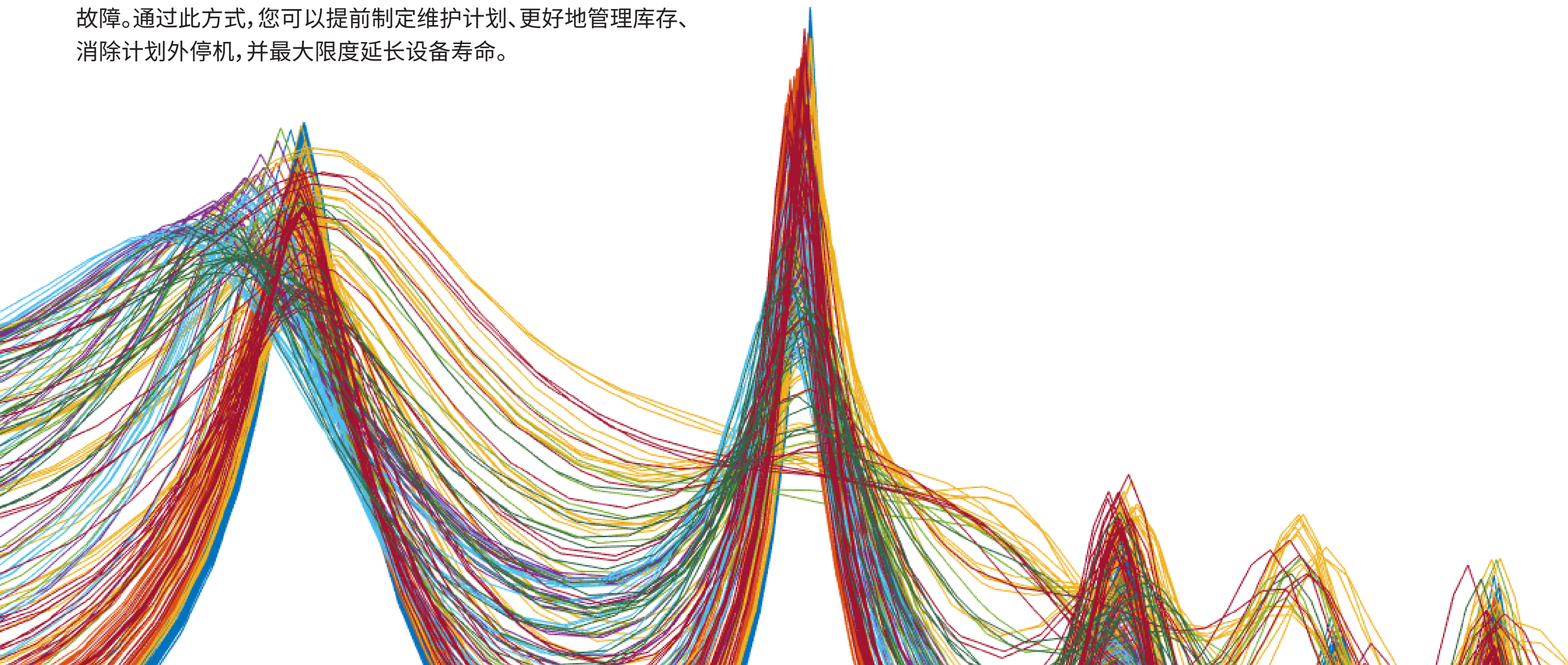


# 使用 MATLAB 进行预测性维护简介

# 什么是预测性维护？

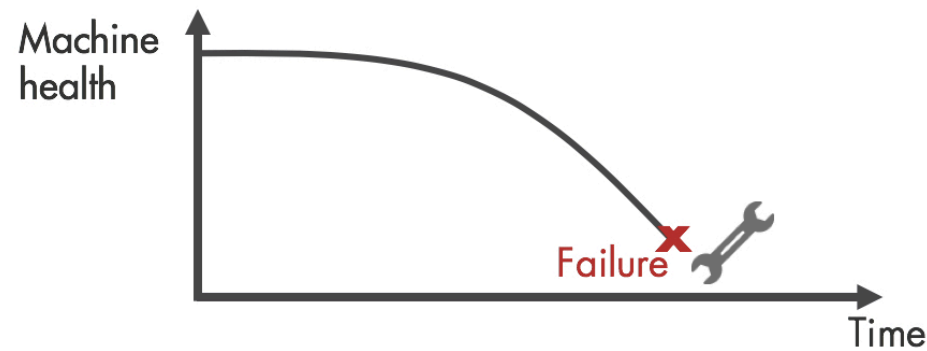
我们每天都要依赖于各种机器，但是每台机器最终都会出现故障，除非得到妥善维护。预测性维护让您可以预估机器将在何时发生故障。通过此方式，您可以提前制定维护计划、更好地管理库存、消除计划外停机，并最大限度延长设备寿命。



# 维护策略

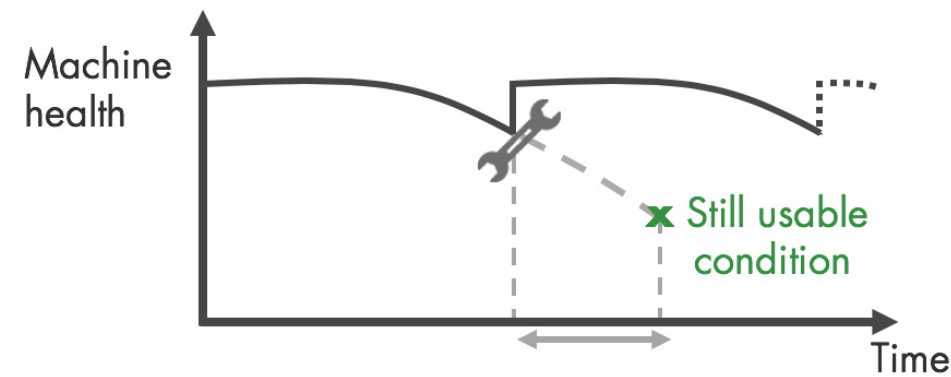
## 响应式维护

采用响应式维护, 机器将一直用到寿命极限, 在出现故障后才进行维修。如果您要维修一个便宜的设备, 例如电灯泡, 响应式方法可能会比较有意义。但是请思考一下采用一些非常昂贵部件的复杂系统, 例如飞机引擎。您无法承受其出现故障的风险, 因为维修损坏严重的部件成本非常高昂。而更重要的是, 它涉及到安全问题。



