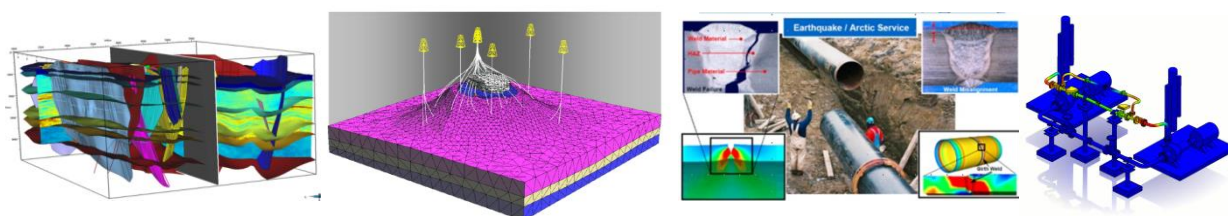


达索 SIMULIA 油气行业应用系列文章之一

——应用优势

达索 SIMULIA 旗下以 Abaqus 为代表的工具软件，长期以来为多个行业巨头：哈里伯顿、埃克森美孚、斯伦贝谢、壳牌等所青睐。无论是上游的勘探、开采，还是下游的石油化工，其先进的数值模拟技术已经渗透到油气行业众多重要环节，发挥着不可或缺的价值。随着中东部许多传统油田面临枯竭，我国油气勘探开发已进入“非常规时代”，数值仿真的重要性也愈加突显。



油气勘探

地应力场模拟

地球动力学

.....

油气开采

钻井

固井

完井

生产

产层改造

.....

油气储运

管线

LNG 储罐

储气库

.....

石油化工

设备分析设计

适用性评定

焊接模拟

.....

