



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103331310 A

(43) 申请公布日 2013. 10. 02

(21) 申请号 201310296494. 8

(22) 申请日 2013. 07. 13

(71) 申请人 吉林大学

地址 130012 吉林省长春市前进大街 2699 号

(72) 发明人 张远清 王国强 刘义 王若然 钱小磊 苏丽达 张玉新

(74) 专利代理机构 长春吉大专利代理有限责任公司 22201

代理人 朱世林 王寿珍

(51) Int. Cl.

B21B 38/00 (2006. 01)

B21B 38/08 (2006. 01)

B21B 38/10 (2006. 01)

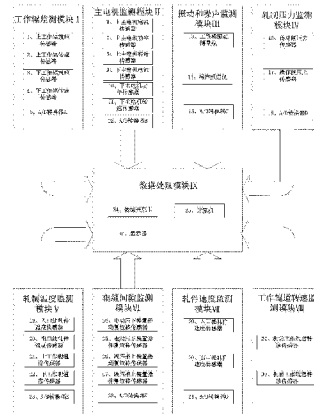
权利要求书4页 说明书9页 附图4页

(54) 发明名称

镁合金板材轧制参数监测与故障诊断系统及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种镁合金板材轧制参数监测与故障诊断系统及方法,由工作辊监测模块、主电机监测模块、振动和噪声监测模块、轧制压力监测模块、轧制温度监测模块、辊缝间隙监测模块、轧件速度监测模块、工作辊道转速监测模块、数据处理模块和轧机组成,同时监测轧制力、轧件温度等工艺参数和电机电流等设备参数,并根据参数提供设备运行状态,进行温度预测和故障诊断。记录设备运行数据,完善温度监测与故障诊断模型,建立具有自学习能力的智能监测与诊断系统。为镁合金轧制设备设计提供依据,对于轧制设备设计具有指导意义。工业实用性强,具有很好的应用前景。



1. 一种镁合金板材轧制参数监测与故障诊断系统,其特征在于:由工作辊监测模块(I)、主电机监测模块(II)、振动和噪声监测模块(III)、轧制压力监测模块(IV)、轧制温度监测模块(V)、辊缝间隙监测模块(VI)、轧件速度监测模块(VII)、工作辊道转速监测模块(VIII)、数据处理模块(IX)和轧机(z)组成,所述的工作辊监测模块(I)、主电机监测模块(II)、振动和噪声监测模块(III)、轧制压力监测模块(IV)、轧制温度监测模块(V)、辊缝间隙监测模块(VI)、轧件速度监测模块(VII)和工作辊道转速监测模块(VIII)安装在轧机(z)对应位置,并通过数据线与置于设备控制室内的数据处理模块(IX)相连;

所述的工作辊监测模块(I)由上工作辊扭矩传感器(1)、上工作辊转速传感器(2)、下工作辊扭矩传感器(3)、下工作辊转速传感器(4)和A/D转换器A(5)组成;工作辊监测模块(I)监测上工作辊(d)和下工作辊(g)工作状态下的扭矩和转速,并转换为数字信号,输送入数据处理模块(IX);上工作辊扭矩传感器(1)、上工作辊转速传感器(2)安装在上工作辊(d)与上万向联轴器(e)之间;下工作辊(g)的传感器布置与上工作辊(d)相同;

所述的主电机监测模块(II)由上主电机电流传感器(6)、上主电机功率传感器(7)、上主电机转速传感器(8)、下主电机电流传感器(9)、下主电机功率传感器(10)、下主电机转速传感器(11)和A/D转换器B(12)组成;主电机监测模块(II)监测上工作辊主电机(f)和下工作辊主电机(p)工作状态下的电流、功率和转速,并转换为数字信号,输送入数据处理模块(IX);上主电机转速传感器(8)采用光电编码器,安装于上工作辊主电机(f)轴头;下工作辊主电机(p)的传感器布置与上工作辊主电机(f)相同;

所述的振动和噪声监测模块(III)由工作辊振动测量仪(13)、噪声频谱仪(14)和A/D转换器C(15)组成;振动和噪声监测模块(III)监测轧机(z)工作状态下的振动和噪声,并转换为数字信号,输送入数据处理模块(IX);工作辊振动测量仪(13)的磁吸座置于上工作辊轴承座(c)处,测量上工作辊(d)的位移、速度和加速度;噪声频谱仪(14)参照工人实际工作距离置于轧机(z)操作侧;

所述的轧制压力监测模块(IV)由传动侧压力传感器(16)、操作侧压力传感器(17)和A/D转换器D(18)组成;轧制压力监测模块(IV)监测轧机(z)工作状态下的轧制压力,并转换为数字信号,输送入数据处理模块(IX);传动侧压力传感器(16)、操作侧压力传感器(17)分别安装于液压推上装置(w)的传动侧和操作侧,对两侧轧制力分别进行监测,并计算压力差;

所述的轧制温度监测模块(V)由入口处轧件温度传感器(19)、出口处轧件温度传感器(20)、上工作辊温度传感器(21)、下工作辊温度传感器(22)和A/D转换器E(23)组成;轧制温度监测模块(V)监测轧机(z)工作状态下的轧件(s)、上工作辊(d)和下工作辊(g)的温度,并转换为数字信号,输送入数据处理模块(IX);温度检测采用红外测温仪,分别安装于机前工作辊道(q)轧件入口处、上工作辊(d)处和下工作辊(g)处,监测轧件(s)、上工作辊(d)和下工作辊(g)的实际温度;

所述的辊缝间隙监测模块(VI)由电动压下装置传动侧位移传感器(24)、电动压下装置操作侧位移传感器(25)、液压推上系统传动侧位移传感器(26)、液压推上系统操作侧位移传感器(27)和A/D转换器F(28)组成;辊缝间隙监测模块(VI)监测轧机(z)工作状态下的传动侧和操作侧的实际辊缝间隙和辊缝差,并转换为数字信号,输送入数据处理模块(IX);电动压下装置传动侧位移传感器(24)安装于电动压下装置(u)传动侧压下螺丝上

端；电动压下装置操作侧位移传感器(25)安装于电动压下装置(u)操作侧压下螺丝上端；液压推上系统传动侧位移传感器(27)安装于液压推上装置(w)传动侧液压缸缸体与缸杆之间；液压推上系统操作侧位移传感器(28)安装于液压推上装置(w)操作侧液压缸缸体与缸杆之间；

所述的轧件速度监测模块(VII)由入口处轧件速度传感器(29),出口处轧件速度传感器(30)和A/D转换器G(31)组成；入口处轧件速度传感器(29)和出口处轧件速度传感器(30)分别安装于机前工作辊道(q)和机后工作辊道(v)靠近机架y处；轧件速度监测模块监测轧件(s)在轧制前和轧制后的运动速度,并转换为数字信号,输送入数据处理模块(IX)；

所述的工作辊道转速监测模块(VIII)由机前工作辊道转速传感器(32)和机前工作辊道转速传感器(33)组成；转速传感器安装于机前工作辊道(q)和机后工作辊道(v)的输送辊侧面；工作辊道转速监测模块(VIII)监测轧机(z)机前工作辊道(q)和机后工作辊道(v)的输送辊转速,并输出数字信号,输送入数据处理模块(IX)；

所述的数据处理模块(IX)由数据采集卡(34)、计算机(35)和显示器(36)组成；数据采集卡(34)为多路高频数据采集卡,对多路传感器输入信号进行快速处理；计算机(35)进行数据分析与存取；显示器(36)供技术人员观察监测系统的的功能；数据处理模块(IX)安装于设备控制室内,以供技术人员观察监测系统的的功能。

2. 根据权利要求1所述的一种镁合金板材轧制参数监测与故障诊断系统,其特征在于:

所述的上工作辊扭矩传感器(1)和上工作辊转速传感器(2)集成在一起,为盘式结构。

3. 根据权利要求1所述的一种镁合金板材轧制参数监测与故障诊断系统,其特征在于:

所述的上主机电流传感器(6)和上主电机功率传感器(7)为钳形互感器,直接夹住主电机输电线母线或母排上。

4. 根据权利要求1所述的一种镁合金板材轧制参数监测与故障诊断系统,其特征在于:

所述的入口处轧件速度传感器(29)和出口处轧件速度传感器(30)采用激光多普勒测速仪,转速传感器采用增量式光电编码器。

5. 一种镁合金板材轧制参数监测与故障诊断方法,其特征在于:包括以下步骤:

(一)搭建系统硬件并标定:将所述的监测系统中各数据采集模块安装在轧机(z)的正确位置,各模块通过数据线与数据处理模块(IX)连接,并进行标定;

(二)确定系统正常工作:启动监测系统,检查系统是否正常工作;

(三)数据采集并存储:操作人员输入轧制前板料长度、板料宽度、板料厚度、摩擦系数、工作辊直径、材料弹性模量和材料屈服强度,设定辊缝间隙和工作辊转速;利用监测系统采集设备工作的各项参数,并通过数据线导入计算机,经过一定的数据处理,得到数据记录并存储;

(四)数据显示与预警:通过传感器测得的各项参数,包括上工作辊扭矩、上工作辊转速和下工作辊扭矩,直接以实时曲线形式反映在显示器上,供操作人员了解设备当前工作状态;设置设备正常工作状态下参数变化区间;当参数超过正常范围或出现其他异常情况

时,通过一定的声光报警途径提醒操作人员采取措施及时进行调整和控制,以防止设备损坏或造成施工事故;

(五) 温度预测:建立镁合金轧制过程上工作辊、下工作辊和板材的温度预测系统;从计算机数据存储中,得到历史记录,作为系统中神经网络的训练样本,其中,神经网络模型采用 BP 神经网络,其结构包含一个输入层、一个隐含层和一个输出层;采用 Levenberg-Marquardt 法对神经网络进行训练,不断调整神经网络中的权值,直到模型精度满足要求;对训练后的模型进行存储;应用上述训练后的神经网络模型,对镁合金板材轧制过程终了时上工作辊温度、下工作辊温度和板材温度进行预测,并参照轧制工艺要求的温度区间进行校核,判断当前温度状态下工作辊和板材的温度是否满足继续轧制的条件;

(六) 故障诊断:故障诊断部分监测工作装置,即工作辊的运行状况并针对异常数据做出故障诊断;提取轧制过程中的振动数据,经数据处理,得到峰值因子、脉冲因子、裕度因子、波形因子和峭度五个无量纲参数组成的特征向量,并设定不同故障下对应的理想输出向量,用以得出结论,判断设备当前故障。

6. 根据权利要求 5 所述的一种镁合金板材轧制参数监测与故障诊断方法,其特征在于:

所述的温度监测部分,即所述的步骤(五)具体通过如下方法实现:

所述的温度预测神经网络结构包含一个输入层、一个隐含层和一个输出层;输入层单元个数 $r=11$,隐含层神经元个数 $m=30$,输出层神经元个数 $n=3$;

从轧制起始时刻计时,记由时间、轧制前板料长度、轧制前板料宽度、轧制前板料厚度、摩擦系数、工作辊直径、压下量、轧件入口处速度、轧件入口处温度、上工作辊温度和下工作辊温度组成的向量作为输入向量 x ;神经网络的输出为轧制终了时轧件、上工作辊和下工作辊温度的预测值;

$$x = [x_1 x_2 x_3 \dots x_r]^T$$

隐含层第 i 个神经元输出为:

$$a_j^1 = f_1(\sum_{i=1}^r w_{ij}^1 x_i + b_j^1), j=1, 2, \dots, m$$

输出层神经元输出为:

$$a_L^2 = f_2(\sum_{j=1}^m w_{jL}^2 a_j^1 + b_L^2), L=1, 2, \dots, n$$

式中, f_1 为隐含层激活函数, a_j^1 为隐含层神经元 j 的输出值, w_{ij}^1 为输入层神经元 i 到隐含层神经元 j 的连接权值, b_j^1 为隐含层神经元 j 的激活阈值; f_2 为输出层激活函数, a_L^2 为输出层神经元 L 的输出值, w_{jL}^2 为隐含层神经元 j 到输出层神经元 L 的连接权值, b_L^2 为输出层神经元 L 的激活阈值;

隐含层激活函数为 S 型的双曲正切函数;输出层的激活函数为线性函数;

选取误差平方和 SSE 为目标函数;SSE 为关于 $W = \begin{bmatrix} w_{11} & \dots & w_{1m} & b_1 \\ \vdots & & \vdots & \vdots \\ w_{r1} & \dots & w_{rm} & b_r \end{bmatrix}^T$ 的函数,其中

$$SSE = f(W) = \sum_{L=1}^n (t_L - a_L^2)^2$$

式中, t_L 为期望输出值, 即传感器实测数据;

从计算机数据存储中, 得到历史记录, 作为系统中神经网络的训练样本;

采用 Levenberg-Marquardt 法对神经网络进行训练, 不断调整神经网络中权值, 直到模型精度满足要求;

$$S(W^{(k)}) = -(H^{(k)} + \lambda^{(k)} I)^{-1} \nabla f(W^{(k)})$$

$$f(W^{(k+1)}) = \min f(W^{(k)} + \eta^{(k)} S(W^{(k)}))$$

$$W^{(k+1)} = W^{(k)} + \eta^{(k)} S(W^{(k)})$$

式中, k 为迭代次数;

$S(W^{(k)})$ 为由 Levenberg-Marquardt 法确定的最佳搜索方向;

$H^{(k)}$ 为海森矩阵, 其值由雅克比矩阵进行近似计算得到 $H = J^T J$;

$\eta^{(k)}$ 为 $S(W^{(k)})$ 方向上的最佳搜索步长;

$\lambda^{(k)}$ 用于调节 Levenberg-Marquardt 法中梯度下降法和牛顿法的比例;

I 为单位矩阵;

对训练后的模型进行存储;

应用上述训练后的神经网络模型, 对镁合金板材轧制过程终了时上工作辊温度、下工作辊温度和板材温度进行预测, 并参照轧制工艺要求的温度区间进行校核, 判断当前温度状态下工作辊和板材的温度是否满足继续轧制的条件。

7. 根据权利要求 6 所述的一种镁合金板材轧制参数监测与故障诊断方法, 其特征在于:

当前板材轧制终了时, 由出口处轧件温度传感器 (20)、上工作辊温度传感器 (21)、下工作辊温度传感器 (22) 分别记录轧制终了时轧件、上工作辊和下工作辊的实际温度, 并记录数据, 更新数据库; 用更新后的数据记录训练网络, 以提高模型精度, 体现系统的自学习功能。

8. 根据权利要求 5 所述的一种镁合金板材轧制参数监测与故障诊断方法, 其特征在于:

所述的故障诊断部分, 即所述的步骤(六)也采用 BP 神经网络结构; 提取轧制过程中的振动数据, 经数据处理, 得到峰值因子、脉冲因子、裕度因子、波形因子和峭度五个无量纲参数组成的特征向量, 作为输入向量;

故障诊断部分用以诊断正常、轧辊裂纹、轴承外圈损坏、轴承滚子损坏、轴承保持架损坏和轴承内圈损坏六种设备运行状态, 作为输出向量;

故障诊断神经网络输入层单元个数 $r=5$, 输出层神经元个数 $n=6$, 取隐含层神经元个数 $m=24$ 。

9. 根据权利要求 8 所述的一种镁合金板材轧制参数监测与故障诊断方法, 其特征在于:

所述的六种设备运行状态分别对应的网络理想输出向量为: 正常 000000; 轧辊裂纹 010000; 轴承外圈损坏 001000; 轴承滚子损坏 000100; 轴承保持架损坏 000010; 轴承内圈损坏 000001。

镁合金板材轧制参数监测与故障诊断系统及方法

技术领域

[0001] 本发明属于轧制设备监测技术领域,具体涉及一种镁合金板材轧制参数监测与故障诊断系统及方法。

背景技术

[0002] 镁合金以其比强度高,比弹性模量大,散热性和抗震减噪性好等特点,广泛应用于航空航天领域。近年来,随着材料科学方面的技术进步,镁合金成形工艺不断改进,促进了镁合金在汽车、数码产品等民用领域应用日益广泛。

