

真实气体在重力场中做功与过程有关 II

缪波

¹重庆大学机械工程学院

zb11905@126.com

摘要: 本文用 CFX 求解了真实气体在重力场中等温膨胀做功: (1) 顶部活塞移动, 底部活塞不移动, 可以得到的底部活塞处的压强与顶部活塞移动的偏导。(2) 底部活塞移动, 顶部活塞不移动, 可以得到的顶部活塞处的压强与底部活塞移动的偏导。两种情况下得到的偏导是不同的, 证明了“真实气体在重力场中做功与过程有关”。

关键词: 热力学第 2 定律 熵 格林公式 真实气体 克劳修思等式, CFX

0. 引言

文献[1]在理论上证明了“真实气体在重力场中做功与过程有关”。这里用计算机进行模拟, 把理论结果具体化。

CFX 是主流的流体力学分析软件。

1. 物理模型和试验设计



图1 物理模型

如图所示: 容器内装有真实气体, 两活动边界: 顶部活塞、底部活塞宽度为 1.45m, 容器的厚

度是任意的，为计算简便定上下活塞面积为 $1m^2$ 容器高度7.89m,重力加速度 $g = 9.8ms^{-2}$ ，气体的状态方程为

$$P = 5\rho + 0.5\rho^2 \quad (0.1)$$

P, ρ 的单位 Pa 、 $kg \cdot m^{-3}$ ，由于是等温变化，方程里面不包含温度。

顶部活塞和底部活塞移动，气体对外做功，

$$dW = P_t S_t dy_t + P_b S_b dy_b = P_t dy_t + P_b dy_b \quad (0.2)$$

P_t -----顶部活塞压强， P_b -----底部活塞压强， y_t -----顶部活塞位移， y_b -----底部活塞位移。

做功与过程是否有关，可以通过下式判断

$$\frac{\partial P_t}{\partial y_b} = \frac{\partial P_b}{\partial y_t} \quad (0.3)$$

(0.3) 成立，则做功与过程无关；(0.3) 不成立，则做功与过程有关。

气体的初始压强为 $1000Pa$ ，先顶部活塞移动，底部活塞不动，可以求得(0.3)右边。顶部活塞移动方式如下图。

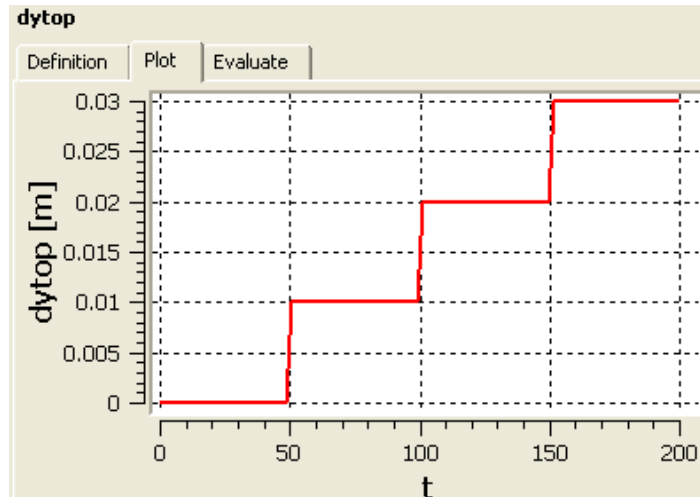


图2 顶部活塞移动

先经过50s,48s时得到初始准静止压强分布；50s时，移动0.01m，98 s时，可得到一个准静止的压强，100s和150s再做移动0.01m，148 s和198 s时分别得到一个准静止的压强。这样可以得到，

$y_t = 0$, $y_t = 0.01$, $y_t = 0.02$, $y_t = 0.03$ 时, P_b 的大小, 用3次曲线拟合, 可以到的 P_b 在

$y_t = 0$ 至 $y_t = 0.03$ 的连续变化。通过求导可以求得在 $y_t = 0$, $\frac{\partial P_b}{\partial y_t}$ 的大小。

