必须考虑到，所描述的故障是在发动机的单个元件中模拟的，即在过滤器中，在压缩机中，在涡轮机中，在半歧管中或在气缸中模拟。 由于它通常是在真实条件下发生的，因此已经以这种方式进行了。 如果相同类型的所有元素均发生故障，则引擎行为会有所不同。 可以预期，如果在所有气缸中都发生这种影响，则将放大十二倍；如果在涡轮增压系统中发生，则将放大两倍。 同一类型的故障不太可能同时在各个发动机站点发生。 通常发生的情况是，它首先出现在一个元素中，这会导致另一种类型的故障，或者通过过度应变传递给其他相似的元素或产生另一个故障的其他系统。 如果及时检测到初始故障，则很可能故障不会扩散。 因此，在使用寿命期间提高了可靠性并减少了发动机维护。 对于每种故障模式，至少引入了两个级别的故障强度，以便了解两种情况下的发动机响应。 以下各节详细介绍了此模型中每种故障模式的引入过程。

1. **空气过滤器中的压降过大**

空气过滤器的压降是质量流量的二次函数。 该常数值乘以该函数在正常运行条件下的压降，该常数值为常数，并被视为标称值a1，nom。 要模拟何时出现过多的障碍物，必须将标称值乘以K（值5或10）以分别模拟较小的障碍物或严重的障碍物。 然后，常数将为a1，f = K \* a1，nom，其中（K = 5，10）。 通过这种方式，根据新值a1，f重新调整压降二次曲线。

仅在位于发动机A侧的空气滤清器中（图2的“空气滤清器-储气罐A”）引入此故障。此故障可能是由于空气滤清器中积聚的灰尘或其他吸入空气颗粒引起的。 如果认为故障是“正常”运行条件的重要变化，则在这种情况下，例如，可能是由于计划内的维护操作中没有更换或清洁滤清器，或外部代理阻塞了滤清器。

1. **空气冷却器效率降低**

通过将效率方程乘以质量流量和冷却器进水温度的函数的值来模拟空气冷却器效率。 这些参数对于每个发动机负载都有不同的值。 在正常情况下，使用常数a2，nom调整方程。

在故障条件下，效率值乘以常数K（取值0.5或0.75），具体取决于冷却器效率分别从调整后的公式中计算得出的值减少50％还是75％。 因此，根据等式a（2），f = K \* a2，nom（K = 0.5，0.75）影响该值。 此故障是在该发动机的唯一空气冷却器中模拟的，图2的“空气冷却器”。可能是由于故障原因而导致的，例如交换面积的减少，腐蚀或其他类似原因，这些都会导致冷却能力的降低。 重要的是要注意，这种类型的故障将伴随下一节中所述的故障。

1. **空气冷却器中的压降过大**

以与空气过滤器压降相同的方式，在正常条件下使用常数a3，nom在名义功能点调整定义冷却器中正常压降的方程式。 在过度阻塞的情况下，主要费用变为a3，f = K \* a3，nom（K = 5，10）。 这样，根据新值a3，f重新调整压降的二次曲线。 F3是在唯一的空气冷却器中进行模拟的，图2中的“空气冷却器”。此故障是由固体沉积物或其他阻塞剂阻塞空气管道引起的。

1. **空压机故障**

通常，如参考文献[14]和[33]所示，压缩机等熵效率降低会考虑这种故障。 在这项工作中，还考虑了降低空气质量流量。 在正常条件下，压缩机的等熵效率和空气质量流量的值分别为a4a，nom。和a4b，nom。 仅在位于发动机侧面A的压缩机中模拟该故障，图2的“涡轮压缩机组A”。在故障条件下，等熵效率和空气质量流量为a4a，f = K \* a4a，nom（ K = 0.5，0.75）和a4b，f = K \* a4b，nom（K = 0.5，0.75）。 此故障是由叶轮或扩压器中的灰尘堆积和其他垃圾以及造成几何形状变化的损坏引起的。 作者在压缩机故障方面的经验历史报告表明，通常存在几何损坏，粉尘或垃圾堆积。 这导致空气质量流量和压缩机效率的损失，这是为什么增加了空气质量流量的原因。 尽管灰尘可能同时在两个压缩机中积聚，但通常在日常维护任务中将其清除。 在这项研究中，已决定仅在其中一个中模拟此故障，以便能够在发生故障时检测到空气歧管之间的差异。

