

焊接钢管径向偏差测量工具的新型设计

吴禹胜, 赵增强, 吴来友, 代志健

(山东胜利钢管有限公司, 山东 淄博 255082)

摘要: 分析了目前测量焊接钢管管端噤嘴和径向偏差时存在的问题, 提出了一种全新的测量方法, 并设计了一种专用测量工具。测量原理是: 在钢管外壁以外的空间内建立空间参照圆, 以空间参照圆为基础建立虚拟的钢管理想圆轮廓线, 将钢管理想轮廓线标定为相对零点, 通过测量钢管外壁与钢管理想轮廓线的距离, 从而得到噤嘴尺寸。该方法解决了现有测量方法的不合理和测不准问题, 且不需要制作大量模板或标定试块, 适用于管端噤嘴、管端及管体径向偏差的测量, 经济性好, 通用性强。

关键词: 埋弧焊管; 测量; 噤嘴; 径向偏差; 理想圆轮廓线; 相对零点

DOI:10.19938/j.steelpipe.1001-2311.2021.1.70.74

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



New Design of Tool for Measuring Radial Deviation of Weld Steel Pipe

WU Yusheng, ZHAO Zengqiang, WU Laiyou, DAI Zhijian

(Shandong Shengli Steel Pipe Co., Ltd., Zibo 255082, China)

Abstract: Analyzed in the essay are the existing problems for measuring the end pout defect and radial deviation of the weld steel pipe. Accordingly a quite new measurement method is proposed, and a special tool is designed. The operation principle of the tool is described as follows. Setting a reference circle in the space outside the outer surface of the steel pipe based on which the virtual contour line of the ideal circle of the pipe is established. Then getting this ideal contour line calibrated as the zero point to obtain the dimensions of the end pout by means of measuring the distance between the outer surface of the pipe and the said ideal contour line. Thanks to the measurement method, the problems of irrationality and inaccuracy as staying with the currently-used measurement method is fixed, and moreover it no longer needs to prepare huge quantity of the template and the reference block. The said measurement tool is suitable for measuring pipes with end pout defect, and end and body radial deviations, having high economy and generality.

Key words: SAW pipe; measurement; pout defect; radial deviation; ideal circle contour line; relative zero point

焊缝噤嘴是输送管道用焊接钢管制造中普遍存在的一种几何缺陷, 其严重程度取决于钢管成型工艺设计(如成型角的选择)和制造技术水平^[1]。当管道承受内压作用, 焊缝噤嘴会产生附加弯曲应力, 附加弯曲应力和内压产生的薄膜应力叠加, 在管道内表面噤嘴部位产生应力集中, 从而导致管道承载能力下降, 并增加应力腐蚀开裂敏感性^[2], 降低疲劳寿命^[3-4]。该缺陷的存在也不利于现场施工的管

端对接, 有可能增加环焊缝对接的焊接缺陷。

API Spec 5L—2018《管线钢管规范》及 GB/T 9711—2017《石油天然气工业 管线输送系统用钢管》规定: 除摔坑外, 在钢管成型或制造操作过程中造成的, 钢管实际轮廓相对于钢管正常圆柱形轮廓的几何偏离(如扁平块和噤嘴), 偏离值超过 3.2 mm 应判为缺陷, 并应切除存在缺陷的部分或整根拒收; 应在埋弧焊管和组合焊管管端焊缝处, 用模板测量扁平块和噤嘴相对于钢管理论轮廓的最大偏离, 模板垂直于钢管轴向, 且长度为 0.25D 或 200 mm(8.0 in)的较小者^[5]。国内大型企业的企业标准