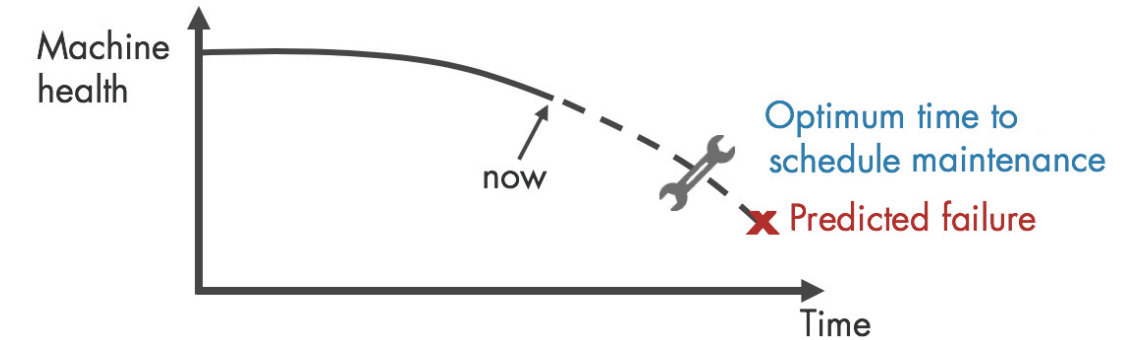
## 预防性维护

许多组织通过对设备进行定期检查以尽量防止故障的发生。预防性维护的一个重大挑战是确定何时进行维护。由于您不知道何时可能发生故障, 因此在制定计划时必须留有余地, 在操作安全关键型设备时尤其如此。但是, 太早安排维护会浪费仍然可用的设备的寿命, 进而增加您的成本。



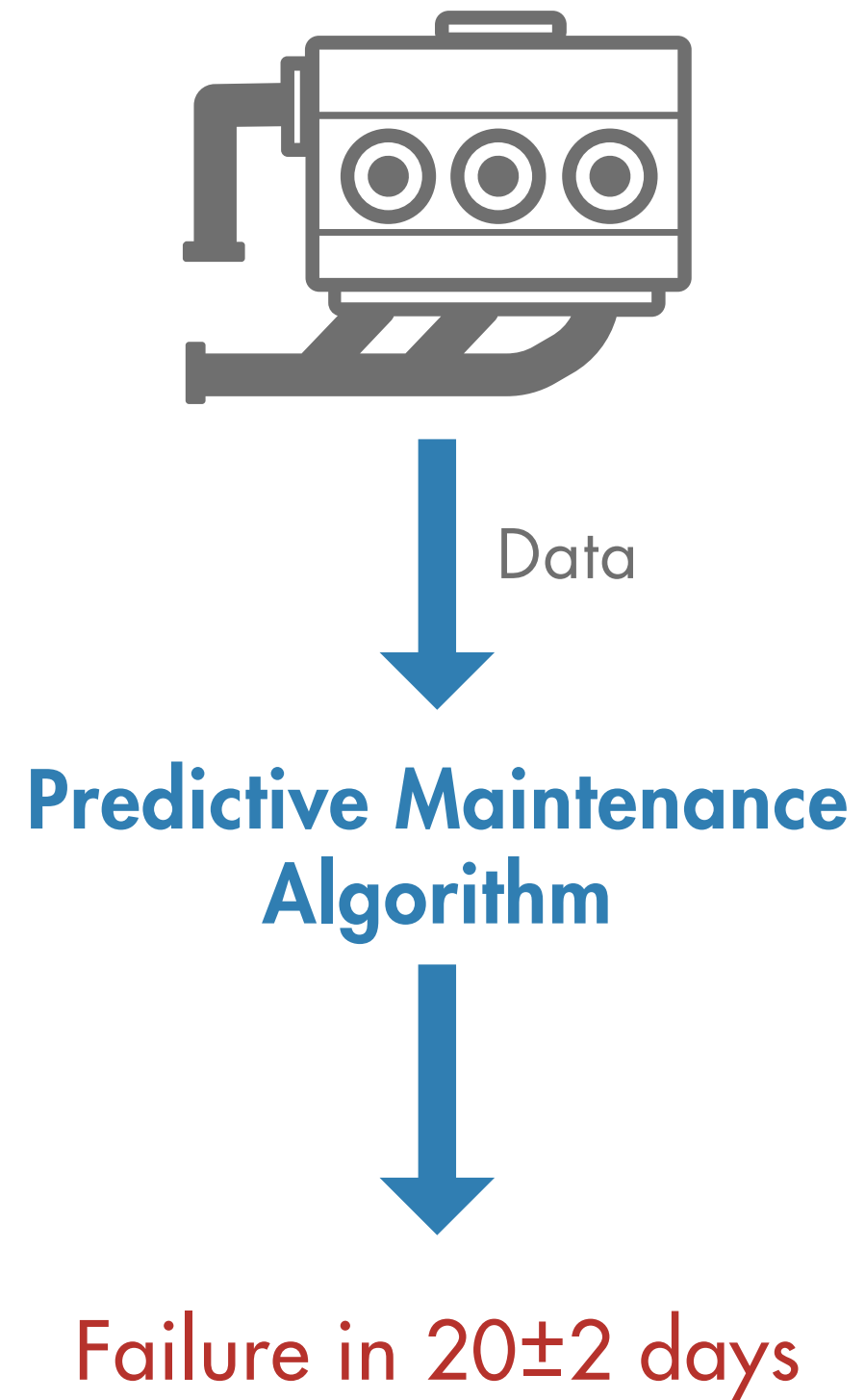
## 预测性维护

预测性维护让您能够预估机器发生故障的时间。了解可预测的故障发生时间可帮助您确定安排设备维护的最佳时间。预测性维护不仅可预测将来的故障, 还可以查明复杂机械存在的问题, 并帮助您确定需要维修的部件。



# 预测性维护入门

实施预测性维护有助于减少停工、优化备件库存和最大限度延长设备寿命。但是如何开始呢?首先,您需要开发一个预测时间窗口的算法,该时间窗口通常是指机器在多少天后将出现故障并需要进行维护。我们来看一下预测性维护工作流程,以开始算法开发。



