

# 发动机工作原理 3D 仿真演示软件

## 使用说明

版本说明：取得软件版权的版本为 V1.0，相比 V1.0，V2.0 有以下改动：（1）增加移动端适配功能，以获得更好的移动端体验；（2）在压缩冲程末端增加“粒子爆炸”特效；（3）调整了绘图精度，图像质量提升，但运行效率有所下降。

软件初始化耗时：与网络带宽和客户端硬件配置有关，耗时在 20s~40s 之间。

### 一、 软件名称

软件名称：发动机工作原理3D仿真演示软件 V2.0。

### 二、 运行环境

1. 服务器端部署：需引入three.js V0.176模块。

2. 客户端：跨平台支持，同时支持PC端和移动端浏览。硬件要求：显卡支持Web GL渲染，浏览器要求支持H5。不支持Web GL渲染的设备无法运行该软件，不支持IE浏览器。

建议在线使用，若需PC端离线运行：安装“Visual Studio Code”编辑器，安装提供web服务的“Live Server (Five Server)”插件；将软件文件夹“Engine”移动到“Visual Studio Code”的工作目录，用“Visual Studio Code”打开软件夹内index.html文件，在代码编辑区右键菜单中选“Open with Five Server”，系统会自动用默认浏览器打开index.html页面。

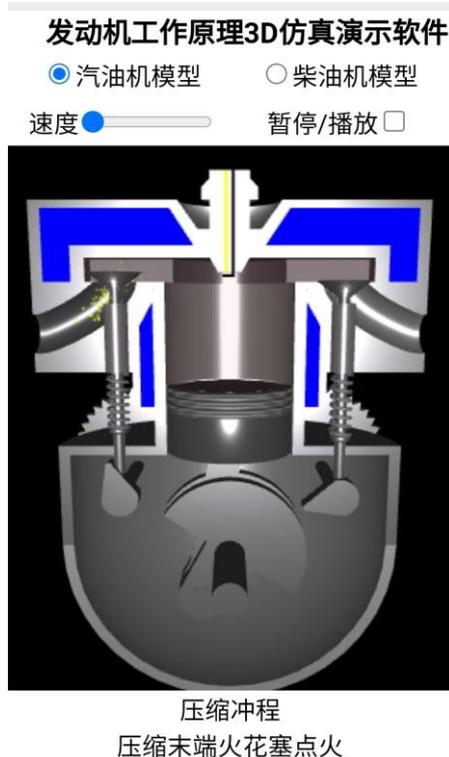
### 三、 软件入口

体验者根据客户端显示屏的大小选择合适的版本。宽屏设备选择“PC端访问”，窄屏设备选择“移动端访问”。需要阅读“软件使用”说明时，点击最后一个链接。



#### 四、 移动端界面

自适应移动端显示屏尺寸，满宽度显示。



#### 五、 软件主界面（以PC端为例）

自适应显示屏尺寸，满高度显示。

此软件用three.js编写而成，利用其3D建模功能，创建了发动机的主要结构，利用其动画功能，仿真发动机的四个冲程，摒弃物理演示设备受经济、时间、空间限制问题，使用更方便。

为了更清晰地表现金属质感，场景的背景颜色选择了黑色。为了从不同视角观察发动机结构，程序中引入了OrbitControls控件，可以控制视觉从四周进行观察场景。

##### 1. 页面组成

左则两个单选框为“汽油机和柴油机”模型切换。根据体验的需要，可以随时在两个模型间切换。

中间为发动机3D仿真模型。

右上角为动画控制面板，用来控制发动机的转速和动画的暂停与播放。当拖动速度滑块用来调节发动机的转速时，可将转速在1~60倍之间进行调节。通过选定或取消“暂停/播放”复选框，来控制动画的暂停与播放。