吴禹胜(1971—), 男, 满族, 工程硕士, 高级工程师, 长期从事螺旋焊管生产、检验的技术和管理工作。

及重要油气管线的技术条件一般都更严格,如中国石化企业标准 Q/SHCG 24.2—2015《天然气输送管道用钢管技术条件 第2部分:埋弧焊钢管》、中国石油油气储运项目设计规定 CDP-S-NGP-PL-006-2014-3《天然气管道工程 钢管技术规格书》、中国石化鄂安沧管道工程项目技术规格书 SPE-1000MA01-01 等明确了焊缝处噤嘴的测量范围并且加严了要求:焊缝两侧各 50 mm 弧长范围内局部区域与钢管理想圆弧的最大径向偏差不得大于 1.5 mm^[6]。中国石化青宁输气管道工程中出现了新的加严规定:焊缝两侧各 50 mm 弧长范围内局部区域与钢管理想圆的最大径向偏差不得大于 1.5 mm,管端任意 1/3 弧长范围内局部区域与钢管理想圆的最大径向偏差不应大于 2.5 mm^[7]。该标准对管端径向偏差的控制从常规的管端噤嘴扩展到管端 1/3 弧长范围,把管端径向偏差的控制范围进行了加严和扩大。由此可见,随着国内外对高压输送管道质量要求的提高,管道标准制定者和使用者越来越重视焊缝的噤嘴问题。

相关标准中仅针对管端焊缝 50 mm 范围内噤嘴明确提出采用模板垂直钢管轴向进行测量,但未给出具体的测量方法,已有的文献中对这方面的研究和解决方案存在不合理和测不准的问题。对管端 1/3 弧长范围内径向偏差的测量研究则未见有文献表述。由此,本文将就管端噤嘴及径向偏差的测量的方法进行更深入的探讨。

1 现有测量管端噤嘴及径向偏差的方法

现有测量管端噤嘴及径向偏差的方法大致可分为垂直轴线测量法和平行轴线测量法^[8]。

1.1 垂直轴线测量法

垂直轴线测量法按测量时支撑形式可分为弧面贴附模板法和固定支腿工具法,按在钢管上的放置位置又可分为内壁测量法和外壁测量法。以弧面贴附模板法为例,内、外壁测量法如图 1 所示。目前钢管尺寸验收通常在钢管外壁上进行,因此较少采用内壁测量法。

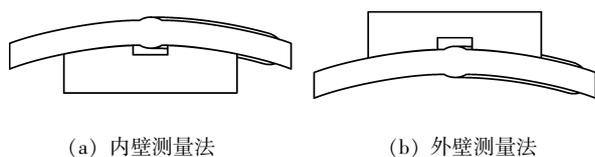


图 1 弧面贴附模板法钢管噤嘴内外壁测量示意

(1) 弧面贴附模板法。

对于焊缝两侧各 50 mm 弧长范围内的噤嘴测量,弧面贴附模板的使用方法如图 2 所示。选择与实测钢管直径相当的理想圆模板,模板中间底部有开口,将模板垂直于焊管轴线放置,开口跨过焊缝,其余圆弧紧贴在螺旋缝焊管外壁,通过测量模板中位槽底面与管体表面的距离来确定噤嘴的大小。测量不同位置的噤嘴量,则需移动模板使模板中心对准测量点。

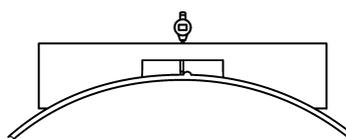


图 2 弧面贴附模板法测量示意

该方法的测量假设前提为:该工具的圆弧部分能与钢管外壁完全紧密贴合,贴合部分的钢管外壁是理想圆弧。

对于管端 1/3 弧长范围的径向偏差噤嘴测量,目前仅有弧面贴附模板法。其模板实质上是测量焊缝两侧 50 mm 范围内噤嘴模板的放大版,即将模板内圆弧弧长扩展到 1/3 弧长,只是模板外侧由直线变成了弧线,采用塞尺等测量径向偏差尺寸,1/3 弧长模板法如图 3 所示。对于某一固定尺寸模板,即使钢管外径是理想圆弧,也会产生 3 种外壁贴附情况,如图 4 所示。其中图 4(b)和图 4(c)的测量贴附情况会产生明显的测量误差。

