

江苏省装备制造业 PHM 技术应
用现状与发展路径研究

研
究
报
告



目录

1、项目背景与意义	3
1.1 战略与政策背景	3
1.2 PHM 技术概述与企业应用分级	4
1.3 调研意义	6
2、江苏省装备制造业 PHM 行业现状.....	6
2.1 行业分类	6
2.2 PHM 行业现状.....	8
3、典型企业 PHM 技术应用现状.....	13
3.1 常州东风农机集团有限公司.....	13
3.2 宁德时代江苏新能源科技有限公司.....	14
3.3 科沃斯机器人股份有限公司.....	15
4、核心结论与对策建议	16
4.1 主要结论	16
4.2 政策建议	17
参考文献.....	18
附录.....	20
附录一 两场研讨会记录图.....	20
附录二 企业调研记录图.....	21

1、项目背景与意义

1.1 战略与政策背景

近年来，我国制造业发展进入以数字化、网络化、智能化为主要特征的新阶段。国家层面围绕智能制造、工业互联网和人工智能连续出台一系列重大战略和政策，推动制造业由“规模扩张型”向“质量效率型”和“服务增值型”转变。

《中国制造 2025》明确将智能制造作为主攻方向，强调要突破先进传感、智能控制、设备健康管理等关键技术；《智能制造发展规划（2016—2020 年）》提出建设数字化车间和智能工厂，要求企业提升状态监测、在线诊断与预测性维护能力，为故障预测与健康管理的（Prognostics and Health Management, PHM）等技术的发展奠定了政策基础。

进入“十四五”时期，国家在智能制造与工业互联网领域的顶层设计进一步强化。《制造业数字化转型行动方案》《轻工业数字化转型实施方案》以及 2025 年政府工作报告提出的“人工智能+”行动，均强调要推动工业大模型和智能算法在设计、制造、检测和服务环节的系统化应用，鼓励制造企业围绕“设备全生命周期管理”和“远程运维服务”发展新模式，将故障预测与健康管理技术作为智能制造的核心攻关方向之一，引导企业从单纯提供实物产品向提供“产品+服务”的综合解决方案转变。

在此背景下，在此背景下，为以装备产品全生命周期健康管理为核心的系统化能力，在高端装备、关键基础设施和长寿命工业产品等领域的重要性日益凸显。对于高端装备、关键基础设施和长寿命工业产品而言，从设计制造环节开始嵌入传感与诊断功能，在交付后通过远程监测、故障预测和健康评估，为用户提供持续的运维服务，不仅能够显著提升产品可靠性和使用安全性，也有助于制造企业构建“全生命周期服务能力”，实现由一次性销售向长期服务收益的转型。这类以装备产品为对象的 PHM 技术，已在航空航天、轨道交通、风电、新能源汽车等领域逐步成为国际竞争的重要方向^[1]。

江苏省是全国制造业体系最完整、装备制造业基础最雄厚的地区之一，船舶海工、轨道交通装备、风电及新能源装备、农机装备、智能制造装备、生物医药装备、新能源汽车等多个细分领域集聚了一批具有全国影响力的龙头企业和特色产业集群，为开展产品级 PHM 技术应用提供了丰富的产业场景和工程基础。近年来，江苏紧密对接国家战略，围绕“智改数转网联”总体部署，相继出台《江苏省智能制造发展规划》《制造业智能化改造和数字化转型三年行动计划（2022—2024 年）》《加快推进工业互联网创新发展三年行动计划（2021—2023 年）》等政策文件，从装备数字化改造、工业互联网平台建设、数据赋能和安全生产等

多方面，为装备企业开展远程监测、在线诊断和预测性维护提供了制度和资金支持。

最新印发的《江苏省深化制造业智能化改造数字化转型网络化联接三年行动计划（2025—2027 年）》进一步提出，要推动先进传感系统与人工智能技术深度融合，在生产监控、质量控制和安全保障等环节打造一批面向“产品全生命周期”的智能运维解决方案，提升高端装备远程运维和健康管理能力，支持企业构建基于 PHM 的服务型制造新模式。综上，国家层面的智能制造和“人工智能+”战略，为面向装备产品全生命周期的 PHM 技术发展指明了方向，江苏省则依托制造业基础雄厚和政策体系完善的优势，具备在装备制造领域率先开展 PHM 应用探索和模式创新的良好条件。

1.2 PHM 技术概述与企业应用分级

1) PHM 技术概述

预测与健康管理（PHM）是面向装备产品全生命周期的健康管理技术体系，通过对产品在设计、制造、试验、交付及服役阶段所产生的数据进行持续采集、分析和利用，实现对其健康状态的感知、评估与预测，从而支撑维护决策优化和寿命管理^[2-3]。

从功能上看，PHM 通常包含四个核心环节^[4]：一是状态感知，通过传感器、嵌入式控制器和通信网络等手段，对装备产品关键部件的工况数据、环境数据和载荷数据进行实时或准实时采集；二是健康评估与故障诊断，利用物理机理模型、统计分析或机器学习算法，对产品当前健康状态进行评估，识别潜在故障模式与劣化趋势；三是寿命预测与风险评估，在综合历史数据和运行工况的基础上，推断关键部件剩余寿命（RUL）和失效风险，为运维计划编制提供量化依据；四是维护决策与服务支撑，根据健康评估和寿命预测结果，优化检修策略和备件计划，支持远程运维、增值服务和服务型制造等新业务模式的构建。

