

新沟河江边枢纽工程科技创新 研究与实践

何 勇^{1,2}

(1. 江苏省水利工程建设局, 江苏 南京 210029;
2. 江苏省太湖治理工程建设管理局, 江苏 常州 213000)

摘要:江边枢纽工程是新沟河延伸拓浚工程中将太湖与长江联通的重要控制性枢纽建筑物,新沟河江边枢纽工程建设管理,坚持以科技创新为着力点,开展了大型调水工程泵装置理论及关键技术研究与应用、双速同步电动机在大型泵站的应用研究、“T 型”组合式钢筋混凝土地下连续墙结构的应用研究等科研课题,研究优化调整了工程位置、总体布置、鱼道等,推广应用了混凝土防裂缝、水泵机组在线振动监测系统新工艺、新技术,努力提升工程建设的科技含量,取得了相应的成果和显著的经济社会效益。

关键词:江边枢纽; 科技创新; 研究与应用

中图分类号:U616

文献标识码:A

文章编号:1007-7839(2020)S2-0001-04

Research and practice of science and technology innovation of Xingou Riverside Junction Project

HE Yong^{1,2}

(1. Water Conservancy Project Construction Bureau of Jiangsu Province, Nanjing 210029, China;
2. Jiangsu Province Taihu Governance Project Construction Administration, Changzhou 213000, China)

Abstract: Riverside Junction Project is an important control hub construction connecting Taihu Lake with Yangtze River in Xingou River Extension Dredging Project. The construction and management of Xingou Riverside Junction Project insisted on scientific and technological innovation as the focus, scientific research subjects such as research and application of pump theory and key technology of large-scale water transfer engineering, application of two-speed synchronous motors in large-scale pumping stations, and application research of "T" type combined underground continuous wall structure of reinforced concrete had been carried out. The project location, general layout, fish-way, etc., were optimized. New techniques and technologies, such as concrete crack prevention and on-line vibration monitoring system for water pump unit, had been popularized and applied to improve the scientific and technological content of engineering construction, and corresponding achievements and remarkable economic and social benefits had been obtained.

Key words: riverside junction; science and technology innovation; research and application

江边枢纽工程是国家 172 项重大节水供水项目
太湖流域水环境综合治理工程新沟河延伸拓浚工

程中将太湖联通长江的重要控制性枢纽建筑物,是
保证太湖及其内陆河道适宜水位并抵御长江洪潮

收稿日期:2020-07-06

基金项目:江苏省水利科技项目(2015015)

作者简介:何勇(1970—),男,高级工程师,主要从事水利工程建设管理工作。

的重要屏障,是全面实现新沟河综合功能的最重要和最有效的控制性工程措施,为太湖供水和地区防洪安全提供保障。江边枢纽工程选址于江阴市申港镇滨江村老新沟河入江口,由中型拦河、挡潮节制闸、大(2)型泵站、V级船闸和鱼道4个部分组成,其中节制闸为中型拦河、挡潮水闸,共5孔总净宽48 m,设计流量 $460\text{ m}^3/\text{s}$;泵站为大Ⅱ型泵站,装立式轴流泵组6台(单向排水和双向引排各3台),正向排涝(排水)规模为 $180\text{ m}^3/\text{s}$,反向引水规模为 $90\text{ m}^3/\text{s}$;船闸级别为V级,通航净宽16 m,闸室长度180 m;鱼道规模为2 m(宽)×55 m(长)。该工程具有引水改善水环境、挡潮、防洪、排涝、航运及过鱼等综合功能。针对该工程建设中的重点、难点,紧密结合项目的实际情况,认真组织开展了大型调水工程泵装置理论及关键技术研究与应用、双速同步电动机在大型泵站的应用研究、“T型”组合式钢筋混凝土地下连续墙结构的应用研究等科研课题,研究优化调整了工程位置、总体布置、鱼道等,推广了提高清水混凝土外观质量、混凝土防裂缝、水泵机组在线振动监测系统等新工艺、新技术,取得了一批科研成果并应用到工程设计、施工实践中,加快了新沟河江边枢纽工程建设进度,提高了工程建设内在和外观质量,节约了土地资源和投资,提升了工程建设的科技含量,取得了显著的经济效益和社会效益。

