DOI：10.16868/j.cnki.1674-6252.2017.05.109

“国家重点研发计划”

长距离调水工程建设与安全运行集成研究及应用

杨启贵

（长江勘测规划设计研究有限责任公司，武汉 430010）

长距离调水工程是实现国家水资源优化配置的重大战略举措，为解决大埋深长距离调水工程建设及安全运行中的关键科学技术问题，“长距离调水工程建设与安全运行集成研究及应用”项目获得2016年国家重点研发计划“水资源高效开发利用”重点专项立项批准。

一、研究目的

国内外已建的调水工程主要以明渠方式输水，局部辅以隧洞，而以大埋深长隧洞为主要载体的调水工程较少。据不完全统计，目前已建的世界上最长的输水隧洞是芬兰的Päijänne隧洞，单洞长120km，最大埋深130m；国外埋深最大的是非洲lesotho隧洞，单洞长45km，最大埋深1200m。我国在大型调水工程输水隧洞建设方面已取得了举世瞩目的成就，相继建成了引滦入津、引大入秦、引碧入连、引黄入晋、引洮供水等跨流域调水工程，未来10年将是我国长距离调水工程输水隧洞建设的高峰期。

长距离调水工程其显著特点是引水流量大、线路长，一般由渠道、隧洞、渡槽与闸泵阀等构成复杂的运行系统。目前，在建和拟建的长距离输水隧洞大多要穿越地质构造背景复杂的山岭地区，不仅面临自然环境恶劣、地震烈度高、地形地质条件复杂等不利因素，且输水隧洞单洞长、埋深大，在建工程最长单洞已达283 km，最大埋深2268m。大埋深隧洞难以提前预报和规避不良地质体，建设期经常遇到高压突涌水、软岩大变形、硬岩岩爆等灾害，运行期还可能面临高外水荷载、活动断裂的蠕滑及地震等复杂运行条件，所以长距离调水工程建设运行面临着复杂的科学技术难题。

二、总体目标

本项目针对大埋深长距离调水工程建设及安全运行的需求，以滇中引水、引汉济渭等典型调水工程为依托，重点研究大埋深隧洞围岩大变形和岩爆孕灾机理、不同断层活动模式下隧洞—衬砌结构变形破坏规律、应力—渗流耦合作用下围岩—支护体系协同承载机制，以及强震作用下大型高架渡槽的动力响应等关键科学问题，揭示复杂条件下输水隧洞和高架渡槽的响应模式与灾变机制，提出大埋深隧洞全寿命设计理论。

项目研发大埋深隧洞围岩特性的测试技术、灾害预测预报与防控技术、隧洞穿越活断层抗断技术、高架大型输水渡槽抗震技术、闸泵阀关键设备及智能控制、调水工程全寿命周期安全监控与调控等关键技术，突破千米级深埋隧洞地球物理探测及岩体特性测试技术、高压突涌水预测与防治成套技术、15MPa超高压灌浆技术，并提出隧洞穿越错动量达0.5m活断层抗断结构，8度强震区大型高架渡槽抗震技术，220m扬程泵组、DN2000智能阀安全控制成套技术等，形成大埋深长距离调水工程建设及安全运行成套技术装备，并在典型工程中示范应用。

三、研究内容

项目结合国家跨流域调水工程实际，立足相关学科国际学术前沿以及国内外研究现状，紧密围绕长距离调水工程建设与安全运行需求，主要解决长距离调水工程的3个重大科学问题和5个关键技术问题，开展10个方面的研究工作，研究技术路线见图1。

（1）重大科学问题

① 大埋深隧洞开挖围岩响应模式与灾变机制；

② 大埋深隧洞围岩—支护体系协同承载机理与全寿命设计理论；

③ 地震等自然灾害下输水建筑物的响应特征及灾变模式。

（2）关键技术

① 大埋深隧洞灾害预测预报与防治成套技术；

② 隧洞穿越活断层抗断技术；

③ 大跨度高架渡槽抗震技术；

④ 闸泵阀关键设备研发及智能控制技术；

⑤ 调水工程全寿命周期安全监控与调控技术。

作者简介：杨启贵（1964—），男，长江勘测规划设计研究有限责任公司总工程师，教授级高工，中国工程勘测设计大师，主要从事岩土工程设计研究，E-mail：yangqigui@cjwsjy.com.cn。

