



- Networks[C]. 2nd International Conference on Industrial and Information Systems, Dalian, July, 2010:319-322.
- [54] S.T. Zhang, A.L. Cao and Q.J. Zhu, BP Neural Network Predictive Model for Stray Current Density of the Buried Metallic Pipeline[J]. Anti-Corrosion Methods and Materials, 2010, 57(5):234~237.
- [55] Hongchun Yuan, Zhuo Mao and Bo Zhao. Expert System Based on CBR and Grey BP for Vannamei Disease Diagnosis[C]. Seventh International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, Yantai, August, 2010:1015-1019
- [56] J. Wang, X. Zhou, Analysis of university fee standards based on BP neural network model[J]. Journal of Liaoning Technical University (Natural Science Edition) 29 (5):914-917.
- [57] Zhang, B.-G., Li, Q., Wang, G., Gao, Y. Breakout prediction based on BP neural network of LM algorithm in continuous casting process[C]. 2010 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, 2010, 1:765-768.
- [58] Xu, Y., Li, W. Forecasting of the total power of woodworking machinery based on SVM trained by GA 2010[C]. The 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering, Singapore, Feb. 2010, 1:358-360.
- [59] Li, Y., Zhang, M. Research on network traffic forecasting strategy based on BP neural network[C]. Proceedings - 2009 International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering, Wuhan, Dec. 2009:1-4.
- [60] Wang, Y., Huang, L. Risk assessment of supply chain based on BP neural network[C]. 2009 2nd International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling, Wuhan, Nov. 2009, 2: 186-188.

2 项目的研究内容、研究目标, 以及拟解决的关键科学问题。(此部分为重点阐述内容)

2.1 研究内容

2.1.1 轧制装备系统“亚健康”状态的预测与识别方法

① 提取反映轧制装备超荷运行“亚健康”状态的特征信息。实时监测轧制装备的运行状况, 综合运用状态重构、滤波、估计及谱分析等方法, 从监测信息中提取出能反映轧制装备超荷运行“亚健康”状态的特征信息。

② 研究对轧制装备超荷运行“亚健康”状态的预测和决策方法。依据反映轧制装备超荷运行“亚健康”状态的各项特征信息指标, 通过约简广义特征表和决策表获得特征信息决策表的属性值核。再用条件属性与决策属性之间的互信息增量来度量值重要度, 进行启发式信息构建和属性值约简。从而用属性蒸发率和置信度等指标对轧制设备运行状况决策规则质量进行评价, 建立系统的“亚健康”状态诊断预测模式体系, 包括轧制系统“亚健康”状态的判别模型、“亚健康”状态模式的识别模型以及“亚健康”状态下的可靠度预测模型等。

2.1.2 研究在超荷运行“亚健康”状态下, 轧制装备工作负荷的调控方法(闭环1)



当诊断轧制装备处于超荷运行“亚健康”状态时,依据其“亚健康”的程度和趋势,研究基于专家系统和反馈原理的负荷调控规则构建机制,合理调整轧制装备的工作负荷,使轧制装备向自愈的趋势发展。

2.1.3 研究适应负荷调整的控制方法(闭环2)

① 轧制装备作为控制系统中的受控对象,工作负荷的改变势必造成受控对象模型发生变化,而在这一问题中,工作负荷的改变是一种主动行为,被控对象的变化过程是可预知的,在此基础上,依对象变化过程中系统动态性能及稳态指标的约束设计控制算法,采用预测控制策略及在线仿真、优化等方法,进而,在负荷自愈调控的基础上,还要确保对“亚健康”轧制装备的良好控制效果,以保障轧制装备在整个运行期间对物流加工的质量。

② 针对热连轧机组的具体工作特性,结合在典型热连轧机上开发的空冷、水冷控制模型及控制策略,建立轧制工艺规程专家库及轧制设备实时在线诊断系统,进行轧制负荷调控,实施柔性生产策略,研究开发上述控制方法。

2.1.4 实验平台与仿真平台的研究与开发

针对热连轧机组,构建开发相应的运行监测、诊断、控制协同设计的实验平台与仿真平台,辅助对上述工作内容的研究。该平台实现了轧制力、轧制速度等参数采集,数据库的动态建立,曲线绘制,带钢卷曲温度精度统计、带钢基本热流密度学习系数加权调整等功能,实验平台下一步的工作是完善专家库,分析设备状态趋势,实现实时诊断及负荷双闭环协同控制。

