

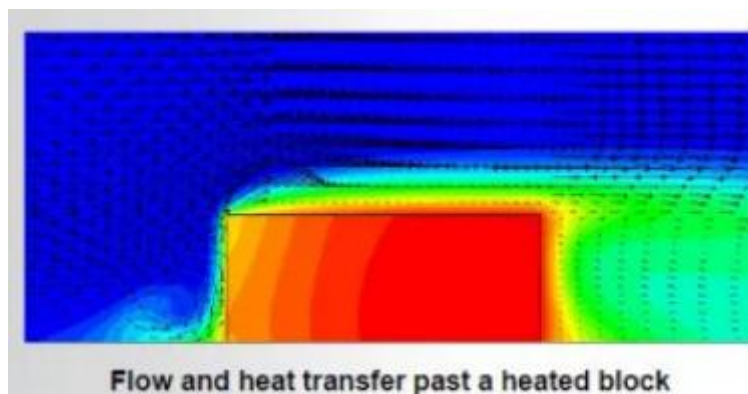
Ansys workbench 结构传热--对流传热计算

1.对流传热的基本原理

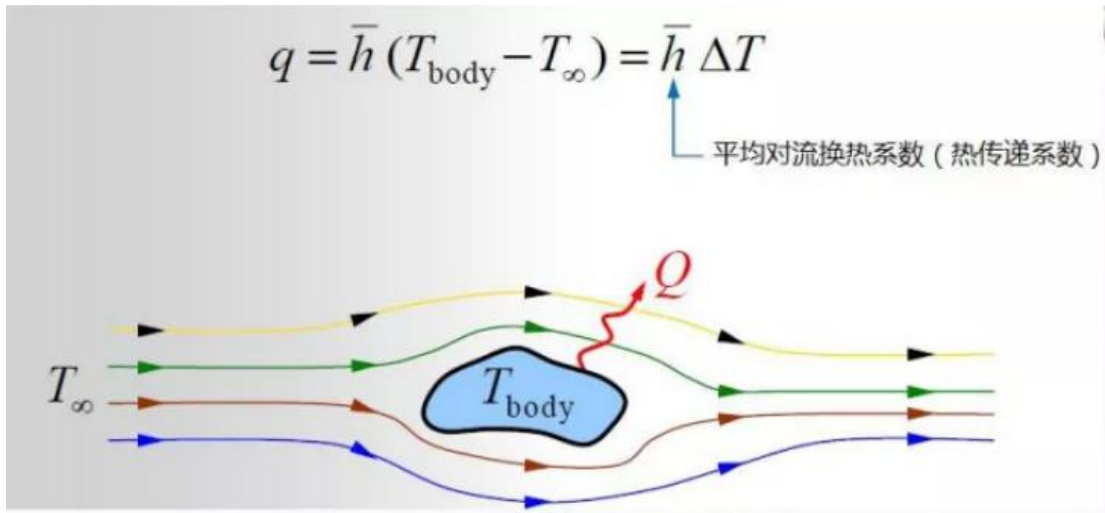
由于流体的运动导致固体与流体之间的对流传热：

- 传热速率与流体的流动求解紧密耦合
- 对流传热的导热流强烈的依赖于流体速度和流体的属性参数；
- 流体的属性可能受到温度的强烈影响。

例子：当冷空气流过一个高温物体时，冷空气带走了高温物体附近的热量，并以冷空气取代：



对流传热中的牛顿冷却定律：



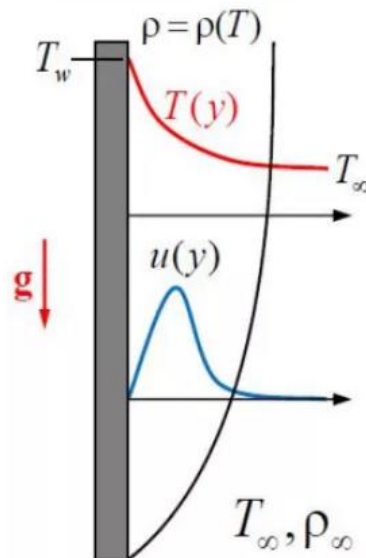
在自然对流中，由于浮力影响来驱动流体运动：

- 随着流体被加热，它的密度减小；
- 流体的梯度产生了浮力，浮力的方向与流体受的重力方向相反；
- 浮力（单位流体体积）可以由下式计算

基于雷诺数可以将自然对流问题进行分类：