对于装备制造企业而言，PHM 不仅是提升产品可靠性、安全性和可用性的技术工具，也是推动企业由单一产品提供方向“产品+服务”综合解决方案转型的重要支撑^[5]。通过在装备产品上嵌入 PHM 能力，企业可以在交付后持续掌握产品健康状态，向用户提供远程诊断^[6]、故障预警^[7]、寿命评估^[8]等增值服务，延长客户关系周期，形成基于全生命周期的服务型收益。

2) 装备产品 PHM 应用分级框架

为系统刻画江苏省装备制造业在装备产品 PHM 领域的应用水平，构建可对比、可统计的分析体系，本报告在梳理国内外应用实践的基础上，从产品功能、系统能力与运维模式三个层面提出了装备产品 PHM 应用分级框架，并将企业应用水平划分为一级（基础监测型）、二级（诊断预警型）和三级（全生命周期健

康管理型) 三个等级，如表 1 所示。

表 1 装备产品 PHM 技术应用分级

PHM 应用等级	应用水平	划分依据
一级	基础监测型	1. 在产品层面，对关键部件部署了部分传感器或监测单元，能够采集运行状态、环境参数等基础数据； 2. 在系统层面，普遍建设了监控平台或可视化看板，实现数据的实时显示和历史查询，但分析功能以阈值报警、简单统计为主； 3. 在运维模式上，维护策略仍以计划检修和故障后维修为主，PHM 数据更多用于事后分析和经验积累，对维护决策的直接支撑有限。
二级	诊断预警型	1. 在产品层面，围绕关键系统或故障高发部位，构建了健康指数、故障识别模型或规则库，能够对典型故障模式实现在线诊断； 2. 在系统层面，监测平台集成了健康评估、趋势分析与预警功能，可以对异常工况进行提前预警，并形成告警记录与处理闭环； 3. 在运维模式上，部分产品或项目已尝试基于健康状态调整检修周期，在个别项目中探索“按状态检修”“按风险检修”，但尚未在企业整体业务中普遍推广。
三级	全生命周期健康管理型	1. 在产品层面，PHM 能力在多个产品系列上实现标准化配置，从设计阶段就同步考虑传感布置、数据接口和健康架构，实现设计—制造—试验—服役数据的贯通； 2. 在系统层面，构建了覆盖多产品、多项目的统一 PHM 平台，与 PLM、MES、ERP 等系统深度集成，形成从健康数据到运维服务、备件管理、产品改进的闭环； 3. 在运维模式上，企业已形成基于 PHM 的远程运维服务、健康评估服务，将 PHM 作为拓展营收、塑造品牌和参与市场竞争的重要抓手。

在后续调研中，本报告将以该分级框架为参照，对不同细分行业、不同规模和类型企业的 PHM 应用水平进行归类与对比分析，识别各等级企业在技术能力、数据基础、商业模式和政策需求等方面的共性特征和主要差距，为制定差异化支持策略和发展路径提供依据。

1.3 调研意义

江苏省装备制造业作为全省经济的支柱产业，正处于由数字化向智能化、网络化全面升级的关键时期。面向装备产品全生命周期的预测与健康管理（PHM）技术推广应用，既是提升装备在服役过程中的可靠性与运行效率的重要途径，也是推动产业高端化和服务化发展的必然要求。在政策体系日趋完善、产业基础持续夯实的背景下，系统开展全省装备制造业 PHM 技术应用现状调研，具有重要的现实意义和战略价值。

（1）服务战略决策的现实需要。通过系统调研江苏省装备制造业 PHM 技术的应用现状、实施模式与瓶颈问题，可为省级主管部门提供第一手决策依据，支撑智能制造、工业互联网、设备更新改造等相关政策的优化完善。调研结果将有助于客观评估政策落地成效，识别支持短板和关键环节，为下一阶段的产业规划、项目布局和政策设计提供科学支撑。

（2）推动企业技术创新与转型升级。调研将全面梳理省内重点行业和典型企业在 PHM 实施过程中的经验做法与共性难题，探索形成可复制、可推广的技术路径和产业模式。通过总结示范案例、提炼成熟方案，促进 PHM 技术在更多中小装备制造企业中的落地应用，推动企业从“数字化生产管理”逐步迈向“面向装备产品全生命周期的智能化健康运维”，提升整体运维服务能力和价值创造能力。

（3）构建政策与产业协同发展的支撑体系。本次调研不仅关注技术应用层面的成熟度，更侧重从产业生态、标准体系与人才供给等维度进行系统分析。通过对政策环境、企业需求和科研能力的综合梳理，为政府制定针对性扶持政策、完善多层次服务体系提供数据支撑，推动形成“政策引导—企业主体—科研支撑—社会服务”协同推进的良性格局。

（4）强化江苏在全国 PHM 领域的示范引领作用。江苏省具备产业基础雄厚、创新资源集聚、政策体系较为完备等综合优势。系统总结装备制造业 PHM 技术的推广现状与发展路径，有助于提炼可复制的“江苏经验”，为全国装备产品全生命周期健康管理和智能化转型提供可借鉴的思路与模式，进一步巩固和提升江苏在智能制造与 PHM 领域的标杆地位。

2、江苏省装备制造业 PHM 行业现状

2.1 行业分类

全面把脉江苏省装备制造业 PHM 技术的应用现状，首要在于建立一个科学、系统的行业分析框架。为此，本研究直接嵌入江苏省 1650 现代化产业体系，从中遴选出十大装备制造集群作为观测基点。这一分类不仅体现了省级产业的战略

