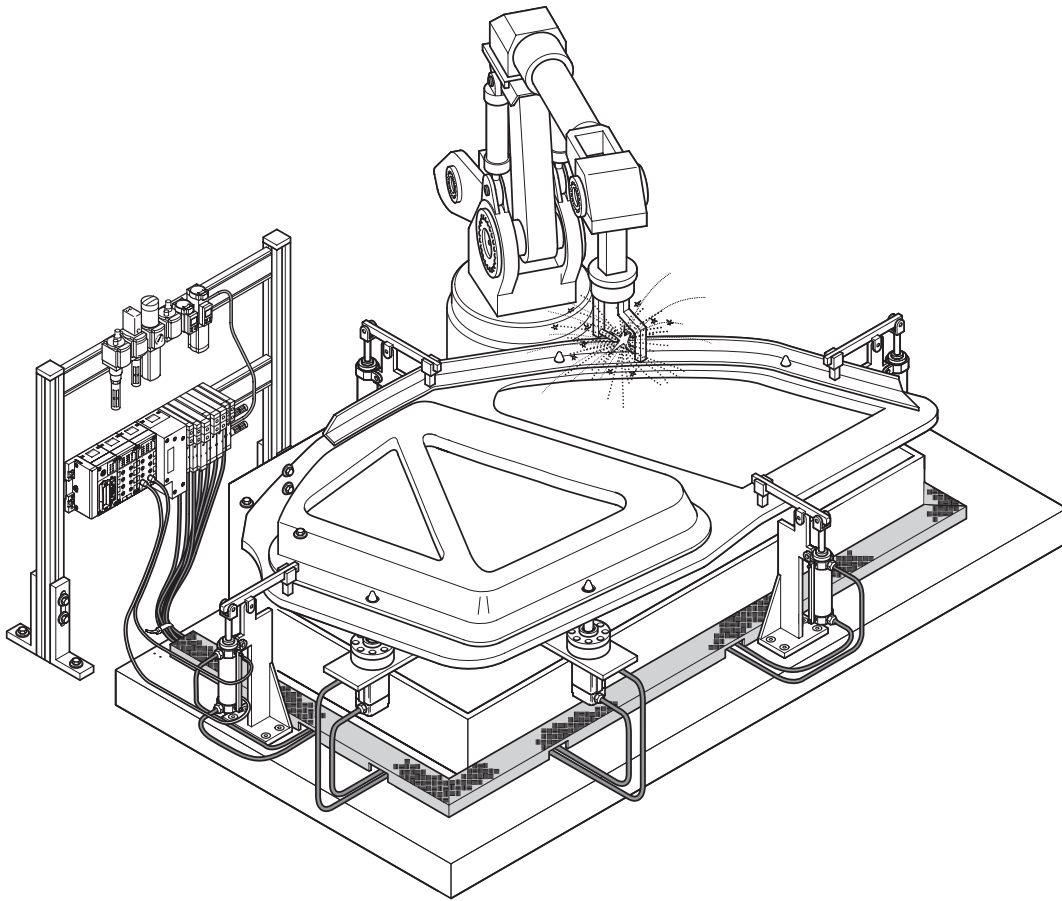


白皮书：气缸的预测维护，以气伺服焊枪为例

FESTO



新技术趋势的落地，如云计算、物联网和大数据，能帮助挖掘出车身制造中维护工作的巨大节省潜力。本白皮书以气伺服焊枪为例，来分析通过预测维护如何克服难题并大幅度提高生产率？

更详细内容：

- 概念和基础架构
- 分步推进计划，最大程度降低复杂度和风险
- 数据分析和数据透视
- 状态监测和 AI 模型
- 商业案例和数据主权

概述

车身制造的工艺链包括模具车间、车身车间和喷漆车间，是汽车工程整体的组成部分。在能源和维护成本方面，有着巨大节省潜力可挖。车身车间采用了大量的气缸技术，所以节能作为一个课题已被讨论和推广多年。¹

新技术趋势的落地，如云计算、物联网和大数据，如何能帮助挖掘出维护工作的巨大节省潜力？本白皮书以汽车工程领域中主要主机厂采用的气伺服焊枪为例，讨论了通过采用基于云端的附加值服务如何在客户项目中成功克服挑战并大幅度提高生产率。元件和过程数据是解释系统状态的重要起点。这种方法得出的通用结论，也可用于其它采用气缸的工业行业的维护工作。

¹ 创新联盟。车身车间高效利用压缩空气计划。技术报告，绿色车身制造 - 项目联合体, 2013

1. 预测维护的重点

1.1 面临的难题

预测维护这一课题越来越受到关注。从预测维护跨越到预测机器状态是大势所趋，但是要进一步优化维护工作，就要面对艰巨的难题。这种承诺是否实际上可实现？事实上，与传统的状态监测方法相比，工业 4.0 工具包目前提供了更多的机遇，如通过采集机器和过程数据并在云中用 AI 模型进行评估。



图 1. 汽车工程内的工艺段¹

1.2 数据解读附加的价值

目前，Festo 的机电系统产品，如用于电阻点焊焊枪的气缸，已经可以处理大量数据并进行压缩，以供维护诊断使用。但是，紧紧是提供和显示数据并不够。这里难题是要凭借对工艺的知识用设备和应用环境中采集的数据为终端客户带去真正的附加价值。只有这样，我们才能为元件制造商建立新的业务模式和可销售产品。作为信息流的一部分，预测还必须报告回相关系统/维护技术人员。这个车身车间的创新项目由终端客户发起，在特定的成熟管理过程后进行了选定和实施。首先，以透明的方式展示了项目概念并进行了分类。随后，测算了解决方案的潜力并以验证概念进行确认。之后，就是较大规模的项目试点。最终，用标准化元件实现规模化应用而推广开来。

在此背景下，Festo 已经在指定数字化战略，为客户开发相应的产品和服务，最重要的是软件解决方案^{2,3}。不过此类型的开发要求新方法，因为工业 4.0 业务需要比常规业务的传统产品开发更为动态的方法。事先不会全面敲定或明确要求。另一方面，定制化的解决方案基于应用知识，需要持续创新的方法和共享学习。此间习得的经验为在常规业务中进行复制提供了潜力。这是这些项目久经验证的基本过程：从一个特定大客户的项目开始，持续开发方法，但是然后还须确保方法能被复制，并开发了标准。