# 预测性维护工作流程概览

算法开发首先需要描述系统各种正常运行状况和故障运行状况的**数据**。接着对原始数据进行**预处理**，将其数据形式进行转换，进而可以从中提取**状态指示器**。这些状态指示器是可帮助区分正常状态和故障状态的特征。然后，您可以使用提取的特征来**训练机器学习模型**，以便能够：

- 检测异常
- 对不同类型的故障进行分类
- 预估机器的剩余使用寿命 (RUL)

最后，**部署**算法并将它**集成**到您的系统中，以用于机器监控和维护。

在接下来的部分，我们将使用一个三缸泵的例子来了解工作流程步骤。三缸泵通常用于石油和天然气行业。

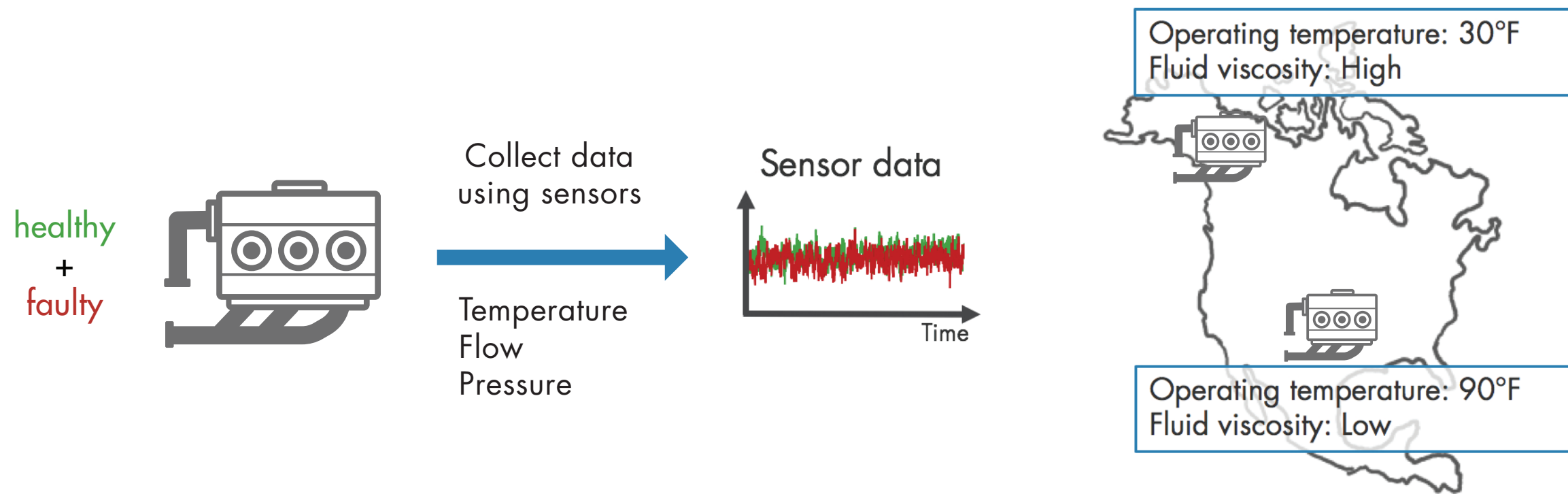


# 采集数据



第一步是**收集**代表**正常**和**故障运行的大量传感器数据**。在不同运行条件下收集此数据非常重要。例如，您可能有两台不同地点运行的相同类型的泵，一台位于阿拉斯加州，另一台位于德克萨斯州。一台可能用于抽取

高粘度液体，另一台用于抽取低粘度液体。尽管您的泵类型相同，但由于**操作条件**不同，一台可能会比另一台更快地出现故障。采集所有此类数据有助于您开发出能够更好地检测故障的**鲁棒算法**。



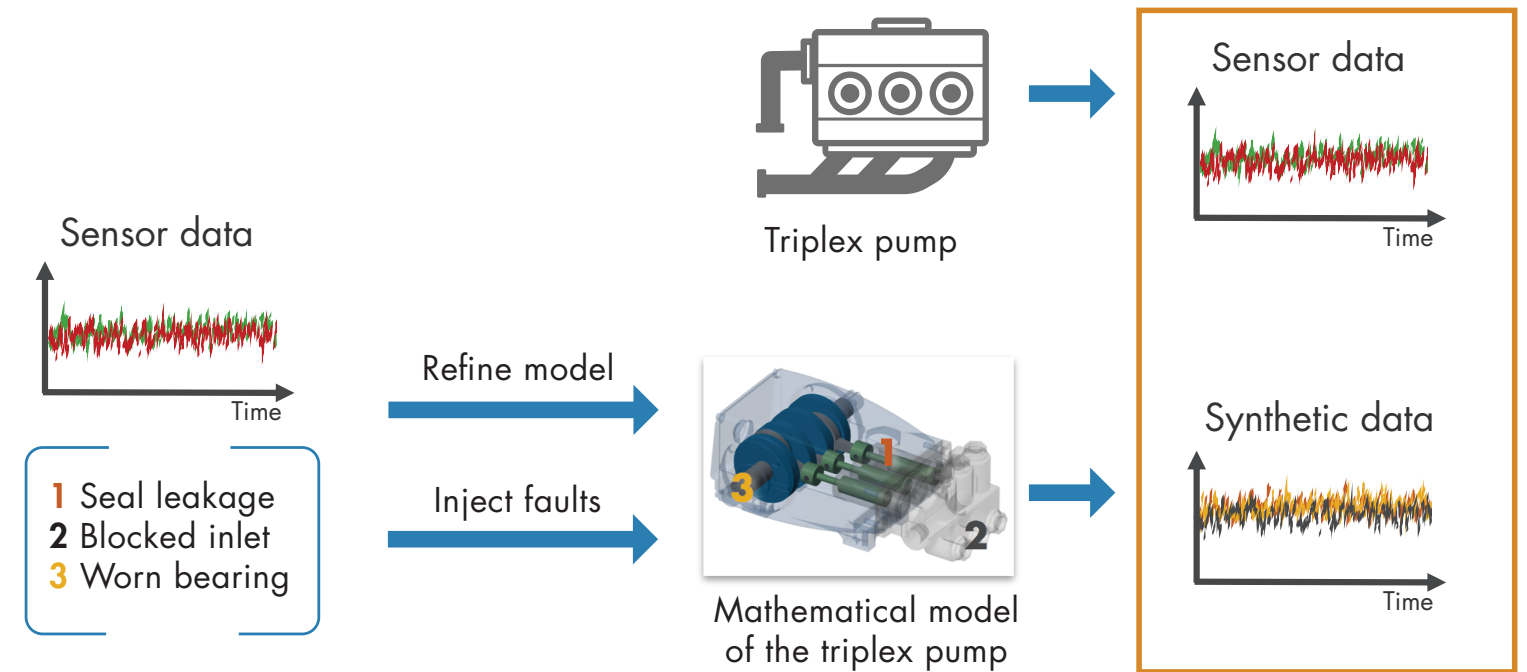
注意:本例为了简明起见,正常运行和故障运行分别由单个测量值表示。  
在实际环境下,针对这两种状态,可能会有数以百计的测量值。