$$Ra_L = \frac{\beta g L^3 \Delta T}{\alpha \nu} \begin{cases} Ra_x < 10^8 \text{ laminar flow} \\ Ra_x \approx 10^9 \text{ transition} \\ Ra_x > 10^{10} \text{ turbulent flow} \end{cases}$$

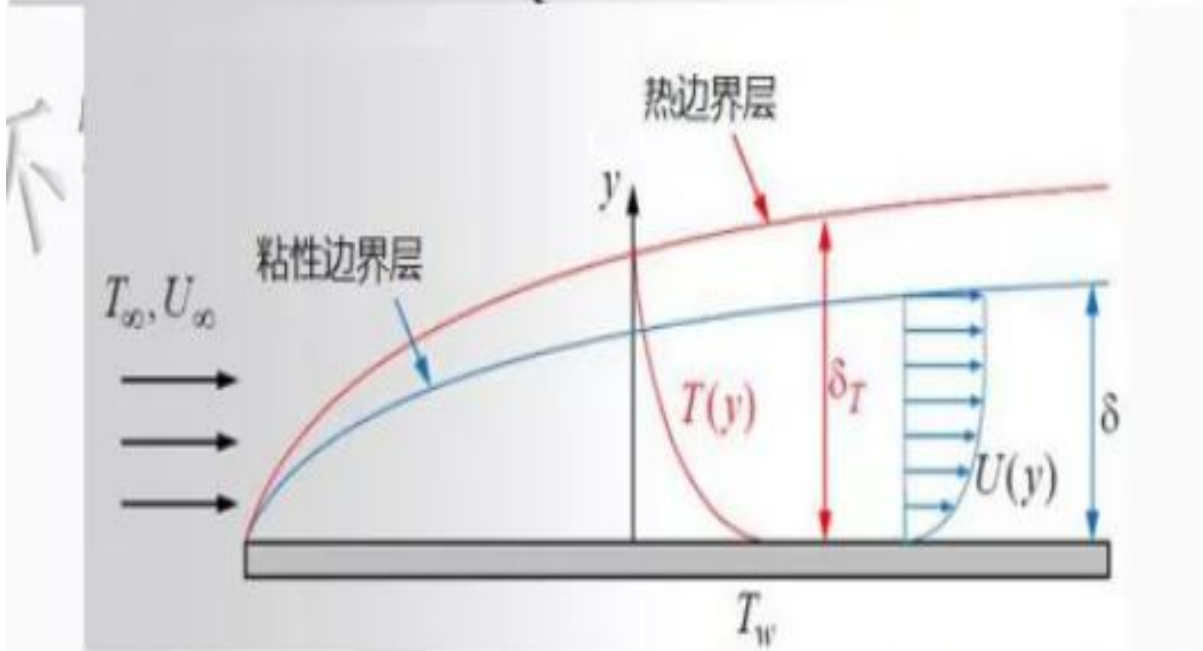
α : 热扩散系数; β : 热膨胀系数; ν : 运动粘度; g : 由于重力产生的加速度



在大多数工程应用中，自由和强迫对流是同时发生的。

可以使用修正的 (**modified Froude number**) Froude 数，Fr 来确定自然对流和强迫对流影响的程度

$$Fr = \frac{Gr}{Re^2} = \frac{\beta g L \Delta T}{U^2} \begin{cases} Fr \ll 1 & \text{强迫对流占主导} \\ Fr \approx 1 & \text{强迫对流和自然对流都很重要} \\ Fr \gg 1 & \text{自然对流占主导} \end{cases}$$



