2）滞止参数变化

　T_0 不变，$p,\rho\downarrow$；

3）临界参数变化

　T^* 不变，$p,\rho\downarrow$。

11.8 例题练习

例 11.5 — 一真空箱通过收缩形喷管从大气吸气，喷管最小截面直径为 38 mm，若大气压强为 101.3 kPa，温度为 15 °C，要使喷管出口为音速流动，真空箱压强应保持为多少？此时质量流量多少？若真空箱内压强为 0.34×10^5 Pa，质量流量为多少？

由于是从大气吸气，因此入口参数为滞止参数，则

$$p^* = 0.528p_0 = 0.528\times101.3\ \text{kPa} = 53.486\ \text{kPa}$$

由题意，$V_e = a^*$，则 $p_e = p^* = p_b$。

$$\begin{aligned}
T^* &= 0.833T_0 = 0.833\times(15+273.15)\ \text{K} = 240\ \text{K}\\
\rho^* &= \frac{p^*}{R_gT^*} = \frac{53.486\times10^3}{287\times240}\ \text{kg/m}^3 = 0.7765\ \text{kg/m}^3\\
a^* &= \sqrt{\gamma R_gT} = \sqrt{1.4\times287\times240}\ \text{m/s} = 310.5\ \text{m/s}\\
\dot m &= \rho^*A_ea^* = \frac{\pi\rho^*d_e^2a^*}{4} = \frac{\pi\times0.7765\times0.038^2\times310.5}{4}\ \text{kg/s} = 0.2734\ \text{kg/s}
\end{aligned}$$

若 $p_b = 34\ \text{kPa} < p^*$，则 $p_e = p^*$，于是 $\dot m = 0.2734\ \text{kg/s}$ 不变。

例 11.6 — 大容器内温度为 20 °C 的空气以 1.2 kg/s 的流量通过缩放喷管，喷管出口截面压强和马赫数分别是 14 kPa 和 2.8，试确定喷管喉部和出口面积、喉部压强、出口气流速度。

$$\frac{p_e}{p_0} = \left(1+\frac{\gamma-1}{2}Ma_e^2\right)^{-\frac{\gamma}{\gamma-1}} \Rightarrow p_0 = 379.94\ \text{kPa}$$

由于 $Ma_e > 1$，则喉部必达临界状态，喉部压强 $p^* = 0.528p_0 = 0.528\times379.94$ kPa。

$$\begin{aligned}
T_e &= T_0\left(\frac{p_e}{p_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 290.15\times\left(\frac{14}{379.94}\right)^{\frac{0.4}{1.4}}\ \text{K} = 112.99\ \text{K}\\
a_e &= \sqrt{\gamma R_gT_e} = \sqrt{1.4\times287\times112.99}\ \text{m/s} = 213.07\ \text{m/s}\\
V_e &= Ma_e\cdot a_e = 2.8\times213.07\ \text{m/s} = 596.6\ \text{m/s}\\
\rho_e &= \frac{p_e}{R_gT} = \frac{14000}{287\times112.99}\ \text{kg/m}^3 = 0.4317\ \text{kg/m}^3\\
A_e &= \frac{\dot m}{\rho_eV_e} = \frac{1.2}{0.4317\times596.6}\ \text{m}^2 = 4.659\times10^{-3}\ \text{m}^2\\
T^* &= T_0\left(\frac{p^*}{p_0}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 290.15\times\left(\frac{200.61}{379.94}\right)^{\frac{0.4}{1.4}}\ \text{K} = 241.76\ \text{K}\\
\rho^* &= \frac{p^*}{R_gT} = \frac{200610}{287\times241.76}\ \text{kg/m}^3 = 2.891\ \text{kg/m}^3\\
a^* &= \sqrt{\gamma R_gT} = \sqrt{1.4\times287\times241.76}\ \text{m/s} = 311.67\ \text{m/s}\\
A_{\min} &= \frac{\dot m}{\rho^*a^*} = \frac{1.2}{2.891\times311.67}\ \text{m}^2 = 1.332\times10^{-3}\ \text{m}^2
\end{aligned}$$