

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 43961—2024

## 制造系统诊断维护技术与应用 集成通用要求

General integration requirements of technologies and applications  
for diagnostics and maintenance in manufacturing systems

2024-04-25发布

2024-11-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会

发布



目次

前言 ..... III

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 缩略语 ..... 3

5 制造系统诊断维护功能架构与技术组成 ..... 3

    5.1 功能架构 ..... 3

    5.2 技术组成与分类 ..... 4

6 制造系统诊断维护技术要求 ..... 5

    6.1 数据采集技术 ..... 5

    6.2 数据传输技术 ..... 6

    6.3 数据存储与管理技术 ..... 6

    6.4 状态识别技术 ..... 7

    6.5 故障诊断技术 ..... 7

    6.6 寿命预测技术 ..... 8

    6.7 基于维护的备件管理技术 ..... 8

    6.8 维护策略制定与优化技术 ..... 8

7 制造系统诊断维护服务封装与应用集成 ..... 9

    7.1 通则 ..... 9

    7.2 制造系统诊断维护服务封装方法 ..... 9

    7.3 制造系统诊断维护应用集成方法 ..... 9

    7.4 制造系统诊断维护信息集成范围 ..... 9

参考文献 ..... 11



# 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国自动化系统与集成标准化技术委员会(SAC/TC 159)归口。

本文件起草单位：北京机械工业自动化研究所有限公司、清华大学深圳国际研究生院、福耀玻璃工业集团股份有限公司、联想(北京)有限公司、武汉恒力华振科技有限公司、清华大学、江苏长江智能制造研究院有限责任公司、北京理工大学、浙江省自动化学会、浙江金马逊智能制造股份有限公司、包头美科硅能源有限公司、浙江大学、苏州路之遥科技股份有限公司、宁波圣瑞思工业自动化有限公司、西安交通大学、中煤北京煤矿机械有限责任公司、东莞市爱康电子科技有限公司、山西柏腾科技有限公司、杭州安脉盛智能技术有限公司、山西科达自控股份有限公司、江苏美科太阳能科技股份有限公司、宁波中亿智能股份有限公司、南京高华科技股份有限公司、宁夏巨能机器人股份有限公司、东莞市中天自动化科技有限公司、山西天地煤机装备有限公司、江苏辉源供应链管理有限公司、中科云谷科技有限公司。

本文件主要起草人：黄必清、孙洁香、陈辉、靳玉茹、刘涛、杨余久、李亮、莫语、闫泽、郝睿阳、吴绍莉、唐聪、杨秋影、李义、朱麟、王长杰、李浩、魏疆骚、刘新、柴森春、渠晶、杜己超、薛静婉、王一钦、柴润祺、张利强、司佳顺、高静、赵钊、吴璇、钟霄、林姚辰、王艺澄、周荣、袁剑、赵飞、刘国柱、荆东青、周晓优、张胜、卢天华、翟德华、吴纪清、刘建军、胡建斌、李志博、唐康守、曹建文、张胜达、朱峰、杨辉。



# 制造系统诊断维护技术与应用集成通用要求

## 1 范围

本文件规定了制造系统诊断维护技术与应用集成通用要求，制造系统诊断维护功能架构、技术组成与分类，以及诊断维护技术的应用服务封装和集成要求。

本文件适用于指导制造系统诊断维护技术与应用平台建设。

## 2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**制造系统** manufacturing system

将制造资源转变为产品或半成品的输入/输出系统，由制造过程及其所涉及的硬件、软件和人员所组成。

注：包括生产系统和辅助生产系统。

[来源：GB/T 39751—2021, 3.1]

### 3.2

**事后维护** breakdown maintenance

在设备发生故障后再进行修理的一种维修方式。

### 3.3

**周期性维护** periodic maintenance

用于防止发生重大意外故障的维护方法，此方法根据故障或中断历史，主动停止使用某一设备或设备子系统，然后对其进行拆卸、修理、更换零件、重新装配并恢复使用。

### 3.4

**预测性维护** predictive maintenance

根据观测到的状况而决定的连续或间断进行的维护，以监测、诊断或预测构筑物、系统或部件的条件指标。

[来源：GB/T 40571—2021, 3.5]

