

附件 5：教学设计方案封面样式和内容模板

国家开放大学教学技能大赛

教 学 设 计

部门名称：理工教学部

专 业：车辆工程专业

课程名称：热工与流体力学

教学大纲

一、课程名称和基本信息

《热工与流体力学》是面向国家开放大学车辆工程本科专业学生开设的一门必修专业基础课程，课内学时 54 学时（含实验 6 学时），共计 3 学分。具体学时分配如下表所示：

序号	教学内容	学时
1	绪论	1
2	工程热力学基本概念	2
3	热力学基本定律	4
4	理想气体热力性质和热力过程	5
5	水蒸气和湿空气	4
6	流体的基本知识	2
7	流体静力学	6
8	流体动力学基础	6
9	传热学概述	1
10	稳态导热基础	4
11	对流换热	4
12	辐射换热	4
13	传热过程	5
14	实验一：流体静力学实验、伯努利方程实验	3
15	实验二：换热器换热性能实验	3
合计		54

二、课程简介

《热工与流体力学》是国家开放大学车辆工程本科专业的一门重要的专业基础课，同时也是机械类等相关专业基础必修的主干核心课程。旨在培养学生运用热工、传热和流体力学的

基本原理，并以实际工程案例为导向，通过课堂理论讲解，实验操作以及项目训练掌握解决相关工程问题的能力。

三、 课程目标

通过本课程的学习和训练，学生应取得如下学习成果：

1. 掌握水蒸气的基本热过程和动力循环装置等，并能够应用热力学知识分析相关的工程问题；了解热量传递的基本方式、导热、对流换热、辐射换热以及常见的换热器，并能够应用传热学知识分析相关的工程问题；掌握流体静力学基本方程和静压的测量，并能够应用流体静力学知识分析相关的工程问题；了解控制体的概念并掌握雷诺方程、连续方程、动量方程和伯努利方程及其应用；

2. 并能够用流体运动学的知识分析、推演和计算工程中的流体力学问题；掌握工程上常见的和基本的流体流动的能量损失（沿程损失与局部损失）的计算过程，熟练应用莫迪图；能够运用管流知识分析、推演计算工程中的相关问题；了解常用传热分析和流体动力学分析的模拟软件，掌握相关软件的使用原理和方法，并理解其局限性；

3. 能够选择与使用恰当专业模拟软件，对复杂工程问题进行分析、计算与设计；并运用相关理论知识初步判断仿真结果的准确性；进一步养成自主学习的习惯，能利用网络资源、仿真软件等自主学习相关内容。

四、 课程内容大纲和教学安排

序号	知识单元	知识点	教学要求	学时
1	绪论	本课程研究的对象、内容、研究方法、学习目的。	1. 了解本课程研究的对象、内容； 2. 了解本课程的学习方法； 3. 了解本课程的学习目的。	1
2	工程热力学基本概念	1. 热力系统及分类 2. 状态及状态参数，平衡状态 3. 准静态过程，可逆过程 4. 功和热量 5. 热力循环	1. 理解四种热力系统的特点及区别； 2. 理解状态及状态参数的概念，掌握平衡状态的概念； 3. 理解准静态过程及可逆过程的概念及区别； 4. 理解功和热量的概念，可逆过程两种能量的基本计算方法； 5. 掌握热力循环的特点及经济指标的基本计算方法。	2
3	热力学基本定律	1. 热力学第一定律 2. 热力学第二定律	1. 理解热力学第一定律的实质，理解热力学能、焓、系统总能量的定义及物理含义； 2. 掌握闭口系及开口系能量方程及其应用； 3. 了解稳定流动的含义。 4. 掌握热力学第二定律的实质（不同表述方法）； 5. 掌握卡诺定理及卡诺循环经济指标的计算方法。	4
4	理想气体热力学性质和热力过程	1. 理想气体状态方程 2. 理想气体比热容 3. 理想气体热力	1. 掌握状态方程式进行计算； 2. 理解理想气体比热容分类方法及不同比热之间的关系；	5

		<p>学能、焓和熵的变化量的计算</p> <p>4. 理想气体的基本热力过程的分析计算</p>	<p>3. 理解理想气体热力学能、焓和熵的变化量的计算方法;</p> <p>4. 掌握理想气体基本热力过程的分析计算方法。</p>	
5	水蒸气和湿空气	<p>1. 水蒸气的定压产生过程</p> <p>2. 水蒸气热力性质图表</p> <p>3. 湿空气基本概念: 露点温度、绝对湿度、相对湿度、含湿量、比焓等的定义和确定方法, 湿空气的 h-d 图及其应用。</p>	<p>1. 理解水蒸气的定压产生过程,</p> <p>2. 掌握水蒸气热力性质图表的使用方法; p-v 图和 T-s 图示及临界点含义;</p> <p>3. 了解湿空气基本概念: 露点温度、绝对湿度、相对湿度、含湿量、比焓等的定义和确定方法;</p> <p>4. 了解湿空气的 h-d 图及其应用。</p>	4
6	流体的基本知识	<p>1. 流体的主要物理性质</p> <p>2. 作用在流体上的力</p>	<p>1. 理解流体的定义和特征</p> <p>2. 理解流体的密度、相对密度;</p> <p>3. 了解流体的膨胀性和压缩性;</p> <p>4. 了解流体的粘性。</p> <p>5. 理解质量力和表面力。</p>	2
7	流体静力学	<p>1. 流体静压强及其特性</p> <p>2. 重力作用下静止流体中的压强分布规律</p> <p>3. 液柱式测压计</p>	<p>1. 理解流体静压强及其特性;</p> <p>2. 理解重力作用下静止流体中的压强分布规律;</p> <p>3. 了解液柱式测压计的测试原理。</p>	6
8	流体动力学基础	<p>1. 流体运动的基本概念</p> <p>2. 连续性方程式</p> <p>3. 能量方程及应用</p> <p>4. 能量损失的两种形式及计算</p>	<p>1. 理解流体运动的基本概念;</p> <p>2. 掌握连续性方程式及应用;</p> <p>3. 掌握伯努利方程式及应用</p> <p>4. 理解能量损失的两种形</p>	6

			式及计算。	
9	传热学概述	<ol style="list-style-type: none"> 1. 传热学研究对象与研究方法 2. 热量传递的基本方式 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 了解传热学研究对象与研究方法 2. 理解热量传递的基本方式 	1
10	稳态导热基础	<ol style="list-style-type: none"> 1. 导热的基本概念 2. 导热基本定律及导热系数 3. 导热微分方程及定解条件 4. 一维稳态导热计算 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 理解导热系数影响因素; 2. 掌握导热基本定律; 3. 理解导热微分方程及定解条件; 4. 掌握通过平壁和圆筒壁的导热计算方法。 	4
11	对流换热	<ol style="list-style-type: none"> 1. 对流换热基本概念 2. 自然对流换热及实验关联式 3. 强制对流换热及实验关联式 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 理解对流换热基本概念; 2. 掌握影响对流换热系数的主要因素; 3. 掌握自然对流换热及强制对流换热的计算方法。 	4
12	辐射换热	<ol style="list-style-type: none"> 1. 热辐射的基本概念 2. 辐射的基本定律 3. 封闭系统内表面间辐射换热的计算和角系数 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 理解热辐射基本概念; 2. 理解辐射基本定律; 3. 理解角系数的概念; 4. 掌握封闭系统内表面间辐射换热的计算方法。 	4
13	传热过程	<ol style="list-style-type: none"> 1. 复合换热基本概念及复合换热系数 2. 传热过程基本概念及传热系数 3. 一维传热过程计算 4. 传热的增强和削弱 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 了解复合换热定义及复合换热系数定义; 2. 理解传热过程定义及影响传热系数的主要因素; 3. 掌握一维传热过程(平壁、圆筒壁)计算方法; 4. 了解传热的增强和削弱方法。 	5
14	实验	实验一: 流体静	了解流体力学中常规的测	3

		力学实验、伯努利方程实验	试方法，理解流体力学基本理论的应用。	
15	实验	实验二：换热器换热性能实验	了解换热器换热原理，了解传热驱动力的概念以及它对传热速率的影响。	3

五、课程考核

(详见课程考核说明)

教学设计方案

一、 教学内容

本次课程主要围绕热工和流体力学课程中的重要知识点：湍流现象的理解、研究及其应用来开展，包括四个方面内容。首先通过从时间和空间上的不同维度，即：中国古代诗词中的湍流现象、日常生活中的湍流和浩瀚宇宙中的湍流现象来向学生阐释湍流现象的普遍性。从而让学生对湍流在课程开始时就有了感性而直观的了解，清楚了解湍流不仅是流体力学中非常重要的现象，也涉及到了气候、生物以及宇宙空间等广泛领域。接着我们在此基础上引出湍流的科学定义并就其核心特征作详细阐释，包括多尺度、非线性、不可预测性和混沌性等，让学生对湍流现象的理解从直观、感性上升到抽象、理性层面，进而有更深入的了解。在课程第三部分，我们介绍了人类过去一百年研究和探索湍流现象的艰辛历程，并对其中使用的实验方法和观察手段做详细介绍，从理论研究、实践探索、虚拟仿真模拟等多个角度，让学生全面了解湍流问题的研究历程和研究现状。第四部分是介绍湍流现象在我们生产和生活中的应用，特别是在交通运输和医疗健康领域，如利用湍流大大提升体外血小板的人工培养速率，减少游泳运动员在水中的阻力等。最后对课程内容进行回顾和总结，使同学们通过本次课程的学习，对湍流现象无论是从感性层面还是理性层面都有了更全面的认知，同时掌握相关研究湍流现象和解决问题的方法，并理解其在实际应用中的重要性和前景。

