

特高拱坝坝体地基非线性耦合体系抗震分析及安全评价研究与应用

【获奖等级】 应用成果奖一等奖

【主要完成单位】 中国水利水电科学研究院

【主要完成人】 涂 劲、李德玉、郭胜山、梁 辉、钟 红、
李春雷、张翠然、王海波、赵丽君、王少卿、
闫春丽、刘 彪、李志远、张伯艳、王 静

一、研究背景

水电在我国能源开发和结构调整中具有不可替代的重要作用。我国水能资源丰富的西南西北地区是高地震烈度区，对该地区高坝建设而言，大坝的抗震安全是工程设计、建设必须应对的严峻挑战。经过近三十年的探索和研究，高坝抗震理论和分析技术已取得长足进展，但在材料抗力、计算模型、计算能力和评价准则等方面的研究尚未能全面满足高烈度区特高拱坝建设的需求。本项目从材料本构入手夯实理论基础，从损伤和接触模拟方面改进优化算法，利用高性能云计算技术，构建更加符合实际抗震工作性态的特高拱坝-地基多耦合系统动态损伤演化全过程模拟体系，并提出了防止重大地震灾变的定量安全评价指标和统一准则。

二、主要内容

1、特高拱坝-地基整体系统地震损伤演化及破坏机理研究

- 基于试验的全级配混凝土拉压循环荷载下损伤本构研究
- 受压损伤对大坝地震响应模拟的影响研究
- 基岩非线性动力本构模型研究
- 缝面大滑移接触模拟算法研究

2、基于精细化模型和云计算的高拱坝超大规模高性能计算软件开发

3、特高拱坝防止重大地震灾变定量安全评价准则研究

三、创新点

1、开发全级配混凝土拉压加卸载循环全过程试验装置和技术，获得了拉压往复应力应变全过程曲线；基于这一成果，提出受拉损伤后拉压转换时应力应变关系的双折线模型，推导其解析表达式，并明确了受压损伤对大坝地震响应的影响，从而构建了更接近混凝土拉压转换时真实状况的本构关系数值模型。

2、基于重叠型区域分解法、主从式并行架构、MPI 并行编程技术，并融合混凝土拉压转换损伤本构、基岩材料动态损伤本构、点面接触大滑移模拟等理论模型，研发了具有完全自主知识产权的高拱坝-地基多耦合系统抗震分析高性能云计算软件，并结合“天河一号”超级计算平台，首次实现了千万自由度特高拱坝-地基材料损伤与坝肩稳定耦合的动力破损过程时程分析。

3、率先在考虑损伤与失稳两种抗力劣化机制的条件下，构

建了更加符合实际抗震工作性态的高拱坝-地基系统动态损伤演化全过程模拟体系；在研究地震动输入频率非平稳特性影响和综合分析各类强震破坏模式的基础上，给出二类五组具体的可量化指标，定义特征变量地震超载曲线出现拐点这一统一判据，建立了防止高拱坝重大地震灾变的定量安全评价的统一量化准则，并给出最大可信地震超载安全系数的计算式。

