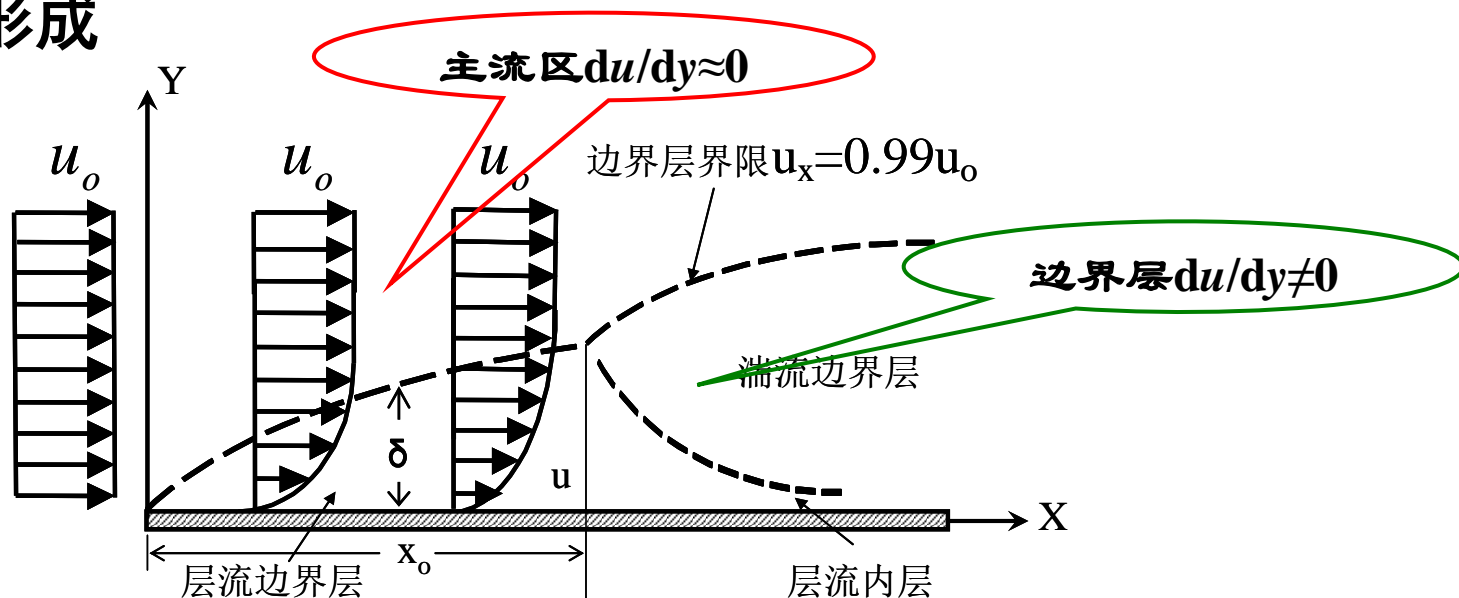


边界层的概念

边界层的形成

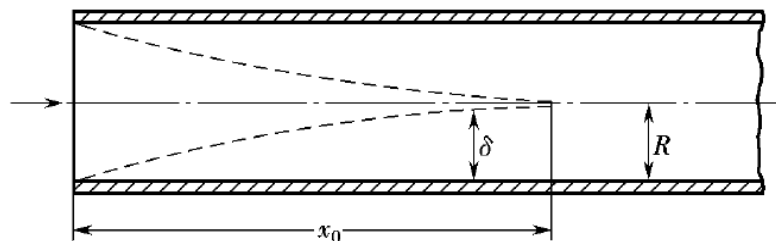


工程上一般规定边界层外缘的流速 $u = 0.99u_0$ ，而将该条件下边界层外缘与壁面间的垂直距离定为边界层的厚度 δ 。应指出，边界层厚度 δ 与从平板前缘算起的距离 x 相比是很小的。

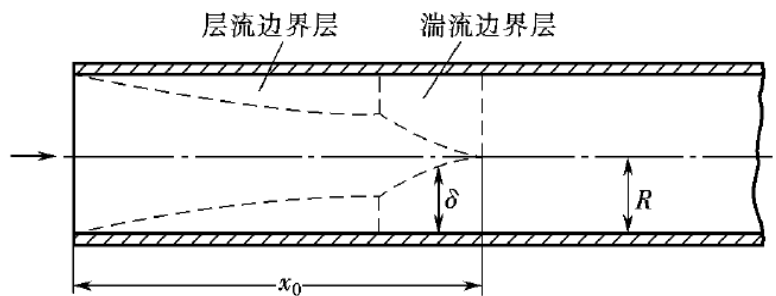
边界层的概念

边界层的发展

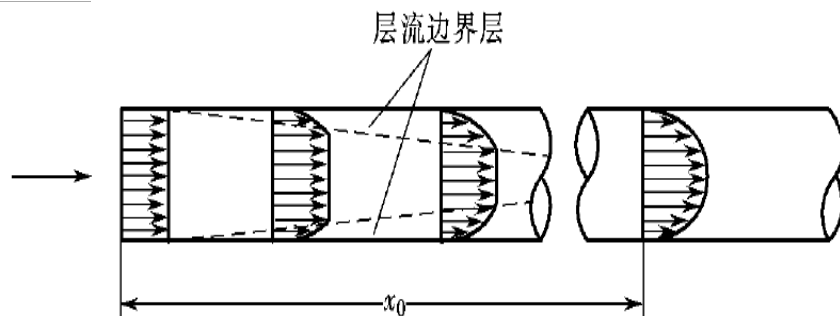
层流边界层 → 湍流边界层
→ 层流内层或层流底层



(a)



