



ANSYS在土木工程行业的应用探讨 ——安全、环保、宜居

- 孟志华
- 安世亚太公司仿真业务部 产品经理

提要

- **前言：**

- 中国的基础设施建设，持续发展
- 工程设计与建造水平提升，需要更先进的软件支撑

- **ANSYS的土木工程应用**

- 土木工程的仿真分析模型
- 工程设计与建造安全性分析
- 灾害及突发事件性能化分析
- 绿色节能及建筑环境舒适性
- 建造智慧城市的仿真分析

土木工程（Civil Engineering），是建造各类工程设施的科学技术的统称。包括住宅、公共建筑、市政设施、能源设施、环保设施、铁路、公路、港口、水利等等领域。





中国，全世界的工程奇迹

• 持续的、大规模的基础设施建设：

- 每年新增建筑面积超过20亿平方米，房地产投资9.6万亿
- 交通、环境、水利、市政等基础设施投资10万亿，20多年年均10%以上增速
- 2008年，基础设施建设投资1.5万亿
- 2014-2016年，七大工程包，400个基础设施项目，总投资10万亿
- 新建房屋占全世界50%以上，消耗全世界40%的水泥和钢材。
- 国内设计企业在设计施工、生产质量方面已经处于世界领先水平
- 对外承包工程业务年均增长率27.1%



中国基础设施条件，依旧面临诸多挑战

- 中国在建筑、交通、环境、能源、市政、公共服务等领域的基础设施水平，有了长足发展，但与发达国家相比，仍然差距很大，特别是在自然灾害、突发事件、宜居环境等方面。
 - 对自然灾害的防灾及减灾能力
 - 对突发事件的预测及应对能力
 - 对社会生产居民生活的服务能力
 - 对节能环保、绿色宜居的支撑能力







土木工程设计与建造的新需求新挑战



能源短缺及环保要求



多种自然灾害及突发事件



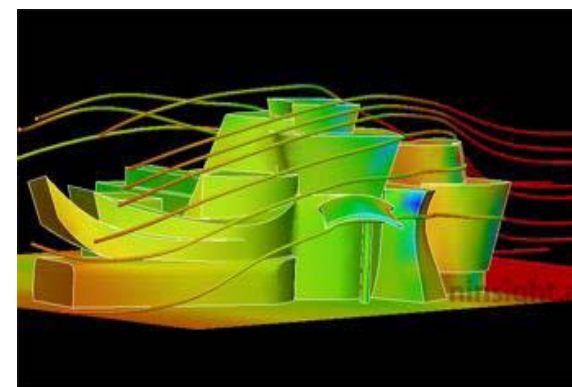
设计规范更为严格的要求



降低成本、缩短周期、
控制施工安全风险



新材料新技术的安全运用



体型与结构的重大创新

CAE 仿真分析有着巨大的发挥空间

Smart Buildings 智慧建筑

*To adjust to a changing
environment and activities*

environment and activities

Maximizing Passive Safety 安全设计

*To protect people and
ownership in any
circumstance*

circumstance
ownership in any

Green Building 绿色建筑

*To make building comfortable
and more affordable*

and more affordable

Reducing Cost of Construction and Services 降低建造与维护成本

*To make construction
affordable to a larger
audience across geographies*

audience across geographies
affordable to a larger

Building Information Modeling (BIM) 与信息化技术接轨

*To accelerate, share and
globalize the process*

globalize the process
to accelerate, share and

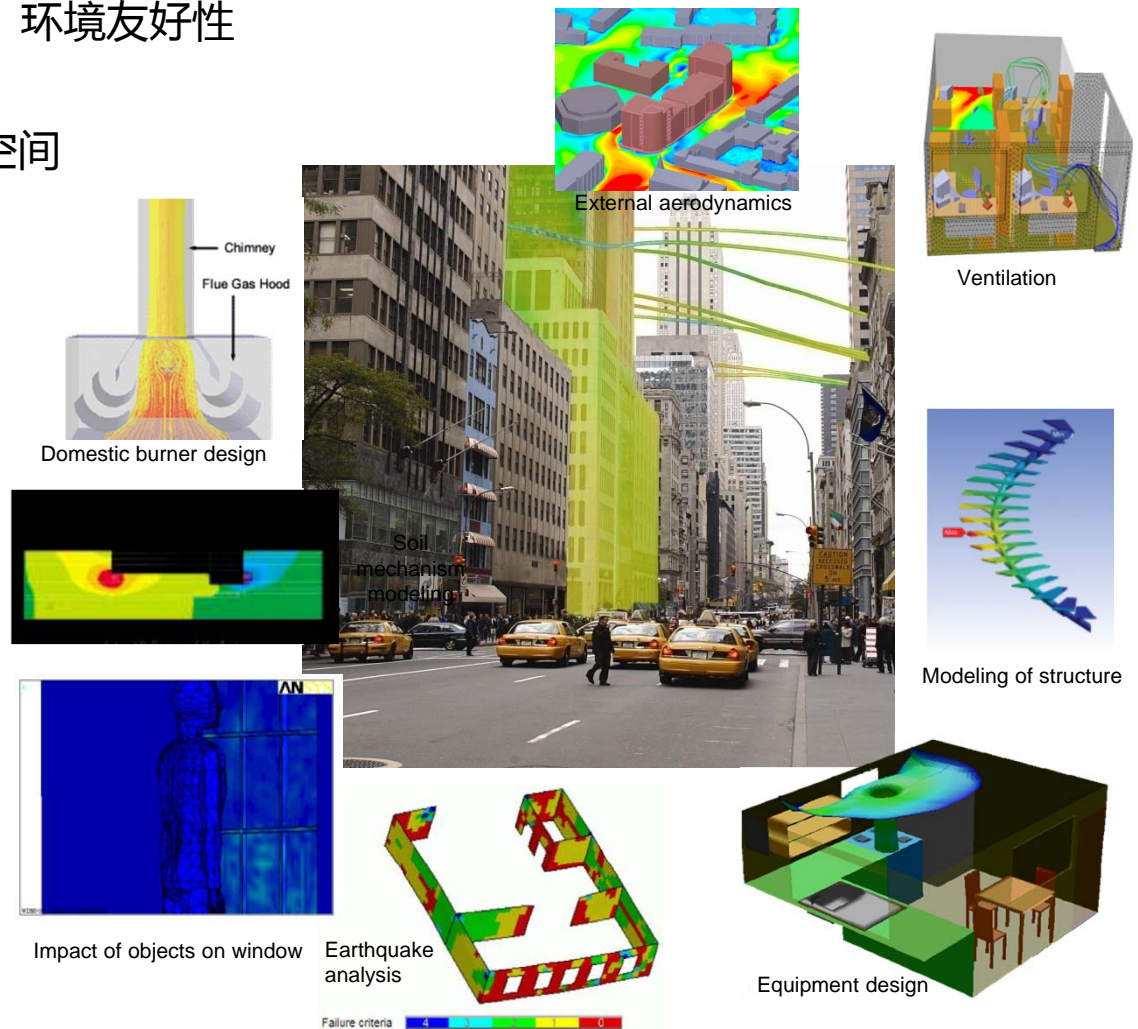
Automatic Compliance to Building Codes 满足设计规范要求

*To ensure compliance from the
early stage no matter of local
regulations*

regulations
early stage no matter of local

仿真驱动的土木工程设计

- 当今，任何大型复杂工程的设计过程，都需要大量的CAE仿真分析
 - 验证设计可行性、建造安全性、环境友好性
 - CAE仿真分析有了更大的发挥空间



Some pictures, courtesy of
Immergas S.p.A., Scott Taylor

ANSYS服务于土木工程及基础设施设计与建造的多个学科领域

- ANSYS——是一个多学科多物理场的仿真技术“体系”



土木工程领域的ANSYS仿真分析系统

CAD建模与BIM信息系统



ANSYS仿真分析系统（仿真平台）

土木工程的仿真分析模型

工程设计与建造安全性分析

灾害及突发事件性能化分析

绿色节能及建筑环境舒适性

建造智慧城市的仿真分析

工程结构仿真：
ANSYS Mechanical

流体力学仿真：
Fluent, CFX, ...

电气及工控系统仿真：
Maxwell、HFSS...

工程力学原理

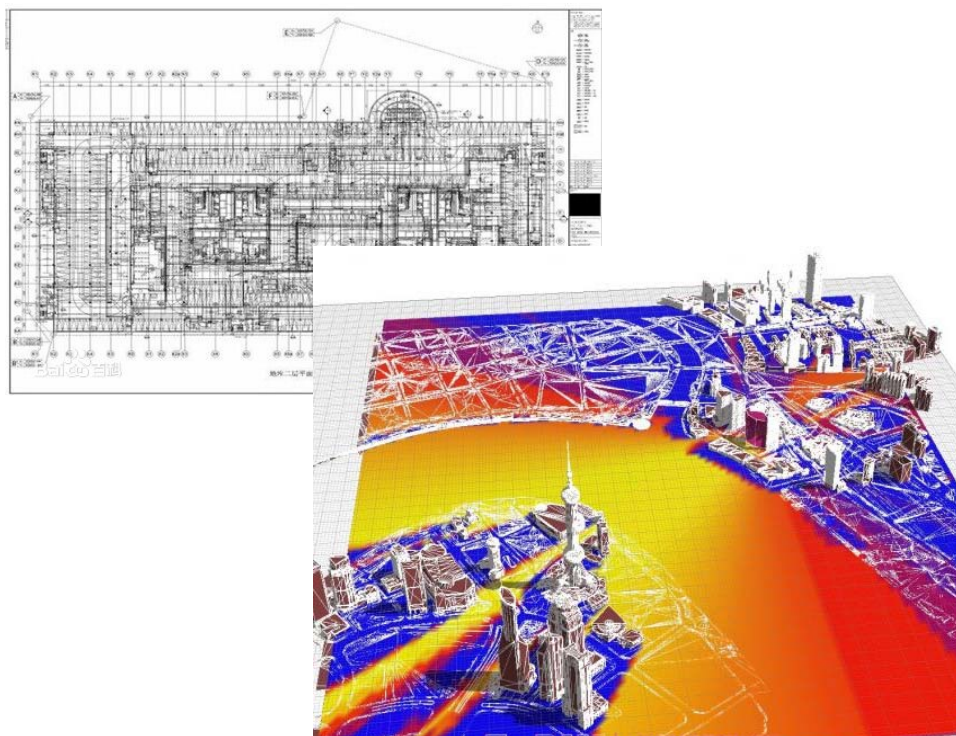
有限体积法

有限元法

其他数值计算方法

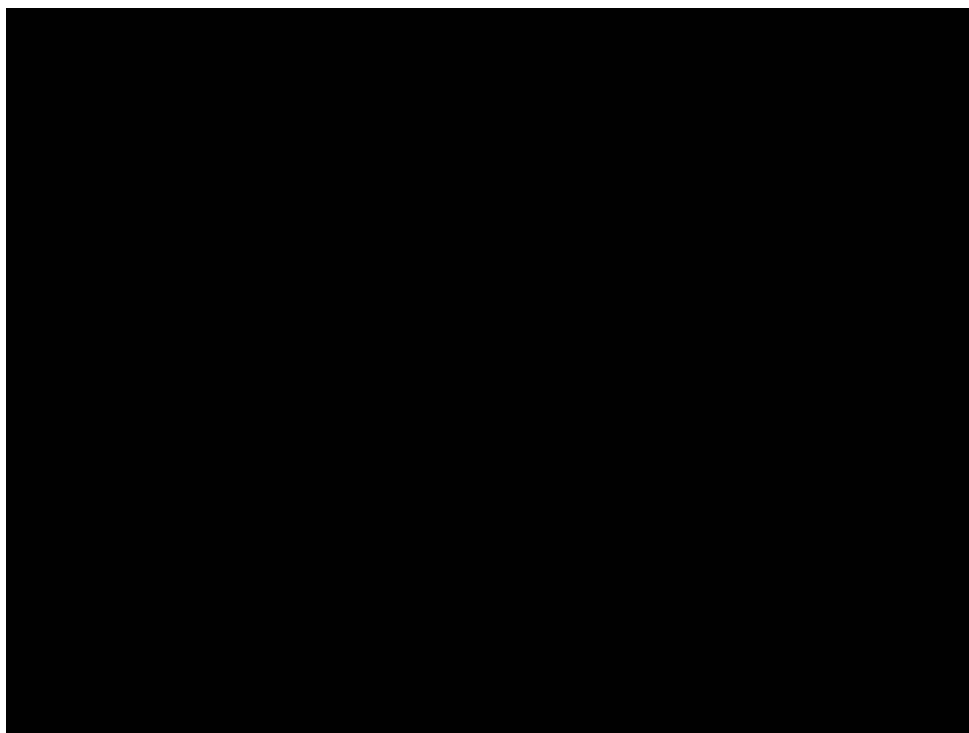
工程信息模型 (BIM) (building Information Modeling)

- **BIM是工程设计与建造技术革新的重要方向:**
 - 建立工程模型，实现数字化和三维化的信息展现，并进行仿真模拟。
 - 各专业（结构、给排水、通风、电气）基于统一的模型
 - 为工程规划、设计、建造、维护、翻新、拆除，提供全周期管理模型

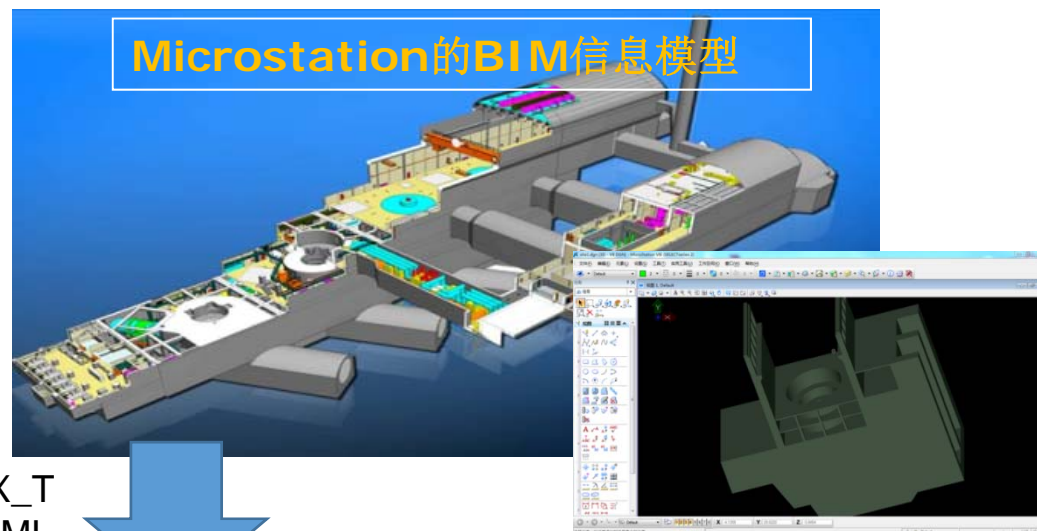


BIM的发展，对CAE仿真分析的深化有极大促进

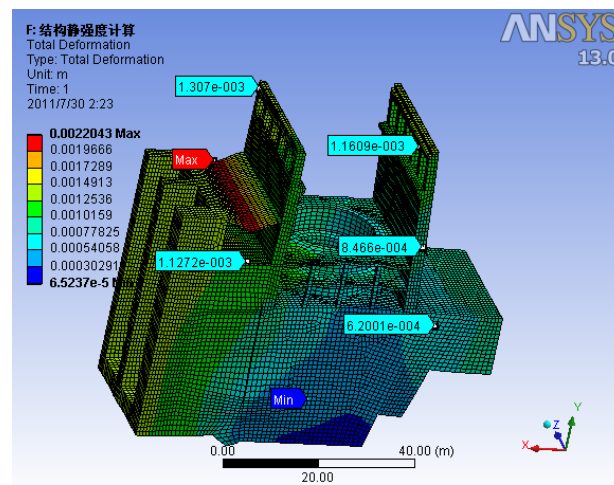
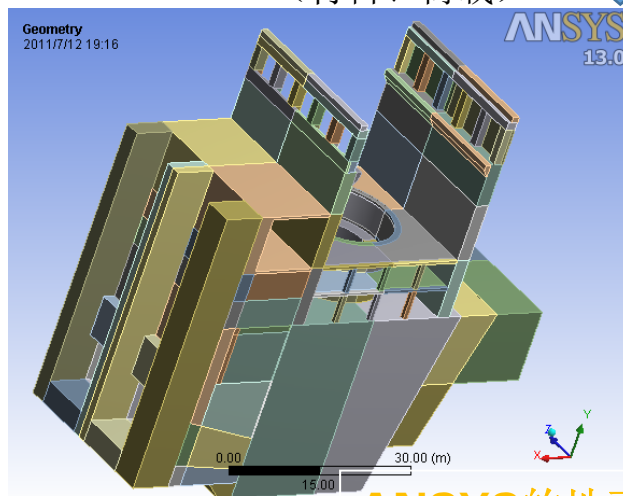
- 基于BIM信息模型，仿真分析所需的几何模型、材料参数、建造过程、周边环境等信息，均可快速获取BIM信息，甚至直接使用BIM模型进行仿真模拟



澜沧江梯级水电站的BIM工程模型及结构分析



几何模型.X_T
工程信息XML
(材料、荷载)