### 3.5

**基于状态的维护** condition based maintenance

通过设备运行的关键数据的采集，完成状态识别和基本的故障诊断，并提供基本的维修与维护策略。

3.6

**基于全生命周期的维护 life-cycle based maintenance**

通过设备运行状态的全生命周期数据采集，进行全生命周期的状态识别、故障诊断、寿命预测，并能判断寿命预测结果的置信度，预先提供完整可信的维修和维护方案，指导设备的维修维护管理。

3.7

**应用 application**

一组有序的过程，它由一组资源执行，并通过一系列交互进行协调，旨在完成一个定义的目标。

[来源：GB/T 27758.1—2011, 3.2]

3.8

**维护应用 maintenance application**

制造应用类型，管理制造资产的重构、搬迁、更换或者维修，并且将这些活动通知其他的制造应用。

[来源：GB/T 27758.1—2011, 3.13]

3.9

**制造应用 manufacturing application**

制造过程、相关资源以及在产品制造中或服务提供中涉及的信息交换等的集合。

注：包括生产系统和辅助生产系统

[来源：GB/T 27758.1—2011, 3.14]

3.10

**集成 integration**

系统状态或者活动，以实现某个特定的状态，在该状态下，系统的组件被组织起来一起合作、协调和互操作，当需要时，还可交换“项目”，以执行某个系统任务。

[来源：GB/T 27758.1—2011, 3.9]

3.11

**故障 fault**

可能导致功能单元执行要求功能的能力降低或丧失的异常状况。

[来源：GB/T 15969.6—2015, 3.24]

3.12

**故障诊断 fault diagnosis**

为故障识别、故障定位和分析故障原因所采取的行动。

[来源：GB/T 39129—2020, 2.3]

3.13

**剩余寿命预测 remaining life prediction**

基于故障诊断提供的类型判断、故障定位等数据，对设备的剩余使用寿命进行评估。

3.14

**机器学习 machine learning**

功能单元通过获取新知识或技能，或通过整理已有的知识或技能来改进性能的过程。

[来源：GB/T 5271.31—2006, 31.01.02]

3.15

**神经网络 neural network**

由加权链路且权值可调整连接的基本处理元素的网络，通过把非线性函数作用到其输入值上使每个单元产生一个值，并把它传送给其他单元或把它表示成输出值。

注1：虽然某些神经网络旨在模拟神经系统中神经元的功能，但大多数神经网络用于人工智能以实现连接模型。

注2：非线性函数的例子是阈值函数、sigmoid 函数以及多项式函数。



[来源：GB/T 5271.34—2006, 34.01.06]

3.16

**人工智能** artificial intelligence

计算机科学的分支，专门研究数据处理系统，该系统执行通常与人类智能相关的功能。

[来源：GB/T 40571—2021, 3.7]

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

API: 应用程序接口(Application Programming Interface)

DCS: 分散控制系统(Distributed Control System)

ERP: 企业资源规划(Enterprise Resource Planning)

ESB: 企业服务总线(Enterprise Service Bus)

MES: 制造执行系统(Manufacturing Execution System)

WMS: 仓库管理系统(Warehouse Management System)

