



3DEXPERIENCE®

## SIMULIA/Abaqus 土木行业解决方案



# 目 录

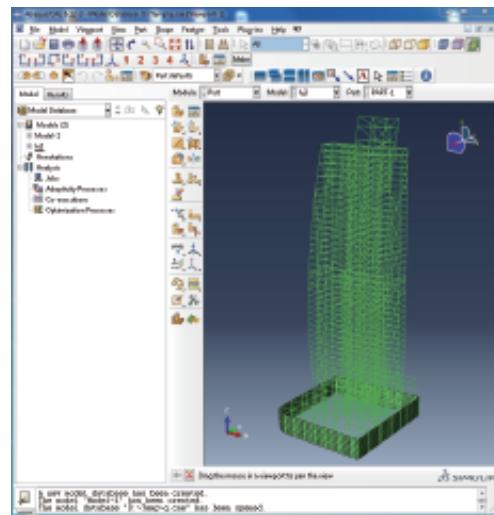
第一章 Abaqus软件介绍 .....	1
第二章 Abaqus在建筑工程中的应用.....	2
第三章 Abaqus在岩土工程中的应用.....	4
第四章 Abaqus在桥梁工程中的应用.....	6
第五章 Abaqus在水工中的应用 .....	8
第六章 Abaqus在防火中的应用.....	10
第七章 Abaqus在交通工程的应用.....	12
第八章 Abaqus在海洋结构中的应用 .....	14
第九章 Abaqus在特种结构中的应用 .....	16

# 第一章 Abaqus 软件简介

Abaqus 软件主要由前后处理模块Abaqus/CAE， 隐式求解器模块Abaqus/Standard和显式求解器模块Abaqus/ Explicit共3个模块组成。

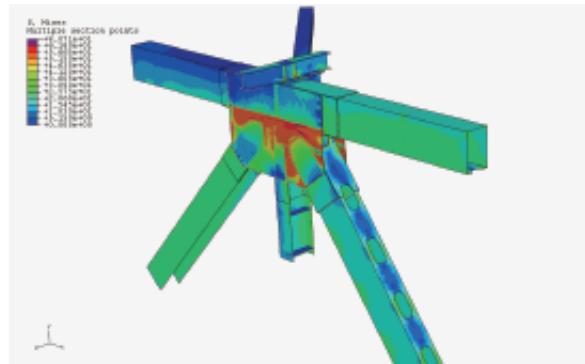
## Abaqus/CAE

Abaqus/CAE 使您能够快速有效的创建、编辑、监控、诊断和后处理先进的Abaqus分析。Abaqus/CAE 将建模、分析、工作管理以及结果显示集成于一个一致的、使用方便的环境中、这使得初学者易于学习而经验丰富的用户工作效率会更高。



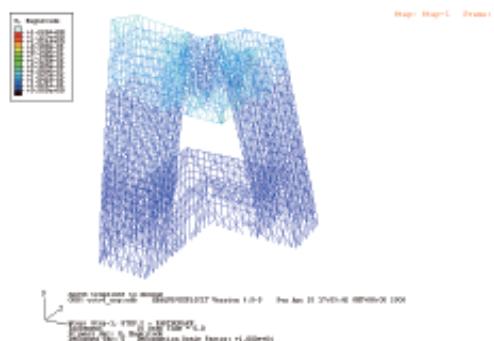
## Abaqus/Standard

Abaqus/standard 使各种线形和非线性工程模拟能够有效、精确、可靠的实现。广泛的分析能力、优越的性能、完备的用户指南、高质量一流的技术支持使得Abaqus/Standard成为分析许多工程问题的有效工具。此外许多常见的建模前后处理软件都支持Abaqus。Abaqus/Standard提供各类型的分析程序，从常见的线性问题分析到复杂多步非线性问题都能高效、可靠的解决。



## Abaqus/Explicit

Abaqus/Explicit (显式积分)为模拟广泛的的动力学问题和准静态问题提供精确、强大和高效的有限元求解技术。Abaqus/Explicit适用于模拟高度非线性动力学和准静态分析（可以考虑绝热效应）、完全耦合瞬态-位移分析、声固耦合分析。Abaqus/Explicit特别适用于分析瞬态动力学问题，例如：非线性抗震，弹道冲击等。Abaqus/Explicit高效处理接触问题和其它非线性的能力使其成为求解许多非线性准静态问题的有效工具，如制造过程（如高温金属轧制和扳金冲压）和能量吸收装置缓慢挤压过程的模拟。



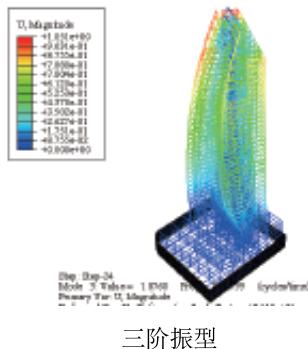
## 第二章 Abaqus 在建筑工程中的应用

随着国民经济的发展以及我国改革开放的深入，土木行业也得到了前所未有的发展，目前建筑物不光越来越高大，而且越来越美观、结构越来越复杂，同时又给结构设计带来了巨大挑战，对复杂建筑结构做静、动力计算已经变得必不可少，Abaqus在建筑结构行业也得到广泛应用。以下是其具体应用。

### 2.1 高层建筑结构的振型分析

Abaqus提供了三种求解振型的方法：Lanczos方法，Subspace方法和AMS方法，其中AMS方法（自动多重子结构法）对于大规模问题的振型分析速度是传统Lanczos方法的10倍以上。

右图是某高层建筑的振型图。



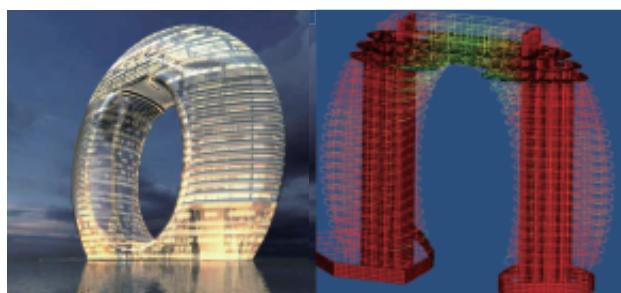
### 2.2 高层剪力墙弹塑性动力分析

近年来，随着建筑行业新标准的正式实施，对建筑结构的弹塑性分析要求终于被正式地写入行业规范之中。为满足结构的二阶段设计抗震设防要求，各地有大量的超高层建筑或标志性工程被要求进行弹塑性分析，以保证这些建筑物在发生数百年一遇的罕遇地震时仍能保证足够的承载力，不至于造成过大的生命和财产损失。

### 2.3 框架结构地震响应分析

针对动力学问题，尤其地震响应，Abaqus既采用隐式动力学算法，同时也可以进行显式动力学分析，在时域内对结构的响应问题进行分析。

2.3图分别是央视大厦的地震响应分析结果。



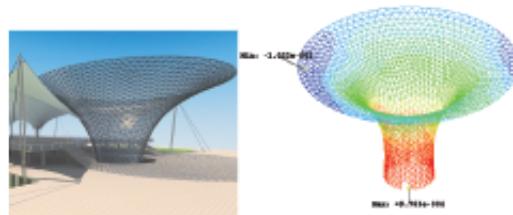
2.2图



2.3图 CCTV地震响应分析

### 2.4 空间网壳结构的屈曲分析

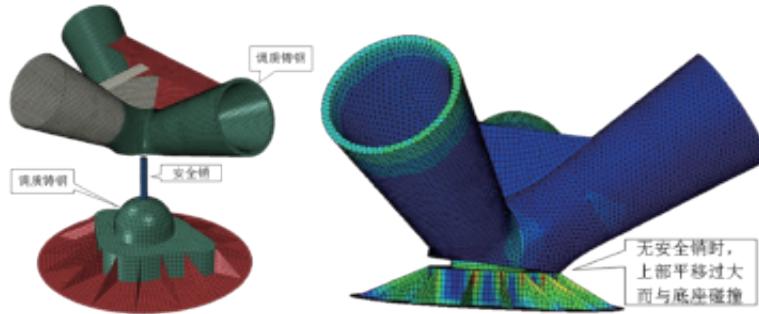
空间网壳结构的屈曲分析是此类结构的重要分析内容，右图是上海世博轴阳光谷的屈曲分析。