图形界面自动适应显示屏大小，自动全屏。页面打开后为白屏状态系正常现象，请稍等6秒左右，等待所有模型创建完成后会正常显示。

##### 2. 发动机结构

程序运行时，自动绘制发动机基本结构。蓝色为水箱、火花塞/喷油嘴、进排气管道、进排气阀，汽缸、活塞、连杆、齿轮等结构。

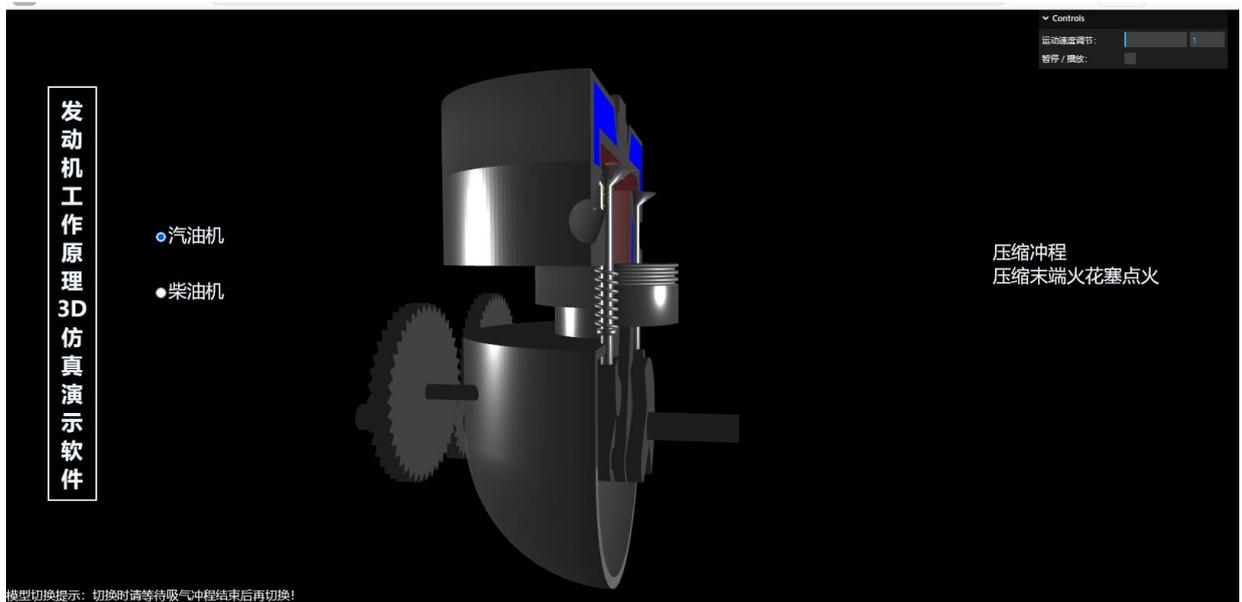


1\_1 正视图

### 3. 程序中引鼠标控制模块OrbitControls

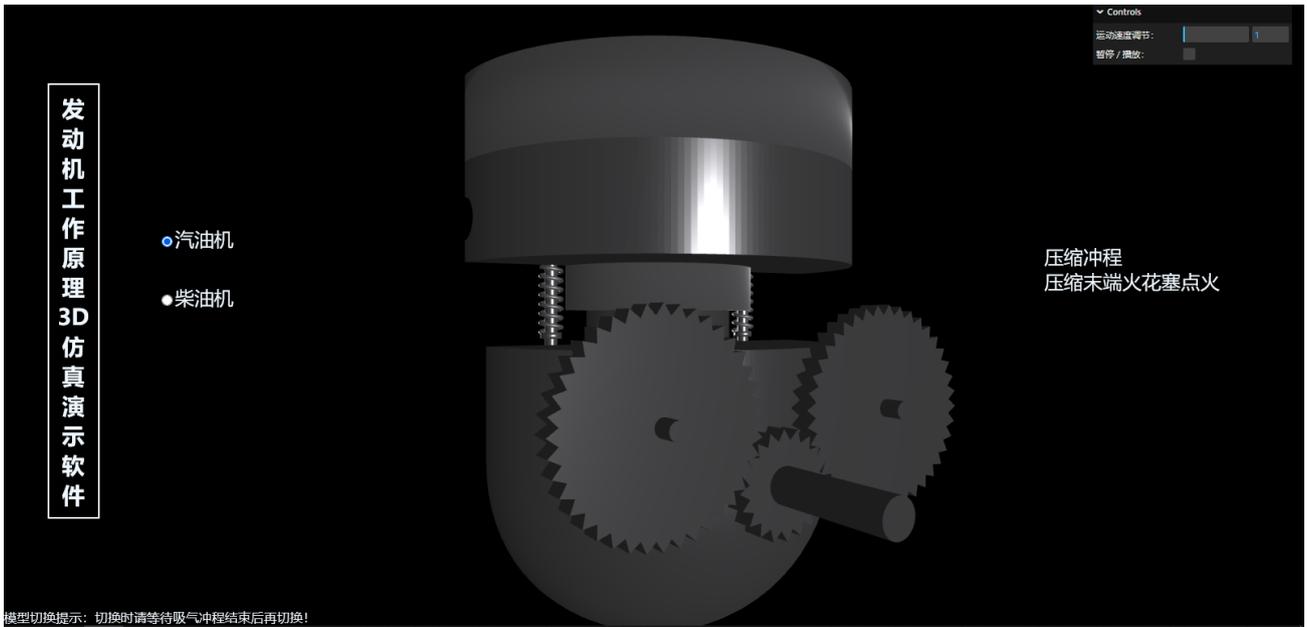
在场景中，通过鼠标左右或上下拖动，可以旋转场景，从多个角度观察发动机的结构或运动；上下滑动鼠标中键，可缩放场景。

