

T/CIS

中国仪器仪表学会团体标准

T/CIS 53001—XXXX

输送设备故障预测与健康管理系统设计导则

Design guidelines for prognostic and health management systems of conveying equipment

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

中国仪器仪表学会 发布

目 次

前言 II

引言 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 2

5 设计原则 2

6 系统结构 2

 6.1 概述 2

 6.2 信号感知层 3

 6.3 数据采集与传输层 3

 6.4 数据处理与分析层 4

 6.5 应用服务层 4

7 系统功能 5

 7.1 概述 5

 7.2 系统核心功能 5

8 系统性能 7

 8.1 系统基础性能 7

 8.2 系统安全性能 7

9 系统现场安装与调试、试运行、验收及交付 7

 9.1 系统安装与调试 7

 9.2 系统试运行 8

 9.3 系统验收与交付 8

附录 A（资料性） PHM 典型应用场景 9

 A.1 采矿业应用 9

 A.2 制造业应用 9

 A.3 物流应用 9

 A.4 游乐设施 9

 A.5 其它领域 10

 A.6 流体输送设备 10

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这些专利的责任。

本文件由中国仪器仪表学会提出并归口。

本文件起草单位：重庆川仪自动化股份有限公司、江阴兴澄特种钢铁有限公司、江苏新道格自控科技有限公司、江阴怡源设备安装有限公司等。

本文件主要起草人：吴朋等。

引 言

输送设备一般指以连续方式沿着一定路线从物料始点到物料终点输送散装货物和成件货物的机械设备，广泛应用于冶金、建材、化工、电力、食品等工业生产，以及矿山、码头、料场等物流领域。

故障预测与健康管理（Prognostic and Health Management, PHM）是为了满足自主保障、自主诊断的要求提出来的。PHM强调资产设备管理中的状态感知，监测设备健康状况、故障频发区域与周期，通过数据监测与分析，预测故障的发生，从而大幅度提高运维效率。

将故障预测与健康管理技术应用于对输送类设备的全生命周期的管理，可以有效提高该类设备的使用效率、寿命长度和运行安全性，为企业创造可观的经济价值。

输送设备故障预测与健康管理系统设计导则

1 范围

本文件确立了输送设备故障预测与健康管理系统的设计原则，给出了系统结构、功能、性能、安装部署、验收等涉及的技术指标建议，以及典型应用场景和涉及的各类技术参考条件。

本文件适用于输送设备故障预测与健康管理系统的设计、开发、安装、调试和运行维护，可作为输送设备故障预测与健康管理系统设计的技术依据。其他采用相似技术的转运类设备可参考执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 3836.1-2021 爆炸性环境 第1部分：设备 通用要求
GB/T 4208-2017 外壳防护等级（IP代码）
GB/T 4208-2017/XG1-2024 《外壳防护等级（IP代码）》国家标准第1号修改单
GB/T 18271.1-2017 过程测量和控制装置 通用性能评定方法和程序 第1部分：总则
GB/T 22239-2019 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

故障预测与健康管理系统 prognostics and health management system

一种基于数据驱动的智能维护技术，通过实时监测设备状态、分析历史数据并结合预测算法，对设备健康状态进行量化分析，提前预测设备可能的时效时间和模式，为设备维护提供建议，优化运维策略，以实现减少非计划停机、延长设备寿命等关键核心目标。

3.2

输送设备 conveying equipment

以连续方式沿着一定路线从物料始点到物料终点输送货物的一种摩擦驱动运输物料的机械机械，广泛应用于现代工业，如采矿、冶金、化工、火电、建材、食品、制药等领域。完成车间内部、企业内部、企业之间的物料搬运，是实现物料搬运系统机械化和自动化不可缺少的重要组成部分。

输送设备可以将物料在一定的输送线上，从最初的供料点到最终的卸料点间形成一种物料的输送流程，既可以进行碎散物料的输送，也可以进行成件物品的输送。

输送设备包括管链输送机、皮带输送机、滚筒输送机、斗式提升机、螺旋输送机、板链斗式提升机等，也包括起重机（俗称吊车、航车、行车、天车），以及与不同工业生产流程工艺相配合，形成以连续方式、或有节奏方式流水作业的行业专用设备，如钢铁企业的轧机、大包回转台等。

输送设备主体结构一般以机械为主结构，以电动机带动传动轴驱动，或采用电动机、减速器和制动器组合方式一体驱动。

3.3

应力波 stress wave

在可变形固体介质中机械扰动表现为质点速度的变化和相应的应力、应变状态的变化，应力和应变扰动以波的方式进行传播，称为应力波。用于探测应力波信号的传感器则称为应力波传感器，应力波传感器是一种典型的声发射传感器。

