



陕西延长石油(集团)有限责任公司

SHAANXI YANCHANG PETROLEUM(GROUP)CO.,LTD.

5月28日, 2024 | 北京

## 企业数字化应用平台建设探索实践

刘鹏, 陕西延长石油(集团)有限责任公司天然气研究院



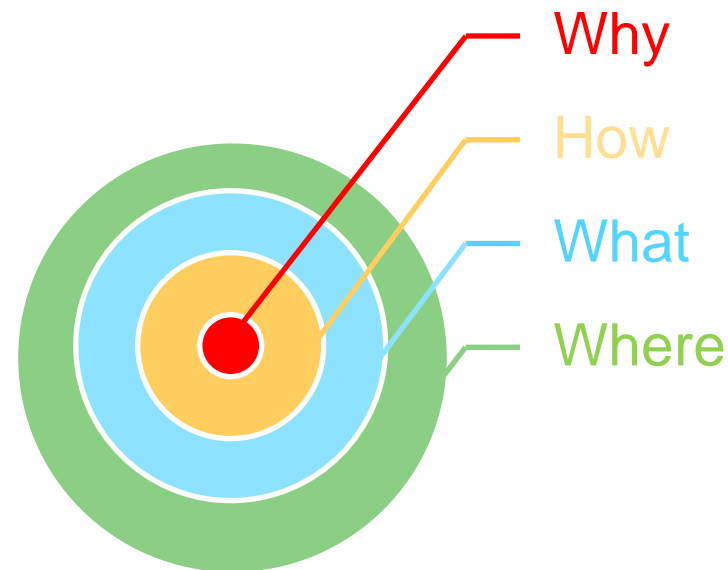
气藏评价研究所/主管工程师

MATLAB EXPO

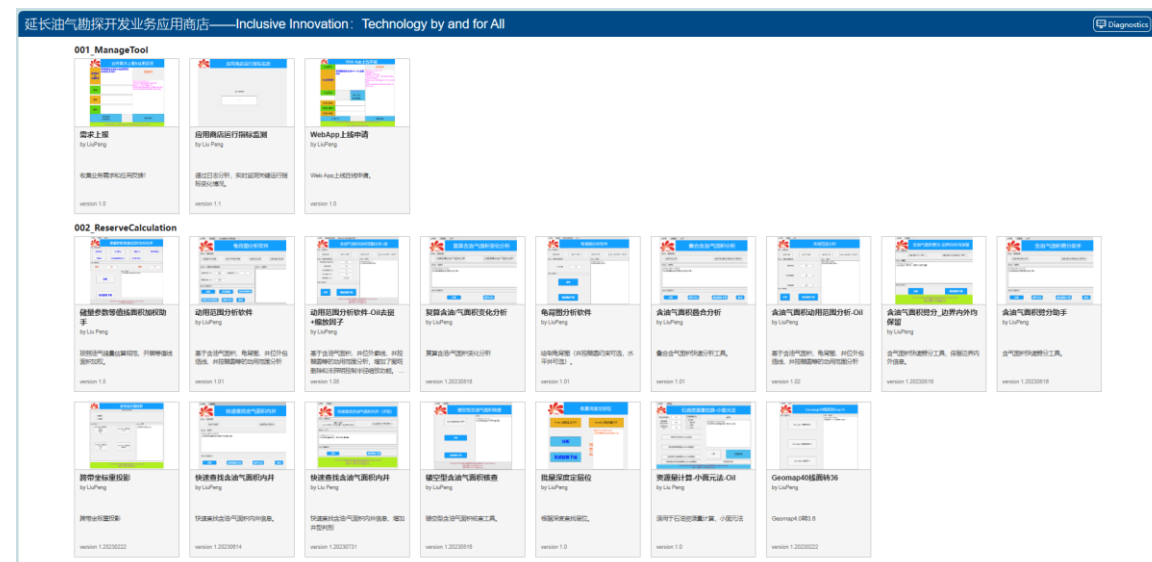
# 企业数字化应用平台建设探索实践

## 内容概要

- 公司
- Why? ——基于MATLAB的储量业务数字化转型背景
  - 困境
  - 选择
- How? ——储量业务数字化转型探索历程
  - 数据处理>>图形可视化>>报告自动生成
  - 业务模型>>算法原型>>APP开发与验证>>APP部署
  - “开发-应用-反馈-迭代” 工作模式
- What? ——效果评价
  - 自主搭建基于Web App Server的企业内业务应用商店
  - 运行指标分析
- Where? ——展望
  - “开发-应用-反馈-迭代” 的科研成果实时转化平台
  - 合作交流的桥梁与纽带



黄金圈法则(据Simon Sinek 《Start With Why》修改)



自研内网业务应用商店首页

# 公司简介

- 1905年，经清政府批准在陕西延长县创建“延长石油厂”；
- 1907年，钻成中国陆上第一口油井，中国陆上石油工业的发祥地；
- 1944年，毛主席为时任延长石油厂厂长陈振夏题词“埋头苦干”；
- 1998年，延长油矿管理局、延炼和榆林炼油厂合并；
- 2005年，延长油矿管理局+延安、榆林两市14个县区石油钻采公司重组为陕西延长石油集团公司；
- 2007年，原油产量首次突破1000万吨大关。
- 2023年，油气当量超过1800万吨，世界500强第269位。



石油天然气勘探



石油天然气开发



煤炭开采



石油炼制



石油储运



油气煤综合利用



精细化工



LNG



成品油销售

## 中国陆上第一口油井

The first onshore oil well in China



# 基于MATLAB的储量业务数字化转型背景

## 内容概要

- 公司
- Why? ——基于MATLAB的储量业务数字化转型背景
  - 困境
  - 选择
- How? ——储量业务数字化转型探索历程
  - 数据处理>>图形可视化>>报告自动生成
  - 业务模型>>算法原型>>APP开发与验证>>APP部署
  - “开发-应用-反馈-迭代” 工作模式
- What? ——效果评价
  - 自主搭建基于Web App Server的企业内业务应用商店
  - 运行指标分析
- Where? ——展望
  - “开发-应用-反馈-迭代” 的科研成果实时转化平台
  - 合作交流的桥梁与纽带

利用地层水矿化度计算地层水电阻率

| 离子类型                                  | 矿化度 (mg/L)      |          |       |
|---------------------------------------|-----------------|----------|-------|
|                                       | 原始矿化度           | 等效系数     | 等效矿化度 |
| 钾离子 (K <sup>+</sup> )                 |                 | 未输入有效数值! |       |
| 钙离子 (Ca <sup>2+</sup> )               |                 | 未输入有效数值! |       |
| 钠离子 (Na <sup>+</sup> )                |                 | 未输入有效数值! |       |
| 镁离子 (Mg <sup>2+</sup> )               |                 | 未输入有效数值! |       |
| 锂离子 (Li <sup>+</sup> )                |                 | 未输入有效数值! |       |
| 铵根 (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )    |                 | 未输入有效数值! |       |
| 硫酸根 (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )  |                 | 未输入有效数值! |       |
| 碳酸根 (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )  |                 | 未输入有效数值! |       |
| 碳酸氢根 (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) |                 | 未输入有效数值! |       |
| 盐酸根 (Cl <sup>-</sup> )                |                 | 未输入有效数值! |       |
| 硝酸根 (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )   |                 | 未输入有效数值! |       |
| 亚硝酸根 (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )  |                 | 未输入有效数值! |       |
| 溴离子 (Br <sup>-</sup> )                |                 | 未输入有效数值! |       |
| 碘离子 (I <sup>-</sup> )                 |                 | 未输入有效数值! |       |
| 总矿化度 (mg/L)                           |                 |          |       |
| 油藏温度 (°C)                             |                 |          |       |
| 地层水电阻率 (Ω·m)                          | 油藏温度或等效总矿化度非数值! |          |       |

Excel手段

计算地层水电阻率

打开

成分离子浓度 (ppm)

|                                      |  |   |  |
|--------------------------------------|--|---|--|
| 钾离子 (K <sup>+</sup> ):               |  | 硫酸根离子 (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ): |  |
| 钙离子 (Ca <sup>2+</sup> ):             |  | 碳酸根离子 (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ): |  |
| 镁离子 (Mg <sup>2+</sup> ):             |  | 碳酸氢根 (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ):  |  |
| 钠离子 (Na <sup>+</sup> ):              |  | 盐酸根离子 (Cl <sup>-</sup> ):               |  |
| 锂离子 (Li <sup>+</sup> ):              |  | 溴离子 (Br <sup>-</sup> ):                 |  |
| 铵根 (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ):  |  | 碘离子 (I <sup>-</sup> ):                  |  |
| 硝酸根 (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ): |  | 亚硝酸根 (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ):   |  |
| 油藏温度 (°C):                           |  |   |  |

等效NaCl总矿化度 原始总矿化度:  
查图版地层水电阻率 公式算地层水电阻

计算 保存 退出 版权

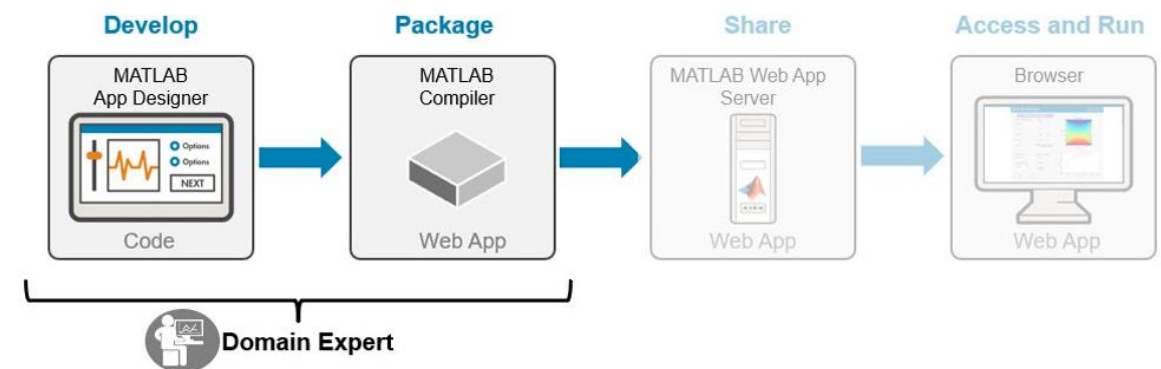
小插件手段

- 以往储量申报过程中，有很多的经验、教训；
- 储量计算的常规手段不成体系；
- 数据汇总、处理、分析、研究脱节；
- 手段不成体系，方法原理黑盒，结果精度不可控！

