



地表+地下建模 workflow

(Surface-Subsurface Modeling Workflow)

Hutton, C., Wagener, T., Freer, J., Han, D., Duffy, C., Arheimer, B. (2016). **Most computational hydrology is not reproducible, so is it really science?** Water Resources Research. DOI: 10.1002/2016WR019285



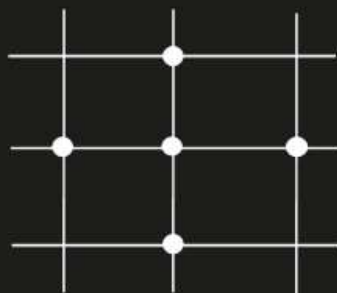
1、计算流体力学(CFD)与高性能计算(HPC)

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial h}{\partial x} + f_x$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial h}{\partial y} + f_y$$

控制方程 (浅水方程、Euler方程)



(a)结构化网格



(b)非结构化网格

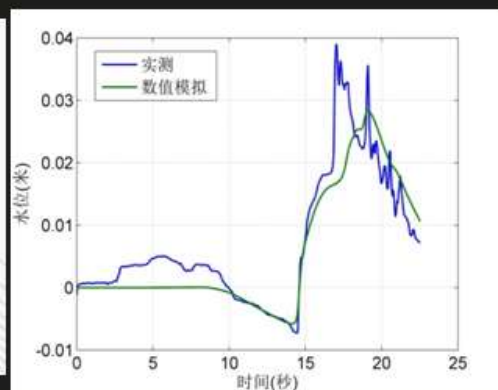
CFD计算网格



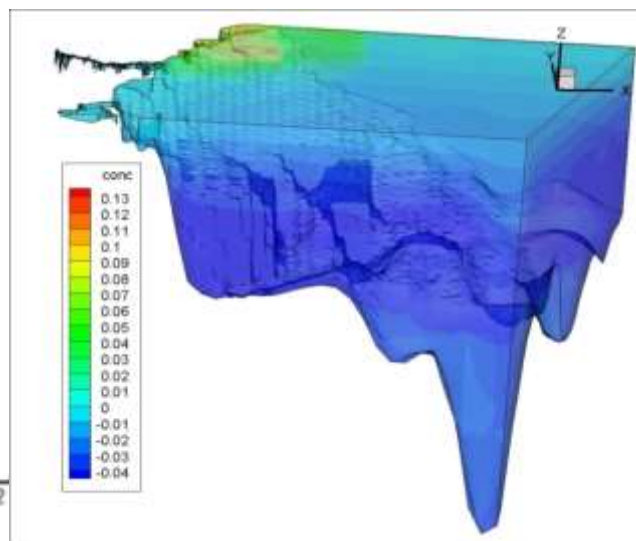
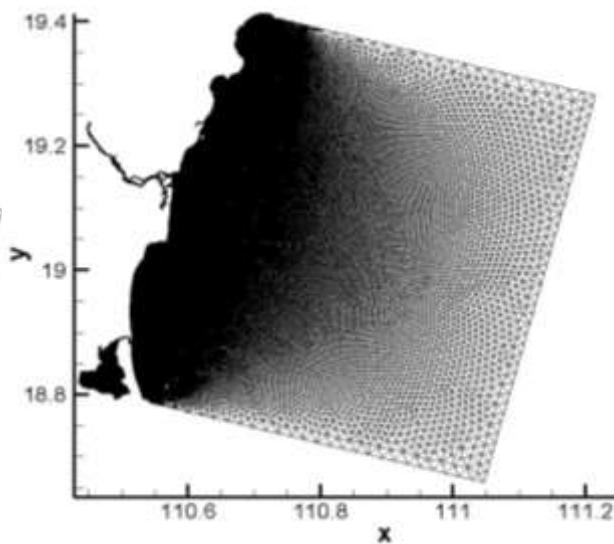
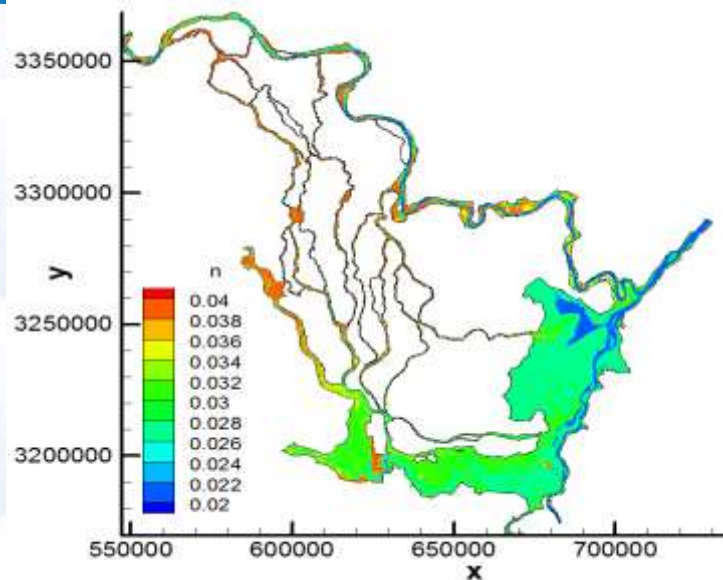
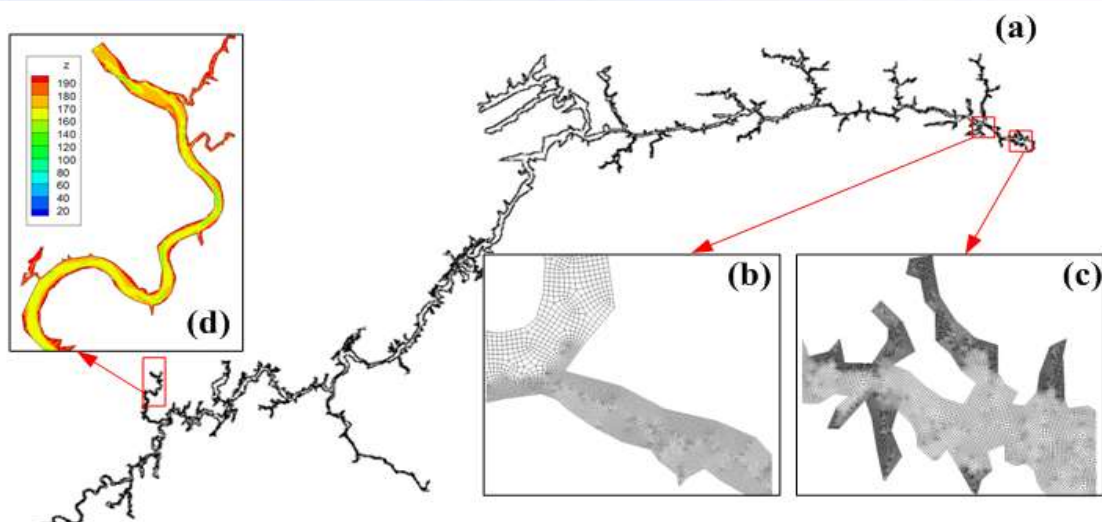
并行化编程



