



实施高级预防性 维护功能

引言

非计划停机的成本非常高。根据受影响的不同行业和工业应用，一小时的非计划停机成本甚至可能会高于更换出问题的自动化设备的成本。

本文旨在介绍与非计划停机相关的成本大小，并证明在变频器中实施高级预防性维护功能对于主动监测组件使用寿命和防止工厂中出现非计划设备更换或失效的价值。

原因和优势

在很多案例中，自动化设备失效的原因在于，设备中个别组件的使用寿命未达到设备整体的使用寿命。

这里提到的使用寿命会因设备使用方式和工作环境的不同而有所差异。

工业生产管理者可选择多种方式应对这些组件的使用寿命问题：

- 只在组件失效时作出响应。
- 定期更换组件，而不考虑使用情况和环境。
- 使用高级预防性维护功能，在组件达到寿命期限前根据需要进行更换。

第一种方法或许是成本最高、最不可预测的方法。此类组件失效很可能会导致非计划停机。停机成本受故障排除时间、备用组件和设备的供货情况以及设备可维修情况等的影响。这种方法会导致生产环境混乱。维护专员的主要角色成了“救火队员”。

第二种方法会好一些，但不是最佳方法。硬性规定的静态检修间隔无法根据设备使用方式的变化或设备周围环境的变化而做出调整。使用这种方法将导致在维护和更换组件方面花销过大。当操作模式或操作环境不如静态检修间隔所依据的操作模式或操作环境恶劣时，就会出现这种情况。此方法还会导致一定的非计划停机。当操作模式或操作环境比静态检修间隔所依据的操作模式或操作环境恶劣时，就会如此。

第三种方法最为经济实用。此方法可减少非计划停机，优化在维护和更换组件方面的花销，并可使维护工作变得更加专业化、更加可预测。

示例：正常生产日

我们举一个简单的例子。在本例中，生产线每天运行8小时。该生产线可使用价值为5,000美元/小时的物料，生产出价值达25,000美元/小时的可销售商品。固定成本（折旧、工厂成本等）为500美元/小时。负责机器运行的生产人员成本为500美元/小时。如果一切正常，该生产线一天的利润是144,000美元。图1中描述了本示例场景。

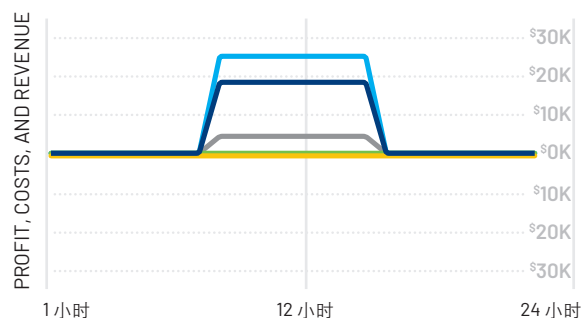


图1
正常生产日

示例：未采用预防性维护功能故障生产日

在该示例的工作日中，大型变频器散热器风扇中的轴承磨损，风扇停止运转，从而导致变频器电源模块温度过高，进而导致停产一小时。生产人员在停机期间仍在岗。两名维护技术人员耗时一小时才排除机器故障，获得替换电源模块并随即安装好。电源模块成本为25,000美元。维护技术人员的成本为125美元/小时。与正常工作日示例相比，这一天损失的利润为45,250美元。图2中描述了本示例场景。

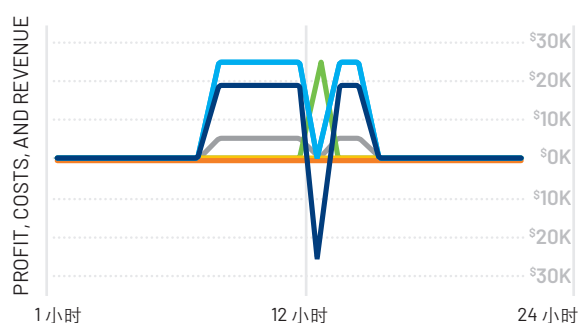


图2
未采用预防性维护功能的故障生产日

示例：采用预防性维护功能的故障生产日

预防性维护固件功能提前预测到风扇磨损情况。维护人员已准备好替换的散热器风扇。一名维护技术人员在计划生产开始前一小时内完成风扇更换工作。替换风扇的成本为2,210美元。此过程中未发生非计划停机，也没有生产损失。与正常工作日的示例相比，这一天损失的利润为2,335美元。而与不采用预防性维护的场景相比，其成本节省了42,915美元。图3中描述了本示例场景。

