



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114101340 A

(43) 申请公布日 2022. 03. 01

(21) 申请号 202111451544.6

(22) 申请日 2021.12.01

(71) 申请人 燕山大学

地址 066004 河北省秦皇岛市河北大街西  
段438号

申请人 东北大学

(72) 发明人 王鹏飞 李旭 金树仁 孙杰

黄华贵 孙静娜 华长春 李文田

张殿华 张昭 张欣 宋章峰

(74) 专利代理机构 沈阳东大知识产权代理有限

公司 21109

代理人 梁焱

(51) Int. Cl.

B21B 37/28 (2006.01)

B21B 31/20 (2006.01)

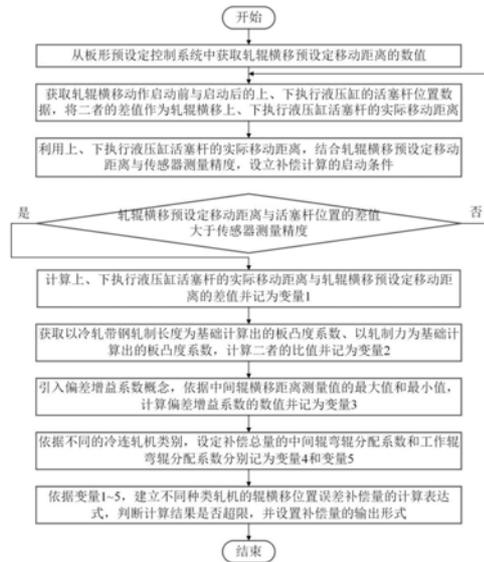
权利要求书2页 说明书9页 附图3页

(54) 发明名称

一种轧辊横移位置误差的补偿方法

(57) 摘要

本发明公开了一种轧辊横移位置误差的补偿方法,涉及冶金轧制技术领域。首先,本发明考虑了因轧辊横移预设移动距离与轧辊横移上、下执行液压缸实际移动距离存在的偏差,而导致冷轧带钢表面弯辊力分布不均的现象,使弯辊力能够均匀施加于冷轧带钢表面;其次,本发明依据现有轧制规程和实时采集数据,可将此补偿方法应用于四辊、六辊冷连轧机的每个机架,具有广泛的适用性;再次,采用该方法可以消除轧辊横移预设移动距离与轧辊横移上、下执行液压缸实际移动距离存在的偏差,提升冷轧带钢产品质量;最后,该方法计算形式简洁、无复杂运算流程,可将该方法快速地转化为计算机编程语言所要求的形式,并应用到冷轧带钢板形自动控制系统中。



1. 一种轧辊横移位置误差的补偿方法,其特征在于,该方法包括如下步骤:

步骤1:从板形预设控制系统中获取轧辊横移预设移动距离 $Target_{IRS}$ 的具体数值;

步骤2:依据轧辊横移上、下执行液压缸的活塞杆位置计算上、下活塞杆的移动距离,结合传感器测量精度和步骤1获取的轧辊横移预设移动距离,设置补偿计算的启动条件;

步骤3:结合步骤2中获取到的上、下活塞杆的移动距离,计算轧辊横移预设移动距离与轧辊横移上、下执行液压缸实际移动距离的差值 $\Delta L$ ;

步骤4:获取以冷轧带钢轧制长度为基础计算出的板凸度系数 $C_L$ 和获取以轧制力为基础计算出的板凸度系数 $C_P$ ;

步骤5:依据中间辊横移距离测量值的最大值和最小值,确定偏差增益系数 $A_{DEV}$ 的计算表达式,并根据表达式计算出偏差增益系数 $A_{DEV}$ 的数值;

步骤6:依据 $\Delta L$ 、 $C_L$ 值与 $C_P$ 值、以及偏差增益系数 $A_{DEV}$ ,建立轧辊横移位置误差补偿总量的计算表达式,并依据表达式计算出弯辊力补偿总量;

步骤7:依据工作辊弯辊调节极限值、中间辊弯辊调节极限值和弯辊力补偿总量的计算值,确定最终的补偿总量;

步骤8:针对四辊冷连轧机和六辊冷连轧机,分别设置中间辊弯辊补偿量分配系数和工作辊弯辊补偿量分配系数,根据最终的补偿总量计算对应的弯辊力补偿值并通过板形闭环反馈控制系统发送给对应弯辊执行机构,实现补偿调节。

2. 根据权利要求1所述的轧辊横移位置误差的补偿方法,其特征在于,所述补偿计算的启动条件为:假设弯辊力测量传感器的测量精度为 $\alpha$ ,轧辊横移实施前上活塞杆位置为 $P_{fup}$ 、下活塞杆位置为 $P_{fdown}$ 以及轧辊横移实施后上活塞杆位置为 $P_{bup}$ 、下活塞杆位置为 $P_{bdown}$ ,则上活塞杆的移动距离 $L_{up}$ 通过式(1)求解,下活塞杆的移动距离 $L_{down}$ 通过式(2)求解;

$$L_{up} = P_{bup} - P_{fup} \quad (1)$$

$$L_{down} = P_{bdown} - P_{fdown} \quad (2)$$

中间辊横移上执行液压缸与轧辊横移预设移动距离差值的绝对值 $|\Delta L_{up}|$ 按照式(3)求解,中间辊横移下执行液压缸与轧辊横移预设移动距离差值的绝对值 $|\Delta L_{down}|$ 按照式(4)求解;

$$|\Delta L_{up}| = \left| \frac{Target_{IRS}}{2} - L_{up} \right| \quad (3)$$

$$|\Delta L_{down}| = \left| \frac{Target_{IRS}}{2} - L_{down} \right| \quad (4)$$

当满足 $|\Delta L_{up}| > \alpha$ 或者 $|\Delta L_{down}| > \alpha$ 时,补偿计算有效,补偿计算开始执行。

3. 根据权利要求1所述的轧辊横移位置误差的补偿方法,其特征在于,所述偏差增益系数 $A_{DEV}$ 的计算表达式:

$$A_{DEV} = \frac{A_{DEV_{max}} - A_{DEV_{min}}}{L_{max} - L_{min}} \cdot (L - L_{min}) + A_{DEV_{min}} \quad (6)$$

上式中, $A_{DEV_{max}}$ 为偏差增益系数最大值; $A_{DEV_{min}}$ 为偏差增益系数最小值; $L$ 为从数据采集单元中获取的中间辊横移距离测量值; $L_{max}$ 为中间辊横移距离测量值 $L$ 的最大值; $L_{min}$ 为中间辊横移距离测量值 $L$ 的最小值。

