

无缝钢管张减过程壁厚前馈自适应控制

刘 山¹, 薛建国², 郑坚敏²

(1. 浙江大学, 浙江 杭州 310027; 2. 宝钢股份公司, 上海 201900)

摘要:介绍了宝钢分公司钢管厂在无缝钢管张减过程壁厚控制中实现的前馈自适应控制技术。该技术利用准确料流跟踪所获得的对应来料荒管的管坯称重、连轧机后的测长数据, 计算得到来料荒管的壁厚数据, 然后根据张减机壁厚分布规律与钢管初始壁厚的关系, 在轧制过程中在线计算和调整对应的各机架轧辊的轧制转速分布, 实现张减机平均壁厚的前馈自适应控制, 尽量减少由来料荒管壁厚偏差所造成的张减成品钢管壁厚偏差。

关键词:无缝钢管; 张力减径; 平均壁厚控制; 前馈自适应控制

中图分类号: TG335.71 **文献标识码:** B **文章编号:** 1008-0716(2006)03-0009-04

Adaptive Feedforward Control for Wall Thickness in Stretch Reducing Process of Seamless Pipes

Liu Shan¹, Xue Jianguo², Zheng Jianmin²

(1. Zhejiang University, Hangzhou 310027, Zhejiang, China;

2. Baoshan Iron & steel Co., Ltd., Shanghai 201900, China)

Abstract: The adaptive feedforward control technology, which is implemented in the stretch reducing process of seamless pipe wall thickness at Baosteel Tubing Plant, is introduced. On the basis of the data about the billet weight and measured length of the tube, mother tube's wall thickness can be calculated with this technology. Then on the basis of the relationship between the wall thickness distribution law and the initial wall thickness of the tube, the distribution of the rotary speed for each corresponding rollers can be worked out and adjusted on line. Thus the adaptive feedforward control over the average wall thickness is finally realized on the stretch-reducing mill, and the deviation of steel tube's wall thickness caused by the mother tube's wall thickness deviation can be reduced to minimum.

Keywords: seamless pipe; stretch reducing process; average wall thickness control; adaptive feedforward control

0 前言

张减机是钢管热轧生产的最后一道变形设备, 对钢管质量影响巨大, 如何控制好钢管的壁厚偏差是张减过程控制系统的主要目标之一。张减机各轧辊的转速设定值是在稳态轧制条件下, 根据理想的材料情况, 经过计算预先得到的。然而, 无缝钢管热轧过程的棒材大多采用的是火焰切割, 管坯来料偏差较大。如果连轧机采用的是全浮动芯棒轧制, 则其工艺条件决定了张减来料(连轧荒管)相邻钢管的壁厚差异较大。此时须在实际生产过程中相应调整各轧辊的转速以弥补

壁厚的变化。传统上, 在张减机工序采用生产操作员根据现场连轧测长和张减成品管的测长及测厚数据, 人工调整张减机轧辊的转速, 来纠正这种壁厚偏差^[1]。在快节奏的生产情况下, 这种调整方式既不及时也不准确, 效果很差^[2]。

本文提出了一种基于来料荒管壁厚偏差的无缝钢管张减过程壁厚前馈自适应控制技术, 它利用无缝钢管热轧过程料流跟踪的在线数据来自适应调整张力减径机各机架轧辊的轧制转速分布, 从而避免由来料荒管壁厚偏差所造成的张减成品钢管壁厚偏差。

上述技术已在宝钢股份公司宝钢分公司钢管厂的张减机壁厚控制系统上实现, 获得了良好的经济效益。

刘 山 博士 副研究员 1970 年生 2002 年毕业于浙江大学
现主要从事迭代学习控制及张减机控制研究 电话
0571-87951894-804

1 张减机壁厚前馈自适应控制技术

1.1 张减机壁厚控制系统的构成

宝钢分公司钢管厂采用计算机系统进行控制和联网管理。与无缝钢管热轧过程有关的计算机系统目前共有四级:管理运行级(L4)用于生产计划的编排,孔型设计,轧制过程的离线仿真;材料运行级(L3)用于监控生产极限数据和设备状态、

管理库存、跟踪料流、编制生产报表和标签;过程控制级(L2)负责张减机的轧制程序管理、轧制额定转速的预给定和调整、孔型监控、调速系统补偿和 CEC 控制、以及钢管长度监控,此外还对冷锯区进行监控;设备控制级(L1)由可编程序控制器和电子框架组成,负责轧辊电机系统的调速控制、钢管输送和信号连锁。其设备连接如图 1 所示。