# 基于MATLAB的储量业务数字化转型背景

## 内容概要

- 公司
- Why? ——基于MATLAB的储量业务数字化转型背景
  - 困境
  - 选择
- How? ——储量业务数字化转型探索历程
  - 数据处理>>图形可视化>>报告自动生成
  - 业务模型>>算法原型>>APP开发与验证>>APP部署
  - “开发-应用-反馈-迭代” 工作模式
- What? ——效果评价
  - 自主搭建基于Web App Server的企业内业务应用商店
  - 运行指标分析
- Where? ——展望
  - “开发-应用-反馈-迭代” 的科研成果实时转化平台
  - 合作交流的桥梁与纽带



- 专家经验提炼
- 业务流程优化

共享手段  
(网页)

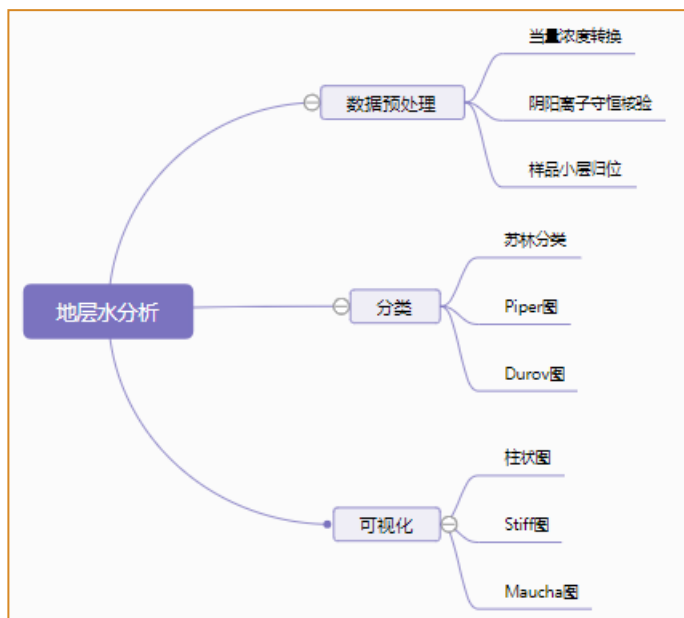
广大技术人员

- 近五年，团队承担了10余项储量计算自研任务，沉淀了大量业务知识和经验；
- 团队具备Python、MATLAB、VBA等语言编程能力，已开发积累了一系列相关的软件模块。

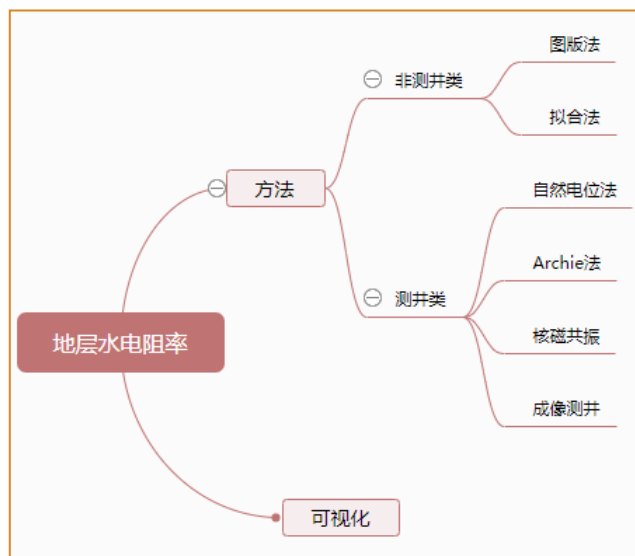
# 储量业务数字化转型探索历程

## How? ——储量业务数字化转型探索历程

- 数据处理>>图形可视化>>报告自动生成
- 业务模型>>算法原型>>APP开发与验证>>APP部署
- “开发-应用-反馈-迭代” 工作模式



数据：水样  
软件：Excel、Geomap、OriginLab等



数据：地层温度  
特定测井曲线  
软件：Excel、Forward、Discover、石文等

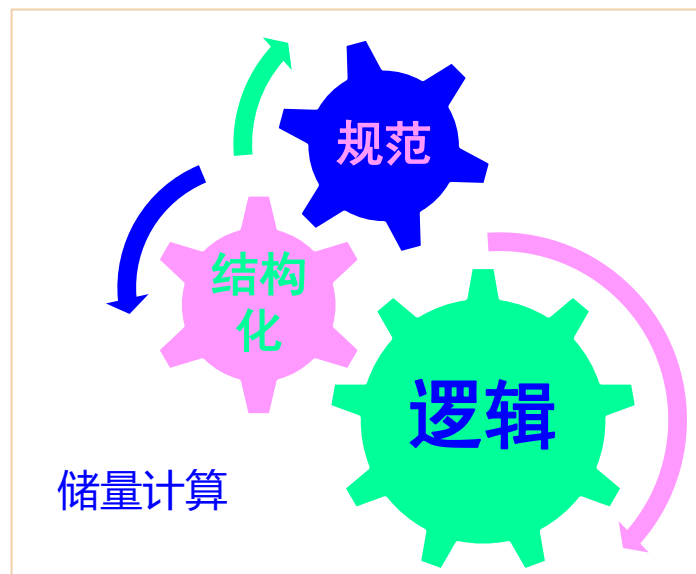


数据：电性数据  
H、φ  
软件：Excel、Forward、Discover、石文等

# 储量业务数字化转型探索历程

## How? ——储量业务数字化转型探索历程

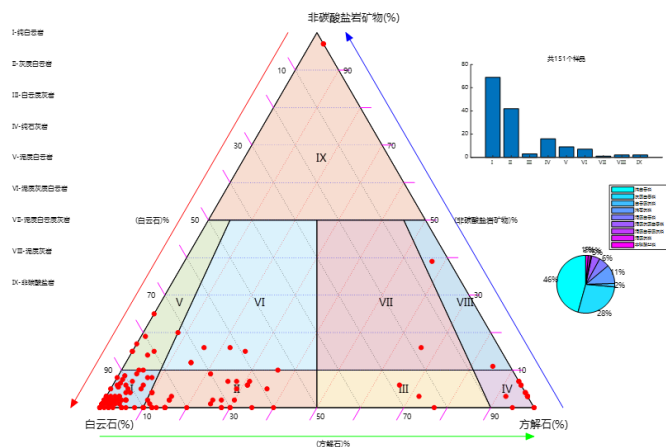
- 数据处理>>图形可视化>>报告自动生成
- 业务模型>>算法原型>>APP开发与验证>>APP部署
- “开发-应用-反馈-迭代” 工作模式



早期自研并已内部应用的模块化软件  
(基于MATLAB)

# 储量业务数字化转型探索历程

- How? ——储量业务数字化转型探索历程
  - 数据处理>>图形可视化>>报告自动生成
  - 业务模型>>算法原型>>APP开发与验证>>APP部署
  - “开发-应用-反馈-迭代” 工作模式



- 基于数据驱动的图、表，批量、定制化输出，将人力成本降至接近0；
- 地质三角图、样品直方图、饼状图同步输出，保证一致性；
- 不到1s时间即可完成附表1编制，可复用；
- 数据源-成果表-成果图可保持同步更新。



## How? ——储量业务数字化转型探索历程

—— 数据处理>>图形可视化>>报告自动生成

—— 业务模型>>算法原型>>APP开发与验证>>APP部署

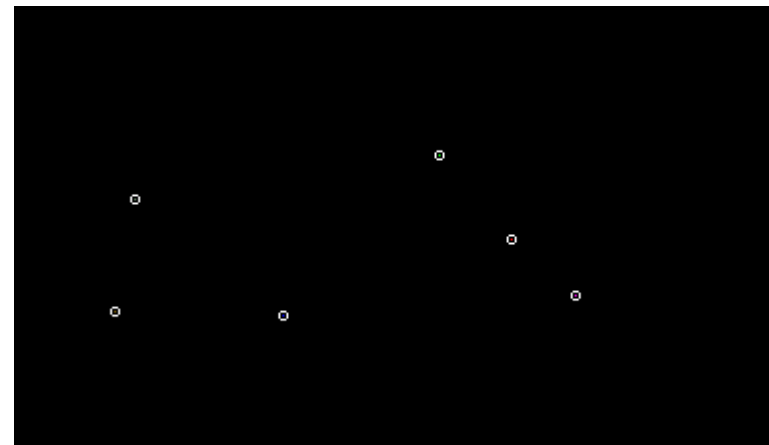
—— “开发-应用-反馈-迭代” 工作模式

## Voronoi图业务开发实例

**业务场景：**油气勘探开发中，常用利用龟背图（Voronoi图）表征单井控制面积；

**业务需求：**绘制含油气面积约束的龟背图，获取单井控制的面积；

**早期做法：**手绘或借助专业软件。



- 如何实现平面区域分割（井眼一孔之见推广到油气区块尺度认识）
- 数学模型：基于距离最近原则的平面空间分割

## Voronoi图业务开发实例

```
>>> import matplotlib.pyplot as plt
>>> rng = np.random.default_rng()
>>> points = rng.random((10,2))
```

Voronoi点图:

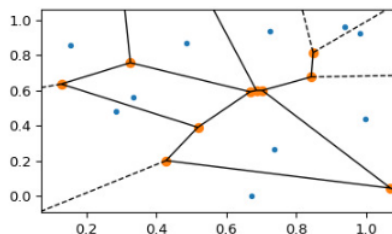
```
>>> from scipy.spatial import Voronoi, voronoi_plot_2d
>>> vor = Voronoi(points)
```

