

基于 PHM 的数字化生产线健康管理體系结构研究

何军红, 刘 赛, 薛文琦

(西北工业大学 航海学院, 西安 710072)

摘要: 针对数字化生产线的自动化控制与诊断要求, 结合当前的智能制造背景, 以数字化生产线设备群为研究对象, 对设备群健康管理體系结构做出分析, 并设计开发了基于 PHM 的数字化生产线健康管理系統; 首先借鉴了 OSA-CBM 的 PHM 技术体系结构, 提出数字化生产线设备群 PHM 体系结构, 然后应用组态技术在结构上对设备群监测系统进行了设计研究, 实现对异步、异构数据的集成应用, 最后重点分析了对故障进行诊断的综合诊断平台和健康管理平台。

关键词: 数字化生产线; PHM; 故障诊断

Research on Health Management System Structure of Digital Production Line Based on PHM

He Junhong, Liu Sai, Xue Wenqi

(School of Marine Science and Technology, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: In view of the automation control and diagnosis requirements of the digital production line, combined with the current intelligent manufacturing background, the digital production line equipment group is taken as the research object, the equipment group health management system structure is analyzed, and the PHM-based digital production line health management system is designed and developed. Firstly, it draws on the PHM technology architecture of OSA-CBM, proposes the PHM architecture of the digital production line equipment group, and then applies the configuration technology to design and research the equipment group monitoring system in the structure to realize the integrated application of asynchronous and heterogeneous data. The comprehensive diagnosis platform and health management platform for fault diagnosis are analyzed.

Keywords: digital production line; prognostic and health management; troubleshooting

0 引言

近年来, 中国结合当前时势与现状提出的“中国制造 2025”引发了我国工业生产中以智能技术为核心的一场变革。这些战略的核心内容都是智能制造, 中国在智能制造上的研究与实施力度日渐增大, 在不同的领域展开智能制造试点工程。而保障试点工程顺利实施的前提是设计一套完善的生产线故障诊断系统。现阶段人工智能、计算机网络技术和神经网络技术等已经成为生产线故障诊断系统不可缺少的部分^[1]。数字化生产线设备群的协同作业作为智能工厂的核心部分, 其安全高效的运行是保障智能制造研究与实施更加深入的关键所在^[2]。本文研究的针对数字化生产线故障预测与健康管理系统 (prognostic and health management, PHM)^[3]是有效防止设备群发生故障和监测其安全高效运行的有效技术手段。

故障预测与健康管理系统经过近几十年的不断发展和丰富, 不断吸收各门学科技术发展的最新成果, 以大型设备与复杂系统为研究对象, 以新兴技术为依托, 涉及各种工程技术系统设备及领域, 已形成一门既有理论又有方

法的综合性应用技术, 但是现阶段对于设备群的 PHM 研究还处于初步阶段^[4]。数字化生产线上设备群的复杂性、多样性及协同作业下的不可预测性等因素加大了 PHM 研究的繁琐, 所以项目的进行比较广泛, 涉及算法、关键技术、软硬件平台等, 而本文旨在对其 PHM 结构体系进行论述, 然后针对各关键组成子系统展开阐述分析。紧接着从设备群监测系统的可靠性、实时性以及可维护性出发, 研究设计了数字化生产线设备群监测系统并详细讲述其四个关键组成。最后, 针对故障诊断与健康问题, 设计了综合诊断与健康状态管理系统方案, 主要对所应用的理论技术进行分析。

1 数字化生产线设备群体系结构

生产线设备群的健康管理系统主要由建立在应用企业的故障诊断与健康状态管理系统和建立在制造企业/专业机构的远程诊断与服务平台两部分组成, 其中故障诊断与健康状态管理系统包含用于数据获取及分析部门的信息采集与处理模块和用于检测控制部门的设备群检测系统模块^[5]。

本文设计的生产线设备群健康管理系統, 一方面应用组态技术在结构上对生产线的信号采集与处理模块和设备群监测系统进行了设计研究, 实现了 PHM 系統结构上的可扩展、可重用, 减少了系统的开发和维护费用; 另一方面, 利用综合诊断平台对数据库历史信息进行故障诊断分析, 在没有先验知识的情况下通过对生产线设备群正常运行下

