王国营, 李晓金, 徐瑛琦. 机器人和智能装备运维平台的设计与应用[J]. 智能计算机与应用,2026,16(8):52-60. DOI:10.20169/j. issn. 2095-2163. 24123103

# 机器人和智能装备运维平台的设计与应用

王国营[1], 李晓金[2], 徐瑛琦[3]
(1 石家庄钢铁有限责任公司, 石家庄 050033; 2 雄安威赛博智能科技有限公司, 河北 雄安 070001,;
3 河钢数字技术股份有限公司, 石家庄 050035)

**摘 要:** 随着工业自动化的快速发展,机器人和智能装备在工业制造、能源、物流等领域发挥着日益重要的作用。高效、安全的设备运维对企业的生产运营至关重要。传统的运维模式已难以满足现代化需求,而基于物联网、大数据、人工智能等技术的智能运维平台正逐步成为主流。本文探讨了机器人和智能装备运维平台的架构、技术实现、应用案例及效益提升,并展望了未来的发展趋势。

**关键词:** 机器人; 智能装备; 智能运维平台; 故障预测; 云边协同
**中图分类号:** TP242.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-2163(2026)08-0052-09

# Design and application of the robot and intelligent equipment operation and maintenance platform

WANG Guoying[1], LI Xiaojin[2], XU Yingqi[3]
(1 Shijiazhuang Iron and Steel Co., Ltd., Shijiazhuang 050033, China;
2 Xiong′an Weshyper Intelligence Technology Co., Ltd., Xiong′an 070001, Hebei, China;
3 HBIS Digital Technology Co., Ltd., Shijiazhuang 050035, China)

**Abstract:** With the rapid development of industrial automation, robots and intelligent equipment are playing an increasingly important role in industrial manufacturing, energy, logistics and other fields. Efficient and safe equipment operation and maintenance is of great importance to the production and operation of enterprises. The traditional operation and maintenance mode has been difficult to meet the needs of modernization, and the intelligent operation and maintenance platform based on the Internet of Things, big data, artificial intelligence and other technologies is gradually becoming the mainstream. This paper discusses the architecture, technology implementation, application cases and benefit improvement of the robot and intelligent equipment operation and maintenance platform, and prospects the future development trend.

**Key words:** robot; intelligent equipment; intelligent operation and maintenance platform; fault prediction; cloud-edge collaboration

## 0 引 言

随着工业领域数字化转型加速,机器人和智能装备已成为生产流程中的核心组件[1]。然而,传统的设备运维模式仍然依赖人工巡检和事后维修,难以及时识别潜在故障,导致设备停机和生产损失[2]。为了应对这一问题,智能运维平台应运而生,通过融合物联网、云计算、大数据和人工智能技术,可以实现对设备的实时监控、故障预测和远程维护[3]。

然而,现有的智能运维平台仍存在故障预测准确率不足、故障响应时间较长的问题。基于此,本文提出了一种创新性的智能运维平台,该平台融合了设备预测性维护框架与自适应学习算法,并通过多层次数据融合与云边协同进一步优化平台的实时性和准确性。最后,基于实际设备的数据进行实验验证,结果表明所提平台在多个应用场景下具备显著优势,可有效提升设备健康预测准确率、缩短故障响应时间并降低运维成本,平台技术路径如图 1 所示。

**基金项目:** 2023 年工信部工业互联网创新发展工程(ZTZB-23-990-020)。
**作者简介:** 王国营(1971—),男,学士。主要研究方向:互联网信息。
**通信作者:** 李晓金(1994—),男,学士。主要研究方向:物联网,人工智能。Email:lixiaojin@ hbisco. com。
**收稿日期:** 2024-12-31