2.2 研究目标

针对一类轧制装备因自身或外部因素改变而导致其额定负荷发生变化,进而工作在超负荷的“亚健康”状态时,解决如何通过负荷调控使其维持运行和自愈,并在负荷自愈调控的基础上,保持对轧制装备良好控制效果的问题。提出一种轧制装备运行监测、诊断、控制一体化设计、双闭环协同工作的防止故障发生的广义容错控制方法,并通过在热连轧机组生产中的应用来验证其有效性。

2.3 拟解决的关键问题

① 对轧制装备超荷运行“亚健康”状态的准确评判。包括针对具体轧制装备建立超荷运行“亚健康”评判标准(这在实际实验中是一个关键问题),和准确从实时监测信息中提取出反映轧制装备超荷运行“亚健康”状况的特征信息,避免由于认识上的原因或是噪声等引起误诊。

② 依“亚健康”状况,研究轧制装备工作负荷调控规则的获取和优化。轧制装备处于超荷运行“亚健康”状态运行时,依照“亚健康”程度和发展趋势,对工作负荷进行调控。调控规则可结合工艺条件和操作经验设定,由专家系统库获得,并由反馈机制在线修正。但一组科学调控规则的获得则依赖于初始规则的设定、调控经验的积累和规则的在线滚动学习、预测和优化。

③ 闭环2中控制方法设计的鲁棒性。负荷调控过程中,被控对象模型变化过程具有



可预知性,但精确变化量的取得仍存在很大的不确定性,即便是通过在线辨识、模型预测等策略也很难获得。因而,为了保障负荷调控过程中对轧制装备控制的效果,确保控制方法设计的鲁棒性是一个关键问题。

3. 拟采取的研究方案及可行性分析。(包括有关方法、技术路线、实验手段、关键技术等说明)

3.1 研究方法

① 应用联想类比法提出问题。借鉴现代医学科学原理,以高金吉院士提出的“装备医工程思维”和“装备系统故障自愈原理”为思想和理论依据,与“人处于亚健康状态时,应该合理安排工作和生活,注意劳逸结合,但对所承担工作依然要保质保量的完成”这一现实生活中的问题进行类比,提出了“轧制装备长期运行或是外部因素变化而工作在超荷运行的“亚健康”状态时,通过负荷调控使其维持运行和自愈,并在此基础上,保持对装备良好控制效果”的问题。

② 通过理论分析、计算机仿真与实验相结合解决问题。解决上述问题时,将本项目工作分为“轧制系统运行亚健康状态预测”、“可恢复系统的工作负荷的自愈调控”等两个实现相对独立、关系前后因果的研究单元,应用现代信息、控制与智能系统的最新研究成果对各研究单元分别加以解决,最后进行成果集成,提出一种轧制装备运行监测、诊断、控制一体化协同设计的防止故障发生的广义容错控制方法。在上述研究方案中,借助计算机仿真辅助解决各研究单元的关键技术问题,然后通过轧机装置上的实验,检验本项目方法的有效性,并根据实际情况不断改进、提高和完善。