一. 强大的岩石力学模拟能力

在石油工业中，岩石力学贯穿了整个石油工业勘探与开发的全过程。Abaqus 软件在岩石力学模拟方面，提供了其它通用和专业软件都无法比拟的诸多优势：

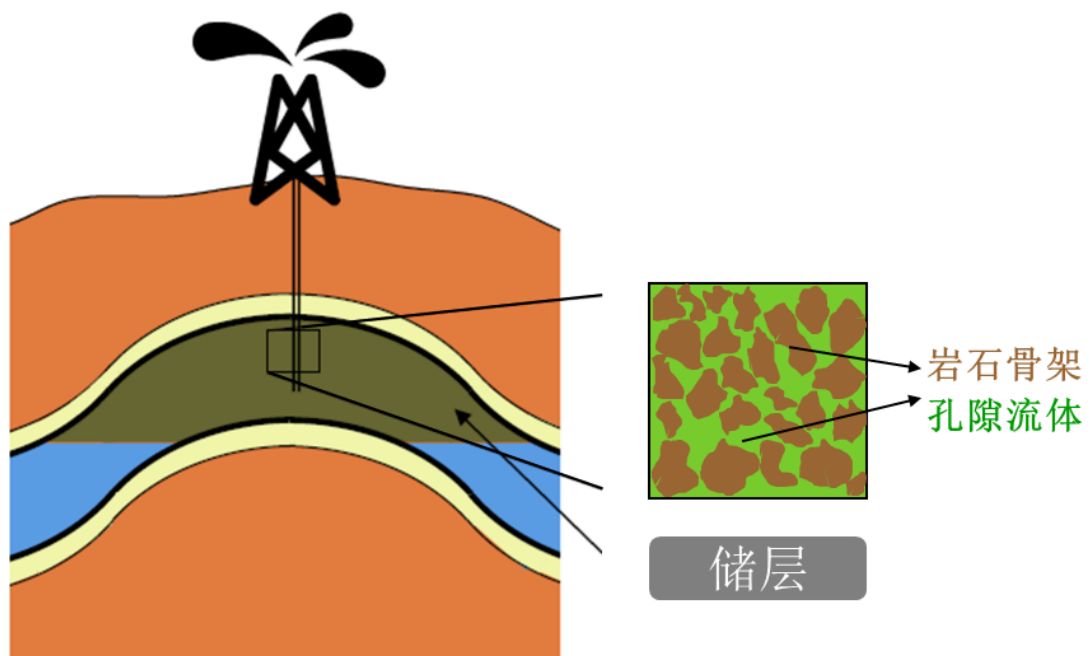
1.1 丰富的岩土本构模型

Abaqus 具有非常丰富的岩土材料本构模型，包括线弹性模型、多孔弹性模型，以及多个塑性本构模型：

模型	特点	Abaqus/Standard	Abaqus/Explicit
摩尔-库伦模型	屈服面开口模型，适用于沙土和粘土	支持	支持
扩展的 Drucker-Prager 模型	屈服面开口模型，适用于沙土和粘土	支持	支持
修正的 Drucker-Prager/帽盖模型	屈服面是带帽盖的闭口模型，静水压力影响材料屈服硬化	支持	支持
剑桥模型	基于临界状态概念，适用于沙土或无粘聚力的材料	支持	支持
节理模型	可以定义 3 个节理方向	支持	不支持

另外，Abaqus 提供了开放、灵活的二次开发平台，通过用户子程序可以编写所需的材料本构模型。

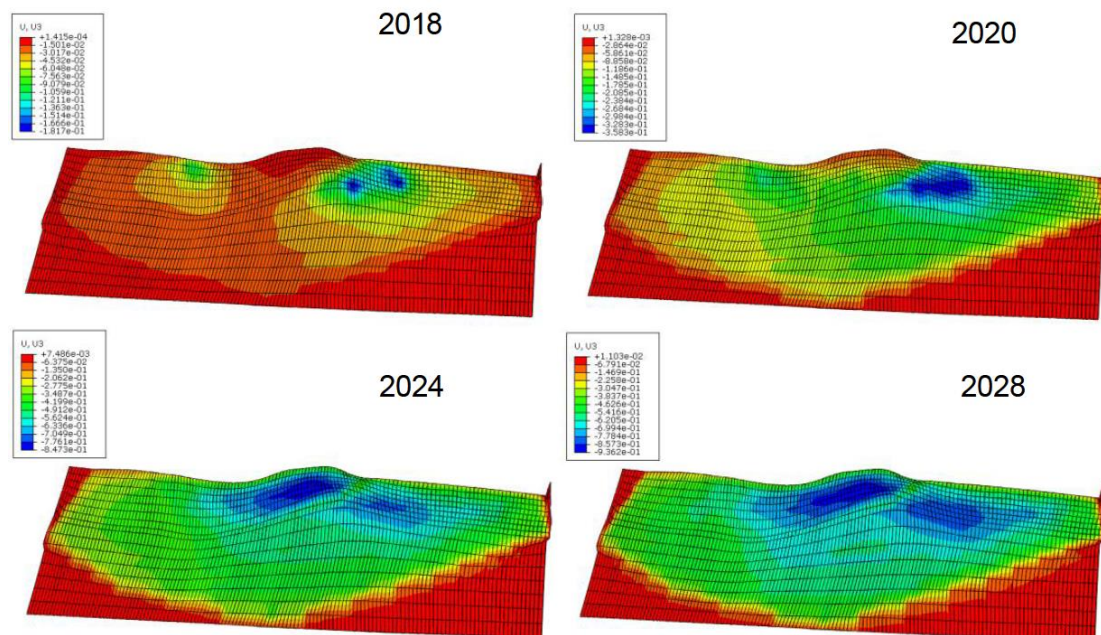
1.2 动态地应力分析



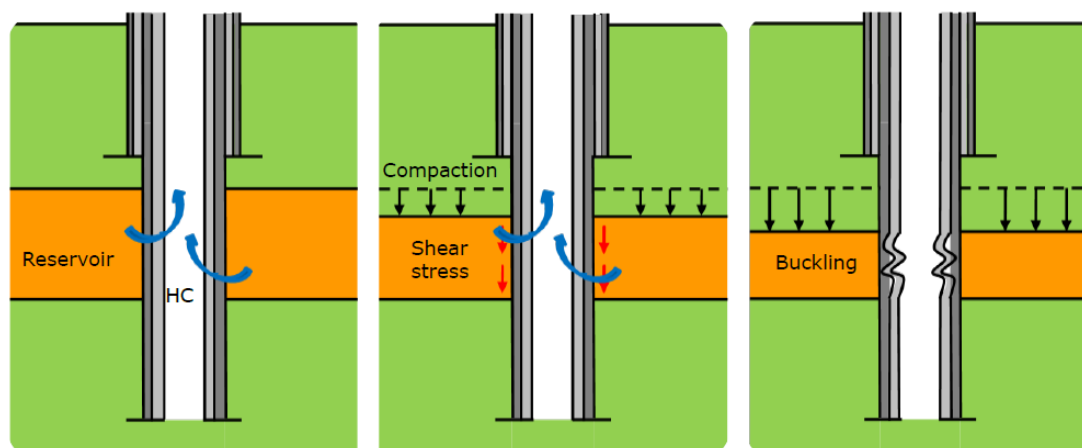
随着油气的开采，孔隙压力的变迁导致地应力发生改变，这些变化反过来又影响油气的流动。开采引起的地应力改变会导致地层发生沉降，断层活化，套管完整性受到影响等。