当鼠标从左到右拖动时，可将视角转到从左侧视角看场景：



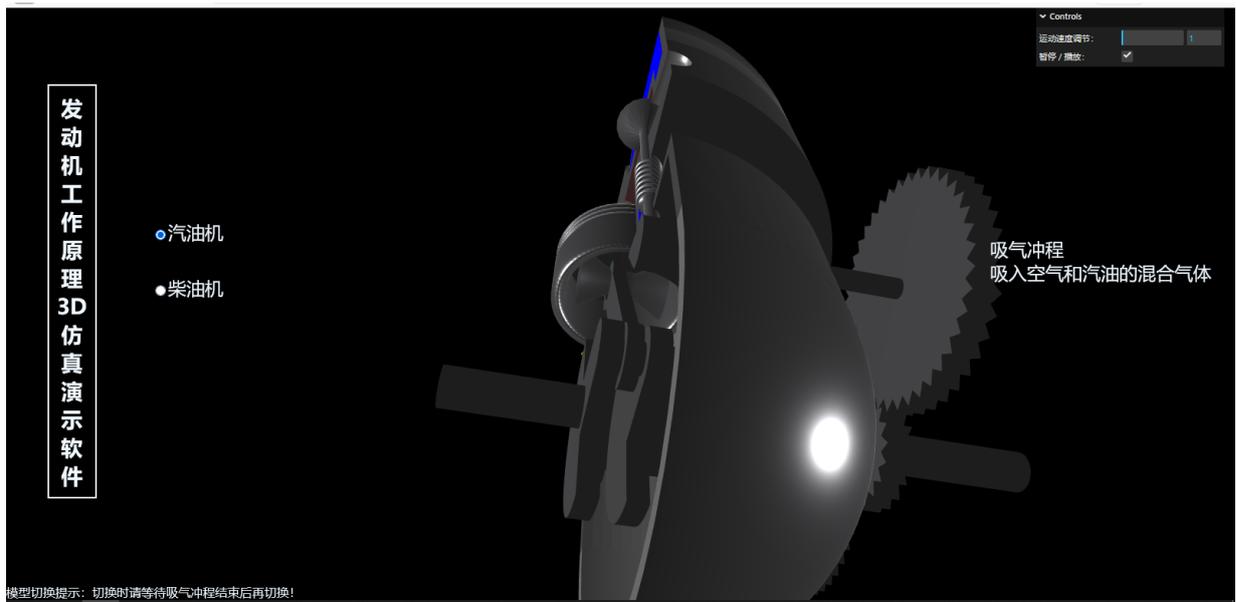
1\_2 左侧视图

当鼠标从右到左拖动时，可将视角转到从右侧视角看场景：



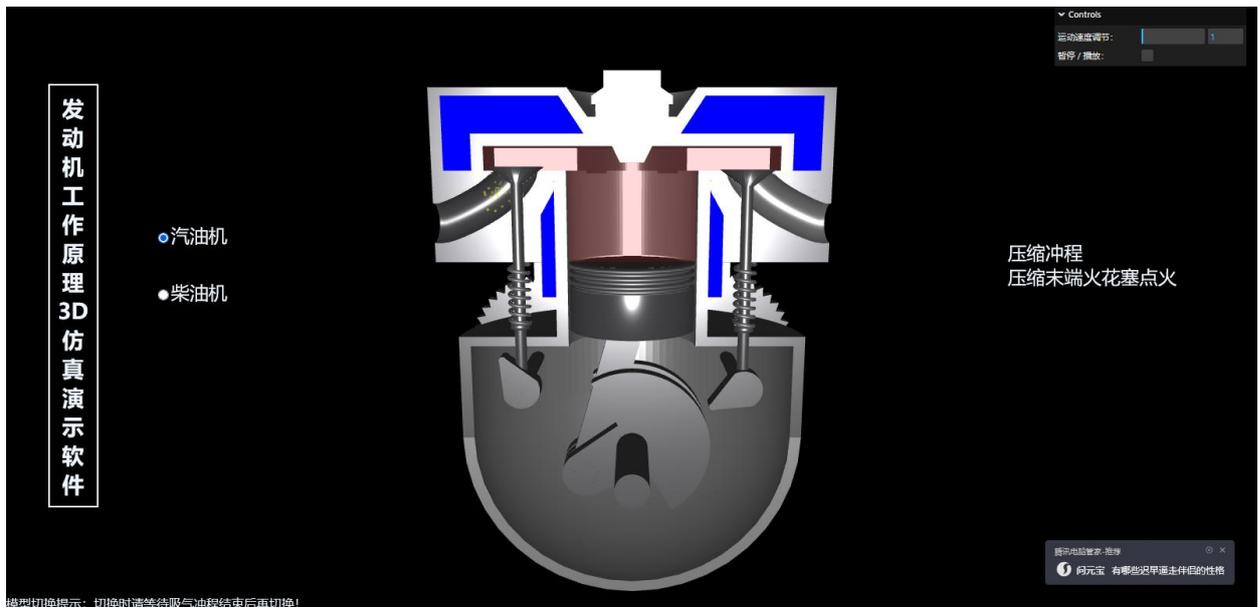
1\_3 右侧视图

仰视看场景，可以看到曲轴、连杆、活塞的内部结构。