4. 根据权利要求1所述的轧辊横移位置误差的补偿方法,其特征在于,所述轧辊横移位置误差补偿总量的计算表达式为:

$$TComp_{\text{bending}} = |\Delta L| \cdot \frac{C_L}{C_P} \cdot A_{DEV} \cdot \lambda \quad (7)$$

上式中, $TComp_{\text{bending}}$ 为轧辊横移位置误差补偿总量也即弯辊力补偿总量; $|\Delta L|$ 为轧辊横移预设移动距离与轧辊横移上、下执行液压缸实际移动距离的差值的绝对值; $C_L$ 表示以冷轧带钢轧制长度为基础计算出的板凸度系数; $C_P$ 表示以轧制力为基础计算出的板凸度系数; $A_{DEV}$ 为偏差增益系数; $\lambda$ 为分配系数。

5. 根据权利要求1所述的轧辊横移位置误差的补偿方法,其特征在于,所述依据工作辊弯辊调节极限值、中间辊弯辊调节极限值和弯辊力补偿总量的计算值确定最终的补偿总量的方法为:令中间辊弯辊调节负限值为 $A_1$ 、正限值为 $B_1$ ;工作辊弯辊调节负极限值为 $A_2$ 、正限值为 $B_2$ ,则有中间辊弯辊调节范围为 $[A_1, B_1]$ 、工作辊弯辊调节范围为 $[A_2, B_2]$ ;依据板形闭环反馈控制系统对冷轧带钢产品板形的调节能力和工艺规程,设定轧辊横移误差补偿值的极限值为对应调节机构调节极限值的5%,则中间辊的补偿范围为 $[0.05 \cdot A_1, 0.05 \cdot B_1]$ ,工作辊补偿范围为 $[0.05 \cdot A_2, 0.05 \cdot B_2]$ ;根据补偿总量极限值由液压辊缝控制系统所允许的最大弯辊调节量决定,则有:

若补偿总量 $TComp_{\text{bending}}$ 的计算值小于补偿总量的最小值MIN,则取MIN作为最终的补偿总量;如果补偿总量 $TComp_{\text{bending}}$ 的计算值大于补偿总量的最大值MAX,则取MAX作为最终的补偿总量;如果补偿总量 $TComp_{\text{bending}}$ 的计算值介于补偿总量最大值MAX与补偿总量最小值MIN之间,则取 $TComp_{\text{bending}}$ 的计算值作为最终的补偿总量;其中, $MIN = 0.05 \cdot (A_1 + A_2)$ , $MAX = 0.05 \cdot (B_1 + B_2)$ 。

6. 根据权利要求1所述的轧辊横移位置误差的补偿方法,其特征在于,式(9)六辊冷连轧机的工作辊弯辊力补偿值 $WComp_{\text{bending}}$ 的计算公式,式(10)为六辊冷连轧机的中间辊弯辊力补偿值 $IComp_{\text{bending}}$ 的计算公式:

$$WComp_{\text{bending}} = TComp_{\text{bending}} \cdot \lambda_{\text{WRB}} \quad (9)$$

$$IComp_{\text{bending}} = TComp_{\text{bending}} \cdot \lambda_{\text{IRB}} \quad (10)$$

上式中, $\lambda_{\text{WRB}}$ 为工作辊弯辊的补偿系数; $\lambda_{\text{IRB}}$ 为中间弯辊的补偿系数。

7. 根据权利要求1所述的轧辊横移位置误差的补偿方法,其特征在于,四辊冷连轧机的中间弯辊的补偿系数 $\lambda_{\text{IRB}} = 0$ ,四辊冷连轧机的工作辊弯辊的补偿系数 $\lambda_{\text{WRB}} = 1$ ;式(11)为四辊冷连轧机的工作辊弯辊补偿值 $WComp_{\text{bending}}$ 的计算公式,式(12)为四辊冷连轧机的中间弯辊补偿值 $IComp_{\text{bending}}$ 的计算公式:

$$WComp_{\text{bending}} = TComp_{\text{bending}} \cdot \lambda_{\text{WRB}} = TComp_{\text{bending}} \quad (11)$$

$$IComp_{\text{bending}} = TComp_{\text{bending}} \cdot \lambda_{\text{IRB}} = 0 \quad (12)$$

## 一种轧辊横移位置误差的补偿方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及冶金轧制技术领域,具体涉及一种轧辊横移位置误差的补偿方法。

### 技术背景

[0002] 目前,冷轧带钢板形自动控制系统一般由板形预设控制系统和板形闭环反馈控制系统两部分组成。板形预设控制系统是板形控制计算机在带钢进入辊缝前,根据所选定的目标板形,预先设置板形调控机构的调节量并输出到执行机构。板形闭环反馈控制系统是在稳定轧制工作条件下,以板形辊实测的板形信号为反馈信息,计算实际板形与目标板形的偏差,并通过反馈计算模型分析计算消除这些板形偏差所需的板形调控机构的调节量,然后不断地对轧机的各种板形调控机构的执行器发出调节指令,使轧机能对轧制中的带钢板形进行连续地、动态地、实时地调节,最终使板带产品的板形达到良好、稳定。

[0003] 板形调控机构包括工作辊正负弯辊、中间辊正弯辊、轧辊横移和分段冷却,其中轧辊横移是通过上、下轧辊沿相反方向进行轴向的相对横移,改变轧辊与带钢的接触长度,使工作辊和支承辊在板宽范围之外脱离接触,可以有效地消除有害接触弯矩,使弯辊的控制效果得到了大幅增强。冷连轧机中的轧辊横移有中间辊横移和工作辊横移两种形式。若为四辊冷连轧机,则轧辊横移的方式为工作辊横移;若为六辊冷连轧机,则轧辊横移的方式为中间辊横移。

[0004] 众学者以最小二乘法、轧制力前馈控制计算模型、板形闭环反馈控制的功效系数或轧辊横移受力分析模型为基础,开发出针对不同生产环境的轧辊横移计算公式。该类公式可依据冷轧带钢产品的宽度、厚度和种类计算出轧辊横移预设移动距离,并通过板形闭环反馈控制系统将轧辊横移预设移动距离传送到轧辊横移上、下执行液压缸。经勘测发现,现有轧辊横移预设移动距离计算公式虽然可以准确地计算出移动距离的数值,但由于轧辊横移上、下执行液压缸运动速度缓慢,或因轧辊横移上、下执行液压缸的动作误差、板形闭环反馈控制系统检测单元的测量误差、轧机自身安装精度误差等问题,使计算出的轧辊横移预设移动距离与轧辊横移上、下执行液压缸实际移动距离存在偏差,导致作用在带钢上的弯辊力是不对称的,进而导致带钢板形分布不均。

