上海交通大学
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY
CMHL COMPUTATIONAL MARINE HYDRODYNAMICS LAB
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

课程：船舶流体力学

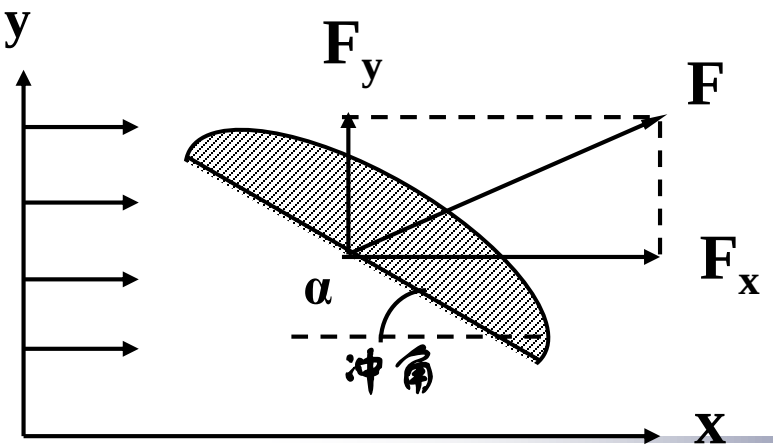
主 讲 人：万德成

章节：第8章 粘性流体力学基本理论

内容：8.7 物体在流体中受到的力

物体在流体中受到的力

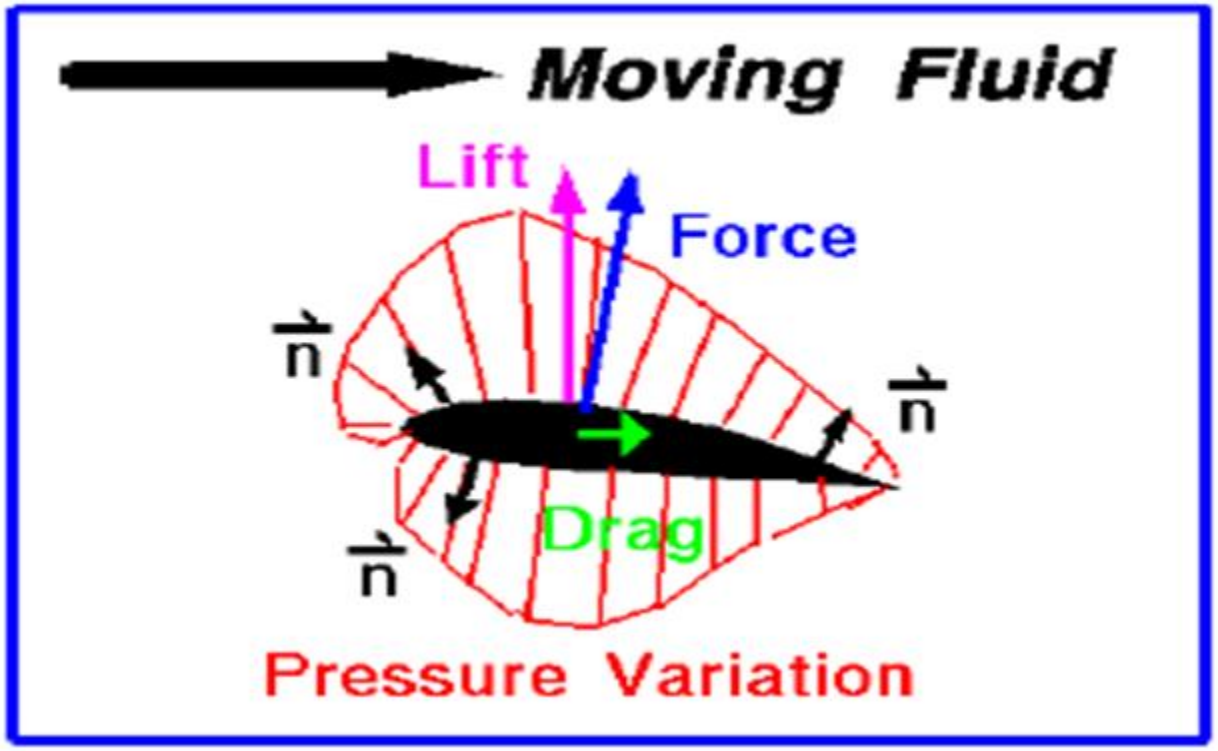
- 实验表明：物体在流体中受到的作用力，其大小、方向取决于：流速、物体形状、物体相对于流速的方位。在一般情况下，物体所受作用力既有水平分力，又有垂直分力。
- 一般把水平方向的分力 F_x 称为阻力，把垂直方向的分力 F_y 称为升力。若物体形状对称，且相对于流速对称放置，则 $F_y = 0$ 。