热边界层的发展变化规律类似于粘性边界层的发展。

Nusselt number (Nu) 表示“真实”热通量与传导热通量的比值 Nusselt number 的导出

-在固体壁面发生的热传导传递的热量和对流传递的热量相等

$$k \frac{\partial T}{\partial y} = h(T_w - T_\infty)$$

定义一个无量纲量

$$\tilde{T} = \frac{T_w - T}{T_w - T_\infty} \quad \tilde{y} = \frac{y}{L}$$

然后进行重新排列得

$$\frac{\partial \tilde{T}}{\partial \tilde{y}} = \frac{hL}{k} = \text{Nu}_L \quad \text{Nusselt number (无量纲的热传导)}$$

对流换热系数（热传递系数）相关性

Fluent 可设置关联，以便获取较为恰当的边界条件：例子：由于球体周围的流体流动产生热传递

$\text{Nu}_D = 2 + 0.6 \text{Re}_D^{1/2} \text{Pr}^{1/3}$

平板附近的层流产生了热传递

$\text{Nu}_D = 0.332 \text{Re}_D^{1/2} \text{Pr}^{1/3}$

以上参数的关联关系，取决于普朗克数（Prandtl number）

$$\text{Pr} = \frac{\text{Momentum Diffusivity}}{\text{Thermal Diffusivity}} = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu C_p}{k}$$

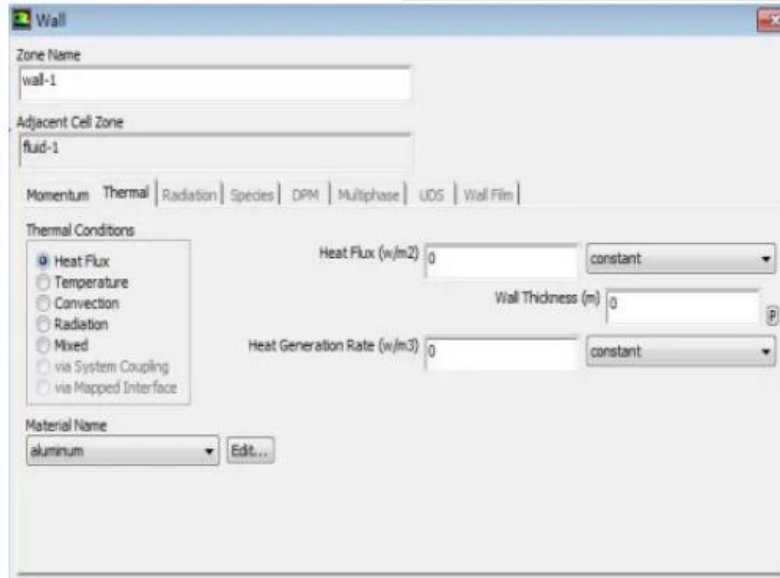
Typical Prandtl Numbers	
Liquid metals	0.01
Most gases	0.7
Water at ambient conditions	6