[0005] 通过走访多家冷连轧厂后发现,大部分冷连轧厂均会出现因轧辊横移预设移动距离与轧辊横移上、下执行液压缸实际移动距离存在偏差而导致的板形不良问题。部分冷连轧厂中的技术人员试图通过改变轧制力大小、改变工作辊辊身长度等方法解决此问题,但均无明显改善作用,且易导致更为严重的带钢产品质量问题。因此,该现象也是目前各冷连轧厂所面临和亟待解决的问题。

### 发明内容

[0006] 本发明针对轧辊横移误差设计了一种补偿方法,综合板形因素和控制因素计算出中间辊弯辊或工作辊弯辊的弯辊力补偿值,该补偿值作用于弯辊调控机构,以消除轧辊横移预设移动距离与轧辊横移上、下执行液压缸实际移动距离存在的偏差,使带钢表面的

弯辊力均匀分布,以提高板形控制精度,最大化地减小板形偏差以保持板形质量,从而获得高精度的带钢产品。

[0007] 为达到此目的,本发明的技术方案是:

[0008] 一种轧辊横移位置误差的补偿方法,该方法包括如下步骤:

[0009] 步骤1:从板形预设控制系统中获取轧辊横移预设移动距离 $Target_{IRS}$ 的具体数值;

[0010] 步骤2:依据轧辊横移上、下执行液压缸的活塞杆位置计算上、下活塞杆的移动距离,结合传感器测量精度和步骤1获取的轧辊横移预设移动距离,设置补偿计算的启动条件;

[0011] 步骤3:结合步骤2中获取到的上、下活塞杆的移动距离,计算轧辊横移预设移动距离与轧辊横移上、下执行液压缸实际移动距离的差值 $\Delta L$ ;

[0012] 步骤4:获取以冷轧带钢轧制长度为基础计算出的板凸度系数 $C_L$ 和获取以轧制力为基础计算出的板凸度系数 $C_P$ ;

[0013] 步骤5:依据中间辊横移距离测量值的最大值和最小值,确定偏差增益系数 $A_{DEV}$ 的计算表达式,并根据表达式计算出偏差增益系数 $A_{DEV}$ 的数值;

[0014] 步骤6:依据 $\Delta L$ 、 $C_L$ 值与 $C_P$ 值、以及偏差增益系数 $A_{DEV}$ ,建立轧辊横移位置误差补偿总量的计算表达式,并依据表达式计算出弯辊力补偿总量;

[0015] 步骤7:依据工作辊弯辊调节极限值、中间辊弯辊调节极限值和弯辊力补偿总量的计算值,确定最终的补偿总量;

[0016] 步骤8:针对四辊冷连轧机和六辊冷连轧机,分别设置中间辊弯辊补偿量分配系数和工作辊弯辊补偿量分配系数,根据最终的补偿总量计算对应的弯辊力补偿值并通过板形闭环反馈控制系统发送给对应弯辊执行机构,实现补偿调节。

[0017] 进一步地,根据所述的轧辊横移位置误差的补偿方法,所述补偿计算的启动条件为:假设弯辊力测量传感器的测量精度为 $\alpha$ ,轧辊横移实施前上活塞杆位置为 $P_{fup}$ 、下活塞杆位置为 $P_{fdown}$ 以及轧辊横移实施后上活塞杆位置为 $P_{bup}$ 、下活塞杆位置为 $P_{bdown}$ ,则上活塞杆的移动距离 $L_{up}$ 通过式(1)求解,下活塞杆的移动距离 $L_{down}$ 通过式(2)求解。

$$[0018] \quad L_{up} = P_{bup} - P_{fup} \quad (1)$$

$$[0019] \quad L_{down} = P_{bdown} - P_{fdown} \quad (2)$$

[0020] 中间辊横移上执行液压缸与轧辊横移预设移动距离差值的绝对值 $|\Delta L_{up}|$ 按照式(3)求解,中间辊横移下执行液压缸与轧辊横移预设移动距离差值的绝对值 $|\Delta L_{down}|$ 按照式(4)求解。

$$[0021] \quad |\Delta L_{up}| = \left| \frac{Target_{IRS}}{2} - L_{up} \right| \quad (3)$$

$$[0022] \quad |\Delta L_{down}| = \left| \frac{Target_{IRS}}{2} - L_{down} \right| \quad (4)$$

[0023] 当满足 $|\Delta L_{up}| > \alpha$ 或者 $|\Delta L_{down}| > \alpha$ 时,补偿计算有效,补偿计算开始执行。

[0024] 进一步地,根据所述的轧辊横移位置误差的补偿方法,所述偏差增益系数 $A_{DEV}$ 的计算表达式:

$$[0025] \quad A_{DEV} = \frac{A_{DEVmax} - A_{DEVmin}}{L_{max} - L_{min}} \cdot (L - L_{min}) + A_{DEVmin} \quad (6)$$

[0026] 上式中,  $A_{DEVmax}$  为偏差增益系数最大值;  $A_{DEVmin}$  为偏差增益系数最小值;  $L$  为从数据采集单元中获取的中间辊横移距离测量值;  $L_{max}$  为中间辊横移距离测量值  $L$  的最大值;  $L_{min}$  为中间辊横移距离测量值  $L$  的最小值。

[0027] 进一步地, 根据所述的轧辊横移位置误差的补偿方法, 所述轧辊横移位置误差补偿总量的计算表达式为:

$$[0028] \quad TComp_{bending} = |\Delta L| \cdot \frac{C_L}{C_P} \cdot A_{DEV} \cdot \lambda \quad (7)$$

[0029] 上式中,  $TComp_{bending}$  为轧辊横移位置误差补偿总量也即弯辊力补偿总量;  $|\Delta L|$  为轧辊横移预设移动距离与轧辊横移上、下执行液压缸实际移动距离的差值的绝对值;  $C_L$  表示以冷轧带钢轧制长度为基础计算出的板凸度系数;  $C_P$  表示以轧制力为基础计算出的板凸度系数;  $A_{DEV}$  为偏差增益系数;  $\lambda$  为分配系数。

