

为了水电安全运行与可持续性发展

——张楚汉院士及其团队



张楚汉院士（左5）与河川枢纽所部分教授合影

研究
团
队

水电是清洁的可再生能源，我国水电能源居世界首位，理论蕴藏量为6.9亿千瓦，技术可开发量为5.4亿千瓦。目前仅开发了30%，仍具有巨大的发展潜力。本团队紧密结合我国水电工程与高坝建设，围绕高坝安全的工程与力学前沿开展研究。


在高坝动力学与抗震安全方面，提出了“拱坝—地基—库水动力相互作用的非线性分析模型”，这是目前高坝抗震分析最完备的模型之一。开展了坝体—地基相互作用、坝体横缝和材料非线性，以及过缝钢筋、混凝土配筋和阻尼器等抗震措施的高坝动力分析研究。实际应用于小湾拱坝（高294.5m，设计峰值速度0.308g）、溪洛渡拱坝（高285.5m，设计峰值加速度0.321g）、大岗山拱坝（高210m，设计峰值加速度0.558g）等高坝的抗震安全评价。同时，开展了岩石和混凝土离散—接触—断裂分析研究。发展了三维刚体弹簧元和变形体离散元，应用于模拟连续—非连续介质，建立了由小变形损伤断裂—大变形破坏过程分析的统一模型；基于可变形的离散块体系统运动学和动力学描述，建立了一种三维模态变形体离散元方法（3MDEM）。改进了离散元的变形、应力分析，提高了计算效率。

在高拱坝、坝基与大型地下洞室整体稳定性与安全性方面，开展了岩体损伤力学研究，包括固体多尺度非线性非平衡态热力学、组构张量数学结构及损伤演化律、变形加固理论及三维多重网络法等，并在国内高拱坝及高边坡上得到应用；最早开展了我国高拱坝坝基安全的地质力学模型试验，开发了高拱坝整体稳定数值仿真平台TFINE，应用于国内主要的大型双曲高拱坝的整

体稳定性分析，研究成果已进入拱坝设计规范。

在高坝混凝土材料方面，从混凝土细观结构出发，建立了混凝土动力损伤的模型，研究了混凝土动静力损伤断裂理论，给出了损伤断裂判据，且得到试验验证；基于智能混凝土结构的理念，建立混凝土多轴应力和断裂条件下的光纤传感力模型，提出了形状记忆合金与混凝土之间相互作用的力学模型，并进行了实验验证。

在筑坝技术方面，发明了堆石混凝土（Rock-Fill Concrete，简称RFC）技术。堆石混凝土是我们自主研发，拥有自主知识产权的一种新型大体积混凝土施工技术。大量利用块石作为混凝土充填材料，充分发挥低水化热专用自密实混凝土的性能，免除震捣或碾压工序，具有简化施工、提高工效、缩短工期、显著降低施工成本等特点和优势。迄今已经在宝泉抽水蓄能电站、向家坝水电站沉井等工程中成功应用与推广。

此外，团队成员还参与或主持我国一些重大水利水电工程项目的咨询活动。如南水北调工程，怒江保护与开发，汶川地震堰塞湖整治与地震遗址保护，大规模光伏发电与水电结合问题等，向国家有关部门提出了咨询建议。当前，团队计划围绕我国绿色能源与水电开发中环境与安全问题开展新的研究，如：水电能源（含抽水蓄能）与非水可再生能源（风能，太阳能等）的调节与互补问题；水电能源开发对生态环境的长期影响与对策；流域梯级坝库系统安全监测与抗震安全风险分析与评价；岩石与地下工程的新领域与应用（环境、储能等）。

（研究团队栏目文章由清华大学水利系相关教师提供）