

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

B21B 37/00 (2006.01)

B21B 1/46 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03111285.4

[45] 授权公告日 2006 年 12 月 27 日

[11] 授权公告号 CN 1291803C

[22] 申请日 2003.3.25 [21] 申请号 03111285.4

[73] 专利权人 鞍钢集团新钢铁有限责任公司

地址 114001 辽宁省鞍山市铁东区南胜利路 31 号

[72] 发明人 黄浩东 赵林 何安瑞 杨旭
杨荃 沙孝春 吴胜田 张海波
马普生 郭宝安 徐延强 王霆
陈百红 郭晓波 刘志刚 董浩然
郑方坤 李庆贤

审查员 高晓颖

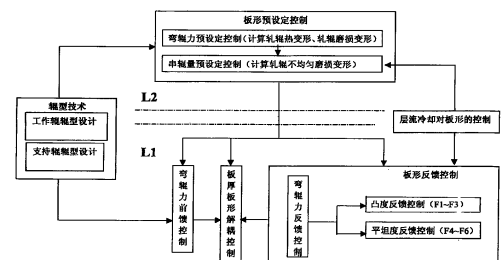
权利要求书 4 页 说明书 8 页 附图 2 页

[54] 发明名称

中薄板坯连铸连轧板形综合控制方法

[57] 摘要

本发明提供一种中薄板坯连铸连轧板形综合控制方法，包括精轧板形设定控制模型、厚度自动控制 AGC、层流冷却对板形的影响，并采用新的轧辊技术，用板形控制模型进行弯辊力和串辊位置的设定和调节，板型控制模型包括预设控制模型，动态控制模型和板形板厚解耦控制模型，预设模型包括串辊预设控制模型(分为常规串辊策略和特殊串辊策略)，弯辊力预设控制模型，而动态控制模型又分为弯辊力前馈控制模型和弯辊力反馈控制模型，将本控制方法用于某钢铁公司 110mm ~ 180mm 板坯连铸连轧生产线上试验，可保证带钢凸度控制达到 $\pm 0.018\text{mm}$ 的占 90% 以上，平坦度达到 30IU 的 90% 以上，同宽度带钢轧制长度超过 70Km $\pm 10\text{Km}$ 。



1、一种中薄板坯连铸连轧板形综合控制方法，包括精轧板形设定控制模型，厚度自动控制 AGC，层流冷却对板形的影响，其特征在于：

1) 通过精轧机工作辊辊形和支持辊辊形设计，用数控磨床加工出工作辊辊形曲线和支持辊辊形曲线，

2) 通过二级计算机进行工作辊弯辊力和工作辊串辊位置计算，控制系统根据计算结果进行弯辊力和串辊位置的设计和调节，实现对带钢凸度、平坦度、边部形状的有效控制，

3) 所述的工作辊弯辊力计算包括：

a) 根据所轧产品确定各种规格带钢的目标凸度，目标平坦度，并对平坦度检测信号进行温度和张力补偿，

b) 根据轧件宽度、各机架轧制压力、工作辊辊形、支持辊辊形、轧辊热变形、轧辊磨损变形、计算出轧制每根带钢的各机架工作辊弯辊力，

c) 通过各机架压下量调节得到工作辊弯辊力的前馈调节值，

d) 通过凸度仪表检测得到的凸度偏差得到上游机架 F1—F3 工作辊弯辊力的反馈调节值，

e) 通过平坦度仪表检测得到平坦度偏差，由此计算得到下游机架 F4—F6 的工作辊弯辊力反馈调节值，

4) 工作辊串辊位置计算：根据轧制计划单元预报不均匀轧辊磨损变形，计算得到每块带钢的各机架工作辊串辊位置设定值，

5) 所述的板形控制模型包括预设控制模型、动态控制模型、板形板厚解耦控制模型。

2、根据权利要求 1 所述的中薄板坯连铸连轧板形综合控制方法，其特征在于所述的预设控制模型包括：

1) 串辊预设控制模型，根据来料情况和串辊策略，对各机架工作辊的串辊位置进行设定计算，改善轧辊辊面的不均匀磨损，实现自由规程轧制，

2) 弯辊力预设控制模型，在各机架轧制力和工作辊串辊位置已设定，在辊形已确定的前提下，对各机架的工作辊弯辊力进行设定计算，以改善带钢头部的板形质量，并为板形的反馈控制奠定基础。

3、根据权利要求 2 所述的中薄板坯连铸连轧板形综合控制方法，其特征在于所述的板形控制模型中的串辊预设模型包括常规串辊策略和特殊串辊策略。

4、根据权利要求 3 所述的中薄板坯连铸连轧板形综合控制方法，其特征在

于所述的常规串辊策略如下:

1)当设定的串辊间隔 $SFT_{INT}=1$ 时, 即每轧一块钢串一次辊时,

a)轧制第 i 块钢时, 上工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i)$ 等于轧制上一块即 $(i-1)$ 块时工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i-1)$ 加上设定的串辊步长 $STEP$, 即

$$SFT_{TOP}(i)=SFT_{TOP}(i-1)+STEP$$

b)轧制第 i 块钢时下工作辊的串辊量 $SFT_{BTM}(i)$ 等于此时上工作辊串辊量 $SFT_{TOP}(i)$ 的负值, 即

$$SFT_{BTM}(i)= -SFT_{TOP}(i),$$

c)当轧制第 i 块钢时上工作辊的串辊量加上设定的串辊步长的绝对值超过设定的串辊极限位置 SFT_{LMT} ,

即: $|SFT_{TOP}(i)+STEP| > SFT_{LMT}$ 时, 取串辊量步长的负值为设定串辊步长, 即

$$STEP= -STEP,$$

2) 当设定的串辊间隔等到于 2, $SFT_{INT}=2$, 每轧 2 块钢串辊一次时,

a)当轧制第 i 块钢时, 上工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i)$ 等于轧制上一块钢时工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i-1)$ 加上设定的串辊步长 $STEP$, 即

