

三峡升船机工程总体设计关键技术与实践

完成单位：完成单位1：长江勘测规划设计研究有限责任公司

完成单位2：三峡机电工程技术有限公司

主要完成人：钮新强 吴小云 覃利明 于庆奎 朱虹 郭彬 段波 廖乐康
童迪 路卫兵 王可 吴俊东 汪基伟 俞歌 梁仁强 等

三峡升船机具有过船规模大、船厢里重大、提升高度大、上游水位变幅大、下游水位变率快，以及通航水流条件复杂的特点，是当前世界上工程规模和技术难度最大的升船机。为解决三峡升船机的通航与运行安全，自上世纪五十年代起，对总体方案和关键技术进行了长期大量的设计研究，并“七五”、“八五”、“九五”国家重大科研项目支持下，对三峡升船机关键技术进行了全面、系统的攻关。研究成果形成了保证升船机安全运行的成套技术，解决了三峡升船机复杂通航条件下的总体方案、复杂承载条件的闸首与塔柱结构、船厢安全保障和重载齿条螺母柱传力技术、机械设备与混凝土塔柱结构变形协调技术，以及多电机机械同轴下的同步控制等多项重大技术难题。研究成果和以此为基础编制的世界首部《升船机设计规范》，为国内其它升船机工程的建设提供了可资借鉴的经验。主要创新成果如下：

1. 提出了大流量泄洪、大负荷调峰、大水位变幅运行条件下，保证船舶安全进出升船机的总体方案

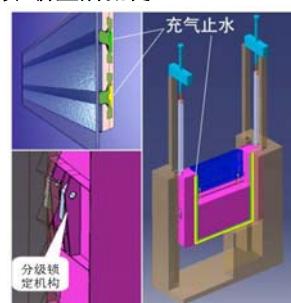
研发了上游“汛期隔流，枯期漫顶”的新型隔流堤，适应上游大水位变幅的“卧倒门过船，平板门对接，叠梁门调位”的特大型组合门，以及适应下游快水位变率的“带压调门，充气止水，分级锁定”的特大型双扉平板门等上、下闸首新型设备。破解了上游引航道水位变幅大、涌浪高、斜流大、回流强、泥沙易淤积，下游引航道水位变率快的难题。



“汛期隔流，枯期漫顶”新型隔流堤



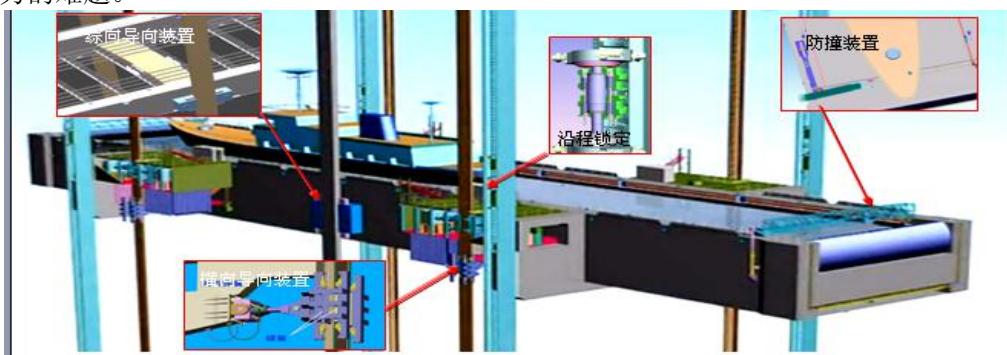
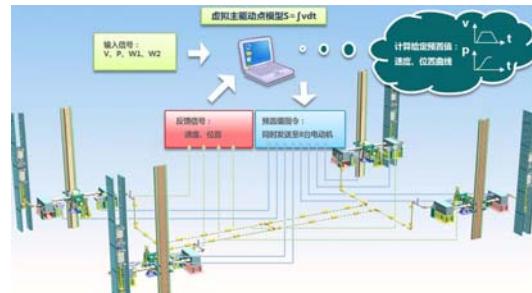
上闸首特大新型组合门