[0030] 进一步地, 根据所述的轧辊横移位置误差的补偿方法, 所述依据工作辊弯辊调节极限值、中间辊弯辊调节极限值和弯辊力补偿总量的计算值确定最终的补偿总量的方法为: 令中间辊弯辊调节负限值为  $A_1$ 、正限值为  $B_1$ ; 工作辊弯辊调节负极限值为  $A_2$ 、正限值为  $B_2$ , 则有中间辊弯辊调节范围为  $[A_1, B_1]$ 、工作辊弯辊调节范围为  $[A_2, B_2]$ ; 依据板形闭环反馈控制系统对冷轧带钢产品板形的调节能力和工艺规程, 设定轧辊横移误差补偿值的极限值为对应调节机构调节极限值的 5%, 则中间辊的补偿范围为  $[0.05 \cdot A_1, 0.05 \cdot B_1]$ , 工作辊补偿范围为  $[0.05 \cdot A_2, 0.05 \cdot B_2]$ ; 根据补偿总量极限值由液压辊缝控制系统所允许的最大弯辊调节量决定, 则有:

[0031] 若补偿总量  $TComp_{bending}$  的计算值小于补偿总量的最小值  $MIN$ , 则取  $MIN$  作为最终的补偿总量; 如果补偿总量  $TComp_{bending}$  的计算值大于补偿总量的最大值  $MAX$ , 则取  $MAX$  作为最终的补偿总量; 如果补偿总量  $TComp_{bending}$  的计算值介于补偿总量最大值  $MAX$  与补偿总量最小值  $MIN$  之间, 则取  $TComp_{bending}$  的计算值作为最终的补偿总量; 其中,  $MIN = 0.05 \cdot (A_1 + A_2)$ ,  $MAX = 0.05 \cdot (B_1 + B_2)$ 。

[0032] 进一步地, 根据所述的轧辊横移位置误差的补偿方法, 式 (9) 六辊冷连轧机的工作辊弯辊力补偿值  $WComp_{bending}$  的计算公式, 式 (10) 为六辊冷连轧机的中间辊弯辊力补偿值  $IComp_{bending}$  的计算公式:

$$[0033] \quad WComp_{bending} = TComp_{bending} \cdot \lambda_{WRB} \quad (9)$$

$$[0034] \quad IComp_{bending} = TComp_{bending} \cdot \lambda_{IRB} \quad (10)$$

[0035] 上式中,  $\lambda_{WRB}$  为工作辊弯辊的补偿系数;  $\lambda_{IRB}$  为中间弯辊的补偿系数。

[0036] 进一步地, 根据所述的轧辊横移位置误差的补偿方法, 四辊冷连轧机的中间弯辊的补偿系数  $\lambda_{IRB} = 0$ , 四辊冷连轧机的工作辊弯辊的补偿系数  $\lambda_{WRB} = 1$ ; 式 (11) 为四辊冷连轧机的工作辊弯辊补偿值  $WComp_{bending}$  的计算公式, 式 (12) 为四辊冷连轧机的中间辊弯辊补偿值  $IComp_{bending}$  的计算公式:

$$[0037] \quad WComp_{bending} = TComp_{bending} \cdot \lambda_{WRB} = TComp_{bending} \quad (11)$$

$$[0038] \quad IComp_{bending} = TComp_{bending} \cdot \lambda_{IRB} = 0 \quad (12)$$

[0039] 总体而言, 通过本发明所构思的以上技术方案较现有技术具有以下有益效果: 首

先,本发明考虑了因轧辊横移预设定移动距离与轧辊横移上、下执行液压缸实际移动距离存在的偏差,而导致的冷轧带钢表面弯辊力分布不均的现象,使弯辊力能够均匀的施加于冷轧带钢表面;其次,本发明依据现有轧制规程和实时采集数据,可将此补偿方法应用于四辊、六辊冷连轧机的每个机架,具有广泛的适用性;再次,采用该方法可以消除轧辊横移预设定移动距离与轧辊横移上、下执行液压缸实际移动距离存在的偏差,提升冷轧带钢产品质量;最后,该方法计算形式简洁、无复杂运算流程,可将该补偿方法快速地转化为计算机编程语言所要求的形式,并应用到冷轧带钢板形自动控制系统中。

### 附图说明

- [0040] 图1为本实施方式轧辊横移位置误差的补偿方法的流程示意图;  
 [0041] 图2为本实施方式偏差增益系数计算原理示意图;  
 [0042] 图3本实施方式实测中间辊弯辊补偿值示意图;  
 [0043] 图4本实施方式实测工作辊弯辊补偿值示意图。

### 具体实施方式

[0044] 下面结合附图和实施例对本发明做进一步说明。

[0045] 本发明方法的核心思路包括:1、获取轧辊横移预设定移动距离,依据轧辊横移上、下执行液压缸的活塞杆位置与传感器的测量精度间的关系,确定补偿计算的开启条件;2、依据轧辊横移预设定移动距离与轧辊横移上下执行液压缸实际移动距离的差值、以冷轧带钢轧制长度为基础计算出的板凸度系数和以轧制力为基础计算出的板凸度系数和偏差增益系数,确定弯辊力补偿总量的计算表达式;3、依据工艺规程和板形闭环反馈控制系统对冷轧带钢产品板形的调节能力,判断弯辊力补偿总量是否超限,并根据超限与未超限两种情况,确定补偿总量的输出形式;4、确定中间辊弯辊补偿量和工作辊弯辊补偿量的分配系数,分别计算中间辊弯辊补偿量的数值和工作辊弯辊补偿量的数值,并将计算结果发送给板形调控机构。

[0046] 本实施方式中以某厂的1450mm五机架六辊冷连轧机组为例实施本发明的轧辊横移位置误差的补偿控制方法。在本实施例中,轧辊横移为中间辊横移。板形调节机构包括轧辊倾斜、工作辊正/负弯辊、中间辊正弯辊和中间辊横移。轧制过程基础参数如表1所示。

[0047] 表1轧制过程基础参数

	参数名称	数值
[0048]	工作辊辊径 [mm]	Ø425/385
	中间辊辊径 [mm]	Ø490/440

	支承辊辊径 [mm]	Ø1300/1150
	板形辊直径 [mm]	Ø 350
	出口带钢厚度[mm]	0.35
	出口带钢宽度 [mm]	1270
[0049]	带钢宽度内测量段数	39
	板形仪总测量段数	39
	板形辊长度 [mm]	1450
	测量段宽度 [mm]	52/26
	稳态轧制速度	600m/min