只有正确解读数据才能带来附加值。这需要对应用场景的知识。

¹ 创新联盟。车身车间高效利用压缩空气计划。技术报告，绿色车身制造 - 项目联合体，2013

² Roger Kehl. 新领域的首席信息官：数字化 - 从元件到云端
2017 年演讲稿，发表于 VDMA 大会

³ Jan Bredau 和 Filip Kubis. 客制化系统解决方案/气伺服焊枪预测维护，2018 年演讲稿，发表于 VDMA 大会

1.3 以挖掘节省潜力为目标

可行性研究的目标是展现节省潜力，同时创造附加值。

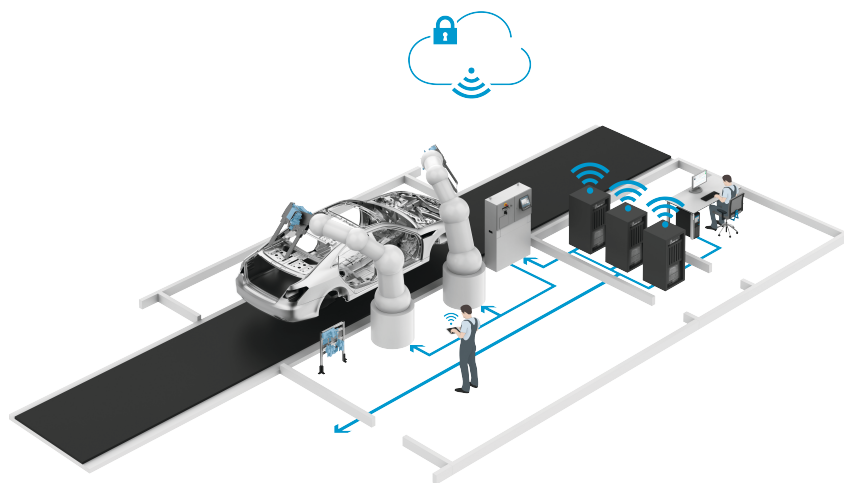


图 2. 通过工厂电脑将焊枪连接至云端

以上展现的场景中，为控制数据量（“量尽可能少，必要的不能少”），关键是数据采集的灵活可变或系统最小化。如果确实可能，应省去多余的传感器和设备。气伺服焊枪是一种机电系统，其驱动包和相应的调试软件在车身车间内应用多年；终端客户和技术供应商按生产相关要求而联合持续进行了进一步开发 (图 3 3)。

如今生产工艺大都被优化过了，但是汽车行业的维护工作还是有进一步优化的潜力。机器和系统可用性当然很高。但是要实现这种可用性水平的工作量（维护计划、备件库存管理、预防更换、维修、报修等）都需要被最大程度减少。这里开发的方法的目标群体很明显就是维护部门。由于车身车间内可观的节省潜力，开发项目的目标就定为了实现从状态监测一直到焊枪元件故障预测的算法，并整合到现有的基础设施内。