Abaqus 通过读入油藏开采引起的孔压变化，进行多孔介质流固耦合分析，计算地应力变化。

下图为 ENI 预测的某油藏储层顶面从 2018 年到 2028 年垂向位移的变化情况：



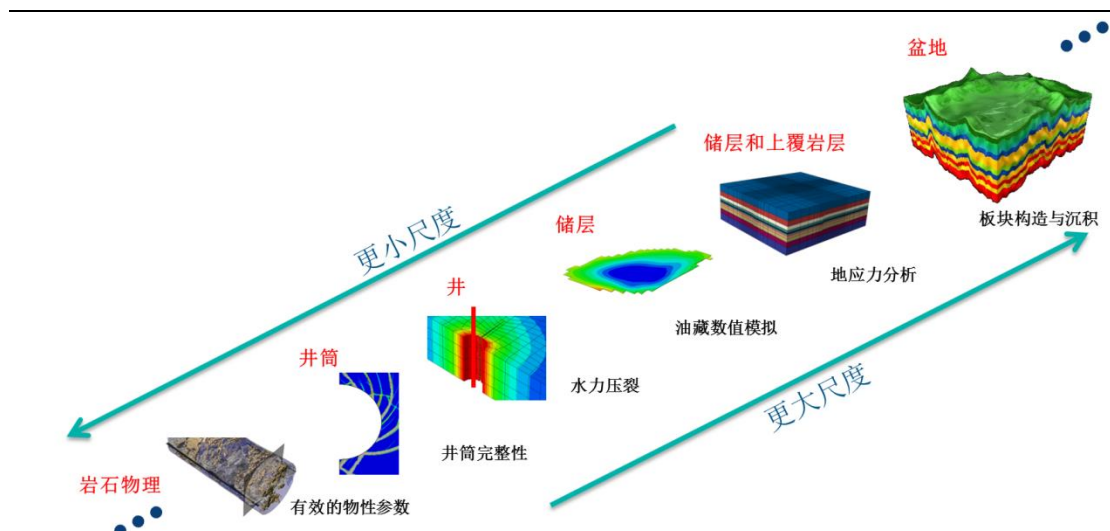
同时结合整体模型和子模型分析技术，评价随着开采的进行，套管的稳定性。



1.3 跨尺度模拟能力

对岩心的微观结构建模分析，可以近似得到地层宏观的物性参数；含油气盆地是油气生成、运移、聚集、保存的基本单元。通过模拟数百万年地质构造的演化，来进行油气资源的评价。