[0003] 镁合金板材轧制参数涉及机械、液压、电气等多学科,包括温度、压力、扭矩、长度、功率、振动、噪音等多物理量。参数的波动必将对板材的组织、性能和产量等产生影响。因此,需要对轧制参数进行在线实时监测,并根据监测结果,向操作人员提供当前设备的运行状态。其中一些直观的设备参数,如轧制力、电机电流等,可从传感器测得的数据中直接观测。而轧机振动数据,则需进行一定的数据处理,并结合人工智能技术(如人工神经网络),才能形成可供操作人员理解的结论性提示。

[0004] 镁合金在室温下塑性变形能力较差,因此镁合金轧制中道次压下量较钢和铝等小很多。镁合金体积热容小,散热快,在轧制过程中需要进行多次退火,且退火温度范围较窄。这也成为镁合金轧制区别于钢等合金的重要特点。因此,需要对镁合金轧制过程中的温度,进行严格控制,才能为产品质量控制提供保证。目前对镁合金板材及轧辊温度的监测主要还停留在工人现场手动测量并根据经验进行决策的水平上,自动化水平低,降低了生产效率,且决策过程涉及人为因素,决策的科学性有待提高。

发明内容

[0005] 本发明提供一种镁合金板材轧制参数监测与故障诊断系统及方法,旨在针对镁合金板材散热快且轧制过程温度范围窄的特点,建立一套具有针对性的镁合金板材轧制参数监测与故障诊断系统,同时监测轧制力、轧件温度等工艺参数和电机电流等设备参数,并根据参数提供设备运行状态,进行温度预测和故障诊断。记录设备运行数据,完善温度监测与故障诊断模型,建立具有自学习能力的智能监测与诊断系统。

[0006] 本发明为解决上述技术问题,通过以下技术方案实现:

[0007] 一种镁合金板材轧制参数监测与故障诊断系统,由工作辊监测模块 I、主电机监测模块 II、振动和噪声监测模块 III、轧制压力监测模块 IV、轧制温度监测模块 V、辊缝间隙监测模块 VI、轧件速度监测模块 VII、工作辊道转速监测模块 VIII、数据处理模块 IX 和轧机 Z 组成。所述的工作辊监测模块 I、主电机监测模块 II、振动和噪声监测模块 III、轧制压力监测模块 IV、轧制温度监测模块 V、辊缝间隙监测模块 VI、轧件速度监测模块 VII 和工作辊道转速监测模块 VIII 安装在轧机 Z 对应位置,并通过数据线与置于设备控制室内的数据处理模块 IX 相连。

[0008] 所述的工作辊监测模块 I 由上工作辊扭矩传感器 1、上工作辊转速传感器 2、下工

作辊扭矩传感器 3、下工作辊转速传感器 4 和 A/D 转换器 A5 组成。工作辊监测模块 I 用以监测上工作辊 d 和下工作辊 g 工作状态下的扭矩和转速,并转换为数字信号,输送入数据处理模块 IX。所述的上工作辊扭矩传感器 1 和上工作辊转速传感器 2 集成在一起,为盘式结构。上工作辊扭矩传感器 1、上工作辊转速传感器 2 安装在上工作辊 d 与上万向联轴器 e 之间。下工作辊 g 的传感器布置与上工作辊 d 类似。

[0009] 所述的主电机监测模块 II 由上主电机电流传感器 6、上主电机功率传感器 7、上主电机转速传感器 8、下主电机电流传感器 9、下主电机功率传感器 10、下主电机转速传感器 11 和 A/D 转换器 B12 组成。主电机监测模块 II 用以监测上工作辊主电机 f 和下工作辊主电机 p 工作状态下的电流、功率和转速,并转换为数字信号,输送入数据处理模块 IX。上主电机电流传感器 6 和上主电机功率传感器 7 为钳形互感器,直接夹住主电机输电线母线或母排上,无须截线停电。上主电机转速传感器 8 采用光电编码器,安装于上工作辊主电机 f 轴头。下工作辊主电机 p 的传感器布置与上工作辊主电机 f 类似。

[0010] 所述的振动和噪声监测模块 III 由工作辊振动测量仪 13、噪声频谱仪 14 和 A/D 转换器 C15 组成。振动和噪声监测模块 III 用以监测轧机 z 工作状态下的振动和噪声,并转换为数字信号,输送入数据处理模块 IX。工作辊振动测量仪 13 的磁吸座置于上工作辊轴承座 c 处,测量上工作辊 d 的位移、速度和加速度。噪声频谱仪 14 参照工人实际工作距离置于轧机 z 操作侧。

[0011] 所述的轧制压力监测模块 IV 由传动侧压力传感器 16、操作侧压力传感器 17 和 A/D 转换器 D18 组成。轧制压力监测模块 IV 用以监测轧机 z 工作状态下的轧制压力,并转换为数字信号,输送入数据处理模块 IX。传动侧压力传感器 16、操作侧压力传感器 17 分别安装于液压推上装置 w 的传动侧和操作侧,对两侧轧制力分别进行监测,并计算压力差。

[0012] 所述的轧制温度监测模块 V 由入口处轧件温度传感器 19、出口处轧件温度传感器 20、上工作辊温度传感器 21、下工作辊温度传感器 22 和 A/D 转换器 E23 组成。轧制温度监测模块 V 用以监测轧机 z 工作状态下的轧件 s、上工作辊 d 和下工作辊 g 的温度,并转换为数字信号,输送入数据处理模块 IX。温度检测采用红外测温仪,利用其非接触测量的特点,分别安装于机前工作辊道 q 轧件入口处、上工作辊 d 处和下工作辊 g 处,从而监测轧件 s、上工作辊 d 和下工作辊 g 的实际温度。

[0013] 所述的辊缝间隙监测模块 VI 由电动压下装置传动侧位移传感器 24、电动压下装置操作侧位移传感器 25、液压推上系统传动侧位移传感器 26、液压推上系统操作侧位移传感器 27 和 A/D 转换器 F28 组成。辊缝间隙监测模块 VI 用以监测轧机 z 工作状态下的传动侧和操作侧的实际辊缝间隙和辊缝差,并转换为数字信号,输送入数据处理模块 IX。电动压下装置传动侧位移传感器 24 安装于电动压下装置 u 传动侧压下螺丝上端。电动压下装置操作侧位移传感器 25 安装于电动压下装置 u 操作侧压下螺丝上端。液压推上系统传动侧位移传感器 27 安装于液压推上装置 w 传动侧液压缸缸体与缸杆之间。液压推上系统操作侧位移传感器 28 安装于液压推上装置 w 操作侧液压缸缸体与缸杆之间。

[0014] 所述的轧件速度监测模块 VII 由入口处轧件速度传感器 29,出口处轧件速度传感器 30 和 A/D 转换器 G31 组成。入口处轧件速度传感器 29 和出口处轧件速度传感器 30 采用激光多普勒测速仪,分别安装于机前工作辊道 q 和机后工作辊道 v 靠近机架 y 处。轧件速度监测模块用以监测轧件 s 在轧制前和轧制后的运动速度,并转换为数字信号,输送入数据

处理模块IX。

[0015] 所述的工作辊道转速监测模块VIII由机前工作辊道转速传感器 32 和机前工作辊道转速传感器 33 组成。转速传感器采用增量式光电编码器,分别安装于机前工作辊道 q 和机后工作辊道 v 的输送辊侧面。工作辊道转速监测模块VIII用以监测轧机 z 机前工作辊道 q 和机后工作辊道 v 的输送辊转速,并输出数字信号,输送入数据处理模块IX。

[0016] 所述的数据处理模块IX由数据采集卡 34、计算机 35 和显示器 36 组成。数据采集卡 34 为多路高频数据采集卡,可对多路传感器输入信号进行快速处理。计算机 35 完成数据分析与存取。显示器 36 供技术人员观察监测系统的的功能。数据处理模块IX安装于设备控制室内,以供技术人员观察监测系统的的功能。

[0017] 一种镁合金板材轧制参数监测与故障诊断方法,包括以下步骤:

[0018] (一) 搭建系统硬件并标定:将所述的监测系统中各数据采集模块安装在轧机 z 的正确位置,各模块通过数据线与数据处理模块IX连接,并进行标定;

[0019] (二) 确定系统正常工作:启动监测系统,检查系统是否正常工作;