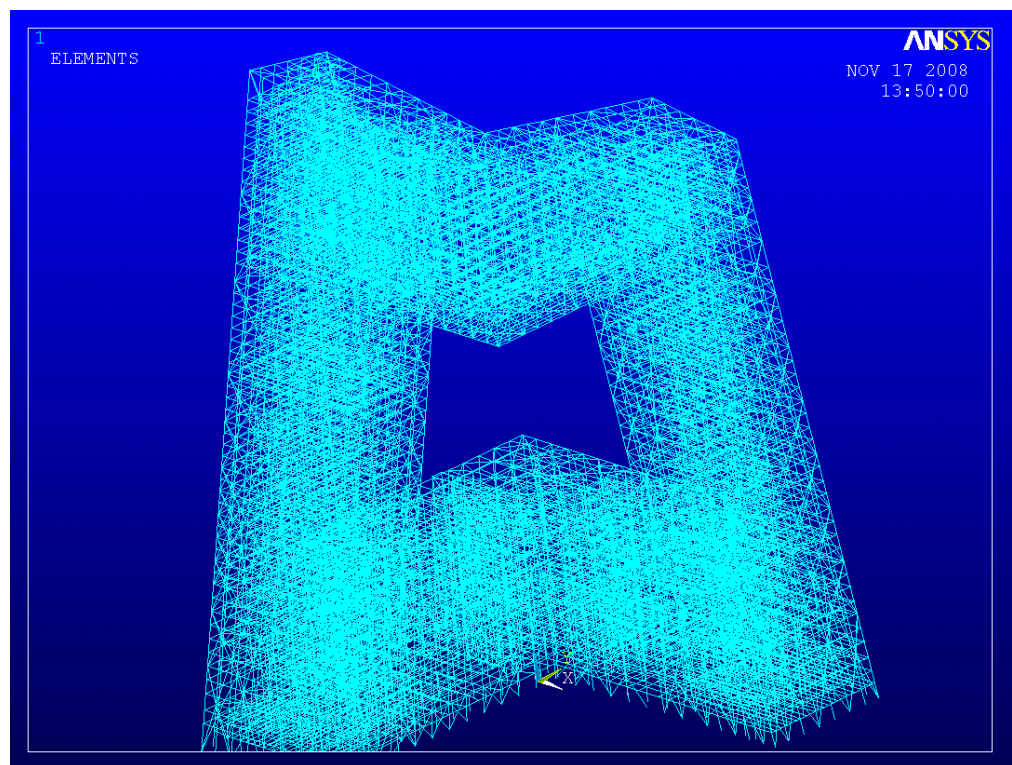


ANSYS的地下厂房结构分析模型

中央电视台的施工过程分析模型



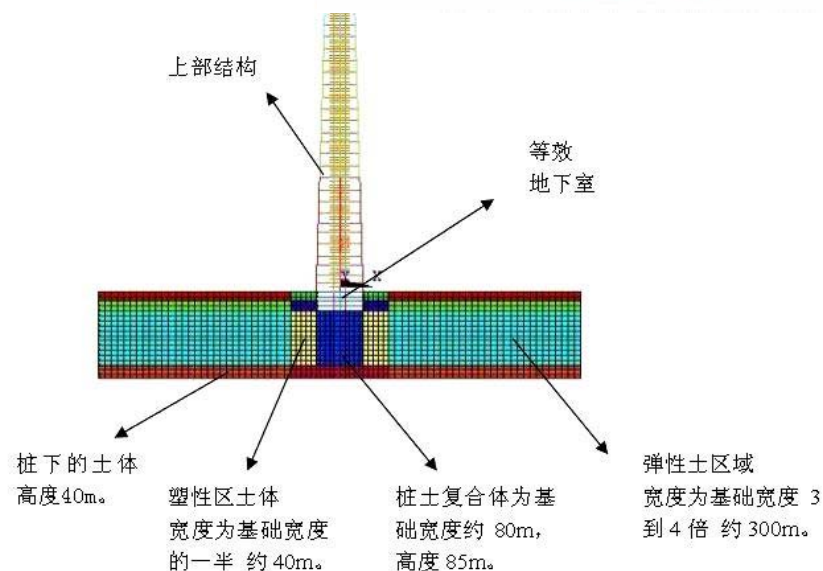
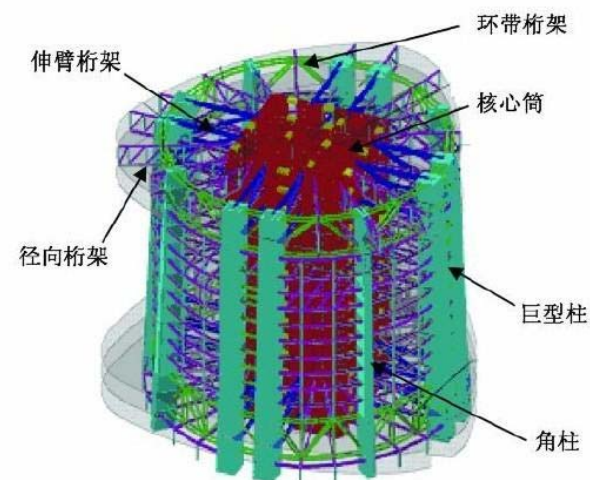
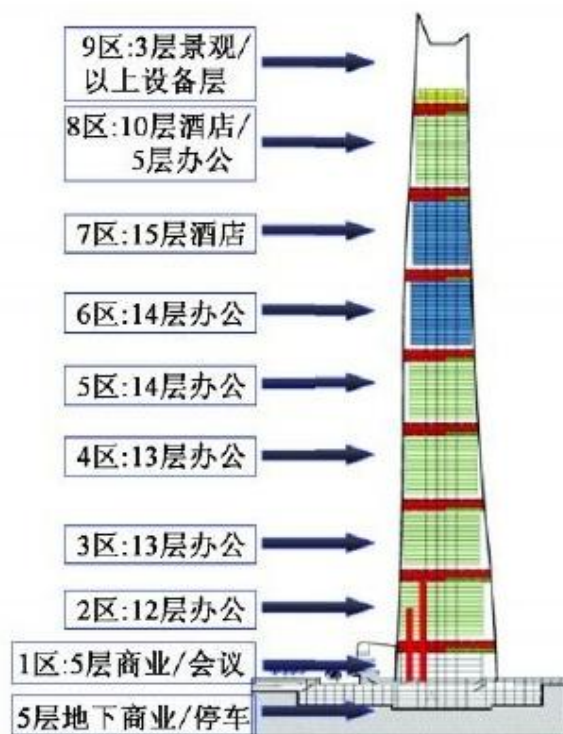
CCTV效果图



中建集团完成的ANSYS结构分析模型

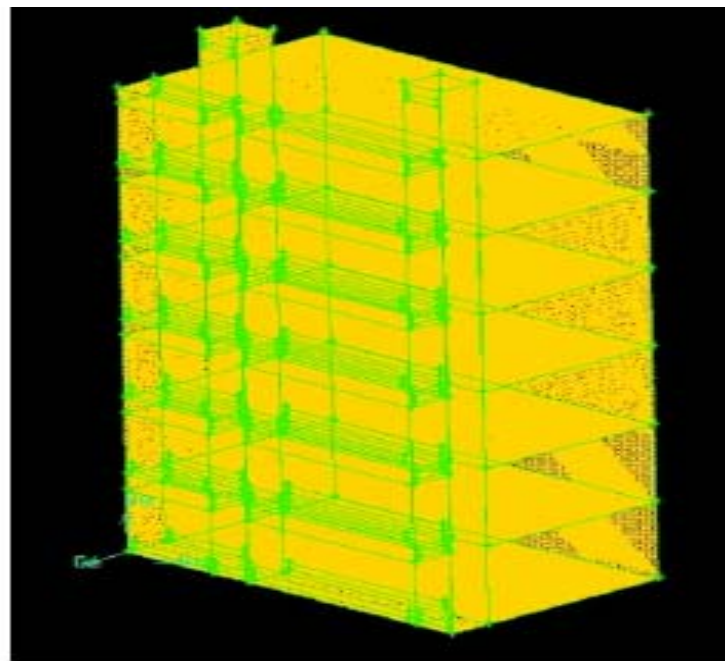
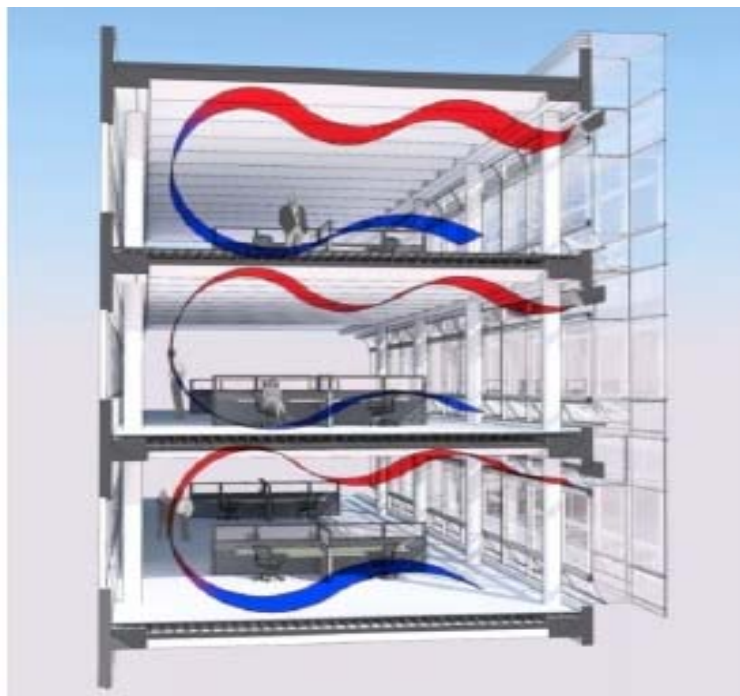
上海中心大厦的结构动力学分析模型

• 上海中心大厦的地震动力学分析



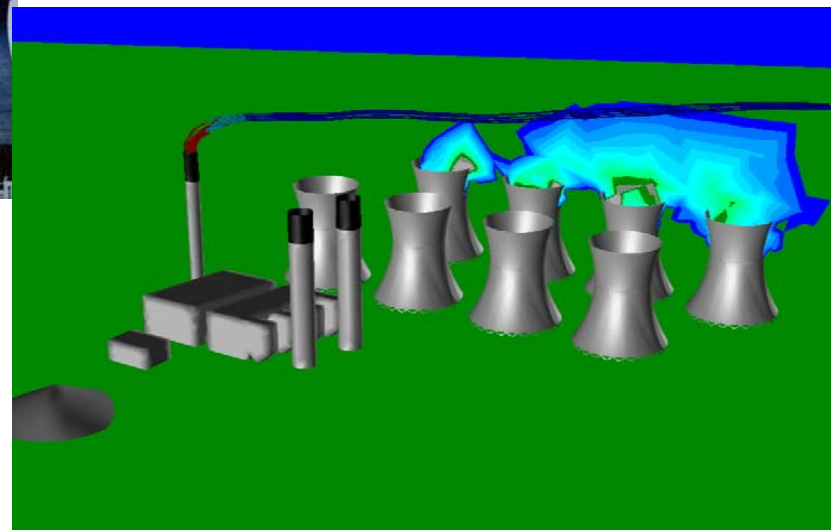
建筑内部环境模型-办公楼及幕墙模型

- 基于BIM建筑信息模型，做内流场分析，优化建筑内部的通风及散热



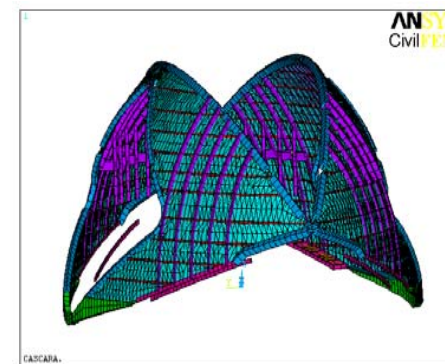
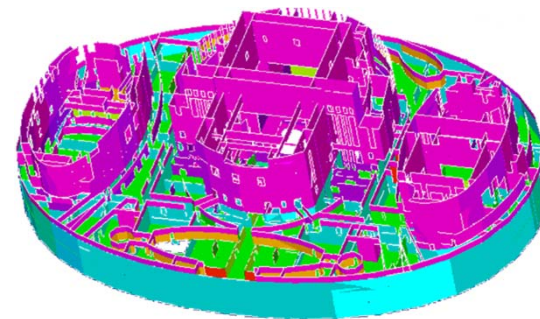
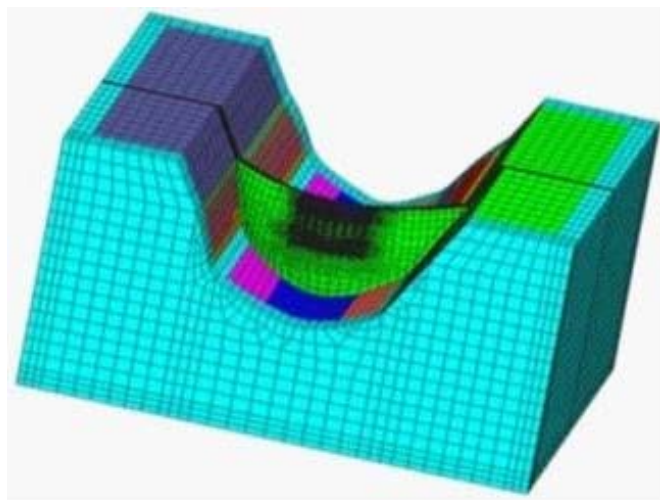
火力发电厂的BIM信息模型及污染物扩散分析

- 基于火电厂的烟囱、冷却塔群及周边环境，建立污染物扩散的流场分析模型



结构有限元建模技术

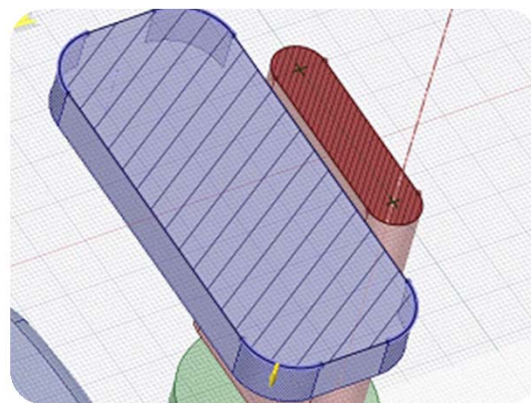
- ANSYS几何建模功能：
 - 适合各类复杂工程的结构造型
 - 大到城市整体、小到局部零件
- 著名的命令流APDL



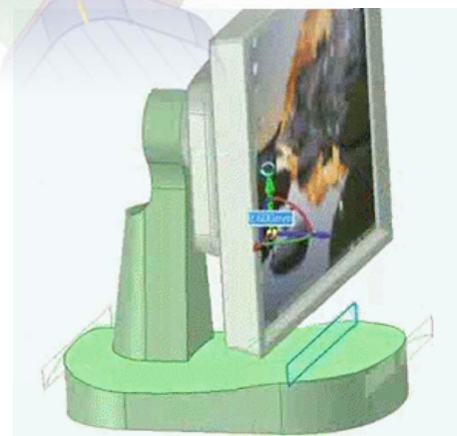
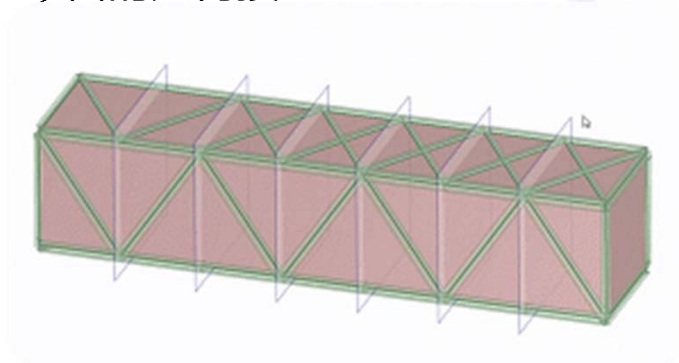
全新的建模工具——与BIM工程三维模型衔接

- ANSYS SpaceClaim Direct Modeler , 2009 年推出
- 基于直接建模思想的三维几何建模工具

- 三维直接建模技术
- 非常容易的编辑与修复
- 中性几何模型参数化
- 2D到3D建模
- 丰富的几何接口

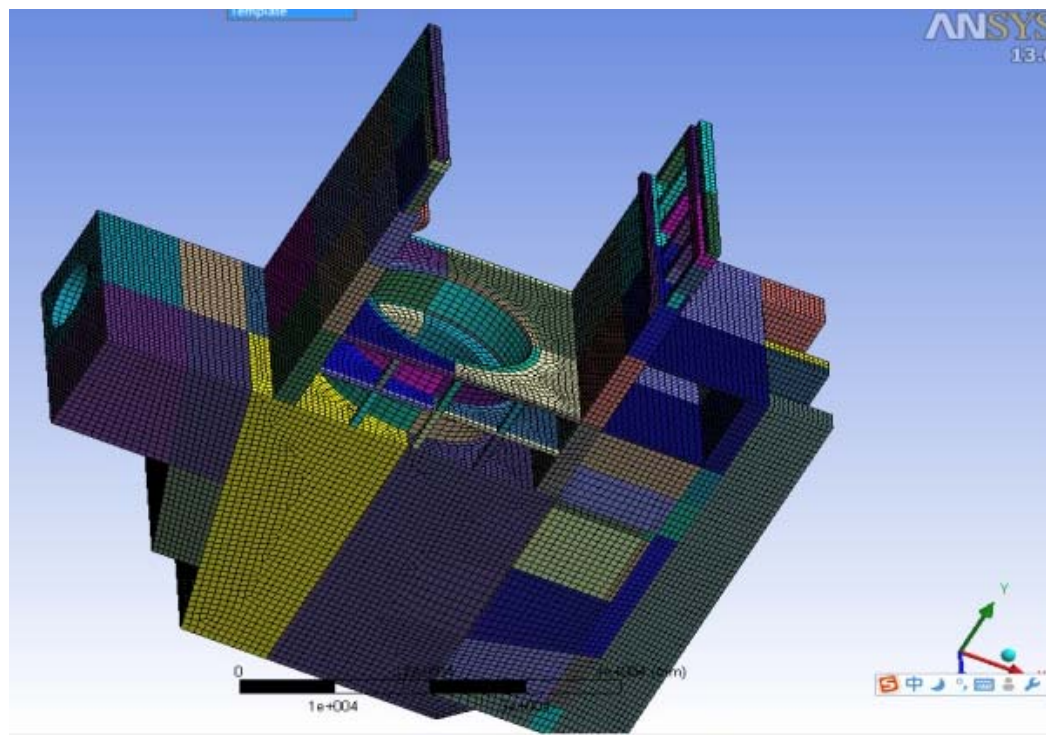
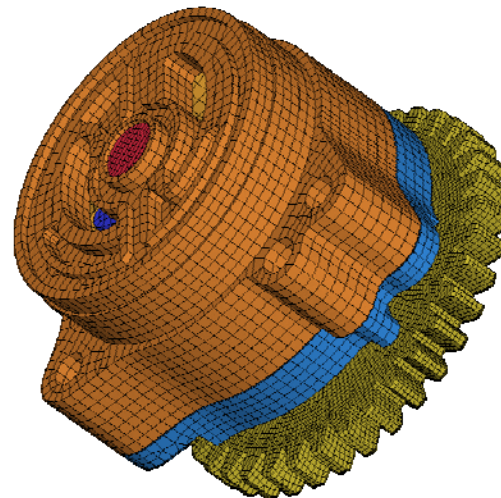


- Acis
- Step
- Iges
- Parasolids
- DWG、DXF
- Pro/Engineer
- Inventor
- Catia
- Solid Works
- Unigraphics
- STL
- VDA
- ECAD Files (idf, emn)
-



有限元分析模型的网格划分技术

- **ANSYS可以处理各种结构及流场的网格：**
 - 更强大更丰富的网格算法，适用不同工程问题
 - 通过高质量网格，提高计算精度
- **四面体网格划分算法**
 - Patch Conforming
 - Patch Independent
- **六面体网格划分算法**
 - Thin Sweep
 - General Sweep
 - Multi Zone
 - Hex-Dominant
- **完善的网格控制措施**
 - 总体控制措施
 - 局部控制措施



土木工程领域的ANSYS仿真分析系统

CAD建模与BIM信息系统



ANSYS仿真分析系统（仿真平台）

土木工程的仿真分析模型

工程设计与建造安全性分析

灾害及突发事件性能化分析

绿色节能及建筑环境舒适性

建造智慧城市的仿真分析

工程结构仿真：
ANSYS

流体力学仿真：
Fluent, CFX, ...

电气及工控系统仿真：
Maxwell、HFSS...

工程力学原理

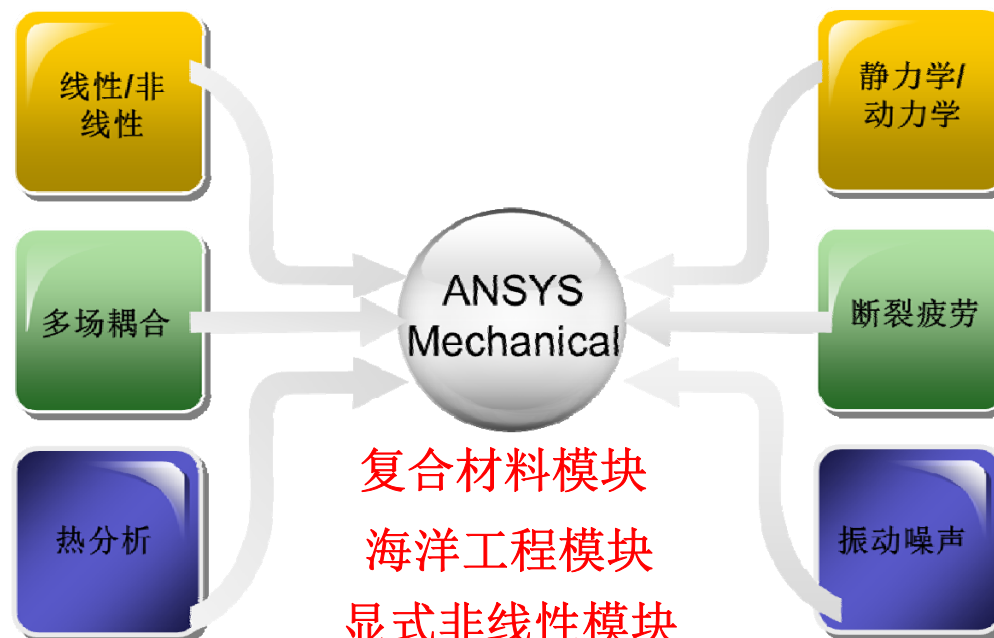
有限体积法

有限元法

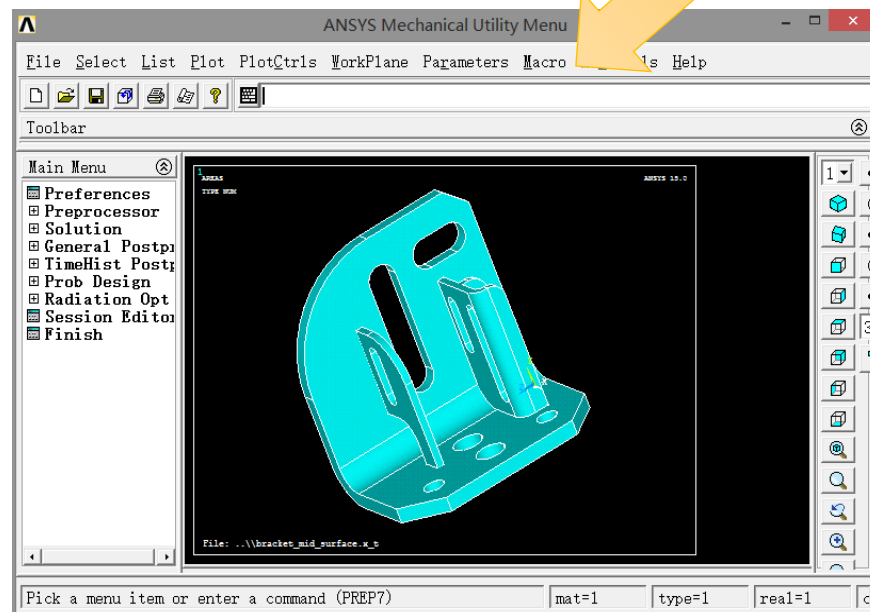
其他数值计算方法

工程设计与建造中的常见结构分析类型

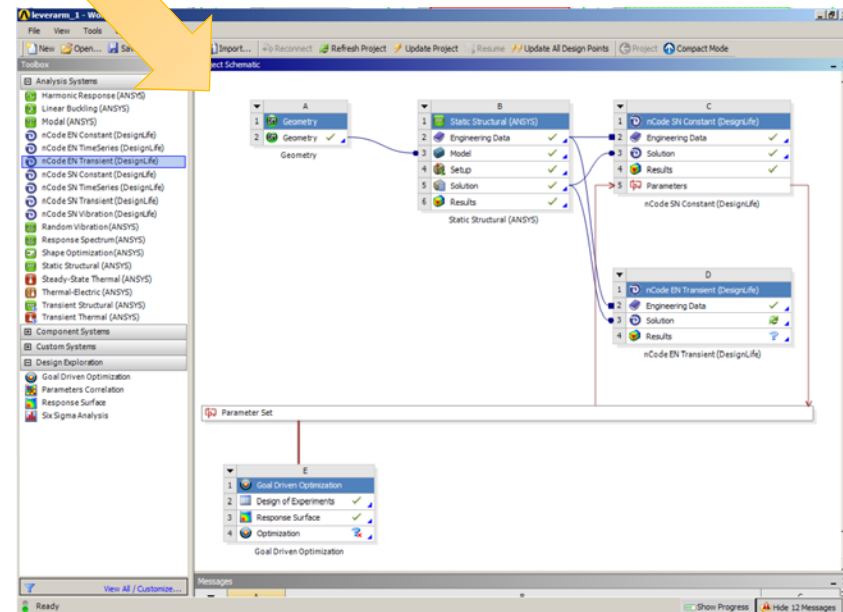
- 整体受力分析
- 局部应力分析
- 反应谱分析（单点/多点输入）
- 弹塑性时程分析
- 静力弹塑性分析（Pushover）
- 动力弹塑性分析
- 隔震、消能减震及支座沉降分析
- 冲击/碰撞分析
- 断裂与疲劳损伤分析
- 施工过程仿真分析
- 预应力（张拉及松弛损失等）
- 流固耦合分析
- 风振分析/风洞试验模拟分析
- 热应力分析
- 结构优化设计



复合材料模块
海洋工程模块
显式非线性模块
疲劳分析模块
结构优化模块
建模工具模块
高性能计算模块



经典**APDL**应用环境，适合土木工程的杆系结构



新的**Workbench**仿真集成环境
适合多场耦合、复杂三维模型

为各行业用户定制开发的专用仿真系统

吸收塔工艺仿真设计分析平台

国家核电 SNPTC 山东电力工程咨询院有限公司
SHANDONG ELECTRIC POWER ENGINEERING CONSULTING INSTITUTE CORP., LTD.

任务名称:
工作路径:

Outline

Filter: Name

- Project
- Model (B3)
 - Geometry
 - Coordinate Systems
 - Connections
 - Mesh
 - Named Selections

Details of "Mesh"

- Defaults
 - Physic... CFX
 - Solver... Fluent
 - Rel... 0
- Sizing
- Inflation
- Assembly Meshing
 - Method CutCell
 - Featur... Program Controlled
 - Tessell... Program Controlled
 - Interse... Program Controlled
- Advanced
- Statistics

Geometry / Print Preview / Report Preview

网格划分模板

Generate Mesh

Show Vertices Wireframe Mesh Random Colors Annotation Preferences

Edge Coloring

Mesh Update Mesh Mesh Control Metric Graph

ACT Development

国家核电 SNPTC 山东电力工程咨询院有限公司

脱硫吸收塔仿真计算设置

4. 材料属性

	密度 (kg/m ³)	比热容 (J/kg·K)	导热系数 (W/m·K)	动力粘度 (kg/m·s)
Q235	8030	502.48	16.27	
玻璃钢	2550	800	1	
浆液	1113	4182	0.6	0.001
烟气	1.3051	1006.43	0.0242	1.7894e-5

5. 边界条件

入口

速度 (m/s) 15.244

温度 (°C) 132

出口

回流温度 (°C) 53

除雾器

压力降 (Pa) 140

6. 求解设置

自动保存 500

迭代步数 5000

1. 串/并行计算

☐ 串行 ☒ 并行 4

2. 湍流模型 (k-epsilon)

☐ standard ☐ RNG ☒ Realizable

3. DPM设置

☐ 更新喷嘴文件

每DPM迭代连续相迭代次数 50

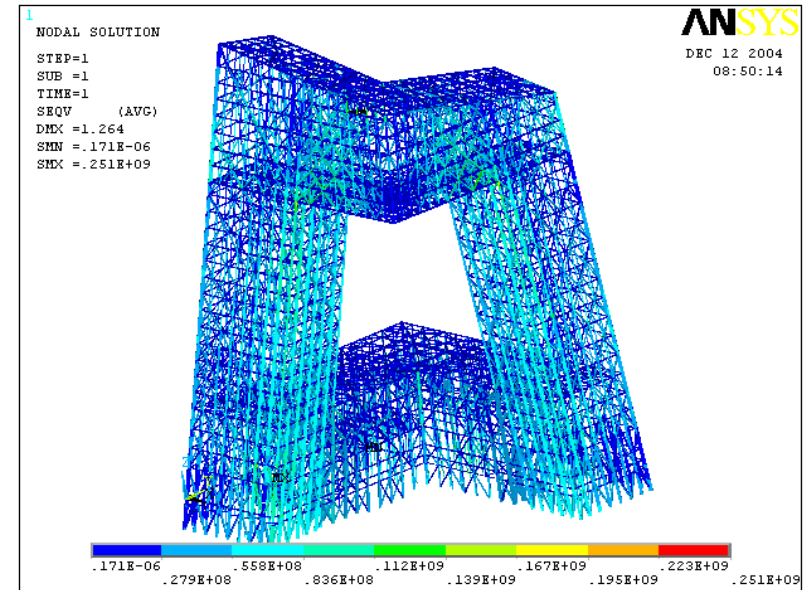
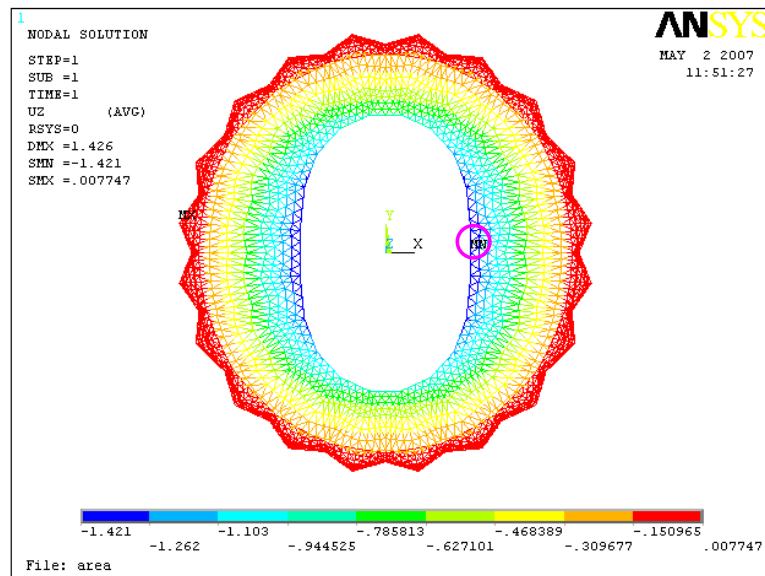
最大跟踪步数 40000

长度尺度 0.0025

确定 应用 取消

ANSYS的有限元结构分析功能

- 成熟的单元技术和矩阵算法
- 丰富的前后处理功能
- 计算效率和精度的保证



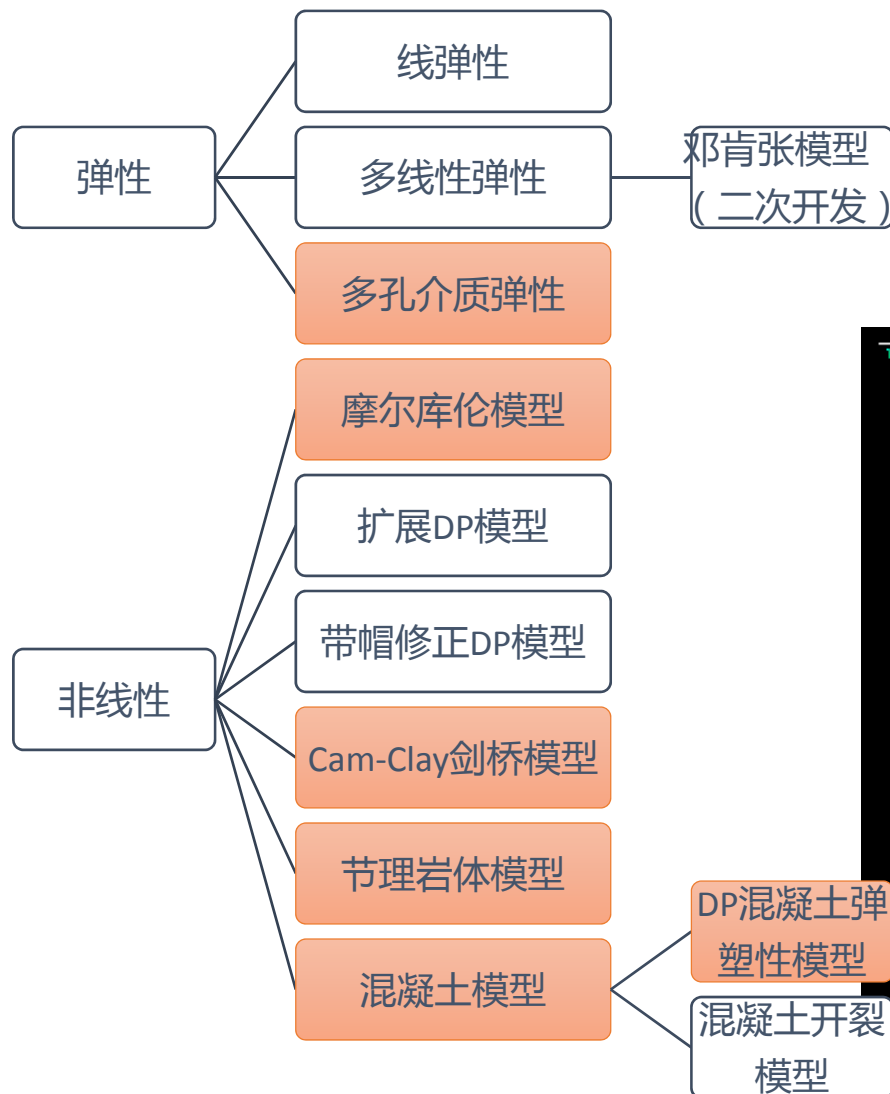
推荐：ANSYS全新的有限单元技术体系

- **ANSYS用近十年时间，完成了有限单元技术的更新换代，**
 - 新的单元族，融合了新计算技术，通用性更好，更便于使用，
 - 旧的单元类型，不再推荐使用，包括Solid45、Beam4、Link10等

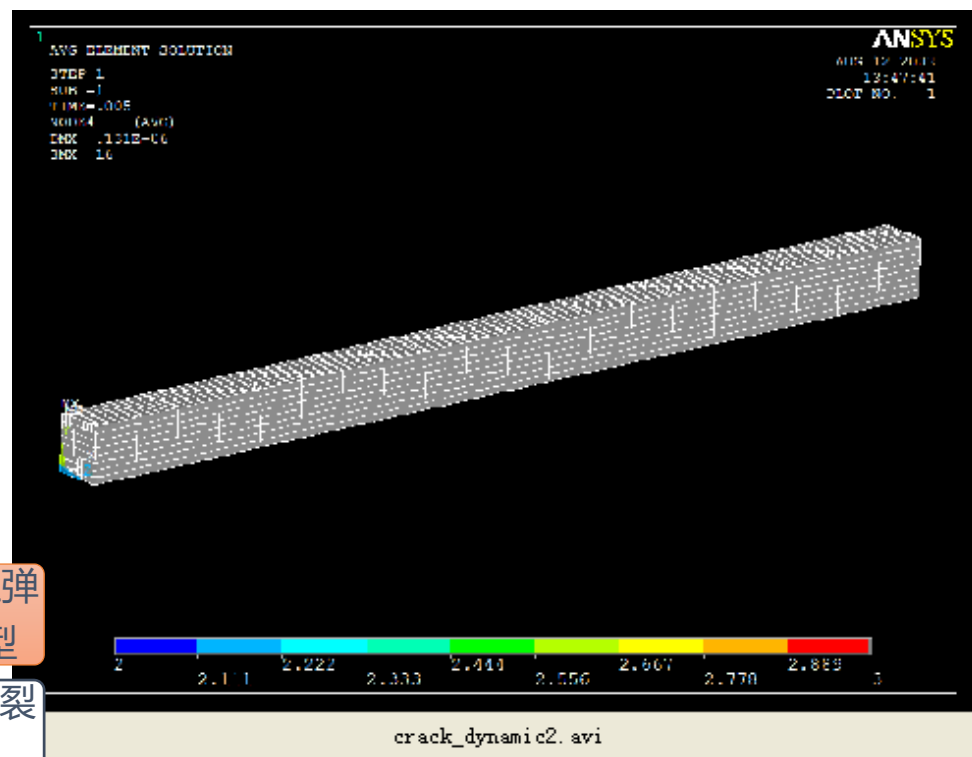
Category	Elements
Solid	PLANE182, PLANE183, SOLID185, SOLID186, SOLID187, SOLID285
Coupled Physics	SOLID223, SOLID226, SOLID227
Shell	SHELL181, SHELL208, SHELL209, SHELL281
Solid-Shell	SOLSH190
Beam	BEAM188, BEAM189
Link	LINK180
Pipe	PIPE288, PIPE289
Elbow	ELBOW200
User Element	USER300
Reinforcement	REINF264, REINF265