$$SFT_{TOP}(i)=SFT_{TOP}(i-1)+STEP$$

b)当轧制下一块钢即 $i+1$ 块钢时上工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i+1)$ 等于轧制第 i 块钢时上工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i)$, 即

$$SFT_{TOP}(i+1)=SFT_{TOP}(i)$$

c)轧制第 i 、第 $i+1$ 块钢时, 下工作辊的串辊量 $SFT_{BTM}(i)$, $SFT_{BTM}(i+1)$ 分别等于当时上工作辊串辊量 $SFT_{TOP}(i)$, $SFT_{TOP}(i+1)$ 的负值, 即

$$SFT_{BTM}(i)= -SFT_{TOP}(i)$$

$$SFT_{BTM}(i+1)= -SFT_{TOP}(i+1)$$

d)轧制第 $i+1$ 块钢时上工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i+1)$ 和设定的串辊步长 $STEP$ 之和的绝对值大于设定的串辊极限位置 SFT_{LMT} , 即

$$|SFT_{TOP}(i+1)+STEP| > SFT_{LMT}$$

时, 取设定串辊量的负值为串辊步长, 即

$$STEP= -STEP$$

3) 当设定的串辊间隔等于 3, $SFT_{INT}=3$, 即每轧 3 块钢串辊 1 次时,

a)当轧制第 i 块钢时, 上工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i)$ 等于轧制上 1 块即第 $i-1$ 块钢时上工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i-1)$ 加上设定的串辊步长 $STEP$ 即

$$SFT_{TOP}(i)=SFT_{TOP}(i-1)+STEP,$$

b)轧制后 2 块钢即 $i+1$ 块钢时和第 $i+2$ 块钢时上工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i+1)$ 和 $SFT_{TOP}(i+2)$ 均等于轧制第 i 块钢时上工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i)$, 即

$$SFT_{TOP}(i+1)=SFT_{TOP}(i)$$

$$SFT_{TOP}(i+2)=SFT_{TOP}(i)$$

c) 轧制第第 i 、 $i+1$ 、 $i+2$ 块钢时，下工作辊的串辊量分别等于上工作辊串辊量的负值，即

$$SFT_{BTM}(i) = -SFT_{TOP}(i)$$

$$SFT_{BTM}(i+1) = -SFT_{TOP}(i+1)$$

$$SFT_{BTM}(i+2) = -SFT_{TOP}(i+2)$$

d) 当轧制第 $i+2$ 块钢时上工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i+2)$ 加上设定的串辊步长 $STEP$ 之和大于设定串辊的极限位置 SFT_{LMT} ，即

$$|SFT_{TOP}(i+2)+STEP| > SFT_{LMT}$$

时，取设定串辊量的负值为串辊步长，即 $STEP=-STEP$ ，依此类推。

5、根据权利要求 3 所述的中薄板坯连铸连轧板形综合控制方法，其特征在于所述的特殊串辊策略是对带有特殊辊形曲线的工作辊，综合考虑工作辊磨损和带钢的板形控制，优化计算轧制每块带钢时工作辊串辊位置，以实现特殊目标的控制。

6、根据权利要求 1 或 2 所述的中薄板坯连铸连轧板形综合控制方法，其特征在于所述的板形控制模型中的弯辊力预设控制模型计算公式为：

$$BF=K_{RB}RF+K_W C_W+K_b C_b+K_{in} C_{in}+K_{out} C_{out}$$

即弯力预设值 BF 等于轧制力影响系数 K_{RB} 乘以轧制力 RF 加上工作辊等效辊形的影响系数 K_W 乘以工作辊综合辊形的等效辊形，再加上支持辊等效辊形的影响系数 K_b 乘以支持辊综合辊形的等效辊形，再加上来料凸度的影响系数 K_{in} 乘以来料凸度 C_{in} ，再加上目标凸度的影响系数 K_{out} 乘以目标凸度 C_{out} 之和，而轧制力影响系数 K_{RB} 等于轧机轧制力横向刚度系数 K_{RF} 和轧机弯辊力横向刚度系数 K_{BF} 之比值的负值，即

$$K_{RB} = -K_{BF} / K_{RF}。$$

7、根据权利要求 1 所述的中薄板坯连铸连轧板形综合控制方法，其特征在于所述的动态控制模型包括：

1) 弯辊力前馈控制模型，根据轧制力的波动而跟随进行前馈调节控制工作辊弯辊力，弯辊力前馈调节增量的计算公式为

$$\Delta BF = (-K_{BF}/K_{RF}) \cdot \Delta RF$$

即弯辊力变化量 ΔBF 等于轧机弯辊力横向刚度系数 K_{BF} 被轧机轧制力横向刚度系数 K_{RF} 轧机除所得的商再乘上轧制力变化量 ΔRF 得到的负值，

2) 弯辊力反馈控制模型，计算某一 F4-F6 机架或一个以上机架工作辊弯辊力对检测的板形平坦度偏差进行反馈控制的调节增量，其计算公式为

$$\Delta BF = K_{BFF} (FLAT_T - FLAT_M)$$

即弯辊力的反馈调节量 ΔBF 等于弯辊力对平坦度的影响系数 K_{BFF} 乘以平坦度目标值 $FLAT_T$ 与平坦度实测值 $FLAT_M$ 之差, 对于 F1—F3 机架则用凸度反馈, 平坦度目标值 $FLAT_T = 0$ 。

8、根据权利要求 1 所述的中薄板坯连铸连轧板形综合控制方法, 其特征在于所述的设定的串辊步长 $STEP = 30\text{mm} \sim 150\text{mm}$, 所设定的串辊量大值 $SFT_{LMT} = \pm 150\text{mm} \sim \pm 250\text{mm}$ 。