1\_4 仰视图

上下滑动鼠标中键，可调整视场大小，观看整体效果。



1\_5 滑中键放缩场景

#### 4. 曲轴的旋转方向和凸轮的旋转方向

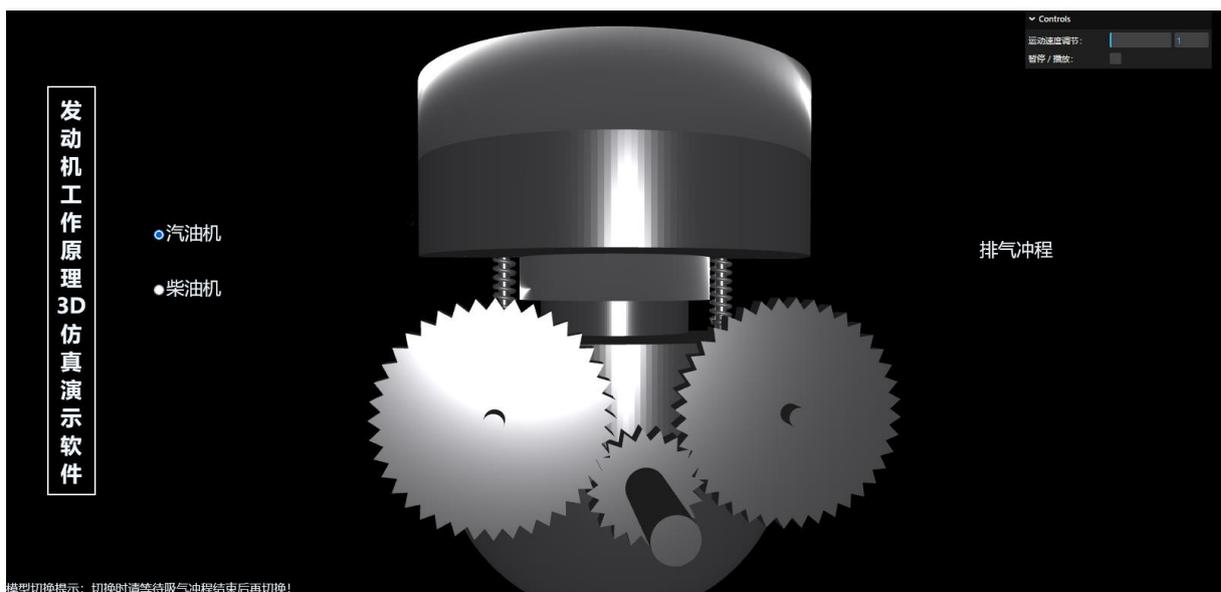
曲轴转动方向为顺时针，凸轮转动方向为逆时针。

### 六、 软件操作说明

#### 1、 