管端加厚钢管在探伤区域的控制分析*

李 军,赵海燕,郭 强

(内蒙古包钢钢联股份有限公司钢管公司,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 通过超声波探伤原理分析,针对管端加厚钢管在探伤区域的控制,建立了"V"型辊道转速模型和运输机架上辊动作时刻模型,精确控制了钢管的运动状态,保证了探伤机检测功能的有效性。

关键词: 管端加厚钢管; 超声波原理; 探伤机; 数学模型

中图分类号: TG115.28^{+}5 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2020)06-0080-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.06.021

Control Analysis on End-upsetting Steel Tube in Inspection Area

Li Jun, Zhao Hai-yan, Guo Qiang

(*Steel Tube Co. of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: The "V" type roller rotation speed model and action time model of upper roll for transport frame are established by analyzing the principle of ultrasonic flaw detection aiming at the control of end-upsetting steel tube in inspection area so that the movement condition of steel tube is controlled accurately and the effectiveness of detection function for diagnostic machine is guaranteed.

Key words: end-upsetting steel tube; ultrasonic principle; diagnostic machine; mathematical model

随着钢管自动化生产水平的提高,用户对产品的质量要求日益提高,尤其是石油化工行业对无缝钢管质量要求越来越严格。近年来,油井开采的深度越来越深,对无缝钢管的质量提出了更高的要求。有可能一个很小的缺陷就会造成整口井的报废,造成不可估量的损失。这就要求钢管生产厂对钢管实行全方位的检测(纵向、横向、测厚分层),超声检测在无缝钢管制造企业得到了广泛的应用。2013年包钢钢管公司从德国GE公司引进了一套超声波无损检测设备,其检测效果能够满足钢管质量要求,同时针对现场的使用也存在着很大的改进空间。

1 超声波探伤原理分析

超声波探伤是利用材料及其缺陷的声学性能差异对超声波传播波形反射情况和穿透时间的能量变化来检验材料内部缺陷的无损检测方法。脉冲反射法在垂直探伤时用纵波,在斜射探伤时用横波。脉冲反射法有纵波探伤和横波探伤[1]。现在广泛采用的是观测声脉冲在材料中反射情况的超声脉冲反射法,此外还有观测穿过材料后的入射声波振幅变化的穿透法等。常用的频率在0.5~5.0 MHz之间。

* 收稿日期:2020-10-15

作者简介:李 军(1982-),男,内蒙古包头市人,工程师,现从事探伤设备电气维护工作。

中国知网 https://www.cnki.net

GE 超声探伤机的作用是检测无缝钢管的内外表面缺陷，是钢管成为成品出厂的最后的一道把关工序。该设备主要由 4 个带有夹送辊的中心机架(CU1—CU4)和探伤旋转体及自动喷标装置构成，可以检测外径从 38 ~ 180 mm、壁厚从 2.5 ~ 30.0 mm、长度为 4 ~ 12 m 的无缝钢管。ROTA - 180S 型设备为超声探头高速旋转，钢管按要求速度直线前进，超声波束按螺旋轨迹对钢管表面实现 100% 的旋转扫描。检测时声波的发射和接收都要通过液体耦合层，通常用水做耦合介质，故称水浸法。旋转型检测设备工作时，高压注入旋转体内腔的水流随旋转体一起高速旋转，水在离心力作用下，在探头和钢管之间形成无间隙水套进行耦合。

由于无缝钢管经过管端加厚工艺处理后，其头部和尾部外径膨大，图 1 是管端加厚钢管的局部放大图。图中，钢管的管体外径为 D_1(mm)；经过加厚工艺处理后的端部外径为 D_2(mm)；管端到加厚消失处长度为 H(mm)。为防止存在裂纹、折叠、分层和夹杂等缺陷的钢管流入市场，必须对管端加厚钢管进行全通体无损探伤检测。图 2 是端部加厚钢管的工艺过程及探伤区域布置图。管端加厚钢管穿过非接触旋转体超声探伤机区域时，中心机架夹送辊会夹住管端加厚处，一方面造成四套机架夹辊夹紧不同心，探伤检测误检、漏检，另一方面夹紧时冲击力大，设备抖动，容易撞坏探头及夹辊磨损严重。这种情况下为确保探伤机检测功能的有效性，必须对此钢管的运动姿态提出严格要求：钢管传运的线速度必须保持恒定；管体中心线必须保持稳定且任何点偏差应不超过 0.3 mm。而为解决此问题进行控制分析研究。

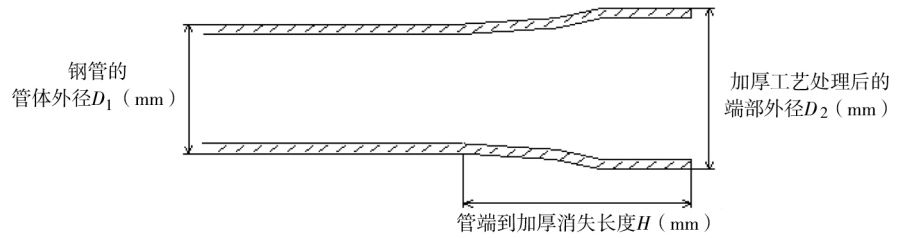


图 1　管端加厚钢管的局部放大图

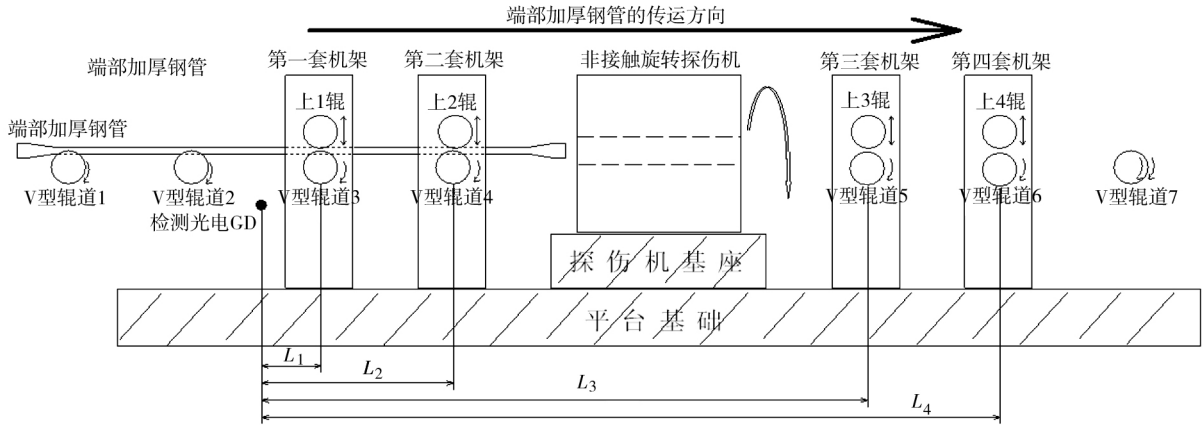


图 2　端部加厚钢管的工艺过程及探伤区域布置图

2　控制策略研究分析

借助上辊具有压下功能的 4 套运输机架配套以“V”型辊道，管端加厚钢管可以在一定程度上避免在传运中因磕碰而引起的弹跳。在此基础上，为抵抗扰动，确保钢管传运的线速度恒定且控制管体中心线偏差在允许范围内，有必要分别建立“V”型辊道转速 N(r/s) 模型和 4 套运输机架的上辊动作时

中国知网　https://www.cnki.net

刻 T(s) 模型。

2.1 “V”型辊道转速扰动分析与抑制

根据探伤机的探头晶片宽度和旋转体的转速，并结合探伤机整体灵敏度和分辨力等关联条件，管端加厚钢管的传运存在最优线速度，这个速度为已知恒定值，本文以 V_1(m/s) 表征钢管走行的恒定线速度。这个线速度 V_1(m/s) 得到后，“V”型辊道的转速 N(r/s) 也随之确定，它们之间的关系，可以用模型来表述。