（一） 知识结构

湍流现象的理解、研究及其应用是《热工与流体力学》这门课程的核心知识点和难点内容，正确的研究和学习湍流现象可以拓宽学生的科学领域视野，提升其科学素养，提高其数学和计算机技术的实际应用能力。湍流现象对于理工科不同领域相关专业的学生都有着重要的意义，可以为其未来从事科研或制造业的相关工作提供坚实且必要的基础。

本节课程是在流体力学前几章内容的基础上，作为全新知识点来进行讲授。课程开始时教师先带领学生回顾有关流体力学的基础知识和基本概念，例如：流体的基本特性和运动规律、流体静力学和动力学方程等。接着通过中国古代诗词、日常生活中的一些具体案例引出湍流现象的概念，并引导学生思考：湍流的本质到底是什么？让学生带着问题进入第二部分的学习：湍流的科学定义。接着通过介绍一个世纪以来人类研究和探索湍流现象的艰辛历程，引导学生积极思考科学研究的正确规律，让学生切身体会科学研究要从感性上升为理性。最后，通过介绍湍流现象在我们生产和生活中的重要应用，激发学生从课程讲授的知识点出发，深刻领会习近平总书记对理论创新和实践创新的重要表述：理论来源于实践，但科学的理论形成之后又对实践产生重要指导作用。知识结构关系图如下所示。

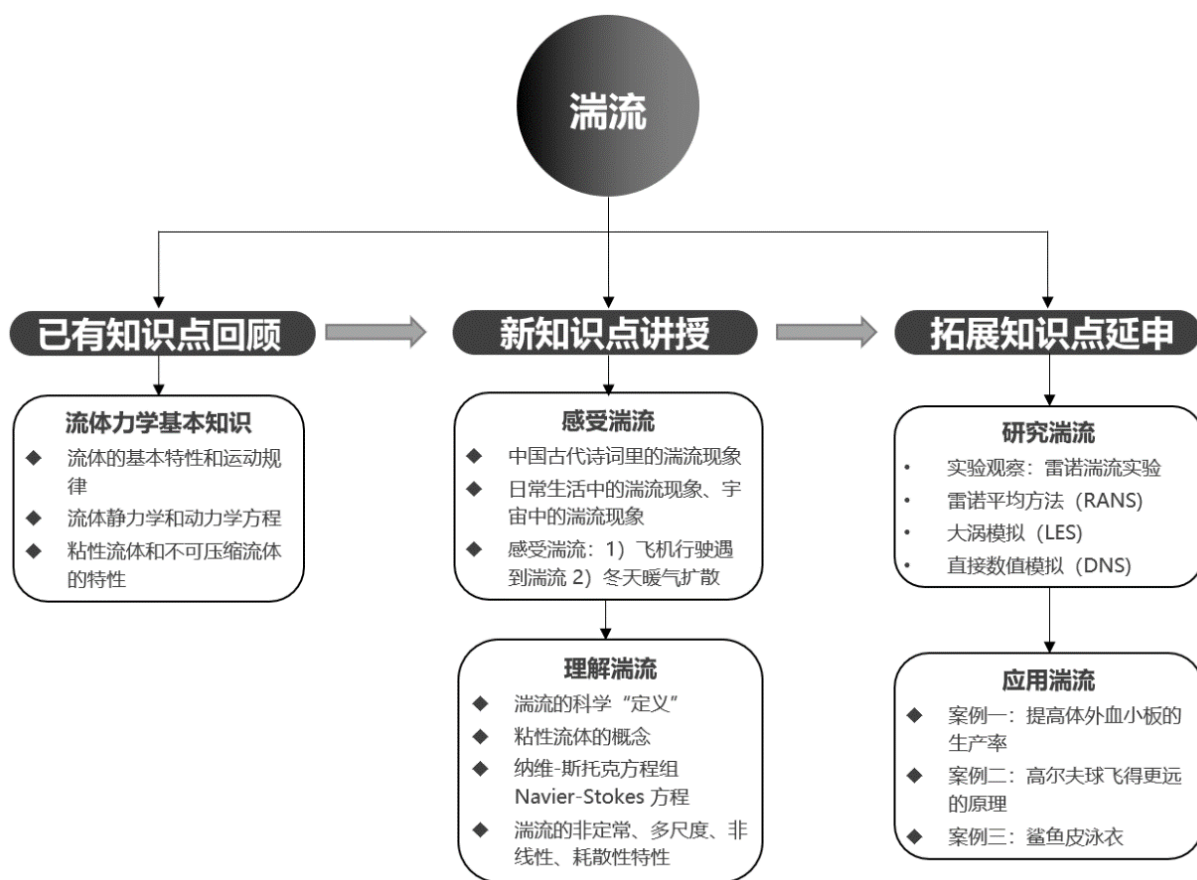


图 1. 课程知识结构图

(二) 教学内容路径设计

本节课程的教学内容路径在设计上遵循三条主线：知识线、案例线和课程思政教育线。

知识线是课堂中最重要的主线和明线，沿着流体力学基本知识回顾（流体的基本特性和运动规律、流体静力学和动力学方程、粘性流体和不可压缩流体的特性）、感受湍流（观测和感受常见的湍流现象）、理解湍流（湍流的科学定义和核心特征）、研究湍流（实验观察、虚拟仿真）、应用湍流（湍流在体育运动和医疗健康中的重要应用）依次进行展开。

案例线的作用是在恰当的位置提供给学生更生动、更具象的实例辅助其理解知识点，其在本次课程中出现了三次，第一次为课堂刚开始的导入环节：以日常生活和浩瀚宇宙中的湍流案例来向学生阐释湍流现象在时间和空间上的普遍性，从而让学生在课程一开始就对抽象的知识点有了感性而直观的了解。第二次是通过介绍历史上一些著名的实验案例，来向学生展示湍流现象的研究在历史上经历了艰辛而漫长的过程，引导学生认识到科学研究并不是一蹴而就的，而是一个在实践基础上从感性认识到理性认识、又从理性认识回到实践的过程。认识的总过程是实践、认识、再实践、再认识，循环往复不断上升的发展过程。第三次是在介绍湍流现象的应用环节，通过列举一些与学生日常生活和体育运动都息息相关的趣味案例，来进一步加深他们对本次课程知识点的理解，同时借此培养学生对科学的热情和好奇心，积极参与理工科的研究和创新应用。

课程思政教育线作为贯穿本次课程全部内容的暗线，秉持“如盐入水”的思想，达到在课堂上“润物细无声”的德育效果。首先，在课程一开始，通过向学生介绍中国古代优美诗词里出现的湍流现象，既通过脍炙人口的诗词名篇引发学生的共鸣和兴趣，又让学生在轻松的环境中对湍流现象有了一个直观而感性的理解。采用文化熏陶的方式，在潜移默化中让中华优秀传统文化与流体力学的重要知识点进行有机融合，增进学生了解中华传统文化的价值，进一步树立民族自豪感和荣誉感。其次，在课程最后介绍流体力学知识在日常生活中的实际使用案例时，

向学生介绍中国茶文化中的“公道杯”的有趣案例，既讲解了流体力学中的虹吸现象所蕴含的力学原理，又由此引出公道杯寓意节约和谦虚，贪心者水尽，知足者水存。由此案例引导学生养成谦逊好学和“满招损，谦受益”的美好品德。