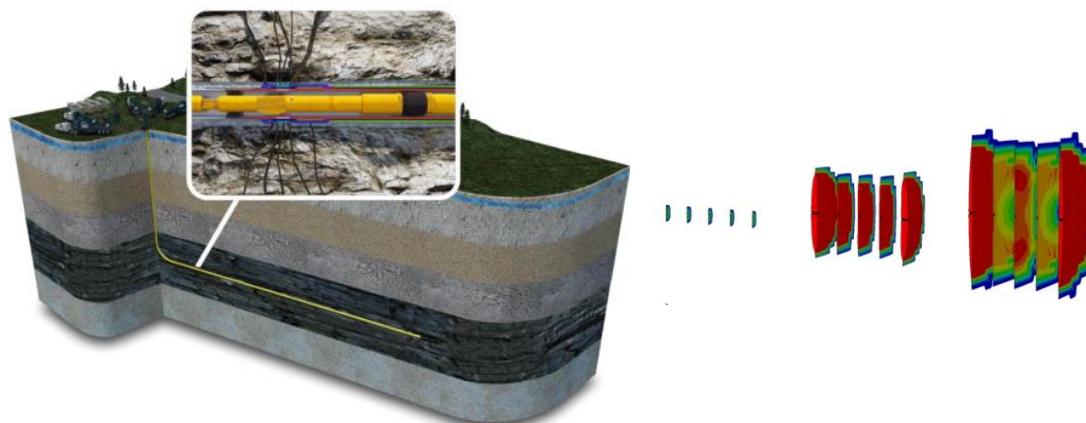
Abaqus 的分析范围能够涵盖从毫米级别的岩心，到几百公里跨度的盆地。



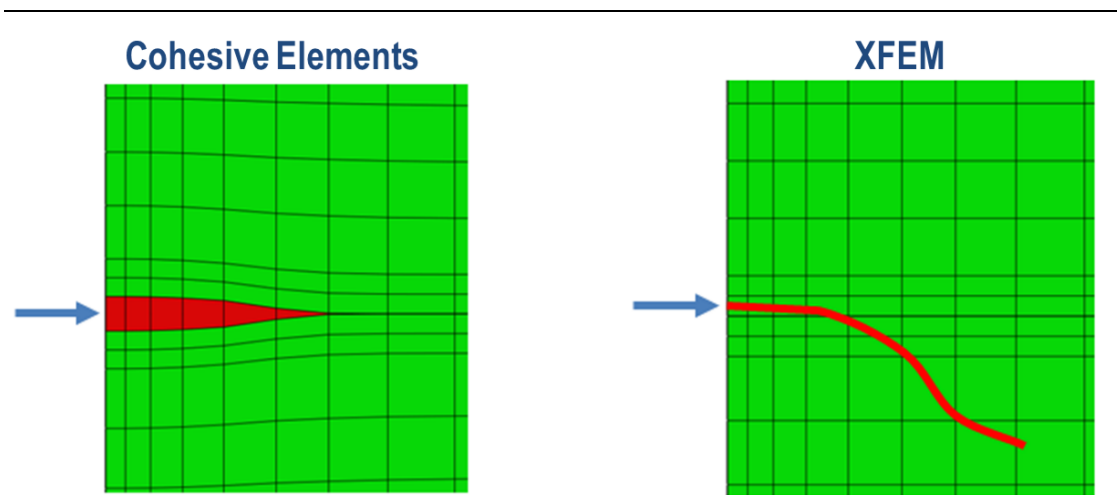
1.4 水力压裂模拟

水力压裂通常是在油气井中泵入压裂液，破碎储层岩石形成水力裂缝，从而大幅提高储层渗透率，提升油气产量。上世纪 50 年代起，水力压裂技术初步完善，开始应用到常规油气井的开发中。

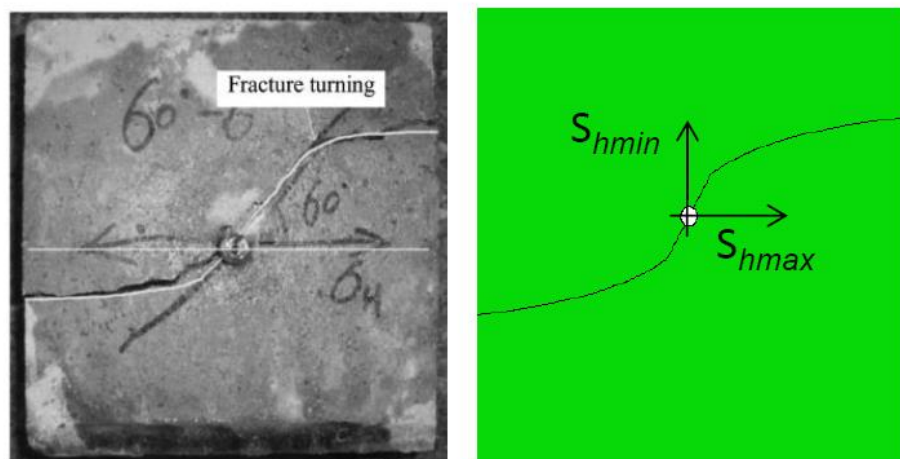
页岩气等非常规油气资源，由于储层渗透率过低，如果没有经过大规模的压裂改造的话，它无法形成有效的工业产能。目前，水平井分段多簇压裂技术已成为开发非常规低渗透油气藏最有效的增产改造手段。下图为贝克休斯对水平井多裂缝压裂过程的模拟：