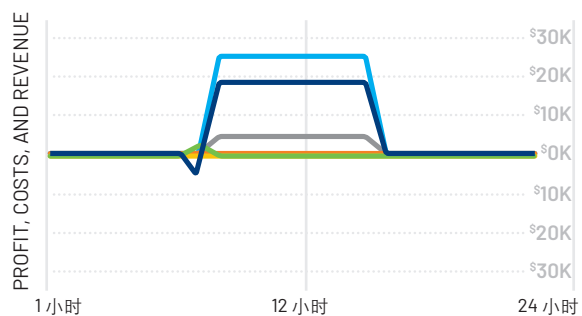


图3
采用预防性维护功能的故障生产日

● REVENUE ● FIXED COST ● MATERIAL ● PRODUCTION STAFF
● REPAIR STAFF ● REPAIR PARTS ● PROFIT

预防性维护固件功能的工作原理

已荣获专利的全新预防性维护模型以同一通用框架为基础，其中变频器会追踪各组件所消耗的寿命长度。变频器中采用的高级物理失效模型将实际应力源（例如电压、电流、转速、开关频率和温度）转换为风扇、功率半导体、电容器和断路器等关键组件的寿命消耗。在已耗寿命超出用户定义的事件级别（默认值为80%）时，将生成报警，指示需要对特定组件进行预防性维护。通用模型框架如图4所示。

该固件还会追踪各组件的寿命消耗率，生成名义滚动平均值。该速率在每个变频器上均不相同，具体取决于变频器的实际使用方式。根据滚动的寿命消耗率，新预测模型将计算已消耗寿命百分比达到报警级别前所剩余的小时数。通过计算剩余寿命，用户可主动安排预防性维护，从而可尽可能缩短停机时间。

