

农业机械常见故障智能诊断与高效维保研究

周石春

宜昌市夷陵区龙泉镇农业农村服务中心 湖北 宜昌 443112

【摘要】：农业机械在高负载、强粉尘和季节性连续作业环境下易发生发动机、传动、液压及轴承等故障，传统事后维修模式难以及时支撑高效作业需求。本文围绕农业机械常见故障诊断与维保联动问题，构建了融合振动、温度、液压压力、油耗及电控参数的特征体系，并采用随机森林算法开展故障分类识别。研究表明，初始模型测试准确率为92%，引入声学特征后准确率提升至96%。在10台120hp轮式拖拉机应用对比中，智能维保模式使年均故障停机时间由50h降至20h，年均维保成本降低30%，设备利用率由80%提升至92%。结果说明，智能诊断与维保决策协同能够有效提升农业机械运行可靠性和维修资源配置效率。

【关键词】：农业机械；故障诊断；随机森林；智能维保；状态监测

0 引言

农业机械是现代农业生产的重要装备，其运行状态直接影响耕整地、播种、收获和植保等作业效率。随着农机装备向大型化、智能化和连续作业方向发展，传统依靠经验判断和定期保养的维保方式已难以满足高强度农时作业需求。将传感器监测、机器学习诊断和维保决策相结合，有助于提前识别潜在故障、降低停机损失，并提升农机合作社和维修服务体系的管理能力。因此，开展农业机械智能诊断与高效维保策略研究具有现实意义。

1 农业机械故障诊断与维保的研究现状及问题分析

农业机械故障诊断研究已从依靠维修人员经验判断，逐步转向运用传感器采集、信号分析以及机器学习模型来开展状态识别。结合拖拉机、联合收获机以及植保无人机等装备的作业场景来看，发动机振动、液压压力、传动温度以及电控单元运行参数已成为故障特征提取的主要数据来源。振动分析指把机械部件运行中的加速度信号当作状态表征来使用，油液监测则借助磨粒浓度以及黏度变化判断部件磨损程度，二者在轴承、齿轮以及液压系统诊断中具有较强适配性。

进一步观察现有维保实践可以发现，农业机械运行环境呈现尘土浓度高、负载波动大、连续作业时间集中等特性，故障样本往往存在标签不完整以及工况差异明显的问题。许多诊断模型在实验室数据上表现稳定，但迁移到春耕、夏收等高强度作业环节时，容易受到噪声干扰以及样本分布变化影响。与此同时，基层维保仍以事后维修为主，诊断结果与备件调度、保养周期以及停

机成本之间缺少联动机制，导致智能诊断难以充分转化为高效维保决策。本研究需把故障识别、状态评估以及维保策略衔接起来，为后续模型构建提供现实依据。

2 农业机械常见故障智能诊断模型构建与实现

2.1 故障特征提取与数据集构建

农业机械故障诊断模型的有效性在很大程度上取决于运行状态数据的覆盖范围以及特征表达质量。结合拖拉机、联合收获机以及植保无人机的作业场景，本研究把发动机缸体振动、变速箱箱体温度、液压系统压力、瞬时油耗以及电控单元转速参数当作基础数据源来使用，并在怠速、额定负载、重载牵引以及连续收获等工况下开展采集工作。振动信号由加速度传感器记录，用于反映轴承冲击、齿轮啮合异常以及发动机燃烧不均衡等状态变化；温度数据主要描述摩擦副热累积过程；油耗数据则能够从能量消耗角度呈现负载波动以及动力系统效率变化。数据进入特征提取环节前，需要进行去噪、异常点剔除以及采样频率统一处理，以降低田间尘土、机体冲击以及短时负载突变对特征稳定性的影响。

在时域特征构建中，均方根值能够表征信号能量水平，适宜用于描述机械部件振动强度随故障发展的变化。峰值因子则把冲击峰值与整体能量联系起来，对早期齿面剥落以及轴承点蚀具有较敏感的响应。均方根值计算公式如下：

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2}$$

其中， RMS 表示振动信号的均方根值， x_i 为第 i 个采样数据， N 为采样点数。

频域分析环节选用傅里叶变换把时序信号转换为频率分量,进而提取主频幅值、边频带能量以及高频能量占比等指标。围绕发动机缺缸、变速箱齿轮磨损、液压泵泄漏以及轴承松动等典型故障状态,本研究构建包含正常状态以及故障状态的标注数据集,样本量超过 10000 条。每条样本由 20 维基础特征构成,标签由传感器记录、维修工单以及拆检结论共同校核,数据集同时覆盖不同机型、不同负载以及不同作业季节,使模型训练能够接近农业机械实际运行中的工况差异。

