

# 宽幅横切线全线跟踪系统研究及应用

刘东冶<sup>1</sup>, 何安瑞<sup>1</sup>, 王海滨<sup>2</sup>, 贺龙军<sup>2</sup>

(1. 北京科技大学 高效轧制国家工程研究中心, 北京 100083; 2. 河北钢铁集团 邯宝热轧厂, 河北 邯郸 056000)

**摘 要:** 根据横切线的工艺特点对全线进行了跟踪区域划分, 并由此划分跟踪层次. 确定了全线跟踪功能的总体方案、横切线跟踪设计思路、数据流, 采用二进制与十六进制物料状态描述方法对物料跟踪过程进行管理. 在上述理论基础上设计出横切线全线跟踪系统, 并给出程序流程. 设定参数采用逐步下达方式, 解决了无法两卷带钢同时在线的问题, 若不投入使用探伤设备, 采用某厂同样工艺流程, 预计年产量提高 11%, 间接提高了生产效率. 工业生产应用表明, 该跟踪系统可靠、准确, 没有出现钢板信息丢失问题, 实现了生产线的稳定运行.

**关 键 词:** 横切; 跟踪; 跟踪层次; 跟踪区域; 跟踪系统

中图分类号: TG 335.21

文献标志码: A

文章编号: 1005-3026(2015)03-0372-06

## Research and Application of Tracking System in Wide Cross-Cutting All Line

LIU Dong-ye<sup>1</sup>, HE An-rui<sup>1</sup>, WANG Hai-bin<sup>2</sup>, HE Long-jun<sup>2</sup>

(1. National Engineering Research Center for Advanced Rolling, University of Science & Technology Beijing, Beijing 100083, China; 2. Hanbao Hot Strip Mill Factory, Hebei Iron & Steel Group, Handan 056000, China. Corresponding author: HE An-rui, E-mail: harui@ustb.edu.cn)

**Abstract:** According to the technical character of the cross-cutting process, the whole production line was divided to different tracking zones, and then the tracking task was further divided to two levels. After finalizing the overall scheme, design thought and data flow of the track function for the whole cross-cutting line, the binary and hexadecimal material status description methods were employed to manage the material tracking process. Based on this theory, an applicable material tracking system for cross-cutting process was designed, and the general program flow was described. Setting parameters is gradually sent, which solving the problem that two steel rolls can't be online at the same time. If no defect detectors are employed and the same technical flow is used with a certain factory, the annual output is predicted to increase 11% and the productivity is improved in indirectly. The long-time industrial application shows that this tracking system is reliable and accurate, and the problem of material information loses never happens, thus keeping the production line goes stably.

**Key words:** cross-cutting; tracking; tracking level; tracking zones; tracking system

伴随着经济持续、稳定与高速的发展, 我国钢铁行业也获得了快速发展<sup>[1-2]</sup>. 板材产品用途广、规格多、重点工程用量大, 广泛应用于造船业、石油平台、石油储罐、桥梁和工程机械等行业. 横切线是将热轧钢卷开卷, 根据客户需要横切为规定

长度钢板的生产线. 横切线产品规格多, 工艺流程较为复杂, 如何能够实现板材的高效率、高质量生产, 离不开高效、精确的控制系统. 全线跟踪是自动控制系统的主要功能之一, 也是实现横切线自动化生产的基础<sup>[3]</sup>.

收稿日期: 2013-10-30

基金项目: 新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-10-0223); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(FRF-TP-11-003A).

作者简介: 刘东冶(1985-), 男, 辽宁鞍山人, 北京科技大学博士研究生; 何安瑞(1972-), 男, 江西临川人, 北京科技大学研究员, 博士生导师.