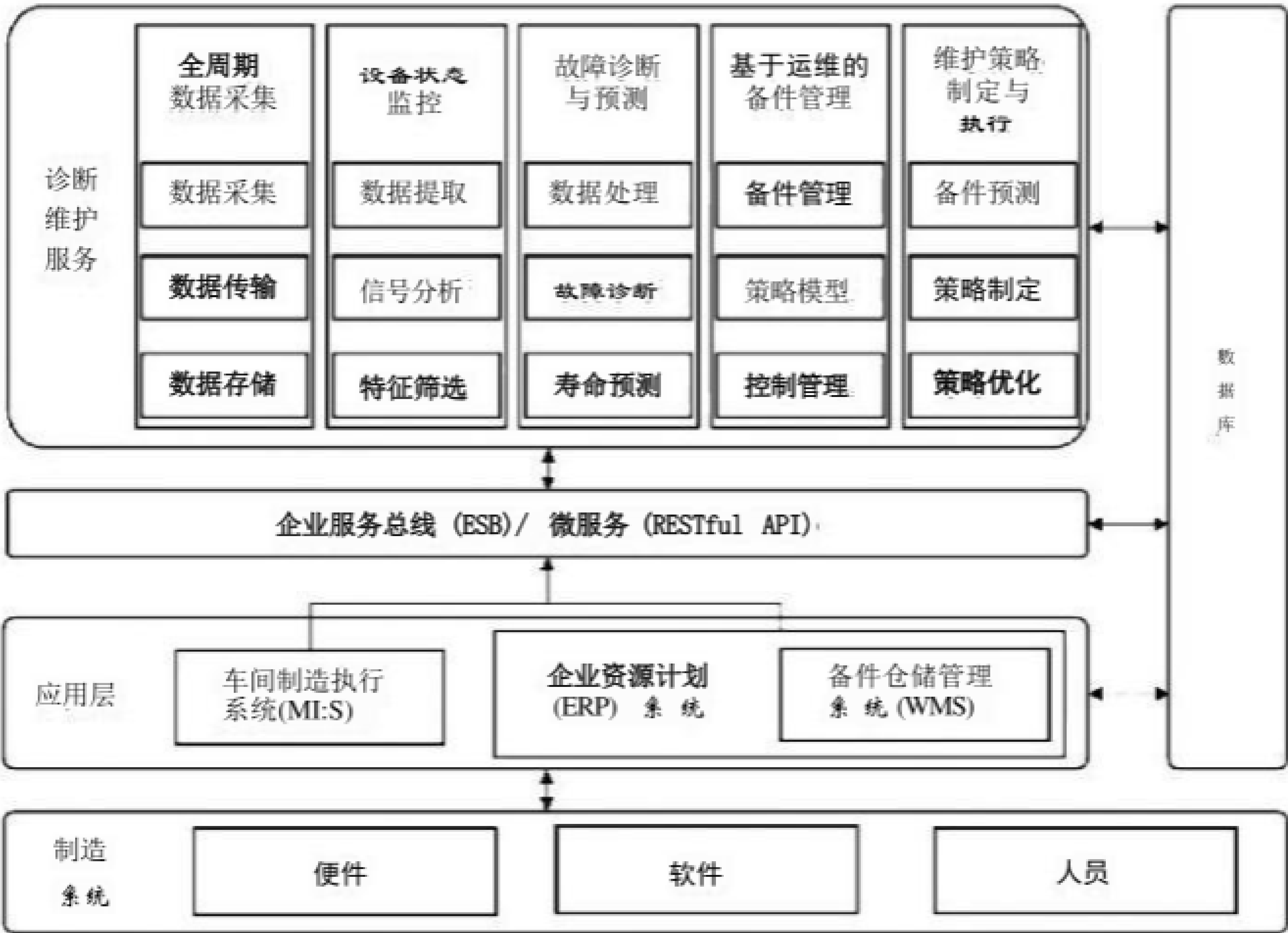
5 制造系统诊断维护功能架构与技术组成

5.1 功能架构

制造系统诊断维护系统应包括且不限于以下功能：

- 全周期数据采集；
- 设备状态监控；
- 故障诊断与预测；
- 基于运维的备件管理；
- 维护策略制定与执行。

制造系统诊断维护功能，由各种分类技术及其服务封装组成，通过企业服务总线(ESB) 或者微服务等技术实现与企业现有信息系统的集成，功能架构如图1所示。



注：备件仓储管理系统表现为两种形式：

- a) 当诊断维护功能为企业内部功能时，表现为企业内部 ERP 系统中的仓储管理系统；
- b) 当诊断维护功能外包给外部企业时，表现为外部企业 ERP系统中的仓储管理系统。

图 1 制造系统诊断维护功能架构

5.2 技术组成与分类

面向全生命周期的维护，制造系统诊断维护包含以下技术组成，与维护类型对应关系如表1所示。

- 数据采集技术。
- 数据传输技术。
- 数据存储与管理技术。
- 状态识别技术。
- 故障诊断技术。
- 寿命预测技术。
- 基于维护的备件管理技术。
- 维护策略制定与优化技术。