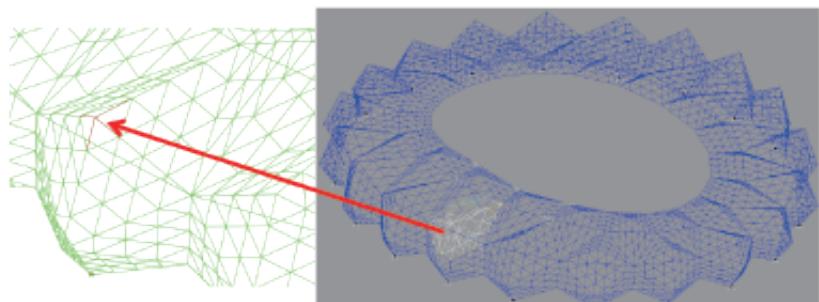
## 2.5 体育场结构分析

深圳市大运会主体育场位于深圳市大运中心，是深圳市政府为第26届世界大学生运动会新建的主体育场。

这座体育场总共有20个支座，每个支座都是采用“倒扣碗”的方式来实现理想铰接，即“球在下，碗在上”。



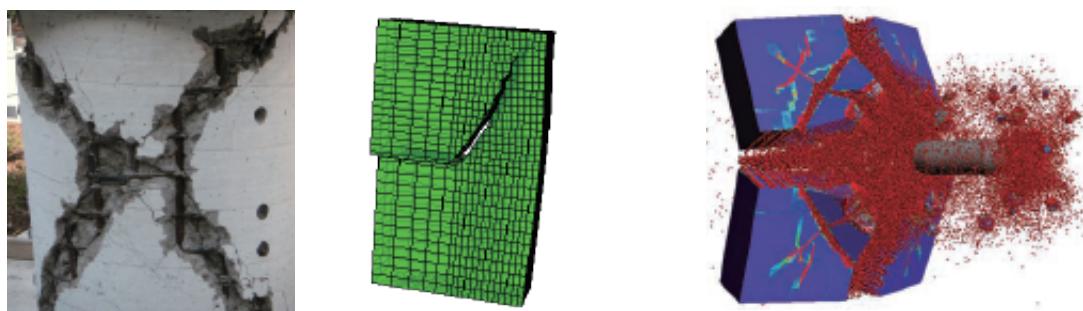
结构主受力杆件遭受恐怖袭击，发生局部断裂时的抗倒塌能力。结果证明结构有足够的安全储备，只发生局部损坏，不会出现倒塌。



## 2.6 混凝土开裂分析

XFEM技术，可以模拟如混凝土等材料的断裂。断裂面可以穿透单元，无须加密网格就可以捕捉到裂纹开裂走向。

另外SPH方法也可以用于模拟混凝土等结构受冲击载荷的开裂问题，也无须事先定义裂纹路径。

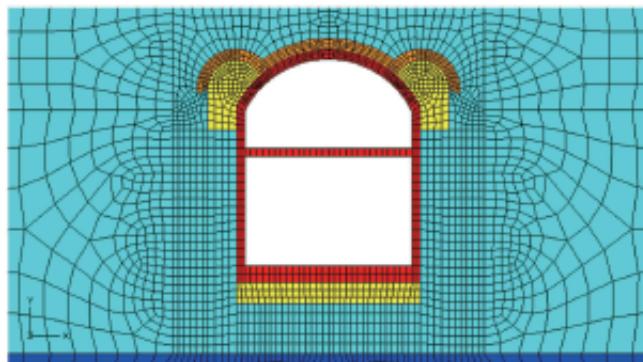


### 第三章 Abaqus 在岩土工程中的应用

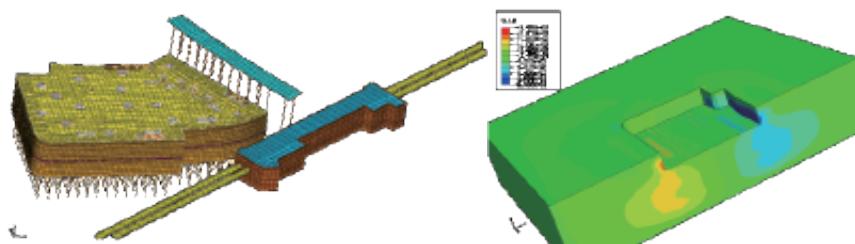
Abaqus可以很好地模拟岩土的力学性能及对岩土工程的各个方面进行模拟包括非线性应力-应变关系、瞬态固结、稳态流变、井点降水、土体液化分析、施工过程、岩土的应力-变形与稳定性、边坡应力及稳定性、边坡和硐室锚固效应分析、路基、底座、深基坑、桩等的承载能力与沉陷分析、土体与钢筋混凝土道路主体间的相互作用、锚固钢缆、预应力钢筋、钢支撑、隧道加强筋等钢结构与岩土和混凝土在温度和外力作用下裂隙的分布与扩展过程模拟，以下是几个典型应用实例。

#### 3.1 地下结构开挖问题

工程结构总是按照一定的操作顺序施工的，控制条件不一定是施工结束时，而往往在施工过程中。岩土工程分析要动态地模拟施工过程中结构形体的变化、材料的演变、约束与外载条件的改变等。这是与材料非线性、几何非线性或边界非线性而不同的另一种非线性，只能用计算过程的

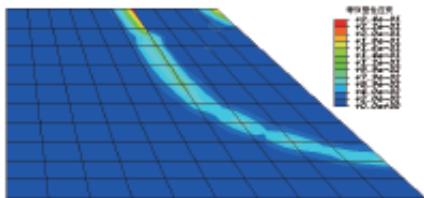


模拟才能体现出来，也就是说岩土工程分析应当是一种动态的过程分析，只有进行过程分析，其结果才是合理的。上海虹口商贸城非常靠近地铁8号线和3号线，最近处仅几米，应用Abaqus评估商贸城地下结构的开挖对地铁的影响程度。

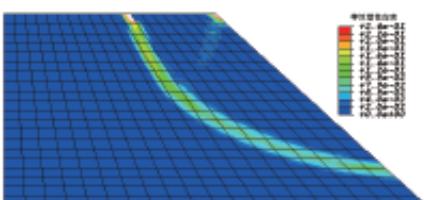


#### 3.2 边坡稳定的剪切带计算

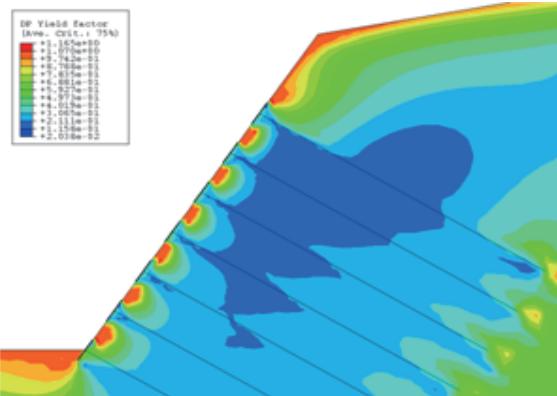
剪切带现象的本质是材料的不稳定性，材料不稳定研究中的一个十分重要的问题是多尺度和标度律的问题。在材料发生不稳定性时，不同的物理过程，不同的微-细观结构，在某个时间尺度内，将以其特有的动力学行为，在某个特征尺度上表现自己，它对计算力学构成了严重的挑战。



