对内检测器漏磁节结构系统进行了整体优化,包括受力轴直径、磁路浮动限位销轴和磁路系统,最后在直管和弯头处进行了通过性模拟仿真。

关键词: 漏磁内检测器; ANSYS; 磁路浮动限位; 磁路系统; 弯头

0 引言

油气管道是能源输送大动脉。近年来,油气管道安全得到社会广泛关注。管道内检测技术是用于判断管道腐蚀失效风险并使之量化的一种管道完整性管理工具。漏磁检测是目前较为成熟且工业应用最为广泛的管道内检测技术。应用该技术能检测出管道内/外腐蚀产生的金属损失缺陷,对被检测管道清洁度要求低,可兼用于输油和输气管道。通过在线检测,可以对缺陷进行识别、定位和量化统计,是指导管道合理维修、开展管道完整性管理工作的重要手段。但由于海底管道特殊的作业条件要求,基于管道机械测径数据,目前许多海底管道因变形不满足常规内检测器的管道通过性要求。基于以上现状,对现有海底管道漏磁内检测器磁路系统通过性升级,从而实现漏磁内检测器在整体通过性水平上的技术提升。

1 研究目标

内检测器磁路系统主要由耐磨垫、衬铁、永磁铁、轭铁、传感器和其他机械结构组成(图1)。

在保证设备强度满足作业的条件下,将8吋漏磁内检测器直管段通过性能提升到170mm,将8吋漏磁内检测器弯头通过性能提升到弯曲半径3D。

2 内检测器磁路系统强度计算

2.1 计算任务

8吋漏磁检测器在

使用过程中受到管内压力的作用,推动漏磁检测器在管内向前移动的动力来源于设备两端的压力差。基于之前的作业经验,内检测器两端的压力差不超过1MPa,考虑100%的安全系数,内检测器两端压力按2MPa计算。在管道末端,需要采用拖拉的方式将漏磁检测器从管道中取出,动力源来自2t的牵拉倒链。

主要校核内容为整体强度校核、主轴焊接强度校核及受拉时螺丝的强度校核。

2.2 计算校核

在整个计算校核中,按照内检测器两端的压力差2MPa、管内径170mm计算,漏磁检测器受到的压力根据公式 $F=PA$ 计算:

$$F=PA=2 \times 3.14 \times 170 \times 170 \div 4=45373N$$

式中: P —管内压力(MPa);