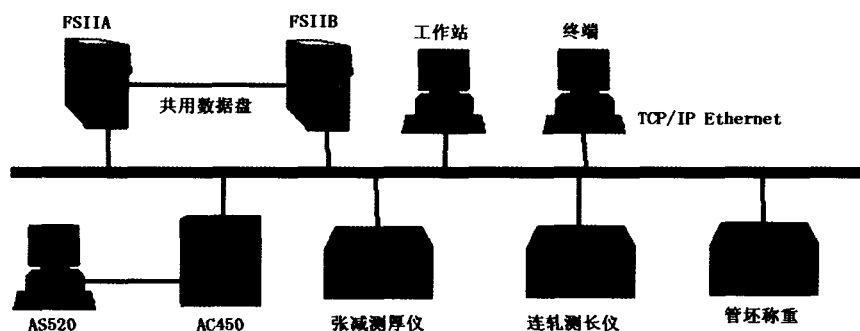


图 1 张减机壁厚控制系统的设备连接图

Fig. 1 Equipment for wall thickness control system in the stretch reducing mill

直接的张减机计算机控制系统分为两级:

(1) L1, 包括电气传动、检测仪表、轧机电机的变频调速控制计算机、AC450 可编程序控制器(PLC)和控制系统 MMI 操作站(AS520)。该级的控制网是 ABB 公司的 Master Bus 300 总线型网络, AC450 控制器、数据记录计算机 DataLogger 和 MMI 操作站 AS520 都连接在该网络上。其中有一台 AC450 作为网关, 用于 Master Bus 300 网与过程计算机网之间的通讯。该级主要完成设备的顺序控制、实测信号的采集、闭环回路的动态调节等功能。

(2) L2 (FS), 过程机计算机为 DEC 公司的 Alpha 4000 小型机, 另有一台 Alpha 4000 小型机为整个热区的开发/备用机。两台计算机可以相互切换, 操作系统选用 DEC 公司的 DIGITAL OpenVMS 7.1。过程机的终端使用的是 PIII 450 的工业计算机, 操作系统为 Windows NT, 数据库系统选用 Oracle。过程计算机网络采用 Ethernet, 为星型拓扑结构, DEC HUB 900 是网络的中心设备, 网络协议为 TCP/IP。

1.2 张减机转速前馈自适应算法

张减机前馈壁厚自适应控制的技术方案为: 首先, 根据准确料流跟踪所获得的对应来料荒管的管坯称重、连轧机后的测长数据, 计算得到来料荒管的壁厚数据; 然后, 根据张减机壁厚分布规律与钢管初始壁厚的关系, 自适应计算对应钢管的

各机架轧辊的轧制转速分布, 并依据该转速分布调整张减机各轧辊的轧制转速值以驱动张减机轧制该根钢管。

具体步骤为:

(1) 实时在线计算连轧荒管壁厚。在张减轧制表中包含有理想管坯质量、理想的连轧管长度和理想的连轧壁厚, 根据在线实测的管坯重和连轧管长度与理想值进行对比, 得到实际的连轧荒管壁厚。

若理想管坯重为 B_d , 理想连轧管长度为 L_d , 理想连轧管壁厚为 S_d , 理想连轧管外径为 D_d , 实测管坯重为 B , 实测连轧管长度为 L , 实际的连轧管外径为 D , 实际的连轧荒管壁厚为 S 。一般认为 D 与 D_d 一致, 则下列关系式成立。

$$\frac{B_d}{B} = \frac{(D_d - S_d) S_d L_d}{(D_d - S) S L} \quad (1)$$

$$\text{即 } S^2 - D_d S + \frac{(D_d - S_d) S_d L_d B}{L B_d} = 0 \quad (2)$$

记 $C = \frac{(D_d - S_d) S_d L_d B}{L B_d}$, 则实际的连轧管壁厚可以如下计算得到

$$S = \frac{D_d - \sqrt{D_d^2 - 4C}}{2} \quad (3)$$

(2) 张减机前馈自适应控制的轧辊转速调整。在实际轧制过程中, 若得到了实际的连轧荒管壁厚, 可以在线调节张减机轧制机架的轧辊速

度,以保证张减成品管的壁厚达到理想壁厚。

若张减机工艺参数的理想值与实际值表示如表1所示,张减机轧辊转速调整的计算方法如下。

表1 张减机工艺参数理想值与实际值表示

Table 1 Ideal and actual parameters of the stretch reducing mill

	理想值	实际值
连轧管外径	D_0^d	D_0^k
连轧管壁厚	S_0^d	S_0^k
成品管外径	D_N^d	D_N^k
成品管壁厚	S_N^d	S_N^k
入口机架工作直径	ϕ_0^d	ϕ_0^k
出口机架工作直径	ϕ_N^d	ϕ_N^k
入口机架速度	ν_0^d	ν_0^k
出口机架速度	ν_N^d	ν_N^k