汽油机和柴油机模型切换

操作提示：模型切换操作必须等待吸进冲程或排气冲程完成后进行，中途切换时，进气或排气的粒子特效不能正常结束，导致粒子残留而影响体验效果。

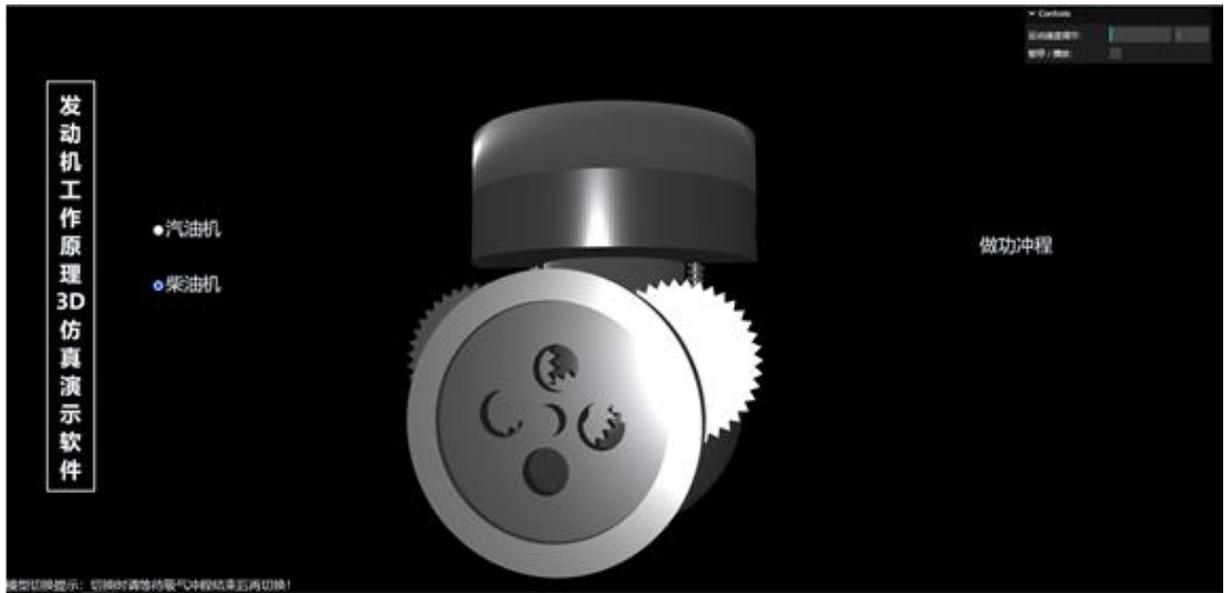
在下图左侧单选框中点击名称选择。当没有选择时，默认为汽油机模型。汽缸顶部为火花塞，背部有飞轮结构。其背部结构如下图所示：