四、推广应用情况

成果已应用于金沙江龙盘拱坝抗震安全分析研究等多座强震区实际高拱坝工程抗震安全分析研究项目，为强震区特高拱坝的设计建设提供了重要的技术支撑。



图 1 全级配混凝土拉压加卸载循环全过程试验装置

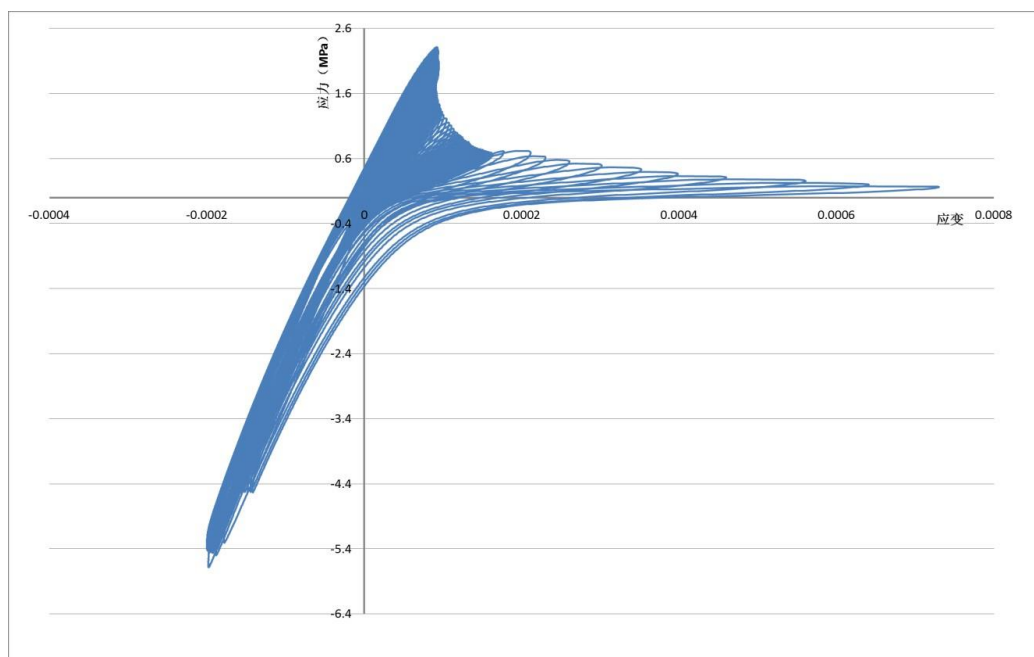


图2 全级配混凝土试件轴向拉压循环的应力-应变全过程曲线