由体积不变规律,在稳定轧制状态下,对于理想值和实际值均有如下关系: $(D_0 - S_0) S_0 \phi_0 \nu_0 = (D_N - S_N) S_N \phi_N \nu_N$ 。

上式牵涉到轧辊的工作直径。当轧辊转速发生变化时,轧辊的工作直径也会发生变化。注意到在轧制过程中,轧辊的转速调整有以下两个特点:一是,轧辊转速范围调整有限,一般不能超过原转速的10%;二是,各机架转速的调整趋势一致。这两个特点决定了在自适应控制中,转速调整后轧辊工作直径的变化不大。据此,可以假设 $\phi_0^k \approx \phi_0^d$, $\phi_N^k \approx \phi_N^d$ 。

另一方面,钢管的外径由轧机轧辊的孔型决定,可以假设 $D_0^k \approx D_0^d$, $D_N^k \approx D_N^d$ 。根据标准轧制表,有 $(D_0^d - S_0^d) S_0^d \phi_0^d \nu_0^d = (D_N^d - S_N^d) S_N^d \phi_N^d \nu_N^d$ 。实际轧制过程也满足 $(D_0^k - S_0^k) S_0^k \phi_0^k \nu_0^k = (D_N^k - S_N^k) S_N^k \phi_N^k \nu_N^k$ 。

前馈壁厚控制的目标即是在连轧荒管的壁厚出现变化后,保证成品钢管的壁厚 S_N^k 与理想壁厚 S_N^d 一致。为了保证生产节奏,尽量保持出口轧辊的转速不变,因此,前馈壁厚自适应控制调整轧辊转速的方法为:

$$\nu_0^k = \frac{(D_0^d - S_0^d) S_0^d}{(D_0^k - S_0^k) S_0^k} \nu_0^d \quad (4)$$

进一步写成增量式,有:

$$\nu_0^k = \nu_0^d + \frac{(D_0^d - S_0^d - S_0^k)}{(D_0^d - S_0^k) S_0^k} \nu_0^d \Delta S_0 \quad (5)$$

式中, $\Delta S_0 = S_0^d - S_0^k$ 。

由于精整机架主要参与钢管的整形,在进行壁厚前馈控制时,我们保持它们的轧辊转速不变,而仅让张力升起机架和工作机架参与调速。假如

让 $j-1$ 个机架参与调速,即第 j 个机架的转速固定,则按下式分配各参与调速的机架的速度:

$$\nu_i^k = \nu_i^d + \frac{(\nu_j^d - \nu_i^d)(D_0^d - S_0^d - S_0^k)}{(\nu_j^d - \nu_i^d)(D_0^d - S_0^k) S_0^k} \nu_0^d \Delta S_0 \quad (6)$$

1.3 张减机壁厚前馈自适应控制流程

张减机壁厚前馈自适应控制是过程控制应用系统的一个子模块,以常驻内存的独立进程形式运行在过程机 DEC Alpha 4000 上。张减机壁厚控制系统通过共享内存和数据库与其它系统进行交互。生产的料流跟踪数据、管坯称重的实时数据、连轧机的实际测长数据和张减机实测的壁厚数据、测长数据和各机架的功率数据,由过程机系统的实绩数据收集模块接收后,存放在内存文件区和数据库;过程机系统的在线料流跟踪模块根据投料计划和过程信号,自动更新内存文件区的当前轧制批数据文件,如轧制表、孔型表、CEC 因子表和 WTCA 曲线的索引等,并存放在数据库。每根钢管轧制完毕后,壁厚自适应控制系统调用这些数据,在线修正轧制钢管的转速设定,并将新的转速及相关的调整参数传输给轧管设备的基本控制模块,保证轧制成品钢管的壁厚符合质量要求。

张减机前馈自适应控制的输入输出要求如图2所示。

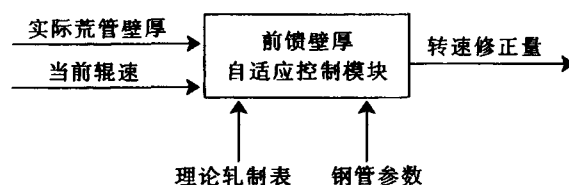


图2 前馈控制的输入输出

Fig. 2 Input and output of the feedforward control module

张减机壁厚前馈自适应控制的流程为:

- (1) 输入待轧钢管数据(包括荒管材质、规格、温度、轧辊的孔型序列、尺寸等),调出相应的轧制表,根据轧制表获得各机架转速设定值;
- (2) 根据准确料流跟踪所获得的对应来料荒管的管坯称重、连轧机后的测长数据,利用(3)式计算得到来料荒管的壁厚;
- (3) 根据张减机壁厚分布规律与钢管初始壁厚的关系,利用(6)式自适应计算对应钢管的各机架轧辊的轧制转速设定值;
- (4) 根据机架转速设定值驱动张减机轧管,转步骤2。

