



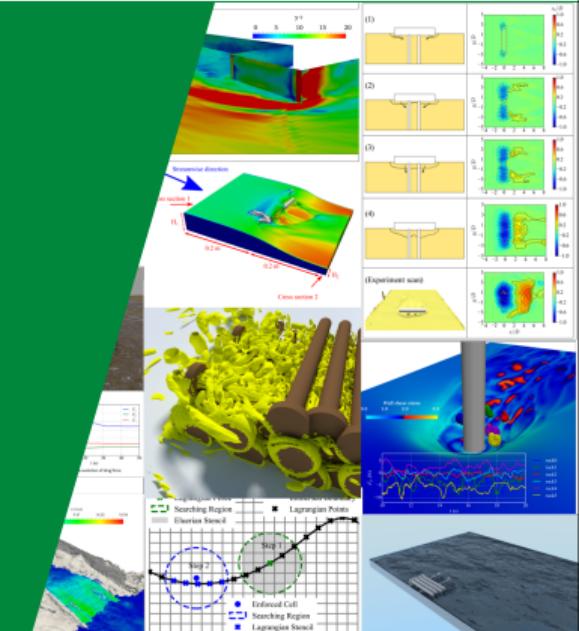
中国农业大学 流体机械与流体工程系

2024年春季《计算流体动力学编程实践》

第一章 课程导论

徐云成

[✉ ycxu@cau.edu.cn](mailto:ycxu@cau.edu.cn)



2024 年 3 月 14 日

姓名：徐云成

- ▶ 2008.9-2012.7 中国农业大学，工程力学，本科
- ▶ 2012.9-2014.7 中国农业大学，农业工程，硕士
- ▶ 2014.9-2019.5 美国宾夕法尼亚州立大学，水动力学，博士
- ▶ 2019.7-至今 中国农业大学，流体机械与流体工程系，讲师、副教授

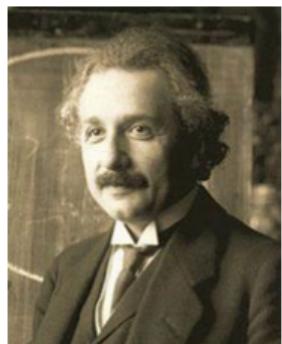
研究方向：生态/环境计算流体动力学、生态水利



Academic family tree

3/39

父↔子



Albert
Einstein

师↔生



Hans Albert
Einstein

师↔生



钱宁先生

师↔生



倪晋仁院士

师↔生



Prof.
Xiaofeng Liu

师↔生



徐云成

Academic family tree

4 / 39

师↔生

父↔子

师↔生

师↔生

师↔生



徐特立



黄炎培



黄万里



倪晋仁院士



Prof.
Xiaofeng Liu



徐云成

什么是计算流体动力学 (CFD)?

5 / 39

- ▶ CFD is short for Computational Fluid Dynamics.
我更倾向译为“计算流体力学”。
- ▶ “CFD是指利用计算机模拟的方法对流体流动、热交换以及其他相关现象（例如化学反应）的系统性分析” — 某著名CFD英文教科书
- ▶ Fluid Mechanics（流体力学） vs Fluid Dynamics（流体动力学） vs CFD
我的理解：
 - Fluid Mechanics: 研究流动问题，包括流体静力学、流体运动学、流体动力学
 - Fluid Dynamics: 研究流体的受力问题
 - CFD: 运用数值方法研究涉及流动的问题



什么是计算流体动力学 (CFD)?

5 / 39

- ▶ CFD is short for Computational Fluid Dynamics.
我更倾向译为“计算流体力学”。
- ▶ “CFD是指利用计算机模拟的方法对流体流动、热交换以及其他相关现象（例如化学反应）的系统性分析” — 某著名CFD英文教科书
- ▶ Fluid Mechanics（流体力学） vs Fluid Dynamics（流体动力学） vs CFD
我的理解：
 - Fluid Mechanics: 研究流动问题，包括流体静力学、流体运动学、流体动力学
 - Fluid Dynamics: 研究流体的受力问题
 - CFD: 运用数值方法研究涉及流动的问题



什么是计算流体动力学 (CFD)?

5 / 39

- ▶ CFD is short for Computational Fluid Dynamics.
我更倾向译为“计算流体力学”。
- ▶ “CFD是指利用计算机模拟的方法对流体流动、热交换以及其他相关现象（例如化学反应）的系统性分析” — 某著名CFD英文教科书
- ▶ Fluid Mechanics（流体力学） vs Fluid Dynamics（流体动力学） vs CFD
我的理解：
 - Fluid Mechanics: 研究流动问题，包括流体静力学、流体运动学、流体动力学
 - Fluid Dynamics: 研究流体的受力问题
 - CFD: 运用数值方法研究涉及流动的问题



- ▶ CFD is short for Computational Fluid Dynamics.
我更倾向译为“计算流体力学”。
- ▶ “CFD是指利用计算机模拟的方法对流体流动、热交换以及其他相关现象（例如化学反应）的系统性分析” — 某著名CFD英文教科书
- ▶ Fluid Mechanics（流体力学） vs Fluid Dynamics（流体动力学） vs CFD
我的理解：
 - Fluid Mechanics: 研究流动问题，包括流体静力学、流体运动学、流体动力学
 - Fluid Dynamics: 研究流体的受力问题
 - CFD: 运用数值方法研究涉及流动的问题



历史书上的经典

- ▶ 赫拉克利特（公元前535-470）：万物皆可流 “Everything Flows”
- ▶ 阿基米德（公元前287-212）：阿基米德定律-流体静力学（西方科学史观）



Heraclitus

536 - 470BC



Archimedes

287 - 212BC



历史书上的经典（中国历史）

- ▶ 我国古代关于流动的认知主要来源于治水、灌溉、航运等水利工程建设，最早的相关记录可能是《尚书·禹贡》记载的4000多年前上古时期的大禹治水。
- ▶ 据《史记》记载，战国末期至秦代（公元前256年-公元前210年），我国修建了都江堰、郑国渠、灵渠三大著名水利工程，目前均入选了世界灌溉工程遗产名录，其中都江堰至今仍然为都江堰灌区发挥着泄洪、灌溉等不可忽视的重大作用，被誉为“世界水利文化的鼻祖”，目前已入选了世界文化遗产名录。



