设备数字建模与智能诊断在钢铁企业的典型应用

文/范海龙
酒泉钢铁集团有限责任公司

摘要：为解决钢厂生产工艺流程复杂等问题，针对产线关键重点设备，利用基于大数据、深度学习的设备在线监测及专家诊断平台，建立了设备数字化模型以及智能分析模型，对设备状态数据进行分析，实现设备状态的在线监测、智能报警、智能诊断、寿命预测及设备健康状态评价等，达到基于设备运行状态的预防性维修管理的目标。研究结果已在选矿、焦化、炼铁、运输及动力等各工序得到有效应用。
关键词：大数据；深度学习；设备数字建模；故障智能诊断

工业设备的稳定运行对正常的生产活动至关重要。在生产运行过程中，设备的健康状况直接影响着企业的持续健康的发展，一旦出现设备故障，不仅会对企业造成损失，而且极易导致事故发生。对设备的在线监测可以掌握设备的运行状况和能效情况。通过建立设备的在线监测系统可以更好地对设备进行管理，并及时发现设备的早期故障，对设备进行预维护，降低设备维护成本，指导设备维护保养以及保障员工人身安全等。

设备的故障是按照一定的规则发生的，故障的发展包括早期、中期及晚期。设备重要部件的严重劣化会导致其他部件的劣化，甚至最终导致整机不可修复。采用大数据平台，将同类设备的多源数据集中管理和分析，建立基于数据驱动的诊断模型，能够在故障发生的早期发现故障并进行修理，不仅可以大大降低维护成本，还可以减少设备停机维护时间，降低因设备长时间停机对生产造成的影响。

目前，基于大数据、深度学习等技术的设备状态在线监测作为工业互联网的典型应用，在国内外钢铁、电力、石化、制造、航空等工业部门得到广泛应用，如发电机组齿轮轴承、大型轧机齿轮和轴承的监测等。对各大企业开展设备预防性维护具有很好的借鉴意义，能提升生产设备的运行效率，降低生产设备的运营成本，减轻设备维护劳动强度，是设备管理的创新模式。

设备状态数字化建模

1. 数字化设备模型的建立

具有相同结构类型的设备可以抽象为一种设备数字化模型，即设备数字孪生模型，通过数字化模型的方式映射实体物理设备。数字化模型的构成要素包括设备三维结构、设备设计参数、设备静态属性、设备工况参数、设备状态参数、设备维保数据及其他参量。设备数字化模型与实体物理中的真实设备关联，并将真实物理设备的运行状态映射到该数字化结构模型之中，形成完备的机械设备数字化模型，其中设备的运行状态由设备实时工况数据和实时状态数据综合体现。

以胶带机为例，三维结构模型如图1所示。

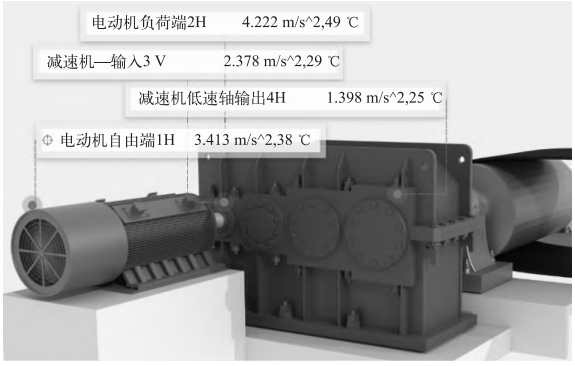


图1　胶带机三维结构模型

2. 设备健康度智能评估

对设备的健康度评估是在线监测系统的核心研发点之一。从多维度信息融合的角度出发，研究设备健康度智能评估方案，评估设备整体的状态，以此作为决策依据帮助用户进行设备维护。整体流程如图2所示，包括：

1）将设备分为不同的部件，采集机械设备所有部件的特征参数，并且按照特征参数对部件历史数据进行分级。

2）对于每个不同的部件利用历史特征值数据训练部件健康度评估模型，当所有的历史特征值数据训练完成后，得到若干个超球模型，超球模型的个数和历史数据分级的数量相等（见图2c）。