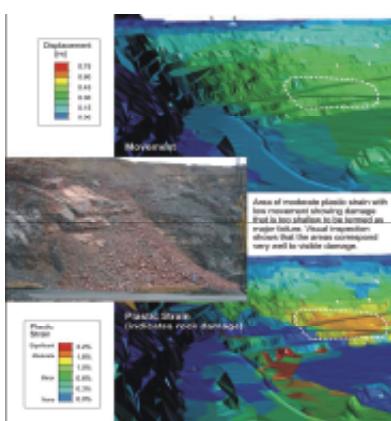
100单元网格塑性区分布图



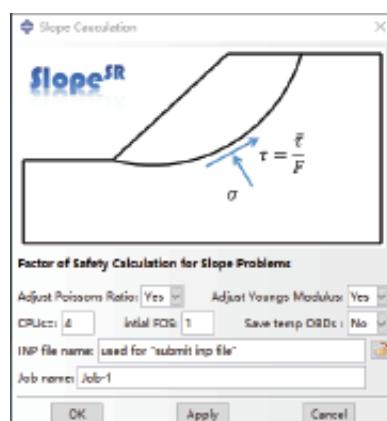
200单元网格塑性区分布图



边坡锚杆加固作用



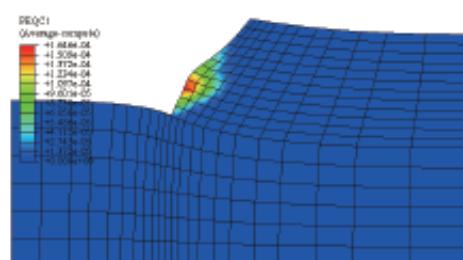
某露天矿场的边坡稳定性分析



边坡安全系数插件

### 3.3 节理材料的边坡稳定性分析

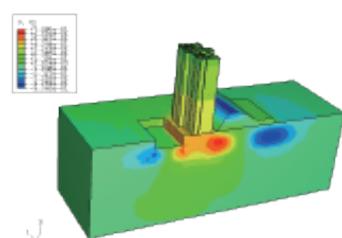
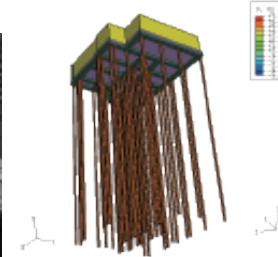
岩石是一种非常复杂的材料。其材料属性不光表现高度非线性，而且由于节理的存在表现各向异性。Abaqus在岩石方法不光提供了岩石的塑性属性，而且提供了其节理属性。



节理材料的边坡稳定性分析

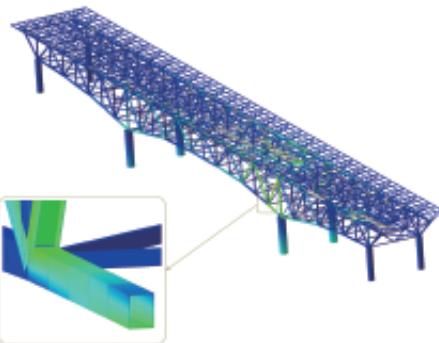
### 3.4 某高层建筑倒塌分析

高层建筑通常采用桩筏基础，桩筏设计部合理或者受到特殊载荷会导致基础破坏，导致建筑物倒塌。



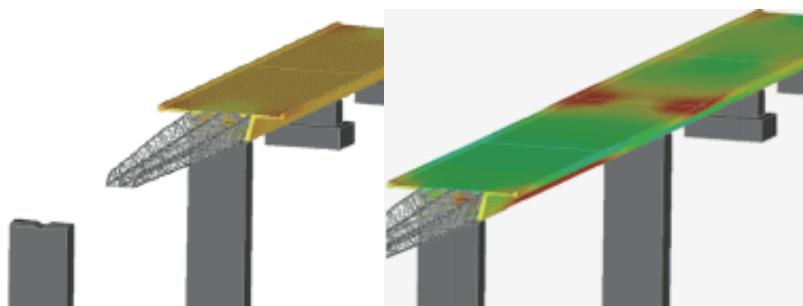
## 第四章 Abaqus 在桥梁工程中的应用

结构涉及几何非线性问题，这种非线性是由于大位移、弯矩和轴力之间的相互作用而产生的，任何一个实际的工程问题都希望能根据设计方案，从理论上、计算上以及试验上对其进行校核，将方案做得更经济实用，风险降到更低。对于设计之后的分析，用于设计的近似方法已经不能提供足够的精确度，我们必须建立准确的模型，借助计算机精确地分析结构。



### 4.1 桥梁施工过程模拟

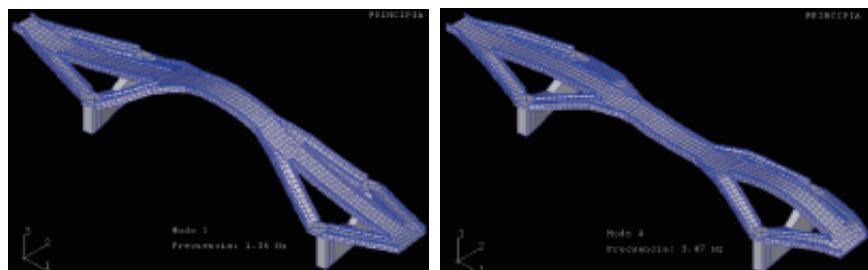
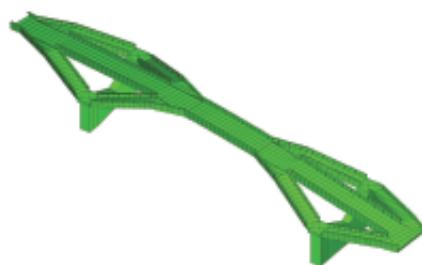
在桥梁施工方面Abaqus提供了单元生死（Model Change）、钢筋混凝土材料属性以及钢筋预紧力等功能。下图是某大桥施工过程的模拟。



桥梁施工过程模拟

### 4.2 桥梁模态分析

Abaqus提供了两种求解振型的方法：Lanczos方法和Subspace两种方法，两种方法各有优缺点，分别适用于规模较大，频率提取多的结构和规模小，频率提取少的结构。右图桥梁长140m，高80m。其一阶和四阶振型如下图所示。



一阶振型

四阶振型

桥梁模态分析

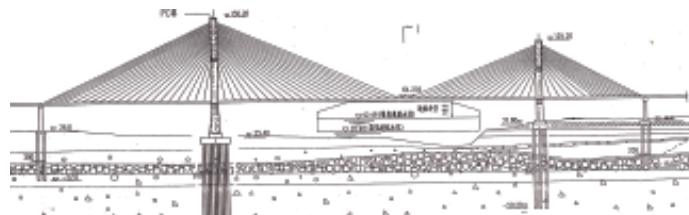
### 4.3 美国金门桥地震响应分析

Abaqus有功能强大的显式求解器，下图是利用Abaqus显式求解器对美国金门大桥做的地震响应分析。



### 4.4 重庆荆沙长江斜拉桥结构三维仿真

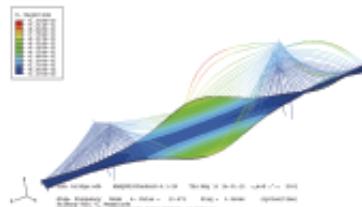
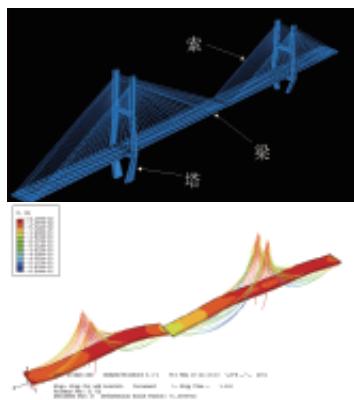
位于湖北省荆州市的荆沙长江公路大桥南汊通航孔主桥如下图所示，主跨布置成 $160+300+97m$ ，桥梁全长 $557m$ ，下图分别是利用Abaqus对该桥做的施工过程模拟、结构动力响应及地震响应分析结果。