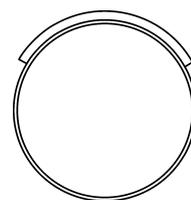


图 3 1/3 弧长模板法示意

(2) 固定支腿工具法。

固定支腿工具法对弧面贴附模板法作了改进,固定支腿工具法测量如图 5 所示。该工具支座有一定的宽度,支座与钢管线性接触,测量时支座可平稳放置,支座中心处固定安装有百分表。使用前,先利用校准模块(理想圆弧模块)在百分表上标定出相对零点,然后将测量支座垂直于螺旋缝焊管轴线放置,百分表对准测量位置进行测量。移动测量工具,可测量不同位置的噤嘴尺寸。

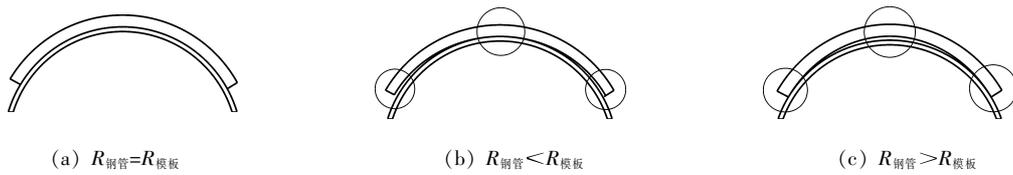


图4 1/3弧长模板法与理想钢管外壁贴附情况

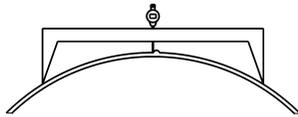


图5 固定支腿工具法测量示意

1.2 平行轴线测量法

平行轴线测量法通常应用于内焊后、外焊前。在钢管外壁上采用平行焊管轴线放置的钢直尺来测量焊缝噤嘴，但这时候的噤嘴与标准中的噤嘴有一定的区别，该方法主要用于及时调整钢管的成型。平行轴线测量法比较简单，这里就不再赘述。

2 新型的管端噤嘴及径向偏差测量工具

2.1 现有测量工具存在的问题

2.1.1 测量准确性分析

现有工具均采用形状固定的实体工具进行测量，当固定实体工具的内轮廓上有两个点(或固定支腿工具法的两支腿)与钢管外壁接触，则实体工具与钢管外壁的相对位置就完全确定。只有当两个接触点处钢管半径与标定用模具的理想圆半径均相等(或固定支腿工具法的两个接触点处钢管半径相等)，才能准确测量工具中点位置对应的管端噤嘴及径向偏差，否则测量基准偏离，测量结果的准确性无法保证^[9]。

2.1.2 连续测量分析

现有垂直轴线测量法工具，测量点只能在模板或工具的中间位置进行测量，测量下一个位置时，需要移位进行，无法实现一次放置即可进行支点间全位置的连续测量。

2.1.3 经济性分析

对于任意一种规格的钢管，实际生产出的钢管管端管径是一个变化值。若要进行相对准确的测量，弧面贴附模板法需要制作大量模板，固定支腿工具法需要制作大量标定模块。

2.2 新型工具的测量原理及设计方法

2.2.1 测量原理

噤嘴及径向偏差是指钢管局部区域与钢管理想

圆弧的径向偏差。根据这一概念，说明测量的假设前提为：钢管的圆心与钢管理理想圆的圆心两者共心，且圆心唯一。而实际钢管截面并非标准圆形，因此唯一圆心也仅是在工程上为了实现噤嘴测量而作出的测量假设。

由于钢管的理想圆是基准圆，因此需要构建一个钢管理理想圆轮廓线。该轮廓线存在于空间中，可能落于钢管外轮廓上，也可能落于钢管的内部或外部。因此为测量理想圆轮廓线与钢管轮廓的径向偏差，则不应与实际钢管存在实体接触。要实现这一目的，应首先在钢管外壁以外的空间上建立一个与实测钢管同心的参照圆，继而在空间上建立钢管理理想圆轮廓线。通过测量钢管外壁与钢管理理想圆轮廓线的径向差值，可获得相对准确的噤嘴尺寸。