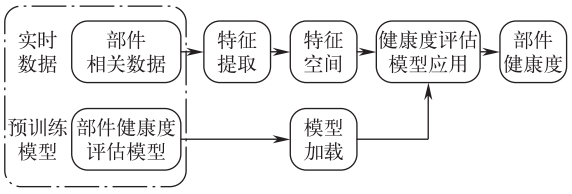
3）将实时采集的部件特征值输入部件健康度评估模型，得到实时的部件健康度曲线（见图2d）。

4）将机械设备不同部件的实时健康度进行信息融合，得到机械设备整体的健康度曲线（见图2e）。

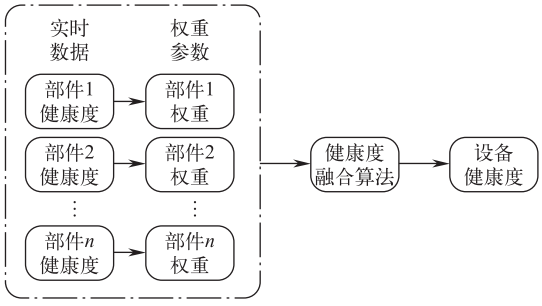
3. 基于专家系统的智能故障诊断模型

基于规则推理（Rule-Based Reasoning，RBR）的诊断方法是诊断专家系统中最简单、最常用的一种方法，它将领域专家的经验知识表示成规则形式。但是对于大型复杂设备的故障诊断，基于规则的诊断方法存在一定的缺点，知识的数量和质量决定了一个专家系统的能力；以经验知识为主的知识库维护困难，缺乏自学习能力。

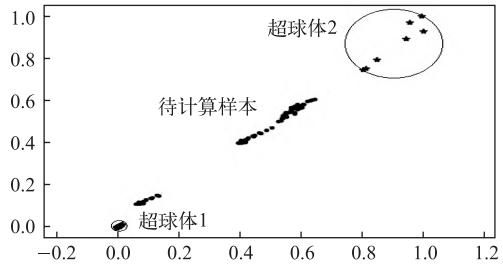
目前，智能故障诊断的发展需要对混合的智能诊断模型进行深入研究。因此，结合多种诊断方法并融合多项参数和信息源的智能混合诊断模型将是智能诊断技术发展的必然趋势。开发诊断系统时不仅要重视专家的经验知识，更要注重诊断对象的结