下闸首特大双扉式下沉门

2. 研发了适应变水位、多船型、地震条件下超大型齿轮齿条爬升式升船机承船厢多项安全技术，以及重载齿条螺母柱高精准定位与可靠传力技术

提出了大型承船厢“摩擦自锁，液压开合”变水位沿程锁定技术；首创“纵向弹性梁、横向液压簧”新型复合阻尼减震装置；研发了“正向阻拦、侧向导引”多船型防护拦阻技术；提出了齿条螺母柱精准安装的“预拼定位，现场免调”梯形齿精细调节技术，以及梯形齿与预应力钢束、高强螺栓联合承载的传力结构体系。攻克了超大型升船机承船厢变水位沿程锁定、地震减震、多船型进厢安全，重载齿条螺母柱安装难度大以及与混凝土结构可靠传力的难题。



3. 研发了大水位变幅、高扬程、重载条件下的超大型垂直升船机新型结构体系

提出了“预应力整体坞式”新型闸首，解决了高挡水闸首裂缝限制的难题；研发了适应大负荷、小变形的高耸承重“筒-墙-梁”复合空间结构体系，以及事故条件下任意高程位置“直升楼梯”接“楼层通道”的立体疏散技术，解决了塔柱结构承载力要求高、变形控制要求严，



4. 研发了机械同轴下的四驱八电机力矩均分技术

提出了基于位置、速度和电流三闭环的多电机驱动技术，实现了力矩自适应分配和四驱八电机自动跟随同步控制，消除了同步轴的异常扭振，确保了113m全行程承船厢的水平姿态和精准停位，实现了大型升船机承船厢的安全、平稳运行。

成果已应用于三峡升船机工程，并在向家坝升船机工程上推广应用。

黄河下游宽滩区滞洪沉沙功能及滩区减灾技术研究

完成单位：黄河水利委员会黄河水利科学研究院 1 中国水利水电科学研究院 2
 黄河水利委员会河南黄河河务局 3 武汉大学 4

主要完成人：江恩慧 陈建国 李军华 王远见 刘燕 董其华 王明 曹永涛
 耿明全 陈绪坚 韦直林 郜国明 夏修杰 杨明 万强 张向萍
 张清 赵连军 宗虎城 张杨 潘丽 刘筠 李永强 田世民
 余欣 张防修 李新杰 赖瑞勋 赵新建 陈国宝 蒋思奇 李昆鹏
 王嘉仪 顾霜妹 张林忠 刘杰 黄鸿海

黄河下游宽滩区因其洪水期要发挥行洪滞洪沉沙功能，长期得不到合理的开发利用，已成为我国最贫困地区之一。近 20 年来，进入黄河下游的洪水量级和频次大幅减少，如何合理运用宽滩区，兼顾防洪减灾与滩区经济可持续发展这一治黄长期面临的瓶颈问题，再次成为广受关注和争议的焦点。钱正英等许多知名院士专家都曾专程考察下游滩区，提出了不少很好的建议。然而，因缺乏系统研究，这些观点多为定性意见。按照世界气象组织和国家气象部门预测，无论未来黄河水沙变化总体趋势如何，黄河流域出现极端天气事件和发生大洪水甚至是高含沙大洪水的可能性依然存在。诚然，黄河的防洪安全是头等大事，一旦发生大洪水，黄河下游宽滩区仍要发挥其行洪、滞洪、沉沙的功能。但是，为了迎接稀遇大洪水，长期面临常态化的中小水沙过程，未来黄河下游河道治理方向，特别是宽滩区运用方式，已经成为严重制约下游河道治理的关键问题，是水利部落实中央一号文件提出的重大科技需求之一，也是科技部与水利部部际会议确定的重点项目。