收稿日期: 2018-11-22; 修回日期: 2019-01-03。

作者简介: 何军红(1971-), 男, 浙江义乌人, 研究生导师, 副教授, 主要从事控制工程、工业网络、智能制造、工业大数据、能源管理等技术方向的研究。

的状态信息,采用智能预测算法对设备群的剩余使用寿命进行分析,有效地弥补了人工设置报警数据导致误报警的缺陷,提高了 PHM 的智能性^[6-9]。本文综合了朱红萍等提出了在视情维修的开放体系结构 (Open System Architecture for Condition-Based Maintenance, OSA-CBM) 下的 PHM 技术体系结构,针对数字化生产线实际运行情况,设计研究了如图 1 所示设备群 PHM 体系结构图。

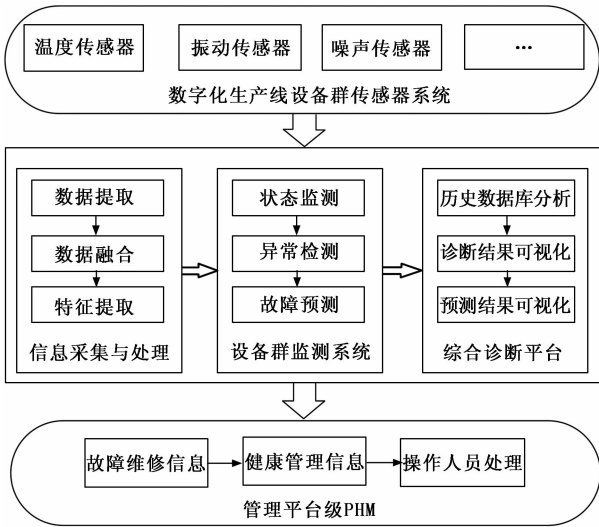


图 1 数字化生产线设备群 PHM 体系结构图

1.1 信息采集与处理

在 PHM 系统运行过程中,数据获取及处理模块是基础,主要任务是在遵循一定的数据传输协议下将生产线上设备群传感器系统采集的数据转换为数据库存储的数据类型。实时数据的采集依据生产线 PHM 数据交换规则可以分为生产线运行数据、设备故障信号和警告事件数据三大类,首先需要对收集的数据进行融合及特征提取处理,数据融合是对原始数据进行分析,针对无效数据和异常值分别进行相应的处理,然后对大量处理后的数据采用人工神经网络的融合算法进行处理。特征提取是用少于原始特征参数数目的特征量来完整、准确地描述 PHM 系统的运行状态。根据数据融合与特征提取输出的具体信息,将生产线的运行状态划分为“加工”、“搬移”、“闭锁”、“警告”、“异常”和“检修”六种工况状态。

1.2 生产线设备群监测系统

该模块是从数据分析中得到设备群尽可能准确的状态信息,不仅支持对生产线设备群的图像数据(生产线工艺流程图、物料加工图、设备转移流程提等和模型数据(设备三维模型、加工工件三维模型)的存储功能,还支持对监测端实时接收诊断信息和周期传送离散事件信息的存储功能,监测系统需要对所收集的信息类型进行判断然后存储于本地的端口文件服务器和系统中设定好的一个专门用于存储故障信息的数据库中^[10]。该监测系统还支持对生产线系统的建模工程,采用合适的算法及三维建模软件对生产线 PHM 进行建模,从而精准的获得状态信息,为下一阶

段生成诊断维修策略提供数据支持。根据用户的需求分析,系统还制定了对设备群的预测诊断功能,预测数字化生产线上各关键部分的剩余使用寿命。

1.3 诊断管理系统

在经过前期不断检测和分析处理,形成了一定数量的监测数据和故障信息,诊断处理模块就是结合现有的资源对其提供坚实有效的保障措施部分。该模块在信息采集与处理、故障监测系统等基础上,利用现阶段搭建起来的专家知识库,按照生产线物料投放时间、故障处理时间、故障类型和故障发生设备等属性对接入的历史数据进行统计分析,分析的维度包括报警统计、故障事件统计、通信信息统计、设备运行率统计等。诊断管理系统工作人员定期对统计分析的阶段进行智能诊断,采用集成的诊断算法如 SVM、粒子群诊断和神经网络诊断对数据信息进行审核,然后存档或者上报有关处理部门,按照数据审核结果下发给各维修单位。