3.2 技术路线

① 关于轧制系统的诊断特征提取。

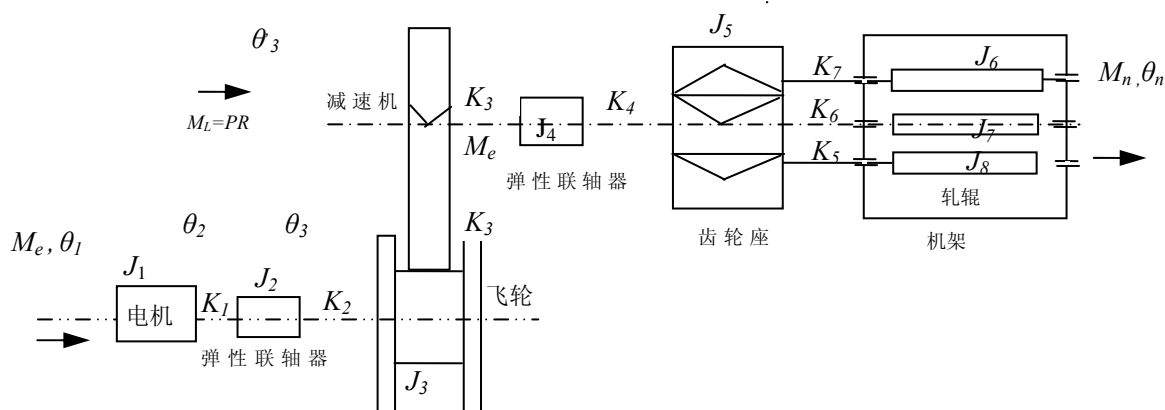


图1 轧机主传动系统及简化力学模型

(图中 K 为各轴段的刚度, J 为各部分的转动惯量, M_e 为电机的电磁力矩, M_e 为轧棍上的轧制力矩, 其中 J_6 、 J_7 、 J_8 折算转动惯量为 J_n , K_5 、 K_6 、 K_7 折算刚度为 K_n , 且 $\theta_3 = -\theta_3'$; $ML = -ML' = -MC$; ML 、 ML' 、 MC 分别为作用在减速机小、大齿轮上的力矩和测点力矩。)

如图1所示,轧制系统是由电机、主传动、工作辊、支承辊、机架、压下装置等部件组成的复杂装备系统。根据轧机结构特征及各部件工作信号特点,在位移传递杆上端



(咬钢段), 支承辊驱动侧轴承座, 驱动侧和操作侧机架顶部等处布置测点。测量的信号主要有: 测力系统(轧制扭矩、轴向力、扭振等), 液压系统(模拟量、慢变量、开关量、数字量等), 振动系统、工艺量和电气系统(轧件尺寸、轧制钢种、温度、转速、轧制力等)。进行采集与处理后, 对这些信息分别进行时域波形分析、频域分析、时域趋势分析和特征频率幅值趋势分析, 根据所建立的指标体系框架模型及安全性能评价机制对轧制系统的状态和异常部件作出初步判断, 结合仿人智能信息融合理论和小波包分解与重构算法研究轧制系统多源、多时相、多传感器的海量数据信息采集机制以及特征空间的构建规则, 建立轧制系统“正常”状态概率模型及“故障”状态概率模型。

② 轧制系统的“亚健康”状态预测。

在①基础上, 利用集对分析联系数理论刻画轧制系统“亚健康”状态的特征和征兆之间的关系, 基本思路是从同(同一性)、异(差异不确实性)、反(对立性)三个侧面研究轧制系统两个集合在给定问题背景下的确定性联系与不确定性联系的关系, 可变与转化, 用一个能充分反映轧制系统“正常”、“故障”、“亚健康”三种情况的同异反联系数来系统地开展具体的研究。其联系数的定义如下:

定义 1 联系数的一般形式是

$$U = A + Bi + Cj \quad (1)$$

式中 A 、 B 、 C 为非负实数, $j = -1$, 以说明 Cj 与 A 在符号上正好相反; i 在 $[-1, 1]$ 区间视不同情况取值, 以说明 B 有向 A 或 C 转化的可能性; U 称为联系数; A 、 Bi 、 Cj 分别称为联系数的同部、异部、反部; 令 $N = A + B + C$, 则 N 为联系范数; 令 $u = U/N$, $a = A/N$, $b = B/N$, $c = C/N$, 联系数就化为联系度:

$$u = a + bi + cj \quad (2)$$

式中的 a 、 b 、 c 分别称为同一度、差异度、对立度、且满足 $a + b + c = 1$ 。

根据集对分析联系数理论, 定义轧制系统未来发展与变化的可靠度预测模型为 $R(SPA) = a + bi + cj$, 其中 a 为轧制系统的“故障”状态发生的概率、 c 为轧制系统“正常”状态发生的概率, 则 b 就可以表示轧制系统部件(如电机、机架、辊系、传动杆或万向接头等)介于中间状态(即“亚健康”状态, 系统存在局部的暂时的轻微的故障)的概率。

通过在线监测, 判断轧制系统的当前所处的状态。对于处于“亚健康”状态的轧制系统 b , 通过合理选择轧制品种、规格、调整轧制计划的安排、优化轧制工艺, b 部分可转化为 c 的部分; 反之, 如果系统没有及时调控和管理, b 部分也可转换为 a 部分。因此, 既可将系统的“亚健康”状态并入系统“故障”状态计算 a 值, 也可将系统的“亚健康”状态并入系统“正常”状态计算 c 值, 这主要取决于轧制系统“亚健康”状态的程度大小, 即系统整体的损坏程度大小。且 $b = 1 - a - c$ 。