9、根据权利要求 6 所述的中薄板坯连铸连轧板形综合控制方法, 其特征在于对轧制 100~180 mm 厚板坯的 1780 mm 精轧机组来说, 所述的各个系数取值分别为:

目标凸度: $20 \sim 60 \mu\text{m}$

轧制力影响系数 K_{RB} : $0.235 \sim 0.024$

轧机轧制力横向刚度系数 K_{RF} : $9430 \sim 19370 \text{ t/mm}$

轧机弯辊力横向刚度系数 K_{BF} : $470 \sim 2200 \text{ t/mm}$

工作辊等效辊形的影响系数 K_w : $-290 \sim -730 \text{ t/mm}$

支持辊等效辊形的影响系数 K_b : $-140 \sim -360 \text{ t/mm}$

来料凸度的影响系数 K_{in} : $170 \sim 440 \text{ t/mm}$

目标凸度的影响系数 K_{out} : $-2200 \sim -470 \text{ t/mm}$

弯辊力对平坦度的影响系数 K_{BFF} : $0.3 \sim 3.3 \text{ t/l}$

轧机轧制力纵向刚度系数 M_{RF} : $480 \sim 700 \text{ t/mm}$

轧机弯辊力纵向刚度系数 M_{BF} : $570 \sim 890 \text{ t/mm}$

10、根据权利要求 1 所述的中薄板坯连铸连轧板形综合控制方法, 其特征在于所述的板形板厚解耦控制模型是在某一个或几个机架的弯辊力发生变化时, 对其对应机架的轧制力进行相应的调整控制, 或者在某一个或几个机架的轧制力变化时, 对其对应机架的工作辊弯辊力进行相应的调整控制, 此模型的计算公式为: 弯辊力变化量和轧制力变化量之间的关系:

$$\Delta RF = ((M_{RF} + M_{BF}) / M_{BF}) / (2 \cdot \Delta BF)$$

即轧制力变化量 ΔRF 等于轧机轧制力纵向刚度系数 M_{RF} 加上轧机弯辊力纵向刚度系数 M_{BF} 之和被轧机轧制力纵向刚度系数 M_{BF} 除得到的商乘以 2 倍的弯辊力变化量 ΔBF 。

中薄板坯连铸连轧板形综合控制方法

技术领域

本发明属于热轧带钢生产技术领域，特别是一种中薄板坯连铸连轧板形综合控制方法，适用于热轧带钢轧制的板形控制。

背景技术

影响热轧带钢成品板形的因素极其复杂，因此，板形控制的难度非常大，涉及范围很广，既包括精轧机辊型优化设计和匹配工艺，精轧机原始辊形精度等工艺参数，也包括精轧机工作辊冷却均匀度、机架间冷却水分布均匀度、精轧机架间侧喷水角度、压力等动力参数；既有精轧设定控制模型、板形设定控制模型、板形动态控制模型，又有卷取温度控制模型以及带钢浪形控制技术。虽然在近十几年来世界各国的专家学者做了大量卓有成效的工作，开发了PC、CVC、HC、PFC等控制技术进行板形设定控制，但是板形控制问题并未真正解决。《钢铁》杂志2001年第2期“板形控制与热轧带钢自由规程轧制”一文指出“自由规程轧制问题本质上是板形控制问题。为了实现自由规程轧制需要减少磨损量、均匀化磨损分布或并开发特殊的板形控制技术。”这里只是提出了问题。《东北大学学报》（自然科学版）2002年第7期发表的“热轧带钢板形（PFC）控制系统一文对2050mm热轧机板形设定进行了离线模拟，为提高带钢板形设定了基础。”但并未解决实际问题。美国专利US5927117，日本专利JP2001179320等都提出了一些板形控制方法，所有这些技术都存在以下几方面不足：

- 1，难以实现对平坦度、凸度及边降的综合控制；
- 2，带钢板形和厚度控制未能做到完全耦合，未消除彼此间的干扰；
- 3，精轧后带钢在层流冷却、空冷及卷取过程中的板形变化未能量化到控制模型中自动实现对其补偿控制。

发明内容

本发明的目的是提供一种适用于中薄板坯连铸连轧生产线的板形综合控制方法，通过精轧机组工作辊和支持辊辊型设计、工作辊弯辊力控制和工作辊串辊位置与板形控制模型相结合，实现对带钢凸度、带钢平坦度、带钢边部形状的有效控制实现自由规程轧制，通过板形厚解耦控制模型的应用，使带钢板形和板厚在控制上做到完全耦合，消除彼此之间的干扰。

按照本发明的中薄板坯连铸连轧板形综合控制方法包括

- 1) 采用新的轧辊技术，通过精轧机组工作辊辊形和支持辊辊形设计，用数控磨床加工出工作辊辊形曲线和支持辊辊形曲线，

2) 通过二级计算机进行工作辊弯辊力和工作辊串辊位置计算, 控制系统根据计算结果进行弯辊力和串辊位置的设计和调节, 实现对带钢凸度、平坦度、边部形状的有效控制,

3) 所述的工作辊弯辊力计算包括:

a) 根据所轧产品确定各种规格带钢的目标凸度, 目标平坦度, 并对平坦度检测信号进行温度和张力补偿,

b) 根据轧件宽度, 各机架轧制压力、工作辊辊形、支持辊辊形、轧辊热变形、轧辊磨损变形、计算出轧制每根带钢的各机架工作辊弯辊力,

c) 通过各机架压下量调节得到工作辊弯辊力的前馈调节值,

d) 通过凸度仪表检测得到的凸度偏差得到上游机架 F1—F3 工作辊弯辊力的反馈调节值,

e) 通过平坦度仪表检测得到平坦度偏差, 由此计算得到下游机架 F4—F6 的工作辊弯辊力反馈调节值,

4) 工作辊串辊位置计算: 根据轧制计划单元预报不均匀轧辊磨损变形, 计算得到每块带钢的各机架工作辊串辊位置设定值,

5) 所述的板形控制模型包括预设定控制模型、动态控制模型、板形板厚解耦控制模型。

按照本发明的中薄板坯连铸连轧板形综合控制方法, 预设定控制模型包括:

1) 串辊预设定控制模型, 根据来料情况和串辊策略, 对各机架的工作辊的串辊位置进行设定计算, 改善轧辊辊面的不均匀磨损, 实现自由规程轧制,

2) 弯辊力预设定控制模型, 在各机架轧制力和工作辊串辊位置已设定, 在辊形已确定的前提下, 对各机架的工作辊弯辊力进行设定计算, 以改善带钢头部的板形质量, 并为板形的反馈控制奠定基础。

按照本发明的中薄板坯连铸连轧板形综合控制方法, 板形控制模型中的串辊预设定模型包括常规串辊策略和特殊串辊策略。

按照本发明的中薄板坯连铸连轧板形综合控制方法, 常规串辊策略如下:

1) 当设定的串辊间隔 $SFT_{INT}=1$ 时, 即每轧一块钢串一次辊时,

a) 轧制第 i 块钢时, 上工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i)$ 等于轧制上一块即 $(i-1)$ 块时工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i-1)$ 加上设定的串辊步长 SFT 即

$$SFT_{TOP}(i) = SFT_{TOP}(i-1) + STEP$$

b) 轧制第 i 块钢时下工作辊的串辊量 $SFT_{BTM}(i)$ 等于此时上工作辊串辊量 $SFT_{TOP}(i)$ 的负值, 即

$$SFT_{BTM}(i) = -SFT_{TOP}(i),$$

c) 当轧制第 i 块钢时上工作辊的串辊量加上设定的串辊步长的绝对值超过设定的串辊极限位置 SFT_{LMT} ,

即： $|SFT_{TOP}(i)+STEP| > SFT_{LMT}$ 时，取串辊量步长的负值为设定串辊步长，即：

$$STEP = -STEP,$$

2) 当设定的串辊间隔等到于 2，即 $SFT_{INT}=2$ ，即每轧 2 块钢串辊一次时，

a) 当轧制第 i 块钢时，上工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i)$ 等于轧制上一块钢时工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i-1)$ 加上设定的串辊步长 $STEP$ ，即：

$$SFT_{TOP}(i) = SFT_{TOP}(i-1) + STEP$$

b) 当轧制下一块钢即 $i+1$ 块钢时，上工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i+1)$ 等于轧制第 i 块钢时上工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i)$ ，即：

$$SFT_{TOP}(i+1) = SFT_{TOP}(i)$$

c) 轧制第 i 、第 $i+1$ 块钢时，下工作辊的串辊量 $SFT_{BTM}(i)$ ， $SFT_{BTM}(i+1)$ 分别等于当时上工作辊串辊量 $SFT_{TOP}(i)$ ， $SFT_{TOP}(i+1)$ 的负值，即：

$$SFT_{BTM}(i) = -SFT_{TOP}(i)$$

$$SFT_{BTM}(i+1) = -SFT_{TOP}(i+1)$$

d) 轧制第 $(i+1)$ 块钢时，上工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i+1)$ 和设定的串辊步长 $STEP$ 之和的绝对值大于设定的串辊极限位置 SFT_{LMT} ，即：

$$|SFT_{TOP}(i+1)+STEP| > SFT_{LMT}$$

时，取设定串辊量的负值为串辊步长，即：

$$STEP = -STEP$$

3) 当设定的串辊间隔等于 3， $SFT_{LMT}=3$ ，即每轧 3 块钢串辊 1 次时，

a) 当轧制第 i 块钢时，上工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i)$ 等于轧制上 1 块即第 $i-1$ 块钢时上工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i-1)$ 加上设定的串辊步长 $STEP$ ，即：

$$SFT_{TOP}(i) = SFT_{TOP}(i-1) + STEP,$$

b) 轧制后 2 块钢即 $i+1$ 块钢和第 $i+2$ 块钢时，上工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i+1)$ 和 $SFT_{TOP}(i+2)$ 均等于轧制第 i 块钢时上工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i)$ ，即：

$$SFT_{TOP}(i+1) = SFT_{TOP}(i)$$

$$SFT_{TOP}(i+2) = SFT_{TOP}(i)$$

c) 轧制第 i 、 $i+1$ 、 $i+2$ 块钢时，下工作辊的串辊量分别等于上工作辊串辊量的负值，即：

$$SFT_{BTM}(i) = -SFT_{TOP}(i)$$

$$SFT_{BTM}(i+1) = -SFT_{TOP}(i+1)$$

$$SFT_{BTM}(i+2) = -SFT_{TOP}(i+2)$$

d) 当轧制第 $i+2$ 块钢时上工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i+2)$ 加上设定的串辊步长 $STEP$ 之和大于设定串辊的极限位置 SFT_{LMT} ，即：

$$|SFT_{TOP}(i+2)+STEP| > SFT_{LMT}$$

时，取设定串辊量的负值为串辊步长，即 $STEP = -STEP$ ，依此类推。

按照本发明的中薄板坯连铸连轧板形综合控制方法，特殊串辊策略是对带有特殊辊形曲线的工作辊，综合考虑工作辊磨损和带钢的板形控制，优化计算轧制每块带钢时工作辊串辊位置，以实现特殊目标的控制，如自由规程轧制超薄材轧制等。