图：都江堰

历史书上的经典（中国历史）

- ▶ 这表明我国在2000年前已经具备了令人震撼的水利工程建设技术，在之后的1000多年，历代中国都进行了包括农田水利、防洪治河、运河等在内的大规模水利工程建设，形成了一套具有中国特色的水利技术体系。
- ▶ 然而，出于历史局限性，在“经世致用”思想的影响下，我国古代水利技术更多是实用主义支配下的一种基于经验积累的定性总结，由于缺乏严密完整的自然科学理论体系支撑，又没有进行实验观测的条件和传统，很难对基础规律进行定量分析研究，因此也不能将规律性表述进行公式化和定理化，无法形成具有普遍意义的理论。



图：都江堰

历史书上的经典

- ▶ 达芬奇：文艺复兴时期，观察、描述水的自由表面、波浪、涡旋等现象
- ▶ 牛顿：17世纪，通过数学方程预测流动，牛顿第二定律，牛顿流体概念等



图: 达芬奇手稿



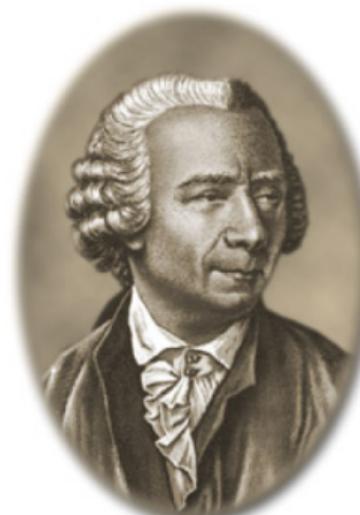
图: 牛顿 (1643-1727)

历史书上的经典

- ▶ 丹尼尔·伯努利 (1700-1782): 伯努利方程
- ▶ 欧拉 (1707-1782): 欧拉方程 (无粘流体)



Bernoulli



Euler

历史书上的经典

- ▶ 克劳德·纳维（1785-1836，法国人）和加布里埃尔·斯托克斯（1819-1903，爱尔兰人）：在欧拉方程中加入粘性项 \Rightarrow 纳维-斯托克斯方程（N-S方程），这些200年前提出的方程是现代CFD的基础



Claude Navier

$$\begin{aligned}\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) &= S_m \\ \frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) &= \\ - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i + F_i\end{aligned}$$

A simplified form of the
Navier-Stokes equations

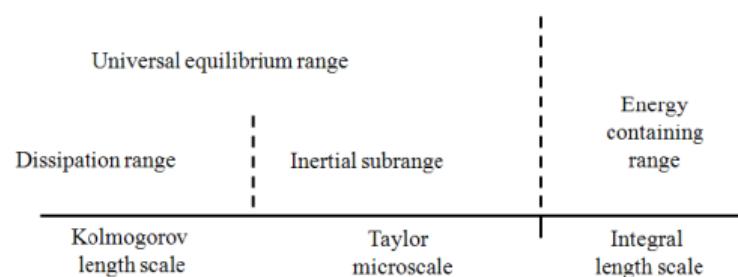


George Stokes

历史书上的经典

20世纪早期

- ▶ 普朗特 (1875-1953): 边界层理论、混合长度概念、普朗特数等
- ▶ 冯卡门 (1881-1963): 卡门涡街
- ▶ 杰弗里·泰勒 (1886-1975) :湍流统计理论、泰勒微尺度、瑞利-泰勒不稳定性
- ▶ 柯尔莫果洛夫 (Andrey Nikolaevich Kolmogorov, 1903-1987) :Kolmogorov尺度, 湍流能谱定律
- ▶ George Keith Batchelor (1920-2000): 创办了Journal of Fluid Mechanics



文献记录

- ▶ 第一次真正意义上的CFD是关于圆柱绕流问题（1933）
A. Thom, The Flow Past Circular Cylinders at Low Speeds, Proc. Royal Society, A141, pp. 651-666, London, 1933
- ▶ 日本Kawaguti(1953)使用机械计算机连续18个月每周工作20小时
M. Kawaguti, Numerical Solution of the NS Equations for the Flow Around a Circular Cylinder at Reynolds Number 40, Journal of Phy. Soc. Japan, vol. 8, pp. 747-757, 1953.



► 20世纪60年代，NASA的贡献

- Particle-In-Cell (PIC) method
- Marker-And-Cell (MAC) method (Harlow and Welch, 1965)
- Vorticity-Stream function method
- Arbitrary Lagrangian-Eulerian (ALE) method
- Original $k - \epsilon$ turbulence model
- ...

► 20世纪70年代，帝国理工大学Spalding团队：

- SIMPLE算法
- 经典 $k - \epsilon$ turbulence model (Splading and Launder, 1972)
- ...

► 20世纪80年代，CFD商业软件开始



- ▶ 前处理 Pre-processing
- ▶ 求解器 Solver
- ▶ 后处理 Post-processing



- ▶ 前处理 Pre-processing
 - 生成网格
 - 选择合适的数学模型: 何种流体, 可压缩/不可压缩, 稳态/瞬态, 能量方程, 湍流, 浮力效应, 化学反应等等
 - 初始条件和边界条件
- ▶ 求解器 Solver
- ▶ 后处理 Post-processing



- ▶ 前处理 Pre-processing
 - 生成网格
 - 选择合适的数学模型: 何种流体, 可压缩/不可压缩, 稳态/瞬态, 能量方程, 湍流, 浮力效应, 化学反应等等
 - 初始条件和边界条件
- ▶ 求解器 Solver
 - 设置参数: 离散方法、松弛因子、线性方程求解器
 - 运行求解
- ▶ 后处理 Post-processing

