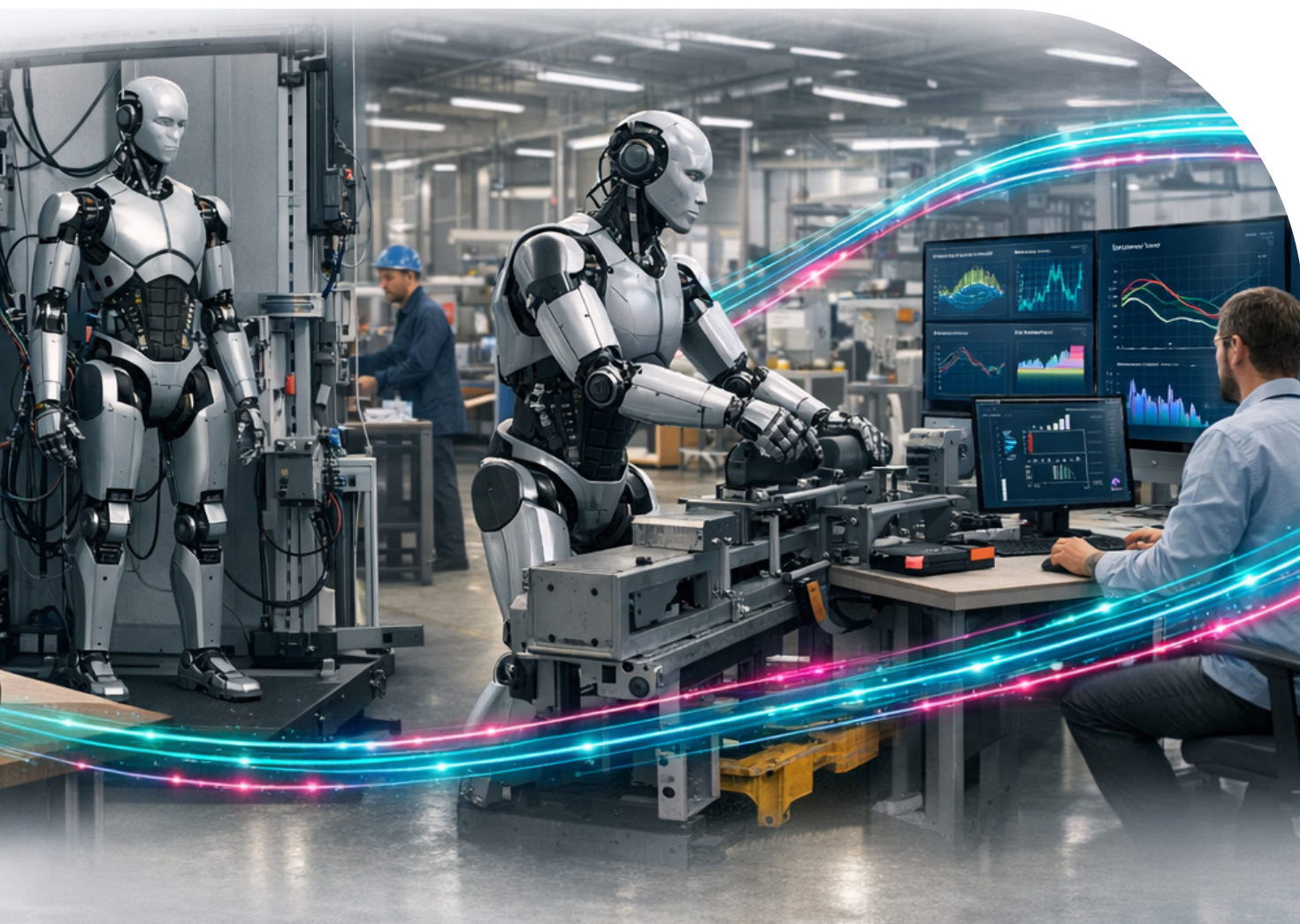




白皮书

在不断变化的世界中 构建耐用可靠的机器人

机器人技术在制造业、物流业、医疗保健业和服务业的应用正在加速。曾经局限于受控、可预测环境的技术现在正被部署到动态、真实的环境中。机器人不再是实验性技术，而是有望提供一致性能、安全和更长正常运行时间的运营资产。

与此同时，机器人的能力迅速扩大。人工智能、传感和控制系统的进步使机器人能够以前所未有的复杂程度感知、推理和行动。然而，随着这些系统变得更加强大，复杂性意味着故障风险增加。停机会扰乱供应链。意外故障会增加运营成本。在安全关键环境中，可靠性直接影响风险。