本发明的中薄板坯连铸连轧板形综合控制方法，其板形控制模型中的弯辊力预设控制模型计算公式为：

$$BF = K_{RB}RF + K_W C_W + K_b C_b + K_{in} C_{in} + K_{out} C_{out}$$

即弯力预设值 BF 等于轧制力影响系数 K_{RB} 乘以轧制力 RF 加上工作辊等效辊的影响系数 K_W 乘以工作辊综合辊形（初始辊形、热辊形、磨损辊形之和）的等效辊形，再加上支持辊等效辊形的影响系数 K_b 乘以支持辊综合辊形（初始辊形、热辊形、磨损辊形之和）的等效辊形，再加上来料凸度的影响系数 K_{in} 乘以来料凸度 C_{in} ，再加上目标凸度的影响系数 K_{out} 乘以目标凸度 C_{out} 之和，而轧制影响系数 K_{RB} 等于轧机轧制力横向刚度系数 K_{RB} 和轧机弯辊力横向刚度系数 K_{BF} 之比值的负值，即：

$$K_{RB} = -K_{BF} / K_{RF}。$$

模型中所涉及的系数 K_{RF} 、 K_{BF} 、 K_W 、 K_b 、 K_{IN} 、 K_{OUT} 均与工作辊直径、支持辊直径、工作辊轴向抽动量、工作辊等因素有关，

按照本发明的中薄板坯连铸连轧板形综合控制方法，所述的动态控制模型为：

1) 弯辊力前馈控制模型，根据轧制力的波动而跟随进行前馈调节控制工作辊弯辊力，弯辊力前馈调节增量的计算方式为：

$$\Delta BF = (-K_{BF}/K_{RF}) \cdot \Delta RF$$

即弯辊力变化量 ΔBF 等于轧机弯辊力横向刚度系数 K_{BF} 被轧机轧制力横向刚度系数 K_{RF} 轧机除所得的商再乘上轧制力变化量 ΔRF 得到的负值，

2) 弯辊力反馈控制模型，计算某一 F4-F6 机架或一个以上机架工作辊弯辊力对检测的板形平坦度偏差进行反馈控制的调节增量，其计算公式为：

$$\Delta BF = K_{BFF} (FLAT_T - FLAT_M)$$

即弯辊力的反馈调节量 ΔBF 等于弯辊力对平坦度的影响系数 K_{BFF} 乘以平坦度目标值 $FLAT_T$ 与平坦度实测值 $FLAT_M$ 之差，对于 F1-F3 机架则用凸度反馈，平坦度目标值 $FLAT_T = 0I$ 。

弯辊力前馈控制的目的是保证达到带钢凸度目标值和平坦度目标值。

当某一机架轧制力波动太大以至于本机架的弯辊力前馈控制调节量达到极限时，可根据一定的策略调节相邻机架的弯辊力。

当平坦度波动太大，以至于最后机架的反馈调节量达到极限时，可根据一定的策略调节前一个或几个机架的弯辊力，当因弯辊力的调节而导致不能达到目标

凸度时,可按照一定的策略调整精轧机组前几个机架的弯辊力或整个机组的负荷分配。

按照本发明的中薄板坯连铸连轧板形综合控制方法,所述的设定的串辊步长 $STEP=30\text{mm}\sim 150\text{mm}$,所设定的串辊量大值 $SFT_{LMT}=\pm 150\text{mm}\sim \pm 250\text{mm}$ 。

在生产实践中,可以通过精轧设定模型和板形设定模型之间的轧制力与弯辊力协调,实现带钢头部板形和厚度设定耦合;通过厚度自动控制AGC和板形动态模型之间的轧制力与弯辊力协调实现带钢全长板形和厚度动态控制耦合。

本发明中所采用的辊形技术包括工作辊辊型技术和支持辊辊型技术。

附图说明

图1为本发明的板形综合控制系统图。

图2为板形板厚解耦控制原理图。

具体实施方式

如图1所示,本发明的中薄板坯连铸连轧板形综合控制方法的特征在于:

1)采用新的轧辊技术,通过精轧机组工作辊辊形和支持辊辊形设计,用数控磨床加工出工作辊辊形曲线和支持辊辊形曲线,对于辊面长度为 $1500\text{mm}\sim 2600\text{mm}$,直径为 $500\text{mm}\sim 1100\text{mm}$ 的工作辊其辊形,即辊面内的直径差为 $0\sim 0.60\text{mm}$,对于辊面长度为 $1200\text{mm}\sim 2300\text{mm}$ 直径为 $1200\text{mm}\sim 1600\text{mm}$ 的支持辊其辊形,即辊面内直径差为 $0\text{mm}\sim 1.00\text{mm}$ 。

2)通过二级计算机进行工作辊弯辊力和工作辊串辊位置计算,控制系统根据计算结果进行弯辊力和串辊位置的设计和调节,实现对带钢凸度、平坦度、边部开状的有效控制,平坦度目标为 $0IU$,

3)所述的工作辊弯辊力计算包括:

a)根据所轧产品确定各种规格带钢的目标凸度,目标平坦度,并对平坦度检测信号进行温度和张力补偿,

b)根据轧件宽度,各机架轧制压力、工作辊辊形、支持辊辊形、轧辊热变形、轧辊磨损变形、计算出轧制每根带钢的各机架工作辊弯辊力,

c)通过各机架压下量调节得到工作辊弯辊力的前馈调节值,

d)通过凸度仪表检测得到的凸度偏差得到上游机架F1—F3工作辊弯辊力的反馈调节值,

e)通过平坦度仪表检测得到平坦度偏差得到下游机架F4—F6的工作辊弯辊力反馈调节值,

4)工作辊串辊位置计算:根据轧制计划单元预报不均匀轧辊磨损变形,计算得到每块带钢的各机架工作辊串辊位置设定值,

5)所述的板形控制模型包括预设定控制模型、动态控制模型、板形板厚解耦控制模型。

如图 1 所示，所述的板形预设控制模型包括：

1) 串辊预设控制模型，根据来料情况和串辊策略，对各机架的工作辊的串辊位置进行设定计算，改善轧辊辊面的不均匀磨损，实现自由规程轧制，

2) 弯辊力预设控制模型，在各机架轧制力和工作辊串辊位置已设定，在辊形已确定的前提下，对各机架的工作辊弯辊力进行设定计算，以改善带钢头部的板形质量，并为板形的反铅控制朝代基础。