# 采集数据 - 续



在某些情况下,您可能没有足够多的表示设备正常运行或故障运行的数据。作为一种替代选择,您可以构建**泵的数学模型**,并通过传感器数据预估其参数。然后,您可以使用不同操作条件下的故障状态对此模型进行仿真,以**生成故障数据**。此类数据也称为**合成数据**,现在可作为传感器数据的补充。您可以结合使用合成数据和传感器数据来开发预测性维护算法。

了解更多:[使用 Simulink 生成故障数据](#)



在不同故障状态下对模型进行仿真,以生成故障数据。

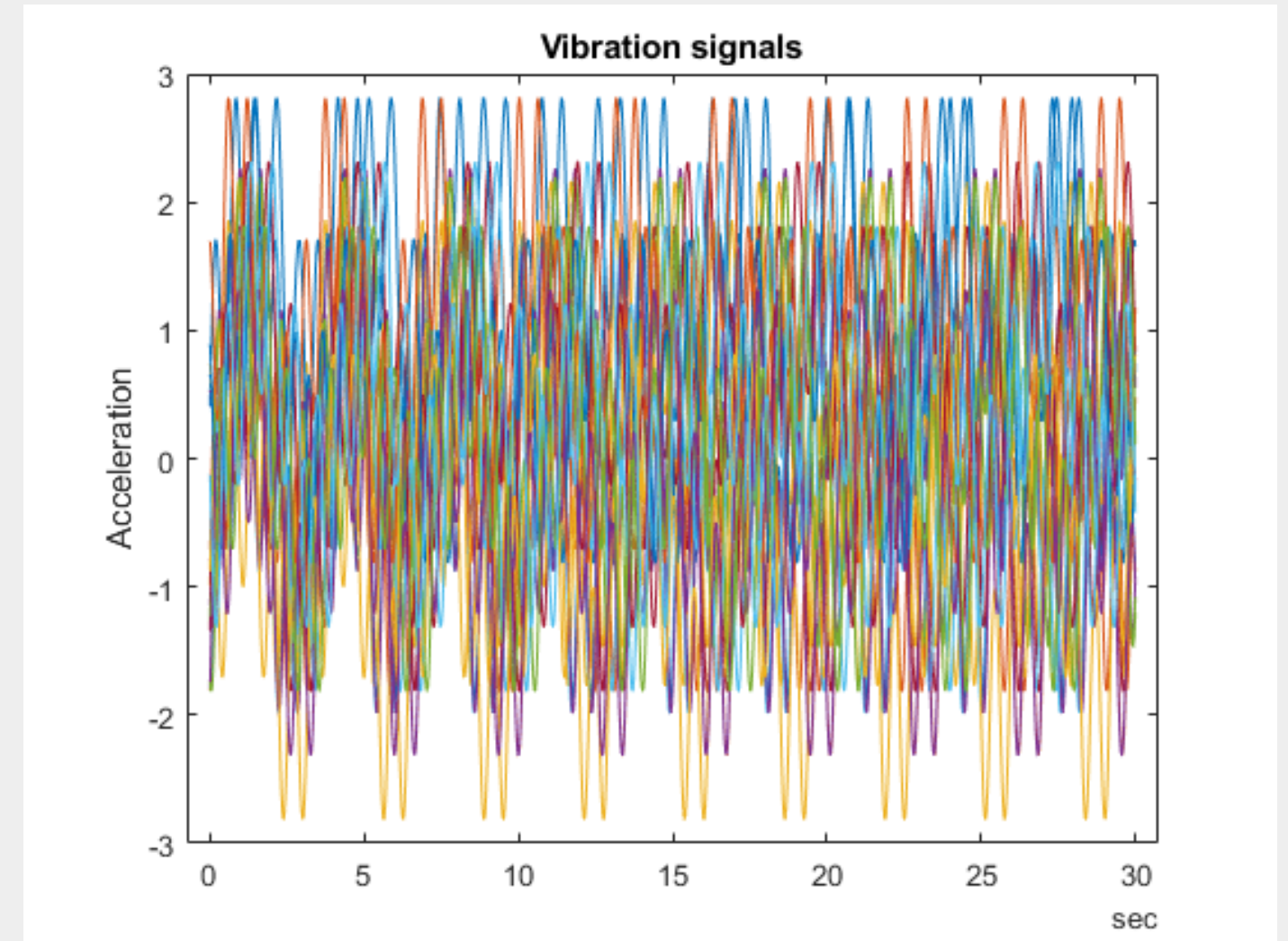
# 通过 MATLAB 采集数据

设备数据可以是结构化数据,也可以是非结构化数据,它们存储在本地文件、云(例如 AWS® S3、Azure® Blob)、数据库以及数据历史记录集等多种来源中。无论您的数据存储在哪里,您都可以使用 MATLAB® 来获取。当您没有足够的故障数据时,可以通过输入信号故障,从机器设备上的 Simulink® 模型来生成故障数据,并对系统故障动态进行建模。

“MATLAB 让我们能够将以前不可读的数据转换为可用的格式,可将来自多个卡车和区域的数据的过滤、光谱分析和转换过程自动化,并应用机器学习预测最佳的维护时间。”

—Gulshan Singh, Baker Hughes

» [阅读用户案例](#)



