# 漏气故障模拟思路

## 正常工况下的模拟：

气缸内工作物质的状态由压力p、温度T和质量m三个基本参数确定，整个工作循环遵循能量守恒，质量守恒和经典方程。

能量守恒：

式中，为系统内能；为活塞上的机械功；为通过系统边界的交换热；为比焓；为进出系统的能量。

式中，为缸内燃料燃烧释放的热量；为进出缸的热量；为燃料低热值；为燃烧效率，考虑到不完全燃烧的影响，其值由燃烧条件确定；为燃烧连续角；是燃烧放热率；是循环喷射量。

汽缸的工作过程的边界条件。柴油机工作过程计算的边界条件包括气缸工作容积计算、气缸壁传热计算、进排气流量计算和燃烧放热率计算[2]，因为气门泄漏主要影响燃烧放热率，因此本文重点研究了燃烧放热率的计算。目前，燃烧放热率的计算方法很多[3]，本文采用的是常用的单韦伯函数。

式中m为燃烧质量因子；为燃烧初始角；为燃烧连续角。该方程适用于以模拟柴油机性能（如平均有效压力、油耗等）为目标的模拟。

## 漏气工况下的模拟：

正常工况下的工作过程模型几乎反映了柴油机的所有外部特性，而故障则反映了整个工作过程的外部特性，因此可以通过修改和进一步改进正常工况下的数学模型来实现故障模拟。

柴油机气门泄漏时，气缸内的工质减少，油气混合严重，导致燃烧不完全。根据燃烧放热规律，燃烧连续角对缸内压力的影响最大，故在原计算公式中加入**燃烧连续角修正系数**。

为了反映由于雾化不良而导致的不完全燃烧程度，采用**循环喷射体积修正系数**，**燃料燃烧修正系数**来模拟不完全燃烧释放的热量[4,5]。

针对汽缸内阀门泄漏导致工质减少的问题，引入**气体质量系数**来解决。故障状态的数学模型修改如下：

式中：

为故障工况下的燃烧放热率；

为燃烧连续角修正系数——缸内压力/燃烧不完全；

为燃烧修正系数——雾化不良/燃烧不完全；

为循环喷射体积修正系数——雾化不良/燃烧不完全；

为故障工况下缸内燃料燃烧释放的热量；

是汽缸内的气体质量系数——泄漏/工质减少。

根据修正后的数学模型，可以完成轻微泄漏和严重泄漏的故障模拟，即通过改变系数[6]的值来反映不同故障条件下的放热规律，实现了不同气缸压力下柴油机的综合性能参数。各系数值见表1。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 故障程度 |  |  |  |  |
| 正常 |  |  |  |  |
| 轻微 |  |  |  |  |
| 严重 |  |  |  |  |

需要说明的是，在故障模拟中，校正系数的值是灵活的，参数有很大的选择范围。本文分别对轻断层和重断层进行了模拟，其具体数值可能与实际情况略有偏差。但正是正常状态和异常状态的比较，才完整、生动地反映了这些断层的现象和规律。

图1显示了6135柴油机正常和严重泄漏情况下气缸内压力模拟的对比。表2显示了正常和不同漏气状态下的热工参数对比，并根据6135柴油机的出厂试验数据定义了正常状态下的热工参数。由图1和表2可知，发生泄漏时，缸内压力降低，最大燃烧和爆炸压力增加17.23%，油耗增加，有效油耗率增加23.16%，主要原因是缸内工质减少、燃烧不完全和燃烧散热减少[7]。

气体泄漏热工参数及误差：

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 故障程度 | 最大燃烧和爆炸压力 | 最高温度 | 平均指示压力 | 平均有效压力 | 有效燃油消耗率 |
| 正常 |  |  |  |  |  |
| 轻微 |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| 严重 |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |