

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 10 月 25 日

目录

① 引言与基本原理

② 核心应用领域

③ 其他重要应用

④ 总结

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（如液氦温区）。
- 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。

总结

- 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