在跟踪系统的研究中,刘文仲等<sup>[4]</sup>对半无头轧制的跟踪系统进行了研究,其主要方法是对带钢头尾的位置跟踪. 矫志杰<sup>[5]</sup>根据现场实际情况将物料跟踪功能下移,作为与过程跟踪互相关联的功能模块,在二级过程控制系统中实现,现场生产稳定. Tratnig 等<sup>[6]</sup>阐述了可视化跟踪系统在中厚板生产中的应用,并给出图像处理的算法. 在现有的跟踪研究中,对横切线跟踪的研究还较少.

横切线具有热连轧跟踪与中厚板跟踪的特点,定尺剪前钢材以带钢状态存在,定尺剪后钢材以钢板状态存在. 由于钢材的存在形式不同,钢材在生产线上的状态变化要求跟踪系统能自动改变跟踪方法. 目前由外方承担的多条横切线的跟踪系统,存在前一钢卷剪切完成之前新卷无法上卷宽带的问题,影响生产节奏. 本文根据横切线的工艺特点,对跟踪系统进行深入研究,提出数据逐步

下达的方法,设计出横切线跟踪系统,并进行工业应用,取得好的效果.

# 1 横切线的工艺流程

横切线以热轧钢卷为原料,其厚度为5 ~ 25.4 mm,宽度为 850 ~ 2 130 mm,成品宽度为 800 ~ 2 100 mm,长度为 2 ~ 16 m,最大垛重为 10 t,生产线最大线速度为 40 m/min,年产量 45 万 t. 开卷后完成粗矫、切头、切边、定尺剪、精矫、打标喷印、码垛、称重、最后打捆出厂. 图 1 为某横切线工艺设备布置. 跟踪系统对在生产线上钢材的位置、加工环节和情况进行监控,完成信息交互,全线跟踪的准确性直接影响到生产线自动控制效果.

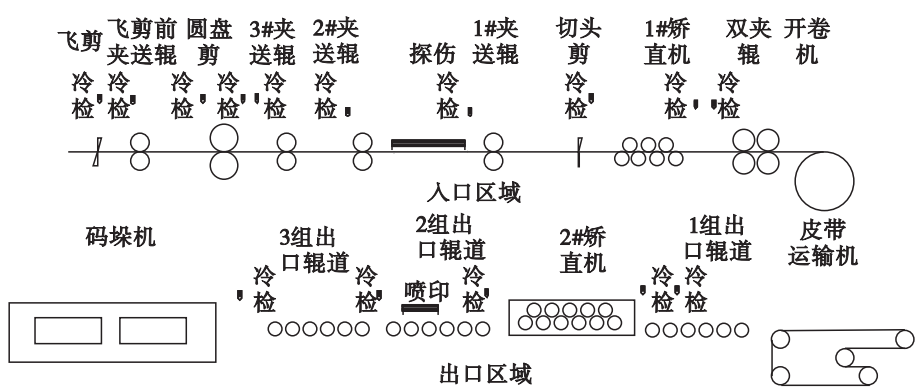


图 1 横切线工艺设备布置  
Fig. 1 Cross-cutting line processing equipment layout

# 2 横切线的跟踪实现

钢铁生产线自动化控制由三级计算机系统组成<sup>[7]</sup>,分别为基础自动化级、过程自动化级与生产管理级,各级分别对应不同的跟踪功能,基础自动化级完成位置微跟踪功能,过程自动化级完成过程跟踪功能,生产管理级完成物料跟踪功能<sup>[8-10]</sup>. 各部分功能分配合理、层次清晰、目的明确.

1) 位置微跟踪. 实现带钢在生产线上的精确位置跟踪,目标是入口穿带确定带头位置,穿带结束确定带尾位置,定尺剪后确定每块钢板的长度并以剪切后的带钢头部为带头位置,出口每块钢板的精确位置跟踪保证跟踪队列正确. 位置微跟踪是实现全线自动控制的基础,也是过程跟踪、物料跟踪和数据跟踪的基础<sup>[11]</sup>.

2) 过程跟踪. 过程跟踪针对各个区域的工艺

信息进行跟踪. 该过程与生产过程相对应,完成生产线上不同位置的工艺设定记录、模型计算、设定数据发送等功能. 设定计算包括横切线矫直机辊缝值、码垛机调长等.

