

任务来源：“十一五”国家科技支撑计划课题、国家自然科学基金面上项目、国家杰出青年科学基金项目等

完成时间：1995—2014年

获奖情况：2016年度国家科学技术进步二等奖

长距离输水工程水力控制理论与关键技术

为了实现水资源的高效利用和配置，我国修建了一系列输水工程，具有规模大、线路长、气候差异显著等特点。就水力控制而言，属于典型的强非线性、高维、多过程、多相、多流态和多约束的水力系统，安全控制难度和复杂性前所未有，极易出现爆管、结构物破坏、漫堤溃决和冰害等事故。长距离输水工程的安全运行是保障国家水资源安全的关键。针对长距离输水工程复杂水力学和水力控制难题，项目组以安全、高效、稳定输水为研究目标，采用理论分析、数值模拟、模型试验和原型观测相结合的方法，对长距离输水系统的运行特性和控制方法进行了系统深入的研究，研究建立长距离输水系统水力仿真与控制的理论方法，研究有压无压转换、急流缓流过渡、水气与冰水多相复杂流动水力瞬变机理和演变规律；研发长距离管道输水系统成套水力控制新技术和长距离明渠输水系统集散控制技术，并针对高纬度地区冬季冰盖下输水出现的技术难题，研究了长距离输水系统冰害防治与冰期运行控制技术。通过以上研究工作，项目组在长距离输水系统现代控制理论和控制技术方面取得了一系列重要突破。

主要技术创新

(1) 建立了复杂长距离输水系统水力仿真与控制理论方法。揭示了有压无压转换、急流缓流过渡、水气两相瞬变、冰凌冰盖全过程生消演变4项机理；提出了基于图论的复杂管网、渠网的非恒定流数值模拟方法和水力参数辨识理论；揭示了渠道扰动波的叠加、相消规律，创建了控制参数的时域—频域联合在线整定技术。

(2) 提出了长距离管道输水系统成套水力控制新技术。发明了分段低压输水新技术，揭示了其共振原理，提出输水单元水流振荡方程及防共振设计方法，降低管道承压70%~90%；发明了适应水击控制的多喷孔套筒调流阀和压力自适应空气阀调压室，减小管道水击压力20%~30%；提出了长距离有压管道复杂工况下的成套水力优化控制技术。

(3) 提出长距离明渠输水系统“前馈—反馈—解耦”集散控制技术。利用扰动波叠加相消机理，提出了“改进前馈+水位流量串级反馈+解耦”的闸门群集散控制技术，实现了“粗调”“细调”与“协调”作用的有机衔接，提高了明渠输水控制系统的响应速度，解决了长距离明渠输水大滞后问题，提高控制系统响应速度3~4倍。

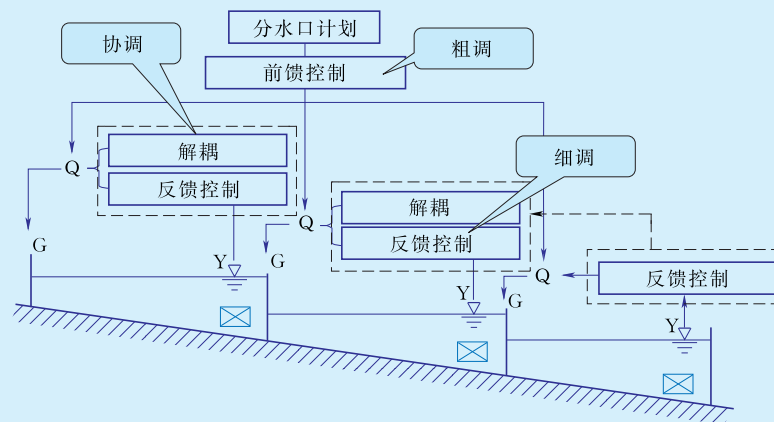
(4) 提出了长距离输水系统冰害防治与冰期运行控制技术。提出了适应气候及冰情复杂变化的冰期自适应控制技术和冰期与非冰期输水模式转换的变闸前水位控制技术，使冰期与非冰期输水模式转换时间缩短80%，冰期输水能力提高10%~15%；阐明了冰力对输水结构物的危害，提出了建筑物防冰塞临界控制水深、新型双缆浮筒式拦冰索等系列冰害防治技术。



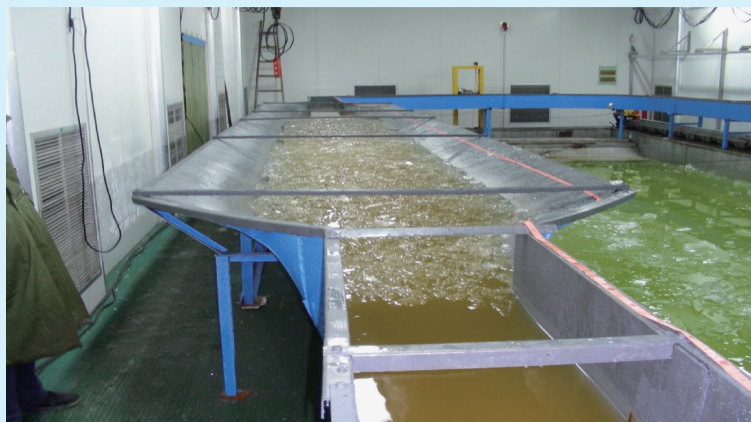
推广应用情况

成果已在引黄济青、引黄济津、引滦入津、云南掌鸠河调水、宁波白溪调水和南水北调中线工程京石段等 19 项大型输水工程中得到应用，并在 10 余项在建的重大调水工程中得到推广，惠及人口 2.1 亿，工程节支增收逾 18.68 亿元，产品销售量超过 1.5 亿元，为我国长距离输水系统安全、稳定、高效运行提供了技术支撑，取得了巨大的社会效益和经济效益。

代表性图片



“改进前馈+水位流量串级反馈+解耦”的闸门群集散控制技术



流冰输移试验

完 成 单 位：中国水利水电科学研究院、天津大学、清华大学、长江委设计院、武汉大学、南水北调中线干线工程建设管理局

主要完成人员：刘之平、练继建、杨开林、谢向荣、黄跃飞、汪易森、陈文学、王长德、马超、郭新蕾

联 系 人：杨帆

联系电话：010-68781126

邮 箱 地 址：yangf@iwahr.com