制造系统诊断维护技术细分技术参见第6章，技术分类可以用编码描述，编码可以包含以下属性：

- 行业索引；
- 维护类型；
- 技术种类；
- 外包程度；
- 技术环节；
- 前序技术环节与后序技术环节。

表 1 技术组成

技术	类型				
	事后维护	周期性维护	预测性维护		
			基于状态的维护 (CBM)	基于预测的维护	基于全生命 周期的维护
数据采集技术	-	-	√	√	√
数据传输技术	-	-	√	√	√
数据存储与管理技术		—	√	√	√
状态识别技术	-	-	√	√	√
故障诊断技术	√	-	√	√	√
寿命预测技术	-	-	-	√	√
基于维护的 备件管理技术	-	√	√	√	√
维护策略制定 与优化技术	√	√	√		√
注：“—”表示该维护类型不涉及此类技术，“√”表示该维护类型涉及此类技术。					

6 制造系统诊断维护技术要求

6.1 数据采集技术

如图2所示，面向诊断维护需求的数据采集技术应包括以下环节。

- 诊断维护需求：定义诊断维护的对象与实际需求，例如定义某设备为诊断维护的对象、定义该设备的剩余寿命预测为诊断维护的实际需求。
- 数据采集范围：根据诊断维护需求与诊断维护方法定义数据采集的范围，包括采集对象、采集点位等。
- 现有数据分析：面向诊断维护需求和可能的诊断维护方法，对现有数据可行性进行分析，包括数据统计分析(历史数据量级、数据类型、数据细粒度等)、数据可获取性、数据实时性、数据准确性、数据完备性等。
- 诊断维护方法选择：根据已有数据情况和现有监测方案可以获取数据情况，选择满足诊断维护需求的具体模型和方法。
- 数据采集需求：数据采集需求来源于两部分，包括现有数据采集需求和新增设备采集需求，现有数据采集需求包含所需传感器类型、采集范围等；新增设备采集需求则是结合现有数据不足，针对性地补充设备以进行数据采集。
- 数据采集方案：包括但不限于新增采集设备方案、设备智能化改造方案、数据采集点位、数据采集类型、数据采集频率等。

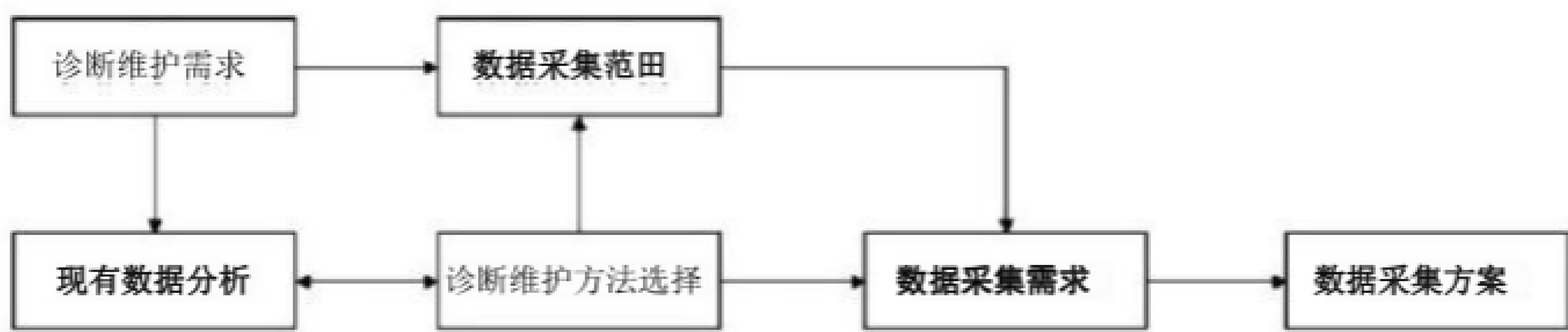


图 2 数据采集流程

6.2 数据传输技术

6.2.1 概述

对制造系统中诊断维护数据流通进行规范，保障需要传输的数据的互操作性、可用性和健壮性。

6.2.2 传感器网络数据传输协议

对多传感器网络间数据通信协议进行统一规范。

多传感器网络间通信主要包括四个方面：

- 在物理层的通信协议需要考虑网络传输介质和网络调试等；
- 在网络层的通信协议需要考虑传输性能和传输安全保证等；
- 在数据链路层的通信协议需要考虑网络拓扑结构和能耗控制等；
- 在传输层需要考虑拥塞控制、重传机制等方法。