1 开展大型调水工程泵装置理论及关键技术研究与应用

江边枢纽工程泵站规模为 $180\text{ m}^3/\text{s}$,其中 $90\text{ m}^3/\text{s}$ 为双向引排泵站, $90\text{ m}^3/\text{s}$ 为单向排涝泵站。排涝工况设计净扬程3.03 m,最大净扬程3.53 m;排水工况设计净扬程1.35 m,最大净扬程2.05 m;引水工况设计净扬程1.55 m,最大净扬程2.99 m。选择6台立式轴流泵,其中双向泵站采用3台机组配箱涵式进出水流道,单向泵站采用3台机组配钟形进水流道、箱涵式出水流道。针对双向进水流道会导致叶轮产生不同程度的水力振动问题,委托江苏大学研究分析了双向流道对水泵水力性能的相干机理,采用基于流固耦合的方法对双向流道的水力稳定性进行了数值分析。对双向出水流道的扩散喇叭管的高度和双向进水流道的喇叭管悬空高度进行了优化匹配,使其达到水力性能最优。优化成果已成功应用于江边枢纽泵站。装置效率较平均水平提高3%以上,节约了运行成本。《大型调水

工程泵装置理论及关键技术研究与应用》课题将基于新沟河江边枢纽工程的双向流道泵装置的开发与应用作为科研课题主要内容之一,获得2017年大禹科技奖二等奖。

2 开展双速同步电动机在大型泵站的应用研究

由于江边枢纽泵站有排涝、排水、引水3种运行工况,不同工况的设计扬程相差较大,这给泵型或水力模型选择带来难题,无法同时使得泵站装置在3种工况的设计扬程下都获得较高的效率,同时又刚好满足设计流量要求。江边枢纽泵站的排涝工况较为重要且运行时间较长,故以排涝工况为正向且在设计扬程下获得较高效率,这样就使得排水和引水工况设计扬程下的效率低下(排涝工况设计扬程下的效率可以达到71.1%,而排水和排涝工况在设计扬程下的效率仅为52%和51.3%,相差19%左右),但此时的流量又大大超出设计流量 $30\text{ m}^3/\text{s}$ 。而特定转速下泵的允许工作范围较小,高效区范围也相对较窄。这一矛盾使得江边枢纽的机组难以长时间保持高效运行。此外,该泵站即使选用全调节水泵,也难以使得该机组能在不同工况设计扬程下工作点都能落在高效区。为保证江边枢纽泵站在扬程变幅较大情况下能保持较高的运行效率,须增加机组的调节手段,即变速调节。工程建设单位会同设计单位、电机制造单位以及科研单位研究通过变极调节——即改变机组磁极对数来调节机组转速。本项目在3台双向泵组中选取1台采用变极双速凸极同步电机,根据水泵原型装置性能曲线,确定适宜的第二转速;从电机结构上分析研究大功率、低转速的制造工艺;改变传统的变极变速方式,研究采用其他方式完成变极变速,从而尽可能减小双速电机的尺寸;研究控制大型同步电机运行噪声的优化设计、制造方案。通过研究:①解决了电机功率大(1 800 kW)、转速低(极数多达48至56)变极双速凸极同步电机生产制造的技术问题;②解决了双速电机与单速电机相比较,控制尺寸变化较大,互换性差的问题;③研究大型同步电机运行噪声控制问题。该项目创新点有:①水泵配套的电机功率大(1 800 kW)、转速低(极数多达48至56),在开发运用上属于首创;②解决双速电机与单速电机控制尺寸差异大的问题,增加电机的互换性,不仅为首创,且对改造工程使用节能降耗的电机创造了条件。通过变级调速配合叶片调

节采用双速双调,可以提高机组的运行效率,在节能降耗上会有较明显的效益,特别是对于长期运行的泵站有重要的推广意义,目前江边枢纽双速同步电动机已通过了试运行,相关科研成果正在整理之中。