算法应预测元件故障。

³ Jan Bredau 和 Filip Kubis. 客制化系统解决方案/气伺服焊枪预测维护，2018 年演讲稿，发表于 VDMA 大会

2. 在气伺服焊枪上实现

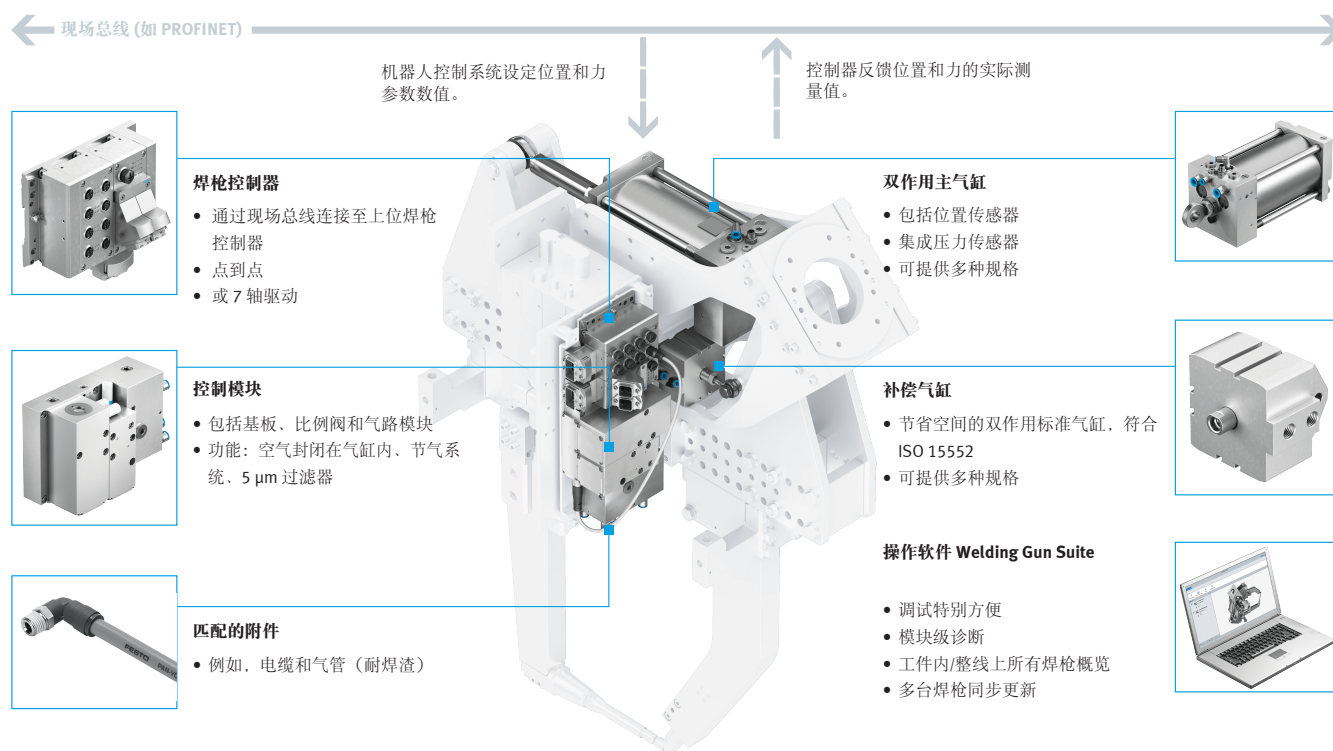


图 3. 气伺服焊枪的主要元件

C 和 X 型焊枪。现代化的驱动系统多采用闭环控制, 包括电伺服或气伺服焊枪。

气伺服驱动系统包括:

- 驱动气缸, 带集成压力和位置传感器
- 补偿气缸, 带平衡功能调节器
- 控制器, 带连接机器人的现场总线接口 (通常为 PROFINET)
- 电脑软件, 带图形界面, 用于调试、操作和诊断

机器人为系统提供位置和力控制的设定数值。

2.1 概念和基础架构

概念上, 一个软件程序 (Festo 焊枪云连接器) 被添加到机器人工间的现有电脑上。这个软件采集焊枪的诊断数据, 发送到云的接入点。云端运行一个维护应用程序, 在浏览器内显示数据 (维护仪表板), 在磨损成因和习得的故障成因的基础上相对于预期使用寿命进行评估 (图 4)。