3) 物料跟踪. 对全线不同工艺区域移动位置记录、数据信息收集. 例如钢卷经历了横切线各道工序出厂. 每个区域都会产生新的数据信息,包括生产过程产生的实时数据、工艺要求的设定数据等. 通过物料跟踪保证整条生产线的信息畅通.

## 2.1 基础自动化级跟踪的实现

根据横切线特点按照钢材状态不同可将跟踪区域划分为三部分,入口段跟踪、出口段跟踪、码垛段跟踪.

### 2.1.1 入口段跟踪

入口段跟踪可以大致分为两个部分,上卷时对钢卷的跟踪与开卷后对带头带尾的跟踪.

按照生产计划,天车将钢卷吊运到步进梁鞍座上时,上卷跟踪开始. 在步进梁的出口侧设置了

镜面反射型光电管,结合步进梁平移运动对钢卷宽度进行测量,上卷小车的升降缸直线位移等数值,计算卷径.此时需要对当前钢卷信息与生产管理级下达的钢卷信息进行比对,确认无误.

在上卷完成后入口的跟踪任务是对带头位置进行跟踪,跟踪方法是以位置计算为主、冷检信号修正为辅助的方式进行.根据双夹送辊的转动角度计算带钢长度值确定带头位置.若带头通过一个冷检,这个值就会立即修正.

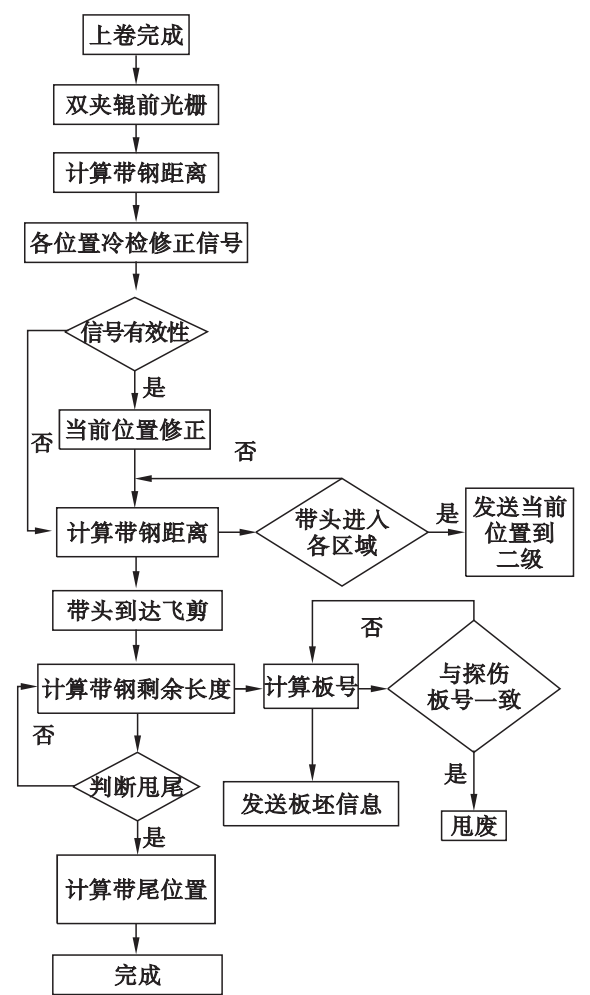


图 2 入口跟踪流程图

根据图 2 所示,当带头进入各区域时,基础自动化级向过程控制级发送数据下达请求.过程控制级将模型计算的设定参数下达,基础自动化级执行设定参数,避免了基础自动化级只允许执行一组设定的情况.这样当前一卷钢甩尾时,下一卷钢可以马上上卷并穿带,缩短了生产的时间间隔,使得生产节奏更加紧凑,提高生产率.飞剪剪切后主要是对剩余长度、钢板号与带尾位置的跟踪.其中钢板由热轧卷号末尾累加生成系统编号.基础自动化级根据带尾位置调整生产线速度.