2 设备群监测系统结构

本文以数字化生产线设备群为研究对象,针对目前存在的问题并结合智能制造生产需要,从系统的可靠性、实时性以及可维护性出发,研究设计了监测系统。本监测系统的功能包含部分信息采集与处理模块的职能,监测系统组成方案主要由 4 个部分组成:监测单元、点检数据管理单元+智能点检仪、监测数据库+点检数据库、在线监测平台。

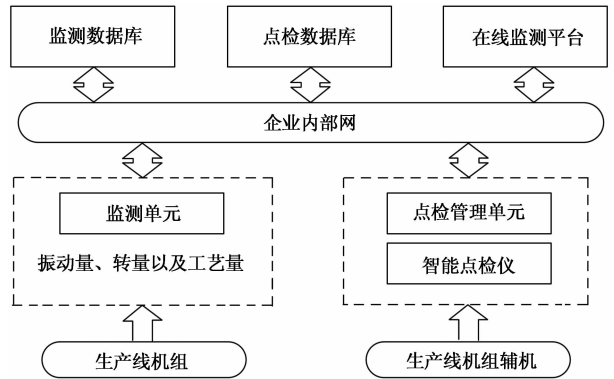


图 2 数字化生产线设备群监测系统组成

2.1 实时采集监测单元

监测单元是生产线监测系统正常运行的关键组成,其主要功能是对振动量与转速信号的信息采集与对工艺量的判断处理,结构组成如图 3 所示。

1) 基于 DSP 的采集监测模块:采用 DSP (TMS320C6711) 和 FPGA 为核心,开发并行采集处理模块,完成 16 通道信号调理、同步采集、故障特征提取、设备状态监测、数据通讯等工作。

2) 基于状态驱动的实时采集存储:实时提取机组信号的特征量,根据知识库提供的标准量、比较规则、关系矩阵等来建立基于状态驱动的自适应采集和存储决策模型,以实现机组在不同运行状态下对于信号的智能采集和高效存储;通过知识维护模块,实现对决策模型的远程调整和

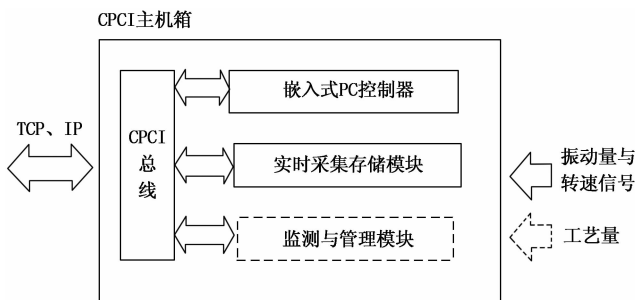


图 3 实时采集监测单元

动态修改。

3) 监测和管理软件: 利用嵌入式 Web Server, 接受网上组态和维护模块的测控, 以进行监测单元的初始化、组态和系统维护等

2.2 点检数据管理单元+智能点检仪

2.2.1 移动点检设备

选用适合该项目应用企业现场检测需要的振动、温度和压力传感器, 自行开发调理电路, 使用 PDA 专用的 CF 数据采集卡, 并与 Pocket PC 型掌上电脑连接组成数据采集器的硬件基础。以 Windows Mobile 为操作系统, 微软 .Net Compact Framework 和 NI 公司 LabVIEW 为编程工具, 开发数据采集器软件, 在良好的交互界面中, 完成辅机设备的数据测量与抄录^[11]。在设备上安装电子标签, 设计数据采集器的现场读取功能, 对数据采集工作进行定点定时的控制。

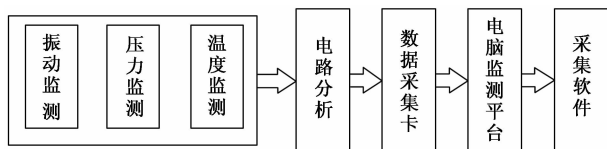


图 4 智能点检仪结构组成

2.2.2 点检数据管理单元

运行于点检工作站上的点检数据管理单元, 负责组织、管理辅机设备运行数据的日常采集工作。一方面制定点检计划 (包括现场检测流程与具体的测量任务), 通过与 PDA 同步通讯, 下达点检计划到智能点检仪中, 并对采集到的数据进行回收, 保存于工作站自身数据库中; 另一方面采用微软 ADO 技术, 将工作站数据库中的数据通过网络自动上传至点检数据库, 实现多工作站数据的统一管理。