A —管内截面积(mm^2)。

通过计算可知,内检测器两端的压力差所产生的拉力约为45.4kN,远大于倒链最大拉力20kN,故后续计算按45.4kN计算。

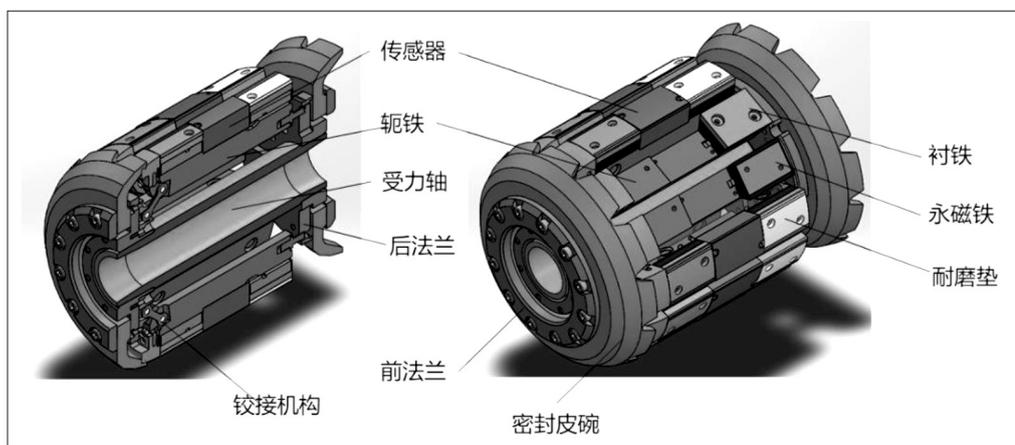


图1 内检测器磁路系统

3 漏磁内检测器磁路系统优化设计

3.1 漏磁内检测器磁路系统形式

由于漏磁检测器的每瓣结构是铰接形式，可以通过摆杆绕支点摆动，每瓣机构的末端通过导向柱在导轨上滑动，所以漏磁检测的外径是变化的。

3.2 受力轴尺寸确定

- (1) 轴内径需要穿线，定义内径为 30mm；
- (2) 考虑轴受力情况，初步假定轴壁厚确定 10mm。

3.3 后法兰盘确定

内检测器磁路系统在空间足够大的情况下，磁路系统后端的限位法兰决定了其浮动的上限和下限。

- (1) 当导向柱到达最高点时，整个漏磁检测外径最大（图 2）。
- (2) 当导向柱到达最低点时，整个漏磁检测器的外径最小（图 3）。

根据需求重新设计了后法兰的上/下限位孔，张开后最大外径 210mm。收缩后最小尺寸 164mm，此时侧向间隙 1.47mm（图 4），满足 8 吋漏磁内检测在最小 170mm 管道中应用的条件。

3.4 磁路浮动机构优化

上述两方面的优化给后续的磁路系统优化提供了足够空间，在保证总体强度的前提下，减小了受力轴的直径，降低了最低限位点的位置。通过机械计算，设备磁路浮动机构总体厚度小于 60mm，长度需小于 246.91mm（图 5）。

根据有后续的磁路系统磁场仿真结果，设备磁路浮动机构总体厚度 46.8mm，长度需 177mm，满足了前期机械计算要求。

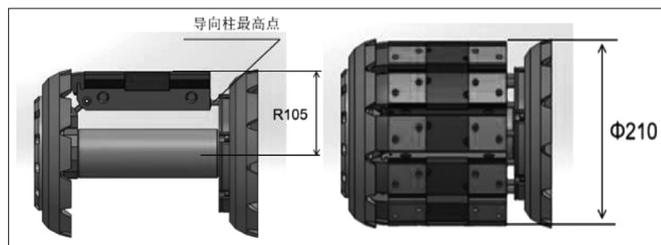


图 2 导向柱最高点

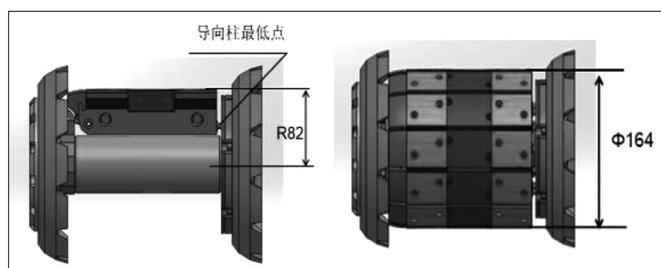


图 3 导向柱最低点

4 强度计算

4.1 整体强度仿真计算

使用分析软件 ANSYS17.0 对漏磁检测器的整体强度进行分析。为简化分析过程，对漏磁检测器进行了简化处理，主要是对主轴进行了强度分析校核。

计算结果显示，漏磁检测器所受的最大应力为 200MPa，远远小于主材外钛合金 TC4 的屈服强度 860MPa，故漏磁检测器的强度满足使用要求。

4.2 焊接强度计算

漏磁检测器的主轴通过如图 6 所示的 4 个坡口焊连接固定在一起，其中 1 和 2 两个焊口将左侧法兰与轴连接在一起，3 和 4 两个焊口将右侧法兰与轴连接在一起。在受力过程中，1 和 2 共同受力，3 和 4 共同受力。