实验室水槽装置 (Sue, 2006)



模拟与试验的对比 (江雨杰, 2022)





目的（要解决的痛点）

痛点1：地质建模以及数学建模前后处理繁琐，可重复性低

GUI的“CLICK”的人机交互方式，主观经验成分多，可重复性低；多工况计算需要大量的人工处理。 Python脚本化

痛点2：单机内存限制，模拟的时空分辨率有限

HPC: OpenMP, GPU, MPI

痛点3：地球流体力学模型耦合难，硬编码难度大

耦合器(Coupler)

痛点4：基础数据保密；数字化及标准化程度低(水利，地质)



脚本化自动建模 + HPC基座

APPs
自动化建模

气象/水文

地表水

地下水

地震波

...

HPC基座

编程技术 (C/C++/FORTRAN, CUDA C)

并行化技术 (OpenMP, CUDA, MPI, OneAPI, ...)

硬件 (X86, ARM, GPU), Linux, 编译器, 优化



研究及解决的痛点：

- （1）基于Python脚本化建模，加快数学模型的建模速度，提升模型计算的可重复性；
- （2）建设基于高性能计算（HPC）系统基座及地球科学高性能计算的应用程序的综合应用平台。
- （3）实现不同计算模块之间的耦合，打造区域性地球耦合模拟范式。



中國地質大學
China University of Geosciences

艰苦朴素 求真务实

温家宝

艰苦朴素
求真务实
温家宝

地下模型的建模 workflow

中国地质大学



地球物理勘探（钻孔、测井、地震波、层序及沉积分析）

地质建模(**petrel**): 繁琐, 主观因素多, 可重复性(**reproducible**)低

地质建模（剖面**2D**, **3D**）

模型输入: 不同的数学模型输入文件格式有差异(结构/非结构网格, 角点网格)

地下水及油气藏模拟（多孔介质单相/多相流动）

破解的商业软件: **GUI**操作可重复性低, 建模效率低, 计算规模有限

Visual MODFLOW
ECLIPSE

后处理（测点验证及**3D**可视化）

HPC环境下的高时空分辨率模拟与可视化渲染。



海量地震数据处理

地球物理勘测 (原始数据) →

地震数据处理 (seg-y) →

地震数据可视化 →

地震数据解释

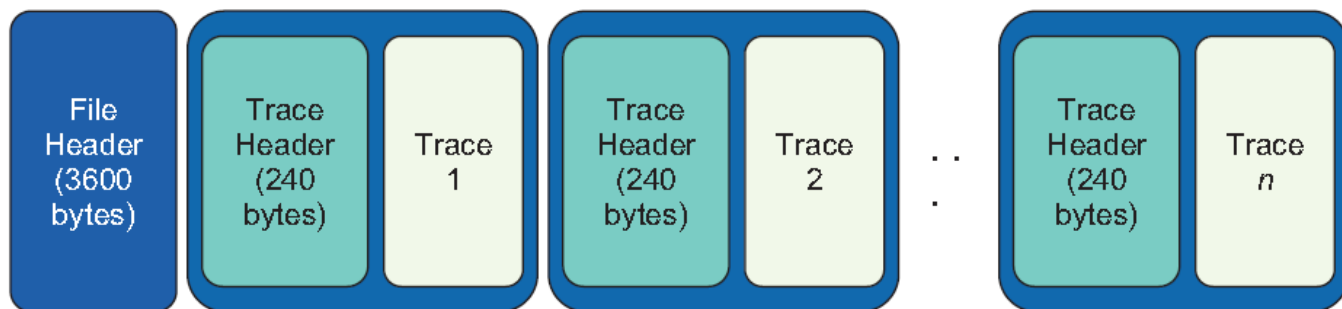
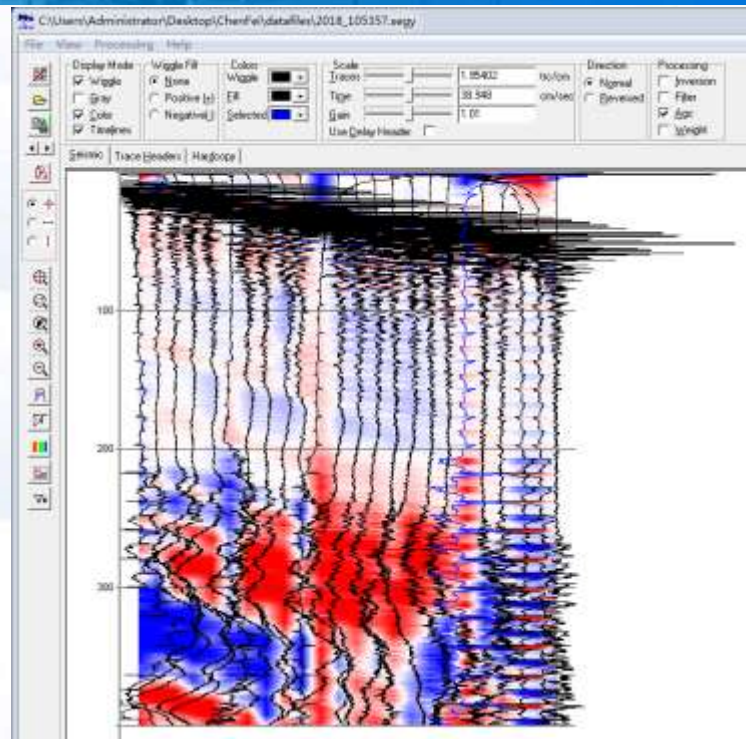


Fig. 1. Layout of SEG-Y file with the file header followed by sets of trace headers and trace data. This data arrangement means that no traces are continuous in memory, nor are any individual trace parameters, which drastically decreases I/O efficiency.



