

任务来源：国家计划项目

完成时间：2007年

获奖情况：2008年国家科学技术进步二等奖

## 重大泄流结构耦合动力安全 理论及工程应用

我国重大水利水电工程的泄洪流量、水头和功率居世界领先水平。由于高速水流与结构体系耦合动力作用的复杂性，在泄洪巨大能量作用下，国内外曾发生多起泄流结构破坏或强烈振动影响正常运行的工程实例。各类重大泄流结构包括高薄拱坝、导（隔）墙、水工闸门、闸墩、泄洪洞等的泄洪安全问题十分突出，对于我国泄洪功率如此之大的泄流结构，国外也没有成功经验可供借鉴，需要自主创新理论和技术。本项目针对二滩、三峡、小湾、溪洛渡、拉西瓦等重大工程设计或安全运行的需要，对各类重大泄流结构的高速水流—结构体系耦合动力安全的试验模拟、计算分析、优化设计和动态检测的理论方法和关键技术进行系统研究，创建了泄流结构耦合动力安全理论体系，提出了一套先进的自主创新的关键技术，为解决重大工程设计和安全运行的一系列难题提供了重要的科学依据和关键的技术支撑。

泄流结构耦合动力安全理论和技术体系的创建，成功地实现了从传统的单一水动力效应分析方式到水动力—结构体系多效应耦合分析方式的理论升华和技术跨越。主要创新成果有：提出了一整套适用于各类泄流结构耦合动力安全的全水弹性模拟理论、方法及实现的技术手段，开创了泄流结构全水弹性试验模拟的先河；提出考虑水流脉动荷载复杂时空相关特性的泄流结构耦合动力响应正分析方法及振源和响应的反馈分析方法；提出基于耦合动力安全的泄流结构优化设计理论方法；提出基于泄流激励的泄流结构模态参数识别和损伤评估方法，创建了泄流结构安全动态检测诊断系统。

该成果的部分内容曾获省部级一等奖2项、二等奖5项和国际会议最杰出论文奖1项。成果应用于二滩、三峡、溪洛渡、小湾、拉西瓦、向家坝、漫湾、Tishrin等33项国内外水利水电工程，水弹性试验模拟方法等多项成果被6种行业标准采用，取得了显著的社会效益和经济效益，节约投资和增收1.86亿元。随着我国水能资源的进一步开发，本成果应用前景广阔。

### 主要技术创新

针对各类重大泄流结构的安全问题，创建并提出了泄流结构耦合动力安全的试验模拟、计算分析、优化设计和动态检测的理论和技术体系。主要创新点如下：

(1) 首次提出了一整套适用于各类泄流结构耦合动力安全的全水弹性试验模拟理论、方法及实现的技术手段，开创了泄流结构全水弹性试验模拟的先河。

1) 全面揭示了水流脉动压力频谱和相关特性的相似律，首次提出了在以水为介质的水力模型上进行全水弹性试验模拟的相似准则，创建了水流—结构体系耦合动力模拟的理论和方法。

2) 率先成功研制出可模拟各类泄流结构（混凝土、钢等）的水弹性模拟材料，研制了高



精度泄流振动测试系统，解决了长期困扰泄流结构耦合动力模拟的技术瓶颈，实现了试验模拟技术的重大突破。

3) 实现了耦合动力效应的全面模拟并得到原型观测结果的验证，为高薄拱坝坝身大流量泄洪及导墙结构、超大型闸门等重大泄流结构的设计或安全运行提供了关键技术支撑。

(2) 首次提出了泄流结构耦合动力响应的正、反分析方法。

1) 首次提出了考虑水流脉动荷载复杂时空相关特性的泄流结构耦合动力响应的正分析方法，大大提高了泄流结构流激振动响应的预测精度。

2) 基于耦合振动理论和遗传算法，首次提出了泄流结构振动振源及响应的反馈分析方法，可反馈分析出各激振源荷载的整体特征、外延和修正试验结果，实现由有限的动力响应实测值反馈出结构的整体动力响应场和最大值。

(3) 提出基于耦合动力安全的泄流结构优化设计理论和方法。

1) 发展了水工平面、弧形、翻板闸门的动力稳定性理论，提出了考虑支臂静动力稳定性的弧形闸门优化设计方法，提出了高水头平面闸门水动力和结构优化方法。

2) 首次提出了导墙流激振动安全控制指标以及导墙水动力和结构的优化设计方法。

3) 首次提出了无共振区又有较好阻力特性的拦污栅栅叶体型。

(4) 首次提出基于泄流激励的泄流结构模态参数识别和损伤评估方法，创建了泄流结构安全动态检测诊断系统。

1) 首次提出了基于泄流激励的奇异熵定阶降噪的泄流结构振动模态 ERA 识别方法，解决了定阶和降噪难的问题。

2) 提出基于结构模态参数识别、有限元计算和支持向量机技术相结合的泄流结构损伤定位和损伤程度评估方法。

3) 首次提出了泄流结构分布式振动及空蚀监测技术。

4) 创建了泄流结构的安全动态检测诊断系统。

#### 推广应用情况

本研究成果成功应用于国内外的 33 项水利水电工程，涉及 40 余项重大的泄流结构。为解决重大工程设计和安全运行的一系列难题提供了重要的科学依据和关键的技术支撑，社会效益显著，推动行业科技进步明显。同时通过优化工程设计，为已建工程节约投资 1.13 亿元、新增产值 0.33 亿元，为在建工程节约投资约 0.40 亿元，累计效益总值为 1.86 亿元。

完 成 单 位：天津大学、中国水利水电科学研究院、中国水电顾问集团成都勘测设计研究院、中国水电顾问集团昆明勘测设计研究院、中国水电顾问集团西北勘测设计研究院、长江水利委员会长江勘测规划设计研究院、中国水电顾问集团中南勘测设计研究院

主要完成人员：练继建、吴一红、崔广涛、谢省宗、刘之平、肖白云、彭新民、邹丽春、白俊光、廖仁强

联 系 人：杨帆

联系电话：010-68781126

邮 箱 地 址：yangf@iwhr.com