

节流过程的原理及其关键应用

陈嗣杰

课程：热力学与统计物理

2025 年 9 月 19 日

目录

什么是节流过程？

- **定义：**流体在**绝热**条件下，流经一个阀门、多孔塞或其他阻碍物，导致其**压强显著降低**的过程。

什么是节流过程？

- **定义：**流体在**绝热**条件下，流经一个阀门、多孔塞或其他阻碍物，导致其**压强显著降低**的过程。
- **核心特征（理想模型）：**
 - 绝热过程：与外界没有热量交换 ($Q = 0$)。
 - 对外不做功：系统边界没有移动 ($W = 0$)。

什么是节流过程？

- **定义：**流体在**绝热**条件下，流经一个阀门、多孔塞或其他阻碍物，导致其**压强显著降低**的过程。
- **核心特征（理想模型）：**
 - 绝热过程：与外界没有热量交换 ($Q = 0$)。
 - 对外不做功：系统边界没有移动 ($W = 0$)。
 - **最重要的结论：焓守恒 ($H_1 = H_2$)。** 这是一个等焓过程。

焦耳-汤姆孙效应 (Joule-Thomson Effect)

- **现象：**节流过程中，气体的**温度会发生变化**（可能升高，也可能降低）。
- **焦耳-汤姆孙系数 (μ_{JT}):**
 - 定义式： $\mu_{JT} = \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_H$
 - $\mu_{JT} > 0$: **节流致冷**。压强降低，温度也随之降低。这是绝大多数应用的基础。
 - $\mu_{JT} < 0$: 节流致热。压强降低，温度反而升高。
 - $\mu_{JT} = 0$: 温度不变，此时的温度点称为“转化温度”。
- **转化温度曲线：**
 - 实际气体在 T-P 图上存在一个转化曲线。
 - 只有在**转化温度以下的区域**，节流才能致冷。

应用一：制冷与空调技术

- **核心地位：**节流是蒸气压缩制冷循环的**四大关键环节**之一。
- **应用实例：**
 - 家用冰箱、空调
 - 汽车空调
 - 大型冷库等

循环过程简述：

- ① **压缩：**压缩机做功，低温低压
→ 高温高压气体。

应用一：制冷与空调技术

- **核心地位：**节流是蒸气压缩制冷循环的**四大关键环节**之一。
- **应用实例：**
 - 家用冰箱、空调
 - 汽车空调
 - 大型冷库等

循环过程简述：

- ① **压缩：**压缩机做功，低温低压 → 高温高压气体。
- ② **冷凝：**在冷凝器中放热，高温高压气体 → 高压液体。

应用一：制冷与空调技术

- **核心地位：**节流是蒸气压缩制冷循环的**四大关键环节**之一。
- **应用实例：**
 - 家用冰箱、空调
 - 汽车空调
 - 大型冷库等

循环过程简述：

- ① **压缩：**压缩机做功，低温低压 → 高温高压气体。
- ② **冷凝：**在冷凝器中放热，高温高压气体 → 高压液体。
- ③ **节流：**流经**膨胀阀**，压强和温度骤降，高压液体 → 低温低压液汽混合物。

应用一：制冷与空调技术

- **核心地位：**节流是蒸气压缩制冷循环的**四大关键环节**之一。
- **应用实例：**
 - 家用冰箱、空调
 - 汽车空调
 - 大型冷库等

循环过程简述：

- ① **压缩：**压缩机做功，低温低压 → 高温高压气体。
- ② **冷凝：**在冷凝器中放热，高温高压气体 → 高压液体。
- ③ **节流：**流经**膨胀阀**，压强和温度骤降，高压液体 → 低温低压液汽混合物。
- ④ **蒸发：**在蒸发器中吸热，低温低压混合物 → 低温低压气体，实现制冷。

应用二：气体的液化

- **基本原理**：利用**深度节流致冷**，使气体温度降低到其沸点以下，从而液化。
- **林德液化循环 (Linde-Hampson Cycle)**:
 - **关键技术**：结合了 **节流致冷** 与 **回流换热**。
 - **流程**：气体被压缩预冷 → 通过节流阀膨胀降温 → 冷却后的气体通过换热器去冷却后续的高压气体 → **反复循环，逐级降温** → 最终液化。
- **应用实例**:
 - **液氮 (LN_2)**：科研、医疗、生物样本保存。
 - **液氧 (LO_x)**：航天、医疗、工业。
 - **液化天然气 (LNG)**：能源储存与运输。

低温技术 (Cryogenics)

- **焦耳-汤姆孙制冷机**：以节流过程为核心，可达到极低温度（如液氮温区）。
- **应用**：冷却超导磁体（MRI、粒子加速器）、红外探测器等。

工业过程控制

- **蒸汽动力系统**：使用节流阀调节蒸汽流量和压力，控制发电机功率。
- **天然气处理**：利用节流降温分离天然气中的重烃组分。

- **回顾核心：**节流过程是一个**等焓过程**，其应用的核心是**焦耳-汤姆孙效应**（温度变化）。
- **概括应用：**从维持我们日常生活舒适的**冰箱空调**，到支撑尖端科研的**气体液化**和**低温技术**，节流过程是现代工业和科技中不可或缺的一环。
- **结束语：**

一个看似简单的物理过程，
却构成了现代文明高效运转的关键技术基石。

致谢 & 提问环节