



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102389902 A

(43) 申请公布日 2012. 03. 28

(21) 申请号 201110310664. 4

(22) 申请日 2011. 10. 14

(71) 申请人 中冶南方工程技术有限公司

地址 430223 湖北省武汉市东湖新技术开发区大学园路 33 号

(72) 发明人 解相朋 赵菁

(74) 专利代理机构 湖北武汉永嘉专利代理有限公司 42102

代理人 王守仁

(51) Int. Cl.

B21B 37/32(2006. 01)

B21B 27/10(2006. 01)

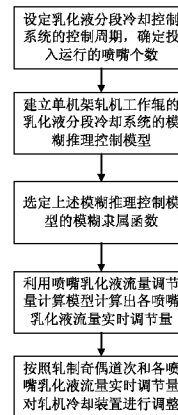
权利要求书 3 页 说明书 8 页 附图 2 页

(54) 发明名称

单机架轧机工作辊的乳化液分段冷却控制方法

(57) 摘要

本发明涉及一种单机架轧机工作辊的乳化液分段冷却控制方法,具体是:通过模糊建模方法建立起板形偏差、过往乳化液喷射流量调节量与当前乳化液喷射流量调节量之间的数量关系,实现对单机架轧机工作辊的高精度乳化液分段冷却控制。本发明提供的方法克服了由于乳化液喷射冷却作用机理存在较长时间滞后现象而不能精确控制的技术问题;实现了高精度的冷轧轧机工作辊乳化液分段冷却控制,可以有效消除冷轧带钢的高次板形偏差,提高冷轧带钢产品板形质量;该方法简易可行,完全满足分段冷却控制系统的实时性要求,兼具有效性和可实施性的特点。为高精度的冷轧带钢板形控制奠定了坚实的基础。



1. 一种单机架轧机工作辊的乳化液分段冷却控制方法,其特征是通过模糊建模方法建立起板形偏差、过往乳化液喷射流量调节量与当前乳化液喷射流量调节量之间的数量关系,设计出基于模糊模型的喷嘴乳化液流量调节量计算模型,进行分段冷却喷嘴的流量控制阀在线调节,实现对单机架轧机工作辊的高精度乳化液分段冷却控制。

2. 根据权利要求 1 所述的乳化液分段冷却控制方法,其特征在于该方法步骤包括:

(1) 设定单机架轧机工作辊的乳化液分段冷却控制的控制周期 T 的大小:

所述控制周期 T 要大于单机架轧机板形闭环控制系统的控制周期;根据带钢宽度和轧机上下工作辊分段冷却可控喷嘴布置情况确定覆盖带钢的喷嘴个数 m ,并且沿带钢横向从轧机操作侧到传动侧对 m 个可控喷嘴进行顺序编号,分别为对应上工作辊的 1 号至 m 号可控喷嘴和对应下工作辊的 1 号至 m 号可控喷嘴;

(2) 建立单机架轧机工作辊的乳化液分段冷却系统的模糊推理控制模型:

设定序号相同的上工作辊可控喷嘴和下工作辊可控喷嘴的喷射流量调节量保持一致,令 $u_i(k)$ 表示第 k 个控制周期的上工作辊第 i 个可控喷嘴或者下工作辊第 i 个可控喷嘴的喷射流量调节量,统称为第 i 个喷嘴在第 k 个控制周期的喷射流量调节量,由此建立单机架轧机工作辊的乳化液分段冷却系统的模糊推理控制模型:

IF $u_i(k-1)$ is UPB and Δ_i is FPB, THEN $u_i(k)=C_{i1}$,

IF $u_i(k-1)$ is UPB and Δ_i is FZO, THEN $u_i(k)=C_{i2}$,

IF $u_i(k-1)$ is UPB and Δ_i is FNB, THEN $u_i(k)=C_{i3}$,

IF $u_i(k-1)$ is UZO and Δ_i is FPB, THEN $u_i(k)=C_{i4}$,

IF $u_i(k-1)$ is UZO and Δ_i is FZO, THEN $u_i(k)=C_{i5}$,

IF $u_i(k-1)$ is UZO and Δ_i is FNB, THEN $u_i(k)=C_{i6}$,

IF $u_i(k-1)$ is UNB and Δ_i is FPB, THEN $u_i(k)=C_{i7}$,

IF $u_i(k-1)$ is UNB and Δ_i is FZO, THEN $u_i(k)=C_{i8}$,

IF $u_i(k-1)$ is UNB and Δ_i is FNB, THEN $u_i(k)=C_{i9}$,

其中, $u_i(k-1)$ 为第 i 个喷嘴在第 $k-1$ 个控制周期的喷射流量调节量,且有 $i=1,2, \dots, m$; Δ_i 为第 i 个喷嘴对应的带钢区域的板形偏差,由板形目标信号与接触式板形仪板形测量信号相减作差得到,且有 $i=1,2, \dots, m$;UPB、UZO、UNB 分别为描述喷嘴流量调节量正大、零、负大的模糊数,而 FPB、FZO、FNB 分别为描述板形偏差量正大、零、负大的模糊数; C_{ij} 为第 j 条模糊规则下第 i 个喷嘴的喷射流量调节量,其通过热传导理论和经验模型获得,且有 $i=1,2, \dots, m$ 和 $j=1,2, \dots, 9$;