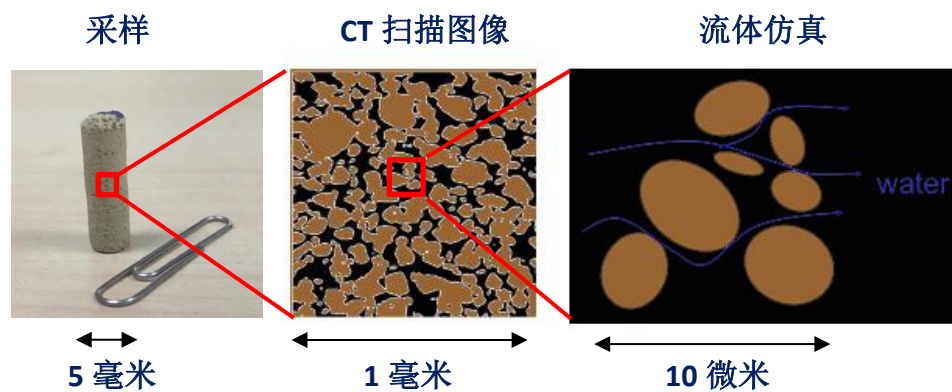
Abaqus 主要提供基于孔压 Cohesive 单元和 XFEM 两种水力压裂模拟方法：



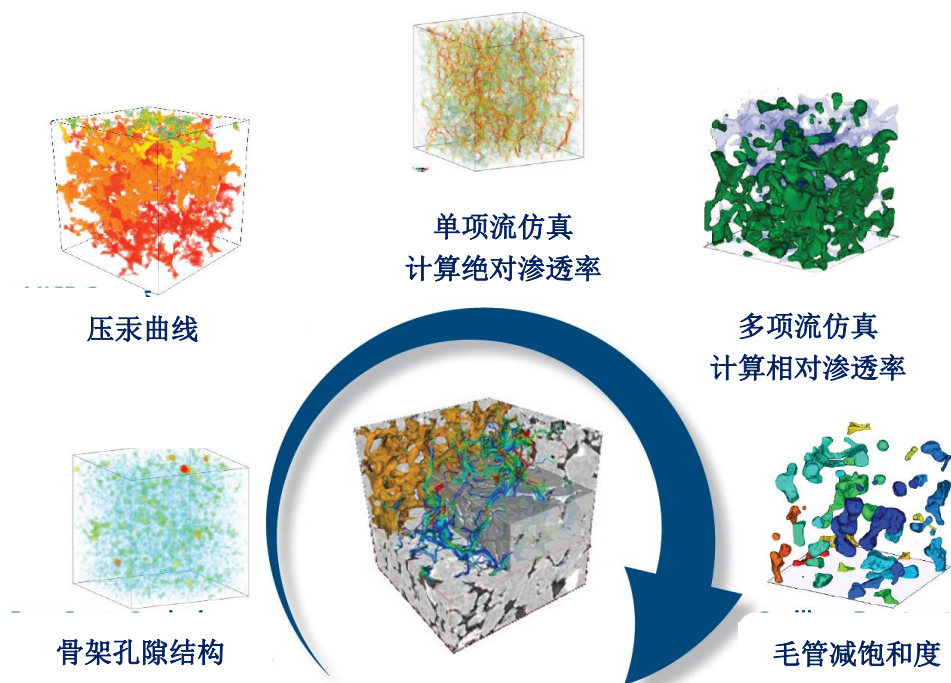
下图为埃克森美孚的水力压裂验证算例。水力裂缝在离开缝口后，很快发生偏转，转向最大主应力方向（水平方向），形成 S 型的水力裂缝，实验和 Abaqus 的模拟结果有很好的 consistency：