使用 Simulink 生成的传输模型的合成故障数据。

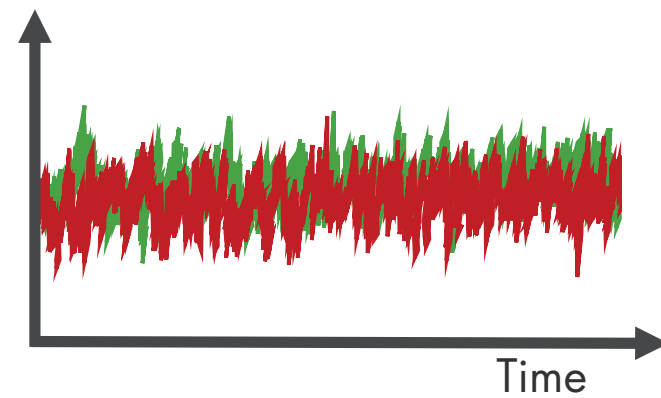


# 预处理数据



获得数据后, 下一步是**预处理数据**, 以将其转换为可轻松提取状态指示器的形式。预处理包括诸如**去噪、剔除异常值和删除缺失值**等技术。有时, 需要进一步预处理, 才能揭示原始数据形式无法表明的额外信息。例如, 此预处理可能包括将时域数据转换为**频域**。

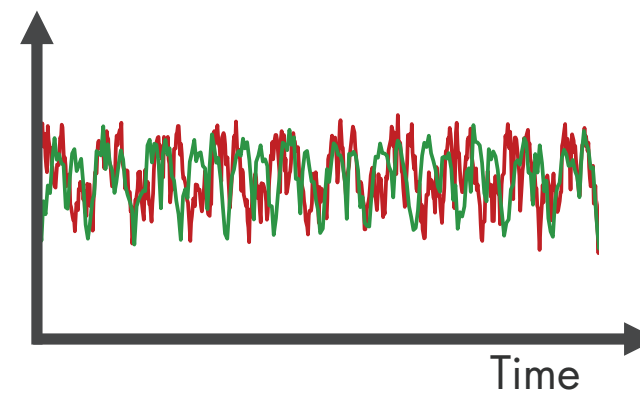
原始数据



清理数据



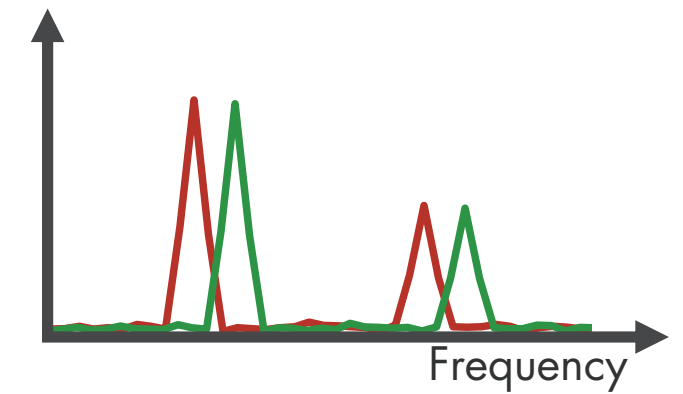
预处理过的数据



将数据转换为频域



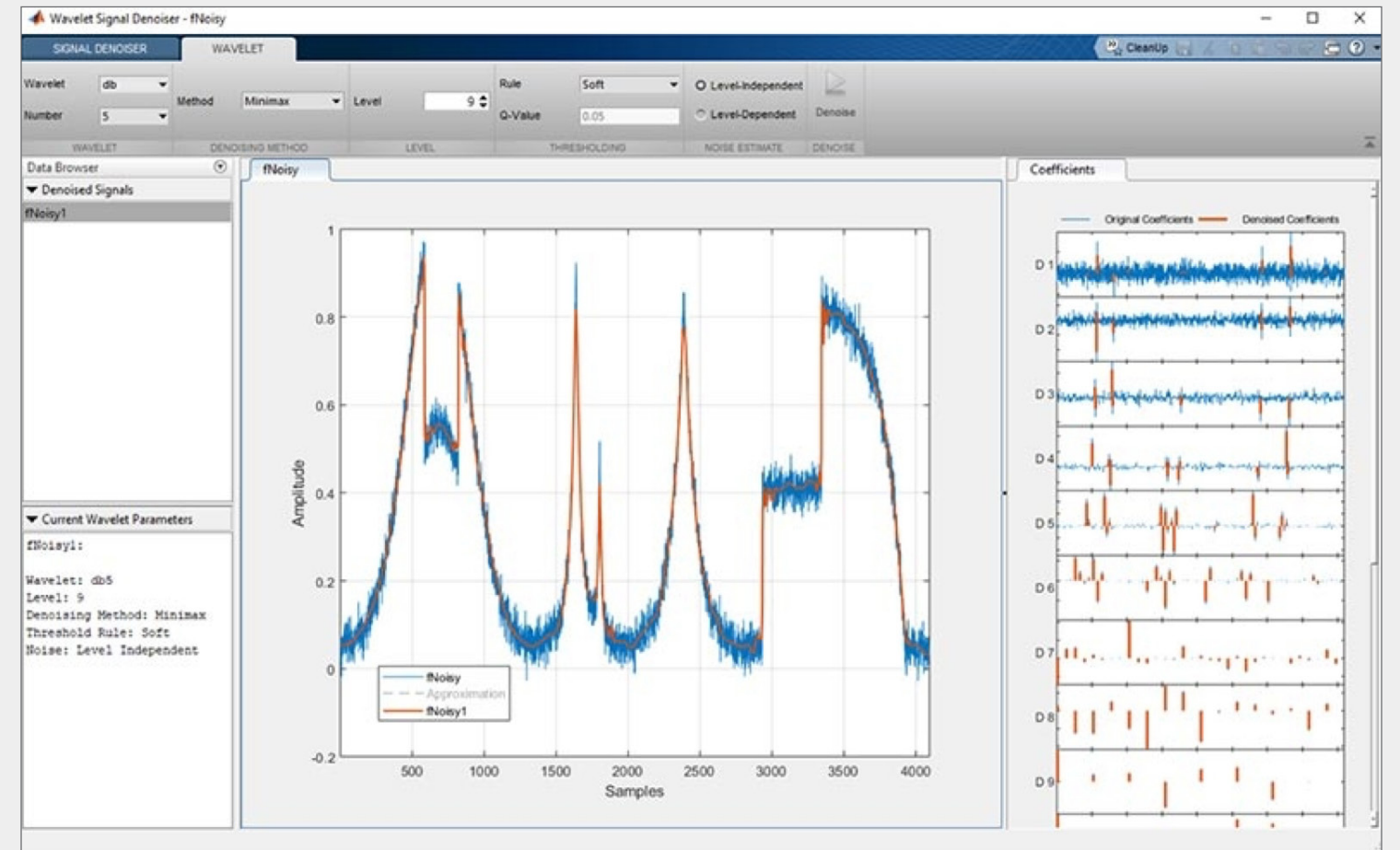
预处理过的数据



# 通过 MATLAB 预处理数据

数据是杂乱的。使用 MATLAB, 您可以对数据进行预处理、降维处理并提取特征:

- 对不同采样率的数据进行调整, 并考虑缺失值和异常值。
- 使用先进的信号处理技术移除噪点、筛选数据并分析瞬态或变化的信号。
- 使用统计和动态方法进行特征提取和选择, 以简化数据集并减少预测模型的过度拟合。



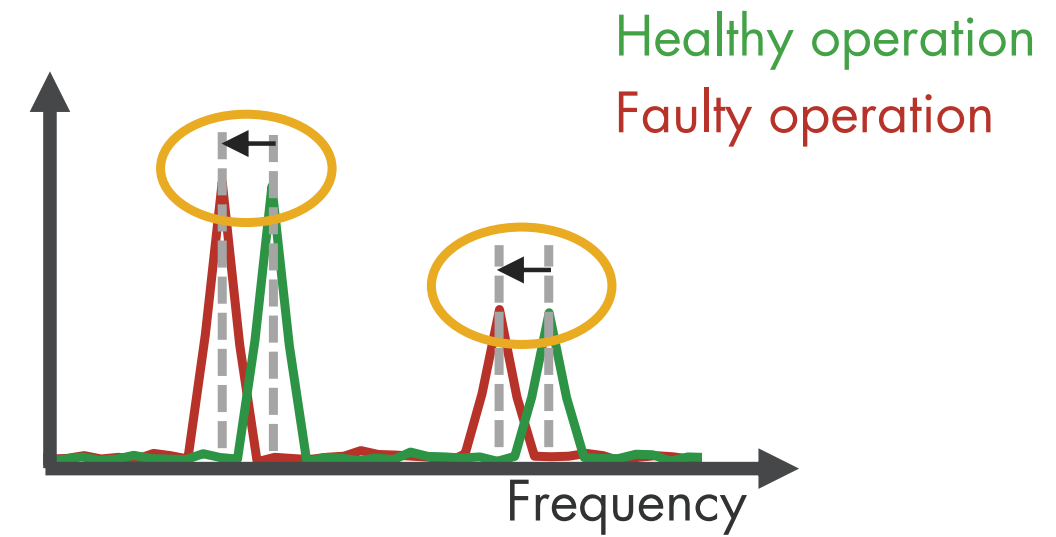
用于信号可视化、信号去噪和比较结果的 Wavelet Signal Denoiser 应用程序。

# 识别状态指示器



下一步是识别**状态指示器**，即随着系统性能下降，其行为以可预测的方式发生变化的特征。这些特征可用于**区分正常运行和故障运行**。

在右侧的绘图中，随着泵的性能下降，频率数据的峰值向左移动；因此，峰值频率可作为状态指示器。

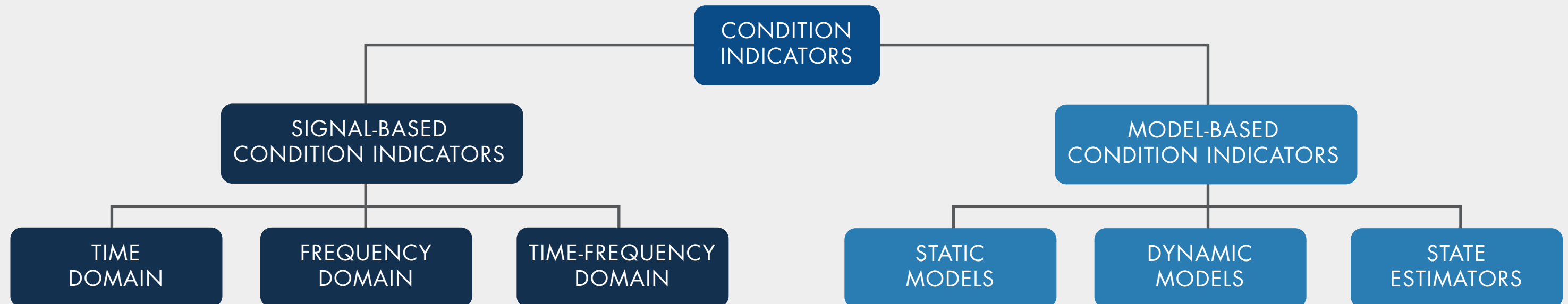


Peak frequencies can serve as **condition indicators**.

# 通过 MATLAB 识别状态指示器

借助 MATLAB 和 Predictive Maintenance Toolbox™, 您可以使用基于信号和基于模型两种方法设计状态指示器。您可以计算时频矩用于采集时变动态, 在分析振动数据时可频繁看到这些动态。为了从显示出非线性行为或特征的机器收集的数据中检测出突然变化, 您可以基于相空间重构计算特征, 该重构可以跟踪一段时间以来系统的状态变化。

了解更多: [Predictive Maintenance Toolbox 是什么?\(2:00\)](#) - 视频



使用基于信号和基于模型的方法设计状态指示器, 以监控机器的运行状况。

# 训练模型



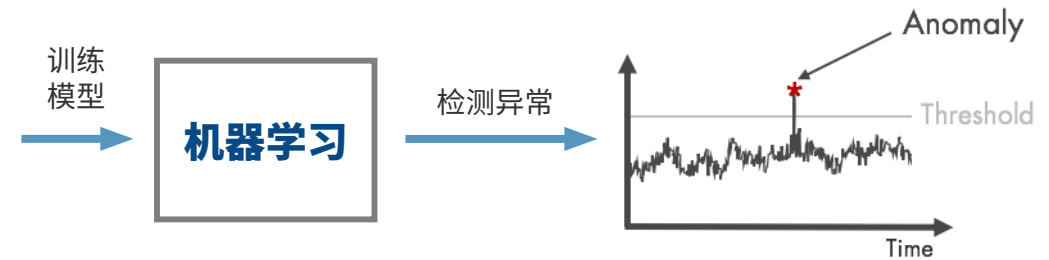
现在,您已从数据中提取了一些特征,可以借助这些特征来理解泵的正常运行和故障运行。但在此阶段,并不清楚哪个部件需要维修,或发生故障前还能运行多长时间。下一步,您可以使用提取的特征来**训练机器学习模型**,以执行多个任务。