2.3 监测及点检数据库

监测数据库保存数字化生产线上设备群完整的状态数据, 为在线监测平台和一体化诊断评估提供所需的历史数据, 点检数据库主要管理辅机的多种类型的混杂数据。以上数据库采用 Oracle 11 g 大型数据管理系统以满足网络化数据的存储和访问要求, 遵循国际组织 MIMOSA (Machinery Information Management Open System Alliance) 发布的标准 (CRIS - Common Relational Information Schema Ver 2.3) 进行数据库设计, 以便设备状态历史数据的存

储和共享^[12-13]。

2.4 在线监测平台

综合网络传输、数据库访问、信号分析、结果可视化等方面考虑, 拟选用 LabVIEW 图形化编程工具来开发网络化在线监测平台, 具体从以下几个层面来集成监测分析方面相关研究成果:

1) 基于 DSP 的采集监测模块: 采用 LabVIEW 图形化编程语言实现网络化在线监测软件。

2) 基于状态驱动的实时采集存储: 利用 LabVIEW 具有的良好网络支持能力, 以 DataSocket 技术为依托全面支持设备状态数据的远程访问和数据共享。

3) 基于状态驱动的实时采集存储: 在监测中核心是信号处理和特征提取, 采用 LabVIEW 平台开发大量的分析诊断模块以提供丰富的设备状态监测功能。

3 诊断管理系统

PHM 系统面向大型压缩机组群, 以点检、巡检数据, CPCI 监测数据, DCS 数据为基础, 实现对异步、异构数据的集成应用, 创建企业专家数据库, 主要进行包括机组的过程分析、运行趋势分析、状态对比分析、特征参数分析、信息融合分析等综合诊断; 进行机组群的健康状态评估, 包括机组的故障溯源、系统状态评估、系统结构故障分析, 以直到监测和维护决策等。系统组成方案如图 5 所示。

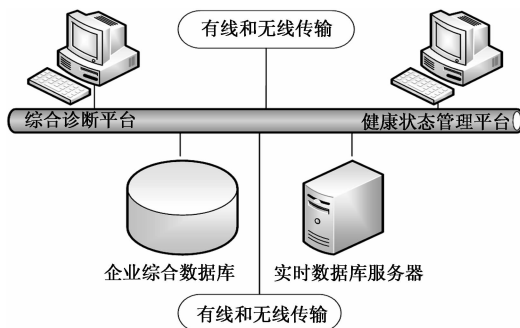


图 5 诊断管理系统

3.1 综合诊断平台

综合数据库访问、信号分析、结果可视化等方面考虑, 拟选用 LabVIEW 图形化编程工具来开发综合诊断平台, 具体从以下几个层面来集成监测分析方面相关研究成果:

1) 采用 LabVIEW 图形化语言实现综合诊断平台的软件编程;

2) 综合诊断平台的数据库访问模块开发。利用 LabVIEW 自身具有的良好网络支持能力, 以 LabSQL Toolkit 提供 ADO 技术为依托全面支持设备状态数据的远程访问和数据共享;

3) 基础上, 整合大量的已有分析诊断模块, 开发和包装新的综合诊断模块, 最终提供一个完整而有效的综合诊断模块库, 全面支持综合诊断平台。综合数据库访问、信号分析、结果可视化等方面考虑, 拟选用 LabVIEW 图形化编程工具来开发综合诊断平台, 具体从以下几个层面来集

成监测分析方面相关研究成果。

3.2 健康状态管理平台

利用实时数据库技术解决数字化生产线设备群在运行中产生的大量实时数据的处理、存储和集成问题,实现工业数据的抽取、校正和有效存储,重点解决多源异构数据的集成和数据质量问题^[14];在此基础上,利用知识挖掘和推理技术,对设备的离线监测数据、在线监测数据、历史数据(尤其是设备群故障突发前后的原始数据)等进行分析,找出其中的关联规则,融合多种信息对机组系统运行状况做出解释和评估;利用设备群的过程数据,挖掘设备故障在数据中的表现规律,所得知识用于指导后续操作,在出现事故之前,发出报警信息,并通过检测数据孤立点等技术辨识故障发生位置^[15]。

利用复杂网络理论,建立生产线设备群系统的网络模型,分析其结构特性,利用系统的整体知识对单元在系统中所起的重要性进行分析,确定系统中的重点监视部位、系统脆弱点部位,对确定的重点部位、系统脆弱点部位进行实时监测,实现在监测资源有限的情况下对设备群的监测点进行优化,做到故障的预防和多机组设备运行状态监控。