3 开展“T型”组合式钢筋混凝土地下连续墙结构的应用研究

由于单、双向泵下游侧进出水流道高差较大(进、出水流道底面高程分别为 -6.5 m 和 -1.3 m ,进出水流道净高差 5.2 m ,施工期含站身底板的挖深高差大于 7 m),且下游挡潮防洪高程需高于 9.7 m ,建筑物总高差较大(大于 15 m),需结合工程总体布置,研究并解决单、双向泵下游进出水池纵横断面上的高差衔接以及深基坑、高边坡的防渗、临时支护和永久支挡等问题。经过建设单位会同设计、施工、科研单位研究,本工程单、双向泵进出水流道的高差衔接,采用本工程已大量采用的地连墙垂直支护或支挡结构,根据工程施工期最不利工况,计入基坑开挖深度,支挡结构悬臂最大高度 7 m ($-1.0\sim-8.0\text{ m}$),如采用普通的悬臂式支护体结构,其抗弯刚度小,需要的墙体厚度较大,很不经济。结合本工程实际,满足施工和永久工程功能需要,应用“T型”扶壁式结构原理,利用成熟的抓斗地连墙工法,将抗弯能力较差的薄壁地连墙支护结构组合成“T型”高刚度支护体新型结构。主要研究内容为:结合现有成熟的抓斗成槽水下浇筑地下钢筋砼连续墙工艺,应用“T型”扶壁式结构原理,结合工程条件,研究确定“T型”组合式钢筋砼支护体结构型式和相关尺寸、地下“T型”槽孔成槽工艺、“T型”钢筋笼整体吊装工艺、成墙加荷过程中墙体应力、应变监测及技术成果分析等。通过研究取得了成果:“T型”地下支挡结构理论研究、“T型”槽孔成槽施工技术、异形钢筋笼整体吊装施工技术、应力、应变监测及技术成果分析等。该课题创新点或亮点为:经济合理的工程布局——单向泵近岸、双向泵远岸的布置方案,将较大的高差分级控制,有利于各建筑物高差的衔接,避免了高边坡深基坑开挖;利用现有成熟技术,通过优化组合,形成新型“T型”地下支挡结构;地下“T型”槽孔成槽及异形钢筋笼整体吊装等施工技术创新。该新型组合式地连墙支护体结构在本工程中的应用研究,不仅大幅度提高支护体或地下支挡结构的抗弯能力,节省结构自身造价,降低高差衔接难度和深基

坑支护、防渗风险,而且减少了深基坑大开挖范围,节省了土方挖填工程量,加快了主体工程关键线路上的施工进度。目前获得的相关科研成果已在江边枢纽成功应用。

4 研究提高清水混凝土外观质量措施

为达到新沟河江边枢纽工程质量目标及创优计划,工程特制定了清水混凝土外观质量合格率达 90% 以上的目标。通过江边枢纽QC小组活动,研究制订了改变接头部位模板加固方法,找到了混凝土浇筑过快与分层浇筑厚度过厚的最佳组合,同时做好三级技术交底工作。通过QC小组活动提出的措施、方法和建议,项目部完善了《泵站进出水流道专项施工方案》,在方案中详细分析了流道模板制作拼装、混凝土浇筑振捣等对混凝土外观的影响,为本项目和以后的施工增加了重要施工经验。经过建设单位委托质检站对现场混凝土实体及外观质量进行检测,共检查 400 个点,其中合格点 374 个,合格率达 93.5% ,实现了清水混凝土外观质量验收合格率不低于 90% 的目标值,顺利完成课题目标。江边枢纽工程QC小组提高清水混凝土外观质量合格率荣获 2017 年水利行业优秀质量管理QC成果一等奖。

5 应用水泵机组在线振动监测系统

目前,大型泵组都有运行数据采集、故障报警和通信功能,配合SCADA监控系统,可实现泵组机群的集中监控,甚至异地监控。但中央监控系统采集的信息量通常都是过程量、运行状态等数字量,系统要求具备高度的实时性和连锁保护功能,并不包括振动信号量,如电机、水泵等关键部位的振动数据,机组振动异常或故障预警功能欠缺。为确保新沟河江边枢纽泵站机组的安全稳定运行,经过调研,项目设计装设一套成熟、先进的水泵在线振动监测装置。目的是以设备状态监测(在线或离线)与故障诊断技术为基础、通过监测设备的运行状态,尽早发现振动异常的机组并及时给出预警提示,由专业振动分析工程师运用先进、科学的计算机分析手段,对异常机组进行分析、诊断,确定机组振动异常的原因、性质和部位,为科学有计划地检修提供可靠依据,从而减少因非计划停车、被迫抢修的情况而导致维修时间及费用增加,实现基于可靠性为基础的预测性设备维护与管理。根据设计要求,水泵制造单位提出技术方案,对江边枢纽泵