黄河水利科学研究院等 4 家单位历时 9 年联合攻关，产学研用相结合，突出实地调研、理论研究、数值模拟、模型试验等多种手段交叉融合，开展了黄河下游宽滩区滞洪沉沙功能及滩区减灾技术研究，实现了下游宽滩区治理“基础研究-技术突破-定量评价-实践应用”全链条理论与技术创新，取得以下四方面主要成果：

1、首次从考虑侧向二次流惯性力的动量方程出发，建立了复式河道流速与含沙量横向分布的理论公式，据此，给出了不同水深、横比降等条件下滩槽流速、含沙量分布的理论曲线，如图 1、2 所示。揭示了滩槽水沙交换机理及漫滩洪水水沙运移与滩地淤积形态的互馈机制，阐明了“二级悬河”形成及发育机理和不可逆性，为黄河下游“二级悬河”治理和宽滩区运用方式的确定奠定了坚实的理论基础。

2、针对无防护堤、防护堤、分区运用三种宽滩区治理方案，通过准二维和二维数学模型，量化了 50 年不同水沙系列情景和典型洪水情景下宽滩区滞洪沉沙功效及对山东窄河段冲淤与防洪安全影响（见图 3）；利用小浪底—陶城铺 800 米动床模型检验了宽滩区不同运用方式滞洪沉沙效果（见图 4、图 5）。

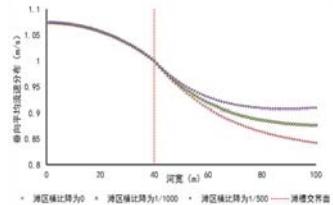


图1 不同滩地横比降下流速分布

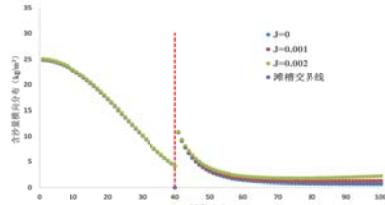


图2 不同滩地横比降下含沙量分布

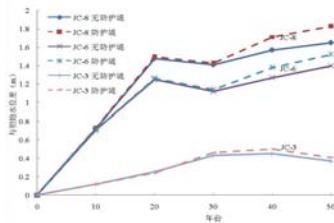


图3 利津站 50 年后水位变化

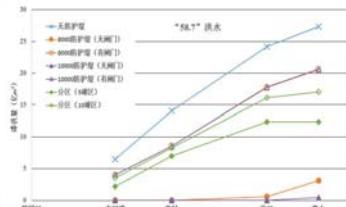


图4 “58.7”洪水滩区滞洪量对比

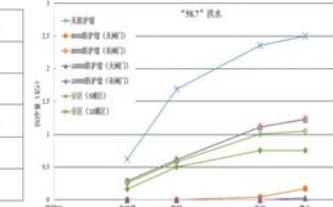


图5 “58.7”洪水滩区沉沙量对比

3、首次提出了黄河下游宽滩区滩槽水沙优化配置原则、目标和评价方法，建立了水沙优化配置模型及配置模式，构建了泥沙配置的理论框架；量化了下游宽滩区泥沙配置潜力和能力，提出了黄河下游泥沙配置方案。

4、创新性地提出了能同时反映河流系统自然属性和社会属性的宽滩区滞洪沉沙功能与效果的二维评价指标体系和基于 Pareto 最优解的多元优化评价模型；提出了兼顾宽滩区滞洪沉沙功能与综合减灾效应的宽滩区运用方式和运行机制，如图 6、图 7 所示。