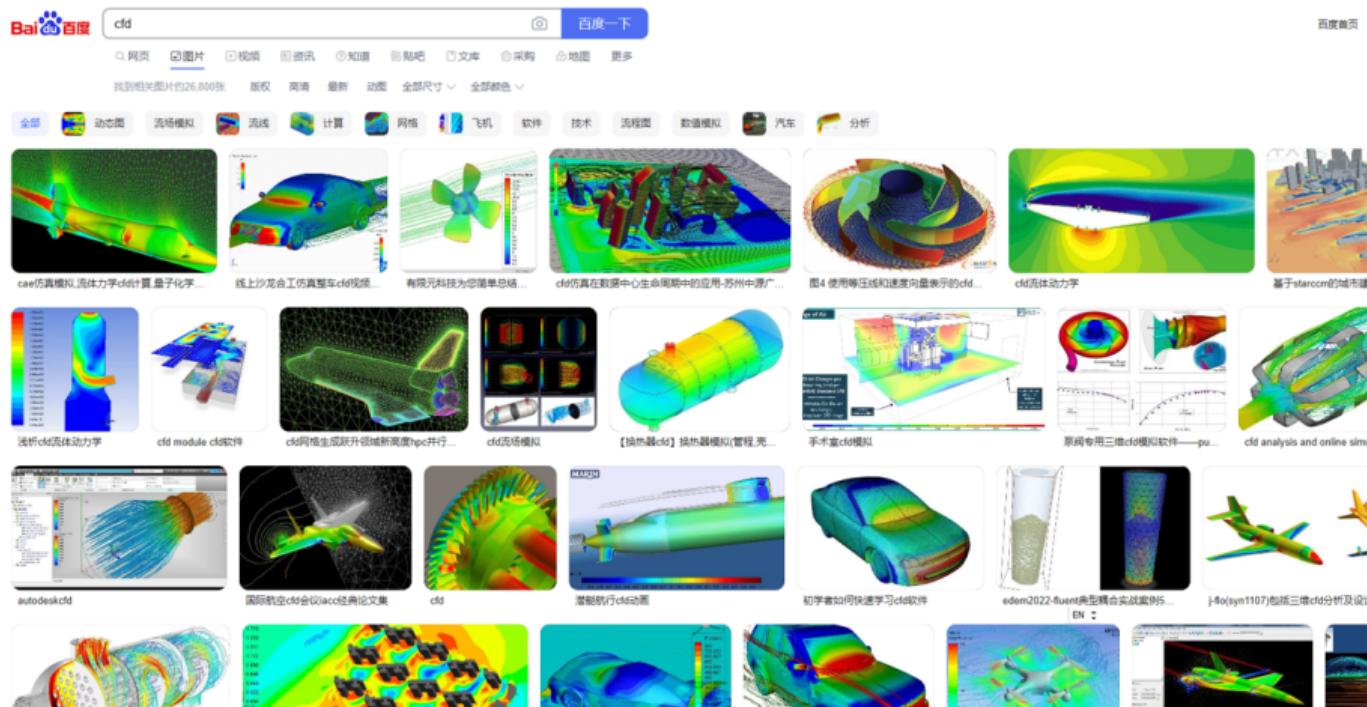


- ▶ 前处理 Pre-processing
 - 生成网格
 - 选择合适的数学模型: 何种流体, 可压缩/不可压缩, 稳态/瞬态, 能量方程, 湍流, 浮力效应, 化学反应等等
 - 初始条件和边界条件
- ▶ 求解器 Solver
 - 设置参数: 离散方法、松弛因子、线性方程求解器
 - 运行求解
- ▶ 后处理 Post-processing
 - 得到宏观参数, 例如升力、阻力、压降等
 - 流场展示: vectors, contours, iso-surfaces, streamlines



CFD应用？

6/39



图：百度搜索CFD页面

CFD应用?

6/39

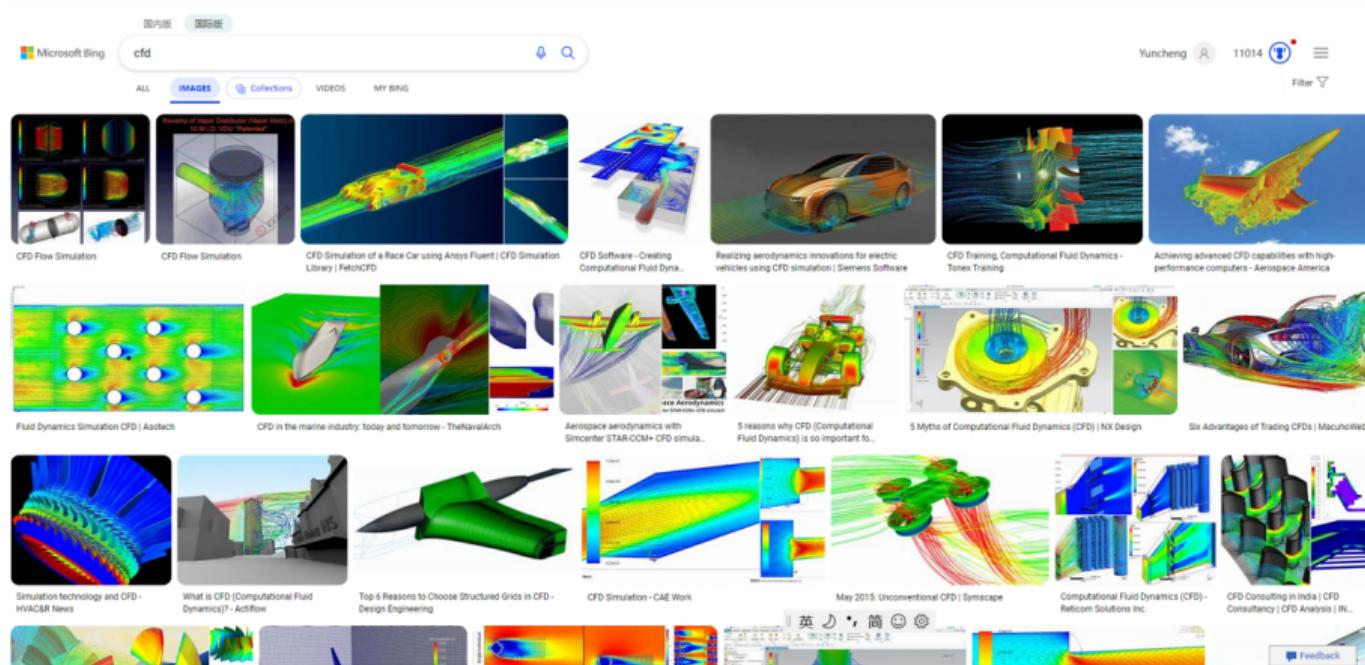


图: bing搜索CFD页面

CFD应用?

