代表性成果二：

海域核电工程抗震分析、设计与应用

（1）研究背景

（2）学术贡献

（3）学术成果

（4）同行评价

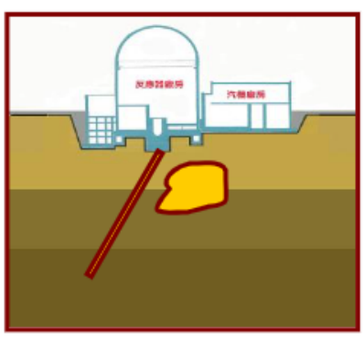
（5）工程应用

（1）研究背景：抗震安全是我国发展核电的首要问题

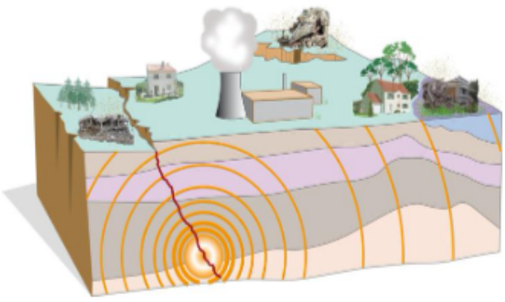
背景与挑战

- 地震动的不确定性和复杂地质条件对核电安全构成巨大威胁
- 传统分析方法无法揭示地震破坏机理、重现地震破坏过程
- 核电抗震分析软件自主化程度低，难以满足地震安全评价要求

311地震后的福岛核电厂



地基不均匀性突出



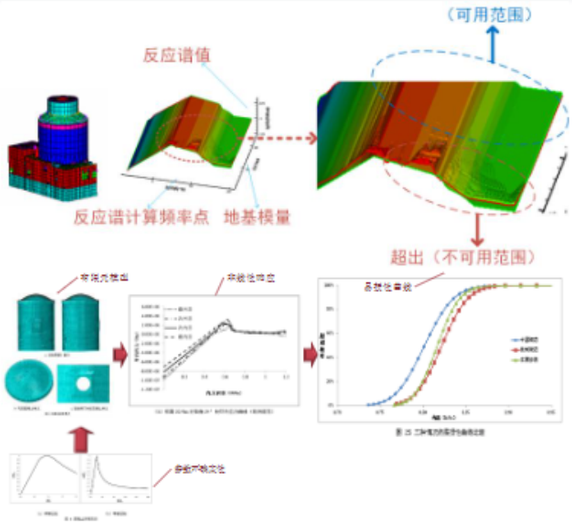
复杂分层地基

1.5 代表性成果二 海域核电工程抗震分析、设计与应用

（2）学术贡献：核电结构地基和安全壳评价方法

技术难题

- 核岛地基以往只能按均质地基进行评价；
- 对地基参数、材料参数的不确定性动力影响只能近似估计；
- 缺乏安全壳极限承压能力的有效评价手段。



科技创新

(1) 建立了层状地基高精度模型
(2) 提出了核岛地基抗震安全定量综合评价指标
(3) 建立了安全壳极限承压的易损性评价方法

解决了复杂地基条件下核岛地基适应性评价的难题

1.5 代表性成果二 海域核电工程抗震分析、设计与应用

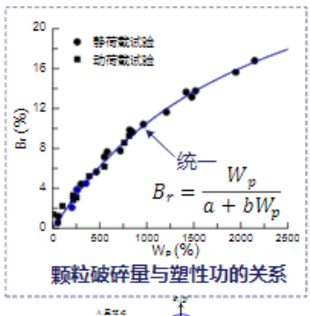
（2）学术贡献：核电筑堤粗粒土工程特性与本构模型

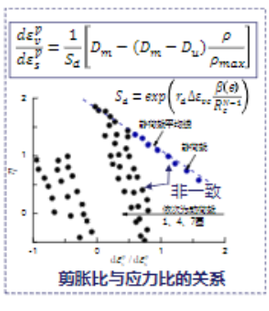
技术瓶颈

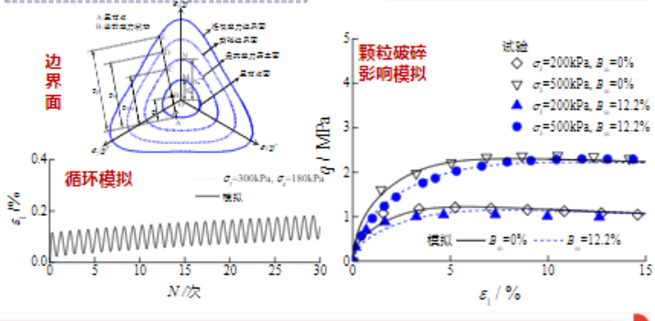
传统的分析模型只适用于弹性或者弱非线性，难以描述核电厂堤防构筑物材料的强非线性。