2.2 分步推进计划

为达到预测维护的长期目标，需要制定分步推进计划，降低在落地过程中固有的复杂度和风险。每一步都为维护技术工程师带来附加值。

- 1 定义、假设和云连接
- 2 数据采集、显示和评估；状态监测模型
- 3 创建以预测维护为主的物理模型和 AI 模型
- 4 推出预测维护产品

逐步推进的方法最大限度降低了复杂度和风险。

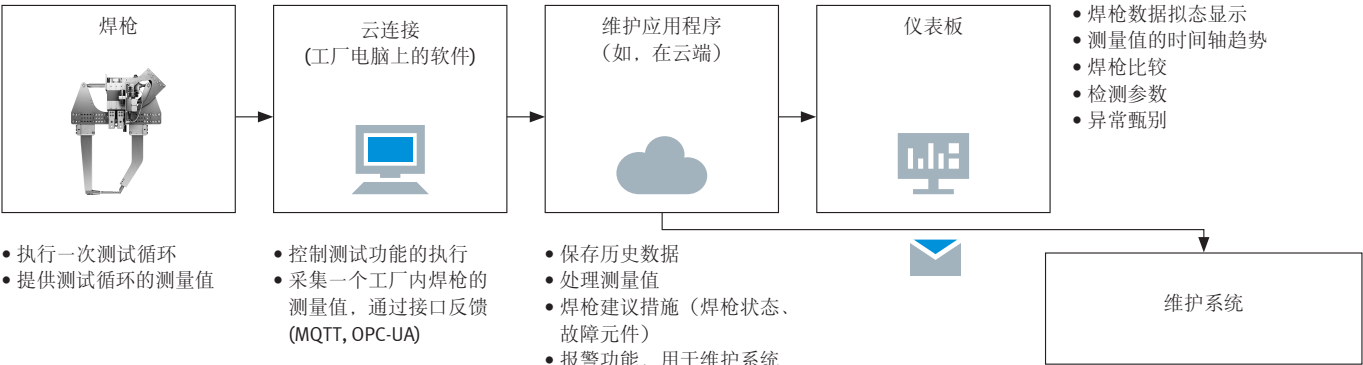


图 4. 通过工厂电脑将焊枪连接至云端

对于终端客户和系统供应碰到的第一道难题是将生产层面的焊枪数据上传至云端。这个时候，对于网络流量、处理器负载和数据安全的要求还不明确。如果这些要求不明确，无法落地，用这个基础架构就无法实现这种应用场景。

2.3 驱动系统测试功能

数据科学家的期望讨论以及技术的可行可用会影响需要保存的数据的定义。

虽然数据科学家想要尽可能高分辨率的传感器和环境数据，但焊枪专家只能踩下刹车：焊枪上使用的那些久经验证的元件不能给 Festo 焊枪云连接提供毫秒级的传感器数据。

除了这种纯粹的技术限制，焊枪领域的专家也一致同意，保存这种细节水平的数据不会带来任何附加值，智慧造成云端数据传输和处理的成本增加。

相反，经决定，要执行一次测试循环，焊枪要在生产工作时间之外一天内要进行特定方向的校准 3 到 5 次，必须执行预设的运动动作（定位和加力）。运动过程中，在云端应用程序内进一步测量和处理特性数值，如焊枪的定位时间和摩擦力。

除了过程数据外，元件数据（如，固件版本、序列号）、校准数据、控制器数据和工作数据（如，焊点数量，工作小时数）也会被传输和保存。这些数据提供了解读焊枪状态最为重要的信息。

这种解决方案中的数据量较低：每台焊枪每天所需传输的数据少于 10 KB。

过程和元件数据提供宝贵信息 – 尽管数据范围有限。

2.4 假设推定

测试功能的定义与假设推定紧密相关。物联网解决方案的供应商应尽早推定测量值和故障影响/时间相互关系的假设。这需要物联网和大数据专家的献计献策。这能提高项目成功的可能性，而不是靠着纯粹的数据驱动方法，摸着石头过河。

曾经有这样一个假设，焊枪的定位时间、加力时间和摩擦力与气缸的模式、故障、泄漏、系统泄漏或意外的外部应力 (图 5) 相关。这在分步推进计划的第二和第三步中应有表述。

2.5 数据采集和评估

在初始试点系统成功执行测试后，应用软件被推广到 250 台焊枪。焊枪数据备持续采集和评估。自此，先后连接了约 2,500 个系统。

车身车间的初次测试给生产工厂的网络带来了大量流量。因为软件受此影响，所以对焊枪云连接进行了适配。

所示的测试功能数据指出了测试功能意外时序，需要焊枪专家定期检查。他们需要澄清，这是由云通信或还是其它问题（物理模型）造成的缺陷。

尽管吸取了大量专业领域的知识并采用了复杂度可管理的云通信软件，但对结果的评估对于双方都带来了可观的工作量。下图式仪表板的示例，包含了简单的资产数据一直到故障曲线。