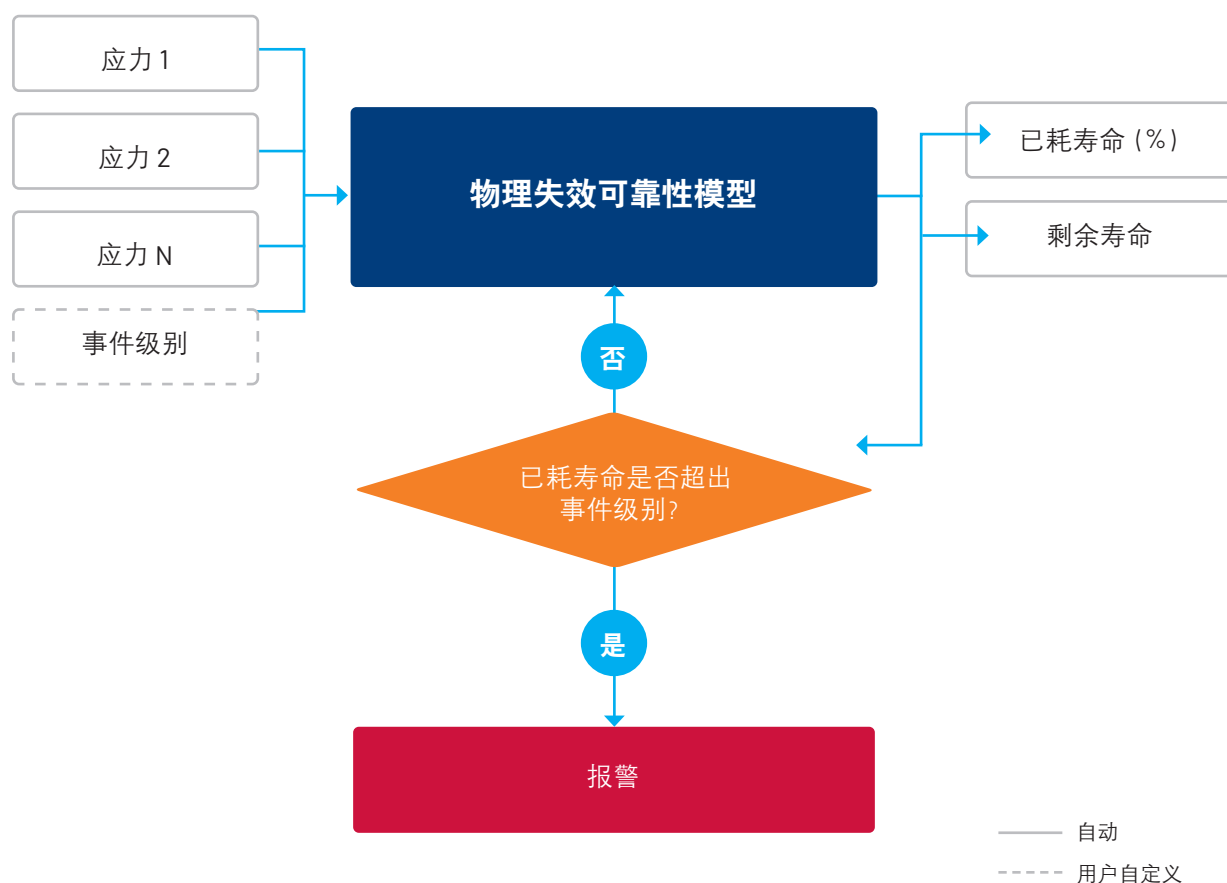


图 4. 新预防性维护模型的通用框架

组件使用寿命受电流、转速、开关频率和外部空气温度等实际应力参数的影响。应力越大，使用寿命消耗越快（见图5A）。之所以提供事件级别或生成报警之前的最大已耗寿命，是为了让最终用户能够控制非计划停机的风险。图5B显示，高应力会加速减少组件更换的时间间隔。而全新的预防性维护算法可适应变频器的使用方式，该模型需要大约30天的时间来“学习”应用的应力（参见图5C）。