3.4

浏览器/服务器架构 Browser/Server, B/S

万维网兴起后的一种网络结构模式，浏览器是客户端最主要的应用软件。这种模式统一了客户端，将系统功能实现的核心部分集中到服务器上，简化了系统的开发、维护和使用。客户机上只要安装一个浏览器，服务器安装数据库并运行各类预测分析功能。客户端通过加密、身份认证、访问控制、隐私保护等措施，结合技术手段和管理策略，实现安全、可信的数据交互。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

DCS: 分散型控制系统 (Distributed Control System)
 ERP: 企业资源计划 (Enterprise Resource Planning)
 ICT: 信息与通信技术 (Information and Communications Technology)
 LoRa: 远距离无线电 (Long Range Radio)
 MES: 制造执行系统 (Manufacturing Execution System)
 NB-IoT: 窄带物联网 (Narrow Band Internet of Things)
 PHM: 故障预测与健康管理 (Prognostic and Health Management)
 PLC: 可编程逻辑控制器 (Programmable Logic Controller)
 PLM: 产品生命周期管理 (Product Lifecycle Management)
 HTTP: 超文本传输协议 (HyperText Transfer Protocol)
 OPC: 通讯接口协议 (Open Platform Communications)
 VPN: 虚拟专用网络 (Virtual Private Network)

5 设计原则

- 5.1 系统在进行规划设计和建设时宜充分利用现有资源，避免重复建设。
- 5.2 系统建设宜根据需求开展系统规划、设计等相关前期工作，做好基本资料的收集与分析整理、现场查勘以及布设论证。
- 5.3 系统宜合理配置各项技术指标，以达到系统长期可靠稳定工作的目标。建议优先选用经济实用、可靠、自主可控的硬件及软件手段，鼓励新技术应用，以实现系统内外可靠的互联互通、可信的信息共享、可控的安全维护，同时将对原有被监测设备正常运行的影响降低至可控程度。
- 5.4 系统设计实施前期，建议按步骤做好如下环节的工作：
 - a) 系统规划：系统规划是将系统建设的目标、支持达到目标所必需的部分、提供这些必需部分的软硬件系统，以及这些系统的实施等诸要素集成的系统策划方案。系统规划是系统建设周期中的第一个阶段，也是系统建设的第一步，其质量直接影响系统建设的成败。
 - b) 现场踏勘：在设定系统设计方案前，需要对被监测的输送设备进行现场踏勘，详细了解设备的运行环境、工况、设备周边安全要求、设备相关的附属设施、设备运行/检修历史情况等详细信息。
 - c) 设计输入：设计输入是预定的系统使用要求，包括整个系统的性能和功能，以及它们的展开，是系统建设的依据。根据顾客要求，提出的系统要求以及相关的信息，是系统设计和开发的重要内容。
 - d) 方案确定：系统建设需求方根据前期各环节的要求、多方技术调研情况，对参与系统建设的各方提出的系统设计建设方案进行论证后，确认最终系统的建设方案。方案包括但不限于：技术方案、施工方案、投入预算及建设周期等部分内容。

6 系统结构

6.1 概述

系统结构层级包括信号感知层、数据采集与传输层、数据处理与分析层、应用服务层，如图1所示。信号感知层由各种传感器构成；数据采集与传输层由数据采集器对不同的传感器信号进行采集和预处理，然后通过通信链路将这些转化为统一标准格式的数据，依托行业专用通信网络和公共电信网、互联

网，完成信息的安全传输与控制；数据处理与分析层负责数据预处理、数据库管理、数据挖掘和分析；应用服务层为信息处理、计算、辅助决策产生等提供通用基础设施，并在此基础上设计、开发和实现各种智能应用。

