

基于人工智能技术的工程机械装备故障诊断与预测性维护测试床

引言/导读

江苏徐工信息技术股份有限公司（简称“徐工信息”）是一家混合所有制的国家高新技术企业，于 2014 年 7 月 1 日正式注册成立。公司秉持“为工业赋能，与伙伴共生”的企业使命，基于徐工集团的深厚制造业背景，在工业互联网、智能制造等业务领域奋力开拓，致力于“成为工业互联网技术和解决方案的引领者”。徐工信息参与了国家两化融合管理体系、工业云、物联网、智能工厂等国家级标准的制定，是国家“首批”两化融合管理体系贯标咨询服务机构，建立了国家级工程机械物联网应用研发中心，是中德智能制造发展联盟“首批”成员单位。徐工信息是江苏省智能车间认定标准起草者，是江苏省 10 家重点电商企业之一、江苏省企业互联网化优秀服务机构，是中国工业 4.0 星火小组五家成员之一。此外，徐工信息是中国两化融合咨询服务联盟成员单位、全国智能制造发展联盟单位、中国工业互联网产业联盟理事单位。

徐工早在 2005 年就开始了工业设备互联的相关研发工作并投入生产运营。在 2017 年正式发布了 Xrea 工业互联网平台，目前入网设备累计数量已超过 50 万台，覆盖超过 30 个行业领域。Xrea 工业互联网平台入网设备包括起重机械、铲运机械、挖掘机械、物流运输设备、新能源汽车等 6000 多种设备类型。数据的种类超过 7000 多种，峰值的吞吐量每秒为 11 万条，年数据增长量 1.1PB，数据可靠率高，达到 99.999999%。

徐工信息依托徐工集团在重型起重机、挖掘机等工程机械装备的完整的数据积累和专业经验积累，针对工程机械装备的故障维修和预测性维护进行了长期深入的实践项目，形成了一套行之有效的预测性维护方法和工具。

一、关键词

工程机械，故障诊断，预测性维护，机器学习

二、发起公司和主要联系人联系方式

发起公司：江苏徐工信息技术股份有限公司

联系人：张毅

邮箱：zhangy@xcmg.com

电话：051687738581

手机：15952167524

三、合作公司

徐工集团重型机械有限公司

徐工集团挖掘机械有限公司

四、测试床项目目标和概述

针对工程机械装备的预测性维护测试床是由徐工信息联合徐工集团重型事业部、挖机事业部等业务集团共同打造的基于工业大数据的分析与预测专业解决方案。测试床的建设地点位于徐州市和北京市，在徐州市建设测试床中的工业互联网平台及大数据部分，在北京建设测试床的模型与算法等。

该测试床满足基于工业互联网平台的工程机械装备故障诊断与预测性维护的需求，降低企业及用户减少装备故障带来的经济损失，促进企业进行数字化转型升级，共同推进装备故障诊断与预测性维护的规模化和常态化，打造智能装备和智能运维的示范样板和行业标杆，并有广泛适用性，未来可在行业中推广应用。

本测试床项目的目标是基于徐工信息 Xrea 工业互联网平台，结合工程机械装备采集的大量数据，通过人工智能算法进行大数据建模分析，实现对工程机械装备的故障诊断和预测性维护，以达到降低维护成本的目的。

五、测试床解决方案架构

(一) 测试床应用场景

工程机械装备在复杂的环境和高强度的生产作业中，很容易出现故障，给企业和用户带来较大的经济损失。为了预防并减少故障的发生，需要对工程机械进行定期维护保养。为了降低故障带来的经济损失，对于已经发生的故障，需要维修服务人员快速地进行故障诊断与分析，做出准确的判断与决策，进行维修服务。现有传统的预防式维护和故障诊断方法主要是基于周期性维护和装备已有的故障代码和故障现象，其维护的成本较高，维修的效率较低，难以满足企业及用户的需求。

故障诊断与预测性维护测试床基于工业互联网平台，采用人工智能技术，利用物联网采集大量工程机械相关数据并分析，建立更加精准的预测性维护和故障诊断分析模型，满足工程机械装备的故障诊断和预测性维护的需求，帮助工程机械公司降低维护和维修成本，促进企业的转型升级，共同推进故障诊断和预测性维护的规模化和常态化，打造智能装备和智能运维的示范样板和行业标杆，并有广泛适用性，未来可在行业中推广应用。

(二) 测试床重点技术

本测试床采用的重点技术包括物联网技术、人工智能技术、大数据技术等。

首先，通过对工程机械装备施工作业的数据采集，实时监测装备的运行状态，充分了解工程机械在施工作业过程中不同状态下的运行规律。

然后，以获取的大量装备状态历史数据为基础，结合设备维修历史数据，通过人工智能的机器学习算法，抽取装备历史数据中的关键特征，如发动机转速、油温、油压、工作时间等，构建装备故障分析模型与装备故障预测模型，进而实现故障原因的快速定位和维修措施的建议，以及为防止未来发生故障是否需要进行维护的建议。