使用voronoi\_plot\_2d进行可视化:

```
>>> fig = voronoi_plot_2d(vor)
```

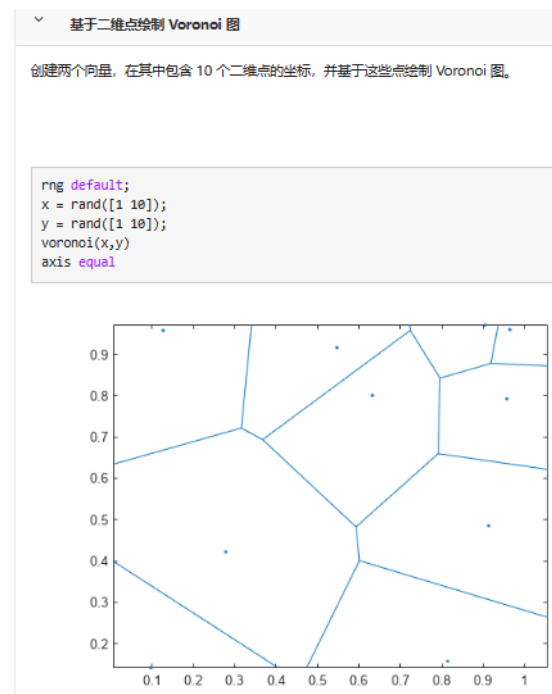
使用voronoi\_plot\_2d进行增强的可视化:

```
>>> fig = voronoi_plot_2d(vor, show_vertices=False, line_colors='orange',
...                       line_width=2, line_alpha=0.6, point_size=2)
>>> plt.show()
```



## Python方案

- 无论是Python还是MATLAB, Voronoi图绘制均非常简单;
- 存在问题: 外围点均是向无限远延伸; 外围子网格是非封闭的;
- MATLAB File Exchange提供了封闭边界约束的算法支持功能;
- MathWorks官网文档是最丰富详实的免费自学教材;
- 利用计算几何中多边形的布尔运算, 可实现含油气面积内Voronoi图裁剪。

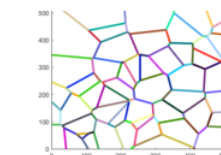


## MATLAB方案

MathWorks® 产品 解决方案 学术 支持 社区 活动

### File Exchange

MATLAB Central ▾ 文件 作者 我的 File Exchange ▾ 发布 关于



#### Voronoi bounded rectangular or square limits

版本 1.1.1 (554.1 KB) 作者: Preetham Manjunatha

Provides a bounded Voronoi Diagram with vertices similar to MATLAB [vx,vy] = voronoi(x,y), prunes the edges that extend.

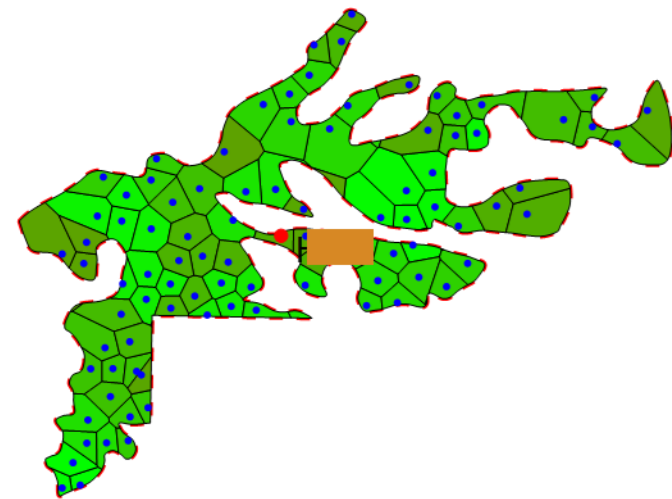
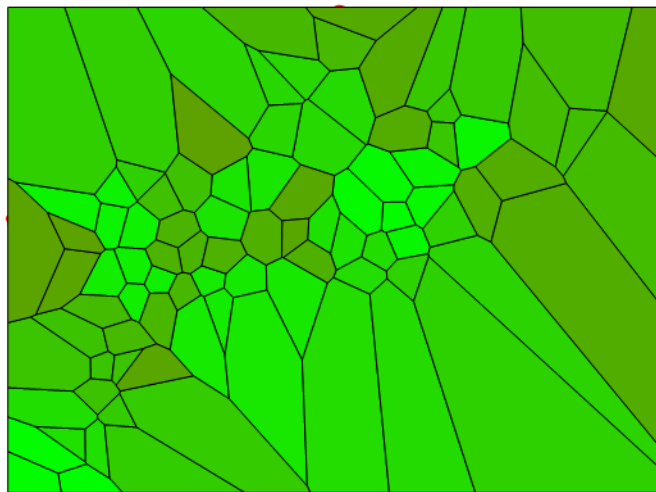
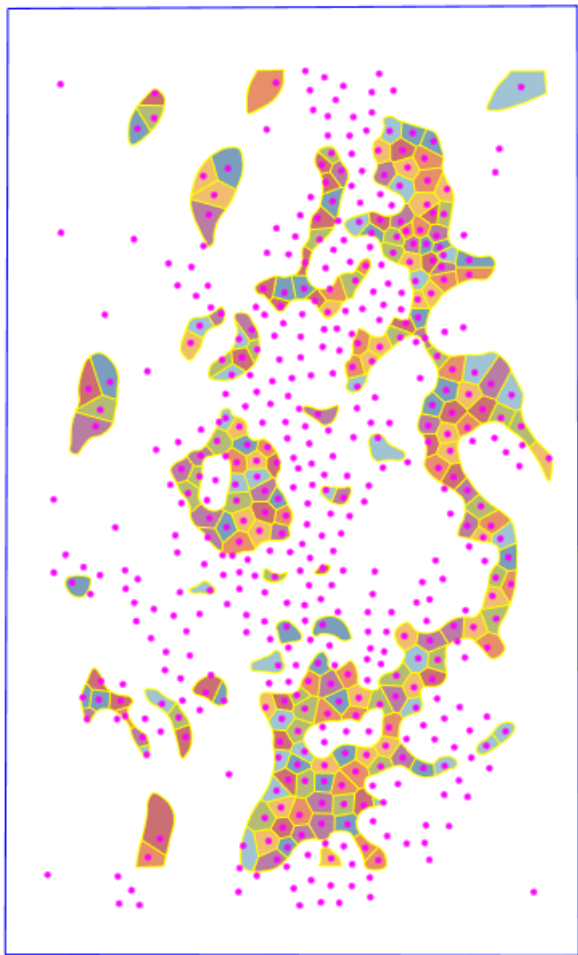
<https://github.com/preethamam/VoronoiLimitRectSquare>

总览 函数 版本历史记录 评论 (0) 讨论 (0)

### VoronoiLimitRectSquare

Provides a bounded Voronoi Diagram with vertices similar to MATLAB [vx,vy] = voronoi(x,y). In other words, that extend the boundaries of the given x and y values.

## Voronoi图业务开发实例



- 基于计算几何，可绘制任意边界（内部可含孔洞）约束的龟背图！

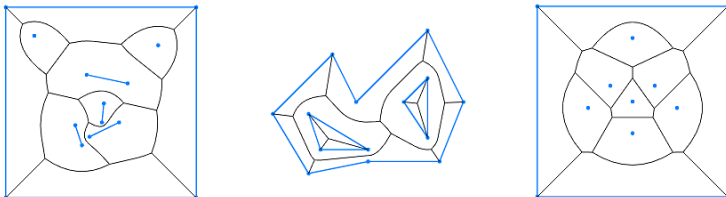
# Voronoi图业务开发实例——新的业务场景挑战



## THE BOOST POLYGON VORONOI EXTENSIONS

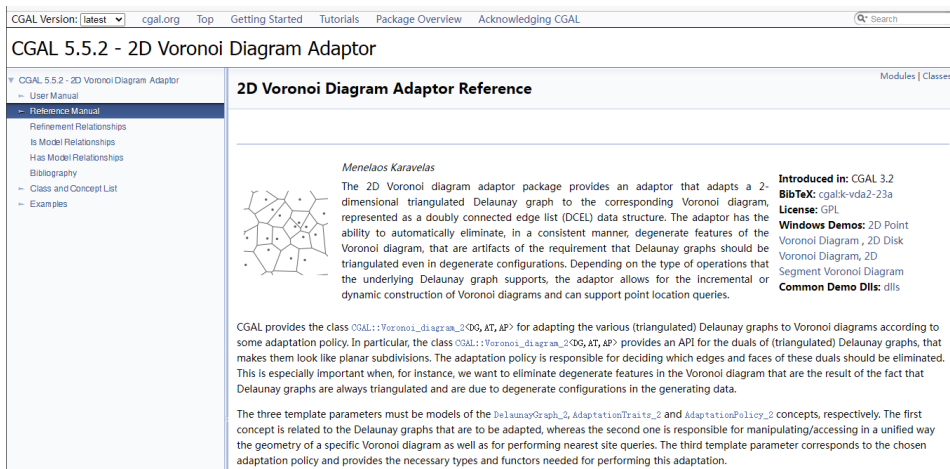
### Contents

- [Boost.Polygon Main Page](#)
- [Design Overview](#)
- [Isotropy](#)
- [Coordinate Concept](#)
- [Interval Concept](#)
- [Point Concept](#)
- [Segment Concept](#)
- [Rectangle Concept](#)
- [Polygon 90 Concept](#)
- [Polygon 90 With Holes Concept](#)
- [Polygon 45 Concept](#)
- [Polygon 45 With Holes Concept](#)
- [Polygon Concept](#)
- [Polygon With Holes Concept](#)
- [Polygon 90 Set Concept](#)
- [Polygon 45 Set Concept](#)
- [Polygon Set Concept](#)
- [Connectivity Extraction 90](#)
- [Connectivity Extraction 45](#)
- [Connectivity Extraction](#)