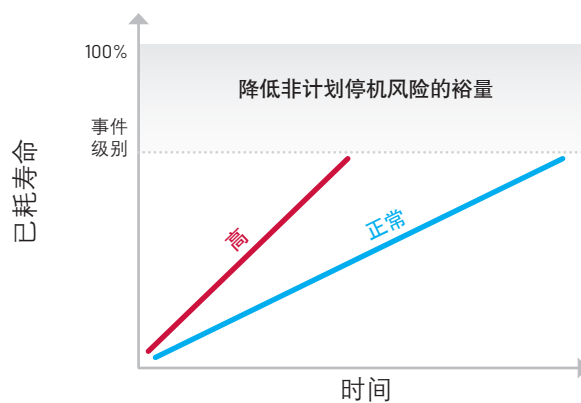


图 5A
应力对寿命消耗的影响

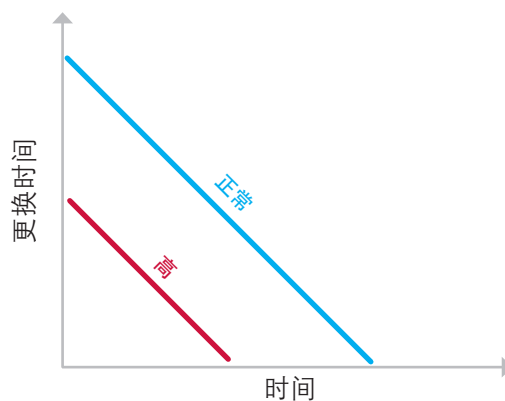


图 5B
应力对更换时间的影响

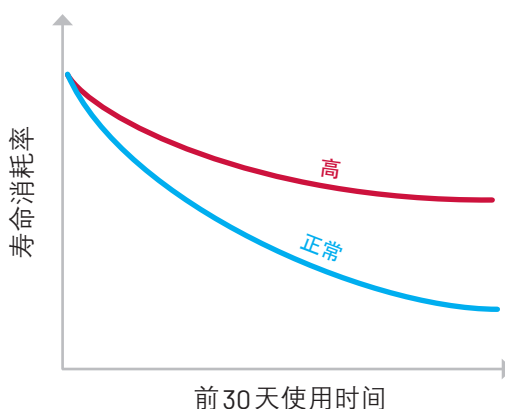


图 5C
应力对寿命消耗率的影响

以下部分提供了关于各组件预测模型的更多信息。

功率半导体

变频器中功率半导体(IGBT)的预防性维护模型基于特有的物理失效模型，而该失效模型是在IGBT制造商和Rockwell Automation®通过大量测试的数据基础上建立的。IGBT模型考虑了两种失效模式：绑定线老化和焊接层老化。对于IGBT内部温度高的应用，其寿命消耗速度要快于IGBT内部温度低的应用。这些温度是通过内部传感器、控制参数以及从大量的罗克韦尔自动化测试中提取的高级热模型而准确计算得出的，如图6所示。由于IGBT预防性维护模型依赖于实际变频器运行情况，因此在计算实际寿命消耗时会考虑变频器运行的动态特性。已消耗的使用寿命和剩余寿命的计算结果每分钟更新一次，剩余寿命的计算基于用户自定义的事件级别。