③ 关于可自愈轧制系统的工作负荷调控专家系统。

由于轧制系统可分为可自愈和不可恢复两种类型。对于像裂纹扩展类的不可恢复系统, 通过停机损失和故障损失的分析模型, 由生产成本专家库决策出其继续运行或停机检修。而对于可自愈类型的“亚健康”的轧制系统, 则进行双闭环协同调控, 使其向正常状态转化。研究轧制力智能预报模型, 优化压下量、辊温控制等轧制工艺, 降低轧机



工作负荷, 延长其工作寿命。否则, 当可自愈类型的轧制系统超过了“亚健康”状态, 继续超负荷工作, 也就会积劳成疾, 势必引起故障, 造成没到额定寿命而过早夭折。

如前所述, 可自愈类型轧机系统“亚健康”状态的改变, 一方面与系统的瞬时稳定性有关系, 另一方面又与其外部的扰动能量有关。如轧制力的降低促进轧辊、压下装置、轧机机架、平衡装置等振动载荷的减小, 这些部件振动频率较小又对机架的破坏力减弱, 轧机系统中的“正常”概率的增加, 即“亚健康”状态在向“正常”状态偏转的概率的增加; 相反, 若这些部件振动频率较大, 容易导致轧机机架地脚螺栓的松动、机架构件松动损坏、带钢出现振痕等现象。轧机系统中的“故障”概率的增加, 即“亚健康”状态在向“故障”状态偏转的概率的增加。为此, 针对这两方面研究双闭环协同调控方法, 提高可自愈轧机系统的广义容错能力, 使其向“正常状态”转化。

借鉴高金吉院士的装备医工程和故障自愈理论, 开发轧制装备工艺参数数据专家系统, 设计并优化轧制状态预测模型。基于专家系统和反馈机制等, 研究超荷运行“亚健康”状态下, 对轧制装备工作负荷的调控方法, 构成闭环1 (见图2), 完成对装备健康状况的控制, 使轧制装备向自愈的趋势发展。同时, 研究工作负荷的改变导致受控对象模型变化的过程中, 依系统动态性能及稳态指标等约束, 如何合理设计控制方案, 构成闭环2, 进而在自愈调控的基础上, 研究对“亚健康”装备工作效果的控制, 以保障装备在整个运行期间对金属加工的质量。

④ 关于工作负荷调控规则的建立和自学习机制。

初始规则的建立可依据轧制装备工艺条件、各参数的影响关系, 并结合专家经验完成。调控规则的自学习机制包括: (1) 反馈机制对专家系统中不适宜规则的修正; (2) 存储历史调控信息, 作为样本点, 构建轧制装备“亚健康”状况与负荷调控规则之间的关系模型, 通过该模型的预测和延拓能力, 修正专家系统库。其中这种关系模型的建立是本项目的难点。该模型建立的准确与否, 是使“亚健康”转变的关键因素, 即决定了公式 $u = a + bi + cj$ 中的 i 的取值。

按照我们现有的研究基础, 必须假设象集合的规则语句不能是一个过程, 只能是某个状态点, 这种假设的合理性有待验证。本项目的研究先按机制(1)进行, 然后再深入研究机制(2), 与合作单位清华大学自动化系积极交流, 拓宽视野, 提高现有知识水平。

⑤ 关于闭环2中控制方法的设计。

依据被控对象模型变化的可预知性, 以系统动态性能和稳态性能指标为约束, 采用预测控制方法; 鉴于被控对象的改变是一种主动行为, 因而可采用在线仿真、数值实验等加以辅助, 以提高控制方法实施的良好效果和鲁棒性。

通过这些研究工作, 本项目将可有效解决轧制装备(被控对象)因超荷运行而处于“亚健康”状态加工时, 通过负荷调控使其维持运行和自愈, 并在此基础上, 保持对装备良好控制效果的问题。提出了一种轧制装备运行监测、诊断、控制一体化设计、双闭环协同工作的鲁棒设计方法, 该方法将拓宽传统容错控制的研究范围, 属于一种防止故障发生的广义容错控制方法。这对于轧制装备故障的自愈、在线故障处理、减少不必要的停机和提高轧钢生产效率具有重要的意义。



3.3 实验方案及可行性分析

由上述技术路线所形成的具体实验方案参见图2。

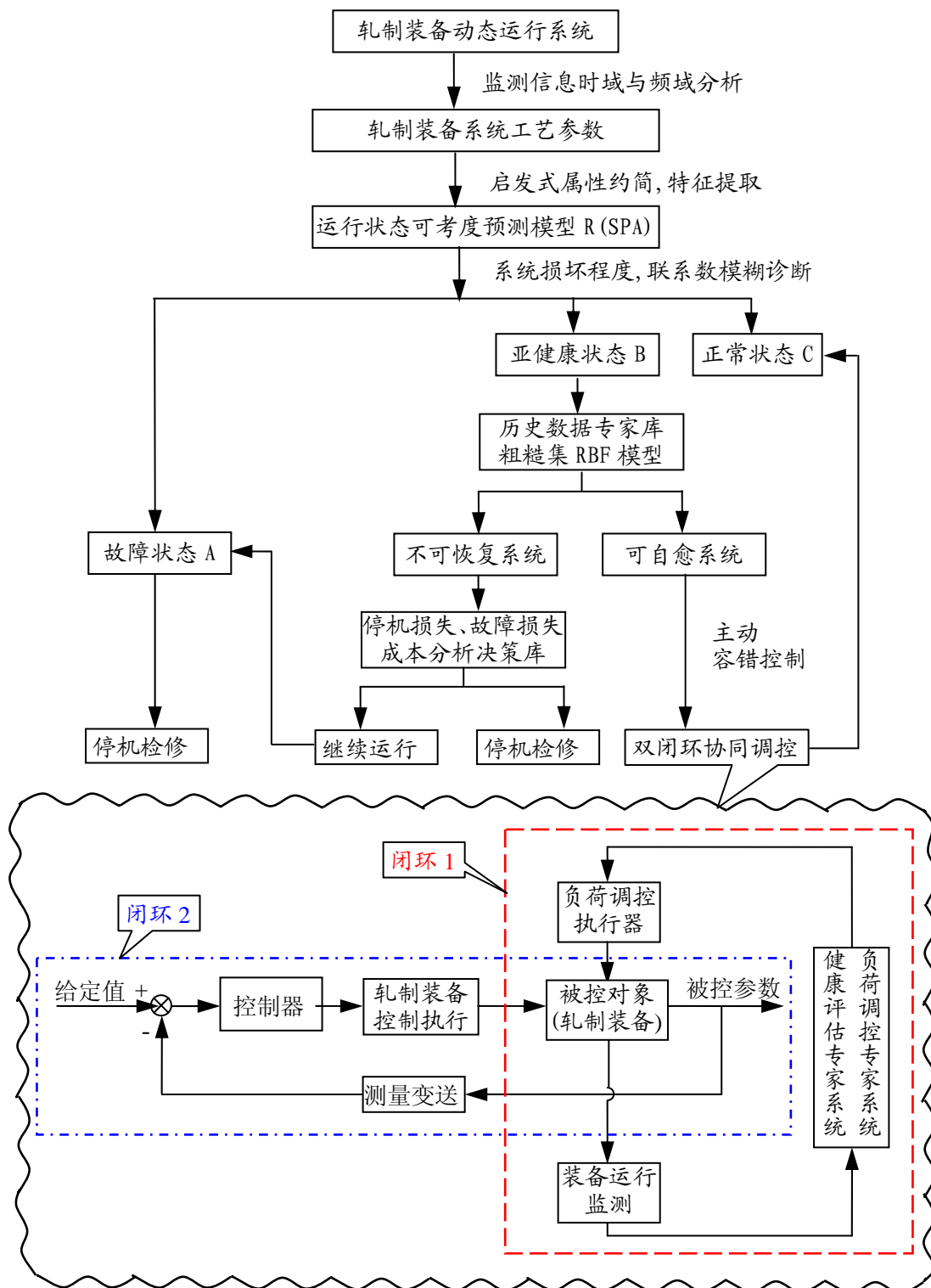


图2 轧制装备“亚健康”状态预测双闭环协同调控流程图

(红虚线框部分表示闭环1，蓝虚线框部分表示闭环2，它们所组成的波浪线框部分表示双闭环协同调控。是本课题解决亚健康轧制装备自愈中所遇到难点问题的重大创新)