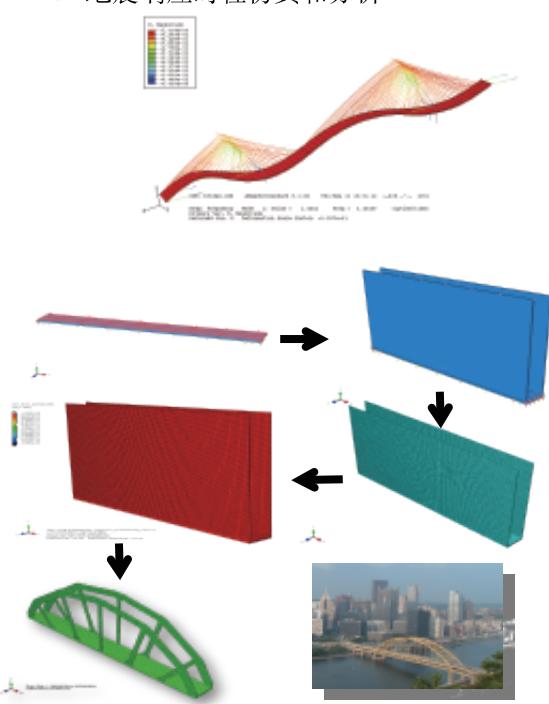
模型图

#### 2. 结构动力响应分析

##### 1. 有限元模型和施工过程模拟

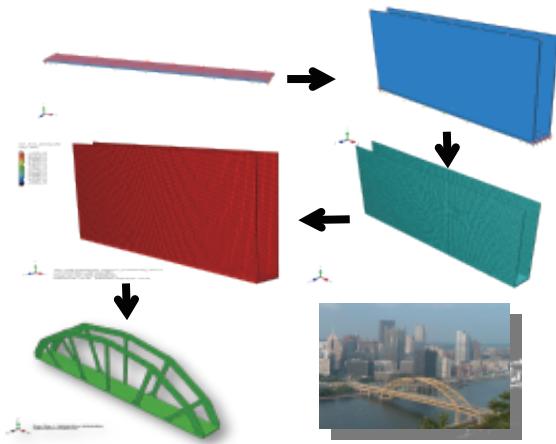


##### 3. 地震响应时程仿真和分析



### 4.5 桥梁结构拓扑优化

Abaqus6.11推出了拓扑优化技术，支持接触、几何非线性、材料非线性及制造约束。一般通过 $5\sim50$ 次设计循环将获得满意结果，优化后的几何模型还可以通过Abaqus/CAE导出为STL文件或者INP文件，供设计使用。下图为某桥梁的拓扑优化结果。



## 第五章 Abaqus 在水工中的应用

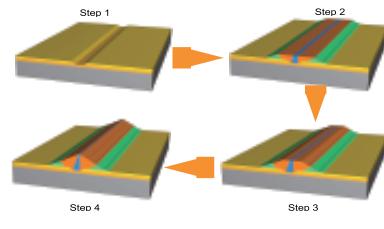
Abaqus对于模拟诸如大坝等建筑物的力学行为具有强大的优势，可以对这些结构的稳定性和应力状态进行分析计算，并且可以进行防渗计算。在计算中可以考虑水压力、温度场、渗流场、重力场作用以及温度场和力场、渗流场和力场的耦合。

### 5.1 土坝施工、快速降水及抗震分析

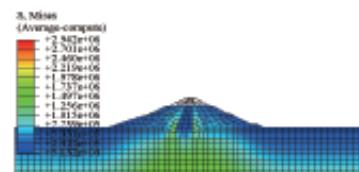
当土体的坡度小于一定值时，土坝的结构取决于土体保持稳定的能力。但是在一定的载荷情况下，土体的稳定性要做折衷处理，在设计过程中要考虑到这些载荷情况。

#### 1. 施工模拟

分析过程：在第一阶段，去掉大坝各单元，将岩石层在地压或重力作用下的变形进行建模。在每个阶段加入新的填筑层。在填筑每一层时进行瞬时固结分析。



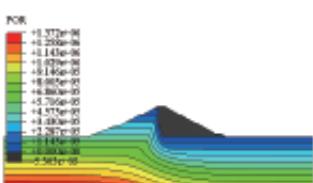
施工过程



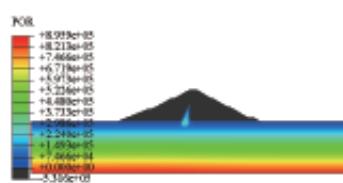
Step 3的Mises应力

#### 2. 蓄水模拟

所有三层构筑完成后，水坝分三个阶段蓄水，并求解蓄水结束后的稳态过程。



蓄水结束后稳态孔压分布



水位快速下降后的孔隙压力分布

#### 3. 快速降水模拟

分析水库中的水在7小时内全部放干，土坝的应力、孔压等的变化情况。

#### 4. 抗震模拟

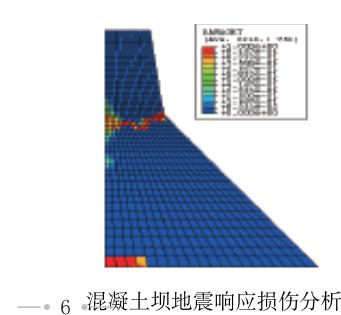
因为地震的载荷是动态的，所以应该考虑全部的惯性力，包括土坝内孔隙中流体和水库中水的影响。



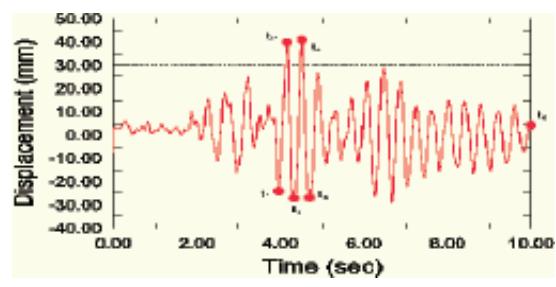
土坝地震响应分析液化区域判断

### 5.2 柯依纳 (Koyna) 重力坝抗震分析

坝基尺寸长为103m，宽71m，当地发生地震时，水库的水位为91.75m。采用Abaqus对该坝在实测的地震加速度作用下的结构响应分析，采用混凝土损伤塑性材料模型，分析结构的稳定性和任意载荷作用下结构的破坏情况。



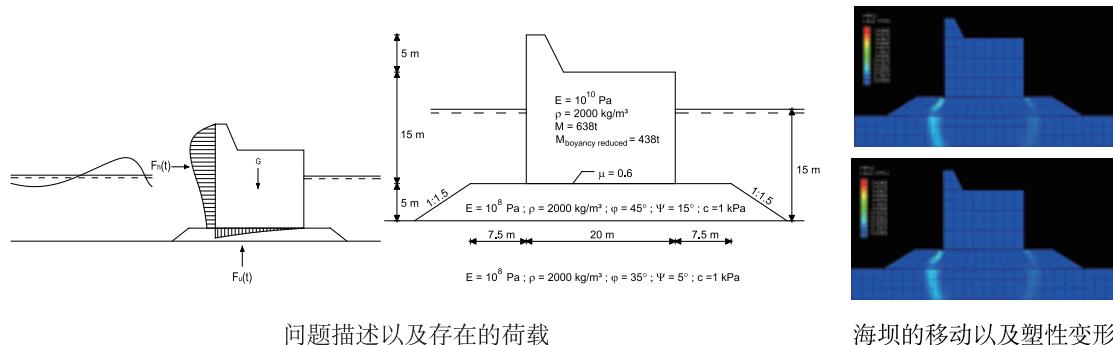
— 6 混凝土坝地震响应损伤分析



水平方向峰值响应

### 5.3 海堤抗波浪荷载分析

海浪的运动形式是复杂的，如何有效分析其对水工结构的影响一直是困扰理论界的问题，Aalborg 大学的工程师利用Abaqus分析在不稳定频率下波浪对海堤的影响。

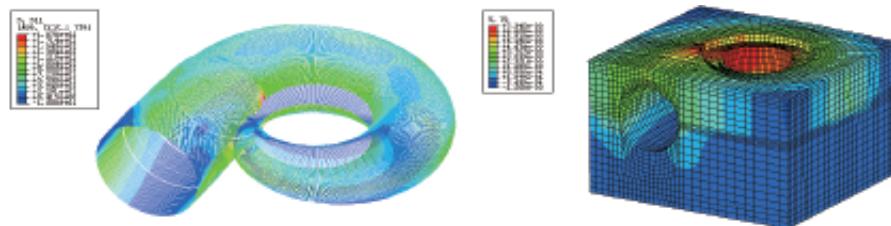


问题描述以及存在的荷载

海坝的移动以及塑性变形

### 5.4 水电站直埋式蜗壳结构分析

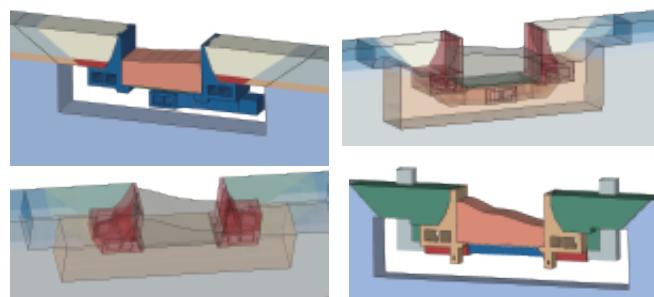
直埋式蜗壳即钢蜗壳外直接浇注混凝土，属于完全联合承载结构，是一种为解决高HD值管道结构钢衬厚度过大并保证其整体安全性的设计理论和工程技术，像三峡电站这么大直径蜗壳结构的采用直埋方案，国内外尚没有先例。因此，专题立项对其中的关键问题加以深入研究，为方案论证和结构设计提供可靠依据。