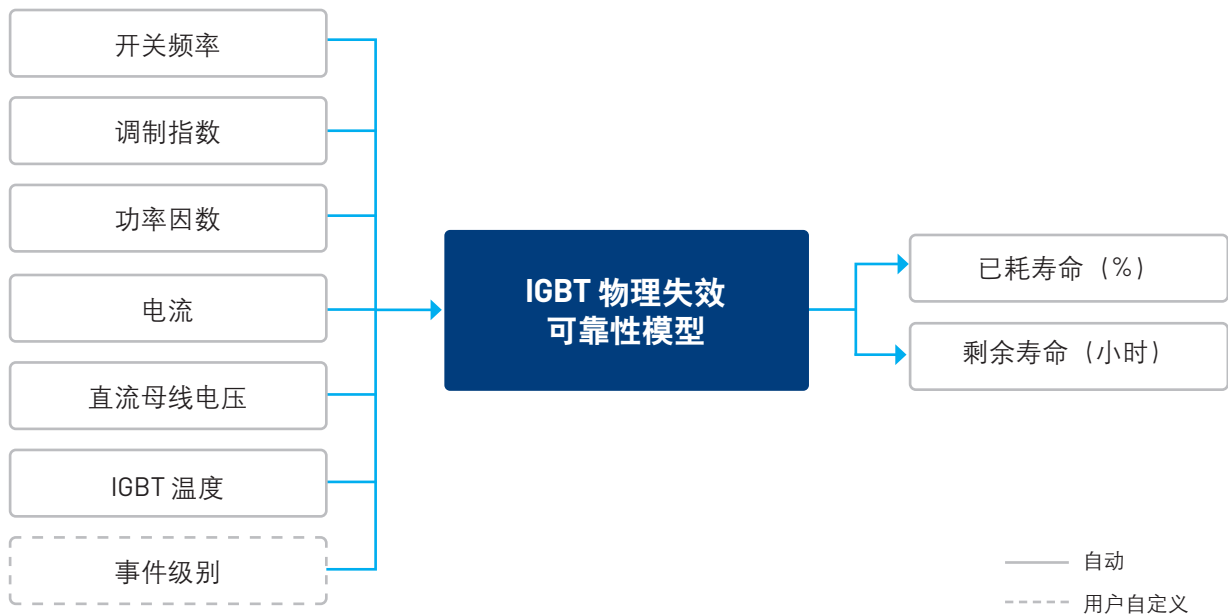


图 6 功率半导体预防性维护模型框图。

风扇

每个风扇都有一个与之关联的预防性维护模型，该模型基于轴承寿命和任何有限寿命电子元件的物理失效模型，这些模型符合风扇制造商或罗克韦尔自动化工程师实施的寿命测试中获得的可靠性数据。风扇使用寿命主要受风扇周围的空气温度以及总旋转时间的影响。这里的空气温度可直接测量，也可通过一个或多个空气温度传感器进行精确估算，如下图和下表所示。风扇不转时，不再消耗使用寿命。预测的风扇更换时间可轻松适用于风扇每天仅运行几小时的情况。已消耗的使用寿命和剩余寿命的计算结果每分钟更新一次，剩余寿命的计算基于用户自定义的事件级别。风扇降容参数会缩短计算出的剩余寿命，计算时会考虑其他可缩短风扇实际寿命的应力，如环境污染。



图7 风扇预防性维护模型框图。

表1. 用于计算风扇周围空气温度的温度传感器。

风扇	温度传感器 1	温度传感器 2
散热器	入口空气温度	—
控制箱	控制箱空气温度	—
功率上限	入口空气温度	散热器温度
进线柜	入口空气温度	—
控制柜	控制箱温度	—
接线柜	入口空气温度	—

直流母线电容器

直流母线电容寿命受到电容内部温度和所施加电压的影响。该预测性模型使用多个传感器和控制值来计算电容器内部所生成的热量。内部温度通过两个温度传感器准确计算得出，而产生的热量则通过由罗克韦尔自动化工程师实施的大量热测试所推导的实验模型估算得出。电容器寿命消耗基于制造商提供的物理失效模型。已消耗的寿命和剩余寿命的计算结果会更新，可靠性和剩余寿命的计算基于用户自定义的事件级别。