1. **进气歧管泄漏**

为了模拟此故障，创建了直径为5mm的管，而进气歧管通向大气没有受到限制。 正常情况下该管的排放系数值为a5，nom = 0，即没有泄漏，也不会影响空气歧管中的波动力。 在故障条件下，放电系数为a5，f = a5，nom + K（K = 0.5，1）。 没有针对该故障模式的仿真参考，但是，这种小损失被认为是现实的。 仅在A侧空气歧管（图2的“进气歧管A”）中模拟此故障，因为这不是通常在两个歧管中同时发生的情况。 造成这种故障的原因可能是由于与进气歧管相连的材料或管接头破裂而导致密封性不足。

1. **进气阀座故障**

通过修改气缸1A进气门之一的升程曲线（图2中的“ CYL.1A”）来建模此故障。在正常情况下，关闭气门时的升程值为a6，nom = 0 mm。 在故障提升条件下，理论上应将阀门关闭的时间为a6，f = a6，nom + K（K = 0.5，1）。 作为F5，对于这种故障模式都没有仿真参考，无论如何，最大升程1mm被认为是足够的。 该故障是由于烟灰在进气门阀座区域中的积累而引起的。 这在热应力较大的进气门中更为常见，在低负荷下长时间运行的柴油机中也更可能出现。 单个进气门的故障被认为是最现实的情况。

1. **失火**

正常条件下的燃油质量流量值随发动机负载而变化，并视为a7，nom。 在故障条件下，燃油质量流量为a7，f = K \* a7，nom（K = 0.75，0.5），因此，仅模拟的部分失火仅比普通情况下少25％和50％。 在图1A中，它是图2的“ CYL.1A”。其原因是，在大多数情况下，在完全失火之前都已对其进行检测和维修/更换。 这种故障可能是由多种原因引起的，例如，喷嘴喷嘴孔口堵塞，喷射压力降低，燃油喷射质量低下或其他会减少喷射器中燃油量和/或质量的燃油系统故障。

1. **过度窜气**

当气缸压缩比降低时会产生过度窜气，这主要是由于活塞环与套筒之间的间隙（定义为a8，nom）引起的。 该值确定正常情况下的漏气有用面积。 在失效条件下，环与套筒之间的间隙值增加0.05和0.1 mm，因此a8，f = K + a8，nom（K = 0.05，0.1 mm）。 仅在图2的气缸1A（CYL.1A）中模拟了由于过度窜气造成的压缩损失。这种故障可能是由于活塞环的异常磨损和/或气缸套的过度磨损引起的。 在所有气缸同时发生这种故障的情况下，即未按照计划的维护计划更换活塞环时，症状的强度会更大。 它模拟了单个圆柱体，因为扩展时更容易推断效果。 当此故障仅出现在一个气缸中时，它还提供了检测影响的机会。

1. **气门间隙调整失败-间隙过小**

在正常情况下，将a9a，nom和a9b，nom分别定义为摇臂和进气门之间以及摇臂和排气门之间的间隙。 在失效条件下，间隙值为a9a，f = K \* a9a，nom（K = 0，0.5）和a9b，f = K \* a9b，nom（K = 0，0.5）。 这些新间隙的影响会稍微增加阀门的打开时间，因为摇臂和阀门之间的间隙值会减小直到消失。