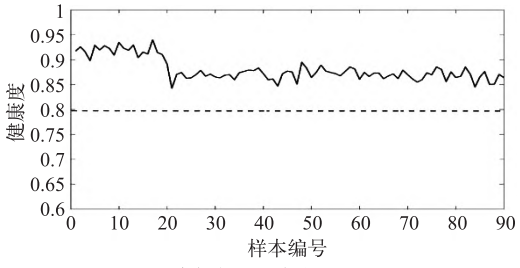
（a）部件健康度实施评估流程



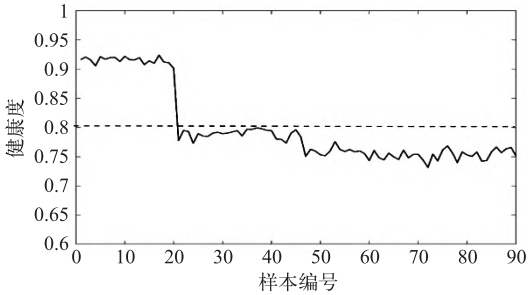
（b）机械设备整体健康度评估流程



（c）特征空间示意图



（d）部件健康度曲线



（e）设备健康度曲线

图2　智能评估流程

构、功能及原理等领域知识，忽视任何一方都会影响系统的诊断能力。对于故障系统来说，知识库比

较庞大，可以借鉴数据库关于存储、共享、并发控制和故障恢复技术改善诊断系统的性能。

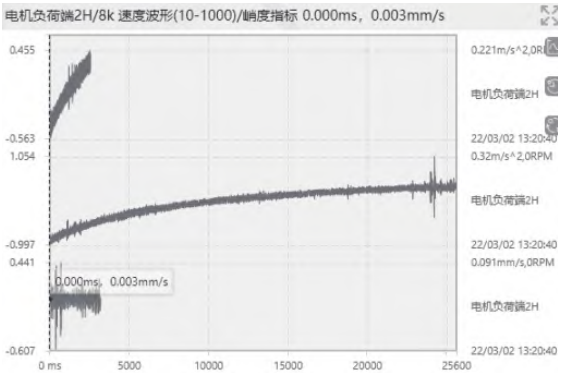
在选矿现场的实际应用

1. 试验设备的选取与测点配置

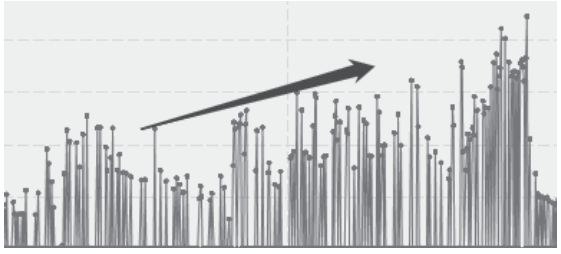
为了验证设备数字模型与诊断模型的准确性，达到模型自学习训练的目的，选取了现场部分老旧设备和故障多发设备，包括胶带机1台、风机1台及造浆搅拌机1台作为试验对象，在设备旋转部位配置振动温度一体式传感器，电动机自由端和负荷端水平各1个；减速机输入端水平1个、输出端轴向1个；风机前端、后端水平轴向各1个。传感器信号经过网关进行转换后上传至服务器，以波形文件形式存储并用于预警和分析。

2. 设备故障指标确定及实际效果

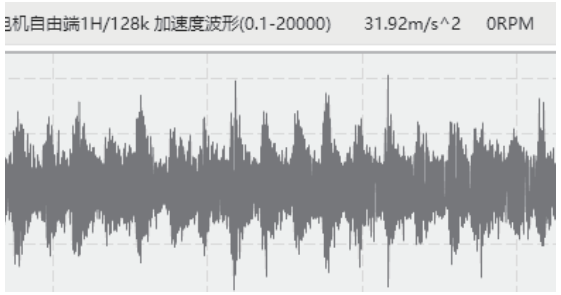
针对试验设备的历史运维记录和发生频率较高的故障类型，主要以反映早期故障征兆的波形峭度（见图3a）、反映振动值随时间变化的加速度总值趋势（见图3b）、反映振动幅值变化的时域波形（见图3c）以及反映故障部位特征频率的频谱（见图3d）作为故障指标来判断故障类型与部位。



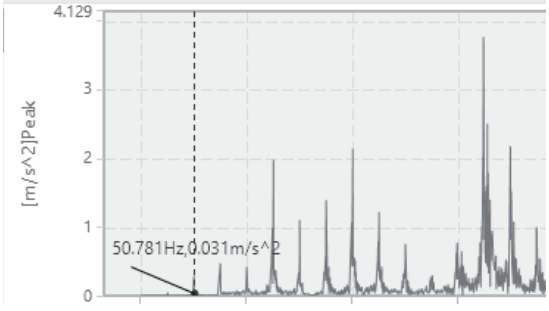
（a）峭度升高



（b）振动总值升高



（c）时域波形有周期性冲击



（d）频谱有倍频特征

图3　实际效果

结束语

通过设备数字建模与智能诊断系统，可完成设备运行状态数据的采集、清洗、存储、分发及共享等工作，并可通过智能分析模型，对设备状态数据进行分析，实现设备状态的在线监测、智能报警、智能诊断、寿命预测及设备健康状态评价等，达到基于设备运行状态的预防性维修管理的目标。研究结果（在线监测装置、故障规则、测点配置标准及数据接口标准等）已在钢铁企业选矿、焦化、炼铁、运输、动力等各工序得到有效应用，覆盖设备528台（套），累计诊断预测大型设备故障103台次。

随着生产的不断进行，设备故障发生的工况、劣化征兆以及相关报警阈值一直在不断变化，系统中设备故障模型需要不断调整、完善和扩充，以逐步提高自动诊断的准确性，减少人工诊断在故障诊断过程中所占比例，因此需要制定出一些典型关键设备的故障规则库，并通过机器学习与人工优化来不断完善。同时由于大部分企业存在多家不同生产厂商实施的监测系统，因此有必要形成统一的数据接口标准，规范大型、关键设备接入标准和通信协议，对多源异构数据进行归一化处理，降低新上系统的数据接入及建模难度。EA