

燃烧学第一章—导论

教材和参考书：

- (1) **周力行**：湍流气粒两相流动和燃烧的理论及数值模拟，科学出版社，1994
- (2) **F.A. Williams**: Combustion Theory, Adison-Wisley, 1985

1-1 燃烧技术和燃烧科学的发展-----

--

(1) 燃烧技术发展史

- **我国传说**:燧人氏钻木取火
- **希腊传说**:普罗米修斯把火带给人间。至少50万年前人类学会用火。
- **恩格斯**:“火”使人类脱离野蛮进入文明
- **“庄子”**: 木与木相摩则燃。
- **战国齐国田单**: 火牛阵
- **晋代张华“博物志”**: 四川用天然气煮盐
- **火药和火箭**: 我国首先发明（至少在宋代）
- **燃烧技术的三次大发展**: 蒸汽机和内燃机（产业革命）； 航空航天技术（二次世界大战）； 能源危机（70年代末）

(2) 近代燃烧技术的发展

- **燃烧的强化**---高能，高压，高温，高速燃烧。
- **节能**—高效率，低品位燃料燃烧
- **环保**—低污染（低NO_x，SO_x，CO₂，粉尘，噪音，有毒气体）燃烧
- **火灾防治**—森林，建筑和仓库火灾，矿井防爆
- **几种近代燃烧技术**：氢氧燃烧；超音燃烧；高推重比燃烧；旋流（风）燃烧；流化床燃烧，磁控燃烧；脉动燃烧；催化燃烧；自蔓延燃烧

(3) 燃烧科学的发展

- 燃素论—18世纪中叶前
- 燃烧的氧化论—Lavoisier, Lomonosov (1756-1771)
- 燃烧热力学—Kirshoff, Hess (19世纪)
- 燃烧反应动力学—Simonov, Lewis (20世纪初)
- 燃烧学—Zeldovich, Frank-Kamenetsky, Spalding, Predvoditelev, Khitrin (20世纪30到50年代), Williams
- 化学(反应)流体力学—Von Karmen, 钱学森(20世纪60年代), Williams
- 燃烧的计算流体力学—Spalding, Gosman, Smoot, Swithenbank
- 多相湍流反应流体力学—周力行
- 燃烧的激光诊断学—Durst, Bachalo, Adrain

1-2 燃烧

- **有强烈放热和发光的化学反应**

固液气燃料（煤，非金属的碳，硅，硼，金属如钨钼钛锆，钾钠钙镁，固体推进剂；石油产品和液态烃；天然气和气态烃）氧化

类氧化—氮化，氯化

分解—联氨分解为氮和氢

代替反应—钠加水成为氢和氧化钠的反应

- **流动，传热，传质和反应的相互作用**

1-3 火 焰

- 有浓度和温度剧烈变化的区域（不是发光的燃烧产物）
- 火焰能自动传播—缓燃（ $< 1 \text{ m/s}$ ）和爆震（ 3000 m/s ）
- 火焰的辐射，生碳和电离现象
- 层流和湍流火焰
- 扩散火焰和预混火焰（前者局部高温，辐射强，效率差，后者反之）
- 化学平衡流动和冻结流动
- 扩散控制和动力控制的燃烧
- 绝热燃烧温度

三种特征时间（流动，反应和扩散时间）和两种Damkohler数

$$\tau_f = L / v \quad \tau_c = \rho c_p (T_f - T_\infty) / (w_f Q_f)$$

$$\tau_d = L^2 / D_T = \tau_T = 1 / u' = k / \varepsilon$$

$$D_I = \tau_f / \tau_c \quad D_{II} = \tau_d / \tau_c$$

反应流的两种极限情况

$$D_I \ll 1$$

反应冻结流

$$D_{II} \gg 1$$

反应平衡流

燃烧的两种极限情况

$D_{II} \gg 1$	扩散（控制的）燃烧
$D_{II} \ll 1$	动力（控制的）燃烧

绝热燃烧温度

$$T_m = T_\infty + Q_f / [(1 + \alpha L_0) c_p] \quad (\alpha > 1)$$

$$T_m = T_\infty + 0.23 \alpha L_0 Q_{ox} / [(1 + \alpha L_0) c_p] \quad (\alpha < 1)$$