### 5.5 巴拿马运河扩建项目抗震分析

在巴拿马运河扩建工程中，面对极其巨大的水闸（55米宽、427米长、31.3米高），设计人员最终选择达索系统的Abaqus作为项目的抗震分析软件。

- Abaqus强大功能和灵活性适用于模拟复杂问题
- 界面接触（允许在地震作用下混凝土和岩石之间发生分离和滑移）
- 非线性材料(Mohr-Coulomb plasticity model and hardening)
- 吸能边界条件
- 水对抗震的影响
- 统一前后处理界面和方便的流程自动化



## 第六章 Abaqus 在防火中的应用

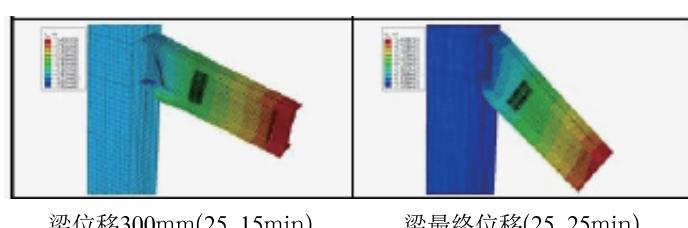
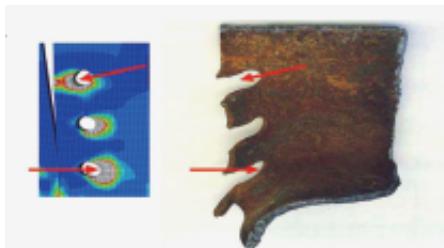
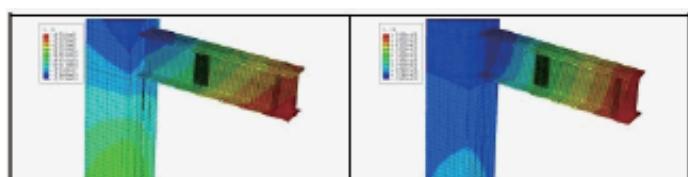
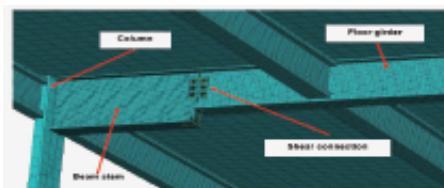
建筑物中的火的发展包括火灾起始，充分发展，衰灭三个阶段，是一个复杂的燃烧，传热，传质，湍流过程，其中涉及到各种非线性问题。Abaqus强大的非线性功能可以很好的模拟火在建筑物中的传递，以及整个结构和构件的变形直到其彻底失效。

### 6.1 钢结构构件的防火分析

在强烈的高温作用下，钢结构筒体的承载强度迅速下降，二十分钟之后就出现彻底破坏。以下是模拟钢框架梁发生火灾，以获得火灾设计失效时间以及特定条件下火灾计算公式。



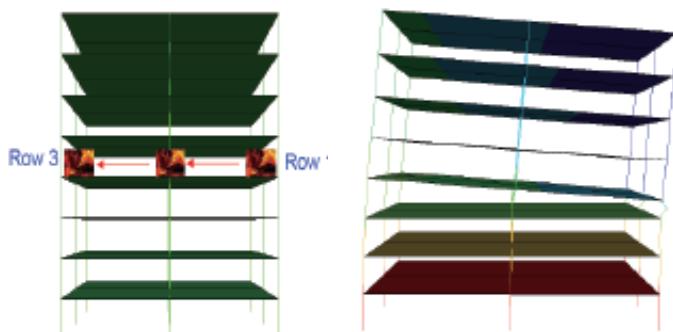
问题描述



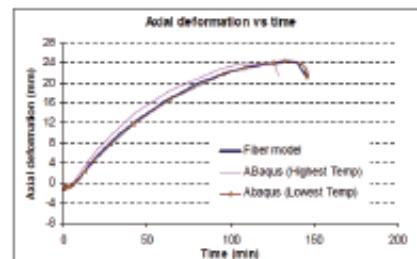
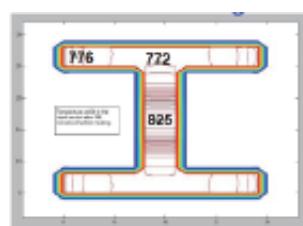
可以看到经过25.15分钟之后梁的承载能力完全丧失，达到最终的变形。

### 6.2 钢结构建筑防火分析

以下是八层钢框架结构在四层出现火灾时的有限元模拟，考虑到火的流动形式对变形的影响。最后计算了结构构件发生火灾时截面变形。可以看到火的流动方式不同导致整体结构失稳的形式也是不同的。

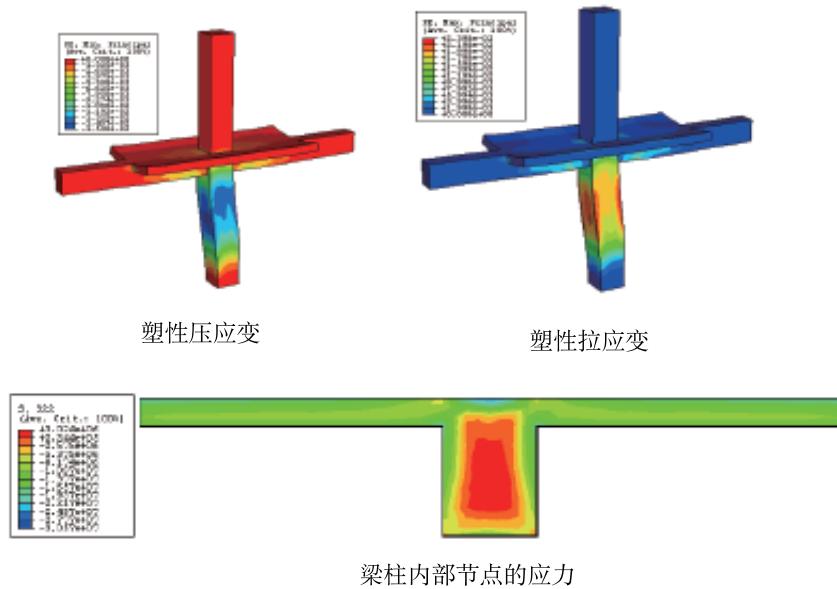


考虑火的流动形式的结构变形



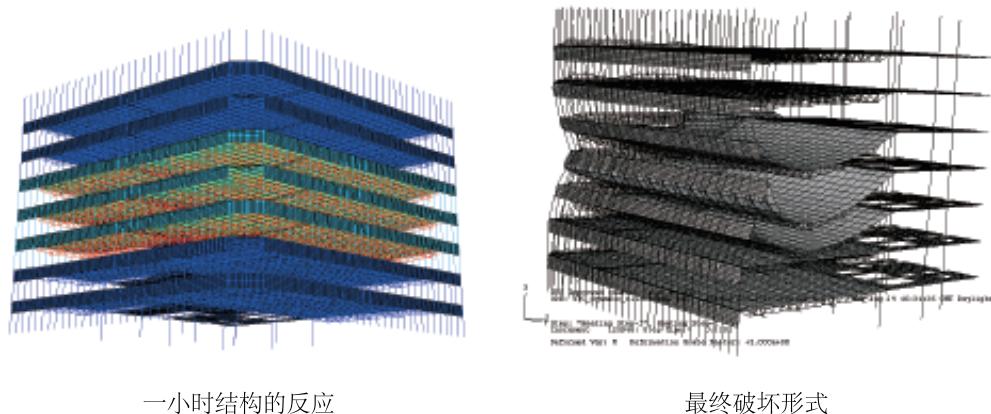
### 6.3 钢筋混凝土结构构件防火分析

钢筋混凝土结构在火灾下自我保护能力明显的高于钢结构，但是钢筋混凝土材料本身的非线性使得问题的分析要比单纯钢结构更加复杂。以下是国家某自然资金项目，采用Abaqus分析梁柱节点在火灾下的变形和应力，以及破坏部位，进而探讨采取何种方法延缓破坏的发生。