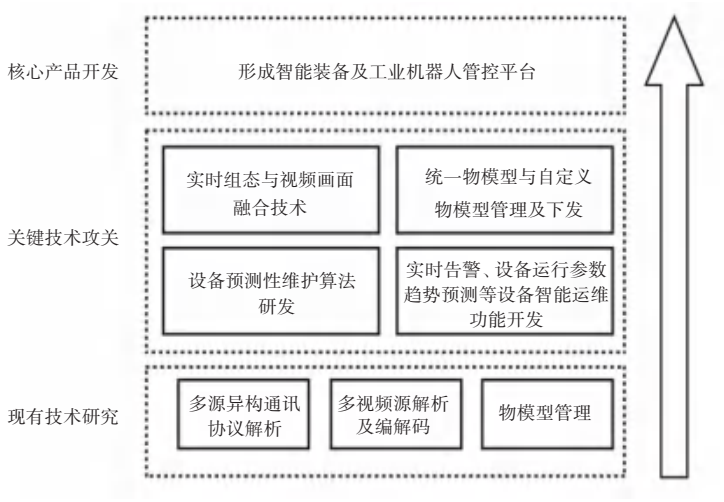



**图 1　机器人和智能装备运维管控平台实现路径**

**Fig. 1　Implementation path of robots and intelligent equipment operation and maintenance platform**

## 1　平台总体架构设计

### 1.1　平台架构

根据机器人和智能装备运维平台业务和数据使用情况，平台主要分为 7 个模块，如图 2 所示。

各模块功能如下：(1) 首页：通过三维地图整体展示机器人和智能装备的运行数据、设备状态数据及巡检数据；(2) 数据可视化：综合展示设备整体数据情况以及局部重点数据；(3) 设备状态监测：通过物模型实时展示物理设备的数据变化；(4) 设备健康管理：判定接入设备当前的健康状态；(5) 运维信息管理：高效展示整体运维业务数据，包括设备基础信息、缺陷故障信息、维修维护信息等；(6) 大数据推送；(7) 系统管理：对系统模型块等的管理[4]。

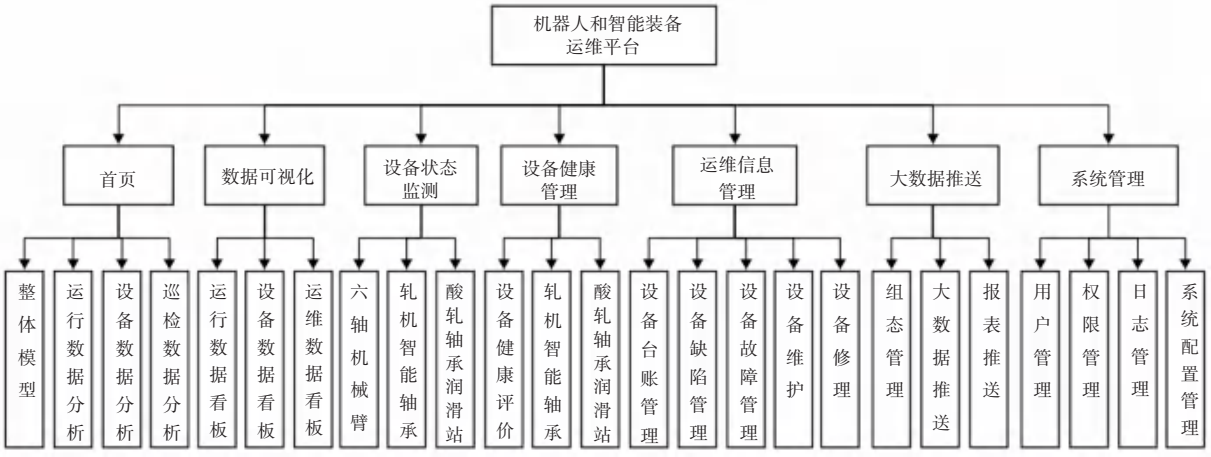



**图 2　机器人与智能运维平台结构示意图**

**Fig. 2　Schematic diagram of operation and maintenance platform for robots and intelligent equipment**

### 1.2　业务架构图

智能装备运维平台的功能架构如图 3 所示，分为“端、边、云”三层结构，覆盖设备数据采集、边缘服务处理以及云端数据融合与分析[5]。端层主要包括现场智能装备，如自动巡检机器人、天车机器人等，用于采集设备状态数据和执行任务；边层集成边缘服务终端，实现数据协议解析、数据存储与初步处理，支持实时报警与规则引擎应用；云层负责数据的集中管理与高级分析，包括报警规则配置、知识库管理、远程诊断、资源协同以及工业应用服务模块。平台通过云边协同、数据上下行机制，支持从设备接入到工单管理的全流程智能化运维，为不同工业场景提供高效解决方案，同时实现可视化监控与预测性维护。

### 1.3　系统数据架构图

机器人和智能装备运维平台的数据架构由数据采集层、统一数据接口、ELT(提取、加载、清洗与转换)层、数据存储管理层、标准可扩展的数据服务、应用层(设备状态监测、运维服务管理、智能运维管理)、运维服务 API 和统一门户构成，如图 4 所示。