6/39

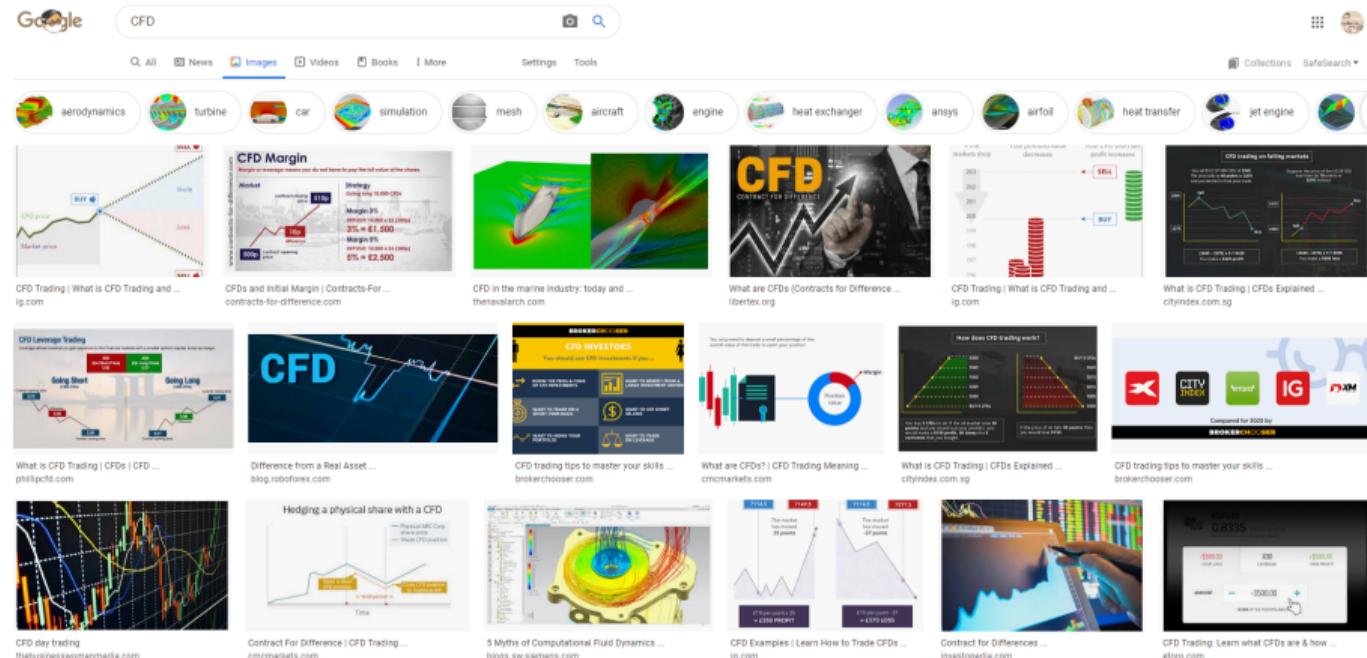


图: google搜索CFD页面 2021.2

CFD应用?