Category	Elements
Interface / gasket	INTER191 – INTER195
Cohesive	INTER202 - INTER205
Target	TARGE169, TARGE170
Contact	CONTA171 - CONTA177, PRETS179
Constraint/ Joints	MPC184
General Axisymmetric	SOLID272, SOLID273
Special purpose	SURF151 – SURF156, FOLLOW201, Discrete Elements

推荐：ANSYS中扩充的岩土及混凝土非线性分析模型



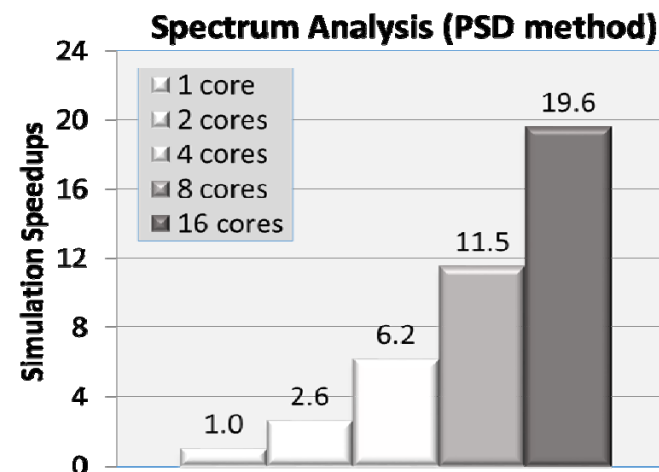
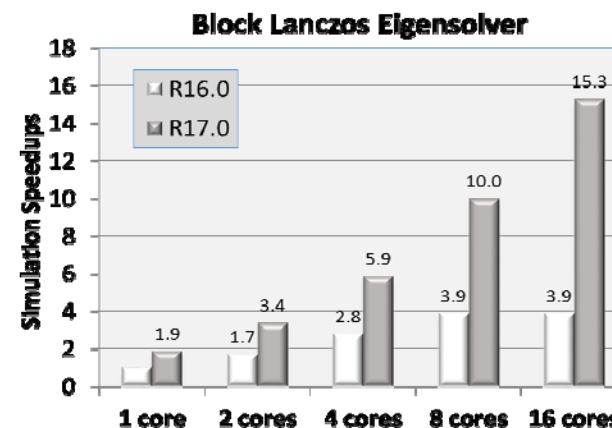
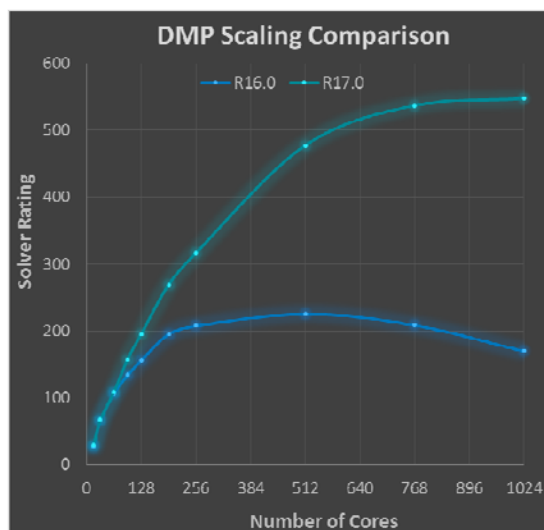
ANSYS17.0: 扩充了非线性材料本构库，主要用于土木工程，模拟地基、桩基、隧道、基坑、节理岩体、混凝土等复杂材料非线性分析



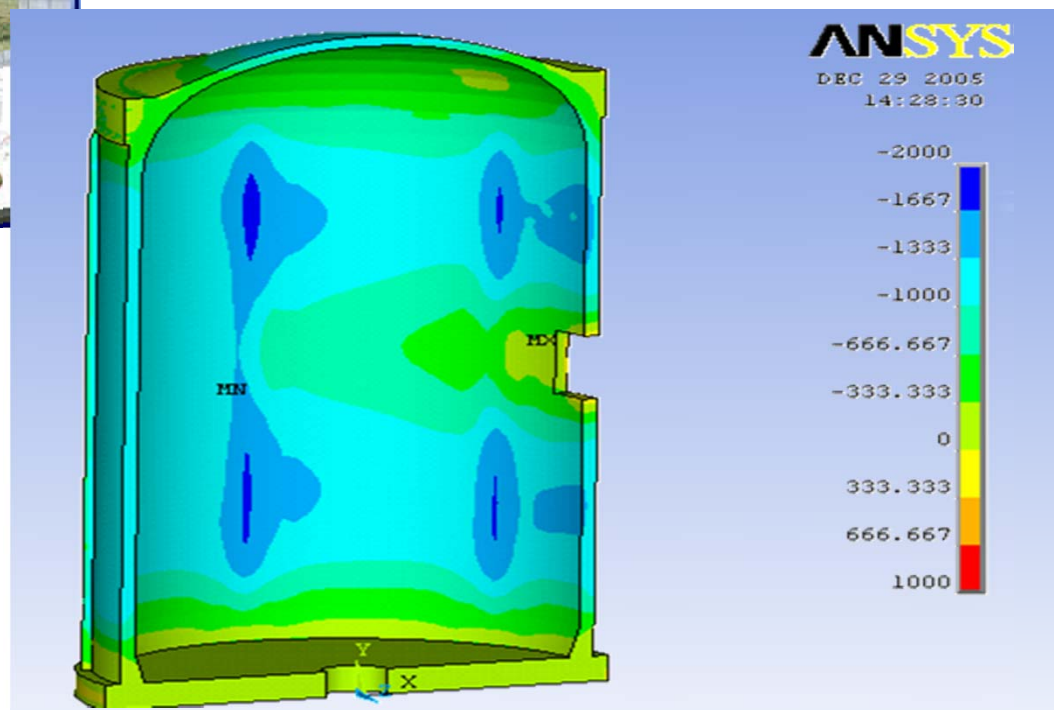
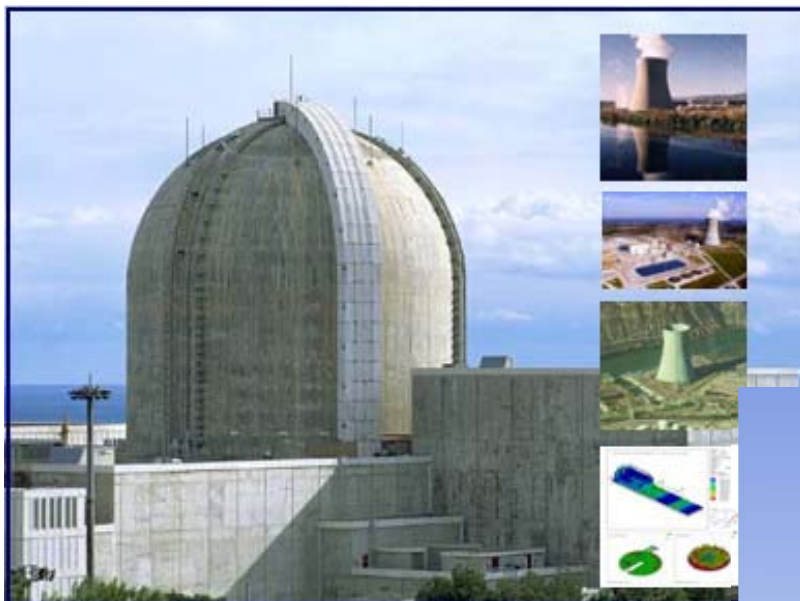
推荐：使用高性能并行计算技术

• ANSYS提供强大的HPC高性能并行计算技术

- 大型模型的导入及网格划分，并行！
- 结构分析网格，并行分网速度提升27倍
- 线性、非线性、静力学、动力学求解，并行！
- 支持完全分布式的并行求解，求解速度提升20倍
- 非常适合大规模的动力学、非线性问题



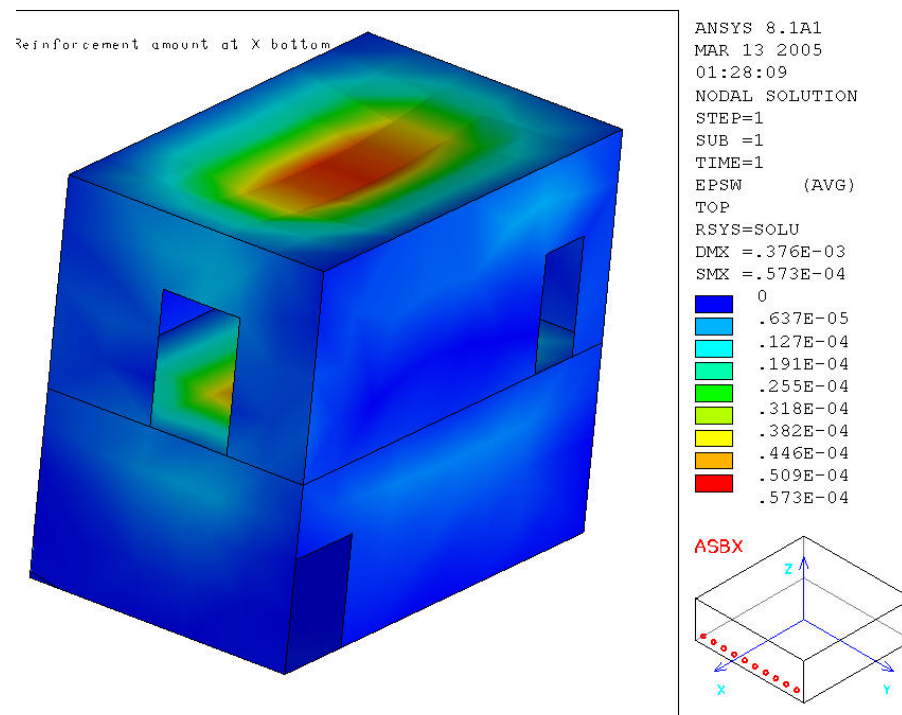
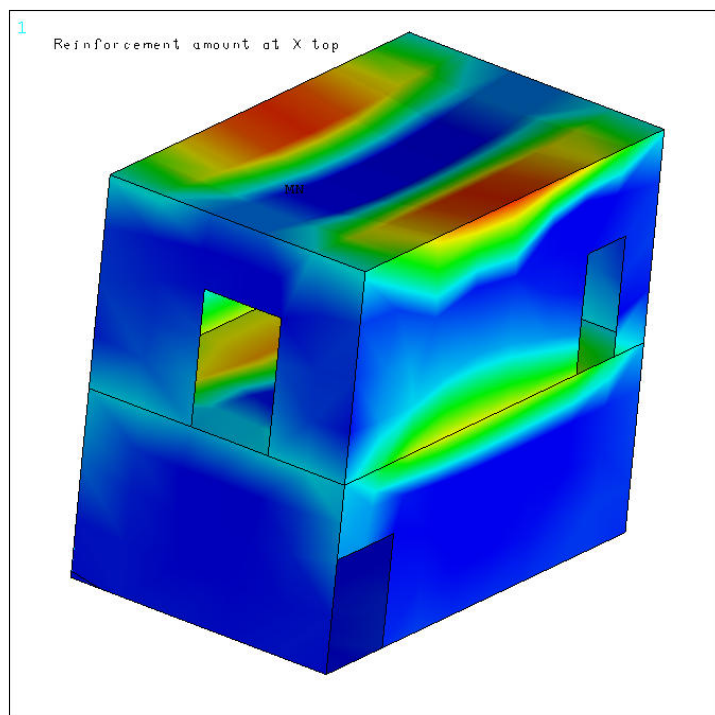
核电站设计与运营中安全壳的开孔应力集中分析



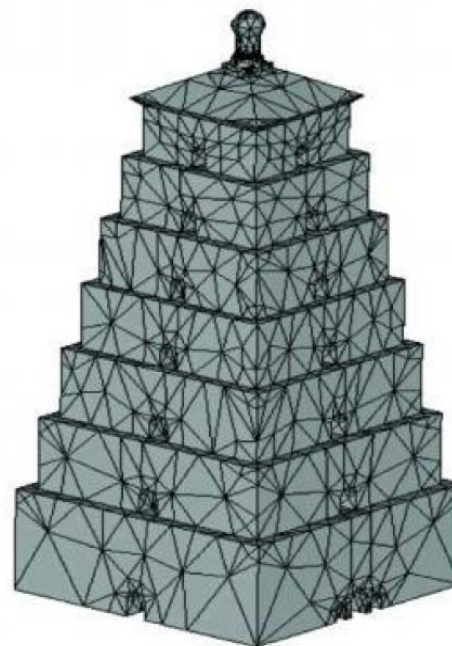
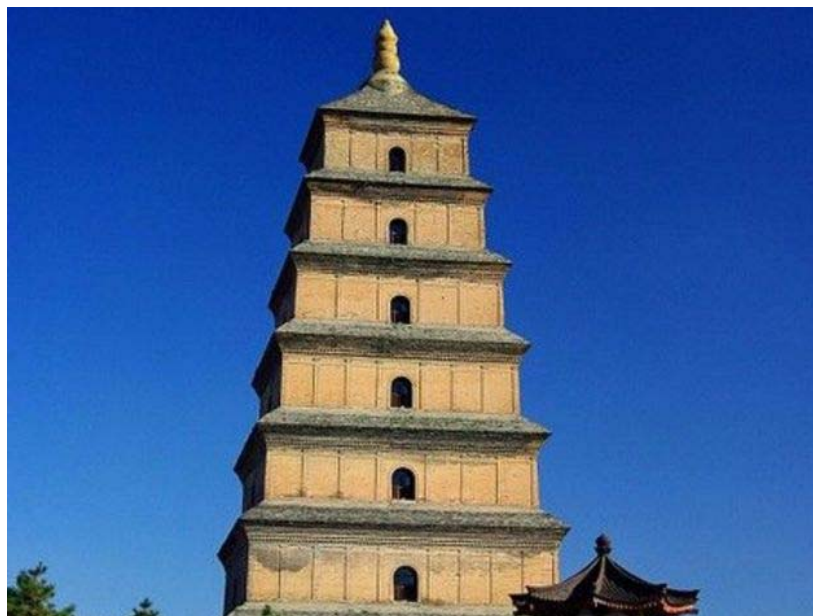
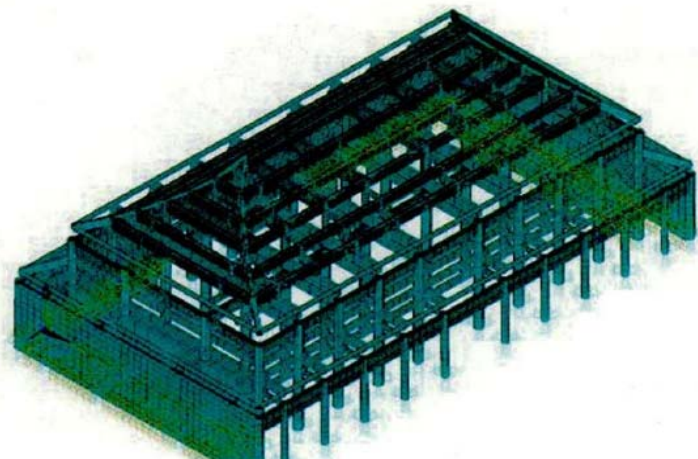
Courtesy of CTC, Tokyo, Japan
And CAE Associates

核电站厂房结构的超规范问题验算

- 核电工程结构的超厚混凝土结构，经典薄板或墙元方法误差较大：
 - 楼板和墙体，近0.5米厚，比常规板壳厚一倍以上
 - ANSYS基于弹性力学的中厚板壳有限元理论，比简化计算方法更为准确
 - 配筋计算结果：左图楼板上部钢筋，右图楼板下部钢筋