物体在流体中受到的力

物体绕流时会受到升力和阻力的作用。

物体阻力包括摩擦阻力(粘性阻力)和压差阻力。摩擦阻力(粘性阻力)与物体表面积大小有关；压差阻力与物体的形状有关系。

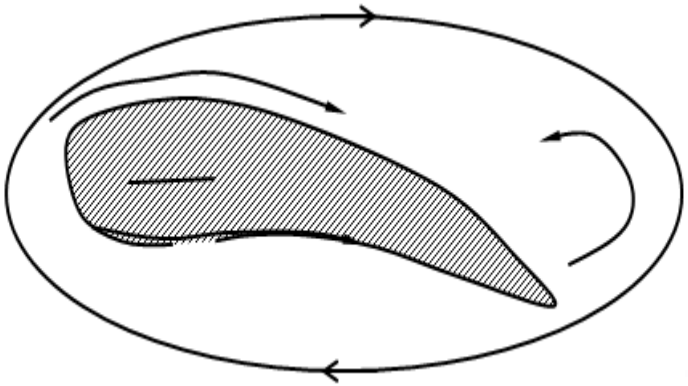


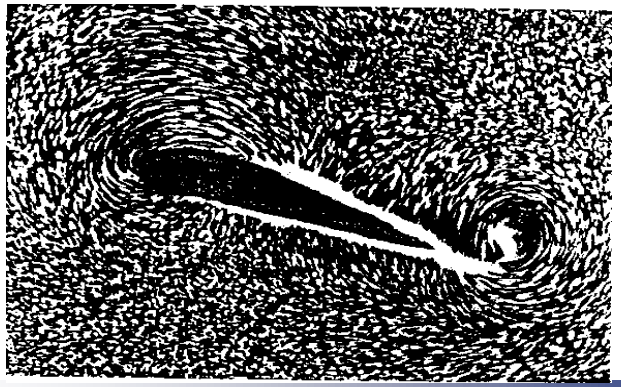
物体在流体中受到的力

- 当物体形状不对称或相对流速有冲角时，物体就会受到向上的升力
- 定性解释机翼的升力：

机翼上侧的气流要通过较长的路程，因而粘性力使其损失的能量较大。机翼下侧的气流通过的路程较短，因而粘性力使其损失的能量较小。

这样一来，上、下两股气流在尾部汇合时流速不同，于是在尾部形成图示的漩涡。为保持角动量守恒，则另外流体必然形成绕机翼的环流。环流速度与原来速度叠加，导致上方流速大、压强小，下方流速小、压强大，因而产生了机翼的升力





物体在流体中受到的力

物体阻力

- 当 Re 很小时，摩擦阻力(粘性阻力)是主要阻力。

- 斯托克斯公式：

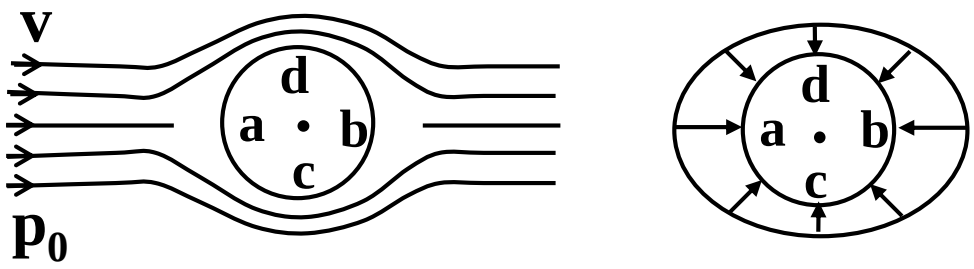
  球形物体所受的粘性阻力： $f = 6\pi\mu rv$ ， ***r***是半径，

  v 是球相对流体的流速， μ 是流体的粘性系数

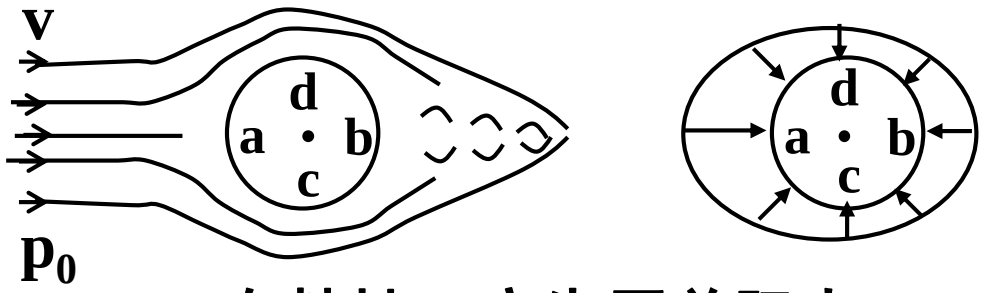
- 当 Re 很大时，压差阻力起主要作用，它是由作用在运动物体表面上的压力形成的。