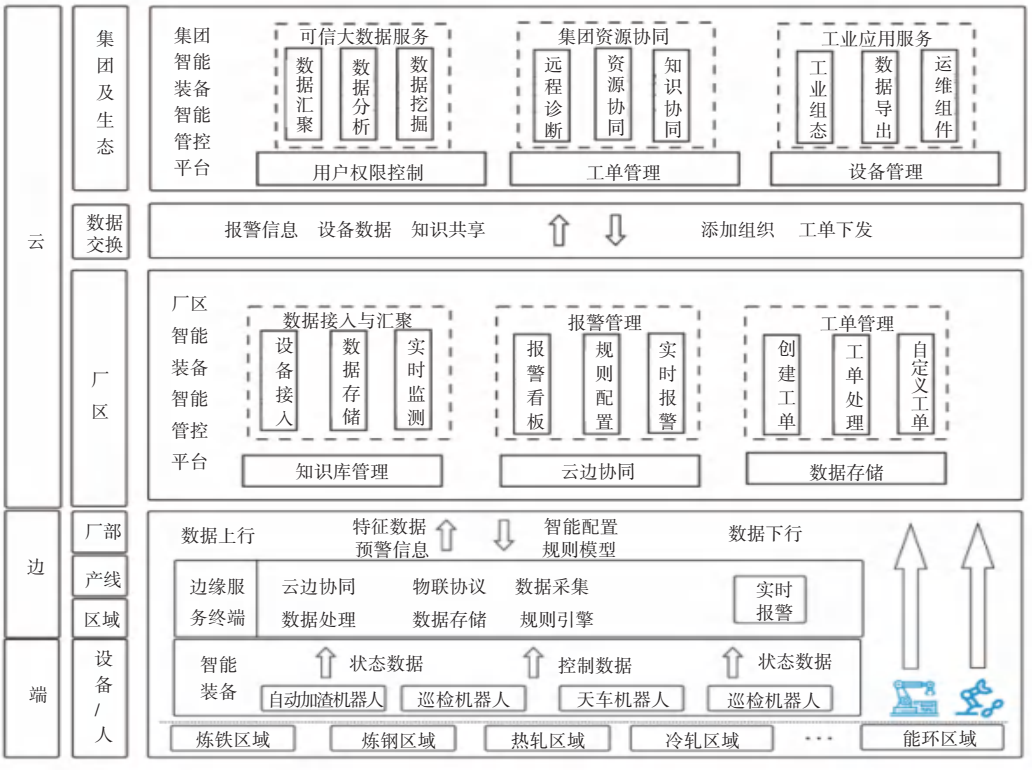



**图 3 机器人与智能运维平台业务架构图**

**Fig. 3 Business architecture diagram of intelligent operation and maintenance platform**

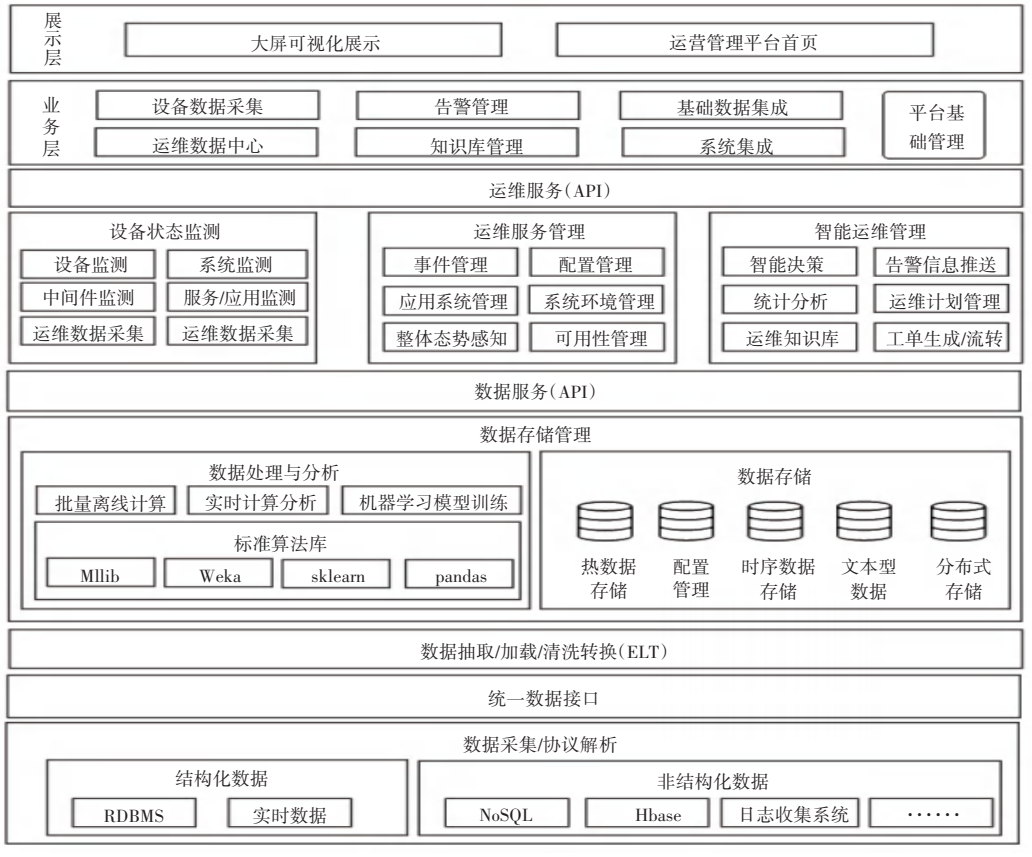



**图 4 系统数据结构图**

**Fig. 4 System data structure diagram**

设备信息由传感器或设备本身进行上报，并通过网关进行协议解析，数据由数据采集层完成初步汇总；统一数据接口层提供外部设备与平台的标准化接入服务；ELT 层负责数据的提取、加载、清洗和转换，确保数据的质量与一致性；数据湖存储管理层是平台的数据中心，统一存储采集的所有数据，包括原始数据和转换后的结构化数据，为后续分析提供全面支持；数据服务 API 提供标准化的接口，为外部系统或模块提供统一的数据支持；应用层执行关键任务，包括设备运行监控、报警集中管理、状态检测、故障诊断、故障预测和实时信息推送等功能；运维服务 API 响应终端设备或管理系统的服务请求，实现与平台的互联互通；统一门户作为人机交互的核心界面，支持操作人员与各应用模块间的交互，提供直观的可视化监控与管理功能。

## 2　关键技术

### 2.1　云边协同多平台数据同步

本系统采用了一种基于云边协同的多平台数据同步方法。其特点在于将云端平台的时序数据、业务数据、状态数据同步到边端平台，云端平台进行统一管理和协同维护，保证数据一致性[6-8]。