1\_5 汽油机无飞轮

在上场景中，主轴上套的主齿轮，左右两侧为从齿轮，主从齿轮半径比为1：2，保证发动机一个工作周期曲轴转两圈，进排气阀下的凸轮旋转一圈。

当选择了“柴油机”模型时，火花塞会切换为喷油嘴。背部“飞轮”显示。



1\_6 柴油机有飞轮

## 2. 发动机的四个冲程

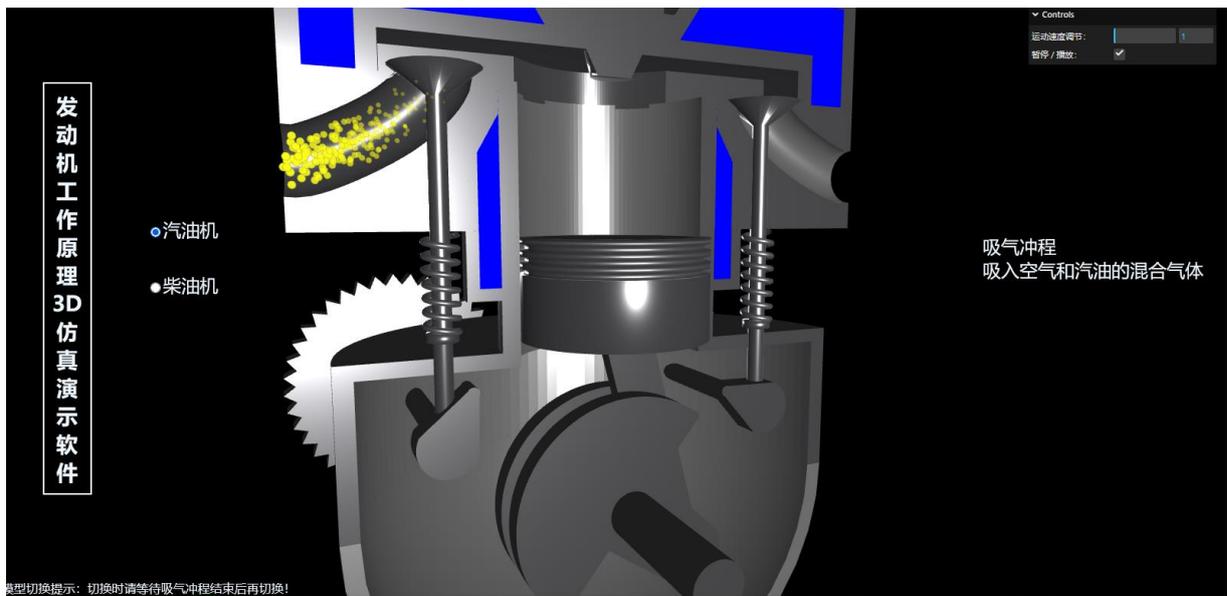
### (1) 吸气冲程

随着曲轴旋转惯性，带动活塞向下运动，此时背部齿轮咬合装置带动左凸轮顺时针旋转，致使左气阀顶杆向上运动，进气阀打开，左侧进气管道处粒子动画开始，模拟进气效果。当发动机模型为汽油机时，进气为汽油和空气的混合气体，颜色为黄色；当发动机模型为柴油机时，进气仅为空气，粒子的颜色为白色。

当活塞下移到下止点时，吸气结束，左侧粒子动画结束，生成的粒子运行到管道末端时，会自动删除，以避免占用内存而卡顿。因此在切换发动机模型时，只能在吸气冲程结束后切换，否则会导致粒子动画强行停止而造成粒子在场景残留。

在吸气冲程阶段，进气阀快速打开，排气阀快速关闭。当活塞下移到下止点时，进气阀完全打开，排气阀完全关闭。即在吸气冲程期间，排气阀是延时关闭的，这样有得于废气尽可能地排出。