The Voronoi extensions of the Boost Polygon library provide functionality to construct a [Voronoi diagram](#) of a set of points and linear segments in 2D space with the following set of limitations:

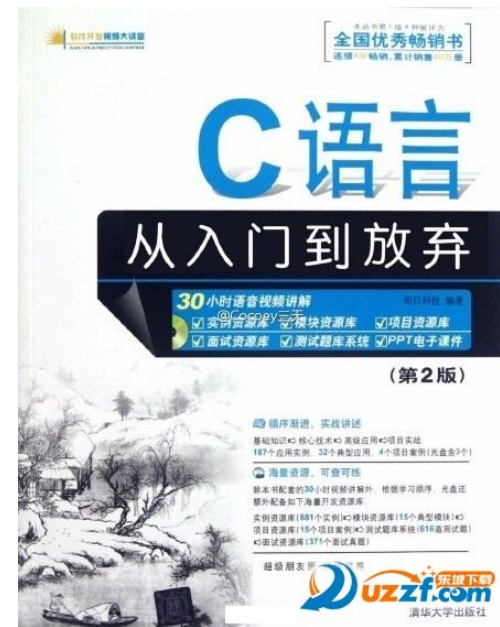
- Coordinates of the input points and endpoints of the input segments should have integral type. The int32 data type is supported by the default implementation. Support for the other data types (e.g. int64) could be achieved through the configuration of the coordinate type traits ([Voronoi Advanced tutorial](#)).
- Input points and segments should not overlap except their endpoints. This means that input point should not lie inside the input segment and input segments should not intersect except their endpoints.



## 新的业务场景挑战：水平井龟背图？

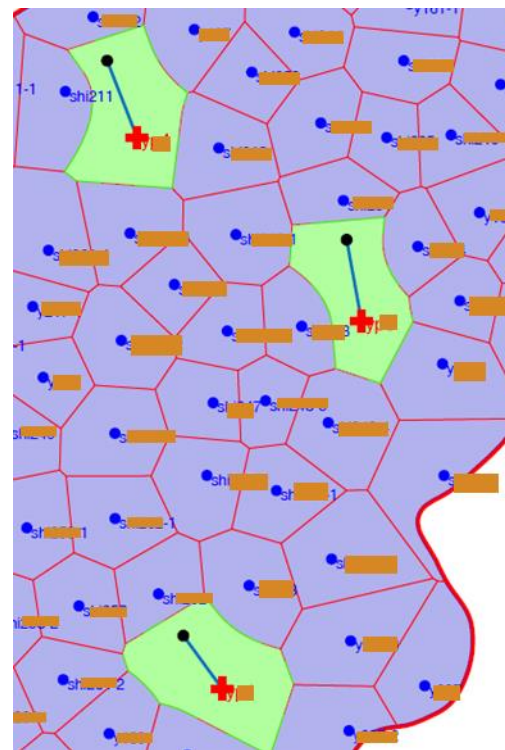
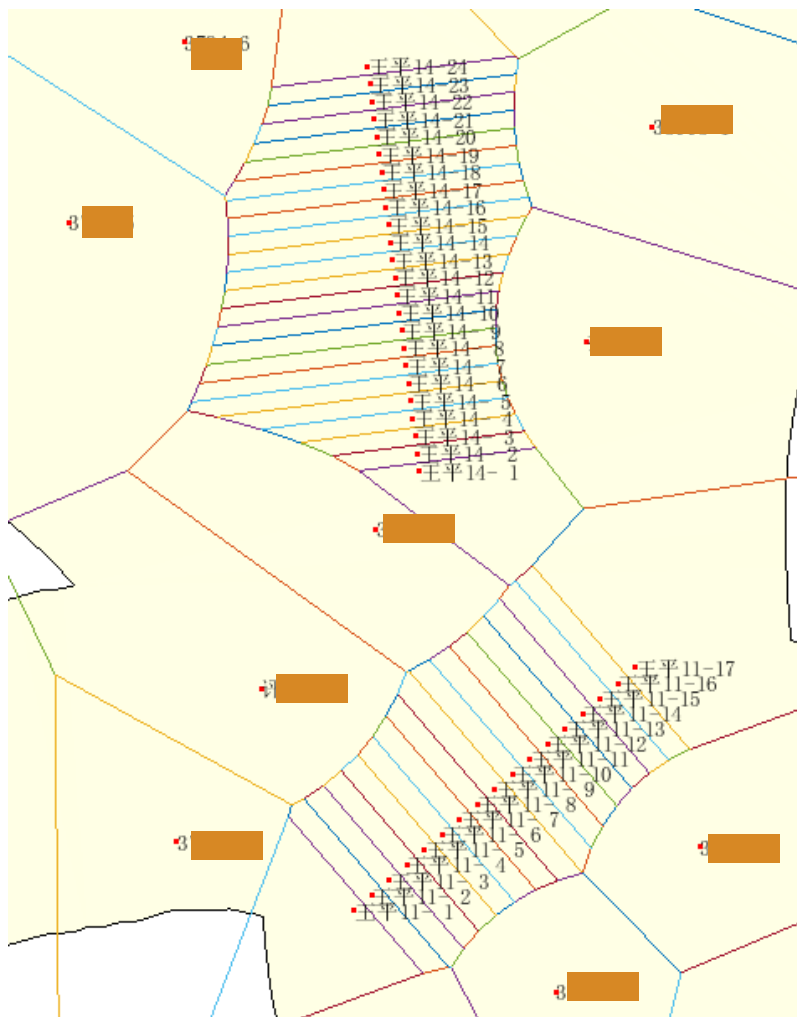
目前行业现状：

未见成熟商业软件模块



- 可查询到C++语言 Boost 和 CGAL 基于Line Segment的相关函数；
- C++的配置环境、编译C++库等操作，对专业技术人员不够友好；

## Voronoi图业务开发实例——新的业务场景挑战



- 利用MATLAB插值算法；
- 将水平井等效为密集插值的直井井点组合；
- 可近似获取水平井井点面积！

# How? ——储量业务数字化转型探索历程

- 数据处理>>图形可视化>>报告自动生成
- 业务模型>>算法原型>>APP开发与验证>>APP部署
- “开发-应用-反馈-迭代” 工作模式



## Web 应用身份验证

使用身份验证来验证用户凭据，并允许用户访问在 MATLAB Web App Server 上托管的 Web 应用。该服务器支持使用轻量级目录访问协议 (LDAP) 和 OpenID Connect (OIDC) 进行身份验证。

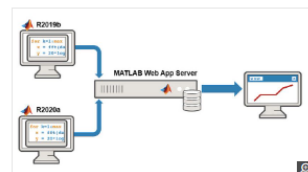
[文档](#)



## 访问控制

通过对各个应用或应用文件夹应用基于角色或基于策略的访问权限，管理对 Web 应用的访问。经授权访问特定 App 或 App 文件夹的用户只能查看和运行这些特定的 App。

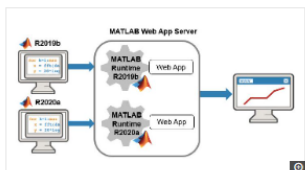
[文档 \(角色\) | 文档 \(策略\)](#)



## Web 应用的迁移

对于使用 R2019b 或更高版本开发的 MATLAB 应用，可通过同一个 MATLAB Web App Server 实例同时托管和共享。在升级到 MATLAB 和 Simulink 的更新版本时，不必重新打包 Web 应用。

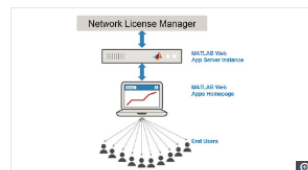
[文档](#)



## 免版权费共享

您可以将 MATLAB Web App Server 配置为使用 MATLAB Runtime，后者是一个共享库集合，这些共享库支持执行基于 MATLAB 和 Simulink 的 Web 应用。在同一个 MATLAB Web App Server 实例上安装和运行从 R2019b 开始的多个版本的 MATLAB Runtime。

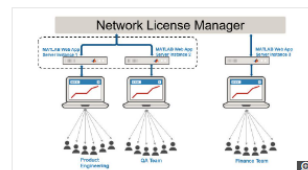
[文档](#)