布局，也确保了研究样本的代表性与覆盖面。本报告所聚焦的行业，既涵盖了新型电力装备、轨道交通等传统优势产业，也囊括了新能源、低空经济等新兴增长引擎。

表 2 行业以及代表企业

行业	公司名称	行业	公司名称
新型电力装备行业	国网江苏省电力有限公司	现代农机装备行业	常州东风农机集团有限公司
	江苏森源电气股份有限公司		江苏沃得农业机械股份有限公司
	通鼎集团有限公司		久保田农业机械（苏州）有限公司
	南瑞集团有限公司		江苏雷沃农业装备有限公司
	江苏上上电缆集团有限公司		江苏中联重科农业装备有限公司
	金风科技（江苏）有限公司		南京埃斯顿自动化股份有限公司
新能源行业	明阳智慧能源集团（江苏）有限公司	智能制造装备行业	苏州纽威数控装备股份有限公司
	中船海装风电股份有限公司		南京熊猫电子装备有限公司
	江苏东海风电装备有限公司		江苏金源高端装备有限公司
	江苏金海新能源装备有限公司		江苏三乔科技智能有限公司
	苏州元硕数字科技有限公司		比亚迪汽车有限公司常州基地
生物医药行业	无锡康哲医药装备有限公司	新能源汽车行业	宁德时代江苏新能源科技有限公司
	南京艾普生物医药装备有限公司		江苏理想汽车制造有限公司
	常州科迈生物装备有限公司		上汽大众汽车有限公司南京分公司
	苏州华润医药装备有限公司		上汽时代动力电池系统有限公司

	扬子江船业集团		亿维特（南京）航空科技有 限公司
	南通中远海运川崎船舶 工程有限公司		江苏亨睿航空工业有限公司
高技术船舶与海 工装备行业	中船动力集团有限公司 南通公司	低空经济装 备行业	昆山鲲鹏无人机科技有限公 司
	江苏舜天船舶股份有限 公司		飞鸿（昆山）能源动力科技 有限公司
	中天海洋工程有限公司		江苏宝利航空装备投资有限 公司
	中车南京浦镇车辆有限 公司		科沃斯机器人股份有限公司
	南京康尼机电股份有限 公司		无锡雪浪数制科技有限公司
轨道交通装备行 业	中车戚墅堰机车有限公 司	人工智能行 业	乐聚（苏州）机器人技术有 限公司
	徐州中车轨道交通装备 有限公司		苏州灵猴机器人有限公司
	中车南京浦镇城轨车辆 有限责任公司		知行汽车科技（苏州）股份 有限公司

注：根据江苏省“1650”产业体系划分

2.2 PHM 行业现状

江苏省装备制造业在智能化转型背景下，积极推广故障预测与健康管理（PHM）技术，以提升设备可靠性、降低运维成本并推动服务化延伸。以下针对新型电力装备、新能源和生物医药等重点行业，分析其 PHM 技术应用现状，并基于 PHM 应用等级划分（基础监测型、诊断预警型、全生命周期健康管理型）评估各行业所处阶段。

1) 新型电力装备行业

新型电力装备行业是江苏省 PHM 技术应用较为成熟的领域之一。该行业重点关注变压器、断路器、输电线路等关键设备的状态监测与故障预警，以应对电网规模庞大带来的运维压力。行业通过部署传感器和建设省级平台（如国网江苏电力的变压器健康诊断平台），实现数据汇聚和动态评估，并推动 PHM 与数字孪生技术融合。代表性企业如南瑞集团研发 PHM 系统与数字孪生模型，江苏森源电气针对高压断路器开发寿命预测模型，通鼎集团开发光纤 PHM 监测系统用

于输电线路多参量监测。

该行业整体处于二级诊断预警型。在产品层面，企业构建了健康指数和故障识别模型（如变压器状态估计、电缆老化预测）；在系统层面，平台集成健康评估与预警功能（如省级平台实现精准检修）；在运维模式上，部分项目尝试“按状态检修”（如动态评估策略），但尚未在全业务范围普及。个别企业（如国网江苏电力）正向三级过渡，通过数字孪生平台推动数据贯通，但设计阶段标准化和系统集成仍需加强。

2) 新能源行业

新能源行业（以海上风电为主）将 PHM 技术作为降低运维成本、提升风机可靠性的核心手段。行业通过财政补贴政策激励开发商采购省内 PHM 系统，重点实现风机主轴、齿轮箱、发电机等关键部件的实时监测与寿命预测。代表性企业如金风科技建设全生命周期健康管理平台，明阳智能集成 MY-PHM 3.0 系统与 SCADA 平台，中船海装推动“数字孪生+PHM”融合，实现故障预测与健康评分。

该行业以二级诊断预警型为主，部分向三级探索。在产品层面，企业部署多维传感模块并构建健康评估模型（如振动、温度监测）；在系统层面，平台具备趋势分析与远程运维功能（如 GW Smart-PHM 系统）；在运维模式上，基于健康状态调整维护周期已在示范项目中应用（如南通海上风场），但未形成全生命周期闭环。尽管企业尝试通过平台集成推动服务化，但 PHM 在设计阶段的标准化及与 PLM/ERP 的系统集成仍处于初期。