针对多个边端平台的功能模块配置数据和业务数据，本方法采用实时同步的方式接入到云端平台：具体而言，根据实际业务与功能需求，将边端平台管理的功能配置数据、图片文件同步到云端平台，达到一次管理，两端一致的效果。为解决同步可能失败的情况发生，本方法在边端的每条业务数据中预留数据同步状态字段，具体实现流程如图 5 所示。当边端完成功能配置或业务数据更新时，调用边端管理接口，同时边端的后台接口要调用与之对应的云端同步接口，通过云端接口调用的响应结果，来更新边端记录的数据同步状态，当数据同步失败时，边端预留同步功能按钮，可对同步失败的数据执行二次同步[9-10]。

此外，针对边端对云端平台接口的调用请求，云端设计了专用的接口权限认证机制，要求调用必须传输指定认证参数，云端接口通过解析认证参数识别接口调用的合法性，同时解析调用接口的边端组织信息，最终将接入的业务数据归并存储至云端对应的组织节点下。

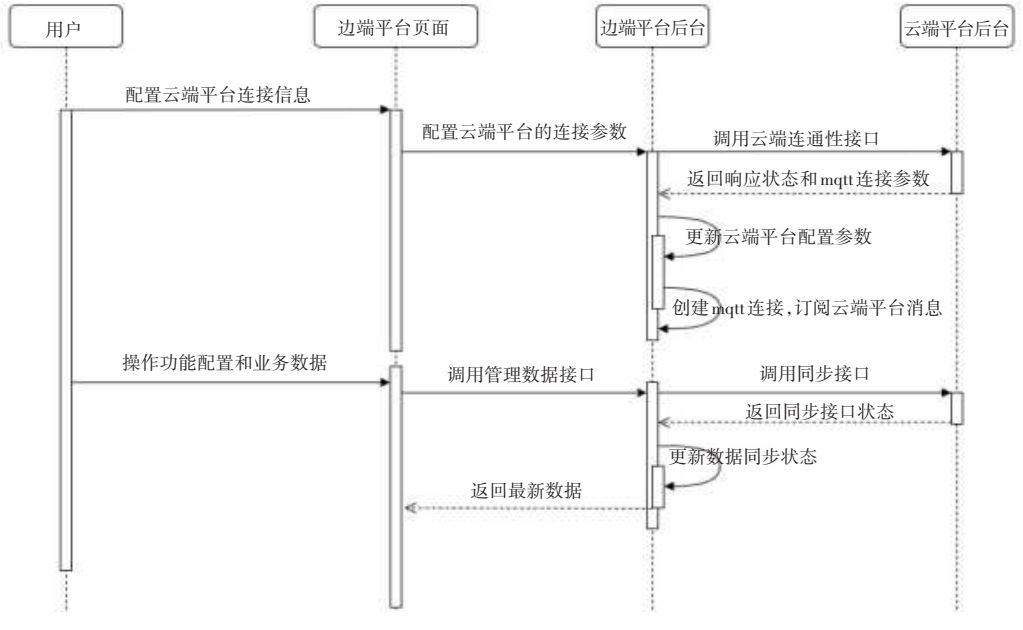



**图 5　业务数据同步接口调用顺序图**

**Fig. 5　Business data synchronization interface call sequence diagram**

### 2.2　智能装备及机器人协议解析技术

在智能装备与机器人平台中，协议解析是实现多设备互联互通的关键技术。由于不同设备通常采用各自独立的通信协议，如 Modbus、MQTT、CAN 等，数据格式和传输逻辑存在显著差异。协议解析模块通过对设备传输的数据进行格式识别、解码、校验和标准化转换，实现多源数据的统一管理，为后续的数据处理、分析和应用提供了可靠的支撑[11]。