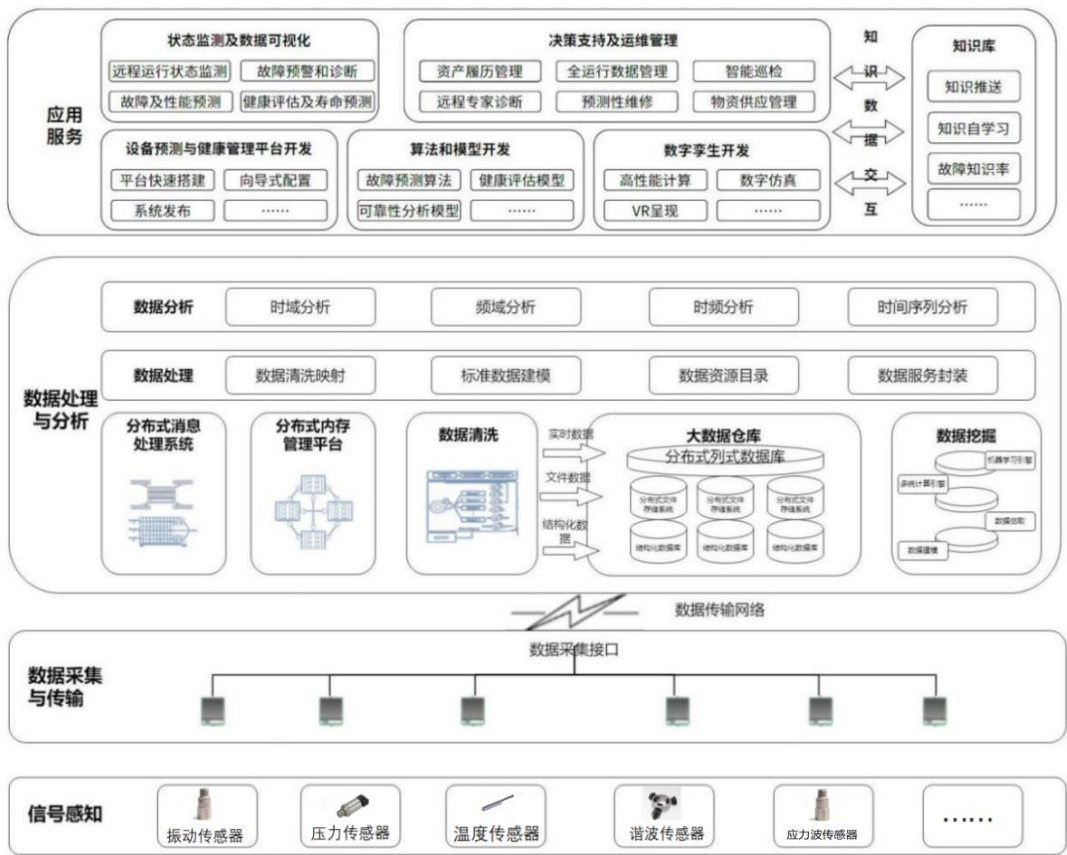


图1 输送设备 PHM 系统结构层级

6.2 信号感知层

安装在被测设备上的各种传感器，主要采集设备运行中对应点位产生的振动、应力波、压力、温度等物理量。

部分新型智能传感器，具备在传感器内部进行数据预处理的功能，将边缘计算与传感器进行高效融合，并通过现场的无线通讯与附近基站进行数据及指令交换。可有效的解决部分应用场景线路敷设不便的问题。无线传感器数据及指令交换宜采用ZigBee（低速短距离传输的无线网上协议）、Lora、蓝牙等通讯协议；传感器和基站若直接向云端进行无线数据传输，可采用NB-IoT、4G/5G等网络制式。

在进行设计选型时，基于被测对象的运行方式、工作环境、物理量测量需求等因素，宜综合考虑如下信号感知方案：

对输送设备构成中的旋转类机械监测，例如电动机、皮带滚筒、齿轮箱等，可根据实际，低速重载/变速变载类的旋转机械，宜选用应力波、声发射等具备优良微弱信号感知能力的技术手段；恒速恒载类的旋转机械，宜选用振动、温度等具备较好的效费比的技术手段。

对输送设备构成中的电气类部件，例如电动机、变压器等，根据实际，可选用电流谐波、超声、声场、电量监测等技术手段。

对输送设备构成中的管道、皮带、链轮等结构件监测，可选用视频图像识别、几何尺寸监测等技术手段。

基于数据建模、数字孪生等应用需求，在系统中可辅助添加压力、温度、流量、转速等过程控制参数同步获取的传感器或数据接口。

6.3 数据采集与传输层

数据采集与传输层的核心包括两部分：一部分是基于具备边缘计算能力的数据采集硬件组成的数据采集器，另一部分是各类通讯转换、数据收发硬件模组及传输介质形成的数据传输通道。

数据采集器（包括输入/输出模块和控制器）将各类传感器的模拟信号进行放大和滤波，再通过对经模数转换后的数字信号进行处理和智能运算，最终将边缘侧的处理数据传输给分析层和应用层。数据采集器可连接多路传感器信号输入，对监测设备进行连续数据采集和集中监测，也可以与现场其它管理控制系统进行协议连接，从其他系统中获取已有的设备状态信号。故障信号的特征提取（如波形、脉冲、均值、方差、峰值、偏度、峭度、裕度等），以及简单的初级诊断功能，都可以在数据采集器中实现。数据采集器对外数据交换传输宜采用工业以太网等协议。