(3) 结合轧机乳化液分段冷却设备物理特性,设定 $u_i(k-1)$ 和 Δ_i 的模糊隶属函数:
 $u_i(k-1)$ 关于 UPB 的模糊隶属函数:

$$f_{UPB}(u_i(k-1)) = \begin{cases} 1, & u_i(k-1) > U_i \\ \frac{1}{U_i} u_i(k-1), & 0 \leq u_i(k-1) \leq U_i \\ 0, & u_i(k-1) < 0 \end{cases}$$

式中: U_i 为根据第 i 个喷嘴的流量控制阀调节特性确定的值,在所述模糊推理控制模

型中认为乳化液调节量大于 U_i 时为调节量大, 小于 $-U_i$ 时为调节量负大, 下同;

$u_i(k-1)$ 关于 UZO 的模糊隶属函数:

$$f_{\text{UZO}}(u_i(k-1)) = \begin{cases} 0, & u_i(k-1) > U_i \\ 1 - \frac{1}{U_i} u_i(k-1), & 0 \leq u_i(k-1) \leq U_i \\ 1 + \frac{1}{U_i} u_i(k-1), & -U_i \leq u_i(k-1) < 0 \\ 0, & u_i(k-1) < -U_i \end{cases},$$

$u_i(k-1)$ 关于 UNB 的模糊隶属函数:

$$f_{\text{UNB}}(u_i(k-1)) = \begin{cases} 0, & u_i(k-1) > 0 \\ -\frac{1}{U_i} u_i(k-1), & -U_i \leq u_i(k-1) \leq 0 \\ 1, & u_i(k-1) < -U_i \end{cases},$$

Δ_i 关于 FPB 的模糊隶属函数:

$$f_{\text{FPB}}(\Delta_i) = \begin{cases} 1, & \Delta_i > F_i \\ \frac{1}{F_i} \Delta_i, & 0 \leq \Delta_i \leq F_i \\ 0, & \Delta_i < 0 \end{cases},$$

式中 F_i 为衡量第 i 个喷嘴对应的带钢区域的板形偏差大小的标准值, 该标准值根据实际生产带卷常见的板形缺陷来确定, 单位为板形国际单位 I, 在所述模糊推理控制模型中认为板形偏差大于 F_i 时为板形偏差正大, 小于 $-F_i$ 时为板形偏差负大, 下同;

Δ_i 关于 FZO 的模糊隶属函数:

$$f_{\text{FZO}}(\Delta_i) = \begin{cases} 0, & \Delta_i > F_i \\ 1 - \frac{1}{F_i} \Delta_i, & 0 \leq \Delta_i \leq F_i \\ 1 + \frac{1}{F_i} \Delta_i, & -F_i \leq \Delta_i < 0 \\ 0, & \Delta_i < -F_i \end{cases},$$

Δ_i 关于 FNB 的模糊隶属函数:

$$f_{\text{FNB}}(\Delta_i) = \begin{cases} 0, & \Delta_i > 0 \\ -\frac{1}{F_i} \Delta_i, & -F_i \leq \Delta_i \leq 0 \\ 1, & \Delta_i < -F_i \end{cases};$$

(4) 利用 Takagi-Sugeno 模糊模型建模规则求取第 i 个喷嘴在第 k 个控制周期的乳化液流量调节量, 得到以下喷嘴乳化液流量调节量计算模型:

$$u_i(k) = \sum_{j=1}^9 h_{ij} \times C_{ij}$$

其中：

$$\begin{aligned} h_{11} &= f_{UPB}(u_i(k-1)) \times f_{FPB}(\Delta_i) & , & & h_{12} &= f_{UPB}(u_i(k-1)) \times f_{FZO}(\Delta_i) & , \\ h_{13} &= f_{UPB}(u_i(k-1)) \times f_{FNB}(\Delta_i) & , & & h_{14} &= f_{UZO}(u_i(k-1)) \times f_{FPB}(\Delta_i) & , & h_{15} &= f_{UZO}(u_i(k-1)) \times f_{FZO}(\Delta_i) \\ , & h_{16} &= f_{UZO}(u_i(k-1)) \times f_{FNB}(\Delta_i) & , & & & & & \\ h_{17} &= f_{UNB}(u_i(k-1)) \times f_{FPB}(\Delta_i) & , & & h_{18} &= f_{UNB}(u_i(k-1)) \times f_{FZO}(\Delta_i) & , \\ h_{19} &= f_{UNB}(u_i(k-1)) \times f_{FNB}(\Delta_i) & ; & & & & & & \end{aligned}$$

(5) 按照轧制奇偶道次和乳化液流量调节量,来进行分段冷却喷嘴的流量控制阀控制:

在轧制奇数道次时,轧机入口侧喷嘴开启,依据上一步骤计算得到的各喷嘴乳化液流量调节量对轧机入口侧的可控喷嘴进行流量调节,

在轧制偶数道次时,轧机出口侧喷嘴开启,依据上一步骤计算得到的各喷嘴乳化液流量调节量对轧机出口侧的可控喷嘴进行流量调节。

3. 根据权利要求2所述的乳化液分段冷却控制方法,其特征在于步骤(5)中,对每个喷嘴的喷射流量控制由下述手动控制模式替换:依据人工经验对喷嘴流量进行调节,其中乳化液的喷射压力为0.5~0.6MPa。

4. 根据权利要求2所述的乳化液分段冷却控制方法,其特征在于步骤(1)中,所述乳化液分段冷却控制的控制周期T为板形闭环控制系统控制周期的9~11倍。

单机架轧机工作辊的乳化液分段冷却控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及冷轧带钢领域,尤其涉及一种单机架轧机工作辊的乳化液分段冷却控制方法。

背景技术

[0002] 冷轧带钢生产过程中会产生大量热量,这些热量促使轧机工作辊产生不均匀的热膨胀,形成工作辊热凸度而改变辊缝分布,最终使得出口板形具有不均匀分布的高次板形缺陷。常规板形控制手段,如轧辊倾斜、工作辊弯辊、中间辊窜辊等,往往难以消除这些不规则的高次板形缺陷。现代板形控制系统中通常采用乳化液喷射装置喷射乳化液来带走轧制过程中产生的热量,释放工作辊内应力以提高轧辊使用寿命,提高出口板形质量。

[0003] 乳化液分段冷却的原理是轧辊分段冷却系统借助于对轧辊按区分段喷射冷却液,提供了对沿轧辊辊身长度方向上得热凸度的高精度控制,使轧辊各段上得热凸度发生积极变化,来控制带材相应段上在长度方向的延伸率变化,最终达到改善带钢平直度的目的。然而,冷轧带钢轧制过程中轧辊的温升是一个复杂的物理过程,与诸多因素有关,在对轧辊进行分段冷却时,很难建立起该过程的数学模型;与此同时,乳化液分段冷却的作用机理具有高度非线性、长时间滞后性,传统的预设定型乳化液分段冷却方法很难得到理想的板形控制质量。另一方面,人工智能方法作为解决此类复杂控制问题的有效手段而被广泛应用。在冷轧工作辊的乳化液分段冷却控制领域,已有模糊控制方法成功应用于实际控制的业绩,一定程度上解决了控制高次板形缺陷的技术难题。在已有的乳化液分段冷却模糊控制技术中,除了考虑各个喷嘴所覆盖带钢区域的板形偏差因素外,还考虑了板形偏差在时间上的变化。这种传统方法存在一个缺陷:除乳化液分段冷却外,轧机通常具有另外多种板形控制手段,如轧辊倾斜、弯辊、窜辊等;于是,板形偏差在时间上的变化的生成原因不仅仅是由于乳化液的喷射,也就是说它是多种板形控制手段共同作用的结果。由于多种板形控制手段的作用结果之间存在相互耦合关系,这种耦合关系也比较难以解耦,因此单纯利用板形偏差在时间上的变化来指导乳化液分段冷却控制调节量的设计是不合理的。

[0004] 冷轧板形控制技术一直为国外公司所垄断而导致进口冷轧板形控制系统价格昂贵,即使高价进口后由于不掌握核心技术在产品变规格后不能保证系统良好运行,因此进行冷轧板形控制核心技术的国产化研发势在必行。

[0005] 为了解决上述技术问题,就必须详细研究乳化液分段冷却的作用机理,找到影响乳化液分段冷却效果的根本因素,然后将它作为分段冷却控制系统的影响因素,利用模糊控制技术将这个影响因素与控制调节量的关系很好的建立起来,实现高精度的冷轧轧机工作辊乳化液分段冷却控制,有效消除冷轧带钢的高次板形偏差,为进一步提高冷轧带钢产品的质量发挥关键作用。

发明内容

[0006] 本发明所要解决的技术问题是:提供一种单机架轧机工作辊的乳化液分段冷却控

制方法,以解决由于乳化液喷射冷却作用机理存在较长时间滞后现象而不能精确控制的技术问题。

[0007] 本发明解决其技术问题采用的技术方案是:通过模糊建模方法建立起板形偏差、过往乳化液喷射流量调节量与当前乳化液喷射流量调节量之间的数量关系,设计出基于模糊模型的喷嘴乳化液流量调节量计算模型,进行分段冷却喷嘴的流量控制阀在线调节,实现对单机架轧机工作辊的高精度乳化液分段冷却控制。

[0008] 本发明提供的单机架轧机工作辊的乳化液分段冷却控制方法,其步骤包括:

(1) 设定单机架轧机工作辊的乳化液分段冷却控制的控制周期 T 的大小;

由于乳化液分段冷却控制具有较长时滞,因而 T 要大于单机架轧机板形闭环控制系统的控制周期。根据带钢宽度和轧机上下工作辊分段冷却可控喷嘴布置情况确定覆盖带钢的喷嘴个数 m ,并且沿带钢横向从轧机操作侧到传动侧对 m 个可控喷嘴进行顺序编号,分别为对应上工作辊的 1 号至 m 号可控喷嘴和对应下工作辊的 1 号至 m 号可控喷嘴。

[0009] (2) 建立单机架轧机工作辊的乳化液分段冷却系统的模糊推理控制模型:

为了保证上下工作辊温度均匀分布,人为设定序号相同的上工作辊可控喷嘴和下工作辊可控喷嘴的喷射流量调节量保持一致,令 $u_i(k)$ 表示第 k 个控制周期的上工作辊第 i 个可控喷嘴或者下工作辊第 i 个可控喷嘴的喷射流量调节量,统称为第 i 个喷嘴在第 k 个控制周期的喷射流量调节量。由此建立单机架轧机工作辊的乳化液分段冷却系统的模糊推理控制模型:

IF $u_i(k-1)$ is UPB and Δ_i is FPB, THEN $u_i(k)=C_{i1}$;

IF $u_i(k-1)$ is UPB and Δ_i is FZO, THEN $u_i(k)=C_{i2}$;

IF $u_i(k-1)$ is UPB and Δ_i is FNB, THEN $u_i(k)=C_{i3}$;

IF $u_i(k-1)$ is UZO and Δ_i is FPB, THEN $u_i(k)=C_{i4}$;