物体在流体中受到的力

- 以圆柱体为例，分析压差阻力产生的原因：



无粘性，无压差阻力



有粘性，产生压差阻力

物体在流体中受到的力

物体阻力的减小办法：

- **减小摩擦阻力**：可以使层流边界层尽可能的长，即层流和湍流转变点尽可能向后推移，计算合理的最小压力点的位置。在航空工业上采用一种“层流型”的翼型，便是将最小压力点向后移动来减阻，并要求翼型表面的光滑程度。

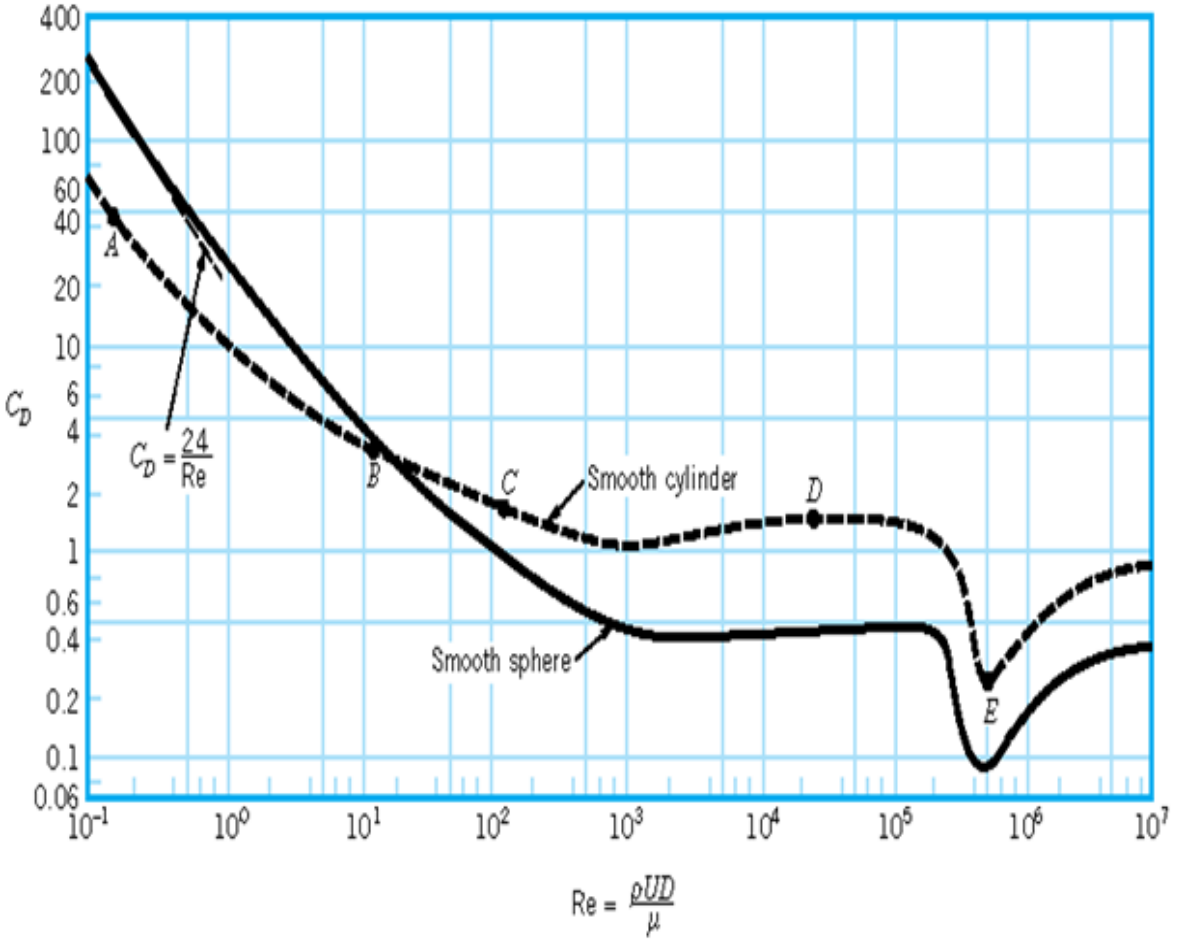
- **减小压差阻力**：使用翼型使得后面的“尾涡区”尽可能小。也就是使边界层的分离点尽可能向后推移。例如采用流线性物体就可以达到这样的目的。