### 6.4 钢筋混凝土建筑整体防火分析

世界著名结构公司Arup使用Abaqus软件进行火灾分析，以探讨在火灾情况下结构失效机理，发生部位，以及如何避免发生火灾后高层建筑结构可能失效的发生，从而帮助公司稳固在建筑结构行业的领先地位。



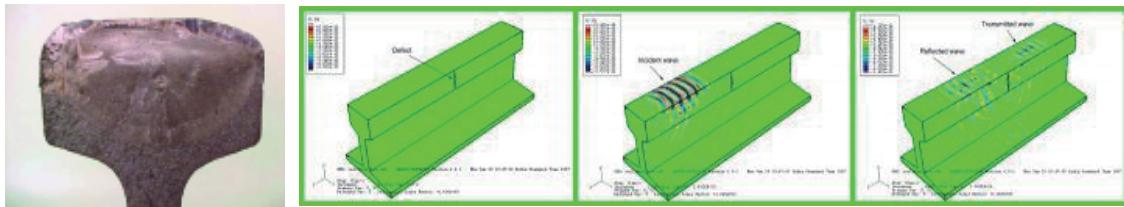
当三层受火时，构件在短时间内被加热到800℃，周边的柱以及拱顶达到400℃左右，受火一小时之后可以在最终破坏形式图中看到塑性铰的出现，从而导致结构的最终破坏。

## 第七章 Abaqus 在交通工程中应用

交通工程涉及到道路，机场跑道，地铁，轨道交通以及铁路等，Abaqus由于其先进的非线性分析功能，能够很好的模拟真实的土壤同接触物的关系，因此在各个方面得到广泛的应用。

### 7.1 铁轨的应力分析

印度IIT Kanpur 大学的工程人员利用Abaqus进行铁轨的应力分析，考虑到在铁轨中的裂缝和可能存在瑕疵。



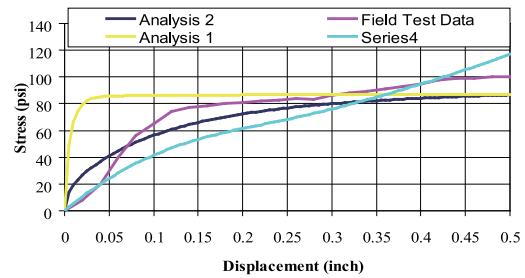
Abaqus可以模拟各种可能的缺陷，比如焊接接口，在不同铁轨之间的连接，以及其他可能的裂缝。

### 7.2 机场跑道分析以及设计

为了设计新型飞机的跑道，rowan university的设计人员利用Abaqus进行设计分析并且同试验结果进行对比，以分析目前跑道的性能，是否适合于新型飞机。同时通过分析结果改进现有跑道土层和覆盖层的厚度和等级。



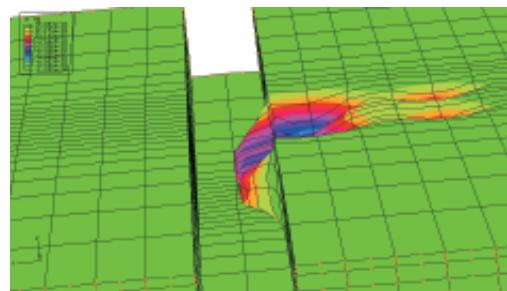
试验内容



不同类型跑道的测试结果



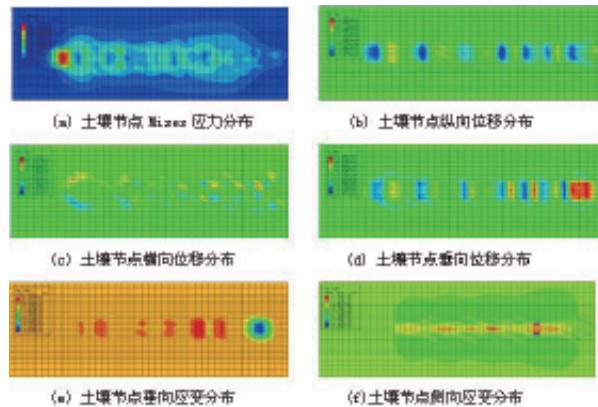
实际损伤形态



Abaqus 模拟

### 7.3 普通道路在移动荷载下分析

应用轮胎/地面接触三重非线性的分析方法，应用Abaqus 建立轮胎/地面接触有限元模型，考虑了轮胎、土壤材料非线性、几何非线性和轮胎/土壤接触非线性。分析了车辆在运动15 秒状况下，不同负载、胎压轮胎和地面的变形、应力和应变分布情况以及相互之间的关系。



### 7.4 组合式混凝土护栏冲击分析

采用Abaqus/Standard对组合式钢筋混凝土护栏的结构进行仿真分析。在模型中，考虑到材料、几何和接触等非线性因素对模拟的影响，通过分析，对结构的合理性给出评价，并对结构的受力分析，给出满足设计要求的钢筋和螺栓尺寸。

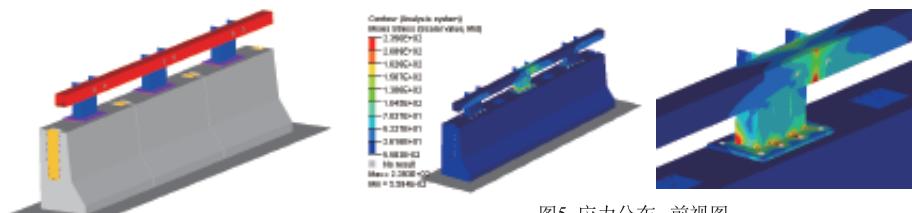


图5 应力分布-前视图

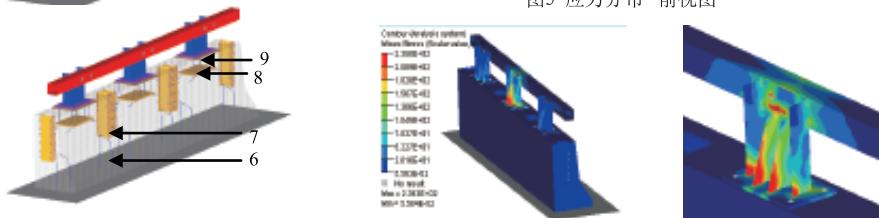
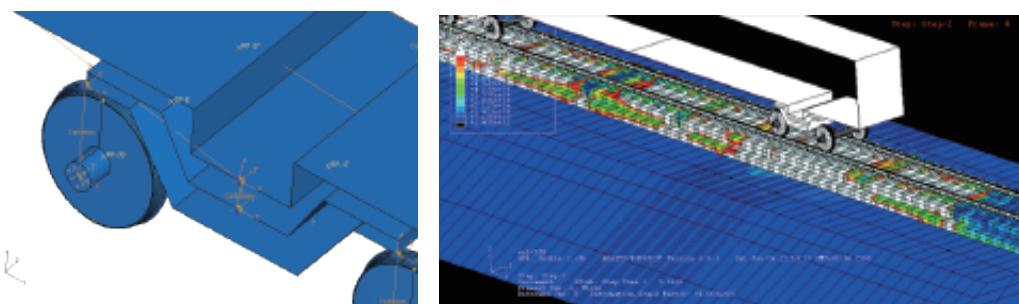


图6 应力分布-后视图

### 7.5 板式无砟轨道结构的行车动力特性研究

无砟轨道是一种新型轨道结构，以混凝土或沥青混合料等取代散粒道碴道床而组成的轨道结构型式，具有轨道整体性好（强度、稳定性与耐久性），轨道几何形位能持久保持，平顺性高，刚度均匀性好，养护维修工作量显著减少，服务期长，轨道结构高度低、自重轻，无高速运行下的道碴飞溅等特点。