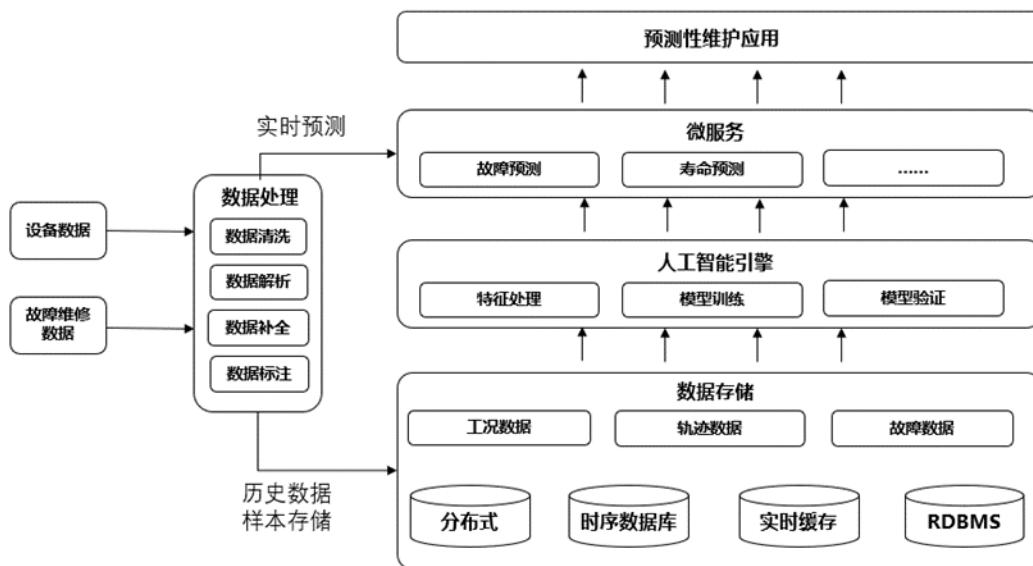
通过物联网+大数据+人工智能技术对工程机械进行全面的分析和洞察，给出系统性的预测性维护与故障诊断解决方案是本测试床聚焦的方向。

(三) 技术创新性及先进性

故障诊断与预测性维护测试床，通过工业机理模型和数据分析模型相结合，可以有效实现对工程机械装备的智能化监测、诊断和预测性维护，极大地降低故障率和总体维护成本，是一项人工智能技术应用的创新。

目前在工程机械领域，基于人工智能技术的预测性维护应用尚在探索阶段，行业内尚未出现大规模、规范化的应用，测试床所采用的人工智能技术相关框架和组件是业内最新发布成果，在工程机械领域的应用属于前列，因此具有较好的先进性。

(四) 测试床解决方案架构



测试床解决方案架构分为数据处理、数据存储、人工智能引擎、微服务与故障诊断与预测性维护应用五大模块组成。

数据处理模块对设备实时数据和历史故障数据进行清洗、解析、分类、补全与标注，然后将数据转发至数据存储模块。

数据存储模块将转入的数据分别存储至分布式存储、时序数据库、实时缓存与关系型数据库中。

人工智能引擎模块对大量数据进行统计分析、特征处理与机器学习算法建模，并对模型进行验证。

建立好的模型在微服务开发平台中部署微服务接口向应用层用户提供服务。

六、预期成果

(一) 测试床的预期测试结果，针对测试项

工程机械装备故障诊断与预测性维护测试床项目预期的测试结果包括两个方面

1. 对于工程机械装备剩余使用寿命的预测，预期预测结果与实际的误差在 10%以内。
2. 对于工程机械装备在下 N 个周期内发生故障的概率预测，预期预测结果的准确率在 90%以上。

(二) 商业价值

工程机械装备故障诊断与预测性维护测试床项目具有多项商业价值

3. 对于工程机械生产企业，可以提升产品的质量，提高服务效率，降低保修期内的维修成本。
4. 对于工程机械最终用户，可以减少设备停机带来的经济损失，提高装备带来的收益。
5. 对于工程机械装备物联网平台运营方，可以提高平台价值收入，吸引更多工程机械用户，提升业务收入。

(三) 经济效益

基于人工智能技术的故障诊断与预测性维护测试床可以实现对工程机械装备的智能化监测和预测性维护，可以极大地降低故障率、故障恢复周期和总体维护成本。根据美国联邦能源管理计划(FEMP)所进行的研究估算，与预防性维护相比，预测性维护的主要优势是可以提前消除 70%—75% 的故障，减少 35%—40% 的停机停产时间。