## 最终用户访问权限

MATLAB Web App Server 的每个服务器实例可托管和运行任意多的应用，服务任意多的最终用户，具体取决于服务器硬件的支持能力。

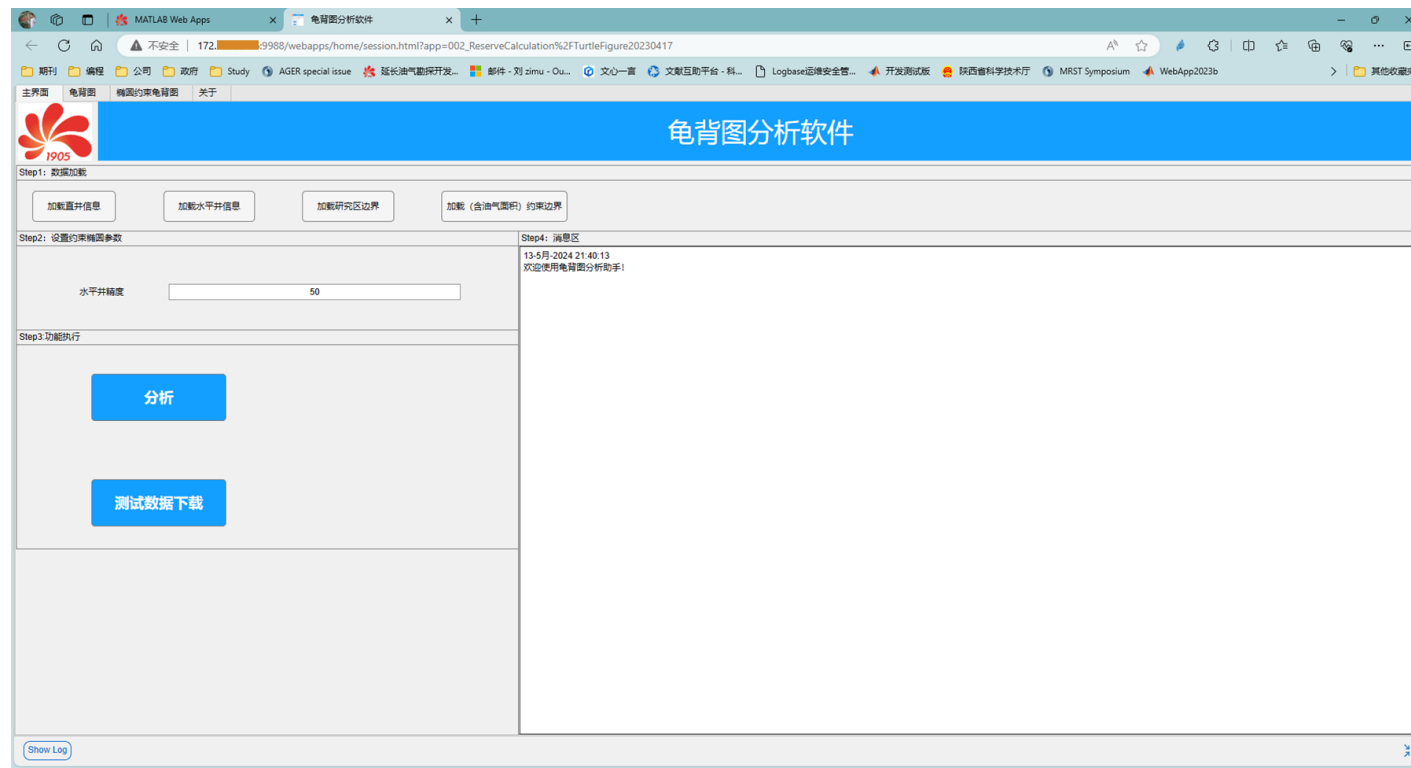
[文档](#)



## 多个服务器实例

安装多个 MATLAB Web App Server 服务器实例，针对组织中的各个部门或团队支持和运行 MATLAB Web 应用。每个服务器实例可通过服务于对应部门最终用户的唯一 URL 进行访问。

[文档](#)



## ■ 利用Web APP Server可以轻松实现APP内网部署

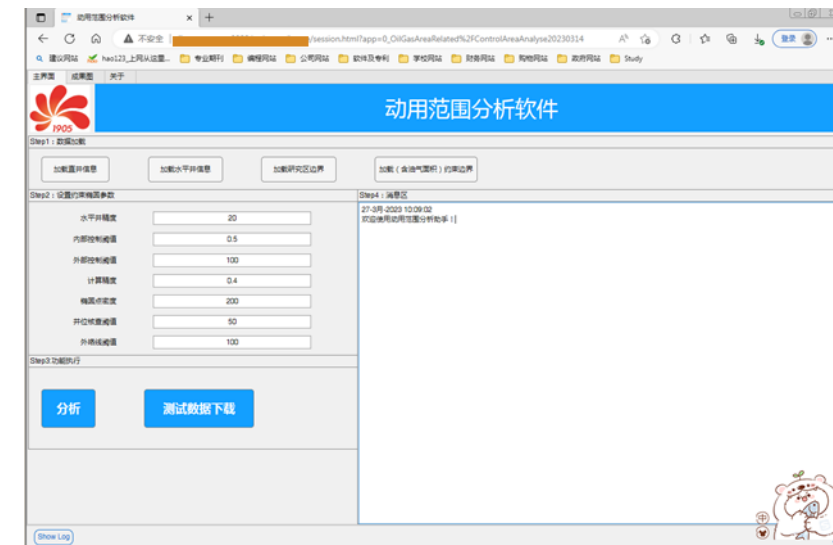
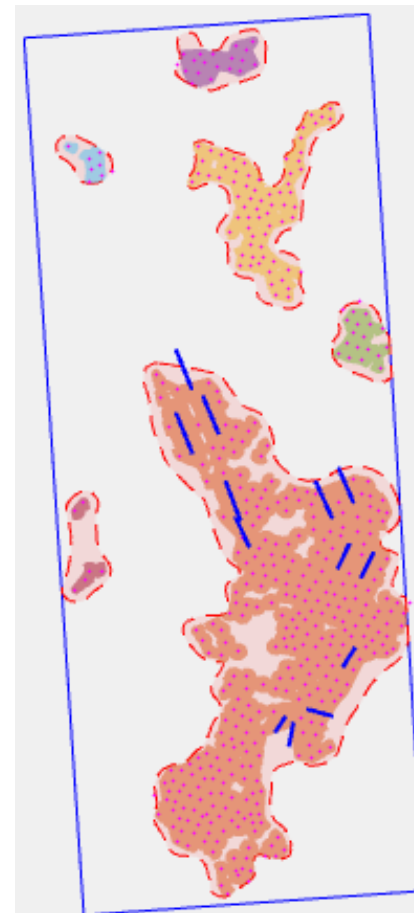
# How? ——储量业务数字化转型探索历程

- 数据处理>>图形可视化>>报告自动生成
- 业务模型>>算法原型>>APP开发与验证>>APP部署
- “开发-应用-反馈-迭代” 工作模式

基层反馈新业务场景: 开发动用程度分析

业务需求: 剩余可动用面积计算

早期做法: **手绘后读值**



| BlockName | Area_Unit | Area_EllipsePoly_GasBoundary | Control_Percent_EllipsePoly_GasBoundary | Area_EllipsePoly_WellEnvelope | Control_Percent_EllipsePoly_WellEnvelope |
|-----------|-----------|------------------------------|---|-------------------------------|--|
| 44        | 31.60     | 26.41                        | 83.57%                                  | 24.22                         | 76.63%                                   |
| 38        | 5.21      | 4.54                         | 87.09%                                  | 3.85                          | 73.89%                                   |
| 38        | 1.70      | 1.32                         | 77.35%                                  | 1.04                          | 60.90%                                   |
| 3         | 1.51      | 1.26                         | 83.27%                                  | 0.95                          | 62.81%                                   |
| 38        | 0.74      | 0.52                         | 69.45%                                  | 0.37                          | 50.30%                                   |
| 3         | 1.46      | 0.57                         | 39.24%                                  | 0.37                          | 25.33%                                   |

## “开发-应用-反馈-迭代” 持续优化迭代

- 含气面积+龟背图+井控椭圆;
- 可初步实现开发动用程度分析。

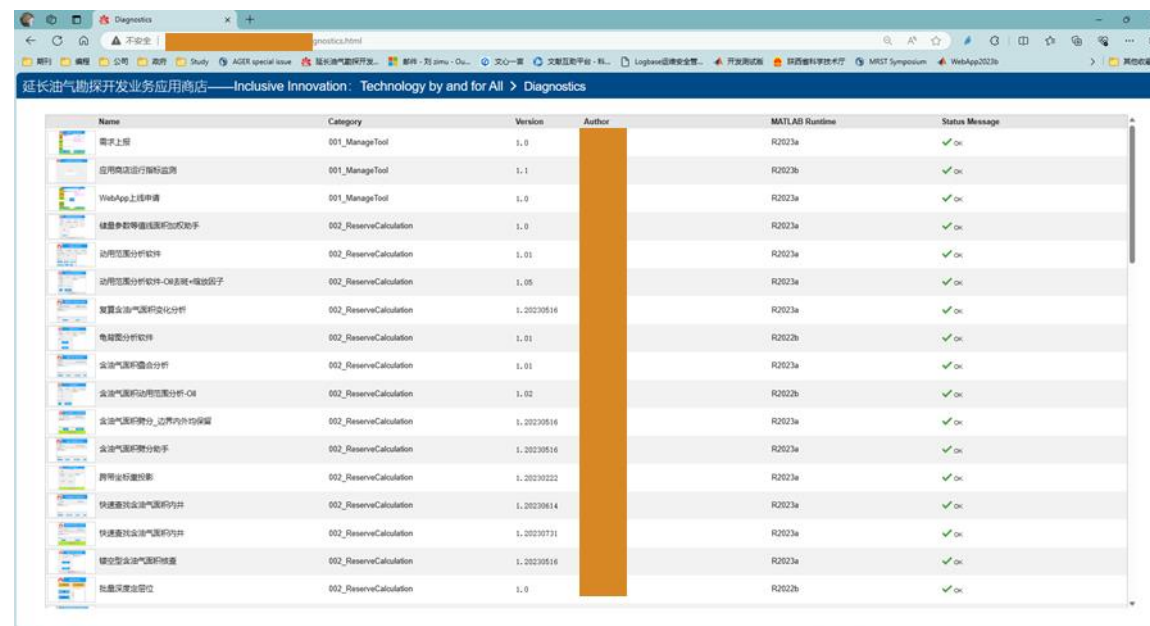
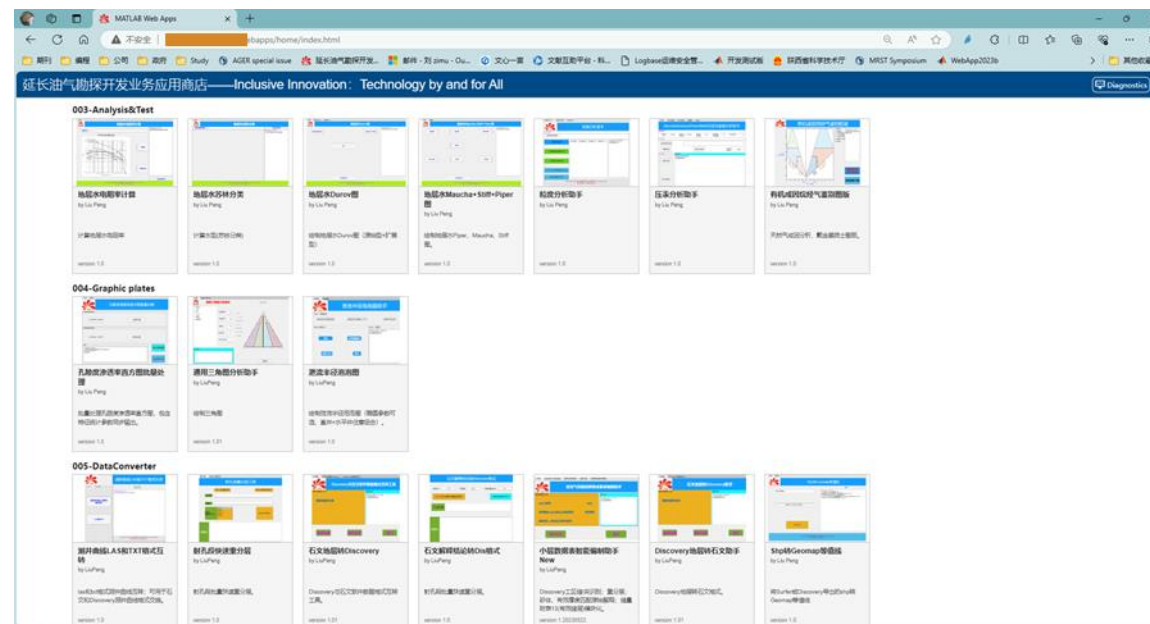
# What? ——效果评价