(b)



层流内层与湍流层之间还存在过渡层或缓冲层，其流动类型不稳定：层流or湍流。

在距管入口 x_0 处，边界层在管中心线上汇合，此后边界层占据整个圆管的截面，其厚度等于管半径。 x_0 称为稳定段长度或进口段长度。之后，各截面速度分布曲线不再变化，称为完全发展的流动。

边界层的概念

在完全发展了的流动开始之时，若边界层内**只有层流**，则管内流动为层流；若边界层内**存在湍流**，则管内流动为湍流。圆管中心的流速，无论是层流或湍流都是最大流速 u_{\max} 。

湍流边界层：在靠近管壁处仍存在一极薄的层流内层。Re值愈大，层流内层厚度愈薄。尽管层流内层的厚度极薄，但它对传热及传质过程的影响不容忽视。

注：在稳定段以后，管内各截面上的流速分布和流型保持不变，因此在测定管内流体的速度分布曲线时，测定仪表的安装位置必须选在稳定段之后，即此处到入口或转弯等处的距离应大于 x_0 。

层流时，通常取稳定段长度 $x_0 = (50\sim 100) d$ 。

湍流的稳定段长度，一般比层流的短些。

边界层内部分布

湍流时的层流内层和过渡层

层流内层即使在高度湍流条件下，近壁面处速度脉动很小，湍流粘度远小于分子粘度，仍有一薄层流体保持着层流特征。**层流内层成为传递过程主要阻力之所在。**

过渡层存在于湍流区和层流区之间。在此层内，分子粘度和湍流粘度数值相当，对流动均有影响。

为简化起见，常忽略过渡层，将湍流流动分为湍流核心和层流内层两个部分。层流内层厚度随 Re 的增加而减小。在湍流核心内，径向的传递过程因速度的脉动而大大强化。

边界层的分离-脱体

黏性→边界层→发展

A点，流速为零，压力最大
高压下由A点绕过圆柱表面。

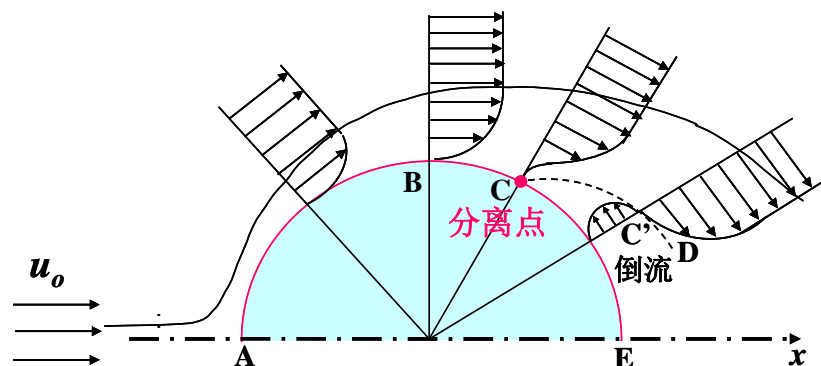
A→B，流通截面逐渐减小，
流动处于加速减压的状态，
(压力能→动能+流动阻力)

B点，流速最大而压力最低
B点后，流通截面逐渐增加，
液体处于减速加压的情况
(动能→压力能+流动阻力)

动能随流动过程继续减小

C点时，其动能消耗殆尽，流速为零，压力为最大，
形成新的停滞点，后继液体在高压作用下脱离壁面。

在点C的下游形成空白区，流体倒流填充空白区，壁面
附近产生了流向相反的两股流体，形成涡流区。



- A: 停滞点或驻点
- B: 流速最大而压力最低
- C: 流速为零，压力最大，新的停滞点，即分离点
- CD: 分离面-两股液体的交界面

边界层脱体

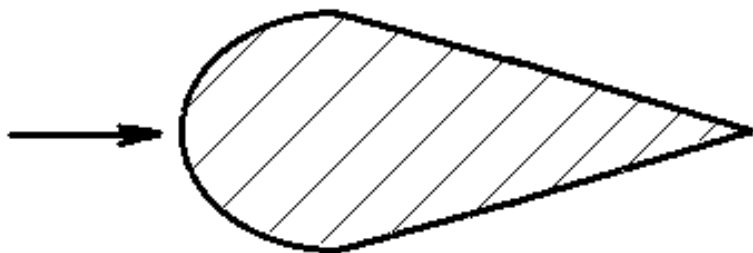
边界层脱体的条件：

1. 逆压强梯度
2. 外层动量来不及传入

如：平板不会发生脱体（无倒压区）

流线型物体也不发生脱体

（尾部收缩缓慢，动量来得及传入）



- ①流道扩大时必造成逆（负）压强梯度；
- ②逆压强梯度容易造成边界层的分离；
- ③边界层分离造成大量旋涡，增加机械能消耗。