6/39

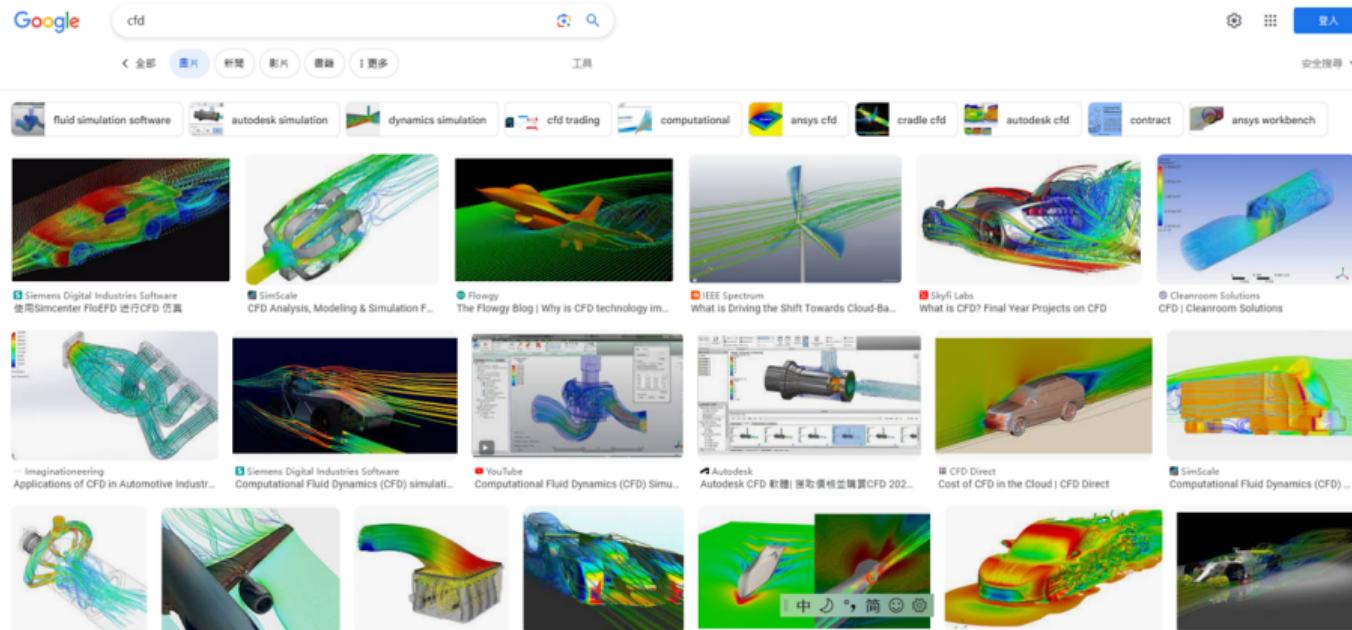


图: google搜索CFD页面 2024.2

CFD应用? ColorFul Drawing

6/39

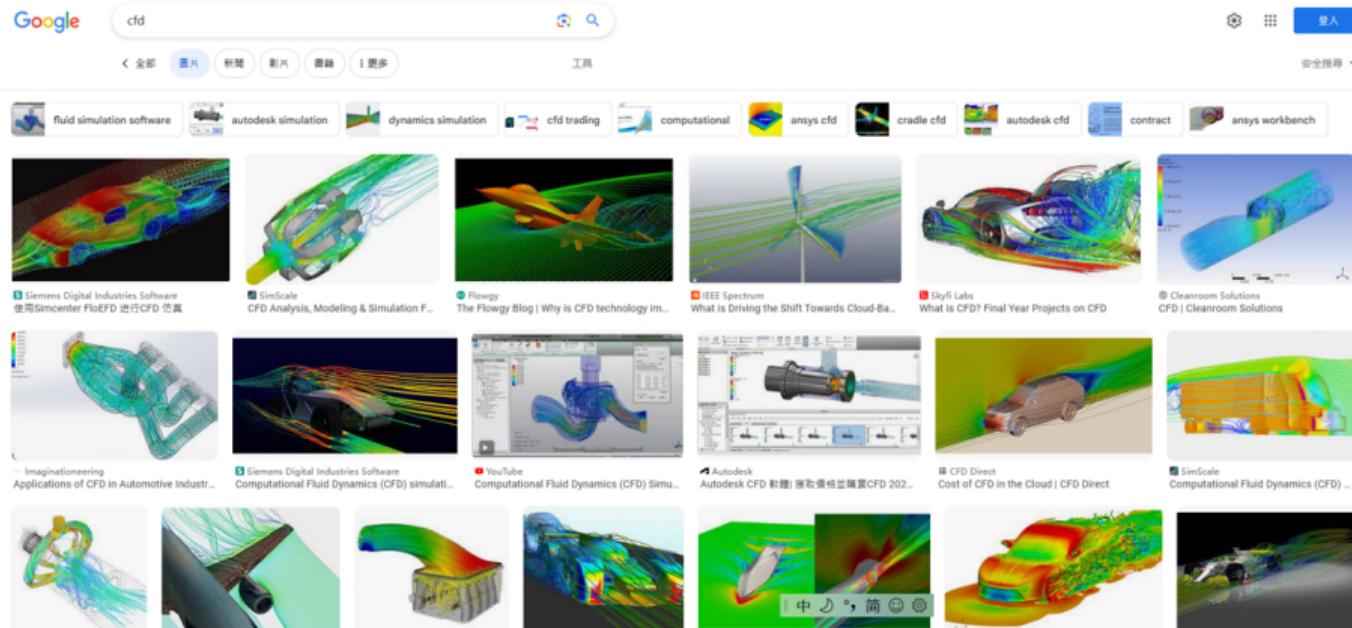


图: google搜索CFD页面 2024.2

CFD就业怎么样？

7/39

CFD工程师 [成都-郫都区·高新区] 发布于昨天
10-15K·13薪 经验不限 | 硕士 [立即沟通](#)

仿真应用工程师 医疗器械 OpenFOAM CFD

CFD工程师 [广州-黄埔区·科学城] 发布于03月08日
13-20K 3-5年 | 本科 [胡飞](#) | 研究员

CFD 热管理 风扇 流体 散热

仿真平台CFD数值算... [北京] 发布于02月05日
20-30K 经验不限 | 硕士 [田海娜](#) | 招聘主管

数据结构 Python CFD求解器

CFD仿真工程师 [宁德-蕉城区·宁德] 发布于02月04日
10-15K 1-3年 | 硕士 [陈雷昭](#) | 行政

五险 餐补 房补 全勤奖 工龄奖

CFD研发工程师 [深圳-南山区·科技园] 发布于昨天
25-40K·14薪 经验不限 | 博士 [郑凌霞](#) | 招聘者

模拟仿真

CFD仿真工程师 [杭州-余杭区·仓前] 发布于03月08日
15-30K·14薪 1-3年 | 硕士 [孙女士](#) | 招聘者

流固耦合 OPENFOAM 流体力学 ANSYS

全景恒升科技
医疗设备/器械 | A轮 | 20-99人

五险一金，节日福利，员工旅游，补充医疗保险，年终奖...

视源股份(CVTE)
电子/半导体/集成电路 | 已上市 | 1000-9999人

定期体检，员工旅游，零食下午茶，五险一金，绩效奖金...

安世亚太
企业服务 | D轮及以上 | 500-999人

五险一金，定期体检，补充医疗保险，节日福利，带薪年...

宁德中能
原材料及加工模具 | 0-20人

加班补助，节日福利，带薪年假，年终奖，五险一金，零...

睿心智能
医疗设备/器械 | A轮 | 20-99人

加班补助，节日福利，带薪年假，年终奖，五险一金，零...

柏意慧心
医疗器械 | A轮 | 20-99人

带薪年假，五险一金，股票期权，定期体检，节日福利

CFD就业怎么样？

7/39

最新

CFD研发工程师 25-40K·14薪

深圳 · 经验不限 · 博士

五险一金 加班补助 年终奖 带薪年假 节日福利 零食下午茶

郑凌霄 4.5
招聘者 刚刚在线

职位描述

【职责描述】

1. 心脑血管相关的流体仿真，涉及三维建模、网格划分、边界条件设置、流体求解、数据处理分析等
2. 调研中英文文献，学习掌握相关领域最新的仿真技术及应用，开发新的CFD算法和代码
3. 维护和完善已有的CFD算法和代码，提高仿真的精度和效率等
4. 通过临床研究、大批量仿真等，优化和验证流体仿真模型
5. 完成公司安排的其他工作，如论文、专利、报告撰写，科研合作等

【任职要求】

1. 硕士及以上学历，生物医学工程/机械工程/力学/计算机/数学等专业
2. 有CFD仿真，CFD算法及代码开发的经验
3. 有较强的编程能力（Fortran或C/C++）
4. 会使用Python或其他语言进行数据处理分析
5. 有心脑血管流体建模仿真经验优先
6. 有网格划分，高性能计算开发经验优先
7. 熟悉有限元分析优先

招聘中

Openfoam开发工程师 20-40K·14薪

代招公司：某计算机软件公司 · B轮 | 南京 · 经验不限 · 硕士

五险一金 年终奖 带薪年假 员工旅游 餐补 节日福利 零食下午茶

孙丽蓉 4.5
锐仕方达南京分公司 · 猎头顾问

职位描述

1. 负责OpenFoam相关的二次开发，以网格开发为主

2. 了解OpenFoam相关代码结构和开发流程

3. 研发领域涉及CFD的湍流模型，多相流模型，高超音速流体，辐射模型，透平机械等。

职位要求

1. 具有工程硕士以上学位，博士学位优先；
2. 深入了解C++语言，并有2年以上OpenFoam相关开发经验
3. 具有较好的英文阅读和书写能力。

《计算流体动力学编程实践》是一门介绍计算流体动力学模型编程基础的课程，以开源软件OpenFOAM为例，课程将覆盖有限体积法、网格划分、对流扩散方程、湍流模型、多相流模型等编程理论和实践。

课程将与各种应用领域相结合，包括热能与动力工程、航空航天工程、水利水电工程、灌排工程、海洋工程、生物医学工程、环境工程、食品工程、农业工程等，基于学生课程设计，制定相应的计算流体力学程序二次开发编程方案，为促进多学科交叉融合提供新的算法理论。

课程学习最原始动力

CFD使用者⇒ CFD研发工程师 (汽车驾驶员⇒车辆工程师)

10-15k ⇒ 25-40k



《计算流体动力学编程实践》是一门介绍计算流体动力学模型编程基础的课程，以开源软件OpenFOAM为例，课程将覆盖有限体积法、网格划分、对流扩散方程、湍流模型、多相流模型等编程理论和实践。

课程将与各种应用领域相结合，包括热能与动力工程、航空航天工程、水利水电工程、灌排工程、海洋工程、生物医学工程、环境工程、食品工程、农业工程等，基于学生课程设计，制定相应的计算流体力学程序二次开发编程方案，为促进多学科交叉融合提供新的算法理论。

课程学习最原始动力

CFD使用者⇒ CFD研发工程师 (汽车驾驶员⇒车辆工程师)

10-15k ⇒ 25-40k



先修课程

C/C++、计算流体力学、数值分析⇒计算机、物理、数学

指定教材、参考书

1. An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method (2nd Edition) (ISBN: 9780131274983). 主编: H. Versteeg 和 W. Malalasekera. 出版社: Pearson. 2007年版.
2. Turbulence Modeling for CFD (Third Edition) (ISBN: 9781928729082). 主编: David C. Wilcox. 出版社: D C W Industries. 2006年版.
3. Computational Methods for Fluid Dynamics (4th Edition) (ISBN: 9783319996912). 主编: Joel H. Ferziger等. 出版社: Springer. 2020年版.