2. Fluent 热边界条件

壁面热边界，是基于 Fluent 计算传热问题的关键，因此大家有必须把各类边界条件研究清楚。

- 热通量（热流密度）；
- 温度
- 对流
- 辐射

- 混合
- 基于系统耦合器
- 基于映射界面



忽略热辐射换热，则

左侧对流换热热阻 $r_{\alpha 1} = \frac{1}{\alpha_1}$

固体的导热热阻 $r_{\lambda} = \frac{\delta}{\lambda}$

右侧对流换热热阻 $r_{\alpha 2} = \frac{1}{\alpha_2}$

Fluent 壁面热边界条件的理论基础就是 1 维传热学

热流密度边界：

$$T_w = \frac{q - q_{rad}}{h_f} + T_f$$

q - 热流密度，用户在面板上直接输入；

q_{rad} - 辐射热流密度，当激活热辐射选项，可以通过输入辐射发生率由程序计算获得；

h_f - 近壁对流换热系数，由程序计算获得；

T_f - 近壁流体温度，由程序计算获得；

上述适用于壁面临近的区域为流体区域，当壁面临界的区域为固体区域时，则使用下式计算

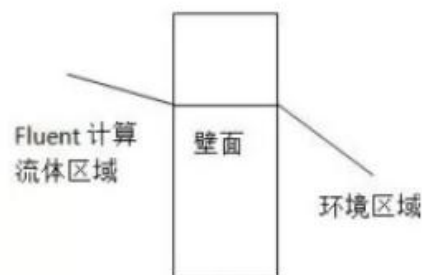
$$T_w = \frac{(q - q_{rad}) \Delta n}{k_s} + T_s$$

k_s - 固体的导热系数

Δn - 近壁固体单元中心到壁面的距离

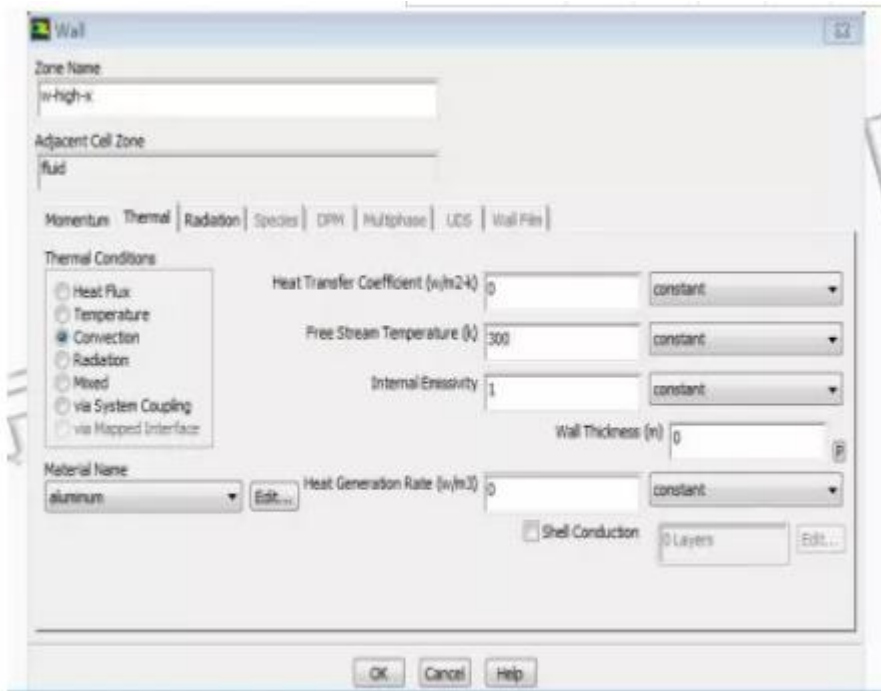
对流边界：

$$\begin{aligned} q &= h_f (T_w - T_f) + q_{rad} \\ &= h_{ext} (T_{ext} - T_w) \end{aligned}$$



对流换热边界只针对流体，基于传递热通量相等原理，得到了上式，默认在壁面位置没有温降低也没有吸热，如果用户设置了壁面厚度，则可以考虑热阻，如果用户设置生热率则可以考虑