数据传输通道通常应用到的ICT设备有：网关、交换机、路由器、防火墙等，传输介质可选用双绞线、网线、光纤等。数据传输通道具有充足的高速路径来保证网络的高度可靠性，并配置先进的安全技术来保证数据网络的安全性。

数据采集与传输层通过有线或无线网络与互联网的融合，将设备需要整体利用或进一步挖掘的状态信息数据和运行参数数据传输到工厂服务器或公司数据中心，实现设备健康状况信息的集中管理。

本层级需要设置的专用通信网络中的通信设施，如明线、电缆、光缆或微波中继线路等要根据国家法律法规自行建设或向通信部门租用。

6.4 数据处理与分析层

数据处理与分析层主要负责处理数据、分析数据及分析结果的存储和管理，建立数据字典和数据仓库。

数据处理，涉及对收到的各类数据进行分类、汇聚、整理、清洗等环节。

数据分析，是指从数据库的大量数据中揭示出隐含的、先前未知的并有潜在价值的信息的过程，包括但不限于统计分析、信号处理、情报检索、模式识别、专家系统和机器学习等诸多方法来完成。安装于服务器的各类基于算法模型、人工智能的应用软件利用数据挖掘以及深度学习等技术，对海量数据和信息进行分析 and 处理，实现对设备进行故障预测和健康管理。通过查看和趋势化数据采集器所采集的数据，利用故障快速分析软件工具（包括时域趋势分析、统计分析、频谱分析等）可以快速实现对被监测设备的数据分析、故障诊断功能。较为复杂的数据统计分析和人工智能算法可以结合设备机理、企业工艺流程以及其它控制系统（如DCS、PLC）、管理系统（如MES、PLM、ERP）的相关数据进行组合逻辑推理、优化重组和深度挖掘，实现高级诊断分析结果，然后通过人机交互界面向用户展示有价值的核心信息和结论。

数据存储和管理，基于最优方式为系统的多种应用服务提供数据支撑，其数据结构独立于使用它的应用程序，对数据的增、删、改、查由统一软件进行管理和控制。

6.5 应用服务层

应用服务层由各种应用软件和中间件构成，运行于独立的服务器上，提供业务逻辑处理和用户界面展示等功能，需要根据具体的业务需求和用户数量来确定功能和性能要求。应用服务层为系统提供构件化开发运行环境，屏蔽底层硬件、操作系统、数据库的差异，提供高性能、可扩展性、可管理性和可靠性保障，提高应用系统的开发效率，从整体上降低开发、部署、运行和维护的成本。

系统可以根据需要支持多种通信协议功能、VPN和数据透传功能，可通过HTTP、OPC等方式实现与第三方自动化系统和IT系统的相互数据存取，具备兼容数据信息与管理业务的整合与集成能力，以解决不同设备系统的异构问题，以及高效利用各管理部门的信息资源。

系统应用服务宜采用B/S架构，它包含了浏览器、服务器、数据库服务器和应用服务器四个组成部分。对实时数据，浏览器通过页面内嵌的控件，直接与应用服务器通讯；对非实时数据，浏览器可以直接向服务器发出数据查询请求，而应用服务器只需把数据写入数据库即可，不参与客户端获取数据库中的数据这一过程。

操作电脑、移动式终端是人机交互的工具，通过操作电脑可进行控制算法编辑、图形编辑、数据监视、指令下达等操作。服务器从数据采集器接收并存储经处理后的标准信号数据，系统调用这些数据，采用分析软件和人工智能算法对设备进行监测诊断分析。应用层宜构建监测分析和故障诊断、智能运维管理、报警管理等主要显示与控制模块。

系统分析评价设备状态时能根据功能需求来收集设备设计数据、运行数据、检维修数据、离线监测数据、试验数据、历史故障数据等相关数据，监测诊断振动、油液、温度、压力、流量、液位、阀位、油色谱监测、腐蚀监测、性能检测分析评价等参数。显示与控制单元能够实现设备异常时的智能报警，设备故障时实现自动分析，并通过短信，手机应用，邮件等方式自动推送故障分析结论；同时通过智能运维平台，积累设备故障数据，进一步挖掘数据和提升数据价值转化。

7 系统功能

7.1 概述

根据各类场景的应用需求，建议系统具备以下主要功能：

- a) 面向设备的状态、性能数据的传感、采集、存储和传输功能；
- b) 面向设备的故障分析、诊断功能；
- c) 面向设备的多参数状态监测及评估功能；
- d) 面向设备的异常状态管理及提示功能；
- e) 面向设备的故障预测和剩余寿命预计功能；
- f) 面向设备的数据建模及仿真功能；
- g) 基于数据的设备运维方案决策支持功能；
- h) 设备状态数据的管理、交互功能；
- i) 系统自身状态监测及各类权限管理能力。