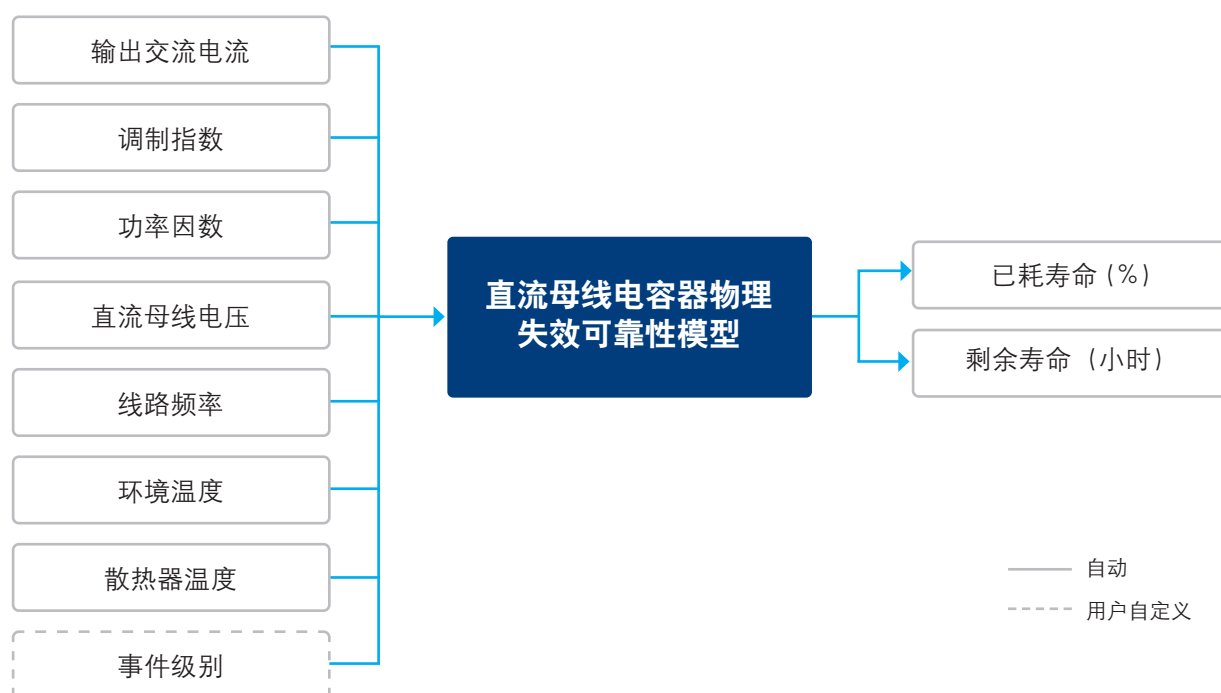


图 8 直流母线电容器预防性维护模型框图。

接触器和开关

主断路器、预充电接触器和塑壳开关的寿命模型均基于无负载断开操作的实际次数，如图9所示。每次操作都会消耗总可用寿命。寿命消耗率用于估算接触器和开关的剩余寿命。已消耗的寿命和剩余寿命的计算结果每分钟更新一次，剩余寿命的计算基于用户自定义的事件级别。



图9 接触器和开关预防性维护模型框图。

线路电容器

LCL滤波器中的线路电容器寿命主要受电容器温度影响。制造商提供的数据符合使用温度作为输入的物理失效模型（参见图10）。罗克韦尔自动化工程师在大量的热测试期间获得了一系列数据，并利用此数据开发出一个模型，电容器温度正是通过该模型计算得出的。寿命消耗率随环境温度的升高而增大。已消耗的寿命和剩余寿命的计算结果每分钟更新一次，剩余寿命的计算基于用户自定义的事件级别。



图10 LCL滤波器电容器预防性维护模型框图。

如何使用预防性维护

首先，针对风扇、电容器、IGBT等重要变频器组件制定一套预防性维护计划。在计划中，定义这个过程用于监测这些组件剩余寿命的预防性维护功能。可在本地或远程完成此工作。使用此功能提供的数据和通知来安排执行维护的时间表，以尽可能缩短停机时间。在计划的时间内采取预防性措施，以缩短非计划停机。

有关详细信息，请参见 Programming Manual for PowerFlex® Drives with TotalFORCE® Control，出版号 750-PM100。

结论

非计划停机可能会带来高昂的成本，因为其中不仅涉及到停产成本，还涉及到物料、资产减值、部件和员工方面的成本。

本文中例举的模型旨在演示此类成本的高低，并证明实施高级预防性维护功能的价值。

高级预防性维护功能采用的高级物理失效模型考虑了设备使用情况和周围环境条件，有助于避免非计划停机并提高设备的整体生产率。

此类高级预防性维护功能包含在每个 PowerFlex 755T 变频器产品的固件中。如需了解更多信息，请参见 [出版号 755T-BR001](#) 或访问 <http://www.ab.com/drives>。

联系我们。    

rockwellautomation.com

expanding human possibility™

美洲地区：罗克韦尔自动化，南二大街 1201 号，密尔沃基市，WI 53204-2496 美国，电话：(1) 414.382.2000，传真：(1) 414.382.4444
欧洲/中东/非洲：罗克韦尔自动化，NV, Pegasus Park, De Kleetlaan 12a, 1831 布鲁塞尔，比利时，电话：(32) 2 663 0600，传真：(32) 2 663 0640
亚太地区：罗克韦尔自动化，香港数码港道 100 号数码港 3 座 F 区 14 楼 1401-1403，电话：(852) 2887 4788，传真：(852) 2508 1846
中国总部：上海市徐汇区虹梅路 1801 号宏业大厦，邮编：200233，电话：(86 21) 6128 8888，传真：(86 21) 6128 8899
客户服务电话：400 620 6620 (中国地区) +852 2887 4666 (香港地区)

PowerFlex、Rockwell Automation 和 TotalFORCE 是 Rockwell Automation, Inc. 的商标。
不属于 Rockwell Automation 的商标是其各自所属公司的财产。

出版号 PFLEX-WP002A-ZH-P - 2019 年 8 月
Copyright © 2019 罗克韦尔自动化公司。保留所有权利。