若是汽油机，吸入的是空气和汽油的混合气体。若是柴油机，吸入的仅是空气。



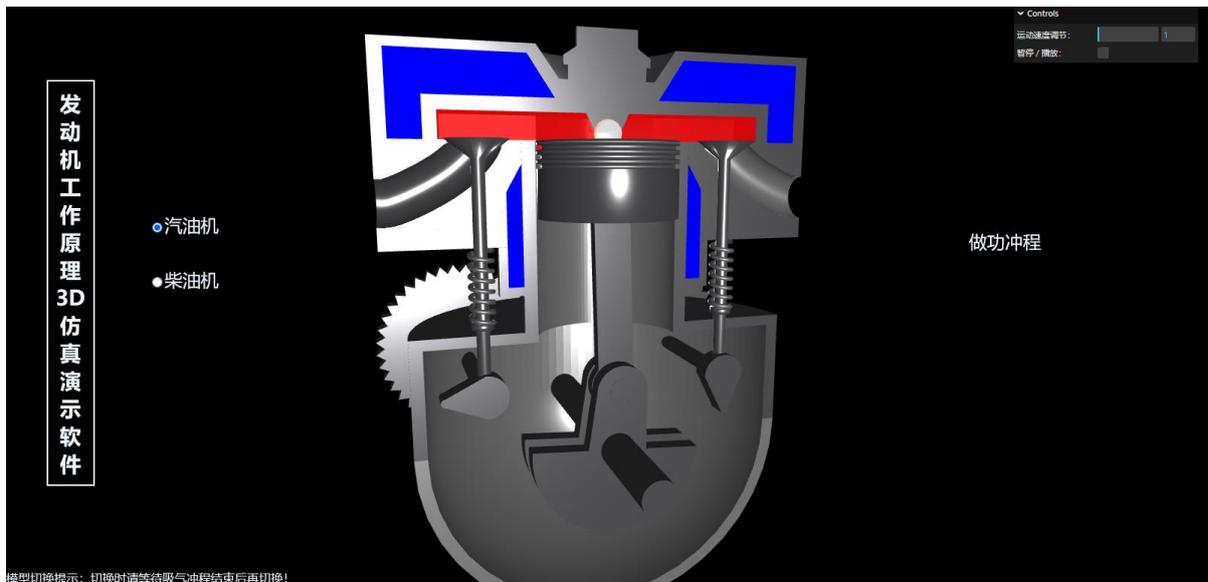
## (2) 压缩冲程

随着曲轴旋转惯性，活塞上移。在压缩冲程初期，进气阀快速关闭，在压缩冲程初期进气阀延时关闭，有利于将尽可能多的气体吸入气缸。

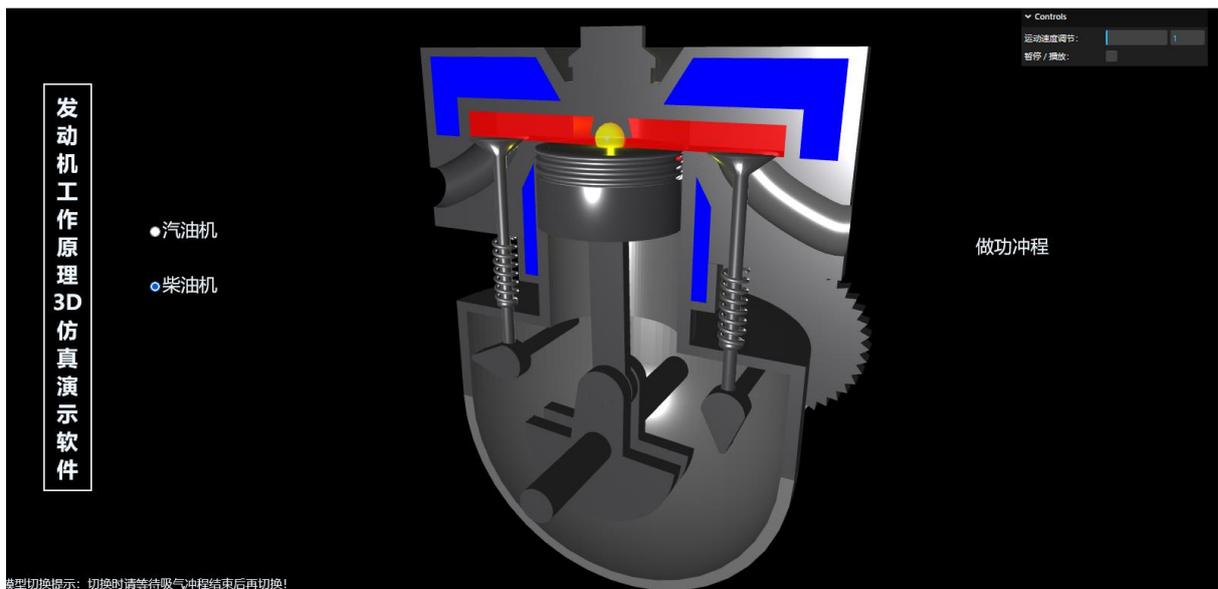


当活塞继续上行时，气缸内的气体颜色由透明变成红色，表示气缸内气体的温度不断升高，内能不断增加。

若是汽油机，当活塞上移到上止点时，火花塞点火，点燃气缸内油气混合物。



若是柴油机，笨重的飞轮在惯性作用下，压缩气缸内空气，空气被压缩做功而内能增加，当活塞上移到上止点时，气缸内温度达到柴油的燃点，喷油嘴喷油，雾状的柴油碰高温空气时瞬间被点燃。