IF $u_i(k-1)$ is UZO and Δ_i is FZO, THEN $u_i(k)=C_{i5}$;

IF $u_i(k-1)$ is UZO and Δ_i is FNB, THEN $u_i(k)=C_{i6}$;

IF $u_i(k-1)$ is UNB and Δ_i is FPB, THEN $u_i(k)=C_{i7}$;

IF $u_i(k-1)$ is UNB and Δ_i is FZO, THEN $u_i(k)=C_{i8}$;

IF $u_i(k-1)$ is UNB and Δ_i is FNB, THEN $u_i(k)=C_{i9}$;

其中, $u_i(k-1)$ 为第 i 个喷嘴在第 $k-1$ 个控制周期的喷射流量调节量,且有 $i=1,2,\dots,m$; Δ_i 为第 i 个喷嘴对应的带钢区域的板形偏差,由板形目标信号与接触式板形仪板形测量信号相减作差得到,且有 $i=1,2,\dots,m$;UPB、UZO、UNB 分别为描述喷嘴流量调节量大、零、负大的模糊数,而 FPB、FZO、FNB 分别为描述板形偏差量大、零、负大的模糊数; C_{ij} 为第 j 条模糊规则下第 i 个喷嘴的喷射流量调节量,可以通过热传导理论和经验模型获得,且有 $i=1,2,\dots,m$ 和 $j=1,2,\dots,9$ 。

[0010] (3) 结合轧机乳化液分段冷却设备物理特性,设定 $u_i(k-1)$ 和 Δ_i 的模糊隶属函数:

$u_i(k-1)$ 关于 UPB 的模糊隶属函数:

$f_{UPB}(u_i(k-1)) =$

$$\begin{cases} 1, & u_i(k-1) > U_i \\ \frac{1}{U_i} u_i(k-1), & 0 \leq u_i(k-1) \leq U_i \\ 0, & u_i(k-1) < 0 \end{cases}$$

这里, U_i 为根据第 i 个喷嘴的流量控制阀调节特性确定的值, 在所述模糊推理控制模型中认为乳化液调节量大于 U_i 时为调节量正大, 小于 $-U_i$ 时为调节量负大, 下同;

$u_i(k-1)$ 关于 UZO 的模糊隶属函数:

$$f_{\text{UPB}}(u_i(k-1)) = \begin{cases} 0, & u_i(k-1) > U_i \\ 1 - \frac{1}{U_i} u_i(k-1), & 0 \leq u_i(k-1) \leq U_i \\ 1 + \frac{1}{U_i} u_i(k-1), & -U_i \leq u_i(k-1) < 0 \\ 0, & u_i(k-1) < -U_i \end{cases}$$

$u_i(k-1)$ 关于 UNB 的模糊隶属函数:

$$f_{\text{UZO}}(u_i(k-1)) = \begin{cases} 0, & u_i(k-1) > 0 \\ -\frac{1}{U_i} u_i(k-1), & -U_i \leq u_i(k-1) \leq 0 \\ 1, & u_i(k-1) < -U_i \end{cases}$$

Δ_i 关于 FPB 的模糊隶属函数:

$$f_{\text{FNB}}(\Delta_i) = \begin{cases} 1, & \Delta_i > F_i \\ \frac{1}{F_i} \Delta_i, & 0 \leq \Delta_i \leq F_i \\ 0, & \Delta_i < 0 \end{cases}$$

这里, F_i 为衡量第 i 个喷嘴对应的带钢区域的板形偏差大小的标准值, 该标准值根据实际生产带卷常见的板形缺陷来确定, 单位为板形国际单位 I, 在所述模糊推理控制模型中认为板形偏差大于 F_i 时为板形偏差正大, 小于 $-F_i$ 时为板形偏差负大, 下同;

Δ_i 关于 FZO 的模糊隶属函数:

$$f_{\text{FZO}}(\Delta_i) = \begin{cases} 0, & \Delta_i > F_i \\ 1 - \frac{1}{F_i} \Delta_i, & 0 \leq \Delta_i \leq F_i \\ 1 + \frac{1}{F_i} \Delta_i, & -F_i \leq \Delta_i < 0 \\ 0, & \Delta_i < -F_i \end{cases}$$

Δ_i 关于 FNB 的模糊隶属函数:

$$f_{\text{FNB}}(\Delta_i) = \begin{cases} 0, & \Delta_i > 0 \\ -\frac{1}{F_i} \Delta_i, & -F_i \leq \Delta_i \leq 0 \\ 1, & \Delta_i < -F_i \end{cases}$$

(4) 利用 Takagi-Sugeno 模糊模型建模规则求取第 i 个喷嘴在第 k 个控制周期的乳化液流量调节量, 得到如下喷嘴乳化液流量调节量计算模型:

$$u_i(k) = \sum_{j=1}^9 h_{ij} \times C_{ij}$$

其中:

$$\begin{aligned} h_{11} &= f_{\text{UPB}}(u_i(k-1)) \times f_{\text{FPB}}(\Delta_i), & h_{12} &= f_{\text{UPB}}(u_i(k-1)) \times f_{\text{FZO}}(\Delta_i), \\ h_{13} &= f_{\text{UPB}}(u_i(k-1)) \times f_{\text{FNB}}(\Delta_i), & h_{14} &= f_{\text{UZO}}(u_i(k-1)) \times f_{\text{FPB}}(\Delta_i), & h_{15} &= f_{\text{UZO}}(u_i(k-1)) \times f_{\text{FZO}}(\Delta_i), \\ h_{16} &= f_{\text{UZO}}(u_i(k-1)) \times f_{\text{FNB}}(\Delta_i), \\ h_{17} &= f_{\text{UNB}}(u_i(k-1)) \times f_{\text{FPB}}(\Delta_i), & h_{18} &= f_{\text{UNB}}(u_i(k-1)) \times f_{\text{FZO}}(\Delta_i), \\ h_{19} &= f_{\text{UNB}}(u_i(k-1)) \times f_{\text{FNB}}(\Delta_i). \end{aligned}$$