2.2 “V”型辊道转速的模型

图3为处于“V”型辊道上的钢管剖面图与接触点处的局部放大图。图中，o点是钢管断面中心点；a、d点是钢管与V型辊道接触点；b点是V型辊道之V型角的拐点。

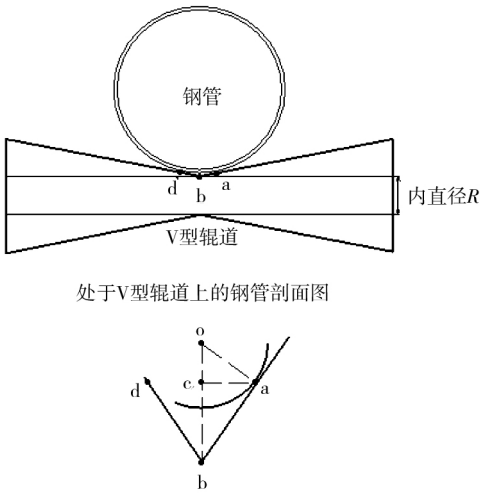


图3 处于“V”型辊道上的钢管剖面图与接触点处的局部放大图

由图3可以得到“V”型辊道转速 N(r/s) 为[2]：

$$N = \frac{V_1}{2 \times \pi \times L_{ce}} \tag{1}$$

其中：L_{ce} 为钢管中心到“V”型管中心的轴线距离，m。

$$L_{ce} = \frac{R}{2\,000} + \frac{\cos\left(\frac{B}{2}\right) \times \left(\frac{D_2}{2\,000}\right)}{\tan\left(\frac{B}{2}\right)} \tag{2}$$

将式(2)带入式(1)得到“V”型辊道转速 N(r/s) 的模型：

$$N = \frac{V_1}{2 \times \pi \times \left[\frac{R}{2\,000} + \frac{\cos\left(\frac{B}{2}\right) \times \left(\frac{D_2}{2\,000}\right)}{\tan\left(\frac{B}{2}\right)}\right]} \tag{3}$$

模型中，N 是“V”型辊道的最优转速；V_1 是管端加厚钢管传运的最优线速度，m/s；R 是“V”型辊道的内直径，mm；D_2 是钢管加厚工艺处理后的端部外径，mm；B 是“V”型辊道的角度即 ∠abd 的度数，(°)。

3 钢管传运过程中的扰动与抑制

从“V”型辊道转速 N(r/s) 模型可知，由于磨损或更换备件等原因，“V”型辊道的“V”型角即 ∠abd 的度数以及辊道内直径 R 的几何尺寸会发生改变。这种改变导致扰动出现。如果，此时辊道转速 N(r/s) 的数值不作相应倍率的调整，那么钢管走行线速度 V_1(m/s) 将出现波动，最终管端加厚钢管在探伤区域的检测条件缺失，探检失败。

为此，定期按时测量各个扰动点的实时数据，并且调整关联参数，才能在传运的最优线速度下，及时修正辊道转速 N(r/s)，最终通过变频器[3]的控制，拖动“V”型辊道改变转速，使走行姿态获得更为精确的表达。

4 上辊动作时刻 T(s) 的模型建立

如图2所示，为进一步保障传运中的钢管以恒定速度 V_1(m/s) 和规定中心线精度穿过探伤机的探检区域，当管端加厚钢管的头部依次到达4套运输机架时，其装具的上1辊、上2辊、上3辊、上4辊，可以分别从原位向下压靠在钢管上，协助它以恒定速度 V_1(m/s) 和规定中心线精度穿过该区域；同理，当管端加厚钢管的尾部依次离开这4套运输机架时，上1辊、上2辊、上3辊、上4辊，可以分别向上脱离钢管，回归原位，等待下一次动作。

4.1 4套运输机架的上辊动作时刻 T(s) 模型

如图2所示，以管端加厚钢管的头部到达检测光电 GD 作为起始时间点，建立4套运输机架的上1辊、上2辊、上3辊、上4辊向下压靠动作时刻模型：

$$T_{ONn} = \frac{L_n + H \times 0.001}{V_1} \tag{4}$$

同理，以管端加厚钢管的尾部离开检测光电

中国知网 https://www.cnki.net

GD 作为起始时间点，建立 4 套运输机架的上 1 辊、上 2 辊、上 3 辊、上 4 辊向上脱离时刻模型。

$$T_{OFFn} = \frac{L_n - H \times 0.001}{V_1} \quad (5)$$

模型中，T_{ONn} 是 4 套运输机架的上辊向下压靠动作时刻，s；T_{OFFn} 是 4 套运输机架的上辊向上脱离时刻，s；L_n 是检测光电 GD 至 4 套运输机架的上辊中心距离，m；H 是管端到加厚消失长度，mm；n 为 1，2，3，4。