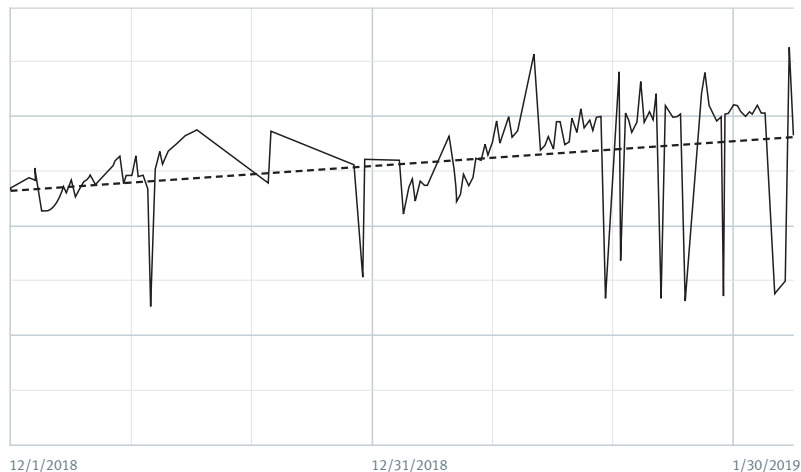


图 5. 主气缸定位时间趋势图

68

53,61K

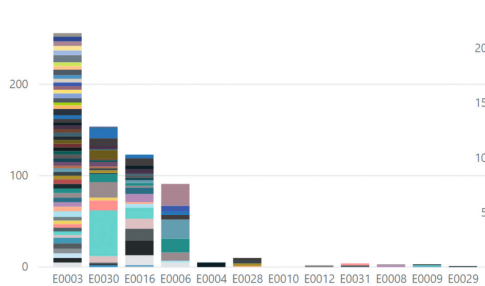
737

Errors of last days

msgtime	devicename	error_num	Fehlertext
30.09.2020 12:17:16	khstir213490r03sz-1ka1	E0030	Fräsen n.i.O.
30.09.2020 12:06:39	khkkkl216600r01sz-1ka1	E0016	Falsche Programmnummer
30.09.2020 08:20:43	khkkkl416860r01sz-1ka1	E0030	Fräsen n.i.O.
30.09.2020 08:07:00	khshl313210r01sz-1ka1	E0030	Fräsen n.i.O.
30.09.2020 07:32:05	khkkkl416860r01sz-1ka1	E0030	Fräsen n.i.O.
30.09.2020 07:26:30	khkkkl416860r01sz-1ka1	E0030	Fräsen n.i.O.
30.09.2020 07:25:40	khkkkl416860r01sz-1ka1	E0030	Fräsen n.i.O.
30.09.2020 07:24:35	khkkkl416860r01sz-1ka1	E0030	Fräsen n.i.O.
30.09.2020 07:23:04	khkkkl416860r01sz-1ka1	E0030	Fräsen n.i.O.
30.09.2020 07:21:54	khkkkl416860r01sz-1ka1	E0030	Fräsen n.i.O.

Count of error_num by Fehlernummer and devicename

devicename ● khkkkl116550r... ● khkkkl11656... ● khkkkl1165... ● khkkkl2166...

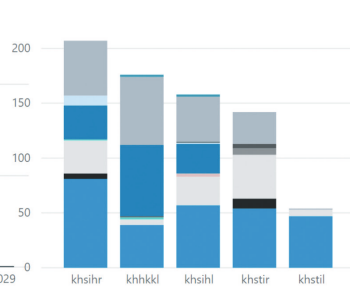


Connected Welding guns

devicename	Testcycles	Latest msgtime
khkkkl216670r02sz-1ka1	614	30.09.2020 13:56:54
khkkkl216670r01sz-1ka1	600	30.09.2020 13:56:41
khkkkl416860r01sz-1ka1	1943	30.09.2020 13:43:57
khkkkl216620r01sz-1ka1	1119	30.09.2020 13:34:40
khkkkl216600r01sz-1ka1	478	30.09.2020 13:27:42
khkkkl216700r01sz-1ka1	858	30.09.2020 13:27:06
khkkkl216680r01sz-1ka1	945	30.09.2020 13:23:23
khshl313230r02sz-1ka1	500	30.09.2020 13:20:08
khkkkl416840r01sz-1ka1	1387	30.09.2020 13:19:29
Total	53608	30.09.2020 13:56:54