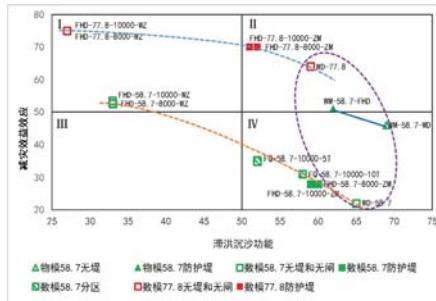


图6 不同运用方式综合效应评价

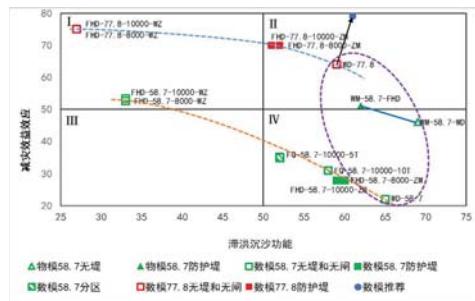


图7 综合减灾措施的综合效应

成果已获黄委科技进步一等奖，被国家防总、黄委、黄河防总等单位采纳，直接应用于黄河下游河道与滩区治理、洪水调度等工程实践，发挥了巨大的社会、经济和环境生态效益；相关理论成果被清华大学、武汉大学、河海大学等应用于研究生教学，有力推动了学科发展。

高碾压混凝土坝全寿命周期性能演变机理与安全控制关键技术

完成单位:	天津大学 华能澜沧江水电股份有限公司 浙江大学 四川大学 武汉大学	松花江水力发电有限公司丰满大坝重建工程建设局 中国水利水电科学研究院 清华大学 大连理工大学 中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司
主要完成人:	钟登华 路振刚 艾永平 郑瑾莹 刘毅 任炳昱 周伟 刘东海 张建民 赵春 孟继慧 迟福东 王振宇 王佳俊 余佳	刘国华 徐千军 许唯临 崔博 何真 陈健云 胡昱 申建建 邓良军 陈改新 李明超 汪洋 马斌 冯新 钟建文 佟大威 吴斌平 关涛 夏开文 杨晋生

碾压混凝土坝是近四十年来发展起来的一种新坝型，具有工程造价低、建坝周期短、环保适应性强等优势，已经成为我国高坝大库建设的代表性坝型。然而，高碾压混凝土坝工程坝址地质条件复杂、气候条件严酷，建设要求标准高、运行影响因素多，面临着材料性能演变机制复杂、建设过程难以控制、长期性能演变规律不清等世界级难题。本项目在国家973计划等重大科研项目支持下，系统开展了高碾压混凝土坝材料与结构性能演变、建设性能智能监控、长期性能评估与安全控制等理论、方法与关键技术研究，解决了制约高碾压混凝土坝这一优势坝型发展的难题，主要进展如下：

1. 揭示了复杂环境下碾压混凝土材料与结构性能演变宏观细观机制

针对碾压混凝土材料与结构性能演变机制复杂问题，提出了基于XCT图像的混凝土细观仿真模型，揭示了RCC层间渗漏溶蚀机理和抗剪强度衰减规律；发明了碾压混凝土抗冻性能提升材料-球形颗粒的改性复合吸水树脂(MAP)，拓展了高海拔地区RCC抗冻技术新途径；提出了混凝土界面细观结构

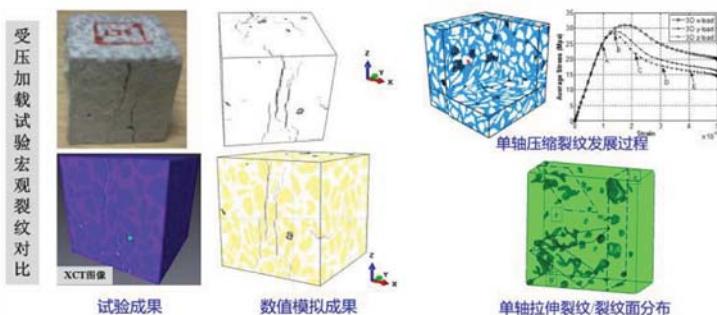


图1 XCT 细观仿真模型及混凝土开裂机制

探测与表征的新方法与关键力学参数测试的新技术，揭示了碾压混凝土坝成层结构力学特性；提出了强化上游面抗水力劈裂能力和防渗能力的高碾压混凝土重力坝功能梯度结构与分区协调设计方法。