站的水泵机组振动监测提出完整的系统方案,振动监测装置包括满足分析、振动要求的振动监测硬件装置和诊断分析软件系统。在线振动监测与分析系统包括振动传感器、连接电缆、在线振动监测采集仪、在线振动监测、分析软件与机组报告服务管理系统。振动监测传感器送在线振动监测仪,压力脉动传感器直接作为模拟量信号,输出到泵站主控系统的可编程控制器予以显示。并通过振动监测软件进行异常压力报警管理和趋势管理,通过进行压力信号与振动信号的相关性分析,识别振动过大是由于设备异常引发还是水压异常引起的。通过水行业设备健康管理系统可以清晰的从厂站、设备型号、故障类别、发展趋势、历史报警报告等多个维度,可视管理当前设备健康状况和历史发展趋势。同时可完成故障台次管理、报警比率统计等设备管理功能。江边枢纽泵组在线健康监测系统已经安装成功,与现场原有的监控系统实现优势互补,共同为机组的安全运行提供有力保障。

6 工程选址、布局等优化研究

江边枢纽工程是新沟河的重要口门,工程水力衔接条件和航运安全是工程引排运行安全的关键因素,为了验证工程总体布局的合理性,初步设计阶段,通过水流数值模拟及优化研究,全面验证枢纽工程各工况闸站引排运行的水力衔接条件和船闸航运安全指标,通过数模计算和分析研究,对初拟总体布置进行调整优化,数模优化研究结果表明,优化布设必要的隔水、导流设施后,新沟河江边枢纽工程区域各工况水流流态良好,航运指标符合规范要求,工程总体布置方案更趋合理,工程布局方案可行。可研阶段,居中布置的节制闸中心线与拓宽后的新沟河中心线重合,与西侧船闸中心线间距 130 m。初设阶段,经进一步实地调研,结合征地拆迁实物量统计,由于初拟选址和布置将涉及一座 110 kV 变电所和输电线路的搬迁,不但拆迁费用较大,而且枢纽工程进度将受制于变电所搬迁实施进度,部门协调难度导致实际实施难度将很大。初设阶段,在维持可研选定的“滨江大桥北侧位置”和“船闸与闸站分建的总体布置”大致不变的前提下,为了尽量避让 110 kV 变电所,并进一步减少征地拆迁工程量,对工程位置和总体布置进行了优化调整:一方面,将整个枢纽向东侧偏移,节制闸中心线与河道中心线由重合调整为向东偏移 68 m;另一方面,将闸站与船闸之间的间距由 130 m 减小到

90 m(闸室段隔堤宽度由 70 m 减小为 30 m),工程位置和总体布置调整后,船闸中心线与河道中心线间距由 130 m 减小到 22 m,船闸工程向东偏移总计 108 m,闸站工程向东偏移 68 m。经统计对比,江边枢纽工程位置和总体布置优化调整后,枢纽建筑物间距进一步缩小,通过增设一道地下混凝土连续防渗墙解决分期工程的基坑防渗问题后,工程永久征占地面积减少约 9 hm²(134.29 亩),避免了高等级电力设施的搬迁,节约了大量土地资源,并节省了拆迁投资。

7 鱼道优化研究

江边枢纽工程鱼道依附于节制闸,鱼道由进口、槽身和出口 3 部分组成,总长 55 m。由于近年来江苏省鱼道工程不多,设计单位对鱼道专业设计不够熟悉,为优化江边枢纽鱼道设计,在借鉴走马塘江边枢纽鱼道工程设计的基础上,咨询了长江科学院、南京水利科学研究院、中水淮河规划设计研究有限公司等设计与科研单位专业人员,并委托河海大学研究提出了《新沟河江边枢纽鱼道工程过鱼对象资源调查与数值模拟报告》,本项目研究的主要目的是基于现场、相关类似工程渔业资源调研以及数值模拟相结合的方法论证现有鱼道布置及体型设计的合理性,提出可能的优化措施,为本工程鱼道设计提供依据。研究获得的主要研究成果:基于文献资料查阅及现场调研等手段,了解了长江上游、长江中游、长江江阴河段以及邻近类似工程走马塘枢纽的渔业资源状况,得到了本工程附近长江河段的优势鱼类;通过分析收集的文献及调研资料,得到了长江不同河段优势鱼类的体长及体重参数;根据国家标准得到了主要鱼类的游泳能力;对鱼道建立了三维水流数学模型,根据水流特点选择了合适的紊流模型及求解方法;基于建立的鱼道三维水流数学模型,对设计水位组合正反向运行鱼道内的水流流动进行了预演;分析基于数值模拟计算得到的鱼道内水流流态、水面线、流速分布、紊动能分布,论证了鱼道布置及体型设计的合理性;根据工程设计施工的实际情况,进行了鱼道可能性的优化,并提出了将短隔板沿长至 31 cm、将头部改为半圆形等建议。设计单位根据报告及相关科研、设计单位专业人员建议,对鱼道工程进行了优化设计,目前成果已经成功应用于江边枢纽设计与施工中。