Count of error_num by Anlage and error_num

error_num ● E0003 ● E0004 ● E0006 ● E0008 ● E0009



Fehlertext	devicename
Falsche Kraftvorgabe	khshl313190r01sz-1ka1
Falsche Kraftvorgabe	khshl313210r01sz-1ka1
Falsche Programmnummer	khkkkl216560r01sz-1ka1
Falsche Programmnummer	khkkkl116580r01sz-1ka1
Falsche Programmnummer	khkkkl216600r01sz-1ka1
Falsche Programmnummer	khkkkl216620r01sz-1ka1
Falsche Programmnummer	khkkkl216680r01sz-1ka1
Falsche Programmnummer	khkkkl416840r01sz-1ka1
Falsche Programmnummer	khkkkl416860r01sz-1ka1

Count of error_num and Count of devicename by error_num and F...

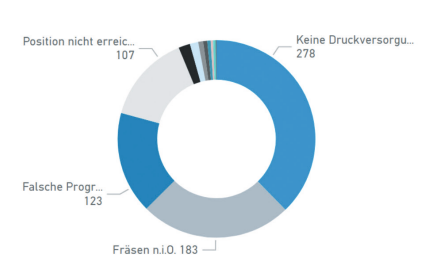
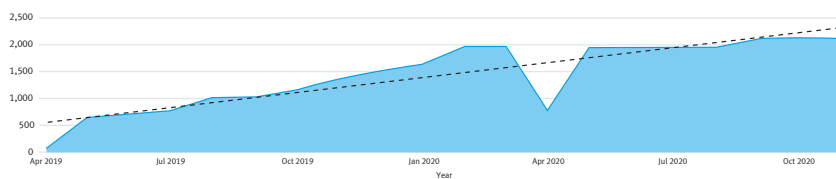


图 6. 仪表板图例

连接的焊枪



执行的测试循环

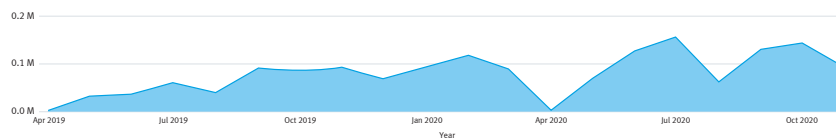


图 7. 按时间分布的连接焊枪和执行的测试循环

2.6 数据透视：故障减少 25%

用商业分析应用 Power BI 在浏览器内显示数据。

为在项目早期降低复杂性和接口，项目团队决定不用高性能解决方案。只要懂得 Excel 就能对软件的仪表板进行配置，工作量也不大。即使只是显示概览的能力（哪里运行了什么版本的固件？哪台焊枪运行了哪个控制器参数？）也能为维护工程师提供附加值。如果发生生产停机，基于故障模式，工程师就能做初步的故障成因诊断。测试阶段后，一旦仪表板稳定了，就陆续用更高性能和更低成本的应用场景专用网络界面代替。

评估焊枪数据后，就可在发生实际故障前，进一步甄别磨损的情况。年末的成本/效益分析需要采集和评估这些数据。总之，停机时间超过三十分钟的故障数量减少了 22%。故障数量减少了 25%。

只是在简单的仪表板内评估了数据，就将停机数量减少了 22%，将故障减少了 25%。

2.7 状态监测和 AI 模型

除了评估使用寿命周期内的摩擦特性曲线或定位时间，在第二阶段应早已确定这些特性值的初始极限值，这样才能按 VDMA Standard Sheet 24582 4 通过维护仪表板显示焊枪状态。

跟状态监测的情况一样，在正确极限值警告或关键报警的项目过程中出现了问题。由于焊枪几何外形不尽相同、控制参数不同且经验建立的数据太少（元件故障相关统计太少），所以必须现在确定极限值。

原先，按照分步推进计划，在应用预测检测方法前，基于状态监测焊枪的特性曲线。不过，为了在早期用机器学习方法采集经验数据，还用这种方法校验了测试功能结果与维护故障反馈的相互关系。