2.1.2 出口段跟踪

按照工艺布置及检测仪表位置,并考虑控制需要,将出口进行逻辑分区.分别为二号矫直区、喷印区、码垛机前辊道区、码垛区和次品码垛区.在每个逻辑分区中都设计了跟踪指针,跟踪指针记录该区域中钢板数量、长度、宽度、厚度、位置以及甩废标识,跟踪指针的数据内容如表 1 所示.

当钢板从  $i$  区向  $i+1$  区移动时,基础自动化级就将  $i$  区跟踪指针向  $i+1$  区移动.由于飞剪每次剪切长度已知,所以只对钢板头部跟踪,只要钢板头部进入  $i$  区,就认为钢板已进入  $i$  区中(如图 3 所示).

表 1 跟踪指针内容  
Table 1 Content of tracking pointer

符号	数据类型	数据内容
TrackingData. Number	INT	钢板数量
TrackingData. L1_PINo	DINT	钢板号
TrackingData. PlateLength	REAL	钢板长度
TrackingData. PlateWidth	REAL	钢板宽度
TrackingData. PlateThick	REAL	钢板厚度
TrackingData. PlatePos	REAL	钢板位置
TrackingData. PlateQua	BOOL	甩废标识

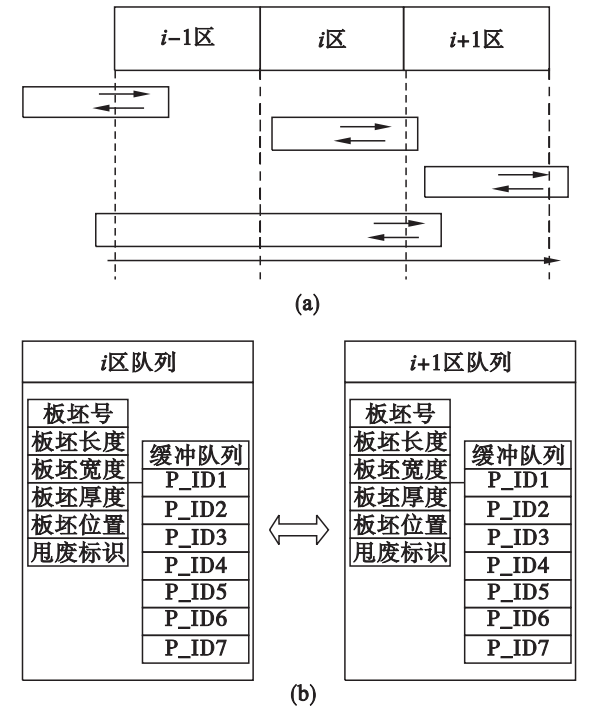


图 3 钢板数据传递  
Fig. 3 Plates data transmission  
(a)—钢板移动; (b)—数据移动.

钢板总数判断需要对钢板头部是否进入逻辑分区进行位置计算,若钢板头部进入逻辑分区,则前一逻辑分区数据移出,后一逻辑分区数据接受

前一分区数据. 钢板位置的确定是以位置计算为主,冷检信号修正为辅. 根据式(1)对实时位置计算<sup>[12]</sup>:

$$L_k^i = L_k^{i-1} + v_k^i \times t.$$

(1)

式中: $L_k^i$  为*i* 区中第*k* 块钢板头部位置到跟踪基准点的距离,mm; $v_k^i$  为*i* 区中第*k* 块钢板速度,mm/s;*t* 为控制器扫描周期,s.