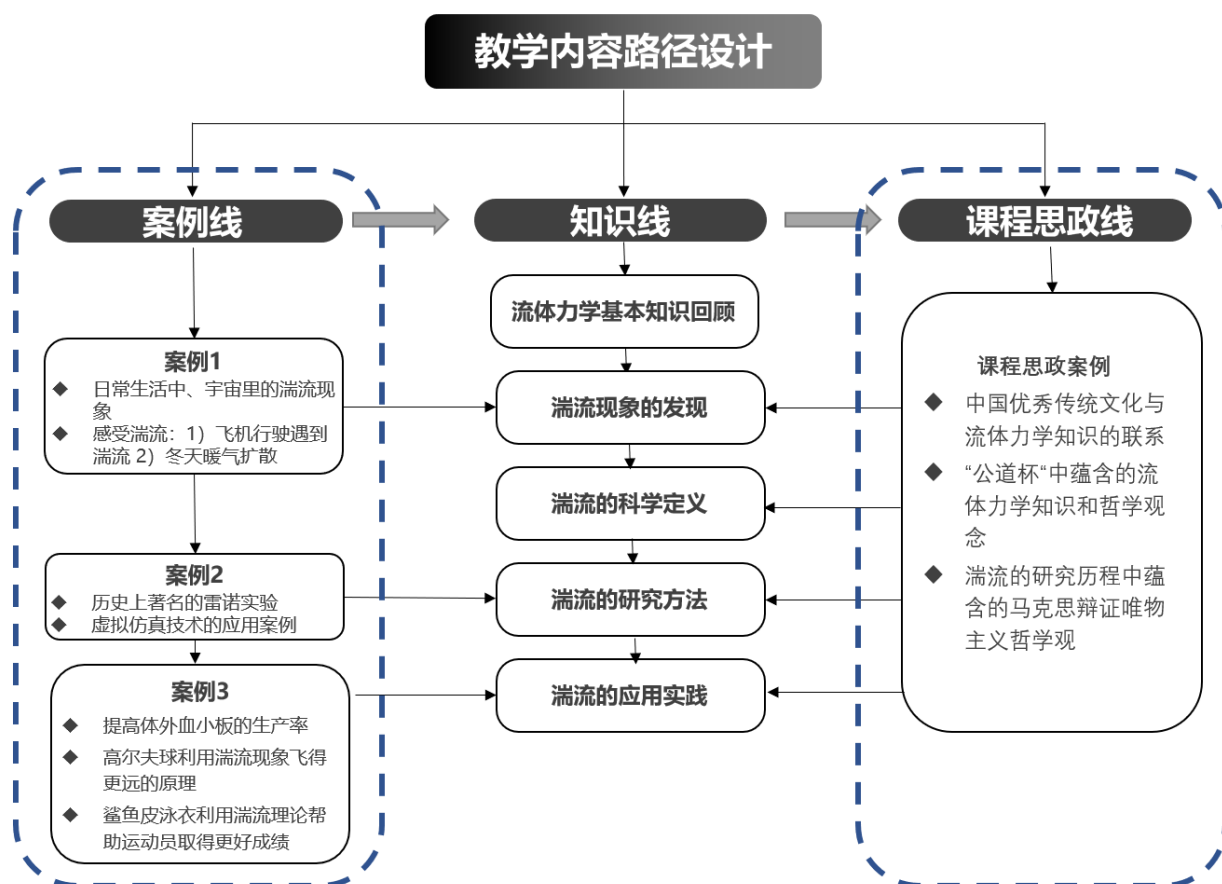


图 2. 教学内容路径设计图

二、 教学目标

(一) 认知目标

1. 了解

- (1) 从不同空间尺度了解湍流现象的普遍性和其在物理学中的重要性；

- (2) 了解研究湍流现象常用的数学模型、数值模拟算法和实验研究的手段技术，以及湍流研究应用的前沿动态和方向。

2. 理解

- (1) 理解和湍流相关的流体力学学科基础知识：流体的基本特性和运动规律、流体静力学和动力学方程；
- (2) 理解粘性流体和不可压缩流体的特性；
- (3) 理解过去一个世纪湍流现象的研究历程。

3. 掌握

- (1) 掌握湍流的定义；
- (2) 掌握湍流的核心特征：非定常、多尺度、非线性、耗散性和混沌性；
- (3) 掌握纳维-斯托克方程组 (Navier-Stokes) 方程。

(二) 能力目标

1. 运用流体力学知识和数字化技术对湍流现象进行判别和分析，能够进行简单的数值模拟和实验设计，提高学生研究和应用能力；

2. 能够结合现代实际应用场景和需求，综合运用已有的湍流数学模型和理论，培养学生独立开展科研工作的能力；

3. 具备批判性思维，能够对涉及湍流现象的科学问题进行分析 and 评估，有深入思考的能力。

(三) 课程思政目标

1. 强化学生的科学精神和创新意识，培养学生对科学的热情和好奇心，积极参与理工科的研究和应用；

2. 增强学生的社会责任感和服务意识，通过介绍湍流应用的案例和实践，培养学生的实践探索能力；

3. 弘扬爱国主义精神和民族自信心，凸显我国在湍流研究和应用领域的新进展和成就，增强学生的国家认同感和文化自信。

三、 学情分析

本课程学习者为国家开放大学车辆工程本科专业的学生。从学习者调查结果可以分析得出其特征如下。

(一) 学生的人口学特征和知识基础

国家开放大学车辆工程专业的学生中男性比例普遍比女性比例高。学生信息化装备水平很高，75%以上的学生拥有电脑，联网率已超过85%；学生智能手机拥有率已达到85%。而涉及专业中流体力学课程的对象通常是已经具备基本学科知识背景的学生，例如，理工科专科毕业生、高职毕业生、在岗的技师和技能人员等。据了解，这些学生初步具备物理、数学、力学等学科的基础知识，并且对该学科的基本概念、表达方法、计算和实验技术有一定了解。

(二) 学生的理论基础

由于热工与流体力学课程是一门实验性较强的学科，因此视觉观察能力和实验技能是学生掌握流体力学课程的关键技能。学生需要具备科学实验方法和工具使用技能、数据分析与处理能力，以及模型模拟和仿真技术。据了解，学生在经过前几个学期的学习后，对力学的基本概念和理论、动力学的基本知识、数值模拟和虚拟仿真等方面已经有了一定的了解。同时，由于开放教育学习者的工作岗位特点，大部分学习者都具备一定的动手实践以及独立开展工作和解决问题的能力，综合素质较高。

（三） 学生的学习目的和动机

据调查，开放教育车辆工程本科专业学生的主要学习动机和目的是为了提高自己的职业竞争力，学习知识，提升技能水平以适应市场需求并更好地融入职场。学生通常会延续学习与之前专业或现在工作紧密相关的专业和知识，以期在工作中表现更出色。在某些情况下，学生可能已经具备了在当前工作领域独立工作所需的基本技能，此时他们学习的目的主要是为了获得更高的文凭，提高业务水平和职业发展前景，以实现更高的工作晋升。而除了职业需求和职业发展的考虑，还有一部分学生是完全出于兴趣选择车辆工程专业，学习自己所喜欢的汽车领域的知识和技能，满足个人成长和提升自我价值的目的。

（四） 学生的认知特点

本门课程是一个高度数学物理化的学科，因此从学习者特征来看，学生一般都具备较好的数理基础知识，并能够在一定

程度上将这些学科的原理用于实际工作中。与此同时，本门课程还是一门建立在实验基础上的高度抽象的学科，因此学生通常具有良好的抽象思维能力和一定的动手实践能力，能够较好地记录和分析实验结果，分析抽象的数学和物理模型，解决实际问题。

四、 教学重难点分析

（一） 教学重点

1. 湍流的基本概念：讲述湍流现象的普遍性、湍流的定义；
2. 湍流的核心特征：讲述湍流的常见特征，如湍流的形成过程、过渡区和湍流之间的转变，湍流的非定常、多尺度、非线性、耗散性和混沌性等特征；
3. 研究湍流现象常用的方法和实验探索的手段，以及湍流研究的前沿动态和方向；
4. 湍流现象在科学技术创新和生产制造领域的重要应用。

（二） 教学难点

1. 湍流流动的数学描述：介绍湍流运动的数学描述方法，如纳维-斯托克方程组（Navier-Stokes）方程、 $k-\epsilon$ 模型等；
2. 湍流流动的虚拟仿真分析算法：讲解湍流流动的模拟和计算的常见数值分析算法，如雷诺平均算法（RANS）、直接数值模拟（DNS）等。

五、 教学策略

流体力学作为一门实验性较强的学科，其在教学策略的选择上需要注重线下实践教学，强调理论与实践相结合，同时也需要充分利用国家开放大学丰富的虚拟仿真教学资源，采用线上线下相结合的教学方式，以提高学生的学习效果和教学质量。具体的教学策略介绍如下：

（一） 注重线下实践教学

在本门课程教学中，应注重线下实践教学，促进学生理论知识与实践操作相结合。通过实验操作，让学生亲身体验和感受流体现象，理解流体物理特性。针对实验教学，应该灵活、合理的选择实验方法，充分利用学校已有的实验环境和硬件设施，应力求用简单的实验设备完成相关的实验，提高学生的学校效果。如图 3 所示，教师可以用实验室中最常见的仪器和材料，带领同学们清楚观看层流和湍流的转变过程。与此同时，在线下实践教学过程中还应确保安全、可靠的实验操作环境。

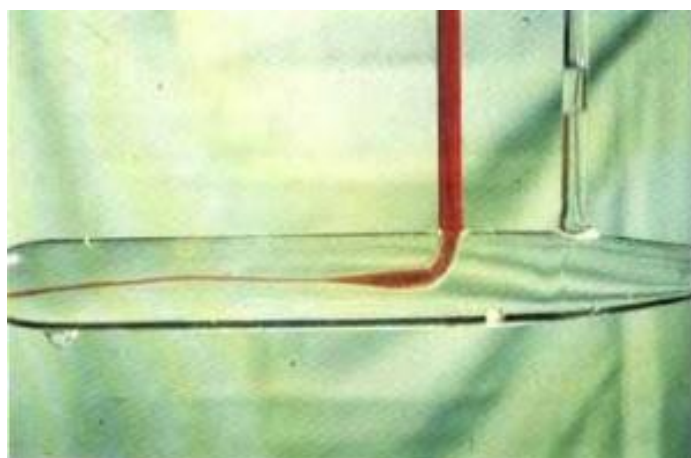


图 3. 课堂中可以利用简单仪器完成的流体力学小实验

（二）充分利用虚拟仿真教学资源

在本门课程教学中，应充分利用国家开放大学丰富的虚拟仿真教学资源进行流体力学的教学，可以帮助学生更好地理解流体物理特性，加深认识流体动力学的基本概念和应用技术。采用虚拟仿真技术进行流体力学教学，不仅可以节省实验仪器和设备的成本，提供更为自由的实验控制参数，还可以在模型上进行实时观测和数据记录，为学生进行流体动力学分析提供更加符合实际的参考，并且预防实验过程中的危险。

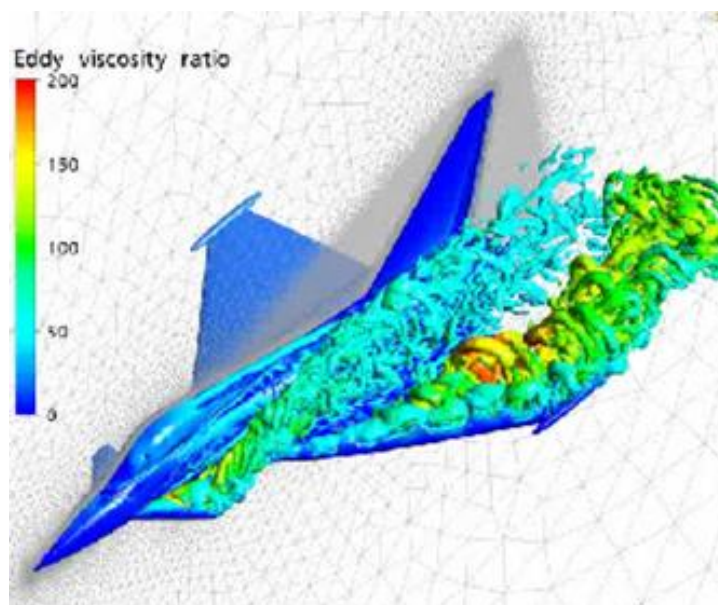


图 4. 利用虚拟仿真软件模拟湍流的产生过程

（三）注重线上线下相结合的灵活教学

在本门课程教学中，应通过线上线下相结合的灵活教学模式，全面地促进学生的学习效果。通过线上丰富教学资源，学生可以在课堂之外、网络之间进行流体力学知识的学习和疑难解答。而通过线下教学，学生可以在实验室、面授辅导、考前复习