## 内容概要

- What? ——效果评价
  - 自主搭建基于Web App Server的企业内业务应用商店
  - 运行指标分析

## 数字化平台的应用形式

- 快速部署的模式，实现了团队成果 实施、转化“接地气”；
- 基于服务器的部署方式，实现集中管理，随时更新；
- 基于浏览器的应用访问方式，可实现内网任何时间、任何地点的快速访问。





## 内容概要

- What? ——效果评价
  - 自主搭建基于Web App Server的企业内业务应用商店
  - 运行指标分析
- 建立“数据”+“算法”+“应用场景”的储量计算关键参数数字化解决方案；
- 研发符合储量计算规范的关键参数智能计算Web应用（Web App）；
- 形成标准化、模块化、可复制、可推广的致密气储量计算技术体系。

### 内网业务应用商店 目前板块分类

管理工具

储量计算

分析化验

专业图版

数据转换

报告自动生成

注水开发

气藏管理

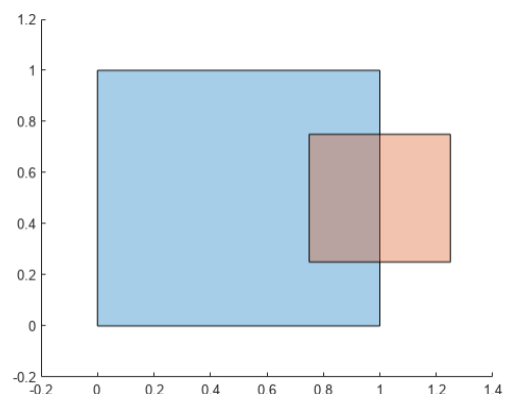
CCUS

### 数字化应用平台提供的的能力

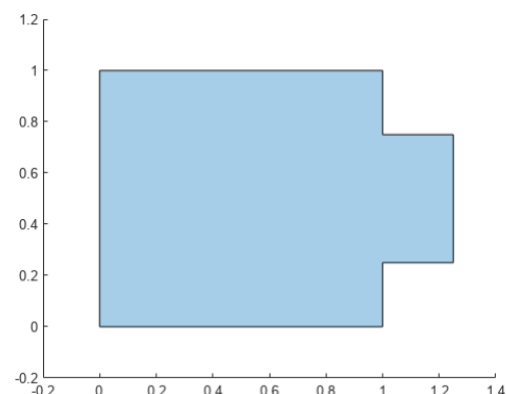
- 数据分析
- 智能计算
- 图版可视化分析
- 报告生成

# 数字化平台应用案例

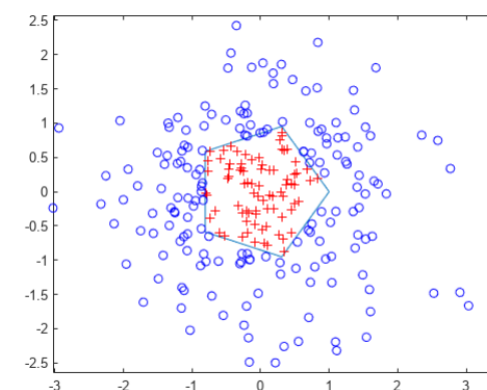
- 基于计算几何的含油气面积分析  
从高频储量业务中抽象出底层数学模型，进而实现模型的泛化应用推广



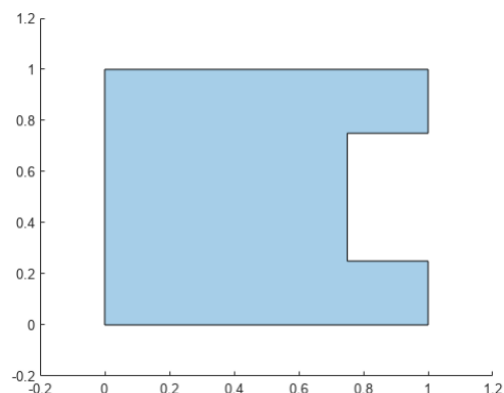
拟处理的多边形对象



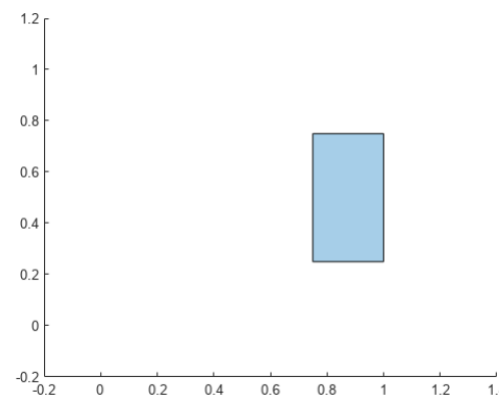
拟处理对象并集（叠合分析）



判断点是否在多边形内  
(含油气面积内井信息提取)



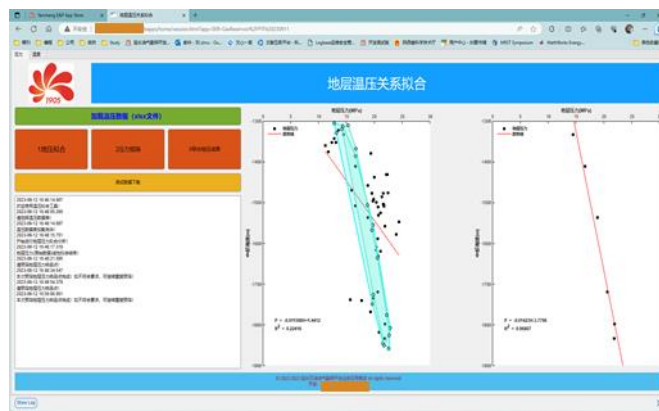
拟处理对象差集（复算变化分析）



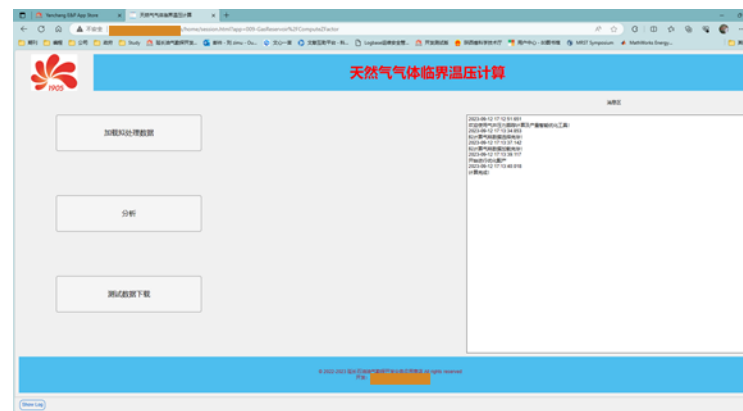
拟处理对象交集（劈分计算）

# 数字化平台应用案例

- 形成天然气体积系数计算闭环技术体系



地层压力拟合App



天然气气体临界温压计算APP主界面



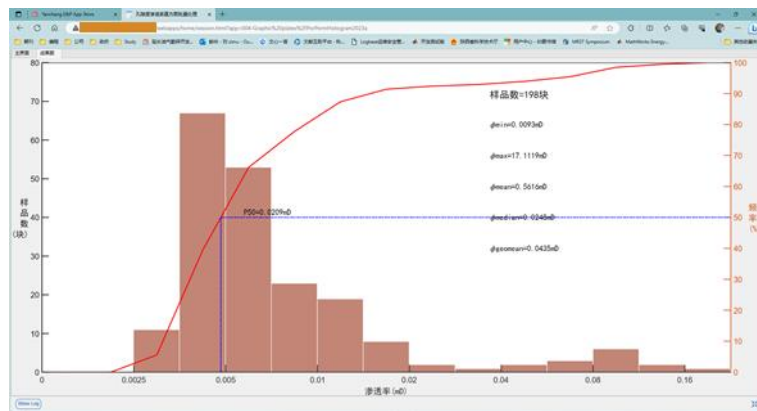
天然气Z+Bgi多方法优选APP主界面

Z+Bgi多方法优选计算成果实例

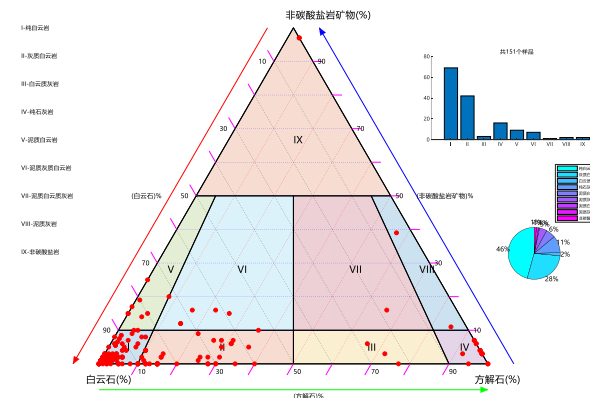
- Papay (1968)
- BB (1973)
- Shell Oil Company
- ABI (2010)
- AA (2010)
- HSM (2010)
- HMR (2010)
- SL (2012)
- SEA (2012)
- KGM (2016)