以上功能可根据系统建设的实际需求，对功能进行增补或者裁剪，以充分满足场景应用需求。

7.2 系统核心功能

7.2.1 数据采集

系统宜具备通过不同的传感器和数据采集器搭配，实现对设备运行参数实时收集的功能。另外，根据系统需求，也可以通过不同的数据输入/输出接口，与其他监测系统实现数据安全可信的数据交互。

7.2.2 数据处理

系统具备通过信号处理、统计分析、人工智能算法等边缘计算完成对传感器信息融合、数据预处理等功能。

7.2.3 数据分析与故障诊断

系统的数据分析与故障诊断功能宜包含以下内容：

- a) 监测诊断分析：基于专有系统的分析工具，实现多数据源的分析评价、结论推送和关联分析；基于大数据平台，充分利用统计关联、深度学习等智能算法，对多种数据源进行价值挖掘和再利用。
- b) 相似工况统计分析：对每一类设备对象的工况模型进行关联统计分析，在设备发生异常时，可实时调取历史相似工况数据、处理措施、处理效果等进行统计类比分析，为设备运维决策提供参考。查询特定设备或同类设备在特定参数条件下的相似工况，并按照工况相似度排序。
- c) 自动诊断预警：基于多类型的源数据和专有监测系统中间数据，部署智能诊断与分析评价模型，实现设备异常状态的自诊断分析预警。
- d) 远程专家会诊：会诊专家通过可信共享故障设备的数据资源，形成精准诊断结论，提高对设备突发事件、设备异常的故障诊断和故障预知水平，系统可对远程会诊故障诊断结论自动存档管理。
- e) 故障模型管理：对建模工具建立的典型故障的预测模型进行常规的维护和管理，还包括运用预测模型进行故障预测的触发机制及相关约束条件的设置，以增强故障模型的准确性和适应性。
- f) 专家知识库：整合行业专家资源，围绕各类型输送设备建立专家知识库，既可以在分析评价设备状态时参考，同时也可支撑各类设备的智能运维策略制定。
- g) 实时工况评估：对机组设备实时运行数据进行监测，将实时工况与工况库中的典型历史工况进行相似匹配，通过相似的典型指标(安全等级，经济等级)对设备的状态进行评估。

- h) 设备性能评估：依据当前设备运行状态相关的所有数据，进行设备性能综合评估，给出设备性能综合评估状态以及状态变化趋势。

7.2.4 异常报警管理

系统可实现对各专有监测系统的报警收集、汇总、展示、处理等系列工作流程：建立一个完整的报警处理流程，即从报警的产生、统计分析、解决措施以及审批闭环的全过程处理。报警确认通过确认流程完成，确认流程和人员权限均可配置。重要报警需经过不同权限的审批方可完成闭环。系统同时支持组合报警功能，即将多个报警进行逻辑组合计算，组合计算后的报警指标与其他指标进行统一管理。

系统可对报警数据进行统计，并通过不同的报警方式通知相关人员，通知方式可包括实时监测数据颜色变化、页面数据颜色变化、页面弹窗提醒、短信、手机应用、邮件、大屏显示等一种或多种方式组合实现。

根据报警的多样性和复杂性，系统可对各种报警信息进行分组、分级并说明详细的报警分级原则，对不同级别的报警进行报警策略的配置，使管理人员能够更加高效地分析处理各类报警信息。

7.2.5 运维管理

系统的运维管理功能宜包括以下内容：

- a) 标准数据管理：以资产编码体系为基础，建立合理的设备结构管理体系；以现场的实际应用为出发点，建立适应业务的故障分类、编码、实现多种方式的应用展示。
- b) 基础数据管理：以设备台账为主数据，实现整体平台的数据引用，保证基础数据的唯一性，实现标准数据的统一管控；针对设定范围内的业务数据可通过授权，实现数据信息的修改；实现人员用户管理及按角色的分级授权管理，针对敏感的数据，必须可以实现有效的把控，实现多种可选的图形报表，用户可以根据需要自行调整显示模式。
- c) 资产档案管理：对不同类别的设备分菜单建立设备的管理窗口，建立多种设备标签，实现多维度管理、统计、查询；在设备的台账窗口可快速实现调整、修订和确认。
- d) 运行管理：实现关键设备、特种设备的检定管理，设计合适的检定管理系统体系，并考虑与现场地方检定管理机构之间数据的交互；实现对设备开停机管理、状态监测、检测管理等系统数据的汇总；实现设备的状态报警管理。
- e) 维修管理：主要包括维护维修管理、故障集管理、维修配件管理、巡检系统串接（主要指故障提报）、预算管理、预防性计划管理、外委管理、承包商考核管理、合同台账管理、工作策划下达等。
- f) 专业管理：包括密封管理、设备润滑管理、特种设备管理、计量管理、仪表管理、电气管理、保冷或保温管理、腐蚀测厚管理、循环水管理、化验设备管理等，建立专业设备的管理体系。
- g) 综合管理：建立图纸、文档管理，实现图纸与文档的电子化管理，并根据图纸的密级设定绑定的访问权限；所有类型设备的资料数据应储存在一个统一的平台上，保存完整、共享资源，以便于专业评估，跟踪需整改项目，同时方便查询。
- h) 报表管理：具备大量的实用报表，可以根据现场的实际应用来开发应用报表。
- i) 决策建议：包括运行决策、维修决策、备件决策、报废决策等子功能模块。其中，运行决策包括润滑管理策略、运行状态评估和统计剩余寿命预测等功能；维修决策包括维修策略制定、维修任务优化、维修网络控制图和维修质量保障体系等功能；备件决策模块包括备件库存优化等功能。
- j) 关键绩效指标评估：对设备的运行与管理进行科学的评估。
- k) 管理者层级监控管理：给管理者提供合理、直观的数据视图，可对指标预先定义阈值，预警通过预警管理模块完成闭环，为管理者决策提供科学的依据。