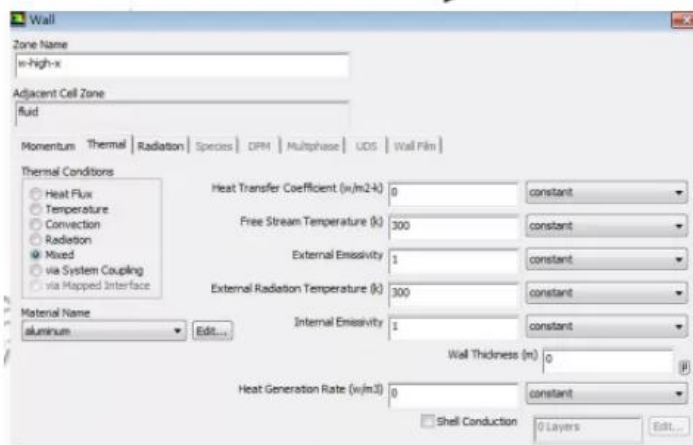
壁面发热



混合传热边界：

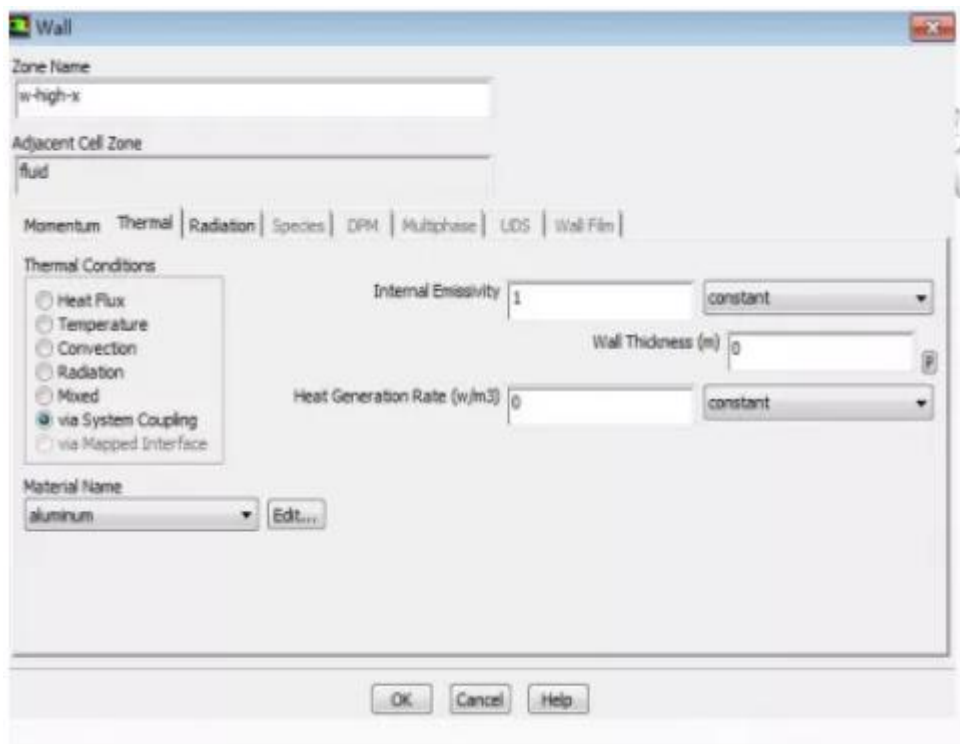
$$q = h_f(T_w - T_f) + q_{rad}$$

$$= h_{ext}(T_{ext} - T_w) + \varepsilon_{ext}\sigma(T_{\infty}^4 - T_w^4)$$



混合传热边界只针对流体，基于传递热通量相等原理，得到了上式，在 Fluent 流体区域一侧热量基于对流换热计算，在壁面外侧热量基于辐射传热定律和对流换热计算。默认在壁面位置没有温降低也没有吸热，如果用户设置了壁面厚度，则可以考虑热阻，如果用户设置生热率则可以考虑壁面发热

基于系统耦合器该选项可以实现流-热双向耦合，程序会自动完成结构到流体的数据传递，流体也会自动完成到结构的数据传递流体的传递数据：温度；热流率；对流换热系数；近壁温度；传到流体的数据 温度热流率



通过映射界面

该选项可以实现流热耦合，并且可以增强流热耦合计算的稳定性

，对于两个区域的界面之间存在重迭和间隙区地情况，特别适用