# 数字化平台应用案例

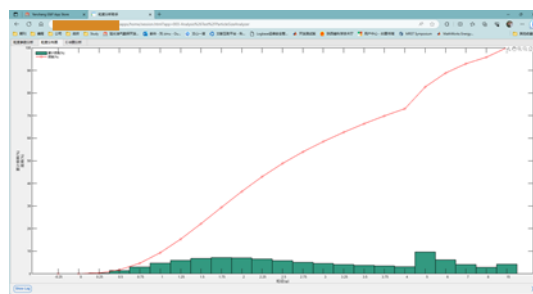
- 基于数据驱动的分析化验资料自动化处理



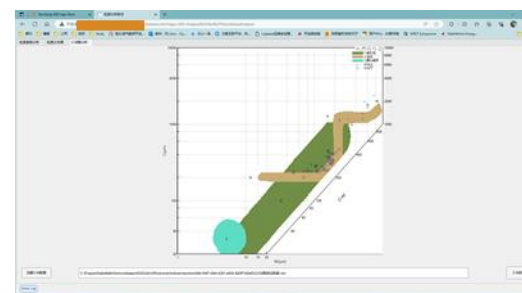
渗透率直方图成果图实例



通用三角图绘制APP成果图实例



粒度分布参数统计成果图



C-M成果图

# 数字化平台应用案例

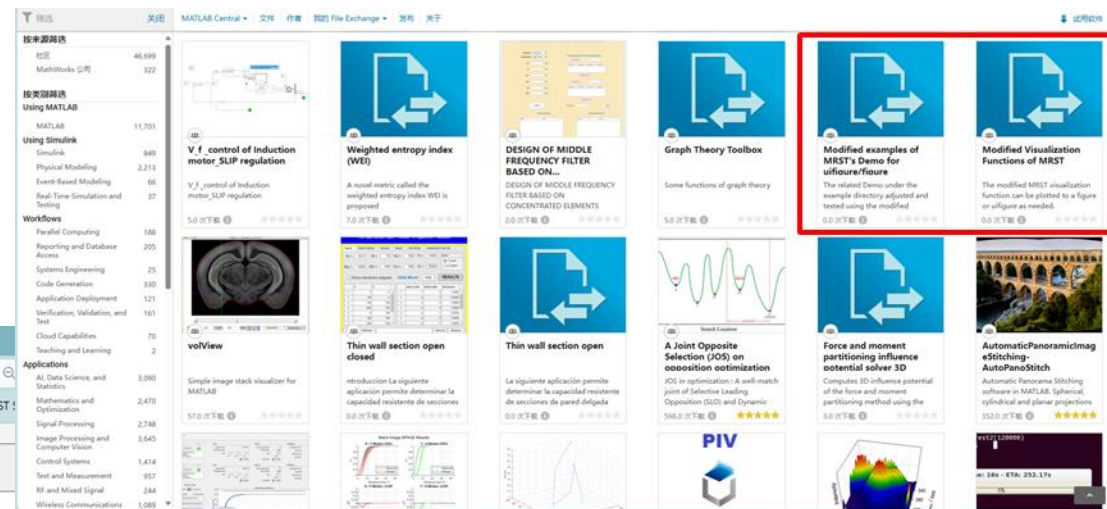
- 基于MRST的油藏模型成果在线可视化

The screenshot displays the MRST Web UI interface. The main workspace is titled "Reservoir Simulation Toolbox of MATLAB's UI Version" and contains the following elements:

- Step 1: Select Ordered File(s)**: A text input field for file selection.
- TimeID**: A text input field for specifying the time ID.
- Step 2: Grid\_Process**: A text input field for grid processing.
- Step 3: Apply\_Attribute**: A text input field for applying attributes.
- Step 4: Apply\_Visualization**: A text input field for applying visualization.
- Information of Grid**: A table showing grid parameters:
 

| SPECGRID | PORO |
|----------|------|
| COORDSYS | NTG  |
| ACTNUM   | SWAT |
| ZCORN    |      |
- Select Attribute Data of Grid**: A large blue area for selecting attribute data.
- Message Area**: A text area containing a message:
 

2024年5月13日 22:12:48  
Thank you for choosing the MRST\_UI tool! If you have any questions or need assistance, please feel free to contact our technical support team(luangpeng@live.cn)



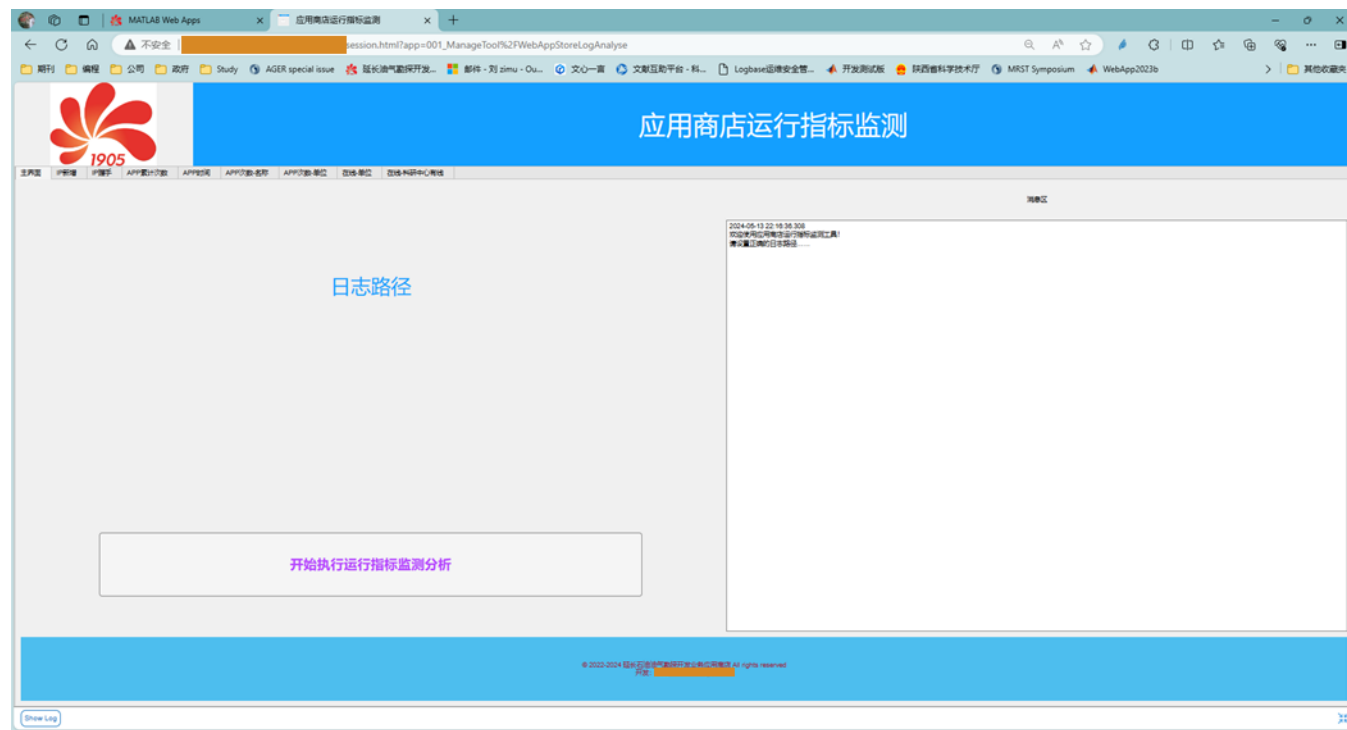
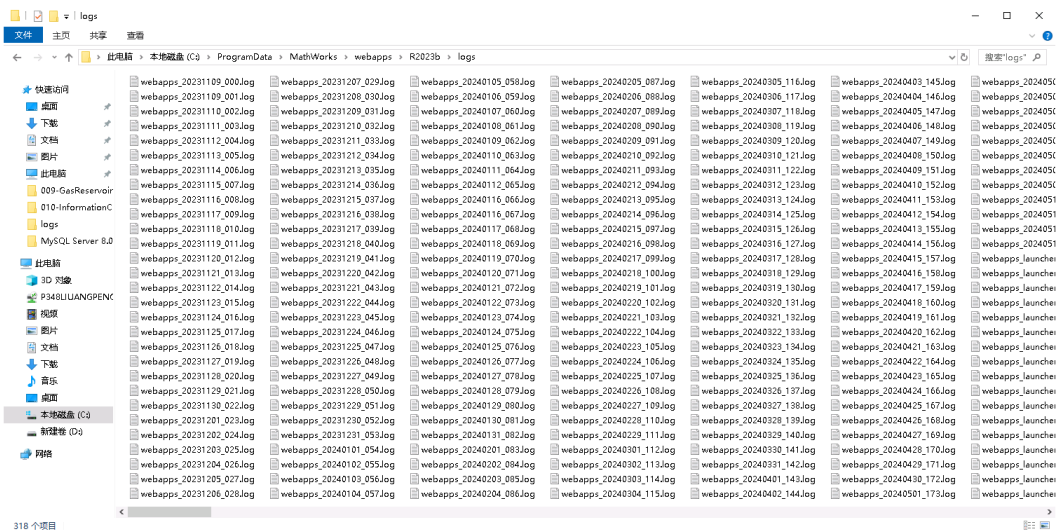
实现了MRST Web端验证测试