7.2.6 系统配置

系统配置功能宜包括传感器参数设定和修改、连接数据采集器、读取数据采集器信息、配置数据采集器各类参数；可在就地读取模块信息、设置模块参数；亦可通过接口，从远端平台对各类参数进行配置。

调整、配置各类通讯网络参数，如IP地址、网关等在操作站运行监控程序时可以通过预设的用户名和密码来进行权限控制，包括画面的区分展示和操作、系统配置设定、数据管控等不同的操作权限。

7.2.7 数据建模与仿真

建议系统具备多学科专业系统建模所需的图形化建模功能，能够实现一维机械、机电、传动、三维多体动力学和液压/气动等物理领域的系统建模，不同专业领域的模块之间可以直接进行连接。模型及仿真能按预期给出结果，符合实际要求。模型具备重用性，开发的模型或模型库具备较高多系统适配能力，应能够被多个功能领域的系统建模仿真任务使用。模型具备可交互性，能具备模型交换、联合仿真的要求。模型具备较高的可利用性，能方便注入故障，进行各种故障场景的模拟仿真及可预测故障所带来的影响。

8 系统性能

8.1 系统基础性能

系统的基础性能包括数据采集精度、异常情况实时响应速度、系统整体的稳定性、可靠性、抗干扰性能、环境适应性、可扩展性、能耗效率、用户友好性、数据管理和通信等。这些指标共同确保系统高效、可靠运行，对上述性能指标的量化确认，建议要与所监测的输送设备实际运行工况密切结合，以有效满足对输送设备故障预测与健康管理的需要。相关要求可参考GB/T 18271.1-2017。

8.2 系统安全性能

系统的安全性包括以下两方面：

- a) 系统本身在运行过程中，对操作、检修人员以及关联设备的安全保障性能，如采集装置的绝缘、耐压、防护、电气安全性保护，对危险环境本安防爆安全性指标的满足。建议在确认相关安全性指标时，要与所监测的输送设备实际运行工况密切结合，以有效满足输送设备 PHM 的需求。相关要求可参考 GB/T 3836.1-2021、GB/T 4208-2017 和 GB/T 4208-2017/XG1-2024。
- b) 系统在网络、应用程序、用户和数据安全等层面的安全措施，结合国家及行业等政策法规要求，开展数据分类分级管理工作，对数据收集、存储、使用、加工、传输、公开等环节进行安全防护。建议合理划分系统安全区域，部署工业防火墙、工业网闸等设备实现区域间的隔离防护，并遵循最小权限原则实施严格的访问控制措施，对网间行为进行安全审计，对无线网络和远程访问、远程运维过程加强身份认证管理。相关要求可参考 GB/T 22239-2019。

9 系统现场安装与调试、试运行、验收及交付

9.1 系统安装与调试

9.1.1 系统安装与调试前建议做好如下准备工作：

- a) 系统按设计及采购清单进行物项数量和品质的初验，系统关键部件具备必要的质量检验证明文件，符合系统设计规格书的要求；
- b) 预先制定系统设备安装调试计划，包括人员分组、安装顺序以及站码等信息分配、安装与调试技术细则等。同时，各类安装施工方案需要全面满足现场安全作业要求，施工操作人员应满足现场安全作业的各类资质及培训要求；
- c) 采用公共通信资源组网的系统，建议提前开通相关信息网络服务业务；
- d) 系统设备可进行参数的预设及组网联调；

9.1.2 系统的安装与调试包括如下主要环节：

- a) 建议系统安装与调试全过程做好安装调试记录，包括影像资料等；
- b) 系统设备的定置定位与固定、系统设备与土建设施的衔接；严格按产品说明书和设计技术文档进行设备安装；对于需现场处理的安装工艺，如焊接、机械固定等，严格执行工艺要求，并进行必要的检验或测试；
- c) 系统设备间的连接线缆敷设，各类线缆的走线线路和安装方式需充分考虑避免机械损伤、防水防潮、防电磁干扰、动物啃咬、防偷盗等因素。线缆具有必要的护套等保护措施。设备连接涉及室内外互联时，配置有防水措施；

- d) 传感器、数采装置通电测试，对基本参数进行配置与测试、设备之间连接测试、数采系统整体模拟运行，通过模拟运行，修正存在的不足；
- e) 应用层软件，包括服务器、工作站以及网络设备与各类系统软件、数据库软件、应用软件等的安装与调试、主要功能测试，并完成对系统管理等参数的配置；
- f) 传感器、数采装置、网络设备与操作站之间相关功能的联合调试。操作站服务器等设备安装调试完成后，通过系统联调，完成系统整体衔接和配合测试。按系统设计的要求，配置和设定各项参数进行系统功能联合测试，检测系统主要功能和指标，以达到预期结果。系统联调完成后，进入系统试运行考核。

9.2 系统试运行

系统安装调试完成后，根据系统的复杂性，建议设定1个月~6个月的试运行期。试运行期间主要进行采集数据与存储数据的比测、解决系统运行中出现的问题、操作站软件功能的优化与完善以及技术培训等。在系统试运行阶段，需对系统主要设备（硬件和软件）性能、功能等进行全面测试，对系统主要指标进行考核。测试与考核结果形成报告，作为系统验收文件之一。

9.3 系统验收与交付

系统竣工后由建设单位组织各验收成员按验收方案进行工程验收，验收不合格不建议投入使用。系统验收时，施工单位需提供下列资料：

- a) 竣工验收申请报告、设计文件、竣工资料；
- b) 系统试运行确认报告；
- c) 系统应用人员培训考核记录。

附 录 A (资料性) PHM 典型应用场景

A.1 采矿业应用

在金属矿石、非金属矿石、燃料矿石、工业矿石和稀土矿石等开采中，大量采用皮带式输送机、斗式升送机、螺旋式输送机、刮板式输送机、起重机等设备。其中带式输送机用于水平输送和倾斜输送，由皮带、机架、驱动装置、制动装置、张紧装置、改向装置、清扫装置、落料装置、卸料装置、辅助安全装置等部件组成，其中驱动装置主要由电动机和减速机组成，包括电动机、液力耦合器、减速器、联轴器、驱动滚筒、抱闸、逆止器等重要部件。斗式升送机用于垂直输送和倾斜输送，由带（或钢索、链条）、鼓轮、电动机、传动装置和装料、卸料装置组成。螺旋式输送机用于需要密闭运输的物料，利用螺旋旋转来推动物料前进，主要由等距螺旋、机壳（料槽）、进出料口、电动机、传动设备（轴、轴承）等组成。刮板式输送机采用连续的传动链回路，并配备匀称隔开的横向构件，更适合水平或倾斜的缓速输送。起重机的类型很多，通常分为单纯的垂直升降和伴有水平移动的两大类，用于不均衡的物料运送，是间歇工作的设备。采矿业物料复杂多样，气候环境恶劣，设备运行距离长，PHM对保障输送设备及其关键部件的安全可靠运行起着非常重要的作用。

A.2 制造业应用

在制造业生产中，带式输送机、斗式提升机螺旋输送机、链斗输送机、斗式提升机、起重机等输送设备应用非常广泛。特别是大型冶金、发电、化工、水泥企业用于输送矿石、煤炭、钢铁、化学品等物料，设备种类繁多，运输距离较长。水泥企业还采用气力输送机（基于气力传动的水泥输送设备，包括真空输送机、压力输送机及混合输送机）、空气输送斜槽（以高压离心风机为动力源，利用空气使固体颗粒在流态化状态下流动的输送设备，用于水泥、生料等易流态化的粉状物料输送）、泵式输送机（通过泵将水泥砂浆输送到需要的地方）。工厂里普遍使用的行车，或吊车、航车、天车等，都是对起重机的俗称。行车驱动方式基本有两类：一类是集中驱动，即用一台电动机带动长传动轴驱动两边的主动车轮；另一类是分别驱动，即两边的主动车轮各用一台电动机驱动。中、小型桥式起重机多采用电动机、减速器和制动器组合成一体“三合一”驱动方式，大型桥式起重机为便于安装和调整，驱动装置常采用万向联轴器。在制造业领域，有一些用于物料传送的专用设备也属于输送设备，如钢铁企业的干熄焦提升机、槽下皮带机、步进式加热炉、连铸机、连轧机、定径机、脱管机、钢包回转台等生产设备。钢包回转台由液压驱动，执行钢包升降、回转两个动作，附加钢包盖升降、圆盘制动等动作，由底座、回转臂、驱动装置、回转支撑、驱动控制系统、润滑系统和锚固件等几大部分组成，是钢铁生产的重要设备，环境高温、动作频繁，承受重载、偏载和冲击，一旦产生故障将造成重大损失，因此故障预测和健康管理发挥着至关重要的作用。汽车、电子、食品、医药、烟草等企业，为提高自动化水平，以及数字化、智能化管控，在仓储、组装、测试、包装的生产过程中也大量应用物料输送设备。