由于在出口每个区域都会提升速度,钢板在辊道上运行时存在滑动现象,单单依靠辊道转动速度与循环周期对钢板位置进行计算存在一定误差,钢板移动误差也会越来越大,所以跟踪位置与实际位置会有偏差. 生产信息的传递主要是依靠位置计算的结果来进行传递,这时就需要以冷检位置为基准位置,对位置进行修正. 但冷检会有误信号可能,需对冷检修正结果进行判断后再进行修正,以提高跟踪位置准确度<sup>[13]</sup>. 修正方法采用当前位置和计算位置的差值与预定差值范围进行比较,当误差值在预定误差范围内时,认为位置确认信号有效,反之被认为无效,位置判断过程由跟踪系统自动完成. 从飞剪开始,带钢横切成钢板,此时全线跟踪由对带钢带头带尾跟踪转化为对多块钢板跟踪. 将跟踪指针中记录的钢板位置与钢板在生产线上实际位置完全对应起来,这就是出口跟踪完成的主要功能. 出口钢板跟踪流程图如图4所示.

2.1.3 码垛段跟踪

码垛区跟踪是当钢板码垛成包之后对每包钢板信息跟踪,其中包括每包的长、宽、高、质量以及一级包号. 此时跟踪只在基础自动化级内部进行,当运送到输出辊道后,钢板经过称重机称得实际质量,对原有理论计算质量进行修正,最后将每包结果发送到生产管理级. 码垛区跟踪过程整体与出口区跟踪类似,由于不存在打滑现象,单纯依靠位置计算即可满足跟踪要求.

2.2 过程自动化级跟踪的实现

在横切线跟踪系统中,过程自动化级主要作为基础自动化级与生产管理级信息交互的媒介,并根据生产过程完成本身的顺序逻辑. 由图5可以看出,过程自动化级流程与基础自动化级跟踪流程相对应,完成彼此信息流通过程. 如图6所示,过程自动化级还会将生产过程中的设定参数、实时数据、过程数据等通过数据中心向生产管理级传输,生产管理级将每块钢板与跟踪包信息整理分类,实现标准化管理,管理人员可以通过生产管理级控制系统查看每块钢板与跟踪包的相关信息,保证生产过程中产生数据信息更加完整.