6.2.3 设备与服务器传输协议

对各个设备与数据采集中枢系统(DCS、数据采集与监视控制系统 SCADA 等)通信协议进行统一规范。

各个设备和数据采集中枢之间的通信报文应有以下四种类型：

- 数据帧：用于采集设备向数据中枢传输实时数据；
- 命令帧：是数据中枢向设备下发控制参数和命令；
- 信息帧：用于描述配置信息；
- 应答帧：用于对接受报文、回复数据情况等信息做出应答。

这些数据报文应有统一的格式定义和规范。

6.2.4 对外服务协议及保密

对于制造系统向外输出的数据，需要统一对外协议，并做好数据安全保护。

对外数据服务包括：

- 主题式数据服务：即基于元数据和规范定义和建模，构建逻辑主题表，屏蔽实际物理表，提供仅在业务视图下的查询，保证数据安全性；
- 多样化数据服务：提供一站式数据查询、在线分析处理、在线接口服务的查询和应用等服务；
- 跨源数据服务：统一数据接入层，屏蔽多种异构数据源的影响。

6.3 数据存储与管理技术

数据存储技术是指不同数据库的构建技术，包括：

- 基于关系型数据：包括 MySQL、Oracle 等数据库类型；
- 基于非关系型数据库：包括 MongoDB、HBase、Redis 等数据库；

——基于时序数据库：包括 InfluxDB、IoTDB等时序数据库，实现高通量写入、高效压缩、高效查询、多功能查询(序列对齐、序列填充)等功能。

其中制造系统诊断维护涉及的数据多为时序数据，优先推荐使用时序数据库作为数据存储的选择。数据管理技术包括：

- 数据仓库技术：包含多源异构数据集成等技术；
- 云数据管理技术：将数据存储于云端，支撑云计算；
- 大数据管理技术：包含分布式存储系统、MapReduce 等技术。

6.4 状态识别技术

选择诊断方法后，从数据库查询抽取相关数据，对数据进行预处理后进行特征分析和状态识别。状态识别技术包括：

- 故障机理与信号分析：可选择故障树、鱼骨图、失效模式分析得到制造系统某故障未来变化趋势与部件运行状态；
- 故障特征筛选与融合：可使用故障信号与噪声信号的分离技术、信号的调制解调技术等，分析得到故障信息特征；
- 多部件与多故障的耦合机理分析：可使用根因分析、危害度分析得到不同故障机理之间的关联关系或衍生关系。

6.5 故障诊断技术

6.5.1 基于物理模型的方法

根据制造系统的相关先验知识建立初步的系统模型，并结合系统的故障演变机制不断调整参数。包括参数估计、状态估计、等价空间以及冗余分析等方法。

6.5.2 基于定性经验知识的方法

基于相关的知识和经验，分析系统的结构及功能，通过观察分析系统的状况来推测系统可能发生的故障，并对故障进行定性描述。主要包括专家系统方法、基于符号的有向图诊断方法和基于故障传播的有向图诊断方法等。

6.5.3 数据驱动的方法

数据驱动的方法包括以下三个类别。

- 基于统计分析的方法：对原始数据采用映射投影的方法分解为主元子空间和残差子空间，并将最新得到的数据分别映射并比较，主要包含主成分分析、偏最小二乘法和独立元分析法等。
- 基于传统机器学习方法：对原始数据进行必要的预处理后输入到机器学习模型中进行故障诊断，包括如支持向量机、模糊逻辑系统、K近邻、梯度提升树等方法。
- 基于深度学习的方法：主要包括有监督的故障诊断和无监督的故障诊断方法等人工智能方法。有监督的故障诊断如基于卷积神经网络、基于循环神经网络的故障诊断方法。而无监督的故障诊断方法包括基于自编码器、基于深度置信网络等方法。