3) 生物医药行业

生物医药行业关注 PHM 技术以应对关键设备（如冻干机、离心机、液氮罐）突发故障导致的批次损失和合规风险。行业通过工业互联网平台部署传感器（如振动、温度、噪声），实现故障提前预警和 FDA/EMA 合规记录生成。代表性企业如苏州元硕部署 RIIWORX 系统对冻干机轴承进行预测性维护，无锡康哲在液氮罐群上线多维 PHM 模块实现 24 小时报警，常州科迈在灌装线集成振动监测模块。

该行业整体处于二级诊断预警型。在产品层面，企业构建了故障识别模型与预警规则（如轴承振动分析、温度异常检测）；在系统层面，平台集成健康评估与告警闭环（如 RIIWORX 系统生成电子记录）；在运维模式上，基于 PHM 的“按状态检修”已帮助客户降低样本报废率，但多限于单设备或示范项目，未与企业级系统（如 ERP）深度集成。财政补贴推动智能化样本库建设，但 PHM 能力尚未在产品阶段标准化。

4) 高技术船舶与海工装备行业

高技术船舶与海工装备行业将 PHM 技术应用于船舶动力系统（如主机、增

压器）和海洋工程装备（如起重机、DP 系统），以提升航行安全和运营效率。行业依托骨干企业推动实时监测与故障定位，例如中船动力研制低速机 PHM 系统实现国内首例实船商业应用，扬子江船业推进主推进系统智能诊断，中天海洋工程构建远程运维平台与船级社数据对接。

该行业以二级诊断预警型为主。在产品层面，企业开发故障树算法和健康评分模型（如低速机状态监测）；在系统层面，平台具备趋势分析与远程诊断功能（如边缘计算节点实时定位故障）；在运维模式上，部分项目探索“按风险检修”（如远程诊断中心），但 PHM 模块多聚焦关键设备，未覆盖全船系统。尽管政策支持设备更新补助，但 PHM 与设计制造数据的贯通及平台集成仍待加强。

5) 轨道交通装备行业

轨道交通装备行业聚焦列车关键部件（如车门、转向架、制动系统）的健康监测，以提升运行安全性和维护效率。行业通过政策专项资金支持 PHM 研发，例如南京康尼机电实施 PHM2.0 专利导航项目，开发车门故障预测算法与云平台；中车浦镇在转向架部署传感网络，推动智能运维一体化系统。

该行业处于二级诊断预警型向三级过渡阶段。在产品层面，企业构建故障预测算法并部署边缘 PHM 模块（如车门智能运维平台）；在系统层面，平台集成健康评估与远程诊断功能（如车载总线数据上传）；在运维模式上，基于 PHM 的“按状态检修”已在示范线应用（如南京城轨车辆健康管理），并通过专利布局推动技术标准化。部分企业（如中车浦镇）正尝试与 TCMS 系统集成，实现数据贯通，但全生命周期闭环管理和服务化拓展尚在探索中。

6) 现代农机装备行业

江苏省的现代农机装备行业在 PHM 技术应用方面处于逐步发展阶段，尤其是在精准农业和智能化农机设备的推广应用，PHM 技术的角色日益重要。随着农业机械化水平的不断提升，农机设备的高效性和可靠性成为提升农业生产效益的关键因素。该行业主要通过部署传感器、建设监控平台以及整合农业生产管理系统的集成，来实现设备状态监测、故障预警和健康管理。代表性企业如江苏中联重科、江苏农机集团等，已开始研发并部署 PHM 技术，通过智能传感器实时监测农机的各类参数（如发动机状态、液压系统压力、燃油消耗等），并将数据反馈至集中管理平台，实现设备健康评估、故障诊断和维护决策支持。

在 PHM 技术的具体应用层级上，现代农机装备行业大多数企业处于一级基础监测型阶段，仍以简单的状态监测和阈值报警为主，运维模式依赖传统的计划检修和故障后维修。部分领先企业（如中联重科）已经开始向二级诊断预警型发展，逐步在部分高端农机产品上实现故障诊断和健康评估，并在个别项目中尝试基于健康状态调整检修周期。尽管如此，行业整体仍在推进 PHM 技术的标准化

和系统集成方面处于起步阶段，未来仍需在设计阶段的标准化及跨平台数据集成方面进一步发展。

7) 智能制造装备行业

江苏省的智能制造装备行业在 PHM 技术应用方面正快速发展，特别是在提升生产效率、延长设备使用寿命和降低运营成本方面，PHM 技术起到了至关重要的作用。随着智能制造和工业互联网的深入推进，江苏省内的智能制造企业逐渐应用 PHM 技术监测和评估关键生产设备（如数控机床、机器人、自动化生产线等）的运行状态。企业通过在设备上部署传感器、搭建监控平台，并利用大数据和人工智能技术对设备健康状况进行分析和预测，提升了设备的自主诊断能力和维护效率。代表性企业如江苏华力、艾克瑞机器人等，已在设备运行中应用 PHM 技术，实时监控关键部件的运行数据，并通过健康评估优化设备维护计划，减少了设备停机时间和维修成本。

整体来看，智能制造装备行业的 PHM 技术应用仍以一级基础监测型为主，企业通过传感器采集设备的运行状态数据（如温度、振动、压力等），并在系统平台上进行数据可视化和历史查询，帮助管理人员实时掌握设备健康状况。通过集成监控平台，部分企业已经开始应用简单的故障预警功能，如设定预警阈值，提醒维修人员对设备进行定期检查。然而，行业内许多企业的 PHM 技术仍处于初步阶段，维护模式普遍以计划检修和故障后维修为主，PHM 技术更多用于事后分析和经验积累，直接支撑决策的能力尚在提升过程中。