图 1 所示的串辊预设控制，包括：所述的板形控制模型中的串辊预设模型包括常规串辊策略和特殊串辊策略。

所述的常规串辊策略如下：

1) 当设定的串辊间隔 $SFT_{INT}=1$ 时，即每轧一块钢串一次辊时，

a) 轧制第 i 块钢时，上工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i)$ 等于轧制上一块即 $(i-1)$ 块时工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i-1)$ 加上设定的串辊步长 $STEP$ ，即：

$$SFT_{TOP}(i)=SFT_{TOP}(i-1)+STEP$$

b) 轧制第 i 块钢时下工作辊的串辊量 $SFT_{BTM}(i)$ 等于此时上工作辊串辊量 $SFT_{TOP}(i)$ 的负值即：

$$SFT_{BTM}(i)= -SFT_{TOP}(i),$$

c) 当轧制第 i 块钢时上工作辊的串辊量加上设定的串辊步长的绝对值超过设定的串辊极限位置 SFT_{LMT} ，

即： $|SFT_{TOP}(i)+STEP| > SFT_{LMT}$ 时，取串辊量步长为负的设定串辊步长，即：

$$STEP= -STEP,$$

2) 当设定的串辊间隔等于 2， $SFT_{INT}=2$ ，即每轧 2 块钢串辊一次时，

a) 当轧制第 i 块钢时，上工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i)$ 等于轧制上一块钢时工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i-1)$ 加上设定的串辊步长 $STEP$ 即：

$$SFT_{TOP}(i)=SFT_{TOP}(i-1)+STEP$$

b) 当轧制下一块钢即 $i+1$ 块钢时上工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i+1)$ 等于轧制第 i 块钢时上工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i)$ ，即：

$$SFT_{TOP}(i+1)=SFT_{TOP}(i)$$

c) 轧制第 i 、第 $i+1$ 块钢时，下工作辊的串辊量 $SFT_{BTM}(i)$ ， $SFT_{BTM}(i+1)$ 分别等于当时上工作辊串辊量 $SFT_{TOP}(i)$ ， $SFT_{TOP}(i+1)$ 的负值，即：

$$SFT_{BTM}(i)= -SFT_{TOP}(i)$$

$$SFT_{BTM}(i+1)=-SFT_{TOP}(i+1)$$

d) 轧制第 $(i+1)$ 块钢时上工作辊的串辊量 $SFT_{TOP}(i+1)$ 和设定的串辊步长 $STEP$ 之和的绝对值大于设定的串辊极限位置 SFT_{LMT} ，即：

$$|SFT_{TOP}(i+1)+STEP| > SFT_{LMT}$$

时，取设定串辊量的负值为串辊步长，即：

$$\text{STEP} = -\text{STEP}$$

3) 当设定的串辊间隔等于 3， $\text{SFT}_{\text{INT}}=3$ ，即每轧 3 块钢串辊 1 次时，

a) 当轧制第 i 块钢时，上工作辊的串辊量 $\text{SFT}_{\text{TOP}}(i)$ 等于轧制上 1 块即第 $i-1$ 块钢时上工作辊的串辊量 $\text{SFT}_{\text{TOP}}(i-1)$ 加上设定的串辊步长 STEP ，即：

$$\text{SFT}_{\text{TOP}}(i) = \text{SFT}_{\text{TOP}}(i-1) + \text{STEP},$$

b) 轧制后 2 块钢即 $i+1$ 块钢时和第 $i+2$ 块钢时上工作辊的串辊量 $\text{SFT}_{\text{TOP}}(i+1)$ 和 $\text{SFT}_{\text{TOP}}(i+2)$ 均等于轧制第 i 块钢时上工作辊的串辊量 $\text{SFT}_{\text{TOP}}(i)$ ，即：

$$\text{SFT}_{\text{TOP}}(i+1) = \text{SFT}_{\text{TOP}}(i)$$

$$\text{SFT}_{\text{TOP}}(i+2) = \text{SFT}_{\text{TOP}}(i)$$

c) 轧制第 i 、 $i+1$ 、 $i+2$ 块钢时，下工作辊的串辊量分别等于上工作辊串辊量的负值，即：

$$\text{SFT}_{\text{BTM}}(i) = -\text{SFT}_{\text{TOP}}(i)$$

$$\text{SFT}_{\text{BTM}}(i+1) = -\text{SFT}_{\text{TOP}}(i+1)$$

$$\text{SFT}_{\text{BTM}}(i+2) = -\text{SFT}_{\text{TOP}}(i+2)$$

d) 当轧制第 $i+2$ 块钢时上工作辊的串辊量 $\text{SFT}_{\text{TOP}}(i+2)$ 加上设定的串辊步长 STEP 大于设定串辊的极限位置 SFT_{LMT} ，即：

$$|\text{SFT}_{\text{TOP}}(i+2) + \text{STEP}| > \text{SFT}_{\text{LMT}}$$

时，取设定串辊量的负值为串辊步长，即 $\text{STEP} = -\text{STEP}$ ，依此类推。

所述的特殊串辊策略是对带有特殊辊形曲线的工作辊，综合考虑工作辊磨损和带钢的板形控制，优化计算轧制每块带钢时工作辊串辊位置，以实现特殊目标的控制，对于前面所述的轧辊参数，工作辊串辊最大值 $\text{SFT}_{\text{LMT}} = \pm 200 \text{ mm}$ 。