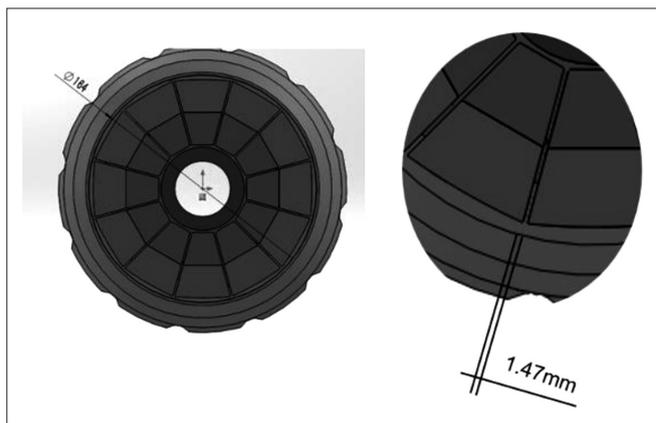


图 4 侧向间隙

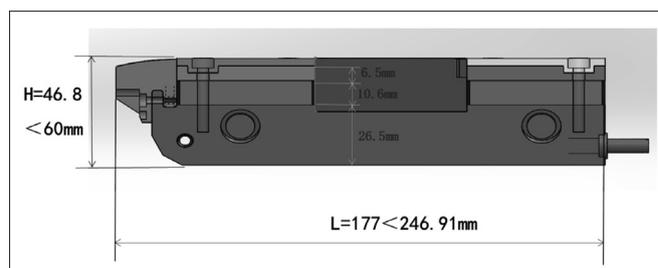


图 5 磁路浮动机构尺寸

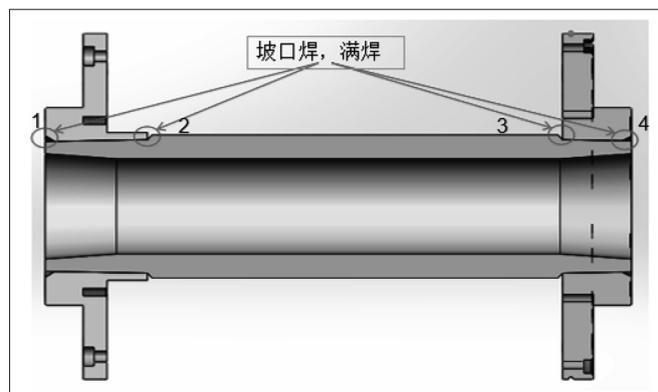


图 6 内检测器主轴

参考《机械设计手册》第一卷第三章,及 GB 50017-2017《钢结构设计规范》第七章第一节,焊接强度计算公式为:

$$\sigma^N = \frac{F}{h_e l_{w1} + h_e l_{w2}}$$

式中: σ^N —轴向拉力 F 产生的应力;

h_e —焊缝计算厚度;

l_w —焊缝计算长度。

如图 6 所示,焊口 1 的焊接长度为 171.21mm,焊口 2 的焊接长度为 175.9mm。根据 GB 50017-2017《钢结构设计规范》,计算焊接长度与实际长度减去 10mm,焊缝计算厚度按照 1mm 计算,则:

$$\sigma^N = \frac{F}{h_e l_{w1} + h_e l_{w2}} = \frac{45373}{1 \times 171.2 + 1 \times 175.9} = 133.6$$

根据规范,焊口强度要大于母材强度,而母材为钛合金 TC4,其屈服强度是 860MPa,远远大于计算所得的 133.6MPa,故焊接强度满足使用要求。

4.3 螺纹连接机构强度计算

内六角螺丝所需提供的拉力最大为 45.4kN,当前设计为 8 个螺栓 M6 (图 9),这样每个螺栓的需提供的拉力最大约为 5.7kN,而单个钛合金 M6 螺丝能承受的极限拉力为 13.7kN,故满足使用要求。

