

机床工业云装备状态监测与健康管理

文/杨 云¹ 王忆南² 肖江涛²

1. 陕西秦川智能机床研究院有限公司; 2. 北京航天测控技术有限公司

摘要: 以机床工业云装备为对象, 建立机床设备数据采集、状态监控、故障诊断与健康评估为一体的健康监测平台, 实现了机床设备的故障报警、健康评估与监测, 使用人员可以直观感知机床设备的当前状况。出现状态异常、故障报警及健康指标下降等情况时, 可及时对机床设备进行维修维护, 避免因机床故障导致的生产延误, 提高了机床的使用时间和效率。

关键词: 状态监测; 健康评估; 智能诊断; 智能报警; 云平台

在数字化车间中, 机床设备作为主要的生产设备监控对象, 其生产状态对生产过程的敏捷高效管理与控制起着至关重要的作用。机床设备尤其是数控机床在实际生产过程中, 随着运行时间的增加, 机床零部件在外部载荷的作用下, 逐渐产生机械磨损、形变、腐蚀等现象, 导致机床的性能衰退, 影响加工精度, 甚至引发故障和停机, 导致生产中断。因此, 对机床设备的健康状态实时感知尤为重要。

机床设备的状态监测是对机床设备运行过程中的工作状态数据的采集与处理, 目的是保证设备的运行安全。通过与正常值的比较, 实时掌握机床设备的实际工作状态, 同时为故障诊断与预警、健康状态评估提供数据上的支撑。

故障诊断与报警是通过现象或实时监控数据的异常, 对即将发生的故障进行预判并报警提醒。机床设备的故障会影响设备的生产精度, 造成产品不达标, 严重的还会导致停机。故障的预警能够有效预防上述现象的发生, 提高产品质量和生产能力。

机床设备的健康状态是代表设备性能的综合评估指标。在精确感知设备的健康状态后, 能在设备发生故障前进行预防性维护, 及时更换即将到达预期寿命的零部件, 从而避免或者减少设备故障的发

生次数, 保障数控机床的健康运行, 优化维护费用和生产成本。

现阶段, 随着数字信息技术的发展, 可采集的机床设备的运行数据越来越多, 通过对运行数据的分析, 找出表征机床状态的指标信息、关联信息等, 实现对机床设备的故障诊断与预警、健康状态的实时评估。

工业云健康监测平台

机床设备健康监测平台以机器学习技术为基础, 机床采集数据为驱动, 通过自动持续的数据学习, 实现对机床设备的故障诊断和健康评估。机床设备工业云健康监测平台结构如图1所示。

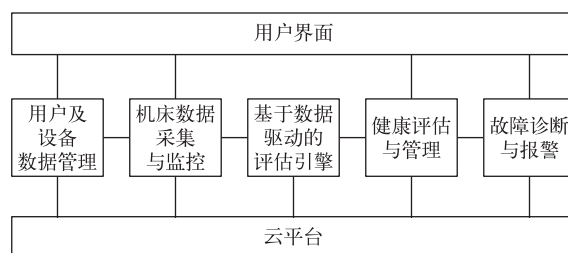


图1 工业云健康监测平台结构图

1) 用户界面。用于用户登录、数据录入、上传

下载等。

2) 用户及设备数据管理。对用户的基础数据、权限数据及设备的参数数据等进行管理。

3) 机床数据采集与监控。对机床设备参数数据进行实时采集与监控。

4) 基于数据驱动的评估引擎。评估模型的构建与升级、基于数据驱动的机床设备评估。

5) 健康评估与管理。创建评估任务, 触发评估引擎, 生成评估报告且支持人工修改。

6) 故障诊断与报警。对机床设备实时故障进行诊断并报警, 事后故障诊断并给出维修建议。

7) 云平台。为数据监控、健康评估、故障诊断与报警等功能提供数据存储、查询等方面的支持服务。

机床工业云状态监测

机床工业云状态监测控制所有连接在网络上的数控机床和非机床类设备的检测、协调和管理。它可以查看联网机床中任意一台当前的运行状态(包括加工状态、刀具及工件坐标位置、消耗品使用情况、加工NC文件的内容及机床的历史操作记录等), 也可以查看联网的非机床类设备的当前运行状态。通过这些参数值与正常值的比对, 监测机床设备的运行是否正常。机床工业云状态监测如图2所示。



图2 机床工业云状态监测

机床工业云故障诊断与预警

机床工业云故障诊断与预警主要分为两种情况: 一种是针对机床和非机床设备的实时监控数据进行的诊断与预警; 另一种是对故障现象进行的诊断。因此, 本文选取了两种设备故障诊断方法: 基于数据的故障诊断专家系统和基于案例的故障诊断

专家系统。同时对定位的故障进行记录, 并指导维修人员进行维修。

基于数据驱动的机床设备健康管理

1. 选取评估指标

通过先进的传感技术、计算能力和自动控制能力, 实现对工件、刀具和机床运行数据的实时检测, 并利用网络技术, 使联网的监控系统能够实时获取这些数据, 为健康状态指标的分析提供数据基础。与预测机床设备某些关键参数的变化相比, 通过数据驱动进行设备健康状态评估, 可以更准确、更全面地感知其异常变化情况。