海量地震数据处理

ExSeisDat和segsak

1、地震数据处理方法众多，主要的就是：去噪、叠加和偏移（成像），系统的处理方法可使用Seismic Unix或GeoEAST（非专业人士无法完成）。

2、基于**集群并行**和**Burst Buffer**分布式文件系统的的海震数据处理程序ExSeisDat (C++)。

主要完成：使用FFTW的**Filter**处理（去噪）和**AGC**（信噪比增强），缺少其他处理方法（需要专业人士的二次开发）。

3、基于多线程的SEG-Y地震数据处理程序segsak (Python)

查询seg-y数据文件的header内容等和转换为seisnc格式(NetCDF4)

seg-y数据文件内容不连续(header-trace)，转换为NetCDF4格式（自描述且连续存储），便于可视化(ncview)和读写处理。

segsak使用**xarray**和**DASH**技术，实现**多线程并行**的地震数据文件读写、查询与格式转换(seg-y and netcdf4)

总体来说，地震数据处理方法众多且各公司使用的方法不同，主观性强，需要专业人士开发。

海量数据初步处理后（去噪和AGC），需要海量数据可视化或提取分区，供后期的地震数据成像与解译。



地震波传播过程模拟 (粘弹性体)

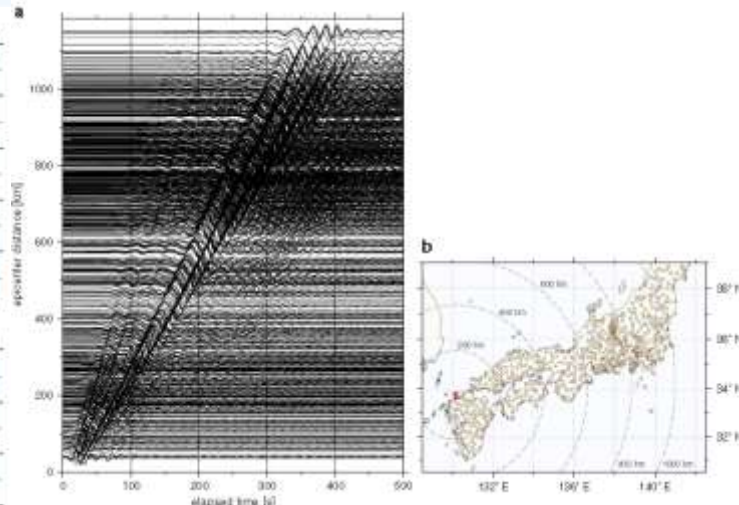
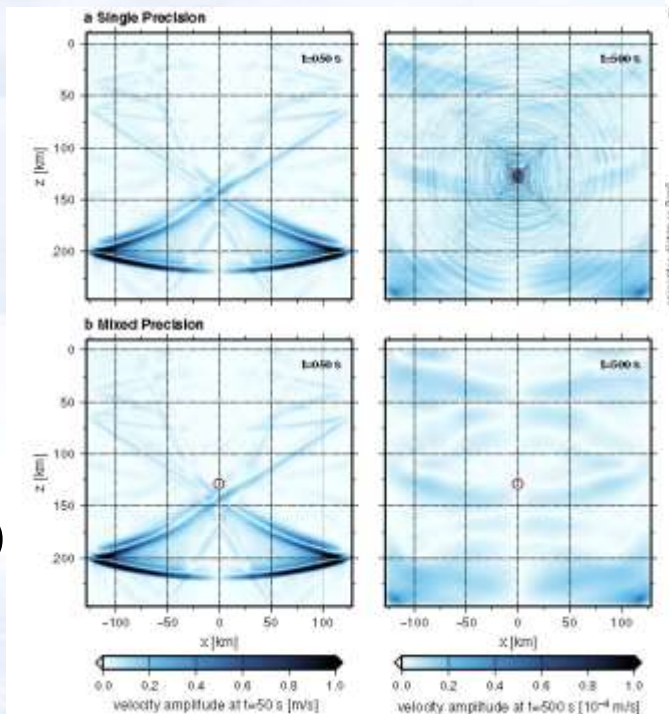
$$\rho \frac{\partial v_i}{\partial t} = \sum_{j=1}^{N_D} \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + f_i$$

网格

HPC

有限差分法FDTD

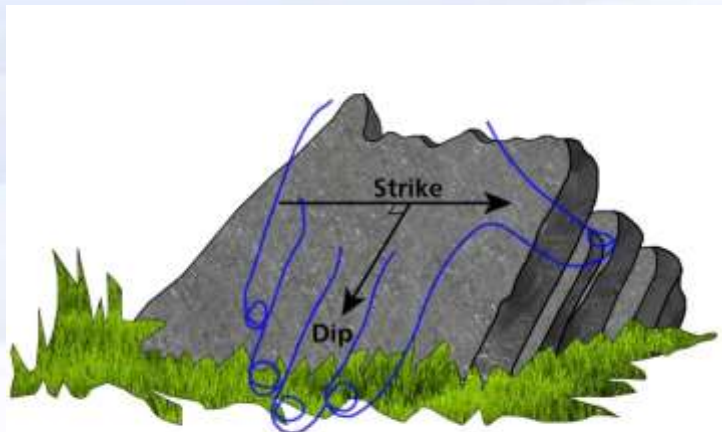
间断Galerkin



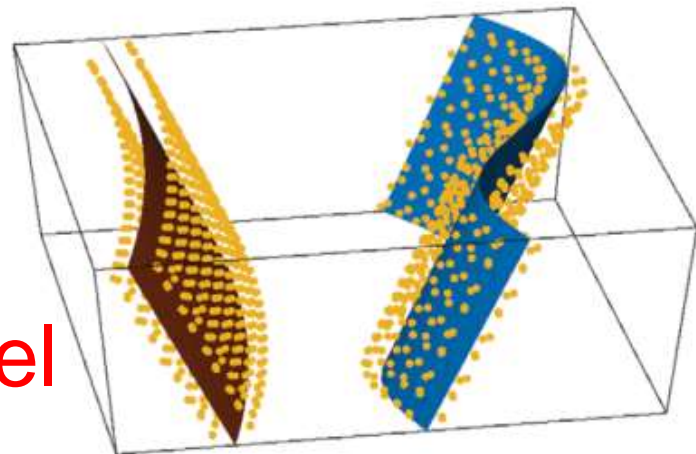
OpenSWPC (2017) SAC



地质**隐式**建模 (建模过程Python脚本化)

