

## 第二章 流体运动学 (小结)

### 一、 Lagrangian 描述和 Eulerian 描述

#### ◆ 物质体和控制体

- 物质线、物质面、物质体的概念 (封闭系统, 无质量交换)
  - 极限为流体质点; 标记为 Lagrange 坐标
- 控制体 (开口系统, 有质量交换; 体积、表面积不变)
  - 极限为空间坐标, 标记为 Euler 坐标

#### ◆ 两种描述 (观点), 优缺点

- Lagrangian 描述是随体观点, 基于流体质点的观点
- Euler 描述是当地观点, 基于空间点的观点

#### ◆ 随体时间导数和当地时间导数; 物质时间导数和时间全微分

- 物质时间导数的 Euler 坐标表示
- 定常与非定常

#### ◆ 两种描述的互相转换

课程主要使用 E.D., 但特定情况下如守恒律推导时, L.D.重要, 转换到 Euler 坐标描述。

### 二、流线、迹线、脉线 (烟线、染色线)

#### ◆ 流线: 其上每点速度与之相切, $d\mathbf{r} // \mathbf{v} \Rightarrow d\mathbf{r} \times \mathbf{v} = 0$

- 同一时刻, 不同流体质点组成 (每条流线)
- 流面、流管

- ◆ 迹线：质点运动轨迹， $dr/dt = v(r,t)$ 
  - 同一质点，不同时刻
- ◆ 脉线：t时刻之前过某指定点的所有质点在t时刻的连线
- ◆ 定常时，三者重合；非定常时不重合
  - 非定常脉线反映了迹线的变化
- ◆ 不同参考系下观察到的流线、迹线和脉线并不相同
- ◆ 流线、迹线、脉线的求法，特别是非定常时

### 三、速度分解

- ◆ 局部速度分解和速度场的整体分解
- ◆ 相对运动与速度梯度张量
- ◆ 应变率张量（对称）
  - 正应变率、意义
  - 剪切应变率、意义
  - 主轴、不变量
- ◆ 旋转率张量（反对称）和涡量，对偶
  - 涡量是速度的旋度；流体自旋角速度的2倍
  - 涡量是无散矢量
  - 涡线、涡面、涡管
  - 涡通量、速度环量，涡管强度
  - 涡丝和涡层；涡层的涡密度
    - ◆ 涡层是切向速度间断面

- ◆ 流体局部运动分解：
  - 平动
  - 刚体式旋转 (自旋, 角速度为  $\omega/2$ )
  - 变形 (各向同性膨胀 + 体积不变纯变形)
- ◆ 速度场的整体分解
  - 有旋、无源 (剪切过程, 粘性不可压缩流)
  - 无旋、有源 (胀压过程, 无粘可压缩流, 势流)
  - 无旋、无源 (体积不变纯变形, 无粘不可压缩流, 势流)
- ◆ 体积膨胀率诱导的速度场, 涡量诱导的速度场 (\*)
- ◆ 无源、无旋流速度场被唯一确定的条件 (\*)