

به نام خدا

ترمودینامیک مهندسی شیمی

جلسه بیست و ششم


موازنه انرژی در فرآیندهای جریانی حالت پایا:

در حالت پایا جمله مربوط به تجمع برابر صفر است یعنی جرم سیستم در داخل حجم کنترل ثابت است و خواص سیال داخل حجم کنترل و در ورودی‌ها و خروجی‌های آن نسبت به زمان ثابت است. در این شرایط در داخل حجم کنترل انبساطی رخ نمی‌دهد و کار فقط کار محوری است و داریم:

$$\Delta \left[\left(H + \frac{1}{2} u^2 + zg \right) \dot{m} \right]_{fs} = \dot{Q} + \dot{W}_s$$

در صورتی که فقط یک ورودی و خروجی داشته باشیم

$$\Delta \left(H + \frac{1}{2} u^2 + zg \right) \dot{m} = \dot{Q} + \dot{W}_s$$

تقسیم بر \dot{m} 

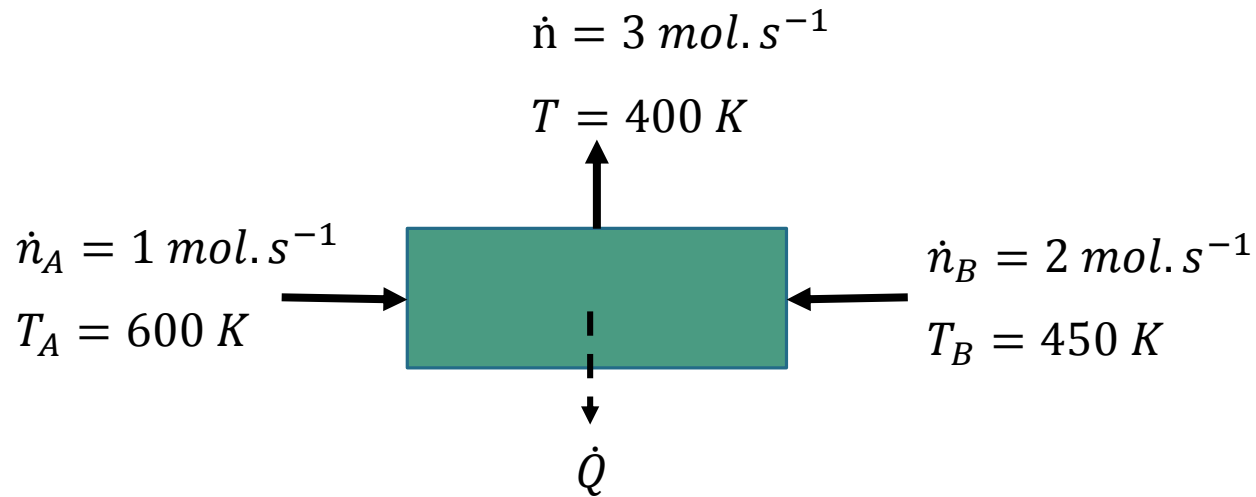
$$\Delta \left(H + \frac{1}{2} u^2 + zg \right) = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}} + \frac{\dot{W}_s}{\dot{m}} = Q + W_s$$

$$\Delta H + \frac{\Delta u^2}{2} + g \Delta z = Q + W_s$$

خلاصه روابط مربوط به موازنه جرم، موازنه انرژی و موازنه آنتروپی

General Equations of Balance	Balance Equations for Steady-Flow Processes	Balance Equations for Single-Stream Steady-Flow Processes
$\frac{dm_{cv}}{dt} + \Delta(\dot{m})_{fs} = 0 \quad (2.25)$	$\Delta(\dot{m})_{fs} = 0 \quad (7.1)$	$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m} \quad (7.2)$
$\frac{d(mU)_{cv}}{dt} + \Delta \left[\left(H + \frac{1}{2}u^2 + zg \right) \dot{m} \right]_{fs} = \dot{Q} + \dot{W} \quad (2.28)$	$\Delta \left[\left(H + \frac{1}{2}u^2 + zg \right) \dot{m} \right]_{fs} = \dot{Q} + \dot{W}_s \quad (2.30)$	$\Delta H + \frac{\Delta u^2}{2} + g\Delta z = Q + W_s \quad (2.32)$
$\frac{d(mS)_{cv}}{dt} + \Delta(S\dot{m})_{fs} - \sum_j \frac{Q_j}{T_{o,j}} = \dot{S}_G \geq 0 \quad (5.21)$	$\Delta(S\dot{m})_{fs} - \sum_j \frac{\dot{Q}_j}{T_{o,j}} = \dot{S}_G \geq 0 \quad (5.22)$	$\Delta S - \sum_j \frac{Q_j}{T_{o,j}} = S_G \geq 0 \quad (5.23)$

مثال: در یک فرآیند جریانی حالت پایا، 1 mol.s^{-1} از هوا در 600 K و 1 atm به طور پیوسته با 2 mol.s^{-1} از هوا در 450 K و 1 atm طبق شکل زیر مخلوط می‌شود. سرعت انتقال گرما و سرعت تولید آنتروپی را در فرآیند تعیین کنید. فرض کنید که هوا یک گاز ایده‌آل با $C_p = (7/2)R$ ، محیط در 300 K و تغییرات انرژی جنبشی و پتانسیل ناچیز باشد.