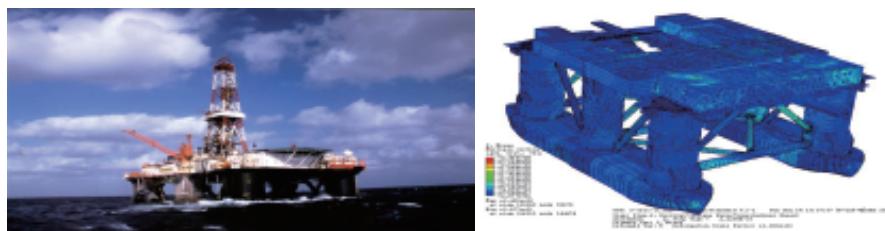
## 第八章 Abaqus 在海洋工程中应用

海洋工程领域是Abaqus应用的重要方面，在此领域Abaqus有着优秀的解决复杂非线性动力学问题的经验，美国船级社（ABS），中国船级社等多个国家的船级社以及海洋结构设计公司采用Abaqus作为主要分析软件。



### 8.1 海洋平台的安全分析

“南海五号”是由挪威设计的“Pacesetter”型半潜式钻井平台，设计寿命为20年。采用设计波方法和三位线性水动力理论并自行开发软件对波浪载荷进行计算。有限元模型前处理通过PATRAN软件完成，后处理通过Abaqus软件完成。模型共有150320个节点、273065个单元，对平台在自存、作业、拖航状态下的22个工况按DNV规范进行了详细评估与评价。

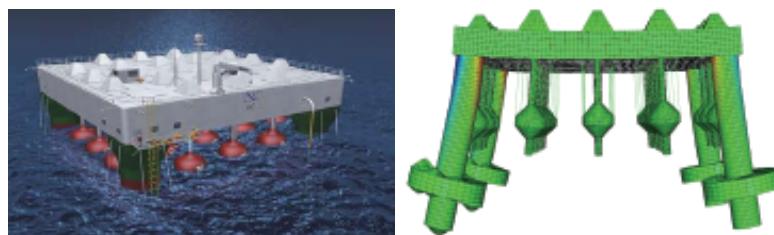


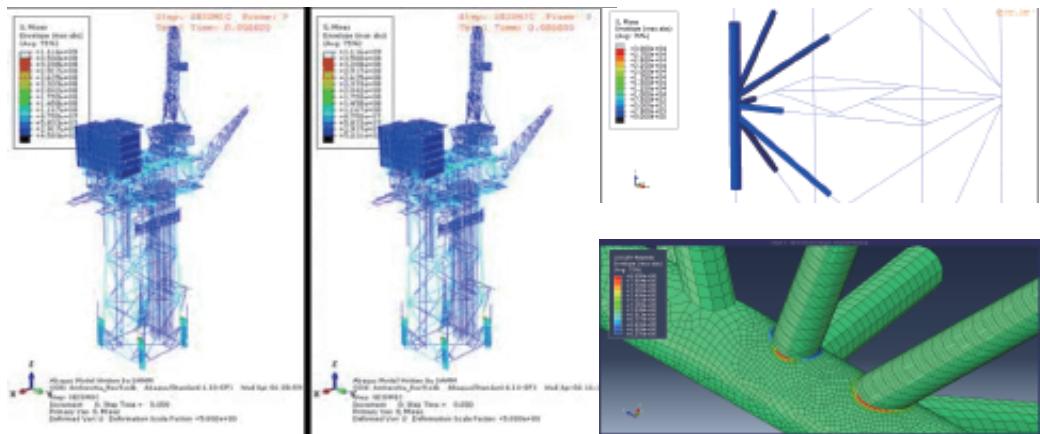
“渤海8号”海上自升式钻井平台始建于1980年，最大工作水深76.2m。多年海上作业导致该平台腐蚀、裂纹问题严重，本项目主要是根据平台的检测结果和平台的实际使用要求和状况，对平台的总体结构进行强度分析，对无损探伤发现的裂纹进行工程临界评估，以确定平台现在的实际状况是否满足安全作业的要求。采用Abaqus软件对平台在预压、自存、作业下的24种工况进行了极限强度分析、对疲劳寿命进行了预测。



### 8.2 柔性复合结构的动力学分析

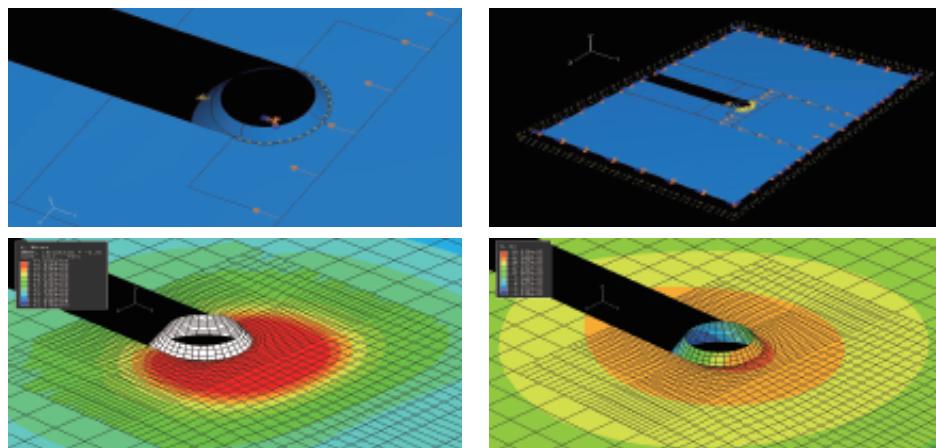
水下建筑物和结构的动力学响应计算分析，主要集中于柔性，复合体大尺度的流动结构，波能转换，水产养殖结构，海上油气田等。





### 8.3 海上结构在流冰荷载下的反应分析

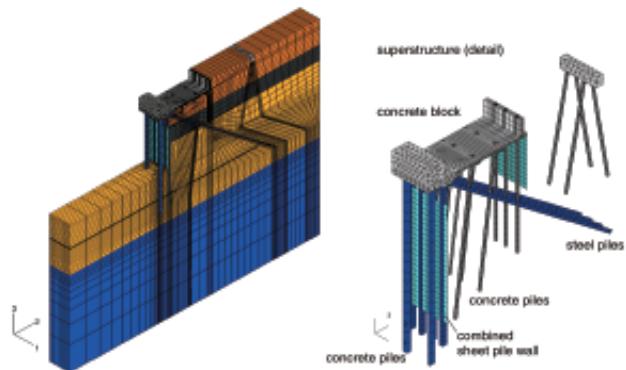
在有结冰的海域建造海洋工程结构时，应考虑冰对结构的作用。冰荷载的主要作用形式有：①巨大的冰原包围结构、整个海面处于冰覆盖状态。在潮流和风作用下的大面积冰原呈整体移动挤压结构。若结构强度足够，则冰原将被切入或破断而移动，荷载呈周期性变化，结构发生振动。②自由漂流的冰对结构的冲击力。③由于气温骤变引起整体冰盖层对结构的挤压压力。④冻结的冰盖层因水位变化而产生对结构的上拔力或下曳力以及冰块对结构的摩擦力等。上述第一种作用对结构具有更大的危险性。



在浮冰作用下的应力图以及竖向位移

### 8.4 港口码头分析

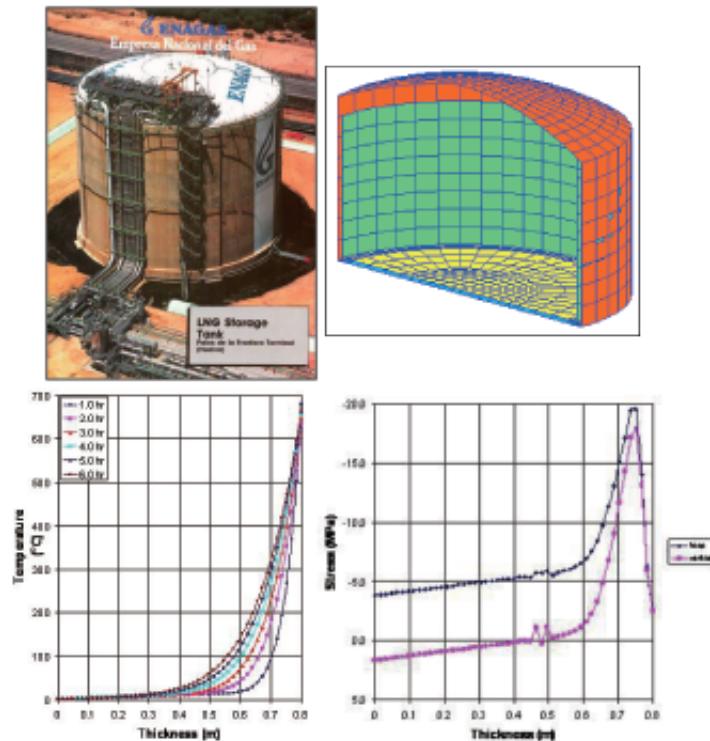
港口码头由于地理条件复杂，且可能需要承受水平冲击力，通常结构采用桩筏基础且有部分水平受荷桩，桩土共同作用分析显得尤为重要。