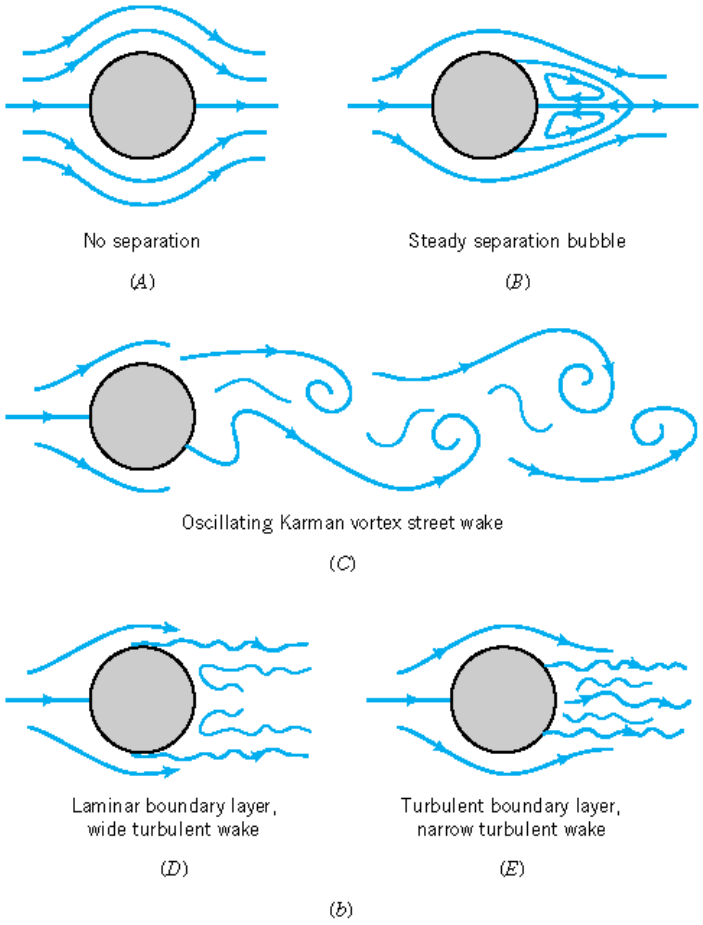
工程上习惯用无因次的阻力系数 C_D 来代替阻力 F_D：

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho V_\infty^2 A}$$

物体在流体中受到的力

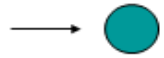
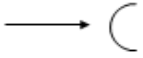
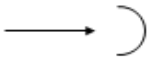
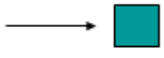
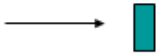
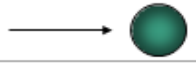
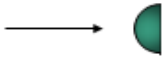
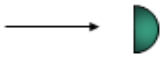
绕圆柱或圆球流动的阻力系数与雷诺数的关系 $C_D = f(R_e)$





物体在流体中受到的力

典型物体的阻力系数

二元物型		$\mathrm{Re}=V_\infty d/\nu$	$C_D=D/\left(\frac{1}{2}\rho V_\infty^2 A\right)$
圓　柱		$10^4 \sim 10^5$	1.2
半　管		4×10^4	1.2
半　管		4×10^4	2.3
方　柱		3.5×10^4	2.0
平　板		$10^4\times10^6$	1.98
椭　柱	 2:1	1×10^5	0.46
椭　柱	 8:1	2×10^5	0.20
三元物型		$\mathrm{Re}=V_\infty d/\nu$	$C_D=D/\left(\frac{1}{2}\rho V_\infty^2 A\right)$
球		$10^4 \sim 10^5$	0.47
半　球		$10^4 \sim 10^5$	0.42
半　球		$10^4 \sim 10^5$	1.17
方　块		$10^4 \sim 10^5$	1.05
方　块		$10^4 \sim 10^5$	0.80
矩形板(长/宽=5)	 宽	$10^3 \sim 10^5$	1.20

物体在流体中受到的力

高尔夫球表面为什么有很多小凹坑?