如图 1 所示，动态控制模型包括：

1) 弯辊力前馈控制模型，根据轧制力的波动而跟随进行前馈调节控制工作辊弯辊力，弯辊力前馈调节增量的计算方式为：

$$\Delta \text{BF} = (-K_{\text{BF}}/K_{\text{RF}}) \cdot \Delta \text{RF}$$

即弯辊力变化量 ΔBF 等于轧机弯辊力横向刚度系数 K_{BF} 被轧机轧制力横向刚度系数 K_{RF} 轧机除所得的商再乘上轧制力变化量 ΔRF 得到的负值，

2) 弯辊力反馈控制模型，计算某一 F4-F6 机架或一个以上机架工作辊弯辊力对检测的板形平坦度偏差进行反馈控制的调节增量，其计算公式为：

$$\Delta \text{BF} = K_{\text{BFF}} (\text{FLAT}_T - \text{FLAT}_M)$$

即弯辊力的反馈调节量 ΔBF 等于弯辊力对平坦度的影响系数 K_{BFF} 乘以平坦度目标值 FLAT_T 与平坦度实测值 FLAT_M 之差对于 F1—F3 机架则用凸度反馈，平坦度目标值 $\text{FLAT}_T = 0$ 。

弯辊力反馈控制要考虑到层流冷却对板形的控制作用。

对于轧制厚度为 110 mm~180 mm, 板坯的 1780 mm 轧机来说所述的各个系数取值为设定的串辊步长 STEP=30mm~100mm, 所设定的串辊量大值 $SFT_{LMT}=\pm 150\text{mm}\sim\pm 250\text{mm}$ 。

所述的各个系数取值分别为:

目标凸度: 20~60 μm

轧制力影响系数 K_{RB} : 0.235~0.024

轧机轧制力横向刚度系数 K_{RF} : 9430~19370 t/mm

轧机弯辊力横向刚度系数 K_{BF} : 470~2200 t/mm

工作辊等效辊形的影响系数 K_w : -290~-730 t/mm

支持辊等效辊形的影响系数 K_b : -140~-360 t/mm

来料凸度的影响系数 K_{in} : 170~440 t/mm

目标凸度的影响系数 K_{out} : -2200~-470 t/mm

弯辊力对平坦度的影响系数 K_{BFF} : 0.3~3.3 t/l

轧机轧制力纵向刚度系数 M_{RF} : 480~700 t/mm

轧机弯辊力纵向刚度系数 M_{BF} : 570~890 t/mm

如图 2 所示, 板形板厚解耦模型是, 所述的板形板厚解耦控制模型是在某一个或几个机架的弯辊力发生变化时, 对其对应机架的轧制力进行相应的调整控制, 或者在某一个或几个机架的轧制力变化时, 对其对应机架的工作辊弯辊力进行相应的调整控制, 此模型的计算公式为: 弯辊力变化量和轧制力变化量和轧制力变化之间的关系:

$$\Delta RF = ((M_{RF} + M_{BF}) / M_{BF}) / (2 \cdot \Delta BF)$$

即轧制力变化量 ΔRF 等于轧机轧制力纵向刚度系数 M_{RF} 加上轧机弯辊力纵向刚度系数 M_{BF} 被轧机轧制力纵向刚度系数 M_{BF} 除得到的商乘以 2 倍的弯辊力变化量 ΔBF 。

采用本发明的方法, 在某钢铁公司 110 mm~180 mm 板坯连铸连轧制生产线上试验, 可保证带钢凸度控制达到 $\pm 0.018\text{mm}$ 的占 90% 以上, 带钢平坦度达到 30I 的占 90% 以上, 同宽度带钢轧制长度超过 70Km $\pm 10\text{Km}$, 带钢宽度由窄到宽变化可达到 300 mm, 带钢边部形状 (带钢边部厚度在 0~100 mm 范围内的不规则量) 可以得到有效控制。