第1章 课程导论(3课时 讲授/讨论)

1.1 课程介绍

1.2 OpenFOAM基本介绍

1.3 课程设计开题答辩

第2章 有限体积法编程(3课时 讲授)

2.1 空间离散格式

第3章 网格处理编程(2课时 讲授)

3.1 网格生成技术

3.2 网格数据储存和读取

第4章 N-S方程求解编程(2课时 讲授)

4.1 SIMPLE算法

4.2 PISO 算法

第5章 湍流模型编程(3课时 讲授)

5.1 RANS模型

5.2 LES模型

第6章 计算结果后处理(2课时 讲授)

6.1 ParaView使用及编程

6.2 OpenFOAM后处理工具

第7章 课程设计编程实践(15课时 讨论/试验)

7.1 中期答辩

7.2 课程设计指导

7.3 结题答辩



课程设计论文(50分)

平时作业(20分)

平时作业共2次，每次10，作业内容包括提交编程相关说明文件和二次开发源文件。

课程讨论(30分)

开题答辩（10分）

中期答辩（10分）

结题答辩（10分）

根据PPT质量和汇报质量进行评分。

论文格式：要求参考学术期刊格式，要求有中英文题目、中英文摘要、中英文关键字，正文书写为全部中文或全部英文。（10分）

文献格式：要求标注规范、引用严谨、格式统一。（5分）

文献综述：内容全面，观点明确，引用合理。（10分）

方法介绍：物理过程重要控制方程介绍明确。（5分）

结果分析：要求图标清晰，内容详实。（10分）

字数要求：正文部分中文字数超过5000字或英文超过10000单词。（10分）

上课时间、地点

周四 第5-8节（第1-11周），主楼209

作业提交方式

文件打包发送至ycxu@cau.edu.cn

重要时间节点

- ▶ 开题答辩(5 min PPT+5 min 讨论) 3月21日 (第4周)
- ▶ 中期答辩(5 min PPT+5 min 讨论) 4月11日 (第7周)
- ▶ 结题答辩(10 min PPT+5 min 讨论) 5月9日 (第11周)
- ▶ 提交论文截止时间 5月16日(要求同时提交纸质版和电子版)



课程任务

- ▶ 具有对CFD模型结构和算法基本认识的能力
- ▶ 具有对实际流体力学工程问题进行CFD数学建模的能力
- ▶ 具有对现有CFD模型进行二次开发的能力



1.2 OpenFOAM基本介绍

4/39

商业软件vs开源软件

<https://www.cfd-online.com/Wiki/Codes>

常见商业软件:

- ▶ ANSYS FLUENT
- ▶ ANSYS CFX
- ▶ COMSOL
- ▶ FLOW-3D
- ▶ PHOENICS
- ▶ STAR-CCM+

著名开源软件:

- ▶ OpenFOAM
- ▶ REEF3D
<https://reef3d.wordpress.com/>
- ▶ SU2 <https://su2code.github.io/>
- ▶ CFL3D
<https://cfl3d.larc.nasa.gov/>

常见网格生成软件:

- ▶ ICEM CFD
- ▶ Pointwise
- ▶ Gambit
- ▶ GMSH (开源)
- ▶ SALOME (开源)
- ▶ NETGEN (开源)
- ▶ TETGEN (开源)

常见后处理软件:

- ▶ Tecplot
- ▶ Paraview (开源)
- ▶ Gnuplot (开源)



- ▶ 最早名字是“FOAM”，1989年由Henry Weller创建，此后主要和Hrvoje Jasak共同开发，2004年以“OpenFOAM”开源
- ▶ FOAM stands for "Field Operation And Manipulation"
- ▶ OpenFOAM不仅仅是CFD
 - 这是一个通用求解PDE的平台
 - It can be used to solve (m)any equations

分级水平

▶ 初级水平

- 大致了解OpenFOAM用途
- 会安装OpenFOAM
- 能进行基本练习
- 能看懂关键代码

▶ 中级水平

- 根据具体问题进行建模
- 对边界条件、求解器进行二次开发

▶ 高级水平

- 基于物理问题开发新求解器
- 相关贡献并入OpenFOAM



- ▶ 最早名字是“FOAM”，1989年由Henry Weller创建，此后主要和Hrvoje Jasak共同开发，2004年以“OpenFOAM”开源
- ▶ FOAM stands for "Field Operation And Manipulation"
- ▶ OpenFOAM不仅仅是CFD
 - 这是一个通用求解PDE的平台
 - It can be used to solve (m)any equations

分级水平

- ▶ 初级水平
 - 大致了解OpenFOAM用途
 - 会安装OpenFOAM
 - 能进行基本练习
 - 能看懂关键代码
- ▶ 中级水平
 - 根据具体问题进行建模
 - 对边界条件、求解器进行二次开发
- ▶ 高级水平
 - 基于物理问题开发新求解器
 - 相关贡献并入OpenFOAM



1.2 OpenFOAM基本介绍 – 版本发展

6/39

2005.5-2015.12

- ▶ OpenFOAM 1.1
- ▶ OpenFOAM 1.2
- ▶ OpenFOAM 1.3
- ▶ OpenFOAM 1.4
- ▶ OpenFOAM 1.5
- ▶ OpenFOAM 1.6
- ▶ OpenFOAM 1.7.0
- ▶ OpenFOAM 1.7.1
- ▶ OpenFOAM 2.0.0
- ▶ OpenFOAM 2.0.1
- ▶ OpenFOAM 2.1.0
- ▶ OpenFOAM 2.2.0
- ▶ OpenFOAM 2.2.1
- ▶ OpenFOAM 2.2.2
- ▶ OpenFOAM 2.3.0
- ▶ OpenFOAM 2.4.0
- ▶ OpenFOAM 3.0.0

openfoam.com

- ▶ OpenFOAM v3.0+
- ▶ OpenFOAM v1606+
- ▶ OpenFOAM v1612+
- ▶ OpenFOAM v1706
- ▶ OpenFOAM v1712
- ▶ OpenFOAM v1806
- ▶ OpenFOAM v1812
- ▶ OpenFOAM v1906
- ▶ OpenFOAM v1912
- ▶ OpenFOAM v2006
- ▶ OpenFOAM v2012
- ▶ OpenFOAM v2106
- ▶ OpenFOAM v2112
- ▶ OpenFOAM v2206
- ▶ OpenFOAM v2212
- ▶ OpenFOAM v2306
- ▶ OpenFOAM v2312