[0050] 图1是本实施方式轧辊横移位置误差的补偿方法的流程示意图,如图1所示,所述轧辊横移位置误差的补偿方法包括如下步骤:

[0051] 步骤1:从板形预设控制系统中获取轧辊横移预设移动距离 $Target_{IRS}$ 的具体数值。

[0052] 根据板形预设控制系统中的轧制规程可确定冷轧带钢产品规格信息和轧辊横移预设移动距离 $Target_{IRS}$ ,以此作为补偿计算的基准。在本实施例中,依据带钢产品尺寸和初始板形状态,板形预设控制系统将中间辊横移预设移动距离设定为40mm,即 $Target_{IRS}=40$ 。

[0053] 步骤2:依据轧辊横移上、下执行液压缸的活塞杆位置计算上、下活塞杆的移动距离,结合传感器测量精度和步骤1中的轧辊横移预设移动距离,设置补偿计算的启动条件。

[0054] 假设弯辊力测量传感器的测量精度为 $\alpha$ 。从板形闭环反馈控制系统的数据采集单元获取轧辊横移被实施前上、下活塞杆位置 $P_{fup}$ 和 $P_{fdown}$ 以及轧辊横移被实施后上、下活塞杆位置 $P_{bup}$ 和 $P_{bdown}$ ,则上活塞杆的移动距离 $L_{up}$ 通过式(1)求解,下活塞杆的移动距离 $L_{down}$ 通过式(2)求解。

$$[0055] \quad L_{up} = P_{bup} - P_{fup} \quad (1)$$

$$[0056] \quad L_{down} = P_{bdown} - P_{fdown} \quad (2)$$

[0057] 中间辊横移上执行液压缸与轧辊横移预设移动距离差值的绝对值 $|\Delta L_{up}|$ 按照式(3)求解,中间辊横移下执行液压缸与轧辊横移预设移动距离差值的绝对值 $|\Delta L_{down}|$ 按照式(4)求解。

$$[0058] \quad |\Delta L_{up}| = \left| \frac{Target_{IRS}}{2} - L_{up} \right| \quad (3)$$

$$[0059] \quad |\Delta L_{down}| = \left| \frac{Target_{IRS}}{2} - L_{down} \right| \quad (4)$$

[0060] 当满足 $|\Delta L_{up}| > \alpha$ 或者 $|\Delta L_{down}| > \alpha$ 时,补偿计算有效,补偿计算开始执行并传递给弯辊调控机构。

[0061] 在本实施例中通过轧机的设备手册查到,中间辊横移位置传感器的测量精度为0.002mm。从板形闭环反馈控制系统的数据采集单元可以获取:中间辊横移被实施前上、下活塞杆位置分别为 $P_{fup} = 19.89307\text{mm}$ 和 $P_{fdown} = 19.86051\text{mm}$ ;中间辊横移被实施后上、下活塞杆的位置分别为 $P_{bup} = 39.72198\text{mm}$ 和 $P_{bdown} = 39.57406\text{mm}$ ,则上活塞杆实际横移距离 $L_{up} = 19.82891\text{mm}$ ,下活塞杆实际横移距离 $L_{down} = 19.71355\text{mm}$ 。

[0062] 令中间辊横移上液压缸与轧辊横移的预设移动距离差值的绝对值为 $|\Delta L_{up}|$ 、中间辊横移下液压缸与轧辊横移预设移动距离差值的绝对值为 $|\Delta L_{down}|$ ,则有:

$$[0063] \quad |\Delta L_{up}| = |20 - 19.82891| = 0.17109 > 0.002\text{mm}$$

$$[0064] \quad |\Delta L_{down}| = |20 - 19.71355| = 0.2864 > 0.002\text{mm}$$

[0065] 因为 $|\Delta L_{up}|$ 与 $|\Delta L_{down}|$ 计算值均大于传感器的测量精度,所以开启中间辊横移的补偿计算功能。

[0066] 步骤3:结合步骤2中获取到的上、下活塞杆的移动距离,计算轧辊横移预设移动距离与轧辊横移上、下执行液压缸实际移动距离的差值 $\Delta L$ ;

[0067] 根据液压辊缝控制系统中轧辊横移上、下执行液压缸的活塞杆位置来确定当前轧辊的横移位置。由于轧辊横移距离是平均分配给上、下辊,即上、下辊横移距离是轧辊横移预设移动距离 $\text{Target}_{\text{IRS}}$ 的一半,所以横移误差是上、下执行液压缸的误差值之和。活塞杆位置数据来源于液压缸位置传感器的测量值,该值可以直接在人机交互界面中显示并通过板形闭环反馈控制系统的数据采集单元采集获取并引用。式(5)为 $\Delta L$ 的计算公式。

$$[0068] \quad \Delta L = \text{Target}_{\text{IRS}} - (L_{up} + L_{down}) \quad (5)$$

[0069] 上式中, $\Delta L$ 为轧辊横移预设移动距离与轧辊横移上、下执行液压缸实际移动距离的差值; $\text{Target}_{\text{IRS}}$ 为轧辊横移预设移动距离; $L_{up}$ 为上活塞杆的移动距离; $L_{down}$ 为下活塞杆的移动距离。

[0070] 在本实施例中,根据步骤2中确定的相关数据可计算出轧辊横移预设移动距离与轧辊横移上、下执行液压缸实际移动距离的差值 $\Delta L$ 为:

$$[0071] \quad \Delta L = \text{Target}_{\text{IRS}} - (L_{up} + L_{down}) = 40 - (19.82891 + 19.71355) = 0.45754\text{mm}$$

[0072] 中间辊横移被实施前、后的上、下执行液压缸的活塞杆位置是由位置传感器测量出来的,每个测量周期的值都是不同的,均有小幅度变化,这也是检测机构的固有特性。因此计算出的差值 $\Delta L$ 也是变化的,并不是固定值。

[0073] 步骤4:获取以冷轧带钢轧制长度为基础计算出的板凸度系数 $C_L$ 和获取以轧制力为基础计算出的板凸度系数 $C_p$ ;

[0074]  $C_L$ 与 $C_p$ 分别是以冷轧带钢轧制长度为基础计算出的板凸度系数和以轧制力为基础计算出的板凸度系数,以二者的比值定量地表征当前轧制环境与工艺阶段的板形状态。二者均由板形预设控制系统运算得出并传递到板形闭环反馈控制系统,通过板形闭环反馈控制系统的数据采集单元获取并使用。