2.2 基于机器学习的智能诊断模型设计

鉴于农业机械故障特征存在非线性耦合以及样本噪声较强的现实情境,诊断模型选用随机森林算法来开展分类识别。随机森林是由多棵决策树共同组成的集成学习模型,其核心思想是把多个弱分类器的判断结果进行投票融合,从而降低单一决策树对异常样本以及局部特征波动的依赖。模型输入层接收 20 维特征向量,特征内容涵盖振动时域指标、频域能量指标、温度变化率、油耗波动率以及液压压力偏差值。模型输出层对应正常状态、发动机缺缸、变速箱齿轮磨损、液压系统泄漏以及轴承异常等类别。

参数设计中,决策树数量设定为 50 棵,该规模能够在分类稳定性以及计算开销之间形成较合理的平衡。每棵树在训练过程中从原始样本中进行有放回抽样,同时在节点分裂时随机抽取特征子集,使不同决策树形成差异化判断边界。为避免模型仅对训练样本形成记忆,本研究引入交叉验证法开展参数寻优,把训练数据划分为若干子集轮换参与训练以及验证,并围绕树深度、叶节点最小样本数以及特征子集规模进行配置调整。分类性能评价以准确率作为主要指标,计算公式如下:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

其中, *Accuracy* 表示分类准确率, *TP* 为真阳性样本数, *TN* 为真阴性样本数, *FP* 为假阳性样本数, *FN* 为假阴性样本数。

该模型设计把可解释性以及诊断效率同时纳入考虑。随机森林能够输出特征重要性排序,便于分析振动峰值因子、频域边频带能量以及温度变化率对故障识别的贡献程度,也为后续维保人员开展故障定位提供依据。

2.3 诊断模型的验证与优化

模型验证环节把总数据的 30% 划分为测试集,测试集不参与参数训练,用于观察模型面对未见样本时的分类表现。初始模型在测试集上的诊断准确率为 92%,主要误判集中在轻微齿轮磨损与正常状态之间,以及发动机轻度缺缸与短时负载波动之间。进一步分析发现,轻微磨损阶段的振动能量变化幅度有限,单纯依靠 20 维振动、温度以及油耗特征时,模型容易把工况扰动识别为机械退化信号。针对这一问题,优化方案把声学特征纳入特征体系,采集发动机舱以及变速箱附近的运行声压信号,并提取声压级、谱质心以及高频能量比等指标,用以补充早期冲击与摩擦异常的表达信息。

优化后的模型继续运用相同测试集比例开展验证,最终准确率提升至 96%。从流程衔接关系来看,智能诊断模型的优化并非单纯增加特征数量,而是围绕误判类型追溯数据表达缺口,再把能够反映故障机理的声学特征补入模型输入端。智能诊断模型验证与优化流程见图 1,该流程把数据划分、初始训练、误判分析、特征扩展以及再训练评价连接起来,能够呈现模型从初始识别到性能改进的技术路径。

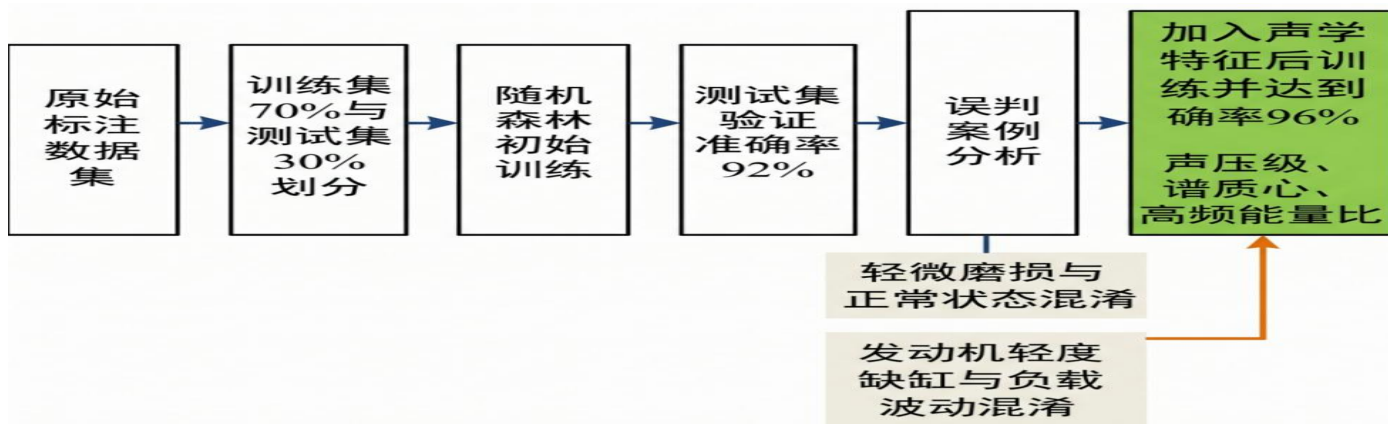


图 1 智能诊断模型验证与优化流程图



3 基于智能诊断的农业机械高效维保策略与效果评估

3.1 智能诊断驱动的维保决策流程设计

农业机械维保决策需要把模型识别结果从单一故障分类扩展为可执行的作业安排。鉴于拖拉机、联合收获机以及植保无人机在田间作业中存在负载突变、尘土侵入以及连续运行时间集中的现实情境，本研究把智能诊断输出的故障概率、异常部位、特征贡献度以及历史维修记录共同纳入维保系统，形成预警阶段、故障阶段以及维护阶段相衔接的三级决策流程。预警阶段面向尚未形成明显停机风险的早期退化状态，当随机森林模型输出的故障概率大于 80%时，系统把该设备标记为高风险对象，并且向农机合作社调度端以及维修人员移动端发送预警信息。预警内容不局限于故障类别，还包括异常特征来源、建议检查部位以及可延后作业时长，使预防性维保能够避开春耕播种和夏收高峰的关键作业窗口。