2. 提出了高碾压混凝土坝建设性能智能监控技术

针对高碾压混凝土坝建设全过程质量和进度控制问题，提出了集成自适应智能仿真模型、施工方案实时优化以及施工进度风险动态分析为一体的高碾压混凝土坝施工智能仿真方法；提出了高碾压混凝土坝施工质量智能监控理论与技术，具体包括全面碾压质量智能监控、层间结合质量智能监控、变态混凝土振捣质量智能监控、基础灌浆质量智能监控、温控施工全要素智能监控等，实现了高碾压混凝土坝建设质量的全过程、全天候、精细化的透彻感知与智能馈控。

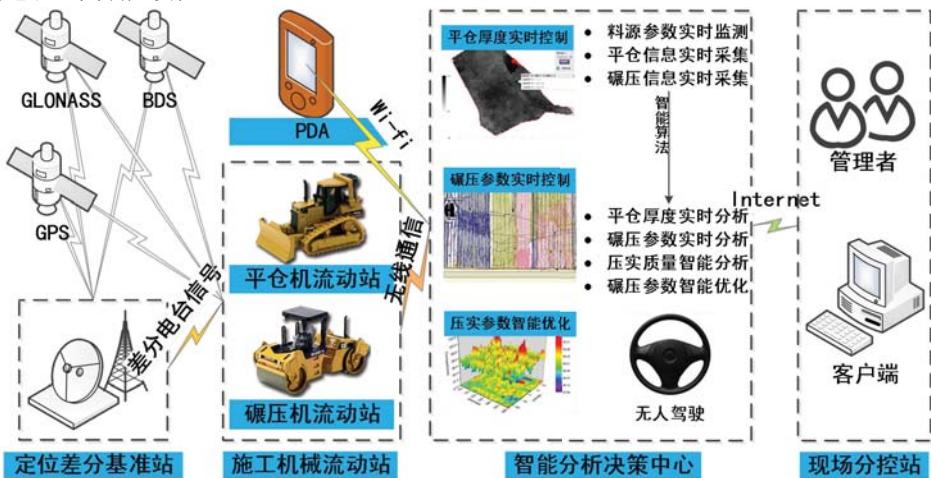


图 2 高碾压混凝土坝全面智能碾压技术原理

3. 提出了极端条件下高碾压混凝土坝运行安全控制技术

针对高碾压混凝土坝长期运行安全控制问题，发明了考虑碾压混凝土坝成层结构特点的坝踵高压水力劈裂仿真模拟方法，提出了超标洪水条件下高碾压混凝土坝大流量泄洪消能与损伤诊断技术，揭示了强震条件下高碾压混凝土坝破坏机理。

4. 研发了高碾压混凝土坝全寿命周期性能评估与安全控制系统

基于国内外 170 座高碾压混凝土坝调研分析结果，建立了高碾压混凝土坝全寿命周期性能综合评价指标体系；提出了基于分布式光纤与压电智能骨料传感技术的高碾压混凝土坝局部损伤监测评价新方法；提出了以相对安全度为主要评价指标的高碾压混凝土坝全寿命期真实性态仿真评价新方法；研发了高碾压混凝土坝全寿命周期性能监测预警平台，实时掌握大坝的工作性态和安全状况，保障大坝的长期安全运行。

本项目成果获国家发明专利 36 项，计算机软件著作权 6 项，发表学术论文 412 篇，其中 SCI 检索论文 183 篇。研究成果在黄登、丰满重建、龙滩、光照、大华桥、鲁地拉等国内外近 20 座碾压混凝土坝工程中得到了成功应用，极大地提高了碾压混凝土坝工程建设质量与效率，保证了碾压混凝土坝的长期运行安全，产生了显著的经济和社会效益。