二. 数字岩心技术

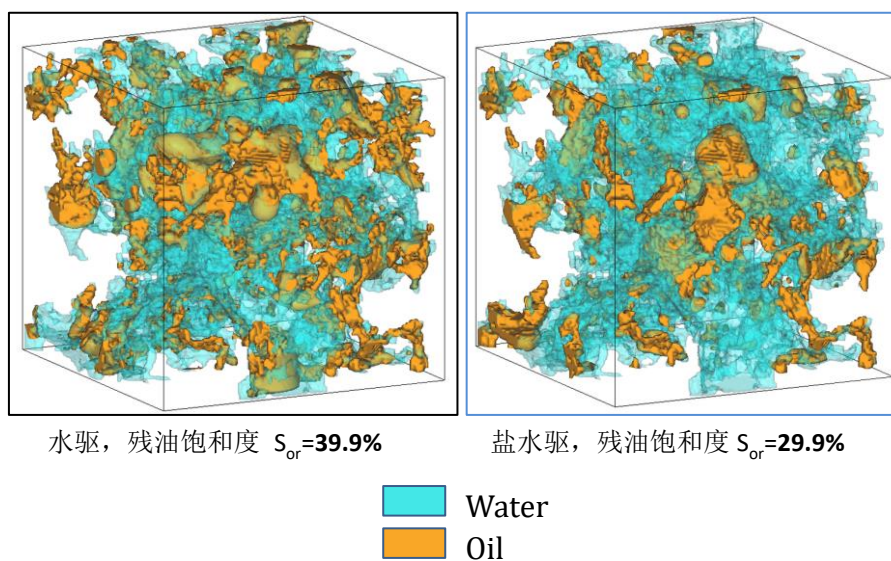


与 BP（英国石油公司）一同开发和验证的 DigitalROCK（数字岩心）技术，对经过 CT 扫描构建的三维岩心模型进行流体仿真，计算得到绝对渗透率、相对渗透率、毛管压力曲线等，可以大量减少或取代可能需要花费数月、甚至有毒性的实验。



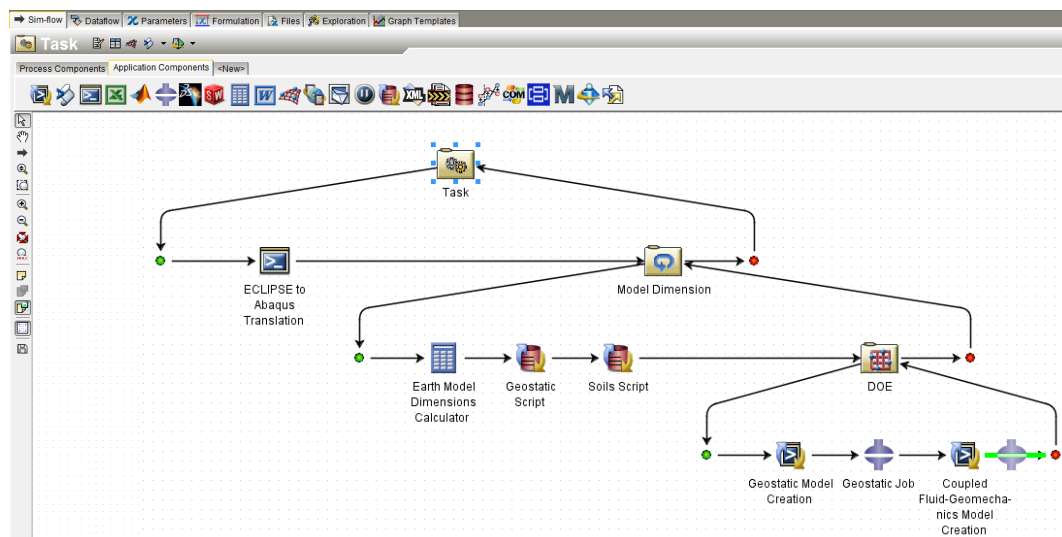
石油开采一般分为三个阶段：一次采油、二次采油和三次采油（也称为强化采油）。其中，一次采油的采收率很低。二次采油通过注水、注气的方法维持地层能量，采收率虽较一次采油有提高，但仍处于较低水平，还需要进行强化采油。

通过 DigitalROCK 可以帮助选择优化驱替方案（水驱/聚合物驱/气体驱），从而有效提高油田采收率。



三. 优化与流程自动化

Isight 是最为优秀的流程自动化和多学科多目标优化工具，借助相关技术可以打造企业级多学科流程集成和优化平台。Isight 在油气行业有很多的应用空间和场景。

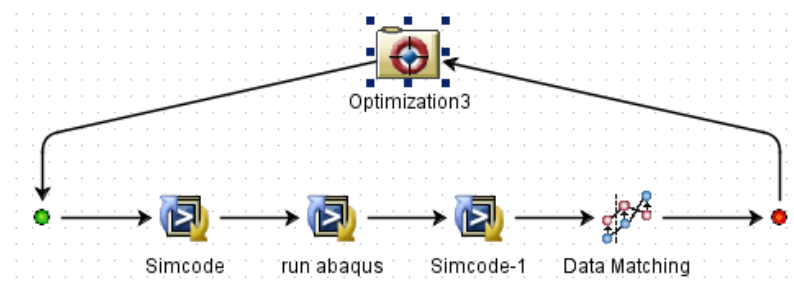


3.1 地应力/岩石物性参数反演

实际上，油气勘探开发过程中油气运移和聚集、钻井过程中井壁的稳定、水平井设计、油层改造以及注水开发中井网的布置工作都与地应力密切相关，如何有效且准确把握储层的地应力场对于油气资源勘探开发有着重要的意义。