物体在流体中受到的力

最早的高尔夫球





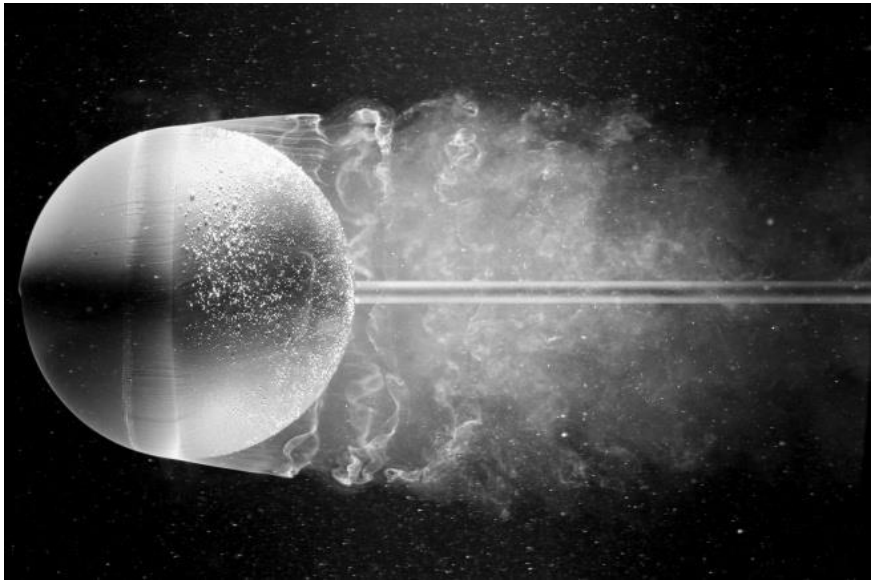
- 后来，人们发现表面有很多划痕的旧球反而飞得更远。
- 高尔夫球表面设计成有许多小凹坑，其目的是让高尔夫球飞得更远。统计发现，一颗表面平滑的高尔夫球，经职业选手击出后，飞行距离大约只是表面有凹坑的高尔夫球的一半。

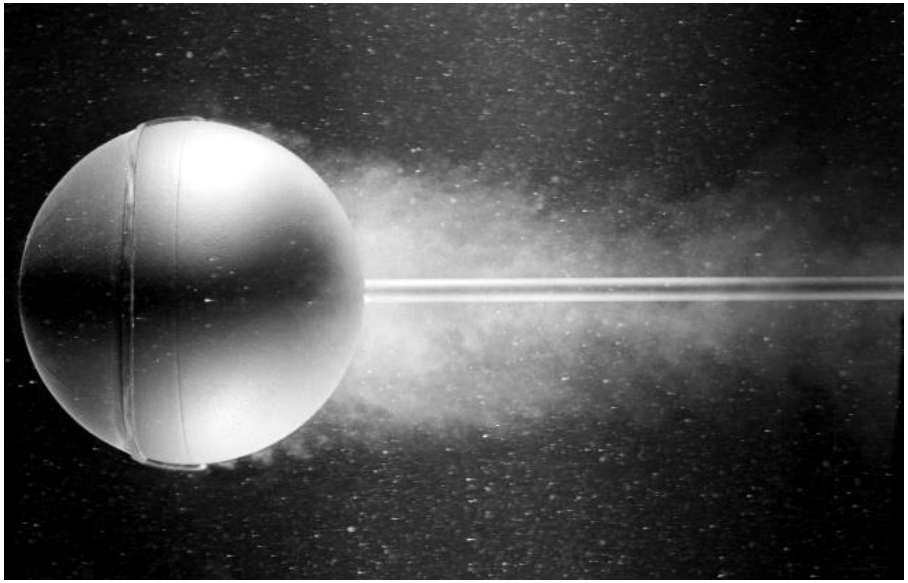
物体在流体中受到的力

- 空气对于任何在其中运动的物体，包括高尔夫球，都会施加作用力。这个力分成两部分：升力及阻力。阻力的作用方向与运动方向相反，而升力的作用方向则朝上。高尔夫球表面的小凹坑可以减少空气的阻力，增加球的升力。

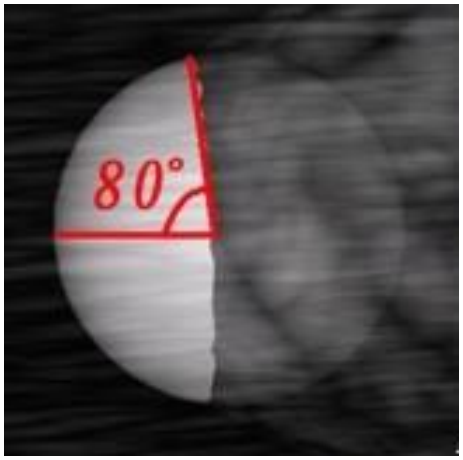
- 小凹坑会影响高尔夫球的升力。一个表面不平滑的回旋球，像飞机机翼般偏折气流以产生升力。球的自旋可使球下方的气压比上方高，这种不平衡可以产生往上的推力。高尔夫球的自旋大约提供了一半的升力。另外一半则是来自小凹坑，它可以提供最佳的升力。