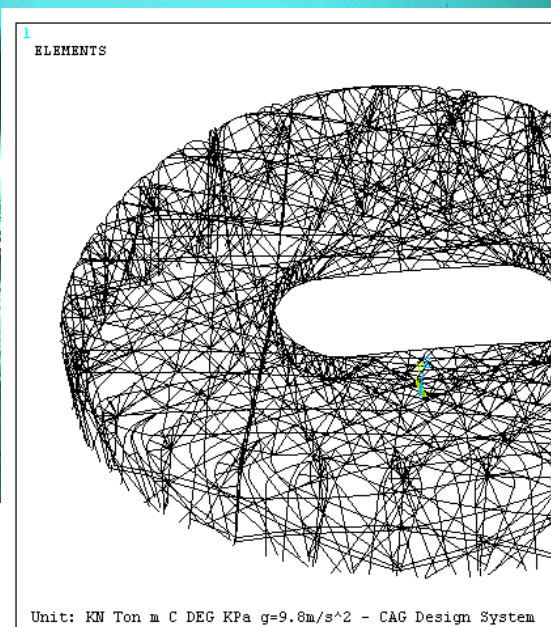
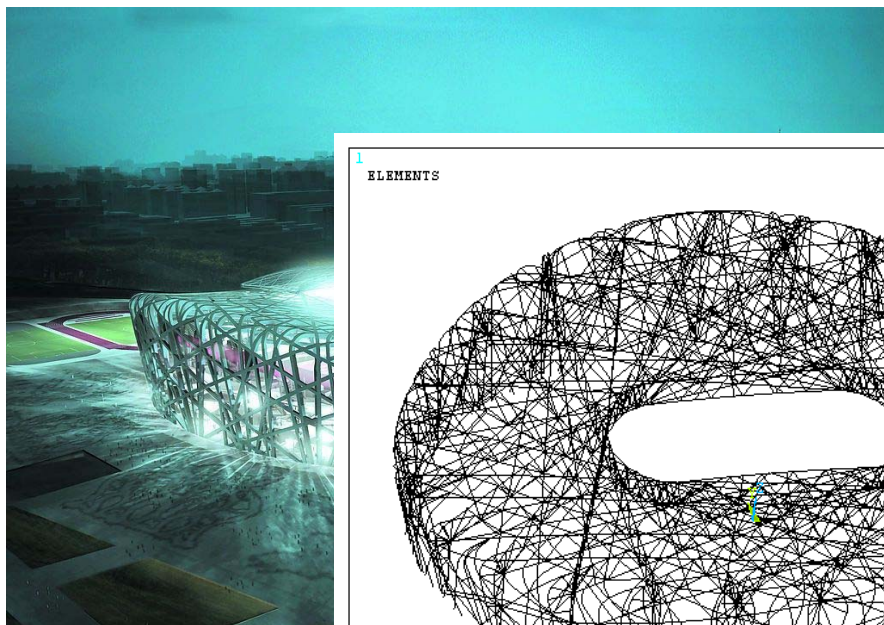


故宫、大雁塔的古建筑抗震分析及加固模型

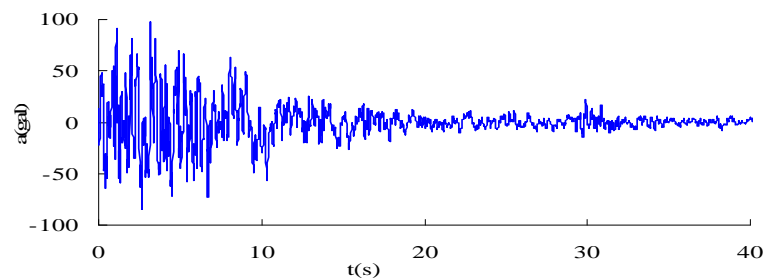
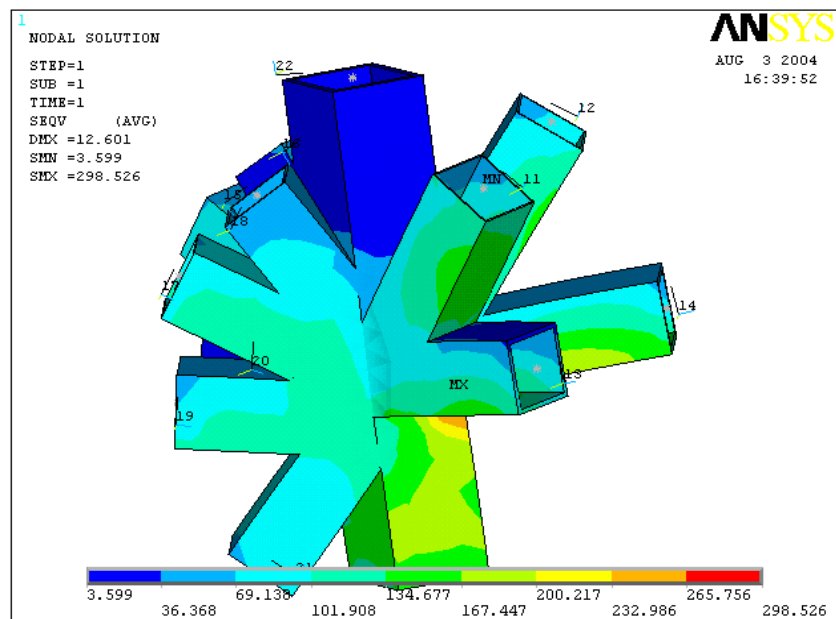


“鸟巢” 钢结构节点的局部塑性分析

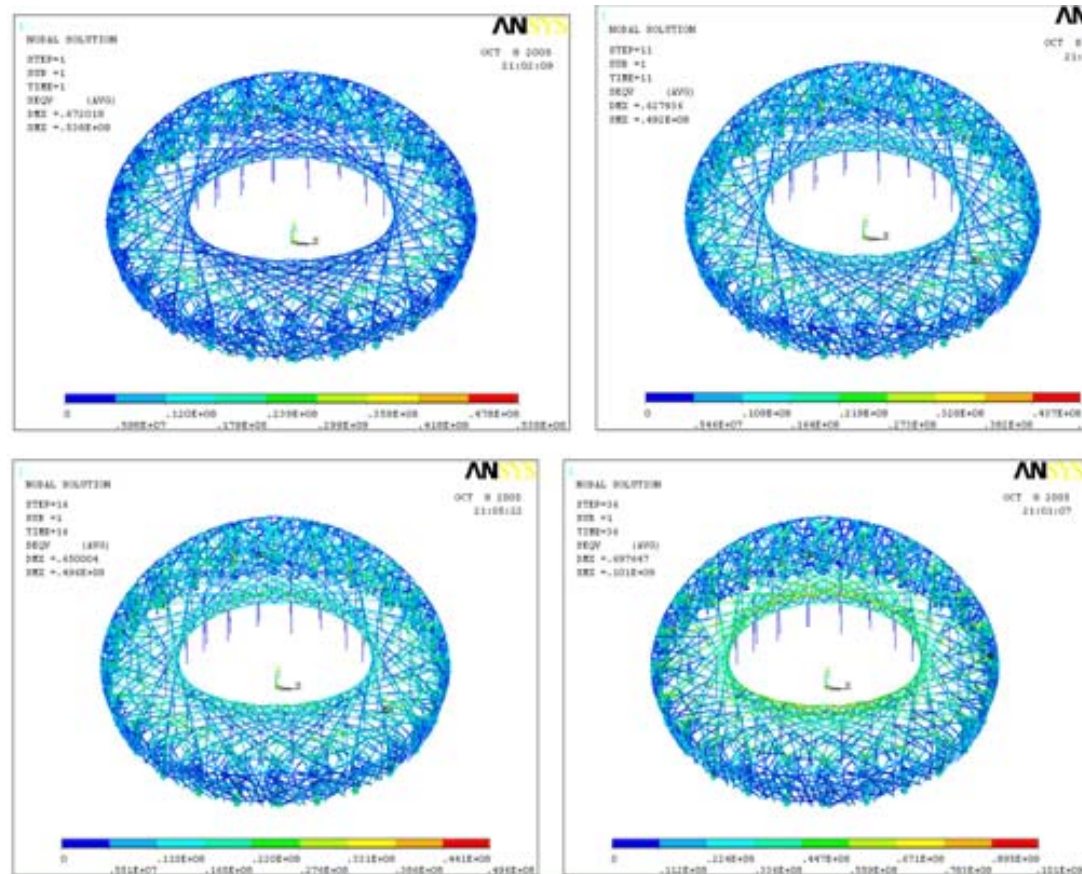
- 结构非线性时程及节点塑性分析



ANSYS
AUG 5 2004
10:21:13

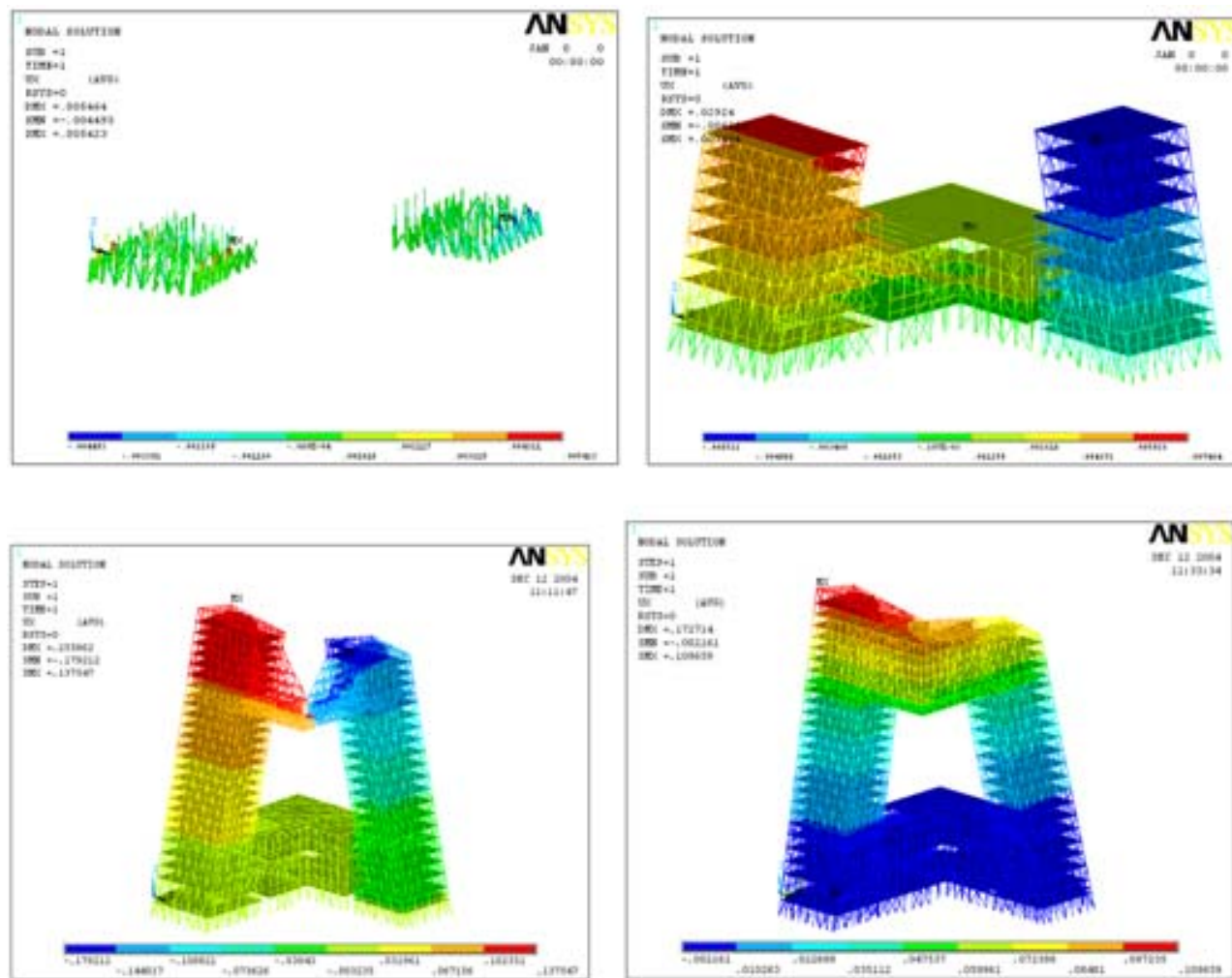


鸟巢的施工过程非线性分析



鸟巢拆撑过程模拟

中央电视台施工过程的变形及合拢分析

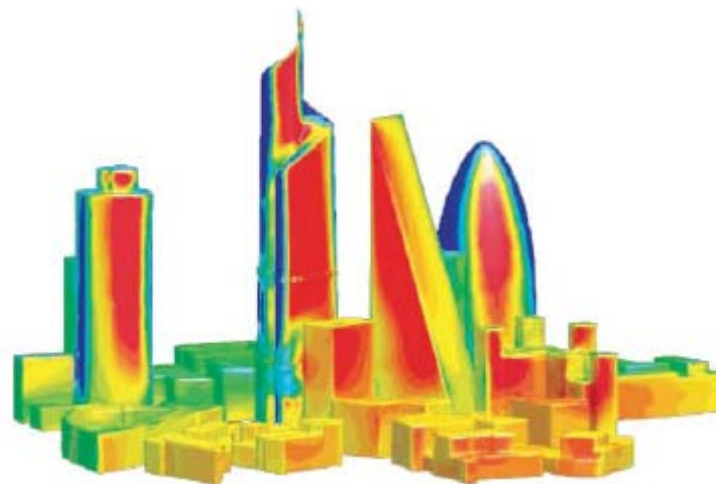


图为清华大学做中央电视台施工过程的受力和变形分析，以上为各个阶段 X 向的位移变化，通过 ANSYS 的分析，可以合理设计结构、安排施工周期，保证结构顺利合拢。

ANSYS的风工程仿真分析



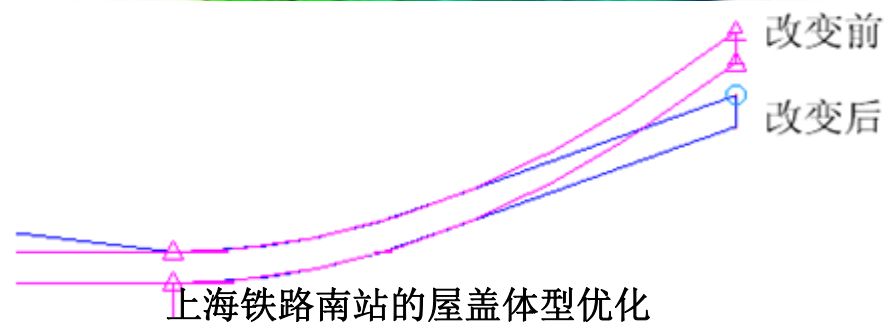
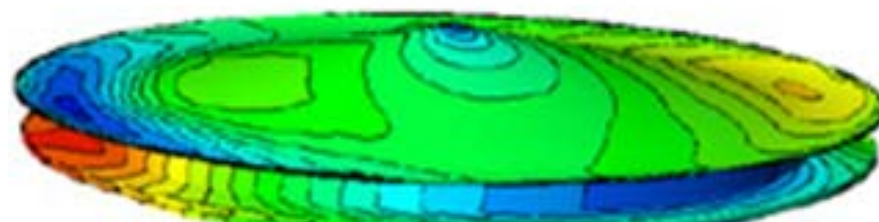
伦敦Bishopsgate Tower风荷载校核分析



建筑物表面压力仿真结果



上海铁路南站风荷载及静动力响应研究

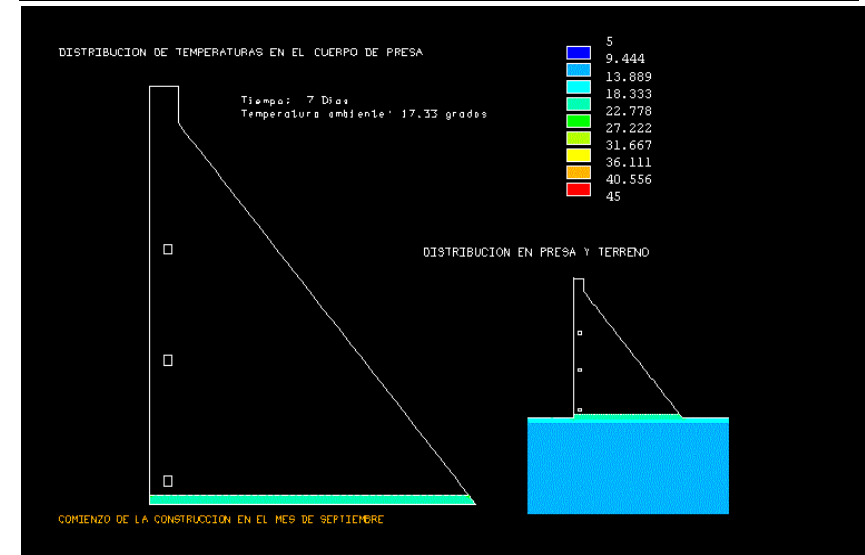
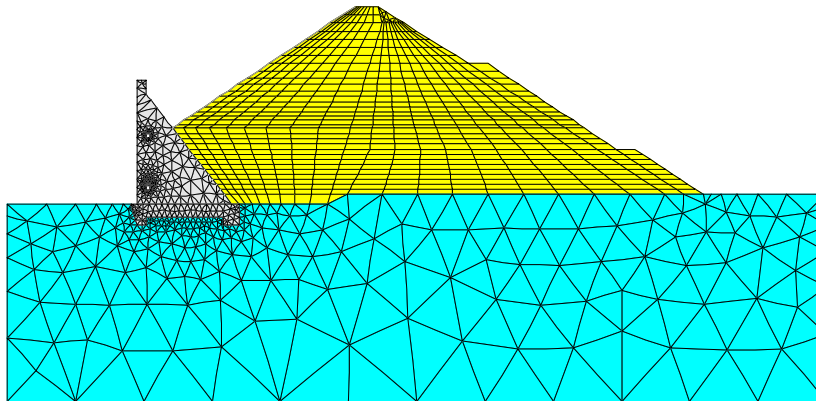