A.3 物流应用

物流产业包括运输、仓储、装卸、搬运、包装、流通加工、配送、信息平台等。其中运输又包括铁路、公路、水运、航空、管道五种资源。这些资源产业化就形成了运输业、仓储业、装卸业、包装业、加工配送业、物流信息业等等。在物流领域，输送设备被大量应用于货物的输送和搬运，以提高物流效率。例如在港口中，输送设备用来输送包括钢材、集装箱等各种货物，实现快速装卸。作为使用广泛的一种通用连续运输机械，皮带输送机在大型港口，还应用于装船机、卸船机、堆取料机等连续运输移动机械上。在仓储领域中，输送设备用来实现仓库内部的货物流动和分配。在快递物流领域，物流输送系统、智能分拣系统、智能立体仓储系统也采用了大量输送设备。

A.4 游乐设施

很多游乐设施也属于输送设备的范畴。现代游乐设施种类繁多，运动形式多样，结构规格悬殊，依据运动特点可分为以下几个大类：转马类、转轮类、陀螺类、飞行塔类、赛车类、自控飞机类、观览车类、小火车类、架空游览车类、水上游乐设施、碰碰车类、电池车等。如摩天轮，是观览车类超大型游

艺设备，机体庞大、结构复杂，其驱动装置有电动机驱动和液压马达驱动两种形式。现在建造的摩天轮多采用液压驱动系统，液压马达将液压泵提供的液体压力能转变为其输出轴的机械能（转矩和转速）。驱动单元包括液压马达和多个主动齿轮、从动齿轮、转轴、滚轮、螺母、隔套、减速机构。区别于对物料的输送，游乐设施的输送对象是人，人命关天，因此游乐设施的PHM对保障人的生命安全更显得至关重要。

A.5 其它领域

输送设备还在农业生产、粮食加工、市政工程等领域应用。如在大型粮库、面粉厂的卸车、补仓、出仓、翻仓、倒垛，以及粮食加工、酒类酿造、饲料加工等行业对粉状、颗粒状和小块物料进行散装、散运、散卸，需要应用真空气力吸粮机、负压气力输送机、粮食输送机械。泵式输送设备在建筑行业普遍应用，按结构形式分为活塞式、挤压式、水压隔膜式。混凝土输送机由泵体和输送管组成，利用压力将混凝土沿管道连续输送。泵体装在汽车底盘上，就组成泵车。

A.6 流体输送设备

流体是能流动的物质，是液体和气体的总称。在工业生产和市政工程中，常需把流体从一处送到另一处，有时还需提高流体的压强或将设备造成真空环境，这就需采用为流体提供能量的输送设备。为液体提供能量的输送设备称为泵；为气体提供能量的输送设备称为风机。

泵的种类按照工作原理的不同，分为离心泵、往复泵、旋转泵与旋涡泵等几种。其中，离心泵应用最为广泛。离心泵由两部分构成：一是包括叶轮和泵轴的旋转部件；二是由泵壳、填料函和轴承组成的静止部件。

风机是对气体压缩和气体输送机械的习惯简称，包括通风机、鼓风机、风力发电机。按照轴承技术分类，可分为一般机械轴承式鼓风机、磁悬浮鼓风机、气悬浮轴承鼓风机。风机主要由电机、空气过滤器、鼓风机本体、空气室、底座（兼油箱）、滴油嘴六部分组成。

泵和风机都是工厂最常用的通用设备，特别是化工生产中被输送的流体多种多样，且在操作条件、输送量方面也有较大的差别，所用的输送设备必须能满足生产上不同的要求。化工生产又多为连续过程，如果过程骤然中断，可能会导致严重事故，因此要求输送设备在操作上安全可靠。PHM无论在装置安全运行，还是在紧急停车中都起着重要保障作用。