## 内容概要

### What? ——效果评价

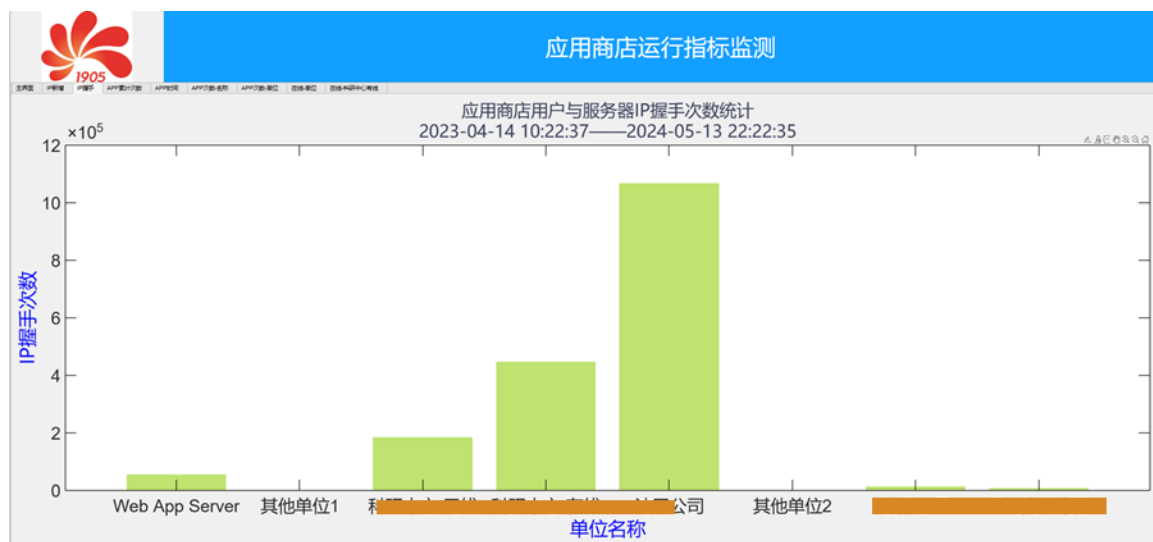
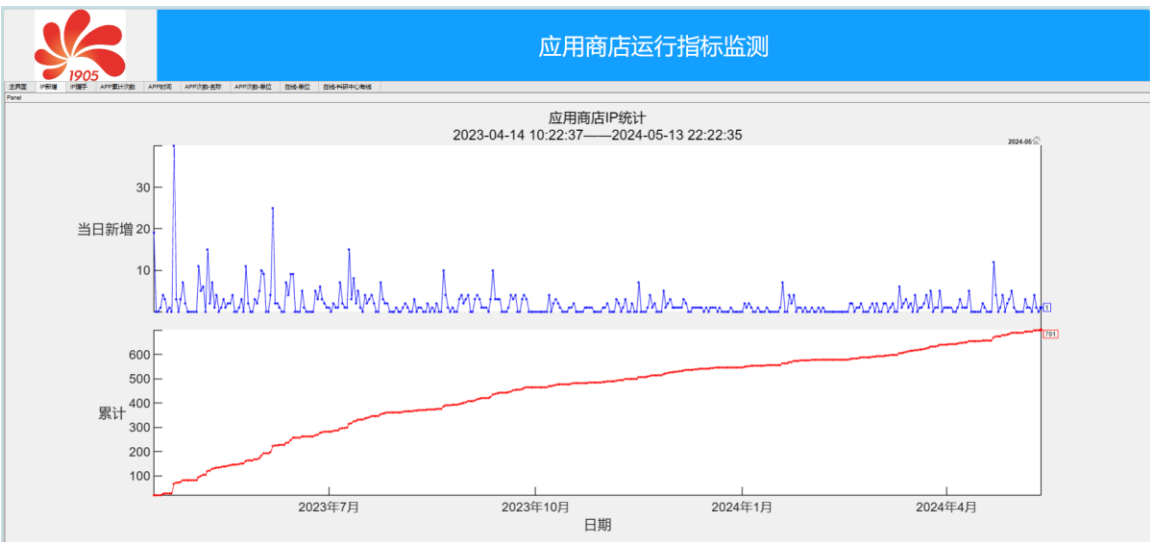
—— 自主搭建基于Web App Server的企业内业务应用商店

—— 运行指标分析

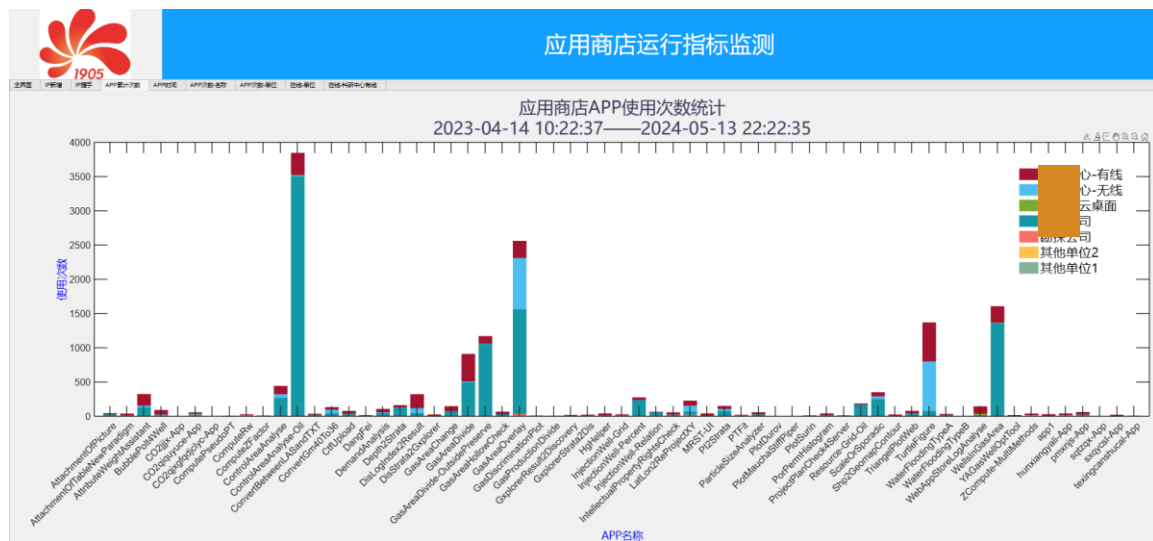


- Web App Server提供了log文件；
- MathWorks目前暂未提供APP运行情况可视化分析工具；
- 利用MATLAB自动正则表达式功能+可视化工具自主开发了运行指标监测APP。

# 数字化平台建设取得的成效



- 自主搭建的“数据”+“算法”+“场景”+“平台”的业务应用商店，目前已实现集团内网油气上游板块全覆盖；
- 截止5月13日，累计已有700+内网独立访问IP
- 覆盖用户群呈现不断扩大趋势；

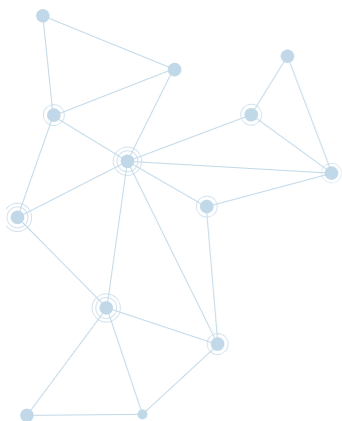






# 为什么选择MATLAB?

- 契合工程师思维，官方文档堪比教科书；
- 无需担心各种复杂的配置环境；
- MATLAB的Web App Server可实现企业内部自研应用的快速部署与应用；
- MathWorks的技术支持：专业、及时、高效。



## 契合思维模式，适应工作所需。

MATLAB 将适合迭代分析和设计过程的桌面环境与直接表达矩阵和数组运算的编程语言相结合。

### 专业开发

MATLAB 工具箱经过专业开发、严格测试并拥有完善的帮助文档。

### 包含交互式应用程序

MATLAB 应用程序让您看到不同的算法如何处理您的数据。在您获得所需结果之前反复迭代，然后自动生成 MATLAB 程序，以便对您的工作进行重现或自动处理。

### 以及扩展能力

只需更改少量代码就能扩展您的分析在群集、GPU 和云上运行。无需重写代码或学习大数据编程和内存溢出技术。

查看最新版本中的新增功能。

[发行说明](#)

## 内容概要

- Where? —— 展望
  - “开发-应用-反馈-迭代” 的科研成果实时转化平台
  - 合作交流的桥梁与纽带

## 合作交流的桥梁与纽带

- 挪威SINTEF的MRST团队；
- MathWorks油气技术支持团队及相关全球合作高校。

The MATLAB Reservoir Simulation Toolbox (MRST) is a free open-source software for reservoir modelling and simulation, developed primarily by the Applied Computational Science group in the Department of Mathematics and Cybernetics at SINTEF Digital. The software has a large international user base and also includes third-party modules developed by researchers from Heriot-Watt University, NTNU, University of Bergen, NORCE, TNO, Louisiana State University, TU Delft and others.

The screenshot displays the MRST software interface with the following categories:

- Basic functionality:** Core: data structures, Visualization, Public data sets.
- Discretizations and solvers:** TPEA, MsMFE, Mimetic/MPFA, MsFV, DFM, MsRSB, Adjoint methods, MsTPFA.
- Workflow tools:** Grid coarsening, Flow diagnostics, Upscaling, Black-oil simulators, Eclipse input, MRST-co2lab, EnKF methods.

A "Download MRST" button is located at the bottom right.

**MathWorks**  
**MATLAB® & Simulink®**  
**Solutions for Upstream Energy**

Chris R. Wells (MSc. Geop. Eng., MBA)  
 Global Manager, Energy Solutions

Artificial Intelligence, Big Data Analysis, Deep Learning, Machine Learning, Reinforced Learning, Predictive Analytics, Internet of Things, Process Optimization, Process Digitization, Process Automation, Value Chain Integration.

© 2023 The MathWorks, Inc.



安塞CCUS示范项目



榆林油气煤综合利用项目



延安油气煤综合利用项目



聚烯烃产品



# 汇聚能源 延长价值

Converging energy Extending the value



# MATLAB EXPO

# Thank you



© 2024 The MathWorks, Inc. MATLAB and Simulink are registered trademarks of The MathWorks, Inc. See [mathworks.com/trademarks](https://www.mathworks.com/trademarks) for a list of additional trademarks. Other product or brand names may be trademarks or registered trademarks of their respective holders.