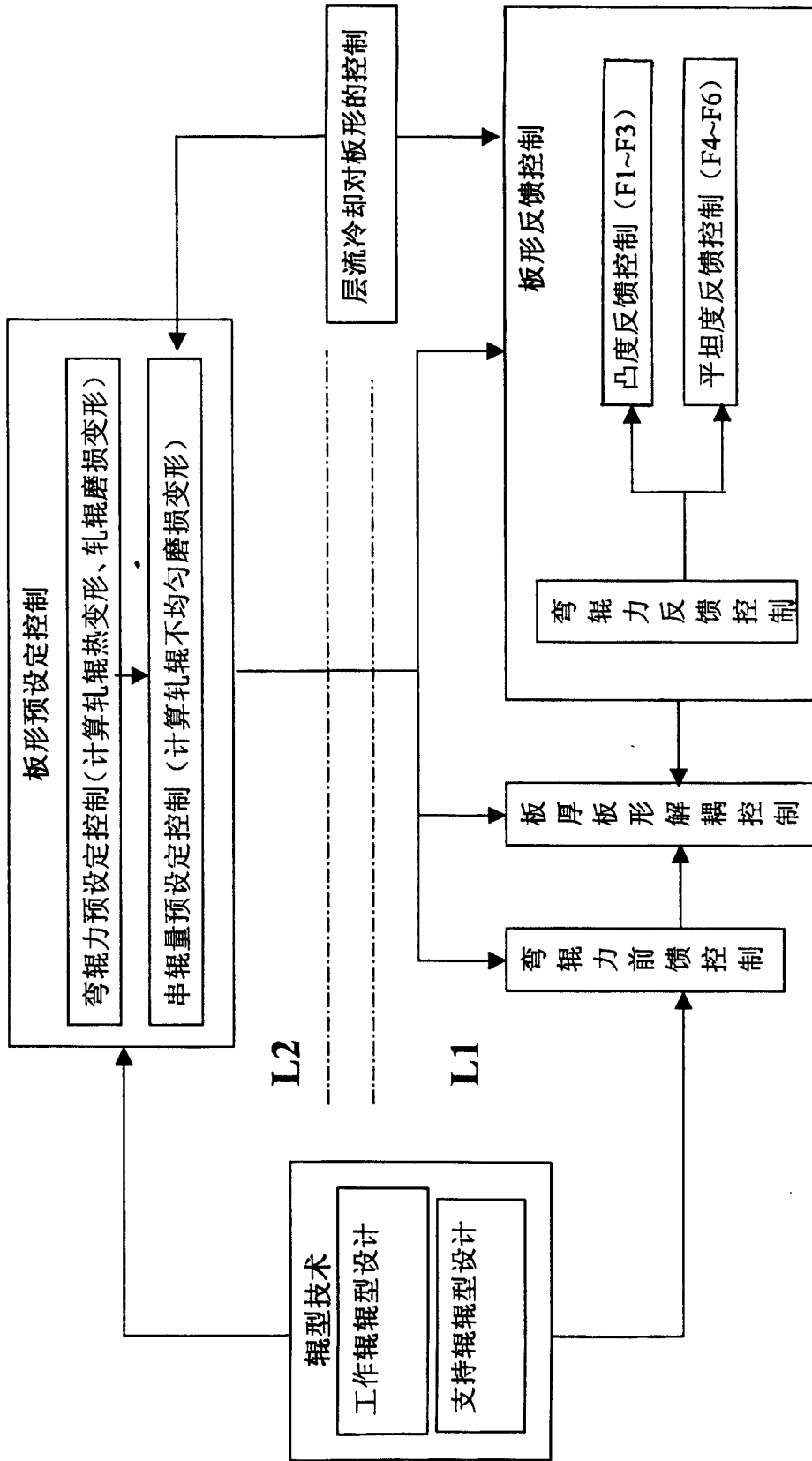


图 1

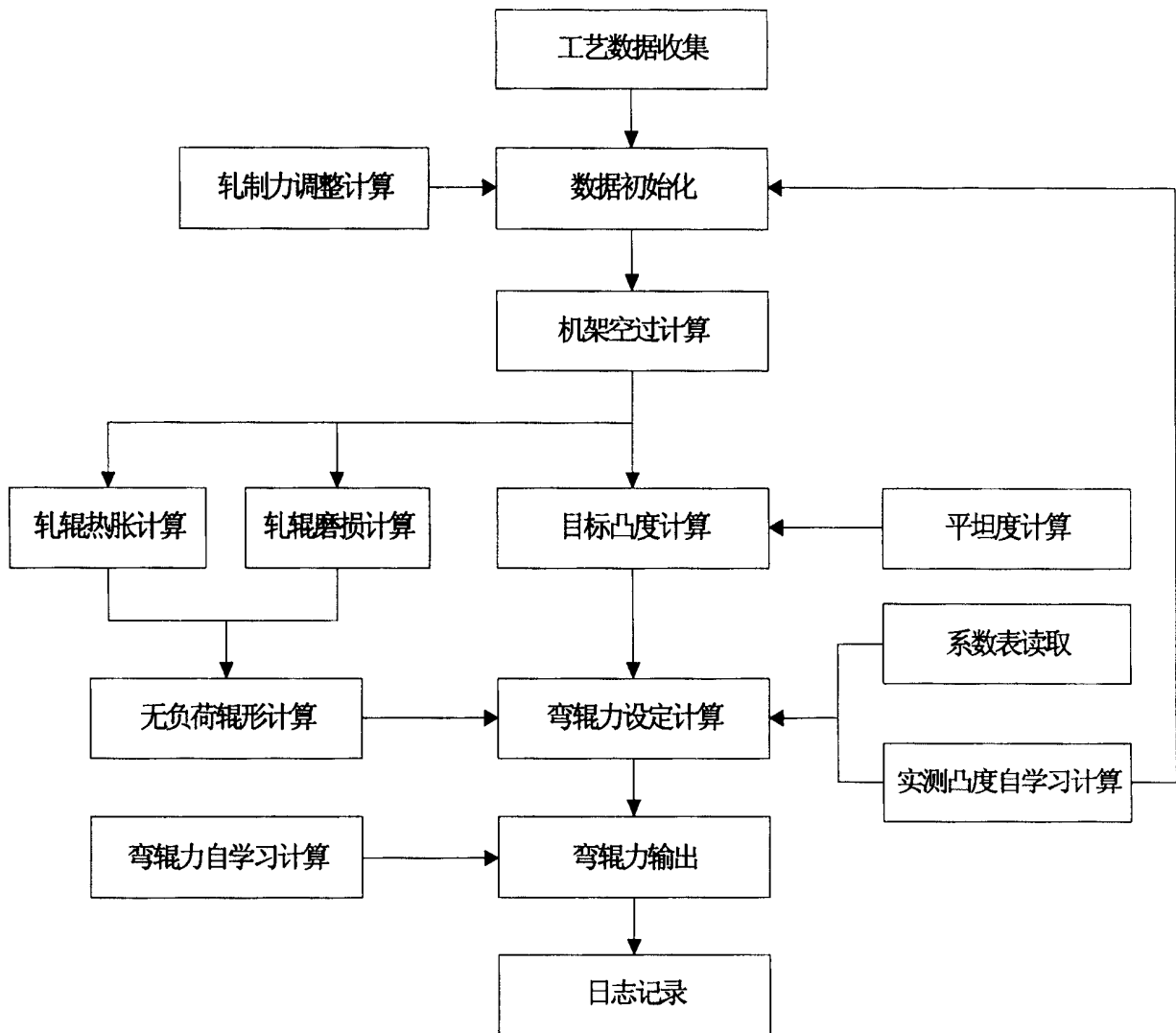


图 2