噤嘴测量原理及测量工具结构如图6所示。该测量工具包括参照圆模板(5、7、8、9、10、15、16、17)、测长组件(1、2、3、11)和相对零点标定构件(12、13、14)。

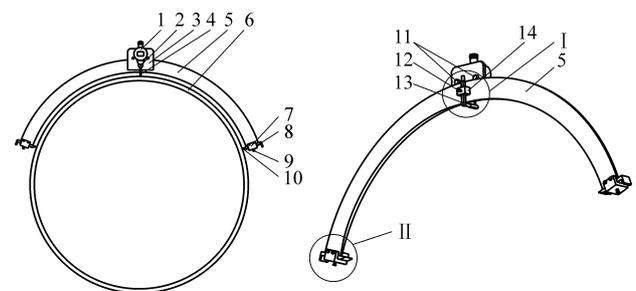


图6 噤嘴测量原理及测量工具结构示意图

- 1—数显百分表 2—固定块 3—贴附平板 4—探针
5—参照圆模板 6—待测钢管 7—安装座 8—支腿
9—锁紧件一 10—直线型刀口 11—支撑滚轮
12—锁紧件三 13—直角零点标定块 14—装配块
I—相对零点标定构件 II—可调支腿简易结构

图6 噤嘴测量原理及测量工具结构示意图

2.2.2 新型测量工具的设计示例

现以中国石化青宁输气管道工程 $\Phi 1016 \text{ mm} \times 17.5 \text{ mm}$ 钢管为例来说明管端噤嘴及径向偏差专用测量工具的使用方法。

采购文件对管端噤嘴及径向偏差的要求为：焊缝两侧各 50 mm 弧长范围内局部区域与钢管理想圆的最大径向偏差不得大于 1.5 mm，管端任意 1/3 弧长范围内局部区域与钢管理想圆的最大径向偏差不应大于 2.5 mm。同时采购文件还对管径大小和圆度偏差提出要求：管端直径的允许偏差 $-1.0 \sim +1.5$ mm；管端圆度 ≤ 6.0 mm；除管端外，管体圆度允许偏差 ≤ 12.1 mm。根据上述要求可设计一个能直接测量 1/3 弧长范围径向偏差的测量工具；也可设计一个测量范围相对较小的测量工具，对 1/3 弧长范围径向偏差进行分段次测量；若将该工具再周向缩小即可设计成为焊缝两侧 50 mm 范围内噤嘴的测量工具。现以设计直接测量 1/3 弧长范围径向偏差的测量工具为例进行说明。

2.2.2.1 参照圆模板的设计

(1) 参照圆模板内圆弧半径设计。

为实现钢管理理想圆轮廓线不与实际钢管存在实体接触目的，首先建立一个不与钢管存在实体接触的参考圆。参照圆半径 $R_{\text{参照}}$ 应设计为 $R_{\text{参照}} \geq R_{\text{公称}} + \Delta$ 。其中， $R_{\text{公称}}$ 为实际钢管的半径， Δ 为保证不接触的余量。综合考虑人眼识别能力、管端直径及圆度控制指标等因素^[10-11]，中国石化青宁输气管道工程 $\Phi 1\ 016\ \text{mm} \times 17.5\ \text{mm}$ 钢管的公称半径为 508 mm，考虑半径方向给予 4 mm 的空间余量，确定参照圆模板内圆弧半径为 512 mm。

(2) 参照圆模板长度的设计。

考虑到数显百分表测量时所占用的空间，参照圆模板沿圆弧方向的长度应大于 1/3 弧长，以保证钢管上任意 1/3 弧长范围的所有位置均被测量到，现根据具体情况，将参照圆模板的内圆弧长度增加到 140° 圆心角所对应的弧长。

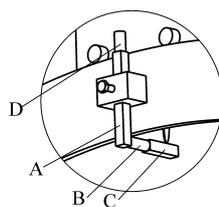
根据上述分析，参照圆模板的内圆弧半径设计为 512 mm，圆心角设计为 140° ，外圆弧半径和模板壁厚的设计应充分考虑模板的选材、刚性、质量及测量操作便捷等因素。