[0020] (三) 数据采集并存储:操作人员输入轧制前板料长度、板料宽度、板料厚度、摩擦系数、工作辊直径、材料弹性模量、材料屈服强度等,设定辊缝间隙和工作辊转速等;利用监测系统采集设备工作的各项参数,并通过数据线导入计算机,经过一定的数据处理,得到数据记录并存储;

[0021] (四) 数据显示与预警:通过传感器测得的各项参数,包括上工作辊扭矩、上工作辊转速和下工作辊扭矩等,直接以实时曲线形式反映在显示器上,供操作人员了解设备当前工作状态。设置设备正常工作状态下参数变化区间;当参数超过正常范围或出现其他异常情况时,通过一定的声光报警途径提醒操作人员采取措施及时进行调整和控制,以防止设备损坏或造成施工事故;

[0022] (五) 温度预测:建立镁合金轧制过程上工作辊、下工作辊和板材的温度预测系统;从计算机数据存储中,得到历史记录,作为系统中神经网络的训练样本,其中,神经网络模型采用 BP (Back Propagation)神经网络,其结构包含一个输入层、一个隐含层和一个输出层。采用 Levenberg-Marquardt 法对神经网络进行训练,不断调整神经网络中的权值,直到模型精度满足要求。对训练后的模型进行存储;应用上述训练后的神经网络模型,对镁合金板材轧制过程终了时上工作辊温度、下工作辊温度和板材温度进行预测,并参照轧制工艺要求的温度区间进行校核,判断当前温度状态下工作辊和板材的温度是否满足继续轧制的条件;

[0023] (六) 故障诊断:故障诊断部分用以监测工作装置,即工作辊的运行状况并针对异常数据做出故障诊断;提取轧制过程中的振动数据,经数据处理,得到峰值因子、脉冲因子、裕度因子、波形因子和峭度五个无量纲参数组成的特征向量,并设定不同故障下对应的理想输出向量,用以得出结论,判断设备当前故障。

[0024] 具体地,本发明中的温度监测部分和故障诊断部分,即所述的步骤(五)和步骤(六)通过如下方法实现:

[0025] 温度预测神经网络结构包含一个输入层、一个隐含层和一个输出层。输入层单元个数 $r=11$,隐含层神经元个数 $m=30$,输出层神经元个数 $n=3$ 。

[0026] 从轧制起始时刻计时,记由时间、轧制前板料长度、轧制前板料宽度、轧制前板料

厚度、摩擦系数、工作辊直径、压下量、轧件入口处速度、轧件入口处温度(由入口处轧件温度传感器 19 测得)、上工作辊温度(由上工作辊温度传感器 21 测得)和下工作辊温度(由下工作辊温度传感器 22 测得)组成的向量作为输入向量 x 。神经网络的输出为轧制终了时轧件、上工作辊和下工作辊温度的预测值。

$$[0027] \quad x = [x_1 x_2 x_3 \dots x_r]^T$$

[0028] 隐含层第 i 个神经元输出为

$$[0029] \quad a_j^1 = f_1\left(\sum_{i=1}^r w_{ij}^1 x_i + b_j^1\right), j=1, 2, \dots, m$$

[0030] 输出层神经元输出为

$$[0031] \quad a_L^2 = f_2\left(\sum_{j=1}^m w_{jL}^2 a_j^1 + b_L^2\right), L=1, 2, \dots, n$$

[0032] 式中, f_1 为隐含层激活函数, a_j^1 为隐含层神经元 j 的输出值, w_{ij}^1 为输入层神经元 i 到隐含层神经元 j 的连接权值, b_j^1 为隐含层神经元 j 的激活阈值; f_2 为输出层激活函数, a_L^2 为输出层神经元 L 的输出值, w_{jL}^2 为隐含层神经元 j 到输出层神经元 L 的连接权值, b_L^2 为输出层神经元 L 的激活阈值。

[0033] 隐含层激活函数为 S 型的双曲正切函数。输出层的激活函数为线性函数。

[0034] 选取误差平方和 SSE 为目标函数。SSE 为关于 $W = [w_{11}^1 \dots w_{rm}^1 \ b_1^1 \dots b_m^1 \ w_{11}^2 \dots w_{rm}^2 \ b_1^2 \dots b_m^2]^T$ 的函数。

$$[0035] \quad SSE = f(W) = \sum_{L=1}^n (t_L - a_L^2)^2$$

[0036] 式中, t_L 为期望输出值, 即传感器实测数据。

[0037] 从计算机数据存储中, 得到历史记录, 作为系统中神经网络的训练样本。采用 Levenberg-Marquardt 法对神经网络进行训练, 不断调整神经网络中权值, 直到模型精度满足要求。

$$[0038] \quad S(W^{(k)}) = -\left(H^{(k)} + \lambda^{(k)} I\right)^{-1} \nabla f(W^{(k)})$$

$$[0039] \quad f(W^{(k+1)}) = \min f(W^{(k)} + \eta^{(k)} S(W^{(k)}))$$

$$[0040] \quad W^{(k+1)} = W^{(k)} + \eta^{(k)} S(W^{(k)})$$

[0041] 式中, k 为迭代次数。 $S(W^{(k)})$ 为由 Levenberg-Marquardt 法确定的最佳搜索方向。 $H^{(k)}$ 为海森矩阵, 其值由雅克比 (Jacobian) 矩阵进行近似计算得到 $H = J^T J$ 。 $\eta^{(k)}$ 为 $S(W^{(k)})$ 方向上的最佳搜索步长。 $\lambda^{(k)}$ 用于调节 Levenberg-Marquardt 法中梯度下降法和牛顿法的比例。 I 为单位矩阵。

[0042] 对训练后的模型进行存储。应用上述训练后的神经网络模型, 对镁合金板材轧制过程终了时上工作辊温度、下工作辊温度和板材温度进行预测, 并参照轧制工艺要求的温度区间进行校核, 判断当前温度状态下工作辊和板材的温度是否满足继续轧制的条件。

[0043] 当前板材轧制终了时, 由出口处轧件温度传感器 20、上工作辊温度传感器 21、下工作辊温度传感器 22 分别记录轧制终了时轧件、上工作辊和下工作辊的实际温度, 并记录

数据,更新数据库。用更新后的数据记录训练网络,以提高模型精度,体现系统的自学习功能。

[0044] 故障诊断部分也采用类似的BP神经网络结构。提取轧制过程中的振动数据,经数据处理,得到峰值因子、脉冲因子、裕度因子、波形因子和峭度五个无量纲参数组成的特征向量,作为输入向量。故障诊断部分用以诊断正常、轧辊裂纹、轴承外圈损坏、轴承滚子损坏、轴承保持架损坏和轴承内圈损坏六种设备运行状态,作为输出向量。故障诊断神经网络输入层单元个数 $r=5$,输出层神经元个数 $n=6$,取隐含层神经元个数 $m=24$ 。六种运行状态分别对应的网络理想输出向量如表 1 所示。

[0045] 表 1 故障诊断神经网络理想输出向量

轴承状态	正常	轧辊裂纹	轴承外圈损坏	轴承滚子损坏	轴承保持架损坏	轴承内圈损坏
网络理想输出	000000	010000	001000	000100	000010	000001

[0047] 本发明的有益效果在于:针对镁合金板材散热快且轧制过程温度范围窄的特点,建立一套具有针对性的镁合金板材轧制参数监测与故障诊断系统,同时监测轧制力、轧件温度等工艺参数和电机电流等设备参数,并根据参数提供设备运行状态,进行温度预测和故障诊断。记录设备运行数据,完善温度监测与故障诊断模型,建立具有自学习能力的智能监测与诊断系统。一方面可以对生产过程进行监测,保证设备运转可靠性,为产品质量控制提供保证;另一方面,可以对镁合金轧制过程中设备运行参数进行检测并记录,为镁合金轧制设备使用提供实测数据和训练后的具有自学习能力的智能监测与故障诊断模型,为镁合金轧制设备设计提供依据,对于轧制设备设计具有重大指导意义,工业实用性强,具有很好的应用前景。

附图说明

[0048] 图 1 为镁合金板材轧制参数监测与故障诊断系统图

[0049] 图 2(a) 为四辊可逆热轧镁合金板材机组结构主视图

[0050] 图 2(b) 为四辊可逆热轧镁合金板材机组结构侧视图

[0051] 图 3(a) 为镁合金板材轧制参数监测与故障诊断系统安装位置示意主视图

[0052] 图 3(b) 为镁合金板材轧制参数监测与故障诊断系统安装位置示意侧视图

[0053] 图 4 为镁合金板材轧制参数监测与故障诊断方法的流程图

[0054] 图 5 为具有自学习能力的温度预测神经网络模型

[0055] 图中:

[0056] 1 上工作辊扭矩传感器、2 上工作辊转速传感器、3 下工作辊扭矩传感器、

[0057] 4 下工作辊转速传感器、5A/D 转换器 A、6 上主电机电流传感器、

[0058] 7 上主电机功率传感器、8 上主电机转速传感器、9 下主电机电流传感器、

[0059] 10 下主电机功率传感器、11 下主电机转速传感器、12A/D 转换器 B、

[0060] 13 工作辊振动测量仪、14 噪声频谱仪、15A/D 转换器 C、16 传动侧压力传感器、

[0061] 17 操作侧压力传感器、18A/D 转换器 D、19 入口处轧件温度传感器、

- [0062] 20 出口处轧件温度传感器、21 上工作辊温度传感器、22 下工作辊温度传感器、
[0063] 23A/D 转换器 E、24 电动压下装置传动侧位移传感器、
[0064] 25 电动压下装置操作侧位移传感器、26 液压推上装置传动侧位移传感器、
[0065] 27 液压推上装置操作侧位移传感器、28A/D 转换器 F、29 入口处轧件速度传感器、
[0066] 30 出口处轧件速度传感器、31A/D 转换器 G、32 机前工作辊道转速传感器、
[0067] 33 机后工作辊道转速传感器、34 数据采集卡、35 计算机、36 显示器
[0068] c 上工作辊轴承座、d 上工作辊、e 上万向联轴器、f 上工作辊主电机、g 下工作辊、
[0069] h 下万向联轴器、p 下工作辊主电机、q 机前工作辊道、s 轧件、u 电动压下装置、
[0070] v 机后工作辊道、w 液压推上装置、y 机架、z 轧机。

具体实施方式

[0071] 下面结合附图对发明进行详细介绍。

[0072] 结合附图 1 至附图 3 所示,本发明的一种镁合金板材轧制参数监测与故障诊断系统,由工作辊监测模块 I、主电机监测模块 II、振动和噪声监测模块 III、轧制压力监测模块 IV、轧制温度监测模块 V、辊缝间隙监测模块 VI、轧件速度监测模块 VII、工作辊道转速监测模块 VIII、数据处理模块 IX 和轧机 z 组成。所述的工作辊监测模块 I、主电机监测模块 II、振动和噪声监测模块 III、轧制压力监测模块 IV、轧制温度监测模块 V、辊缝间隙监测模块 VI、轧件速度监测模块 VII 和工作辊道转速监测模块 VIII 安装在轧机 z 对应位置,并通过数据线与置于设备控制室内的数据处理模块 IX 相连。

[0073] 所述的工作辊监测模块 I 由上工作辊扭矩传感器 1、上工作辊转速传感器 2、下工作辊扭矩传感器 3、下工作辊转速传感器 4 和 A/D 转换器 A5 组成。工作辊监测模块 I 用以监测上工作辊 d 和下工作辊 g 工作状态下的扭矩和转速,并转换为数字信号,输送入数据处理模块 IX。所述的上工作辊扭矩传感器 1 和上工作辊转速传感器 2 集成在一起,为盘式结构。上工作辊扭矩传感器 1、上工作辊转速传感器 2 安装在上工作辊 d 与上万向联轴器 e 之间。下工作辊 g 的传感器布置与上工作辊 d 类似。

[0074] 所述的主电机监测模块 II 由上主电机电流传感器 6、上主电机功率传感器 7、上主电机转速传感器 8、下主电机电流传感器 9、下主电机功率传感器 10、下主电机转速传感器 11 和 A/D 转换器 B12 组成。主电机监测模块 II 用以监测上工作辊主电机 f 和下工作辊主电机 p 工作状态下的电流、功率和转速,并转换为数字信号,输送入数据处理模块 IX。上主电机电流传感器 6 和上主电机功率传感器 7 为钳形互感器,直接夹住主电机输电线母线或母排上,无须截线停电。上主电机转速传感器 8 采用光电编码器,安装于上工作辊主电机 f 轴头。下工作辊主电机 p 的传感器布置与上工作辊主电机 f 类似。

[0075] 所述的振动和噪声监测模块 III 由工作辊振动测量仪 13、噪声频谱仪 14 和 A/D 转换器 C15 组成。振动和噪声监测模块 III 用以监测轧机 z 工作状态下的振动和噪声,并转换为数字信号,输送入数据处理模块 IX。工作辊振动测量仪 13 的磁吸座置于上工作辊轴承座 c 处,测量上工作辊 d 的位移、速度和加速度。噪声频谱仪 14 参照工人实际工作距离置于轧机 z 操作侧。

[0076] 所述的轧制压力监测模块 IV 由传动侧压力传感器 16、操作侧压力传感器 17 和 A/D 转换器 D18 组成。轧制压力监测模块 IV 用以监测轧机 z 工作状态下的轧制压力,并转换为

数字信号,输送入数据处理模块IX。传动侧压力传感器 16、操作侧压力传感器 17 分别安装于液压推上装置 w 的传动侧和操作侧,对两侧轧制力分别进行监测,并计算压力差。

[0077] 所述的轧制温度监测模块V由入口处轧件温度传感器 19、出口处轧件温度传感器 20、上工作辊温度传感器 21、下工作辊温度传感器 22 和 A/D 转换器 E23 组成。轧制温度监测模块V用以监测轧机 z 工作状态下的轧件 s、上工作辊 d 和下工作辊 g 的温度,并转换为数字信号,输送入数据处理模块IX。温度检测采用红外测温仪,利用其非接触测量的特点,分别安装于机前工作辊道 q 轧件入口处、上工作辊 d 处和下工作辊 g 处,从而监测轧件 s、上工作辊 d 和下工作辊 g 的实际温度。

[0078] 所述的辊缝间隙监测模块VI由电动压下装置传动侧位移传感器 24、电动压下装置操作侧位移传感器 25、液压推上系统传动侧位移传感器 26、液压推上系统操作侧位移传感器 27 和 A/D 转换器 F28 组成。辊缝间隙监测模块VI用以监测轧机 z 工作状态下的传动侧和操作侧的实际辊缝间隙和辊缝差,并转换为数字信号,输送入数据处理模块IX。电动压下装置传动侧位移传感器 24 安装于电动压下装置 u 传动侧压下螺丝上端。电动压下装置操作侧位移传感器 25 安装于电动压下装置 u 操作侧压下螺丝上端。液压推上系统传动侧位移传感器 27 安装于液压推上装置 w 传动侧液压缸缸体与缸杆之间。液压推上系统操作侧位移传感器 28 安装于液压推上装置 w 操作侧液压缸缸体与缸杆之间。

[0079] 所述的轧件速度监测模块VII由入口处轧件速度传感器 29,出口处轧件速度传感器 30 和 A/D 转换器 G31 组成。入口处轧件速度传感器 29 和出口处轧件速度传感器 30 采用激光多普勒测速仪,分别安装于机前工作辊道 q 和机后工作辊道 v 靠近机架 y 处。轧件速度监测模块用以监测轧件 s 在轧制前和轧制后的运动速度,并转换为数字信号,输送入数据处理模块IX。

[0080] 所述的工作辊道转速监测模块VIII由机前工作辊道转速传感器 32 和机后工作辊道转速传感器 33 组成。转速传感器采用增量式光电编码器,分别安装于机前工作辊道 q 和机后工作辊道 v 的输送辊侧面。工作辊道转速监测模块VIII用以监测轧机 z 机前工作辊道 q 和机后工作辊道 v 的输送辊转速,并输出数字信号,输送入数据处理模块IX。

[0081] 所述的数据处理模块IX由数据采集卡 34、计算机 35 和显示器 36 组成。数据采集卡 34 为多路高频数据采集卡,可对多路传感器输入信号进行快速处理。计算机 35 完成数据分析与存取。显示器 36 供技术人员观察监测系统的的功能。数据处理模块IX安装于设备控制室内,以供技术人员观察监测系统的的功能。