物体在流体中受到的力

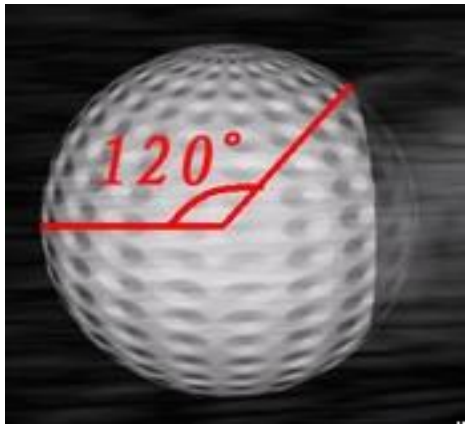




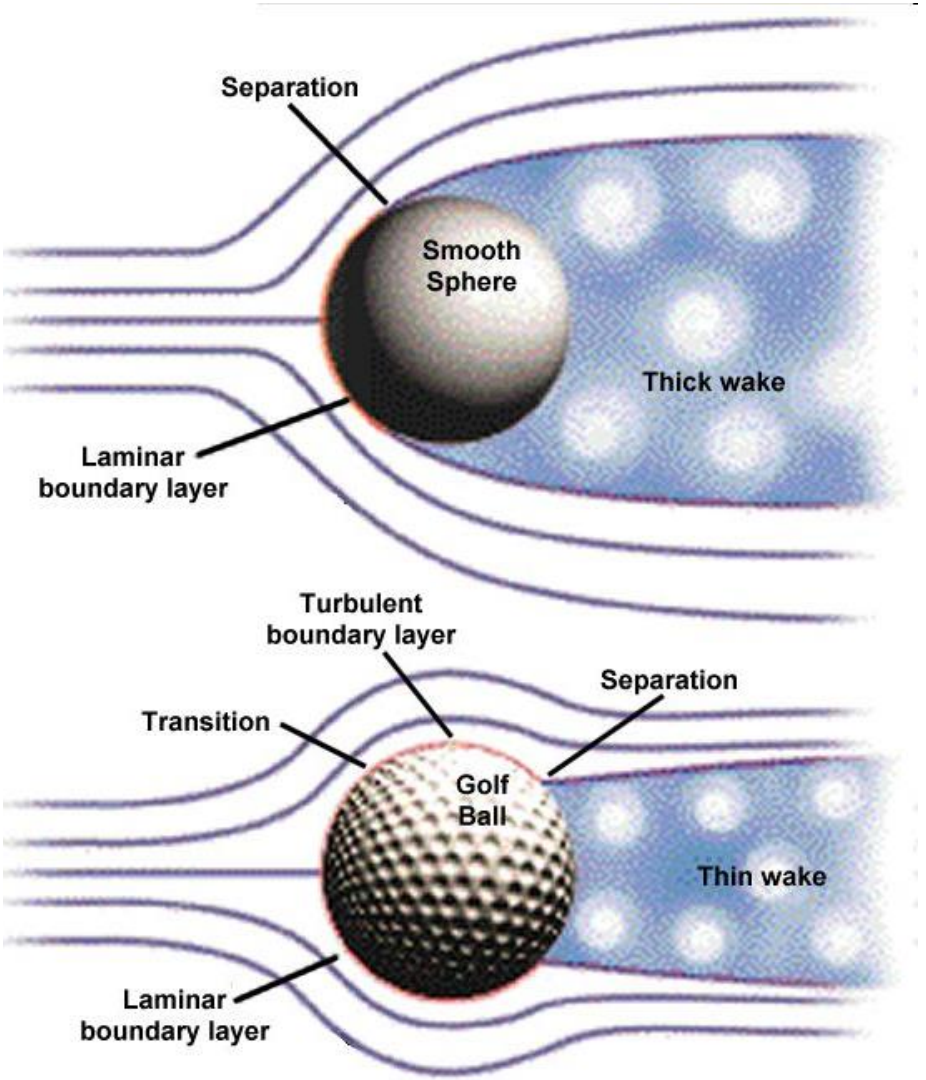
物体在流体中受到的力



光滑的球



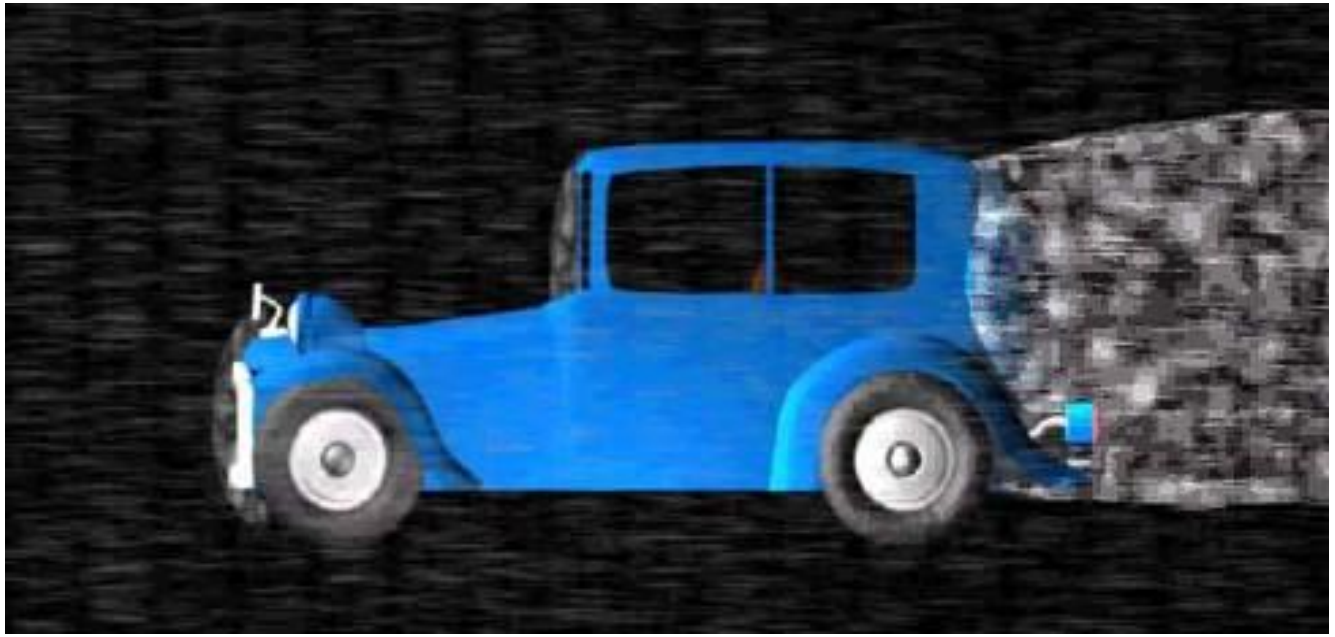
表面有凹坑的高尔夫球



物体在流体中受到的力

汽车阻力来自前部还是后部？

汽车发明于19世纪末，当时人们认为汽车的阻力主要来自前部对空气的撞击，因此早期的汽车后部是陡峭的，称为**箱型车**，阻力系数 C_D 很大，约为0.8。