## 检测异常

您可以跟踪系统中的变化,以确定是否存在异常。

了解更多: [梅赛德斯-奔驰公司在动力总成生产中使用异常检测](#)

状态指示器



## 通过分类算法检测出不同类型的故障

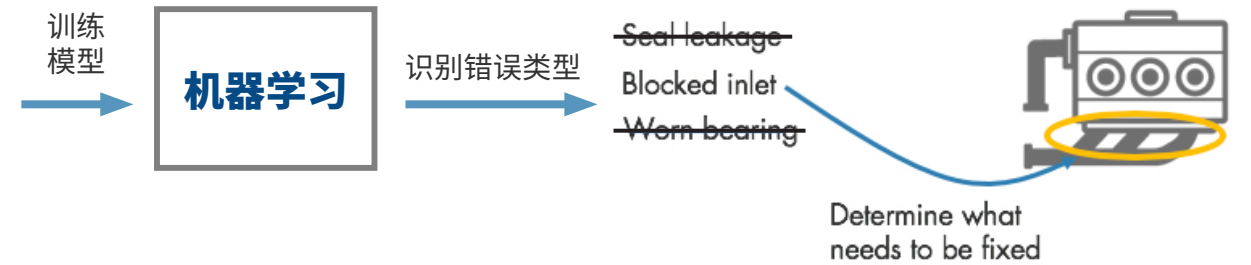
您可以深入了解泵的哪个部件需要更多的关注。

## 预测从正常状态到故障的转换

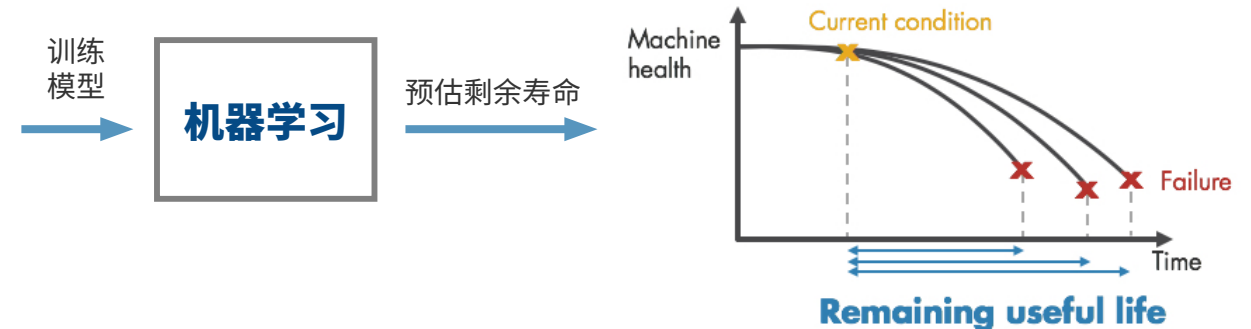
找到一个可捕捉提取的特征与泵性能退化轨迹之间关系的模型,可以帮助您预估在多久之后将发生故障(**剩余寿命**)以及应在何时安排维护。

了解更多: [使用 MATLAB 预估剩余寿命的三种方法](#)