6.5.4 基于混合模型的方法

将基于物理模型方法和数据驱动方法结合后进行数据分析、特征提取和故障诊断。结合方式包括但不限于：利用物理模型产生优质数据作为数据驱动方法的输入数据、利用物理模型引导数据驱动方法进行特征选择、利用物理模型获取的先验知识提高数据驱动模型网络结构的可解释性、物理模型的数学

化和公式化形式作为数据驱动方法损失函数的正则项等。

6.6 寿命预测技术

6.6.1 基于物理模型的方法

基于物理模型的方法：以目标装备损伤机理或失效模式为基础，构建数学模型对装备退化过程(如裂纹扩展、磨损腐蚀和层裂扩展等)进行描述和建模，进一步结合实时传感器状态监测数据，提供目标装备剩余寿命预测结果。适用于设备机理易建模、故障数据较少的情况。

6.6.2 数据驱动的方法

利用传感器检测数据转化为表征退化过程的模型，包括以下四个类别。

- 基于统计模型的方法：利用条件概率密度函数表示目标装备剩余寿命，包括自回归模型、随机系数模型、马尔科夫模型、维纳过程模型、伽马过程模型、逆高斯过程模型、比例风险模型等。
- 基于传统机器学习的方法：利用机器学习拟合目标装备监测数据和剩余寿命之间的函数关系，如支持向量机、逻辑斯蒂回归等。
- 基于深度学习的方法：利用深度学习来提取传感器监测数据中能够反映装备退化信息的特征，并利用这些特征进行预测，如循环神经网络、卷积神经网络、Transformer 网络等人工智能方法。
- 基于相似性的方法：利用当前数据与历史数据相似性，匹配后加权得到剩余寿命。

6.6.3 基于混合模型的方法

结合物理模型和数据驱动方法对数据进行特征工程、退化模式分析和寿命预测。结合方式包括但不限于：利用数据驱动方法辅助物理模型参数修正和模型结构完善、利用数据驱动方法提取特征并揭示物理模型中不同模块的关联信息、利用数据驱动方法预测物理模型中的未知变量、利用数据驱动方法和物理模型结果进行加权调控等。

6.7 基于维护的备件管理技术

备件管理技术包括以下三个类别。

- 备件分类与需求预测：根据故障类型、备件使用情况等因素对备件进行分类。结合预测性维护结果对备件需求进行预测，可采用的方法包括统计方法和贝叶斯方法等。
- 备件库存控制策略与模型：针对库存检查周期确定、订货量确定和订货点确定三个目标制定控制策略与模型，包括基于寿命的预防性备件更换策略与模型、基于 METRIC 模型的多级备件库存管理。
- 备件库存控制方法与管理：可使用ABC 分类控制或基于准时制生产方式(JIT) 的备件库存控制方法。

6.8 维护策略制定与优化技术

维护策略与维护方法是对应实现的，因此维护策略一般也分为事后维护策略、周期性维护策略和预测性维护策略，根据维护决策对象可以分为以下两类。

- 单部件系统维护决策，包括下列方法：
  - 基于周期的检测方法，适用于周期性维护；
  - 基于故障预测的维护策略制定，如剩余损伤模型、役龄模型等；
  - 基于剩余寿命预测的维护策略制定，根据剩余寿命预测量动态调整预检周期。

——多部件系统维护决策：结合单部件维护决策，针对多个部件组成复杂系统涉及多种故障模式的维护决策制定方法，包括多级维护计划优化模型、基于多目标优化的维护策略制定等方法。

从维护任务执行角度，维护策略可以分为单任务维护策略和组合维护策略，其中组合维护可以采用遗传算法、整数规划和蒙特卡洛模拟等方法进行组合优化。

7 制造系统诊断维护服务封装与应用集成

7.1 通则

制造系统诊断维护涉及的算法、模型、应用全部视作服务进行封装，服务间可以互相调用，应用可通过企业服务总线或者微服务技术实现与企业现有信息系统的集成。按照应用对象与功能可将服务分为：