$$\dot{Q} = \dot{n}H - \dot{n}_A H_A - \dot{n}_B H_B = \dot{n}_A (H - H_A) + \dot{n}_B (H - H_B) = \dot{n}_A C_P (T - T_A) + \dot{n}_B C_P (T - T_B)$$

$$\dot{Q} = 1 \times \frac{7}{2} \times 8.314 \times (400 - 600) + 2 \times \frac{7}{2} \times 8.314 \times (400 - 450) = -8729.7 \text{ J.s}^{-1}$$

$$\dot{S}_G = \dot{n}S - \dot{n}_A S_A - \dot{n}_B S_B - \frac{\dot{Q}}{T_\sigma} = \dot{n}_A (S - S_A) + \dot{n}_B (S - S_B) - \frac{\dot{Q}}{T_\sigma} = \dot{n}_A C_P \ln \frac{T}{T_A} + \dot{n}_B C_P \ln \frac{T}{T_B} - \frac{\dot{Q}}{T_\sigma}$$

$$\dot{S}_G = 1 \times \frac{7}{2} \times 8.314 \times \ln \frac{400}{600} + 2 \times \frac{7}{2} \times 8.314 \times \ln \frac{400}{450} - \left(\frac{-8729.7}{300} \right) = 10.4457 \text{ J.K}^{-1}$$

فرآیند کاهش فشار:

هرگاه سیالی در اثر عبور از فضای محدودی مانند یک سوراخ یا یک شیر نیمه باز، بدون تغییر چشمگیر در انرژی جنبشی دچار افت فشار شود، این افت فشار کار محوری تولید نمی‌کند و تغییر قابل ملاحظه‌ای در ارتفاع نیز وجود ندارد و در نتیجه می‌توان نوشت:

$$\Delta H = 0 \quad \text{or} \quad H_2 = H_1$$

* در فرآیند کاهش فشار دمای گاز ایده‌آل تغییر نمی‌کند.

مثال: گاز پروپان در 20 bar و 400 K در یک فرایند جریانی حالت پایا تا 1 bar منبسط می‌شود. دمای نهایی پروپان را محاسبه کنید.

$$\Delta H = \langle C_P^{ig} \rangle_H (T_2 - T_1) + H_2^R - H_1^R = 0$$

در حالت نهایی چون فشار کم است می‌توان گاز را ایده‌آل در نظر گرفت، بنابراین آنتالپی باقیمانده در این حالت برابر صفر است.



$$T_2 = \frac{H_1^R}{\langle C_P^{ig} \rangle_H} + T_1$$



$$T_c = 369.8 \text{ K} \quad P_c = 42.48 \text{ bar} \quad \omega = 0.152$$

از جدول خواص مواد برای پروپان:

$$T_r = \frac{400}{369.8} = 1.082 \quad P_r = \frac{20}{42.48} = 0.471 \quad \rightarrow \quad H_1^R = -1390 \text{ J mol}^{-1}$$

بدست آوردن ظرفیت گرمایی ویژه میانگین: برای پروپان از جدول ضرایب ظرفیت گرمایی، ضرایب مربوطه را بدست آورده و داریم:

$$\frac{C_P^{ig}}{R} = 1.213 + 28.785 \times 10^{-3} T - 8.824 \times 10^{-6} T^2$$

دمای متوسط را نداریم. ابتدا با دمای 400 K ظرفیت گرمایی را محاسبه کرده و سپس از طریق رابطه ★ مقدار T_2 را بدست میآوریم.

$$T=400 \text{ K} \rightarrow \langle C_P^{ig} \rangle_H = 94.07 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \xrightarrow{\star} T_2 = \frac{-1390}{94.07} + 400 = 385.2 \text{ K}$$

از آنجا که تغییر دما نسبت به حالت اولیه زیاد نیست پس میتوان از متوسط حسابی دماهای اولیه و نهایی به عنوان دمای متوسط استفاده کرد:

$$T_{am} = \frac{400 + 385.2}{2} = 392.6 \text{ K} \rightarrow \langle C_P^{ig} \rangle_H = 92.73 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \xrightarrow{\star} T_2 = 385.0 \text{ K}$$

توربین‌ها (انبساط دهنده‌ها): (کاهش فشار)

در توربین‌ها معمولاً تغییرات انرژی جنبشی و پتانسیل و همچنین انتقال حرارت نادیده گرفته می‌شود.

$$\dot{W}_s = \dot{m} \Delta H = \dot{m}(H_2 - H_1) \longrightarrow W_s = \Delta H = H_2 - H_1$$

معمولاً دما و فشار ورودی و همچنین فشار خروجی معلوم هستند.

با داشتن دما و فشار ورودی، آنتالپی ورودی مشخص می‌شود. اما آنتالپی خروجی و W_s مجهول هستند. اگر در توربین فرآیند انبساط برگشت‌پذیر و آدیاباتیکی روی سیال انجام شود، آن گاه فرآیند آنتروپی ثابت شده و $S_1 = S_2$ خواهد بود و در نتیجه حالت نهایی سیال و آنتالپی خروجی قابل محاسبه هستند و می‌توان نوشت:

$$W_s(\text{isentropic}) = (\Delta H)_s$$

کار بدست آمده از این معادله از نظر عددی بیشترین مقداری است که از یک توربین آدیاباتیکی با شرایط ورودی و فشار خروجی داده شده می‌توان بدست آورد. از توربین‌های واقعی کار کم‌تری تولید می‌شود زیرا فرایند انبساط واقعی برگشت‌ناپذیر است.

بازده توربین:

$$\eta \equiv \frac{W_s}{W_s(\text{isentropic})} \quad \text{or} \quad \eta = \frac{\Delta H}{(\Delta H)_s}$$