协议解析的核心在于对多种工业通信协议的兼容性处理。其实现过程分为以下几部分：

(1) 协议识别

协议解析模块首先对收到的数据包进行协议类

型的识别。根据数据包的帧头标志、数据长度、校验方式等特征,自动匹配设备使用的通信协议类型。如:Modbus 协议:帧头以功能码标志,长度固定;MQTT 协议:基于消息主题(Topic)分类;自定义协议:通过模板描述文件匹配字段特征。

协议识别过程通过特征规则匹配算法实现:

$$P_{\text{match}} = \text{argmax}_{P \in \mathbb{P}}(S(P,F)) \quad (1)$$

其中,$\mathbb{P}$ 表示全部预测通信协议模板集合;$P$ 表示集合内任意单个协议模板;$F$ 为数据帧;$S(P,F)$ 为匹配度得分函数。

(2)数据帧解析

协议解析模块根据协议的具体格式,解析数据帧中的有效字段,并将其转换为结构化数据格式。以 Modbus 协议为例,数据帧解析的过程包括:

功能码解析:识别功能码,确定操作类型(如读/写寄存器)。

寄存器地址解析:提取数据对应的设备寄存器地址。

数据字段提取:解码实际数据值,如温度、压力等。

以数据帧 $F=[H,D,C]F=[H,\ D,\ C]$ 为例,$H$ 为帧头,$D$ 为数据字段,$C$ 为校验码。帧解析公式为:

$$D = \{d_1, d_2, \cdots, d_n\}, d_i = \text{decode}(F,i) \quad (2)$$

其中,$d_i$ 为数据字段,decode 为字段解码函数。

(3)校验与完整性验证

为确保数据传输的完整性,协议解析模块对接收的数据帧进行校验。常见的校验方法包括循环冗余校验(CRC)和校验和。

CRC 校验:

$$C = R(X) \bmod G(X) \quad (3)$$

其中,$R(X)$ 表示数据帧的多项式表示,$G(X)$ 为校验多项式。若校验失败,解析模块丢弃数据帧并记录异常日志。

(4)数据标准化转换

解析后的数据被统一转换为平台支持的标准格式(如 JSON 或 Protobuf),以便上层应用使用。例如,解析后的数据可表示为:

```
1. {
2.    "Temperature": 25.3,
3.    "Pressure": 101.2,
4.    "Status": "Normal"
5. }
```

综上,协议解析的实现流程可以分为以下 5 个阶段:

(1)数据接收:设备通过接口(如以太网、串口或无线通信)发送数据包,协议解析模块接收并存储到缓冲区。

(2)协议识别:根据数据包特征(如帧头、数据长度、校验码)识别其协议类型。

(3)数据解析:按照协议格式解析数据帧,提取关键字段。

(4)校验与格式转换:对数据进行完整性校验,并将其转换为标准化格式。

(5)数据发布:通过统一数据接口将解析后的数据发布到平台应用层,支持实时监控、报警和历史数据分析。

本系统创新地采用了模板化解析机制和边缘解析能力模板化解析机制。协议解析模块采用模板描述语言(TDL)定义数据帧格式,支持动态加载与更新,适配不同设备。在边缘设备部署轻量级协议解析模块,完成本地数据预处理与校验,减少数据传输延迟。

### 2.3 故障预测与智能预警

通过 AI 算法,平台能够实时分析设备的运行数据,发现异常并提前预警。当设备运行参数超出正常范围时,系统会触发报警,并建议采取相应的维护措施。故障预测功能不仅提高了设备的运维效率,还有效减少了突发故障的发生。

#### 2.3.1 故障预测

(1)数据采集与预处理

数据采集源于机器人和智能装备上的多种传感器,涵盖温度传感器、压力传感器、振动传感器、电流传感器等,以及设备运行状态相关信号,如电机转速、设备开关状态等(如图 3 中工业机器人/智能装备部分所示,各类传感器采集数据后通过边缘网关传输)。数据采集频率依据设备特性和关键程度设定,旨在精准捕捉设备运行状态变化。如,对于关键设备的核心部件,采集频率可能高达每秒数次,而对于非关键部件或运行相对稳定的设备,采集频率可适当降低。

预处理环节包括数据清洗、异常值处理和数据归一化。数据清洗采用滤波算法去除噪声数据,依据数据合理性规则(如温度传感器读数在合理物理范围内)识别并修正,或剔除错误和重复数据。异常值处理运用统计方法,如计算数据的均值和标准差,将超出一定倍数标准差范围的数据视为异常值进行处理。数据归一化采用最小-最大归一化公式:

$$x_{\text{normalized}} = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \tag{4}$$