类似可以设计: 先底部活塞移动, 顶部部活塞不动, 顶部活塞移动方式如下图。

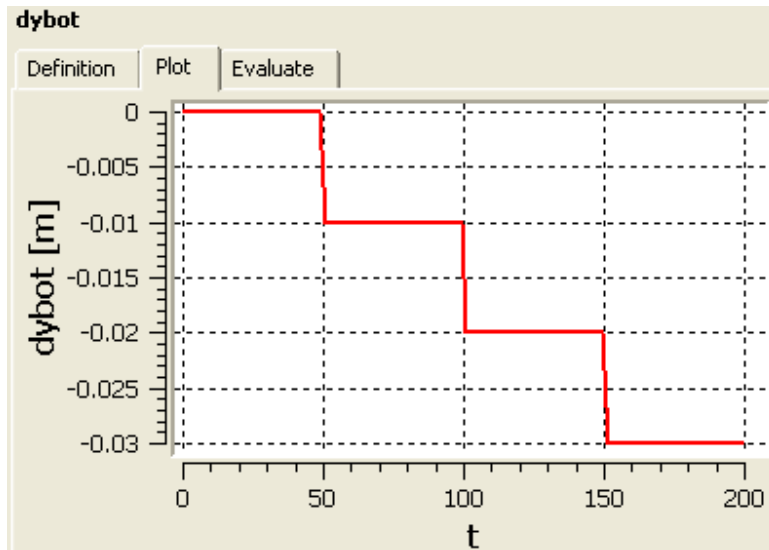


图3 顶部活塞移动

数值为负代表向下移动。类似的计算处理可以得到 $y_b = 0$, $\frac{\partial P_t}{\partial y_b}$ 的大小。 $y_b = 0$, $y_t = 0$ 所