[0075] 本实施例中在成品带钢宽度1270mm、成品厚度为0.35mm和稳态轧制速度600mm/min的轧制环境下,通过板形闭环反馈控制系统的数据采集单元获取采集得到的 $C_L$ 与 $C_p$ 的值分别为:

$$[0076] \quad C_L = -3.45248 \times 10^{-4} \text{ (mm/mm)}$$

$$[0077] \quad C_p = -6.15117 \times 10^{-4} \text{ (mm/(kN/chock))}$$

[0078] 步骤5:依据中间辊横移距离测量值的最大值和最小值,确定偏差增益系数 $A_{DEV}$ 的计算表达式,并计算出偏差增益系数 $A_{DEV}$ 的数值。

[0079] 偏差增益函数的主要用途是依据偏差值的大小动态改变板形闭环反馈控制系统的调节速度,使系统实现快速响应。当板形预设控制系统中的设定值与板形闭环反馈控制系统检测单元中的测量值偏差过大时,调节机构的调节距离变大,调节时间变长,会影响板形的控制效果。偏差增益系数 $A_{DEV}$ 会根据上执行液压缸横移距离的大小自动放大与减小板形闭环控制系统的调节速度,计算原理如图2所示,其具体表达式如下:

$$[0080] \quad A_{DEV} = \frac{A_{DEVmax} - A_{DEVmin}}{L_{max} - L_{min}} \cdot (L - L_{min}) + A_{DEVmin} \quad (6)$$

[0081] 上式中, $A_{DEVmax}$ 为偏差增益系数最大值; $A_{DEVmin}$ 为偏差增益系数最小值; $L$ 为从数据采集单元中获取的中间辊横移距离测量值; $L_{max}$ 为中间辊横移距离测量值 $L$ 的最大值; $L_{min}$ 为中间辊横移距离测量值 $L$ 的最小值。

[0082] 在本实施例中, $A_{DEVmax}$ 为1.25, $A_{DEVmin}$ 为1;由板形闭环反馈控制系统的数据采集单元获得 $L_{min}=19.49861\text{mm}$ , $L_{max}=20.51563\text{mm}$ , $L=19.89652\text{mm}$ ;将 $A_{DEVmax}$ 与 $A_{DEVmin}$ 分别设置为1.25和1;依据当前 $A_{DEVmax}$ 、 $A_{DEVmin}$ 、 $L_{max}$ 、 $L_{min}$ 和 $L$ 的数值,可计算出:

$$[0083] \quad A_{DEV} = \frac{1.25 - 1}{20.51563 - 19.49861} \times (19.89652 - 19.49861) + 1 = 1.09781$$

[0084] 步骤6:依据步骤3中 $\Delta L$ 的计算结果、步骤4中的 $C_L$ 值与 $C_P$ 值,以及步骤5中偏差增益系数 $A_{DEV}$ 的计算结果,建立轧辊横移位置误差补偿总量的计算表达式。

[0085] 本发明将冷轧带钢轧辊横移位置误差补偿总量也即弯辊力补偿总量 $TComp_{bending}$ 的计算公式设定如下:

$$[0086] \quad TComp_{bending} = |\Delta L| \cdot \frac{C_L}{C_P} \cdot A_{DEV} \cdot \lambda \quad (7)$$

[0087] 上式中, $TComp_{bending}$ 为轧辊横移位置误差补偿总量也即弯辊力补偿总量; $|\Delta L|$ 为轧辊横移预设移动距离与轧辊横移上、下执行液压缸实际移动距离的差值的绝对值; $C_L$ 表示以冷轧带钢轧制长度为基础计算出的板凸度系数; $C_P$ 表示以轧制力为基础计算出的板凸度系数; $A_{DEV}$ 为偏差增益系数; $\lambda$ 为分配系数。

[0088] 在本实施例中,将步骤1-步骤5中获得的相关数据代入式(7)所示的 $TComp_{bending}$ 的计算公式,可以求出依据步骤1-步骤5中的数据所对应生产状态的补偿总量为:

$$[0089] \quad TComp_{bending} = |\Delta L| \cdot \frac{C_L}{C_P} \cdot A_{DEV} \cdot \lambda = 0.45754 \times \frac{-3.45248 \times 10^{-4}}{-6.15117 \times 10^{-4}} \times 1.09781 \times 1 = 0.28192 \text{ kN}$$

[0090] 由于轧辊横移预设移动距离与轧辊横移上、下执行液压缸实际移动距离的差值是根据扫描周期采集得到的数据,因此不同时间内,补偿量是动态变化的。当前步骤中补偿总量仅代表该瞬时状态下所计算出的补偿量,不代表所有的补偿量。

[0091] 步骤7:依据工作辊弯辊调节极限值和中间辊弯辊调节极限值,建立超限判断表达式,检查步骤6中弯辊力补偿总量的计算结果是否超限,并设置弯辊力补偿总量的输出形式。

[0092] 令中间辊弯辊调节负限值为 $A_1$ 、正限值为 $B_1$ ;工作辊弯辊调节负极限值为 $A_2$ 、正限

值为 $B_2$ ,则有中间辊弯辊调节范围为 $[A_1, B_1]$ kN、工作辊弯辊调节范围为 $[A_2, B_2]$ kN。依据板形闭环反馈控制系统对冷轧带钢产品板形的调节能力和工艺规程,现设定轧辊横移误差补偿值的极限值为对应调节机构调节极限值的5%,则中间辊的补偿范围为 $[0.05 \cdot A_1, 0.05 \cdot B_1]$ kN,工作辊补偿范围为 $[0.05 \cdot A_2, 0.05 \cdot B_2]$ kN。补偿总量极限值由液压辊缝控制系统所允许的最大弯辊调节量决定,则有公式:

$$[0093] \quad TComp_{\text{bending}} = \begin{cases} MIN, & TComp_{\text{bending}} < MIN \\ TComp_{\text{bending}}, & MIN < TComp_{\text{bending}} < MAX \\ MAX, & TComp_{\text{bending}} > MAX \end{cases} \quad (8)$$

[0094] 上式中, $TComp_{\text{bending}}$ 为补偿总量计算值;MIN代表补偿总量最小值, $MIN=0.05 \cdot (A_1 + A_2)$ ;MAX代表补偿总量最大值, $MAX=0.05 \cdot (B_1 + B_2)$ ;