通过对机床的结构原理及生产原理等进行分析, 可知机床设备主要包括主轴系统、进给系统、液压系统和数控系统等。其中, 主轴系统和液压系统直接影响着机床的运行性能, 是评价机床设备健康状态的主要系统。根据机床设备参数数据类型不同, 将能够表征机床健康状态的参数分为两类, 即可量化的机床性能指标和可定性的机床性能指标。可量化的机床性能指标是指速度、温度等可直接获取数值的指标数据, 可定性的机床性能指标是指液压夹具压力状态、液压箱油路状态等只能获得是否正常等状态数据的指标。

根据机床设备工作的物理架构和逻辑架构, 选取主轴系统、液压系统作为机床健康状态评估系统的评估子目标, 结合专家经验和当前传感器技术发展水平等因素综合考虑, 针对主轴系统选取主轴速度、主轴温度、主轴倍率和主轴负载, 针对液压系统选取液压夹具压力状态、液压箱油路状态和冷却限位报警, 共7个具有代表性和可测量的特征参数作为机床健康状态评估的指标。

2. 建立评估结果集

将机床设备的健康状态评估结果分为3个等级, 从高到低依次为健康、劣化和故障, 相应等级的机床健康状态和评估结果说明见表1。

表1 机床健康状态评估结果说明

评估数值	评估结果	结果说明
80~100	健康	该机床设备运行正常, 各项指标均在合格范围内
60~80	劣化	该机床设备基本正常, 存在部分接近临界值或不合格指标
60以下	故障	该机床设备存在故障, 已影响正常运行

3. 基于数据驱动的健康状态评估模型

机床健康状态评估模型主要分为指标和权重两部分。指标主要通过历史经验以及物理结构等确定。而传统的评估指标权重的建立主要通过专家经验，由具有相关经验的专家对已建立的评估指标体系中各指标的权重进行打分。一般情况下，会请多位专家进行打分，给出权重分配方案，然后通过求取平均数的方法确定单项指标的分配权重。

由于专家一般是对机床的某个系统经验丰富，因此，专家打分具有局限性。虽然求取平均数方法能够在一定程度上消减局限性，但往往效果并不大。而且，当某项评价指标超过合格范围甚至超差值较大时，经过评估算法综合计算后得到的机床设备的状态为健康状态，而机床设备原本故障的情况并未被发现，与机床设备实际状态不符，造成状态诊断错误。

而基于数据驱动的健康状态评估模型中的权重是在初始建立的权重基础上，由机床采集的各项性能数据来驱动权重的不断变化，直至得到最优权重值为止。在机床设备健康评估中，应充分考虑各个系统的性能情况、异常信息被过滤的情况等，对指标权重进行调整，通过数据的反复训练，自动获取机床设备的评估指标权重。通过对多种评价模型与算法的分析研究，最终选取了基于神经网络的数据驱动的方法。

(1) BP神经网络

根据神经网络的功能和学习特点，经典的神经网络模型有感知机（Perceptron）、线性神经网络（Linear Neural Network）和BP神经网络等。根据机床评估模型特点采用BP神经网络。BP神经网络是一种按误差逆传播算法训练的多层前馈网络，一般包含输入层、隐藏层以及输出层。其中隐藏层的层数可以是一个，也可以是多个。常见的激励函数有Sigmoid函数、ReLU函数和双曲正切函数。对于大部分的情况，一个隐藏层已经具有比较优良的线性逼近能力。隐藏层的每一个神经元都接受来自输入层的所有输入，输出层的每一个神经元也都接受来自隐藏层的所有输出。假设输入层包含 m 个节点，输出层包含 n 个节点，则可以看作是一个 m 维向量到一个 n 维向量的映射。

BP神经网络流程图如图3所示。

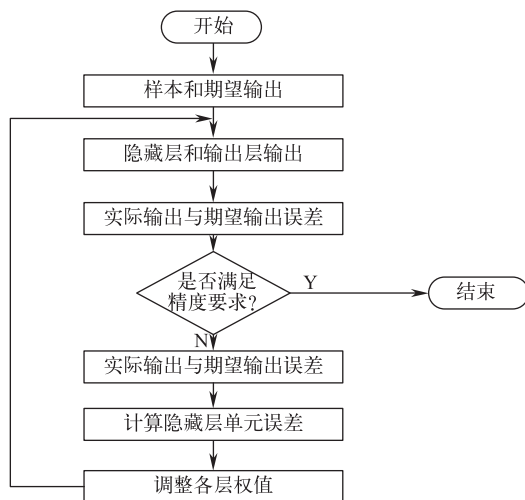


图3 BP神经网络流程图

(2) 建立基于BP神经网络的机床健康评估模型

根据机床设备工作的物理架构和逻辑架构，对其健康评估目标进行层次分解，并结合表征各关键部件健康状况的主要技术指标，构建机床健康状态评估的层次结构图。其中，BP神经网络的隐藏层个数与已构建完成的层次结构数相对应。