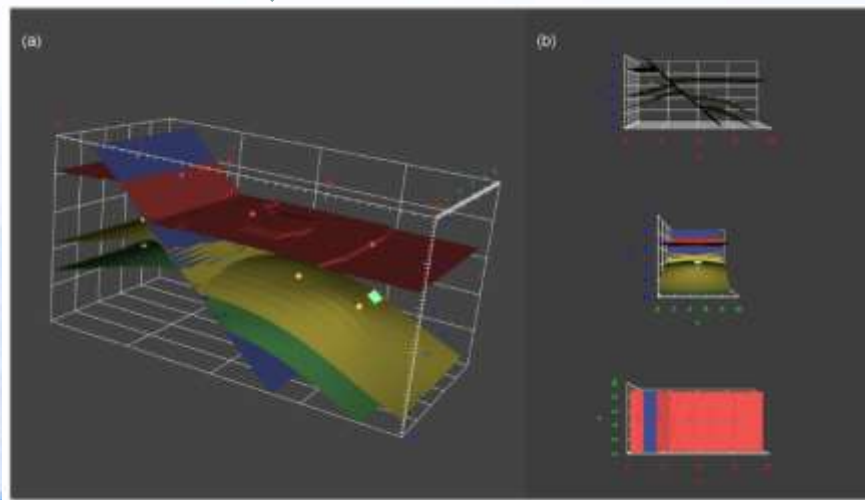


map2loop
map2model



GemPy/Loop3D

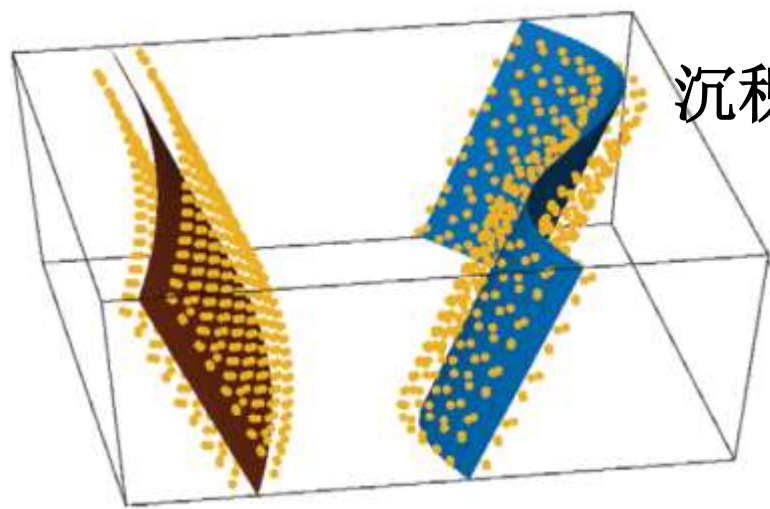
Hard-rock地质建模





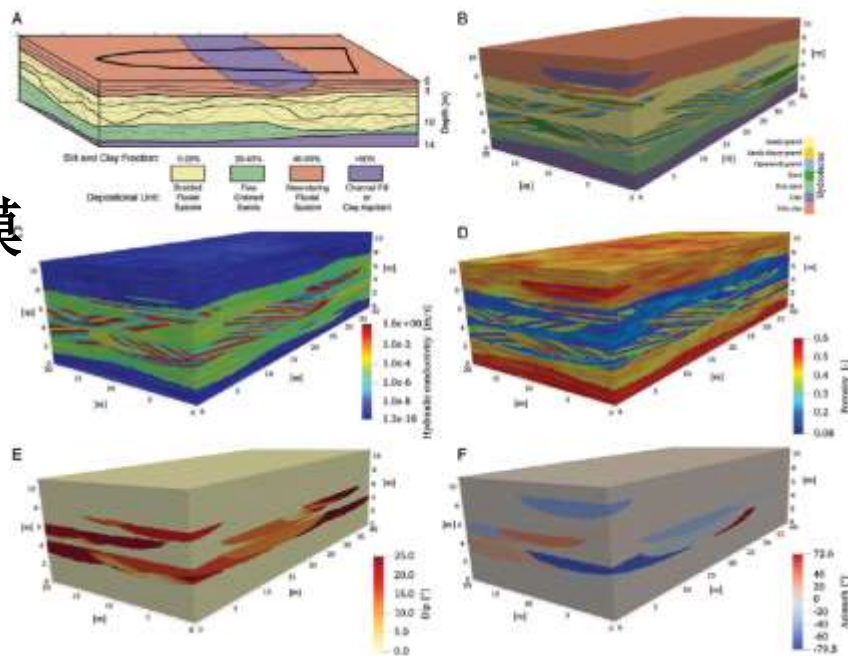
隐式地质建模（建模过程Python脚本化）

Hydrogeological Virtual Realities



沉积地质建模

HyVR



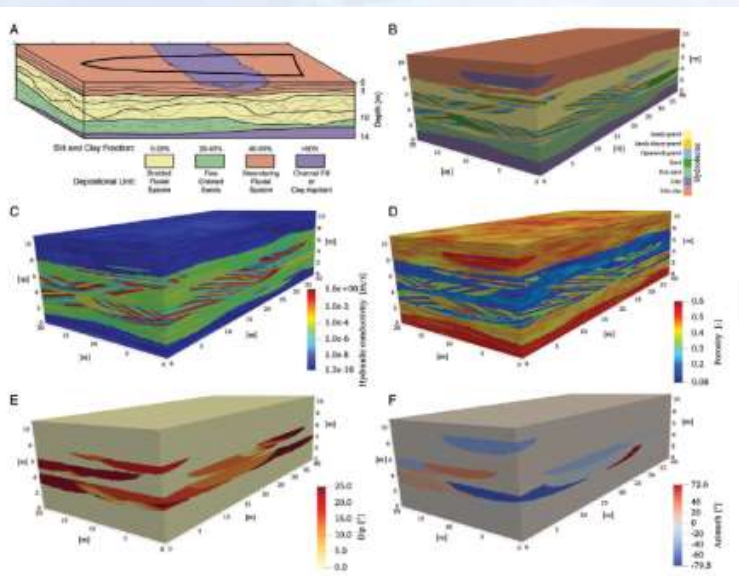
反映断层等的地质模型

HyVR建立的水文地质参数模型

输出格式多种，包括：Python pickle/Numpy; **HDF5**; MATLAB数据格式; **VTK**矩形网格文件，方便用ParaView可视化; **HydroGeoSphere**输入文件、MODFLOW-2005层属性水流输入文件; MODFLOW-6节点属性输入文件，可使用FloPy软件包，用于XT3D选项。

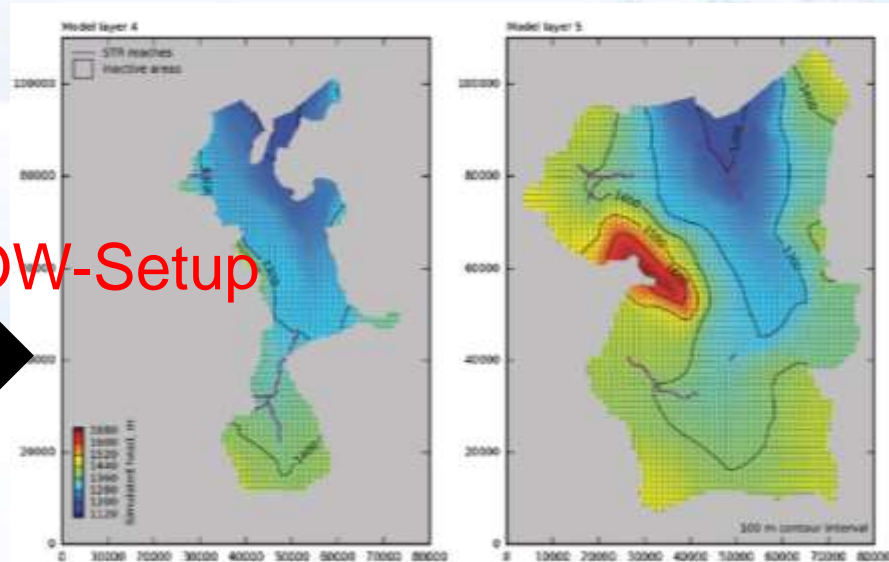


地下水模拟 (自动建模+HPC)



FloPy

MODFLOW-Setup



数字化的水文地质参数

MODFLOW模拟的地下水流

MODFLOW-2005, MODFLOW-USG, MODFLOW6

MODFLOW6 - MPI (Delftware研发中)

GPU加速的线性方程组求解器

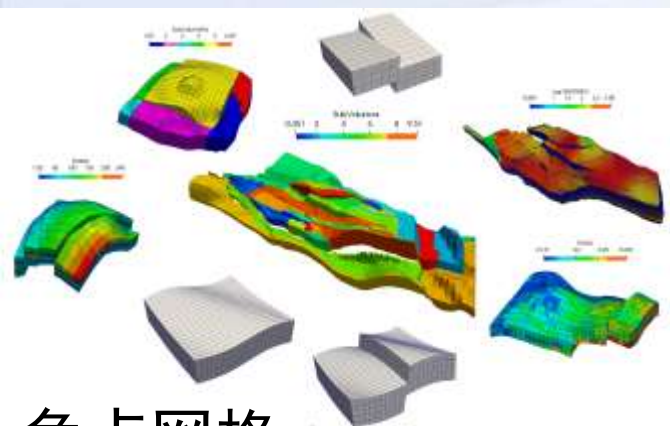


黑油模型 (HPC)

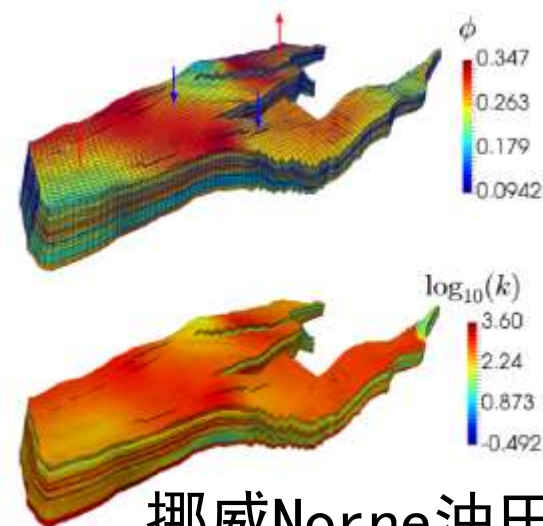
MRST (挪威石油公司)

德国: DUMUX (OMP)