[0095] 若补偿总量 $TComp_{\text{bending}}$ 的计算值小于补偿总量的最小值MIN,则取MIN作为最终的补偿总量;如果补偿总量 $TComp_{\text{bending}}$ 的计算值大于补偿总量的最大值MAX,则取MAX作为最终的补偿总量;如果补偿总量 $TComp_{\text{bending}}$ 的计算值介于补偿总量最大值MAX与补偿总量最小值MIN之间,则取 $TComp_{\text{bending}}$ 的计算值作为最终的补偿总量。

[0096] 在本实施例中,从板形闭环反馈控制系统的数据采集单元可获取:中间辊弯辊调节范围为 $[-350, 600]$ kN,工作辊弯辊调节范围为 $[-500, 500]$ kN。依据板形闭环反馈控制系统对冷轧带钢产品板形的能力和工艺规程,现设定轧辊横移误差的补偿范围为各机构调节范围的5%,则中间辊弯辊的补偿范围为 $[-17, 30]$ kN,工作辊弯辊的补偿范围为 $[-25, 25]$ kN。则补偿总量的正极限值MAX为 $MAX=30+25=55$ kN,补偿总量的负极限值MIN为 $MIN=-17+(-25)=-42$ kN

[0097] 由步骤6中的计算结果表明,弯辊力补偿总量的计算数值小于正极限值 $MAX=55$ kN,大于负极限值 $MIN=-42$ kN,以板形闭环反馈控制系统将弯辊力补偿总量的计算值 $TComp_{\text{bending}}$ 传送到板形调控机构。

[0098] 步骤8:针对四辊冷连轧机和六辊冷连轧机,分别设置中间辊弯辊补偿量分配系数和工作辊弯辊补偿量分配系数,利用步骤7中补偿总量的输出结果计算对应的弯辊力补偿值并通过板形闭环反馈控制系统发送给对应弯辊执行机构,实现补偿调节。

[0099] (1)对于六辊冷连轧机,会将补偿总值 $TComp_{\text{bending}}$ 按不同比例分配给中间辊弯辊和工作辊弯辊。其中式(9)为六辊冷连轧机的工作辊弯辊力补偿值 $WComp_{\text{bending}}$ 的计算公式,式(10)为六辊冷连轧机的中间辊弯辊力补偿值 $IComp_{\text{bending}}$ 的计算公式。

$$[0100] \quad WComp_{\text{bending}} = TComp_{\text{bending}} \cdot \lambda_{\text{WRB}} \quad (9)$$

$$[0101] \quad IComp_{\text{bending}} = TComp_{\text{bending}} \cdot \lambda_{\text{IRB}} \quad (10)$$

[0102] 上式中, $\lambda_{\text{WRB}}$ 为工作辊弯辊的补偿系数; $\lambda_{\text{IRB}}$ 为中间弯辊的补偿系数。

[0103] (2)对于四辊冷连轧机, $\lambda_{\text{IRB}}=0, \lambda_{\text{WRB}}=1$ 。补偿总量计算后,分配计算结果通过板形闭环反馈控制系统发送给对应弯辊执行机构,实现补偿调节。其中式(11)为四辊冷连轧机的工作辊弯辊补偿值 $WComp_{\text{bending}}$ 的计算公式,式(12)为四辊冷连轧机的中间辊弯辊补偿值 $IComp_{\text{bending}}$ 的计算公式。

$$[0104] \quad WComp_{\text{bending}} = TComp_{\text{bending}} \cdot \lambda_{\text{WRB}} = TComp_{\text{bending}} \quad (11)$$

$$[0105] \quad IComp_{\text{bending}} = TComp_{\text{bending}} \cdot \lambda_{\text{IRB}} = 0 \quad (12)$$

[0106] 上述(1)(2)中的计算方法可应用于冷连轧机的每个机架。

[0107] 在本实施例中为六辊冷连轧机,根据现场设备的生产状态和工艺条件,选择分配系数为 $\lambda_{\text{IRB}}=0.4$ , $\lambda_{\text{WRB}}=0.6$ 。根据式(13)所示的工作辊弯辊补偿值分配公式和式(14)所示的中间辊弯辊补偿值分配公式分别计算后,将计算结果传给执行器。

$$[0108] \quad W\text{Comp}_{\text{bending}} = T\text{Comp}_{\text{bending}} \cdot \lambda_{\text{WRB}} = T\text{Comp}_{\text{bending}} \times 0.6 \quad (13)$$

$$[0109] \quad I\text{Comp}_{\text{bending}} = T\text{Comp}_{\text{bending}} \cdot \lambda_{\text{IRB}} = T\text{Comp}_{\text{bending}} \times 0.4 \quad (14)$$

[0110] 图3是关于六辊冷连轧机的中间辊弯辊力补偿值采集点数值的示意图。图4是关于六辊冷连轧机的工作辊弯辊力补偿值采集点数值的示意图。如图3和图4所示,随轧制生产的持续进行,中间辊弯辊力补偿值与工作辊弯辊力补偿值一直处于动态运算过程中。本次数据点采集间隔是10ms,计算值更新周期为50ms,每条曲线约13万个采集点,共计约26万个采集点。

[0111] 最后应说明的是:以上实施例仅用以说明本发明的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解;其依然可以对前述实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分或者全部技术特征进行等同替换;因而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本发明权利要求所限定的范围。