8) 新能源汽车行业

江苏省的新能源汽车行业在 PHM 技术应用方面正在快速发展，尤其在电池管理系统、驱动电机、动力系统等核心部件的健康监测和故障预警方面取得了显著进展。随着新能源汽车技术的不断成熟，行业内的企业开始重视 PHM 技术在提升车辆可靠性、延长使用寿命和保障用户安全方面的作用。通过对电池状态、充电循环、温度控制、驱动电机等关键部件进行实时监控和健康评估，企业能够及时发现潜在故障，优化维修方案，并有效降低车辆的故障率。代表性企业如比亚迪、蔚来汽车等，已在车辆中集成 PHM 系统，通过传感器实时监测电池组、电机系统等的工作状态，并通过大数据分析提供健康评估和故障预警。

整体来看，江苏省新能源汽车行业的 PHM 技术应用主要集中在一级基础监测型和二级诊断预警型之间。企业在产品层面已普遍采用传感器对电池、电机、充电系统等关键部件进行监控，并将数据汇总到车载系统或云平台进行分析。通过数据的实时展示和历史查询，管理人员能够了解设备的工作状态和健康状况。部分领先企业开始在系统层面集成简单的故障预警功能，如电池电量异常、温度过高等情况的告警，但整体的运维模式仍以定期检查和故障后维修为主。尽管如

此，随着技术的不断发展，一些企业已开始探索基于健康状态的维保模式，尝试通过 PHM 数据优化维护决策，提高车辆的运维效率和使用寿命。

9) 低空经济装备行业

江苏省的低空经济装备行业，特别是在无人机和小型飞行器的应用领域，近年来在 PHM 技术方面取得了显著进展。随着低空经济的快速发展，越来越多的无人机、空中出租车和轻型飞行器开始应用于农业、物流、巡检等行业，这些设备的可靠性和安全性成为关键。企业通过部署传感器和建立智能监控系统，实时监测飞行器的动力系统、电池状态、传感器精度等关键部件的运行状况，确保设备的安全稳定运行。代表性企业如江苏大飞无人机、蓝鸟飞行器等，已开始集成 PHM 系统，用于实时健康监测、故障预警和飞行数据分析，提高设备的运营效率，降低事故风险。

整体而言，低空经济装备行业的 PHM 技术应用主要集中在二级诊断预警型阶段。企业普遍通过传感器收集设备的运行数据，如电池电量、飞行器姿态、发动机温度等，并通过数据平台进行实时显示和历史记录查询，帮助操作人员及时了解设备状态。在系统层面，部分企业已在监控平台上集成了健康评估和预警功能，如电池电量不足、过载飞行等情况的提前预警。尽管如此，大多数企业的运维模式仍主要依赖定期检查和故障后维修，PHM 数据更多用于事后分析和经验积累，直接支持维护决策的能力还在不断提升中。随着低空经济的不断发展，行业也在逐步向更加智能化的 PHM 应用迈进，部分领先企业已开始尝试通过健康管理平台整合飞行数据与运维管理，探索更为精细化的运维模式。

10) 人工智能行业

江苏省的人工智能行业在 PHM 技术应用方面的潜力巨大，尤其在智能硬件、自动化系统、机器人和数据中心等领域的装备健康管理中，PHM 技术得到了广泛关注和应用。随着 AI 技术的广泛普及，越来越多的智能设备和系统开始集成 PHM 技术，以提升系统的可靠性、减少故障停机时间，并优化维护决策。企业通过在设备上部署传感器、监控系统及大数据分析平台，对 AI 硬件的工作状态、温度、负载、振动等关键参数进行实时监测和健康评估，确保设备在高效、稳定的状态下运行。代表性企业如江苏智源科技、苏州工业园区的 AI 产业链企业等，已将 PHM 技术应用于机器人、智能制造设备及云计算平台中，实现了对硬件设备及系统运行的全程监控和健康管理。

在 PHM 技术应用层面，江苏省的人工智能行业大多处于二级诊断预警型。在产品层面，企业通过部署各类传感器（如温度传感器、电流传感器、震动传感器等）采集硬件设备的关键运行数据，并通过监控平台进行实时显示和历史查询，确保设备始终处于健康状态。在系统层面，越来越多的企业开始集成简单的健康

评估和预警功能，如通过 AI 算法分析设备运行趋势，提前预警可能的故障。尽管如此，行业大部分运维模式仍依赖传统的定期维护和故障后维修，PHM 数据更多用于设备的事后分析与优化，而对于实时的维护决策支持仍处于探索阶段。随着 AI 技术的发展，部分企业已开始尝试基于健康状态的智能维护策略，探索利用 PHM 技术更好地提高系统的自主修复能力和运维效率。

3、典型企业 PHM 技术应用现状

为更直观地展示江苏省装备制造企业在 PHM 技术方面的应用水平，选取常州东风农机集团有限公司、宁德时代江苏新能源科技有限公司和科沃斯机器人股份有限公司作为典型案例。三者分别代表传统农机制造企业、新兴新能源汽车与动力电池企业以及先进人工智能企业，在产业属性、数字化基础和 PHM 发展阶段上具有明显差异，能够反映不同类型企业在 PHM 推进过程中的共性与差异性。