国产: HiSim



角点网格



挪威Norne油田

2022 年 3 月

Mar., 2022

数值计算与计算机应用

Journal on Numerical Methods and Computer Applications

第 43 卷第 1 期

Vol.43, No.1

doi: 10.12288/szjs.s2021-0813

青年评述

油藏数值模拟中的线性解法器*

张晨松¹⁾

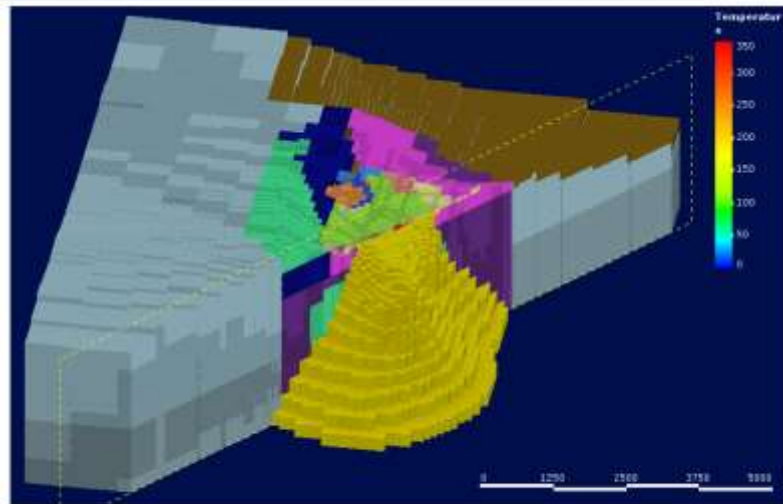
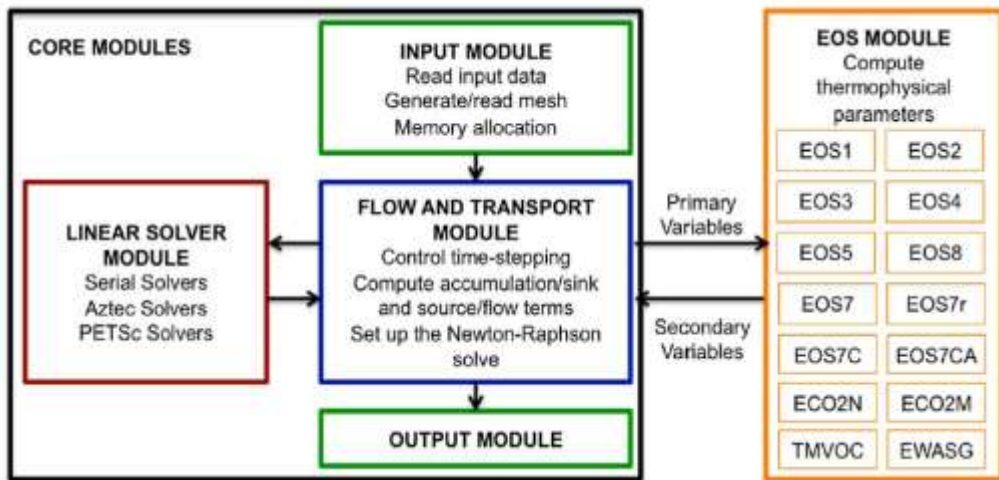
(中国科学院数学与系统科学院, 计算数学研究所)

国家数学与交叉科学中心, 科学与工程计算国家重点实验室, 北京 100190)



地热模拟 (HPC)

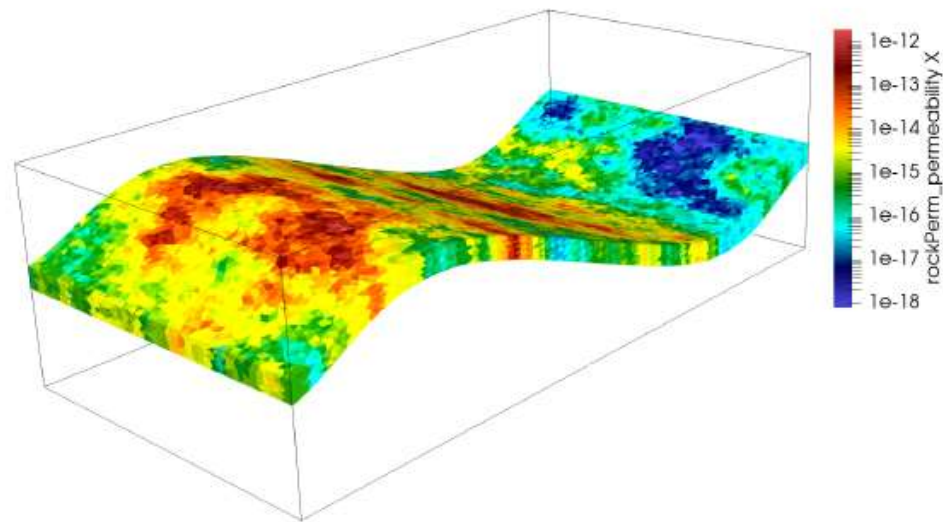
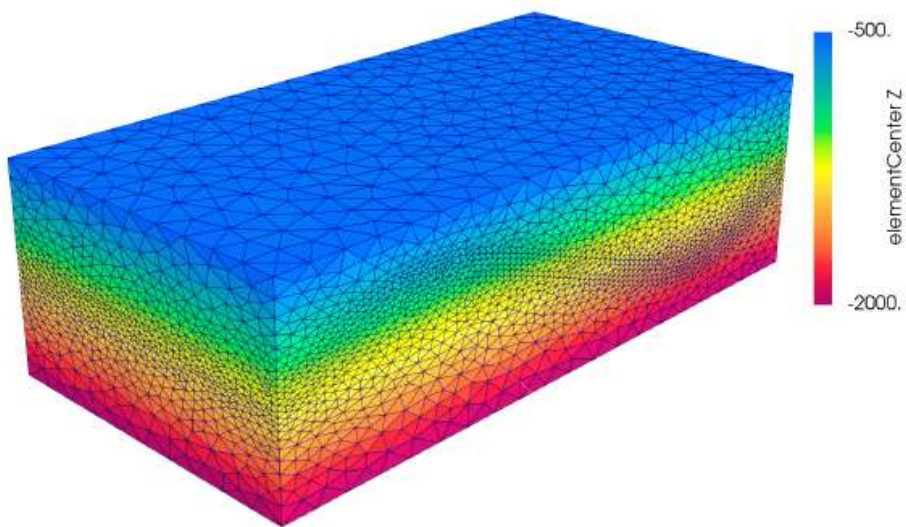
- TOUGH3 (美国LLNL)
- Waiwera (新西兰奥克兰大学)





水力压裂

美国LLNL新一代的地下多孔介质模拟器，主要特点就是：HPC+非结构网格。还处于重度开发阶段。



GEOSX



问题咨询

地质地层结构的数字化？

溯源原始的测井、地震波数据格式及转换方法。

Gempy的输入文件格式： Fault.csv

X,Y,Z,formation

```
551308.0638427734,7817436.131347656,-9982.79296875,Claudius_fault
551332.5639648438,7817579.006347656,-9904.140625,Claudius_fault
551369.22265625,7817557.0078125,-9829.345703125,Claudius_fault
551392.1899414062,7817380.302246094,-9829.375,Claudius_fault
```