其中，$x$ 为原始数据，$x_{\min}$、$x_{\max}$ 分别为该数据的最小值和最大值，确保数据适用于后续模型处理。

(2)特征工程

特征工程的核心目标是从原始数据中提取能反映设备运行状态与潜在故障的代表性特征。对于振动数据，时域特征如均值 $\mu = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i$（$x_i$ 为振动数据样本，$N$ 为样本数量）、方差 $\sigma^2 = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \mu)^2$、均方根 $\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i^2}$、峭度 $K = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{x_i - \mu}{\sigma}\right)^4$ 等，频域特征如频谱峰值（通过傅里叶变换获取频谱后确定）、频率重心 $FC = \sum_{i=1}^{N} f_i P(f_i) \Big/ \sum_{i=1}^{N} P(f_i)$（$f_i$ 为频率，$P(f_i)$ 为对应频率的功率谱密度）等。温度数据除均值和方差外，考虑温度变化率 $\Delta T/\Delta t$（$\Delta T$ 为温度变化量，$\Delta t$ 为时间间隔）等特征。借助相关性分析、主成分分析等特征选择算法筛选关键特征，降低数据维度，提升模型训练与预测效果。

(3)故障预测模型构建与训练

本系统融合多种机器学习与深度学习算法构建故障预测模型。深度学习算法中，卷积神经网络（CNN）利用卷积层自动提取图像类数据（如设备表面图像、振动频谱图像）特征，循环神经网络（RNN）及其变体长短期记忆网络（LSTM）和门控循环单元（GRU）处理时间序列数据。传统机器学习算法如支持向量机（SVM）、决策树、随机森林等也发挥作用。根据设备数据特性与故障类型进行算法选择或组合。

模型训练基于大量历史数据，包含设备正常与故障两类运行数据样本，将数据集划分为训练集（70%数据）、验证集（15%数据）和测试集（15%数据）。训练集用于模型参数学习，选取均方误差作为损失函数：

$$\text{MSE} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(y_i - \hat{y}_i)^2 \tag{5}$$

其中，$y_i$ 为真实值，$\hat{y}_i$ 为预测值。

采用梯度下降、Adam 等优化算法调整模型参数，使模型准确预测故障。验证集用于调整超参数（如 CNN 的卷积核大小、LSTM 的隐藏层数量等），防止过拟合。测试集评估模型性能，通过准确率（$\text{Accuracy} = \frac{\text{TP}+\text{TN}}{\text{TP}+\text{TN}+\text{FP}+\text{FN}}$，TP 为真阳性，TN 为真阴性，FP 为假阳性，FN 为假阴性）、召回率（$\text{Recall} = \frac{\text{TP}}{\text{FP}+\text{FN}}$）、均方根误差等指标衡量模型优劣，不断优化模型。

(4)模型评估与优化

在测试集上采用适配的评估指标对模型性能进行量化评估。依据评估结果优化模型，如调整模型结构（增减网络层、神经元数量）、修改超参数（学习率、正则化参数等），或采用集成学习方法（如投票法、加权平均法等融合多个模型预测结果），提高模型预测准确性与泛化能力。

2.3.2　智能预警

(1)实时监测与数据传输

搭建实时数据监测系统，确保机器人和智能装备运行数据实时传输至后台管理系统（如图 6 所示，数据经边缘网关处理后通过协议转换、数据转发等环节传输）。采用高效的 MQTT 协议，保证数据传输及时性与可靠性。该协议基于发布/订阅模式，设备作为发布者，将数据发布到特定主题，后台管理系统作为订阅者接收数据，即使网络条件不佳，也能通过消息队列机制确保数据不丢失[12-13]。

(2)故障判断与预警触发

后台管理系统接收实时数据后输入故障预测模型分析。当模型预测设备故障概率超预设阈值（如 0.8）时，立即触发预警机制。预警信息包含设备名称、故障类型预测（如电机过热、轴承磨损等）、故障发生概率、预计故障时间（基于模型对设备运行趋势分析估算）及设备位置等，助力运维人员快速定位故障设备与了解情况（如图 6 中故障预警部分流程所示）[14]。

(3)预警方式与通知

系统采用多种预警方式确保运维人员及时接收信息。监控中心的声光报警器发出强烈声光信号吸引注意；向运维人员手机发送短信通知，内容涵盖详细预警信息；后台管理系统界面弹出醒目弹窗警报，直观展示故障信息；同时可通过邮件等方式通知相关人员，确保信息传达全面及时。

(4)智能决策支持与维护建议

系统不仅预警，还依据故障预测结果和设备历史维护数据为运维人员提供决策支持与维护建议。结合设备运行原理与历史故障案例，分析故障可能原因，如电机过热可能因过载、散热不良等因素导