等环境下感受到学习流体力学的趣味性，增加他们对流体力学知识的兴趣度和参与度。同时，线上教学也能帮助教师通过大数据分析，更好了解学生知识的具体掌握情况，开展更加精准的教学行为，指导学生更加有效地掌握知识点和技能。

六、 媒体选择与应用

（一） 多媒体课件

场景：多媒体课件主要用来讲授和演示流体力学的基本概念、理论推论、数学方法和公式等，也可以用来展示流体力学一些常见实验的过程和结果。

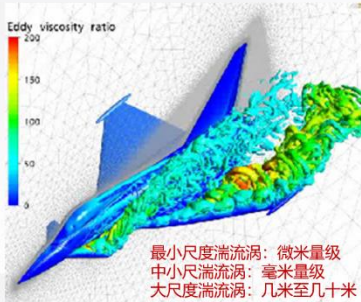
方法：多媒体课件应灵活结合文字、图片、图表、动画、视频等多种形式，以便学生理解和记忆流体力学的概念和理论。教师可以通过演示、演讲等方式介绍和解释课件中的内容。

建议：制作多媒体课件需要考虑学生的不同学习喜好和学习水平，将几种不同类型的媒体（如图片、动画、视频等）结合起来，如下图 5 所示，以提高课程的多样性和趣味性。

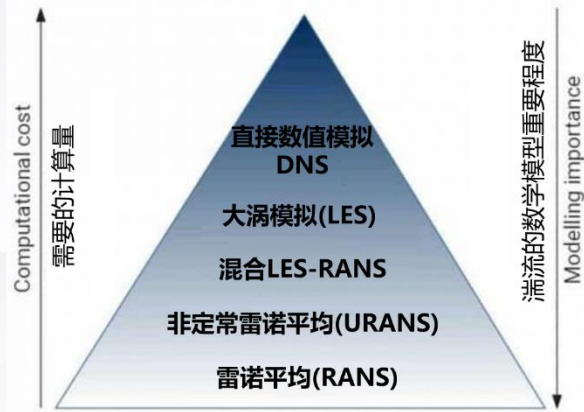
湍流的研究

-数值仿真：直接数值模拟 (DNS)

直接数值模拟：Direct Numerical Simulation, 使用最精细的网格和最大的计算量，直接求解空间和时间上全部大、中、小三个范围尺度的湍流漩涡。



飞行器飞行时流场周围复杂的涡流现象



常见的湍流数值仿真方法方法分类示意

18

图 5. 本门课程所使用的多媒体课件举例

(二) 实物模型：

场景：实物模型可以用于显示物理特性可视化的效果。例如，一个实际的液压系统可以用来展示施加在水中的压力的效果，以及不同管道和阀门配置对流体流动的影响。

方法：在实验教室或实验室中展示实物模型，并向学生解释其相应的物理特性。学生可以采用观察、比较、测量等方法，探索模型中流体动力学的基本原理。

建议：教师需要使学生了解实物模型背后的物理原理，以帮助学生更好地理解流体力学的概念。

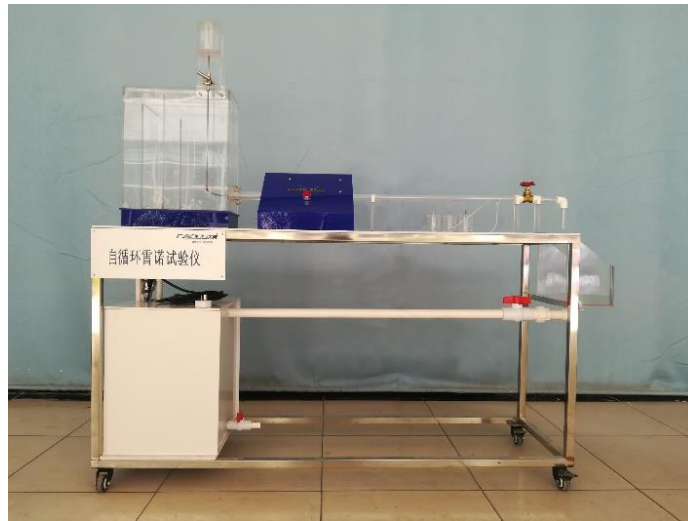


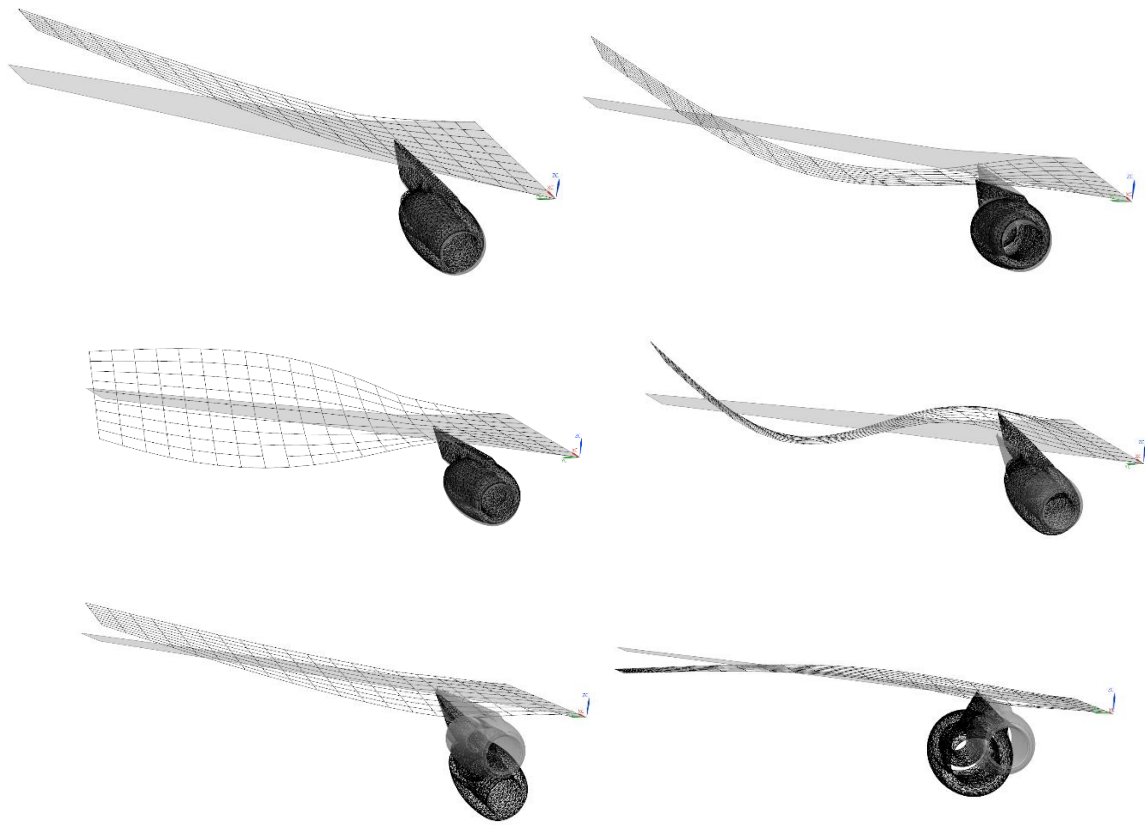
图 6. 流体力学课程中用于重现雷诺实验的设备举例

(三) 流体力学模拟软件：

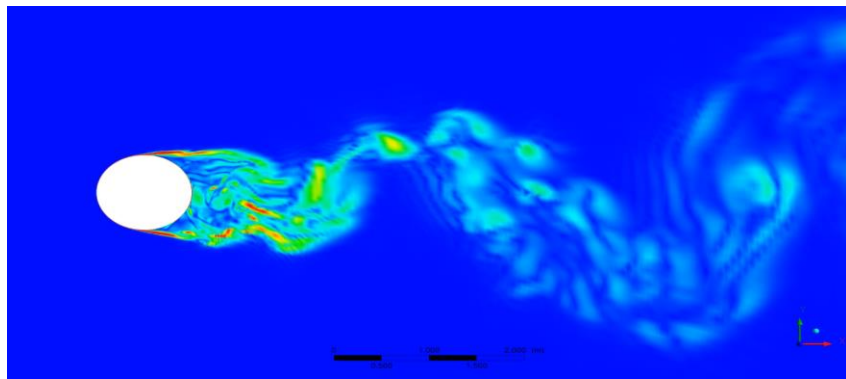
场景：流体力学模拟软件可用于求解分析模型，包括计算机生成的流体流动模型和不同流动条件下的流体分析。这些用于模拟的模型可以是二维或三维的，具有可视化和可交互性。

方法：在计算机上安装相应的流体力学模拟软件，让学生使用软件解决具体的问题和模拟实验。可以让学生自行设计实验，并使用软件进行模拟。

建议：对于初学者，软件的界面可能比较复杂，教师可以设立相关实验课程，引导学生掌握相关技能。



(a)



(b)