[0011] (5) 按照轧制奇偶道次和乳化液流量调节量来进行分段冷却喷嘴的流量控制阀控制。

[0012] 在轧制奇数道次时, 轧机入口侧喷嘴开启, 依据上一步骤计算得到的各喷嘴乳化液流量调节量对轧机入口侧的可控喷嘴进行流量调节;

在轧制偶数道次时, 轧机出口侧喷嘴开启, 依据上一步骤计算得到的各喷嘴乳化液流量调节量对轧机出口侧的可控喷嘴进行流量调节。

[0013] 除上述自动控制模式外, 对每个喷嘴的喷射流量控制也可切入到手动控制模式, 依据人工经验来对喷嘴流量进行调节。乳化液的喷射压力为 $0.5 \sim 0.6 \text{ MPa}$ 。

[0014] 在上述步骤(1)中, 所述乳化液分段冷却控制的控制周期 T 为板形闭环控制系统控制周期的 $9 \sim 11$ 倍。

[0015] 本发明与现有技术相比, 具有以下的主要有益效果:

1. 通过模糊建模方法建立起了板形偏差、过往乳化液喷射流量调节量与当前乳化液喷射流量调节量之间的关系, 克服了由于乳化液喷射冷却作用机理存在较长时间滞后现象而不能精确控制的技术问题;

2. 实现了高精度的冷轧轧机工作辊乳化液分段冷却控制, 可以有效消除冷轧带钢的高次板形偏差, 提高冷轧带钢产品板形质量;

3. 该方法简易可行, 完全满足分段冷却控制系统的实时性要求, 兼具有效性和可实施性的特点。为高精度的冷轧带钢板形控制奠定了坚实的基础。

附图说明

[0016] 图 1 为本发明实例的各喷嘴乳化液流量调节量计算流程图。

[0017] 图 2 为本发明控制方法投入前的板形偏差分布图。

[0018] 图 3 为本发明控制方法投入后的板形偏差分布图。

具体实施方式

[0019] 本发明提供的单机架轧机工作辊的乳化液分段冷却控制方法,其特征是通过模糊建模方法建立起板形偏差、过往乳化液喷射流量调节量与当前乳化液喷射流量调节量之间的数量关系,设计出基于模糊模型的喷嘴乳化液流量调节量计算模型,进行分段冷却喷嘴的流量控制阀在线调节,实现对单机架轧机工作辊的高精度乳化液分段冷却控制。

[0020] 下面结合实施例及附图对本发明作进一步说明,但不限定本发明。

[0021] 基于本发明得到的用于单机架可逆冷轧轧机的带钢生产。本发明已在某单机架六辊轧机上成功应用。该六辊轧机可轧产品包括普通板、高强钢、部分不锈钢和硅钢等。以其轧制中高牌号硅钢为例该机组的主要技术性能指标和设备参数为：

原料钢卷 :高牌号无取向 HNGO

原料厚度 :1.8~2.5mm

产品规格 (厚度 × 宽度) :0.35mm×1250mm

其它主要技术参数 :轧制速度 :Max 900m/min 轧制压力 : Max 18000KN

卷取张力 :Max 220KN 主电机功率 : 5500KW

带钢弹性模量 : 2.06×10^5 泊松比 :0.3

本实施例单机架六辊轧机板形调控手段主要有倾辊、工作辊正负弯辊、中间辊正弯辊和中间辊窜辊和乳化液分段冷却。其中中间辊窜辊是根据带钢宽度进行预设,调整原则是将中间辊辊身边缘与带钢边部对齐,亦可由操作方考虑添加一个修正量,调到位后保持位置不变,因而在线调节的板形控制执行器主要有倾辊、工作辊正负弯辊、中间辊正弯辊三种,剩余高次板形偏差由本发明提出的乳化液分段冷却控制方法来消除。

[0022] 本实例乳化液分段冷却装置的组成为 :在轧机入口和出口处分别设置上下工作辊的冷却梁,冷却梁沿辊身方向分成多段,包括位于轧制线上方入口处的入口上工作辊冷却和清洁喷射梁、入口上工作辊辊缝润滑喷射梁、出口处的出口上工作辊冷却和清洁喷射梁、出口上工作辊辊缝润滑喷射梁 ;位于轧制线下方入口处的入口下工作辊冷却和清洁喷射梁、入口下工作辊辊缝润滑喷射梁、出口处的出口下工作辊冷却和清洁喷射梁、出口下工作辊辊缝润滑喷射梁。其中所有工作辊冷却和清洁喷射梁靠近工作辊外侧,所有的工作辊辊缝润滑喷射梁靠近工作辊的辊缝处。其中工作辊辊缝润滑喷射梁为基础冷却,工作辊冷却和清洁喷射梁为可控冷却部分。工作梁的每段设置多个喷嘴,喷嘴通过输送乳化液的输送管路接至调节乳化液流量的流量调节阀。图 1 给出了本实例的各喷嘴乳化液流量调节量计算流程图。