## 第九章 Abaqus 在特种结构中应用

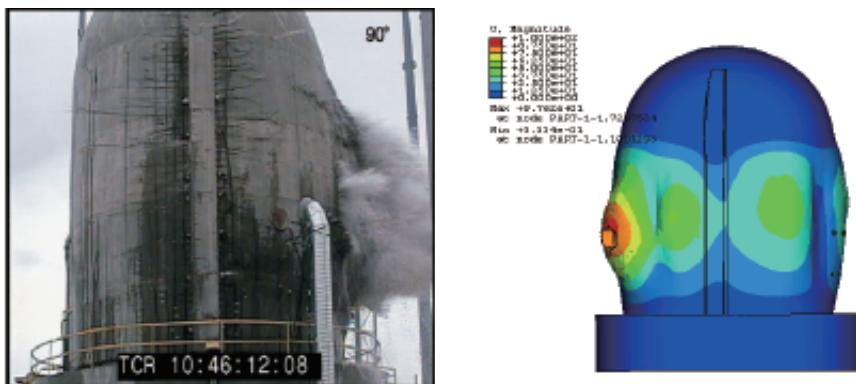
### 9.1 内部高温下的容器变形模拟

类似油罐等结构在实际应用中常常需要考虑极限载荷或灾难性载荷作用下的变形。Abaqus可以保证结构失稳时很好的收敛性。



### 9.2 预应力混凝土安全壳分析

该项目由美国核管理委员会（NRC）和核动力工程公司（NUPEC）组织并资助，用于研究核容器在超过设计压力时的性能。该项目包括几个阶段，其中一个阶段是将预应力混凝土压力建筑物（PCCV）结构内压加到失效状态，在55个标准的输出位置预计变量的演化过程。核容器设计压力：0.39MPa；线性增加到0.78MPa；高度非线性（开裂）：0.78MPa到1.4MPa。Abaqus拥有复杂的混凝土损伤模型，灵活的Rebar单元模拟钢筋，高精度非线性求解，对大规模三维模型进行并行计算等功能来完成该项目的模拟。

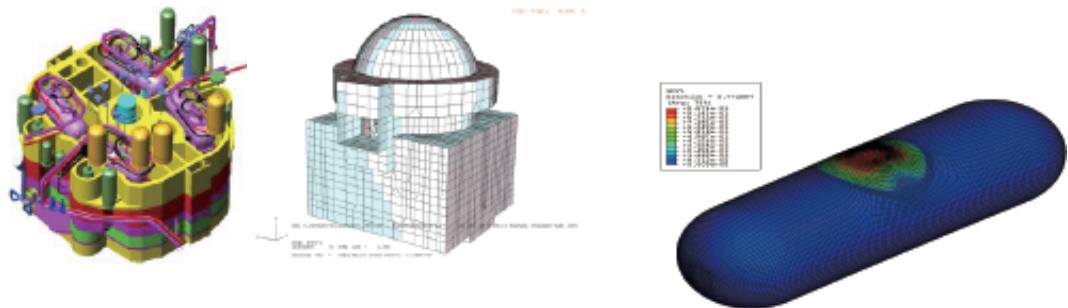


PCCV 1/4比例模型结构失效时场景

1.52 MPa内压力时结构变形的分析结果

### 9.3 核电站地震响应分析

俄罗斯Atomenergoproekt研究所使用Abaqus有限元软件模拟核电站在地震载荷、空气爆炸、飞行器碰撞等特殊动力冲击下的响应谱，确保结构的安全性。由于核电站结构存在复杂的振动模态形式，采用三维有限元的计算结果比原来采用的基于梁理论的分析方法更加贴近实际。



### 9.4 压力容器在高温下抗火和抗爆

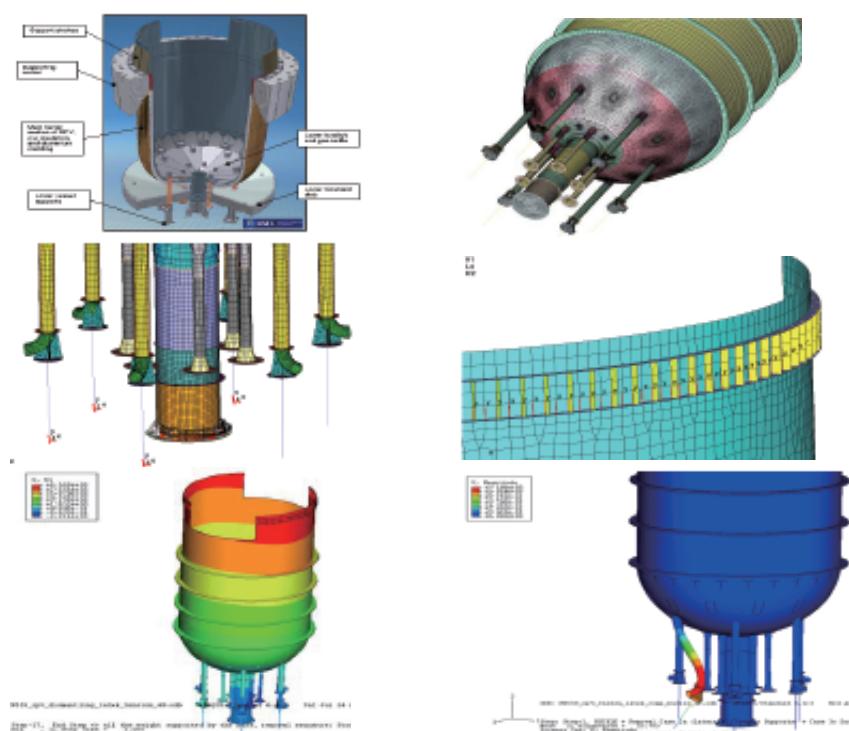
加拿大Queen大学的科研人员利用Abaqus分析不同体积的压力容器在整体失火和局部失火发生爆炸的反应，分析影响容器失效的各个参量。同时通过实验和有限元模型的对比来验证其有效性。为压力容器在火灾爆炸下的防护提供解决方案。



过热点的变化以及失效

### 9.5 特种容器的非线性分析

Windscale's Advanced Gas-cooled Reactor (WAGR)为英国的大部分家庭提供电源，以下是WAGR的原型反应炉的模态和位移分析。



竖向位移结果

模态分析



我们的 **3DEXPERIENCE®** 平台能为各品牌应用注入强大动力，服务于12个行业，并提供丰富多样的行业解决方案体验。

作为一家为全球客户提供 **3DEXPERIENCE®** 解决方案的领导者，达索系统为企业和客户提供虚拟空间以模拟可持续创新。其全球领先的解决方案改变了产品在设计、生产和技术支持上的方式。达索系统的协作解决方案更是推动了社会创新，扩大了通过虚拟世界来改善真实世界的可能性。达索系统为140多个国家超过21万个不同行业、不同规模的客户带来价值。如欲了解更多信息，敬请访问：  
[www.3ds.com](http://www.3ds.com)。

#### 北京

地址：朝阳区建国路79号华贸中心  
2号写字楼707–709室 100025  
电话：010–65362345  
传真：010–65989050

#### 上海

地址：浦东新区陆家嘴环路1233号  
汇亚大厦806–808室 200120  
电话：021–38568129  
传真：021–58889951

#### 广州

地址：天河区珠江新城珠江西路5号  
国际金融中心2504单元 510623  
电话：020–22139222  
传真：020–23388206

#### 成都

地址：武侯区人民南路四段三号来福士广场  
写字楼2座17层1708室 610041  
电话：028–65112803  
传真：028–65112806

#### 武汉

地址：武昌区中南路99号  
武汉保利广场A座18楼 430071  
电话：027–87119188

#### 台北

地址：台北市105敦化北路167号  
11楼B1区  
电话：+ 886221755999  
传真：+ 886227180287

E-mail:[simulia.cn.support@3ds.com](mailto:simulia.cn.support@3ds.com)