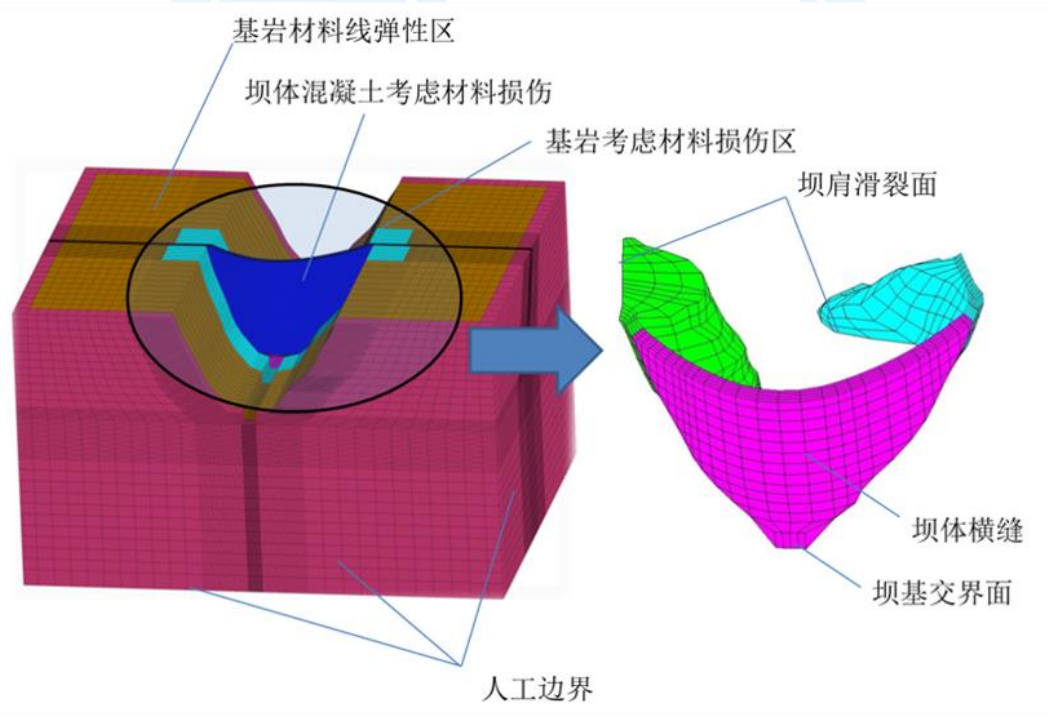


图3 高拱坝-地基多耦合体系数值模型示意图

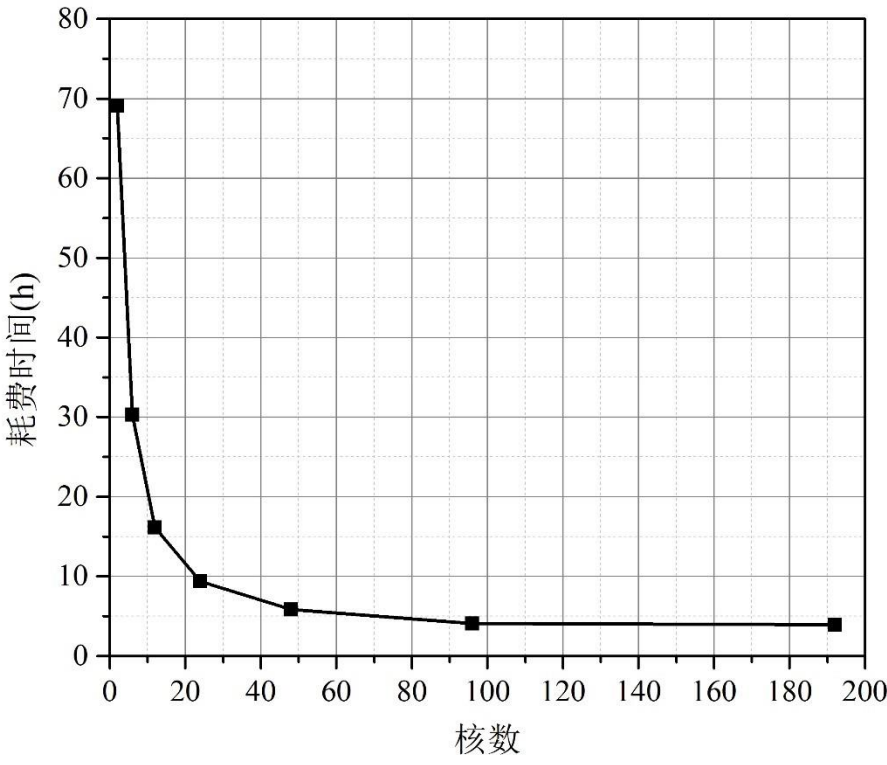


图 4 千万自由度算例并行效率

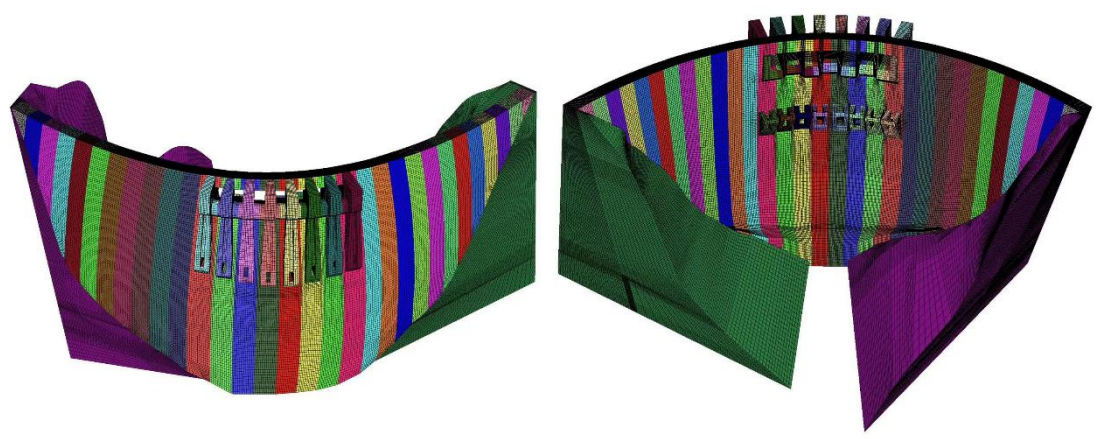


图 5 精细化大坝-滑块有限元网格