图 7. 利用虚拟仿真软件带领学生对湍流形成的过程和机翼周围的流场进行模拟

(四) 虚拟仿真系统：

场景：虚拟仿真系统可以用于建立虚拟的流体实验室，通过

模拟流体实验的过程，帮助学生认识流体力学的基本概念和实验技术。

方法：学生可以在虚拟环境中操作虚拟仪器和设备，进行不同的流体实验。还可以通过观察虚拟模拟结果，加深对流体物理规律的理解。

建议：虚拟仿真系统可以结合实体实验来使用，对于一些安全、成本高的实验，用虚拟仿真系统代替实体实验。

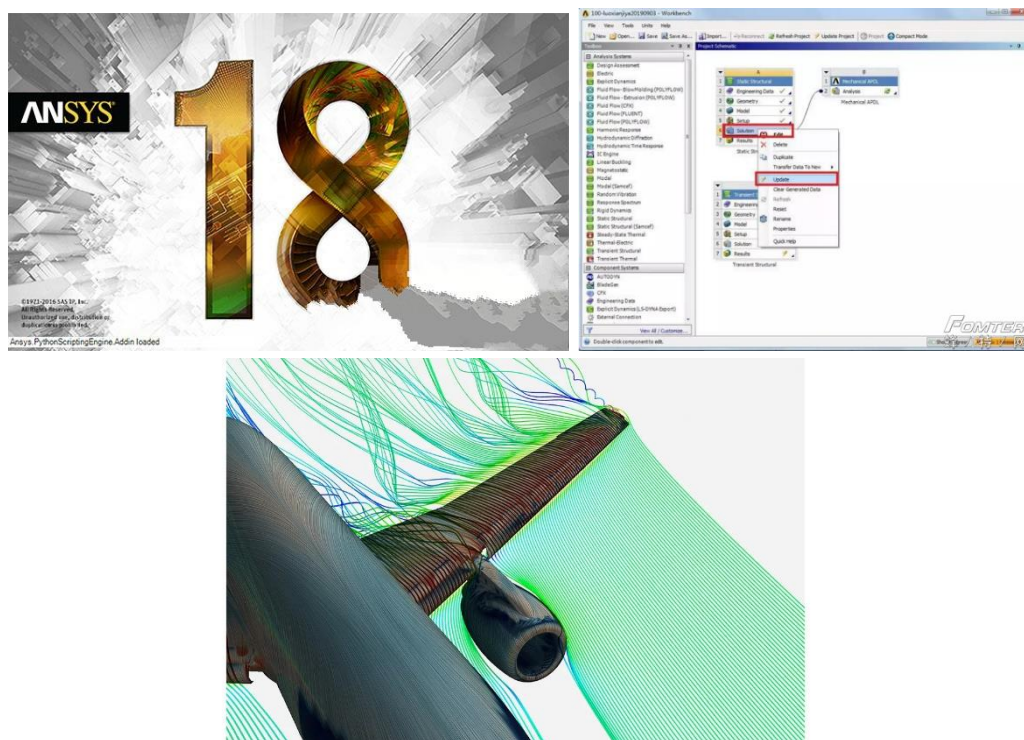


图 8. 本门课程所使用的虚拟仿真系统-ANSYS Fluent

(五) 网络教学平台：

场景：无论何时何地，学生都可以用国家开放大学的学习网或是终身教育平台进行在线学习，真正的做到时时能学，处处皆学。这些网络教学平台的优点是，学生可以根据自己的时间

表和进度灵活和个性化地安排学习活动。

方法：在教学过程中，教师需要根据课程大纲和学生的学科水平，选取适合的网络教学平台以及相应的学习资源，教师也可以在平台上进行课程设计和安排，更加便于学生的学习和掌握。



图 9. 国家开放大学终身教育平台上本门课程的学习资源

七、课程思政设计及实施

(一) 推动中华优秀传统文化与学科知识点的有机融合

课程思政设计 1:

在课程一开始，通过向学生介绍中国古代诗词里出现的湍流现象，既通过脍炙人口的诗词名篇引发学生的兴趣，让学生在轻松的环境中对湍流现象有了一个直观而感性的理解。在潜移默化让中国优美的诗词与流体力学的重要知识点进行有机融

合，从而采用文化熏陶的方式，将中华优秀传统文化与学科知识深度融合，既让学生获得了有关湍流的知识，又让学生了解中华优秀传统文化的价值，树立了爱国、敬业、创新等一系列正确的价值观。

课程思政设计思路：通过阅读中国古代诗人李白的“君不见，黄河之水天上来，奔流到海不复回”等诗句，引导学生深入了解和探究中国古代诗词中出现的湍流现象的实际涵义和历史文化内涵，加深对中国优秀传统文化的体验和认识，培养学生的爱国爱家、奋发向上的态度和精神，提高他们的综合素质和文化素养。

课程思政实施步骤：

第一步，介绍黄河流域和广泛存在湍流现象。在课堂中，可以通过几幅图片将黄河流域的山水和水文特点展示给学生，并简单介绍湍流现象的原理和特点，从而对湍流现象的实际涵义有初步的了解与认识。

第二步：通过研读李白的诗词进行文化内涵的体验。在课堂中分享一些中华优秀传统文化的价值观念，例如中国文化历史的悠久与深厚、中国古代文化中对自然的敬仰和对家国的深情等，然后以李白的诗句“君不见，黄河之水天上来，奔流到海不复回”为例，通过分析和讲解，让学生感受黄河流域和湍流现象的壮阔和旷远，并理解中国文化中对自然的敬畏和对国家尊重的情感。

第三步：进行思政评析，引导学生深入探究。在课堂中引导学生

深入思考，通过课文分析和研读，梳理中国古代文化对湍流现象的理解和描绘，揭示中国文化中的思想、精神和价值观内涵，鼓励学生学习和传承中国文化，发扬我们民族精神，弘扬中华民族传统文化。

无处不在的湍流

-中国古代诗词里的湍流现象

- ❖ “惊涛拍岸，卷起千堆雪” - 《念奴娇·赤壁怀古》北宋·苏轼
- ❖ “君不见，黄河之水天上来，奔流到海不复回” - 《将进酒》唐代·李白



无处不在的湍流

-中国古代诗词里的湍流现象

- ❖ “渡口千章云木，冉冉炊烟一缕” - 《水调歌头·鸟影度疏木》宋代·袁去华
- ❖ “日照香炉生紫烟，遥看瀑布挂前川” - 《望庐山瀑布》唐代·李白



图 10. 中国古代诗词名篇中所蕴含的湍流现象举例

课程思政设计 2:

在介绍流体力学在日常生活中的实际使用案例时，向学生介绍中国茶文化中的“公道杯”的有趣案例（如下图 11）：向公道杯这样的茶具中倒茶只能适可而止，不可过满，若是茶倒得

太满了反而会全部流光，一滴不剩。其实，这是因为它运用了流体力学中的虹吸效应，当杯中的水位低于虹吸管顶部时，可正常饮用。但当杯中的液体盛满时，水位超过了虹吸管的高度。在大气压的作用下，杯中的液体就会顺着管子从底部的小孔中全部流出。由此引出公道杯寓意节约和谦虚，贪心者水尽，知足者水存。正所谓“满招损，谦受益”，由此案例引导学生养成谦逊好学的美好品德。



图 11. 公道杯中蕴含的流体力学知识

八、 教学过程

本节课程将按照上堂课程核心知识点回顾与复习-新话题引入：湍流现象的发现和观测-湍流的科学定义-湍流的研究方法-湍流的应用实践-课堂总结-布置课后思考题依次开展教学过程。

（一） 上堂课程回顾：流体力学的基础知识和基本概念

知识回顾：在前几节课程中，我们介绍了流体力学是研究流体的运动、压力、密度等一系列物理量随时间和空间的变化规律的学科。流体是一种特殊的物质，其具有三个基本特性：流动性、变形性和不可压缩性，同时遵循连续性方程、牛顿第二定律、能量方程等一系列基本的物理规律。

连续性方程表示了质量守恒规律，即单位时间内流过截面某处的流体的质量等于该处流体密度与流量的乘积；牛顿第二定律是动量守恒定律，规定了物体运动状态的变化规律，即物体所受外力等于物体的质量与加速度的乘积；质量守恒方程说明了流体密度与流量之间的关系，即均匀流体通过一个截面的流量与该截面上的平均速度和面积有关。能量守恒方程表示单位质量流体在流动中的能量守恒关系，换句话说，就是能量既不能被创造也不能被摧毁，只能在形式上相互转化。

总之，流体力学是自然科学和工程技术领域的重要学科，其基本特性和运动规律、动力学方程等知识是构成流体力学知识体系的核心，几乎涵盖了流体力学的各个领域。对于深入了解

流体力学知识和应用，这些基础知识的掌握是至关重要的。

课程思政案例：向学生展示中国茶文化中的“公道杯”，配合道具开展课堂趣味小实验：向公道杯这样的茶具中倒茶只能适可而止，不可过满，若是茶倒得太满了反而会全部流光，一滴不剩。向学生解释这是因为它运用了流体力学中的虹吸效应，当杯中的水位低于虹吸管顶部时，可正常饮用。但当杯中的液体盛满时，水位超过了虹吸管的高度。在大气压的作用下，杯中的液体就会顺着管子从底部的小孔中全部流出。由此引发学生思考：公道杯寓意节约和谦虚，贪心者水尽，知足者水存。正所谓“满招损，谦受益”，由此案例引导学生逐渐养成谦逊好学的美好品德。



图 12. 课堂小实验：动手制作一个简单的“公道杯”