3.1 常州东风农机集团有限公司

作为江苏省现代农机装备行业的代表，常州东风农机集团有限公司始建于 1952 年，是我国较早的农机装备制造企业之一，主要产品涵盖大中型轮式拖拉机、联合收割机、插秧机、烘干机以及农机具等，长期位居国内轮式拖拉机行业前列，多次入选“中国机械工业百强”和“农机工业五十强”；2009 年被认定为高新技术企业，2014 年被批准为国家认定企业技术中心，拥有世界先进的 P40C 齿轮测量中心、三坐标测量仪、三维激光切割机、卧式加工中心和立式加工中心等一批仪器设备，以及精密卧式加工中心、立式加工中心、数控高速端面外圆磨床、智能化复合加工机床、五轴数控磨削中心、牵引负荷车、拖拉机 PTO 试验台、CVT TCU 硬件和底层程序开发软件等试制试验检测设备，属于典型的中等规模老牌农机企业。

从 PHM 技术成熟度来看，东风农机目前总体上仍处于一级基础监测型阶段，其特点概括如下：

（1）产品层面：现有拖拉机、收割机等主机产品已普遍配置基本的运行参数监控功能，如发动机转速、水温、油压等仪表显示，并通过简单的告警灯或蜂鸣器提示超限工况。但这些功能主要面向单一阈值越限报警，对故障机理的刻画较弱，尚未形成系统化的健康指数或故障模式库。

（2）系统层面：企业依托多年建立的售后服务网络和服务站体系，形成了较完善的维修服务流程和备件供应体系，能够实现故障信息上报、派工和维修闭环。然而，目前监测数据以离线采集和人工记录为主，缺乏对设备全寿命周期的连续数据采集与集中分析，尚未构建统一的远程监控或运维数据平台。

（3）运维模式层面：东风农机在全国范围内推行“定期保养+故障报修”相

结合的运维模式，即根据说明书规定的作业小时数进行计划性保养，同时在发生故障后由用户报修再安排服务工程师现场检修。该模式本质上仍属于传统计划检修与故障后维修，仅在个别大马力机型上尝试延保、服务包等管理方式，对基于健康状态的检修周期优化和风险分级管理尚处于探索阶段。

综上，常州东风农机已具备一定的装备监测与服务保障能力，但在数据采集连通性、健康评估建模和预测性维护机制方面仍相对薄弱，属于 PHM 一级基础监测型企业。

3.2 宁德时代江苏新能源科技有限公司

宁德时代江苏新能源科技有限公司是宁德时代新能源科技股份有限公司在江苏省溧阳投资建设的全资子公司，主要从事新能源汽车动力电池的研发和智能制造，是宁德时代面向华东地区的重要生产基地，其动力电池使用量连续八年全球第一，储能电池出货量连续四年全球第一，具有神行 PLUS 电池、天恒储能系统、天行商用动力电池、磐石底盘等知名产品品牌。宁德时代作为全球领先的动力电池与储能系统供应商，长期深耕电池管理系统（Battery Management System, BMS）与云端电池健康管理技术，并在车载与换电等场景中形成了较为完备的 PHM 解决方案。

宁德时代江苏新能源科技有限公司整体处于二级诊断预警型阶段，部分业务已向三级预测优化型演进，其典型特征概括如下：

（1）产品层面：围绕关键部件构建健康指数与故障识别模型。动力电池系统集成高精度 BMS，对单体电芯电压、电流、温度等关键参数进行实时采集和均衡控制，并依据宁德时代累计的大规模运行数据，构建了电池健康度评估模型、剩余续航估计模型以及典型故障模式规则库。通过车端 BMS 与云端模型协同，可对过充、过放、热失控等典型故障模式实现在线诊断与告警，为 PHM 的诊断功能提供了基础。

（2）系统层面：建设云端健康管理趋势预警平台。依托宁德时代构建的云 BMS 与“电池管家”等数字化平台，对海量运行车辆的电池状态进行集中监测与分析。平台可在云端持续跟踪电池健康度变化，进行趋势分析、寿命预测和异常模式识别，实现从单车到车队、从单块电池到整站的多层级监控。相关应用显示，云 BMS 能将电池健康度建模与预测结果用于提前预警热失控或性能衰减风险，部分系统可在风险发生前 30 分钟发出预警，并将续航预测误差控制在 5% 以内。这些功能已经超越传统阈值告警，属典型的系统级诊断与预警型 PHM 应用。

（3）运维模式层面：探索基于健康状态的检修与全生命周期管理。在部分车队运营和换电业务场景中，宁德时代江苏新能源科技有限公司依托云端平台对

电池进行全生命周期管理，即通过健康度和寿命预测结果，对电池进行分级管理和状态筛选，将高风险电池提前安排下线检查或梯次利用；以云端监测结果替代固定周期保养，探索“按健康状态检修”“按风险等级检修”的运维模式，延长健康电池的使用周期，降低不必要的停机与更换成本；面向 C 端用户，通过 App 提供电池健康报告、使用行为分析与维护建议，引导用户优化充电与使用习惯，从而进一步提升系统可靠性和经济性。

总体而言，江苏时代依托宁德时代集团在 BMS、云平台和大数据建模方面的持续投入，已在产品在线诊断、系统级状态评估以及基于健康状态的运维决策等方面形成较成熟的实践，代表了我国新能源汽车与动力电池领域 PHM 应用的较高水平。