技术创新

(1)提出了弹塑性本构模型的核心演化规律(颗粒破碎和剪胀)
(2)发展了静、动统一的筑堤和地基材料的广义塑性本构模型
(3)提出了土与结构间三维弹塑性本构模型







解决了重现地震破坏过程的难题，突破了基于变形的抗震安全评价技术

1.5 代表性成果二 海域核电工程抗震分析、设计与应用

（2）学术贡献：核电结构跨尺度、精细化分析方法

技术瓶颈

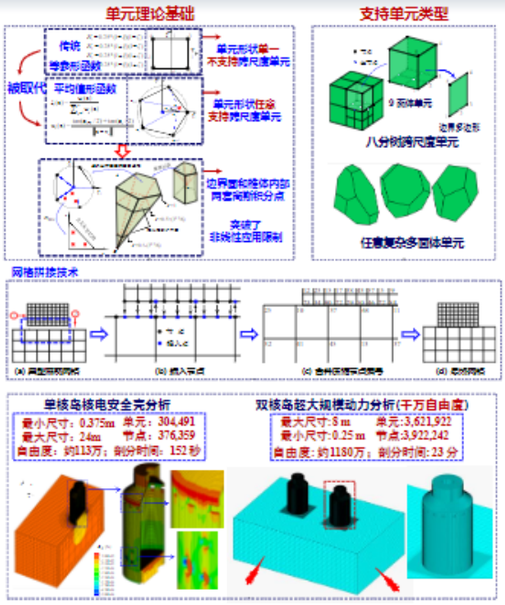
- 核电工程结构复杂，核岛等结构存在跨尺度问题；
- 传统有限元模型建立困难，耗时、费力；

技术创新

(1)建立了非线性的多边形和多面体单元，提高了精细化程度

(2)建立了土与结构相互作用跨尺度分析方法

(3)实现了快速自动网格离散



实现了复杂核岛和地基相互作用的跨尺度、精细化分析方法，建模效率提高上千倍

1.5 代表性成果二 海域核电工程抗震分析、设计与应用

（2）学术贡献：自主化的核电工程抗震分析软件

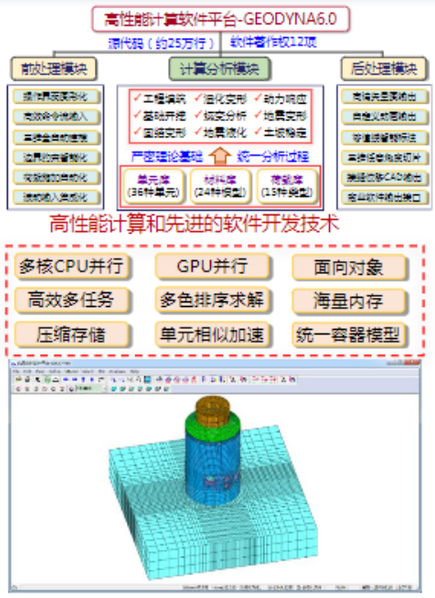
技术瓶颈

传统核电分析软件功能单一，自主化程度和计算效率低，难以满足抗震安全评价要求。

技术创新

(1)自主开发了集成核电工程抗震分析全部功能的软件平台

(2)采用先进的面向对象、多核并行、GPU加速等先进技术，计算效率提高8倍



显著提高了核电抗震分析的效率，提升了我国核电研究的自主化程度

1.5 代表性成果二 海域核电工程抗震分析、设计与应用

（3）学术成果

为表彰在促进科学技术进步工作中做出重大贡献，特颁发此证书。

GB

中华人民共和国国家标准

核电厂抗震设计规范

Code for seismic design of nuclear power plants

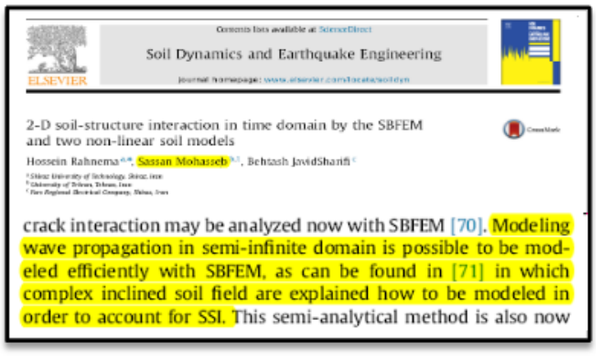
（送审稿）

- **2017年教育部科技进步一等奖**
  提高第三代核电结构抗震安全性的研究及工程应用
- **2015年 中国电力科学技术二等奖**
  复杂地基地震安全分析关键技术研究与工程应用
- **2017年 中国核能行业协会科学技术二等奖**
  百万千瓦级压水堆核电站安全壳结构关键技术研究与应用

- **学术论文68篇：** SCI收录53篇
- **知识产权29件：** 发明专利9、实用新型专利12、软件著作权8
- **修编规范1部：** 国家标准1（送审稿）

