

复旦大学课程教学大纲

课程代码	MECH130105	编写时间	2013 年 12 月（更新）
课程名称	连续介质力学基础		
英文名称	Fundamentals of Continuum Mechanics		
学分数	3	周学时	3
*任课教师 /课程负责人	谢锡麟	开课院系	力学与工程科学系
**预修课程	微积分、线性代数、张量分析基础		
<p>课程性质： 请根据教学培养方案上的课程性质在以下 4 个栏目中选择。</p> <p style="text-align: center;"> 综合教育课程 <input type="checkbox"/> 文理基础课程 <input type="checkbox"/> 专业必修课程 <input type="checkbox"/> <u>专业选修课程</u> <input type="checkbox"/> </p>			
<p>教学目标：</p> <p>机械与运载工具运动、结构与材料宏观行为、大气与河流运动、鱼儿游动与鸟儿飞行、生命体中器官与组织运动等等，这些事务的一个共同特点为：所研究的对象（亦即介质）在空间中呈连续分布形态，称为<u>连续介质</u>；并且可以变形。<u>连续介质力学</u>，以统一的思想和方法研究连续介质（包括水、气体、软物质等）一般运动学和动力学等一般理论，故相关知识体系在力学、物理学、航空宇航、材料科学、计算机科学等学科具有广泛应用背景。</p> <p>随着现代科学技术的发展，人们已越发关注纳米膜、细胞膜等连续介质，其法向特征尺度远远小于展向特征尺度；又如，考虑星体表面的大气运动，海面上油污扩散以及洪水蔓延过平原、洼地以及山丘，皂膜流动等，其法向尺度（流层厚度）远远小于流动的展现（流向）尺度。由此，我们将此类介质视作“几何形态为曲面的连续介质”。数学上而言，Euclid 空间中的曲面（对应 Riemann 流形）同体积（对应 Euclid 流形）在场论上具有本质不同。故我们提出，按连续介质的几何形态区分“<u>体积形态连续介质</u>”以及“<u>曲面形态连续介质</u>”。就二类几何形态各异的连续介质，我们近期已提出“<u>当前物理构型对应之曲线坐标系显含时间的有限变形理论</u>”以及“<u>几何形态为曲面的连续介质的有限变形理论</u>”。</p> <p>经多年学习、研究与教学的积累，现已完成著述<u>《现代张量分析及其在连续介质力学中的应用》</u>（谢锡麟著 2014 年正式出版，复旦大学出版社），主要内容分成六部分：（一）张量定义及其代数性质。主要按张量的多重线性函数定义获得张量的表示形式及基本代数运算，基于置换运算研究外积运算并基于外积运算研究仿射量基本代数性质。（二）有限维 Euclid 空间中体积上张量场论。主要叙述一般曲线坐标系下张量场论及其应用，</p>			

涉及湍流时均方程，旋转参照系下流体控制方程等。(三) 有限维 Euclid 空间中曲面上张量场论。分别按有限维 Euclid 空间上微分学以及微分流形的观点叙述有限维 Euclid 中曲面的基本几何性质以及曲面上张量场论。(四) 体积形态连续介质力学。叙述当前物理构型对应之曲线坐标系显含时间的有限变形理论（一般现有理论当前物理构型对应之曲线坐标系不显含时间），涉及可变形边界上涡量运动学及动力学，有限变形弹性体 Euler 及 Lagrange 型控制方程等。(五) 曲面形态连续介质力学（独立提出）。主要叙述几何形态为曲面的连续介质的有限变形理论，涉及固定曲面上二维流动涡量动力学，固体膜有限变形及海面油污扩散的控制方程等。(六) 张量映照微分学。主要概述一般赋范线性空间上微分学以及张量映照微分学的相关内容。

课程《张量分析与微分几何基础》，主要讲述第一、二、三、六部分的基本内容，为研究体积以及曲面形态的连续介质铺垫基础。课程《连续介质力学基础》，主要讲述第四、五部分的内容，将系统提供体积以及曲面形态的连续介质的有限变形理论及其应用。

教材和教学参考资料（不少于 5 种）

作者	教材或参考资料名称	出版社	出版年月
谢锡麟	现代张量分析及其在连续介质力学中的应用	复旦大学	2014 年
谢多夫（俄）	连续介质力学《俄罗斯数学教材选择》之一	高等教育出版社	2007 年
郭仲衡	非线性弹性理论	科学出版社	1980 年
郭仲衡	张量（理论和应用）	科学出版社	1988 年
黄筑平	连续介质力学基础	高等教育出版社	2004 年
黄克智	非线性连续介质力学	清华大学出版社 北京大学出版社	1989 年

教学进度安排：

《连续介质力学基础》(每周 3 学时，共 54 学时)

1. **体积形态连续介质有限变形理论之运动学(含几何学)理论。**①曲线坐标系及其作用，按微分同胚理解；②曲线坐标系所诱导的局部基及其运动方程，按向量值映照微分学；③初始物理构型、初始参数构型、当前物理构型、当前参数构型，按微分同胚理解；④张量场物质导数，具体形式基于链式求导法则；⑤变形梯度，基于位置向量的可微性定义，变形梯度实际为“导数”的具体表现；⑥变形梯度基本性质；⑦变形刻画；⑧物质体、面、线对应之第一类、第二类输运方程，包括积分及微分形式质量守恒方程/连续性方程

——第 01、02 周

2. **体积形态连续介质有限变形理论之动力学理论。**①Lagrange 及 Euler 形式的质量守恒微分方程；②Lagrange 及 Euler 形式的动量守恒方程，引入 Piola-Kirchhoff 第一、二型应力张量；③Lagrange 及 Euler 形式的动量矩守恒微分方程，动量矩守恒同应力对称性之间的关系；④Lagrange 及 Euler 形式的能量守恒微分方程。守恒律微分方程的获得，一般基于物质体输运方程以及面积分与体积分之间的转化关系；Lagrange 形式微分方程的获得，一般需要将当前物理构型中的面积分、体积分转换至初始物理构型中的相应的积分；⑤可变形边界上涡量运动学及动力学相关结论

——第 03、04 周

3. **本构关系的基本研究方法以及典型介质的本构关系。**①基于外积运算研究若干张量映照的表示形式；②典型介质的本构关系

——第 05、06 周

4. **有限变形弹性静力学、动力学若干经典问题的半解析求解。**①一般静力学、动力学问题的 Euler 提法以及 Lagrange 提法；②张量场多点表示形式下的非完整基理论；③基于非完整基理论进行经典问题的求解并研究对应的力学意义。此方面学习，提供学生进行数值实验以及真实实验的软硬件条件。

——第 07、08 周

5. **变分原理。**①郭仲衡著《非线性弹性力学》相关理论，涉及虚功、虚位移和虚应力原理，总势能驻值原理、总余能驻值原理、广义变分原理；②钱伟长等著相关理论；③变分原理的应用事例

——第 09、10 周

6. **曲面形态连续介质有限变形理论之运动学(含几何学)理论。**叙述我们现已发展的理论思想及方法；研究现代几何学相关思想与方法的引入。①初始物理构型、初始参数构型、当前物理构型、当前参数构型；②张量场物质导数，具体形式基于链式求导法则；③变形梯度，基于位置向量的可微性定义，变形梯度实际为“导数”的具体表现；④变形梯度基本性质；⑤变形刻画；⑥物质面、线对应之第一类、第二类输运方程，包括积分及微分形式质量守恒方程/连续性方程

——第 11、12 周

7. **曲面形态连续介质有限变形理论之动力学理论。**①内蕴形式广义 Stokes 公式；②基于内蕴形式第二类广义 Stokes 公式获得质量、动量、动量矩、能量守恒微分方程，此过程结合物质面输运定理。此方面学习，提供学生开展典型问题研究的数值实验及真实实验的软硬件条件；可涉及固定曲面上的薄层流动（对应镀膜过程等）；薄膜的有限变形运算（如薄膜振动，旗帜与周边流场的耦合作用等）；皂膜流动；水面上污染物的扩散过程等。

——第 13、14 周

8. **连续介质力学一般理论的应用。**①经典弹性力学、流体力学相关知识，以辅助和补充相关专业课程的学习；②涉及考虑电场、磁场等其它作用的连续介质力学，以期接近相关前沿科技。

——第 15、16、17 周

附：

《张量分析与微分几何基础》（每周 3 学时，共 54 学时）：（1）张量的基本代数性质（第一部分）。将张量定义为有限维 Euclid 空间中的多重线性映照，涉及协变、逆变基（对偶基），简单张量及张量表示，张量并积，张量多点点积。（2）有限维 Euclid 空间中一般曲线坐标系下张量场分析。基于有限维 Euclid 空间以及张量赋范线性空间上微分学（引述一般赋范线性空间上微分学的相关理论），基于微分同胚定义曲线坐标系，曲线坐标诱导之局部基及其运动方程（引入 Christoffel 符号）；基于张量场可微性引入张量梯度及协变（逆变）导数；张量场场论分析，包括场论恒等式推导的一般方法；非完整基思想及方法；广义 Gauss - Ostrogradskii 公式；应用方面涉及弹性力学、流体力学中基本关系式。（3）张量的基本代数性质（第二部分）。引入置换算子，对称及反称化算子，外积运算，Hodge 星算子；仿射量特征问题的相关表述，涉及行列式定义，主不变量表示，Cayley-Hamilton 定理。（4）张量映照微分学。基于张量赋范线性空间上微分学叙述可微性（一阶导数），高阶导数等结论；特征问题相关结论。（5）有限维 Euclid 空间中曲线论及曲面论基本内容。基于有限维 Euclid 空间上微分学叙述曲线几何特征（曲率及挠率），曲线上局部标架及其运动方程；曲面几何特征（第一、第二基本形式，Gauss 曲率及平均曲率，截线曲率及主方向），曲面上局部标架及其运动方程；内蕴形式广义 Stokes 公式；曲面上 Ricci 等式（Gauss 方程）以及 Codazzi 方程。（6）流形上微分学基本概念、思想及方法。以有限维 Euclid 空间中光滑曲面（Riemann 流形）作为对象，按微分同胚以及列满秩映照叙述坐标卡以及地图册（概念及作用）；流形上 Riemann 度量、Levi - Civita 联络、协变微分的坐标定义及其曲面上的具体实现；曲面切空间及余切空间；曲面上张量场；同态映照及推前与拉回运算；曲面上张量场的 Lie 导数与物质导数，Hodge 星算子，里积运算，外微分运算，流形上主要微分运算之间的关系；力学、物理等方面的几何化相关内容。

考核方式（请明确考核是否包括平时成绩、作业、课堂互动、小测验、期中考试等，及它们在课程总成绩中的百分比。此外必须向学生明确课程期末的考核形式（课程论文、课题报告、口试、开卷笔试、闭卷笔试等）

闭卷考试（占 80%），平时成绩（包括课程讨论、平时作业等，占 20%）

****课程网络资源:**

现已建设成二个课程体系网站:

“微积分的一流化进程”课程体系 <http://jpkc.fudan.edu.cn/s/354/>

“现代连续介质力学理论及实践”课程体系 <http://jpkc.fudan.edu.cn/s/353/>

网站上及时发布相关教学研究与实践的学术交流信息，学术论文；课程讲稿，参考试卷；课程录像；学生科研；课程评价等。

****教师教学、科研情况简介:**

谢锡麟,男,1974 年出生。持续性有志趣于将现代数学的相关思想及方法借鉴于连续介质力学的基本理论及实践;注重基于高端数理知识体系发展可适合一类问题的新思想及新方法,注重理论联系实际;将自身学习、研究与教学互为融合、互为促进。目前已基本建设有“微积分一流化进程”以及“现代连续介质力学理论及实践(合作形式)”二条课程路径(已有课程网站),就知识体系的构建及传授具有系统的自身认识(含科研成果);相关课程的广度及深度能类比国内外具有一流水准的教程或专著;教学效果理想,学生中有一定影响。上述教学路径的建设分别受市教委重点课程建设(2011 年)、市教委重点教改项目(2011 年)、复旦大学本科教学研究及教改激励项目(2013)等资助;2012 年至今在《中国科学》(英文版)、《力学季刊》及《复旦学报》上发表侧重思想及方法研究的学术论文 5 篇。现任复旦大学教学指导委员会委员,上海市力学学会理事并为学会下属教育委员会、流体力学专业委员会副主任。《力学季刊》、《水动力学研究与进展》编委。

*如该门课为多位教师共同开设,请在对课程负责人加以注明。

**为可选项目,请老师根据实际情况填写。