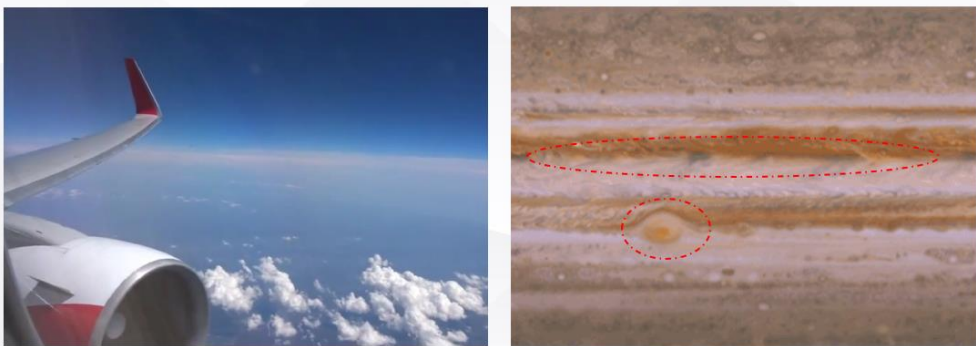
(二) 话题引入：湍流现象的发现和观测

话题引入：据说，著名物理学家沃纳海森堡在临终前曾经说过，如果他真的遇见了所谓的“造物主”，要问他两个问题：

什么是相对论、湍流的本质是什么，而海森堡认为即便是造物主也只对第一个问题有答案。所以今天老师就带领同学们一起，了解一个困扰了全世界物理学家、数学家一个世纪的神秘现象：湍流。

湍流的发现和观察：向学生介绍，在我们的日常生活中，经常坐飞机的同学会发现，有时即便是晴空万里，飞机也会上下颠簸不停，那就是遇到了不稳定的湍流，这是我们对湍流最为直观的感受。在浩渺的宇宙里，科学家利用哈勃望远镜在木星的表面都发现了各式各样大大小小的湍流。由此可见，湍流在我们的宇宙中是无处不在，随处可见的。

无处不在的湍流
-宇宙中的湍流现象



飞机经过剧烈湍流区域时震动

木星大气层里的湍流现象

图片：NASA/Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio, the Cassini Imaging Team, CICLOPS, and Cosmos Studios 6

课程思政案例：

其实在中国几千年灿烂的文化长河中，湍流这个神秘的过客曾悄悄地出现在无数文人墨客的笔下。无论是苏轼豪情万丈地写下“惊涛拍岸，卷起千堆雪”，还是李白对着黄河发出千古一叹：“君不见，黄河之水天上来，奔流到海不复回”。在我们

物理学家眼中，这就是湍流在流动的液体中表现出的形态。我们再看：“宠辱不惊，去留无意，漫随天外云卷云舒”，“渡口千章云木，苒苒炊烟一缕”。中国古代文人笔下这些姿态万千的云层和变幻莫测的烟雾，在我们物理学家眼中，就是湍流在气体中表现出来的不同形态。

无处不在的湍流
-中国古代诗词里的湍流现象

- ❖ “惊涛拍岸，卷起千堆雪” - 《念奴娇·赤壁怀古》北宋·苏轼
- ❖ “君不见，黄河之水天上来，奔流到海不复回” - 《将进酒》唐代·李白



无处不在的湍流
-中国古代诗词里的湍流现象

- ❖ “宠辱不惊，去留无意，漫随天外云卷云舒。” - 《菜根谭》明代·洪应明
- ❖ “渡口千章云木，苒苒炊烟一缕” - 《水调歌头·鸟影度疏木》宋代·袁去华



图片来源: GIPHY Search Website <https://giphy.com/>

3

提问和思考:

请同学们思考，中国古代的诗词名篇，还有哪些蕴含了湍流现象的描绘？它们分别是以什么形态出现的。可以通过信息媒体、互联网等手段进行调查。

(三) 课堂讲授：湍流的科学定义

介绍湍流的定义：由 Navier-Stokes 方程中描述的黏性流体，当其雷诺数超过临界数值 R_{ec} 后，由层流转捩为时空中多尺度、非线性、非定常的涡旋流动形态。

逐个知识点详解：

1. Navier-Stokes 方程（不可压粘性流体）

Navier-Stokes 方程是描述流体运动的基本方程之一，它由法国数学家 Navier 和 Stokes 等人相继推导出来。该方程在描述流体运动的时候同时考虑了它的动量、质量和能量守恒规律。Navier-Stokes 方程是一组非线性偏微分方程，在流体力学和相关领域中应用广泛。

Navier-Stokes 方程中包含两个方程，分别是动量守恒方程和连续性方程。其中，动量守恒方程考虑了流体的惯性、重力、黏性等因素对流体流动的影响，它描述了流体在受到外力作用时所受到的加速度与外力、惯性和黏性产生的阻力之间的关系。连续性方程描述了质量守恒规律，即在任何情况下，通过物体任意截面的流量总是相等的。

<p>质量 流体密度</p>	<p>加速度 描述流体质点的速度如何变化</p>	<p>力 所有作用在流体上的力</p>
$\rho \left(\frac{\partial u_x}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_x}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial z^2} \right) + F_x$		
$\rho \left(\frac{\partial u_y}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_y}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_y}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_y}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial z^2} \right) + F_y$		
$\rho \left(\frac{\partial u_z}{\partial t} + u_x \frac{\partial u_z}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_z}{\partial y} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 u_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right) + F_z$		
<p>流体微团的当地导数</p>	<p>流体微团的迁移导数</p>	<p>压力梯度 流体黏性引起的内应力 作用在流体上外力</p>

2. 粘性流体的特点

粘性流体通俗来讲就是相对比较黏稠的流体，这些流体存在着内部分子间的摩擦，因此在流动时表现出一些独特的特征。当粘性流体在较长的管道中流动，或者流速较快时，其内部的分子相互牵扯会出现剪切变形，这导致粘性流体在流动时产生一些特殊的性质，例如在受到剪切力或扭矩时，会产生阻力减慢其流动速度。常见的粘性流体包括一些液体，例如油、溶液、可可粉等，但也有某些气体像水蒸汽、气体中的烟尘等也会表现出粘性流体的性质。因此，对粘性流体进行研究与理解，对于产业界和科研工作者都具有重要的意义。

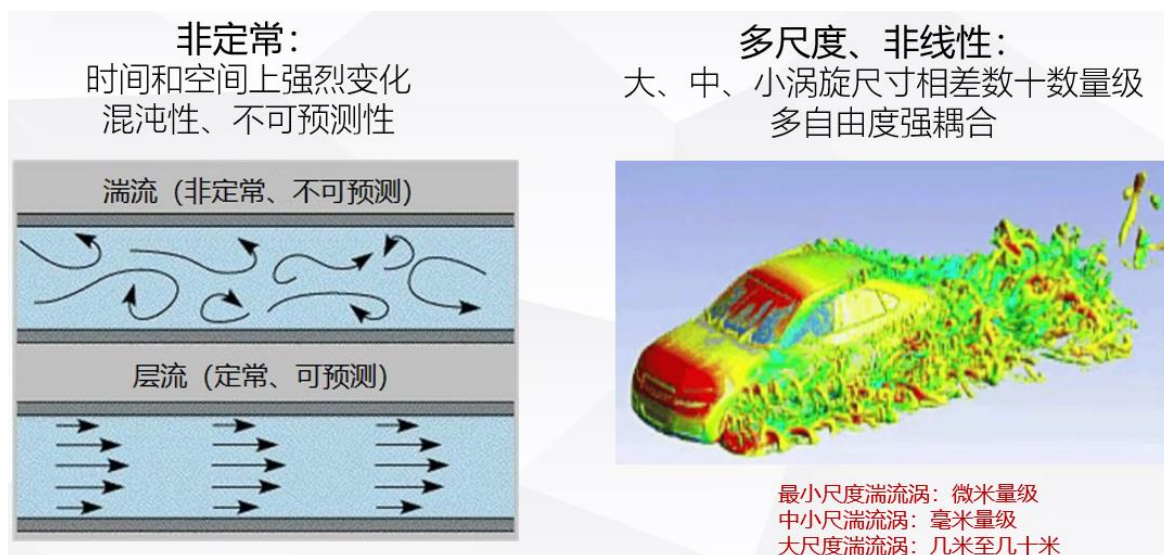
3. 雷诺数的含义

雷诺数是研究物体周围流体运动状态的一个无量纲参数。它的值的大小和流体的运动状态有关系，常用于描述流体在运动场景中发生的状态改变。通俗来说，雷诺数就是一个用数字表示的指标，可以帮助我们判断流体在不同运动条件下是属于

哪种运动状态。雷诺数的计算包括流体的密度、黏度和速度，以及物体的特征尺寸和形状等因素。

4. 什么是多尺度、非线性、非定常

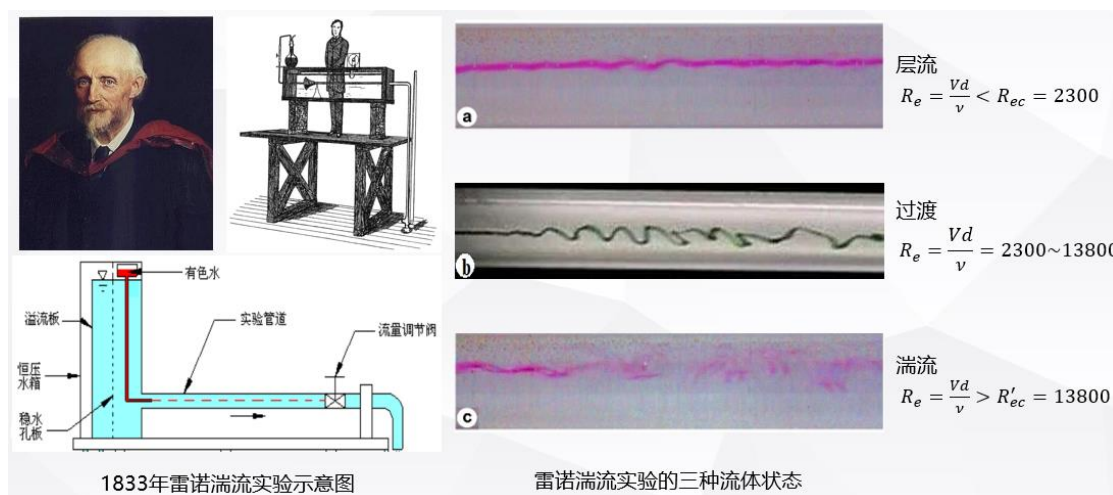
湍流是一种流体的运动状态，通常在高速流动、涡旋或不规则表面等条件下出现。在湍流运动中，涡旋和涡流会随机出现和消失，形成非常复杂的流动模式，这就是所谓的多尺度现象，即具有不同尺度的涡旋在流体中同时存在。由于涡旋的相互作用，湍流是非线性的，表现出相当复杂的运动规律，这意味着我们不能简单地用一组线性方程来描述它的运动。另外，湍流的运动状态是随时间变化的，它在空间和时间上都变化无常，因此是非定常的。这三个特点都让湍流成为非常复杂和难以预测的运动模式，在实际应用中往往需要通过计算机模拟等方法来研究它。