因此，耐用性和可靠性已成为决定机器人能否成功扩展或尽快部署的决定性因素。机器人创新的下一阶段将不是由机器人能做什么来定义的，而是由它们如何随着时间的推移持续、安全和可预测地做到这一点来定义。

挑战：为什么机器人的可靠性仍然很难

尽管技术取得了重大进步，但开发和部署可靠的机器人系统仍然是一个持续的挑战。这不是因为缺乏工程能力，而是因为机器人是一种新技术，在挑战传统耐用性和可靠性的条件下运行。

现实世界的运行条件变化很大

现代机器人面临着由不断变化的任务、环境和用户交互驱动情况下的复杂、多变的负载。与传统机械不同，机器人系统很少经历统一或可预测的占空比，这使得在设计过程中难以依赖简化的假设。

故障模式越来越相互关联

机器人将机械结构、电子、软件、传感器和电力系统结合成紧密耦合的架构。故障通常是系统性的，而不是局部的，因为机械退化、应力和控制行为以意想不到的方式相互作用。

可靠性往往解决得太晚

在许多项目中，耐用性和可靠性分析是在物理原型存在后引入的，更糟糕的是，在现场出现问题后引入的。到这个阶段，设计变更成本高昂，进度受到影响，对平台的信心也受到损害。

运行数据未得到充分利用

机器人产生大量的操作现场数据：力、扭矩、振动、温度和使用模式。然而，许多团队缺乏将这些数据转化为整个产品生命周期中可操作的耐用性和可靠性洞察力的实用方法。

这些挑战意味着，传统的、孤立的工程产品验证方法已不再足够。机器人技术要求对耐用性和可靠性有更全面、更面向生命周期的见解。

我们的观点：机器人耐久性和可靠性的新见解

随着机器人系统的发展，耐用性和可靠性的设计方式也必须如此。该行业正在进入一个必须从一开始就设计可靠性的时代，不断获取实际运行条件，实现系统级理解。

根据我们在复杂工程领域的工作经验，我们看到了塑造成功机器人项目的几个原则。

1. 可靠性必须被视为生命周期纪律

耐用性和可靠性不是一次性验证活动。它们必须涵盖早期概念设计、详细工程、测试、现场部署和作战支持。早期洞察可以防止后期意外，并实现自信的扩展。

2. 必须通过FMEA (故障模式和影响分析) 识别故障风险

FMEA及早识别设计风险，使团队能够分析和改进高风险因素。这对于设计复杂、历史知识库有限的机器人来说尤为重要。

3. 实际运行负载比假设更重要

可靠的机器人是建立在了解如何真正使用它们的基础上的。将测量的载荷、使用情况和环境条件纳入工程分析，使团队能够更自信地预测结构寿命、磨损行为和故障风险。

4. 数据必须转化为工程洞见

来自传感器和操作日志的大量数据只有在能够高效处理、情境化并转化为决策的情况下才有价值。仅仅进行测量是不够的：自动化、可重复的分析工作流程对于大规模实现数据驱动的持久性和可靠性至关重要。

5. 系统级思维至关重要

可靠性不能仅在组件级别进行优化。机器人作为由数百个组件组成的集成系统运行，机器人的可靠性由这些组件的可靠性的组合相互作用来定义。此外，机器人通常部署在可用性、可维护性和维修策略直接影响运营性能、正常运行时间和成本的集群中。系统层面的思考是关键。

6. 可靠性工程实现更好的业务成果

当主动解决耐用性和可靠性问题时，组织可以加快开发周期，降低重新设计风险，延长正常运行时间，提高操作安全性，降低总体拥有成本。可靠性成为一种战略推动因素，而不是制约因素。

在实践中实现可靠的机器人

应用这些原则需要关联设计和操作的工程环境, 结合耐久性分析、可靠性建模和现实世界的洞见。当这些功能关联起来时, 机器人团队可以更早地验证设计, 更快地对现场行为做出反应, 并在机器人或车队的整个生命周期内做出明智的决策。

这种综合方法支持:

- 早期识别结构和部件故障风险
- 实际使用运行负载和使用数据
- 定量可靠性和维护决策
- 自信地从原型扩展到部署

通过将可靠性工程植根于实际运行行为和系统级洞见, 机器人的生产商和用户能够更好地满足日益自主、关键任务应用的需求。



可靠性是机器人技术下一阶段的基础

机器人技术的未来更多地取决于耐用性、可预测性和信任性，而不仅仅是智能，因为可靠性最终决定了在复杂的战场环境中的成功。从早期设计到集群部署，优先考虑耐用性和可靠性的组织将最有能力扩展、适应和引领下一代机器人技术。