状态指示器



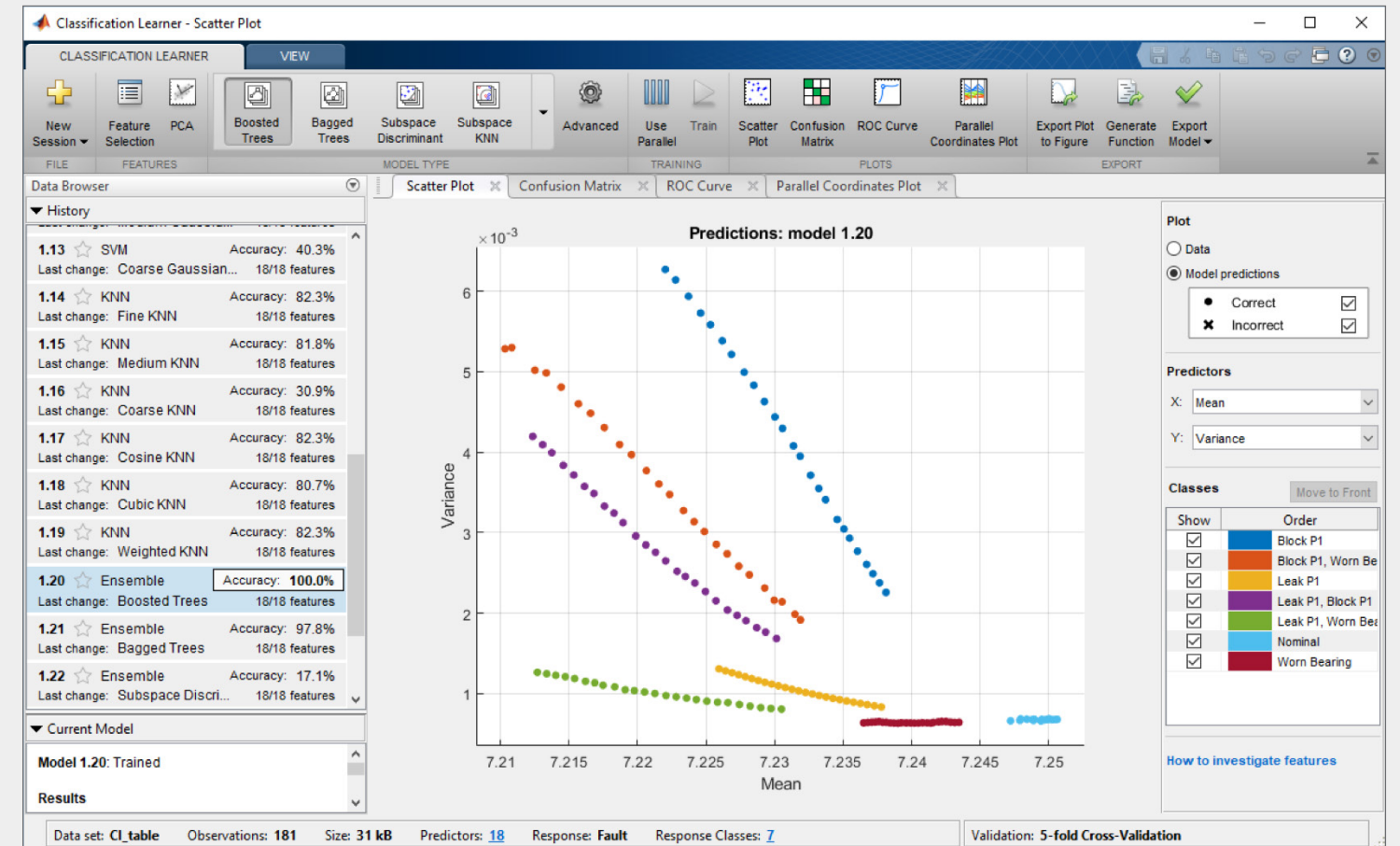
状态指示器



# 使用 MATLAB 机器学习训练模型

您可以运用 MATLAB 中的分类、回归和时序建模技术确定故障根源并预测发生故障的时间。

- 交互式探查并选择最重要的变量来估算 RUL 或对故障模式进行分类。
- 使用内置函数训练、比较和验证多个预测模型。
- 计算并可视化置信区间以量化预测中的不确定性。



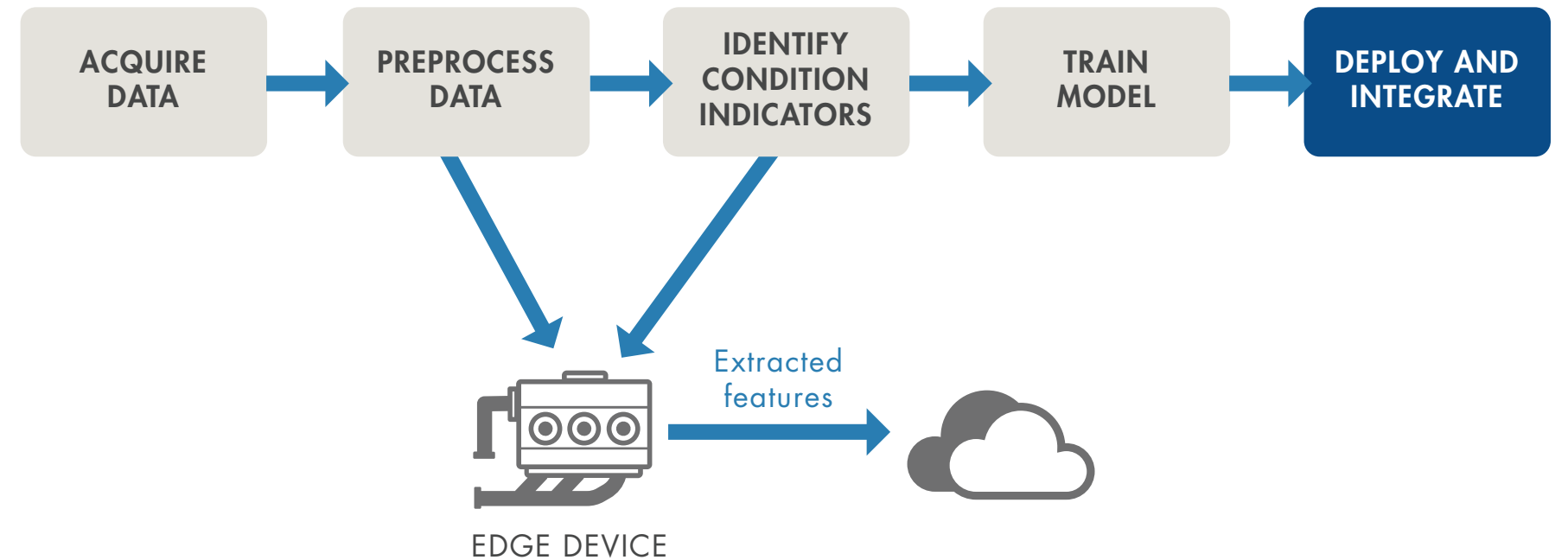
使用 Classification Learner 应用程序, 尝试对您的数据集使用不同的分类器。  
找到最佳拟合的常用模型, 例如决策树、支持向量机。

# 部署和集成

开发算法后,您可以通过将算法部署到**云端**或**边缘设备**上来启动和运行它。如果您还在云端收集和存储大量数据,则云端实现可能会有所帮助。

此外,算法也可在比较靠近实际设备的嵌入式设备上运行。如果 Internet 连接不可用,则可采用此方案。

第三个方案是结合使用上述两个方案。如果您拥有大量数据,但是可以传输的数据量受到限制,那么您可以在边缘设备上执行预处理和特征提取步骤,然后只将提取的特征发送到在云端运行的预测模型。



# 使用 MATLAB 在生产系统中部署算法

数据科学家通常将分享和解释结果的能力称作**模型可解释性**。易于解释的模型具有：

- 少量特征 – 通常在对系统具备一定实际了解的前提下创建
- 透明决策流程

在您具有下列需求时,可解释性很重要:

- 证明您的模型符合政府或行业标准
- 解释有助于做出诊断的因素
- 展现决策无偏见

“我们的机器不间断运行,即使在圣诞节也是如此,并且我们依靠基于 MATLAB 的监控和预测性维护软件,来确保在生产中连续、可靠地运行。”

— Michael Kohlert 博士, Mondi

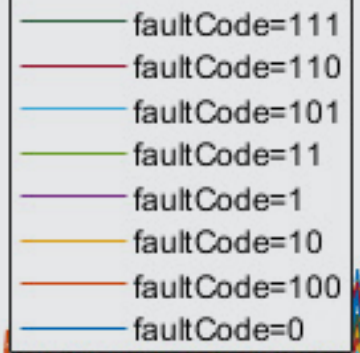
» [阅读用户案例](#)



作为 Web、数据库、桌面和企业应用程序的一部分来分享独立 MATLAB 应用程序或运行 MATLAB 分析,无需创建定制的基础架构。



# 了解更多



## 观看

[预测性维护技术讲座 - 视频系列](#)

[使用 MATLAB 和 Simulink 进行预测性维护 \(35:54\) - 视频](#)

## 阅读

[克服预测性维护的四个常见障碍 - 白皮书](#)

## 深入了解

[使用 MATLAB 进行预测性维护 - 代码示例](#)

[Predictive Maintenance Toolbox](#)

[试用 Predictive Maintenance Toolbox](#)