汽车阻力主要来自后部形成的尾流，称为**形状阻力**。

物体在流体中受到的力

20世纪30年代起，人们开始运用流体力学原理改进汽车尾部形状，出现甲壳虫型，阻力系数降至0.6。



物体在流体中受到的力

20世纪50－60年代改进为船型，阻力系数为0.45。



物体在流体中受到的力

80年代经过风洞实验系统研究后，又改进为鱼型，阻力系数为0.3。



物体在流体中受到的力

以后进一步改进为楔型，阻力系数为0.2。

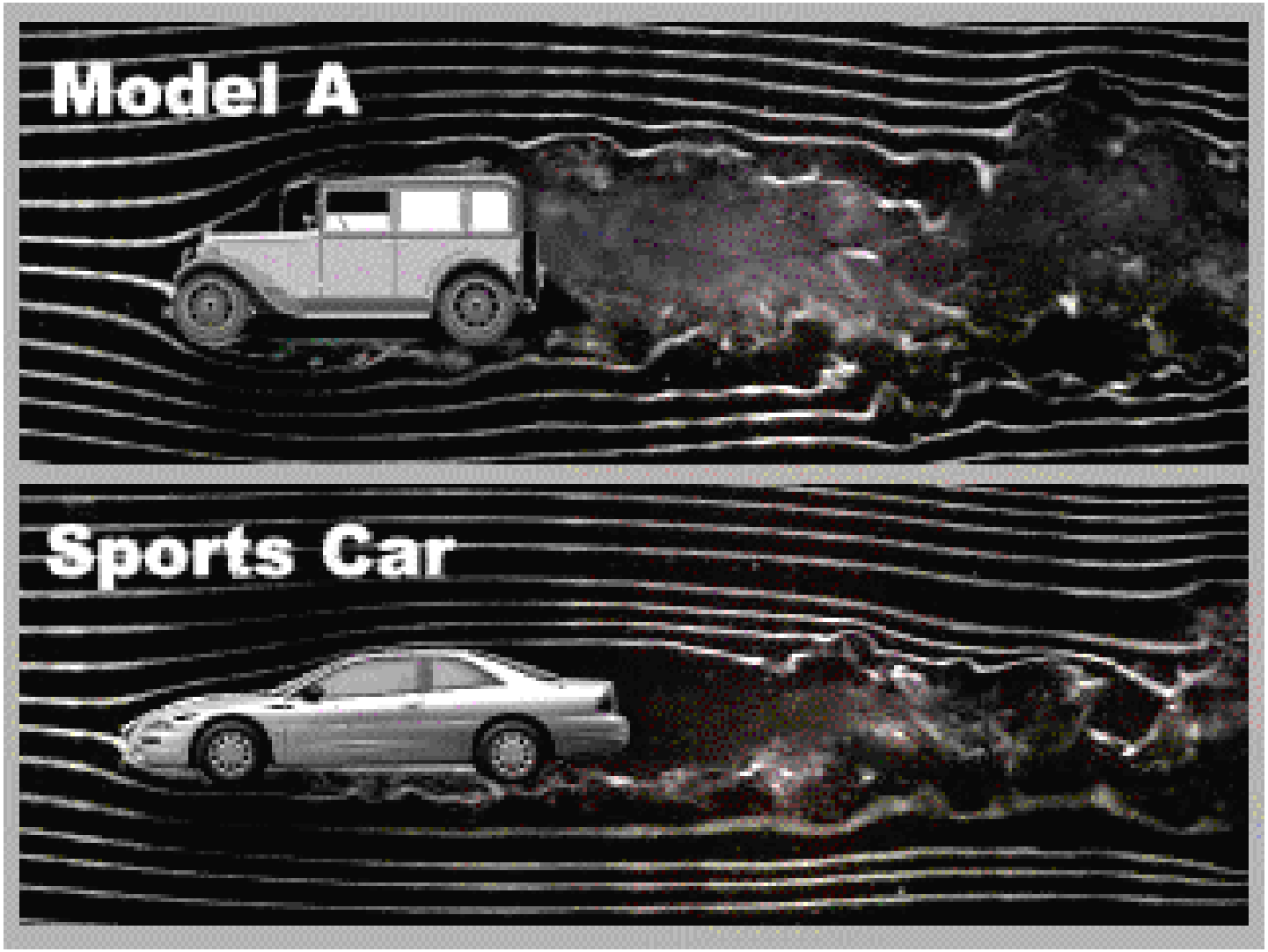