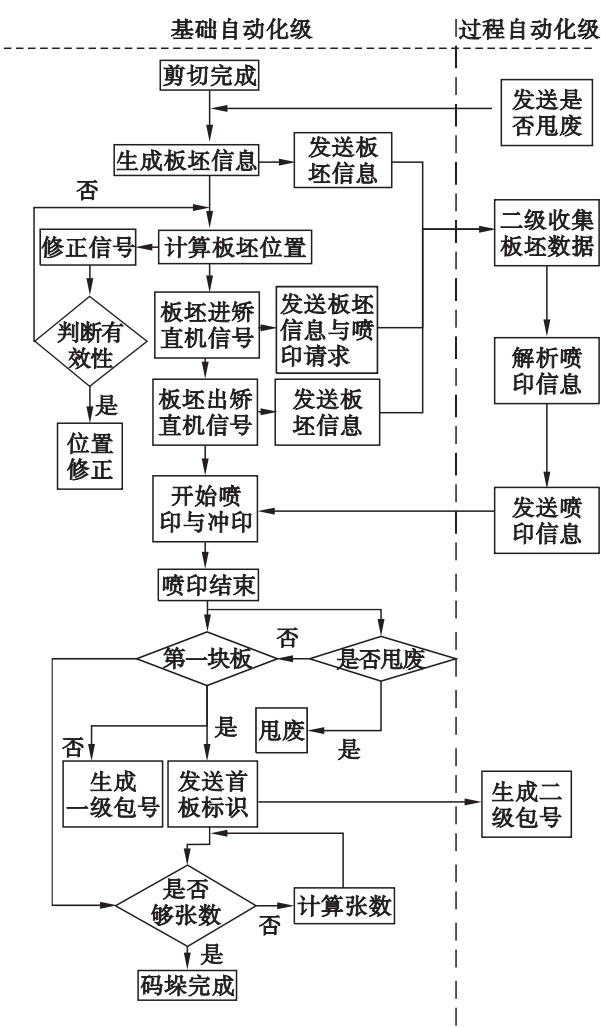


图4 出口跟踪流程图  
Fig. 4 Flow diagram of exit tracking

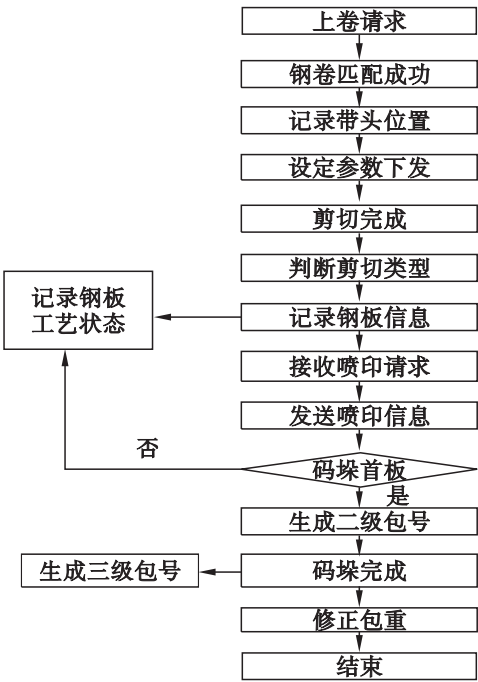


图5 过程自动化级流程图  
Fig. 5 Flow diagram of process automation level



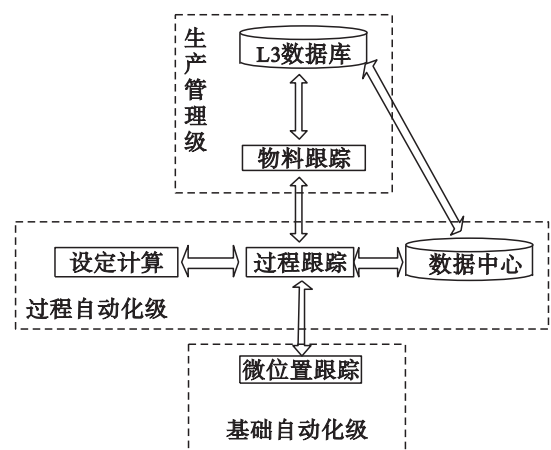


图 6 全线信息流通  
Fig. 6 The whole line information flows

2.3 生产管理级跟踪的实现

物料跟踪管理的本质是控制物料信息的流动. 物料状态、工艺状态的变化反映了物料加工工艺的信息流动,物料跟踪不仅反映了物料状态与工艺状态,还要对物料在生产线上的进度进行实时监控,反映物料在工序上完成的加工量的百分比<sup>[14]</sup>.

本横切线采用二进制与十六进制工艺状态描述方法对横切线工艺顺序的下达与完成进度进行监控.

1) 二进制物料工艺状态描述:

$$M_s = (X_0, X_1, X_3, \cdots, X_{n-1}) . \tag{2}$$

其中: $X_i$  用来描述工序状态, $X_i = 0$  表示第  $i$  道工序不需要加工, $X_i = 1$  表示完成第  $i$  道需要工序; $n$  为物料的有效加工工序数量. 从物料跟踪的角度来看,物料工序状态矢量表示方法可以完全表示工艺状态信息,并可以适应工序跳跃现象.

物料工艺状态值可以通过二进制矢量  $V_a$  与  $M_s$  转换得到:

$$V_s = M_s \times V_a . \tag{3}$$

其中: $V_a = (2^{n-1}, 2^{n-2} \cdots, 2^0)^T$ ;  $V_s$  为物料工序状态矢量各个分量十进制表示法组成的矢量,这样使得物料工艺状态信息更加简明清晰. 为满足实际生产需要和程序标准化要求,可以将工序进行分块管理. 例如按 16 位长度将物料的状态  $M_s$  分块为

$$M_s = [(X_0, X_1, \cdots, X_{15})(X_{16}, X_{17}, \cdots, X_{31}) \cdots] , \tag{4}$$

$$M_s = (M_0 M_{16} M_{32} \cdots) . \tag{5}$$

现实生产过程中生产工序数量一般不会恰巧是字节、字、双字的整数倍,这样就会有多余位数,为此,将多余位数用 0 占位,凑出满足需要的位数就可以描述一个多工序的物料状态信息或按程序

需要将工序统一成相同的格式表示.

