

南水北调东线一期工程技术创新突破及应用推广

陈靓^{1, 2*} 邓晓雅^{1, 2} 杨明祥^{1, 2*} 刘梅³

1. 中国水利水电科学研究院
2. 流域水循环模拟与调控国家重点实验室
3. 中国南水北调集团东线有限公司

摘要: 本文从勘察设计、工程建设、运行调度、核心设备和生态环保等方面系统梳理了南水北调东线一期工程重要的技术突破和应用情况。南水北调东线一期工程实现了大型渠道工程机械化衬砌施工技术、东线穿黄河隧洞工程关键技术、水泵模型同台测试技术、大型平原水库防渗漏技术体系、河-渠-湖-库水量水质联合优化调控关键技术以及复杂河网地区水污染防治技术体系与防控模式等多项技术攻关, 对我国水利行业的发展具有重大推动作用。

关键词: 南水北调; 东线; 技术创新; 应用推广

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.14.073

一、工程概况

南水北调东线一期工程于2002年12月开工建设, 2013年11月正式通水, 是以供水、防洪、灌溉、航运等为目标的特大型水利基础设施项目。作为跨流域跨区域配置水资源的骨干工程, 工程累计调水量达46亿立方米, 供水区内分布有淮河、海河、黄河流域的25座地市级及其以上城市, 使超过5800万人直接受益。一期工程调水主干线全长1466.50千米, 其中长江至东平湖1045.36千米, 黄河以北173.49千米, 胶东输水干线239.78千米, 穿黄河段7.87千米。

二、技术创新突破

(一) 东线穿黄河隧洞工程关键技术

南水北调东线一期工程基于黄河“三水连通”的复杂水文地质情况, 创新性的提出了穿黄河隧洞探洞在前, 施工期扩挖在后, 以及超前探水预注浆的新思路。并在国内首次提出下穿黄河大堤的爆破控制措施和工艺, 确保了施工期黄河大堤安全。除此之外, 通过外城门洞形、内圆形的7.5m长距离超大直径有压现浇混凝土管道, 实现了大直径混凝土埋管浇筑质量和浇筑速度的完美结合; 针对黄河滩地地下水位高、地层透水性强的

施工条件, 设计了科学井群降水方案, 确保了施工期边坡稳定和干地施工^[1-4]。

(二) 大型平原水库防渗漏技术体系

南水北调东线一期工程基于不同运行工况下土与混凝土接触渗漏发生规律, 首次揭示了接触渗漏启动和破坏机理, 研发了接触渗漏生态注浆材料, 创立了平原水库接触渗漏监测、处治的成套技术; 基于缺陷渗漏量对膜下水气运移的影响规律, 研发了防气胀破坏的防渗铺膜技术以及合理的膜下排气措施布置方式, 突破了库盘防渗铺膜易产生气胀破坏和检测控制的难题, 并应用于目前国内铺膜面积最大的工程, 降低漏渗率达10%。

(三) 大型渠道工程机械化衬砌施工技术

南水北调东线一期工程研制了可控温度、湿度和风速条件下的混凝土抗裂试验装置, 提出了满足抗裂、抗渗、耐久性要求的补偿收缩混凝土和微膨胀混凝土的系列配合比, 破解了快速连续施工现浇混凝土大块薄板的抗裂、抗渗与抗冻耐久性问题; 研发了多种全地形、全地质结构机械化衬砌施工渠道防渗衬砌新结构型式, 经济性与耐久性优于国际同类工艺; 研制了具有自主知识产权的长斜坡振捣滑模和振动碾压衬砌成型机及其配套设备, 首次提出了大型渠道机械化衬砌的施工工艺, 提高了渠道的施工效率与质量, 填补了我国在大型渠道机械化成型技术装备的设计制造及施工工艺方面的空白。

(四) 泵模型同台测试技术

南水北调东线一期工程需新建21座泵站、改建3座泵站, 安装95台套大型水泵, 总装机功率可达2339万kW。这些泵站扬程低、流量大、年利用小时数较高, 对确保泵站安全、高效运行提出了较高要求。但我国仍存在水泵模型基础资料不全、鉴定标准不一, 基本参数可比性不强等问题, 严重制约东线工程的设计进度和设计质量。因此, 自主研发低扬程泵站的水泵选型方法, 是保障南水北调工程安全高效运行的核心因素。与此同

时,还创建了国内高精度的水系统及泵站工程运行快速测试技术与安全评价水泵模型通用测试平台。实现了多泵型、多装置、全指标、同台同步测试,不确定度优于0.3%。首次完成了27台套、比转速覆盖东线全部适用范围的水泵模型测试,填补了我国大型水泵模型选型关键技术的空白。

(五)“河-渠-湖-库”水量水质联合优化调控关键技术

南水北调东线一期工程面向受水区水量要求和沿程输水水质保障要求,研发了基于大系统分解协调的实时闭环控制、联动控制的闭环输水控制技术体系;突破了软硬件一体的自流型渠道输水关键技术,建立了同步控制自适应平衡控制模型和冰期调水情况下的参数化冰期输水控制模型;研发了跨区域多部门协动的“河-渠-湖-库”大尺度复杂调水网络时空三级闭环控制及水质水量多目标联合优化调度模型,并开发了大型长距离调水工程管控一体化系统。该技术提高输水响应时间6.25%、平均降低闸门启闭次数7.12%、降低输水成本2%以上,为南水北调东线一期工程安全、高效、经济运行提供了有力保障。