根据漏磁检测器的整体强度及焊口、螺丝的分析计算结果可知,漏磁检测器满足使用要求。

5 漏磁内检测器磁路通过性模拟

为进一步验证内检测器磁路系统优化后的通过性能,在进行机械计算的基础之上,对优化后的结构又进行了三维仿真模拟。

5.1 直管段模拟

(1) 漏磁检测器模拟钢管内径: 200.1mm、壁厚 9.5 的直管段通过性。

(2) 漏磁检测器模拟钢管内径: 190.5mm、壁厚 14.3 的直管段通过性。

(3) 漏磁检测器模拟钢管

内径: 170mm 的直管段通过性。

对直管段进行三维仿真模拟得出,在弯曲半径是 3D 和 1.5D 的情况下,新的漏磁检测器可以通过内径为 190mm 的管线。

5.2 弯头模拟

(1) 漏磁检测器模拟 3D ($D=219$) 弯头内径 190mm 的通过性。

(2) 漏磁检测器模拟 1.5D ($D=219$) 弯头内径 190mm 的通过性。

结论:在弯曲半径是 3D 和 1.5D 的情况下,新的漏磁检测器可以通过内径为 190mm 的管线。

6 试验测试

为进一步验证优化后的漏磁内检测器磁路系统的通过性,依托中海油海底管道检测技术验证评价试验平台 (图 7) 进行了环路通过性试验。

试验条件为直管段内径 170mm (图 8),弯管弯曲半径 1.5D,输送介质为水,入口压力 1MPa。

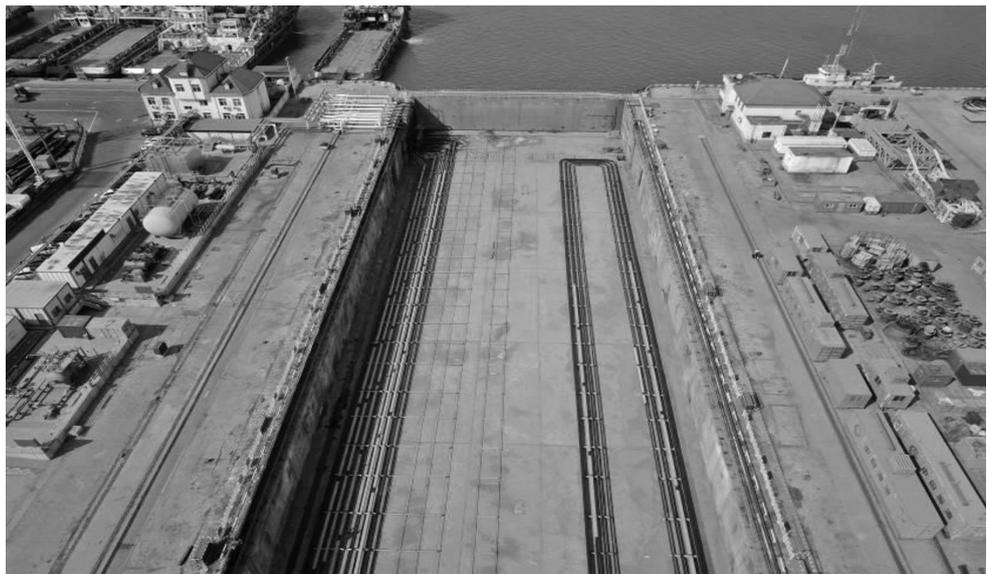


图 7 中海油海底管道检测技术验证评价试验平台



图 8 直管道端照片 (170mm)

(下转第 34 页)

(1) 为保证夹紧力测试的精度和准确性,在测试过程中增加温度补偿是有必要的。

(2) 温度对螺纹连接副的夹紧力影响比较明显并且呈线性强正相关。

(3) 通过理论计算和试验可以得出,在标定温度以下(-12 ~ 22℃),温度对夹紧力的影响为0.56kN/℃,在标定温度以上(22 ~ 44℃),其影响度为0.21kN/℃。

参考文献:

[1] 钱祖文. 非线性声学[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 234-360.

[2] 闻邦椿. 机械设计手册(第6版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2018.

[3] 酒井智次. 螺纹紧固件联接工程[M]. 柴之龙, 译. 北京: 机械工业出版社, 2016.

[4] 何桢主. 六西格玛管理(第三版)[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2014.

作者简介: 王莉梅(1985-), 女, 汉族, 四川泸州人, 本科, 工程师, 研究方向: 整车紧固件模拟装配; 徐波(1989-), 男, 汉族, 浙江宁波人, 本科, 工程师, 研究方向: 整车紧固件模拟装配。

(上接第30页)

优化后的内检测器,在170mm直管内径、1.5D弯头半径通过性试验中,全程压力运行平稳,取球后检查设备结构完整,试验取得成功。

7 结语

优化后的漏磁检测器磁路系统,可以通过直管段的最小内径为170mm,可以通过弯头最小弯曲半径为1.5D。优化效果超出预期指标要求,实现了漏磁内检测器在通过性的水平上的技术提升,使混输及天然气介质条件下内检测器通过性能进一步提升,降低内检测作业风险,避免因部分管道变形无法进行常规内检测。对该类型管道进行完整性管理,可进一步提升高风险管道完

整性管理水平,降低管道溢油风险。

参考文献:

[1] 武万辉, 郭勇, 王同德, 等. 管道漏磁检测技术及应用[J]. 管道技术与设备, 2009(2): 33-34.

[2] 陈正阁, 王长龙, 梁四洋. 基于ANSYS软件的管道漏磁场分析[J]. 火力与指挥控制, 2008, 33(12): 26-29.

[3] 张喜艳, 谭跃刚. 管道缺陷漏磁检测信号的仿真[J]. 测量与检测技术学, 2008, 35(08): 58-61.

作者简介: 雷海(1973.05-), 男, 汉族, 河南灵宝人, 本科, 研究方向: 机械设备。