3.3 科沃斯机器人股份有限公司

科沃斯机器人股份有限公司（以下简称“科沃斯”）成立于 1998 年，总部位于江苏省苏州市，是国内领先的家用服务机器人企业，同时也是全球智能清洁设备制造的先锋。作为全球领先的智能清洁机器人制造商，科沃斯致力于为用户提供智能家居解决方案，其核心产品包括扫地机器人、擦窗机器人和空气净化机器人等。科沃斯在智能硬件和智能服务领域的创新与发展，在行业内产生了深远的影响。

科沃斯的 PHM 应用已逐步实现从传统设备监控到智能化诊断、预测及优化的演进，逐步构建起了基于健康管理的运维模式。整体来看，科沃斯的 PHM 应用整体处于二级诊断预警型阶段，且在多个领域都取得了显著的应用进展，主要体现在以下几个方面：

（1）产品层面：健康指数与故障预测模型的构建。科沃斯的家用机器人产品，如扫地机器人和擦窗机器人，采用了先进的传感器技术，能够实时监测设备的运行状态。每台机器人都配备有高精度传感器，用于采集电池电量、运动状态、环境障碍物等关键数据，并通过智能算法进行数据处理与分析。这些数据被实时上传至云端，形成产品的健康数据流。基于海量的运行数据，科沃斯逐步构建了健康度评估模型和故障预测模型。通过算法对比正常工作状态与故障模式之间的差异，能够及时识别电池衰退、运动模块失灵等潜在问题。科沃斯通过这种方式，精准实现了对设备运行健康状况的实时监控，并能够在故障发生之前发出预警，极大地提升了产品的可靠性和用户体验。

（2）系统层面：健康管理云平台的建设。为了进一步提升机器人产品的健康管理水平，科沃斯开发了基于云端的智能健康管理平台，命名为“科沃斯云管家”。该平台能够对各类机器人产品进行集中监控，并实现健康数据的存储、分析与预测。平台通过采集每台机器人传回的健康数据，进行健康状况趋势预测、

故障风险评估及剩余寿命预测，为运维人员提供决策支持。在云平台的支持下，科沃斯的智能清洁机器人能够实时反馈电池状态、清洁效率和环境适应性，甚至可以根据不同家庭环境自动调整清洁策略。对于经常出现故障的机器人，云平台能够精准识别并预测问题发生的时间，提供提前维修或替换的方案。这种预防性健康管理方法显著提升了机器人产品的使用寿命和用户的服务体验。

（3）运维模式层面：基于健康管理的全生命周期管理。科沃斯的 PHM 解决方案不仅在产品层面和系统层面得到了有效实施，还通过全生命周期管理进一步提高了产品的运维效率。在一些长期使用的机器人产品中，科沃斯利用健康度预测数据对机器人进行分级管理。通过云平台的监测结果，运维人员能够了解到每台机器人电池的健康状况及其他关键部件的使用情况，并根据设备的风险等级安排定期检查与维护。科沃斯探索了一种“按健康状态检修”的运维模式，在这种模式下，机器人的维护不再基于固定周期，而是根据机器人实际的健康状况来决定。对于健康状况良好的机器人，延长使用周期，减少不必要的维护成本；对于风险较高的机器人，提前安排检修或更换，降低故障发生的概率。这一运维模式的成功实施，不仅降低了整体维护成本，还提升了用户的使用体验。此外，科沃斯还面向 C 端用户，推出了专门的手机 App，用于提供智能健康报告、使用行为分析和维护建议。通过这些功能，用户可以实时了解机器人产品的运行状态，掌握产品健康信息，并根据 App 提供的使用建议优化日常操作习惯。通过引导用户正确使用设备，科沃斯进一步提升了产品的可靠性和经济性。

总体而言，科沃斯机器人股份有限公司依托其在智能硬件、云计算和大数据分析方面的持续创新，已经在 PHM 领域取得了显著的成就。从产品健康度评估、故障预测到基于健康管理的运维决策，科沃斯的 PHM 应用不断推动着行业的发展，代表了我国家用服务机器人领域 PHM 技术的先进水平。随着智能家居市场的不断扩大，科沃斯的 PHM 系统将在未来的产品发展和市场应用中发挥更大的作用，进一步引领行业向更加智能化、精准化的方向迈进。

4、核心结论与对策建议

4.1 主要结论

1) 应用水平呈梯度分布，整体处于转型关键期

江苏省装备制造业 PHM 技术已覆盖十大重点行业，形成“二级为主、三级突破、一级追赶”的格局。新型电力装备、新能源、轨道交通装备等行业整体处于二级“诊断预警型”，部分龙头企业正向三级“全生命周期健康管理型”过渡；现代农机装备、智能制造装备等行业仍以一级“基础监测型”为主，多数企业停留在简单状态监测与事后维修阶段。

2) 行业差异显著，发展动力与产业属性强相关

PHM 应用成熟度与行业技术密集度、设备价值、运维需求直接挂钩。高附加值装备（动力电池、轨道交通车辆）和高运维成本行业（海上风电、船舶海工）应用意愿强烈、成效突出，依托技术迭代和政策激励快速推进；而劳动密集型、设备标准化程度低的传统行业（如农机）受数字化基础薄弱、投入产出比顾虑等影响，应用进展相对迟缓。

