定制化保养在工程机械场景中实现及落地

孙帅　数据技术研究所所长，三一集团

MATLAB EXPO 2021

SANY®

品质改变世界

三一集团

- **三一集团**主业是以“**工程机械**”为主体的装备制造业，主导产品为 混凝土机械、 筑路机械、 挖掘机械、 桩工机械、 起重机械、 港口机械、 风电设备等全系列产品，其中 混凝土机械、 挖掘机械、 桩工机械、 履带起重机械、 移动港口机械、 路面机械为中国第一品牌，混凝土泵车全面取代进口，且连续多年产销量居全球第一；挖掘机械一举打破外资品牌长期垄断的格局，实现中国市场占有率第一位。2012年，三一重工并购混凝土机械全球第一品牌德国普茨迈斯特，改变了行业的竞争格局。

- **数字孪生研究院**是三一集团总部职能部门，主要负责**数字孪生**技术研究、核心技术攻关、解决方案开发、技术赋能与培训、推进路径规划、最佳实践提炼、工程应用推广与成果考核评价；负责仿真体系建立与仿真技术推广等。

数字孪生产品落地的四要素

定制化保养是数字孪生产品生命周期管理中的重要功能。

实现预测性保养功能的真正落地，也需要通过数字孪生落地的四要素来约束和实现。

在最终场景的识别中， 根据业务需求和业务模式**建立工业场景独有的用户画像**标签成为必然。

为什么我们要研究定制化保养

1 发动机机油

2 液压传动油

3 滤芯

（数据已作脱敏处理，仅代表大致比例）

定制化保养基础原理

固定时间保养

定制化保养

定制化保养价值挖掘

业务翻译
Translator

保养剩余寿命预测

延长保养周期

节约保养成本

变主动服务，提高保养服务质量

销售策略

合作模式

定制化保养模型开发流程 – 以机油保养为例

设备测试 → 数据收集 → 数据清洗 → 特征工程 → 模型建立 → 业务实施

定制化保养模型核心 – 剩余生命周期预测

- RUL预测是产品生命周期管理中性能分析的重要部分。
- 预测分析是使用数据分析的过程，根据数据做出更好的商业决策和预测。它使用数据以及**分析**、**统计**、**物理模型机理**和**机器学习**技术来创建一个预测模型，以预测未来事件。

需要注意的是剩余生命周期模型既可以是基于个体的，也可以基于整体的，取决于场景和业务需求。

应用场景的必要条件:
1 有和使用寿命强相关的指示指标或特征。
2 关键零部件，对失效极其敏感。

@ 图引用 “Predictive Maintenance 白皮书” Mathworks

剩余生命周期模型的多种考虑因素

场景挖掘
技术预研
设计选型
开发流程
验证流程
…

供应商管理
供应链管控
制造质量
…

在用设备数字孪生：
1 描述性（统计性）关键因素展示
2 失效故障 失效问题监控及诊断
3 失效预测，先兆诊断
4 失效修复，影响评估

MATLAB在建模过程中的作用

数据处理

- **MATLAB 基础信号处理** 为我们带来更多挖掘数据价值的机会，提高工作效率，开发数据科学相关产品。

机器学习

- **MATLAB Statistics and Machine Learning Toolbox** 加快了模型选择处理的速度。

机理模型

- **Simulink** 帮助将原理模型和机器学习耦合在一起，包括建立调优数据集，在线实时运行。

剩余寿命关键指标选取 – 以定制化机油为例

关键指标的选取：**业务重要度+数据质量+特征工程（数据+物理）**方式进行。以定制化换机油更换为例，从30+指标中选取了6个指标作为判断机油老化的指示指标。

Material	Limit
TBN	TAN-TBN < 0
Lead (Pb)	20 ppm max.
Chromium (CT)	15 ppm max.
Iron (Fe)	150 ppm max.
Copper (Cu)	20 ppm max.
Aluminum (Al)	30 ppm max.
Silicon (Si)	30 ppm max.
Sodium (Na)	65 ppm max.
Calcium (Ca)	1500-3500ppm
Phosphorous (P)	900-1400 ppm
Magnesium (Mg)	1000 ppm max
Boron (B)	1000 ppm max
Fuel Dilution	5(%)
Oxidation	0.3 Abs/0.1mm max
Viscosity @100C	9.3-12.5 cSt for 10W30, 12.5-15.3 cSt for 15W40
Soot	7.5% max.
…	…

定制化机油模型的建立

机理公式

油膜厚度模型

$$h = C - e = C(1-\varepsilon) = r\psi(1-\varepsilon)$$

温度粘度模型

$$\Delta T = \frac{p\frac{f}{w}}{c\rho\left(\frac{Q}{\psi v B d}\right) + \frac{\pi K s}{\psi v}}$$

工程经验

司机声音：

路况不好

专家声音：

发动机工况状态

数据特征工程

特征提取:

- Brake, Clutch, Torque,…

数据孪生模型

模型预测能力验证

预测换油：模型基于多个指标进行计算，基于短板效应，模型预测结果平均机油寿命可延长80%。

识别风险：有少量设备机油寿命低于固定保养时间。

（数据已作脱敏处理，仅代表大致比例）

车队场景的画像标签

定制化机油

根据业务指标形成车主画像标签、营销需求和维修需求

运行性能	供销链条	维护保养	…
载重 油耗 负荷区域 道路坡度 平均负载 区域占比 …	车主信息 销售价格 成交市场 细分应用 政策 实销区域 …	常去维修站 调件周期 维修等待时间 历史保养策略 维修次数 劣化情况 …	

根据业务场景建立业务指导模型

最终业务场景落地

业务+规则
大包服务/年度合同
维护保养申请
车队
支付
服务
派工
司机
技师
线上系统包含多种定制保养策略的整合方案
做到，计划内保养，减少非计划停机
服务落地
短信/APP在线通知
维保服务
按设备的定制保养方案

SANY®

品质改变世界

谢谢