[0082] 图 4 为本发明的一种镁合金板材轧制参数监测与故障诊断方法的流程图,包括以下步骤:

[0083] (一)搭建系统硬件并标定:将所述的监测系统中各数据采集模块安装在轧机 z 的正确位置,各模块通过数据线与数据处理模块IX连接,并进行标定;

[0084] (二)确定系统正常工作:启动监测系统,检查系统是否正常工作;

[0085] (三)数据采集并存储:操作人员输入轧制前板料长度、板料宽度、板料厚度、摩擦系数、工作辊直径、材料弹性模量、材料屈服强度等,设定辊缝间隙和工作辊转速等;利用监测系统采集设备工作的各项参数,并通过数据线导入计算机,经过一定的数据处理,得到数据记录并存储;

[0086] (四)数据显示与预警:通过传感器测得的各项参数,包括上工作辊扭矩、上工作辊

转速和下工作辊扭矩等,直接以实时曲线形式反映在显示器上,供操作人员了解设备当前工作状态。设置设备正常工作状态下参数变化区间;当参数超过正常范围或出现其他异常情况时,通过一定的声光报警途径提醒操作人员采取措施及时进行调整和控制,以防止设备损坏或造成施工事故;

[0087] (五) 温度预测:建立镁合金轧制过程上工作辊、下工作辊和板材的温度预测系统;从计算机数据存储中,得到历史记录,作为系统中神经网络的训练样本,其中,神经网络模型采用 BP (Back Propagation)神经网络,其结构包含一个输入层、一个隐含层和一个输出层。采用 Levenberg-Marquardt 法对神经网络进行训练,不断调整神经网络中的权值,直到模型精度满足要求。对训练后的模型进行存储;应用上述训练后的神经网络模型,对镁合金板材轧制过程终了时上工作辊温度、下工作辊温度和板材温度进行预测,并参照轧制工艺要求的温度区间进行校核,判断当前温度状态下工作辊和板材的温度是否满足继续轧制的条件;

[0088] (六) 故障诊断:故障诊断部分用以监测工作装置,即工作辊的运行状况并针对异常数据做出故障诊断;提取轧制过程中的振动数据,经数据处理,得到峰值因子、脉冲因子、裕度因子、波形因子和峭度五个无量纲参数组成的特征向量,并设定不同故障下对应的理想输出向量,用以得出结论,判断设备当前故障。

[0089] 具体地,图 5 为具有自学习能力的温度预测神经网络模型,可见本发明中的温度监测部分和故障诊断部分,即所述的步骤(五)和步骤(六)通过如下方法实现:

[0090] 温度预测神经网络结构包含一个输入层、一个隐含层和一个输出层。输入层单元个数 $r=11$,隐含层神经元个数 $m=30$,输出层神经元个数 $n=3$ 。

[0091] 从轧制起始时刻计时,记由时间、轧制前板料长度、轧制前板料宽度、轧制前板料厚度、摩擦系数、工作辊直径、压下量、轧件入口处速度、轧件入口处温度(由入口处轧件温度传感器 19 测得)、上工作辊温度(由上工作辊温度传感器 21 测得)和下工作辊温度(由下工作辊温度传感器 22 测得)组成的向量作为输入向量 x 。神经网络的输出为轧制终了时轧件、上工作辊和下工作辊温度的预测值。

$$[0092] \quad x = [x_1 x_2 x_3 \dots x_r]^T$$

[0093] 隐含层第 i 个神经元输出为

$$[0094] \quad a_j^1 = f_1\left(\sum_{i=1}^r w_{ij}^1 x_i + b_j^1\right), j=1, 2, \dots, m$$

[0095] 输出层神经元输出为

$$[0096] \quad a_L^2 = f_2\left(\sum_{j=1}^m w_{jL}^2 a_j^1 + b_L^2\right), L=1, 2, \dots, n$$

[0097] 式中, f_1 为隐含层激活函数, a_j^1 为隐含层神经元 j 的输出值, w_{ij}^1 为输入层神经元 i 到隐含层神经元 j 的连接权值, b_j^1 为隐含层神经元 j 的激活阈值; f_2 为输出层激活函数, a_L^2 为输出层神经元 L 的输出值, w_{jL}^2 为隐含层神经元 j 到输出层神经元 L 的连接权值, b_L^2 为输出层神经元 L 的激活阈值。

[0098] 隐含层激活函数为 S 型的双曲正切函数。输出层的激活函数为线性函数。

[0099] 选取误差平方和 SSE 为目标函数。SSE 为关于

$W = [w_{11}^1 \dots w_{mm}^1 \ b_1^1 \dots b_m^1 \ w_{11}^2 \dots w_{mm}^2 \ b_1^2 \dots b_m^2]^\top$ 的函数。

[0100]
$$SSE = f(W) = \sum_{L=1}^n (t_L - a_L^2)^2$$

[0101] 式中, t_L 为期望输出值, 即传感器实测数据。

[0102] 从计算机数据存储中, 得到历史记录, 作为系统中神经网络的训练样本。采用 Levenberg-Marquardt 法对神经网络进行训练, 不断调整神经网络中权值, 直到模型精度满足要求。

[0103]
$$S(W^{(k)}) = -(H^{(k)} + \lambda^{(k)}I)^{-1} \nabla f(W^{(k)})$$

[0104]
$$f(W^{(k+1)}) = \min f(W^{(k)} + \eta^{(k)}S(W^{(k)}))$$

[0105]
$$W^{(k+1)} = W^{(k)} + \eta^{(k)}S(W^{(k)})$$

[0106] 式中, k 为迭代次数。 $S(W^{(k)})$ 为由 Levenberg-Marquardt 法确定的最佳搜索方向。 $H^{(k)}$ 为海森矩阵, 其值由雅克比 (Jacobian) 矩阵进行近似计算得到 $H = J^T J$ 。 $\eta^{(k)}$ 为 $S(W^{(k)})$ 方向上的最佳搜索步长。 $\lambda^{(k)}$ 用于调节 Levenberg-Marquardt 法中梯度下降法和牛顿法的比例。 I 为单位矩阵。

[0107] 对训练后的模型进行存储。应用上述训练后的神经网络模型, 对镁合金板材轧制过程终了时上工作辊温度、下工作辊温度和板材温度进行预测, 并参照轧制工艺要求的温度区间进行校核, 判断当前温度状态下工作辊和板材的温度是否满足继续轧制的条件。

[0108] 当前板材轧制终了时, 由出口处轧件温度传感器 20、上工作辊温度传感器 21、下工作辊温度传感器 22 分别记录轧制终了时轧件、上工作辊和下工作辊的实际温度, 并记录数据, 更新数据库。用更新后的数据记录训练网络, 以提高模型精度, 体现系统的自学习功能。

[0109] 故障诊断部分也采用类似的 BP 神经网络结构。提取轧制过程中的振动数据, 经数据处理, 得到峰值因子、脉冲因子、裕度因子、波形因子和峭度五个无量纲参数组成的特征向量, 作为输入向量。故障诊断部分用以诊断正常、轧辊裂纹、轴承外圈损坏、轴承滚子损坏、轴承保持架损坏和轴承内圈损坏六种设备运行状态, 作为输出向量。故障诊断神经网络输入层单元个数 $r=5$, 输出层神经元个数 $n=6$, 取隐含层神经元个数 $m=24$ 。六种运行状态分别对应的网络理想输出向量如表 1 所示。

[0110] 表 1 故障诊断神经网络理想输出向量

[0111]

轴承状态	正常	轧辊裂纹	轴承外圈损坏	轴承滚子损坏	轴承保持架损坏	轴承内圈损坏
网络理想输出	000000	010000	001000	000100	000010	000001

[0112] 上述实施例仅用于说明本发明, 其中各部件的结构、连接方式等都是可以有所变化的, 凡是在本发明技术方案的基础上进行的等同变换和改进, 均不应排除在本发明的保护范围之外。