2.2.2.2 构建钢管理理想圆轮廓线并确定相对零点

(1) 标定组件贴附布置。

相对零点标定构件如图 7 所示，贴附平板上的两支撑滚轮贴附于参照圆模板上沿，贴附平板的板面贴附于参照圆模板板面放置，此时探针垂直于钢管，且探针伸缩方向穿过参照圆圆心。

(2) 构建钢管理理想圆轮廓线，确定相对零点轮廓线。

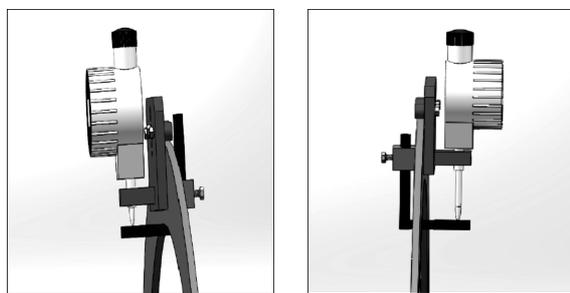


A—滑块 B—圆柱体 C—标记块 D—圆柱段

图 7 相对零点标定构件示意

以参照圆模板的内圆弧面边线作为参照圆基准线，参照圆基准半径 $R_{\text{参照}}$ 为 512 mm。将直角零点标定块平行于参照圆模板板面并沿参照圆半径方向向外移，使直角零点标定块的圆柱体 B 与参照圆模板的内圆弧面呈线接触贴合，将数显百分表的探针触头落于标记块 C 的中心标记线上，将此位置标定为参照圆零点。参照圆零点标定如图 8(a) 所示。

继续将直角零点标定块平行参照圆模板板面并沿参照圆半径方向内移，移动距离 $t = R_{\text{参照}} - R_{\text{理想}} = 4.7$ mm，将数显百分表的探针触头再次落于标记块 C 的中心标记线上，将此位置(理想圆的圆弧线上的点)标定为理想圆的相对零点(即比较基准零点)。理想圆的相对零点标定如图 8(b) 所示。



(a) 参照圆零点标定 (b) 理想圆的相对零点标定

图 8 参照圆零点标定和理想圆的相对零点标定示意

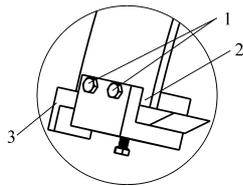
至此，数显千分尺在外圆弧上所有位置移动，即形成理想圆相对零点轮廓线，此时钢管理理想圆轮廓线完全确定。

继续向下移动直角零点标定块，直至完全由滑块 A 的外端圆柱 D 接触装配块，将直角零点标定块旋转 90° ，向上收起直角零点标定块至不影响测量的位置后，锁定放置。

2.2.2.3 调整支腿长度以构建三心共点

从图 6 可以看出，将参照圆模板垂直钢管轴线放置在钢管上，可调支腿简易结构如图 9 所示。先测量一处接触支点的钢管直径，假设测得直径为

1 018 mm, 则半径 $R_{支腿1}$ 为 509 mm, 调整该支腿伸出长度 $d_1=R_{参照}-R_{支腿1}=3$ mm, 锁定该支腿; 测量另一处接触支点的钢管直径, 假设测得直径为 1 013 mm, 则半径 $R_{支腿2}$ 为 506.5 mm, 调整该支腿伸出长度 $d_2=R_{参照}-R_{支腿2}=5.5$ mm, 锁定该支腿。由于参照圆心和钢管理想圆中心已经两心共点, 则当两处接触支点的支腿长度均调整完毕后, 参照圆的圆心、理想圆的圆心以及钢管管端的圆心三心共点。