在工序下达阶段可根据用户需要选择工序状态. 例如在用户对钢板内部质量要求较低时,探伤工序可省略,此时工序下达过程中将二进制物料状态中代表探伤工序的那位数字制 0. 由于横切线无工序交换现象,只有工序跳跃现象,用二进制状态描述方法即可满足物料状态下达需要.

2) 十六进制物料工艺状态描述. 在需要表示各道工序上的加工进度时,对物料工艺状态矢量做如下定义:

$$M_s = (X_0, X_1, X_3, \cdots, X_{n-1}) . \tag{6}$$

其中: $X_i \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15\}$ ;  $n$  为物料的有效加工工序的数量. 分量  $X_i$  表示第  $i$  道加工工序的进度为  $X_i/15 \times 100\%$ , 若  $X_i = 0$  表示物料第  $i$  道工序没有加工,  $X_i = 15$  表示完成第  $i$  道工序.

$$V_s = M_s \times V_a . \tag{7}$$

其中: $V_a = (16^{n-1}, 16^{n-2}, \cdots, 16^0)^T$ ;  $V_s$  为物料工序状态矢量各个分量十进制表示法组成的矢量;

$$M_s = [(X_0, X_1, \cdots, X_8)(X_9, X_{17}, \cdots, X_{15}) \cdots] , \tag{8}$$

$$M_s = (M_0 M_8 M_{16} \cdots) . \tag{9}$$

由于生产线存在工序跳跃情况,跳跃工序在物料跟踪过程中按工序未完成处理. 生产过程记录根据生产工序下达状态描述生成状态矢量对生产过程的完成情况进行跟踪.

3 跟踪系统应用效果

本文随机采集 2 213 组钢板数据和 148 包板垛数据与某厂横切线数据进行对比,结果如表 2 所示. 数据表明信息准确率有所提高,但成材率有所下降. 主要原因是本线为提升产品质量增加了探伤功能,最大程度降低质量异议,提高客户的满意度.

表 2 跟踪数据对比		
Table 2 Tracking data comparison		%
变量	本厂	某厂
钢板信息准确率	100	97
板垛信息准确率	100	99
成材率	96	97.5
一级品率	98	96

4 结 论

1) 本文实现了横切线全线跟踪功能,全线数

据生产过程中无丢失,数据下达与回收顺利,物料跟踪信息完整可靠,生产线跟踪系统稳定,为今后宽幅横切线的跟踪提供了宝贵经验。

2) 生产线设定参数采用逐步下达方式,使得生产节奏更紧凑。但是由于生产线添加了探伤、真空除尘设备,增加了生产线长度以及探伤对生产线降速的要求,使年产量与其他横切线持平,同为每年45万吨。