故障阶段主要面向已被诊断模型确认为发动机缺缸、变速箱齿轮磨损、液压系统泄漏以及轴承异常的设备。维保系统接收诊断结果后，把故障类别与维修知识库进行匹配，自动生成针对性维修方案，内容涵盖拆检顺序、备件型号、预计维修工时以及安

全停机要求。对于液压系统泄漏类故障，系统会优先提示检查油管接头、密封圈以及液压泵壳体压力波动记录；对于变速箱齿轮磨损类故障，系统则把齿轮啮合频率异常、温度升高速率以及声学高频能量变化当作维修定位依据来使用。维护阶段强调维保周期的动态调整，系统不再依赖固定作业小时数来安排保养，而是依据近期诊断数据、负载强度以及故障预警频次修正保养间隔。借助车载物联网终端、北斗定位模块以及云端维保平台，诊断结果能够与备件库存、维修工单以及作业排程进行实时联动，进而把故障识别转化为停机损失更低的维保安排。

3.2 维保策略的应用效果评估

为评价智能诊断驱动维保策略的应用效果，本研究选取 10 台 120 hp 轮式拖拉机作为实验对象，设备均参与耕整地、播种牵引以及运输作业，年均运行时间保持在 900 h 左右。对比方案把传统维保模式与智能维保模式置于同一作业强度背景下进行观察，传统维保主要依靠固定周期保养以及故障后维修，智能维保则运用车载传感器采集振动、温度、液压压力、油耗以及电控单元转速数据，并把诊断模型输出结果接入维保管理平台。对比结果见表 1。

表 1 传统维保与智能维保效果对比表

评价指标	传统维保模式	智能维保模式	变化情况
实验设备数量	10 台	10 台	对象一致
年均运行时间	900 h	900 h	工况一致
年均故障停机时间	50 h	20 h	减少 30 h
年均维保成本	2.5 万元	1.75 万元	降低 30%
设备利用率	80%	92%	提高 12 个百分点
主要维保方式	事后维修与定期保养	预警维保与针对性维修	决策前移
备件准备方式	故障后临时采购	依据诊断结果提前匹配	响应时间缩短

从表 1 可以看出，智能维保模式把年均故障停机时间由 50 h 降至 20 h，主要缘由在于预警阶段已经对高概率故障开展了提前识别，维修人员能够在设备尚未发生严重损伤时进行检查以及更换易损件。年均维保成本由 2.5 万元降至 1.75 万元，降幅达到 30%，该变化与无效拆检减少、备件准备提前以及连带损伤控制有关。设备利用率由 80%提升至 92%，说明诊断结果与维保系统联动后，拖拉机在农时集中期的可用时间得到增加。结合农业机械作业季节性强的特性来看，该策略的价值并不只体现在单次维修效

率上，还体现在把故障概率、维修资源以及作业排程纳入同一决策链条，使维保活动更贴近田间连续作业的实际需求。

4 结束语

本文围绕农业机械常见故障识别与维保优化展开研究，建立了多源运行数据驱动的诊断模型，并将诊断结果进一步转化为预警、维修和保养决策。研究表明，单纯提升分类准确率并不是智能维保的最终目标，更关键的是将故障概率、异常部位、备件准备和作业排程纳入统一流程。通过诊断模型与维保平台协同，农



业机械能够由被动维修转向主动维护，从而减少突发停机和无效检修。后续研究可进一步扩大机型范围，提升模型在复杂田间环境下的泛化能力。

参考文献

- [1]刘永宽,齐革田.农业机械的常见故障类型及维修养护方案[J].河北农机,2024,(23):52-54.
- [2]王景涛.基于虚拟现实技术的农业机械仿真研究[J].农机使用与维修,2024,(12):75-78.
- [3]马健.中波广播发射机常见故障及智能诊断系统应用[J].家庭影院技术,2025,(04):21-24.
- [4]黄友锐,荣雪,徐善永,韩涛,宋奇.农用电机故障知识图谱的构建与应用[J].农业工程学报,2025,41(06):216-226.
- [5]张青.石油化工仪表自动化设备常见故障及智能检测技术探究[J].山东化工,2024,53(23):203-205.

作者简介:周石春(1975—),男,汉族,本科,研究方向为农机。