### (3) 做功冲程

气缸内的油气混合气体，在压缩冲程末端，被压燃或点燃后，迅速燃烧，油料的化学能转化为内燃机的内能，高温燃气推动活塞快速下移而完成做功。此过程进气阀和排气阀均关闭，以保证做功冲程顺利完成。

无论压燃还是点燃，在压缩冲程末端都会瞬间激发粒子爆炸特效，气缸内颜色为橙色，活塞被高温燃气推动下行，橙色区域动态扩展至整个汽缸。

判断进气阀和排气阀的状态，由凸轮的转动方向和顶杆与凸轮所处位置决定。下图中左侧进气阀顶杆位于凸轮大弧上，顶杆不动，在整个做功冲程期间，进气阀都是关闭的；当活塞下移到下止点时，右侧排气阀顶杆刚好位于大弧的末端，在整个做功冲程期间，排气阀都

是关闭的。



在整个做功冲程期间，气缸内的温度变化不大，所以橙色没有变化。

#### (4) 排气冲程

做功冲程结束后，活塞从下止点开始向上移动，进气阀顶杆处于大弧后半段，顶杆不动，进气阀仍处于关闭状态。右侧顶杆位于凸轮上斜上，顶杆被凸轮顶起，排气阀打开。随着活塞的上移，废气被从排气阀排出。

在此过程中，根据活塞上移距离与最大移距的比例，会随时调整气缸内的颜色，橙色逐渐减弱直到完全透明，表示废气完全排出。当活塞上移至上止点时，排气阀被完全打开，即排气冲程结束时排气阀并非完全关闭，而是延后关闭。

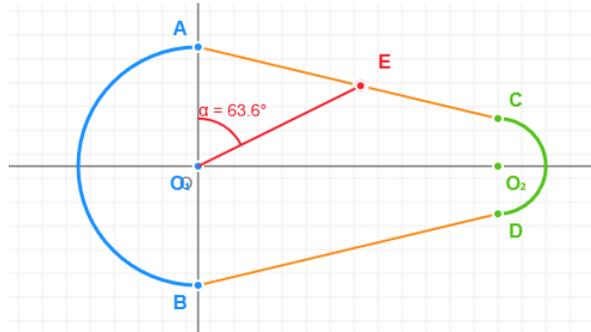


### 七、解决顶杆移动距离问题

软件在设计之初，尝试通过射线法求出过凸轮旋转点竖直向上的射线与表面交点坐标，但通过实际测试发现：时而能获取交点坐标，时而获取不到，无法解决实际问题。尝试几次

均无法解决问题，最后尝试通过几何角度成功得到解决。

下图为凸轮的正视图，左侧弧AB为一个大半圆（大弧半径 $r_1$ ），右侧弧CD为小半圆（小弧半径 $r_2, r_1 > r_2$ ）AC、BD为连线，E为顶杆与凸轮的接触点，求顶杆上下移距 $O_1E - r_1 = ?$  问题的关键点在于OE从初始位置OA开始转顺时针转动时，求 $OE = ?$



已知OE的旋转角度为 $\alpha$ ，连心距 $O_1O_2 = d$ ，两圆半径分别为 $r_1, r_2$ ，则有以下关系：

设 $\alpha_1 = \angle AO_1C$ ，则 $\alpha_1 = \tan^{-1}(d/r_2)$ ；设 $\alpha_2 = \angle AO_1D$ ，则 $\alpha_2 = 90^\circ + \alpha_1$ ；设 $s = O_1E$ ，则：

当 $0^\circ \leq \alpha < \alpha_1$ ，时，即E落在AC上时：
$$s(\alpha) = \frac{r_1}{\cos(\alpha) + \frac{r_1 - r_2}{d} \sin \alpha}$$

当 $\alpha_1 \leq \alpha < \alpha_2$ ，E点在弧CD上时：
$$s(\alpha) = \frac{r_1}{\frac{r_1 - r_2}{d} \sin \alpha - \cos \alpha}$$

当 $\alpha_2 \leq \alpha \leq 180^\circ$ ，E点在线段BD上时：
$$s(\alpha) = \frac{r_1}{\frac{r_1 - r_2}{d} \sin \alpha - \cos \alpha}$$

当 $180^\circ < \alpha < 360^\circ$ ，E点在弧AB上时：
$$s(\alpha) = r_1$$