在建立BP神经网络模型时，输入条件为输入向量、输出向量，分别对应指标体系中的底层指标和目标层。根据对机床的原理和结构进行分析，可知隐藏层的层数为1，隐藏层神经元节点的数量为6。通过评估模型层次结构图构建BP神经网络结构如图4所示。

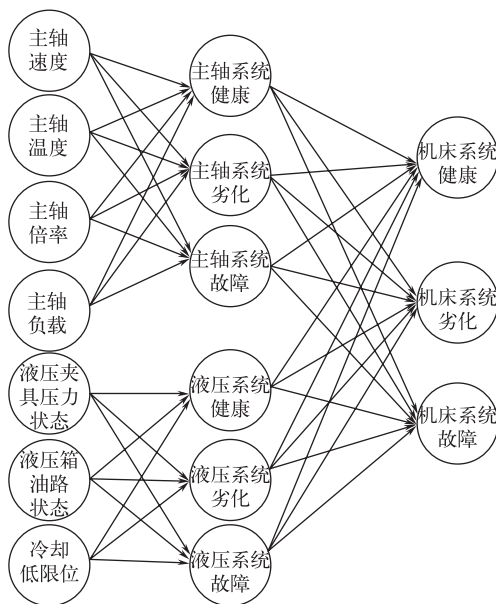


图4 机床系统BP神经网络结构图

4. 机床设备健康状态评估流程

基于数据驱动的健康状态评估流程如图5所示。

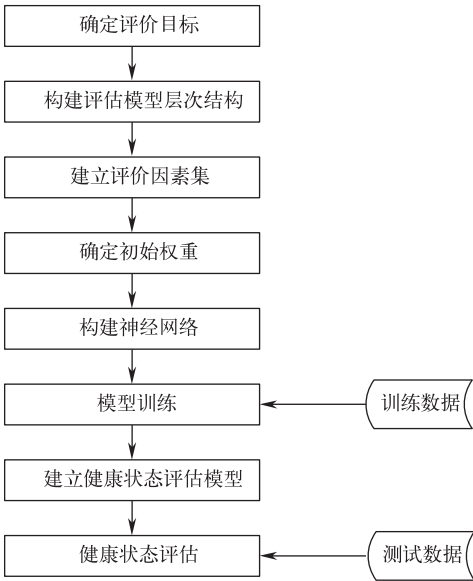


图5 基于数据驱动的健康状态评估流程图

5. 机床设备健康状态评估

(1) 构建机床设备健康状态评估模型

1) 确定输入项与输出项。

2) 准备训练数据与测试数据。本次试验为机床设置了3种状态，每种状态对应50组数据，一共为150组数据。其中120组数据为训练数据，30组数据为测试数据。部分训练数据见表2。

表2 部分训练数据

主轴转速/ (r/min)	主轴温 度/℃	主轴 倍率	主轴 负载	液压夹 具压力 状态	液压 箱油 路状态	冷却 低限 位	机床 评估 数值
1 000	20	100	2	1	1	1	97
700	21	100	2	1	1	1	97
4 000	18	100	5	1	1	1	95
4 200	39	100	31	1	1	1	71
6 000	19	100	7	1	1	1	93
40	25	100	14	1	1	1	85
60	27	100	16	1	0	1	50
33	16	100	6	1	1	1	94
337	27	100	13	1	1	1	86
750	35	100	29	1	1	1	73
800	12	100	1	1	1	1	98
1 350	24	100	8	1	1	1	91
1 400	41	100	36	1	1	1	65
500	16	100	3	1	1	1	96
700	18	100	4	1	1	0	50

3) 设备健康评估引擎如图6所示。

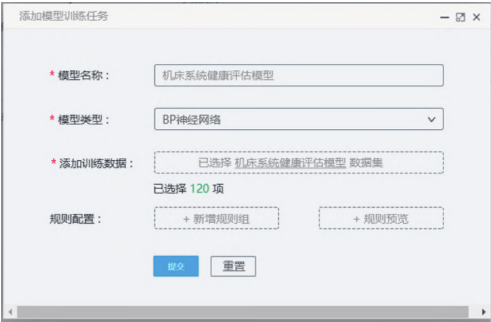


图6 设备健康评估引擎

(2) 对机床设备健康状态进行评估

1) 实时评估。将机床设备实时监控获取的数据发送给机床设备健康状态评估引擎，对该机床设备的健康状态进行实时评估。

2) 事后评估。通过加载机床设备的评估指标历史数据，触发机床设备健康状态评估引擎，对该机床设备的健康状态进行评估。

(3) 生成评估报告

评估完成后，系统给出本次评估的结果，并且可查询历史的评估结果。评估报告如图7所示。



图7 评估报告

结束语

本文分析了机床工业云装备状态监测与健康管理的原理与特点，并列举了实际应用案例。建立了针对机床设备的状态监测、故障诊断和健康评估的一体化平台，在智能制造和工业互联网背景下，为开展设备健康状态监测和管理提出了一种解决方案。EA

参考文献

[1] 杜秉航. 人工神经网络初探[J]. 科技传播, 2018(2): 66-68.