致,提供排查步骤与解决方案。根据设备重要性(如关键生产设备)和故障紧急程度(如预测故障将在短时间内发生且影响生产)自动生成维修工单并分配给合适运维人员,实现故障处理流程自动化与智能化[15]。

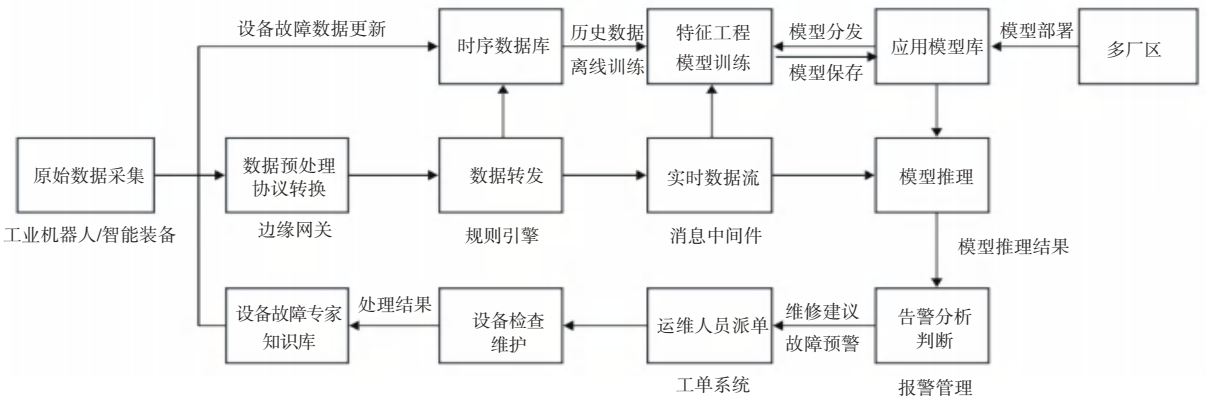



**图 6 故障预测与预警流程**

**Fig. 6 Fault prediction and early warning process**

## 3 平台功能实现及应用

机器人和智能装备运维平台凭借物联网、大数据、人工智能以及云边协同等一系列前沿技术完成系统设计及构建,该平台集成了多项关键功能,包括设备状态在线监测、设备预测性维护、运维信息管理以及运行管理等,全方位保障设备的稳定运行,如图 7 所示[16]。



**图 7 机器人和智能装备运维平台**

**Fig. 7 Robot and intelligent equipment operation and maintenance platform**

在数据管理与传输方面，平台利用其大数据管理与推送模块，实现了外部数据配置与设备状态数据接口信息的获取。通过可灵活定制的规则，能够精准设定数据流转发目的地，并且支持自定义 SQL 转发规则，极大地增强了数据处理的自主性和灵活性。其数据流转功能尤为强大，不仅支持与 Kafka、ROMAMQS 等高性能消息中间件对接，还能与 IoT 数据分析平台等进行数据交互，从而确保海量运维数据流的高效吞吐、持久化存储与水平扩展能力。此外，该平台还支持流式数据处理，为实时数据分析提供了坚实基础，进一步提升了运维效率。

在设备状态监测层面，平台借助各类先进传感器，如高精度温度传感器、灵敏压力传感器、精准振动传感器以及智能电流传感器等先进感知设备，实时采集设备运行状态数据。这些数据在经过边缘计算网关的初步处理后，迅速传输至云端进行深度分析，为运维人员提供设备实时运行状态的全面视图，包括各项关键参数的实时监测、历史数据趋势分析以及潜在故障预警，有效降低设备故障率，延长设备使用寿命[17]。

设备健康管理模块融合深度学习算法（如卷积神经网络和循环神经网络等）以及传统机器学习模型，对设备运行数据进行深度挖掘与分析，构建设备健康评估模型。通过对比设备实时运行数据与健康模型特征，精准预测设备故障，并提供详细的故障诊断信息和维护建议，实现设备维护的前瞻性与精准性。

运维信息管理功能则负责对设备全生命周期的信息进行集中管理，包括设备基础信息、运维记录、故障历史等，为运维决策提供数据支持。运行管理模块通过优化任务调度、资源分配以及工作流程管理，进一步提升平台整体运行效率，确保运维工作的高效执行，为机器人和智能装备的持续稳定运行提供坚实保障，助力企业提升生产效率和经济效益[18]。

## 4　结束语

本研究聚焦于机器人和智能装备的运维管理，通过构建与设备运行数据特征相契合的数字孪生模型，精心设计了适用于高效数据处理与分析的平台功能架构、业务框架和数据体系，成功打造了基于数字孪生的机器人和智能装备运维平台。该平台具备设备状态实时监测、设备健康精准管理、运维信息高效管理以及运维业务智能管理等一系列关键功能，为机器人和智能装备的数字化、智能化运维提供了创新性的解决方案和实践范例，有力推动了相关技术在该领域的深入应用与发展[19-20]。