Moureze_Points.csv

1 X;Y;Z;OrientX;OrientY;OrientZ

2 272.000000;86.000000;-149.12;-99999.000000;-99999.000000;-99999.000000

3 256.198395;344.000000;-100;0.671273;0.641262;0.371719

4 236.000000;17.083025;-90;-99999.000000;-99999.000000;-99999.000000

5 199.974075;351.877136;-157.355;0.447513;0.563921;0.694065

Paper_GU2F_sc_faults_topo_Foliations.csv

1 X,Y,Z,azimuth,dip,polarity,formation

2 393936.142320,6693632.776940,957.702303,263.276747,1.193492,1,Permian

3 396918.892567,6693984.396839,977.204803,83.276747,0.349367,1,Permian

4 351487.758871,6688628.772226,-7385.646697,83.277000,6.546000,1,Permian

5 338518.168564,6650708.570891,-4542.306605,256.590252,1.789915,1,Permian

6 397464.032464,6663077.533819,959.378895,268.100891,1.432093,1,Permian



中國地質大學
China University of Geosciences

艰苦朴素 求真务实

溫家寶

问题咨询

艰苦朴素
求真务实
溫家寶

中國地質大學



中國地質大學
China University of Geosciences

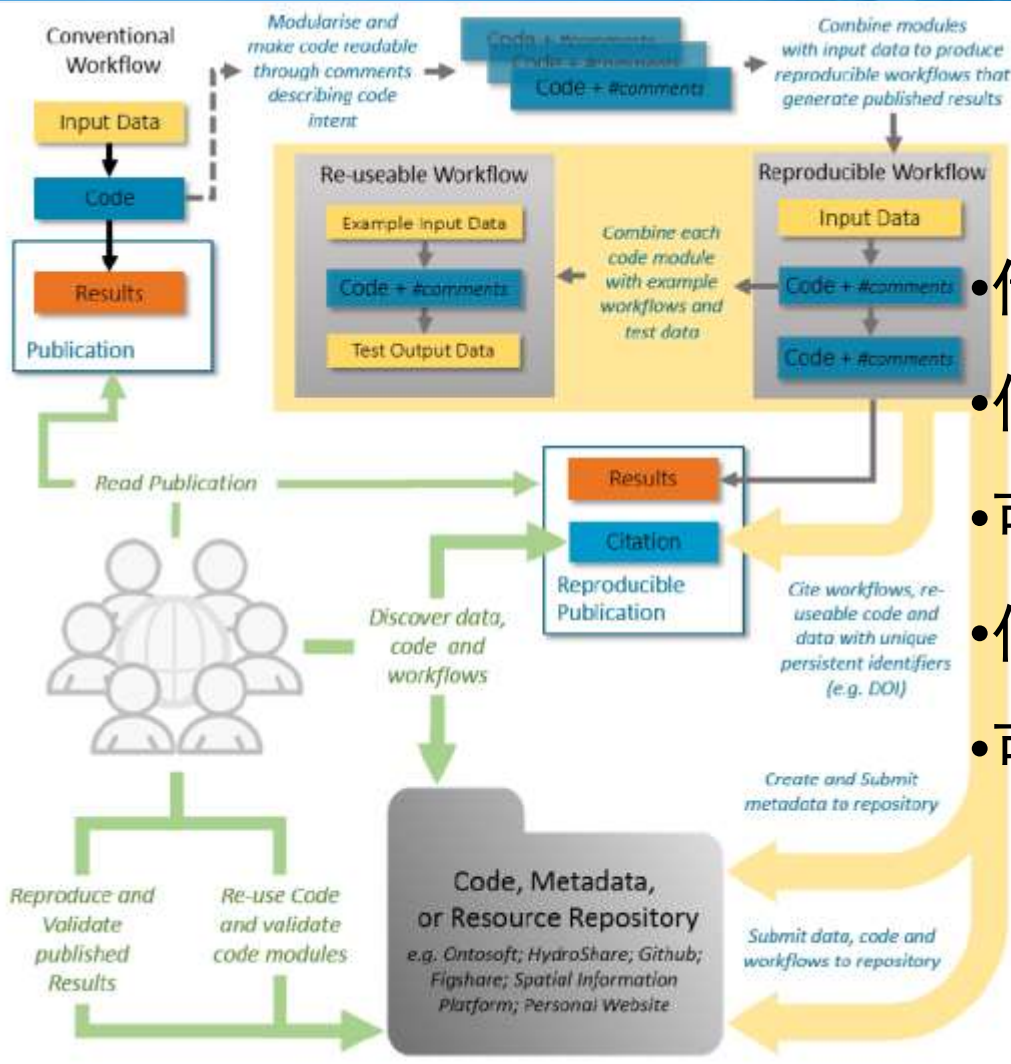
艰苦朴素 求真务实

温家宝

问题咨询

艰苦朴素
求真务实
温家宝

中国地质大学



•传统的工作流

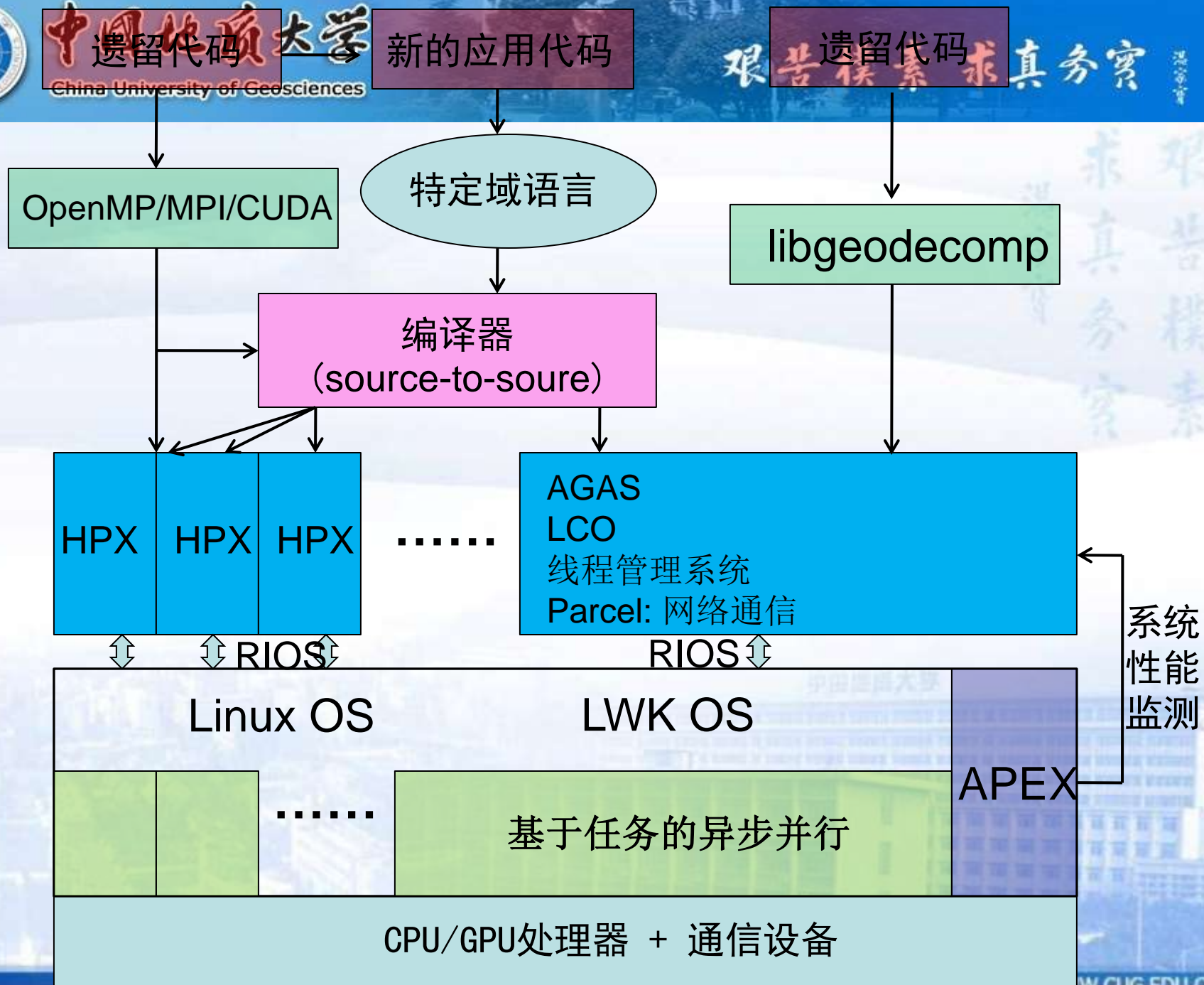
•代码模块化并注释

•可重复的工作流

•代码和数据的引用 (DOI, Zendo, github)

•可重复的论文发表结果

Hutton, C., et al. (2016). **Most computational hydrology is not reproducible, so is it really science?** Water Resources Research.





lijian_cug / OpenGeoModeller

Watching 1 Star 0 Fork 0

代码

Issues 0

Pull Requests 0

Wiki

统计

流水线

服务

管理

master 分支 1 标签 0

+ Pull Request

+ Issue

文件

Web IDE

克隆/下载

lijian_cug Add files 3db6cc8 28分钟前

共 3 次提交

ESM	Add files	28分钟前
GroundWater	Add files	28分钟前