[0023] 本实例技术方案的实施步骤为：

(1) 由于单机架轧机板形闭环控制系统的控制周期为 200ms,结合乳化液喷射冷却装置的调节特性设定单机架轧机工作辊的乳化液分段冷却控制的控制周期为 $T=2s$,可以看到 $T>200ms$ 。所轧带钢宽度为 1250mm,结合工作辊冷却和清洁喷射梁上喷嘴布置情况确定覆盖带钢的喷嘴个数 $m=20$,并且沿带钢横向从轧机操作侧到传动侧分别对上下工作辊的各 20 个喷嘴进行顺序编号。

[0024] 所述乳化液分段冷却控制的控制周期 T 为板形闭环控制系统控制周期的 9 ~ 11

倍。

[0025] (2) 建立单机架轧机工作辊的乳化液分段冷却系统的模糊推理控制模型：

IF $u_i(k-1)$ is UPB and Δ_i is FPB, THEN $u_i(k)=C_{i1}$;

IF $u_i(k-1)$ is UPB and Δ_i is FZO, THEN $u_i(k)=C_{i2}$;

IF $u_i(k-1)$ is UPB and Δ_i is FNB, THEN $u_i(k)=C_{i3}$;

IF $u_i(k-1)$ is UZO and Δ_i is FPB, THEN $u_i(k)=C_{i4}$;

IF $u_i(k-1)$ is UZO and Δ_i is FZO, THEN $u_i(k)=C_{i5}$;

IF $u_i(k-1)$ is UZO and Δ_i is FNB, THEN $u_i(k)=C_{i6}$;

IF $u_i(k-1)$ is UNB and Δ_i is FPB, THEN $u_i(k)=C_{i7}$;

IF $u_i(k-1)$ is UNB and Δ_i is FZO, THEN $u_i(k)=C_{i8}$;

IF $u_i(k-1)$ is UNB and Δ_i is FNB, THEN $u_i(k)=C_{i9}$;

其中, $u_i(k-1)$ 为第 i 个喷嘴在第 $k-1$ 个控制周期的喷射流量调节量, 且有 $i=1, 2, \dots, 20$; Δ_i 为第 i 个喷嘴对应的带钢区域的板形偏差, 由板形目标信号与接触式板形仪板形测量信号相减作差得到, 且有 $i=1, 2, \dots, 20$; UPB、UZO、UNB 分别为描述喷嘴流量调节量正大、零、负大的模糊数, 而 FPB、FZO、FNB 分别为描述板形偏差量正大、零、负大的模糊数 ; C_{ij} 为第 j 条模糊规则下第 i 个喷嘴的喷射流量调节量, 可以通过热传导理论和经验模型获得, 且有 $i=1, 2, \dots, 20$ 和 $i=1, 2, \dots, 9$ 。

[0026] (3) 结合轧机乳化液分段冷却设备物理特性设定 $u_i(k-1)$ 和 Δ_i 的模糊隶属函数, $u_i(k-1)$ 关于 UPB 的模糊隶属函数：

$$f_{\text{UPB}}(u_i(k-1)) = \begin{cases} 1, & u_i(k-1) > U_i \\ \frac{1}{U_i} u_i(k-1), & 0 \leq u_i(k-1) \leq U_i \\ 0, & u_i(k-1) < 0 \end{cases}$$

这里, U_i 为根据第 i 个喷嘴的流量控制阀调节特性确定的值, 在所述模糊推理控制模型中认为乳化液调节量大于 U_i 时为调节量正大, 小于 $-U_i$ 时为调节量负大, 下同；

$u_i(k-1)$ 关于 UZO 的模糊隶属函数：

$$f_{\text{UZO}}(u_i(k-1)) = \begin{cases} 0, & u_i(k-1) > U_i \\ 1 - \frac{1}{U_i} u_i(k-1), & 0 \leq u_i(k-1) \leq U_i \\ 1 + \frac{1}{U_i} u_i(k-1), & -U_i \leq u_i(k-1) < 0 \\ 0, & u_i(k-1) < -U_i \end{cases}$$

$u_i(k-1)$ 关于 UNB 的模糊隶属函数：

$$f_{\text{UNB}}(u_i(k-1)) = \begin{cases} 0, & u_i(k-1) > 0 \\ -\frac{1}{U_i} u_i(k-1), & -U_i \leq u_i(k-1) \leq 0 \\ 1, & u_i(k-1) < -U_i \end{cases}$$

Δ_i 关于 FPB 的模糊隶属函数：

$$f_{\text{FNB}}(\Delta_i) = \begin{cases} 1, & \Delta_i > F_i \\ \frac{1}{F_i} \Delta_i, & 0 \leq \Delta_i \leq F_i \\ 0, & \Delta_i < 0 \end{cases}$$

这里, F_i 为衡量第 i 个喷嘴对应的带钢区域的板形偏差大小的标准值, 该标准值根据实际生产带卷常见的板形缺陷来确定, 单位为板形国际单位 I, 在所述模糊推理控制模型中认为板形偏差大于 F_i 时为板形偏差正大, 小于 $-F_i$ 时为板形偏差负大, 下同;

Δ_i 关于 FZO 的模糊隶属函数:

$$f_{\text{FZO}}(\Delta_i) = \begin{cases} 0, & \Delta_i > F_i \\ 1 - \frac{1}{F_i} \Delta_i, & 0 \leq \Delta_i \leq F_i \\ 1 + \frac{1}{F_i} \Delta_i, & -F_i \leq \Delta_i < 0 \\ 0, & \Delta_i < -F_i \end{cases}$$