表示的容器和气体的状态相同, 适用于 (0.3) 式的比较。

2, 计算结果及分析

2.1, 顶部活塞移动

计算参考压强为 $1000 Pa$, 结果显示为相对压强。第一种情形, 顶部活塞移动, 底部活塞不动, 底部活塞压强变化如下图

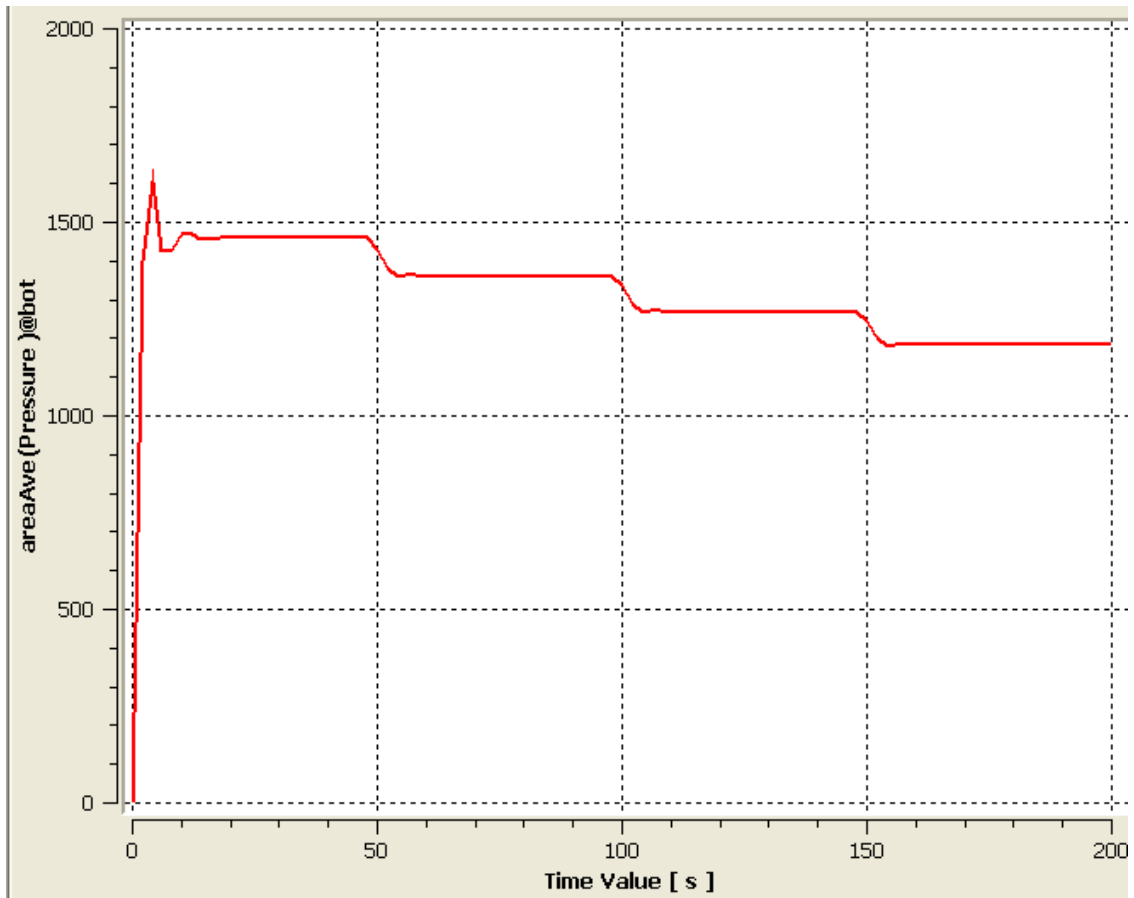


图5 底部活塞压强随时间变化

根据图5整理得到图6和图7

时间(s)	顶部活塞位移(m)	底部活塞压强(Pa)
48	0	1459.12
98	0.01	1360.73
148	0.02	1268.81
200	0.03	1182.72