(六)复杂河网地区水污染防治技术体系与防控模式

南水北调东线一期工程首次建立了洪泽湖、骆马湖、南四湖、东平湖等湖泊的水陆一体化生态防护系统,形成南水北调各调蓄湖库的农业面源污染防治体系,有效控制农业面源污染入湖量,防治湖泊富营养化的发生;创造性地将截污导流工程应用于复杂河网区治污工作中,清污分流确保所有污染物不再进入输水河道,建立了受水区生态用水新秩序;通过科学规划,优化布设节制闸等设施,完善复杂河网区多目标调度技术体系,解决了洪涝灾害与输水渠道截污导流之间的矛盾。该技术确保了治污、调水与排涝的顺利进行,有效治理了原来90%以上不达标断面,比英国泰晤士河、欧洲莱茵河、北美五大湖等发达国家河湖污染治理过程缩短了10~20年,创造了新的记录。

三、技术应用与推广

自2016年起,山东省南水北调工程建设管理局将长斜坡振捣滑模和振动碾压衬砌装备及施工技术推广应用

于南水北调东线、中线一期工程;2013年,湖北省水利水电规划勘测设计院将南水北调渠道衬砌技术应用于南水北调泵站改造工程中^[5]。经实践证明其经济性与耐久性均优于国际同类工艺,提高了渠道的施工效率与质量,全面实现了我国在大型渠道机械化成型技术装备的设计制造及施工工艺方面的自主创新^[6]。

穿黄河隧洞工程多项技术被其他单位推广使用,对国家的基础工程建设起到了极大地帮助与推动作用。2014年,山东省水利科学研究院将穿黄河工程隧洞及滩地埋管运行状况水下检测技术应用到南水北调东线济平干渠工程;2018年,四川省水利水电勘测设计研究院将南水北调东线穿黄河隧洞工程开挖施工技术推广应用到向家坝灌区北总干渠一期工程;2011年,中国水利水电第五工程局有限公司将南水北调东线穿黄河隧洞工程开挖施工技术应用到南水北调东线穿黄河隧洞工程中^{[7]-[9]}。

四、小结

南水北调东线一期工程实现了大型渠道工程机械化衬砌施工技术、东线穿黄河隧洞工程关键技术、水泵模型同台测试技术、大型平原水库防渗漏技术体系、河-渠-湖-库水量水质联合优化调控关键技术以及复杂河网地区水污染防治技术体系与防控模式等多项重要的技术创新突破和成果应用推广,解决了水利工程领域的相关重大关键问题,对行业乃至国家战略发展具有重大推动作用。南水北调东线一期工程正式通水至今,供水功能不断、水质持续改善,获得了巨大的经济效益和社会效益。

参考文献

- [1]于怀昌.岩石应力松弛特性试验与模型研究[M].北京:科学出版社,2017.
- [2]刘宁,汪易森,张纲.南水北调工程水泵模型同台测试[M].北京:中国水利水电出版社,2006.
- [3]罗辉,靳宏昌,李福生,王军良.南水北调河湖库复杂水网输水控制技术及应用[M].北京:中国水利水电出版社,2018.
- [4]雷晓辉,权锦,王浩,蒋云钟.跨流域调水工程突发水污染应急调控关键技术及应用[M].北京:中国水利水电出版社,2017.
- [5]刘长燕,牟连营,王涛涛.简论南水北调大型渠

道机械化衬砌施工控制技术[J]. 河北水利, 2011, 6: 37-38.

[6] 钟文, 潘坚文. 堆石混凝土抗压强度影响因素微观分析[J]. 水力发电学报, 2016, 35(05): 15-22.

[7] 罗辉, 傅题善, 陈瑛, 王有志. 南水北调东线穿黄河工程建设理论与实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2017.

[8] 刘晓娜, 窦常青, 洪松南. 水北调东线穿黄河隧洞工程检测检修方案研究[J]. 水利技术监督, 2019, 5: 24-26.

[9] 张艳如, 于贺龙, 梁崇谦. 南水北调东线穿黄河隧洞施工技术研究[J]. 山西建筑, 2008, 32: 361-362.

作者简介:

陈靓, 1982年12月, 女, 汉族, 籍贯安徽。中国水

利水电科学研究院, 高级工程师, 主要从事水利水电工程、水资源利用生态环境影响等方向的研究。

邓晓雅, 1986年4月, 女, 湖南省耒阳市, 汉族, 博士, 高级工程师, 1中国水利水电科学研究院; 2流域水循环模拟与调控国家重点实验室 研究方向: 水文水资源。

杨明祥, 1986年4月, 男, 河南省获嘉县, 汉族, 博士, 教授级高级工程师, 1中国水利水电科学研究院; 2流域水循环模拟与调控国家重点实验室 研究方向: 水文水资源。

刘梅, 1984年3月, 女, 河北省衡水市, 汉族, 博士, 高级工程师, 中国南水北调集团东线有限公司, 研究方向: 水环境、水利工程。



南水北调东线工程