3) 在探伤、真空除尘不投入使用的情况下,每卷带钢生产时间将会节省3~4 min,年产量预计到达50万吨,生产率提高11%。

### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家发展和改革委员会 产业协调司. 1-5月钢铁产业运行情况[J/OL]. 国家发展和改革委员会网(2011-06-30)[2013-05-15]. [http://gys.ndrc.gov.cn/gyfz/t20110630\\_421172.htm](http://gys.ndrc.gov.cn/gyfz/t20110630_421172.htm)  
(The Industrial Coordination Division, National Development and Reform Commission of the People's Republic of China. In the first five months of operation of iron and steel industry [J/OL]. The National Development and Reform Commission (2011-06-30)[2013-05-15]. [http://gys.ndrc.gov.cn/gyfz/t20110630\\_421172.htm](http://gys.ndrc.gov.cn/gyfz/t20110630_421172.htm))
- [2] 中华人民共和国工业和信息化部 原材料司. 2010钢铁行业运行情况及2011年展望[J/OL]. 工业和信息化部网(2011-02-16)[2013-05-15]. <http://www.miit.gov.cn/n11293472/n11293832/n11293907/n11368223/13593831.html>  
(Raw Materials Department, Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China. 2010 iron and steel industry operating conditions, and outlook in 2011 outlook [J/OL]. Ministry of Industry and Information (2011-02-16)[2013-05-15]. <http://www.miit.gov.cn/n11293472/n11293832/n11293907/n11368223/13593831.html>)
- [3] 矫志杰,何纯玉,牛文勇,等. 中厚板轧机全自动轧钢控制功能的在线实现[J]. 东北大学学报:自然科学版,2005,26(8):751-754.  
(Jiao Zhi-jie, He Chun-yu, Niu Wen-yong, et al. On line implementation of full automatic rolling control on plate mills in tandem [J]. *Journal of Northeastern University: Natural Science*, 2005, 26(8): 751-754.)
- [4] 刘文仲,宋勇,万海龙,等. 适应半无头轧制工艺的热轧计算机控制系统跟踪[J]. 冶金自动化,2004(4):36-39.  
(Liu Wen-zhong, Song Yong, Wan Hai-long, et al. Tracking in hot rolling computer system adapted to the semi-endless rolling process[J]. *Metallurgical Industry Automation*, 2004(4): 36-39.)
- [5] 矫志杰. 中厚板轧机过程控制系统的开发和应用研究[D]. 沈阳:东北大学,2004.  
(Jiao Zhi-jie. Development and application of process control system for plate mill [D]. Shenyang: Northeastern University, 2004.)
- [6] Tratnig M, Reisinger J, Hlobil H. A vision-based material tracking system for heavy plate rolling mills[C]//The Eight International Conference on Quality Control by Artificial Vision. Le Creusot, 2007: 63560B-63560B-15.
- [7] 刘玠. 热连轧生产自动化技术[M]. 北京:冶金工业出版社,2006:168-175.  
(Liu Jie. Automation technology of hot rolling production [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2006: 168-175.)
- [8] Iida N, Miura H, Sato A, et al. Advanced automation on the new plate mill at Misushima works [J]. *Iron and Steel Engineer*, 1978, 55(10): 34-40.
- [9] Romito L, Cozzi A. Developments in automation system design for steel plants[J]. *Steel Times International*, 1995, 19(2): 36, 43-46.
- [10] Wolters H. SMS automation in hot strip mills [J]. *Metallurgical Plant and Technology International*, 1995, 18(3): 64-66.
- [11] 矫志杰,王君,何纯玉,等. 中厚板生产线的全线跟踪实现与应用[J]. 东北大学学报:自然科学版,2009,30(11):1617-1620.  
(Jiao Zhi-jie, Wang Jun, He Chun-yu, et al. Application of whole process tracking to plate production line[J]. *Journal of Northeastern University: Natural Science*, 2009, 30(11): 1617-1620.)
- [12] 贾迎春. 基于多智能体热连轧跟踪控制系统研究与设计[D]. 沈阳:东北大学,2010.  
(Jia Ying-chun. Study and design of hot strip tracking control system basing MAS [D]. Shenyang: Northeastern University, 2010.)
- [13] 黄开林. 热轧带钢跟踪控制[J]. 冶金自动化,2009(sup2):542-545.  
(Huang Kai-lin. The tracking control of hot rolling steel strip [J]. *Metallurgical Industry Automation*, 2009(sup2): 542-545.)
- [14] 黄学文,范玉顺. 基于二进制和十六进制的物料工艺状态描述方法[J]. 计算机集成制造系统,2006,12(2):280-284.  
(Huang Xue-wen, Fan Yu-shun. Description method of material process state based on binary & hex system [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2006, 12(2): 280-284.)