(四) 社会价值

基于人工智能技术，建设推广的工程机械装备故障诊断与预测性维护测试床，满足工程机械装备的健康管理与维护的综合要求，联合工程机械公司推进故障预测的规模化和常

态化，共同打造工程机械装备的预测性维护的示范样板和行业标杆，并有广泛适用性，未来可在行业中推广应用。

七、测试床技术可行性

(一) 物理平台

本测试床项目设计的物理设备包括：

1. 传感器组
2. 工程机械装备及其自身控制系统
3. 智能物联采集终端
4. 数据传输网络（2G/3G/4G 等）
5. 运行物联网大数据及人工智能引擎所需的服务器、存储设备及网络设备

(二) 软件平台

本测试床项目设计的软件平台包括：

Xrea 工业互联网平台：徐工信息自主研发的工业互联网平台，将工程机械装备的采集数据接入 Xrea 平台，平台可以实现装备的实施监控、控制与数据的存储、管理、分析，同时平台内提供人工智能算法库和微服务开发环境，为工程机械的数据建模和模型发布调用提供支持，完成装备故障诊断与预测性维护的目标。

八、和 AII 技术的关系

(一) 与 AII 总体架构的关系

AII 总体架构如图所示：



本测试床项目基于总体架构的指导，物理系统为工程机械装备，对装备进行数据采集交换、数据集成处理、数据建模、仿真与分析，最终实现设备的运行优化和企业的运营决策优化。测试床重点测试的技术包括 2G/3G/4G 网络传输技术、人工智能算法建模技术、物联网数据采集与大数据存储管理技术等，属于总体架构中网络互连与标识解析、数据集成处理、数据建模仿真与分析的范围。

(二) 详细清单

序号	名称	厂家或型号	数量	说明
1	工程机械物联网	徐工信息	1 套	
2	智能物联终端	徐工信息	N 台	1 台工程机械配备一台终端，数量与装备数量有关
3	Xrea 工业互联网平台	徐工信息	1 套	实现数据接入、存储、管理与分析的基础软件平台
4	工程机械装备	徐工集团	N 台	按项目实际需求配备相应数量装备

工程机械装备本身不具备联网能力，需要加装智能物联终端实现装备的数据采集与传输，数据的传输通过 2G/3G/4G 网络，采用 TCP/MQTT 协议进行传输。

(三) 安全联系人

安全联系人： 张毅 江苏徐工信息技术股份有限公司 工业互联网事业部副总经理

(四) 与已存在 AII 测试床的关系

该测试床项目与之前已经审批的测试床项目无任何关联。

九、交付件

该测试床的交付件包括：

1. 项目设计方案书
2. 数据分析与算法设计报告
3. 验证报告

十、 测试床使用者

[明确非发起方的公司可以使用测试床程度，以及相关的要求和限制条件。]

非发起方的平台参与者可以使用验证示范平台的所有操作功能，但仅限于功能的操作使用，禁止泄露给同行业的第三方。

项目合作过程中产生的全部开发成果及其知识产权，包括但不限于申请专利的权利、专利申请权、专利权、版权、商业秘密，均归发起方所有；未经一方书面同意，另一方不可将本协议项目合作过程中产生的任何知识产权转让、许可给任何第三方。

十一、 知识产权说明

项目合作过程中产生的全部开发成果及其知识产权，包括但不限于申请专利的权利、专利申请权、专利权、版权、商业秘密，均归发起方所有；未经一方书面同意，另一方不可将本协议项目合作过程中产生的任何知识产权转让、许可给任何第三方。

十二、 部署，操作和访问使用

本项目部署在徐工信息 Xrea 工业互联网平台上，平台提供基础的 IaaS 层服务器、网络、存储资源，以及物联网接入、大数据管理分析工具。徐工信息作为测试床系统的运营主体，与徐工挖机、徐工重型进行合作，将其工程机械装备加装智能物联终端进行数据的采集，并提供故障诊断与预测性维护的服务接口供徐工挖机、徐工重型及其最终用户使用。用户通过 Web API 接口调用系统预测服务。具体分工如下：

徐工信息：

1. 工业互联网大数据平台的搭建与运维；
2. 实时数据的采集与处理；
3. 数据建模分析与算法优化；
4. 预测性维护 APP 开发与应用。

徐工挖掘，徐工重型：

1. 原始 CRM 维护维修数据的准备；
2. 故障数据的准备与标注；
3. 工业机理模型的评估与确认。
4. 故障知识图谱的本体建模与确认。

十三、 资金

本测试床项目所需资金由参加者提供。

十四、 时间轴

本项目周期为一年半，预期的关键时间节点、任务和输出如下：