1.5 代表性成果二 海域核电工程抗震分析、设计与应用

（4）同行评价


Soil Dynamics and Earthquake Engineering

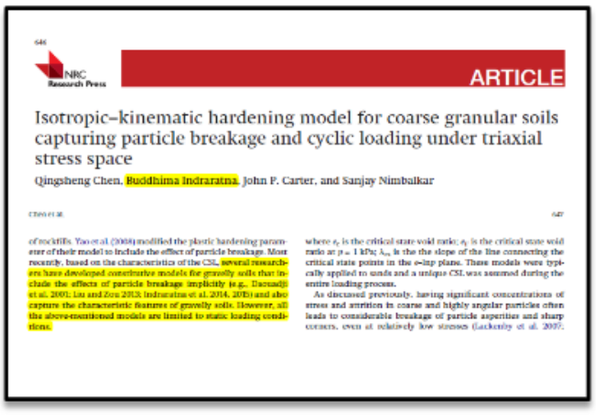
2-D soil-structure interaction in time domain by the SBFEM and two non-linear soil models

Hossein Rahnema, Sassan Mohasseb, Behtash JavidSharifi

crack interaction may be analyzed now with SBFEM [70]. Modeling wave propagation in semi-infinite domain is possible to be modeled efficiently with SBFEM, as can be found in [71] in which complex inclined soil field are explained how to be modeled in order to account for SSI. This semi-analytical method is also now

国际著名抗震专家
Mohasseb, Sassan教授

我们的方法非常有效地求解复杂地基动力特性问题


NRC Research Press

ARTICLE

Isotropic–kinematic hardening model for coarse granular soils capturing particle breakage and cyclic loading under triaxial stress space

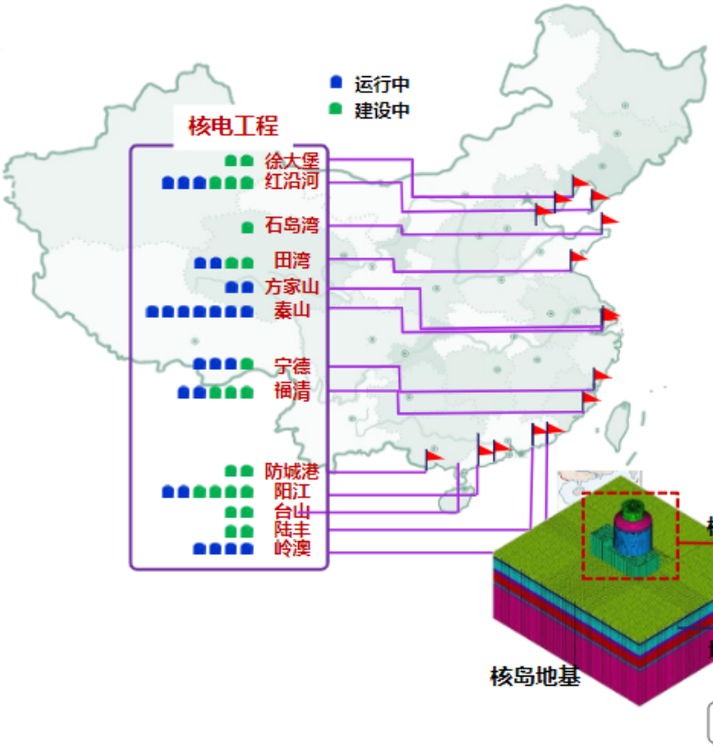
Qingsheng Chen, Buddhima Indraratna, John P. Carter, and Sanjay Nimbalkar

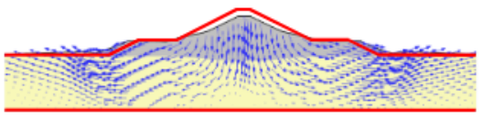
澳大利亚工程院院士
Indraratna教授

我们的模型是仅有的几个可以反映颗粒破碎的模型

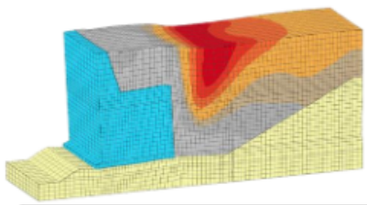
（5）工程应用

成果应用于国内80%的近海核电工程抗震安全评价

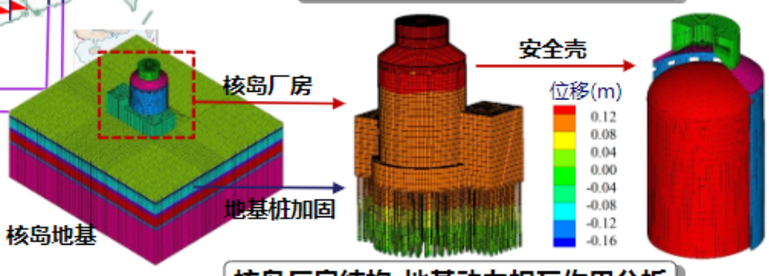




防波堤地基液化变形(岭澳核电厂)



直立墙地震变形(陆丰核电厂)



核岛厂房结构-地基动力相互作用分析