上海铁路南站的屋盖体型优化

国外Zaragoza大坝施工过程分析

- 大坝施工过程模拟：
 - 单元非线性模拟施工过程
 - 混凝土水化热应力分析

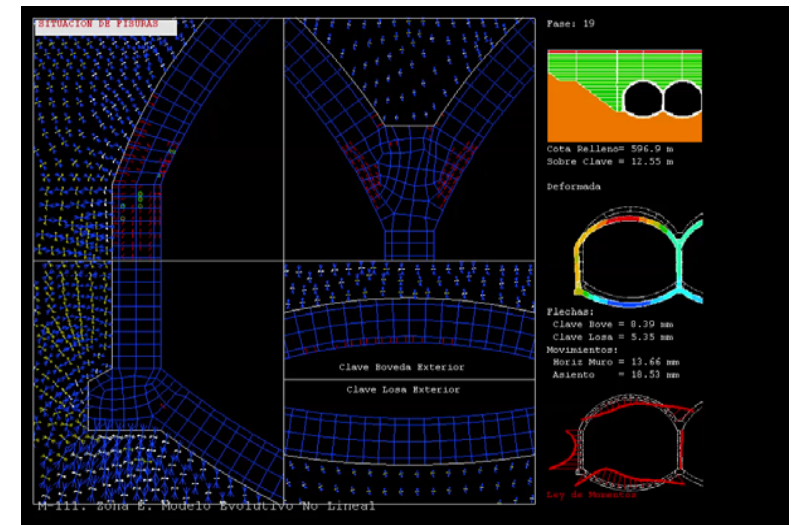
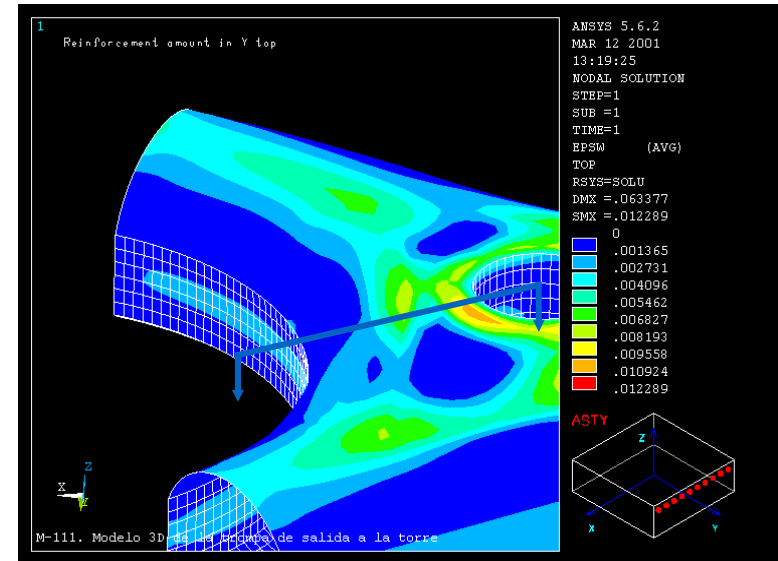
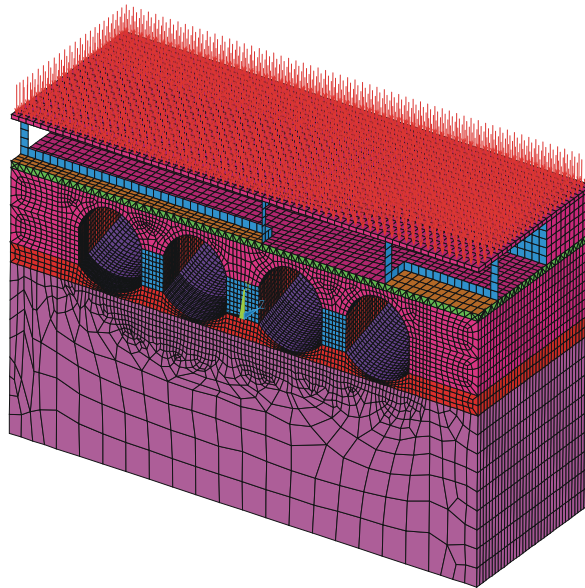
SOLUCION VARIANTE
Modelo Completo



地下工程的施工过程安全性

• 地下工程的混凝土结构受力分析

- 回填过程模拟
- 衬砌内力计算
- 衬砌配筋设计



土木工程领域的ANSYS仿真分析系统

CAD建模与BIM信息系统



ANSYS仿真分析系统（仿真平台）

土木工程的仿真分析模型

工程设计与建造安全性分析

灾害及突发事件性能化分析

绿色节能及建筑环境舒适性

建造智慧城市的仿真分析

工程结构仿真：
ANSYS

流体力学仿真：
Fluent, CFX, ...

电气及工控系统仿真：
Maxwell、HFSS...

工程力学原理

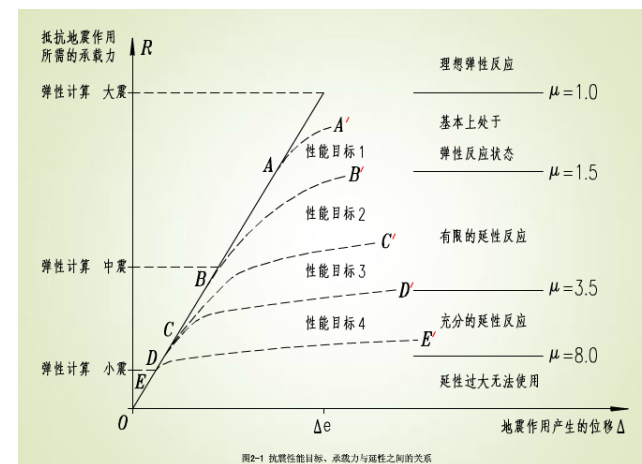
有限体积法

有限元法

其他数值计算方法

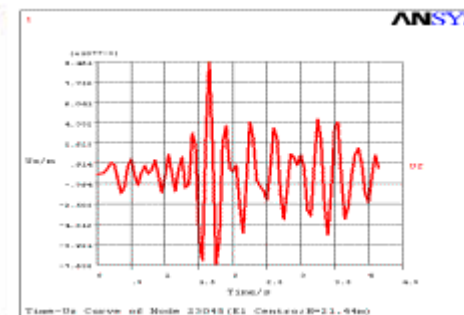
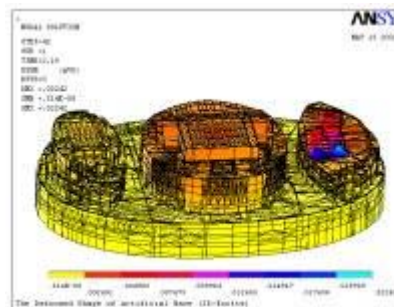
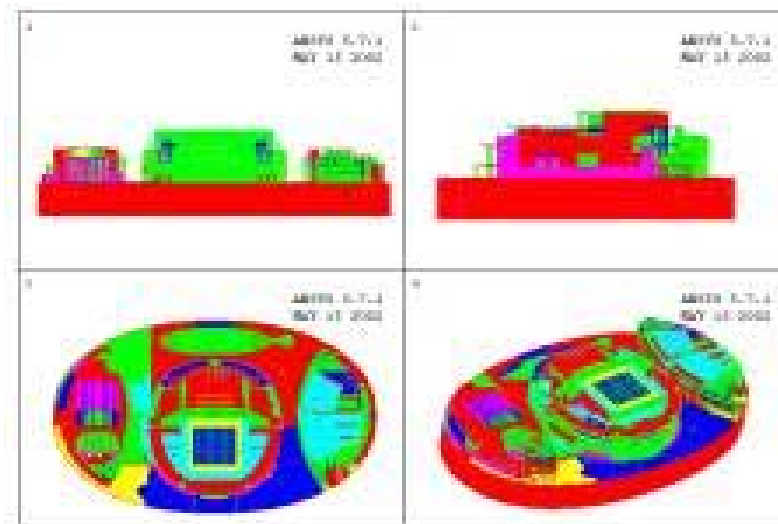
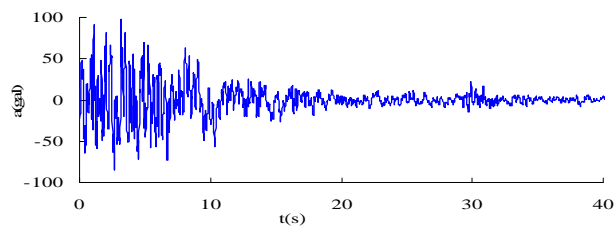
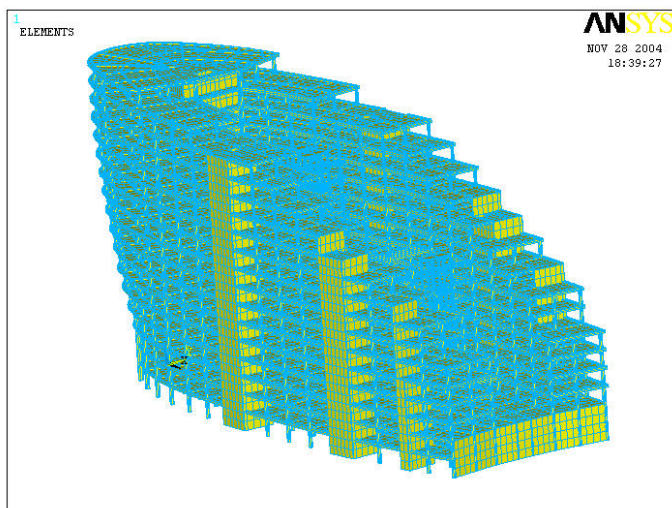
建筑工程的抗震性能化分析

- 新版建筑抗震设计规范GB50011-2010，增加了建筑抗震性能化设计。
- 基于性能的抗震设计是国际上的发展趋势，从抗震设计的宏观定性目标向基于量化的多重目标过度，并由业主选择性能目标
 - 结构设计采用基于性能的抗震设计理念和方法是可行的。一般而言，超200m的超限高层，要进行弹塑性时程分析。超300m或新型结构体系或特别复杂的超限高层，要由另一个单位，采用不同软件独立计算校核。
- 抗震性能化设计，需要ANSYS强大的有限元计算核心支撑：
 - 完整的抗震动力学分析类型
 - 高效率的求解性能：并行计算
 - 国际认可的计算精度和可靠性
 - 对各类建筑体型和结构的通用性

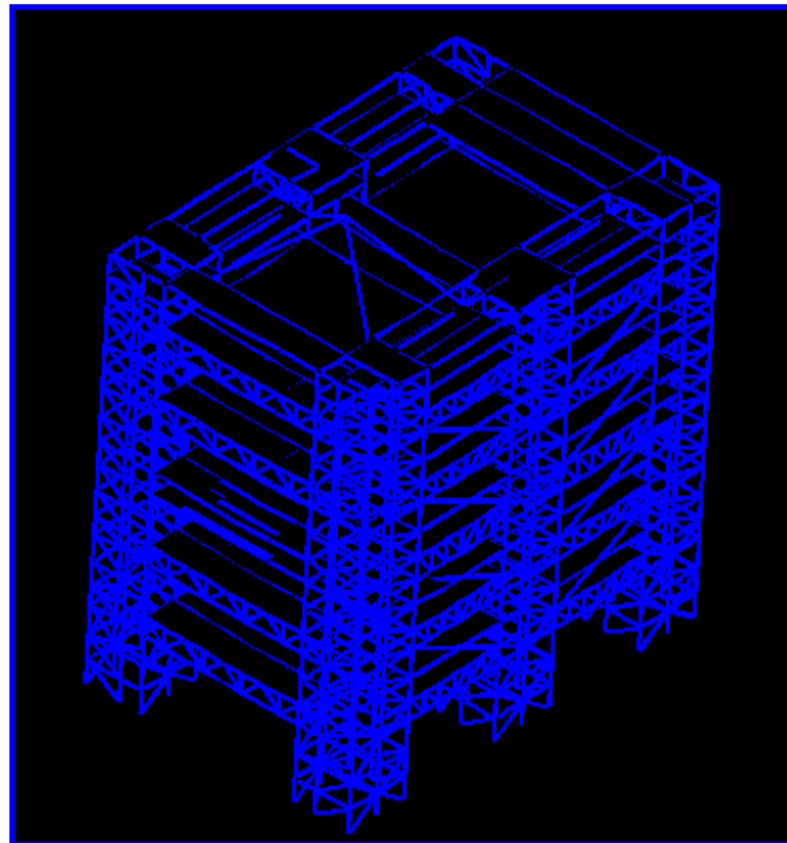
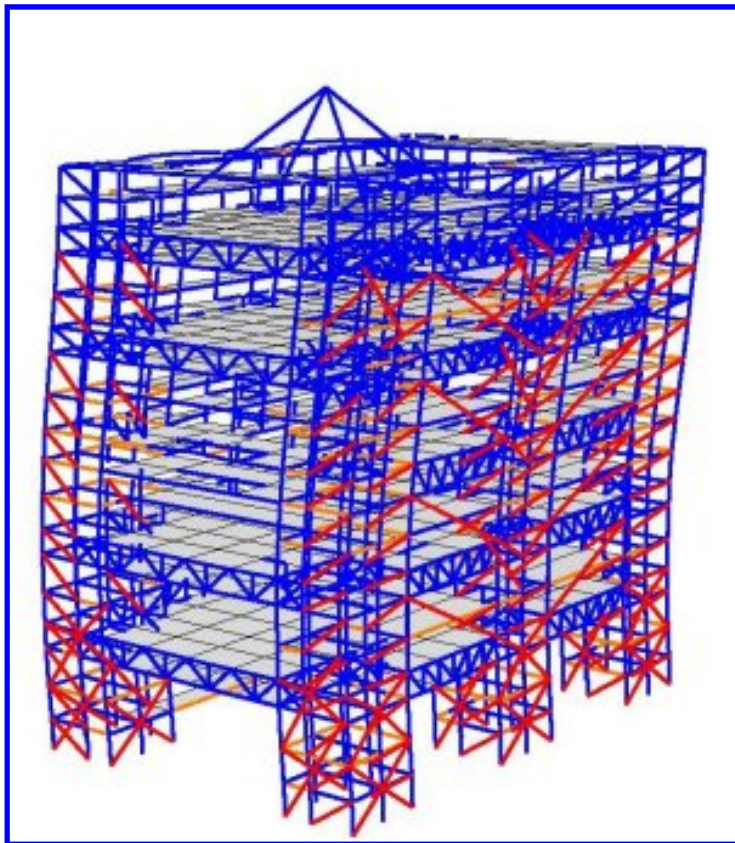


结构动力时程分析

- 分析用来计算结构对随时间变化载荷的响应
 - 国家大剧院的时程分析
 - 成都某高层建筑的时程分析



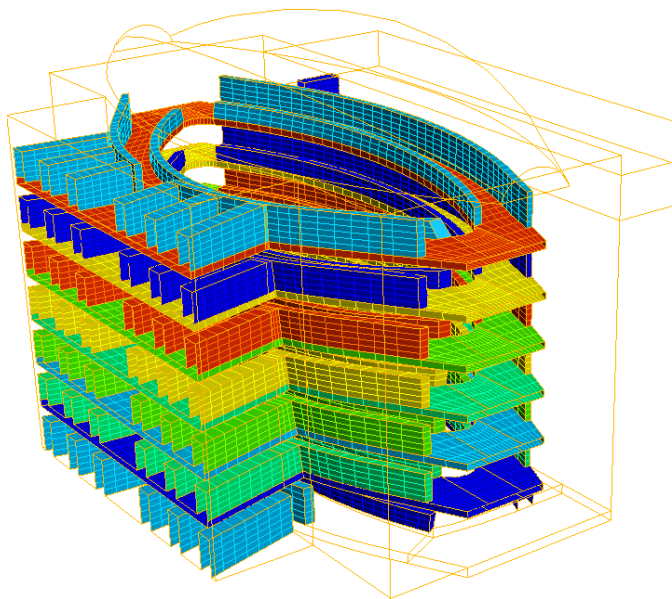
结构动力时程分析



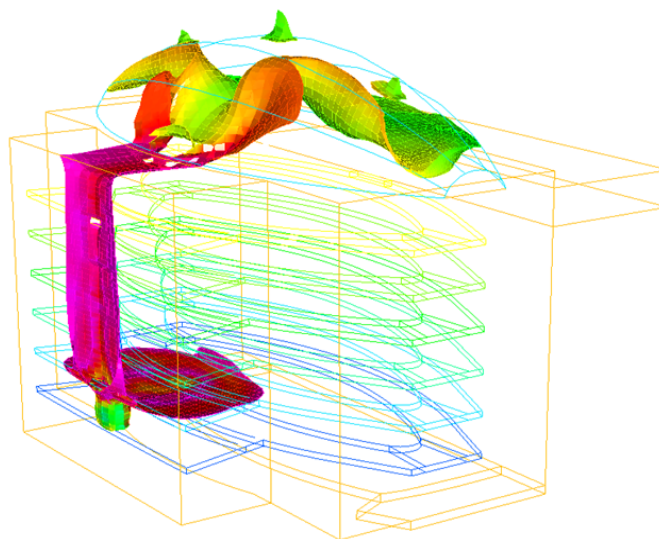
图书馆火灾模拟及消防性能化分析

- 图书馆火灾模拟及性能化分析

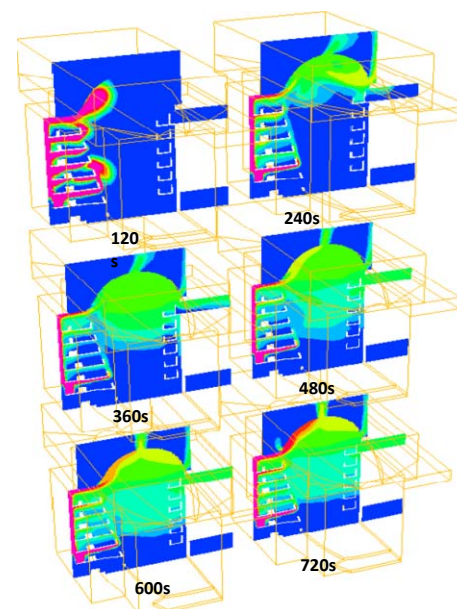
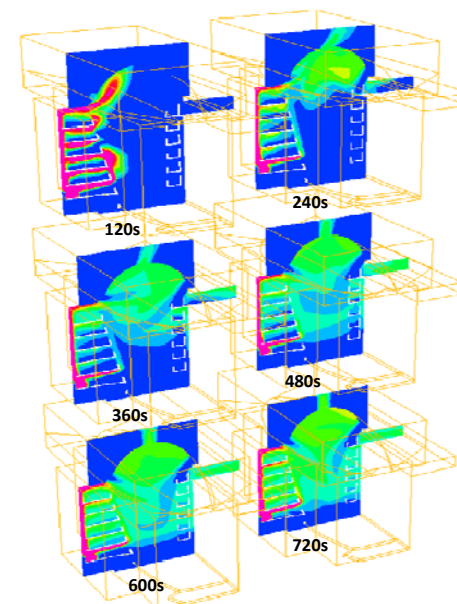
- 模拟不同通风方式的火灾状况，分析烟气蔓延过程。
- 对比不同方案，为消防性能化设计提供参考。提供烟气蔓延的位置及时间，为人员疏散路线提供方案



图书馆模型图

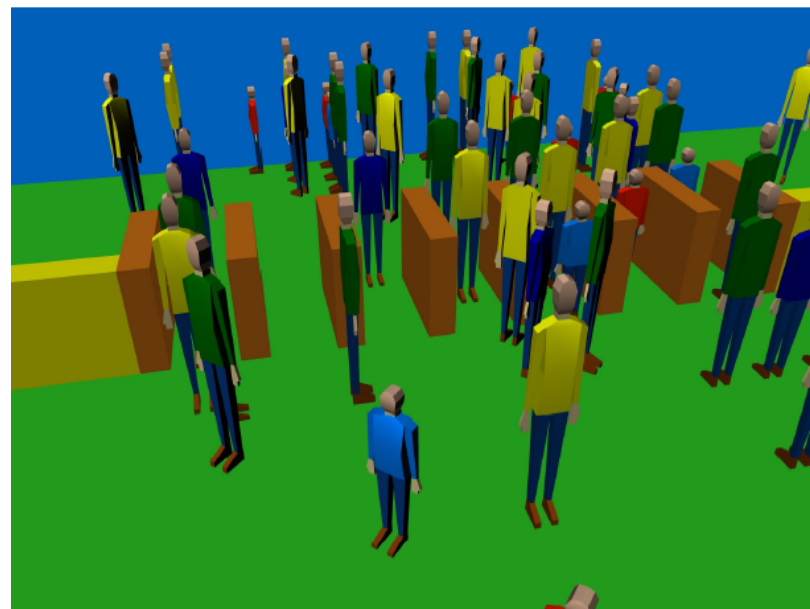


图书馆火源模型图



火灾发生及蔓延仿真，分析人员疏散行为及路线

- 通过ANSYS仿真分析，
 - 掌握目标场所内的人员移动规律
 - 优化大型和繁忙场所的火灾安全设计
 - 验证建筑物空间设计是否符合相关消防法规



土木工程领域的ANSYS仿真分析系统

CAD建模与BIM信息系统



ANSYS仿真分析系统（仿真平台）

土木工程的仿真分析模型

工程设计与建造安全性分析

灾害及突发事件性能化分析

绿色节能及建筑环境舒适性

建造智慧城市的仿真分析

工程结构仿真：
ANSYS

流体力学仿真：
Fluent, CFX, ...