1. **气门间隙调节失败-间隙过大**

类似于先前的情况F9，在正常条件下，摇臂与进气门之间以及摇臂与排气门之间的间隙为和。 在失效条件下，电气间隙值分别为和。

这样做的效果是略微减少了阀门的打开时间，因为稍后通过摇臂推动气缸阀门。 仅模拟气缸1A阀，图2的“ CYL.1A”。 此故障的根本原因与F9相同。

1. **喷射定时失败–提前定时**

参数a11，nom定义为当发动机在正常条件下运行时在双振动定律中使用的燃烧开始角。 在提前定时失败的情况下，参数a11，nom向前移动2°或4°，因此a11，f = a11，nom – K（K = 2，4）。 在该模拟中，假定喷射提前等于燃烧提前。 该故障仅模拟到图2的气缸1A，“ CYL.1A”，因为这种故障​​通常是由一个喷射泵高压元件中的机械失配引起的。 另一种计时模拟是将同一故障同时引入所有气缸。 如果在喷射泵轴驱动装置和曲轴驱动装置之间的相对位置发生机械调整错误，则可能发生这种情况。 与F8一样，单个气缸故障的可能性更大。

1. **喷射定时故障–延迟定时**

与前面的情况类似，当发动机在正常条件下运行时，a12，nom定义为双振动定律中使用的燃烧开始角。 在延迟定时失败的情况下，起始角度为a12，f = a11，nom + K（K = 2，4）。 此故障类似于F11，但在这种情况下，喷射角会延迟2°或4°。 由于预期会有不同的症状，所以将故障F11和F12分开。 除了不同的喷射开始角度，延迟或提前喷射时燃烧规律通常也不同。 但是，在此模拟中，由于未在这些故障条件下对发动机进行测试，因此维持了相同的燃烧规律。

1. **涡轮机故障**

与压缩机故障F4一样，涡轮机的等熵效率和质量流量也有所降低。 在正常条件下，等熵效率和质量流量的值分别为和。 仅在涡轮机的图2的A侧“涡轮压缩机-排A”中模拟该故障。在故障条件下，等熵效率和质量流量的值为和。 该故障是由喷嘴和叶轮中的灰尘和其他垃圾的堆积以及造成几何形状变化的损坏引起的。 由于废气中的污垢浓度很高，因此涡轮机故障比压缩机中更为频繁。

1. **排气歧管泄漏**

这种故障是通过直径为5mm的小管来模拟的，而排气歧管对大气开放没有任何限制，类似于进气歧管泄漏F5。 该管在正常条件下的排放系数值为a14，nom = 0，因此没有泄漏。 在故障条件下，放电系数为a11，f = a11，nom + K（siendo K = 0.5，1）。 由于没有针对该故障模拟的参考，因此模拟的损失很小。 仅在图2的A侧排气歧管“排气歧管-排A”中模拟此故障。此故障的原因与F5类似。

1. **排气管中的压降过大**

为了模拟此故障，将排气歧管压降调整为取决于排气质量流量的二次函数。 常数值乘以该函数得出正常工作条件下的压降，该常数为常数，并视为标称值a15，nom。 在过度阻塞的情况下，该常数将增加为a15，f = K \* a15，nom（K = 5，10）。 这样，根据新值a15，f重新调整压降的二次曲线。 该故障是由涡轮机后在排气管或其他元件（如消声器/消音器）中积聚的污垢引起的。

综合分析各个故障对以下热工参数的影响

1.故障条件下的增压压力性能

2.故障条件下的空气歧管温度性能

3.故障条件下的气缸出口气体温度性能

4.故障条件下的空气质量流量性能

5.故障条件下的IMEP性能

6.故障状态下的涡轮增压器RPM性能状态

7.故障条件下的压缩机出口温度特性

8.故障条件下的排气歧管压力特性

9.故障条件下的涡轮增压器入口温度特性

10.故障条件下的涡轮增压器出口温度特性

-1