4 实验结果与分析

根据生产线故障诊断流程,开发了基于 LabVIEW 和 Matlab 的设备群电机故障诊断系统。将 LabVIEW 良好的人机交互界面与 Matlab 成熟的数值分析与处理功能相结合,利用 LabVIEW 调用 Matlab 系统集成算法实现设备群中电机发生故障的诊断。

依据本文提出的生产线健康管理体系结构,对提出的三个系统模块进行实验分析处理,图 6 (a) 是信息采集与处理模块采用 LABVIEW 对运行状态下数据的实时显示以及图 6 (b) 通过串口助手实时的数据接收。

设备群监测系统模块主要包含数据的显示及存储等功能,并提供了当前数据一些简单的时域参数以供诊断管理系统的数据参考,如图 7 所示的监测系统的可视化呈现。

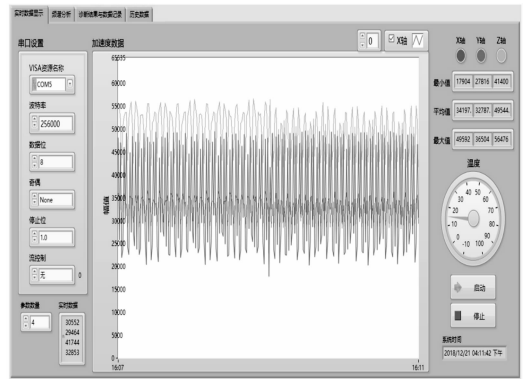
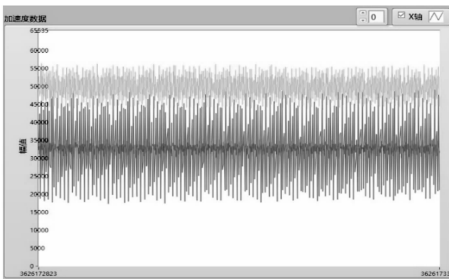
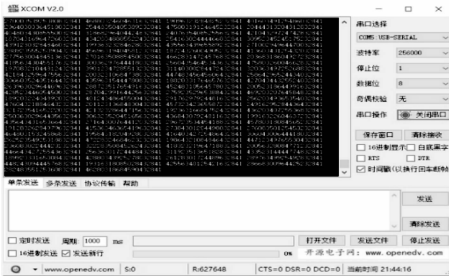


图 7 状态监测系统

诊断管理模块主要包含故障诊断结果、当前数据记录和模型再训练这三部分内容。由于故障发生方式繁多,而设备群的电机故障是常见的故障发生方式,这里仅对生产线固定设备的电机故障数据进行 3 层小波包能量分解后得到的特征量进行模式识别得到的工作状态,同时列出了神经网络和 SVM 的输出结果,并使用联合决策方式确定最终的工作状态。数据记录用于对当前得到的频带能量进行标记并添加到历史数据中,模型训练会根据当前保存的历史数据训练新的模型以供使用。图 8 和图 9 分别为设备群某一电机在状态 1 和状态 2 下工作时的诊断结果。图形界面上方为工作状态的最终诊断结果,可以判断运行工作是否异常然后存档或者上报有关处理部门。



(a) LabVIEW 实时显示数据



(b) 串口助手接收数据

图 6 实时采集系统

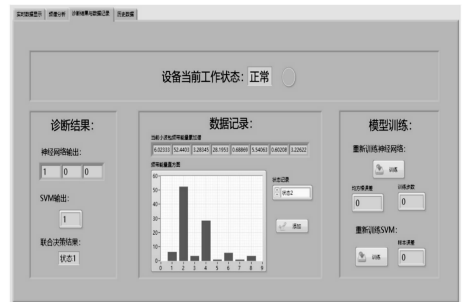


图 8 在状态 1 下故障诊断结果

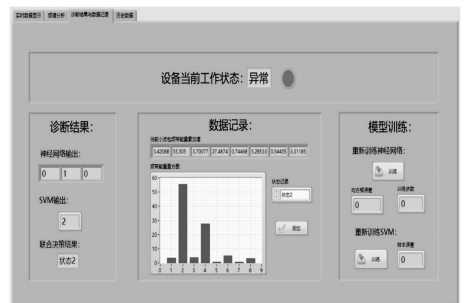


图 9 在状态 2 下故障诊断结果