图6 底部活塞压强随位移变化

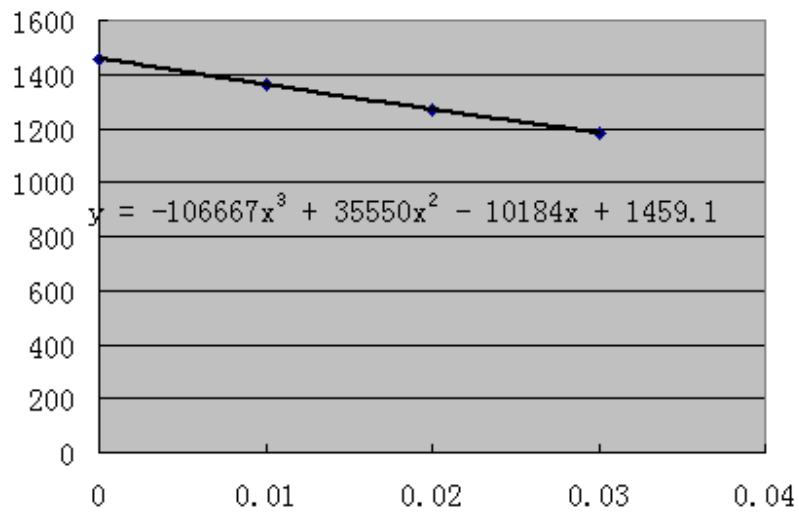


图7 底部活塞压强随位移变化

图7中公式可以得到: $y_t = 0, \frac{\partial P_b}{\partial y_t} = 10184$

2.2, 底部活塞移动

第二种情形, 底部活塞移动, 顶部部活塞不动, 顶部部活塞压强变化如下图

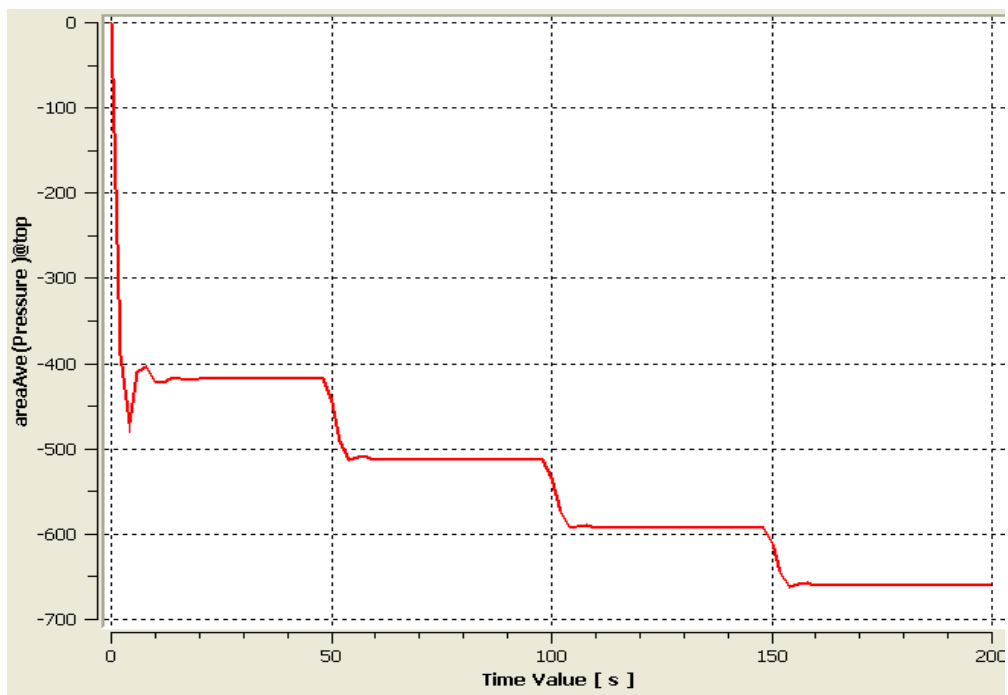


图8 顶部活塞压强随位移变化

压强为负值，这是相对压强。根据图8整理得到图9和图10

时间(s)	底部活塞位移(m)	顶部活塞压强(Pa)
48	0	-418.108
98	0.01	-512.134
148	0.02	-592.107
200	0.03	-660.03

图9 顶部活塞压强随位移变化

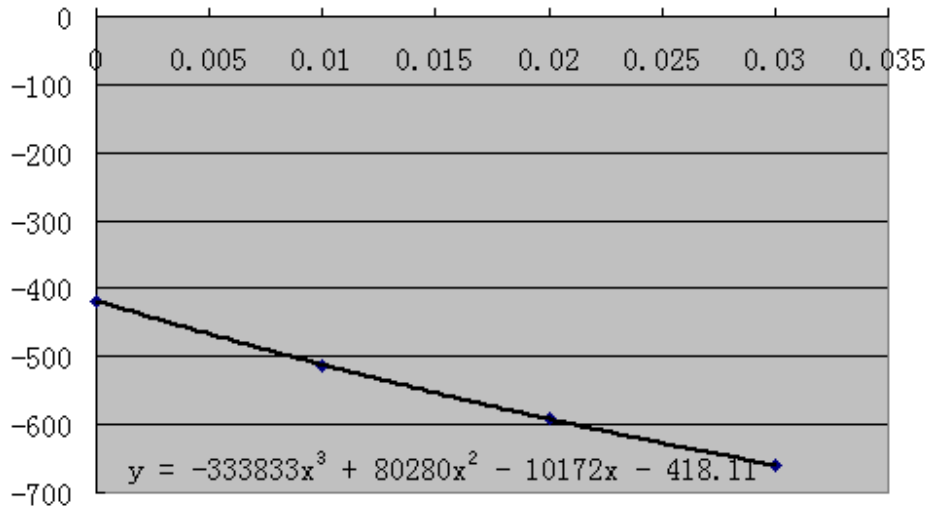


图10 顶部活塞压强随位移变化

图10中公式可以得到： $y_b = 0$ ， $\frac{\partial P_t}{\partial y_b} = 10172$

这样得到 $\frac{\partial P_t}{\partial y_b} - \frac{\partial P_b}{\partial y_t} = -12$ ，

$$\frac{\partial P_t}{\partial y_b} = \frac{\partial P_b}{\partial y_t} \quad (2.1)$$

3, 讨论

上述结果和热力学第2定律不符，首先这里气体做等温膨胀，把热力学第2定律最核心的参量温度剔除在外，热力学状态决定于容器的边界，热力学第2定律无从下手，出现违背的情况也不是为奇。

以上实验读者可以重复检验，只要气体非线性度足够，高度差足够，结果就会出来，否则（2.1）精确成立，也从侧面反映软件计算是准确的。

参考文献

- [1] 缪波，真实气体在重力场中做功与过程有关，中国科技论文在线(<http://www.paper.edu.cn>)，2007.1