4.2　压辊动作时刻 T(s) 的扰动因素与抑制

检测光电 GD 到 4 套运输机架的距离 L_n，会因为调整检测光电位置或更换检测支架而发生变化；还会因为加厚钢管规格不同，管端到加厚消失处长度 H 存在参差。由此，L_n 和 H 构成了扰动因素。此扰动因素使 4 套上辊在钢管上的落点和脱离点不精确，动作过程中会磕碰到加厚钢管的头部和尾部外径膨大部分，使管体在运动中产生倾斜并振动，致使钢管的传运线速度 V_1(m/s) 发生变化，管体中心线不能稳定，最终管端加厚钢管在探伤区域的检测条件缺失，探检失败。

为此，定期按时测量扰动点 L_n 和 H 的实时数据，并且及时调整参数，才能保证管端加厚钢管穿过 4 套运输机架时，依靠 PLC 的逻辑控制，在上辊的压靠与脱离作用下，钢管的速度 V_1(m/s) 和管体中心线更加稳定[4]。

5　结束语

通过对设备的系统分析、测试考核，“V”型辊道转速模型和上辊动作时刻模型，能够抵抗因工艺参数变化而引起的扰动，保证了管端加厚钢管传送姿态的稳定性，使设备能够平稳运行，减少夹辊的磨损，避免撞坏探头，减少探伤误检率、漏检率，满足了 API 标准所规定的针对管端加厚钢必须经过全通体无损探伤检测的要求。

参　考　文　献

[1] 宋天民. 超声检测 [M]. 北京: 中国石化出版社，2012.

[2] 朱卫波，马福全. V 型辊道输送机设计及研究 [J]. 制造业自动化，2018，40(2)：3.

[3] 王树. 变频调速系统设计与应用 [M]. 北京: 机械工业出版社，2005.

[4] 廖常初. S7 - 300/400PLC 应用技术 [M]. 北京: 机械工业出版社，2005.

(上接第 72 页)

理结果发送至机器人进行定位、纠正、抓取。

2　工业机器人现场应用效果分析

管体拧内环机器人运行 1 年来，拧接质量、拧接效率及标准化程度方面都有较好的效果。

实践证明，管体拧内环机器人的引入，提高了拧接产品质量，改善了劳动环境，减轻了劳动强度，提高了劳动生产效率。管体拧内环机器人的成功应用，为其他类似企业和工序引入机器人实现智能制造奠定了基础。

钢管公司针对管加工作业区提升生产节奏优化现有工序，降低职工劳动强度合理优化用工，开展了智能制造在现场应用的可行性分析及设计交流工作，通过现场实际测绘及技术要求的比对，确定了智能机器人在现场应用的可行性，最终确定增设磷化码垛机器人、管体拧外环机器人、拧接机上料机器人在生产中代替人做一些单调、频繁和重复的长时间作业。

3　结束语

包钢石油套管加工产线中引入工业机器人，代替人完成单调、频繁和重复的内螺纹保护器的拧接安装作业，改善了职工劳动条件，实现了生产工序智能控制，提高了生产效率，保证了产品质量，降低了生产成本，随着管加工作业区管体拧内环机器人上线及平稳运行，工业机器人将被逐步推广应用到其他类似工况。本次包钢石油套管加工产线中引入工业机器人的实践，不仅创造了社会效益与经济效益，同时为其他产线的智能制造的推广提供了借鉴之路。

参　考　文　献

[1] 杨杰忠. 工业机器人技术基础 [M]. 北京: 机械工业出版社，2017.

[2] 张明文. 工业机器人离线编程 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社，2017.

中国知网　https://www.cnki.net