- 算法服务：故障诊断、决策优化等关键算法封装形成的服务；
  - 功能服务：数据采集、数据处理、维护执行等功能模块封装形成的服务；
  - 接口服务：数据传输、服务调用、资源调用等涉及多系统交互的接口封装形成的服务。
- 服务的描述应包含以下几个要素：
- 服务提供者：包含系统内部服务、外部服务；
  - 服务功能：对服务具体功能和涵盖的范围进行描述；
  - 服务输入输出：对输入输出进行详细定义，决定了服务的使用规范；
  - 服务调用方式：对服务调用方式进行描述；
  - 服务依赖环境：对服务适用环境进行描述，包括依赖的外部软件资源和硬件资源等。

7.2 制造系统诊断维护服务封装方法

对于算法服务，建议采用链接库(包括.dll、.lib、.so、a)、Web Service、API等方式。

对于功能服务和接口服务，建议采用WebSocket、Web Service 和 API(包含 RESTful API)实现封装。

7.3 制造系统诊断维护应用集成方法

应用集成包括以下几个层级：

- 服务相互调用：通过接口服务实现不同算法服务和功能服务的相互调用；
- 与系统集成：通过企业服务总线或者微服务实现诊断维护系统与其他信息系统的集成；
- 外部服务集成：涉及外部服务，使用数据加密和安全数据传输协议保证企业数据安全。

应用集成包括以下几种具体方式：

- 基于文件传输：利用文件导入导出实现应用间数据交换；
- 基于共享数据库：使用公共数据库交换数据；
- 基于远程过程调用：通过网络调用远程主机，实现系统间数据交互；
- 基于消息机制：通过消息中间件，实现不同应用发送消息和异步接受信息，实现数据交互。

上述方法需根据实际场景单独或者结合使用。

7.4 制造系统诊断维护信息集成范围

制造系统诊断维护系统将各个功能、接口与算法封装为服务，实现与现有信息系统的集成，集成范围和方式规定如表2所示。

表 2 制造系统诊断维护信息集成范围

诊断维护模块	服务呈现形式	集成对象	集成方式
数据采集	功能服务	MES生产监控管理模块/ 可编程逻辑控制器(PLC)、 DCS等生产控制系统	消息机制
数据传输	接口服务	数据库/数据使用者	文件传输/共享数据库
数据存储与管理	功能服务/接口服务	数据库	共享数据库
状态识别	功能服务	数据库/MES生产 监控管理模块	共享数据库/远程调用
故障诊断	算法服务	数据库/MES质量 过程管理模块	共享数据库/远程调用
寿命预测	算法服务	数据库/MES质量 过程管理模块	共享数据库/远程调用
基于维护的备件管理	功能服务/算法服务	MES库存管理模块/ ERP备件WMS模块	消息机制/远程调用
维护策略制定与优化	功能服务/算法服务	MES车间资源管理模块、 车间计划模块/ERP 备件WMS模块	消息机制/远程调用



参 考 文 献

GB/T 5271.31—2006 信息技术 词汇 第31部分：人工智能 机器学习

[2] GB/T 5271.34—2006 信息技术 词汇 第34部分：人工智能 神经网络

[3] GB/T 15969.6—2015 可编程程序控制器 第6部分：功能安全

[4] GB/T 27758.1—2011 工业自动化系统与集成诊断、能力评估以及维护应用集成 第 1 部分：综述与通用要求

[5] GB/T 39129—2020 机床数控系统 故障诊断与维修规范

[6] GB/T 39751—2021 装备制造系统能耗监测方法 导 则

[7] GB/T 40571—2021 智能服务 预测性维护 通用要求

[8] 赵东明，邱圆辉，康瑞，等. 面向聚合查询的 Apache IoTDB 物理元数据管理[J]. 软件学报，2023, 34(3):1027-1048.

---





[www.bzxz.net](http://www.bzxz.net)

免费标准下载网