Δ_i 关于 FNB 的模糊隶属函数:

$$f_{\text{FNB}}(\Delta_i) = \begin{cases} 0, & \Delta_i > 0 \\ -\frac{1}{F_i} \Delta_i, & -F_i \leq \Delta_i \leq 0 \\ 1, & \Delta_i < -F_i \end{cases}$$

(4) 利用 Takagi-Sugeno 模糊模型建模规则求取第 i 个喷嘴在第 k 个控制周期的乳化液流量调节量, 得到单机架六辊轧机喷嘴乳化液流量调节量计算模型:

$$u_i(k) = \sum_{j=1}^9 h_{ij} \times C_{ij}$$

其中:

$$\begin{aligned} h_{i1} &= f_{\text{UPB}}(u_i(k-1)) \times f_{\text{FPB}}(\Delta_i), & h_{i2} &= f_{\text{UPB}}(u_i(k-1)) \times f_{\text{FZO}}(\Delta_i), \\ h_{i3} &= f_{\text{UPB}}(u_i(k-1)) \times f_{\text{FNB}}(\Delta_i), & & \\ h_{i4} &= f_{\text{UZO}}(u_i(k-1)) \times f_{\text{FPB}}(\Delta_i), & h_{i5} &= f_{\text{UZO}}(u_i(k-1)) \times f_{\text{FZO}}(\Delta_i), \\ h_{i6} &= f_{\text{UZO}}(u_i(k-1)) \times f_{\text{FNB}}(\Delta_i), & & \\ h_{i7} &= f_{\text{UNB}}(u_i(k-1)) \times f_{\text{FPB}}(\Delta_i), & h_{i8} &= f_{\text{UNB}}(u_i(k-1)) \times f_{\text{FZO}}(\Delta_i), \\ h_{i9} &= f_{\text{UNB}}(u_i(k-1)) \times f_{\text{FNB}}(\Delta_i). \end{aligned}$$

[0027] (5) 按照轧制奇偶道次和乳化液流量调节量来进行分段冷却喷嘴的流量控制阀控制:

在轧制奇数道次时, 轧机入口侧上和下工作辊冷却和清洁喷射梁的喷嘴开启, 依据上一步骤计算得到的各喷嘴乳化液流量调节量对各喷嘴乳化液流量调节量对轧机入口侧上和下工作辊冷却和清洁喷射梁上的喷嘴进行流量调节;

在轧制偶数道次时,轧机出口侧上和下工作辊冷却和清洁喷射梁的喷嘴开启,依据上一步骤计算得到的各喷嘴乳化液流量调节量对轧机出口侧上和下工作辊冷却和清洁喷射梁上的喷嘴进行流量调节。

[0028] 除上述自动控制模式外,对每个喷嘴的喷射流量控制也可切入到手动控制模式,依据人工经验来对喷嘴流量进行调节。乳化液的喷射压力为 $0.5\sim 0.6\text{MPa}$ 。

[0029] 图 2 给出了本发明控制方法投入运行前的冷轧带钢产品出口板形偏差分布情况,此时采用传统方法进行工作辊乳化液分段冷却控制。由图 2 可以看出,沿带钢横向存在非对称的不规则带钢缺陷,影响了产品的美观和质量;这也说明了传统方法没有很好的解决由于乳化液喷射冷却作用机理存在较长时间滞后现象而不能精确控制的技术问题。

[0030] 图 3 给出了本发明控制方法投入运行后的冷轧带钢产品出口板形偏差分布情况。由图 3 可以看出,本发明提供的方法能够有效地消除高次板形偏差,从而大大改善了冷轧带钢产品出口板形,提高了带材的板形质量。