(四) 课堂讲授：湍流的研究方法

1. 实验研究

历史上著名的雷诺实验：雷诺实验是流体力学领域中的一个著名实验，由德国物理学家奥古斯特·雷诺在19世纪末期提出。这个实验是在一个长而细的水管中，通过控制水的流速和流量，观察水流经过管道时产生的阻力和涡流等现象。通过这些实验，雷诺研究发现了流体流动的临界情况，即当流体的流速超过一定速度时，流动状态会从层流变成湍流，这个速度所对应的 Reynolds 数成为临界雷诺数。该实验也使得雷诺数这个概念得以提出和应用，成为研究流体力学的基础参数之一。雷诺实验的一些基本实验条件和结论至今仍然被广泛应用在流体力学领域。



2. 理论研究

湍流的理论研究很复杂，涉及到许多领域的知识和方法。在这里简单概括一下湍流理论研究的几个主要方向：

宏观统计理论：湍流的宏观物理特性可以通过平均值和方差等统计量来描述。这些统计量可以通过实验和数值模拟得到。宏观统计理论可以解释这些统计量的物理意义和它们之间的关系。

小尺度结构理论：湍流中的涡旋和涡流可以看作是小尺度结构，通过研究这些结构的演化和相互作用可以了解湍流的机制和规律。这需要用到计算流体力学、图像处理和统计分析等方法。

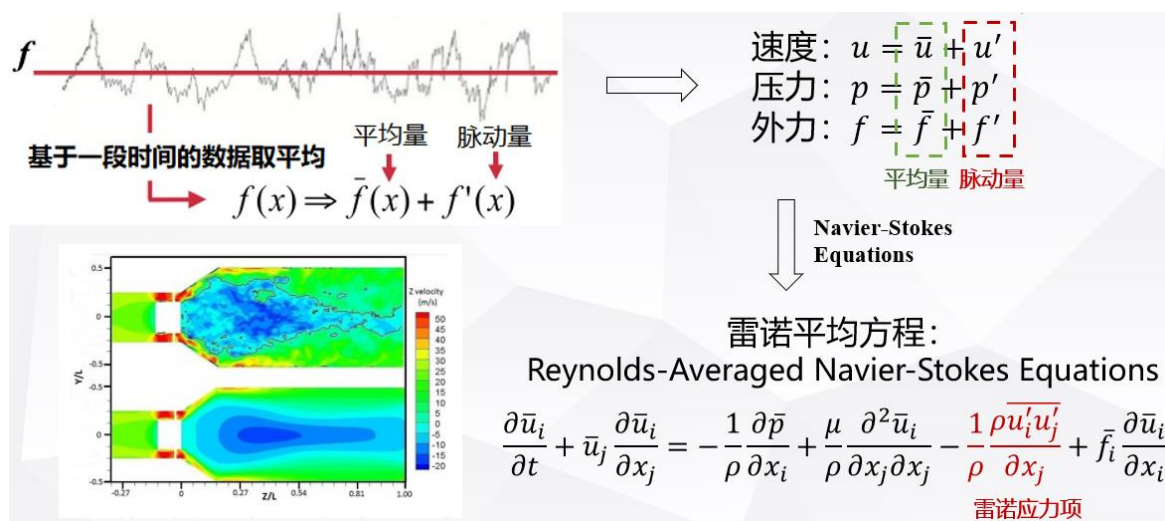
湍流模型：由于湍流运动的复杂性和难以预测性，研究人员提出了一些简化的湍流模型，以便更好地描述和控制湍流运动。这些模型包括壁面函数、湍流模拟和湍流能量谱等。

3. 虚拟仿真模拟

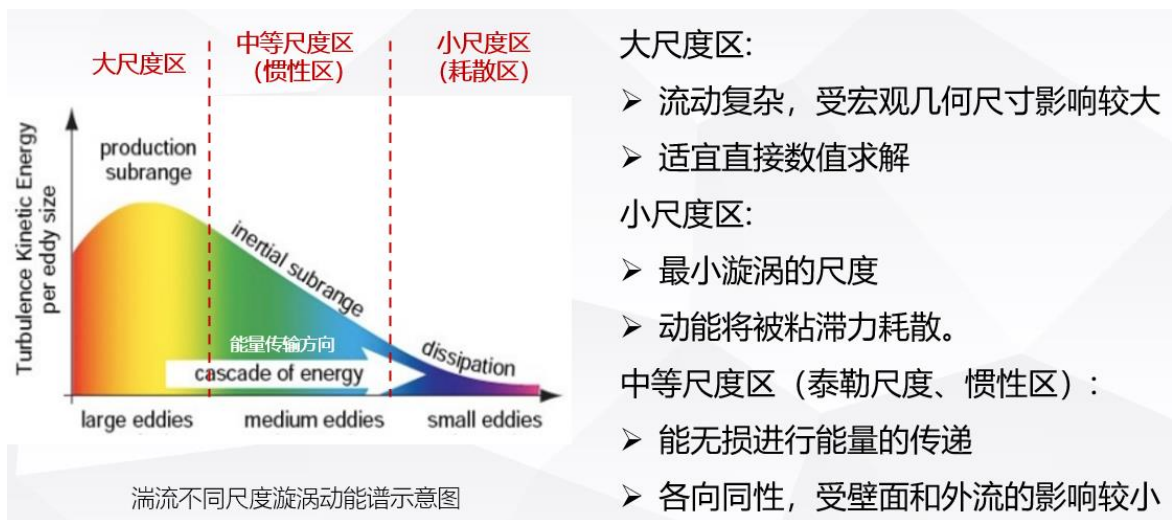
RANS 算法：在湍流的虚拟仿真模拟算法中，RANS 方法是比较经典和常用的一种，即 Reynolds 平均 Navier-Stokes 方程。RANS 方法是一种平均模拟方法，它将时间和空间上的变化平均化成一个时间平均和一个空间平均，从而简化了实际运动方程的描述，使得数值模拟更加可行。

具体来说，RANS 方法通过将流场的瞬时速度分解为平均、涡旋和脉动三个分量，并对平均分量进行时间平均和空间平均处理，得到平均速度、平均压力和平均涡量的方程。这样就可以使用 Navier-Stokes 方程来描述流场内涡旋和脉动产生的运动行为，而让这些方程更具可解性，从而进行计算。

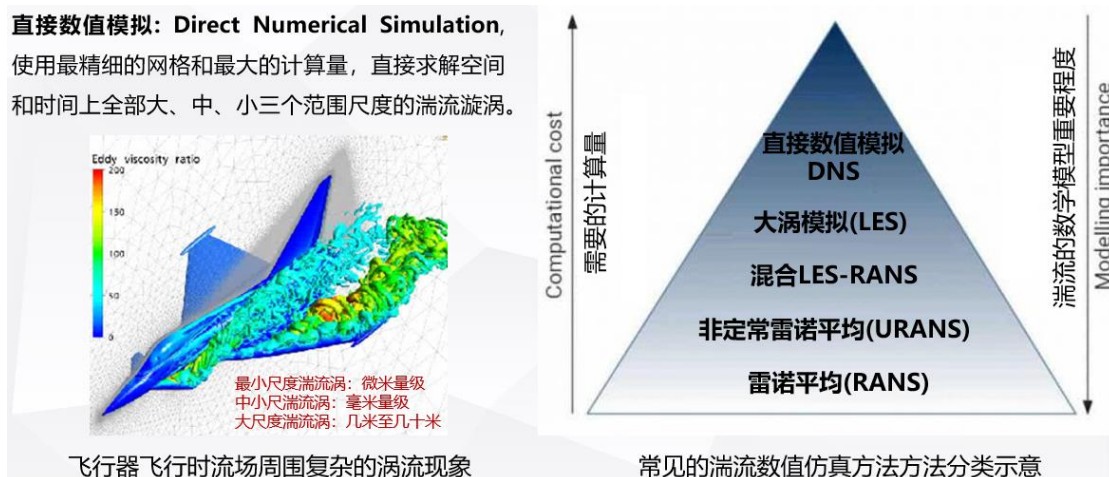
RANS 方法常用于工程应用中，如飞机、汽车和船舶等，它可以通过计算机模拟来预测流场，优化设计和性能分析。虽然 RANS 模型具有一定的误差和局限性，但它在实际工程中的使用广泛，仍然是湍流数值模拟的经典方法之一。



LES 算法：在湍流的虚拟仿真模拟算法中，LES 方法是一种直接模拟方法，它通过将涡旋能量的一部分表示为小尺度涡旋，剩余能量表示为大尺度涡旋，并针对小尺度涡旋使用 Navier-Stokes 方程进行直接模拟，大尺度涡旋则采用滤波等方法进行处理，从而得到一个更为精细的流场模拟结果。相比于 RANS 方法，LES 方法可以更好地捕捉湍流中大尺度涡旋的行为，而忽略小尺度涡旋的作用，使得湍流模拟更加真实和准确。但同时，由于直接模拟小尺度涡旋会消耗大量计算资源，所以 LES 方法的计算成本比较高。LES 方法常用于科学研究、气象和环境流体力学等领域，通过计算机模拟方法来预测气候变化、风力发电、大气污染等问题。