HBK如何支持机器人工程从设计到部署

随着机器人系统变得更加自主、复杂和操作关键，工程团队需要实用的方法来预测结构耐久性、管理可靠性风险，并从实际使用中学习。HBK通过一系列集成的耐久性和可靠性工程工具为机器人组织提供支持，这些工具将整个产品生命周期的设计、测试和操作关联起来。

HBK不是在部署后对故障做出响应，而是采用主动的、数据驱动的方法来设计和部署在不可预测的现实世界条件下可靠运行的机器人。

机器人结构的耐久性工程

机器人结构受到由运动、任务多样性和环境条件驱动的复杂、可变负载的影响。在开发早期预测疲劳寿命对于防止过早的结构故障和昂贵的重新设计至关重要。

HBK通过 **nCode DesignLife**，支持耐久性工程，使机器人团队能够：

- 预测机器人框架、关节、执行器外壳和末端执行器等结构部件的疲劳寿命
- 使用真实的负载输入识别耐久性热点
- 分析金属、复合材料和混合材料的疲劳开裂行为
- 在构建物理原型之前，使用有限元 (FE) 建模虚拟验证设计

这允许从一开始就主动设计耐久性，而不是通过被动测试来解决后期问题。

将机器人测试和现场数据转化为可操作的洞见

现代机器人需要连接数十个传感器。从力传感器、加速计、扭矩传感器、IMU和操作日志中生成大量时间序列数据。测量这些数据很容易：挑战在于将这些数据转化为可用的工程见解。

nCode GlyphWorks 被机器人团队用于：

- 高效处理大量测试和现场数据
- 从实际机器人使用中提取代表性事件和负载情况
- 采用数字信号处理并自动化分析工作流程
- 支持耐久性评估和预测性维护计划

这使得从实验室测试和部署的机器人中进行一致的学习成为可能，从而在设计假设和实际操作行为之间实现了闭环。

系统级可靠性和集群性能

机器人是由机械、电子和软件元素组成的复杂组件。这仅适用于单个机器人：对于许多组织来说，机器人被部署为集群，其中可用性、可维护性和正常运行时间至关重要。

ReliaSoft 为机器人应用提供了一个全面的可靠性工程环境：

- **ReliaSoft Weibull++**
需要预测机器人组件的可靠性吗？Weibull++ 是一个全面的可靠性分析工具，利用多种寿命分布进行寿命数据分析，并通过面向可靠性工程的直观界面进行保修和退化数据分析。
- **ReliaSoft Cloud**
需要识别关键新设计中的失败风险吗？ReliaSoft Cloud 易于部署和扩展，为各种规模的团队提供人工智能驱动的见解和强大的仪表板，以便在 FMEA 过程中进行有效的风险可视化和设计改进跟踪。

- **ReliaSoft Lambda Predict**

想要在没有任何故障数据的情况下尽早开始可靠性？
Lambda Predict有助于根据主要发布的标准进行可靠性预测分析，包括MIL-HDBK-217F (MIL-217)、Bell-core/Telcordia、FIDES、NSWC Mechanical和西门子SN 29500，并考虑了环境应力因素。

- **ReliaSoft BlockSim**

让我们从组件可靠性分析转向机器人复杂系统的建模。
ReliaSoft BlockSim为系统可靠性、可用性、可维护性和相关分析提供了一个全面的平台，允许您使用可靠性框图(RBD)、故障树分析(FTA)或马尔可夫图对最复杂的系统和流程进行建模。

- **ReliaSoft RCM++**

我们如何提高机器人的正常运行时间并最大限度地降低维护成本？ReliaSoft RCM++通过对机器人集群进行先进的以可靠性为中心的维护(RCM)分析，增强了资产可靠性并简化了维护计划。

这些工具共同使设计和部署机器人的团队能够从被动的故障响应转向主动的可靠性决策。

可扩展机器人技术的可靠基础

HBK支持制造、物流和工业自动化领域的机器人创新者，帮助他们：

- 减少开发时间和重新设计风险
- 增强对现实世界部署的信心
- 提高正常运行时间、安全性和生命周期性能
- 从一开始就设计出具有可靠性的机器人

通过结合耐久性分析、大容量数据处理和系统级可靠性建模，HBK为可靠、可扩展的机器人技术提供了坚实的基础。