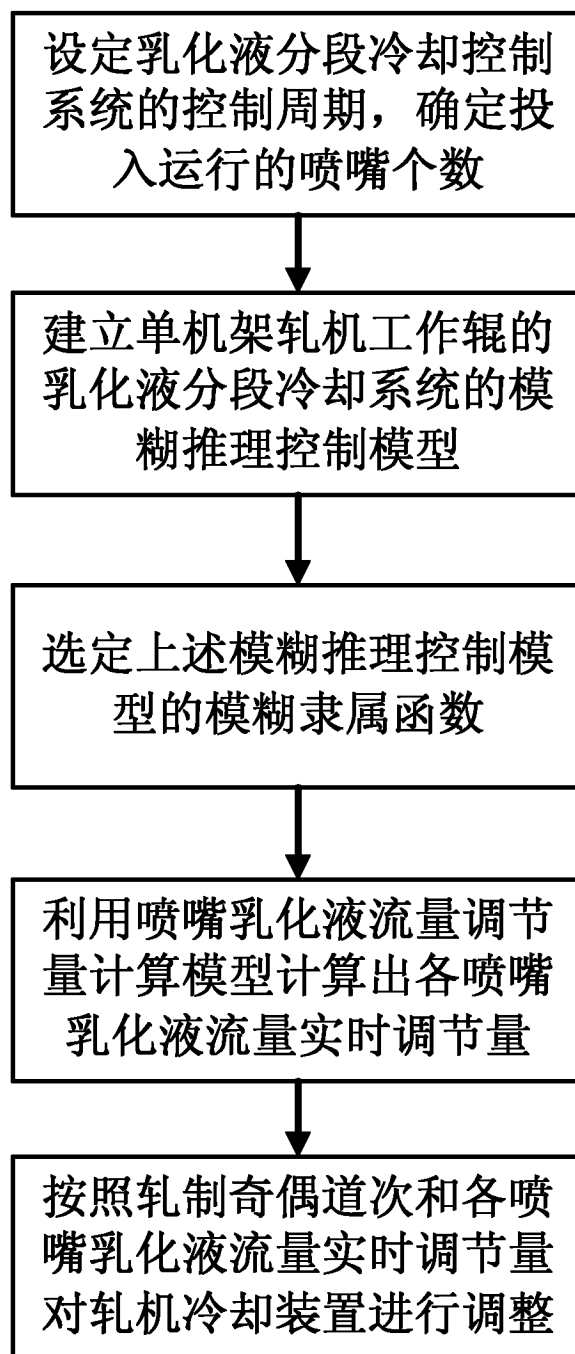


图 1

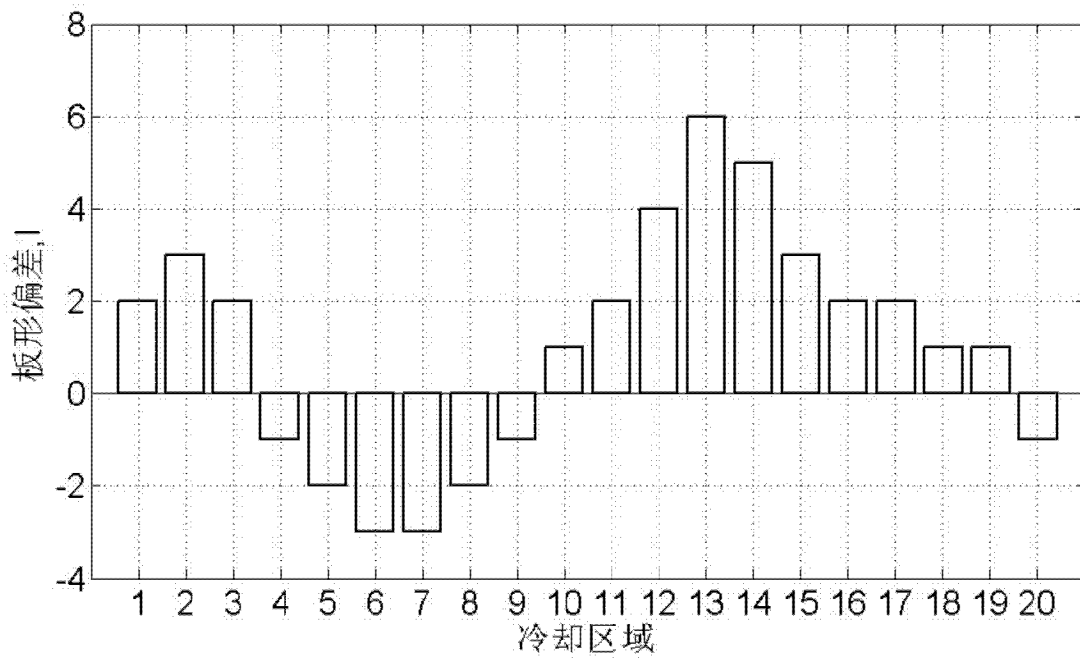


图 2

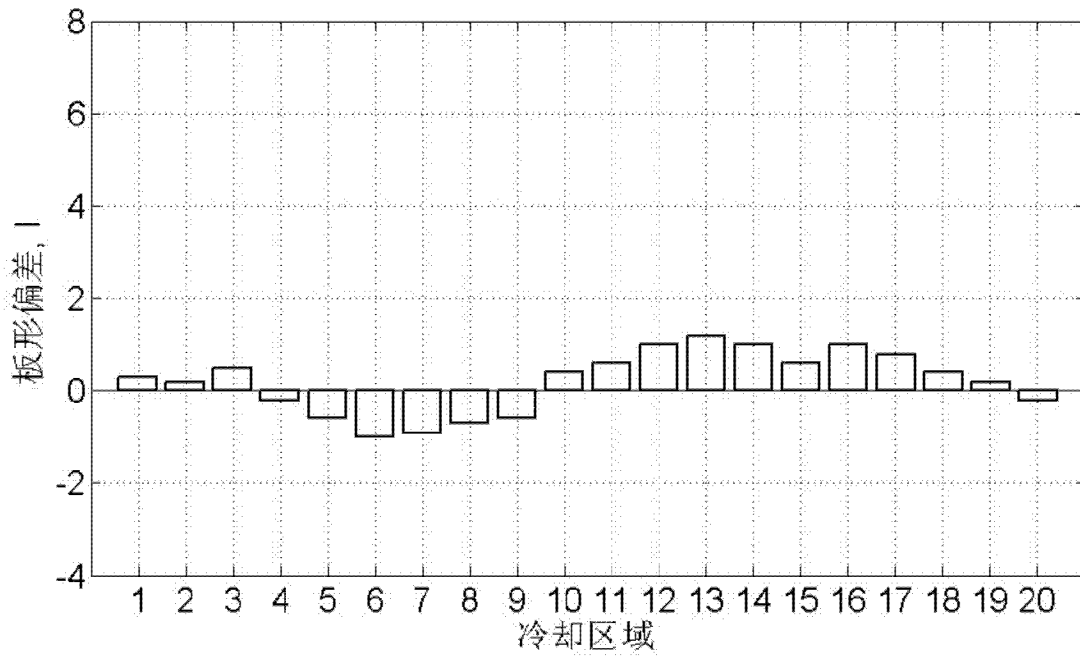


图 3