DNS 算法: 在湍流的虚拟仿真模拟算法中, 最为精确的一种是 DNS (Direct Numerical Simulation), 即直接数值模拟。DNS 方法通常基于 Navier-Stokes 方程, 以非常小的间隔对时间和空间进行离散, 直接计算流场的所有细节, 从而得到最为精准的湍流模拟结果。DNS 方法适合研究和探究湍流的本质机理和物理规律, 由于精度高, 因此常常被用于科学研究和理论探索中。不过, DNS 方法的计算成本十分高昂, 在实际工程中应用较少。由于要计算过小的时间和空间间隔, 通常需要高性能计算机、云计算等强大的计算资源才能实现。



总体来说, 在湍流数值模拟中, DNS 方法具备高度的准确性, 但计算成本也很高; 而 LES 方法则具备相对较高的精度和计算效率; 而 RANS 方法则主要用于注重计算结果的可比性和计算效率的工程应用。

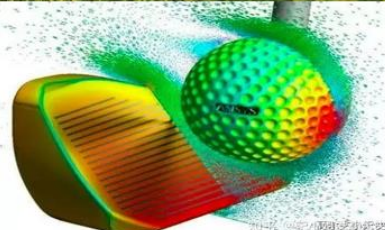
(五) 应用实践: 湍流在日常生活和医疗健康中的应用

应用案例 1: 高尔夫球通常都有表面的凹槽, 这些凹槽被称作“球面突起”(dimples)。这些凹槽的作用是利用湍流现象, 减少空气阻力, 使得球的飞行距离更远。如果球的表面是光滑的, 边界层会形成一个厚厚的、粘性的层。这层空气的运动减慢球的飞行, 产生巨大的阻力。而球面突起可以破坏这个黏附层, 把气流拖入凸起和凹槽中, 从而产生更强的湍流现象。这些湍流可以让空气流到球后面, 产生向前的推力, 从而减少了阻力, 让球飞得更远。此外, 球面突起也可以调整球的飞行轨迹和自旋。如果在球的表面上分布不同形状和大小的凹槽, 它们会产生不同的气流和湍流, 进而影响球的旋转方向和速度, 实现调

整飞行轨迹和实现球的“弧线”飞行。



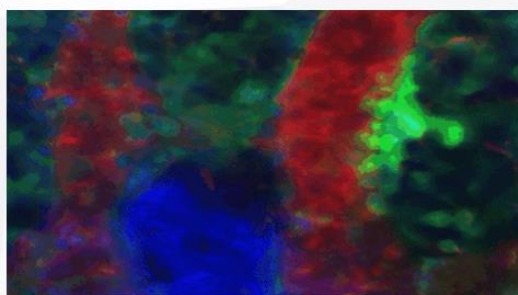
运动中高尔夫球的周围流场



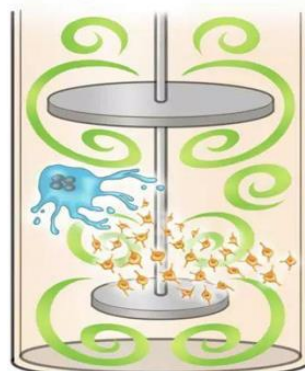
高尔夫球利用湍流减少阻力、飞得更远

应用案例 2: 血小板是一种非常珍贵的医学资源，通常是需要献血去提供，一直以来，科学家发现在体外的反应器中生产医用血小板的生产率水平非常低。每个巨核细胞在体外只能生产十几个血小板，但是在我们的生物体内，一个巨核细胞产生血小板的量在 500-1000 个左右，这个中间差了几百倍。然后科学家就开始研究小鼠骨髓中血液流动的真实影像，有了重要的发现，原来产生血小板的巨核细胞处于湍流之中，而那些不产生血小板的巨核细胞周围则是层流。受到这个启发，他们就发明了右能够垂直往复运动的液体培养器，它在培养血小板细胞的时候呢，能上下旋转运动，模拟出血液中的湍流，从而能让巨核细胞生产出的血小板尽快的被湍流给打下来，提高生产率，他们用这个原理在 8 升的生物反应器中生产了 1000 亿个血小板，大大提升了生产率，这个成果也是近两年发表在了顶级医学期刊《细

胞》上，这是一个很好的医学上和物理学的湍流相结合的例子。



湍流使得血小板从巨核细胞上更快脱落



VerMES生物反应器中增加湍流使血小板生产率大幅提高

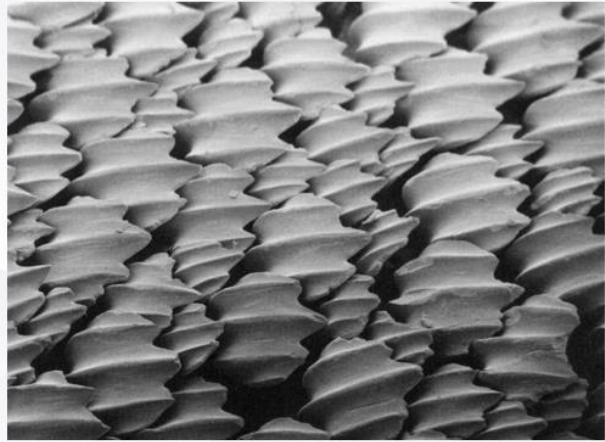
应用案例 3：科学家通过模仿鲨鱼皮肤上的小鳞片的微观结构，研发出了能够在水中巧妙制造和抑制湍流的鲨鱼皮游泳衣，从而大大提升运动员的游泳成绩。鲨鱼的皮肤覆盖着许多覆盖着小鳞片的细小凹槽，这些凹槽有助于减少摩擦和紊流，从而减少了鲨鱼在水中游动时所需要的能量。鲨鱼皮游泳衣利用仿生学的原理，将这些鲨鱼皮肤上的小鳞片特殊结构复制到了游泳衣上。这些小鳞片结构可以改善流体动力学的性能，减少泳衣与游泳者之间的摩擦，从而减少了游泳时所需要的能量。此外，这种小鳞片结构还有助于减少湍流产生和湍流分离，并改善流体动力学特性，从而提高游泳者的速度。这种鲨鱼皮游泳衣的发明在 2008 年的北京奥运会上引起了轰动。许多游泳运动员在这种游泳衣的帮助下创造了多项世界纪录。然而，因为这种游泳衣对水的影响太大，被认为对游泳竞技不公平，国际游泳联合会停用了这种游泳衣。



身穿鲨鱼皮泳衣的伊恩索普连夺三冠



鲨鱼皮泳衣在体育赛事中的应用实例



放大后的鲨鱼皮表面

(六) 本节课程内容总结



(七) 课后思考题布置

思考题 1: 湍流在航空飞行中是一个非常重要的概念，因为它可以显著影响飞机的性能和稳定性。请思考回答以下问题：

- (1) 湍流在飞行中会产生哪些影响？
- (2) 湍流的抑制方法有哪些？如何有效减少湍流对飞机的影响？
- (3) 有哪些实际的应用案例，说明了湍流控制在航空领域中的重要性？

思考题 2: 鲨鱼皮游泳衣是一种利用仿生学原理设计的科技游泳装备，可以减少水阻和调节水流，减少运动员游泳时所需的能量，从而提高游泳速度。请思考回答以下问题：

- (1) 什么是鲨鱼皮游泳衣？
- (2) 它是如何模仿鲨鱼的皮肤结构来减少水阻和调节水流的？
- (3) 鲨鱼皮游泳衣为何会在游泳比赛中成为争议焦点？有哪些声音认为它对比赛公平性有影响，有哪些声音认为它技术创新为比赛带来了积极的影响？
- (4) 鲨鱼皮游泳衣的开发给我们带来了哪些启示？如何在新技术、新产品的开发过程中避免对比赛公平性和运动员体育道德的负面影响？

(八) 教学时间安排

序号	教学环节	教学内容	时长 (分钟)	
1	课程回顾	流体的基本特性和运动规律	1	5
2		流体静力学和动力学方程	1	
3		粘性流体和不可压缩流体的特性	1	
4		课程思政案例: 中国传统“公道杯”中蕴含的流体力学知识	2	
5	引入环节	话题引入: 有关湍流的趣闻 (沃纳海森堡的“遗言”)	1	5
6		案例 1: 坐飞机时遇到的湍流现象	1	
7		案例 2: 木星大气层表面的湍流现象	1	
8		课程思政案例: 中国传统诗词名篇中所描绘的湍流现象	1	
9		提问与思考: 你还发现了哪些常见的湍流现象	1	
10	课堂讲授: 湍流的科学定义	湍流的定义	3	10
11		Navier-Stokes 方程 (不可压粘性流体)	2	
12		粘性流体的特点	1	
13		雷诺数的含义	2	
14		什么是多尺度、非线性、非定常	2	
15	课堂讲授: 湍流的研究方法	实验研究: 著名的雷诺实验	3	10
16		理论研究: 湍流的数学模型	4	
17		虚拟仿真: 湍流的数值分析算法	3	
18	应用实践	案例 1: 高尔夫球的飞行原理	3	10
19		案例 2: 血小板的体外生产率与湍流	3	
20		案例 3: 鲨鱼皮游泳衣中的湍流应用	4	
21	课程小结	总结本节课程的内容	3	5
22		提出不同的教学要求	2	
23	课后思考题	讲解并布置本节课程后的思考题作业	5	5
合计				50