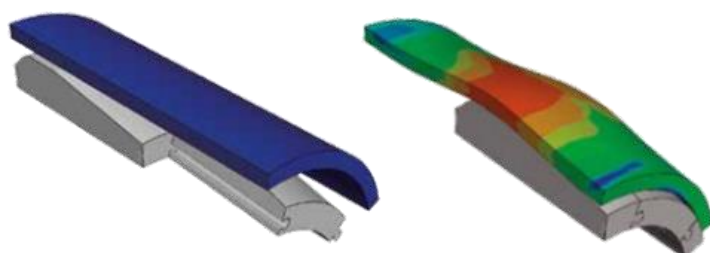
测量地应力的方法很多，但只能在研究区块有限地进行测量，不可能对整个区块的地应力都进行详细测量。要获得整个地应力场分布，反演方法与有限元数值模拟相结合是复杂地层地应力场研究的有效手段。

可以通过 Isight 中的 Data Matching 功能匹配测点的实测地应力和 Abaqus 有限元计算值，反求出岩石材料属性、构造应力等重要参数，从而得到比较准确的全场地应力信息。

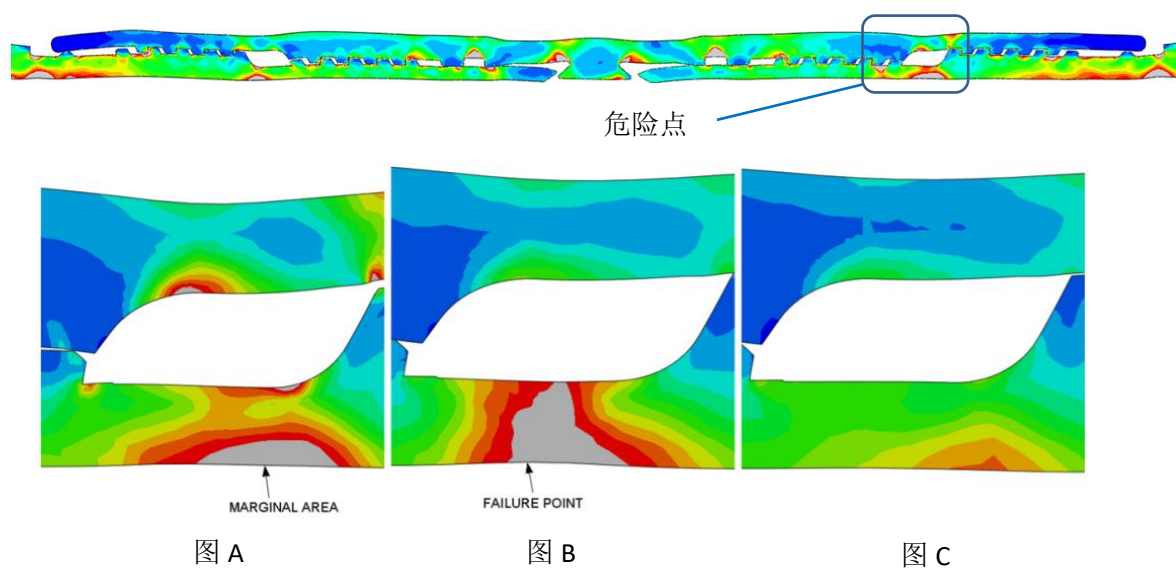


3.2 工具优化

膨胀管钻井完井技术是使用膨胀工具，对膨胀套管进行径向膨胀，使管材产生永久性机械变形，以达到扩大井眼的目的。它是石油工程的核心技术之一。



膨胀管螺纹接头容易在膨胀成形及服役环境下发生漏失甚至断裂，是膨胀管的薄弱位置，需重点关注。膨胀工艺中的膨胀锥锥角，对螺纹接头的成形性能有很大影响。合适的膨胀锥锥角可以减小成形时的膨胀推力和壁厚减薄量，降低操作风险性，保证螺纹齿之间的密封压力，减小螺纹接头失效的可能性。贝克休斯早先设计的膨胀锥的膨胀管满足性能要求（下图 A）。但在更改了螺纹接头几何尺寸后，重新设计了膨胀锥，但发现它对于之前的螺纹接头并不合适（下图 B）；贝克休斯借助 Isight 来寻找并得到了对于不同的螺纹接头都合适的膨胀锥设计（下图 C，云图中的灰值区域为大于材料断裂应变的区域）。



从右下图可以明显看出，使用了新优化的膨胀锥后，接头的密封性能有显著提升：



新的设计帮助客户 “...attack a market that no one has been able to until now”。