物体在流体中受到的力

90年代后，科研人员研制开发的车型，阻力系数仅为0.137。

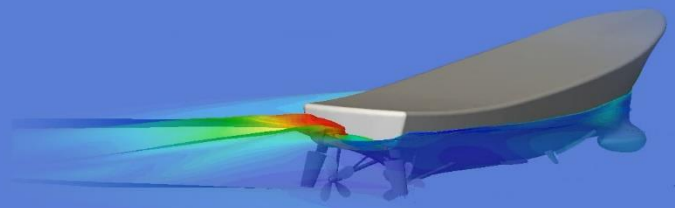


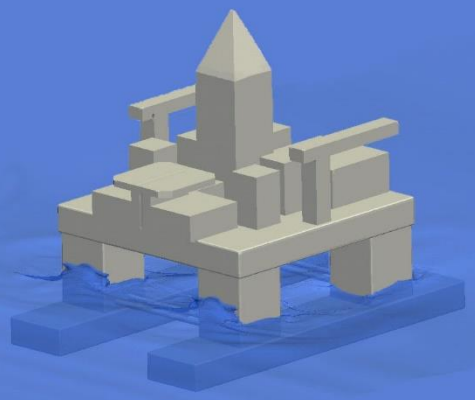
物体在流体中受到的力



CMHL COMPUTATIONAL MARINE HYDRODYNAMICS LAB
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

http://dcwan.sjtu.edu.cn





*部分素材来源于网络