同时，本研究构建了与设备物理结构特性相匹配的运维数据结构，基于数字孪生模型建立了设备故障的定性与定量分析方法及模型，提出了基于先进算法的设备健康状态评估途径。通过实际案例验证，如对某关键设备单元的监测与分析，表明数据计算结果与设备实际运行状况高度吻合，充分证明了该运维平台的有效性和可靠性，为提升机器人和智能装备的运维水平和运行效率提供了坚实的技术支撑和理论依据，具有广阔的应用前景和推广价值[21-22]。

## 参考文献


[1] 李毅仁. 河钢集团在汽车用钢领域的创新与应用[J]. 河北冶金，2024(9)：1-5.

[2] 谢勇. 物联网技术在智能装备中的应用[J]. 自动化应用，2013(11)：11-13.

[3] 牛冲丽，卢凯杰. 人工智能技术在工业设备预测性维护中的应用[J]. 电子技术与软件工程，2022(17)：226-229.

[4] 郑卫力，李明，王婷婷. 基于数字孪生的三峡升船机智能运维平台研究[J]. 人民长江，2025，56(5)：201-209.

[5] 卢春亭，王五奇，汤培勇. 综合管廊“智慧线+机器人”监控系统[J]. 安装，2022(S1)：115-116.

[6] 卢春亭，杨林场，原福渝. “智慧线+机器人”智能运维平台架构及应用[J]. 安装，2024(2)：66-68.

[7] 杨蓉，郑建立，谢雅欣，等. 基于 BehaviorTree 的医疗仪器通信协议解析平台设计[J]. 智能计算机与应用，2023，13(9)：141-145.

[8] 刘需，刘天武，梁媛媛. 工业机器人在冷轧厂的应用及前景概述[J]. 河北冶金，2018(2)：52-55. DOI：10. 13630/j. cnki. 13-1172. 2018. 0214.

[9] 班晏子婧，李晖，陈梅，等. 面向 Web 应用的智能监控系统的设计与实现[J]. 智能计算机与应用，2022，12(9)：172-178.

[10] 张铭豪，肖博怀，郑松，等. 云边协同环境下面向负载时间窗口的无服务器应用资源分配方法[J]. 计算机科学，2025，52(6)：336-345.

[11] 谭诚刚，许焕敏，傅强. 面向工业传感器的多协议数据转换网关设计[J]. 仪表技术与传感器，2024(1)：70-75.

[12] 刘冰扬，赵爽. 故障预测与健康管理在钢铁企业的应用[J]. 河北冶金，2022(11)：81-86. DOI：10. 13630/j. cnki. 13-1172. 2022. 1116.

[13] 李晓光，黄伟东. 基于边缘计算的智能运维平台设计[J]. 计算机应用研究，2020，37(6)：1800-1804.

[14] 申煜铜，谈宇浩，夏文超. 基于联邦学习的物联网设备异常检测算法研究[J]. 智能计算机与应用，2024，14(8)：225-233. DOI：10. 20169/j. issn. 2095- 2163. 240836.

[15] 郭卫忠，黄建新. 智能“远程运维”平台信息化管理和状态监测及故障诊断技术结合运用案例分析[J]. 新疆钢铁，2023(4)：31-33. DOI：10. 20146/j. cnki. 1672-4224. 2023. 04. 011.

[16] 李思敏，姜喜胜，吉祥，等. 基于分层二次规划的双臂机器人动作模仿研究[J]. 智能计算机与应用，2024，14(12)：1-9.

DOI:10. 20169/j. issn. 2095-2163. 24072301.
[17]左雄辉, 吴葛铭, 张喆, 等. 智能化车间级工业互联网平台的设计与实践研究[J]. 工业控制计算机, 2024, 37(2):8-10.
[18]王柏村, 陶飞, 方续东, 等. 智能制造:比较性综述与研究进展[J]. Engineering,2021,7(6):80-122.
[19]徐友恒. 数据中心一体化智能运维管理平台建设研究[J]. 中国管理信息化, 2021,24(18):105-106.
[20]杨凯. 基于 5G 技术的智慧工厂仓储物流与巡检管理研究[J]. 农业装备与车辆工程, 2024,62(6):137-140.
[21]鲍眺, 卢雷. 基于群体智能算法的电力设备现场智能化运维检修研究[J]. 无线互联科技, 2024,21(19):43-45.
[22]冯昭凯, 乔运华, 李凡, 等. 基于云平台的设备远程运维管理平台架构研究[J]. 制造业自动化, 2023,45(5):157-161.