Abaqus输入: 变化的几何参数

- 膨胀锥锥角
- 膨胀锥外径

从 Abaqus 输出到Isight的计算结果

- 特定位置的接触压力: 最大化
- 同一位置的环向应力: 最小化
- 膨胀力: 最小化

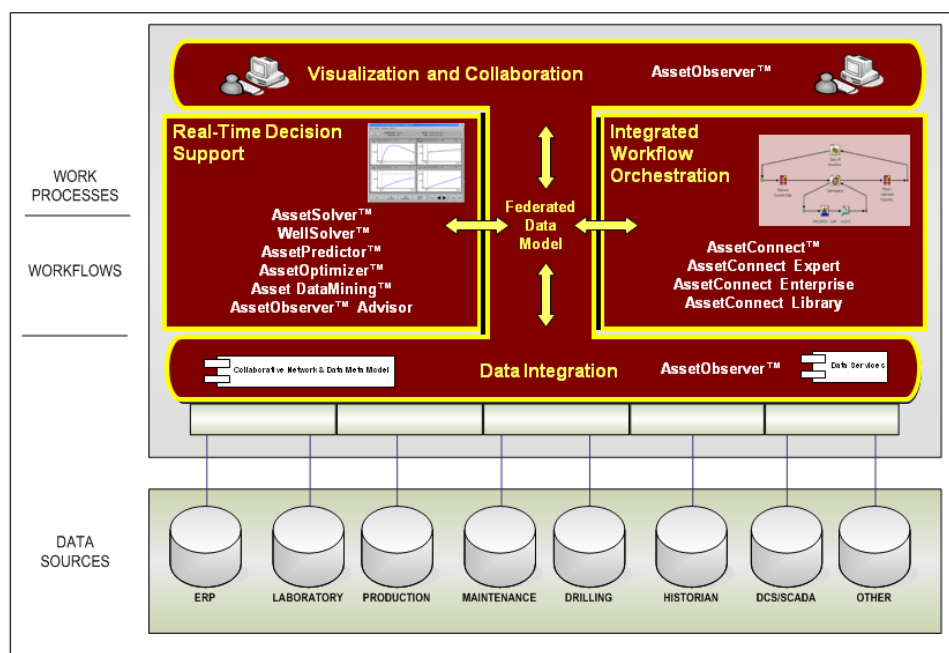
Abaqus+Isight 核心价值

- DOE帮助快速探寻设计空间
- 大幅提升了可靠性和连接的性能
- 设计迭代周期可以从2个月减少到2天

3.3 流程的集成和优化

兰德马克（Landmark）是哈里伯顿的全资子公司，其服务领域涵盖勘探、开发、钻井、决策分析及数据管理，同时还包括广泛的咨询服务，是上游油气工业最主要的软件和服务供应商。Halliburton/Landmark 的 AssetConnect 产品（属于 DecisionSpace）使用 Isight 的相关核心技术来帮助集成大量和生产相关的流程，在 30 多个自动化的流程中融入了行业最佳实践和资产管理团队的 Know-how。

DecisionSpace® for Production™ SmartFlow Orchestration



9

HALLIBURTON

哈里伯顿使用 AssetConnect 来管理优化深水浮式生产储油卸油装置（FPSO），取得了惊人的收益！自动化的流程使员工花费在数据收集、分类、分析、汇报上的时间减少了 98%，数据能够及时得到访问，从而在生产中能够及时应对、优化决策。在项目的第一年据保守估计即可节省 1000 万美元，并可在将来持续获益。