2015.12-

openfoam.org

- ▶ OpenFOAM 3.0.1
- ▶ OpenFOAM 4.0
- ▶ OpenFOAM 4.1
- ▶ OpenFOAM 5.0
- ▶ OpenFOAM 6
- ▶ OpenFOAM 7
- ▶ OpenFOAM 8
- ▶ OpenFOAM 9
- ▶ OpenFOAM 10
- ▶ OpenFOAM 11

cpp.openfoam.org/v8

稳定性好



1.2 OpenFOAM基本介绍 – 版本发展

6/39

2005.5-2015.12

- ▶ OpenFOAM 1.1
- ▶ OpenFOAM 1.2
- ▶ OpenFOAM 1.3
- ▶ OpenFOAM 1.4
- ▶ OpenFOAM 1.5
- ▶ OpenFOAM 1.6
- ▶ OpenFOAM 1.7.0
- ▶ OpenFOAM 1.7.1
- ▶ OpenFOAM 2.0.0
- ▶ OpenFOAM 2.0.1
- ▶ OpenFOAM 2.1.0
- ▶ OpenFOAM 2.2.0
- ▶ OpenFOAM 2.2.1
- ▶ OpenFOAM 2.2.2
- ▶ OpenFOAM 2.3.0
- ▶ OpenFOAM 2.4.0
- ▶ OpenFOAM 3.0.0

openfoam.com

- ▶ OpenFOAM v3.0+
- ▶ OpenFOAM v1606+
- ▶ OpenFOAM v1612+
- ▶ OpenFOAM v1706
- ▶ OpenFOAM v1712
- ▶ OpenFOAM v1806
- ▶ OpenFOAM v1812
- ▶ OpenFOAM v1906
- ▶ OpenFOAM v1912
- ▶ OpenFOAM v2006
- ▶ OpenFOAM v2012
- ▶ OpenFOAM v2106
- ▶ OpenFOAM v2112
- ▶ OpenFOAM v2206
- ▶ OpenFOAM v2212
- ▶ OpenFOAM v2306
- ▶ OpenFOAM v2312

2015.12-

openfoam.org

- ▶ OpenFOAM 3.0.1
- ▶ OpenFOAM 4.0
- ▶ OpenFOAM 4.1
- ▶ OpenFOAM 5.0
- ▶ OpenFOAM 6
- ▶ OpenFOAM 7
- ▶ **OpenFOAM 8**
- ▶ OpenFOAM 9
- ▶ OpenFOAM 10
- ▶ OpenFOAM 11

cpp.openfoam.org/v8

稳定性好



1.2 OpenFOAM基本介绍

```
yux116@XuLinux:src$ ls
Allwmake
atmosphericModels
combustionModels
conversion
dummyThirdParty
dynamicFvMesh
dynamicMesh
engine
fileFormats
finiteVolume
functionObjects
fvAgglomerationMethods
fvMotionSolver
fvOptions
genericPatchFields
lagrangian
mesh
meshTools
MomentumTransportModels
ODE
OpenFOAM
OSspecific
parallel
Pstream
radiationModels
randomProcesses
regionModels
renumber
rigidBodyDynamics
rigidBodyMeshMotion
rigidBodyState
sampling
sixDoFRigidBodyMotion
sixDoFRigidBodyState
specieTransfer
surfMesh
thermophysicalModels
ThermophysicalTransportModel
topoChangerFvMesh
transportModels
triSurface
twoPhaseModels
waves
```

图: OpenFOAM 8 中source目录



1.2 OpenFOAM基本介绍

```
yux116@XuLinux:solvers$ ls  
basic           discreteMethods   financial      lagrangian  
combustion      DNS             heatTransfer   multiphase  
compressible    electromagnetics incompressible stressAnalysis
```

图: OpenFOAM 8 中solvers目录



1.2 OpenFOAM基本介绍

```
yux116@XuLinux:tutorials$ ls
Allclean  combustion      electromagnetics  IO          resources
Allrun    compressible     financial        lagrangian  stressAnalysis
Alltest   discreteMethods heatTransfer    mesh
basic     DNS             incompressible  multiphase
```

图: OpenFOAM 8 中tutorials目录



- ▶ OpenFOAM官网声称 "available for Linux, macOS and Windows 10", 实际上都是安装在linux-based system, win10 上也是安装在 Windows Subsystem for Linux (WSL). <https://openfoam.org/download/windows/>
- ▶ OpenFOAM v8已测试linux平台包括:
 - Ubuntu 16.04 (xenial), 18.04 (bionic), 20.04 (disco)
 - OpenSuSE Tumbleweed (June 2020)
 - Centos 7
 - ...
- ▶ 建议linux系统 (Ubuntu 18.04/20.04):
 - 双系统/独立系统 (推荐, 要注意数据从win到linux传递)
 - win10 — WSL (速度较慢, 只有命令行形式)
 - linux虚拟机 (可能不稳定)
 - 远程桌面软件 (RealVNC, teamviewer, autodesk, 向日葵等, 受网络影响较大)
 - **SSH远程登录 (putty等, 只有命令行形式)**



- ▶ OpenFOAM官网声称 "available for Linux, macOS and Windows 10", 实际上都是安装在linux-based system, win10 上也是安装在 Windows Subsystem for Linux (WSL). <https://openfoam.org/download/windows/>
- ▶ OpenFOAM v8已测试linux平台包括:
 - Ubuntu 16.04 (xenial), 18.04 (bionic), 20.04 (disco)
 - OpenSuSE Tumbleweed (June 2020)
 - Centos 7
 - ...
- ▶ 建议linux系统 (Ubuntu 18.04/20.04):
 - 双系统/独立系统 (推荐, 要注意数据从win到linux传递)
 - win10 — WSL (速度较慢, 只有命令行形式)
 - linux虚拟机 (可能不稳定)
 - 远程桌面软件 (RealVNC, teamviewer, autodesk, 向日葵等, 受网络影响较大)
 - **SSH远程登录 (putty等, 只有命令行形式)**