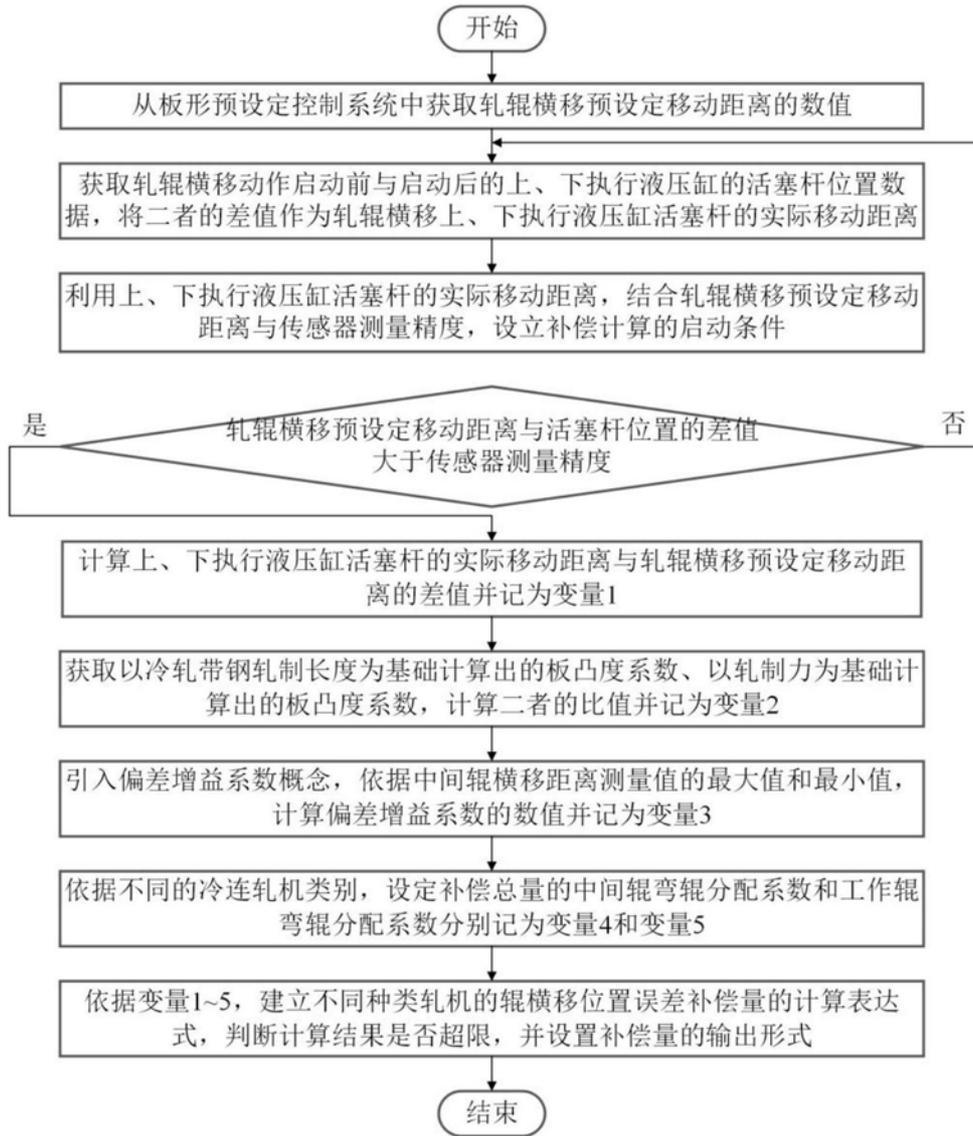


图1

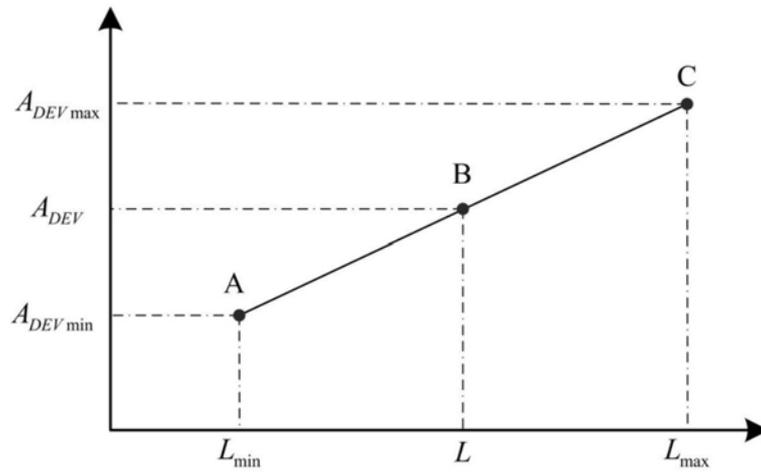


图2

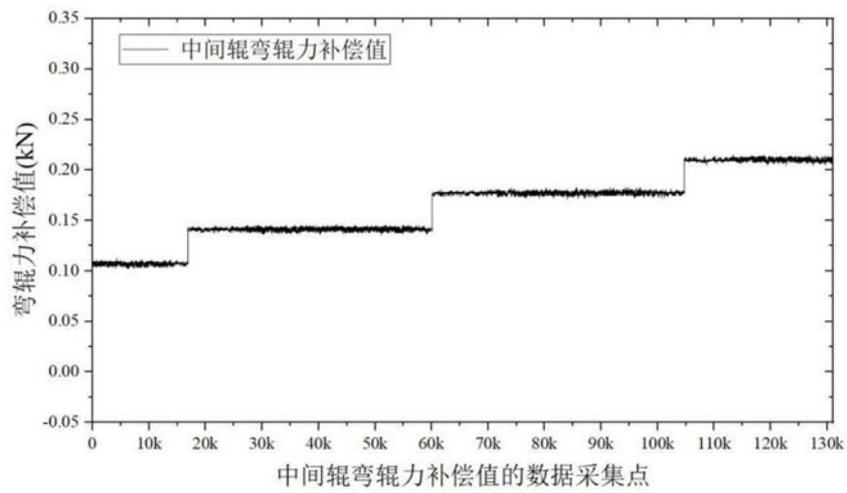


图3

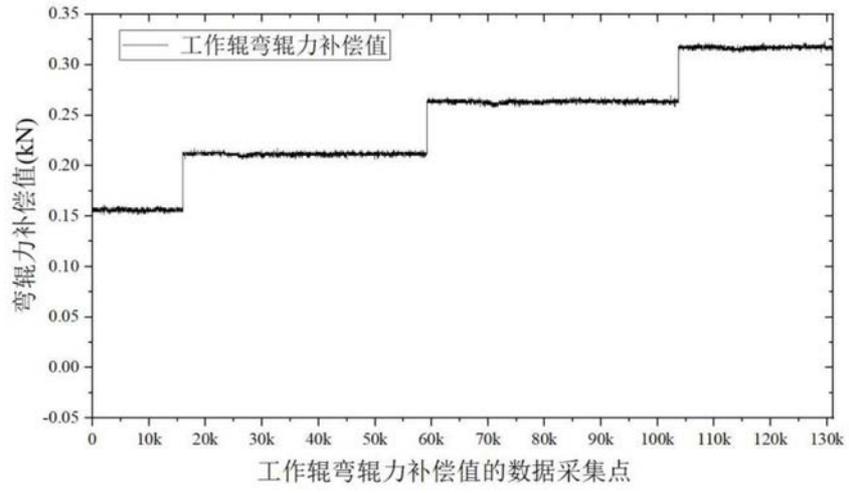


图4