2 张减机壁厚前馈控制生产试验

2.1 试验钢管的规格

选取典型规格钢管 $\phi 73.03 \times 5.51$ mm 的张减过程进行壁厚前馈自适应控制生产试验,规格参数在表 2 中列出。

表 2 典型规格钢管 $\phi 73.03 \times 5.51$ mm 的规格参数

Table 2 Specifications of tube $\phi 73.03 \times 5.51$ mm

属性	参数值
孔型代号	BRDBY
荒管外径 /mm	152.50
荒管壁厚 /mm	6.00
成品管外径 /mm	73.03
成品管壁厚 /mm	5.51
参与轧制机架数	18
转速固定机架	12

由于张力下降机架是精整机架,在轧制中的主要作用是调节钢管的圆度,因此,对于平均壁厚控制和管端增厚控制,仅让张力升起机架和工作机架参与稳态转速调整和动态转速调整。

2.2 生产试验方法

在实际生产过程中连续运行,不影响实际生产节奏,收集生产过程中钢管的在线测量数据和人工实测数据。

2.3 生产试验结果

图 3 给出了应用张减机壁厚前馈自适应控制技术时,连续 120 根试验钢管的荒管实际壁厚和成品管平均壁厚情况。

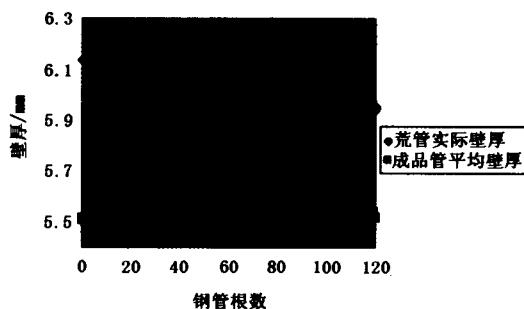


图 3 荒管和成品钢管壁厚平均值的分布情况

Fig. 3 Average value of wall thickness distribution of mother and product tubes

可以看到,来料荒管的壁厚范围为 5.8 ~ 6.3 mm,而经壁厚控制后,成品管平均壁厚的范围为 5.47 ~ 5.56 mm,大大降低了成品钢管的壁厚偏差。

图 4,5 分别给出了 120 根荒管和成品管的平均壁厚范围的分布,从中可以进一步看到,前馈控制较好地弥补了来料荒管壁厚偏差带来的影响,降低了成品管的壁厚偏差。

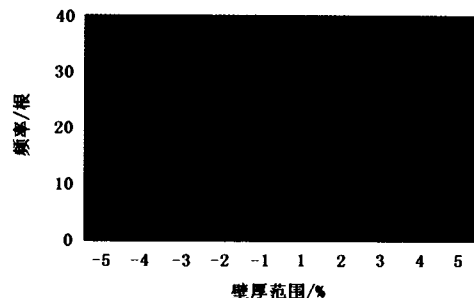


图 4 荒管平均壁厚范围的分布

Fig. 4 Distribution range of average wall thickness of mother tubes

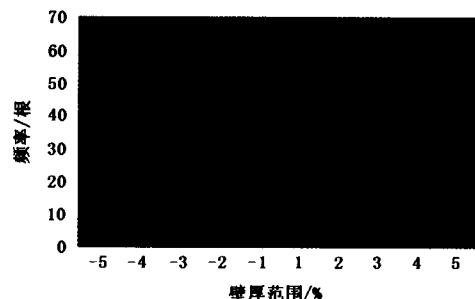


图 5 成品管平均壁厚范围的分布

Fig. 5 Distribution range of average wall thickness of product tubes

3 结语

张减成品钢管壁厚的精确控制对钢管轧制收得率的提高及降低生产成本有着重要的现实意义。如果张减机控制系统能够按照预设的轧制转速表和对各轧辊的转速进行在线调节,同时,热区料流跟踪系统能够准确在线测量管坯称重、连轧管长度,则本文提出的张减机壁厚前馈自适应控制技术可以很容易地实现,并能很大程度地提高技术水平,产生很大的经济效益。

参 考 文 献

- [1] 龚尧,周国盈. 连轧钢管[M]. 北京:冶金工业出版社, 1992:57-73.
- [2] 刘山,吴铁军,刘玉文等. 无缝钢管张减过程平均壁厚控制迭代自学习方法[J]. 钢铁,2002,37(4):28-34.

编辑 马凯利

(收稿日期:2006-03-13)