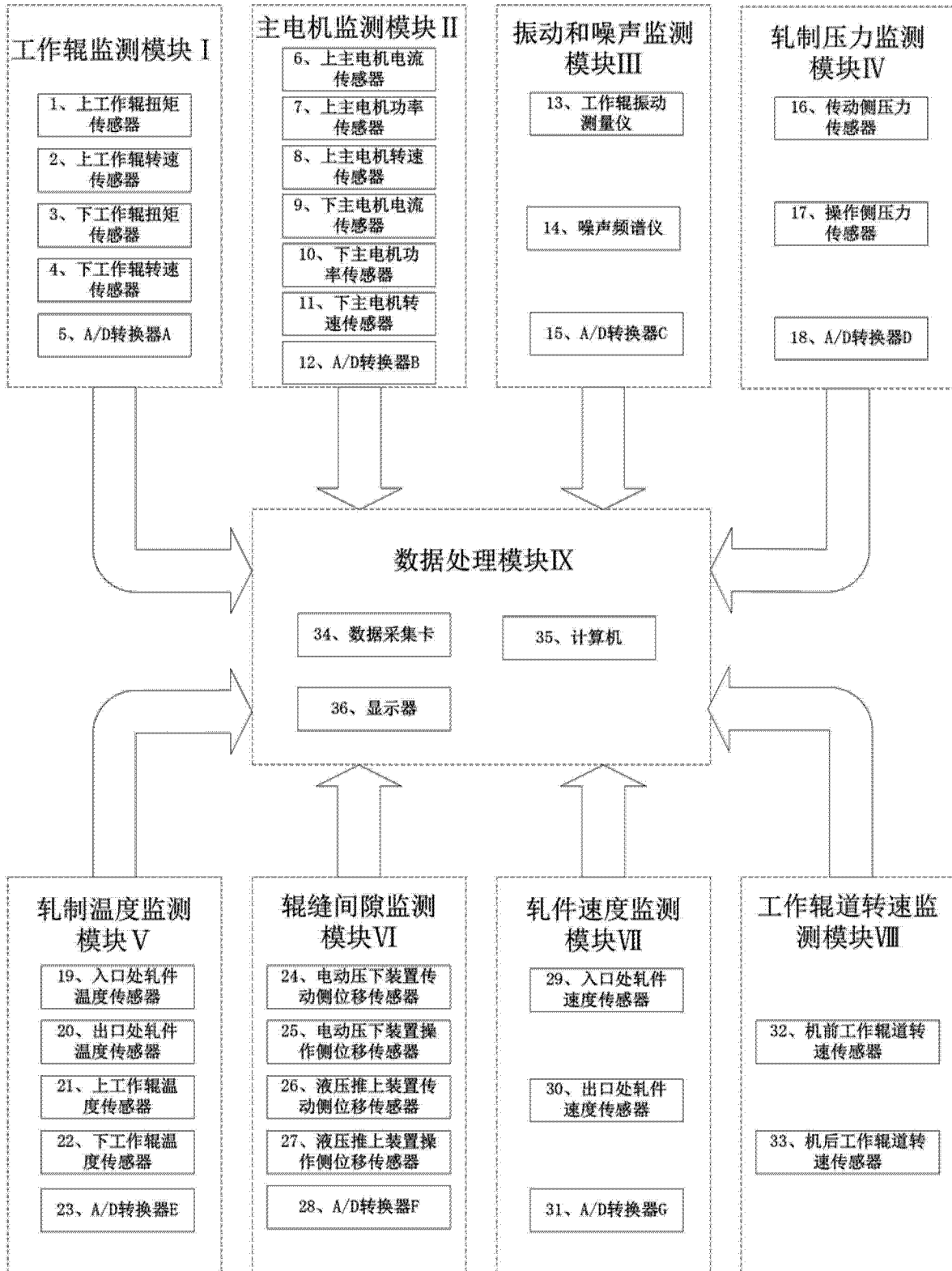


图 1

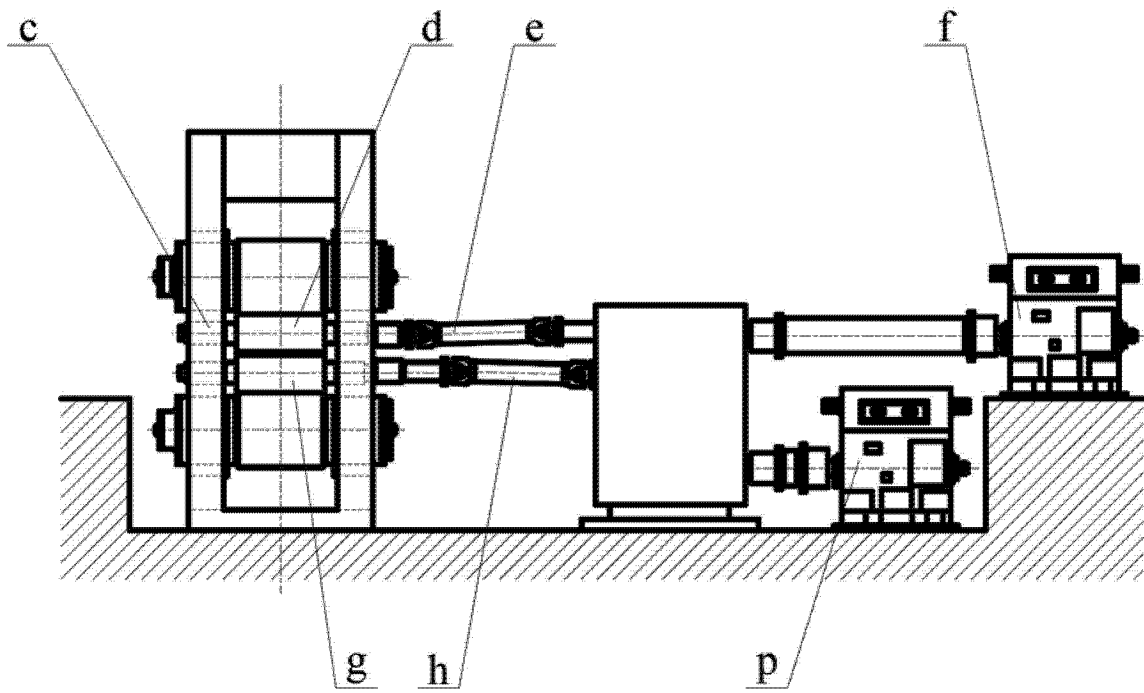


图 2(a)

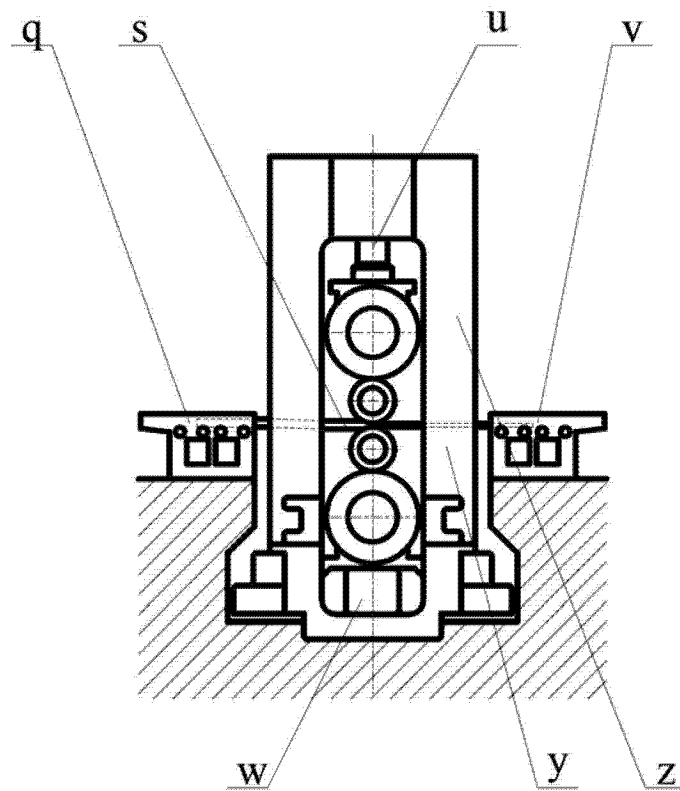


图 2(b)