(下转第 7 页)

4.2 强化隐患排查治理,从源头遏制生产安全事故

按照“安全第一、预防为主、综合治理”的要求,强化对重点区域、关键环节、重要时段的隐患排查治理工作,从源头上控制、预防和减少生产安全事故。持续开展拉网式、地毯式安全生产大检查,做到隐患排查不留死角,隐患整治不留后患,时常保持高压态势,不出现紧一阵、松一阵的苗头,确保安全生产各项工作收到实效。

4.3 与时俱进,强化安全生产人员培训教育

2019年,水利部《关于印发水利工程建设质量与安全生产监督检查办法(试行)和水利工程合同监督检查办法(试行)两个办法的通知》(水监督[2019]139号),确定了水利稽查问题清单、特定飞检、质量与安全生产监督检查办法。从水利部督查新孟河工程的结果来看,工程安全管理上还存在一些薄弱环节。有关安全主管部门要及时组织开展对规章制度的学习,不断提高安全管理人员的管理水平和业务素质,适应“水利工程强监管”的新形势、新要求。同时,督促施工单位抓好现场作业人员安全培训教育,提高认识,严格考核,强化结果运用。

4.4 加大安全生产费用投入,加强安全生产费用管理

安全生产费用的合理投入是实现安全生产的物质保障。按照“项目法人负责、监理单位控制、施工单位保证、政府安全监督”原则,施工单位在申请

预付安全费用时,应编写安全生产工作计划及安全费用使用计划,报监理单位审核,报项目法人批准。项目法人应按安全规定向施工单位足额支付安全费用,定期检查安全费用使用管理情况,督促各项安全措施落实到位。

4.5 进一步提升安全监管信息化水平

目前,新孟河工程界牌、奔牛水利枢纽施工现场在塔吊、围堰等关键部位部分安装了在线监控、监测设备,部分河道工程沿线也安装了在线监控监测装置,借助现代化管理手段提高事故隐患排查预警水平,但覆盖面还远远不够。结合太湖治理工程的建设实际,可考虑利用无人机技术巡河查险,对可能出现的险情隐患等进行特定巡查;开发“安全隐患随手拍”APP以及安全信息发布平台等,通过大数据、物联网技术,实现精细化管理,进一步提高安全管理和事故隐患排查预警水平,提高在建工程安全监管能力。

5 结 语

安全生产只有始点,没有终点,建设期的安全生产管理是全生命周期项目安全管理的主要组成部分。实践过程中,只有深入基层、深入一线,掌握安全生产工作规律,准确研判安全生产风险,创新安全管理手段,强化安全管理措施,才能有效降低安全事故发生的概率,为工程顺利推进提供坚实的安全保障。

(上接第4页)

8 研究大体积混凝土温控、防裂措施

江边枢纽工程一期船闸上下闸首和闸室结构以及二期节制闸和泵站站身结构底板以及墩墙等部位厚度均较大,均属于大体积混凝土,为了有效减少和防止温度裂缝的产生,江边枢纽劳模创新工作室牵头,研究采取一系列温控防裂措施,降低混凝土的内外温差,防止因内外温差过大而引起混凝土温度裂缝。设计通过改善地基约束条件、优化结构体量并采取布管通水冷却、掺抗裂外加剂以及配置温度钢筋等多个设计措施加以控制,结合施工环节的自拌混凝土原材料及配合比控制、温度控制及

监测、浇筑及养护等方面的控制措施,有效降低大体积混凝土内部温升,控制内外温差在设计范围内。江边枢纽大体积混凝土温控、防裂措施得到有效应用,取得很好的成效,本工程完建时,经裂缝专项普查和检测,节制闸、船闸和泵站共计100多个墩墙以及流道的裂缝常见发生部位均未有裂缝发生,取得了十分显著的温控防裂效果,提升了工程的施工质量。江边枢纽工程通过设计和施工2个环节的多重有效控制,在水工大体积混凝土结构抗裂方面取得了较为理想的实施效果,获得了宝贵的抗裂实践经验。