HPC	Add files	28分钟前
Meterology	Add files	28分钟前
Reservoir	Add files	28分钟前
Seismics	Add files	28分钟前
SurfaceWater	Add files	28分钟前
VirtualReality	Add files	28分钟前
README.md	Add files	28分钟前

简介

地球流体力学模拟系统，包含：气象、地表水（海洋、河流与湖泊）、地下水、地震波等组件。目的是：（1）快速编译安装和运行模式；（2）前处理、编译和后处理的文档说明；（3）高性能计算，提高时空分辨率；（4）自动化建模 workflow。

暂无标签

发行版

暂无发行版，创建

贡献者 (1)

全部



一级目录



master open-geo-modeller / SurfaceWater

新建文件

新建 Diagram 文件

新建文件夹

新建子模块

上传文件

克隆/下载

lijian_cug Add files 3db6cc8 31分钟前

目 3 次提交

...

ADCIRC

Add files

31分钟前

SCHISM

Initially created

36分钟前

SUNTANS

Add files

31分钟前

shyfer

Add files

31分钟前

telemac

Add files

31分钟前

README.md

Initially created

36分钟前

README.md

• SurfaceWater

• 仓库内容

SurfaceWater

仓库内容

地表水模拟系统，指模拟河流、湖泊和海洋等地表水体流动和物质输移，如泥沙输移和河（海）床演变、污染物输移和水质过程等。

地表水模拟系统组件有：

1. SCHISM模式：三维，半隐格式，有限元，美国弗吉尼亚海洋研究所VIMS

二级目录



master open-geo-modeller / SurfaceWater / SCHISM

新建文件

新建 Diagram 文件

新建文件夹

新建子模块

上传文件

克隆/下载

lijian_cug Initially created f2a4db4 38分钟前

3 次提交

README.md

Initially created

38分钟前

README.md

SCHISM

- 介绍
- 内容

SCHISM

介绍

1. 美国弗吉尼亚海洋研究所开发的三维非结构网格模式的海洋动力学模式，有限单元法
2. 编程语言：FORTRAN语言
3. 并行方式：集群并行MPI和多线程并行OpenMP

内容

1. pre-processing: 模式的前处理程序：网格生成、地形插值、边界条件和初始条件设置
2. install: 源码编译安装的脚本程序和源码压缩包，目的：一键生成可执行程序
3. post-processing: 模式的后处理程序：矢量场和标量场的可视化，计算结果验证等
4. docs: 模式的基本介绍、编译步骤和算例测试说明等

三级目录



建立的区域性地系统耦合模拟平台将在gitee开放，仓库的目录结构如下：

一级目录，包含：**HPC**基座、组件代码及前后处理的构建脚本及说明文档；

二级目录，包含：各组件列表目录及说明文档；

三级目录，包含：各组件下的具体模型代码构建、运行步骤及说明文档。