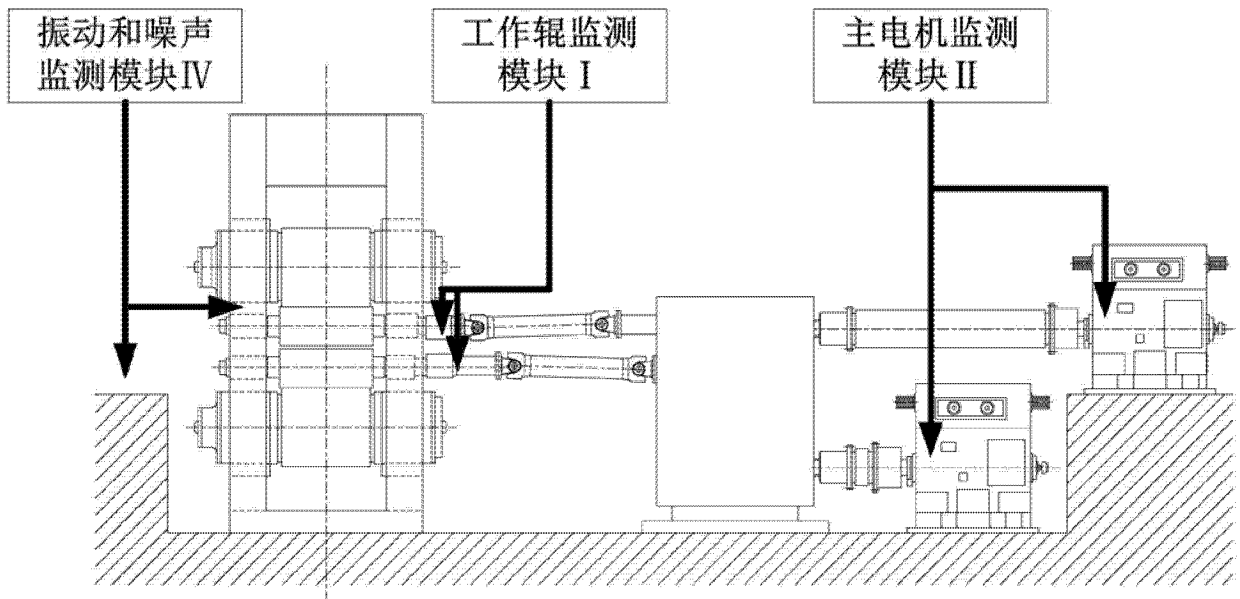


图 3(a)

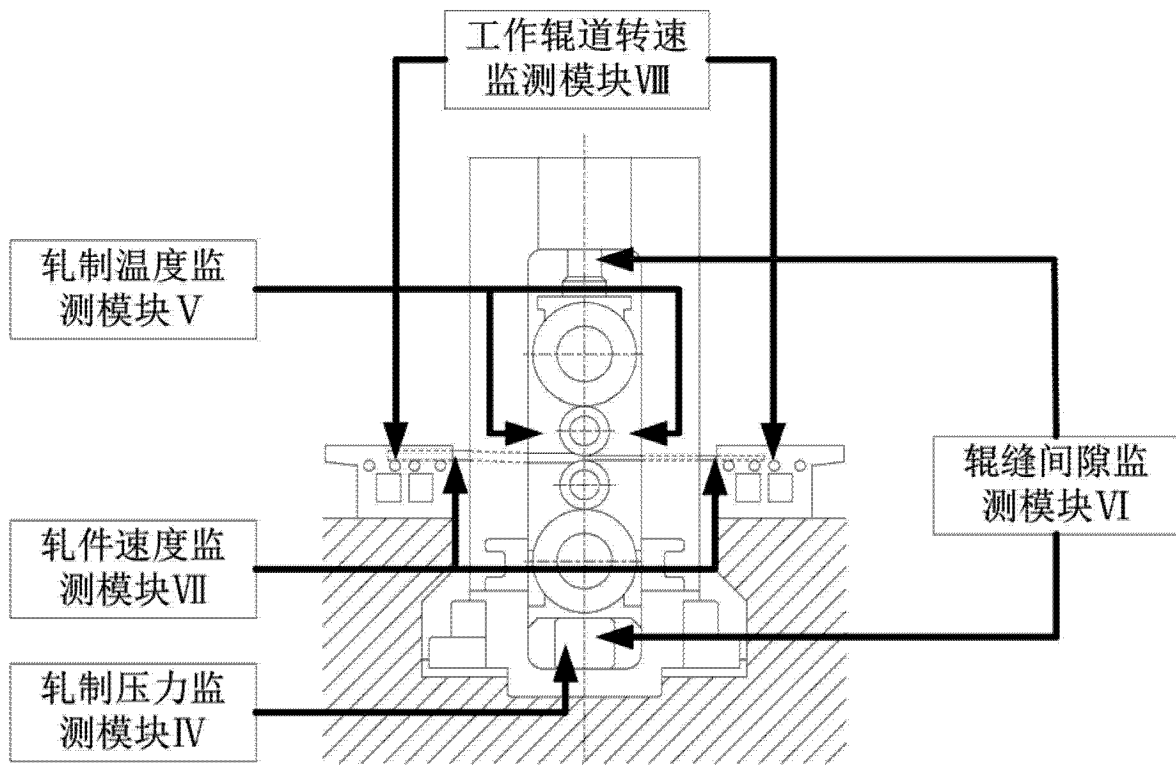


图 3(b)

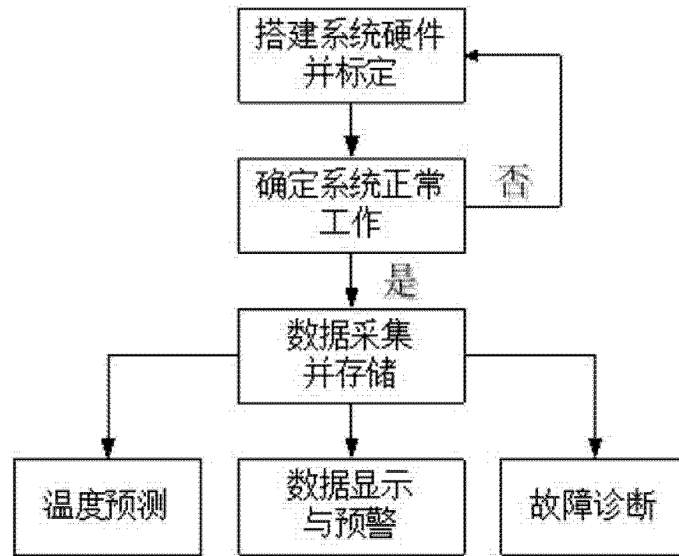


图 4

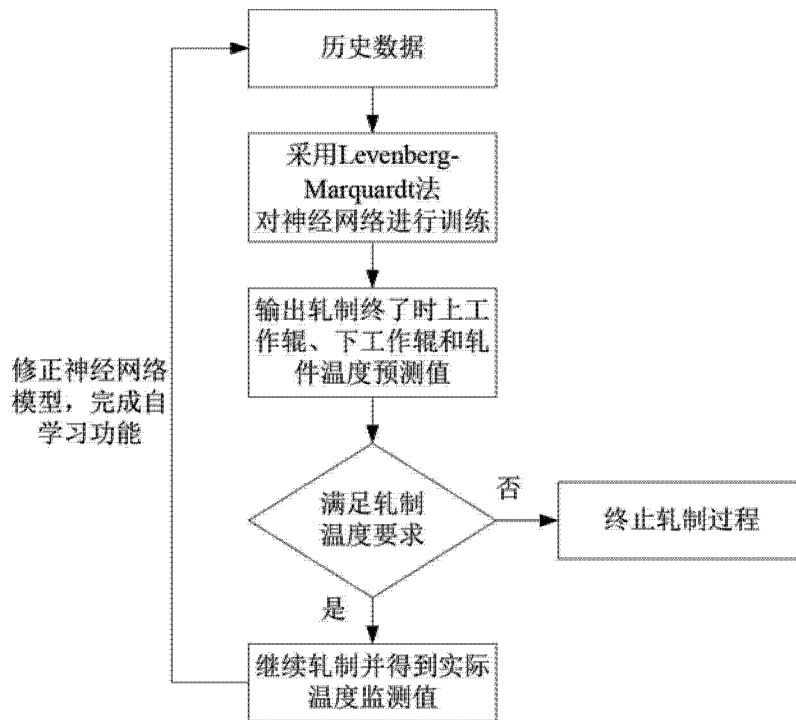


图 5