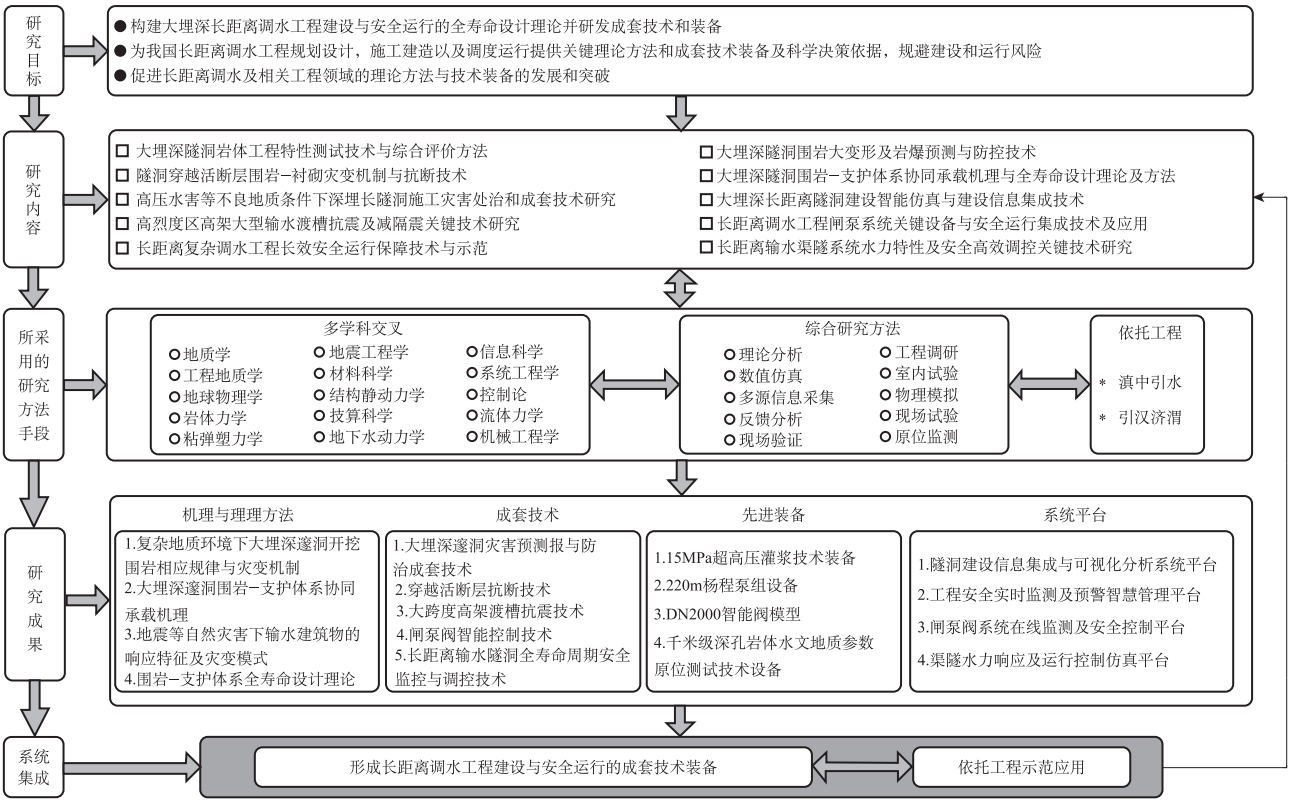

图 1　长距离调水工程建设与安全运行集成研究及应用研究技术路线图

（3）研究内容

① 大埋深隧洞岩体工程特性测试技术与综合评价方法；

② 大埋深隧洞围岩大变形及岩爆预测与防控技术；

③ 隧洞穿越活断层围岩—衬砌灾变机制与抗断技术；

④ 大埋深隧洞围岩—支护体系协同承载机理与全寿命设计理论及方法；

⑤ 高压水害等不良地质条件下深埋长隧洞施工灾害处治和成套技术研究；

⑥ 大埋深长距离隧洞建设智能仿真与管理集成技术；

⑦ 高烈度区高架大型输水渡槽抗震及减隔震关键技术研究；

⑧ 长距离调水工程闸泵阀系统关键设备与安全运行集成研究及应用；

⑨ 长距离复杂调水工程长效安全运行保障技术与示范；

⑩ 长距离输水渠隧系统水力特性及安全高效调控关键技术研究。

四、预期效益

项目以滇中引水、引汉济渭等典型调水工程为背景，拟解决复杂地质环境下大埋深隧洞开挖围岩响应规律与灾变机制、围岩—支护体系协同承载机理、大埋深隧洞全寿命周期的设计理论、地震等自然灾害下输水建筑物的响应特征及灾变模式等关键科学问题，可为我国长距离调水工程建设与安全运行提供重要的理论支撑，促进相关学科基础理论的发展和突破，具有重要的科学价值。

项目针对我国长距离调水工程规划设计、施工建造以及调度运行中的关键技术问题开展研究，形成大埋深长距离调水工程建设及安全运行成套技术装备，并在典型工程中示范应用。项目研究成果将有力推动长距离调水及相关工程领域的技术进步，为我国长距离调水工程建设及安全运行提供技术保障。

项目成果将直接应用于滇中引水、引汉济渭等典型调水工程，可减小工程中的施工安全风险，加快施工进度，保障工程能够按时或提前发挥效益；可极大提高长距离调水工程应对自然灾害等突发事件的防范效率，为地区经济社会发展提供水资源和防洪安全保障；可为长距离输水工程运行调度提供决策依据，保障调水工程运行安全，充分发挥调水工程效益。同时，项目研究成果亦可应用于其他长距离调水工程、水力发电工程、公路和铁路隧道工程等相关工程领域，对类似工程具有良好的指导意义。

综上，项目将为我国长距离调水工程规划设计、施工建造以及调度运行提供重要的理论依据和技术支撑，推动长距离调水及相关工程领域的技术进步，保障我国水资源宏观调控战略的有效实施，具有显著的社会、经济与生态效益及广阔的推广应用前景。