电气及工控系统仿真：
Maxwell、HFSS...

工程力学原理

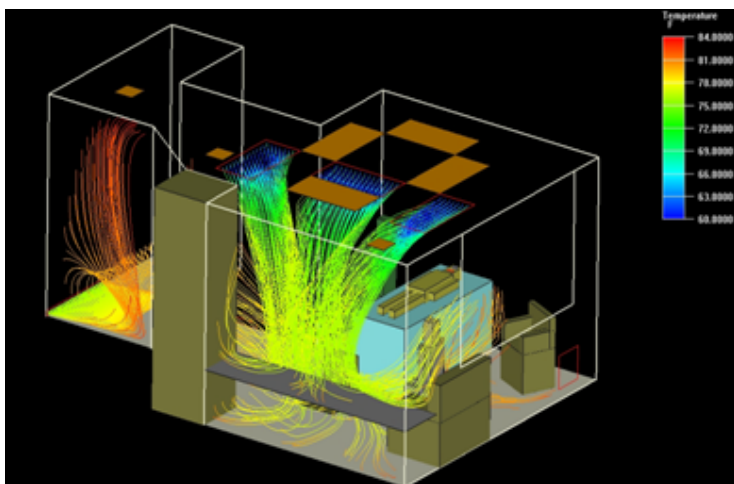
有限体积法

有限元法

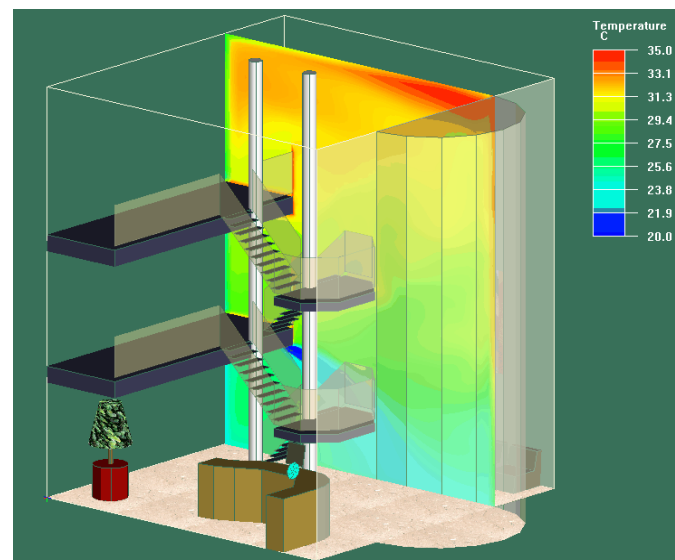
其他数值计算方法

绿色节能与建筑环境舒适性

- **建筑设计中，除了满足基本的功能要求和安全性要求外，绿色节能及环境舒适性问题受到逐渐受到政府及业主的重视**
 - 建筑全生命周期内，最大程度地节能、节水、节地、节材，保护环境并减少污染
 - 针对室内物理环境如热、光和风环境，要求建筑室内的温度、湿度、风速及新风量等参数应符合《公共建筑节能设计标准》GB-50189要求

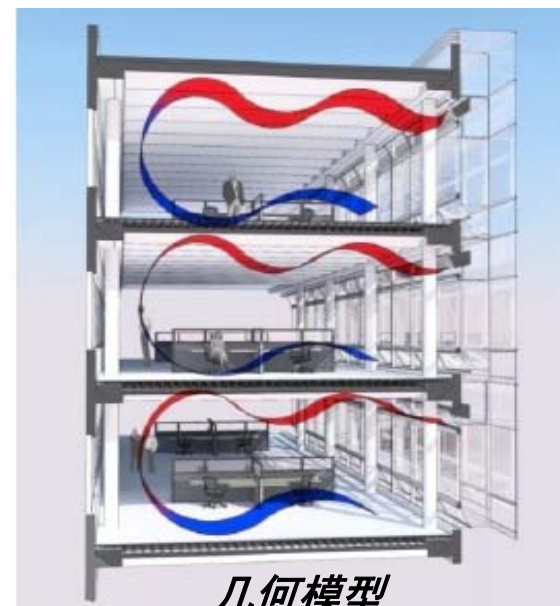


房间的温度及湿度及通风系统布置

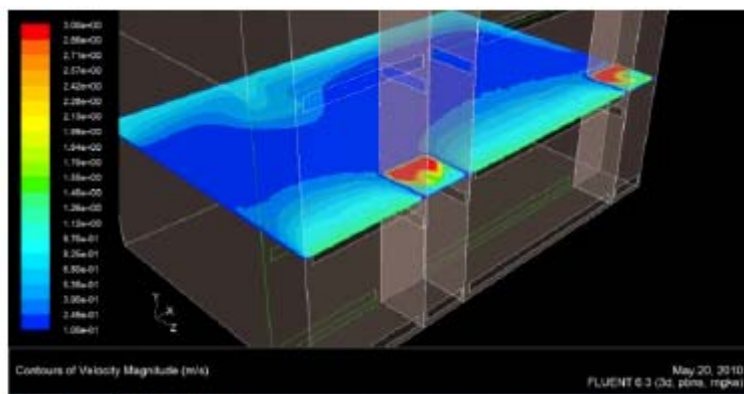


案例-办公楼双层幕墙光照升温及温度模拟

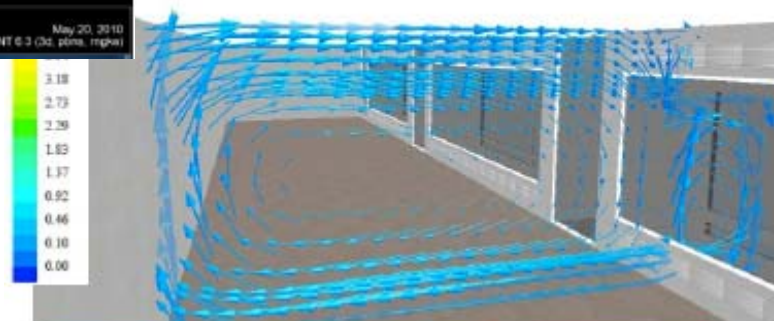
- 芝加哥某高层写字楼采用了幕墙结构
 - 如何设计幕墙及室内风道，达到节能效果
 - 模拟室内环境下的对流状况，对温度场作出预测



几何模型



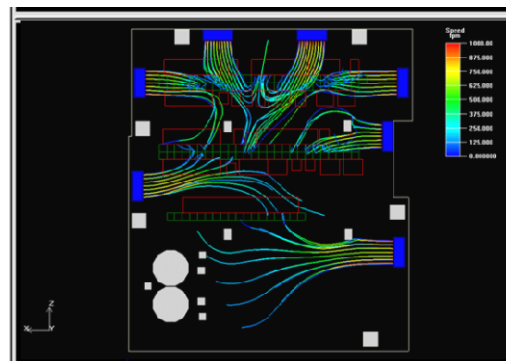
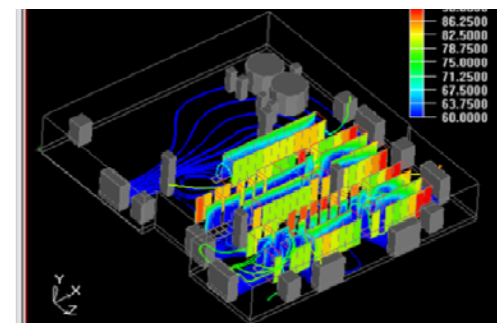
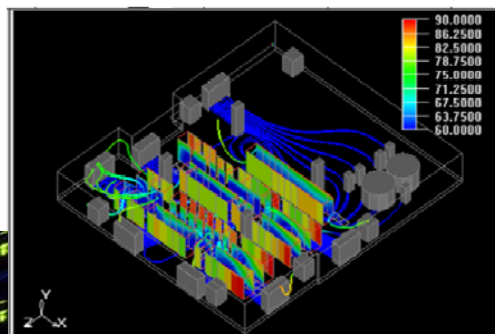
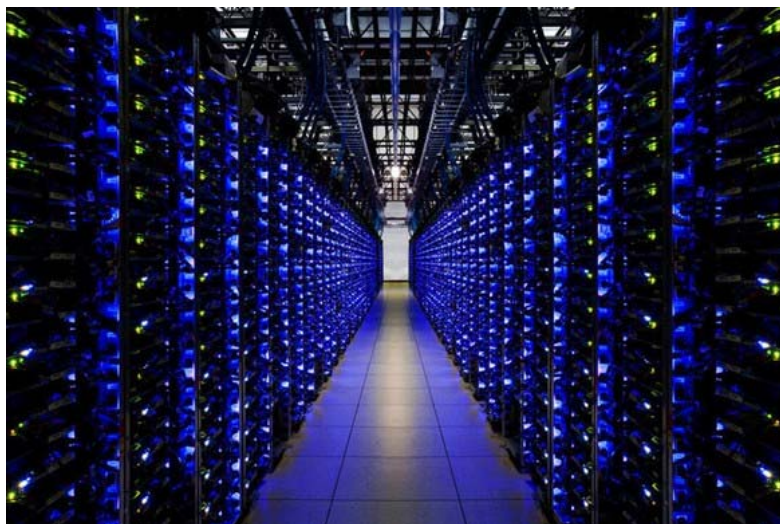
某截面温度分布



气流组织

案例-数据中心通风模拟

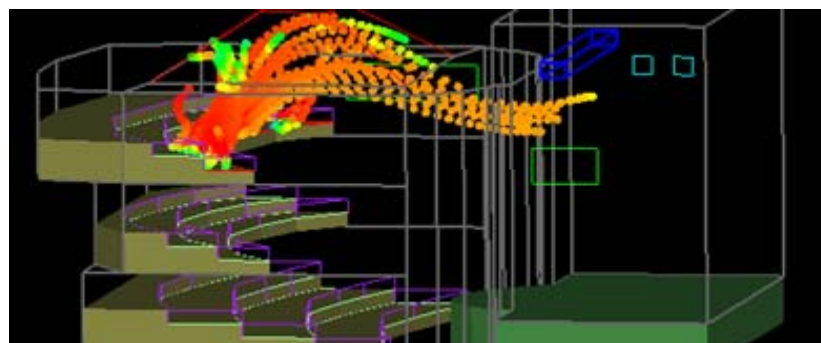
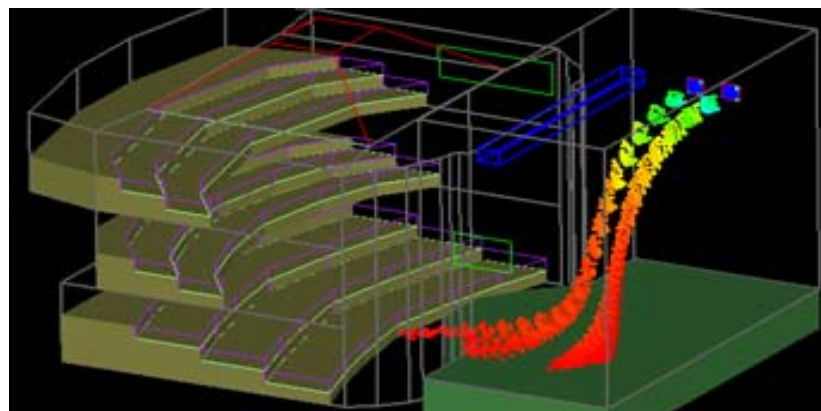
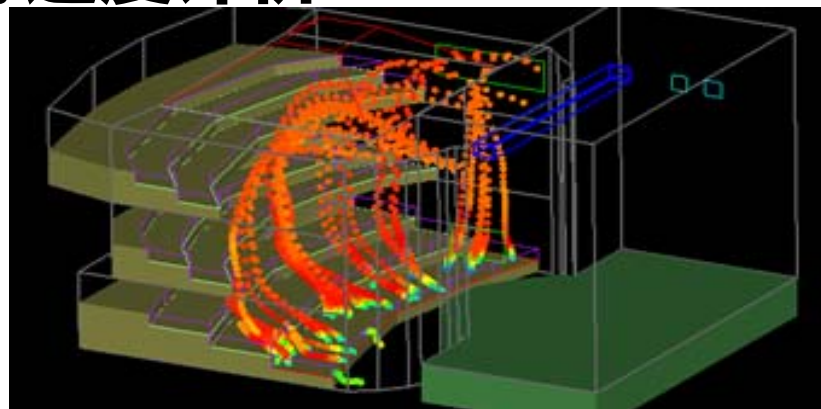
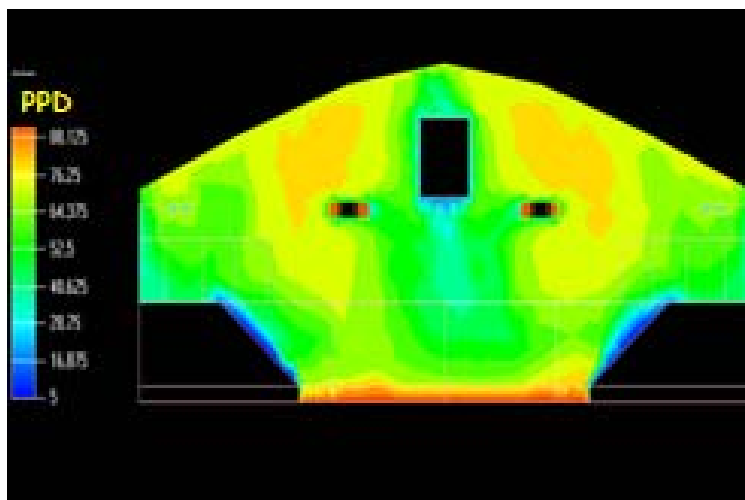
- 数据中心对环境温度和湿度非常敏感
 - 如何设计空调设备通风口，保证设备保持合理的温度
 - 设置合理的边界条件，获取主要设备的温度状况



案例-体育馆和剧院的热舒适度评价



评价



土木工程领域的ANSYS仿真分析系统

CAD建模与BIM信息系统



ANSYS仿真分析系统（仿真平台）

土木工程的仿真分析模型

工程设计与建造安全性分析

灾害及突发事件性能化分析

绿色节能及建筑环境舒适性

建造智慧城市的仿真分析

工程结构仿真：
ANSYS

流体力学仿真：
Fluent, CFX, ...

电气及工控系统仿真：
Maxwell、HFSS...