1—锁紧件 2—模板安装槽 3—限位外沿

图9 可调支腿简易结构示意图

2.2.2.4 管端噤嘴及径向偏差尺寸测量

使数显百分表的探针平行于参照圆模板发生相对位移, 直至探针触头与钢管外壁接触, 读取数显百分表上显示的数据, 即为该测量点处的管端噤嘴或径向偏差尺寸。

3 结 语

为实现相对准确的管端噤嘴及径向偏差的测量, 在测量时不应使钢管理想圆与实际钢管存在实体上的接触。为实现这一目的, 给出了在钢管外壁以外的空间内建立空间参照圆以及空间钢管理想圆轮廓线的方法。通过将钢管理想轮廓线标定为相对零点, 可以相对准确地测得管端噤嘴和径向偏差尺寸。该方法解决了现有测量方法的不合理和测量准确度相对较低的问题, 不需要制作大量模板或标定试块, 具有很好的经济性。同时, 该方法还有很强的通用性, 适用于焊接钢管管端噤嘴、管端及管体径向偏差的测量。

根据该测量原理, 可以将该工具设计为仅对极值大小进行判断的快速测量工具。数显百分表可以采集数据, 还能设计成可连续进行数据测量的工具。2019年, 测量钢管管端噤嘴或管体外壁径向偏差的方法及其组合工具已取得发明专利和实用新型专利, 发明专利号 ZL201910413643.1, 实用新型专利号 ZL201920707890.8。

4 参考文献

- [1] 张田忠, 郭万林, 杨政, 等. 螺旋焊线管局部噤嘴应力集中分析[J]. 应用力学学报, 2002, 19(4): 35-38.
- [2] 赵新伟, 白真权, 韩晓毅, 等. 在役输气管道焊接接头开裂原因分析[J]. 机械工程材料, 1998, 22(6): 46-49, 57.
- [3] 赵新伟, 罗金恒, 路民旭, 等. 螺旋焊管焊缝噤嘴应力分析方法[J]. 焊接学报, 2004, 25(1): 25-27, 32.
- [4] 赵新伟, 路民旭, 白真权, 等. 焊缝噤嘴对螺旋焊管应力分布的影响[J]. 石油机械, 1998, 26(8): 17-19.
- [5] 赵新伟, 罗金恒, 路民旭, 等. 螺旋焊管焊缝噤嘴极限高度的分析方法[J]. 石油机械, 2003, 31(10): 6-8.
- [6] 中石化石油工程设计有限公司. 鄂尔多斯-安平-沧州输气管道工程一期采购文件螺旋缝埋弧焊钢管(L485M/X70M L555M/X80M);SPE-1000MA01-01-1[S]. 2017.
- [7] 中石化中原石油工程设计有限公司. 青宁输气管道工程采购文件螺旋缝埋弧焊钢管(L485M);SPE-1000MA01-01-0[S]. 2019.
- [8] 姚长友, 李建明, 张晓东, 等. 螺旋缝埋弧焊管“噤嘴”缺陷测量方法探讨[J]. 钢管, 2014, 43(1): 54-58.
- [9] 朱贺, 李继平. 直读式焊管“噤嘴”测量工具设计[J]. 焊管, 2017, 40(10): 40-43.
- [10] 人眼视觉特性 HVS[EB/OL]. <https://www.taodocs.com/p-321533857.html>.
- [11] 玉向宁. 螺旋焊管成型控制技术研究[D]. 济南: 山东大学, 2015.

(收稿日期: 2019-10-29; 修定日期: 2020-03-30)

● 简 讯

中信泰富特钢集团股份有限公司成功竞得上海电气集团钢管有限公司 40% 股权 [发布日期: 2021-01-22]
2021年1月8日, 中信泰富特钢集团股份有限公司(简称中信特钢)子公司特钢经贸收到上海联合产权交易所通知, 特钢经贸成为上海电气集团钢管有限公司 40% 股权项目受让方, 成功竞得标的资产。天津钢管制造有限公司以中薄壁无缝钢管为主, 与中信特钢现有的中厚壁无缝钢管能够形成有效互补, 有利于完善双方无缝钢管的品种结构和规格范围, 共同实现无缝钢管产销协同的产业集群, 提升双方无缝钢管业务的整体规模和竞争力。(摘自: 中国钢管网)