- ▶ OpenFOAM官网声称 "available for Linux, macOS and Windows 10", 实际上都是安装在linux-based system, win10 上也是安装在 Windows Subsystem for Linux (WSL). <https://openfoam.org/download/windows/>
- ▶ OpenFOAM v8已测试linux平台包括:
 - Ubuntu 16.04 (xenial), 18.04 (bionic), 20.04 (disco)
 - OpenSuSE Tumbleweed (June 2020)
 - Centos 7
 - ...
- ▶ 建议linux系统 (Ubuntu 18.04/20.04):
 - 双系统/独立系统 (推荐, 要注意数据从win到linux传递)
 - win10 — WSL (速度较慢, 只有命令行形式)
 - linux虚拟机 (可能不稳定)
 - 远程桌面软件 (RealVNC, teamviewer, autodesk, 向日葵等, 受网络影响较大)
 - **SSH远程登录 (putty等, 只有命令行形式)**



常用交互方式

- ▶ Graphical User Interface (GUI) 窗口操作
 - 类似windows操作系统，简单直接
 - 性能越来越好
 - 有时候会慢，效率低下
- ▶ Command Line Interface (CLI) 命令行
 - 是一种古老的人机交互方式
 - CLI/shell：从键盘读取你的指令，经过处理、翻译，传递给操作系统执行。
 - 常见的shell：bash(Bourne Again SHell), tcsh, ksh, zsh
 - 我们主要介绍bash shell



- ▶ 目前用的最多的，最流行的
- ▶ 可以运行“`bash --version`”查看bash版本
- ▶ 可以把多个命令储存在一个脚本，一次性运行

- ▶ cmd1的结果输出到文件out_file: `cmd1 > out_file`
- ▶ 定义输入输出文件: `cmd1 < in_file > out_file`
- ▶ 输出结果跟在现有文件后面: `cmd1 >> out_file`

- ▶ `export`和`env`输出所有环境变量



常用Linux bash 命令

31 / 39

创建新文件夹newFolder

```
mkdir newFolder
```

创建空白文件newFile

```
touch newFile
```

复制文件file

```
cp file file_new
```

复制文件夹folder

```
cp folder folder_new -r
```

移动(重命名)文件夹/文件

```
mv folder folder_new
```

进入地址

```
cd dir
```

进入上一层地址

```
cd ..
```

列出当前位置所有文件/文件夹

```
ls
```

输出当前绝对位置

```
pwd
```

搜索当前位置所有文件

```
grep -r ./
```

建议用Bing搜索“Linux cheatSheet”，可以得到更用Linux命令行



用于远程登录Linux系统

- ▶ SSH
- ▶ SCP/FileZilla
- ▶ VNCServer/Viewer
<https://www.realvnc.com/en/connect/download/vnc/>

Linux编程环境

- ▶ 可以直接编译C, C++, python, Fortran等
- ▶ Debugger: gdb

文字编辑

- ▶ gedit: GUI, 和windows中的记事本很像 (推荐)
- ▶ vi/vim: 最古老的编辑器, 简单快速 (推荐)
- ▶ emacs: 功能非常强大, 但是很复杂
- ▶ WPS: pdf、word、excel、ppt均能使用

安装

- ▶ apt: 自带 sudo apt install XXXX



- ▶ 安装已编译的程序，具体见openfoam.org/download/8-ubuntu/
 - 比较简单，但安装通常需要root权限，有时因为是共享机器，可能无法获得root权限，因此一般建议下一方案
- ▶ 从源代码进行编译，具体见openfoam.org/download/source/
 - 编译时间较长，单线程i7处理器需要4个小时，采用8线程i7处理器需要40分钟
 - 不同电脑之间可能由于环境变量设置、linux版本等原因，存在不同的问题
 - 无论是双系统还是虚拟机，建议按Ubuntu官网方式安装ubuntu.com/tutorials/install-ubuntu-desktop，安装Ubuntu 18.04或20.04，OpenFOAM 8



1. 新建文件夹，并进入该文件夹

```
mkdir $HOME/OpenFOAM  
cd $HOME/OpenFOAM
```

2. 下载并解压缩源文件

```
git clone https://gitee.com/cfdxu/OpenFOAM-8  
git clone https://gitee.com/cfdxu/ThirdParty-8
```

3. 将以下一行写入\$HOME/.bashrc最后一行，然后运行source \$HOME/.bashrc

```
source $HOME/OpenFOAM/OpenFOAM-8/etc/bashrc
```



4. 编译前安装必要软件 Ubuntu 18.04及以上（注意复制时可能出现断行）

```
sudo apt-get install build-essential flex bison git-core cmake zlib1g-dev  
libboost-system-dev libboost-thread-dev libopenmpi-dev openmpi-bin  
gnuplot libreadline-dev libncurses-dev libxt-dev
```

5. 进入Openfoam-8，进行编译， -j指编译时调用所有线程，-j4指调用4线程

```
foam  
./Allwmake -j
```

6. 验证是否可行， run等效于cd \$FOAM_RUN

```
mkdir -p $FOAM_RUN  
run  
cp -r $FOAM_TUTORIALS/incompressible/icoFoam/cavity/cavity cavity  
cd cavity  
blockMesh  
icoFoam
```



ParaView是一款开源、跨平台数据分析和可视化程序，覆盖windows、Linux、Mac OS，并且支持并行。

1. 直接安装paraview

```
sudo apt install paraview
```

2. 验证是否安装成功

```
run  
cd cavity  
touch test.foam  
paraview test.foam &
```



- ▶ 用户手册
cfd.direct/openfoam/user-guide/
- ▶ C++源代码手册
cpp.openfoam.org/v8/
- ▶ OpenFOAM专业论坛，几乎所有OF问题都可以在这里找到
cfd-online.com/Forums/openfoam/
- ▶ OpenFOAM官网上的Linux指南
cfd.direct/openfoam/linux-guide/

尽量用最一手的信息，如果对代码有异议，可以直接向代码维护人询问、讨论。

- ▶ 国内的公众号、网站
CFD界、CFD之道、CFD招聘、南流坊、CFD中文网



- ▶ 选题来源：
 - 与自己研究方向相结合
 - 复现文献中的试验/模拟
 - 研究OpenFOAM中已有算法
 - ...
- ▶ 方法与内容：
 - 根据研究需求，对OpenFOAM求解器、边界条件进行二次开发
 - 应用已有模型解决一个复杂条件下的流动问题
 - 对OpenFOAM已有算法进行剖析、解释
 - ...

若未有合适选题，尽早联系我。开题答辩(5 min PPT+5 min 讨论) 3月21日
(第4周)



Thank you.

欢迎私下交流， 请勿上传网络， 谢谢！