工程力学原理

有限体积法

有限元法

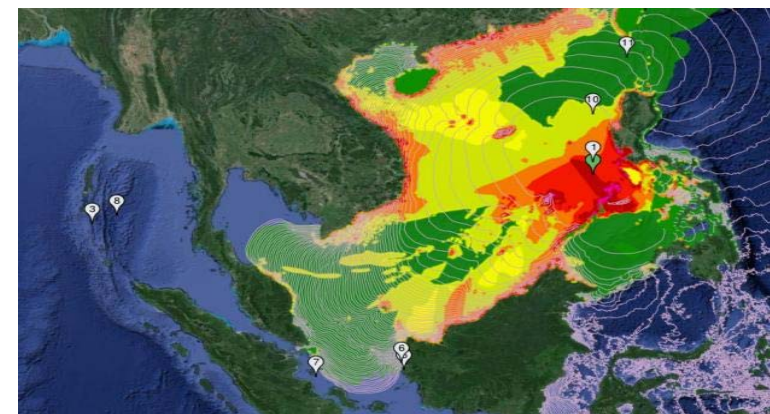
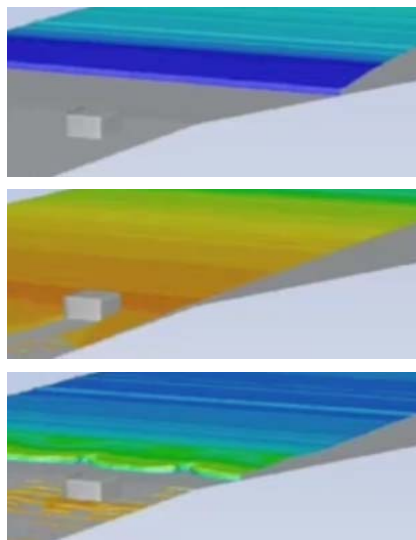
其他数值计算方法

国外城市的河流洪水和海啸破坏预测

- 城市河流洪水和海啸的保护



易北河河流的二维模型
(Source: TU-Dresden)



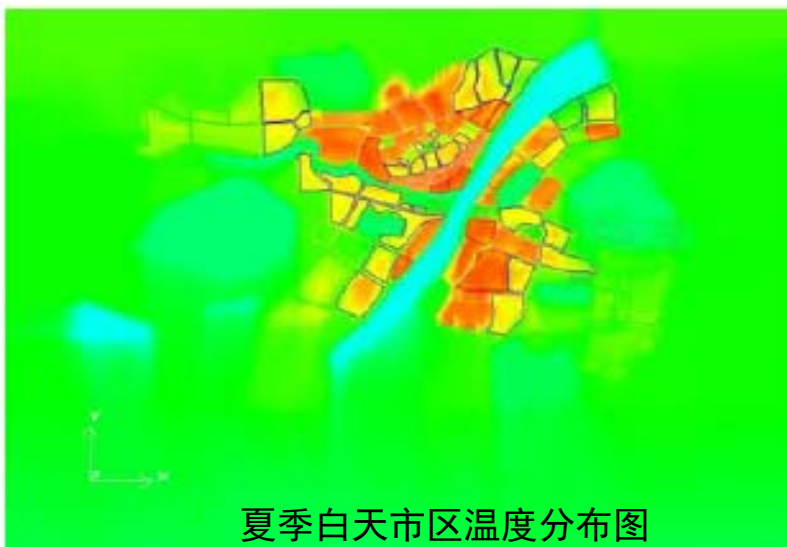
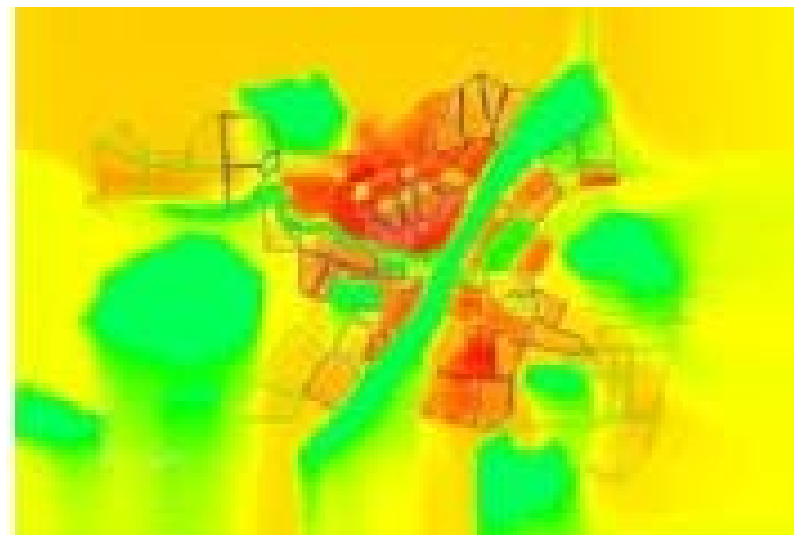
GFZ全球海啸风险分析与
预警系统TRIDEC Cloud
新加坡显示预测情景
(来源: 波茨坦GFZ)

用ANSYS FLUENT 3D
模拟海啸对建筑的影响

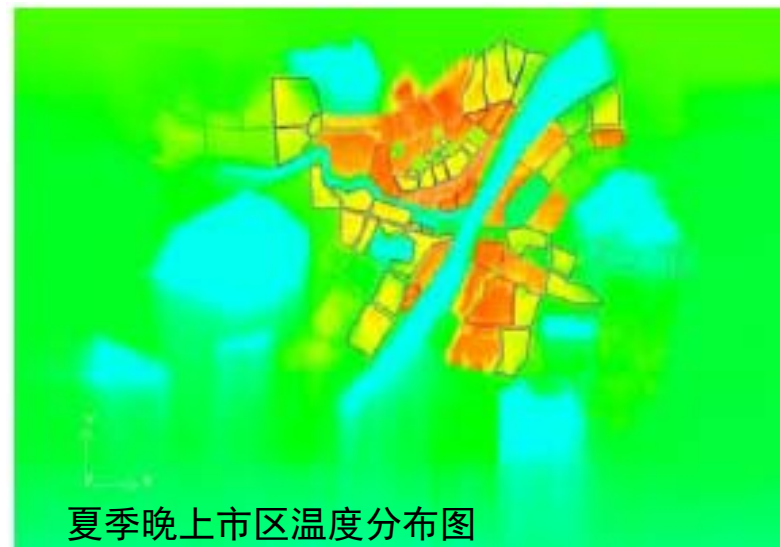
国外城市的热岛效应模拟

- 城市热环境分析

- 预测不同条件下温度分布状况
- 分析城市规划布局对热岛效应的影响
- 模拟了环境温度及分布

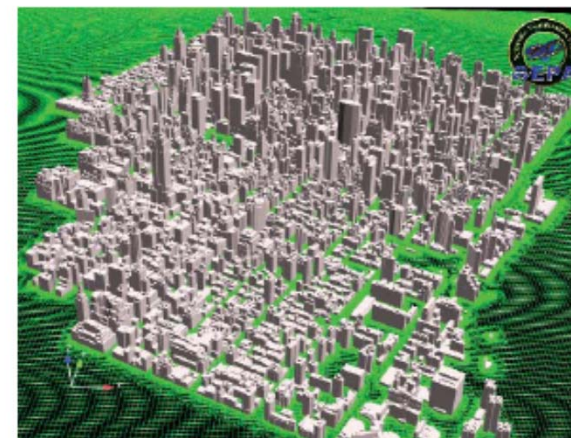


夏季白天市区温度分布图

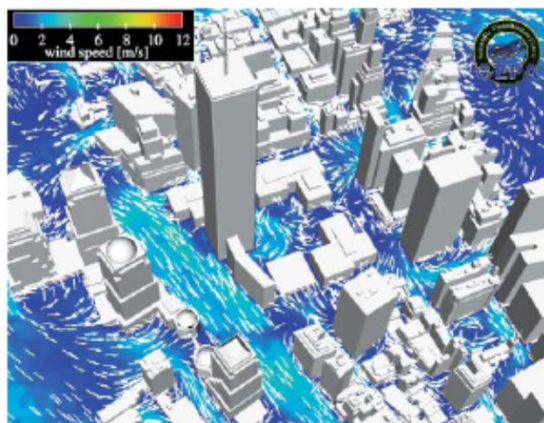


夏季晚上市区温度分布图

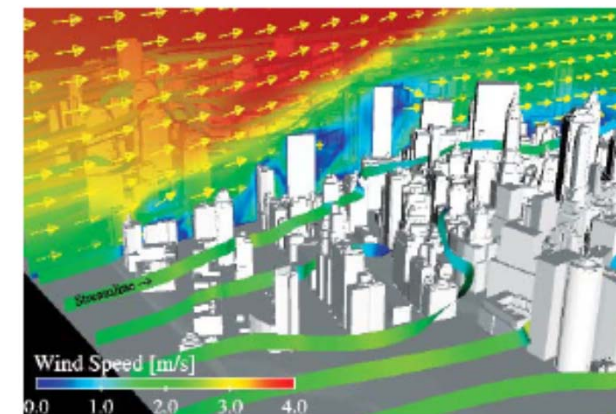
城市风道的规划及污染物扩散效果模拟



An example of the detailed building geometry for Manhattan, presented with a surface mesh on the ground; the mesh was created using Harpoon from CEI

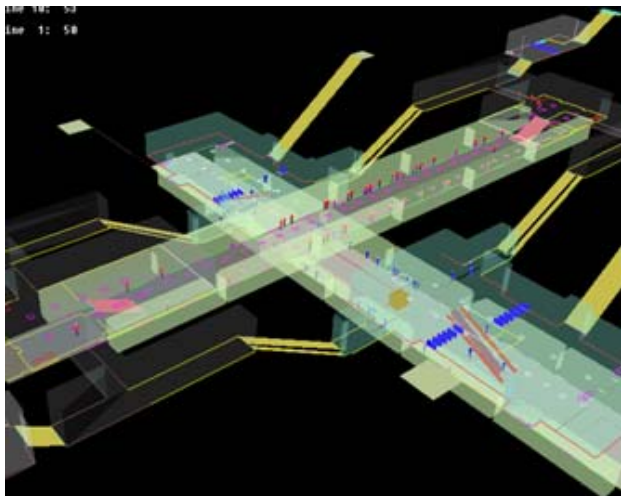


Near surface winds from a CFD solution for lower Manhattan; while the solution has a 1-3m resolution near the ground only about 10% of the vectors are plotted; the winds are from the Northwest (upper left corner)

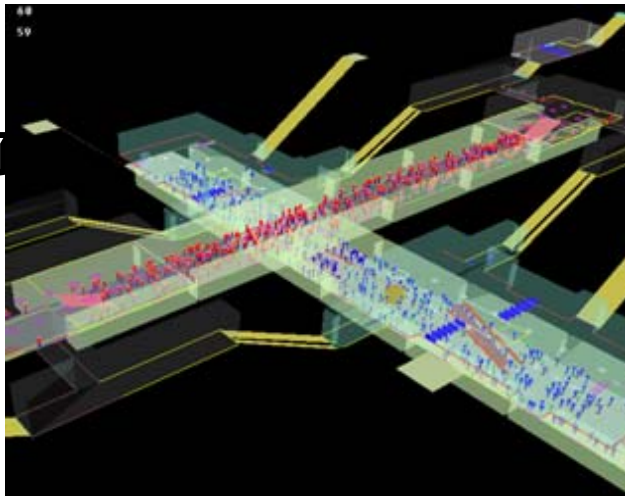


A simulation of the complex wind patterns between the buildings of Manhattan, shown using vectors, pathlines, and contours of velocity on a vertical slice

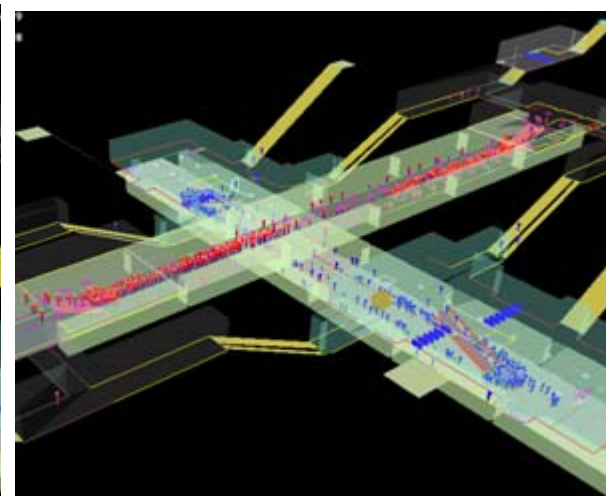
地铁站突发事件的人员疏散预测评估



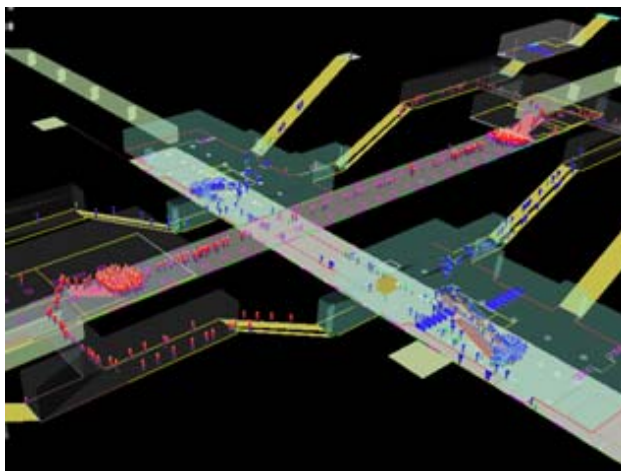
t=00:00:18 地铁进站



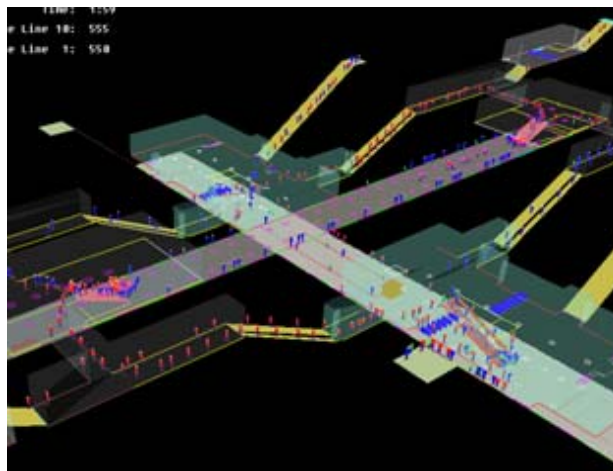
t=00:00:20 人流下车



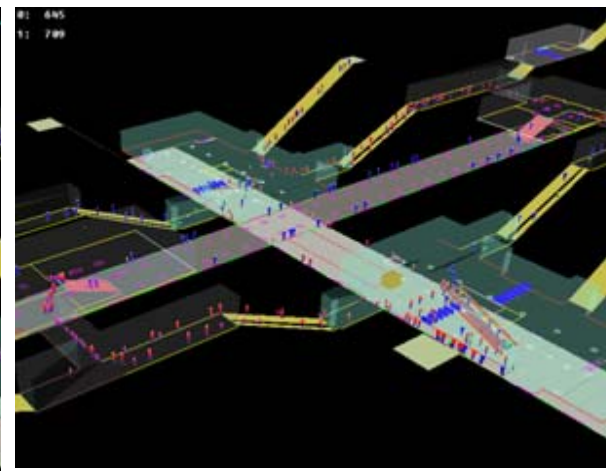
t=00:00:26 人流出站



t=00:00:49 进站口拥堵



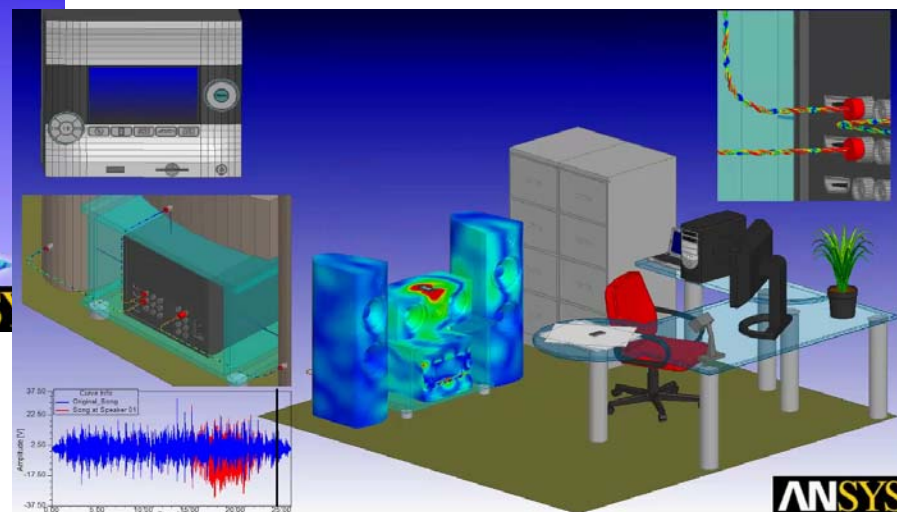
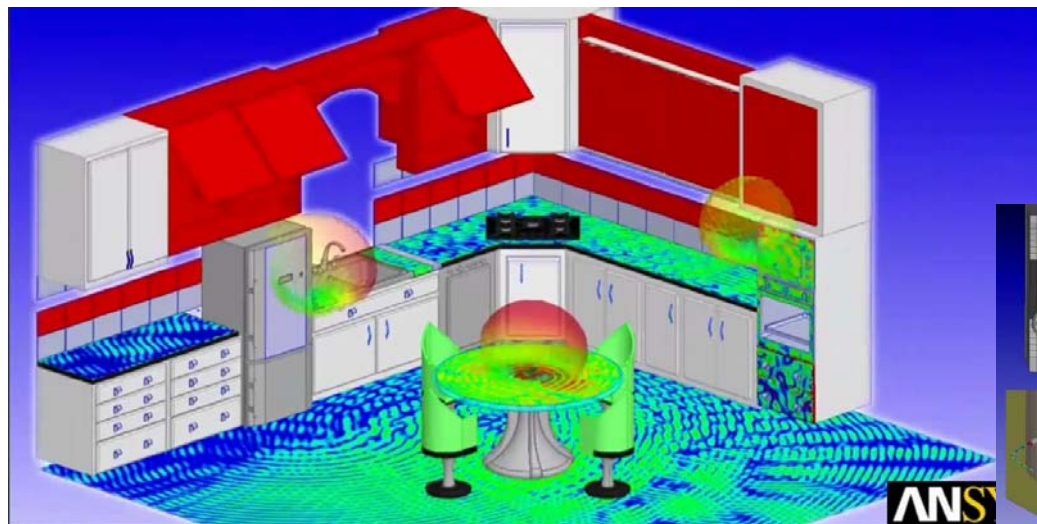
t=00:01:59 分流与换乘



t=00:02:27 疏散完毕

智慧城市及住宅的电磁场辐射及电磁兼容性

- 智慧城市环境中，充满了电磁场及各种电子设备
- 各种设施的电磁辐射安全及兼容性需要仿真
 - 确保居住区及房间的电磁辐射指标
 - 合理布局移动基站及无线设备
 - 减少各类智能设备及元件的电磁干扰



土木工程领域的ANSYS仿真分析系统

CAD建模与BIM信息系统



ANSYS仿真分析系统（仿真平台）

土木工程的仿真分析模型

工程设计与建造安全性分析

灾害及突发事件性能化分析

绿色节能及建筑环境舒适性

建造智慧城市的仿真分析

工程结构仿真：
ANSYS

流体力学仿真：
Fluent, CFX, ...

电气及工控系统仿真：
Maxwell、HFSS...

工程力学原理

有限体积法

有限元法

其他数值计算方法

感谢聆听