3) 企业层级分化明显，龙头企业引领创新

龙头企业（如宁德时代江苏公司、科沃斯、南瑞集团）凭借技术积累、资金优势和数据沉淀，已构建“产品传感嵌入 + 云端平台分析 + 运维模式创新”的完整 PHM 体系，成为行业标杆；中小企业普遍面临数据采集不连贯、健康评估模型缺失、系统集成能力薄弱、资金人才短缺等问题，难以形成规模化、标准化的 PHM 应用能力，与龙头企业差距显著。

4) 核心瓶颈集中，多维度制约技术落地见效

全省 PHM 技术推广面临四大共性难题：一是标准体系缺失，不同企业数据接口、健康评估指标不统一，跨企业、跨行业数据共享壁垒突出；二是技术融合不足，PHM 与 PLM、MES、ERP 等企业现有系统集成度低，设计阶段同步嵌入 PHM 能力的标准化流程尚未形成；三是人才供给短缺，既懂装备物理机理又精通数据算法、运维服务的复合型人才缺口较大；四是商业模式不成熟，“产品 + 服务”的盈利模式尚未普遍落地，企业 PHM 投入的可持续性面临挑战。

5) 政策支撑成效显著，协同推进机制仍需完善

江苏省“智改数转网联”系列政策为 PHM 应用提供了坚实的制度和资金支持，有效推动了重点行业和龙头企业的技术试点；但政策支持多聚焦于设备改造和平台建设，针对 PHM 标准制定、人才培养、商业模式创新的专项支持不足，“政策引导 — 企业主体 — 科研支撑 — 社会服务”的协同推进机制尚未完全建立，政策落地的精准性和覆盖面有待提升。

4.2 政策建议

1) 构建差异化政策体系，精准赋能不同层级主体

针对一级“基础监测型”企业，设立“PHM 数字化改造专项补贴”，支持传感器部署、基础监控平台搭建和数据采集标准化；对二级“诊断预警型”企业，重点支持健康评估模型研发、跨系统集成项目，鼓励开展“按状态检修”“按风险检修”试点，给予试点项目资金配套；对三级“全生命周期健康管理型”企业，设立“PHM 模式创新专项资金”，扶持远程运维、服务型制造等新业态，推广“产品 + 服务”盈利模式。

2) 加快标准体系建设，打通数据融通壁垒

牵头组建江苏省 PHM 产业联盟,联合龙头企业、科研院所制定设备数据接口、健康评估指标、故障模式分类等地方标准,统一行业应用规范;搭建跨行业 PHM 数据共享平台,明确数据安全与产权界定规则,支持企业基于行业共性数据训练通用型健康模型,降低中小企业应用门槛;推动标准与国家智能制造战略对接,争取“江苏标准”成为全国行业参考。

3) 强化技术创新与人才培育,夯实产业基础

将 PHM 关键技术(多源传感融合、剩余寿命预测算法、数字孪生集成等)纳入省级科技攻关计划,支持产学研协同研发,加速技术成果产业化;在高校和职业院校增设“装备健康管理”相关专业方向,开展企业在职人员专项培训,培养复合型技术人才;鼓励企业与科研机构共建 PHM 联合实验室,聚焦行业共性技术难题开展定向攻关。

4) 推动平台化与模式创新,拓展应用场景

支持建设省级工业 PHM 公共服务平台,为中小企业提供数据存储、模型租赁、运维咨询等轻量化服务,降低应用成本;选取农机、生物医药装备等行业开展“基础监测→诊断预警→全生命周期管理”升级试点,打造可复制的推广路径;鼓励金融机构推出“PHM 服务贷”,支持企业基于运维收益开展市场化融资,破解资金难题。

5) 优化产业生态,强化示范引领

评选省级 PHM 应用标杆企业和典型案例,编制《江苏 PHM 应用指南》,系统推广龙头企业的技术路径和商业模式;推动产业链协同发展,支持传感器、算法服务、运维服务等配套企业集聚,形成“核心装备+配套服务+数据支撑”的产业生态;加强跨区域合作,将 PHM“江苏经验”融入国家智能制造战略布局,巩固江苏在全国 PHM 领域的示范引领地位。

参考文献

- [1] 刘恩朋,杨占才,靳小波. 国外故障预测与健康管理系统开发平台综述[J]. 测控技术, 2014, 33(09): 1-4.
- [2] 年夫顺. 关于故障预测与健康管理系统技术的几点认识[J]. 仪器仪表学报, 2018, 39(08): 1-14.
- [3] 彭宇,刘大同. 数据驱动故障预测和健康管理系统综述[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(03): 481-495.
- [4] 李彦夫,韩特. 基于深度学习的工业装备 PHM 研究综述[J]. 振动.测试与诊断, 2022, 42(05): 835-847+1029.
- [5] 钟晶鑫,王建业,梁清龙. 装备电子系统故障预测与健康管理系统综述[J]. 飞航导弹, 2014, No.355(07): 72-75+81.

- [6] 和征,张同静,杨小红. 基于 BP 神经网络和遗传算法的设备故障诊断与健康管理模型研究[J]. 制造技术与机床, 2024, No.749(11): 9-15.
- [7] 石健,刘冬,王少萍. 基于数字孪生的机电液系统 PHM 关键技术综述[J]. 机械工程学报, 2024, 60(04): 66-81.
- [8] 李旭斌,田付强,郭亦可. 新型电力系统中电力设备健康管理 with 智能运维关键技术探究[J]. 电网技术, 2023, 47(09): 3710-3727.

附录

附录一 两场研讨会记录图

1、第一场专题研讨会



2、第二场专题研讨会





附录二 企业调研记录图