初步的结果表明，主气缸的故障与测试功能记录的参数有相关性。这样，就能进行模型训练，在项目期间正确预测故障。基于结果，作为预防，替换了气缸。测试确认了，气缸接近了使用寿命末期。

机器学习验证：主气缸的故障与测试功记录的参数有联系，这样可实现气缸使用寿命的预测。

⁴ VDMA. 不依赖特定现场总线的参考构架，用于工厂自动化状态监测。
Standard Sheet 24582, 2014. 工业标准

2.8 商业案例和数据主权

除了奠定技术基础，对于 Festo，商业模型课题也是必需的。纯粹开发还是实际产品？有两种方法：

- 案例 A: 数据由系统供应商提供，终端客户/操作员自行评估。
- 案例 B: 数据由系统供应商压缩和评估，用户获得维护信息/指导。

作为系统供应商，我们的目标是为客户提供开放性的产品，他们能按照自己的需求使用。没有客户的数据，就无法优化产品。这带来了双赢的局面。但是，软件不只是一个外挂，而应是一个长期可销售的产品。

在这种情况下，客户决定，将评估和分析流量气缸供应商的专家。Festo 软件从生产采集数据，将结果镜像反馈给终端用户。这种方法被称之为“软件即服务”（SaaS）。就数据主权而言，用户能始终决定，提供哪些数据给专业领域专家（此案例为 Festo）。由于物联网环境的发展速度（提高了硬件、网关、与解决方案和新算法的处理能力），一次性出售一个软件并在以后的几年中进行维护的做法已经变得不合时宜。这就催生除了一种订阅模式，按每台气缸一年来计算成本，而软件会被持续改进。这种商业模式的发展和对应的产品定位战略必须在一开始就位，不能留到技术开发出来以后。

数据主权总是由用户保留。
Festo 作为服务供应商，提供软件 (SaaS)。

2.9 伙伴

技术种类多，有时候甚至两眼一抹黑，所以焊枪专家需要 IT 专家的辅助，能够对云元件（如，物联网网关、数据库和网站）的配置提出建议。

为此，举办了多次不同类型的研讨会，来构画不同云服务以及能相互通信的本地维护系统未来方法。

3. 结论和展望

减少计划外的生产停机次数和与服务/投诉相关的成本需要系统供应商和终端客户之间建立最起码的合作。维护战略的引入需要双方的理解和信任，因为有初步的财务承诺但在项目伊始不能确保长期附加值。

只要专业领域的专家得到 IT 专家、程序员和数据科学家的支持，就可以让生产的预测维护落地的精益方法实现。

因为最大限度降低了项目风险，甚至在中期阶段已经为维护带去了附加值，所以分步推进计划可被认为是有效的。

对于焊枪而言，数据透视和气缸故障早期检测是第一批成功成果。因为在待机时间进行维修，所以车身车间重大故障或停机次数被减少了约四分之一。

而且，这种方法有一个优势，在客户的控制系统显示焊枪的状态。这可被用于自动生成订单以及每个焊枪的声明周期，同时也可创建不同的筛选功能和比较选项。元件泄漏的早期检测能降低能耗。

维护工作成功改进的关键因素包括保留项目伙伴，深思熟虑地整合各个阶段，在延期时只采集和评估数据和故障原因。技术的发展和附加值的体现必须携手共进。此外，需要定义软件产品定位的商业模型。

接下来，进一步优化用于检测元件故障的算法（如，检测断裂支架）。在软件和云解决方案之间应创建一个接口，以显示现有维护系统中的振动极限值。

工业 4.0 方法的附加值包括早期检测即将发生的故障、在客户控制系统中状态建模、每台焊枪的生命周期和节能。

发行和著作:
Festo SE & Co. KG
Ruiter Straße 82
73734 Esslingen, Germany
www.festo.com