第二章 多组分有反应流动基本方程

2-1 多组分有反应流体基本性质和关系式

(1) 多组分完全气体混合物

$$\rho = \sum_s \rho_s$$

$$p = \sum_s p_s$$

$$Y_s = \rho_s / \rho$$

$$X_s = p_s / p$$

$$\rho = nM$$

$$\rho_s = n_s M_s$$

$$p_s = \rho_s RT / M_s = n_s RT$$

$$p = \rho RT / M = nRT$$

$$X_s = p_s / p = n_s / n$$

$$n = \sum_s n_s$$

$$\rho = \sum_s \rho_s = \sum_s n_s M_s = nM$$

多组分完全气体混合物（续）

$$M = \sum X_s M_s \qquad X_s = Y_s M / M_s$$

$$\sum (Y_s M / M_s) = 1 \qquad M = (\sum Y_s / M_s)^{-1}$$

$$M / M_s = (M_s \sum Y_s / M_s)^{-1}$$

(2) 三种速度和三种物质流

- \mathbf{v} —混合气相对于实验室坐标系的速度
- \mathbf{v}_S —s组分相对于实验室坐标系的速度
- \mathbf{V}_S —s组分相对于混合气的运动速度，即由于分子不规则运动引起的扩散漂移速度
- $\mathbf{V}_S = \mathbf{v}_S - \mathbf{v}$

三种速度和三种物质流（续）

$$\rho V = g$$

$$\rho_s v_s = g_s$$

$$\rho_s V_s = J_s$$

$$g_{sj} = \rho_s v_{sj} = J_{sj} + Y_s \rho v_j = \rho_s V_{sj} + \rho_s v_j$$

$$g_j = \rho v_j = \sum g_{sj} = \sum \rho_s v_{sj} = \sum \rho_s V_{sj} + \rho v_j$$

$$\sum \rho_s V_{sj} = \sum J_{sj} = 0$$

三种速度和三种物质流（续）

- 混合气中各组分的物质流不等于该组分的扩散流
- 各组分扩散流的总和为零
- 扩散流的总和 对混合气整体运动没有影响
- 各组分扩散线速度的总和不为零

(3) 多组分有反应流动分子输运定律

$$J_{sj} = -\rho D_{12} \frac{\partial Y_s}{\partial x_j}$$

$$J_{sj} = -\rho D_s \frac{\partial Y_s}{\partial x_j}$$

$$q_j = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x_j} + \sum \rho_s V_{sj} h_s$$

$$h = \sum Y_s h_s = \sum Y_s h_{0s} + \int_{T_0}^T \sum Y_s c_{ps} dT = h_0 + \int_{T_0}^T c_p dT$$

$$p_{ij} = -p \delta_{ij} + \mu \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu \left(\frac{\partial v_j}{\partial x_j} \right) \delta_{ij}$$

多组分有反应流动分子输运定律（续）

- 组分焓和混合物焓都包括物理焓（热焓）和化学焓。
- 组分生成焓是常数，混合物生成焓是组分浓度的函数。
- 组分的比热与组分浓度无关，混合物的比热取决于组分浓度。
- 三种混合物的焓：热焓、热焓+化学焓、滞止焓 = 热焓+化学焓+动能。

1-3 化学反应动力学基本关系式

$$\sum \nu_s A_s \rightarrow \sum \nu'_s A'_s$$

$$w_s = -(\mathrm{d}\rho_s / \mathrm{d}t)_{\text{chem}}$$

$$w_1 / \nu_1 = w_2 / \nu_2 = \cdots = -w'_1 / \nu'_1 = -w'_2 / \nu'_2 = \cdots$$

$$w_s = k_s \prod_{s=1}^z C_s^{m_s}$$

$$w_s = \sum_r w_{sr} = \sum_r k_{sr} \prod_{s=1}^z C_s^{m_{sr}}$$

$$w_s = w_{s+} - w_{s-} = k_s \prod_s C_s^{m_s} - k'_s \prod_s C_s'^{m'_s}$$

化学反应动力学基本关系式（续）

$$w_s = \sum_r w_{sr} = \sum_r (k_{sr} \prod_s C_s^{m_{sr}} - k'_{sr} \prod_s C_s'^{m'_{sr}})$$

$$w_s = B\rho^m \exp(-E/RT) \prod_s Y_s^{m_s}$$

第二章 层流多组分有反应单相流动 基本方程组

2.1 Reynolds输运定理和通用守恒律

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{\partial\phi}{\partial t} + v_j \frac{\partial\phi}{\partial x_j}$$

$$\Phi = \int_V \phi \delta V$$

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{\partial\Phi}{\partial t} + \int_S \phi v_n dS = \frac{\partial\Phi}{\partial t} + \int_V \frac{\partial}{\partial x_j} (\phi v_j) \delta V$$

$$= \int_V \left[\frac{\partial\phi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\phi v_j) \right] \delta V$$

$$\frac{d\Phi}{dt} + \int_V S_\phi \delta V = 0$$

$$\frac{\partial\phi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\phi v_j) + S_\phi = 0$$

2.2 连续方程

$$\phi = \rho \quad S_\phi = 0 \quad \frac{d\Phi}{dt} = 0$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho v_j) = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho v_j) = \rho \frac{\partial v_j}{\partial x_j} + v_j \frac{\partial \rho}{\partial x_j}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + v_j \frac{\partial \rho}{\partial x_j} = \frac{d\rho}{dt}$$

$$\frac{d\rho}{dt} + \rho \frac{\partial v_j}{\partial x_j} = 0$$

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/415114340304011142>